

平成 2 9 年 度
共 同 研 究 報 告 書



国立極地研究所

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

目次

I. 共同研究報告(終了)

一般共同研究

(1) 宙空圏

| No. | 研究課題名 | 研究者名 | ページ |
|-------|---|------------|-----|
| 27-1 | 衛星観測ならびに地上観測に基づく内部磁気圏プラズマダイナミクス及び電離圏-磁気圏結合の研究 | 熊本 篤志 | 6 |
| 27-3 | レーダー・磁力計・オーロラTV観測によるSC, PC5の研究 | 菊池 崇 | 9 |
| 27-4 | レーダー・ライダーを用いた極域下部熱圏・中間圏大気ダイナミクスの解明 | 野澤 悟徳 | 11 |
| 27-8 | 極域地上データに基づく磁気嵐時のULF波動特性の研究 | 北村 健太郎 | 14 |
| 27-11 | グローバルMHDシミュレーションによるオーロラ現象再現性の検証 | 才田 聡子 | 17 |
| 28-1 | Substorm発生時におけるオーロラ及びPi型波動の発達過程の究明 | 櫻井 亨 | 19 |
| 28-11 | 薄明大気光観測用小型ファブリペロイメジャーの開発 | 鈴木 秀彦 | 23 |
| 29-2 | 国際宇宙ステーションでの放射線計測と影響評価に関する共同研究 | 上野 遥 | 25 |
| 29-12 | MHDシミュレーションデータを用いたシートオーロラ発生機構の研究 | 小原 隆博 | 27 |
| 29-13 | 南極中間圏潮汐の気候変動: 観測とモデルの比較 | Huixin Liu | 29 |

(2) 気水圏

| | | | |
|-------|--------------------------------------|-------|----|
| 27-12 | グリーンランド氷床の雪氷試料の化学・生物分析 | 的場 澄人 | 32 |
| 27-13 | グリーンランド氷床に含まれる水溶性エアロゾルを用いた人為的気温変動の解読 | 飯塚 芳徳 | 34 |
| 27-14 | 次世代型液封深層掘削装置及び周辺機器の検討・開発 | 古崎 睦 | 36 |
| 27-15 | 大気中酸素濃度変動に基づく炭素循環に関する研究 | 青木 周司 | 38 |
| 27-16 | X線小角散乱を用いた雪氷中エアロゾルのナノ情報解析技術の構築 | 本間 智之 | 40 |
| 27-18 | 雲粒子顕微鏡システムによる極域の雲の微物理特性 | 小林 拓 | 43 |
| 27-19 | 極域ガバナンスの研究—科学と法政策のインターフェイス | 柴田 明穂 | 45 |
| 29-26 | 氷床コア深層掘削機の次世代コンピューターの開発 | 高田 守昌 | 47 |

(3) 地圏

| | | | |
|-------|---------------------------------|-------|----|
| 27-20 | LGM以降のグリーンランド氷床融解史に関する地形・地質学的研究 | 前杵 英明 | 50 |
| 27-21 | インフラサウンドによる極域表層環境変動の研究 | 山本 真行 | 52 |
| 28-30 | 南極産火星隕石の鉱物学的研究 | 三河内 岳 | 54 |
| 28-31 | 南極内陸部のポリゴンに関する地形・地質学的研究 | 小山 拓志 | 57 |
| 29-33 | 極域での岩石風化評価に関する物質科学的研究 | 金丸 龍夫 | 59 |

(4) 生物圏

| | | | | |
|-------|--------------------------------|--------|-------|----|
| 27-22 | キタゾウアザラシの摂餌回遊行動と海洋環境に関する研究 | 三谷 曜子 | ..... | 62 |
| 27-25 | 南大洋の動物プランクトンを対象とした音響観測手法に関する研究 | 甘糟 和男 | ..... | 64 |
| 27-26 | 南大洋の海水中に出現する微細藻類の生理学的研究 | 宮崎 奈穂 | ..... | 67 |
| 27-27 | 南極露岸域、氷河上に生育する藻類の光合成特性の解明 | 小池 裕幸 | ..... | 70 |
| 27-28 | オホーツク海沿岸能取湖における海水生成期の低次生産層の動態 | 西野 康人 | ..... | 73 |
| 27-29 | 極域生態系における元素循環関連遺伝子群の網羅的検出手法の開発 | 押木 守 | ..... | 75 |
| 27-30 | 極域における水環境中の窒素起源および窒素循環速度に関する研究 | 角皆 潤 | ..... | 78 |
| 27-31 | 海鳥類の採餌行動と活動中のエネルギー消費の測定 | 新妻 靖章 | ..... | 80 |
| 27-32 | ジャイロ・GPSロガーを用いたアデリーペンギンの採餌行動解析 | 三田村 啓理 | ..... | 82 |
| 28-33 | 藻類の耐氷性に関する研究 | 高澤 伸江 | ..... | 84 |
| 29-43 | 北極植物の気候変動に対する成長応答の解明 | 和田 直也 | ..... | 86 |

(5) 極地工学

| | | | | |
|-------|--------------------------|--------|-------|----|
| 28-51 | 南極での緊急時メッセージ通信システムに関する研究 | 五十嵐 喜良 | ..... | 90 |
| 29-45 | 極地建築・土木に関する雪氷防災工学研究 | 金 高義 | ..... | 92 |

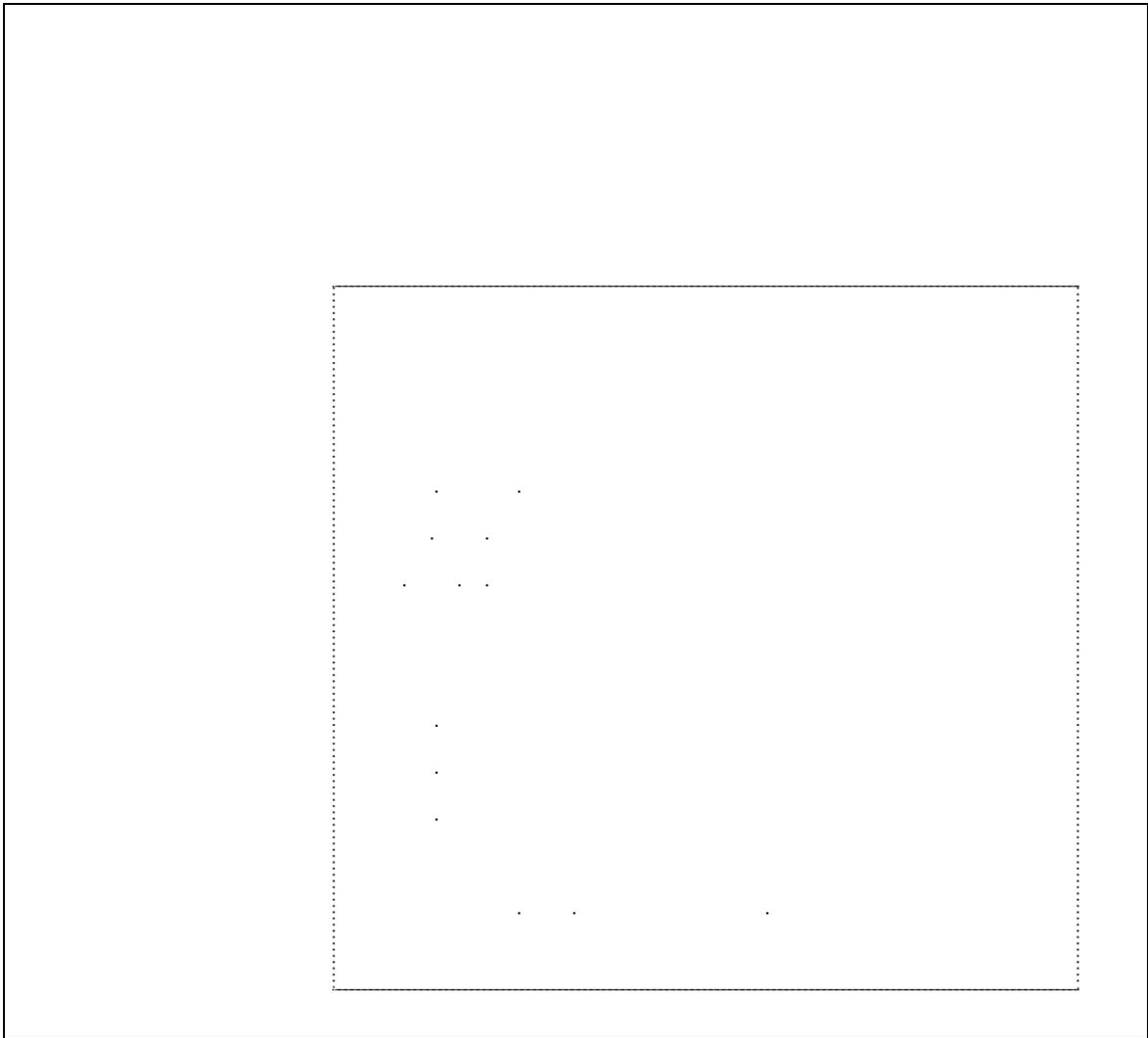
II. 研究集会報告

研究集会

| No. | 研究課題名 | ページ |
|-------|--|-----|
| 29集1 | 可聴下波動伝播特性による極域の多圏融合物理現象解明に関する研究集会-Ⅲ | 95 |
| 29集2 | 南極海洋-海氷-氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会 | 97 |
| 29集3 | 南極沿岸生態系における動物相の多様性解明に向けて | 98 |
| 29集4 | 南極エアロゾル研究会 | 99 |
| 29集5 | PANSY研究集会 | 100 |
| 29集6 | 低廉光学機器による超高層大気ネットワーク計測に関する研究集会 | 101 |
| 29集7 | グリーンランド氷床の変動と気候・環境変動及び人間活動の関わりに関する研究 | 102 |
| 29集8 | 太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明 | 103 |
| 29集9 | サブストーム・オーロラシーケンス生成機構研究会 | 105 |
| 29集10 | 永久凍土の変動とそのモニタリングに関する研究集会 | 106 |
| 29集11 | EISCA レーダー・地上光学観測・観測ロケットによるカスプ近傍電離大気流出現象のメカニズム解明に向けた総合観測 | 107 |
| 29集12 | 南極ドームふじ氷床深層アイスコアの解析による気候・環境変動の研究の新展開 | 108 |
| 29集13 | 2017年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会 | 109 |
| 29集14 | 極域・高山の陸上生態系の生物多様性とその機能に関する研究集会 | 111 |
| 29集15 | 中間圏、熱圏、電離圏(MTI)、研究集会 | 112 |
| 29集16 | 太陽系小天体探査に向けた惑星物質の分光学的研究 | 114 |
| 29集17 | 大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に関する研究集会 | 115 |
| 29集19 | EISCAT研究集会 | 116 |
| 29集20 | 2017年 南極医学・医療ワークショップ | 117 |
| 29集21 | 東南極で検出される気候変動に関する研究 | 118 |
| 29集22 | 無人機の活用による極地観測の展開 | 119 |
| 29集23 | SuperDARN 研究集会 | 120 |
| 29集24 | 「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の推進 | 121 |

III. 平成29年度共同研究課題一覧

| | |
|-------------------|-----|
| 1. 平成29年度共同研究実施件数 | 123 |
| 2. 一般共同研究 | 124 |
| 3. 研究集会 | 129 |



• •

衛星観測ならびに地上観測に基づく内部磁気圏プラズマダイナミクス及び電離圏-磁気圏結合の研究

| | | | |
|---|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| [] | | | (Wave-Particle Interaction Analyzer) |
| | | | ULF |
| 2015 | (EXOS-D) | | |
| 2015 4 23 | | | |
| | 18000 | | |
| | | 2015 | SS-520-3 |
| | | | (Ne measurement by |
| | 2016 | Impedance probe/Plasma Wave Monitor; | 2016 |
| | | NEI/PWM) | |
| (Plasma Waves and Sounder experiment; | | | 2017 |
| PWS) | | | 2016 |
| | | | VLF |
| | | | (Very Low Frequency Plasma Wave |
| | CDF (Common Data | Instrument; VLF) | ELF |
| Format) | | | (Suprathermal Ion |
| | JAXA | DARTS | Mass Spectrometer; SMS) |
| (http://darts.isas.jaxa.jp/stp/akebono/PWS.html | | | ELF |
|) | | | Kasahara |
| (http://ariel.gp.tohoku.ac.jp/~exospws/pub/) | | et al. [2001] | ELF |
| | | VLF | (Low |
| | ERG | 2016 12 | Energy Particle analyzer) |
| 2017 | | | |
| | (Plasma Wave | SMS H+, O+ | VLF |
| Experiment; PWE) | | | |

- / H+, O+ O+, H+ drift
 H+
 Alfvén O+,H+
 (i)
 O+ SS-520-3
 H+ 2018
 SS-520-3
 MF/HF
 (ii) O+ 2017
 H+
 CDF
<http://ariel.gp.tohoku.ac.jp/~ars/>
 Singh et al. [2004; 2007]
 Alfvén
 []
 Kumamoto, A., F. Tsuchiya, Y. Kasahara, Y. Kasaba, H. Kojima, S. Yagitani, K. Ishisaka, T. Imachi, M. Ozaki, S. Matsuda, M. Shoji, A. Matsuoka, Y. Katoh, Y. Miyoshi, and T. Obara, High Frequency Analyzer (HFA) of Plasma Wave Experiment (PWE) onboard the Arase spacecraft, *Earth Planets Space*, doi:10.1186/s40623-018-0782-z, in press, 2018.
 , H+ and O+ ion heating by ELF waves in the dayside cusp region (ELF), , , 2018.
 MF/HF , , , 2017.
 Kitamura, N., K. Seki, Y. Nishimura, T. Abe, M. Yamada, S. Watanabe, A. Kumamoto, A. Shinbori, and A. W. Yau, Thermal and Low energy Ion Outflows in and through the Polar Cap: The Polar Wind and the Low energy Component of the Cleft Ion Fountain, *Magnetosphere-Ionosphere Coupling in the Solar System*, Geophysical Monograph 222, Edited by C. R. Chappell, R. W. Schunk, P. M. Banks, J. L. Burch, and R. M. Thorne., doi:10.15142/T33K51, 2017.
 Y. Sato, A. Kumamoto, Y. Katoh, A. Shinbori, A. Kadokura, Y. Ogawa Simultaneous ground- and satellite-based observation of MF/HF auroral radio emissions, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 121(5), 4530-4541, doi:10.1002/2015JA022101, 2016.
 Sato, Y., A. Kadokura, Y. Ogawa, A. Kumamoto, and Y. Katoh, Polarization observations of 4fce auroral roar emissions, *Geophys. Res. Lett.*, 42(2), 249-255, doi:10.1002/2014GL062838, 2015.

(別紙)

研究協力者参加者一覧

| 一般共同研究(平成29年度報告) | | 課題番号 | | |
|------------------|--------|---|-------|----|
| 研究課題名 | | 衛星観測ならびに地上観測に基づく内部磁気圏プラズマダイナミクス及び電離圏-磁気圏結合の研究 | | |
| 氏名 | | 所属 | 職 | 備考 |
| 所内 (極地研) | 宮岡 宏 | 極地研・宙空圏 | 教授 | |
| | 小川 泰信 | 極地研・宙空圏 | 准教授 | |
| | 佐藤 由佳 | 極地研・宙空圏 | 特任研究員 | |
| 小計 | 名 | | | |
| 所外 (極地研以外) | 熊本 篤志 | 東北大学・大学院理学研究科 | 准教授 | |
| | 加藤 友人 | 東北大学・大学院理学研究科 | 准教授 | |
| | 石ヶ谷 侑季 | 東北大学・大学院理学研究科 | 大学院生 | |
| | 三上 和希 | 東北大学・大学院理学研究科 | 大学院生 | |
| | | | | |
| 小計 | 4 名 | | | |
| 合計 | 4 名 | | | |

※研究プロジェクト・一般共同研究・研究集会、いずれかを■にしてください。

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

※大学院生も含めてください。その場合、「職」の欄に「大学院生」と記入してください。

※総研大生は「所外」として記入してください。

※行が不足する場合、適宜追加してください。

(Hashimoto et al., JGR 2017)

1. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, and T. Nagatsuma (2017), Substorm overshielding electric field at low latitude on the nightside as observed by the HF Doppler sounder and magnetometers, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, doi: 10.1002/2017JA024329
2. Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka (2017), Global simulation study for the time sequence of events leading to the substorm onset, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 6210–6239, doi:10.1002/2017JA024102.
3. Takahashi, N., Y. Kasaba, Y. Nishimura, A. Shinbori, T. Kikuchi, T. Hori, Y. Ebihara, and N. Nishitani (2017), Propagation and evolution of electric fields associated with solar wind pressure pulses based on spacecraft and ground-based observations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 8446–8461, doi:10.1002/2017JA023990.
4. Sandeep Kumar, B. Veenadhari, S. Tulasi Ram, S.-Y. Su, T. Kikuchi (2016), Possible relationship between the equatorial electrojet (EEJ) and daytime vertical $E \times B$ drift velocities in F region from ROCSAT observations, *Advances in Space Research*, 58, 1168-1176.
5. Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, R. Kataoka (2016), Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi: 10.1002/2016JA022822.
6. Nishimura, Y., T. Kikuchi, Y. Ebihara, A. Yoshikawa, S. Imajo, W. Li, H. Utada (2016), Evolution of the current system during solar wind pressure pulses based on aurora and magnetometer observations, *EPS DOI*: 10.1186/s40623-016-0517-y
7. Kikuchi, T. and K. K. Hashimoto (2016), Transmission of the Electric Fields to the Low Latitude Ionosphere in the Magnetosphere-Ionosphere Current Circuit, *Geoscience Letters*, DOI: 10.1186/s40562-016-0035-6.
8. Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, T. Araki, A. Shinbori, B. Veenadhari, T. Tanaka, and T. Nagatsuma (2016), Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2015JA022166.
9. Takahashi, N., Y. Kasaba, A. Shinbori, Y. Nishimura, T. Kikuchi, Y. Ebihara, and T. Nagatsuma (2015), Response of ionospheric electric fields at mid-low latitudes during sudden commencements, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, doi:10.1002/2015JA021309.

レーダー・ライダーを用いた極域下部熱圏・中間圏大気ダイナミクスの解明

◎野澤 悟徳 名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授

(国立極地研究所)

堤 雅基 准教授

小川 泰信 准教授

平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

はじめに 超高層大気は、対流圏・成層圏にて励起される各種大気波動から大きな影響を受けている。さらに極域は、磁気圏・電離圏との電磁気的な結合を通して、太陽風に起因する電磁気的エネルギーの流入を受ける特異領域である。近年、オーロラ粒子起源の微量大気成分 (NO_x, HO_x) による成層圏オゾンへの影響や、成層圏突然昇温時における下部熱圏・上部中間圏の応答などが注目されている。本課題の目的は、北極トロンソ (北緯 69.6 度、東経 19.2 度) にて稼動している複数の観測機器を駆使して、この特異領域である下部熱圏・中間圏大気ダイナミクスの理解を深めることである。この領域の大気ダイナミクスの理解は、磁気圏-大気結合を理解する上で非常に重要である。

本期間中に、ダイナミクスを理解する上で重要な、①EISCAT UHF レーダーとナトリウム (Na) ライダーを用いた温度比較、②Na ライダーデータを用いた成層圏温度導出、③フォトメータによる降下電子エネルギーの推定、等を実施した。本稿では、①と③について報告する。

EISCAT UHF レーダーとナトリウムライダーを用いた温度比較

大気ダイナミクスの理解には、大気温度変動を抑える必要がある。太陽風エネルギー流入による大気加熱を正しく理解するためには、ジュール加熱率および粒子加熱率の導出手法の確立が必要である。一般的に、高度 100 km 以下では、中性大気・イオン粒子間で十分な衝突があるため、中性大気温度とイオン温度は等しいと考えられている。しかし、高度 105 km 以上では両温度が等しいとは限らない。この温度差の原因は、太陽風エネルギー流入に伴うジュール加熱、オーロラ粒子加熱、電子-イオン熱交

換である。トロンソにて得られた Na ライダー・EISCAT レーダー同時観測データを用いた温度比較及びジュール加熱の定量評価を初めて実施した。このような研究が可能なのは、世界でトロンソだけである。2010 年 10 月から 2015 年 3 月までに Na ライダーにより約 2800 時間の大気温度データを取得した。この観測期間において、Na ライダーと EISCAT UHF レーダーとの同時観測は、44 晩 (約 160 時間) 存在した。これらの同時観測イベントを用いて、高度 100 km から 110 km における中性大気温度とイオン温度の比較研究を行った。比較には、高度分解能約 3 km、時間分解能 10 分値を用いた。図 1 に比較の例を示す。

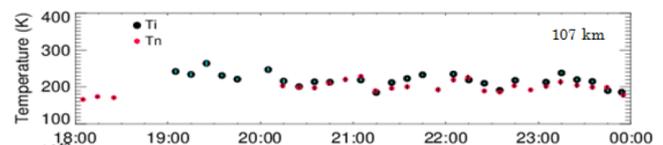


図 1 2013 年 12 月 6 日のデータ比較。中性大気温度 (Tn) とイオン温度 (Ti) が類似な周期変動をしていることがわかる。

今回の比較研究を通して、通常の IS スペクトル解析で求めた高度 104 km 以下のイオン温度が、中性大気温度と良い一致を示す例がある一方で、系統的に (数時間以上にわたり)、中性大気温度よりも低いという結果が複数晩において得られた。この原因として考えられるのは、低電子密度、イオン-中性衝突周波数の不確定性、イオン組成等である。特に重要な点は、EISCAT UHF レーダー (931 MHz) でも、高度 104 km 以下では、イオン-中性衝突周波数の影響により 20-30 K 程度の温度誤差があることを、中性大気温度との比較により初めて定量的に明らかにしたことである。さらに、ジュール加熱の定量評価を 6 晩 24 例について行った。24 例

のうち、温度差がジュール加熱量とほぼ等しいケースは 10 例、温度差がジュール加熱量より大きいケースは 12 例、温度差が負のケースは 2 例であった。この結果は、EISCAT レーダーデータを用いたジュール加熱量導出法の改善にとって重要な指摘となる。また、イオン温度およびジュール加熱量導出の精度を高めるには、イオン-中性大気衝突周波数の導出手法の改善が必要であることが確認された。

フォトメータによる降下電子エネルギーの推定

降下オーロラ電子による下部熱圏・上部中間圏への影響をモニターする上で、フォトメータによる降下オーロラ電子のエネルギー推定は非常に重要である。そこで、2002 年 10 月 10 日と 11 日の 2 晩に取得された EISCAT レーダー (FOV \approx 0.7°) / フォトメータ (FOV \approx 1.2°) の同時観測データを用いて、フォトメータによる電気伝導度推定手法の評価を実施した。

EISCAT UHF レーダーの観測モードは、沿磁力線方向に固定されたモード (CP-1) であり、イオン温度、イオン視線速度、電子温度、電子密度データを取得できる。フォトメータは、4 波長 (427.8 nm, 630.0 nm, 670.5 nm, 844.6 nm) にて、(ほぼ) 沿磁力線方向を観測した。フォトメータデータは、20 Hz で取得された。Ono (1993) による手法を用いて、427.8 nm と 630 nm の発光強度比から、降下電子の平均エネルギーを導出した。導出した平均エネルギーとフラックスから、電子密度の高度プロフ

ファイルを推定した。これらの電子密度プロファイルから、モデル値を併用して、電気伝導度を導出した (cf. Brekke and Hall, 1988)。

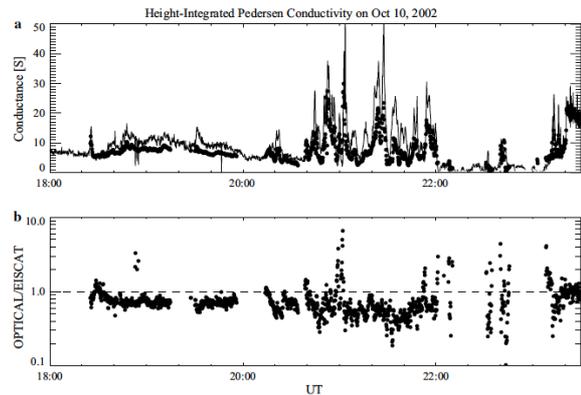


図 2 2002 年 10 月 10 日に取得された EISCAT レーダ (連続線) およびフォトメータ (黒丸) データにより導出した Pedersen 電気伝導度 (高度積分) の比較図。a) 伝導度の時間変動の比較。b) 比を示した。(Adachi et al., 2017)

EISCAT レーダーデータおよびフォトメータデータから Pedersen と Hall 電気伝導度を求め、それぞれについて、時間分解能 10 秒にて比較を行った。図 2 に比較の例を示す。フォトメータデータから導出された (高度積分した) 電気伝導度の時間変動は、EISCAT から導出したものと良い一致を示していた。一方で、フォトメータデータから導出した電気伝導度は、30-60% 低く用いられる結果となった。

[参考文献]

- Brekke and Hall, Auroral ionospheric quiet summer time conductances, *Ann. Geophys.*, 6, 361-375, 1988.
 Ono, T., Derivation of energy parameters of precipitating auroral electrons by using the intensity ratios of auroral emissions, *JGG*, 45, 455-472, 1993.

[研究発表]

- Tsuda, T. T., S. Nozawa, T. D. Kawahara, T. Kawabata, N. Saito, S. Wada, C. M. Hall, M. Tsutsumi, Y. Ogawa, S. Oyama, T. Takahashi, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, T. Nakamura, and A. Brekke, A sporadic sodium layer event detected with five-directional lidar and simultaneous wind, electron density, and electric field observation at Tromsø, Norway, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9190-9196, 2015GL066411, 2015.
 Takahashi, T., K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Tsuda, Y. Ogawa, M. Tsutsumi, Y. Hiraki, H. Fujiwara, T. Kawahara, N. Saito, S. Wada, T. Kawabata, C. Hall, Depletion of mesospheric sodium during extended period of pulsating aurora, *J. Geophys. Res.*, 122, 1212-1220, 2017.
 Adachi, K., S. Nozawa, Y. Ogawa, A. Brekke, C. M. Hall, R. Fujii, Evaluation of a method to derive ionospheric conductivities using two auroral emissions (428 and 630 nm) measured with a photometer at Tromsø (69.6°N), *Earth, Planets and Space*, 69: 90. doi:10.1186/s40623-017-0677-4, 2017.

(別紙)

研究協力者参
加者一覽

| 一般共同研究(平成29年度報告) | | 課題番号 | 27-4 | |
|------------------|-----------------------------------|---------------|------|--|
| 研究課題名 | レーダ・ライダーを用いた極域下部熱圏・中間圏大気ダイナミクスの解明 | | | |
| 氏名 | 所属 | 職 | 備考 | |
| 所内 (極地研) | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| 小計 | 名 | | | |
| 所外 (極地研以外) | 滝田真一郎 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 大学院生 | |
| | 日比野辰哉 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 大学院生 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| 小計 | 2名 | | | |
| 合計 | 2名 | | | |

極域地上データに基づく磁気嵐時の ULF 波動特性の研究

◎北村健太郎 徳山工業高等専門学校機械電気工学科・教授
 (国立極地研究所)
 門倉 昭 教授
 田中 良昌 特任准教授
 平成 27 年～平成 29 年 (3 年)

[研究成果]

平成 24 年度から平成 26 年度にかけて行った「地上磁場データを用いた放射線帯粒子変動の研究」では、主に国立極地研究所が設置運用している南極無人磁力計のデータを用いて、静止軌道の GOES 衛星で計測された 2 MeV 以上の高エネルギー電子フラックスの変動と地上 Pc5 波動の比較研究解析を行った。その際に、放射線帯外帯における MeV 電子の増加に関して、ULF 波動によるドリフト共鳴加速機構の立場から、主に粒子加速時の Pc5 波動のグローバルな振る舞いを解析し、高速太陽風の到来フェーズによって Pc5 波動の振る舞いに違いがあることが明らかになった。本研究においては、上記共同研究で得られた観測的な事実に関して、衛星観測や地上データの長期トレンドを加味した新たな解析を行うことによって、高速太陽風到来時に磁気圏における波動の発達特性、地方時分布特性等に焦点を置いて解析を行った。

これまでに、極地研究所所有の無人磁力計ネットワークの観測点のうち主に、H57、Skallen、Riiser-Larsen のデータより Pc5 波動の変動特性を求め、GOES 衛星によって得られた静止軌道の高エネルギー電子フラックスや太陽風変動との比較を行ってきた。地磁気脈動のうち周期 150 秒から 600 秒の連続的な波は Pc5 波動とよばれ古くから研究されてきている[Jacobs et al., 1964]。一般的に、Pc5 波動は

太陽風速度の上昇に伴い強度が増大することが知られており、主に磁気圏境界において高速太陽風が起因するケルビンヘルムホルツ不安定性によって発生すると考えられてきた[Southwood, 1974 and Chen and Hasegawa, 1974]。一方で、太陽風の動圧変動等に伴う磁気圏境界の振動に伴う発生も考えられている。これらの磁気圏の境界面から発生する波動は圧縮波モードの波として地球方向へ伝播し、モード変換によって発生する発散電場が電離層へ侵入し電離層電流を励起することによって、地上で複数モードが重畳した Pc5 を発生させる[motoba et al., 2002]。

一般に、放射線帯の高エネルギー電子環境に関しては、数 MeV 以上の相対論的エネルギーを持つ電子が、磁気嵐の発達に伴って増加することが知られている。このような電子は、磁気嵐の回復相で流量が増大し、静止軌道付近においても大幅な流量増大が観測される。ここでは、このような相対論的電子の流量増加を Relativistic Electron Enhancement (REE) イベントと呼ぶ。このような REE イベントに関して、Pc5 波動のパワーが電子フラックスの変動と良い相関を示すことが知られており、相対論的電子の加熱源として注目されてきた[e.g. Mathie and Mann, 2000]。

これらの REE イベントに関して、これまで H57 と Skallen で観測される Pc5 波動の位相差を地方時ごとに解析を行

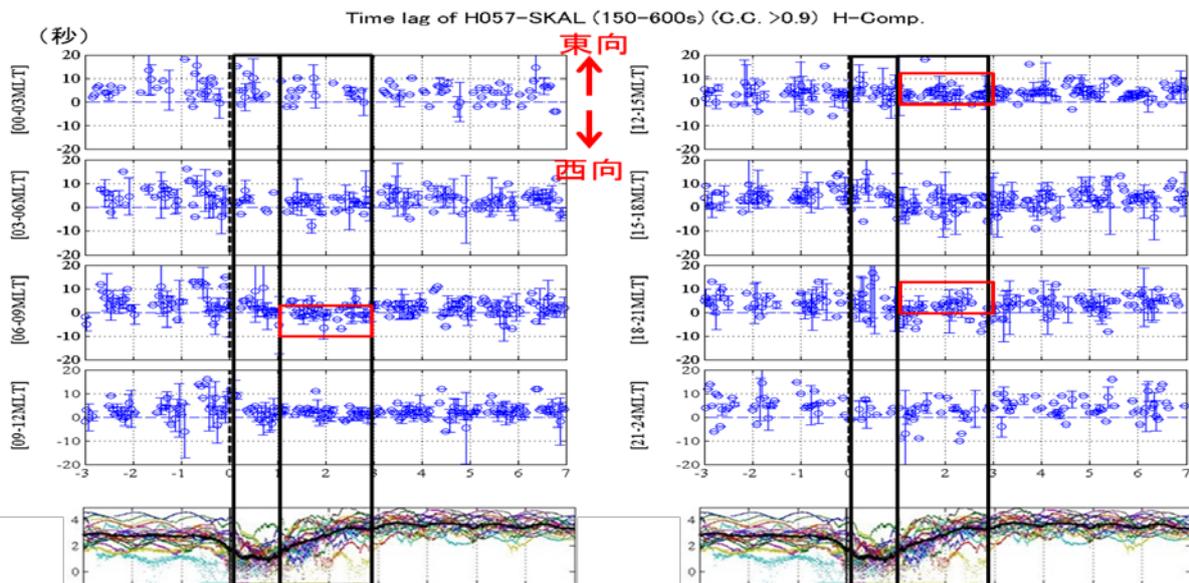


図 1. H57 及び Skallen 間における Pc5 波動の位相差の地方時分布。最下パネルは GOES10 衛星で観測された >2MeV 電子フラックス

ってきた。2008年に発生した、24イベントの REE イベントに対して、3時間ごとの地方時における H57 と Skallen での Pc5 波動の時間差を解析した結果を図1に示す。ここでは、主に午前側で西向き、夕方側で東向きの波動伝播を示す時間差分布が見られる。このような特徴は、磁気圏のフランクサイドを反太陽方向に伝播する Pc5 波動のソースの存在を示唆しており、最下段の GOES10 での 2MeV 以上の電子フラックスの増減と比較すると、こうした傾向は、電子フラックスの減少時よりも、直後の増大時に強く現れることが分かる。

一方で、これらの地上で観測される Pc5 波動の特徴と磁気圏で観測される Pc5 波動の特徴を比較するために、GOES10 衛星及び GOES12 衛星の磁場データを用いて波動の解析を行った。解析は、GOES 衛星の磁場 3 成分 (P: 北向き、E: 地球向き、N: 東向き) に対してそれぞれ実施した。それぞれの成分において、各地方時ごとの、Pc5 パワーと卓越周波数の時系列変動を解析したところ、P 成分では昼側を中心にパワーが強く、特に電子フラックスが増大する直前の減少時に強いパワーを示した。その際に、電子フラックスの増大とともに、午後側では、卓越周波数が減少する特徴が見られた。一方で、E 成分と N 成分においては、昼から夕方側にかけて強いパワーが見られたが、電子フラックス減少時に特に強くなる傾向は不明瞭であった。

このような、特徴を踏まえて、GOES10(60W) と GOES12(75W) の約 1 時間ほど地方時の離れた 2 衛星で

観測された Pc5 の位相差を解析した。そのうち N 成分の結果を図 2 に示す。南極無人観測点での解析と同様に 6-9 時 MLT において、明瞭な西向きの伝播を示す一方で、12-15 時 MLT で東向きの伝播を示している。また、朝側の 9-12MLT においては、電子フラックスが増大するタイミングである 0.5-1.5[hour] において、明瞭な東向き伝播を示しているが、電子フラックスが増大し終えた 1.5[hour] 以降の時間では伝播方向は不明瞭となった。こうした特長は、地上で観測された Pc5 の特徴と同じく、昼側から夜側に磁気圏のフランクサイドを伝播する KH 不安定を示唆する結果となっている。

ULF 波動による相対論的電子加速モデルとしては、Elkington et al. [2003] が提唱するドリフト共鳴加速モデルが有力であると考えられるが、このモデルでは Pc5 帯の波動による動径方向の電場変動によって粒子の動径方向拡散を引き起こすため、磁気圏中における Pc5 のトロイダルモードの振動の分布を理解することが重要となる。

本研究の結果は、磁気嵐の主相(電子フラックスの減少時)と回復相(電子フラックスの増大時)において Pc5 波動の発生・伝播機構が異なっていることを示唆するものである。磁気嵐主相においては、太陽風の動圧変動に起因する圧縮波モードの Pc5 が卓越しており、この間の電子フラックスの増大は比較的抑制的に推移する。一方で、CIR での速度境界面(SI)の通過後、安定した高速太陽風が磁気圏に到達することによって、磁気圏のフランクサイドから

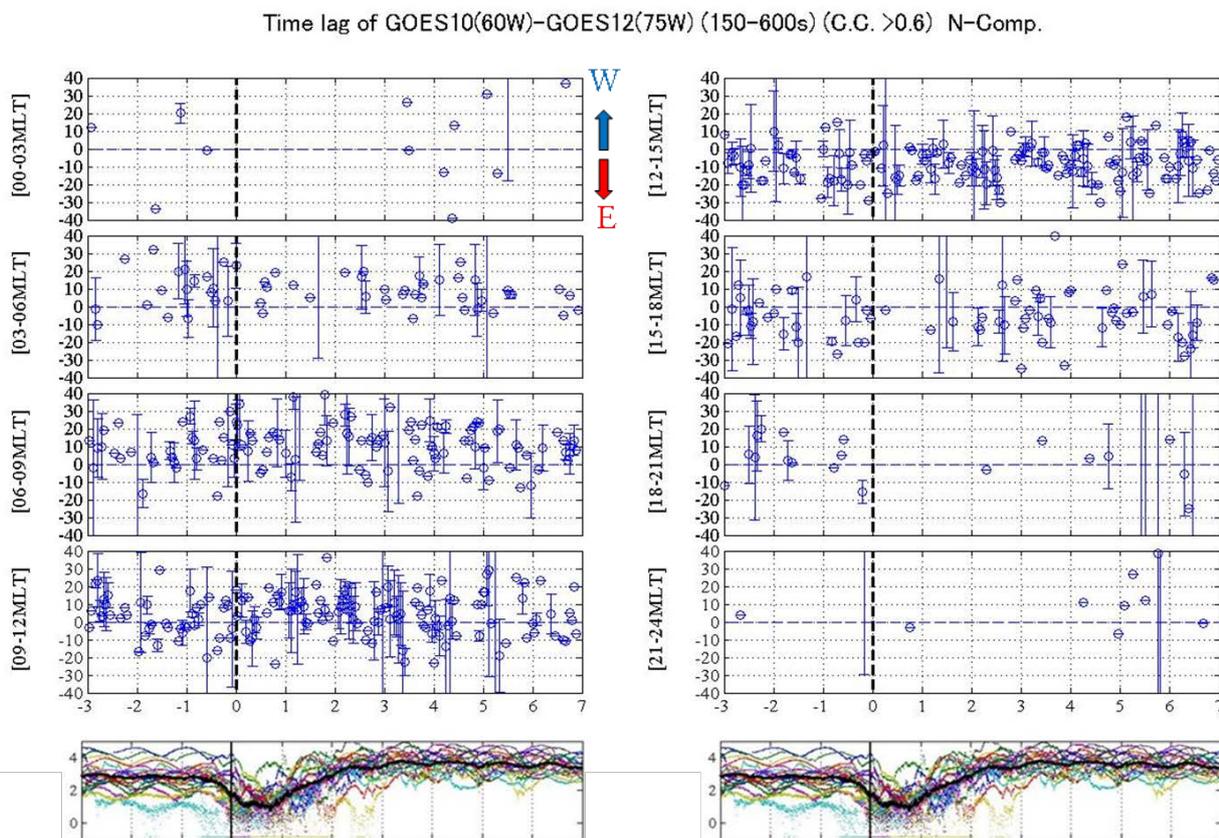


図 2. GOES10(60W) 及び GOES12(75W) 間における Pc5 波動の位相差の地方時分布。最下パネルは GOES10 衛星で観測された >2MeV 電子フラックス

KH 不安定性に起因する Pc5 波動が励起され始める。このような Pc5 は静止軌道内側で小さな経度方向波数をもつトロイダル振動となり、効率的にドリフトバウンス共鳴による相対論的電子フラックスの増大を引き起こす。上述の解析結果より、こうした電子フラックス増大のシナリオを想起することが出来るが、こうした加速プロセスをさらに精査するため

に、今後、あらせ衛星の粒子データ解析や、北半球の共役点において、同条件の地上観測点ペアの磁場データの位相差解析を行うなどの方向性が考えられる。特に、波動粒子相互作用の同時観測が可能となったあらせ衛星のデータとフットプリントとなる南極地域での地上観測との共役点観測は極めて重要になると考えられる。

[参考文献]

- 1) Chen L., and A. Hasegawa, A theory of long-period magnetic Pulsations,1, Steady state excitation of field line resonance, *J. Geophys. Res.*, **79**, 1024, 1974.
- 2) Elkington, S. R., K. Hudson, and A. Chan, Resonant acceleration and diffusion of outer zone electrons in an asymmetric geomagnetic field, *J. Geophys. Res.*, **108**, dio:10.1029/2001JA009202 , 2003.
- 3) Jacobs, J. A., Y. Kato, S. Matsushita, and V. A. Troitskaya, Classification of Geomagnetic micropulsations, *J. Geophys. Res.*, **69**, 180, 1964.
- 4) Mathie R. A. and I. R. Mann, A correlation between extended intervals of ULF wave power and storm-time geosynchronous relativistic electron flux enhancements, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 20, 3261, 2000.
- 5) Motoba T., T. Kikuchi, H. Luhr, H. Tachihara, T. -I. Kitamura, K. Hayashi, and T. Okuzawa, Global Pc5 caused by DP2-type ionospheric current system, *J. Geophys. Res.*, **107**, 1032, 2002.
- 6) Southwood, D J., Some features of field line resonances in the magnetosphere, *Planet. Space Sci.*, **22**, 483, 1974.

