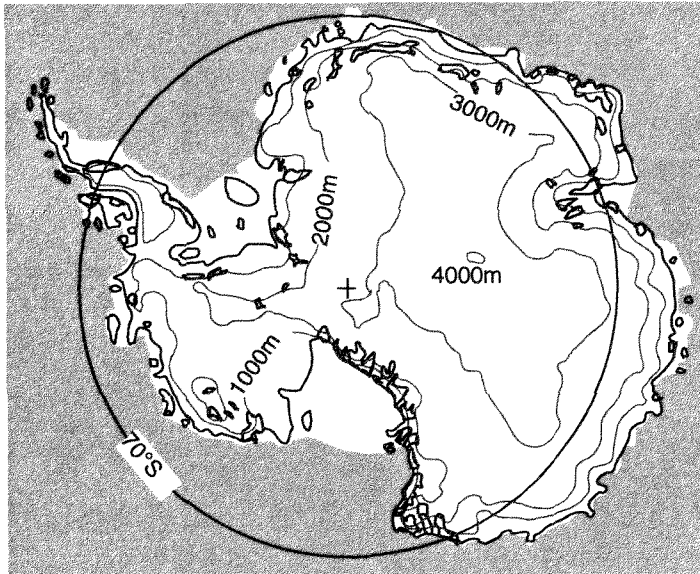


第20回南極地学シンポジウム プログラム・講演要旨

The 20th Symposium on Antarctic Geosciences
Program and Abstracts

12 -13 October 2000



国立極地研究所

National Institute of Polar Research
Tokyo, Japan

国立極地研究所図書室



000193714

第20回南極地学シンポジウム日程表 (2000年度)

10月12日(木) 12 October (Thursday)	10月13日(金) 13 October (Friday)
<p>極地研究所所長挨拶 Opening Address by Director-General, NIPR 09:25-09:30</p> <p>I. 太古代ナピア岩体 Archean Napier Complex 7 講演 09:30-11:01 (91分) 座長: 石塚英男 (高知大・理) 川崎智佑 (愛媛大・理)</p> <p>II. ゴンドワナとロディニア Gondwana and Rodinia 5 講演 11:01-12:06 (65分) 座長: 小山内康人 (岡山大・教育)</p>	<p>XII. 極域での構造探査機器の開発・波動理論 Development of instruments for crustal surveys in polar region / Wavefield analyses 6 講演 09:30-10:48 (78分) 座長: 筒井智樹 (秋田大・工学資源) 神沼克伊 (極地研)</p> <p>IX. 地形と新生代環境変遷 (1) Geomorphology and Cenozoic environmental change (1) 6 講演 10:48-12:06 (78分) 座長: 五十嵐厚夫</p>
<p>昼食 Lunch (12:10-13:00)</p>	<p>昼食 Lunch (12:10-13:00)</p>
<p>III. 南極半島と南インド洋の地球科学 Geoscience around Antarctic Peninsula and Southern Indian Ocean 4 講演 13:00-13:52 (52分) 座長: H. I. Yoon (Polar Research Center KORDI)</p> <p>IV. リュツォ・ホルム岩体の地殻進化と深部構造 (1) Crustal evolution and deep structure of Lützow-Holm Complex (1) 6 講演 13:52-15:10 (78分) 座長: 益谷和雄 (極地研)</p> <p>V. ポスター説明 Introduction for Posters 19 講演 15:10-15:40 (30分) 座長: 金尾政紀 (極地研)</p>	<p>X. 地形と新生代環境変遷 (2) Geomorphology and Cenozoic environmental change (2) 4 講演 13:00-13:52 (52分) 座長: 高田将志 (奈良女子大・理)</p> <p>XI. 核・マントルの内部構造とダイナミクス Inner structure and dynamics of the Earth's core and mantle 4 講演 13:52-14:44 (52分) 座長: 坪井誠司 (横浜市立大・理)</p>
<p>休憩 Coffee Break (15:40-16:00)</p>	<p>休憩 Coffee Break (14:45-15:15)</p>
<p>VI. リュツォ・ホルム岩体の地殻進化と深部構造 (2) Crustal evolution and deep structure of Lützow-Holm Complex (2) 6 講演 16:00-17:18 (78分) 座長: 有馬 真 (横浜国大・教育人間科学)</p> <p>VII. 特別講演: Larry D. Brown Special lecture by Larry D. Brown 17:20-17:50 (30分) 座長: 神沼克伊 (極地研)</p>	<p>XII. 氷床・地殻変動と宇宙測地 Ice sheet/crustal deformation and space geodesy 6 講演 15:15-16:33 (78分) 座長: 野木義史 (極地研)</p> <p>XII. 外国共同観測 International cooperative programs 4 講演 16:33-17:24 (52分) 座長: 森脇喜一 (極地研)</p>
<p>懇親会 Conference Party (18:00-19:00)</p>	

第20回南極地学シンポジウムプログラム (2000年度)
Programme for 20th NIPR Symposium on Antarctic Geoscience, 2000

10月12日 (木) 12 October (Thursday 9:25~17:50)

(09:25-09:30) 挨拶 Opening Address

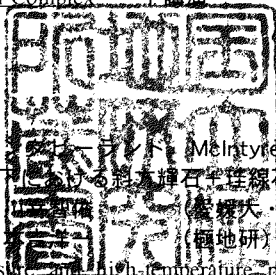
国立極地研究所所長 平沢威男

Director-General, National Institute of Polar Research T. Hirasawa

I. 太古代ナピア岩体 Archean Napier Complex 7講演

座長：石塚英男・川崎智佑

Chairs: H. Ishizuka・T. Kawasaki



1. (09:30-09:43) 東南極エnderビーランドのMcIntyre島に産する斜方輝石グラニュライトの
高温高压における斜方輝石と sillimanite + 石英の共生関係

(愛媛大・理)

(極地研)

High-pressure and high-temperature phase relation of orthopyroxene-sillimanite-quartz in an orthopyroxene granulite from McIntyre Island, Enderby Land, East Antarctica

T. Kawasaki (Ehime University)

Y. Motoyoshi (NIPR)

2. (09:43-09:56) Howard Hills に産する Meta-ultramafic rock 及び関連する変成岩

宮本知治 (九州大・理)

本吉洋一 (極地研)

吉村康隆 (高知大・理)

E. S. Grew (University of Maine)

D. J. Dunkley (University of Sydney)

C. Carson (Yale University)

Meta-ultramafic rocks from Howard Hills, Enderby Land

T. Miyamoto (Kyushu University)

Y. Motoyoshi (NIPR)

Y. Yoshimura (Kochi University)

E. S. Grew (University of Maine)

D. J. Dunkley (University of Sydney)

C. Carson (Yale University)

3. (09:56-10:09) 超高温・無水条件での石英長石質岩石の高温高压融解実験：ナピア岩体における長石の安定性と部分融解作用に関して

外田智千 (極地研)

有馬 眞 (横浜国大)

High-pressure and high-temperature melting experiments of quartz-feldspathic rock under UHT and dry conditions: Implications for the stability of feldspar and partial melting of the Napier Complex

T. Hokada (NIPR)

M. Arima (Yokohama National University)

P19529

12.11.-7

4. (10:09–10:22) ナビア岩体リーセルラルセン山地域に産するサフィリン–石英片麻岩の Sm-Nd 鉱物同位体年代
鈴木里子 (新潟大・自然科学)
外田智千 (極地研)
加々美寛雄 (新潟大・自然科学)
Sm-Nd mineral isochronage of sapphirine-quartz gneiss in the Mt. Riiser-Larsen area, Napier Complex
S. Suzuki (Niigata University)
T. Hokada (NIPR)
H. Kagami (Niigata University)
5. (10:22–10:35) アムンゼン貫入岩石類の多様性と起源, その2: 希土類元素組成
石塚英男 (高知大・理)
鈴木里子 (新潟大・自然科学)
Diversity and origin of the Amundsen Dikes, Part2: Rare Earth Element compositions
H. Ishizuka (Kouchi University)
S. Suzuki (Niigata University)
6. (10:35–10:48) アムンゼン貫入岩石類の多様性と起源, その3: Rb-Sr および Sm-Nd 同位体分析
鈴木里子 (新潟大・自然科学)
石塚英男 (高知大・理)
加々美寛雄 (新潟大・自然科学)
Diversity and origins of the Amunsen Dikes, Part 3: Rb-Sr and Sm-Nd isotope analyses
S. Suzuki (Niigata University)
H. Ishizuka (Kochi University)
H. Kagami (Niigata University)
7. (10:48–11:01) アムンゼン貫入岩石類の多様性と起源, その4: 変成作用
石塚英男 (高知大・理)
鈴木里子 (新潟大・自然科学)
Diversity and origin of the Amundsen Dikes, Part4: Metamorphism
H. Ishizuka (Kouchi University)
S. Suzuki (Niigata University)

II. ゴンドワナとロディニア Gondwana and Rodinia 5 講演

座長: 小山内康人
Chair: Y. Osanai

8. (11:01–11:14) 東南極セールロンダーネ山地花崗岩類の副成分鉱物の化学組成
リー・ツロン (神戸大・自然科学)
田結庄良昭 (神戸大・発達科学)
白石和行 (極地研)
Accessory mineral chemistry of the granitoids from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica
L. Zilong (Kobe University)
Y. Tainosho (Kobe University)
K. Shiraishi (NIPR)

9. (11:14-11:27) 南アフリカ, ナタール帯北部地域の変成作用
 廣井美邦 (千葉大・理)
 森田秀彦 (千葉大・理)
 白石和行 (極地研)
 外田智千 (極地研)
 馬場壮太郎 (極地研)
 Metamorphism in the northern part of the Natal Belt, South Africa
 Y. Hiroi (Chiba University)
 H. Morita (Chiba University)
 K. Shiraishi (NIPR)
 T. Hokada (NIPR)
 S. Baba (NIPR)
10. (11:27-11:40) インド、原生代東ガート帯の構造発達史： Gondwana-ロディニアの形成
 有馬 眞 (横浜国大・教育人間科学)
 高野 直 (横浜国大・教育人間科学)
 P. Saradhi (横浜国大・教育人間科学)
 Tectonothermal evolution of Eastern Ghats Belt, India: Implications for the East
 Gondwana-Rodinia amalgamation
 M. Arima (Yokohama National University)
 N. Takano (Yokohama National University)
 P. Saradhi (Yokohama National University)
11. (11:40-11:53) Outcrop scale silicate liquid immiscibility: an example from South India
 H. Rajesh (大阪市立大)
12. (11:53-12:06) トレモラ閃石-フェロアクチノ閃石系 Ca 角閃石の赤外 OH 伸縮振動バンド
 の微細構造
 石田清隆 (九大・比較社会文化)
 安藤由美 (九大・比較社会文化)
 Fine structure of infrared OH-stretching bands for calcic amphiboles in the tremolite
 -ferroactinolite series
 K. Ishida (Kyushu University)
 Y. Ando (Kyushu University)
- 昼食 Lunch (12:10-13:00)

III. 南極半島と南インド洋の地球科学

Geoscience around Antarctic Peninsula and Southern Indian Ocean 4 講演

座長: H. I. Yoon

Chair: H. I. Yoon

13. (13:00-13:13) ブランスフィールド海峡 OCAR Sea Mount 付近の群発地震
 神沼克伊 (極地研)
 Earthquake swarms around OCAR Sea Mount in the Bransfield Straits, Antarctica
 K. Kaminuma (NIPR)
14. (13:13-13:26) Stable isotope and meltroder discharge event in King George Island of
 South Shetland Islands, Antarctica

B. K. Khim (Polar Research Center KORDI)
Y. Kim (Polar Research Center KORDI)

15. (13:26-13:39) 東南極エンダビーランド沖東部海域における TH99 航海の地質地球物理調査結果

上嶋正人 (石油公団)
石原丈実 (地質調査所)
中島 健 (地質調査所)
杉山和弘 (地質調査所)
土田邦博 (石油公団)
加藤文人 (石油公団)

Geological and geophysical survey results of TH99 cruise in the eastern half of offing the Enderby Land, East Antarctica

M. Joshima (Japan National Oil Corporation)
T. Ishihara (Geological Survey Japan)
T. Nakajima (Geological Survey Japan)
K. Sugiyama (Geological Survey Japan)
K. Tsuchida (Japan National Oil Corporation)
A. Kato (Japan National Oil Corporation)

16. (13:39-13:52) インド洋の初期 Gondwana 分裂過程

野木義史 (極地研)
島 伸和 (神戸大・内海域機能教育研究センター)

Initial breakup process of Gondwana in the Indian Ocean

Y. Nogi (NIPR)
N. Seama (Research Center for Inland Seas, Kobe University)

IV. リュツォ・ホルム岩体の地殻進化と深部構造 (1)

Crustal evolution and deep structure of Lützow-Holm Complex (1) 6 講演

座長：澁谷和雄
Chair: K. Shibuya

17. (13:52-14:05) Gondwana の成立に於けるリュツォ・ホルム岩体の意義

白石和行 (極地研)

Significance of Lützow-Holm Complex in the context of the formation of Gondwana

K. Shiraishi (NIPR)

18. (14:05-14:18) 西エンダービーランド～東ドロニングモードランドの地殻深部構造と進化過程の解明 - SEAL 計画における人工地震ジオトランセクトの意義と概要 -

金尾政紀 (極地研)

SEAL 人工地震グループ

Exploration for deep crustal structure and evolution from West Enderby Land to East Dronning Maud Land - Structure and Evolution of the East Antarctic Lithosphere "Geotransect Project" [Outline and scientific significance] -

M. Kanao (NIPR)

SEAL Geotransect Group

19. (14:18-14:31) 東南極みずほ高原における屈折法地震探査実験

宮町宏樹 (鹿児島大・理)
村上寛史 (地震観測技術センター)
筒井智樹 (秋田大・工学資源)

戸田 茂 (愛知教育大)
 民田利明 (㈱日本油脂)
 柳沢盛雄 (極地研)
 下田泰義 (有明中学校)
 今栄直也 (極地研)
 野本新太郎 (㈱大原鉄工所)
 山下秀則 (いすゞ自動車㈱)
 松永重年 (㈱関電工)
 SEAL 人工地震グループ

A seismic refraction experiment in 2000 on the Mizuho Plateau, East Antarctica

H. Miyamachi (Kagoshima University)
 H. Murakami (Earthquake Observation Research Technology Center)
 T. Tsutsui (Akita University)
 S. Toda (Aichi University of Education)
 T. Minta (Nippon Oil and Fats Co., Ltd)
 M. Yanagisawa (NIPR)
 Y. Shimoda (Ariake junior high school)
 N. Imae (NIPR)
 S. Nomoto (Ohara Co., Ltd)
 H. Yamashita (Isuzu Co., Ltd)
 S. Matsunaga (Kandenko Co., Ltd)
 SEAL Geotransect Group

20. (14:31-14:44)

JARE41 人工地震実験でおこなった GPS 及び重力測定

戸田 茂 (愛知教育大)
 宮町宏樹 (鹿児島大・理)
 筒井智樹 (秋田大・工学資源)
 松島 健 (九州大・島原観測所)
 金尾政紀 (極地研)
 福崎順洋 (国土地理院)
 福田洋一 (京大・理)

GPS and Gravity Surveys in the SEAL Project, JARE 41st

S. Toda (Aichi University of Education)
 H. Miyamachi (Kagoshima University)
 T. Tsutsui (Akita University)
 T. Matsushima (Kyushu University)
 M. Kanao (NIPR)
 Y. Fukuzaki (Geographical Survey Institute)
 Y. Fukuda (Kyoto University)

21. (14:44-14:57)

リュツォ・ホルム湾周辺の地磁気異常および重力異常
 野木義史 (極地研)

Magnetic and gravity anomalies around Lützow-Holm Bay

Y. Nogi (NIPR)

22. (14:57-15:10)

表面波位相速度からの東南極大陸の地殻・上部マントル構造の推定
 小林励司 (東大・地震研)

Crust and upper mantle structure in the East Antarctica inferred from surface-wave phase velocity

R. Kobayashi (University of Tokyo. ERI)

V. ポスター説明 Introduction for Posters (19 講演)

座長：金尾政紀

Chair: M. Kanao

P1.-P18. (15:10-15:40) (要旨：巻末)

..... 休憩 Coffee Break (15:40-16:00)

VI. リュツォ・ホルム岩体の地殻進化と深部構造 (2)

Crustal evolution and deep structure of Lützow-Holm Complex (2) 6 講演

座長：有馬 眞

Chair: M. Arima

23. (16:00-16:13) みずほ高原の地震波速度構造
- 第 41 次南極観測隊の観測データ解析報告 -
筒井智樹 (秋田大・工学資源)
村上寛史 (地震観測技術センター)
宮町宏樹 (鹿児島大・理)
戸田 茂 (愛知教育大)
金尾政紀 (極地研)
Velocity structure by refraction analysis on the Mizuho Plateau, East Antarctica
- JARE-41 -
T. Tsutsui (Akita University)
H. Murakami (Earthquake Observation Research Technology Center)
H. Miyamachi (Faculty of Science, Kagoshima University)
S. Toda (Aichi University of Education)
M. Kanao (NIPR)
24. (16:13-16:26) 人工地震探査で記録された氷震とリュツォ・ホルム湾周辺の地下構造
神沼克伊 (極地研)
筒井智樹 (秋田大・工学資源)
金尾政紀 (極地研)
Icequakes recorded by deep seismic soundings on Mizuho route and subglacial
structure in the Lützow-Holm Bay Region
K. Kaminuma (NIPR)
T. Tsutsui (Akita University)
M. Kanao (NIPR)
25. (16:26-16:39) 遠地地震解析によるみずほ高原縁辺部の地殻構造
金尾政紀 (極地研)
根岸弘明 (防災科学技術研究所)
東野陽子 (京大・理)
中西 崇 (京大・理)
瀬尾徳常 (海上保安庁・水路部)
戸田 茂 (愛知教育大)
Crustal structure for marginal areas of the Mizuho Plateau by passive seismic studies
M. Kanao (NIPR)
H. Negishi (National Research Institute for Earth Science)

and Disaster Prevention)
 Y. Tono (Kyoto University)
 T. Nakanishi (Kyoto University)
 N. Seo (Marine Safety Agency)
 S. Toda (Aichi University of Education)

26. (16:39–16:52) 東南極リュツォ・ホルム岩体の高度変成岩の高圧下における弾性波速度測定

北村圭吾 (総研大・極地研)
 石川正弘 (横浜国大・教育人間科学)
 有馬 眞 (横浜国大・教育人間科学)
 白石和行 (極地研)

High pressure measurement of high grade metamorphic rocks from Lützow-Holm Complex

K. Kitamura (Grad. univ. Advanced Studies, NIPR)
 M. Ishikawa (Yokohama National University)
 M. Arima (Yokohama National University)
 K. Shiraishi (NIPR)

27. (16:52–17:05) 衝突帯における地震波速度異方性の形成 —リュツォ・ホルム湾, 丹沢—久保篤規 (防災研)

Formation of seismic anisotropy in collision zone - Lützow-Holm Bay, Tanzawa,-
 A. Kubo (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention)

28. (17:05–17:18) 島弧深部地殻岩の高圧下における地震波速度測定

石川正弘 (横浜国大・教育人間科学)
 北村圭吾 (総研大・極地研)
 西本壮志 (横浜国大・教育人間科学)
 河野義生 (横浜国大・教育人間科学)
 有馬 眞 (横浜国大・教育人間科学)

P-wave velocities in deep crustal rocks of island arcs

M. Ishikawa (Yokohama National University)
 K. Kitamura (Grad. univ. Advanced Studies, NIPR)
 S. Nishimoto (Yokohama National University)
 Y. Kono (Yokohama National University)
 M. Arima (Yokohama National University)

VII. 特別講演 Special lecture

座長：神沼克伊
 Chair: K. Kaminuma

SP. (17:20–17:50) 25 years of deep seismic profiling and the polar frontier
 Larry D. Brown (Cornell University)

・・・・・ 懇親会 Conference Party (18:00–19:00) ・・・・・
 研究棟 2 階講義室 Lecture Room (2F)

10月13日(金) 13 October (Friday 9:30~17:30)

VIII. 極域での構造探査機器の開発・波動理論

Development of instruments for crustal surveys in polar region · Wavefield analyses

6 講演

座長：筒井智樹・神沼克伊

Chairs: T. Tsutsui · K. Kaminuma

29. (09:30-09:43) 人工地震探査用ボーリング装置の開発と JARE-41 実施結果

村上寛史 (地震観測技術センター)
下田泰義 (有明中学校)
宮町宏樹 (鹿児島大・理)
民田利明 (株)日本油脂
金尾政紀 (極地研)
柳沢盛雄 (極地研)
神沼克伊 (極地研)
高橋昭好 (株)地球工学研究所

Development of the steam water ejective-type ice/snow-drilling system for deep seismic surveys in Antarctica - JARE-41 results -

H. Murakami (Technological Center for Seismic Observations)
Y. Shimoda (Ariake junior high school)
H. Miyamachi (Kagoshima University)
T. Minta (Nippon Oil and Fats Co., Ltd)
M. Kanao (NIPR)
M. Yanagisawa (NIPR)
K. Kaminuma (NIPR)
A. Takahashi (Geo Teics Co., Ltd.)

30. (09:43-09:56) 南極大陸における氷床中発破の振動とその効果について

民田利明 (日本油脂株)
村上寛史 (地震観測技術センター)
宮町宏樹 (鹿児島大・理)
柳沢盛雄 (極地研)
金尾政紀 (極地研)
神沼克伊 (極地研)
廣崎 義一 (日本油脂株)
澤田徹哉 (日本油脂株)

Vibration due to seismic explosion in Antarctic ice sheet and explosion effects

T. Minta (Nippon Oil and Fats Co., Ltd)
H. Murakami (Earthquake Observation Research Technology Center)
H. Miyamachi (Faculty of Science, Kagoshima University)
M. Yanagisawa (NIPR)
M. Kanao (NIPR)
K. Kaminuma (NIPR)
Y. Hirosaki (Nippon Oil and Fats Co., Ltd)
T. Sawada (Nippon Oil and Fats Co., Ltd)

31. (09:56-10:09) 氷床上における微動探査の意義とセンサーの開発

森谷武男 (北大・理)
凌 甦群 (日本熱水(株))
岡田 広 (北海道開発コンサルタント)
宮町宏樹 (鹿児島大・理)

Geophysical importance of the microtremor exploration on the ice sheet and development of the seismic sensor

T. Moriya (Hokkaido University)
L. Suqun (Nihon Nessui Corporation)
H. Okada (Hokkaido Kaihatsu Consultant)
H. Miyamachi (Kagoshima University)

32. (10:09-10:22) 南極ペネトレーターの開発について (総合試験)

澁谷和雄 (極地研)
金尾政紀 (極地研)
神沼克伊 (極地研)
小山順二 (北大)
松島 健 (九大)
筒井智樹 (秋田大)

Development of the Antarctic Penetrator - Overall Test -

K. Shibuya (NIPR)
M. Kanao (NIPR)
K. Kaminuma (NIPR)
J. Koyama (Hokkaido University)
T. Matsushima (Kyusyu University)
T. Tsutsui (Akita University)

33. (10:22-10:35) ヘリコプター重力測定の高精度化

瀬川爾朗 (東海大・海洋)
楠本成寿 (東海大・海洋)
E. J. Joseph (地質調査所)
長谷川 博 (朝日航洋株式会社)

Enhancement of gravity measurement accuracy on board a helicopter

J. Segawa (Tokai University)
S. Kusumoto (Tokai University)
E. J. Joseph (Geological Survey Japan)
H. Hasegawa (Aero Asashi Corporation)

34. (10:35-10:48) 隕石、火球落下にともなう衝撃波解析

石原吉明 (金沢大・自然科学)
平松良浩 (金沢大・理)
古本宗充 (金沢大・理)

Analysis on meteorite from sonic boom records

Y. Ishihara (Kanazawa University)
Y. Hiramatsu (Kanazawa University)
M. Furumoto (Kanazawa University)

IX. 地形と新生代環境変遷 (1) Geomorphology and Cenozoic environmental change (1) 6 講演

座長：五十嵐厚夫

Chair: A. Igarashi

35. (10:48-11:01) リーセル・ラルセン山地域の放棄されたペンギンルッカリーと完新世の環境変動

三浦英樹 (極地研)
吉永秀一郎 (森林総合研)
高田将志 (奈良女子大・文)

- D. P. Zwartz (Utrecht University)
- Abandoned penguin rookeries as Holocene paleoclimatic indicator at the Mt. Riiser-Larsen region
- H. Miura (NIPR)
S. Yoshinaga (Forestry and Forest Research Institute)
M. Takada (Nara Women's University)
D. P. Zwartz (Utrecht University)
36. (11:01-11:14) 東南極, リチャードソン湖で採取されたコアの地球化学的研究
永山美也子 (静岡大・理工)
和田秀樹 (静岡大・理工)
三浦英樹 (極地研)
高橋 浩 (名古屋大・理)
- Geochemical studies of the sediment core in the Lake Richardson, Enderby Land, East Antarctica
- M. Nagayama (Shizuoka University)
H. Wada (Shizuoka University)
H. Miura (NIPR)
H. Takahashi (Nagoya University)
37. (11:14-11:27) 南極大陸沿岸リーセル・ラルセン山地の周氷河環境とその意義
-内陸セール・ロンダーネ山地との比較-
- 三浦英樹 (極地研)
高田将志 (奈良女子大・文)
D. P. Zwartz (Utrecht University)
森脇喜一 (極地研)
- Periglacial environments at the Mt. Riiser-Larsen region as Antarctic coastal region
- H. Miura (NIPR)
M. Takada (Nara Women's University)
D. P. Zwartz (Utrecht University)
K. Moriwaki (NIPR)
38. (11:27-11:40) 東南極リュツォ・ホルム湾沿岸における貝化石のESR年代測定
高田将志 (奈良女子大・文)
三浦英樹 (極地研)
- ESR dating of fossil shells in raised beach deposits around Lützow-Holm Bay, East Antarctica
- M. Takada (Nara Women's University)
H. Miura (NIPR)
39. (11:40-11:53) スカーレン大池におけるラン藻堆積物の地球化学的特徴
瀬戸浩二 (島根大・総合理工)
- Geochemical feature of Cyanobacterial deposits in the Lake Skallen Oike on the Lützow-Holm Bay, Antarctica
- K. Seto (Shimane University)
40. (11:53-12:06) 南極における完新世ウニ化石の同位体特性
元治伸晃 (島根大・総合理工)
瀬戸浩二 (島根大・総合理工)
- Isotopic feature of Holocene echinoid fossil on the Antarctica
- N. Motoji (Shimane University)
K. Seto (Shimane University)

X. 地形と新生代環境変遷 (2) Geomorphology and Cenozoic environmental change (2) 4 講演

座長：高田将志

Chair: M. Takada

41. (13:00-13:13) 南大洋における第四紀後期の表層水温・生物生産量・大気輸送の変動
池原 実 (北大・低温研)
河村 公隆 (北大・低温研)
Late Quaternary variations of sea surface temperature, biological productivity and atmospheric transport in the Southern Ocean
M. Ikehara (Hokkaido University, LTI)
K. Kawamura (Hokkaido University, LTI)
42. (13:13-13:26) TH-98, 99 航海で得られたケルゲレン海台南方域の表層堆積物と放射虫化石
杉山和弘 (地質調査所)
仲宗根 徹 (川崎地質株)
片山 肇 (地質調査所)
中嶋 健 (地質調査所)
西村 昭 (地質調査所)
村上文敏 (地質調査所)
上嶋正人 (石油公団)
Surface sediments and radiolarians obtained by TH-98 and TH-99 cruises around the south of the Kerguelen Plateau
K. Sugiyama (Geological Survey Japan)
T. Nakasone (Kawasaki Chishitsu Co. Ltd.)
H. Katayama (Geological Survey Japan)
K. Nakajima (Geological Survey Japan)
A. Nishimura (Geological Survey Japan)
F. Murakami (Geological Survey Japan)
M. Johima (Japan National Oil Corporation)
43. (13:26-13:39) 南極半島 James Ross 島における完新世氷河変動に関する ^{14}C 年代資料
森 淳子 (北大・低温研)
曾根敏雄 (北大・低温研)
J. Strelin (アルゼンチン南極研究所)
中村 俊夫 (名大)
 ^{14}C data about Holocene glacier fluctuation on James Ross Island, Antarctic Peninsula
J. Mori (Hokkaido University, LTI)
T. Sone (Hokkaido University, LTI)
J. Strelin (Instituto Antartico Argentino)
T. Nakamura (Nagoya University)
44. (13:39-13:52) 地形地質学的証拠と貝化石の酸素同位体比からみた第四紀後期の東南極沿岸部の氷床変動とその原因

三浦英樹	(極地研)
瀬戸浩二	(島根大・総合理工)
前杵英明	(広島大・教育)
高田将志	(奈良女子大・文)
森脇喜一	(極地研)

Late Quaternary coastal EAIS history on the basis of geo(morpho)logical and geochemical evidence

H. Miura	(NIPR)
K. Seto	(Shimane University)
H. Maemoku	(Hiroshima University)
M. Takada	(Nara Women's University)
K. Moriwaki	(NIPR)

XI. 核・マントルの内部構造とダイナミクス

Inner structure and dynamics of the Earth's core and mantle 4 講演

座長：坪井誠司

Chair: S. Tsuboi

45. (13:52-14:05) PKPdf 先行波から推定される核-マントル境界近傍の不均質
 東野陽子 (京大・理)
 中西一郎 (京大・理)
 Heterogeneities near the core-mantle boundary inferred from precursors to PKPdf
 Y. Tono (Kyoto University)
 I. Nakanishi (Kyoto University)
46. (14:05-14:18) 昭和基地で観測された地震記録を用いた内核の差分回転の検証
 一瀬建日 (京大・理)
 中西一郎 (京大・理)
 Differential rotation of the inner core
 T. Isse (Kyoto University)
 I. Nakanishi (Kyoto University)
47. (14:18-14:31) 常時地球自由振動の高次モード
 湯山高士 (金沢大・自然科学)
 古本宗充 (金沢大・理)
 須田直樹 (広島大・理)
 Higher Modes of Incessant Excitation of Earth's Free Oscillations
 T. Yuyama (Kanazawa University)
 M. Furumoto (Kanazawa University)
 N. Suda (Hiroshima University)
48. (14:31-14:44) 広帯域地震計の水平動成分を用いた常時自由振動検出の可能性
 中西 崇 (京大・理)
 古本宗充 (金沢大・理)
 The possibility of detectiong earth's continuous free oscillations using horizontal
 Components of STS data
 T. Nakanishi (Kyoto University)
 M. Furumoto (Kanazawa University)

XII. 氷床・地殻変動と宇宙測地 Ice sheet / crustal deformation and space geodesy 6 講演

座長：野木義史

Chair: Y. Nogi

49. (15:15-15:28) 干渉 SAR 法を用いた南極棚氷の grounding line 検出 - ERS tandem mission
を用いた Princess Ragnhild Coast における適用例 -
小澤 拓 (極地研)
土井浩一郎 (極地研)
青木 茂 (極地研)
澁谷和雄 (極地研)
Detection of grounding line of Antarctic ice shelf using SAR interferometry
- A case study in the Princess Ragnhild Coast using ERS tandem mission -
T. Ozawa (NIPR)
K. Doi (NIPR)
S. Aoki (NIPR)
K. Shibuya (NIPR)
50. (15:28-15:41) Postglacial rebound による応用場・歪場の変化
奥野淳一 (東大・地震研)
中田正夫 (九大)
Changes in stress and strain fields due to postglacial rebound
J. Okuno (University of Tokyo, ERI)
M. Nakada (Kyusyu University)
51. (15:41-15:54) 1998 年 3 月 25 日南極地震のその後の進展
坪井誠司 (横浜市立大・理)
金尾政紀 (極地研)
March 25, 1998 Antarctic earthquake: degraiaiton or not.
S. Tsuboi (Yokohama City University)
M. Kanao (NIPR)
52. (15:54-16:07) 南東インド洋トランスオーム断層とサンアンドレアス断層近傍の速度場と
応力場形成に関するアナロジー
久保篤規 (防災研)
野木義史 (極地研)
Analogy of velocity and stress field between SE Indian transform fault and San
Andreas fault: Tectonic contribution
A. Kubo (National Research Institute for Earth Science and
Disaster Prevention)
Y. Nogi (NIPR)
53. (16:07-16:20) 昭和 VLBI 局の国際観測網への参加
福崎順洋 (国土地理院)
澁谷和雄 (極地研)
土井浩一郎 (極地研)
芝 公成 (国土地理院)
VLBI experiment in southern hemisphere terrestrial reference frame network
including Syowa VLBI station

Y. Fukuzaki (Geographical Survey Institute)
K. Shibuya (NIPR)
K. Doi (NIPR)
K. Shiba (Geographical Survey Institute)

54. (16:20-16:33) 衛星重力ミッションと南極地学研究
福田洋一 (京大・理)
Impact of satellite gravity missions on the studies of Antarctic geosciences
Y. Fukuda (Kyoto University)

XIII. 外国共同観測 International cooperative programs 4 講演

座長：森脇喜一
Chair: K. Moriwaki

55. (16:33-16:45) 南極点での広域ボアホール型地震計アレイによる地球中心核・下部マンツルの不均質・異方性の外国共同研究 - 概要と意義 -
金尾政紀 (極地研)
Large span seismic array project at the South Pole to study heterogeneity and anisotropy of the core and the lower mantle - Outline and scientific significance -
M. Kanao (NIPR)
56. (16:45-16:58) 中央ドローニングモードランド地質調査計画：新たな国際共同研究の幕開け
白石和行 (極地研)
International collaboration of the geological investigation of the central Dronning Maud Land
K. Shiraishi (NIPR)
57. (16:58-17:11) 東ドローニングモードランドでの固体地球物理航空機観測における将来計画
澁谷和雄 (極地研)
野木義史 (極地研)
Airborne geophysics surveys over the East Dronning Maud Land -Future plan-
K. Shibuya (NIPR)
Y. Nogi (NIPR)
58. (17:11-17:24) 南極大陸周辺の堆積物掘削研究と新生代の環境変動
三浦英樹 (極地研)
Antarctic drilling projects and Cenozoic environmental history
H. Miura (NIPR)

ポスターセッション (要旨：巻末) 18 講演

- P1. 昭和基地周辺に分布する花崗岩質岩の Sr,Nd 同位体組成
川野良信 (佐賀大・文化教育)
西 奈保子 (佐賀大・文化教育)
加々美寛雄 (新潟大・自然科学)
Sr and Nd isotopic compositions of granitic rocks around Syowa Station, East Antarctica
Y. Kawano (Saga University)
N. Nishi (Saga University)
H. Kagami (Niigata University)
- P2. 南極セルロンダーネ山地の Within Plate gravitine Volcanic Arcgranite

- 田結庄良昭 (神戸大・発達科学)
白石和行 (極地研)
L. Zuron (神戸大・自然科学)
- Within plategranite and Volcanic arc granitoid from Sør Rondane Mountains in East Antarctica
Y. Tainosho (Kobe University)
K. Shiraishi (NIPR)
L. Zuron (Kobe University)
- P3. 角閃石族鉱物の X 線 Rietveld 解析
安藤由美 (九大・比較社会文化)
石田清隆 (九大・比較社会文化)
- Evaluation of the X-ray Rietveld method for the characterization of amphibole-group minerals
Y. Ando (Kyushu University)
K. Ishida (Kyushu University)
- P4. パンゲア成立直前の火成活動—モンゴルにおける花崗岩系列
高橋裕平 (地質調査所・北海道支所)
荒川洋二 (埼玉大)
S. Oyungereel (モンゴル地質調査センター)
内藤一樹 (地質調査所資源エネルギー地質部)
- Magnetism just before construction of Pangea-Granitoid series in Mongolia
Y. Takahashi (Geological Survey Japan)
Y. Arakawa (Saitama University)
S. Oyungereel (Geological Investigation Bureau of Mongolia)
K. Naito (Geological Survey of Japan, Mineral and Fuel Resources Dep.)
- P5. 東南極ナピア岩体トナー島の苦鉄質グラニュライト中の含ハロゲン鉱物からみた超高温変成作用の流体組成
角替敏昭 (島根大・教育)
小山内康人 (岡山大・教育)
豊島剛志 (新潟大・理)
大和田正明 (山口大・理)
外田智千 (極地研)
W. A. Crowe (Uni. W. Australia)
- Halogen chemistry of minerals as an indicator of metamorphic fluid composition in ultrahigh-temperature mafic granulite from Tonagh Island in the Napier Complex, East Antarctica.
T. Tsunogae (Shimane University)
Y. Osanai (Okayama University)
T. Toyoshima (Niigata University)
M. Owada (Yamaguchi University)
T. Hokada (NIPR)
W. A. Crowe (Uni.W. Australia)
- P6. U-Th-Pb monazite dating of post-Archaean pegmatites from Tonagh Island, Napier Complex, East Antarctica
C. J. Carson (Yale University)
- P7. 東南極ナピア岩体, トナー島の斜方輝石-珪長質片麻岩の産状と化学組成
大和田正明 (山口大・理)
小山内康人 (岡山大・教育)
豊島剛志 (新潟大・理)

- 角替敏昭 (島根大・教育)
 外田智千 (極地研)
 W.A. Crowe (Uni. W. Australia)
- Occurrence and geochemistry of orthopyroxene quartzo-feldspatic gneiss from Tonagh Island in Napier Complex, East Antarctica
 M. Owada (Yamaguchi University)
 Y. Osanai (Okayama University)
 T. Toyoshima (Niigata University)
 T. Tsunogae (Shimane University)
 T. Hokada (NIPR)
 W.A. Crowe (Uni.W. Australia)
- P8. ナピア岩体・バント島の太陽石-サフィリングラニュライト
 小山内康人 (岡山大・教育)
 豊島剛志 (新潟大・理)
 大和田正明 (山口大・理)
 角替敏昭 (島根大・教育)
 外田智千 (極地研)
 W.A. Crowe (Uni. W. Australia)
- Osumilite-sapphirine granulite from Bunt Island in the Napier Complex, East Antarctica
 Y. Osanai (Okayama University)
 T. Toyoshima (Niigata University)
 M. Owada (Yamaguchi University)
 T. Tsunogae (Shimane University)
 T. Hokada (NIPR)
 W. A. Crowe (Uni. W. Australia)
- P9. 南極産スカポライトの結晶構造
 山川純次 (岡山大)
 小山内康人 (岡山大・教育)
 草地 功 (岡山大)
- Crystal structure of scapolite from skallen in the Lützow-Holm Bay Region, East Antarctica
 J. Yamakawa (Okayama University)
 Y. Osanai (Okayama University)
 I. Kusachi (Okayama University)
- P10. 東南極ナピア岩体クリスマスポイントに産する高度変成岩類
 吉村康隆 (高知大・理)
 宮本知治 (九大・理)
 本吉洋一 (極地研)
 E. S. Grew (University of Maine, USA)
 C. J. Carson (Yale University, USA)
 D. J. Dunkley (University of Sydney)
- High grade metamorphic rocks from Christmas point in the Naper complex, East Antarctica
 Y. Yoshimura (Kochi University)
 T. Miyamoto (KyusyuUniversity)
 Y. Motoyoshi (NIPR)
 E. S. Grew (University of Maine, USA)
 C. J. Carson (Yale University, USA)
 D. J. Dunkley (University of Sydney)
- P11. Holocene Ice Retreat from the Antarctic Peninsula Shelf, West Antarctica Evidenced from

Glaciomarine Sediments

H. I. Yoon (Polar Research Center KORDI)

P12. デービス海における古流向の推定：帯磁率異方性によるアプローチ

小田啓邦 (地質調査所)
村上文敏 (地質調査所)
片山 肇 (地質調査所)
杉山和弘 (地質調査所)
小田 浩 (地質調査所)
仲宗根 徹 (大・地質学)

Paleocurrent determination in Davis Sea: An approach by anisotropy of magnetic susceptibility

H. Oda (Geological Survey Japan)
F. Murakami (Geological Survey Japan)
H. Katayama (Geological Survey Japan)
K. Sugiyama (Geological Survey Japan)
H. Oda (Geological Survey Japan)
T. Nakasone (Kawasaki Geological Engineering Col., Ltd.)

P13. 石油公団・反射法地震探査データの CD-ROM データベース作成とその活用について

村上文敏 (地質調査所)
上嶋正人 (石油公団)
松田滋夫 (グローバパーティック株)

CD-ROM database construction of JONC Seismic reflection data and its utilization

F. Murakami (Geological Survey Japan)
M. Johima (Japan National Oil Corporation)
S. Matsuda (Clover Tech Corporation)

P14. 南極海の海洋底の構造線に関する特徴抽出の試み

寺田久美子 (京大・理)
福田洋一 (京大・理)
野木義史 (極地研)

Detection of sea floor structure on the Antarctic Ocean

K. Terada (Kyoto University)
Y. Fukuda (Kyoto University)
Y. Nogi (NIPR)

P15. オーストラリア・ニューキャッスル周辺における白亜紀の古地磁気 -テクトニクスと地磁気静穏期の地磁気強度-

酒井英男 (富山大・理)
木川栄一 (海洋科学技術センター・深海研究部)
鬼木幸太 (富山大・理)
中沖恵美 (富山大・教育)
V. Kravchinsky (ロシア科学アカデミー・シベリア支所)

Paleomagnetic study on Cretaceous rocks of Newcastle, Australia -tectonics and paleointensity at geomagnetic quiete zone-

H. Sakai (Toyama University)
E. Kikawa (Japan Marine Science and Technology Center)
K. Oniki (Toyama University)
E. Nakaoki (Toyama University)
V. Kravchinsky (Siberian Branch of Russian Academy of Science)

P16. FX 関連器のための測地解析ソフトウェアの開発と、南極 VLBI 実験への適用

寺家孝明 (総研大・国立天文台)
 真鍋盛二 (国立天文台)
 田村良明 (国立天文台・水沢)
 澁谷和雄 (極地研)

Development of geodetic analysis software for FX Correlator and its application to the Antarctic VLBI
 T. Jike (Grad. Univ. Advanced Studies, National Astronomical Observatory)
 S. Manabe (National Astronomical Observatory)
 Y. Tamuta (National Astronomical Observatory, Mizusawa)
 K. Shibuya (NIPR)

P17. 東南極みずほ高原における屈折法地殻深部探査 (JARE-41)

村上寛史 (地震観測技術センター)
 筒井智樹 (秋田大・工学資源)
 宮町宏樹 (鹿児島大・理)
 戸田 茂 (愛知教育大)
 民田利明 (㈱日本油脂)
 柳沢盛雄 (極地研)
 下田泰義 (有明中学校)
 今栄直也 (極地研)
 野本新太郎 (㈱大原鉄工所)
 山下秀則 (いすゞ自動車㈱)
 松永重年 (㈱関電工)
 SEAL 人工地震グループ

Deep seismic refraction experiments in 2000 on the Mizuho Plateau, East Antarctica: JARE-41
 F. Murakami (Technological Center for Sismic Observations)
 T. Tsutsui (Akita University)
 H. Miyamachi (Kagoshima University)
 S. Toda (Aichi University of Education)
 T. Minta (Nippon Oil and Fats Co., Ltd)
 M. Yanagisawa (NIPR)
 Y. Shimoda (Ariake junior high school)
 N. Imae (NIPR)
 S. Nomoto (Ohara Co., Ltd)
 H. Yamashita (Isuzu Co., Ltd)
 S. Matsunaga (Kandenko Co., Ltd)
 SEAL Geotransect Group

P18. 遺伝アルゴリズムを用いたレシーバー関数インバージョンによる南極定常観測点周辺部の S 波地殻構造

澁谷拓郎 (京大・防災研)
 金尾政紀 (極地研)
 久保篤規 (防災研)

Crustal S-wave structure by Genetic Algorithm inversion of receiver functions for permanent broadband stations in Antarctica
 T. Shibutani (Kyoto University, DPR1)
 M. Kanao (NIPR)
 A. Kubo (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention)

第20回南極地学シンポジウム
口頭発表要旨

The 20th Symposium on Antarctic Geosciences
Abstracts for Oral Presentation

1 東南極エンダビーランド, McIntyre 島に産する斜方輝石グラニュライトの高温高压下における斜方輝石+珪線石+石英の共生関係 川崎智佑 (愛媛大・理), 本吉洋一 (極地研)

High-pressure and high-temperature phase relation of orthopyroxene-sillimanite-quartz in an orthopyroxene granulite from McIntyre Island, Enderby Land, East Antarctica.
Toshisuke Kawasaki (Ehime Univ) and Yoichi Motoyoshi (NIPR)

Casey 湾東部に位置する McIntyre 島には Napier 岩体に属する高温のグラニュライトが産しており, これらのグラニュライトには, ザクロ石の離溶ラメラを包有した斜方輝石が見出される (Motoyoshi 1995). このザクロ石の離溶ラメラを持つグラニュライト (Sample no. SP93022004A) は, 斜方輝石+石英+珪線石が安定な温度圧力条件で変成作用を受けた後に, 11.2 kbar, 895°C でザクロ石の離溶ラメラを析出するような降温期変成作用を受け, 873°C の温度条件下で 10.9 kbar から 11.4 kbar までの間の圧力条件を経過したことが明らかにされた (Kawasaki and Motoyoshi 2000).

今回は, このグラニュライトが最初に受けた変成作用の温度圧力条件を斜方輝石+石英+珪線石が安定な領域内で決定する事を目的として高温高压実験を開始したので途中経過であるが報告する.

このグラニュライトは珪線石をほんの少量だけ含有している (1 modal % 以下) ので, 斜方輝石+石英+珪線石領域内で輝石の化学組成の変化や珪線石が安定であるかどうかを正確に調べるためには珪線石成分を加える必要がある. 今回の実験では 10 kbar, 1700°C で McIntyre グラニュライトを 1 分間熔融させた後に, 急冷回収して得られたガラスに種結晶として Rundvågshetta に産する珪線石 (Sample no. RVH18-SIL) を約

5 wt% 加え, 粉碎混合したものを出発物質とした.

実験は愛媛大学設置のピストン・シリンダーを用いて行った. WRe 熱電対を用いて温度を制御した. 実験に使用した試料空間 (長さ 7mm) の中心部と端の温度差は 10 kbar, 1400°C の条件では 5°C から 15°C であり, 試料空間の温度勾配は 1°C/mm から 2°C/mm であった.

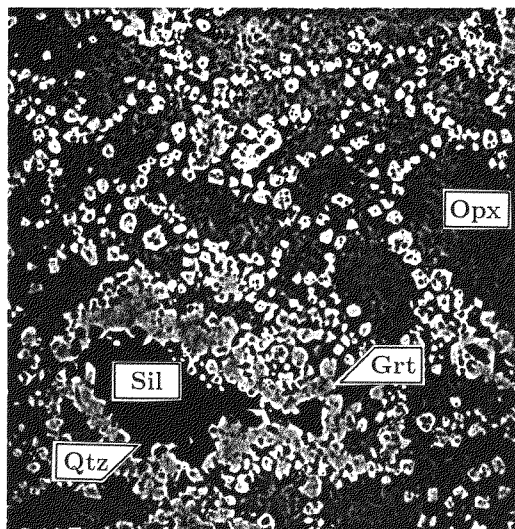
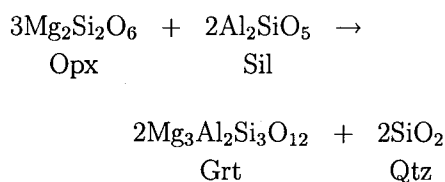


Fig. 1. Back scattered electron image (BSEI) of the run products (Run no. 000809E) synthesized from glass and 5 wt% of sillimanite at 22 kbar and 1200°C for 120 hours in a graphite capsule. Bar, 10 μ m. Opx, orthopyroxene. Grt, garnet. Sil, sillimanite. Qtz, quartz.

1000°C での石英⇌コーサイト転移圧力 29.5 kbar (Bohlen and Boettcher 1982) と室温での Bi I→Bi II 圧力定点 25.5 kbar (Hall 1971) を利用して圧力較正を行った。

図 1 に 22 kbar, 1200°C で行った予備実験の生成物を示す。これは、120 時間かけてグラファイト容器内で再結晶させた生成物である。

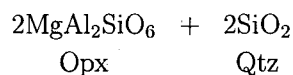
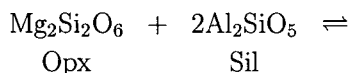
非常に細粒な石英がザクロ石や斜方輝石内に包有されており、少し粗粒な石英がザクロ石と斜方輝石双方に直接している。種結晶の珪線石の周囲にはザクロ石が晶出し、斜方輝石と珪線石を分断しており、珪線石は斜方輝石と接していない。また、珪線石の回りが



により薄いフィルム状の石英に置き換わっている事が観察される。これらの事から、この温度圧力条件では珪線石が不安定であると判定できる。

この実験はザクロ石が安定な領域内で生成物の組織から珪線石の安定性を判定できるかどうか調べるために試験的に行ったものであるが、ザクロ石が晶出し得ない低圧の条件でも、この実験の例のように生成物の組織観察から珪線石の安定性を議論する事が可能であると考えられる。

また、次の反応：



によって、斜方輝石中の Al₂O₃ 含有量の変化を温度と圧力の関数として定量化し、新たな地質温度計圧力計を構築する事が可能である。この地質温度計圧力計を使う事により、McIntyre グラニュライトの斜方輝石の化学組成から McIntyre グラニュライトが受けた早期の変成条件を決定することが可能となるであろう。

References

- Bohlen SR and Boettcher AL (1982) JGR 87 7073
 Hall HT (1971) NBS Spec Pub 326 313
 Kawasaki T and Motoyoshi Y (2000) Proc NIPR Symp ANtarct Geosci 13 (in press)
 Motoyoshi Y (1995) Abst NIPR symp 15 78

2

Howard Hillsに産するMeta-ultramafic rock及び関連する変成岩

宮本知治 (九州大), 本吉洋一 (極地研), 吉村康隆 (高知大), E.S.Grew (Univ. of Maine), D.J.Dunkley (Univ. of Sydney), C.J.Carson (Yale Univ.)

Meta-ultramafic rocks from Howard Hills, Enderby Land, East Antarctica.

T.Miyamoto (Kyushu Univ.), Y.Motoyoshi (NIPR), Y.Yoshimura (Kochi Univ.), E.S.Grew (Univ. of Maine), D.J.Dunkley (Univ. of Sydney), C.J.Carson (Yale Univ.)

Howard Hills is underlain by Napier Complex granulite-facies metamorphic rocks, including as garnet-bearing gneiss, orthopyroxene-bearing feldspathic gneiss, and meta-ultramafic and mafic rocks (Yoshimura et al., 2000). Investigated meta-ultramafic rocks constitute a rounded block five meters across in orthopyroxene-bearing quartzofeldspathic gneiss. Meta-ultramafic rocks comprise phlogopite-bearing rocks mantled by phlogopite-poor rocks enclosing feldspar-dominant blocks. Spinel-sapphirine-biotite-opx gneiss is found between the meta-ultramafic rocks and orthopyroxene-bearing quartzofeldspathic gneiss.

Phlogopite-bearing meta-ultramafic rocks are composed dominant olivine with subordinate orthopyroxene, spinel and phlogopite. Phlogopite is colorless in thin section. It is magnesian with 5.4 to 5.6 Mg atoms and 2.2 to 2.3 Al atoms per 22 oxygens by SEM-EDS analysis. Olivine is Fo90-92. Brown spinel is chromian: $Cr/(Al+Cr) = 0.3-0.5$. Orthopyroxene is close to En80 and contains 1 to 3 wt.% of Al_2O_3 . Phlogopite-poor meta-ultramafic rocks are composed dominantly of orthopyroxene and subordinate plagioclase and mesoperthite. Phlogopite grains are rarely formed at grain boundaries of orthopyroxene. Lamellae of clinopyroxene are present in some orthopyroxene grains. Feldspar-dominant blocks consist almost entirely of mesoperthite and plagioclase with minor amounts of orthopyroxene.

Mantles of blue-green sapphirine around greenish spinel are characteristic of the spinel-sapphirine-biotite-opx gneiss. Biotite is brown in thin section.

The orthopyroxene-bearing

quartzofeldspathic gneiss contains both plagioclase and mesoperthite, as well as accessory zircon. This gneiss has thin layers composed mostly of sapphirine and plagioclase and lacking quartz.

To determine the origins of these metamorphic rocks, whole rock samples were analyzed by X-ray fluorescence spectrometry. Major element compositions of the phlogopite-bearing and phlogopite-poor ultramafic rocks are the same as those of meta-ultramafic rocks from Mt. Riiser Larsen that are considered to be derivatives of depleted mantle peridotites and komatiitic rocks (Suzuki et al., 1999). Sapphirine-free and sapphirine bearing layers of the orthopyroxene-bearing quartzofeldspathic gneiss were analyzed separately. The sapphirine-free layers are granodiorite to tonalite in composition and contain 67 and 73 % SiO_2 . Their CIPW norms show Or:An:Ab = 0.18-0.34:0.20-0.26:0.46-0.56. Chemical compositions of the sapphirine-bearing layers are nepheline and corundum-normative with 80 % of plagioclase showing Or:An:Ab = 0.02:0.51:0.47.

References:

- Suzuki, S., Hokada, T., Ishikawa, M. and Ishizuka, H. (1999): Geochemical study of granulites from Mt. Riiser Larsen, Enderby Land, East Antarctica: implication for protoliths of the Archean Napier Complex. *Polar Geosci.*, **12**, 101-125.
- Yoshimura, Y., Motoyoshi, Y., Grew, E.S., Miyamoto, T., Carson, C.J. and Dunkley, D.J. (2000): Ultrahigh-temperature metamorphic rocks from Howard Hills in the Napier Complex, East Antarctica. *Polar Geosci.*, **13**, in press.

3

超高温・無水条件での石英長石質岩石の高温高压融解実験：ナピア岩体における長石の安定性と部分融解作用に関して

外田智千（極地研）・有馬 眞（横浜国大）

High-pressure and high-temperature melting experiments of quartz-feldspathic rock under UHT and dry conditions: Implications for the stability of feldspar and partial melting of the Napier Complex

Tomokazu HOKADA (NIPR), Makoto ARIMA (Yokohama National University)

1. はじめに

大陸地殻の形成過程に関する諸問題の中でも特に地殻深部でのプロセスには未だ未解明の問題が多い。その一つがナピア岩体などに見られるような地殻中～下部が1000℃を越えるような高温条件に達しながら完全に熔融することなく超高温の変成岩として地殻深部に残される超高温変成作用のプロセスである。本研究では、こうした超高温条件下での石英長石質地殻物質の挙動、特に無水条件下での長石の安定性と部分融解作用との関係を明らかにすることを目的に、ナピア岩体に産する石英長石質片麻岩を出発物質に用いた高温高压実験をおこなった。

2. 実験方法

実験には横浜国立大学の1インチ径ピストンシリンダー型高温高压装置を用いた。出発物質には、ナピア岩体リーセルラルセン山地域に産するザクロ石-斜方輝石石英長石質片麻岩を粉砕して磁石と重液で苦鉄質鉱物などを除去して石英と長石（アンチパーサイト）のみの集合体に分離したものをを用いた。ただし、微量の斜方輝石が完全には除去できずに出発物質に混入した。実験では、①無水での部分融解開始温度（ソリダス）、②形成したメルトの化学組成、③長石中の離溶ラメラの化学組成の変化およびその消滅温度（ソルバス）の3点に特に着目した。

3. 実験条件、及び、結果

温度条件は1000~1150℃の範囲で、全実験とも1 GPaの圧力で完全に無水の条件でおこなった。実験時間と温度は以下の通りである。

Run No.・温度・実験時間

FP-04: 1000℃・235 h

FP-05: 1100℃・164 h

FP-02: 1150℃・57 h

FP-04 (1000℃・1 GPa): メルトは形成せず。斜長石中のラメラは残存し、その化学組成には若干の変化が見られる（Ab成分の増加: 5 → 25%, An成分はほとんど変化せず）。また斜長石中に新たに組成累帯構造が形成（Or成分の増加 core → rim: 1 → 9%）。

FP-05 (1100℃・1 GPa): メルトは形成せず。斜長石中のラメラは残存するが、その化学組成は変化（Ab成分の増加: 5 → 55%, An成分も若干増加: 1 → 7%）。また、斜長石中に組成累帯構造の形成が見られる（Or成分の増加 core → rim: 3 → 9%）。

FP-02 (1150℃・1 GPa): 斜長石と石英との粒界にメルトが形成（化学組成は比較的均質、ほぼ無水）。メルト中に局所的に自形・細粒の斜方輝石（Al₂O₃: 3-7 wt.%）が形成している。斜長石中のラメラは完全に消滅し、結晶のコアに若干の組成累帯構造が見られる（Or成分の増加 core → rim: 3 → 8%）。

4. 考察、及び、まとめ

1. 実験に用いた試料の無水での融解開始温度（ソリダス）は1100℃~1150℃の間と見積もられる。
2. 形成したメルトは比較的均質で、その化学組成は水に飽和したQtz-Ab-Or (haplogranite) 系でのミニマムメルトの組成よりもAb成分に乏しい特徴を示す。
3. 斜長石に顕著な組成累帯構造が見られることから、全ての実験でまだ完全には平衡に達していない。しかし、少なくとも1100℃~1150℃の間で斜長石中のラメラの消滅が確認された。

5. ナピア岩体への適用

実験結果は完全には平衡に達していないものの、実験に用いた斜長石中のラメラ消滅温度（1100-1150℃）は長石地質温度計を用いた1090℃以上（Hokada, 1999 - D論）という平衡温度の見積もりと調和的である。しかし実験生成物の長石とHokada (1999)で見積もった天然の長石とではその化学組成に有意な違いが認められ、今後は実験時間を長くするなどの検討が必要である。また、出発物質に混入した微量の斜方輝石の影響なども今後の検討課題である。上記の結果は実験に用いた試料中で変成作用のピーク時に部分融解作用によってメルトが形成していた可能性を示唆しており、試料の採取地点近傍で見られる長石質のパッチ、及び、その中や近辺に産する自形・粗粒のジルコンがメルトからの結晶作用によって形成したという解釈（Hokada *et al.*, 2000 - WPGM2000 講演要旨）を支持する。

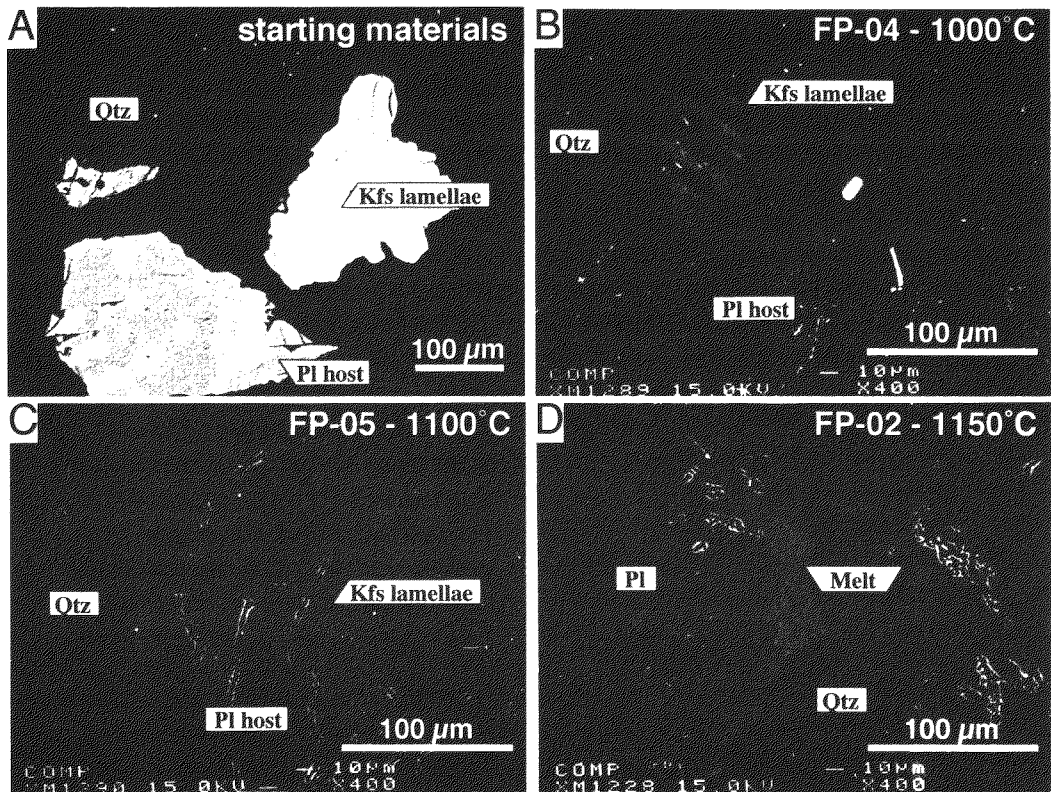


Fig. 1 Backscattered-electron images of starting materials and run products of the experiments.

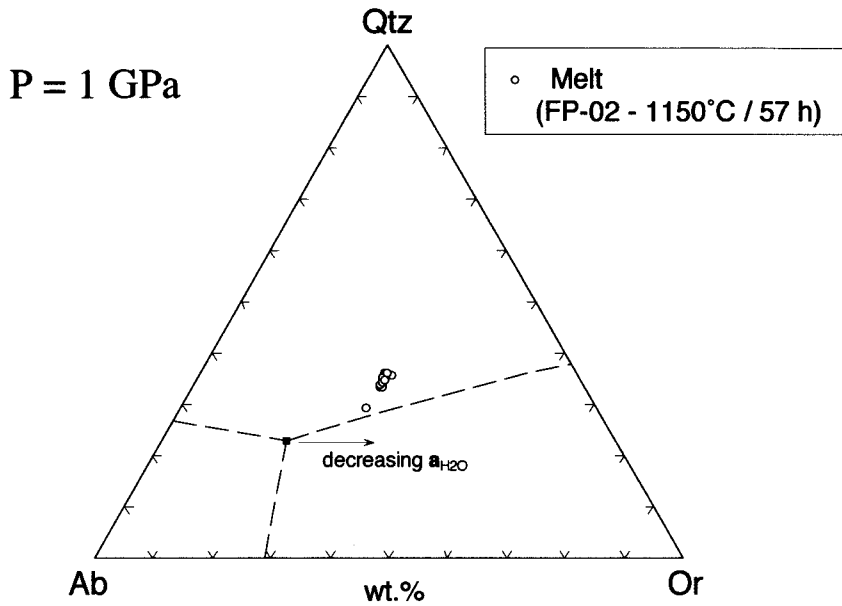


Fig. 2 Triangular plots of melt compositions of the run products. Eutectic minimum (solid square) and cotectic curves (dashed lines) of H_2O -saturated conditions ($a_{H_2O}=1$) at 1 GPa are from Johannes and Holtz (1996).

4

ナピア岩体リーセルラルセン山地域における
サフィリン-石英片麻岩の Sm-Nd 鉱物年代

鈴木里子 (新潟大学大学院自然科学研究科) ・ 外田智千 (国立極地研究所)

・ 加々美寛雄 (新潟大学大学院自然科学研究科)

Sm-Nd mineral age for sapphirine-quartz gneiss in the Mt. Riiser-Larsen area, Napier Complex

Satoko SUZUKI (Niigata Univ.), Tomokazu HOKADA (NIPR)

and Hiroo KAGAMI (Niigata Univ.)

東南極エンダビーランド地域に分布するナピア岩体は、主にグラニュライト相変成岩類からなる。また、一部の変成岩類にサフィリン(Spr) + 石英(Qtz)、珪線石 + 斜方輝石 + ザクロ石の共生がみられること、大隕石、転移したピジョン輝石が産出することから、同地質体は 1000℃ を越える超高温変成作用を受けたと考えられている。地質年代は、これまでに形成年代として 39-37 億年前および 30-28 億年前、変成年代としては 31-28 億年前および 25-23 億年前の年代値が、SHRIMP 法や CHIME 法の鉱物 U-Pb 測定、Rb-Sr、Sm-Nd 全岩および鉱物年代測定により数多く報告されている。しかし、超高温変成作用がいつ生じたのかは明らかにされていない。本研究では、リーセルラルセン山地域に産出する Spr-Qtz 片麻岩の Sm-Nd 鉱物同位体測定を行い、これまでに同様の手法で得られている同地域の他の片麻岩類の年代値 (鉱物年代: 約 24 億

年前、全岩年代: 30~29 億年前)、SHRIMP 法を用いての鉱物 U-Pb 年代値 (ジルコン: 約 28 億年前・26~25 億年前、モナザイト: 25~24 億年前)、CHIME 法を用いての鉱物 U-Th-Pb 年代値 (ジルコン: 29~27 億年前・26~23 億年前、モナザイト: 26~22 億年前) と比較検討することにより、ナピア岩体が被った超高温変成作用の時期を検証することを目的とする。

試料は、調査地域南西部に幅約 40 m にわたって産出する珪長質片麻岩の中で、Spr + Qtz の共生が見られる数 cm 幅の Spr-Opx layer と珪長質 layer、計 15 cm 幅の部分を用いた。同位体分析については現在進行中である。得られる結果が、26 億年前から 24 億年前のどの値になるかにより、測定法の違いと精度の問題を含め、超高温変成作用の時期を議論できると考えている。

Diversity and origin of the Amundsen Dikes,
part 2: rare earth element compositions

Hideo ISHIZUKA (Kochi Univ.) and Satoko SUZUKI (Grad. School Sci. Tech., Niigata Univ.)

