

NANSEN ARCTIC OCEAN DRILLING

—研究小集会報告—

1990年3月20日

於 国立極地研究所講義室

国立極地研究所

地学部門

目 次

| | | | |
|--|------|-----|----|
| はしがき | ... | 1 | |
| NADに関するワークショップ(3月20日のプログラム) | ... | 2 | |
| 要 旨 | | | |
| 1. NANSEN ARCTIC OCEAN DRILLING (NAD)の概要 | | | |
| | 神沼克伊 | ... | 3 |
| 2. NADへの期待 | | | |
| | 平 朝彦 | ... | 5 |
| 3. 微化石からみた北極海の層序と古環境 | | | |
| | 小泉 格 | ... | 6 |
| 4. NAD (Nansen Arctic Ocean Drilling Program)に期待するもの | | | |
| | 小嶋 智 | ... | 10 |
| 5. 海洋底に於ける孔内計測の科学的応用 | | | |
| | 木下 肇 | ... | 18 |
| 6. 有機地球化学よりみた北極海堆積物 | | | |
| | 半田暢彦 | ... | 21 |
| 議事メモ | | ... | 27 |
| NAD連絡会メンバー表 | | ... | 28 |

はしがき

1990年3月20日、NANSEN Arctic Ocean Drilling(NAD)に関する研究会を、極地研究所で開催した。会の目的は、北極海での海底掘削が NADという名称で国際的に準備が進められていたので、これに対し、日本の研究者がどのような学問的興味を持っているかを紹介し、日本としての対応を考えることにあった。その時の話合いで、提出された研究課題を記録にとどめる小冊子（プロシーディングス）を刊行することにした。本書はその目的でまとめた。

平成2年度に入り、極地研究所に北極圏環境研究センターが設置され、日本の北極研究に対する状況が大きく前進した。また、国際的には北極研究科学委員会（International Arctic Science Committee: IASC “アイ・アースク” と発音）が発足し、日本も加入すべく準備をすすめている段階である。

3月20日の話合いで、とにかく「NAD国内連絡会」のようなものを設置し、情報の収集、交換をはかろうということにした。その結果、国内連絡会のメンバーになることを希望された方のリストを最後に掲載した。

1990年6月に、NADの推進者の一人であるDr. L. Johnson(USA)が来日して、極地研でセミナーを開いた。また、彼らは日本製のマリンドリルに大きな関心を寄せている。これらの進捗状況や極地研の北極圏環境研究センターなどについても、機会あるごとにこのメンバーへの連絡を致します。

1990年12月25日
国立極地研究所
神沼克伊

N A D に関するワークショップ

先にお知らせした N A D に関するワークショップを下記のように開催致します。関心のある方の出席を歓迎致します。

日 時： 1990年3月20日 13:30-16:30

場 所： 極地研究所 第一会議室

プログラム

1. N A D の概要 (20分) 極地研 神沼 克伊
2. N A D への期待 (30分) 海洋研 平 朝彦
3. テクトニクスから見た
Drillingの意義 (30分) 九大・理
小川 勇二郎
4. 微化石からみた北極海
の層序と古環境 (30分) 北大・理
小泉 格
5. 討論 - N A D に関する
今後 (60分) 司会 神沼 克伊
-化石、堆積層などを中心に-
参加者の積極的発言を期待します。

* このワークショップの内容は小冊子にまとめ、残したいと思います。詳細は後日連絡致します。

NANSEN ARCTIC OCEAN DRILLING (NAD) の概要

Outline of Nansen Arctic Ocean Drilling

国立極地研究所 神沼克伊

Katsutada KAMINUMA (National Institute of Polar Research)

世界の海洋底掘削はODP(Ocean Drilling Project)の名のもとに、国際協力で実施されているが、当初から、その中に北極海での掘削は含まれていなかった。云うまでもなく、使用する掘削船に十分な耐氷能力がなく、海水におおわれている北極海での掘削は不可能だからである。しかし、北極海での掘削の要望は強くなり、北極圏に領土を有する国々(アメリカ、カナダ、ノルウェー、ソビエトなど)の科学者の間で、北極海での海底掘削の実施が検討され始めた。その主な人達はほとんどが ODPの「南大洋パネルのメンバー」で、私とも旧知の仲であった。そんなことからNADへの日本の参加を打診されていた。私は東大海洋研ODP事務局の小林昭男、平朝彦両教授とも相談し、私が窓口となって、情報だけは収集することにした。

折しも、ソビエトのゴルバチョフ書記長(当時)のグラスノスチの一つとして、ソビエトの呼びかけで、北極圏の科学研究を国際協力のもとで推進するための国際会議が、1988年12月、レニングラードで開かれた。日本からも極地研究所の平沢威男・吉田栄夫両教授が出席した。この会議では学問上の諸問題の検討ばかりでなく、研究体制の検討もなされ、「国際北極科学委員会(IASC: International Arctic Science Committee)」設立のための諸事項も検討された。

NADの推進を希望する各国の研究者は、このレニングラードの会議にも出席し、検討を重ねた。この時、出席していた吉田教授にもNAD関係者から、日本の参加への打診があり、神沼を窓口としての情報交換の継続を確認している。レニングラードの会議以後も検討が重ねられ、1989年7月 アメリカ・ワシントンDCで開かれた第28回万国地質学会の時に、各国代表による会合がもたれ、正式な組織作りがなされた。この時、NADに正式参加を表明したのはアメリカ、カナダ、ノルウェー、スウェーデン、ソビエトの北極圏に領土を有する5か国と、フランス、イギリス、西ドイツ、オランダの4か国であった。日本はその時点で正式な参加表明ができる状態

ではなかったので、デンマークとともにオブザーバーとなった。

その時の会議では、1)組織体制、2)研究課題、3)技術的問題などが検討され、NADの中に表1に示す三つの委員会が設置された。各委員会の委員長と幹事も表1に示したが、会の事務局は Executive Committeeの委員長の T. Vorrenのノルウェーに置く方向が示唆された。この時検討された各委員会の役割は以下の通りである。

1. Executive Committee action items.

- A. Determine level of monies required for secretariat and initial operations and draw up budget plan. (T. Vorren)
- B. Contact international organizations to establish formal relationship. (T. Vorren)
- C. Publish a brochure on NAD (joint with Science and Technology committees).
- D. Contact national representatives and urge them to forward names where required for science and technology committees. (T. Vorren)
- E. Site and date of next/first meeting.

2. Science Committee

- A. Complete prioritized science plan. (J. Thiede).
- B. A syntheses of Arctic data base needed and permission from ODP to use their data bank. (G. Brass).
- C. Liaison with ODP (G. Brass).
- D. Site and date of next/first meeting.

3. Technology Committee

- A. Inventory of available technology (K. Manchester).
- B. Date needed for site surveys (M. Storm/Science Committee).
- C. Next meeting-London(TEDCOM) (K. Manchester).

1990年1月、ワシントンD CでNAD executive committeeが開催された。その結果、次のようなことが話し合われた。掘削は、1991年にドイツ (POLARSTERN)とスウェーデン (ODEN)の観測船を使用し、航海でできることならアメリカの砕氷船の助けを得て実施する。それまでに新しい掘削機 "gattling gun drill" と "active sediment cover" が完成するよう technical committeeで検討する。

また、研究課題の決定を急ぐ。そして、これらができあがった時点で、研究課題、技術両面からの検討を、各国で加えてもらい、資金を用意してもらう。

表1：NADの組織

| COUNTRY | EX. COM. | SCI. COM. | TECH. COM. |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|
| CANADA | D. I. ROSS | L. MAYER | OK. MANCHESTER |
| DENMARK ¹⁾ | H. SORENSEN ¹⁾ | B. LARSEN ¹⁾ | |
| FRANCE | J. C. SIBUET ²⁾ | Y. LANCELOT | |
| F. R. GERMANY | D. FUTTERER | ○J. THIEDE | |
| JAPAN ¹⁾ | K. KAMINUMA ¹⁾ | | |
| NETHERLANDS | J. H. STEL | J. E. VAN HINTE | |
| NORWAY | ○T. O. VORREN | Y. KRISTOFFERSEN | H. STRAND |
| SWEDEN | K. BOSTROM | J. BACKMAN | O. STEPHANSSON |
| U. K. | T. MAYER | N. SHACKLETON | □A. SKINNER |
| U. S. A. | □L. JOHNSON | G. BRASS | M. STORM |
| U. S. S. R. | YASTREBOV | □A. P. LISITZIN | GELGAFT |

¹⁾ OBSERVER

○ CHAIR PERSON

²⁾ PRELIMINARY

□ SECRETARY

N A D への期待

平 朝彦 東京大学海洋研究所 教授

◆ 北極で解く地球科学の根本問題

地球科学の根本問題の一つに地球環境の保持と変動のメカニズムの解明がある。古生代以降の地球の歴史を見ると大きく二つの気候環境のモードから成り立っているのがわかる。すなわち極に氷の発達した時代（氷室地球：Icehouse Earth）と氷のなかった時代（温室地球：Greenhouse Earth）である。白亜紀に代表される温室地球では、平均気温が今より10度以上高かったとも言われている。その原因として火山活動により大気中の炭酸ガス濃度が増加したとの仮説が出されている。その後、地球は氷室時代に入る。約200万年前から北極周辺の海域に氷山のもたらしたDrop Stoneの存在が認められるようになるが、北極海域の歴史の解明はきわめて不十分である。地球環境に果たす北極の役割は大変大きいと直観される。しかし、次の根本問題が未解決である。

- (1) 氷室地球から温室地球への状態変化はどのように起こったのか。そのとき極域では何が起こったか。
- (2) 北極で海水はいつ頃から発達してきたか、その長期的変動はどのようなものか。
- (3) ミランコビッチサイクルと北極の環境はどのように対応しているか。
- (4) 炭素サイクルを始めとして地球の物質循環に北極はどのような役割をしているか。これらの研究のために、北極で堆積層からの連続コア試料の採取が必要であり、科学的海洋掘削への期待はきわめて大きい。この他に、海洋拡大テクトニクスや付加テクトニクスの面からみても、北極域は重要である。

◆ 技術的バックグラウンド

北極海で数百メートルから2 kmに及ぶ海洋掘削を行うには巨大な砕氷掘削が必要となろう。現在このような能力の船の運用は莫大な予算を必要とし、国際共同の計画としてもODP（国際深海掘削計画）をし

のぐ規模とならざるを得ない。しかし、上記の気候・環境問題へのアプローチには様々な方法が可能である。北極海からの堆積層のコア試料は周辺での石油掘削井をのぞいて、10 m以下のピストンコアしかない。したがって50 m～100 m程度の堆積層の掘削でも、重要な情報をもたらすことはまちがいでなく、まず、このレベルの掘削計画から始めるのが妥当であり、NADにおいてもそれが実際的なステップとして考えられる。このための技術の一つとして、日本でも開発が進んでいる海底掘削ロボットがあげられる。今後は極域用のロボットの開発が一つの重要課題となろう。巨大砕氷掘削船を用いずとも適正な予算規模内で十分な科学的成果をもたらし得る技術的バックグラウンドがあることは確かである。

