

平成30年度
共同研究報告書



国立極地研究所

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

目次

I. 共同研究報告(終了)

一般共同研究

(1) 宙空圏

No.	研究課題名	研究者名	ページ
28-2	ライダーシステムを活用した大気科学・大気環境監視に関する研究	津田 卓雄	7
28-3	光学オゾンゾンデを用いた成層圏オゾンおよび二酸化窒素の観測	村田 功	9
28-4	昭和基地宇宙線観測システムの開発	宗像 一起	11
28-5	SuperDARNで観測される磁力線共鳴現象からの磁気圏領域推定	河野 英昭	13
28-7	新しいレーザー技術の南極観測への応用	桂川 眞幸	15
28-8	超高高度分解能共鳴散乱ライダーのための受信系開発	川原 琢也	17
28-10	高感度小型全天カメラの多地点観測による大気光研究	鈴木 臣	19
29-4	太陽圏と宇宙線のシミュレーション研究	三宅 晶子	21
29-17	太陽起源高エネルギープロトンの地球磁気圏・大気圏への進入過程の研究	三好 由純	23
30-2	磁気異常帯に入射する粒子の相対論的方程式の導出と波動生成	池田 慎	25
30-10	極領域における磁気圏入力を考慮した全大気圏電離圏変動の研究	陣 英克	27

(2) 気水圏

28-12	北極チャクチ海における海氷の係留・衛星観測研究	深町 康	30
28-13	ポリニヤでの海氷生成及びそれに伴う南極底層水形成に関する研究	大島 慶一郎	32
28-14	南極海氷コアを用いた大気および海洋生物地球化学過程の解明	野村 大樹	34
28-15	南極域における現地・衛星観測データを用いた海氷厚導出アルゴリズムの開発	舘山 一孝	37
28-17	しらせ氷海モニタリングデータの解析による海氷状況の把握	山口 一	40
28-19	リモートセンシング観測データを用いた雲の動態解析	久慈 誠	43
28-20	南極表面積雪の物理解析	大野 浩	46
28-21	衛星搭載の合成開口レーダデータを用いた南極海氷変動の解析	中村 和樹	48
28-22	近年の両極変化に伴う大気海洋循環変動と極端気象発現過程	本田 明治	50

(3) 地圏

28-23	変成反応組織を用いたリュツォ・ホルム岩体での物質移動、変成継続時間の解明	池田 剛	53
28-24	微惑星表層に記録された衝突履歴の解明	宮原 正明	55
28-25	東南極ドロンピングモードランドおよびスカンジナビア半島に産する高度変成岩類に記録された部分熔融と流体活動履歴	河上 哲生	57
28-26	太古代・原生代の海洋底堆積物に残される地球海底環境変遷	清川 昌一	60

28-27	東南極ナピア岩体に産する造岩鉱物の微細組織観察および熱史への適用	三宅 亮	.....	62
28-28	彗星及び小惑星起源の南極微隕石を用いた極初期の母天体過程の解明	野口 高明	.....	65
28-29	リュツォ・ホルム岩体の変成作用と微小地塊・テレーンの多重衝突	馬場 壮太郎	.....	68
28-32	チリ海嶺—海溝に沈み込みつつある中央海嶺の火成活動の衰退	松本 剛	.....	70
29-35	松山-ブルン地磁気逆転境界の年代決定	岡田 誠	.....	72
 (4)生物圏				
28-34	野生植物に寄生する低温性糸状菌の多様性と生態解析	東條 元昭	.....	74
28-35	極域の光合成生物の生理応答機構の解析	菓子野 康浩	.....	77
28-37	昭和基地周辺モニタリング定点から分離された土壤藻類の分類学的研究	大谷 修司	.....	80
28-38	亜寒帯域沿岸の表層水におけるpH高解像度マッピング技術の開発	今井 圭理	.....	82
28-39	極地に生息する病原体、病原因子・抗菌薬耐性因子の網羅的解析	石井 良和	.....	84
28-41	南極湖沼生態系の数理モデル化に関する研究	佐々木 顕	.....	86
28-42	南極の紫外線が生物に及ぼす影響に関する研究	高橋 哲也	.....	88
28-43	南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明	上野 大輔	.....	98
29-42	細胞が長鎖多価不飽和脂肪酸を合成するのは嫌気環境への適応か？	吉田 磨仁	.....	100
 (5)極地工学				
28-45	組込技術を用いたインタラクティブ展示に関する研究	伊豆原 月絵	.....	103
28-46	防水型極地回収気球搭載回路の開発	森本 真司	.....	106
28-48	雪上車および橇による内陸輸送力強化に関する基礎研究	香川 博之	.....	108
28-49	新内陸基地建設に向けた物資輸送計画の検討	横山 宏太郎	.....	111
28-50	昭和基地～極地研間衛星回線の効率利用に資する南極観測データの高速伝送実験	村田 健史	.....	113
29-46	南極観測隊員の極地におけるリスクへの意識とリスク感受性の把握	村越 真	.....	116
30-33	極地建築・土木に関する雪氷防災工学研究	金 高義	.....	118

II. 研究集会報告

研究集会

No.	研究課題名	ページ
30集1	太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明	121
30集2	PANSY研究集会	122
30集3	極域磁場・オーロラ変動のグローバルメカニズム研究会	123
30集4	中間圏、熱圏、電離圏(MITI)研究集会	124
30集5	宙空および周辺分野のシミュレーション研究集会	126
30集6	地球環境の歴史的変遷に関する文理融合研究	127
30集7	「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の推進	128
30集8	EISCAT研究集会	129
30集9	極域科学計算機システムを用いた極域科学研究の今後の展開	130
30集10	極域における宙空圏観測・研究の将来構想に関する研究集会	131
30集11	SuperDARAN研究集会	132
30集12	南極海洋-海氷-氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会	133
30集13	寒冷域における降雪観測や雪結晶の研究と教育の今後の展望	134
30集14	2018年度 エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会	135
30集15	南極エアロゾル研究会	136
30集16	ロシア北極域の環境変動観測研究の現状と将来	137
30集17	永久凍土の変動とそのモニタリングに関する研究集会	138
30集18	南極30m級テラヘルツ望遠鏡によるサイエンスの検討	140
30集19	グリーンランドの氷床・気候変動とその影響	141
30集20	南極ドームふじ氷床深層コア全層詳細解析および「最古のアイスコア」についての研究討論集会	142
30集21	2018年度 極域大気～アイスコア中の微生物に関する研究集会	143
30集22	可聴下波動伝播特性による極域の多圏融合物理現象解明に関する研究集会-IV	144
30集23	東南極リュツォ・ホルム岩体およびその周辺地域・関連地域の地殻進化の研究	145
30集24	極域のオープンデータ・オープンサイエンスに関する研究集会	146
30集25	太陽系小天体探査に向けた惑星物質の分光的研究 (その2)	147
30集26	極域から探る地球表層変動と固体地球の応答	148
30集27	南極沿岸生態系における動物相の多様性解明に向けて	149
30集28	「北極研究の長期構想」改訂を踏まえた北極研究構想研究集会	150
30集29	無人機の活用による極地観測の展開	151

Ⅲ. 平成30年度共同研究課題一覧

1. 平成30年度共同研究実施件数	.....	153
2. 一般共同研究	.....	154
3. 研究集会	.....	159

1. 記号の説明

◎・・・・研究代表者

2. 表記例

(研究課題)	微惑星表層に記録された衝突履歴の解明
(研究代表者)	◎宮原 正明 広島大学大学院理学研究科・准教授
(共同研究者)	大谷 栄治 東北大学大学院理学研究科・名誉教授 小澤 信 東北大学大学院理学研究科・助教
(担当教員)	(国立極地研究所) 山口 亮
(研究期間)	平成28年度 ～ 平成30年度 (3か年)

• •

ライダーシステムを活用した大気科学・大気環境監視に関する研究

◎津田 卓雄 電気通信大学 大学院情報理工学研究科・助教
 芳原 容英 電気通信大学 大学院情報理工学研究科・教授
 富澤 一郎 電気通信大学 宇宙・電磁環境研究センター・准教授
 (国立極地研究所)
 中村 卓司 教授
 江尻 省 助教
 西山 尚典 助教
 田中 良昌 特任准教授
 平成 28 年～平成 30 年 (3 年間)

[研究成果]

大気科学・大気環境監視に関する共同研究活動として、特に、金属組成の動態研究を進めた。地球大気の超高層領域には流星由来の金属組成 (Na, K, Fe, Ca⁺ など) が分布している。金属組成は、HF/VHF 帯 (無線通信, ラジオ放送, 航空機通信, etc.) の電波伝搬環境に大きく影響することが知られており、金属組成の動態を観測的に研究することは、電波伝搬環境の監視など社会的観点においても重要な課題となっている。本研究で用いるライダーを含む光リモートセンシング技術は、地上から遠く離れた超高層領域の大気情報を取得する貴重な計測技術であり、とりわけ金属組成の持つ強い共鳴線を利用して大気組成 (金属組成) の情報を得られる点は非常にユニークである。

南極昭和基地で 2000-2002 年に実施された Na ライダーの観測データ (約 3 年分) を解析し、オーロラ高エネルギー粒子が Na に与える影響について統計的に調査した。高エネルギー粒子の指標としては、南極昭和基地のイメージングリオメータで取得された Cosmic Noise Absorption (CNA) の同時データを用いた。

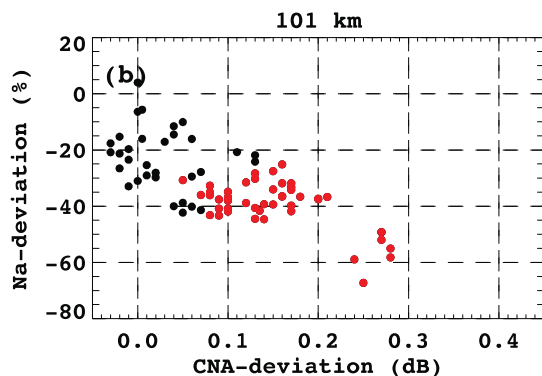


図 1. CNA の偏差と Na 密度の偏差の相関。

図 1 に CNA の偏差と高度 101 km の Na 密度の偏差の相関を示す。両者には負の相関 (-0.6 程度) があり、高エネルギー粒子が増大すると Na 密度が減少する傾向が見られた。この結果は、高エネルギー粒子が起こす電離によって増大した電離圏イオン (NO⁺, O₂⁺) が Na との電荷交換反応 (Na のイオン化) を促進することで Na を減少させることを示唆する結果であると考えられる。また、地上定点観測の特徴を活かし、Na 減少量の LT 特性も明らかにした。以上の成果をまとめ、今後、学術論文として投稿する予定である。

地上ライダーの観測データ解析と並行して、低軌道人工衛星観測 (Odin/OSIRIS) の Na データを用いた統計的な調査も実施した。その結果、オーロラ活動活発時に両半球の極域全体で Na 密度が減少傾向にあることを見出した (図 2 参照)。この結果は、南極昭和基地 Na ライダーデータの事例解析の結果とも整合的である。以上の成果について、学術論文として発表した (Tsuda et al., GRL, 2017)。

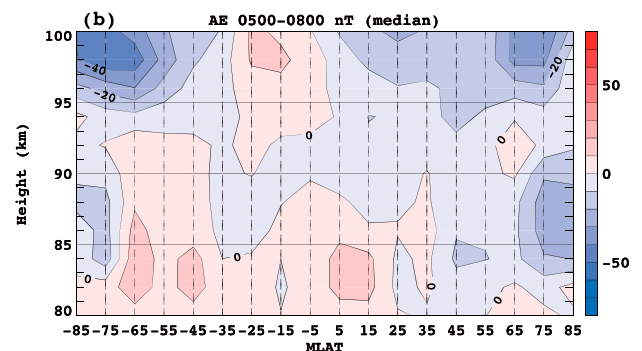


図 2. オーロラ活動活発時の Na 密度の偏差の磁気緯度-高度分布 (from Tsuda et al., GRL, 2017)。

中緯度域に関しては、2014年に東京都立川市(国立極地研究所)で実施したCa⁺ライダーの観測データを解析し、電離大気中の不規則構造に関する調査を進めた。スプラディックCa⁺層と呼ばれる高密度のCa⁺イベントに着目することで高SNRを確保しながら高分解能データを得ることに成功し、電離大気中の不規則構造を詳細に捉えた(図3参照)。以上の成果について、学術論文として発表した(Ejiri et al., EPS, 2019)。

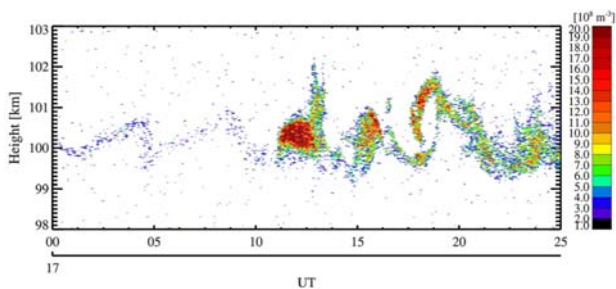


図3. Ca⁺密度の時間-高度分布 (from Ejiri et al., EPS, 2019).

金属組成関連以外の研究テーマとして、極中間圏雲(Polar Mesospheric Clouds: PMC)に関する観測研究にも着手した。PMCは、中間圏界面付近に発生する地球上で最も高度の高い氷晶雲であり、地球温暖化進行の指標として注目されている。地上観測や低軌道衛星観測など、これまでに様々な手法でPMC観測が広く行われてきたが、静止軌道衛星からのPMC観測は散発的な報告があるのみである。本研究では、日本の最新の静止軌道気象観測衛星ひまわり8号の全球画像中にPMCによる発光を見出し、速報として学術論文を発表した(Tsuda et al., AMT, 2018)。

[研究発表]

- M. K. Ejiri, T. Nakamura, T. T. Tsuda, T. Nishiyama, M. Abo, T. Takahashi, K. Tsuno, T. D. Kawahara, T. Ogawa, and S. Wada, Vertical fine structure and time evolution of plasma irregularities in the Es layer observed by a high-resolution Ca⁺ lidar, *Earth Planets Space*, 71, 3, doi:10.1186/s40623-019-0984-z, 2019.
- T. T. Tsuda, Y. Hozumi, K. Kawaura, K. Hosokawa, H. Suzuki, and T. Nakamura, Initial report on polar mesospheric cloud observations by Himawari-8, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 6163–6168, doi:10.5194/amt-11-6163-2018, 2018.
- T. T. Tsuda, M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, Y. Ogawa, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, and A. Mizuno, Survey of conditions for artificial aurora experiments by the second electron gyroharmonic at EISCAT Tromsø using dynasonde data, *Earth Planets Space*, 70, 94, doi:10.1186/s40623-018-0864-y, 2018.
- T. T. Tsuda, M. T. Rietveld, M. J. Kosch, S. Oyama, K. Hosokawa, S. Nozawa, T. Kawabata, A. Mizuno, and Y. Ogawa, Survey of conditions for artificial aurora experiments at EISCAT Tromsø using dynasonde data, *Earth Planets Space*, 70, 40, doi:10.1186/s40623-018-0805-9, 2018.
- M. Kogure, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, Y. Tomikawa, M. Tsutsumi, H. Suzuki, T. T. Tsuda, T. D. Kawahara, and M. Abo, Rayleigh/Raman lidar observations of gravity wave activity from 15 to 70 km altitude over Syowa (69°S, 40°E), the Antarctic, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 122, 7869–7880, doi:10.1002/2016JD026360, 2017.
- T. T. Tsuda, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Nishiyama, K. Hosokawa, T. Takahashi, J. Gumbel, and J. Hedin, Statistical investigation of Na layer response to geomagnetic activity using resonance scattering measurements by Odin/OSIRIS, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5943–5950, doi:10.1002/2017GL072801, 2017.

光学オゾンゾンデを用いた成層圏オゾンおよび二酸化窒素の観測

◎村田 功 東北大学大学院環境科学研究科・准教授
(国立極地研究所)

富川 喜弘 准教授

堤 雅基 教授

平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

東北大学では、紫外線強度の高度変化から成層圏中・上部のオゾンを直接観測する光学オゾンゾンデを開発し、宇宙科学研究所によって開発された薄型高高度気球と組み合わせて三陸における夏季のオゾン高度分布観測を1994年から2007年まで行ってきた[1, 2, 3]。2010年からは大樹町に観測地が移り、その後、オゾン以外に二酸化窒素なども同時観測できるよう小型分光計を用いたスペクトル取得型の観測器を開発し、2013年5月に初観測を行った。しかし、解析をしてみると装置に改良すべき点が多くあることが分かり、装置や観測手法を改良し、2016年9月5日に再び観測を行った。

スペクトル取得型光学オゾンゾンデは、小型分光器を用いて約280-500 nmの範囲を連続測定している。これによりオゾン以外に二酸化窒素や OClO, BrO などの吸収帯のスペクトルも取得できるため、S/Nのよいスペクトルが観測できればオゾン以外にも上記のような成分の全量あるいは高度分布が観測できる可能性がある。本研究では、二酸化窒素の高度分布導出を目標に研究を進めた。

2016年の観測では、二酸化窒素の吸収量を十分に得るために、日出直後に下部成層圏に気球が到達するよう放球した。また、その際に太陽光が入射口か

ら取り込めるように球面反射鏡を採用したり、分光器の温度安定化のために保冷剤を利用したりしている。その結果、観測時間内の波長シフトが無視できる安定したスペクトルが取得でき、S/Nを上げるための高度方向の積分などが容易になった。

解析は地上での差分吸光分光(DOAS)観測用に開発されたプログラム[4]を応用して使用した。分光器の波長感度特性は以前に極地研の積分球で測定した結果や標準光源等を利用して測定した結果を用いて補正した。スペクトルは2秒間隔(およそ高度10m毎)で取得しているが、これを1km毎に積分し、まずは成層圏の二酸化窒素積分量を求めるために高度17.5km(17.0-18.0kmの積分)のスペクトルと高度44.5km(44.0-45.0kmの積分)のスペクトルとからこの間のスラントカラムを求めた結果を図1に

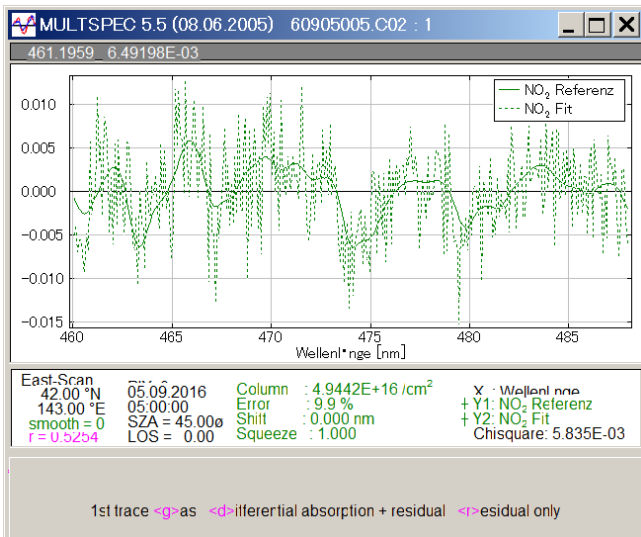


図1. 導出された17.5 - 44.5 kmの二酸化窒素スラントカラム

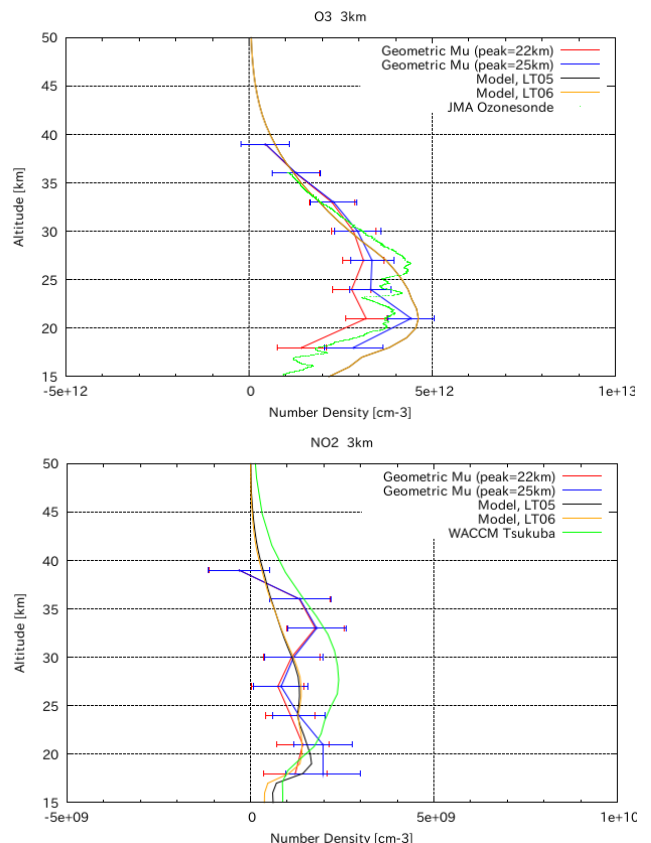


図2. 導出されたオゾン(上)と二酸化窒素(下)の高度分布

示す。スペクトルには明らかに二酸化窒素の吸収が見られ、誤差 9.9%でスラントカラムを求めることが出来た。2013年の観測では吸収が見られずほぼノイズのみであったのに比べると、まだ若干ノイズではあるものの二酸化窒素の成層圏積分量が求まっており、装置の改良と日出直後の観測の効果が十分出ていることが確認できた。

次に高度分布の導出であるが、上記の 1km 毎に積分したスペクトルから差分を取って 1km 毎の二酸化窒素数密度の高度分布を導出してみたところ、誤差が大きすぎてそのままでは難しいことがわかった。そこで、個々のスペクトルを積分する前に質のいいものだけを選ぶことにした。気球は上昇中に振り子運動など揺れがあるため、入射口に入る光量は変動する。そのため、場合によってはほぼ光が入らずノイズだけのスペクトルになることもある。あ

る程度光量が確保されて S/N のよいものだけを選んで積分すれば、積分数は減るものの S/N は向上するのではないかと考えたのである。実際には、いくつか試した結果、積分範囲の最大光量の 33% 以上のもののみ積分することにし、さらに高度分解能も 3km に落とす(積分高度範囲を 3km とする)ことにした。その結果導出されたオゾン及び二酸化窒素の高度分布を図 2 に示す。オゾンについては札幌のオゾンゾンデの結果(観測日は 9 月 7 日で 2 日異なる)に近い結果が得られており(図中青線)、二酸化窒素についてもモデル結果に比較的近い高度分布が得られた。

以上、高度分布についてはまだ改善の余地はあると思われるが、改良した装置による観測によって S/N が向上し、二酸化窒素についてもある程度の高度分布情報が得られることを示すことが出来た。

[参考文献]

- 1) Okano, S., M. Okabayashi, and H. Gernandt, Observations of ozone profiles in the upper stratosphere using a UV sensor on board a light-weight high-altitude balloon, Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 51,225-231, 1996.
- 2) Murata, I., K. Sato, S. Okano, and Y. Tomikawa, Measurements of stratospheric ozone with a balloon-borne optical ozone sensor, International Journal of Remort Sensing, 30, 3961-3966, 2009.
- 3) 村田 功、佐藤 薫、山上 隆正、岡野 章一、富川 喜弘, GPS 搭載型光学オゾンゾンデの開発, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-08-001, 57-62, 2009.
- 4) A. Richter, Absorptionsspektroskopische Messungen stratospha"rischer Spurengase u"ber Bremen, 53° N, PhD-Thesis, University of Bremen, June 1997 (in German)

[研究発表]

村田 功、野口 克行、改良されたスペクトル取得型光学オゾンゾンデによる成層圏オゾン、二酸化窒素の観測, 平成 28 年度大気球シンポジウム, 宇宙科学研究所, 2016 年 11 月.

Isao Murata, Katsuyuki Noguchi, Measurements of stratospheric ozone and nitrogen dioxide with spectrometer type balloon-borne optical ozone sensor, The 7th Symposium on Polar Science, Tokyo, Nov. 29-Dec. 2, 2016.

Isao Murata, Katsuyuki Noguchi, Andreas Richter, Alexei Rozanov, and John P. Burrows, Measurements of stratospheric ozone and nitrogen dioxide with spectrometer type balloon-borne optical ozone sensor, The 8th International DOAS Workshop, Yokohama, Japan, September 4-6, 2017.

村田 功、野口 克行、Andreas Richter, Alexei Rozanov, and John P. Burrows, スペクトル取得型光学オゾンゾンデによる成層圏オゾン、二酸化窒素の観測, 第 23 回大気化学討論会, 高松, 2017 年 10 月.

村田 功、野口 克行、Andreas Richter, Alexei Rozanov, and John P. Burrows, スペクトル取得型光学オゾンゾンデ観測からの成層圏オゾン、二酸化窒素高度分布導出, 平成 29 年度大気球シンポジウム, 宇宙科学研究所, 2017 年 11 月.

Isao Murata, Katsuyuki Noguchi, Andreas Richter, Alexei Rozanov, and John P. Burrows, Stratospheric ozone and nitrogen dioxide profiles observed with spectrometer type balloon-borne optical ozone sensor, The 8th Symposium on Polar Science, Tokyo, Dec. 4-8, 2017.

Isao Murata, Katsuyuki Noguchi, Andreas Richter, Alexei Rozanov, and John P. Burrows, Profile retrieval of the stratospheric ozone and nitrogen dioxide from the spectra observed with balloon-borne optical ozone sensor, The 9th Symposium on Polar Science, Tokyo, Dec. 4-7, 2018.

昭和基地宇宙線観測システムの開発

◎信州大学理学部・教授 宗像一起
 信州大学理学部・准教授 加藤千尋
 (国立極地研究所)
 門倉 昭 教授
 片岡龍峰 准教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

南極地域観測第IX期計画一般研究観測「南極昭和基地での宇宙線観測による宇宙天気研究の新展開」(代表者:宗像一起)に向けて、極昭和基地での中性子計と多方向ミュオン計による宇宙線観測を開始した(図1)。



図1 昭和基地宇宙線計

12フィートコンテナ2台(下図)の中に、中性子計2台(BP28×6本)とミュオン計1台(10cmφ円筒形の1m管×40本、2m管×20本)が設置されている(上図)。

本研究では、宇宙線観測システムと12フィート・リーファコンテナ2台(宇宙線観測システム格納用)の調達、信州大学での性能テスト、立川での組み立てテストを経てJARE59夏隊で昭和基地での設置を行った。PCによる自動無人観測は2018年2月から順調に継続中であり、リアルタイム・データが自動的に転送されている。この観測の、現在までのデータから得られた諸元を表1に示す。

観測された宇宙線計数率は、宇宙線計コンテナ内

表1 昭和基地宇宙線計諸元

地理的緯度	69°00'29.2934"S
地理的経度	39°35'23.8185"E
標高	45 m
計数率	
中性子計	毎時 3.5×10^5
ミュオン計(鉛直方向)	毎時 5.0×10^5
気圧効果係数	
中性子計	-0.76 %/hPa
ミュオン計(鉛直方向)	-0.15 %/hPa

の水晶発振型高精度気圧計で測定された気圧と明瞭に反相関した変動を示している。気圧が最大で約40hPa変動した2018年2月に、宇宙線の毎時計数率と気圧との相関係数は、中性子計が-0.99、ミュオン計(鉛直方向)が-0.98であった。表1にあるように、得られた中性子計の回帰係数(気圧効果係数)は、ミュオン計の約5倍である。これは中性子計で測定される大気中の2次宇宙線のエネルギーが、ミュオン計で測定されるミュオンのエネルギーより低いため、大気による減衰(吸収)の影響が大きく観測されるためである。表1の気圧効果係数は、全世界に展開されている宇宙線観測結果とも良くあっている。

現在コンテナ内の熱源はPCを含む観測システムのみであるため、真冬の時期にはリーファコンテナ内の温度が-10℃にまで下がり、PC等の故障を引き起こすことが予想される。そこで、サーモスタット付のオイルヒータを各コンテナ内に設置し、庫内温度が0℃を下回ったら放熱することを計画中である。器材を調達後、JARE60夏隊で設置する予定である。また、観測データのリアルタイム収集・処理とデータ・ベース

化の準備も開始しており、ホーム・ページ上での公開も行う予定である。

昭和基地での中性子計とミュオン計による同地点・同時観測は、従来別個に解析されてきた中性子計とミュオン計によるネットワーク観測データを、統合して解析することを可能にする。例えば両観測に対する大気効果の影響を正しく理解するために、同地点・

同時観測が果たす役割は大きい。また、観測される一次宇宙線の平均エネルギーの違いを利用して、スケールサイズの異なる宇宙天気現象を同時に捉えることも可能である。今後は、新観測の安定的維持に努めるとともに、新観測による宇宙天気現象の研究を進める予定である。

[研究発表]

- D. Ruffolo¹, et al., *Monitoring short-term cosmic-ray spectral variations using neutron monitor time-delay measurements*, *Astrophys. J.*, Vol.817, p38 -p49, 2016.
- M. Kozai, et al., *Average spatial distribution of cosmic rays behind the interplanetary shock-- Global Muon Detector Network observations -*, *Astrophys. J.*, Vol.825, p100 -p118, 2016.
- R. R. S. Mendonça, et al., *Temperature effect in secondary cosmic rays (muons) observed at ground: analysis of the global muon detector network data*, *Astrophys. J.*, Vol.830, p88 -p112, 2016.
- O. Adriani, et al., *Energy Spectrum of Cosmic-Ray Electron and Positron from 10 GeV to 3 TeV Observed with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station*, *Phys. Rev. Lett.*, Vol.119, p181101-1~p181101-6, 2017.
- K. Munakata, et al., *Cosmic Ray Short Burst Observed with the Global Muon Detector Network (GMDN) on June 22, 2015*, *Astrophys. J.*, Vol.862, p170 -p178, 2018.

SuperDARN で観測される磁力線共鳴現象からの磁気圏領域推定

- ◎河野英昭 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・准教授
 才田聡子 北九州工業高等専門学校・准教授
 西谷 望 名古屋大学宇宙地球環境研究所・国際連携研究センター・准教授
 堀 智昭 名古屋大学宇宙地球環境研究所・統合データサイエンスセンター・特任准教授
 (国立極地研究所)
 行松 彰 准教授
 田中良昌 特任准教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

磁力線共鳴 (Field Line Resonance; FLR) により励起される磁力線固有振動 (脈動現象の 1 つ) は、その周波数 (FLR 周波数) が磁力線沿いのプラズマ密度に依存する。特に、プラズマ圏境界面では密度が急変し、それに伴い FLR 周波数も急変する。磁力線固有振動は電離圏プラズマも振動させるので、電離圏プラズマの速度 (正確には Velocity along the line of sight; VLOS) を測定できる SuperDARN radar (以下 SD と記す) によってその振動数の 2 次元分布を観測しプラズマ圏境界面の位置を時間の関数としてモニター出来る可能性がある。本研究の目的はその為の方法論を確立し、FLR イベント探索を行い、同定されたイベントについてプラズマ圏境界面の位置を推定する事である。

磁力線固有振動は大別して toroidal mode と poloidal mode に分類される。toroidal mode では磁力線は東西方向に振動する。東西方向の電離層振動は電離層高度を変化させ難いので、ground/sea-scattered echoes 中では toroidal mode は見え難いと考えられる。

一方、poloidal mode では磁力線は地球近傍では南北方向に振動する。地上中低緯度では、磁力線は子午面内で傾いており電離層との角度は 90 度以下となっているため、磁力線の南北方向の振動に伴い、磁力線に frozen-in した電離層プラズマの振動方向は鉛直成分も持ち、よって、電離層を上下振動させる事が可能と考えられる。

平成 28 年度に行った研究は以下の通りである。SD VLOS 時系列データ中に波動現象が見つかったときに、各 beam についてその range gate (以下 RG と記す) 毎にその VLOS データに FFT をかけて、FFT の結果求まる各周波数のデータについてその位相と振幅を求め、その位相と振幅の緯度 (RG 番号と対応) への依存性が FLR のそれと一致するか否か判定し、FLR の場合その周波数から磁気圏密度を推定する方法を考案した。そしてそれを SuperDARN Hokkaido East radar のデータの目視により発見された脈動イベント 1 例の 1 つの beam のデータに適用した。その結果、FLR の振幅・位相緯度依存性をそのイベントデータ中に同定した。更に、ほぼ全地方時をカバーする地上中低緯度の 6 つの磁力計の同時観測データを解析し、global compressional mode waves が生じている可能性が高い事を示した。この global compressional mode waves と poloidal mode 磁力線固有振動が磁力線共鳴を起こしていると解釈可能である。この結果は、平成 28 年度に論文として発表した。

平成 29 年度以降は、Hankasalmi (Finland) と Pykkvibaer (Iceland) の SD で同時に観測された脈動イベント 1 例 (目視で発見された) について、複数の beams に上記の方法を適用して解析してきた。現在までの解析からは、正午の子午線から遠ざかるにつれて密度が減少していく傾向が示唆されている。これは、このイベントが SC (Sudden Commencement) とほぼ同時に開始しており、SC による磁気圏の圧縮が磁気圏最前面 (nose) から尾部方向に伝わっていく、という一般的傾向と矛盾しない。

ただ、平成 30 年度前半まで用いてきた上記の解析方法ではその各解析ステップで目視による確認が必要であり、また解析手続きの問題として、解析プログラムの汎用化ができていなかった。その為解析に時間がかかり、全 beam・全周波数について解析を終えるまでには至っていない。

平成 30 年度後半には上記の問題の解決に向けての研究を行った。解析プログラムの汎用化はこれまでも徐々に進めてきてはいたが平成 30 年度後半から本格的に着手した。

また、より本質的な、目視による確認に時間がかかる問題について、平成 30 年度後半から、その解決のため、自動同定法の開発に着手した。

具体的には、FFT をかける所まではこれまでと同じであるが、その後、同じ beam 上で近接した 2 つの RG's のデータに位相差法・振幅比法と呼ばれる方法を適用して FLR を自動同定する。ちなみに、位相差法・振幅比法は隣接した地上磁力計 2 点のデータから FLR を同定する方法として確立しており、SD のデータにも適用可能である。ただ、位相差法・振幅比法による FLR 同定の自動化についてはこれまで様々な方法が提案されているが確立した方法は無い。我々は現時点までに自動同定のテストプログラムを作成し、1 つの beam にそれを適用し、favorable な結果を得ている。今後はこのプログラムを完成させ、自動で多くのイベントを同定して統計解析を行えるようにする計画である。

[参考文献]

Kawano, H., A. S. Yukimatu, Y. Tanaka, S. Saita, N. Nishitani, and T. Hori, SC-triggered 1.6mHz waves including an interval with latitude-dependent phase shift, observed by the SuperDARN Hokkaido East Radar in mid latitudes: Possible global magnetospheric cavity-mode waves and their field-line resonance with poloidal Alfvén-mode waves, *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences*, Vol. 34 (No. 1), pp. 1-15, Nov. 21, 2016.

新しいレーザー技術の南極観測への応用

- ◎桂川眞幸 電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授
 米田仁紀 電気通信大学レーザー新世代研究センター・教授
 古川裕介 電気通信大学大学院情報理工学研究科・特任准教授
 大饗千彰 電気通信大学量子科学研究センター・特任助教

(国立極地研究所)

中村卓司 教授
 西山尚典 助教
 江尻省 助教

平成 28 年～平成 30 年 (3 か年)

【研究成果】

1. 目的

一台のレーザーで中間圏・下部熱圏領域の複数の金属原子・イオンの密度変動を同時観測することが可能な注入同期チタンサファイアレーザーシステムの開発をおこなった。中間圏・下部熱圏の大気ダイナミクスを統合的に理解する強力なツールになると期待される。

チタンサファイアレーザー結晶は、近赤外域に非常に広い利得スペクトル帯域を持ち、その第二高調波も組み合わせると、高層大気中に存在する多種の原子・イオンをモニターするための共鳴線を広くカバーすることができる。ただし、注入同期レーザーの機能を持たせてそれを構成する場合は、これまで、利得スペクトルの中心 (~780 nm) から大きく離れた波長域での安定動作は難しいという問題があった。この共同研究プロジェクトでは、一価のカルシウムイオンと中性カルシウムの共鳴線 ($\text{Ca}^+ : 845.5936 \text{ nm} \div 2$; $\text{Ca} : 845.5936 \text{ nm} \div 2$) を同時計測することを第一義的な狙いとして、それを可能にする新しい設計の注入同期ナノ秒パルスレーザーの開発を進めた。

2. 構築した二波長発振注入同期ナノ秒パルス Ti:s レーザーシステム

図 1 に、この研究プロジェクトで新たに構築したレーザーシステムの構成を示す。全体は、周波数純度の高い二つの外部共振器半導体レーザー (787 nm, 846 nm) から成るシードレーザーと、パワーオシレーターの役割を担うナノ秒パルスチタンサファイアレーザー、および、非線形光学結晶を用いた第二高調波発生シ

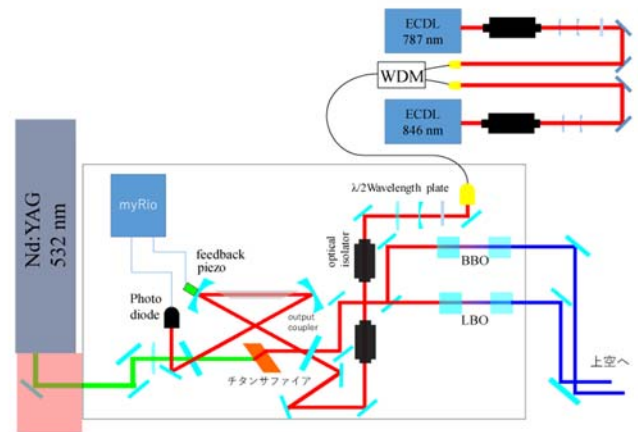


図 1. 新しく構築した二波長発振注入同期ナノ秒パルス Ti:s レーザーシステム。

テムによって構成される。二波長のシードレーザー光は、空間的なオーバーラップを安定に保持するために、WDM ファイバーを用いて合波されたのち、単一のシングルモード光ファイバーを通してパワーオシレーターに導入された。ピエゾ素子にマウントされた凹面鏡にフィードバックをかけることで、二波長のシード光が常にパワーオシレーターに共振している状態を維持させた。

パルスチタンサファイアレーザーは、ビーム径の設計を容易にスケールすることができ、かつ、高ビーム品質 ($M^2 \div 1$) を維持できるよう工夫が施された。その結果、光学部品の損傷を伴うことなく高平均出力が得られ、Lidar 用途に適した設計となった。

また、システム全体は、フィールドでの使用を想定して光学系を全てブレッドボード上に配置し、ケースで覆

うことで可搬性と環境耐久性を持たせることに配慮した。

3. 構築した二波長発振注入同期ナノ秒パルス Ti:s レーザーシステムの基本性能

図2に構築した注入同期パルスチタンサファイアレーザーの出カスペクトルを示す。黒色の曲線がシードレーザー光を入射させないフリーラング発振時における出カスペクトルである。利得中心 (780 nm) 付近にピークを持つ広帯域に広がった発振スペクトルが見て取れる。シャープなスペクトルは、様々な波長で注入同期同時発振させた時の出カスペクトルを示している。フリーラング発振が完全に抑制され、利得中心、および中心から 30 nm ほど離れた波長域まで綺麗に注入同期発振が可能なが確認できた。ただし、中心から 60 nm 以上離れた波長域 (> 840 nm) では、フリーラング発振が大きく残り、注入同期ナノ秒パルス発振を得ることが困難であった。注入同期発振可能な波長帯域を、中性カルシウム (846 nm) の Lidar 計測が可能領域まで広げるためには、何らかの波長選択機能をパワーオシレーターに組み込むことが避けられないと考えられる。

構築した注入同期パルスチタンサファイアレーザーが Lidar 観測に使用可能なことを実地でテストするために、レーザーシステムを極地研に搬入し、宙空圏グループに設置された Lidar 観測系と組み合わせ、一価のカルシウムイオン (786.9540 nm \pm 2) をターゲットとする Lidar 観測を試みた。カルシウムイオンからの共鳴散乱光 (Lidar 信号) を捉えることができた。図3は、2016年9月27日に行った試験観測の結果を示している。中間圏、上空 110 km ~ 130 km の領域に、2時間弱の間、徐々に下降してい

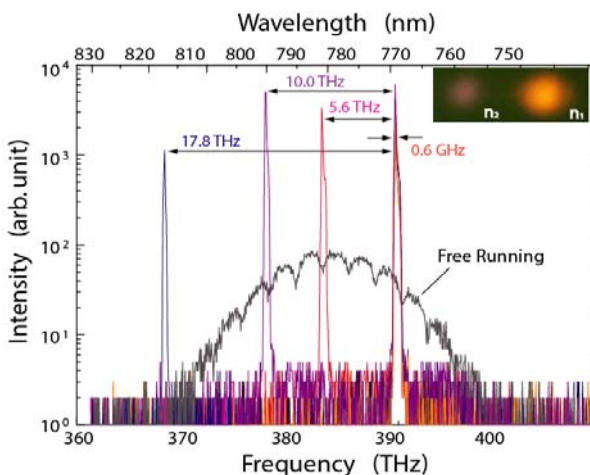


図2. 二波長発振注入同期ナノ秒パルス Ti:s レーザーの出カスペクトル

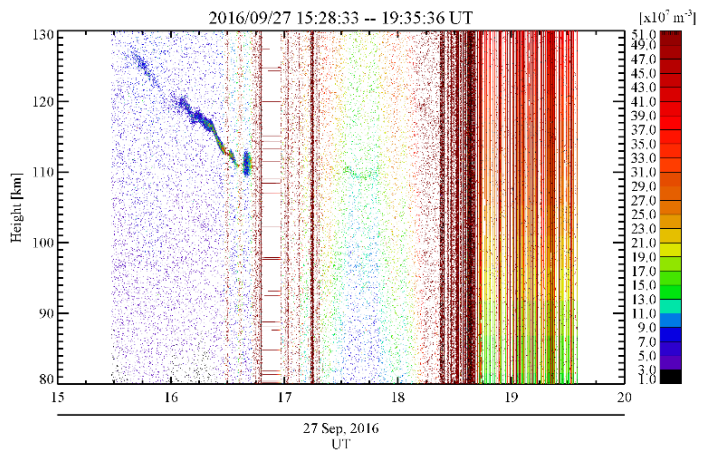


図3. 一価のカルシウムイオン (Ca^+ : 393.4770 nm) をターゲットとした共鳴散乱 Lidar 観測の結果 (観測日: 2016年9月27日)。上空 110 km ~ 130 km の領域に 2 時間弱の間、徐々に下降していくカルシウムイオンの信号が捉えられている。

くカルシウムイオンの信号を捉えることができた。信号が捉えられていない時間帯は、上空の雲でレーザー光が遮られたことを表している。レーザーシステムの波長制御精度、周波数純度、出力安定性は要求を満たすことを確認できた。一方で、出力については、より高平均出力が得られるよう改良していかなければならないことが課題として残った。中性カルシウム (845.5936 nm \pm 2) の Lidar 観測に向けたレーザーシステムの改良においても、具体的な指針となる結果となった。

4. まとめ

中性カルシウム (Ca : 422.7918 nm) と、一価のカルシウムイオン (Ca^+ : 393.4770 nm) の同時計測を第一義的な目的とした、広帯域に二波長同時発振可能な注入同期ナノ秒パルスチタンサファイアレーザーの開発を進めた。利得中心 (~780 nm) から \pm 30 nm の波長帯域まではシードレーザー光に綺麗に引き込まれた注入同期ナノ秒パルス発振を実現することができた。実際に開発したレーザーシステムを極地研に導入し、一価のカルシウムイオンをターゲットとした Lidar 観測実験を試みた。極地研宙空圏グループに設置された Lidar 観測システムと組み合わせることで、一価のカルシウムイオンの Lidar 信号 (共鳴散乱光) を捉えることができた。一方、中性カルシウムをターゲットとする、利得中心からの離調がやや大きい波長域 (> 840 nm) においては、明瞭な注入同期発振を実現することに課題が残った。次段階の共同プロジェクトの中で、この課題の解決も含めた研究開発を進めていきたい。

超高度分解能共鳴散乱ライダーのための受信系開発

◎川原琢也 信州大学工学部・准教授

津田卓雄 電気通信大学情報理工学研究科・助教

(国立極地研究所)

中村 卓司 教授

江尻 省 助教

西山 尚則 助教

平成 28 年～平成 30 年 (3 か年)

[研究成果]

信州大学では、インジェクションシーディング型 Nd:YAG レーザをベースとした Na ライダーを用いてノルウェーで冬季観測を継続している。射出レーザー光の周波数は、Na 散乱断面内内の特定の周波数を ν_0 とし、 $\nu_0 \pm 630\text{MHz}$ (絶対波長 589.1583nm と、その波長を中心として±約 0.7pm シフトした 3 波長) に順次制御され射出される。3 周波数の切り替えには、レーザー光路中に音響光学素子 (AO) を用いた周波数シフターを構成し、AO へのトリガー信号により、基準周波数 (ν_0) から他の 2 周波数へ周波数変換する。しかし現状のシステムでは、周波数変換時にシフター内で遮光用に用いる電磁シャッターの動作が遅いため、1 周波数あたり 1 分のデータ蓄積の後に周波数を切り替える方式となっている。本研究では、レーザーパルスの射出ごと (1 ミリ秒射出間隔ごと) に光周波数を切り替え、オーロラ発生時などの速い

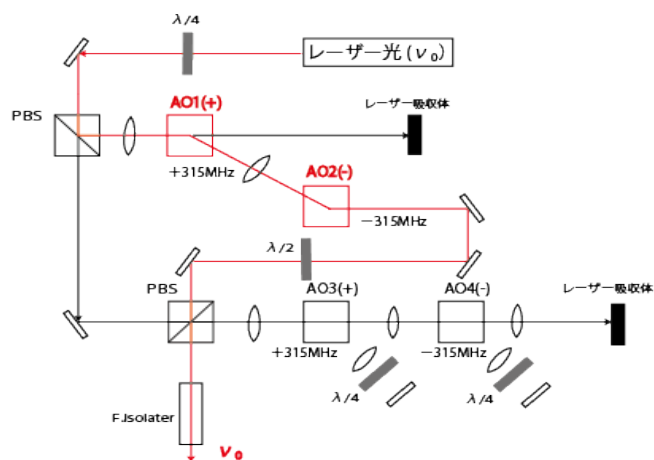


図 1 AO を用いた光学シャッターシステム。基準周波数射出時の AO の動作を示す。

現象に対応する観測システムへの適用を最終目標とし、FPGA を用いた高速応用受信系の開発を行った。さらに、現在、周波数切替時間の律速になっている機械式の光シャッター (光路を遮るシャッター) に代る AO のみで高速に動作する光学式シャッターを設計した。これも FPGA 制御で送受信系を同期させ観測するシステムとして検証を行った。

[受信カウンタ製作] FPGA ボードに付属のシミュレータでパルスカウンタを製作し、アルゴリズム検証を行った。試作品として 10 個のカウンタを作り、時間ごとに切り替える。シミュレータでライダーパルスを疑似信号として入力し、その数を計測し、動作の検証を行った。カウンタは、高度分解能を決める計測時間幅 (bin) と高度データを決める総 bin 数を任意に設定できるため、多様な高度分解能と高度

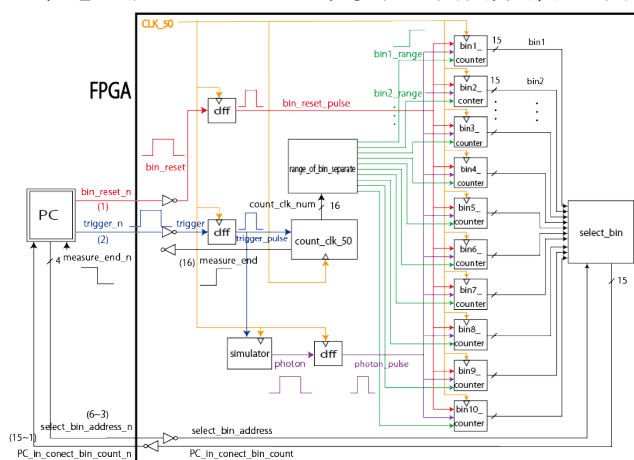


図 2 FPGA シミュレーションに用いたカウンタの構成図。

範囲の設定が可能である。これにより、正しく動作していることを確認した。ハードウェアとしての FPGA ボードの製作、および FPGA メモリーから PC への高速データ転送に関する検証は、今後の課題である。

[A0 光シャッター] 電磁シャッターは、羽が光路を遮るシャッターであるがその原理から動作に時間がかかり、本ライダーシステムの性能を活かせていない。そこで 1064nm インジェクションレーザーの光路に、A0 のみを用いて光学的シャッターを構成した。トリガーに対する A0 の動作応答のタイミングやインジェクションに必要な光強度などの見積りを行い、本システムで動作可能であることを確認し

た。更に射出レーザーのパルスごとに周波数を高速で切り替えるを想定し、受信系も合わせた FPGA を用いたトリガーシミュレーションを行い、動作の確認を行った。その結果、送受信系を同期させた高速な周波数切替観測可能であることを検証した。

まとめ

FPGA を用いて、射出レーザーパルスごとに光周波数を切り替え、多様な高度分解能と高度範囲の信号を受信可能なシステムを設計し、シミュレーションによる動作確認を行った。その結果、このシステムが各種共鳴散乱ライダーに応用可能であることが確認できた。

高感度小型全天カメラの多地点観測による大気光研究

◎鈴木臣 愛知大学地域政策学部・准教授

(国立極地研究所)

小川泰信 准教授

平成28年～平成30年（3か年）

[研究成果]

本研究は、低価格なカメラを用いることで安価に大気光の多地点・高密度イメージング観測を目指すプロジェクトである。近年、複数台のカメラを用いた広視野観測によって、1台のカメラでは捉えられなかった超高層大気波動の長距離伝搬の様子 (Suzuki et al., 2013a) や空間的な広がり (Suzuki et al., 2013b) が報告されている。研究代表者は、大気光観測ネットワークの拡充のために低価格の民生品カメラによるOH大気光観測機器の開発をおこなっている。これは極地研の小川准教授がオーロラ観測のために進めてきた開発の応用である。オーロラ観測とシステムの規格をある程度統一することで今後、極域だけでなく中低緯度での多地点展開が容易になり、世界的な地上カメラ観測網の構築で日本がイニシアチブをとる立場になることが期待できる。

本共同研究では、安定した観測システムの構築とリアルタイムの画像処理とデータ公開を目的にハード・ソフトウェアの開発をおこなった。開発した大気光カメラの概略図を図1に示す。天頂方向に向けたモノクロCCDビデオカメラ (WATEC WAT-910HX/RX) に視野角185°の魚眼レンズ (FUJINON YV2.2x1.4A-2:F1.4) が取り付けられている。CCDチップ (SONY ICX418:セル サイズ 8.4×9.8 μm) は600 nm 付近をピークとして近赤外域にも感度を持つ (波長900 nm における相対感度は約0.22)。また特定の波長の光のみを観測するため直径25 mm の光学フィルタ (Edmund #62987:カットオン波長700 nm のロングパスフィルタ) を魚眼レンズとカメラの間に挟み込むことで、目的とする OH 大気光 (マイネル帯 700–900 nm:発高度約85 km) のみを撮像する仕組みとなっている。カメラからのビデオ信号は、ビデオエンコーダ (AXIS M7001)で8 bit の JPEG 画像 (640×480ピクセル)に変換され、FTPでPCに保存される。OH 大気光観測においては、露光時間4秒 (=256 fields/60 fields per sec), サンプルング周期4秒 (=15 images/min) として運用する。

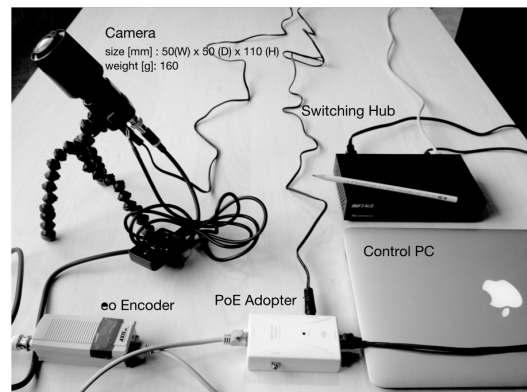
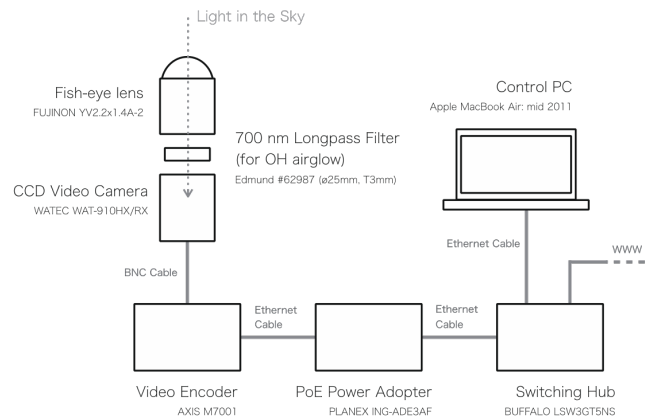


図1: 大気光カメラの概略図と外観。

これまででは大気光カメラに直径25 mm の光学フィルタを用いてきたが、直径12.5 mm のフィルタを使用したシステムへの変更をおこなった。径の小さな光学フィルタを使ったシステムは、これまでのシステム製作より時間的にも金額的にも大きなコスト削減につながり、複数の機器をネットワーク上に配する多地点化に優位であるといえる。フィルタサイズを変更したことによる大気光画像中の大気重力波構造の検出精度について確認し、直径12.5 mm フィルタを使用したシステムにおいても、十分に気波動が検出できることを確認した。また、定常運用にむけた画像中の大気波動構造の検出とデータ

の準リアルタイム公開環境といったソフトウェアの整備も進めた。

さらに、熱圏・電離圏高度の大気光観測（630-nm 大気光観測）のシステムを整備し、WATEC カメラを用いた中規模伝播性電離圏擾乱（MSTID）

の観測を試みた。MSTID構造検出には、至らなかったものの、多波長観測（OH, 630-nm）のシステムを構築することができた。

[参考文献]

- 1) Suzuki, S., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Kawamura, and Y. Murayama; Evidence of gravity wave ducting in the mesopause region from airglow network observations, *Geophysical Research Letters*, 40, 601–605, doi:10.1029/2012GL054605, 2013.
- 2) Suzuki, S., S. L. Vadas, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Kawamura, and Y. Murayama; Typhoon-induced concentric airglow structures in the mesopause region, *Geophysical Research Letters*, 40, 5983–5987, doi:10.1002/2013GL058087, 2013.

[研究発表]

鈴木臣, 深沢圭一郎; 大気光観測ネットワーク構築に向けた大気光カメラ開発：大気波動の検出, *愛知大学地域政策学ジャーナル*, 2019, 第8巻 第1号第2号合併号（通巻第14号）, p3–p8.