[研究発表]

- 1) 北村健太郎、才田聡子、田中良昌、門倉昭、山岸久雄、「放射線帯 MeV 電子増加時の静止軌道磁場変動特性」、第 138 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、2015 年 11 月 3 日 (於: 東京大学)
- 2) Kitamura K., S. Saita, Y. Tanaka, A. Kadokura, and H. Yamagishi, 「Characteristics of Magnetic Field Oscillation of Pc5 Wave at GEO associated with MeV Electron Flux Enhancement」、日本地球惑星科学連合 2016 年大会 2016 年 5 月 25 日 (於: 幕張メッセ 国際会議場)
- 3) Kitamura K., S. Saita, Y. Tanaka and A. Fujimoto, Localtime Dependence of the Pc5 Wave associated with MeV Electron Flux Enhancement Observed by two GOES Satellites, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 2017 年 5 月 24 日 (於: 幕張メッセ 国際会議場)

グローバル MHD シミュレーションによるオーロラ現象再現性の検証

◎才田聡子 北九州工業高等専門学校・准教授
 田中高史 九州大学・名誉教授
 藤田茂 気象大学・講師
 (国立極地研究所)
 門倉昭 教授
 田中良昌 特任准教授
 平成27年～平成29年(3か年)

[研究成果]

本研究はグローバル電磁流体力学的(以下MHD)シミュレーションの結果を解析し、オーロラに関連する電磁気現象の再現性を検証した。

本研究を通して数値シミュレーションの効率化、大規模データの可視化技術の改良も試みた。

1. 数値シミュレーションの効率化

グローバル MHD シミュレーションの計算効率の向上をめざし、格子の開発を行った。現在、地球磁気圏シミュレーションでは分割次数5の正12面体格子が一般的に使われている。ここで、正20面体格子に着目し、同じ分割次数でどの程度の空間精度を確保できるのか調査した。その結果、同じ分割次数でも正20面体格子の方が正12面体格子の格子間距離の約0.7倍となっており、格子間距離がより短くなっていることがわかる。また、分割次数10では地球表面における隣り合う格子間距離が約6kmの空間精度になることがわかった。

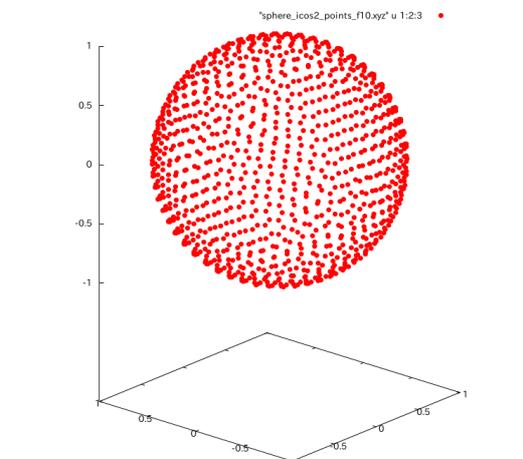


図1. 正20面体格子(分割次数9)

また、分割次数 n 次の正12面体格子と分割次数 $(n-1)$ 次の正20面体格子を総合的に比較すると、格子間の距離が広がってしまうが、プログラム実行

においての三角形分割の操作などの計算量などを考慮すると正20面体格子のほうが、効率がよく高い精度が期待できる格子であるといえる。

このように格子の生成から見直すことで地球磁気圏シミュレーションの精度を向上させることにより、今後はより正確で定量的な予測ができることが期待できる。

2. 数値計算結果と観測値との比較

本研究ではグローバル MHD シミュレーションモデルのオーロラに関連する電磁気現象の再現性について検証した。オーロラに関連する電磁気現象の再現性を検証するための物理量として、電離圏におけるプラズマ対流速度に定めた。

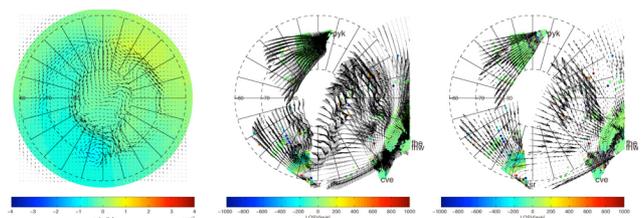


図2. 数値計算結果から SuperDARN レーダーで観測されるプラズマ対流速度の視線方向成分を再現する過程

シミュレーションモデルに人工衛星 ACE で観測された太陽風パラメータを外部境界条件として与え、数値計算結果から得られる電離圏プラズマ対流速度について観測値と計算値の比較検証を行った。比較のために使う観測値は極地研が有する SuperDARN レーダーネットワークデータから抽出される電離層エコーから推定されるプラズマ対流速度の視線方向成分である。比較のために使う計算値は SuperDARN レーダーでデータを得られた座標位置における SuperDARN レーダーから観測されるプラズマ対流速度の視線方向成分を再現したものを使用した。

その結果、数値解析結果から得られる電離圏対流の構造は、太陽風中の磁場の向きについて過去の膨大な観測結果から推測されるパターンをよく再現していることがわかった。本研究では対流の活発な太陽風中の磁場（以下 IMF と記述する）が南を向いている（IMF Bz < -2.0 [nT]であるような）期間について数値計算を行った。このような期間では電離圏北半球において明け方側と夕方側に円形/三日月型2つのプラズマ対流構造が現れることが知られている[Haaland et al., 2017; Lockwood et al., 1991]。本研究結果から示されるプラズマ対流パターンはこれと一致しており、おおまかな対流構造は再現できていると考えることができる。

その一方で、低緯度におけるドップラー速度の変動を確認することはできなかった。現行のシミュレーションモデルの磁気圏-電離圏結合領域では、関係式を用いて磁気圏と電離圏の物理量を交換して

いる。関係式にはシミュレーション実行の経験にもとづいて任意に決定されている内部境界パラメータが存在する。これらの内部境界パラメータは磁気圏から入射する磁力線沿いの電流やプラズマ圧などが電離層の電気伝導度に寄与する度合いを決定するパラメータである。これらの任意に決定されている内部境界パラメータがどのような値をとるかによって、電離圏の電気伝導度や電場ポテンシャルが変化することが予想されるが、パラメータを適切な値に設定できていないために分極電場を電離圏対流や磁気圏対流に反映できていない可能性が考えられる。オーロラが発生しうる条件下での磁気圏-電離圏結合モデルについて、より現実的な結合モデルを構築する必要があることが確認された。今後はより多くの太陽風条件を設定し、その条件下における再現性を検証する予定である。

[参考文献]

- Haaland S E, Runov A, and Forsyth, C 2017, Dawn-dusk asymmetries in planetary plasma environments, *Geophysical Monograph Series*, (Hoboken, NJ: John Wiley).
- Lockwood M 1991 Modelling the high-latitude ionosphere, *Proceedings IEE Colloquium on 'National Radio Propagation Programme'*, **10**. (London, UK: IEE).

[研究発表]

- 1) Numerical Simulation of Ionospheric Convection with a Global MHD Simulation, S. Saita, S. Fujita, A. Kadokura, T. Tanaka, Y. Tanaka, Proceedings of Nonequilibrium thermodynamics and statistical physics: From rational modeling to its applications (submitted).
- 2) SuperDARN で観測される磁力線共鳴現象からの磁気圏領域推定に向けて：SC 時 2 点同時観測例の解析, 河野英昭, 行松彰, 田中良昌, 才田聡子, 西谷望, 堀智昭, 飯田剛平, 第 8 回極域科学シンポジウム 2017 年 12 月 5 日
- 3) SuperDARN 2 点で SC 時に同時観測された磁力線共鳴現象からのプラズマ圏密度推定, 河野英昭, 行松彰, 西谷望, 田中良昌, 才田聡子, 堀智昭, 飯田剛平, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回総会及び講演会 2017 年 10 月 19 日.
- 4) 高専での科学教育における IUGONET の活用について, 才田聡子, 第 4 回「太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の世界・時間変動の解明」, 2017 年 9 月 15 日.
- 5) Numerical Simulation of Ionospheric Convection with a Global MHD Simulation, S. Saita, S. Fujita, A. Kadokura, T. Tanaka, Y. Tanaka, Nonequilibrium thermodynamics and statistical physics: From rational modeling to its applications, 2017 年 3 月 16 日.
- 6) Reproducing eigenfrequency of high-latitude geomagnetic field line, S. Takasaki(Saita), A. Kadokura, H. Yamagishi, The Seventh Symposium on Polar Science 2016 年 11 月 29 日
- 7) Toward magnetospheric region identification by using field-line resonances observed by SuperDARN Radars: Observations of pulsations associated with sudden commencements, H. Kawano, A.-S. Yukimatu, Y. Tanaka, S. Saita, N. Nishitani, T. Hori, K. Iida, The 7th Symposium on Polar Science, 2016 年 11 月 29 日.
- 8) モンテカルロ法による磁力線固有振動数推定の並列計算手法についての研究, 才田 聡子, 河野 英昭, 尾花 由紀, 第 140 回 SGEPS 総会および講演会 2016 年 11 月 20 日

Pi 2

EMIC waves

ULF

ULF

Poynting flux

ULF

Pc5

Pc5

2011 3 2

THEMIS

A,D,E

plasma sheet

Pc 5

Poynting flux

$S = E \times B / \mu$

Pc5

E B

E_x, E_y, B_x, B_y

Pc5

1/4

Pc5

Poynting flux

plasma

sheet 5~10 W/m²

1/4

10~20 mW/m²

mW/m²

10

Pc5

Pc5

Poynting flux

ULF

ULF

ULF

IUGONET

[]

[2016]

Plasma density enhancements in the period of Pc2
observed near the plasmopause in association with Pi2 and auroral breakup
Tohru Sakurai at JpGU-2016

Auroral intensification in conjunction with
Pi 2 and EMIC wave enhancements in the magnetotail Tohru Sakurai 2016
NIPR Symp

[2017]

Auroral intensification in relation to
magnetotail Pi2 and EMIC wave enhancements Tohru Sakurai 2017 JpGU

Importance of ULF waves on auroral
luminosity oscillations Tohru Sakurai and Natsuo Sato 2017 NIPR Symp.

(別紙)

研究協力者参加者一覧

| 一般共同研究(平成29年度報告) | | 課題番号 | 28-1 | |
|------------------|-------------------------------------|----------|------|--|
| 研究課題名 | Substorm発生時に於けるオーロラおよびPi型波動の発達過程の究明 | | | |
| 氏名 | 所属 | 職 | 備考 | |
| 所内 (極地研) | 佐藤 夏雄 | 国立極地研究所・ | 名誉教授 | |
| | | | | |
| | | | | |
| 小計 | 名 | | | |
| 所外 (極地研以外) | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| 小計 | 1名 | | | |
| 合計 | 1名 | | | |

※研究プロジェクト・一般共同研究・研究集会、いずれかを■にしてください。

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

※大学院生も含めてください。その場合、「職」の欄に「大学院生」と記入してください。

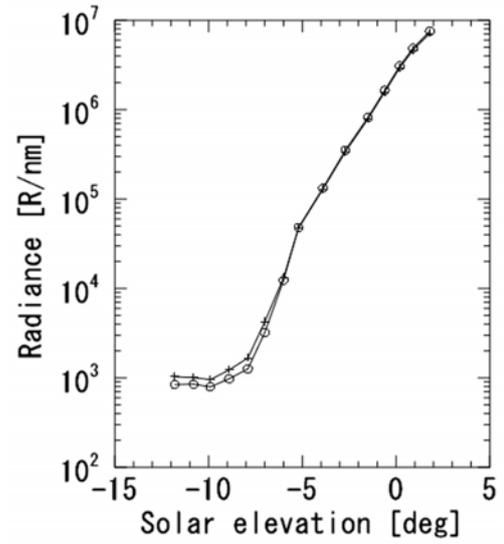
※総研大生は「所外」として記入してください。

※行が不足する場合、適宜追加してください。

28

29

2

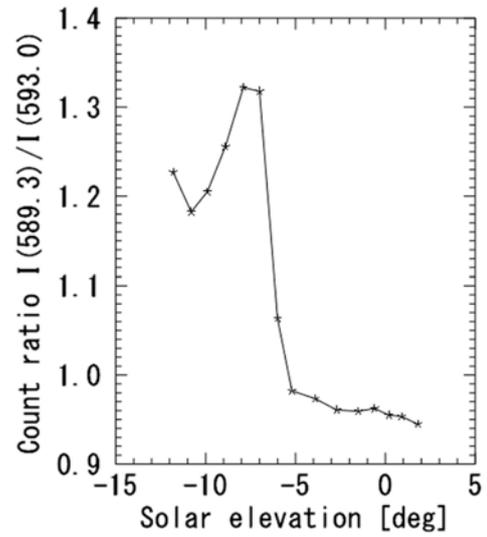


&

2 2018 1 16

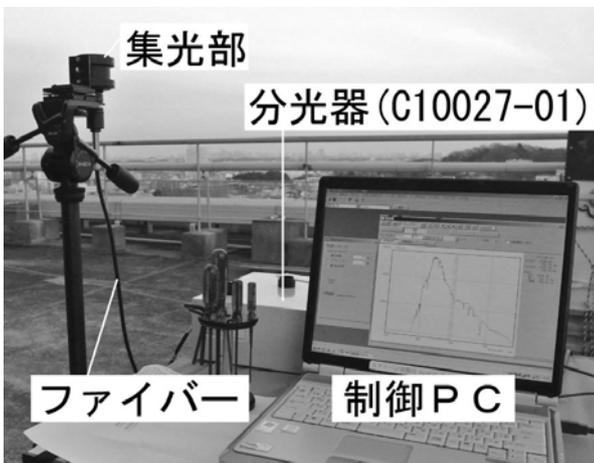
&S% % %*

(SS!%%SS' ba
& ba
) , - "' ' ba % ba
) - ' " \$ ' ba % ba



3 2 2 6 9

2



%

6 2

3 6 9

1.3 3

4500 [R/nm] 1350 [R/nm]

nm 2

4

2.7 [KR]

1[KR] [1]

4.5 [KR/nm] 5

nm -7.0 1.8

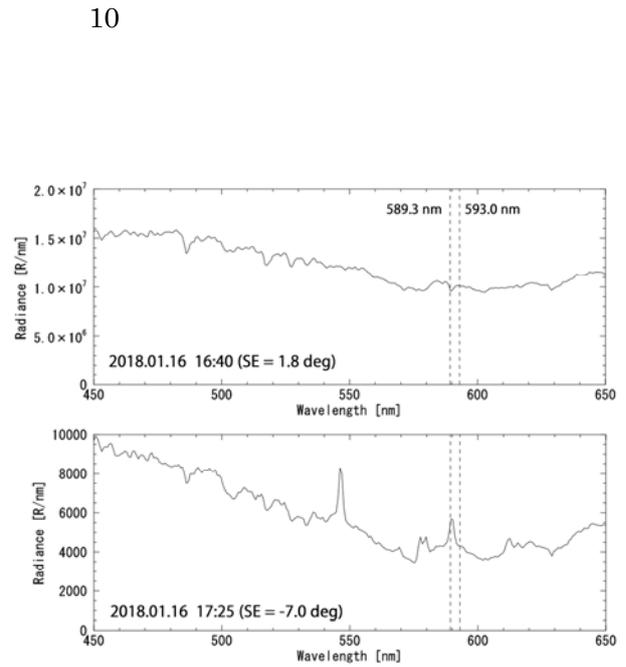
546 nm

1 KR

$4.5 \text{ [KR/nm]}^3 \cdot 5 \text{ [nm]} = 23$

10

1/10



[]

1) J. W. Chamberlain : Physics of the Aurora and Airglow Academic Press, 1961

[]

5 1 4

国際宇宙ステーションへの高エネルギー電子降込みによる被ばく量推定

◎上野 遥 宇宙航空研究開発機構研究開発部門・研究開発員
 松本 晴久 宇宙航空研究開発機構研究開発部門・研究領域主幹
 (国立極地研究所)
 片岡 龍峰 准教授
 平成 29 年～平成 30 年 (1 年)

[研究成果]

1. 背景

磁気地方時の夕方から深夜にかけて、高エネルギー電子が地球大気へ降り込むことがあり、この事象を relativistic electron precipitation (以下 REP と表記) という。REP は、宇宙天気観測から重要な現象で、宇宙飛行士にとっては、船外活動中での放射線被ばくを引き起こす可能性がある。また、REP に起因する大気のイオン化は、オゾン層の破壊をもたらす可能性がある。したがって、REP の定量的観測および統計的分析は、将来の宇宙活動と宇宙-大気をつなぐ空間の基本的な理解の両方に対する影響を評価することのできる重要なトピックである。

2. 計測装置

近年、ISS 高度において高磁気緯度を通過時に REP が頻繁に発生していることが CALET/CHD の計測により判明した (Kataoka et al. 2016)。CHD は 1 秒ごとに 1.6 MeV 以上のエネルギーの電子の積算カウントを与え、REP の検知に有用である。しかしながら、エネルギースペクトルの詳細な定量的情報がないために、放射線量の定量分析は CHD 単独では行うことができない。そこで、同じ ISS に搭載されている SDOM (standard dose monitor) のデータを利用する。

SDOM は 3 枚のシリコン半導体とシンチレーションカウンタから構成されており、電子、陽子、アルファ線の粒子弁別およびエネルギースペクトルを計測する装置である。電子については、0.5-21

MeV を 7 つのエネルギー領域で分けて観測する。ただしデータの較正が十分でない CH6, 7 については、本解析では使用していない。時間分解能は 10 秒である。

3. 解析結果

2015 年 11 月から 1 年間で CHD が検知した REP イベントについての CHD 積算カウント (CHD で検知した時刻を基準に SDOM の時間分解能 10 秒で平均した値) と SDOM の全エネルギーチャンネルについての相関を求めた。その相関から REP 電子のエネルギースペクトルが明らかになった。

船外活動によって水晶体の被ばくによる白内障発症の懸念があり、特に大量の MeV 電子が降り込む REP イベントでの被ばく量の定量化は重要である。宇宙服のヘルメットのバイザー部分 (ポリカーボネート) は約 1.7 mm と薄く、0.55 MeV 以上のエネルギーをもつ電子であればバイザーを突き抜けることができる。0.55 MeV という値はほぼ SDOM の CH1 に等しいため、簡易的な解析として、SDOM で観測したエネルギー帯域はバイザー一部を突き抜けるとする。フルエンスあたりの水晶体での実効線量への換算係数は ICRP116 を参照し、到来方向は Antero-posterior とした。

以上の解析結果および考察の詳細については査読付き論文にまとめているところである。

[参考文献]

- 1) Daae, M., P. Espy, H. Nesse Tyssoy, D. Newnham, J. Stadsnes, and F. Soraas (2012), The effect of energetic electron precipitation on middle mesospheric night-time ozone during and after a moderate geomagnetic storm, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L21811, doi:10.1029/2012GL053787.
- 2) Yasuko Isono, Akira Mizuno, Tomoo Nagahama, Yoshizumi Miyoshi, Takuji Nakamura, Ryuho Kataoka, Masaki Tsutsumi, Mitsumu K. Ejiri, Hitoshi Fujiwara, Hiroyuki Maezawa, Miku Uemura, Ground-based observations of nitric oxide in the mesosphere and lower thermosphere over Antarctica in 2012-2013, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2014, 119, 9, 7745
- 3) Yasuko Isono, Akira Mizuno, Tomoo Nagahama, Yoshizumi Miyoshi, Takuji Nakamura, Ryuho Kataoka, Masaki Tsutsumi, Mitsumu K. Ejiri, Hitoshi Fujiwara, Hiroyuki Maezawa, Variations of

nitric oxide in the mesosphere and lower thermosphere over Antarctica associated with a magnetic storm in April 2012, *Geophysical Research Letters*, 2014, 41, 7, 2568

- 4) Kataoka, R., Y. Asaoka, S. Torii, T. Terasawa, S. Ozawa, T. Tamura, Y. Shimizu, Y. Akaike, and M. Mori (2016), Relativistic electron precipitation at International Space Station: Space weather monitoring by Calorimetric Electron Telescope, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 4119-4125, doi: 10.1002/2016GL068930
- 5) Kubota, Y., & Omura, Y. (2017). Rapid precipitation of radiation belt electrons induced by EMIC rising tone emissions localized in longitude inside and outside the plasmapause. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 122(1), 293-309.
- 6) Matsumoto, H., H. Koshiishi, T. Goka, T. Kimoto, B. D. Green, G. E. Galica, T. Nakamura, T. Abe, S. Badono, S. Murata, and J. D. Sullivan (2001), Compact, lightweight spectrometer for energetic particles, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 48(6), 2043-2049.

[研究発表]

該当なし

参加者一覧

- 中平聡志 (理研)

以上

MHDシミュレーションを用いたシートオーロラ発生機構の研究

◎小原隆博 東北大学大学院理学研究科・教授

藤田 茂 気象大学校・講師

三村恭子 東北大学大学院理学研究科・地球物理学専攻修士2年

(国立極地研究所)

片岡龍峰 准教授

平成29年～平成29年(1か年)

[研究成果]

オーロラを宇宙から観測すると大きな楕円に見えます。その中心は磁極ですが、非常にしばしば、図1のように、1本の棒状のオーロラが、楕円(オーロラオーバル)の中に入り込むことがあります。横から見ると、ギリシャ文字の θ (シート)に見えることから、シートオーロラと呼ばれています。発見された1980年代、筆者は、このオーロラの筋が、北極と南極に同時に出現することを見出しました(Obara et al., GRL, 1988)。その後、シートオーロラの出現特性を調べて行くと、太陽風が運んでくる磁場(太陽風磁場)の南北成分が北を向き、かつ、東西成分が反転する事がきっかけとなって出現する事が分かりました。

2000年になって、スーパーコンピュータの能力が大幅に向上したので、計算でシートオーロラを再現する試みを九大の田中教授と始めました。太陽風磁場の東西成分を反転させたところ、オーロラの原因であるプラズマシートが大きく変形して、シートオーロラが生成されていく様子が分かりました(Tanaka, Obara, Kunitake, JGR, 2004)。

今回、太陽風磁場の東西成分を、朝向きから夕方向きに反転させてシートオーロラを作った上で、そこに磁力線を描いたところ、シートオーロラの棒の部分の磁力線は閉じていて、南北の棒を結んでいることが分かりました(Tanaka, Obara et al., 2017)。

以下に、簡単に説明します。

図2は、北半球の高緯度を夜側から見ています。手前は真夜中、向こう側が真昼、右が朝側、左が夕方側です。オーロラオーバルと1本の棒が見えます。図の中に、3種類の磁力線を色分けて描きました。シートの棒からマゼンダ色(THETA)で、夕方側のオーバルからは赤色(LLCL/ELC)で磁力線を描きました。今回見つかった面白い構造は、シートの棒が昼側のオーバルと接するあたりにあり、ピンク色で磁力線を示しています。ここは、南半球の朝側オーバ

ルから出た沢山の磁力線(LLC/MLC)が集まってくる場所で、専門の用語では、カスプと呼んでいます。

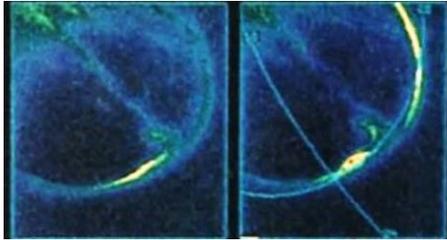
図3は、南半球の高緯度を、夜側から見ています。手前(図の中央に対応)は、真夜中、向こう側(図の下側に対応)が真昼、右が朝側、左が夕方側です。オーロラオーバルと1本の棒が見えます。磁力線の色は図2と同じです。シートの棒からマゼンダ色(THETA)で、朝側のオーバルからはピンク色(LLCL/MLC)で磁力線を描きました。シートの棒が昼側のオーバルと接するところがカスプ領域で、赤色で示しています。北半球の夕方側オーバルから出た沢山の磁力線(LLC/ELC)が集まってくる場所です。

今回の発見は、1) シートの棒の磁力線(THETA)が、南北両半球で閉じている事でした。そして、2) 北半球の夕方側のオーバルの磁力線が、北半球のシートオーロラの棒に昼側にカスプ構造を作っている事でした。同じことは、南半球についても言えます。以上の様子を、図4にまとめています。図4は、地球の夜側から磁気圏を見た図で、横軸は赤道、上が北、下が南、右が朝側、左が夕方側です。シートの棒の磁力線(THETA)は、磁気赤道をほぼ垂直に横切り、南北両半球で閉じています。北半球の夕方側のオーバルの磁力線(LLC/ELC)が、南半球で集中し、カスプ構造を作っています。同じことは、南半球についても言え、南半球の朝方側のオーバルの磁力線(LLC/MLC)が、北半球で集中し、カスプ構造を作っていました。

ここでは、詳しく説明しませんが、シートの棒は、太陽風磁場の東西成分の反転の違いにより、朝側から現れて夕方に向かって移動したり、逆の反転では、夕方側から現れて朝側に向かって移動したりします。そして、シートの棒の移動によって、新しい空隙な領域が出現し、冒頭に述べたように、シ

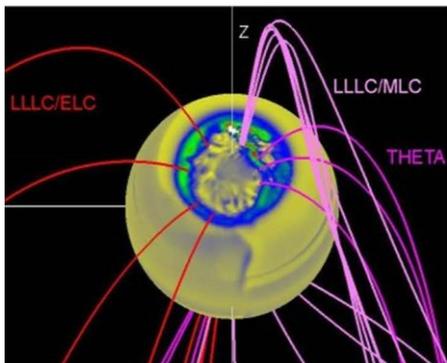
ータオーロラが生まれます。

シータオーロラの成因が、スーパーコンピュータによって、概ね、明らかになりました。今は、現実に観測されたシータオーロラについて、太陽風磁場の実測値を用いて、再現出来るか否かについて、調べはじめています。



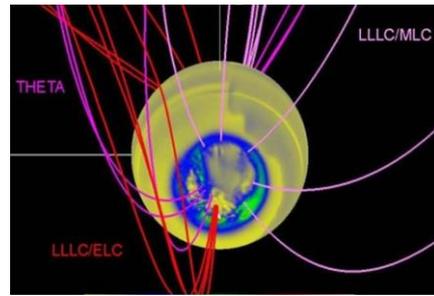
【図 1】北極域に出現したシータオーロラの画像 (Obara et al. GRL, 1988)。

一本の筋が真夜中から真昼に向かって伸びている

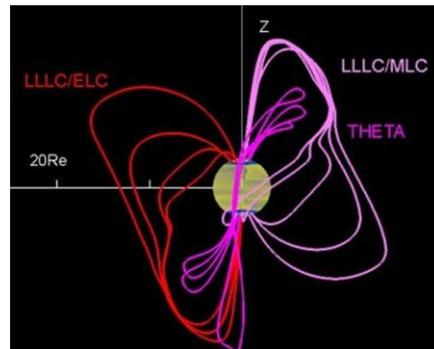


【図 2】北半球のオーロラ領域の拡大図。シータの棒の磁力線をマゼンダ色 (THETA) で、夕方側のオーバルの磁力線を赤色 (LLC/ELC) で、カusp領域の磁力線をピンク色 (LLC/MLC) で描いている。ピンク色の磁力線は、南半球の朝側オーバルから出た磁力線 (LLC/MLC) である。

シータの棒の磁力線をマゼンダ色 (THETA) で、夕方側のオーバルの磁力線を赤色 (LLC/ELC) で、カusp領域の磁力線をピンク色 (LLC/MLC) で描いている。ピンク色の磁力線は、南半球の朝側オーバルから出た磁力線 (LLC/MLC) である。



【図 3】南半球のオーロラ領域の拡大図。シータの棒の磁力線をマゼンダ色 (THETA) で、朝方側のオーバルの磁力線をピンク色 (LLC/MLC) で、カusp領域の磁力線を赤色 (LLC/ELC) で描いている。赤色の磁力線は、北半球の夕方側オーバルから出た磁力線 (LLC/ELC) である。



【図 4】地球の夜側から磁気圏を見た。水平は赤道、上が北、下が南、右が朝側、左が夕方側。シータの棒の磁力線 (THETA) は、磁気圏赤道をほぼ垂直に横切り、南北両半球で閉じている。北半球の夕方側のオーバルの磁力線 (LLC/ELC) が、南半球で集中し、シユテム構造を作っている事。同じことは、南半球についても言え、南半球の朝方側のオーバルの磁力線 (LLC/MLC) が、北半球で集中しシユテム構造を作っている。

地球の夜側から磁気圏を見た。水平は赤道、上が北、下が南、右が朝側、左が夕方側。シータの棒の磁力線 (THETA) は、磁気圏赤道をほぼ垂直に横切り、南北両半球で閉じている。北半球の夕方側のオーバルの磁力線 (LLC/ELC) が、南半球で集中し、シユテム構造を作っている事。同じことは、南半球についても言え、南半球の朝方側のオーバルの磁力線 (LLC/MLC) が、北半球で集中しシユテム構造を作っている。

[参考文献]

- 1) Obara, T. and H. Oya, Plasma Conditions in the Polar Ionosphere Observed in SPW Experiments of PPS System on Board the Ohzora (EXOS-C) Satellite, J.G.G., (37) 285, 1985
- 2) Tanaka, T., T. Obara and M. Kunitake, Formation of theta aurora, J. Geophysical Res., Vol. 109, No. A9, A09201, 2004

[研究発表]

- 1) Takaka, T., T. Obara, M. Watanabe, S. Fujita, Y. Ebihara and R. Kataoka, Formation of the sun-aligned arc region and the void (polar slot) under the null-separator structure, J. Geophysical Res., Vol. 122, 10.1002/2016JA023584, 2017
- 2) 三村 恭子, 小原 隆博, 藤田 茂, IMF Bz 北向き条件下における By 反転時の磁気圏応答, JAXA 特別資料, JAXA-SP-17-006, ISSN:2433-2232, pp.9-14, 2018/01/15

南極中間圏潮汐の気候変動：観測とモデルの比較

◎Huixin Liu 九州大学地球惑星科学専攻・准教授
 藤原 均 成蹊大学・教授
 (国立極地研究所)
 堤 雅基 准教授
 平成29年～平成29年 (1か年)

[研究成果]

Short period (8-hr, 6-hr) tides in the middle atmosphere in polar regions are not well understood due to lack of observation. Yet they may provide important moment and energy source during certain seasons to the upper atmosphere, hence contributing to the vertical coupling in the atmosphere. In this brief study, we examine the seasonal variation of 4 tidal components using long-term MF radar and meteor radar at Syowa station and the reanalysis-driven simulation results by GAIA atmosphere-ionosphere model.

Since validating the GAIA model is also part of purpose of the study, we also examined the 24- and 12- hour tides obtained by observation and model. As shown in Fig. 1, the diurnal tide is roughly reproduced by the GAIA model in terms of seasonal variation, though the amplitude is somewhat lower than observed (Fig. 1).

(Left) and that simulated by GAIA (Right). The top two rows show tidal amplitude and the lower rows tidal phase.

Figure 2 presents the comparison for semi-diurnal components. The seasonal variation is roughly reproduced below 100 km height, but not above.

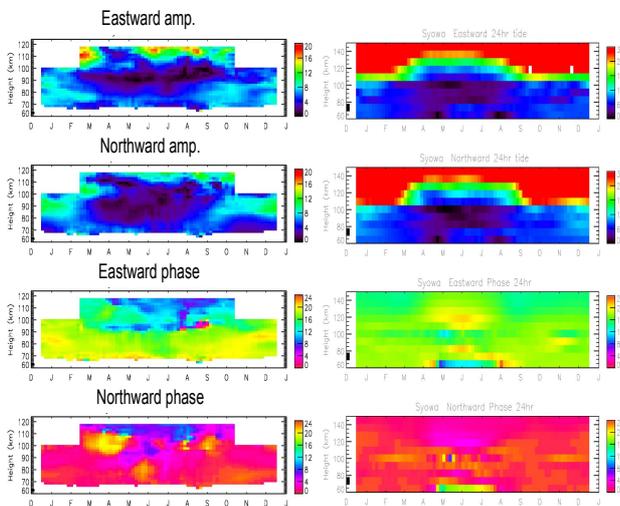


Fig. 1 Diurnal tides observed at Syowa

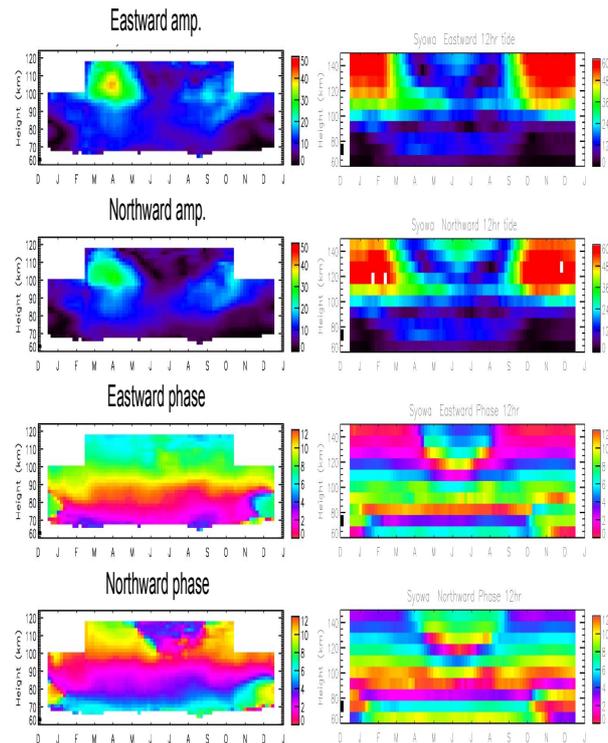


Fig.2 Same as Fig. 1 but for semi-diurnal tides.

Figure 3 presents the comparison for turdiurnal components. Above 100 km, the observation shows large amplitude around March/April equinox, while GAIA shows maximum around June solstice. The phase is in opposite sense.

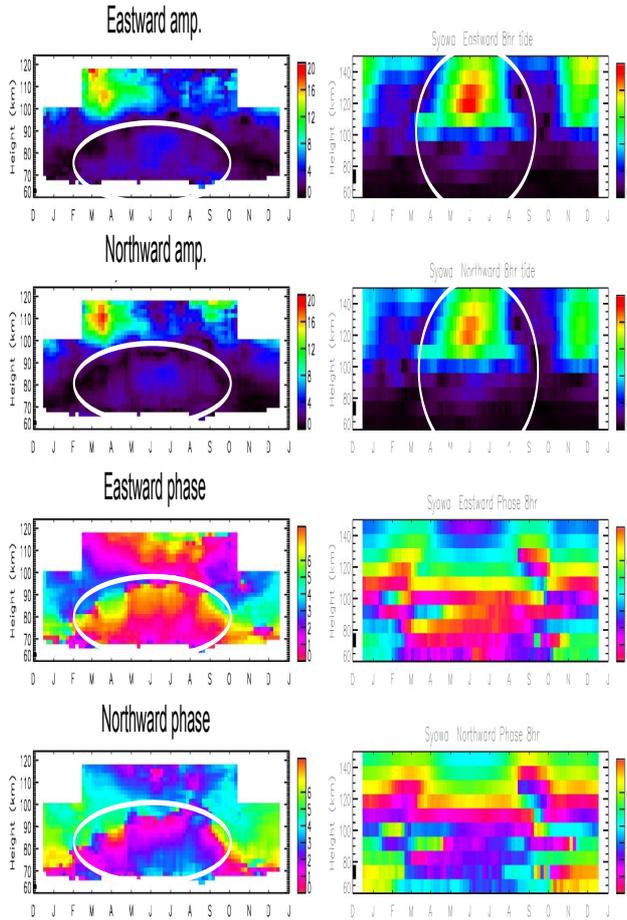
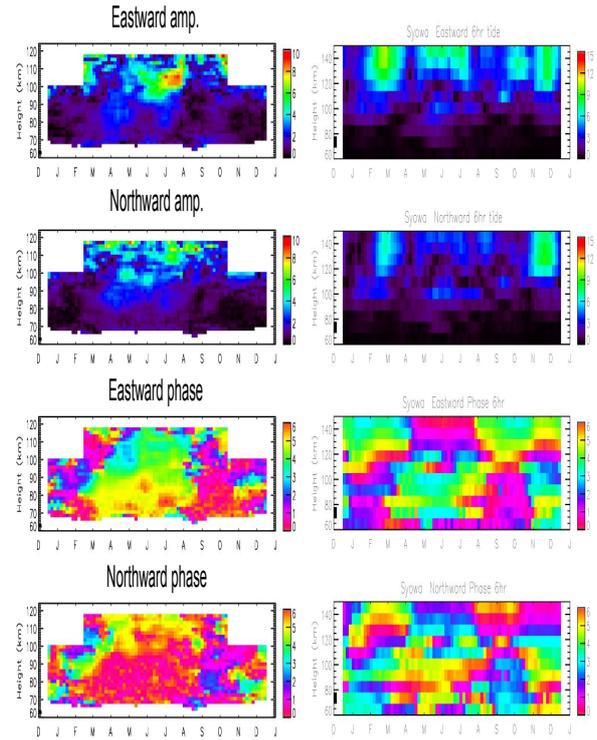


Fig.3 Same as Fig. 1 but for 8-hr tides.

Figure 4 presents the comparison for 6-hr tidal component. Similar to 8-hr tides, the model results shows maximum in winter around June/July, while the observation shows maximum around March/April.



In summary, this brief comparison shows GAIA model can roughly reproduced the 24- and 12-hour tides, but not the 8-hr and 6-hr tides. The cause for this needs to be explored with more detailed analysis

[研究発表]
準備中

• •

グリーンランド氷床の雪氷試料の化学・生物分析

◎的場 澄人 北海道大学低温科学研究所・助教
 竹内 望 千葉大学理学部・教授
 (国立極地研究所)
 本山 秀明 教授
 平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

はじめに

グリーンランド氷床の質量は、近年の温暖化の影響で減少していることが指摘されている。氷床の質量は涵養と消耗の収支によって変化する。グリーンランド氷床において涵養はおもに降水（降雪）によって生じる。グリーンランド氷床上における積雪量の観測は 1930 年代に行われたアルフレッド・ヴェゲナーによるトラバース観測の頃から行われ、1950 年代にはアメリカ合衆国による雪上車を使用した広域な観測が行われた^{1,2)}。その後、これらのデータは Ohmura and Reeh (1991) によって集積され、グリーンランド氷床上の表面質量収支の空間分布が示され、気象場の季節変動との関係が明らかになった³⁾。その後、いくつかの観測データが新たに加えられ、新しい表面質量収支の空間分布が示された⁴⁾。しかし、日本が 2011 年から集中的に観測を行っているグリーンランドの北西部においては⁴⁾、表面質量収支のデータは一部のトラバースルートに限られ、近年の温暖化下における継続的なデータは殆どない。本研究ではグリーンランド北西部における表面質量収支の経年変化を明らかにすることを目的に、氷床上の 2 カ所で浅層アイスコアを掘削し、その水同位体比の変動から年間降水量の復元と水蒸気起源の変化について議論した。

試料採取と化学分析

2014 年に、グリーンランドトレイシー氷河の上流部に位置するグリーンランド氷床 SIGMA-D サイト（北緯 77.636 度、西経 59.120 度、標高 2100m）において、浅層メカニカルドリルを用いて 222.5m のアイスコアを採取した⁵⁾。掘削サイト近傍に作成した解析トレンチにおいてアイスコアの層位観察、密度測定を行った後、表面から 110m 深までのアイスコアを切断、融解し、試料を調製した。試料は日本に輸送し、分析直前まで冷凍で保存した。

2017 年に、グリーンランド氷床北西沿岸部の

SIGMA-A サイト（北緯 78.002 度、西経 67.628 度、標高 1490m）において、浅層メカニカルドリルを用いて 60m のアイスコアを採取した。アイスコアは冷凍のまま北海道大学低温科学研究所の低温室に輸送し、低温実験室にて試料の切断と処理を行い、室温で融解させ試料を調製した。

試料中の水素・酸素同位体比を水同位体比分析計で、溶存する化学イオン種濃度をイオンクロマトグラフィーで測定した。これらの分析は北海道大学低温科学研究所で行った。

トリチウムの含有量は液体シンチレーションカウンターで測定した。この分析は国立極地研究所で行った。

結果と考察

SIGMA-D アイスコア中の水素同位体比は冬に極小値をもつ明瞭な季節変動をしめした。また、海塩由来のナトリウムイオンは冬に極大値を示す明瞭な季節変動を示した。この二つの成分の季節変動を用い、年層を勘定してコアの年代を決めた。また、水爆実験が最盛だった 1963 年の示準層となるトリチウム含有量のピークは、年層勘定で推定した 1963 年の深度に表れ、年層勘定で推定した年代を支持する結果を示した。その結果、110m 深は 1660 年に相当すると推定された。年層から算出した年間涵養量の平均値は 0.25m w.eq. であった。小氷期から現在まで年間涵養量はほぼ一定であった。これは、この地域の近年の氷床の質量損失には、涵養量の変化は殆んど影響を与えず、表面融解量や氷山分離量が増加していることが主要因だといえる。

SIGMA-A アイスコア中の水同位体比は、2cm の分解能で測定された。SIGMA-A サイトは、いわゆる浸透帯に位置し、年によっては夏季に表面が融解して融解水が深部へ浸透している。そのため化学成分の流出や移動が生じていることが予想されたが、

高時間分解能で測定したためか、季節変動が十分に同定することができた。この季節変動を利用して、年層を勘定して推定した1963年とトリチウム含有量のピークは2年の誤差におさまった。この季節変動から年間涵養量の変動を推定したところ、現在から1990年代までは、年間涵養量の平均値は0.27m w.eq.であり、1990-70年代は、0.36m w.eq.であっ

た。グリーンランドにおいては近年降水量が増加しているという指摘もあるが、このアイスコアから示された結果は一致しなかった。これは、沿岸部で採取されたアイスコアが、局所的な気象状況を反映しており、グリーンランド全域を対象とした領域モデルから推定された結果と異なる傾向をしめしたのではないかと考えられる。

[参考文献]

- 1) 的場澄人、山口悟、對馬あかね、青木輝夫、杉山慎 (2017): グリーンランド氷床北西部沿岸部における表面質量収支の変動、低温科学、75、37-44. doi: 10.14943/lowtemsci. 75. 37
- 2) Benson, C. S. (1960) Stratigraphic studies in the snow and firn of the Greenland Ice Sheet. Ph. D. thesis, California Institute of Technology
- 3) Ohmura, A. and N. Reeh (1991) New precipitation and accumulation maps for Greenland. J. Glaciol., 37(125), 140-148.
- 4) Aoki, T., S. Matoba, J. Uetake, N. Takeuchi, and H. Motoyama (2014) Field activities of the “Snow Impurity and Glacial Microbe effects on abrupt warming in the Arctic” (SIGMA) project in Greenland in 2011-2013. Bull. Glaciol. Res., 32, 3-20.
- 5) Matoba, S., H. Motoyama, K. Fujita, T. Yamasaki, M. Minowa, Y. Onuma, Y. Komuro, T. Aoki, S. Yamaguchi, S. Sugiyama and H. Enomoto (2015): Glaciological and meteorological observations at the SIGMA-D site, northwestern Greenland Ice Sheet, Bullet. Glaciol. Res., 33, 7-14, doi: 10.5331/bgr.33.7.