◆ NADと共同研究

NADは現在進行中、あるいは将来の国際共同研究とリンクし、また協力して始めてその成果がよりグローバルなものとなる。代表的な例はODPとの協力である。ODPでは高緯度海域での海洋古環境の研究が中心課題の一つとなっている。現在、ODPとNADは連絡グループ(Liason Group)を作って互いに情報のやりとりをしている。その他氷床の掘削計画や周辺地域の調査計画等と密接な連絡が必要となろう。国際共同研究においては、各参加国（参加者）がその一旦を責任を持って推進することが成功の秘訣である。NADにおいて、日本は特に掘削ロボット技術において貢献するのが一つの方法ではないだろうか。関係者各位の努力に期待するとともに極域に興味を持つ研究者の一人として支援に加わる所存である。

微化石からみた北極海の層序と古環境

小泉 格 北海道大学理学部

現在の北極海は、約1300万km²のほとんど安定した厚さ3mほどの氷でおおわれており、季節と年によって変化する氷と公海の比率が北半球の気象状態に大きな影響を及ぼしている。したがって、北極海の海底堆積物を使って北極海の氷河化作用と北半球の古環境—古海洋変遷との間の関係を歴史的に調べることによって現在の状態を知り、未来の姿を予測することは緊急を要する重要な研究課題である。しかし、自然環境が厳しいために北極海の海洋調査や採泥作業は容易なことではない。

これまでに行われた海底堆積物の採集は、大浮氷上に設けられたステーションからのコアリングなので、貫入深度と直径に限界がある上に、大浮氷は海流と風向とによってある決まった方向にしか運ばれないので、採集地点が地理的に限定されることになる。図1の黒い四角は採泥作業が行われた主な大浮氷ステーションの位置を示している。最も長い北極海の深海底コアでも10mより短く、大部分のコアは3mよりも短い。そして4000万年前より古い北極海の深海底堆積物は4点しかなく、

残りの600本あまりの堆積物コアは500万年前よりも若い(図2)。

先新生代の堆積物は、いずれもアルファ—海嶺上の南に傾いたかなり平坦な頂上からT3とCESARによって採取された。これらの堆積物はアルファ—海嶺の核を成す珪質鞭毛藻—珪藻軟泥である。CESAR6コア中の珪藻は種類が多く、その群集組成は西シベリアの北部ウラル山脈のカンパニア期後期のものに類似しており、メーストリヒア期の群集とは明らかに異なっている。休眠胞子が多く、沿岸性種を欠くので岸から離れた大陸棚か、あるいは堆の縁で堆積したと推定される(Barron, 1985)。珪質鞭毛藻群集によっても堆積物の年代はカンパニア期か、あるいはメーストリヒア期と推定されており(Bukry, 1985)。両者の結果は整合的である。CESAR6とFL-437における珪質鞭毛藻群集では白亜期の示準種の大部分が欠如すると共に長い刺をもつ、頑丈な *Vallacerta siderea* の個体が最も優勢となっている。これは北極海が同時時代のほかの地域の環境と違ったことの現れであり、北極



図1 北極海的主要な海底地形と大浮氷ステーション

海が少し閉じて、20-40%ほど塩分濃度が少なくなっただけであろうと推定されている。これが北極海の白亜紀／第三紀境界における淡水化現象の本質かも知れない(Bukry, 1981)

北アラスカ、OceanPoint のPrince Creek 層産の二枚貝、腹足類、貝形虫などは非常に固有のもので、各グループの一種しかほかの地域のものとは共通でない。古第三紀の貝形虫属が優勢で、中期暁新世-前期始新世の軟体動物と貝形虫の種が共存することは、年代が前期暁新世-前期始新世であることを示していよう。年代的に異なった属が混合しているのは、北極海が白亜紀の終わりから始新世のある時期まではほぼ完全に孤立していたという特異な古地理的環境からもたらされたと考えられる。すなわち、固有種が現地で進化している間に、白亜紀タクサの残存種は第三紀まで生き延びた後、北方の中緯度域へ移住したのであろう。OceanPointとロンドン、デンマーク、北ドイツの温暖性動物群が類似していることは、浅くて断続的な海路が暁新世時にノルウェー-グリーンランド海を通して北海まで延びていたことを示す。さらに北米とヨーロッパ大陸の後期暁新世-始新世には類似した陸上脊椎動物が存在することから陸橋がこれらの大陸の間にあったことになる。すなわち、北極海は白亜紀後期-古第三紀前期に孤立していたのである(Marinovich, et al., 1985)。

アルファ海嶺の南端部から採取されたコアFL-422は、珪質鞭毛藻から時代が始新世であると判断される。刺がのびているという形態上の変化から高緯度域あるいは寒冷期-寒冷域での堆積が推定される(Bukry, 1984)。したがって、暁新世から前期始新世まで北極海には、生物源シリカの堆積がないことになる。しかし北大西洋(DSDP Site384)、デンマーク、ロッカー海台には後期暁新世-前期始新世の珪藻堆積物があるので、今後の探査が必要である。

北極海の漸新世と中新世に関する情報は、それらの堆積物が採集されていないので、全くわかっていない。

空中地磁気調査の結果(Vogt et al., 1979; Taylor et al., 1981)によれば、ユーラシア海盆は線状の地磁気異常を示すので、海底拡大によって形成されたと考えられているが、アメラシア海盆は複雑な形状を示し、概略的な構造史しかわかっていない。このような両海盆の発達史と地理的な位置の違いが堆積物にも反映されている。500-300 万年前以降の北極海コアを様々な手段を使って分析した結果は、ユーラシア海盆とアメラシア海盆とはそれぞれ著しく異なった堆積作用であることを示している。ユーラシア海盆の堆積物中には粗粒砕屑物が少量しか含まれていないが、アメラシア海盆のそれには隣接した周辺の大陸から流入したと推定される粗粒な漂流岩屑

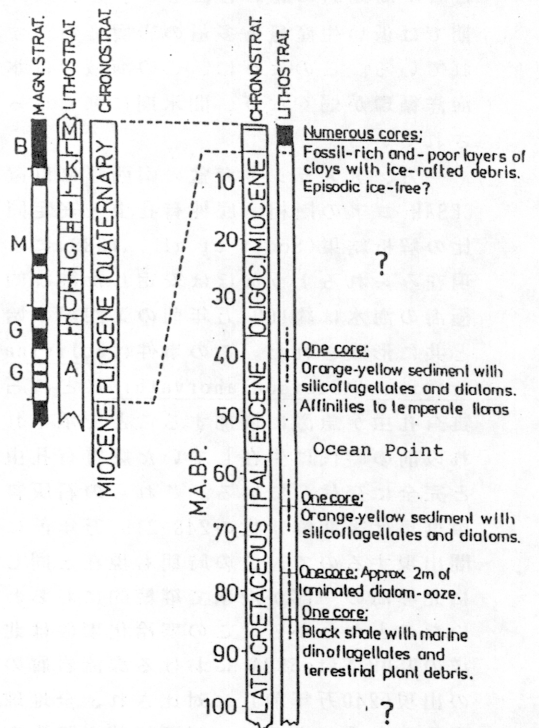


図2 北極海の高緯度域から採取されたコアの地質時代

が大量に含まれている。第四系の堆積速度にも両海盆の間で著しい違いが認められ、ユーラシア海盆の堆積速度は1-4cm/1000年であるが、アメラシア海盆でのそれは1桁おそい1-3mm/1000年である。これらの違いはロモノフ海嶺の両側の海盆における異なった堆積物起源と堆積型によると考えられている(Morris, 1988; Scott et al., 1989)。ユーラシア海盆の南端から採取されたFRAMコア中の微化石群集と堆積相を解析した結果(Marquard and Clark, 1987)によれば、7.2℃以下の表層水温を示す浮遊性有孔虫の*Neogloboquadrina pachyderma*の左巻き固体を95%以上含む群集と典型的な垂極種が存在しないことによって過去60万年間を通じて垂極水塊はこの海域に存在しなかったと推定されている。最終氷期の7-10万年前に高い生物生産量と少量の漂流岩屑が周期的に認められるが、これ以外の氷期では低い生産量と多量の岩屑で特徴づけられている。このように、この海域では氷期に海洋循環が弱くなり、間氷期に強くなったとされている。

一方、アメラシア海盆の南西隅に位置するCESAR コアの層相・底性有孔虫・安定同位体比の解析結果(Scott et al., 1989)によると現在みられるようなほぼ安定した継続的な北極海の海水は約160万年前の第四紀の始まりと共に形成された。この事件は*Bolivina arctica* や*Stetsonia horvathi*などの石灰質有孔虫が急激に増加することで示され、それ以前の時代に生存在していた膠質有孔虫群集と完全に交代している。これらの石灰質有孔虫群集は後期鮮新世の248-215万年前に短期間出現するので、この時期も現在と同じように北極海の一部が海水で継続的におおわれていたことがわかる。この寒冷化事件は北大西洋のDSDP Site 552Aにおける漂流岩屑の最初の出現(240万年前)に対比され、全地球的な現象のようである。約30万年前以降現在までの後期更新世を通じて、北大西洋の典型的な

底性有孔虫種である*Oridorsalis unbonatus*, *Eponidestumidulus*などが北極海の固有種(*Bolivina arctica*)に代わって出現し始める。

この事件はユーラシア海盆でも起こっているため、ノルウェー海から北極海へ流入する底層水の勢いが強くなったと考えられる。さらにこの時期を通じてみられる炭酸塩や碎屑性の石灰岩はカナダの北極域や北西グリーンランドからの漂流岩屑に由来するものであろう。

T3コアの層相・有孔虫・古地磁気の層序はHerman, 1974; Hermann and Hopkins, 1980), CESAR コアのそれらとほぼ同じ層序区分を示すが、堆積速度が少し早いので、やや古い年代割りつけがなされよう。すなわち、500-300万年前の北極海は寒冷ではあるが、継続的な氷は存在していない。300万年前に塩分と密度の成層構造が発達し、温暖期には塩分濃度が低下して栄養塩類が減少するために、浮遊有孔虫の生産が減少した。90万年前以降現在のように継続的な海水が北極海の一部をおおようになった。

両海盆における鮮新統上部-更新統を比較してみると、両海盆に共通した海洋-気候系事件を記録しているが、堆積速度の違いによってアメラシア海盆からの堆積物において分解能が悪いようである。ユーラシア海盆では氷河水量の増加と水量の急速な減少が粗粒堆積物の堆積量を増加させたと考えられるが、アメラシア海盆では気候周期以外の要素が粗粒堆積物の堆積に関与しているらしい。アメラシア海盆における酸素同位体比は、海水の塩分、温度、低塩分表層水の厚さなどの影響によって汎世界的な氷河量の消長よりも強調されている(Morris, 1988)。結局のところ、ユーラシア海盆はフラム海峡でノルウェー海-北大西洋と通じているので、様々な海洋事件を全地球規模で明瞭に記録しているが、北極海の奥に位置するアメラシア海盆では不明瞭な記録となっている。

以上に記述したように、北極海の氷河化作

用が地球規模の海洋-大気循環と堆積作用に大きな影響を与えてきたことは確かな事実であるが、それらの実体と影響の効果についてはほとんどわかっていない。北極海は海洋科学のなかで最後に残された未調査のフィールドである。まだ解決されていない諸問題はDS DPやODP が実証したように、北極海をボーリングして堆積物と基盤岩をコアとして回収して、分析調査するしか方法はないであろう。厚い氷でおおわれた北極海をボーリングするためには、様々な技術的な問題を解決しなければならないが、我が国の進んだ科学技術を国際科学協力事業に役立てたいものである。

