

平成 19 年 度

# 共同研究報告書



大学共同利用機関法人  
情報・システム研究機構  
国立極地研究所

# 目 次

## I. 共同研究報告（終了）

### 一般共同研究

#### (1) 宙 空 圏

高感度光学観測機器による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究	6
磁気嵐時の中緯度におけるDP2電流系の発達に関する研究	8
宇宙環境シミュレータ開発と宇宙飛行体-プラズマ相互作用の研究	10
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	12
オゾンホールに化学に関連する大気微量成分の各種変動について	14
磁気圏VLF波動の方位測定に関する研究	16
広帯域磁力計ネットワークおよび極域総合観測による極域電磁現象の解明	18
Super DARNレーダ-による高・中緯度電離圏ダイナミクスの研究	20
オーロラ粒子分布パターンに関する研究	22

#### (2) 気 水 圏

パルスパワーによる砕氷に関する研究	26
- 30℃以下で成長する雪結晶の形態	28
ECCオゾンゾンデによるBSMILESの検証観測	30
リュツォ・ホルム湾周辺における海水域のモニタリングと変動特性	32
南大洋の海水分布と海洋循環の研究	34
南極浅層コアと気象観測データを用いた過去数百年間から近年における気候・気象研究	36

#### (3) 地 圏

非平衡普通コンドライトの岩石鉱物学的研究	38
東南極リュツォ・ホルム岩体の形成史の再検討	40
チタンの分配から見た東南極ナピア,レイナー,リュツォホルム岩体の超高温変成履歴の精密解析	42
東南極ナピア岩体の地球化学とその初期地球史解明における意義	44
南極プレート下の上部マントル構造とダイナミクスの地震学的研究	46
極域の広帯域地震計データを利用した地球深部の不均質構造の研究	48
合成開口レーダ(SAR)による南極域の特徴的な地形とその変動の解析	50
南極及びスリランカの高度変成岩中に産するグラファイト(石墨)の起源と成因に関する研究	52
リーセルラルセン山地域ナピア岩体の放射年代・岩石磁気・地球電磁気の研究	54

#### (4) 生 物 圏

極域微生物の系統のおよび生理生態的多様性に関する研究	58
カナダ北極圏アムンゼン湾における動物プランクトンフラックスの変動	60
南極海の炭素循環に果たす小型動物プランクトンの役割に関する研究	62
データロガーを用いた魚類の移動・回遊に関する行動生理学的研究	64
海水域における低次生産の動態と環境応答に関する生態学的研究	66
極域の湖底堆積物による環境と生物の変遷に関する生物地球化学的研究	68

南極海における底生生物の分類・分布及び成長・生理に関する研究	70
衛星マルチセンサーによる極域および高緯度海域の基礎生産過程の研究	72

(5) 極地工学

高真空条件下での観測機器の動作・熱制御に関する研究	78
昭和基地建物に使われる木質材料の耐久性を調べるための新材の強度基準値の設定	80
南極基地設営におけるマニュアルおよびスペック整備に関する研究	82
極地の活動における静電気障害とその対策に関する基礎研究	84

II. 研究集会報告

研究集会

Super DARNによる極域・中緯度電離圏比較研究集会	86
極域を含む学際的地球科学推進のためのeGYメタ情報システム構築の検討	88
電離圏・磁気圏のリモートセンシングデータとモデルの結合	92
極地大気エアロゾルに関する研究小集会	94
極域における衛星データ利用に関する研究集会	96
超長期間飛翔大気球による新しい極域科学観測の可能性	98
雪氷コア解析データの南北比較による古気候復元に関する研究集会	100
南極医学研究及び医療に関する研究集会	102

III. 平成19年度共同研究課題一覧

1 平成19年度共同研究実施件数	106
2 一般共同研究	107
3 研究集会	113

1. 記号の説明

…… 研究代表者

2. 表記例

(研究課題)

磁気嵐時の中緯度における D P 2  
電流系の発達に関する研究

(研究代表者)

橋本久美子 吉備国際大学政策マネジメント学部・准教授

(共同研究員)

菊池崇 名古屋大学太陽地球環境研究所・教授

荒木徹 京都大学理学研究科・名誉教授

大高一弘 独立行政法人情報通信研究機構・主任研究員

篠原学 九州大学

(担当教員)

(国立極地研究所)

門倉昭 准教授

(研究期間)

平成 17 年～平成 19 年 (3 か年)



# I. 共同研究報告（終了）

## 一般共同研究

### (1) 宙 空 圏

## 高感度光学観測機器による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究

研究代表者：名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授・塩川和夫

共同研究者：名古屋大学太陽地球環境研究所・教授・小川 忠彦

名古屋大学太陽地球環境研究所・助教・大塚 雄一

名古屋大学太陽地球環境研究所・研究支援推進員・佐藤 貢

名古屋大学太陽地球環境研究所・技術職員・加藤 泰男

極地研担当教官：山岸久雄教授、田口真准教授

研究期間：平成17—19年度

### 研究成果

本研究では、大気光の撮像と同時にその高度での風速、温度を計測することができる超高層大気イメージングシステム（Optical Mesosphere Thermospher Imagers—OMTIs）を用いて、電離圏・熱圏・中間圏の大気・プラズマダイナミクスを研究してきた。平成19年度末の時点で、OMTIsの大気光イメージャーは国内4点（北海道、滋賀県、鹿児島県、沖縄県）、オーストラリア、インドネシア、カナダ2点、ロシア1点で定常観測を行っている。これらの機器配置を図1に示す。これらの光学機器は、極地研の光学校正システムを用いて絶対感度の校正を行っている。これらの観測から、大気重力波の伝搬特性、プラズマの不規則構造の緯度・季節依存性、磁気嵐に伴う低緯度オーロラの出現特性等に関する結果が

得られている。これらの研究成果は、以下にリストした25編の論文として公表されている。

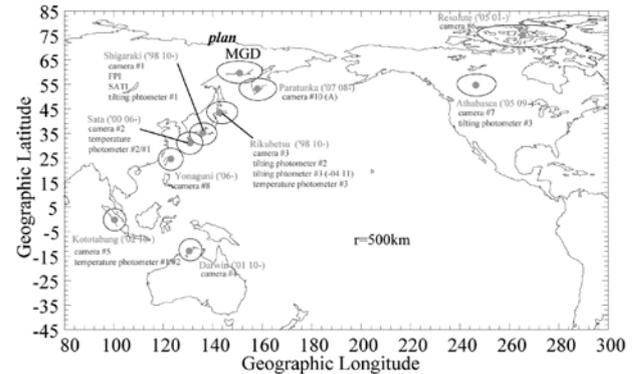


図1：OMTIsの光学観測機器の配置

研究発表（本共同研究に基づいて、極地研の光学校正システムを用いて校正された光学観測機器による研究成果。査読ありの論文、平成17年以降）。

1. Shiokawa, K., T. Ogawa, and Y. Kamide, Low-latitude auroras observed in Japan: 1999-2004, *J. Geophys. Res.*, 110, A05202, doi:10.1029/2004JA010706, 2005.
2. Shiokawa, K., Y. Otsuka, T. Tsugawa, T. Ogawa, A. Saito, K. Ohshima, M. Kubota, T. Maruyama, T. Nakamura, M. Yamamoto, and P. Wilkinson, Geomagnetic conjugate observation of nighttime medium-scale and large-scale traveling ionospheric disturbances: FRONT3 campaign, *J. Geophys. Res.*, 110, A05303, doi:10.1029/2004JA010845, 2005.
3. Iwagami, N., S. Ohtsuki, M. Akejima, M. Kubota, Y. Murayama, S. Kawamura, R. Yoshimura, T. Nakamura, H. Yamamoto, H. Sekiguchi, N. Kimura, K. Shiokawa, T. Okada, K. Ishisaka, Y. Ashihara, Y. Kaiho, M. Abo, T. Abe, Y. Koizumi, and K.-I. Oyama, Waves in airglow structures experiment 2004: Overview and preliminary results, *Adv. Space Res.* vol.35, no.11, 1964-1970, 2005.
4. Ogawa, T., E. Sagawa, Y. Otsuka, K. Shiokawa, T. J. Immel, S. B. Mende, and P. Wilkinson, Simultaneous ground- and satellite-based airglow observations of geomagnetic conjugate plasma bubbles in the equatorial anomaly, *Earth Planets Space*, 57, 385-392, 2005.
5. Takahashi, H., C. M. Wrasse, D. Gobbi, T. Nakamura, K. Shiokawa, and L. M. Lima, Airglow OH emission height inferred from the OH temperature and meteor trail diffusion coefficient, *Adv. Space Res.*, vol.35, No.11, 1940-1944, 2005.
6. Onoma, F., Y. Otsuka, K. Shiokawa, T. Ogawa, M. Yamamoto, S. Fukao, and S. Saito, Relationship between propagation direction of gravity waves in OH and OI airglow images and VHF radar echo occurrence during the SEEK-2 campaign, *Ann. Geophys.*, 23, 2385-2390, 2005.
7. Ogawa, T., Y. Otsuka, F. Onoma, K. Shiokawa, and M. Yamamoto, The first coordinated observations of mid-latitude E-region quasi-periodic radar echoes and lower thermospheric 557.7-nm airglow, *Ann. Geophys.*, 23, 2391-2399, 2005.
8. Nakata, H., I. Nagashima, K. Sakata, Y. Otsuka, Y. Akaike, T. Takano, S. Shimakura, K. Shiokawa, and T. Ogawa (2005), Observations of equatorial plasma bubbles using broadcast VHF radio waves, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L17110, doi:10.1029/2005GL023243.
9. Murata, K. T., K. Yamamoto, D. Matsuoka, E. Kimura, H. Matsumoto, M. Okada, T. Mukai, J. B. Sigwarth, S. Fujita, T. Tanaka, K. Yumoto, T. Ogino, K. Shiokawa, N. A. Tsyganenko, J. L. Green, and T. Nagai, Development of the virtual Earth's magnetosphere system (VEMS), *Adv. Polar Upper Atmos. Res.*, 19, 135-151, 2005.

10. Sahai, Y., P. R. Fagundes, F. Becker-Guedes, M. J. A. Bolzan, J. R. Abalde, V. G. Pillat, R. de Jesus, A. G. R. Mokodsi, W. L. C. Lima, H. T. Lan, J. W. MacDougall, K. Igarashi, K. Shiokawa, G. Crowley, and J. A. Bittencourt, Effects of the major geomagnetic storms of October 2003 on the equatorial and low-latitude F region in two longitudinal sectors, *J. Geophys. Res.*, 110, A12S91, doi:10.1029/2004JA010999, 2005.
11. Shiokawa, K., Y. Otsuka, and T. Ogawa, Quasiperiodic southward moving waves in 630-nm airglow images in the equatorial thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 111, A06301, doi:10.1029/2005JA011406, 2006.
12. Shiokawa, K., S. Suzuki, Y. Otsuka, T. Ogawa, T. Nakamura, M. G. Mlynczak, and J. M. Russell III, A multi-instrument measurement of a mesospheric front-like structure at the equator, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 84A, pp. 305-316, 2006.
13. Kubota, M., S. Kawamura, M. Abo, Y. Koizumi, Y. Murayama, M. Yamamori, K. Shiokawa, Y. Otsuka, M. Uchiuni, K. Igarashi, T. Abe, K.-I. Oyama, and N. Iwagami (2006), A fast-propagating, large-scale atmospheric gravity wave observed in the WAVE2004 campaign, *J. Geophys. Res.*, 111, D21110, doi:10.1029/2005JD006788.
14. Hosokawa, K., K. Shiokawa, Y. Otsuka, A. Nakajima, T. Ogawa, and J. D. Kelly, Estimating drift velocity of polar cap patches with all-sky airglow imager at Resolute Bay, Canada, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 33, L15111, doi:10.1029/2006GL026916, 2006.
15. Takahashi, H., C. M. Wrasse, D. Pancheva, M. A. Abdu, I. S. Batista, L. M. Lima, P. P. Batista, B. R. Clemesha, K. Shiokawa, Signatures of 3-6 day planetary waves in the equatorial mesosphere and ionosphere, *Ann. Geophys.*, 24, 3343-3350, 2006.
16. Shiokawa, K., S. Suzuki, Y. Otsuka, T. Ogawa, T. Nakamura, and T. Horinouchi, An intense gravity wave near the mesopause region observed by a Fabry-Perot interferometer and an airglow imager, *J. Geophys. Res.*, 112, D07106, doi:10.1029/2006JD007385, 2007.  
Shiokawa, K., G. Lu, Y. Otsuka, T. Ogawa, M. Yamamoto, N. Nishitani, and N. Sato, Ground observation and AMIE-TIEGCM modeling of a storm-time traveling ionospheric disturbance, *J. Geophys. Res.*, 112, A05308, doi:10.1029/2006JA011772, 2007.
17. Shiokawa, K., Y. Otsuka, S. Suzuki, T. Katoh, Y. Katoh, M. Satoh, T. Ogawa, H. Takahashi, D. Gobbi, T. Nakamura, B. P. Williams, C.-Y. She, M. Taguchi, and T. Shimomai, Development of airglow temperature photometers with cooled-CCD detectors, *Earth Planets Space*, 59, 585-599, 2007.
18. Suzuki, S., K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Ogawa, K. Nakamura, and T. Nakamura, A concentric gravity wave structure in the mesospheric airglow images, *J. Geophys. Res.*, 112, D02102, doi:10.1029/2005JD006558, 2007
19. Sakaguchi, K., K. Shiokawa, A. Ieda, Y. Miyoshi, Y. Otsuka, T. Ogawa, M. Connors, E. F. Donovan, and F. J. Rich, Simultaneous ground and satellite observations of an isolated proton arc at subauroral latitudes, *J. Geophys. Res.*, 112, A04202, doi:10.1029/2006JA012135, 2007.
20. Otsuka, Y., F. Onoma, K. Shiokawa, T. Ogawa, M. Yamamoto, and S. Fukao, Simultaneous observations of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances and E region field-aligned irregularities at midlatitude, *J. Geophys. Res.*, 112, A06317, doi:10.1029/2005JA011548, 2007.
21. Suzuki, S., K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Ogawa, M. Kubota, M. Tsutsumi, T. Nakamura, and D. C. Fritts, Gravity wave momentum flux in the upper mesosphere derived from OH airglow imaging measurements, *Earth Planets Space*, 59, 421-428, 2007.
22. Sakaguchi, K., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, Y. Otsuka, T. Ogawa, K. Asamura, and M. Connors, Simultaneous appearance of isolated auroral arcs and Pc 1 geomagnetic pulsations at subauroral latitudes, *J. Geophys. Res.*, in press, doi:10.1029/2007JA012888, 2007.
23. Shiokawa, K., K. Hosokawa, K. Sakaguchi, A. Ieda, Y. Otsuka, T. Ogawa and M. Connors, The Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) for network measurements of aurora and airglow, *Proceedings of the Future Perspectives of Space Plasma and Particle Instrumentation and International Collaborations*, (November 1-3, 2006, Rikkyo Univ), in press, 2008.
24. Ogawa, T., Y. Otsuka, K. Shiokawa, T. Tsugawa, A. Saito, K. Hoshino, K. Matunaga, M. Kubota, and M. Ishii, Medium-scale traveling ionospheric disturbances and plasma bubbles observed by an all-sky airglow imager at Yonaguni, Japan, *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, in press, 2008.
25. Suzuki H., K. Shiokawa, M. Tsutsumi, T. Nakamura and M. Taguchi, Atmospheric gravity waves identified by ground-based observations of the intensity and rotational temperature of OH airglow, *Polar Science*, in press, 2008.

磁気嵐時の中緯度における DP2 電流系の発達に関する研究

- ◎ 橋本久美子 吉備国際大学政策マネジメント学部・准教授 (研究代表者)  
菊池崇 名古屋大学太陽地球環境研究所・教授 (共同研究者)  
荒木徹 京都大学理学研究科・名誉教授  
大高一弘 独立行政法人情報通信研究機構・主任研究員  
篠原学 九州大学  
(国立極地研究所)  
門倉昭 准教授 (担当研究員)  
平成 17～19 年度 (3 カ年) (研究期間)

【はじめに】

磁気嵐時に昼間側磁気赤道で DP2 磁場変動が観測され、対流電場が極から赤道まで侵入 することがこの数年報告されている。中緯度への対流電場伝搬は、内部磁気圏との電磁的結合の観点から宇宙天気研究の重要な課題のひとつである。Millstone Hill レーダーなどの観測を除いて観測例は少なく、極から赤道まで広がる電離層電流系については空間分布も含めていまだ明らかでない。本研究では地上のグローバルな磁力計ネットワーク観測と SuperDARN レーダー観測より、磁気嵐中に発達する DP2 電離層電流系の極から中低緯度、さらに赤道までの 2 次元分布を明らかにすることである。われわれは、これまでグローバル磁力計観測網と極域短波レーダー網のデータを用い、磁気嵐の主相において中緯度でも対流電場変動が観測されることを事例研究で示してきた。さらに、低緯度電離圏への DP2 電場の侵入を妨げる過遮蔽が磁気嵐回復相の開始時に発生することを示した。

【研究成果】

① 磁気嵐時の中緯度 DP 2 電流  
磁気嵐時の極冠から中低緯度、赤道に至る DP2 電流系の分布を調べるため、INTERMAGNET の 50 観測点以上のデータを解析した。磁気嵐の磁気圏対流電場により電離圏に流れる DP2 電流の効果が、朝夕の中緯

度の磁場 D 成分に顕著に現れることに着目し、2005 年 5 月 15 日の磁気嵐の電場成長を調べた。その結果、約 3 時間の主相の間、中緯度では午前側 (10MLT 付近) に南向きの電流、午後側 (16 MLT 付近) に北向きの電流が発達し、昼側磁気赤道の東向き赤道ジェット電流の発達とよく一致することを示した。中緯度で南北方向の DP2 電流が卓越するとき、磁気赤道と低緯度のイオノゾンデ観測によると、電離層高度が急激に増加し、同時に磁気緯度 26～45° で TEC が増加した。これらは磁気嵐主相の DP2 電場 (対流電場) が中低緯度電離圏に侵入したことを強く示唆する。磁気嵐主相において、対流発達とともに、領域 1 沿磁力線電流と赤道ジェット電流を結ぶ中低緯度の電流であると考えられる。

② 磁気嵐回復相における過遮蔽

磁気嵐時の中低緯度における過遮蔽と極域の DP2 電流系の関係をしらべるため、2001 年 11 月 6 日の磁気嵐について、グローバルな磁力計観測ネットワークのデータを解析した。その結果、主相のピークに極域でサブストームが発生し、西向きオーロラジェット電流が急激に高緯度方向に移動すると同時に、赤道で過遮蔽が発生したことを示した。この過遮蔽が発生すると、さらに磁気嵐回復相が始まったことが明らかになった。

【研究発表】

1. Kikuchi, T., K. K. Hashimoto and K. Nozaki, Penetration of magnetospheric electric fields to the equator during a geomagnetic storm, JGR 2008 印刷中
2. Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, and K. Nozaki, Storm phase dependence of penetration of magnetospheric electric fields to mid and low latitudes, "Mid-Latitude Ionospheric Dynamics and Disturbances", Geophysical Monograph Series, edited by Tony Mannucci American Geophysical Union, Washington DC, 印刷中
3. Ebihara, Y., N. Nishitani, T. Kikuchi, T. Ogawa, K. Hosokawa, and M.-C. Fok, Two-dimensional observations of overshielding during a magnetic storm by the Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) Hokkaido radar, J. Geophys. Res., 113, A01213, doi:10.1029/2007JA012641, 2008.
4. 橋本久美子、菊池崇、石川裕子、太陽風磁場の短時間変動に対する遮蔽電場の継続時間、吉備国際大学政策マネジメント学

部研究紀要、第4号、2008印刷中

5. K. K. Hashimoto, T. Kikuchi, M. Kunitake, K. Ohtaka, S. Watari, Ionospheric plasma convection observed by HF radar network in the northern polar region, *J. Nat. Inst. Info. Comm. Tech.*, vol.54, p.117-126, 2007
6. Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, M. Shinohara, K. Nozaki, and B. Bristow, Space weather study using the HF radar in King Salmon, Alaska, *J. Nat. Inst. Inform. Comm. Tech.*, 54, No. 1/2, 127-137, 2007.
7. 橋本久美子、「内部磁気圏電離圏結合系における対流発達過程」吉備国際大学政策マネジメント学部研究紀要、第3号、P.9-18、2007
8. 橋本久美子、菊池崇、国武学、大高一弘、亘慎一、北極域 HF レーダー観測による電離圏対流の変動、通信総合研究所季報、2007年7月号
9. Kataoka, R., N. Nishitani, Y. Ebihara, K. Hosokawa, T. Ogawa, T. Kikuchi, and Y. Miyoshi, Dynamic variations of a convection flow reversal in the subauroral postmidnight sector as seen by the SuperDARN Hokkaido HF radar, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L21105, doi:10.1029/2007GL031552. 2007
10. 橋本久美子、内部磁気圏電離圏結合系における対流発達過程、吉備国際大学政策マネジメント学部研究紀要、第3号、P.9-18、2007
11. 石川裕子、橋本久美子、菊池崇、国武学、大高一弘、渡辺堯、電離圏における対流電場の過遮蔽、吉備国際大学政策マネジメント学部研究紀要、第3号、P.31-41、2007
12. Fejer B. G., J. W. Jensen, T. Kikuchi, M. A. Abdu, J. L. Chau, Equatorial ionospheric electric fields during the November 2004 magnetic storm, *J. Geophys. Res.*, 112, A10304, doi:10.1029/2007JA012376, 2007.
13. Kikuchi, T., Transmission line model for driving plasma convection in the inner magnetosphere, *The Inner Magnetosphere: Physics and Modeling*, AGU Geophysical Monograph Series Volume 155, 173-179, edit. T. I. Pulkkinen, N. A. Tsyganenko, and R. H. W. Friedel, 2005.
14. K.K. Hashimoto and Kikuchi T., Evolution of ionospheric plasma flow in the polar cap during the development of the DP2 current, 吉備国際大学政策マネジメント学部研究紀要、創刊号, p.81-94, 2005年
15. K. K. Hashimoto and T. Kikuchi, Quick response of the near-Earth magnetotail to changes in the interplanetary magnetic field, In “*The Inner Magnetosphere: Physics and Modeling*”, Geophysical Monograph Series 155, edited by T. I. Pulkinn, N. T. Tsyganenko and R. H. Friedel, American Geophysical Union, Washington, DC, p.47-53, 2005

## 宇宙環境シミュレータ開発と宇宙飛翔体-プラズマ相互作用の研究

◎白井英之 京都大学 生存圏研究所・准教授

趙孟佑 九州工業大学 宇宙環境技術研究センター・教授

村田健史 愛媛大学 総合情報メディアセンター・准教授

上田裕子 宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 情報技術開発共同センター

三宅壮聡 富山県立大学工学部情報工学科 講師

(国立極地研究所)

岡田雅樹 助教

平成 17 年～平成 19 年 (3 ヶ年)

### [研究成果]

我々は、プラズマ粒子シミュレーションを応用して、衛星表面の絶対帯電および金属-誘電体間に生じる部分帯電の解析、及びその緩和手法の検討を行っている。特に、極軌道衛星に着目しており、オーロラ電流による帯電<sup>1)</sup>や、太陽パネル表面のガラス部と衛星金属筐体間に生じる部分帯電<sup>2)</sup>の緩和プロセスを調べる。今回は、衛星から人工的にプラズマを放出するプラズマコンタクト<sup>3)</sup>の利用を想定している。本研究では、この人工プラズマ放出により衛星筐体帯電および太陽パネル上の部分帯電緩和の様子を解析する。

人工衛星モデルは図 1 に示すように衛星の本体となる直方体と太陽パネルである薄い直方体の羽が 1 枚あり、それらが電気的に繋がっているモデルを用いた。等温プラズマである電離層プラズマの中を衛星が進んでいる状況を想定した。シミュレーションモデルは衛星静止系とした。今回は、計算機資源の節約のため、全体が数十センチの非常に小さな衛星モデルを採用した。図 1 において、赤が金属部分、青が太陽パネルの誘電体部分を示している。誘電体面はプラズマフローのラム側にあり、プラズマコンタクトは衛星側面の緑色の部分に取り付けてあり、ここから人工プラズマを放出する。また、オーロラ電流は水色で示され方向に流れているとす

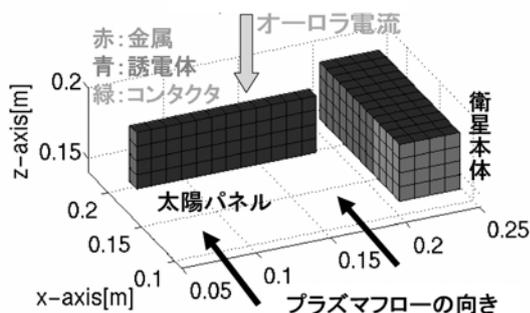


図 1 シミュレーションモデル

る。その密度は背景プラズマ密度  $2.5 \times 10^{10} \text{m}^{-3}$  の 1/10 倍とし、温度、ドリフトエネルギーがそれぞれ 20eV、100eV となるように設定した。放出する電子は、背景プラズマと同じ温度 0.5eV を持ち、背景プラズマ密度の 10 倍の密度となるように設定した。今回は電子のみを放出する場合を検討した。

図 2 は、コンタクトから放出される電子の様子を示したものである。図 3 に衛星電位、衛星の金属部および誘電体部における各プラズマ電流成分の時間変化を示す。図 3-(a)は、赤が金属部の電位、青が太陽パネル上の誘電体部の電位を示している。図 3-(b),(c)にはそれぞれ衛星金属筐体部および太陽パネルの誘電体部に流入する電流量の時間変化を粒子種毎に示す。図 3-(a)からわかるように、最初、衛星本体および太陽パネルの誘電体面はそれぞれ -50V、-30V 程度に帯電している。まず衛星筐体金属部の電位変化 (図 3-(a)の赤線) に着目する。コンタクトからの電子放出 (図 3-(b)の緑色の線) により衛星電位が上昇する。この電位上昇に伴い、図 3-(b)に示すように衛星筐体への背景イオン流入 (赤線)

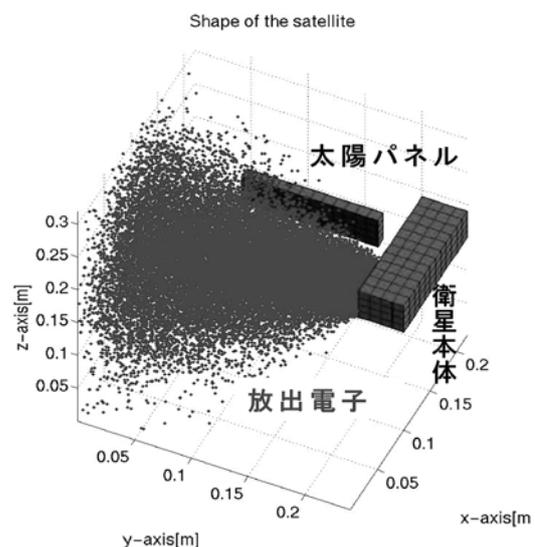


図 2 : コンタクトからの放出された電子の様子

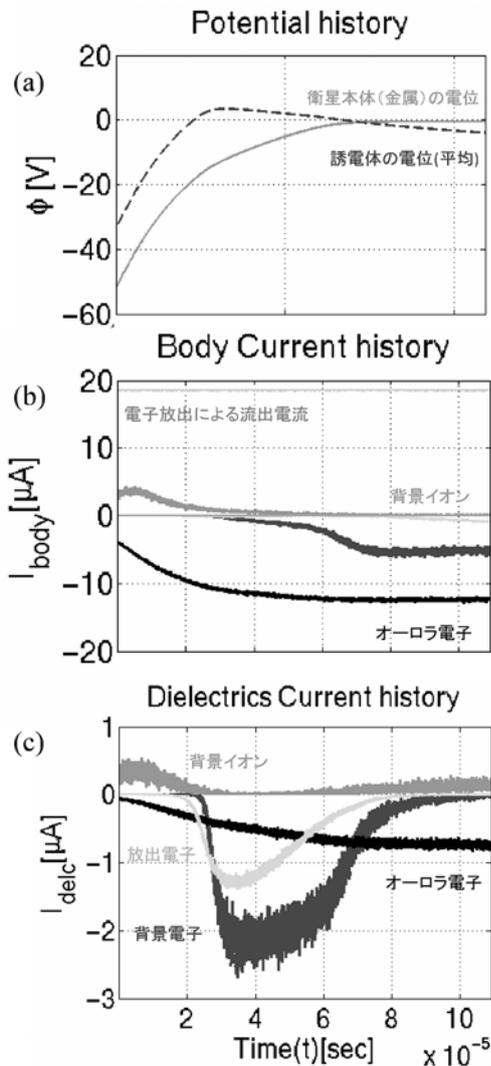


図 3 : (a) 衛星電位、(b) 衛星の金属部および(c) 誘電体部における各プラズマ電流成分の時間変化

が減少し、オーロラ電子による電流（黒色）および背景電子（青色）の流入が増大する。最終的には、電子放出による電流量と流入電子による電流量が釣り合っ安定電位にむかう。

次に、太陽パネル上の誘電体部の電位変化について図 3(c)の電流図と関連付けて述べる。2×10<sup>-5</sup>(s)の時間までは、衛星本体に引きずられ誘電体部の電位も上昇するが、一旦、プラズマ電位より上になると、それを緩和するために放出電子、背景電子、オーロラ電子の流入により誘電体電位は再び下がり始める。電位降下によりこれらの電流量は時間と共に減少していき、最終的には、誘電体表面での背景イオン、オーロラ電子の釣り合いによって電位が安定する。

まとめると、電子放出によって衛星筐体の電位緩和は可能であるが、部分帯電の原因である誘電体部電位の緩和には寄与できないことがわかった。部分帯電緩和にはイオン放出による誘電体面電荷の中和が必要であり、現在イオンを含めたプラズマ放出による帯電緩和プロセスの解析を行っている。

放出電子は、衛星近傍のシーツ電界によってパルス的に加速を受ける。加速電子は地球磁場の影響を受け、サイクロトロン運動のため衛星に戻ってくる可能性がある。また、磁場方向に加速を受けたパルスビームはプラズマ不安定性の原因になる。これらの放出プラズマダイナミクスと衛星環境への影響について引き続き解析を行う。

【参考文献】

[1] Rabin, A.G., Spacecraft charging in the supra-auroral region, Nuclear Science, IEEE Transactions on, Volume 36, Issue 6, Dec 1989 p2015 - 2020  
 [2] Lai, Shu T., A Critical Overview on Spacecraft Charging Mitigation Methods, Plasma Science, IEEE Transactions on, Dec. 2003 Volume: 31, Issue: 6, Part 1, p1118- 1124  
 [3] 竹ヶ原 春貴, 小境 正也, 山極 芳樹, 大西 健夫, 田原 弘一, プラズマコンタクト, 日本航空宇宙学会誌, 52(602), pp.79-85, 2004

【研究発表】

(1) Usui, H., Y. Miyake, M. Okada, Y. Omura, T. Sugiyama, K. T. Murata, D. Matsuoka, H. O. Ueda, Development and Application of Geospace Environment Simulator for the Analysis of Spacecraft-Plasma Interactions, IEEE Transactions on plasma science, Volume 34, Issue 5, part2, Oct, 2006, Page(s): 2094- 2102, Digital Object Identifier 10.1109/TPS.2006.883290, 2006.  
 (2) Funaki, I, H. Usui, Y. Nakayama, and H. Kuninaka, Experimental simulation of spacecraft charging by artificial ion-beam emission, IEEE transactions on plasma science, Page(s): 2031- 2037, Digital Object Identifier 10.1109/TPS.2006.883396, 2006.  
 (3) Okada, M., H. Usui, Y. Omura, H. O. Ueda, T. Murata, and T. Sugiyama, Application of NuSPACE to the spacecraft environment analysis, Proceeding of the 25th international symposium on space technology and science(selected papers), 250-253, 2006.

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

◎櫻井敬久 山形大学理学部・教授  
乾恵美子 山形大学 RI 総合実験室・教務職員  
(国立極地研究所)  
佐藤夏雄 教授  
平成17年度 ~ 平成19年度 (3か年)

[研究成果]

本研究は、宇宙線生成核種の大気中濃度の長期連続測定により、太陽11年周期変動の極小期前後における太陽活動と宇宙線生成核種の年、日変動との相関および太陽フレアとの関連を調べることを目的としている。2000年より山形大学において宇宙線生成核種 Be-7 の日変動観測を継続しており、2003年9月よりアイスランドでも同様な連続観測を行っている。

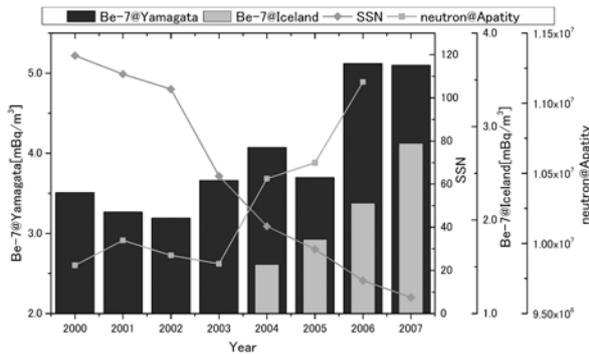


図1：年変動

図1は、アイスランド（北緯 64.7°）と山形（北緯 38.3°）の大気中 Be-7 濃度、太陽黒点数 (SSN) <sup>1)</sup>、Apatity（北緯 67.6°）での地上中性子強度 <sup>2)</sup>の年変動である。2004年から2006年の最大の変動率は、アイスランド Be-7 で 30.1%、山形 Be-7 で 27.8%、SSN で 81.4%、地上中性子強度で 6.2%であり、地上中性子強度変動に比べて、両 Be-7 濃度変動は大きい。つまり、大気中で宇宙線によって生成される中性子の強度変動（地上観測）だけでは説明できない。

図2は、アイスランドと山形の大気中 Be-7 濃度の月変動である。

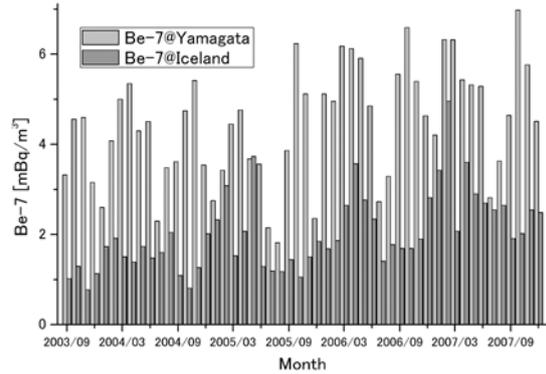


図2：月変動

アイスランド Be-7 濃度は春、山形 Be-7 濃度は春と秋にそれぞれ極大となる季節変動が現れている。アイスランドと山形の Be-7 の約4年間の平均濃度はそれぞれ、2.02 mBq/m<sup>3</sup>、4.45 mBq/m<sup>3</sup>であり、アイスランドは山形の0.45倍である。対流圏での Be-7 生成率（計算値）<sup>3)</sup>は、緯度 65°（アイスランド付近）で緯度 40°（山形付近）のおよそ 0.32倍となり、観測濃度比は計算値より大きい。成層圏での生成率はアイスランドの方が高緯度であるため高くなり、成層圏から対流圏への大気鉛直交換による Be-7 の流入がアイスランドでは山形より大きい可能性がある。更に、アイスランドと山形の緯度の違いから、成層圏の Be-7 は大気循環によって高緯度地域から低緯度地域に輸送されていることも示唆される。

図3は上から、アイスランド Be-7 濃度、山形 Be-7 濃度、SSN、Apatity での地上中性子強度の各日変動データに対して wavelet 解析 <sup>4)</sup>を行ったものである。期間は2003年9月からの約1年間。

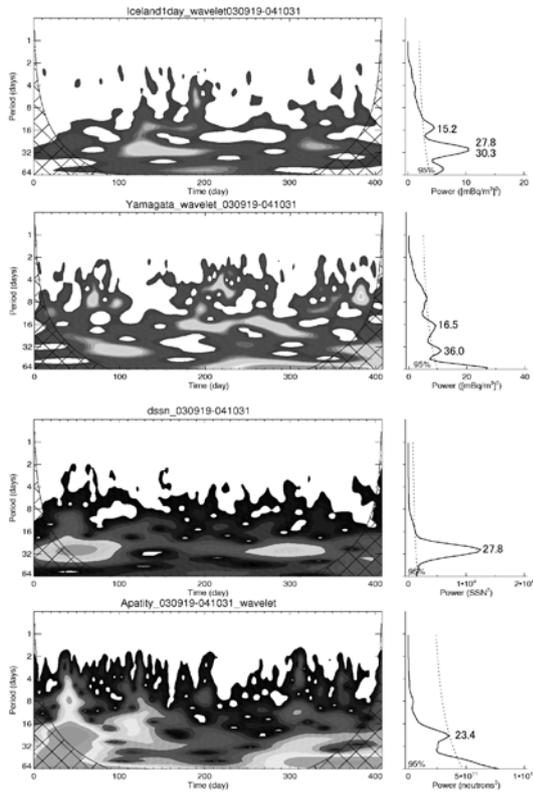


図3：Wavelet 解析

SSN の 27.8 日周期は太陽の自転周期であり、アイスランド Be-7 濃度にもその周期が現れている。この周期成分は地上中性子強度では弱いため、生成ではなく降下の過程で太陽自転周期が反映されている可能性を示唆している。しかし山形では、この周期成分は見られない。

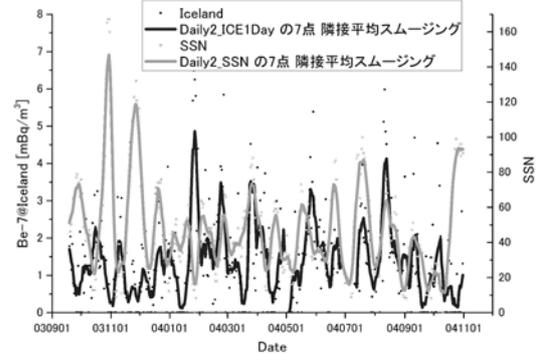


図4：7点移動平均

図4は、アイスランド Be-7 濃度と SSN の 7 点移動平均である。逆位相と同位相の箇所が混ざって見えている。太陽活動に伴う solar proton による Be-7 生成の可能性もある。

【参考文献】

- 1) Solar Influences Data Analysis Center – SIDC, <http://sidc.oma.be/>
- 2) WDC for Cosmic rays (WDCCR), <http://www.env.sci.ibaraki.ac.jp/database/Welcome.html>
- 3) H. Nagai et al., Production rates of <sup>7</sup>Be and <sup>10</sup>Be in the atmosphere, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. B 172, 796-801, 2000
- 4) Wavelet Analysis, <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>

【研究発表】

宇宙線生成核種 Be-7 の大気中濃度時間変動, 菊地聡、相良博之、乾恵美子、櫻井敬久、郡司修一、門叶冬樹、佐藤夏雄, 日本物理学会・第 61 回年次大会 (2006)

宇宙線生成核種 Be-7 と地表オゾン濃度の関係, 菊地聡、櫻井敬久、郡司修一、門叶冬樹、乾恵美子、鈴木善美、佐藤夏雄、門倉昭、有働慈治, 日本物理学会・第 62 回年次大会 (2007)

The yearly and seasonal variations from 7-year data set of daily cosmogenic nuclide Be-7 concentrations in the atmosphere, S. Kikuchi, H. Sakurai, S. Gunji, F. Tokanai, N. Sato, A. Kadokura, 30th International Cosmic Ray Conference(2007) (published proceedings)

宇宙線生成核種の強度変動と地球環境, 櫻井敬久、菊地聡, 地文台によるサイエンス (ISBN 978-4-904164-01-3) , pp.161-167, 2008

## 共同研究報告書（終了）

### オゾンホール化学に関連する大気微量成分の各種変動について

◎柴崎 和夫 國學院大學文学部・教授（研究代表者）  
 柴田 隆 名古屋大学大学院環境学研究科・教授（共同研究者）  
 村田 功 東北大学大学院環境科学研究科・准教授（共同研究者）

(国立極地研究所)  
 門倉 昭 准教授 (担当教員)  
 平成 17 年～平成 19 年 (3 か年) (研究期間)

#### 【研究成果】

大気成分の変動を明らかにするためには、観測と理論の両輪が必要である。観測は、現実には起している自然現象を捉えるために、必要不可欠である。しかし、多くの場合、観測の時間的・空間的制約から、観測のみでは自然の全体像のうち、どの部分を切り出しているのか、明確な判断が難しい場合が多い。

我々は、各種微量成分の変動に興味があるが、ここでは、観測が比較的容易で観測例も多いオゾンの変動に焦点をあて、理論的（シミュレーション）による観測事実をどの程度推定できるかを調べて見た。

#### ・データ

使用したデータは、2003 年 8 月にアラスカ、フェアバンクスで実施した、オゾン集中観測で得たオゾン高度分布である (Yamamori et al., 2006)。図 1 にオゾン分布を示す。対流圏上部に厚み数百 m から 1km の層状にオゾンの増減が認められる。この高度

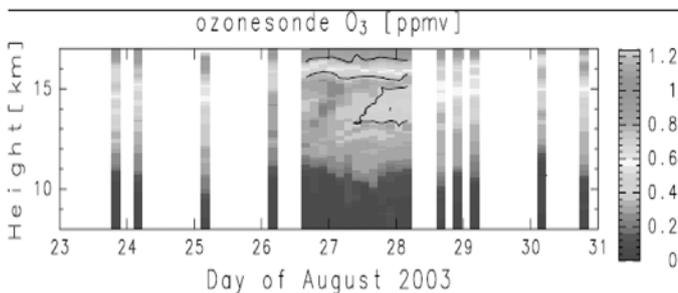


図 1：高度 8-17km のオゾン混合比の高度・時間断面図 (山森他、2007)

ではオゾンの寿命は輸送の特徴的時間より長いので、これらの構造は移流等の輸送による構造と推測できる。以下は、これをモデル計算との比較で確認した結果である。

#### ・モデル

用いたモデルは 3 次元化学輸送モデル (Shibata, et al., 2005) と大気大循環モデルの結合モデルである。このモデルで、成層圏のオゾン場を計算した。大気場は NCEP/NCAR Reanalysis の風速場を用い TOMS データと同化を行っている (図 2)。

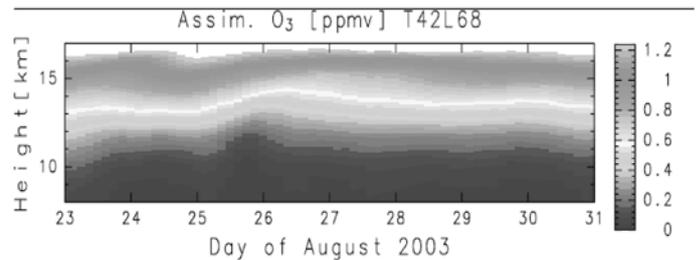


図 2：モデルで求めたオゾン混合比の時間・高度断面図 (山森他、2007)

#### ・RDF

図 2 ではオゾン分布に構造が認められない。そこで、より細かい構造を比較できるように Reverse Domain Filling 法を用いた。これは後方流跡線高密度で計算し、利用する (図 3)。

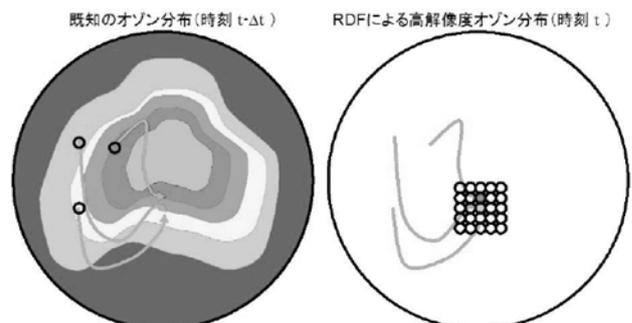


図 3：RDF の模式図 (山森他、2007)

・結果

RDF 法により求めた結果は図 4 に示した。

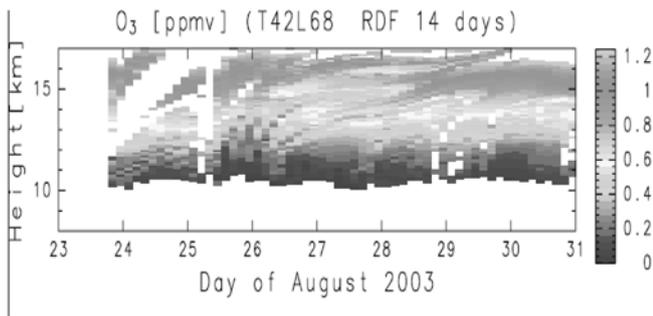


図 4 : RDF で求めた高解像度のオゾン混合比時間・空間断面図 (山森他、2007)。

概ね観測結果を反映した結果となった。しかし、細かくみると、オゾン混合比の値の違い (モデルが大

や、微細構造の違い (モデルの方が細かい構造を持つ) がある。

実際には、水平分布も作成して比較している。これらから、両者の違いは、鉛直拡散の効果がモデルに含まれていないことが大きな理由と判断している。

終わりに

RDF は有効な手法であることを確認したが、これは観測データがあつて初めて意味を持つ。今後とも、時間・空間分解能に優れたデータを求める努力が求められることを、再確認した。

[参考文献]

Yamamori, M., Kagawa, A., Kasai, Y., Mizutani, K., Murayama, Y., Sugita, T., Irie, H., and Nakajima, H.: Validation of ILAS-II version 1.4 O<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, and temperature data through comparison with ozonesonde, ground-based FTS, and lidar measurements in Alaska, *J. Geophys. Res.*, 111, D11S08, doi:10.1029/2005JD006438.