[研究発表]

- 的場澄人、山口悟、對馬あかね、青木輝夫、杉山慎 (2017): グリーンランド氷床北西部沿岸部における表面質量収支の変動、低温科学、75、37-44. doi: 10.14943/lowtemsci. 75. 37
- Sasaki, H., S. Matoba, T. Shiraiwa and C. S. Benson: Temporal variation in iron flux deposition onto the northern North Pacific reconstructed from an ice core drilled at Mount Wrangell, Alaska, SOLA, 12, 287-290, doi:10.215/sola.2016-056.
- Matoba, S., H. Motoyama, K. Fujita, T. Yamasaki, M. Minowa, Y. Onuma, Y. Komuro, T. Aoki, S. Yamaguchi, S. Sugiyama and H. Enomoto (2015): Glaciological and meteorological observations at the SIGMA-D site, northwestern Greenland Ice Sheet, Bullet. Glaciol. Res., 33, 7-14, doi: 10.5331/bgr.33.7.
- Pokhrel, A., K. Kawamura, K. Ono, O. Seki, P. Fu, S. Matoba, and T. Shiraiwa (2016): Ice core records of monoterpene- and isoprene-SOA tracers from Aurora Peak in Alaska since 1660s: Implication for climate change variability in the North Pacific Rim, Atmos. Environ., 130, 105-112, doi:10.1016/j.atmosenv.2015.09.063
- Tshusima, A., S. Matoba, T. Shiraiwa, S. Okamoto, H. Sasaki, D. J. Solie, and K. Yoshikawa (2015): Reconstruction of recent climate change in Alaska from the Aurora Peak ice core, central Alaska, Clim. Past, 11, 217-226, doi:10.5194/cp-11-217-2015.

(国立極地研究所)

本山 秀明 教授

藤田 秀二 教授

平林 幹啓 特任助手

平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

グリーンランドにおける高涵養量域の圧密氷化過程の特徴の解明や近年の人為起源エアロゾルの変遷の解読を目的として、2015 年 5 月にグリーンランド南東ドームにおいて、90.45 m の浅層コア掘削を実施した。掘削地点はタシーラク (アンマサリック) から 185 km 北に位置している (SE-Dome; 67.18°N, 36.37°W, 3170 m a.s.l.). 掘削孔の氷温は 20 m 深において -20.9°C であった。

2015 年 8 月にコアが日本に輸送され、低温科学研究所の低温室において密度測定や電気伝導度測定などの初期コア解析が行われた。電気伝導度測定は国立極地研究所の低温室で使用しているものを貸していただき、連続誘電プロファイル (DEP) 法で分析した。この方法は 250 MHz の交流電気伝導度の連続プロファイルを得ることができる。電気伝導度プロファイルの空間分解能は 20 mm である。また、国立極地研究所の液体シンチレーションを用いて、トリチウムの分析が行われた。トリチウムの分析には 90m のアイスコアを約 0.5m ごと 180 の試料に分け、各試料で約 50ml に含まれる放射線を液体シンチレーションで約 2 週間計測した。

X 線密度プロファイルが図 1 に示されている。X 線密度は周期 1~1.5 m で変動をしている。この短周期変動は冬の高密度と夏の低密度による季節変動であると考えられる。

氷の電気伝導度の結果を図 2 に示す。深さ 11.745 m と 43.420 m に電気伝導度ピークが見つかった。X 線密度による年層カウントから、深さ 11.745 m の電気伝

導度ピークは 2010 年の 3 月から 6 月に起きたアイスランドの Eyjafjallajökull 火山噴火によると考えられる。深さ 11.745 m は水等量で 5.27 m w.e. に相当する。起源からの輸送時間を無視すると、2010 年春から 2015 年春の涵養量は 1.05 m w.e. yr⁻¹ である。深さ 43.420 m の電気伝導度ピークは 1991 年 6 月 15 日に起きたフィリピン Pinatubo 火山噴火によると考えられる。深さ 43.420 m は水等量で 24.89 m w.e. に相当する。起源からの輸送時間を無視すると、1991 年夏から 2015 年春の涵養量は 1.04 m w.e. yr⁻¹ である。

トリチウムの結果を図 3 に示す。深さ 81.375-81.875-m にトリチウムのピークが見つかった。このピークは 1963 年を示す。深さ 81.375-81.875-m は水等量で 52.98-53.38 m w.e. に相当する。1963 年から 2015 年春の涵養量は 1.02-1.03 m w.e. yr⁻¹ である。

国立極地研究所の測器や施設をお借りして、90m のアイスコアのうち、81.875 m までの年代を推定することができた。1963 年から 2015 年まで涵養量は大きな変遷がみられず、約 1.0 m w.e. yr⁻¹ であったことが分かった。本予算でアイスコアの年代を推定し、それが含まれる成果を公表した。

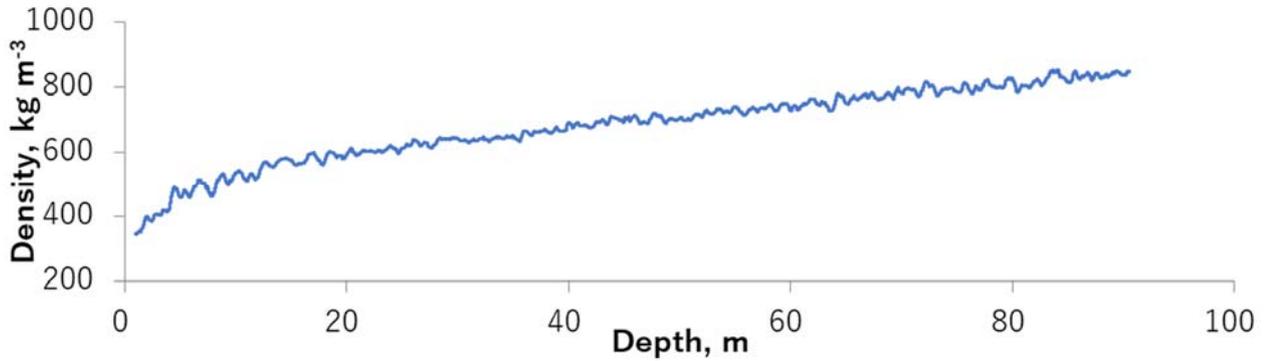


図1 X線密度プロファイル

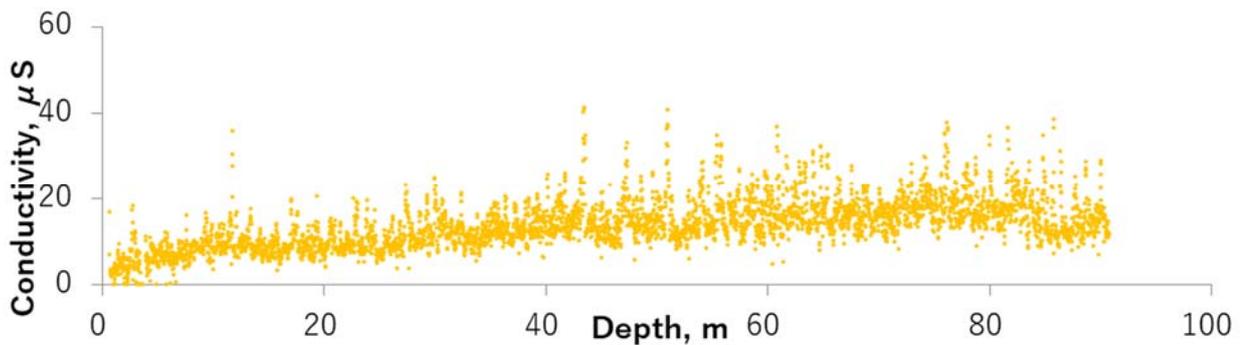


図2 電気伝導度プロファイル

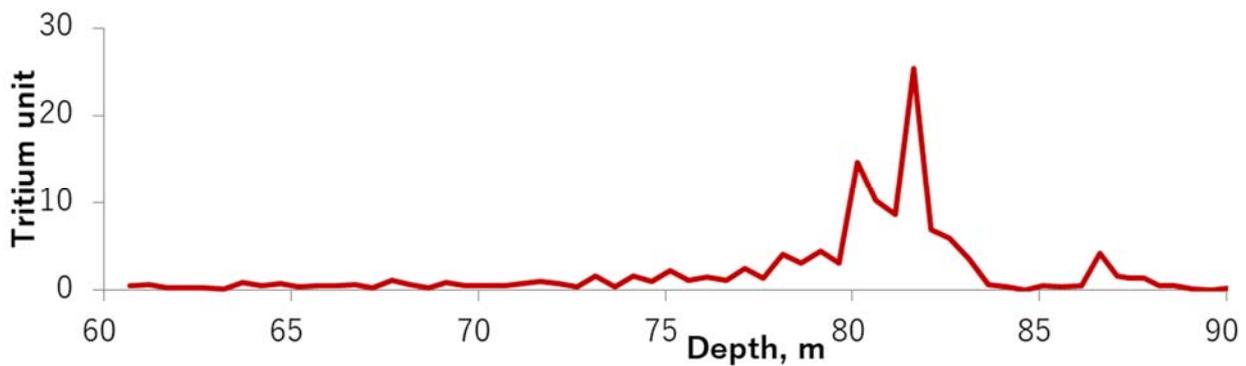


図3 トリチウムプロファイル

[参考文献]

- 1) Y. Iizuka, A. Miyamoto, A. Hori, S. Matoba, R. Furukawa, T. Saito, S. Fujita, M. Hirabayashi, S. Yamaguchi, K. Fujita, N. Takeuchi, A firm densification process in the high accumulation dome of southeastern Greenland, Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 49, 1, 13-27, 2016
- 2) R. Furukawa, R. Uemura, K. Fujita, J. Sjolte, K. Yoshimura, S. Matoba, and Y. Iizuka, Seasonal-scale dating of a shallow ice core from Greenland using oxygen isotope matching between data and simulation, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122, 10,873–10,887, 2017, <https://doi.org/10.1002/2017JD026716>

次世代型液封深層掘削装置及び周辺機器の検討・開発

- ◎ 古崎 睦 旭川工業高等専門学校・教授
 的場澄人 北海道大学低温科学研究所・助教
 新堀邦夫 北海道大学低温科学研究所・嘱託職員
 森 章一 北海道大学低温科学研究所・技術職員
 高田守昌 長岡技術科学大学・助教
 高橋昭好 株式会社地球工学研究所・代表取締役
 田中洋一 株式会社ジオシステムズ・代表取締役
 宮原盛厚 株式会社アノウィ・代表取締役
 小林明雄 九州オリンピック工業株式会社・第2 技術部主任
 吉瀬也寸志 九州オリンピック工業株式会社・第2 製造課係長
 (国立極地研究所)
 本山秀明 教授
 川村賢二 准教授
 平成 27～29 年 (3 ヶ年)

【研究成果】

1. はじめに

第 IX 期南極観測 6 か年計画 (平成 28～33 年度) 重点研究観測の中で、雪氷チームは「新ドームふじ基地における氷床深層コア掘削」(以下「第 III 期計画」) を計画している。

本研究では、平成 19 年 1 月に終了した「第 II 期ドームふじ深層コア掘削」(第 II 期掘削) で使用していた掘削システムおよびその周辺機器の問題点について検討し、第 III 期計画で使用する次世代型掘削システムの開発を目指した。

3 か年の中で、諸外国の深層掘削計画と実情の把握、前回掘削の問題点の洗い出し、改良案や新提案に関する議論、次世代型掘削システムのポリシー明確化、液封液の再検討や新通信システムの開発・検証、新ウインチやマストの仕様決定等を行った。

2. 第 II 期深層掘削システムに対する検証

(1) ドリルの基本構想

第 II 期深層掘削で使用された掘削機の最大の特徴は、切削チップを確実に取り込み、運搬し、貯蔵できる「アルキメディアンポンプ機構」であると言える。カッター部で生じたチップは、スパイラル付きコアバレルの回転 (50～55rpm) によって液封液とともに上方のチップ室へ運ばれ、そこに設けられた 35,000 個の小穴 ($\phi 1.2\text{mm}$) によって濾過されて室内に貯蔵される。一方、小穴からドリル外へ出た液封液は掘削孔壁とドリルのすき間 (片側 6mm) を下降し、再びジャケット下端

から吸引されて循環する。

この機構の有能性は、第 II 期深層掘削において十分に証明されていることから、次世代装置もこれを踏襲し、その発展形として開発を進めることとした (図 1)。

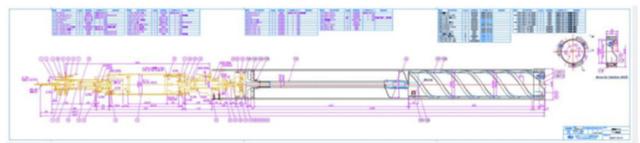


図 1 第 III 期計画実験用ドリルの設計図面 (現在製作中)

(2) ドリルコンピュータおよびデータ通信系

第 II 期深層掘削における大きな問題点の一つに、ドリルコンピュータ～中継コンピュータ (地上) 間の通信速度の遅さとトラブルの多発 (4 シーズンで 10 日程度) があつた。これを解決するため、市販の小型スティック PC と ADDA 変換器、RS485 を用いてドリルコンピュータおよび通信系の一新を図った。

現在まで、モーター (無負荷) の制御試験や 3,500m ケーブルを使つての通信試験 (通信速度 9,600bps) に成功しており、今後、各種センサ類との接続試験やモーターに負荷をかけた状態での通信試験を進めていく必要がある。

(3) 液封液

第 II 期深層掘削で用いた酢酸ブチルは、粘度や密度、価格等の点で、液封液として具備すべき優れた特性を多々有しているが、一方で特有の臭気を持つことが大きな欠点であつた。第 III 期計画の

立案に当たり、第Ⅱ期で酢酸ブチルとともに最終候補となっていたシリコンオイルKF96L-1.5csについて、その物性や価格の再検討を行った。

図2は両液体の常圧下における動粘度を比較したもので、×印と破線は既報値・文献値とその近似線を示している。今回、ウベローデ粘度計により測定した実測値は近似線上に良く乗っており、-20℃において、シリコンオイルは酢酸ブチルの3.1倍程度の動粘度を示した。

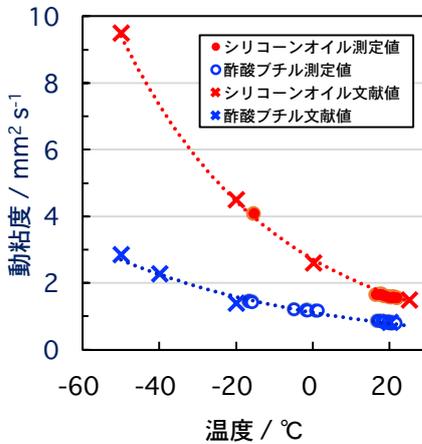


図2 常圧下における動粘度の温度変化 (●と○が実測値)

共軸二重円筒形回転粘度計 (アントンパール社) を用いて、8MPa 加圧下-10℃における両液体の粘度を測定したところ、 $\eta_{\text{シリコン}}/\eta_{\text{酢酸ブチル}}$ の粘度比は2.4であった。両液とも加圧による粘度増加は4~5%程度と小さく、粘度比に及ぼす圧力の影響は小さかった。

液封液の粘性が増加すればドリルの昇降に要する時間も長くなり、作業工程等に大きな影響

【研究発表】

- (1) 本山秀明、古崎 睦、的場澄人、高橋昭好、田中洋一、宮原盛厚、高田守昌、澤柿教伸、新堀邦夫、森 章一：南極氷床での中層掘削計画と深層孔検層結果について、日本地球惑星科学連合大会、幕張 (2015)
- (2) 高田守昌、古崎 睦、本山秀明：南極ドームふじ深層掘削孔検層の温度測定結果の評価、雪氷研究大会、松本 (2015)
- (3) 高田守昌、古崎 睦、本山秀明、新堀邦夫：南極ドームふじ深層掘削孔の検層における液温測定値の評価と補正、第6回極域科学シンポジウム、立川 (2015)
- (4) 古崎 睦、本山秀明、高橋昭好、田中洋一、宮原盛厚、新堀邦夫、的場澄人、森 章一、高田守昌、小林明雄、吉瀬也寸志：南極域における氷床掘削の実際と期待される知見、日本分析化学会第65年会、札幌 (2016)
- (5) 本山秀明、古崎 睦、川村賢二、櫻井俊光、的場澄人、新堀邦夫、森 章一、高田守昌、高橋昭好、田中洋一、宮原盛厚、小林明雄、吉瀬也寸志：次世代型液封深層掘削装置及び周辺機器の検討・開発-JARE57 中層掘削からのフィードバック、第7回極域科学シンポジウム、立川 (2016)
- (7) 高田守昌、本山秀明：氷床コア深層掘削機の電装部の開発 -データ通信-、2017年度日本雪氷学会北信越支部大会、十日町 (2017)
- (8) 本山秀明、古崎睦、高田守昌、的場澄人、高橋昭好、田中洋一、宮原盛厚、新堀邦夫、森章一、川村賢二：国内外の氷コア掘削メカニカルドリルと検層装置について、雪氷研究大会、十日町 (2017)

を及ぼす。そこで、内径18.0mmφ×長さ1.5mの円筒管に液を入れ、20~-17℃でドリルに見立てた密封試験管 (外径16.5mmφ×長さ75mm、質量23.1g・30.0g) を自由落下させながら、各温度における落下速度を計測した (図3)。

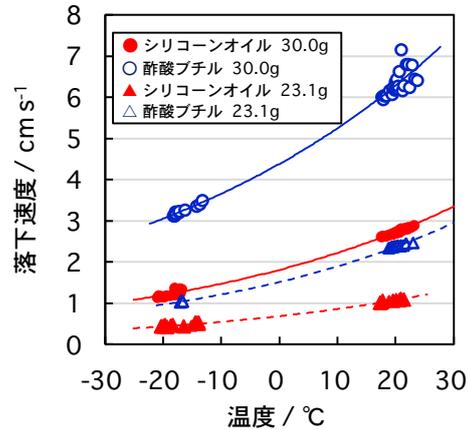


図3 試験管の落下速度に及ぼす液温度および重量の影響

-17℃のシリコンオイル中では、同温度の酢酸ブチル中に比べて2.2倍 (23.1g) ~ 2.5倍 (30.0g) の落下時間を要した。これを第Ⅱ期3,000m深の状況に当てはめると、1Run当たりの所要時間が4時間から6~7時間に増加することを意味する。

また、シリコンオイルの最新価格はドラム缶1本当たり33万円 (酢酸ブチルは4.4万円) であり、所要量を250本とした場合の総額は8,250万円となる。以上を総合的に考慮すると、液封液としてはやはり酢酸ブチルが現実的であるとの結論に至った。

大気中酸素濃度変動に基づく炭素循環に関する研究

◎青木周司 東北大学大学院理学研究科・教授
 森本真司 東北大学大学院理学研究科・教授
 (国立極地研究所)
 後藤大輔 助教
 平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

温暖化の主要因の一つである大気中 CO_2 の地球表層における収支の定量的理解は、将来の濃度予測や濃度増加の抑制対策に不可欠であるが、 CO_2 収支の定量的な理解には未だ不確実性が大きい。 CO_2 収支の推定手法として大気中 CO_2 濃度および O_2 濃度 ($\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$) として定義 [e.g. Keeling and Shertz, 1992]) を高精度で同時に観測し、両者の増加・減少傾向を組み合わせて解析するという方法がある。これは、化石燃料の燃焼や陸上生物圏における呼吸、光合成の過程では CO_2 と O_2 は負相関の関係にあるが、大気-海洋間で CO_2 の交換が起こる場合には必ずしも O_2 の交換は伴わないという、各 CO_2 吸収源の性質の違いを利用したものである [e.g. Keeling et al., 1996]。本研究では、北極域で定期的に採取された大気試料を用いて、その CO_2 濃度および $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ を高精度で測定し、その長期的・季節的変動を明らかにすることにより、全球の CO_2 収支を定量的に推定した。

大気試料は、ニーオルスン基地屋上の大気取入れ口から基地内に設置したダイヤフラムポンプを用いて吸引し、 -78°C に冷却した水トラップを通過させて除湿した後、 CO_2 濃度分析用試料については 800 mL のステンレス製容器に加圧充填、 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ 分析用試料については 550 mL のパイレックスガラス製容器に大気圧充填して採取された。 CO_2 濃度および $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ 分析用大気試料採取はそれぞれ 1991 年、2001 年より、週に一度の頻度でノルウェー極地研 (Norwegian Polar Institute) の技術スタッフによって実施されてきた [e.g. Ishidoya et al., 2012]。採取された大気試料は 8 週間毎に日本に返送された後、国立極地研究所で CO_2 濃度を、東北大学で $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ が分析された。

図 1. にニーオルスンにおける CO_2 濃度および $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の変動を示す。この図から明らかなように、ニーオルスンで観測された CO_2 濃度は、明瞭

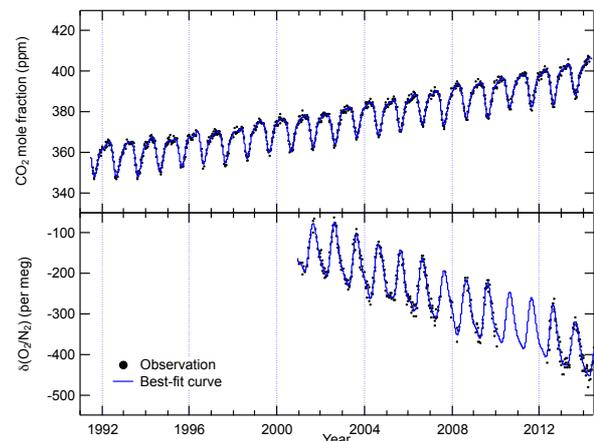


図 1. ニーオルスンにおいて観測された大気中 CO_2 濃度(上)および $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ (下)の時間変動。黒点および青線はそれぞれ観測値とベストフィットカーブを示す。

な季節変化を伴いながら経年的に増加し、 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ は CO_2 とは負相関の季節変化を示しながら経年的には減少している。 CO_2 濃度および $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の季節変化はそれぞれ 4 月に極大、極小値、8 月に極小、極大値を示し、季節変化の平均的な振幅は約 16 ppm および約 140 per meg (≈ 29 ppm) であった。大気中 CO_2 濃度の季節変化は主に大気-陸上生物圏間の CO_2 交換量の季節変化によって生じているが、 O_2 濃度の季節変化は大気-陸上生物圏間の O_2 交換に加え、大気-海洋間の O_2 交換にも大きく影響を受ける。ニーオルスンで観測された CO_2 および $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の平均的季節変化を比較することにより、ニーオルスンの $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の季節変化のうち約 4 割が大気-海洋間の O_2 交換の季節性によって生じていることが明らかになった。

図 2. にニーオルスンにおける CO_2 濃度および $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ の経年変動成分、および増加率の変動を示す。前述の通り、 CO_2 濃度は経年的に増加しており、その増加率は 1991-2013 年の期間の平均として 2.0 ppm yr^{-1} であった。一方、 $\delta(\text{O}_2/\text{N}_2)$ は 2001-2013 年の平均として $19.9 \text{ per meg yr}^{-1}$ ($\approx 4.1 \text{ ppm}$

yr⁻¹)で減少していた。これらの増加、減少傾向を解析することにより、2001–2013年の13年間の全球CO₂収支を定量的に評価した結果、大気に放出された化石燃料起源のCO₂約8.4 GtC yr⁻¹ [Boden et al., 2016]のうち、陸上生物圏と海洋にそれぞれ約1.6 ± 0.8、2.3 ± 0.5 GtC yr⁻¹のCO₂が吸収されていることが明らかになった。これらの結果は、CO₂濃度と、同大気試料を用いて分析しているCO₂の炭素安定同位体比(δ¹³C)を利用した手法 [e.g Francy et al., 1995]で推定した値とよく一致した。

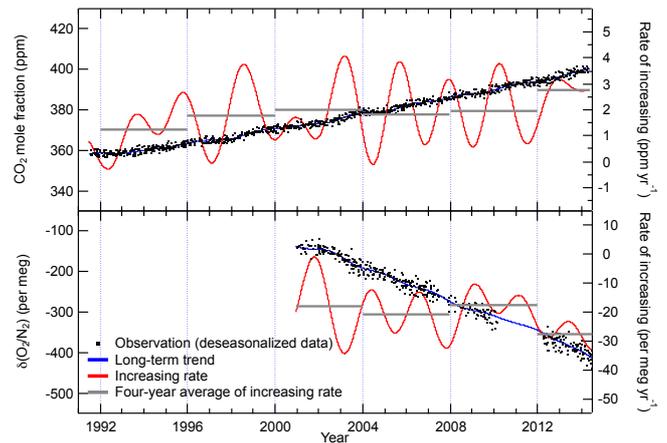


図 2. ニーオルスンにおいて観測された大気中CO₂濃度(上)およびδ(O₂/N₂)(下)の長期変動成分と増加率の変化。黒点、青実線および赤実線はそれぞれ季節変動成分を除去した観測値、長期変動成分および年増加率を示す。各年増加率の4年毎の平均値も灰線で示した。

[参考文献]

- Boden, T. A., G. Marland, and R. J. Andres (2016), Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge Natl. Lab., U.S. Dep. of Energy, Oak Ridge, Tenn., doi:10.3334/CDIAC/00001_V2016.
- Francey, R. J., P. P. Tans, C. E. Allison, I. G. Enting, J. W. C. White, and M. Troler (1995), Changes in oceanic and terrestrial carbon uptake since 1982, *Nature*, 373(6512), 326–330.
- Ishidoya, S., S. Morimoto, S. Aoki, S. Taguchi, D. Goto, S. Murayama, and T. Nakazawa (2012), Oceanic and terrestrial biospheric CO₂ uptake estimated from atmospheric potential oxygen observed at Ny-Ålesund, Svalbard, and Syowa, Antarctica, *Tellus, Ser. B*, 64, 18924, doi:10.3402/tellusb.v64i0.18924.
- Keeling, R. F., and S. R. Shertz (1992), Seasonal and interannual variations in atmospheric oxygen and implications for the global carbon cycle, *Nature*, 358, 723–727.
- Keeling, R. F., S. C. Piper, and M. Heimann (1996), Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration, *Nature*, 381, 218–221.

[研究発表]

- Goto, D., S. Morimoto, S. Aoki, P. K. Patra, and T. Nakazawa (2017a), Seasonal and short-term variations in atmospheric potential oxygen at Ny-Ålesund, Svalbard, *Tellus, Ser. B*, 69(1), 1311767, DOI:10.1080/16000889.2017.1311767.
- Goto, D., S. Morimoto, S. Ishidoya, S. Aoki, and T. Nakazawa (2017b), Terrestrial biospheric and oceanic CO₂ uptakes estimated from long-term measurements of atmospheric CO₂ mole fraction, δ¹³C, and δ(O₂/N₂) at Ny-Ålesund, Svalbard, *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 122, 1192–1202, doi:10.1002/2017JG003845.
- Ishidoya, S., H. Uchida, D. Sasano, N. Kosugi, S. Taguchi, M. Ishii, S. Morimoto, Y. Tohjima, S. Nishino, S. Murayama, S. Aoki, K. Ishijima, R. Fujita, D. Goto, and T. Nakazawa (2016), Ship-based observations of atmospheric potential oxygen and regional air–sea O₂ flux in the northern North Pacific and the Arctic Ocean, *Tellus B*, 68(1), 29972, DOI: 10.3402/tellusb.v68.29972.
- Morimoto, S., R. Fujita, S. Aoki, D. Goto, and T. Nakazawa (2017), Long-term variations of the mole fraction and carbon isotope ratio of atmospheric methane observed at Ny-Ålesund, Svalbard from 1996 to 2013, *Tellus, Ser. B*, 69(1), 1380497, DOI: 10.1080/16000889.2017.1380497.

X線小角散乱を用いた雪氷中のエアロゾルのナノ情報解析技術の構築

- ◎ 本間智之 長岡技術科学大学
機械創造工学専攻・准教授
東信彦 長岡技術科学大学・学長
高田守昌 長岡技術科学大学
機械創造工学専攻・助教

(国立極地研究所)

東久美子 教授

平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

極地における氷床流動は、氷の自重によるせん断変形に起因した塑性流動により起きると考えられている。このような塑性流動は、氷のすべり変形が関係しており、氷 Ih の結晶構造においては、高温では底面や非底面で活動する転位の移動によりすべり変形が活発に起き、これにより氷床流動が加速する。これまで報告されている気候変動を予測する氷床モデルでは、応力指数 n が 3 を示す Glen の法則が主として用いられてきた^{1,2)}。しかし、近年報告された NEEM アイスコア等には³⁾、cloudy bund と呼ばれる不純物が多く、微細粒が得られる領域が観察され、この領域では変形が著しく速く起きることが明らかになっている ($n=1\sim 2$)。

これまで光学顕微鏡 (OM) の分解能以上である 500nm 以上の粒径を持つ不純物 (微粒子) の解析例は多く報告されているのに対し、粒径 500nm 以下の微粒子が氷のクリープ変形中にどのような影響を与えるかは明らかでない。そこで、本研究では、直径

10~20nm のシリカ (SiO_2 : 0, 0.01, 0.1wt%) を用いて、これを純水と混合し、圧密氷を作成することで cloudy band を模擬した人工氷を作成した。この氷試料に対し、負荷応力 0.5MPa、温度 -5°C で圧縮クリープ試験を行い、クリープ変形に伴う微粒子の分布状況を小角散乱を用いて解析した。

X 線小角散乱 (SAXS) は、本学現有の Rigaku nano-viewer を使用し、CuK α 線を用いた。得られた X 線強度から空気散乱等のノイズを除去し、Guinier プロットにより、 SiO_2 凝集体のサイズを測定した。

図 1 に初期試料の粒径を示した OM 像を示す。また、図 2 にクリープ試験により得られたひずみ速度-ひずみ線図を示す。

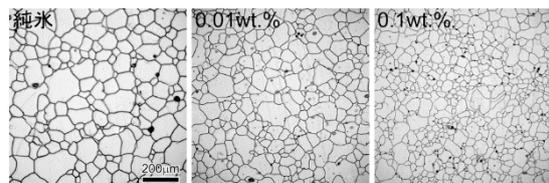


図 1 人工氷の初期組織の OM 像

SiO_2 の添加量の増加とともに、氷の結晶粒径が減少している。また、 SiO_2 添加量によらずひずみの増加とともにひずみ速度は低下する。これは粒界拡散が生じていることを示唆している。 SiO_2 添加量が増加する

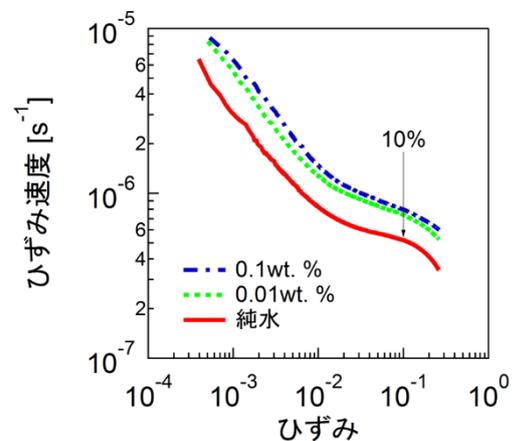


図 2 -5°C 、0.5MPa のひずみ速度-ひずみ線図

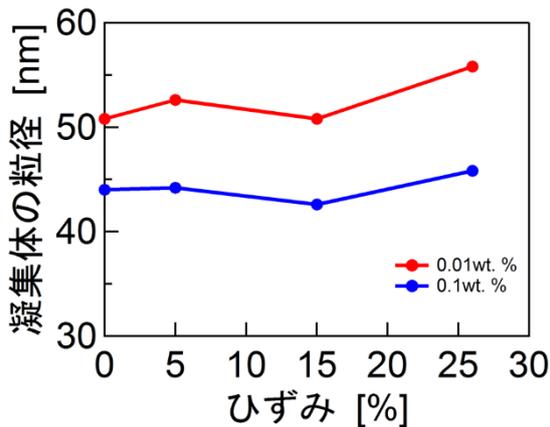


図3 SAXSにより測定したSiO₂凝集体の直径のひずみ依存性

と、やはり氷は軟らかくなる。

図3にSAXSを用いて人工氷中のSiO₂凝

集体の直径を測定した結果を示す。凝集体の大きさは0.01wt% SiO₂で大きな値を示した。これは、SAXSの分解能が100nm以下の大きさしか測れないことに起因し、0.1wt% SiO₂では100nm以上の大きさの凝集体が主として存在することを示唆している。一方、両試料ともひずみ15%で一度凝集体の大きさが小さくなることを示唆しており、粒界すべりが生じることで粒界に存在するSiO₂が分断されたことが予想される。その後、粒界拡散の促進に伴い、再び凝集体の大きさが大きくなり、粒界拡散がクリープ変形に寄与することを明らかにした。

[参考文献]

- 1) R. Gleave, H. Blatter, Dynamics of ice sheets and glaciers, Springer, New York, 2009.
- 2) J.W. Glen, Proc. Royal Soc. London A, 228 (1955) 519-538.
- 3) NEEM community members, Nature, 493 (2013) 489-494.
- 4) S.H. Faria, I. Weikusat, N. Azuma, J. Struct. Geol., 61 (2014) 2-20.

[研究発表]

- 1) T. Homma, N. Shinbo, K. Nakajima, T. Saito, M. Takata, N. Azuma, W. Shigeyama, K. Goto-Azuma, Application of small angle X-ray scattering to fine particles dispersed in crept artificial ice samples, 第8回極域科学シンポジウム, 2017年12月5日, 国立極地研究所, 立川.
- 2) W. Shigeyama, N. Nagatsuka, T. Homma, M. Takata, K. Goto-Azuma, I. Waikusat, M.R. Mrury, E.J.N. Kuiper, G.M. Pennock, R.V. Mateiu, N. Azuma, D.D. Jensen, Microstructural analysis of the NEEM ice core, Greenland by using electron backscatter diffraction (EBSD), 第8回極域科学シンポジウム, 2017年12月5日, 国立極地研究所, 立川.
- 3) T. Homma, K. Nakajima, T. Saruya, M. Takada, N. Azuma, K. Goto-Azuma, Effect of Impurities on deformation behaviour of fine grained artificial ice modeled on the EGRIP ice core, NEGIS Workshop, 2017, 10月17日, The Royal Danish Academy of Sciences and Letters, コペンハーゲン.
- 4) 中島甲葵、猿谷友孝、高田守昌、本間智之、東信彦、東久美子, 人工多結晶氷のクリープ変形に伴う微細組織の変化, 雪氷研究大会(2017・十日町), 2017年9月25日, クロステン十日町, 十日町.

(別紙) 参加者一覧

研究協力者

猿谷友孝 長岡技術科学大学産学官連携研究員 (平成 28 年～)

新保尚敬 長岡技術科学大学機械創造工学専攻・修士 2 年 (平成 28 年度修了)

齋藤匠真 長岡技術科学大学機械創造工学課程・学部 4 年 (平成 29 年度卒業予定)

雲粒子顕微鏡システムによる極域の雲の微物理特性

◎小林 拓 山梨大学大学院総合研究部・准教授
(国立極地研究所)
塩原匡貴 准教授
當房 豊 助教
平成27年～平成29年(3か年)

[研究成果]

雲の微物理特性は、放射影響を評価する上で、また、雲レーダーやライダー、衛星データ解析において重要である。雲の微物理特性を直接的に測定するため、雲粒子顕微鏡 (Cloud Particle Microscope, CPM) ゾンデを開発し、ニーオルスンにおいて係留気球により雲内観測を実施した。

雲粒子顕微鏡ゾンデの概要

雲粒子を浮遊した状態でそのまま撮影できるように光学系を設計し、雲粒子の像は、倍率 10 倍の対物レンズを取り付けた顕微鏡 (ニコン, CM-10L) を通して CCD カメラ (Sentech STC-MC202USB) にて撮影する。光源として、キセノンフラッシュランプ (浜松フォトニクス, L12336) を用い、顕微鏡に設けられた専用の入射口に設置することで同軸落射により照射した。顕微鏡は対物レンズが下になるように設置し、ガラス窓を通して撮影した。ゾンデの下部は開放空間になっており、特にポンプなどを使用せず、空間に浮かんだ状態の雲粒子をそのまま観察した。フラッシュランプの点灯時間 (半値幅) は 0.3 μ s, 点灯周期は 64 Hz, CCD カメラの露出時間は、1/16 s とし、多重露光とすることでサンプリングボリュームを向上させた。CCD カメラの画素数は 1628 x 1236 ピクセルである。バックグラウンドノ

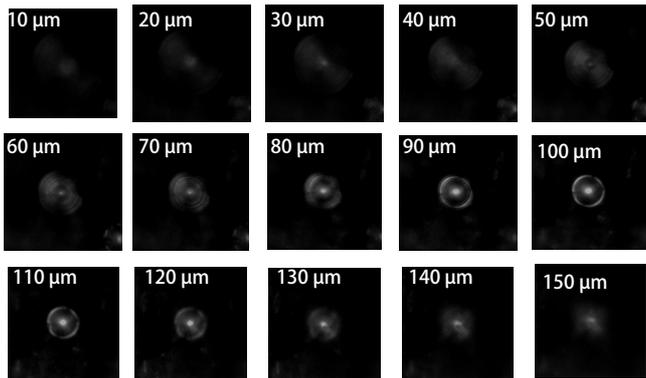


図1 標準粒子による被写界深度決定

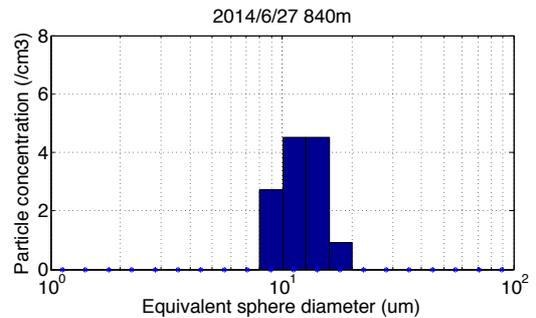
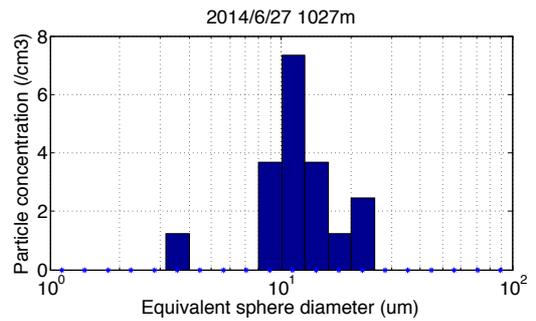
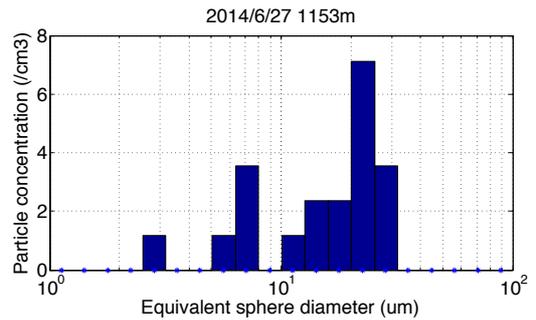
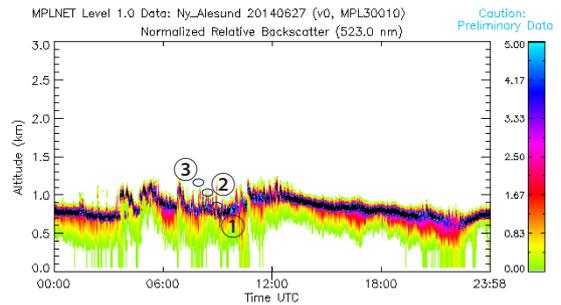


図2 ライダーで測定された後方散乱係数の鉛直分布及び雲粒子顕微鏡により測定された雲粒子の粒径分布

イズを低減させるため、連続した 2 枚の画像の絶対差を算出した結果をゾンデ内の小型 PC に保存し、地上で回収した後、画像処理を行った。図 1 のように、標準粒子 ($d = 20 \mu\text{m}$) を対物レンズからの距離を変えながら撮影し、ピントが合う範囲を決定し、サンプリングボリュームを決定した。今回の設定では $0.588 \text{ mm}^3/\text{s}$ となった。

観測結果

観測は、平成 26 年 6~7 月にニーオルスンの AWI/PEV の施設を使用し、係留気球により高度 1000m 前後の雲内部に CPM を保持し、観測を実施した。一回の観測時間は内部バッテリーの制約から 2 時間とした。条件がよいときには、雲下層と雲上層といった複数の高度で測定を実施した。観測結果の一例を図 2 に示す。雲底部である 840m では雲粒子の粒径は $10\sim 20 \mu\text{m}$ であったが、雲内の 1027m では粒径分布は広がり、また数濃度も増加し、雲頂部である 1153m では二山分布を示し、それぞれのモード径は $7 \mu\text{m}$ および $20 \mu\text{m}$ であった。CPM により雲内部の高度により粒径分布が異なっている様子を捉えることができた。

CPM の測定精度を評価するためにフォグモニター (Droplet Measurement Technologies, FM-120) との平行観測をニーオルスン、ツェッペリン山の山

頂において実施した。結果を図 3 に示す。フォグモニターでは滑らかに数濃度が推移している一方で、時間あたりのサンプリング体積が小さいため、CPM は不連続になっていた。しかし、数濃度のオーダーは双方一致しており、また濃度変動もよく一致していた。今後、取得画像数を向上させ、時間あたりのサンプリング体積を大きくすることでより分解能が高い値を得ることができると期待される。

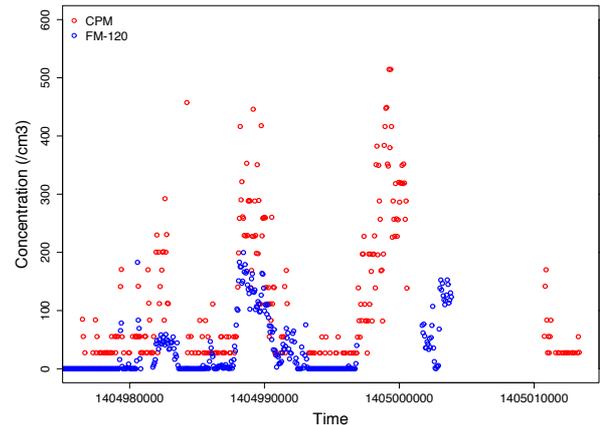


図 3 雲粒子顕微鏡とフォグモニターで測定された雲粒子の数濃度の比較

[参考文献]

- 1) Uchiyama A., A. Yamazaki, M. Shiobara, H. Kobayashi, Microphysical properties of boundary layer mixed-phase cloud observed at Ny-Ålesund, Svalbard: Observed cloud microphysics and calculated optical properties, Polar Science, 8, 57-72, 2014.