東南極エンダビーランドに分布するナピア岩体は超高温変成作用を受けた太古代の地質体であるが、同地質体には超高温変成作用終了後に貫入した多量の塩基性岩が分布している。これらの貫入岩は一般にアムンゼン貫入岩類と呼ばれている。本発表では、リーセルラルセン山地域のナピア岩体に貫入するアムンゼン貫入岩類の全岩希土類元素組成について報告する。

調査地域のアムンゼン貫入岩類は北-南及び北東-南西方向に貫入しており、多くは幅数mであるが、稀に20m近くに達し、しばしば母岩との接触部に数cmの急冷相が発達している。前回（その1）報告したこれら貫入岩類の全岩主要及び微量元素組成によると、貫入岩類はいずれも玄武岩質組成であるが、大きくアルカリ岩系と非アルカリ岩系の2種類に分けることができる。アルカリ岩系には特徴的に黒雲母が含まれ、単斜輝石の多色性も強い。両岩系とも微量元素組成に注目すると、更に細分され、アルカリ岩系はNb/Zr比の高いタイプ-Aと低いタイプ-B、非アルカリ岩系は同じNb/Zr比でよりNbとZrの含有量の多いタイプ-Cと少ないタイプ-Dである。これらのタイプで、AとBはNb/Zr比の違いから成因的に異なる可能性があり、CとDは同じNb/Zr比を持つことから同一マグマから生じ、分化の程度の違いを反映したものであると考えられた。今回、これらの解釈について、希土類元素組成から更に検討を行った。

希土類元素はアクトラボ社のICP-MSで全岩主要・微量元素を測定した同一試料（17試料）で測定を行った。

AとBは、両者とも重希土元素から軽希土元素にかけて一様に増加するパターンを示すが、Aの方が若干傾斜が急である。また、Aは正のEu異常を示し、Bは負のEu異常を示す。更に、希土類元素の濃度でも両者は異なっており、コンドライト組成と比較すると、A

の重希土元素の濃度は17倍前後で軽希土元素の濃度は200倍前後であるのに対して、Bの重希土元素の濃度は25倍前後で軽希土元素の濃度は270倍前後である。MORBで規格化したスパイダー図でもAとBは異なるパターンを示す。これらのことは、両者が異なるマグマから生じたことを示唆する。

CとDは、両者とも重希土元素から軽希土元素にかけて一様に増加するパターンを示すが、その増加傾向はアルカリ岩系（AとB）に較べるとより緩やかである。希土類元素濃度は、コンドライト組成と比較すると、Cの重希土元素は11~28倍で軽希土元素は100~120倍であるのに対して、Dの重希土元素は11~20倍で軽希土元素は20~55倍である。MORBで規格化したスパイダー図でも両者は同じ様なパターンを示し、特に、Nbの負異常は両者共通である。これらのことから、両者は同一のマグマ起源であり、CがDに較べてより分化したものであることが示唆される。しかし、Dの2試料（タイプ-D'）は他のD試料（6試料）とは異なり、軽希土元素の濃度がそれほど多くない比較的フラットなパターンを示しており、この試料は他の非アルカリ岩系の試料とは成因が異なる可能性がある。野外での産状でも、タイプ-Dの岩脈がタイプ-D'の岩脈に切られていることがある。

以上の結果は、全岩の主要・微量元素組成から得られた結論と概ね調和的であるが、非アルカリ岩系に成因の異なるものが含まれているということは希土類元素組成の検討から新しく得られた成果である。これらのことは、アムンゼン貫入岩類の活動には少なくとも成因（恐らく活動時期も）を異にする4種類のマグマが関与したことを示しており、リーセルラルセン山地域に分布する塩基性貫入岩類を一括してアムンゼン貫入岩類と命名することは再検討の必要がある。

6

アムンゼン貫入岩類の多様性と起源、その3: Rb-SrおよびSm-Nd同位体分析
 鈴木里子 (新潟大学大学院自然科学研究科) ・ 石塚英男 (高知大学理学部)
 ・ 加々美寛雄 (新潟大学大学院自然科学研究科)

Diversity and origin of the Amundsen Dikes,

part3: Rb-Sr and Sm-Nd isotope analyses

Satoko SUZUKI (Niigata Univ.), Hideo ISHIZUKA (Kochi Univ.)

and Hiroo KAGAMI (Niigata Univ.)

東南極エンダビーランド地域に分布するナビア岩体は、主に太古代中～後期に1000℃を越える超高温変成作用を受けたグラニュライト相変成岩類からなる。これらの変成岩類には、超高温変成作用終了の後に塩基性岩（アムンゼン貫入岩類）が貫入する。調査地域であるリーセルラルセン山地域において、アムンゼン貫入岩類は数メートルから十数メートル幅で広く産出しており、その貫入方向は南北および北東-南西である。

調査地域のアムンゼン貫入岩類は、構成鉱物、全岩化学組成の特徴から、アルカリ玄武岩質のAとB、非アルカリ玄武岩質のCとDの4つのグループに分けられる。また、微量元素の特徴からAとBは起源が異なること、CはD（2試料(D)を除く）に比べてより分化しているが両者は同一起源である可能性が高いことがわかった（石塚、鈴木：本シンポジウム発表）。本発表では、これらの貫入岩類について、得られたRb-Sr、Sm-Nd全岩同位体分析の結果を報告する。

下記に $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比図、 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比図を示す。この結果、AとBは異なる同位体比の傾向を示し、それぞれ異なる起源をもつこと、CとD（Dの2試料を除く）は同一起源であることが同位体元素からも明らかとなった。また、Rb-Sr全岩アイソクロン年代としてA（4試料）から $1233 \pm 384\text{Ma}$ （Initial Ratio(IR): 0.704807 ± 0.001813 ）、C（4試料）から $2012 \pm 211\text{Ma}$ （IR: 0.704042 ± 0.001542 ）、Sm-Nd全岩アイソクロン年代として、C（4試料）から $1912 \pm 169\text{Ma}$ （IR: 0.509724 ± 0.000170 ）、C（4試料）とD（3試料）の7試料では $1968 \pm 109\text{Ma}$ （IR: 0.509669 ± 0.000119 ）の年代値が得られた。AのSm-Nd同位体比は、4試料とも $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.125\sim 0.126$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.5118$ と均質であることから年代値は得られなかった。これらの結果は、リーセルラルセン山地域の貫入岩類に約19億年前と約12億年前に活動した異なる起源のものが存在することを示唆している。

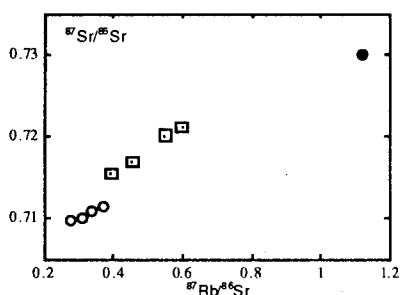


図1. $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比図

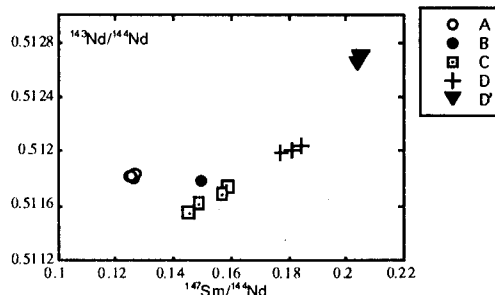


図2. $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比図

Diversity and origin of the Amundsen Dikes,
part 4: metamorphism

Hideo ISHIZUKA (Kochi Univ.) and Satoko SUZUKI (Grad. School Sci. Tech., Niigata Univ.)

東南極エンダビーランドに分布する太古代のナピア超高温変成岩体には多量の塩基性貫入岩類（一般に、アムンゼン貫入岩類と呼ばれる）が分布する。本発表では、リーセルラルセン山地域のナピア岩体に分布するアムンゼン貫入岩類に認められる変成作用について報告する。

調査地域に分布するアムンゼン貫入岩類は、しばしば超高温変成岩類の構造を切って、北-南及び北東-南西方向に幅数m（稀に20m近く）で貫入しており、多くは母岩との接触部に数cmの急冷相が発達している。このことから、貫入岩類はナピア超高温変成作用終了後に活動したことは明らかである。貫入岩類は一般に原岩のドレライト組織を良く残しているが、初生鉱物は一部変成鉱物に置き変わっている。しかし、剪断帯付近に産出する貫入岩は、母岩の超高温変成岩類と同様に、原岩組織や初生鉱物が完全に改変され、マイロナイト様の組織になっているものもある。

前回報告した様に（その1）、アムンゼン貫入岩類は全岩組成の違いから、アルカリ玄武岩質（主要初生鉱物：斜長石+単斜輝石+黒雲母）のタイプ-Aと-B、及び非アルカリ玄武岩質（主要初生鉱物：斜長石+単斜輝石）のタイプ-Cと-Dに区分され、また、今回の別の報告にあるように（その2、その3）、その成因・活動時期も異なっている。しかし、変成鉱物の出現状況は岩質間で大きな違いは認められず、以下の変成鉱物が観察される：単斜輝石（Cpx）、斜方輝石（Opx）、黒雲母（Bt）、角閃石（Hbl）、ザクロ石（Grt）、緑簾石（Ep）、斜長石（Plag）。これら変成鉱物の産状としては、1）CpxとOpxは細粒結晶で初生Cpxの周辺に産出し、2）BtとHblは初生Cpxの周辺やマトリック스에産出し、3）Grtは多形ないしは半自形でマトリック스에産出し、4）Epは初生Plag中に長柱状～針状で産出し、及び5）Plagは初生Plag

の周辺に産出する、という具合である。これら鉱物の各岩質タイプによる組み合わせは次の通りである。

タイプ-A：

A-1：Hbl + Plag

A-2：Opx + Plag

A-3：Bt + Hbl + Grt + Plag

タイプ-B：

B-1：Opx + Hbl + Plag

タイプ-C

C-1：Hbl + Grt + Plag

C-2：Cpx + Hbl + Grt + Plag

C-3：Cpx + Opx + Plag

C-4：Cpx + Opx + Bt + Hbl + Plag

タイプ-D

D-1：Cpx + Hbl + Grt + Plag

D-2：Cpx + Opx + Bt + Plag

D-3：Cpx + Opx + Plag

D-4：Cpx + Hbl + Plag

D-5：Bt + Hbl + Grt + Ep + Plag

D-6：Hbl + Plag

D-7：Bt + Hb + Plag

その他、少量の石英が含まれる場合がある。

これらの鉱物組み合わせは、貫入岩類が火成活動後に角閃岩相からグラニュライト相程度の変成作用を全岩組成で区分けされる岩質にかかわりなく受けたことを示している。このことは、1）活動時期に相当の幅があると推定される（その3の報告）貫入岩類が全て形成された後に全ての貫入岩類に影響を及ぼす変成作用（恐らく、剪断帯形成に関連した）が生じた、あるいは、2）岩系ごとの火成活動が終了し、その冷却時に再結晶作用（autometamorphism）が個々に生じた、という2つの可能性を示唆している。原岩の組織的改変が極めて少ない（剪断帯付近は除く）、また、母岩には上述した変成作用の影響が認められないことから、後者の可能性が強いと考えるが、如何か？

Accessory mineral chemistry of the granitoids from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica

LI Zilong

(Graduate School of Science and Technology, Kobe University)

TAINOSHO Yoshiaki

(Faculty of Human Development, Kobe University)

SHIRAISHI Kazuyuki

(National Institute of Polar Research)

The Early Paleozoic granitoids mainly composed of granites and syenites, intrude Late Proterozoic high- to intermediate-grade metamorphic rocks in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. They can be divided into two types: within-plate granitoids including Pingvinane, Vikinghøgda, Austkampane and Rogerstoppane granitoids and volcanic-arc granitoids having Mefjell, Dufek and Lunckeryggen granitoids based on chemical compositions and almost coincides with the classification on the structure of the granitoids (concordant and discordant types), respectively except for the Mefjell granitoids. Volcanic-arc granitoids can subdivided into typical volcanic-arc granitoids of Dufek and Lunckeryggen granitoids, and another specific volcanic-arc granitoids of Mefjell granitoids, which have high in FeO(t)/MgO ratios.

Geochemical characteristics of above two types of granitoids show different major, trace and rare-earth elemental data and accessory mineralogical data as well as isotopic data. Based on trace and rare earth elemental data, volcanic-arc granitoids have low in Σ REE (106.6-184.35ppm), Y (13.3-16.9ppm) and HREE, very closed to REE patterns of remarkable fractional crystallization. They have the lack of negative Eu-anomalies from the Dufek and Lunckeryggen granites and positive Eu-anomaly from the Mefjell granitoids. Within-plate granitoids have high in Σ REE (264.3-696.9ppm), Y (54.3-76.3ppm), Nb (19.1-28.9ppm) and HREE and remarkable negative Eu-anomalies, particular, Vikinghøgda granitoids. Base on the mineral assemblage and mineral crystallization order, within-plate granites have biotite, muscovite

and garnet as well as hornblende-rare while volcanic-arc granites have rare of muscovite and lack of garnet, usually have biotite and hornblende. Apatite and zircon usually as first generation crystals and were included in hornblende, biotite and feldspar in volcanic-arc granitoids and were included in feldspar and quartz or opaque minerals in within-plate granitoids. Sphene is included in biotite or occurs with mafic minerals such as biotite and opaque minerals. Allanite occurs as inclusion or as idiomorphic crystals in Mefjell and Lunckeryggen granitoids. Zonal structure of plagioclase was developed in the volcanic arc granitoids, however, was not well in the within plate granitoids. Present chemical data (particular fluorine and chlorine) of accessory minerals show as follows. The Mefjell granitoids have high-F (3.2-3.95wt%) and low-Cl (0-0.02wt%) contents in apatite, although F (~0wt%) and Cl (0.01~0.02wt%) contents are low in mafic minerals of hornblende and biotite, and has zonal structure in zircon mineral, which displaying general trend of Zr-increasing and Hf-decreasing from the core to the rim although it is recording the complex conditions of crystal growth. Dufek granitoids have relatively high F content in

sphene (Max. 1.5wt%) and chemical change of F content show negative correlation with Al_2O_3 , while they have low F and Cl in biotite. Lunckeryggen granitoids have intermediate F content (1.0-1.6wt%) in apatite, F (0.8-2.3wt%) in allanite, and low F and relatively high Cl content (0.7-0.9wt%) in biotite. Both of Dufek and Lunckeryggen granitoids have the similar zonal structures of zircon with Mefjell granitoids. Austkampane granitoids have high F content (about 0.5wt%) and Cl content (0.3wt%) in biotite, and have F (0.15wt%) in chlorite. Zonal zircon shows remarkable compositional variations from phosphorous and yttrium, however weak or lack from zirconium and hafnium compositional variations from within-plate type Austkampane granitoids. Pingvinane granitoids show F (0.4wt%) and Cl (0.3wt%) in hornblende, have high F (3.2-6.9wt%) in apatite and usually have euhedral zonal crystal of zircon. Vikinghøgda granitoids have F (0.4-0.6wt%) and Cl (0.05wt%) in biotite.

Major mineral modal ratio and species of accessory minerals (such as zircon, apatite, sphene, allanite, fluorite and garnet as well as biotite, hornblende and feldspars) can reflect REE features. Different REE patterns can be

explained by: Austkampane and Pingvinane granitoids have muscovite, allanite and garnet, and they show similar REE patterns. Vikinghøgda and Rogerstoppane granitoids have high biotite and hornblende modal ratio. Mefjell granitoids have enriched in zircon and apatite as well as mafic mineral of clinopyroxene, hornblende and biotite.

Trace elements (including REE) and isotopic data can reflect: the volcanic-arc granitoids may derive from Nils Larson tonalite according to enriched LREE and poor HREE patterns as well as low initial Sr ratios; the within-plate granitoids may derived from magma source of crustal materials based on they usually display high and wide range of initial Sr ratios and large varied trend of curves. Eu-anomaly has relative with distribution coefficient of fractional plagioclase as well as effect of f_{O_2} due to chemical and varied valence of crystal plagioclase. According to Treuil et al. (1975) report, distribution coefficient of Eu (K_d^{Eu}) has a large decrease when increasing f_{O_2} . The lack of Eu-anomaly indicates no crystallized plagioclase or plagioclase was not a significant residual phase. Positive

Eu-anomaly from Mefjell granitoids may be explained by three reasons: derived from melting and crystallization of large amount of cumulate plagioclase from primary magma; represented residual composition following extraction of a granitic melt (Taylor and McLennan, 1985) and was due to relative lower f_{O_2} . Negative Eu-anomalies may be explained by crystallization differentiation of plagioclase.

Present chemical data of accessory minerals may display that the within-plate granitoids have relatively higher in fluorine and chlorine contents from accessory and mafic minerals than those from volcanic-arc granitoids although fluorine contents were higher than chlorine contents from granitoid samples. Moreover, zonal features of zircon may also show some different from them according to above data.

Geochemical characteristics and accessory mineral features as well as isotopic data may reflect different magma sources and genetic relationships between within-plate and volcanic-arc granitoids from the Sør Rondane Mountains.

南アフリカ、ナタール帯北部地域の変成作用

廣井美邦・森田秀彦（千葉大・理）・

白石和行・外田智千・馬場壯太郎（極地研）

Metamorphism in the northern part of the Natal Belt, South Africa

Yoshikuni Hiroi and Hidehiko Morita (Chiba Univ.) and

Kazuyuki Shiraiishi, Tomokazu Hokada and Sotaro Baba (NIPR)

南アフリカ共和国のインド洋岸付近に比較的小規模に分布するナタール帯（ナタール変成地域）は太古代のカープフェール・クラトンの南側に位置する中期原生代（約11億年前）の造山帯で、大西洋岸側に比較的大規模に露出するナマクア変成岩地域とともにナマクア-ナタール変成帯を構成している。このナマクア-ナタール変成帯の東方延長が南極のクイーンモードランド（特に、ハイメフロントフィエラ付近）の原生代造山帯である。

ナタール変成地域は空間分布や岩相構成、変成度、変形様式などの違いから、北から「ツゲラ区域」, 「ムズンベ区域」, 「マーゲイト区域」に細分されている。それらの「区域」に分布する岩石は断層関係にあり、南方のものが北方のものの上に衝上したと考えられている。もっとも北方に位置する「ツゲラ区域」の岩石はカープフェール・クラトンの上に衝上している。「ツゲラ区域」の変成岩は3つの「区域」の中でもっとも低変成度であり、塩基性岩の枕状溶岩の構造など原岩の組織・構造が比較的良好に保存されている。また「ツゲラ区域」の変成岩は中圧型の変成相系列に属しているのに対して、南方の「区域」の変成岩はより低圧型の変成相系列に属している。

「ツゲラ区域」には主として超塩基性-塩基性-中性の変成岩が分布しており、海洋底、海山、あるいは海洋性島弧を構成していた岩石に由来すると考えられている。

「ツゲラ区域」では少なくとも4層のナッ

ンコモ）が識別されており、いずれも南西側から北東方向への衝上運動が想定されている。

ここでは、「ツゲラ区域」の変成岩類、特に泥質変成岩の詳細な記載岩石学的研究から得られた知見について報告する。この区域に分布する変成岩は多かれ少なかれ後退変成作用を受けているが、それは特に衝上断層付近で顕著である。このことはナッブ群を形成した衝上運動の時期が広域変成作用のピーク温度時よりも後であったことを示唆している。

鏡下の観察でまず注目すべき点は、もっとも普遍的な Al_2SiO_5 鉱物は珪線石であるが、藍晶石もほぼ同様に広く出現するということである。広域変成作用のピーク温度時には、「ツゲラ区域」のほぼ全域で、珪線石+十字石+ザクロ石+黒雲母+白雲母+斜長石+石英の鉱物組合せが安定であったと考えられる。藍晶石の一分は融食形の残晶として出現しており、上記の鉱物組合せが安定になるまでの昇温期変成作用で形成されたものであることを示唆している。一方、それとは明らかに異なり、珪線石を置換したり、珪線石よりも後に成長したことを示唆する産状を示す藍晶石も普通に見られる。そのような藍晶石は、時にはクロリトイドと共生している。これらの観察事実は、ナッブ群を形成した衝上運動前後の後退的な再結晶作用が藍晶石の安定な物理条件下で進行したことを示している。

インド、原生代東ガート帯の構造発達史： Gondwana-ロディニアの形成

ARIMA, M., Takano, N., and Saradhi, P., Yokohama National University, Yokohama 240-8501, Japan.

有馬 眞、高野 直、パラマタ サラディ

横浜国立大学・教育人間科学部, 横浜市・保土ヶ谷区・常盤台79-2

Finding of coexisting corundum and quartz from Rayagada in the Pro-terozoic Eastern Ghats Belt (EGB), one of the well-studied UHT terranes, reveals a dramatically high pressure and ultra-high temperature conditions (Shaw & Arima, 1998). Isothermal decompression from over 1.2 to 0.9 GPa under ultra-high temperatures (950-1100°C) followed by nearly isobaric cooling in Rayagada may suggest that possible early continent-continent collision followed by rapid uplift. This extreme high temperature condition further suggests that mantle to crust heat transfer associated with tensional lithosphere collapse during or after crustal thickening might play major role for the formation of UHT metamorphism. In this context, protolith identification and age relationship of meta-igneous rocks, major lithologic units in many UHT metamorphic terranes are important research targets to an understanding of mantle-crust mass and heat transfer during metamorphism and constructing of comprehensive tectonic model for the development of UHT metamorphic terranes.

Recent studies suggest that EGB is mostly composed of Paleoproterozoic precursors affected by 2.0-1.9 Ga, 1.5-1.4 Ga, 1.1-1.0 Ga, and 0.6-0.5 Ga tectonothermal events (Shaw et al., 1997, *J. Geol.* 105, 645-656; Sarkar & Paul, 1998, *Geol. Surv. India Spl. Pub.*, 51-86; Takano & Arima, 1999, *Abst. Japan EPS*

Meeting). In the central part of EGB, the 2.0-1.9 Ga events reflect convergent tectonothermal events and the 1.5-1.4 Ga events include basic magmatism under an extensional tectonic regime.

The UHT decompression in Rayagada is referred to the 1.1-1.0 Ga events that was associated with charnockitic magmatism (Takano and Arima, 1999). The EGB charnockites exhibit nearly identical chemical characteristics even though they were distributed in a relatively large area. Furthermore, the geochemical characteristics of the EGB charnockites are fairly comparable to those of ~1000 Ma charnockites reported from East Antarctica. Two contrasting models have been proposed for the charnockite magma genesis, the one suggesting that charnockite was derived by partial melting of hornblende free lower crust (Kilpatrick and Ellis, 1992) and the other proposing that it was formed by crystal fractionation of mafic magmas derived from enriched source mantle (Takano and Arima, 1999). The wide spread charnockite occurrences in EGB and East Antarctica suggest that charnockite magmatism and related UHT metamorphism were manifestations of Grenvillian tectonothermal events reflecting mantle to crust heat and mass transfer associated with the amalgamation of Rodinia and East Gondwana.

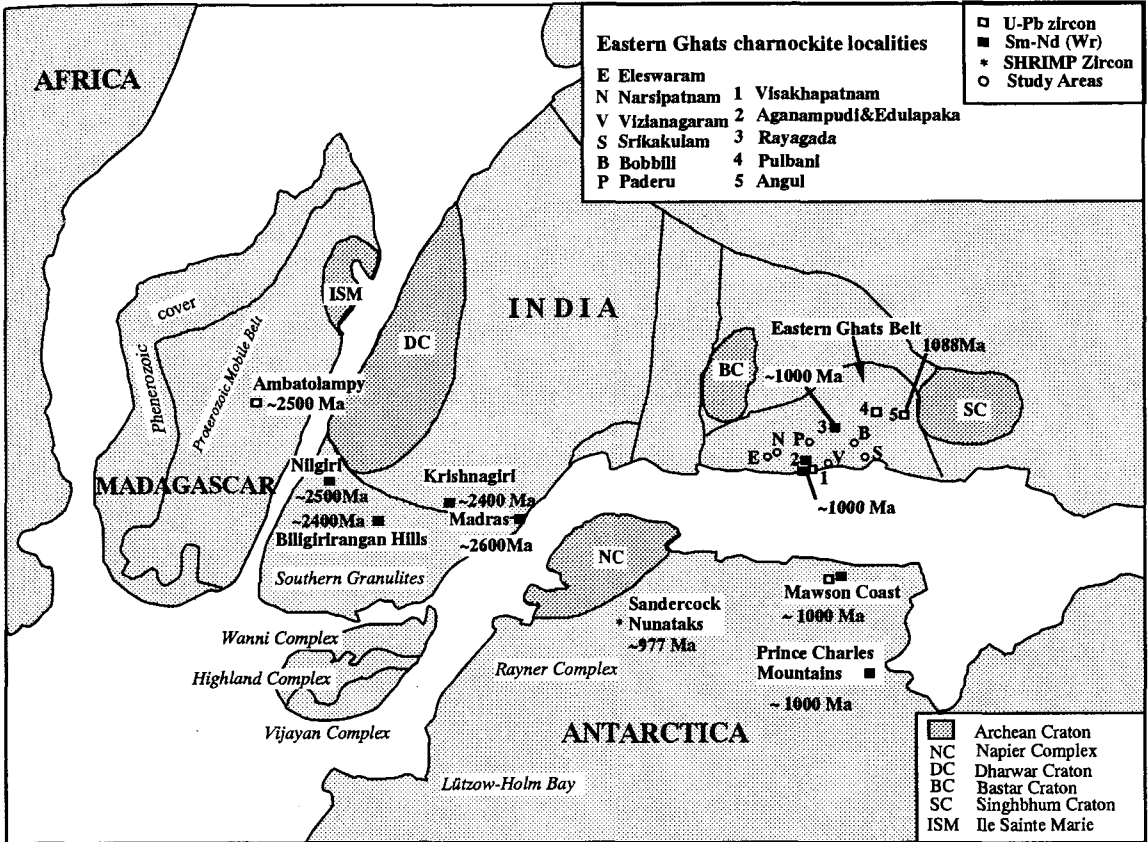


Fig. 1. Gondwana reconstruction after Yoshida 1998

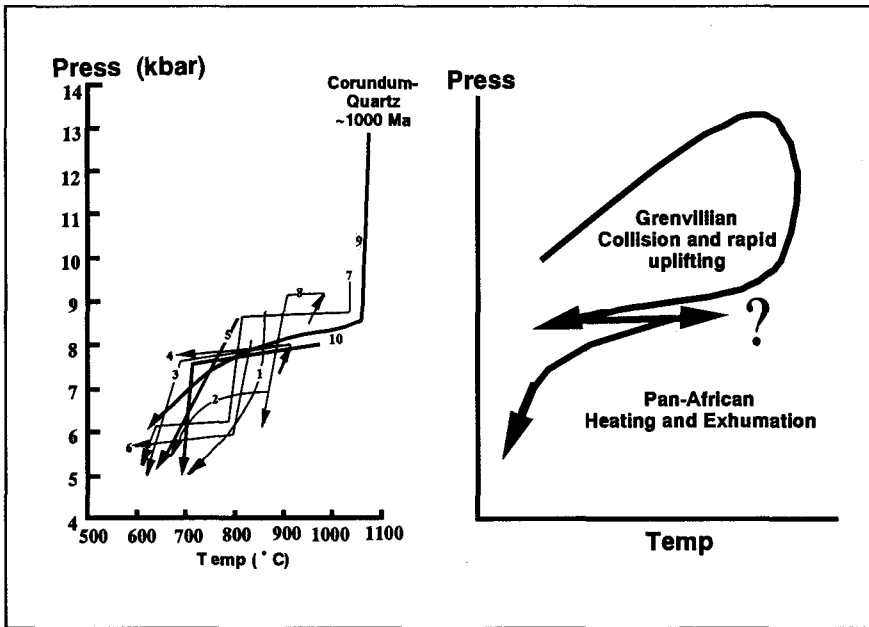


Fig. 2. P-T trajectories proposed for various localities of EGB..

↑ ↑ Outcrop-scale silicate liquid immiscibility: a possible example from South India

H. M. Rajesh

Department of Geosciences, Faculty of Science, Osaka City University, Sugimoto 3-3-138, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, E-mail: rajesh@sci.osaka-cu.ac.jp

Introduction: Silicate liquid immiscibility has often been called upon to explain juxtaposition of mafic and silicic rocks in a variety of igneous suites (see references given by Roedder, 1979), and as a petrogenetic process has provoked much discussion in the literature. Although most of the published works address immiscibility at a microscopic scale (where the two immiscible liquids exist as discrete glasses), some of the recent studies addressed the possible criteria to illustrate liquid immiscibility at a larger scale. This study evaluates liquid immiscibility at an outcrop scale near Puttetti, South India using all pertinent field, petrographic, chemical and isotopic data. Evidence is presented to show that liquid immiscibility occurred prior to the emplacement of a *mixed-rock* magma of intermediate composition to produce alkali syenite and associated pyroxenite of the Puttetti pluton.

Field relations: The Puttetti syenite-pyroxenite association is exposed as a NNW-SSE elongated pluton and is spatially related to the intersection point of a NW-SE trending fault lineament with a NE-SW trending seismically active fault-zone. The syenite body is a massive medium to coarse-grained greenish-grey rock composed dominantly of feldspar and pyroxene with minor hornblende and biotite. The pyroxenite is dominantly composed of pyroxene with subordinate hornblende. Lenses and bands of pyroxenite varying in thickness from 0.1 and 0.5m are found within the syenite.

They tend to be rounded, flat, and elongate, and occur in swarms parallel to flow foliation and lineation in the syenite. The contacts appear to be sharp with crenulated edges, which may be evidence for contrasting viscosity. Locally the pyroxenite inclusions are plastically folded, which indicates that both pyroxenite and syenite responded plastically during intrusion. The presence of pyroxenite also as syn-plutonic and late-stage dikes argues for contemporaneous nature of the two liquids. The occurrence of a *mixed-rock* having an emulsion like texture assumes significance.

Petrography: An important mineralogical consideration for distinguishing liquid immiscibility is that crystallizing phases in equilibrium with one liquid must also be in equilibrium with the other liquid phase (Bowen, 1928). In the Puttetti pluton, both syenite and pyroxenite have the same mineralogy, although in different proportions. In addition, pyroxene in both the pyroxenite and the *mixed-rock* is compositionally indistinguishable from the majority of the pyroxene in the syenite.

Conditions of crystallization: Relatively high temperatures (>900°C) are indicated by simple zircon morphology. Whole-rock zircon saturation temperatures further substantiate this. Several lines of evidence, like generation at high temperatures, values of aH_2O as inferred from mineral equilibria, occurrence of pyroxene, late crystallization of hydrous ferromagnesian phases,

probable vertical mobility of the magma, support the notion of drier, water-undersaturated conditions during Puttetti magma generation and evolution. The iron-rich nature of mafic silicates together with magnetite series Fe-Ti oxide mineralogy indicates high oxygen fugacities ($fO_2 > NNO$) during the crystallization of Puttetti magma.

Major element geochemical variations: Major element trends in Harker diagrams indicate that both the syenite and pyroxenite samples lie on either side of the differentiation trend with *mixed-rock* occupying the intermediate position, towards the syenite side, indicating probable evolution of syenite and pyroxenite from the *mixed-rock*. It follows that except for SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , and K_2O all the other elements are preferably partitioned into the pyroxenite. This behavior is similar to that one observed by Philpotts (1982) for immiscible liquids in volcanic rocks. The presence of a compositional gap in the pseudo-ternary diagram of the system leucite-fayalite-silica (Roedder, 1979) indicates that the compositional diversity of the Puttetti pluton is primarily a function of outcrop-scale silicate liquid immiscibility.

Trace element and REE variations: Incompatible element partitioning between syenite and pyroxenite liquids indicates that except for Ba, Rb, K (elements tied to the structure of K-feldspar), Zr, and Nb in the syenite, all the other elements show higher concentrations in the pyroxenite. Calculated NBO/T (NBO = non-bridging oxygens; T = tetrahedrally co-ordinated cations) ratios of the Puttetti syenite and pyroxenite immiscible melts are mostly less than 0.5 (for calculation procedure see Eby, 1980), indicating that the HCD (high-charge-density) cations will be partitioned

into the basic melt as is observed by the trends of the Puttetti syenite and pyroxenite. Puttetti syenite and pyroxenite are characterized by overall enrichment in REE relative to chondrite abundance, with greater enrichment in the pyroxenite relative to the syenite. They have similar chondrite-normalized REE patterns with negative, almost parallel slopes, with significant Eu anomaly. The REE data refute any model involving fractionation or partial melting, which, in either case, yields increasing enrichment in more felsic members. Moreover, the *mixed-rock*, with REE concentrations between the average concentrations of the two end-members has a general pattern similar to the patterns for the other rocks, which is compatible with unmixing.

Isotopic variations: A U-Pb zircon age of 572 ± 2 Ma was obtained for the syenite samples. Sr-isotope analyses of syenite and pyroxenite samples indicate that they have similar initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios. Together, the pyroxenite and syenite data yield an age of 578 Ma. Preliminary oxygen isotope studies of both the syenite and pyroxenite samples are uniform (within error), with the ^{18}O range compatible with a common magmatic origin.

Modeling: Finally a two-stage numerical geochemical modeling was carried out. Using Aitchison (1986) log-ratio method, variation matrix, log-ratio covariance matrix, and centred log-ratio covariance matrix were calculated (averaged to the *mixed-rock* values) for both syenite and pyroxenite samples. The results indicate that the mixed rock gave rise to the syenitic and pyroxenitic immiscible liquids in the ratio 1:5, approximately similar to those estimated from field studies.

Final words: The geochemical features of Puttetti syenite are similar to those of the Pan-African aluminous A-type granitoids from other parts of southwestern India (e.g. Rajesh, 2000). The proposed origin of the Puttetti pluton involves the intrusion of a magma whose bulk composition is that of the *mixed-rock*. This melt behaves immiscibly and split into two fractions, which produced the syenite and pyroxenite rocks.

References:

- Aitchison, J. (1986) The statistical analysis of compositional data. Methuen, New York.
- Bowen, N.L. (1928) The Evolution of the Igneous Rocks. Princeton Univ. Press, Princeton, 332p.
- Eby, G.N. (1980) Minor and trace element partitioning between immiscible ocelli-matrix pairs from lamprophyre dikes and sills, Monteregean Hills petrographic province, Quebec. Contrib. Mineral. Petrol., v. 75, pp. 269-278.
- Philpotts, A.R. (1982) Compositions of immiscible liquids in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., v. 80, pp. 201-218.
- Rajesh, H.M. (2000) Characterization and origin of a compositionally zoned aluminous A-type granite from South India. Geol. Mag., v. 137, pp. 291-318.
- Roedder, E. (1979) Silicate liquid immiscibility in magmas. In: H.S. Yoder (ed.), The Evolution of the Igneous Rocks. Princeton Univ. Press, Princeton, 588p.

トレモラ閃石-フェロアクチノ閃石系 Ca 角閃石の 赤外 OH 伸縮振動バンドの微細構造

○石田清隆・安藤由美 (九大・院・比較社会文化)

Fine structures of infrared OH-stretching bands for calcic amphiboles in the tremolite-ferroactinolite series and appearance of new OH-stretching bands of (MgMgMg/Fe³⁺)-OH⁻Na-O²⁻ and (MgMgFe³⁺)-OH⁻□ configurations through heat-treatment

○Kiyotaka ISHIDA・Yumi ANDO (Kyushu Univ.)

1. 緒言

角閃石族鉱物は大小様々なイオンを収容できるサイト(席)を持った、Si(Al)-O四面体複鎖を骨格とした地殻の主要造岩鉱物の一つである。それゆえその化学組成は多岐にわたっているが、その結晶構造はどのシリーズも Si(Al)-O四面体の鎖がc軸方向に2列に並んだいわゆる複鎖構造を基本にしている。化学式量当り2個のプロトンを含み、3750~3550 cm⁻¹間に観測される赤外OH伸縮振動バンドは周囲のイオンの影響を反映した微細構造を示す。Ca角閃石においてそれら各種の微細構造を惹起する要因としては、①A席のNaやKとその占有率(=0.0~1.0)、②M1・M3席の主としてMgとFe²⁺の割合、③M4席のCaとそのCaを置換するMg、Na、Mn、④(OH)⁻を置換するF、Cl、O²⁻、さらには⑤四面体T1席のSiを置換するAl、などがある。これら角閃石のOH伸縮振動バンドの微細構造は、主に合成角閃石でフーリエ変換赤外分光分析装置を用いて解析されて来た。しかし、天然の角閃石はその化学組成が複雑なためあまり研究例がないので、今回、上記トレモラ閃石-フェロアクチノ閃石系のCa角閃石約25試料の検討結果を報告する。また、加熱酸化脱水素過程で新たに出現するOH伸縮バンドについて報告する。

2. 実験結果

実験試料は、角閃石微粉末4~9mgを約200mgのKBrと混合後、ペレットにして準備した。赤外吸収スペクトルの測定は日本分光 FTIR-620を用い、試料室をほぼ真空状態にして、1 cm⁻¹の分解能で3800~3000 cm⁻¹間を128回繰り返してスキャンした。得られた結果を図1に示す。主要な吸収バンドは3680 cm⁻¹を境にして低波数側にみられるA席が空位の(M1M1M3)-OH⁻□(□=vacancy)の配列様式に基づくバンドA~Dである。そ

れらは、(M1M1M3)のM1とM3の組み合わせがそれぞれA:(MgMgMg)、B:(MgMgFe²⁺)、C:(Mg Fe²⁺Fe²⁺)、D:(Fe²⁺Fe²⁺Fe²⁺)の順に波数が減少している。3680 cm⁻¹より高波数側にみられるブロードな吸収バンドA*~D*は、(M1M1M3)-OH⁻Naの配列様式に基づいており、A席にアルカリイオン(主としてNa⁺)が入ることによりA~Dのバンドが高波数側にシフトしている。

(1) A*~D*バンドの微細構造 図1bに示すように、A席にアルカリイオン(主としてNa⁺)が入る試料では、プロトンとの反発でO-Hの結合距離が短くなり、3730~3680 cm⁻¹間にブロードな吸収A*~D*として観測された。また、それらのバンドの強度分布は3700~3690 cm⁻¹間のC*やD*に相当する波数領域で、低波数側にみられるCやDが弱いかもかわらず強まっている。これらのバンドのブロードニングや強度分布の異常の要因には、①A2m(2通り)、A2(2通り)、A(1通り)、一般位置、の計4種あるうちのいずれかに入るA席アルカリイオンのいわゆるpositional-disorderによってブロードになっている、②M4席のCaを置換するMg、Na、MnによってA席アルカリイオンや牽いてはプロトンが影響を受け、低波数側にシフトする、③四面体T1のSiを置換するAlによって低波数側にシフトする、④F、Cl、O²⁻によって(OH)⁻が置換された場合、この方にA席アルカリイオンが近寄り、A席の向こう側のH-O結合距離が長くなり、従ってバンドが低波数側にシフトする、などが考えられる。

(2) Aバンドの微細構造 M4席の一部をMgやMnが置換しているトレモラ閃石(Ca₂Mg₅Si₈O₂₂(OH)₂)に於いては、3674 cm⁻¹のAバンドの低波数側に弱い吸収バンド(Mg置換の場合は、3669.1 cm⁻¹)ないしショルダー(MnやNaが置換した場合)が見られる。これは、M4⁻□-M4の並びで、プロトンとの距離が近い2つのM4の

うち一方の Ca をこれらの元素が置換して、その影響が
いずれも低波数側に現れてきたものである。それらは
(CaMg/Mn/Na)^{M4}: (MgMgMg)-OH^A□の配列様式に基づ
いている。

(3) B と C バンドの微細構造 (M1M1M3)-
OH の配置において、プロトンと M1 と M3 の距離はトレ
モラ閃石の場合でそれぞれ 2.69 Å と 2.67 Å であり、M3
の方が若干短い。また、M1 の b 軸方向の隣は M1 と M4
であり、M3 の両隣りは M2 であるため、両者の環境が異
なっている。したがって、2 この M1 と 1 この M3 に入る
イオンの組み合わせで B と C のバンドには微細構造が現
れる (Strens, 1966)。しかし、それらの微細構造は今回
トレモラ閃石とアクチノ閃石で初めて観測されたもので
ある (図 1a の B' と B''、および C' と C'')。組み合わせか
ら強度比は B' と C' がそれぞれ B と C の 2 倍であり、そ
れらの波数は B' > B、C' > C となっている。

(4) T1 席 Al による微細構造 T1 と T2 の 2 種
類ある四面体席のうち Si を置換する Al は T1 に選択的に
入ることが知られている。この席に入った Al の影響で、
OH 伸縮振動バンドが波数の低い方にシフトすることが
A 席が Na で充填している合成パーガス閃石で研究され
ている (Della Ventura et al. 1999, Robert et al. 2000)。図
1c に示すように、3645 ~ 3580 cm⁻¹ 間に四面体 Al の影響
で低波数側にシフトしたブロードな吸収バンドが観測され
た。

(5) 加熱酸化脱水素過程で現れた微細構造
(MgMgMg/Fe³⁺)-OH^ANa^{O²} configuration による
バンド A** 試料を空気雰囲気中で加熱して行くと、
Fe²⁺が Fe³⁺となり、同時に (OH) のプロトンがとんで O²⁻
と還元される。O²⁻によって (OH) が置換された場合、
この方に A 席アルカリイオンが近寄り、A 席の向こう側
の H-O 結合距離が長くなるためバンドが低波数側にシフ
トして 3695 cm⁻¹ 付近に弱い吸収バンドが観測される (図
2)。また、加熱によって、M4 の Na の一部が空席だっ
た A 席に移動していることが分かる。しかし、トレモラ
閃石や M4 の Na に乏しい角閃石の加熱実験では、この A**
バンドは観測されず、M4 の Mg や Ca はその移動は困難
であることが分かる。

O²⁻-(MgMgMg/Fe³⁺)-OH^A□ configuration による
バンド E OH-(MgMgMg/Fe²⁺)-OH のバンド B は加熱によ
って O²⁻-(MgMgMg/Fe³⁺)-OH の配列様式となり、OH 伸
縮振動バンドの強度が半分以下となって低波数側にシフ
トしたバンド E として観測される。(OH)は式量あたり 2.0

であるので、この量以下の Fe²⁺を含むトレモラ閃石-ア
クチノ閃石でこのバンドが出現する。それらはもとのバ
ンド B と相似の微細構造を示す。

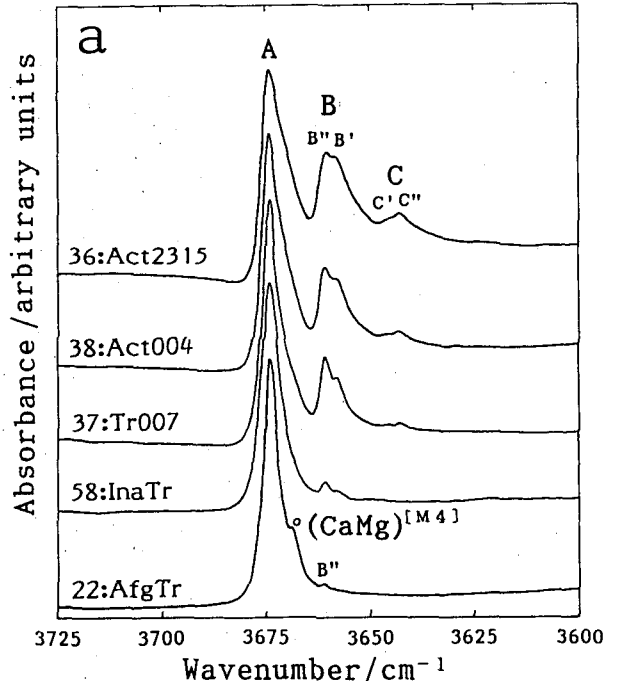


Fig. 1a Infrared OH-stretching bands for tremolites and actinolites.

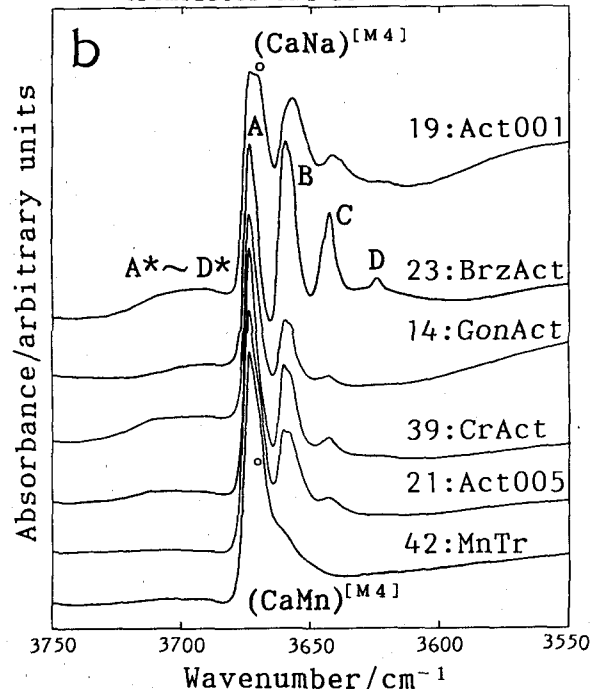


Fig. 1b Infrared OH-stretching bands for tremolite-actinolites having A-site occupied Na.

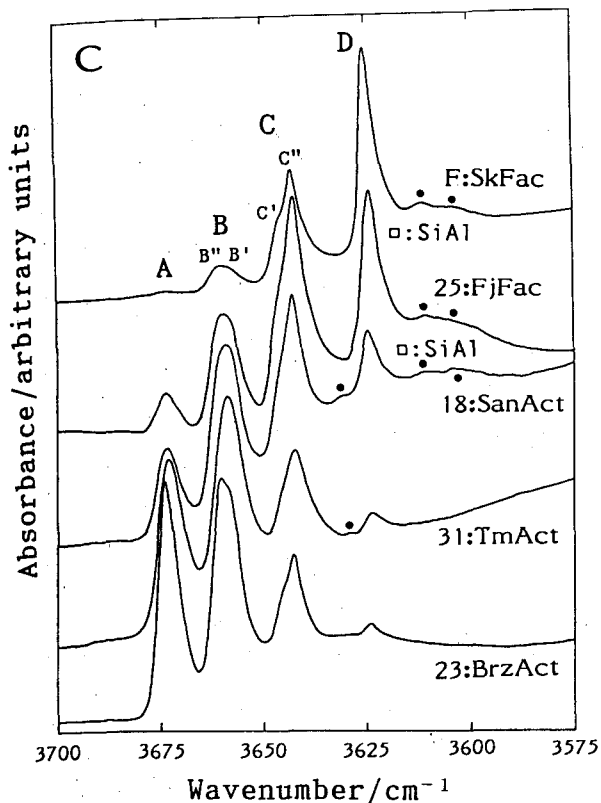


Fig.1c Infrared OH-stretching bands for actinolite-ferroactinolites.

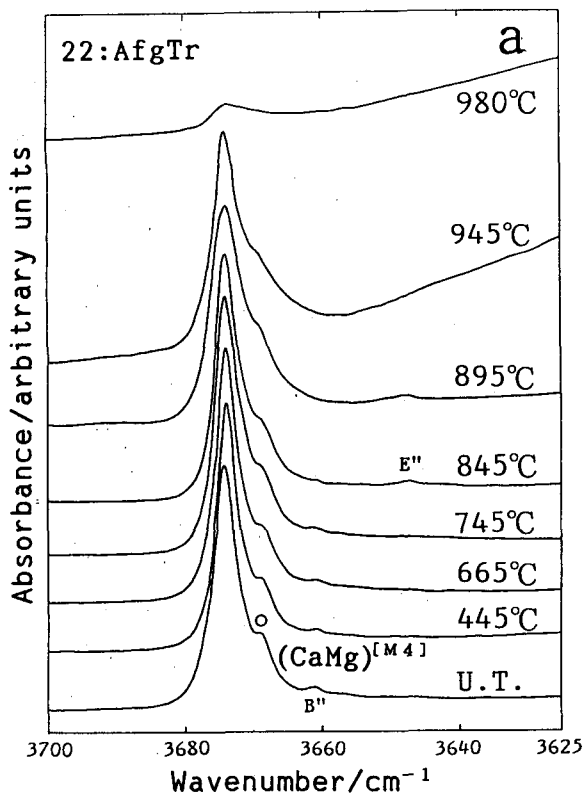


Fig.2a Infrared OH-stretching bands for heat-treated tremolite.

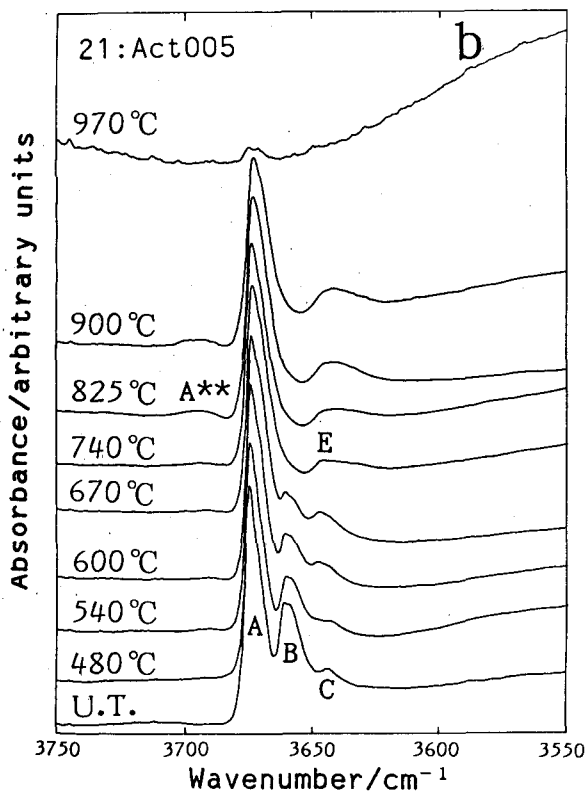


Fig.2b Infrared OH-stretching bands for heat-treated actinolite.

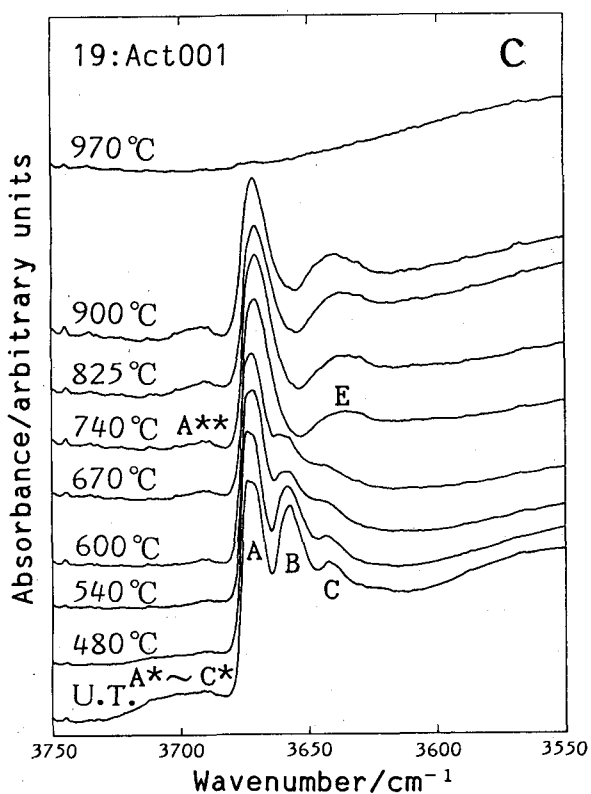


Fig.2c Infrared OH-stretching bands for heat-treated actinolite.

Earthquake swarms around OCAR Sea Mount in the Bransfield Straits,
Antarctica

K. Kaminuma (National Institute of Polar Research)

韓国・世宗基地 (62° 13'31"S, 58° 47'07"W) では、定常的な地震観測の成果を発表しているが、その中で1994年2月、1996年7月に群発地震活動を報じている。報告ではこの地震活動は北方130kmのブリッジマン島の活動としているが、東方20kmのOCARの海山付近の活動の可能性が高いことを指摘する。

Earthquakes in the northern Antarctic Peninsula are located mostly along the Shackleton and the Hero Fracture Zones, and the South Shetlands Islands. In the South Shetland Islands, earthquakes are concentrated around three active volcanoes of Deception, Penguin and Bridgeman Islands. The focal depths of the earthquakes are mostly shallower than 40km. During the 1971-1989 period, there are only four earthquakes occurred with focal depths between 40 and 100km and only one event of which mb (body wave magnitude) and Ms (surface wave magnitude) were determined to be 6.3 and 7.0 respectively. This earthquake occurred on February 8, 1971 is the largest one ever recorded in the region.

Some earthquake activities around the Bransfield Strait are reported by Korean scientists using the seismic observation data at King Sejong Station (62° 13'31"S, 58° 7'07"W).

The existence of a rift along the southeast of the South Shetland Islands in the Bransfield Strait has been proposed by various authors on the basis of both geophysical and geological data. A block diagram of the Bransfield Rift and its volcanic ridge were proposed by Gonzalez-Ferran (1991: The Bransfield rift and its active volcanism. In Geological Evolution of Antarctica. Cambridge Univ. Press, 505-509.). The axis of the volcanic

ridge is defined with volcanoes of Deception, Penguin and Bridgeman Islands, and some submarine volcanoes.

Jin et al. (1998: Seismic Observation at King Sejong Station, Antarctic Peninsula. Terra Antarctica, 5, 729-736.) reported that remarkable increases of monthly number of local events were recorded at King Sejong Station three times during seven years in 1989-1996. More than 50 events were counted on January and February 1974, and July 1996, and less than 20 events in other months. The increase of monthly number of local events seems to occur earthquake swarms. The wave forms of the events are characterized by sharp onset and similar waveform without S-phase. The wave forms shows that the earthquake swarm is a typical volcanic earthquakes.

Jin et al. (1998) suggest that the earthquake should might be located around Bridgeman Island. However the decrease of amplitude of volcanic earthquakes is very quickly. Bridgeman Island is too far to record the earthquake swarms at King Sejong Station. The origin of the earthquakes seems to be around OCAR Sea Mount about 20 km south east from the Station.

Stable Isotope and Meltwater Discharge Event in King George Island of South Shetland Islands, Antarctica

B.K. Khim, H.I. Yoon and Y. Kim

Polar Sciences Lab., KORDI, P.O. Box 29, Ansan 425-600, Korea

Two short gravity core sediments were retrieved from Maxwell and Admiralty bays of King George Island, west Antarctica. Based on the ^{14}C AMS age dates, the sediment properties (grain size, TOC, CaCO_3) and stable oxygen and carbon isotopic compositions of benthic foraminifera (*Globocassidulina bitora*) show the downcore variations that characterize the depositional condition during the late Holocene. In particular, the $\delta^{18}\text{O}$ values at approximately 2500 yr B.P. decrease abruptly and simultaneously in both cores. Such an extremely low excursion of both cores at the equivalent level reflects the distinct and intensified meltwater discharge. The enhanced meltwater supplied from the ice-fjord glaciers of King George Island transported the increased amounts of fine-grained particles, and caused the enhanced primary productivity to result in more TOC contents during the warm period. The occurrence of such meltwater discharge event provides an evidence on the unstable climatic condition during the late Holocene, regardless local or regional in the polar regions.

東南極エンダビーランド沖東部海域における TH99 航海の地質地球物理調査結果

上嶋正人¹・石原丈実²・中嶋健²・杉山和弘²・土田邦博¹・加藤文人¹
 (¹石油公団, ²地質調査所)

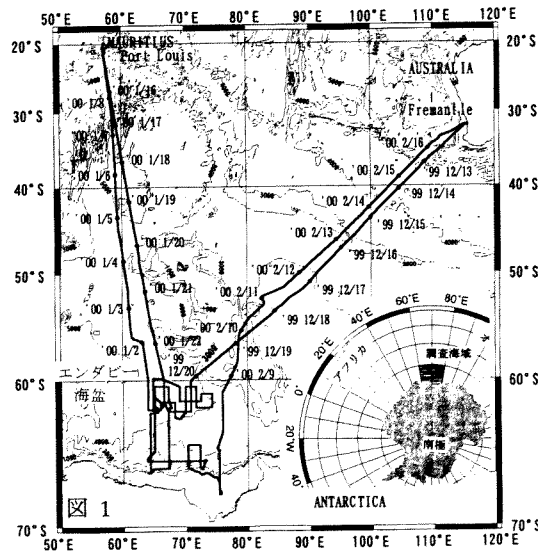
Geological and geophysical survey results of TH99 cruise in the eastern part of off the Enderby Land, East Antarctica

M. Joshima¹, T. Ishihara², T. Nakajima², K. Sugiyama², ¹K. Tsuchida¹, A. Kato¹
¹Japan National Oil Corporation, ²Geological Survey of Japan

1. はじめに

ケルゲレン海台南西方のエンダビーランド沖東部海域の東経 60° ~ 80° において地質および地球物理調査 (TH99 航海) を行った。調査海域は、南極—インド大陸の分離に伴い形成されたエンダビー海盆で、ケルゲレン海台の南端域がその北東部に含まれる (図 1)。この海域の地質構造を明らかにすることは、かつての Gondwana 大陸における南極—オーストラリア—インド大陸の 3 重会合点域の復元において重要な役割を果たすと考えられる。しかし、これまでこの海域では十分な地球物理・地質学的データがなかった。

TH99 航海の結果をもとに、調査海域の地質構造の概略について述べる。



2. 調査

TH99 航海は、調査船「白嶺丸」を使用して 1999 年 11 月 21 日から 2000 年 3 月 9 日の期間行われ、その中で南極地域における調査日数は 30 日であつた。

その間、反射法 (2095km)、重磁力探査、海底地形調査、堆積物の柱状試料採取 (9 点)、地殻熱流量測定 (7 点) を行った (図 2)。表 1 に主な調査項目と調査内容の概要を、表 2 に TH99 航海での調査実績を示す。

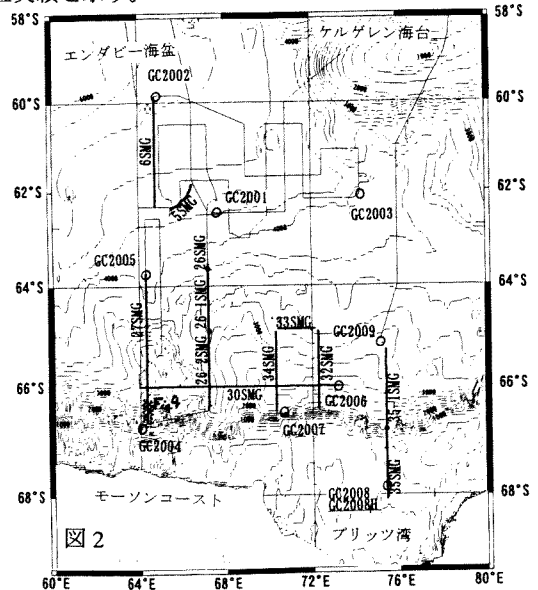


表 1 調査内容

調査項目	調査内容
海底地質構造調査	地震探査、精密速度構造探査、重磁力探査及び地殻熱流量測定等により堆積盆の分布、大きさ、及び性質並びに基盤の構造等を把握する。
海底地形調査	海底地形区分及び堆積環境の把握を行う。
表層堆積層探査	海底下数m~数10mの堆積層分布状況把握を行う。
海底堆積物・露岩調査	堆積層の年代、堆積環境の把握及び炭化水素ポテンシャルの評価を行う。

表2 調査実績

	調査項目	実績
航走観測	反射法地震探査	2,195 km
	屈折法地震探査 (OBS)	0 点
	重力探査	20,240 km
	磁気探査	20,240 km
停船観測	地殻熱流量測定	7 点
	海底試料採取	9 点

3. 結果の概要

ケルゲレン海台南西方の深海盆～コンチネンタルライズ域に数百 nT の振幅の磁気異常が観測され、これらは、E-W ないし ENE-SWS の方向を持つ縞状磁気異常であることが確認された (図 3)。おそらく、インドと南極大陸の分離時期に形成されたものと推定される。地震探査のニアトレースの出力例を図 4 に示す。位置は図 2 の LINE27SMG の最南端部に Fig.4 として波線で表示してある。水深 1500m 程度の大陸斜面部で重力のフリーエア異常が -60mgal 程度と異常に低い値を示し、基盤の落ち込みと非常に厚い堆積物の存在の可能性も考えられる。

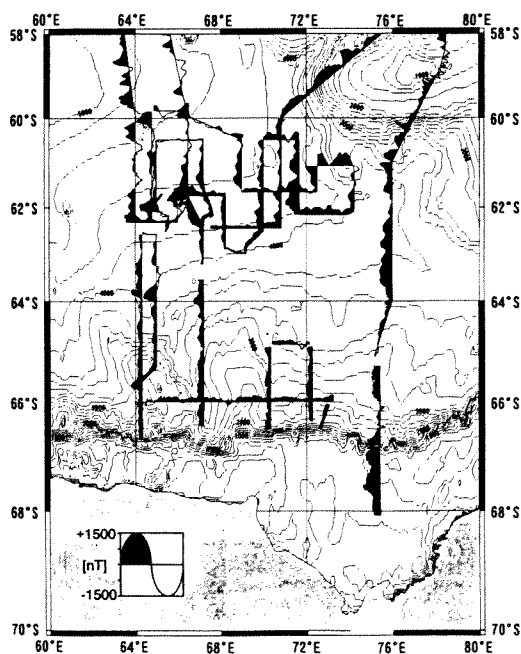


図 3

調査海域西部を構成する基盤は北落ちの正断層によって切られ、コンチネンタルライズ域にハーフグラバーンが形成されている。この構造は、南極とインドのリフティングによる分裂時期に形成されたものと思われる。

今後、音響層序区分とその地質年代との対比、堆積物に含まれる微化石の分析などを行い、より詳細な地質構造と年代について明らかにする。

4. 20年間のデータの取りまとめと今後の方針

石油公団による南極海域周辺の調査は従来使用してきた地質調査船「白嶺丸」の引退により、中断の形になっている。今後数年間はこれまでの大量のデータを生かすための取りまとめ、地震探査データの再処理、再解析、諸試料の追加分析などを行う予定である。一部の作業は昨年度より継続的に行われていて、地震探査データの処理結果の表示システムなどとして本シンポジウムに報告されている。3.5kHz の音波を使用した表層堆積物の記録は昨年度に写真複写を行い、A4 サイズに統一して航海毎にファイルされている。この他にも採取された岩石、堆積物のデータベース化や調査を影で支えた気象、水象調査 20 年分のデータのコンパイルなどが進行中であり、さらには重磁力データのコンパイルも進んでいる。地殻熱流量データコンパイルのためにはデータの再処理、再解析が必要である。今年度はこれらのデータが散逸しないようにデータの電子化を進め、これからの再処理、再解析の準備を行う予定である。

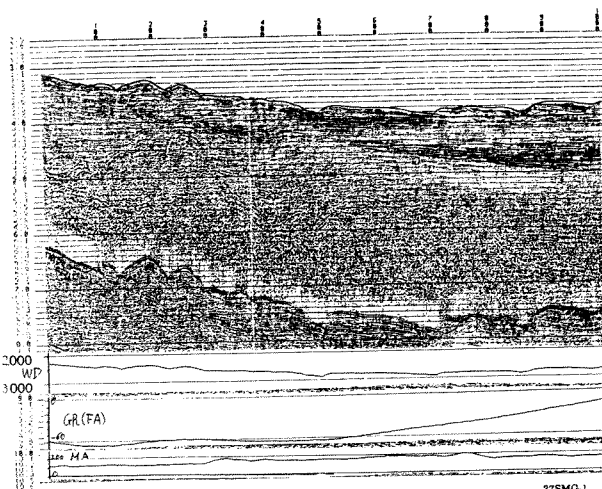


図 4

反射法地震探査ニアトレース記録 LINE 27SMG (1)

野木 義史 (国立極地研究所) ・ 島 伸和 (神戸大学内海域機能教育研究センター)

Initial breakup process of Gondwana in the Indian Ocean

Yoshifumi Nogi (National Institute of Polar Research)

Nobukazu Seama (Research Center for Inland Seas, Kobe University)

大陸の分裂機構とその原動力の解明は、地球科学の大きな問題のひとつである。インド洋に面した境界部分では、ホットスポットの活動と大陸分裂が相前後して起こっており、大陸分裂による大陸のフラグメンテーションのメカニズムとそれに伴う海洋底の発展史を検証できる格好のフィールドである。インド洋は、ゴンドワナを形成していた主要な大陸が分裂することにより形成された海洋であり、地磁気異常番号 34 (84Ma) 以降に関する海底拡大史は比較的良好にわかっている。しかしながら、それ以前、すなわち大陸分裂初期の段階は、ほとんどわかっていない。

第 30 次南極地域観測から現在まで毎年しらせ航路上で船上地磁気 3 成分観測が行われており、南インド洋のデータが蓄積されつつある。第 30 次から現在までに得られた地磁気 3 成分異常データおよび衛星による重力異常を使用し、エンダビー海盆の地磁気異常縞模様とフラクチャーゾーンのようなテクトニック構造の同定を試みた。

東エンダビー海盆の南極大陸に近い海域では、初期分裂の方向を示すフラクチャーゾーンと推定される北北西—南南東走向の構造物が見られる。それより北では、フラクチャーゾーンと推定される構造は、北西—南東に変化している。これらは、東エンダビー海盆の海底拡大の方向を表していると考えられる。また、南ケルゲレン海台の西では、ほぼ南西方向に収束する V 形の構造物が見られる。これらの構造物は、ケルゲレン・ホットスポットの影響を受けたプロパゲーション・リフトの痕跡であると解

釈した。これは、この海域の中央海嶺の発展が、現在アイスランド・ホットスポットの影響を受けているレイキャネス海嶺と同様であった事を示唆する。

一方、西エンダビー海盆では、グンネラス・リッジより東の南極大陸に近い海域で、フラクチャーゾーンと推定される南北から北西—南東走向の構造が卓越し、これは、東エンダビー海盆で得られた初期分裂方向とほぼ一致している。しかしながら、グンネラス・リッジより西の海域では、北北東—南南西走向の構造が卓越する。グンネラス・リッジを境にした構造の走向の違いは、グンネラス・リッジを境にゴンドワナ初期分裂の方向が違っていた事を示唆し、グンネラス・リッジの成因に大きく関わっていることが考えられる。また、コンラッド・ライズの南には、北北東—南南西走向の M 系列と推定される地磁気異常が存在し、それにほぼ直行する西北西—南南東方向にフラクチャーゾーンらしき構造物が存在する事がわかった。コンラッド・ライズの南の西北西—南南東方向の構造物は、グンネラス・リッジより東の南極大陸に近い海域で見られるフラクチャーゾーンの走行に近い事、東エンダビー海盆で推定される初期分裂の拡大方向の変化にも良く合う事、また、地磁気異常の走行とも直行することから、これらの構造物が初期分裂時に形成されたフラクチャーゾーンであると解釈した。

本講演では、これらを元にエンダビー海盆全体の初期分裂時の海底拡大史を推定する。

Significance of Lutzow-Holm Complex in the context of the formation of Gondwana
Kazuyuki SHIRAIISHII (NIPR)

ゴンドワナの成立はロディニアから別れた東ゴンドワナ陸塊が原生代最末期～古生代初期にコンゴ・カラハリクラトンと衝突合体したためであると考えられている(e.g. Dalziel, 1991). 東南極大陸は東ゴンドワナに含まれ、衝突前のさまざまな時代に形成された大陸塊の集合体であるとされていたが、最近リュツォ・ホルム岩体を初めとして東南極の各地から古生代初期の広域変成作用が報告されるようになってきたため、この時期の大陸の衝突帯が東南極を分断していると考えられるようになってきた。しかし、その分布や衝突様式は明らかではなく、ゴンドワナ形成にとって、基本的な問題である。

リュツォ・ホルム岩体の特徴

東西300kmにわたる「リュツォ・ホルム岩体」(廣井・白石, 1986)は、詳細な岩石学的研究の結果、変成分帯と温度圧力経路、形成年代が明らかになった岩体である。

原岩構成：海岸に沿って点々と産出するにすぎない露岩地帯から全体の原岩層序を類推することは不可能だが、地域毎の特徴はある。リュツォ・ホルム湾奥地域に産出する、大理石、石英岩、泥質岩のセットは大陸縁辺部を特徴づける堆積物を示す。また、オングル島などに産する超塩基性岩は堆積層にもみ込まれた海洋地殻の断片と考えられている。

変成作用：変成岩のたどった温度圧力経路が次第に精密化され、変成作用のピーク時の温度は900℃-1000、圧力は約1.0-1.1GPaであることがルンドボーグスヘッタで示された(Motoyoshi et al., 1993他)。さらに変成作用に伴われる変形運動も明らか

かになった(Ishikawa et al., 1994)。しかし、温度圧力の上昇過程を示す証拠は僅かである。

年代：SHRIMPによるU-Pb年代やSm-Nd年代によりピーク変成作用は～550Maであることが明らかになり、東南極で最初にパンアフリカン期の広域変成作用であることが示された(Shiraishi et al., 1994)、さらにK-Ar, Ar-Ar年代を用いて冷却史も詳しく検討されている(Fraser, 2000)。

残されている問題

廣井ら(1983)が最初に大陸同士の衝突モデルを提唱してから、いくつかの新しい事実がわかってきた。Vechernaya付近のレイナー岩体は、隣接するリュツォ・ホルム岩体との変成度のギャップがあるにもかかわらず、SHRIMPにより520-540Maに形成されたものであることが示された(Shiraishi et al., 1997)。東南極ではさらに東へプリッツ湾やさらにオーストラリア西端部にかけて、またインドの東ガートなどに500Maを示す岩石が散在する。西方のやまと・ベルジカ岩体とセルロンダーネ山地との関係も未だ十分にわかっていない。これらを矛盾なく説明する詳細なモデルの再構築が求められている。

東西ゴンドワナの衝突の結果できたと思われるモザンビーク帯が南極に連なっていることは間違いないが、深部の高度変成岩が分布する南極では、衝突体を特徴づける超塩基性岩が少ないので、さまざまな類推がなされている。スリランカーリュツォ・ホルム岩体こそが、その衝突帯に相当している可能性が大きい。

西エnderビーランド～東ドロニングモードランドの地殻深部構造と進化過程の解明

- SEAL 計画における人工地震ジオトランセクトの意義と概要 -

18

金尾政紀 (極地研) ・ SEAL 人工地震グループ

Exploration for deep crustal structure and evolution from West Enderby Land to East Dronning Maud Land - Structure and Evolution of the East Antarctic Lithosphere "Geotransect Project" -

[Outline and scientific significance]

M. Kanao (NIPR) ・ SEAL Geotransect Group

1. 先カンブリア地殻の特徴

これまでに知られているグローバルな先カンブリア地殻の速度構造としては、1) 太古代クラトンの地殻の平均の厚さは約 35km であり、原生代地殻における下部地殻高速度層 (V_p 7.0-7.6km/s) が欠落しており、太古代には玄武岩マグマのアンダープレートの形成が少なかったと考えられる。また、2) 盾状地や卓状地では比較的低いポアソン比を持ち、地殻を構成する岩石組成としては、主に石英に富む metapelites や pyroxene で説明される、等がある。

また反射面については、1970 年代初期の研究では地殻深部が特に不明瞭であったが、最近の深部探査からは下部地殻及びモホ面からの強い反射が確認される。15km 以深でも傾いた反射面が存在し、先カンブリア時代のテクトニクスが衝突型造山帯を含む現在の過程と共通することが分る。原生代の圧縮帯が数多く確認され、当時のプレートテクトニクスの存在を示唆している。過去の反射パターンが凍結したまま、10~20 億年にわたりテクトニック・熱的に安定であった。また最近ではカナダ・ローレンシア盾状地において、太古代・原生代地殻のデラミネーションも報告されており (Eaton et al., 1999)、太古代の大陸-島弧衝突過程における付加プリズムの重要性も指摘されている (Velden et al., 2000)。

2. 東南極盾状地

46 億年にわたる地球形成史のうち、先カンブリア時代から古生代初期までの期間は、その後の顕生代に比べて地質学的・地殻物理学的な研究が少なく、大陸地殻構造探査におけるフロンティア領域に相当する。現在グローバルに分布する大陸地塊の中で、東南極大陸は先カンブリア時代の盾状地が多く、特にエnderビーランドは 39 億年前の原岩年代を持つナビア岩体を核に原生代・古生代の岩体が分布している。また昭和基地の位置するリュツォ・ホルム岩体では 5 億年前の火成活動が知られており、この付近一帯は大古代以降の幅広い時間スケールの地殻活動・進化の歴史を持つ。これらの地域の地殻進化過程を解明するために、主に地質学的研究により 10 億年から 5 億年にかけてのパン・アフリカン変動が

比較され、さらに最近ではナビア岩体における研究が精力的に行われてきた。太古代地殻における超高温変成作用の岩石学的・地球化学的解析が着実に進められ、その成因と変成履歴が詳細に解明されている。

3. トランセクトの意義

SEAL 計画における地殻深部探査プロジェクトの目的は、最終的には東西総延長約 1,500km の探査測線により、大古代のナビア岩体から、レイナー岩体、リュツォ・ホルム岩体、やまと・ベルジカ岩体、そしてセール・ロンダーネ山地にまたがる、地質年代の異なる広範囲の現在の地殻断面を取得することである。探査データの反射法的/屈折法的解析と合わせ、各種地球物理学的及び構造地質学的研究により太古代以降のテクトニクスを解明する。それにより 40 億年に及ぶ地球の進化形成史の中で、数億年周期で起こった大陸の分裂・再編成といった大きな環境変動が、現在の南極大陸のリソスフェア構造の形成にいかにか寄与したかを評価できる。また太古代のプレートテクトニクスの解明は、日本列島をはじめとする現在の島弧の形成過程とも関連し、プレートテクトニクスの始まるの時期を明確化すると共に、地球史における大陸成長の役割をグローバルな視点で繙くことができる。

4. 平成 11, 13 年度実験のねらい

平成 11 年度 (JARE-41) はリュツォ・ホルム湾地域の大氷床・みずほルートにおいて、測線長約 200km の人工地震探査を行なった。JARE-21 の屈折法探査データの反射法的処理から推定される、みずほ高原の下部地殻反射層を検出し、リソスフェアの構造を詳細に探る。また平成 11 年度の測線は海岸にほぼ直交するため、リュツォ・ホルム岩体の大陸縁部構造、特に海洋性地殻への遷移層を探ることができる。また平成 13 年度 (JARE-43) には、みずほルートと直交する約 300km 長測線での屈折・広角反射法を予定しており、リュツォ・ホルム岩体の 2 つの大きな表層変成岩相である、角閃岩相 (プリンス・オラフ海岸)、およびグラニュライト相 (宗谷海岸) に対応する領域の地殻構造を比較する。

宮町宏樹 (鹿児島大)・村上寛史 (地震観測技術センター)・筒井智樹 (秋田大)・戸田 茂 (愛知教育大)・民田利明 ((株)日本油脂)・柳沢盛雄 (極地研究所)・下田泰義 (有明中学校)・今榮直也 (極地研究所)・野本新太郎 ((株)大原鉄工所)・山下秀則 (いすゞ自動車(株))・松永重年 ((株)関電工)・SEAL 人工地震グループ

A Seismic Refraction Experiment in 2000 on the Mizuho Plateau, East Antarctica

H. Miyamachi (Kagoshima Univ.), H. Murakami (EORTC), T. Tsutsui (Akita Univ.),
S. Toda (Aichi Univ.), T. Minta (Nippon Oil and Fats Co.), M. Yanagisawa (NIPR),
Y. Shimode (Ariake Jr. High School), N. Imae (NIPR), S. Nomoto (Ohara Co.),
H. Yamashita (Isuzu Co.), S. Matsunaga (Kandenko Co.), and SEAL Geotransect Group

Abstract. A seismic refraction experiment was successfully carried out along the S17-Z20 profile on the Mizuho route, in eastern Antarctica, in January, 2000. One hundred sixty temporary seismic stations and five large shots with a charge of about 600 kg dynamite were installed along the profile with about 180 km length. In addition, two shots with a charge of 250 kg and 25 kg were also arranged along the profile.