太陽圏と宇宙線のシミュレーション研究

- ◎三宅 晶子 茨城高専・准教授
 塩田 大幸 情報通信研究機構・研究員
 松本 倫明 法政大学人間環境学部・教授
 宮原ひろ子 武蔵野美術大学・准教授
 鷺見 治一 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・客員教授
 (国立極地研究所)
 片岡 龍峰 准教授
 平成 29 年～平成 30 年 (2 か年)

[研究成果]

太陽風の変動は地球磁気圏の擾乱や宇宙線の変動を引き起こし、南北極域の上層大気に強い影響を及ぼす。これらの関係性を定量的に理解するため、我々は磁気流体 (MHD) 太陽風シミュレーションによる太陽圏背景場上で確率微分方程式 (SDE) を用いた宇宙線輸送シミュレーションを行う MHD-SDE ハイブリッドシミュレーションモデルの開発を進めている。本研究では、SDE を用いた宇宙線輸送計算モデルや太陽圏の予測モデルを改良し、銀河宇宙線エネルギースペクトルや地上の中性子モニターのカウントレート、航空機高度における宇宙線被ばく量を予測した。また、適合格子細分化法 (AMR 法) を用いた太陽圏磁場の動的モデルを構築した。具体的な成果は以下の通りである。

1. 宇宙線輸送計算モデルと太陽圏予測モデルの改良

Miyake et al. (2017) は、1980 年以降の太陽圏磁場および太陽風速度の観測結果をもとに今後の太陽活動の低下に伴う太陽圏の変化を外挿的な手法により予測し、SDE を用いて銀河宇宙線の強度変動を数値計算した。また受入責任教員らが開発を進めている WASAVIES と同様の手法により、地上の中性子モニターの計数率と航空機高度での宇宙線被ばく量も求めた結果、今後の太陽活動極小期前後 5 年間に於ける年間被ばく量の平均値は、前回の極小期 (2009 年) 前後 5 年間の平均値と比較して約 19% 増大するという予測を得た。以上の先行研究に対し、本研究では宇宙線輸送計算で考慮する拡散係数モデルに緯度依存性を組み込む改良を施した。また、太陽活動極小期における極域太陽磁場に基づく次期太陽活動の黒点数の予測結果から太陽圏磁場お

よび太陽風速度の変化を予測し、銀河宇宙線エネルギースペクトル、中性子モニターの計数率、航空機高度での宇宙線被ばく量を計算した。その結果、今後の太陽活動極小期前後 5 年間に於ける年間被ばく量の平均値は、前回の極小期 (2009 年) 前後 5 年間の平均値と比較して約 16% 増大するという結果を得た。予測結果の概要に大きな変化はないが、今後より詳細な予測を行う上では精度向上が期待される。

2. AMR 法による太陽圏磁場の動的モデルの構築

太陽圏内における宇宙線伝播は、太陽圏磁場によるドリフト運動を起因とする荷電依存性を持つ。これは太陽圏磁場の極性 A と宇宙線電荷 q の組み合わせ qA に応じてドリフト運動の方向が反転するためであり、 $qA < 0$ のとき宇宙線は太陽圏電流シートに沿って太陽圏外から地球近傍まで進入してくる。そのため MHD-SDE ハイブリッドシミュレーションにおいて、MHD シミュレーションで計算する太陽圏背景場には高分解能の太陽圏電流シートが要求される。AMR 法はこれに適した手法であり、本研究では電流シート周辺でメッシュサイズを細分化することにより、太陽圏電流シートを高い分解能で捉えることができる。MHD シミュレーションにおいて、太陽風モデルは宇宙天気予報システム SUSANOO に基づいており、 $r = 25R_{\odot}$ の内部境界条件として導入した。また太陽風モデルの時間変動は磁場シノプティックマップの日観測から求め、最大 14AU までの太陽圏モデルを数値計算した。その結果、FMR 法による太陽圏モデルに比べて AMR 法による太陽圏モデルの方が微細な太陽圏磁場および太陽風の構造を捉えており、波打つ太陽圏電流シ

ートを高分解能で再現するとともに、共回転相互作用領域（CIR）における太陽風の速度変化と温度上昇をも再現できた。CIR は宇宙線変調の 27 日周期変動に強く影響すると予想される。本太陽圏モデル

により MHD-SDE ハイブリッドシミュレーションを実現することにより、宇宙線変調の日変動や 27 日周期変動の定量的な議論が実現すると期待される。

[研究発表]

- S. Miyake, Charge-sign dependence in the solar modulation during the solar cycle 23, Proceedings of Science (ICRC 2017), 018, pp.1-8, 2017.
- S. Miyake, R. Kataoka, T. Sato, S. Imada, H. Miyahara, D. Shiota, T. Matsumoto, and H. Ueno, Cosmic Ray Modulation and Radiation Dose of Aircrews During Possible Grand Minimum, AGU Fall Meeting, New Orleans, 15 Dec., 2017.
- T. Matsumoto, D. Shiota, R. Kataoka, H. Miyahara, and S. Miyake, A Dynamical Model of the Heliosphere with the Adaptive Mesh Refinement, ASTRONUM 2018, Panama City Beach, 27 June, 2018.
- S. Miyake, T. Matsumoto, R. Kataoka, T. Sato, D. Shiota, H. Miyahara, S. Imada, and H. Ueno, Cosmic Ray Modulation During Extremely Weak Solar Cycle, AGU Fall Meeting, Washington, D.C., 13 Dec., 2018.

太陽起源高エネルギープロトンの地球磁気圏・大気圏への進入過程の研究

◎三好由純 名古屋大学宇宙地球環境研究所・教授
(国立極地研究所)

片岡龍峰 准教授

平成 29 年～平成 30 年 (2 か年)

[研究成果]

本研究は、太陽からの高エネルギー粒子(SEP)の地球磁気圏および大気圏への進入過程について、モデル研究および地上のニュートロンモニターデータ、そして人工衛星の観測データとの比較にもとづいた研究を行い、本研究計画では、研究グループの片岡、原子力研究開発機構の佐藤が中心となって開発したWASAVIESと呼ばれるモデルを用い、同モデルのパラメータを変化させながら地上のニュートロン量の変化を再現することを目指すものである。

太陽から放出されるSEPは宇宙機や人体に影響を及ぼす。生成された放射線のエネルギーによっては磁気圏や地球大気を突き抜けて地上まで影響を及ぼすケースがあり、特に地上のニュートロンモニターで観測された現象を Ground Level Enhancement (GLE)と言う。このGLEイベントは地上でニュートロン測定が始まってから約70例が記録されており、そのケースを調べることでSEP影響の予測と予報をすることができる。

この研究では、このGLEに注目し、WASAVIESを用いてGLEイベントを再現することでシミュレーションの検証と宇宙空間中SEP伝搬課程の研究を行った。本研究の実施期間では、これまでに発生したGLEイベントの中において、2番目で大きかったGLE69イベントについてWASAVIESを用いて解析を進めた。このGLE69は南半球のニュートロンモニターのカウントが北半球のより20倍大きい異常上昇が特徴であるイベントで知られており[Fig.1]、その南北異方性に関して、WASAVIESを用いて再現することで、その原因についての推定を行った。

解析は南半球のMcMurdoとSouth Poleに位置するニュートロンモニターと北半球のNewarkとThuleで観測した値を用いて進めた。WASAVIESで入力するSEPのパラメータはSEPの方位角方向、逆ガウス分布を持つSEPのInjection Profile (IP)、カウントの減衰時定数Powがある。GLE69イベントに対してこれらのパラメータをそれぞれシミュレーションしたものとの比較を行った。[Fig.2]

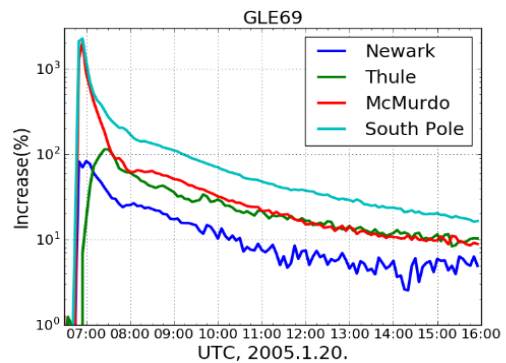


Fig. 1 : GLE69のニュートロンモニターの観測値

GLE69は、ニュートロンモニターの値が急激に上昇したイベントだったため、Injection Profileが1の時について、Powと方位角のパラメータを比べた。その結果、観測をよく再現するPowの値として45が得られた。

一方、到来方位角は、観測所によって異なる結果が得られた。南半球の観測所であるMcMurdoとSouth PoleではSEPが南方向から来たことが示唆される結果となった。しかし、北半球の観測所では、上記の南半球の結果と異なる方向からSEPが来る結果が得られた。この結果はGLE69で観測されたSEPは、一つのパラメータにまとめた形では表せないことを意味していると考えられる。

Fig2でえられた結果をもとに、各観測所が計測したSEPの到来方向を模式的に示したのが、Fig3である。このように各観測点での到来方向の分布が、南北方向に広がっており、GLE69が複数のSEPの成分から構成されている可能性が考えられる。Fluxの上昇率を踏まえると、南半球に到来したSEPが、GLE69を構成する主な成分と考えられる。今後、さらに異なるGLEイベントの解析を行い、このGLE69の持つ特徴性についての検討を行う。

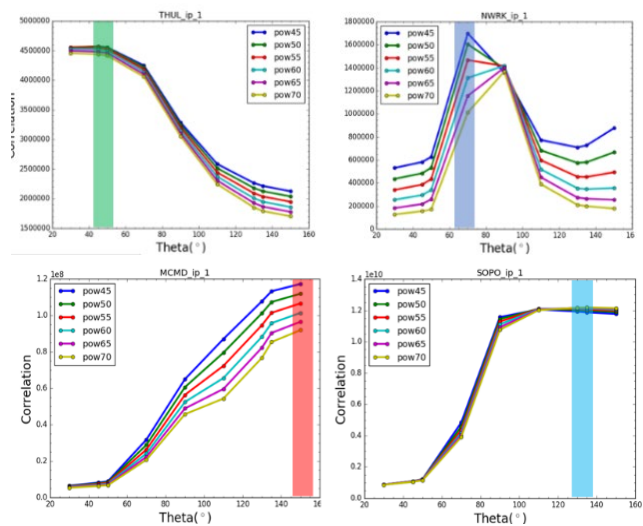


Fig.2 pow の値の違いによる各観測点における観測とシミュレーションとの相関係数の変化: 左上: Thule、右上: Newark、左下: McMurdo、右下: South Pole、ここで ip は 1 である



Fig.3 観測所による SEP 方向
 緑: Thule、青: Newark、赤: McMurdo、水: South Pole

[研究発表]

- Park Inchun, 三好由純、佐藤達彦、片岡龍峰、久保勇樹、三宅晶子、Reconstructing polar asymmetry of GLE69 via WASAVIES Simulation, JpGU-AGU joint meeting 2017, May20-25, 2017.
- Sato, T, R. Kataoka, D. Shiota, Y. Kubo, M. Ishii, H. Yasuda, S. Miyake, I. Park, and Y. Miyoshi (2018), Real-Time and Automatic Analysis Program for WASAVIES: Warning System of Aviation Exposure to Solar Energetic Particles, Space Weather, 16, <https://doi.org/10.1029/2018SW001873>.

磁気異常帯に入射する粒子の相対論的方程式の導出と波動生成

◎武蔵大学人文学部・名誉教授 池田 慎

(国立極地研究所)

担当教員 門倉 昭 教授

田中 良昌 特任准教授

研究期間 平成30年(1か年)

[研究成果]

2か年にわたり、筆者は弱相対論的プラズマのホイスラーモードの分散式と増幅率を、低温近似と高温近似の下で、導出した。特に、分布関数の変数として、運動量 P を使い、物理的に矛盾の無い、 P の無限大までの計算が行われた。これらの課題は、地磁気ホールと呼ばれる、拓殖大学巻田和男名誉教授の、赤道付近に現れる、南米ブラジル域の磁気異常帯域での発光現象の観測¹⁾を説明するために行われた。磁気圏、プラズマ圏内プラズマは、コールド電子と相対論的な高温近似プラズマの混合プラズマの場合²⁾と、コールド電子と相対論的な低温近似プラズマの混合プラズマの場合³⁾の2種類の場合で行われ、武蔵大学の紀要において、それぞれ報告された。ただし、低温近似プラズマの報告において、若干のチェックミスが、報告後、発見されたので、それについても、少し、修正した⁵⁾。又、高温近似

と低温近似の判定基準は、(3)に見られるように、磁力線方向の共鳴運動量 P_R と音速 $\sqrt{m_0 T_z}$ の比、 $P_R/\sqrt{m_0 T_z}$ が1よりある程度大きい、非常に大きいかで決定された。もちろん、地球磁気圏内の問題を考えているので、プラズマ圏のコールド電子の数密度は、相対論的な電子より、非常に多いと仮定されている。又、磁力線方向の共鳴運動量 P_R は、相対論的には、非相対論的な場合とは異なって、磁力線に垂直な成分 P_{\perp} にも関るが、ここでは簡単の為に無視されている。今後、この項についても、更に検討したい。又、ボルツマン定数 k は、温度に含まれており、 T は、エネルギーの単位で表されている。

武蔵大学人文学部の紀要として報告された、運動量共鳴条件を使ったホイスラーモード波の分散式は(2)で与えられ、増幅率は、低温近似として、(1)の様に表された。

$$\frac{\gamma_k}{\omega_k} \simeq \frac{1}{2 \frac{c^2 k^2}{\omega_k^2} - \frac{\omega_0^2 (\Omega - 2\omega_k)}{\omega_k (\Omega - \omega_k)^2}} \left[\frac{\omega_H^2}{\omega_k^2} \frac{2\pi m_0^2 \omega_k T_{\perp}}{k} \cdot \sqrt{\pi} e^{-\frac{P_R^2}{2m_0 T_z}} + \frac{\omega_H^2}{\omega_k^2} \frac{1}{2m_0} \frac{1}{\sqrt{2m_0 T_z}} \left(\frac{T_{\perp}}{T_z} - 1 \right) \cdot \left\{ -(2m_0 - 4 \frac{T_{\perp}}{c^2}) P_R e^{-\frac{P_R^2}{2m_0 T_z}} + \frac{T_z}{c^2} \frac{P_R^3}{m_0 T_z^2} e^{-\frac{P_R^2}{2m_0 T_z}} \right\} \right] \quad (1)$$

この分散式は、(2)の様に表された。

$$\frac{c^2 k^2}{\omega_k^2} \simeq 1 + \frac{\omega_0^2}{\omega_k (\Omega - \omega_k)} + \frac{\omega_H^2}{\omega_k^2} \frac{2\pi m_0^2 \omega_k T_{\perp}}{k} \left(\frac{\sqrt{2m_0 T_z}}{P_R} + \frac{(2m_0 T_z)^{\frac{3}{2}}}{2P_R^3} + \dots \right) + \frac{\omega_H^2}{\omega_k^2} \frac{1}{2m_0} \frac{1}{\sqrt{2\pi m_0 T_z}} \left(\frac{T_{\perp}}{T_z} - 1 \right) \left\{ \left(2m_0 - 4 \frac{T_{\perp}}{c^2} \right) \left[-\frac{(2m_0 T_z)^{\frac{3}{2}}}{2P_R^2} - \dots \right] + \frac{T_z}{c^2} \left(3 \frac{m_0 \sqrt{2m_0 T_z}}{P_R^2} \right) + \dots \right\} \quad (2)$$

低温近似の条件として、次式を使った。

$$\zeta = \left| -\frac{P_R}{\sqrt{2m_0 T_z}} \right| \gg 1 \quad (3)$$

次に、高温近似の下での分散式と増幅率を紹介する。次式（4）は、共鳴運動量の近似式を与えるが、根号の中の P_{\perp}^2 運動量成分の項を、小さいとして省略した。

$$P_R = m_0 \gamma V_R = m_0 \frac{\Omega k - \sqrt{\Omega^2 k^2 - \left\{ k^2 - \frac{\omega^2}{C^2} \right\} \left(\Omega^2 - \omega^2 \right) - \frac{P_{\perp}^2}{m^2 c^2} \omega^2}}{k^2 - \frac{\omega^2}{C^2}}$$

$$\simeq m_0 \frac{\Omega k - \sqrt{\Omega^2 k^2 - \left\{ k^2 - \frac{\omega^2}{C^2} \right\} (\Omega^2 - \omega^2)}}{k^2 - \frac{\omega^2}{C^2}} \quad (4)$$

$$|Z| = \left| -\frac{P_R}{\sqrt{m_0 T_z}} \right| \ll 1 \quad (5)$$

上式（5）が、高温近似の条件式となる。高温近似におけるホイスラーモード分散式は、次のようになる⁴⁾。

$$\frac{c^2 k^2}{\omega_k^2} \simeq 1 + \frac{\omega_0^2}{\omega_k (\Omega - \omega_k)} + \pi \frac{\omega_H^2}{\omega_k^2} \left(\frac{T_{\perp}}{T_z} - 1 \right) \cdot \left\{ \left(1 - \frac{T_{\perp}}{2m_0 C^2} \right) \left(1 - \frac{P_R^2}{m_0 T_z} \right) - \left(\frac{T_z}{2m_0 C^2} + \frac{P_R^2}{2m_0^2 C^2} \right) \right\} \quad (6)$$

又、増幅率は、次のようになる。

$$\frac{\gamma_k}{\omega_k} \simeq \frac{\pi}{2} \frac{\frac{\omega_H^2}{\omega_k^2}}{2 \frac{c^2 k^2}{\omega_k^2} - \frac{\omega_0^2 (\Omega - 2\omega_k)}{\omega_k (\Omega - \omega_k)^2}} \left(\frac{T_{\perp}}{T_z} - 1 \right) \cdot \frac{P_R}{\sqrt{2\pi m_0 T_z}} \left(2 - 4 \frac{T_{\perp}}{m_0 C^2} + \frac{P_R^2}{m_0^2 C^2} \right) \cdot \exp\left(-\frac{P_R^2}{2m_0 T_z}\right) \quad (7)$$

（4）において、運動量 P_R の根号内の最終項を無視する近似を使ったが、将来はその項を展開し、より精度の高い近似を検討する予定である。高温近似においては、 Z が非常に小さくなり、（5）の近似を、

プラズマ分散関数に適用する。上記の条件に適う磁力線方向に伝搬する、温度異方性高温ホイスラーモードの分散式は、結果的に（6）式によって与えられ、増幅率は（7）式によって与えられた。

[参考文献]

- 1) 「地磁気ホールの研究—地球磁場変動に伴う環境変動—」（2007年）、拓殖大学研究草書(自然科学)、巻田和男著
- 2) 「運動量共鳴条件をもつホイスラーモードに関する分散式の高温弱相対論的近似」（2016年）、武蔵大学人文学会雑誌、第48巻・第1号、裏P272-P262、池田 慎
- 3) 「相対論的共鳴条件を使用したホイスラーモード弱相対論的線形増幅率」（2014年）、武蔵大学人文学会雑誌、第46巻・第2号、裏P368-P362、池田 慎
- 4) 「運動量共鳴条件をもつホイスラーモードに関する分散式の高温弱相対論的近似によって導出された増幅率」（2019年）、武蔵大学人文学会雑誌、第50巻・第3・4号、裏P112-P107、池田 慎
- 5) 「運動量共鳴条件をもつホイスラーモードに関する分散式の低温弱相対論的近似によって導出された増幅率の修正」（2020年）、武蔵大学人文学会雑誌、第51巻・第1号、裏P150-P142、池田 慎

極領域における磁気圏入力を考慮した全大気圏電離圏変動の研究

◎陣 英克 情報通信研究機構電磁波研究所宇宙環境研究室・主任研究員
 峠 千尋 同上・テニユアトラック研究員
 品川 裕之 同上・研究員
 松村 充 名古屋大学宇宙地球環境研究所基礎研究部門電磁気圏研究部・研究員
 (国立極地研究所)
 富川 喜弘 准教授
 平成 30 年 (1 か年)

[研究成果]

人類活動の宇宙へ進出が進むにつれ、社会が宇宙天気から受ける影響は大きくなる。衛星測位や長距離無線通信は電離層擾乱の影響に左右され、また低軌道衛星の運用などは熱圏の大気ドラッグの影響がある。したがって、熱圏電離圏の状態を把握、予測することは重要である。我々は、これまで地表から熱圏上部までの中性大気 (Miyoshi and Fujiwara, 2008) と電離圏を結合させた全大気圏電離圏モデル (GAIA ; Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) を開発してきた (Jin et al., 2011)。同モデルでは、これまで主に下層大気から電離圏・熱圏へ伝搬する波動を通じた大気上下結合に注目してきた (e.g., Jin et al., 2012)。一方、太陽フレアなど太陽面現象に端を発し、その影響が磁気圏を介して起きる電離圏・熱圏擾乱については、その再現に必要な要素が GAIA では簡略化されていた。本研究では、磁気圏から電離圏・熱圏へのエネルギーの入力過程についてより本格的に取り組み、磁気嵐などの際の電離圏・熱圏擾乱を GAIA で再現することを目指す。

本研究では 2 種類の磁気圏から電離圏・熱圏への入力過程を GAIA に導入する。一つはオーロラ帯における高エネルギー粒子の降り込みによる電離および加熱である。この過程には地磁気擾乱指数 K_p を入力パラメータとするオーロラ粒子降り込み分布の経験モデル (Zhang and Paxton, 2008) を利用した。二つ目は地球磁力線が磁気圏に伸びている極域における磁気圏対流電場の電離圏へのマッピングである。ここでは、地球近傍の太陽風状態を入力とする対流電場分布の経験モデル (Weimer, 2005)

を利用した。

初期結果として、2017 年 9 月に発生した X クラスの太陽フレアの影響による電離圏・熱圏擾乱についてシミュレーションを行った例を報告する。本イベントでは、9 月 6 日に発生した X9.3 クラスの太陽フレアによって放出されたコロナガスが 9 月 7-8 日にかけて地球近傍に到達し、Dst 指数が -124nT に到達した (地磁気世界資料センター京都)。近いタイミングで日本上空の全電子数 (TEC) が通常の 3 倍程度となったことが観測されている。一方、図 1 に GAIA の計算で得られた TEC 分布の変動を示す。9 月 8 日の TEC 分布は前日などに比べてピークの緯度が高緯度側に移っており、中緯度から高緯度にかけての領域では通常時より TEC の値が大きくなっている。図 2 は Dst 指数がピーク値に達した直後の熱圏上部の風速と温度場である。温度の高い領域が高緯度にとどまらず、日中および夜間の中低緯度まで広がっている。さらに、中緯度から高緯度にかけて赤道向きの風速場が強まっている。本シミュレーションではこの赤道向きの風により、電離圏プラズマが磁力線に沿って持ち上げられ、再結合率が小さくなったことにより、密度の増加が起きたと考えられる。そして、このような熱圏の風速と温度分布は、極域に印加した磁気圏対流電場によるジュール加熱およびオーロラ粒子による加熱によってもたらされたと考えられる。

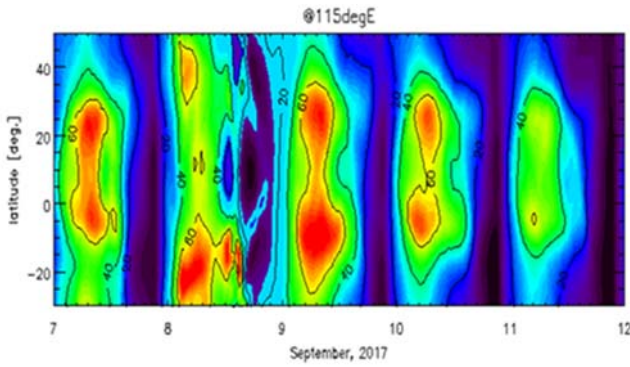


図 2 2017 年 9 月の磁気嵐時の大気圏・電離圏シミュレーション結果 (TEC)

初期結果では、2017 年 9 月のフレアイベントに対して、観測と同じタイミングの TEC の増加が再現された。しかしながら、観測ではより低緯度で顕著な TEC の増加が確認されている。本研究では、磁気圏対流電場の電離圏へのマッピングは取り込まれているが、その際に電場の一部が低緯度電離圏

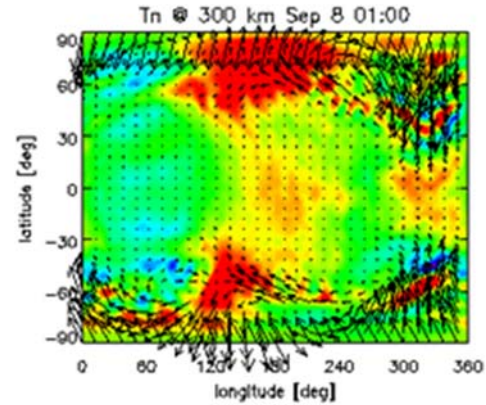


図 1 磁気嵐主相時の熱圏温度・風速場 (高度 300km)

まで侵入する過程については未導入である。特に Dst が急減する磁気嵐の主相にその効果が卓越し、顕著な赤道異常の発達が起こることが知られている。現在、磁気圏対流電場の低緯度電離圏への侵入過程について GAIA への導入を進めている。

[参考文献]

- 1) Jin, H., Y. Miyoshi, H. Fujiwara, H. Shinagawa, K. Terada, N. Terada, M. Ishii, Y. Otsuka, and A. Saito (2011), Vertical connection from the tropospheric activities to the ionospheric longitudinal structure simulated by a new Earth's whole atmosphere - ionosphere coupled model, *J. Geophys. Res.*, 116, A01316, doi:10.1029/2010JA015925
- 2) Jin, H., Y. Miyoshi, D. Pancheva, P. Mukhtarov, H. Fujiwara, and H. Shinagawa (2012), Response of migrating tides to the stratospheric sudden warming in 2009 and their effects on the ionosphere studied by a whole atmosphere-ionosphere model GAIA with COSMIC and TIMED/SABER observations, *J. Geophys. Res.*, 117, A10323, doi:10.1029/2012JA017650
- 3) Miyoshi, Y., and H. Fujiwara (2008), Gravity waves in the thermosphere simulated by a general circulation model, *J. Geophys. Res.*, 113, D01101, doi:10.1029/2007JD008874.
- 4) Zhang, Y., and L. J. Paxton, An empirical Kp-dependent global auroral model based on TIMED/GUVI FUV data, Volume 70, Issues 8–9, June 2008, Pages 1231-1242,
- 5) Weimer, D. R., Predicting Surface Geomagnetic Variations Using Ionospheric Electrodynamical Models, *Journal of Geophysical Research*, 110, A12307, doi:10.1029/2005JA011270, 2005

[研究発表]

- 1) Tao, C., H. Jin, H. Shinagawa, Y. Miyoshi and H. Fujiwara, Improvement of GAIA polar input and its application to September 2017 event, AGU fall meeting, San Francisco, 9-13, 2019
- 2) Jin, H., C. Tao, H. Shinagawa, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, and Y. Ogawa, Magnetospheric effects in a whole atmosphere-ionosphere coupled model and prediction analysis, The 9th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Tokyo, 2-7 December 2018.

• •

北極チャクチ海における海水の係留・衛星観測研究

◎深町 康 北海道大学北極域研究センター・教授
 大島 慶一郎 北海道大学低温科学研究所・教授
 平野 大輔 北海道大学低温科学研究所・助教
 伊藤 優人 北海道大学低温科学研究所・非常勤研究員
 (国立極地研究所)
 榎本 浩之 教授・田村 岳史 准教授
 平成28年度～平成30年度 (3か年)

[研究成果]

東部チュクチ海の沿岸ポリニヤ出現域における海水厚の係留観測と衛星データによる薄氷厚推定アルゴリズムの検証

海水の厚さは、大気と海洋の間の熱や運動量の収支、海水と海洋間の熱や塩分の収支を決める重要なパラメータであるにも関わらず、その面積とは異なり、高精度・高頻度で幅広いレンジの厚さについて計測できる衛星センサーが存在しないのが現状である。そのため、海水厚の現場観測はその実態把握のみならず、衛星観測の検証のために不可欠なものである。北大低温研では、アラスカ大学と共同で、2009年からチュクチ海東部の沿岸ポリニヤ出現域において、最も高精度・高頻度での計測が可能な超音波氷厚計 (IPS) の係留観測を実施して、現場データを蓄積しており、その観測は現在も継続中である。

このデータを用いて、この海域における海水厚の特徴を幾つかの代表値で示したものが表1である。

(なお、この観測では ADCP によって海水の漂流速度も計測しており、そのデータを用いて空間的なデータに変換したものを集計している。) この6年間の平均 draft (海水厚の海面下の部分) は 1.10 m (シーズン毎の値の範囲は 0.90-1.37 m) で、東側のボーフォート海で 1992-2003 年に同様の手法で計測

表 1: 2009~2015 年の海水 draft の統計値。S.D.は標準偏差、10~99%で示しているのは小さな draft からソートした場合のパーセンタイル値。

年	Draft (m)							
	平均値	標準偏差	10%値	20%値	50%値	90%値	99%値	最大値
2009-10	1.27	1.76	0.06	0.12	0.60	3.40	8.35	25.25
2010-11	1.33	2.13	0.06	0.13	0.54	3.75	10.52	26.78
2011-12	0.94	1.62	0.03	0.08	0.33	2.54	8.13	22.86
2012-13	1.37	2.01	0.05	0.10	0.59	3.94	9.41	23.82
2013-14	0.97	1.52	0.03	0.07	0.37	2.86	7.14	18.36
2014-15	0.90	1.70	0.02	0.04	0.18	2.64	8.55	22.83
2009-15	1.10	1.81	0.04	0.08	0.40	3.20	8.84	26.78

された値 (2.01 m) より小さかった。北東風が卓越するとポリニヤが出現して海水厚が減少し、風の陸向き成分が大きくなると海水の ridging や rafting が発生し海水厚が増加することが明らかとなり、これらのイベントの発生が海水厚変動を強く支配している。

この観測で得られた現場データを用いて、衛星マイクロ波放射計 (AMSR-E) のデータから推定した 20 cm までの薄氷厚 (Iwamoto et al., 2014) の検証をそれぞれ IPS と AMSR-E で得られた海水厚を用いて、熱収支解析をすることで求まる一日毎の海水生産量を比較することで行った (図1)。この2つの海水厚に基づく海水生産量は良く一致しており、マイクロ波放射計データを用いた薄氷厚アルゴリズムの妥当性を示している (Fukamachi et al., 2017)。

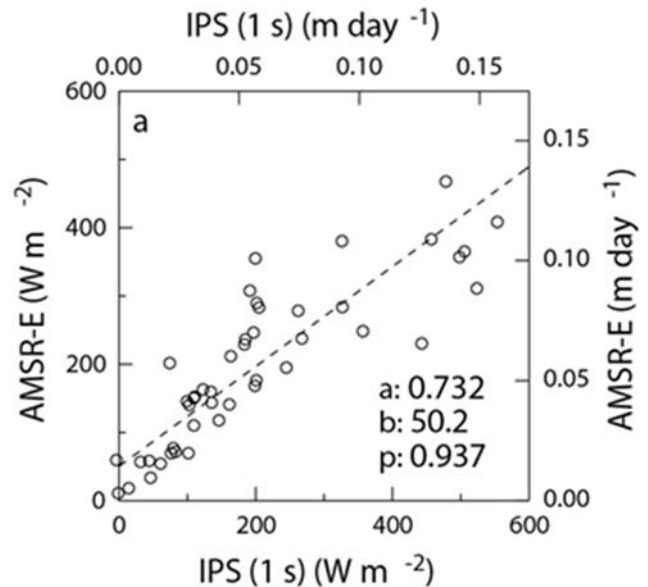


図 1: IPS で計測された海水厚と薄氷厚推定アルゴリズムによって AMSR-E データから求めた海水厚にもとづく1日ごとの海水生産量の散布図 (Fukamachi et al., 2017)。

東部チュクチ海の沿岸ポリニヤにおけるアラスカ沿岸冬季水の形成プロセス

バロー峡谷は、太平洋起源水がチュクチ陸棚からカナダ海盆へ流出し、大西洋起源水が海盆域からチュクチ陸棚へ流入するゲートウェイとして重要で特徴的な海底地形である。冬季、バロー峡谷周辺海域で強い北東風が連吹すると、バロー沿岸域を中心として、海氷発散による潜熱ポリニヤ形成（海氷生産を促進）と共に、海盆域からの高温の大西洋水の湧昇によって顕熱ポリニヤが形成（海氷生産を抑制）されるプロセスを伴い、「潜熱・顕熱ポリニヤ双方の特徴を併せ持つ特殊な“ハイブリッド”ポリニヤ」

（バロー沿岸ポリニヤ、Hirano et al., 2016）が形成される。係留観測データ・大気再解析データ・衛星観測データ（薄氷厚アルゴリズムに基づく海氷生産量データ）および数値モデルによるトレーサー実験結果を融合し、特殊なバロー沿岸ポリニヤを含む、アラスカ沿岸・東部チュクチ海固有の冬季水（アラスカ沿岸冬季水）の特性と形成プロセスを調べた（Hirano et al., 2018）。その結果、沿岸ポリニヤ域での海氷生産に伴い形成される低温・高塩のポリニヤ水、海盆域からの高温の大西洋水の湧昇、および陸棚上での混合過程、といったプロセスにより太平洋冬季水が変質することで、異なる3つの冬季水（i）大西洋水と太平洋冬季水の混合水、（ii）大西洋水とポリニヤ水の混合水、（iii）非常に高塩分のポリニヤ

水、が形成される。アラスカ沿岸冬季水形成に対する大西洋水湧昇の影響はバロー沿岸ポリニヤで最も顕著であった。東部チュクチ海で形成される冬季水の大部分は、その後、チュクチスロープカレントやボーフォート循環によって西または北西方向へと輸送され、最終的にはチュクチボーダーランド・ノースウィンド海嶺・南部カナダ海盆の中深層へと流入し、lower halocline layer の維持に寄与すると考えられる（図2）。このように、太平洋側北極海にもかかわらず、太平洋起源水と大西洋起源水双方の影響を強く受けてアラスカ沿岸冬季水が形成されることを明らかにした。

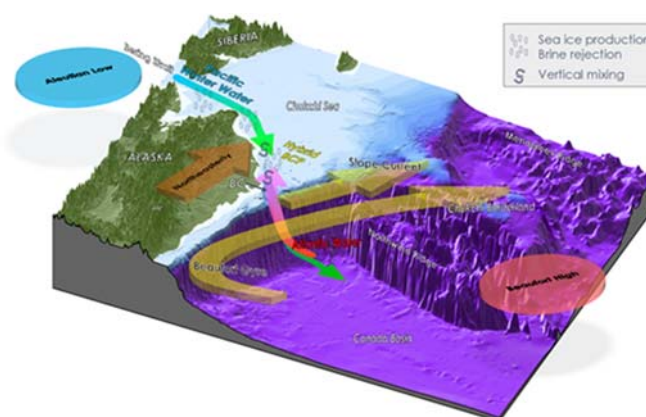


図2: 東部チュクチ陸棚上におけるアラスカ沿岸冬季水の形成プロセスと北極海盆域への拡がりを表す模式図(Hirano et al., 2018)。

[研究発表]

Hirano, D., Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, E. Watanabe, A. R. Mahoney, H. Eicken, M. Itoh, D. Simizu, K. Iwamoto, J. Jones, T. Takatsuka, T. Kikuchi and T. Tamura (2018): Winter water formation in coastal polynyas of the eastern Chukchi Shelf: Pacific and Atlantic influences, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123. <https://doi.org/10.1029/2017JC013307>.

Kanna, N., S. Sugiyama, Y. Ohashi, D. Sakakibara, Y. Fukamachi, and D. Nomura (2018): Upwelling of macronutrients and dissolved inorganic carbon by a subglacial freshwater driven plume in Bowdoin Fjord, northwestern Greenland, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123, 1666-1682. <https://doi.org/10.1029/2017JG004248>.

Fukamachi, Y., D. Simizu, K. I. Ohshima, H. Eicken, A. R. Mahoney, K. Iwamoto, E. Moriya, and S. Nishashi (2017): Sea-ice thickness in the coastal northeastern Chukchi Sea from moored ice-profiling sonar, *Journal of Glaciology*, 63(241), 888-898, <https://doi.org/10.1017/jog.2017.56>.

Ito, M., K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, G. Mizuta, Y. Kusumoto, and J. Nishioka (2017): Observation of frazil ice and upward sediment transport in the Sea of Okhotsk - A possible mechanism of iron supply to sea ice -, *Journal of Geophysical Research*, 122, <https://doi.org/10.1002/2016JC012198>.

Jones, J., H. Eicken, Andrew Mahoney, R. MV, C. Kambhamettu, Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, and J. C. George (2016): Landfast sea ice breakouts: Stabilizing ice features, oceanic and atmospheric forcing at Barrow, Alaska, *Continental Shelf Research*, 126, 50-63, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.07.015>.

Smith, I. J., H. Eicken, A. R. Mahoney, R. Van Hale, A. J. Gough, Y. Fukamachi, and J. Jones (2016): Surface water mass composition changes captured by cores of Arctic land-fast sea ice, *Continental Shelf Research*, 118, 154-164, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.02.008>.

ポリニヤでの海氷生成及びそれに伴う南極底層水形成に関する研究

◎大島 慶一郎 北海道大学低温科学研究所・教授
 深町 康 北海道大学北極域研究センター・教授
 青木 茂 北海道大学低温科学研究所・准教授
 平野 大輔 北海道大学低温科学研究所・助教
 小野 数也 北海道大学低温科学研究所・技術専門職員
 (国立極地研究所)
 牛尾 収輝 教授
 田村 岳史 准教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

南大洋における海氷生産量のマッピングから、ケープダンレーポリニヤは南大洋で2番目に海氷生産量が大きいポリニヤであることがわかり(Tamura et al., 2008)、この海域が未知(第4)の南極底層水生成域であることが示唆され、それが観測によって直接確かめられた(Ohshima et al., 2013)。ただし、ポリニヤ内での高海氷生産から底層水の形成に至るまで過程はよくわかっていない。本課題はポリニヤ内での係留観測と衛星観測を組み合わせ、その過程を明らかにすることをめざす。

まず、南極観測第VIII期計画の一般研究観測において取得されたケープダンレーポリニヤでの係留系データから、海洋(水温・塩分・流速)と海氷(厚さ・漂流速度)の詳細な解析を、衛星観測データと組み合わせを行ってきた。その結果、ポリニヤでは海中内部でのブラジルアイス生成によって効率的に高海氷生産が生じていること、それに対応した高密度陸棚水の挙動等が、直接観測から明らかになった。この高密度陸棚水は陸棚斜面を下りながら周りの水と混合し、ケープダンレー底層水となる。

本報告では、ケープダンレーポリニヤ内に2010年2月～2011年2月に設置された2系の係留系データの解析結果を例として示す。係留系にはIPS (Ice profiling Sonar)、ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)、CT (水温塩分)計が装備されており、沿岸ポリニヤでは今まで取得されたことがなかった海洋・海氷同時データとなっている。当研究グループの研究から、ADCPの後方散乱強度データを用いると、海中内部のブラジルアイスが検知できることが分かってきた。図1上2段は、冬季7月でのADCPによる後方散乱強度の時系列を示す。両点とも表層から下層まで80m近くにわたって、散乱強度の高いイベントがしばしば生じていることが

わかる(黒点線囲み)。この期間、水温塩分データ(図1c)から、岸に近いA1(青線)では常にポテンシャル過冷却、より沖のA2(赤線)でも強い散乱強度時にはポテンシャル過冷却であったことが示される。以上から、高散乱強度のシグナルは海中内部のフラジルアスを捉えたものであることが示唆される(Ito, 2017)。

一方、当グループでは衛星マイクロ波放射計AMSRにより薄氷域をactive frazilとthin solid iceの2種類を判別するアルゴリズムを開発し(Nakata et al., 2019)、海氷生産をより高精度で見積もる方法を提案した。ケープダンレーで取得された係留系データは、このアルゴリズムの比較・検証データとしても最適のデータセットになっている。図1のa, bには、各点において、AMSR海氷タイプ判別アルゴリズムで、active frazilに判別された場合をピンクの丸、thin solid iceと判別された場合を紫の丸、で示している。ADCPの散乱強度と比較すると、AMSRでactive frazilと判別された場合は両点とも上層では強い散乱強度が見られ、thin solid iceと判別された場合は強い散乱強度は見られず、よい一致を示している。このように、ADCPデータとの比較により、アルゴリズムの妥当性が示された。また、今までの薄氷厚アルゴリズムはフラジルアスを検知できなかったため、海氷生産量が20-50%程度過少評価されていることも示唆された。

新しく開発されたアルゴリズムによる海氷生産量を係留系による塩分増加と比較すると、塩分が急激に増加する3-6月はよい対応を示す。7月以降は塩分増加が弱まり頭打ちになるが、これは西向きの移流効果を考慮すると説明できる。塩分増加はローカルな海氷生産による塩分収支だけではなく、移流を考慮する重要性が示された。また、ADCPによる

流速変動からは、高海氷生産によってできた高密度水が渦的な挙動を示しながら底層水へと変質していく過程も示唆された。

以上のデータ解析に加え、IX期南極地域観測事業における重点研究観測サブテーマ2(課題名:氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気-氷床-海洋の相互作用)と連携し、ケーブダンレー沖における

係留系観測に協力してきた。具体的には、平成28年度に自動採水器付きの係留系を設置し、平成29年度に回収、平成29年度には、フラジリアイスと物質循環との関係をターゲットにした新たな係留系を設置し、平成30年度に回収した。これらのデータについても解析し、ポリニヤでの高海氷生産過程と物質循環の関係について研究を進めつつある。

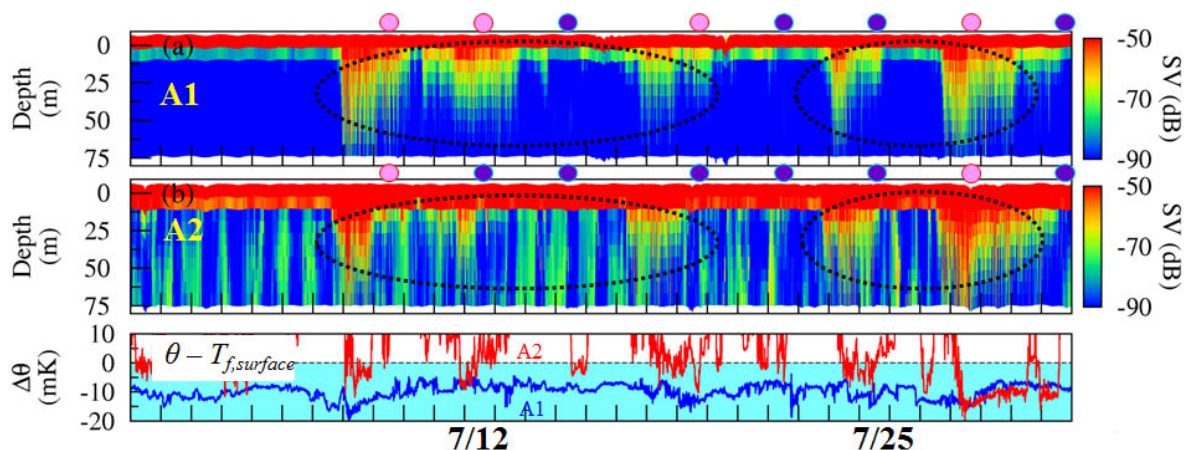


図1: 南極ケーブダンレーポリニヤにおける係留系データの2010年7月の時系列。

(a, b): ADCPの全層における後方散乱強度、(c): 海中の水温(A1:青, A2:赤)。(a, b)の上部には、AMSR海氷タイプアルゴリズムから active frazil と判定された場合をピンク丸で、thin solid ice と判定された海域を紫丸で示す。

[参考文献]

- 1) Ito, M., 2017: Underwater frazil ice formation associated with supercooling in coastal polynyas: The role in high ice production and material cycle. 博士論文, 北海道大学大学院環境科学院, 119pp.
- 2) Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, G. D. Williams, S. Nihashi, F. Roquet, Y. Kitade, T. Tamura, D. Hirano, L. Herraiz-Borreguero, I. Field, M. Hindell, S. Aoki and M. Wakatsuchi, 2013: Antarctic bottom water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley polynya. *Nature Geoscience*, 6, 235-240.
- 3) Tamura, T., K. I. Ohshima, and S. Nihashi, 2008: Mapping of sea ice production for Antarctic coastal polynyas, *Geophysical Research Letters*, 35, L07606, doi:10.1029/2007GL032903.

[研究発表]

- Nakata, K., K. I. Ohshima, S. Nihashi, 2019: Estimation of thin ice thickness and discrimination of ice type from AMSR-E passive microwave data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(1), 263-276, doi:10.1109/TGRS.2018.2853590.
- Nihashi, S., K. I. Ohshima, and T. Tamura, 2017: Sea-ice production in Antarctic coastal polynyas estimated from AMSR2 data and its validation using AMSR-E and SSM/I-SSMIS data. *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, 10(9), 3912-3922, doi:10.1109/JSTARS.2017.2731995.
- Williams, G. D., L. Herraiz-Borreguero, F. Roquet, T. Tamura, K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, et al., 2016: The suppression of Antarctic bottom water formation by melting ice shelves in Prydz Bay. *Nature Communications*, 7:12577, doi:10.1038/ncomms12577.
- Tamura, T., K. I. Ohshima, A. D. Fraser and G. D. Williams, 2016: Sea ice production variability in Antarctic coastal polynyas. *Journal of Geophysical Research*, 121, 2967-2979, doi:10.1002/2015JC011537.
- Ohshima, K. I., S. Nihashi, and K. Iwamoto, 2016: Global view of sea-ice production in polynyas and its linkage to dense/bottom water formation. *Geoscience Letters*, 3:13, doi:10.1186/s40562-016-0045-4.

南極海氷コアを用いた大気および海洋生物地球化学過程の解明

野村大樹 北海道大学大学院水産科学研究院・助教

豊田威信 北海道大学低温科学研究所・助教

(国立極地研究所)

牛尾収輝 教授

田村岳史 准教授

平成 28 年～平成 30 年 (3 か年)

[研究成果]

1. 南極リュツォ・ホルム湾内の多年沿岸定着氷域で採取された海氷サンプルについて物理・化学・生物成分を解析し、海氷成長に伴う氷体への生物地球化学成分の取り込みや、その後の海氷内部での変遷過程を明らかにした (Nomura et al., 2018)。
2. 同湾最奥部の白瀬氷河舌や多年沿岸定着氷の融解過程が海洋表層の物質循環や大気-海洋間の二酸化炭素交換に与える影響を評価した (Kiuchi et al., Submitted)。1 および 2 について以下に詳細を示す。

海氷上の積雪が多い南極の海氷においては、雪ごおりの形成が卓越する。雪ごおりは、積雪の重みで海氷が沈み、そこに海水が染み込み、スラッシュ（海水と雪が混ざったもの）となったものが、冷却によって氷化したものである (Haas et al., 2001)。海水の染み込みには、主に水平方向からの海水の侵入が必要であり、例えば、クラックの形成が海水供給の発端となる。よって、クラック内の水の組成が、その後形成される雪ごおりの特性を決定すると考えられる。特に、多年氷域においては、海氷表層に供給された海水は、雪ごおり形成による上方からの海氷成長によって、海氷内部に取り込まれ、長年貯蔵される。そこで南極海の多年沿岸定氷域で形成したクラック内部での植物プランクトンブルームの痕跡、クラックから海氷内部への潮汐サイクルによる海水供給、その後の雪ごおり形成に伴う海氷内部への貯蔵・変遷過程について JARE-51 で採取した海氷コアサンプルデータをもとに一連の過程を議論した。

昭和基地北の浦にできるクラック付近 (図 1) で採取した海氷コアの薄片解析と酸素安定同位体比の結果、海氷の全長の約 9 割は、雪を起源とした雪

ごおりによって形成されていた。また、鉛直分布において、海氷中央部に塩分、クロロフィル a や栄養塩濃度のピークが見られた。そして、この部分は茶褐色であった。これは、クラックの形成によって、クラック内の水が潮汐サイクルにより海氷上部に輸送され、雪ごおりとして海氷内部に取り込まれた結果であると考えられる。また、取り込まれた物質は、細菌による有機物の分解・無機化等の変遷を経て、時間とともに変化するものの、長期間、多年氷内部で貯蔵される。クラックの形成が制限される沿岸定着氷域 (海氷の動きがなく、安定した氷)、そして、大気からの海氷上への物質供給が制限される南極海の海氷においては、クラック形成に伴う海氷上部への物質供給、その後の雪ごおり形成に伴う海氷内部への取り込みは、海氷生態系にとって、重要な栄養塩供給過程となるであろう。有機物の分解・無機化等による有機ガス発生過程の理解のため、現在は、本共同研究期間中に採取した海氷コアサンプルについての解析を進めている。

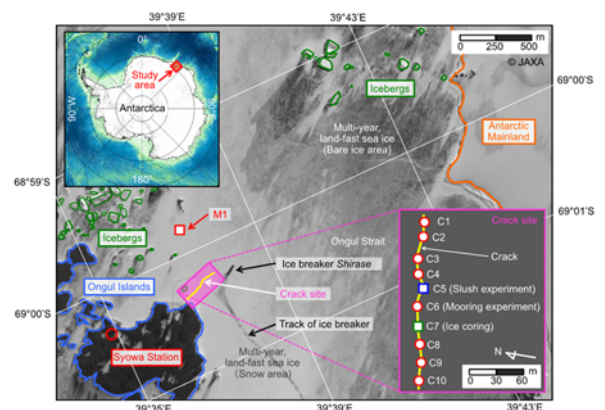


図 1. 南極リュツォ・ホルム湾昭和基地北の浦における海氷コアサンプル採取地点

近年、地球温暖化に伴い氷河や海氷などの雪氷の融解が起きている (e.g., Rignot et al., 2013)。その影響により大量の淡水が海洋に供給されている。東南極の棚氷・氷河舌の中でも、リュツォ・ホルム湾最奥部の白瀬氷河舌の底面融解率は特に高く、衛星による観測やアイスレーダーおよび海洋現場観測から $7\text{--}16\text{ m yr}^{-1}$ と推定されている。高い底面融解率は、湾の中央に存在するトラフに沿って、沖合起源の高温の mCDW (modified Circumpolar Deep Water) が白瀬氷河舌の底面へ流入することによって起きていると考えられている。また、白瀬氷河舌付近の海洋表面は、厚い定着氷に覆われているが、2016年の4月にその定着氷が崩壊し、沖合へ流出するなどのイベントが起きている。つまりリュツォ・ホルム湾では氷河と海氷の融解が同時に起こりやすい状況になっている。そこで、2017年 (JARE58) と2018年 (JARE59) に、砕氷艦しらせによる観測を実施し、酸素安定同位体比を利用して、白瀬氷河舌付近の海洋表面における氷河と海氷融解水の割合を評価した。また、融解水による希釈効果がリュツォ・ホルム湾の炭酸系 (例えば溶存無機炭素やアルカリ度) や大気-海洋間の二酸化炭素交換過程に与える影響を定量的に評価した。

海氷、氷河、海水をエンドメンバーとし、酸素安定同位体比と塩分から算出されたリュツォ・ホルム湾の海水に対する氷河の割合 (F_{mw}) は、氷河舌付近の観測点 (St. A3) において表層 20 m で約 2.0%、垂表層 300 m で約 1.0%であった (図 2a)。また、海氷の割合 (F_{si}) は、リュツォ・ホルム湾の沖の観測点 (St. G2) で最も高くなった (表層 20 m で約 1.7%) (図 2b)。

溶存無機炭素と塩分、アルカリ度と塩分の関係を用

いて算出した表層 20 m における氷河舌融解水の希釈効果による溶存無機炭素とアルカリ度の減少量は、氷河舌付近の観測点においてそれぞれ $60\text{ }\mu\text{mol kg}^{-1}$ 、 $51\text{ }\mu\text{mol kg}^{-1}$ であった。さらに、この溶存無機炭素とアルカリ度の変化量から二酸化炭素分圧を算出したところ、 $49\text{ }\mu\text{atm}$ の減少分に相当した。氷河舌の底面へ流入する mCDW の pCO_2 は約 $421\text{ }\mu\text{atm}$ 、大気中 pCO_2 は約 $390\text{ }\mu\text{atm}$ であることから、mCDW の pCO_2 は白瀬氷河舌の底面融解水の影響を受けて、大気中 pCO_2 よりも小さくなる。つまり、リュツォ・ホルム湾において、氷河舌の底面融解は、海洋を CO_2 の放出源から吸収源に変える重要な役割を担っていることが示唆された。今後の課題として氷河融解水が海氷の結晶構造や内部への取り込み過程など理解するため本共同研究期間中に採取した海氷コアサンプルについての処理・分析・解析を進めている。

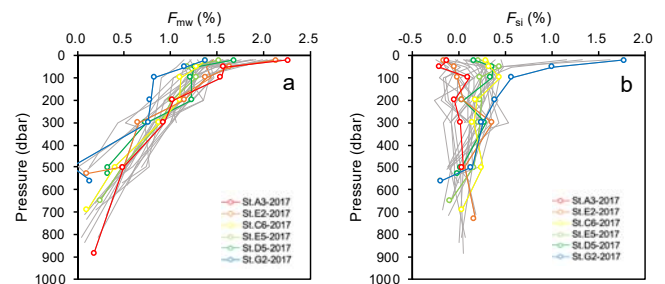


図 2. 酸素安定同位体比と塩分から算出されたリュツォ・ホルム湾の海水に対する氷河 (a) および海氷融解水 (b) の割合。St. A3 は氷河に最も近い観測点、St. G2 はリュツォ・ホルム湾の最も沖の観測点を示す。

[参考文献]

- 1) Haas, C., D. N. Thomas, and J. Bareiss. (2001). Surface properties and processes of perennial Antarctic sea ice in summer. *Journal of Glaciology*, 47: 159, 613–625.
- 2) Rignot, E., Jacobs, S., Mouginot, J., & Scheuchl, B. (2013). Ice-shelf melting around Antarctica. *Science*, 341(6143), 266–270. <https://doi.org/10.1126/science.12357983>.

[研究発表]

- 1) Nomura, D, Aoki, S, Simizu, D, and Iida, T. (2018). Influence of sea ice crack formation on the spatial distribution of nutrients and microalgae in flooded Antarctic multiyear ice. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. DOI:10.1002/2017JC012941.
- 2) Kiuchi M, Nomura D, Hirano D, Tamura T, Hashida G, Ushio S, Simizu D, Ono K, Aoki S. (Submitted). The effect of basal melting of the Shirase Glacier Tongue on the CO_2 system in Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Journal of Geophysical Research-Oceans*.