[研究発表]

Ochiai S., T. Tsujimaru, Y. Irimajiri, T. Manabe, and I. Murata, Stratospheric Ozone and ClO Measurement Using Balloon-Borne Submillimeter Limb Sounder, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 43, no. 6, pp. 1258-1265, June 2005.

Irimajiri, Y., T. Manabe, S. Ochiai, H. Masuko, T. Yamagami, Y. Saito, N. Izutsu, T. Kawasaki, M. Namiki, and I. Murata, BSMILES -- A Balloon-Borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder, *IEEE Geosci. Remote Sensing Letters*, vol.3, no.1, pp.88-92, January 2006.

Sakai, T., N. Oriyasa, T. Nagai, M. Murakami, K. Kusunoki, K. Mori, A. Hashimoto, T. Matsumura, and T. Shibata, Optical and microphysical properties of upper clouds measured with the Raman lidar and hydrometeor video-sonde: A case study on 29 March 2004 over Tsukuba, Japan, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 63, 2156-2166, 2006.

A. Kamei, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, and T. Shibata, Volcanic aerosol layer observed by ship-borne lidar over the tropical western pacific, *SOLA*, 2006, Vol. 2, 001.004, doi:10.2151/sola.2006.001, 2006.

T. Shibata, H. Voemel, S. Hamdi, S. Kaloka, F. Hasebe, M. Fujiwara and M. Shiotani, Tropical cirrus clouds near cold point tropopause under ice supersaturated conditions observed by lidar and balloon borne cryogenic frost point hygrometer, *J. Geophys. Res.*, 112, D03210, doi:10.1029/2006JD007361, 2007.

山森美徳、村山泰啓、柴崎和夫、村田 功、香川晶子、笠井康子、宮崎和幸；アラスカにおけるオゾンゾンデキャンペーン観測及び観測結果の3次元化学輸送モデルデータとの比較、情報通信機構季報、第 53 巻 1/2 合冊号、2007 年 6 月 p35 - p 41.

磁気圏 VLF 波動の方位測定に関する研究

服部克巳 千葉大学大学院理学研究科・准教授

(国立極地研究所)

佐藤夏雄 教授

平成17年～平成19年(3ヵ年)

【研究成果】

1. はじめに

磁気圏 VLF 波動の MUSIC(Multiple Signal Classification)法に基づいた方位測定法の開発を行った。従来電磁界多成分を用いる方位測定法では Means 法や波動分布関数法が使用されているが、単一平面波を仮定したり、最大エントロピー法等の複雑な計算が必要で計算時間がかかるという問題点があった。本研究では、複数波源の推定が可能で、かつ信号ベクトル空間内でのベクトルの直交性を利用して波源位置を推定するため、線形計算のみで計算が早いという特徴がある MUSIC 法を適用することにした。しかし、波源数の推定を誤ると推定に失敗する。そこで、本研究では AIC 等の情報規範量を導入した MUSIC 法を開発し、波源数を客観的に推定することを試みる。1 点の地上観測の場合、観測される独立なデータは 9 つと少ないため AIC や PRESS、GCV などの情報量基準を適用し、試行錯誤的に研究を進めた。

2. MUSIC 法のアルゴリズムと磁気圏 VLF 波動への応用

MUSIC のアルゴリズムは以下のとおりである<sup>(1)</sup>。D 個波動が M 個のアンテナで受信された (MD) とすると (1) 式となる。ここで  $\mathbf{x}$  は受信信号、 $f$  は波源の振幅や位相情報、 $\mathbf{a}(\theta)$  はアンテナの指向性を含む既知の伝搬定数、 $\mathbf{w}$  は雑音である。

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a(\theta_1) & \cdots & a(\theta_D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_D \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_M \end{bmatrix}$$

これを行列形式で表すと  $\mathbf{X}=\mathbf{A}\mathbf{F}+\mathbf{W}$  となる。 $\mathbf{X}$  の共分散行列 (スペクトル行列となる) を  $\mathbf{S}$  とすると、次の式が成立する。

$$\mathbf{S}=\mathbf{X}\mathbf{X}^*=\mathbf{A}\mathbf{F}\mathbf{F}^*\mathbf{A}^*+\mathbf{W}\mathbf{W}^*=\mathbf{A}\mathbf{P}\mathbf{A}^*+\sigma^2\mathbf{I} \quad (2)$$

ここで信号  $\mathbf{X}$  と雑音  $\mathbf{W}$  は無相関であり、かつ雑音  $\mathbf{W}$  は平均 0 で分散が  $\sigma^2$  と仮定している。MD の場合、 $\mathbf{A}\mathbf{P}\mathbf{A}^*$  は特異となる。従って、 $\mathbf{S}$  を固有値分解すると、固有値は  $\lambda_1 > \lambda_2 > \cdots > \lambda_D \gg \lambda_{D+1} = \lambda_{D+2} = \cdots = \lambda_M = \lambda_{\min}$  となり、対応する固有ベクトル  $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \cdots, \mathbf{e}_M$  を得る。 $\mathbf{A}\mathbf{P}\mathbf{A}^*$  のランクは D であり、波源数となる。 $\lambda_{\min}$  に対応

する固有ベクトルはノイズサブスペースをはり、 $\mathbf{A}$  の行ベクトル  $\mathbf{a}(\theta)$  と直交する。ノイズベクトルの数は M-D 個である。ノイズ行列  $\mathbf{E}_N$  を  $M \times (M-D)$  行列で定義すると、 $\mathbf{E}_N$  と  $\mathbf{a}(\theta)$  の直交性を利用すると、 $\lambda$  次式の極大値を探索することで波源の方向、すなわち波動の到来方向を推定することができる。

$$P_{\text{MUSIC}}(\theta) = 1 / \mathbf{a}^*(\theta) \mathbf{E}_N \mathbf{E}_N^* \mathbf{a}(\theta) \quad (3)$$

3. MUSIC 法の磁気圏 VLF 波動方位測定への応用

電離層を通過した磁気圏 VLF 電磁波動は、大気を伝搬し、地上の観測点に到達する。大地を完全導体とすると地上のアンテナでは、水平磁界 2 成分  $B_x, B_y$  および垂直電界 1 成分  $E_z$  を時間信号として同時観測され、

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1(\theta, \phi) & a_2(\theta, \phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{\perp 1} \\ B_{\perp 2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix}$$

(4)

と表すことができる。この式は MUSIC 法におけるデータモデルの式  $\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{F} + \mathbf{W}$  と同じ形となるので、MUSIC 法が適用できる。

地上観測される MUSIC 法のアルゴリズムへの入力観測データのスペクトル行列となる。地上では電磁界 3 成分が観測されるので、独立 9 成分が入力パラメータとなる。MUSIC 法のスキームとして 2 波源までの方位測定が可能である。

4. MUSIC 法による磁気圏波動方位測定シミュレーション

MUSIC 法を用いた方位測定法と到来波数の推定を評価するために、シミュレーションを行った。

観測点を中心とする単位球面上に次式で表される 2 次元ガウス分布関数を波動分布関数として仮定する。波動分布関数は波動エネルギー分布を示すもので、次式のような関係式が成り立つ。

$$S_{ij} = \frac{\pi}{2} \int_0^{2\pi} \int_0^1 a_{ij}(\omega, \theta, \phi; P_o) F_g(\omega, \theta, \phi) d(\cos \theta) d\phi$$

(5)

$$F_g(\theta, \phi) = \frac{1}{2\pi\sigma_g^2} \exp\left(-\frac{\Theta^2}{2\sigma_g^2}\right)$$

$$\Theta = \cos^{-1} \{ \cos \theta \cos \theta_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \cos(\phi - \phi_0) \} \quad (6)$$

ここで、 $(\theta_0, \phi_0)$ は分布のピーク位置の極座標、 $\sigma_g$ は波動エネルギー分布の広がり角である。 $\Theta$ は球面三角法によって導出されたピーク位置 $(\theta_0, \phi_0)$ が $(\theta, \phi)$ に対して張る立体角を表す。磁気圏 VLF/ELF 電磁波動はダクトを伝搬し電離層下端面に達するので、波動分布関数はガウス分布をなすことが予想されるため、このような仮定を行った。

1. 地上アンテナでは電磁界3成分が測定される。アレー要素数は3個となるが、波長が数kmと長いいため、一点での観測とみなすことができる。この分布関数に基づいて地上で観測されるべきスペクトルマトリクスを作成する。さらにノイズとして、スペクトルマトリクスの有効成分のうち対角成分3個に対して乱数を加え、データとする。作成されたスペクトルマトリクスは $X$ の相関行列 $S$ に他ならない。
2. 作成されたデータの固有値、固有ベクトルを求める。
3. AIC, PRESS, GCV による波源数推定を行う。
4. 求められた固有ベクトルから式(4.4)に従って $P_M(\theta, \phi)$ のピークを求める。ここで、方位測定に用いるアレーマニフォールド $a(\theta, \phi)$ は次式で与える。

$$a(\theta, \phi) = \begin{pmatrix} -\sin \phi + P_0 \cos \phi \cos \theta \\ \cos \phi + P_0 \cos \theta \sin \phi \\ \sin \theta \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

5. スペクトルマトリクス (相関行列) 成分のデータ作成における乱数の印加法として、電磁界3成分に対し白色ガウス雑音成分が加わっていると考え、スペクトルマトリクス成分の対角成分のみに誤差成分が加えられる。

次にシミュレーションにおけるパラメータを示す。

1. 単位球面上のガウス分布の中心 (ピーク) の位置を指定する入射角 $\theta_0$ と方位角 $\phi_0$
2. ガウス分布関数の波源の広がり角 $\sigma_g$
3. スペクトルマトリクス (相関行列) に加えた乱数の比としてのSN比
4. 波源数 (1 or 2)
5. 偏波 $P_0$

## 5. シミュレーション結果

波源数が既知とし、右回り円偏波とした場合、情報基準量の導入の有無にかかわらず、正確に波源位置が推定でき、ノイズにも強いことがわかった(図1、2参照)。次に偏波を固定し、波源数を未知とした場合、通常はスペクトル行列の固有値の大きさから波源数を判

断するが、2波源で波源が近接する場合には波源数の決定が困難であることがわかった。情報量基準であるAIC, PRESS, GCVを導入し、客観的な波源数を決定と方位測定を試みたところ、入力データ数が9個であることを考慮するとかなり有効であることがわかった。なかでもPRESSの振る舞いが最もよいことがわかった。

次に偏波も未知とした場合のシミュレーションを行った。つまり $P_M(\theta, \phi, P_0)$ の極大値を探索することになる。この場合は、はっきりとした傾向がみられなかった。つまり、精度よく推定できたり、推定できなかったりした。データ数が9個であることに依存する可能性がある。また、 $a(\theta, \phi, P_0)$ に不確定性がある可能性がある。地上の1つのアンテナで磁気圏VLF波動の波源数、波源位置、偏波の3つのパラメータをMUSIC法で同時推定することは、今回構築した情報規範量を用いたアルゴリズムでは困難であることがわかった。しかしながら、偏波を既知とした場合は現状では波源数を未知とした場合、波源数および方位測定も精度よく推定できた。波動分布関数法と比較したところ精度はほぼ同じであった。

## 6. 参考文献

- (1) Schmidt, R. O. : "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Trans. Antennas and Propagation, AP-34, 276-280, 1986.

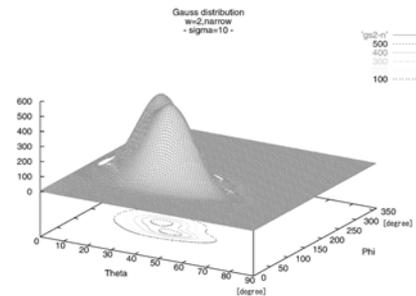


図1 2波源シミュレーションの仮定波源の一例 (右回り円偏波を仮定している)

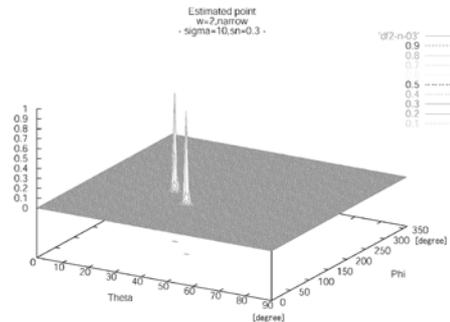


図2 図1の波源を与えた場合のMUSIC法による2波源推定結果 $(P_M(\theta, \phi))$ の極大値の探索結果)。ピーク値と図1で与えた波源との誤差は数度以内。

広帯域磁力計ネットワークおよび極域総合観測による極域電磁現象の解明 (研究課題)

◎高橋幸弘 東北大学・大学院理学研究科・講師 (研究代表者)  
藤原 均 東北大学・大学院理学研究科・助教 (共同研究者)  
福西 浩 東北大学・大学院理学研究科・教授 (共同研究者)  
(国立極地研究所)  
佐藤夏雄・教授、山岸久雄・教授、田口真・准教授、行松彰・助教 (担当教員)  
平成 18 年～平成 19 年 (2 か年) (研究期間)

[研究成果]

1. 研究目的と経過の概要

本研究課題では東北大学が極地研と共に構築・運用している、全球的な広帯域 ELF 磁場計測ネットワークと、地上の電磁場、光学、レーダーおよび FORMOSAT-2/ISUAL 等の人工衛星のデータを組み合わせ、極域電磁圏現象と全球的な電磁現象について総合的・定量的に解析を行う。さらに熱圏数値シミュレーションも合わせ、電磁圏・熱圏現象の定量的把握を目的とする。18 年度は、ELF ネットワークに新たに加わった米国・カリフォルニア観測サイトのデータの質の評価と運用を軌道に乗せる作業、各サイトのセンサー間の相対感度校正による雷放電位置評定精度の大幅な向上、小型軽量・安価なオーロラ観測用全天カメラの設計を行った。19 年度は、ELF ネットワークの運用を継続するとともに、それらによって得られた雷放電データと ISUAL の高高度過渡発光現象(TLE)の光学データを比較解析し、TLE の発光エネルギーと原因となる雷放電エネルギーの定量的関係を、初めて明らかにした。また、小型デジタルボードカメラとレンズ、干渉フィルターを組み合わせ、プロトンオーロラ用の全天カメラを製作した。

2. ELF ネットワークによる雷放電世界分布の導出

極地研と東北大学が所有・運営する、昭和基地を含む世界 4 カ所の ELF 電波受信設備を用い、雷放電から放射される 1-100Hz の電波の波形を記録し、個々の雷放電の位置とエネルギーを推定している。18 年度は新たに加わったカリフォルニアの受信器によって得られたデータの評価を行うと同時に、各サイトのセンサーの校正手法を検討し、これまで 2000km 程度あった位置決定の誤差を、500km まで減少させることに成功した。その結果、世界の雷放電を地域や陸地・海洋毎に分類してその特性を調べることが可能となった。ISUAL のデータと比較したところ、TLE の一種であるスプライトが、正極性落雷の比率の高い地域に多く見られることが明らかとなった。

3. TLE とその原因となる雷放電の定量的関係

ISUAL で得られた TLE と、ELF から求められた雷放電エネルギーの関係を、初めて定量的に比較した。その結果、スプライトの発光強度は原因となる雷放電のエネルギーと 1 次関数で表されることを見出し、発光に必要な雷放電の規模が約 600 Ckm であることを示した。

4. 数値シミュレーションによる極域熱圏現象の解明

東北大学、九州大学グループの共同研究により、大気全領域をカバーする大気大循環モデル(GCM)が開発された。本研究では、下層大気起源の熱圏変動と、磁気圏(太陽風エネルギー)起源の変動の双方を調べるために、上記 GCM を用いた数値シミュレーションを実施した。磁気圏からの極域超高層大気へのエネルギー流入により、全球伝搬する大気擾乱(Traveling Atmospheric Disturbances: TADs)が励起されることは良く知られるところである。本研究では地磁気擾乱時のみならず静穏時の TAD の特長について調べた。さらに、下層大気起源の大気構造が TAD 伝搬に及ぼす影響について調べるために、高度約 80 km より下層の風速をゼロ、温度を全球一様としたシミュレーションと、通常の TAD シミュレーションとの比較を行った。下層大気の影響によって TAD の振幅は大きく変動し、また、日々変動する下層大気の影響のため従来観測されているような TAD の多様性が生み出される可能性が新たに示された。

5. 小型プロトンオーロライメージャーの開発

小型のデジタル・ボードカメラをメーカー(ワテック(株))と協力して開発し、それを応用した従来にない小型の全天単色イメージャを開発した。プロトンオーロラのダイナミクスを捉えるために、電子オーロラによる背景光を同時撮像できるように、2 台の同型カメラが同期して運用できるように設計されている。

[研究発表]

- 1) Miyoshi, Y., and H. Fujiwara (2008), Gravity Waves in the Thermosphere Simulated by a General Circulation Model, *Journal of Geophysical Research*, 113, doi:10.1029/2007JD008874.
- 2) Enell, C.-F., E. Arnone, T. Adachi, O. Chanrion, P.T. Verronen, A. Seppala, T. Neubert, T. Ulich, E. Turunen, Y. Takahashi, and R.-R. Hsu, Parameterisation of the chemical effect of sprites in the middle atmosphere, *Ann. Geophys.*, *Ann. Geophys.*, 26, 13–27, 2008
- 3) Fujiwara, H., R. Kataoka, M. Suzuki, S. Maeda, S. Nozawa, K. Hosokawa, H. Fukunishi, N. Sato, and M. Lester (2007), Electromagnetic energy deposition rate in the polar upper thermosphere derived from the EISCAT Svalbard radar and CUTLASS Finland radar observations, *Annales Geophysicae*, 25, 2393-2403.
- 4) H. U. Frey, S. B. Mende, S. A. Cummer, J. Li, T. Adachi, H. Fukunishi, Y. Takahashi, A. B. Chen, R.-R. Hsu, H.-T. Su, Y.-S. Chang, Halos generated by negative cloud-to-ground lightning, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L18801, doi:10.1029/2007GL030908, 2007.
- 5) Cheng-Ling Kuo, A.B. Chen, Y.J. Lee, L.Y. Tsai, R.K. Chou, R.R. Hsu, H.T. Su, L.C. Lee, S.A. Cummer, H.U. Frey, S.B. Mende, Y. Takahashi, and H. Fukunishi, Modeling elves observed by FORMOSAT-2 satellite, *J. Geophys. Res.*, 112, A11312, doi:10.1029/2007JA012407, 2007.
- 6) Adachi, T., H. Fukunishi, Y. Takahashi, Y. Hiraki, R.-R. Hsu, H.-T. Su, A. B. Chen, S. B. Mende, H. U. Frey, L. C. Lee, Electric field transition between the diffuse and streamer regions of sprites estimated from ISUAL/array photometer measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17803, doi:10.1029/2006GL026495, 2006.
- 7) Mende, S.B., H.U. Frey, R.R. Hsu, H.T. Su, A.B. Chen, L.C. Lee, D.D. Sentman, Y. Takahashi, H. Fukunishi, D region ionization by lightning-induced electromagnetic pulses, *J. Geophys. Res.*, 110, CiteID A11312, 2006.
- 8) Liu, N., V. P. Pasko, D. H. Burkhart, H. U. Frey, S. B. Mende, H. -T. Su, A. B. Chen, R. -R. Hsu, L. C. Lee, H. Fukunishi, and Y. Takahashi, Comparison of results from sprite streamer modeling with spectrophotometric measurements by ISUAL instrument on FORMOSAT-2 satellite, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01101, 10.1029/2005GL024243, 2006.
- 9) Williams, E., R. Boldi, J. B\_r and G. Satori, C. Price, E. Greenburg, Y. Takahashi, K. Yamamoto, T. Chronis, E. Anagnostou, D. Smith, and L. Lopez, Lightning Flashes Conductive to the Production and Escape of Gamma Radiation to Space, *J. Geophys. Res.*, 111, D16209, doi:10.1029/2005JD006447, 2006.
- 10) Miyoshi, Y., and H. Fujiwara (2006), Excitation mechanism of intraseasonal oscillation in the equatorial mesosphere and lower thermosphere, *Journal of Geophysical Research*, 111, D14108, doi:10.1029/2005JD006993.
- 11) Fujiwara, H., and Y. Miyoshi (2006), Characteristics of the large-scale traveling atmospheric disturbances during geomagnetically quiet and disturbed periods simulated by a whole atmosphere general circulation model, *Geophysical Research Letters*, 33, L20108, doi:10.1029/2006GL027103.

[博士論文]

Toru Adachi (2007): Electrodynamical Processes in Sprites Derived from FORMOSAT-2/ISUAL Measurements (FORMOSAT-2 衛星 ISUAL 観測によるスプライト電気力学過程の研究)

[修士論文]

Shogo Chikada (2007): Global Distribution of Elves and Their Optical Characteristics Observed by the FORMOSAT-2/ISUAL

Akihiro Yoshida (2008): Investigations on Sprite Luminosity and Global Lightning Distributions Based on ISUAL and ELF Measurements

## SuperDARN レーダーによる高・中緯度電離圏ダイナミクスの研究

◎小川忠彦 名古屋大学太陽地球環境研究所・教授  
西谷 望 名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授  
(国立極地研究所)  
佐藤夏雄 教授 山岸久雄 教授 行松 彰 助教  
平成 18 年～平成 19 年 (2 か年)

### [研究成果]

本研究の目的は、(1) 昭和基地を含めた南・北極域の SuperDARN 短波レーダーで得られたデータを解析し、極域熱圏・電離圏のダイナミクスを解明すること、(2) 世界で 2 番目の中緯度帯 SuperDARN レーダーである「北海道 SuperDARN レーダー」(名古屋大学)を建設して連続観測を行い、極域から中緯度域に至る広域の電離圏ダイナミクスの研究に資することである。従来の成果を踏まえ、平成 18-19 年度に得られた成果は以下の通りである。これらは国内外で口頭発表するとともに、誌上発表した。

### 1. 極域中間圏からのエコー(PMSE)

極域夏季中間圏エコー(PMSE)と呼ばれる特異なレーダーエコーは、極域の中間圏界面付近の温度が夏季に極低温 (<150K) になる場合に発生する。従来、PMSE は専ら垂直ビームを持つ HF-VHF 帯レーダーで観測されてきたが、我々は斜めビームの昭和基地 SuperDARN レーダーにより PMSE の初検出に成功した(1)。その後、フィンランドレーダーや昭和基地 MF レーダーなどのデータも併せて解析し、SuperDARN で観測される PMSE の様相や中間圏中性風との関係などを明らかにしてきた(2, 3, 4)。また、複数にわたる多量の PMSE データを解析して PMSE 出現の長期変動傾向を明らかにし、この傾向が従来の VHF 帯レーダーの観測結果とほぼ一致することを示した(5, 6)。

PMSE の長期変動が中間圏界面温度の長期変動の指標(温暖化の指標)となるかどうかを検証するためには長年にわたるデータ蓄積が必要である。そのため、2006 年 1 月と 2008 年 1 月に南極 SuperDARN による PMSE 観測キャンペーンを実施した。後者の期間のデータは未解析であるが、前者の期間では昭和基地で PMSE が観測された。

近年、大気観測用 VHF レーダーを用いた南極 PMSE の観測が盛んになってきており、今後は SuperDARN との比較が重要になる。地球温暖化の研究に資するには 1 太陽周期にわたるデータの蓄積が必要である。

### 2. 北海道 SuperDARN 短波レーダー

極地研究所の全面協力を得て北海道陸別町に建設を進めてきた北海道 SuperDARN レーダーは 2006 年 12 月から本格稼働を開始した。観測対象となる現象を図 1 に、送受信アンテナの写真を図 2 に示す。観測開始以降、太陽活動が低いため大きな極域擾乱は発生していないが、興味あるサブオーロラ帯のプラズマ対流現象がしばしば観測された(Kataoka et al., 2007; Ebihara et al., 2008)。これらは太陽風磁場の変化に伴う磁気圏電場の変動にตอบสนองしたトランジェントな電離圏



図 1 北海道-陸別 SuperDARN レーダーの観測対象



図 2 北海道-陸別 SuperDARN レーダーの送受信用ログペリアンテナ

現象であり、従来の極域 SuperDARN では観測不可能な現象である。今後太陽活動が上昇して磁気嵐やサブストームが頻発すれば、未知の現象が検出できる可能性は非常に高い。

中緯度に位置する北海道レーダーの特徴として、極域で発生した電離圏・熱圏擾乱が低緯度へ伝搬していく様子が詳しく観測できることである。特に顕著な現象は中規模伝搬性電離圏擾乱(MSTID)と呼ばれるものであり、MSTID が極域からオホーツク海上を経て日本列島を南に伝搬し、極域からエネルギーを輸送する様子が初めて捉えられた。また、中緯度特有の電離圏エコーも頻繁に観測されており、データ解析が始まっている。このように、北海道レーダーは今後とも貴重な

データを提供するであろう。短波は伝搬途上で屈折や反射を受けるため、観測データの解釈には短波レイトレーシングからの知見を加味する必要がある(7)。

### 3. まとめ

上述のように、極域と中緯度の SuperDARN 短波レーダーを用いた高・中緯度電離圏ダイナミクスの研究はほぼ順調に推移し、研究成果を得ることができた。今後も、益々充実化していく南・北極及び中緯度の SuperDARN レーダーを用いた研究を国際協力で進め、極冠域/オーロラ帯/中緯度域の熱圏・電離圏・磁気圏物理の解明に貢献していく。

#### [参考文献]

- 1) Ogawa, T., N. Nishitani, N. Sato, H. Yamagishi, and A. S. Yukimatu, Upper mesosphere summer echoes detected with the Antarctic Syowa HF radar, *Geophys. Res. Lett.*, 29(7), 10.1029/2001GL014094, 2002.
- 2) Ogawa, T., K. Hosokawa, N. Nishitani, N. Sato, H. Yamagishi, and A. S. Yukimatu, Characteristics of polar mesosphere summer echoes observed with oblique incidence HF radars at Syowa Station, *Adv. Polar Upper Atmos. Res.*, 17, 13-29, 2003a.
- 3) Ogawa, T., N. F. Arnold, S. Kirkwood, N. Nishitani, and M. Lester, Finland HF and Esrange MST radar observations of polar mesosphere summer echoes, *Ann. Geophysicae*, 21, 1047-1055, 2003b.
- 4) Ogawa, T., S. Nozawa, M. Tsutsumi, N. F. Arnold, N. Nishitani, N. Sato, and A. S. Yukimatu, Arctic and Antarctic polar mesosphere summer echoes observed with oblique incidence HF radars: analysis using simultaneous MF and VHF radar data, *Ann. Geophysicae*, 22, 4049-4059, 2004.
- 5) Hosokawa, K., T. Ogawa, A. S. Yukimatu, N. Sato, and T. Iyemori, Statistics of Antarctic mesospheric echoes observed with the SuperDARN Syowa radar, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L02106, doi:10.1029/2003GL018776, 2004.
- 6) Hosokawa, K., T. Ogawa, N. F. Arnold, M. Lester, N. Sato, and A. S. Yukimatu, Extraction of PMSE from SuperDARN data, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12801, doi:10.1029/2005GL022788, 2005.
- 7) Nishitani, N. and T. Ogawa, Model calculations of possible ionospheric backscatter echo area for a mid-latitude HF radar, *Adv. Polar Upper Atmos. Res.*, 19, 55-62, 2005.

#### [研究発表]

- Kataoka, R., N. Nishitani, Y. Ebihara, K. Hosokawa, T. Ogawa, T. Kikuchi, and Y. Miyoshi, Dynamic variations of a convection flow reversal in the subauroral post-midnight sector as seen by the SuperDARN Hokkaido HF radar. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L21105, doi:10.1029/2007GL0311552, 2007.
- Ebihara, Y., N. Nishitani, T. Kikuchi, T. Ogawa, K. Hosokawa, and M. -C. Fok, Two-dimensional observations of overshielding during a magnetic storm by the Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) Hokkaido radar, *J. Geophys. Res.*, 113, A01213, doi:10.1029/2007JA012641, 2008.

## 共同研究報告書（終了）

オーロラ粒子分布パターンの研究（研究課題）

◎白井仁人 一関工業高等専門学校・一般教科・准教授（研究代表者）  
（国立極地研究所）

門倉昭 准教授

（担当教員）

平成18年～平成19年（2か年）

（研究期間）

### 【研究成果】

本研究の目的は、人工衛星で得られたオーロラ粒子分布のデータをもとに、オーロラ領域（磁気圏領域）の分類方法や境界位置の特定方法について再検討し、オーロラ町域投影の新しい方法を探すことである。

我々は、まず、低高度を観測するアケボノ衛星で得られたオーロラ領域の粒子分布を解析し、幾つかの構造を特定した。そして、その構造が観測される領域の境界を特定し、それによって領域わけを行った。次に、高高度を観測するジオテイル衛星で得られた磁気圏領域の粒子分布を解析し、同様の方法で境界を特定した。

図1（下）はアケボノ衛星で得られた粒子分布を表している。この図を見ると、幾つかの構造が確認できる。一つ目は、オーロラ領域の最も低緯度の領域で観測されるイオンのノーズ構造である。この構造はディフューズオーロラ電子の低緯度側境界（L5）の低緯度側で観測され、磁気圏ではプラズマシートの地球側境界に対応することが知られている。

二つ目は、我々が IDB と呼ぶ構造で、10 keV 付近の粒子の欠落である。IDB は主にオーロラ領域の低緯度側で観測される。そして、IDB 観測の高緯度側の限界として IDB の境界（L4）を特定できる。IDB の高緯度側境界は、朝側ではディフューズオーロラ領

域の高緯度側境界にとっても近く、夕方側でやや離れていることが我々の調査でわかっている。

三つ目は、ディフューズオーロラとディスクリットオーロラの境界（L3）である。過去の研究では、この境界付近でオーロラサブストームのオンセットが起こるといふ観測が報告されている。四つ目は、ディスクリットオーロラの高緯度側境界（L1-L2）である。この構造は磁気圏でプラズマシート境界層に対応することが知られている。

このようにして低高度（オーロラ高度）で観測された特徴的な構造を特定した。この同定法は磁気圏で観測された粒子分布に対しても同様に行うことができる。図1（上）はジオテイル衛星によって得られた粒子分布である。先ほどと同様に、幾つかの構造（H1, H2, H3）を特定できる。

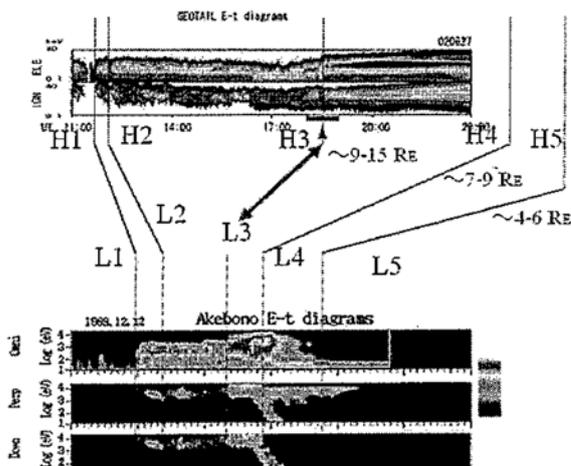
（ただし、ジオテイル衛星は 9 Re 以遠のみ観測するため内側の境界構造 H4 は稀にしか特定できないが、その稀な観測結果から H4 が 7-9 Re にあることがわかる。また、H5 はジオテイルで観測できないが他の衛星による観測から 4-6 Re 付近であることが知られている。）

以上のようにして、低高度のオーロラ粒子分布と高高度の磁気圏粒子分布の両方で特定された幾つかの境界構造を用いれば、オーロラの各部分領域と磁気圏の各部分領

域の間の対応関係がわかる。そこで、この領域分けと境界特定に基づく新しいマッピング方法を開発し、オーロラ領域と磁気圏領域をつなぐモデルを考えた。

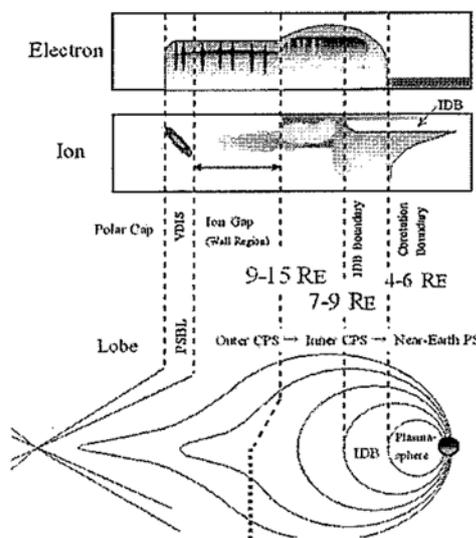
図2はそのモデルを表している。図2(上)はオーロラ高度でしばしば観測される粒子分布構造である。各構造の境界に対応する境界構造が磁気圏のどの辺りで観測されたのかを統計的に調べることによって、

各オーロラ構造が磁気圏のどの位置に当たるのかを示した。図2(下)は磁気圏の磁力線構造に合わせて描いたモデルである。このマッピング法の大きな特徴は、ツイガネンモデルのような磁力線モデルを使っていないことである。したがって、モデル依存性という大きな問題を克服したマッピング法となっている。



- (1) L4 is the poleward boundary of IDB. This boundary (L4) can be mapped to the distances of 7-9 RE, since the outer boundary of IDB was observed at these distances in the magnetosphere by Geotail.
- (2) L5 is the equatorward boundary of auroral electron precipitation, which can be mapped to the inner edge of the plasma sheet (slg) at the distances of 4-6 RE.

図1. ジオテイル衛星が観測した粒子のE-tダイアグラム(上)とアケボノ衛星が観測したE-tダイアグラム(下)



The NEPS boundary at 9-15 RE

図2. E-tダイアグラム中のオーロラ粒子分布構造とその磁気圏での位置

[参考文献]

- 1) Boundary between the near-Earth (<10 RE) plasma sheet and outer plasma sheet : Equatorial observations at 9-15 RE by Geotail, H. Shirai, T. Hori, T. Mukai, Adv. Polar Upper Atmo. Res., 2005, No. 19, page 1-9

[研究発表]

- 1) オーロラ領域と磁気圏赤道面付近における粒子分布構造の比較、白井仁人、堀智昭、向井利典、日本地球惑星科学連合、千葉幕張、2006年5月17日



# I. 共同研究報告（終了）

## 一般共同研究

### (2) 気 水 圏

共同研究報告書  
 (研究課題) 「パルスパワーによる砕氷に関する研究」

(研究代表者) 佐賀大学工学部・准教授 猪原 哲

(国立極地研究所)

(担当教員) 教授 和田 誠, 准教授 牛尾収輝

(研究期間) 平成17年～平成19年 (3か年)

【研究成果】

1. 背景, 研究目的

本研究は, 氷海での砕氷航行において, 船体による荷重に頼らない新しい砕氷方法としてパルスパワーを用いる方法を提案する。この方法は, パルスパワー電源, つまり瞬間的に大電力を発生させる電源を用いて, 衝撃波を発生させ, それによって砕氷を行うというものである<sup>1,2)</sup>。パルスパワーを用いることの利点として以下のことが挙げられる。

(1) 海氷との衝突による船体へのダメージを減らすことができる。

(2) 繰り返し動作が可能であるので連続砕氷が可能である。

本研究の目的は, パルスパワーによる砕氷の実証, 砕氷に必要なエネルギーの算出である。また, 砕氷装置の開発のための基礎的知見を得ることである。

2. 実験装置・方法

2. 1 砕氷の実証および海水と水道水との比較実験

図1は, 本研究で用いた実験装置の等価回路および構成を示している。パルスパワー電源として, 6段のマルクス発生器を使用した (1段あたりの容量は0.2  $\mu\text{F}$ )。直方体の氷サンプルは水で満たされたプラスチック容器に入れている。本実験では, プラスチック容器内に水道水を入れた場合と海水と同じ塩分濃度の塩水 (塩分濃度 0.35%) を入れた場合で実験を行った。高電圧側および接地側電極は氷サンプルの表面に接触させた。氷サンプルは精製水を直方体のプラスチック容器に入れて作られた。

図2は電極形状を示している。電極材質は銅, 直径は6mmの円筒形であり, 外径20mmのポリエチレン円筒で包まれている。ここでは, 銅電極の先端形状が平坦な場合と先鋭形状のものを用いた。

2. 2 氷厚特性と電極形状の依存性

実験装置構成は図1に示したのものを用いた。氷サンプルのサイズは200×140mmとし, 氷厚を45mm～130mmまで変化させた。図3に電極形状とサイズを示している。電極材質は銅であり, 直径6mmの円筒形状である。銅電極がポリエチレン円筒から突き出ている長さ先端形状によって, 4種類の電極を用意した。

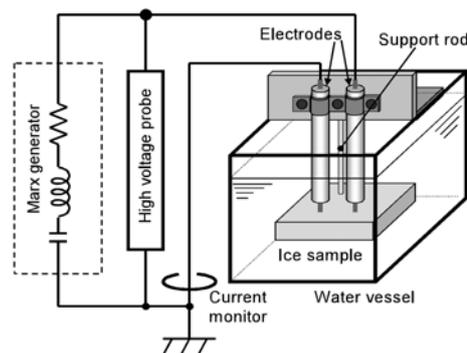


図1 実験装置構成図

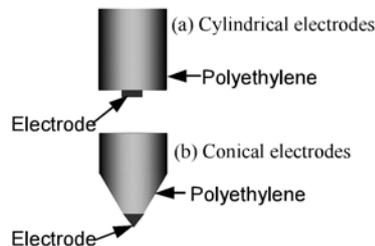


図2 電極形状

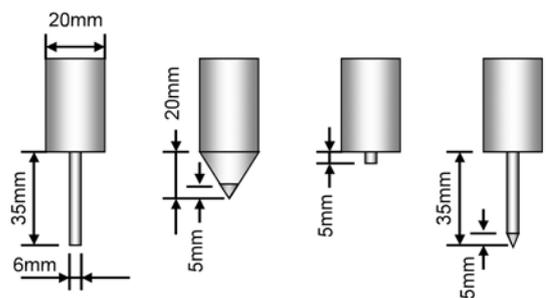


図3 電極形状

3. 実験結果

3. 1 砕氷の実証および海水での実験

図4に, 放電前と放電後の氷サンプルの様子を示す。このとき, 氷サンプルのサイズは95×82×28mm, 電極間印加電圧は約50kV, 放電部に投入された放電エネルギーは約30Jであった。この結果から, 放電によって氷サンプルが破碎されることが実証された。

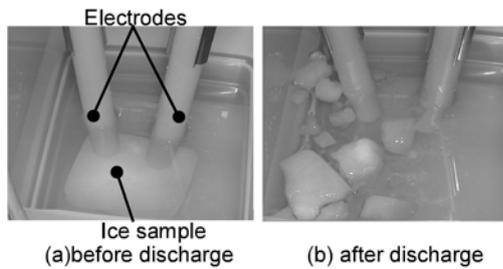


図4 放電前と放電後の氷サンプル

塩水を用いた場合と水道水を用いた場合で、砕氷の比較を行った。海水を模擬した塩水の場合は、電極形状を図2(a)としたときは、同じ印加電圧であっても砕氷されることはなかった。しかしながら、電極形状を図2(b), つまり先鋭形状にすると砕氷することができた。図5は、電極形状が図2(a), (b)の各場合における放電電力の時間変化である。この結果から分かるように、電極先端を先鋭形状にすることによって最大電力が約30%増加しており、このことが塩水でも砕氷できた原因であるといえる。

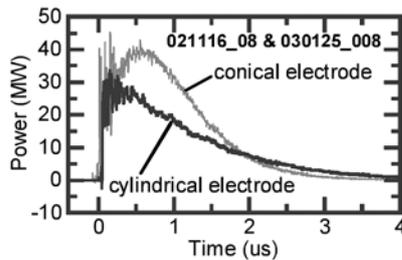


図5 放電電力の時間変化(電極形状図2(a), (b)の各場合)

### 3.2 氷厚特性と電極形状の依存性

図6は、砕氷エネルギーの氷厚依存性と電極形状依存性を示している。ここで砕氷エネルギーとは、氷サンプルが破碎されるまでに電源から投入されたエネルギーの総計である。言い換えれば、砕氷するために電源から投入されるエネルギーである。氷厚が厚くなるにしたがって、砕氷エネルギーは増加していることが分かる。約50mmの氷厚で約0.5kJ, 約100mmで約1kJのエネルギーが必要であることが分かる。電極形状については、Type A, B, Dは互いに顕著な違いはなかったが、Type Cのみは他の形状と比べて約2倍の砕氷エネルギーになっている。図7は、Type AとType Cの場合の放電路の形成の様子を示した写真である。

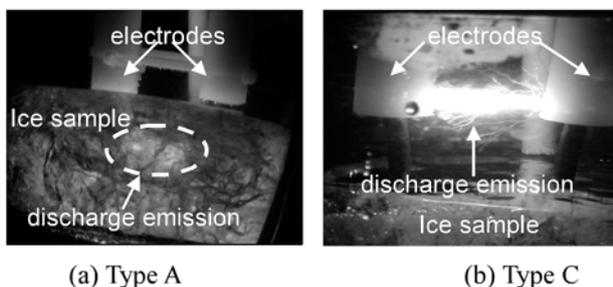


図7 Type AとTypeCの場合の放電路の写真

Type Aの場合は、電極が氷内の入り込んでいくことによって放電路が氷中に形成される確率が高くなった。一方、Type Cでは放電路はほとんどすべて水中で形成された。Type Cの場合で、砕氷エネルギーが他の形状に比べて大きくなったのは、放電路が氷外で形成されたためである。

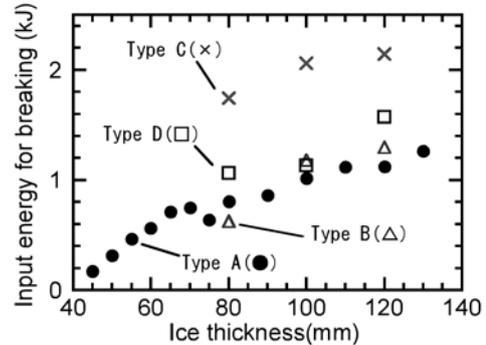


図6 砕氷エネルギーの氷厚依存性と電極形状依存性

### 4. まとめ

本研究において、以下のような結果が得られた。

- (1) パルスパワー電源によって砕氷が可能であることが実証された。
- (2) 電極形状を先鋭形状にすることによって、塩水中でも砕氷可能となり、砕氷のエネルギー効率も高くなることが分かった。
- (3) 氷サンプルをサイズを200×140mm, 氷厚を45mm～130mmまで変化させた実験から、約50mmの氷厚で約0.5kJ, 約100mmで約1kJのエネルギーが必要であることが分かった。

### [参考文献]

- 1) Satoshi Ihara and Chobei Yamabe: "Breaking of Ice Sheets Using Shock Waves Produced by Pulsed Power", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 (2003) pp. L 489-490, Part 2, No. 5A, 1 May 2003.
- 2) Satoshi Ihara and Chobei Yamabe: "Breaking of Ice Using Pulsed Power", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.43, No. 8A, 2004, pp. 5528-5532.

### [研究発表]

- (1) S. Ihara, C. Yamabe, S. Ushio: "Breaking of Ice Using Pulsed Power", Proceeding of Tenth International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry (HAKONE X), pp. 367-370, September 4-8, 2006, Saga, Japan.
- (2) S. Ihara, K. Jinnai, C. Yamabe and S. Ushio, "Fundamental characteristics of ice breaking using pulsed power", 2007 Japan-Korea Joint Symposium on Electrical Discharge and High Voltage Engineering at Shibaura Institute of Technology (November 16-17, 2007, Tokyo), 17B-a6, pp. 187-190.