極域ガバナンスの研究 -科学と法政策のインターフェイス

◎柴田 明穂 神戸大学大学院国際協力研究科・教授

(国立極地研究所)

榎本 浩之 教授

本吉 洋一 教授

平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究は、我が国の極域科学観測活動の実績と今後の経験を、如何にして国際的ガバナンスの議論にフィードインしていくか、すなわち科学の「力」をどのようにして法政策的な「力」に転換していくかと研究するものである。

上記目的を達成するため、北極と南極について、下記のとおり研究を行い、成果を得た。

まず北極については、北極評議会の下に設置されたタスクフォースで交渉がなされていた、北極域における科学観測活動を促進するための新たな条約「北極に関する国際科学協力を促進するための協定(北極科学協力協定)」をめぐる科学(科学者)と法政策(法律家)の役割のあり方につき研究を行った。2015年から2016年にかけて国際学会や研究会等で交渉中の協定案につき研究報告を行い、同協定案の国際法的課題を論じる論文を査読付き国際年鑑 *Yearbook of Polar Law* 第8巻に発表した(下記研究発表⑤)。また同協定が、北極科学を促進するという観点から、北極に係わるすべての科学活動を対象にし、かつ、科学活動が行われる場所につき陸域・海域・空域を統合的に扱っているところに着目し、本協定は、国際法的にも北極域を独立した法域(legal sphere)として捉えていると論ずる論文を、神戸大学の紀要に公表した(同③)。なお、北極科学協力協定の和訳文は、『ベーシック条約集 2018年版』(東信堂・薬師寺・坂元・浅田編集)に掲載されている。

北極科学協力協定が H29 年 5 月に公表された後、同協定の条文に照らした詳細な分析を行い、特に我が国の北極科学活動への示唆につき論じた論文を、和文(掲載決定、H30 年 6 月末ごろ刊行、下記研究発表⑩)及び英文(掲載決定、H31 年 3 月頃刊行予定)で公表する。また、より一般向けに、「注目され始めた北極科学協力協定～日本のロシア海域科

学調査への示唆」(同⑩)も発表している。

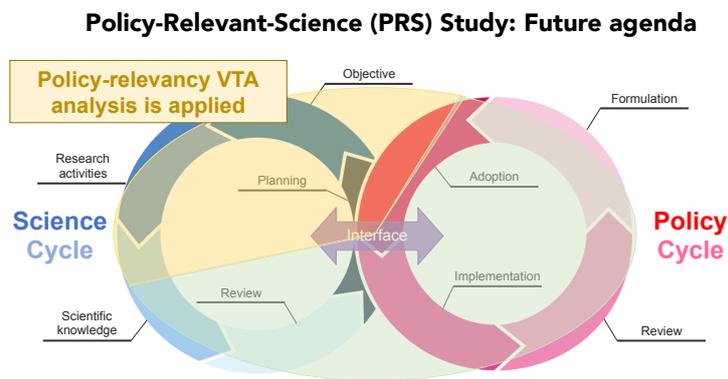
南極ガバナンスについては、まず、白瀬中尉から始まる我が国の南極への関わりと南極条約体制 100 年の展開を包括的に論じる論文を、査読付き国際年鑑 *Yearbook of Polar Law* に掲載した(下記研究発表①)。この論文で示した南極における科学活動とそれを基盤とする南極条約体制発展への発言力との相関関係を理論枠組として、本研究では、第 58 次南極地域観測隊(JARE-58)に同行者として参加した経験から得られた知見やアイデアを、国際学会や政府報告会等で積極的に披露した(同②④⑥)。現在、JARE-58 の経験から得られた知見を南極条約体制の中で分析し直し、今後の日本の南極観測活動の課題や南極条約体制のあり方を論じる著書を執筆中である。その一部は、「国際法学者、初めて南極に立つ!」『極地』105号(2017年)72-80頁で披露されている(同⑨)。

平成 29 年度からは、科学活動と国際法政策の関係をより一般的、学術的に分析することを可能とする方法論の開発を開始した。すなわち、極域科学を含む地球科学が、科学的意義を持つことはもちろんであるが、それに加えて、付加価値として、社会的・政策的意義付けを行うための方法論の開発である。これを「政策的に意義ある科学(Policy-Relevant-Science=PRS)研究」と名付けて、研究を進めている。

その契機となったのが、北極観測データの社会的価値を分析する SAON と米国科学技術政策研究所 (STPI) の共同報告書 International Arctic Observation Assessment Framework (2017) である。本研究では、この報告書で採用されている Value Tree Analysis (VTA) を応用して、これを北極海洋科学活動の政策的価値づけを分析する方法論として練り直していく作業を進めている。このような研究は、世界的にも例がなく全く新しい試みであるため、世界の社会

科学研究者及び自然科学研究者が集まる学会や研究会で、中間報告を行い（下記研究発表⑦⑧）、本研究の方向性や分析手法につき専門家からのフィードバックを得ている段階である。論文等による PRS 研究の具体的成果は、まだ出ていないが、下図のとおり、将来的には、科学サイクルと政策サイクルが、相互に有益な形で展開する具体的手法やプロセスを提案できることを目指している。

図 政策的に意義ある科学(PRS)研究



[研究発表]

- ① Akiho Shibata, “Japan and 100 Years of Antarctic Legal Order: Any Lessons for the Arctic?” *Yearbook of Polar Law*, Vol.7 (2015), pp. 1-51.
- ② 学会報告：Akiho Shibata, “Antarctic Horizon, JARE and International Law”, SCAR Humanities and Social Sciences Expert Group Biennial Academic Conference (Colorado, USA, 20-23 May 2015).
- ③ 柴田明徳「北極：国際科学協力推進のための独自の法域」国際協力論集 24 巻 1 号(2016 年)、45-56 頁。
- ④ 学会報告 Akiho Shibata, “An International Lawyer in JARE: The Role of Social Sciences in Antarctic Field Research”, SCAR Open Science Conference (Kuala Lumpur, August 2016).
- ⑤ Akiho Shibata & Maiko Raita, “An Agreement on Enhancing International Scientific Cooperation in the Arctic: Only for the Eight Arctic States and Their Scientists?” *Yearbook of Polar Law*, Vol.8 (2017), pp.129-162.
- ⑥ 学会報告：Akiho Shibata, “After ‘The Lawyer in the Antarctic’”, SCAR Humanities and Social Sciences Expert Group (HASSEG) Biennial Academic Conference (Hobart, Tasmania, 4-6 July 2017).
- ⑦ 学会報告：Akiho Shibata, 2 The significance of the Policy-Relevant-Science (PRS) Study within the Context of the Arctic, The 10th Polar Law Symposium (Rovaniemi, Finland, 13 November 2017).
- ⑧ シンポジウム報告：Akiho Shibata, “How to make Arctic marine observation ‘relevant’ to the international arctic policy?” 3rd International Symposium on the Role of Non-Arctic States/Actors in the Arctic Legal Order-making (Kobe, Japan, 7-9 December 2017).
- ⑨ 柴田明徳「国際法学者、初めて南極に立つ！」『極地』105 号(2017 年)、72-80 頁。
- ⑩ 柴田明徳「注目されはじめた北極科学協力協定～日本のロシア海域科学調査への示唆～」Ocean Newsletter 425 号 <https://www.spf.org/opri-j/projects/information/newsletter/latest/latest03.html>
- ⑪ 柴田明徳「北極国際科学協力促進協力の意義」稲垣治、柴田明徳編著『北極国際法秩序の展望：科学・環境・海洋』（東信堂、2018 年 6 月刊行予定、255 頁）。

氷床コア深層掘削機の次世代コンピューターの開発

◎高田守昌 長岡技術科学大学・助教

(国立極地研究所)

本山秀明 教授

平成 29 年度 (1 か年)

[研究成果]

1. はじめに

ドームふじ基地近傍で、第三期の氷床コア深層掘削が計画されており、掘削機が必要である。氷床コアの掘削システムは、ウインチ、マスト、掘削機、地上のコントローラ等から構成される。氷床コア試料は、掘削機を掘削孔にウインチで吊下げ、孔の底面で刃物を回転させ氷床を鉛直方向に掘り進んだ後に、掘削機を引き上げるより採取される。掘削機は、氷を掘り進むための機械部だけでなく、掘削状態を把握するために計測を行いその結果を地上に送信するための電装部を有している。機械部は、第一期の掘削機を基本に、第二期で一度の掘削で採取可能なコア長が 4 m のコアバレルとチップ回収室に改良された。一方、電装部は 1990 年代の第一期に作られた古いものであり、同じ電装部を用いた第二期の掘削孔の検層結果から、温度測定値のデータ処理に問題が存在していることが分かった。このため、新たな電装部となる次世代コンピューターが必要となる。市販のコンピューターを掘削機に内蔵させることが可能であれば、研究者ベースでの開発が可能であり、次のステップとして、氷床流動を理解するために重要な得られた試料の方位を知る機能を付加するための礎となる。深層掘削の年次計画を考えると、早急に取り組むべき課題であり、本年度に集中した開発研究を実施した。まず、電装部の基本設計を行い、次に本設計で懸念事項であった長いウインチケーブルを介してのデータ通信のテストを実施した。そして、電装部全体のプロトタイプを試作し、次世代コンピューターとして使用可能なのかを評価した。

2. 掘削機電装部の設計

電装部の設計で重要となるのは、ウインチケーブルの仕様である。ウインチケーブルは掘削機を吊るすためのワイヤーだけでなく、掘削用のモーターや電装部への電源供給と、掘削状態や制御命令をデータとして伝達するための導線から構成されている。第一期、第二期の掘削で使用したウインチケーブルは、7 本の導線を有するタイプであった。現在南極にこの予備品が存在し、これまでの掘削で大きな不

具合がなかったことから、第三期の掘削においても、同じウインチケーブルを使用すると想定した。7 本の導線は、これまで同様に 5 本を電力線として用い、残りの 2 本は通信線として用いる仕様とした。また、電装部のコンピュータ類と掘削モーターの供給電源の電圧が大きく異なることから、リレー回路と 2 次電池を用いる方式を採用することとした。データ通信方式として、(1)シリアル通信の一つである RS485、(1)LAN と Ethernet Extender を用いることが可能かどうか検討した。

3. ウインチケーブルを介したデータ通信テストおよび検討

掘削機と地上のコントローラ間のデータ通信は、長いウインチケーブルの導線を介して行うこととなる。しかし、ウインチケーブルを介した RS485 規格よる通信実績が無かったことから、極地研の倉庫に保管されている中層掘削機のウインチドラムに巻かれた 700m ケーブルを利用し通信テストを実施した。ターミナルソフトを用いて、文字列を送受信し、文字列が同じであったことから、ウインチケーブルを用いた通信の実績を得た。そして、送受信が可能で上限速度を調べるため、段階的に通信速度を上げて、文字列の送受信テストを行った。この結果、上限速度は、230400bps であった。この速度は、700m のケーブル長に対する RS485 規格の上限速度と概ね一致した。このため、ウインチドラムに巻いてあることや接点端子の影響がないことが分かった。また、オシロスコープを用いた送受信の波形のモニタから、通信速度の増加とともにシリアル通信の矩形波形が崩れていった。そこで、これらの通信を電子回路としてモデル化し、受信波形のシュミレーションを実施した。計算の結果、上述のオシロスコープで得られた受信波形を良く再現した波形を得ることが出来た。RS485 規格の上限ケーブル長は 1200m で打ち切られていることから、3000m 長のウインチケーブルの通信の可能性について検討しシュミレーション計算で得られた波形から、少なくとも 19200bps で通信可能と見込まれた。この結果

は、RS485 通信の 1200m までの通信速度と距離の関係を外挿して得た値と同等であった。これらの結果は、新たな 3500m ケーブルの購入の判断材料として利用された。3500m のケーブルの納品後、同様の通信テストを実施した。この結果、19200bps の速度まで通信可能であることを確認した。受信波形を図 1 に示す。受信波形は、9600bps まで矩形波があまり崩れておらず、安定した通信が見込まれることが分かった。

別途の通信方法として、2600m まで動作保証されている LAN と Ethernet Extender の組み合わせにつ

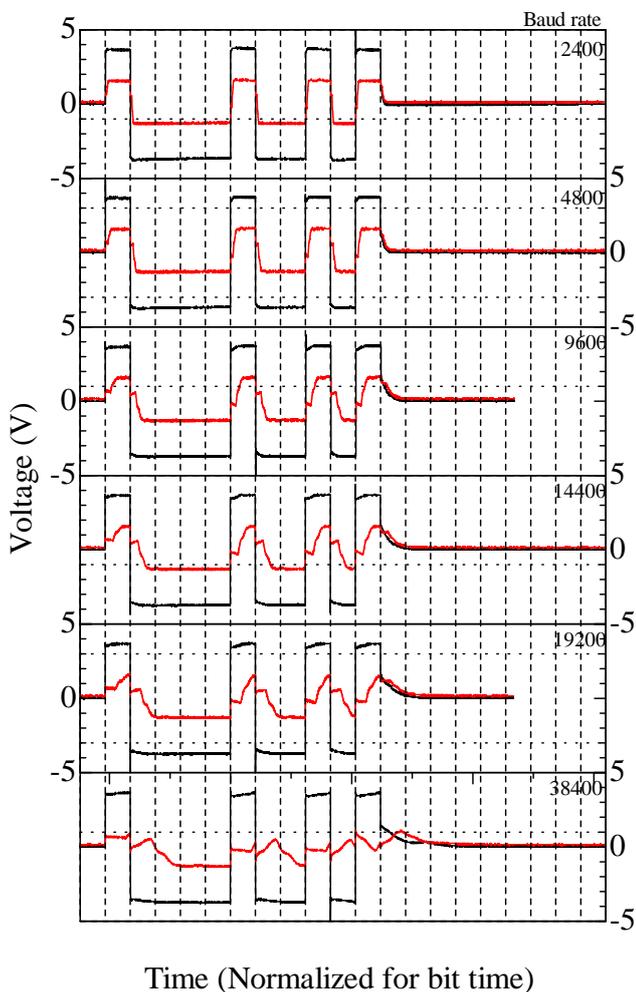


図 1 3500m ケーブルを介した RS485 通信文字 H を送信 (黒) し、受信 (赤) した波形

[研究発表]

高田守昌、本山秀明; 氷床コア深層掘削機の電装部の開発 — データ通信 —. 2017 年度 日本雪氷学会北信越支部大会

高田守昌、本山秀明; 氷床コア深層掘削機の電装部の開発 — 基本設計とウインチケーブル通信の検討. 雪氷研究大会 (2017・十日町)

いても検討した。Ping コマンドを用いて通信を確認したが、700m ケーブルでは通信が可能であったが、3500m ケーブルでは通信が確立されなかった。

4. 電装部の検討と試作

耐压室内に入るサイズを考慮しながらの物品の選定と試作を行った。コンピュータとしてスティック PC、データ入出力として USB 接続型の DAQ デバイスを使用し、電源変更のリレーコントローラは自作した。これらを図 2 に示す。



図 2 次世代コンピュータのため選定および試作したデバイス類

5. 試作機のテスト

試作した電装部および 3500m を用いて動作の安定性を確認した。5 時間連続的に動作させ、実際の掘削を想定し掘削用のモーターを回転・停止させたが、特に問題なく動作することを確認した。

6. まとめ

氷床コア深層掘削機の次世代コンピュータの開発として、まず電装部の基本設計を行い、懸念事項となったウインチケーブルを介したデータ通信を検討し、試作機を作成しテストを行った。現状で大きな問題点は見当たらないことから、実用化に向けた開発段階へステップアップする。

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（3）地 圏

LGM以降のグリーンランド氷床融解史に関する地形・地質学的研究

◎前杵英明 法政大学文学部・教授
 高田将志 奈良女子大学大学院人文科学系・教授
 (国立極地研究所)
 三浦英樹 准教授
 奥野淳一 助教
 平成 27 年～平成 29 年 (3 年間)

[研究成果]

グリーンランド氷床は、世界の全氷河体積の 9.8% を占めることから、その変動が生じた場合、海面変化や海洋熱塩循環の変化に重大な影響を与えることが予想される。将来のグリーンランド氷床の融解条件とその影響を評価するうえで、最終氷期最盛期以降のグリーンランド氷床の復元はひとつの重要な基礎的情報を与える (例えば、Ridley et al., 2005)。最終氷期最盛期におけるグリーンランド氷床の氷床縁位置の復元は、南部では陸上と海底の大陸棚上の地形地質調査によってほぼ明らかにされているが、北部は大陸棚地形から推定されているのみで、まだ確定されていない部分が多い (例えば、Funder et al., 2011)。また、最終氷期最盛期における高度を含めたグリーンランド氷床全体の復元図については、① 氷河学的方法 (例えば、Denton & Hughes, 1981 の CLIMAP モデル) と、② 完新世の旧汀線高度分布図と地球の粘弾性モデルを組み合わせた GIA (Glacial Isostatic Adjustment) モデルによる方法 (例えば、Tushingham & Peltier, 1991 の ICE-3G モデルや Okuno & Nakada, 1999 の ARC4 モデル) の 2 つの立場からの研究が行われてきた。しかし、両者の復元結果には大きな相違があり (例えば、Clark et al., 1991)、未だに最終氷期最盛期のグリーンランド氷床の実像は十分に明らかにされていない。特に、後者の GIA モデルに基づく最終氷期最盛期の氷床高度復元図 (例えば、Fleming & Lambeck, 2004) に着目すると、いずれの復元図でも東部と西部と北部の 3 地域に特異的に融解量の大きな地域 (最終氷期最盛期以降で約 1000m 以上の融解) が存在する。本研究では、現地調査を行った東部の野外調査結果や年代測定試料を用いて、この特異な融解量を持つ地域の地形地質について再検討した。

東グリーンランド中央部のスコアズビーサンド (Scoresby Sund) は、グリーンランド最大のフィヨルドである。このフィヨルド周辺の海岸には隆起海浜堆積物が断片的に分布する。これまで、これらの堆積物に含まれる貝化石の放射性炭素年代と産出高度および地形的に認定された完新世最高位旧

汀線高度に基づいて、完新世の海面変化曲線が描かれてきた。その中で最も高い旧汀線高度は 100m を越えることが報告されている (Funder, 1978)。このように得られた完新世の海面変化のデータと地球の粘弾性モデルを組み合わせた GIA に基づいて、最終氷期最盛期のグリーンランド氷床の復元も行われており (例えば、Tushingham and Peltier, 1991; Fleming & Lambeck, 2004)、いずれのモデルも、スコアズビーサンド周辺では、最終氷期最盛期以降の氷床融解量の層厚は、グリーンランドの他地域に比べて相対的に厚く、少なくとも 1500m 程度に達していたと推定されている。

また、Funder (1978) は、スコアズビーサンド地域の陸上高地であるジェムソンランド半島 (Jameson Land Peninsula) 西岸の隆起海浜堆積物中に、最終氷期最盛期よりも古い 3~4 万年前の貝化石が含まれることを報告し、この古い年代の貝化石の存在などを証拠として、ジェムソンランド半島の一部は最終氷期最盛期には氷床に覆われなかったと考えた (Funder and Hjort, 1973; Funder et al., 2001)。一方、Håkansson et al. (2008) は、 ^{10}Be と ^{26}Al を用いた表面照射年代に基づいて、最終氷期最盛期には、寒冷氷河がジェムソンランド半島を覆い、その末端は大陸棚縁まで到達していたと推定した。このように、最終氷期最盛期における、この地域周辺の陸上高地の氷床の存在状況や氷床底面環境については、① 氷床に覆われていなかったという見解 (Funder et al., 2011) と② 侵食力のない寒冷氷河に覆われていたという見解 (Håkansson et al., 2008) の 2 つに議論が分かれている。

本研究では、まず、スコアズビーサンド周辺において実施した予察的な野外地形地質調査 (貝化石が含まれる堆積物の特徴や貝化石の産状の観察、海岸地形・堆積物と融氷河地形・堆積物との層位関係など) の結果、および採取した貝化石の放射性炭素年代から以下のように推定した: ① 従来、この付近で 100m の高度を超える完新世最高位旧汀線と考えられていた地形が、最終氷期最盛期以降のグリーンランド氷床の後退過程で形成された融氷河性の地形・堆積物であること、② 海成層の分布状況と地形の関係から、この付近の完新世最高位旧汀線高度

は、概ね 50~60m であること、③ 完新世の貝化石を含む海成層直下に位置する氷河堆積物・融氷河性堆積物に 3~4 万年前の貝化石の破片が含まれることから、最終氷期最盛期の氷床は侵食力のある温暖氷河であったこと、④ 上記の観察結果や事実および GIA から考えて、スコアズビーサンド周辺における、最終氷期最盛期以降の氷床融解量の層厚は、従

来、Tushingham and Peltier (1991) や Fleming and Lambeck (2004) が考えていた値より少なく見積もられること。これらの推定は、これまでの Funder et al. (2001) や Håkansson et al. (2008) の見解とも異なる第 3 の考え方である。

以上の成果は、日本地理学会、日本第四紀学会、極域科学シンポジウムにおいて発表した。

[参考文献]

- 1) Clark, P. U., Alley, R. B. and Pollard, D. (1999) ; Northern hemisphere ice-sheet influences on global climate change. *Science*, 286, 1104-1111.
- 2) Denton, G. H. and Hughes, T. J. eds. (1981) ; *The Last Great Ice Sheets*, New York: John Wiley & Sons.
- 3) Fleming, K. and Lambeck, K. (2004) ; Constraints on the Greenland Ice Sheet since the Last Glacial Maximum from sea-level observations and glacial-rebound models. *Quat. Sci. Rev.*, 23, 1053-1077.
- 4) Funder, S. (1978) ; Holocene stratigraphy and vegetation history in the Scoresby Sund area, East Greenland. *Grønlands Geologiske Undersøgelse Bulletin*, No. 129.
- 5) Funder, S. and Hjort, C. (1973) ; Aspects of the Weichselian chronology in central East Greenland. *Boreas*, 2, 69-84.
- 6) Funder, S., Kjeldsen, K. K., Kjaer, K. H. and Cofaigh, C. O. (2011) ; The Greenland Ice Sheet during the past 300,000 years: A review. In *Quaternary Glaciations—extent and chronology A Closer Look*. eds. Ehlers, J. et al., 699-713. Elsevier.
- 7) Okuno, J. and Nakada, M. (1999) ; Total volume and temporal variation of meltwater from last glacial maximum inferred from sea-level observations at Barbados and Tahiti. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 46, 283-293.
- 8) Ridley, J. K., Huybrecht, P., Gregory, J. M. and Lowe, J. A. (2005) ; Elimination of the Greenland Ice Sheet in a High CO₂ Climate. *Journal of Climate*, 18, 3409-3427.
- 9) Tushingham, A. M. and Peltier, W. R. (1999) ; ICE-3G: a new global model of late Pleistocene deglaciation based upon geophysical predictions of post-glacial relative sea level change. *J. Geophys. Res.* 96, 4497-4523.

[研究発表]

- 1) Shimada, A., Takada, M. and Toyoda, S. (2017) ; Electron Spin Resonance Signals of Quartz in Present-day River Bed Sediments and Possible Source Rocks in the Kizu River Basin, Western Japan, *Geochronometria*, 43, 155-161. DOI 10.1515/geochr-2015-0039
- 2) Yoshida, M., Toyoda, S., Ninagawa, K., Takada, M. and Shimada, A. (2016) ; TL and ESR signals in quartz of Kurobe River Sediments. *Advances in ESR Applications*, 32, 4-10.
- 3) 高田将志 (2016) ; 空間の科学と時間の科学. 科学, 86, 995-997.
- 4) 前杵英明 (2017) ; 海岸地形や堆積物から過去の地殻変動を俯瞰する. 科学, 87, 988-989.
- 5) 三浦英樹 (2015) ; 北極の氷床—過去と現在—. 北極読本, 24-29, 成山堂書店.
- 6) 三浦英樹 (2017) ; 氷河変動と地形—世界と日本の氷期と間氷期の地形—. 自然地理学事典, 290-291, 朝倉書店.
- 7) 三浦英樹 (2017) ; グリーンランド氷床と南極氷床の最近の変化と海面水位への影響. 理科年表シリーズ環境年表 (平成 29・30 年度), 55-56, 丸善出版.
- 8) 三浦英樹 (2017) ; 第四紀の氷床変動と将来の地球環境変動の予測. 理科年表シリーズ環境年表 (平成 29・30 年度), 57-59, 丸善出版.

インフラサウンドによる極域表層環境変動の研究

- ◎ 山本 真行 高知工科大学 システム工学群・教授
 石原 吉明 宇宙航空研究開発機構・研究員
 長尾 大道 東京大学 地震研究所・准教授
 村山 貴彦 日本気象協会 事業本部事業統括部・主任技師
 松島 健 九州大学 大学院理学研究院・准教授
 平松 良浩 金沢大学 金沢大学理工研究域自然システム学系・教授
 戸田 茂 愛知教育大学 教育学部・教授
 柿並 義宏 苫小牧高専・准教授
 中元 真美 国立極地研究所・技術職員

(国立極地研究所)

金尾政紀 准教授

平成 27 年 - 平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

インフラサウンド(可聴下音波)は、大気重力波と可聴音波の中間帯域の微気圧変動であり、大気中を長距離伝搬可能な特性を持つ。包括的核実験禁止条約(CTBT)に基づく核実験監視用に、全球を 60 地点の観測網で覆う計画が進行中で、地球物理諸現象によるインフラサウンド研究が進展している。本研究では国内観測点データとの比較をはじめ、将来のモニタリング観測への可能性も視野に入れ、昭和基地及び沿岸域におけるインフラサウンドデータ (Chaparral 製、Paro 製) と他関連データの比較により、極域表層における環境変動に関連する研究を行う。励起源となる地震・火山・海洋波浪・氷震・オーロラ関連現象など、極地に特徴的な波動を捉え大気伝播特性と時空間変化を解明する。また大気-海洋-固体圏の物理相互作用に注目した解析を行う。同帯域の長距離伝搬特性から、雑音源の少ない極地での観測はグローバル網における高緯度帯のデータとして重要である。

本研究による成果は、以下にまとめられる。平成 27 年度は、昭和基地のアレイデータ解析及び長期変動について成果発表を行った。また比較研究のため地震計による地球自由振動波動の緯度方向の差異についても検討し

た。平成 28 年度は、昭和基地と S16 方面のアレイデータの解析により、リュツォ・ホルム湾周辺域での雪氷圏振動の震源域を同定した。また、沿岸露岩域に設置した可聴音とインフラサウンドのスペクトル特性について研究した。さらに、西南極・ジャンボゴ基地でのインフラサウンド観測の初期成果について発表した。

平成 29 年度は、昭和基地データの 2008 年以降数年間のスペクトル特性の変動について発表した (Ishihara et al., 2017)。広域解析では昭和基地及び周辺氷床上の微気圧変動アレイ観測データからは、各周波数帯の波動の到来方向推定を行い、リュツォ・ホルム湾の波浪や海氷振動を起源とするイベント検知を行った (Murayama et al., 2017)。その結果、2015 年 4 月の海水流出時期と震源位置との明瞭な相関が得られた。またインフラサウンドおよび可聴音の比較観測から、氷河崩落に伴うと考えられるイベント検出を行った。さらにインフラサウンド観測システムの太陽電池による充電影響を評価した (Takeuchi et al., 2017)。波動伝播モデリングでは、南大洋の脈動による微気圧擾乱の励起様式と、大気-海洋-固体地球間カップリングの、有限要素法による精密モデリ

ングを計算した (Matsumura et al., 2015)。砕氷船「しらせ」船上の南大洋波浪の解析からは、船体動揺による高度変化の影響について評価した(Kakinami et al., 2017)。さらに、西南極テラノバ湾の韓国ジャンボゴ基地でのインフラサウンド観測の初期データ解析により、同地域の波浪脈動の変動について考察した (Kanao et al., 2017)。

今後も継続研究を行い、励起源となる地震・火山・海洋波浪・氷震・オーロラ関連現象など、極地に特徴的な波動に焦点を当て、大気伝播特性と時空間変化の解明に向けて貢献する。

[研究発表]

- Murayama, T., M. Kanao, M.-Y. Yamamoto, Y. Ishihara, T. Matsushima, Y. Kakinami, K. Okada, H. Miyamachi, M. Nakamoto, Y. Takeuchi and S. Toda, Time-space variations of infrasound sources related to environmental dynamics around the Lützow-Holm Bay, East Antarctica, *Polar Science*, 14, 39-48, doi:10.1016/j.polar.2017.10.001, 2017
- Kanao, M., Y. Park, T. Murayama, W. S. Lee, M.-Y. Yamamoto, H. J. Yoo, Y. Ishihara, J. S. Kim, T. Oi and J. H. Jung, Characteristic Atmosphere and Ocean Interactions in the Coastal and Marine Environment Inferred from Infrasound Data at Teranova Bay, West Antarctica, *Annals of Geophysics*, 6(5), A0554, doi:10.4401/ag-7364, 2017
- Ishihara, Y., M.-Y. Yamamoto, T. Murayama, T. Matsushima and M. Kanao, Long-term variations in infrasound signals observed at Syowa Station, Antarctica: 2008-2014, *InfraMatics*, 3, 1-10, doi: 10.4236/inframatics.2017.31001, 2017
- Murayama, T., M. Kanao, M.-Y. Yamamoto and Y. Ishihara, Infrasound signals and their source location inferred from array deployment in the Lützow-Holm Bay region, East Antarctica: 2015 January - June, *Inter. J. Geosci.*, 8, 181-188, doi: 10.4236/ijg.2017.82007, 2017
- Yoshihiro Kakinami, Takehiko Murayama, Masa-yuki Yamamoto, Masaki Kanao, Infrasound wave detected on icebreaker SHIRASE、第8回極域科学シンポジウム、プログラム・講演要旨 ID_Kakinami_00185_01、12月4日-12月8日、国立極地研究所、2017
- Takeuchi, Y., M. Kanao, K. Okada, The conditions of infrasound observation using solar panels in Antarctica、第8回極域科学シンポジウム、プログラム・講演要旨 OGp1、12月4日-12月8日、国立極地研究所、2017
- Murayama, T., M. Kanao, M.-Y. Yamamoto, Y. Ishihara, T. Matshushima and Y. Kakinami, Infrasound Array Observations in the Lützow-Holm Bay region, East Antarctica, *Polar Science*, Vol. 9, pp. 35-50, 10.1016/j.polar.2014.07.005, 2015
- Kanao, M., D. Zhao, D. A. Wiens, E. Stutzmann, Recent Advance in Polar Seismology: Global Impact of the International Polar Year - Overview, *Polar Science*, Vol. 9, pp. 1-4, 10.1016/j.polar.2014.12.003, 2015
- Ishihara, Y., M. Kanao, M.-Y. Yamamoto, S. Toda, T. Matshushima and T. Murayama, Infrasound Observations at Syowa Station, East Antarctica - An Implication for Detecting the Surface Environmental Variations in Polar Region -, *Geoscience Frontiers*, Volume 6, Issue 2, 285-296, doi:10.1016/j.gsf.2013.12.012, 2015
- Matsumura, M. and M. Kanao, Simultaneous modelling of microbaroms and microseisms using CIP-CUP scheme, AGU Fall 2015 Meeting, S51C-2696, 2015, Dec. 14-18, San Francisco, California, USA, 2015

南極産火星隕石の鉱物学的研究

◎三河内 岳 東京大学大学院理学系研究科・准教授

(国立極地研究所)

山口 亮 准教授

平成28年～平成29年(2か年)

(担当教員)

(研究期間)

[研究成果]

火星隕石は火星についての化学的・物理的情報を実験室で直接得ることのできる唯一の試料である。国立極地研究所では、現在、ALH-77005, Y-793605, Y980459 (+ペア), Y000027 (+ペア), Y000593 (+ペア), Y984028, Y0002712 (+ペア)の合計7種の火星隕石を所有しており、火星についての重要な知見が得られている。火星隕石の一つの大きな特徴は、火星から放出された際に非常に強い衝撃変成作用を受けていることである。この過程で斜長石はガラス化したマスケリナイトになっていることが普遍的であり、またカンラン石の黒色化も起こっていることが多い。このうち、特にカンラン石の黒色化は近赤外波長領域でカンラン石に特徴的な吸収を消去することが知られており、惑星探査の側面においても重要な現象と言える。

カンラン石の黒色化は強い衝撃変成作用によりカンラン石中に晶出した鉄ナノ粒子が原因であり、これまで主に Northwest Africa (NWA) 2737 という火星隕石(シャシナイトに分類)を用いて、主に黒色化過程や条件を制約する研究が行われてきた(Treiman et al., 2007; Van de Moortèle et al., 2007; Bläß et al., 2010)。しかし NWA 2737 は複数回の衝撃を受けた可能性が指摘されており(Bogard and Garrison, 2008)、単純な衝撃履歴を持つと考えられ、火星隕石最大のグループであるシャーゴッタイト中に見られるカンラン石の黒色化過程・条件は NWA 2737 のものとは異なる可能性がある。近年、隕石の衝撃ステージ分類においてカンラン石の黒色化が指標として注目されているが(Fritz et al., 2017)、その形成過程・条件が NWA 2737 に基づいていることは問題

であり、シャーゴッタイト火星隕石を用いて形成過程・条件をより正しく制約する必要がある。そこで、本研究では極地研所有のシャーゴッタイト火星隕石中のカンラン石について、電子顕微鏡(SEM, TEM)や放射光 Fe-XANES、ラマン分光分析により詳細に観察・分析を行い、黒色カンラン石の形成過程・形成条件の制約を行った。それらの結果から火星隕石の衝撃温度圧力履歴を明らかにし、シャーゴッタイト火星隕石が経験した衝撃イベントの描写、火星隕石の起源の制約を試みた。

SEM や TEM による観察の結果、ALH-77005 や Y000027 などのシャーゴッタイト中のカンラン石は、均一に着色している NWA 2737 とは異なり、非常に不均一に着色していた(図1)。黒色領域は細い溶解脈を伴っており、不均一な着色は不均一な温度上昇(>1480-1600°C)を反映していると考えられる。また黒色カンラン石を含むシャーゴッタイトは斜長石がガラス化したマスケリナイトになっていることから、>20-35 GPa の衝撃圧を経験しているにもかかわらず高圧鉱物を含まない。このことは、衝撃後も高温が保たれ、高圧鉱物を残さない(>900°C)温度履歴を辿ったと推測される。

高エネ研・放射光研究施設(BL-4A)での放射光 Fe-XANES 測定の結果、黒色領域は透明領域に比べ有意に高い Fe³⁺を含んでおり、TEM 観察でナノ粒子の周囲に Si や O に富む相が見つからないことから、鉄ナノ粒子は不均化反応により形成されることが示唆された。また、黒色化領域に見られる細溶解脈の形成から概算される衝撃圧の継続時間はおよそ

40 ms であった。黒色カンラン石が経験した温度圧力履歴 (>1480-1600 °C、20-35 GPa) から、黒色領域は高压相転移→逆相転移を経験している可能性があり、相転移速度の計算でもそのような高压相転移は可能であることが示された。その場合、高压相は黒色カンラン石に見られる特徴（ラマン分光分析で見られる特異なラマンシフト、Fe³⁺の存在、ラメラ状組織の形成）を上手く説明できる。

検証のために、黒色カンラン石を含まないシャーゴッタイトにおいて、衝撃溶融脈の周囲のカンラン石で高压相転移→逆相転移を経験した可能性がある領域を観察すると、その領域は着色しており、鉄ナノ粒子も含んでいた。これらの結果から、カンラン石の黒色化には高压相転移及び直後の逆相転移が達成される温度圧力履歴が必要であることが示された。

このように、黒色カンラン石を含む火星隕石は高い衝撃圧を経験したにも関わらず高压鉱物を含んでいなかった。これは従来衝撃ステージ分類の指標とされてきた高压鉱物が、その単純な有無だけでは指標として十分ではなく、その形成と消失の速度論的効果を考慮する必要があることを示している。一

方で、これまで衝撃ステージ分類の指標として用いられてきた高压鉱物を含むLコンドライトは、衝撃圧継続時間の長い、特異な一つの巨大衝突イベントを記録していたと考えられる。



図1 Y984028 シャーゴッタイトの光学顕微鏡写真（オープンニコル）。横幅約3ミリメートル。カンラン石が様々な度合いに着色（主としてこの薄片では茶色）していることがわかる。

[参考文献]

- 1) Bläß U. W. et al. (2010) *Earth and Planetary Science Letters*, 300, 255-263.
- 2) Bogard D. D. and Gallison D. H. (2008) *Earth and Planetary Science Letters*, 273, 386-392.
- 3) Fritz J. et al. (2017) *Meteoritics & Planetary Science*, 52, 1216-1232.
- 4) Treiman A. H. et al. (2007) *Journal of Geophysical Research*, 112, E04002.
- 5) Van de Moortèle B. et al. (2007) *Earth and Planetary Science Letters*, 262, 37-49.
- 6) Walton E. L. et al. (2014) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 140, 334-348.

[研究発表]

Takenouchi A., Mikouchi T. and Kogure T. (2017) Mineralogical study of brown olivine in Northwest Africa 1950 shergottite and implications for the formation mechanism of iron nanoparticles, *Meteoritics & Planetary Science*, Vol. 52, Issue 12, 2491-2504.