(別紙) 参加者一覧

村上寛 (北海道大学大学院水産科学研究科修士課程) (国立極地研究所共同研究育成研究員)

木内政彰 (北海道大学大学院水産科学研究科修士課程) (国立極地研究所共同研究育成研究員)

南極域における現地・衛星観測データを用いた海水厚導出アルゴリズムの開発

◎館山一孝 北見工業大学工学部・准教授
 (国立極地研究所)
 牛尾収輝 准教授
 田村岳史 准教授
 平成 28 年～平成 30 年 (3 か年)

[研究成果]

本課題は、2012 年から 2015 年の期間に南極観測船しらせ航路上および昭和基地周辺の海水域 (図 1) において取得した現地観測データ (電磁誘導型氷厚計 EM、カメラ・目視観測など) と衛星リモートセンシングによるマイクロ波放射計データを総合的に解析することによって、南極海用の海水厚推定アルゴリズムの開発を目指した。これまで沖合流氷域の面積の季節・年々変化や地域特性、それら変動機構が衛星観測やモデル研究を中心に調べられた例が多いが、本課題では大陸沿岸の定着氷を中心とした厚い海水域に注目し、しらせに搭載した EM 観測によって得られた現地海水厚データをもとに、一年氷/多年氷、流氷/定着氷など種類毎に最適なパラメータを設定することによって、氷種毎の海水厚の推定アルゴリズムの開発を試みた。

図 1 は JARE54 から JARE56 におけるしらせの航跡を示しており、青色・緑色・紫色・赤色の四角で囲まれた領域は、それぞれ目視観測によって分類された流氷域、大利根水路 (流氷と定着氷の境界に生じる水路)、一年氷定着氷、多年氷定着氷を表している。図 2 はそれぞれの海水域において EM によって観測された海水厚の空間分布を示している。申請者らが北極海において取り組んでいる海水厚推定アルゴリズム開発で用いている手法 (Krishfield *et al.*, 2014) を元に、GCOM-W 衛星の受動マイクロ波放射計 AMSR2 から得られた輝度温度データと、目視観測による氷種や EM 観測による海水厚などの現地観測データと比較することにより、海水の種類および厚さとのマイクロ波輝度温度の関係について調査した。

図 3 は AMSR2 の各周波数・偏波において、氷種毎に EM 海水厚とマイクロ波射出率の関係を示したものである。北極海の海水と同様に、輝度温度は厚さの増加に伴って、6GHz と 18GHz の低周波では増加し、36GHz と 89GHz の高周波では減少する傾向と、垂直偏波よりも水平偏波の方がその傾向が顕

著であることが南極海の海水においても現れていた。

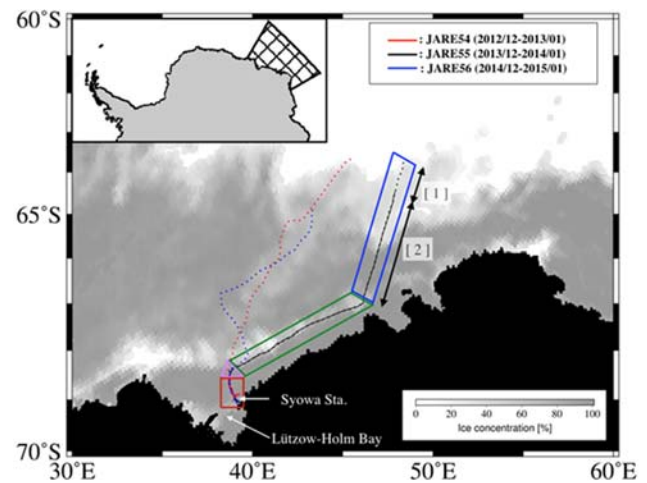


図 1 JARE54～56 のしらせの航跡と海水の種類。青色は流氷域、緑色は大利根水路、紫色は一年氷定着氷、赤色は多年氷定着氷を示す。

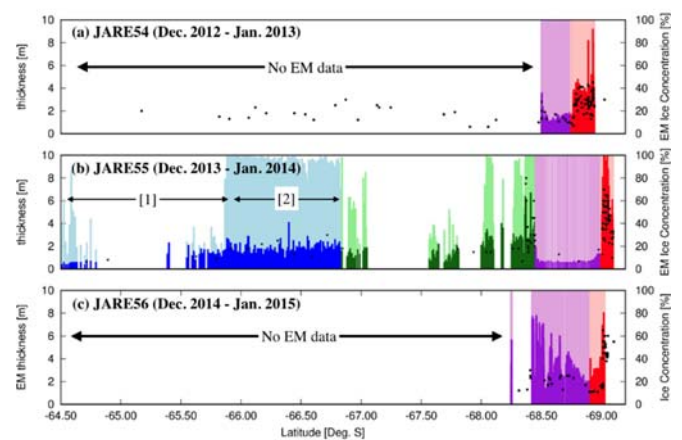


図 2 図 1 に示す JARE54～56 の航跡上で観測された海水の種類と EM によって測定された海水厚分布。

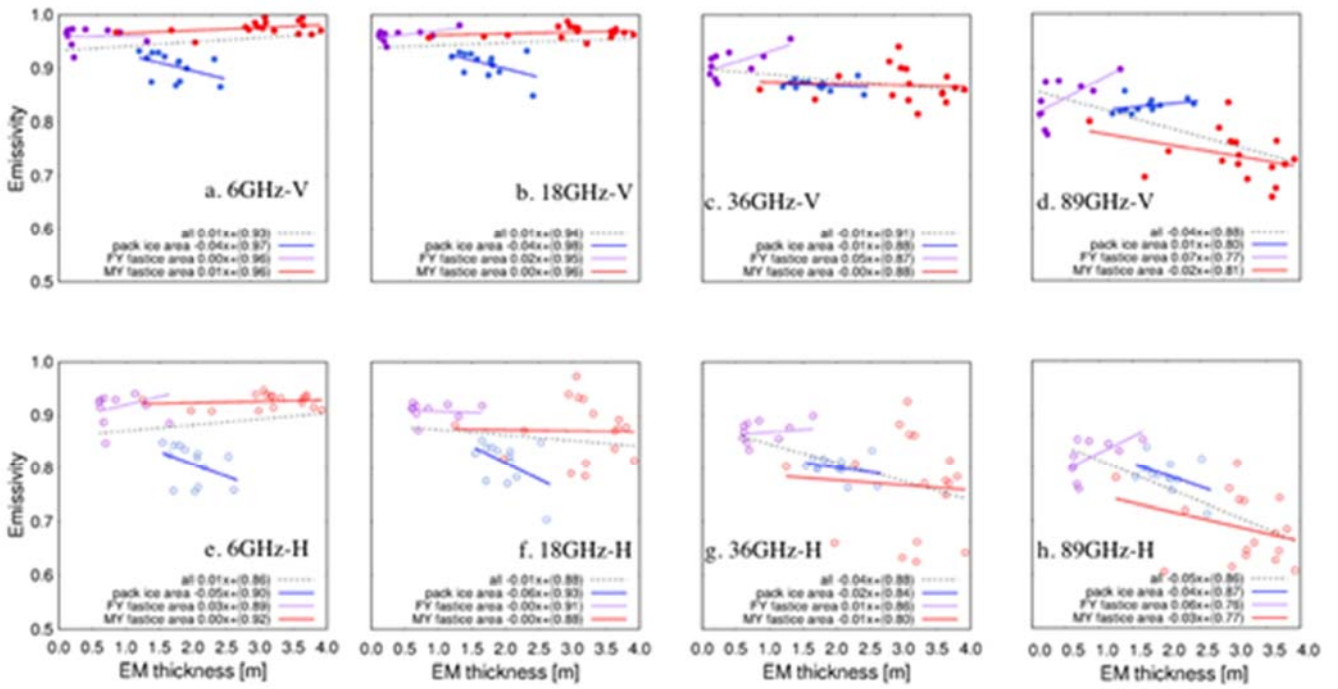


図3 AMSR2の各周波数・偏波において、氷種毎に示したEM海氷厚とマイクロ波射出率の関係。

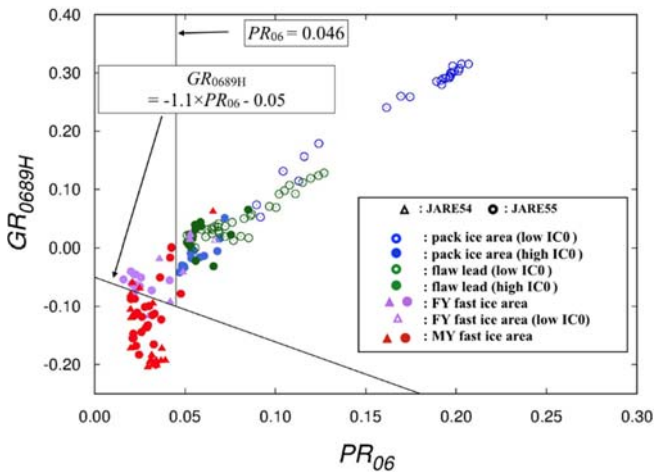


図4 PR₀₆とGR_{06-89H}を用いた氷種分類

本課題では図3で得られた関係を元に、全ての周波数と偏波の組み合わせを用いて、最も氷種の判別と海氷厚の推定に適したパラメータを検討した。そ

の結果、図4に示すように6GHzの偏波比PR₀₆と6GHzと89GHzの水平偏波の周波数比GR_{06-89H}が、最も氷種の判別性能が高い結果が得られた。今後はこれらのパラメータを用いた氷種判別と、それぞれの氷種における定量的な海氷厚の推定が課題である。本課題はしらせが観測を行う12月から2月における融解期の観測データを元にアルゴリズムを作成したが、係留ブイなどを導入して3月から11月の期間においても観測を行い、年間を通じて現地海氷厚データを取得することが求められる。

本課題によって、将来的に南極域での海氷厚の年変動や空間変動特性の把握が進み、海氷変動機構の解明に寄与することが期待され、さらに海水を介した化学・生物学的な諸現象や大陸氷床縁における海水-氷河間相互作用の理解にも役立つ知見を得ることが期待される。

[参考文献]

Krishfield RA and 6 others; Deterioration of perennial sea-ice in the Beaufort Gyre from 2003 to 2012 and its impact on the oceanic freshwater cycle. Journal of Geophysical Research: Oceans, 119(2), 1271-1305, 2014.

[研究発表]

Kita, M., K. Tateyama, S. Hoshino, and K. Nakamura, The measurement of ice thickness using an electromagnetic induction device onboard a sled in Saroma-ko Lagoon and at Syowa Station, The proceedings of the 33rd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans, February 2018.

高瀬雄麻, 舘山一孝, 星野聖太, 森下裕士; 可搬型マイクロ波放射計を用いたサロマ湖氷上の積雪深の観測, 北海道の雪氷, 35巻, p115-p118, 2016年9月.

(別紙) 参加者一覧

星野聖太 北見工業大学大学院 博士後期課程 寒冷地・環境・エネルギー工学専攻
北桃生 北見工業大学大学院 博士前期課程 社会環境工学専攻
高瀬雄麻 北見工業大学大学院 博士前期課程 社会環境工学専攻
照井雄大 北見工業大学大学院 博士前期課程 社会環境工学専攻

しらせ氷海モニタリングデータの解析による海水状況の把握

- ◎山口 一 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授
 澤村淳司 大阪大学工学研究科・助教
 山内 豊 ジャパン マリンユナイテッド(株)技術研究所・グループ長
 水野滋也 ジャパン マリンユナイテッド(株)技術研究所・主幹
 永川圭介 東京大学大学院新領域創成科学研究科・修士2年(平成28年9月修了) ※共同研究育成研究員(国立極地研究所)
 牛尾収輝 教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

南極域の海水状態を把握し、その年々変化の物理機構を解明するため、観測船「しらせ」に設置した氷海モニタリングシステムによる船体挙動データと氷況との関係を解析した。本研究では、期間中同行者乗船できた平成27年度(57次航海)と平成29年度(59次航海)のデータを主として解析した。

第57次航海の解析では、多年氷域における氷厚+積雪深と「しらせ」ラミング砕氷時の進出距離の計測結果を解析・整理し、Vinogradovのモデル(野沢, 2006)を拡張して、経験式を作成した。図1にその経験式により予測したラミング進出距離と計測値の相関図を示す。これにより、ラミング距離から、目視による氷況観測では十分なデータ得られない氷厚+積雪深を定量的に推定することが可能となる。

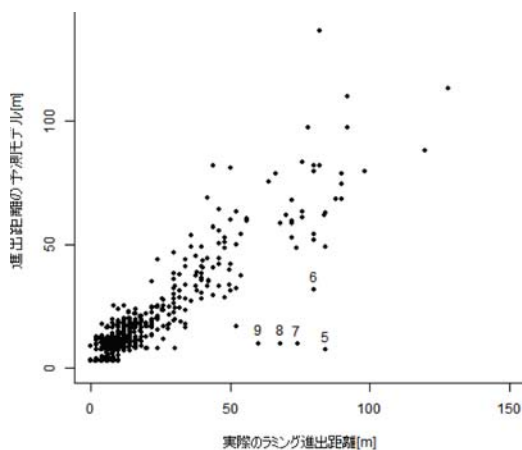


図1 ラミング進出距離の計測値とモデル予測値の関係(JARE57)

一方、EM-Bird、船上EMなどで計測した氷厚+積雪深をクリギングという統計的手法により補間して面分布とした。そして、開発したラミング進出距離モデルを使用して、昭和基地近くまでのいくつかの航路を想定し、その航路の航行日数を求めた(図2)。今回は、元となる氷厚+積雪深データが少なく、結果そのものの信頼性は低いですが、今後、EM-

Birdによる計測を密に行えば、多年氷帯で昭和基地に至る最適航路とその航行日数を予め推定できる様になるであろう。

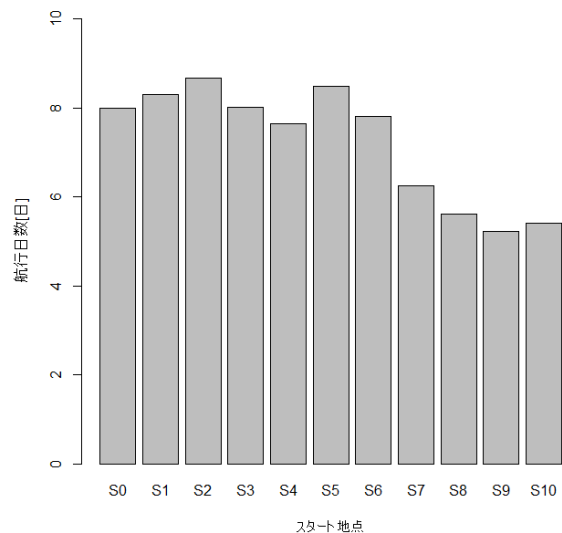


図2 多年氷帯に想定した昭和基地までの複数航路の航行日数比較。航路の距離は同じ。

第59次の解析では、ラミング砕氷による旋回操船に着目した。砕氷船がラミング砕氷時に旋回することは極めて稀であるが、しらせの場合、厚い多年氷帯を通して昭和基地に至るという明確なミッションがあるため、ラミング時にも旋回が必要になることがある。そこで、過去の航海データも含めて表1の旋回データを抽出した。図3に、航跡と、非線形最小2乗法により推定した旋回半径を示す。氷況により旋回半径が異なることがよくわかる。また、氷厚が大きいくほど旋回半径が小さくなっているが、これはラミング進出距離が短くなるためであり、旋回時間が短くなっている訳では無い。

表1 しらせラミング航行時の旋回データ

	時期	旋回場所	氷厚 (m)
Turn 1	2013年1月	平坦定着氷	2.6/4.0
Turn 2	2013年2月	平坦定着氷	4.2/4.4/5.2
Turn 3	2018年1月	平坦定着氷	1.7/2.1
Turn 4	2018年2月	氷縁付近乱氷帯	2.1/2.2

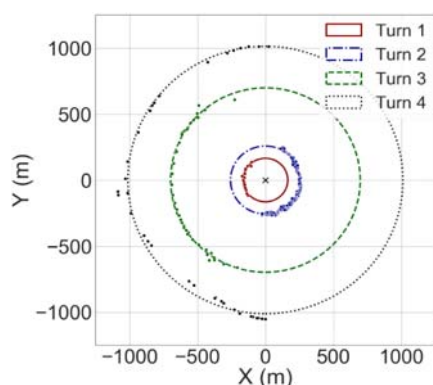


図3 ラミング砕氷時の旋回半径

これらのデータを回帰分析することにより、ラミング時の助走距離（海水への衝突速度を定めるパラメータになる）、ラミング貫入距離、旋回角度、ラミング1回あたりの時間の関係を求めた。例えば、図4は、ラミング貫入距離とラミング1回あたりの旋回角度の関係である。これにより、数回の初期のラミングの貫入距離の結果から、旋回半径を推定できることになる。

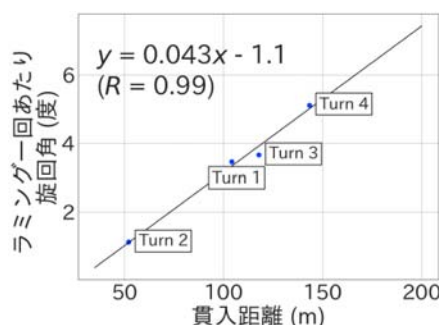


図4 ラミング貫入距離と旋回角の関係

[参考文献]

1) 野澤和夫, 氷海工学, 成山堂書店, 2006, p110-117

[研究発表]

- Y. Takahashi, H. Yamaguchi, S. Ushio, Y. Yamauchi and S. Mizuno, Turning features of an icebreaker during ramming operations: a case study, Okhotsk Sea and Polar Ocean Research, 3(2019), 13-19.

- S. Fushimi, S. Ushio, T. Ozeki, H. Yamaguchi, and A. Konno, Sea-water spray observation and analysis along JARE59 Shirase cruise, 9th Symposium on Polar Sciences, Dec 4-7, 2018, National Institute of Polar Research, Tachikawa, 1p.

- Y. Takahashi, H. Yamaguchi, S. Ushio, Y. Yamauchi, and S. Mizuno, "Shirase" navigation data analysis to improve future ice operation and icebreaker design, 9th Symposium on Polar Sciences, Dec 4-7, 2018, National Institute of Polar Research, Tachikawa, 1p.

- S. Yaguchi, Y. Takahashi, S. Fushimi, H. Yamaguchi and S. Ushio, Comparison of L-band ALOS-2/PALSAR signature with Helicopter-borne measurements of sea ice condition at Lu tzow-Holm Bay, Antarctica, 9th Symposium on Polar Sciences, Dec 4-7, 2018, National Institute of Polar Research, Tachikawa, 1p.

- T. Ozeki, T. Shiga, J. Sawamura, Y. Yashiro, S. Adachi and H. Yamaguchi, Development of sea spray meters and an analysis of sea spray characteristics in large vessels, Proc. 26th Intern. Ocean and Polar Engineering Conf. (ISOPE-2016), Rhodes (Rodos), Greece, June 26 - July 1, 2016, ISBN 978-1-880653-88-3; ISSN 1098-6189, 1335-1340.

- 尾関俊裕、山口一、寒冷海域における海水飛沫着氷研究 一動向と大型船での海水飛沫の粒径分布計測一、雪氷研究大会(2018-札幌), 2018年9月9-12日, 1p.

- 山口一、戸田真、北極と南極の観測, 創成、東京大学大学院新領域創成科学研究科, Vol.28, p.11(2016).

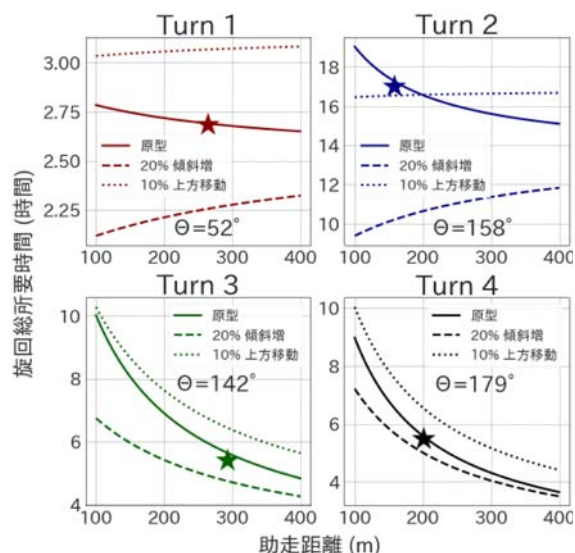


図4 実航行時に得た旋回角度(Θ)を得るためのラミング所要時間の推定値と実測値の比較。★は実航行時の実測値。推定値の方は、助走距離の関数として示している。

図4に、Turn1~4の旋回角度(Θ)を得るための所要時間を、回帰分析から得た式によりラミング助走距離から推定したものである。実線がその結果であり、これから、実用的な範囲内では、助走距離を長くするほど早く旋回できることがわかる。一方、計測データがまだ少なく、回帰式を少し変化させると点線や破線の様に結果が異なってくる。今後も、データの蓄積を継続するべきである。

(別紙)

参加者一覧

戸田真、高橋祐人、矢口俊吾、伏見修一、吉野正剛、草川亮

以上、全て大学院学生

リモートセンシング観測データを用いた雲の動態解析

◎久慈 誠 奈良女子大学研究院・准教授
 (国立極地研究所)
 塩原 匡貴 准教授
 平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

はじめに

雲は地球の気候に対して、温室効果と冷却効果の相反する影響を及ぼす。従来、様々な測器を用いた地上観測や、衛星観測が行われて来たものの、雲は時空間変動が大きく、形状や分布も多種多様であるため、詳細な観測は必ずしも容易ではない。

また、IPCC 第 5 次評価報告書¹⁾によると、世界平均地上気温は、1880 年から 2012 年の期間に 0.85°C 上昇しており、特に 20 世紀半ば以降の北極域における大幅な温暖化が裏付けられている。その一方で、南極大陸については、観測の不確実性が大きいために、利用可能な気象観測点にわたる平均として観測された温暖化に人為起源強制力が寄与していたことについての確信度は低い。第 4 次評価報告書時点と比べて、今ではより多くの雲過程及びエアロゾル過程並びにそれらの相互作用が気候モデルに含まれているが、モデルにおけるこれらの過程の表現やその定量化については確信度が低いままである。

従って、南極域の雲を詳細に観測することで、地球の気候変動予測精度の向上が期待される。そこで本研究では、南極域を含む日本から昭和基地までの航路上、雲量の船舶観測データの解析を行った。

観測データと解析方法

南極観測船しらせは例年、11 月に日本を出発し、翌年 1 月に昭和基地 (69.00°S , 39.35°E) に一ヶ月ほど停泊し、さらに 4 月に日本に帰国する。本研究では以下の三種類の観測データから雲量の日平均値を求め、比較を行った。尚、各測器の雲量を 0～100% に規格化して解析を行った。

○全天カメラ

南極観測船しらせに全天カメラシステムを搭載し、天空の画像を取得した。観測時間間隔は 5 分である。撮影画像全体のうち観測範囲 140° (天頂角 70°) に占める雲の割合を求める。データ解析期間は JARE 55 (56) では、2013 年 11 月 8 日 (2014 年 11 月 11 日) から 2014 年 4 月 6 日 (2015 年 4 月 1 日)、事例数は 32,503 (39,053) 画像である。

○雲底高度計

Vaisala CL51 によって観測された雲底高度を使用する。雲が観測された頻度を雲量とみなす。時間間隔は 36 秒である。データ解析期間は JARE 55 (56) では、2013 年 11 月 27 日 (2014 年 11 月 11 日) から 2014 年 4 月 6 日 (2015 年 2 月 9 日)、事例数は 270,314 (163,012) プロファイルとなった。尚、JARE 56 ではブリザードにより雲底高度計が倒れたため、復路の観測プロファイル数が少なくなっている。

○目視

しらせ船上で目視によって観測されている雲量を使用する。元のデータは各時刻の雲量が、0～8 の 1 刻みで格納されており、これを 0～100% に規格化した。時間間隔は 1 時間である。データ解析期間は JARE 56 では、2014 年 11 月 11 日から 2015 年 3 月 31 日、事例数は 3,050 である。尚、JARE 55 は目視雲量が利用できなかった。

解析結果

JARE 55 の南極航海において全天カメラで観測された日平均雲量のマップを図 1 に示す。この図より、南緯 40 度から 60 度の南大洋と 60 度以南の南極海で雲量が高いことが分かる。

また、JARE 56 の南極航海において観測された日平均雲量の時系列を図 2 に示す。この図より、全天カメラ、雲底高度計、及び目視の日平均雲量の変動はおおよそ整合的であることが見て取れる。実際、全天カメラと雲底高度計の日平均雲量には、高い正の相関 (相関係数 0.95) があつた。同様に全天カメラと目視にも強い正の相関 (相関係数 0.92) が認められた。

さらに、JARE 55 の開水域と海氷域を比較すると、全天カメラで観測された日平均雲量の平均値はそれぞれ 53% と 84% となり、海氷域の方が開水域よりも雲量が高いことがわかった。しかし、JARE 56 ではそれぞれ 66% と 57% となり、大小関係が逆転していた。これは日平均雲量が、その時々気圧配置などに影響されるためであると考えられる。

J55

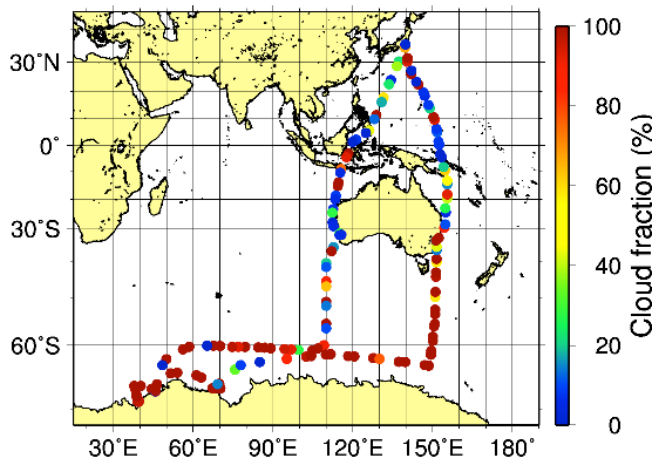


図1 JARE 55の南極航海において全天カメラで観測された日平均雲量。2013年11月8日から2014年4月6日まで、6時間毎にプロットしている²⁾。

まとめと今後の展望

南極観測船しらせ船上において、全天カメラ、雲底高度計、及び目視の三種類の方法で観測された雲量の比較解析を行った。

その結果、全天カメラと雲底高度計（目視）の相関係数は0.95（0.92）と非常に高く、各観測から得られた日平均雲量は整合的であることが確認できた。

また、南緯40度から60度の南大洋や、特に南緯60度以南の南極海で雲量が高いことがわかった。

さらに、開水域と海氷域では年によって日平均雲量の大小関係が入れ替わっており、その時々気圧配置などを反映していると考えられる。

全天カメラによる観測はJARE 55から継続して実施されており、今後も公開利用研究として実施させて頂く予定である。さらに、南極昭和基地における雲量観測や衛星観測、並びに気象モデルシミュレーション等との比較を行う事が考えられる。

J56

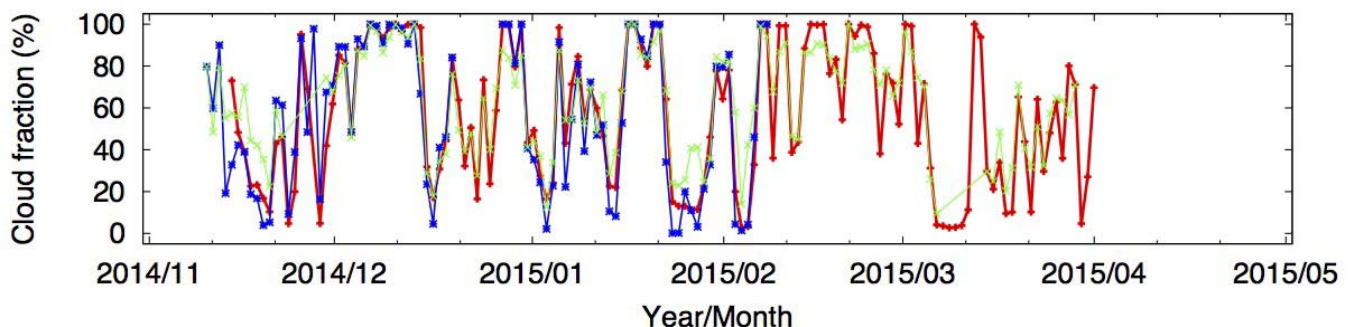


図2 JARE 56の南極航海において観測された日平均雲量の時系列。赤：全天カメラ、青：雲底高度計、及び、緑：目視。海氷期間は2014年12月15日から2015年2月17日である。²⁾

[参考文献]

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge Univ. Press, New York.
- 2) M. Kuji, A. Murasaki, M. Hori, M. Shiobara, 2018: Cloud Fractions Estimated from Shipboard Whole-Sky Camera and Ceilometer Observations between East Asia and Antarctica, *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**, 201-214.

[研究発表]

- M. Kuji, A. Murasaki, M. Hori, M. Shiobara: Cloud Fractions Estimated from Shipboard Whole-Sky Camera and Ceilometer Observations between East Asia and Antarctica, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 96, No. 2, p201-214, 2018.
- M. Kuji, R. Fujimoto, M. Miyagawa, R. Funada, M. Hori, H. Kobayashi, S. Koga, J. Matsushita, M. Shiobara: Cloud Fractions Estimated from Shipboard Whole-Sky Camera and Ceilometer Observations, *Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan*, Vol. 14, No. ists30, pp. Pn_7-Pn_13, 2016.

(別紙)

研究協力者参加者一覧

一般共同研究(平成30年度報告)		課題番号	28-19	
研究課題名		リモートセンシング観測データを用いた雲の動態解析		
氏名		所属	職	備考
所内 (極地研)	塩原 匡貴	気水圏	准教授	担当教員
小計	1 名			
所外 (極地研以外)	久慈 誠	奈良女子大学	准教授	研究代表者
	堀 雅裕	JAXA / EORC	主任研究員	研究協力者
	舟田 亮子	奈良女子大学	大学院生	研究協力者
	宮川 真友	奈良女子大学	大学院生	研究協力者
	藤本 梨沙	奈良女子大学	大学院生	研究協力者
	村崎 あつみ	奈良女子大学	学部生	研究協力者
小計	6 名			
合計	7 名			

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

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

※総研大生は「所外」として記入してください。

※行が不足する場合、適宜追加してください。

南極表面積雪の物理解析

◎北見工業大学 社会環境工学科・助教 大野浩

(国立極地研究所)

藤田秀二 教授

平成 28 年度～平成 30 年度 (3 年間)

[研究成果]

(H29 年度) 1-ブロモドデカンを用いた表面積雪のサンプリング方法を開発した。積雪粒子の隙間を氷点下に予冷した 1-ブロモドデカンで満たし、温度を下げて 1-ブロモドデカンを凍結させることで積雪を固定する。制約のあるフィールドで滞りなく作業が行えるかどうか、国内外の自然積雪に対してテストを行った。

また、固定した積雪試料を、マイクロ X 線 CT およびマイクロ X 線ラウエ解析法で解析する方法を確立した。1-ブロモドデカンは比較的 X 線吸収度の高い Br を含むため、X 線 CT イメージングにおいて、氷や空隙とは明瞭に異なる輝度で記録されることを確認した。1-ブロモドデカンで固定した試料は程よい硬さで、薄片の作成は容易であった。固体の 1-ブロモドデカンは、不透明であるため氷と容易に見分けがつくだけでなく、多色性を示さないため偏光観察中に氷と見間違えることもない。薄片試料の顕微 X 線ラウエ写真が問題なく撮影できることも確認した。

(H30 年度) JARE59 夏隊に参加して、南極内陸部における表面積雪の現地観測およびサンプリングを行った。観測・サンプリングサイトは、第 3 期ドームふじコア掘削予定地である NDF である。深さ 5m の積雪ピットを掘り、その断面の目視観察を行った。目視観察で確認された特徴的な層位を含む 15 深度で、1-ブロモドデカン固め法による積雪ブロックのサンプリングを行った。合わせて、深さ方向 2cm 間隔で雪温と密度を測定するとともに、化学分析用の積雪サンプリングを実施した。その後試料は日本まで無事輸送された。

また、南極氷床トラバース中に、表面積雪の比表

面積 (SSA) の広域観測を行った。観測は計 36 の地点で実施され、SSA の測定には光学的手法を用いた。

(H31 年度) JARE59 で行った表面積雪 SSA 広域観測のデータを解析した。解析から得られた主な結果は以下の通りである、1) 内陸域における SSA の平均値は、カタバ風域や沿岸域における SSA の平均値と比べて高い傾向にある (図 1)。2) トラバース往復路の間に表面から 5~10cm の SSA が顕著に減少していた (図 2)。3) ウインドバックと思われる高密度層で SSA の値に顕著な変化は見られず、風が SSA に与える影響は認められない (図 3)。1) の観測事実は、低温環境にある内陸域では積雪の変態速度が遅いことに起因すると考えられる。2) については、局所的な雪温の上昇に伴う積雪変態速度の増加や、変態ステージの違い (フレッシュな雪ほど変態が速く進む) によるものと思われる。本研究成果は、2019 年度雪氷研究大会で報告済みである (大野・藤田他、JARE59 内陸トラバースルートにおける表面積雪 SSA の広域観測)。

持ち帰った表面積雪試料の X 線 CT 撮影を進めている。1-ブロモドデカンを含む試料から高コントラストの撮像を得るためには、高強度の X 線を照射する必要があるため、共同研究先である防災科学技術研究所雪氷防災研究センターが有する高輝度 X 線源を備えた装置を利用している。得られた画像の質は良好で、凍結時の収縮や輸送中に発生したと思われるクラックは見当たらない (図 4)。雪氷防災研究センターの装置を用いても、一試料の撮影に最低数日を要し、マシンタイムの確保が容易でないためにデータの収集が遅れているが、研究を継続して結果を出せるだけ早く纏める所存である。

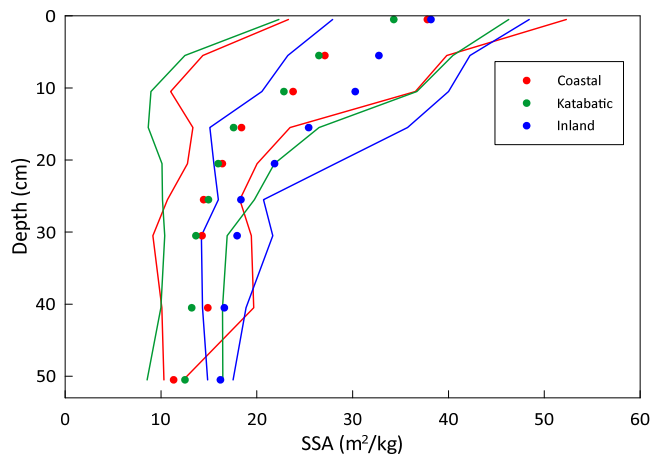


図 1 積雪 SSA 平均値の深さプロファイル

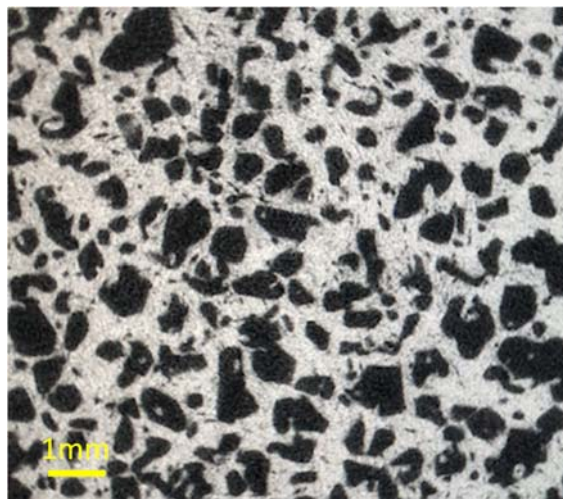


図 4 表面積雪の X 線 CT 断面図@NDF 0.3m 深. 黒い部分は氷, 白い部分は 1-ブロモドデカン (空隙) に相当する.

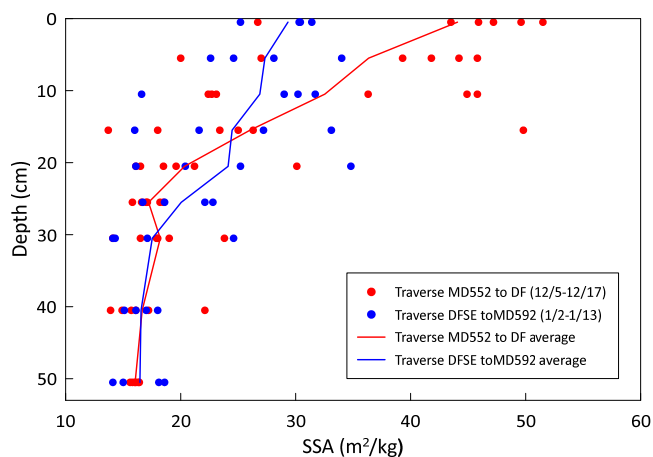


図 2 積雪 SSA 深さプロファイルの往復路比較 (内陸域)

NMD218 11/27

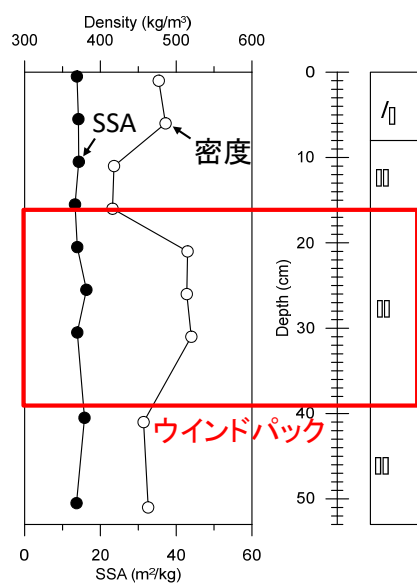


図 3 高密度層における SSA の傾向

衛星搭載の合成開口レーダデータを用いた南極海水変動の解析

◎中村和樹 日本大学工学部・准教授

山之口勤 (一財) リモート・センシング技術センター・グループリーダー

門崎 学 (一財) リモート・センシング技術センター・主任研究員

(国立極地研究所)

牛尾収輝 准教授

田村岳史 准教授

平成 28 年～平成 30 年 (3 か年)

[研究成果]

1. はじめに

白瀬氷河は南極の他の氷河と比較しても流動速度が速いことで知られており、南極氷床の消耗量の把握のために氷河の流動速度の監視は重要である。現在、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が打ち上げた陸域観測技術衛星 2 号 (ALOS-2) が運用されており、ALOS-2 に搭載されたフェイズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ (SAR) 2 型 (PALSAR-2) により SAR データが取得されている。ALOS-2/PALSAR-2 の広域観測モードデータによる白瀬氷河の観測結果から、1998 年秋季に氷河浮氷舌と定着氷の大規模な崩壊¹⁾以降は顕著な変動は見られなかったが、2015 年以降は定着氷の大規模な崩壊が始まり氷河の流動速度にも変化が見られている²⁾。本報告では ALOS-2/PALSAR-2 の高分解能モードデータを用いて、白瀬氷河と氷河末端の定着氷の変動を調べた。

2. データ取得

ALOS-2 は、2014 年 5 月に宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が H-IIA ロケットによる打ち上げた衛星である。ALOS-2 は回帰日数が 14 日であり (ALOS は 46 日)、L バンド SAR (1.27 GHz) である PALSAR-2 を搭載している。PALSAR-2 データを用いることにより、白瀬氷河の同一場所の変動を最短で 14 日間隔で調べることが可能であり、本報告では高分解能モードで取得された 2015 年から 2018 年に取得された HH 偏波データを使用し、氷河と定着氷の変動を調べることができた画像ペアは 7 ペアであった。表 1 に PALSAR-2 データ取得日と定着氷の有無をまとめる。

3. 解析方法

本報告では PALSAR-2 レベル 1.1 の SLC (single-look complex) データを使用し、はじめに

表 1 PALSAR-2 データ取得日と定着氷の有無

Master	Slave	Fast ice	Pol. · Inc. angle · Path
2015/04/20	2015/05/05	Developed	HH · $\theta=37^\circ$ · Path 51
2016/04/14	2016/04/28	Broken away	
2016/10/13	2016/10/27	Developed	
2017/03/30	2017/04/13	Broken away	HH · $\theta=32^\circ$ · Path 53
2017/09/14	2017/09/28	Developed	
2017/10/26	2017/11/09	Developed	
2018/03/29	2018/04/12	Broken away	

画像ペア同士をサブピクセルでの位置合わせ (標準偏差 0.1 ピクセル以下) を実施した。つぎに、レンジに 1 ルックおよびアジマスに 2 ルックのマルチルック処理を行い強度画像へ変換して、白瀬氷河および定着氷の流動および変位ベクトルを求めた。処理後のアジマス、レンジ方向のピクセルスペーシングは 7 m であり、流動速度の推定誤差は ± 1 ピクセルの誤推定とみなした場合、最大で ± 9.9 m と求められる。

白瀬氷河および定着氷の流動速度は、画像相関法を適用することにより推定した。画像相関法³⁾とは、画像ペアにおける同一地点の検出を、両画像から取り出した小領域の一致を相互相関係数の高さで調べることにより行う方法である。本報告では小領域を 256×256 ピクセルの相関窓とした。

4. 解析結果

2015 年に取得された画像ペアを除き、白瀬氷河の Grounding line (GL) 周辺は画像取得範囲外であったため、GL から 20 km 下流を始点として、この地点からさらに下流へ氷河の氷流中心における流動速度のプロファイルを求めた。GL から 20 km 下流における流動速度は、7 ペアの平均と標準偏差が $2.32 \pm 0.03 \text{ km a}^{-1}$ であり、氷河末端周辺の定着氷の安定/不安定との関連性は低いと見られる。

しかし、GLから50 km 下流辺りから定着氷の安定／不安定に関係する流動速度の変化が見られ、GLから20 km 下流と氷河末端の流動速度の差は、定着氷が安定している場合が約0.2 km a⁻¹に対して、定着氷が沖へ流出した場合が約0.5 km a⁻¹であり、定着氷が安定している場合と比較して約0.3 km a⁻¹の加速を示した。

氷河末端を取り囲むリュツォ・ホルム湾における定着氷の流動速度プロファイルから、2015年における定着氷の流動速度は、氷河末端周辺から沖へと遠ざかると共に流動速度は減速する傾向を示し、1.69～1.07 km a⁻¹であった。2016年4月に氷河末端周辺における定着氷に流出に伴い、白瀬氷河の浮氷舌の一部領域が崩壊して沖へ流出した。これ以降の定着氷の流動速度についても、氷河末端周辺から沖へと遠ざかると共に流動速度が減速する傾向を示し、2016年春季では0.56～0.27 km a⁻¹、2017年春季においては0.34～0 km a⁻¹であった。

5. まとめ

ALOS-2/PALSAR-2 の高分解能モードデータに画像相関法を適用することにより、白瀬氷河と氷河末端を取り囲む定着氷の流動速度を調べた。その結果、白瀬氷河の下流域における流動速度は定着氷の安定／不安定に関係しており、定着氷が安定している場合と比較して、定着氷が沖へ流出した場合の白瀬氷河の流動速度は約0.3 km a⁻¹の加速を示した。

謝辞

本報告の一部は科研費(17H06321、18K11627)、北海道大学低温科学研究所共同利用研究(18G033)、平成30年度日本大学工学部長指定研究、国立極地研究所一般共同研究(28-21、29-31)の助成を受け、ALOS-2/PALSAR-2 データはALOS 研究公募(PI No.1191、3049)を通してJAXAから提供を受けました。ここに記し、深謝します。

[参考文献]

- 1) K. Nakamura, K. Doi and K. Shibuya: Estimation of seasonal changes in the flow of Shirase Glacier using JERS-1/SAR image correlation, *Polar Sci*, vol.1, pp.73–83, 2007.
- 2) 中村和樹, 山之口勤, 青木茂, 土井浩一郎, 澁谷和雄: 南極・白瀬氷河の20年間の流動速度変動, 雪氷(日本雪氷学会誌), 79巻1号, pp.3-15, 2017年.
- 3) K. Nakamura, K. Doi and K. Shibuya: Fluctuations in Flow Velocity of the Antarctic Shirase Glacier over an 11-year Period, *Polar Science*, vol.4, no.3, pp.443–455, 2010.

[研究発表]

- 1) 中村和樹, 山之口勤, 土井浩一郎, 澁谷和雄: 南極・白瀬氷河における氷流の東への湾曲, 雪氷(日本雪氷学会誌), 78巻6号, pp. 417-424, 2016年11月.
- 2) 中村和樹, 山之口勤, 青木茂, 土井浩一郎, 澁谷和雄: 南極・白瀬氷河の20年間の流動速度変動, 雪氷(日本雪氷学会誌), 79巻1号, pp. 3-15, 2017年1月.
- 3) 中村和樹, 青木茂, 山之口勤, 田村岳史, 牛尾収輝, 土井浩一郎: 白瀬氷河と氷河末端を取り囲む定着氷の流動速度, 雪氷研究大会(2018・札幌), 北海道札幌市, 2018年9月.
- 4) 中村和樹, 青木茂, 山之口勤, 田村岳史, 牛尾収輝, 土井浩一郎: 白瀬氷河の流動速度と氷河末端を取り囲む定着氷の変位の推定, 日本リモートセンシング学会第65回学術講演会, pp.227-228, 香川県高松市, 2018年11月.
- 5) 中村和樹: ALOS-2/PALSAR-2 を用いた白瀬氷河と定着氷の変動観測, 南極海洋 - 海氷 - 氷床システムの相互作用と変動, 北海道大学低温科学研究所共同利用研究集会, 北海道札幌市, 2018年6月.
- 6) Kazuki Nakamura, Shigeru Aoki, Tsutomu Yamanokuchi, Takeshi Tamura, Shuki Ushio, Koichiro Doi: Estimation of ice flow velocities of Shirase Glacier and its surrounding fast ice in Antarctica using ALOS-2/PALSAR-2 data, The 1st GRAntarctic International Symposium and the 9th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Tokyo, December 2018.

近年の両極変化に伴う大気海洋循環変動と極端気象発現過

- ◎本田明治 新潟大学理学部・教授
 浮田甚郎 新潟大学理学部・教授
 立花義裕 三重大学生物資源学部・教授
 小守信正 海洋研究開発機構・主任技術研究員
 堀 正岳 海洋研究開発機構・研究員
 大島和裕 海洋研究開発機構・研究員
 山崎 哲 海洋研究開発機構・研究員
 川瀬宏明 気象庁気象研究所・研究官
 山根省三 同志社大学理工学部・准教授
 高谷康太郎 京都産業大学・准教授

(国立極地研究所)

- 平沢尚彦 助教
 山内 恭 名誉教授
 猪上 淳 准教授
 平成28年度～平成30年度

[研究成果]

近年世界各地で、豪雨・豪雪、竜巻・突風、暴風雨など、極端気象が頻発し災害をもたらしている。このような極端気象は一般に十キロスケールの局所的（ローカル）な現象であるが、全球（グローバル）スケールの偏西風の蛇行を伴い、北極や南極の近年の急激な環境変化の寄与も指摘されている。本研究では観測・再解析データ、数値シミュレーション結果の解析を通じ、北極・南極の両極の変化が大気海洋循環変動に及ぼす影響と近年多発する極端気象の発現過程を調べ、将来の局所的気象・気候の変化に関わる両極の役割を評価することを目的とし、2016年～2019年春までに発現した現象を中心に解析を行った。

2016年は日本を始め世界各地で、豪雨・豪雪、竜巻・突風、暴風雨など、極端気象が頻発し災害をもたらした。また全球年平均気温が過去最高値を更新した。このような状況下で発現した極端気象事例に関して、両極の極夜ジェット変動、寒冷渦及びブロッキング変動、ユーラシアの積雪変動の寄与などに着目して解析を進めた。

2017年も日本を始め世界各地で、豪雨・豪雪、竜巻・突風、暴風雨など、極端気象が頻発し災害をもたらした。また全球年平均気温は2016年に次いで過去2番目の高温を記録した。このような状況下で発現した極端気象事例に関して、上空の寒気を伴った低気圧である「寒冷渦」に着目して解析を進めた。寒冷渦は力学的には渦位（Potential vorticity: PV）

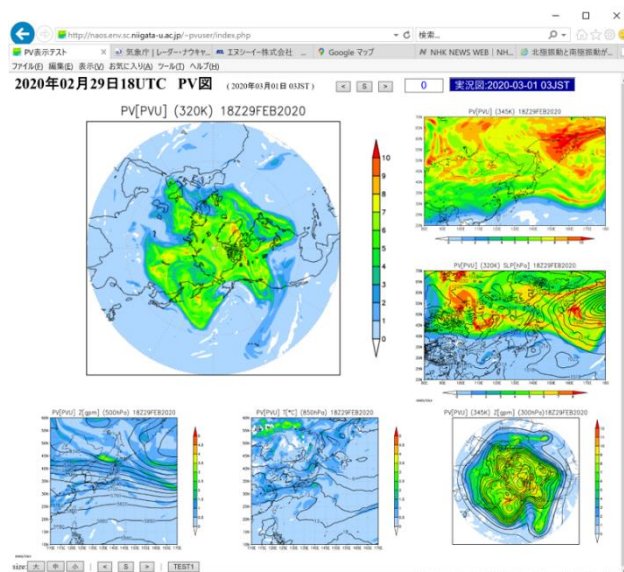


図1. 新潟大学顕著大気現象追跡監視システム。

を指標として追跡することが可能で、新潟大学では大気再解析データから自動的に渦位を計算して表示する「顕著大気現象追跡監視表示システム」の運用を開始し、極端気象事例発現に伴う渦位の挙動を監視を始めた（図1）。

2017/18年冬季は全国的に寒冬多雪傾向で、5冬の振りの寒い冬であった。低温傾向が持続する中、数回の強い寒気により、各地で記録的大雪や記録的低温となった。この冬の低温大雪の持続は、顕著な偏西風の蛇行で分裂した極渦の一つが極東の上空で

冬季の間ほぼ留まったいたことに起因する(図2)。また亜寒帯・亜熱帯の両ジェットに沿う波列がしばしば強化され、日本付近で南に蛇行することで、極東上空の寒気を日本付近に南下させやすい状況をつくっていた。また西回りで寒気が入りやすくJPCZが発達しやすい状況であったことも各地で記録的大雪となったと要因の一つと考えられる。

2018/19年冬季は、ユーラシア大陸上の亜寒帯ジェットの蛇行が全般に弱く、寒気が南下しにくい冬であったと言える。また亜熱帯ジェットの蛇行は冬季を通じて概ね堅調であったが、昨冬とは位相が反対で日本付近は高気圧性偏差に対応し、エルニーニョもその傾向を下支えした可能性もあり、暖気に覆われやすかったと考えられる。ただし、極渦が分裂して東シベリアに留まっており、強い寒気が北日本を中心に侵入することもあった。

両極変化に関しては、北極振動と南極振動が同期して変動することを発見した(研究発表7)。北極振動と南極振動の同期した変動を調べた研究はこれまでほとんどなかったが、多発する異常気象のいくつかは北極振動が原因であり、日本の異常気象が遠い南極と関係を持つことを初めて示唆し。上空のオゾン層が北極振動と南極振動の同期の仲立ちとなっていると考えられるが、メカニズムの解明は今後の課題である。

[研究発表]

1. [Honda, M., A. Yamazaki, A. Kuwano-Yoshida, Y. Kimura, and K. Iwamoto, 2016:](#) Synoptic conditions causing an extreme snowfall event in the Kanto-Koshin district of Japan on 14–15 February 2014. SOLA, 12, 259–264.
2. [Hoshi, K., J. Ukita, M. Honda, T. Nakamura, K. Yamazaki, Y. Miyoshi, and R. Jaiser, 2019:](#) Weak stratospheric polar vortex events modulated by the Arctic sea ice loss. J. Geophys. Res., **124**, 858–869,
3. [Kawase, H., A. Yamazaki, H. Iida, K. Aoki, W. Shimada, H. Sasaki, A. Murata, and M. Nosaka 2018:](#) Simulation of extremely small amounts of snow observed at high elevations over the Japanese northern Alps in the 2015/16 winter. SOLA, 14, 39–45.
4. [Komori, N., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Yamazaki, A. Kuwano-Yoshida, B. Taguchi, 2018:](#) Ensemble-based atmospheric reanalysis using a global coupled atmosphere-ocean GCM. Mon. Wea. Rev., 146, 3311–3323.
5. [Nakamura, T., K. Yamazaki, M. Honda, J. Ukita, R. Jaiser, D. Handorf, and K. Dethloff, 2016:](#) On the atmospheric response experiment to a Blue Arctic Ocean. Geophys. Res. Lett., **43(19)**, 10394–10402.
6. [Oshima, K., K. Ogata, H. Park, and Y. Tachibana, 2018:](#) Influence of atmospheric internal variability on the long-term Siberian water cycle during the past 2 centuries, Earth System Dynamics, 9, 497–506.
7. [Tachibana, Y., Y. Inoue, K. K. Komatsu, T. Nakamura, M. Honda, K. Ogata, and K. Yamazaki, 2018:](#) Interhemispheric synchronization between the AO and the AAO, Geophysical Research Letters, 45,13477–13484.
8. [Taguchi, B., N. Schneider, M. Nonaka, and H. Sasaki, 2017:](#) Decadal variability of upper ocean heat content associated with meridional shifts of western boundary current extensions in the North Pacific, J. Climate, 30, 6247–6264.
9. [Yamanouchi, T., 2019:](#) Arctic warming by cloud radiation enhanced by moist air intrusion observed at Ny-Ålesund, Svalbard, Polar Science, <https://doi.org/10.1016/j.polar.2018.10.009>.
10. [Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori, 2017:](#) Using observations near the poles in the AFES-LETKF data assimilation system. SOLA, 13, 41–46.
11. [Yamazaki, A., M. Honda, and H. Kawase, 2019:](#) Regional snowfall distributions in a Japan-Sea side area of Japan associated with Eurasian jet variability and Siberian blocking. J. Meteor. Soc. Japan, 97, 205–226.