一般共同研究 課題名「-30℃以下で成長する雪結晶の形態」終了報告書

研究代表者：埼玉大学教育学部・教授 高橋忠司  
 共同研究者：信州大学教育学部・教授 岩井邦中  
 愛知学院大学教養部・教授 権田武彦  
 愛知学院大学教養部・教授 清忠師  
 富山大学理学部・准教授 島田互  
 北海道大学低温科学研究所・教授 古川義純  
 大阪大学教育学部・名誉教授 山下晃  
 (国立極地研究所)  
 教授・和田誠、助教・平沢尚彦  
 平成 17 年度～平成 19 年度 (3 年間)

[研究成果]

この共同研究は、南極のような低温域の降雪機構を考えるとという観点と、低温域での雪結晶を結晶学から考えるとという観点とから、通常の降雪機構や結晶成長を研究しているメンバー間で議論し、南極でどのような研究を行ったら面白いのか、得られたデータをどのように解釈するのがよいか等を検討する事を主眼としている共同研究である。またメンバー各自の研究を行う上で、新たな研究を始める助けになるような議論ができることを主眼としてきた。このため各自は、独自の研究を行い意見交換する会をこの 3 年間に 2 回 (平成 18 および 19 年度) 行った。できるだけ多くのメンバーに参加いただくため土曜日午後から日曜日午前開催とし、議論の時間を多く取った (原則ゲストハウス宿泊)。またこのメンバーでなくとも関連する研究を行っているメンバーにも参加いただいた。平成 19 年度の研究会の発表題目を表に示した。なお平成 19 年度から極地研究所以外の先生が代表者となって研究集会を開くことができるようになったので、研究集会のカテゴリーで適宜申請を考えている。このうちのいくつかの研究について以下に簡単に紹介する。

1. 氷晶の成長中に見られる色づきのメカニズム

人工的に氷晶を作った場合、さまざまな色がついて輝いて見える場合と、白色に輝いて見える場合がある。この違いを氷晶をサンプリングし、顕微鏡観察することにより調べた。その結果、色がついて見える場合の氷晶は、もはや角柱ではなく樹枝状成長に移る形態であることが

明らかになった。この結果、色づきのメカニズムとしてはプリズムの効果が大きいと考えられる。

2. 氷晶の衝突実験「人工十二花結晶」

天然に希に観察される十二花結晶の形成メカニズムを解明するため、人工的に氷晶を作成し、氷晶の衝突条件を調べた。解析の結果、氷晶の衝突は 3 つの形態に分類され、十二花結晶となる形態の条件としては、二つの氷晶がすでに枝分かれを発生していることであることを明らかにした。

表：研究会の発表タイトル

・砲弾集合型雪結晶の生成およびその光散乱特性の測定計画
・-30℃以下での雪結晶生成実験の状況
・氷晶の衝突実験「人工十二花結晶」/エアロゾルの氷晶核化能力測定
・糖水溶液の凍結・融解と再結晶
・光学式センサーを用いた雨滴観測装置の試作
・ドームふじにおけるシーロメータによる降雪の観測
・氷と雪の科学の普及活動
・生物細胞と氷晶核の関連の論文
・雪や氷を使った教材研究

3. エアロゾルの氷晶核化能力測定

氷晶核として有効と考えられている物質の、氷晶核として働く条件・能力を調べた。雲の厚さが薄いなどの問題はあるものの、従来有効とされてきたカオリナイトは氷晶をあまり発生させず、代わりに石英、木炭が氷晶核として有効であることが明らかになった。今後、氷晶核と

して働く温度・湿度など、より詳細に調べていく予定である。

#### 4. ドームふじの降雪

ドームふじ基地など南極内陸域の降雪は光学的に薄く、シーロメータにより降雪や雲の鉛直分布の測定が可能であることが分かった。データを詳細に解析することで、より弱い降雪現象をとらえることにより、ダイヤモンドダストに関する知見も得られてきた。また、降雪粒子の写真との比較も進めている。

#### 5. 糖水溶液の凍結・融解と再結晶

-30℃以下での生体の凍結保存法の確立を目指して、トレハロースの優れた凍結保護作用の仕組みを、トレハロース水溶液中での氷結晶の成長をその場観察し、分子量の同じスクロースの水溶液中での結果と比較することにより調べた。主要な研究成果は、①各濃度での氷結晶の融点を、両糖について正確に測定したことと、②この融点から求めた正確な過冷却度と氷結晶の成長形・成長速度との関係を明らかにしたことである。

#### 6. ドームふじ基地の雪結晶と人工雪生成

2003年2月から2004年1月に南極ドームふじ基地において撮影された雪結晶写真写真を整理し (Kameda et al., 2007)、雪結晶の結晶形ご

との観察頻度を調べた。その結果、ドームふじでは、砲弾集合結晶、単砲弾結晶、骸晶角柱、角柱、針状角柱の順に観察できることが新たにわかった。最も頻度が高かった砲弾集合結晶については、その長さや直径および結晶間角度、砲弾部の角度を調べ、それぞれの特徴を明らかにした。また、北見工業大学において対流型雪結晶生成装置を用いて人工雪生成実験を行い、-30℃前後で砲弾集合結晶が人工的に生成できることがわかった。

#### 7. 氷と雪の科学の普及活動

主なところは、子どもを対象にして、テニスボール大の水分子模型を使って氷結晶模型やガスハイドレート模型を組み立てる指導をしたことだが、南極の氷についておおいに学ぶ機会を与えてきたものと考えている。この模型作りが雪の結晶成長を考える基本となる結晶面模型作りへと発展することも期待している。

#### 8. 生物細胞と氷晶核の関連の論文(参考文献)

氷晶の発生メカニズムにとって氷晶核の関与が重要であるが、氷晶核と氷晶の個数の関係はいまだ良く分かっていない。最近発表された論文の中に、氷晶核として生物細胞が重要な役割を果たすであろうと言う論文があった。

#### [参考文献]

Kameda, T., K. Fujita, O. Sugita and G. Hashida, 2007: Glaciological data collected by the 44th Japanese Antarctic Research Expedition during 2003-2004. JARE Data Report, 298 (Glaciology 32), 92p.

Christner et. al., 2008: Ubiquity of biological ice nucleators in snowfall. *Science*, **319**, 1214.

Jaenicke, 2005: Abundance of cellular material and proteins in the atmosphere. *Science*, **308**, 73.

#### [研究発表]

- ・ T. Sei and T. Gonda, 2006: *J. Crystal Growth* **293** 110-112.
- ・ 平沢尚彦・藤田耕史：シーロメータにより観測されたドームふじの雲・降雪の鉛直分布と季節変化，南極資料，Vol.53(特集号)，印刷中，2008.
- ・ 島田 互・白石真也：氷晶の成長中に見られる色づきのメカニズム．雪氷学会北信越支部研究発表会 松本，2007年5月．
- ・ 小西啓之・中井淳也・穂積範行：光学式センサーを用いた雨滴の粒径と落下速度の観測．2008年日本気象学会秋季大会．
- ・ 小西啓之(大阪教育大学)・和田誠：Ny-Alesundの降水と水蒸気移流の関係．2008年第30回極域気水圏シンポジウム．

## 共同研究報告書（終了）

ECC オゾンゾンデによる BSMILES の検証観測（研究課題）

- ◎入交 芳久 独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター 環境情報センシング・ネットワークグループ・主任研究員（研究代表者）
- 落合 啓 独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター 環境情報センシング・ネットワークグループ・主任研究員（共同研究者）
- 笠井 康子 独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター 環境情報センシング・ネットワークグループ・主任研究員（共同研究者）
- 熊谷 博 独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター・センター長（共同研究者）
- 佐藤 薫 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻・教授（共同研究者）
- （国立極地研究所）
- 平沢 尚彦（担当教員）
- 平成18年～平成19年（2か年）（研究期間）

### 【研究成果】

成層圏オゾン破壊は地上の生命にとって重要な問題である。オゾン破壊には成層圏中の微量分子 ( $\text{HO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{ClO}_x$ 、 $\text{BrO}_x$ ) による触媒反応が関連していると言われているが、成層圏中におけるオゾンや微量分子による光化学過程は未解明であり、オゾンの将来予測のためには大気中における分子の分布を測定し、光化学過程を解明することが鍵となる[1]。

独立行政法人 情報通信研究機構においては、気球搭載型超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(BSMILES: Balloon-borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)の開発が行われ、2003年、2004年に宇宙航空研究開発機構の三陸大気球観測所において放球実験が行われた[2][3]。

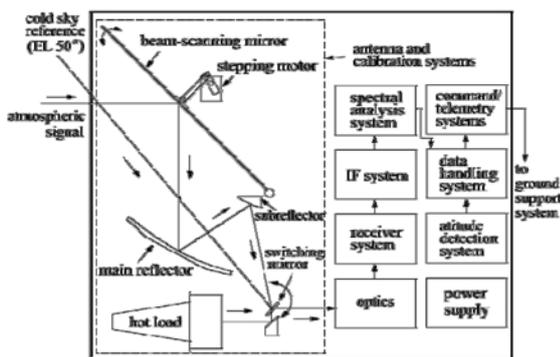


図1、BSMILESのブロック図

BSMILESは、アンテナ・較正系、光学系、受信機系、中間周波系、分光系、データ取得・制御系、姿勢検出系、電源、気球工学系(コマンド・テレメトリ系等)から成り、ゴンドラサイズは約1.35m×1.35m×1.26m(放球時には断熱のため発泡スチロールで囲われる)、放球時の総重量は633kg(バラスト250kgを含む)、消費電力は約150Wである。図1にシステムブロック図を示す。

アンテナには直径300mmのオフセットパラボラアンテナ、受信機には超伝導を利用したサブミリ波(650GHz)帯のヘテロダイン受信機、分光計には音響光学型分光計が搭載されている。

図2に、2004年の観測で得られたオゾンや塩化水素、 $\text{HO}_2$ などからの放射電波スペクトルを示す。

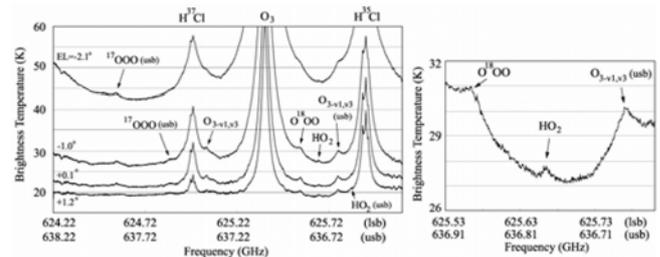


図2、2004年の観測で得られたオゾン、塩化水素、 $\text{HO}_2$ などのスペクトル

$\text{HO}_2$ は $\text{HO}_x$  ( $\text{H}$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2$ ) グループに属するラジカルであり、成層圏オゾン破壊のみならず、上部成層圏の水蒸気量とも大きく関連していることで、対流圏から中間圏における大気化学にとって重要なラジカルである。これまでの観測から、 $\text{HO}_x$  ジレンマと呼ばれる、観測をモデルで説明できないという問題が提起された[4]が、現時点では観測が少なく、問題が未解明のまま存在している。観測が少ない理由として、その存在量が極微量であり、また時間とともに大きく変動するため、その検出が困難であることがある。しかし、我々の高感度受信機は短時間に $\text{HO}_2$ の検出を行うことが可能であり、昼の1.5時間程度の観測(1つのスペクトルの積分時間は約1分)で $\text{S/N} \sim 10$  (rmsノイズレベルは70mK)で $\text{HO}_2$ の検出に成功している。従って、昼夜にわたる観測により、その存在量の日変化を測定すること

が出来る。本共同研究においては、これまでほとんど行われたことのない中緯度帯での  $\text{HO}_2$  の日変化の観測により、 $\text{HO}_x$  ジレンマやオゾン破壊における水素酸化物ラジカルによる光化学過程の解明、オゾンの将来予測のための研究成果を得る事を目的とした気球実験を 2006 年に実施した。その際、データ検証のため ECC オゾンゾンデによる観測を国立極地研究所の協力により行った。

実験では上空の風の条件により、当初予定された午前中から日没後までの10時間の観測を行うことは出来なかった。また、受信機の状態が直前に変化し、最適な状態に調整できなかったため感度も十分ではなかった。従って、 $\text{HO}_2$  の日変化を十分に行うことは出来なかったが、オゾンや塩化水素のスペクトル等、成層圏大気化学にとって有用なデータを取得することは出来た。ECC

オゾンゾンデによる観測には成功した。図 3 に得られたオゾンの高度分布を示す。

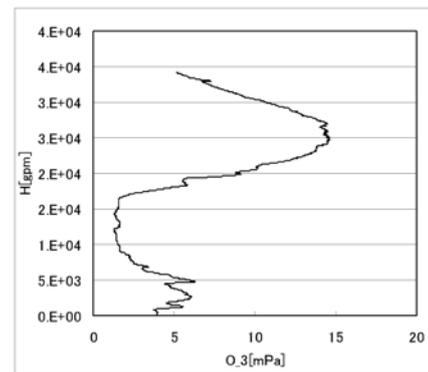


図 3、ECC オゾンゾンデの観測で得られたオゾンの高度分布

#### [参考文献]

- 1) E. C. Weatherhead and S. B. Anderson, "The search for signs of recovery of the ozone layer," *Nature* 441, pp.39-45, 2006.
- 2) S. Ochiai, S. Tsujimaru, Y. Irimajiri, T. Manabe, and I. Murata, "Stratospheric ozone and ClO measurements using balloon-borne submillimeter limb sounder," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 43, no. 6, 2005.
- 3) Y. Irimajiri, T. Manabe, S. Ochiai, H. Masuko, T. Yamagami, Y. Saito, N. Izutsu, T. Kawasaki, M. Namiki, I. Murata, "BSMILES—A Balloon-Borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder for Stratospheric Measurements," *Geosci. Remote Sensing Lett.*, vol.3, no.1, pp.88-92, January 2006.
- 4) R. R. Conway, M. E. Summers, and M. H. Stevens, "Satellite Observations of Upper Stratospheric and Mesospheric OH: The  $\text{HO}_x$  Dilemma", *Geophys. Res. Lett.*, vol. 27, no. 17, pp.2613-2616, Sept. 2000.

#### [研究発表]

- 1) S. Ochiai, S. Tsujimaru, Y. Irimajiri, T. Manabe, and I. Murata, "Stratospheric ozone and ClO measurements using balloon-borne submillimeter limb sounder," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 43, no. 6, pp.1258-1265, 2005.
- 2) Y. Irimajiri, T. Manabe, S. Ochiai, H. Masuko, T. Yamagami, Y. Saito, N. Izutsu, T. Kawasaki, M. Namiki, K. Sato, and I. Murata, "A Balloon-Borne 620-650 GHz SIS Receiver for Atmospheric Observations," *IGARSS 2005 Proceedings*, 2005.
- 3) Y. Irimajiri, T. Manabe, S. Ochiai, H. Masuko, T. Yamagami, Y. Saito, N. Izutsu, T. Kawasaki, M. Namiki, I. Murata, "BSMILES—A Balloon-Borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder for Stratospheric Measurements," *Geosci. Remote Sensing Lett.*, vol.3, no.1, pp.88-92, January 2006.
- 4) Y. Irimajiri, S. Ochiai, T. Manabe, T. Yamagami, Y. Saito, N. Izutsu, T. Kawasaki, M. Namiki, I. Murata, K. Sato, "Development of a Balloon-Borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder for Atmospheric Observations," *25th International Space Technology Symposium, Proceedings*, 2006.
- 5) 入交芳久、落合啓、笠井康子、山上隆正、斉藤芳隆、飯島一征、井筒直樹、並木道義、富川義弘、村田功、佐藤薫、"サブミリ波による  $\text{HO}_2$  の日変化観測、" 大気球研究報告、2007.
- 6) 入交芳久、落合啓、Baron Philippe, "気球搭載型超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(BSMILES)、" 情報通信研究機構季報、vol.53, no.1/2, pp.137-145, 2007.
- 7) Y. Irimajiri, S. Ochiai, Baron Philippe, "BSMILES—A Balloon-Borne Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder," *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, vol.54, no.1/2, pp.155-164, 2007.

## 共同研究報告書（終了）

リュツォ・ホルム湾周辺における海水域のモニタリングと変動特性

◎泉山 耕 海上技術安全研究所 流体部門・グループ長（研究代表者）  
下田春人 海上技術安全研究所 流体部門・主任研究員  
宇都正太郎 海上技術安全研究所 海洋部門・グループ長  
舘山一孝 北見工業大学 土木開発工学科・助教  
(国立極地研究所)  
気水圏研究グループ・准教授 牛尾収輝  
平成18年～平成19年（2か年）

### [研究成果]

本共同研究では、日本南極地域観測（JARE）において取得したデータを用いて、リュツォ・ホルム湾周辺海域における海氷の変動特性を調査した。観測の具体的な対象は海氷厚である。近年、地球温暖化に対する議論の中で海氷域の消長が話題となることが多い。この場合、海氷面積のみならずその体積についての議論が重要であるが、その際に必要となる氷厚についての情報が極めて限られている。本研究では、電磁誘導センサー（EMセンサー）を用いた計測を行った。また、リモートセンシングによる氷厚測定についても、マイクロ波放射計（MMRS）による計測とEMセンサーによる氷厚とを地上検証データとして、その有効性を検討した。



船載型 EM センサー



Ice Worm

図1 EM センサー

EM センサーは、海氷と海水の誘電率の違いを利用して海氷厚を計測するセンサーである。本センサ

ーによる海氷厚計測は比較的新しい計測法であるが、非接触で連続的に氷厚データを得られることからその利用が広がり、我が国においても、南極及び冬季オホーツク海での計測によりその信頼性が確認されている<sup>1)</sup>。本研究における EM センサーによる海氷厚計測は、従来より国内外において実施されている船載方式での計測を行うとともに、新たに開発した橇に EM センサーを搭載したシステム（Ice Worm）によっても、昭和基地周辺の海氷厚の氷上観測を行った。それぞれのセンサーを図1に示す。

本研究ではまず、JARE47 において計測されたデータの解析を行った。JARE47 における船上氷厚計測結果の例を図2に示す。同図はラミング航行時のデータであり、上図が氷厚、下図が「しらせ」の船位（緯度）である。「しらせ」の前後進が船位に見ることができ、これに対応して氷厚も変動している。このうち、後進時（北進時）は砕氷された氷塊群中を計測しているため、真の氷厚は前進時に現れる。しかしながらこれにも 7m 程度と 4m 程度の値が示されているが、船上観測では氷丘脈等は確認されていないことから、このような局所的な氷厚の変動は合理的ではない。これについては、7m の氷厚は砕氷に伴って発生する氷片が母氷板の下に入り込んだ状態を計測したものであると解釈すべきである。船載 EM センサーによる氷厚計測では、一般に、連続砕氷モードでは計測値を直接採用できるが、ラミング時には上のような考察が必要である。

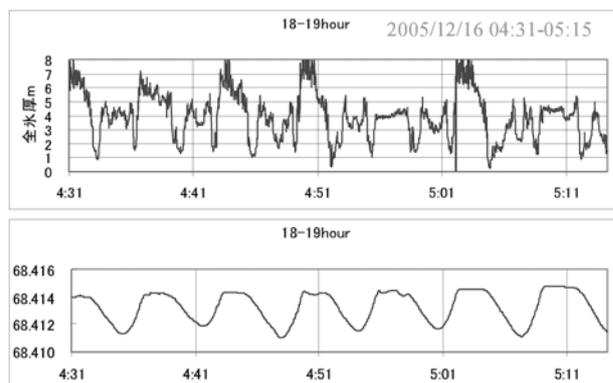


図2 ラミング時の氷厚計測例

Ice Worm 計測の結果を図 3 に示す。Ice Worm による計測結果は、東オングル島沖の北の浦の定着氷中の測線に沿った氷厚であり、ドリリングによる直接計測結果も示されている。測線後部の大氷厚領域は多年氷と考えられる領域であり、オーガー長不足から直接計測はできていないが、その他の領域において、EM 計測結果と直接計測結果は極めて良い一致を見せている。

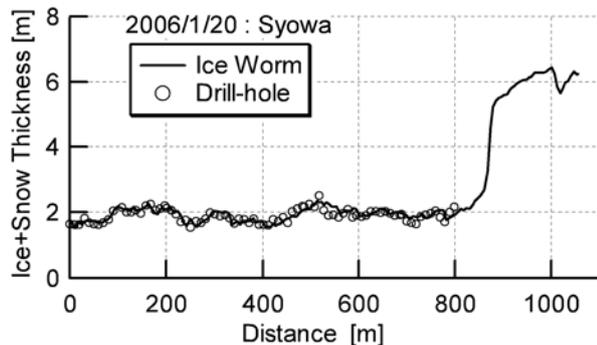


図 3 Ice Worm による計測結果

JARE48 では、JARE47 と同様の EM センサー計測を行うとともに、MMRS による計測を実施した。計測に使用した MMRS を図 4 に示す。本装置により 36GHz の垂直・水平偏波の輝度温度並びに氷の表面温度の計測を行い、その結果と EM センサーによる氷厚計測結果との比較を行った。輝度温度と EM センサーによる氷厚の直接比較では、氷厚が 1.2m 以下の場合には水平偏波との間に高い相関が見られるが、これ以上の氷厚に対しては水平・垂直偏波ともに氷厚推定への利用は困難との判断を得た。このため、両偏波成分から Polarization Ratio (PR) を求め、これと氷厚との相関を見た。図 5 に両者の相関関係を示す。氷厚 1.2m~1.5m 程度の領域において推定値が過大である。この氷厚領域のデータは、復路に計測されたものが卓越的であることから、これは、復路では海水の融解が進み、表面の融解水によるマイクロ波の吸収が起こっているためと解釈される。このような点はあるものの、全体として推定氷厚と EM センサーによる計測結果との相関は良く (平均値 : 1.25m と 1.15m、RMS エラー : 0.35m)、マイクロ波帯のリモートセンシングによる氷厚測定が有望であることの地上検証データと言えよう。

[参考文献]

- 1) Uto, S., Shimoda, H. and Izumiyama K., 2002. Ship-based sea ice observations in Lutzow-Holm Bay, East Antarctica. *Ice in the Environment*, edited by Squire V. and Langhorne, P., pp. 219-224.
- 2) Uto, S., Shimoda, H. and Ushio, S., 2006. Characteristics of sea-ice thickness and snow-depth distributions of the summer landfast ice in Lutzow-Holm Bay, East Antarctica. *Annals of Glaciology* 44 2006, pp. 281-287

[研究発表]

- 1) 下田他, 2006 年. JARE47 夏隊における海氷観測について. 海上技術安全研究所研究発表会講演集.
- 2) 館山他, 2007 年. 船舶搭載型マイクロ波放射計を用いた南極昭和基地沖の海水厚観測. 日本雪氷学会北海道支部研究発表会.



図 4 マイクロ波放射計

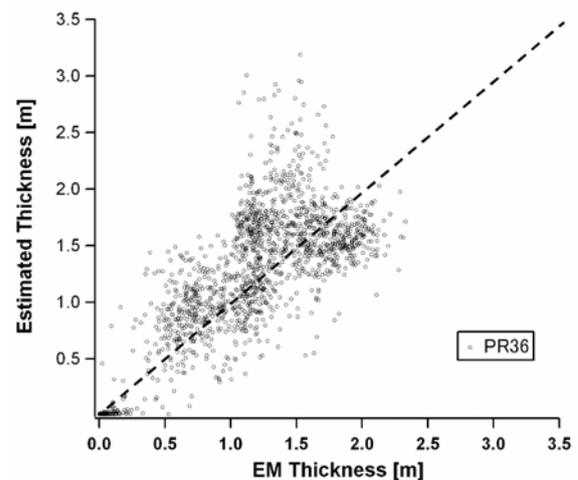


図 5 氷厚の推定値と計測値の相関

JARE における海水観測、特に EM センサーを用いた氷厚計測は、JARE42 以後連続して実施され、本研究もその延長線上にある。この間リュッツォ・ホルム湾の海水厚は、空間的・時間的に大きく変動することが示された。本研究の結果においても、JARE48 では 2m 以下の氷厚が卓越的であるのに対し、JARE47 ではラミング時に見られるようにこれを大きく上回る氷厚が計測されている。このような変動は、「しらせ」航路上における多年氷の存在率、換言すれば、その前の定着氷の流出の程度に依存するものと解釈できる。また、Uto らの指摘するように積雪も氷厚変動に影響するとも言えよう<sup>2)</sup>。これらの要因が、では何によっているのか、が明らかになるためにはさらなるデータの蓄積が必要であり、JARE での同様の観測の継続を期待したい。

## 共同研究報告書（終了）

### 南大洋の海氷分布と海洋循環の研究

◎若土 正暁 北海道大学低温科学研究所・教授  
大島 慶一郎 北海道大学低温科学研究所・准教授  
青木 茂 北海道大学低温科学研究所・准教授  
河村 俊行 北海道大学低温科学研究所・助教  
深町 康 北海道大学低温科学研究所・助教  
北出 裕二郎 東京海洋大学海洋科学部・准教授  
石田 邦光 鳥羽商船高等専門学校商船学科・教授  
(国立極地研究所)  
牛尾 収輝 准教授  
平成 18 年～平成 19 年 (2 か年)

#### [研究成果]

#### 1. AVHRRと衛星マイクロ波放射計データによる海氷の厚さ・生産量の見積もり

極地研のサポートのもと、2003年9-10月、オーストラリア砕氷船による南極海氷観測プロジェクト (ARISE : Antarctic Remote Ice Sensing Experiment) に参加した。得られた海氷データをトゥルースデータとして用い、AVHRRデータにより海氷厚を見積もる手法を確立した (Tamura et al., 2006)。この手法を用い、極地研にアーカイブされているAVHRRデータを用い、沿岸ポリニヤ域での氷厚分布を多数の例にわたって示した。さらに、このAVHRR氷厚を比較・検証データに用い、衛星マイクロ波放射計 (SSM/I) データから、薄氷と ice shelf・fast ice を識別し、かつ薄氷の厚さを推定できるアルゴリズムを南極海においてはじめて開発した (Tamura et al., 2007)。衛星データで薄氷の厚さが分かると熱収支計算から奪われる熱量がわかり、海氷生産量に換算できる。このようにして、マイクロ波放射計データと熱収支計算を組み合わせることで、海氷生産量のマッピングを全南極海において行った (Tamura et al., in press)。この海氷生産量マッピングからは、Ross海に次いでDarnley岬沖での海氷生産量が大きいことがわかり、南極底層水の第4のソースである可能性を指摘した。

#### 2. JAREにおける船上目視観測による海氷モニタリング

JARE用の船上海氷目視観測のプロトコルを提案した (大島・牛尾・大槻, 2006)。ASPeCtのプロトコルを簡略化したもので、海氷の定量化に必要なもの

に絞ったものである。このプロトコルに従って、JARE46から目視観測を開始した。流氷域での観測では、沿岸に近づくにつれ、氷厚・変形氷の割合とも大きくなり、海氷の体積が著しく大きくなることが示された。継続した目視観測データの蓄積は、南極沿岸流氷域の海氷 (特にその厚さ) の気候値・年々変動を知る上で貴重なものとなる。

#### 3. アデリー海岸沖の南極発散線に見られる低気圧性渦列

インド洋区の南極発散線上では、いくつかの低気圧性渦の存在が指摘されていた。しかしながら、観測の不足から、その詳細な時空間特性、海域依存性などについての理解はいまだに不十分である。本研究では、JARE専用船現場観測、近赤外・マイクロ波人工衛星観測、渦分解数値実験の結果を併用することで、アデリー海岸沖における低気圧性渦列の特性を調べた。

人工衛星観測の結果から、春季から夏季において、アデリー海岸沖の南極発散線線上では直径100・150kmの渦が5つ程度の列を成して形成されることが見出された。この渦は、その中心に低温・低塩の沿岸性の水をもつ。高度計観測と現場観測から、この渦は顕著な順圧性をもつことが分かった。こうした特徴は、高解像度数値実験でも再現されており、きわめてロバストなものである。渦内部の水塊分布から、この渦列は沿岸域と外洋域との水塊交換に大きな影響を及ぼしていることが示唆される。

#### 4. ケルゲレン海台南東部における深層西岸境界流と南極周極流南部フロントの構造の研究

ケルゲレン海台の東岸では顕著な赤道向きの順

圧流の存在が指摘されているが、その流量と流れの構造の整合的な描像はいまだ得られておらず、また周極流フロントとの関係についても理解が不十分であった。本研究では、BEAGLE2003観測の一部として実施されたCTD/ADCP観測資料を用いて、表層・深底層における流れの構造を解析し、同時に、JAREの一環として行われた中層フロートの漂流・水温プロファイルデータから、海台周辺における南極周極流南部のフロントを構成するSouthern ACC Front (SACC)とSouthern Boundary of ACC (SB)の構造について考察した。

ケルゲレン海台南東のSACC・SBといった周極流フロントが、従来知られていたより、より狭く、より遠方まで、海台に沿って北上していることを示している。南極底層水の流量は、赤道向きに最大で22Svと見積もられた。しかしながら、このうち10Svはその沖側で極向きに流れており、再循環を形成している可能性が示された。

底層水については、海台沖近傍における再循環を考えると、過去の研究で知られている流量の構造が、循環規模で統一的に理解できる。この再循環は、海

台沖の緩い海底地形の傾斜と沖側のACCが与える躍層の傾斜により生じる閉じた等層厚線内で、渦位保存と一様化を考えた場合の流速構造と整合的である。

## 5. Darnley 岬沖での南極底層水の観測

上記の研究成果1にある海氷生産量のマッピングによって、海氷生産量が非常に大きいことが明らかとなったDarnley 岬沖の大陸斜面域においては、過去の船舶観測によって、南極底層水の存在が明らかになっている(Jacobs and Georgi, 1971)。この海域の南極底層水のソースとしての重要性を確かめるために、2008年1月に東京海洋大学の「海鷹丸」によるCTD・採水観測を、2月に海洋研究開発機構の「白鳳丸」による係留系の設置作業を実施した。東経64-69度、南緯66-67度の大陸斜面域の4箇所を設置した係留系の回収は、2009年2月に「海鷹丸」で予定している。なお、これらの観測は、国際極年集中観測の一環であり、南極海観測史上初めての周極的な観測キャンペーンの一翼を担うものでもある。

### [参考文献]

- 1) Jacobs, S. S. and D. T. Georgi (1977); Observations on the southwest Indian/Antarctic Ocean, in Voyage of Discovery, edited by M. Angel, Pergamon, New York, 43-85.

### [研究発表]

- 1) Tamura, T., K. I. Ohshima, H. Enomoto, K. Tateyama, A. Muto, S. Ushio, and R. A. Massom (2006); Estimation of thin sea-ice thickness from NOAA AVHRR data in a polynya off the Wilkes Land coast, East Antarctica, *Annals of Glaciology*, Vol. 44, 269-274.
- 2) 大島 慶一郎・牛尾 収輝・大槻 晃久 (2006); JAREにおける船上目視観測による海氷モニタリングに向けて -国際標準に基づく観測手順の簡略化とその活用例-, *南極資料*, Vol. 50(3), 304-316.
- 3) Aoki, S., D. Fukai, T. Hirawake, S. Ushio, S.R. Rintoul, H. Hasumoto, T. Ishimaru, H. Sasaki, T. Kagimoto, Y. Sasai, and H. Mitsudera (2007); A series of cyclonic eddies in the Antarctic Divergence off Adelie Coast, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, C05019, doi:10.1029/2006JC003712.
- 4) Tamura, T., K. I. Ohshima, T. Markus, D. J. Cavalieri, S. Nishashi, and N. Hirasawa (2007); Estimation of thin ice thickness and detection of fast ice from SSM/I data in the Antarctic Ocean, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 24, 1757-1772.
- 5) Tamura, T., K. I. Ohshima, and S. Nishashi (in press), Mapping of sea ice production for Antarctic coastal polynyas, *Geophysical Research Letters*, 35, doi:10.1029/2007GL032903.
- 6) Aoki, S., N. Fujii, S. Ushio, Y. Yoshikawa, S. Watanabe, G. Mizuta, Y. Fukamachi, and M. Wakatsuchi (submitted); Deep western boundary current and southern frontal systems of the Antarctic Circumpolar Current southeast of the Kerguelen Plateau, *Journal of Geophysical Research*.

南極浅層コアと気象観測データを用いた過去数百年間から近年における気候・気象研究

◎北見工業大学工学部・教授 高橋修平  
 北見工業大学工学部・教授 榎本浩之  
 北見工業大学工学部・准教授 亀田貴雄  
 (国立極地研究所)

神山教授、本山教授、藤田准教授、古川助教  
 平成17年～平成19年(3か年)

[研究成果]

本共同研究では、特に1995年1月から2006年1月において南極ドームふじ基地の36本雪尺で測定したデータを検討し、雪尺測定値(積雪量)から水当換算する際に使用すべき積雪密度を検討し、得られた結果をドームふじでの雪尺測定値に応用し、過去12年間のドームふじでの表面質量収支の変動を調べた。

雪尺測定値から1年間の積雪水量を推定する場合、使うべき積雪密度については従来、十分に研究されていなかった。本研究では、積雪の鉛直密度が時間に依存しないという、いわゆる「ゾルゲの法則」を仮定し、雪尺下端がそれに接する積雪とともに沈降するという第2の仮定を置くことにより、積雪水量換算のためには、雪尺測定期間の雪尺下端深度の

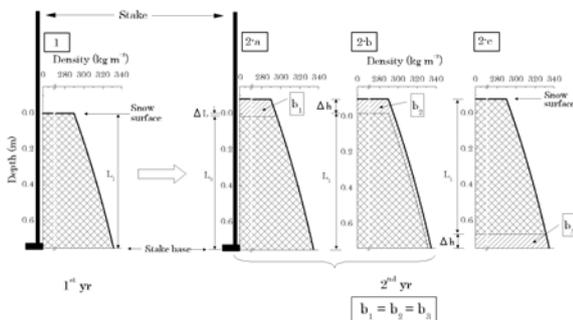


図1 第1年(1)の積雪密度分布および第2年に新たに加えられる積雪水量(2-aの $b_1$ )。本文中に述べた二つの仮定を置くことにより、2-aの $b_1$ は、2-bの $b_2$ および2-cの $b_3$ と等しくなる。つまり、第2年目に新たに加えられる積雪水量(2-aの $b_1$ )は、雪尺測定値( $\Delta h$ )に雪尺測定期間の雪尺下端深度の平均積雪密度を用いれば、容易に計算できる(Takahashi and Kameda, 2007より転載)。

[参考文献]

- 1) Takahashi, S. and T. Kameda (2007). Snow density for measuring surface mass balance using the stake method. *Journal of Glaciology*, 53(183), 677-680.
- 2) Kameda, T., H. Motoyama, S. Fujita, S. Takahashi (2008): Temporal and spatial variability of surface mass balance at Dome Fuji, East Antarctica, by the stake method from 1995 to 2006. *Journal of Glaciology*, 54(184), 107-116.

平均積雪密度を用いれば良いことを初めて明らかにした。基本概念図を図1に示す。また、この新しい方法を研究論文にまとめた(Takahashi and Kameda, 2007) 1)。

一方、ドームふじの表面質量収支については、Takahashi and Kameda (2007)の方法を用いて、換算すべき積雪密度を求め(図2b)、それを用いて1995年から2006年までの表面質量収支を求めた(図3)。

結果として、過去12年間のドームふじの表面質量収支は、 $27.3 \pm 1.5 \text{ kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (水で年間27.3mmに相当)であることが新たにわかった。これらの結果とともにドームふじで発生する負の表面質量収支の割合や1ヶ月ごとの表面質量収支の分布などと合わせて研究論文にまとめた(Kameda et al., 2008<sup>2)</sup>)。

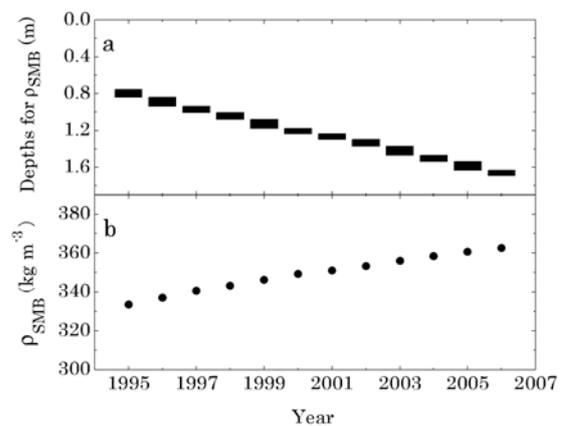


図2 測定期間の平均雪尺深度(a)および表面質量収支計算に用いた積雪密度(b)(Kameda et al., 2008より転載)

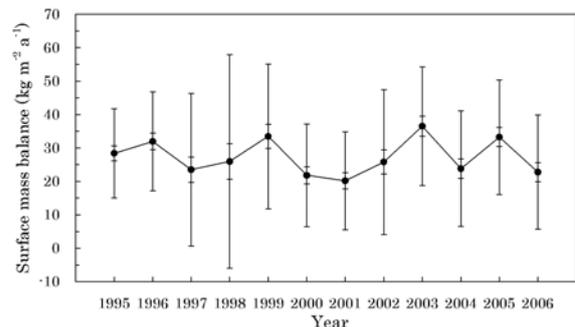


図3 南極ドームふじの表面質量収支の変動(1995年～2006年)(Kameda et al., 2008より転載)

I. 共同研究報告（終了）

一般共同研究

(3) 地 圈

## 共同研究報告書（終了）

### 非平衡普通コンドライトの岩石鉱物学的研究

◎茨城大学理学部・教授 木村 眞

（国立極地研究所）

小島秀康 教授

平成17年～平成19年（3か年）

#### 【研究成果】

非平衡コンドライトは太陽系最古の物質の一つであり、原始太陽系星雲から母天体形成までの一連の過程を復元するために最も重要な試料である。本研究では国立極地研究所所蔵の南極隕石コレクション、及び購入試料から、変成度の特に低いコンドライトを選び、その中のコンドルールや包有物に着目し、それらを構成する金属鉱物、硫化鉱物、酸化鉱物、珪酸塩鉱物について岩石鉱物学的研究を行った。研究に当たっては国立極地研究所に設置してあるX線マイクロアナライザー、走査電子顕微鏡、及びラマン分光計を使用した。

得られた成果の主なものを以下に記す。

1) エンスタタイト・コンドライト中のシリカ鉱物に着目して、相の同定を行い、その多形に基づいて熱史を検討した。その結果、変成度の低いものでは高温でメルトから晶出したものが含まれ、変成度の高いものでは低温から高温に相当する多形が産することが明らかになった。変成度やコンドルールの晶出過程に関する新たな知見が得られた [1]。

2) 非平衡普通コンドライトは母天体での変成度を反映する岩石学的タイプ 3.0 から 3.9 に細かく 10 段階にわけられている。しかしながら、この分類のための鉱物学的基準は従来明確でなかった。一方、

非平衡普通コンドライトには微量ながらスピネル族鉱物が含まれる。本研究では多数の非平衡普通コンドライト中のスピネル族鉱物を系統的に検討し、これらの鉱物の変成作用に敏感に組成や産状を変化させることを見出した。これはコンドライトの分類に新たな知見をもたらした。また、スピネル族鉱物の一部にはコンドルール形成以前の前駆物質が残存していることも明らかになった [2]。

3) 金属鉱物は非平衡普通コンドライトには普遍的鉱物であるが、本研究ではその組成と組織、産状を詳細に検討した。その結果、金属の組織と組成は変成度に最も敏感であり、マルテンサイト、プレッサイト、粗粒カマサイト-テーナイトに変化することが明らかになった。この変化を用いることにより、最も始源的コンドライトを明確に見出すことが可能となる。また、非平衡普通コンドライトの分類基準をさらに細分し、3.00, 3.03, 3.05, 3.10 などに区分できることを示した [3]。この結果は他の種類のコンドライトにも適用できると考えられ、その研究が続行中である。

[参考文献]

- [1] Kimura, M., Weisberg, M.K., Lin, Y., Suzuki, A., Ohtani, E., Okazaki, R. Thermal history of the enstatite chondrites from silica polymorphs. *Meteoritics & Planetary Science*, 40, 855-868, 2005.
- [2] Kimura, M., Nakajima, H., Hiyagon, H., and Weisberg, M.K. Spinel group minerals in LL3.00-6 chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70, 5634-5650, 2006.
- [3] Kimura, M., Grossman, J.N., and Weisberg, M.K. Fe-Ni metal in primitive chondrites: Indicators of classification and metamorphic conditions for ordinary and CO chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 2007, (in press).

[研究発表]

- Kimura, M., Weisberg, M.K., Lin, Y., Suzuki, A., Ohtani, E., Okazaki, R. Thermal history of the enstatite chondrites from silica polymorphs. *Meteoritics & Planetary Science*, 40, 855-868, 2005.
- Shimoda, G. Nakamura, N., Kimura, M., Kani, T., Nohda, S., Yamamoto, K. Evidence from the Rb-Sr system for 4.4 Ga alteration of chondrules in the Allende (CV3) parent body. *Meteoritics & Planetary Science*, 40, 1059-1072, 2005.
- Lin Y., Guan Y., Wang D., Kimura M., Leshin L.A. Petrogenesis of the new lherzolitic shergottite Grove Mountains 99027: Constraints of petrography, mineral chemistry, and rare earth elements. *Meteoritics & Planetary Science*, 40, 1599-1619, 2005.
- Lin, Y., Kimura, M., Miao, B., Dai, D., Monoi, A. Petrographic comparison of refractory inclusions from different chemical groups of chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 41, 67-81, 2006.
- Kimura, M., Nakajima, H., Hiyagon, H., and Weisberg, M.K. Spinel group minerals in LL3.00-6 chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70, 5634-5650, 2006.
- Ohtani, E., Kimura, Y., Kimura, M., Kubo, T., and Takata, T. High-pressure minerals in shocked L6-chondrites: constraints on impact conditions. *Shock Waves*, 16, 45-52
- Ikeda Y., Kimura M., Takeda H., Shimoda G., Kita T. N., Morishita Y., Suzuki A., Jagoutz E. and Dreibus G. Petrology of a new basaltic shergottite: Dhofar 378. *Antarct. Meteorite Res.*, 19, 20-44, 2006.
- Nakamura T.M., Sugiura N., Kimura M., Miyazaki A., Krot, A.N. Condensation and aggregation of solar corundum and corundum-hibonite grains. *Meteoritics & Planetary Science*, 42, 1249-1265, 2007
- Kimura, M., Grossman, J.N., and Weisberg, M.K. Fe-Ni metal in primitive chondrites: Indicators of classification and metamorphic conditions for ordinary and CO chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 2007, (in press).