引用文献

- Barron, J. A., 1985. Diatom biostratigraphy of the SESAR6 core, Alpha Ridge. In H. R. Jackson, P. J. Mudie and S. M. Blasco (eds.), Initial Geological Report on CESAR-the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean. Geol. Surv. Canada, Paper 84/22: 137-148.
- Bukry, D., 1981. Cretaceous Arctic silicoflagellates. Geo-Marine Lett., v. 1: 57-63.
- Bukry, D., 1984. Paleogene paleoceanography of the Arctic Ocean is constrained by middle or late Eocene age of USGS core F1-422: Evidence from silicoflagellates. Geology, v. 12: 199-201.
- Bukry, D., 1985. Correlation of late Cretaceous Arctic silicoflagellates from Alpha Ridge. In H. R. Jackson, P. J. Mudie and S. M. Blasco (eds.), Initial Geological Report on CESAR-the Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge, Arctic Ocean. Geol. Surv. Canada, Paper 84/22: 125-135.
- Hermann, Y., 1974. Arctic Ocean sediments, microfauna, and the climatic record in late Cenozoic time. In Y. Herman (ed.), marine Geology and Oceanography of the Arctic Seas. New York, Springer-Verlag: 283-348.
- Herman, Y. and Hopkins, D. M., 1980. Arctic oceans climate in late Cenozoic time. Science, v. 209: 557-562.
- Marincovich, L., Jr., Brouwers, E. M. and Carter L. D., 1985. Early Tertiary marine fossils from northern Alaska: Implications for Arctic Ocean paleogeography and faunal evolution. Geology, v. 13: 770-773.
- Marquard, R. S. and Clark, D. L., 1987. Pleistocene paleoceanographic correlations: northern Greenland Sea to central Arctic Ocean. Marine Micropaleontology, v. 12: 325-341.
- Morris, T. H., 1988. Stable isotope stratigraphy of the Arctic Ocean: Fram Strait to central Arctic. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., v. 64: 201-219.
- Vogt, P. R., Taylor, P. T., Kovacs, L. C. and Johnson, G. L., 1979. Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic Basin. Jour. Geophys. Res., v. 84(B3): 1071-1089.
- Taylor, P. T., Kovacs, L. C., Vogt, P. R., Johnson, G. L., 1981. Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic Basin. 2. Jour. Geophys. Res., v. 86(B7): 6323-6333.
- Scott, D. B., Mudie, P. J., Baki, V., MacKinnon, K. D. and Cole, F. E., 1989. Biostratigraphy and late Cenozoic paleoceanography of the Arctic Ocean: Foraminiferal, lithostratigraphic, and isotopic evidence. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 101: 260-277.

N A D (Nansen Arctic Ocean Drilling Program) に期待するもの
 Expectations on the NAD (Nansen Arctic Ocean Drilling Program)

小嶋 智 (名古屋大学理学部地球科学教室)

Satoru KOJIMA (Department of Earth Sciences, Nagoya University)

Abstract: Geological and Geophysical data so far obtained in the Arctic Ocean basins are reviewed: The Eurasia Basin is a typical oceanic feature formed by seafloor spreading along the Nansen-Gakkel Ridge system. The Lomonosov Ridge is generally accepted to be a continental sliver rifted off from the Barents-Kara Shelves, although direct evidence has not been recovered from the ridge itself. The Amerasia Basin shows complicated bathymetric and geophysical features, and no attempts have successfully reconstructed its structural development; among these, the model that the Canada basin is formed by the anticlockwise rotation of Alaska-Chukotka plate, and the Alpha Ridge with thick oceanic crust is products of a hot spot situated at the spreading center, is most approvable.

Candidates for scientific drilling in the Arctic Ocean are arranged in the following order by their geological and geophysical importance: Lomonosov Ridge, Amerasia Basin (especially Canada Basin), Mendeleev Ridge, Chukchi Plateau, Eurasia Basin.

【はじめに】

1986年頃から北極地域で国際的な協同研究を行おうという気運が、環北極8カ国(カナダ、デンマーク、フィンランド、アイスランド、ノルウェー、スウェーデン、米国、ソ連)の間で高まっている。日本でも、北極の海水が北半球の気候に大きく影響を与えていることもあって、南極観測同様、北極海域での研究活動を推進するために、1989年、国立極地研究所に「北極科学研究推進特別委員会」が

設置されている。このような背景のもとに、カナダ、フランス、西ドイツ、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、イギリス、米国、ソ連の9カ国によって(デンマークと日本はオブザーバー参加)、NAD(Nansen Arctic Ocean Drilling Program)というプロジェクトが計画されている。このプロジェクトは、これまでDSDP-ODPにより掘削されたことのなかった、そして、今後も掘削する予定のない北極海の海底をドリリングして、次のような疑問に答えを出そうというものである(Thiede et al., 1989)。

1. 水に被われる前の北極の古環境はどのようなものであったのか?
2. 北極地域に寒冷化が始まったのはいつだったのか?
3. 新生代後期の北極地域の気候変動の時期、強度、周期はどのようなものだったのか?
4. 気候変動、および北極海と他の海(特に大西洋)とのつながりの変化に対して古植物・動物群集はどのように変化したのか?
5. 北極と南極の気温、氷床の消長には対応関係があるのかどうか?

この小論は、これまでに北極海地域で明らかにされた地球科学的データをreviewするとともに、筆者がNADに対して、技術的に可能かどうかといった点は考慮せず、地質学的・地球物理学的観点から期待するところを述べたものである。技術的な問題についてはPfirman et al. (1989)などに詳しいのでそちらを参照していただきたい。

【これまでの北極海研究プロジェクトで得られた成果】

北極海は大きくみるとEurasia BasinとAmerasia Basinに分けられ、両者はLomonosov Ridgeによって隔てられている。さらに、Eurasia BasinはNansen-Gakkel Ridgeにより

Nansen BasinとFram Basinに分けられ、Amerasia Basinは、Alpha-Mendeleyev Ridgeにより、Makarov BasinとCanada Basinに区分される(図1)。このうち、Eurasia Basinは空中磁気調査により明瞭な地磁気の縞模様が見られ大西洋に続く一連の海洋底と考えられるのに対し、Amerasia Basinは構造が複雑でデータも少なく、どの様にして形成されたのかよくわかっていない。また、Nansen-Gakkel RidgeがEurasia Basinを作った中央海嶺であることがわかっていることを除くと、他のLomonosov Ridge, Alpha Ridge, Mendeleyev Ridgeや多くの海台の成因は推測の域を出ない。しかしながら、北極海でこれまでに得られている数少ないデータをまとめることは、次に何処をドリリングすれば何がわかるのかを知るうえで必要である。

現在までに北極海で行われた科学的な調査研究には、主として次のようなものがある(Thiede et al., 1989)。

1. A I D J E X (Arctic Ice Dynamics Joint Experiment): 1976
2. L O R E X (Lomonosov Ridge Experiment): 1979
3. F R A M I - IV: 1979-1982
4. Y M E R: 1980
5. C E S A R (Canadian Expedition to Study the Alpha Ridge): 1983
6. A R K IV / 3: 1987
7. C E A R E X: 1988-1989

これらの調査の結果得られた成果を地域別にまとめると次のようになる。

① Eurasia Basin - Nansen-Gakkel Ridge

前述のように、この地域の海洋底は大西洋

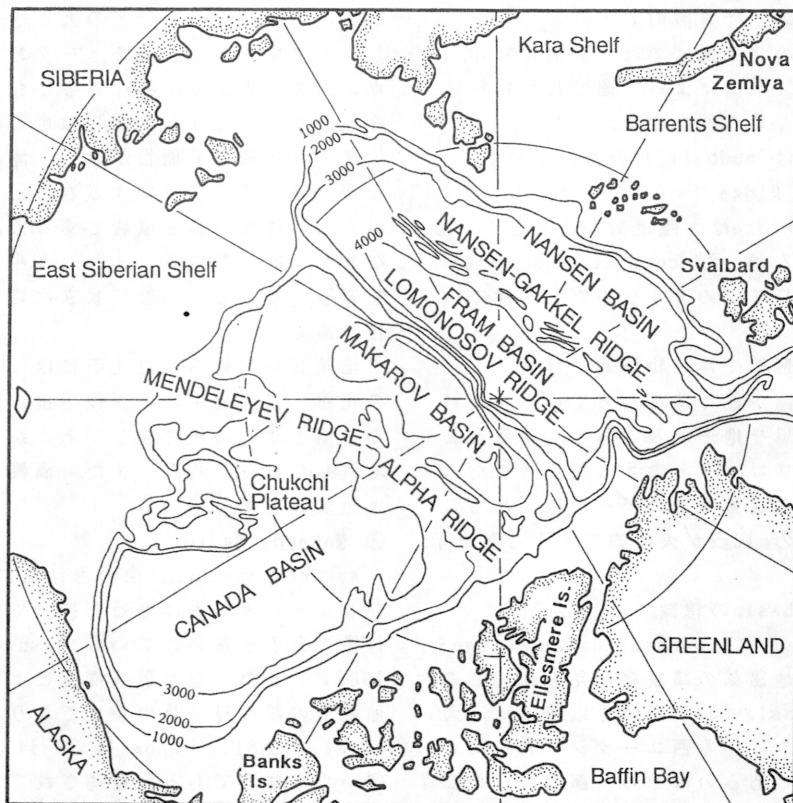


図1. 北極地域の構造図.