The obtained seismic records show the clear onsets of the first arrivals in a distance range of 150 km from each large shot. In particular, the waves traveling through the ice sheet and the dispersed surface waves are distinctively observed. This report describes the basic outline of the experiment and the seismic data obtained.

1. はじめに 第41次日本南極地域観測隊(以下, JARE-41)では, リュツォ・ホルム岩体の大陸縁辺部における地殻構造を詳細に調査し, 東南極大陸周辺における海洋性地殻への遷移層の構造を探ることを目

的として, 昭和基地周辺の大陸氷床(みずほ高原)のみずほルート上に約180kmの測線を設定し, ダイナマイト震源による屈折法地震探査を実施した. この測線は, JARE-21 および JARE-22 に実施された測線と重複しているが, ショット数および観測点数を大幅に増加させることにより, みずほ高原下の詳細な地殻構造を明らかにすることを目的としている. 本報告では, この探査実験と得られた観測データの概要について述べる.

2. 観測の概要 Fig.1 に測線を示す. 探査測線はみずほルート上の S17 から Z20 の測線長約 180km の区間に設定され, 測線上に 160 箇所の臨時地震観測点と 7 箇所の発破点 (S-1 から S-7) が設けられた. 観測グループは, 測線上への臨時地震観測点の設置とその地点の位置測量および重力測定を行う測線班 (雪上車 SM100 型 2 台と人員 4~5 名) と, 主に発破を実行する震源班 (雪上車 SM100 型 2 台と人員 5~6 名) によって構成された.

臨時地震観測点では, Mark Products

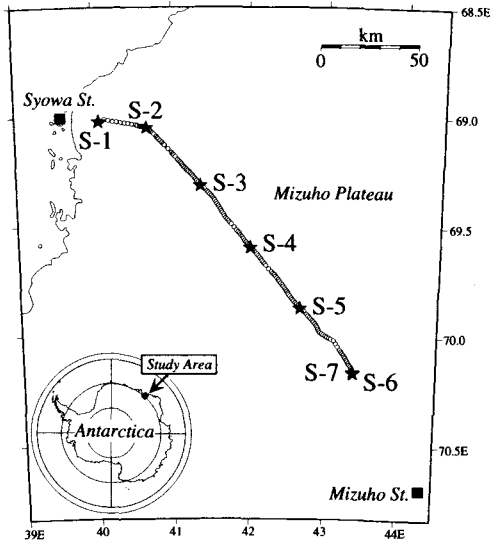


Fig.1 A map showing the refraction profile. Open circles and stars indicate the seismic stations and the shot points, respectively.

社製上下動地震計 L-22D (固有周期 2Hz) と白山工業社製デジタル波形収録装置 DataMark LS-8000SH が用いられた。測線班は、2000 年 1 月 1 日～1 月 8 日の 8 日間で、みずほルート上のルート標識のある地点の風下側に 160 箇所の臨時観測点を設置した。

測線班による全臨時観測点展開完了後、震源班はルート上を移動し、発破作業を順次行った。大発破 (S-2～S-6 : 薬量 570kg ~600kg) ・中発破 (S-1 : 薬量 250kg) 孔は、スチーム噴出式氷床掘削ドリルにより氷上から深度約 26m 掘削された。S-7 (薬量 25kg) ではアイスオーガーにより掘削した (掘削深度 4.5m)。また、震源班では、発破点近傍の氷床の地震波速度を得るために、発破点近傍で 6～7 観測点から成るラインアップ観測 (観測点間隔は約 100m) を行った。

臨時観測点、ラインアップ観測点および発破点の座標は GPS 測定によって決定し、

全臨時観測点では重力測定も実施された。全観測点の回収は 2 月 1 日～2 月 5 日に実施された。

3. 観測結果 各ショットのラインアップ観測によって得られた走時より、氷床は、2.7～2.8km/s を示す上部層と 3.7～3.8km/s の下層から成る 2 層構造が推定された (Fig.2 参照)。また、下層については、氷床の厚さによる圧密効果により、地震波速度が増していると推定される。

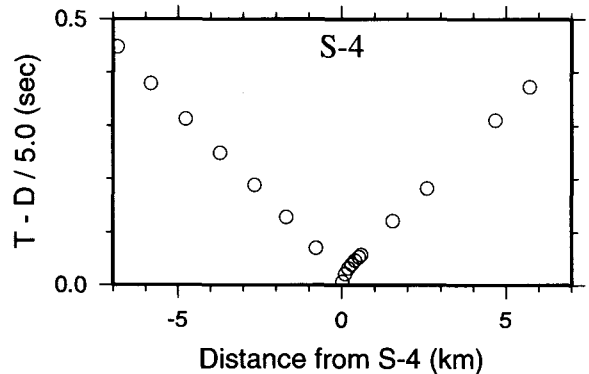


Fig.2 Travel times for S-4 along the line-up and main profiles.

次に、測線上で得られた波形例として、S-4 のペーストアップを Fig.3 に、その走時図を Fig.4 に示す。S-2 から S-6 については、全測線にわたり良好な記録が得られた。S-1 では、発破直後に氷震が発生し、距離 60km より遠方の観測点では氷震の振動により、S-1 のシグナルが不明瞭になっている。初動部分以外にも、氷床中を伝播してきたと思われる直達波が発破点から距離 40km 程まで明瞭に現れている。初動直後や数秒後に反射波と思われる位相も見られる。また、正の分散を鮮明に示している表面波も記録された。S-7 は薬量が小さいわりには、距離 40km ほどまでシグナルが確認でき、他のショットと同様に、初動、

氷床中の直達波および表面波が明瞭に観測された。

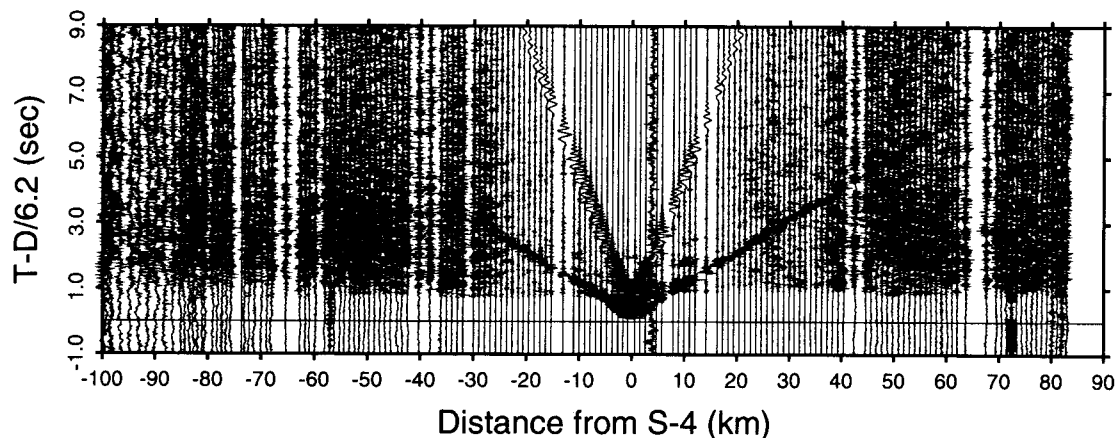


Fig.3 Paste up for S-4 along the profile.

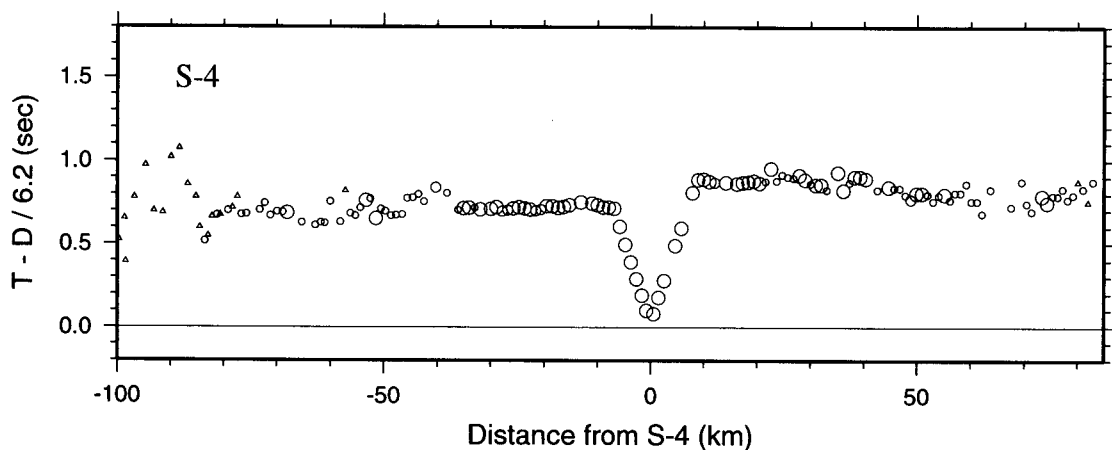


Fig.4 Reduced Travel time plot for S-4.

謝辞 今回の人工地震探査の実現に向けて、多くの方々からの支援をいただいた。国内での実験準備等においては、金尾政紀博士・神沼克伊教授・渋谷和雄教授（極地研究所）、現地においては、第41次南極地域観測隊（鮎川勝隊長・渡辺研太郎越冬隊長）および第40次南極地域観測隊（宮岡 宏越冬隊長）の隊員の方々の協力があり、心からお礼申し上げます。また、この探査関連の物資約35トンの輸送を全面的に支援して下さった海上自衛隊氷砕艦しらせ（茂原清二艦長）の乗員の方々に厚く感謝します。最後に、この探査計画を当初から支援していただいた国立極地研究所（平澤威男所長）の職員の方々に謝意を表します。

戸田 茂 (愛知教育大学)・宮町宏樹 (鹿大理)・筒井智樹 (秋田大資源)・松島 健 (九大島原)・金尾政紀 (極地研)・福崎順洋 (国土地理院)・福田洋一 (京大理)

GPS and Gravity Surveys in the SEAL Project, JARE 41st
TODA Shigeru (Aichi Univ. Edu.), MIYAMACHI H. (Kagoshima Univ.), TSUTSUI
T. (Akita Univ.), MATSUSHIMA T. (Kyushu Univ.), KANAO M. (NIPR),
FUKUZAKI Y. (GSI) and FUKUDA Y. (Kyoto Univ.)

はじめに

GPS 測量は JARE 41 で実施した人工地震実験の発破点及び受振点の位置決めを主目的としておこなった。また、重力測定は詳細な密度情報を得るために測点間隔をほぼ 1 km 程度と JARE としては最も稠密な観測をおこなった。本公演では、JARE 41 みずほルート上で実施した GPS 測量及び重力異常について詳しく述べる。

GPS 測量

震源班・測線班の 2 班で本測線の全地震観測点 (160 点)・ラインアップ観測点 (S-1, S-6: 7 点 その他の発破点: 6 点 計 38 点)・発破点 (7 点), 総合計 205 地点において GPS 測量をおこなった (写真-1)。GPS 受信機には、アシュテック社製 Ground Surveyer (2 周波受信) を 2 台使用し、昭和基地と同じ 30 秒サンプルで 20 分以上計測した。仰角を 15 度以上としたが、概ね 5 衛星以上のデータを取得することができた。

解析方法

各観測点で記録したデータをイ

ンターネットを利用した autogipsy と、昭和基地・モーソン基地の IGS 点と干渉測位させる ppdiff の両方を使用し、GPS 解析をおこなった。その結果、autogipsy では、発破点・発破点近傍のラインアップ観測点のすべての点と 103 点の地震計設置点で解を求めることができた。求められなかった観測点は、朝夕の DOP 値の大きな時間帯に多かったので、記録時間が短かったのが原因と考えられる。ppdiff では、2000 年 1 月 14, 15 日以外の観測日のすべての観測点で干渉測位をすることができた。この 2000 年 1 月 14, 15 日は、昭和基地 IGS 基準局の機器交換によるデータの欠測期間である。この日程より以前の観測点の結果に基準点に起因すると考えられる標高の乱れがみられたので、autogipsy の結果を重視した。2000 年 1 月 14, 15 日のデータは基線距離の長いモーソン基地と干渉測位をおこなった。結果は、autogipsy で既に決まっている地点と比較しても良好な結果が得られた。

以上、まとめると autogipsy で決まった点が全発破点の 7 点、発破点近傍の 38 点、地震計設置地点の 103 点。残りの地震計設置地点は、昭和基地と

の干渉測位で決まった点が46点、震源班と測線班で干渉測位をおこなった点が1点、MAWSON 基地との干渉測位で決まった点が8点、標高を内挿した点が2点である。

重力測定

相対重力値を測定するためには、既知の絶対重力値の測定点を毎日往復する必要がある。しかし、南極のような難地域で、このような行動は難しく、以下の手順で重力探査をおこなった。

始めにS16に重力の仮基準点を設け、この点の相対重力値を決定するために、1999年12月22日に昭和基地内の重力基準点（IAGBN(A)）との間で往復重力測定を実施した。次に本来ならドリフトレートを決定するために、重力探査の期間中毎日この仮基準点で、測定の最初と最後に測定する必要があるが、内陸旅行では、このような行動は難しい。今回、ドリフトレートを決定するため、毎日の停泊地の朝夕とルートをも2往復する間に既測定点で再測をし、いろいろな時間間隔で同一地点の測定をおこなった。

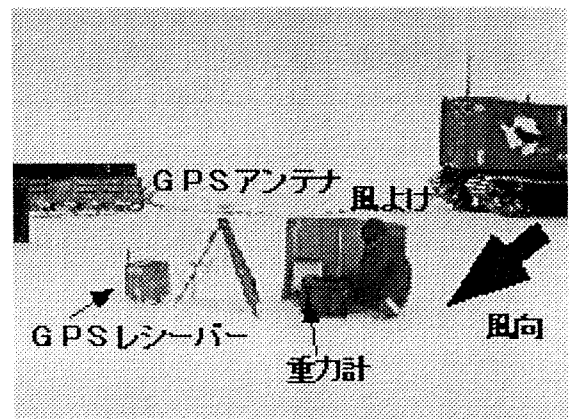
本測線160点のすべての地震計設置点で測定をおこなった。測定は、シントレックス重力計（Autograv CG-3m）を2台使用した。各点での測定は1回の測定を90秒とし3回以上測定し、3回の測定が10マイクロガル以内に収まるまでおこなった。測定はG

PS 測量の間におこない、概ね10分以内で終了した。

次に、重力計の設置方法を述べる。3脚を固定するために40センチ角の鉄板を雪上に置いた。しかし、この鉄板は移動中、雪上車内に置いたため、測定間隔が長くなると車内の温度で暖められ、次の測定点で重力計の傾斜が安定するまで若干の時間を要した。風よけのため90cm*120cm 大の折り畳み式のベニヤ合板を使用した。地吹雪時には、雪の巻き込みを防ぐために観測点の風上に雪上車を停車させた。また、日差しの影響で重力計が傾くことを防ぐために、3脚と鉄板に直射日光が当たるのを避けた。

今回初めてシントレックス重量計を内陸旅行に持って行き、測定に使用した。その結果、テア等はなく、低温・風・雪上車による振動にも安定した動作をした。

解析は現在進行中であり、講演では既存のみずほルートの重力異常、及び今回得られた人工地震の結果と比較・検討をする予定である。



野木 義史 (国立極地研究所)

Magnetic and gravity anomalies around Lützow-Holm Bay

Yoshifumi Nogi (National Institute of Polar Research)

大陸の成長と離合集散のメカニズムの解明は、地球科学の大きな問題の一つである。南極大陸とその周辺海域は、ゴンドワナやロディニアといった超大陸の分裂や形成のほぼ中心的な地域である。東南極には古い地殻が存在し、大陸の成長・離合集散と地殻の形成発達史の解明に不可欠な長さの時間軸を有している場であり、その周囲の海底には、大陸分裂の初期過程の履歴が残されている。このことから、東南極とその周辺海域が、大陸の成長と離合集散のメカニズムの解明には絶好のフィールドである事を示している。しかしながら、大陸の成長・離合集散と地殻の形成発達史の解明には面的な地質学的な調査が必要とされるが、南極大陸のほとんどが氷に覆われていることから、調査可能な露頭が限られている。このような場合、航空機等による地磁気や重力異常等の地球物理学的マッピングが大きな効力を発揮する。地磁気・重力異常や基盤地形のマッピングにより、氷下の地質学的構造に制約を与え、また露頭での地質調査の結果の外挿が可能となる。

最近では、南極デジタル地磁気異常分布図プロジェクト、通称 ADMAP (Antarctic Digital Magnetic Anomaly Map Project) と呼ばれプロジェクトが進行しており、南緯 60 度以南の南極域の地磁気異常のデータベース編集およびマッピングが国際的な協力のもとに進行している。プロジェクトの目的は、南極域の地磁気異常異常データベースおよびマップを作成することにより、ほとんど氷雪に覆われた南極大陸の氷雪下

の未知の地殻およびその周辺海域に関する情報を、地磁気異常の観点から検出しようとするものである。これにより、ゴンドワナの発展と分裂、テクトニクス、地球のダイナミクス、古環境に関する新しい知見が得られる事や地球物理・地質の将来的調査に有効に活用されるといった事が期待されている。また、同様のプロジェクトとして、重力異常図 (ADGRAV)、地形図 (BEDMAP) や物理的特性 (磁化等) の編集プロジェクトも進行している。

本講演では、現在進行している ADMAP 等のプロジェクトを紹介するとともに、地磁気異常を中心にリュツォ・ホルム湾周辺地域で得られたポテンシャル・データの結果を報告する。

ADMAP は一次段階の結果がすでに報告されている。また、リュツォ・ホルム湾の東では、海洋上での地磁気異常観測により短波長の地磁気異常が得られている。BADMAP は、これまでにこのプロジェクトで得られている結果が公表されているが、ADGRAV は、未だ一次段階の結果が報告されていない。本講演では、重力異常に関しては、現在までに日本隊で得られたデータ等を示す。

これらの結果を元に、リュツォ・ホルム湾周辺地域の、ポテンシャルデータから推定される地殻構造・地質構造等を議論する。特に、第 41 次南極地域観測で行われた爆破地震観測の側線付近の結果について詳しく議論する。

表面波位相速度からの東南極大陸の
地殻・上部マントル構造の推定
小林励司（東京大学地震研究所）

Crust and upper mantle structure in the East Antarctica inferred from
surface-wave phase velocity

Reiji Kobayashi (Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

1. はじめに

前回のシンポジウムで、フランスの Dumont d'Urville 基地 (DRV) と日本の昭和基地 (SYO) とで観測された、1995年5月16日に起きた Loyalty 諸島付近の地震 (Ms 7.7) のデータから2点法で求めたレイリー波の位相速度を示した。この経路よりも西南極に近い経路で測定した Knopoff and Vane (1978) の結果と比較すると、40秒より短い周期で速かった。このため、東南極大陸の中央部はその西部に比べて、地殻の厚さが薄いか、地殻の地震波速度が速いことが推測された。

今回は、この測定結果をもとに東南極大陸の地殻・上部マントルの1次元の地震波速度構造を試行錯誤的に推定した。

2. 構造の推定

地殻は東南極大陸の A-1 モデル (Dewart and Toksoz, 1965) を、上部マントル以深は PREM をベースにして調整した。今回は、氷床と地殻の厚さを A-1 モデルのまま (それぞれ 3 km と 39 km) とし、地震波速度のみを変化させることにした。速度構造モデルから表面波位相速度の分散曲線を計算するのに、DISPER 80 (Saito 1980) を用いた。

3. 結果と考察

求めた速度構造モデル EA-0 を図1に示す。地殻と最上部マントルをそれぞれのベースのモデルよりも速い構造にすることで、計算された位相速度の分散曲線が、観測で得られたそれとほぼ一致するようになった。従来の1

点法で測定された群速度から得られていたモデル (Dewart and Toksoz, 1965; Singh, 1994) よりも 0-7% 速い。

この大きな差は、地学的側面と推定方法の側面の両方から生じたものと思われる。しかし、地学的側面からの説明は、この地域の情報が少なすぎるため、いまは難しい。

推定方法の側面では、分散曲線から得られる構造の不確実性が大きいことが原因と思われる。特に群速度の場合、同一の分散曲線を無限の構造モデルから得られることから、唯一性がない (Dewart and Toksoz, 1965)。

加えて、今回求めたモデルは定量的に逆問題として求めたものではないため、その確実性が乏しい。地殻の厚さを 39 km に固定したことも影響している。次の段階として、より信頼性のあるモデルを推定するために、より多くのデータと、定量的に逆問題を解く技術が必要である。

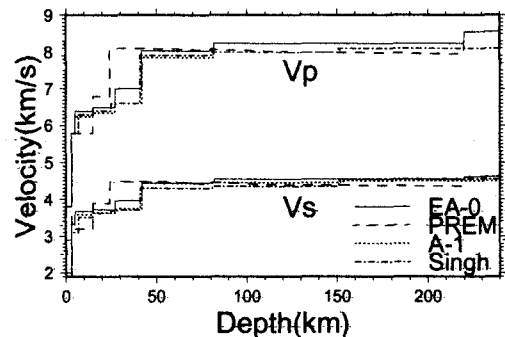


図1: 地殻・上部マントルの地震波速度構造。

みずほ高原の地震波速度構造

— 第 41 次南極観測隊の観測データ解析報告 —

筒井智樹 (秋田大学) ・村上寛史 (地震観測技術センター) ・

宮町宏樹 (鹿児島大学) ・戸田 茂 (愛知教育大学) ・金尾政紀 (極地研究所)

A velocity structure beneath Mizuho plateau - A preliminary report after JARE41 -

Tomoki TSUTSUI (Akita University), Hiroshi MURAKAMI (Earthquake Observation Research Technology Center), Horoki MIYAMACHI (Kagoshima University), Shigeru TODA (Aichi University of Education), Masaki KANAO (National Institute of Polar Research)

第 41 次南極地域観測隊では、プロジェクト研究観測の一環として、1999 年 12 月 22 日～2000 年 2 月 14 日までにかけて、東南極円ダービーランドの一部であるみずほ高原地域において人工地震オペレーションを行った。この人工地震オペレーションでは、3.3t のダイナマイトを 7ヶ所で使用し、160 点の臨時観測点を、みずほルート上に展開して観測を行った。

このプロジェクトでは大陸縁辺部に位置するみずほ高原の地殻内部の地震波速度構造および反射面分布を、これまでより高い分解能で得ることがねらいである。

このオペレーションによって得られたデータには、約 4km/s の見かけ速度をもつ初動走時が発破点近傍から 10km 地点あたりまで得られたほか、それより遠距離では 6km/s 台の見かけ速度を持つ初動走時が得られ、発破点から 100km 付近の距離では 6km/s 台後半の見かけ速度を示す初動のならばが明瞭で高い品質で観測された。これらの様相は今回の測線の部分によって微妙に異なっている点が注目され、南極氷床下の地殻内部の速度構造が反映されているばかりではなく、部分的な変化も反映されて

いる。

解析作業のうち、基礎的な作業である初動走時の読みとりを複数の人員で行い、その結果を考慮して最終的な初動到来時刻を決定した。

つぎに地殻構造の解析にあたり、まず大陸氷床の厚みを発破点近傍の走時から推定し、地殻内部からの屈折波に対する氷床厚補正量を得た。今回の観測に対する氷床厚補正量は 0.2～0.5 秒のオーダーであった。この氷床補正量を氷床の厚みに換算したものは、これまでに得られたアイスレーダーや重力探査の結果と矛盾しない。本講演では、この観測で得られた波形データを用いて、読みとられた初動走時を用いた屈折法解析結果について速報する。

加えて、今回の観測データでは初動部以外にも地殻下部からの反射波と推定される明瞭な後続相が複数の記録で認められている。この明瞭な後続相の特徴についてもふれ、NMO (Nomal Move Out) 補正を施して、単フォールドの時間断面を作成し、その結果についても紹介する予定である。

人工地震探査で記録された氷震とリュツォ・ホルム湾周辺の地下構造

24 神沼克伊 (極地研)・筒井智樹 (秋田大)・金尾政紀 (極地研)

Icequakes recorded by deep seismic soundings on Mizuho route and subglacial structure in the Lützow-Holm Bay Region

K. Kaminuma (NIPR)・T. Tsutsui (Akita University)・M. Kanao (NIPR)

JARE-41 夏隊で実施したみずほルートでの人工地震探査記録において、明瞭な氷震動が記録されたので、その特徴と成因について報告する。

氷震動は2回観測された。第1回は2000年1月12日17時LT (S-1と呼ぶ)、第2回は1月28日17時LT (S-6)に実施したものである。S-1のペーストアップ記録において、発破位置から60km地点までに発破地震動の初動が観測されているが、60km以遠については初動より前に氷震の可能性が高い波形が観測されている(図1)。ペーストアップ記録からは、氷震動について見かけ速度が速く到来時刻も早い位相と、見かけ速度が遅く到来時刻も遅い相の2つが見受けられる。前者をP波、後者をS波とすれば、測線から約120km程度離れたところに震源が求められる。その場合、測線の北東側であればプリンス・オラフ海岸に沿う場所(かすみ氷河周辺域)で、また測線の南西側であれば、しらせ氷河周辺の可能性が大きいと考えられる。

氷震の方が爆破地震動に比べて経験的に卓越周波数が低い。それ故に8HzのLPFを使用するとほぼ氷震動だけを取り出すことができる。発破振動は15HzのHPFを使用すれば氷震と分離できるが、震

源より80km地点程度までしか振動が届いていないことが分かる。またS-6についても、震源より120km以遠の測線において初動より前にP波、S波が確認される。なお、昭和基地の短周期モニター記録上で、この氷震動の有無を調べた。

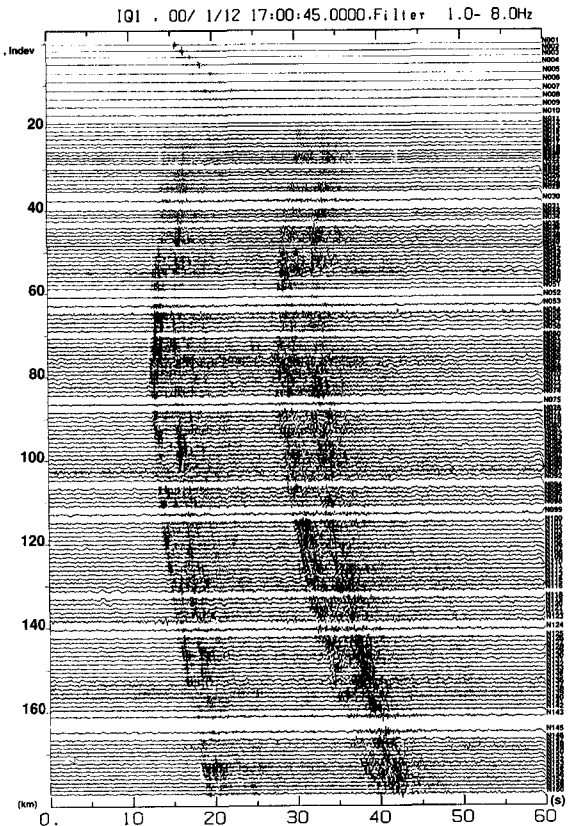


図1: S-1記録に1.0-8.0HzのBPFをかけたペーストアップ(2000年1月12日17時LT)。

しかし、このS-1, S-6の記録に紛れ込んでいる氷震については確認できず、マグニチュードの小さな氷震であることが判明した。

さらに、S-1の記録に混入している氷震が、発破による誘発氷震ではないかとする考えもある。しかし、S-1のショットタイムより前にP波相と思われる位相が見えており、測線上で一番走時が早い地点でも発破時刻の前に到来しており、またそのあとの発破記録に重なっている位相は前述の位相よりも見かけ速度が遅いことから、S相の可能性があると考えられる。従って、この氷震の発震時刻は発破時刻より早いので、発破の前に発生したものであろうと考えられる。また、S-6の氷震もS-1のそれと同じような地域で起きているのであれば、間違いなくその発震時刻は発破時刻そのものより早い。

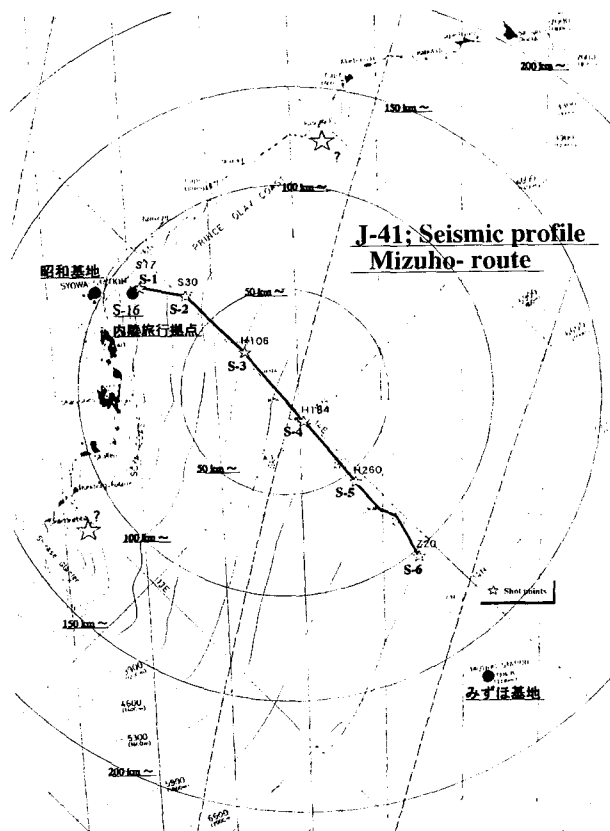


図2：探査測線と検知された氷震の推定される震源

みずほ高原縁辺に位置するリュツォ・ホルム湾周辺域では、これまで地殻の隆起に伴う微小地震や巨大な氷震活動が報告されてきた (Kaminuma, et al. 1999, etc.)。今回の人工地震探査で爆破地震動と同時に記録された氷震の震源が、プリンス・オラフ海岸周辺またはしらせ氷河流域であれば、氷床後退に伴うテクトニック・リバウンドに関連した地震活動である可能性も否定できない。また、氷床流動によって起こされた可能性もある。今後もこの地域の地震活動を長期間に渡りモニターすることが重要であると思われる。

位置。

Crustal structure for marginal areas of the Mizuho Plateau by passive seismic studiesM. Kanao (NIPR)・H. Negishi (NRI for Earth Sci. and Disas. Prevention)・Y. Tono (Kyoto Univ.)・T. Nakanishi (Kyoto Univ.)・N. Seo (Marine Safety Agency)・
S. Toda (Aichi Univ. of Education)

はじめに：40億年という幅広い時間スケールの地殻活動・進化の歴史を持つ東南極大陸において、特に先カンブリア時代から古生代に至るまでの地殻形成史と現在の構造との関連を知ることは重要である。みずほ高原縁辺部に位置するリュツォ・ホルム湾地域は、JAREを中心に地質学的調査・研究が精力的になされ、東南極で最も地殻進化過程が解明されている。また地震学的データも、昭和基地をはじめこの地域を中心に蓄積されている。本研究では、地殻深部構造とその形成過程との関連を調べるため、地球物理学的手法、特に広帯域地震波形による遠地地震のS波解析と得られる地殻速度モデルの性質に焦点を当てた。微小地震活動が少ないことも、島弧に比べて遠地地震を用いた構造解析には有利である。

地殻深部構造と形成過程：地殻形成過程を、地震学的解析からみた地殻深部構造と対比して、以下のテクトニクスに関する解釈を行った。

1) 約5億年前の Gondwana 超大陸形成に伴うパン・アフリカン変動時に、リュツォ・ホルム湾地域は北東-南西方向の圧縮場による広域変成作用を受けた。その結果水平方向の不均質が生じ、遠地地震のレーシーバ関数解析により地殻内S波速度の方位依存性が確認された。内陸部ではモホ面及び地殻内境界が比較的明瞭なのに対し、湾内では地殻内速度が深さと共に漸次増加し、遷移的な地殻マントル境界をもつ。

特に大陸内陸部においては、高圧岩石実験による変成岩速度との対応から、表面地質がグラニュライト相、および角閃岩相漸移帯に対応する2つの方位において、S波速度の違いを確認すると共に、現在の地殻を構成する岩石を推定した。その結果、5億年前の中部～下部地殻が現われていると考えられる表層付近においては、両方位とも酸・塩基性岩が混在する速度をもつ。現在の中部地殻では、角閃岩相漸移帯の方位がより高速度で盾状地の平均モデルに近いのに対して、グラニュライト相の方位では酸性岩が主組成と思われる。また現在の下部地殻に相当

する深さは、両方位とも高速度領域であり、ガーネットを含む塩基性な組成が支配的であると考えられる。

また、みずほ高原における屈折法データを再検討した結果から、沿岸から内陸150kmにかけて深さ24~45kmの下部地殻領域に反射層を捉え、この時期の広域変成作用による圧縮場に伴い、地殻が厚くなると同時に変成岩の層構造化が考えられる。さらに、広帯域SKS波スプリティング解析による上部マントルにおける異方性の速いS波の方向は、現在のプレート運動の方向と異なり、この時期の北東-南西方向のアセノスフェアの流れと一致している。

2) その後の Gondwana 大陸の分裂に伴い、リュツォ・ホルム湾地域は約1.5億年前にスリランカと分離を開始した。このとき広域変成作用時と直交する北西-南東方向の張力場が卓越したと考えられる。レーシーバ関数解析による内陸部と湾内の方位との速度モデルの違いは、この時期に形成された大陸縁辺部の構造を呈している可能性もある。さらにこの時期の張力場によって、特に顕生代の拡大テクトニクス場で見られるような、下部地殻の反射層がさらに顕在化したとも考えられる。

3) その後変成作用時以降には特別な火成活動を受けずに上昇(約15~30km程度)、冷却過程を得て現在に至ったと考えられる。この5億年に及ぶ長い地殻形成史は、低い地殻熱流量(~40mW/m²)や深い地殻内反射面(上面が25km深以上)として現われていると共に、Coda-Q解析で得られている厚くて固いリソスフェアとして示唆される。表層付近を含めて1~24Hzのどの周波数帯域でも、島弧に比べて減衰が小さい構造が明らかにされた。

本講演では、最近観測網を展開している沿岸域のデータを含め、みずほ高原縁辺部の地殻構造の不均質を、遠地地震レーシーバ関数のS波モデルの変化としてとらえる。特に宗谷海岸に沿う方向での地殻の深さ変化と、昭和基地を中心とした大陸縁辺における陸-海方向の傾斜構造に焦点を当てて議論する。

東南極リュツォ・ホルム岩体の高度変成岩の高圧条件下における弾性波速度測定
北村圭吾¹、石川正弘²、有馬眞²、白石和行³

26

High pressure measurement of high grade metamorphic rocks from Lützow-Holm Complex
Keigo KITAMURA¹ Masahiro ISHIKAWA², Makoto ARIMA², Kazuyuki SHIRAISHI³

¹ 総研大・極地研 (Graduate University for Advanced Studies, NIPR)

² 横浜国大・教育人間科学部 (Yokohama National University)

³ 極地研 (NIPR)

【はじめに】

大陸地殻の地震波速度構造から地殻の岩石構造を見積もることは地殻の形成・発達過程を議論する上で重要である。そのためには実験的に地殻深部と同等の温度圧力下における岩石の弾性波測定がきわめて有効な方法である。

古生代初期の東南極リュツォ・ホルム岩体は角閃岩相～グラニユライト相変成岩が連続的に分布している。さらに本地域は1999-2000年に人工地震波探査が行われ2001-2002年でも地震波探査が計画されている。このように本地域は大陸地殻の岩石学的地殻構造を議論する上で最も適した地域である。

本研究ではリュツォ・ホルム岩体の高度変成岩のP波速度を高圧条件下で測定を行い全岩化学組成及び鉱物構成比との比較を行った。

【実験方法】

測定は横浜国立大学の口径34mmのピストンシリンダー高圧発生装置を使用した。実験試料は直径14mm、高さ12mmの円柱状で両面を研磨して成形した。実験は温度25℃、圧力0.1～1.0GPa間の範囲で変化させながら測定を行った。

実験に用いた試料は表1にまとめた。

【結果】

すべてのサンプルにおいて速度は0.1～0.4GPaの間で急激に増加しそれ以上の圧力で

は殆ど変化しなかった。これは岩石試料中の間隙が圧力の増加に伴い閉じたためと考えられる。それぞれの岩石の25℃、400GPaでのP波速度は以下の通りであった。Meta basic dike が $V_p = 6.65$ km/s, hornblende gneiss が $V_p = 6.91$ km/s, pyroxenite が $V_p = 7.28$ km/s, calc-silicate rock が $V_p = 6.40$ km/s, biotite-bearing granitic gneiss はそれぞれ $V_p = 6.61$ km/s, $V_p = 6.27$ km/s の速度を示した (図1)。SiO₂量の少ない Meta basic dike 及び hornblende gneiss より SiO₂量の多い pyroxenite が速い速度を示す理由として鉱物モード比の違いが考えられる。単結晶としての密度が大きく速度の速い鉱物 (例えば輝石) に富む岩石が早い速度を示し、密度が小さく速度の遅い鉱物 (例えば黒雲母) に富む岩石が遅い速度を示した。

これらの結果から東南極リュツォ・ホルム岩体の高度変成岩のP波速度は岩石のSiO₂ wt.%よりも構成鉱物比に強く依存していると考えられる。

Run No.	LHC-1	LHC-2	LHC-3	LHC-4	LHC-5	LHC-6
岩石名	pyroxenite	calc-silicate rock	Meta basic dike	biotite-bearing granitic gneiss	hornblende gneiss	biotite-bearing granitic gneiss
SiO ₂ wt. %	49.2	68.9	43.4	71.4	48.3	80.7
quartz	-	44.6	-	54.3	-	59.6
K-feldspar	-	-	-	35.0	-	35.0
plagioclase	-	31.0	45.6	3.9	62.3	3.6
hornblende	1.3	-	10.0	-	34.3	-
orthopyroxene	27.3	-	19.6	-	-	-
clinopyroxene	60.6	21.0	-	2.0	-	0.6
biotite	10.6	-	22.6	2.3	2.6	0.6
sphene	-	3.3	-	-	-	-

Table 1. 実験に用いた岩石試料のSiO₂ wt.%とモード比

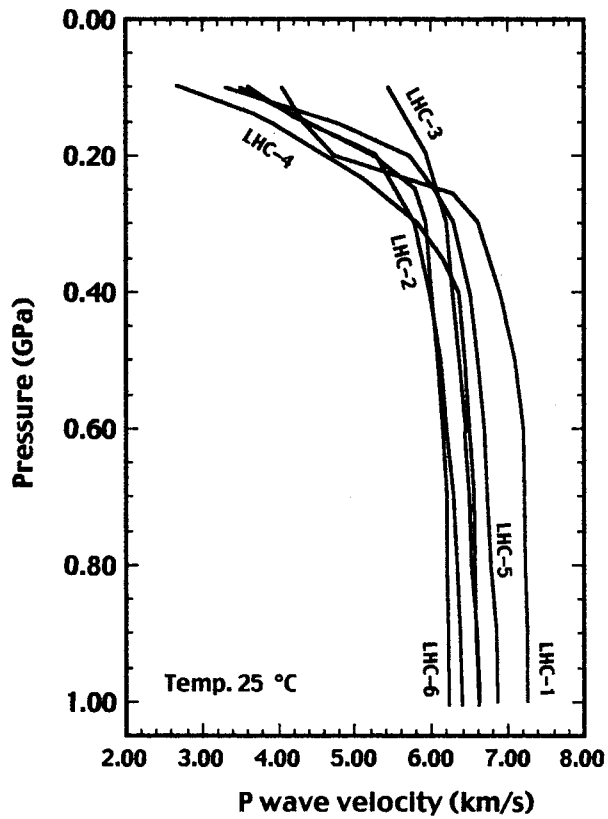


図1. 岩石の弾性波速度の圧力による変化

27 衝突帯における地震波速度異方性の形成—リュツオ・ホルム湾、丹沢—

久保篤規 (防災科学技術研究所)

Formation of seismic anisotropy in collision zones: Lützow-Holm Bay and Tanzawa

Atsuki Kubo (National Institute for Earth Sciences and Disaster Prevention)

はじめに

地震波速度異方性は、大まかに応力効果によるものと組織効果に分類される。前者は応力を取り払うと異方性がみられなくなり、低ひずみで起こる。後者は塑性流動などによって生じる鉱物レベル、および地震波よりも短波長な構造異方性によるものがある。これには応力効果に比べて大ひずみが求められる。地震波速度の性質を用いて地下の物質推定に応用するという目的を考えた場合、地震波速度の異方性の情報は等方的な仮定に基づく弾性波速度とは独立した情報を提供できるであろう。しかし、その場合には組織効果が卓越していることが前提であり、応力効果の可能性を排除する必要がある。一方で応力効果は現在進展中の衝突帯の応力場を知るという目的に使える可能性があるがその場合には、組織効果による異方性形成の可能性を排除しておく必要がある。過去、現在の衝突帯での地震波速度異方性の形成を比較対照する場合にはどちらの効果が卓越しているのかという判断がまず必要である。

リュツオ・ホルム湾(昭和基地周辺)の異方性

リュツオ・ホルム湾は Gondwana 大陸完成時に変成作用を起こした [Shiraishi et al., 1994]。昭和基地での地殻部分の地震波速度異方性は NW-SE 方向に速いという性質を示しており、変成作用に伴う衝突時の変形の可能性考えられる [久保、金尾, 1997]。その際の応力効果の評価は不十分であったかもしれない。昭和基地周辺の応力場については観測事実は少ないので物理的にありうる効果を個々に考えていくしかない。単純な海洋-大陸間の地殻の密度構造による差応力は、大陸側に大陸縁に直交する方位に伸張場を

引き起こす。大陸縁の海側への堆積物の蓄積による応力場も定性的には同じパターンを示す [Stein et al., 1989]。これらから期待される応力効果による異方性は観測される地殻の異方性とは矛盾してしまう。他に後氷期地殻変動などによる差応力が考えられる、これが上記の応力効果を大きく変えることがなければ昭和基地で観測される地殻部分の地震波速度異方性は応力効果ではなく、組織効果であると考えられるであろう。

丹沢における地震波速度異方性

伊豆半島は本州と現在衝突しつつあると考えられている [有馬ら 1999]。丹沢地域で観測される地殻起源の地震波速度異方性は北西-南東方向に速い性質をもつ [中里恵理子、千葉大卒論]。地震のメカニズムからみた応力場 [Kubo and Fukuyama, 2000] は、伊豆半島で N-S の圧縮方向であったものが中部地方で WNW-ESE 方向に転じ、ちょうど丹沢付近では NW-SE 方向の圧縮である。この一致は地震波速度異方性の形成が応力効果を反映していることを示唆する。さらに丹沢地域では地表に露出する岩体も深成岩であり鉱物組織の定方位構造も発達していないので上の考えはおそらく間違いないであろう。

まとめ

地震波速度異方性の形成過程としてリュツオ・ホルム湾では、組織異方性が卓越しており、現在の応力効果はほとんど寄与していないと考えられる。一方丹沢では応力効果が卓越しており、組織効果が寄与は小さい。一般には応力効果と組織効果の両方が重要な場合もあり得る。

(文献は省略)

P-wave velocities in deep crustal rocks of island arcs

Masahiro ISHIKAWA, Keigo KITAMURA², Soushi NISHIMOTO, Yoshio KONO, Makoto ARIMA¹ 横浜国大・教育人間科学部 (Yokohama National University)² 総研大・極地研 (Graduate University for Advanced Studies, NIPR)

【はじめに】

大陸の地震波速度構造から、大陸地殻の平均化学組成は安山岩質 ($\text{SiO}_2=59\text{wt}\%$) で特徴づけられると考えられている (Christensen & Mooney 1995; Rudnick & Fountain 1995)。この性質は、マンツルの部分融解によって生成させるマグマが圧倒的に玄武岩質であるということと相反している。これを説明するため、下部地殻物質がマンツルへ剥がれ落ちる”デラミネーション説”とスラブの部分融解から形成された花崗岩質マグマが地殻へ付加されるという”スラブ-メルティング説”が提唱されている。

島弧は巨大な体積を占め、その衝突・付加プロセスは大陸成長において重要な役割を果たしていると考えられる。したがって、大陸地殻の平均化学組成を議論する上で、島弧地殻の化学組成を明らかにすることは重要である。

【地震波速度】

伊豆-小笠原弧：丹沢山地の深成岩は伊豆-小笠原島弧の本州への衝突によって、海洋性島弧地殻深部が露出したものと解釈されており、その岩石の弾性波速度から伊豆-小笠原島弧の化学組成地殻断面を精密に見積もるは島弧地殻の起源と進化の研究を進めていく上で大きな比重を占めている。そのために、Kitamura et al. (1999, 2000) は丹沢深成岩類の高温高圧条件下における弾性波速度測定をおこなっている。伊豆弧の地震波速度構造を室温での速度に補正し、丹沢深成岩のP波速度との比較を行った結果、トーナル岩が中部地殻 (6.1~6.3km/s

層) に、角閃石ハンレイ岩が下部地殻上層 (6.8~6.9km/s 層) に対応した。輝石角閃石ハンレイ岩は下部地殻下層の一部 (7.1km/s) に対応するがそのほとんどには明らかに対応していない。計算上からは伊豆小笠原弧の最下部地殻を構成する主要な岩石はノーライトもしくはトロクトライトであると示唆される。P波速度測定実験からは6.8~6.9 km/s層が角閃石ハンレイ岩であると推測されるが、Taira et al., (1998)ではこの層をトーナル岩と解釈している。そのために彼らは地殻平均 SiO_2 を54wt%と見積もっているが、実際はもう少し低い (52wt%) と予想される。つまり、塩基性と中性の境界に相当する。

伊豆小笠原弧の地震波断面と比較した結果、丹沢深成岩類は最下部地殻を構成する主要な岩石とは考えられない。つまり、伊豆小笠原弧と本州弧の衝突プロセスにおいて伊豆小笠原弧の下部地殻下層が、デラミネーションしていることを意味する。この衝突プロセスによって付加される海洋性島弧地殻 (上部地殻~下部地殻上層) の平均 SiO_2 wt%は約61%と見積もられ、その平均化学組成は安山岩質であると推定される (大陸地殻の平均化学組成に非常に近いのは興味深い)。

東北本州弧：東北本州弧の地震波速度構造 (岩崎ほか, 1999) は地殻から上部マンツルにいたる低速度で特徴づけられる。従来のP波速度と SiO_2 の相関に基づけば、東北本州弧地殻の平均組成は明らかに酸性 (花崗岩質) に近い中性 (安山岩質) であると予測せざるをえない。しかし、秋田県

一の目瀉に産出するゼノリスの地震波速度との比較を行った結果（地震波速度を測定した結果、25℃かつ0.5-1.0Gpaの高圧条件で、角閃石ハンレイ岩は $V_p=7.22\text{km/s}$ 、角閃岩は $V_p=6.99\sim 7.24\text{ km/s}$ の速度を示した）、下部地殻を構成する岩石は超塩基性な角閃石ハンレイ岩および角閃岩であると結論される（Nishimoto et al., 2000）。つまり、東北本州弧の下部地殻は超塩基性岩で構成されており、上部地殻の花崗岩とあわせた地殻全体としての組成は塩基性（玄武岩質）であると推定される。

西南日本弧：西南日本には比較的多く下部地殻・マントルゼノリスが産出する。その下部地殻ゼノリスは主にハンレイ岩・ガブロンライト・パイロキシナイトから構成されている。高島産ガブロンライト・パイロキシナイトゼノリスのP波速度はそれぞれ約 7.33km/s 、 7.61 km/s である（田辺、2000）。つまり、下部地殻岩は、一の目瀉産ゼノリスとは対照的に、比較的高速度で特徴づけられる。

アリューシャン弧：アリューシャン島弧の地震波速度構造は、層厚20kmの $6.9\sim 7.2\text{km/s}$ のP波速度層（下部地殻）の存在と $6.0\sim 6.3\text{km/s}$ のP波速度層の欠落で特徴づけられ、海洋性島弧地殻の平均化学組成は玄武岩質（ $\text{SiO}_2=49.5\text{wt}\%$ ）であると推定されている（Holbrook et al., 1999）。

コヒスタン島弧：パキスタン北部には中生代の島弧地殻断面が露出している。その下部地殻岩は主に単斜輝石-斜方輝石グラニュライトもしくはガブロンライトから構成され、より下部では脱水反応によってザクロ石-単斜輝石グラニュライトに置換されている。また、その最下部にはザクロ石パイロキシナイトが分布する。これらの岩石のP波速度はそれぞれ $7.29\sim 7.37\text{km/s}$ 、 7.68km/s 、 8.40km/s である（河野ほか、2000）。単斜輝石-斜方輝石グラニュライトやザクロ石-単斜輝石グラニュライトの $\text{SiO}_2\text{ wt}\%$ は約50%であり、ザクロ石パイ

ロキシナイトでも42~47%である。つまり、コヒスタン島弧の下部地殻は、東北日本とは対照的に、高速度および塩基性で特徴づけられる。したがって上部地殻とあわせた地殻全体としての組成は中性（安山岩質）であると思われる。

【まとめ】

我々の島弧地殻岩石の地震波速度測定データが示したように、従来のP波速度と SiO_2 の相関が必ずしも当てはまらない。つまり、同じ SiO_2 組成でも、主要構成鉱物が角閃石なのか輝石なのかでP波速度は 1.0km/s も違う。

伊豆小笠原弧の下部地殻上層は、角閃石ハンレイ岩（塩基性~超塩基性）からなる一方、最下部地殻は含水鉱物である角閃石を含まないノーライトもしくはトロクトライトと考えなければ高いP波速度を説明できない。

東北本州弧の下部地殻は、角閃石ハンレイ岩および角閃岩からなり、含水鉱物である角閃石を主要構成鉱物とするために低いP波速度で特徴づけられる。しかし、低速度にもかかわらず、組成は超塩基性である。

西南日本弧の下部地殻は、含水鉱物である角閃石を含まないハンレイ岩・ガブロンライト・パイロキシナイトと予想され高いP波速度が期待される。

大陸地殻深部の一般的な岩石モデルによれば、角閃岩の下にグラニュライトが横たわっているとされ、下部地殻には含水鉱物がほとんどない。しかし、島弧に関する限り、下部地殻は角閃石ハンレイ岩および角閃岩（東北本州弧）であったり、ノーライトもしくはトロクトライト（伊豆-小笠原島弧）であったりする。含水鉱物の角閃石に注目すれば、東北本州弧下部地殻はhydrous、西南日本弧下部地殻はanhydrous、伊豆小笠原弧下部地殻はhydrous（上層）とanhydrous（下層）である。

人工地震探査用ボーリング装置の開発と JARE-41 実施結果

29

村上寛史 (地震観測技術センター) ・ 下田泰義 (有明中学校) ・
宮町宏樹 (鹿児島大・理) ・ 民田利明 (日本油脂) ・ 金尾政紀 (極地研) ・
柳沢盛雄 (極地研) ・ 神沼克伊 (極地研) ・ 高橋昭好 (地球工学研究所)

Development of the steam water ejective-type ice/snow-drilling system for deep seismic surveys in Antarctica - JARE-41 results -

H. Murakami (Technological Center for Seismic Observations) ・ Y. Shimoda (Ariake junior high school) ・
H. Miyamachi (Kagoshima University) ・ T. Minta (Nippon Oil and Fats Co., Ltd) ・ M. Kanao (NIPR) ・
M. Yanagisawa (NIPR) ・ K. Kaminuma (NIPR) ・ A. Takahashi (Geo Tecs Co., Ltd.)