(共同研究報告書(終了))

東南極リュツォ・ホルム岩体の形成史の再検討

◎廣井美邦 千葉大学大学院理学研究科・教授 (研究代表者)

坂野昇平 京都大学・名誉教授 (共同研究者)

田切美智雄 茨城大学理学部・教授 (共同研究者)

角替敏明 筑波大学生命環境科学研究科・准教授 (共同研究者)

サテッシュクマール, M. 静岡大学理学部・准教授 (共同研究者)

後藤 篤 兵庫県立大学理学部・助教 (共同研究者)

加々島慎一 山形大学理学部・助教 (共同研究者)

隅田祥光 名古屋大学年代測定総合研究センター 研究員 (共同研究者)

(国立極地研究所)

白石和行 教授、本吉洋一 教授、外田智千 助教

平成17年～平成19年(3か年) (研究期間)

[研究成果]

東南極のリュツォ・ホルム岩体は、原生代最末期ないし古生代初頭に形成された高度変成帯であり、東-西ゴンドワナ大陸塊の衝突帯と考えられている(例えば、Shiraishi et al., 1994)。その後、ドロニング・マウドランドの地質体でも同様の解釈がされるようになり、真の衝突帯はどこののか、衝突時のテクトニック過程と経過はどのようなであったのか、東南極で区分されてきた地質体はどのような相互関係なのか等々の問題が提起されるようになった。そこで我々は、リュツォ・ホルム岩体の形成史をより詳細に解析することを試みた。その結果、従来から指摘されてきたリュツォ・ホルム岩体の特徴を再確認するとともに、次のような新知見を得た。

1. 宗谷海岸北-中部のラングホブデ、スカルブスネス、ホノール奥岩等の露岩地域で、南極大陸では初めて、「局所的チャルノツカイト化現象」を確認した(図1)(廣井ら, 2005)。それはリュツォ・ホルム岩体に連続あるいは接していたと考えられるスリランカやインド南部の太古代ないし古生代初頭の地質体でよく見られる現象で、繰り返し研究された結果、マントルから地殻へのCO<sub>2</sub>流入に起因もの、あるいは地殻深部における岩石の部分融解過程の初期状態が凍結されたものと



図1. ホノール奥岩の泥質片麻岩に見られる局所的チャルノツカイト化現象

解釈されてきたが、まだ未解決のままである。

2. 宗谷海岸中-南部のスカーレンヤスカレビックハルセン地域には、スリランカに産出するコンダライト+珪岩+ドロマイト質大理石の特徴的な岩相構成がみられることと、コンダライトにはスリランカの例と

同様の「局所的なスピネル形成現象」が見られることから、かつて同一の地質体であったことを強く示唆している(例えば、加藤・廣井, 2007)。

3. 宗谷海岸南部のルンドボークスヘッタ地域に産出する岩石は超高温変成作用を受けているが、それらには高压~超高压変成作用を受けた形跡も見られる(廣井ら, 2007; Satish-Kumar et al., in press)。

4. プリンス・オラフ海岸東部の日の出岬には、リュツォ・ホルム岩体の他地域には見られない変成トロニウム岩~トータル岩が産出する。主要・微量元素組成、放射性同位体元素組成等の特徴から、これらの岩石は海洋低を構成していた玄武岩質岩が高压(エクロジイト相条件)下で部分融解することによって形成されたメルトの固結したものと考えられてきた。これらの岩石の詳細な解析から、高压下での部分融解を支持するザクロ石と藍晶石が見いだされるとともに、マグマの上昇過程での結晶分化作用を証拠付ける沈積岩(今はグラニュライトになっている)がトロニウム岩~トータル岩中の岩塊として見出された(Hiroi et al., 2006, in press)。

5. プリンス・オラフ海岸西部の明るい岬に産出する超塩基性岩の詳細な解析から、その原岩形成から早期の比較的高圧条件での変成作用と引き続く高温変成作用、さらにその後の低圧条件下での加CO<sub>2</sub>反応などの経過が明らかになった(是永・廣井, 2006; 廣井ら, 2007)。

6. リュツォ・ホルム岩体を構成する超塩基性~中性岩の主要・微量元素組成を検討した結果、それらの原岩は多様であり、一部は島弧起源、一部は海洋島起源、一部は海洋底起源であることが示唆された。またそれらの形成時期も多様で、リュツォ・ホルム岩体そのものが多様な起源の地殻物質の集合体であることが示唆された(Suda et al., in press)。

以上の新知見とこれまで集積されてきた地質年代学的なデータとを合わせると、東-西ゴンドワナ大陸塊の衝突時のテクトニック過程と経過が、従来にない制

度で解明されるであろう。

【研究発表】

1. Satish-Kumar, M., Hokada, T., Kawakami, T. and Dunkley, D. J. (2008) Geosciences Research in East Antarctica: Present status and future perspectives. In: Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Osanai, Y., Hiroi, Y. and Shiraishi, K. (eds.) "Geodynamic evolution of East Antarctica: a key to the East-West Gondwana connection" Geological Society, Special Publications (in press)
2. Satish-Kumar, M., Miyamoto, T., Hermann, J., Kagami, H., Osanai, Y. and Motoyoshi, Y. (2008) Pre-metamorphic carbon, oxygen and strontium isotope signature of high-grade marbles from the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Apparent age constraints of carbonate deposition. In: Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Osanai, Y., Hiroi, Y. and Shiraishi, K. (eds.) "Geodynamic evolution of East Antarctica: a key to the East-West Gondwana connection" Geological Society, Special Publications (in press)
3. Miyamoto, T., Satish-Kumar, M., Dunkley, D. J., Carson, C. J., Osanai, Y., Yoshimura, Y., Motoyoshi, Y. and Carson, C. J. Post-peak (<550 Ma) thermal history of Lützow-Holm Complex, East Antarctica based on Rb-Sr and Sm-Nd mineral chronology. Geological Society of London Special Publication In: Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Osanai, Y., Hiroi, Y. and Shiraishi, K. (eds.) "Geodynamic evolution of East Antarctica: a key to the East-West Gondwana connection" Geological Society, Special Publications (in press)
4. Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., Ishikawa, N., Hokada, T. and Shiraishi, K. (2008) Origin of xenocrystic garnet and kyanite in clinopyroxene-hornblende-bearing adakitic meta-tonalites from Cape Hinode, Prince Olav Coast, East Antarctica. Geodynamic evolution of East Antarctica: a key to the East-West Gondwana connection, Geological Society of London Special Publication, in press.
5. Suda, Y., Kawano, Y., Greg, Y., Korenaga, H. and Hiroi, Y. (2008) Magmatic evolution and tectonic setting of metabasites from Lützow-Holm Complex, East Antarctica. Geodynamic evolution of East Antarctica: a key to the East-West Gondwana connection, Geological Society of London Special Publication, in press.
6. Suda, Y., Kawano, Y., Hiroi, Y. and Kagashima, S. (2007) Geochemistry and Neodymium isotope of metabasites from Lützow-Holm Complex, East Antarctica: constrains on the tectonic evolution of East Gondwana. International Association for Gondwana Research Conference Series 4, pp.146-147.
7. Satish-Kumar, M., Hermann, J. Osanai, Y. and Tsunogae, T. (2006) Carbonation of Cl-rich scapolite boudins in Skallen, East Antarctica: Evidence for changing fluid condition in the continental crust. Journal of Metamorphic Geology v.24, pp 241-261.
8. Satish-Kumar, M., Kagashima, S., Suda, Y. and Motoyoshi, Y. (2006) Geology of Byobu Rock and Gobanme Rock, Prince Olav Coast, East Antarctica. Polar Geoscience, v.19 pp. 1-36.
9. Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Suda, Y., Hiroi, Y. and Kagashima, S. (2006) Calc-silicate rocks and marbles from Lützow-Holm Complex, East Antarctica, with special reference to the mineralogy and geochemical characteristics of calc-silicate meta-boudins from Rundvågshetta. Polar Geoscience, National Institute of Polar Research, 19, pp.37-61.
10. Suda, Y., Kagashima, S., Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y. and Hiroi, Y. (2006) Geochemistry of mafic metamorphic rocks in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: implications for tectonic evolution. Polar Geoscience, National Institute of Polar Research, 19, pp.62-88.
11. Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., Satish-Kumar, M., Kagashima, S., Suda, Y. and Ishikawa, N. (2006) Granulites from Cape Hinode in the amphibolite-facies eastern part of Prince Olav Coast, East Antarctica: New evidence for allochthonous block in the Lützow-Holm Complex. Polar Geoscience, National Institute of Polar Research, 19, pp.89-108.
12. 本吉洋一・廣井美邦・M. Satish-Kumar・加々島慎一・隅田祥光・石川尚人 (2006) 第46次南極地域観測隊リュツォ・ホルム湾、プリンスオラフ海岸及び西エンダービーランド地質・古地磁気夏期野外調査報告 2004-2005. 南極資料, 国立極地研究所, 50, pp.68-85.

チタンの分配から見た東南極ナピア，レイナー，リュツオホルム岩体の超高温変成履歴の精密解析

◎川寄智佑 愛媛大学大学院理工学研究科・教授

小山内康人 九州大学大学院比較社会文化研究院・教授

(国立極地研究所)

白石和行 教授

平成 17 年度～平成 19 年度 (3 年間)

[研究成果]

東南極ナピア，レイナー，リュツオホルム岩体に産する超高温変成岩類の石英，斜方輝石，ザクロ石中には，しばしば針状のルチルが離溶している。これは，最高変成作用の時期に固溶していた  $TiO_2$  成分が後退変成作用の時に離溶したと考えられる。本研究課題では，超高温変成鉱物中の  $Ti$  含有量から，これら超高温変成岩類が被った変成履歴を精密に解析することを目的とした。

1. 石英中の  $Ti$  含有量が地質温度計として有用であることを明らかにした (Kawasaki, Osanai 2008).

Bunt 島の石英長石質片麻岩や Riiser Larsen 山の超高温変成岩には，針状ルチルのラメラ有する石英がしばしば見出される (図 1a).

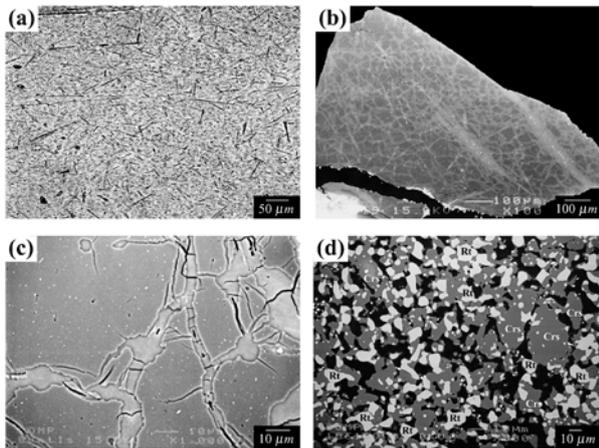


図 1 Bunt 島の石英と 1 気圧，1300°C で 936 時間焼結した実験生成物の顕微鏡写真。(a) 針状ルチルを含んだ石英 (単ニコル)。(b) 焼結石英の BSEI 像。白い縞が石英粒を分断している。(c) 焼結石英の BSEI 像 (拡大図)。細かいルチルの針状結晶やスポットが未反応の石英部分の見出される。縞状部分は均質化されており，ルチルがあまり見出されない。(d) 1 気圧 1300°C，936 時間で生成したクリストバライトとルチルの BSEI 像。

高温状態では，ルチルはこのような石英に固

溶する (図 1b, 1c)。1 気圧，1300°C では，クリストバライト (図 1d) には， $TiO_2$  が 0.6 mole % 固溶する (図 2)。温度圧力条件がよく分かっている変成岩類について，石英中の  $Ti$  量と変成温度の関係を図 2 に示した。

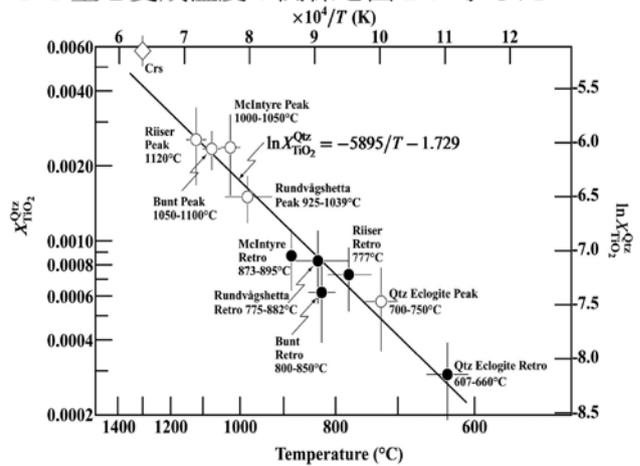


図 2 石英中の  $Ti$  量と温度の関係。図中の直線は， $\ln X_{TiO_2}^{Qtz} = -5895/T(K) - 1.729$  であり，クリストバライトのデータは，このデータ解析から除外した。推定温度と  $Ti$  量の標準誤差 ( $1\sigma$ ) を図には示してある。

2. 斜方輝石やザクロ石中の  $Ti$  含有量が温度圧力に地質温度計として有用であることを明らかにした (Kawasaki, Motoyoshi 2007).

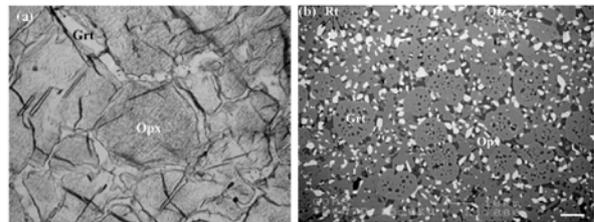


図 3 マッキンタイヤ島の斜方輝石グラニュライト (左) と，これに 8 wt%  $Al_2O_3$ ，16 wt%  $TiO_2$ ，8 wt%  $SiO_2$  を加えガラス化したものを，15 kbar，1200°C で 266 時間焼結した生成物 (右) の BSEI 像。(a) 針状のルチルラメラが斜方輝石に見出される。ザクロ石は斜方輝石を取り巻いている。(b) ザクロ石は自形で石英やルチルを包有しており，斜方輝石は半自形である。

リュツオ岩体ルンドボーグスヘッタやナビア岩体マッキンタイヤ島の超高温変成岩類の斜方輝石やザクロ石には、前述の石英と同様ルチルの離溶ラメラが見出される (図 3a)。ザクロ石や斜方輝石の Ti 固容量の温度圧力依存性を検証した。図 3b には、マッキンタイヤ斜方輝石グラニュライトに 8 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 16 wt% TiO<sub>2</sub>, 8 wt% SiO<sub>2</sub> を加えガラス化し、15, 17.5 および 20 kbar で、1200°C と 1300° で 106 時間から 266 時間焼結した生成物の BSEI 像を示した。また、ルンドボーグスヘッタグラニュライトに関して、7 kbar から 15 kbar, 850°C から 1150°C の温度圧力条件で実験を行っている (Kawasaki, Motoyoshi 2006)。これらのデータと今回のマッキンタイヤ斜方輝石グラニュラの実験データを図 4 に示した。

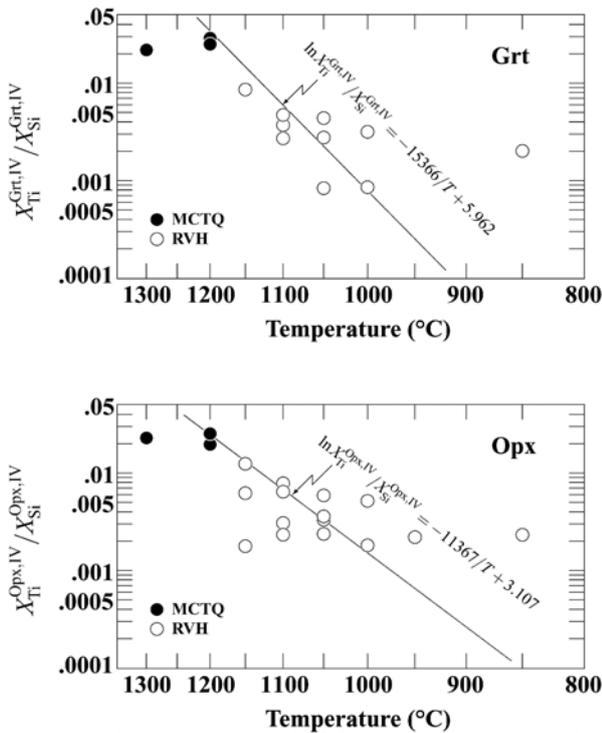


図 4 ザクロ石 (上) と斜方輝石 (下) への Ti 固容量の温度依存性。図中の曲線は最小二乗法により圧力依存性を無視して求められた。

これらのデータからザクロ石と斜方輝石への Ti 固容量について

$$\ln(X_{\text{Ti}}^{\text{Grt,IV}} / X_{\text{Si}}^{\text{Grt,IV}}) = -15366/T + 5.962 \quad (1)$$

$$\ln(X_{\text{Ti}}^{\text{Opx,IV}} / X_{\text{Si}}^{\text{Opx,IV}}) = -11367/T + 3.107 \quad (2)$$

を得た。これらの式を使って、マッキンタイヤグラニュライトの最高変成温度と後退変成温

度がそれぞれ、1080°C および 800°C と見積もられた。また、ルンドボーグスヘッタ産のザクロ石珪線石片麻岩 (図 5) の後退変成温度が 880°C~921°C と見積もられた。

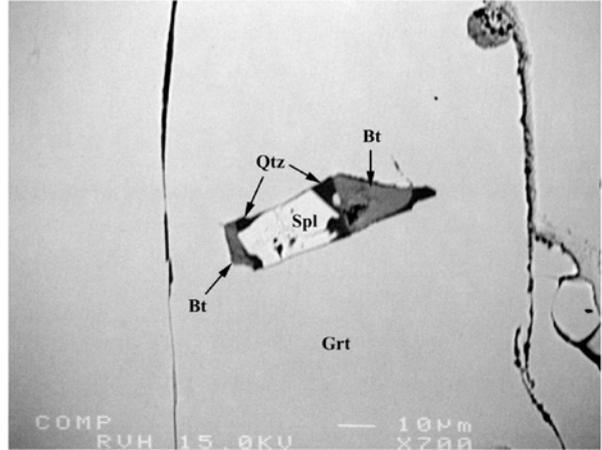


図 5 ルンドボーグスヘッタ産片麻岩中のザクロ石に見出されるスピネルと石英包有物の BSEI 像。このザクロ石には、大隅石やルチルが包含されている。

#### 研究発表

Kawasaki T, Osanai Y 2008 Empirical thermometer of TiO<sub>2</sub> in quartz for ultrahigh-temperature granulites of East Antarctica. In: Geodynamic Evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection (Satish-Kumar M, Motoyoshi Y, Osanai Y, Hiroi Y, Shiraishi K Eds), Geological Society of London, *in press*.

Kawasaki T, Motoyoshi Y 2007 Solubility of TiO<sub>2</sub> in garnet and orthopyroxene: Ti thermometer for ultrahigh-temperature granulites. In: Antarctica: A Keystone in a Changing World (Cooper AK, Raymond CR Eds). U.S. Geological Survey and The National Academies. USGS OF-2007-1047, Short Research Paper 038; doi:10.3133/of2007-1047.srp038.

Kawasaki T, Motoyoshi Y 2006 Experimental constraints on the decompressional *P-T* paths of Rundvågshetta granulite, Lützow-Holm Complex, east Antarctica. In: Antarctica: Contributions to Global Earth Sciences (Futterer DK, Damaske D, Kleinschmidt G, Miller H, Tessensohn F Eds). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 23-36.

川崎智佑 2006 岩石熱力学 - 成因解析の基礎 -, 共立出版社, pp266.

## 東南極ナピア岩体の地球化学とその初期地球史解明における意義

◎石塚英男 高知大学理学部・教授 (研究代表者)

(国立極地研究所)

白石和行 教授 本吉洋一 教授 外田智千 助教 (担当教員)

平成 17 年～平成 19 年 (3 か年) (研究期間)

### [研究成果]

東南極エンダビーランドに分布するナピア岩体は、超高温変成作用を約 25 億年前に受けた岩体であるが、その原岩形成については約 40 億年前まで遡ることが知られている。従って、ナピア岩体の原岩の研究、特に地球化学的研究は 46 億年の地球史の初期の状態を解明するうえで大いに重要である。本共同研究は、ナピア岩体の岩石試料の新たな化学分析と既存の分析値を用いて初期地球地殻の形成と進化を明らかにすることを目的としている。

ナピア岩体の原岩構成は詳細な野外地質調査によって、層状片麻岩ユニットと塊状片麻岩ユニットに大別できることが明らかとなっている。両者の関係は、リーセルラルセン地域では漸移的であるが、トナー島地域では断層帯で接している。

層状片麻岩ユニットは、泥質まれに砂質片麻岩、ザクロ石珪長質片麻岩、斜方輝石珪長質片麻岩、苦鉄質片麻岩、及び石英岩などから成る層状構造により特徴づけられる。これらの中で、苦鉄質片麻岩は野外での産状から貫入岩である。また、非常に少量であるが層状鉄鉍層も泥質片麻岩と互層をなして分布する。この層状鉄鉍層は産状とその特異な化学組成 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{total}}=43\text{-}49 \text{ wt.}\%$ 、 $\text{SiO}_2=42\text{-}54 \text{ wt.}\%$ ) から堆積岩起源である。

塊状片麻岩ユニットは、主に斜方輝石珪長質片麻岩から成る。層状構造は層状片麻岩ユニットほどには発達しておらず、岩相も比較的単調である。この産状は、斜方輝石珪長質片麻岩が火成岩起源であることを示唆している。

その他の岩相として、輝岩やカンラン岩より構成される超塩基性岩がブロック状、ポッド状、あるいは層状に産出する。リーセルラルセン地域では超塩基性岩は層状片麻岩と塊状片麻岩ユニットの境界部に特徴的にブロック状に産出し、更に、層状に塊状片麻岩ユニット中に産出する。

これらの岩相は、約 25 億年前に大隅石、転移したピジョン輝石、サフィリン+石英、スピネル+石英、及び斜方輝石+珪線石+ザクロ石などの鉍物や鉍物組合せで特徴づけられる変成作用を受けている。この変成作用は、斜方輝石中のアルミニウムの量や長石温度計や輝石温度計により 1130 °C に到達するような、いわゆる超高温変成作用に相当する。

これらの超高温変成作用を受けた変成岩類は地球化学的にその原岩の性質が検討され<sup>1) 2) 3) 4)</sup>、その結果は以下のようにまとめられる。

1) 超塩基性岩のうち、貫入岩として産出する高 Mg 岩は MgO の他に Cr や Ni にも富んでおり、コマチ岩質玄武岩に相当する。更に、リーセルラルセン地域では金雲母を含むものと含まないものに区分され、含むものはコマチ岩に、含まないものはコマチ岩質マグマを取り去った枯渴カンラン岩に相当する。コマチ岩に相当するものはトナー島でも記載されている。

2) 苦鉄質片麻岩類は非アルカ岩系ソレイト質岩であり、中央海嶺玄武岩からプレート内玄武岩に類似の組成を有する。更に、リーセルラルセン地域では石英を含むものと、含まないものに区分され、含むものは軽希土類元素 (LREE) に若干富む E-ないしは T-型中央海嶺玄武岩に、含まないものは LREE に枯渴し N-型中央海嶺玄武岩に相当する。

3) 斜方輝石珪長質片麻岩は CIPW ノルムでは tonalite-*granodiorite* 組成であり、Y や重希土類元素 (HREE) に枯渴しており、太古代の TTG に類似する。ザクロ石珪長質片麻岩は trondhjemite-*granite* の CIPW ノルム組成であり、Y や HREE に枯渴することはない。

4) 泥質-砂質片麻岩は高い  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含有量や ACF 組成で C 成分に乏しいことで特徴づけられ、更に、MgO や Cr・Ni に著しく富む。このような  $\text{Al}_2\text{O}_3$  や MgO に富む特徴が超高温変成作用でサフィリン、大隅石、珪線石、ザクロ石、及び堇青石の産出に好都合となっている。このような化学的特徴をもつ堆積岩は他の太古代地域、例えば南アフリカのカープバル地域からも報告されており、同地域ではコマチ岩質岩が後背地に分布することが原因であると考えられている。ナピア岩体にもコマチ岩が産出することから、同様の原因を考えることができる。

TTG 起源の片麻岩中の火成累帯構造や火成起源 Th/U 比を有するジルコンの SHRIMP あるいは SIMS による U-Pb 年代は、 $\sim 38, 32.8\text{-}32.3, \sim 30$ 、及び  $26.8\text{-}26.3$  億年前の年代を示しており、少なくとも 4 回の火成活動によって、ナピア岩体の原岩が形成されたことを示唆している。

以上のことから、ナピア岩体の原岩は堆積岩起源、火成岩起源、及びマントル起源の物質から構成されていることが分かる。特に、TTG とコマチ岩の構成は太古代の緑色岩-花こう岩帯との類似性を示しており、ナピア岩体の原岩形成を考える上で大きな束縛条件になる。しかし、より厳密に検討すると、ナピア岩体の原岩は化学組成の点で原生代以降の岩石、

特に TTG において違いが認められる。これらの違いは、大局的には TTG の形成場として今日考えられている海洋性島弧-沈み込み帯が重要ではあるが、その詳細、例えば地温勾配などは太古代と原生代以降では異なっていたことを示している。その違いについて、地球地殻の進化という観点から、解明することを次の研究テーマとして目指す必要がある。

#### [参考文献]

- 1) Owada, M., Osanai, Y., Toyoshima, T., Tsunogae, T., Hokada, T. and Crowe, A. W. (1999) Petrography and geochemistry of mafic and ultramafic rocks from Tonagh Island in the Napier Complex, East Antarctica: a preliminary report. *Polar Geoscience*, 12, 87-100.
- 2) Owada, M., Osanai, Y., Tsunogae, T., Toyoshima, T., Hokada, T. and Crowe, A. W. (2000) LREE-enriched mafic gneiss and meta-ultramafic rock from Tonagh Island in the Napier Complex, East Antarctica. *Polar Geoscience*, 13, 86-102.
- 3) Suzuki, S., Hokada, T., Ishikawa, M. and Ishizuka, H. (1999) Geochemical study of granulites from Mt. Riiser-Larsen, Enderby Land, East Antarctica: Implication for protoliths of the Archaean Napier Complex. *Polar Geoscience*, 12, 101-125.
- 4) Sheraton, J. W., Tingey, R. J., Black, L. P., Offe, L. A. and Ellis, D. J. (1987) Geology of Enderby Land and Western Kemp Land, Antarctica. *Bulletin Australian Bureau of Mineral Resources*, 223, 51 p.

#### [研究発表]

- 1) Owada, M., Osanai, Y., Shimura, T. and Ishizuka, H. (2006) *Crustal section and anatexis of lower crust and subduction-related high-pressure type metamorphism in the Hidaka and Kamuikotan Metamorphic Belts, Hokkaido, Japan*. IMA2006-Kobe Post-Symposium Excursion Trip FE9, 89 pp.
- 2) 石塚英男 (2006) リーセルラルセン山地域の野外調査-地球の初期大陸との壮絶な出会い-「南極観測隊-南極に情熱を燃やした若者達の記録-」(財団法人日本南極研究振興会発行、技報堂出版), 356-359.
- 3) Hokada, T., Motoyoshi, Y., Suzuki, S., Ishikawa, M. and Ishizuka, H. (in press) Mount Riiser-Larsen; key area for UHT metamorphism and Archaean-Proterozoic evolution of the Napier Complex, East Antarctica. In *Geodynamic Evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection* (Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Osanai, Y., Hiroi, Y. and Shiraishi, K. Eds.), Geological Society of London, Special Publications, London.
- 4) Ishizuka, H. (in press) Protoliths of the Napier Complex in Enderby Land, East Antarctica; an overview and implication for crustal evolution of Archaean continents. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*.
- 5) Ishizuka, H. (in press) An overview of geological studies of JARE in the Napier Complex, Enderby Land, East Antarctica. In *Geodynamic Evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection* (Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Osanai, Y., Hiroi, Y. and Shiraishi, K. Eds.), Geological Society of London, Special Publications, London.
- 6) Kawasaki, T. and ISHIZUKA, H. (in press) Experimental study of Fe<sup>3+</sup> solubility in tridymite and its application to a metamorphosed quartz-magnetite rock from Mt. Riiser-Larsen area, Napier Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*.
- 7) Sakaguchi, M. and Ishizuka, H. (in press) Subdivision of the Sanbagawa pumpellyite-actinolite facies region in central Shikoku, SW Japan. *The Island Arc*.
- 8) Suzuki, S., Ishizuka, H. and Kagami, H. (in press) Early to Middle Proterozoic dykes in the Mt. Riiser-Larsen area of the Napier Complex, East Antarctica: Tectonic implications as deduced from geochemical studies. In *Geodynamic Evolution of East Antarctica: a Key to the East-West Gondwana Connection* (Satish-Kumar, M., Motoyoshi, Y., Osanai, Y., Hiroi, Y. and Shiraishi, K. Eds.), Geological Society of London, Special Publications, London.

## 南極プレート下の上部マントル構造とダイナミクスの地震学的研究

- ◎ 中西 一郎 京都大学大学院理学研究科・教授  
趙 大鵬 東北大学大学院理学研究科・教授  
竹中 博士 九州大学大学院理学研究院・准教授  
高波 鐵夫 北海道大学大学院理学研究科・准教授  
久家 慶子 京都大学大学院理学研究科・准教授  
小林 励司 鹿児島大学理学部地球環境科学科・准教授  
根岸 弘明 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター・主任研究員  
田中 俊行 東濃地震科学研究所・副主任研究員  
岩田 貴樹 統計数理研究所予測発見戦略研究センター・特任研究員

(国立極地研究所)

澁谷和雄 教授 金尾政紀 助教

平成 17 年 - 平成 19 年 (3 か年)

### [研究成果]

昭和基地及び国際デジタル地震観測網 (FDSN) の観測点をはじめとして、利用可能な広帯域地震計データを用いて、上部マントル遷移層及びリソスフェアの詳細な構造とそのダイナミクス解明に向けて解析を行った。

・南極地域の上部マントル 3 次元速度構造 (小林, 2005)

南極地域の上部マントルの詳細な 3 次元 S 波速度構造を求めるために、レイリー波とラブ波を用いた地震波トモグラフィーからインバージョンによって求めた。インバージョンには、遺伝的アルゴリズムを用いることで、非線形逆問題を解いた。

東南極域において、深さ 50-200km に大陸リソスフェアに対応する高速度領域が見られた。これは、東南極が古い大陸であることと調和的である。大陸内部では、一様に高速度ではなく、リソスフェア内の速度不均質があることが分かった。西南極では高速度異常が見られず、大陸特有のリソスフェアがほとんどないことが示唆された。また、バレニー諸島やエレバス火山付近での低速度異常、東南インド洋海嶺での低速度異常が顕著に現れ、それぞれホットスポット温度異常を示し

ているものと考えられる。

・バイカルリフト帯のマントル遷移層の構造 (Zhao et al., 2006)

バイカルリフト帯 (Baikal Rift Zone; BRZ) 形成要因を探るために、BRZ 周辺に設置された広帯域地震計アー及び IRIS の定常観測点で記録された地震波形を用いて、レシーバー関数解析及び地震波トモグラフィー解析を行い、BRZ 下の深さ 700km までの地震学的構造をモデリングした。

地震波トモグラフィー解析により、BRZ 北部に地表から深さ 200km にかけてシベリアクラトンによる高速度領域があることがわかった。レシーバー関数解析により、深さ 600km から地表にかけて低速度領域がイメージされ、マントル遷移層に起源を持つマントルブリュームの存在が明らかになった。白亜紀後期から古第三紀にかけての火山活動時期に BRZ はまだ形成されていなかったことから、本研究で明らかになったブリュームとインド・アジア大陸の衝突による応力場の相互作用によって BRZ は形成されたと考えられる。

・重力データを用いた大陸ダイナミクス研究 (田中, 工

藤, 2005)

大陸形成要因及び大陸ダイナミクスの研究に貢献するために、重力データから推定されるリソスフェアの力学的性質についての解釈と有効性をまとめた。特に、重力異常データから、有効弾性厚 ( $T_e$ )、重力ポテンシャルエネルギー (GPE)、潮汐重力異常を求め、リソスフェアの剛的な厚さ、粘性分布、地殻の弾性を推定し、その空間分布を調べた。

一例として、日本列島ではプレート内部変形が GPE による影響を受けやすくなっていることが明らかになった。一方、 $T_e$  の薄いところは、熱的な強度低下またはリソスフェアの *thinning* が起こっている可能性が分かった。現在、GPS 観測網がさらに充実しており、より多くの地球物理学的観測結果と照らし合わせ、リソスフェアの粘弾性や変形運動の成因を明らかにできると考えられる。

・遠地地震波による動的トリガリング (岩田, 中西, 2006)

遠地で起きた地震により励起された地震波による動的な応力または歪変化が、地震を誘発している現象を動的トリガリングと言い、長野県松代における動的トリガリングによる地震活動度の変化について調査した。

気象庁精密地震観測点である松代の震源データ及び歪 (伸縮) 計データを用いて、3 成分地震記録の最大振幅と時間を求め、動的な歪変化及び地震活動度の変化を解析した。結果、誘発された地震数は若干増加して

いたが、有意であるとは判断できなかった。しかし、歪が最大になった時刻と、その後最初に起こった地震との時間差が、理論値よりも顕著に短くなったのが分かった。このことから、動的トリガリングにより誘発された地震数からは不明瞭な小さな歪変化による動的トリガリングを、時間差で検出できる可能性があることが分かった。

・地球深部を伝播する地震波のモデリング (Toyokuni et al., 2006)

地球の不均質構造を反映した 3 次元波動場をモデリングするために、精度と効率の良い理論地震波形計算法。「準座標系アプローチ」の開発を行った。2 次元構造を対象とした 2 次元波動計算の利点を生かし、軸対称モデリングを準座標系領域に拡張し改良することで、任意の不均質構造断面中を伝播する地震波をモデリングすることに成功した。

地球の深部異常構造に対するこの準座標系アプローチの適用例として、ニュージーランド直下の構造に注目し、Antarctic Array 計画による南極大陸の地震観測点を想定して理論計算を行った。ニュージーランド直下に+10%の地震波速度及び密度構造を与えたところ、震央距離  $60^\circ\sim 90^\circ$  において、核反射波である ScS 波群に顕著に不均質構造の影響が見られることが分かった。南極周縁の深部構造を調べる際に、期待通り Antarctic Array が最良の観測点となることを示唆する結果であることが分かった。

## [研究発表]

岩田貴樹, 中西一郎, 遠地地震波による動的トリガリングー長野県松代における解析例一, *月刊地球*, **327**, 28, 642-646, 2006.

小林励司, 南極地域の上部マントル 3 次元 S 波速度構造, *第 25 回極域地学シンポジウム*, 14, p24, 2005.

田中俊行, 工藤健, 重力データを用いた大陸ダイナミクス研究の現状, *月刊地球*, 316, 27, 804-807, 2005.

Toyokuni, G. H. Takenaka, Y. Wang, and B. L. N. Kennett, Quasi-spherical approach for seismic wave modeling in a 2-D slice of a global Earth model with lateral heterogeneity, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L09305, doi:10.1029/2004GL022180, 2005.

Zhao, D., J. Lei, T. Inoue, A. Yamada, S. Gao, Deep structure and origin of the Baikal rift zone. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **243**, 681-691, 2006.

など。

## 極域の広帯域地震計データを利用した地球深部の不均質構造の研究

- ◎ 古本 宗充 名古屋大学大学院環境学研究科・教授  
 渋谷 拓郎 京都大学防災研究所・准教授  
 平松 良浩 金沢大学大学院自然科学研究科・准教授  
 山田 朗 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター・助教  
 坪井 誠司 海洋研究開発機構地球内部変動研究センター・プログラムディレクター  
 田中 聡 海洋研究開発機構地球内部変動研究センター・主任研究員  
 東野 陽子 海洋研究開発機構地球内部変動研究センター・研究員  
 一瀬 建日 東京大学地震研究所・助教

(国立極地研究所)

渋谷和雄 教授 金尾政紀 助教

平成 17 年 - 平成 19 年 (3 か年)

### [研究成果]

極域発の新たな地球物理学的発見を目指し、主に両極域における広帯域地震計データを用いて、地球深部の不均質構造とダイナミクスに注目した研究を行った。特に、上部・下部マントル及び中心核に焦点を当てた解析の成果を以下に挙げる。

・リュツォ・ホルム湾地域の上部マントル異方性及びマントル不連続面 (井上ほか, 2007; Usui et al., 2007)

東南極リュツォ・ホルム湾周辺地域で行われている沿岸地震観測によって得られた広帯域地震計データを用いて、上部マントル異方性構造及びマントル不連続面の地域性を調査した。

異方性については、SKS, SKKS, pSKS 波の利点を生かし相互相関を用いた S 波スプリッティング解析を行い、深さ 410km 以浅における 2 層の異方性構造を推定した。この地域のアセノスフェアの異方性は、 Gondwana 超大陸分裂時から現在に至るまでのプレート運動によって形成され、リソスフェアについては、東西南極大陸衝突時及び Gondwana 分裂時におけるプリュームの変動作用によって形成されたことが分かった。

マントル不連続面については、P 波から S 波に変換する Ps 変換波のレシーバー関数を求め、それぞれの不連

続面の深さを推定した。1 次元の地球の平均モデルである PREM や iasp91 及び ak135 で見られている不連続面の深さは 410km と 660km である。リュツォ・ホルム湾周辺地域では、平均すると 395km、644km であり、約 15km 浅いことが分かった。また、410km 不連続面については、北北東から南南西に向かって深さに地域性が見られ、 Gondwana 衝突または分裂時の痕跡を残している可能性があることが分かった。

・南極プレート下の最下部マントルの地震波速度不均質 (Usui et al., 2005)

昭和基地を含む南極大陸に設置された定常地震観測点で記録された地震波を用いて、南極プレート下の最下部マントル (D'層) における S 波速度構造を推定した。深さ 2500km 以深の D'層を伝播する地震波 (S, SKS, SKKS, ScS, Scd) を用いて、相対走時解析及び波形モデリングを行い、D'層の S 波の異方性を考慮した速度構造を求めた。

南極プレート下の D'層は、最大で 2.0% の異方性が分布し、深さ 2550km~2600km で速度が 2.0% 増加する速度不連続面があることが分かった。地球磁場の磁力線の集中、ポストペロプスカイトのクラーパーイロンスロー

ブ、沈み込み帯の変遷史などと合わせて考えると、世界的に見ても稀な、冷たくて厚い D”層が存在していることが明らかになった。

・地球中心核の不均質構造の特徴について (Tanaka, 2005; 2007)

高緯度に位置する極域の地震観測点を多数用いて、外核最上部の速度構造及び内核-外核境界 (ICB) の不均質構造を推定した。地球中心核を伝わるコアフェイズと呼ばれる SmKS 波及び PKP 波を用いて、特異値分解フィルター、Hilbert 変換、位相重合などの処理を行い、走時残差解析及び波形モデリングを用いて地震波速度構造をモデリングした。

得られたモデルは、コア半径が 3470km~3485km と標準モデルとはほぼ同じだが、P 波速度が 7.90~7.95km/s と低速度であり、全地球規模で低速度な密度安定成層の存在が明らかになった。ICB については、従来の研究では PKP-Cdiff 波の後続波 (Coda) が ICB の不均質構造の散乱によるもの考えられてきた。しかし、PKP-Cdiff Coda の位相速度を求めた結果、震源側の核-マントル境界 (CMB) 近傍の不均質による影響が強いことが分かった。これにより、今後の ICB 不均質構造を求めるためには、観測点アレーのみならず震源アレーによって

CMB の影響を補正する必要があることが分かった。

・三次元地球モデルにおける理論地震波形計算 (坪井, 2006)

全地球の内部構造に対する新しい知見を得るために、地球シミュレータを用いて理論波形を計算し、観測波形と比較することによってその可能性を調べた。理論波形計算にはスペクトル要素法 (SEM) を用いて、地球シミュレータのような大規模並列計算機に適した高い並列化効率を実現した。地殻、マントル、地表及び海底地形データなど、考えられるすべての効果を取り入れた三次元地球モデルを用いて計算した。

アラスカのナデリ地震 (M7.9) で起きた地震についての理論波形計算では、アメリカ大陸を伝わる表面波について、Airy phase と海洋プレートを伝わる郡速度の違いにより励起された波を顕著に再現でき、ロッキー山脈下部の山体構造により散乱された表面波を明瞭に見ることができた。このような地表の不均質構造による散乱や反射の影響の再現は、より深部の詳細な構造推定に不可欠である。SEM の計算で、核-マントル境界の形状による地震波形への効果を議論することが可能になった。

#### [研究発表]

井上智史, 趙大鵬, 山田朗, 金尾政紀, 臼井佑介, 宗谷海岸のマントル不連続面の深さの見積もり, 第 27 回極域地学シンポジウム, 21, p36, 2007.

Tanaka, S., Possibility of a low P-wave velocity layer in the outermost core from global SmKS waveforms, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **259**, 486-499, 2007.

Tanaka, S., Characteristics of PKP-Cdiff coda revealed by small-aperture seismic arrays: Implications for the study of the inner core boundary, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **153**, 49-60, 2005.

坪井誠司, 不連続面の形状を考慮した理論地震波形記録の計算, *月刊地球*, **327** 巻, 28 号, No 9, 602-606, 2006.

Usui, Y., Y. Hiramatsu, M. Furumoto, and M. Kanao, Thick and anisotropic D” layer beneath Antarctic Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, doi:10.1029/2005GL022622, 2005.

Usui, Y., M. Kanao, A. Kubo, Y. Hiramatsu, and H. Negishi, Upper mantle anisotropy from teleseismic SKS splitting beneath Lützow-Holm Bay region, East Antarctica, *A Keystone in a Changing World - Online Proceedings of the 10th ISAES*, edited by A. K. Cooper and C. R. Raymond et al., USGS Open-File Report 2007-1047, Short Research Paper 013, 4p.; doi:10.3133/of2007-1047.srp013, 2007.