から続く海洋地殻から成り、地磁気の縞模様
のデータから、開いた時代はanomaly 25-24
(Late Paleocene-Early Eocene)であることが
わかっている (Srivastava, 1985, Taylor
et al., 1981). Eurasia Basinは、他の海洋
底に較べて拡大速度が著しく遅い (Kristof-
fersen, 1982), 海洋地殻の厚さが僅か3 k
mしかない, などの特徴がある。また,
Nansen-Gakkel Ridgeからは変形・変質した玄
武岩が得られている。

1987年7月～9月に行われたARK IV/3
と呼ばれるプロジェクトでは次のような事実
が明らかになった (Polarstern Shipboard
Scientific Party, 1988)。

1. Yermak Plateauの北東斜面は急崖を作っ
て深海平面に落ちている。
2. Nansen-Gakkel Ridgeの、水深5,000m地点
からは保存の良い有孔虫群集が得られた。
これは、西北極海で珪質化石群集が主
体であるのとは対照的である。
3. Svalbardの北東海域では、表層堆積物、
コア供に、氷山によって運ばれた粗粒碎
屑物が全く見られなかった。ただ、コア
の中からは“mudball”が得られている。

② Lomonosov Ridge

Lomonosov Ridgeは大陸地殻からできている
と言われているが、Sweeney et al. (1982)
はその根拠として次のような事実をあげてい
る。

1. 全体的な形態や地球物理的な特徴。
細長く、両側が鋭く切れ落ちているのに対
し、頂部は平坦な地形をしており、断層運動
で形成されたブロックと考えられる。また、
重力・磁気・熱流量などのデータは、どちら
かと言えばこのridgeが大陸的であることを示
唆している。
2. Eurasia basinの特徴。

Eurasia basinにはNansen-Gakkel Ridgeを
中心に対称な地磁気の縞模様が見られ、この
ridgeが、Eurasia basinが開く以前には、大
陸地殻からできている西ユーラシア大陸にく
っついていて、あるいはその一部であったこ
を示している。

しかし、これを決定づける証拠は今のとこ

ろえられていない。以下に、Blasco et al.,
(1979), Sweeney et al. (1982)に基づい
て、LOREXによって明らかにされたこの
地域の特徴を述べる。

Lomonosov Ridgeは、長さ1,800km、幅25～
200kmの細長いリッジで両側の深海平原から比
高3,000mの規模でもってそびえており、頂部
の水深は1,000mほどである。Lomonosov
Ridgeの両側は、Makarov Basin側が14度と急
であるのに対し、Eurasia Basin側は7度以下
と比較的緩やかである。音波探査の結果は、
このリッジがMakarov Basin側に傾斜したいく
つかの正断層によって切られていることを示
している。

ドレッジされた堆積物は、リッジの頂部、
Makarov Basin, Eurasia Basinの順で細粒と
なる。これは、底掃流がリッジの頂部の細粒
堆積物をMakarov Basinに運んでいるためと思
われる。また、リッジからドレッジされたサ
ンプルには、指の爪ほどの大きさの、再結晶
し、ドロマイト化したチョークおよび、マン
ガン団塊・黒雲母結晶片岩なども含まれてい
る。しかし、これらの岩片は氷山によって運
ばれてきた礫の可能性が強い。地球物理学的
なデータはこのリッジ作る岩石として、堆積
岩あるいは堆積岩を原岩とする低度の変成岩
などを示唆している。また、多孔質で結晶質
な岩石、たとえば、杏仁状玄武岩なども可能
性がある。

堆積物から得られた化石には、新生代後期
の花粉、白亜紀中期の渦鞭毛虫、デボン紀後
期の孢子化石の破片などがあるが、何度も再
堆積した形跡がある。また、渦鞭毛虫と孢子
は熱変成を被っている。

③ Makarov Basin

Makarov Basinは、他の海洋底にくらべると
ひじょうに厚い海洋地殻を持っていることが
特徴であると言われている (Asudeh et al.,
1988)。また、空中磁気探査により、対称な
地磁気の縞模様が見つかっており (Taylor
et al., 1981), anomaly 33-34 (白亜紀)に
開いた海洋底であると推測されている。

西ドイツの高性能砕氷観測船「POLARSTERN」
を使ったプロジェクトとして、TRAPOL

EX (the Transpolar Expedition) が1991年に予定されている。このプロジェクトの目的は、北極海の氷・海洋・堆積に対するシベリア大陸棚の寄与を明らかにすることであるが、Amunsen, Makarov Basinもその調査研究対象に含まれている。

④ Alpha - Mendeleev Ridge

Alpha-Mendeleev Ridgeは、周りの、水深3,800-3,900mの海底から約2,300mの高まりを作ってそびえる海台である。そして、その成因については、CESAR以前には以下の諸説があった (Jackson et al., 1986)。

1. 大陸地殻のかげら
2. 古い時代の中央海嶺
3. 古い時代の沈み込み帯
4. 非地震性のoceanic ridge
5. ホットスポットの軌跡

たとえば、Sweeney et al. (1982) は、Alpha Ridgeは、Lomonosov Ridge同様、大陸地殻のかげらと考えていた。つまり、Alpha + Lomonosov RidgeがBarents Shelfから分離した後 (or 分離しながら)、tensionによって地殻が引っ張られ、間にMakarov Basinができたと考えたのである。しかし、CESARの結果得られたデータにより、現在では、このリッジの成因は上記5のホットスポットの軌跡であるとされている。Sweeneyのグループもホットスポットの軌跡であるかどうかは別に、海洋地殻から成るものと考えを改めて (Sweeney and Weber, 1986)。

では、次にCESARでどのようなデータが得られたのかを記述する。

Van Wagoner et al. (1986) は、Alpha Ridgeからドレッジされた岩石を記載している。この岩石は極度に変質したpyroclastic rockで、ほとんどマトリックスを持たない玄武岩のクラストからなる。クラストの多くは杏仁状～多孔質で、細粒～ガラス質の組織を持つ。円磨度は、angularからsubroundedであり、angularなクラストが見られることから、水によって運ばれてきたものではないと考えられる。また、相対的に移動しにくいと思われる元素 (Nb, Zr, TiO₂, Y) の全岩分析、REEのパターンなどから、この玄武岩は、プレート

内に起源をもつアルカリ玄武岩と思われる。噴出したときの水深は800m以下、おそらくは200m以下であろう。

Mudie et al. (1986) はこのリッジから得られた堆積物を検討している。Alpha RidgeからはNeogeneより古い化石を含むボーリングコアが4本得られている。含まれる化石は珪質なもの (珪質鞭毛虫, 珪藻, archeomonads) と有機質の殻を持った微化石 (渦鞭毛虫, acritarchs, 花粉) である。組み立てられた層序は、下位から順に、

1. Campanian-Maastrichtianの有機質に富んだ陸源性の泥岩
 2. Maastrichtian-Eoceneの有機質の物質をあまり含まない、珪質化石に富む海成層
 3. Late Eoceneの火山性泥岩
- となっている。この化石のデータなどから、Alpha Ridgeの年代は120-83Maと考えられている (Sweeney and Weber, 1986)。

また、珪質な殻を持つ化石を作っているシリカがopal-Aであることから、80Ma以来、Alpha Ridgeは熱的には活動的ではなかったと推定されている (Jackson et al., 1986)。

Alpha Ridgeを作る地殻の速度構造や、その形態はアイスランドに似ており、このことから、Alpha Ridgeは、海洋底拡大の中心にあったホットスポットが多量のマグマを噴出し、厚い地殻を作った結果できた海台と考えられるようになった (Jackson et al., 1986, Asudeh et al., 1988, Forsyth et al., 1986a)。この仮説は、カナダ北部の北極群島のSverdrup Basinの地質 (Thorsteinsson and Tozer, 1970) ととも整合的である。すなわち、Embry and Osadetz (1988) によれば、Ellesmere Island, Axel Heiberg Island, Amund Ringnes Islandなどの白亜紀 (late Hauterivian-Campanian) の地層中には、玄武岩質溶岩や火砕岩があり、厚さは北ほど厚くなっている。これに伴うintrusive sillの年代はK-Ar法で180-90Maにまたがる (ただし、180-138Maは少ない)。また、dykeの貫入した割れ目系はEllesmere Island北部を中心に扇状に広がっている。この火山活動は、late Albianをピークとしたもので、Alpha Ridgeを

作ったホットスポットによるものと考えられる。ただし、アラスカのMackenzie DeltaやBrooks Rangeには白亜紀の火山活動は認められない。

Forsyth et al. (1986b) はさらにこの仮説を発展させ、Alpha Ridgeとアイランドが同じホットスポットにより作られたと考えた。そして、このホットスポットは、約100Maの間にAlpha RidgeからAxel Heiberg Island, Ellesmere Islandを通り、グリーンランドを経て現在はアイランドに位置しているのだとしている。

⑤ Canada Basin

Canada Basinは、アラスカの北に広がる平均水深 3,500-3,800m の深海で、顕著な平坦面を作っている。多くの研究者（たとえば、Jackson and Johnson, 1986, Jackson et al., 1986）は、Amerasia Basin (Makarov Basin + Canada Basin) はAlaska-Chukotka plateが反時計回りに回転してきたと考えているが、これは次のような根拠によるものである。

1. 白亜紀中期には北米北岸はpassive marginであった。
2. アラスカ北岸にはリフトを示す地震波構造がある。
3. Sverdrup Basin (Mississippian-Late Mesozoic) とよく似た同時代の地層が、北アラスカにも分布している (Grantz et al., 1979)。また、pre-Mississippianにも2つの似た地層がある。
4. この仮説からは、回転の中心より遠い所ほど地殻の収縮量が大きくなることが予想されるが、Brooks Rangeでその証拠が見られる (Tailleur, 1973)。
5. この仮説は、アラスカのPermo-Triassicの砕屑岩のソースが北にあったこともよく説明する。

しかしながら、この仮説にはいくつかの都合の悪い事実がある。それは次のように説明されている。

1. 弱いfan shaped anomalyを報告している人もいるが、Canada Basinには地磁気の精模様が見られない。これは、Canada

basinが、白亜紀のquiet zoneにできたためである。

2. Canada BasinがAlaska-Chukotka plateが回転することによりできた海洋地殻であれば、現在でも地形としてspreading centerが残っているはずである。しかしそれが見られないのは、80Maの間に壊れてしまったのと、厚い堆積物に覆われてしまったからである。

また、別の成因を考えている研究者もいる。Churkin and Trexler (1980) は、Amerasia Basinの成因を、すでにあった古太平洋プレートの一部が、アラスカを構成するテレーン群によって白亜紀初期に蓋をされるような形で取り残されたものと考えている。彼らの意見によれば、上記の古流系のデータは正しくなく、アラスカ、Sverdrup Basinともに古流系の方向は東西である。さらにこれらの砕屑物の後背地は違う種類と時代のものであるということである。

また、Trettin (1989) に述べられているように、Canada Basinはアラスカプレートが移動してきたものであるが、アラスカプレートは回転したのではなく、横ずれ断層によって平行移動したと考えている研究者もいる。

これとは別に、Vogt et al. (1982) は、空中磁気、地形、重力などのデータを吟味し、基本的にはAkaska-Chukotoka plateの回転でCanada Basinの形成は説明できるとしているが、Amerasia Basinをいくつかの区域に分け、より複雑なモデルでこの地域の成因を考察している。

Canada Basinの形成年代は、大陸棚縁辺部の断層活動に伴う最も新しい地層の年代や、沈降を開始した基盤を被う最も古い地層の年代、あるいは、深さやheat flowと年代の関係などの解析から、

continental breakup:131-113Ma,

seafloor formation:118-79Ma

と考えられている (Jackson et al., 1986, Sweeney, 1985)。しかし、海洋底からの直接のデータはまだ得られていない。

〔何処をドリリングすべきか?〕

基本的には、Eurasia Basinは北大西洋の延長部にあたるのであるから、わざわざ厚い氷があり気象条件の厳しい北極海をドリリングしなくても大西洋を掘れば良いことになる。この意味で地球科学的にはEurasia Basinを掘削する価値は小さい。しいて言えば、前述のように拡大速度がひじょうに遅く、地殻の厚さが著しく薄いという特徴を持っているので、地球上の他の海洋地殻との比較をすると言う意味でドリリングの意義はあるかもしれない。また、Eurasia Basinがシベリアに入るところなどは、現在割れつつある海洋地殻と大陸地殻の境目という意味で面白いかも知れない。