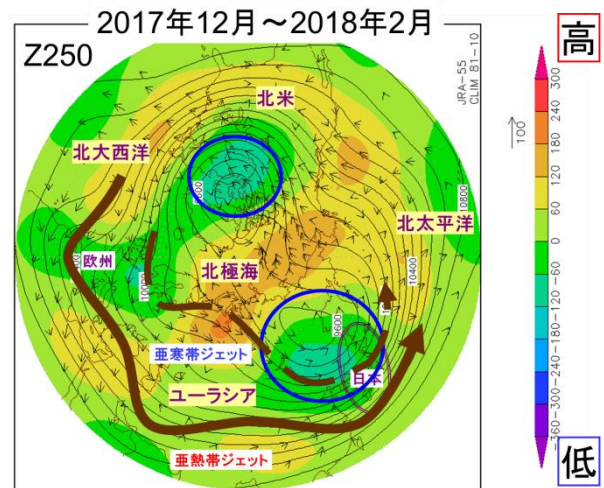


図2. 2017年12月～2018年2月平均の250 hPa面高度(m: 黒実線)及び平年からの偏差(m: 陰影)、定常ロスビー波の活動フラックス(m^2s^{-2} : 矢印)。茶色の実線と破線の矢印は、それぞれ亜熱帯ジェットと亜寒帯ジェットの蛇行を模式的に示したもの。青の楕円は分裂した極渦を表す。JRA-55再解析データに基づく。

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（3）地 圏

変成反応組織を用いたリュツォ・ホルム岩体での物質移動、変成継続時間の解明

◎池田 剛 九州大学理学部・准教授

(国立極地研究所)

外田 智千 准教授

平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

本研究はリュツォ・ホルム岩体の変成作用を理解するために、素過程として変成反応における物質移動とその継続時間を解明することを目的とした。このうち物質移動については、1つの非平衡変成反応における移動成分と移動量を定量的に解析することができた。しかし、継続時間の解明は必要となる温度圧力条件（特に温度）の制約が十分でなく、完了していない。但し、温度圧力条件推定およびその誤差評価について統計的解析を行ない、他地域での適用にも成功した。これは将来的にリュツォ・ホルム岩体にも適用する予定である。以下に物質移動に関する成果と温度圧力解析の成果を述べる。

リュツォ・ホルム岩体に普通に見られる変成反応組織はコロナ構造である。Mori & Ikeda (2018: 研究発表リスト参照) は、明るい岬に産するコランダムと普通角閃石の間に発達する層状コロナを詳しく解析した。このコロナはコランダム側からスピネル、サフィリン、斜長石のそれぞれ単一鉱物からなる3層構造を示し、拡散律速によって形成されたことを示唆する。

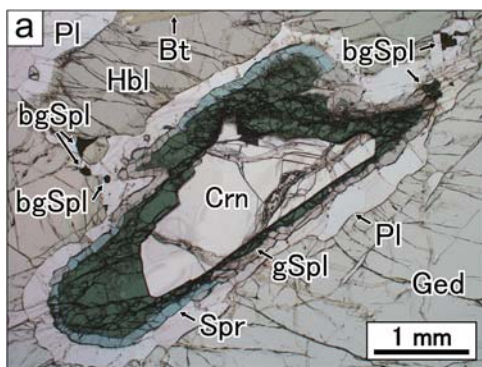


図1 コランダム周囲の3層コロナ
(Mori & Ikeda, 2018)

コロナ内部の包有物の分布から、コロナ形成前の初期のコランダムと普通角閃石の境界が現在のサフィリンと斜長石の境界に一致することを明らかにした。そして、コロナ構成鉱物のクラックの連続性から、サフィリンは一旦形成されたスピネルを置

換するように成長したことがわかった。

これらの組織的制約条件の下、鉱物化学組成から反応式を推定し、特異値分解法を適用することで移動成分の種類と量を特定した。この特異値分解法とは誤差を含む係数をもつ連立方程式の最適値を求める手法だが、得られた最適値の評価に経験的な基準しかなかった。本研究は分析誤差の伝播を考慮し、解の妥当性を数学的に評価できた点で、単なる応用でなく手法の発展にも寄与できた。移動成分の種類と量は一義には特定できなかったが、いずれの場合もコロナ形成に伴い体積が増加することがわかった。このことは、リュツォ・ホルム岩体で提案されている時計回りの温度圧力履歴の中の減圧時にコロナが形成したことを意味する。

当初予定していた変成作用の継続時間の解明は、鉱物に残された元素濃度勾配を利用するアイデアに基づく。濃度勾配の均質化過程である拡散は温度に敏感であるために、変成作用の温度を精度よく決定する必要がある。しかし、リュツォ・ホルム岩体では同一露頭であってもさまざまな温度圧力条件が報告されており、境界条件を特定することができなかった。そこで、変成作用の温度圧力および広域の温度圧力構造を解明するのに必須の地質温度圧力計の精度について、統計学的な評価を行なった (Ikeda et al., 2017: JMPS 研究発表リスト参照)。

この研究では、温度圧力計の誤差を定量的に評価するために手法を2つに分類した。1つは端成分反応が実在する（実験で決定できる）反応を利用するもの。もう1つは、反応式の中に同一鉱物の複数の端成分が含まれ、その反応自体を実験で決定できないもの。前者は端成分反応を決定する時に生じる誤差に加えて、平衡定数を決めるのに必要な活動度の誤差も含まれる。活動度の妥当性は一概には評価できないので、この種の温度圧力計の誤差を客観的に評価することはできない。その一方で、後者は反応の熱力学定数を決定する際に既にある特定の活動

度モデルを仮定している。従って、活動度モデルを採択した上での熱力学定数の誤差を評価することができる。本研究では、後者の温度圧力計の熱力学定数に起因する誤差を定量的に評価した。

その結果、圧力の絶対値に付随する誤差は、従来から指摘されているように多くの地質圧力計で約 100 MPa となることがわかった。ところが、同一圧力計で求めた 2 試料間の圧力差の誤差は、その約 3 分の 1 であることがわかった。その原因は、圧力差を求める時に最も大きな誤差をもつエンタルピーの情報を使わないことと、エントロピーと体積の誤差にかかる係数が温度や圧力の絶対値でなくそれらの差であることである。

この研究結果の 1 つの大きな成果は、同一の地質圧力計を適用するならば変成帯の圧力構造が非常

に精度よく決まるということである。30 MPa の誤差で圧力差が決まることは、深さ 1 km の誤差で変成深度の差が決まるということである。予察的な適用研究として、Ikeda et al. (2017: IslArc 研究発表リスト参照) では花崗岩に隣接する高温変成岩の 2 地点の温度と圧力を同一の温度圧力計で決定し、その圧力差が 2 地点間の距離を垂直にした時に予想される静岩圧の差よりも有意に大きいことを明らかにした。このことは変成作用後に両地点が接近するような変形、つまり地殻の薄層化が生じたことを意味する。

このような研究をリュツォ・ホルム岩体に適用することで、広域の温度圧力構造を明らかにするとともに、同一露頭から報告される様々な温度圧力値の原因解明にも貢献できると期待される。

[研究発表]

- Skrzypek E, Kato T, Kawakami T, Sakata S, Hattori K, Hirata T, Ikeda T (2018) Monazite behaviour and time-scale of metamorphic processes along a low pressure/high temperature field gradient (Ryoke belt, SW Japan), *Journal of Petrology*, Vol., 59, p1109-p1144,
- Mori Y, Ikeda T (2018) Formation of triple-layer coronas between corundum and hornblende from the Luzow-Holm Complex at Akarui Point, East Antarctica, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, Vol., 113, p68-p81,
- Miyazaki K, Ikeda T, Matsuura H, Danhara T, Iwano H, Hirata T (2018) Ascent of a high-temperature metamorphic complex due to buoyancy beneath a volcanic arc: a mid-Cretaceous example from the eastern margin of Eurasia, *International Geology Review*, DOI: 10.1080/00206814.2018.1443403,
- Yamasaki Y, Ikeda T (2018) Deformation path of amygdules in basic schists in Itoshima area, northern Kyushu, Japan, *Island Arc*, Vol., 27, e12246 DOI: 10.1111/iar.12246,
- Ikeda T, Miyazaki K, Matsuura H (2017) Uncertainty in pressure difference of empirical geobarometers, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, Vol., 112, p175-p179,
- Miyazaki K, Ikeda T, Matsuura H, Danhara T, Iwano H, Hirata T (2017) A high-T metamorphic complex derived from the high-P Suro metamorphic complex in the Omuta district, northern Kyushu, southwest Japan, *Island Arc*, Vol., 26, (5) e12208 DOI:10.1111/iar.12208,
- Ikeda T, Miyazaki K, Matsuura H (2017) Metamorphic condition of a regional metamorphic complex in the Omuta district in northern Kyushu, southwest Japan, *Island Arc*, Vol., 26, (5) e12204 DOI:10.1111/iar.12204,
- Skrzypek E, Kawakami T, Hirajima T, Sakata S, Hirata T, Ikeda T (2016) Revisiting the high temperature metamorphic field gradient of the Ryoke Belt (SW Japan): New constraints from the Iwakuni-Yanai area, *Lithos*, Vol., 260, p9-p27,

微惑星表層に記録された衝突履歴の解明

◎宮原正明 広島大学理学研究科・准教授
 大谷栄治 東北大学理学研究科・名誉教授
 小澤 信 東北大学理学研究科・助教
 (国立極地研究所)
 山口 亮 准教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

本研究課題は、代表者が平成26年～平成27年に実施した一般共同研究「高圧相に基づく天体破壊プロセスの実証」を引き継ぐものである。平成26年～平成27年の一般共同研究では、普通コンドライトに含まれる高圧相の系統的調査を実施した。平成28年からの本一般共同研究では、さらに多くの普通コンドライトを調査し、高圧相の系統的調査を完了させた。同時に、本研究では、月起源隕石、ユークライト隕石に含まれる高圧相の系統的調査にも着手した。以下に隕石種ごとの研究成果を述べる。

1) 普通コンドライトの系統的調査

天体衝突・破壊過程は数値シミュレーションと衝撃実験を基に研究されているが、破壊された小天体の破片(隕石)を用いた検証はされていない。岩石に衝撃波が生じ、弾性限界を超えると、面破壊が起きる。破壊面は摩擦により高温となり溶融する。破壊面内は衝撃波による高圧に加え、高温状態が達成される。隕石内で高温・高圧となり溶融した破壊面は“衝撃溶融脈”と呼ばれる。鉱物が高温・高圧条件化におかれると、より高密度な“高圧相”に相転移する。“衝撃溶融脈”の内部とその周囲では様々な“高圧相”が生成している。“高圧相”の生成と粒成長は温度・圧力条件に依存し、その種類、組み合わせや粒径から隕石に記録された衝撃圧力、温度、衝突速度、衝突物体の大きさなどを定量化することができる(Ohtani et al. 2004; Ozawa et al., 2009; Miyahara et al., 2010)。

普通コンドライトは最大の隕石グループである。普通コンドライトは化学組成に基づき H, L, LL タイプに分類され、さらに母天体での熱変成度の違いにより、岩石学タイプ 3, 4, 5, 6 に細分される。普通コンドライト母天体の構造モデル“オニオンシェル・モデル”では、母天体の最外殻が未変成のタイプ 3, 高温となる母天体の中心領域は熱変成の進んだタイプ 6 に相当する。

天体の破壊は、衝突時に発生する衝撃波の伝播により起きる。衝撃波の強度の指標の1つとして“衝撃圧力”がある。衝撃波の伝播様式は天体の内部構造に依存し、その破壊プロセスが異なる。しかし、

隕石を用いて天体内部の衝撃圧力分布を系統的に研究した例はない。本研究は H, L, LL タイプ普通コンドライトの衝撃溶融脈に存在する高圧相を圧力スケールとし、母天体内部の衝撃圧力分布から天体破壊プロセスを明らかにすることを目的としている。

本研究では、極地研究所に保管されている南極隕石(H3-H7, L3-L7, LL3-LL7に分類された普通コンドライト試料)を偏光顕微鏡で観察し、溶融組織を含むものを150個以上選び出した。他に、溶融組織を含む20個以上の非南極隕石も準備した。選び出した岩石薄片試料の全領域を極地研究所所有の電界放射走査型電子顕微鏡(FEG-SEM)で撮像し、溶融を起こしている部分を正確に把握した。その後、溶融を起こした部分をより高分解能でFEG-SEM観察し、オリビン、輝石や長石の相転移組織を記載した。高圧相の相同定はFEG-SEMで記載した相転移組織を元に、極地研究所設置のレーザーラマン分光装置で行った。

調査の結果、全ての化学グループ(H, L, LL)及び岩石学タイプ(タイプ3~6)の試料で溶融組織が見出された。溶融組織はi)ポケット状、ii)線状、iii)網の目状の3つに分類される。ポケット状は岩石学タイプ3の試料のみに卓越する。線状と網の目状は岩石学タイプ4~6で観察されるが、網の目状の溶融組織がより卓越する。高圧相は溶融組織内の基質部分と溶融組織に取り残された母岩の岩片に生成している。前者はコンドライトメルトから生成する液相で、後者は固相-固相転移で生成したものである。

高圧相はH, L, LL全てで見出されたが、Lで最も高い頻度で高圧相が存在していた。高圧相の存在頻度は、LLはLよりやや低いに似ている。一方、Hでの存在頻度はLやLLに比べて極端に低い。高圧相の種類と組み合わせは、岩石学タイプに依存しており、タイプ6で最も多くの高圧相が出現することが判明した。

2) 月起源隕石

極地研が保有する月起源隕石、砂漠から回収され

た月起源隕石の衝撃溶融組織及び高圧相の系統的調査を行った。月の海由来の玄武岩を調査し、全ての試料で衝撃溶融組織を見出した。また、全ての試料で高圧相の生成を確認した。一部の試料では、高圧相のカイネティクスに基づく衝突規模の推定とウラン・鉛年放射代を用いて衝突年代の同時決定の試みを行った。

3) ユークライト

[参考文献]

1. Ohtani E., Kimura Y., Kimura M., Takata T., Kondo T. and Kubo T. Formation of high-pressure minerals in shocked L6 chondrite Yamato 791384: constraints on shock conditions and parent body size. *Earth and Planetary Science Letters* 227, 505–515, 2004.
2. Miyahara M., Ohtani E., Kimura M., El Goresy A. Ozawa S., Nagase T., Nishijima M. and Hiraga K. Coherent and subsequent incoherent ringwoodite growth in olivine of shocked L6 chondrites. *Earth and Planetary Science Letters*, 295, 321–327, 2010.
3. Ozawa S., Ohtani E., Miyahara M., Suzuki A., Kimura M. and Ito Y. Transformation textures, mechanisms of formation of high-pressure minerals in shock melt veins of L6 chondrites, and pressure-temperature conditions of the shock events. *Meteoritics and Planetary Science*, 44, 1771–1786, 2009.

[研究発表]

1. **Miyahara M.**, Ohtani E. and Yamaguchi A. Albite dissociation reaction in the Northwest Africa 8275 shocked LL chondrite and implications for its impact history. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 217, 320–333, 2017.
2. Kato Y., Sekine T., Kayama M., **Miyahara M.** and Yamaguchi A. High-pressure polymorphs in Yamato-790729 L6 chondrite and their significance for collisional conditions. *Meteoritics & Planetary Science* 52, 2570–2585, 2017.
3. Tomioka N. and **Miyahara M.** High-pressure minerals in shocked meteorites. *Meteoritics and Planetary Science* 52, 2017–2039, 2017.

極地研が保有するユークライト、砂漠から回収されたユークライトの衝撃溶融組織及び高圧相の系統的調査を行った。全ての試料から衝撃溶融組織を見出したが、一部の衝撃溶融組織は再加熱イベントを経験していた。衝撃溶融組織にはガーネット様鉱物が生成しており、元素の分配係数を用いて衝撃圧力の推定を試みた。

東南極ドロンイングモードランドおよびスカンジナビア半島に産する高度変成岩類に記録された部分溶融と流体活動履歴

◎河上哲生 京都大学大学院理学研究科・准教授

平島崇男 京都大学大学院理学研究科・教授

(国立極地研究所)

外田智千 准教授

堀江憲路 助教

平成 28 年～平成 30 年 (3 年間)

[研究成果]

東南極セール・ロンダーネ山地およびリュツォ・ホルム岩体の岩石試料を用いて、活動的大陸地殻下部における塩水流体活動の温度・圧力条件、広域分布、起源について考察した。また、スカンジナビア半島トロムソナップにみられる超高压エクロジャイトのホストである泥質片麻岩について、*P-T* 履歴を考察した。

1. セール・ロンダーネ山地: パーレバンデでは反時計回りの *P-T* パスが構築でき、昇温変成期の泥質変成岩中で塩水活動の痕跡が認められた。部分溶融の進行が流体中の塩素濃度の上昇に寄与した可能性がある(Kawakami et al. 2017)。

ブラットニーパネに産する、苦鉄質片麻岩中のクラック沿いにザクロ石+普通角閃石の反応帯およびその壁岩を解析した論文をまとめた。クラックに沿って塩水が流入する一方、壁岩のクラックに垂直な方向には、ウェットな結晶粒界拡散で記述できるプロセスで元素が移動し、壁岩の斜長石に *An* 値のシャープな変化で認識されるリムが、溶解-再結晶プロセスで形成されていた (Higashino et al. 2019)。

バルヒェン地域のザクロ石中の包有物及びマトリクス構成鉱物として ternary feldspar を見出し、UHT 変成作用に相当する温度を復元できた。また、泥質・中間質・苦鉄質岩試料のザクロ石中からナノ花崗岩包有物を見出し、組成復元した。これを用いて、UHT 条件下の下部地殻で形成されるメルトのハロゲン組成について考察した(東野・河上, 2018)。また、Cl に富む黒雲母を包有するザクロ石リムがコアに比して低い $\delta^{18}\text{O}$ を示すことを見出し、塩水流体は苦鉄質岩などの低 $\delta^{18}\text{O}$ 組成を持つ岩石に由来すると考察した(Higashino et al. 2017)。

2. リュツォ・ホルム岩体: スカレビックハルセンでは泥質岩の部分溶融とともに塩素に富むメルトが形成され、ナノ花崗岩包有物として保存されてい

ることがわかった。塩素は塩水流体によってもたされた可能性がある(Kawakami et al. 2016)。

スカーレン、スカルブスネス、明るい岬の泥質片麻岩類の記載岩石学的研究(部分溶融の直接的証拠であるナノ花崗岩、含 Cl 黒雲母、 Al_2SiO_5 鉱物の同定と産状記載) 及び Zr-in-Rt 温度計による *P-T* 見積もりを行い、いずれの地域からも約 830-850°C、11 kbar の藍晶石安定領域から等温減圧する *P-T* パスを得た(Suzuki et al. 2018)。

明るい岬のコーネルピン含有試料について B 同位体比を用いた検討を進め、明るい岬における含 B 流体活動について考察を進めた。得られた B 同位体分別の結果は、過去の研究(MacGregor et al. 2013)をもとにすると、電気石とコーネルピンの平衡共存で説明できる(Kawakami & Harley, 2017)。

3. セール・ロンダーネ山地のアナログとしての領家帯: SELFRAG を用いて粉碎しジルコンを抽出した試料を用い、領家帯三河地域の花崗岩類の U-Pb ジルコン年代測定を行い、片麻状構造を持つ花崗岩類の年代が変成作用よりも若く、広域変成作用の熱源たりえないことを見だし、論文化した(Takatsuka et al. 2018a)。また、塊状花崗岩類の年代や片麻状花崗岩類の固結深度を見積もるとともに、広域変成作用の年代をリュウコゾーム中のジルコンの U-Pb ジルコン年代から見積もり、三河地域における変成・深成履歴を構築し、高温低圧型変成帯の形成過程を考察した(Takatsuka et al. 2018b)。

4. トロムソナップ: カレドニア造山帯トロムソナップには、苦鉄質の超高压エクロジャイトレンズが産出するが、そのホストとなる泥質片麻岩のたどった *P-T* 履歴は明らかでない。そこで、泥質片麻岩の U-Pb ジルコン年代測定とジルコン・ザクロ石の REE 分析を行い、エクロジャイト相変成の有無を検討した。その結果、泥質片麻岩からはエクロジャイト相

[引用文献]

1. 東野文子, 河上哲生. 2018, 東南極セール・ロンダーネ山地、バルヒエン山に産するザクロ石中のナノ花崗岩包有物. 日本鉱物科学会 2018 年年会, 山形. 2018.9.19-21.
2. Higashino, F., Rubatto, D., Kawakami, T., Bouvier, A.S. 2017. Oxygen isotope zoning in garnet from granulite facies rocks. *Goldschmidt 2017, Paris 2017.8.*
3. Kawakami, T., Higashino, F., Skrzypek, E., Grantham, G.H., Satish-Kumar, M., Tsuchiya, N., Ishikawa, M., Sakata, S., Hirata, T. 2017, Prograde infiltration of Cl-rich fluid into the granulitic continental crust from a collision zone in East Antarctica (Perlebandet, Sør Rondane Mountains). *Lithos*, 274-275, 73-92.
4. Kawakami, T., Harley, S.L., 2017, Origin of metamorphic fluids constrained by B isotope composition of borosilicates in high-grade metamafic and meta-ultramafic rocks. 日本鉱物科学会 2017 年年会, 愛媛. 2017.9.12-14.
5. Kawakami, T., Hokada, T., Sakata, S. & Hirata, T. 2016, Possible polymetamorphism and brine infiltration recorded in the garnet-sillimanite gneiss, Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 111, 130-144.
6. MacGregor, J.R., Grew, E. S., De Hoog, J. C. M., Harlet, S. L., Kowalski, P. M., Yates, M. G., Carson, C. J., 2013, Boron isotopic composition of tourmaline, prismaticine, and grandidierite from granulite facies paragneisses in the Larsemann Hills, Prydz Bay, East Antarctica: Evidence for a non-marine evaporite source. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 123, 261–283.
7. Monta, Y., Hirajima, T., Kato, R., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Sakata, S., Majka, J. and Janák, M., 2017, Petrological and zircon geochronological study of garnet-muscovite gneiss from the Tromsø Nappe in the Scandinavian Caledonides. 12th International Eclogite Conference.
8. Suzuki, K., Kawakami, T., Igami, Y., 2018, Pressure-temperature estimates of selected regions of the Lützow-Holm Complex utilizing Zr-in-rutile geothermometer. The Ninth Symposium on Polar Science, 2018.12.5-6. NIPR.
9. Takatsuka, K., Kawakami, T., Skrzypek, E., Sakata, S., Obayashi, H., Hirata, T. 2018b, Spatiotemporal evolution of magmatic pulses and regional metamorphism during a Cretaceous flare-up event: constraints from the Ryoike belt (Mikawa area, central Japan). *Lithos*, 308–309, 428–445.
10. Takatsuka, K., Kawakami, T., Skrzypek, E., Sakata, S., Obayashi, H., Hirata, T. 2018a, Age gap between the intrusion of gneissose granitoids and regional high-temperature metamorphism in the Ryoike belt (Mikawa area, central Japan). *Island Arc*, 27: e12224.

[研究発表]

1. Higashino, F., Kawakami, T., Tsuchiya, N., Satish-Kumar, M., Ishikawa, M., Grantham, G.H., Sakata, S., Hirata, T. 2019, Brine infiltration in the middle to lower crust in a collision zone: Mass transfer and microtexture development through wet grain boundary diffusion. *Journal of Petrology*, in press.
2. Takatsuka, K., Kawakami, T., Skrzypek, E., Sakata, S., Obayashi, H., Hirata, T. 2018b, Spatiotemporal evolution of magmatic pulses and regional metamorphism during a Cretaceous flare-up event: constraints from the Ryoike belt (Mikawa area, central Japan). *Lithos*, 308–309, 428–445.
3. Takatsuka, K., Kawakami, T., Skrzypek, E., Sakata, S., Obayashi, H., Hirata, T. 2018a, Age gap between the intrusion of gneissose granitoids and regional high-temperature metamorphism in the Ryoike belt (Mikawa area, central Japan). *Island Arc*, 27: e12224.
4. Kawakami, T., Higashino, F., Skrzypek, E., Grantham, G.H., Satish-Kumar, M., Tsuchiya, N., Ishikawa, M., Sakata, S., Hirata, T. 2017, Prograde infiltration of Cl-rich fluid into the granulitic continental crust from a collision zone in East Antarctica (Perlebandet, Sør Rondane Mountains). *Lithos*, 274-275, 73-92.
5. Kawakami, T., Hokada, T., Sakata, S. & Hirata, T. 2016, Possible polymetamorphism and brine infiltration recorded in the garnet-sillimanite gneiss, Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 111, 130-144.

(別紙)

参 加 者 一 覧

□研究プロジェクト ■一般共同研究 □研究集会		課題番号	28-25	
研究課題名		東南極ドロンイングモードランドおよびスカンジナビア半島に産する高度 変成岩類に記録された部分溶融と流体活動履歴		
氏名	所属	職	備考	
所内				
小計	名			
所外	東野 文子	東北大学環境科学研究科	学振PD	
	門田 康弘	京都大学大学院理学研究科	大学院生	
	高塚 康太	京都大学大学院理学研究科	大学院生	
	鈴木 康太	京都大学大学院理学研究科	大学院生	
小計	4 名			
合計	4 名			

※研究プロジェクト・一般共同研究・研究集会、いずれかを■にしてください。

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

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

※行が不足する場合、適宜追加してください。

太古代・原生代の海洋底堆積物に残される地球海底環境変遷

- ◎清川 昌一 九州大学地球惑星科学・准教授
 三木 翼 九州大学地球惑星科学・D3 ※ 研究協力者
 吉丸 慧 九州大学地球惑星科学・D1 ※ 研究協力者
 鈴木 大志 九州大学地球惑星科学・M2 ※ 研究協力者
 元村 健人 九州大学地球惑星科学・B4 ※ 研究協力者

(国立極地研究所)

- 外田 智千 准教授
 堀江 憲路 助教
 竹原 真美 研究員

平成 28 年(2016)～平成 30 年(2018) (3 か年)

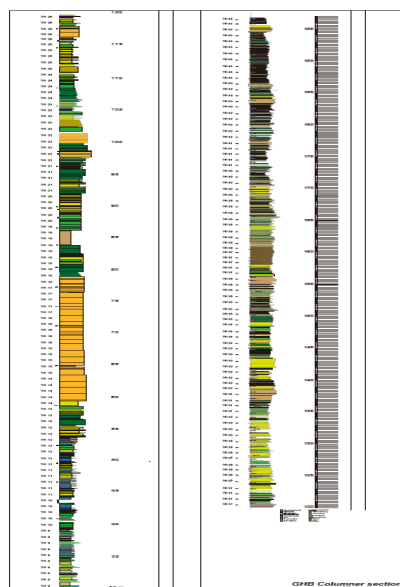
[研究成果]

オーストラリア DXCL オーストラリア 32 億年前の地層の年代測定を行った。31.1 億年の地層年代を出すことができ、DXCL 掘削による試料に精度の高い年代値を与えることができた。Island arc に投稿中。

カナダ原生代 : 2017 年, 7 月 22 億年前カナダ・フリンフロン・ケープスミス, にて連続 Core および層序を取得しており, 砂岩層および流紋岩についての年代測定を申請している。元村健人の卒論および修論になる。現在 island arc に投稿中。ガーナのケープスリーポイント層群中のタービダイト黒色頁岩層中に貫入岩が見つかり, 年代が約 22.6 億年と, この地域の最も古い年代が明らかになった。このことは緑色岩類の火山活動や堆積作用はそれ以前ということになり, 大酸化事変直後の海洋状態を表していることが明らかになってきた。

ガーナ : 22 億年前のガーナ Biriman 帯についての研究で, 露頭調査/ガーナ掘削 (GHB プロジェクト) および貫入岩の年代測定を行っている。今までの報告にない古い値 22.6 億年前の値を出すことが明らかになった。ガーナ掘削 Core については, 粗粒火山砕屑層についてセルフラグによるジルコン分離を行っている。2019 年に年代測定予定。

図 1 ガーナ GHB の掘削 Core。オレンジ色の部分に厚い火山砕屑岩があり, セルフラグにより分離し年代測定を予定。



エジプト : エジプト 7 億年前のヌビアシールド/中央東砂漠 (CED) 地域調査によって取得した年代測定を行った。

7 億年前の鉄沈殿物層について 3 カ所の地質帯を調査し, その中で最も変成度の低い (緑色片岩層) の EL Dabban 地域のマッピングを行い, この堆積年代の年代が明らかになった。残念ながらグリーンストーン帯内の地層からのジルコンは取得できなかったが, 2 種の貫入岩 (花崗岩/ポーフイリー) および不整合上の砂岩から年代を取得できた。これによると, 10-6.5 億年前のジルコンを含み, グリーンストーン帯の大陸化は東アフリカ造山運動 (ロディニアの再分裂後, ゴンドワナ大陸形成時の東西 Gondwana の衝突時) の地層であると思われる。

6億5000万年前のジルコンは新規花崗岩の年代と同じであり、その時期すでに花崗岩は侵食されて堆積盆を作っており、島弧付加によりロディニア大陸の西側周辺部における大陸成長が明らかになった。

年代測定に基づく El Dabbah 地域の地質構造発達史および鉄鉱層についての論文はそれぞれ、現在投稿中 (African Jour. Earth Sci. 2 度目のレビュー中) .

図2 エジプト 中央東砂漠地域の縞状鉄鉱層を含む EL Dabbah 地域の地質図.

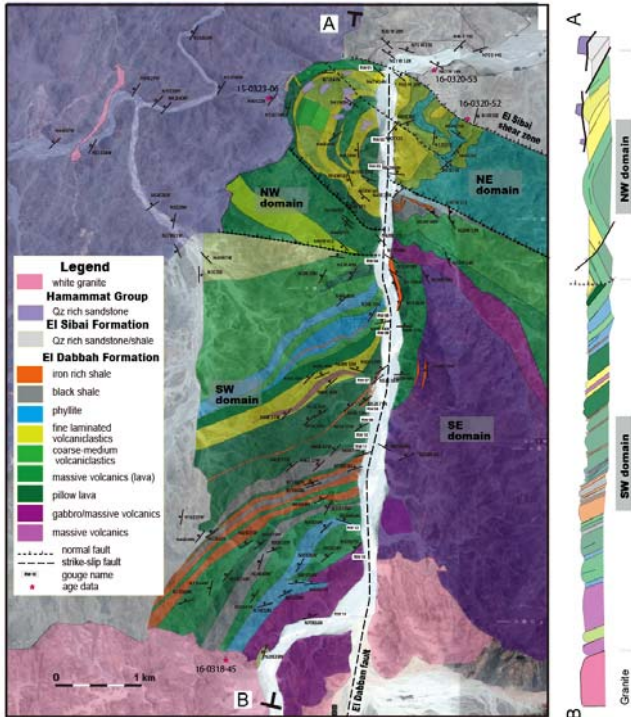
[参考文献]

El-Shazly A.K., Khalil K.I., 2014. BIFs of Um Nar, Eastern Desert of Egypt: P-T-X conditions of metamorphism and tectonic implications. Lithos, 196-197, 356-375.

El-Shazly A.K., Khalil K.I., 2016. Metamorphic and geochronologic constraints on the tectonic evolution of the Central Eastern Desert of Egypt. Precambrian Research, 283, 144-168.

[研究発表]

なし



珪線石の陽イオン配列秩序度を用いた東南極ナピア岩体の最高到達温度制約

◎◎三宅 亮 京都大学大学院理学研究科・准教授
 (国立極地研究所)
 本吉洋一 教授
 外田智千 准教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

造岩鉱物に対し、透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope, TEM) とエネルギー分散型 X 線分析 (Energy dispersive X-ray spectrometry, EDS) を活用した手法である HARECXs (High Angular Resolution Electron Channeling X-ray Spectroscopy) 法を適用し、結晶中の陽イオン (Al/Si イオン) の秩序度決定を可能とした。これによって、超高温変成地域である東南極 Napier 岩体 Mt. Riiser-Larsen 産の珪線石に Al/Si 秩序度の低い領域があることを量的に見出し、~1200 °C 以上を経験した可能性を示した。

はじめに

珪線石 (sillimanite, Sil) は、 Al_2SiO_5 多形 (藍晶石・紅柱石・珪線石) の一つとして変成岩中の高温の指標として幅広く使われている鉱物である。この Sil の TO_4 四面体中に秩序配列する Al と Si は、温度上昇に応じた連続的な無秩序化が示唆され (e.g., Zen, 1969)、この「秩序度」は、超高温変成地域を得意範囲とした強力な温度計となりうると考えられてきた。しかし、珪線石は加熱すると微小なムライトを析出するためにそれらを避けた分析・評価が必要であり、分析は困難であった。この問題に対し、Igami et al. (2018) では、TEM と EDS を用いた HARECXs 法を用いることにより、Sil の局所領域から Al/Si 秩序度を決定することに成功した。さらに、加熱実験を組み合わせて、実験に基づいて決定した温度-秩序度関係を初めて提示した。

そこで本研究では、これらの研究結果を活かして超高温変成地域である東南極 Napier 岩体 Mt. Riiser-Larsen 産の Sil の最高変成温度に新たな制約を与えることを目指し、HARECXs 法を当該試料への適用・Al/Si 秩序度の評価を行った。

試料・手法

試料は、超高温変成地域とされる東南極 Napier 岩体 Mt. Riiser-Larsen 産の Sil (試料番号: TH96123009) と、比較用に南極 Lützow-Holm 岩体 Rundvågshetta

産 Sil (試料番号: RVH92011102A) を対象とした。なお、光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡下では、これらの Sil に特別な特徴は見られなかった。これらの Sil 結晶から集束イオンビーム装置 (Focused Ion Beam, FIB; FEI Quanta 200 3DS) を用いて TEM 用の超薄試料片を切り出し、TEM-EDS (JEOL JEM-2100F; JED-2300T) にて微細組織の観察を行ったうえで HARECXs 分析、Al/Si 秩序度測定を行った。

結果・考察

TEM による微細組織観察の結果、RVH92011102A の Sil は均質であったのに対し、TH96123009 中 Sil には、Al/Si の配列周期についての反位相境界 (Anti phase boundary, APB) が観察された (図 1)。この

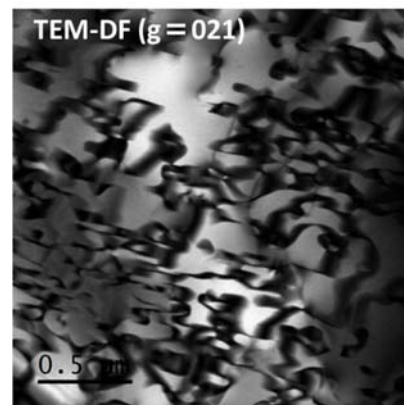


図 1 東南極ナピア産 garnet-sillimanite 片麻岩 TH96123009 中の Sil 中の反位相境界

組織は、高温時に何らかの Al/Si 無秩序化が起こっていたことを示唆するものである。このことは、同岩石の異なる Sil 粒子の観察結果 (三宅ら、2007) と調和的であり、当岩石中 Sil の APB 組織の普遍性を示している。

Al/Si 秩序度定量においては、このような特徴的な組織を避けて Sil 均質部から HARECXs 法により 9 点で測定した。その結果、幅広い分布を持ち、0.6-0.9 の値を示した。一方、比較に用いた RVH92011102A の Sil の秩序度は~0.9 に集中した (図 2)。

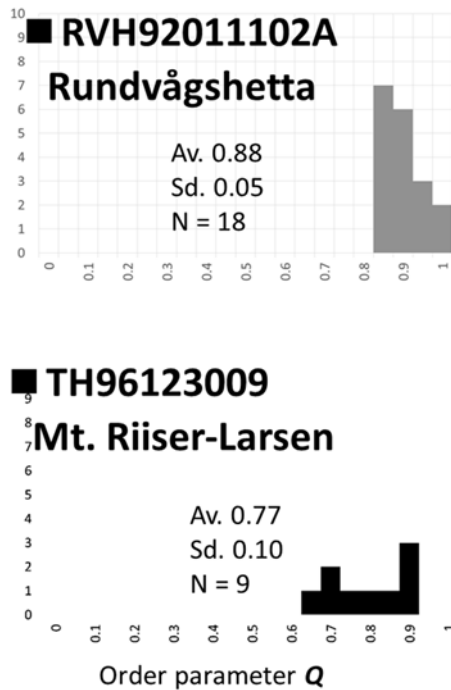


図 2 2 試料から得た Al/Si 秩序度のヒストグラム

RVH92011102A の秩序度の分布については、Igami et al. (2018) の結果と比較すると約 1000 °C に相当する。この温度は、先行研究 (Kawasaki et al., 1993; Harley, 1998; Fraser et al., 2000 など) と調和的な温度である。一方、TH96123009 中 Sil は~0.65 といったかなり低い秩序度を持つ領域が存在するため、より高温を経験したことが示唆される。ただし、Sil 構造のまま秩序度 0.65 の状態、Igami et al. (2018)の結果によれば~1400 °C に相当、に達したわけではなく、ムライト (約 1200 °C 以上で出現) からの相転移により秩序度~0.65 の Sil が表れた可能性が高い。実際、バルクでの放射光粉末 XRD からは、ムライトの最強線位置に極めて小さいながらも回折強度を検出しており、僅かに生き残ったムライトに由来する可能性がある。図 2 に示した APB もこれにより形成されたと説明でき、よって、この珪線石は 1200 °C 以上を経験したと考えられる。この推定値は先行研究 (Harley and Motoyoshi, 2000; Hokada, 2001 など) で示されてきた~1120 °C 以上と調和的なうえ、推定温度の下限をさらに高温側へ制約する結果である。

[参考文献]

- 1) Zen, E. (1969); The stability relations of the polymorphs of aluminum silicates: a survey and some comments. *American Journal of Science*, Vol., 267, p297–p309.
- 2) Igami, Y., Kuribayashi, T. and Miyake, A. (2018); Determination of Al/Si order in sillimanite by high angular resolution electron channeling X-ray spectroscopy, and implications for determining peak temperatures of sillimanite. *American Mineralogist*, Vol., 103, p944–p951.
- 3) 三宅亮、崎山智昭、外田智千 (2008) ; 東南極ナピア岩体に産する超高温変成岩中の sillimanite の微細組織, 日本鉱物科学会 2008 年年会講演要旨集, p63-p63
- 4) Kawasaki, T., Ishikawa, M., and Motoyoshi, Y. (1993); A preliminary report on cordierite-bearing assemblages from Rundvågshetta, Lützow-Holm Bay, East Antarctica: Evidence for a decompressional P-T path? *Proceedings of NIPR Symposium of Antarctic Geosciences*, Vol., 6, p47–p56.
- 5) Harley, S.L. (1998); An appraisal of peak temperatures and thermal histories in ultrahigh-temperature (UHT) crustal metamorphism: the significance of aluminous orthopyroxene. *Memoirs of National Institute of Polar Research Special issue*, Vol., 53, p49-p73.
- 6) Fraser, G., McDougall, I., Ellis, D.J., and Williams, I.S. (2000); Timing and rate of isothermal decompression in Pan-African granulites from Rundvågshetta, East Antarctica. *Journal of Metamorphic Geology*, Vol., 18, p441-p454.
- 7) Harley, S.L. and Motoyoshi, Y. (2000); Al zoning in orthopyroxene in a sapphirine quartzite: evidence for >1120 °C UHT metamorphism in the Napier Complex, Antarctica, and implications for the entropy of sapphirine. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, Vol., 138, p293–p307.
- 8) Hokada, T. (2001); Feldspar thermometry in ultrahigh-temperature metamorphic rocks: Evidence of crustal metamorphism attaining ~1100 °C in the Archean Napier Complex, East Antarctica. *American Mineralogist*, Vol., 86, p932–p938.

研究協力者（共同研究者ではない参加者。大学院生等）

- ・伊神洋平（大学院生・研究員）

彗星及び小惑星起源の南極微隕石を用いた極初期の母天体過程の解明

◎野口高明 九州大学基幹教育院・教授
 藪田ひかる 広島大学大学院・理学研究科・准教授
 (国立極地研究所)
 山口 亮 准教授
 今栄 直也 助教
 平成 28 年～平成 28 年 (1 か年)

[研究成果]

(1) 新たな硫黄包埋超薄切片法の開発

地球外物質に含まれる有機化合物の軽元素の結合状態を軟 X 線を使った X 線吸収端微細構造 (XANES) スペクトル分析するには、軟 X 線が試料を透過する必要があるため、有機物を使わずに 0.1 ミクロン程度の厚さの薄膜試料を作らなければならない。代表的な薄化方法としては、試料を溶融硫黄に包埋し、ウルトラマイクロトームで切削後、硫黄を蒸発させるという、硫黄包埋超薄切片法と、焼鈍した金箔 (あるいは板) に試料を圧入後、集束イオンビーム装置 (FIB) を使って試料と基盤の金と共にガリウムイオンビームで切り出し、薄化する方法がある。本研究では、超薄切片を切り出した後の試料を使って有機同位体分析を行うため、新たな硫黄包埋超薄切片法のプロトコルの開発を行った。試料台を設計し九州大学理学部工場で数回の試作を行った後、最もうまくいった形状の試料台を用いた。この試料台上で硫黄を溶融し試料を包埋、超薄切片切削を行った。

(2) 南極微隕石の硫黄包埋超薄切片の作成

2010 年及び 2012 年に南極のドームふじ基地近くの表層雪から回収した南極微隕石の中から、特に多孔質な表面を持つ 17 個の微隕石について、研究代表者の研究室のウルトラマイクロトーム Reichert Ultracut N を使って、超薄切片を作成した。支持膜が非晶質 C (連続および格子状の 2 種) の場合と非晶質 SiO_x の場合、計 3 種類の TEM グリッドに連続切片を載せた。また、2 個の微隕石については光学 ZnS 結晶上にも連続切片を載せた。このような多種のグリッドや基盤結晶に載せたのは、(3)、(4)、(5) における分析を行うため

である。

(3) (走査) 透過電子顕微鏡 ((S)TEM) による観察・分析

まず、南極微隕石の鉱物学的な特徴を説明する。非常に多孔質で、GEMS (Glass with embedded metal and sulfide) の略号で、大きさ 100 から数百ナノメートルの回転楕円体的な形状を持つ非晶質珪酸塩の物体のこと。大きさ数から数十ナノメートルの金属鉄あるいは硫化鉄のナノ結晶を含む。) と結晶軸の a 軸方向に伸長した enstatite (enstatite whisker and platelets) を含むものは、彗星起源の宇宙塵と考えられている (Bradley, 2004)。成層圏で回収されたものは、Chondritic porous interplanetary dust particles (CP IDPs) と呼ばれる。それらが地表まで到達したものは CP MMs と呼ばれる (Noguchi et al., 2015)。一方、水質変成作用を強く受けた宇宙塵は、多量の含水珪酸塩鉱物 (粘土鉱物)、マグネタイト、炭酸塩鉱物、Fe-Ni 硫化鉱物を含む。これらの宇宙塵は小惑星起源と考えられており、成層圏で回収されたものは Chondritic smooth (CS) IDPs、地表まで到達したものは Fine-grained type 1 micrometeorites (Fg C1 MMs) と呼ばれる (Genge et al., 2008)。

17 個の微隕石の超薄切片は、九州大学超顕微鏡解析研究センターの JEOL JEM-3200 FSK で大まかな特徴を把握した。本研究で (S)TEM 観察・分析した 17 個の多孔質な微隕石のうち、8 個は GEMS (Glass with embedded metal and sulfide) を含む CP MMs であった。9 個は水質変成作用を強く受けており、8 個は Fg C1 MMs に分類された。残り、1 個は水質変成作用を強く受けているが、主要な層

状珪酸塩が蛇紋石であり CM コンドライト隕石に近縁のものであった。

本研究で詳しく研究した試料は 8 個の CP MMs である。研究期間内に、これらのうち 4 個を九州大学超顕微鏡解析研究センターの FEI Tecnai-G20F でさらに観察・分析した。それらのうち 2 個を、特に詳細に観察・分析を行った。1 個は、ほぼ CP IDP や CP MM と同じ鉱物学的特徴を持っているが、少量の Mg-Fe 炭酸塩を含んでいた。このことは、この微隕石がわずかな水質変成作用を受けていることを示している。もう 1 個は、彗星塵の組織を持つ部分と、小惑星起源の塵とされるフランボイダル・マグネタイトと Mg-Fe 炭酸塩を含む層状珪酸塩に富む部分からなっていた。このようなものは過去に報告がなく、我々は「無水-含水複合微隕石」と名付けた。このように、南極の表層雪に含まれる微隕石には、彗星塵と基本的に同じ鉱物学的特徴を持った微隕石がわずかに水質変成を受けているものが含まれていることが明らかになった。

(4) 走査透過 X 線顕微鏡を使った X 線吸収端微細構造(STXM-XANES)分析,

(3)で詳細観察した弱い水質変成作用を受けた 2 個の宇宙塵と、水質変成作用を受けていない 2 個の宇宙塵について、米国バークレー国立研究所、Advanced Light Source (ALS)放射光施設のビームライン 5.3.2 を用いて、STXM-XANES 分析を行った。非晶質 SiO_x 支持膜に載せられた超薄切片を分析に用いた。

4 試料のうち 3 試料は鉱物に対する有機物の比率が高いものであった。どの場合もカルボキシル

基に富んでいた。(3)で述べた 2 個の宇宙塵について得られた結果は以下のとおりである。非常に弱い水質変成を受けている微隕石は、官能基組成が不均質で、ケトンの存在量が場所によって不均であった。全体的に、水質変成作用を受けた炭素質コンドライト隕石の酸不溶有機物 (IOM) と似ているが、芳香族性に不均質が見られた。無水-含水複合宇宙塵の有機物は、全体的に均質な組成を持ち、脂肪族炭化水素に富んでいた。

(5) 超高空間分解能赤外分光分析

日本サーマル・コンサルティング社のご厚意で Analysis Instruments 社の nanoIR2 で超高空間分解能赤外分光分析を行うことができた。3 回測定して頂くことができた。初回には、適切な試料作成方法と分析条件が分かっていない状態であったため、データは得られなかったが、適切な試料作成条件が分かったため、2 回目と 3 回目には、(3)と (4) で詳細分析した 2 個の微隕石と、有機物の構造の比較用に水質変成作用を受けた Murray CM2 炭素質コンドライト隕石の IOM について、50nm 以下の超高空間分解能で特定の官能基の分布マッピング及び、有機物濃集部の FTIR スペクトルを取得することができた。STXM-XANES 分析を上回る空間分解で官能基分布及び FTIR スペクトルが得られたのは、地球外物質の有機化合物については世界初となるデータである。特に、(4)とは整合的な結果が得られている。なお、Murray 隕石の IOM は、九州大学・奈良岡教授が抽出されたものを分けていただいた。

[参考文献]

- 1) John P. Bradley (2004) Interplanetary dust particles. In: Alan M. Davis, (Editor), Treatise in Geo-chemistry, vol.1. Elsevier-Pergamon, Amsterdam, pp.689-711.
- 2) Takaaki Noguchi, Noriaki Ohashi, Shinichi Tsujimoto, Takuya Mitsunari, John P. Bradley, Tomoki Nakamura, Shoichi Toh, Thomas Stephan, Naoyoshi Iwata, Naoya Imae (2015) Cometary dust in Antarctic ice and snow: Past and present chondritic porous micrometeorites preserved on the Earth's surface; Earth and Planetary Science Letters, Vol., 410, p1-p15.
- 3) Mathew J. Genge, Cecil Engrand, Matthieu Gounelle, Susan Taylor (2008) The classification of micrometeorites. Meteoritics and Planetary Science, Vol., 43, p497 - p515.

(別紙)

松本理佳子 九州大学大学院理学府 修士課程 2 年 (研究協力者)

リュツォ・ホルム岩体の変成作用と微小地塊・テレーンの多重衝突

◎馬場壮太郎 琉球大学教育学部・教授

(国立極地研究所)

本吉洋一 教授

外田智千 准教授

平成 28 年～平成 30 年 (3 か年)

[研究成果]

先の共同研究では、リュツォ・ホルム岩体(LHC)を対象として、蓄積されたデータと知見をベースにしながら、変成岩原岩形成場の推定・変成作用の特徴・点在する高度変成岩類の分布の把握に努めてきた。極地研所有の LHC 岩体の岩石試料を対象として顕微鏡観察を行った結果、あけぼの岩周辺にはスノーボールガーネットや強変形組織を有する変成岩類が確認され、剪断帯の存在が想起された。今回の共同研究では、これら LHC 岩体東部に焦点を置きつつ、LHC 岩体南西部や超塩基性岩類が多産する明るい岬周辺について広域的な変成作用、その年代、原岩の相違について詳細を把握し、精密対比によるテレーン区分と微小地塊の多重衝突について検討を進めることを目的とした。

研究期間中に JARE58 次隊に参加し、LHC 岩体東部の露岩である日の出岬、あけぼの岩、オメガ岬、天文台岩、明るい岬において地質調査を実施することができた。今回はあけぼの岩及び天文台岩で得られた結果について述べる。

・あけぼの岩：あけぼの岩から得られた地質構造データ測定結果から剪断帯の特徴について検討を行った。加えて岩石試料の薄片作成、観察、鉱物化学組成分析を実施し、変成岩の形成した温度圧力条件の推定を行った。主な結果を以下に示す。

(1) 大局的な地質構造は北北西-南南東を示し、高角で東西に傾斜する。東部地域と西部地域に認められ

る褶曲構造の方位は異なっており、形態についても違いが認められる。特に西部地域の褶曲は剪断帯の北側にまとまって確認され、非対称の形態を示す。これらの褶曲軸はステレオネット上では北西-南東方向の面上にプロットされ、北西方向に垂直から水平の間で連続的に傾斜する。このようなパターンは軸上褶曲のパターンに類似している。

(2) 西部地域の剪断帯には、ホルンブレンドの配列による線構造が明瞭な L-テクトナイト、ザクロ石を置換する黒雲母が発達したマイロナイトが認められる。これらの鉱物線構造は西方向に中程度で傾斜する。

(3) 角閃岩は粗粒なザクロ石含むことがある。それらザクロ石の多くは自形結晶として産するが、一部には動的再結晶を示す斑状変晶（スノーボールガーネット）が認められる。後者は、優白色花崗岩に包有されている。これらのザクロ石の周縁には非対称なプレッシャーシャドウが共通して発達する。スノーボールガーネットのコアで S 字状に包有物が配列するが、リムでは Z 字状の配列を示すことから、ザクロ石成長中に剪断方位が変化したことを示している。

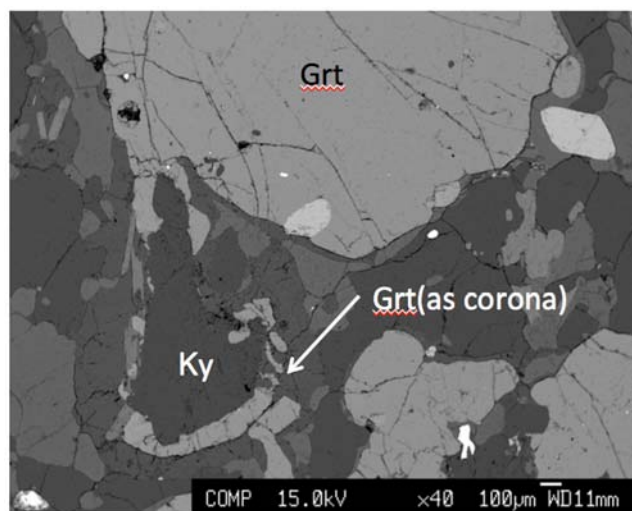
(4) L-テクトナイトに含まれるホルンブレンド・ザクロ石・斜長石を用いて温度圧力条件を見積もったところ 650～750 °C、4～6 kbar が得られた。この温度圧力条件は剪断帯の形成条件と解釈される。

(5) スノーボールガーネットを含む角閃岩の変成温度圧力条件は $650\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $8\pm 1\text{ kbar}$ であり, 変形を被っていない藍晶石を含む泥質片麻岩から見積もられた温度圧力条件は $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $8\sim 9\text{ kbar}$ と調和的である. 角閃岩の産状から, これらは地下深部で形成された後に, 優白色花崗岩中の取り込まれた可能性が示唆される.

以上に基づき, 論文の執筆を進めている.

・天文台岩: 天文台岩から得られた岩石試料について薄片観察, 鋳物化学組成分析, レーザーラマン分光を用いた鋳物相の同定を実施した.

(1) 天文台岩に分布する泥質片麻岩中には, 藍晶石が多産することが明らかになった. 特に基質において, 藍晶石が認められ, その量比は珪線石とほぼ同等である. 藍晶石の周囲にザクロ石や斜長石が産するが, ザクロ石はコロナ状に産するものや, 細粒で藍晶石の外縁に点在するものなどがある.



Ky=藍晶石, Grt=ザクロ石

コロナ状のザクロ石の組成は斑状変晶のリムと同様であることから, 藍晶石, ザクロ石斑状変晶は, 変成ピーク時に共存していた可能性が高い.

(2) 地質温度圧力計で得られた変成条件は, $750\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $7\sim 8\text{ kbar}$ であり, 藍晶石の安定領域から外れる. ザクロ石コロナの形成を踏まえ, 温度圧力経路について検討することが今後の課題である.

[研究発表]

Sotaro BABA, Moeko UESATO, Tomokazu HOKADA, Tatsuro ADACHI, Yasuhito OSANAI, Nobuhiko NAKANO, Tsuyoshi TOYOSHIMA (2018) Metamorphic texture in mafic granulites collected from talus in the Brattnipene, Sør Rondane Mountains, East Antarctica. Bulletin of Faculty of Education University of the Ryukyus, Vol.92, 161-177.

外田智千・馬場壮太郎・亀井淳志・北野一平・本吉洋一・Prayath Nantasinsin・Nugroho Imam Setiawan・Davaa-Ochir Dashbaatar. (2017) リュツォ・ホルム湾, プリンスオラフ海岸, 及び, エンダビーランド地質調査隊報告 2016-2017 (JARE-58) 南極資料, Vol.61, 11-56.