(別紙)参加者一覧

研究協力者(共同研究者以外)

大野 遼 東京大学大学院理学系研究科・大学院生(平成28年度修士課程修了)

竹之内 敦志 東京大学大学院理学系研究科・大学院生(平成29年度博士課程修了)

南極内陸部のポリゴンに関する地形・地質学的研究

◎小山拓志 大分大学教育学部・准教授
 金田平太郎 千葉大学大学院理学研究院・准教授
 (国立極地研究所)
 菅沼悠介・准教授
 土井浩一郎・准教授
 平成 28 年～平成 29 年 (2 か年)

[研究成果]

1. はじめに

南極の山地に発達する多角形土 (以下, ポリゴン) は, 火星の地表面でも確認されており, 近年火星の地表および浅部地下環境解明の鍵として注目されている (例えば, Marchant and Head, 2007)。

本研究では, 東南極, 中央ドローイングモードランドのポリゴン発達域で実施した UAV 写真撮影, トレンチ掘削調査の結果解析・分析を行い, これまで統一的な見解が得られていないポリゴンの 3 次元形態・規模と地下構造との関係を実証的に明らかにすることを目的とした。なお, ここではポリゴンの 3 次元形態と, 本研究によって構築されたポリゴンの規模に関する解析手法および分布図の作成手法について報告する。

2. 研究手法

2-1. UAV-SfM 測量

本研究では, 2015 年 12 月～2016 年 1 月に Jutulsessen 中西部に位置する Vassdalen で実施した UAV フライト調査によって撮影した画像 (計 8,431 枚: 高度 100m) をもとに, SfM 解析 (Structure from Motion 解析: 多数の写真画像のマッチング解析) によって, ポリゴン発達域 (約 3.2 km²) の詳細な数値標高モデル (DEM) とオルソ画像の生成を試みた。そして, 得られた DEM を用いて GIS (地理情報システム) 等による地形解析を実施した。なお, SfM 解析には Agisoft PhotoScan を, 地形解析には ESRI ArcGIS 10.3.1 を使用した。

2-2. 尾根谷度を活用した解析

尾根谷度は, Yokoyama *et al.* (2002) が考案した地上開度と地下開度を組み合わせることによって尾根 (凸部) と谷 (凹部) を等価に数値化できるようにしたものであり, 尾根で正, 谷で負の値をとる (Chiba *et al.*, 2008)。本研究では, ポリゴンの形態的特徴, すなわちリム (高まり) とトラフ (溝) を尾根と谷に見立てることで, 尾根谷度によるポリゴンの形態・規模の把握を試みた。

3. 結果

3-1. ポリゴンの 3 次元形態

UAV-SfM 測量によって, 解像度 0.12m の DEM と, 解像度 0.03m のオルソ画像を作成した。また, GIS によって, 0.12m-DEM から標高段彩図および斜度図を作成した (図 1)。

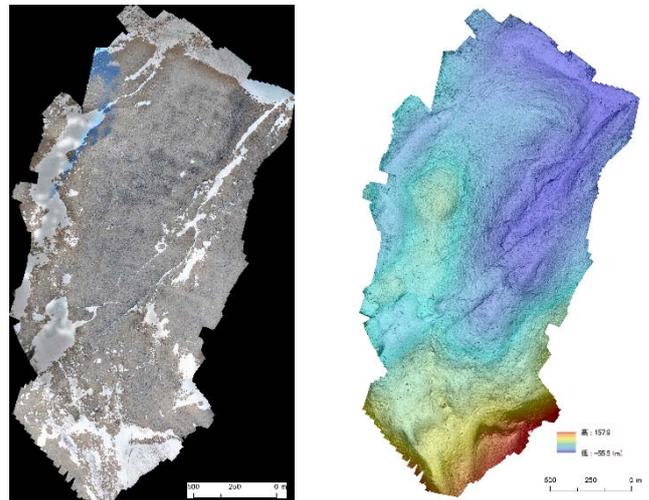


図 1 オルソ画像 (0.03m: 左) と標高段彩図 (右)
 標高段彩図は 0.12m-DEM から作成し, 背景には斜度図を使った

特に 0.12m-DEM の生成によって, 傾斜角や傾斜方向, さらには日射量や等高線の作成まで, 幅広い解析が可能となった。例えば, 一般的にポリゴンの形態は, トラフ (溝) の両側にリム (高まり) をもち, ポリゴンの中心部が低い中央低下型と, リムをもちトラフだけが低い中央上昇型に大別されているが, これらはいくまで現地での簡易測量と観察によって分類されていた。しかし, 本研究で実施した UAV-SfM 測量によって高解像度の DEM が生成されたことで, 容易に高精度の断面図を作成することができるようになったため, より詳細な形態分類が可能となった (図 2)。

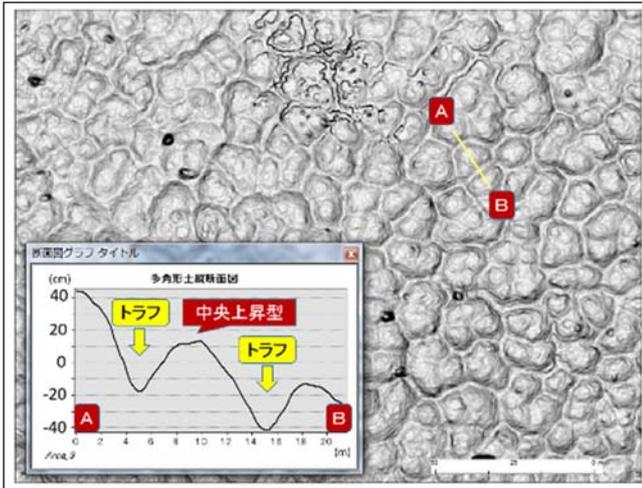


図2 0.12m-DEMから作成したポリゴンの断面図
断面図をみると、ポリゴンの形態が中央上昇型であることがよくわかる。背景は0.12m-DEMで作成した斜度図。

3-2. ポリゴンの規模と分布

ポリゴンの規模と分布を明らかにするため、尾根谷度を活用して解析を行った(図3)。

まず、0.12m-DEMで尾根谷度を算出したところ、DEMが高精度すぎて僅かな凹凸まで尾根や谷として算出してしまい、ポリゴンの形態をうまく抽出することができなかった。そこで、0.12m-DEMにおける8×8セル内の最高点を取り上げ、地形の不規則さが滑らかになるよう接峰面図を作成した(0.96m-DEM)。そして、0.96m-DEMから再度尾根谷度を算出し、尾根度が0より大きい場合には尾根(白)、小さい場合には谷(黒)として二値化した。

これにより、ポリゴンのリム(高まり)が尾根(白)、

トラフ(溝)が谷(黒)と表現され、ポリゴン一つ一つのおおよその形態を抽出することが可能となった。本研究では、ポリゴンのリム(尾根:白で表現)部分をポリゴンとみなし、その重心をポリゴンの位置としてプロットすることでその分布図を作成した(図3)。

また、尾根谷度によってポリゴンの形態が概ね抽出できたことで、ポリゴンの規模(二値化した尾根(白)の範囲の面積)の算出も可能となった。今後、年代の異なる地形面ごとに同一の基準でポリゴンの規模を比較することによってポリゴンの発達過程を検討してゆく予定である。

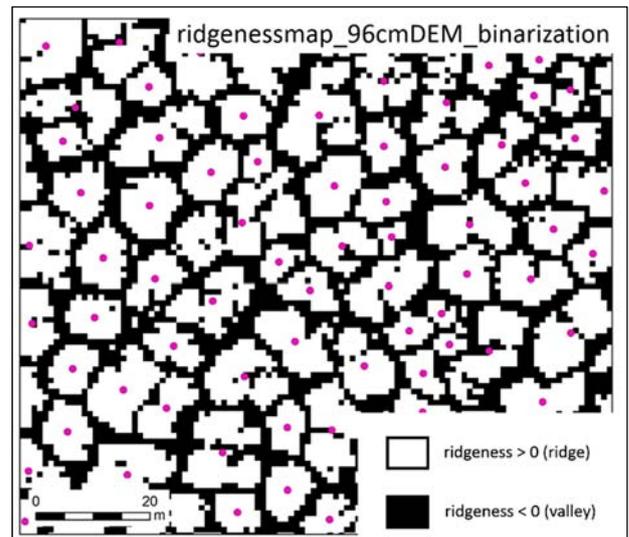


図3 0.96m-DEMによって作成した尾根谷度図
ポリゴンのリムが白(尾根)、トラフが黒(谷)で表現されている。ピンクの点はリムの重心で、ポリゴンの位置を示す。

[参考文献]

- 1) Marchant, D.R. and Head, J.W. (2007): Antarctic Dry Valleys: Microclimate zonation, variable geomorphic processes, and implications for assessing climate change on Mars. *Icarus*, 192, 187–222.
- 2) Yokoyama, R.; Sirasawa, M.; Pike, R.J. (2002): Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 68, 257–265.
- 3) Chiba, T., Kaneda, S., Suzuki, Y. (2008). Red relief image map: new visualization method for three dimensional data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, B2, 1071–1076.

[研究発表]

菅沼悠介・川又基人・白水 薫・小山拓志・土井浩一郎・金田平太郎・青山雄一・早河秀章・小花和宏之(2017): 南極における無人航空機(UAV)を用いた高解像度地形情報取得の試み. *地学雑誌*, Vol. 126, No. 1, 1-24.

極域での岩石風化評価に関する物質科学的研究

◎金丸龍夫 日本大学文理学部・助教

(国立極地研究所)

菅沼悠介 准教授

奥野淳一 特任助教

平成 29 年～平成 29 年 (1 か年)

[研究成果]

超乾燥・低温環境における風化プロセスを明らかにすることは、南極における地形学的プロセスおよび表層環境の進化への理解を深める鍵となる。そしてこれは、南極内陸部と類似した環境にある火星の地表環境の進化を研究する上で重要な情報を与えるものである。この様に火星環境のアナログとして行われる南極における風化の研究は、玄武岩を対象とする研究が多く、地球でもっとも普遍的な岩石の一つである石英長石質岩に関する研究は稀である。そこで本研究では、東南極のセール・ロンダーネ山地に露出する、地球上で代表的な石英長石質岩である花崗岩について、その全岩化学組成・鉱物学的検討・硬さ試験などの様々な手法により、超乾燥・低温環境における風化プロセスの検討を行った。本研究に用いた試料は、セール・ロンダーネ山地各地のモレーンに堆積したティルである。これらの試料の風化した外縁部と風化の程度の低い中心部について、以下に示す化学組成や物性を測定し、その変化に注目した。

強熱減量値 (Loss on ignition; LOI) および全岩主成分元素組成は、試料の外縁部と中心部で明瞭な差を示さず、化学的風化による含水粘土鉱物の生成が非常に限られていることを示している。全岩 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比および色の鮮やかさを示す CSI 値 (Color Strength Index) は、試料の中心部に比

べ、外縁部で高い値を示し、試料の外縁部がより酸化的であることを示している。

光学顕微鏡観察および電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) 分析結果から、試料外縁部では Fe-Ti 酸化物はしばしばヘマタイト化していることが明らかとなった。さらに風化の程度がより大きい場合、イルメナイト由来すると考えられる非ストイキオメトリックな Fe-Ti 化合物が認められる。これらは岩石試料非マグマティック環境での酸化を強く示唆するものである。また、鏡下では、試料外縁部には赤褐色の物質に充填されたクラックが多数認められ、これらの充填物は、顕微レーザーラマン分光法を用いた岩石薄片の観察の結果、針鉄鉱からなることが明らかになった。花崗岩質岩に普通に含まれる黒雲母の酸化による脱水により岩石自体から水分を供給することは可能であり、Fe-Ti 酸化物の分解により鉄の移動も可能であることから、針鉄鉱は、外来物質を必要とせず、これらを材料として形成されたと考えられる。

Equotip3 硬さ試験機 (D type インパクトデバイス付き) による硬さ試験では、試料外縁部は中心部に比べ硬さの低下を示している。

以上のことは、クラックの形成およびその後の針鉄鉱脈の形成により、岩石試料外縁部での硬さの低下および着色が引き起こされることを示している。

これらの知見は、超乾燥・低温環境における花崗岩質岩石の風化は、主に、造岩鉱物自体とその粒間に形成された氷および塩類の熱膨張および熱収縮によって形成されたクラックの進展を通じ

て、酸化の進行による Fe-Ti 酸化物の変質やクラック内に水酸化鉄（針鉄鉱）が形成されるというプロセスであることを示す。重要なのは、これらの物理的・化学的風化プロセスは、周辺環境からの液体の水供給を必要としないことであり、これがセール・ロンダーネ山地の風化速度を規制していると考えられる。

[研究発表]

Tatsuo Kanamaru, Yusuke Suganuma, Hisashi Oiwane, Hideaki Miura, Makoto Miura, Jun'ichi Okuno, Hideaki Hayakawa, 2017, The weathering of granitic rocks in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica, Past Antarctic Ice Sheet Dynamics Conference.

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（4）生 物 圈

キタゾウアザラシの摂餌回遊行動と海洋環境に関する研究

◎三谷 曜子 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・准教授
 宮下 和士 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授
 (国立極地研究所)

高橋 晃周 准教授

渡辺 佑基 准教授

平成 27 年～平成 29 年 (3 年)

[研究成果]

海洋を利用する生物の回遊行動は、魚類、爬虫類、鳥類、海棲哺乳類などの様々な分類群で見られる行動であり、この行動は、好適な摂餌場や繁殖場を求めて生息域を移す能動的な行動であることが知られている。衛星発信器などバイオロギング・システムの発達により、回遊を追跡する研究が盛んに行われている。さらに衛星発信器から取得した行動記録データと、衛星リモートセンシングを用いた地球表面の観測データを組み合わせることにより、生物の行動と表層の海洋環境の関係を明らかにする研究が多くなされている(Polovina et al., 2001)。しかし、回遊する捕食者の摂餌深度は表層であるとは限らず、中深層を利用する捕食者に関しては、従来の方法では環境情報が不足していると考えられる。そこで、バイオロギング手法のみならず、直接海洋観測を行うことによって表層から中深層にかけての環境情報を取得することが必要となる。

キタゾウアザラシ *Mirounga angustirostris* の成熟メスは繁殖場であるアメリカ西海岸から、北太平洋中央部まで回遊し、亜寒帯循環と亜熱帯循環の接する部分である、移行領域に集中して分布する(Robinson et al., 2012)。これまでの食性研究から、キタノヤツデイカ (*Octopoteuthis deletron*) やシロガネダラ (*Merluccius productus*) などの中深層性魚類や頭足類を摂餌することが明らかとなっていたが(Antonelis et al., 1987)、この研究で使われた手法は、回遊を終え上陸した個体の胃を洗浄するものであり、回遊終了直前の餌のみが反映されている結果であった。その後発展したバイオロギング研究から、回遊中は約 400-700m の潜水行動を繰り返すこと、その潜水深度は昼夜で変化する(昼: 619m, 夜: 456m)ことが明らかとなっており、回遊期を通じて中深層性の餌生物を捕食していることが示唆された(Le Boeuf et al., 1988, Robinson et al., 2012)。さらに、最近開発されたカメラロガーを成熟メスの頭部に装着することにより、回遊中に中深層まで潜水し、ハダカイワシ科魚類(Myctophidae)やソコイワシ亜科魚類(Microstomatidae)を摂餌することが確認されている(Naito et al., 2013)。しかし、実際に移行領域

の中深層にどのような餌がどのくらい存在するのかは明らかではなかった。そこで、北海道大学練習船おしよる丸(全長 72.85m, 総トン数 1396 トン)を用いて、キタゾウアザラシが摂餌する北太平洋移行領域に赴いた。

観測航路は、亜寒帯循環域と亜熱帯循環域との混合海域である移行領域を横断するよう、また、繁殖後のキタゾウアザラシ成熟メスに衛星発信器(Wildlife Computers 社: SPOT4, SPOT5, MK10-AF)を装着し、リアルタイムで得られたキタゾウアザラシの位置に近づくように設定した。航走中、計量魚群探知機 EK60 (38kHz, SIMRAD 社)により連続的に音響調査を行った(図 1)。取得した音響データから、音響データの可視化・解析ソフトである EchoView 4.9 (Myriax 社)を用いて、Nautical Area Scattering Coefficient (以下 NASC)を抽出し、生物量の指標とした。また観測点において、CTD を用いた海洋観測、および中層トロールやフレームトロール、流し網、はえ縄、イカ釣りによる生物採取を行った。なお、この研究は、カリフォルニア大学サンタクルス校の Daniel Costa 教授、および院生である Chandra Goetsch 氏との共同研究である。

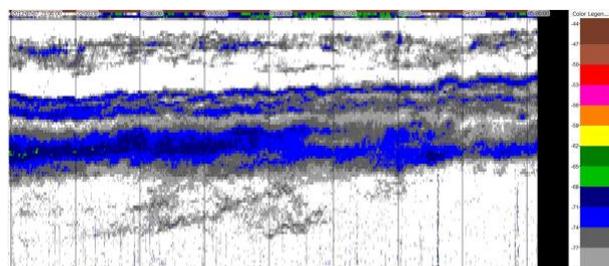


図 1. 計量魚群探知機によって得られた魚探反応。

観測結果から得た T-S ダイアグラムから、46°N 以北のグラフ形状が、亜表層に表層よりも水温が低い部分が存在する亜寒帯循環域の形状を示し、また

46°N以南のグラフ形状が、亜寒帯循環域と亜熱帯循環域との中間の形状を示した。このことから今回の調査において調査海域は、46.0°N以北が亜寒帯循環域、45.9°N以南が移行領域と定義された。おしよる丸による調査の間、移行領域に分布していたアザラシ9個体から、それぞれ、1047~1393回、合計11380回の潜水データが得られた。最大潜水深度は昼間(573.96±161.72m)と夜間(452.95±130.37m)で有意な差があり(p<0.05, Welch's t test), 昼間は潜水の38.7%が600-700mに、夜間は50.4%の潜水が400-500mに集中していた(p<0.05, Tukey-Kramer test)。本種メスの主な摂餌深度帯である500-600mのNASCを比較したところ、43-44°Nにかけて他の緯度帯に比べ大きな反応を示し、追跡個体が集中分布する緯度帯と一致していた。また、移行領域と亜寒帯循環域のNASCの比較から、移行領域の生物分布量は亜寒帯循環域に比べて多いことが示された。

中層トロールでは29科の魚類が採取され(図2)、ハダカイワシ科魚類を含む20g以下の小型魚類が9割を占めた。Naito *et al.* (2013)から、本種成熟メスは主に20g以下の小型魚類を摂餌することが示唆されていたが、本研究から、移行領域には中深層性の小型魚類が多数存在することが明らかとなり、先行研究を支持する結果となった。以上から、本種メスは、亜寒帯循環域よりも中深層の生物分布量が多く、か

つ小型魚類が優占する移行領域を効率的な摂餌海域として利用していると考えられた。

また、採取されたキタゾウアザラシの潜在的餌生物を研究室に持ち帰り、脂肪酸分析を行った。また、キタゾウアザラシの脂肪をバイオプシーによって採取し、脂肪酸分析を行って、餌生物の脂肪酸組成と比較した。この結果、キタゾウアザラシの餌として、中深層性の頭足類、魚類の重要性が明らかとなった。



図2. 中層トロールによって得られたサンプル。(撮影：阿部拓三氏)

[参考文献]

- Antonelis, G.A. Jr., Lowry, M.S., DeMaster, D.P., Fiscus, C.H. 1987. Assessing northern elephant seal feeding habits by stomach lavage. *Marine Mammal Science* 3:308–322.
- Le Boeuf, B.J., Costa, D.P., Huntley, A.C., Feldkamp, S.D. 1988. Continuous, deep diving in female northern elephant seals, *Mirounga angustirostris*. *Can. J. Zool.* 66 (2), 446–458.
- Naito, Y., Costa, D.P., Adachi, T., Robinson, P.W., Fowler, M., Takahashi, A. 2013. Unravelling the mysteries of a mesopelagic diet: a large apex predator specializes on small prey. *Functional Ecology*, 27(3), 710-717. doi:10.1111/1365-2435.12083
- Polovina, J.J., Howell, E., Kobayashi, D.R., Seki, M.P., 2001. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Prog. Oceanogr.* 49, 469–483.
- Robinson, P. W., Costa, D. P., Crocker, D. E., Gallo-Reynoso, J. P., Champagne, C. D., Fowler, M. A., et al. 2012. Foraging Behavior and Success of a Mesopelagic Predator in the Northeast Pacific Ocean: Insights from a Data-Rich Species, the Northern Elephant Seal. *PLoS ONE* 7(5), e36728. doi:10.1371/journal.pone.0036728.t004

[研究発表]

- 1) Yasuhiko Naito, Daniel P. Costa, Taiki Adachi, Patrick W. Robinson, Sarah H. Peterson, Yoko Mitani, Akinori Takahashi. Oxygen minimum zone: a key oceanographic habitat for deep-diving northern elephant seals, *Mirounga angustirostris*. *Ecology and Evolution* 7(16): 6259-6270 (2017)
- 2) Daisuke Saijo, Yoko Mitani, Takuzo Abe, Hiroko Sasaki, Chandra Goetsch, Daniel P. Costa, Kazushi Miyashita. Linking mesopelagic prey abundance and distribution to the foraging behavior of a deep-diving predator, the northern elephant seal. *Deep-Sea Research Part II* 140: 163-170 (2017)

南大洋の動物プランクトンを対象とした音響観測手法に関する研究

◎甘糟和男 東京海洋大学海洋資源環境学部・准教授
 茂木正人 東京海洋大学海洋資源環境学部・准教授
 (国立極地研究所)
 真壁竜介 助教
 小達恒夫 教授
 高橋邦夫 助教
 平成 27 年度～平成 29 年度 (3 か年)

[研究成果]

背景と目的

南大洋の生態系や物質循環を解明する上で、動物プランクトンの現存量や分布、その変動を把握することは重要である。動物プランクトンの種、サイズ、個体数密度、時空間分布などを知るには一般的にネットなどを用いるが、時空間に対して高分解能かつ連続的に観測するのは難しい。そこで本研究では、この問題を解決するために、マルチ周波数プロファイラー (AZFP) を導入し、動物プランクトンを対象とした音響観測手法を確立する。AZFP は耐圧容器に送受信基板、データ収録媒体、バッテリーを内蔵し、送波器 (125, 200, 455, 769 kHz) と一体となった音響機器である (Lemon et al., 2012)。

AZFP の較正方法の確立

エコーからサイズ、個体数密度の情報を抽出するには、エコーを正確に測定しなければならない。そこで、使用する音響機器の送受信系の感度を較正によって求める必要がある。本研究では、まず AZFP のソナー方程式を厳密に導出し、送受信系感度を定義した。次に、直径 12.7 mm のタングステンカーバイド (TC) 球を標準ターゲットとする較正方法を確立した (Fig. 1)。

平成 27, 28 年度の東京海洋大学練習船海鷹丸による南大洋調査において較正を実施し、エコーデータの解析に必要な較正值を得た。また、南大洋の低水温下では送受信系感度の低下が懸念されていたが、極端な感度低下がないことを明らかにした。

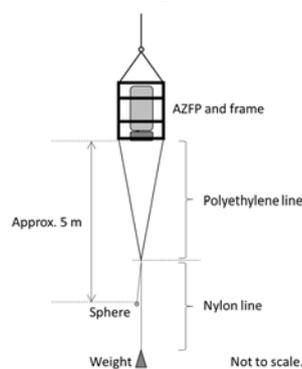


Fig. 1. AZFP の較正方法

AZFP の現場観測方法の確立

AZFP の現場観測方法として、CTD のように鉛直キャストする方法と多段開閉式ネットに装着して生物とエコーを同時にサンプリングする方法を考案した (Fig. 2)。いずれの方法も AZFP の送受波器を水平方向に向けて取り付け、4 周波の体積後方散乱強度 (SV スペクトル) の鉛直プロファイルが分解能 1 m 程度で測定できる。ネットサンプリングを補うとともに、水温・塩分の鉛直プロファイルなど物理環境と密な比較を可能にした (Fig. 3)。

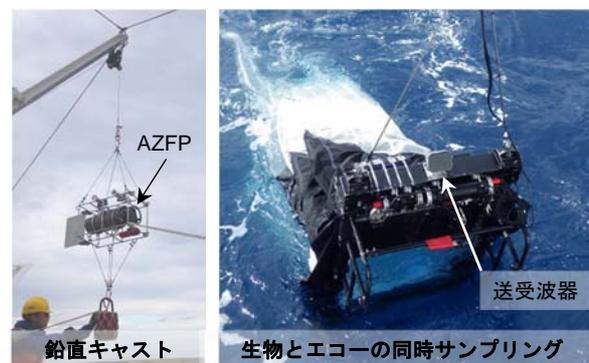


Fig. 2. AZFP の現場観測方法

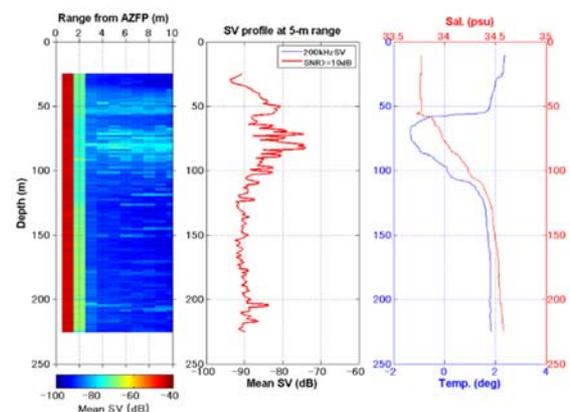


Fig. 3. エコーグラム (左), SV プロファイル (中央), 水温・塩分プロファイル (右)

動物プランクトンの音波反射特性の解明

SV スペクトルからサイズや個体数密度を推定するには、観測対象の音波反射強度 (TS) が必要である。TS は理論モデルで推定できるが、パラメータである体形状の知見がない。また、本研究では、AZFP の送受波器を水平に向けて観測するため、TS は三次元的に推定する必要がある。

本研究では主な分類群であるカイアシ類を対象とした。平成 26 年度の海鷹丸南大洋調査で得たサンプルを使用し、アスペクト比 (体長と体高または体幅の比) を測定した。体長とアスペクト比の関係は非線形であり、これを理論モデルに組み込んで TS 推定精度を向上させた。さらに TS を三次元的に推定できる計算コードを開発した。推定した TS スペクトルは、体長が 3 mm より大きい場合、その形状に変化が表れ、サイズ推定に応用できることがわかった (Fig. 4)。

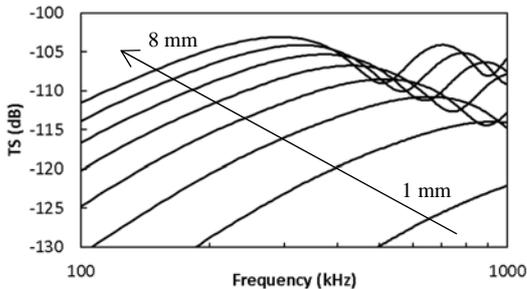


Fig. 4. 理論モデルで推定した TS スペクトル

南大洋における音響散乱層の特徴

南大洋における AZFP による観測例は少なく、SV スペクトルの特徴は明らかになっていない。そこで、平成 28 年度の海鷹丸南大洋調査で AZFP 観測を行い、SV スペクトルを得た。

SV スペクトルは、大きく 2 つのパターンに分類された。一つは 455 kHz に SV のピークがあるスペクトル形状であり、もう一方は 455 kHz に

ピークがあるものの、125 kHz と 200 kHz の SV に大きな差がないスペクトル形状であった (Fig. 5)。いずれもスペクトル形状の特徴から、動物プランクトンが主な散乱体と考えられた。事前に推定した TS スペクトルを使用し、前者の SV スペクトルから、サイズと個体数密度を推定した。その結果、平均体長 5.4 mm、平均個体数密度 2087 inds./m³ であった。

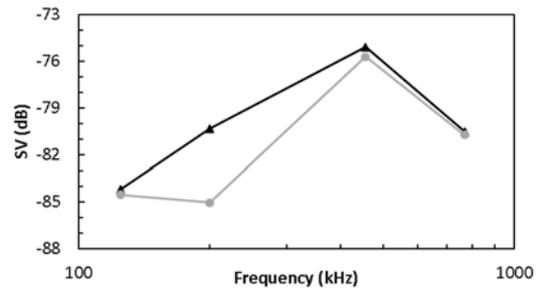


Fig. 5. 実測した SV スペクトルの一例

結論

本研究では、以下の成果を得た。

- AZFP の較正方法を確立し、SV スペクトルの正確な測定を可能にした。
- AZFP の現場観測方法を確立し、SV スペクトルの高分解能な鉛直プロファイルを測定可能とした。
- TS を三次元的に推定できる計算コードを開発し、主要分類群であるカイアシ類の TS スペクトルを明らかにした。
- 南大洋において AZFP 観測を実施し、SV スペクトルの特徴を明らかにした。体長と個体数密度の推定を可能とした。

今後は、サイズ、個体数密度の推定精度の検証が必要である。カイアシ類以外の動物プランクトンの TS を明らかにし、推定精度の向上を図る必要がある。

[参考文献]

Lemon et al. 2012. Multiple-frequency moored sonar for continuous observations of zooplankton and fish. Proceedings of Oceans 2012 MTS/IEEE, (Hampton Roads).

[研究発表]

甘糟和男, 工藤大暉, 林 宥樹, 辺見智佳子, 真壁竜介, 宮崎奈穂, 茂木正人. 2016. バッテリー駆動型多周波エコーサウンダーの動物プランクトン観測への応用例. 海洋音響学会 2016 年度研究発表会講演論文集, 69-72.

辺見智佳子, 工藤大暉, 林 宥樹, 甘糟和男, 真壁竜介, 向井 徹, 茂木正人. 2016. バッテリー駆動型多周波エコーサウンダーの標準球による現場較正. 海洋音響学会 2016 年度研究発表会講演論文集, 79-82.

山本那津生, 工藤大暉, 甘糟和男, 真壁竜介, 茂木正人. 2016. 音響理論散乱モデルによる南大洋インド洋セクターのカイアシ類の三次元ターゲットストレングス推定. 海洋音響学会 2016 年度研究発表会講演論文集, 83-86.

研究協力者

- 向井 徹 北海道大学大学院 水産科学研究院・教授（平成 27～28 年度）
辺見智佳子 東京海洋大学大学院 海洋システム工学専攻・修士学生（平成 27～28 年度）
工藤大暉 東京海洋大学大学院 海洋環境保全学専攻・修士学生（平成 27～28 年度）
山本那津生 東京海洋大学 海洋環境学科・4 年生（平成 27 年度）
東京海洋大学大学院 海洋システム工学専攻・修士学生（平成 28～29 年度）
佐野雅美 国立極地研究所 生物圏研究グループ・特任研究員（平成 29 年度）

南大洋の海氷中に出現する微細藻類の生理学的研究

◎宮崎 奈穂 東京海洋大学学術研究院海洋環境科学部門・助教
 鈴木 秀和 東京海洋大学学術研究院海洋環境科学部門・教授

(国立極地研究所)

小達 恒夫 教授

真壁 竜介 助教

平成27年～平成29年(3か年)

[研究成果]

本研究は、海氷に出現する微細藻類(アイスアルジー)の増殖特性を捉えることを目的として、南大洋で季節的に形成される海氷を採取して培養株の作成を行った。研究当初から中盤にかけて精力的に実施した単離株の確立は困難を極めたが、研究の終盤に1種を得ることができた(図1)。本報告では、株の作成と同時に実施した「アイスアルジーの生息環境と種組成に関する生態学的な研究」と「日本近海でも出現する低温適応種の増殖特性」について研究を行ったので、その成果を報告する。なお、作成した培養株の生理学的特徴に関する実験は継続して実施をしており、研究論文としての成果は追って報告する。

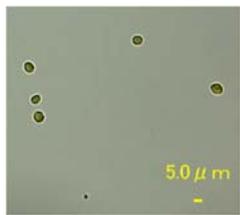


図1 得られた培養株の顕微鏡写真。

I. 季節海氷に含まれる微細藻類の種の組成と生育環境に関する生態学的な研究

東京海洋大学研究船「海鷹丸」のJARE56航海にて、2015年1月24日にビンセネス湾沖における海

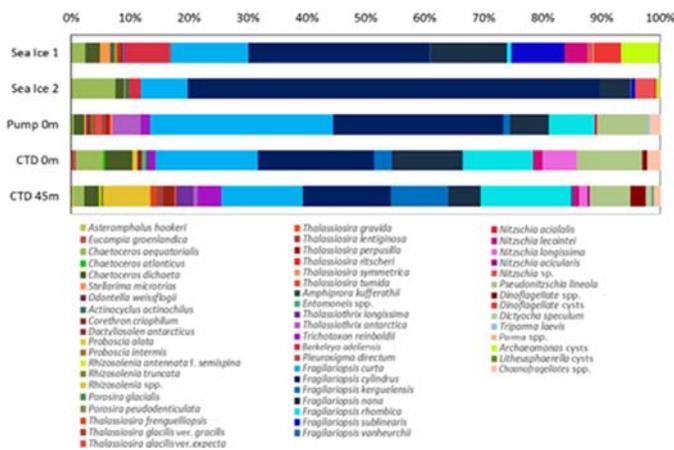


図2 海氷および周辺海水に出現した微細藻類の種組成

氷の採取とその周辺の海洋観測を実施し、海氷に生息する微細藻類の種とその環境について報告する。海氷に出現した微細藻類の種数は45種であり、そのうち14種は海水中にも出現した(図2)。海氷について、全平均細胞数の組成(%)からみた優占種は、珪藻 *Fragilariopsis cylindrus* (約40%)、次に多く見られたのは黄金色藻類 *Archaeomonas* のスタト孢子(約22%)、*F. sublinearis* (約14%)の順となった。

表1 海氷および海水で卓越した種。卓越した微細藻類は、各サンプルの総細胞数に5%以上寄与した種とし、色分けは生息地グループを示す。海氷および海水試料のクロロフィル(Chl a)、粒子状有機炭素(POC)、 $\delta^{13}C$ 安定同位体比、各主要栄養塩の結果。

| 写真 | Sea Ice | | | | | | | 海水近傍の表面海水 | | | CTD | | | |
|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A-1 | A-2 | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | B | 1 | 2 | 3 | 0m | 25m | 45m |
| <i>Fragilariopsis cylindrus</i> ① | 17.0 | 19.6 | 7.9 | 24.9 | 60.9 | 17.1 | 4.0 | 69.9 | 28.9 | 9.4 | 14.1 | 19.7 | 16.8 | 14.9 |
| <i>Fragilariopsis curta</i> ② | 12.1 | 18.8 | 10.3 | 20.7 | 12.0 | 1.3 | 7.6 | 8.0 | 31.1 | 15.9 | 16.0 | 17.4 | 20.8 | 13.8 |
| <i>Fragilariopsis cylindrus/nana</i> ③ | 51.3 | 16.1 | 48.8 | 14.9 | 16.0 | 1.6 | 10.2 | 5.1 | 6.7 | 18.9 | 12.1 | 12.0 | 17.9 | 5.5 |
| <i>Fragilariopsis rhombica</i> ④ | 1.7 | 1.2 | 0.7 | 2.8 | 0.1 | 0.3 | 8.3 | 0.1 | 7.8 | 11.2 | 20.0 | 12.0 | 8.7 | 15.3 |
| <i>Chaetoceros aquatorialis</i> | 1.6 | 2.7 | 1.8 | 2.2 | 1.6 | 2.9 | 4.3 | 7.5 | 0.4 | 2.6 | 0.3 | 4.6 | 4.0 | 1.8 |
| <i>Nitzschia lecontei</i> | 0.1 | 0 | 1.5 | 0 | 0 | 18.4 | 3.3 | 0 | 0 | 1.6 | 3.4 | 1.5 | 4.6 | 1.1 |
| <i>Fragilariopsis sublinearis</i> ⑤ | 2.8 | 13.3 | 6.3 | 5.2 | 5.2 | 3.9 | 0.0 | 0.7 | 0 | 3.0 | 4.5 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Archaeomonas statocysts</i> ⑥ | 10.0 | 11.2 | 18.2 | 11.0 | 2.1 | 0.0 | 1.7 | 0.5 | 0 | 1.2 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| Dinoflagellate cysts | 1.3 | 8.8 | 2.7 | 2.8 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.2 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Actinocyclus actinocilius</i> | 0.1 | 0.8 | 0 | 6.6 | 0.1 | 0 | 0 | 0.7 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Berkeleya adeliensis</i> ⑦ | 0.1 | 0 | 0 | 1.1 | 0 | 35.8 | 12.9 | 1.9 | 0 | 0 | 0.3 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Chaetoceros simplex</i> | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 28.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Eucampia antarctica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.3 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0.8 | 0 | 0 |
| <i>Pseudonitzschia lineola</i> | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 0 | 0 | 8.5 | 10.6 | 10.0 | 11.2 | 7.5 | 6.9 |
| <i>Nitzschia longissima</i> | 0 | 0 | 0.3 | 0 | 0 | 0 | 1.0 | 0 | 0 | 0.8 | 1.1 | 5.8 | 4.6 | 1.5 |
| <i>Fragilariopsis kerguelensis</i> ⑧ | 0.1 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0.3 | 0 | 0.1 | 1.1 | 5.1 | 8.9 | 3.1 | 0.6 | 9.8 |
| <i>Rhizosolenia</i> spp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.1 | 0.8 | 1.7 | 8.0 |
| Salinity | 0.8 | 1.2 | 0.6 | 1.1 | 1.4 | 0.8 | 1.8 | - | 32.1 | 32.3 | 32.3 | 33.4 | 33.5 | 34.0 |
| Chl a (mg·m ⁻³) | 40.8 | 60.7 | 29.3 | 33.1 | 46.8 | 33.6 | 9.4 | - | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.6 | 1.2 | 2.6 |
| POC (mg·m ⁻³) | 280.0 | 333.0 | 369.2 | 354.7 | 496.7 | 677.7 | 197.6 | - | 81.4 | 61.3 | 83.0 | 90.5 | 81.2 | 55.9 |
| POC:Chl a (g/g) | 6.9 | 5.5 | 12.6 | 10.7 | 10.6 | 20.2 | 21.0 | - | 76.8 | 54.6 | 69.3 | 55.2 | 70.5 | 21.2 |
| $\delta^{13}C$ (‰) | -23.6 | -25.2 | -24.8 | -23.1 | -22.5 | -17.3 | -20.9 | - | -25.0 | -25.8 | -25.0 | -25.5 | -26.0 | -26.7 |
| NO ₃ +NO ₂ (μM) | 0.8 | 0.9 | 0.4 | 0.8 | 1.9 | 0.1 | 0.1 | - | 20.2 | 21.4 | 20.3 | - | - | - |
| PO ₄ (μM) | 1.1 | 2.1 | 1.2 | 1.8 | 0.8 | 0.9 | 0.4 | - | 1.6 | 1.7 | 1.6 | - | - | - |
| Si(OH) ₄ (μM) | 28.4 | 18.5 | 13.4 | 13.2 | 11.9 | 9.7 | 5.4 | - | 52.1 | 56.7 | 55.2 | - | - | - |

海氷を採取した周辺の表面水の最優占種は *Fragilariopsis curta* であり、海水と海氷に共通して出現する *Fragilariopsis* 属4種の総細胞数は全体のおよそ60%を占めた。また、海氷にはあまり出現しなかった *Thalassiosira* 属の浮遊珪藻が多く出現した。

海水を融解して得た試水の栄養塩、クロロフィル *a*、POC および $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$ を分析したところ、海氷内は表面海水よりも貧栄養であり、海氷は高い Chl *a* を含有することが分かった (表 1)。

また、同じ海水でも場所によっては、窒素と珪素が枯渇レベルであり、そこでは構成種のうち珪藻 *Berkeleya adeliensis* が卓越した。さらに、栄養塩が枯渇した原因として、微細藻類による光合成が活発に行われた結果、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$ 値を上昇させる環境となったことが示唆された

次年度、海鷹丸 JARE57 航海において採取した海水を約 -4°C の暗環境で持ち帰り、珪藻 *Fragilariopsis* 属の培養を試みた。これらの細胞の細胞染色剤 FDA と PI による活性判定では、細胞内クロロフィルは有するものの、エステラーゼ活性を持たず DNA インカレンターによる反応を示す死細胞が多かった (図 3)。

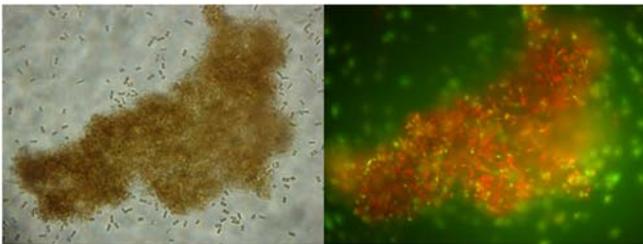


図3 海水を融解した際に得られたアイスアルジーの光学顕微鏡写真 (左)。青励起による細胞蛍光を観察するとクロロフィル由来の赤色が見られるが、エステラーゼ反応による緑色蛍光が弱い (右)。

また、同航海にて採取した海水の総生細胞密度は $8.5 \times 10^5 \sim 9.3 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ であり、Gobin et al.

(2003)がアデリーランド沖で行った結果と同程度となった。しかし、別途実施した生死別の計数結果からは生細胞は平均で約 54%しかおらず、半数は死細胞であることがわかり、これが培養株の作成に至らない理由のひとつと考えた。

II. 日本近海でも出現する低温適応種に関する増殖特性

南大洋にも多く産する珪藻 *Cheatoceros* 属について、日本沿岸で単離した 8 種の株の低温耐性を調べた (図 4)。その結果、 $2.5 \sim 20^\circ\text{C}$ の任意に設定した温度条件で *C. neogracillis* と *C. socialis* のみは 2.5°C の低温でも増殖 ($\mu=0.2-0.3 \text{ d}^{-1}$) し、南極域での分布を裏付けた。他 6 種の低温耐性については、1 種のみが死滅したほかは、休眠期細胞もしくは休眠細胞を形成して増殖能を保持することが示された。

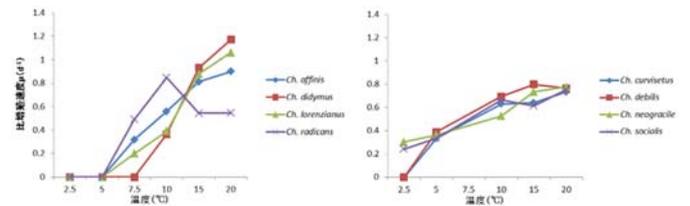


図4 珪藻 *Cheatoceros* 属の各温度での比増殖速度。5°Cで増殖を示さず温度上昇に伴って増殖速度が増す種 (右) と、低温でも増殖能を有する種 (右)。

【今後の予定】

共同研究は終了したが、学術雑誌に未公表の研究成果があるので、論文の執筆を継続する。

【研究発表】

谷村篤, 木村詞明, 宮崎奈穂, 小島本葉, 茂木正人, 小達恒夫:(2015) 2015 年度日本海洋学会春季大会ナイトセッション報告「南極海における Sea Ice Biota 研究の進展を目指して」., 南極資料, 59, 314-323.