それに較べるとLomonosov Ridgeはドリリングの対象として極めて興味深い。Lomonosov Ridgeは前述のように大陸地殻のかげらと考えられている。たしかにEurasia Basinが大西洋の北方延長と考えられる以上、その開口以前には、Lomonosov Ridgeは大陸棚の縁辺部であるBarents-Kara Seaとつながっていたのであるから、大陸地殻と考えるのが妥当であろう。しかし、現在の地球を眺めてみたときこのようなテクトニック・セッティングが何処に見られるだろうか。Lomonosov Ridgeは長さ1,800km、幅数10kmの細長い形をしたリッジである。現在見られるこのような形態をしたリッジは、全て、未発達な島弧かホットスポットの軌跡である。Eurasia Basinが割れ始めたときには既にAmerasia Basinは形成されていたのだから、その割れ目から数10km離れた所には大陸地殻と海洋地殻の境目という弱線があったわけである。それにもかかわらず、大陸地殻の中に1,800kmにもわたって割れ目ができうるのであるだろうか？ もしできるのならば、どうして現在地球上にその様な所が見あたらないのだろうか？ もしLomonosov Ridgeが大陸地殻のかげらでないならば、いったいどのような成因を持った地質構造なのであるだろうか？ このリッジに関しては疑問が尽きない。

Alpha-Mendeleyev Ridgeは、まず、この2つのridgeが成因的に関係があるのかどうかの問題である。Alpha Ridgeについてはかなりデータが出ているとは言え、他の海域に比べれば不十分である。また、Mendeleyev Ridge

については、何もわかっていないので掘削の意義は大きい。特に、Mendeleyev RidgeがAlpha Ridgeと全く違った性質を持った海台であるならば、Alpha Ridgeについてもその成因を再考しなければならず、Mendeleyev Ridgeのドリリングはかなり興味深いプロジェクトである。

Canada Basinについては、先に述べたように、Alaska-Chukotka plateが反時計回りに回転してできた海洋であるとする考えが支配的であるが、他の仮説が無いわけではなく、回転仮説も決定的な証拠に欠けているように思われる。この問題に白黒をつけるためには、Canada Basinの海洋地殻を作る玄武岩の直上の堆積物の年代を面的に広い範囲にわたって決めることが一番確実である。このようなことが実際可能かどうかは別にして、Canada Basinの掘削は、その成因を決める上で決定的なデータを提供するであろう。

その他、Chukchi Plateauなどもデータのひじょうに少ない海台であり、掘削の期待されるターゲットと言えよう。

【まとめ】

以上述べてきたように、北極海域で深海掘削を行うとすれば、地球科学的には次の順序で優先順位がつけられるのではないかというのが筆者の見解である。

1. Lomonosov Ridge
2. Amerasia Basin (特にCanada Basin)
3. Mendeleyev Ridge
4. Chukchi Plateau
5. Eurasian Basin

【謝辞】

1990年3月20日、国立極地研究所で開かれた、「NADに関するワークショップ」に筆者の出席を許された神沼克伊教授、吉田栄夫教授に感謝します。また、筆者が名古屋大学理学部地球科学教室4年生の時に、セミナーのテーマとして「Innuitian造山帯の地質」を与えて下さった水谷伸治郎先生に感謝します。

【引用文献】

- Asudeh, I., Green, A.G. and Forsyth, D.A. (1988) Canadian expedition to study the Alpha Ridge complex: results of the seismic refraction survey. *Geophys. J.*, 92:283-301.
- Blasco, S.M., Bornhold, B.D. and Lewis, C.F.M. (1979) Preliminary results of surficial geology and geomorphology studies of the Lomonosov Ridge, Central Arctic Basin. In: *Current Research, Part C, Geol. Surv. Canada, Pap. 79-1C*, p. 73-83.
- Churkin, M., Jr. and Trexler, J.H., Jr. (1980) Circum-Arctic plate accretion - isolating part of a Pacific plate to form the nucleus of the Arctic Basin. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 48:356-362.
- Embry, A.F. and Osadetz, K.G. (1988) Stratigraphy and tectonic significance of Cretaceous volcanism in the Queen Elizabeth Islands, Canadian Arctic Archipelago. *Can. J. Earth Sci.*, 25: 1209-1219.
- Forsyth, D.A., Asudeh, I., Green, A.G. and Jackson, H.R. (1986a) Crustal structure of the northern Alpha Ridge beneath the Arctic Ocean. *Nature*, 322:349-352.
- Forsyth, D.A., Morel-a-l'Huissier, P., Asudeh, I. and Green, A.G. (1986b) Alpha Ridge and Iceland - products of the same plume? In: G.L. Johnson and K. Kaminuma (Eds.), *Polar Geophysics. J. Geodynamics*, 6:197-214.
- Grantz, A., Eitrem, S. and Dinter, D.A. (1979) Geology and tectonic development of the continental margin north of Alaska. In: C.E. Keen (Ed.), *Crustal Properties across Passive Margins. Tectonophysics*, 59:263-291.
- Jackson, H.R., Forsyth, D.A. and Johnson, G.L. (1986) Oceanic affinities of the Alpha Ridge, Arctic Ocean. *Mar. Geol.*, 73:237-261.
- Jackson, H.R. and Johnson, G.L. (1986) Summary of arctic geophysics. In: G.L. Johnson and K. Kaminuma (Eds.), *Polar Geophysics. J. Geodynamics*, 6:245-262.
- Kristoffersen, Y. (1982) The Nansen Ridge, Arctic Ocean; some geophysical observations of the rift valley at slow spreading rate. In: G.L. Johnson and J.F. Sweeney (Eds.), *Structure of the Arctic. Tectonophysics*, 89:161-172.
- Mudie, P.J., Stoffyn-Egli, P. and Van Wagoner, N.A. (1986) Geological constraints for tectonic models of the Alpha Ridge. In: G.L. Johnson and K. Kaminuma (Eds.), *Polar Geophysics. J. Geodynamics*, 6:215-236.
- Pfirman, S., Thiede, J., Johnson, G.L., Mienert, J., Vorren, T. and Blasco, S. (1989) Scientific Drilling in the Arctic in the 1990's: The technical challenges. The Eighth (1989) International Conference and Exhibit on Off-shore Mechanics and Arctic Engineering, The Hague, The Netherlands, March 19-23, 1989, p.1-5.
- Polarstern Shipboard Scientific Party (1988) Breakthrough in Arctic deep-sea research: The R/V Polarstern expedition 1987. *Eos Transactions, Am. Geophys. Union*, 69:665, 676-678.
- Srivastava, S.P. (1985) Evolution of the Eurasian Basin and its implications to the motion of Greenland along Nares Strait. In: E.S. Husebye, G.L. Johnson and Y. Kristoffersen (Eds.), *Geophysics of the Polar Regions. Tectonophysics*, 114:29-53.
- Sweeney, J.F. (1985) Comments about the age of the Canada Basin. In: E.S. Husebye, G.L. Johnson and Y. Kristoffersen (Eds.), *Geophysics of the Polar Regions. Tectonophysics*, 114:1-10.
- Sweeney, J.F. and Weber, J.R. (1986) Prog-

- ress in understanding the age and origin of the Alpha Ridge, Arctic Ocean. In: G.L. Johnson and K. Kaminuma (Eds.), *Polar Geophysics. J. Geodynamics*, 6:237-244.
- Sweeney, J.F., Weber, J.R., and Blasco, S.M. (1982) Continental ridges in the Arctic Ocean: LOREX constraints. In: G.L. Johnson and J.F. Sweeney (Eds.), *Structure of the Arctic. Tectonophysics*, 89:217-237.
- Taylor, P.T., Kovacs, L.C., Vogt, P.R. and Johnson, G.L. (1981) Detailed aeromagnetic investigation of the Arctic Basin, 2. *J. Geophys. Res.*, 86:6323-6333.
- Tailleur, I.L. (1973) Probable rift origin of Canada Basin, Arctic Ocean. In: M.G. Pitcher (Ed.), *Arctic Geology. Mem. Am. Assoc. Pet. Geol.*, 19:526-535.
- Thiede, J., Pfirman, S., Johnson, G.L., Mudie, P.J., Mienert, J. and Vorren, T. (1989) Arctic deep-sea drilling: Scientific and technical challenge of the next decade. manuscript, 18pp.
- Thorsteinsson, R. and Tozer, E.T. (1970) Geology of the Arctic Archipelago. In: R.J.W. Douglas (Ed.), *Geology and economic minerals of Canada, Geol. Surv. Canada, Econ. Geol. Rep. no.1*, p.547-590.
- Trettin, H.P. (1989) The Arctic Islands. In: A.W. Bally and A.R. Palmer (Eds.), *The Geology of North America - An overview. Geological Society of America, The Geology of North America*, A:349-370.
- Van Wagoner, N.A., Williamson, M.-C., Robinson, P.T. and Gibson, I.L. (1986) First samples of acoustic basement recovered from the Alpha Ridge, Arctic Ocean: New constraints for the origin of the ridge. In: G.L. Johnson and K. Kaminuma (Eds.), *Polar Geophysics. J. Geodynamics*, 6:177-196.
- Vogt, P.R., Taylor, P.T., Kovacs, L.C. and Johnson, G.L. (1982) The Canada Basin: aeromagnetic constraints on structure and evolution. In: G.L. Johnson and J.F. Sweeney (Eds.), *Structure of the Arctic. Tectonophysics*, 89:295-336.

海洋底に於ける孔内計測の科学的応用

木下 肇

東京大学地震研究所

Scientific applications of downhole measurements in the ocean basins

Original from ; Basin Research, v. 1, 223-236, 1989

by P. Worthington, R. Anderson, R. Jarrard, K. Becker,
J. S. Bell, M. Salisbury and R. Stephen

Ocean Drilling Programme (ODP) では最も進んだ孔内計測装置(Logging tool)を使って海底科学の発展に多くの貢献をしている。この有索計測技術は、例えば地球規模での環境変動、地殻マントル相互作用、地球化学的収支に対する地殻内の流体移動の意義、リソスフェア内応力と変形並びに海洋生物群の進化と言った問題を追究する為に利用することができる。さらに将来的な技術革新によっては、孔内計測の科学的利用価値を発展させること、即ち各種の地球物理計測結果の総括、あるいはこれらデータを地球全体規模の科学的枠組において把握する為に利用することができる。

1 孔内計測の役割分担

孔内計測を純粋科学目的で利用しているのはODP(Ocean Drilling Programme)であるがこの前身はDSDP(Deep Sea Drilling Project)と称されていた。これはアメリカ政府と科学者による学際協力体(JOI)が推進母体で、海洋底に記された地球の構造或は古環境(歴史)を解明することを目的としている。ODPは現代の地球科学においては第一級の計画として地球の本性解明の進歩に華々しい貢献をしている。

海洋底の堆積物あるいは基盤岩化学的・物理的特性をin situで計測することは本質的に重要なことである。有索孔内計測によれば、地球物理的手法による計測値と掘削資料から得られる測定値の狭間をうめ、in situでの岩石物理的・地球化学的連続記録データをもたらす。包括的な孔内計測計画によって掘削事業で得られる種々の結果にさらに定量的証明が与えられ、地球科学的により確固たる基礎を築くことができるだろう。

ODPで利用している孔内計測装置類は今日世界で最も進んだ技術的水準にあるものばかりである。表1にそれら装置の一覧を掲げておく。炭化水素類を除けばこれらの装置は鉱物種、塩分濃度及び空隙率等の反応するものと考えて良いだろう。従って鉱物種と塩分濃度を知れば孔内計測から空隙率を割り出すことができる。また例えばここに掲げた計測装置では透水率などを推計することはできないのでハッカを利用して直接測定する。