チリ海嶺—海溝に沈み込みつつある中央海嶺の火成活動の衰退

◎琉球大学理学部・教授 松本 剛
 (国立極地研究所)
 野木義史 教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

チリ西海岸のタイタオ半島沖の南緯46度13分、西経75度48分に位置するチリ三重会合点(Chile Triple Junction, 以下CTJ)は、海嶺—海溝—海溝(RTT)型三重会合点である。この海域は南極プレート、ナスカプレートの生成を続けるチリ海嶺が、CTJで南米プレートの下に沈み込んでいる点の特異である(図1)。また、プレートの沈み込みに伴って隆起したオフィオライトがCTJ近傍のタイタオ半島で露出しており海洋地殻を陸上で観測できる地域でもある(Velso et al., 2009)。

チリ沖は研究対象として注目を集め、様々なアプローチで研究が進められてきた。その結果、この周辺海域の地下構造、年代、発達の歴史など多くのことが明らかになっている(Lagabrielle et al., 2014など)。

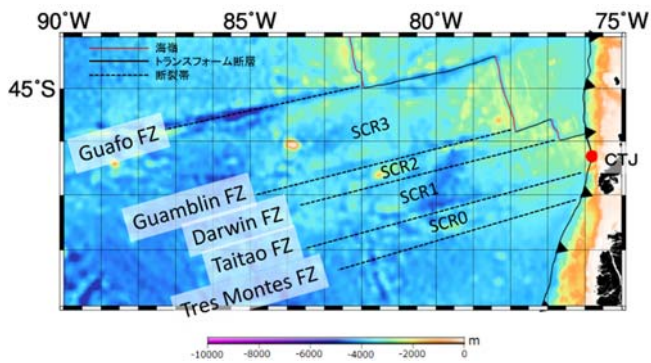
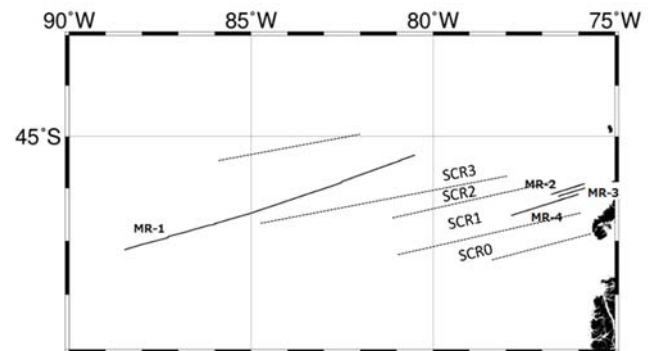


図1 CTJ周辺の海底地形と海溝軸、海嶺軸、トランスフォーム断層・断裂帯(FZ)の分布。赤丸はCTJ。チリ海嶺の北側はナスカプレート、南側は南極プレートである。SCR0～3は南極プレート上のセグメント名を示す。

チリ海嶺の拡大速度については、海嶺に近い海底ほど拡大速度が遅くなっていくこと、その原因として海溝に近づくほど海嶺での火成活動が衰退し、海嶺へのマグマの供給量が減少することが示唆されている(Matsumoto et al., 2013)。しかし、この研究で使用されたMR08-06航海の測線は、CTJ周辺の複数のセグメントを横切るように走っているため、1つのセグメント上での拡大速度の変化を求めることができていない。そこで、国立研究開発法人海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」による2016年度の航海で、チリ沖の調査研究が計画されて

いたことから、この海域での海嶺軸に垂直な測線に沿った海洋地球物理探査(海底地形・地磁気・重力)を研究テーマの一つとして提案し、採択された。本研究では、このようにして実施されたMR16-09航海で得られた海嶺軸に垂直な測線において得られた全磁力データから、地磁気異常値を算出して海底年代を求めるとともに、チリ海嶺の沈み込みによる拡大軸セグメント内の拡大速度の変化の様子を明らかにすることを目的とする。

MR16-09航海では、地磁気全磁力データはセシウム磁力計G-822によって得られた。全磁力から国際標準地球磁場の値を引くことで磁気異常値を求めることができる。本研究では国際標準地球磁場としてIAGAによる「第12世代国際標準地球磁場」を



用いた(測線番号:MR-)。

図2 本研究で使用した地磁気全磁力データを含むMR16-09航海の航跡と各セグメント。

MR16-09航海で得られたデータだけではセグメントSCR0, SCR2上のデータが不足しているため、NOAA/NGDC(現在はNCEI)で公開されているMarine Tracklineデータのうち、CTJ周辺および南部で海嶺に垂直な航跡を持つRC1803(Robert D. Conrad, 1975), RC2304(Robert D. Conrad, 1982)の地磁気全磁力も併せて使用した(測線番号:NG-)。

観測された海底の磁気異常値の反転パターンと地球磁場反転モデル(Gradstein et al., 2005)による地球磁場逆転の年表)との対比によって海底が形成された年代を求めることができる。モデルの計算にはMagnetic Block Modeling Program(Tamaki, 1985)を使用した。また片側拡大速度(以下拡大速度)は、海嶺軸と直行する方向に修正して算出した。

一方, Isochron model グリッドデータとして, agegrid データの 2016 年版 (Müller et al., 2016) を使用し, 求められた年代との対比を行った。

結果については紙面の都合で, CTJ を含むセグメント SCR1 上に位置する測線のみ述べる。

測線 MR-2, MR-3, MR-4 では全てで類似した地磁気異常値のパターンを見ることができた (図 3)。

測線 MR-2 では, 3.4Ma, 1.8Ma, 1.0Ma, 0Ma で年代の決定を行い, 拡大速度は西側から 1.8cm/yr, 2.1cm/yr, 1.5cm/yr と算出され, 1.8Ma~0Ma の間では海嶺に近づくほど拡大速度が遅くなる。

測線 MR-3 では, 1.8Ma と 1.0Ma, 0Ma で年代の決定を行い, 拡大速度は 2.1cm/yr, 1.3cm/yr と算出された。MR-3 では 1.8Ma~0Ma の間で海嶺に近づくほど拡大速度が遅くなる。

測線 MR-4 は測線の東端が海嶺まで伸びていないが, 西側に大きく伸びている。このため, MR-2, MR-3 に比べて古い年代まで決定することができた。7.5Ma, 4.8Ma, 3.3Ma, 1.8Ma, 1.0Ma で年代が決定されその間での拡大速度は 1.7cm/yr, 1.8cm/yr, 2.2cm/yr, 1.9cm/yr と算出された。3.3Ma~1.0Ma の間では, 海嶺に近づくほど拡大速度が遅くなる様子が確認できた。Müller モデルと比較すると, 測線全体でモデルよりも年代が大きくなった。

測線 NG-5 については, 年代は 3.4Ma, 1.8Ma, 1.0Ma が決定され, 3.4Ma~1.8Ma, 1.8Ma~1.0Ma の間で拡大速度は 2.1cm/yr, 1.8cm/yr となり, 海嶺に近づくにつれて次第に拡大速度が遅くなった。

Müller モデルとは多くの測線で年代が一致しなかった。原因として, このモデルが実測地点での結果から計算されたメッシュデータであるため, 測線が少ない海域では誤差が大きくなることあげら

れる。また, NGDC データは, GPS 開発前のものであることから, 測位の精度が現在ほど高くないことも原因として考えられる。

拡大速度については, 多くの測線で海溝に近づくほど拡大速度が遅くなる様子が確認できた。また, FZ を境に南側のセグメントで拡大速度が低下する様子が確認でき, SCR1 内の測線で拡大速度を比較すると 0Ma~1.8Ma の間では, CTJ のある南側に向かって拡大速度が小さくなる傾向が見られた。これらことから拡大速度は海嶺が海溝に近づくほど低下すると結論付けられる。

Matsumoto et al.(2013)で示唆されているように海溝に近づくとき海嶺での火成活動が減衰し, 海嶺へのマグマ供給量が減少することが原因として考えられる。形成されたばかりの若い海底が沈む原因として, 海溝に近づくにつれて冷却され, アセノスフェアの相転移によって海洋リソスフェアが厚くなることでチリ海嶺でのスラブプルの力が増加する影響が考えられる。

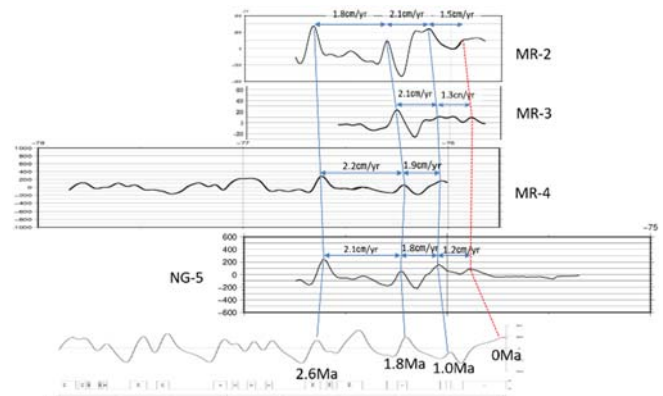


図 3 CTJ を含むセグメント SCR1 内での測線に沿った拡大速度。

[参考文献]

- 1) Matsumoto, T., Doi, A., Kise, S. and Abe, 2013. Tectonics and mechanism of a spreading ridge subduction at the Chile Triple Junction based on new marine geophysical data, *Geochem. J.*, 47, 137-147.
- 2) Müller R.D., Seton, M., Zahirovic, S., Williams, S.E., Matthews, K.J., Wright, N.M., Shephard, G.E., Maloney, K.T., Barnett-Moore, N., Hosseinpour, M., Bower, D.J., Cannon, J., 2016. Ocean basin evolution and global-scale plate reorganization events since Pangea breakup, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 44, 107-138.

[研究発表]

Matsumoto, T., Ishihara, T., and Nogi, Y., Mechanism of a spreading ridge subduction at the Chile Triple Junction based on geomagnetic survey data: a possible model, *The 8th Symposium on Polar Science*, 2017.
 松本 剛・石原 隆仙・野木 義史, 地磁気全磁力データに基づくチリ三重点での沈み込みつつある拡大海嶺の火山活動の変遷, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, SCG61-14.

松山-ブルン地磁気逆転境界の年代決定

◎茨城大学理学部・教授 岡田 誠

(国立極地研究所)

菅沼 悠介 准教授

平成29年～平成31年(2か年) (

【研究成果】

千葉複合セクションにおいて花粉化石の群集解析から古気候復元を行い、有孔虫・放散虫・円石藻の群集解析から黒潮の移動に代表される当時の水塊構造の変化の復元を行った。その結果、海洋同位体ステージ(MIS)19-18にかけての期間(約80万年前～75万年前)において、房総半島付近の古気候・古海洋環境が冬のアジアモンスーンに支配されていた可能性を指摘した(Suganuma et al., 2018)。

さらに、Okada et al.(2017)で用いた層準を上位に拡張し、厚さ50mの地層より10-50cm間隔で古地磁気測定および $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比測定を行った。その結果、松山-ブルン逆転境界に伴う詳細な磁場逆転過程を古地磁気学的記録と $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比による独立した手法を用いて復元することにより、従前の記録を遙かに上回る時間分解能と信頼性を持った磁場逆転に伴う地磁気強度・方位変動記録の復元に成功した。

そこでは松山-ブルン逆転に伴う磁場変動の詳細は、磁場極性の転換が約2000年間で起こった後、正極性卓越の遷移期間が6700年間続いたことなどが明らかになった(Simon et al., 2019)。

以上の結果を最大限活用することで、日本初のGSSP候補である「千葉セクション」のGSSP申請を行い、ライバルのイタリアを退け、第2次審査を突破し、第3次審査へと進むことができた。一方、本共同研究の目的である「松山-ブルン地磁気逆転境界の年代決定」の参考情報とするため、他の地磁気逆転年代に関する調査を行い、房総半島中西部に分布する海成上部鮮新統を対象に研究を進めた。その結果、安房層群安野層における詳細な古地磁気-酸素同位体複合層序の構築に成功した(Haneda and Okada, 2019)。

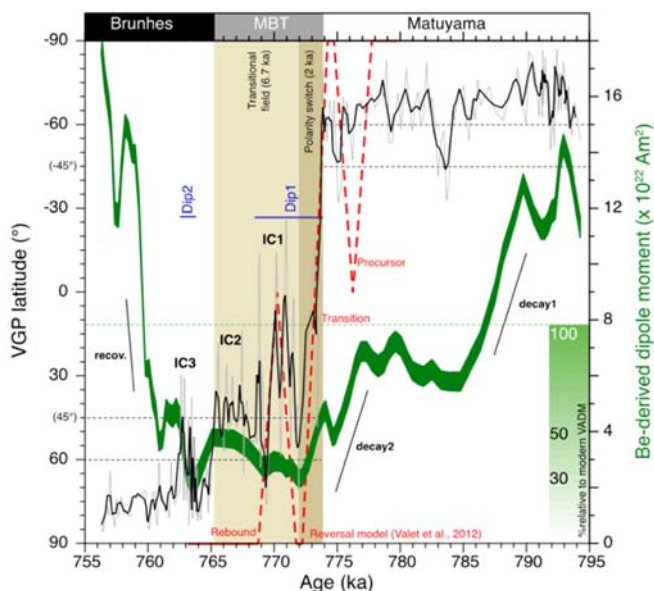


図1. 松山-ブルン逆転に伴うBe測定より得られた地磁気双極子モーメント変化(緑の線)と、VGP緯度変化(黒線)(Simon et al., 2019より)

【参考文献】

Okada, M., Suganuma, Y., Haneda, Y., Kazaoka, O., 2017. Paleomagnetic direction and paleointensity variations during the Matuyama-Brunhes polarity transition from a marine succession in the Chiba composite section of the Boso Peninsula, central Japan. *Earth, Planets, Space* 69 (45), doi.org/10.1186/s40623-017-0627-1.

【研究発表：成果論文】

Suganuma, Y., Haneda, Y., Okada, M., 2018. Paleoclimatic and paleoceanographic records of Marine Isotope Stage 19 at the Chiba composite section, central Japan: A reference for the Early-Middle Pleistocene boundary. *Quat. Sci. Rev.*, 191, 406-430, doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.04.022.

Simon, Q., Suganuma, Y., Okada, M., Haneda, Y., ASTER Team, 2019. High-resolution ^{10}Be and paleomagnetic recording of the last polarity reversal in the Chiba composite section: Age and dynamics of the Matuyama-Brunhes transition, *Earth Planes. Sci. Lett.*, 519, 92-100, doi.org/10.1016/j.epsl.2019.06.004.

Haneda, Y., Okada, M., 2019. Pliocene integrated chronostratigraphy from the Anno Formation, Awa Group, Boso Peninsula, central Japan, and its paleoceanographic implications, *Progress in Earth and Planetary Science*, 6:6, doi:10.1186/s40645-018-0248-8.

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（4）生 物 圈

野生植物に寄生する低温性糸状菌の多様性と生態解析

◎東條 元昭 大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科・教授
 (国立極地研究所)
 伊村 智 教授
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

摂氏 0°Cでも生育し凍結耐性を示す低温性糸状菌が、極域から温帯にかけての広い地域において、藻類やコケ類から顕花植物までの多様な野生植物に感染していることが近年明らかになってきた(Tojo et al.2012, Ueta and Tojo 2016)。これらの糸状菌の多くが未記載種であり、新規の抗菌物質生産など有用性状を示すものもある。地球温暖化が進行する中で、これら低温性糸状菌の分類的位置や生態を明らかにして保護や保存を行うことが急務と考えられる。本申請課題の目的は、極域や温帯の野生植物に寄生する低温性糸状菌の多様性と生態を明らかにすることである。材料としてこれまでに南極・北極および温帯の野生植物から分離して大阪府立大学で保存している植物寄生性糸状菌の培養株約600菌株を用いる。これらを分子情報(リボソームDNAやミトコンドリアCox遺伝子等の配列)と顕微鏡観察による形態的特徴に基づいて同定するとともに、実験室内での接種試験や培養実験により植物病原性、有用物質生産性などの性状の把握を試みた。

<極域の野生植物に感染している *Pythium* 属菌を分離するための培地の作製法の紹介>

卵菌類の代表的な1属であり南極と北極の広範な地域で野生植物に感染している *Pythium* 属菌を、人体や環境に安全な試薬を用いて選択的分離するための培地が開発されている(Morita and Tojo 2007)。今回の研究では、この培地を極域でより使いやすくするために、作製法や分離手順をわかりやすく整理し直して紹介するとともに(Tojo 2017)、2016年と2018年の夏季に北極域で実施した野外調査で用いて本属菌が分離できることを実証した。

<スギゴケに雪腐れを起こす *Typhula* cf. *subvariabilis* の南極域における初記載>

南極域のキングジョージ島のスギゴケに雪腐れを起こす真菌について形態と rDNA-ITS 領域を解析した。その結果、この真菌は、菌核や胞子を形成しないが、菌糸に *Typhula* 属などの担子菌に特有のクランプコネクション(かすがい連結)を有するこ

とがわかった。また rDNA-ITS 領域の塩基配列に基づく系統樹解析で、この真菌は *Typhula* cf. *subvariabilis* と高い相同性を示した。ただし、有性器官の形成が認められないため“cf. *subvariabilis*”とし、正確な種同定は今後の研究課題とした(Yajima et al. 2017)。

<うどんこ病抵抗性の顕微鏡観察による評価>

北極域にも分布する *Podosphaera* 属うどんこ病菌をモデルとし、このうどんこ病菌に対して異なる抵抗性を示すキュウリ4品種を用いて、それらの葉上におけるうどんこ病菌の吸器形成と菌糸分枝を顕微鏡で観察した。その結果、抵抗性が低い品種では高い品種よりも、うどんこ病菌の吸器形成が早く起こり、さらに菌糸の分枝数が多くなることを見出した(Itagaki et al. 2017)。この方法は、低温下で病徴があまり発達しない極域のうどんこ病菌の診断や宿主抵抗性を調査するための1つの方法になる可能性がある。

<*Rhytisma polare* の生態調査>

北極域に固有の植物病原性子囊菌であるキョクチャナギ黒紋病菌(*Rhytisma polare*)の生態を解明する試みの一つとして、本菌が宿主に及ぼす影響を調査し、宿主の炭酸同化に影響を与えていることを明らかにした(Masumoto et al. 2017)。また、キョクチャナギ黒紋病菌の北極域での夏季における伝搬が、野外の限られた自由水(雪解け水など)を利用して起こっていることを明らかにした(Masumoto et al. 2018)。

<*Pythium polare* に感染するウイルスの調査>

温帯域で植物病原性糸状菌にウイルスが感染し、宿主の糸状菌の生育に影響を及ぼす事例が多く知られている。北極域に固有の植物病原性卵菌である *Pythium polare* についてウイルスの感染を調べた結果、toti virus や toti-like virus の感染が確認されたため、*Pythium polare* RNA virus 1 (PpRV1)として報告した(Sasai et al. 2018)。なお、このウイ

ルスが *P. polare* の生育にどのような及ぼしているかについては今後の検討する予定である。

< *Pythium* 属菌の EPA 生産の調査 >

ヒトの必須脂肪酸である n-3 系不飽和脂肪酸のエイコサペンタエン酸 (EPA) は、主に海洋性魚介類から摂取されている。*Pythium* 属菌が n-3 系不飽和脂肪酸を菌体内に生産することは知られていたが、詳細は明らかでなかった。本研究で、温帯産の

Pythium 属菌の 1 種 1 株を用い、EPA の前駆体である α - リノレイン酸を多く含む油脂を培地に添加して EPA 培養試験で調べたところ、本株は α - リノレイン酸を吸収して EPA を生産することを示唆する結果を得た (永峰ら 2018)。EPA 生産は低温で増加する可能性があることから、今後、低温性の同属菌を使った EPA 生産についても検討する。

[参考文献]

- Morita Y, Tojo M (2007) Modifications of PARP medium using fluazinam, miconazole, and nystatin for detection of *Pythium* spp. in soil. *Plant Disease* 91: 1591-1599. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-12-1591>
- Tojo M, Van West P, Hoshino T, Kida K, Fujii H, Hakoda H, Kawaguchi Y, Mühlhauser HA, Van den Berg AH, Küpper FC, Herrero ML, Klemsdal SS, Tronsmo AM, and Kanda H (2012) *Pythium polare*, a new heterothallic Oomycete causing brown discoloration of *Sanionia uncinata* in the Arctic and Antarctic. *Fungal Biology* 116: 756-768. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2012.04.005>
- Ueta S, Tojo M (2016) *Pythium barbulae* sp. nov. isolated from the moss, *Barbula unguiculata*: morphology, molecular phylogeny and pathogenicity. *Mycoscience* 57: 11-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.myc.2015.07.002>

[研究発表]

- Tojo M (2017) Selective media for practical isolations of *Pythium* spp. from natural and agricultural environments. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal (ARTOAJ)* 7: 555723. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2017.07.555723
- Yajima Y, Tojo M, Chen B, Hoshino T (2017) *Typhula* cf. *subvariabilis*, new snow mold in Antarctica. *Mycology: An International Journal of Fungal Biology* 8: 147-152. <https://doi.org/10.1080/21501203.2017.1343753>
- Itagaki K, Sato Y, Tojo M (2017) Resistance levels of cucumber to *Podosphaera xanthii* in a growth chamber are related to haustorial formation and hyphal branching frequency. *Journal of General Plant Pathology* 83: 310-315, DOI 10.1007/s10327-017-0731-x
- Masumoto S, Uchida M, Tojo M, Herrero, ML, Mori A, Imura S (2017) The effect of tar spot pathogen on host plant carbon balance and its possible consequences on a tundra ecosystem. *Oecologia* 186: 843-853, <https://doi.org/10.1007/s00442-017-4037-7>
- Masumoto S, Tojo M, Imura S, Herrero M-L, Uchida M (2018) Occurrence pattern of the parasitic fungus *Rhizisma polare* (Ascomycota) on the polar willow (*Salix polaris*) under limited water conditions in a high-Arctic semi-desert. *Polar Biology* 41: 1105-1110, <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2269-6>
- Sasai S, Tamura K, Tojo M, Herrero M-L, Hoshino T, Ohki S, Mochizuki T (2018) A novel non-segmented double-stranded RNA virus from an Arctic isolate of *Pythium polare*. *Virology* 522: 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2018.07.012>
- 永峰 賢、吉田 磨仁、松下 貴子、田中 淳和、松浦 昌平、東條 元昭 (2018) ピシウムによる EPA 生産の可能性 *New food industry*. 60: 7-14, 2018. ISSN 0547-0277.

1. 当該共同研究に関する研究発表について、可能な限りすべての学会誌名等を記入してください。（口頭発表については、原則として省略する。）
2. 参考文献、研究発表を行った学会誌名等を英文表記する場合は左右2列にする必要はありません。
3. 研究協力者（共同研究者ではない参加者。大学院生等）については、（別紙）参加者一覧に記載し、報告書に添付してください。

極域の光合成生物の生理応答機構の解析

◎兵庫県立大学 理学部・准教授 菓子野 康浩
 中央大学 理工学部生命科学科・助教 小杉 真貴子
 (国立極地研究所)
 生物圏研究グループ・教授 工藤 栄
 生物圏研究グループ・助教 田邊 優貴子
 平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

夏の南極露岩域は低温環境下で強光や強い紫外線に晒されるため、光合成生物にとって光阻害を起こしやすい過酷な環境である。それにもかかわらず、陸地ではラン藻類、地衣類、蘚苔類、緑藻類などが光合成的に生命活動を営んでいる。申請者らはこれまでに、それらの光合成生物が光阻害を回避しつつ、光合成活動を行う生理生態学的な適応戦略についての解析を進めてきた⁽¹⁻³⁾。本研究では、ナンキョクカワノリの近赤外線吸収型光合成色素結合タンパク質に着目し、その生理学的な特性と生態学的な有用性を明らかにすることを目指した。

生理学的解析においては、近赤外線吸収クロロフィルを結合する光合成タンパク質 (LHC710) を精製し、その分光学的特性と色素組成を解析した。これまでの研究から、ナンキョクカワノリは近赤外線を利用した酸素発生型光合成を行うことが分かっている。精製タンパク質は通常のクロロフィル *a* と同様に 680 nm 付近に吸収帯を持つが、それに加えて 710 nm 付近に顕著な吸収帯を示した。高速液体クロマトグラフィー (HPLC) による色素分析の結果、近赤外線吸収帯を持つクロロフィルはクロロフィル *a* であり、2 割程度の割合でクロロフィル *b* も結合していることが分かった。カロテノイドは 2 種類を確認した。吸収スペクトルから、LHC710 に結合している 3 割程度のクロロフィル *a* が長波長フォームを持つと考えられた。クロロフィル蛍光の発光スペクトルと励起スペクトルを測定し、長波長フォームのクロロフィル *a* の蛍光成分を特定した (図 1)。エネルギーレベルの高いクロロフィルが吸収した余剰な光エネルギーは最終的に長波長クロロフィルに移動することが示唆された。

ナンキョクカワノリの生育環境の微気象データを取得するため、第 60 次南極観測隊の公開利用研

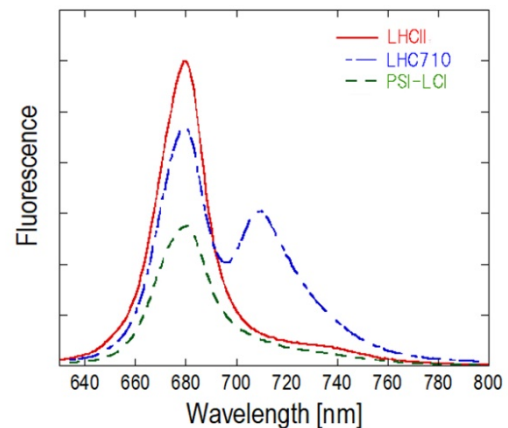


図 1. 精製した各分画の蛍光発光スペクトル
 435 nm で励起した際の常温での蛍光発光スペクトル。

究課題 (AAS6006) として 2018 年 12 月にラングホブデの四つ池谷のナンキョクカワノリ群落周辺に無人微気象観測装置 (AWS) を設置した。観測項目は、地表付近の温度、湿度、光量子、紫外線強度、波長特性 (4 波長センサー)、ナンキョクカワノリ群落内の温度 (熱電対) である。また、定点カメラにより 1 時間ごとに生育地を撮影し積雪の状況を記録した。設置に先立ち国立極地研究所のトレーニングフィールドで測器の試運転を行った (図 2)。



図 2.
 トレーニングフィールドにおける微気象観測装置の試運転の様子。

全観測項目について、2020年1月に1年分のデータが回収される計画である。また、四つ池谷と比較してより乾燥した生育環境であるユキドリ沢斜面の観測点に以前設置した微気象観測装置からもデータ回収を行い、通算5年半のデータを取得する

予定である。これらを使って、微気象データについて、今後解析を行う予定である。

[参考文献]

- 1) Kosugi M., Katashima Y., Aikawa S., Tanabe Y., Kudoh S., Kashino Y., Koike H. and Satoh K., Comparative study on the photosynthetic properties of *Prasiola* (chlorophyceae) and *Nostoc* (cyanophyceae) from Antarctic and non-Antarctic sites. *Journal of Phycology* Vol. 46 (2010) 466–476.
- 2) Kosugi M., Kurosawa N., Kawamata A., Kudoh S. and Imura S., Year-round micrometeorological data from the habitats of terrestrial photosynthetic organisms in Langhovde, East Antarctica, during 2013, *JARE DATA REPORTS (Terrestrial Biology)* 8 (2015) 1–6.
- 3) Kosugi M., Maruo F., Inoue T., Kurosawa N., Kawamata A., Koike H., Kamei Y., Kudoh S. and Imura S., A comparative study of wavelength-dependent photoinactivation in photosystem II of drought-tolerant photosynthetic organisms in Antarctica and the potential risks of photoinhibition in the habitat, *Ann. Bot.* Vol.122 (2018) 1263–1278.

(別紙)

参 加 者 一 覧

<input type="checkbox"/> 研究プロジェクト		<input checked="" type="checkbox"/> 一般共同研究		<input type="checkbox"/> 研究集会	課題番号	28-35
研究課題名		極域の光合成生物の生理応答機構の解析				
氏名		所属	職	備考		
所内						
小計	0名					
所外	丸尾 文乃	中央大学	共同研究員			
小計	1名					
合計	1名					

※研究プロジェクト・一般共同研究・研究集会、いずれかを■にしてください。

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

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

※行が不足する場合、適宜追加してください。

昭和基地モニタリング定点から分離された土壤藻類の分類学的研究

◎大谷修司 島根大学教育学部・教授

林昌平 島根大学生物資源科学部・助教

(国立極地研究所)

伊村 智 教授

平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

はじめに

これまで昭和基地周辺の 8 か所のモニタリング定点から採集された土壤試料 (41 次 隊～49 次隊) を用いて、藍藻、緑藻、黄緑藻、合計 76 株を分離し、培養株として保存してきた。平成 28 年度は、これらの中から属が未確定な株を見直し、属レベルの同定を実施した。農林水産省植物防疫所を通じてこれら培養株について輸入禁止品からの解除申請を行った。本終了報告書では、特に平成 29 年～30 年度に行った黄緑藻の *Botrydiopsis* 属 10 株について、形態観察と葉緑体 *rbcL* 遺伝子系統解析から行った分類学的検討について報告する。

材料及び方法

保存された 10 株の培養には BBM 寒天培地または液体培地を用い、15°C、500 - 1500 lux、12 時間 : 12 時間の明暗周期の条件で培養を行なった。なお、SO11 株は 1988 年にパツダ島の地衣コロニー裏面より分離されたものである。形態の観察は微分干渉顕微鏡 (Olympus BX60) を用いた。

培養した *Botrydiopsis* 属 10 株から DNA を抽出し、特異的プライマーを用いて *rbcL* 領域を PCR 増幅させた。増幅した DNA 断片約 1300 bp の塩基配列を決定し、BLAST 相同検索および系統解析を行った。

結果及び考察

形態的特徴から、5 株が *Botrydiopsis callosa*, 3 株が *Botrydiopsis* sp. 1., 2 株が *Botrydiopsis* sp. 2 に同定された。また、*rbcL* 遺伝子の系統解析から 10 培養株は 3 つのクレードに分けることができた。そのうち 1 つ目は *B. callosa* の 5 株が含まれ、2 つ目は *Botrydiopsis* sp. 1 の 3 株、3 つ目は *Botrydiopsis* sp. 2 の 2 株が含まれた。各クレード内では *rbcL* 塩基配列はいずれも 100%一致した。以下に 3 種の形態的特徴等を示す。

1. *B. callosa* (培養株 : R4182, 4941, 4962, 4972, 4973)

藻体は単細胞、球形で希に楕円体。径は 5 - 60 μm あり、寒天上で培養した細胞は互いに接することが多い。細胞壁は若い細胞では薄い、成長とともに肥厚し、3 - 6 μm になり層状を示すことがある。葉緑体は若い細胞は側壁性で頂面観は円盤形から垂鈴形、側面観は両端が角張る。垂鈴形の葉緑体の長さは約 6 - 7 μm 。若い細胞には、葉緑体の内側にピレノイドが観察されるが成長すると不鮮明になる。細胞の径が約 5 μm の時の葉緑体は 1 枚あり、成長とともに数は増加する。大きく成長した細胞は葉緑体が小型化し径 3 - 4 μm となる。細胞内に緑がかったオレンジ色の顆粒を 1-3 個有す。核の

数は成長とともに増加し径 20 μm では約 15 個を有す。無性生殖は遊走子により、放出直後は楕円体で、少なくとも鞭毛を 1 本有す。4941 株と 4973 株の *rbcL* 遺伝子は、南チロル地方の土壌から分離された SAG 30.83 株と、いずれとも 99%一致した (1301bp/1314bp と 1330bp/1344bp)。

2. *Botrydiopsis*. sp. 1. (培養株 : S011, R4171, 4754)

藻体は単細胞、球形。径は 5 - 35 μm あり、成長すると互いに離れる傾向がある。細胞壁は 1 μm 程度だが、一部が肥厚し 6 μm になる場合がある。葉緑体は側壁性で頂面観は円盤形から垂鈴形、側面観は棒状またはへの字に曲がり、ピレノイドはない。垂鈴形の葉緑体の長さは約 4 - 6.5 μm 。細胞の径が 5 - 6 μm の時葉緑体は二枚、その後成長と共に数を増し、成長した細胞では多数。葉緑体は細胞表面だけでなく、細胞の中央部にも分布し、葉緑体が 4 - 7 枚程度積み重なることが特徴的である。細胞内に数個から多数の空胞があり、その中がブラウン運動する顆粒が数個存在する。一方、静止した顆粒が数個存在することがある。

Tschermak-Woess (1979)によると *B. alpina* の特徴として、葉緑体が数枚層状になり細胞中央部に入り混むこと、遊走子囊の段階で葉緑体に眼点があること、不等長の鞭毛を有し眼点があることを述

べている。昭和基地周辺の 3 株は葉緑体が 3 - 7 枚層状になる点が一致した。SO11 株でのみ、遊走子囊の葉緑体には眼点があること、遊走子の鞭毛は不等長で 2 本あり、眼点を有すことを観察した。このように形態的に *B. alpina* に類似した点が多いが、*B. alpina* のタイプカルチャー SAG806-1 株は *rbcL* 遺伝子解析では別のクレードに属しており本種とは別種の可能性が高く、今後詳細な形態観察が必要である。

3. *Botrydiopsis*. sp. 2. (培養株 : 4531, 4833)

藻体は単細胞、球形。径は 5 - 16 μm と上記二種に比べ細胞が小さい。コロニーは粘質で、細胞は一定間隔に散在する。細胞壁は 0.5 - 0.8 μm 。葉緑体は側壁性で頂面観は円盤形から垂鈴形、側面観は棒状またはへの字に曲がり、ピレノイドはない。垂鈴形の葉緑体の長さは約 4 - 6.5 μm 。細胞の径が 5 - 6 μm の時葉緑体は二枚、その後成長と共に数を増す。葉緑体は細胞の縁辺部でしばしば 2 - 3 枚積み重なる。細胞中央部に葉緑体はなく、多数の白色の顆粒がある。

本種に類似した種類は今のところ確認されておらず、*rbcL* 遺伝子はこれまでの既存の種とも異なったクレードに含まれており、新種の可能性も含めて今後形態観察をすすめる。

参考文献

- 1) Trenkwalder, H. (1975): Neue Bodenalgae aus Föhrenwäldern im Raum von Brixen (Südtirol, Italien). Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 62: 7-19.
- 2) Tschermak-Woess, E. (1979): Über Plastidenstapel bei *Botrydiopsis alpina* sowie Anlage und Vermehrung der Stigmen bei dieser und *Heterococcus* (Xanthophyceae). Pl. Sys. Evol. 131: 179-192

研究発表

- 1) Ohtani, S., Suyama, K., Imura, S. and Kanda H. Soil algae isolated from monitoring sites in the vicinity of Syowa Station, Antarctica between austral summers 1999/2000 (JARE41) and 2007/2008 (JARE49). 第 7 回極域科学シンポジウム 2016 年 11 月 .
- 2) Ohtani, S., Hayashi, S. Morphology and distribution of *Botrydiopsis callosa* Trenkwalder isolated from soils in the vicinity of Syowa Station, Antarctica. 第 8 回極域科学シンポジウム 2017 年 12 月 .
- 3) 大谷修司, 林昌平. 南極産黄緑藻 *Botrydiopsis callosa* Trenkwalder の形態と生活環. 日本藻類学会42回仙台大会 2018年3月.

亜寒帯域沿岸の表層水における pH 高解像度マッピング技術の開発

◎今井 圭理 北海道大学水産学部・助教
 (国立極地研究所)
 小達 恒夫 教授
 平成 28 年～平成 30 年 (3 年間)

[研究成果]

人間活動によって放出された二酸化炭素が海に溶け込み、海中の pH が低下する海洋酸性化が近年顕在化し、海洋生態系に大きな影響を与える懸念がある。しかし、その影響が大きい亜寒帯の沿岸海域における海洋酸性化の実態は未だ分かっていないにもかかわらず、海洋酸性化の指標として用いられる pH の既存観測データ数は、その他の海洋成分パラメータ（例えば、塩分、水温、栄養塩類、溶存酸素、クロロフィル a など）と比べて海域の現状把握および将来予測を行うにはあまりにもそのデータ量は少なく、高確度なデータはさらに少ないのが現状である。

その一方、Nakano and Watanabe (2005)は北太平洋表層水から得られる水温 (T)およびクロロフィル a (Chl-a) 濃度から経験的関数(パラメタリゼーション) $pH = f(T, Chl-a)$ を見出した。また、Lee, Watanabe et al. (2016)は北太平洋外洋域において蓄積された水温・塩分 (S)・溶存酸素 (DO)のデータ群と実測 pH との経験的関数 $pH = f(T, S, DO)$ を求め、水深 0m・400m までの高確度な pH を推定する方法を見出した。しかし、これらの成果は外洋域におけるものであり、時空間変動が激しい海洋沿岸における海洋酸性化の動態解明にまでは至っていない。

そこで、本研究では生産性が高く多様な生物群集が生息する日本沿岸を中心とした亜寒帯沿岸海域における過去から現在にいたる海水中の pH の実態解明を明らかにすることを目的とした。

沿岸域では河川水の流入、気象イベントや潮汐などの日周変動の影響などで、海洋表層の pH の時空間変動が大きい。このため、その動態把握には膨大な pH データが必要となる。そこで、北海道・東北沿岸海域を年間幾度も航行する北海道大学・練習船「おしよろ丸」の表面海水モニタリングシステムから連続的に得られる高頻度の栄養塩・塩分・溶存酸素等の海水データと pH 観測値との関係を明らかに

し、その関係を用いて日本沿岸海域へ適用可能な pH のパラメタリゼーション($pH = f(\text{栄養塩、塩分、酸素等})$)の開発を行うこととした。「おしよろ丸」は実習航海が毎年、年間 10 回以上計画され、沿岸海域を幾度も航行、あるいはその海域に長時間留まる(実習・観測あるいは入港時間調整等のために)ことが多い(図.1)。

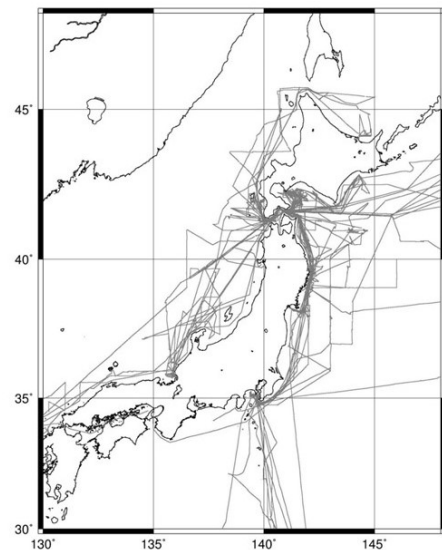


図1. 「おしよろ丸」の過去3年間(H25-27)の沿岸海域における航海実績(航跡図)

「おしよろ丸」航海を利用して航路上の海洋表層水中の放射性セシウム濃度のモニタリング・マッピングを行ってきた結果(今井・渡辺:2015)、「おしよろ丸」1隻のサンプリングでも表面海水中のセシウム濃度の時空間的な変化を捉えることが出来たことから、この航海計画を利用すると調査海域面・調査頻度を増やせるだけでなく、数時間単位の短い時間スケールでの環境動態を捉える可能性を示唆している。

しかしながら本研究期間内に表層モニタリングシステムのセンサー増設の研究費獲得が出来なかった。しかしながら三陸沖の沿岸海域でのサンプリングによるパラメタリゼーションの予備的実験の成果を報告する。

「おしよる丸」航海の一つを利用して 2016 年 6 月三陸沖の複数の観測点において CTD 観測 (T、S 測定) および全炭酸 (DIC)、全アルカリ度 (TA)、DO、栄養塩類の測定を行った。これらのデータから pH(25°C、Sea water scale ; pH25_{sws})を算出した [Dickson et al. 2007, PICES report]。

さらにそのデータ群に PACIFIC (<http://cdiac.ornal.gov/PACIFICA/>)などの高精度海洋炭酸系データ群を加え、重回帰分析により pH 推定式 (pH25_{sws}=f(NO₃, θ, DO)を構築した。pH 推定式のパラメータの組み合わせ例を硝酸塩 (NO₃) と水温(θ)、溶存酸素 (DO) と水温(θ)とした場合に両方とも決定係数 (R²) は 0.97 と高かったものの、pH=7.6 付近では推定値と実測値のばらつきが大きくなる傾向にあり(図.2)、外洋域での同様の研究結果と比べて誤差が大きいことが判明した。よって今後、この原因を究明するとともに本研究において提案している高頻度なデータ収集を行っていく必要性を見出した。

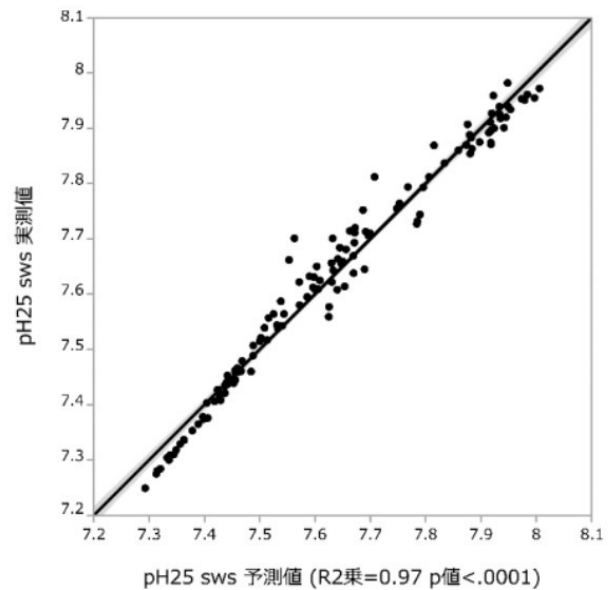


図2. pH25SWS推定式の予測値(X軸)と実測値(Y軸)の比較。パラメータは硝酸(NO₃)と水温(θ)。

[参考文献]

- 1) Nakano Y., Watanabe Y. W. (2005); Reconstruction of pH in the surface seawater over the North Pacific Basin by using temperature and chlorophyll-a. *Journal of Oceanography*, 61, 673-680.
- 2) Li B., Watanabe Y. W., Yamaguchi A. (2016); Spatiotemporal distribution of pH in the North Pacific subpolar region using the parameterization technique. *Journal of Geophysical Research*, 121, 3435-3449.
- 3) 今井圭理・渡辺 豊 (2015) ; 「おしよる丸」を利用した北太平洋表層における東京電力福島第一原子力発電所事故後の放射性セシウム濃度の継続的調査、北海道大学水産科学彙報、第 65 巻、第 2 号、111-116.

極地に生息する病原体、病原因子・抗菌薬耐性因子の網羅的解析

◎石井 良和 東邦大学大学医学部微生物・感染症学講座・教授
 山口 哲央 東邦大学大学医学部微生物・感染症学講座・助教
 青木 弘太郎 東邦大学大学医学部微生物・感染症学講座・助教

(国立極地研究所)

伊村 智 教授

平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

南極環境は、ヒトの介入が少なく、寒冷気候のため古来からの微生物が保存されている可能性がある。また、抗菌薬などの選択圧のない、独自の微生物の進化が期待される。近年、南極の微生物の網羅的解析が進んでおり、少数ながら土壌、湖水、海水などの微生物が解析されている。しかし、ヒトを含む生物の行動域と非行動域（ほとんど生物がいないと考えられるフィールド）の比較はなされていない。今回、昭和基地周囲の生物行動域および非行動域の土壌サンプルにおける生物由来遺伝子の比較を目的に網羅的遺伝子解析を行った。

生物の行動域および非行動域より採集されたそれぞれ 6 サンプルを供試した (表 1)。DNA は約 0.25g の土壌/砂礫サンプルを用いて PowerSoil DNA Isolation Kit (キアゲン) により抽出した。塩基配列の網羅的解析 (メタゲノムシーケンス: MGS) の DNA ライブラリは Nextera XT DNA Library Prep Kit (イルミナ) を用いて調整し、MiSeq システム (イルミナ) により 300bp×2 ペアエンドリードを取得した。得られたリードはアダプター配列および低クオリティ領域を除去した後、下流の解析に用いた。既知の生物塩基配列公共データベース (DB) として (National Center for Biotechnology Information: NCBI)、薬剤耐性遺伝子 DB として ResFinder, 病原性遺伝子 DB として VFDB (Virulence Factor of Pathogenic Bacteria) を用いた。上述の DB を対象に、得られたリードを BLASTn により塩基配列類似性検索を行い、トップヒットした DB 配列情報を集計した。

得られたリード数は最高 1,844,660 本、最低 22,308 本、平均 1,217,635 本、標準偏差 482,196 だった。リードの由来生物を「界」レベルで分類した結果、生物の行動域あるいは非行動域に関わらず、8 割程度が no hits となり、1 割程度が Bacteria に分類された (図 1)。Bacteria に分類されたリードを「門」

レベルで分類すると、生物の行動域では 40%~80% が Proteobacteria に分類され優占しており、非行動域では 40%~70% が Actinobacteria に分類され優占していた (図 2)。生物の行動域では、2 地点のサンプル (2-3 および 5-3) でそれぞれ約 10% および約 30% が Bacteroidetes に分類された (図 2)。ヒト非行動域では全 6 地点で数%~10% のリードが Cyanobacteria に分類された (図 2)。

表 1. サンプル情報および MGS により得られたリード数

ヒト	サンプル番号	土壌/砂礫採集地	リード数
行動域	2-3	オングルカルベン	1,238,795
	3-3	廃棄物保管庫	1,691,378
	5-1	ルンバ島ペンギン死体付近	869,165
	5-3	ルンバ島トウガモの糞多数の岩下	1,844,660
	8-1	ホセケルン前	1,201,392
	11-1	Koala Creek	1,259,728
ヒト	L1	ラングホブテ	869,068
非行動域	L2	ラングホブテ	22,308
	L3	ラングホブテ	1,123,647
	S1	スカルブスネス	1,464,413
	S2	スカルブスネス	1,387,824
	S3	スカルブスネス	1,639,244

図1. 各サンプルから得られたリード数および「界」レベルでの分類

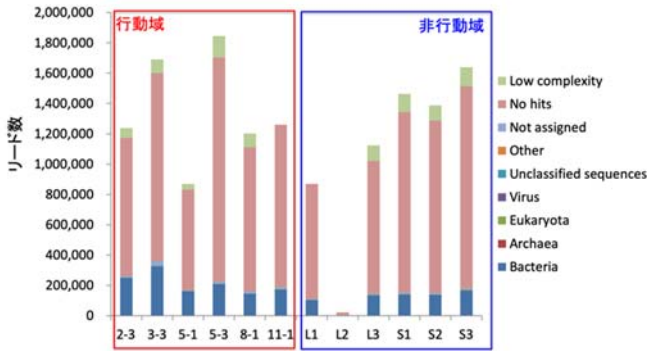
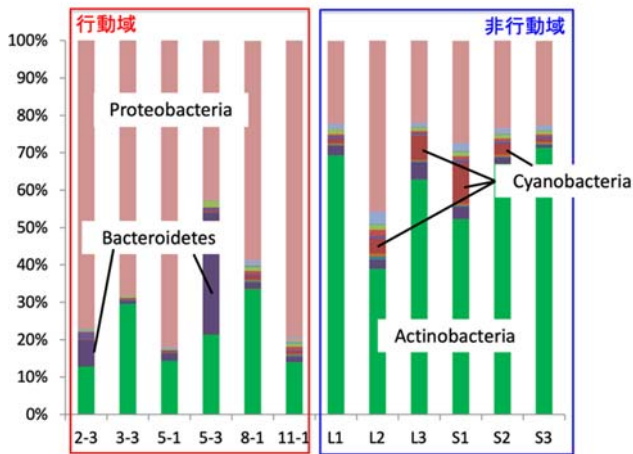


図2. Bacteria に分類されたリードの「門」レベルでの分類



薬剤耐性遺伝子および病原遺伝子は、塩基配列の類似性検索の結果、確からしい検出結果は得られなかった。また、アミノ酸配列変換後の類似性検索でも同様にアミノ酸モチーフの検出には至らなかった

た。

南極土壌/砂礫サンプルの MGS 解析の結果、公共 DB に対してほとんどの配列が no hits という結果が返ってきたことから、未知の生物由来リードが多く検出されていた可能性が高い。No hits に分類されたリードについて情報を得るには、今後の南極サンプルの塩基配列 DB が充実した後、再度類似性検索を行えば、何らかの解析結果を得られる可能性はある。生物の行動域に優占していた Proteobacteria は腸管内に常在する菌種が多く含まれることから、生物の行動が南極土壌/砂礫のマイクロバイオームに影響していた可能性は否定できない。また、トウガモの糞が多数存在していた地点のサンプル (5-3) で Bacteroidetes が約 30% の比率で検出されたことも、上述の考察を支持する。一方、非行動域で Cyanobacteria が 10% 程度で検出されたことは、藍藻類が光合成により有機物を生産および供給している可能性を示唆する。また、非行動域のサンプルで優占した Actinobacteria には放線菌類が含まれることから、何らかの抗生物質産生菌が存在しても不思議ではない。しかしながら、それらに由来する既知の薬剤耐性遺伝子の検出には至らなかった。薬剤耐性遺伝子並びに病原遺伝子の検出に至らなかった理由として 2 点挙げられる。1 つめはそれらの遺伝子は存在するが、DB に収載されていない、すなわち未知である可能性である。2 つめは、MGS で得られたリード数が不十分であったことである。今回 1 サンプルあたり平均で大腸菌ゲノム 120×程度しか解読できておらず、多くの遺伝子が MGS の検出感度以下だった可能性は大いに考えられる。今後、よりハイスループットのシーケンサーを用いてメタゲノム解析を行うことで、新たな知見が得られる可能性は十分にある。

[研究発表]

園田史朗、青木弘太郎、辻本恵、伊村智、渡邊研太郎、石井良和; Metagenomic analysis habitation of the animal on the Antarctica sand gravel, 第 7 回極域科学シンポジウム

南極湖沼生態系の数理モデル化に関する研究

◎佐々木 顕 総合研究大学院大学・教授

水野 晃子 名古屋大学 宇宙地球環境研究センター・研究員

吉山 浩平 滋賀県立大学環境科学部・助教

池田 幸太 明治大学名先端数理科学研究科・講師

(国立極地研究所)

田邊優貴子 助教

工藤 栄 教授

平成28年～平成30年（3か年）

[研究成果]

生物にとって重要な窒素・炭素・リンといった生元素の物質循環は、とりわけ極貧栄養な極域湖沼における生態系の初期遷移においても基礎となる重要なプロセスである。しかし、これまで南極湖沼誕生初期の生態系形成過程についてはほとんど分かっていない。本研究では、無生物環境から開始した生態系初期のバクテリアおよびシアノバクテリアに焦点を当て、現場での実測値・試料分析等によるデータと理論モデルを組み合わせて、生物ダイナミクスと生元素供給・利用との相互作用について数理研究を行ってきた。これまでに、シアノバクテリアにより窒素固定と生産者（シアノバクテリア）と分解者（バクテリア）の物質循環における正のフィードバックにより、生態系形成過程に双安定性による不連続的遷移が生じることなどを明らかにした。

はじめに

約40億年前に誕生した原始生命は、地球上の化学進化により生じた有機物を吸収し生活していたが、原始有機物には限度があり、約30億年前に酸素発生型の光合成により有機物を作り出せるシアノバクテリアが出現した。これにより、無機物から有機物を作り出す生産者と、有機物を分解して無機物にする分解者からなる原始生態系が誕生した。窒素は最も重要な生元素の一つであるが、有機物も無機窒素もない環境では、窒素の体内への獲得は容易ではない。このため、大気の主成分である窒素分子をアンモニアに変換する「窒素固定」反応によって生物は窒素化合物を生成する必要があるが、一部のシアノバクテリアなど限られた微生物がこの反応を担っている。地球に生命が誕生した後、窒素化合物が継続的に供給されなければ、その後の生態系の維持と進化が起り得ない。このため窒素固定は、地球初期の光合成生態系の拡大と密接に関わっており、生命の初期進化にも大きな役割を果たしてきたと言える。

現在では多様な生物が共存した生態系で地球は覆われているが、原始地球における生態系の初期形成は他の生物や栄養のないゼロからスタートした。生物的空白エリアに生物が侵入した後、絶滅するこ

となく定着し、さらに他の種が侵入して共存していくためには、どのような条件が必要なのだろうか？本研究では、周辺に栄養がなく無生物環境からスタートした希少な生態系である南極湖沼をモデルとして、生態系の遷移に関する数理モデルを構築することにより、生物の定着と複数種での共生が起こる初期過程の解明を目指した。

バクテリアとシアノバクテリアの窒素をめぐる個体群動態をベースにした競争-共生モデルを構築した。これにより、有機窒素・無機窒素・窒素分子の3つを窒素源として、初期窒素濃度と窒素固定能から、バクテリアとシアノバクテリアそれぞれの初期定着条件を明らかにし、共生可能条件とその遷移プロセスを明らかにした。

数理モデル

孤立した貧栄養湖沼における初期遷移をモデル化する。南極淡水湖では窒素が制限要因なので、窒素の物質循環（有機窒素と無機窒素の濃度変化のダイナミクス）を、バクテリア（分解者）とシアノバクテリア（一次生産者）の個体群動態と結合させ、窒素が枯渇した無生物状態から分解者のみの群集へ、あるいは無生物状態から分解者と生産者が構成する生物群集への初期遷移が起こる条件や、遷移の特徴を理論的に明らかにした。モデルの変数とパラメータは表1に示した。

バクテリアの密度 B 、シアノバクテリアの密度 Y 、無機窒素の濃度 $N_{\text{inorganic}}$ 、有機窒素の濃度 N_{organic} の時間変化は以下に従う

$$\begin{aligned}\frac{dB}{dt} &= g\gamma N_{\text{organic}}B + k_B B - (d_B + e_B B)B - vB, \\ \frac{dY}{dt} &= f\gamma' N_{\text{inorganic}}Y + k_Y Y - (d_Y + e_Y Y)Y, \\ \frac{dN_{\text{inorganic}}}{dt} &= vB - fN_{\text{inorganic}}Y - u_i N_{\text{inorganic}}, \\ \frac{dN_{\text{organic}}}{dt} &= \sigma[(d_B + e_B B)B + (d_Y + e_Y Y)Y \\ &\quad - gN_{\text{organic}}B - u_o N_{\text{organic}}]\end{aligned}$$

表1 モデルの変数とパラメータ

N_{organic}	有機窒素の濃度
$N_{\text{inorganic}}$	無機窒素の濃度
B	バクテリア (分解者) の密度 (窒素換算)
Y	シアノバクテリア (一次生産者) の密度 (窒素換算)
k_B, k_Y	バクテリア、シアノバクテリアによる窒素固定率
f	シアノバクテリアによる無機窒素消費率
g	バクテリアによる有機窒素の分解率
γ, γ'	有機窒素・無機窒素からバクテリア・シアノバクテリアへの転換率
v	バクテリアからの無機窒素溶出率
d_B, d_Y	バクテリア・シアノバクテリアの死亡率
e_B, e_Y	バクテリア・シアノバクテリアの密度依存死亡率の係数
u_i, u_o	無機窒素、有機窒素の希釈率
σ	死体から有機窒素への転換率($0 < \sigma < 1$)

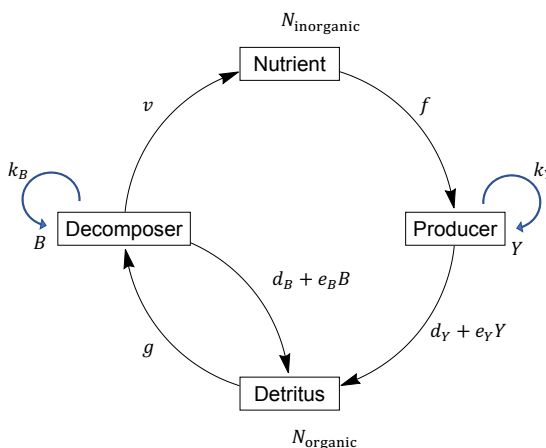


図1 初期遷移モデルの概要

主要な結果

- (1) 有機窒素を消費して増殖する分解者と、分解者の死によって増える有機窒素の間の正のフィードバック (図1左下の小さなサイクル) がある。この効果により、窒素固定による分解者増殖率が小さいときに、無生物状態と分解者のみからなる生物群集を維持する状態の両方が同時に安定になる (図2)。これは、貧栄養の湖沼に落ちた生物遺骸など、初期の有機窒素濃度の大小によって、湖沼が無生物状態にとどまるか、分解者群集に遷移するかが決まることを意味する (図3)
- (2) また、分解者が環境中に溶出する無機窒素を資源として増殖する一次生産者が、その死体を通じて分解者が資源とする有機窒素を供給するという、分解者と一次生産者の間に、窒素循環を介した正のフィードバックがある (図1の大きなサイクル)。この効果によ

り、分解者のみの群集と分解者+一次生産者からなる群集の間の状態も双安定性となる (図2)。

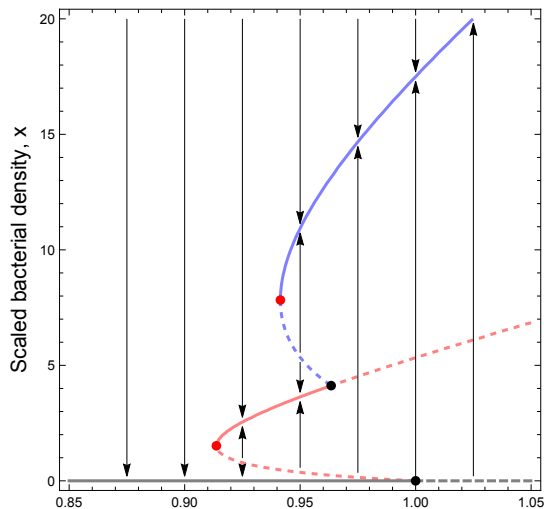


図2 窒素固定によるバクテリア増殖率($\kappa_B = k_B/d_B$)を横軸にとって、バクテリアの平衡密度 x をプロットした。 $\kappa_B < 1$ の領域で、無生物状態 $x = 0$ とバクテリアが正の密度を持つ状態 (青線) が双安定になる。赤い点は「晴天のへきれき」分岐点。また、 $\kappa_B = 0.95$ のあたりでは、無生物状態 (黒線)、バクテリアのみの平衡 (赤い線)、バクテリアとシアノバクテリアが共存する平衡 (青い線) の3つの状態が同時に局所的に安定になる。

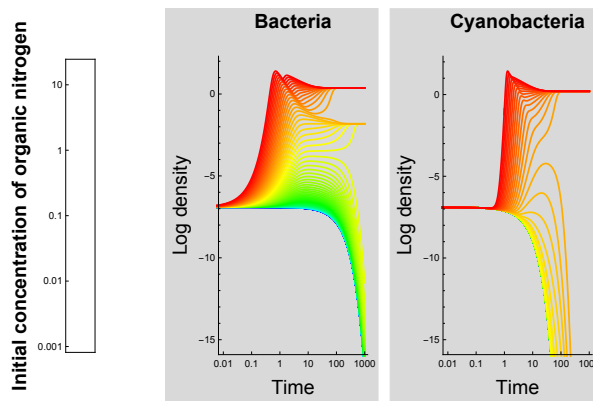


図3 初期に投入した有機窒素濃度の違い (色の違い) によって、バクテリア (分解者) とシアノバクテリア (一次生産者) の密度がどう時間発展するかを示した。初期の有機窒素量が多いと (赤) 分解者+生産者の平衡へ、中程度だと (黄~オレンジ) 分解者のみの群集へ、少ないと (黄緑~青) 無生物状態に収束する。

[研究発表]
Sasaki, A., and A. N. Mizuno. 2017. Partitioning light spectra: Adaptive stratification of phyto-benthic communities in Antarctic lakes. Journal of Theoretical Biology 424:1-10.