【概要】

JARE41 では震源発破孔掘削の機材として、初めてスチームドリルを使用した。スチームドリルは、内陸基地における生活廃水処理孔掘削等の、設営装備として JARE では開発・利用されてきている。今回の人工震源発破孔掘削に先立ち、JARE38 越冬隊により「みずほルート」においてスチームドリルによる掘削テストがおこなわれている。JARE41 夏隊では、JARE38 の経験に基づき改良を加えた掘削機材を使用した。本機材については富山県立山の内蔵助(くらのすけ)雪渓において、JARE41 人工地震メンバーにより 1999 年 9 月に掘削テストが行われた。

今回のスチームドリルによる震源発破孔掘削作業は、人員 2~3 名が発破前日に 10~14 時間をかけて行われた。掘削口径は 20~40cm、掘削孔底深度は 24.0~27.6m であった。掘削作業に伴いスチーム噴射ノズル部スカート脱落などのトラブルが発生した。それにもかかわらず、震源発破の成功と良好な観測記録が得られたことから判断すれば、スチームドリルによる震源発破孔の掘削という当初の目的は達成されたと結論できる。

【掘削機材】

スチームドリルの機器・装備は下記の通りである。
「機器」：スノーメルター、スチームゼネレーター、スチームホース(50m)、ホースリール、ノズル部(ノズルスカート、ノズルパイプ、ノズル、ノズルオリフィス、着底センサー)、自動繰り出し装置、ジョイ

ント用ホース類、操作盤 3 種、エアーコンプレッサー

「装備」：スチームドリル用幌機、三脚、燃料タンク、排気筒 2 種、ハンドオーガー(φ120mm×20m、φ35mm×2 本)、ジープ缶、ポリタンク、ラッシンググローブ、雪鋸

「予備品」：水中ポンプ(ポンプ、操作盤、揚水パイプ)、スチームホース 2 本、パーナー 2 種、各種部品

【掘削作業】

1999 年 12 月 26、27 日、S16 においてスチームドリル用幌機の組み立てと、幌機内部へのスチームドリル機器の組み付け、機器・装備品の収納を行った。12 月 28 日 S17 東方 300m へ幌機を移動し、29 日掘削テストを行った。2000 年 1 月 8 日から 27 日の間、Shot-1 地点から Shot-6 地点において、それぞれ 1 日づつ掘削作業を行った。発破孔掘削作業中の人員配置は、幌機内での造水器からスチームゼネレーターのボイラー周りおよび掘削ログ記録記載に 1 名、スチームホースの繰り出し装置からノズル掘削状況監視の掘削孔周りに 1 名、人員に余裕があれば、造水器用の雪ブロック切り出し、繰り出し装置のホース結び位置移動等の作業にさらに 1 名の、計 2~3 名である。

スチームドリル装置の運転に当たっては、スノーメルターおよびスチームゼネレーター用燃料として、1 日に南極軽油を延 40l、消費した。

【作業結果】

月/日	地点	作業時間	掘削時間	掘削孔 口径	掘削孔底 深度	平均掘削 速度
12/29	S17(掘削テスト)	06:45	02:41	22cm	18.45m	6.88m/時
01/08	S17(Shot-1)	10:30	07:43	30cm	25.40m	3.29m/時
01/14	S30(Shot-2)	12:45	10:09	40cm	24.30m	2.39m/時
01/17	H106(Shot-3)	12:40	08:20	32cm	25.90m	3.11m/時
01/20	H184(Shot-4)	12:40	09:07	29cm	27.60m	3.03m/時
01/23	H260(Shot-5)	11:50	08:30	34cm	26.40m	3.11m/時
01/27	Z20(Shot-6)	14:00	10:00	23cm	26.35m	2.64m/時

註) ノズルスカート径 2/29:φ140mm、1/08:φ160mm、1/14以降:φ180mm

各地点での掘削にあたってはポイラー等の機器立ち上げに45分から3時間を要した。また掘削作業終了後にはエアコンプレッサーによる水および蒸気の排出、機器のラッシング等の撤収作業にほぼ1時間を要した。

【検討】

掘削深度が20m前後を越えた頃から、掘削速度が鈍ってきた。雪氷層の密度が高くなってきているものと推測される。Shot-2以降はノズルスカート径φ180mmのものだけの掘削作業を強いられ、掘削孔径が大きくなり掘削効率が深さ方向へは悪くなった。φ140mm程度のノズルスカートで着底の確認を丁寧にしながら掘削を進めれば、同じ作業時間で30m以上の掘削も可能であるだろう。一方孔底部ではホースの繰り出しが遅くなり時間をかけてスチームをふかす結果となったため、横方向の掘削が進んだものと推測される。このことは装薬時のログ記録からも裏付けられる。たとえば掘削孔の底がフラスコ状に広がっていたのである。あるいは拵底発破を行ったのと同じ効果をもたらしたとも言えよう。

掘削孔内の観察に調理用バットを反射鏡代わりに利用した。ライフミラーを大型にしたようなものを調達しておく観察に便利である。ビデオカメラをザイルに吊るして掘削孔内に降ろし、掘削状況の映

像データを得た。今後は防水仕様の機種を調達しておきたい。スチームドリル作業のうち、ポイラー周りの作業配置には機械操作に習熟した隊員が不可欠である。今回の作業では有能な隊員を得ていくつかの障害を克服している。

【まとめ】

初めてスチームドリルを震源発破孔の掘削を目的として使用し、その目的をほぼ達成した。1箇所の掘削が丸1日の作業で終了したのは、ボーリングによる掘削に較べ、行動時間の限られる夏オベには有用であった。作業に伴う種々のトラブルは次回のおペレーションへの改良点としたい。

スチームドリルによる掘削孔はボーリング掘削とは孔内の掘削壁面の状態が異なる。孔内を撮影したビデオカメラの映像によれば、内視鏡による食道や大腸の内壁の様子にも似て凸凹の連続である。この掘削壁面の状態は、ダイナマイト装薬後にタンピングとして雪を用いた時に、爆破時の吹き出しを完全に抑え、結果として利きの良い発破、すなわち人工地震としてエネルギー効率の良い爆破震源をもたらし、良好な観測記録を得ることにつながった。また爆破時の吹き出しが全く無いことは、環境への影響を抑える要望にも答えている。

Vibration due to seismic explosion in Antarctic ice sheet and explosion effects

Toshiaki MINTA⁽¹⁾ Hiroshi MURAKAMI⁽²⁾ Hiroki MIYAMACHI⁽³⁾ Morio YANAGISAWA⁽⁴⁾ Masaki KANAOK⁽⁴⁾Katsutada KAMINUMA⁽⁴⁾ Yoshikazu HIROSAKI⁽¹⁾ Tetsuya SAWADA⁽¹⁾

(1)NOF Corporation (2)Earthquake Observation Research Technology Center

(3)Faculty of Science, Kagoshima University (4)National Institute of Polar Research

1. はじめに

第4次南極地域観測において火薬類を用いた人工地震オペレーションを行った。火薬類はダイナマイト 3.3t、電気雷管を100本使用した。発破は7回実施した。本報はダイナマイトの性能および電気雷管の仕様、発破諸元およびその結果を述べるとともに各受信点の振動記録から薬量、装薬状況などの影響による発破効果について報告する。

2. ダイナマイト、電気雷管および発破器の性能

ダイナマイト、電気雷管および発破器の性能を表1に示す。また、ダイナマイトの形状は掘削径の異なるスチームボーリングおよびハンドドリルに合わせるため2種類とした。

表1 ダイナマイト、電気雷管および発破器の性能

ダイナマイト 形状	筒	φ100×5kg 紙
		φ150×10kg 紙筒
ダイナマイト 性能	比重	1.55
	耐水圧性能	20kg/cm ² ×5h
	爆速	6500m/s
	弾道臼砲比 (対TNT比)	115
雷管	地震探鉱用電気雷管 (耐寒性テフロン加工仕様)	
発破器	最大500発：容量30μF・1300V	

3. 発破諸元および発破結果について

人工地震オペレーションでの発破諸元とその発破結果を表2および表3に示す。

発破作業の概要は南極大陸の氷床中にス

チームボーリング(Shot1~6)およびハンドドリル(Shot7)により掘削した孔にダイナマイトを装填した。タンピングには、不凍液および雪氷、または不凍液と雪氷の混合と3種類用いた。雪氷または不凍液と雪氷の混合では、発破後のガスの吹き出しがない結果となった。ガスの吹き出しのない場合には周辺環境への影響が軽微なことから火薬のエネルギーを有効に活用できると思われる。起爆方法は確実性を重視し、耐寒ケーブルを使用した有線方式の電気発破を採用した。

表2 発破諸元

Shot	薬量 (kg)	掘削長 (m)	装薬長 (m)	タン グ
1	250	25.4	4.35	不凍液
2	600	24.0	5.70	不凍液
3	610	25.9	12.15	不凍液
4	610	27.6	13.00	不凍液 雪氷
5	570	26.6	14.00	不凍液 雪氷
6	610	26.7	11.65	雪氷
7	25	4.5	2.00	雪氷

表3 発破結果

Shot	結果		1m当たり の薬量 (kg/m)
	吹き出 し	クレー タ	
1	有	無	57
2	有	無	105
3	有	無	50
4	無	無	47
5	有	無	41
6	無	無	52
7	有	有	13

4. 発破振動について

薬量および装薬状況（タンピング効果等）による発破振動の効果を定量的に調べるために、各地震計により記録された振動波形から最大振幅速度を読み取り、発破位置からの距離と最大振幅速度の関係を調べた。ここで、最大変位速度の読み取り値については、表面波の最大振動速度を使用した。発破振動と距離および薬量に関する相関の式としては(1)式を採用した。

$$V=KR^{-n} \quad \dots (1)$$

V：最大変位速度 (kine：cm/s)
 K：薬量および装薬状況等に関する係数
 R：発破点から観測点までの距離
 n：距離減衰に関する指数

例として Shot4 における最大変位速度と発破点からの距離の関係を図1に示す。両者に相関性があり、相関係数 0.98 である。他の Shot についても同様に 0.95 以上の高い相関係数である。

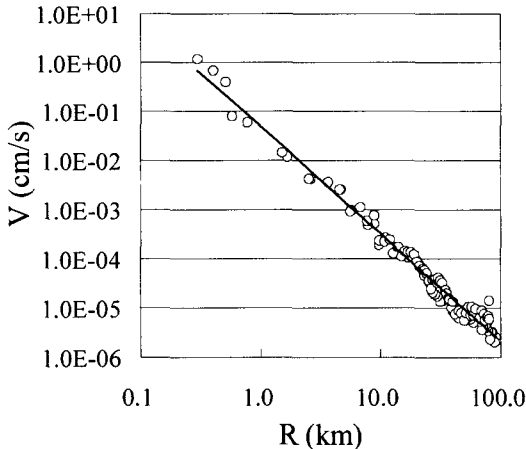


図1 Shot4 の最大振幅速度と距離の関係

各ショットにおける K と n の関係を図2に示す。図2の丸中の数字は Shot No を示す。

タンピングに雪氷を用いたところ、ガス

の吹き出しのなかった Shot6 では、K の値が他の Shot にくらべて大きい傾向があり、約 4 倍となった。また、Shot2 を除けば薬量が増えるにつれ、K 値も増大する傾向が認められた。距離減衰 n は同一の値を取らず、1.95～2.35 の範囲に分布する結果となった。

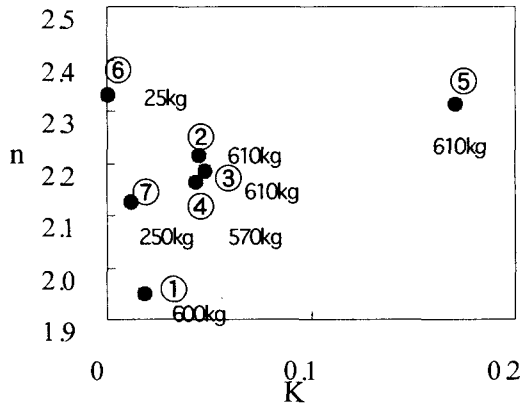


図2 各ショットにおける K と n の関係

5. まとめ

第4 1次南極地域観測隊における人工地震オペレーションでは、ダイナマイト合計で 3.3t 使用した。合計7回の発破を行った。

発破作業については耐寒性、確実性を重視した方法を採用した。

タンピングに不凍液の代わりに雪氷を用いた発破結果ではガスの吹き出しがなく、周辺環境および発破効率の観点から有効であることが示唆された。

発破振動の最大変位速度と発破点からの距離の関係には、相関性があることがわかった。

氷床上における微動探査の意義と センサーの開発

森谷武男¹⁾・凌 甦群²⁾・岡田 広³⁾・宮町宏樹⁴⁾

¹⁾北海道大学大学院理学研究科 地球惑星科学専攻 地球物理学

²⁾日本熱水株式会社

³⁾北海道大学名誉教授

⁴⁾鹿児島大学理学部地球環境科学

Geophysical meaning of the microtremor exploration on the ice sheet and development of the seismic sensor for array observation.

Takeo MORIYA¹⁾, Suqun LING²⁾, Hiroshi OKADA³⁾, Hiroki MIYAMACHI⁴⁾

¹⁾Department of Earth and Planetary Sciences, Division of Science, Hokkaido University

²⁾Nippon Nessui Corporation

³⁾Honorary Professor of Hokkaido University

⁴⁾Department of Earth and Environmental Science, Faculty of Science, Kagoshima University

1 はじめに

微動探査法とは微動に含まれる表面波(レイリー波)を特性のそろった地震計(上下動)をアレイで観測して位相速度を検出し分散曲線を得て、これを基に地下構造を推定する方法である(岡田 他, 1990)。地上付近特に堆積層の発達した平野部は基盤との速度のコントラストが大きいためにこの方法は有効である(松島・岡田, 1989)。良く知られているように分散曲線はS波速度にほとんど依存するために地震工学上重要なS波速度構造が比較的簡単に1次元構造を推定できる。氷床上においても沖積・洪積平野と同様に基盤と氷の層が比較的大きいS波速度のコントラストを作ると考えられ、氷床の厚さを推定する方法として微動探査法が有効ではないかと考えらる。微動の震源は一般に周期1秒以上では海洋波浪、風、1秒以下では人間活動による震動である。南極大陸では人間活動は無い。また内陸部では海岸で発生した震動の振幅が減少してしまうであろう。しかし風が強いときには内陸でも微動が発生することもあり得る。氷床の構造で興味深いことは氷床

深部で融解している可能性があることで、もし事実ならばS波速度が減少し低速度域が存在し、微動探査はそれを検出する可能性がある。このような推論によって氷床上における微動探査の可能性を調査するために、まず手始めとして、センサーを開発して試験的な微動観測を行うことを計画した。

2 微動探査用地震計

微動観測は、センサーを7-10点展開しアレイで行う。このために使う地震計の振幅・位相特性は完全に同一でなければならない。一般に市販されている同じ型の地震計でもその特性は揃っていない。また揃っているかどうかを確かめることも面倒である。我々は微動探査に適した地震計を開発し特性が同一かどうか調査する方法も確立した(森谷他 1996, 森谷他 1999)。微動の周期範囲は0.2-5秒であるためにやや長周期地震計(固有周期3-8秒)が用いられることが多い。しかしやや長周期地震計は設置に時間がかかり不便である。

微動探査用地震計には、1)振幅・位相周波数特性が同一であること。2)設置する野

外作業が簡単であること、の二つが要求される。無調整で所定の周期特性が得られるためには短周期地震計の固有周期を延ばす方法が考えられた。この方法にはコンデンサシャント方式と過制振積分法がある(森谷他 199)。前者は簡便だが同一特性を作り出すことは困難であるが、後者はコンデンサーと抵抗器を厳選しなければならないが全く同一の地震計を作ることができる。地震計の振子は減衰常数を大きくするとその変位は加速度に比例する。これをバンドパスフィルターを経由させると、バンドパスフィルターの中心周波数を見かけの固有周期とする地震計となり地震計の固有周期が変換されたことになる。これが過制振積分法である。Fig.1 にはその回路図を示す。回路図の前半は負入力インピーダンス増幅器であり、後半はバンドパスフィルターである。負入力インピーダンスによりコイル抵抗よりも小さい抵抗でダンピングをかけることになり、減衰常数 h は 90 程度とな

る。このため、地震計振子の固有周波数を f_0 とすると $f_0/(2 \times 90)$ から $f_0 \times 90$ の周波数範囲で振子の変位は地面の加速度に比例することになる。バンドパスフィルターの中心周波数は 0.2 秒であるから本来の地震計はなんでもあれ固有周期 5 秒の地震計に変身する。我々は地震計には L22D を使用した。ただし L22D には製品ムラがあり 20 個ほどの製品を検査したところ約 50% は位相特性が 3 度以上ずれていたため多数の中から 1 度未満の物だけを選択した。

地震計が同じ特性を持っているかどうかの検証には、同一地点で微動を測定してスペクトル比と位相差を計算して、違いがどの程度かを見る方法を採用した。Fig.2 は 8 台の地震計を狭い場所に集中して設置し微動を観測したときの、パワースペクトル(A)、スペクトル比(B)、コヒーレンス(C)、位相差(D)である。これらの図は No1 の地震計の対して十分な同一性を示していることがわかる。

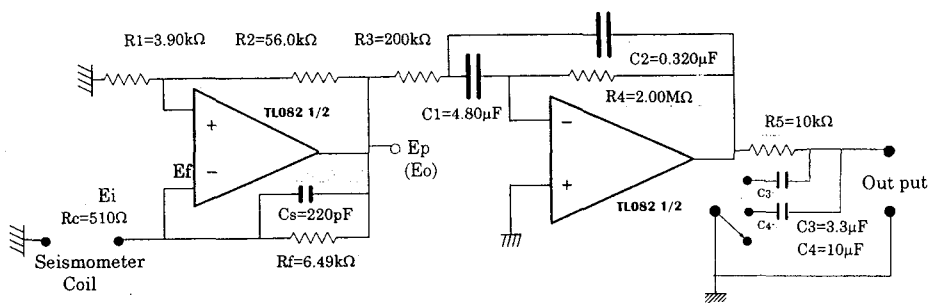
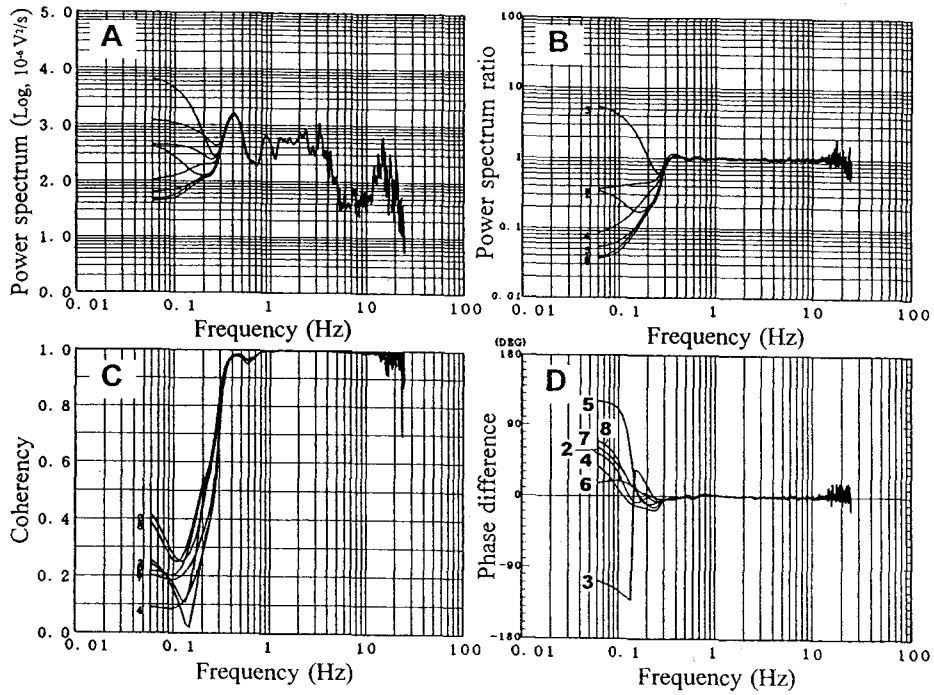


Fig. 1

Fig. 2



参考文献

- 岡田 広・松島 健・森谷武男・笹谷 努, 1990. 広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法, 物理探査, **43**, 402-417
- 松島 健・岡田 広, 長周期微動を用いた地下構造の推定一周波数-波数法による位相速度推定に必要な各種パラメーターの検討一, 北海道大学地球物理学研究報告 **52**, 1-10, 1989.
- 森谷武男・石川 顕・宮腰 研・岡田 広, 1996. 位相誤差の少ない微動探査の方法, 物理探査, **49**, 210-217.
- 森谷武男・岡田 広・凌 甦群・中野 修, 地震計の周期を長周期化するための負抵抗シャントによる過制振・積分法, 北海道大学地球物理学研究報告 **61**, 107-114, 1999.

南極ペネトレーターの開発について（総合試験）

澁谷和雄・金尾政紀・神沼克伊（極地研）・小山順二（北大）
・松島 健（九大）・筒井智樹（秋田大）

Development of the Antarctic Penetrator - Overall Test -

K. Shibuya・M. Kanao・K. Kaminuma (NIPR)・J. Koyama (Hokkaido University)
・T. Matsushima (Kyusyu University)・T. Tsutsui (Akita University)

1 はじめに

前回のシンポジウム（1999年予稿集 p113-114）において報告した南極ペネトレーターの開発状況のその後の経過を報告する。実機製造は基本的に終了したと前回述べたが、41次隊のみずほ測線での展開実験での問題点指摘（筒井未発表報告）に基づき対応策が必要となり、改良を加えつつ、ヘリコプター総合実験に組み込んで行く必要が出てきた。現時点ですべての問題点が解決した訳ではないが着実に1つ1つ解決し、43次隊での本番に間に合わせたい。

2 着地姿勢について

センサーとして使用している可動コイル型地震計（V241FV：株アカシ）は最終着地姿勢として、鉛直から ± 4 度以内の傾きであることが望ましい。8度傾くと中立点がずれコイルの可動範囲が狭まり、344m μ kn 振幅までの振動しか忠実に再現できないと考えられる。

7月4日、利根川河川敷で行った300m高度からの実機投下実験（折りたたみプラスチック・フィン、フィンなしストレート）はしかし、落下姿勢が安定せず、横倒しに近い着地でABS樹脂ボディ、及びアンテナが破損した。幸い、内部回路、素子の根本的破壊は免れたが、安定な鉛直落下を保証するボディとフィンの形状が大きな問題となった。

3 ミニチュアモデル実験

空力的には径Dに対して長さLが $1.4 \sim 1.6D$ あることが安定姿勢の条件であるが（東海大学・瀬戸教授）、我々の場合 $D=12\text{cm}$ なので $L=168\sim 192\text{cm}$ となってしまう、ヘリコプターキャビン内に設置さ

れるべきシュータ背丈約110cmを優に超えてしまう。そこで、約1/3寸法のミニチュアモデルを作り、橋の上（7月27日）やマンション工事現場（8月8日）、クレーンつり（9月4日）による25-35m高度からの落下実験を吹き流し付き、折りたたみフィン、フィンを取り巻く円形帯などの形状に対して行って絞り込み、6種類の実寸モデルに対して再度、ヘリコプターから投下実験（10月5日予定）を行う段取りに至った。有望なのは径の3倍幅の靱性のあるチタン製フィン、シューター径ぎりぎりフィン（幅55mm）への巻きつけ帯び、などである。

4 無線テレメーター機能、消費電流

採用する無線機能に変更は加えず、送信周波数は1.2GHz、送信出力は100mWであるが送信時の消費電流を35mA以下、待機時の消費電流を10mA以下に抑えるための回路構成変更を行った。また、入力部、時刻同期部もスリープ機能を生かし待機時の消費電流を極力抑え、DC7.2V264Ahのリチウム電池に対して待機時で33mA、動作時で58mA以下の消費電流になるよう設計し直した。

5 実用性向上について

従来型のペネトレーター内蔵メモリーは4バンク（1バンクあたり200Hzサンプリングで90秒分）なので爆破スケジュール変更が重なるとデータ回収あるいはスケジュールリセットフライトを発破後すぐに織り込む必要性が生じたが、メモリーを増設、十分でないにせよ16バンク備えるようにした。

また時刻制御で使用するGPS受信機のフライトログを同一のPCで記録できる構成を取る予定だが、

LS8000 並みの使い易さを実現するには、ソフト整備がさらに必要で、次のステップになる。

6. ヘリコプター総合実験

前回述べたように、南極でのヘリコプター運用プランからすると1フライト（2時間）に対して5本を搭載して行き、2 km 間隔で連続投下できることが望ましい。符号呼び出し機能により ADCS 2台を用いてデータ回収の効率を上げることが原理的に可能であるが、南極域での安全運行のために求められる実用上の上空旋回（あるいはホバーリング）時間の制約については未知の事柄も多い。2001年1-2月に雪原テストを予定し、ノウハウ蓄積に努めるが、あくまでオペレーション上の制約を基本としたうえでの、クレバス地帯でのデータ欠如を避けるという補助的センサーという位置付けが求められる。

ヘリコプター重力測定の高精度化

瀬川爾朗、楠本成寿（東海大学海洋学部）

イー・ジョン・ジョセフ（地質調査所）、

長谷川博（朝日航洋株式会社）

Enhancement of Gravity Measurement Accuracy on board a Helicopter

Jiro Segawa, Shigekazu Kusumto

(School of Marine Science and Technology, Tokai University)

E. John Joseph (Geological Survey Japan),

Hiroshi Hasegawa (Aero Asahi Corporation Japan)

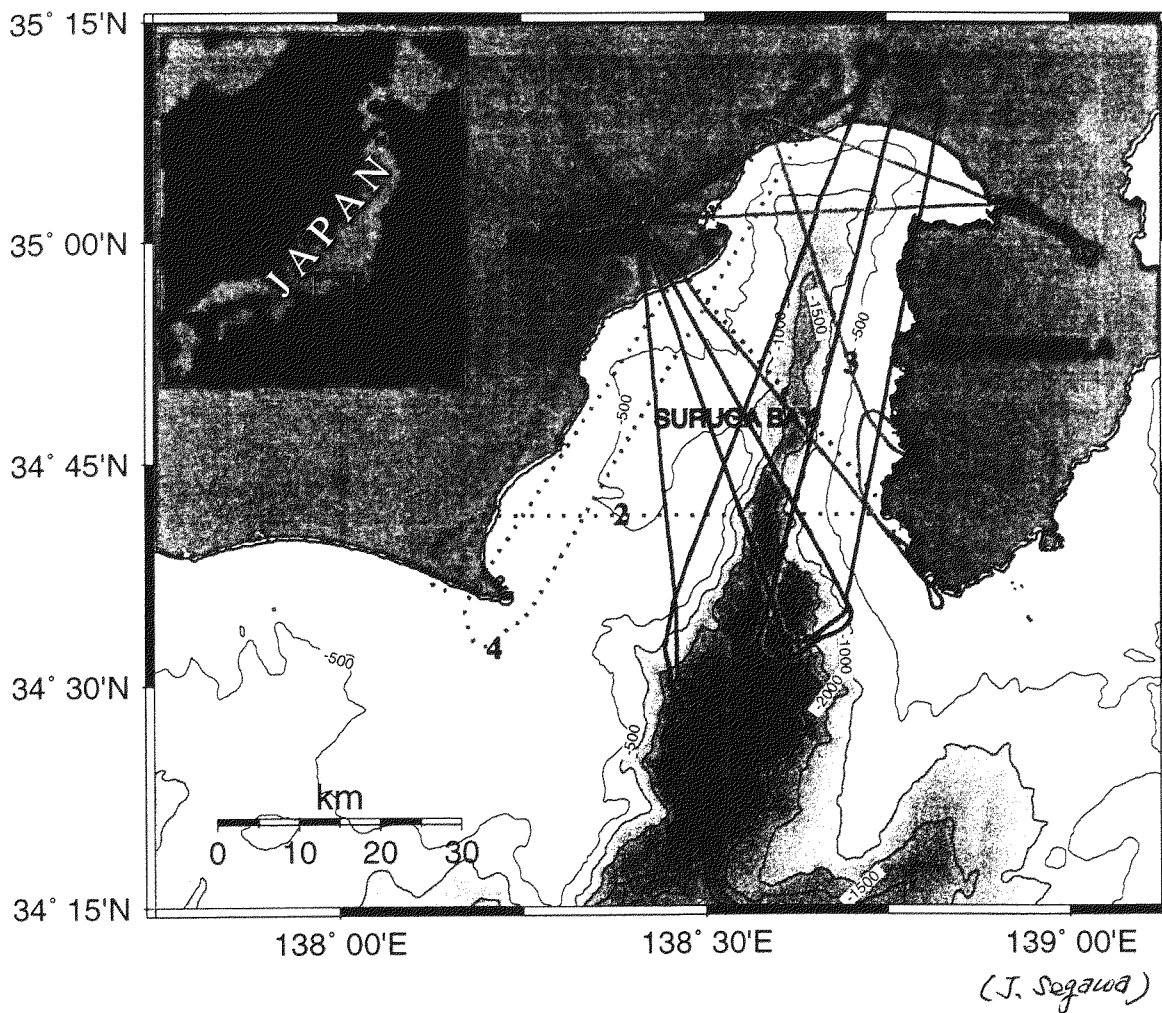
我々は1998年より航空重力測定の一つであるヘリコプター重力測定法の開発を行ってきた。この研究を始めることができたのは新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）の支援によるところが大きい。1998年度はハードウェアの開発を行い、1999年度は5月、8月、12月、2000年度になって、4月に4回目の試験測定を行った。これらの試験を通して重力測定の精度の検定を行ってきた。精度の評価のために2つの方法が採られた。1つは一定のコースを往復して、行き来のほぼ同一地点と思われる場所での測定値を比較すること、もう一つは地上における ground truth の値を上方接続し、同じ場所と思われる点での測定値との比較を行うものである。ヘリコプターによる測定は、高度2000ft、速度約90knotで連続2時間行われた場合が多い。飛行の向きを反転させるときには大

きな擾乱加速度が働き、補正しきれない部分が残るが、それを除くと、測定の再現性は標準偏差で0.5mgal、バイアス誤差は1.5mgal、のレベルまで達することができた。この間に測定誤差を減少させるために次の点に配慮した。

1) ヘリコプターの防振。2) GPS サイクルスリップ 3) 重力センサードリフト 4) 水平加速度補正 5) ヘリコプター操縦法。

2000年7月、それまでの成果に基づき、実用測定として駿河湾に挑戦した。Fossa Magna や駿河トラフなど多くの断層で刻まれている駿河湾と周辺地域の陸海をまたがる構造の研究をすることが目的である。航空重力測定にとっては周りを山で囲まれた駿河湾地域は必ずしも有利な条件にはなかったが、ある程度の grid survey を行うことができた。図はヘリコプターの航跡である。5回の飛行に対して1-5まで付番してある。

Helicopter Gravity Survey Tracks of 27-29 July 2000



隕石、火球落下にともなう衝撃波解析

石原吉明⁽¹⁾, 平松良浩⁽¹⁾, 古本宗充⁽²⁾

⁽¹⁾金沢大学大学院自然科学研究科, ⁽²⁾金沢大学理学部

Analysis on Meteorite from Sonic Boom Records

Yoshiaki ISHIHARA⁽¹⁾, Yoshihiro HIRAMATSU⁽¹⁾, Muneyoshi FURUMOTO⁽²⁾

⁽¹⁾ Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

⁽²⁾ Dept. Earth Sci. Kanazawa University

はじめに

隕石落下に伴う火球では、大気中を超音速で飛行するため、衝撃波が励起される。衝撃波が十分強いエネルギーをもって励起されると、減衰しきらず地表に達し、地表に設置されている地震計にシグナルとして記録される。超音速飛行物体による衝撃波としては、スペースシャトル帰還時に励起する衝撃波がよく知られており、Kanamori et al. (1991)ではこの衝撃波を地震計がとらえた記録から、帰還経路の解析などをおこなっている。

火球の落下経路解析は、アマチュア研究者による、火球パトロールカメラの画像、目撃証言等から行われている。しかしながら、パトロールカメラは夜間みの運用であり、さらに天候によっては観測ができない。また、目撃証言は、一般に時間精度に乏しく、目撃証言のみから正確な経路決定を行うのは困難である。一方、衛星地震観測テレメータシステムは、時刻、天候によらず 24 時間運用されている。また、地震計は GPS 時計によって時刻を与えられており、時間精度の面でも優れた観測システムである。この地震観測アレーに記録された火球衝撃波記録から経路決定することができれば、24 時間いつの火球であっても、位置、時間精度に優れた記録から経路決定が出来ることになる。過去、長沢・三浦(1987)、東田・他(1995)等、複数の火球について、地震計に捕らえられた火球衝撃波の記録を用いた、落下経路解析がなされている。また、日本全国に展開されている地震観測網は、衝撃波の面的な検出を可能にする。そのため、経路決定のみならず、衝撃波の震幅について詳細なデータが得られることから、衝撃波強度の推定に非常に有効である。火球の質量、落下速度と、衝撃波強度には、何らかの関係があると考えられる。記録された衝撃波の振幅などから衝撃波のエネルギーを推定することが出来れば、将来、隕石の落下を伴わない火球についても、その質量を見積もることが可能になると考えられる。

本研究では、1999 年 9 月 26 日の神戸隕石について、衛星地震観測テレメータシステムに記録された衝撃波記録から、経路決定を試みた。また、過去、火球落下に伴う衝撃波が観測された、1996 年 1 月 7 日のつくば隕石、1998 年 3 月 30 日の宮古火球あわせ、3 例の火球について、衝撃波の震幅の検討を行った。

データ

衛星地震観測テレメータシステムによる、全国の短周期速度型地震計連続波形記録から、各隕石、火球について、出現日時、出現地域近傍の波形記録を切り出し、データとした。

火球衝撃波は、衝撃波が空気中を伝播する粗密波であり、その伝播速度が、ほぼ音速であることから、見かけ速度の遅い粗密波パルスとして地震計に記録される。その波形は、N、または逆 N 字型と見なせる形状を示す(Fig. 1)ことから N 波とも呼ばれる。

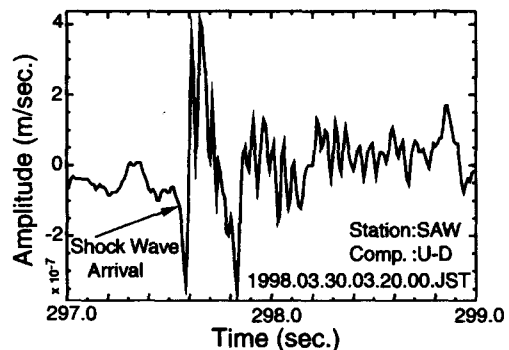


Fig. 1 典型的な火球衝撃波波形

解析手法

火球の落下は、等速直線運動であると仮定する。等速直線運動の場合、超音速飛行物体によって励起される衝撃波面は、円錐面となる。

衝撃波記録から経路決定するには、任意の点での衝撃波到着時間を、火球の経路パラメータを含む式で記述する必要がある。長沢、三浦(1987)と同様に、

地球をベッセル回転楕円体であるとし、回転楕円体上の任意の点における接平面を xy 平面、 x 軸正を南向き、 y 軸正を東向き、 z 軸正を鉛直上方とする xyz 直交座標系を定義する(Fig. 2).

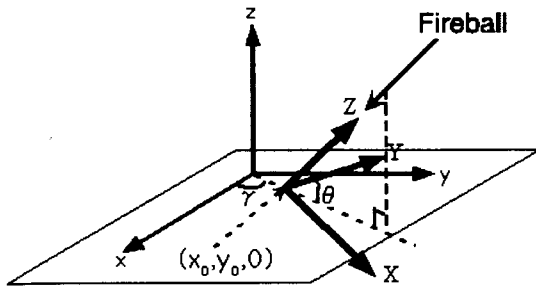


Fig. 2 定義する座標系と、火球経路

定義した座標系に対して、火球が Fig. 2 のような経路をもって飛行し、時間 t_0 において xy 平面上の点 $(x_0, y_0, 0)$ に到達したとすると、任意の点における衝撃波到着時は

$$\frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\tan \beta} - Z = v(t - t_0) \quad (1)$$

$$\sin \beta = c/v \quad (2)$$

ただし、

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma \sin \theta & \sin \gamma \sin \theta & -\cos \theta \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ \cos \gamma \cos \theta & \sin \gamma \cos \theta & \sin \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z \end{pmatrix} \quad (3)$$

のように表わすことができる。ここで β は円錐衝撃波面の半頂角、 c は音速、 v は火球の落下速度、 t は時間である。これは、6 つの未知数を持つ非線形の式である。したがって、この式のみから未知数を陽の形に表わすことは出来ない。そこで、各パラメータそれぞれ妥当な範囲を、 Δv は 1km/sec. 、 Δx_0 は 1km 、 Δy_0 は 1km 、 $\Delta \gamma$ は 1° 、 $\Delta \theta$ は 1° 、 Δt_0 は 1sec. の刻み幅で変化させ、グリッドサーチにより、残差の 2 乗和平均が最小となるパラメータ組み合わせを求めた。誤差の推定は $\Delta \chi^2$ を用いた。

また、衝撃波到着時、振幅の読み取りは、地震波形検測支援プログラム(卜部・東田, 1991)を用いた。

神戸隕石の落下経路

1999 年 9 月 26 日に落下した神戸隕石は、日本では、つくば隕石以来の隕石であり、回収された質量、合計約 136 グラムである。京都大学防災研究所および気象庁の地震観測点の連続地震波形データを調べ

た結果、近畿から中国地方にかけての、7 つの観測点(Fig. 3)で衝撃波と見られる波形が記録されていた。これらのデータを用いて経路決定を行った。

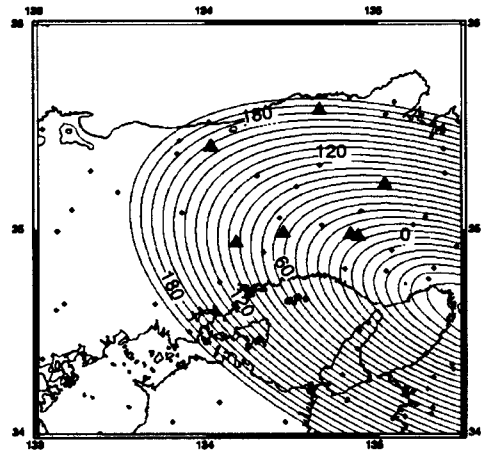


Fig. 3 神戸隕石の衝撃波を記録した地震観測点および衝撃波の等時線

推定された経路および各パラメータの $\Delta \chi^2$ による 68.3 パーセント信頼範囲は、Table 1 の通りである。理論衝撃波到着時と観測衝撃波到着時はほぼ等しく(Fig. 4)、また、推定された落下経路は、ほぼ隕石落下点の上空を通過する。等速直線運動を仮定したが、実際は空気の抵抗等の影響で基準平面上の点 $(x_0, y_0, 0)$ よりも手前に落下することから、推定された経路パラメータは妥当であるといえる。また、落下速度 v が 18km/sec であることから、この隕石の起源は小惑星帯と推定される。

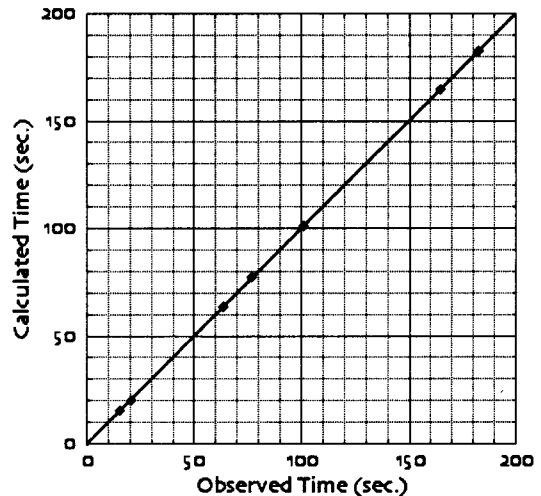


Fig. 4 理論到着時と観測到着時の関係

Table 1 落下経路パラメータと信頼区間

Parameter	Value	68.3% confidence interval
v	18 km/sec	10~40 km/sec
x ₀	42 km	42~44 km
y ₀	46 km	43.5~49 km
γ	69 °	69~71 °
θ	30 °	29.5~30.5 °
t ₀	-105 sec	-107.5~-101.5 sec.

振幅

振幅としては、上下動成分において、最大振幅を用いた。火球は大気中を非常に高速で飛行するため、ラインソースと見なすことが出来る。振幅は、火球落下中、励起されるエネルギーが一定であり、大気による減衰がないものとするれば、落下経路からの距離を r とすると、 $\sqrt{1/r}$ で減少すると考えられる。しかし、Fig. 5 ではそのような傾向は見られない。

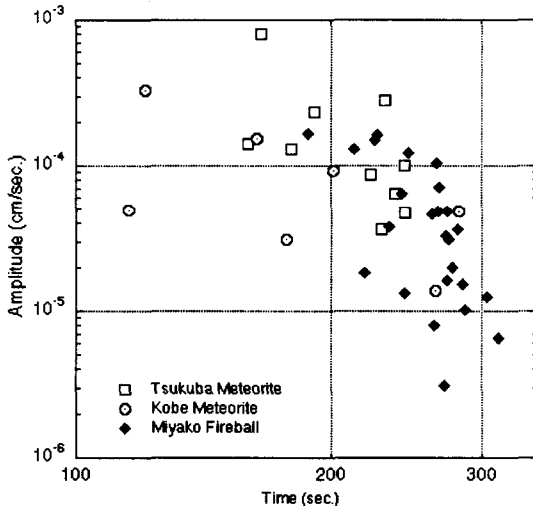


Fig. 5 3 火球による衝撃波の振幅。横軸はそれぞれ t_0 からの経過時間であり、0.32km をかける事でほぼ落下経路からの距離となる。

これは落下中に質量、速度などが変化することにより、励起される衝撃波強度が変化していることを示している。また、観測された振幅にはかなりのばらつきが見られるが、これは観測点のローカルな環境、例えば地盤や、埋設であるか露天であるか等の影響であると考えられる。つくば隕石と神戸隕石および宮古火球で約一桁振幅が異なっており、落下速度はほぼ同一であるが、神戸隕石とつくば隕石では質量が約一桁異なっていることから、この振幅の差は質量に依存していると示唆される。

結果

火球の落下経路については、 $\Delta\chi^2$ を用いた検定による 68.3 パーセントの信頼区間が速度については比較的大きく、速度決定の困難さを示している。その他のパラメータについては非常に精度よく求まっているといえる。

振幅については、質量との関係が示唆されるものの、データ不足であり、今後のデータ蓄積が待たれる。また、振幅のばらつきの原因としてこの地震計の感度や、観測点のローカルな状況が考えられ、その補正を行う必要がある。

現在、24 時間リアルタイムで火球をモニターできるシステムは衛星地震観測テレメータシステム他になく非常に有効なシステムである。また、他の火球検出システムの構築しにくい極地においても、地震観測網を構築することにより、火球落下の検出が可能になる。今後、24 時間のデータ監視により、昼間の火球を検出することが期待される。

参考文献

- 長沢 工, 1978, 1978 年 5 月 10 日の火球による空震の解析, 地震研究所彙報, 53, 271-280.
- 長沢 工・三浦 勝美, 1987, 地震記録から決定した 1987 年 9 月 11 日の大火球の経路, 地震研究所彙報, 62, 579-588.
- ト部 卓・東田進也, 1991, ワークステーションによる微小地震観測網波形検出支援システム, 地震学会講演予稿集, No.1, 70.
- 東田進也・酒井慎一・深尾良夫, 1995, 1995 年 4 月 30 日に観測された火球通過に伴う衝撃波と見られる波形について, 第 17 回太陽系科学シンポジウム講演集, 36-39.
- 石原吉明・東田進也・酒井慎一・平松良浩・古本宗充, 2000, 衝撃波データによる隕石および火球の経路決定, 第 21 回太陽系科学シンポジウム講演集, 12-15.
- Kanamori, H., Mori, J., Anderson, D.L., Heaton, T.H., 1991, Seismic excitation by the space shuttle Columbia, *Nature*, 349, 781-782
- Mori, J., Kanamori, H., 1991, Estimation of trajectories of supersonic objects using arrival time of sonic booms, *U.S. Geo. Survey Open File Rept.*, 91-48

リーセル・ラルセン山地域の放棄されたペンギンルッカリーと 完新世の環境変動

三浦英樹（極地研）・吉永秀一郎（森林総研）・

高田将志（奈良女子大）・Daniel P. Zwartz（ユトレヒト大）

Abandoned penguin rookeries as Holocene paleoclimatic indicator at the Mt. Riiser-Larsen region

Hideki MIURA (NIPR) ・ Syuichiro YOSHINAGA (FFRI) ・

Masashi TAKADA (Nara Women's Univ.) and Daniel P. Zwartz (Utrecht Univ.)

1. 問題の所在

リーセル・ラルセン山地域は、貝化石が産出せず、海岸部での海水準変動の指標となる材料の乏しい地域である。しかし、この海岸付近には、放棄されたペンギンルッカリーが存在し、その遺物が残されており、海水準変動とともに古環境を復元する材料を提供することが期待できる。JARE-38および40において、この地域の現在および放棄されたペンギンルッカリーの水準測量を行い、掘削によって多数の遺物（骨・羽毛・卵の殻・糞）を深度ごとに採取した。これら放棄されたルッカリーを掘削し、遺物の採取と産出地点の測量を行い、帰国後、いくつかの遺物の放射性¹⁴C年代を測定した。これらの結果と南極の他地域における古環境変動の記録に基づいて、リーセル・ラルセン山地域における完新世の環境変動について考察を行う。

2. 現世のペンギンルッカリーと遺物の¹⁴C年代

リーセル・ラルセン山地域では、現世のアデリーペンギンのルッカリーが南西部のモレーンリッジ上とその周辺に存在し（図1）、1998年夏期の観測では1878番が確認されている（Takahashi et al., 2000）。アデリーペンギンは、夏期に大陸周辺の露岩で集団で営巣し、採餌・繁殖行動を行う。この集団営巣地であるルッカリーにはペブルサイズの礫がペンギンによって運搬され、糞であるグアノなどの遺物をマトリックスとして毎年上方に累積している。この現世のルッカリー表層のグアノの¹⁴C年代を測定したところ、1410±50年BP（ $\delta^{13}\text{C}$ 補正済み、貯留効果による補正はない、以下同じ）であった。

3. 放棄されたペンギンルッカリー遺物の¹⁴C年代と産出高度

放棄されたペンギンルッカリーはリーセル・ラルセン山南西部の海岸部の2カ所（仮名、Rookery BayとTide gauge Bay：図1）で海成層やティル、基盤岩の上に存在する。現世のルッカリーと同様に、放棄されたルッカリーにも粒径の揃ったペブルサイ

ズの礫が表面に一様に分布し丘状に盛り上がり、掘削すると礫のマトリックスに褐色のグアノが存在する。グアノの下位にはが存在する。この中には、骨や卵の殻、羽毛が含まれており、グアノとともに放射性炭素年代測定を行うことができる。放棄されたルッカリーがどの種のペンギンによって作られたかは明らかではないが、すぐ近くに現世のアデリーペンギンルッカリーが存在し、その堆積物の様子がよく類似することから、放棄されたルッカリーもアデリーペンギンのものと推測される。

Rookery Bayでの放棄されたルッカリーは4つに分かれており、このうち標高14.7m、中心部の層厚約25cmのルッカリーの基底のグアノの¹⁴C年代1点が測定された。一方、Tide gauge Bayの放棄されたルッカリーでは、Rookery Bayのものに比べて大規模で、はば300mの中に大きく13に分かれており、もっとも高いもので標高34.3m、もっとも低い地点で6.3mであった。中心部の層厚はもっとも厚い場所で60cmあった。これら13地点すべての基底のグアノ13試料と2地点の卵の殻と骨の2試料を年代測定した。

得られた結果を、標高と年代の関係がわかるようにプロットした（図2）。もっとも古い年代は、Rookery Bayの5320±60年BP、もっとも新しい年代は、Tide gauge Bayの1890±40年で、特に基底のグアノの年代に注目すると、約5300年～2000年BPに集中しており、高度が低いものほど年代が新しくなる傾向が見られた。

4. 考察

(1) 氷床変動史と海水準変動史の復元におけるルッカリー遺物の意義

ルッカリーの存在は、その形成時に氷床がその場所からすでに後退していたとともに、その場所が当時の海水準よりも高い位置にあったことを示す。したがって、遺物の年代から、少なくとも5300年～4200年前にはこの場所から氷床は後退していたこと、5300年前の海水準は15m以下、2700年前には5.9m

以下であったことがわかる。Rookery Bay と Tide gauge Bay における海成層の礫のトップの高さはそれぞれ17.4mと16.3mである。この最高位の年代を約6000年前と仮定して、これらの点と現在の海面の高さ（貯留効果を1300年として）を結び、相対的な海水準変化の上限の高さが得られる（図2）。これは、貝化石の年代と地形の関係から得られたリュツォ・ホルム湾、スカルプスネス・きざはし浜の高精度の海水準変化（Miura et al., in press）よりも2~4m程度高いが、形態はよく似ている。もし、この2つの海水準変化の類似性を認めれば、氷床荷重の除去に対するアイソスタティックな陸地の反応は、リュツォ・ホルム湾周辺でもリーセル・ラルセン山地域でもほぼ同様であったことになり、氷床変動の傾向についても相当類似していたことになる。

(2) ペンギンの生態から見た完新世の環境変動

また、掘削したルッカリー断面の基底遺物の年代は、そのルッカリーの形成が始まった時代、最上部の年代は繁殖が減少してルッカリーが放棄された時代をそれぞれ示す。リーセル・ラルセン山地域周辺では、この2地点以外に放棄されたルッカリーは発見されていないが、過去にルッカリーが増加した事実は、現在よりもペンギンの繁殖にとって都合の良い条件が整ったことで個体数が増大したことを示唆する。一方、放棄された時代にはこれと逆のことが生じたと考えられる。放棄された時代については年代測定がまだ行われていないため議論できないが、ルッカリー形成の時代は、5300年~2000年に集中する。ペンギンの個体数の増加と環境の関係についてはまだ原因が十分にわかっていないが、ひとつの可能性として、現在よりも水空きの多い海氷環境が生じたことによって、餌となるオキアミの採取が容易になるとともに、海面への直接的な太陽光の照射

でプランクトンが増大することによってオキアミ自体の増加ももたらされ、結果としてペンギン個体数の増加（ルッカリーの拡大）が生じたことが考えられる。これは、気候の点から見れば、寒冷化よりは温暖化によって生ずる現象である。

(3) 南極における完新世中期の温暖期の存在

これまでに南極の様々な地域からも完新世中期の温暖期の存在が報告されている。

ロス海のテラノバ湾でも、放棄されたペンギンルッカリーが広く存在し、5000年~4000年前の時期（貯留効果の補正なしの年代）にペンギンルッカリーの拡大が生じたことが報告され、この時期を”Penguin optimum” と呼び、貯留効果で補正した年代は、ドームCの氷床コアで見られる温暖期（約3000年~4000年前）（Lorius et al., 1979）と一致するとされた（Baroni and Orombelli, 1994）。ウイルクスランドのウインドミル島でも、約3800年~5000年前のルッカリー遺物やそれに関連する堆積物の年代が報告されている（Goodwin, 1993）。また、南極半島沖の海底堆積物の全炭素含量の増加からは、約5000年前~2500年前の温暖化が示された（Shevenell et al., 1996）。

図2に示した、きざはし浜から得られた海水準変化から、約5300年~4000年にかけて相対的に急激な海退が生じていることがわかる。この事実は、急激な海退が生じた時期またはその直前に大きな荷重の除去、すなわち氷床の後退が生じていたことを示唆する。リーセル・ラルセン山地域のルッカリーの拡大はこの時期以降に生じていることは興味深い。リーセル・ラルセン山地域の放棄されたルッカリーの存在も、このような温暖期との関連で形成された可能性が高い。今後、他の地形地質学的な証拠からもこのような温暖期の存在を検討してゆく必要がある。

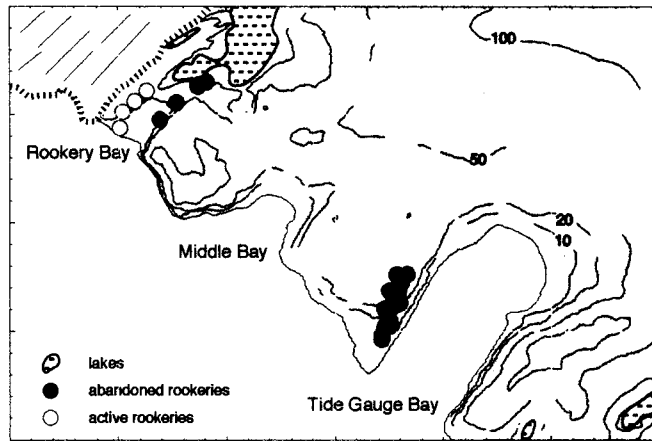


図1 現世ルッカリーと放棄されたルッカリーの位置図

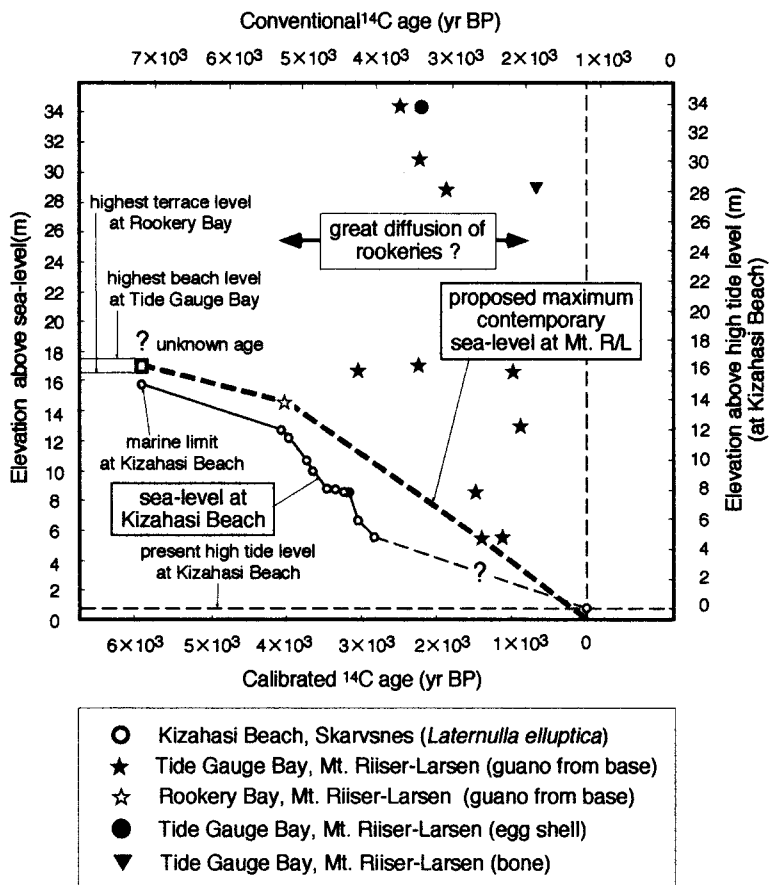


図2 ルッカリー遺物の ^{14}C 年代と産出高度との関係およびスカルブスネス・きざはし浜とリーセル・ラルセン山から得られた完新世の海水準変動

東南極, リチャードソン湖で採取された
コアの地球化学的研究

永山 美也子 (静大・理), 和田 秀樹 (静大・理),

三浦 英樹 (極地研), 高橋 浩 (名大・理)

Geochemical studies of the sediment core in the Lake Richardson, Enderby Land, East
Antarctica.

Nagayama, M., Wada, H. (Shizuoka Univ.),

Miura, H. (NIPR) and Takahashi, H. (Nagoya Univ.)

東南極リーセルラルセン山麓のリチャードソン湖は, 水深 53m であり, 本湖と南西湖と分けられている。表面の多くは常に厚い氷に覆われている淡水湖である。この南西湖の 53m 地点において, 1998 年, 第 38 次南極観測隊によって, 柱状試料が採取された。試料は, 全長 160cm, 細粒の石英, 長石等の鉱物を含む泥質の堆積物であり, 柱状試料の上部ほど暗緑色, 下部では, 明るく緑がかかった灰色となり, 色調の変化が認められる。試料の年代については, 放射性炭素を用いた年代測定により, 南極のリザーバー効果を考えない場合, 最近約 8000 年間の記録が保存されていることがわかっている。また, コア全体にかけて, 縞模様が見られ, 特に上部は, 肉眼でもはっきりと, 縞模様が観察される。そこで, 本研究の目的は, このリチャードソン湖で初めて採取された柱状試料に見られる縞模様の成因と, 柱状試料から得られる, 過去 8000 年間の南極の環境変動を明らかにすることにある。

研究方法は, 有機炭素質物質の炭素同位体比, C/N 比, SEM 像観察等である。

<縞模様の起源について>

柱状試料全体に見られる縞模様は, 暗色部と

明色部が繰り返され, 上部は比較的縞模様が明瞭である。SEM による観察を行うと, 明るい縞は, 珪藻の遺骸が多く, 粒度も明らかに大きいことがわかる。一方, 暗色部では, SEM 観察した面においても, 珪藻の産出は少なく全体滑らかな表面をしている。この縞模様を形成する色の相違は, 有機物の相違に由来することが推定されるので, 縞模様の明色部と暗色部に含まれる, 有機物を, Fig.1(a)に示したように, サンプルリングを行い, 炭酸塩鉱物を除去後, 炭素同位体比を測定した。その結果, 明色部が $-21 \sim -19\%$ で, 重い同位体に富む傾向が見られる。また, 炭素含有量は, 明色部で, 低い値をとった。したがって, 柱状試料に見られる明色・暗色を示す縞に含まれる炭素は, その堆積した時期の有機物起源の炭素を反映しており, また, 有機物の炭素含有量と炭素同位体比にみられる有意の相関は, 堆積環境を明らかにする上で重要と考えている。

<柱状試料全体の炭素同位体分析について>

堆積物に含まれる有機炭素同位体比について, 柱状試料全体のその時間変化を調べた。試料は, 柱状試料の上部から 20~160cm の間を用い, 5cm 間隔で 1 cm の試料をサンプルリングし, 炭酸

塩鉱物を除去後、燃焼させ同位体測定を行った。結果は、Fig.2 のようであり、約-22~-18‰の値で、柱状試料上部の試料ほど、隣り合う試料で大きな変動が見られた。 $\delta^{13}\text{C}$ 値が変化する理由としては、光合成生物の生物量変化が考えられる。さらに、柱状試料に見られる縞模様との関連性を考えると、堆積物に含まれる炭素含有量が多いとき、炭素同位体比が軽くなる傾向があることから、生物活動の差とも考えられる。従って、柱状試料上部が形成された頃から、光

合成などの大きな生物活動の変化があった、すなわち、湖の表面を覆っている氷の層がとけて少なくなり、光合成生物がより活動しやすい環境へ変化したことが推定される。この柱状試料上部は、 ^{14}C 年代から、約 3500~1400 年前に堆積したと考えられが、同時期に、東南極でも大きな環境変動が知られている。したがって、今後は、東南極で見られる環境変動との関連性も追求したいと考えている。

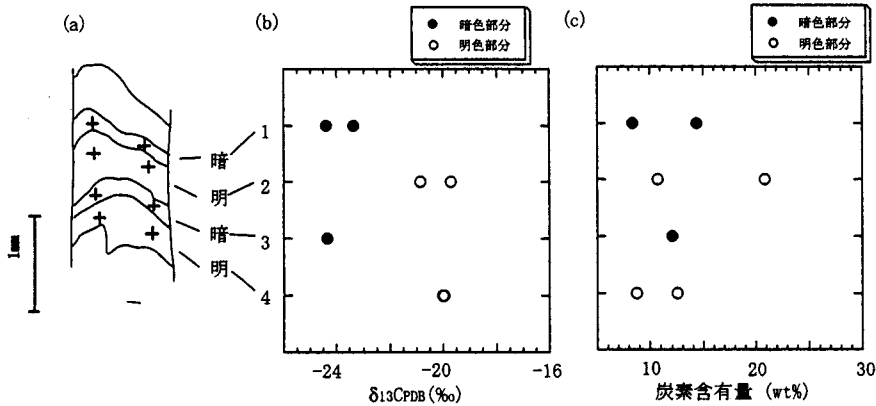


Fig. 1: (a) 柱状試料の湖底表面から30cm付近に見られる縞模様のスケッチ。+は試料採取地点。また、グラフは(a)に示された試料採取部分に対する(b)有機炭素同位体比及び(c)炭素含有量

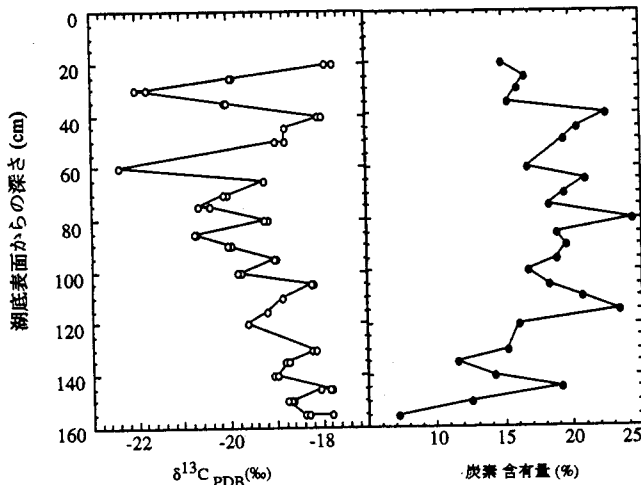


Fig. 2 湖底表面からの深さに対する炭素同位体比と炭素含有量の関係

南極大陸沿岸リーセル・ラルセン山地域の周氷河環境とその意義

- 内陸セール・ロンダーネ山地との比較 -

三浦英樹 (極地研) ・高田将志 (奈良女子大) ・

Daniel P. Zwartz (ユトレヒト大) ・森脇喜一 (極地研)

Periglacial environments at the Mt. Riiser-Larsen region
as Antarctic coastal region

Hideki MIURA (NIPR) ・Masashi TAKADA (Nara Women's Univ.) ・

Daniel P. Zwartz (Utrecht Univ.) and Kichi MORIWAKI (NIPR)

1. 問題の所在

リーセル・ラルセン山地域には、東南極氷床の氷床変動史を明らかにする上で重要な風化程度の高い厚い氷河堆積物が存在することが知られているが、その編年を行う上で重要となる南極沿岸部での周氷河・風化作用による氷河地形・堆積物の変形についての実態は明らかにされていない。このような実態の解明を目的として、JARE-38でリーセル・ラルセン山地域に実験地を設置し(図1)、その大部分はJARE-40において再測、データの回収が行われた。本報告では、これらの結果の概要を報告し、現在の南極沿岸地域における周氷河作用の特徴、Matsuoka et al. (1996) などによって示された内陸山地露岩域(セール・ロンダーネ山地: 年平均気温約 -20°C の寒冷砂漠)との周氷河環境の比較、および南極沿岸地域の地形発達史、氷床変動の編年における周氷河作用の意味について考察する。

2. 観測の内容と結果

(1) 風化・風食の観測

- ・内陸部のSite Cと海岸部のSite A1の2箇所 で気温・風向・風速の通年計測を行った。Site C, Site A1の年平均気温はそれぞれ、 -10.1°C 、 -9.4°C であった。Site A1での年平均風速は 2.2m/s で、北北西、北北東、東南東の風向が卓越し、180分の平均風速で 15m/s を越える場合もこれらの風向であることが多い。Site Cの風向風速データは回収できなかった。
- ・崖錐がよく発達する北西向きの岩壁2箇所(内陸部: Site D1, 海岸部: Site A3)と顕著な崖錐があまり発達しない南~南東向きの岩壁2箇所(内陸部: Site D2, 海岸部: Site A4)で地温(表面・ 5cm ・ 10cm)の通年計測を行った。Site D2のデータログは97年10月8日の強風によって飛ばされたため通年観測できなかった。Site D1での年平均表面地温は -5.4°C 、凍結融解の繰り返し頻度は年90回、Site A3での年平均地温は -3.5°C 、凍結融解の繰り返し頻度は年30回前後、Site A4では年平均

表面地温は -7.2°C 、凍結融解の繰り返し頻度は年50回前後であった。

- ・岩壁の破碎・風化・風食の状態を観察するため、地温測定を行った各地点(内陸部: Site D1, 海岸部: Site A3, 内陸部: Site D2, 海岸部: Site A4)ごとに4箇所、計16箇所の岩壁(海岸部では、タフオニが見られる岩壁も含む)で $1\times 1\text{m}$ 四方の青ペンキの塗布を行った。結果は、部分的に径 1mm 程度の鉱物粒子の相当する粒状の剥離が認められる場所もあるが、すべての岩壁の剥離は生じてなかった。岩壁の凸の部分は、ペンキが剥げて研磨されたような光沢を示す部分も見られ、Site A4ではこのような部分が塗布面積の20~40%程度見られた。
- ・場所による塩類風化の状態の違いや塩類の付加の違いの比較を行うために、3種の塩類(Na_2SO_4 、 NaCl 、 CaSO_4)飽和溶液および純水をしみこませた大谷石(5cm 角)と無処理の大谷石を海からの距離が異なる内陸の2地点(Site CとSite B)、海岸部の飛沫の届かない場所2地点(Site A1とA5)および飛沫帯(Site A6)にそれぞれ設置した。結果は、飛沫帯のSite A6においたもののみが完全またはほぼ原形をとどめない形で破碎されていた。その他の地点では、 NaCl を含む大谷石は稜がとれているものが多く全体に丸みを帯びているものが目立った。 Na_2SO_4 を含むものは表面にクラックが入り、表面に塩類が厚く析出していた。また、すべての地点の無処理、純水、 Na_2SO_4 、 CaSO_4 の大谷石は、形態に大きな変化は見られなかったが、空気に触れていた表面が赤褐色に変色していた。
- (2) 凍上・斜面物質移動の観測
 - ・ツーラ・モレーンのティルから構成されるリーセル・ラルセン山麓の標高約 170m の北向き斜面(Site B, 傾斜 20°)と標高約 5m の潮位計の湾の南向き斜面(Site A2, 傾斜 18°)の2箇所 で地温計(表面・ 10cm ・ 30cm ・ 50cm ・ 80cm ・ 120cm)・歪みプローブ・凍上計・ポリチューブ・

ペンキラインを設置した。このうち、Site A2 の歪みプローブ・凍上計のデータは回収できなかった。地温観測の結果は、両 Site とも、年周期の凍結融解が卓越し、最大融解深度は Site B で 120cm、Site A2 で 100cm であった。Site B では日周期の凍結融解が 11 月と 3 月に表層 10cm 以深で生じている（年約 30 回）が、この時期の顕著な凍上は認められない。Site C では日周期性の凍結融解はほとんど生じていない。日周期性の凍結融解に関連するペンキラインの移動は、両 Site ともまったく認められなかった。Site C での年周期的な凍結融解とそれとともに凍上は、97 年 3 月 24 日と 4 月 24 日の急激な寒さに反応して 3mm 生じているが、融解期におけるはっきりした沈降は認められない。Site C では、歪みプローブの変形から 2 年間で地表が約 4cm 下方に移動した。移動限界深度は約 80cm である。歪みプローブの記録から、埋設直後の 3 月の凍結期に -6cm が下方に変形している。しかし、翌年 3 月の凍結期にはこの変形は認められない。プローブ全体の変形は、融解期にあたる 11 月中旬から 1 月初旬（深度 120cm まで融解）に生じており、地表面からの融解の進行とともに融解土層の深さのプローブに変形が生じている。Site A2 では、歪みプローブの変形から 2 年間で地表は約 7cm 下方に移動した。この移動限界深度は約 70cm である。Site A4 では融解が 12 月から 1 月初旬に生じ、深度 80cm まで達するが 120cm は越えない。しかし、凍結は両 Site とも 3 月初旬から始まるため、Site B に比べて相対的に Site A4 の方が土層の融解深度は浅く、期間は短い。

3. 考察

(1) 南極沿岸地域の風化・風食現象の特徴と内陸山地との比較

ペンキを塗布した岩壁では礫を生産する剥離は生じなかった。岩壁表面の平均地温と振幅から見て、リーセル・ラルセン山地域の岩壁の最大凍結融解深度は 2~4m に達すると推測される。いずれの崖錐も構成する礫径は 1m を越えるものが多く、岩盤深部で飽和度が高い岩壁では凍結破砕が生じ、その礫径はこのような凍結融解深度によって規定されている可能性がある。一方、内陸セール・ロンダーネ山地では、岩石の飽和度が低いため凍結融解の繰り返し回数が相対的に多いにも関わらず凍結破砕は起こりにくく、崩落した礫径も小さい。また、ペンキが剥がれた岩壁の研磨状態から、沿岸地域でも内陸山地と

同様、強い卓越風向に面する岩盤への風食作用の存在も示されたが、地形変化に与える影響については具体的に評価できない。飛沫帯に置いた大谷石の破砕の原因は、場所による岩石の飽和度の高さや塩類の影響の両方が考えられるが、他の場所で塩類を含ませた大谷石が完全に破砕されていないので、飽和度が高いために凍結破砕が生じた可能性がある。内陸山地では、4~5 年間で NaCl を含む大谷石が完全に破壊し、Na₂SO₄ を含む試料では多数のクラックが生じたが、CaSO₄ や純水を含む試料では可視的な破砕が起らなかった。リーセル・ラルセン山地域での観察は 2 年間であるためまだ比較はできないが、今夏の JARE-42 での観察によって設置 4 年後の状態が明らかになり、塩類風化の影響について両地域を比較することができる。また、セール・ロンダーネ山地では、大谷石表面の赤褐色化は報告されていない。これは、内陸山地に比べて沿岸地域では相対的な気温・湿度の高さが原因となっており、岩石表面に酸化鉄などが形成されやすい環境にあるといえる。岩壁やモレーン礫に見られるタフォニの存在は、リーセル・ラルセン山地域では明らかに海岸に近い場所で増加し（例えば、図 1 の WT-4 と WT-5）、風送塩の影響が考えられる。一方、内陸セール・ロンダーネ山地では、古いモレーン礫ほどタフォニ礫が増加する傾向が見られ、単純な風送塩の影響だけではないタフォニの形成メカニズムの違いが存在すると思われる。

(2) 南極沿岸地域の凍上・斜面物質移動の特徴と内陸山地との比較

Site B において、日周期性の凍結融解とともに凍上、斜面物質の移動がほとんどないのは、北向き斜面表層の含水比の低さ（<3%）と細粒物質の相対的な少なさが原因であると考えられる。南向き斜面では含水比は高い（10% 前後）が日周期性の凍結融解は生じていない。年周期的な融解期には、斜面物質は 10% 前後の含水比を持ち、主としてジェリフラクションによって移動していることが明らかになった。その移動深度は最大融解深度よりは浅いが、80cm 程度である。実験地はリーセル・ラルセン山地域で一般に認められる条件を持つ場所であることから、このような斜面物質の移動はこの地域ではごく一般的と見なされる。一方、内陸山地では、日周期性の凍結融解作用によって最大融解深度に近い約 15cm 深の土層の移動が観測されているが、これは極めて限られた湿潤な場所に限られている。なお、地温・気温条件から見てリーセル・ラルセン山地域

では、永久凍土の塑性変形（岩石氷河）が生じる可能性も考えら、それと考えられる地形も観察される。

(3) 南極沿岸地域の地形発達における周氷河環境の意義

沿岸に位置するリーセル・ラルセン山地域も内陸のセール・ロンダーネ山地の地形も大陸氷床の拡大と後退による氷食地形や氷河堆積物の地形によって特徴づけられている。しかし、氷床から解放後の地形変化に関しては、セール・ロンダーネ山地の岩盤・堆積物が周氷河作用・風化によってほとんど変形されていないのに対し、リーセル・ラルセン山地域では、岩盤の破碎、斜面物質の移動が地域全体で生じ、氷床によって作られた地形が修飾されつつある。このように同じ南極であっても内陸と沿岸地域では、氷床から解放された時間経過による地形発達には大きな違いが生じてくることになる。

(4) 氷床変動史の編年に関する南極沿岸地域の周氷河環境の意義

リーセル・ラルセン山地域の氷床変動史は、年代資料の少なさからまだ詳しいことがわかっていない。セール・ロンダーネ山地で行われたモレーン表面礫の風化度調査をこの地域に適用すると、もっとも広く分布するツーラ・モレーンは風化ステージ3/4に相当する。ステージ3/4は、セール・ロンダーネ山

地では宇宙線照射年代との関係から、後期鮮新世から前期更新世に堆積したと考えられている。しかし、大谷石表面の赤褐色化や海岸近くのタフォニの多さから考えて、リーセル・ラルセン山地域では、単純にセール・ロンダーネ山地で得られたモレーンの風化度と宇宙線照射年代との関係を適用することはできない。相対的な風化現象の速さから考えると、ツーラ・モレーンの時代は相当新しいと予想できる。逆に、氷床から解放された氷河地形は、現在の沿岸域の周氷河作用・風化作用の影響の大きさから見て、数百万年を経過すると氷河地形の原型は大きく失われるにちがいない。それに関わらず、リーセル・ラルセン山地域ではまだ比較的氷河地形が良く保存されており、周氷河地形が著しく卓越していないことも、氷床から解放された時代が比較的新しいことを示唆している。

今後、南極の沿岸地域で氷床堆積物の編年を行う場合には、斜面上のモレーン表面礫は斜面物質の移動によって再移動するために、平坦部の風化度に比べてあきらかに程度が小さくなることを考慮する必要がある。また、沿岸地域で岩盤を採取して宇宙線照射年代を得る場合には、凍結破碎による岩壁の剥離の影響の少ない場所から試料を採取する必要がある。

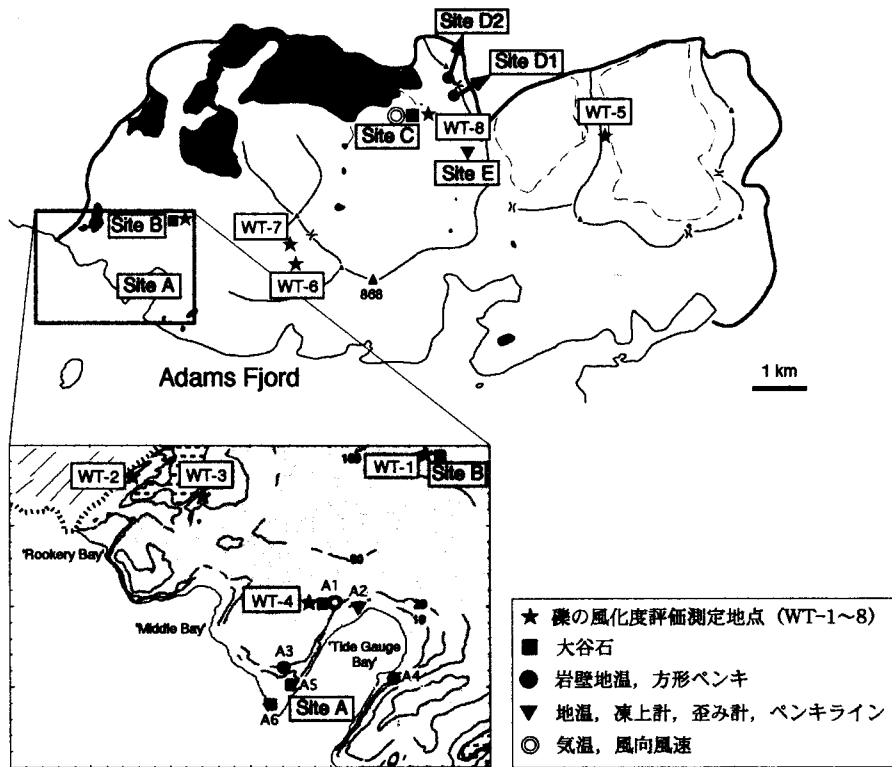


図1 周氷河・風化実験地の位置

東南極リュツォ・ホルム湾沿岸における 貝化石の ESR 年代測定

高田将志(奈良女子大)・三浦英樹(国立極地研究所)

ESR dating of fossil shells in raised beach deposits around Lutzow-Holm Bay, East Antarctica

Masashi TAKADA (Nara Women's Univ.)・Hideki MIURA (NIPR)

1. はじめに 東南極リュツォ・ホルム湾沿岸の隆起海浜堆積物に含まれる貝化石の ^{14}C 年代は、1 万年前以降の年代を示すものと 2 万年前以前の年代を示すものの 2 群に分かれることが指摘されてきた(例えば, Omoto, 1977; 吉田, 1983, 1986; Hayashi and Yoshida, 1994 など). この地域の貝化石 ^{14}C 年代については, 近年 TAMS (Tandemron Accelerator Mass Spectrometry) 法による再検討も行われ, 4~5 ka と 32~46ka に二分されることが示されている (Igarashi et al., 1995). 一方, アミノ酸ラセミ化年代測定によると, ラングホブデ北部で 33~42ka の ^{14}C 年代値を示す一部の試料については, 真の年代値はもっと古い可能性があるという (五十嵐ほか, 1998). このような研究の状況を考えると, 東南極リュツォ・ホルム湾沿岸の隆起海浜堆積物に含まれる貝化石の年代については, 依然として様々な角度から更なる検討を加える必要があるように思われる. 今回我々は, 上記のような貝化石について ESR (電子スピン共鳴) 法による年代測定を行い, 同一試料に関して既に得られている TAMS ^{14}C 年代値との相互比較を行った.