以下に於てCOSOD II (Second Conference on Scientific Ocean Drilling (1987)) に準じた枠内で、孔内計測技術について5項目を羅列する。

2 地球環境の変遷

短・長周期的或は長時間地球環境変動が海洋底の鉱物や堆積物の粒度分布に反映されていることが孔内計測で判明するのは、堆積速度が早い場合など計測器の分解能の守備範囲にある時に限られる。深海湧昇流変動とか気候変動などは堆積物の組成或は堆積物微細構造に変化をもたらし、それらを捉えるのに孔内計測が適している理由は、実に連続測定

が可能だからである。堆積層序の更に詳しい解析は音波層序、孔内計測及び掘削による回収試料の古生物学的、岩石学的解析により、一層高資質を得ることになる。必ずしも連続には採れない回収試料だけで議論するのはあまり得策とは言えない。

2-1 環境変動

2-2 周期的変動

2-3 地震波速度構造等が対象である。

3. 地殻／マントル相互作用

常用孔内計測或は特殊孔内物理実験等によって我々の海洋地殻に関する知識は次第に膨らんできた。殊に掘削コア回収率総平均が約25%であるのに対して孔内計測は100%連続測定ができる。孔内物理実験は海洋地殻に関する情報の収集範囲現在の数メートルから数百キロメートルまで広げつつある。この位い広がりを持たば通常の海洋物理探査でカバーできる計測範囲と遜色無い。堆積層の場合は一般に掘削孔での結果を数百メートルの周辺まで拡大適用しても構わないであろうが、水平方向に強い非一様性を有する海洋地殻(Stephen, 1987)に関してはこの方法が必ずしも適用できない。地殻・マントル間相互作用についての一般論でなく、あくまでも地域固有パラメーターを計測するのが目的である。

4. 地殻内循環流動と地球化学的収支

掘削に依ってのみ地殻内部或は堆積層内部の流体移動やそれに関する物理化学パラメーターの情報を得ることが可能になる。ODPの掘削孔を使って鉛直方向の流体移動速度やそれを支配する空隙率或は透水率の推定ができる。

4-1. 熱流量と水流循環

4-2. 空隙率と透水率

4-3. 玄武岩・海水相互作用

4-4. 化学物質存在量比等が計測の対象である。

5. リソスフェア内部の応力と変形

孔内計測は連続計測なので異なる孔間での微細な物理状態等を比較検討することが可能であり、ひいてはリソスフェアの理解を深めることに利用できる。たとえばリソスフェア内部の応力と変形に関しては三つの情報が入手できる。即ち(1)実験孔周辺の構造力学的な履歴を知る。(2)孔底の岩石類に関する物性を計測する。(3)現在の構造力学的状態に付いての情報を得る。

5-1. 構造力学的履歴

5-2. 物理的物性

5-3. 現在進行中の構造変動等の把握が出来よう。

6. 海洋生物群の発生・進化

孔内計測はまた海洋の生物種の発生進化に関しても有力な情報源である。堆積物の物性に対して孔内計測は直接情報をもたらす。海洋生物種は、種の発生・拡散・消滅と言う3大事件に伴い堆積物の物理的・化学的環境を変化させそれが堆積物の物性に還元され保存記憶されるから計測の利用価値がある。つまりこ状態変化を電磁あるいは放射化学計測にかけることが可能である。ただしこれらの条件は計測器の空間的分解能と感度がこれらの変化に対応した性能を持たなければならない。

7 検討

現在ODPの世界のみならず関係する分野でもっとも進んだ科学計測専用の孔内計測器が我々の手元に有ることは間違い無いにしても、今後海洋底の地学的研究を進めて行くためには更に進んだ計測技術を開発しなければならない。簡単に述べると、間隙水採取装置は化学的キャラクタリゼーションに重要であり、孔壁イメージングは亀裂・屈折・地層傾斜・岩相・応力判定に重要であり、化学分光分析は元素存在濃度に重要であり、更に項目だけ上げれば地殻物質の大規模密度分布、掘削同時計測、高温孔内計測、有索再投入技術、あるいは地磁気・応力・水文・地震・温度・圧力に対する孔内長期留置計測と言った問題が中心的課題と言えるだろう。

孔内計測が有効な道具であることはひとえに鉛直方向分解能に掛かっている。計測器によりその精度は数cmから2mにおよぶ。計測結果の解析もまた分解能の高い計測器を中心に補正されて行くべきであると同時に、回収試料もその様な目的に利用されるべきであろう。しかも孔内計測資料によって回収試料から得られる離散的測定結果を連結することができ、或は *in situ* 条件で観測した結果を測定点周辺地域の代表値とすることが許される点などは回収試料のみでは不可能な利点と言えるだろう。

ここに羅列した如く、孔内計測法こそ1990年代の海洋底地球科学計測にとって強力な支援母胎となることは間違いない。その中でも、孔内計測技術は微化石を含む層序、岩石物性、地磁気、同位体化学、地震、水文、応力、そしてテクトニクス問題に重大な関わりを持つことは言うまでもない。有索再投入法が確実になれば、ODPの保有する開口掘削孔は未来の地球科学研究者にとって科学的遺産と成ろうし、またその遺産を凡世界的観点から見つめ直すと言うことがもっとも重要であろう。

有機地球化学よりみた北極海堆積物

半田 暢彦 (名古屋大学水圏科学研究所)

1) はじめに

現在の海岸では、グリーンランドとスカンジナビア半島にはさまれた北部北大西洋において、冬期海洋表面が冷却され、密度を増し、大量の海水 ($28 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{秒}$, 28スベルドリップ) が深層に向かって沈み込んでいる。このような深層水の形成は、結果的に地球における南北の熱輸送に大きな影響を与える。

北極海は、このような北部北大西洋の北側に隣接しているため、この海域における水温変動は深層水の形成に直接関与し、ひいては地球表層における熱収支、さらには気候変動に大きな影響を及ぼす。

北極海が現在の状態をもち続けてきたという証拠は何もない。Gilbert and Clark (1982/83) によれば、北極海中央部から採集した体積物中の炭酸塩殻もつ双鞭毛藻類について、形態的特徴に注目して検討した結果、中新生から完新生に亘り、バックアイスの量的変動が顕著であり、このため海洋表層の基礎生産量も大きく変動したことを示唆している。同様なことは円石藻化石の分布に関する結果 (Worsley and Herman, 1980) から示されている。特に、この藻類は陽地性が強い結晶下では成長できない。この特徴を生かして、著者らは後期鮮新生から中期洪積生における北極海では、暖流 (warm current) の存在や、全く氷のない時期があったのではないかとしている。

以上の結果は、少なくとも過去数百万年に亘り、北極海が間欠的に氷におおわれた (水の多かった) 時期と氷のあいた (水の少なかった) 時期のあることを示している。このことは、先に述べたように、北極海が深層水の形成に大きく影響していることを通して、地球規模での気候変動に強く関与していることを示唆するものである。このような北極海の変動現象の全ては、水温、水の被覆面積、基礎生産量の変動の形で堆

積物にのみ記録されている。従って、このような海底体積物のみが北極海を舞台として展開された自然環境史を解明するための手がかりを与えてくれるものといえる。

以上の諸事実などを考慮すると、北極海堆積物に関して、有機地球化学の立場からは推進すべき研究課題として、

- (1) アミノ酸のラセミ化反応による堆積物の年代測定
- (2) 古基礎生産量の変動の把握
- (3) 長鎖ケトンによる古海水音の変動の把握
- (4) 隆起源有機物付加量の変動の把握などが挙げられる。

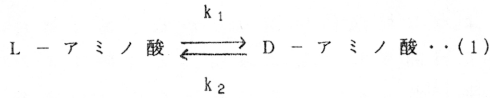
2) アミノ酸のラセミ化反応による体積物の年代測定

自然環境の変動が世界規模で発生しているため、堆積物試料の年代測定は不可欠である。北極海堆積物についても、古地磁気年代、U-Th年代及び ^{14}C 年代などの測定が行われている。しかし、物理的計測と化学的計測との間に大きな誤差があり (Sejrup et al., 1984)、将来の検討が必要としている。特に、古地磁気層序による方法は、堆積物の年齢を連続して計測出来るわけではないという欠点をもっている。同様なことは化学的計測法についてもいえる。このためこれらの方法による測定値の間をうめる計測法の開発がのぞまれる (Szabo et al., 1981)。

化石や考古試料の年代測定のため、アミノ酸の異性化反応を利用する試みは、Schroeder and Bada (1976) によって確立されてきた。

生体のタンパク質は、一般に20種のアミノ酸のL-異性体によって構成されている。しかし、生体の死滅と共にアミノ酸は生体による制御から開放される。このためアミノ酸のL-異性体はその対称体である

D-異性体へと変換し、(1)のごとく両者が平衡に達したとき(両者が等量になったとき)この反応(ラセミ化反応)は終了する。ラセミ化反応は次式で表現され、反応を支配するものは時間と温度である。温度は反応速度定数(k_1 , k_2)



に影響を及ぼすからである。

$$-dL/dt = k_1 [L] - k_2 [D] \quad (2)$$

$$-dD/dt = k_2 [D] - k_1 [L] \quad (3)$$

(2)と(3)から、

$$\ln \left[\frac{(1 + D/L)}{(1 - D/L)} \right]_t - \ln \left[\frac{(1 + D/L)}{(1 - D/L)} \right]_{t=0} = 2kt \quad (4)$$

従って、堆積物の温度が一定ならば、堆積物のアミノ酸のラセミ化反応は時間に依存する。一般に、深海底直上水の温度は全海洋を通して $1.5-20^\circ\text{C}$ の範囲で一定である。このため、特別な場所でない限り、深海底堆積物中の年齢を算出することができる。ただし、この場合、 k 値を予め決めておく必要がある。

k 値を決める要素は複雑で、経験的に決める以外方法はない。理由は、アミノ酸が結合型(タンパク質構成成分)が遊離型(アミノ酸が単独で存在する)か、生物性炭酸塩殻構成成分(有孔虫, 円石藻, サンゴ, 貝殻等)か生物性ケイ酸塩殻構成成分(ケイ藻, 放射虫など)か等によって k 値に変動があるためである。

海底堆積物試料を用いてアスパラギン酸の k 値を求めた例を図1及び2に示す。

この堆積物は東大海洋研の白鳳丸によるKH-79-4次航海において、赤道付近のStns8 ($5^\circ 00.6' \text{N}$, $156^\circ 08.6' \text{E}$)及び9 ($0^\circ 17.5' \text{N}$, $158^\circ 06.7' \text{E}$)において、ボックスコアラにより採集されたものである。この堆積物からGlobigerinoides ruber, G. succoliferを分離した。この試験中に含まれるタンパク質を加水分解してアミノ酸とし、N-ヘキサフロロブチルアミノ酸イソブチルエステルに誘導化した後、ガスクロマトグラフでD-およびL-異性体を分離した。また、