【別紙】 参加者一覧

研究協力者（共同研究者以外）

山岡佑多（東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科 4 年、平成 27 年度）

河野洋右（東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科 4 年、平成 28 年度）

前田哲志（東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科 4 年、平成 28 年度）

南極露岸域、氷河上に生育する藻類の光合成特性の解明

◎小池裕幸 中央大学理工学部・教授
小杉真貴子 中央大学理工学部・助教

(国立極地研究所)

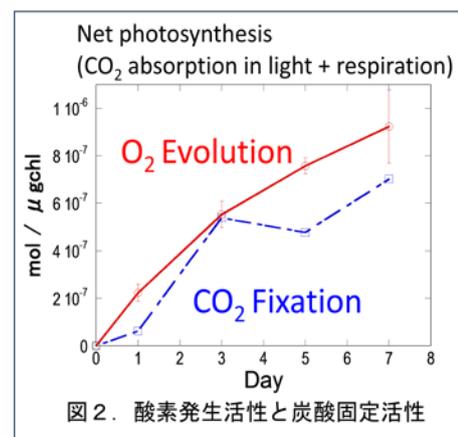
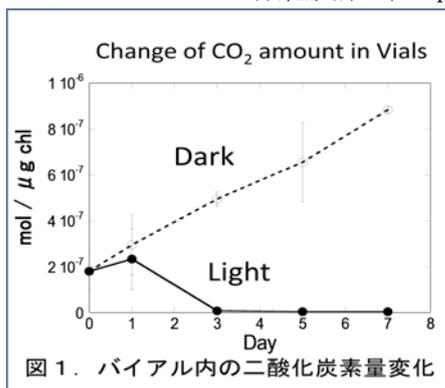
伊村 智 教授

平成 28 年～平成 29 年 (3 年)

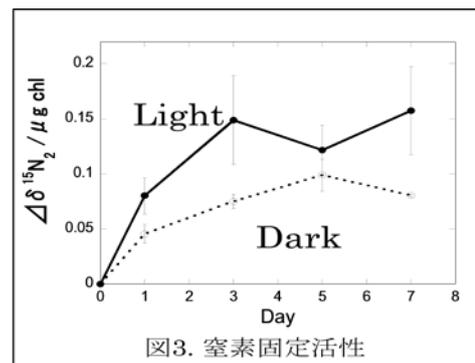
[研究成果]

極域や氷河、高山などの極貧栄養環境下にはしばしば、炭酸固定を行う光合成生物と窒素固定や硝化、脱窒などの物質循環の各段階を担う細菌が閉鎖的なコミュニティを形成している。世界各地の氷河上に見つかるクリオコナイト粒もその一つである^{1,2)}。クリオコナイト粒は、黒色の微生物群集であり、氷河の融解を促進する原因として近年注目されている。本研究は、クリオコナイトの主構成生物であるラン藻 *Phormidesmis priestri* の物質循環に関わる特性を生理学的に解析し、氷河上の低温、強光ストレス環境下におけるクリオコナイト構成微生物の物質循環の成り立ちに *P. priestri* の生理学的特性が及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

平成 28 年 7 月に北極圏のニーオルスンにて野外調査を実施した。クリオコナイトの生育環境での光合成活性と窒素固定活性を測定するために、安定同位体の ^{18}O を含む水と $^{15}\text{N}_2$ を用いて密閉バイアルによるインキュベーション実験を試みた。クリオコナイトとインキュベーションガスを封入した 50 ml バイアルをクリオコナイトホールに設置し、1, 3, 5, 7 日目にバイアル内のガスを採取し、帰国後にガスクロマトグラフィー質量分析計 (GCMS) により分析を行った。その結果、自然光条件では設置から 3 日ほどでバイアル内の二酸化炭素 (400ppm) が



ゼロに近い値になり (図 1) その後の炭酸固定活性が抑制されたが、光合成の水分解による酸素の発生は 7 日目まで続いた (図 2)。これは、炭酸固定系が抑制された状況で代替的電子伝達反応が進行したことを示している。一方、窒素固定活性は暗所より自然光条件で活性が高く、光条件下では炭酸固定活性と同様に 3 日目を境に活性が抑制された (図 3)。このことから、光合成により得られたエネルギーが窒素固定へ利用されて活性を促進していることが示唆された。氷河上で採集されたクリオコナイトを用いて光合成活性の温度依存性と乾燥、凍結耐性の有無を測定し、クリオコナイトから単離培養されたラン藻 *P. priestleyi* と比較した。



その結果、両者の光合成活性に対する温度依存性は似ており、30°C付近で最も活性が高くなることが分かった。しかし、4°Cの環境ではクリオコナイトのみが若干の活性を示した。このことから、*P.*

priestri は好冷性ではなく耐冷性であり、クリオコナイトを構成する過程で 0°C付近でも活性を保持できる程度の低温耐性を得ていることが示唆された。

[参考文献]

- 1) Nozomu Takeuchi, Shiro Kohshima, Kumiko Goto-Azuma and Roy M. Koerner; Biological characteristics of dark colored material (cryoconite) on Canadian Arctic glaciers (Devon and Penny ice caps). *Mem. Natl. Inst. Polar Res. Special Issue* (2001) Vol., 54, p495-p505.
- 2) Takahiro Segawa, Satoshi Ishii, Nobuhito Ohte, Ayumi Akiyoshi, Akinori Yamada, Fumito Maruyama, Zhongqin Li, Yuichi Hongoh and Nozomu Takeuchi; The nitrogen cycle in cryoconites: naturally occurring nitrification-denitrification granules on a glacier. *Environmental Microbiology* (2014) Vol., 16, p3250–p3262.

(別紙)

参 加 者 一 覧

| | | | |
|--|---------------------------|--------------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> 研究プロジェクト <input checked="" type="checkbox"/> 一般共同研究 <input type="checkbox"/> 研究集会 | | 課題番号 | 27-27 |
| 研究課題名 | 南極露岸域、氷河上に生育する藻類の光合成特性の解明 | | |
| 氏名 | 所属 | 職 | 備考 |
| 所内 | 植竹 淳 | 情報・システム研究機構 新領域融合センター | 特任研究員 |
| 小計 | 1 名 | | |
| 所外 | 矢野 充啓 | 中央大学 | 大学院生 |
| 小計 | 1 名 | | |
| 合計 | 2 名 | | |

- ※研究プロジェクト・一般共同研究・研究集会、いずれかを■にしてください。
- ※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。
- ※大学院生も含めてください。その場合、「職」の欄に「大学院生」と記入してください。
- ※行が不足する場合、適宜追加してください。

オホーツク海沿岸能取湖における海水生成期の低次生産層の動態

◎西野康人 東京農業大学生物産業学部・教授
 中川至純 東京農業大学生物産業学部・准教授

(国立極地研究所
 小達恒夫 教授
 高橋邦夫 助教
 谷村 篤 教授

平成 27 年～平成 29 年 (3 年)

[研究成果]

能取湖は北海道東部に位置するオホーツク海に面する海跡湖である。その湖口部はオホーツク海とつながり、潮汐により湖内の海水交換が行われる。また、大きな流入河川もないため、塩分は 33 psu 前後の値を示し、オホーツク海と同等である。この能取湖の中央部を調査地(水深約 20m)として、H27-H29 年度に調査・観測を実施した。

調査項目はアイスオーガーによる氷コアの採集、バンドン採水器による層別採水(0,5,10,15,18m)、ノルパックネット(目合:100 μ m、330 μ m)による水深 15m からの鉛直曳き採集、CTD(compact CTD、JFE アレック社製)による水温・塩分・蛍光値等の鉛直プロファイルの測定である。氷コアサンプルは上部、中央部、底部(海水に接する部分)の 3 層をそれぞれ 5cm 採取し、サイズ別クロロフィル(>10 μ m、2-10 μ m、<2 μ m)、栄養塩、検鏡用サンプルに供した。層別に採水した試水も同様の測定項目である。クロロフィルの測定は蛍光光度計(10-AU、ターナーデザイン社製)、栄養塩の測定はオートアナライザー(swAAt、ビーエルテック社製)により測定した。

調査期間中海氷中のクロロフィル濃度は底層

部で高くなる傾向を示した(図1)。2月上旬では、どの部位もクロロフィル a 濃度は 10 μ g/L 以下であったのに対し、3月になると海氷下部では 20 μ g/L 以上の値を示し、アイスアルジーが増加した傾向がみられた。また、3月8日の海氷中央部では 50 μ g/L の値を示したのに対し、3月14日では、最大でも 25 μ g/L であり、アイスアルジーが海中に放出されたことが推察された。

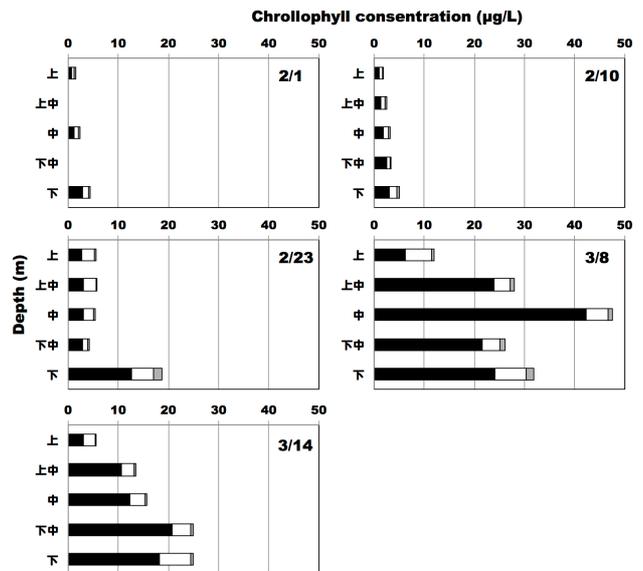


図1. 海氷の部位ごとのサイズ別クロロフィル量の推移
 ■: 10 μ m以上 □: 2-10 μ m ▨: 2 μ m以下

H19-21 年度に実施した調査結果では、海氷下部のクロロフィル濃度は、2月初旬では約 45 μ g/L、2月中下旬で約 150 μ g/L、3月中旬で

は約 35 $\mu\text{g/L}$ の値であった。すなわち、アイスアルジーの生成量がこの 10 年弱の間で、大きく減少していることが示唆された。本研究では、明確な要因は不明であるが、海氷上に降る雪質の変化、それにともなう積雪量の増加等が可能性のひとつとして推察される。結氷期の重要な一次生産者であるアイスアルジーの動態は、植物プランクトンの春季大增殖との関わりも推察されており、一次消費者さらには、魚類をはじめとする資源生物群の資源量に多大な影響をあたえると考えられる。今後、雪質や積雪量といった環境条件もふくめた、さらなるデータの蓄積が必要であることが明らかとなった。

一方、水中のクロロフィル a 濃度は 2 月上旬は 5m 以浅の表層で 20 $\mu\text{g/L}$ 前後のきわめて高い値を示した (図 2)。また 10m 以深の層でも 10 $\mu\text{g/L}$ 前後と高い値であった。2 月下旬以降は全層で 3 $\mu\text{g/L}$ 前後の低濃度となった。

H19-21 年度に実施した調査結果では、2 月初旬は全層で 1 $\mu\text{g/L}$ 以下の低濃度であり、本研究の結果とは対照的な結果であった。2 月下旬から 3 月初旬にかけては、3 $\mu\text{g/L}$ 前後と本研究の結果と同様の傾向を示した。一方、3 月中旬では 5m、10m の中層で 10 $\mu\text{g/L}$ 前後の濃度を示し、

局所的クロロフィル極大がみられており、本研究のクロロフィル a 濃度の鉛直分布の結果とは異なっていた。

海氷下の水柱でも、海氷中と同様に H19-21 とは大きく異なる結果を示した。気候状況の変化等が低次生産層の生産動態に影響してきたことを示す結果かもしれない。生態系を支える重要な役割を担う低次生産層生物群は、世代時間が短く、環境変動への対応も速やかである。本研究の結果より環境動態を注視しつつ、継続的に海氷と低次生産層の関わりを調査研究していく必要性が示唆された。

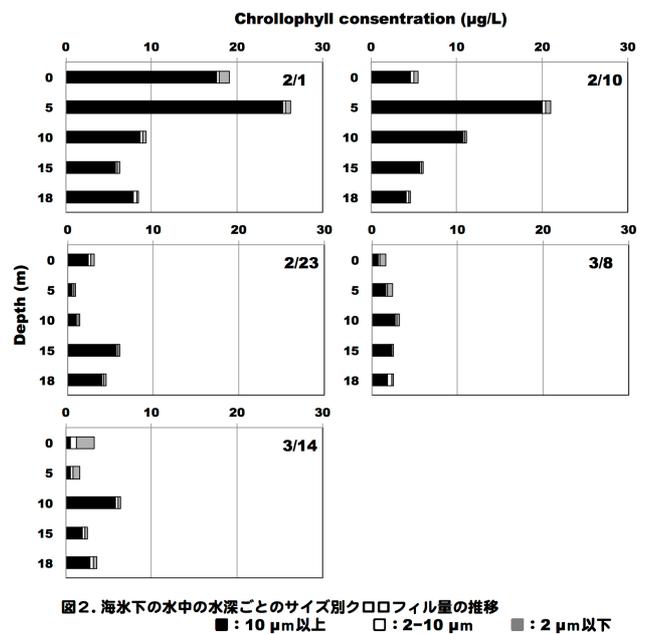


図2. 海氷下の水中の水深ごとのサイズ別クロロフィル量の推移
 ■ : 10 μm 以上 □ : 2-10 μm ▨ : 2 μm 以下

[研究発表]

Nishino, Y. and Satoh, T. (2016) Ecology and hydrography of sea ice and the water column in Lagoon, *Eco-Engineering*, 28 (1), 7-14.

西野康人, 中川至純, 北村充彰. (2016) 2012 年結氷期、オホーツク海沿岸能取湖におけるクロロフィル a と水柱環境. *日本海水学会誌*, 69, 373-381.

Nishino, Y., Nakagawa, Y. and Kitamura, M. (2016) Particulate matters flux and standing stocks of ice algae and phytoplankton in ice covered Lagoon Notoro-ko., *Bull. Soc. Sea Water Sci.*, 69, 382-383.

Nakagawa, Y., Kitamura, M., Nishino, Y. and Shiomoto, A. (2016) Community Structure of Copepods Associated with Water Mass Replacement in the Coastal Area of the Southwestern Okhotsk Sea During Ice-free period., *Bull. Soc. Sea Water Sci.*, 70, 49-50.

Nishino, Y., Satoh, T. and Taniguchi, A. (2015) Temporal variation of microalgal chlorophyll a in surface ice and the underlying Water in lagoon Notoro-ko, Hokkaido, Japan., *La mer* 53, 53-60.

極域生態系における元素循環関連遺伝子群の網羅的検出手法の開発

◎ 押木 守 長岡工業高等専門学校環境都市工学科・准教授

(国立極地研究所)

伊村 智 教授

平成 27 年度～平成 29 年度 (3 年間)

[研究成果]

極域生態系は非常にユニークな生態系であり、極域環境における元素、特に窒素元素の代謝について知見が限られている。窒素代謝は様々な機能性微生物群、例えば、好気性アンモニア酸化(古)細菌、嫌気性アンモニウム酸化細菌、窒素固定菌などバラエティに富む微生物によって担われていることが特徴である。こうした微生物を網羅的に検出・定量・同定することができれば窒素循環についてより深い洞察を得られることが期待できるが、窒素代謝に関与する微生物群、すなわち機能遺伝子を網羅的に解析することができる技術はこれまでに存在しなかった。そこで本研究では窒素代謝に関わる機能遺伝子群を網羅的に検出手法の開発を行った。具体的には、窒素代謝に関与する以下の機能遺伝子を微小流路チップ上で同時に遺伝子増幅する技術を開発し、増幅産物の塩基配列解読およびバイオフィンフォマティクス解析を行なうことを目指した; *amoA*, *hao*, *hzsA*, *norB*, *nosZ*, *narG*, *napA*, *nrfA*, *nifH*, *nirS*, *nirK*, *nxrB*.

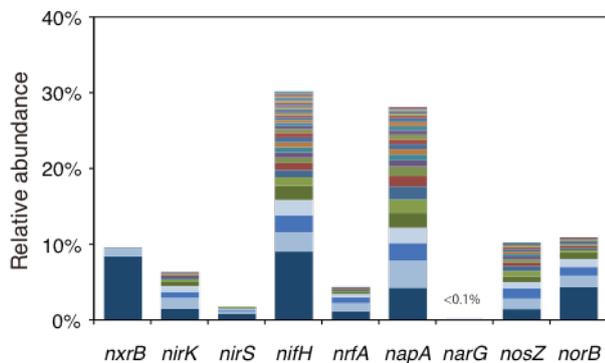


図 1.嫌気性汚泥における窒素代謝関連遺伝子の網羅的解析：微小流路ナノデバイスによる遺伝子増幅を行った後、増幅産物の塩基配列解読を行った。

各標的遺伝子をチューブ内で個別に遺伝子増幅する従来法では労力、時間、試薬を要するため、汎用性に乏しいといえる。そこで、本研究では微小流路ナノデバイス上で遺伝子増幅する技術を採用した。BioMark HD 装置を用いて微小流路チップ上で 33 組の PCR プライマーセットを用いて上述の遺伝子を PCR 増幅し、高速シーケンス解析によって遺伝子多様性を解析した。開発した手法を嫌気性汚泥へ適用した結果、窒素固定を担う遺伝子(*nifH*)など、従来研究では完全に見過ごされていた窒素代謝遺伝子の存在および遺伝的多様性が見いだされた(図 1)。これは本研究で開発した、網羅的遺伝子検出技術を用いることによって、従来見過ごされてきた元素循環経路を調査できることを示す成果であった。

窒素代謝に関与する機能遺伝子を網羅的に解析できる技術を開発することに成功したため、開発した技術をヒト感染性 RNA ウイルスの検出・遺伝子解析のために応用する研究を開始した。まず、BioMark HD 装置を用いて、ヒトへ感染し、胃腸炎や肝炎を引き起こすウイルス(例:ノロウイルス)を下水および下水処理水から網羅的に検出することを試みた。1 年を通じて下水処理場から流入下水および処理水を採水し、検水内に含まれる 10 種類の RNA ウイルスの遺伝子定量を行った。BioMark HD 装置を用いることで、わずか 2 run (=1 日)で全ての試料について遺伝子定量を完了することができ、極めてハイスループットな手法であることを証明することができた。さらに、検出されたウイルスの濃度に基づき、下水処理水を農業灌漑用水などで二次利用する際の健康リスクをベイズ推定によって算出する数学モデルを構築することにも成

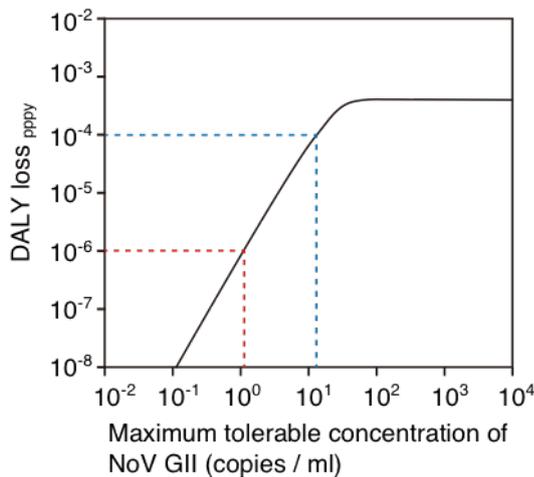


図 2. ノロウイルス(GII 型)濃度に基づく健康リスク評価. $DALY_{loss\ pppy}$ を 10^{-6} 以下にするためには処理水中のウイルス濃度を 10^0 copies/ml 以下まで低減させる必要がある。

功した (図 2) . 下水処理水を新たな水資源と見なし、灌漑等の用途で再利用する政策が水資源に乏しい途上国を中心に急増しているが、本研究の成果は再利用する際の健康リスクを定量的に評価するために役立てられるものである。

続いて、BioMark HD 装置で得られた遺伝子増幅産物の塩基配列解読を行うことによって検出されたウイルスのタイピングを行う技術を開発した (図 3) . 本実験にあたり、先の遺伝子定量で用いた PCR プライマーセットは増幅産物長が短すぎることが明らかとなったため、新たに PCR プライマーセットを選定し、11 種類の RNA ウイルスを定量するための遺伝子検出系を選定した。開発した遺伝子検出法の有効性は 1) ウイルス汚染牡蠣、2) 下痢疾患の患者の糞便、

[研究発表]

Kobayashi, N., Oshiki, M., Ito, T., Segawa, T., Hatamoto, M., Kato, T., Yamaguchi, T., Kubota, K., Takahashi, M., Iguchi, A., Tagawa, T., Okubo, T., Uemura, S., Harada, H., Motoyama, T., Araki, N. and Sano, D. (2017) Removal of human pathogenic viruses in a down-flow hanging sponge (DHS) reactor treating municipal wastewater and health risks associated with utilization of the effluent for agricultural irrigation, *Water Research*, Vol., 110, p389-p398.

伊藤寿宏, 押木守, 小林直央, 加藤毅, 瀬川高弘, 幡本将史, 山口隆司, 原田秀樹, 北島正章, 岡部聡, 佐野大輔 (2016) 下水再生処理におけるヒト腸管系ウイルスの目標除去効率の算定. *土木学会論文集G* Vol., 72, p305-p313.

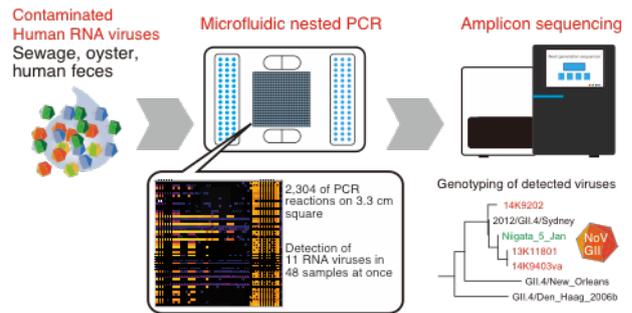


図 3. 本研究で開発した網羅的 RNA ウィルスタイピング技術の概要. 検体中に存在する RNA ウィルスを微量流路ナノデバイス上で遺伝子増幅し、増幅産物の塩基配列解読を行う。塩基配列の系統解析によって、ウィルス種の同定を行う。

3) 都市下水を用いて検討した. 提案する遺伝子検出法によって検体からノロウイルス, アストロウイルスを含む、複数種のウイルスを検出することができた. 増幅産物の塩基配列を MiSeq シーケンサーにより解読し、系統解析を行った結果、糞便から検出されたノロウイルスは中国大陸で流行した遺伝子型に近縁であることを確認した. また、糞便からは二種類のウイルスが混合して検出され、複数種のウイルスに同時感染していた事実が明らかとなった。

本研究では微量流路ナノデバイスおよび高速シーケンサーを併用することで機能遺伝子およびウイルス遺伝子を網羅的かつ迅速に検出する技術を開発することに成功した. RNA ウィルスの網羅的検出・タイピング技術はウイルス性疾患のアウトブレイクが生じた場合に、その感染源を追跡するために強力なツールになると期待される。

研究協力者（敬称略）

瀬川高弘 山梨大学総合分析実験センター・助教
石井聡 ミネソタ大学土壌圏科学・助教
小林直央 長岡工業高等専門学校環境都市工学専攻・学生

極域における水環境中の窒素起源および窒素循環速度に関する研究

◎角皆 潤 名古屋大学大学院環境学研究科・教授
 中川書子 名古屋大学大学院環境学研究科・准教授

(国立極地研究所)

田邊優貴子 助教

平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

はじめに

南極大陸の露岩域には湖沼が多数分布する。これらの湖沼に対する年間日射量はきわめて少なく、さらに各湖水は一般に栄養塩濃度の極めて低い極貧栄養状態にあり、系外からの窒素栄養塩供給量も少ないと考えられ、一般の湖沼と比較すると、湖内の生産性はきわめて低い (Campbell and Arup, 1989; Larcher 2001)。しかし湖底には、ラン藻・藻類・コケ類を一次生産者とした独特の生態系が築かれていることが知られており (Imura et al., 1999; 2003)、このような湖沼生態系に対する窒素栄養塩の供給源や、湖水中の窒素循環像は未だに明らかになっていない。さらにこのような極限的な湖沼生態系は、環境変化に伴う物理・化学環境変化の影響を大きく受けることが予想されるが、その環境応答特性も未解明である。

湖水中の主要窒素栄養塩は NO_3^- であるが、 NO_3^- の窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) は、窒素固定や大気沈着等が N 源となる場合には 0‰ 付近の低い値を示し、移動性大型動物等が輸送する有機体窒素を N 源とする場合には +10‰ 前後の高い値を示す。また NO_3^- の三酸素同位体組成 ($\Delta^{17}\text{O}$) は、大気沈着由来の NO_3^- ($\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$) だけが異常 ($\Delta^{17}\text{O} > 0\text{‰}$) を示し、沈着後の地表の諸過程では変化しないので、硝化由来の NO_3^- ($\text{NO}_3^-_{\text{re}}$) と $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の混合比のみを反映する。

そこで本研究は、湖水中の NO_3^- の同位体組成を指標に用いることで、南極湖沼における窒素栄養塩の主要供給源や、湖沼内の窒素循環像の解明に挑戦した。また湖水試料中の NO_3^- 濃度は著しく低いいため、本研究では試料分析に先駆けて新分析手法を開発し、湖水試料の NO_3^- の同位体組成定量を実現した。

分析

湖水試料は、基本的に従来法 (Nakagawa et al., 2013) を用いて、 $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\Delta^{17}\text{O}$ 値を測定した。ただし、従来法では定量が難しい NO_3^- 濃度が 0.5 μM 未満の試料については、以下に示す新手法 (内標準法) を開発し、これを用いて $\Delta^{17}\text{O}$ 値を分析した。

まず $\Delta^{17}\text{O}$ 値の大きく異なる、濃度既知の標準 NO_3^- 水溶液を 2 種類 (A および B) 用意する。湖水試料を 4 分割し、それぞれに A もしくは B のいずれかを、添加量を 2 段階に変えて添加し、それぞれの $\Delta^{17}\text{O}$ 値を測定する。

測定した $\Delta^{17}\text{O}$ 値と濃度の逆数との関係を用いて、試料の $\Delta^{17}\text{O}$ 値を決定した。試料分析に先立って実施した基礎実験では、従来法を用いて分析した希釈前の湖水試料の $\Delta^{17}\text{O}$ 値と、新手法を用いて分析した希釈湖水試料の $\Delta^{17}\text{O}$ 値は誤差内で一致した。

結果・考察

湖水試料の大部分は有意な三酸素同位体異常 ($\Delta^{17}\text{O} > 0\text{‰}$) を示し、各湖水試料は未利用の $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ を相当程度含むことが明らかになった。ただし、湖水 NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ 値は、最大でも +16 ‰ 未満であり、南極における $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の $\Delta^{17}\text{O}$ 値である +31.5‰ (Savarino et al., 2007) と比べると、有意に低い $\Delta^{17}\text{O}$ 値を示した。これは $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ ($\Delta^{17}\text{O} = +31.5\text{‰}$) 以外に、 $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$ ($\Delta^{17}\text{O} = 0\text{‰}$) が各湖水に対して供給されていることを示しており、各湖水生態系では $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ を同化 (有機化) した上で、微生物による硝化反応を経由して $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$ ($\Delta^{17}\text{O} = 0\text{‰}$) として湖水中に戻す窒素循環系が、南極湖沼内でも成立していることを示している。

$\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の平均混合比を算出したところ、10.2 – 31.3% (中央値 = 21.3%) となった。この値は、中栄養湖である琵琶湖 (5.4 ± 0.8%; Tsunogai et al., 2018) はもちろん、貧栄養湖である摩周湖 (9.7 ± 0.8%; Tsunogai et al., 2011) よりも有意に大きな混合比であり、窒素循環系は一般に極めて遅いことが示唆される。各湖沼は、栄養塩濃度の極めて低い極貧栄養環境にあり、整合的である。

また、湖水中の $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の平均混合比 (= $\Delta^{17}\text{O}$ 値) は、湖沼間で有意な差が見られた。各湖沼に対する $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の供給速度に差が無ければ、 $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の平均混合比が低ければ低いほど、湖内もしくはその集水域内で窒素循環が活発であることを反映している。そこで湖内の $\Delta^{17}\text{O}$ 値をもとに分類すると、雪鳥池が最も窒素循環が活発であり、親子池がそれに続き、あやめ池、地蔵池、たなご池は相対的に不活発とという結果になった。

雪鳥池は、最大水深 8.2 m で面積がおよそ 41,000 m^2 あり、池の周囲はトウゾクカモメやオオトウゾクカモメ、ユキドリが分布しており、また湖底にマット状の藻類が広く分布しており、東南極の露岩域の中でも有数な豊かな植生であるという報告がある (Kanda and Ohtani, 1991; Imura et al., 2003; 田邊, 2009)。このことから雪鳥池では、周囲に生息する鳥類から放出された有機体窒

素が、集水域もしくは湖内での硝化を経て NO_3^- となって湖水に供給されるため、窒素循環が活発化したものと考えられる。これは、雪鳥池が、今回観測した湖沼の中で最も NO_3^- 濃度が大きかったことや、 NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ 値が、移動性大型動物等が輸送する有機体窒素を N 源としたと考えられる高い値 (Wada et al., 1987) を示したことから整合的である。

なお雪鳥池への流入水試料について NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ 値を測定したところ +11.1‰ であり (試料 No. W44)、これは NO_3^- 混合比に換算すると 35 % となった。これに対して湖水の NO_3^- 混合比 (10 %) は明らかに減少しており、硝化は集水域だけで無く、湖内でも活発に進行していることを示している。

これに対して、雪鳥池以外の湖沼では、 NO_3^- 中の NO_3^- 混合比は高く、かつ NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ 値は低い。これらの湖沼では、大気沈着や湖内の窒素固定が窒素栄養塩の主要起源となっていることを示唆する。

Table 1 湖水試料の NO_3^- 濃度・同位体組成

| No. | Name | Depth (m) | NO_3^- (μM) | $\delta^{15}\text{N}$ (‰) | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $\Delta^{17}\text{O}$ (‰) |
|-----|----------|-----------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| W01 | Zizou | 2 | 0.3 | -1.2 | +20.8 | +8.8 |
| W08 | Ayame | 5 | 1.2 | +0.3 | +18.7 | +8.4 |
| W09 | Tanago | 1.5 | 1.0 | -1.7 | +20.9 | +9.9±0.5 |
| W12 | Yukidori | 2.5 | 1.4 | +12.6 | +6.0 | +3.2 |
| W14 | Nurume | 2 | 0.2 | N.D. | N.D. | +5.7±1.2 |
| W15 | ditto | 5 | 0.3 | +0.2 | +6.2 | +12.2±3.2 |
| W16 | ditto | 7 | 0.3 | +0.8 | +9.5 | +5.3±1.2 |
| W17 | ditto | 10 | 0.3 | +2.4 | +6.2 | 0 - +5.9 |
| W19 | Oku | 3.5 | 0.2 | +0.4 | +2.0 | 0 - +7.2 |
| W20 | Namagi | 1 | 0.4 | -2.4 | +4.2 | 0 - +5.4 |
| W21 | Ougi | 1.7 | 0.2 | +2.7 | -7.2 | 0 - +9.6 |
| W22 | Bosatsu | 2.5 | 0.4 | +2.7 | +13.1 | 0 - +9.4 |
| W23 | Oyako | 4 | 1.0 | +0.3 | +8.3 | +6.2 |

[参考文献]

- Cambell, J. W., Aarup, T. (1989) Photosynthetically available radiation at high latitudes. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1490-1499.
- Imura, S., Bando, T., Saito, S., Seto, K. and Kanda, H. (1999) Benthic moss pillars in Antarctic lakes. *Polar Biol.*, 22, 137-140.
- Imura, S., Bando, T., Seto, K., Ohtani, S., Kudoh, S. and Kanda, H. (2003) Distribution of aquatic mosses in the Soya Coast region, East Antarctica. *Polar Biosci.*, 16, 1-10.
- Kanda, H., and Ohatani, S. (1991) Morphology of the aquatic mosses collected in lake Yukidori, Langhovde, Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 4, 114-122.
- Larcher, W. (2001) *Okophysologie der Pflanzen*. 6th

edition, Eugen Ulmer Stuttgart, p.350.

- Nakagawa, F., A. Suzuki, S. Daita, T. Ohyama, D.D. Komatsu and U. Tsunogai (2013) Tracing atmospheric nitrate in groundwater using triple oxygen isotopes: Evaluation based on bottled drinking water. *Biogeosciences*, 10, 3547-3558.
- Savarino, J., Kaiser, J., Morin, S., Sigman, D. M. and Thiemens, M. H. (2007) Nitrogen and oxygen isotopic constraints on the origin of atmospheric nitrate in coastal Antarctica. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, pp.1925-1945.
- Tsunogai, U., S. Daita, D.D. Komatsu, F. Nakagawa, and A. Tanaka (2011) Quantifying nitrate dynamics in an oligotrophic lake using $\Delta^{17}\text{O}$. *Biogeosciences*, 8, 687-702.
- Tsunogai, U., T. Miyauchi, T. Ohyama, D.D. Komatsu, M. Ito, and F. Nakagawa (2018) Quantifying nitrate dynamics in a mesotrophic lake using triple oxygen isotopes as tracers. *Limnol. Oceanogr.*, 63, S458-S476.
- 田邊優貴子 (2009) 南極湖沼における藻類群集の光生理・生態学的研究. 総合研究大学院大学 博士論文.
- Wada, E., Terazaki, M., Kabaya, Y., Nemoto, T. (1987) ^{15}N and ^{13}C abundances in the Antarctic Ocean with emphasis on the biogeochemical structure of the food web. *Deep Sea Res.*, 34, pp.829-941.
- [研究発表]
- Tsunogai, U., T. Miyauchi, T. Ohyama, D.D. Komatsu, M. Ito, and F. Nakagawa (2018) Quantifying nitrate dynamics in a mesotrophic lake using triple oxygen isotopes as tracers. *Limnol. Oceanogr.*, 63, S458-S476.

海鳥類の採餌行動と活動中のエネルギー消費の測定

◎新妻靖章 名城大学農学部・教授
綿貫 豊 北海道大学水産科学研究院・教授

(国立極地研究所)
高橋晃周 准教授
平成 27 年～平成 29 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究では、潜水性海鳥ウトウを主な研究対象とし、加速度記録計・ジオロケータの装着による採餌行動の計測と二重ラベル水法によるエネルギー消費の計測を行うことを目的とした。

平成 27 年度～29 年度まで、毎年北海道天売島にあるウトウの繁殖地で野外調査を行い、加速度記録計・ジオロケータの親鳥への装着・回収、また二重ラベル水法によるエネルギー消費の計測を行った。この間、天売島におけるウトウの雛の巣立ち率が低く(綿貫 未発表データ)、記録計の回収率も低かったため、この 3 年間に得られたデータに加え、過去に得られたデータも使ってデータ解析を行った。この間に得られた成果について、1) ジオロケータ装着によって明らかになった産卵前期のウトウのペアの採餌行動の同調性、と 2) 育雛期におけるウトウの野外活動中のエネルギー消費量、について報告する。

1) 産卵前期のウトウのペアの採餌行動の同調性

多くの海鳥は繁殖終了後、長距離の渡りをおこない、好適な越冬地で採餌を行う。渡りの期間中、繁殖時にペアだったオスとメスが行動を共にするのは困難であると考えられるにもかかわらず、多くの海鳥が何年も同じオスメスがペアを形成することが知られている。渡りを行う海鳥はどのようにペアを維持しているのだろうか？これまでペアであるオスとメスの両方の渡りや採餌行動を長期的に追跡した研究はほとんどなく、特に次の繁殖が始まる直前のオスメスの行動の同調性に関する知見は少なかった。

北海道天売島のウトウは繁殖が終わる 7 月末ごろに繁殖地を離れて、オホーツク海また朝鮮半島南部周辺の日本海で越冬し、3 月に繁殖地へ戻ることが知られている (Takahashi et al. 2015)。また毎年同じオスメスがペアを形成して同じ巣穴で繁殖

を行うことが知られている。我々はウトウにジオロケータを装着することで、7 ペア (オス 7 個体・メス 7 個体) の渡り行動・産卵前期の採餌行動の同調性を調べた。

その結果、まず、ウトウのペアは渡り期間中は別々に行動していることが明らかになった (図 1)。

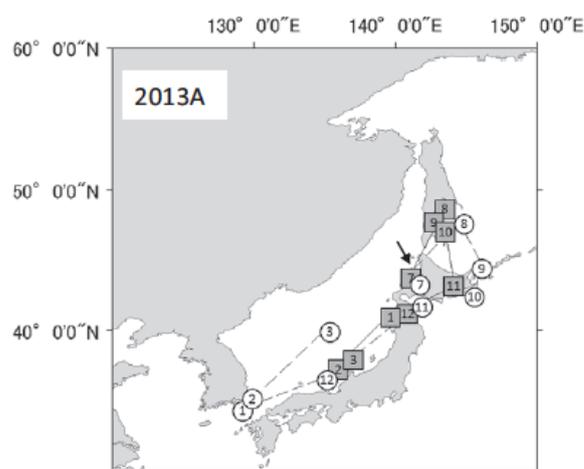


図 1. ウトウの繁殖ペア (2013A) のオス (□) とメス (○) の渡り期間中の月ごとの平均位置移動。数字が 7～3 月を示す。オスメスが別々に移動している。

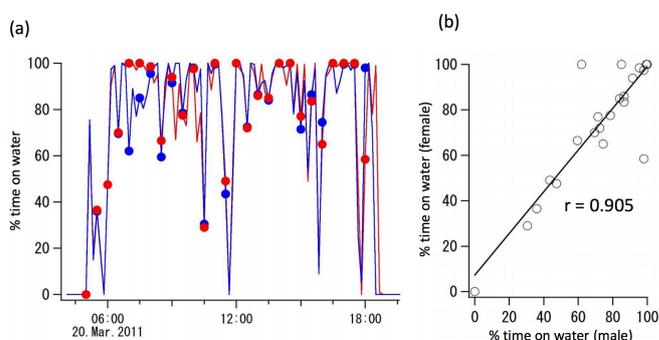


図 2. 産卵前期のある 1 日におけるオス (青) とメス (赤) の 10 分ごとの着水時間割合の同調性 (左)。オスメスの着水には強い相関関係がある (右)。

一方、渡りを終了し、繁殖地に戻ってから産卵をするまでの期間では、海上での着水のタイミングが高い割合で同調しており、オスとメスが採餌行動を同調させていることが示唆された（図2）。

以上の結果から、ウトウは渡り期間中にはオスメスが一緒に行動することはないものの、渡りから一旦繁殖地に戻るとオスメスは次に海上にでかける際に飛翔・採餌のタイミングを合わせていることが示唆された。こうした産卵前期の採餌行動の同調性は、オスの海上での交尾機会を増やし、また繁殖ペアの維持に役立っていると考えられる。

本成果は Kubo et al. (2018)として国際学術誌 *Ibis* に出版された。

2) 育雛期におけるウトウの野外活動中のエネルギー消費量

海鳥の野外におけるエネルギー消費量を計測することは、海鳥の餌消費量を推定し生態系の中でのその種の占める位置を明らかにし、またその種の採餌戦略を明らかにする上で重要である。これまで二重ラベル水法によるエネルギー消費測定が行われてきたが、野生個体への影響を小さく抑えるため、

血液サンプルの採取を1回のみ限定した **single-sample approach** が近年確立されつつある (Niizuma et al. 2015)。ウトウは飛翔と潜水の両方の行動を翼の運動によって行っており、その結果として体サイズに比して小さな翼を持つため、一日当たりのエネルギー消費が体重の割に大きいことが予想される。我々はこれまで計測事例のなかったウトウにおいて、この **single-sample approach** を用いて野外活動中のエネルギー消費量の測定を試みた。

その結果、野外で活動中の6個体に二重ラベル水法を適用し、ウトウの一日当たりの活動エネルギー消費量を 1212 ± 342 kJ/日と推定した。これは平均的な栄養価で計算するとウトウの主要な餌であるカタクチイワシ 257g、あるいはホッケ幼魚 338g、イカナゴ幼魚 427g に相当する。またこの値はこれまでウミスズメ科鳥類において得られた野外エネルギー消費のアロメトリー式 (Shaffer 2011) からの推定値に近く、ウトウを含むウミスズメ科鳥類が体重に比較して比較的高いエネルギー消費量をもつという傾向を裏付ける結果と考えられる。

[参考文献]

- 1) Takahashi A, Ito M, Suzuki Y, Watanuki Y, Thiebot JB, Yamamoto T, Iida T, Trathan P, Niizuma Y, Kuwae T, Migratory movements of rhinoceros auklets in the northwestern Pacific: connecting seasonal productivities, *Marine Ecology Progress Series*, 525, 229-243. 2015.
- 2) Niizuma Y, Shirai M, Applicability of a Single-Sample Approach for the Doubly Labelled Water Method to the Streaked Shearwater *Calonectris leucomelas*, *Ornithological Science*, 14, 21-28, 2015.
- 3) Shaffer S, A review of seabird energetics using the doubly labeled water method. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 158, 315-322, 2011.