2. 年代測定試料 本研究で ESR 年代測定の対象としたのは, 主に, リュツォ・ホルム湾沿岸で 2 万年よりも古い TAMS ^{14}C 年代値を示した貝化石である (表 1). なお, 比較のために, 完新世の TAMS ^{14}C 年代値を示す貝化石についても一部測定を行った.

表 1. ESR 年代測定試料

No.	Sample code	a.s.l. (m)	Locality	^{14}C age	Error	Lab. Code	Species
1	951224-1a	3.9	ざくろ池	3,480 ±	70	Beta-109391	<i>Laternula elliptica</i>
2	951227-4a	2.4	小瀬コル 2	34,720 ±	330	Beta-109403	<i>Laternula elliptica</i>
3	951227-4c	1.8	小瀬コル 2	42,820 ±	690	Beta-109405	<i>Laternula elliptica</i>
4	960206-1-c	10.4	貝の浜	35,320 ±	520	Beta-100324	<i>Laternula elliptica</i>
5	960206-1-d	10.4	貝の浜	32,840 ±	220	Beta-116846	Worm tube
6	960206-1-g	9.8	貝の浜	35,200 ±	330	Beta-116847	<i>Laternula elliptica</i>
7	960206-1-i	9.7	貝の浜	37,740 ±	490	Beta-100328	<i>Laternula elliptica</i>
8	960206-1-k	8.6	貝の浜	35,160 ±	350	Beta-100330	<i>Laternula elliptica</i>
9	960206-1-r	5.7	貝の浜	42,840 ±	930	Beta-100335	<i>Laternula elliptica</i>

3. 測定方法と結果 ESR 年代測定法では, 自然放射線によって鉱物結晶中に生成する不対電子濃度をマイクロ波分光により検出し, 試料が過去に被曝した総被曝線量 (等価線量; equivalent dose) を見積り, これを年間の自然放射線量 (年間線量; annual dose) で除することによって求める. 総被曝線量測定用の試料作成は, 以下のように行った.

1) アラゴナイト貝化石を抽出し, 蒸留水で洗浄後乾燥. 2) メノウ乳鉢で試料を粉碎, 粒径 125~500um に篩分. 3) 0.1N HCl 溶液中に約 30 秒間浸し, 外部アルファ線と粉碎の影響を受けた貝殻表層を除去後乾燥. 4) 試料を分割し, 異なるガンマ線量を照射 (線量率 0.390Gy/min). 5) 同一試料につき異なるガンマ線量照射試料毎に 3~5 検体を 100~200mg 秤量, ESR 測定用試料管に封入.

ESR 信号の測定は日本電子製 Xバンド電子スピン共鳴装置 JES-TE100 を用い, 室温において磁場変調 100kHz, 変調幅 0.1mT, マイクロ波出力 1~10mW で行った. 測定されたアラゴナイト貝化石の ESR スペクトルのうち, C 信号の強度を外部マーカによる Mn^{2+} の標準信号強度で校正し, ガンマ線照射量 (付加線量; additive dose) との関係飽和曲線に回帰させ, 総被曝線量を求めた.

年間線量は, 貝化石を含む堆積物の U, Th, K 濃度をガンマ線スペクトロメトリ法で測定し, 含水率補正を加えて求めた. 年間線量については, 貝化石自身の含有する U, Th からのアルファ線の影響 (内部線量) や貝の厚さによるベータ線の減衰の影響についても考慮した.

発表では, 既存の TAMS ^{14}C 年代値との比較を中心に, 得られた ESR 年代測定結果のもつ意味や問題点について議論する.

Geochemical feature of Cyanobacterial deposits in the Lake Skallen Oike on the Rutzow-Holm Bay, Antarctica.

Koji Seto (Shimane Univ., Dep. Geoscience)

1. はじめに

リュツォ・ホルム湾の露岩域の淡水湖沼には、ラン藻類が繁茂し、厚い堆積物を形成していることが知られている。スカーレン地域の代表的な湖であるスカーレン大池もラン藻が厚く堆積している。38次隊ではスカーレン大池で2mのコアリングを行った。今回は、スカーレン大池のコア (SK2-2コア) について全有機炭素量や全硫黄量などを測定し、ラン藻堆積物の地球化学的特徴を明らかにすることを目的としている。

2. 調査地概説

スカーレン大池は、総面積20.9ha、水深10mの淡水湖である。東西に細長く、西側と東側に2つの湖盆がある。湖への流入には氷床の融水の影響はなく、冬季に積雪した雪塊の融水のみである。また、湖水は夏季に東側から海へ流出している。水温は湖水下数mまでは顕著な逆成層を形成しているが、それ以下では4°C前後である。塩分は0.15~0.23psuで、湖全体で均質である。溶存酸素量は湖水下でやや低いが全体としては100%をわずかに越える。

3. 試料および方法

スカーレン大池でのコアリングサイトは、西側の湖盆のほぼ中央 (SK2-2地点) で水深は9mである。コアリングには、南極湖沼用に改良した2mの押し込み式ピストンコアラーを用いた。採泥されたコアは126cmで、すべてラン藻堆積物であった。表層から25cmまでは、軟質のラン藻マットであったが、それより下位の層準では、明褐色・灰色・灰オリブ・明黄緑色が層状に見られるラン藻堆積物である。成層したラン藻堆積物には、時折、塊状あるいは成層した楕円形の不連続体が見られる。

採泥されたコアは、縦に1/2に切断した後、1cm間隔で分割した。分割した試料を乾燥後、粉末に粉碎し、有機分析用の試料とした。試料は、錫製コンテナに封入後、CHNS元素分析計 (E.A.1108;

FISON社製) で全有機炭素量、全硫黄量を測定した。

4. 結果および考察

今回測定した全有機炭素量 (TOC) 及び全硫黄量 (TS) は、図1に示した。

TOCは、表層から36cmまで約20%と非常に高い値を示した。表層下36cmで急激に減少し、それ以下では15%程度を示す。36cm以深でも下位方向に緩やかに減少する傾向が認められる。36cmに見られる急激な変化は、ラン藻の腐敗による相対的な有機物の減少を示す可能性もあるが、堆積速度を考慮すると湖面の低下によるラン藻堆積物のハイエータスの可能性もある。36cm以深には、10%を下回る顕著な負のピークが4層準認められる。この負のピークは周期的に出現し、その間隔はほぼ270年である。また、このピークの層準はソフトX線写真で観察される高密度の層準と一致する。これは、このTOCの減少が碎屑物の負荷による希釈効果に起因することを示唆する。スカーレン大池では河川や融氷水による流入がないため、碎屑物の供給は風成砂が主体である。恐らく、270年周期で湖水の開いた夏季に暴風現象が多発するものと思われる。

TSは1%程度であるが、14層準の顕著なピークが認められる。このうち8層準は、3%を越えている。通常、TSが0.5%を越えると海成堆積物が推定されるが、TOCとの比を考慮すると淡水性堆積物を示している (図2)。海成堆積物に含まれる硫黄は海水に溶解している硫酸イオンに起因しているが、淡水にはほとんど硫酸イオンが含まれていない。特にスカーレン大池のような流入の河川のない湖沼では、硫酸塩は、比較的早く枯渇するはずである。スカーレン大池の近くには海があり、そこから直接あるいは間接的に運ばれた風送塩に含まれる硫酸塩が堆積物中の硫黄の起源であると思われる。

Sk2-2 core

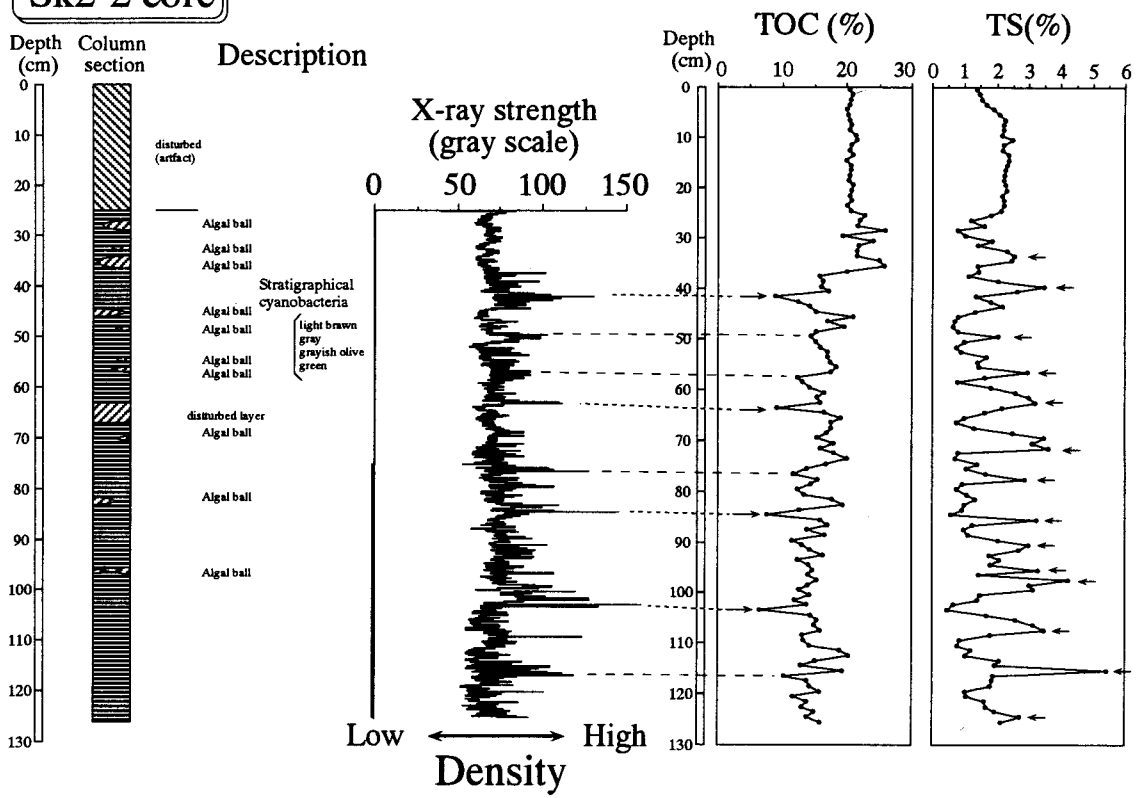


図1 Sk2-2コアにおける全有機炭素量と全硫黄量の垂直変化

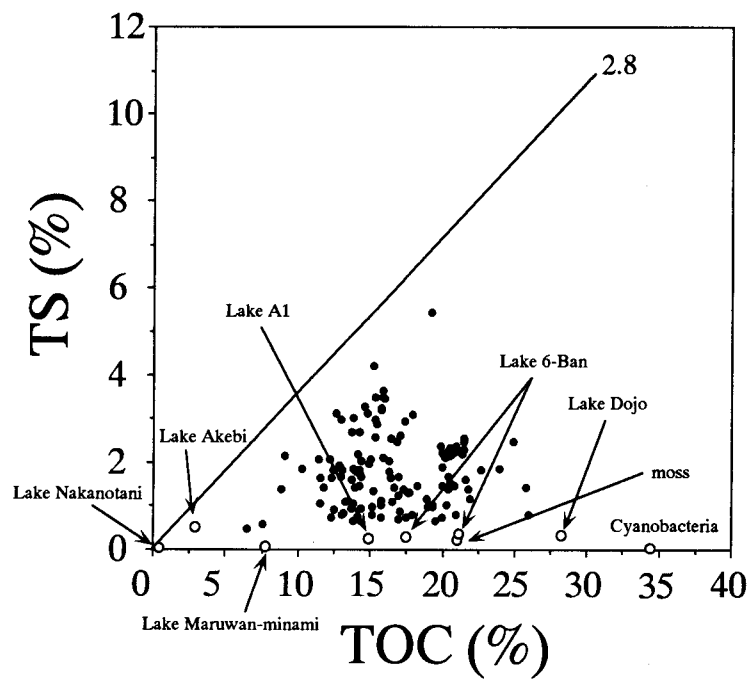


図2 TOC/TSダイアグラム
●はSk2-2コア；○はその他の湖沼の表層堆積物

Isotopic feature of Holocene echinoid fossil on the Antarctica.

Nobuaki Motoji, Koji Seto (Shimane Univ., Dep. Geoscience)

1. はじめに

古環境を解析するための酸素・炭素同位体比を測定する試料として貝類や有孔虫類の炭酸塩殻がよく用いられる。これはそれらの生物が海水中の溶存無機炭素の同位体値を反映しているためである。しかしながら、南極地域では炭酸塩殻を有する生物が少ないため、詳細な解析を行うためにはそれ以外の分類群を測定する事も必要である。ウニ類は、炭酸塩殻や棘を有する分類群である。これまで、大きな"vital effect"を持つと考えられているため、酸素・炭素同位体比を測定する試料として不適当とされてきた。リュツォ・ホルム湾から産出するウニ類は、*Sterechinus neumayeri*の1種類のみが報告されている。この種は表生種で、生息範囲が広く、泥底～砂底～岩床、海水下～数100 mまで分布している。また、多数の棘を有し、Mgに富む方解石で構成されているため溶解しにくく、化石として残りやすい。これらのことから南極では貝殻や有孔虫殻を補う試料としてウニ類は最適である。しかし、化石として残りやすいことから再堆積の可能性を考慮しなければならないし、先程述べた"vital effect"についても考慮する必要がある。

本研究では、現世ウニおよびウニ化石の酸素・炭素同位体比を測定し、その同位体特性から完新世ウニ化石の古環境復元のための有効性について検討する。

2. 試料および分析方法

今回、同位体測定の試料としたウニは、ルンドボークスヘッタ沖約150 m、水深10.4 mの岩盤の露出する砂質泥から採取された。採取した生体のウニは、昭和基地で乾燥し、日本に持ち帰って、殻（全殻、間歩帯）、歯、棘を分別した。それらは粉碎後、酸素・炭素同位体比の測定を行った。

完新世のウニ化石は、スカルプスネスの舟底池周辺のHu-a-9地点の海成堆積物試料から得られた。本地点の海成堆積物は砂および細礫～中礫で構成されており、7枚の現地性*Laternula elliptica*の密集層が

見られる。それらの貝化石は ^{14}C 年代測定法で3～5.6kaの年代値が出されている。酸素・炭素同位体測定のためのウニ化石試料は、その地点から採取された23層準の堆積物試料を75 μm のふるいで水洗した後、ピックアップしたウニ棘を用いた。多くの場合、1つの棘を用いて同位体比を測定したが、1堆積物試料で1mgに満たないウニ棘しかピックアップできなかったものは、2～8棘を合わせて測定した。

酸素・炭素同位体測定のためのウニ化石試料は、全体を粉碎し、60.00 $^{\circ}\text{C}$ に保たれた真空反応装置中でリン酸と反応させた。そこで発生した CO_2 ガスは、n-ペンタン（約-130 $^{\circ}\text{C}$ ）を用いて精製し（和田ほか、1984）、質量分析計（Finnigan MAT Delta S：島根大学汽水域研究センター）を用いて酸素・炭素同位体比を測定した。

3. 結果および考察

1) 南極産ウニ (*S. neumayeri*) における酸素・炭素同位体比の分別と同位体特性から見た分類学的位置づけ

ウニ類は部位によって酸素・炭素同位体比が異なることが知られている。ルンドボークスヘッタ産ウニ (*S. neumayeri*) における酸素・炭素同位体比も部位によって異なった。殻は全殻および赤道付近の間歩帯で同位体比を測定した。全殻の $\delta^{18}\text{O}$ 値は2.9‰、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は-1.2‰であった。間歩帯の同位体比は部分によって $\delta^{18}\text{O}$ 値で1.5‰、 $\delta^{13}\text{C}$ 値で1.0‰の大きなばらつきが見られた。歯の同位体比は、全殻の値より、 $\delta^{18}\text{O}$ 値で0.4‰低く、 $\delta^{13}\text{C}$ 値で1.0‰低い値を示した。棘と全殻の同位体比の差は非常に小さく、棘の $\delta^{18}\text{O}$ 値および $\delta^{13}\text{C}$ 値は、全殻の値より0.2‰高い。

Weber and Raup (1965) は世界中からウニを収集し、殻、棘、歯などの酸素・炭素同位体比を測定し、種・属・科によってある程度固有の同位体比を持つことを明らかにした。ルンドボークスヘッタ産ウニにおける $\delta^{18}\text{O}$ 値は、部位による差が少なく、Weber and Raup (1965) で測定された同位体値より高い値を示した。これは酸素同位体比がウニの生

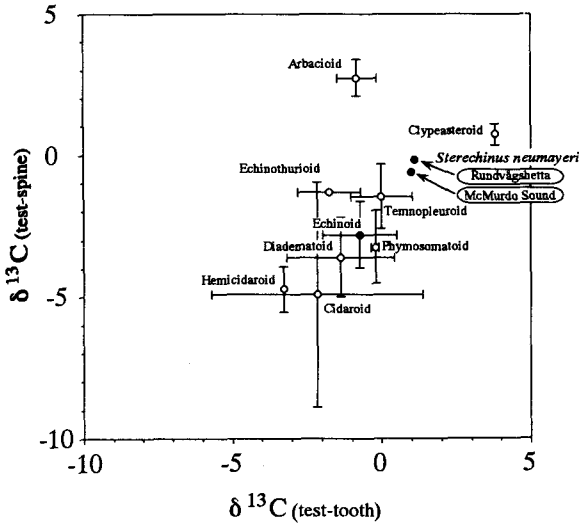


図1 ウニ類の殻と棘および歯の炭素同位体比の差 (データはWeber and Raup, 1965から引用)

息環境(水温・塩分)を反映していることを示しており、ウニの $\delta^{18}\text{O}$ 値を用いた古環境復元の推定が可能であることを示唆している。一方、炭素同位体比は、部位による差が大きく、分類群の特徴を示すのに有効である。特に殻と歯および殻と棘の $\delta^{13}\text{C}$ 値の差は、分類群によってある程度固有の値を示す(図1)。今回測定したルンドボークスヘッタ産の*S. neumayeri*は、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{test-tooth}}$ が約1‰で、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{test-spine}}$ が-0.2‰である。マクマード海峡産の*S. neumayeri*もほぼ同様な値を示し、それぞれ約1‰と-0.6‰である(Weber and Raup, 1965)。Weber and Raup (1965)は、*S. neumayeri*をEchinoida(ホンウニ)目、Echinidae科に分類している。Echinoida目の $\delta^{13}\text{C}_{\text{test-spine}}$ は、 $-2.80 \pm 1.17\text{‰}$ 、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{test-tooth}}$ が $-0.71 \pm 1.23\text{‰}$ である。南極産の*S. neumayeri*はそれらから大きく離れており、分類に問題がある可能性がある。

2) 完新世におけるウニ棘化石の酸素・炭素同位体比

ウニ化石は、表生種であることと死後に分解しやすいことから生没産状を示すことは稀である。しかし、そのために個数が多く、また、比較的溶解に強いことから化石として残りやすい。ウニの殻は、部分によって大きく異なる。多くの場合、死後に分解するため化石では小さな1部分しか得ることができない。*S. neumayeri*は、全殻と棘の差が非常に少ないことから、ウニの棘化石を同位体測定に用いた。

スカルプスネスの舟底池周辺のHu-a-9地点の海成堆積物試料から得られたウニ棘化石の酸素同位体比

は、2.7~2.9‰が大半を占め、下位層準で3.5‰を越える値、上位層準で2.6‰を下回る値を示した(図3)。炭素同位体比は、多くが $-0.2 \sim -0.4\text{‰}$ の範囲内であるが、下位層準で0‰以上の比較的高い値を示す。

ウニ棘化石と貝化石*Laternula elliptica* (3-7ka; Miura et al., 1998)の酸素・炭素同位体比を比較した(図2)。*S. neumayeri*の $\delta^{18}\text{O}$ 値は $3.0 \pm 0.4\text{‰}$ で、*L. elliptica*のそれより1.2‰低く、ばらつきが大きい。一方、*S. neumayeri*の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-0.1 \pm 0.4\text{‰}$ で、*L. elliptica*のそれより0.7‰低く、ばらつきが小さい。酸素同位体値は、水温にして約5℃の違いがあることが見積もられ、南極海域でのその程度の水温変化は考えにくい。炭素同位体比は、表生種は内生種より高い値を示すことが知られているが、内生種の*L. elliptica*の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、表生種の*S. neumayeri*より高い。したがって、酸素・炭素同位体比の差は生物種固有の"vital effect"に起因するものと思われる。

4. 結論

ウニ類の酸素・炭素同位体比は生物種固有の"vital effect"が認められ、貝類の*L. elliptica*の同位体値と差があることが指摘された。しかしながら、その差はばらつきがあるものの一部を除いてほぼ平行と見なすことができる。したがって、貝類の同位体値に補正してやれば、貝類のデータを補うものとして測定することには意義があると思われる。ただし、再堆積の可能性については個々の堆積相から判断せざるをえない。

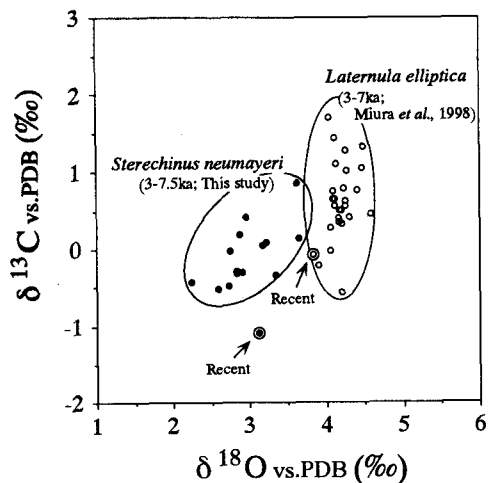


図2 南極産ウニ化石と貝化石の酸素・炭素同位体比の差

Hu-a-9 section

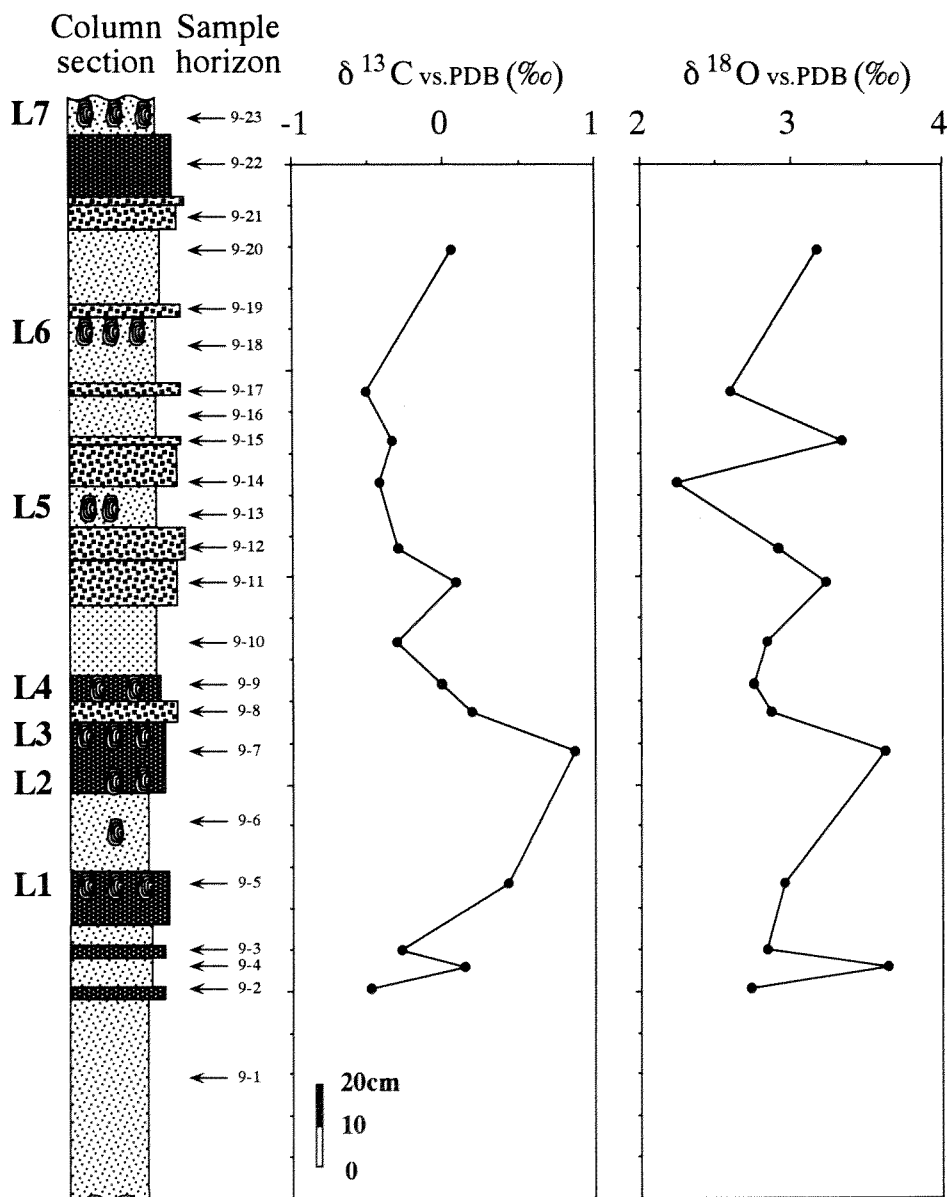


図3 舟底池周辺における海成堆積物中のウニ化石の炭素・酸素同位体比の変化

池原 実・河村公隆（北海道大学低温科学研究所）

Late Quaternary variations of sea surface temperature, biological productivity and atmospheric transport in the Southern Ocean

Minoru Ikehara and Kimitaka Kawamura (Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

1. はじめに

CO₂に代表される温室効果ガスの人為的放出は、近い将来、地球温暖化を引き起こすと考えられている。しかし、温暖化の規模やそれに付随する諸現象を精度よく予測するためには、気候システムが本来持っている気候変動のベースラインを正確に理解する必要がある。そのためには、現在（完新世）と同様もしくはより温暖な間氷期である Eemian（12.5 万年前）や酸素同位体比ステージ 11（MIS 11）（41 万年前）の古気候・古海洋変動シグナルを詳細かつ広範囲に明らかにすることが必要である。さらに、MIS 11 は後期更新世で最も温暖な時代であり、当時の海水準は現在より 15-20m 程度高かった可能性が指摘されている（例えば、Hearty et al., 1999）。また、その時代には、西南極氷床（WAIS）が一部崩壊していた可能性も指摘されている。外力としての当時の日射量は現在と同様にそれ程大きくないにもかかわらず、温暖な気候が持続していることから、何らかの温暖気候持続メカニズムが働いているようだ。そこで本研究では、南大洋の掘削試料を用いて、MIS 11 前後における南大洋の水温、生物生産量などの復元を行い、温暖な時代における南大洋の実態を把握することを試みた。

2. 試料および分析

本研究に用いた試料は、国際深海掘削計画（ODP）第 177 次航海において、南アフリカ沖南大洋の 3 地点（Site 1089; 40°56'S, 9°54'E, Site 1091, 47°06'S, 5°55'E, Site

1093, 49°59'S, 5°52'E）から掘削された堆積物である。これら 3 地点は、亜熱帯収束線および極前線を挟むため、これら海洋における前線の移動やそれに伴う生物・化学組成の時系列変化を復元するのに適している。凍結堆積物を乾燥、均質化した後、高速溶媒抽出器（Dionex ASE-200）を用いてバイオマーカーを有機溶媒抽出した。抽出に用いた溶媒はジクロロメタン・メタノール混合液（95:5）である。ASE-200 の抽出条件は 100°C, 1000psi である。抽出液中の中性成分を分離、濃縮し、さらに 4 分画した。それぞれの成分をガスクロマトグラフを用いて分離・定量した。アルケノン不飽和度を利用した古水温復元には、Müller et al. (1998) による南大西洋における水温換算式を用いた。また、南大洋におけるセジメントトラップ実験によって得られた沈降粒子中のアルケノン記録に基づくと、アルケノン水温は南半球の夏～秋の表層水温（SST）を反映していると考えられている（Ternois et al., 1998）。

3. 結果と考察

(1) 現在、亜熱帯収束線（STC）の影響下に位置する 1089 地点におけるアルケノン SST は、間氷期の MIS 11 で約 19.5°C、氷期の MIS 12 で約 14.5°C を示し、氷期・間氷期間の水温変化は約 5°C であった。1089 地点における現在の夏～秋の平均 SST は 11.9°C であることを考慮すると、当時の同海域は現在よりもはるかに温暖な環境であったと解釈される。

(2) 現在、極前線 (PF) の影響下に位置する 1093 地点におけるアルケノン SST は、MIS 11 で約 14°C、MIS 10 (氷期) で約 1°C を示し、氷期・間氷期の水温変化は約 13°C であった。1093 地点における現在の夏～秋の平均 SST は 4.2°C であることから、極前線以南の海域では間氷期には現在よりもはるかに温暖な環境となったが、逆に氷期にはさらに寒冷な水塊に覆われた可能性がある。

(3) 南大洋の MIS 12 から MIS 11 への温暖化は、およそ 435ka に始まり、425ka までの約 1 万年間に約 5°C (極前線以北) の水温上昇を伴う海洋環境の変化を引き起こした。年代モデルをさらに検討する必要があるが、このような MIS 12/11 境界における南大洋の温暖化は、グローバルな気候変動よりも数千年間先行して発生している可能性がある。また、その後の MIS 11 の温暖な環境は、約 420ka から 410ka まで少なくとも約 1 万年間は持続したようだ。

(4) アルケノンはココリスの特定種が生合成する化合物であり、1089 および 1093 地点におけるその濃度は、間氷期 (MIS 11) で低く、氷期 (MIS 12) に高い傾向を示した。これは氷期の南大洋で海洋表層の生物生産量が増大していたことを示唆している。

4. MIS 11 における亜熱帯収束線の南下

上記のような南大洋における表層水温および生物生産量の変動は、海洋表層の前線帯が氷期-間氷期スケールで南北振動していたことを反映していると推察される。つまり、南大洋の PF や STC が間氷期には南下し、逆に氷期には北上していたと解釈される。それぞれの前線帯における現在の水温分布が MIS 11 前後も同様であったと仮定すると、以下のような水塊変動像が浮かび上がる。

(1) 現在 STC 影響下にある 1089 地点は、温暖期 (MIS 11) には STC の南下に伴ってそれより北側のより高温な亜熱帯水塊に覆われていたため、水温が高く、ココリス生産量が低下していたと考えられる。また、現在の STC 南縁の SST が 15°C 程度であることから、MIS 11 の STC は現在 PF 影響下にある 1093 地点 (50°S) 付近まで南下していたと解釈される。このことは、MIS 11 における STC の位置が現在に比べて緯度方向に 8-9 度南にシフトしていたことを示唆し、当時の南大洋がより温暖な亜熱帯水塊に広く覆われていた可能性がある。

(2) 氷期 (MIS 12) には、STC は現在とほぼ同様の位置にあり、1089 地点は STC の南側の亜南極表層水に覆われていたであろう。一方、氷期の 1093 地点の SST が 1°C 程度まで低下していたことから、同地点はより低温な南極表層水に覆われていたと考えられる。従って、当時の PF は現在の位置よりも若干北側に存在していたと考えられる。

参考文献

- Hearty, P. J., Kindler, P., Cheng, H. and Edwards, R. L., 1999, *Geology*, 27, 375-378.
- Müller, P. J., Kirst, G., Ruhland, G., von Storch, I. and Rosell-Melé, A., 1998, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62, 1757-1772.
- Ternois, Y., Sicre, M.-A., Boireau, A., Beaufort, L., Miquel, J.-C. and Jeandel, C., 1998, *Org. Geochem.*, 28, 489-501.

TH-98, 99航海で得られたケルゲレン海台南方域の 表層堆積物と放散虫化石

杉山和弘¹・仲宗根徹²・片山 肇¹・中嶋 健¹・西村 昭¹・村上文敏¹・

上嶋正人³ (1, 地質調査所海洋地質部; 2, 川崎地質(株); 3, 石油公団)

Surface sediments and radiolarians obtained by TH-98 and

TH-99 cruises around the south of the Kerguelen Plateau

Kazuhiro Sugiyama¹, Toru Nakasone², Hajime Katayama¹, Takeshi Nakajima¹,

Akira Nishimura¹ and Masato Joshima³ (1, GSJ; 2, Kawasaki Chishitu Co Ltd.; 3, JNOC)

石油公団によって行われた、1998年度のTH-98航海および1999年度のTH-99航海では、南極海ケルゲレン海台の南方より、それぞれ7本と9本のコア試料がグラビティーコアラールによって採集された。

TH-98航海で得られた7本のコア試料の概要を以下に記述する。

GC1901 (採集長376 cm; 補正水深4062 m) はケルゲレン海台南東方の大洋底から得られた。堆積物は主に珩質粘土からなり、生物遺骸を含まない層準が幾つか介在されている。

GC1902 (採集長377 cm; 補正水深3661 m) はShackleton Ice Shelfの北方沖コンチネンタルライズから採集され、比較的大陸斜面に近い場所から得られた。堆積物は珩質粘土を主体とするが、珩質微化石以外に全層準に渡って有孔虫化石を多く含む。

GC1903 (採集長285 cm; 補正水深4281 m) は同じくShackleton Ice Shelf北方沖の大洋底から採集され、GC1902の北側に位置する。主として珩質粘土および珩質軟泥からなり、石灰質微化石の産出はほとんど認められない。

GC1904 (採集長189 cm; 補正水深3638 m) はケルゲレン海台南端の大洋底から採集された。コア上部はシルト質粘土の薄層を挟在する粘土、中央部は浮遊性有孔虫殻を含むシルト質粘土、下部は珩質のシルト質粘土からなる。

GC1905 (採集長382 cm; 補正水深3655 m) も同じくケルゲレン海台南端の大洋底より得られた。コア上部は生物遺骸をほとんど含まない粘土からなりタービダイト起源と考えられる砂質シルトないしシルト層を数層準挟在する。下部は主として珩質のシルト質粘土からなり、一部で浮遊性有孔虫殻を含む。

GC1906 (採集長504 cm; 補正水深2981 m) はwest ice shelfの北方沖、大陸棚

斜面下部から採集された。本コアは主として微細な平行葉裏の発達する粘土からなり、表層部において珩藻・放散虫が、コア最下部において有孔虫殻がパッチ状に産する以外、全体としてほとんど生物以外が含まれない。

GC1907 (採集長449 cm; 補正水深4105 m) はGC1902と同様にShackleton Ice Shelfの北方沖コンチネンタルライズから採集された。コア上部及び下部は主として珩質軟泥からなり、中部はタービダイト起源と考えられる粗粒砂及び砂質シルトを挟在する粘土である。

次にTH-99航海で得られた9本のコア試料について、概要を以下に列挙する。

GC2001 (採集長175 cm; 補正水深4277 m) はCooperation Sea (ケルゲレン海台南西方) の大洋底から採集された。堆積物は主として珩質軟泥よりなる。生物擾乱が顕著である。

GC2002 (採集長162 cm; 補正水深4642 m) は同じくCooperation Seaの大洋底から採集された。コア試料はGC2001に類似し、珩質軟泥や珩質のシルト質粘土を主体とする。

GC2003 (採集長488 cm; 補正水深3959 m) も Cooperation Seaの大洋底から採集された。珩質のシルト質粘土を主体としたコア試料であるが、有孔虫化石を多く産出する層準が幾つか含まれており、特にコア下部の岩相は石灰質に変化する。タービダイトと思われるシルト層が幾つか見られる。

GC2004 (採集長104 cm; 補正水深534 m) はMawson Coastの沖合で大陸棚縁辺部から得られた。本コア試料は礫混じりシルト質砂～砂質シルトからなるが、海綿骨針を比較的多く、放散虫・珩藻・有孔虫をわずかに含む。

GC2005 (採集長469 cm; 補正水深4124 m) はGC2003のさらに南西方で、プリッ

ツ湾の方向から延びる海底谷の末端部から採集された。岩相は、GC2003と同様に珪質のシルト質粘土を主体とするが、特にコア上部において有孔虫化石を含む層準が認められる。

GC2006 (採集長491 cm; 補正水深2565 m) はPrydz Bay北方の大陸棚斜面中部より得られた。本コア上部においては珪質部と石灰質部が繰り返し認められる。

GC2007 (採集長162 cm; 補正水深2081 m) も同じくPrydz Bay北方の大陸棚斜面中部より得られたコア試料である。コア上部は珪質のシルト質粘土、下部は珪質のシルト質砂~砂質シルトからなる。ただし最下部は生物遺骸に乏しい。

GC2008 (採集長305 cm; 補正水深454 m) はPrydz Bayの大陸棚から採集された。上部は珪質軟泥、中部は珪質の砂混じりシルト質粘土、そして下部は礫混じりシルト質粘土からなる。下部は含水比が低くやや固結している。

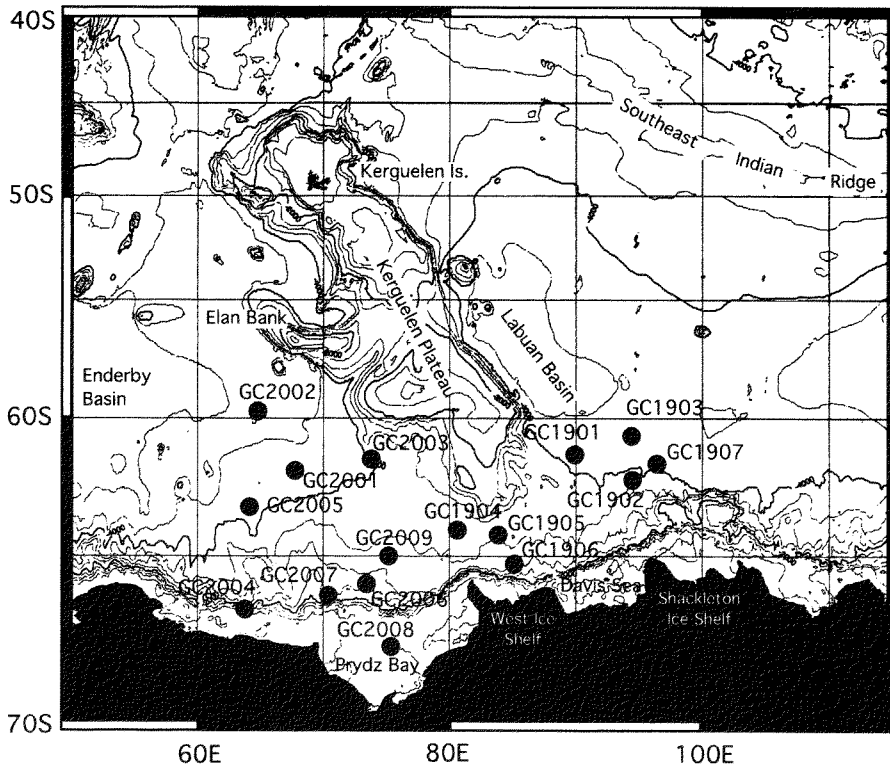
GC2009 (採集長497 cm; 補正水深3122 m) はPrydz Bay北方の大陸棚斜面下部(マッドウェーブ) から得られた。コア

上部においては珪質部・貧化石部・石灰質部が繰り返しみられる。下部は主に珪質のシルト質粘土からなる。タービダイトと考えられる級化砂層が幾つか認められる。

このように多くのコア試料において、タービダイトあるいはタービダイト起源のコンターライトと思われる、シルト層や砂層が数層挟在されている。その他のコア試料の特徴についても発表で言及する。

TH-98で採集された7本のコア試料については、AMSを用いた年代測定を有機炭素および有孔虫殻を用いて既に行った。その結果、いずれのコア試料においても、深度50 cm~100cmにおいて20000~30000 y. B. P.の年代に達し、さらにコア深部に向かって年代値は一定もしくはむしろ若くなるといった、興味深い傾向が確認された。この結果には、強い底層流や氷床の消長による堆積物の再堆積が関与していると推定されるが、珪藻化石群集の予察的な検討によって、7本中6本のコア試料下部が、0.2Maより古く見積もられること

TH-98, TH-99航海におけるコア試料採集地点



と大きく矛盾する。

なお、TH-99で採集された9本のコア試料については、まだAMSなどのデータが得られていないが、海域が近接していることから、今後同様の結果が得られるものと考えられる。

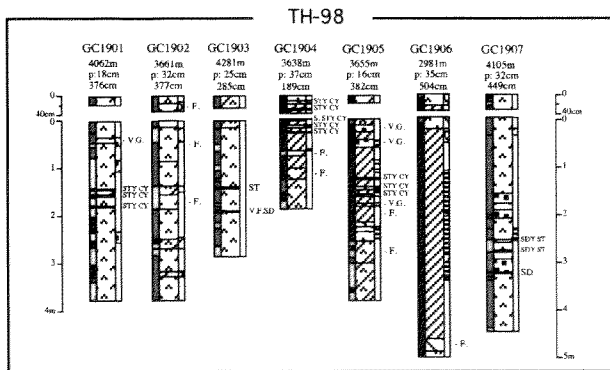
上述の問題点を考慮して、産出する放散虫を検討した。理想的には全てのコア試料を検討材料とすることが好ましいが、今回は時間的な問題もあり、放散虫化石が多産することと有孔虫化石が共産する条件を満たす4本のコア試料（TH-98で採集されたGC1902とGC1903、およびTH-99で採集されたGC2003とGC2005）を暫定的に選定した。各コアから4 cm間隔でサンプルを採集し、放散虫化石群集の構成とその変化を暫定的に調べた。いずれのサンプルにおいても*Antactissa*属が全体の約40%前後の産出頻度を占める、典型的な南極海更新世の群集が認められるものの、約0.45Maにおいて消滅したとされる*Stylatractus universus*などのより古い年代を示す放散虫化石がしばしば非常に低い産出頻度で含まれている。上述の*Antarctissa*属や*Cycladophora davisiana*といった放散虫の層序学的産出

頻度の変化は、古海洋学的海洋変動に関連し、生層序学的にも有効であることが知られている（例えばKeany, 1973; Abelmann and Gersonde, 1988）本発表では、そういった特徴的な放散虫も含めて、放散虫群集の代表的な構成種の層序学的分布の変化を、コア試料の岩相変化やオパール含有量・C/N比変化などと比較しながら報告し、（1）なぜAMS年代と珪藻化石年代が異なるのか、（2）海洋古環境の変遷、特に二次堆積したと考えられる放散虫化石から見た底層流の発達具合、などについても言及したい。

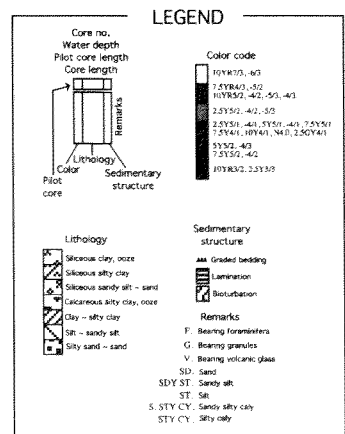
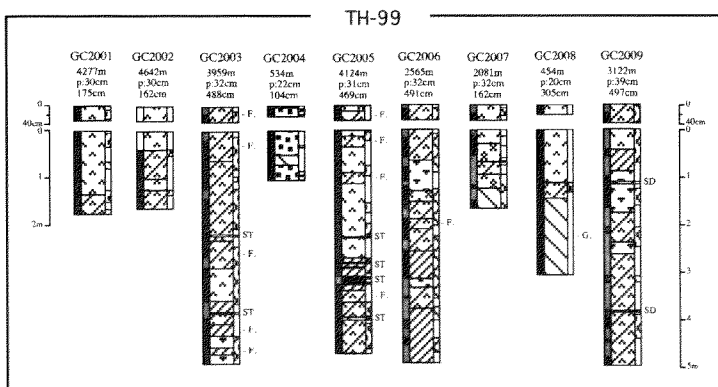
文献

Keany, J., 1973. New radiolarian palaeoclimatic index in the Plio-Pleistocene of the Southern Ocean. *Nature*, vol. 246, pp. 139-141.

Avelman, A., and Gersonde, R., 1988. *Cycladophora davisiana* stratigraphy in Plio-Pleistocene cores from the Antarctic Ocean (Atlantic sector). *Micropaleontology*, vol. 34, pp. 268-276.



TH-98, TH-99航海で採集されたコア試料の柱状図



43 南極半島 James Ross 島における完新世氷河変動に関する ^{14}C 年代資料

森 淳子 (北海道大学大学院)・曾根 敏雄 (北海道大学低温科学研究所)・
ホルヘ ストレリン (アルゼンチン南極研究所)・中村 俊夫 (名古屋大学)

^{14}C data about Holocene glacier fluctuation on James Ross Island, Antarctic Peninsula

MORI Junko(Graduate School of Hokkaido Univ.)・SONE Toshio(ILTS)

・Jorge STRELIN(IAA)・NAKAMURA Toshio(Nagoya University)

1.はじめに

南極半島 James Ross 島の氷河編年については、これまで島北部において研究がなされてきた。それらによると、最終氷期の氷床が後退した後、約 4600yrBP を最拡大期とする氷河の前進があり、その後は急速に現在の位置近くまで後退したといわれている。しかし、これらの研究はほぼ同じ地域でなされており、島のほかの場所でも同様の変動が起こっていたかどうかは不明である。発表者らは、島北西部の Caña Quemada 湾周辺で、海岸段丘とモレーンとの関係から氷河変動を明らかにするために、現地調査と年代測定を行った。

2.年代資料

Caña Quemada 湾から内陸側に伸びる谷にはモレーン等の氷河地形が見られる。現在の氷河は海岸線から約 2 キロほど内陸の急斜面に張り付くように残っている。氷河から海岸方向には少なくとも四列の小規模なモレーンが見られ、さらに海岸線に沿って大型のモレーンと海岸段丘が分布している。周囲には標高約 250m 以下に、より古いモレーンと考えられる堆積物が見られる。

海岸に沿った大型のモレーンの東側には高さ 14~22m の海岸段丘が分布する。この海岸段丘は 0m~16m まで海成の堆積物からなり、現地性の *Yoldia eightsii*, *Laternula elliptica* の化石を含む。そのうち、高さ 11m から採取された *Yoldia eightsii* を ^{14}C 年代測定した結

果は $4930 \pm 100\text{yrBP}$ (NUTA-6581) であった。南極半島周辺の reservoir effect を -1200yrBP とすると、この貝の ^{14}C 年代は $3,730 \pm 100\text{yrBP}$ となる。段丘地形の残っている場所では、海岸段丘とモレーンとの関係を直接確認することはできなかった。しかし、モレーン地形の部分で、ティルの下位に、海岸段丘の部分から連続する海成の堆積物が確認された。

3.結論

以上により、Caña Quemada 湾付近の氷河変動は次のようなものであったと考えられる。 $3730 \pm 100\text{yrBP}$ より前に海水準が上昇しはじめ、その現在の海水準に対する相対位置は、 $3730 \pm 100\text{yrBP}$ ごろには 10 数 m であった。その後海進はさらに進み、最高約 20m まで達した。海水準が下がってきたところに氷河が前進し、現在の海岸線付近まで達した。その後は少なくとも 4 回の小規模な進退を繰り返しながら、現在の位置まで後退した。

James Ross 島におけるこれまでの研究では、完新世の氷河の前進は 4600yrBP 頃に一回あったとされている。しかし、Caña Quemada 湾付近ではさらに $3730 \pm 100\text{yrBP}$ より後に氷河の前進があったことが確認された。標高の高いところのモレーンなどから、本調査地でも、 4600yrBP の前進に対応するより大きな前進があったと考えられるが、年代を決定するような資料は得られていない。

地形地質学的証拠と貝化石の酸素同位体比からみた 第四紀後期の東南極沿岸部の氷床変動とその原因

三浦英樹 (極地研)・瀬戸浩二 (島根大)・

前空英明 (広島大)・高田将志 (奈良女子大)・森脇喜一 (極地研)

Late Quaternary coastal EAIS history on the basis of geo(morpho)logical and geochemical evidence

Hideki MIURA (NIPR)・Koji SETO (Shimane Univ.)・Hideaki MAEMOKU (Hiroshima Univ.)

・Masashi TAKADA (Nara Women's Univ.) and Kiichi MORIWAKI (NIPR)

1. 問題の所在

北半球氷床に比べて第四紀後期の南極氷床の変動とその原因については未知の部分が多く、地球全体の海水準変動や気候変動を理解する上で大きな問題となってきた。JARE-37, 38, 40の調査によって、第四紀後期における東南極氷床の挙動を示唆する地形地質学的証拠が増加し、隆起海浜堆積物から得られた海水準変動に基づく氷床モデルの数値計算も行われるようになった。これらの結果に基づいて、現在までに知られる第四紀後期の東南極氷床の氷床変動史の特徴と北半球の氷床変動との相違点について述べて、その相違が生じた原因について海洋循環変動と関連して考察する。

2. 第四紀後期の東南極氷床の変動を示唆する 地形地質学的証拠と氷床モデル

(1) リュツォ・ホルム湾周辺の隆起海浜堆積物に含まれる貝化石の年代、酸素同位体比および融氷河川堆積物

リュツォ・ホルム湾周辺の隆起海浜堆積物には貝化石が含まれ、その ^{14}C 年代は完新世と30~40 kaの2つのグループに分かれる。それぞれのグループの酸素同位体比の値も明瞭に分かれ、完新世のものが30~40 kaのものに比べその値が高い (Miura et al., 1998)。この事実は、完新世より約30~40 kaに氷床の融解が進行し ^{18}O の少ない融氷水が海水に流れ込んだこと、と海水温が上昇したこと、の2つの原因が考えられる。

また、30~40 kaの年代の貝化石を含む海成層の上位にはそれを切り込んで堆積した河成の砂礫層が認められ、完新世の海成層に覆われる (ラングホプデ・小湊)。さらに、完新世の海成層に覆われた厚い巨礫を含む融氷河成堆積物も認められる (ラングホプデ・やつで沢河口)。リュツォ・ホルム湾周辺のこのような融氷河成堆積物の存在とその層位は、30~40ka前以降、完新世以前に氷床からの大量の融解が生じたことを示唆する。

(2) リーセル・ラルセン山地域の氷河地形地質と隆起海浜地形

南極のアムンゼン湾には氷床をせき止める山地が存在し、氷床の拡大・縮小の痕跡を残しやすい。そのひとつのリーセル・ラルセン山では、氷河堆積物や擦痕が標高約500 mまで認められるが、それ以上の高さには分布せず風化の程度が著しく大きくなる (Zwartz et al., 1998)。このようなトリムラインの存在は、リーセル・ラルセン山地域の最新の氷床最拡大期の氷の厚さが標高約500 m位まで達したことを示唆する。宇宙線照射年代がまだ得られていないため、この氷床の拡大・後退の時期は十分明らかではないが、山麓の厚い氷成堆積物に挟まる粘土層やカルサイトの ^{14}C 年代が、(測定限界に近いけれども)約4万年前と測定され、同じカルサイトの熱ルミネッセンス (TL) 年代が、少なくとも最終間氷期より古くなることはないことが明らかにされた (Takada et al., 1998)。

また、リーセル・ラルセン山周辺の隆起海浜堆積物の最高高度は、リュツォ・ホルム湾周辺のものとほぼ同じ16~18 m程度であり、氷床変動の傾向が類似していたために同様のアイソスタティックな反応が隆起海浜高度として現れていると考えられる。

(3) 後期更新世と完新世の南極の海水準変動から計算された氷床モデル

Nakada et al. (2000) は、リュツォ・ホルム湾周辺で得られた *in situ* の貝化石の AMS 年代と産出高度の関係と Linsley (1996) の海水準変動から、数値計算によって30~40 kaの隆起海浜高度 (相対的 海水準 10 m) と完新世の隆起海浜高度 (< 約17 m) の両方を成り立たせる南極氷床モデル (図1: P3 モデル) を示した。その結果は、南極氷床の体積が現在と同じ程度であったと考えられる最終間氷期 (120ka) 以降、次第に体積が増大し、約40 kaで最大体積に達し、その直後約30 kaに急速に融解 (ESLで5 m程度) し、LGM (18 ka) に向けて30~40 kaよりはわずかに少ない程度に再び氷床体積

が増大し、12~6 ka にかけて大きく融解、それ以降現在まで大きく変動していない、というモデルが示された。30~40 ka頃の急激な融解は、リュツォ・ホルム湾での貝化石の酸素同位体比から示された融解水の流入や融氷河堆積物の存在、リーセル・ラルセン山地域で推定される後期更新世における約500 mの厚さの氷床の融解という観測事実とよく合致する。

3. 考察

(1) 東南極と北半球の第四紀後期の氷床変動パターンの相違とその原因

実際にデータが得られている50 ka以降に限って、上記の南極の野外観測事実および Nakada et al.

(2000) の氷床モデルと北半球の氷床変動史を比較すると、注目すべき次の4つの特徴が挙げられる。

- ① 大筋において両極氷床の変動はほぼ同期する。
- ② 北半球で大規模に氷床拡大が生じた LGM を含む30~12 ka の時期には、南極氷床の拡大は相当小さい。
- ③ 比較的安定していた氷期中でも、30 ka 頃に南極氷床の急激な融解が存在した。
- ④ この融解は、リーセル・ラルセン山のような沿岸付近の山地の氷床後退量は約500 mと相当大きかったが、内陸のセール・ロンダーネ山地での氷床後退量はそれほど大きくはない (Moriwaki et al., 1992) ことから、第四紀後期の東南極氷床の融解は内陸より大陸縁辺域で顕著な現象であった可能性が高い。

氷床の融解（または拡大）に関わる要因としては、(a) 天文学的要因の変化による日射量の増大（減少）、(b) 北半球氷床の融解による海水準上昇に伴う陸棚上の氷床の崩壊（海水準の低下による氷床の前進）(Hollin, 1962 ; Denton et al., 1991)、(c) 北方の温暖な大気の流れ（停止）による気温上昇（低下）と氷床質量収支の減少（増大）、(d) 北方の温暖な海流の流入（停止）による気温上昇（低下）と氷床質量収支の減少（増大）。このうち、(a) の日射量は、南半球高緯度では40~30ka にはむしろ減少する傾向にある。大陸棚の深い東南極では、(b) の120m程度の海水準変動で氷床縁辺が敏感に反応するとは考えられない。また、いくつかの南極氷床コア中の第四紀後期の気温変化の記録や内陸山地の地形学的調査結果からみて、沿岸部に比べて南極大陸内陸部での30~40 ka の気温上昇は大きくないことから、少なくとも最終氷期中の南極では、(c) の貢献度は大きくないようである。したがって、内陸で気温が低いままであるにも関わらず、沿岸域で氷床が融解した

原因として、(d) の海洋循環の変化との関連性が考えられる。

(2) 北大西洋深層水の循環からみた東南極氷床縁辺の挙動の定性的説明

① 両半球の氷床変動の同期性：北半球氷床の変動を大きく支配したとされる北大西洋の熱塩循環に注目すると、(亜) 間氷期には高温・高塩分の北大西洋深層水 (NADW) が形成され、南大洋に流入する。その一部末端が周極深層水 (CDW) となって南極大陸に向かって流れ込み (Corliss, 1983)、それが大陸棚上から海底谷に流入して南極氷床縁辺の融解を強める。逆に氷期に NADW の形成が停止すると南極大陸に向かう CDW の流入も停止し融解が弱まる。このような NADW 形成の切り替えを通じて、両極の氷床変動の同期性は説明できる。

② LGM における東南極氷床の拡大の少なさ：LGM には NADW の停滞による高緯度への熱輸送の低下と北半球の日射量の減少によって北半球氷床の大拡大が生じた。一方、すでに熱的に孤立していた南極大陸は、北半球氷床の形成による地球全体の気温の低下以外に南極周辺自体に氷床を大拡大させるような積極的な要因が存在しないために北半球ほどの大きな氷床拡大は生じなかったと説明できる。

③ 30~40 ka 頃の南極氷床の急激な融解：30~40 ka 頃の東南極氷床沿岸部の融解は、グリーンランド氷床 (GISP2) に記録されている最終氷期中の強力な亜間氷期 (IS) の8 (ヨーロッパの Denekamp) と12 (ヨーロッパの Hengelo) に対応して説明することが可能である。この強力な亜間氷期は、それぞれハイニンリッヒイベント4とハイニンリッヒイベント5の後の北大西洋における熱塩循環の回復を記録したものであり、北大西洋における重力性の氷の崩壊の終了が北大西洋の熱塩循環を復活させ、次いで南極の融解の引き金にもなる可能性を示唆している。五十嵐 (1997) は、隆起海浜堆積物や海底コア中の石灰質底生有孔虫が高温の CDW の湾内への流入によってもたらされ、この流入が30~40 ka と完新世の氷床の融解に大きく寄与した可能性を指摘している。

4. 今後の課題

上記のような北半球の環境変動と南半球（南大洋や南極大陸）の環境変動との間の関連性についての仮説や議論は、まだ多くない。上記の仮説では、北大西洋の変動を地球全体の変動の制約要因と見なしているが、間氷期の南極氷床の融解と関連する南極底層水 (AABW) 形成が地球環境変動にどのような

影響を与えるのかについてもまだよくわかっていない。完新世より古い後期更新世の情報が多く蓄積されているリュツォ・ホルム湾や西エンダビーランドは、この問題に回答や示唆を与える上で南極大陸で

もっとも重要なフィールドであり、今後、陸上の記録に対比可能な海洋の情報も含む第四紀後期の連続した大陸棚上の海底堆積物コアの採取が望まれる。

主要文献

Corliss, B.H. (1983): Deep -Sea Research, 30, 47-61.

五十嵐厚夫 (1997) : 第17回南極地学シンポジウムプログラム・講演要旨, 58-59.

Miura, H. et.al. (1998): Polar Geoscience, 11, 260-274.

Moriwaki et al. (1992): Recent progress in Antarctic Earth Science, 661-668.

Nakada et al. (2000): Marine Geology, 167, 85-103.

Takada, M. et al. (1998): Polar Geoscience, 11, 239-248.

Zwartz, D.P. et al. (1998): Polar Geoscience, 11, 249-259.

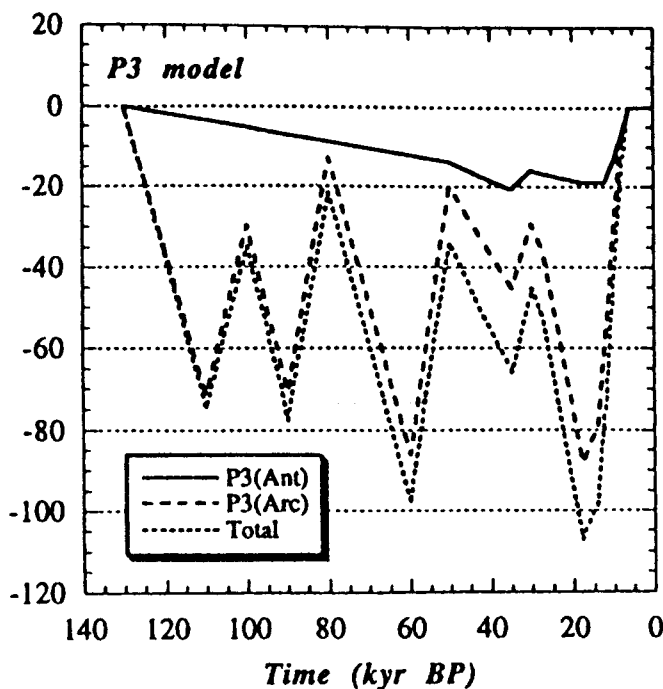


図1 Nakada et al. (2000) によって計算された、過去13万年間のトータルのユースタティック海水準変動（短破線）に与えた北極（破線）と南極（実線）の氷床量の変動モデル（P3モデル）。海水準はそれぞれの氷床の体積に置き換えることができる。リュツォ・ホルム湾から採取した *in situ* の貝化石の高度と年代から得られた海水準変動によく合致する。

Heterogeneities near the core-mantle boundary inferred from precursors to PKP_{DF}

Yoko Tono・Ichiro Nakanishi (Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.)