加速器質量分析装置により有孔虫試料の ^{14}C 年齢を求めた。アスパラギン酸のD/L値と ^{14}C 年齢との関係から k 値を算出した。

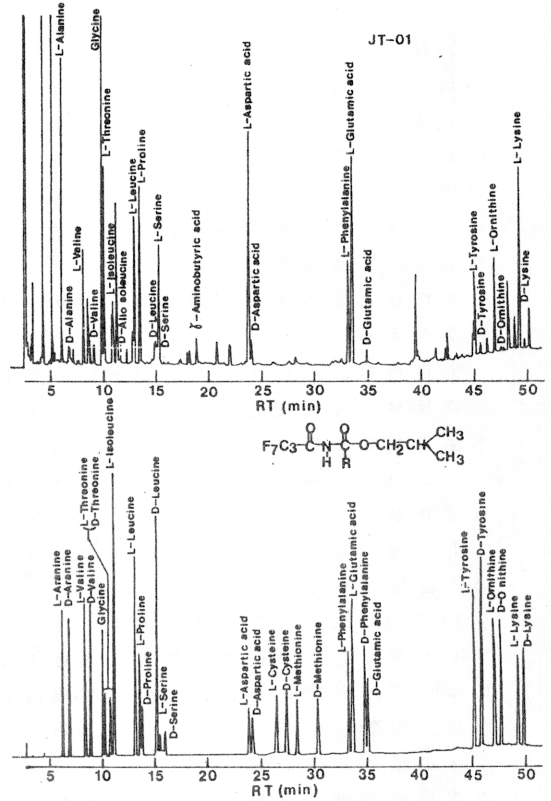


図1 ガスクロマトグラフィーによるD-及びL-アミノ酸の分離。A = アミノ酸の標準試料、B = 堆積物中の有孔虫試料

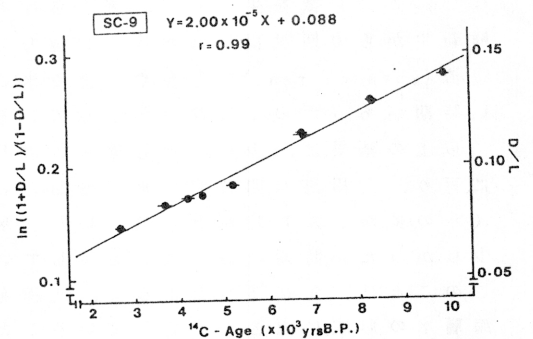


図2 アスパラギン酸のD/L値と ^{14}C 年齢との相関関係

その結果、アスパラギン酸のk値は
 1.01×10^{-5} (Stn. 8) 及び 1.18×10^{-5} (Stn. 9) と算定された。

本法を北極海に適用する場合、今のところ、あらかじめ堆積物試料中の生物性炭酸塩酸が生物性ケイ酸塩酸を分離し、特定のアミノ酸に注目して、そのk値を求めておく必要がある。特に、有孔虫あるいは円石藻は、同一試料でD/L値と14C年齢を与え、従って容易にk値を出せる点で重要である。しかし、北極海の堆積物試料の場合は、生物性ケイ酸殻が多量に含まれている可能性があるため、生物性ケイ酸殻におけるD/L値の測定と、その有機物による14C年齢の測定方法の確立がまず最初に手がけるべき研究課題である。

3) 古基礎生産量の変動の把握

現世の極域海洋においては基礎生産量が季節的に極めて顕著な変動を示す。特に、南極海では、南半球の夏期にクロロフィルaの極大値 ($> 0.6 \mu\text{gchl. a/l}$) を示し、冬期には $< 0.1 \mu\text{gchl. /l}$ に減少することが知られている (El-Sayed, 1971)。南極海の基礎生産量はクロロフィルaの季節変動と全く同じ傾向を示すと報告されている (El-Sayed, 1990)。

北極海においても、同様な傾向がみられる。北極海と北部北大西洋の中間にあるBaffin湾では、夏期(8月)クロロフィルaの極大値が認められ、 $> 2 \mu\text{gchl. a/l}$ になることが知られている (Borstad and Gower, 1984)。これに伴って、有機炭素の鉛直フラックスも顕著な季節変動を示し、その極大値は8月に認められることが報告されている (Atkinson and Wacasey, 1987)。特に、この海域での年平均有機炭素フラックスは $71 \text{mg Cm}^{-2} \text{日}^{-1}$ である。この値は、北大西洋においても最も生産性の高い海域と云われる北部北大西洋の亜寒帯、寒帯域に比べても数倍の基礎生産性を示す。観測例が少ないので、結論的なことは差し控えるとしても、現世における北極海の基礎生産量については十分な注意を払う必要があることが

うかがえる。

海洋における基礎生産量が大きいからと云って、海洋が一方に大気中の二酸化炭素を固定し、二酸化炭素のシンクになると結論づけるわけにはいかない。理由は、海洋表層で基礎生産過程によって有機物が合成される場合は二酸化炭素に対して一定の割合で硝酸イオンとリン酸イオンの供給が必要であることによる。これらのイオンは、深層水から供給されるが、その際、それらの量に見合った二酸化炭素もまた深層水から表層水へ供給されてしまうと考えるべきだからである。

しかしながら、北極海のように周囲を陸地で囲まれた線辺海の場合は事情が異なる。若し、河川や大気を通して窒素及びリンの化合物が付加された場合、北極海における窒素、リンの増加につながる。したがって、基礎生産過程を通してこれらの窒素、リンに見合った量の二酸化炭素が固定され、有機物となる。このような有機物が深層水に輸送されるため、深層水は大気及び表層水の二酸化炭素のシンクとなり得ると考えてよい。

すでに述べた通り、北極海の表面は氷による被覆面積が、時代的にかなりの変動を示し、それに伴って海底堆積物中の微化石に分布も大きく変動することが知られている (Gilbert and Clark, 1982/83; Worsley and Herman, 1980)。この事は、北極海における古基礎生産量の変動が顕著に存在したことを示唆するものである。

海洋における古基礎生産量の推定は、堆積物中の有機炭素含量の代償を堆積速度や水深で補正して求めている。基礎生産量が大きいほど有機炭素の鉛直フラックスは大きく、したがって堆積物への蓄積量も大きいと考える。しかし、堆積速度が遅いと有機物はより長い時間海水中の溶存酸素に接触して微生物による酸化分解を受けるため、堆積物へ移行する量は減少する。水深の大小も全く同様な考え方で、プランクton粒子 (実際は沈降粒子) が沈降する際、水深が大きいほど有機物が微生物学的分解を受け

る時間が長いと考えられ、従って堆積物へ移行する有機炭素量が減少すると考えられる。

Miller and Suess(1979)は、堆積物中の有機炭素含量と堆積速度から古基礎生産量(R)を見積ることを試みた。

$$R = (\%C \cdot BD) / (0.003S^3) \dots (5)$$

ここで% Cは堆積物中の有機炭素%、BDは堆積物の密度(乾重量/生堆積物容積、 gcm^{-3})及びSは堆積速度($cmky^{-1}$)である。しかし、Emerson(1985)は堆積物に移行する有機炭素量に対する溶存酵素の影響を考慮することの重要性を指摘し、その結果、

Sarnthein et al.(1987)はRに関して次式を提案した。

$$R = 15.9(\%C \cdot S \cdot BD)^{0.66} [S(1 - \%C/100)]^{-0.71} Z^{0.32} \dots (6)$$

ここで、Zは水深(m)である。

しかし、溶存酵素濃度の異なる条件下での堆積物表面泥の有機炭素蓄積量を検討した結果、この式でも溶存酵素の影響を十分に評価していないことに気づき、Sarnthein et al.(1988)は古基礎生産量の評価に新しい提案を行った。この方法では、古基礎生産量を直接評価するのではなく、有光層から抜けてくる有機炭素フラックス(新生産量あるいは輸出生産量)を評価し、これから基礎生産量を評価するものである。

$$R_{NP} = 0.0238 \cdot \%C^{0.6429} \cdot S^{0.8575} \cdot BD^{0.5364} \cdot Z^{0.8292} \cdot [S(1 - \%C/100)]^{-0.2392} \dots (7)$$

$$R_p = 2 \cdot R_{NP} \dots (8) \quad R_{NP} > 100$$

$$R_p = 20 \cdot R_{NP} \dots (9) \quad R_{NP} \leq 100$$

R_{NP} : New Production, R_p : Production

現世の海洋にこの方法を適用し、基礎生産量の実測値と比較すると誤差は $\pm 30 mgcm^{-2}年^{-1}$ であるとしている。これは現世の基礎生産量の約30%に相当している。したがって、ある海域の古基礎生産に関する全体な傾向を知るには、この方法である程度可能であると判断される。

北極海に対する(7)式の適用は、北極海の古基礎生産量についての変動傾向を与える点で重要である。少なくとも中心世以降現世に至るまでに海洋表面の結水分布については大きな変動の存在したことが指摘さ

れている。したがって、これを古基礎生産量との関係、さらには地球規模の炭素収支に対する北極海の役割評価について重要な知見が得られるものと思われる。なお、古基礎生産量の評価については、現在セジメントトラップ実験による有機炭素の鉛直フラックスに関する厳密な吟味、人工衛星データによる海洋表層のクロロフィルa濃度の評価の試みなどを通して、方法の開発が各所で試みられることが必要である。

4) アルケノンによる古海水温の変動の評価

北極海の水温変動は北部北大西洋における深層水の形成ばかりでなく北半球の気候変動に直接かかわる問題である。このため、北極海の水温変動を堆積物から読み取ることが必要である。

これまで、古海水温の評価には炭酸塩の $\delta^{18}O$ の測定によって来たが、主として粒径の大きい有孔虫を材料として用いてきた。このため有孔虫の少ない海域への、本法の適用は困難であった。

近年、生体を構成する脂質が水温の低下に伴って不飽和度を増すことが知られるようになった。特に、円石藻の一種 *Emiliania huxleyi*では、培養温度とアルケノンの不飽和結合数(不飽和度)の間にきわめてよい相関のあることが見出され(Marlowe et al., 1984)、古海水温の推定への利用が示唆された。その後、広範な海底堆積物試料についてアルケノンの分析が実施され、同時に堆積している浮遊性有孔虫の $\delta^{18}O$ の変動と比較検討された(図3)。

アルケノンとは脂肪族不飽和ケトンのことで、炭素数にして37-39の化合物が円石藻を中心とする植物プランクトン中に見出されている。その中でも、炭素数が37で、不飽和結合が2~4ケもった脂肪族ケトンが最も多量存在する。Brassell et al.(1984)

$$U_{37}^K = \frac{(C_{37:2}) - (C_{37:4})}{(C_{37:2} + C_{37:3} + C_{37:4})} \dots (10)$$

は U_{37} を指標として、浮遊性有孔虫の $\delta^{18}O$ との相関関係を検討した(図3)。

その結果、溶存酸素ステージ1-25に至るまで、非常によい相関関係を示すことを見いだした。特に、浮遊性有孔虫の一種 *G. sacculifer* の $\delta^{18}\text{O}$ と堆積物の U^{K} との間には $r=0.932$ の相関関係を示し、両者の変動が極めてよく類似しているものと判断される。