南極の紫外線が生物に及ぼす影響に関する研究

◎高橋哲也 島根大学人間科学部・教授

麻生祐司 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科・准教授
(国立極地研究所)

伊村智 教授 工藤栄 准教授

平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

要旨

スキントypesや年齢層を考慮したヒト皮膚モデルとして、メラニンの添加や糖化架橋をさせたコラーゲンシートを作製した。それらのコラーゲンシートを用いて、紫外線によるヒト皮膚への影響について調べた。紫外線照射後のコラーゲンシートから抽出液を採取して、その分析を行った。その結果、メラニン添加量が9%以下のコラーゲンシートでは、照射25時間までは主にコラーゲン分子鎖の架橋が生じ、照射200時間になると主にコラーゲン分子鎖の切断が生じることがわかった。一方、メラニン添加量50%のコラーゲンシートになると、紫外線によってコラーゲン分子鎖の架橋は進むものの、分子鎖の切断は長時間の紫外線を受けても生じにくいことがわかった。また、濃度0.1mM以上のグリオキサール溶液を用いて糖化架橋させたコラーゲンシートでは、紫外線を照射しても分子鎖の切断は生じず、糖化架橋された状態を維持していた。但し、200時間もの長時間の紫外線照射を行うと、コラーゲン分子鎖には切断が生じることがわかった。以上のように、各種のヒト皮膚を模したコラーゲンシートを用いる方法は、紫外線によるヒト皮膚へのダメージを調べる手段になり得ることがわかった。

1. 緒言

国民が紫外線対策を有効に行えるように、気象庁では2005年度からUVインデックスを用いた紫外線情報の提供を行っている。また、WHOや環境省などでも、紫外線対策を推奨している¹²⁾。紫外線によるヒト皮膚への影響としては、しわ、たるみ、しみなどが挙げられる³⁴⁾。但し、同じ紫外線量であっても、皮膚のスキントypesによって紫外線によるダメージは大きく異なる。国際的なスキントypesによる分類では、白人が該当するタイプIから黒人が該当するタイプVIまで、6段階に分けられている。黄色人種はタイプIIからIVくらいに該当する。また、紫外線の皮膚への影響はスキントypesによって異なる

だけでなく⁵⁶⁾、年齢によっても大きく異なってくる。コラーゲン分子は加齢によって架橋が生じ、皮膚の弾力性は失われる⁷⁾。また、子どもの頃は、成長に伴う細胞分裂が大人に比べて盛んである。同じ紫外線量を浴びても、子どものときに浴びているほど悪影響が現われやすいと考えられている。

以上のように、ヒト皮膚の紫外線によって受けるダメージは、スキントypesや年齢によって大きく異なる。以前、筆者らはヒト皮膚をモデルとしたコラーゲンシートを作り、紫外線の皮膚への影響を調べた⁸⁹⁾。本研究では、そのコラーゲンシートを発展させて、新たに異なるスキントypesを考慮したメラニンを添加したコラーゲンシートや、異なる年齢層を考慮した糖化架橋させたコラーゲンシートを試作した。これらのコラーゲンシートをヒト皮膚のモデルとして、紫外線のヒト皮膚へのダメージを調べることにしたので報告する。

2. 実験

2.1 試料

2.1.1 異なるスキントypesのコラーゲンシート

ブタ真皮由来ペプシン可溶化コラーゲン(Nippi製)をリン酸緩衝生理食塩水で中和後、37℃で加温し、コラーゲン線維を再構成させた。次いで、緩やかに攪拌後、ユーメラニン(東洋インキ製造製)を所定量加えて攪拌した。得られた線維分散体を内径50mmの定量濾紙(ADVANTEC製)にブフナーロートを用いて堆積させ、シート状になったコラーゲン線維を凍結乾燥してコラーゲンシートを作製した。なお、スキントypesによる相違を考慮し、コラーゲン線維に対するメラニン添加量を0%、0.1%、1%、9%、50%と変化させた。メラニンを添加したコラーゲンシートのイメージを図1(a)に示す。

2.1.2 異なる年齢層を想定したコラーゲンシート

ブタ真皮由来ペプシン可溶化コラーゲン(Nippi

製)をリン酸緩衝生理食塩水で中和後、37°Cで加温し、コラーゲン線維を再構成させた。次いで、緩やかに攪拌後、コラーゲン 75mg に対してジアルデヒドであるグリオキサール(関東化学製)を 50ml の割合で加えて攪拌し、37°Cで 24 時間反応させた。その際、グリオキサールの濃度を 0mM、0.01mM、0.1mM、1mM、10mM と変化させた。得られた線維分散体を 2.1.1 項と同じ方法で堆積させ、凍結乾燥をしてコラーゲンシートを作製した。なお、グリオキサールとは糖であるグルコースが自動酸化されてカルボニル基を持った物質である。糖化の反応性が高く、糖化最終産物 (AGE) の生成における中間代謝物とされている。そこで、本研究では糖化架橋させる物質としてグリオキサールを用いることにした。糖化架橋させたコラーゲンシートのイメージを図 1 (b) に示す。

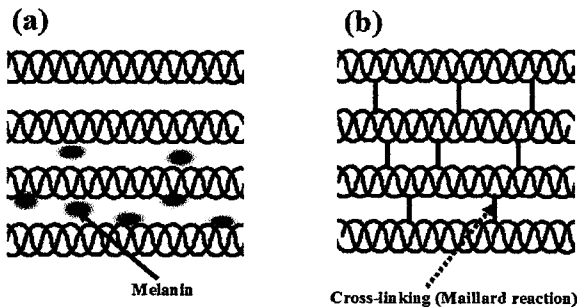


Fig. 1 Schematic images of prepared collagen sheets
(a) Collagen sheet with melanin added, (b) collagen sheet Maillard cross-linked with glyoxal

2.2 紫外線の照射方法

島津製作所(株)製 卓上型キセノン促進曝露装置 サンテスタ CPS に石英反射コーティングフィルターを取り付け、ダイヤルゲージ 5 に設定してコラーゲンに対して所定時間の紫外線照射を行った。その際、メラニンを添加したコラーゲンシートではメラニンが多く分布している濾紙側の面が表(オモテ)になるように貼り付けた。また、Ultraviolet Products 社製デジタル式 UVX 紫外線強度計を用いて照射強度を測定したところ、波長ごとに $4,120\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (365nm)、 $5,540\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (310nm)、 $2,580\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (254nm) であった。つまり、60 分間の積算の紫外線エネルギー量は、365nm では $3.33 \times 10^5 \text{ J}/\text{m}^2$ 、310nm では $3.03 \times 10^5 \text{ J}/\text{m}^2$ 、254nm では $4.65 \times 10^4 \text{ J}/\text{m}^2$ となる。

また、熱のみの影響についても調べるため、コラーゲンシートをアルミ箔で包んでキセノンテスター内に 200 時間放置した試料も準備した。なお、紫外線照射した際のキセノンテスター内の雰囲気温度は 38.5°C であった。

2.2 コラーゲンシートからの抽出

紫外線照射後のコラーゲンシートを 3×3mm 程度の大きさに細断して約 0.1g を秤量瓶に入れ、その 500 倍量の 50mM 酢酸水溶液を加えて浸漬させた。秤量瓶の蓋をして、振盪器を用いて振盪速度 120rpm で 24 時間振盪した。その後、上清のみを採取し、分析に用いるコラーゲンの抽出液を得た。

2.3 測定方法

2.3.1 走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察

電子顕微鏡用ステージに蒸着用カーボンテープを貼り、その上に試料を固定した。これを室温で 24 時間乾燥を行った後、日立サイエンスシステムズ(株)製 E-1010 形イオン Sputter 装置を用いて、試料に金の蒸着を施した。その後、日立サイエンスシステムズ(株)製 S-3000N 型・走査電子顕微鏡を用い、曝露後のコラーゲンシートの表面と断面の観察を行った。なお、加速電圧は 20 kV で実施した。

2.3.2 曝露後のコラーゲンシートの色相変化

コラーゲンシートの色相を調べるため、積分球を取り付けた島津製作所製分光光度計 UV-3100 型を用いて反射光での測定を行った。スリット幅は 2.0nm、サンプリングピッチ 0.5 nm の条件で、波長領域 220 ~ 700nm での反射率スペクトルを測定した。なお、硫酸バリウムの標準白板を用いて補正した。

また、島津製作所製のカラー測定ソフトウェア COL-UVPC を用いて、反射率スペクトルからコラーゲンシートの明度 L^* を算出した。

2.4.3 抽出液中のタンパク質濃度の定量

水酸化ナトリウム 30g に蒸留水 79ml を加えて溶解させた後、硫酸銅五水和物 0.21g を加えて溶かす。その後、蒸留水 42 ml を加えて攪拌し、ビューレット試薬を作製した。2.2 項で得られたコラーゲン抽出液 1,000 μl に対して、作製したビューレット試薬 500 μl を加えて攪拌し、10 分間放置した。その後、分光光度計 UV-3100 型を用いて 310nm での吸光度を測定し、コラーゲン抽出液中のタンパク質濃度の測定を行った。メラニンを添加した試料の場合は、コラーゲンの量が同じになるようにメラニン添加量を使ってタンパク質濃度の値を補正した。なお、コラーゲン濃度への変換には、濃度の異なるコラーゲン標準液を用いた。

2.4.4 抽出液中の末端アミノ基濃度の定量

ニンヒドリン染色を行うと、切断されたコラーゲンの分子鎖末端に生じた末端アミノ基が青紫色に発色する。そのため、発色度合いによってコラーゲンの劣化度合いを調べることができる。そこで、2.2

項で得られたコラーゲン抽出液 0.1ml を試験管に入れ、和光純薬工業(株)製ニンヒドリン溶液（プロピレングリコールモノメチルエーテル、ニンヒドリン）を 1ml、和光純薬工業(株)製 緩衝液（プロピレングリコールモノメチルエーテル、酢酸リチウム二水和物）を 1ml 加えた。攪拌した後、試験管の上にガラス球を置き、100℃で 10 分間加熱した。その後、室温下で 3 時間程度放置した。分光光度計を用いて、波長 570nm での試料液の吸光度を測定した。

また、コラーゲン分子鎖と同様に 1 分子中に 1 つの末端アミノ基を持つ牛血清アルブミンの異なる濃度の溶液を用い、ニンヒドリンは末端アミノ基のみに反応するものと仮定して、抽出液中の末端アミノ基濃度を算出した。その際、メラニンを添加した試料の場合は、コラーゲンの量が同じになるようにメラニン添加量を使って末端アミノ基濃度の値を補正した。

2.4.5 ドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE)

日本バイオ・ラッド ラボラトリーズ株式会社製 ミニプロティアン 3 セルを用いて電気泳動を実施した。まず、コラーゲン抽出液 100 μ l を凍結乾燥し、抽出液を濃縮した。次に、Laemmli の方法に準じ¹⁰⁾、厚み 1mm の 5%濃縮ゲル及び 15%分離ゲルを調製した。Laemmli のサンプルバッファーに 2-Mercaptoethanol を 5.0%加えた溶液を濃縮したコラーゲン抽出液に 20 μ l 加えて、100℃で 3 分間の加熱処理を行った。この試料液をゲルのウェルに全量注入し、濃縮ゲル部分の泳動では 10mA を、分離ゲル部分の泳動では 20mA で実施した。その際、メラニンを添加した試料の場合は、コラーゲンの量が同じになるようにメラニン添加量の値を使って補正して、ゲルのウェルに注入する試料量を変化させた。

その後、クマシーブリリアントブルー-R-250 でゲルを染色しバンドを検出した。その際、分子量マーカーとして Amersham Full-Range Rainbow Molecular Weight Markers (GE Healthcare) もウェルに 5 μ l 注入した。

3. 結果と考察

3.1 コラーゲンシートの微細構造の観察

メラノサイトは紫外線による刺激を受け、メラニンを産生する。メラニンは皮膚表面に向かって移動し、紫外線によって酸化されて黒色化する。このメラニンは、紫外線吸収剤として紫外線から生体を守る重要な物質と考えられている。また、コラーゲンにメイラード反応が生じると結ぶ架橋構造が形成される。いわゆる糖化架橋であり、主に加齢によ

て生じるとされている。そこで、異なるスキントイプや年齢層を考慮したヒト皮膚のモデルとして、メラニンの添加やグリオキサールによる糖化架橋させたコラーゲンシートを作製することにした。

コラーゲンシートの作成過程で、メラニンは濾紙側（下側）に多く堆積しやすい。そのため、コラーゲンシートの表裏は明度が大きく異なっていた。そこで、メラニンを 50%添加したコラーゲンシートの濾紙側（下側）の面と反対側（上側）の面に対して、各々の吸光度スペクトルを反射光にて調べてみた。その際、比較としてメラニン無添加で無架橋のコラーゲンシートについても、表裏の両面について同様の測定を行った。

その結果、メラニン 50%添加したコラーゲンシートの表裏の吸光度は大きく異なっていた。濾紙側の面の吸光度は 1.02~1.10 程度の値を示したのに対して（明度 $L^*=34.2$ ）、濾紙の反対側の面の吸光度は 0.8~0.9 程度と低い値を示した（明度 $L^*=42.7$ ）。つまり、メラニンを 50%添加したコラーゲンシートでは、吸光度が表裏で大きく異なっていることが確かめられた。一方、メラニンが添加されていないコラーゲンシート（コントロール）では、表裏の吸光度の差はほとんど見られなかった（共に明度 $L^*=98.1$ ）。これらのことから、メラニンを添加したコラーゲンシートではメラニンが濾紙側の面に多く分布していることが定量的にわかった。

本研究では、これらのコラーゲンシートを使って、ヒト皮膚のスキントイプや年齢による相違に対する紫外線の影響を調べることにした。そこで、紫外線照射前のメラニン添加量が 50%のコラーゲンシートと 10mM のグリオキサール溶液で糖化架橋させたコラーゲンシートに対して、電子顕微鏡観察を行った。比較として、メラニン無添加で無架橋のコラーゲンシート（コントロール）についても、電子顕微鏡観察を行った。コラーゲンシートの表面と断面について、電子顕微鏡による観察の結果を図 2 に示す。

その結果、メラニンの添加や糖化架橋させていないコラーゲンシート（コントロール）では、その表面は比較的平滑な構造をしていた。また、その断面は、厚み 2~4 μ m 程度のシートが積層された構造をしていた。一方、メラニンを 50%添加したコラーゲンシートでは、直径 2~6 μ m 程度の多数の細かな塊状の物質が表面、断面ともに見られた。この塊状の物質は、添加したメラニンの凝集物と考えられる。また、グリオキサール 10mM の溶液で糖化架橋させたコラーゲンシートでは、その表面、断面とも細かな網目状の繊維組織が観察された。このことから、コラーゲンの糖化架橋処理がシートの構造にも影

響を及ぼしていることがわかった。以上のように、比較であるメラニン無添加、無架橋のコラーゲンシートに比べると、メラニンの添加や糖化架橋させたコラーゲンシートの構造は大きく異なっていることがわかった。

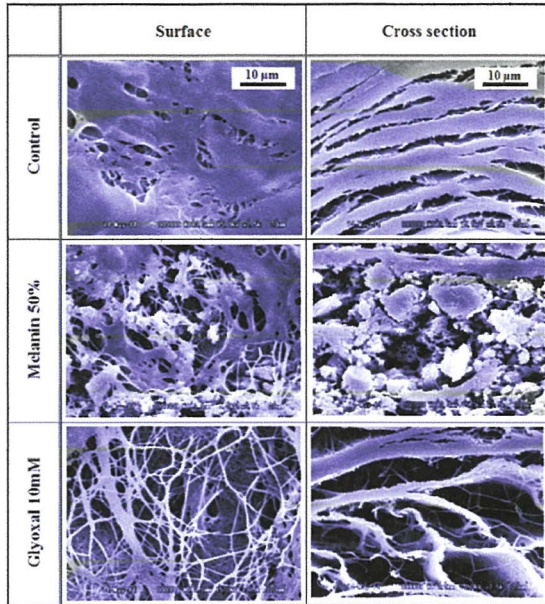


Fig. 2 Scanning electron micrographs (SEM) of the surface and cross-section of a collagen sheet before ultraviolet light irradiation ($\times 2,500$)

3.2 コラーゲンシートの紫外線による色相の変化

メラニンの添加量や糖化架橋の度合いが、紫外線照射後のコラーゲンシートの色相に及ぼす影響について調べた。その際、紫外線の照射時間を変化させ、紫外線照射時間による変化について着目した。図3に、メラニン添加量の異なるコラーゲンシートに対する反射率スペクトルの変化について示す。紫外線照射前の場合を図3(a)に、照射25時間の場合を図3(b)に、照射200時間の場合を図3(c)に各々示す。また、遮光した状態で200時間放置したメラニンを添加していないコラーゲンシートについても、反射率スペクトルを測定した。その結果も図3(c)に併せて示す。

その結果、紫外線の照射前において、その反射率はメラニン添加量の増加にともなって波長230~700 nmの幅広い領域で大幅に低下していた(図3(a))。また、可視光線の波長領域(380 nm~780 nm)で全てのサンプルともピークが見られず、平坦な反射率スペクトルを示していることがわかる。このことは、コラーゲンシートが無彩色(グレー)であることを示している。また、波長450 nm以下の紫外線領域での反射率がメラニン添加量の増加にともなって低下していることから、メラニンが紫外線を有効に吸収していることもわかった。

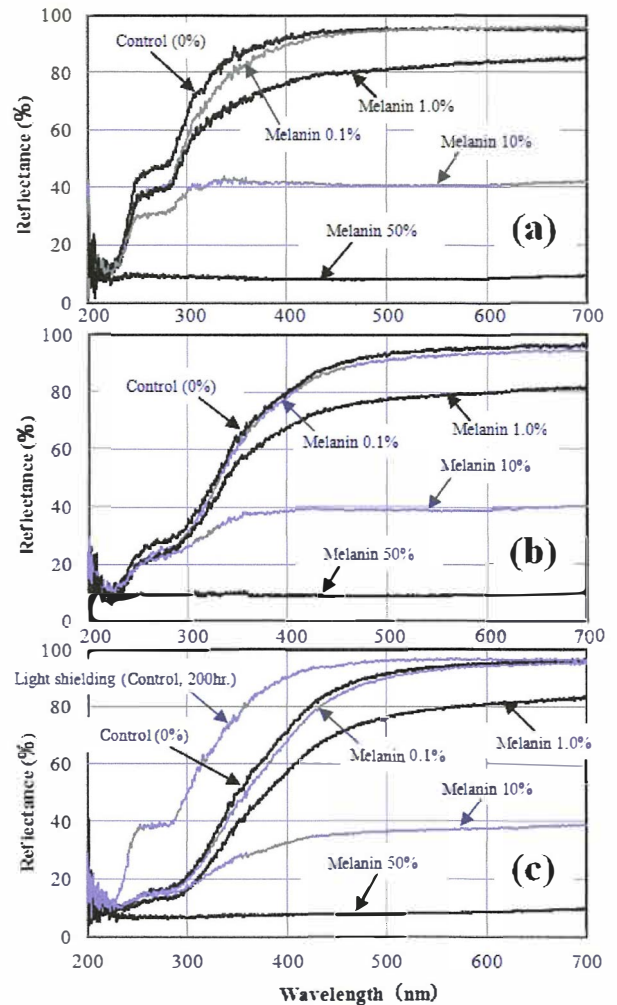


Fig. 3 Changes in the reflectance spectrum of melanin-added collagen sheets caused by ultraviolet light irradiation (a) Before irradiation, (b) irradiation for 25 hours, (c) irradiation for 200 hours

光照射が25時間になると(図3(b))、どのメラニン添加量のコラーゲンシートの場合とも、その反射率は波長450 nm以下の領域において照射前の場合に比べて大幅に低下している。このことは、コラーゲン分子鎖が紫外線を浴びることで架橋などが形成され、紫外線を吸収しやすくなっていることも考えられる。

さらに、照射200時間になると(図3(c))、これらの傾向がより顕著になった。つまり、長時間の紫外線照射によって、波長230~450 nm程度の領域における反射率がさらに低下している。また、比較として遮光した状態で紫外線照射装置内に200時間放置したコラーゲンシートの場合では、照射前のものとあまり反射率スペクトルに差が認められなかった。このことから、反射率スペクトルの変化は紫外線のみによる影響であり、熱による影響は殆んど無いことがわかった。

次に、糖化架橋させたコラーゲンシートについても、反射率スペクトルを測定した。紫外線照射前の

場合を図4 (a) に、照射 25 時間の場合を図4 (b) に、照射 200 時間の場合を図4 (c) に各々示す。その結果、総じてグリオキサールの濃度による差はあまり大きくないことがわかる。つまり、コラーゲンの糖化架橋の度合いが変化しても、反射率スペクトルへの影響は比較的小さいことがわかる。このことは、グリオキサールによってコラーゲンを構成するアミノ酸の一部に糖鎖が結合されたために、紫外線を照射されても変化が生じにくくなったものと考えられる。また、メラニンを追加した場合に比べて、糖化架橋の度合いが変化しても反射率スペクトルの変化は比較的小さいこともわかる。つまり、コラーゲンシートの色相は、糖化架橋の度合いが変化してもあまり変化しないことがわかった。

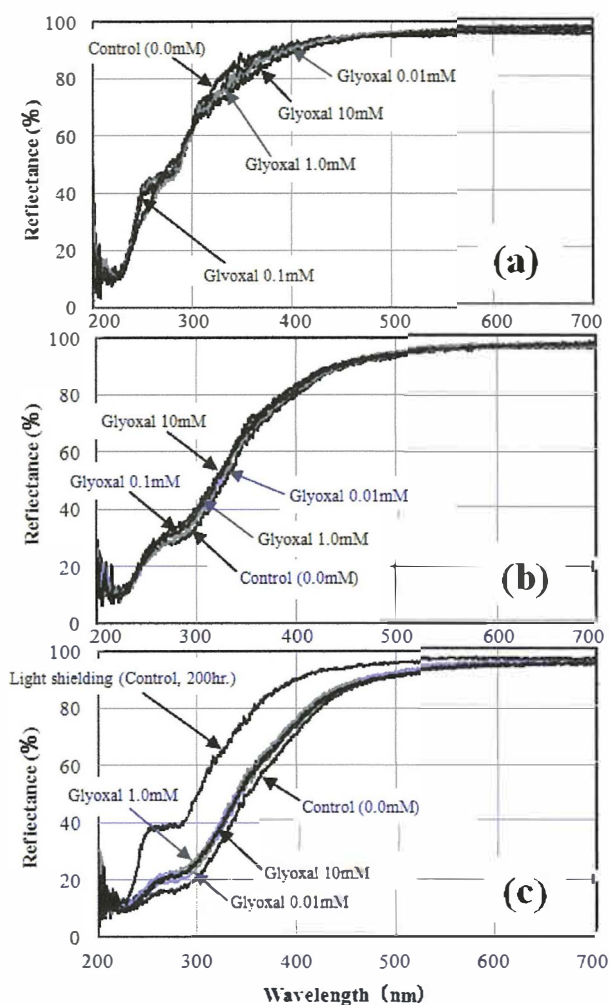


Fig. 4 Changes in the reflectance spectra of collagen sheets Maillard cross-linked with glyoxal caused by ultraviolet light irradiation

(a) Before irradiation, (b) irradiation for 25 hours, (c) irradiation for 200 hours

一方、紫外線の照射時間が 25 時間、200 時間と長くなるほど、波長 450 nm 以下の領域での反射率が照射前のものに比べて大きく低下していることがわかる。つまり、先に述べたメラニン添加の場合と同

様に、波長 450 nm 以下の領域において紫外線の照射時間が長くなるほど照射前の場合に比べて反射率が低下している。このことは、コラーゲン分子鎖が紫外線を浴びることによって、紫外線をより吸収しやすい構造に変化していることを示している。照射が 200 時間になると、その傾向がより顕著になっている。つまり、波長 450 nm 以下の領域での反射率がより低下していることがわかる。但し、紫外線照射が 200 時間であっても、糖化架橋による影響は比較的小さいという特徴が見られた。

3. 3 紫外線によるコラーゲン分子鎖の構造に及ぼす影響

コラーゲン分子鎖の構造に及ぼす紫外線の影響を調べるべく、コラーゲンシートに対して 200 時間までの紫外線照射を行った。紫外線照射後のコラーゲンシートに対して、酢酸による抽出を行った。得られた抽出液に対して、ビュレット分析とニンヒドリン分析を行った。

図5 (a) に、紫外線照射後のメラニン添加したコラーゲンシートより採取した抽出液に対して、ビュレット分析を行った結果を示す。その結果、メラニン添加量が 50% のものを除く全てのコラーゲンシートにおいて、紫外線照射の 25 時間までの領域では抽出液中のタンパク質濃度は、照射時間の増加にともなって低下している。さらに照射時間が 200 時間にまで増加すると、抽出液中のタンパク質濃度は再び増加している。一方、メラニン添加量の最も多い 50% のコラーゲンシートの場合では、抽出液中のタンパク質濃度は紫外線の照射時間の増加にともなって低下し、光照射が 200 時間になってもタンパク質濃度は再び増加することはない。

また、抽出液中のタンパク質濃度は、照射 25 時間まではメラニン添加量が多いほど高く現われている。このことは、添加したメラニンが有効に紫外線を吸収したため、紫外線によるコラーゲン分子鎖の架橋が進みにくかったことを示している。一方、照射 200 時間になると、メラニン添加量が少ないほどコラーゲン分子鎖の分解が進み、タンパク質濃度が高くなったものと考えられる。

以上のように、メラニン添加量 9% 以下のコラーゲンシートでは、紫外線照射が 25 時間までは主にコラーゲン分子鎖の架橋が生じ、さらに照射時間が長くなると主にコラーゲン分子鎖の切断が生じることがわかった。一方、メラニン添加量が 50% のコラーゲンシートの場合では、紫外線による影響を受けにくく、紫外線照射が 200 時間になってもコラーゲン分子鎖の切断が生じにくいこともわかった。

次に、ニンヒドリン分析によって抽出液中の末端

アミノ基濃度についても調べた。その結果を図 5 (b) に示す。その結果、抽出液中の末端アミノ基濃度も先述のタンパク質濃度と同様の傾向を示していた。つまり、どちらの分析方法を用いても、メラニンの添加によって紫外線によるコラーゲン分子鎖のダメージを抑制する効果が高いことを示していた。

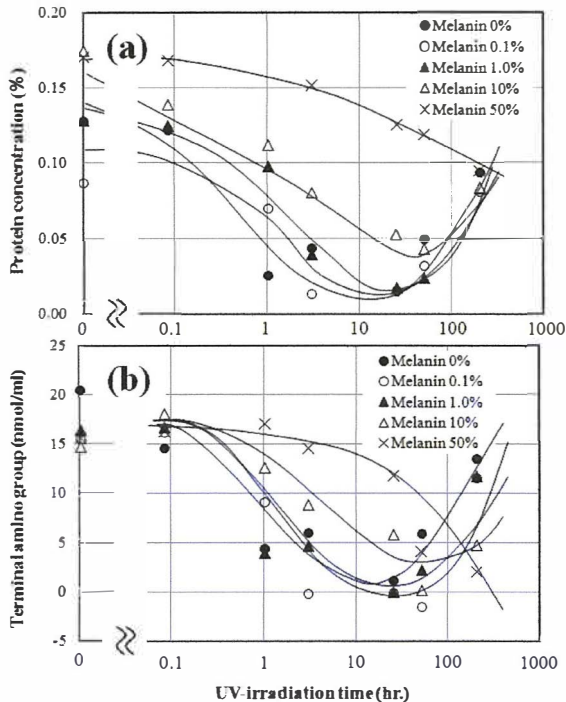


Fig. 5 Changes in artificial collagen skins with melanin pigment added at various levels for various durations of ultraviolet light irradiation

(a) Protein concentration, (b) terminal amino acid concentration

紫外線照射後の糖化架橋させたコラーゲンシートについても、分析を行うこととした。コラーゲンシートより得られた酢酸抽出液中のタンパク質濃度と末端アミノ基濃度を調べた。図 6 (a) に、糖化架橋させたコラーゲンシートより得た抽出液中のタンパク質濃度と紫外線照射時間の関係を示す。その結果、抽出液中のタンパク質濃度はグリオキサール濃度が高くなるほど低下し、高濃度である 1mM、10mM の場合では、そのタンパク質濃度は比較的小さな値になっていることがわかる。つまり、コラーゲンシートはグリオキサールによる糖化架橋によって酢酸に抽出されにくくなっていることがわかる。但し、グリオキサール濃度が 1mM、10mM のものであっても、紫外線照射が 200 時間になるとコラーゲン分子鎖は分解し、タンパク質濃度の値が高くなる傾向も見られる。

一方、グリオキサール濃度が 0.1mM 以下のコラーゲンシートの場合では、紫外線照射が 25 時間まではタンパク質濃度は照射時間の増加にもなっていない。さらに、照射時間が 25 時間以上に

なると、タンパク質濃度は再び高くなっている。つまり、糖化架橋の度合いが低いコラーゲンシートの場合では、紫外線照射が 25 時間まではコラーゲン分子鎖の架橋が生じ、紫外線照射が 25 時間以上になるとコラーゲン分子鎖の分解が生じやすくなることがわかった。

次に、ニンヒドリン分析によって、抽出液中のコラーゲン分子鎖の末端アミノ基濃度についても調べた。その結果を図 6 (b) に示す。その結果、前述のタンパク質濃度の場合と同様の傾向を示している。つまり、グリオキサール濃度が 1mM 以上の場合では酢酸に抽出されにくく、紫外線による影響も受けにくいことがわかった。但し、紫外線照射が 200 時間になると、コラーゲン分子鎖の切断が生じることもわかった。

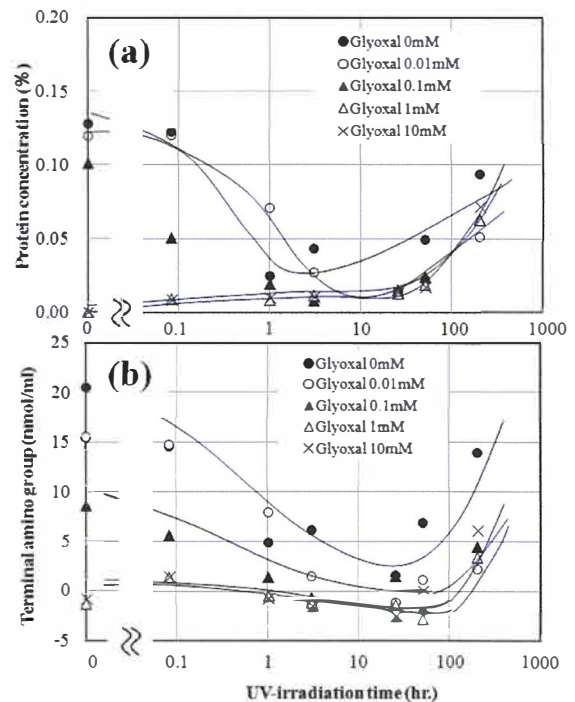


Fig. 6 Changes in artificial collagen skins cross-linked with glyoxal at various levels for various durations of ultraviolet light irradiation

(a) Protein concentration, (b) terminal amino acid concentration

以上のことから、コラーゲン分子鎖は紫外線を浴びると、まず架橋が形成されて高分子化し、さらに紫外線を浴び続けると、徐々に分解して低分子化することが定量的に明らかとなった。また、メラニンを多く含んだコラーゲンシートほど紫外線を浴びても変化しにくく、糖化架橋の度合いが高いコラーゲンシートほど紫外線を浴びても変化しにくいことがわかった。

3.4 電気泳動によるコラーゲン分子鎖の紫外線によるダメージの分析

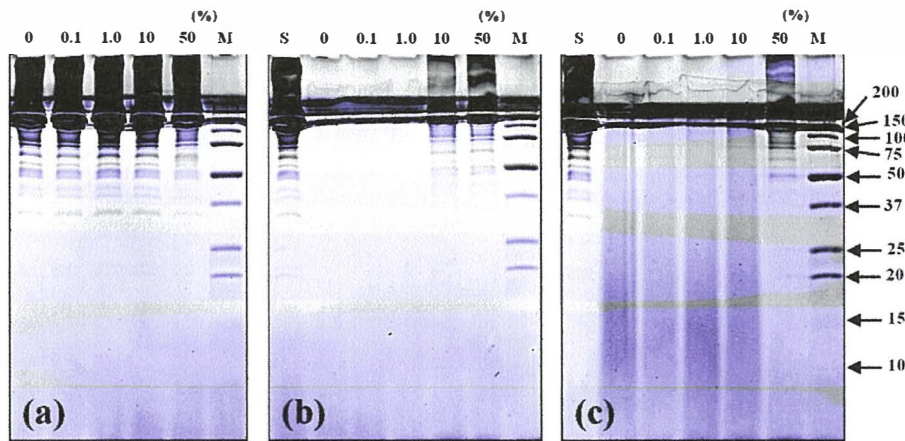


Fig. 7 SDS-PAGE for melanin-added collagen sheets after ultraviolet light irradiation: (a) 0 hours, (b) 25 hours, (c) 200 hours; S: Light shielded sample, M: molecular marker

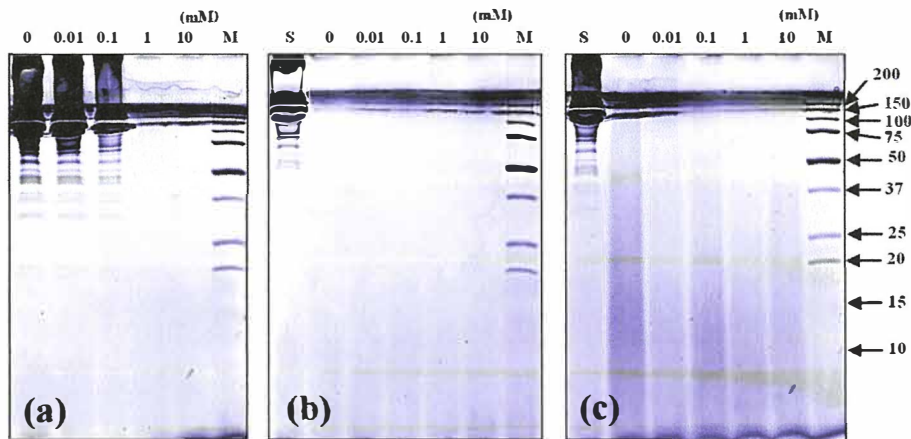


Fig. 8 SDS-PAGE for Maillard cross-linked collagen sheets with glyoxal after ultraviolet light irradiation: (a) 0 hours, (b) 25 hours, (c) 200 hours; S: Light shielded sample, M: molecular marker

紫外線のコラーゲン分子鎖へのダメージをより詳細に調べるため、電気泳動による分析を行うことにした。紫外線照射後のメラニン添加したコラーゲンシートより採取した抽出液の電気泳動像を図7に示す。左より、紫外線の照射前(a)、照射25時間(b)、照射200時間(c)の結果を示す。その結果、紫外線の照射前では、全てのサンプルにおいて多数のコラーゲン分子鎖のバンドが観察されている。また、それらのバンドはメラニンの添加量には全く影響されていないこともわかる。

紫外線照射が25時間になると、メラニン添加量が0%、0.1%、1.0%のコラーゲンシートではコラーゲン分子鎖のバンドや分解物は全く観察されなくなっている。一方、メラニン添加量が多い9%、10%のコラーゲンシートでは、複数のコラーゲン分子鎖のバンドが観察されている。

さらに紫外線照射が200時間になると、メラニン添加量が50%のものを除いて10~20kDa程度のコラーゲン分子鎖の分解物が観察されている。また、それらのコラーゲンシートでは、コラーゲン分子鎖のバンドは全く観察されていない。一方、メラニン

添加量が50%のコラーゲンシートでは、紫外線照射が200時間であってもコラーゲン分子鎖のバンドが観察されていることもわかった。

以上のように、コラーゲン分子鎖のダメージは紫外線の照射時間によって大きく異なっている。総じて、紫外線照射が25時間では主に架橋が生じるために抽出されにくく、照射200時間では分解物が多く見られるという特徴がある。また、メラニン添加量の多いコラーゲンシートほど紫外線の影響を受けにくい傾向があり、メラニン添加量が50%のものでは紫外線の影響をほとんど受けていないこともわかった。

次に、グリオキサールによって糖化架橋したコラーゲンシートの電気泳動分析の結果を図8に示す。左より、紫外線の照射前(a)、照射25時間(b)、照射200時間(c)の結果を示す。その結果、紫外線の照射前において、グリオキサールの濃度が比較的低い0~0.1mMのコラーゲンシートではコラーゲン分子鎖のバンドが見られている。しかし、グリオキサールの濃度が1mMや10mMのものでは、コラーゲン分子鎖のバンドは全く見られていない。つまり、

グリオキサールによる糖化架橋によって、コラーゲンが酢酸に抽出されにくくなっていることがわかる。

紫外線照射が 25 時間になると、どのグリオキサールの濃度の場合であってもコラーゲン分子鎖のバンドや分解物は全く見られない。このことは、糖化による架橋に加えて紫外線による架橋も生じ、コラーゲンが酢酸により抽出されにくくなったためと考えられる。つまり、グリオキサールの濃度が 0mM や 0.01mM の場合であっても、紫外線によって架橋が生じたために酢酸に抽出されにくくなっていることがわかる。さらに、紫外線照射が 200 時間になると、コラーゲン分子鎖の分解物が見られるようになった。また、いずれのサンプルにおいても、コラーゲン分子鎖のバンドは観察されていないこともわかった。

以上のことから、グリオキサールでコラーゲン分子鎖を糖化架橋させたコラーゲンシートでは、酢酸に抽出されにくくなっていることがわかった。グリオキサール濃度が 0.01mM や 0.1mM のものを除いて、コラーゲン分子鎖のバンドは明確には見られないことがわかった。さらに紫外線が照射されると、どのサンプルでもバンドが見られなくなることもわかった。但し、紫外線照射が 200 時間になると、コラーゲン分子鎖の分解物が現われるようになることもわかった。

以上のように、加齢をイメージした糖化架橋が進んだコラーゲンシートほど、紫外線の影響を受けにくくなるということがわかった。しかし、実際の生体であるヒト皮膚では、紫外線の影響は年齢が高くなるほど比較的大きくなるものと考えられている。つまり、高齢者ほど紫外線によってダメージを受けやすく、しわ、たるみ、くすみの発生につながっているものと考えられている。一方、本研究のコラーゲンシートによる紫外線によるダメージの評価では、逆に糖化架橋の度合いが高いほど影響を受けにくいという結果であった。

これらの理由として、生体における皮膚の場合にはコラーゲンだけでなく線維芽細胞が存在するのに対して、コラーゲンシートでは線維芽細胞が存在しないことが挙げられる。つまり、生体の皮膚では、線維芽細胞からは分解酵素であるコラゲナーゼやエラスターゼが分泌されている。これらの分解酵素

は、コラーゲンやエラスチンの架橋によって生じた架橋物を異物と判断する。生体の皮膚では、架橋が存在するほど線維芽細胞からの分解酵素の分泌量は増えるものと考えられる。さらに、コラーゲン線維の糖化が線維芽細胞の足場になる機能を低下させることもわかっている¹¹⁾。

一方、本研究で用いたコラーゲンシートの場合には線維芽細胞は存在しないため、コラゲナーゼやエラスターゼの分泌はない。このような相異から、コラーゲンシートによる評価と生体での皮膚での評価には、大きな差が生じたものと推察される。

4. 結 言

異なるスキンタイプや年齢層を考慮して、メラニンの添加やグリオキサールによる糖化架橋を行ったコラーゲンシートを作製した。それらのコラーゲンシートを用いて、紫外線によるヒト皮膚へのダメージについて調べた。

- (1) コラーゲンシートの形態観察を行ったところ、その断面は厚み 2~4 μm 程度の層の積層構造をしていた。また、メラニンを添加したコラーゲンシートでは、メラニンの凝集物と思われる直径 2~6 μm 程度の多数の塊状の物質が観察された。また、糖化架橋させたコラーゲンシートでは、直径 0.6~0.8 μm 程度の繊維が網目構造を形成していた。
- (2) 紫外線照射後のコラーゲンシートより採取した抽出液の分析を行った。その結果、メラニン添加量が 9% 以下のものでは、紫外線照射 25 時間までは主にコラーゲン分子鎖の架橋が進み、照射 200 時間になると主にコラーゲン分子鎖の切断が生じることがわかった。
- (3) メラニン添加量 50% のコラーゲンシートでは、総じて紫外線照射に対する分子構造への影響は比較的小さかった。紫外線によってコラーゲン分子鎖の架橋は進むものの、分子鎖の切断は生じにくいことがわかった。
- (4) 濃度 0.1mM 以上のグリオキサール溶液を用いて糖化架橋させたコラーゲンシートでは、コラーゲンが糖化架橋されたために酢酸には抽出されにくかった。但し、紫外線を 200 時間まで照射すると、コラーゲン分子鎖には切断が生じずともわかった。

[参考文献]

- 1) M. H. Repacholi, Global solar UV index. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 91, pp. 307-311 (2000).
- 2) P. Koepke, A. Bais, H. De Backer, X. De Cabo, P. Eckert, P. Eriksen, D. Gillotay, A. Heikkilae, and M. Weber, Comparison of Models Used for UV Index Calculations, *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 67, pp. 657-662 (1998).

- 3) A. Kawada, Protection and Therapy of Photoaging, *Anti Aging Medicine*, Vol. 8, pp. 88-91 (2011).
- 4) K. Motoyoshi, Y. Ota, Y. Takuma, and M. Takenouchi, Wrinkles from UVA Exposure, *Cosmetics and Toiletries*, Vol. 113, pp. 51-56,58 (1998).
- 5) A. V. Rawlings, Ethnic Skin Types: Are there Differences in Skin Structure and Function?, *IFSCC Magazine*, Vol. 9, pp. 3-13 (2006).
- 6) R. Pugashetti, H. I. Maibach, Variations in Pigmentation and Ultrastructural Skin Differences Among Ethnic Groups, *Cosmetics and Toiletries*, Vol. 125, pp. 18,20-23 (2010).
- 7) P. Alexander, Ageing skin: Causes & effects, *Manufacturing Chemist*, Vol. 56, pp. 33,35 (1985).
- 8) T. Takahashi, T. Kondo, K. Tanaka, S. Hattori, S. Irie, S. Kudoh, S. Imura, and H. Kanda: Measurement of solar UV radiation in Antarctica with collagen sheets, *Photochemical & Photobiological Sciences*, Vol. 11, pp. 1193-1200 (2012).
- 9) T. Takahashi, T. Kondo, K. Tanaka, S. Hattori, S. Irie, S. Kudoh, S. Imura, and H. Kanda: Using collagen artificial skin to estimate the protection effects of UV-cut materials against sunlight under the Antarctic ozone hole, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 97, No. 6, pp. 1002-1009 (2012).
- 10) U. K. Laemmler, Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4, *Nature*, Vol. 227, pp. 680-685 (1970).
- 11) E. Kawano, S. Takahashi, Y. Sakano and D. Fujimoto, Nonenzymatic glycation alters properties of collagen as a substratum for cells, *Matrix*, Vol. 10, pp. 300-305 (1990).

【研究発表】

1. **Tetsuya Takahashi**, Takayuki Ogura, Keisuke Tanaka, Shunji Hattori, **Sakae Kudoh**, **Satoshi Imura**: Exposure of bovine dermal tissue to ultraviolet light under the Antarctic ozone hole, *Polar Science*, Vol.10, Issue 4, pp.511-518 (2016)
2. **Tetsuya Takahashi**, Takayuki Ogura, Keisuke Tanaka, Shunji Hattori, and Katsumi Yoshino: Use of Collagen Sheets Simulating Various Skin Types and Age Groups to Evaluate Human Skin Damage Caused by Ultraviolet Light, *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, Vol.67, No.7, 746-753 (2018)
3. **Tetsuya Takahashi**, Yoko Tsurunaga, **Sakae Kudoh**, **Satoshi Imura**, and Katsumi Yoshino: Statistical analysis based on meteorological data factors related to ozone hole generation in Antarctica, *Journal of the Society of Electrical Materials Engineering*, Vol.27, No.1, pp.27-37 (2018)
4. **高橋哲也**: 「解説」 シリーズ研究の動向 ヘルスケア関連の機能性繊維, *日本家政学会誌*, Vol.69, No.7, 548-556 (2018)
5. **高橋哲也**: コラーゲンシートを用いたヒト皮膚に及ぼす紫外線によるダメージ評価に関する研究, *日本繊維機械学会誌* (印刷中)

研究協力者参加者一覧

一般共同研究(平成30年度報告)		課題番号	28-42
研究課題名		南極の紫外線が生物に及ぼす影響に関する研究	
氏名	所属	職	備考
所内	伊村智	生物圏	教授
(極地研)	工藤栄	生物圏	准教授
小計	2名		
所外	高橋哲也	島根大学人間科学部	教授
(極地研以外)	麻生祐司	京都工芸繊維大学繊維系	准教授
小計	2名		
合計	4名		

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

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

※総研大生は「所外」として記入してください。

※行が不足する場合、適宜追加してください。

南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明

◎上野大輔 鹿児島大学大学院理工学研究科・助教
 角井敬知 北海道大学大学院理学研究院・講師
 嶋田大輔 慶應義塾大学商学部・助教
 (国立極地研究所)
 伊村 智 教授
 辻本 恵 研究員
 平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

実施内容

本研究は、研究が立ち後れており急務と考えられる、昭和基地沿岸・陸上環境の微小動物の多様性を解明することを目的として実施した。具体的には、過去の南極観測隊やその他研究プロジェクトを通じ採集され、国立極地研究所 (以下 NIPR) に保管してある様々な動物、または底質の液浸及び冷凍標本や試料から微小動物を抽出した。そして分類学的研究を経て、学術的価値の高いものについて記載を行った。動物の抽出は、研究期間である 3 年間、毎年 1 回一堂に会しワークショップ形式で行った。肉眼や実体顕微鏡を用いて比較的大きな動物を直接拾い出した後、ルドックス液を用いて更に微小な動物の抽出を行った。得られた動物標本は、研究代表者や共同研究者それぞれが専門とする分類群を中心に、各々の研究機関である鹿児島大学、北海道大学、および慶應義塾大学に持ち帰った後、光学顕微鏡や電子顕微鏡を用いて観察・分析を行った。

具体的な成果について

本研究で主な対象とした動物群は自然界においてバイオマス、種多様性ともに高いとされる線虫類 (線形動物門)、ゴカイ類 (環形動物門)、そして小型甲殻類 (節足動物門) である。

線虫については、第 56 次観測隊の採集した海岸堆積物から、3 未記載種を含む 5 目 8 科 12 種 (1,152 個体) の海産自活性線虫を見出した。これらの成果は 2016～2018 年に 3 件の学会発表を行い (日本動物分類学会第 53, 54 回大会, The Seventh Symposium on Polar Science)、*Oncholaimus langhovdensis* Shimada, Suzuki, Tsujimoto, Imura & Kakui, 2017 の新種記載と共に査読付き英文誌 *Species Diversity* にて公表した (Shimada et al. 2017)。また、2 未記載種の学術論文を準備中である。

ゴカイ類については、NIPR に収蔵されていた標

本に基づき、新種フジキブクレハボウキ *Flabegraviera fujiae* Jimi, Tsujimoto, Watanabe, Kakui & Kajihara, 2017 を新種として記載し (図 1)、標準和名フジキブクレハボウキを提唱した。また、既知種 *F. mundata* (Gravier, 1906) の再記載を行い、こちらには標準和名キブクレハボウキを提唱した。一連の成果は、2 件の学会発表を行い (日本動物分類学会 第 52 回大会, The Seventh Symposium on Polar Science)、査読付き英文雑誌 *Zootaxa* にて論文公表した (Jimi et al. 2017)。また、キブクレハボウキ類の形態観察中に、これまでハボウキゴカイ科のゴカイ類では報告のなかった骨片様構造を発見した。この成果については、1 件の学会発表を行い (The Eighth Symposium on Polar Science)、学術論文を準備中である。



図 1. 本研究プロジェクトの中で記載されたフジキブクレハボウキの背面図。採集後約 36 年を経て陽の目を見たことになる。

最後に甲殻類についてであるが、NIPR 収蔵標本であるゴカイ類の固定標本から、Herpyllobiidae 科および Nereicolidae 科カイアシ類を見出した (図 2)。このうち、1 未記載種および 1 既知種について分類学的検討を行い、2 件の国際学会において発表した (13th International Conference on Copepoda, The Seventh Symposium on Polar Science)。これらについては、現在学術論文を準備中である。また、NIPR に収蔵されているホルマリン標本および冷凍保存されていた魚類からは、2 種のナガクビムシ科寄生性カイアシ類が採集され、分類学的所属について現在検討中である。

このように本助成では、海産の微小および小型生物について多くの新種の発見や知見に乏しかった種の再発見を行うことが出来た。南極微小生物の潜在的多様性の高さを示す成果であり、また今後の研究の必要性を強く示唆していると考えられる。

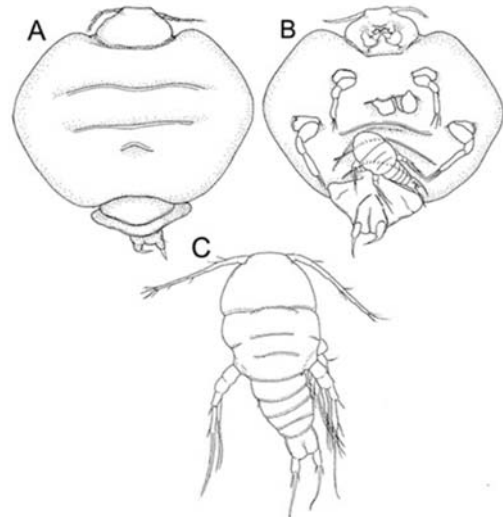


図 2. ゴカイ類の体表から見いだされた寄生性カイアシ類 *Selioides tardus* Gravier, 1912. 非常に珍しく、特に雄成体については初の記録となる。A, 雌成体背面。B, 雌成体腹面。C, 雄成体背面。

[研究発表]

Shimada D, Suzuki AC, Tsujimoto M, Imura S, Kakui K (2017) *Oncholaimus langhovdensis* sp. nov. (Nematoda: Enoplea: Oncholaimida), a new species of free-living marine nematode from Langhovde, Dronning Maud Land, East Antarctica. *Species Diversity* 22: 151–159.

Jimi N, Tsujimoto M, Watanabe K, Kakui K, Kajihara H (2017) A new species and the shallowest record of *Flabegraviera* Salazar-Vallejo, 2012 (Annelida: Flabelligeridae) from Antarctica. *Zootaxa* 4221: 477–485.

細菌が長鎖多価不飽和脂肪酸を合成するのは嫌気環境への適応か？

◎吉田 磨仁 北海道大学 地球環境科学研究所・助手
 黒沢 則夫 創価大学 工学部環境共生工学科・教授
 (国立極地研究所)
 伊村 智 教授
 平成 29 年～平成 30 年 (2 年間)

[研究成果]

背景

細菌は、深海から温泉まで、地球上のいたるところに生息し、厳しい環境であっても細胞の生化学的性質を適応させ、進化してきた。ある種の細菌は、エイコサペンタエン酸(EPA)やドコサヘキサエン酸(DHA)などの長鎖多価不飽和脂肪酸(LC-PUFA)を合成する能力を持っていることが知られている。これら LC-PUFA も細菌の環境適応に役立っているのではないかと考えられるが、はっきりとしたことは不明である。LC-PUFA を産生する細菌の多くは海洋性の通性嫌気性細菌で、海洋動物の腸内や海底土壌、深海などといった比較的酸素濃度が低い環境に生息している。このことから、LC-PUFA 産生能は嫌気的環境への適応なのではないかという仮説を立てた。そこで、この仮説を検証するために、まず、大腸菌をモデルに調べることにした。大腸菌は本来、LC-PUFA を合成する酵素は持っていないが、好冷細菌 *Moritella marina* の DHA 合成酵素遺伝子を導入することで DHA を合成させることができる。この株を用いて、DHA の有無と増殖速度の関係を好気的条件と嫌気的条件下で比較した。

材料と方法

用いた大腸菌系統はすべて DH5- α である。DHA 合成酵素遺伝子は *M. marina* MP-1 由来で、ベクター-pSTV29 に組み込んだものを使用した¹。DHA 合成酵素遺伝子群は *pfaA*, *pfaB*, *pfaC*, *pfaD*, *pfaE* の 5 つの遺伝子からなり、それぞれから発現したポリペプチドが複合体を形成し、酵素活性を発揮すると考えられている。これら 5 つの遺伝子を組み込んだプラスミド pDHA4 を導入した大腸菌は DHA を合成する能力を獲得する。一方、プラスミド pDHA3 は、*pfaE* 遺伝子を欠くため、このプラスミドを形質転換した大腸菌は DHA を合成することができない。

好気培養用培地には LB 培地を使用した。嫌気培

養用培地には、LB 培地に電子受容体として 20 mM NaNO₃、還元剤として 0.03% Na₂S、0.03% Cys-HCl、酸化還元指示薬として 0.0005% レサズリンを加えた。

大腸菌の増殖は分光光度計を使い、波長 600nm の吸光度を測定することでモニターした。増殖速度は次のように求めた。培養時間に対して、対数変換した培養液の吸光度をプロットし、傾きを最小 2 乗法により求め、比増殖速度とした。

大腸菌は培養後、菌体を遠心分離により回収し、凍結乾燥した。乾燥菌体を塩化アセチルによりメタノリシス処理した後、生成された脂肪酸メチルエステルをヘキサンで抽出し、ガスクロマトグラフィーにより分析した。

結果

好気培養での比増殖速度は、いずれの培養温度でも pDHA4 系統の方が有意に高かった(図 1 左)。次に、pDHA4 系統の各培養温度での DHA 含有率を調べたところ、15°C と 20°C でのみ DHA が産生されており、25°C 以上では DHA は検出されなかった(表 1)。

表 1 好気培養における pDHA4 系統の DHA 含量率

Temperature °C	DHA content % of DCW
15	0.020
20	0.008
25	0.0

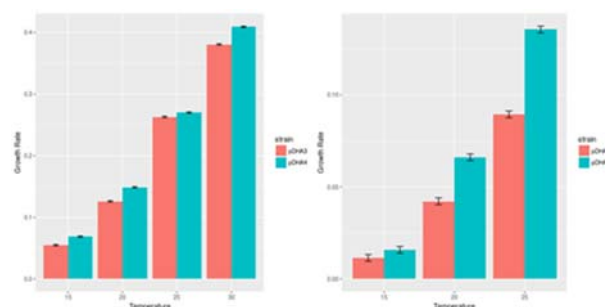


図 1 各温度での比増殖速度の変化 右は好気培養、左は嫌気培養。赤は pDHA3、青は pDHA4 を示す。

嫌気培養での比増殖速度は、好気培養のときと同様に、いずれの培養温度でも pDHA4 系統の方が有意に高かった(図 1 右)。ところが、嫌気培養ではどの温度で培養した場合でも、DHA は全く検出されなかった。

考察

DHA と増殖速度の関係

pDHA4 系統は好気条件であっても嫌気条件であっても、また、DHA 産生の有無に関係なく、いずれの温度でも、pDHA3 系統よりも高い比増殖速度を示した。つまり、観察された、pDHA4 の比増殖速度の増加は DHA によるものではないといえる。ただし、嫌気条件では pDHA4 系統で DHA 産生がみられなかったことから、嫌気条件での、比増殖速度に対する DHA の効果があるかどうかは今回の実験からは明らかにすることはできなかった。

増殖速度の違い

いずれの条件でも pDHA4 は高い比増殖速度を示したが、考えられる理由のひとつは、*pfaE* 遺伝子が pDHA4 にのみ存在することである。*pfaE* 遺伝子は、DHA 合成の基質であるアセチル CoA のアセチル基を acyl-carrier-protein (ACP) に転移する phosphopantetheinyl transferase (PPTase) 酵素をコードしている。発現したこの酵素によって脂肪酸代謝が活性化し、比増殖速度が上昇したのかもしれない。

温度依存的な DHA の産生

pDHA4 系統は、好気条件の 15°C および 20°C で DHA を合成したが、25°C 以上では合成されなかった。DHA の温度に依存した合成機構が酵素自体の性質なのか、*pfa* 遺伝子の転写レベルでの調節なのかはわかっていない。

嫌気培養での DHA 産生抑制

通性嫌気性細菌である大腸菌は、嫌気条件になると、全体の 3 分の 1 の遺伝子の発現が変化することが報告されている²。この転写の転換は主に、fumarate and nitrate deduction regulator と aerobic respiration control AB によって調節されている³。嫌気条件で DHA が合成されなかったのは、今回用いた *pfa* 遺伝子の由来となった *M. marina* と大腸菌とで、嫌気条件での代謝転換の機構が異なっていたためかもしれない。しかしながら、そもそも *M. marina* では嫌気条件で DHA は産生されているのかを、まずは、確かめるべきであった。

今後は、この点を明らかにした上で、嫌気条件での増殖と DHA の関係を調べる必要がある。また、*pfaE* 遺伝子を欠く pDHA3 を対照とするのではなく、pDHA4 に変異を入れた機能欠損型のプラスミドを対照とする方がよいだろう。また、*pfa* 遺伝子に変異を導入した *M. marina* の DHA 欠損株を作出し、嫌気条件での増殖を調べることで、DHA の細胞生理学的機能を明らかにできると期待される。

[参考文献]

1. Orikasa, Y. *et al.* *pfaB* products determine the molecular species produced in bacterial polyunsaturated fatty acid biosynthesis. *FEMS Microbiol. Lett.* **295**, 170–176 (2009).
2. Darwin, A. J., Ziegelhoffer, E. C., Kiley, P. J. & Stewart, V. Fnr, NarP, and NarL regulation of *Escherichia coli* K-12 *napF* (periplasmic nitrate reductase) operon transcription in vitro. *J. Bacteriol.* **180**, 4192–4198 (1998).
3. Shalel-Levanon, S., San, K.-Y. & Bennett, G. N. Effect of ArcA and FNR on the expression of genes related to the oxygen regulation and the glycolysis pathway in *Escherichia coli* under microaerobic growth conditions. *Biotechnol. Bioeng.* **92**, 147–159 (2005).