[研究発表]

Kubo A, Takahashi A, Thiebot JB, Watanuki Y, Rhinoceros Auklet pair-mates migrate independently but synchronize their foraging activity during the pre-laying period, *Ibis*, 2018. 印刷中

ジャイロ・GPS ロガーを用いたアデリーペンギンの採餌行動解析

◎三田村啓理 京都大学大学院情報学研究科・准教授
 荒井修亮 京都大学フィールド科学教育研究センター・教授
 野田琢嗣 統計数理研究所・学術振興会特別研究員 (PD)

(国立極地研究所)

高橋晃周 准教授

渡辺佑基 准教授

平成27年～平成29年 (3年間)

[研究成果]

本研究は、新規に開発した加速度・角速度を記録できるジャイロロガーおよびGPSロガーを用いて海洋動物の行動を詳細にモニタリングする手法を確立することを目的とした。

極地研究所の高橋晃周博士、京都大学大学院情報学研究科 (現在、統計数理研究所) の野田琢嗣博士とともに第54次南極地域観測隊に参加して、平成24年12月19日から平成25年2月2日までの46日間、ラングホブデ袋浦においてアデリーペンギンの行動・生態調査をおこなった (図1)。開発したジャイロロガーやGPSロガーなど小型の測器をペンギンの背中に取り付け、しばらくした後回収した。そして測器よりデータをダウンロードした。計73個体に測器を取り付け、そのうち71個体から測器を回収した。そのうちジャイロロガーは27個体に装着して、全ての個体から測器を回収した。また、GPSロガーは13個体に装着して合計14回の採餌トリップのデータを、遊泳深度・3軸加速度データとともに回収した。



図1. 南極ラングホブデ袋浦のアデリーペンギン営巣地

GPSロガーより得られた位置データを使ってFirst-passage time解析を利用し、地図上での餌場を特定した。採餌トリップの開始から最初の餌場までを往路、最後の餌場から終了までを復路と定義した。更に往路・復路を移動方法別に遊泳移動、氷上移動、陸上移動、休憩、分類不可の5つに分類した。

往路・復路の直線度は、それぞれ0.63と0.64と高い値であった。定着氷域で繁殖する飛べない海鳥であるアデリーペンギンも営巣地と餌場を直線的に移動していることが示唆された。往路と復路を比較したところ、その時間、距離、エネルギー消費に関して差は見られなかった (図2,3)。しかし移動方法で比較すると、氷上移動の割合が往路よりも復路で短く、かつ直線的に移動していることが分かった。アデリーペンギンは採餌の後、少しでもエネルギー消費を抑えるため、コストの高い徒歩での移動を少なくしており、その結果が氷上での短い移動距離、高い直線度として現れたと考えられた。

直線度の比較

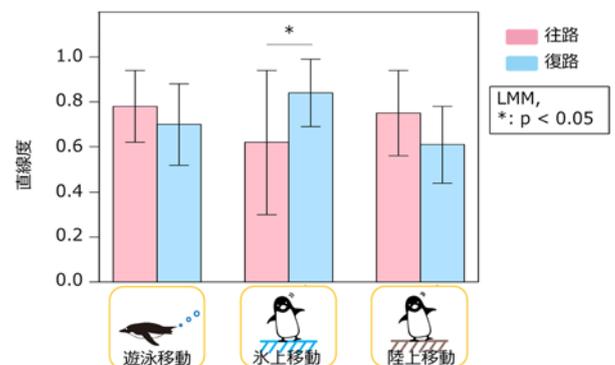


図2. 採餌トリップにおける往路と復路の直線度

海氷はアデリーペンギンにとって行動を制限する要因でもあるが、恩恵を与える存在でもある。この地域のアデリーペンギンが主食としているオキアミの増減は、この地域の海氷状況と深く関連することが示唆されている。即ち、海氷が存在するとオキアミが多く存在し、餌場がコロニーの近くに発生する。また海氷の割れ目は、その多くが海岸線に沿って発生するため、往復での遊泳移動を後押しする。結果として比較的短時間で採餌トリップを終え、頻繁に雛に餌を運ぶことができる。本調査地のアデリーペンギンは、直線的に往復移動し、復路では往路よりも効率的に氷上を移動していた。このように定着氷という環境をうまく利用して子育てを行っていると考えられた。

エネルギー消費量の比較

全体・移動方法別のエネルギー消費量に差はなかった (paired t-test, n.s.)

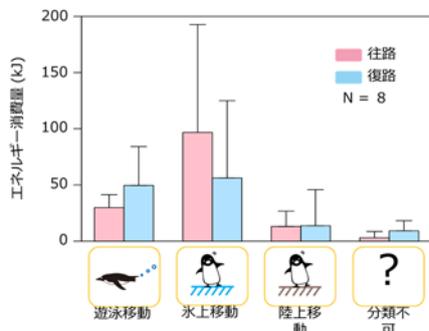


図 3. 摂餌トリップにおける往路と復路の推定エネルギー消費量

アデリーペンギンは定着氷の小さな開水面において集団で潜水して採餌することが知られている。他個体と行動を同調させることは、採食効率を上昇させる機能がある一方、コストをもたらす可能性が予想されている。アデリーペンギンの集団潜水における採餌行動をより深く理解するために、潜水中の複数個体の 3 次元位置を秒スケールで把握できる超音波テレメトリー技術の開発に取り組んだ。

実験は、深度センサーつき超音波発信機 AQPX-1040PT 及び AQTG-600 (アクアサウンド社、神戸)、ならびに超音波受信機 AQRM-1000 (同社) を使用した。まずは水平測位精度を評価する実験をおこなった。海底の 5 箇所に発信機を設置して、7 台の受信機でモニタリングした (図 4)。その結

果、測位精度は 1.2 cm から 9.3 cm であり、測位成功率は平均 0.836 だった。次に、ホシササノハベラ *Pseudolabrus sieboldi* のオス 7 個体 (全長 21.5 ± 0.9 cm、体重 150 ± 15 g) を釣獲し、外科手術により腹腔内に発信機を挿入した。放流後約 42 時間、個体の 3 次元位置を観察した。移動に関する個体間相互作用の有無を調べるため、10 秒ごとの測位点群の重心を、その 10 秒間の代表点として各個体間距離を計算した。移動中に個体間距離が 5m 以下になった個体のペアはなく、個体ごとに移動していたことが分かった。放流から受信範囲外に出るまでの間の測位成功率は、平均 0.691 だった。これは、平均 7.4 秒間隔で複数個体の 3 次元位置を把握できたことを示している。生物に装着した発信機の測位も、定点に設置した発信機の測位と同様の測位成功率を達成し、十分に野外環境下で複数個体を同時測位できることが示された。夏季の南極において、沖合では受信機の設置が比較的困難であるが、陸沿いの開水面などでは受信機は設置できる可能性がある。本技術を駆使することで陸沿いの開水面周辺において集団潜水するアデリーペンギン複数個体の 3 次元位置が得られ、集団潜水の謎に光があたると思われる。

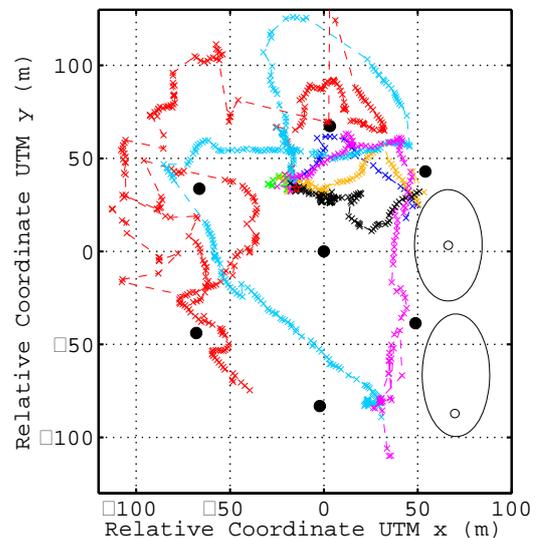


図 4. 放流後 1 時間のホシササノハベラ 7 個体の 2 次元の移動軌跡。遊泳深度は深度センサーから得られたデータを使用できる。各色がそれぞれの個体を表す。●は受信機を示す

[研究発表]

Junichi Takagi, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Yoshinori Miyamoto, Keiichi Uchida, Ko Fujioka, Hiromu Fukuda, Jun Shoji, Hiromichi Mitamura. Simultaneous multiple signal identification of phase modulation coded transmitters for acoustic biotelemetry of fish school. Journal of Advanced Marine Science and Technology Society. 2016. Vol. 22, No. 2, 5-9.

藻類の耐氷性に関する研究

高澤(笠松)伸江 京都学園大学バイオ環境学部・准教授

(国立極地研究所)

小達 恒夫 教授

平成 28 年度～平成 29 年度(2 年間)

【研究成果】

日本の氷期の年平均気温は、現在の年平均気温と比べると4℃から13℃程低かったと推定されている(松末ら, 2000)。このような時代から現在まで、日本列島・近海で生存する植物プランクトンは、凍結・解凍を繰り返しながら種を存続させていた可能性がある。しかし、低温という過酷な自然環境において植物プランクトンが示す環境応答性については、ほぼ知られていない。そこで、日本列島の湖沼や河川、日本沿岸域に生息する植物プランクトンについて、寒冷環境への応答性の基礎的知見を得るため、培養実験を行った。

培養実験に用いた植物プランクトンは、石川県こなん水辺公園(汽水域)、京都学園大学亀岡キャンパス洗心池(淡水域)、京都府亀岡市桂川(淡水域)、琵琶湖(滋賀県草津市矢橋帰帆島公園付近、淡水湖)の表層水から採取したものをを用いた。

耐氷性を確認するための培養実験を行う前に、それぞれの水域ごとの植物プランクトンの増殖特性を調査した(予備培養)。各水域で得られた試水に、CSi 培地の割合で栄養を加え、VIOLAMO 培養フラスコ 250 mL を用いて植物プランクトンの培養を試みた(20℃、24 時間明培養)。20℃の培養条件では、いずれの水域から得られた試水でも、培養開始後1週間から2週間で蛍光強度が上がり、今回の培養条件で増殖可能な植物プランクトンがいずれの水域にも存在することが確認された。培養中に光学顕微鏡で確認できた植物プランクトンは、石川県こなん水辺公園で緑藻9種、珪藻5種、藍藻1種、鞭毛藻2種、洗心池は緑藻4種、珪藻10種、藍藻1種であった。また、桂川は緑藻8種、珪藻8種、鞭毛藻1種、琵琶湖は緑藻1種が観察さ

れた。石川県こなん水辺公園と桂川が17種で最も多く、琵琶湖が1種で最も少なかった。4地点共に見られた植物プランクトンは存在しなかったが、洗心池を除く3地点で緑藻テトラスポラ属 *Tetraspora*、琵琶湖を除く3地点で、珪藻ササノハケイソウ属 *Nitzschia* spp.、緑藻セネデスムス オポリエンシス *Scenedesmus opoliensis*、珪藻フラギリア属 *Fragilaria* の植物プランクトンが観察された。

次に、耐氷性を確認するための培養実験(耐氷実験)を行った。各水域の予備培養したものを VIOLAMO 培養フラスコ 250 mL に植え継いだ。

各水域から得られた試水の入った培養フラスコを、20℃(24 時間明培養)、-20℃(24 時間暗培養)、-80℃(24 時間暗培養)の3種類の条件下に2日間置いた。-20℃、-80℃に置いたものについては、2日後に解凍し、20℃のインキュベーターに入れ、引き続き培養を行った(明:8 時間、暗:16 時間培養)。凍結する前と凍結後2日目、20日目に植物プランクトンを生物顕微鏡で観察した。その他、随時、蛍光強度、クロロフィル a 濃度と植物プランクトンの細胞数を計数した。クロロフィル a 濃度は、試水 10 mL を 25 mm φ Whatman GF/F で濾過し、ろ紙に *N,N*-ジメチルホルムアルデヒド 7 mL を加え、ターナー式蛍光光度計で測定した。植物プランクトン細胞数は、各々 1 mL における植物プランクトンをプランクトン計数板を使って光学顕微鏡下で計数した。

フラスコによる耐氷実験の結果、20℃の条件下においては、琵琶湖を除く3地点の植物プランクトンは、植え継ぎ後から6日間以上の対数増殖期があった(図 1a)。琵琶湖に関しては、蛍光強度を見ると、4日目以降からゆるやかな増殖期に入り、20日目以降は定常期もしくは減衰期を

迎えていた。クロロフィル *a* 濃度の結果からは、琵琶湖について、50 日目でも高いクロロフィル濃度が確認されており、植物プランクトンは 50 日たっても生存していたと考えられる(図 1b)。

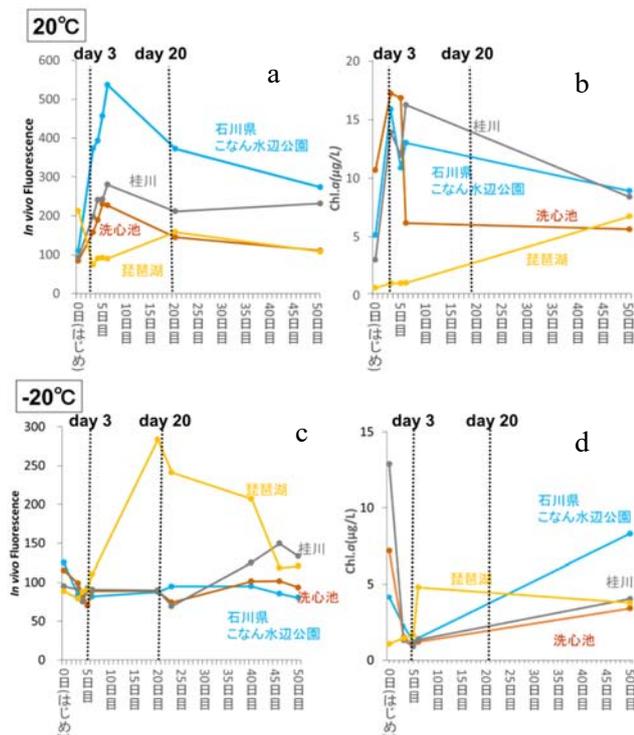


図 1. 耐氷実験における植物プランクトンの増殖特性 (a, b; 20°C、c, d; -20°C、a, c; 蛍光強度、b, d; クロロフィル *a* 濃度)

一方、-20°Cの条件下では、琵琶湖以外の水域のサンプルは、いったん冷凍してしまうと、解凍して 20°Cに戻しても、20°Cで凍結せずに培養したときのような早い段階からの対数増殖はなかったものの、50 日目までゆるやかな生長が見られた(図 1c)。琵琶湖の植物プランクトンは、20°Cに戻した 3 日目から 20 日目にかけて急激な増殖が見られた(図 1c, d)

-80°Cの条件下においては、3 日目の解凍直後に、全ての調査地点の培養サンプルで蛍光強度は下がったものの、琵琶湖のサンプルに関してだけは、-80°Cの条件下においてから解凍し

て 20°Cで培養を行うと、20 日目には顕著に蛍光強度の値が上がった。

耐氷実験として、組織培養用容器を用いた培養も行った。組織培養用容器(24 ウェル・マルチプレート IWAKI 社製)を用いて、48 ウェルずつに各水域の培養物 1 mL と栄養を分注した。マルチプレートを、フラスコを用いた耐氷実験と同様に 20°C、-20°C、-80°Cの培養条件下に 2 日間置き、2 日後にすべて 20°Cのインキュベーターに移し、プランクトン増殖による着色の有無を観察した。-20°Cおよび-80°Cにいったん置いたマルチウェルを 20°Cに入れなおすと、すべての水域のサンプルについても、13 日目以降には黄金色に着色するウェルが観察された(表 1)。すべての地点のサンプルについて、凍結を経験したサンプルの着色したウェル数は、凍結を経験していないサンプル(20°Cの培養)と比較して少なかった。

表 1. 48 ウェルのうち黄金色に着色したウェルの個数 (-20°C)

| 採水場所 | Day | | | | | | |
|------------|-----|---|---|---|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 13 | 15 | 20 |
| 石川県こなん水辺公園 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 6 |
| 洗心池 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 9 | 13 |
| 桂川 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 | 13 |
| 琵琶湖 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 |

細胞数を数えると、-20°Cの場合、解凍直後から 20 日目にかけて、細胞数が増えている種と減っている種、観察されなくなった種が存在した。

本研究から、凍結のような過酷な状況でも、一部の植物プランクトンは生命の維持が可能であることが示唆された。今後は、凍結後も細胞数を増加させた種について、培養温度を変えて培養を行い、細胞の生死判別を行うなど、より詳細な増殖特性データを収集する必要がある。

【参考文献】

藤澤麻美(2018)身近な池・河川・湖沼に生息する植物プランクトンの環境応答性. 平成 29 年度京都学園大学卒業論文.

松末和之, 藤原治, 末吉哲雄(2000): 日本列島における最終氷期最寒冷期の気候. サイクル機構技報, No.6

北極植物の気候変動に対する成長応答の解明

◎和田直也 富山大学研究推進機構極東地域研究センター・教授

(国立極地研究所)

内田雅己 准教授

伊村 智 教授

【研究期間】

平成 29 年～平成 30 年 (10 ヶ月)

【研究成果】

北極・高山植物の一種であるチョウノスケソウ (*Dryas octopetala* L.) は、北半球の高緯度北極ツンドラから中緯度山岳地まで広い範囲に分布している。本種の葉特性は個体群間、特に高緯度北極圏と中緯度高山の間で大きな変異を示す (和田ほか, 2003; 和田, 2008)。例えば、亜寒帯においては半常緑性 (Jonasson, 1989) とされるが、日本の中緯度高山においては落葉性と言われている (清水, 1982)。しかしながら、多くの研究は葉の外部形態についてのみ報告しており、個体群間における葉の内部構造について調べた研究はない。本研究では、チョウノスケソウの葉の内部構造、表皮細胞や葉肉細胞のサイズ、葉肉細胞あたりの葉緑体数について、葉面積や葉のかたちといった外部形態についても同様に調べ、葉の形態や生物季節そして光合成能力 (関川・和田, 2017) といった葉特性になぜ大きな変異がみられるのか、その理由を明らかにしようとした。

調査地は、高緯度北極圏内にあるスバルバル諸島アドベントダーレン (以下 AD) 及び中緯度山岳地の立山高山帯 (以下 TY) である。AD では、UiT ノルウェー北極大学のエリザベス・クーパー教授がスノーフェンスを用いた積雪量増加実験を行っており、この実験区内外に生育しているチョウノスケソウを調査対象とした。AD の対象区 (以下 ADCL), AD のスノーフェンス実験区 (以下 ADSF)、及び TY の各調査地において、それぞれ 5 個体より複数のシュートを採取した。葉の採取は、各調査地において、2017 年 7 月下旬に実施した。

本研究で着目した葉形質は、外部形態として、葉身長、葉身幅、葉身面積、葉身横断面長及び葉身横断面幅、内部構造として、表皮細胞のサイズ (鉛直方向の細胞長、水平方向の細胞長、及び細胞面積)、柵状組織上層の葉肉細胞のサイズ (鉛直方向の細胞

長、水平方向の細胞長、及び細胞面積)、葉肉細胞あたりの葉緑体数である。また、葉の横断面切片を作成する前に、コニカミノルタの葉緑素計 (SPAD-502PLUS) を用いて SPAD 値 (葉緑素含量) を測定した。

葉の外部形態の測定は、それぞれの葉についてデジタルノギスを用いて葉身の長さを測定した他、方眼紙上に葉を置いてデジタルカメラで写真を撮影し、その画像に基づいて計測を行った。

葉の内部構造を観察するため、外部形態の測定が終了した葉について、1) 寒天培地に包埋した生きたままの葉身からマイクロトームを用いて作成した葉身横断面切片、2) 樹脂に包埋して染色した葉身からマイクロトームを用いて作成した葉身横断面切片、以上の二通りの切片を作成した。後者の切片は葉緑体数の計測に用い、それ以外の測定項目は前者の切片サンプルを用いて計測した。

SPAD 値は、北極圏の集団よりも立山の集団で高いことが分かった (図 1 左)。AD 内では ADCL と ADSF との間で統計的な差は検出されなかった (一般化線形混合モデル (GLMM))。外部形態に着目すると、葉身の面積は、北極圏の集団よりも立山の集団で有意に大きいことが分かった。さらに、葉身幅と葉身長と比較により、葉身幅に対する葉身長が北極圏の集団で立山の集団よりも長く (図 1 右)、すなわち、北極圏の集団は細長い葉身を有しており、立山の集団はより丸みを帯びた葉身形を示していることが明らかになった。葉身長を応答変数とし、各個体を変量効果として、葉身幅と各集団を固定効果に組み込んだ GLMM を計算したところ、固定効果が有意に検出され、立山の集団が北極圏の集団に対して葉身幅に対する葉身長が短いことが確認できた。

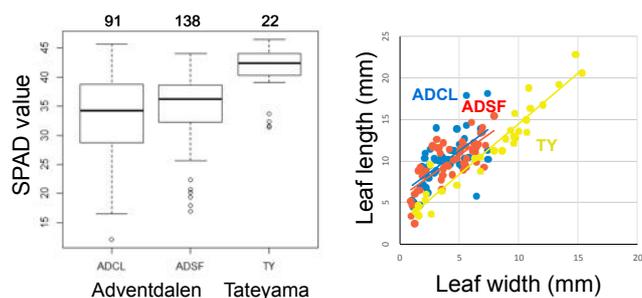


図1. 北極圏 (AD) と立山 (TY) の集団間における SPAD 値 (左図) 及び葉身幅に対する葉身長 (右図) の比較。左図の上部の数字はサンプル数を示す。

横断面切片の画像を図2に示す。各集団において、柵状組織の層構造が確認できたが、その層数に集団間の明瞭な差は認められなかった。

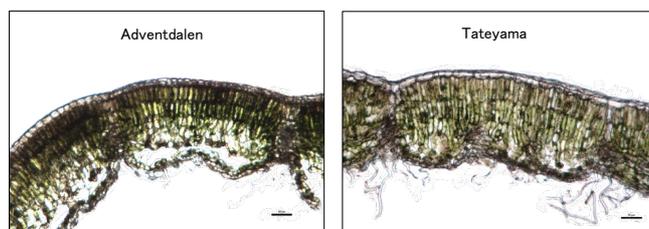


図2. 北極圏 (ADCL) と立山 (TY) に生育するチョウノスケソウの葉の横断切片。

表皮細胞のサイズを測定したところ、各細胞の鉛直方向の長さには有意な差は検出されなかったが、水平方向の長さについては、立山の集団の方が北極圏の集団よりも大きな値を示すことが分かった (図3左)。その結果、表皮細胞の横断面積は立山の集団の方が大きな値を示した。この結果は、葉身の外部形態の違いにも関係している可能性がある。すなわち、立山の集団では水平方向に表皮細胞がよく発達することが葉身幅を大きくさせ、その結果葉面積の大きな葉を作っているという仮説である。細胞が水平方向に優勢に成長しているかどうか、さらに詳しく検討する必要がある。次に、柵状組織の最上層の葉肉細胞に着目すると、北極圏の集団に比べ立山の集団では、鉛直方向の葉肉細胞長が大きな値を示した (図3中)。しかしながら、水平方向における長さについては有意な差が検出されず、細胞の横断面積についても同様であった。葉肉細胞の形は、立山の集団においてより細長くなっている可能性も

考えられるため、今後詳しく調べる必要がある。さらに興味深い点は、北極圏における積雪増加実験を施した集団においては、表皮細胞や葉肉細胞のサイズが対象区の集団に比べやや大きくなり、立山の集団に近づくことである。冬季の積雪環境あるいは融雪水による初夏の土壌水分環境の変化が、細胞サイズの変化を引き起こす可能性も考えられるため、この点に関して研究をさらに発展させることも興味深い。

最後に、樹脂包埋した切片より葉緑体数を測定したところ、葉肉細胞あたりの葉緑体数に明瞭な違いを確認できた (図3右)。立山の集団は、北極圏の集団に比べて、細胞あたりの葉緑体数が約1.8倍多かった。この結果は、図1左で示した SPAD 値の集団間差異と矛盾しない。関川・和田 (2017) は、AD よりもさらに北に位置するニーオルスンと立山のチョウノスケソウ集団において、光合成速度を比較しているが、最大光合成速度が立山の集団において約4倍高いことを報告している。今回の結果は、このような光合成速度の差異が、葉緑体数の違いによって引き起こされている可能性を示唆する証拠として極めて重要であると思われる。

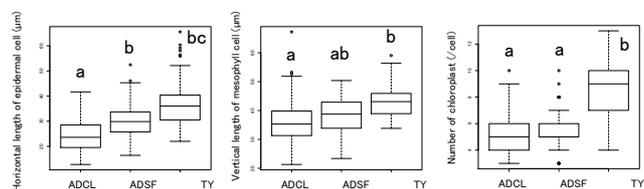


図3. 北極圏 (ADCL と ADSF) と立山 (TY) のチョウノスケソウ集団における、表皮細胞長 (水平方向: 左図)、柵状組織上層の葉肉細胞 (鉛直方向: 中図)、及び葉肉細胞あたりの葉緑体数 (右図) の比較。図中のアルファベットは統計的に有意な差を示す (GLMM により解析)。

北極圏と中緯度高山の集団間における比較を通じて、寒冷適応した植物がどのように異なる環境に分布域を広げ、その過程でどのように局所的な環境に適応してきたのかについて、興味深い情報を得ることができる。このような観点から、今後の国際的な共同研究のさらなる発展に期待したい。

(別紙) 参加者一覧

1. 島 朱音 (富山大学理学部生物圏環境科学科)
2. 玉置 大介 (富山大学大学院理工学研究部 (理学領域))
3. 唐原 一郎 (富山大学大学院理工学研究部 (理学領域))
4. 関川 清広 (玉川大学農学部環境農学科生態系科学領域)
5. Cooper J Elizabeth (UiT The Arctic University of Norway)

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（5）極 地 工 学

南極での緊急時メッセージ通信システムに関する研究

◎五十嵐喜良 京都大学大学院情報学研究科・招へい研究員

梅野 健 京都大学大学院情報学研究科・教授

(国立極地研究所)

菊池 雅行 助教

岡田 雅樹 教授

平成 28 年～平成 29 年度 (2 か年)

[研究成果]

イリジウム衛星通信システムを利用した緊急メッセージ通信装置を用い、南極での緊急時あるいは野外観測活動他のユースケースを想定したメッセージ通信実験を昭和基地周辺で行い、ユースケース毎に緊急メッセージ通信装置の信頼性・有効性を検証し、南極観測での安全なオペレーションに適した情報セキュリティレベルの高い緊急時メッセージ通信システムの研究提案を行った。

緊急メッセージ通信装置として双方向救急通信装置 (BEBor) を用い (図 1)、国立極地研究所の周辺および北極圏のニーオルスン (NyA) 基地で緊急時メッセージ通信実験を行い、通信機能、救難アイテムとしての有効性を検証した。

この緊急メッセージ通信装置は、緊急ボタン (HELP) を押すだけで、予め登録した 5 つの電子メールアドレスに、救難信号を送信できる。救難信号受信者は、「救難信号受理」、「救助隊到着予想時間」等の予め登録されたメッセージを専用の環視画面からワンクリックで返信できるリターンリンク機能 (参考文献 1) を搭載している。返信メールが届くと、BEBor 本体の 3 色の LED で通信状態を知ることができると共に、女性の声が聞こえる。GPS 位置情報を 5 分/20 分毎に送信できるトラッキング機能もあり、基地やベースキャンプで旅行隊や野外活動の行動を常時把握できるので、即応した緊急対応が可能である。南極でのユース

ケースとして、旅行隊や野外調査活動での利用が想定される (図 2)。質量は 170 g で、本体単体でも水に浮く機能があるので、単独での野外行動時の救急通信装置としても有効である。



PHOTO: K.IGARASHI

図 1. 双方向救急通信装置 (BEBor)

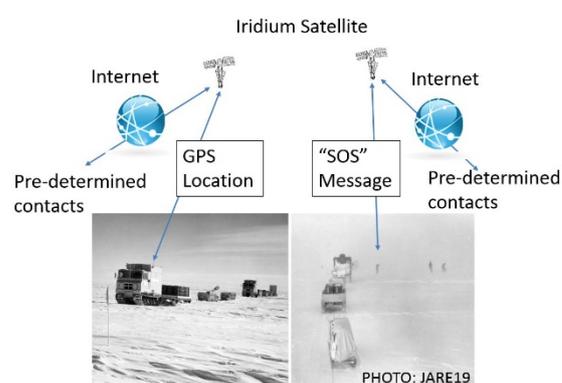


図 2. 旅行隊や野外調査のユースケース例

国立極地研究所周辺で、車での移動によるルートトラッキング実験写真を示す (図 3)。この救難信号発信実験結果を表示する監視 PC モニター画面を示す (図 4)。救難信号は、3 分以内には監視 PC モニター画面で確認できた。音声によるリターンリンク機能の確認もできたが、イリジウム衛星

の軌道配置の関係で少し時間がかかる場合もあった。



図 3. 車での移動によるルートトラッキング実験

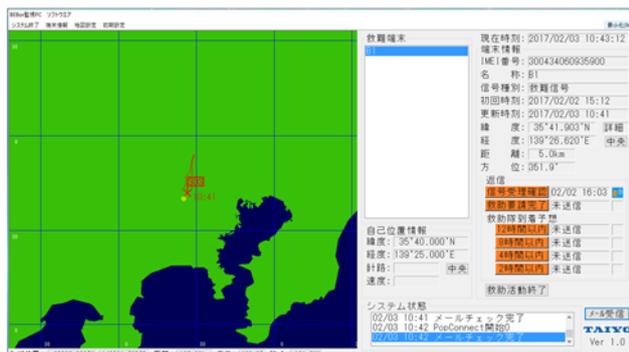


図 4. 国立極地研究所周辺での救難信号発信実験結果(国立極地研究所での監視 PC モニター画面；2017年2月2日16:03JST 信号受理確認)

共同研究期間内に、南極での通信実験は難しかったので、北極圏の NyA 基地での緊急時メッセージ通信実験を計画した。救難信号発信者として本実験に協力いただく方に対する双方向救急通信装置 (BEBor) の使用法の講習を30分程度行い、NyA 基地に持ち込んでもらい、2017年9月22日05:30 UTC 頃に、救難信号発信実験を実施した。その手順は、以下の通りであった。

- (1) HELP ボタンを長押し>「救難信号送信中」を数回言う+送信ランプ (SNT) 点滅

[参考文献]

- 1) 三浦正春, 市村隆之, 五十嵐喜良, 有竹信夫 (2012): 搜索救助衛星システムの高度化に関する実衛星による実証試験, 信学技報, SANE, 宇宙航空エレクトロニクス, Vol. 111, No. 436, pp. 13-18.

[研究発表]

Igarashi, K., K. Umeno, M. Okada, and M. Kikuchi (2016), Study on emergency message communication system for ensuring safety in Antarctica under extremely severe environments, 2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), pp.116-119.

- (2) 1、2分放置

- (3) CANCEL ボタン長押し>「キャンセル信号送信中」を数回発声 + SNT 点灯

- (4) 再度 CANCEL ボタン長押し>SNT 消灯

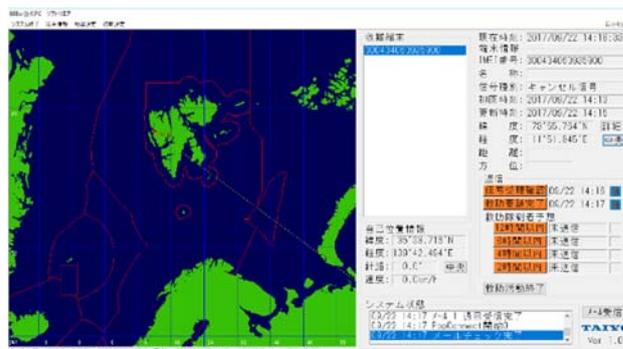


図 5. ニーオルスン基地での救難信号発信実験結果(日本での監視 PC モニター画面)



図 6. 救難信号発信実験時に、ニーオルスン基地(中央)で見たイリジウム衛星の軌道配置(2017年9月22日 05:30UTC)

救難信号の発信は問題ないものの、救助要請を行ったという返信メッセージは、イリジウム衛星の位置関係によっては、到達していない可能性があります。しかし、救難アイテムとして、最低限の講習で、極地の遭難者の位置を日本から確認できたことは、意味のある成果だと考えられる。

極地建築・土木に関する雪氷防災工学研究

◎金 高義 福島工業高等専門学校建設環境工学科・助教
(国立極地研究所)

菊池 雅行 助教

【研究期間】

平成29年～平成29年（1か年）

[研究成果]

1. はじめに：

南極地域観測隊の活動において、昭和基地建物群のスノドリフトは大きな問題である。具体的にどの建物周辺にどれだけのスノドリフトが発達するかについての定量的な監視にはいまだに至っていない。そのために現在必要なことは、“安価・安全・容易”な積雪観測手法である。近年のマルチコプターと呼ばれるラジコンの電動マルチローターヘリコプターとコンパクトデジタルカメラの小型化と性能向上はめざましい。また、取得した複数の空撮写真から3次元モデルを構築する **Structure from Motion**（以下、**SfM**）手法は航空写真測量技術に適用され、道路のり面の積雪モニタリングに活用されている¹⁾。以上より、マルチコプター空撮手法によるスノドリフト監視手法の構築を目指す。本研究では、第一段階として **SfM** モデルの精度検証を実施した。

2. 写真測量：

マルチコプター空撮で使用するカメラは高解像度センサーを持ち軽量であることが求められる。また、機体真下のオーバーラップした写真を撮影するために十分なインターバル速度機能を持つことも必要である。これらの条件を満たすリコー社製・**GR**を使用した。また、空撮写真から3次元地形モデルの作成には商用ソフトウェアの **Agisoft** 社製・**PhotoScan Professional ver.1.2.4** を用いた。

カメラをカーボンポール（最大長さ10m）から、3m上空からつるし、毎秒1枚インターバルで空撮を実施した（図1）。

観測は福島高専内の野外階段（北緯 37 度 01 分 55.0 秒，東経 140 度 53 分 19.1 秒）で実施した。

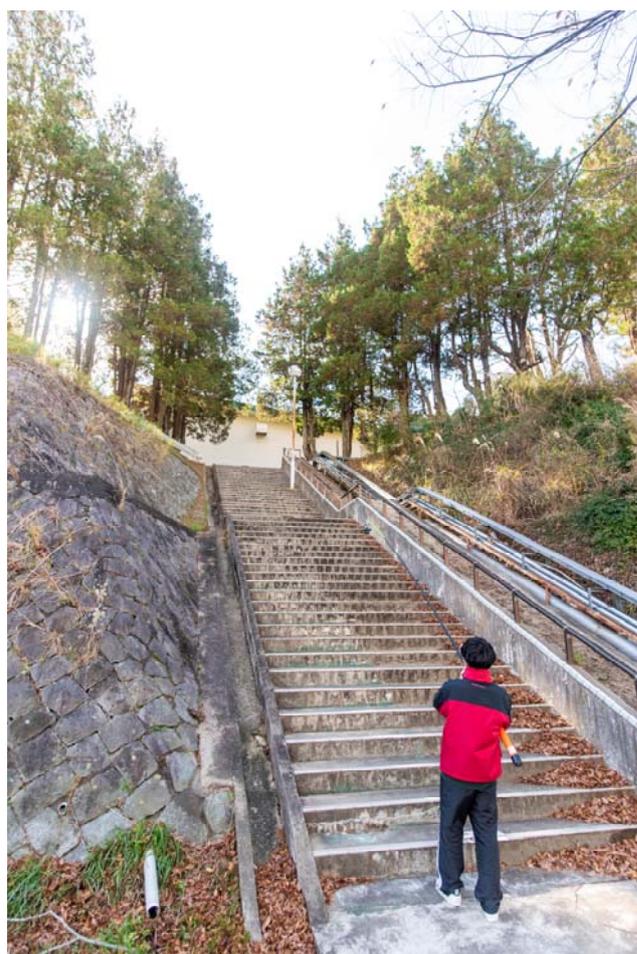


図1：空撮の様子

3. 予備的解析：

撮影された写真の一例を図2にしめす。次にそれぞれの空撮写真を **SfM** によって結合し3D点群モデルを作成した（図2）。

階段は 49 段である。水準測量の結果を模範解答として、SfM 上と 3D レーザー測量の結果を比較検証した。SfM は 2mm 以内の精度を示し、3D レーザー測量と同等以上の精度をしめした (図 3)。



図 2 : 空撮写真の一例

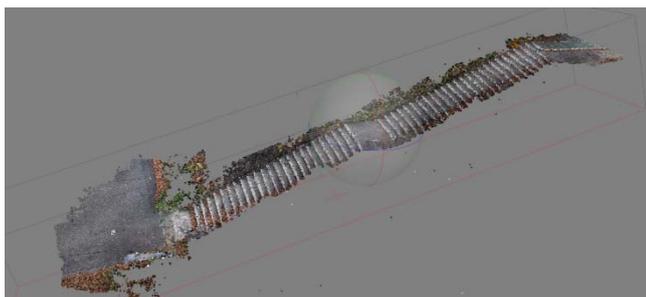


図 3 : SfM

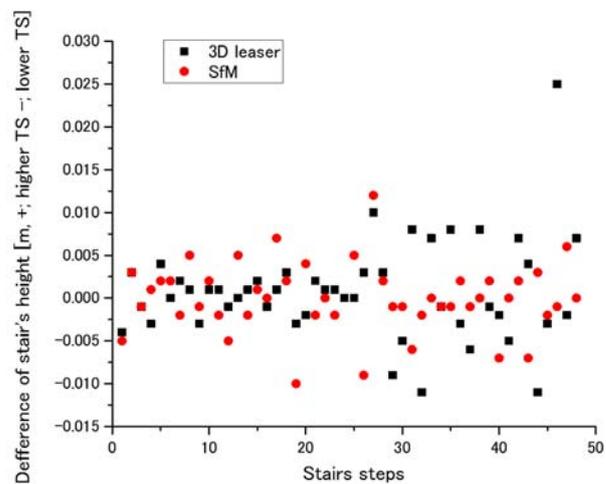


図 4 : 各段の高さの比較

4. まとめと今後 :

構築された SfM は高精度の結果をしめした。本研究で得られた知見を基に、南極昭和基地でのマルチコプター空撮を計画している。また、現地データと風洞実験結果の比較検証を計画している。

[参考文献]

1) 金高義, 内山庄一郎, 積雪観測のためのマルチコプター空撮技術 —2015/2016 年冬期の福島県西会津国道 49 号線道路法面の事例研究— 福島工業高等専門学校研究紀要 57 59-62 2016 年 12 月

[研究発表]