など。

## 合成開口レーダ(SAR)による南極域の特徴的な地形とその変動の解析

◎大村 誠 高知女子大学生生活科学部・教授

小池 克明 熊本大学工学部・教授

山之口 勤 (財)リモート・センシング技術センター・副主任研究員 (平成 19 年度)

中村 和樹 (独)産業技術総合研究所・特別研究員 (平成 19 年度)

(国立極地研究所)

澁谷和雄 教授 土井浩一郎 准教授

平成 17 年～平成 19 年 (3 か年)

### 【研究成果】

#### 1. はじめに

地球環境変動を反映する南極氷床・氷河の変動を、天候や太陽光の条件の影響を受けにくく、面的な観測が可能で、衛星搭載 SAR を利用して詳しく研究することを目的とする。国立極地研究所では、南極昭和基地で直接受信されたものを含めて、JERS-1, ERS-1/2, ALOS「だいち」衛星搭載の合成開口レーダ(SAR)データが蓄積されている。これらのデータを活用して、南極域の表面形状の解析を進めてきた[1]。本研究では、Coats Land の Filchner Ice Shelf へ流入する氷河の上流域の氷床に見いだされた楕円状および線状の明瞭なパターンについて、その変動と周辺の地形との関係などについて詳細に解析を行った。

#### 2. 解析内容、データおよびソフトウェア

本研究では、Coats Land の特徴的な地形パターンについて、SAR 強度画像モザイクの作成、地形の時間的な変化の解析、地形の変化と周辺の地形との関係などを検討した。

昭和基地で直接受信されたものも含めて、ERS-1/2 衛星搭載 SAR による強度画像データを主として用いた。干渉処理には、ERS-1 衛星搭載 SAR のシグナルデータを、また、地形のデータとして、RADARSAT Antarctic Mapping Project で作成された DEM[2]を使用した。

SAR 強度画像モザイクの作成には ENVI (Research Systems Inc.), 干渉 SAR 処理には GAMMA software (GAMMA Remote Sensing AG) を使用した。

#### 3. Coats Land の特徴的な地形パターンの解析

##### 3.1. ERS-1/2 SAR 強度画像モザイク

対象地域の広域の地形を把握するため、ERS-1 および ERS-2 によって、1991 年 10 月から 2000 年 6 月までに得られた SAR 強度画像 89 シーンを用いて、約 620 km × 約 280 km の範囲のモザイク画像 (図 1) を作成した。大規模な起伏の分布や、マイクロ波の後方散乱・反射強度が特に強い線状の構造によって描き出された特徴的な地形パターンが確認された。強度画像モザイクでとくに明瞭な地形パターンの 3 カ所について、それぞれのパターンの変形が卓越する向きを求め、

RADARSAT Antarctic Mapping Project で作成された DEM[2]から作成した等高線図に重ねると、変形は地形高度の低い方を向いて生じている傾向が見えたが、変形の推定に曖昧さが残っており、今後の検討が必要である。また、詳細な地形を推定するための干渉 SAR 処理も試みたが、現時点では DEM の作成まで至っていない。

##### 3.2. 羽毛状構造の詳細な検討

顕著な地形パターンである楕円状構造とその近傍にみられる羽毛状構造 (図 1 の矩形①に矢印で示す) に着目する。なかでも羽毛状構造の先端部の時間的な変化を詳細に検討すると、1997 年以後 2000 年にかけて線状構造が新たに形成されたことがわかった。これらの構造は、クレバスなど氷床上のフラクチャと考えられる。あらたに形成されたクレバス帯の空間的な広がり幅は幅 200 m ~ 500 m 程度、長さ 2 km ~ 15 km 程度に及ぶ (図 2)。この期間にクレバス (フラクチャ) が発達した理由については今後さらに検討が必要である。

#### 4. まとめ

極地研究所に蓄積されている南極 Coats Land の ERS-1/2 衛星搭載の SAR 強度画像を主として用いて、地表調査では把握が困難な約 10 年間にわたる広域の地形パターン変化について解析を進めた。特徴的な地形パターンに注目することにより、地形パターンと周辺の地形との関連、クレバス (フラクチャ) の時間的な変化などが、かなり明らかになってきた。しかし、まだ不明確な点が多く、今後は、Coats Land の PALSAR データが蓄積されるのを待って、干渉処理による詳細な DEM 作成や変動観測を行い、長中期の気候変化などとの関連を検討したい。

謝辞 本研究で使用した JERS-1 SAR データの所有権は経済産業省(METI)および宇宙航空研究開発機構(JAXA)にあり、JAXA と国立極地研究所との協定に基づき提供されました。ERS-1 および ERS-2 SAR データの所有権はヨーロッパ宇宙機関(ESA)にあり、ESA、JAXA および国立極地研究所との協定に基づき提供さ

れました。また、これらのデータの大部分は南極昭和基地におけるJAREによる直接受信によって得られたものであり、関係各位に謝意を表します。SARデータ

の解析にあたっては、熊本大学工学部の一ノ瀬 陽介さん・吉田 博明さんのご尽力を賜りました。ここに記してお礼申し上げます。

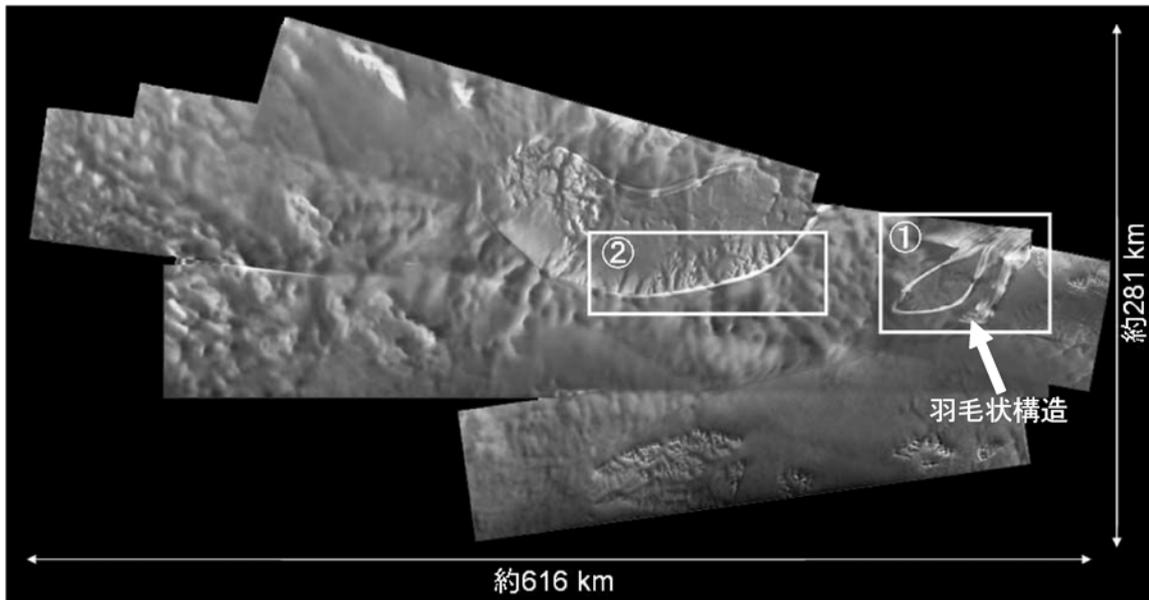


図 1. 南極 Coats Land の ERS-1 および ERS-2 搭載 SAR 強度画像モザイク

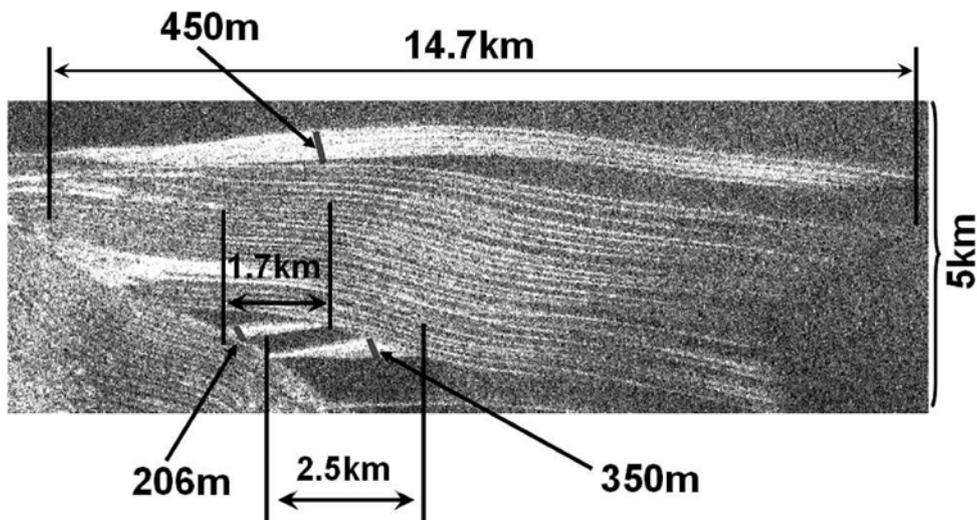


図 2. 羽毛状構造先端部 (図 1. の矩形①に矢印) に 1977 年～2000 年にできたクレバス帯

(ただし、図 1 とは図の上下が逆)

[参考文献]

1)大村 誠・小池克明・澁谷和雄・土井浩一郎・青木 茂; 衛星搭載合成開口レーダ(SAR)による南極域の表面形状とその変動の研究, 平成 16 年度共同研究報告書, 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所, pp.58-59.

2) Liu, H., Jezek, K., Li, B., Zhao, Z., 2001; Radarsat Antarctic Mapping Project digital elevation model version 2. Boulder, Colorado, USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.

[研究発表]

1) Makoto Omura, Katsuaki Koike, Tsutomu Yamanokuchi, Koichiro Doi, Kazuo Shibuya, 2008; Spaceborne SAR Observation of Topographic Feature on the Coats Land, Antarctica, The 5th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society(AOGS2008), 17 June 2008, Busan, Korea, SE88-A010.

南極及びスリランカの高度変成岩中に産するグラファイト(石墨)の起源と成因に関する研究

◎松枝大治 北海道大学総合博物館・教授 (研究代表者)  
 田口幸洋 福岡大学理学部・教授 (共同研究員)  
 (国立極地研究所)  
 白石和行 教授 (担当教官)  
 本吉洋一 教授 (担当教官)  
 平成 17 年～平成 19 年(3 カ年) (研究期間)

【研究成果】

1. はじめに

東南極及びスリランカに発達する高度変成岩中には、グラファイトが多産することが知られている。しかも、スリランカでは特に鉱床を形成するレベルの大規模な発達も稀ではなく、現在も複数個所で採掘活動が継続されている状況にある。

本研究では、特に東南極リュッツォホルム湾の Skallevikhalsen 露岩地帯や East Ongul 島、及びスリランカの Bogala 鉱山に産するグラファイトの野外及び鏡下での産状・組織観察に加え、鉱物学的性質、脈石鉱物中の流体包有物、炭素安定同位体比測定などの室内実験と検討に基づき、その成因と起源に関する推定及び両地域における高度変成作用時に活動した流体の特性を検討した。

2. 産状

東南極：East Ongul 島では、グラファイトはチャーノッカイトや角閃石－黒雲母－柘榴石片麻岩中に鉱染状或いは細脈状をなして産し、一方 Sakallevikhalsen では、ドロマイト質大理石中やカンラン石－スピネル・スカルン中に鉱染状をなして多産する。

スリランカ：高度変成岩や鉱床母岩中のグラファイトの産状は東南極のものと同様であるが、一方で脈巾最大 1m にも達するほぼ純粋(95%以上)なグラファイトからなる鉱脈の発達が見られる。片麻岩からなる母岩中には、黒雲母・角閃石の発達が顕著で、本鉱床の分布はグラニュライト相変成岩地域の中でも、特にチャーノッカイトが発達する地域に大規模な鉱床が分布する傾向が強い。

3. 結晶化度

両地域から採取したグラファイト及び各種炭質岩(植物化石、石炭、珪化木)について、X 線粉末回折法を用いて結晶化度を求めた(Fig.1)。それによれば、高度変成岩中のものは産状の違いにもかかわらず、各種炭質岩に比べていずれも極めて高い結晶化度を示している(スリランカ産は南極産に比べて若干結晶化度が低い)。従って、高度変成岩中のグラファイトはその変成作用のピーク時に近い環境での生成、一方で鉱物組織観察結果も併せて考慮すると、鉱脈型鉱石中のものは流体環境からの結晶成長に基づく生成が考えられる。

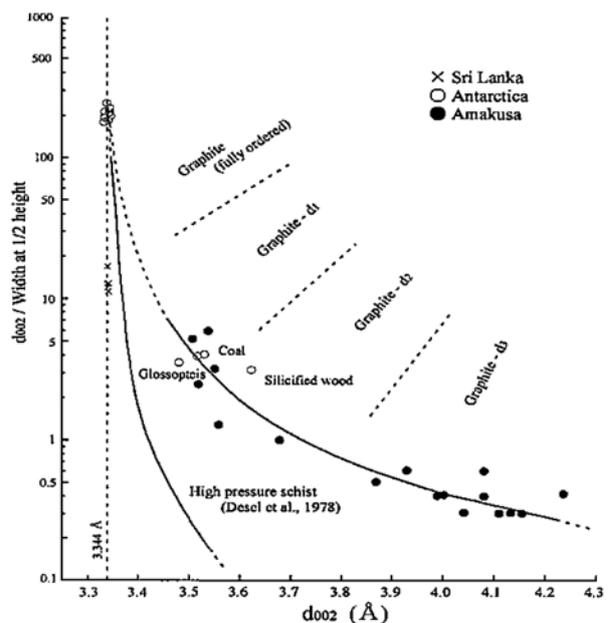


Fig.1 南極及びスリランカ産グラファイトの結晶化度。

Amakusa：熊本県天草産黒色泥岩試料

#### 4. 流体包有物

グラファイトの成因に関して、流体が深く関与した可能性が高いことから、母岩や脈石鉱物中の流体包有物について、加熱冷却顕微鏡及びレーザ・ラマン顕微鏡による検討を行った。その結果、包有物はCO<sub>2</sub>(初生・二次)とH<sub>2</sub>O(二次)から構成されており(Fig.2)、変成作用のピーク時にはCO<sub>2</sub>流体が卓越し、その後の後退変成作用に伴い、H<sub>2</sub>O流体の活動が始まったことを示唆している。また、流体包有物を用いたP-T-t経路の検討から、後退変成作用は等温減圧過程をたどったことが強く示唆され、急速な下部地殻の上昇過程が推測される。

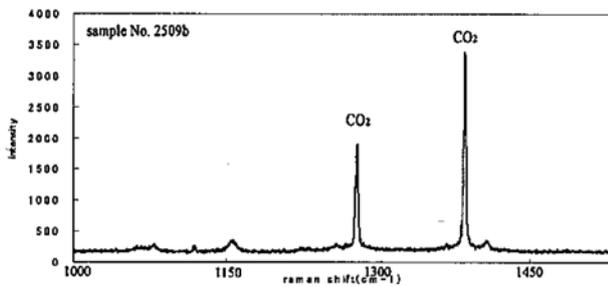


Fig.2 流体包有物のレーザ・ラマン分光スペクトル

#### 5. 炭素安定同位体比

両地域から産するグラファイト及び炭質物について、その起源を推定するために炭素安定同位体比の測定を行った(Fig.3)。その結果、東南極産のものは、炭酸塩鉱物と共生するものを除けばかなり軽い値(-10~-25‰)を取るが、スリランカ産のものは相対的に重い値(-7‰程度)を取る。このことは、南極産のグラファイトは変成岩源岩中の有機物が変成作用によりグラファイト化した

可能性が高く、一方でスリランカ産のものは上部マントル起源の流体がその生成に深く関与した可能性が強く示唆される。

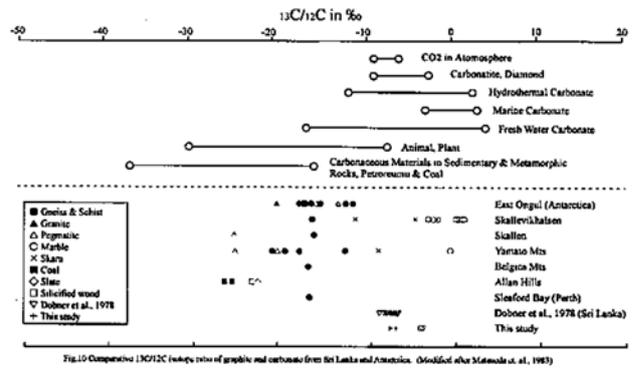


Fig.3 南極及びスリランカ産のグラファイトと炭酸塩岩の炭素同位体比

#### 6. 高度変成作用に伴うグラファイト鉱化作用とチャーノカイト化作用に関係した活動流体

鉱脈グラファイトの生成には炭素質流体の深い関与があることは言うまでもないが、その流体の性状についてはまだ解明されてはいない。しかし、高度変成作用の高温・高圧条件下での流体の挙動とグラファイトの固定現象は極めて興味深く、特に周囲の母岩の酸化度や流体包有物中に認められる固相の詳細な検討に加え、今後は高温条件下での流体中の優勢炭素種の検討が重要となる。

一般に言われるように、チャーノカイト化作用にはCO<sub>2</sub>流体が深く関わっている可能性が高いが、変成作用時のその詳細な挙動やメカニズムについてはまだ十分に解明されているとは言えず、単に変成反応やXCO<sub>2</sub>条件の推定に留まらず、今後さらに新たな観点からの検討が必要であろう。

#### 【研究発表】

Torimoto, J., Matsueda, H., Taguchi, S. (2006) Characteristics and significant role of fluid inclusion from high-grade metamorphic rocks in Sri Lanka. 19<sup>th</sup> General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA), pp204.

リーセルラルセン山地域ナピア岩体の放射年代・岩石磁気・地球電磁気の研究

- ◎岩田 尚能 山形大学理学部・講師  
石川 尚人 京都大学大学院人間・環境学研究科・教授  
森尻 理恵 産業技術総合研究所・主任研究員  
齋藤 和男 山形大学理学部・教授  
坂中 伸也 秋田大学工学資源学部・助教  
瀧上 豊 関東学園大学法学部・教授  
山崎 明 気象研究所・主任研究官  
(国立極地研究所)  
船木 實 准教授

平成 17～平成 19 年 (3 か年)

[研究成果]

ナピア岩体の冷却・上昇史，古位置，地殻構造等を明らかにするため，JARE35，42 夏隊でのリーセルラルセン山地域での地学調査結果と平成 14～16 年度の極地研究所一般共同研究（研究代表者：石川尚人）の成果を踏まえ，リーセルラルセン山地域で採集された岩石試料の放射年代測定，岩石磁気学的研究のための試料解析，地球電磁気学的探査結果の解析を行っている。閉鎖温度の低い試料（全岩・鉱物）・分析法での年代測定が，超高温変成作用後のナピア岩体の冷却過程や熱史を推定するのに有効であると考え，本研究では閉鎖温度が低いとされる黒雲母の K-Ar 年代測定を重点的に行った。

試料は，第 42 次南極地域観測隊（石川，松田ら）によってリーセルラルセン山山頂付近（R61，R65），リーセルラルセン山中腹（0120302C），East Lake 付近（0110204A）から採集された塩基性片麻岩類である。岩石から黒雲母を分離して

K-Ar 年代測定を行った結果，9 億 4 千万年前～11 億年前という値が得られた（岩田・賞雅，2007）。黒雲母の K-Ar 年代系における閉鎖温度は  $300 \pm 50^\circ\text{C}$  とされているため（例えば，兼岡，1998），得られた黒雲母 K-Ar 年代値は，同地域での超高温変成作用もしくは超高温変成作用後の熱的イベントが終了した後，約  $300^\circ\text{C}$  まで冷却した時点を示すと考えられる。

石塚（2003）によるナピア岩体の放射年代値のまとめによると，変成岩の原岩年代は 37～26 億年前，超高温変成作用は 25～24 億年前である。超高温変成作用以降の年代値については報告が少ないが，例えば，18 億 5 千万年前や 15 億年前という年代値が Howard Hills で（Miyamoto et al., 2006），19 億年前や 16 億年前という年代値が Tonagh 島で（Owada et al. 2003）報告されている。本研究で得られた黒雲母 K-Ar 年代値は，これらの年代値よりもさらに若く，Takigami et al. (1998) で報告さ

れている貫入岩の  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年代 (約 11 億年) に近い。今回得られた黒雲母 K-Ar 年代がどのような地質学的な事件を反映したもののなのかを明らかにするためには、

今後、貫入岩類との関係や試料の採集状況、岩石・鉱物学的特徴等について詳細に検討する必要がある。

[参考文献]

- 石塚英男; 東南極ナピア及びレイナー岩体における日本南極地域観測隊地質グループの活動: 成果の総括と今後の課題, 南極資料, 47, 349-369, 2003.
- 兼岡一郎; 年代測定概論, 東京大学出版会, 315 p., 1998.
- Miyamoto, T., Yoshimura, Y., Dunkley, D.J., Motoyoshi, Y., and Carson, C.J.; Mineral ages for multi isotope system in phlogopite-bearing pyroxene granulite and felsic gneiss, the Howard Hills, Enderby Land, East Antarctica: Possible Proterozoic tectonothermal events in the Napier Complex, *Polar Geosci.*, 19, 152-172, 2006.
- Owada, M., Osanai, Y., Toyoshima, T., Tsunogae, T., Hokada, T., Crowe, W.A., and Kagami, H., Early Proterozoic tectonothermal events in the Napier Complex, East Antarctica: Implications for the formation of East Gondwana, *Gondwana Res.*, 6, 231-240, 2003.
- Takigami, Y., Ishikawa, N., and Funaki, M.; Preliminary  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  analyses of igneous and metamorphic rocks from the Napier Complex, *Polar Geosci.*, 11, 200-207, 1998.

[研究発表]

- 石川尚人・船木實; リーセルラルセン山地域, 原生代塩基性貫入岩類の古地磁気方位, 第 25 回極域地学シンポジウム プログラム・講演要旨, p. 84, 2005.
- Ishikawa, N. and Funaki, M.; Remanent directions and AMS of Proterozoic mafic dikes at the Mt. Riise-Larsen area in Enderby Land, East Antarctica, 第 118 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2005.
- 岩田尚能・賞雅朝子; 東南極ナピア岩体リーセルラルセン山地域から得られた片麻岩の K-Ar 年代, 第 27 回極域地学シンポジウム プログラム・講演要旨, p. 69, 2007.
- Nishioka, I., Ishikawa, N., Funaki, M.; Magnetic fabric analysis of deformed rocks in the riser-Larsen Main Shear Zone, East Antarctica, *Polar Geosci.*, 18, p. 15-25, 2005.
- 賞雅朝子・岩田尚能・平田岳史; ナピア岩体リーセルラルセン山地域から得られたジルコンの U-Pb 年代, 第 25 回極域地学シンポジウム プログラム・講演要旨, p. 82, 2005.



# I. 共同研究報告（終了）

## 一般共同研究

### （4）生 物 圈

国立極地研究所共同研究報告書（終了）

極域微生物の系統のおよび生理生態的多様性に関する研究

◎長沼 毅 広島大学大学院生物圏科学研究科・准教授

小川 麻里 安田女子大学文学部・講師

(国立極地研究所)

神田 啓史

伊村 智

平成 17 年～平成 19 年（3 か年）

【研究成果】

1. 広範囲好塩菌（広塩菌）の分子系統のおよび生理的多様性

広塩微生物は、3%以下から 15%以上の塩分、時には飽和塩濃度までの、幅広い塩分に耐性をもった微生物である。近年、この広塩微生物が低温、高温、乾燥といったその他の環境ストレスにも強い微生物であることがわかってきた。この特徴により、広塩微生物の数種類は高塩分環境だけでなく世界中に分布しており、南極においては主要な微生物の一つであることも報告されている。

一方、塩湖などにおいては、周囲と隔離されており、移動が困難と考えられるため、独特の広塩微生物相が存在する可能性もある。南極の塩湖は、人為的、他の動物に付随する移動はほとんどないと思われ、広塩微生物の偏在性を調べるには格好の対象となる。また、これらの知見は、微生物の進化や、新奇な微生物の獲得について重要であると同時に、塩湖の生態系を知る上でも重要である。

南極の昭和基地周辺にある、すりばち池は、深さ最大で 32m、表層から 8m までは低塩分で好氣的、深層は高塩分で嫌氣的という二層に塩湖である。このすりばち池において、水深約 2m おきに採水し、これから広塩微生物の培養を行ったところ、7 種類の広塩微生物が分離された。これらは、深度による明らかな分布を示した。16S rDNA 解析を行ったところ、それぞれ代表的な広塩微生物である *Halomonas*, *Marinobacter* に属する一方、6 種類は新種であると思われる。また、*Halomonas*

*variabilis* に近縁な種類も、海洋から多く見つかった種類とは遺伝的、生理的に異なっていた。このため、南極の塩湖には、独自の広塩微生物が生息していることが強く示唆された（図 1）。〔研究発表の 1〕

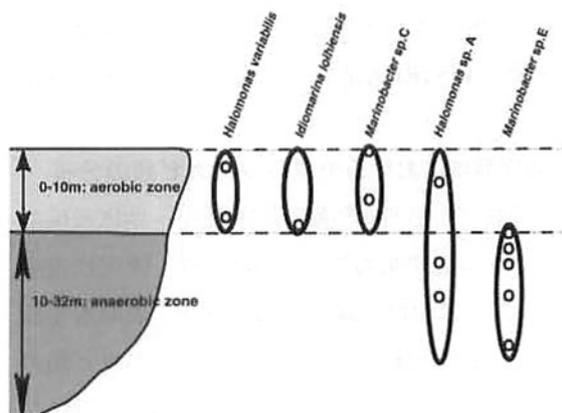


図 1. 「すりばち池」から単離した広範囲好塩菌の種類ごとの生息深度分布

2. 南極ポストーク基地氷床から回収した微生物の分子系統的多様性

ロシアの南極ポストーク基地では従前より氷床掘削が進められており、その氷床コアからの微生物の回収も行われている。ロシア科学アカデミー微生物学研究所のアビゾフ博士らにより回収・蘇生された微生物の幾つかについて 16S rRNA 遺伝子および 18S rRNA 遺伝子にもとづく系統解析を行ったところ、その多くは *Bacillus* 属細菌（図 2）、*Nocaridiopsis* 属放線菌、*Rhodotorula* 属酵母および *Cryptococcus* 属担子菌系不完全酵母に類することが分かった。これは、現在解析が

進められているドームふじ氷床コア微生物相との比較対象として利用できることが期待できる。  
[研究発表の2,3]

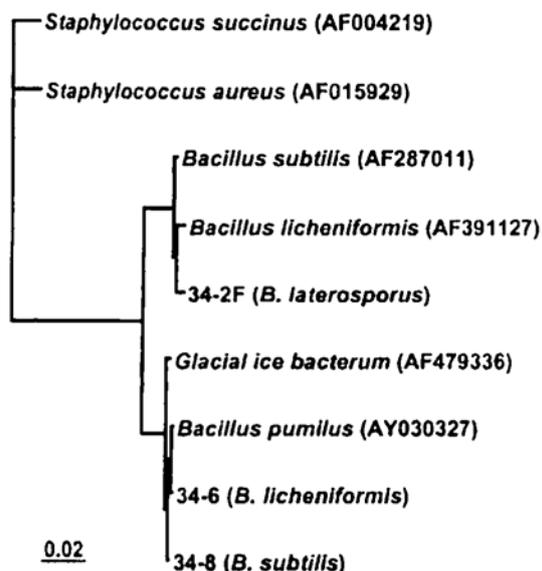


図2. 南極ポストーク基地氷床コアから単離した微生物の16S rRNA 遺伝子にもとづく分子系統樹

### 3. 北極海域におけるヤブレッツボカビ類の分布

科研費による「国際海嶺共同研究—地球環境変動システムと中央海嶺」（11694057；研究代表者 玉木賢策）における調査航海の途上、表層水を採取し、そこに存在する浮遊性ヤブレッツボカビ類の現存量を測定した。ヤブレッツボカビ類は最近になって注目されるようになってきた海洋原生生物

で、主に陸上植生由来の難分解性有機物の分解者として、また、それにもとづく二次生産者として、生態学的な役割を果たしていると考えられている。この調査により、この海域における浮遊性ヤブレッツボカビ類の現存量は検出限界（1リットルあたり 8100 細胞）未満から最大1リットルあたり 23 万細胞と見積もることができた。これは寒冷海域における浮遊性ヤブレッツボカビ類の現存量測定としては初の例である。今後は、陸上植生との関連を調べることにより、北極圏域における海洋—陸上生態系リンクに関する総合調査の端緒となるべく発展することが期待できる。[研究発表の4]

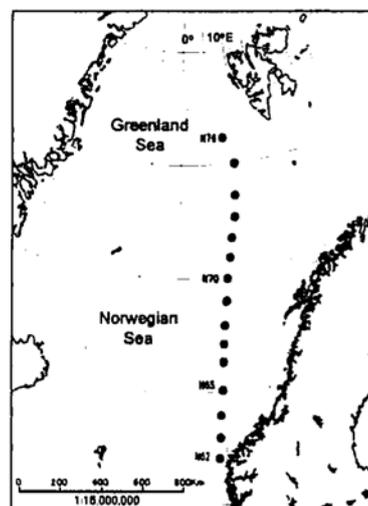


図3. グリーンランド海およびノルウェー海におけるヤブレッツボカビ類試料の採取地点。

#### 【研究発表】

- 1) Naganuma T, Hua PN, Okamoto T, Ban S, Imura S & Kanda H (2005) Depth distribution of euryhaline halophilic bacteria in Suribati Ike, a meromictic lake in East Antarctica. *Polar Biology*, 28(12): 964-970.
- 2) Abyzov SS, Duxbury NS, Bobin NE, Fukuchi M, Hoover RB, Kanda H, Mitskevich IN, Mulyukin AL, Naganuma T, Poglazova MN & Ivanov MV (2006) Super-long anabiosis of ancient microorganisms in ice and terrestrial models for development of methods to search for life on Mars, Europa and other planetary bodies. *Advances in Space Research*, 38: 1191-1197.
- 3) Duxbury NS, Abyzov SS, Bobin NE, Imura S, Kanda H, Mitskevich IN, Mulyukin AL, Naganuma T, Poglazova MN & Ivanov NV (2006) Time machine: ancient life on earth and in the cosmos. *EOS*, 87(39): 401, 406.
- 4) Naganuma T, Kimura H, Karimoto R & Pimenov NV (2007) Abundances of planktonic thraustochytrids and bacteria and of particulate ATP in the Greenland and Norwegian Seas. *Polar Bioscience*, 20: 37-45.

## 共同研究報告書

(研究課題) カナダ北極圏アムンゼン湾における動物プランクトンフラックスの変動

◎石巻専修大学理工学部・教授 佐々木洋 (研究代表者)  
北海道東海大学工学部・教授 服部 寛 (共同研究者)  
石巻専修大学理工学部・講師 太田尚志 (共同研究者)  
(国立極地研究所)  
福地光男 教授 (担当教員)  
平成 17 年～平成 19 年 (3 か年) (研究期間)

### 【研究成果】

北極海は周年または季節的に海氷がその表面を覆うことが大きな特徴である。特に季節的な海氷域において、夏季の氷縁域では、植物プランクトンの生産が著しく増大するため、植食性動物プランクトンの餌環境は、中・低緯度海域と比べて顕著に季節変動する。これまで北極海の生態系に関する研究は生産性の高い夏を中心に行われてきたが、冬季の海氷下における、カイアシ類の越冬生態の知見は未だに乏しい。これは海氷の存在が調査船の航行や採集を妨げていることによる。

本研究は北極圏海氷域において、生物量において優占するカイアシ類の中でも体サイズが最も大きい植食者である、*C. hyperboreus* のメス成体の冬季の生活様式を明らかにすることが目的の一つである。調査は CASES (Canadian Arctic Shelf Exchange Study) の一環として、2003 年 9 月から 2004 年 8 月にかけて実施された研究航海(カナダ沿岸警備隊の Amundsen)に参加して行った。動物プランクトン試料の採集は、セディメントトラップを用いて複数観測点の海氷下において行った。またトラップに採集される動物プランクトン (TCZ: Trap-Collected Zooplankton) を定量的に評価することを目的として、越冬観測点 (CA20) においてプランクトンネットによる鉛直区分採集を計 19 回行った。現存量の単位は、トラップ採集口を通過する個体数としてフラックス ( $\text{ind. m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) として標準化した。

越冬観測点 (CA20) において、プランクトンネットで得られた動物プランクトン (NCZ: Net-Collected Zooplankton) 量と TCZ 量とを比較した結果、TCZ と NCZ の出現種はほぼ重複していた(表 1)。しかし、TCZ では各分類群組成の季節変動がより顕著であ

り、また TCZ では優占した分類群数がより多様であった。両者の量的な相関を見ると、一部の分類群は正の相関を示した(例えば腹足類)。しかし他の多くの分類群は有意な相関を示さず、TCZ の変動が現存量 NCZ のみに依存していないことを示唆した。

全ての測点、深度および各時期に出現した TCZ の群集構造をクラスター解析を通して調べた。CA18 200 m を除いて、全ての群集は 4 クラスターに分けられ、それぞれに特徴的な時空間分布を示した。特にボフォート海の測点 (CA04, CA07, CA12) では 1 月から 2 月にクラスター 1 から 2 へ群集構造が推移しており、これは *C. hyperboreus* とカイアシ類ノープリウス幼生の出現に起因する。

*C. hyperboreus* メス成体の TCZ 量は 10 月～11 月前半および 2 月後半～3 月にそれぞれ極大 ( $5.1$  および  $4.7 \text{ ind. m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ) を示した。前者は UMT (上昇移動動物プランクトン採集装置) で得られた動物プランクトン量 (UMTCZ) と比較した結果、季節的な鉛直移動による群集の降下であると推定された(図 1)。一方、後者は上方移動も伴っており、この上下移動は短期的な鉛直移動行動であることが示唆された。また、この時期は *C. hyperboreus* オス成体、同種のノープリウス幼生の出現も確認されていることから、再生産に関係する行動である可能性が示唆されている。

冬季の海氷下における *C. hyperboreus* の活動的な生活様式は、休眠を伴う極めて静的な生活であるとする従来の認識とは明らかに異なることが明らかとなった。*C. hyperboreus* の冬季の摂餌生態を初めとする冬季の生態系研究の必要性が本研究から示唆された。

表1. TCZ, NCZ に共通して1年間に出現した分類群。TCZ のみに出現した分類群は無いが、NCZ のみに出現したのは4分類群 (Fish larvae、Mysidacea、Harpacticoida、*Acartia* sp.) である。1年を通してNCZとして出現する分類群はほぼすべてTCZ として出現する。つまり、定性的にはNCZ≒TCZである。

- 
- Copepoda
    - Calanoida
      - Calanus glacialis*
      - C. hyperboreus*
      - Chiridius* spp.
      - Gaetanus tenuispinus*
      - Heterorhabdus norvegicus*
      - Metridia longa*
      - Pereuchaeta glacialis*
      - Small calanoida
      - Unidentified
    - Cyclopoida
      - Oithona* spp.
      - Cyclopina* spp.
    - Poecilostomatoida
      - Oncaea* spp.
    - Copepod nauplii
  - Amphipoda
    - Physocephalata
      - Themisto* sp.
      - Hyperoche* spp.
    - Physosomata
  - Appendicularia
  - Chaetognatha
  - Gastropoda
  - Cnidaria
  - Ctenophora
  - Ostracoda
  - Polychaeta
  - Unidentified
- 

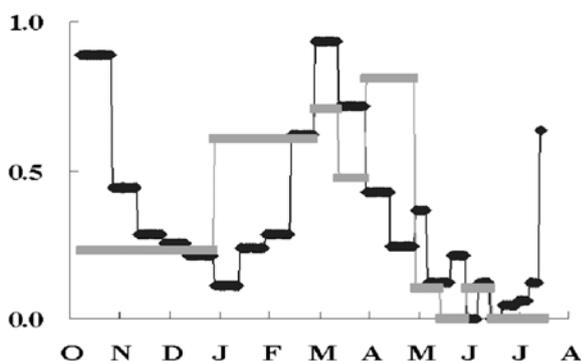


図1. 採集量相対値で示したTCZ量とUMTCZ (Upward Migrator Trap-Collected Zooplankton)量。秋季から冬季(10-11月)においてはトラップに採集され、UMTには採集されないため、季節的下降移動行動を示唆する。冬季(2-3月)はトラップ、UMTの両方に採集されるため、短期的上昇と下降移動を行っている。春季(4月)にはUMTに採集されるた

め季節的の上昇移動を行っていると思われる。

[研究発表]

1. Tremblay, J.-E., H. Hattori, C. Michel, M. Ringuette, Z.-P. Mei, C. Lovejoy, L. Fortier, K.A. Hobson, D. Amiel and K. Cochran, (2006) Pathways of biogenic carbon flow in a highly productive Arctic polynya: the North Water. *Prog. Oceanogr.*, 71:402-425.
2. Ban, A., S. Aikawa, H. Hattori, H. Sasaki, M. Sampei, S. Kudoh, M. Fukuchi, K. Satoh and Y. Kashino, (2006) Comparative analysis of photosynthetic properties in ice algae and phytoplankton inhabiting Franklin Bay, Canadian Arctic, with those in mesophilic diatoms during CASES 03-04, *Polar Biosci.*, 19:11-28.
3. Forest, A., M. Sampei, H. Hattori, R. Makabe, H. Sasaki, M. Fukuchi, P. Wassmann and L. Fortier (2007), Particulate organic carbon fluxes on the Mackenzie Shelf slope: physical and biological forcing of shelf-basin exchanges. *J. Mar. Syst.*, 68: 39-54.
4. 真壁竜介、渋谷文恵、太田尚志、三瓶 真、服部 寛、福地光男、佐々木洋 (2007)、カナダ北極圏ポホート海におけるマリンスノーフラックスおよび内部の微小生物相の変化、平成 18 年度石巻専修大学理工学部紀要、18: 49-59.
5. Forest, A., M. Sampei, R. Makabe, H. Sasaki, D. Barber, Y. Gratton, Wassmann, and L. Fortier, The annual cycle of particulate organic carbon export in Franklin Bay (Canadian Arctic): Environmental control and food web implications. *J. Geophys. Res. C. Oceans*, in press.
6. Mucci, A., A. Forest, L. Fortier, M. Fukuchi, J. Grant, H. Hattori, P. Hill, G. Lintern, R. Makabe, C. Magen, L. Miller, M. Sampei, H. Sasaki, B. Sundby, T. Walker, and P. Wassmann, Organic and Inorganic Fluxes. In: Barber, D.G. (Ed.), *Physical and Biological Processes of the Ocean-Sea Ice-Atmosphere System in the Southern Beaufort Sea*. Aboriginal Issues Press, Winnipeg. In press.

南極海の炭素循環に果たす小型動物プランクトンの役割に関する研究

◎ 谷村 篤 三重大学生物資源学部・准教授  
韓 東勲 (株)日本海洋生物研究所・研究員  
高橋邦夫 オーストラリア南極局日本学術振興会海外特別研究員  
(国立極地研究所)

福地光男 教授

小達恒夫 教授

渡邊研太郎 教授

工藤 栄 准教授

平成17年～平成19年(3か年)

#### [研究成果]

近年、南極海には体長1.5mm以下の小型カイアシ類(例えば *Oithona*, *Oncaea*, *Ctenocalanus*, *Microcalanus* など)が普遍的に分布し、個体数において大型植食性カイアシ類を大きく凌ぐことが知られるようになり、これら小型カイアシ類の南極海生態系での役割についての研究の重要性が指摘されるようになってきた(例えば Atkinson 1998)。しかし、これら小型カイアシ類の生態学的知見は少なく、分布や生物量についてもよくわかっていない。

本研究では、リュツォ・ホルム湾沖を実験水域として、2種の目合の異なるネット(330 $\mu$ mおよび100 $\mu$ m)で採集された標本に基づいて、小型カイアシ類の個体数と生物量を明らかにし南極海の典型的な大型植食性カイアシ類4種との量的比較を試みた。

本研究で用いた標本は、東京海洋大学実習船海鷹丸が2006年1月12日から16日の間、南極海インド洋区リュツォ・ホルム湾沖の4観測点において採集した標本である。調査は各測点において、プランクトンネット採集およびCTDを用いた水温及び塩分の測定、クロロフィル *a* 濃度の測定のためのニスキン採水器による表層から水深200mの間の5m間隔での採水を行った。プランクトンネット採集は、目合いの異なる2種類のネットからなる(目合 330 $\mu$ m, 100 $\mu$ m)ツイン型のNORPACネットを用いて水深150mから表面までの鉛直採集を行った。各採集より得られた標本は船上でただちに5%ホルマリン(最終濃度)で固定し、冷暗所で保存した。ネットの濾水量はネットの口環に取り付けたフローメーターの読みから求めた。

NORPACネットで作られた標本は日本に持ち帰った後、実験室にて種の同定・計数を行った。すなわち、得られた8標本のうち、目合 330 $\mu$ m ネットで作られた4標本については 1/2 に分割したのち、各々の分割標本を21動物群(渦鞭毛虫類・有孔虫類・放散虫類・繊毛虫類・クラゲ類・クダクラゲ類・有櫛類・毛顎動物・多毛類・軟体類・枝角類・介形類・カイアシ類・アミ類・等脚類・端脚類・オキアミ類・十脚類・尾虫類・サルパ類・底生生物浮遊幼生・その他)に区分し選別した。さらにカイアシ類について、可能な限り種レベルまで同定計数を行った。目合 100 $\mu$ m ネットで作られた4標本は、まず目合 330 $\mu$ m ネット標本と同様に、1/2 に分割した標本から大型の個体を21動物群に区分して取り除いた後、残りの小型動物プランクトンについては最

終的に1/128～1/512に分割した標本から同定・計数を行った。また、動物プランクトンの個体数は $m^3$ あたりに換算して求めた。また、小型カイアシ類(*Ctenocalanus citer*, *Microcalanus pygmaeus*, *Oithona* spp.および *Oncaea* spp.)および大型植食性カイアシ類4種(*Calanoides acutus*, *Calanus propinquus*, *Metridia gerlachei*, *Rhincalanus gigas*)の生物量(炭素換算)は、すでに報告されている各種の1個体当たりの平均的な炭素重量に個体数を掛けて求めた(Schnack *et al.*, 1985; Swadling *et al.*, 1997)。なお、ここでいう小型カイアシ類とは体長 1.5 mm 以下のカイアシ類をさすことにする。

測点L4, L1 および L5 の3点は夏季の南極海の典型的な鉛直分布のパターンを示していた。すなわち、水深 20～70m 付近に $-1^{\circ}C$ 以下の水温極小層(TML: Temperature minimum layer)が存在し、その周辺で高いクロロフィル濃度がみられた。一方、測点 L8 では、水深 100m 以浅の表層には $-1^{\circ}C$ 以下の低水温がみられ、表層近くに融氷の影響を受けたと思われる比較的低塩分の水がひろがっていた。

目合 330 $\mu$ m ネットで採集された動物プランクトンの個体数密度と主要な群組成(上位5群)を示した。目合 330 $\mu$ m ネットで採集された動物プランクトンの個体数密度は、5.7～13.4 ind  $m^{-3}$ の範囲にあり、平均個体数密度は 8.9 ind  $m^{-3}$ であった。採集された動物プランクトンのうち、最も優占したのはカイアシ類であり、次いで毛顎類・尾虫類・有孔虫類・多毛類が高い個体数密度を示した。目合 330 $\mu$ m ネットで採集されたカイアシ類は5属7種で、個体数密度において優占して出現したのは、*Calanoides acutus*, *Calanus propinquus*, *Metridia gerlachei*, *Rhincalanus gigas* であった。

目合 100 $\mu$ m で得られた動物プランクトンの個体数密度は、437.3～2536.2 ind  $m^{-3}$ の範囲(平均:1131.3 ind  $m^{-3}$ )にあり、最大個体数密度は測点 L8 でみられた。最も優占した動物群はカイアシ類であり、次いで有孔虫類・底生生物浮遊幼生、毛顎類・放散虫類が優占して出現した。目合 100 $\mu$ m ネットで採集されたカイアシ類の出現種は2属8種であり、このうち優占して出現したのは目合 330 $\mu$ m ネットでほとんど採集されなかった *Oithona* spp., *Ctenocalanus citer*, *Oncaea* spp., *Microcalanus pygmaeus* であり、カイアシ類全体の 98%を占めた。

目合 100 $\mu$ m ネット採集で作られた標本から、小型カ

イアシ類 (*Oithona* spp., *Ctenocalanus citer*, *Oncaea* spp., *Microcalanus pygmaeus*) と、同ネットで採集された大型植食性カイアシ類 (*Calanoides acutus*, *Calanus propinquus*, *Metridia gerlachei*, *Rhincalanus gigas*) の個体数密度を比較した。小型カイアシ類 4 群の個体数密度は 179–1159.2 ind m<sup>-3</sup> (平均: 481.1 ind m<sup>-3</sup>) の範囲にあった。一方、大型植食性カイアシ類 4 種の個体数密度はわずか 2.6–8.7 ind m<sup>-3</sup> (平均: 4.6 ind m<sup>-3</sup>) であり、小型カイアシ類が圧倒的に優占して出現した。

炭素重量に換算した生物量は、小型カイアシ類で 570–4794 μg m<sup>-3</sup> (平均: 1712 μg C m<sup>-3</sup>)、大型食植性カイアシ類で 586–1746 μg m<sup>-3</sup> (平均: 1144 μg C m<sup>-3</sup>) の範囲にあった。各測点でを比較すると、測点 L8 の小型カイアシ類の生物量は大型食植性カイアシ類の 2 倍以上の値を示したが、それ以外の測点では両者の生物量はほぼ同等であった。

#### [参考文献]

- Atkinson, A. (1998): Life cycle strategies of epipelagic copepods in the Southern Ocean. *J. Mar. Syst.*, 15, 289-311.
- Metz, C. (1994): Seasonal variation in the distribution and abundance of *Oithona* and *Oncaea* species (Copepoda, Crustacea) in the southeastern Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biol*, 15 ; 187-194.
- Schnack, S.B., Smetacek, V., Bodungen, B.V. and Stegmann, P. (1985): Utilization of phytoplankton by copepods in Antarctic waters during spring. In: Grat JS, Christiansen ME (eds.) *Marine Biology of Polar Regions and Effects of Stress on Marine Organisms*. Wiley, London, pp. 65-81.
- Swadling, K.M., Gibson, J.A.E., Ritz, D.A., Nichols, P.D. and Hughes, E. (1997) : Grazing of Phytoplankton By Copepods In Eastern Antarctic Coastal Waters, *Mar. Biol.*, 128, 39-48.

#### [研究発表]

- 大槻晃久・小達恒夫・工藤栄・福地光男 (2006): 2004-05 年夏季のオングル海峡定着氷下における植物プランクトンと栄養塩の時系列変化. *南極資料*, 50, 231-250.
- Tanimura, A., Oka, N., Kawaguchi, S., Nishikawa, J., Takahashi, K.T., Makabe, R., Hosie, G. and Odate, T. (in press): Distribution pattern of macrozooplankton along the 140°E meridian in the Southern Ocean during austral summer 2002 and 2003. *Antarctic Rec.*, 51.
- Tanimura A., Hattori, H., Miyamoto, Y., Hoshiai, T. and Fukuchi M. (in press): Diel changes in vertical distribution of *Oithona similis* (Cyclopoida) and *Oncaea curvata* (Poecilostomatoida) under sea ice in mid-summer near Syowa Station, Antarctica. *Polar Biology*.
- Tanimura, A., Kawaguchi, S., Oka, N., Nishikawa, J., Tozko, S., Takahashi, K.T., Terazaki, M., Odate, T., Fukuchi, M. and Hosie, G. (in press): Abundance and grazing impacts of krill, salps and copepods along the 140°E meridian in the Southern Ocean during summer. *Antarctic Science*.
- Takahashi, K.T., Kobayashi, M., Kawaguchi, S., Saigusa, J., Tanimura, A., Fukuchi, M., Naganobu, M. and Toda, T. (in press): Circumpolar occurrence of eugregarinid protozoan *Cephaloidophora pacifica* associated with Antarctic krill, *Euphausia superba*. *Antarctic Science*.