[研究発表]

該当なし

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（5）極 地 工 学

組込技術を用いたインタラクティブ展示に関する研究

◎日本大学理工学部・教授 伊豆原月絵

(国立極地研究所)

極地工学 助教 菊池雅行

平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

1. はじめに

筆者は、学芸員養成課程の教員として、学芸員の資格取得のための教育を担い、大学博物館においては、博物館の資料保存や博物館展示の企画運営を行っている。博物館の役割は、資料を収集し、保存し、その資料を展示して、社会教育を担うことであるが、現状では、多くの博物館における学習が、活発に行われているとは言い難い。そこで、筆者らは、博物館における教育プログラムに、国立極地研究所が培ったさまざまな優れた技術を用いて、博物館の教育を活性化し、インタラクティブな展示を試みた。

2. インタラクティブ展示

博物館は、生徒、児童および青少年と成人の社会教育に役立てることを目的としている。現代では、資料を静的に展示するだけでなく、動的な展示が求められ、来館者の自ら学ぶ意欲を促す工夫が求められている。この学ぶ意欲を促す方法の一つに、来館者が体験する、ハンズオン展示は、高く評価され推奨されている。また、近年は、デジタルコンテンツによるインタラクティブな展示による博物館の活性化が求められ、Virtual Reality (VR) や Augment Reality (AR) ,Mixed Reality(MR)など、映像を用いた展示の試みが行われている。

3. 目的

本研究では、国立極地研究所がもつ観測機制御技術を博物館展示に応用する方法について検討し、極地研究所の観測装置の制御に用いられる組込技術を用いて展示に活かすことを目的とする。

4. インタラクティブ展示の制作と実施

本研究では、ハンズオンによる体験型展示により、来館者自ら能動的に学び、かつ来館者と博物館側の双方向の交流を目的とした「組み込み技術」を用いたインタラクティブな展示を制作した。

本研究では、LEDを点灯させる、音声を発するなど、センサーに反応するインタラクティブな展示を実現すべく試験を行い、センサーとアクチュエーターをつなぐ制御技術の応用による試作を進めた。

センサーに反応するインタラクティブな展示は、特に低年齢層への訴求力が強いことから、展示の際には、音声や文字は、小学校低学年で理解できる内容を考慮した。

4.1 LED ライトの点灯の応用

国立極地研究所の菊池が、日本大学理工学部の学芸員養成課程の有志メンバーに、組み込み技術について講習会を数回実施し、指導を行った。理工学部の学生は、組み込み技術の基礎を習得し、この技術を用いて博物館の展示品を制作した。

表1 評価実験の実施日および実施人数

試験日	平成29年11月3日、5日
会場	日本大学理工学部（船橋キャンパス）
被験者数	570名

4.2 クイズ形式の教育プログラムの作成

本研究では、低年齢者向けのクイズ形式による教育プログラムを作成した。

クイズの解答は、LEDライトをライン上に点灯させ、そのラインの動きにより、正解か否かの答えを待つクイズ形式の展示パネルを作成した。

日本大学理工学部の文化祭には、毎年、伊豆原が指導する学芸員養成課程の特別展示が開催されるが、平成29年の展示は、タイトルを「南極実験室」とし、南極の自然と生き物、ブリザード体験や南極の星空、南極クイズなど、体験型科学館を開催した。南極クイズは計4種類作成し、スイッチボタンは、強く押し、幾度もボタンを押し続ける動作をする子どもの特性を考慮し、耐久性の高いゲーム機器用のボタンを選択し、クイズは他の展示と関連させた。

4.3 評価実験結果

2日間で、570名の来場者に体験してもらい、評価実験を行ったが、インタラクティブな展示は人気が高く、正解を求めて、展示室内の展示を確認し、知識を得てから再度クイズに挑む子どもたちも多くみられ、教育効果が高いこともわかった。予想以上に大人も楽しみ、SD法による5段階評価では、5点が80%、4点が20%と、全ての被験者から高い評価を得られた。



図1.クイズ形式のパネル 図2 展示ポスター

4.4 音声案内の作成

音声センサーを用いて、館内の入り口の自動ドアに連動したご挨拶および道案内の音声案内を作成した。設置場所など、人体感知センサーモジュール(PIRセンサー)の波形を測定値から、安定した領域を確定した。また、取り付けや故障の面を考慮して、人感センサーを用いた。



図3 ご挨拶ペンギン 図4 南極模型、奥クイズ

おわりに

国立極地研究所のもつ制御技術を応用した博物館展示は、来場者の子どもたちへの教育効果が高く有用であったが、また、本研究に参加した理工学部の大学生の教育にも大きく貢献し、まさに国立極地研究所で培った観測機器の制御技術の応用は、社会教育に活かされたといえる。

[参考文献]

- 1) 今井亜湖,ゼオースキ・スペンス; .RFID を用いたインタラクティブ展示の開発と評価, 日本教育工学会研究報告集, 2010.5(2010): p 209 - p 214.
- 2) 矢谷浩司,大沼真弓,杉本雅則,楠房子; 博物館における PDA を用いた協調学習支援システム, 電子情報通信学会論文誌, 2003.10, Vol.J-86, No.10, p773 - p 792.

[研究発表] 準備中

(別紙) 研究協力者

参加者一覧

平成 30 年度現在

酒井信康 日本大学工学部大学院 理工学研究科 電気工学専攻修了 学芸員課程修了

岡庭拓也 日本大学工学部大学院 理工学研究科 建築専攻 1 年 学芸員課程修了

櫻本篤朗 日本大学工学部 電気工学科 学芸員課程 4 年

今西涼太 日本大学工学部 電気工学科 学芸員課程 3 年

秋山慶樹 日本大学工学部 電気工学科 学芸員課程 3 年

安福紘大 日本大学工学部 航空宇宙工学科 学芸員課程 3 年

防水型極地回収気球搭載回路の開発

◎森本真司 東北大学大学院理学研究科・教授
 菅原 敏 宮城教育大学教育学部・教授
 石戸谷重之 国立研究開発法人産業技術総合研究所・主任研究員
 (国立極地研究所)
 菊池雅行 助教
 平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

はじめに

従来南極で用いられてきた成層圏大気採取システム(回収気球)のコントローラ部は、着水時の海水侵入により再利用できなくなる場合が多いという問題があった。また、テレメーターが途切れた状況でも、コントローラ部や大気採取システムの工学的情報をフライトレコーダのように取得し、後日飛行環境や大気採取システム動作等の解析を行いたいというニーズがある。そこで制御部分を防水設計とし着水時の浸水を防止するとともに、飛行記録・工学的情報をマイクロ SD カードに保存可能なコントローラの設計を行った。

防水容器の検討

防水機構を考える際には、気密型と等圧防水型が考えられる。気密型は内部環境を地上気圧と同じに保てるため、減圧環境に弱い素子があっても対応可能である。反面、壁面の耐力を得るために重量がかさむこと、コネクタ部分の気密設計に特段の注意が必要となるため、重量・コスト共に増加する傾向がある。



図 1 気密型ケースの例

一方、等圧型は筐体の強度は気密型に比較して強固である必要はないが、低圧動作ができない部品がある場合には問題となる。半導体やディスクリット部品は、すでにこれまでの回収気球実験によって成層圏高度(高度 30km)における気圧下での動作実績

がある。一方、円筒型リチウム電池の防発火用安全弁は 4.0MPa～ 4.5MPa での動作が義務付けられているため[1]、成層圏における 1 気圧差(～1000 hPa)での運用は問題が無い範囲である。以上のことから防水機構は等圧防水型とし、ケース内外の気圧差を解消するための半透膜栓(防水調圧メッシュ)をケースに付加することにする。この場合、気圧モニター用のセンサーをケース外に出す必要がなく基板上に配置可能となる。

CPU の検討

これまで気球搭載コントローラ(旧型コントローラ)に採用していたルネサステクノロジ製の CPU、M16C/62P のソフトウェア開発には、商用のコンパイラ及び μ ITRON を利用していた。このため第三者機関と共同して開発を行う場合、全ての機関に商用ツールが必要であった。今回は開発コストを考慮して無償の開発環境を使用することにし、ファイル IO 等の API が豊富な上、リアルタイムタスク制御が設計しやすい Free RTOS 上に ARDUINO が移植された ARM 系 CPU を採用した。ARM 系 CPU は消費電力が 1mA 以下であることから、基板上に配置したリチウムコイン電池(CR2354, 3V, 560mAh)で、気球打ち上げ前の搭載コントローラ動作開始からフライト終了までの必要電力を 20 日程度賄うことが可能である。

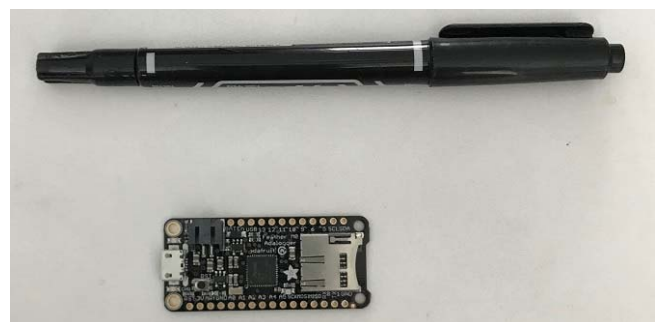


図 2 ARM を搭載した CPU ボードの例

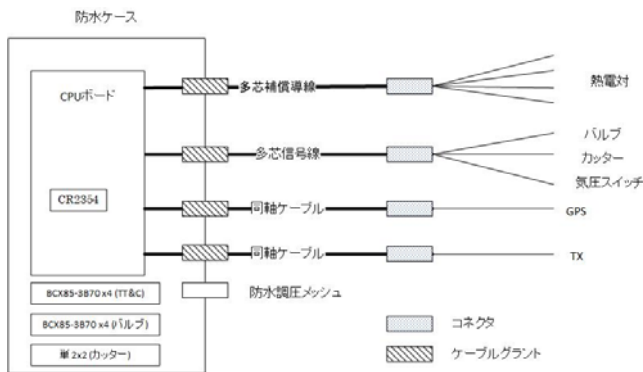


図3 全体構成

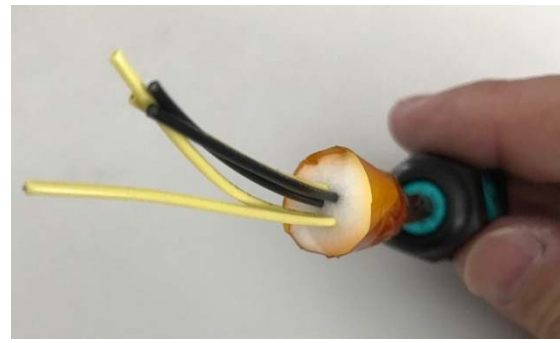


図4 ケーブル端の加工例

センサーと配線シーリング方法の検討

旧型コントローラでは、温度センサーとして、測定点まで電源を供給して温度・電圧変換を行う半導体センサーを用いていた。このためセンサーまで3本の配線が必要であり、配線作業が煩雑になる傾向があった。本システムでは温度センサーに熱電対を採用し、コントローラとしてI2Cインタフェースを持つ熱電対用ICを用いることで、測定チャンネル数の自由度確保と配線量の低減を図る(図3)。熱電対の配線は、外被覆を持つ多芯の補償導線を用いる。シーリングはコネクタ部ではなく、多芯ケーブルの外被覆とケーブルグラントを用いて行う(図4)。

等圧防水機構を用いた場合、ケーブル端とケース内の気圧差は理想的にはゼロであるため、ケーブル端からの気圧差による海水の吸引は少ないと考えられる。ただしケーブル同士の隙間から毛細管現象により海水が浸潤する可能性はあるため、ケーブル端はスポンジ・吸水材を通して固着するなどの対策が必要となる(図4)。

電源の検討

CPU用の電源は、大気採取システムに使用している空気圧差動弁用アクチュエータの動作時に発生

[参考文献]

[1] 平成23年度第3次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業「高張力鋼板による防爆安全弁付大容量Liイオン2次電池缶の成形技術の開発」 研究開発成果等報告書 H24年12月、財団法人奈良県中小企業支援センター

する急激な電池電圧降下から保護するため、基板上に設置した別系統のリチウム電池から取得させる。また、送信機を含むテレメータ、アクチュエータ系と、大気採取終了後に気球を切り離すためのカッターには、それぞれ独立した電池を持つこととする。

結論

以上の検討により、防水性を備え、かつ飛行・工学的情報を記録可能な新型搭載コントローラを低コストで実現することが可能であると考えられる。ケーブルグラントを用いた防水方法は安価で簡易な方法ではあるが、防水コネクタを用いる方法に比較すると現場での作業性は劣る。電気信号用の防水コネクタは比較的容易に入手可能であるが、補償導線用の防水コネクタの入手性は現時点では悪い。この入手性が改善すれば、ケースに直接コネクタを設置する方法が良い。

今回の研究期間では試作と評価試験には至らなかったが、引き続き開発を進め、次回の南極上空成層圏での大気サンプリング実験に向けて実用化を進める予定である。

雪上車および橇による内陸輸送力強化に関する基礎研究

◎香川 博之 公立小松大学生産システム科学部・教授
 (国立極地研究所)
 菊池 雅行 助教
 平成28年～平成30年(3か年)

[研究成果]

本研究では、雪上車と橇による内陸輸送を想定して、まず牽引方法や橇列構成について検討を行った。1台の雪上車が4台の橇を牽引する橇列を、**図1**に示すように質量 M_0 の雪上車に質量 $M_i(i=1\sim4)$ の橇がばね定数 k_i で直列接続されている質点運動のモデルに置き換える。**図2**に示すように i 番目の橇の位置を X_i とし、前方からの牽引力を F_i 、後方からの牽引力を F_{i+1} 、雪面から橇に作用する動摩擦力を $\mu_i M_i g$ 、速度抵抗力を $C_i X_i$ とする。ここで、雪面と橇の間の動摩擦係数を μ_i 、粘性抵抗係数を C_i とする。また、 $i=0$ は雪上車を表すものとする。雪上車については、摩擦力は推進力 F_0 に加算して考えることができるため、 $\mu_0=0$ とする。内陸輸送時の橇列はほぼ直線上を運動すると考えられるため、以下の運動方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \text{雪上車: } M_0 \ddot{X}_0 &= F_0 - F_1 - C_0 \dot{X}_0 & (1) \\ \text{橇: } M_i \ddot{X}_i &= F_i - F_{i+1} - (\mu_i M_i g + C_i \dot{X}_i) & (2) \end{aligned}$$

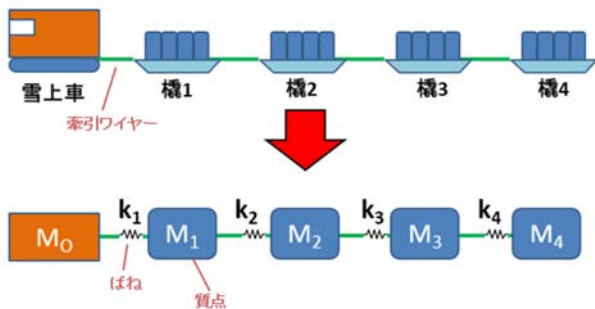


図1 橇列のモデル

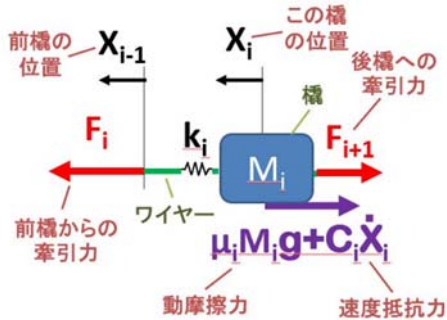


図2 橇の作用力

牽引ワイヤーの長さを L_i とすると牽引力は、

$$F_i = k_i(X_{i-1} + X_i - L_i) \quad (3)$$

橇の位置によってワイヤーがたるみ牽引力を伝達できないため、 $L_i > X_{i-1} - X_i$ のとき $k_i=0$ とする。

橇が静止すなわち $\dot{X}_i=0$ のとき摩擦力は作用しないため $\mu_i=0$ とする。また、橇が後退すなわち速度 $\dot{X}_i < 0$ のとき摩擦力の作用方向が逆転するため μ_i の符号を負にする。

作成したモデルにより**表1**、**表2**に示す諸元を仮定して解析を行った。なお、橇の質量は、橇列の総質量を一定にして前後の配分を種々変えた。また、牽引ワイヤーも2種類用意して種々組合せを変えた。

橇の質量を2000[kg]一定に配分し、**図3**に示すように牽引ロープの組合せを変えて解析した結果例を**図4**に示す。橇の初期位置は、牽引ロープが0.5mたるむようにした。なお、この例は雪上車が速度7[km/h]一定で走行するものとした。

表1 雪上車と橇の諸元

種類	M_i [kg]	μ_i	C_i [Ns/m]
雪上車	11500	—	200
橇	500 ~ 3500	0.2	2000

表2 牽引ワイヤーの諸元

種類	L_i [m]	k_i [kN/m]
ソフトカーロープ	1.5	9.33
スチールワイヤー	2.5	122

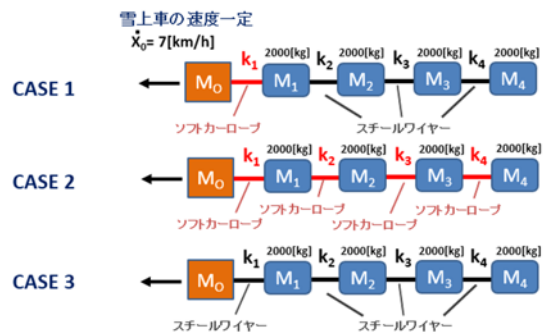
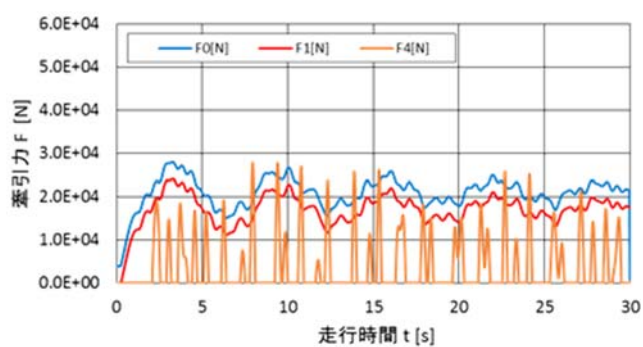
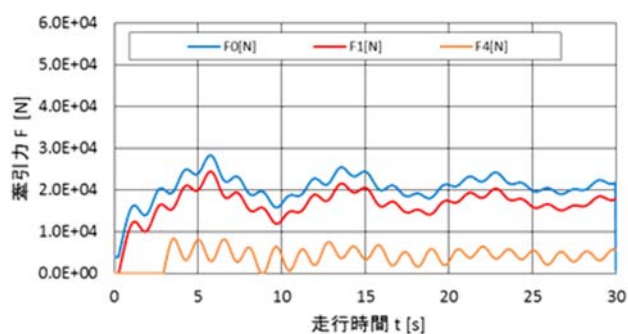


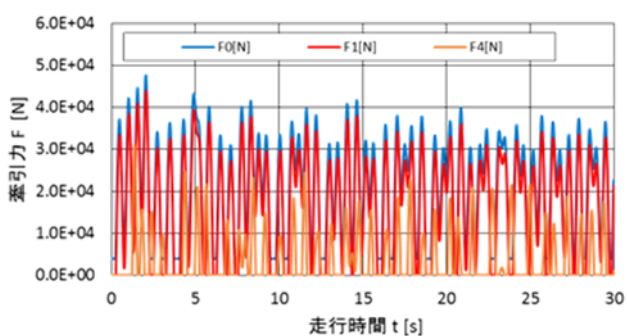
図3 牽引ワイヤーの組合せ



(a) CASE 1



(b) CASE 2



(c) CASE 3

図4 解析結果の例（牽引ワイヤーの影響）

図には雪上車の推力 F_0 、1 番目櫓の牽引力 F_1 、4 番目櫓の牽引力 F_4 を示している。 F_2 および F_3 は F_4 によく似た挙動を示すが、図が煩雑になるため省略した。

CASE1 は内陸輸送で現在採用されている組合せで、1 番目櫓のみソフトカーロープを接続したものである。すべてをソフトカーロープにした CASE2 と比較して、 F_1 はそれほど大きな差はなく、雪上車への負荷もほぼ同程度になることがわかる。これに対して、 F_4 は CASE1 の変化が激しく荷への衝撃や振動の負荷が大きくなっている。すべてをスチールワイヤーにした CASE3 は、すべてにおいて牽引力変化が激しくなり、荷だけでなく雪上車に対しても負荷が大きくなっている。ここでは省略するが、各 CASE においては、牽引力の平均値は前側ワイヤーほど大きくなるが、変動の幅はほぼ同じで位置の景況はあまりなかった。

図3の CASE1 のときに、雪上車のアクセルワークを一定にする、すなわち推力 F_0 を $20[\text{kN}]$ 一定で走行する場合の解析を行った。牽引力は図5のようになり、アクセルワークを行う速度一定の場合（図4(a)）と比べ、牽引力の様相はそれほど大きく異なることがわかる。

ここで、すべてにソフトカーロープを使い牽引力変動が最も小さい CASE2 について、櫓の質量配分を変えて解析を行った。その結果、図6に示すような2種類の場合の牽引力変動が小さくなった。その牽引力を図7に示す。

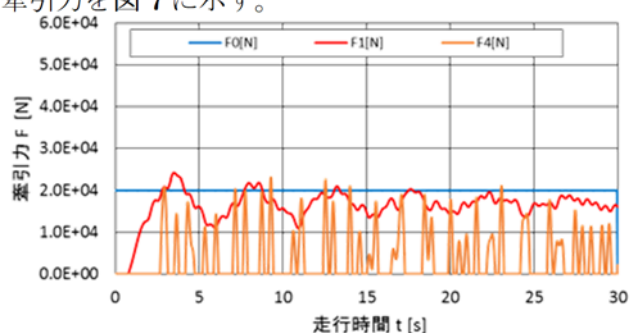


図5 解析結果例（推力一定の場合）

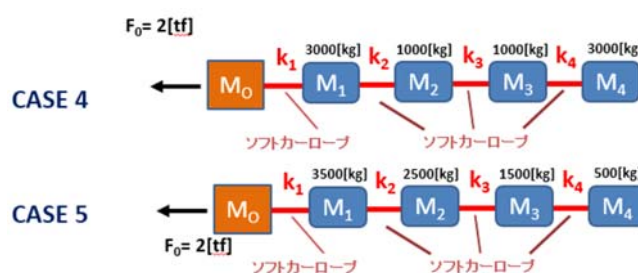
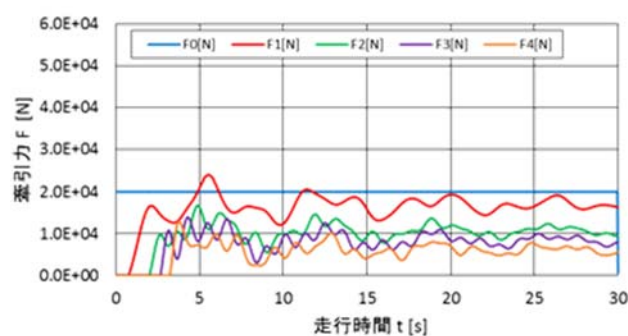
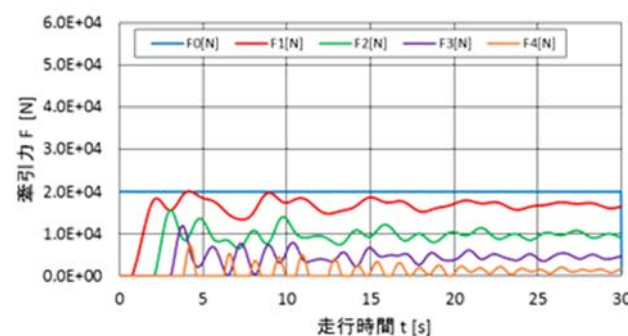


図6 櫓の質量配分を変化させた場合



(a) CASE 4



(b) CASE 5

図7 解析結果の例（櫓の質量配分の影響）

図7により、橇列における橇の質量配分を変えることで、同じ質量の物資を輸送する場合においても、牽引力の平均値やその振れ幅を小さくさせることができることがわかった。

ここでは省略するが、橇牽引を開始する雪上車の初期走行速度が大きいと、牽引ワイヤーから雪上車の駆動系に大きな衝撃力が作用し、重大な故障を引き起こす可能性があることも明らかになった。

次に、橇の滑走部形状の影響について検討を行った。以上の解析では動摩擦係数を一定としたが、この値は走行する雪面状態に大きく影響を受ける。特にドームふじ基地周辺にある軟雪地帯では、走行面の雪密度が小さく、橇の滑走部が雪面に深く沈み込むため、摩擦力に加え押し込み抵抗力が加わり牽引抵抗が増加する。したがって、その牽引抵抗力を橇の重量で除した値、すなわち見かけの動摩擦係数 μ_i が大きくなる。

報告者はこれまでに雪面硬度⁽¹⁾⁽²⁾や雪面摩擦⁽³⁾等について実験により検討を行っている。そこで、橇の滑走部形状をモデル化し、滑走部の沈込み深さ（押し込み深さ） z_0 や牽引抵抗力（牽引力） R の推定を試みた。 R には摩擦力も含めて考えることにした。

本研究では、2t木製橇を想定し、滑走部形状として図8に示すように先端半径 r に長さ L の直線状の平行部（雪表面に対して平行）をもつランナーを仮定した。2t木製橇には同じ幅 $B=0.25[m]$ をもつ2本のランナーが取り付けられているとし、橇質量 M を3000[kg]と仮定した。押し込み抵抗力の算出方法は参考文献⁽²⁾に準ずるがここでは詳細を省略する。

橇質量 M 、滑走部の長さ L 、先端半径 r を変えて

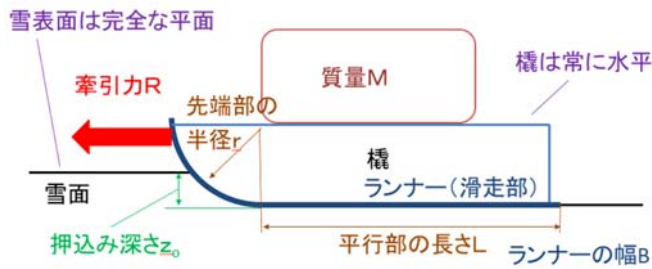


図8 橇の滑走部形状のモデル

[参考文献]

- (1) 山田秀人・伊藤智季・小野里優志・香川博之・仁木國雄・阿部修：円すい圧子による雪面硬度測定と押し込み後の積雪構造の観察、日本機械学会年次大会講演論文集、(2012)、G230012、pp.1-5.
- (2) 橋本祐人・早崎陸・香川博之・仁木國雄・阿部修：雪面硬度とスキー滑走痕の形成、日本機械学会年次大会講演論文集、(2015)、J1020106、pp.1-5.
- (3) 早崎陸・榊原史貴・橋本祐人・香川博之・茂原論・仁木國雄・阿部修：スキー用ポリエチレンの雪面摩擦特性、日本機械学会年次大会講演論文集、(2015)、J1020107、pp.1-5.

[研究発表]

現在のところ南極設営シンポジウム以外になし

各図には、雪密度 ρ が比較的小さい180、200、220、推定した結果の例をそれぞれ図9、10、11に示す。240[kg/m³]の場合について示している。これらより、 ρ が小さいほど必要な牽引力すなわち牽引抵抗力が大きいことがわかる。また、橇質量が大きく、滑走部長さが短く、先端半径が小さいほど牽引抵抗力が大きいことも示した。

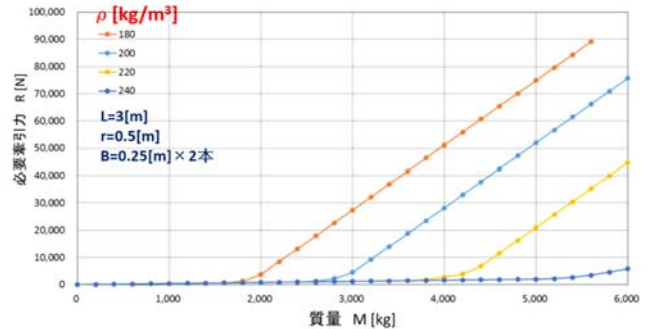


図9 推定結果の例（橇質量の影響）

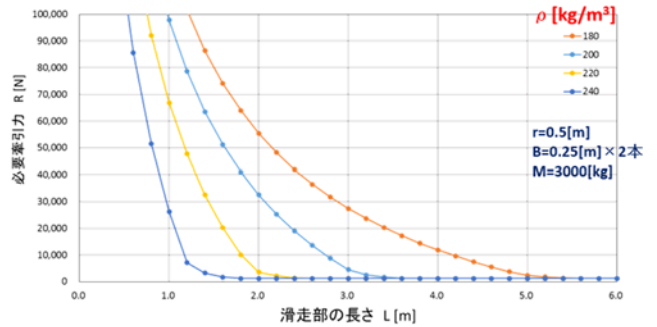


図10 推定結果の例（滑走部長さの影響）

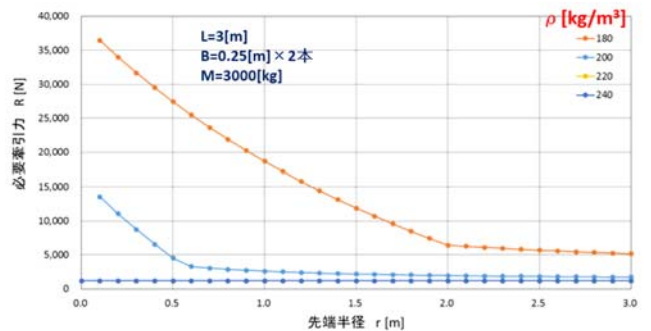


図11 推定結果の例（先端半径の影響）

新内陸基地建設に向けた物資輸送計画の検討

◎横山宏太郎 農業・食品産業技術総合研究機構・フェロー
 (国立極地研究所)
 菊池雅行 助教
 石沢賢二 技術職員
 平成 28 年～平成 30 年 (3 年)

[研究成果]

1. はじめに

南極観測第Ⅸ期 6 年計画の設営計画には、「内陸での観測活動の展開に備えた輸送能力向上の検討」がうたわれている。これは、大量の物資輸送が必要と考えられる、第Ⅹ期以降の新内陸基地建設を視野に入れたものである。JARE では、ドームふじ深層掘削計画で約 500 トンの物資を輸送した実績はあるが、将来はさらに効率的な輸送方式が必要である。

本研究では、目的地をドームふじ付近と想定し、効率的な物資輸送を実現するための方策を検討することにした。

2. 旅行目的と車両

これまでの日本の観測隊の内陸旅行は、観測調査旅行の形態が主であり、車両もそれに適した車両を開発、使用してきた経緯がある。そのため、長距離・大量の物資輸送を必要としたドームふじ深層掘削計画では、長期間、多くの人員と車両、そりを投入することになった。しかし、観測隊の体制も次第に変化しており、越冬隊員の人数が減少していることから、旅行隊の人数も、活動期間も限られてくる。今後は、短期間に、少ない人員で、大量の物資を輸送できる方法が必要となる。それには、まず、旅行の目的として、観測調査旅行と物資輸送旅行を分けること、あるいは車両により観測と輸送を分業する

ことが必要と考える。

現在の主力車両である SM100 型雪上車は、観測調査には適しており、最近導入されている各種モジュールを組み合わせることで充分その役目を果たすと考えられる。一方で、物資輸送に適した車両としては、外国の実績を参考にすれば、大型の牽引用トラクターであろう。天候や雪面の条件のよい夏期に、大型牽引用トラクターを主力とする輸送隊を編成すれば、効率的な物資輸送が可能となる。

3. 昭和基地ルートの限界

現行の輸送システムである観測船「しらせ」と昭和基地には、内陸輸送に対して大きな制約がある。ひとつは、「しらせ」のクレーン容量が小さいこと、もう一つは大陸へ海氷を経由することである。このため、諸外国で使われているような大型トラクターの導入は当面不可能である。したがって、昭和基地ドームふじの輸送では、輸送力は現行の車両とほぼ同等として考えなければならない。仮に、毎年夏期に 1 回、SM100 型雪上車 5 台の輸送隊を編成しても、自走燃料をさし引くとドームふじまでの実質の輸送量は 2 トンそりにして 15 台程度である。けん引抵抗を小さくするような櫓の改良や、シートそりなどあたらしい発想のそりの利用などを考慮しても、昭和基地ルートを使う限り、輸送力の抜本的な向上は見込めないだろう。

輸送量を増やすには、デポ旅行も含めて旅行回数を増やす以外にないことは明らかであるが、越冬隊員の人数が減っている現状では、越冬中のデポ旅行実施は、相当困難と思われる。

参考に、第一期ドーム計画の輸送では、36次越冬開始までに輸送した重量は267.1トンである。実質の輸送はSM100が導入された33次から始まったとあってよい。SM100は35次で4台になるが、3台のブルドーザーや、SM50も使用し、各隊が越冬中にデポ旅行を行うなどの方策を講じたので達成できたものである。

4. 輸送力の向上にむけて

輸送力の大幅な向上は、現在のシステムでは難しいことを踏まえて、いくつかの可能性を上げる。

まず、大型トラクターの利用が可能とされる、ベルギー・プリンセスエリザベス基地を経由するルートが考えられる。ただし、ベルギー隊の協力、南極までの物資輸送などの問題は残る。燃料に限れば、パラドロップによる輸送も候補となろう。これらはすでに検討が進められているとのことであるので、期待したい。

昭和基地ルートでは、通常の観測隊とは別に、夏期に活動する輸送専門のチームを編成し、南極へは航空機で往復して現地活動日数をなるべく長くと

る。最近行われているルート整地によって一日の走行距離をどれくらい伸ばせるか、また車両整備にどれくらいの日数が必要となるか、といった未知数はあるが、S16-ドームふじ間を一往復にとどまらず、さらに輸送できる可能性はあるのではないかと。

そりについては、さきにふれたように、けん引抵抗を小さくする改良や、シートぞりの実用化などを通じて、輸送力向上への貢献を期待する。

5. おわりに

最先端の科学研究ではスピードも重要であり、南極も例外ではない。計画した研究を迅速に実施するには、またさらなる研究の高度化、生活条件の向上には、内陸に限らず、物資輸送力の向上が不可欠である。それには、日本から南極への輸送、つまりは観測船を含む将来の輸送体制を検討し、刷新していくことが必要ではなかろうか。

なお本研究では、2017年から18年に開催された「内陸輸送と設営方法検討ワーキンググループ」の委員として横山が討議に参加しながら、そこでの議論・情報を参考にした。関係者に感謝いたします。

【参考文献】 石沢賢二（2008）；米国・フランス・ドイツ及び日本の内陸トラバースの現状，
南極資料 Vol52, p 9- p 40

昭和基地～極地研間衛星回線の効率利用に資する南極観測データの高速伝送実験

◎村田健史 国立研究開発法人情報通信研究機構 ソーシャルイノベーションユニット 総合テストベッド研究開発推進センター・研究統括

(国立極地研究所)

岡田雅樹 准教授

菊池雅行 助教

平成 28 年～平成 30 年 (3 か年)

[研究成果]

The SteelHead provided by Riverbed [1] introduced a set of WAN acceleration devices (accelerators) at both ends of the satellite network to overcome the problem of the high latency of the network link. The SteelHead devices intercept TCP packet on the stream and convert the data packets to their own packets in order to accelerate the data stream on the long-distance satellite network. Using the WAN accelerators, the data transfer speed is improved in long distance networks and the maximum throughputs are as high as 3 Mbps on the INTELSAT satellite network. There are many Antarctica projects (connections) working on the INTELSAT satellite network operated by the NIPR. Each data transfer is carried out on each project server independently. The WAN accelerator is also in charge of QoS to allocate adequate bandwidth to each project. The SteelHead has its own QoS table, in which priorities of the projects are addressed. Fig. 1 shows a sample of the QoS table on the web page. The maximum and minimum throughputs are given to each project. The SteelHead first allocates bandwidth to each project according to the highest priority to the top project, and the project is able to occupy the bandwidth as high as given. The remaining bandwidth is used by next priority projects.

Another issue of the polar research projects via the INTELSAT satellite network is a bandwidth control. The TCP is a so-called best-effort protocol, thus it cannot intentionally control its own throughputs. Moreover, the TCP-based applications of each project conduct best-effort type data transfer. The SteelHead determines the

maximum and minimum bandwidths of each project, but it is not able to dynamically control throughput for each project, as shown in Fig. 1. The large amount of RTT, as large as 500 msec, makes it difficult to address adequate throughputs as well. Eventually, the total throughput obtained from many projects on the INTELSAT satellite network is hard to achieve the maximum bandwidth, 3 Mbps, and the unused bandwidth is often found as shown in Fig. 2. Note that the upper boundary is 3 Mbps, the wire-rate of the INTELSAT network. The color data in the top panel indicate the throughputs of data transfers with different priorities, while the residual empty space corresponds to the unused bandwidth. The bottom panel indicates the dropped data rates.

In this research, we present a technique to enhance the bandwidth utilization for the INTELSAT satellite network using our original high-performance and flexible protocol (HpFP) [2], which achieves throughput higher than 10 Gbps on long fat networks (LFNs) with packet loss. The HpFP is built on the top of user datagram protocol (UDP), but it is a connection-oriented and reliable stream-type protocol like UDP-based data transfer (UDT). To achieve high throughput on the network with high latency, a socket library working on user-lands, customization and optimization suitable for modern computers and networks are significant for applications. We introduce the algorithms of HpFP consisting of usage of network I/O (mitigation of overheads), application of multi-core CPU, optimization of both count and size of packets, as well as controls

and functions.

Service Policies							
Name	Realtime	Interactive	Business-Critical	Normal	Low-Priority	Best-Effort	Associated Sites
Large_Office	10-100% Reflect	10-100% Reflect	20-100% Reflect	50-100% Reflect	10-100% Reflect	0-100% Reflect	
Larger_Office	20-100% Reflect	20-100% Reflect	20-100% Reflect	20-100% Reflect	19-100% Reflect	1-100% Reflect	
Medium_Office	40-50% Reflect	20-30% Reflect	10-70% Reflect	10-90% Reflect	5-60% Reflect	1-20% Reflect	Default-Site
Small_Office	20-100% Reflect	20-100% Reflect	30-100% Reflect	20-100% Reflect	9-100% Reflect	1-100% Reflect	
Smaller_Office	1-100% Reflect	1-100% Reflect	40-100% Reflect	40-100% Reflect	17-100% Reflect	1-100% Reflect	

Shaping Parameters		Marking Parameters	
Realtime	Interactive	Business-Critical	Normal
40	20	10	10
60	30	70	90
80	50	80	20

Fig. 1 SteelHead’s service policies on the web page

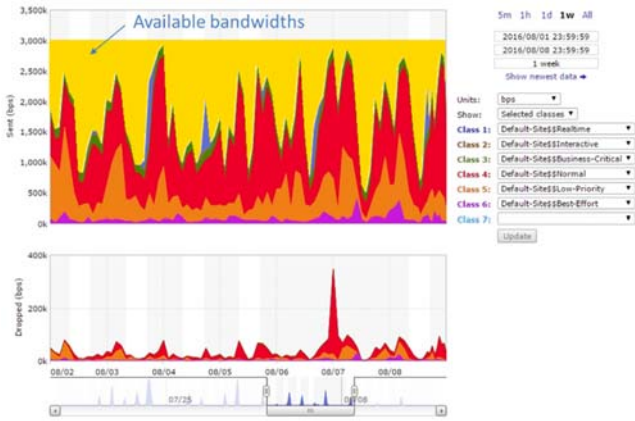


Fig. 2 Example of outbound QoS (traffic from Syowa station to the NIPR) for one week

We carry out the laboratory experiments to simulate the environment of INTELSAT satellite network between the Syowa station in Antarctica and the NIPR in Japan. Two servers with Intel® Core™ i7-980X CPU @ 3.33 GHz and 12 GB of memory running CentOS 6.8, which are a sender and a receiver, are connected through a 10 Gbps network emulator. The network emulator, H Series Anue Network Emulator, is able to generate latency and packet loss. Therefore, 500 msec RTT and no packet loss are set. A script describing *tc* command on both servers controls available bandwidths of network links. The given bandwidths are dynamically changed to simulate the available bandwidth in a real-time manner. The available bandwidths vary randomly from 100 Kbps to 3 Mbps with interval of 2 and 5 seconds, respectively.

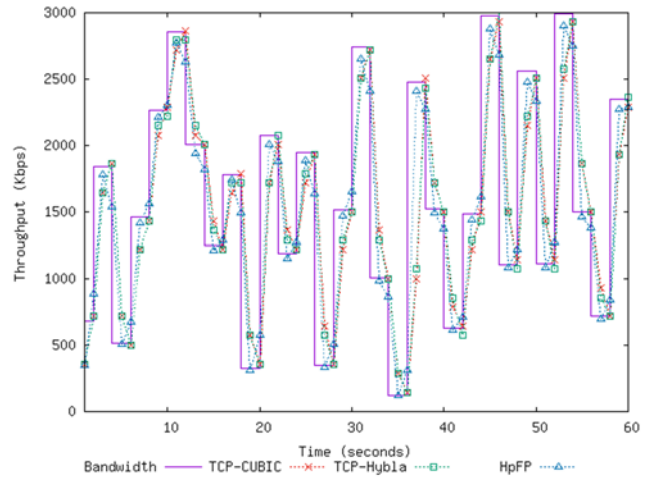


Fig. 3 Comparison of TCP-CUBIC, TCP-Hybla, and HpFP under the situation with the changing interval of the available bandwidths in every 2 seconds

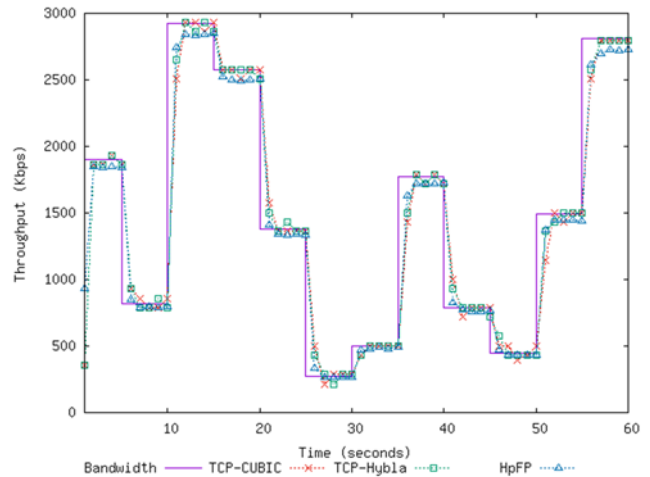


Fig. 4 Comparison of TCP-CUBIC, TCP-Hybla, and HpFP under the situation with the changing interval of the available bandwidths in every 5 seconds

Figs. 3 and 4 show the comparison of the TCP-CUBIC, the TCP-Hybla, and the HpFP under the situations with the changing interval of the available bandwidths in every 2 and 5 seconds, respectively. All of the protocols have a similar behavior in relation to the effects of the change of the available bandwidths. Both the TCP-CUBIC and the TCP-Hybla are able to catch up with the change of available bandwidths, since there are no packet loss in our experiments. For the network with high latency, when the available bandwidth decreases significantly, this may cause the packet loss due to buffer overflow. However, in our

experiments, the buffer size is enough to accommodate the throughput of the TCP flows (the maximum throughput of 3 Mbps). Based on the results shown in Figs. 3 and 4, the HpFP outperforms both the TCP-CUBIC and TCP-Hybla. The throughputs of HpFP catch up with the change of available bandwidth faster than those of the other protocols. The reason is that the target throughput of the HpFP, which is calculated based on the internal target throughput for pace control of sending packets under the network conditions, is more precise than those of the others. Note that the TCP-Hybla outperforms the TCP-CUBIC since it performs well in the satellite networks.

Table 1 shows the followability of the TCP-CUBIC, the TCP-Hybla, and the HpFP under the situations with the changing intervals of the available bandwidths. Obviously, the followability of HpFP is less than those of the other protocols.

It indicates that the HpFP has the percentage of the errors for catching up with the change of available bandwidths less than the others. In other words, the HpFP is able to effectively fulfill the available bandwidths. It should be noted that the followability increases as the changing interval of the available bandwidths decreases.

Table 1. Comparison of followability of TCP-CUBIC, TCP-Hybla, and HpFP

Changing interval	Followability (%)		
	TCP-CUBIC	TCP-Hybla	HpFP
2 seconds	15.4	14.4	11.9
5 seconds	7.5	6.3	4.5

[参考文献]

- 1) “SteelHead WAN optimization,” [Online], Available: <http://www.riverbed.com/gb/solutions/wan-optimization.html>, 2016.
- 2) K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, Y. Nagaya, T. Mizuhara, A. Takaki, K. Muranaga, E. Kimura, T. Ikeda, K. Ikeda, and J. Tanaka, “A Quality Measurement Tool for High-Speed Data Transfer in Long Fat Networks,” 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2016), Sep. 2016.

[研究発表]

P. Pavarangkoon, K. T. Murata, M. Okada, K. Yamamoto, Y. Nagaya, T. Mizuhara, A. Takaki, K. Muranaga, and E. Kimura, “Bandwidth Utilization Enhancement Using High-Performance and Flexible Protocol for INTELSAT Satellite Network,” 7th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON 2016), Oct. 2016.

1. 当該共同研究に関する研究発表について、可能な限りすべての学会誌名等を記入してください。（口頭発表については、原則として省略する。）
2. 参考文献、研究発表を行った学会誌名等を英文表記する場合は左右2列にする必要はありません。
3. 研究協力者（共同研究者ではない参加者。大学院生等）については、（別紙）参加者一覧に記載し、報告書に添付してください。

南極観測隊員の極地におけるリスクへの意識とリスク感受性の把握

◎村越真 静岡大学教育学部・教授
 (国立極地研究所)
 菊池雅行 助教
 平成 29 年～平成 30 年 (2 年間)

[研究成果概要]

59 次隊隊員に対して、リスクへの意識とリスク感受性を把握する調査を行った。また、承諾を得た隊員からは面接による聞き取り調査を行った。特に 59 次観測隊に同行し、①しらせ内で KYT 写真を使った安全教育の試行、②現地でのリスクをどのように感じているかを、現場で撮影されたビデオ等を見ながら聞き取りを行った。その結果、①58 次隊の知見がほぼ確認された。すなわち、リスクに対する意識では「南極リスクの脅威」、「南極リスクへの効力感」の 2 因子が得られた。発生可能性が場所に依存するクレバス、タイドクラック、ウィンドスクープに対して、未経験者は経験者より発生場所を過剰に考えていた。②同じ光景を見ても、それが回避すべき危険だと感じる程度は個人差が大きいこと等の知見が得られた。これらはリスク認知という点で興味深いとともに、将来の安全教育の基礎的資料が得られた。

対して、過剰にリスクを想定する傾向にあると言える。またその傾向は出発直前には低下していた。これは訓練によってリスクの分布についての知識が蓄積された結果だと解釈された。

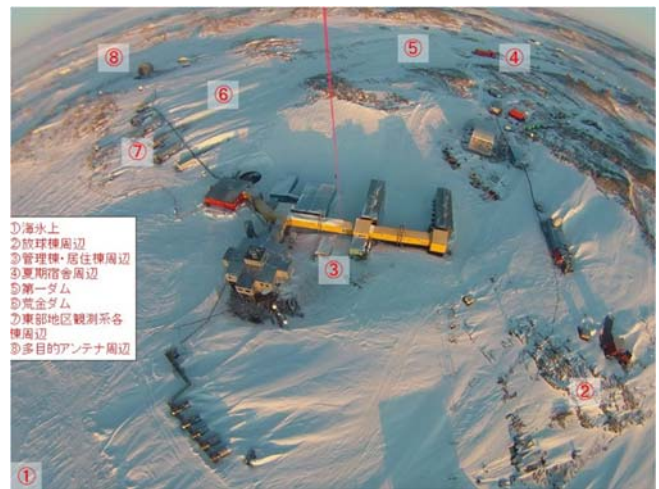


図 1：リスク評価に使われた空中写真

[研究成果]

1. 質問紙調査の結果

1) 発生場所についての評価

昭和基地を撮影した空中写真(図1)に示された8地点に対して、タイドクラックへの転落、ウィンドスクープへの転落、ブリザードによるロスト・ポジション、クレバスへの転落、露岩での転倒、重機や資材運搬にかかわるが、の6つのリスクがあるかどうかを「想定される」「想定されない」「わからない」の三択で回答させた。

表1はその結果を、観測隊経験者、未経験者に分けて集計したものである。各リスクの上段は経験者がそのリスクが想定されるかどうかを集約し、○：過半数が想定されると回答、×：過半数が想定されないと回答、△：回答が分かれたもの、で表記した。下段は、想定するという回答の経験者群/未経験者群の有意差を示した。

冬季訓練前、すなわち未経験者が南極についての知識がほとんどない時点では、両群に有意差があるのは、経験者が想定しない箇所(×印の欄)であり、未経験者が経験者より有意に高い割合で「想定される」と回答していることによっていた。このことから、未経験者は空間的分布が偏在しているリスクに

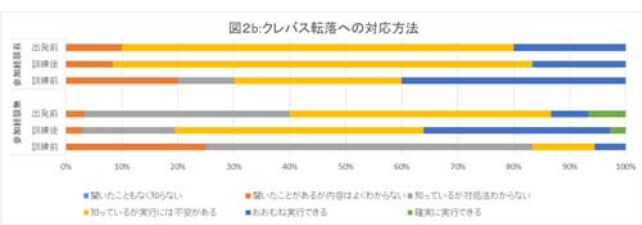
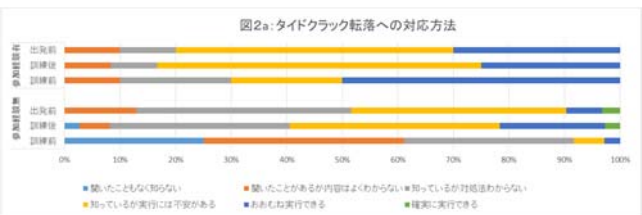
2) リスク対応に関する自己評価

南極で想定される、凍傷、低体温症、日焼け、雪目、タイドクラックへの転落、クレバスへの転落、露岩上での転倒、ブリザードによる方向感覚の喪失、作業工具による打撲、一酸化炭素中毒、ウィンドスクープへの転落について、①危険自体も対処法も知っており確実に実行できる、②危険自体も対処法も知っており、おおむね実行できる、③危険自体も対処法も知っているが、実行には不安がある、④危険自体は知っているが対処法についてはわからない、⑤危険自体を聞いたことがあるが、内容はよくわからない、⑥聞いたこともなく知らない、の順序尺度6段階で回答を求めた。その結果、日焼けや低体温症のように日本でも経験できるものに関しては、経験差がないとともに、冬訓練から出発前に向けての顕著な変化はなかったが、タイドクラックやクレバスのように極地特有のリスクは、未経験者の自己評価が出発前に向けて向上する傾向にあることが確かめられた(図2ab)。この結果は、いずれも、58次隊での結果(村越・菊池、2017)を確認するものであった。

表1: 場所ごとに想定されるリスクと経験者/未経験者の回答差

冬訓練直前	①	③	④	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
地点	海上上	建物そば	建物そば	宿舎そば	第一ダム	荒金ダム	観測棟	多目的アンテナ
現場特徴	海上上	建物そば	建物そば	宿舎そば	第一ダム	荒金ダム	観測棟	多目的アンテナ
リスク								
タイドクラックへの転落	○ ns	× *	× *	× +	× ***	× **	× +	× **
ウインドスクープへの転落	△ +	○ ns	○ *	△ +	△ **	△ +	○ ns	○ ns
フリザードによるロスト・ポジション	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns
クレバスへの転落	○ **	× ns	× ns	× ns	× ns	× *	× ns	× *
露岩での転倒	× ns	○ ns	○ ns	○ ns	△ ns	○ ns	○ ns	○ ns
重機や資材運搬にかかわるけが	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ +	○ ns
出発直前								
地点	海上上	建物そば	建物そば	宿舎そば	第一ダム	荒金ダム	観測棟	多目的アンテナ
現場特徴	海上上	建物そば	建物そば	宿舎そば	第一ダム	荒金ダム	観測棟	多目的アンテナ
リスク								
タイドクラックへの転落	○ ns	× *	× ns	× ns	× ns	× +	× ns	× **
ウインドスクープへの転落	△ ns	○ ns	○ *	○ ns	△ ns	○ ns	○ +	△ *
フリザードによるロスト・ポジション	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns
クレバスへの転落	○ ns	× ns	× +	× ns	× ns	× ns	× ns	× ns
露岩での転倒	× ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	× ns	○ ns	○ ns
重機や資材運搬にかかわるけが	△ ns	○ ns	○ ns	○ ns	○ ns	△ ns	○ ns	○ ns

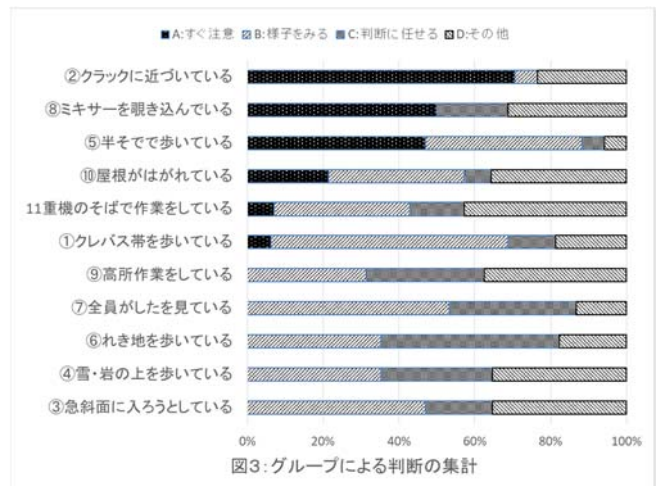
注: 上段は経験者の判断(○:過半数が想定△:回答が割れた×:同「想定されない」、下段は経験者/未経験者の有意差
有意差は、+* ** ***の順に大きくなる



2. KYT によるリスク対応の個人差把握

59 次隊隊員 68 人に対して、南極での活動の写真を使った危険予知トレーニング (KYT) による安全教育を実施した。トレーニングは、写真の中に記された危険かもしれない箇所/行為に対して、用意された選択肢でとるべき対応を回答するものであった。個人での選択後、4 人のグループで統一見解を出すグループワークを実施した。その後グループワークについての質問紙および実施後の面接により、KYT を利用した安全教育の効果を定量的および質的に検討した。

その結果、現実場面での人の危険のとらえ方が多様であり (図 3)、その背後には知識や視点、あるいは文脈の捉え方の違いがあることが明らかになるとともに、受講者にも、「リスクの見方に違いがあること」と同時に、自分の見方への省察やリスクを見る視点の発見があった。KYT とグループワークによる安全教育は、リスクに対する見方を多様にする効果があると示唆される。



[参考文献]

村越真・菊池雅行(2017)第 58 次南極地域観測隊員の南極のリスクに対する態度、知識、対応スキルの実態、南極資料, 61, 81-107. doi/10.15094/00014665.