なし。

Ⅱ. 研究集会報告

研究集会

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | ※係記入欄 | | | | |
|--|--|-------|-------------------------|------|--------|----|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> その他 | | | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | 可聴下波動伝播特性による極域の多圏融合物理現象解明に関する研究集会-III | | | | | |
| 開催日時 | 2018年3月27日～28日 | 開催場所 | 極地研 3Fセミナー室・DS棟1F多目的会議室 | | | |
| 概要 | <p>極域で様々な励起源をもつ可聴下周波数帯域(数10Hz～0.001Hz)の波動伝播特性から、大気-海洋-雪氷-固体地球の多圏システムにおける物理的相互作用のメカニズム解明に関する研究成果の発表・意見交換を中心に行った。なお、科研費補助金(基盤A一般)の年次会合を兼ねて実施した。</p> <p>初日は昭和基地インフラサウンドデータの長期トレンド、インフラサウンドアレイ観測データ解析、しらせ船上でのインフラサウンド観測、昭和基地の遠地地震検知率・複数の気象要因を考慮した統計解析、昭和基地で観測される2013-2015年の氷震微動、グリーンランドの3成分連続地震波形データを用いた地震波干渉法解析等、両極での研究成果の最新の話題提供があった。</p> <p>二日目はグリーンランドGLISN観測の現況、第59次JARE夏隊報告、第58次JARE越冬隊報告、等について成果紹介があった。また午後には、科研費研究の進め方、観測隊の準備予定、データ処理管理公開について意見交換を行った。</p> | | | | | |
| 報告者(担当者) | 金尾 政紀 | | | | | |
| 所内参加者数 | 2名 | 合計 | 28名 | | | |
| 所外参加者数 | 26名 | | | | | |
| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
| 大学・機関名 | 参加者数 | | | | | 備考 |
| | | 内、外国人 | 内、若手 | 内、女性 | 内、大学院生 | |
| JAXA | 1 | | | | | |
| 九州大学 | 2 | | | | 1 | |
| 東北大学 | 2 | | | | | |
| ニシム電子工学(株) | 1 | | | | | |
| 北海道大学 | 1 | | | | | |
| 愛知教育大学 | 1 | | | | | |
| 海洋研究開発機構 | 1 | | | | | |
| 金沢大学 | 2 | | | | 1 | |
| 元極地研究所 | 1 | | | | | |
| 高知工科大学 | 5 | | | 1 | 3 | |
| 小林理研 | 2 | | | | | |
| 常盤大学 | 1 | | | | | |
| 森林総合研究所 | 1 | | | 1 | | |

| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
|---------------|------|-----|----|----|------|----|
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内、 | 内、 | 内、 | 内、 | 備考 |
| | | 外国人 | 若手 | 女性 | 大学院生 | |
| 東邦マーカンタイル株式会社 | 1 | | | | | |
| 苫小牧高専 | 1 | | | | | |
| 日本気象協会 | 1 | | | | | |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | ※係記入欄 | | | | |
|--|---|-----------|----------|----------|------------|----|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 研究集会 研究会 ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他 </div> | | | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | 低廉光学機器による超高層大気ネットワーク計測に関する研究会 | | | | | |
| 開催日時 | 2018年2月23日 11:00-18:00 | 開催場所 | 多目的会議室 | | | |
| 概要 | 近年、超高層大気研究において展開されつつある低廉な光学観測について、現状の整理と成果について議論した。観測事例や新たな光学測器、衛星観測との協働だけでなく、これまで各研究者が個別に進めてきた観測のハードウェア・ソフトウェアについても情報共有することができた。最後に、これらの共有した情報を基に、低廉光学機器を用いた将来構想についても討論した。 | | | | | |
| 報告者 (担当者) | 鈴木臣 | | | | | |
| 所内参加者数 | 2名 | 合計 | 16名 | | | |
| 所外参加者数 | 14名 | | | | | |
| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | 備考 |
| 愛知大学 | 1 | | | | | |
| 情報通信研究機構 | 2 | | 1 | 1 | | |
| 国立極地研究所 | 2 | | | | | |
| 高知工業高等専門学校 | 1 | | | | | |
| 大阪電気通信大学 | 1 | | | 1 | | |
| 電気通信大学 | 2 | | | | | |
| 名古屋大学・宇宙地球環境研究所 | 1 | 1 | 1 | | 1 | |
| 千葉大学大学院 | 1 | | | | | |
| 東北大学 | 2 | | 1 | | 1 | |
| 静岡県立磐田南高等学校 | 1 | | | | | |
| 明治大学 | 1 | | 1 | | | |
| 電子航法研究所 | 1 | | | | | |
| | | | | | | |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
|----------|------|-----------|----------|----------|------------|-------|
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内訳 | | | | 備考 |
| | | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | |
| 明治大学 | 4 | | 1 | | 3 | 学部生含む |
| 茨城大学 | 3 | | | | 3 | |
| 情報通信研究機構 | 6 | | 1 | | | |
| 電気通信大学 | 3 | | 1 | | 2 | |
| 北九州高専 | 3 | | 1 | | 2 | 学部生含む |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | 41 | | | | | |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | ※係記入欄 | | | | |
|--|---|-----------|----------|----------|------------|----|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> その他 | | | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | サブストーム・オーロラシーケンス生成機構研究会 | | | | | |
| 開催日時 | 平成29年9月25日 | 開催場所 | 京大東京オフィス | | | |
| 概要 | <p>あらゆる磁気圏変動のフリーエネルギーの元は、対流であると考えられます。サブストームは磁気圏変動の中で、最古にして最大の未解決問題です。サブストームでは、成長相のquiet arc、オンセットのinitial brightening、拡大相のwestward traveling surge というように、明確なオーロラシーケンスがあります。これらの個々の観測に対しては、様々なモデルが提案されていますが、その多くは対流の構造を関連させていないようです。ところが最近、サブストームは対流の遷移とし理解でき、サブストーム・オーロラシーケンスは対流の発展に対応することが分かってきました。オーロラは上向き沿磁力線電流と対応し、その起源はダイナモです。従ってオーロラシーケンスに対して、ダイナモの生成機構、それを駆動する対流構造が明らかにされなければなりません。この研究集会では、オーロラ発生の様相、サブストーム電流系、サブストーム沿磁力線電流とそれを発生させるダイナモ、ダイナモを励起するエネルギー変換、対流の変動構造、などについて議論しました。</p> | | | | | |
| 報告者 (担当者) | 片岡龍峰(九州大学:学術研究員・田中 高史) | | | | | |
| 所内参加者数 | 3名 | 合計 | 12名 | | | |
| 所外参加者数 | 9名 | | | | | |
| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | 備考 |
| 東北大 | 1 | | | 1 | 1 | |
| 京大 | 1 | | | | | |
| 九州大学 | 3 | | | | | |
| 吉備国際大学 | 1 | | | 1 | | |
| 名古屋大学 | 1 | | | | | |
| 大阪市立大学 | 1 | | | | | |
| オフィスジオ | 1 | | | | | |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | ※係記入欄 | | | | |
|--|--|-----------|----------|----------|------------|----|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> その他 | | | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | 永久凍土の変動とそのモニタリングに関する研究集会 | | | | | |
| 開催日時 | 平成30年3月7-8日 | 開催場所 | 国立極地研究所 | | | |
| 概要 | <p>表記研究集会を国立極地研究所を会場として2日間にわたって開催した。研究発表は初日の7日に7件、翌8日に5件、合計12件が行われた。発表内容は多岐にわたっており、日本国内の季節凍土の分布・永久凍土の観測結果、室内実験とシミュレーションによる土壌中の水分移動の推定、全球的な地下氷と土壌炭素収支を推定する数値モデル、火星と地球の周氷河地形の比較、北極域における衛星データを用いたモニタリング結果などであった。また、福島第一原子力発電所での凍土遮水壁の状況の紹介、日本における海水工学と凍土工学の歩みの紹介、一般向けの凍土本の作成に向けた議論、極地カナダにおける研究機関と共同研究に関する紹介も行われた。これらの研究発表等では、質疑応答も含めて一人あたりの持ち時間を40分に設定することで詳細な解説と深い議論が可能となり、今回の研究集会においても十分な情報交換と議論を行うことができた。また、国内外の最新の研究状況を共有し、現在進行中のプロジェクトの紹介も行われるなど、これから研究を進める上での重要な情報源となった。このように、凍土をキーワードとして永久凍土の研究者をはじめとして多分野の研究者が集まり、議論に多くの時間を割くことの出来た、大変有意義な研究集会であった。</p> | | | | | |
| 報告者 (担当者) | 原田 鉦一郎 | | | | | |
| 所内参加者数 | 4名 | 合計 | 19名 | | | |
| 所外参加者数 | 15名 | | | | | |
| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内訳 | | | | 備考 |
| | | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | |
| 宮城大学 | 1 | | | | | |
| 筑波大学 | 3 | | | | 1 | |
| (株)精研 | 2 | | | | | |
| 海洋研究開発機構 | 2 | | | | | |
| 三重大学 | 2 | | | | | |
| 専修大学 | 1 | | | 1 | | |
| 低温圏工学研究所 | 1 | | | | | |
| 鹿島建設(株) | 2 | | | | | |
| 北海道大学 | 1 | | | | | |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
|----------|------|-------|------|------|--------|--------|
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内訳 | | | | 備考 |
| | | 内、外国人 | 内、若手 | 内、女性 | 内、大学院生 | |
| 武蔵野美大 | 1 | | | 1 | | |
| 酪農学園大 | 1 | | | | | 学部生が1名 |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
|----------|------|-----------|----------|----------|------------|----|
| 大学・機関名 | 参加者数 | | | | | 備考 |
| | | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | |
| 茨城大学 | 3 | | 3 | 2 | 3 | |
| 気象研究所 | 1 | | 1 | | | |
| 気象大学校 | 1 | | | | | |
| 成蹊大学 | 1 | | | | | |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | ※係記入欄 | | | | |
|---|---|------------------------|--------------|----------|------------|--------|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> その他 | | 研究集会 研究会 ワークショップ | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | 2017年 南極医学医療ワークショップ | | | | | |
| 開催日時 | 2017年7月22日(土曜日)10時～18時 | 開催場所 | 国立極地研究所・大会議室 | | | |
| 概要 | <p>本ワークショップは観測隊での医学研究成果や今後の研究や医療の方向に関する知見・意見を集約するとともに、当年出発する観測隊での医学研究の実施計画策定に資することを旨として毎年この時期に開催している。15件の発表があり、昼食時、ワークショップ前後の懇親会を通して様々な質疑応答、情報交換が行われた。</p> <p>中国の長城基地で昨年越冬した医師からは、キングジョージ島で越冬する6カ国の基地の医師のネットワークにより、現場での医療処置が円滑に行われている状況等が報告され、インド、韓国の医師からは、事故等での緊急搬出の事例などが紹介された。このほか、ドームふじ旅行隊での、高所医学的調査結果の紹介があった。SCAR-COMNAPの合同専門家会議(JEG-HBM)の副議長であり、本WSの共同コンビーナーの大野義一朗・極地研客員教授からは、国際的な南極医療における問題、トピックスなどにつき紹介があった。昭和基地、世宗基地からの通信衛星経由のライブ報告もあり、最新の情報交換の場として参加者から好評だった</p> | | | | | |
| 報告者 (担当者) | 大野義一朗・渡邊研太郎 | | | | | |
| 所内参加者数 | 6名 | 合計 | 44名 | | | |
| 所外参加者数 | 38名 | | | | | |
| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | 備考 |
| JAXA | 4 | | | | | |
| 韓国極地医学会 | 4 | 4 | | | | 韓国隊医師 |
| 第59次観測隊 | 3 | | | | | |
| 第58次観測隊 | 2 | | | | | @昭和基地 |
| 同済大学医学院附属東方医院 | 1 | 1 | | | | 中国隊医師 |
| インド・コルカタ区州立病院(元) | 1 | 1 | | | | インド隊医師 |
| 福島県立大、筑波大、首都大学東京、昭和大、聖マリアンナ医大、京大、立命館大、京都光華女子大、奈良女子大、大阪府立大、鳥取大(各1名) | 11 | | 2 | 4 | | |
| 札幌徳州会病院、東葛病院、TMCとちぎメディカルセンター、金町駅前クリニック、聖隷浜松病院、大阪警察病院、明石市立市民病院、大島病院(各1名) | 8 | | | 3 | | |
| 富士通 | 2 | | | | | |
| 株)塚田メディカル・リサーチ、都築電気(株) | 2 | | | | | |

- 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。
- 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。
外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。
- 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | | | | | ※係記入欄 |
|--|--|-----------------------|-------------|----------|------------|-------|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> その他 | | | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | 無人航空機の活用による極地観測の展開(第7回) | | | | | |
| 開催日時 | 2017年7月6日13:00～18:00 | 開催場所 | 極地研究所2階中会議室 | | | |
| 概要 | 無人航空機を用いた気象観測に関する国際学会の概要, 58次隊夏隊によるS17航空拠点での無人航空機によるエアロゾル観測の概要, 57次隊越冬隊による氷状偵察や積雪深分布計測, 60次隊のバイオエアロゾルサンプリング計画の紹介, GPS計測の課題, 国内における飛行申請手続きに関する情報交換, 59次隊以降の開発・観測計画などが紹介された。 | | | | | |
| 報告者 (担当者) | 林政彦(福岡大学理学部) | | | | | |
| 所内参加者数 | 3名 | 合計 20 名 | | | | |
| 所外参加者数 | 17名 | | | | | |
| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | 備考 |
| 極地研究所名誉教授 | 2 | | | | | |
| 極地研究所OB | 1 | | | | | |
| 福岡大学 | 2 | | | | | |
| 九州大学 | 1 | | | | | |
| 弘前大学 | 1 | | | | | |
| kktイノベート | 1 | | | | | |
| KDDI | 1 | | | | | |
| NEC | 1 | | | | | |
| 野外科学(株) | 1 | | | | | |
| ロボティスタ (株)四門 | 2 | | | | | |
| (株)日立プラントコンストラクション | 1 | | | | | |
| X streme Japan | 1 | | | | | |
| 山梨技術工房 | 1 | | | | | |

○ 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。

○ 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。

外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。

○ 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | ※係記入欄 | | | | |
|---|--|-----------|----------|----------|------------|----|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> その他 | | | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | 極域・中緯度SuperDARN研究集会 | | | | | |
| 開催日時 | 2017/9/11-13 | 開催場所 | 情報通信研究機構 | | | |
| 概要 | <p>1995年極地研も創設メンバーとして加盟して開始された国際短波レーダー観測網プロジェクト「SuperDARN」は、22年目を迎えた。特に近年では極域のみならず中緯度へも視野を拡大し、磁気嵐の全体像やサブオーロラ帯の現象、高～中緯度の領域間結合の研究も発展している。一昨年～昨年同様、日本で加盟する極地研、情報通信研究機構、名古屋大学の3機関が主催する共催の形式で開催し、極域並びにサブオーロラ帯や高中緯度間結合を含めた超高層大気研究に関する研究会を実施し、現在進行中の様々な共同研究の進捗や成果について発表して情報交換を行うと共に、今後日本のSuperDARN研究界が世界を牽引してゆくべき重要課題について掘り下げた議論を行った。今年度は、「MTI研究集会」、「IUGONET研究集会」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」との合同開催の形でNICTにて開催された(極地研共催)。特に昨年12月に打ち上げられ、今年3月から本格観測を開始した「あらせ」(ERG)衛星との同時観測campaignの初期解析結果等、最新の研究成果発表と活発な議論が行われた。また、同期間中に、共同研究契約を締結しているSuperDARN国内腫瘍研究機関5機関のコアメンバーによる情報共有と今後についての議論の為に会合も行った。</p> | | | | | |
| 報告者 (担当者) | 行松 彰 | | | | | |
| 所内参加者数 | 5 名 | 合計 | 46 名 | | | |
| 所外参加者数 | 41 名 | | | | | |
| 所外参加者の内訳 | | | | | | |
| 大学・機関名 | 参加者数 | 内訳 | | | | 備考 |
| | | 内、 外国人 | 内、 若手 | 内、 女性 | 内、 大学院生 | |
| 極地研 | 5 | | 2 | 1 | | |
| 情報通信研究機構 | 10 | | 1 | 2 | | |
| 名古屋大学 | 11 | | 3 | 1 | 3 | |
| 九州大学 | 3 | | | 1 | | |
| 京都大学 | 4 | | | | | |
| 電気通信大学 | 3 | | 1 | | | |
| 千葉大学 | 5 | | | | | |
| 大阪電気通信大学 | 1 | | | 1 | | |
| 高知工科大学 | 1 | | | | | |
| 宇宙科学研究所 | 1 | | | | | |
| 立教大学 | 1 | | | | | |
| 気象大学校 | 1 | | | | | |

○ 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。

○ 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。

外国人は外国籍または海外機関に所属する者、若手は35歳以下(大学院生含む)とします。

○ 大学・機関は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

集 会 等 実 施 報 告 書

| | | | | | ※係記入欄 | |
|--|--|--------------|--|-----------------|----------|-----------|
| <input type="checkbox"/> シンポジウム ■ 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> 談話会・講演会 <input type="checkbox"/> その他 | | | | | | |
| いずれかを■にしてください。 | | | | | | |
| 集会名 | 「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の推進 | | | | | |
| 開催日時 | 平成30年2月1日 | | | 開催場所 | 京大東京オフィス | |
| 概要 | マスタープラン2014及びロードマップ2014重点大型研究計画の1つに選出された研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」は、太陽エネルギーとプラズマが地球に流入する過程、ならびに、太陽活動の短期・長期変動に対する地球周辺環境(大気圏、電離圏、磁気圏)の応答過程を解明することを研究目的としている。学術の大型研究計画に関して、マスタープラン2017のフォローアップ等を目的とした地球惑星科学分野における大型研究計画のヒアリングが2018年3月28日(水曜日)に実施されることが決定した。このヒアリング対応及び、今後募集が想定される次期大型研究計画に関するマスタープラン(マスタープラン2020)への提案内容を、本研究集会にて関係者間で重点的に検討・議論した。 | | | | | |
| 報告者(担当者) | 中村卓司、宮岡宏、小川泰信(山本 衛:京都大学生存圏研究所) | | | | | |
| 所 内 | 氏名 | 所属 | | 大学院生※ (総研大生) | 外国人※ | 備考 |
| | 宮岡 宏 | 国際北極環境研究センター | | | | |
| | 小川 泰信 | 国際北極環境研究センター | | | | |
| | 中村卓司 | 宙空圏研究グループ | | | | ウェブ会議での参加 |
| | 小計 | 3 名 | | | | |
| 所 外 | 氏名 | 所属 | | 大学院生※ | 外国人※ | 備考 |
| | 山本 衛 | 京大RISH | | | | |
| | 野澤悟徳 | 名大ISEE | | | | |
| | 塩川和夫 | 名大ISEE | | | | |
| | 橋口浩之 | 京大RISH | | | | ウェブ会議での参加 |
| | 津田敏隆 | 情・シ機構 | | | | ウェブ会議での参加 |
| 小計 | 5 名 | | | | | |
| 合計 | 8 名 | | | 大学院生 | 0 名(内数) | |
| | | | | 外国人 | 名(内数) | |

※注 「大学院生」、「外国人」に該当する場合は、○を記入してください。

○ 所属は略称でも可です。(例:北海道大学低温科学研究所 → 北大低温研)

○ 所属先機関が国外の場合、備考欄に国名を記入して下さい。

Ⅲ. 平成 2 9 年度共同研究課題一覧

1.平成29年度共同研究実施件数

| 区分 | 研究分野 | 一般共同研究 | | | 平成29年度 終了件数 | 平成29年度 継続件数 |
|--------|------|--------|----|-----|----------------|----------------|
| | | 継続 | 新規 | 計 | | |
| | | 件数 | 件数 | 件数 | | |
| 一般共同研究 | 宙空圏 | 14 | 18 | 32 | 10 | 22 |
| | 気水圏 | 16 | 9 | 25 | 8 | 17 |
| | 地圏 | 12 | 10 | 22 | 5 | 17 |
| | 生物圏 | 18 | 7 | 25 | 11 | 14 |
| | 極地工学 | 6 | 2 | 8 | 2 | 6 |
| | 計 | 66 | 46 | 112 | 36 | 76 |
| 研究集会 | | 24 | | | 23 | - |

※研究集会の1件は開催せず

2. 一般共同研究

| 分野 | No. | 研究課題名 | 研究代表者氏名 | 所属・職 | 研究期間 | |
|------|-----------------------------|---|------------------------|---------------------------------|---------|----|
| | | | | | | |
| 宙空圏 | 27-1 | 衛星観測ならびに地上観測に基づく内部磁気圏プラズマダイナミクス及び電離圏-磁気圏結合の研究 | 熊本 篤志 | 東北大学大学院理学研究科・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-3 | レーダー・磁力計・オーロラTV観測によるSC, PC5の研究 | 菊池 崇 | 名古屋大学宇宙地球環境研究所・名誉教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-4 | レーダー・ライダーを用いた極域下部熱圏・中間圏大気ダイナミクスの解明 | 野澤 悟徳 | 名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-8 | 極域地上データに基づく磁気嵐時のULF波動特性の研究 | 北村 健太郎 | 徳山工業高等専門学校機械電気工学科・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-11 | グローバルMHDシミュレーションによるオーロラ現象再現性の検証 | 才田 聡子 | 北九州工業高等専門学校生産デザイン工学科・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 28-1 | Substorm発生時におけるオーロラ及びPi型波動の発達過程の究明 | 櫻井 亨 | 東海大学・名誉教授 | H28～H29 | 2年 |
| | 28-2 | ライダーシステムを活用した大気科学・大気環境監視に関する研究 | 津田 卓雄 | 電気通信大学情報理工学研究科・助教 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-3 | 光学オゾンゾンデを用いた成層圏オゾンおよび二酸化窒素の観測 | 村田 功 | 東北大学大学院環境科学研究科・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-4 | 昭和基地宇宙線観測システムの開発 | 宗像 一起 | 信州大学理学部・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-5 | SuperDARNで観測される磁力線共鳴現象からの磁気圏領域推定 | 河野 英昭 | 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-7 | 新しいレーザー技術の南極観測への応用 | 桂川 眞幸 | 電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-8 | 超高高度分解能共鳴散乱ライダーのための受信系開発 | 川原 琢也 | 信州大学学術研究院工学系・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-10 | 高感度小型全天カメラの多地点観測による大気光研究 | 鈴木 臣 | 愛知大学地域政策学部・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-11 | 薄明大気光観測用小型ファブリペロイメジャーの開発 | 鈴木 秀彦 | 明治大学理工学部・専任講師 | H28～H29 | 2年 |
| | 29-1 | 地上多点光学観測による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究 | 塩川 和夫 | 名古屋大学宇宙地球科学研究所・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-2 | 国際宇宙ステーションでの放射線計測と影響評価に関する共同研究 | 上野 遥 | 宇宙航空研究開発機構研究開発部門 第一研究ユニット・研究開発員 | H29 | 1年 |
| | 29-3 | 大型レーダー流星ヘッドエコーと超高感度高速カメラを用いた超微光流星の観測 | 阿部 新助 | 日本大学理工学部航空宇宙工学科・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-4 | 太陽圏と宇宙線のシミュレーション研究 | 三宅 晶子 | 茨城工業高等専門学校国際創造工学科・准教授 | H29～H30 | 2年 |
| | 29-5 | サブストーム・オーロラシーケンスの統一理論 | 田中 高史 | 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・学術研究者 | H29～H30 | 2年 |
| | 29-6 | 北極域における人工衛星電波を用いた電離圏シンチレーション観測 | 大塚 雄一 | 名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| 29-7 | オーロラ活動時におけるVLF、降下電子特性に関する研究 | 田所 裕康 | 武蔵野大学工学部環境システム学科・講師 | H29～H31 | 3年 | |
| 29-8 | 惑星間空間磁場北向き時の特異な極域電離圏対流の起源 | 渡辺 正和 | 九州大学国際宇宙天気科学教育センター・准教授 | H29～H31 | 3年 | |

| 分野 | No. | 研究課題名 | 研究代表者氏名 | 所属・職 | 研究期間 | |
|-----|-------|--|------------|---------------------------------------|---------|----|
| 宙空圏 | 29-9 | 降下粒子によるオーロラ発光モデルの開発と粒子コードとの連携計算 | 加藤 雄人 | 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-10 | SuperDARNIによる極域・中緯度における熱圏・電離圏・磁気圏ダイナミクスの比較研究 | 西谷 望 | 名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-11 | 磁気嵐時におけるグローバルなプラズマ圏・プラズマ圏界面の時間・空間変動特性 | 新堀 淳樹 | 名古屋大学宇宙地球環境研究所・研究員 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-12 | MHDシミュレーションデータを用いたシートオーロラ発生機構の研究 | 小原 隆博 | 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター・センター長(教授) | H29 | 1年 |
| | 29-13 | 南極中間圏潮汐の気候変動:観測とモデルの比較 | Huixin Liu | 九州大学理学研究院地球惑星科学部門・准教授 | H29 | 1年 |
| | 29-14 | アイスランドにおける宇宙線生成核種強度の時間変動と太陽活動の関係についての研究 | 門叶 冬樹 | 山形大学理学部・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-15 | 極域の大気電場観測データを用いた全地球電気回路の研究 | 鴨川 仁 | 東京学芸大学教育学部・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-16 | 極域擾乱電場による低緯度電離圏の時間変動特性の研究 | 橋本 久美子 | 吉備国際大学地域創成農学部・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-17 | 太陽起源高エネルギープロトンの地球磁気圏・大気圏への進入過程の研究 | 三好 由純 | 名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授 | H29～H30 | 2年 |
| | 29-18 | PBIの新解釈:電離圏起源のAlfven波による爆発的オーロラ増光理論の構築 | 吉川 顕正 | 九州大学国際宇宙天気科学教育センター・講師 | H29～H31 | 3年 |
| 気水圏 | 27-12 | グリーンランド氷床の雪氷試料の化学・生物分析 | 的場 澄人 | 北海道大学低温科学研究所・助教 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-13 | グリーンランド氷床に含まれる水溶性エアロゾルを用いた人為的気温変動の解読 | 飯塚 芳徳 | 北海道大学低温科学研究所・助教 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-14 | 次世代型液封深層掘削装置及び周辺機器の検討・開発 | 古崎 睦 | 旭川工業高等専門学校・教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-15 | 大気中酸素濃度変動に基づく炭素循環に関する研究 | 青木 周司 | 東北大学大学院理学研究科・教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-16 | X線小角散乱を用いた雪氷中エアロゾルのナノ情報解析技術の構築 | 本間 智之 | 長岡技術科学大学・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-18 | 雲粒子顕微鏡システムによる極域の雲の微物理特性 | 小林 拓 | 山梨大学大学院総合研究部・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 27-19 | 極域ガバナンスの研究—科学と法政策のインターフェイス | 柴田 明穂 | 神戸大学大学院国際協力研究科・教授 | H27～H29 | 3年 |
| | 28-12 | 北極チャクチ海における海水の係留・衛星観測研究 | 深町 康 | 北海道大学低温科学研究所・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-13 | ポリニヤでの海水生成及びそれに伴う南極底層水形成に関する研究 | 大島 慶一郎 | 北海道大学低温科学研究所・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-14 | 南極海水コアを用いた大気および海洋生物地球化学過程の解明 | 野村 大樹 | 北海道大学大学院水産科学研究院・助教 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-15 | 南極域における現地・衛星観測データを用いた海水厚導出アルゴリズムの開発 | 舘山 一孝 | 北見工業大学工学部・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-17 | しらせ氷海モニタリングデータの解析による海水状況の把握 | 山口 一 | 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-19 | リモートセンシング観測データを用いた雲の動態解析 | 久慈 誠 | 奈良女子大学自然科学系・准教授 | H28～H30 | 3年 |

| 分野 | No. | 研究課題名 | 研究代表者氏名 | 所属・職 | 研究期間 | |
|-------|-------|--|---------------------------------|---------------------------------------|------------|---------|
| 気水圏 | 28-20 | 南極表面積雪の物理解析 | 大野 浩 | 北見工業大学・助教 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-21 | 衛星搭載の合成開口レーダデータを用いた南極海水変動の解析 | 中村 和樹 | 日本大学工学部・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-22 | 近年の両極変化に伴う大気海洋循環変動と極端気象発現過程 | 本田 明治 | 新潟大学理学部自然環境科学科・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 29-19 | ディストロメーターを用いた降雪量推定法の改善 | 小西 啓之 | 大阪教育大学・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-20 | 極地雪氷コアの金属成分分析 | 鈴木 利孝 | 山形大学学術研究院理学部 主担当・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-21 | アジアダスト長距離輸送の十年スケール変動の解明～カナダ雪氷コアを用いた解析より～ | 長島 佳菜 | 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター・技術研究員 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-22 | 吹雪粒子からの昇華による大気への水蒸気供給の推定 | 杉浦 幸之助 | 富山大学研究推進機構極東地域研究センター・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-23 | 有機物質によるエアロゾル粒子の光学特性変化の評価 | 古賀 聖治 | 産業技術総合研究所環境管理研究部門・主任研究員 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-24 | アイスコア試料の高精度・大量測定に備えた水の同位体標準試料の作成 | 植村 立 | 琉球大学理学部海洋自然科学科化学系・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-25 | 両極の気候と双方向作用する大気・陸・海洋三位一体変動の研究 | 立花 義裕 | 三重大学生物資源学部・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-26 | 氷床コア深層掘削機の次世代コンピューターの開発 | 高田 守昌 | 長岡技術科学大学・助教 | H29 | 1年 |
| | 29-27 | 地中レーダー(GPR)を用いた南極氷床、山岳氷河、多年性雪溪の内部構造探査に関する研究 | 福井 幸太郎 | 立山カルデラ砂防博物館・主任学芸員 | H29～H31 | 3年 |
| | 地圏 | 27-20 | LGM以降のグリーンランド氷床融解史に関する地形・地質学的研究 | 前杵 英明 | 法政大学文学部・教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-21 | | インフラサウンドによる極域表層環境変動の研究 | 山本 真行 | 高知工科大学システム工学群・教授 | H27～H29 | 3年 |
| 28-23 | | 変成反応組織を用いたリュツォ・ホルム岩体での物質移動、変成継続時間の解明 | 池田 剛 | 九州大学大学院理学研究院・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-24 | | 微惑星表層に記録された衝突履歴の解明 | 宮原 正明 | 広島大学大学院理学研究科・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-25 | | 東南極ドロンピングモードランドおよびスカンジナビア半島に産する高度変成岩類に記録された部分熔融と流体活動履歴 | 河上 哲生 | 京都大学大学院理学研究科・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-26 | | 太古代・原生代の海洋底堆積物に残される地球海底環境変遷 | 清川 昌一 | 九州大学大学院理学研究院・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-27 | | 東南極ナピア岩体に産する造岩鉱物の微細組織観察および熱史への適用 | 三宅 亮 | 京都大学大学院理学研究科・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-28 | | 彗星及び小惑星起源の南極微隕石を用いた極初期の母天体過程の解明 | 野口 高明 | 九州大学基幹教育院・教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-29 | | リュツォ・ホルム岩体の変成作用と微小地塊・テレーンの多重衝突 | 馬場 壮太郎 | 琉球大学教育学部・教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-30 | | 南極産火星隕石の鉱物学的研究 | 三河内 岳 | 東京大学大学院理学系研究科・准教授 | H28～H29 | 2年 |
| 28-31 | | 南極内陸部のポリゴンに関する地形・地質学的研究 | 小山 拓志 | 大分大学教育学部・准教授 | H28～H29 | 2年 |

| 分野 | No. | 研究課題名 | 研究代表者氏名 | 所属・職 | 研究期間 | |
|-------|-------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|
| 地圏 | 28-32 | チリ海嶺—海溝に沈み込みつつある中央海嶺の火成活動の衰退 | 松本 剛 | 琉球大学理学部・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 29-28 | 極域の地震活動・地震発生機構・地球内部構造に関する総合的研究 | 坪井 誠司 | 国立研究開発法人海洋研究開発機構地球情報研究センター・部長 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-29 | 南極及び環太平洋に分布する迷子巨礫の古地磁気学による年代推定 | 中村 教博 | 東北大学高度教養教育・学生支援機構・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-30 | 重元素の局所同位体分析の開発と宇宙化学への応用 | 日高 洋 | 名古屋大学大学院環境学研究科・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-31 | 合成開口レーダ(SAR)データの偏波特性に着目した南極域の観測手法の高度化 | 大村 誠 | 高知県立大学文化学部・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-32 | 南極での野外絶対重力測定方法に関する研究 | 福田 洋一 | 京都大学大学院理学研究科・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-33 | 極域での岩石風化評価に関する物質科学的研究 | 金丸 龍夫 | 日本大学文理学部地球科学科・助教 | H29 | 1年 |
| | 29-34 | 古生代炭酸塩岩のストロンチウム安定同位体から探る表層境変動 | 可児 智美 | 熊本大学大学院先端科学研究部基礎科学部門・助教 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-35 | 松山-ブルン地磁気逆転境界の年代決定 | 岡田 誠 | 茨城大学理学部・教授 | H29～H30 | 2年 |
| | 29-36 | 日の出岬のアダカイト質トータル岩の成因論 | 廣井 美邦 | 千葉大学大学院理学研究科・名誉教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-37 | 誘導結合プラズマ質量分析法を用いた南極隕石分類法の確立 | 白井 直樹 | 首都大学東京大学院理工学研究科・助教 | H29～H31 | 3年 |
| | 生物圏 | 27-22 | キタゾウアザラシの摂餌回遊行動と海洋環境に関する研究 | 三谷 曜子 | 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-25 | | 南大洋の動物プランクトンを対象とした音響観測手法に関する研究 | 甘糟 和男 | 東京海洋大学学術研究院海洋環境学部門・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-26 | | 南大洋の海水中に出現する微細藻類の生理学的研究 | 宮崎 奈穂 | 東京海洋大学学術研究院海洋環境学部門・助教 | H27～H29 | 3年 |
| 27-27 | | 南極露岸域、氷河上に生育する藻類の光合成特性の解明 | 小池 裕幸 | 中央大学理工学部・教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-28 | | オホーツク海沿岸能取湖における海水生成期の低次生産層の動態 | 西野 康人 | 東京農業大学生物産業学部・教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-29 | | 極域生態系における元素循環関連遺伝子群の網羅的検出手法の開発 | 押木 守 | 長岡工業高等専門学校環境都市工学科・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-30 | | 極域における水環境中の窒素起源および窒素循環速度に関する研究 | 角皆 潤 | 名古屋大学大学院環境学研究科・教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-31 | | 海鳥類の採餌行動と活動中のエネルギー消費の測定 | 新妻 靖章 | 名城大学農学部・教授 | H27～H29 | 3年 |
| 27-32 | | ジャイロ・GPSロガーを用いたアデリーペンギンの採餌行動解析 | 三田村 啓理 | 京都大学大学院情報学研究科・准教授 | H27～H29 | 3年 |
| 28-33 | | 藻類の耐氷性に関する研究 | 高澤 伸江 | 京都学園大学バイオ環境学部・准教授 | H28～H29 | 2年 |
| 28-34 | | 野生植物に寄生する低温性糸状菌の多様性と生態解析 | 東條 元昭 | 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-35 | | 極域の光合成生物の生理応答機構の解析 | 菓子野 康浩 | 兵庫県立大学生命科学研究科・准教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-37 | | 昭和基地周辺モニタリング定点から分離された土壌藻類の分類学的研究 | 大谷 修司 | 島根大学教育学部・教授 | H28～H30 | 3年 |

| 分野 | No. | 研究課題名 | 研究代表者氏名 | 所属・職 | 研究期間 | |
|-------|-------|---------------------------------------|--------------------------|---|-------------|---------|
| 生物圏 | 28-38 | 亜寒帯域沿岸の表層水におけるpH高解像度マッピング技術の開発 | 今井 圭理 | 北海道大学水産学部附属練習船おしよろ丸・助教 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-39 | 極地に生息する病原体、病原因子・抗菌薬耐性因子の網羅的解析 | 石井 良和 | 東邦大学医学部・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-41 | 南極湖沼生態系の数理モデル化に関する研究 | 佐々木 顕 | 総合研究大学院大学先導科学研究科・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-42 | 南極の紫外線が生物に及ぼす影響に関する研究 | 高橋 哲也 | 島根大学人間科学部・教授 | H28～H30 | 3年 |
| | 28-43 | 南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明 | 上野 大輔 | 鹿児島大学大学院理工学研究科・助教 | H28～H30 | 3年 |
| | 29-38 | 極域地衣類に共生する微生物の種組成に関する研究 | 長沼 毅 | 広島大学大学院生物圏科学研究科・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-39 | 海洋酸性化がハダカカメガイ(通称クリオネ)に与える影響評価 | 山崎 友資 | 蘭越町貝の館・学芸員 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-40 | 動物化石資料や氷試料からの古代DNA解析 | 瀬川 高弘 | 山梨大学総合分析実験センター・特任助教 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-41 | 極域生態系にみられる菌多様性の空間パターンの分析 | 大園 享司 | 同志社大学理学工学部・教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 29-42 | 細胞が長鎖多価不飽和脂肪酸を合成するのは嫌気環境への適応か？ | 吉田 磨仁 | 北海道大学地球環境科学研究科・助手 | H29～H30 | 2年 |
| | 29-43 | 北極植物の気候変動に対する成長応答の解明 | 和田 直也 | 富山大学研究推進機構極東地域研究センター・教授 | H29 | 1年 |
| | 29-44 | 極域に生息する植物プランクトン種からの揮発性有機化合物放出に関する研究 | 亀山 宗彦 | 北海道大学大学院地球環境科学研究科・准教授 | H29～H31 | 3年 |
| | 極地工学 | 28-45 | 組込技術を用いたインタラクティブ展示に関する研究 | 伊豆原 月絵 | 日本大学理工学部・教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-46 | | 防水型極地回収気球搭載回路の開発 | 森本 真司 | 東北大学大学院理学部理学研究科・教授 | H28～H30 | 3年 |
| 28-48 | | 雪上車および橇による内陸輸送力強化に関する基礎研究 | 香川 博之 | 金沢大学理工研究域機械工学系・講師 | H28～H30 | 3年 |
| 28-49 | | 新内陸基地建設に向けた物資輸送計画の検討 | 横山 宏太郎 | 農業・食品産業技術総合研究機構・フェロー | H28～H30 | 3年 |
| 28-50 | | 昭和基地～極地研間衛星回線の効率利用に資する南極観測データの高速度伝送実験 | 村田 健史 | 国立研究開発法人情報通信研究機構 ソーシャルイノベーションユニット 総合テストベッド研究開発推進センター 研究統括 | H28～H30 | 3年 |
| 28-51 | | 南極での緊急時メッセージ通信システムに関する研究 | 五十嵐 喜良 | 京都大学大学院情報学研究科・招へい研究員 | H28～H29 | 2年 |
| 29-45 | | 極地建築・土木に関する雪氷防災工学研究 | 金 高義 | 福島工業高等専門学校・助教 | H29 | 1年 |
| 29-46 | | 南極観測隊員の極地におけるリスクへの意識とリスク感受性の把握 | 村越 真 | 静岡大学教育学部・教授 | H29～H30 | 2年 |

3. 研究集会

| No. | 研究課題名 | 研究代表者 | 所属・職 |
|-------|---|--------|-------------------------------|
| 29集1 | 可聴下波動伝播特性による極域の多圏融合物理現象解明に関する研究集会-Ⅲ | 金尾 政紀 | 国立極地研究所地圏研究グループ・准教授 |
| 29集2 | 南極海洋-海氷-氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会 | 青木 茂 | 北海道大学低温科学研究所・教授 |
| 29集3 | 南極沿岸生態系における動物相の多様性解明に向けて | 角井 敬知 | 北海道大学大学院理学部・講師 |
| 29集4 | 南極エアロゾル研究会 | 原 圭一郎 | 福岡大学理学部・助教 |
| 29集5 | PANSY研究集会 | 佐藤 薫 | 東京大学大学院理学系研究科・教授 |
| 29集6 | 低廉光学機器による超高層大気ネットワーク計測に関する研究集会 | 鈴木 臣 | 愛知大学地域政策学部・准教授 |
| 29集7 | グリーンランド氷床の変動と気候・環境変動及び人間活動の関わりに関する研究 | 東 久美子 | 国立極地研究所気水圏研究グループ・教授 |
| 29集8 | 太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の間隔・時間変動の解明 | 田中 良昌 | 国立極地研究所・特任准教授 |
| 29集9 | サブストーム・オーロラシーケンス生成機構研究会 | 田中 高史 | 九州大学国際宇宙天気科学教育センター・学術研究員 |
| 29集10 | 永久凍土の変動とそのモニタリングに関する研究集会 | 原田 鈺一郎 | 宮城大学食産業学部・准教授 |
| 29集11 | EISCA レーダー・地上光学観測・観測ロケットによるカस्प近傍電離大気流出現象のメカニズム解明に向けた総合観測 | 齊藤 義文 | 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所太陽系科学研究系・准教授 |
| 29集12 | 南極ドームふじ氷床深層アイスコアの解析による気候・環境変動の研究の新展開 | 藤田 秀二 | 国立極地研究所気水圏研究グループ・准教授 |
| 29集13 | 2017年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会 | 山下 克也 | 防災科学技術研究所雪氷防災研究部門・特別研究員 |
| 29集14 | 極域・高山の陸上生態系の生物多様性とその機能に関する研究集会 | 内田 雅己 | 国立極地研究所北極環境研究センター・准教授 |
| 29集15 | 中間圏、熱圏、電離圏(MTI)、研究集会 | 鈴木 秀彦 | 明治大学理工学部・専任講師 |
| 29集16 | 太陽系小天体探査に向けた惑星物質の分光学的研究 | 海田 博司 | 国立極地研究所地圏研究グループ・助教 |
| 29集17 | 大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に関する研究集会 | 的場 澄人 | 北海道大学低温科学研究所・助教 |
| 29集18 | 極域の海洋をとりまく国際情勢と極域海洋研究 | 渡邊 研太郎 | 国立極地研究所・教授 |
| 29集19 | EISCAT研究集会 | 宮岡 宏 | 国立極地研究所国際北極環境研究センター・教授 |
| 29集20 | 2017年 南極医学・医療ワークショップ | 大野 義一郎 | 東葛病院・副院長／国立極地研究所・客員教授 |

| No. | 研究課題名 | 研究代表者 | 所属・職 |
|-------|-----------------------|-------|----------------------|
| 29集21 | 東南極で検出される気候変動に関する研究 | 平沢 尚彦 | 国立極地研究所気水圏研究グループ・助教 |
| 29集22 | 無人機の活用による極地観測の展開 | 林 政彦 | 福岡大学理学部・教授 |
| 29集23 | SuperDARN 研究集会 | 行松 彰 | 国立極地研究所宙空圏研究グループ・准教授 |
| 29集24 | 「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の推進 | 山本 衛 | 京都大学生存圏研究所・教授 |

本報告書は、平成29年度で終了した共同研究の各研究代表者から提出された報告をとりまとめたものである。