以上のように、リュツォ・ホルム湾沖では、体長 1.5 mm 以下の小型カイアシ類は氷縁付近に多く出現し、個体数において大型植食性カイアシ類の 100 倍以上の密度で卓越して分布することが明らかとなった。また、小型カイアシ類は、個体数だけでなく生物量でも大型植食性カイアシ類に匹敵するほど高いことが明らかとなった。これらの結果から、Metz (1994) も指摘しているように、小型カイアシ類は南極海の物質循環において大型植食性カイアシ類に匹敵するほど大きな役割をもっていることが示唆された。とりわけ、これらの小型カイアシ類は稚仔魚の重要な餌生物であるばかりでなく、ナノ・ピコサイズの植物プランクトンや原生動物類の微小生物群と大型肉食動物プランクトンをつなぐ生物群として、物質循環の重要な役割を持っていると考えられることから、小型カイアシ類の卓越性は、南極海における物質循環の経路として微生物食物連鎖の重要性を示唆している。

データロガーを用いた魚類の移動・回遊に関する行動生理学的研究

◎河邊 玲 長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター・准教授  
 上田 宏 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授  
 荒井 修亮 京都大学大学院情報学研究科・准教授  
 小島 隆人 日本大学生物資源学部・准教授  
 光永 靖 近畿大学農学部・講師

(国立極地研究所)

高橋 晃周 准教授、加藤 明子 助教  
 平成17年～平成19年(3か年)

【研究成果】

近年、地球規模での気候変動が海洋生態系に及ぼす影響が懸念される中、高次捕食魚類の回遊機構にも、海洋温暖化などが影響することが予測されている。例えば、東シナ海では海水温が上昇傾向を示し、その結果南方系の海洋生物の分布が北に拡大している。また、最近 10 年間の対馬海峡周辺海域の漁獲統計によると、同海域で越冬するために来遊するクロマグロ幼魚を対象にした曳縄漁の開始時期は以前の秋から近年は晩秋に移行してきている可能性が指摘されている。これは、海水温の上昇傾向とその拡大が、クロマグロ幼魚の来遊時期、滞在時間(越冬期間)、分布域といった回遊機構に密接に影響しているためと推察されるが、こういった環境変化に対する行動生態に関するより詳細な知見は全くない。そこで、本共同研究では回遊魚が環境変動に伴う時空間的な変化を詳細にモニタリングすることを目的として、(1)回遊魚の行動を詳細に把握するための手法を開発すること、(2)開発した手法を用いて回遊行動に及ぼす影響を検討する、といった点について調査した。

(1) 水中では様々な物理的制約があるために、特に自然環境下での魚の行動を連続観察することはとても難しい。そこで、私たちは魚の動きを連続的に記録する加速度データロガーを使って、サケ科魚類の繁殖行動を自動モニタリングする方法を確立した。ビデオと加速度データロガーを使ってサケの繁殖行動の同時記録を行い、両者のデータを照らし合わせることで、加速度の記録で行動を識別できるか試みた。その結果、加速度の記録のみでメスの行動を 8 種類に分類することに成功した: swimming, nosing, exploratory digging, nest digging, probing, oviposition,

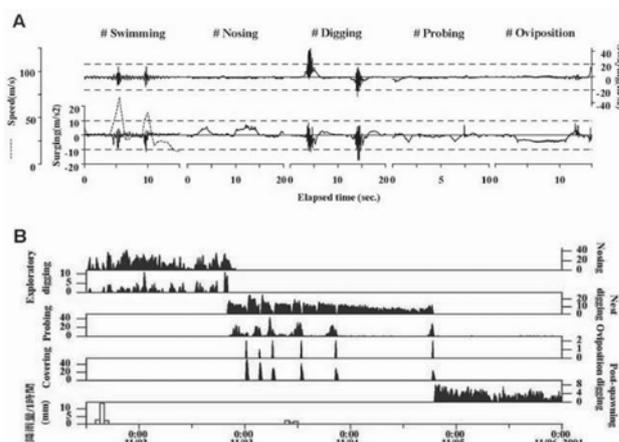


図1 A:分類されたシロサケ雌個体の行動の加速度記録。Diggingはさらに4つに分類可能。B:10分毎の各行動の頻度。加速度波形の特徴から行動を識別することで、時系列上で行動を連続的に見ていくことができる

(2) このモニタリング方法を使って、直接観察の困難な台風が遡上河川付近を通過中の増・濁水状態の川との通常状態(クリアな緩やかな流れ)の川におけるメスの行動記録を比較して、河川環境の変化が産卵期のメスの行動にどのような影響を与えるのかを検討した(図2)。通常状態では上記8つの行動をすべて行って産卵を達成していたが、増水状態では産卵場所を探す行動(nosing, exploratory digging)とswimmingのみ記録され、産卵が行われなかった。記録期間中の行動時間配分は、産卵行動に費やした割合は通常状態では産卵行動に7.2%、増・濁水状態では1.5%であった。また最も多くの時間を占めたswimmingのうち、通常状態では明確に尾鰭を振動させて遊泳していたのが15.6%であったが、増・濁水状態では78%を占めていたこ

とから、台風のような短期的な環境変化はサケの繁殖の成否に影響を及ぼす可能性が示唆された。

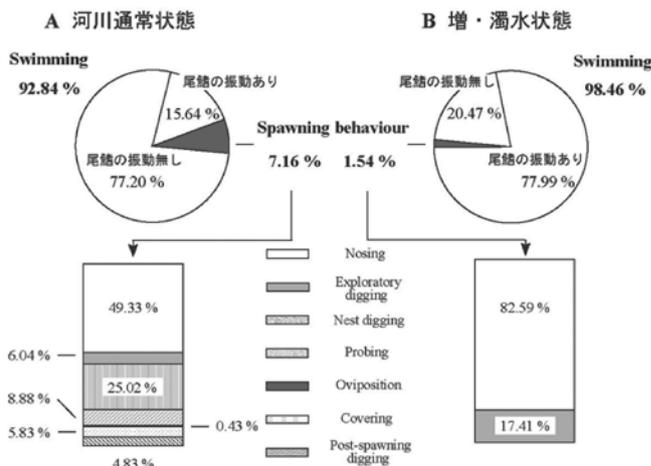


図2 増水・平水状態における行動時間配分。通常状態での産卵行動への時間配分では、産卵場所を探す行動（nosingとexploratory digging）に多くの時間を費やしていた。

【研究発表】

- 1) K. SATO, Y. WATANUKI, A. TAKAHASHI, P. J. O. MILLER, H. TANAKA, R. KAWABE, P. J. PONGANIS, Y. HANDRICH, T. AKAMATSU, Y. WATANABE, Y. MITANI, D. P. COSTA, C-A. BOST, K. AOKI, M. AMANO, P. TRATHAN, A. SHAPIRO and Y. NAITO: (2007) Stroke frequency, but not swimming speed, is related to body size in free-ranging seabirds, pinnipeds and cetaceans. *Proc. Royal Soc. Lond. Ser. B*, 274: 471-477.
- 2) Y. TSUDA, R. KAWABE, H. TANAKA, Y. MITSUNAGA, T. HIRAISHI, K. YAMAMOTO and K. NASHIMOTO: (2006) Monitoring the spawning behaviour of chum salmon with an acceleration data logger, *Ecology of Freshwater Fish*, 15(3): 264-274.
- 3) S. TORISAWA, K. MIYASHITA, R. KAWABE, Y. FUJIMORI, T. OSHIMA, S. HONDA, and K. SATO (2006): A technique for calculating bearing and tilt angles of walleye pollock photographed in trawls with digital still-picture loggers, *Fisheries Research*, 77: 4-9.
- 4) 河邊 玲, 高木 力 (2006) バイオロギングとバイオメカニクスの統合研究によるヒラメの tailbeat-and-gilide 行動の解明, *水産海洋研究* 70: 132-134.

海氷域における低次生産の動態と環境応答に関する生態学的研究

◎田口 哲 創価大学工学部・教授  
服部 寛 北海道東海大学工学部・教授  
斉藤 宏明 東北区水産研究所・室長  
濱崎 恒二 東京大学海洋研究所・准教授  
Sandric Leong 創価大学工学部・助教  
(国立研究所)  
福地 光男 教授  
小達 恒夫 教授  
平成 17 年~平成 19 年 (3 ヶ年)

【研究成果】

2006 年 3 月、2007 年 3 月及び 2008 年 3 月に北海道サロマ湖栄浦沖定点において氷上観測と実験を以下の項目について行った。

アイス・アルジー群集の光適応戦略の解明アイス・アルジー群集を含む海氷底部をコア・サンプラーで採集した後、海氷を溶かした試料を明瓶と暗瓶に注入した。日出前に現場海氷下に設置し 3 時間ごとに試料を採集した。水温、塩分、硝酸塩+亜硝酸塩、リン酸塩、珪酸塩、懸濁有機炭素及び窒素、光合成色素、光合成保護色素の濃度を測定した。さらにクロロフィル蛍光法による光化学系 II の電子伝達速度の測定を行った。

海氷の厚さは 3 年間とも約 45cm であった。アイス・アルジーが生息している海氷底部の照度は天空の光合成有効光子量の約 3% であり、3 年間であまり差はなかった。結氷期間が極端に短かった 2007 年を除き、アイス・アルジーは、季節的によく発達していて、200mgCMA・m<sup>-3</sup> 以上のクロロフィル濃度に達していた。

主たる光合成色素は検出した主な 5 種類の色素の約 50% 以上を占めていた。光合成補助色素と光保護色素の比は 0.86 : 0.14 とほぼ 3 年間で同様であった。優占した珪藻種は *Detonula confervacra*, *Achnanthes taeniata*, 及び *Melosira moniliformis* の 3 種であった。

アイス・アルジーの光化学系 II の電子伝達速

ある Fv/Fm 比は 3 年間で 0.50 から 0.65 の値を示した。また、24 時間の現場実験中もこのような高い値を示し、実験瓶中でアイス・アルジーは活発に光合成を行っていたことが示唆された。電子伝達速度をもとにした電子伝達速度-光曲線から求めた光飽和係数 E<sub>k</sub> は 150µmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 以上であり、アイス・アルジーの生息層に到達する光の 5 倍以上の高い値であった。

サロマ湖で得られた結果を今まで報告されているサロマ湖での値と比較すると光捕獲戦略の指標となる分光特性を見るためにクロロフィル a に対するフコキサンチン比と、クロロフィル c 比を 0.4~0.5 と 0.20~0.20 であり、ほぼ同様の結果となった (表 1)。また、もう一つの光捕獲戦略の指標となる光強度を見るために、クロロフィル a の割合を見ると、54~57% でありほぼ同様の結果となった。さらに光利用戦略の指標となる光強度を見るために、キサントフィルサイクル色素の DD+DT を見ると、2~5% であり、光飽和係数は最大 174µmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> であり、今まで報告されている値よりやや高めの値であった。

サロマ湖で得られた結果と、極域で得られた結果と比較すると以下のようなことが明らかになった。

(1) 光捕獲戦略の指標となる分光特性ではクロロフィル a に対するフコキサンチン比とクロロフ

表 1. 光捕獲戦略と光利用戦略に関係する光生理学的特徴と優占珪藻種の極海氷域と温帯海氷域における比較

Light-harvesting strategy			Light-utilizing strategy		Dominant diatoms	Sources
Spectral composition		Intensity	Intensity			
Fuco/Chl <i>a</i> (mol/mol)	Chl <i>c</i> /Chl <i>a</i> (mol/mol)	Chl <i>a</i> (%)	DD+DT (%)	$E_k$ ( $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		
Polar sea ice						
nd	nd	nd	nd	2.9-5.8	<i>Nitschia stelata</i>	Palmisano and SooHoo (1985)
1.24	0.41	37	1.4	5.9-12.6	<i>Nitschia stelata</i>	Robinson et al. (1995)
1.62	0.45	nd	nd	3.7-8.4	nd	Robinson et al. (1995)
nd	nd	nd	nd	2.1-18	<i>Entomoneis kjellmannii</i>	McMinn et al. (2003)
1.25	0.37	nd	nd	15-25	<i>Nitschia stelata</i> <i>Entomoneis kjellmannii</i> <i>Nitschia stelata</i>	Lazzara et al. (2007)
Temperate sea ice (Saroma-ko Lagoon)						
nd	nd	nd	nd	25	<i>Detonula confervacea</i>	Kudoh et al. (1997)
0.42	0.21	57	2.1	nd	nd	Kudoh et al. (1997)
nd	nd	nd	nd	27-75	<i>Nitschia frigida</i>	McMinn and Hattori (2006)
0.55	0.20	54	5.5	135-174	<i>Detonula confervacea</i> <i>Achnanthes taeniata</i> <i>Melosira moniliformis</i>	Present study

イル c 比は極域のアイス・アルジーでは少なくとも 2 倍以上高くなっていて、光合成有効光子量の短波長の青色光をより効率良く捕獲していることが示唆された。

(2) 光捕獲戦略のもう一つの指標となる光強度では、クロロフィル a の割合を約 70% 位に少しなくして、光合成補助色素であるフコキサンチンとクロロフィル c の割合を増加させていると示唆された。

(3) 光利用戦略の指標となる光強度では、キサントフィル色素の DD+DT の割合は、極域のアイス・アルジーは 50% 以下に減少されていることが示唆された。また光飽和係数は  $2.5 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下と明らかに低い値となり、より弱光下に光適応していることが示唆された。

このように両海域の光適応の戦略を比較することにより、アイス・アルジーの光適応戦略の遷移の程度を明らかにすることができる。

#### 【研究発表】

- 1) McMinn, A., Hirawake, T., Hamaoka, T., Hattori, H., and Fukuchi, M. (2005) Contribution of benthic microalgae to ice covered coastal ecosystems in northern Hokkaido, Japan. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 85: 283-289
- 2) McMinn, A., and Hattori, H. (2007) Effect of time of day on the recovery from light exposure in ice algae from Saromako lagoon, Hokkaido. *Polar Bioscience* 20: 30-36.
- 3) Hamasaki, K., Taniguchi, A., Tada, Y., Long, R.A., Azam, F. Actively growing bacteria in the Inland Sea of Japan, identified by combined bromodeoxyuridine immunocapture and denaturing gradient gel electrophoresis., *Appl Environ Microbiol*, 73, 2787-2798, 2007.
- 4) Taniguchi, A. and Hamasaki, K., Community structures of actively growing bacteria shift along a north-south transect in the western North Pacific. *Environ Microb.*, in press.
- 5) Obata, n. and Taguchi, S. (2008) Photoadaptation of an Ice Algal Community in Temperate Sea Ice *J. Plankt. Res.* (submitted).

## 極域の湖底堆積物による環境と生物の変遷に関する生物地球化学的研究

◎井上源喜 大妻女子大学社会情報学部・教授  
高松信樹 東邦大学理学部・教授  
瀬戸浩二 島根大学汽水域研究センター・准教授  
(国立極地研究所)  
神田啓史 教授, 伊村 智 准教授  
平成 17 年～平成 19 年 (3 か年)

### [研究成果]

#### 1. はじめに

人類活動による地球温暖化の将来を予測するためには、過去の地球環境変動を解明することが重要である。極域は氷期と間氷期の環境変動が顕著に現れる場所で、地球上における長期環境変動とそれに伴う生物の変遷を解明するには最適の場所である。本研究では南極の昭和基地周辺の大池やなまづ池等の湖底堆積物コア中の有機成分等により、完新世における環境変動と生物変遷の推定を行った。また、ユーラシア大陸北東部における長期環境変動と生物構造の変遷を解明するために、バイカル湖集水域のモンゴル・フスグル湖の湖底堆積物コアについて検討を行った。

#### 2. 昭和基地周辺の完新世における環境と生物の変遷

昭和基地周辺の湖底堆積物コア (なまづ池, 大池) 中の有機成分を指標として過去 2,300 年間の環境変動を推定した。大池ではこの間に大きな環境変動はなかったが、なまづ池では 1,100 年前頃より全有機炭素/全窒素比が大きくなり、コケ植物が増加したと推定される。炭化水素、脂肪酸、ステロール組成は深度により大きく変動し、起源生物が変動したことが示唆された。また、南極の昭和基地周辺のスカーレン大池等の堆積物コアにより、氷床の後退に伴う海洋から湖に変遷するプロセスを年代測定データと有機成分により検討を行っている。

#### 3. フスグル湖における氷期・後氷期の環境と生物の変遷

モンゴル・フスグル湖の最終氷期から後氷期に関しては、グラビティコア (X106, HV05ST2, HV05ST3) を用い詳細な検討を行った。グラビティコア (長さ 130 cm 以下, 堆積年代 24,000 年間以内) は、最終氷期から現在に至る詳細な情報が含まれていた。フスグル湖で採取された堆積物コアは、主として石灰質の粘土とシルトから構成されていた。加速器質量分析計によると、X106 堆積物コアの堆積年代 (conventional age) は、表層が 710 年前でコア底 (130 cm) では 24,000 年前と見積もられる。氷期には堆積速度が大きく (7.1 cm/ka), 完新世では小さかった (4.5 cm/ka)。

X106 堆積物コアの氷期における全有機炭素 (TOC) 濃度は 0.20~0.70%であったが、後氷期に向かって急激に増大し 10 倍以上の 3.2~5.9%に達した。また、同時に外来性有機物の寄与が増大した。Bolling-Allerod 温暖期 (55~50 cm, 13,000~12,000 年前) および Younger-Dryas Event (50~45 cm, 12,000~11,000 年前) がみられた。炭化水素、脂肪酸およびステロールなどのバイオマーカーからは、氷期から後氷期にかけて生物生産量が増加すると同時に、草本植物から高木植物に遷移したことが明らかになった。ノルマル-C<sub>31</sub> アルカンおよび *n*-C<sub>18</sub> アルカノイック酸は、氷期から後氷期に向かって減少したが、逆に *n*-C<sub>23</sub> アルカンおよび *n*-C<sub>22</sub> アルカノイック酸が増加した。氷期にはヨモギなどの草本植物がわずかに分布していたが、

後氷期に向かってマツ、シラカンバやカラマツなどの高木植物に遷移し現在の植生になったことが明らかになった。このことは花粉化石の分析結果とも調和的であった。また、花粉化石の Steppe Forest Index (SFI) でも、氷期の草本植物から後氷期の高木植物に遷移したことが示されている。

光合成色素誘導体である steryl chlorin esters-*a* (SCEs-*a*) は、フスグル湖の湖底堆積物中で安定なため、湖内の一次生産の指標になることが明らかになった。HV05ST2 および X106 堆積物コアにおける SCEs-*a* は、ほぼ同様な深度変化を示した。X106 の <sup>14</sup>C 年代を基準とすると、SCEs-*a* 濃度は 15,000 年前からしだいに増加し、Younger Dryas Event で一時的に減少するものの再度増加した。HV05ST2 および X106 堆積物コアのカロテノイド類は、きわめて低濃度であるか不検出であったが、氷期末における chlorophyll-*b* 誘導体, canthaxanthin, lutein, diatoxanthin および zeaxanthin の存在は、緑藻類, シアノバクテリア および ケイソウ が後氷期前に増加したことの証左であろう。

スタノール/ステロール比からは湖底の酸化還元状態を検討すると、24,000~18,000 年前は比較的酸化的で 18,000 年前から現在に向かっては酸化度のレベルが低下したと推定される。

#### 4. フスグル湖における第四紀後期の環境と生物の変遷

長期環境変動と生物構造の変遷に関しては、HDP04 堆積物コア (81 m) を用い過去約 100 万年間について検討を行った。HDP04 堆積物コアは全体が石灰質でシルト・粘土から成り、数十カ所にタービダイト層が観察された。HDP04 堆積物コアの 57.46 m には Brunhes-Matuyama boundary (78 万年前) が、77.84 m には Jaramillo Chron (99 万年前) の末端がみられた。HDP04 堆積物コアの最深部 (81.0 m) における堆積年代は 103 万年前と見積もられ、平均堆積速度は 8.6 cm/ka で、バイカル湖のアカデミシャンリッジ (3.8 cm/ka) よりはかなり大きかった。

HDP04 堆積物コアの TOC 濃度と海洋の Marine Oxygen Isotope Stage (MIS) の間には、氷期と間氷期の厳密な対応関係はみられなかった。フスグル湖ではグローバルな環境変動の影響よりもローカルな環境変動の影響が強く反映されているといえよう。しかしながら、これらの間には次のような関係があると考えられる：深度 76 m (MIS 25), 63 m (MIS 22), 61 m (MIS 21), 57 m (MIS 19), 53 m (MIS 18), 50 m (MIS 17), 46 m (MIS 16), 44 m (MIS 15), 39 m (MIS 14), 35 m (MIS 13), 31 m (MIS 12), 26 m (MIS 11), 23 m (MIS 10), 20 m (MIS 9), 16 m (MIS 8), 14 m (MIS 7), 9 m (MIS 6), 8 m (MIS 5) および 1 m (MIS 1)。特に TOC 濃度が高い深度 75 m (MIS25), 50 m (MIS17), 35 m (MIS13), 27 m (MIS11), 14 m (MIS7) および 1~0 m (MIS1) は温暖期に対応し、逆に TOC 濃度の低い 63 m (MIS22), 40 (MIS14), 23 m (MIS10), 17 m (MIS8) および 10 m (MIS6) は寒冷期に対応すると推定される。

TOC/TC (全炭素) は 10~80% で 20%前後が多く、フスグル湖ではバイカル湖と異なり、炭酸塩が多く含まれていることが明らかとなった。特に TOC/TC 比が 10% 以下となる深度約 40 m では、無機炭素が多く乾燥気候と一致する。含水率の深度分布は、TOC 濃度の変動と類似し、含水率の高い層は珪藻殻を多く含む有機物濃度も高いものと考えられる。

炭化水素、脂肪酸、ステロールおよびフェノールカルボン酸の組成およびそれらの変化からは、流域の植生は大きく変動したことが示された。C<sub>29</sub> / (C<sub>27</sub> + C<sub>29</sub>)

ステロール比 (%) のパターンと TOC/TN (全窒素) 比から求めた外来性有機物のパターンには類似性がみられるが、 $C_{29}/(C_{27}+C_{29})$ ステロール (%) 比は、約 60% と TOC/TN 比から求めた外来性有機物の寄与率の 27.4% よりかなり高く、 $C_{29}$  ステロールの一部が、外来性有機物だけでなくプランクトン由来の自生性有機物にもかなり含まれているためと考えられる。

フブスグル湖における過去 100 万年間の環境変動と、自生性生物群集 (藻類および光合成細菌) を解明するために、HDP04 堆積物コアの植物色素の SCEs-a, およびカロテノイド類 (zeaxanthin, lutein,  $\beta$ -carotene, diatoxanthin, alloxanthin) を測定し、これらの色素が 100 万年間にわたりフブスグル湖で存在することが、本研究を通して始めて明らかになった。SCEs-a 濃度変動パターンは TOC 濃度パターンと類似し、一次生産を反映することが示された。HDP04 コア中における SCEs-a 濃度は、深さ 50 m 程度まで約 5~7 m 間隔で増減を繰り返す。これらの深度変化は、湖内植物プランクトンの消長が寒冷期・温暖期サイクルに連動していることが強く示唆された。

HDP04 コア中の 20 m 以浅では、カロテノイド類の濃度が低かったが、20 m 以深において、lutein (緑藻), zeaxanthin (ピコシアノバクテリア),  $\beta$ -carotene (すべての藻類; ただしピコシアノバクテリアの含有量は高い), *cis*-alloxanthin (クリプト藻類), *cis*-diatoxanthin (珪藻・渦鞭毛藻など) が高い濃度で検出され、SCEs-a 濃度と連動していることが見出された。興味深いことに、バイカル湖の最終氷期以前に対応する堆積層からは、残存するカロテノイド類が全く検出されていないことから、フブスグル湖とバイカル湖では、カロテノイド類の保存状態に大きな違いがあることが明らかとなった。カロテノイド類が検出される層では、zeaxanthin がもっとも高く、ピコシアノバクテリアによる一次生産が卓越することが示唆され

た。現在のフブスグル湖でも、ピコシアノバクテリア (*Synechococcus* sp.) が夏季のピコファイトプランクトンの優占種であるとの報告がある。

一方、緑色硫黄細菌 (*Chlorobium*) に特異的な bacteriochlorophylls-*e* および isorenieratene が深度 18~20 m にのみ検出され、湖内の有光層の一部が硫化水素を含む還元状態になったことが強く示された。また、深度 21~52 m ではカロテノイド類が SCEs-a より卓越し、乾燥気候により水位が大きく低下したことが推定されている。

## 5. バイカル湖とフブスグル湖の比較

最終氷期から後氷期におけるフブスグル湖の X106 堆積物コアの TOC, TN および植物色素 (SCEs-a, カロテノイド類) 濃度, TOC/TN 比ならびに外来性有機物のパターンは、バイカル湖のアカデミシャンリッジから採取された VER96-2 ST3GC 堆積物コアなどと同様であった。フブスグル湖とバイカル湖はグローバルな環境変動の影響を受け、同様な変動が起こっていることが明らかになった。最終氷期から後氷期に向かいフブスグル湖の SCE-a およびカロテノイド類濃度は、バイカル湖と同様に急激に増加し、温暖化に伴い生物生産量が増加していることが示された。しかしながら、フブスグル湖の後氷期における TOC 濃度はバイカル湖のそれらよりかなり高く、フブスグル湖はバイカル湖より水深がかなり浅いため、水柱における有機物の分解が少ない。また、フブスグル湖の年平均気温は -4.6°C とバイカル湖の -2°C よりかなり低い。そのためフブスグル湖における有機物の保存状態がバイカル湖よりよいと判断される。一方、フブスグル湖における外来性有機物の寄与率はバイカル湖よりかなり大きく、湖面積の小さなフブスグル湖が陸生植物の影響を大きく受けているためと言えよう。

### [研究発表]

- 1) Matsumoto G. I., Komori K., Enomoto A., Imura S., Takemura T., Ohya Y., Kanda H. (2006) Environmental changes in Syowa Station area of Antarctica during the last 2300 years inferred from organic components in lake sediment cores. *Polar Biosci.* 19, 51-62.
- 2) 井上源喜, 碓井千穂, 水澤沙織, 谷 幸則, 長谷義隆, 平城兼寿, 村上拓馬, 馬場 健, Dondovyn Tomurhuu, Tserentsegmid Oyunchimeg, Narantsetseg Tserendash (2006) モンゴル・フブスグル湖の現地調査と湖底堆積物コアによるユーラシア大陸北東部における氷期から後氷期の環境変動の推定. 2005 年度日本 BICER 協議会年報, 16-21.
- 3) 谷 幸則, 井上源喜, 相馬光之, 相馬悠子, 橋本伸哉, 河合崇欣 (2006) フブスグル湖堆積物中の植物プランクトン由来色素からの湖水環境変動の推定. 2005 年度日本 BICER 協議会年報, 22-26.
- 4) 村上拓磨, 高松信樹, 山本鋼志, 井上源喜, 堀内一穂, 小田武文, 河合崇欣 (2006) 過去 24,000 年間におけるモンゴル・フブスグル湖堆積物中の無機元素の挙動. 2005 年度日本 BICER 協議会年報, 38-41.
- 5) 村上拓馬, 勝田長貴, 山本鋼志, 高松信樹, 井上源喜, 堀内一穂, 河合崇欣 (2007) モンゴル・フブスグル湖堆積物コア試料 X106 の全岩化学組成と鉱物組成の分析. 2006 年度日本 BICER 協議会年報, 18-22.
- 6) 井上源喜, 鈴木ひとみ, 佐藤美沙, 巻嶋美沙子, 中村佳代, 安西葉子, 千ヶ崎瞳, 谷 幸則, 長谷義隆, 河合崇欣, 竹村哲雄 (2007) モンゴル・フブスグル湖の湖底堆積物コア (HDP-04) の有機成分によるユーラシア大陸北東部における長期環境変動の推定. 2006 年度日本 BICER 協議会年報, 28-31.
- 7) 長谷義隆, 井上源喜, 米村康祐, 渡邊隆広, 平城兼寿, 谷 幸則, 馬場 健, Dondovyn Tomurhuu, Tserentsegmid Oyunchimeg, 中村俊夫, 河合崇欣 (2007) モンゴル, フブスグル湖湖底堆積物表層コア (HV05-2, HV05-3) の対比と花粉分析. 2006 年度日本 BICER 協議会年報, 32-40.
- 8) Matsumoto G. I., Suzuki H., Sato M., Makishima M., Anzai Y., Chigasaki H., Tani Y., Hase Y., Takemura T. and Kawai T. (2008) Paleoenvironmental changes in the northeast Eurasia during the last 1 million years inferred from organic components in HDP-04 sediment core from Lake Hovsgol, Mongolia. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* (in press).

南極海における底生生物の分類・分布及び成長・生理に関する研究

◎沼波秀樹 東京家政学院大学家政学部・准教授

岩見哲夫 東京家政学院大学家政学部・教授

窪寺恒己 国立科学博物館動物研究部・室長

平野保男 名古屋港水族館・係長

松田 乾 名古屋港水族館・上級主任

(国立極地研究所)

福地光男教授, 渡邊研太郎教授

平成 17 年～平成 19 年 (3 カ年)

【研究成果】

近年, 南極海洋生態系の構造と機能に関しては表層の低次生産者・低次消費者や高次消費者である大型動物などを中心に研究が進められてきた。しかし, 南極海の海底には莫大な量の底生生物が生息しているが, 分類・分布・生態に関する知見は少なく, その収集は生態系全体を把握する上で不可欠である。そこで南極海洋生態系における底生生物の役割の一端を明らかにするため, JARE の主調査域である東南極域の底生生物相の把握と分類・分布の検討, 生物の群集構造解析などに必要不可欠な成長速度や繁殖に関する情報の収集を目的とした。特に名古屋港水族館で飼育されている底生生物を用いた成長速度の推定や発生過程の解明を中心に研究を行った。

1. 南極海産腹足類の成長速度の推定と繁殖

ナンキョクバイ *Neobuccinum eatoni* は南極海域で普通に見られる殻長 70 mm ほどのエゾバイ科の巻貝であるが, その成長に関する知見はない。そこで名古屋港水族館で飼育されているナンキョクバイについて, 一定期間毎に殻長, 殻幅, 湿重量を測定し, 成長速度を推定した。飼育水槽内の環境は水温 0～0.6℃, 塩分濃度 33.0～34.5‰, pH7.8～8.0 で, マアジ, スルメイカ, サルエビ, アサリ, ナンキョクオキアミを 1 週間に 1 回給餌した。ナンキョクバイは 8mm 台 (飼

育開始時 8 個体; 殻長 6.7-8.9 mm), 15 mm 台 (同 6 個体; 殻長 14.3-16.5 mm), 18 mm 台 (同 8 個体; 殻長 17.4-19.0 mm), 25 mm 台 (同 23 個体; 殻長 24.1-25.9 mm), 30 mm 台 (同 10 個体; 殻長 29.3-30.6 mm), 40 mm 台 (同 14 個体; 殻長 38.1-43.9 mm), 50mm 台 (同 10 個体; 47.5-55.8 mm) と殻長別に水槽を分け, 870～950 日間飼育し成長速度を測定した。その結果, 1 年間の平均成長量は殻長で 2.72 mm, 湿重量で 0.85g であった。また, 殻長別の年間平均成長量は 8 mm 台で殻長 2.84 mm・湿重量 0.25g, 15 mm 台で 3.99 mm・0.97g, 18 mm 台で 4.84 mm・1.45g, 25 mm 台で 3.93 mm・1.81g, 30 mm 台で 2.89 mm・1.50g, 40 mm 台で 1.18 mm・1.16g, 50mm 台で 0.27 mm, 湿重量-0.60g であった。8, 15, 18, 25, 30 mm 台の個体では殻長・湿重量共に増加しており順調に成長している。しかし 40 mm 台では成長速度が遅くなり, 50mm 台では死亡した個体による影響も考えられるが成長はほとんど停止していた。

エゾバイ科貝類の成長速度に関する研究は少ないが, 北西太平洋の水深 300～600 m に分布するシライトマキバイでは 1.8～7.9 mm・4.3～14.9g/年 (Ilano et al., 2004), 本邦浅海域に分布するバイでは約 25 mm/年 (猪野, 1950) であることが報告されている。ナンキョクバイの成長速度は 0.27～4.84 mm/年, 平均 2.72 mm/年であり, これら浅海・深海産の同科貝類に比べ著しく遅いことが明確にな

った。また成長速度と繁殖の関係であるが、同水族館では殻長 40 mm を超えると初めて産卵することが観察されている。今回の結果から、飼育環境下であるが、産卵可能サイズの殻長 40 mm に成長するまで約 15 年、成長が停止する殻長 50 mm になるまで約 18 年かかると推定された。

現在も飼育・測定は継続しており、今後は、成長速度に加え、殻の成長と殻口や蓋の形態の相対変化を観察して、フィールドで採集された個体の年齢査定に応用したいと考えている。

また、ナンキョクバイの他に *Chlanidota elongata* (エゾバイ科), *Chlanidota densesculpta* (エゾバイ科) の 2 種に関しても成長量を測定したが、両種とも個体数が少なく、成長速度の推定は困難であった。

## 2. 南極海産腹足類の発生過程の解明

名古屋港水族館で飼育され、産卵しているナンキョクバイと *Harpovoluta charcoti* (ガクフボラ科) の発生過程について観察した。2 種とも南極海で普通に見られる腹足類で、多数の卵を包み込んだ卵嚢を産む。ナンキョクバイの卵嚢は直径約 8mm のドーム型をしていて、1 卵嚢中に約 14000~25000 個の卵が含まれるが、発育胚は 1 個で残りは栄養卵であった。産卵から幼生が卵嚢外へ這い出すまで約 14 ヶ

月かかるが、その期間のトロコフォア幼生から匍匐幼生までの標本を採取できた。今後は得られた標本について電子顕微鏡などによる観察を行い、詳細な発生過程図を作製する予定である。*Harpovoluta charcoti* は直径約 30mm の低いドーム状の卵嚢を産むことが明らかになった。本種では、ナンキョクバイとは異なり、1 卵嚢中には長径約 3mm の卵が十数個入っており、全て発生する。発生期間は 2 年以上と推定され、現在でも卵嚢中で発生を続けている。

これらの腹足類は大型になり、南極海でも繁栄している種である。今後は、繁殖様式と種としての繁栄との関連性についても検討する。

## 3. 底生生物の分布

国立極地研究所が進めている「極域動物標本データベース」に関連した標本整理に協力し、これまで JARE で採集された底生生物に関して採集場所・水深などの諸情報を得ることができた。

これらの研究成果の一部は極域生物シンポジウムや日本貝類学会で発表した。また国立極地研究所編の「南極大図鑑」の分担執筆など、一般向けのアウトリーチも行った。今後、研究成果を *Polar Science* などへ投稿する予定である。

## 【引用文献】

Llano, A. S., A. Ito, K. Fujinaga and S. Nakao (2004): Age determination of *Buccinum isaotakii*

(Gastropoda: Buccinidae) from the growth striae on operculum and growth under laboratory conditions. *Aquaculture*. 242 (1-4): 181-195.

猪野 峻 (1950) : バイ (*Babylonia japonica* Reeve) の生活史及びその増殖方法. 水産動物の研究 (1).

## 【研究発表等】

岩見哲夫 (2007) : 魚類. 南極大図鑑. 国立極地研究所編, 小学館, 東京, 130-133.

沼波秀樹, 松田 乾, 平野保男 (2006) : 飼育環境下における南極海産腹足類ナンキョクバイ (エゾバイ科) の成長速度. 第 28 回極域生物シンポジウム, 国立極地研究所.

沼波秀樹, 松田 乾, 平野保男 (2006) : 飼育環境下における南極海産エゾバイ科貝類の成長速度. 日本貝類学会, 東京海洋大学.

沼波秀樹 (2007) : 底生生物. 南極大図鑑. 国立極地研究所編, 小学館, 東京, 134-137.

## 衛星マルチセンサーによる極域および高緯度海域の基礎生産過程の研究

◎齊藤 誠一 北海道大学大学院水産科学研究科・教授  
石丸 隆 東京海洋大学海洋科学部海洋環境学科・教授  
永延 幹男 独立行政法人水産総合研究センター遠洋水産研究所・室長  
平譚 享 北海道大学大学院水産科学研究科・准教授

(国立極地研究所)

福地光男 教授  
渡邊研太郎 教授

平成17年～平成19年（3か年）

### 研究成果

本研究の成果の代表的なものとしてベーリング海、オホーツク海、チャクチ海における研究成果を紹介する。特に、2007年はIPY（国際極年）の一環として、ベーリング海およびチャクチ海で現場観測を実施した。

#### 1. はじめに

オホーツク海とベーリング海は北半球で隣接する半閉鎖的な亜寒帯縁辺海である。地理学的にはほぼ同じ緯度に属し、水深200m以浅の広大な大陸棚域と2000m以深の海盆域に分けられる。どちらの海洋も季節海氷が発達（オホーツク海は全面結氷に対して、ベーリング海は北部のみ）し、反時計回りの循環流が存在する。また、大陸棚域では潮汐混合が他の海域に比べて卓越している。生物面では非常に豊富なプランクトンバイオマスに支えられた豊富な漁業資源が存在する反面、生物多様性は低く環境変化を受けやすいという特徴を持つ。

両海洋の特徴である高いプランクトンバイオマスは近年の研究により大きく変動することが示されている。特にベーリング海のバイオマスは過去30年間に1976/77年や1998/99年の2度のレジームシフトを経て、大きく変動していることが多くの物理・生物学的研究から指摘されている。このレジームシフトに伴って、基礎生産プロセスが変動し、さらに動物プランクトンの摂餌に影響し、最終的には大型魚の新規加入にも影響することが示唆されている。したがって、一次生産者である植物プランクトンのバイオマス変動メカニズムを明らかにすることは、これらの海における生物資源変動を考える

上で不可欠である。

これまで、オホーツク海・ベーリング海における植物プランクトンバイオマスの時空間変動に関する研究がなされており、海氷変動や海上風変動が植物プランクトンの春季ブルームに影響することが示唆されている（Saitoh et al., 1996 and 2002）。しかしながら、両海洋を総観的に捉えて比較をした研究は今までにない。また両海洋の海氷変動がアリューシャン低気圧とシベリア高気圧の変動によってシーソー型に変動することが明らかになっているが、その生物生産過程に対する影響は明らかになっていない。以上を踏まえて、海洋生態系グループでは、両縁辺海における気候変動と関連した植物プランクトンバイオマス、基礎生産量の変動メカニズムを明らかにすること、すなわち海洋生態系の気候変動への応答メカニズムを明らかにすることを目的とした。さらに、最終年度の2007年は国際極年（IPY: International Polar Year）にあたり、北海道大学水産学部附属練習船おしよる丸を利用した海洋フィールドキャンペーンを実施した。オホーツク海・ベーリング海の亜寒帯縁辺海に加えて、チャクチ海でも観測を実施し、近年注目されている北極海の温暖化にも関連して調査対象海域を広げた。

#### 2. 海洋生態系の気候変動への応答

##### 2-1. 円石藻類ブルームの衛星観測

1997年秋、南東ベーリング海において大規模な円石藻類 *Emiliania huxleyi* ブルームが観測され（Vance et al., 1998）、その後ブルームの発生が報告されている（Napp and Hunt, 2001; Iida et al.,

2002)。また近年ベーリング海ではサケの回帰率の減少や海鳥、トドの減少などの生態系変動が起こっているが、その関連性も指摘されている。

本研究では、現場光学観測結果を基にベーリング海における *Emiliana huxleyi* ブルームの修正アルゴリズムを用いて、人工衛星データにより *Emiliana huxleyi* ブルームの時空間変動を判別した結果を示し、さらにマルチセンサーリモートセンシングと海洋観測から見た *Emiliana huxleyi* ブルーム発生の物理的要因について考察した。

SeaWiFS データから正確な *Emiliana huxleyi* ブルームの判別が可能になったことから、その値を用いて 1998 年から 2006 年までの SeaWiFS および MODIS データの再処理を行い *Emiliana huxleyi* ブルームの時空間変動の解析を行った。

*Emiliana huxleyi* ブルームは 1998 年移行毎年発生しており、特に 1998 年、2000 年 6 月と 2000 年、2003 年 9 月の規模が大きかった。空間的変動に注目すると、*Emiliana huxleyi* ブルームは 6 月から 10 月にかけて水深 20m から 200m 付近の大陸棚上に分布していることがわかる。*Emiliana huxleyi* は特に亜寒帯海域では成層化した水塊の上層に発達しやすいといわれている。東部ベーリング海大陸棚では冬季に季節海氷が発達し、その海氷に伴って低温高塩分のブラインは排出される。ブライン水は大陸棚の水深 20m から 100m 付近に溜まり、冷水塊として翌年秋に再度混合されるまで存在する。上部は春から夏にかけての日射増加に伴って暖められ、成層が顕著に発達する。そのことにより *Emiliana huxleyi* はその成層化した上部に特異的に発生することが示唆される。

そして、6 月から 10 月までの総面積に対する 9 月の面積の比をとると増加傾向があることが明らかになった。これは、春から夏にかけてより、秋に *Emiliana huxleyi* ブルームが相対的に増加する傾向があり、夏から秋にかけて、なんらかの *Emiliana huxleyi* にとって有利な栄養塩環境や物理環境が形成されている可能性がある。

## 2-2. 亜寒帯縁辺海の比較海洋学的研究

オホーツク海とベーリング海におけるクロロフィル *a* (Chl-*a*) 濃度の時空間変動とその要因を明らかにするために、本研究では 1998 年 1 月から 2004

年 12 月における Orbview2/SeaWiFS による月平均及び 8 日間平均の Chl-*a* 濃度データを用いた。また、衛星による Chl-*a* 濃度と表面水温データからモデルにより基礎生産量を推定した。Chl-*a* 濃度変動は季節、経年変動成分に分けて解析を行った。特に Chl-*a* 濃度の経年変動については Empirical Orthogonal Function (EOF) 解析を用いて変動の定量化を行った。EOF 解析を行う前処理として、雲によるランダムな欠損値の影響を取り除くために空間統計的手法を用いてデータ補間を行った。補間は地球統計学的手法であるセミバリオグラムを用いて Chl-*a* 濃度の空間的な相関関係を求め、空間相関係数で重み付けしたクリギング法により補間した。

さらに Chl-*a* 濃度の経年変動要因を解析するために、DMSP/SSMI による海氷密度、NCEP/NCAR 再解析データによる海上風・太陽放射照度の各データを用いて解析を行った。海上風、太陽放射照度は SeaWiFS の Chl-*a* データ同様に EOF 解析を行い、それぞれの各モードと Chl-*a* 濃度の EOF 解析結果と比較した。また、海上風や太陽放射照度の変動要因となるアリューシャン低気圧の挙動を解析するために海面気圧と Chl-*a* 濃度の経年変動との関係を調べた。

最後に、プランクトンの増殖と減少の過程およびそのメカニズムを明らかにするために、鉛直一次元海洋物理-生態系モデルを用いた再現実験を行った。モデルは 9 つのコンパートメントを持つ生態系モデルで、境界条件として海氷による光制限項及び海上風向風速・表面水温から計算される混合層深度の変動と Chl-*a* 濃度や動物プランクトンバイオマス変動を再現することで、それら物理パラメータの変動とプランクトン増殖との関係とメカニズムを調べた。

両縁辺海における Chl-*a* 濃度の経年変動について EOF 解析を行なった結果、両海洋における Chl-*a* 濃度の EOF 第一モードから第三モードまですべて、春季における時空間変動を示し、全変動の約 40% を占めた。空間的には、オホーツク海では北部陸棚域やシェリコフ湾、サハリン東部沿岸における変動が最も大きかった。ベーリング海では東部陸棚域、中央部のナバリン溪谷付近、西部ベーリング海陸棚斜面域付近での変動が大きく、特に東部陸棚域と西部ベーリング海陸棚斜面付近では、一方が高いと一方が低いというシーソーの関係にあった。時間的には

オホーツク海では5月から6月にかけて春季ブルームのタイミングが経年変動し、ベーリング海は4月から6月の期間で経年変動が大きかった。

両海洋における春季ブルーム変動に大きな影響を与えているアリューシャン低気圧の変動は、1998年や2001年の場合、アリューシャン低気圧は通常よりも東側のアラスカ付近に位置し、ベーリング海の東部において南風が5月頃まで卓越することから、春季ブルームのタイミングが遅れた。相対的にベーリング海の西部やオホーツク海付近では高気圧帯となり、春季ブルームのタイミングは早くなった。オホーツク海北部陸棚域では高気圧から吹き出す北風が卓越し、海氷融解が遅れ、春季ブルームの時期は例年よりも遅くなった。したがって、両海洋における春季ブルームのタイミングには北太平洋における大規模な気候システムの変動が影響していることが示唆された(Iida and Saitoh, 2007)。夏季・秋季のブルームに関しては、それに影響を与えている中規模渦現象について研究が進んでいる(Mizobata et al., 2004 and 2006)

### 3. 現場海洋観測

#### 3-1. オホーツク海における現場観測

海洋観測はロシア気象水文研究所所属の研究船クロモフ号により、2006年8月13日から9月12日までの期間に実施した。各観測点においてCTD観測およびニスキンXによる採水を行った。化学観測項目として、栄養塩、炭酸系、溶存・粒状鉄、フロンの各濃度を測定した。また、生物観測項目として、ターナーAU10によるクロロフィルa濃度(サイズ分画および全量)、HPCLによる植物プランクトン色素濃度、PAMによる光合成活性、擬似現場法による基礎生産量、バクテリア濃度の各観測を行った。

昼間の観測点では光学観測を実施した。水中光学観測はBiospherical社のMER-2040を用いて、水中における照度・輝度の観測を行った。表面における輝度はTriOS社のRAMSESハイパースペクトル輝度計を用いて測定を行った。その際、海面における反射屈折の影響を取り除くために、漂流ブイにRAMSESを直接取り付けることにより観測を行った。

現場観測と衛星観測より、粒子による散乱強度が示される後方散乱係数 $bb(551)$ 画像からアムール川河口域における懸濁物質分布を推定すると、散乱が強い海域はアムール川のごく河口域に限られた範囲であった。対して溶存物質濃度により影響をうける吸収係数 $a(412)$ では、河口域からサハリン沿岸に沿って吸収係数が高い海域が南に広がっていることが示された。このことは、粒状物質(粒状鉄など)は河口で急速に沈降するが、溶存物質は広く表層に分布し水平的に輸送されていることを示していた。

#### 3-2. IPY 海洋フィールドキャンペーン

2007年7月24日から8月3日までがLeg.2(ベーリング海)、8月5日から8月15日までがLeg.3(チャクチ海)とふたつのLegにわけて、IPY海洋観測計画を実施した(図1)。8月4日にはNomeにおいて1日のミニワークショップを開催した。

##### (1)Leg.2

35点のCTD観測を実施した。ユーコン川河口沖合いでグリッド観測を実施し、河川水文グループと共同で観測データを解析中である。

##### (2)Leg.3

32点のCTF観測を実施した。ベーリング海峡の北部でセジメント観測を実施した。チャクチ海北部では $14^{\circ}\text{C}$ を超えるような高い海面水温を観測した。今回到達した最北端の北緯71度では、海氷はすでに北上して観察できなかった。

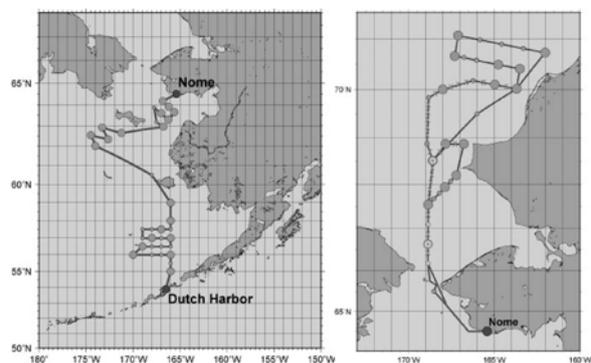


図1 おしよる丸によるIPY海洋観測点(左:Leg.2; 右:Leg.3)

[参考文献]

- Iida, T. and S.-I. Saitoh, (2007) Temporal and spatial variability of chlorophyll concentrations in the Bering Sea using empirical orthogonal function (EOF) analysis of remote sensing data, *Deep-sea Research II*, doi:10.1016/j.dsr2.2007.07.031.
- Iida, T., Saitoh, S., Miyamura, T., Toratani, M., Fukusima, H. and Shiga, N. (2002) Temporal and Spatial Variability of Coccolithophore blooms in the Eastern Bering Sea, *Progress in Oceanography*, 55, 165-175
- Mizobata, K. and Saitoh, S.-I., (2004) Variability of Bering Sea eddies and primary productivity along the shelf edge during 1998-2000 using satellite multi-sensor remote sensing. *Journal of Marine Systems*, 50, 101-111.
- Mizobata, K., Wang, J. and Saitoh, S.-I. (2006), Eddy-induced cross-slope exchange maintaining summer high productivity of the Bering Sea Shelf Break. *Journal of Geophysical Research*, 111, C10017, doi:10.1029/2005JC003335.
- Napp, J. M. and Hunt, G. L. Jr. (2001) Anomalous conditions in the southeastern Bering Sea, 1997: linkages among climate, weather ocean, and biology. *Fisheries Oceanography*, 10, 61–68
- Saitoh, S., Kishino, M. Kiyofuji, H. Taguchi, S. and Takahashi, M. (1996) Seasonal variability of phytoplankton pigment concentration in the Okhotsk Sea. *Journal of remote sensing society of Japan*, 16(2), 86-92.
- Saitoh, S., Iida, T. and Sasaoka, K. (2002) A description of temporal and spatial variability in the Bering Sea spring phytoplankton blooms (1997-1999) using satellite multi-sensor remote sensing. *Progress in Oceanography*, 55, 131-146.
- Vance, T.C., Baier, C. T., Brodeur, R. D., Coyle, K. O., Decker, M. B., Hunt, G. L. Jr., Napp, J. M., Schumacher, J. D., Stabeno, P. J., Stockwell, D., Tynan, C. T., Whitledge, T. E., Wyllie-Echeverr, T. and Zeeman, S. (1998) Aquamarine waters recorded for first time in eastern Bering Sea. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 79, 122 and 126

[研究発表]

- 1) Sasaki, H., T. Miyamura, **S. Saitoh**, and J. Ishizaka: Seasonal variation of absorption by particles and colored dissolved organic matter (CDOM) in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64:447-458, (2005).
- 2) Ohshima, K. I., M. Wakatsuchi and **S. Saitoh**: Velocity Field of the Oyashio Region Observed with Satellite-Tracked Surface Drifters during 1999-2000, *Journal of Oceanography*, 61 (5), 845-855, (2005).
- 3) Matsuoka, A., **S. Saitoh** and K. Shimada, A new approach for ocean color algorithm in Case 2 water using bio-optical field measurements in the Western Arctic Ocean, *Proc. of SPIE*, 5977, 597709, doi:10.1117/12.627512, (2005).
- 4) **Hirawake, T.**, S. Kudoh, S. Aoki, T. Odate and **M. Fukuchi**: Inter-annual variability of chlorophyll and sea ice in Antarctic Divergence region: an attempt to derive their quantitative relationship. *International Journal of Remote Sensing*, 26(10), 2035-2044, (2005).
- 5) **Hirawake, T.**, T. Odate and **M. Fukuchi**: Long-term variation of chl.a in the Southern Ocean during 1965-2002. *Geophysical Research Letters*, 32, L05606, doi:10.1029/2004GL021394, (2005).
- 6) **Saitoh, S.**, **T. Hirawake** and K. Sasaoka, Global Ocean Primary Production using Satellite Ocean Color Sensors. 253-280, In *Bio/Chemiluminescence and its application to Photosynthesis*, N. Wada, N. Suzuki and M. Mimuro (Eds), Research Signpost, Kerala, India, (2006)
- 7) Kiyofuji, H., T. Hokimoto and **S. Saitoh**: Predicting the spatial and temporal chlorophyll-a distribution in the Sea of Japan based on SeaWiFS ocean color satellite data, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10.1109/LGRS.2005.861931, (2006).