PKP_{DF} 先行波は地球の核を通る P 波が核-マントル境界 (CMB) 近傍の不均質によって散乱された波であると考えられている。この散乱波を CMB 近傍の不均質構造を調査する手段として用いることができる。本研究では、日本で観測されたアレー記録と理論波形を用いて不均質の存在する位置について検討し、発生源 (散乱源) である不均質の平均的波長と強さの推定を行う。さらに、PKP_{DF} 先行波の特徴と、それらから推定される不均質との関係を調べ、昭和基地で観測された PKP_{DF} 先行波からも CMB 近傍の不均質を推定する。

1991年～93年に日本で観測された南米を震源地とする4つの深発地震に対する記録を解析した。Fig 1に震源地と観測点、地震波の伝播する大円と CMB 上の B-caustics の位置を示す。数字は以下、Event 1, 2, 3, 4と呼ぶ震源番号である。

PKP_{DF} 先行波の卓越周波数を調べるために、中心周波数を 0.15, 0.5, 1, 2Hz とするバンドパスフィルターをかけた。全ての地震に対する記録で 0.15 Hz では PKP_{DF} 先行波は存在しないが、0.5Hz では3つの地震 (Event 1,2,4) に対して PKP_{DF} 先行波が存在した。1Hz 以上では全ての地震に対して PKP_{DF} 先行波が見られた。1つの地震に対して観測された PKP_{DF} 先行波は全て同じ卓越周波数を示したので、この卓越周波数は特有の観測点のもつ特徴ではなく散乱によって生じた波の特徴を示すと考えられる。

一次元均質地球モデル (IASP91) に対する理論波形を reflectivity 法によって計算した。理論波形は長周期成分が卓越し、震央距離 139 度～144 度で PKP_{DF} 波の到達前に、外核が流体であるために生じる回折波の到達が見られた。この回折波と観測波形に見られた PKP_{DF} 先行波の到達時刻は一致した。走時の一致を起

源位置の一致と仮定すると、PKP_{DF} 先行波もこの回折波の生じる CMB 上の B-caustics 近傍で生じていると考えることができる。

散乱波の起源波は B-caustics で観測される PKP-B 波と考えられるので、各観測点に合わせて計算した理論波形の振幅で観測波形の振幅を規格化し、先行波の振幅と PKP-B 波の振幅の比をとることで、散乱で生じた振幅値を測ることができる。

PKP_{DF} 先行波の卓越周波数が 0.5Hz 以上である Event 1, 2, 4 に対する記録は、144 度付近から急激に散乱波の振幅値が上がり、0.07～0.1 の値を示した。一方、卓越周波数が 1Hz 以上の Event 3 に対する記録は 133 度から 0.01 の低い振幅値を保ち、144 度付近でも値の急激な上昇はない。

Chernov (1960) の散乱理論を用いて不均質の平均的波長、速度変化によって変化する散乱波の平均自乗振幅を求めた。散乱波が生じるのは、波が伝播している媒体中に伝播する波の波長と同程度かそれ以上の平均的波長をもつ不均質が存在する場合である。したがって、先行波の卓越周波数が 0.5～2Hz の場合、不均質の平均的波長は 10～30km、1～2Hz の場合 10～20km と考えることができる。不均質を含む層の厚さを、D''層の厚さを参考にして 200km と仮定し、1 Hz の波が平均的波長 20km、速度変化 2% を持つ不均質によって散乱された場合と、平均的波長 10km、速度変化 3% の不均質によって散乱された場合を計算した。前者の理論値は Event 1, 2, 4 に対する記録から得られた散乱波の振幅に近い値を示し、後者は Event 3 に対する記録から得られた散乱波の振幅に近い値を示した。

以上の解析の中で、PKP_{DF} 先行波の卓越周波数は

アレー記録に共通に見られたことから、1点のみの記録に対し卓越周波数を調べるだけでも不均質の平均的波長の推定を行なうことができるといえる。さらに、理論波形を用いることにより、起源波であるPKP-B波の実際の記録が得られなくても散乱波の振幅が求められることが明らかになった。この結果を用いて1点観測点である昭和基地の記録からCMB近傍の不均質を推定する。

1990~99年に昭和基地で観測された日本近海から中国を震源地とする地震から得られた記録を解析した(Fig.1)。中心周波数を0.15, 0.5, 1, 2Hzとするバンドパスフィルターをかけた。どの地震に対しても $120^{\circ} \sim 123^{\circ}$ で観測された記録には全ての周波数領域で先行波は検知できないので先行波の到達はないとして解析から取り除いた。また、 143° 以上の記録では、0.5Hz以上の卓越周波数を示すがPKP_{DF}波と先行波の区別が難しいので今回の解析からは取り除いた。 $123^{\circ} \sim 143^{\circ}$ の記録は約70%の記録が1Hz以上の卓越周波数を示したが、残りは2Hz以上の卓越周波数を示し、0.5Hz以下の卓越周波数をもつPKP_{DF}先行波は見られなかった。従って、 $123^{\circ} \sim 143^{\circ}$ で観測されたPKP_{DF}先行波を生じさせる不均質の平均的波長は10~20kmもしくは5~10kmと考えられる。1点のみの観測なので、細かい地域性までは考察でき

ないが、2Hz以上の卓越周波数しか持たない記録もあることから、10km前後の平均的波長をもつ不均質が多く存在するのではないかと推定される。

$123^{\circ} \sim 143^{\circ}$ で観測されたPKP_{DF}先行波の振幅値を求めると、全ての記録が0.03以下の値を示し、震央距離ごとの変化をみると、平均的波長10km、速度変化3%の不均質によって散乱された場合の理論振幅値に近い値を示した。

日本と昭和基地で観測されたPKP_{DF}先行波の発生源である不均質の位置と、その波長および強さを推定した。その結果、PKP_{DF}先行波から推定される不均質の位置はPKP_B-causticsとの交面上であり、不均質は厚さ200kmの領域中に数%の速度変化を持ち、10~30km、10~20km、もしくは5~10kmの平均的波長を持つことがわかった。特に、日本で観測された4つの地震から推定された太平洋北西部下のCMB近傍の不均質は、Event 3から推定される地域のみが平均的波長10~20kmという特徴を示した。また、南半球南極大陸北東部では、平均的波長10km以下の不均質が多く存在することが推定される。

謝辞：理論波形の計算には、東京大学地震研究所地震予知情報センターの計算機システムを使用しました。

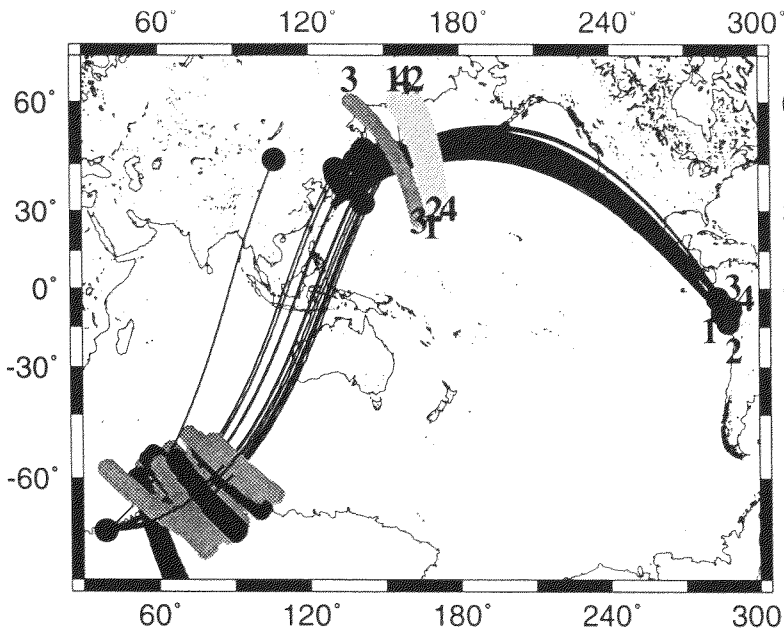


Fig. 1 Distributions of stations and epicenters. Solid circles represent epicenters. Solid lines are great-circle paths and shaded areas are the scatter regions on the core-mantle boundary (CMB) estimated by travel time analysis. The gradation in shades corresponds to the variation of scale length of heterogeneities near the CMB. Light gray shows 20-30km. Gray shows 10-20km and Black is 5-10km.

一瀬 建日・中西 一郎 (京都大学理学部)

Differential rotation of the inner core

Takehi ISSE and Ichiro NAKANISHI (Kyoto University)

1はじめに

南極昭和基地では、1959年に地震観測が開始された。1962年1月から1966年2月の期間は昭和基地閉鎖により観測が一時中断されたが、その期間を除き、現在に至るまで地震観測が行われている。このように長期間にわたって地震観測が行われている観測点は南半球では数少なく、昭和基地のデータは非常に貴重なものである。

今回、我々は昭和基地で観測された地震記録を用いて、内核の異方性の状態を調べ、異方性の時間依存性を調べる事により内核の差分回転について検証を行った。

2内核の異方性と差分回転

内核には赤道面方向に伝わる地震波速度よりも自転軸と平行な方向に伝わる地震波の速度が約3%速いという速度異方性が存在する。これは内核の鉄の結晶に異方性が存在し、その結晶が選択配向しているためであると説明されている。

現在のところ、異方性は自転軸と平行な方向に速度の速い軸のある一軸の方位異方で説明されているが、異方性の軸の方向はあまり研究されておらず、また、最近では、異方性の大きさに不均質が存在することが指摘されている。

内核が地殻やマントルと異なる速度で自転していると、異方性の大きさの不均質が存在したり、異方性の軸が自転軸と平行でない場合、観測点と地震の震源を固定して観測した時に、観測される異方性の大きさに時間依存性が生じる。

3解析方法

内核を通過する地震波 (PKP_{df}) と外核下部を通過する地震波 (PKP_{bc}) の相対走時を用い、この観測走時と理論走時を比較し、その相対走時残差を求める。この相対走時残差から速度異常の量 (Δv) を求める。

異方性の軸とPKP_{df}の波線の方向のなす角を ξ とすると、 Δv と ξ との関係は

$$\Delta v = a + b \cos^2 \xi(t) + c \cos^4 \xi(t)$$

と近似できる。aは内核の地震波速度の不均質、

b+cが異方性の大きさを、tは内核の差分回転による時間変化をあらわす。用いるデータの Δv と ξ の関係から異方性の大きさ、軸の方向、差分回転速度を求める。

4データ及び解析

解析対象地域はオーストラリア下方にあたる。この地域は昭和基地のデータを用いることで初めて詳細な解析が可能になった。また、昭和基地で観測される地震波は異方性の影響を強く受けるため内核の差分回転の解析に適している。

観測点	期間	データ数	ξ
昭和基地	(1969-1996)	44	24.7°-29.2°
松代	(1969-1993)	12	40.9°-41.4°
Urumqi	(1991-1998)	4	37.1°-39.1°
Ala Archa	(1995)	1	38.9°

5結果と考察

速度異常の分布より、内核上部200kmには異方性が存在しないことがわかった。(a=0.0025)

内核上部200kmより深い部分には異方性が存在する。異方性の大きさ1.3%、異方性の軸77° N, 109° E、内核の差分回転速度0.0°/yrの時に variance reductionは最大値(90.78%)をとる。

$$(\Delta v = 0.0025 - 0.030 \cos^2 \xi + 0.043 \cos^4 \xi)$$

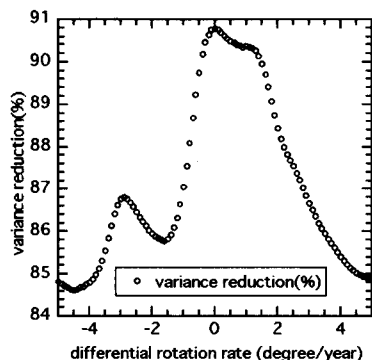


図1 差分回転量とvariance reduction

Tanaka & Hamaguchi (1997), Creager (1999)によるとこの地域の異方性の大きさは約0.5%とされていたが、我々の結果によると大きさは約1.3%であった。この違いはこの地域の異方性の軸が自転軸と平行でないことで説明できる。

また、内核の差分回転量は $0.0^{\circ}/\text{yr}$ の時がデータを最も良く説明するが、図1で見られるように $1.3^{\circ}/\text{yr}$ 以下の差分回転速度が存在する可能性は否定できない。

6 謝辞

データを提供くださった国立極地研究所の関係各位、データ収集の際に協力頂いた方々に記して厚く御礼申し上げます。

湯山高士 (1), 古本宗充 (2), 須田直樹 (3)

(1)金沢大学自然科学研究科, (2)金沢大学理学部, (3)広島大学理学部

Higher Modes of Incessant Excitation of Earth's Free Oscillations

Takashi YUYAMA ¹, Muneyoshi FURUMOTO (2), Naoki SUDA (3)

(1) Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

(2) Faculty of Science, Kanazawa University

(3) Faculty of Science, Hiroshima University

<はじめに>

常時地球自由振動は Nawa et al, [1998]による南極昭和基地の超伝導重力計の解析から、その存在が立証された。昭和基地だけではなく、キャンベラ、フィンランド、松代におかれた超伝導重力計の各観測点においても、この現象が捉えられた[名和ほか、1998a ; Nawa et al., 1998b]。その後 IDA(International Deployment of Accelerometers)、IRIS(Incorporated Research Institutions for Seismology)、GEOSCOPEの各観測点網の記録からも検出されている[Suda et al., 1998; Tanimoto et al., [1998]; Kobayashi and Nishida, 1998; Nishida and Kobayashi 1999]。大気の大擾乱がこの常時振動の原因と考えられ、Kobayashi and Nishida.,[1998]、Tanimoto.,[1999]、Tanimoto and Um.,[1999]などで大気を励起源とした理論計算も試みられている。

しかしながら、常時地球自由振動は基本モードにおいてのみ認められている。高次モードに関してはまだ詳細に研究されていない。Nawa et al., [1998]は高次モードの候補となるようなスペクトルの高まりを示したが、実際に高次モードによるものかについてははっきりとはしていない。

高次モードも大気により励起されることは可能であると思われる。しかし、観測される高次モードのパワーが大気により励起されると予想される高次モードのパワーを上回る場合、大気とは別に地球内部に励起源をもつ可能性も考えられる。そこで本研究では高次モードの検出を試みた。

<データおよびデータ解析>

IDAのラコステ・ロンバーク重力計の時系列のデータを用いた。観測点は SUR (Southernland, South Africa), TWO (Adelaide, Australia), PFO (Pinyon Flat, CA, USA), そして ESK (Eskdalemuir, Scotland)である。それぞれ、1985年から1994年までの10年間のデータを解析に用いた。

Tanimoto et al, [1998]と同様な方法で地震の影響のある日を取り除いた。つまり(1)地震モーメントが $5.0 \times 10^{10} \text{Nm}$ 以上の地震が発生した日を取り除く。(2) $M_0 \geq 1.0 \times 10^{10} \text{(Nm)}$ の地震の発生日から3日間を取り除く、(3) $M_0 \geq 5.0 \times 10^{10} \text{(Nm)}$ の地震の発生日から5日間を取り除く。残った日のデータを1日長に区切り、さらに、記録を見て観測点付近の小さな地震による波形の乱れを検査し、波形の乱れが見られたデータを取り除いた。それ

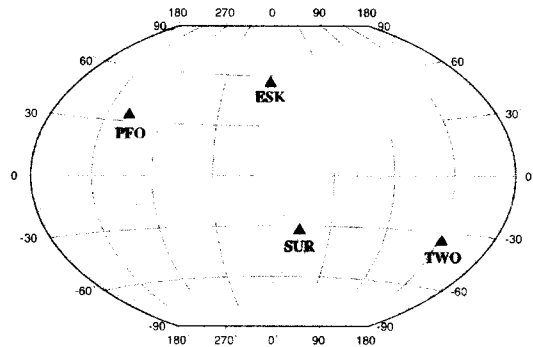


図 1 観測点の配置

ぞれSURで49日、TWOで136日、PFOで66日、ESKで134日のデータが得られた。1日長のデータそれぞれにテーパーをかけ、フーリエ変換を施し全ての日をスタッキングした(図2)。

2mHz から低周波方向に向かって徐々にスペクトルは高まり、2mHz より高周波側では平坦で基本モードの励起による大きなピークと高次モードと思わしき起伏が見られる。この起伏は、必ずしも頂点が高次モードの固有周波数と一致せず、中にはスペクトルの谷間と重なっているものもある。一見して判断することが困難なため、系列ごとにピーク付近のパワーのスタッキングを行った。PREMより得られた地球自由振動の固有周波数を中心として、その周囲0.1mHzの幅を取り、3-6mHzの間で他のモードと重ならないモードを選びスタッキングをした。0.02mHzより近くにs、1s、2sの系列のモードがある場合をモードが重なっていると判断した。4次(4S)以上の系列のモードは今回の解析では励起されていないと仮定し無視した。

図3はその結果を示したものである。sは非常

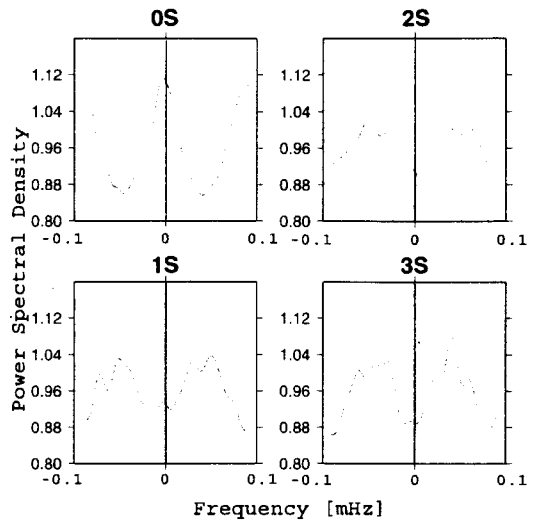


図3 モード系列ごとにスタックしたスペクトル

にきれいなピークが見られる。そして、1s、2s、3s についても中央に小さいピークが認められた。周囲のスペクトルの盛り上がりは基本モードの強い励起によるものである。

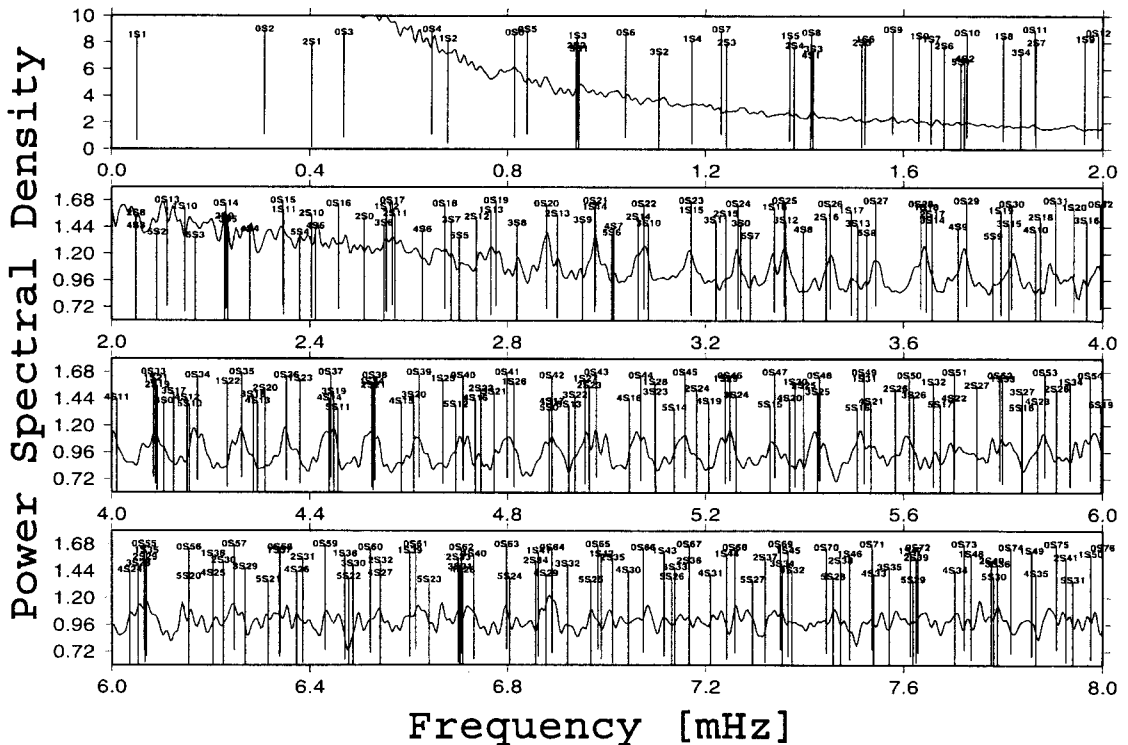


図2 地震の影響のないデータをフーリエ変換しスタッキングした図
図中の縦線はPREMより得られたモードの固有周波数の位置を示す

<励起源の深さによるモードパワーの変化>

さらに地球内部の様々な深さで、地震が発生したと仮定したとき、それにより励起される自由振動のモードパワーの変化を調査した。観測値との比較を容易にするために、上で述べた実際の解析を行う。地震により励起される自由振動の合成振動記録を計算し、震源の深さだけを表面からCMBまで変化させた。そのほかのパラメータ(地震のメカニズム)にはボリビア地震のものを使用した。結果を図4、5に示す。

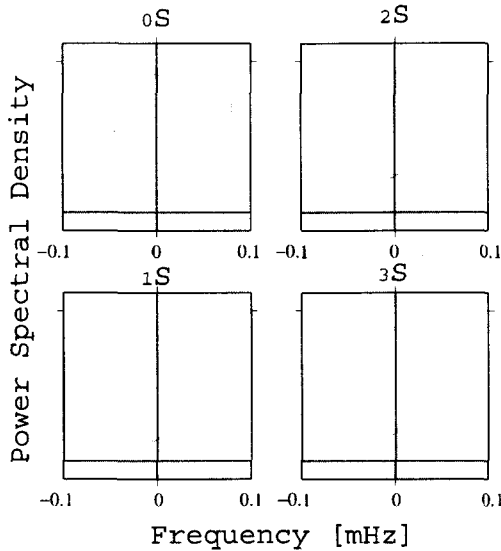


図4 地震を地球表面で発生させモード系列ごとにスタッキングしたスペクトル

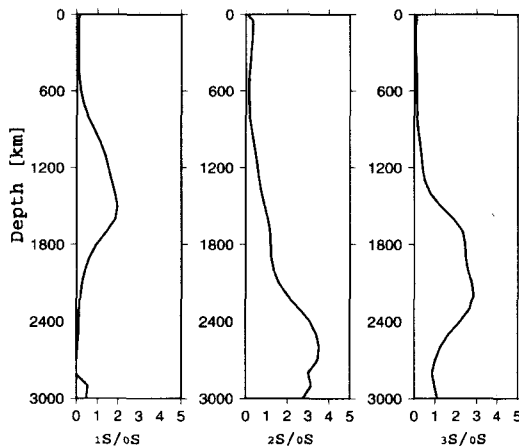


図5 高次モードと基本モードのパワー比の励起源の深さによる変化

<議論>

モードごとにスタッキングをした結果、高次モードの励起の影響でありそうな、小さなスペクトルのピークを得た。このピークの大きさをモードパワーと仮定し基本モードとのパワー比を取るとそれぞれ、 $1S/0S=0.10$ 、 $2S/0S=0.08$ 、 $3S/0S=0.005$ である。地球表面の励起源では観測されたようなピークは見られない(図4)。高次モードは地球内部で励起されやすいため(図5)、高次モードでは大気とは別の励起の可能性も否定できない。

Reference

- Aki, K., and P. G. Richards, *Quantitative Seismology*, vol 1, W. H. Freeman, San Francisco, 1980
- Dziewonski, A. M., and D. L. Anderson, Preliminary reference Earth model, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **25**, 297-356, 1981.
- Kobayashi, N., and K. Nishida, Continuous excitation of planetary free oscillations by atmospheric disturbances, *Nature*, **395**, 357-360, 1998a
- Nawa, K., N. Suda, Y. Fukao, T. Sato, Y. Aoyama, and K. Shibuya, Incessant excitation of the Earth's free oscillations, *Earth Planet. Space*, **50**, 3-8, 1998.
- Nishida, K., and N. Kobayashi, Statistical features of Earth's continuous free oscillations, *J. Geophys. Res.*, **104**, 28741-28722, 1999
- Suda, N., K. Nawa, and Y. Fukao, Earth's background free oscillations, *Science*, **279**, 2085-2091, 1998.
- Tanimoto, T., Excitation of normal modes by atmospheric turbulence: Source of long period seismic noise, *Geophys. J. Int.*, **136**, 395-402, 1999.
- Tanimoto, T., and J. Um, Cause of continuous oscillations, *J. Geophys. Res.*, **104**, 28723-28729, 1999.
- Tanimoto, T., J. Um, K. Nishida, and N. Kobayashi, Earth's Continuous Oscillations observed on Seismically Quiet Days, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, 1553-1556, 1998.

広帯域地震計の水平動成分を用いた常時自由振動検出の可能性

中西 崇 (京都大学大学院理学研究科)

古本 宗充 (金沢大学理学部)

The Possibility of Detecting Earth's Continuous Free Oscillations

Using Horizontal Components of STS Data

T. NAKANISHI (Graduate School of Science, Kyoto University)

M. FURUMOTO (Faculty of Science, Kanazawa University)

1. はじめに

以前は一般に大きなイベントによってのみ観測されると考えられていた地球の自由振動という現象について、Suda et al. (1998) や Nawa et al. (1998) は超伝導重力計と IDA のデータから地震以外の原因によって常に励起されていることを示した。

また、Nishida and Kobayashi (1999) はその主たる励起源が大気にあると述べている。

大部分の励起は大気や海洋など地球表面の複合的な要因によって引き起こされているとしても、これまでの研究には水平動を用いて常時自由振動を検出した例はなく、さらに微弱な励起が地球内部にあるという可能性を否定するような積極的な理由は見当たらない。

そのため、ねじれのモード (torsional modes) が励起されているか否かを調べるために、水平動の解析は非常に重要であると考えられる。

本研究は広帯域地震計のデータを用いて水平動による地球の常時自由振動検出の可能性を探り、ねじれのモードの有無について考察する。

2. データ

昭和基地の地震計室に設置された広帯域地震計 (STS ; Streckeisen Seismometer) によって第 40 次南極地域観測隊の越冬期間中 (1999 年 2 月 1 日~2000 年 1 月 31 日) に収

録されたデータのうち、NS 成分を解析に用いた。現在も動作中の STS は BRB (Broad Band) 360 秒モードに設定され、0. 1~360 秒においてフラットな振幅特性をもっている。

2.1 ノイズの取り扱い

水平動での常時自由振動の検出が難しいとされてきた理由のひとつが、システムの構造上避けがたいノイズの多さである。

また、常時自由振動の性質から、地震の扱いには非常に慎重でなければならない。

収録されたデータには以下のようなノイズが含まれていると考えられる。

- ・ パルス

視認できるパルス状のノイズはできるだけ丁寧に取り除き直線につなぐ。

- ・ 地震

地震による振幅が波形に与える影響を以下のような方法で調べた。まず複数のイベントの影響が重ならないように地震の数が少なく、かつ地震の間隔がなるべく大きくなるような日 (さらに、風があまり強くない日が望ましい) を選ぶ。12 時間のタイムウィンドウをイベントの前後で 10 分ずつ動かしていき、それらのデータをスペクトル解析する。得られたスペクトルの平均をと

って、その時間変化を調べる。

(Figure1) いくつかのマグニチュードの地震についてこの作業を繰り返し、その結果をもとに地震波の到着時刻から数時間分のデータを取り除く。

- ・ 気象条件などに起因するもの
昭和基地周辺ではブリザードによってときに40m程度の風が吹くことがある。スペクトルの平均と風速の関係 (Figure2.1, 2.2) から、1日の平均風速または最大風速が一定以上の値となった場合は、当該日の波形を解析に用いないものとする。
- ・ 地震計の調整・保守に伴うノイズ
ゼロ位置の調整、センサーのガラスベルジャー内の真空確認、地震計室の室温調査など。
- ・ その他の人工ノイズ

2.2 データの前処理

ノイズを取り除いた後、バンドパスフィルターをかけ、10秒でリサンプリングする。テーパーをかけてから3日分の波形を1組とし始点を1日ずつ動かしていく。また1日分のみについても同様にデータを作り解析を行う。

3. 解析の流れ

各々のデータをスペクトル解析し、すべての結果をひとつにまとめて、スペクトログラム（時間を縦軸、周波数を横軸、スペクトル強度を色で表したのもの）や周波数毎のパワースペクトルの和などからピークの位置と大きさを求め、理論固有振動数と比較してその対応などを調べる。

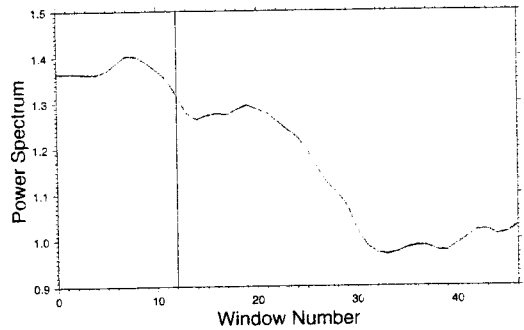


Figure 1 地震によるスペクトルの変化の例。

縦軸がパワースペクトル ($\times 10^{18}$)。横軸はウィンドウの開始時刻 (1目盛が10分に相当)。「12」の縦線は origin time に最も近いウィンドウの始点を示している。

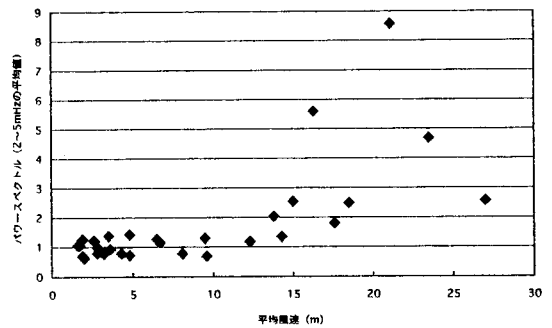


Figure 2.1 1日の平均風速とパワースペクトル (6月分のデータを1日ずつ解析したもの)

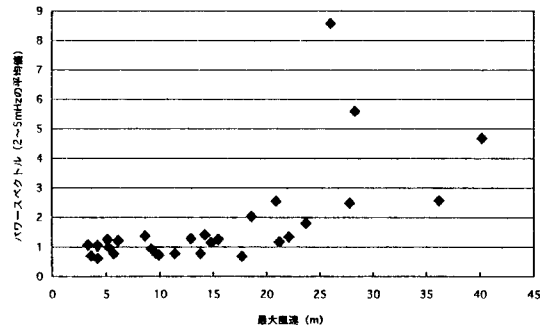


Figure 2.1 1日の最大風速とパワースペクトル (6月分のデータを1日ずつ解析したもの)

国立極地研究所 °小澤拓, 土井浩一郎, 青木茂, 澁谷和雄

National Institute of Polar Research T. Ozawa, K. Doi, S. Aoki and K. Shibuya

はじめに. 南極大陸の 97%は氷床に覆われており、南極大陸沿岸(氷縁部)の多地域で棚氷が発達している。一般に氷床は内陸部から氷縁部に向かって流動し、氷流や棚氷から海洋部に流出する。つまり、棚氷は氷床が海洋に流出する末端部であり、地球環境変動に敏感な氷床を監視する上で重要な地域である。特に、氷床下基盤に着底している大陸氷床域と、海洋底に着底していない棚氷域との境界線である grounding line を正確に検出可能ならば、これは棚氷の時間変化を監視する上で有用である。

これまで grounding line は、衛星可視画像、衛星レーダ画像、航空写真に見られるタイド・クラックや輝線などから検出を試みられてきたが、それらが明瞭に見られる地域はごくわずかであり、grounding line を精度良く求めることは困難であった。また、棚氷は海面に浮かんでいることから海洋潮汐により上下に変動するのに対して、氷床下基盤に着底している大陸氷床域は海洋潮汐の影響を受けないことに着目し、測地測量から上下変動する地域としない地域の境界を検出することにより、grounding line を検出する試みもなされてきた。しかし、現地における測量の困難さなどから、広大な棚氷をくまなく調査することは不可能に等しいので、これまでの手法により精密な grounding line を検出することは困難であった。

近年、干渉合成開口レーダ法(干渉 SAR 法)が氷床域に適用されるようになり、氷床流動の検出などが報告されるようになった。Goldstein et al. (1993) は南極大陸の Rutford 氷河に干渉 SAR 法を適用して得られた氷流域の干渉 SAR 画像を紹介し、干渉 SAR 画像上に grounding line があらわれることも示した。さらに、Rignot (1996) はグリーンランドの Petermann 氷河に干渉 SAR 法を適用して、精密に grounding line を検出することに成功した。これらの適用例で示されているように、干渉 SAR 法は画像を

用いたりモートセンシング技術なので、現地における測量を必要とせず、面的に地表面の変動を観測することができるので、アクセスが困難な南極棚氷の grounding line を検出するためには、干渉 SAR 法は有用な技術である。また、これまでの適用例は ERS-1 の Ice phase mission 時(回帰周期が 3 日)の ERS-1 の SAR データを使用しているが、気象条件などにより散乱の変化が起きやすい氷床域では、より回帰周期が短い干渉ペアを用いるのが理想的である。そこで、本研究では、ERS-1 と ERS-2 のタンデム・ミッション時の SAR データを用い、プリンセス・ラグンヒルド海岸地域を例として grounding line の検出を試みる。

手法. 本研究では、1996/2/15~1996/6/3 の間に南極・昭和基地で集中受信された、ERS-1 と ERS-2 のタンデム・ミッション時の SAR データを使用する。これらのデータは、国立極地研究所の level 0 CEOS フォーマットデータ作成システム(土井他, 2000)を用いて、受信生データから、SAR プロセッサに入力可能な level 0 CEOS フォーマットデータに変換された。これらのデータから SAR 画像を作成し、Table 1 に示す干渉ペアで干渉 SAR 画像を作成した(Figure 1)。前述したように、棚氷は海洋潮汐の影響により上下変動するが、grounding line より大陸氷床側は上下に変動しないので、grounding line から棚氷側に数 km から 10 数 km の範囲で棚氷は剪断変形をうける。よって、境界域では空間的に上下変動量の勾配が生じるので、等変動量線に等しい変動縞の間隔は密になる(Figure 2)。そこで、これをトレースすることによって、正確な grounding line を検出することが可能である(Figure 2 の矢印)。今後、得られた grounding line を精度良く地球基準座標系に拘束し、精密な grounding line 情報を作成する予定である。

Table 1. 本研究で用いたデータの取得日とオービット番号

SAR Pair	ERS-1		ERS-2	
	Orbit	Date	Orbit	Date
1	24666	19960402	4993	19960403
2	24795	19960411	5122	19960412
3	24881	19960417	5208	19960418
4	25468	19960528	5795	19960529

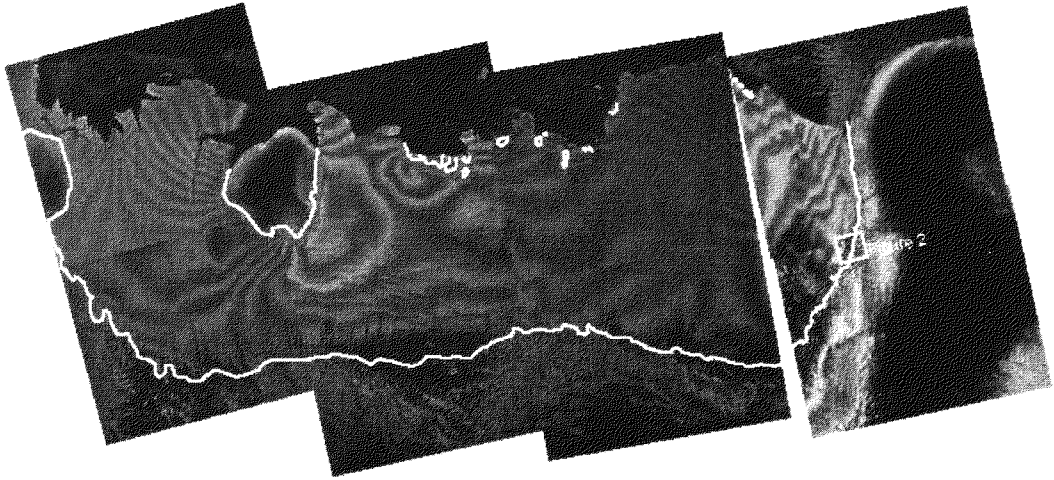


Figure 1. プリンセス・ラグンヒルド海岸における干渉 SAR 画像. 白線は干渉 SAR 画像から得られた grounding line の位置を示す. また, 白枠は Figure 2 の画像範囲を示す.

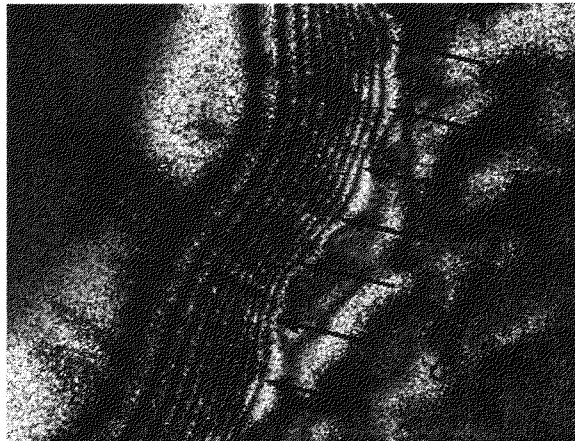


Figure 2. Figure 1 の白枠における拡大図. 矢印は間隔が密な干渉縞から推定される grounding line.

Change in stress and strain fields due to postglacial rebound

Jun'ichi Okuno (ERI, Univ. of Tokyo) and
Masao Nakada (Kyushu Univ.)

1998年に南極大陸近辺で起きた巨大地震は、南極プレートの海洋プレート部分で発生し、海洋プレート内での最大の地震であった。この地震の断層メカニズムは、東西方向の左横ずれ断層であることを示している(菊地・他1998)。震央近傍にはトランスフォーム断層は存在せず、また数100km離れた断裂帯の延長上にあるが、断層メカニズムはそれから期待されるメカニズムとは全く合わない(例えば Tsuboi et al., 2000)。南極プレートではプレート内地震の発生頻度は少なく、南極プレートは比較的安定なプレートであると考えられており、この海洋プレート内の最大の地震の原因については、未だ不確定な部分が多い。そこで、地震のメカニズムが、南極大陸の氷床の融解によるリバウンドで説明できる可能性が示唆されている(坪井・金尾, 1998)。

一方、南極氷床の過去2万年間の融解モデルはこれまで数モデルが提案されているが(例えば Nakada et al., 2000)、南極氷床の過去の融解史は地質・地形学的なデータが乏しく不確定な部分が多いのが現状である。しかしながら Nakada et al. (2000) では、現在までに報告された南極周辺での8地点における最終氷期以降の海面変化の観測値をもとに、glacio-hydro isostasy のモデリングを行い、従来の融解モデルが観測データを統一的に説明できないことを指摘し、観測データを説明しうる新しい

南極氷床の融解モデルを提案している。1998年の地震活動と地殻変動に関して坪井・金尾(1998)によると、James and Ivins (1998) が示した南極氷床の融解による地殻変動の見積りから、震央付近の水平方向の地殻変動が断層メカニズムのP軸の方向と一致することを示し、南極氷床の融解によるリバウンドで説明できる可能性があるとしている。しかし、Nakada et al. (2000) では、新しい融解モデルと従来のモデルでの地殻変動、重力異常などの計算結果を示しているが、これによると、融解モデルにより、震央付近の地殻変動の方向、大きさ等の分布がかなり異ってくることを示されている。

この地震のメカニズムが南極氷床融解によるリバウンドで説明可能かどうかを詳細に議論するためには、地殻変動のみならず postglacial rebound のモデリングによる応力場, 歪場について解析する必要がある。本研究では、現在提案されている南極氷床融解モデルを用い postglacial rebound に伴う地殻変動, 応力場, 歪場の計算結果より地震活動に与える影響を考察する。

The March 25, 1998, Antarctic Earthquake (Mw=8.1)

Seiji Tsuboi (Yokohama City Univ.), Masaki Kanao (NIPR)

1998年3月25日に南極大陸近傍で起きた巨大地震は、断層メカニズムが震央近辺のプレートテクトニクスとは全く正反対のメカニズムを示している。我々は、過去の南極大陸における氷床の厚さの変化から期待される地殻変動の方向と大きさが、断層メカニズムと一致することを示してきた。James and Ivins (1998)の、最終氷期極大期から南極大陸の氷床が退氷する期間を1万2千年前から5千年前とし、氷床の厚さの変化に伴う南極大陸の地殻変動を粘性変形も考慮に入れて見積もった計算では、この地震の震央近くでは氷床が薄くなり大陸地殻は隆起している。それに伴い北東方向に約1mm/yrの水平方向の地殻変動が予想される。この地殻変動の方向は断層メカニズムのP軸の方向と一致しており、変形量も5千年間で約5mとなり平均くいちがい量と一致する。このことはこの地震のメカニズムが、南極大陸の氷床によるリバウンドで説明できる可能性があることを示している。この地震のメカニズムについては、Nettles et al (1999)、Kuge et al (1999)、Henry et al (2000)などにより詳細な解析がなされているが、その原因となったメカニズムについては進展はない。Henry et al (2000)は未知の既存断層に沿っての破壊であると結論しているが、その原因については特定していない。一方、Wu and Johnston (2000)は、北アメリカの地震活動が退氷によるリバウンドによって説明できるかを、球対称地球モデルにおける粘性変形を考慮した理論計算によって議論している。彼らは、断層面の安定性を応力に基づいて計算しその時間変化を求めた。それによると、インディアナ州までの領域では退氷によるリバウンドは地震活動の原因となりうるが、1811年のニューマドリッド地震は氷河の縁からの距離が大きすぎて、退氷による応力は原因と取得ないとしている。南極地震についても、Wu and Johnston (2000)の手法により断層面の安定性を調べる必要があるであろう。

Analogy of the velocity and stress fields between SE Indian Ocean transform faults and San
 Andreas fault: Tectonic contribution on Large Antarctic event
 Atsuki Kubo (NIED), Yoshifumi Nogi (NIPR)

要旨： Zoback et al.(1987)はサンアンドレアス断層近傍の水平最大応力が断層面に直交する方位をしめすという観測事実を Weal zone normal compression という考え方で説明した。これは、横ずれ断層帯のせん断強度が弱いということに加えて、断層面に直交方向の若干の短縮変形がある場合に、Transpression により水平最大応力の向きが断層面に直交するというものである。サンアンドレアス断層が決して弱くないとする地震学・実験岩石力学の研究者もいるのだが、彼らは断層周辺の応力場形成に対して Zoback の考えに代わる説を出していない。サンアンドレアス断層では最近測地的にも 5mm/y 程度の短縮変形が起こっていることが確認された。一方マコーリトリプルジャンクション近傍のスリップベクトルの偏りをもとに局地的に定義した速度三角形を使えば、オーストラリアプレートの一部である南タスマン海と南極プレートの間におよそ 5mm/y の短縮変形の可能性がある(Kubo et al., 1998)。もしサンアンドレアス断層と南西インド洋のランスフォーム断層がともに短縮変形を伴う横ずれ断層であり断層が弱いとすれば、南東インド洋のランスフォーム断層近傍で形成される応力場もサンアンドレアス断層と同様の断層に直交する方向が水平最大応力となる可能性がある。こうして形成される応力場は定性的には 998 年 3 月 25 日に起こった南極プレート内の大地震の示す応力場を説明できるのでこの地震の発生に対するテクトニックな寄与の可

発生に対するテクトニックな寄与の可能性は否定できない。

最近の研究に対する考えを項目別に記す

◎タスマンマイクロプレートの導入：これまでいくつかの論文が南極で起こった大地震の原因について言及している。テクトニックな寄与を否定している論文では DeMets et al. (1988)を引用したものが多く [Conder and Forsyth, 2000; Kreemer and Holt, 2000]。この論文では南タスマン海のマイクロプレートの可能性を議論しており、その北縁での 1 個の地震のメカニズムによって否定されている。こうしてマイクロプレート説を棄却することは、隠にはプレート境界でのスリップベクトルの偏りは誤差としかみないことに対応する。どちらの観測事実に重きをおくかで最終的にとる立場がまったく違ってくる。無条件に DeMets らの議論の方を採用するのは問題があろう。

◎南極側のマイクロプレートの導入：Conder and Forsyth (2000)では南極プレート内にマイクロプレートを導入し、その動きが南極大地震を引き起こす可能性を議論した。その結果、断層の走行は説明するものの横ずれのセンスが逆になってしまう。我々も同じ議論を彼らより先に Kubo et al.(1998)で述べた。南極側にマイクロプレートを導入できない場合でも南極に大地震を起こす可能性は消えないだろう。残る可能性は、南タスマン海側が 5mm/y プレート内部変形を担っていて、それに対する

レスポンスとして南極プレートが反応して押されてひずみを蓄積するというものである。テクトニックな変形は後に述べる氷床変動よりも継続時間の長い変形が期待されるので、たとえ 1mm/y かそれ以下のプレート内部変形でもM8 程度地震分の弾性ひずみも十分蓄積可能であろう。

●地震によるプレート境界近傍のひずみ速度の推定： Kreemer and Holt (2000) はプレート境界の地震のモーメントテンソル解を足し合わせ、これと南極プレート内大地震のメカニズムを比較することでテクトニックな影響を評価しようとした。結果としてトランスフォーム断層の地震と南極の大地震によるひずみの主軸がほぼ直交することからテクトニックな寄与を否定している。結局こう結論するならわざわざメカニズムを足しあわせる必要がない。加えて地震による変形がプレート境界で起こる変形のすべてであるという正しくない考え（実際には地震によるすべりはプレート運動には達しない）が導入されており、この手法でプレート内変形を議論するのは無理であろう。

●氷床変動の応力場への寄与： Tsuboi et al. (2000) は James and Ivins (1998) による氷床変動モデルによる速度場から南極大地震は氷床変動によるのではないかと考えた。James and Ivins (1998) は南極近傍の海水中変動データを用いていないから、この速度場は南極近傍の速度場を用いたモデリングで追試されるべきであろう (Nakada et al., 2000)。また変動速度だ

けでなく、応力、ひずみの観点から妥当かどうか、継続的なひずみの蓄積が可能かどうかという点も重要であろう（本シンポジウム、奥野、中田の講演に期待）。

Kreemer and Holt (2000)は先の議論と別に LGM と現在の氷床分布の差が直接応力場に及ぼす影響を評価した。その結果、氷床変動は南極プレートの地震に数 bar 程度寄与があるとした。しかしこれは南極大地震の応力降下のごく一部にしか過ぎず、むしろ残る大部分の差応力は氷床変動では説明できないと述べるべきであろう。我々がここで示したテクトニックな寄与との関連としては、氷床変動による速度場とテクトニックな速度は押す方向が正反対なのである。その寄与に関して互いに背反するものではない。両者の定性的な寄与が明らかになれば、両方を定量的に評価するという枠組みで議論をすすめる必要があるだろう。

謝辞：東大地震研究所の瀬野徹教授にはスリップベクトルの偏りを求め始めた時以降多くの有意義な指針を頂いた。

文献

- Conde and Forsyth(2000), GRL, 27, 2309-
Kreemer and Holt (2000), GRL,27, 2297-
Kubo et al.(1998), Polar Geoscience,, 11, 61-
Nakada et al. (2000) Marine Geology 167, 85-
Tsuboi et al. (2000)EPS., 52,133-
Zoback et al. (1987)Science,238 1105-

福崎順洋 1*, 澁谷和雄 2、土井浩一郎 2+, 芝公成 1
 1 国土地理院、2 国立極地研究所、*第40次越冬隊員、+第41次越冬隊員

VLBI experiment in southern hemisphere terrestrial reference frame network including Syowa VLBI station

Yoshihiro FUKUZAKI 1*, Kazuo SHIBUYA 2, Koichiro DOI 2+, Kousei SHIBA 1
 1 Geographical Survey Institute, 2 National Institute of Polar Research, *JARE40, +JARE41

1. はじめに

第39次隊より3ヶ年計画で昭和基地にて Very Long Baseline Interferometry (VLBI) 観測を行い、南極プレート運動やリッツォ・ホルム湾周辺の地殻変動を精密に計測する計画が開始された。第40次隊では、2年目として第39次隊で導入された観測装置を引き継ぎ、更に、国際な観測網に参加する等により、より高精度かつ応用的な観測を行った。

2. VLBI 観測網

VLBI 観測を行うためには、その原理上、相手局となる観測施設が必要となる。JARE では、昭和局の他に、Hobart 局（オーストラリア）および HartRAO 局（南アフリカ）を加えた3局の観測網を用いて、定期的に VLBI 観測を行う計画を開始した（昭和実験と呼ばれている）。一方、1992年から、ドイツ主導により、南極半島の O'Higgins 局を中心に、南半球のほとんどの VLBI 局が参加する国際的な観測網において観測が行われていた（COHIG 実験と呼ばれている）。昭和局もこの観測網に参加することが望ましかったが、技術的な問題があり、実現していなかった。

3. 記録方式の変換

国際的な観測では、アメリカで開発された Mark III という記録方式でデータは記録される。一方、昭和局は、日本で開発された K4 という記録方式のみ有するため、国際的な観測網への参加は、従来、不可能であった。しかし、1999年までに、国土地理院において、K4 方式から Mark III 方式への記録方式変換装置（ダビング装置）が開発され、昭和局の国際的観測網への参加が可能になった。

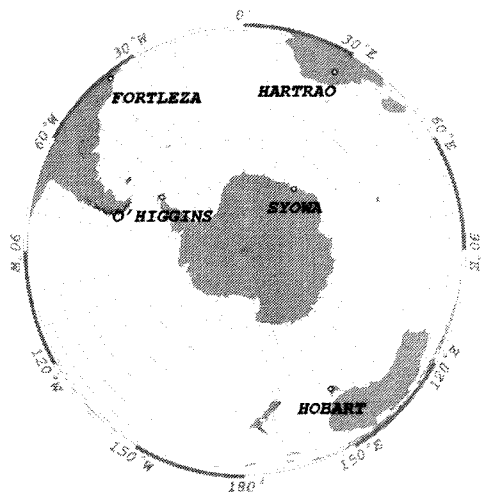
4. 観測およびダビング

観測は、1999年2月および11月に行われた。

2月のデータは、しらせにより、1999年4月に日本に持ち帰られ、ダビング処理が試みられたが、時刻情報が正しく記録されていないことが判明し、失敗に終わった。11月のデータは、2000年4月に持ち帰られ、ダビング処理が行われた。ダビングは正常に行われ、データはドイツへ送られて、Bonn 相関局にて相関処理が行われた。正常にフリンジ（相関ピーク）が得られ、現在、基線解析が進められている。

5. 国際的観測網に参加する意義

国際的観測網に参加する意義は、まず、多数局同時観測による観測精度向上が挙げられる。昭和実験での参加局は3局である一方、COHIG 実験は6局であり、理論上、 $\sqrt{5}$ 倍の精度向上が期待できる。加えて、COHIG 実験における参加局は、南半球を中心としており、この研究の目的の1つである、南極プレート運動の検出には理想的である。更に、南極半島の O'Higgins 局との間での、初の南極プレート内 VLBI 観測を行ったことは、特筆に値する。



COHIG 実験の観測網

Impact of satellite gravity missions on the studies of Antarctic geosciences
Yoichi Fukuda (Graduate school of Science, Kyoto University)

1. はじめに

本年(2000年)7月15日に打ち上げられた CHAMP (CHALLENGING Mini-Satellite Payload)は、H-L SST(High-Low Sattelite to Sattelite Tracking)による重力場測定センサーを搭載した歴史上初の衛星である。CHAMP ミッションを皮切りに、2000年秋には本格的な重力場測定ミッションである GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment)が、また、2004年には主に静的な重力場の改良を目指した GOCE (Gravity field and Ocean Circulation Explorer)の打ち上げが決まっている。さらに、GRACEの後続として、2006年の打ち上げを目指して SSI(Sattelite to Sattelite Interferometry)による重力場変動モニタリングを目的としたミッション計画も進められようとしている。

このように、21世紀の地球重力場研究は衛星重力ミッションで明けようとしているが、このことは、南極地学研究、あるいは南極科学全般についても大きな意味を持っている。本講演の目的は、現在予定されている重力ミッションの概要を紹介し、今後の南極地球科学研究へのインパクトを考えることである。

2. 衛星重力ミッション

2-1. CHAMP

先に述べた CHAMP は、H-L SST による歴

史上初の衛星重力ミッションで、その目的の一つに、次期のアルティメーター衛星である Jason-1 の軌道決定のための重力モデルの改良がある。H-L SST とは、簡単には衛星に搭載した GPS 受信機で衛星の位置を高精度で連続的に決定し、重力場の空間変化に伴う軌道位置の変化から重力場を測定しようというものである。このように高高度の(GPS)衛星から低高度の衛星軌道追跡を行うことが H-L SST の名前の由来である。H-L SST による測定では、重力場の低次(長波長)の球関数係数が求められるだけであり、南極科学への直接的な寄与は比較的小さいが、次に述べる GRACE の L-L (Low-Low) SST や GOCE の Gradiometer (重力偏差計)でも H-L SST は低次重力場の決定のため併用されるほか、CHAMP では、非重力場加速度成分の検出のための加速度計の実地検証など、今後の重力ミッション全体のコンセプト検証の意味で大変重要である。

2-2. GRACE

GRACE は、最新の情報で、2001年の10-11月頃打ち上げ予定の H-L および L-L SST による重力測定衛星である。L-L SST とは低高度 (GRACE の場合、400-500km) の同一軌道に 2 つの衛星を数 100 km の間隔で打ち上げ、互いの距離の時間変化(range rate)、すなわち速度の測定を行い、その揺

らぎから重力場を求めようというものである。Range rate の測定には マイクロ波のレーダー・リンクを用い、 $\mu\text{m/s}$ より良い測定精度が得られる見込みであり、GRACE のこの精度は、1ヶ月程度の時間分解能、空間スケール数 1000km で、地上での水厚変化に換算して mm オーダーの変化が検出できると言われている。従って、GRACE のデータは、グローバルな水循環、氷床変動、海水準変動、ポスト・グレイシャリバウンドなどの研究に大きく寄与するものと期待されている。

2-3. GOCE

GOCE は、H-L SST と重力偏差計による静的な重力場の改良に重点を置いたミッションであり、空間スケール 100km ($\sim 80\text{km}$) で、重力異常にして 1mgal 、ジオイド高にして 1cm の精度を目指している。これは、具体的には、海洋では衛星アルティメトリーとの組み合わせにより力学的海面形状の決定に十分な精度であり、陸上ではグローバルな高さ基準（たとえば、過去にさかのぼって検潮データから海水順変動を検出しようとする）、このことは本質的に重要である）を設定するのに十分な精度である。また、海上重力測定や航空重力測定と比較した場合、上記の空間波長より長波長の領域では、これらを大きくうわまわる測定精度が得られることになる。

2-4. GRACE Follow-on

GRACE がマイクロ波レーダーに衛星リンクであったのに対して、GRACE の後続ミッションでは、レーザー干渉計を用いた距離測定の利用が予定されている。現在、NASA では、2006 年の打ち上げを目指して、2003 年中にミッション計画をスタートさせたい

模様である。基本的な設計としては、高度約 600km の極軌道、衛星の間隔 50–200km で、10pico-meter オーダーの測定精度を得るようで、寿命は、最低 5 年を想定しているようである。この計画は、技術的には衛星による重力波検出計画 LIS A (2010 年) と共通する部分（高安定レーザー、イナーシャ・システム、ドラッグフリーコントロール等）を多く持っている。この計画が実現した際には、空間波長数 10km で水の厚さにして 1cm 程度の変動が重力変化として検出可能になると言われており、地球環境モニターリングの一つの柱となることが予想される。

3. 衛星重力ミッションと南極科学

2010 年までの今後の 10 年間には、CHAMP、GRACE、GOCE、あるいは GRACE-FO による衛星重力ミッションのデータが広く利用できるようになると予想される。ここでは、これらのデータが、南極地学、あるいは南極地球科学研究でどのように利用できるかを、幾つかの例を示しながら考えることにする。

まず、GOCE のデータが利用できるようになると、波長 100 km 以上のスケールで mgal より良い精度の重力異常が得られることになるが、これは、たとえば、氷床下の基盤地形に換算すると数 10m の精度、地殻の厚さにして 0.1km 程度の精度に対応する。他方、ICESAT などのレーザー高度計や InSAR などによる氷床地形のマッピングが進むと、これらのデータとの組み合わせにより南極大陸の地下構造の研究は急速に進展するものと期待できる。また、海域においては、衛星高度計観測との組み合わせによる高精度な力学的海面形状の決定が可能となり、南極周回流などの海洋学的な研

究にも大きく寄与するものと思われる。

次に重力場の時間変動に関しては、GRACE、あるいはGRACE Follow-onの利用により、1月～年周スケールでのグローバルな質量移動のモニターが可能になると期待されている。これは、具体的には大気運動とグローバルな水循環に対応しており、海洋や雪氷学にとどまらず、気象観測点の少ない南極においては表面気圧変動に関しても拘束条件を与えるものと期待されている。

年周スケール以上の変動として最も興味あるものの一つは、ポスト・グレースナル・リバウンドによる重力場変動である。これに関しては、既に、GRACEのデータを想定し、氷床変動モニターとリンクしたシミュレーション研究などにも着手されており、新しい観測手段として注目されている。

何れにしろ、このような高精度の重力場変動データは、従来存在しなかった全く新しいものであり、その利用、応用範囲は、今後、ますます広まるものと思われる。

4. おわりに

位置と重力場は地球計測のもっとも基本であり、従来からも位置の情報はVLBI、SLR、やGPSなどの宇宙測地技術に依存する部分が多かった。今後、重力場についても、衛星重力データの重要性が大きくなっていくことであろう。しかしながら、これとリンクした形での航空、海を含む地表観測もその重要性が低下することはないであろう。例えば、静的な重力場に関しても空間波長100kmより短波長の領域については、依然、地表観測が不可欠であり、多くの応用研究においてはこの領域でのデータが決定的に重要である。また、時間変動成分についても、連続的な変動データは超伝導重力計に

依存せざるを得ないであろう。重要なことは、それぞれのデータの特性を理解し、今後の南極研究に生かすことであり、そのための情報提供の一助となれば幸いである。

参考

福田洋一(2000): 衛星アルティメトリーと衛星重力ミッション, 測地学会誌, 46, 53-67.

National Research Council (1997): Satellite gravity and the geosphere, National Academy Press Washington, D.C., 1-112.