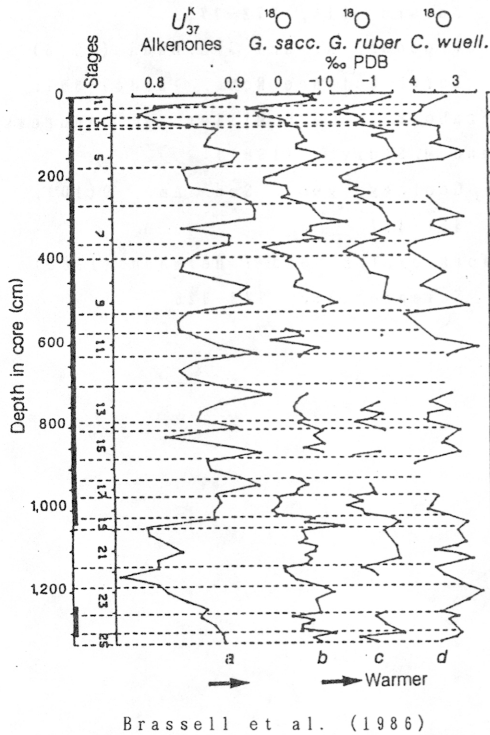


図3 Meteor Core 16415-2 (Kane Gap) において採集した海底堆積物柱上試料での U^K と種々の浮遊性有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ の時間変動

この事は、堆積物中のアルケノンの分析が北極海の高表層海水温の評価を可能にしてくれることを示唆している点で重要である。

$\delta^{18}\text{O}$ 法に比較して U^K 法を用いる利点は、堆積物から有孔虫殻を抽出し、種毎に分別する必要の無い点である。この点では研究者が古生物学から開放されている。ただし、現在のところアルケノンが円石藻に局在していると理解されているが、将来にわたってはケイ藻、鞭毛藻などにも普遍的に、このアルケノンが存在するかどうか検

討する必要がある。もし、存在しなければ、これらの藻類に広く存在する不飽和炭化水素関連物資を、アルケノンに代わって用いるよう検討する必要があるものと期待される。これらの研究も含めて、北極海の堆積物試料において有機化合物を指標した古表層海水温の測定が望まれる。

5) 陸起源有機物付加量の変動の把握

海底堆積物に移行する陸起源物質の量は、流入する河川水の量とともに風送塵の量によって決まる。沿岸域から直接北極海に流入する流入水も無視するわけにはいかない。これらの諸過程を通して陸地から海洋へ移動する有機物量の変動は、北極海をとりまく陸地をおおう雪原の大きさに大きく関係する。雪原の融解は多量の陸起源有機物を北極海に底堆積物にもたらし、雪原の発達はこの量の減少につながる。この点からすれば、海底堆積物中の陸起源有機物量の大小は北極海をとりまく陸地の気温変動と深く結びついていてよいものと判断される。

陸起源有機物と海洋起源有機物との化学的差異は次のようにまとめられる。

1) 炭素安定同位対比 ($\delta^{13}\text{C}$)

陸上植物及び海洋植物の $\delta^{13}\text{C}$ はそれぞれ -25 及び -20 前後である。

2) リグニンフェノールの存在

陸上植物にはこの物質が存在するが、海洋植物(生物)では皆無である。

3) 脂肪族炭化水素組成

陸上植物、海洋植物には、共に炭素数が13から33の脂肪族炭化水素が存在する。しかし、陸上植物では炭素数が奇数ケの炭化水素量が、偶数ケのそれに比して多い(奇数/偶数 = 10)。これに対して海洋植物では両者の差異はない。

2) 及び 3) では、有機化合物の化学構造特性から起源物質について、被子植物か、裸子植物かの区別まで可能である。ただし、情報としては定性的なものである。これに対して、1) ではエンドメンバーさえ決まれば、各メンバーの $\delta^{13}\text{C}$ 値がわかるので、堆積

物中の陸起源有機物と海洋起源有機物の割合を見積ることが可能である。したがって、このためのエンドメンバーの決定には2)、3)の結果が大変有益である。

6) おわりに

北極海々底から堆積物柱状試料が採集出来たことを想定して、本稿をまとめるよう試みた。その結果、極めて遠くにあった北極海が多少なりとも自分の視野の中に入ってきたように思われる。稿を起こすにあたって、Deep-Sea Research のアブストラクトのうち Arctic area と Arctic Ocean を10年間分ほどながめてみた。この10年間に、これらの海域に関する海洋物理、化学、生物、地球物理・地質学的研究に関する論文がかなり多くなっているのに気がついた。やや、大気化学が先行した感じがしないでもないが、北極海に関する化学的アプローチも将来大変面白くなるのではないかと期待される。

7) 参考文献

- Atkinson, E. G. and J. W. Wacasey (1987)
Polar Biol., 8(1), 3-7.
- Borstad, G. A. and J. F. R. Gower (1984)
Arctic, 37(3), 224-233.
- Bressell, S. C., G. Eglinton,
I. T. Marlowe, U. Pflaumann and
M. Sarthein (1986)
Nature, 320, 129-133.
- El-Sayed, S. Z. (1971)
Antarctic Res. Ser., 17, 301-312.
- El-Sayed, S. Z. (1990)
Antarctic Sctor of the Pacific,
pp. 207-262.
- Emerson, S. (1985)
Geophys. Monog., 32, 78-89.
- Gilbert, M. W. and D. L. Clark (1982/83)
Micro-paleont., 7(5), 385-401.
- Marlowe, I. T., S. C. Brassell,
G. Eglinton and J. C. Green (1984)
Org. Geochem., 6, 135-141.
- Muller, P. J. and E. Suess (1979)
Deep-Sea Res., 26A, 1347-1362.
- Sarthein, M., K. Winn and R. Zahn (1987)
Abrupt Climatic Change, 311-337.
- Sarthein, M., K. Winn, K. Duplessy
and M. R. Fontugne (1988)
Paleocean., 3, 361-399.
- Sejrup, H. P., G. H. Miller, J. B. Grette,
R. Lovlie and D. Hopkins (1984)
Nature, 310, 772-775.
- Schroeder, A. and J. L. Bada (1976)
Earth Science Rev., 12, 347-391.
- Szabo, B. J., G. H. Miller, J. T. Andrews
and M. Stuiver (1981)
Geology, geol. Soc. Am., 9(10),
451-457.
- Worsley, T. R. and Y. Hermann (1980)
Science, 210, 323-325.

議事メモ

3月20日、研究課題の紹介の後、NADに関する話合いを行った。

出席者：伊神 燿（名大・理）、岩田修二（三重大・教育）、
小川勇二郎（九大・理）、小嶋智（名大・理）、
小泉 格（北大・理）、瀬野徹三（東大・震研）、
平 朝彦（東大・海洋研）、神沼克伊、本吉洋一、
吉田栄夫（以上 極地研）

主な話題：

- ここで提示した研究課題以外にも、重要な課題はある。
- NADでも検討事項になっているが海水域での掘削は大変である。マリンドリル（鉱研工業）が使えると良い。神沼がNADに日本製品として、マリンドリルがあることを紹介することにした。
- NADへ日本が参加することが望ましいので、とりあえずは「NAD国内連絡会」を作り、情報の交換を密にする。（この主旨により、国内連絡会のメンバーをつのり、本書最終ページのリストが作られた。）

NAD連絡会メンバー表

- 相田 吉昭 〒 010
秋田市手形学園町1-1
秋田大学鉱山学部鉱山地質学教室
Tel:0188-33-5261 ex.371
Fax:0188-34-9708
- 岡田 博有 〒 812
福岡市東区箱崎6-10-1
九州大学理学部地球惑星科学教室
Tel:092-641-1101 ex.4301
Fax:092-632-2736
- 奥田 義久 〒 305
つくば市東1-1-3
通商産業省工業技術院地質調査所
海洋地質部海洋地質課
Tel:0298-54-3594
Fax:0298-54-3533
- 桂 忠彦 〒 104
中央区築地5-3-1
海上保安庁水路部
Tel:03-3541-3811
Fax:03-3545-2885
- 神沼 克伊 〒 173
板橋区加賀1-9-10
国立極地研究所
Tel:03-3962-4711 ex.354
Fax:03-3962-2529
- 木下 肇 〒 113
文京区弥生1-1-1
東京大学地震研究所
Tel:03-3812-2111
Fax:03-3816-1159
- 黒田 吉益 〒 390
松本市旭3-1-1
信州大学理学部
Tel:0263-35-4600 ex.4168
Fax:0263-33-5323

- 小泉 格 〒 060
札幌市北区北10条西8丁目
北海道大学理学部地質学鉱物学教室
Tel:011-716-2111 ex.2733
Fax:011-717-9394
- 小嶋 智 〒 464-01
名古屋市千種区不老町
名古屋大学理学部地球科学教室
Tel:052-781-5111 ex.6666
Fax:052-782-7091
- 小林 和男 〒 164
中野区南台1-15-1
東京大学海洋研究所
Tel:03-3376-1251 ex.365
Fax:03-3375-6716
- 瀬野 徹三 〒 113
文京区弥生1-1-1
東京大学地震研究所
Tel:03-3812-2111 ex.5747
Fax:03-3816-1159
- 平 朝彦 〒 164
中野区南台1-15-1
東京大学海洋研究所
Tel:03-3376-1251
Fax:03-3375-6716
- 竹村 厚司 〒 673-14
兵庫県加東郡社町下久米942-1
兵庫教育大学自然系地学
Tel:0795-44-1101 ex.431
Fax:0795-44-1061
- 長尾 年恭 〒 920
金沢市丸の内1-1
金沢大学理学部地学科物理地学講座
Tel:0762-31-0649
Fax:0762-64-1059
- 野村 律夫 〒 690
松江市西川津町1060
島根大学教育学部地学
Tel:0852-21-7100
Fax:0852-31-9378

- 半田 暢彦 〒 464-01
名古屋市千種区不老町
名古屋大学水圏科学研究所
Tel:052-781-5111 ex.5720
Fax:052-781-3998
- 堀田 宏 〒 237
横須賀市夏島町2-15
海洋科学技術センター
Tel:0468-66-3811
Fax:0468-66-2119
- 坂野 昇平 〒 606
京都市左京区北白川追分町
京都大学理学部地鋳教室
Tel:075-753-4155
Fax:075-753-4189
- 松岡 篤 〒 950-21
新潟市五十嵐2の町8050
新潟大学教養部地学教室
Tel:025-262-6376
Fax:025-262-7278
- 本吉 洋一 〒 173
板橋区加賀1-9-10
国立極地研究所
Tel:03-3962-4711 ex.367
Fax:03-3962-2529
- 山形 俊男 〒 816
春日市春日公園6の1
九州大学応用力学研究所
Tel:092-573-9611 ex.532.535
Fax:092-582-4201
- 吉田 栄夫 〒 173
板橋区加賀1-9-10
国立極地研究所
Tel:03-3962-4711 ex.260
Fax:03-3962-2529

伊神 暉

〒 464

名古屋市千種区不老町 1

名古屋大学理学部地震予知観測地域センター

Tel:052-781-5111

Fax:052-782-4425

岩田 修二

〒 514

津市上浜町1515

三重大学人文学部

Tel:0592-32-1211

Fax:0592-31-2966

小川勇二郎

〒 812

福岡市東区箱崎6-10-1

九州大学理学部地質学教室

Tel:092-641-1101 ex.4312.4340

Fax:092-632-2736

国立極地研究所 地学部門
(担当者 神沼克伊)

〒 1 7 3

東京都板橋区加賀 1 - 9 - 1 0

電 話 0 3 - 3 9 6 2 - 4 7 1 1

F A X 0 3 - 3 9 6 2 - 5 7 4 1