- 8) Hiroshi Murakami, Kosei Sasaoka, Kohtaro Hosoda, Hajime Fukushima, Mitsuhiro Toratani, Robert Frouin, B. Greg Mitchell, Mati Kahru, Pierre-Yves Deschamps, Dennis Clark, Stephanie Flora, Motoaki Kishino, **Sei-ichi Saitoh**, Ichio Asanuma, Akihiko Tanaka, Hiroaki Sasaki, Katsumi Yokouchi, Yoko Kiyomoto, Hiroaki Saito, Cecile Dupouy, Absornsuda Siripong, Satsuki Matsumura, and Joji Ishizaka (2006): Validation of ADEOS-2 GLI ocean color products using in-situ observations, *Journal of Oceanography*, 62 (3), 373-393 (2006).
- 9) Kohei Mizobata, Jia Wang, and **Sei-ichi Saitoh**: Eddy-induced Cross-Slope Exchange Maintaining Summer High Productivity of the Bering Sea Shelf Break, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, C10017, doi:10.1029/2005JC003335, (2006).
- 10) Takata, H., **K. Kuma**, Y. Saitoh, M. Chigira, **S. Saitoh**, Y. Isoda, S. Takagi and K. Sakaoka: Comparing the vertical distribution of iron in the eastern and western subarctic North Pacific Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 33: L02613, doi:10.1029/2005GL024538 (2006).
- 11) Osamu Seki, Takeshi Nakatsuka, Kimitaka Kawamura, **Sei-Ichi Saitoh** and Masaaki Wakatsuchi: Time-series sediment trap record of alkenones from the western Sea of Okhotsk, *Marine Chemistry*, 104(3-4), 253-265, (2007).
- 12) Jin, M., C. Deal, J. Wang, V. Alexander, R. Gradinger, **S. Saitoh**, T. Iida, Z. Wan, and P. Stabenro, 2007. Ice-associated phytoplankton blooms in the southeastern Bering Sea. *Geophysical Research Letter*, 34 , L06612, doi:10.1029/2006GL028849, (2007).
- 13) Aoki, S., D. Fukai, **T. Hirawake**, S. Ushio, S. R. Rintoul, H. Hasumoto, **T. Ishimaru**, H. Sasaki, T. Kagimoto, Y. Ssai, H. Mitsudera: A series of cyclonic eddies in the Antarctic Divergence off Adelie Coast. *Journal of Geophysical Research*, 112, C05019, doi:10.1029/2006JC003712, (2007).
- 14) Iida, T. and **S.-I. Saitoh**: Temporal and spatial variability of chlorophyll concentrations in the Bering Sea using empirical orthogonal function (EOF) analysis of remote sensing data, *Deep-sea Research II*, doi:10.1016/j.dsr2.2007.07.031, (2007).
- 15) Muzzneena A.M and **Sei-Ichi Saitoh**: Observations of sea ice interannual variations and spring bloom occurrences at the Japanese scallop farming area in the Okhotsk Sea using satellite imageries, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, doi:10.1016/j.ecss.2007.10.021, (2008).
- 16) Kohei Mizobata, **Sei-ichi Saitoh** and Jia Wang: Summer biochemical enhancement in relation to the mesoscale eddy at the shelf break in the vicinity of the Pribilof Islands, *Deep-sea Research II*, (in press) (2008).
- 17) Tukimat Lihan, **Sei-Ichi Saitoh**, Takahiro Iida, **Toru Hirawake** and Kohji Iida: Satellite-measured temporal and spatial variability of the Tokachi River plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, (in press) (2008).
- 18) Matsuoka, A., Huot, Y., Shimada, K., and **Saitoh, S.-I.**: Bio-optical characteristics of the Western Arctic Ocean: Implications for ocean color algorithm, *Canadian Journal of remote sensing*, (in press) (2008).

I. 共同研究報告（終了）

一般共同研究

(5) 極地工学

## 高真空条件下での観測機器の動作・熱制御に関する研究

◎中村正人 宇宙航空研究開発機構宇宙科学本部・教授（研究代表者）

（国立極地研究所）

菊池雅行 助教

平成 17 年～平成 20 年（3 ヶ年）

### [研究成果]

#### 1. はじめに

観測装置の熱環境は安定した機器の運用を行う上で本質的に重要であり、これは極地観測ひいては宇宙・惑星探査においても同様である。過酷な熱環境で動作する宇宙機の熱設計は特殊な分野であることから、これらの技術は主に衛星バス機器メーカーに蓄積されてきた。しかしながら我々のように理学観測機の開発を行う上でも、過酷な環境で安定に動作する機器を開発する場合、熱設計手法の習熟は重要な課題となる。我々は月周回衛星SELENEの熱設計を通してこの手法に習熟し、観測機器の温度制御に必要な設計技法およびパラメータに関する知識の蓄積・評価を行った。

#### 2. ノードの分割方法と熱抵抗の算定

図 1 にプラズマイメージャの外観を示す。



プラズマイメージャ外観（図 1）

構造部品は主にアルミ切削により作成されており、真空中での熱放射を防ぐため黒色の MLI (Multi layer insulator) で覆われている。この MLI の素材には導電性ものが選択されている。また、打ち上げ時の振動による金属粉の発生を抑えるため、摩擦の予想さ

れる部分に白色のテフロン樹脂が用いられている。熱数学モデルは、次の手順で作成する。

- 1) 等温となる部分を 1 ノードとして分割
- 2) 各ノードの熱容量を定める
- 3) 物質内で伝導結合する部分の熱抵抗を定める
- 4) ボルト締結されている部分の熱抵抗を定める
- 5) MLI の一片も 1 ノードとする
- 6) 形状に基づき外表面モデルを作成する
- 7) ノード間の放射結合係数を定める。

金属部品の熱抵抗は図面と物性より比較的容易に求められるが、複合材料の場合は値にばらつきがあるためメーカーに測定値の提示を求める。

今回、ボルト締結部の熱抵抗はボルト径  $\phi$  mm で締結されている部分の熱抵抗を

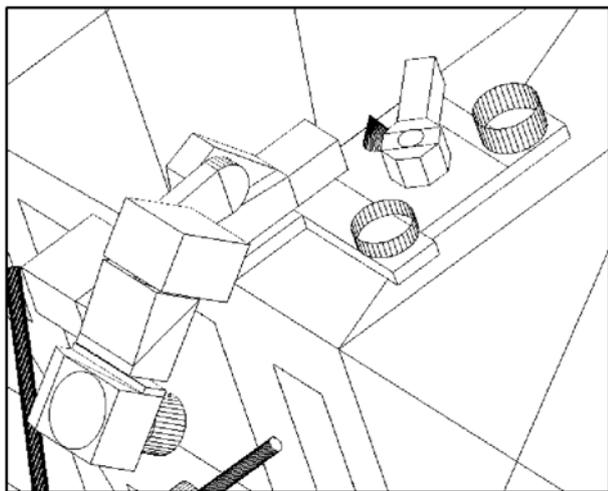
$$(4x(0.1x\phi))^2 \times 0.0567 [W/K]$$

の経験式によって定めている。M4 ボルトの場合是一本あたり  $(4x0.4)^2 \times 0.0567 = 0.145 [W/K]$  となる。この式は、面同士を接触させて端部をボルト締結したとしても実際はボルト周囲にのみ熱的な接触領域が発生することに由来する[1]。ギアミッション分の熱抵抗は、加重を受けるベアリングのヘルツ接触面積に  $0.00115 [W/Kmm^2]$  を掛けたものを暫定値とし、実測に合致するように後から係数の調整を行った。

#### 3. 外表面モデルと実効放射率の算定

手順 6) の作業は、MLI の寸法図と MLI メーカーより提供されている表面光学特性により、外部と放射により熱を交換する部分の外表面モデルの作成である。図 2 に、作成した外表面モデルを示す。今回の形状モデルは放射計算ソフトウェアの一種である NEVADA で定められた形式で衛星メーカーに提出しなければならなかった。しかし我々は NEVADA を所持していなかったため、変換ツールを用いて極地研究所の所持

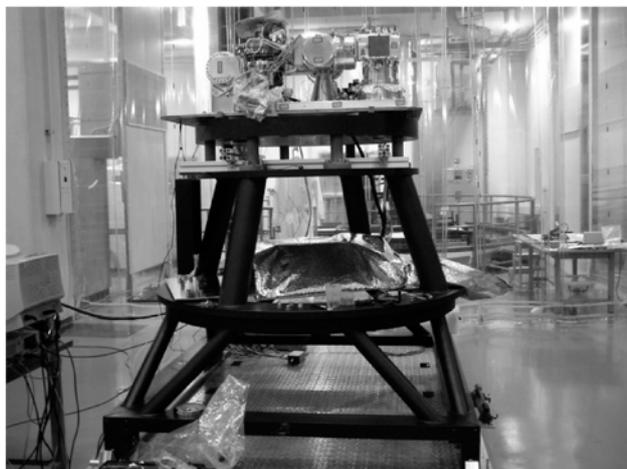
する放射計算ソフト TRASYYS 形式にモデルの変換した後、TRASYYS 上で放射計算を行った。



衛星搭載された場合の外表面モデル (図2)

#### 4. コリレーションと MLI の実効輻射率

手順7)で、露出面同士の放射結合係数は TRASYYS によって得ることができるが、MLI 最外層と多層を経由した構造体との放射結合係数(実効輻射率)は実験によって決定される量となる。暫定値を 0.05 とし、図1のセンサー全体が収まる真空チャンバーを用いた試験結果と比較して実効輻射率の決定を行った。



熱真空試験環境 (図3)

#### [参考文献]

[1]David G. Gilmore et.al, Spacecraft Thermal Control Handbook, The Aerospace Corporation, 2002

#### [研究発表]

(成果物)「かぐや」プラズマイメージャ

図3ではプラズマイメージャがレールに乗った架台の上に配置されており、センサーはレールごと写真奥の真空槽中に搬入される。真空槽の内壁は宇宙空間を模擬するべく液体窒素により冷却される。また架台直下の240Wのヒーターによりセンサー取り付け部を $-30^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ の間で周期的に変動させることで、衛星本体の温度変化を模擬する。この周囲環境と取り付け部の温度を境界条件としたモデル計算と実測を合わせこむ過程で不定なパラメータであるベアリング部、実効輻射率の決定を行った。放射・伝導・熱源を含んだ最終的な熱解析は、極地研究所の所持する熱解析コードである SINDA を用いた。コリレーションの結果は、実効輻射率を 0.06 とすることで計算値と実測値を $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内に納めることが出来た。

#### 5. 温度範囲の検討とヒータリソースの確定

このようにして得られた熱数学モデルを用いて、モデル上の必要な場所にヒーターを配置し、実際の月周回軌道上で各ノードが規定の温度範囲を逸脱しないかどうかを評価した。月周回軌道上の太陽および月からの熱入力 SINDA によって与えられる。主な温度の規定条件は

- ・電子部品 ( $-55^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$  : MIL 品動作範囲)
  - ・機械部品 ( $-80^{\circ}\text{C}\sim+204^{\circ}\text{C}$  : 真空潤滑グリース)
  - ・光学部品 ( $-10^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$  : レンズ保持部の接着剤)
- によるものであったが、ヒーターを適宜配置することにより能動ヒーター部分の温度マージンを $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、それ以外のところを $\pm 15^{\circ}\text{C}$ とすることが出来た。

#### 6. おわりに

これらの設計により、プラズマイメージャは2008年3月現在月周回軌道上で良好な温度環境を保っており、我々の手法が妥当であったことを示している。

## 共同研究報告書（終了）

昭和基地建物に使われる木質材料の耐久性を調べるための新材の強度基準値の設定

◎半貫敏夫 日本大学工学部・教授（研究代表者）  
 清水五郎 日本大学工学部・教授（共同研究者）  
 高橋弘樹 独立行政法人労働安全衛生総合研究所・研究員（共同研究者）  
 （国立極地研究所）  
 鮎川 勝 教授（担当教員）  
 平成 18 年～平成 19 年（2 か年）（研究期間）

### 【研究成果】

木質構造の耐久性を評価するための非破壊検査法として、木質部にねじ込んだビスの引抜き強度を利用する方法が提案されている<sup>1)</sup>。第 43 次日本南極地域観測隊に参加した高橋ら<sup>2)</sup>によって、文献 1 の方法を使って昭和基地建物の耐久性が調査されたが、その評価基準となる新材の引抜き強度のデータが不足であった。そこで南極仕様の木質パネル試験体を製作し、昭和基地建物の耐久性調査に使用したのと同じ試験機を使って枠材にねじ込んだビスの引抜き強度を調べた。

#### 試験体と引抜き試験法

木ビスの引抜き強度を調べるために用意した試験体は幅 910mm、高さ 1820mm、厚さ 100mm の木質パネルで、枠材はひのき集成材、表面に 6mm の構造用合板を張ったものである。この試験体に全長 70mm、胴径 4mm、ピッチ 3mm、ねじ切り長さ 62mm の鋼製ビス(JIS)を深さ 62mm までねじ込み（ねじ山が見えなくなることが施工時の目標となる）、建研式の接着力試験機でビスの頭部を掴み、引抜き力を加えた。試験データとしては引抜き荷重(P)－引抜き変位( $\delta$ )関係、最大引抜き力(Pmax)、最大引抜き力時の引抜き変位( $\delta_{max}$ )が取り込めるようになっている。

#### 試験結果

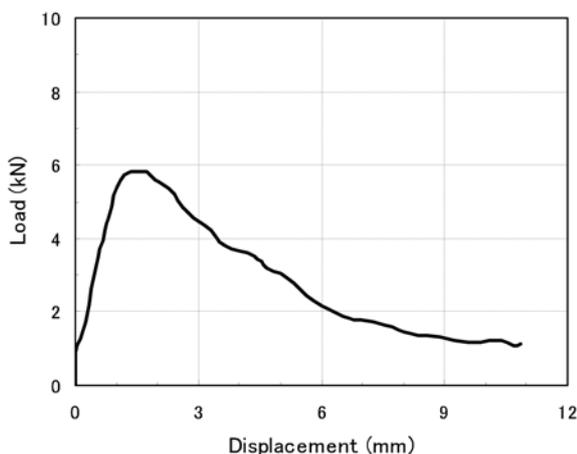


図 1 枠材にねじ込んだビスの引抜き力－引抜き変位関係

表面合板 6mm を通してヒノキ集成材からなるパネル枠材にねじ込んだビスの引抜き試験結果の例を図 1 に示す。1.2kN を過ぎてビスの抜け出しが始まると剛性が落ちてそのまま最大引抜き力に達する。比較のために下地に枠材がない合板部にねじ込んだビスの引抜き試験も行った。P－ $\delta$  関係の例を

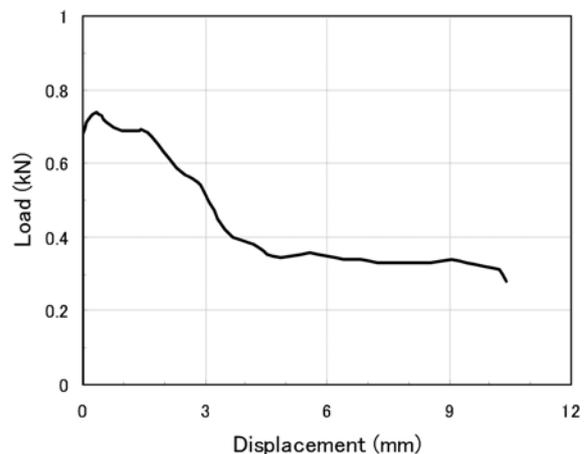


図 2 合板にねじ込んだビスの引抜き力－引抜き変位関係

図 2 に示す。強度が約 1/8 に低下するだけで他の性質は枠材のそれ(図 1)とほぼ同じである。

表 1 枠材のビス引抜き強度試験結果一覧

	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)
No.1	5.87	1.75
No.2	7.64	1.65
No.3	6.09	2.00
No.4	5.85	1.50
No.5	6.02	1.90
No.6	6.45	1.80
No.7	7.20	0.80
No.8	7.40	1.70
No.9	7.57	1.55
No.10	7.57	1.75
No.11	8.02	1.85
No.12	7.82	1.35
No.13	8.21	2.15
No.14	8.95	2.80
No.15	8.18	2.25
No.16	8.36	2.00
平均	7.33	1.80
標準偏差	0.95	0.42
変動係数(%)	13.0	23.3

最大引抜き力  $P_{max}$  とそのときの引抜き変位量  $\delta_{max}$  に関するデータを表 1 に、 $P_{max}$  と  $\delta_{max}$  に関する度数分布を図 3,4 に示す。

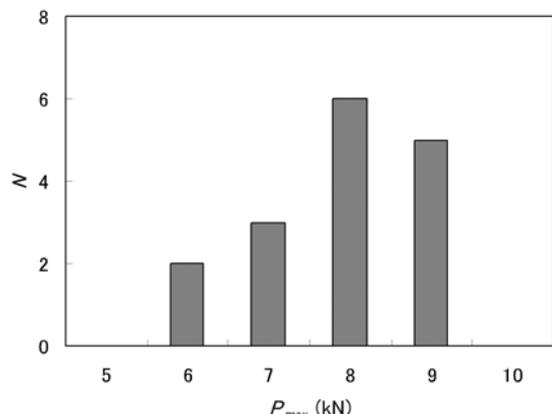


図 3 最大引抜き力  $P_{max}$  の度数分布

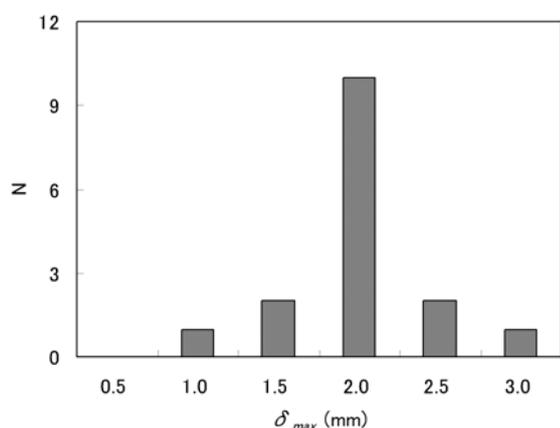


図 4  $\delta_{max}$  の度数分布

参考のために行った合板のビス引抜き強度試験結果を表 2 に示した。

表 2 合板のビス引抜き強度試験結果

	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)
No.1	0.77	0.40
No.2	0.85	1.25
No.3	0.76	0.75
No.4	0.75	0.30
No.5	0.74	0.25
No.6	0.80	2.35
No.7	0.69	1.45
No.8	0.63	0.90
No.9	0.73	0.85
No.10	0.63	0.65
平均	0.74	0.92
標準偏差	0.06	0.58
変動係数(%)	8.57	62.9

考察

表 1 の試験結果を、文献 2 の引抜き強度推定値と比較すると表 3 のようになる。文献 2 の推定値が

初期データとして正確であったことが裏付けられた。

【参考文献】

- 1)平井孝之・平山善吉・大谷俊浩・松田忠広(2002)；南極昭和基地第 10 居住棟木質材料の残存強度，南極資料,Vol.,46,p481-p489.
- 2)高橋弘樹・半貫敏夫・鮎川勝(2005)；南極昭和基地建物の木質パネル枠材の残存強度調査，南極資料,Vol.,49,p245-p 257.

【研究発表】

- 半貫敏夫・高橋弘樹他 3(2006)；吹雪流中の高床式建物模型周囲に発生する吹き溜まりに関する研究その 1, 2, 2006 年度日本建築学会大会学術講演梗概集,p107-p 110,
- 高橋弘樹・半貫敏夫・鮎川勝(2006)；南極昭和基地における鋼構造物模型の積雪荷重に対する応答,平成 18 年度日本大学理工学部学術講演会論文集,p210-p 211,
- 半貫敏夫・高橋弘樹他 3(2006)；床下空間の空隙率を変数とした高床式建物模型周囲の雪の吹き溜まり,第 22 回寒地技術論文報告集,p334-p339,
- 半貫敏夫・高橋弘樹他 2(2007)；床下空間の空隙率に着目した高床式建物模型周囲の雪の吹きだまりに関する風洞実験的研究,2007 年度日本建築学会大会学術講演梗概集,p35-p 36.

## 南極基地設営におけるマニュアルおよびスペック整備に関する研究

◎松村秀一 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻・教授

アニリール・セルカン 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻・助教

(国立極地研究所)

鮎川勝 教授

平成19年～平成20年（一か年）

### 【研究成果】

#### 1. はじめに

アレのパラドックスの例が示すように、期待効用説は人間の意思決定を正確に記述しない。またラタネの社会的な手抜き現象や、ジンバルドの模擬監獄実験の例が示すように、個々の人間が集まったときに発揮される集団としての能力は決して足し算や引き算で計算できるものではなく、またときに些細なきっかけで集団自体が崩壊することすらある。南極観測隊もまた特殊な背景/環境の中で成立する人間集団である。また南極観測隊特有の問題として、短期間で越冬引継によるノウハウ継承の不連続性が挙げられる。

2009年に竣工される新しらせや、航空機による輸送手段の確立、国際化により、南極観測隊に参加する人材は今後ますます多様化していくことが予想される。それに伴い新しい南極観測隊の人材育成手法（以後『サクセッション・プランニング：Succession Planning』と記す）の確立が必要であろう。本研究がその礎となることを願う。

#### 2. サクセッション・プランニング

本研究で想定する『サクセッション・プランニング』の全体の流れは以下のようなものである。

- ①：南極観測隊のグランドデザインの確認/明確化
- ②：上記を実行するための重要ポジションを決める
- ③：上記ポジションに求められる隊員の資質（性格、姿勢、能力、スキル、知識など）を洗い出す
- ④：上記要件に合致する人材を選出する
- ⑤：④の人材の②ポジションへの登用と育成プランの立案、プランに基づく訓練の実施
- ⑥：②～⑤を毎次隊ごとに行い、加修正を加えていくことにより機動的な組織にしていく

上記の①②に関しては、南極地域観測統合推進本部や国立極地研究所において、既に数期先までの方向性が決定されているはずである。③の資質の洗い出しに関しては、単に各ポジションごとの任務を実行するのに必要な資質ではなく、他のポジションの人間との関係に関する資質も含む。④に関しては、南極観測の多様化に伴い、より複雑な選出方法になることが予想される。そのためにも③の基準や評価法（スペック化）を明確にしておくことが必要である。本研究において最も重要視すべきは⑤に関する部分（マニュアル化）である。日本では、その国民性から、そもそもあまり馴染みの無い考え方である。近年この分野で先行している欧米の手法を取り入れ実践しようとしている例はあるが、欧米の価値観で作られた手法が、そのままの形で日本の現場に適用可能かどうかは疑問が残る。

#### 3. 日本人の特性

ブツダは弟子たちからの幾つかの質問に、沈黙を以て答えたとされ、それは「無記」と呼ばれているが、我々が生きる東洋の文化においては、師匠から弟子に技術や知識を伝える際に、この「無記」を尊ぶ価値観が存在する。また師匠から弟子という「縦」の関係だけでなく、

仲間同士の「横」の関係の中にも、この「無記」の文化は見られる。南極観測の歴史においても、これまで体系化されたマニュアル等はほとんど存在しないし、また日本から昭和基地までの航海を共有する、夏作業を全員で行うことでチームワークを強固にすることを重んじてきた傾向があるが、これはまさに「無記」を尊ぶ国民性によるものだろう。ただし、逆に言えば日本人の特性として、「無記」型の技術/知識情報を、同じ経験の体験や、以心伝心などを通して読み取り、情報共有する能力に長けていると見ることもできる。

#### 4. 「ツリー型」と「セミラチス型」の組織

「ツリー型」の組織とは、下図の右枠内のような分類階層型の系統樹構造の組織である。対して「セミラチス型」の組織とは、様々な要素が絡み合って形成される構造（複数の異なるツリー構造が重なりあったものとも見られる）の組織である。ある道具的な目標を達成するために組織された利益社会は「ツリー型」、共有されたアイデンティティ意識にもとづく共同社会は「セミラチス型」の組織のかたちをとることが多い。

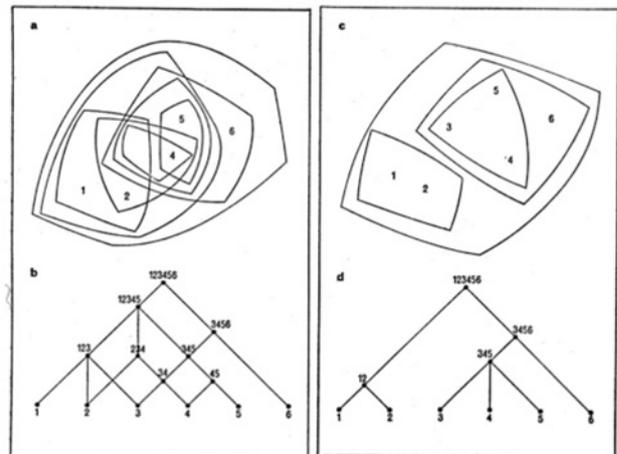


図1：セミラチス型（左）とツリー型（右）モデル

アメリカなどの南極観測隊は、設営と観測の役割が明確に分けられ、隊員やチームリーダーも一般公募で契約によって雇われる、「ツリー型」の組織形態をとっている。日本の観測隊は徐々に「ツリー型」に近づいている傾向にあるとはいえ、「セミラチス型」の組織であるといえる。一概にどちらの組織が優れているかを評価するのは難しいが、利益や効率を優先して「ツリー型」の組織にするのではなく、戦略的に複数のツリーを選択し重ね合わせることで、目的意図を持った「セミラチス型」の組織とするのが、日本人には合っているのではないだろうか。

#### 5. 暗黙知と形式知

暗黙知とは、知識のうち、勘や直観、個人的洞察、経験に基づくノウハウなどの主観的・身体的な知、形式知とは、知識のうち、言葉や文章、数式、図表などによっ

て表出された客観的・理性的な知を指す。暗黙知は言語などを介し形式知へ、形式知は体験などを介し暗黙知へと相互に変換が可能である。ただし、これらの知が媒介する人間集団の文化的背景や価値観によって、変換の度やその手法も異なる。

日本では、世阿弥が記した日本最古の能楽理論書である風姿花伝に「志をもつ芸人以外、一見をも許してはならない」とあるように、知識を受け取る側に一定の形式知に対する理解能力を求める傾向が強い。また知識を伝授する側においてもそれを前提としているため、万人が共通に理解できる表出言語をもって形式知化されることは稀である。これは、受け手と伝え手の間に一定の信頼関係を構築するというメリットではあるが、同時に公正な競争原理を阻害するというデメリットともなる。

## 6. SECIモデル

以上の議論を前提としたサクセッション・プランニングの理想的なモデルとして、野中郁次郎による『SECIモデル』を挙げる。『SECIモデル』は以下の①～⑤のプロセスによるモデルである。

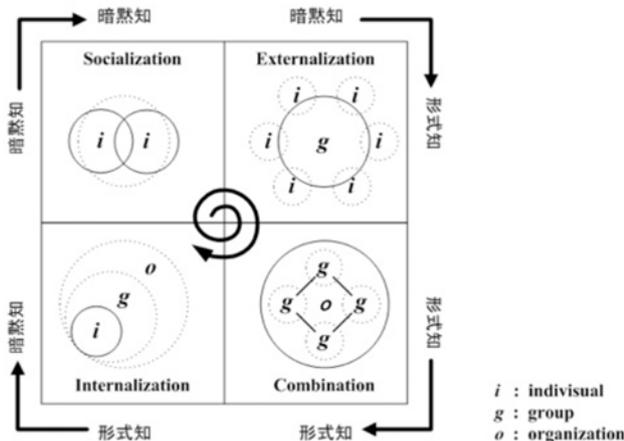


図2：自己超越プロセスとしてのSECIモデル

- ① Socialization (共同化)  
 共同体験などによって、暗黙知を獲得・伝達するプロセス。個々人の体験に基づく暗黙知を、そのレベルで相互理解する。
- ② Externalization (表出化)  
 得られた暗黙知を共有できるよう形式知に変換するプロセス。言語や図表、数式などにより形式知化することで本質的理解が進むことが期待される。
- ③ Combination (連結化)  
 形式知同士を組み合わせることで新たな形式知を創造するプロセス。他部門や過去の知から刺激を受け、新たな知

が生まれたり、断片的な知から総合的な知へと発展することが期待される。

## ④ Internalization (内面化)

利用可能となった形式知を基に、個人が実践を行い、その知識を体得するプロセス。③で体系化/総合化された形式知そのままでは、それそのものは単なるドキュメントやマニュアルである。訓練等の体験を通じて身体知化されることが期待される。

## ⑤ Circulation (循環化)

①～④のプロセスを継続的に繰り返すプロセス。再び暗黙知化した個々人の知識が、個々の新たな体験を通じて発展し、それらを全体に還元することが期待される。

先に挙げた航海/夏作業を通じてチームワークを構築する手法は、SECIモデルでは①④のプロセスのみによって成立する手法と見ることができる。この手法では、個々人の貴重な生活体験のノウハウが十分に伝達され得ず、また時間的連続性も一年毎にかなり明確に区切られてしまう。②③をきちんと構築しなければ、この問題は解決されない。

## 7. 独自の「表出化/連結化」プロセスの構築方法

では前述の②③を構築する上で考慮すべき点には、どのようなことがあるだろうか。まずはじめに、サクセッション・プランニングにおける①、すなわちこれからの南極観測隊のグランドデザインを確認/明確化し、解決すべき課題を具体的に抽出することである。この「サクセッション・プランニング」自体も、グランドデザインの中に含まれるべき課題と位置づけることができる。次に、これまでの南極観測隊の活動を、ノウハウや事例、因果関係などあらゆる角度から検証/評価すべきである。検証/評価においては、これまでの南極観測の歴史的背景や、日本人の持つ特性を考慮した上で実行される必要がある。その後、②③を実行するためのインターフェースを構築するのであるが、これを全くのゼロから構築するのは困難である。外資系企業の日本における異文化での経営や、宇宙開発分野でのインターフェースの事例を良く研究参照し、それらを日本の南極観測に合わせてアレンジを加えて方法が最も近道だろう。

## 8. 今後の課題

以上の考察を踏まえ、日本南極観測の「サクセッション・プランニング」のためのインターフェース、具体的には、②ドキュメンテーション、③グループウェア、④訓練法(各番号はSECIモデルに対応)が、整備されていくことを期待したい。

なお、本研究は東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程村上祐資君の協力を得て行ったものである。

## 【出典】

- 図1) Christopher Alexander ; "A City is not a Tree" ; 1965.  
 図2) Nonaka, I. and N. Konno ; "The Concept of 'ba': Building a Foundation for Knowledge Creation," ; California Management Review ; 1998.

## 【参考文献】

- 1) 世阿弥 ; 水野聡訳 ; 現代語訳風姿花伝 ; 2005
- 2) Nonaka, I. and H. Takeuchi ; The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. ; 1995
- 3) 村上祐資 ; 建築モジュール論からみた国際宇宙ステーション計画 ; 2004
- 4) 小野延雄, 柴田鉄治編 ; ニッポン南極観測隊人間ドラマ50年 ; 2006

## 【研究発表】

- 1) 村上祐資 ; 新世代南極設営のための人間工学 ; 第4回南極設営シンポジウム論文報告集 ; 国立極地研究所 ; p229-p235 ; 2007

極地の活動における静電気障害とその対策に関する基礎研究

◎大熊康典 東京農工大学大学院共生科学技術研究院・助教（研究代表者）

（国立極地研究所）

鮎川勝 教授

菊池雅行 助教

平成 18 年～平成 20 年（3 ヶ年）

**[研究成果]**

**1. はじめに（菊池雅行）**

本研究は、昭和基地での研究活動において支障となる静電気による障害の対策を行うため、その発生メカニズムの基礎となる条件を精査することが目的であった。しかし残念なことに研究代表者の所属が終了年限を待たずに変更となったことで、研究の継続が困難な状況となった。そこでここではこれまでの経緯と得られた成果について述べる。

**2. 初年度の研究経過**

研究初年度の平成 18 年度では、まず、過去 10 年間の気象データから昭和基地の水蒸気量を求め、日本（東京）の気候に当てはめた場合の相対湿度を予測した。その結果、年間を通じて 20%を下回り、非常に静電気が発生しやすい環境であることが分かった。また、静電気障害に関する事例や文献（自動車の燃料システムやタンカーにおける静電気対策等）、静電気対策に基づいた法令（危険物の規制等）等を調査し、南極観測における静電気障害対策や貯油タンク及び送油時の発火対策を考えるための情報収集を行った。

**[研究発表]**

静電気放電とノイズ, 高橋雄造, 大熊康典, 國峯彰太, 石川香里（東京農工大学） 電気学会電子回路研究会, 2006.9.12

**3. 平成 19 年度以降の計画**

帯電の防止や除去に高い効果が得られる方法の一つに、接地による電荷の漏洩促進があるが、これには電気抵抗率や帯電した絶縁物体の表面抵抗値が大きく影響する。南極基地の環境下でこれらがどのような値になるかを調べるために、低温室を利用して表面電位計や LCR メーターによる帯電電位や静電容量の測定を試みる計画であった。また、今年度に引き続き、南極基地のような環境での静電気に関する資料調査を行う計画であった。

**4. おわりに（菊池雅行）**

昭和基地内での静電気問題はこれまで所内には専門家がおらず、学問的な俎上に上ることはほとんど無かった。また専門家とのつながりも無かったため、静電気関係のコメントを求められた場合に対応することが困難であった。平成 19 年の IPY 中高生オープンフォーラムの発表を受け、第 49 次南極地域観測隊では静電気の実験を行うことになったが、この件について当日本研究代表者より専門家としてのコメントがなされた。

静電気対策は昭和基地において高精度の観測を行う場合には不可欠な技術であるため、今後も何らかの形で進めてゆくことが望ましいと考える。

## II. 研究集会報告

### 研究集会

## 平成19年度国立極地研究所研究集会報告書

研究課題名： SuperDARN による極域・中緯度電離圏比較研究集会

開催日： 平成19年6月4－8日

開催場所： ホテル網走湖荘(北海道網走市)

出席者： 西谷 望 (名古屋大学太陽地球環境研究所)  
小川忠彦 (名古屋大学太陽地球環境研究所)  
細川敬祐 (電気通信大学通信工学科)  
藤本正樹 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部)  
一本 潔 (国立天文台)  
渡部重十 (北海道大学理学部)  
浅村和史 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部)  
佐藤夏雄 (国立極地研究所)  
山岸久雄 (国立極地研究所)  
行松 彰 (国立極地研究所)

### 開催の目的：

国際大型短波レーダーネットワークである SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network) は、電離圏ダイナミクスの研究に有用である。極地研は昭和基地に 2 基レーダーを所有し極域観測をしており、一方名古屋大学は昨年北海道に新たにレーダーを建設し、中緯度域の観測を開始した。これらのレーダーを使用し、極域・中緯度の電離圏の比較研究、また両者間のエネルギー輸送過程を議論することが研究小集会の目的である。開催場所では SuperDARN 国際会議が同時期に開催され、上記国際会議と並行して小集会を開催することにより、より多くの研究者との議論の機会を持ち、研究の発展を促すことが期待されていた。

### 成果：

SuperDARN 国際会議には 82 名の参加者があり、内外国人は 45 名で、会議中には活発な議論が行われた。上記国際会議と並行して行われた当研究小集会においては、以下のテーマについて活発な議論が行われた。

1. 昭和レーダー、北海道-陸別レーダーによる極域・中緯度の電離圏の比較研究
2. 極域・中緯度域両者間のエネルギー輸送過程
3. 太陽起源の擾乱の地球電離圏に及ぼす影響

4. 日本及び海外における人工衛星の将来計画および電離圏研究との協力体制
5. 磁気圏と電離圏の相互作用の観測研究およびモデリング
6. 人工衛星「れいめい」によるオーロラ微細構造の観測と SuperDARN 観測との相互協力

特にテーマ 1,2 については集中した議論が行われ、昭和基地を始めとする極域のレーダーと、北海道-陸別レーダーを始めとした中緯度のレーダーを併用することにより、極域電離圏におけるジュール加熱が大規模の内部重力波を生成し、中緯度方向に伝搬させると考えられている大規模伝搬性電離圏擾乱(LSTID)のより詳細なダイナミクスを研究できるというアイデアが提示され、今後の研究の発展にとって重要な知見を得ることができた。さらに、この研究集会の後、上記の LSTID に関する研究が進展し、学会や国内の研究会等でその成果が発表されており、また次年度のアジア大洋州地球科学連合(AOGS)の国際会議においても成果が発表される予定である。

また、科学テーマだけではなく、昭和基地のレーダーおよび北海道-陸別レーダーにおける運用上の課題に関しても様々な情報交換が行われ、それぞれのレーダーで抱えている問題点及び解決策に関しても、様々な貴重な情報を共有することができるようになった。

平成19年度 国立極地研究所研究集会報告書

研究課題名： 極域を含む学際的地球科学推進のための eGY  
メタ情報システム構築の検討

開催日： 平成19年5月18日 13時-18時

開催場所： 国立極地研究所 研究棟2階 講義室

出席者： 荻野龍樹（名古屋大学 STE 研究所）他18名 順不同、敬称略  
（小出孝、山本哲也、村田泰章、渡邊堯、齊藤昭則、上出洋介、村田健史、坪井誠司、内田あゆほ、石井守、新原隆史、神田啓史、福井弘道、山崎俊嗣、芦野俊宏、北本朝展、篠原育、門倉昭、家森俊彦）

開催の目的：

地球科学諸分野間の学際的研究を推進するためには、異なる分野のデータや研究グループの情報を簡便かつ的確に把握することができる、実用的なメタ情報システムを構築することが必要かつ有効であると考えられる。当研究集会では、今年から開始した国際デジタル地球年(eGY)を始めとする国際地球観測年(IGY)50周年記念国際事業の機会を捉えて、異なる地球科学分野のデータ関係者が集まり、講演とともに、引き続き拡大委員会として開催予定の学術会議 eGY小委員会と合同で、システム構築の具体的方法と行動計画を検討する。