関連サイト URL:

CHAMP:

http://op.gfz-potsdam.de/champ/index_CHAMP.html

GRACE:

<http://www.csr.utexas.edu/grace/>

GOCE:

<http://www.sron.nl/divisions/eos/gocemain.html>

<http://www.cis.tu-graz.ac.at/mggi/goce/>

5.5 南極点での広域ボアホール型地震計アレイによる地球中心核・下部マンツルの不均質・異方性の外国共同研究 - 概要と意義 -

金尾政紀 (極地研)

Large span seismic array project at the South Pole to study heterogeneity and anisotropy of the core and the lower mantle - Outline and scientific significance -

M. Kanao (NIPR)

概要:

アメリカ・カリフォルニア大学バークレー校との共同研究により、南極点 (アムンゼン・スコット) 基地に 150km を最大スパンとする 13 点の三角網地点に 200m 深度の氷床ボアホールを掘削し、固有周期 30 秒の三成分広帯域地震計 (CMG3ESP 相当) を設置する。

当初は、平成 13 年度からの 5 年間に計画しており、バークレー校グループは NSF に課題の申請を継続中であるが、現段階ではまだ採択されていない。極地研究所への共同研究を強く提案しており、仮に実施される場合には、日本からの派遣隊員は毎年 2 名程度が予定される。

具体的な観測作業としては、アメリカ隊に参加してのボアホール掘削と地震観測装置の設置を夏期間に共同で行うことが挙げられる。データ利用は衛星通信を利用してのインフラを整備して、両国の研究者に均等に配付できるように検討している。

目的:

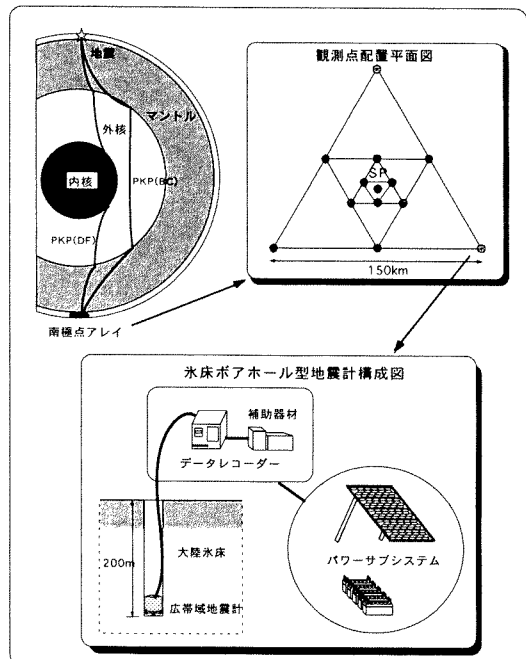
北極地方を中心とした北半球高緯度域で発生する地震波が地軸に沿って伝搬することを利用し、その走時・波形解析から地球中心核および下部マンツルの不均質構造・異方性を研究する。

下記に研究目的の一覧を記載するが、当初は、原子核物理学、地震学、地質学、生物学、雪氷学を包含した幅広いプロジェクトとして、Deep Ice Science Education Center を提案していた経緯もあり、13) の氷震による宇宙線からのニュートリノの検出を主な目的としていた。

- 1) 内核の異方性
- 2) 最下部マンツル D" の不均質構造
- 3) 地球自由振動
- 4) 地理的影響による利点
(内陸部のため海洋起源のノイズが少ない)
- 5) 地震活動

- 6) 地震検知率の向上
- 7) 地殻構造 (Receiver Fun., Swave-splitting, etc.)
- 8) 表面波解析
- 9) 震源決定・メカニズム
- 10) 東南極、南極横断山脈のテクトニクス
- 11) 底面滑りによる氷震
- 12) 氷床構造 (高周波表面波の異方性)
- 13) ニュートリノの検出・氷震

その後の地震学的知見からの研究目的としては 1)~3) の項目、特に 1) に重点がおかれている。地球中心核がマンツルに対して差分回転をしているという示唆がある (Son and Richards, 1998; etc.) が、その存在と回転量については推測の域を出ていない。差分回転の解明は、地球磁場の解明、核-マンツル分化のプロセス解明につながるテーマであり、目的に沿った観測を実施することにより、グローバル地震学に多くの知見が得られると期待される。



中央ドローニングモードランド地質調査計画
 : 新たな国際共同研究の幕開け
 白石 和行 (極地研)

International collaboration of the geological investigation
 in the central Dronning Maud Land

Kazuyuki SHIRIASHI (NIPR)

ドローニングモードランド (DML)には内陸山地が広範囲にわたって分布しており、東南極大陸の中では基盤の地質情報を比較的得やすい地域であるが、アクセスが容易ではないため、研究が遅れている地域でもある。

Gondwana大陸の形成とその分裂過程は地球史の上でもっとも重要な事件のひとつに数えられている。DML地域はパンアフリカン変動帯の延長にあたりと考えられており、後期原生代～古生代初期に完成した Gondwana大陸の地殻形成の発達過程を代表する研究対象である。また、DMLに接する南インド洋海域は中生代に Gondwana が分裂を開始してから生成した海洋地殻である。

日本の南極観測隊は1984年から92年まで、東DMLのセールロンダーネ山地の地質調査を実施した。いっぽう、ドイツの地質研究者は旧東ドイツの活動も含めて、西～中央DMLの内陸山地調査の経験をもち、南極のパンアフリカン造山について深い関心をもっている。また、観測船ポーラーシュテルンを用いて Gondwana 分裂以降の海洋底の地質の研究も進めてきた。そこで、日独両国が共同でDMLとその周辺の南インド洋海域を対象とした地質の総合的な研究計画を立案しつつある。それが WEGA 計

画 (West and East Gondwana Amalgamation and Separation) である。

WEGA計画は次の3つのサブ計画からなる。

1) 大陸基盤の地質学的研究

2) 観測船による南インド洋海洋底の地球物理学的、地質学的研究

3) 航空機による大陸および、大陸一海洋地殻境界の広域的な地球物理的研究

本講演では、1) について主に紹介する。

Gondwanaの成立は後に東、西 Gondwana と呼ばれる陸塊の衝突によるとされているが、その縫合線の位置についてはいまだに決着を見ていない。本地域に分布する岩体の特徴を、一定の基準に沿って比較検討することにより、その境界を明らかにすることが最大の目的である。その際のもっとも重要な指標は岩石の年代値である。

今年、SCARではあらたに、年代データをもとに東南極を構成する岩体相互の関係を統一的に検討するために、AGEANT というプロジェクトが開始された。本計画はこの目的にも合致している。

本計画は日独両国が保有する研究・設営資源を相互に有効に利用できるという利点もある。このような国際研究の方法が今後の南極観測のひとつの大きな流れになっていくのではなかろうか。

57 東ドローニングモードランドでの固体地球物理航空機観測における将来計画

澁谷和雄・野木義史（極地研）

Airborne geophysics surveys over the East Dronning Maud Land -Future plan-

K. Shibuya・Y. Nogi (NIPR)

概要

大陸の成長と離合集散のメカニズムの解明は、地球科学の大きな問題の一つである。東南極には約40億年前までさかのぼれる古い地殻が存在し、大陸の成長・離合集散と地殻の形成発達史の解明に不可欠な長さの時間軸を有している場であり、その周囲の海底には、大陸分裂の初期過程の履歴が残されている。このことから、東南極とその周辺海域は、大陸の成長と離合集散のメカニズムの解明には絶好のフィールドである事がわかる。しかしながら、大陸の成長・離合集散と地殻の形成発達史の解明には面的な地質学的な調査が必要とされるが、南極大陸のほとんどが氷に覆われていることから、調査可能な露頭に限られる。このような場合、航空機による地磁気や重力異常等の地球物理学的マッピングが大きな効力を発揮する。地磁気・重力異常や基盤地形のマッピングにより、氷下の地質学的構造に制約を与え、また露頭での地質調査の結果の外挿が可能となる。

現在、ドイツは西ドローニングモードランドを中心に、航空機による地磁気・重力異常や基盤地形のマッピングを精力的に行っており、研究対象地域を徐々に東方にシフトしつつある。日本隊は、セールロンダーネ山地において野外調査を実施しており、また、周辺海域のデータの蓄積も行っている。このような実績をもつ日本・ドイツ両国が、東ドローニングモードランドを中心に航空機による地球物理学的マッピングを行い、ドローニングモードランドの地殻形成発達史および Gondwana 初期分裂過程を解明することが本共同研究の目的である。

研究テーマ

- ・ 東ドローニングモードランドの地質構造の推定
- ・ 大陸—海洋境界の同定

- ・ Gondwana 大陸初期分裂過程の推定

実施時期：2005 年度（第 47 次）

ベース：あすか観測拠点

航空機：AWI 所有ドルニエ

観測項目：

- ・ 地磁気観測
- ・ 重力観測
- ・ アイスレーダー観測

観測地域

1. 南緯 68 度—72 度、東経 24 度—28 度
 2. 南緯 72 度—74 度、東経 24 度—28 度
 3. 南緯 68 度—72 度、東経 22 度—24 度
- 以上、優先順位順 (Fig. 1 参照)

測線間隔および方向：南北測線約 5NM

(約 10km) 間隔 (Fig. 2 参照)

観測時間（飛行速度を 120 ノットとした場合）

観測地域 1：52.2 時間

観測地域 2：24.1 時間

観測地域 3：22.7 時間

計：98.9 時間

必要燃料（1 時間に 350 ℓ 使用、計 100 時間のフライトと考える）

総燃料：3,5000 ℓ

ドラム缶本数：175 本 (x2 として 350 本)

これらの燃料は実施年度の前年（2004 年度）にあすか観測拠点にデポする必要がある。したがって、2004 年度（第 46 次）に、しらせまたは備船による燃料の輸送を行う。

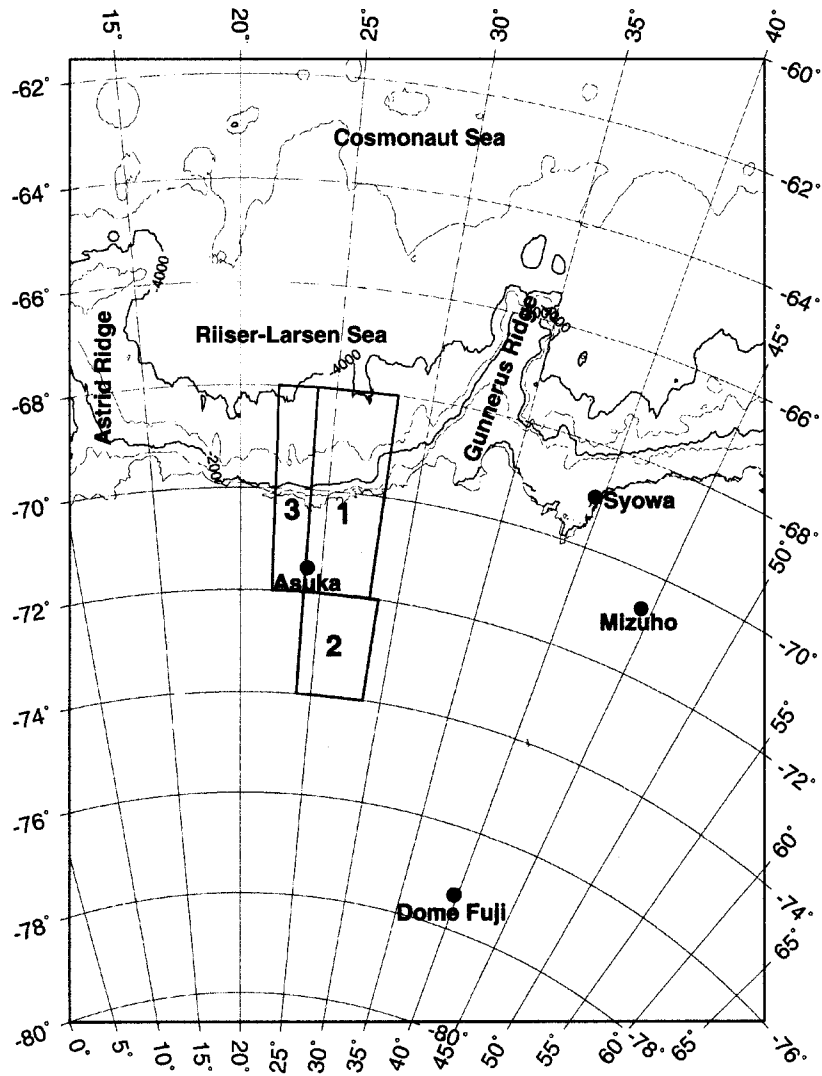


Fig. 1

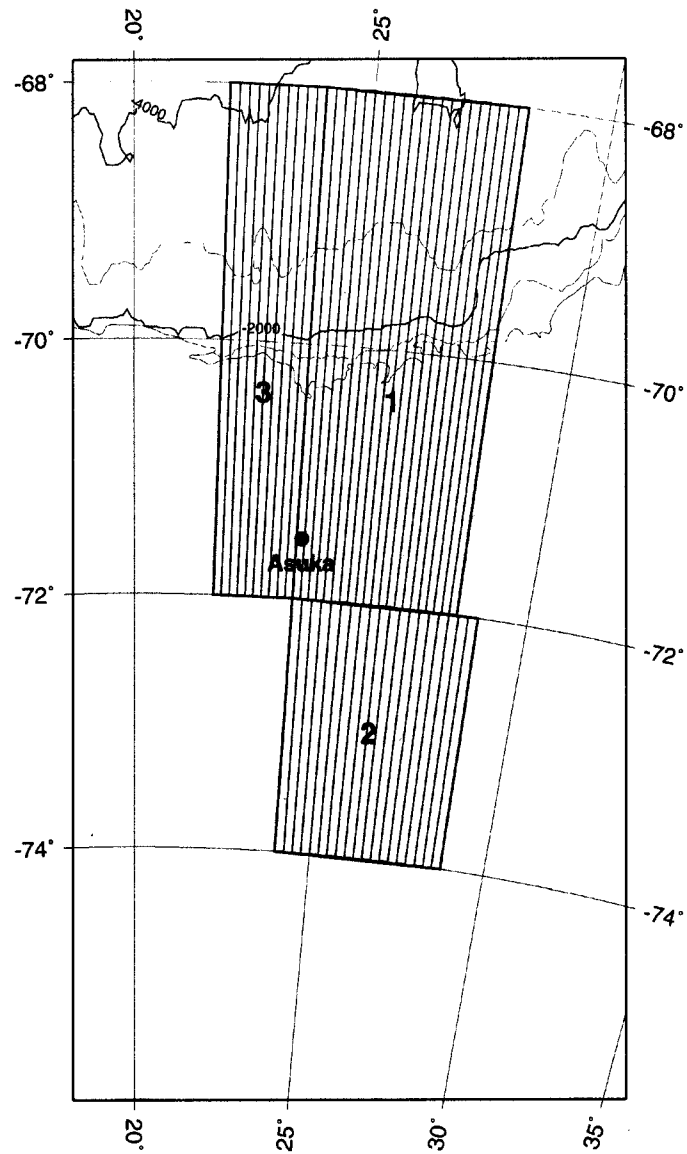


Fig. 2

1. はじめに

日本南極地域観測の第VI期5カ年計画では、46次越冬(2004~2006年)でリュツォ・ホルム湾内の大陸棚上での海底堆積物の掘削を予定している。また、ロス海でもニュージーランド、アメリカ、イタリアの3国によって2002年から2005年の4カ年で海底堆積物の掘削が計画され、日本もこのプロジェクトへの参加が呼びかけられている。本発表では、南極の新生代研究が地球環境変動研究とどのように関連し、なぜ南極大陸周辺で海底堆積物の掘削が必要なのかについて述べ、これから始まる新しいロス海の掘削計画の概要とそれに参加する意義を指摘する。

2. 新生代の地球システムの変動と南極氷床変動との相互作用

新生代は中生代の温暖な時代から第四紀の氷河時代に向かう寒冷化の時代として特徴づけられる時代である。新生代氷河時代の大陸氷床の発達・融解とそれに伴う海水準の昇降、極域と熱帯の温度勾配の増大による海洋循環、大気循環の変化は、相互に密接に関係し、影響を及ぼし合って、地球表層環境をかたちづけてきた。

大西洋での深海堆積物の酸素同位体比 (Miller et al., 1987) や海水準変動曲線 (Haq et al., 1987) は、氷の体積を示す指標記録であり、大陸氷床の歴史を議論する上での枠組みとして用いられてきた。特に興味深い時期は、南極氷床の挙動が変化したと考えられる以下の時期である。

- ① 40 Ma の始新世後期 (late Eocene) : 南極氷床が初めて形成された時期であるが、36 Ma より古い海水準変動曲線と同位体曲線が一致せず、氷床成長と崩壊の直接的な証拠が得られていない。
- ② 36 Ma の漸新世最初期 (earliest Oligocene) : 南極大陸の分離によって周極南極海流 (ACC) が形成され、南極氷床の発達と同時に低温の深層水が形成され、地球全体の寒冷化をもたらした。
- ③ 14Ma の中期中新世 (middle Miocene) : 氷床体積が増大し、大陸縁辺における氷床の存在の証拠が増大する。テチス海の閉鎖で北大西洋深層水 (NADW) が形成されたことと南極氷床の拡大との関係が示唆されている。

④ 3~2 Ma の後期鮮新世 (late Pliocene) : 現在と同様の海洋の熱塩循環が確立し、NADWが主導する深層水の循環となった。陸上での南極氷床の増加とその変動に関しては非常に議論がある。

⑤ 1 Ma 以降の第四紀 (Quaternary) : 北半球に氷床が形成され、氷期-間氷期サイクルが確立された。氷期-間氷期の海水準変動や気候変動については北半球氷床とその周辺のデータに基づいて組み立てられてきたが、南極氷床がどのように海水準変動や気候変動の影響を受けたり、影響を与えていたのかについては十分に明らかにされていない。

3. 南極大陸周辺における海底堆積物掘削研究

同位体比の変動は水温と海水量の分離ができておらず、海水準変化の規模も様々な要因のために大きく見積もられていると考えられており (Moore et al., 1987; Kennett and Hodell, 1993), 正確な氷床変動の記録は、氷床末端の地形地質から得る必要がある。

氷床変動の記録は陸上の地形や堆積物にも記録されているが、南極大陸の場合、その露出や時代は限定される。一方、海底の堆積物は時間間隙が少なく比較的連続した堆積物であり、陸上では得られない記録が得られる。また、大陸棚などの大陸縁辺の海底では、着地氷や棚氷の拡大・縮小や海洋イベント記録が良く残されている。このような大陸縁辺の海底堆積物は、南極氷床が地球規模の気候変化に対して、海洋・大気を通じたさまざまなサブシステムがどのように寄与し、影響されていたのかを明らかにする上で極めて重要な情報を持っている。

このような背景から、陸上露頭の研究とともに、1972~1974年の陸上での堆積物掘削計画 DVDP (Dry Valley Drilling Project) のあと、ロス海で1979年に MSSTS (McMurdo Sound Sediment and Tectonic Studies), 1984年と1986年に CIROS (Cenozoic Investigations in the western Ross Sea), 1997~1999年に CRP (Cape Roberts Project) が実施された。それらの目的を要約すると、

- ・東南極氷床と西南極リフトシステムの形成初期の歴史の解明

- ・新生代初期と白亜紀における南極大陸からの古気候データの回収
- ・新生代における南極の氷期/間氷期の歴史と海水準振動の間の関係
- ・ロス海湾のリフト縁辺での海成および陸成堆積物の年代、タイプ、様式の決定

3. 新しく計画されたロス海の掘削計画の概要

これまでのロス海の掘削結果から、漸新世～中新世中期 (36-15 Ma) の古環境についての情報が多く得られたが、当初の目的が十分達成されるような深度の掘削や質の良い堆積物の回収は必ずしも行われなかった。そのため、始新世後期や漸新世～中新世 (35-40 Ma) の東南極氷床の発達開始時期の情報、氷床変動像に大きな議論がある鮮新世や、北半球に氷床が形成され氷期-間氷期サイクルが明確になった第四紀 (0-5 Ma) の情報についてはまだ十分に得られていない。新しい掘削計画は、この時代が焦点となる。その概要は以下の通りである。

- ・2002年から2005年の4カ年で、毎年ロス海の4地点で掘削を行う (表1, 図1)。
- ・現在参加する予定の国は、アメリカ、イタリア、ニュージーランドである。

- ・掘削に使用する機材は、Cape Roberts Project で使用したものをそのまま用いる。
- ・1掘削当たり100万USドルが必要となる。
- ・15%の掘削経費の負担で、2~3名の日本人研究者、技術者が参加できる。

4. ロス海掘削の外国共同研究参加にはどのようなメリットがあるか？

- ・南極の新生代研究のスタンダードとなっているロス海地域の成果とリュツォ・ホルム湾で掘削される予定の成果を、比較・検討することができる。
- ・日本国内には海氷上からの海底堆積物を掘削する技術を持っている研究機関や企業はなく、予定されているリュツォ・ホルム湾での海底堆積物掘削を行う上で技術的な問題が多く残されている。一方、Cape Roberts Project では、長年の掘削技術の蓄積によってコアの回収率は極めて高くなり、海氷上からの海底堆積物の掘削技術はこれでほぼ確立されたといえる。ロス海の掘削計画への参加費用には技術提携料も含まれており、この計画への参加国は Cape Roberts Project で確立された掘削技術・方法についての情報を得ることができ、今後日本国内で掘削機材を開発するときに技術相談が可能となる。

表1 ロス海の掘削計画

時期	場所	目的とする時代
2002	① New Harbor	35-40 Ma
2003	② McMurdo	0-5 Ma
2004	③ CIROS-1と同じ	35-40 Ma
2005	④ Granite Harbour	0-1 Ma

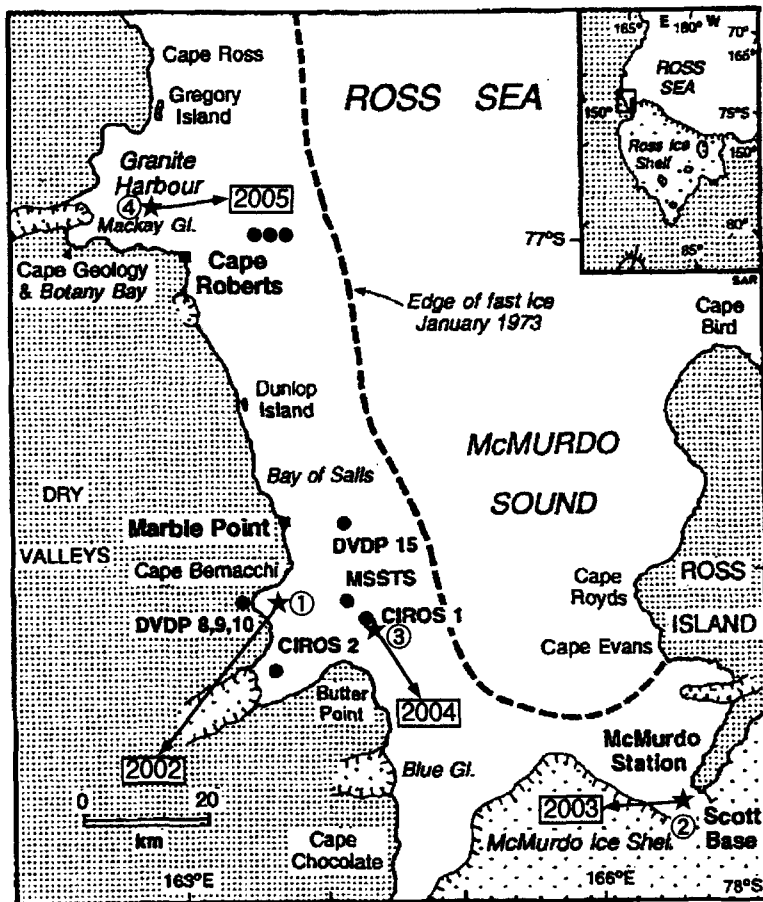


図1 ロス海の掘削計画地点

第20回南極地学シンポジウム
Dr. L. D. Brown 特別講演発表要旨

The 20th Symposium on Antarctic Geosciences
Abstracts for Special Lecture by Dr. L. D. Brown

25 Years of Deep Seismic Profiling and the Polar Frontier

Larry D. Brown
 Institute for the Study of the Continents
 Cornell University

When COCORP carried out its first field experiment in deep seismic reflection profiling in the spring of 1975, it effectively launched a new era in lithospheric exploration. Early COCORP surveys, especially those that successfully delineated the deep geometry of major faults (Wind River Uplift, Appalachian Overthrust), stimulated a number of similar national programs built around the systematic exploration of the continental crust using multichannel reflection methods. The best known of these are the British (BIRPS), Canadian (LITHOPROBE), French (ECORS), and German (DEKORP) initiatives, but most European countries, Australia, China and Japan have hosted deep reflection programs of one form or another. During the 90's the pioneering national programs largely gave way to international collaborations such as INDEPTH (Tibet), INSIGHT (New Zealand), ANCORP (Andes) and URSEIS (Urals), which target specific features of global priority. Moreover, such surveys have typically expanded from solely CMP-style reflection profiling to include simultaneous wide-angle and refraction recording of controlled sources and, most recently, passive imaging with natural sources. Often, such surveys are accompanied by other geophysical (esp. MT) and even geological field mapping.

Any assessment of the contributions of this extraordinary international effort would highlight the following discoveries: a) Crustal-scale decollements in collisional orogenic belts (Appalachians, Caledonides, Rockies, Himalayas). b) Lower crustal heterogeneity commensurate with, if not

exceeding, surface exposures. c) Pronounced lamination in the lower crust (in some regions), often associated with extension. d) A multifaceted Moho discontinuity; e) Mantle lithosphere that is distinctly less heterogeneous than the crust, but which includes prominent reflectors, many of which probably mark relict subduction zones. f) Seismic "bright spots", many concentrated at mid-crustal depths that mark fluid accumulations in the deep lithospheric. g) Extensive, buried stratified sequences, especially in Proterozoic terranes, that mark major intrusive episodes in craton evolution.

Yet, as much as these programs have covered, most of the world's continental areas remain unprobed. Among these remaining frontiers are the Polar Regions. However, there have been a few deep seismic surveys at high latitude sites, and these have made some of the most impressive contributions to our view of crustal structure. Prominent among these are the various surveys in Scandinavia (e.g. BABEL) which have revealed major sill complexes in the upper basement, distinctly reflective Moho's and mantle reflections suggesting ancient subduction. Another example is the SNORCLE (LITHOPROBE) survey in northwestern Canada which supports Phanerozoic style crustal tectonics with mantle penetrating thrust faults in clearly Achaean lithosphere. These results, as well as those from lower latitudes, make clear that deep seismic exploration of the Polar Regions is sure to provide important new constraints on the structure and evolution of these "unexplored" territories.

第20回南極地学シンポジウム
ポスター発表要旨

The 20th Symposium on Antarctic Geosciences
Abstracts for Poster Presentation

Sr and Nd isotopic compositions of granitic rocks around Syowa Station, East Antarctica

Kawano, Y., Nishi, N. (Saga University) and Kagami, H. (Niigata University)

東南極昭和基地周辺には小規模な花崗岩質岩体が多数分布している。今回、これらの花崗岩質岩についてSr, Nd同位体比測定を行ったのでその結果について報告する。

分析に用いた試料はリュツォ・ホルム岩体の角閃岩相帯に分布する花崗岩質岩から5個、漸移帯から3個、グラニュライト相帯から9個の計17個である。加えて漸移帯とグラニュライト相帯の変成岩3個の分析も行った。結果を図1に示す。ε値を計算する際の年代は従来得られた多数の年代値を考慮して500Maとした。

まず、全体的に見るとεNd初生値に対してεSr初生値の組成変化が著しく、前者が+2~-12までの変化を示すのに対して後者は+15~+780にまで及ぶ。そこで、εSr初生値の変化に注目して各岩相帯の特徴について述べる。角閃岩相帯の花崗岩質岩のεSr初生値は+15~+440までと幅広い組成範囲を示す。ただし、+400を越えるものは二番岩の試料であり、新南岩・あけぼの岩・かすみ岩の試料は+200以下を示す。漸移帯のそれは+22~+40と比較的狭い範囲で変化し、εNd初生値が-5を下回るものは奥岩の試料である。オングル諸島はグラニュライト相帯に属するが、角閃石を豊富に含み、また角閃石と

ザクロ石が同一試料に認められるなどの特異な性格を示すことから、独立して取り扱うことにした。オングル諸島の花崗岩類はεSr初生値が+400を越える岩体と+50前後の岩体に分かれる。前者はザクロ石を含有し、後者はザクロ石を含まず角閃石に富む特徴をもっている。グラニュライト相帯のそれは+190~+780と変化が著しいが、比較的小きな値を示すアウストホブデと+780を示すスカーレンの試料を除けば+400~+450付近に集中する傾向が認められる。

一方、変成岩の値であるが、漸移帯の試料は同帯の花崗岩類と同じ範囲を示し、グラニュライト相帯のそれも同地域（ラングホブデ）の花崗岩類の近傍にプロットされる。ただし、漸移帯、奥岩の変成岩はεNd初生値が+2近くにプロットされ、同地域の花崗岩のそれとは大きく異なる。天文台岩の変成岩は同地域の花崗岩の近傍にプロットされる。

奥岩には適用できないが、天文台岩やラングホブデでは花崗岩質岩と変成岩の同位体組成が類似することから両者は成因的に何らかの関わりがあったことを示している。また、スカーレンを除くと花崗岩類の値はεSr初生値が0~+200と+400~+450に大別される。これはリュツォ・ホルム岩体中に産する花崗岩類が少なくとも2つの異なる源物質から由来したことを暗示している。ただし、角閃岩相帯の二番岩やグラニュライト相帯のアウストホブデの試料は同じ相帯の花崗岩類の中でも特異な性格を示すことから、今後も検討が必要である。

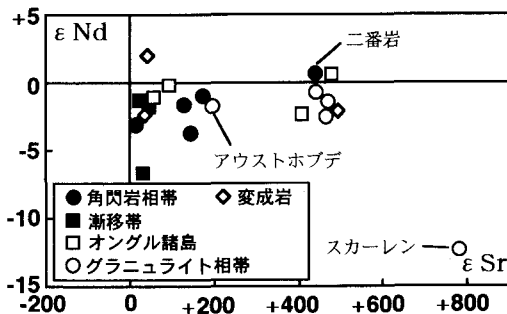


図1 イプシロン図

田結庄良昭(神戸大学)・Li Zilong(神戸大学)・白石和行(極地研究所)

Petrology of Within Plate Granite and Volcanic Arc Granite from Sor Rondane
Mountains, East Antarctica

Yoshiaki Tainosho, Li Zilong (Kobe University) and Kazuyuki Shiraishi (NIPR)

はじめに

東南極セールロンダーネ山地では、花崗岩類が変成岩中に点在して産する(Shiraishi *et al.*, 1991). これら花崗岩類の多くはパンアフリカンの後変動時のものである(Tainosho *et al.*, 1992). 本地域の花崗岩類はその化学的特徴からWithin Plate GraniteとVolcanic Arc Graniteに区分される. 両花崗岩はその産状、同位体の性質、全岩化学組成、希土類元素、造岩鉱物の性質など、その性質が明らかに異なっている. そこで、これら花崗岩類の特徴について詳細に述べ、その成因の違いからセールロンダーネ山地の形成史を検討する.

セールロンダーネ山地のWithin Plate GraniteとVolcanic Arc Graniteの特徴

セールロンダーネ山地の花崗岩類はその化学組成とPearce *et al.* (1984)のテクトニックセッティング図(Nb-Y; Rb-Y+Nb)から、Volcanic Arc GraniteとWithin Plate Graniteに区分される(Tainosho *et al.*, 1992). Volcanic Arc Graniteに属するのは、Lunckeryggen Granite, Dufek Granite, Mefjell Granite, Within Plate Graniteに属するのは、Vengen Granite, Vikinghogda Granite, Austokampane Granite, Rogerstoppane Granite, Pingvinane Graniteである. これら両花崗岩の性質は以下に述べるように、明瞭に異なるので、各項目ごとに記載する.

貫入様式: Volcanic Arc Graniteは周囲の変成岩の構造を切って貫入するのに対し(非調和型), Within Plate Graniteは変成岩の構造に調和的に

貫入している(調和型)(Takahashi *et al.*, 1990). ただし、Mefjell Graniteは一部変成岩と調和的な産状を示す部分がみられる.

分布: Volcanic Arc Graniteはまとめて、比較的規模が大きいのに対し、Within Plate Graniteの多くは小規模に分布する. また、Volcanic Arc Graniteはセールロンダーネ、スーチャーゾーン(Osanai *et al.*, 1992)の南部に分布する傾向があるのに対し、Within Plate Graniteは特定の場所に分布しない.

岩相: Volcanic Arc Graniteはトータル岩から花崗岩まで岩相が変化し、閃長岩を伴うことが多い、Mefjell Graniteでは石英閃長岩が主岩相である(Li *et al.*, 1999). 一方、Within Plate Graniteは花崗岩から花崗閃緑岩が主岩相で、一部は細粒で片麻状構造を示すものがある.

岩石の化学組成: Volcanic Arc Graniteは高いアルカリ含有量を有する. 特に、Mefjell Graniteは高い値を有する. また、ZrやGaおよびF含有量に富む傾向を有し、特にLunckeryggen Graniteでは高いF含有量を示す(Sakiyama *et al.*, 1988). これら花崗岩はA-type花崗岩に属する

(Tainosho *et al.*, 1992). Within Plate Graniteはやや高いアルカリ、 K_2O/Na_2O 比、やや低いCaOを持つ傾向がある. Chondriteにより規格化された希土類元素のパターンをみると、Volcanic Arc GraniteではLREEに富み、HREEにややdepleteする. 一方、Within Plate Graniteでは著しくLREEに富み、また、顕著なEuの負の異常を示すことが多い(Tainosho *et al.*, 1999). 不適合元素をOcean ridge graniteで規格化した図でみると、

Volcanic Arc GraniteではBaに強い正の異常が見られるのに対し、Within Plate GraniteではRbに正の異常、ZrやHfのdepleteが見られる (Tainosho *et al.*, 1992) .

造岩鉱物の化学組成: 黒雲母をみると、Volcanic Arc GraniteはMefjell Graniteを除くと、Mg/Mg+Fe値がほぼ0.5であるのに対し、Within Plate Graniteは、ほぼ0.25-0.05と鉄に富む (Tainosho *et al.*, 1993) . なお、Mefjell Graniteは著しく鉄に富む (Li *et al.*, 1999) . また、Within Plate GraniteはAl⁴に富む傾向がある。角閃石でも同じような傾向を有する、すなわちWithin Plate GraniteのものはFerro-hornblendeでやはり鉄に富む (Tainosho *et al.*, 1993) . 斜長石組成もVolcanic Arc GraniteではAn25-30 (核部) 前後、Within Plate GraniteでAn15-20で、その組成が異なっている。なお、Fe-Ti酸化鉱物はVolcanic Arc Graniteでは磁鉄鉱が多いのに対し、Within Plate Graniteではチタン鉄鉱が多い。それら鉄鉱の組成はsubsolidusでの拡散により、ほぼ端成分に近い。

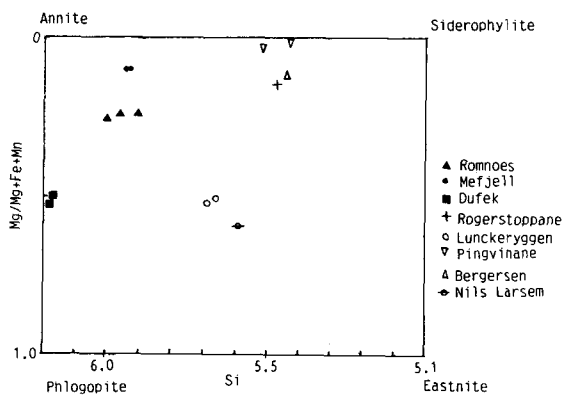
同位体の特徴: Rb-Sr同位体をみると、Volcanic Arc GraniteであるDufek Graniteは528±31Ma, Sr同位対比初生値は0.70372, Lunkeryggen Graniteは525±32Ma, 初生値は0.70504, Mefjell Graniteは506±43Ma, 初生値は0.70563である (Takahashi *et al.*, 1990; Tainosho *et al.*, 1992) . Within Plate Graniteに属するVikinghogda Graniteにおいて、ばらつきのためアイソクロンが引けず、同位体年代は得られなかった。そこで、Lunkeryggen Graniteの年代、525Maと仮定して得られた初生値を計算すると、0.7067と0.7184となる。Pingvinane Graniteはやはり年代は得られなかったが、510Maで規格化したSr同位対比初生値は0.70354と0.70658-0.70680である。このように、Volcanic Arc GraniteのSr同位対比初生値は限られた範囲で、低い初生値をもつものに対し、Within Plate Graniteは幅広い変化を有する。Dufek GraniteのSm-Nd年代は519±98Ma, 初生値は0.51198である (Arakawa *et al.*, 1994) . εNd値は狭い範囲 (-1.48から+0.62) でCHURの進化近くにプロットされる。Dufek Graniteと

Mefjell GraniteおよびPingvinane GraniteはNd同位体の組成に大きな差異はない。このように、SrとNdの同位体のデータは両花崗岩で、その期限や進化の過程が異なっていることを暗示している。

考察

Volcanic Arc GraniteとWithin Plate Graniteは産状、化学組成など多くの点で明瞭に異なっている。しかも、ほぼ同時期に活動している。これまで、セールロンダーネ山地ではパンアフリカン変動によるアルカリやGa, F, Zrなどに富むVolcanic Arc Graniteに属するA-タイプ花崗岩の活動が知られていたが、Within Plate Graniteも活動していた。両花崗岩はその形成過程を全く異にしている。Volcanic Arc Graniteは低いSr同位対比初生値、モデル年代が原生代を示し、LILなどの不適合元素に富んでおり、εNd値も-1~0.7付近で (Arakawa *et al.*, 1994) , CHURの進化近くの値を有する。また、有色鉱物のMg/Mg+Feは0.5前後、斜長石のAn組成も20-30で、REEパターンはLREEに富み、HREEに乏しく、ほぼ均質なマグマからの結晶分化作用の産物であることを示している。また、その起源としては同位体の性質が似たNils Larsen トーナル岩が考えられる (Shiraishi and Kagami, 1992; Takahashi *et al.*, 1990; Arakawa *et al.*, 1994) . 一方、Within Plate GraniteはSr同位対比初生値がばらつき、Ca, Mgに乏しく、Rbに富む。さらに、スパイダーズダイアグラムでは著しくLIL元素に富み、REEパターンではLREEに富み、Euの負の異常が顕著である。また、有色鉱物では著しく鉄に富み、斜長石のAn組成も低く、鉄鉱はチタン鉄鉱系が多い。これらから判断して、Within Plate Graniteの成因は明らかにVolcanic Arc Graniteとは異なっている。Within Plate GraniteはSr同位体比初生値が高い物質から由来したか、地殻深部で古い変成岩などとの同化作用など複雑な形成過程が考えられる。このように、セールロンダーネ山地では成因の異なる2種類の花崗岩がほぼ同時期に活動していた。すなわち、Volcanic Arc GraniteはNils Larsen トーナル岩の

部分溶融で形成され、そのマグマがさらに古期の変成岩と複雑に反応し、花崗岩が形成されたか、あるいは全く異なった形成過程を示す大陸片が付加したため、2種類の花崗岩が活動するに至った可能性がある。



第1図 黒雲母の化学組成.

Volcanic Arc Granite: Mefjell, Lunckeryggen,

Dufek

Within Plate Granite: Pingvinane, Bergersen,

Rogerstoppane, Romnoes

○安藤由美・石田清隆 (九大・院・比較社会文化)

Evaluation of the X-ray Rietveld method for the characterization of amphibole-group minerals

○Yumi ANDO ・ Kiyotaka ISHIDA (Kyushu Univ.)

【緒言】

角閃石族鉱物は地殻を構成する主要造岩鉱物のうちの一つであり、輝石や長石と共に岩石の生成過程を探る上で重要な鉱物である。また、広い範囲の原子置換が可能で、そのため化学組成も極めて複雑である。強い 124° に交わる 2 方向の劈開をもち、いわゆる preferred-orientation のため X 線粉末法による強度データは充分にいかすことができなかった。近年、幸いにも結晶粒度の小さい合成角閃石において、X 線 Rietveld 解析が行われ、その有用性が明らかになった(Raudsepp et al. 1987,1990)。しかし、天然の角閃石に適用した例はほとんどないので、今回 X 線粉末法による Rietveld 解析の基礎データを得るべく検討したので、その検討結果を報告する。なお、同試料は X 線単結晶法でも解析中である。

【実験方法】

角閃石試料は四国五良津角閃岩体から産したもので、ザクロ石と角閃石を主体としたザクロ石-角閃岩相に属する。化学組成は $(\text{Na}_{0.35}\text{K}_{0.01})_{0.36}(\text{Na}_{0.45}\text{Ca}_{1.55})_{2.00}(\text{Mg}_{3.34}\text{Fe}^{2+}_{0.66}\text{Fe}^{3+}_{0.15}\text{Mn}_{0.01}\text{Ti}_{0.03}\text{Al}_{0.81})_{5.00}(\text{Al}_{0.93}\text{Si}_{7.07})_{8.00}\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ のマグネシオホルンブレンドで、これを瑪瑙乳鉢で 10 μm 以下に粉碎し、15×20×0.5mm のガラスホルダーにセットした。このとき試料の粒子がランダムな方向を向くように X 線と平行な条線をカミソリの刃でつけた。X 線回折データはリガク RINT-2100V により、湾曲型グラフィットを用いて Cu 管球、40kV、40mA で測定した。ゴニオメーターは Bragg-Brentano

type で、スリット系は 1/2° - 0.15mm - 1/2° とした。強度データは 8.0~115.0° (2θ)間で、ステップ幅を 0.04° (2θ)と固定し計数時間を 2、4、8、16、20、32、64 秒と変化させた場合と、計数時間を 16 秒に固定しステップ幅を 0.01° から 0.1° までは 0.01° 間隔、0.1° から 0.4° までは 0.1° 間隔で増加させた場合の 2 つの方法で収集した。X 線 Rietveld 法は RIETAN-94 (Izumi,1993)を使用して精密化を行った。初期パラメーターは、Hawthorne&Grundy (1976) のトレモラ閃石の値を使用した(図.1)。

【実験結果】

図 2 は前述の 2 つの方法により得られた結果を、それぞれグラフに示したものである。

1)ステップ幅 0.04° (2θ)で計数時間を変化

計数時間の増加とともに Rp 値が減少している。また、格子定数と密度は 4 秒以上でほぼ一定の値になる。〈T1-O〉、〈T2-O〉の平均結合距離のグラフでは 8 秒以上でほぼ一定の値となり、T2-O の距離が T1-O よりも短い。これは T1 席において、四面体中の Si が Al に置換しているためと考えられる。M1、M2、M3、M4、および A 席の席占有率、平均結合距離は 4 秒以上でほぼ一定となる。これらのことから、計数時間は約 8 秒以上とすることが望ましいと考えられる。

2)計数時間 16 秒で、ステップ幅を変化

ステップ幅 0.10° (2θ)以下では Rp 値はほぼ一定値で、0.20° (2θ)以上になると減少している。これは測定点が少なくなったため、実測値とフィッティングの計算値の強度データの差が小さくなったことによると考えられる。また、格子

定数と密度はステップ幅が 0.2° (2θ)以上になると大きく変化する。T席の平均結合距離では、どちらも 0.09° (2θ)まではほぼ一定の値を示している。とくに $\langle T1-O \rangle$ は $\langle T2-O \rangle$ より大きく、これは T1 席における四面体中の Si 原子から Al 原子への置換を考えると妥当であるといえる。M1~M3 席の席占有率、および平均結合距離は 0.05° (2θ)まではほぼ一定となっている。M4 席の席占有率は 0.2° (2θ)まで、平均結合距離は 0.05° (2θ)まではほぼ一定である。また、A 席の席占有率は 0.05° (2θ)より大きくなると大きく変化している。

3) 等方性温度因子の影響

ステップ幅 0.04° (2θ)、計数時間 20 秒で収録したデータをもとに、各陽イオンと酸素の等方性温度因子を変化させて、席占有率の影響を調べた。その結果、M1、M2、M3、M4、および A 席における等方性温度因子の影響は、とくに M4 席における席占有率に影響が出てくるのが分かった。

以上の実験結果から、今回の測定条件では約 8 秒以上の計数時間、 0.04° (2θ)以下のステップ幅で使うことが望ましいと考えられる。

4) トレモラ閃石-フェロアクチノ閃石系 Ca 角閃石の Rietveld 解析

応用として、M1~M3 席の Mg と Fe²⁺の割合が変化しているトレモラ閃石-フェロアクチノ閃石系 Ca 角閃石において、Rietveld 解析を行った。格子定数と密度においては、 β 角以外は Mg が減少するに従いその値が増加している。また、T 席では、 $\langle T1-O \rangle$ 、 $\langle T2-O \rangle$ の平均結合距離の差が Mg の減少とともに大きくなっている。M1、M2、M3、M4 の席占有率において、Mg の減少とともに各々減少し、平均結合距離においてはほぼ一定の値となっている。A 席の席占有率は増加傾向が見られる。これらは化学組成変化とほぼ一致した値である。また、各面からの反射強度も規則的に変化しているので、このシリーズの化学組成変化を推定するのに有用で

ある。

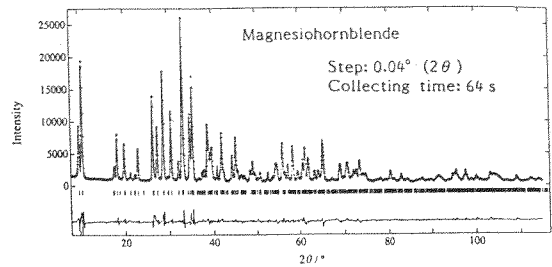


Fig.1a XRD powder pattern for magnesiohornblende.

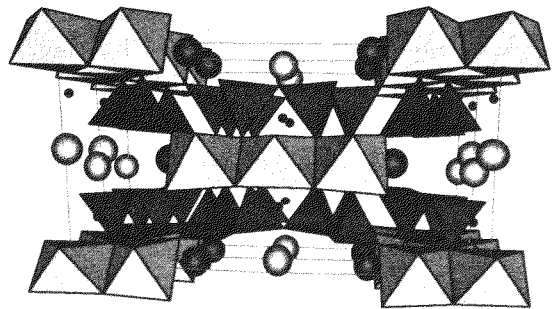


Fig.1b A view from c-axis for magnesiohornblende.

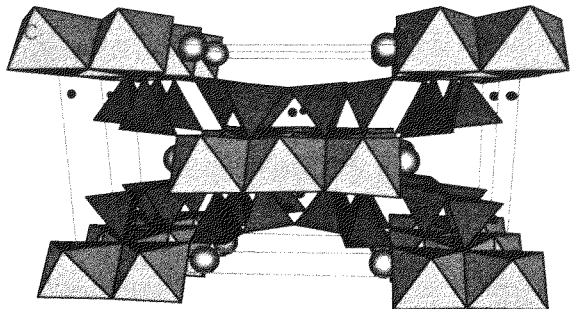


Fig.1c A view from c-axis for ferroactinolite.

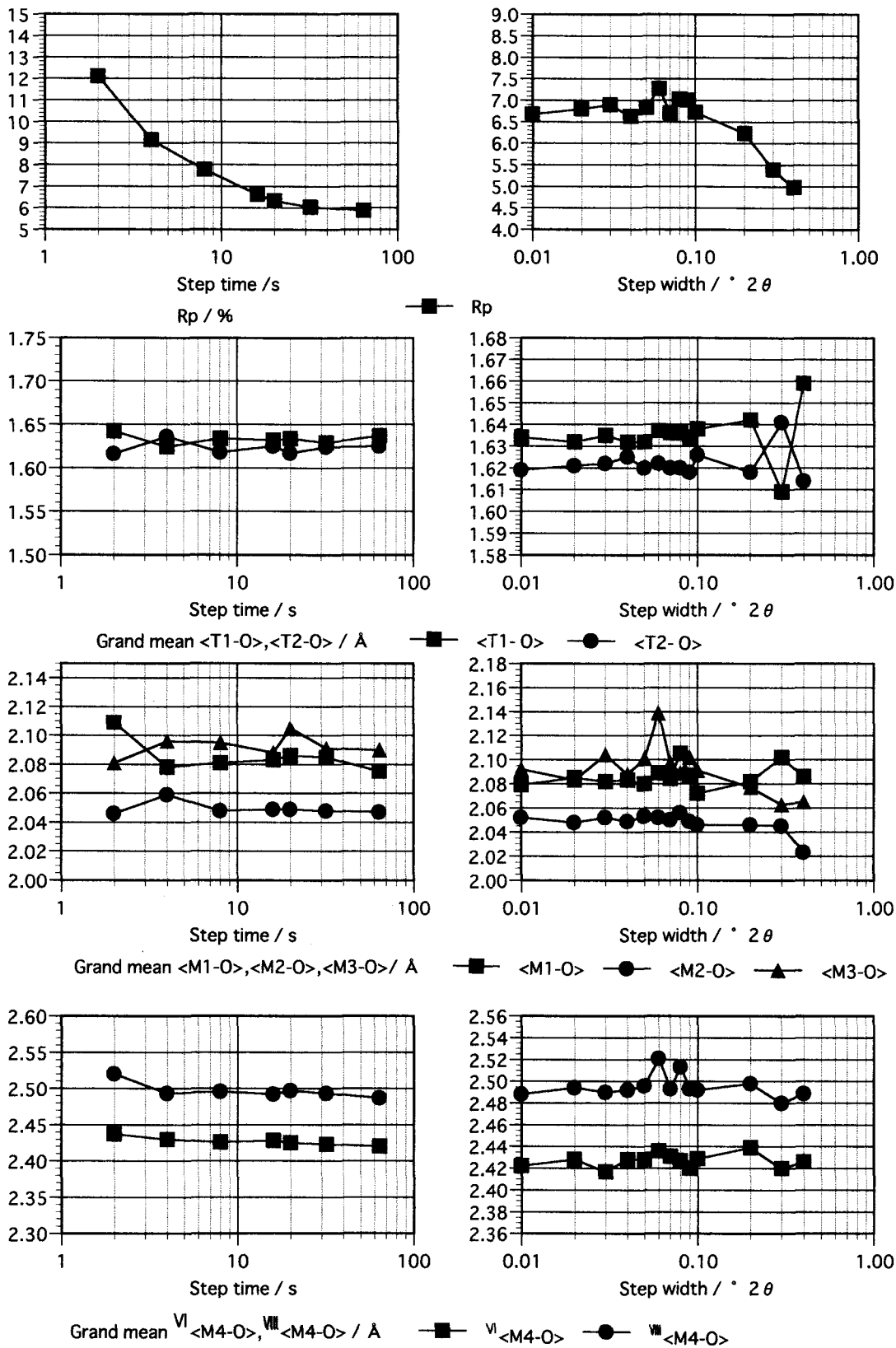


Fig.2 Results for X-ray Rietveld analyses with various step-times(left) and step-widths(right).

Magmatism just before construction of Pangea – Granitoid series in Mongolia

Y. Takahashi (GSJ Hokkaido), Y. Arakawa (Saitama Univ.), S. Oyungerel (Geological Investigation Bureau of Mongolia) and K. Naito (GSJ Mineral Resource and Energy)

Mongolia is geologically situated between the Siberian Platform and Sino-Korean Block. In the early stage of history of Pangea, Siberian Platform and Sino-Korean Block were separated, and Mongolia-Okhotsk Ocean was developed between the Siberian platform and Tuva-Mongolia microcontinent. Our study area of Mongolia (Bayankhongor area) exposes geologic units from Archean to Cenozoic. Therefore the geological investigation of this area will contribute to the construction of the history of assembly and dispersion of the continents.

The Bayankhongor area is located in central Mongolia about 600 km WSW of Ulaanbaatar. The investigated area ranges from 45° 20' to 47° 20' N in latitude and from 98° to 102° E in longitude. Geological Survey of Japan and Geological Investigation Bureau of Mongolia prepared the new geological maps of the Bayakhongor area. According to these maps the area is roughly divided into Baidrag and Bombogor Metamorphic Complexes, Burd-gol Group, Bayankhongor Ophiolite Complex, Jirem-nuruu Group, Dzag Group, and Khangai Group that are separated from each other by northwest-southeast trending faults.

The Baidrag Metamorphic Complex

consists of "gray" tonalitic gneisses which are Archean high-grade metamorphic rocks ranging from amphibolite to granulite facies. The Bombogor Metamorphic Complex is composed of gneisses, crystalline schists, amphibolite, leptite, marble, and quartzite. The Burd-gol Group is composed of rocks of the middle to late Riphean age: conglomerate, quartzite, meta-sandstone, shale, limestone, and basaltic sill. The Jirem-nuruu Group consists of Riphean serpentinite, meta-gabbro, amphibolite, crystalline schist, stromatolite limestone, and quartzite, and Vendian to Cambrian shale, sandstone, limestone, quartzite, and basalt. The Bayankhongor Ophiolite Complex is a Vendian to Cambrian ophiolitic sequence such as ultrabasic rocks, gabbro, sheeted dykes, basalt, limestone, and tuffaceous sandstone. The Dzag Group consists mainly of Cambrian to Ordovician sandstone associated with conglomerate and shale. The Khangai Group consists of Devonian to Carboniferous turbidite sediments.

Various granitoids intruded into these geologic units.

We reviewed the radiometric age data of the granitoids in the Bayankhongor area and recognized some peaks in frequency of these

age data (Fig. 1). The first peak is early Proterozoic, 2500 to 1800 Ma, and second peak is Riphean, 1200 to 1000 Ma. Many age data are concentrated in Paleozoic to Mesozoic. On closer examination, Paleozoic to Mesozoic age data are grouped into early Paleozoic (Cambrian to Ordovician), late Paleozoic (mostly Permian), and Mesozoic (Jurassic).

The granitoid series in Bayankhongor area, central Mongolia, were investigated using magnetic susceptibility and chemical data. In Riphean, ilmenite-series granitoids were dominant. In early Paleozoic, ilmenite-series granitoids were dominant, but magnetite-series granitoids appeared in southwestern part of the study area. In late Paleozoic, magnetite-series granitoids were predominant. The boundary between magnetite- and ilmenite-series granitoids shifted northeastward during Paleozoic (Fig. 2). Mesozoic granitoids were ilmenite-series granitoids.

These variations are interesting for discussion of tectonic developments in the area. Among these, Paleozoic granitoids in the study area may be products associated with subduction. The shifting of boundary between magnetite- and ilmenite-series granitoids is conformable with the development of the Khangay Zone in middle to late Paleozoic.

In late Paleozoic granitoids, Cu and Au deposits are distributed within the magnetite-series granitoids area. Sn and W deposits occur around the boundary between the magnetite- and ilmenite-series granitoids or in the ilmenite-series dominant area. These distributions indicate that the redox potential decreases from southwest to northeast in late Paleozoic granitoids of the study area.

Thus history of the granitoids series in early to late Paleozoic suggests magmatism related to subduction under microcontinent in Mongolia-Okhotsk Ocean.

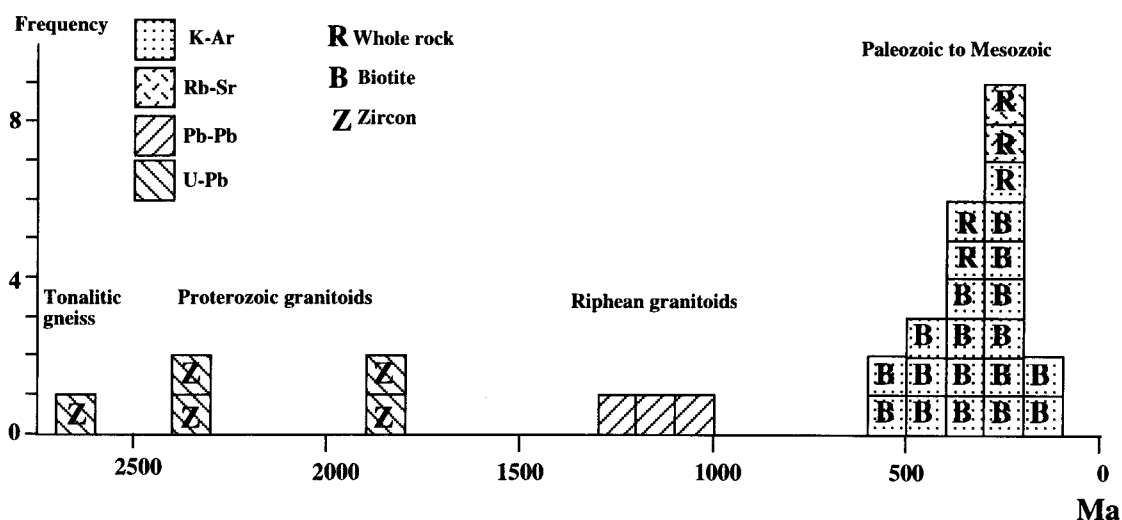


Fig. 1 Frequency of radiometric age data in the Bayankhongor area, Mongolia

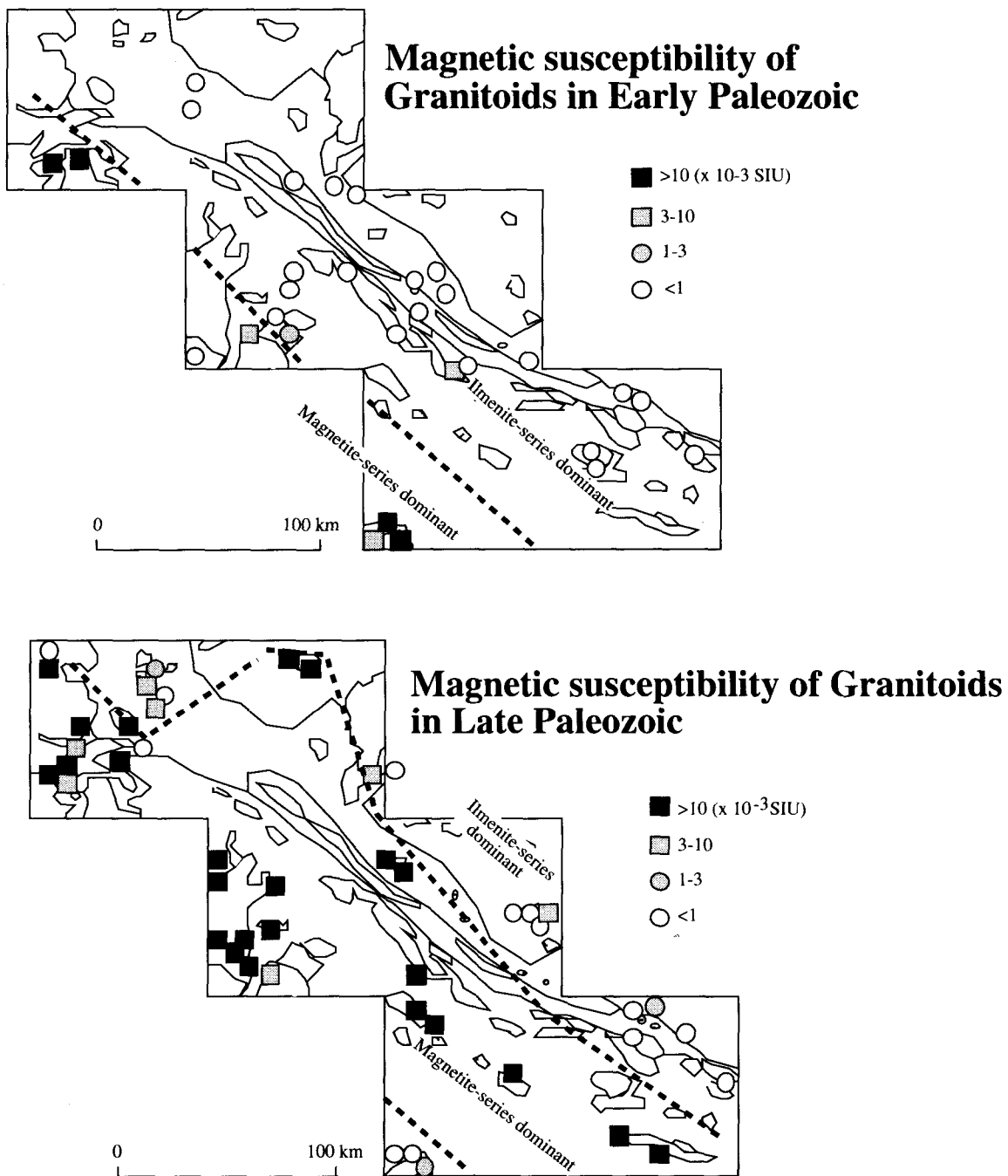


Fig. 2 Magnetic susceptibility of the granitoids in the Bayankhongor area, Mongolia

東南極ナピア岩体トナー島の苦鉄質グラニュライト中の 含ハロゲン鉱物からみた超高温変成作用の流体組成

角替敏昭 (島根大)、小山内康人 (岡山大)、豊島剛志 (新潟大)、
大和田正明 (山口大)、外田智干 (極地研)、W.A. Crowe (西オーストラリア大)

Halogen chemistry of minerals as an indicator of metamorphic fluid composition in ultrahigh-temperature mafic granulite from Tonagh Island in the Napier Complex, East Antarctica.

Toshiaki Tsunogae (Shimane Univ.), Yasuhito Osanai (Okayama Univ.), Tsuyoshi Toyoshima (Niigata Univ.), Masaaki Owada (Yamaguchi Univ.), Tomokazu Hokada (NIPR), and W.A. Crowe (Univ. WA)

東南極ナピア岩体西部のアムンゼン湾に位置するトナー島には、顕著な縞状構造と多様な原岩組成をもつ高度変成岩類が分布している。これら岩石は1100°Cを超える超高温変成作用を被ったことが明らかになっており (例えば Osanai *et al.*, 1999; Hokada *et al.*, 1999), その変成年代は太古代末期の約25億年前と考えられている (Owada *et al.*, 1994)。ナピア岩体の変成作用に関与した流体組成は、極めて水のアクティビティー ($a_{\text{H}_2\text{O}}$) が低いと考えられている。この低い $a_{\text{H}_2\text{O}}$ が超高温条件下においても安定な変成鉱物組み合わせをもたらしたとされている。トナー島の広範囲に分布する苦鉄質グラニュライトが、Fに富む褐色～淡褐色角閃石 (パーガス閃石) を含むことは、昨年の本シンポジウムにおいて報告した (角替ほか, 1999)。本研究では、Fの一部が変成作用時に浸透した流体によって供給された例を報告し、あわせてトナー島の超高温変成作用における流体組成について検討する。

本研究では、LiFをF分析の標準資料として分析値の再検討を行い、メキシコ産のF-燐灰石との組成チェックを行った。F含有量が最も多い苦鉄質グラニュライト中の褐色角閃石は、最大1.7 wt.% ($F/(F+Cl+OH)=0.40$) に達するFを含む。また、超苦鉄質グラニュライトの淡褐色角閃石のF含有量は最大1.8 wt.% ($F/(F+Cl+OH)=0.42$) である。これら分析結果を図1に示した。今回、剪断帯付近のサンプル (B98020802B) から最大1.6 wt.% ($Cl/(F+Cl+OH)=0.21$) のClを含む角閃石を確認したが、図1(a)に示したように、Clに富む角閃石はFをほとんど含まない。図1(b)によると、一部のサンプル (B98020801) をのぞいて、F含有量は角閃石のMg/(Fe+Mg)比と正の相関をもつ。また、図1(a), (c)に示したように、Cl含有量とF、

Mg/(Fe+Mg)比には系統的な違いはみられない。

なお、後退変成作用において斜方輝石の周囲に二次的に形成された緑色角閃石 (サンプル B98020303C) は、F、Clをほとんど含まない。

図1(d)は、世界各地から報告されている苦鉄質グラニュライト中の角閃石の組成を示したものである。それによると、図1(b)でみられたFとMg/(Fe+Mg)比との相関はこの図からも確認できる。また、トナー島の角閃石は、他の地域のものに比べて極めて高いF含有量を示す。一方、Bushveldなどの超苦鉄質貫入岩中の角閃石のF含有量は、Mg/(Fe+Mg)比との相関がみられない。

これらFおよびClの起源については、未だ明らかにされていない。角閃石を変成鉱物として考えた場合、ハロゲン元素の起源として以下の4つのモデルが考えられる。

1. ハロゲン元素を多く含む原岩の影響
2. 燐灰石などからの脱ガス。
3. ハロゲン元素を含む流体の浸透
4. 流体→鉱物へのハロゲン元素の選択的な分配

1については、海洋底変成作用において形成された角閃石の場合、海水との交代反応によるClの濃集例がある。しかし、超高温変成岩中の角閃石や黒雲母においてのみみられるハロゲン元素の濃集は、原岩組成の影響とは考えにくい。2については、含水鉱物と燐灰石のハロゲン元素の含有量に明らかな相関関係はみられない。4については、Zhu and Sverjensky (1991)の熱力学的計算によると、鉱物-流体間のFの分配は、高温においてFは流体に濃集することが報告されている。今回、3の流体の浸透によるハロゲン元素の供給例を確認した。

トナー島のユニット境界であるD6ステージの剪断帯 (Toyoshima *et al.*, 1999) による変形を受け

たサンプル (B98020802B) には、片麻状構造を切って発達するクラックが存在する。このクラックは輝石、角閃石などのフェロマグネシアン鉱物近傍において、クラックを浸透した流体との反応によって二次的な黒雲母を形成している。この黒雲母は0.8 wt.%に達するFと0.5 wt.%のClを含み、斜方輝石の加水反応によって形成されたもの (F<0.1 wt.%)とは明らかに異なる。つまり、D6ステージにおいて、剪断帯に沿ってF, Clを含む流体が浸透したことが考えられる。この剪断帯はグラニュライト相の変成条件 (>750° C) で形成されたため、流体の浸透が高温条件下で起こったことを意味している。

その後、輝石の周囲に二次的に形成された緑色角閃石は、F, Clともにほとんど含まない。したがって、後退変成作用の最終段階では、一転してH₂Oに富む流体が浸透したことが考えられる。このように、トナー島の超高温変成岩中には、組成の異なる流体の浸透が何度か起こったことが考えられる。累進お

よびピーク変成作用における流体組成については復元できていないが、F, Clに富む鉱物の存在から、これらハロゲン元素に富む流体の浸透の可能性がある。

変成作用における流体組成の変化を決定することは容易でないが、これらを酸素分圧 (f_{O₂}) の変化としてモニターすることができる。変成作用におけるf_{O₂}は、磁鉄鉱-チタン鉄鉱鉱物組み合わせによって決定することができるため、今回はFに富む角閃石を含む苦鉄質グラニュライトのf_{O₂}を予察的に決定した。その結果、磁鉄鉱-チタン鉄鉱鉱物に記録されている温度は極めて低く (500~650° C)、酸素分圧は550° Cにおいてlogf_{O₂}=-20と、HMバッファーとQFMバッファーの中間値をもつ。つまり、f_{O₂}は、磁鉄鉱-斜方輝石-石英などの鉱物組み合わせによってバッファーされており、後退変成作用の最後のステージの温度条件とf_{O₂}を記録していると考えられる。

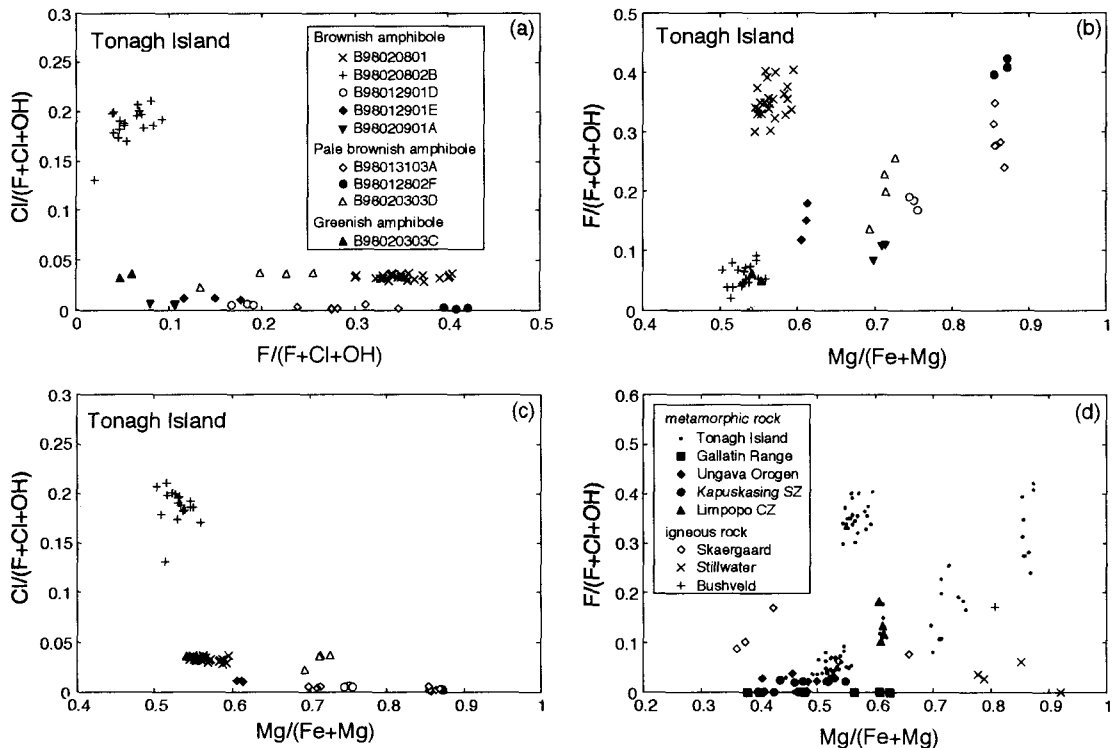


図 1. (a)~(c): トナー島の変成岩に含まれる角閃石の化学組成。
(d): 他のグラニュライト地域の角閃石との比較

Pegmatite emplacement and the timing of upper-amphibolite facies metamorphism
in the Napier Complex, East Antarctica.

P 6

Carson C. J.

Dept of Geology & Geophysics, Yale University, New Haven, CT, 06511, USA.

Many workers report that the Napier Complex, East Antarctica, experienced upper-amphibolite facies conditions postdating Archaean peak UHT metamorphism (e.g. Ellis & Green 1985; Sandiford 1985; Harley 1985; Tsunogae *et al.* 1999). The timing of upper-amphibolite facies metamorphic event(s) is somewhat uncertain, but the event(s) is characterised by the development of narrow shear zones, recrystallization and destruction of UHT mineral assemblages and the formation of various hydrous mineral assemblages. Upper-amphibolite facies metamorphism in the Napier Complex has generally assumed to have been coeval with pervasive high-grade tectonism in the adjacent Rayner Complex (e.g. Sheraton *et al.* 1987; Sandiford 1985; Harley 1985) for which an age of metamorphism at ~1000 Ma is well established (e.g. Black *et al.* 1987). In contrast, Grew & Manton (1979) reported a U-Pb mineral age of ~520 Ma for post-tectonic pegmatites at Forefinger Point (and at Molodezhnaya, located within the Rayner Complex, Grew 1978) and noted the development of amphibolite facies "alteration" zones or "bleach" zones in the host gneiss adjacent to such pegmatites. Others suggest that amphibolite facies conditions were

synchronous with upright open D₃ fold development at ~2500 Ma and further suggest these conditions record waning Archaean UHT metamorphism (eg. Black *et al.* 1983; Ellis & Green 1985; Harley & Black 1987).

To further examine the timing of post-tectonic pegmatite emplacement and upper-amphibolite facies event in the region, we are in the process of conducting ion probe U-Th-Pb age determinations on magmatic monazite extracted from post-tectonic planar pegmatites located on Tonagh Is, East Antarctica. These pegmatites crosscut UHT orthopyroxene-bearing quartofeldspathic gneiss (Osanaï *et al.* 1999) and are surrounded by hydrous upper amphibolite-facies metasomatic zones (eg. Grew 1978; Grew & Manton 1979), which presumably resulted from interaction between the host rock and magmatic fluids from the pegmatites. Emplacement of these pegmatites may also provide the source for hydrous fluids (e.g. Sandiford 1985) facilitating more widespread development of semi-pervasive hydrous upper amphibolite facies assemblages reported in the Napier Complex (eg. Tsunogae *et al.* 1999). The alteration zones on Tonagh Island preserve pressure-temperature conditions of ~7 kbar and ~700°C, consistent with many of the previously published *P-T*

estimates of upper amphibolite conditions from the Napier Complex.

At the present time the U-Th-Pb monazite data are not available so further discussion is not yet possible, but by determining the age of planar pegmatite emplacement on Tonagh Island we will place additional constraints on the timing of the upper-amphibolite conditions in the Napier Complex and, importantly, add to the currently rather limited database of post-Archaean chronology in the region.

Acknowledgements

I would like to thank Professor K. Shiraishi and Dr Y. Motoyoshi of the NIPR for inviting me on JARE-40, and the assistance they extended to me prior to, during, and after the expedition. I wish also to thank the expeditioners of JARE-39 and 40, particularly the Tonagh Island field party, and the officers and crew of the *Shirase* for the warm hospitality and generosity extended to me during JARE-40. The analytical costs are covered by NSF grant number EAR 0001084 awarded to Carson & Ague, and analyses were conducted at the Dept of Earth and Planetary Sciences UCLA on a Cameca 1270 series ion probe.

References

- Black L. P., James P. R. & Harley S. L. 1983. The Geochronology, structure and metamorphism of early Archaean rocks at Fyfe Hills, Enderby Land, Antarctica. *Precambrian Research*, **21**, 197-222.
- Black L. P., Harley S. L., Sun S. S. & McCulloch M. T. 1987. The Rayner complex of east Antarctica: Complex isotopic systematics within a Proterozoic mobile belt. *Journal of Metamorphic Geology*, **5**, 1-26.
- Ellis D. J. & Green D. H. 1985. Garnet-forming reactions in mafic granulites from Enderby Land, Antarctica—implications for geothermometry and geobarometry. *Journal of Petrology*, **26**, 633-662.
- Grew E. S. 1978. Precambrian basement at Molodezhnaya station, east Antarctica. *Geological Society of America Bulletin*, **89**(6), 801-813.
- Grew E. S. & Manton W. I. 1979. Archaean rocks in Antarctica: 2.5-billion-year uranium-lead ages of pegmatites in Enderby Land. *Science*, **206**, 443-445.
- Harley S. L. 1985. Paragenetic and mineral-chemical relationships in orthoamphibole-bearing gneisses from Enderby Land, east Antarctica: a record of Proterozoic uplift. *Journal of Metamorphic Geology*, **3**, 179-200.
- Harley S. L. & Black L. P. 1987. The Archaean geological evolution of Enderby Land, Antarctica. IN: Evolution of the Lewisian and comparable Precambrian High Grade terrains, Park R. G. & Tarney J. (eds), Geological Society Special Publications No. 27, pp 285-296.
- Osanai Y., Toyoshima T., Owada M., Tsunogae T., Hokada T. & Crowe W. A. 1999. Geology of Ultrahigh-Temperature metamorphic rocks from Tonagh Island in the Napier Complex, East Antarctica. *Polar Geoscience*, **12**, 1-28.
- Sandiford M. 1985. The origin of retrograde shear zones in the Napier Complex: implications for the tectonic evolution of Enderby Land, Antarctica. *Journal of Structural Geology*, **7**, 477-488.
- Sheraton J. W., Tingey R. J., Black L. P., Offe L. A. & Ellis D. J. 1987. Geology of Enderby Land and western Kemp Land, Antarctica. *Bureau of Mineral Resources, Australia, Bulletin*, no. 223, 51pp.
- Shiraishi K., Ellis D. J., Fanning C. M., Hiroi Y., Kagama H. & Motoyoshi Y. 1997. Re-examination of the metamorphic and protolith ages of the Rayner Complex, Antarctic: Evidence for the Cambrian (Pan-African) regional metamorphic event. In Ricci, C. A., ed. *The Antarctic region: geological evolution and processes*. Siena: Museo Nazionale dell'Antartide, 79-88.
- Tsunogae T., Osanai Y., Toyoshima T., Owada M., Hokada T. & Crowe W. A. 1999. Metamorphic reactions and preliminary P-T estimates of ultrahigh-temperature mafic granulite from Tonagh Island in the Napier Complex, East Antarctica. *Polar Geoscience*, **12**, 71-86.

p 7 東南極ナピア岩体, トナー島の斜方輝石-珪長質片麻岩の産状と 化学組成

大和田正明 (山口大), 小山内康人 (岡山大), 豊島剛志 (新潟大), 角替敏昭 (島根大), 外田智千 (極地研・研究員), W.A. Crowe (Uni. W. Australia)

Occurrence and geochemistry of orthopyroxene quartzo-feldspathic gneiss from Tonagh Island in Napier Complex, East Antarctica

Masaaki Owada (Yamaguchi Univ.), Yasuhito Osanai (Okayama Univ.), Tsuyoshi Toyoshima (Niigata Univ.), Toshiaki Tsunogae (Shimane Univ.), Tomokazu Hokada (NIPR), W.A. Crowe (Uni. W. Australia)

東南極ナピア岩体は太古代に形成した地殻で, その形成年代は3900Ma以前と考えられている (例えば, Black et al., 1984). また, ナピア岩体のアムンゼン湾周辺には, 太古代末に地殻深部の条件下で1100℃を越える超高温変成作用を被った変成岩類が分布している (例えば, Harley and Hensen, 1990). このような40億年をさかのぼる地殻形成がどのような過程で生じたのか, あるいは超高温変成岩類の原岩が何かを明らかにすることはマントルや大陸地殻の形成と進化の解明に貢献できる. 筆者らは, これらの問題を検討するためナピア岩体トナー島の超苦鉄質岩と苦鉄質岩の化学的特徴についてこれまで報告してきた (Owada et al., 1999, Owada et al., in press). 今回はトナー島の珪長質岩について産状と化学組成を報告する. そして, トナー島から40km北東に位置するリーセル・ラルセン山地域のデータ (Suzuki et al., 1999) も含め, アムンゼン湾周辺に産する超苦鉄質岩~珪長質岩の化学的特徴について検討する.