経過：

以下のようなプログラムで開催した。

13:00 - 14:45

1. はじめに 家森俊彦 (5分)
2. 地球の「圏」はいくつあるのか？  
-Vertical Earthでの鉛直データ統合の試み 北本朝展 (25分)
3. Dagik: Google Earthを用いたジオスペースデータの Quick Look  
齊藤昭則 (25分)
4. 総合地質情報データベースの構築 村田泰章 (25分)
5. プレート境界地球科学データの共有について 坪井誠司 (25分)

(休憩)

14:50 -

6. CAWSES データベースとデータの利用 荻野龍樹 (25分)
7. 地球危機管理のための情報基盤「デジタルアース」の構築  
福井弘道 (25分)
8. 科学衛星観測データ利活用 ～次の5年で何ができるか？  
村田健史 (25分)
9. GEOSS におけるデータ相互運用促進の検討状況について  
石井 守 (25分)
10. eGY における WDC の役割  
渡邊 堯 (25分)

成 果 :

- ・ 分野をまたがるような広範囲の地球科学関係データを取り扱っているグループから数遍の講演をしていただくことにより、わが国におけるおおよその状況を知ることができた。
- ・ Virtual Observatory をはじめ、最新の I T を使用してデータ活動を行う場合の人的資源、体制面で、我が国は立ち後れていることが指摘された。
- ・ これまで交流の機会があまりなかったグループ同士がお互いに情報を交換することができ、今後 eGY 等の活動を進める上で役立つと期待される。
- ・ 短時間ではあったが、今後の eGY における行動計画についても相談することができた。

平成19年度 国立極地研究所研究集会報告書

研究課題名： 極域を含む学際的地球科学推進のための eGY  
メタ情報システム構築の検討（2回目）

開催日： 平成20年1月10日 10時30分～15時40分

開催場所： 国立極地研究所 管理棟2階 第一会議室

出席者： 白崎裕治（国立天文台）他23名 順不同、敬称略  
（高田良宏、坪井誠司、大石雅寿、廣川佐千男、小川安紀子、能勢正仁、角田智彦、村山泰啓、金尾政紀、渡邊堯、利根川豊、白石和行、小出孝、寺菌淳也、石井守、福井弘道、笠原禎也、北本朝展、荒木徹、齊藤昭則、芦野俊宏、門倉昭、家森俊彦）

開催の目的：

地球科学諸分野間の学際的研究を推進するためには、異なる分野のデータや研究グループの情報を簡便かつ的確に把握することができる、実用的なメタ情報システムを構築することが必要かつ有効であると考えられる。当研究集会では、今年から開始した国際デジタル地球年(eGY)を始めとする国際地球観測年(IGY)50周年記念国際事業の機会を捉えて、異なる地球科学分野のデータ関係者が集まり、講演とともに、引き続き拡大委員会として開催予定の学術会議 eGY小委員会と合同で、システム構築の具体的方法と行動計画を検討する。

経過：

以下のようなプログラムで開催した。

10:30 - 12:20

- |                                 |               |       |
|---------------------------------|---------------|-------|
| 1. 地球惑星科学メタ情報システムの必要性           | 家森俊彦（京都大学）    | (10分) |
| 2. 極域関連の学術メタデータベースの現状           | 金尾政紀（国立極地研究所） | (20分) |
| 3. 天文分野におけるメタデータについて            | 白崎裕治（国立天文台）   | (20分) |
| 4. WDC, INTERMAGNETにおけるメタデータの現状 | 能勢正仁（京都大学）    | (20分) |
| 5. 地球惑星科学メタデータのデータベースとの連携(仮)    | 寺菌淳也（会津大学）    | (20分) |

(休憩)

13:00 - 15:40

6. Vertical Earthにおけるオントロジーの構築と活用に関する検討  
北本朝展（国立情報学研究所）（20分）
7. 環境情報オントロジーの構築と活用  
福井弘道（慶應義塾大学）（20分）
8. データ・ショーケース・システムDagikの構築と運用  
齊藤昭則（京都大学）（20分）
9. 大規模観測データの効率利用化に向けた試み  
笠原禎也（金沢大学）（20分）
10. 地球惑星科学における情報の高度処理・超高速通信の活用の検討  
石井守・村山泰啓・村田真樹・村田健史（情報通信研究機構）（20分）
11. 大量文書群に対する単語階層の自動構築  
廣川佐千男（九州大学）（15分）
12. コメント・討論  
小出孝（気象庁）・他

成 果：

- ・ 分野をまたがるような広範囲の地球科学関係データを取り扱っているグループから数遍の講演をしていただくことにより、わが国におけるおおよその状況を知ることができた。
- ・ 地球科学関係の中では現在一步進んでいる国際極年(IPY)におけるメタ情報の取り扱いや、多分野のデータベースの統合的利用を目指して行われている活動の紹介は、今後の活動計画を立てる上で非常に有用であった。
- ・ 分野をまたがるデータの利用においては、オントロジーの概念導入の重要性を認識することができた。
- ・ Virtual Observatoryをはじめ、最新のITを使用してデータ活動を行う場合の人的資源、体制面で、我が国は立ち後れていることが指摘された。
- ・ これまで交流の機会があまりなかったグループ同士がお互いに情報を交換することができ、今後 eGY 等の活動を進める上で役立つと期待される。
- ・ 短時間ではあったが、今後の eGY における行動計画についても相談することができた。
- ・ 講演内容は、PDF ファイルの形で収集し、極地研究所ホームページおよび eGY 国内委員会ホームページから公開した。

<http://polaris.nipr.ac.jp/~ipy/index.htm>

<http://swdcft49.kugi.kyoto-u.ac.jp/egy/metadata/metadata.html>

研究課題名： 電離圏・磁気圏のリモートセンシングデータとモデルの結合

開催日： 平成20年1月18日

開催場所： 東北大学 東京分室（千代田区丸の内）会議室 B

出席者： 田口聡，細川敬祐，鈴木臣，森本美奈子，西沢諒（以上，電気通信大学），行松彰，田中良昌，高崎聡子（以上，極地研），藤原均，坂野井健（以上，東北大学），齊藤昭則，能勢正仁（以上，京都大学），品川裕之，國武学（以上，情報通信研究機構），海老原祐輔，大山伸一郎（以上，名古屋大学），児玉哲也(JAXA)，中野慎也（統数研），平原聖文（東京大学），田邊國士（早稲田大学）  
世話人：田口聡，小川泰信

開催の目的：

極域の地上からのレーダー・光学観測，さらに地磁気の観測や人工衛星からの観測による各種リモートセンシングデータのそれぞれの特異性と互いの共通性について理解を共有し，それらのデータとモデルとの関わりに焦点をおいて討論を行う．特に，（1）リモートセンシングデータをより良く解釈するためのモデリング（2）長期間にわたる定点観測で得られたリモートセンシングデータに基づくより良いモデルの構築（3）リモートセンシングデータに基づく結果をより正確に評価するための独立したモデルの構築，の3つの観点を重視する．それぞれの研究のモデルで意識している時間・空間スケールについて整理するとともに，そのスケールを高分解能の方向に進めることや逆に長い時間・広い空間へと展開することの意義について意見交換を行い，それぞれの研究の良い方向性を見出すことを目的とする．

経過：

世話人から研究集会の趣旨説明がなされた後，品川氏による「太陽地球系結合モデルの開発と観測の連携」と題した招待講演が行われた．その後午前中には，様々なリモートセンシングデータ（EISCAT レーダー，GSP 全電子数，高速中性粒子，地磁気，各種電磁波など）を扱う講演がなされた．午後からは，各データ固有の手法を詳しく報告する9つの講演がなされた．中性粒子を用いたマグネトポーズのモデリングやオーロラトモグラフィのシミュレーション，電離圏電気伝導度やポテンシャル分布モデルに関する発表，SuperDARN や EISCAT の観測とそれらのシミュレーションとの結合に関する発表などである．コンパクトな会場で開催できたことも幸いして，各発表に対して多くのコメントが出

た。なお、プログラムは、合同集会として前日（1月17日）に開催された名古屋大学太陽地球環境研究所の研究集会のプログラムとまとめて、以下のウェブページに置いてある。

[http://space.ice.uec.ac.jp/~taguchi/program\\_final.pdf](http://space.ice.uec.ac.jp/~taguchi/program_final.pdf)

成 果：

本研究集会の最も大きな成果は、研究集会での意見交換を通して、平成20年度～22年度の極地研究所の共同研究「リモートセンシング観測とモデルの結合による極域電磁圏ダイナミクスの研究」を申請するに至ったことである。その研究では、EISCAT・SuperDARN レーダー、地磁気変動のリモートセンシング観測からのデータに、電離圏対流分布や電気伝導度分布の経験モデル、さらにシミュレーションによる物理モデルを結合し、また中性粒子によるカスプやマグネットポーズのリモートセンシングの最新の研究で得られた知見を加えることにより、極域電離圏のプラズマダイナミクスやエネルギー散逸プロセス、磁気圏とのカップリングに関する特性を明らかにする。「経験モデルの仲立ち」を通して、データとシミュレーションの不一致結果から双方にフィードバックさせるアプローチをとる。また、シミュレーションに関する結果の詳細と実情を本研究集会で聞くことができ、それに基づいて意見交換を行えたことは特に価値があった。

今回の集会において参加者は、リモートセンシングデータの取り扱いに情報学的なアプローチがこれまで以上に大切になるという認識を共有した一方で、大きな成果を引き出すためには当然ながら、物理的な洞察が最も重要であることを再認識したと思われる。そのような洞察の芽が展開しやすい仕組みがあればよいと感じた。極地研究所の共同研究の体制の今後の発展に期待したい。また、今回の研究集会では、多くの参加者が自らの直接的な関心から少し離れた分野の研究者とも意見交換を行っていたことが印象的であった。これは、学会の講演会などでは実現しにくいことであり、この研究集会を通して、各研究者が自らの研究の意義を俯瞰でき、それが各自の研究の発展に役立ったことを期待する。

研究課題名： 極地大気エアロゾルに関する研究小集会

開催日： 平成 19 年 9 月 7 日

開催場所： 極地研究所 2 階講義室

出席者：

三浦和彦（理科大）、矢吹正教（極地研）、平沢尚彦（極地研）、塩原匡貴（極地研）、長田和雄（名大）、山内 恭（極地研）、西田千春（名大）、原圭一郎（福岡大）、青山朋樹（堀場製作所・JARE49 気水）、木津暢彦（気象庁）、中島浩一（気象庁・JARE47）、吉見英史（気象庁・JARE49）、浅野 比（山口東京理科大・JARE49 気水）、小林 拓（山梨大）、鈴木香寿恵（極地研）（敬称略）

開催の目的：

第 4 5 次南極地域観測隊で再開したエアロゾル重点観測が 4 8 次隊夏行動で一区切りついた。重点観測期間中の観測データ取得状況・施設状況の報告や観測結果の比較を行ない、また、新造船以降の新たな観測の方向性や計画を議論する必要がある。さらに、現在連続観測を続けているエアロゾルモニタリング観測の観測測器とそのシステムの変更の是非について議論しなければならない状況でもあり、南極でのエアロゾル観測に関する研究会を開催する必要がある。

経過：

これまでに、観測報告、次隊の観測計画、今後の観測計画と観測の方向性を議論するために、10 年にわたり定期的に南極エアロゾル研究会を行ってきた。研究会では、これまでにエアロゾル観測の報告、観測計画の紹介、今後のエアロゾル観測の方向性を議論する場となっていた。今回の研究会でも南極での観測から帰ってきた隊員により、観測状況・観測結果概要・課題や問題点に関する話題提供をしてもらった。また、現在越冬中の隊員から、現在の観測状況について情報を送ってもらい今年の観測状況を周知した。さらに、49-51 次の観測概要の紹介やエアロゾルモニタリング観測の今後の方針、新造船での大気観測室および関連設備の紹介をもらった。

成果：

矢吹による話題提供では、LIDAR 観測によるエアロゾルと雲の関係、吸収性エアロゾル粒子がエアロゾル数濃度計測に与える影響、清浄大気観測室に関連する設備の改善点などに関する報告がなされた。原による話題提供では、JARE48 での航空機観測報告と今後の航空機観測へ参加する際の改善点の報告が行われた。平沢による話題提供では、S17 が航空拠点としてだけでなく観測の拠点としても機能することが紹介された。さらに、49-50 次のエアロゾル・大気観測の紹介がなされた。また、45-48 次夏までのエアロゾル重点観測から見えてきた今後の観測課題と観測の方向性についての話題提供がな

された。関係者による議論が必要となる新造船の観測設備については、現在の観測室の状況を整理し、エアロゾル観測に関連する設備（特に大気引き込み部）の現状の確認、改善すべき項目を関係者で議論し要望・確認点として整理し、新造船に関連する大まかな予定を関係者で共通の理解を得た。関係者の議論が必要である今後のエアロゾルモニタリング観測に関する点については、測器の変更、データ収録系の変更・改善点の整理、観測体制、観測データの質などについて、議論・確認が行われ、モニタリング観測項目についての今後の対応を確認した。

研究課題名： 極域における衛星データ利用に関する研究集会

開催日： 平成19年8月16日11時-8月17日12時

開催場所： 国立極地研究所 研究棟2階講義室

出席者： 中村卓司、福田洋一、山本圭香、津田敏隆、長谷川崇、齋藤昭則（京都大学）、河野英昭（九州大学）、大坪俊通（一橋大学）、青木茂（北海道大学）、坂野井健、佐藤忠弘、藤原均（東北大学）、新谷昌人、村上豪、江沢福紘、吉川一朗（東京大学）、大村誠（高知女子大学）、大塚雄一（名古屋大学）、池田博（筑波大学）、星野尾一明（電子航法研）、齋藤亨、石井守、久保岡俊宏、陣英克（情報通信研究機構）、山之口勤（リモートセンシング技術センター）、阿部琢美（宇宙航空研究開発機構）、野木義史、渋谷和雄、行松彰、青山雄一、土井浩一郎（極地研）

開催の目的： 衛星データは極域研究に欠かせないものとなっており、実際、多くの研究分野で利用されている。本研究集会では、極域でのさまざまな研究分野における衛星データ利用の現状や問題点等について分野を超えた議論を行うことでより高度な衛星データ利用の実現を目指すとともに、また、将来の我が国独自の衛星観測も視野に入れながら、分野横断的な研究の方向性を探る。

経過： 8月16日は11時より研究集会を開始し、17時過ぎまでで計17件の研究や観測計画の発表があった。以下に16日の発表リストを示す。

GPS 海面(雪面) 反射	青山雄一 (極地研)
ICESat 氷床高度観測と重力変化推定	土井浩一郎 (極地研)
衛星搭載 SAR による南極コーツランドの観測	大村 誠 (極地研)
干渉 SAR と ICESat データを利用した高精度 DEM の作成	山之口勤 (RESTEC)
GRACE による南極氷床変動の検出	山本圭香 (京大)
重力・地磁気航空機観測	野木義史 (極地研)
OBP 観測	渋谷和雄 (極地研)
OBP 観測と海洋潮汐	佐藤忠弘 (東北大)
衛星高度計による氷床-海洋マスバランス	青木 茂 (北大・低温研)
れいめい衛星によるオーロラ撮像観測	坂野井 健 (東北大)
宙空領域の複合観測	山本 衛 (京都大)
衛星からの宙空領域撮像観測計画	齋藤昭則 (京都大)
国際宇宙ステーションからの宙空領域撮像観測計画	大塚雄一 (名古屋大)
宙空領域大気の数値モデル	藤原 均 (東北大)
観測と数値モデルによる宙空領域の変動予測	石井 守 (NICT)

17日午前中は、各グループに分かれて、16日の研究発表をふまえての今後の研究計画やプロジェクトのための資金獲得に向けた打ち合わせを実施した。

成 果：

地理的、あるいは環境的に厳しい条件にある極域での研究においては、衛星観測データの利用は分野を問わず欠かせないものとなっている。特に、最近では、従来からの光・電磁波によるリモートセンシングデータに限らず、衛星そのものをセンサーとし、その軌道のゆらぎから重力場の情報を得る衛星重力ミッションや、GPSの電波伝播遅延から電離層電子密度(TEC)を求めたり、GPS掩蔽観測による高層大気的气圧・気温の推定など、極域においても新しい種類の衛星利用観測が注目されるようになってきている。さらに、実用的な小型衛星の利用により、衛星観測がより身近なものになりつつある。本研究集会の前半では、主に、GRACEの衛星重力、ICESatのレーザー高度計や、In-SARなど、さまざまな「変動の検出」を目的とした衛星観測、また、関連する現象の地上観測による検証や物理的解釈に関する発表などが行われた。南極域では、これらの変動の多くは、氷床変動と密接に関連しており、In-SARやGPSなどによる氷床流動そのものの観測はもとより、海域への水のフラックス、荷重変化としての固体地球とのインタラクションなどを通して、地上での重力変化やOBP観測とも密接に関連し、衛星観測を中心としたこれらの統合研究の有効性が示されたことは、本研究集会の大きな成果である。また、GPSによる海面(雪面)反射の研究は、これらの観測に新しい手段を提供するとともに、後半で紹介された小型衛星の利用という点でも注目される。16日の後半は、主に、超高層大気、宙空領域での衛星観測に関連した話題を中心に、地上測器との複合観測、数値モデル研究、また、今後の衛星利用観測に関する話題が報告された。特に、小型衛星「れいめい」によるオーロラ撮像観測の話題や、GPS掩蔽観測の話題などは、小型衛星観測の利点を示す好例であり、今後、重力場観測などにも小型衛星の利用が注目されていることから興味深い発表であった。

本研究集会では、現状の衛星データ利用から今後の小型衛星利用の展望まで、さまざまな講演が行われ、異なる分野間での情報交換にとっても意義深いものであった。また、17日には、それぞれ関連の分科会で、今後の研究計画等に関する打ち合わせなども行われ、実務面においても関連研究の推進にとって有意義なものであった。

## 平成19年度 国立極地研究所研究集会報告書

研究課題名：「超長期間飛翔大気球による新しい極域科学観測の可能性」  
—極域における気球観測～これまでの成果とこれからの展望—

代表者： 門倉昭（極地研）

開催日： 平成20年3月31日 10時30分～17時00分

開催場所： 国立極地研究所 研究棟2F 講義室

出席者： 講演数14、出席者数33、出席者所属14

出席者名（順不同、敬称略）：

山内恭、富川喜弘、山岸久雄、橋田元、和田誠、渡井智則、土井浩一郎、佐藤夏雄、森田知弥、門倉昭（極地研）、秋田大輔、田村啓輔、吉田哲也、野中直樹、並木道義、福家英之、斉藤芳隆（JAXA/ISAS）、入交芳久（NiCT）、中島英彰（NIES）、高橋幸弘、村田功（東北大）、海老沼拓史（東京海洋大）、阿保敏広、藤田建（気象庁）、原圭一郎（福岡大）、菅原敏（宮城教育大）、田村忠久（神奈川大）、鳥居祥二（早大）、田中政則（三菱重工）、畑田真一郎（日本エンジニアリング）、山下修一、吉田誠、磯田裕尊（三菱設計）

開催の目的：

これまで南極域、北極域で行われてきた、極地研究所が関与した気球観測の成果を踏まえ、平成22年度（2010年度）より始まる新たな「第Ⅷ期南極観測事業計画」、「極地研究所次期中期計画」における、気球観測の位置づけや展望について、自由な議論を行うことを目的とする。ここでいう”気球”とは、大気球のみならず、ゴム気球や係留気球など、あらゆるタイプの Balloon を含み、「気球」をキーワードにして、幅広い分野の様々な視点からの議論を行うことにより、将来へ向けた新しい「極域における気球観測」の展望が開かれることを目指す。

経過：

以下のようなプログラムで開催した。

10:30～12:40

- |                         |      |
|-------------------------|------|
| 1. 趣旨説明                 | 門倉昭  |
| 2. 南極周回気球実験             | 門倉昭  |
| 3. 南極周回気球による宇宙線観測の現状と展望 | 鳥居祥二 |

- |   |        |
|---|--------|
| 4. 南極周回気球による宇宙線反物質探索                                  | 福家英之   |
| 5. 南極昭和基地における回収気球実験の歩み<br>ー大型クライオジェニック・サンプラーと小型JTクーラー | 山内恭    |
| 6. 成層圏大気中の微量気体観測と大気の平均年代について<br>(休憩)                  | 菅原敏    |
| 13:30~17:00   |        |
| 7. JAXAにおける気球実験                                       | 斉藤芳隆   |
| 8. 光学および電気化学式オゾンゾンデによるオゾン高度分布観測                       | 村田功    |
| 9. 成層圏大気観測用超伝導サブミリ波リムサウンダ(BSMILES)                    | 入交芳久   |
| 10. 気球搭載望遠鏡による惑星圏観測                                   | 高橋幸弘   |
| 11. GPS反射波を利用した極域リモートセンシング<br>(休憩)                    | 海老沼拓史  |
| 12. 係留気球を使用した大気エアロゾルの観測：JARE46での越冬観測                  | 原圭一郎   |
| 13. 気象庁の離島4官署に整備した自動気球放球装置の紹介                         | 阿保敏広   |
| 14. 風に強い特殊バルーンによる空撮システム                               | 田中政則、他 |
| 15. 自由討論  |        |

成 果：

現時点で日本の研究者が関与している「極域における気球観測」についてのほとんどの課題が提示されたのではないかと考えられ、我が国のこの分野の現状を概観する上で非常によい機会であった。また、宇宙物理関係から超高層、気象、地圏、と幅広い専門分野の研究者が、「気球」というキーワードの下で一堂に会することにより、分野を超えた交流や理解も若干ではあるが進められたのではないと思われる。こうした現状理解を原点として、これまでの気球観測のフレームワークにはとらわれない新しい気球観測プロジェクトが、次期の南極観測事業計画の中で、提案され、推進されることが次の期待であるが、そのための小さな布石にはなったのではないだろうか。また、最後の講演は研究観測とは異なる趣旨のものではあったが、この「特殊バルーン」を南極観測に用いる可能性など非常に興味深く、その後に行われた実物のデモも含め、多くの出席者の興味を引いていた。

## (研究集会報告書)

研究課題名：雪氷コア解析データの南北比較による古気候復元に関する研究集会

開催日：平成20年3月17日～18日

開催場所：国立極地研究所

出席者：原圭一郎（福岡大学理学部）、山本正伸（北海道大学地球環境科学科）、竹村俊彦（九州大学応用力学研究所）、中澤高清（東北大学大気海洋変動観測研究センター）、青木周二（東北大学大気海洋変動観測研究センター）、堀彰（北見工業大学土木開発科工学科）、植竹淳（国立極地研究所）、本山秀明（国立極地研究所）、藤田秀二（国立極地研究所）、川村賢二（国立極地研究所）、東久美子（国立極地研究所）

開催の目的：南極ドームふじやグリーンランド等で掘削された雪氷コアの最新データを紹介し、情報交換を行う。両極で得られたコア解析データを比較することにより、気候変動のメカニズムに関する新たな知見を得ることができる。また、これまで得られたデータをもとに、グリーンランド、南極、内陸アジアで新たに計画されている深層雪氷コア掘削計画の展望について議論し、国際共同研究への日本の参加について検討する。

経過：

本研究集会は講演会と研究打ち合わせの二つの部分から構成された。講演会では、「北グリーンランド深層氷床コア掘削計画（NEEM）— 北半球最古の氷床コアによる気候・環境復元（国際共同研究）」、「西グリーンランドの氷河における雪氷藻類群集」、「X線回折法による氷床コアの物理構造解析」、「グリーンランドコアのガス関連の研究計画」、「極域対流圏のエアロゾル：起源と輸送」、「全球エアロゾル気候モデルを用いた最終氷期極大期におけるダストシミュレーション」、「北太平洋・熱帯太平洋の古海洋学」というタイトルの7件の講演が行われ、活発な質疑応答があった。研究打ち合わせにおいては、北グリーンランド深層氷床コア掘削計画（NEEM計画）に係る議論を行った。

成果：

本研究集会では、NEEM計画の概要紹介が行われた。また、グリーンランド氷床コア、ドームふじ氷床コア、グリーンランド積雪サンプルを用いた研究の成果発表が行われ、これまでの研究成果を踏まえた上で、グリーンランドで新たに掘削するNEEM氷床コアを用いた研究の提案が行われた。NEEM計画の目

的、意義、国際共同研究の概要、今後の時間スケジュール、フィールド調査の進め方、NEEM コア研究の進め方、国際共同研究の進め方等に関して関係者の間で意見交換を行い、共通理解を持つことができた。また、氷床コアや積雪サンプルを用いた雪氷分野の研究だけでなく、他分野の研究者によるエアロゾルの観測研究、モデル研究、海底コアの研究に関する講演を通じて、氷床コアデータの解釈と大きく関わる貴重な情報を得ることができた。これは、今後の氷床コア研究の発展に大きく貢献することが期待される。一方、他分野の研究者にとっても、氷床コア研究に関する知識を共有することは、今後の研究の発展に役立つと考えられる。本研究集会を通じて、今後、雪氷分野と他分野の研究者の共同研究推進が促進できるものと期待される。

## 研究集会報告書

研究課題名： 南極医学研究及び医療に関する研究集会

開催日： 平成 19 年 8 月 25 日

開催場所： 国立極地研究所 講堂

出席者： 別添資料参照

### 開催の目的：

本研究集会の目的は、現在取り組まれているわが国の南極医学医療研究の到達点を明らかにすること、今年出発する第 49 次隊をはじめ今後の南極医学医療研究のあり方を模索することにある。南極特有の医学的問題の研究により得られる成果を利用する事により、南極観測隊員の疾病予防、健康増進にも役立つことが期待される。

南極の医学医療研究テーマが実に多岐にわたることから、ジャンルを超えた多彩な領域の専門家の参加を得てアドバイス・討論を行う事を目指している。また南極に関心のある多くの医師、研究者に南極を身近に感じてもらうことも大きな目標の一つとしている。

### 経過：

当該研究集会を 8 月 25 日（土）10 時より開催した。患者さんのいる医師の都合により、毎年 8 月下旬の土曜日に開催しているものである。インド、中国、韓国の医師を含む所外の 38 名、延べ 49 名の参加があり、南極の医学研究を中心に興味深い研究発表がなされたほか、外国基地の医療事情についても報告があった。

第 45 次隊から継続して実施している越冬隊員の心理研究について、3 年分の解析結果の概要が報告され、隊による違いと隊によらない毎年同様の季節変化の傾向とがわかってきた事、3 つの国の南極観測隊のデータにより国民性による心理ストレスへの対処法の違い等の報告があった。また、観測隊員の過去の検査データを今後の研究等に使用するためには、個人の上承を別途得なくとも、外部の医師、法律家等による倫理委員会の承認があれば可能である事等、疫学の専門家によるレクチャーもあり、将来の新たな医学研究に利用の道が開かれる可能性が示唆された有意義な会合であった。

成 果：

疫学の専門家によるレクチャーにより、観測隊員の過去の検査データを今後の研究等に使用する道がある事が明らかとなり、今後助言を得ながら長年の貴重な観測隊員の医学データを解析、取りまとめて、南極観測隊員の安全、健康管理に役立てる試みを実現する方向へ進める参考となった。

本研究集会により、今年出発する第49次隊の医師が実施しようと計画している医学研究について、観測隊医師経験者から様々なアドバイスを得、より現実に即した計画とし、準備ができるものと期待できる。また、ここでの議論を元に、昭和基地から様々な助言を得るためのネットワークが形成できたものと期待できる。

本研究集会の報告は、南極資料に投稿予定である。

## 南極医学研究集会参加者

25.8.2007

氏名	所属
大谷真二	日野病院
北島みよ子	文京学院大学
桑原知子	京都大学
渡邊研太郎	極地研
碓氷章	文京学院大学
行松彰	極地研
鹿糠敏和	岩手日報(49次同行記者)
本山秀明	極地研
石塚繁廣	(株)エー・アンド・デイ
渡辺尚彦	東京女子医大
下枝宣史	下都賀総合病院
石原京子	大阪警察Hp臨床検査センター
泉龍太郎	JAXA
井上夏彦	JAXA
当山陽介	49次観測隊(医療)
長谷川恭久	神戸医療センター
Hong, Jong Won	Yonsei Univ. HOSP, KOREA
鳴岩伸生	京都光華女子大学
野元掘隆	極地研
牛尾収輝	極地研
橋本信子	49次観測隊(医療)
原稔	苓北医師会病院
大野義一朗	代々木病院
長田誠	山梨大学
Prakash Kotwal	AII, INDIA
田辺敏子	(派遣社員)
大日方一夫	南部郷総合病院
小達恒夫	極地研
Kyung Nam Koh	Ajou Univ. HOSP, KOREA
大野秀樹	杏林大学
Jin Wei	Zhongnan Hospital, Wuhan Univ. CHINA
佐々木玲仁	京都文教大学
川部哲也	京都大学
伊村智	極地研
石沢賢二	極地研
勝田豊	極地研
白石和行	極地研
森本武利	京都府立医大
前川剛輝	国立スポーツ科学センター
澤谷篤	日本医科大学
穆浩生	鳥取大学
高島豊	杏林大学
嶋宮民安	山梨大学
石井良和	東邦大学
藤田建	気象庁

### Ⅲ. 平成19年度共同研究課題一覧

1 平成19年度共同研究実施件数

区 分	研 究 分 野	平成19年度実施件数			平成19年度 終了件数	平成20年度 継続件数
		新 規	平成18年度 からの継続	計		
一般共同研究	宙 空 圏	9	17	26	9	17
	気 水 圏	3	11	14	6	8
	地 圏	7	16	23	9	14
	生 物 圏	10	12	22	8	14
	極 地 工 学	4	4	8	4	4
	計	33	60	93	36	57
研 究 集 会			8		8	0

## 2 一般共同研究

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
宙空圏	高感度光学観測機器による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究	塩川 和夫	名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授	17～19 3年
	磁気嵐時の中緯度におけるDP2電流系の発達に関する研究	橋本 久美子	吉備国際大学政策マネジメント学部・准教授	17～19 3年
	宇宙環境シミュレーション開発と宇宙飛翔体-プラズマ相互作用の研究	白井 英之	京都大学生存圏研究所・准教授	17～19 3年
	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	櫻井 敬久	山形大学理学部・教授	17～19 3年
	オゾンホール化学に関連する大気微量成分の各種変動について	柴崎 和夫	國學院大學文学部・教授	17～19 3年
	磁気圏VLF波動の方位測定に関する研究	服部 克巳	千葉大学理学部・准教授	17～19 3年
	レーダーおよび光学観測機器を用いた極域下部熱圏・中間圏の研究	野澤 悟徳	名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授	18～20 3年
	広帯域磁力計ネットワークおよび極域総合観測による極域電磁現象の解明	高橋 幸弘	東北大学大学院理学研究科・講師	18～19 2年
	SuperDARNレーダーによる高・中緯度電離圏ダイナミクスの研究	小川 忠彦	名古屋大学太陽地球環境研究所・教授	18～19 2年
	オーロラ嵐とその学際領域の研究	三澤 浩昭	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・准教授	18～20 3年
	AKRスペクトル解析によるオーロラ粒子加速域の構造と発達過程の研究	森岡 昭	東北大学大学院理学研究科・教育研究支援者	18～20 3年
	大気圏と電離圏との電磁結合に関する研究	早川 正士	電気通信大学電気通信学部電子工学科・教授	18～20 3年
	オーロラX線の発生機構と高エネルギー粒子加速の研究	中川 道夫	大阪産業大学工学部・客員教授	18～20 3年
	地球磁場減少に伴う超高層大気環境変動の総合調査	巻田 和男	拓殖大学工学部・教授	18～20 3年
科学衛星「あけぼの」による波動観測と地上観測の対比による極域電磁圏プラズマの構造・ダイナミクスの解明	小野 高幸	東北大学大学院理学研究科・教授	18～20 3年	

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
宙空圏	オーロラ粒子分布パターンの研究	白井 仁人	一関工業高等専門学校・准教授	18～19 2年
	地上磁場観測網による磁気圏プラズマ密度の推定	河野 英昭	九州大学宙空環境研究センター・准教授	18～20 3年
	SuperDARNと地磁気・GPS-TEC・衛星データを用いた極域電磁圏ダイナミクス	細川 敬祐	電気通信大学電気通信学部・助教	19～20 2年
	ULTIMAを用いたグローバルな電磁場擾乱の解析研究	湯元 清文	九州大学宙空環境研究センター・教授(センター長)	19～21 3年
	衛星・地上多重同時観測によるULF波動の研究	利根川 豊	東海大学工学部・教授	19～21 3年
	ドームふじ基地における天文観測の調査検討	中井 直正	筑波大学大学院教理物質科学研究科・教授	19～21 3年
	極域における成層圏・中間圏の組成変動観測のための小型ミリ波放射計の評価と改良	水野 亮	名古屋大学太陽地球環境研究所・教授	19～21 3年
	オーロラ活動に伴う極域熱圏中性風の研究	小泉 宜子	名古屋大学太陽地球環境研究所・研究機関研究員	19～21 3年
	極冠帯・極光帯大気のエネギー力学	前田 佐和子	京都女子大学現代社会学部・教授	19～21 3年
	れいめい衛星と地上レーダー網・オーロラカメラによる極域オーロラ現象の同時観測	平原 聖文	東京大学大学院理学系研究科・教授	19～21 3年
極域での昼夜自動観測を目的としたライダーシステムの検討	川原 琢也	信州大学工学部・准教授	19～21 3年	
気水圏	パルスパワーによる砕氷に関する研究	猪原 哲	佐賀大学理工学部・講師	17～19 3年
	-30℃以下で成長する雪結晶の形態	高橋 忠司	埼玉大学教育学部・教授	17～19 3年
	南極浅層コアと気象観測データを用いた過去数百年間から近年における気候・気象研究	高橋 修平	北見工業大学工学部・教授	17～19 3年
	同位体観測による北極域でのメタン変動の研究	中澤 高清	東北大学大学院理学研究科・教授	18～20 3年
	リモートセンシングデータを用いた南極域における水蒸気・雲変動の研究	久慈 誠	奈良女子大学理学部・講師	18～20 3年

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
気水圏	85GHz輝度温度画像を用いた冬期異常昇温現象の年変動に関する研究	畑中 雅彦	室蘭工業大学工学部・教授	18～20 3年
	極地氷コア中金属成分から探るエアロゾルの広域拡散過程	鈴木 利孝	山形大学理学部・准教授	18～20 3年
	南極雪氷中の火山・宇宙起源物質の研究(Ⅲ)	福岡 孝昭	立正大学地球環境科学部・教授	18～20 3年
	ECCオゾンゾンデによるBSMILESの検証観測	入交 芳久	(独)情報通信研究機構電磁波計測研究センター・主任研究員	18～19 2年
	リュツォ・ホルム湾周辺における海水域のモニタリングと変動特性	泉山 耕	(独)海上技術安全研究所流体部門氷海技術研究グループ・グループ長	18～19 2年
	南大洋の海水分布と海洋循環の研究	若土 正暁	北海道大学低温科学研究所・教授(所長)	18～19 2年
	小型無人航空機を用いた極域における大気・海水観測に関する研究	猪上 淳	(独)海洋研究開発機構地球環境観測研究センター・研究員	19～20 2年
	氷床コア中のイリジウム分析による小惑星衝突の検出	矢坂 裕太	大阪大学環境安全研究管理センター・講師	19～20 2年
	ドームふじ深層コアの氷およびハイドレートの物理解析	堀 彰	北見工業大学・准教授	19～21 3年
地圏	非平衡普通コンドライトの岩石鉱物学的研究	木村 眞	茨城大学理学部・教授	17～19 3年
	東南極リュツォ・ホルム岩体の形成史の再検討	廣井 美邦	千葉大学理学部・教授	17～19 3年
	チタンの分配から見た東南極ナビア、レイナー、リュツォホルム岩体の超高温変成履歴の精密解析	川寄 智佑	愛媛大学大学院理工学研究科・教授	17～19 3年
	東南極ナビア岩体の地球化学とその初期地球史解明における意義	石塚 英男	高知大学理学部・教授	17～19 3年
	南極プレート下の上部マントル構造とダイナミクスの地震学的研究	中西 一郎	京都大学理学部・教授	17～19 3年
	極域の広帯域地震計データを利用した地球深部の不均質構造の研究	古本 宗充	名古屋大学大学院環境学研究科・教授	17～19 3年
	合成開口レーダ(SAR)による南極域の特徴的な地形とその変動の解析	大村 誠	高知女子大学生生活科学部・教授	17～19 3年

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
地圏	南極及びスリランカの高度変成岩中に産するグラファイト(石墨)の起源と成因に関する研究	松枝 大治	北海道大学総合博物館・教授	17～19 3年
	リーセルラルセン山地域ナピア岩体の放射年代・岩石磁気・地球電磁気の研究	岩田 尚能	山形大学理学部・講師	17～19 3年
	東ドラニンモードランド・セールロンダーネ山地のテクトニクス	小山内 康人	九州大学大学院比較社会文化研究院・教授	18～20 3年
	東ドラニンモードランドの地殻構造に関する地震学的研究	宮町 宏樹	鹿児島大学理学部・教授	18～20 3年
	凍土・周氷河プロセス観測網の極域への展開	松岡 憲知	筑波大学大学院生命環境科学研究科・教授	18～20 3年
	後期新生代未固結堆積物による東南極氷床変動史に関する総合的研究	前 奎 英明	広島大学大学院教育学研究科・教授	18～20 3年
	極域海洋堆積物および南極・アフリカ等の岩石を対象とする磁気物性からみた古環境と地磁気変動の研究	酒井 英男	富山大学理学部・教授	18～20 3年
	南極海海洋底リソスフェアの進化に関する研究	島 伸和	神戸大学内海域環境教育研究センター・准教授	18～20 3年
	東南極中央ドラニンモードランドの変成作用・火成作用に関する研究	馬場 壮太郎	琉球大学教育学部・准教授	18～20 3年
	ミグマタイトの精密年代測定による深成変成帯の形成過程解明	中 島 隆	(独)産業技術総合研究所・主任研究員	19～20 2年
	衛星重力の応用とその地上検証に関する研究	福田 洋一	京都大学大学院理学研究科・准教授	19～21 3年
	リュツォ・ホルム岩体産コンダライト中のザクロ石の微量元素累帯構造と部分熔融および年代測定可能な副成分鉱物の消長の関係解明	河上 哲生	京都大学大学院理学研究科・助教	19～21 3年
	東南極ナピア、リュツォ・ホルム岩体に産する造岩鉱物の微細組織解析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	19～21 3年
	南極プレート発散境界インド洋海嶺の発展史に関する研究	松本 剛	琉球大学理学部・教授	19～21 3年
熔融脈を有する南極産隕石と地球岩石の再磁化特性に関する研究	中村 教博	東北大学大学院理学研究科・助教	19～21 3年	
リュツォ・ホルム湾沿岸の浅海及び湖沼堆積物についての環境磁気学及び古環境学的研究	佐藤 高晴	広島大学大学院総合科学研究科・准教授	19～21 3年	

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
生物圏	極域微生物の系統のおよび生理生態的多様性に関する研究	長 沼 毅	広島大学大学院生物圏科学研究科・准教授	17～19 3年
	カナダ北極圏アムンゼン湾における動物プランクトンフラックスの変動	佐々木 洋	石巻専修大学理工学部・教授	17～19 3年
	南極海の炭素循環に果たす小型動物プランクトンの役割に関する研究	谷 村 篤	三重大学生物資源学部・准教授	17～19 3年
	データロガーを用いた魚類の移動・回遊に関する行動生理学的研究	河 邊 玲	長崎大学環東シホ海洋環境資源研究センター・准教授	17～19 3年
	海水域における低次生産の動態と環境応答に関する生態学的研究	田 口 哲	創価大学工学部・教授	17～19 3年
	極域の湖底堆積物による環境と生物の変遷に関する生物地球化学的研究	井 上 源 喜	大妻女子大学社会情報学部・教授	17～19 3年
	南極海における底生生物の分類・分布及び成長・生理に関する研究	沼 波 秀 樹	東京家政学院大学家政学部・准教授	17～19 3年
	衛星マルチセンサーによる極域および高緯度海域の基礎生産過程の研究	齋 藤 誠 一	北海道大学大学院水産科学研究院・教授	17～19 3年
	南極海・海水域におけるクロミンクジラの分布密度	島 田 裕 之	(独)水産総合研究センター遠洋水産研究所・室長	18～20 3年
	繁殖期における大型動物の生理状態と行動の変動についての研究	坂 本 健 太 郎	北海道大学大学院獣医学研究科・助教	18～20 3年
	外洋性海鳥の行動測定によるホットスポットの海洋環境変動の研究	綿 貫 豊	北海道大学大学院水産科学研究院・准教授	18～20 3年
	極域表層土壌内有機炭素ダイナミクスの解明と温暖化影響評価	内 田 昌 男	(独)国立環境研究所化学環境研究領域・研究員	18～20 3年
	絶対的抗菌薬非暴露環境における耐性菌の出現と進化	田 村 豊	酪農学園大学獣医学部・教授	19～20 2年
	データロガーを用いた動物行動学研究	佐 藤 克 文	東京大学海洋研究所・准教授	19～20 2年
低温および塩類ストレス環境下に生息する多価不飽和脂肪酸産生微生物の探索と同定	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	19～21 3年	
極域より分離した微細藻類や細菌の耐冷性、耐凍性の研究とその応用	長 島 秀 行	東京理科大学理学部第一学部・教授	19～21 3年	

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
生物圏	海洋と南極湖沼における硫黄循環に対するジメチルスルフォキシド(DMSO)呼吸の役割の解明	松崎 雅 広	広島大学大学院理学研究科・助教	19～21 3年
	昭和基地周辺における土壌藻類および土壌微生物を用いた環境モニタリングの実施	大谷 修 司	島根大学教育学部・教授	19～21 3年
	南極における紫外線の生物に与える影響と、好冷性微生物を用いた機能性食品の研究	高橋 哲 也	島根大学教育学部・教授	19～21 3年
	南極のラン藻類を中心とした湖底の藻類群集の光合成に関する研究	菓子野 康 浩	兵庫県立大学大学院生命理学研究科・助教	19～21 3年
	海洋微生物の低温適応機構	奥山 英 登 志	北海道大学大学院地球環境科学研究科・准教授	19～21 3年
	オホーツク海沿岸域における海水形成過程と基礎生産動態に関する研究	西野 康 人	東京農業大学生物産業学部・講師	19～21 3年
極地工学	高真空条件下での観測機器の動作・熱制御に関する研究	中村 正 人	(独)宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部・宇宙科学基礎研究系・教授	17～19 3年
	極地の活動における静電気障害とその対策に関する基礎研究	大熊 康 典	東京農工大学大学院共生科学技術研究院・助教	18～19 2年
	昭和基地建物に使用される木質材料の耐久性を調べるための新材の強度基準値の設定	半貫 敏 夫	日本大学理工学部・教授	18～192年
	南極条約地域におけるバイオプロスペクティング活動の国際法的検討	柴田 明 穂	神戸大学大学院国際協力研究科・教授	18～20 3年
	南極基地設営におけるマニュアルおよびスペース整備に関する研究	松村 秀 一	東京大学大学院工学系研究科・教授	19年 1年
	極地における新エネルギー導入によるエネルギー対策に関する研究	木村 茂 雄	神奈川工科大学・教授	19～21 3年
	南極地域観測隊装備衣料の意匠性と機能性についての研究	伊豆原 月 絵	大阪樟蔭女子大学学芸学部・准教授	19～21 3年
南極における曝露繊維の表面特性変化機構の解明	奥野 温 子	武庫川女子大学生生活環境学部・教授	19～21 3年	

### 3 研究集会

研究課題名	研究代表者	所属・職
(1) SuperDARNによる極域・中緯度電離圏比較研究集会	西谷 望	名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授
(2) 極域を含む学際的地球科学推進のためのeGYメタ情報システム構築の検討	家森 俊彦	京都大学大学院理学研究科・教授
(3) 電離圏・磁気圏のリモートセンシングデータとモデルの結合	田口 聡	電気通信大学大学院情報通信工学科・准教授
(4) 極地大気エアロゾルに関する研究小集会	長田 和雄	名古屋大学大学院環境学研究科・准教授
(5) 極域における衛星データ利用に関する研究集会	福田 洋一	京都大学大学院理学研究科・准教授
(6) 南極医学研究及び医療に関する研究集会	大野 義一朗	代々木病院・外科部長
(7) 超長期間飛翔大気球による新しい極域科学観測の可能性	門倉 昭	国立極地研究所・准教授
(8) 雪氷コア解析データの南北比較による古気候復元に関する研究集会	東 久美子	国立極地研究所・准教授

本報告書は、平成 19 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。