東西約4km, 南北約8kmのトナー島はアムンゼン湾の最南部に位置する. 超苦鉄質岩から珪長質岩, 磁鉄鉱-石英片麻岩および非変成の貫入岩から構成され, 変成岩類には異なる岩石種による層状構造が発達する. トナー島の地質は東西に伸びる高角の衝上断層や剪断帯によってUnit I~Vに区分される. Unit I~IIIは苦鉄質岩が他のユニットに比べ卓越し, 特にUnit IIとIIIには, 100m以上の層厚を持つ苦鉄質岩が含まれる. 一方, Unit Vは主に珪長質岩からなり, 苦鉄質岩は珪長質岩中にレンズないし薄層として産する.

トナー島に産する苦鉄質岩は他の構成岩石とともに層状構造をなすほか, 隣り合う珪長質岩の片理面や層状構造を切って産するものがある. また, 大部

分の超苦鉄質岩は珪長質岩中にレンズあるいはブロックとして産するが, 一部の苦鉄質岩と同様に層状構造と斜交し, 伸びている. このような産状の苦鉄質岩や超苦鉄質岩はもともと貫入岩であった可能性が高い (Osanai et al., 1999, Owada et al., 1999). 珪長質岩も多くの苦鉄質岩と同様に層状構造をなす主要な構成メンバーであるが, Unit IIの厚い苦鉄質岩と接する斜方輝石-珪長質片麻岩は苦鉄質岩の捕獲岩を含む. したがって, この珪長質岩も貫入岩であったと考えられている (Owada et al., 1999). 貫入岩起源と考えられる苦鉄質岩と同様の産状は, リーセル・ラルセン山地域からも報告されており (Ishizuka et al., 1998), ナピア岩体を構成する超高温変成岩類には, 貫入岩起源の岩石を含んでいたことが示唆される.

斜方輝石-珪長質片麻岩 (以下, 斜方輝石片麻岩) は一般に粗粒で, 弱い片麻状構造を持つ. 主に斜長石, 石英, 斜方輝石からなり, しばしばメソパーサイトを含む. SiO₂含有量は56~76wt%と安山岩~流紋岩組成に相当する. 変成や変質で動き難い元素についてみると, SiO₂含有量の変化に対し各元素は規則的なトレンドを示す場合が多い. 例えば, TiO₂はSiO₂が増加するに従って規則的に減少し, 斜方輝石片麻岩の組成変化が火成岩の分化トレンドに類似していることを示す (Fig. 1). 上述したように, 斜方輝石片麻岩の産状と合わせて考えると, この岩石の原岩は安山岩~流紋岩質マグマからもたらされたと考えられる.

リーセル・ラルセン山地域の斜方輝石片麻岩の化学組成はSuzuki et al. (1999) によって報告されており, SiO₂含有量は64~72wt%で, トナー島のそれらの範囲内にある (Fig. 1). また, SiO₂含有量の変化に対する各元素の挙動もおおよそトナー島のそれ

らと類似するが、Nbはトナー島の岩石より高い含有量を示す。Suzuki et al. (1999) は野外の産状とコンドライトで規格化したREEパターンからみて、リーセル・ラルセン山地域の斜方輝石片麻岩の原岩がTonalite-Trondhjemite-Granodiorite (TTG) に由来した可能性を示した。一方、トナー島の斜方輝石片麻岩は、リーセル・ラルセン山地域と同じく安山岩～流紋岩に相当する組成を有するが、Nb含有量が低いといった違いが認められる。MORBで規格化したスパイダー図では、トナー島の斜方輝石片麻岩はNbの負異常が顕著なのに対し、リーセル・ラルセン山地域のそれにはそのよう異常が認められない (Fig. 2)。

Owada et al. (1999) は、トナー島の超苦鉄質～苦鉄質岩の一部がコマチアイト～コマチアイト質玄武岩マグマからもたらされたことを示した。一方、リーセル・ラルセン山地域においても同様の原岩が考えられており、コンドライトで規格化したREEパターンからLREEに富むタイプとLREEに乏しいものとに区分されている (Suzuki et al., 1999)。トナー

島においても超苦鉄質～苦鉄質岩のREEパターンはLREEに富むものと乏しいものに区分され、両者はそれぞれLREE組成に関して富む起源物質 (マントル) と乏しいそれに由来したと考えられている (Owada et al., in press)。

上述したアムンゼン湾周辺の超苦鉄質～珪長質岩の化学的特徴をまとめると、以下ようになる。すなわち、1) LREEに富む超苦鉄質～苦鉄質岩、2) LREEに乏しい超苦鉄質～苦鉄質岩、3) Nbの負異常が認められないTTG類似の珪長質岩、そして4) Nbの負異常が顕著な中間～珪長質岩、である。1) と2) の存在は、太古代のマントルがすでに不均質であったことを支持する。TTGマグマは、マントル内で直接沈み込む海洋スラブが溶けたものと考えられており (例えば、Martin, 1986)、3) の原岩もこのようなマグマからもたらされた可能性がある。一方、4) は流体に汚染されたマントルに由来するマグマから生じた可能性があるが、そのメカニズムについてはさらに検討が必要である。

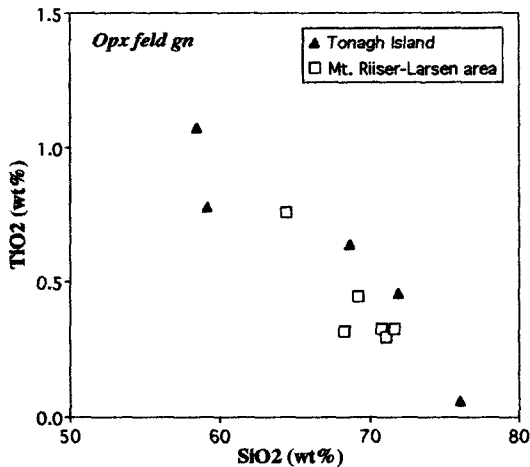


Fig. 1. SiO₂-TiO₂ diagram of the Opx quartzo-feldspathic gneiss.

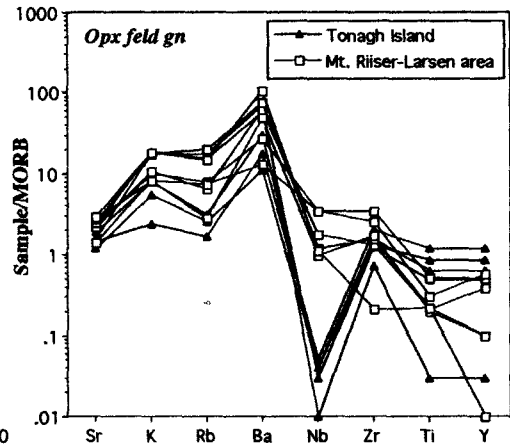


Fig. 2. MORB normalized trace elements pattern of the Opx quartzo-feldspathic gneiss.

Osumilite-sapphirine granulites from Bunt Island in the Napier Complex, East Antarctica

Osanaï, Y. (Okayama Univ.), Toyoshima, T. (Niigata Univ.),

Owada, M. (Yamaguchi Univ.), Tsunogae, T. (Shimane Univ.),

Hokada, T. (NIPR) and Crowe, W.A. (UWA)

東南極エンダービーランドのナピア岩体には、太古代—原生代の放射年代を示す超高温変成岩類が広範に分布することが知られており、地球創生期の大陸地殻形成過程や地殻深部プロセスを検討する上で、極めて重要な情報提供の場と考えられている。JARE-39では、SEAL計画の一環としてアムンゼン湾・トナー島について精密地質調査を実施し、JARE-38によるリーセルラルセン山とともに、ナピア岩体では最も精緻な地質情報を得ることに成功した(Ishizuka et al., 1998; Osanaï et al., 1999など)。また、JARE-39では調査期間終了間際にバント島、プリーストリー峰、リーセルラルセン山でスポット調査も行った。今回は、約6時間の滞在で3地点について精密な岩石試料採取を行ったバント島の、超高温変成岩類について報告する。なお、バント島の超高温変成岩類は、約30km離れたトナー島では認められない様々な特徴を示す。バント島はアムンゼン湾最奥部に位置し、これまでオーストラリア隊による調査記録はあるものの、詳細な地質学的・岩石学的報告は皆無であった。Sheraton et al. (1987)によると、バント島はトナー島あるいはリーセルラルセン山と同様に layered gneiss の卓越する地域とみなされたが、トナー島などと異なり約10億年のレイナー型変成作用の影響を受けていない地域とされた。この点では、JAREとしては初の、ナピア型変成作用のみを解析できる地域とも言える。

バント島における調査地点は、北部の縞状構造が顕著に発達する地域である。本地域は、ザクロ石あるいは斜方輝石含有石英長石質片麻岩類が卓越し、苦鉄質片麻岩類が挟在する。今回報告する顕著な超高温変成岩類は以下の2種類の産状を示す。(1)石英長石質片麻岩類中にブロック状あるいはブーダン状に産する超苦鉄質岩の周囲に発達した反応帯、(2)石英長石質片麻岩中のアルミナスな薄層。(1)と(2)の決定的な差異は、石英および大隅石の出現の有無あるいは、サフィリン—石英共生の有無である。

(1) 反応帯における超高温変成岩類

このタイプの超高温変成岩類は、ザクロ石含有石英長石質片麻岩中の含スピネル斜方輝岩あるいは金雲母斜方輝岩ブロックの周囲に発達する反応帯に産する。数10cmから数m程度のドメイン(レイヤー)で鉱物組み合わせが異なり、石英長石質片麻岩から斜方輝岩に向かって、大隅石、サフィリンのモードが増す傾向が認められる。この反応帯で見られる鉱物組み合わせは、以下の通りである。

- ・ Grt-Qtz-Pl-Kfs-(Sil)-(Opx)
- ・ Grt-Sil-Osm-Qtz-Pl-Kfs
- ・ Grt-Sil-Spr-Kfs-Pl
- ・ Grt-Opx-Osm-Spr-Kfs-Pl-(Crd)
- ・ Opx-Spr-Osm-Sil-Kfs-Qtz
- ・ Grt-Opx-Phl-Spr
- ・ Opx-Spl など

(2) アルミナスな薄層における超高温変成岩類

石英に富む含ザクロ石—斜方輝石石英長石質片麻岩中の数10cm程度の薄層として産する。大隅石を欠き、石英に富むことで特徴づけられる。このタイプでは、以下のような鉱物組み合わせが認められ、ナピア岩体における超高温変成作用の変成プロセスの解析に有効である。

- ・ Grt-Spr-Opx-Qtz
- ・ Grt-Spr-Opx-Sil-Qtz
- ・ Grt-Spl-Spr-Sil-Qtz など

講演では、これらの鉱物組み合わせ、鉱物反応組織、および鉱物化学組成の解析から、超高温変成条件下における反時計回りの反応プロセスについてのべる。また(2)のタイプでは、サフィリン—石英共生を示すサフィリン中に、これまで考えられてきた変成条件(1100MPa, 1100°C)よりもさらに高压条件を示唆する包有鉱物が見出された。これについては現在解析を進めており、シンポジウムにて詳しく報告する予定である。

山川純次(岡山大学理学部)・小山内康人・草地功(岡山大学教育学部)

Crystal structure of scapolite from Skallen in the Lützow-holm bay region, East Antarctica

Junji Yamakawa, Yasuhito Osanai and Isao Kusachi (Okayama University)

1. はじめに

南極大陸東部のSkallen地区に産出する石灰珪質片麻岩から、累帯構造を示すスカポライトが2種類見いだされた(Fig.1. Kusachi, Osanai, Toyoshima, Owada, Tsunogae, Hokada and Crowe, 1999). そのうちの一種類(A97122403A)は、Meionite成分が中心部で79%, 周辺部で35%であった。主に透輝石、パーガス角閃石そしてスピネルと共存していた。もう一種類(A97122705E)は、meionite成分が中心部で33%, 周辺部で57%であった。主に透輝石、金雲母そしてカリ長石(Or95-99)と共存していた。

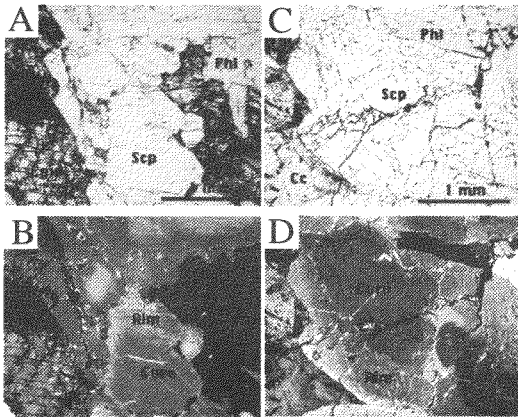


Fig.1. Photomicrographs showing zoning of scapolite from Skallen. A and B: A97122403A, C and D: A97122705E. The upper two photographs were taken with plane-polarized light and the lower photographs with crossed nicols. Abbreviations: Scp; scapolite, Cpx; diopside, Phl; phlogopite, Cc; calcite.

スカポライトの結晶構造はmeionite成分に伴って変化すると考えられている(Deer, Howie and Zussman, 1992). これまでは主に格子定数の変化が考察されている(Teertstra and Sherriff, 1996). さらに結晶構造自体、たとえば空間群も変化していると予想できるが、空間群を決定するにはスカポライトの単結晶を使って結晶構造を解析する必要がある。しかし解析に適した単結晶の産出は限られている。

今回、スカポライトA97122705Eを単結晶X線回折法を使って結晶構造を解析したので報告する。

2. 構造解析

スカポライトA97122705Eの結晶構造解析は単結晶X線回折法で行った。試料はBond法で直径約0.3mmの球形に整形しグラスファイバーにマウントした。4軸自動回折計は岡山大学自然科学研究科にあるRIGAKU AFC-5Rを使用した。X線はグラファイトモノクロメータで単色化したMoK α 線を使用した。2 θ < 55°の範囲で測定し、1295個の独立した回折強度データを得た。回折強度データをSakurai's UNICSを中心とした結晶構造解析プログラムシステムで解析し、結晶構造を決定した。

3. 結果と考察

スカポライトA97122705Eの格子定数は正方晶系で $a=12.122(2)$ Å, $c=7.585(2)$ Åと測定された。Laue群は $P4/m$ と判定された。回折強度データの消滅則により、このスカポライトの空間群は $P4_1/m$ と判定された。Wilson's distribution methodで回折強度データを統計処理したところ、原点に対称心が存在しない傾向を示したので、この空間群で正しいと推定された。

スカポライトA97122705Eの化学組成はKusachi *et al.*, (1999)で報告された値を使用した。

以上のデータを元にして、初期の結晶構造モデルがMULTAN78を使って求められた。この構造モデルはRSDLS3で精密化された。精密化した構造モデルを使ってRSSFR5で差フーリエ合成が行われ、構造モデルに原子が追加された。

ここでスカポライトA97122705Eの化学組成から求めた各TサイトのAl/(Al+Si)比により構造モデルが修正された。

最後にRSFLS4を使用して結晶構造が精密化され、

R=9.6%の結晶構造が得られた。このモデルのc軸投影図をFig.2に示す。

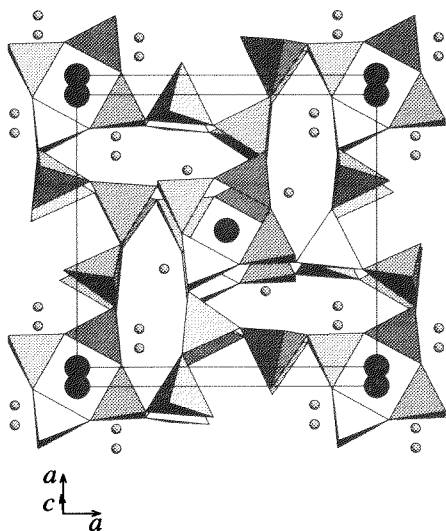


Fig.2. The structure of scapolite A97122705A along c-axis. Large circles represent C, Cl and S sites, small circles represent Na, Ca, K sites and tetrahedra represent TO_4 units.

得られた結晶構造はLin and Burley (1973)で示された結晶構造と本質的に同じものだった。

さらに決定された結晶構造を元に差フーリエ合成を行ったところ、(0.5,0.5,0.5)付近に電子のピークが複数認められた。これらのピークは CO_3^{2-} に由来すると考えられ、今後の検討課題である。

4. 参考文献

- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1992): An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman.
- Kusachi, I., Osanai, Y., Toyoshima, T., Owada, M., Tsunogae, T., Hodaka, T. and Grove, W. A., (1999): Mineralogy of scapolite from Skallen in the Lützow-Holm bay region, East Antarctica. *Polar Geosci.*, **12**, 143-156.
- Lin, S. B. and Burley, B. J. (1973): The crystal structure of meionite. *Acta Cryst.*, **B29**, 2024-2026.
- Teertstra, D. K. and Sherriff, B. L. (1966): Scapolite Cell-parameter trends along the solid-solution series. *Am. Mineral.*, **81**, 169-180.

東南極ナピア岩体クリスマスポイントに産する高度変成岩類

吉村康隆(高知大学・理学部), 宮本知治(九州大学・理学部), 本吉洋一(国立極地研究所), E. S. Grew(メイン大), C. J. Carson(エール大), D. J. Dunkley(シドニー大)

High grade metamorphic rocks from Christmas point in the Napier Complex, East Antarctica

Yasutaka YOSHIMURA (Kochi Univ.), Tomoharu MIYAMOTO (Kyushu Univ.), Yoichi MOTOYOSHI (NIPR), E. S. GREW (Univ. Maine), C. J. CARSON (Yale Univ.), D. J. DUNKLEY (Univ. Sydney)

東南極エンダービーランド・ナピア岩体は、サフィリン+石英, 斜方輝石+珪線石+石英, 大隅石の出現等で特徴づけられる超高温変成作用を被った岩体として知られている。クリスマスポイントはケーシー湾にある露岩でナピア岩体の南部に位置し, JARE-40にて野外調査が行われた。本地域は縞状構造が顕著で, 主な岩相は, ザクロ石斜方輝石片麻岩, ザクロ石珪長質片麻岩, ザクロ石角閃石片麻岩である。また, ベグマタイト脈が発達しており, 基盤の変成岩中に貫入している。

ザクロ石斜方輝石片麻岩

主な構成鉱物は, ザクロ石, 斜方輝石, 斜長石, 石英で少量のアルカリ長石(メソパーサイト)を含む。斜方輝石中には特徴的にザクロ石ラメラが認められ, 斜方輝石の周縁部もザクロ石により取り囲まれている。ザクロ石のリム部は石英の intergrowth が認められる。斜方輝石は $X_{Mg}=0.73\sim 0.76$ の組成を有し, Al_2O_3 は最大で約 6wt%である。ザクロ石はコアで Prp45-53, 斜長石はコアで An54-57, リムで An58-62 の組成を持ち逆累帯構造を示す。

ザクロ石珪長質片麻岩

主な構成鉱物は, ザクロ石, 斜長石, 石英, アルカリ長石(メソパーサイト)で, 少量の斜方輝石を含む。ザクロ石のリム部は石英の intergrowth が認められる。ザクロ石はコアで Prp45-50, 斜長石はコアで An52-60, リムで An62-84 の組成を有し逆累帯構造がみられる。斜方輝石は $X_{Mg}=0.68\sim 0.74$ の組成を有し, 最大 Al_2O_3 量は約 5.3wt%である。

ザクロ石角閃石片麻岩

主な構成鉱物は, ザクロ石, 角閃石, 斜長

石, 石英で少量のカリ長石を含む。角閃石は, カミングトン閃石, ゼードル閃石が見られ, カミングトン閃石は主に石英長石質なレイヤーに産し, ゼードル閃石は, ザクロ石の周囲やカミングトン閃石の周縁にみられる。ザクロ石はコアで Prp35-45, 斜長石はコアで An43-47, リムで An47-50 の組成を有する。カミングトン閃石は $X_{Mg}=0.66\sim 0.7$ の値を持ちフッ素はほとんど含まない。ゼードル閃石は $X_{Mg}=0.64\sim 0.68$ の値を有し, フッ素を約 0.3wt%程度含んでいる。

これまでのところ, 採集されたサンプルからは, サフィリン+石英や斜方輝石+珪線石+石英, スピネル+石英といった超高温変成作用の指標となる鉱物共生は見つかっていない。変成条件については, ザクロ石-斜方輝石ペアを用いた地質温度・圧力計により約 800°C, 8kbar が見積もられる。しかし斜方輝石中にザクロ石ラメラが見られることから, 次のような反応が考えられる。

高 Al-斜方輝石 = 斜方輝石 + ザクロ石

したがって, 斜方輝石中の Al 含有量は高温ではもっと高かったと思われ, 実際の変成条件は, 地質温度計が示す値よりもさらに高温であると考えられる。少なくとも高 Al 斜方輝石の存在は, 本地域が超高温変成作用を被ったことを示している。

また, 本地域の高度変成岩類について次のような特徴があげられる。

(1) いずれの岩相中のザクロ石もリム部で石英との intergrowth が認められる。

これは, 以下の反応により形成されたと考えられる。

斜方輝石 + 斜長石 = ザクロ石 + 石英

したがって、本地域が大局的には等圧冷却過程の後退変成作用を被ったと考えられる。

(2) いずれの岩相中の斜長石にも逆累帯構造が認められる。

特にザクロ石斜方輝石片麻岩や、ザクロ石珪長質片麻岩については、顕著な逆累帯構造がみられ、リム組成が An60 以上の斜長石が見られる。

(3) ザクロ石角閃岩中にはカミングトン閃石およびゼードル閃石がみられる。

ザクロ石角閃石片麻岩中のカミングトン閃石は、後退変成作用時に水に富む流体の付加があり

斜方輝石 + H₂O = カミングトン閃石
の反応によって形成されたと思われる。しかし、カミングトン閃石の周縁にゼードル閃石が形成されていること、カミングトン閃石はフッ素をほとんど含まないが、ゼードル閃石はいくらかフッ素を含むことから、少なくとも、ゼードル閃石は単純に後退変成作用時に形成されたものではなく、フッ素に富む流体が関与した別の形成ステージがあったと考えられる。

特徴 (2) や (3) に関しては、後退変成作用のステージが単純ではないことを示している。さらにザクロ石珪長質片麻岩中の粗粒ザクロ石のカラーマップを見ると、Mg, Fe,

Mn はピーク時から冷却時にかけて形成されたと思われる diffusion zoning がみられる。しかし、Ca については、単純な diffusion zoning のパターンではなく、粗粒結晶中のドメインごとに Ca zoning が認められ、あたかも複数結晶が衝突しているように見える。もし衝突等により複数結晶が一つの結晶に粗粒化したならば、それは降温時に形成されたものではなく、昇温ステージを考えなければならない。また、角替ほか(1999), Tunogae et al. (2000)によれば、超高温変成作用時に安定に存在していたと思われる角閃石中にはフッ素がある程度含まれ、後退変成作用時に形成された角閃石中にはフッ素はほとんど含まれないといった傾向があることが示されている。したがって、ゼードル閃石の形成は別の昇温ステージで形成されたのかも知れない。以上より、本地域は、超高温変成作用を受けた後、さらに複変成を被った可能性がある。

ナピア岩体の南にはレイナー岩体が分布するが、ナピア岩体の一部がレイナーの変成作用を受けたことが指摘されている(例えば Harley and Hensen, 1990)。よって、レイナーの変成作用が本地域にまで達していた可能性を検討してみる必要がある。

P 1 1 **Holocene Ice Retreat from the Antarctic Peninsula Shelf, West Antarctica**

H.I. Yoon

Polar Sciences Lab., KORDI, P.O. Box 29, Ansan 425-600, Korea

Analyses of sedimentological, geochemical and micropaleontological parameters from radiocarbon-dated sediment cores retrieved from the Antarctic Peninsula's western continental shelf reveal a detailed paleoclimatic and/or paleoceanographic history, which have controlled sedimentation during the deglaciation over the last 15,000 years. The deglaciation of the outer shelf (core GC03) off the Anverse Island commenced prior to at least 15,000 years, marked by the deposition of distal glaciomarine diamicton (facies 2) deposited beneath a floating ice shelf, and lasted for 3800 years with increasing diatom abundance and total organic carbon (TOC) up core. Colder condition was reinstated between 12,800 and 11,600 BP with a drop in TOC content and diatom abundance, which is coincident with the Younger Dryas event in the North Atlantic region. At this time, the ice shelf, now absent in the study area, appears to advance as evidenced by an abrupt increase in % sea-ice taxa as well as in the ratio of (*F. curta* + *F. cylindrus*) / *T. antarctica*. In contrast, the inner shelf (core GC02) was deglaciated later about 11,000 BP, that is, 3000 years after the outer shelf. This is possible, as core GC02 is situated (<200 m water depth) more proximal to the coast, while core GC03 lies on a distal part (>500 m water depth). Prior to 11,000 BP,

the inner shelf (core GC02) might be covered by ice shelf and/or persistent sea ice under cold conditions with deposition of proximal glaciomarine diamicton (facies 1) just seaward of the grounding lines, lack of primary production on surface water. A climatic optimum is recognized between 6000 and 2500 BP, coincide with a mid-Holocene climatic optimum from the other Antarctic sites, i.e. the Palmer Deep. During this time, a large influx of organic materials by enhanced production occurred in open marine condition, resulting in the deposition of diatomaceous mud (facies 3) and caused post-depositional dissolution of calcareous benthic and planktonic foraminifers in sediment. Around 2500 BP (the onset of the Neoglacial), diatomaceous sandy mud (facies 4), characterized by a decrease in TOC and diatom abundance reflects the formation of more extensive and seasonally persistent sea ice, as evidenced by increase in % sea ice taxa and in the ratio of (*F. curta* + *F. cylindrus*) / *T. antarctica*. Our results provide evidence of climatic change from the Antarctic Peninsula's western shelf that helps determine the existence and timing of late Pleistocene and Holocene millennial-scale climatic events in the Southern Hemisphere.

Paleocurrent Determination in Davis Sea: An Approach
by Anisotropy of Magnetic Susceptibility

Hirokuni ODA, Fumitoshi MURAKAMI, Hajime KATAYAMA, Kasuhizo SUGIYAMA,

Hiroshi ODA (Geol. Surv. Japan), and Toru Nakasone (Kawasaki Geol. Eng. Co., Ltd.)

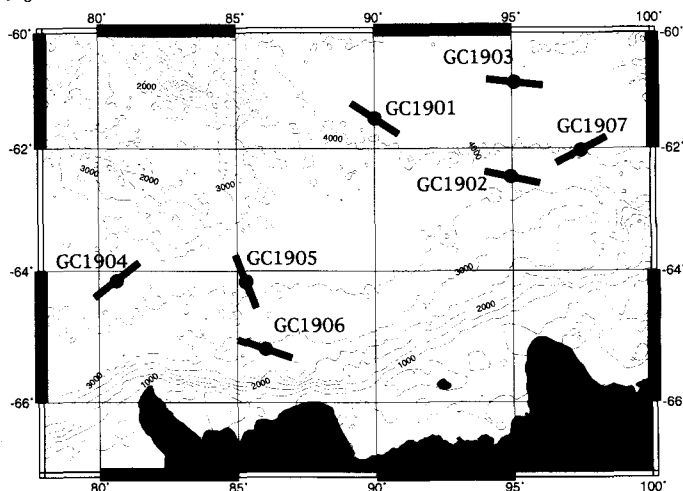
デービス海海域で行われた石油公団による平成11年度南極地域石油天然ガス基礎地質調査航海で採取された7本の柱状堆積物試料について帯磁率異方性および古地磁気測定を行った。このうち6本について古流向の推定ができたので、ここに報告する。

半割コアからのキューブ試料採取の後、KAPPABRIDGE KLY-3により帯磁率異方性測定を行い、超伝導磁力計によって残留磁化の測定を行った。残留磁化は消磁前の自然残留磁化測定 (NRM) および、5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 mTの10の消磁レベルで順次交流消磁の後に残留磁化測定を行う段階交流消磁実験を行った。

各コアの最上部では、帯磁率異方性の最大軸の沈下角は 65° 以下を示し、初期堆積構造が保存されていない。これは含水率が高く堆積物の圧密が進んでいないので、堆積構造が発達していないこと、およびコア採取時及び古地磁気試料採取時の擾乱の影響を受けやすいためであると考えられる。GC1904ではコアの最上部から最下部にわたって初期堆積構造の条件にパスしない試料が多かったが、全体的に堆積物が乱されているためであると考えられる。

本調査地域は南磁極に近く現在の偏角は西に 70° 程度と非常に大きいのが、採取されたコアは炭素14年代から2万年程度まで到達していると思われるので、残留磁化方位においてはこのような偏った方位は永年変化によって十分平滑化されていると考えられる。したがって、残留磁化方位からもとめた仮の北とそれに対して求めた古流向の方位はほぼ正しいと考えてデータ処理を行った。

コア採取地点はShackleton Ice Shelfから4000m程度の水深のところに出たGC1902, GC1903, GC1906, GC1907とWest Ice Shelfからケルゲレン海台との間の水深3000-3500mの所で採取されたGC1901, GC1905の2つのグループに分けられる(図参照)。Shackleton Ice Shelf沖の4地点では古流向の方位が等深線と平行しているようにみえ、等深線流によって形成されたと考えられる。GC1901も上記4地点と同じく等深線に平行であるので、等深線流によって形成されたと考えられるが、GC1905は斜面の落ちの方向と一致し、斜面下向きの流れによって形成されたと考えられる。



村上文敏¹・上嶋正人²・松田滋夫³ (1地質調査所, 2石油公団, 3クローバテック (株))**CD-ROM database construction of JNOC Seismic reflection data and
its utilization**F. Murakami¹, M. Joshima², S. Matsuda³¹ Geological Survey of Japan, ² Japan National Oil Corporation, ³ Clover Tech Corporation

1. はじめに

石油公団では1980年から1999年の20年間南極海域において海洋物理および海洋地質調査を行ってきた。調査開始当初よりマルチチャンネル反射法地震探査(MCS)を行っており、その総測線長は約50,000 kmにおよぶ。取得されたMCSデータは、コンピュータ処理された後プロッター出力されて報告書として印刷されている。さらに、デジタルデータは、反射法地震探査データのフォーマットの一つであるSEG-Y形式に変換され、石油公団保有のワークステーション内に保存されてきた。

1982年から1988年までのデジタルデータは、南極音響層序委員会 (ANTOSTRAT) が編集したSDLS (Seismic Data Library System) としてCD-ROM出版され世界的に利用されている。石油公団では、得られたMCSデータをこれまでより簡単に利用できることを目的として、CD-ROMを使用したデータベースの作成を行っており今年度完成する予定である。そのCD-ROMデータベースの概要と活用について述べる。

2. MCS CD-ROM データベースの概要

MCS CD-ROM データベースの対象とするコンピュータは、Windows PC である。データベースは、主として次の3つのデータから構成される。(1) MCS データ (SEG-Y 形式)、(2) ショットポイントデータ、(3) 海底地形および海岸線データである。SEG-Y 形式 MCS データから反射法地震探査断面をディスプレイするためには、次

の3つの段階をたどる。(1) 各年度毎の調査海域を示すインデックスマップの表示、(2) 海底地形とショットポイントマップの表示、(3) SEG-Y 形式 MCS データのディスプレイ表示である。SEG-Y MCS データをディスプレイするためのアプリケーションソフトは、石油公団で開発されたものであり CD-ROM 内に書き込まれている。ディスプレイされた反射法地震探査断面上には解釈線を描くことができ、ファイルとしてあるいはプリンター出力可能である。全体の CD-ROM の枚数はおよそ 40 枚程度になる予定である。

Detection of sea floor structure on the Antarctic Ocean

TERADA Kumiko, FUKUDA Yoichi (Graduate school of Science, Kyoto University) and

NOGI Yoshihumi (National Institute of Polar Research)

衛星高度計データの詳細解析により, 従来の海洋重力図より詳しい海底構造の情報の抽出を試みてきたが, 南極大陸周辺海域において大陸分裂の初期の痕跡と思われる構造を検出することができたので報告する.

地球物理学的データに乏しい海域では, 直接的な観測に先だて, リモートセンシングの結果に基づく海底構造の予察に期待が寄せられる. GEOSAT はミッション終了から 10 年を経過し, そのデータを用いて優れた研究が多数存在するが, それでも未だにその有する情報のすべてを引き出し得てはいない. そこで我々は衛星高度計データの詳細解析により, 従来の海洋重力図より詳しい海底構造の情報の抽出を試みてきた.

本研究では, まず南極大陸周辺の 0-120E 72-55S の海域において, GEOSAT の海面高データまで遡って再処理を行った. この海域は, 従来の重力図では海底構造が不明瞭で現在でもテクトニックな解釈の分かれる領域を含んでいる. この領域において, 本研究で作成した raw data に基づく重力図上では, 海洋底の拡大方向の変化を示唆する構造を認めたため, その部分を対象にさらに次に述べる特徴抽出の処理を進めることにした. 処理する領域内における重力値の度数分布の中央値を閾値として重力値を二値化し, 8 点近傍および 4 点近傍に対する膨張・収縮の処理を交互に施すことで, 1 または 0 の点の分布のクラスタ化を行った.

実際には, 対象とした海域では, 重力値から長波長成分を差し引けば正負の重力値の分布がほぼ均等になるため, 長波長成分を除いた後, 0 を閾値として重力値を二値化した.

その結果, 従来の海洋重力異常図の上では明瞭に判読出来なかったいくつかの構造が識別できるようになった. テクトニックな解釈の分かれる領域でありながら, 堆積物等の影響から海底地形が不明な場所の一つに, 35-55E, 70-55S の海域があるが, そこに周囲とは区別できる領域のあることが明らかになった. 2 方向のリニアメント群からなる矩形領域であるが, これは海洋底の拡大方向の変化の痕跡が残されたものと考えられる. 特徴抽出を行った図からは, このリニアメント群が矩形領域のほぼ中央部で分断されている様子が見てとれ, ここを境に南北のリニアメント群は対をなすと考えられる. 南側の構造が, 上述の raw data に基づく重力図上に認められた構造であり, 北側の構造は, やや不明ではあるが, それと対をなすものと考えられる. 北側のリニアメント群はさらに, 北北西-南南東の方向にずれを受けているようにも見え, そのために従来の重力図には, 南極大陸側の構造ほど明瞭に現れなかったと考えられる.

ポスターでは南極海全域の重力図および上述の海域を中心に処理した結果について報告する.

オーストラリア・ニューキャッスル周辺における白亜紀の 古地磁気-テクトニクスと地磁気静穏期の地磁気強度-

酒井英男*, 木川栄一**⁽¹⁾, 鬼木幸太*, 中沖恵美**, V. Kravchinsky***

*富山大・理, **富山大・教育, ***ロシア科学アカデミーシベリア支所 ⁽¹⁾現・JAMSTEC

Paleomagnetic study on Cretaceous rocks of Newcastle, Australia -tectonics and
paleointensity at geomagnetic quiete zone-

H. SAKAI*, E. KIKAWA**⁽¹⁾, K. ONIKI*, E. NAKAOKI**, V. Kravchinsky***

*Faculty of Science, Toyama Univ., **Faculty of Education, Toyama Univ. ***Siberian
Branch of Russian Academy of Science, ⁽¹⁾Japan Marine Science and Technology Center

1. はじめに

オーストラリア東部では、中生代の白亜紀に形成された玄武岩質岩脈群が多く存在する。ニューキャッスル周辺の海岸にも多くの岩脈群が見られ、これらは、80Ma 頃のタスマン海のオープニングに先立つ火成活動に伴うものと考えられている。

白亜紀中期には、地磁気変動における謎である地磁気静穏期 (Cretaceous quiet zone: CQZ) があり、125-85Ma の4,000 万年間の期間、地磁気の逆転が無く、正磁極の時代が続いている。ニューキャッスル周辺の岩脈群は、このCQZ の終わり頃に噴出したものと考えられている。

本研究では、オーストラリア東部のタスマン海に面したニューキャッスル地域で、定方位で採取した白亜紀の岩脈と堆積岩について古地磁気研究を行い、タスマン海のオープニングに伴うテクトニックな変動が残されていないかを検討した。試料は、海岸沿いで得た玄武岩(7サイト)と堆積岩(1サイト)である。また、研究の比較のために、大陸中央部のブローケンヒル(ニューキャッスルから内陸へ約 1,000km)より採取した、同時期の堆積岩も実験試料として用いた。

さらに、玄武岩試料についてテリエ法実験を実施して当時の地磁気強度を求め、従来の古地磁気強度のデータと

併せて、地磁気静穏期と前後の時代の地磁気強度の変動を調べた。

2. 古地磁気方位とテクトニクス

ニューキャッスル周辺の試料について、600 °Cまで 50 °C毎に段階熱消磁実験を行った結果、4 サイトでは、高温の磁化成分が集中する方向が求められた。2 サイト(NC02,03)は逆帯磁、2 サイト(NC07,08)は正帯磁の磁化を示し、正・逆帯磁が 80Ma 前後の連続する火山岩の層序で得られた。

新生代の古地磁気層序において、地磁気逆転の頻度は数 10 万年に一度であることを考慮すると、anti podalな地磁気極性の反転が見つかったことは、オーストラリア東部で玄武岩を形成した火山活動が数 10 万年間の期間、続いたことを示している。

図 1 に示すように、4 サイトで得られた antipodal な磁化は 40-50 °の東偏を示した。ほぼ同時期の、オーストラリア中央部のブローケンヒルで採取された堆積岩の磁化は、殆ど北を向いていることから、ニューキャッスル周辺が、80Ma 頃の形成後に、40-50 °の時計回りの回転をした可能性が考えられる。

白亜紀後期から第三紀に、ニューギランドがオーストラリア大陸から離れ始める際、活発な火山活動で分裂してタスマン海が出現したと考えられている(間に、Lord Howe海膨が存在する

ことから示唆される)。ニューキャッスル地域は、オーストラリア大陸の東端でタスマン海に面しており、ニュージーランドの分裂時に変形を被り易い地域にあたる。オーストラリアーニュージーランドの分裂の際、局地的に時計回りに変形した結果、80Ma 頃のオーストラリア東部と中央部の岩体の磁化偏角は $40\text{-}50^\circ$ ずれたことが、考えられる。

信頼度の高いサイトから求めた古緯度は南緯 58.5° となった。大陸中央部のブロークンヒルから採取された同時代の堆積岩が示す古緯度も併せて、80Ma 前後の古地理(Kramov, 1987)と対比すると、古地磁気の結果は、オーストラリア大陸と南極大陸は当時、余り離れていなかったことを示している。

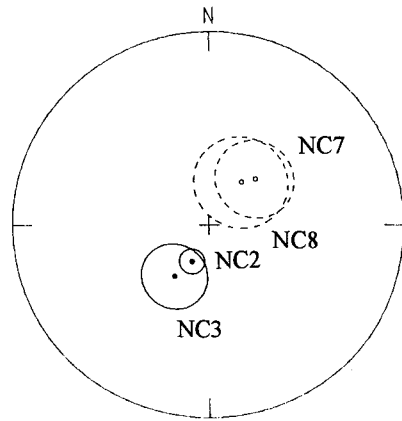
3. 中生代白亜紀の古地磁気強度

Sakai et al.(1997)はインドのラジマールトラップのテリエ法実験の結果と従来の研究を総合して、CQZ(85-125Ma)前の数 10Ma 間の地磁気は弱く、現在値の 30-70%の間で振幅していることを述べている。

地磁気強度を求めるテリエ法実験を、ニューキャッスルの 80Ma 頃の玄武岩試料について行った。また、CQZ の頃の地磁気強度を検討するため、オマーンとバイカル湖周辺より得られた 90Ma と 116Ma 頃の岩石試料についても実験を行った。

ニューキャッスルの玄武岩試料では、現在よりやや高い地球磁場の強度が得られた。オマーンとバイカル湖周辺の岩石試料から得た結果と併せると、CQZ の終わり頃の地磁気は現在より 10-20%程度大きい値と求められた。また、116Ma 頃の地磁気強度は現在の 80%程度の値となった。

本研究と従来の研究を総合して検討すると、CQZ 初め(125Ma 頃)の地球磁場は現在より弱かったが、CQZ 終わり(90Ma 頃)に Mesozoic dipole low は終焉を迎え、地球磁場は現在と同程度の強さになったと考えられる。CQZ 初め頃の地磁気強度については、従来は現在の 30-70%と非常に低い値が報告されていたが、本研究では 80-85%と得られた。同様な強度は Andrei et al(1998)でも報告されており、同時代の地磁気強度の変動幅は、より大きかったのかも知れない。



実線は伏角下向き、点線は伏角上向きを表す。

図 1. ニューキャッスル周辺の中生代の玄武岩 4 サイトの磁化方位。

FX 相関器のための測地解析ソフトウェアの開発と、 南極 VLBI 実験への適用

寺家孝明 (総研大)、真鍋盛二、田村良明 (国立天文台)、澁谷和雄 (国立極地研究所)

Development of geodetic analysis software for FX Correlator and its application to the Antarctic VLBI Experiments.

Takaaki Jike (GUAS), Seiji Manabe, Yoshiaki Tamura (NAOJ), Kazuo Shibuya (NIPR)

国立天文台三鷹相関局にある FX 相関器及びデータ処理システムは K4-VSOP 形式で記録された VLBI 観測データの相関処理を行う装置であり、VSOP 観測や国内 VLBI 観測の相関処理を行っている。また、VLBA 形式や S2 形式の観測データを K4-VSOP 形式にコピーして、異機種記録装置で記録されたデータを相関処理することもサポートしている。そしてこの相関器の特徴としては、天体物理や天体イメージング観測の解析に最適化された設計思想にて作成されているために、相関処理や出力データ作成の理論及び形式が基準座標系構築等の観測に使用されている MarkIII 系統の相関処理システムとは大きく異なっていることが挙げられる。

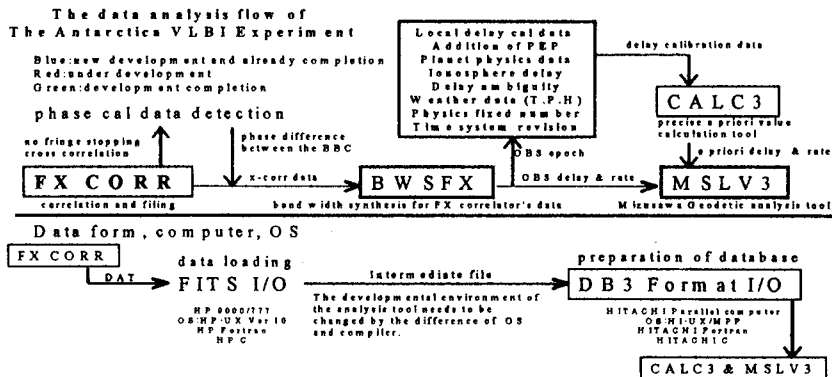
VLBI 観測点を国際基準座標系にリンクさせることを目的として 1998 年より南極 VLBI 実験が開始された。そして、この南極 VLBI 観測データの解析方法としては、我々は FX 相関器で相関処理されたデータから測地解を得る方法を採用することにした。この理由は、観測データの記録に関して昭和基地が K4-VSOP 形式を用い、一方、ホバート (タスマニア) 及びハーデバステク (南アフリカ) では S2 記録形式を用いた結果、異なる記録形式のデータの相関処理を行う必要が生じたからである。

しかし、南極 VLBI 実験以前に FX 相関器の出力

データを測地解析に使用したことは無い。そのため解析ソフトウェアも新規に開発する必要が生じた。主な開発項目は測地解を最終的に得るために必要なデータセットとデータ形式を整えることである。以下にその項目について以下に述べる。

- 測地解析に必要なデータの存在の有無の調査
- 相関出力データの構造把握と測地解析に適合したデータへのリダクション
- 相関出力データの測地解析に必要な精度と信頼性の検証
- MarkIII 系統の解析データに準拠させる為に遅延時間決定値への補正量を計算する
- 遅延時間に寄与する複数の補正量について計算及びデータ付加を行うためのモジュール開発
- 精遅延モデル計算プログラムをこの解析ソフトウェアに組み込む
- 測地解析用データセット作成とデータベース化

本解析システム構成を以下の図に示す。プログラム作成に使用した VLBI データは 1998 年 11 月に行った南極 VLBI 観測データを用いた。シンポジウムでは、プログラム開発状況と南極 VLBI の解析状況について述べる



P17 東南極みずほ高原における屈折法地殻深部探査 (JARE-41)

村上寛史 (地震観測技術センター)・筒井智樹 (秋田大・工学資源)・宮町宏樹 (鹿児島大・理)・
戸田 茂 (愛知教育大)・民田利明 (㈱日本油脂)・柳沢盛雄 (極地研)・
下田泰義 (有明中学校)・今栄直也 (極地研)・野本新太郎 (㈱大原鉄工所)・
山下秀則 (いすゞ自動車㈱)・松永重年 (㈱関電工)・SEAL 人工地震グループ

Deep seismic refraction experiments in 2000 on the Mizuho Plateau, East Antarctica: JARE-41

F. Murakami (Technological Center for Sismic Observations)・T. Tsutsui (Akita University)・
H. Miyamachi (Kagoshima University)・S. Toda (Aichi University of Education)・
T. Minta (Nippon Oil and Fats Co., Ltd)・M. Yanagisawa (NIPR)・
Y. Shimoda (Ariake junior high school)・N. Imae (NIPR)・S. Nomoto (Ohara Co., Ltd)・
H. Yamashita (Isuzu Co., Ltd)・S. Matsunaga (Kandenko Co., Ltd)・
SEAL Geotransect Group

[はじめに]

南極観測第 V 期 5 ヶ年計画における「東南極リソスフェアの構造と進化研究計画(SEAL 計画)」の一環として、平成 11 年度 (JARE-41) 夏隊では、昭和基地の位置するリュツォ・ホルム湾地域の大陸氷床・みずほルート上において、人工地震による屈折法・広角反射法地殻構造探査を実施した。

[探査概要]

1999 年 12 月 23 日から 2000 年 2 月 11 日にかけて、みずほルート (S17~Z20) 上の約 187km の測線に 160 台の地震計を展開し、ダイナマイト震源による発破 (総火薬量 3,300kg、テスト発破を含めて計 8 回) を行った。観測点器材は、低温仕様の専用ロガー (LS8000SH) と固有振動数 2.0Hz の上下動地震計 (L22D) を組み合わせ、重量約 8 kg の専用保温箱に入れた一体型を使用した。各観測点では、昭和基地との GPS 干渉測位による位置決めを行い、また密度構造推定のためにシントレックス重力計で同時測定を行った。

震源孔作成のために、スチーム噴出式ドリルにより大陸氷床上に 25~30m 深の浅層ボーリングを行い、1 発破点当たり 300~600kg 薬量のダイナマイトを充填し発破作業を行った。ボーリング孔には発破効率を上げるため、専用ポリチューブに不凍液を入れて液封した。なお火薬は本実験用に開発したもので、低温特性の良い化学組成を持つ。

さらに氷床内部と地殻浅部構造を詳細に探るため、新たに開発した微動計 (固有周期 5 秒) により各発破点近傍でそれぞれ 6 時間にわたって単点観測を実施した。また震源近傍の構造を精度よく求めるために、各ショット点において同上微動計を用いて 100m 間隔で数点のラインアップ観測を合わせて行った。

[初期成果]

本探査の主な目的は、1) みずほ高原の下部地殻反射層を検出しリソスフェアの構造を詳細に探ること、また 2) 実験測線は海岸に直交するため、沿岸露岩のデータと合わせて大陸縁辺部における速度構造、特に海洋性地殻への遷移層を調べることである。さらに微動観測や震源近傍での集中観測により、大陸氷床の内部構造も合わせて解析される。

初期解析からは、全ての大発破において良好な SN 比のデータが確認された。全ての観測点波形を並べたペーストアップ記録からは、測線全体に岩盤からの屈折波 (みかけ速度 6.0km/s) が見られる。またショット近傍の約 60km 内の範囲では、初動の後に大陸氷床内部を通過した実体波と表面波がきれいに観測されている。

さらに S-6 の記録等では、震源より 120km 以上はなれた観測点で強い振幅の後続波が観測され、地殻表面からの直達 S 波と思われる。さらに今後の解析により地殻内速度構造の推定と反射層の検出が重要な課題である。

表1：全ショットの発破諸元。

ショット名	TestShot	Shot1	Shot2	Shot3	Shot4	Shot5	Shot6	Shot7
発破位置	S17	S17	S30	H106	H184	H260	Z20	Z20
発破日	1999/12/30	2000/1/12	2000/1/15	2000/1/18	2000/1/21	2000/1/25	2000/1/28	2000/1/29
掘削長(m)	18.45	25.40	24.00	25.90	27.60	26.60	26.65	4.50
孔口径(m)	0.22	0.30	0.40	0.32	0.28-0.30	0.32-0.35	0.2-0.25	0.12
薬量(kg)	10	250	600	610	610	570	610	25
薬頭(m)	18.10	21.05	18.35	13.75	14.60	12.60	15.00	2.50
装薬長(m)	0.35	4.35	5.70	12.15	13.00	14.00	11.65	2.00
1m当りの薬量(kg/m)	29	57	105	50	47	41	52	13
タンピング	不凍液 2.5m×3本	不凍液 1.7m×4本	不凍液 1.7m×6本	不凍液 2m×6本	不凍液、雪氷 2m×6本	不凍液、雪氷 2m×6本	雪氷 600%	雪氷 11.6kg
結果	鉄砲	鉄砲	鉄砲	鉄砲	暗爆	鉄砲	暗爆	破砕(クレー)

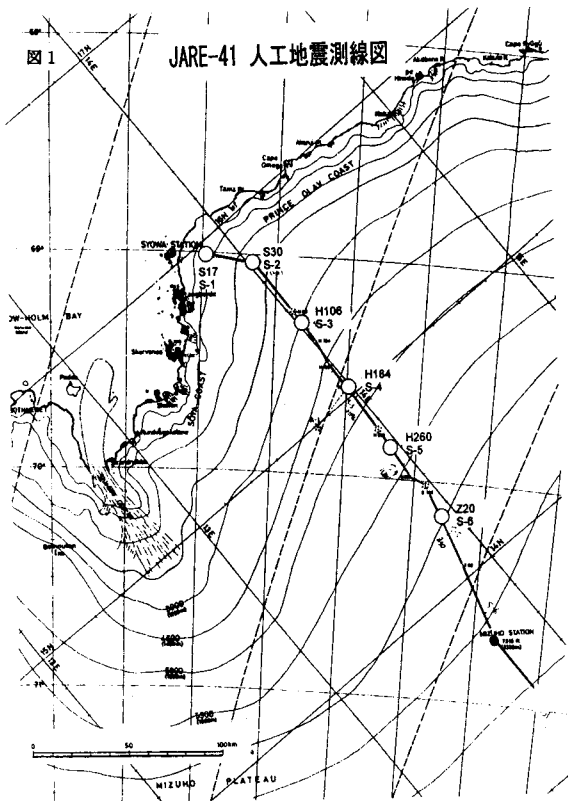


図1：人工地震の測線地図。みずほルート上の187km長(S17~Z20)で実施した。本発破点6箇所(S-1,~S-6)を○印で示す。

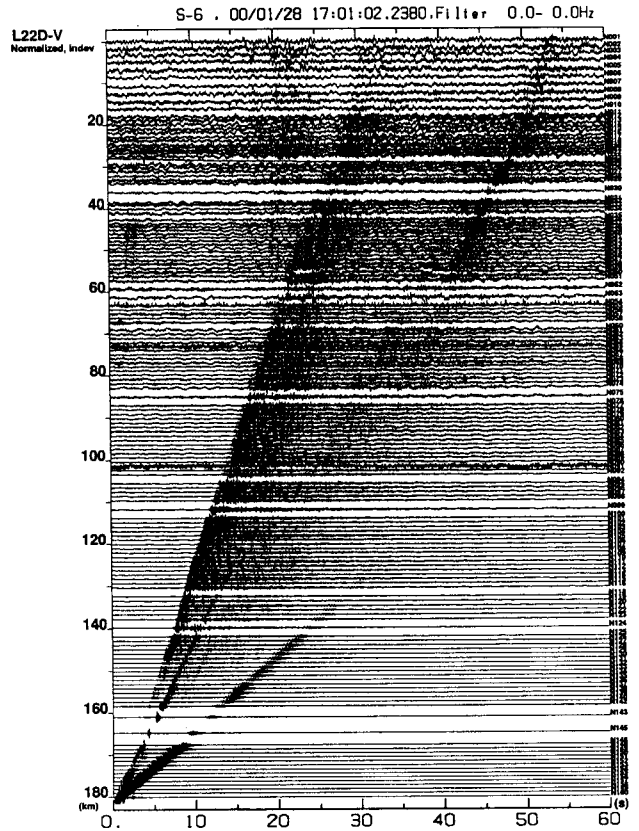


図2：人工地震の記録(S-6, 600kg火薬)。縦軸はS16地点(測線最北端)からの距離(km)、横軸は発破時刻からの経過時間(秒)を示す。

遺伝アルゴリズムを用いたレシーバー関数インバージョン による南極定常観測点周辺部のS波地殻構造

渋谷拓郎 (京大・防災研) ・金尾政紀 (極地研) ・久保篤規 (防災研)

Crustal S-wave structure by Genetic Algorithm inversion of receiver functions for permanent broadband stations in Antarctica

T. Shibutani (Kyoto Univ., DPRJ) ・ M. Kanao (NIPR) ・
A. Kubo (NRI for Earth Science and Disaster Prevention)

GA Inversionの導入

南極大陸の縁辺に位置する定常観測点直下のS波速度構造については、これまで遠地地震の広帯域地震記録を用いた線形レシーバ関数インバージョン (Linearized Time Domain Inversion) により求めてきた (Kanao, 1997, etc.)。観測点直下60km深さまでを約2 km間隔の水平成層構造を仮定して、レシーバ関数波形への misfit とモデルの roughness との相関を調べ、両者を満足させる最適なインバージョンのダンピングファクターを用いて、30 回程度の iteration を行い安定化した解を得ている。

構造の水平方向の不均質を議論するために、例えば1つの観測点で異なる backazimuth の構造を比較することが可能であるが、水平成層を仮定しているために、傾いた構造を詳細に議論することが難しい。また、3次元の不均質を1次元に押し付けているため、構造の揺らぎが大きいことも欠点である。さらに線形インバージョンの場合、構造の初期モデル ($V_p, V_p/V_s, Q$) の設定に大きく依存するため、屈折法探索等により観測点近傍の速度構造があらかじめ求められている必要がある。

そのため初期モデル依存性が少なく、線形化を伴

わないインバージョン方法として、遺伝アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) の導入を検討した。GAは、モデルの選択・交配・異変を繰り返して、モデルの多様性を確保しつつ、残差の小さい良いモデルへと進化させていくものである。すでにオーストラリアでは、SKIPPYプロジェクトのデータ解析により、大陸東部の約20箇所の観測点直下の速度モデルが得られている (Shibutani, et al., 1996)。

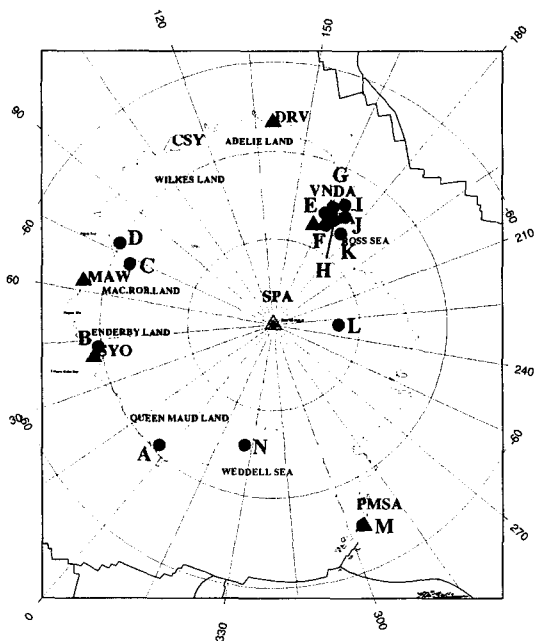


図1：観測点配置と Von Frese et al. (1999) によるコンパイルデータ (A~N)

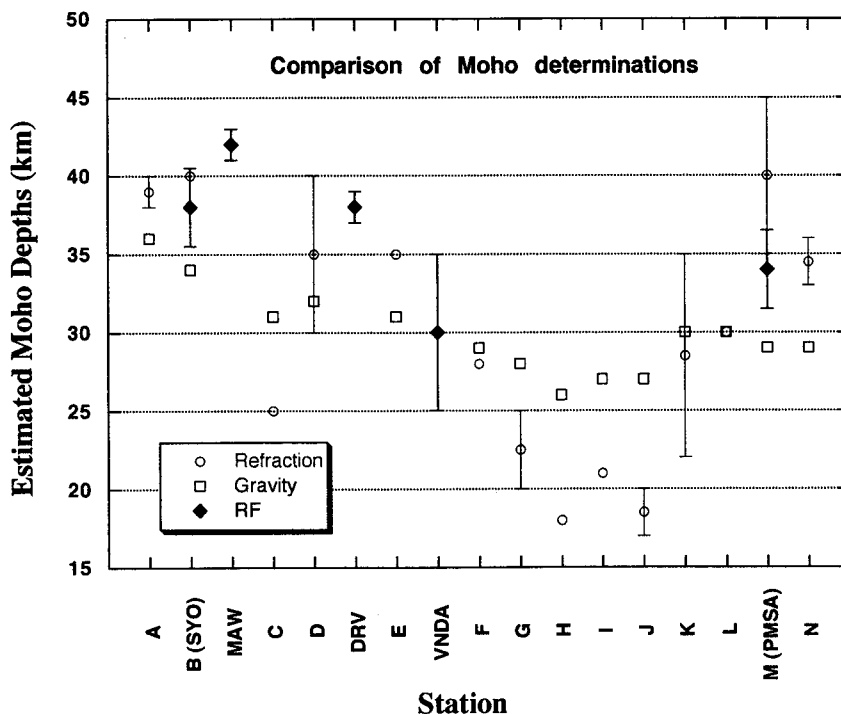
本研究では、南極大陸の縁辺に位置する定常観測点について、GAを導入したレシーバー関数インバージョンによりS波速度モデルを求め、各観測点直下の地殻の厚さとMoho面の性質をまとめた。

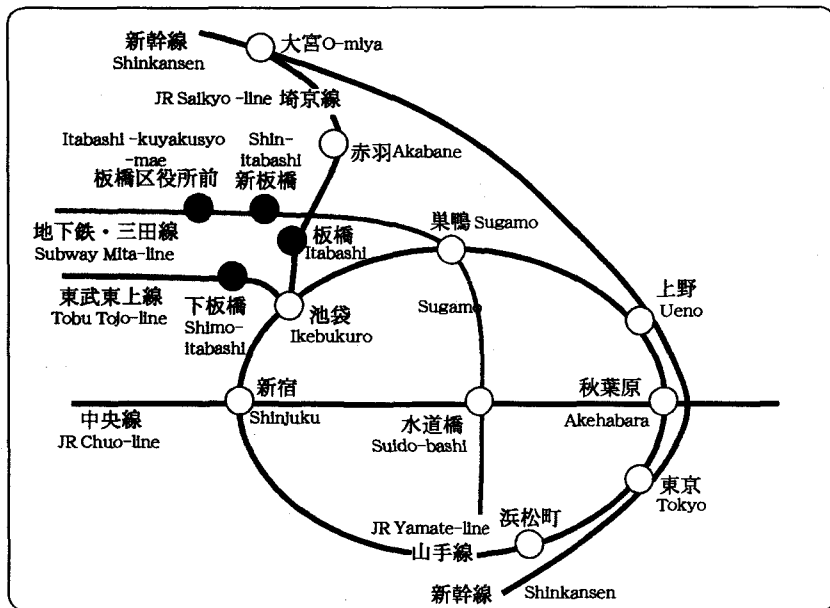
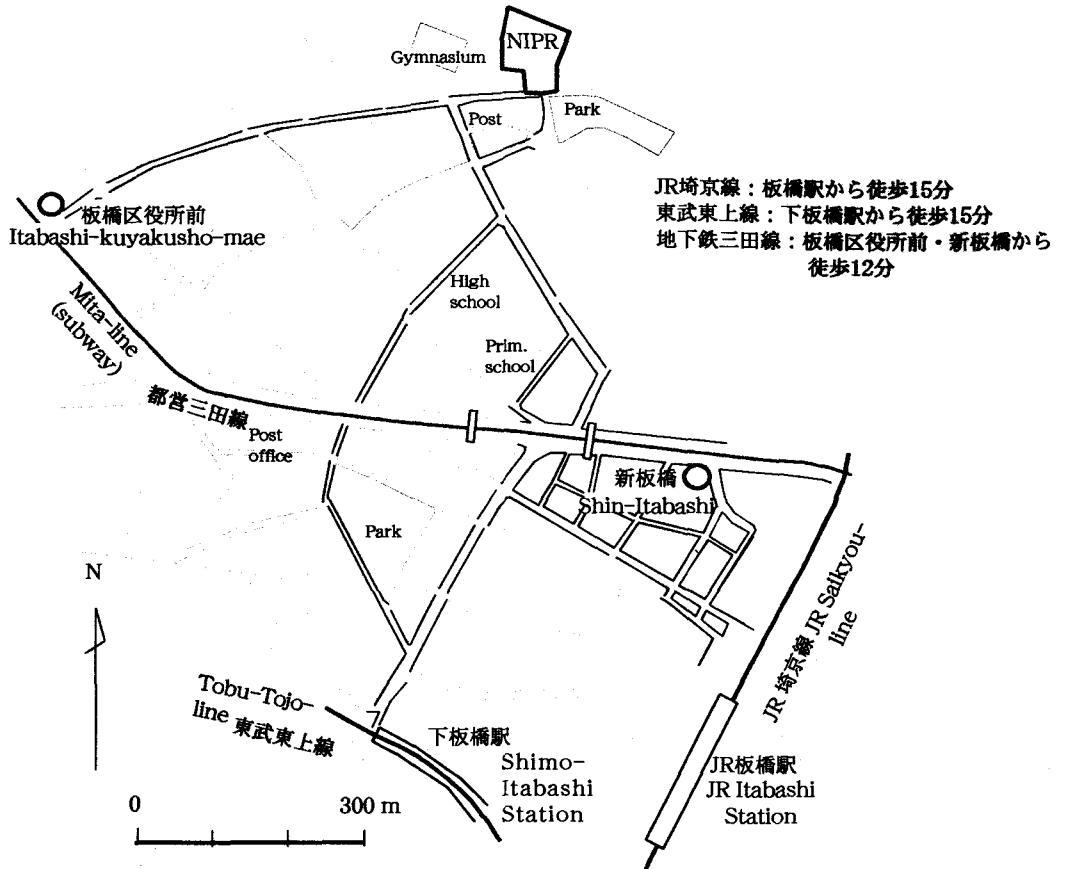
南極大陸縁辺部のMohoの形状

各観測点で求められたMoho面の形状について、シャープ (0-2km: Sharp)、遷移的 (2-5km: Transitional)、幅広 (5-10km: Broadening) の3段階に分類した。SYO付近ではモホ面は38km付近の深さにやや明瞭に現われ (Transitional)、MAWではモホ面が42km付近にシャープにあり地殻がやや厚いことが伺える。またDRVでは、モホ面の深さ38km付近に見られ、その深さはSYOに近いが境界はより明瞭である (Sharp)。VNDAでは、

下部地殻に低速度を伴う幅広い地殻マントル境界を示す (Broadening)。

これらを Von Frese et al. (1999) でコンパイルされている南極大陸縁辺部の屈折法探査による結果と、衛星重力より推定された Moho 面の深さについて合わせて表示した。図1には、観測点配置と Von Frese et al. (1999) に記載されているA~Mまでの地点を、図2には、誤差を含めた Moho 面の深さについて経度方向に沿って表示している。図2より、今回得られたレシーバー関数インバージョンによる結果は、屈折法探査や重力データとも良い相関を示す。特に SYO や PMSA の例では、レシーバー関数による結果は、その他の2つの方法の中間的な値をとることが分かる。今後も観測点の数をさらに増す方向で解析を検討している。(図2)





国立極地研究所 地学 〒173-8515 東京都板橋区加賀 1-9-10
 Tel: 03-3962-4789, -3275 (地球物理)、3962-4871 (地質)、
 3962-8095 (地形・第四紀)、3962-3619 (岩石磁気)、
 3962-4724 (南極圏環境モニタリング研究センター)
 Fax: 03-3962-5741 (地学共通)