[研究発表]

村越真・菊池雅行(2017)第 58 次南極地域観測隊員の南極のリスクに対する態度、知識、対応スキルの実態、南極資料, 61, 81-107. doi/10.15094/00014665

村越真・満下健太 (印刷中) 過酷な自然環境における実践知: 南極観測フィールドアシスタントのリスクマネジメントの分析、認知科学、

村越真 (投稿中) 危険予知訓練(KYT)によるリスク判断の多様性への気づき: 南極地域観測隊安全教育を事例として、安全教育研究。

極地建築・土木に関する雪氷防災工学研究

◎福島工業高等専門学校建設環境工学科・助教 金 高義
 (国立極地研究所)
 菊池 雅行 助教
 平成30年～平成30年(1か年)

[研究成果]

1. はじめに：

南極地域観測隊の活動において、昭和基地建物群のスノウドリフトは大きな問題である。具体的にどの建物周辺にどれだけのスノウドリフトが発達するかについての定量的な監視にはいまだに至っていない。そのために現在必要なことは、“安価・安全・容易”な積雪観測手法である。近年のマルチコプターと呼ばれるラジコンの電動マルチローターヘリコプターとコンパクトデジタルカメラの小型化と性能向上はめざましい。また、取得した複数の空撮写真から3次元モデルを構築する Structure from Motion (以下, SfM) 手法は航空写真測量技術に適用され、道路のり面の積雪モニタリングに活用されている¹⁾。平成28年度の共同研究において、マルチコプター空撮手法によるスノウドリフト監視手法の構築に第一段階として精度検証を実施し、十分な精度を確認できた。本研究では、第二段階として、南極昭和基地現地におけるドローン空撮による積雪モニタリングを実施した。また、予備的な数値風況解析を実施した。

2. ドローン測量：

ドローン空撮は第57次越冬隊が実施したデータを使用した。空撮にはDJI社製・Phantom3が使用された(図1)。空撮写真から3次元地形モデルの作成には商用ソフトウェアのAgisoft社製・PhotoScan Professional ver.1.2.4を用いた(図2)。



図1：航空写真測量²⁾

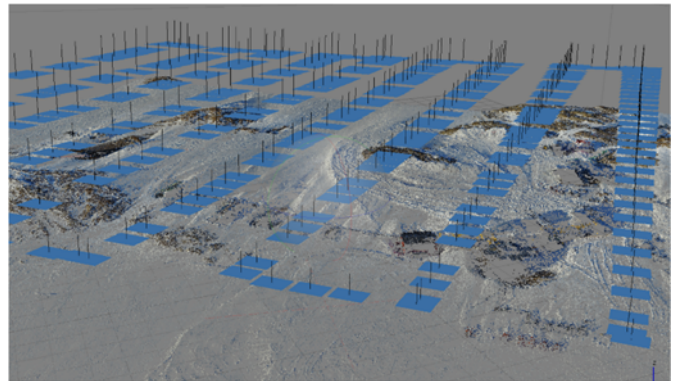


図2：3次元地形モデル²⁾

3. 予備的数値解析：

次に数値風況解析による建物周辺のスノードリフト性状予測を試みた。また、数値風況解析結果と現地データとの比較・検証を実施した。

図3は自然エネルギー棟周辺の解析例である。低風速領域では積雪が発生し、高風速領域では吹き払い効果が卓越することが検証できた。今回はあくまで定性的な評価であり、定量的な評価のためには模型風洞実験が必要である。

4. まとめと今後：

南極昭和基地において、ドローン空撮と SfM 手法から積雪分布を評価できる可能性をしめした。また、その積雪分布と予備的な数値風況解析との比較から、建物周辺のスノードリフト性状を予測できる可能性をしめした。

本研究で得られた知見を基に模型雪の相似比を向上させた模型風洞実験を計画している。現地積雪分布と風洞実験結果との比較検証により、模型風洞実験手法の向上を目指す。

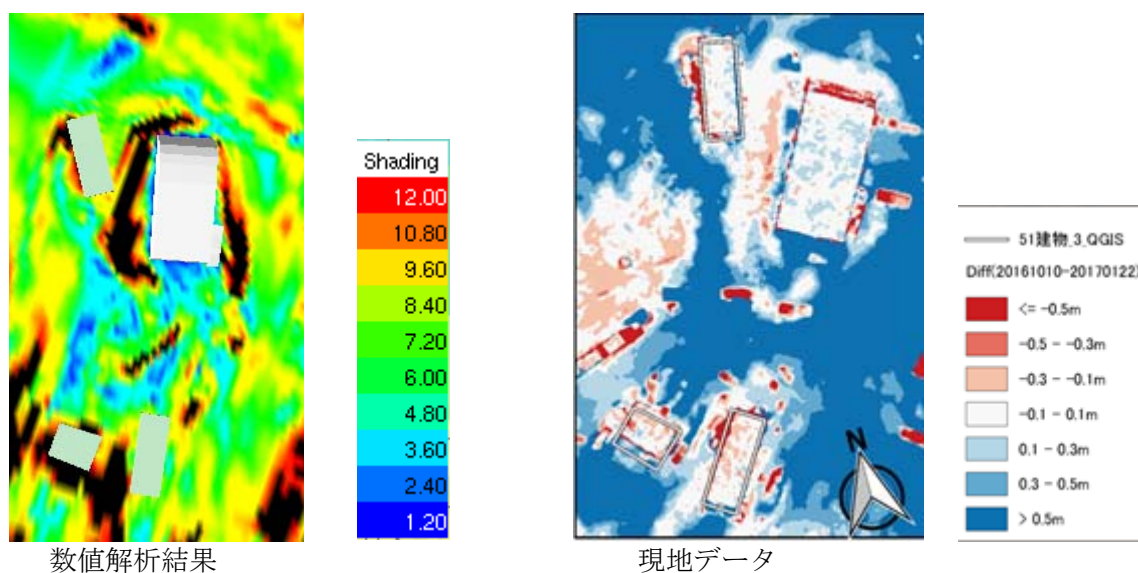


図3： 自然エネルギー棟周辺の数値風況解析結果と現地との比較。

[参考文献]

- 1) 金高義, 内山庄一郎, 積雪観測のためのマルチコプター空撮技術 —2015/2016年冬期の福島県西会津国道49号線道路法面の事例研究— 福島工業高等専門学校研究紀要 57 59-62 2016年12月
- 2) 荒川逸人, 金高義, 友松岳士, UAV撮影画像を用いた昭和基地の積雪深分布, 第14回南極設営シンポジウム 2017年6月

[研究発表]

なし。

Ⅱ. 研究集会報告

研究集会

集 会 等 実 施 報 告 書

						※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ						<input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他	
いずれかを■にしてください。							
集会名	2018年度PANSY研究集会						
開催日時	2019年3月12日(火)10:00~18:00	開催場所	東大理1号館710号室				
概要	第Ⅸ期南極重点研究観測サブテーマ1「南極大気精密観測から探る全球大気システム」の2018年度の観測・研究の成果の紹介と、61次以降の第Ⅸ期後半の観測・研究計画の議論・立案のため、本研究集会を開催した。						
報告者 (担当者)	富川喜弘(佐藤 薫:東京大学)						
所内参加者数	4 名		合計 13 名				
所外参加者数	9 名						
所外参加者の内訳							
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考	
名大ISEE	3		1		1		
明治大	1		1				
東大院理	2		1	1			
信州大	1						
電通大	1						
京大院情報	1		1				

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

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄			
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input checked="" type="checkbox"/> ワークショップ		<input type="checkbox"/> 研究談話会		<input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> その他			
いずれかを■にしてください。							
集会名	極域磁場・オーロラ変動のグローバルメカニズム研究会						
開催日時	平成30年9月21日			開催場所	極地研C301		
概要	オーロラ関連研究、特に観測とシミュレーション結果の類似性について10件の研究発表を行った。これまでの関連研究会の成果のまとめとして、教科書の電子出版に関する議論も行った。						
報告者 (担当者)	田中 高史(片岡龍峰)						
所内参加者数	5 名			合計	15 名		
所外参加者数	10 名						
所外参加者の内訳							
大学・機関名	参加者数					備考	
		内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生		
総研大(極域科学専攻)	2				1		
東海大	1						
極地研	3						
名古屋大学	3						
九州大学	3						
その他	3						

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> ワークショップ </div> <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	MTI研究集会					
開催日時	2018年9月11日(火)～13日(木)	開催場所	情報通信研究機構			
概要	中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究会は、宇宙天気分野において最も人類活動領域に近く、衛星測位や電波伝搬に直接影響するMTI領域を対象としている。平成30年度のMTI研究集会の内容は、MTIハンドブックの最終完成を目指して、各分野の専門家を招待し、最新の研究成果を含めた基調講演をはじめとし、現在進行中あるいは計画段階のMTI関連研究プロジェクト、将来計画について議論した。国内各機関から約90名が参加者し、分野横断的な議論が進められた。					
報告者 (担当者)	鈴木秀彦(宙空圏 富川喜弘先生)					
所内参加者数	8名	合計	92名			
所外参加者数	84名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数					備考
		内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	
総研大(極域科学専攻)	1				1	
九大	2					
高知高専	1					
京大	8				3	
千葉大	8					
名古屋大ISEE	15	4				
明治大	4			1	3	
鹿児島高専	1					
電通大	6				2	
三菱電機	1	1				
情報通信研究機構	21			6		
北九州高専	2			1		
東大	7			1		
電子航法研究所	1					
宇宙研	3					
愛知大	1					

大学・機関名	参加者数	内、	内、	内、	内、	備考
		外国人	若手	女性	大学院生	
気象庁 地磁気観測所	1					
東北大	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄						
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他						
いづれかを■にしてください。						
集会名	宙空および周辺分野のシミュレーション研究集会					
開催日時	平成30年9月3日～9月5日					
開催場所	成蹊大学					
概要	初日はシミュレーションコード自体の開発の発表が主体であり、2日目は磁気リコネクションのシミュレーションとオーロラのシミュレーションの成果、3日目は電離圏のシミュレーション成果が報告された。一人25分の発表で、活発かつ詳細な議論が可能なシニアやプロ向けの高度な研究会であるが、学生の参加が無かったことは今後の課題である。					
報告者 (担当者)	埜千尋(片岡龍峰)					
所内参加者数	1名					
所外参加者数	21名					
合計 22 名						
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
総研大(極域科学専攻)	1					
愛媛大学	2					
京都大学	2					
JAMSTEC	1					
千葉大学	1					
九州大学	4					
広島大学	1					
筑波大学	1					
NICT	5			2		
名古屋大学	1					
中部大学	1					
神戸大学	1					
成蹊大学	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄						
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究集会 研究会 ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	地球環境の歴史の変遷に関する文理融合研究					
開催日時	平成31年2月22日	開催場所	大会議室			
概要	古典籍を主に用いた文理融合研究について、午前中6件の研究発表を行い、午後は4件の招待講演を行った。また、招待講演者からのアドバイスを中心に、今後の文理融合研究について総合討論を行った。午後ピーク時の参加者は25名ほどであった。					
報告者 (担当者)	片岡龍峰(谷川恵一:国分研)					
所内参加者数	4名	合計		26名		
所外参加者数	22名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内訳				備考
		内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	
総研大(極域科学専攻)	1			1		
東北大	1					
京都大学	1					
土質リサーチ	1					
国文学研究資料館	2					
多摩美大	1					
武蔵野美大	1			1		
統計数理研究所	1					
情報システム機構	1					
情報研	2			1		
同志社大	1					
成蹊大	1					
その他	8			2		

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の推進					
開催日時	平成31年2月23日	開催場所	極地研			
概要	マスタープラン2014及びロードマップ2014重点大型研究計画の1つに選出された研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」は、太陽エネルギーとプラズマが地球に流入する過程、ならびに、太陽活動の短期・長期変動に対する地球周辺環境(大気圏、電離圏、磁気圏)の応答過程を解明することを研究目的としている。次期大型研究計画に関するマスタープラン(マスタープラン2020)の募集(2019年3月29日締切)が開始されたことを受けて、本研究計画の提案内容を本研究集会にて関係者間で重点的に議論及び改訂した。					
報告者(担当者)	山本 衛(宮岡 宏、小川 泰信)					
所内参加者数	4名	合計	10名			
所外参加者数	6名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、外国人	内、若手	内、女性	内、大学院生	備考
京都大学	1					
名古屋大学	3					zoom参加
情報システム研究機構	1					
九州大学	1					zoom参加

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

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄						
<input type="checkbox"/> シンポジウム	<input type="checkbox"/> 講演会・セミナー	<input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ	<input type="checkbox"/> 研究談話会			
<input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	EISCAT研究集会					
開催日時	平成31年3月1日	開催場所	極地研			
概要	北極域超高層大気研究の中心的な役割を担う欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダーの全国共同利用の推進と、EISCAT/EISCAT_3Dレーダーを軸とする北極域の超高層大気観測研究の戦略を議論することを目的として、国内研究集会を開催した。まず前半に、EISCAT_3Dに関する最新の情報交換・意見交換とEISCATを含む極域観測やモデリングに関する幅広い研究成果発表を実施した。後半には、2018年度のEISCAT特別実験の実施状況や初期観測結果に関する報告と共に、特別実験に関連する幅広い議論を行った。					
報告者(担当者)	宮岡宏、小川泰信					
所内参加者数	8 名	合計 23 名				
所外参加者数	15 名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、外国人	内、若手	内、女性	内、大学院生	備考
名大ISEE	1	0	0	0	0	
電通大	3	0	0	0	1	
京大理学部	3	0	0	0	2	
京大工学部	1	0	1	0	0	
信州大工学部	1	0	0	0	0	
成蹊大	1	0	0	0	0	
日本文理大	1	0	0	0	0	
東大理学部	1	0	0	0	1	
愛知大	1	0	0	0	0	
宇宙研	1	0	0	0	0	
NICT	1	0	0	0	0	

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ						
<input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	極域科学計算機システムを用いた極域科学研究の今後の展開					
開催日時	平成30年12月18日	開催場所	極地研 3階セミナー室			
概要	現在運用している極域科学計算機システムの更新を2020年に控え、次期システムの規模を決定するにあたり、計算機を活用する利用者の今後の研究の展開の方向およびに要望について情報を収集することを目的として本研究集会を開催いたします。					
報告者 (担当者)	岡田雅樹					
所内参加者数	5名	合計	8名			
所外参加者数	3名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
総研大(極域科学専攻)						
九州大学	2					
気象大学校	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	極域における宙空圏観測・研究の将来構想に関する研究集会					
開催日時	2018年5月8日(火)13:50-17:40	開催場所	C301			
概要	<p>現在、南極地域観測の将来構想の策定と北極域研究推進プロジェクト(ArCS)後の北極観測・研究に関する議論が進められている。将来の南極・北極における観測・研究の提案を宙空圏分野の研究者コミュニティから幅広く集め、大学共同利用機関である極地研がその実施をどうサポートしていくべきかを議論するため、本研究集会を開催した。研究集会には(極地研を含む)11機関から計26人が参加し、11件の講演が行われた。講演の内訳は、北極:6件、南極:3件、両極:2件で、特に北極域において積極的に観測・研究を実施しようとしている様子が見られた。南極については、現在進行中の重点研究観測サブテーマ以降、どのような観測・研究を実施すべきかの議論が不足しており、本研究集会をきっかけに今後検討と議論が進むことが期待される。</p>					
報告者(担当者)	富川喜弘					
所内参加者数	13名	合計	26名			
所外参加者数	13名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内訳				備考
		内、外国人	内、若手	内、女性	内、大学院生	
総研大(極域科学専攻)	1				1	
駒澤大学	1			1		
北海道大学	1					
東京大学	1		1			
九州大学	1					
信州大学	1					
成蹊大学	1					
電気通信大学	1					
東北大学	1					
名大ISEE	4					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄						
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ	<input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他					
いずれかを■にしてください。						
集会名	SuperDARN研究集会					
開催日時	2018年10月16日13:00～10月17日16:30					
開催場所	名古屋大学東山キャンパス					
概要	1995年創設当初から極地研が参加している国際短波レーダー観測網プロジェクト「SuperDARN」についての研究集会和、極地研、情報通信研究機構、名古屋大学の共催により今回は名古屋大学にて開催した。特に近年の観測緯度帯の拡大、磁気嵐の全体像やサブオーロラ帯の現象、高～中緯度の領域間結合等の研究等の成果、更に一昨年暮り上げられた内部磁気圏観測衛星「あらせ」(ERG)等との密接な連携による共同研究計画の結果や成果、近距離エコーや中性風・PMSE観測等中性大気に関する研究、重要なproductであるpotential map等解析結果の信頼性の向上に関する研究他、18件の発表と、将来計画を含む総合討論を行い、特にactiveな外国人研究者の参加や、SuperDARN以外の分野の研究者の参加も得たことで、活発な議論が展開し、更なる極域超高層大気共同研究の発展に寄与するために有意義な集会となった。					
報告者 (担当者)	行松彰					
所内参加者数	3 名					
所外参加者数	27 名					
合計 30 名						
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内訳				備考
		内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	
極地研・総研大(極域科学専攻)	3			1		
名古屋大学宇宙地球環境研究所	10	1	4	3	3	
情報通信研究機構	3			2		
統計数理研究所	1		1			
九州大学	3					
東京大学	1		1	1		
明治大学	1		1			
京都大学	4				2	
吉備国際大学	1			1		
Polar Geophysical Institute, Lab. of Aurora, Russia	2	2	2	1		
Univ. of Saskatchewan, Canada	1	1				

○ 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。

○ 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。

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

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

集 会 等 実 施 報 告 書

						※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> その他							
いずれかを■にしてください。							
集会名	南極海洋-海氷-氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会						
開催日時	2018年12月25日～26日		開催場所	極地研3Fセミナー室			
概要	<p>南極氷床-海氷-海洋システムにおいて、西南極氷床の融解加速と海洋の役割が注目を集める一方、東南極サブシステム間における相互作用の地域的相違と十年規模から数百万年規模の時間変動の存在が明らかになりつつある。本課題は、東南極におけるサブシステム間相互作用特性の海盆間差異の解明と十年規模変動の実態把握を目指す。ウィルクスランド沖及び白瀬氷河周辺域を舞台とした氷床-海洋相互作用の素過程の詳細な把握を目指す。また、リュツォ・ホルム湾域にみられる定着氷や氷河氷舌の十年規模変動、および海洋経年変動の実態と関係性を明らかにする。各チームで進められているデータ・試料の解析結果を報告し、国内外の研究動向に関する情報交換や今後の共同研究の方向性についての検討・議論を行なう。</p>						
報告者 (担当者)	青木 茂:北大(田村岳史)						
所内参加者数	8 名		合計 25 名				
所外参加者数	17 名						
所外参加者の内訳							
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考	
総研大(極域科学専攻)	1				1		
北海道大学	9		4		2		
北見工業大学	1						
苫小牧高専	1						
東京海洋大学	2				1		
産総研	1						
鳥取環境大学	1						
法政大学	1						

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ ワークショップ その他						
いずれかを■にしてください。						
集會名	寒冷域における降雪観測や雪結晶の研究と教育の今後の展望					
開催日時	平成31年3月26-27日	開催場所	国立極地研究所			
概要	南極、北海道道東、モンゴルなど極寒冷地における降水量測定方法の検討やその測定値の結果報告、降水現象を引き起こす寒冷渦の発達やその特定方法、雪結晶の成長過程やその特定方法などを議論した。降水量測定については、測定機器の問題点が多く挙げられた。寒冷渦については、日本付近や南極大陸での観察例を議論した。また、雪結晶の成長では、成長メカニズムの三次元的な理解が必要であることが議論された。					
報告者 (担当者)	島田 亙					
所内参加者数	1名	合計	7名			
所外参加者数	6名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
富山大学	2					内、学部生1名
大阪教育大学	2					
新潟大学	1					
三重大学	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <div style="text-align: center;"> 研究集会 ワークショップ </div>						
いずれかを■にしてください。						
集会名	2018年度 エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究会					
開催日時	2019年2月20日～21日	開催場所	国立極地研究所			
概要	エアロゾル-雲-降水と、それらの相互作用に関する最新の研究成果や研究動向を、国内の研究者が一堂に会して共有し、意見交換を行った。またエアロゾル-雲-降水の研究に興味を持つ学生も複数名参加し、講演を公聴した。					
報告者 (担当者)	佐藤 陽祐 (當房 豊)					
所内参加者数	3 名	合計	34 名			
所外参加者数	31 名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
気象研究所	7		2			
防災科学技術研究所	2					
東京大学	4		3		1	学部生:1名
名古屋大学	1		1			
防衛大学	1					
東海大学	1					
兵庫県立大学	4		3		2	学部生:1名
筑波大学	2		2	1	1	学部生:1名
北海道大学	3		1			学部生:1名
名古屋工業大学	1					
日本環境調査研究所	2			1		
広島大学	1			1		
東京工業大学	1		1	1		
武蔵野美術大学	1			1		

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	南極エアロゾル研究会					
開催日時	2018/7/26-27	開催場所	極地研			
概要	JARE58越冬観測報告、JARE59夏観測報告、JARE59越冬観測状況確認を行い、現状の観測遂行状況確認と改善・対応点の議論を行った。さらにJARE60観測計画とその準備の確認と議論が行われ、各観測データ間の比較や今後の解析方針の確認した。また、これまでの研究成果とりまとめについても議論を進めた。					
報告者 (担当者)	原圭一郎 (塩原匡貴)					
所内参加者数	11名	合計	27名			
所外参加者数	17名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内訳				備考
		内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	
極地研	10	0	3	2		
福岡大	4					B4 1名
気象庁	2			1		
名古屋大	1					
九州大	2				1	
弘前大	1					
山梨大	1					
産総研	1					
奈良女子大	1					
JARE59	1					
(株)四門	1		1			
国立精神・神経医療研究センター	1			1		
JARE60	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 研究集会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ 研究会 ワークショップ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	ロシア北極域の環境変動観測研究の現状と将来					
開催日時	平成31年2月8日	開催場所	JAMSTEC東京事務所			
概要	ユーラシア大陸北部のロシア域を中心とする陸域の気候・環境変動の研究の現況と、将来の課題について、各分野の専門家から、報告と今後の研究指針が議論できる提案をした後、今後の北極研究における陸域環境変動研究の方針について活発な議論を行った。議論の結果、来年度も前半に研究方針についての集会を開催する方向で、引き続き連携を強化することを確認した。					
報告者 (担当者)	飯島慈裕					
所内参加者数	4 名	合計	13 名			
所外参加者数	9 名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
名古屋大	2			1		
三重大	1					
海洋研究開発機構	2					
北海道大	2		1			
東京大	1					
国立環境研究所	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> ワークショップ <input type="checkbox"/> その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	永久凍土の変動とそのモニタリングに関する研究集会					
開催日時	平成30年11月16-17日	開催場所	国立極地研究所			
概要	<p>表記研究集会を国立極地研究所を会場として2日間にわたって開催した。研究発表は初日の16日に7件、翌17日に6件、合計13件が行われた。発表内容は多岐にわたっており、光ファイバーを用いた地表面温度のモニタリングとその結果、マイクロ波による凍土域の雪氷観測、北海道の季節凍土の分布、富士山と大雪山での永久凍土の観測、室内実験による凍結土圧の計測、カナダの永久凍土地帯での川の温度とフラックス観測、東シベリアで起きた洪水による永久凍土への影響評価、永久凍土と植生の関係、合成開口レーダによる永久凍土環境のモニタリング、グリーンランドでの斜面崩壊であった。また、極地研究所の北極共同利用拠点の紹介、極域研究に関する国際レポート(SWIPA)に紹介も行われた。これらの研究発表等では、質疑応答も含めて一人あたりの持ち時間を40分に設定することで詳細な解説と深い議論が可能となり、今回の研究集会においても十分な情報交換と議論を行うことができた。また、国内外の最新の研究状況を共有し、現在進行中のプロジェクトの紹介も行われるなど、これから研究を進める上での重要な情報源となった。このように、凍土をキーワードとして永久凍土の研究者をはじめとして多分野の研究者が集まり、議論に多くの時間を割くことの出来た、大変有意義な研究集会であった。</p>					
報告者 (担当者)	原田 鉦一郎					
所内参加者数	5 名	合計	22 名			
所外参加者数	17 名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
宮城大学	1					
(株)精研	1					
北海道大学	4		2		2	
海洋研究開発機構	2					
低温圏工学研究所	1					
Environment Canada	1	1				
国立環境研	1					
JAXA	1					
筑波大学	1					
農環研	1					

所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、	内、	内、	内、	備考
		外国人	若手	女性	大学院生	
北見工大	1					
アラスカ大学	1	1				
東京大学	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

							※係記入欄					
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 20px;"> <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> ワークショップ </div> <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 20px;"> <input type="checkbox"/> その他 </div>												
いずれかを■にしてください。												
集会名	南極30m級テラヘルツ望遠鏡によるサイエンス(星惑星系形成)											
開催日時	令和1年9月12日			開催場所	国立極地研究所							
概要	南極30m級テラヘルツ望遠鏡を用いて行うことができるサイエンスについて、特に星惑星系形成関連に絞って検討を行った。											
報告者 (担当者)	久野成夫											
所内参加者数	1名			合計	23名							
所外参加者数	22名											
所外参加者の内訳												
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考						
総研大(極域科学専攻)												
筑波大学	9		6		5							
関西学院大学	2											
北海道大学	1											
東京学芸大学	2			1								
国立天文台	3											
Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica	1	1										
大阪府立大学	1		1									
電気通信大学	1											
茨城大学	1											
CEA, Saclay	1	1										
極地研	1											

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

集会等実施報告書

						※係記入欄
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	「グリーンランドの氷床・気候変動とその影響」					
開催日時	2019年2月25日13:30～2月26日12:00	開催場所	国立極地研究所 C301			
概要	氷床モデル、古気候モデル、氷河の質量収支観測、アイスコアの分析、EGRIPでの表面質量収支観測、氷の力学試験等に関する最新の研究成果に関する発表があった。外国人が参加していたため、研究発表の半数程度は英語で行われた。研究発表に関する質疑応答、コメント等も活発に行われた。					
報告者 (担当者)	東久美子					
所内参加者数	15名	合計				
所外参加者数	15名	30名				
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
総研大(極域科学専攻)	1				1	
北大低温研	4	2		1	2	
東大大気海洋研	5		1	2	1	
千葉大	3			1	3	
JAMSTEC	1					
長岡技術科学大	1		1			

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ ワークショップ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	極域大気～アイスコア中の微生物に関する研究集会					
開催日時	2月26日(火)13時～18時 2月27日(水)9時30分～12時	開催場所	26日:3階セミナー室(C301) 27日:5階会議室(C501)			
概要	今後の極域における微生物研究の方向性について議論することを目的として、バイオエアロゾルなどの大気研究者や、微生物学、集団遺伝学、雪氷学等、これまで異なる分野で活動してきた国内研究者が一堂に会して、それぞれの分野における最新の研究結果や動向を共有し、意見交換を行った。					
報告者 (担当者)	中澤 文男					
所内参加者数	9名	合計	15名			
所外参加者数	6名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
総研大(極域科学専攻)	1				1	
データサイエンス共同利用基盤施設	1					
産総研	2					
富山県立大	1					
慶応大	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

						※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ ワークショップ <input type="checkbox"/> その他							
いずれかを■にしてください。							
集会名	可聴下波動伝播特性による極域の多圏融合物理現象解明に関する研究集会-IV						
開催日時	2019年(平成31年)3月26日、27日 13:00～15:00			開催場所	極地研3Fセミナー室、 DS棟1F会議室		
概要	極域において様々な励起源をもつ可聴下周波数帯域(数10Hz～0.001Hz)の波動(地震波・インフラサウンド等)の伝播特性から、大気-海洋-雪氷-固体地球という多圏システムにおける物理的相互作用のメカニズム解明に関する研究成果の発表・意見交換を行った。雪氷圏地震学に関係する最近の研究成果、インフラサウンドを用いたリュツォ・ホルム湾域での最新の研究、長期モニタリングのデータ収集と統計解析、60次夏隊の観測報告、グリーンランドでの観測及びトモグラフィ研究、並びに61次隊以降の準備に関する打合せを実施した。						
報告者 (担当者)	金尾 政紀(山本 真行)						
所内参加者数	2名			合計	23名		
所外参加者数	21名						
所外参加者の内訳							
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考	
海洋研究開発機構	1						
環境研	1						
北海道情報大	1						
小林理研	2		1				
金沢大	1						
高知工科大	3				2		
東邦マーカントイル	1						
常盤大	1						
地震予知振興会	1		1	1			
日本気象協会	1						
九大	2				1		
東北大	2		1				
北大	2			1	1		
JAXA	1		1	1			
愛知教育大	1						

○ 総研大生(極域学専攻)は所外扱いとします。

○ 外国人・若手・女性・大学院生の人数は、わかる範囲で記入してください。

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

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

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄						
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ ワークショップ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	東南極リュツォ・ホルム岩体およびその周辺地域・関連地域の地殻進化の研究					
開催日時	2018年11月9日(金) 10:00-18:00		開催場所	国立極地研究所 5階C501会議室		
概要	東南極リュツォ・ホルム岩体の原岩起源、変成作用、形成年代、スリランカとの対比、などについて、種々の専門分野の研究者による研究発表・討論をおこない、南極での観測実施のための情報の交換・統合、問題整理をおこなった。					
報告者 (担当者)	豊島剛志 (外田智千)					
所内参加者数	2名		合計	6名		
所外参加者数	4名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
新潟大学	1					
九州大学	1		1			
琉球大学	1					
島根大学	1					

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ		<input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他				
いずれかを■にしてください。						
集会名	極域のオープンデータ・オープンサイエンスに関する研究集会					
開催日時	2018年(平成30年)10月5日(金) 13:00 ~ 18:20	開催場所	国立極地研究所 3Fセミナー室			
概要	オープンデータ・オープンサイエンスに関する最新の国内外の状況を踏まえ、極域科学に関連するデータ活動の情報交換を行った。特に極域関連データベースやデータシステム、公開手法、データ共有・データ出版・引用・データジャーナル等について、現状と課題・問題点や将来計画、極域科学研究の進展に望まれる機能等についての議論を行った。					
報告者 (担当者)	金尾 政紀					
所内参加者数	24 名	合計	32 名			
所外参加者数	8 名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内訳				備考
		内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	
総研大(極域科学専攻)	2			1	2	
国立極地研究所	24			4		
気象庁	1					
国土地理院	1					
海上保安庁	1					
東京学芸大	1					
高知工科大	1					
機構本部	1			1		

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

集 会 等 実 施 報 告 書

							※係記入欄						
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> ワークショップ </div> <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ <input type="checkbox"/> その他							いずれかを■にしてください。						
集会名	太陽系小天体探査に向けた惑星物質の分光学的研究(その2)												
開催日時	平成30年11月26日	開催場所	東京大学駒場キャンパス										
概要	将来の太陽系小天体探査に必要とされる小天体表面物質を分光学的に決定する方法を考察するため、近赤外線分光観測による小惑星の含水鉱物探査、硫黄に富んだ環境下での宇宙風化の模擬実験と分光計測、紫外光照射による宇宙風化模擬実験、リュウグウの近赤外スペクトル観測、はやぶさ2NIRS3データ解釈のための含水炭素質コンドライトの2.7ミクロン吸収帯のガウス関数分解などについての研究発表および議論が行われた。												
報告者 (担当者)	海田博司												
所内参加者数	1名	合計					9名						
所外参加者数	8名												
所外参加者の内訳													
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考							
総研大(極域科学専攻)	0												
東京大学	3		2										
大阪大学	1		1		1								
神戸大学	1												
千葉工業大学	1			1									
宇宙科学研究所	1		1	1									
ブラウン大学	1												

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

集 会 等 実 施 報 告 書

		※係記入欄				
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 研究会 ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	南極沿岸生態系における動物相の多様性解明に向けて					
開催日時	平成30年12月26日・27日	開催場所	4階C401講義室			
概要	第62次・63次日本南極地域観測隊の夏期活動で計画されている昭和基地沿岸の潜水調査に向けて、今後の課題や準備計画などを、若手分類研究者やJARE潜水調査経験者、亜南極域での潜水調査経験者を交えて議論を行った。所内に保管されている液浸標本や冷凍試料の観察を行い、新たに海産小型無脊椎動物を検出した。					
報告者 (担当者)	辻本 惠 (角井 敬知)					
所内参加者数	4 名	合計	15 名			
所外参加者数	11 名					
所外参加者の内訳						
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考
総研大(極域科学専攻)						
東京家政学院大学	2					
北海道大学	2		2		1	
東北大学(浅虫)	1		1			
慶應義塾大学	2		1			
鹿児島大学	1					
葛西臨海水族園	3		2			

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

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄			
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input checked="" type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ ワークショップ その他							
<p style="text-align: right;">いずれかを■にしてください。</p>							
集会名		「北極研究の長期構想」改訂を踏まえた北極研究構想研究集会					
開催日時		平成30年4月12日		開催場所		大会議室	
概要		「北極研究の長期構想」改訂に向け、日本の北極域研究において2020年以降5年ないし10年程度の期間で実施すべき研究計画(自然科学のみならず、人文科学、社会科学、工学を含む)について、個人あるいはグループから、その研究課題を発表しあい、討論した。52件の申し込みがあり、45件の発表、3件の招待発表を行った。9月には「北極研究の長期構想」改訂版をWEB公開できた。					
報告者 (担当者)		青木 輝夫					
所内参加者数		23名		合計		66名	
所外参加者数		43名					
所外参加者の内訳							
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考	
JAMSTEC	11		1	2			
北海道大学	16		2				
神戸大学	1						
東京大学	4				1		
岡山大学	1						
放送大学	1						
名古屋大学	1						
三重大学	1						
工学院大学	1						
海技研	1						
RESTEC	1						
システム工学研究所	1						
NICT	1						
人間文化研究機構	1						
農業環境変動研究センター	1						

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

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄											
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> 講演会・セミナー <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <input type="checkbox"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他 </div>						いずれかを■にしてください。					
集会名	第8回南極無人機研究会										
開催日時	平成30年11月7日		開催場所	D222							
概要	60次隊出発の直前のため、JARE60観測計画・越冬観測計画の議論を中心に、59次の研究成果の発表や、将来の無人機開発や運用、とくにテザー型の利用について議論された。										
報告者 (担当者)	林 政彦(片岡龍峰)										
所内参加者数	3 名		合計	24 名							
所外参加者数	21 名										
所外参加者の内訳											
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考					
総研大(極域科学専攻)	0										
極地研	3										
九州大	3										
福岡大	2										
東京大	1										
東海大	1										
福井大	1										
防災研	1										
金沢工業大学	1										
東海大	1										
富山大	1										
その他企業	8										
弘前大	1										

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

Ⅲ. 平成30年度共同研究課題一覧

1.平成30年度共同研究実施件数

区分	研究分野	一般共同研究			平成30年度 終了件数	平成30年度 継続件数
		継続	新規	計		
		件数	件数	件数		
一般共同研究	宙空圏	22	12	34	11	23
	気水圏	17	2	19	9	10
	地圏	17	7	24	9	15
	生物圏	14	9	23	9	14
	極地工学	6	4	10	7	3
	計	76	34	110	44	66
研究集会		29			29	-

2. 一般共同研究

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
宙空圏	28-2	ライダーシステムを活用した大気科学・大気環境監視に関する研究	津田 卓雄	電気通信大学大学院情報理工学研究科・助教	H28～H30	3年
	28-3	光学オゾンゾンデを用いた成層圏オゾンおよび二酸化窒素の観測	村田 功	東北大学大学院環境科学研究科・准教授	H28～H30	3年
	28-4	昭和基地宇宙線観測システムの開発	宗像 一起	信州大学理学部・名誉教授	H28～H30	3年
	28-5	SuperDARNで観測される磁力線共鳴現象からの磁気圏領域推定	河野 英昭	九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・准教授	H28～H30	3年
	28-7	新しいレーザー技術の南極観測への応用	桂川 眞幸	電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授	H28～H30	3年
	28-8	超高高度分解能共鳴散乱ライダーのための受信系開発	川原 琢也	信州大学学術研究院工学系・准教授	H28～H30	3年
	28-10	高感度小型全天カメラの多地点観測による大気光研究	鈴木 臣	愛知大学地域政策学部・准教授	H28～H30	3年
	29-1	地上多点光学観測による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究	塩川 和夫	名古屋大学宇宙地球科学研究科・教授	H29～H31	3年
	29-3	大型レーダー流星ヘッドエコーと超高感度高速カメラを用いた超微光流星の観測	阿部 新助	日本大学理工学部航空宇宙工学科・准教授	H29～H31	3年
	29-4	太陽圏と宇宙線のシミュレーション研究	三宅 晶子	茨城工業高等専門学校国際創造工学科・准教授	H29～H30	2年
	29-5	サブストーム・オーロラシーケンスの統一理論	田中 高史	九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・学術研究者/客員教授	H29～H31	3年
	29-6	北極域における人工衛星電波を用いた電離圏シンチレーション観測	大塚 雄一	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授	H29～H31	3年
	29-7	オーロラ活動時におけるVLF、降下電子特性に関する研究	田所 裕康	武蔵野大学工学部環境システム学科・講師	H29～H31	3年
	29-8	惑星間空間磁場北向き時の特異な極域電離圏対流の起源	渡辺 正和	九州大学国際宇宙天気科学教育センター・准教授	H29～H31	3年
	29-9	降下粒子によるオーロラ発光モデルの開発と粒子コードとの連携計算	加藤 雄人	東北大学大学院理学研究科・准教授	H29～H31	3年
	29-10	SuperDARNIによる極域・中緯度における熱圏・電離圏・磁気圏ダイナミクスの比較研究	西谷 望	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授	H29～H31	3年
	29-11	磁気嵐時におけるグローバルなプラズマ圏・プラズマ圏界面の時間・空間変動特性	新堀 淳樹	名古屋大学宇宙地球環境研究所・特任助教	H29～H31	3年
	29-14	アイスランドにおける宇宙線生成核種強度の時間変動と太陽活動の関係についての研究	門叶 冬樹	山形大学理学部・教授	H29～H31	3年
29-15	極域の大気電場観測データを用いた全地球電気回路の研究	鴨川 仁	東京学芸大学教育学部・准教授	H29～H31	3年	
29-16	極域擾乱電場による低緯度電離圏の時間変動特性の研究	橋本 久美子	吉備国際大学地域創成農学部・教授	H29～H31	3年	
29-17	太陽起源高エネルギープロトンの地球磁気圏・大気圏への進入過程の研究	三好 由純	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授	H29～H30	2年	
29-18	PBIの新解釈：電離圏起源のAlfven波による爆発的オーロラ増光理論の構築	吉川 顕正	九州大学国際宇宙天気科学教育センター・准教授	H29～H31	3年	

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
宙空間	30-1	ULF波動はオーロラ励起出来るか？	櫻井 亨	東海大学・名誉教授	H30～31	2年
	30-2	磁気異常帯に入射する粒子の相対論的方程式の導出と波動生成	池田 慎	武蔵大学人学部・特任教授	H30	1年
	30-3	トロムソにおける複数観測装置を用いた北極下部熱圏・中間圏大気の観測研究	野澤 悟徳	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授	H30～32	3年
	30-4	レーダ観測、数値シミュレーションによる極域熱圏・電離圏変動の研究	藤原 均	成蹊大学理工学部・教授	H30～32	3年
	30-5	極域および中低緯度レーダ観測による地磁気脈動電場の研究	菊池 崇	名古屋大学宇宙地球環境研究所・名誉教授	H30～32	3年
	30-6	南極大型大気レーダにおけるアダプティブアンテナ技術を用いた電離圏観測法の研究	橋本 大志	京都大学大学院情報学研究科・助教	H30～31	2年
	30-7	北欧地上観測ならびに衛星観測に基づくMF/HF帯オーロラ電波の研究	佐藤 由佳	日本工業大学共通教育系・専任教育講師	H30～32	3年
	30-8	地形性重力波の大気光イメージ観測による研究	鈴木 秀彦	明治大学理工学部・専任准教授	H30～31	2年
	30-9	電離圏伝導度背景分布における自転効果を考慮した極域電離圏対流場の研究	中溝 葵	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所・主任研究員	H30～31	1年
	30-10	極領域における磁気圏入力を考慮した全大気圏電離圏変動の研究	陣 英克	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所・主任研究員	H30	1年
	30-11	飛翔体観測・地上観測に基づく電離圏・内部電磁圏プラズマダイナミックスの研究	熊本 篤志	東北大学大学院理学研究科・准教授	H30～32	3年
	30-12	デジタルプラレタリウムへの数値オーロラ投影のための可視化ソフトウェアの開発	才田 聡子	北九州工業高等専門学校・准教授	H30～32	3年
気水圏	28-12	北極チャクチ海における海氷の係留・衛星観測研究	深町 康	北海道大学北極域研究センター・教授	H28～H30	3年
	28-13	ポリニヤでの海氷生成及びそれに伴う南極底層水形成に関する研究	大島 慶一郎	北海道大学低温科学研究所・教授	H28～H30	3年
	28-14	南極海氷コアを用いた大気および海洋生物地球化学過程の解明	野村 大樹	北海道大学大学院水産科学研究科・助教	H28～H30	3年
	28-15	南極域における現地・衛星観測データを用いた海氷厚導出アルゴリズムの開発	舘山 一孝	北見工業大学工学部・准教授	H28～H30	3年
	28-17	しらせ氷海モニタリングデータの解析による海氷状況の把握	山口 一	東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授	H28～H30	3年
	28-19	リモートセンシング観測データを用いた雲の動態解析	久慈 誠	奈良女子大学自然科学系・准教授	H28～H30	3年
	28-20	南極表面積雪の物理解析	大野 浩	北見工業大学・助教	H28～H30	3年
	28-21	衛星搭載の合成開口レーダデータを用いた南極海氷変動の解析	中村 和樹	日本大学工学部・准教授	H28～H30	3年
	28-22	近年の両極変化に伴う大気海洋循環変動と極端気象発現過程	本田 明治	新潟大学理学部自然環境科学科・准教授	H28～H30	3年
	29-19	ディストロメーターを用いた降雪量推定法の改善	小西 啓之	大阪教育大学・教授	H29～H31	3年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
気水圏	29-20	極地雪氷コアの金属成分分析	鈴木 利孝	山形大学学術研究院理学部・教授	H29～H31	3年
	29-21	アジアダスト長距離輸送の十年スケール変動の解明～カナダ雪氷コアを用いた解析より～	長島 佳菜	国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター・技術研究員	H29～H31	3年
	29-22	吹雪粒子からの昇華による大気への水蒸気供給の推定	杉浦 幸之助	富山大学大学院理工学研究部・教授	H29～H31	3年
	29-23	有機物質によるエアロゾル粒子の光学特性変化の評価	古賀 聖治	産業技術総合研究所環境管理研究部門・主任研究員	H29～H31	3年
	29-24	アイスコア試料の高精度・大量測定に備えた水の同位体標準試料の作成	植村 立	琉球大学理学部海洋自然科学学科化学系・准教授	H29～H31	3年
	29-25	両極の気候と双方向作用する大気・陸・海洋三位一体変動の研究	立花 義裕	三重大学生物資源学部・教授	H29～H31	3年
	29-27	地中レーダー(GPR)を用いた南極氷床、山岳氷河、多年性雪溪の内部構造探査に関する研究	福井 幸太郎	立山カルデラ砂防博物館・主任学芸員	H29～H31	3年
	30-13	後方散乱電子回析法とX線回析法を併用した氷の転位密度測定条件の確立	本間 智之	長岡技術科学大学・准教授	H30～32	3年
	30-14	グリーンランド氷床および山岳氷河浅層アイスコアの化学、生物解析	的場 澄人	北海道大学低温科学研究所・助教	H30～32	3年
	地圏	28-23	変成反応組織を用いたリュツォ・ホルム岩体での物質移動、変成継続時間の解明	池田 剛	九州大学大学院理学研究院・准教授	H28～H30	3年
28-24		微惑星表層に記録された衝突履歴の解明	宮原 正明	広島大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年
28-25		東南極ドロンイングモードランドおよびスカンジナビア半島に産する高度変成岩類に記録された部分溶融と流体活動履歴	河上 哲生	京都大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年
28-26		太古代・原生代の海洋底堆積物に残される地球海底環境変遷	清川 昌一	九州大学大学院理学研究院・准教授	H28～H30	3年
28-27		東南極ナピア岩体に産する造岩鉱物の微細組織観察および熱史への適用	三宅 亮	京都大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年
28-28		彗星及び小惑星起源の南極微隕石を用いた極初期の母天体過程の解明	野口 高明	九州大学基幹教育院・教授	H28～H30	3年
28-29		リュツォ・ホルム岩体の変成作用と微小地塊・テレーンの多重衝突	馬場 壮太郎	琉球大学教育学部・教授	H28～H30	3年
28-32		チリ海嶺—海溝に沈み込みつつある中央海嶺の火成活動の衰退	松本 剛	琉球大学理学部・教授	H28～H30	3年
29-28		極域の地震活動・地震発生機構・地球内部構造に関する総合的研究	坪井 誠司	国立研究開発法人海洋研究開発機構地球情報基盤センター・部長	H29～H31	3年
29-29		南極及び環太平洋に分布する迷子巨礫の古地磁気学による年代推定	中村 教博	東北大学高度教養教育・学生支援機構・教授	H29～H31	3年
29-30		重元素の局所同位体分析の開発と宇宙化学への応用	日高 洋	名古屋大学大学院環境学研究科・教授	H29～H31	3年
29-31		合成開口レーダ(SAR)データの偏波特性に着目した南極域の観測手法の高度化	大村 誠	高知県立大学文化学部・教授	H29～H31	3年
29-32		南極での野外絶対重力測定方法に関する研究	福田 洋一	京都大学大学院理学研究科・教授	H29～H31	3年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
地圏	29-34	古生代炭酸塩岩のストロンチウム安定同位体から探る表層環境変動	可児 智美	熊本大学大学院先端科学研究部基礎科学部門・助教	H29～H31	3年
	29-35	松山-ブルン地磁気逆転境界の年代決定	岡田 誠	茨城大学理学部・教授	H29～H30	2年
	29-36	日の出岬のアダカイト質トータル岩の成因論	廣井 美邦	千葉大学大学院理学研究科・名誉教授	H29～H31	3年
	29-37	誘導結合プラズマ質量分析法を用いた南極隕石分類法の確立	白井 直樹	首都大学東京大学院理工学研究科・助教	H29～H31	3年
	30-15	インフラサウンドによる極域表層環境変動の研究	山本 真行	高知工科大学 システム工学群・教授	H30～32	3年
	30-16	東南極リュツォ・ホルム岩体を形成した原生代火成活動とそのテクトニクス背景の解明	亀井 淳志	島根大学大学院総合理工学研究科・教授	H30～32	3年
	30-17	FeAlO ₃ 相の安定領域と超高温変成岩類の酸素分圧の解析	川崎 智佑	愛媛大学理学部・研究員	H30～31	2年
	30-18	月岩石中カリ長石に記録された水惑星・地球の揮発性元素同位体初期進化史の解読	橋爪 光	茨城大学理学部・教授	H30～32	3年
	30-19	南極産アングライト隕石の鉱物学的研究	三河内 岳	東京大学大学院理学系研究科・准教授	H30～32	3年
	30-20	東南極リュツォ・ホルム岩体の地体構造的構成・大構造と地殻進化の研究	豊島 剛志	新潟大学自然科学系(理学部)・教授	H30～31	2年
	30-21	角礫岩コンドライトの分類及び衝撃履歴の解明	木村 眞	茨城大学理学部・名誉教授	H30～32	3年
生物圏	28-34	野生植物に寄生する低温性糸状菌の多様性と生態解析	東條 元昭	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・教授	H28～H30	3年
	28-35	極域の光合成生物の生理応答機構の解析	菓子野 康浩	兵庫県立大学理学部生命科学科・准教授	H28～H30	3年
	28-37	昭和基地周辺モニタリング定点から分離された土壌藻類の分類学的研究	大谷 修司	島根大学教育学部・教授	H28～H30	3年
	28-38	亜寒帯域沿岸の表層水におけるpH高解像度マッピング技術の開発	今井 圭理	北海道大学水産学部・助教	H28～H30	3年
	28-39	極地に生息する病原体、病原因子・抗菌薬耐性因子の網羅的解析	石井 良和	東邦大学医学部・教授	H28～H30	3年
	28-41	南極湖沼生態系の数理モデル化に関する研究	佐々木 顕	総合研究大学院大学先導科学研究科・教授	H28～H30	3年
	28-42	南極の紫外線が生物に及ぼす影響に関する研究	高橋 哲也	島根大学人間科学部・教授	H28～H30	3年
	28-43	南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明	上野 大輔	鹿児島大学大学院理工学研究科・助教	H28～H30	3年
	29-38	極域地衣類に共生する微生物の種組成に関する研究	長沼 毅	広島大学大学院生物圏科学研究科・教授	H29～H31	3年
	29-39	海洋酸性化がハダカカメガイ(通称クリオネ)に与える影響評価	山崎 友資	蘭越町貝の館・学芸員	H29～H31	3年
	29-40	動物化石資料や氷試料からの古代DNA解析	瀬川 高弘	山梨大学総合分析実験センター・特任助教	H29～H31	3年
	29-41	極域生態系にみられる菌多様性の空間パターンの分析	大園 享司	同志社大学理学工学部・教授	H29～H31	3年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
生物圏	29-42	細胞が長鎖多価不飽和脂肪酸を合成するのは嫌気環境への適応か？	吉田 磨仁	北海道大学地球環境科学研究所・助手	H29～H30	2年
	29-44	極域に生息する植物プランクトン種からの揮発性有機化合物放出に関する研究	亀山 宗彦	北海道大学大学院地球環境科学研究所・准教授	H29～H31	3年
	30-22	マルチオミクス解析による極限環境生物の耐性能力機構および進化傾向の理解	河野 暢明	慶応義塾大学先端生命科学研究所・特任助教	H30～32	3年
	30-23	季節海氷域におけるアイス・アルジーの環境変化に対する不凍物質生産の研究	野坂 裕一	東海大学生物学部・助教	H30～32	3年
	30-24	南極陸上生態系における未知ウイルスの実態解明に関する研究	堀江 真行	京都大学白眉センター/ウイルス・再生医科学研究所・特定准教授	H30～32	3年
	30-25	飛翔性海鳥類の食性のDNA分析と海洋環境の関係について	山本 麻希	長岡技術科学大学大学院工学研究科・准教授	H30～32	3年
	30-26	植物プランクトンの冷温適応に関する研究	高澤 伸江	京都学園大学バイオ環境学部・准教授	H30～32	3年
	30-27	海鳥類の採餌行動と活動中のエネルギー消費の環境応答	新妻 靖章	名城大学農学部・教授	H30～32	3年
	30-28	極域大型動物資料や燻蒸された古代標本からのDNA解析	米澤 隆弘	東京農業大学農学部・准教授	H30～32	3年
	30-29	双方向通信・GPSロガーを用いたアデリーペンギンの群れの行動解析	三田村 啓里	京都大学大学院情報学研究科・准教授	H30～32	3年
	30-30	周北極要素植物の環境適応と分化の解明：北極圏と中緯度高山の集団比較	和田 直也	富山大学研究推進機構極東地域研究センター・教授	H30～32	3年
極地工学	28-45	組込技術を用いたインタラクティブ展示に関する研究	伊豆原 月絵	日本大学理工学部・教授	H28～H30	3年
	28-46	防水型極地回収気球搭載回路の開発	森本 真司	東北大学大学院理学研究科・教授	H28～H30	3年
	28-48	雪上車および橇による内陸輸送力強化に関する基礎研究	香川 博之	公立小松大学生産システム科学部・教授	H28～H30	3年
	28-49	新内陸基地建設に向けた物資輸送計画の検討	横山 宏太郎	農業・食品産業技術総合研究機構・フェロー	H28～H30	3年
	28-50	昭和基地～極地研間衛星回線の効率利用に資する南極観測データの高速伝送実験	村田 健史	国立研究開発法人情報通信研究機構 ソーシャルイノベーションユニット 総合テストベッド研究開発推進センター・研究統括	H28～H30	3年
	29-46	南極観測隊員の極地におけるリスクへの意識とリスク感受性の把握	村越 真	静岡大学教育学部・教授	H29～H30	2年
	30-31	深層掘削機の次世代コンピュータの実用化	高田 守昌	長岡技術科学大学・助教	H30～32	3年
	30-32	極地における高空風力発電手法の研究	赤坂 剛史	金沢工業大学工学部・講師	H30～32	3年
	30-33	極地建築・土木に関する雪氷防災工学研究	金 高義	福島工業高等専門学校都市システム工学科・助教	H30	1年
	30-34	第Ⅲ期ドーム計画に向けた新規深層掘システムの設計及び実証実験を通じた改良の推進	古崎 睦	旭川工業高等専門学校・教授	H30～32	3年

3. 研究集会

No.	研究課題名	研究代表者	所属・職
30集1	太陽地球環境データ解析に基づく超高層大気の空間・時間変動の解明	能勢 正仁	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授
30集2	PANSY研究集会	佐藤 薫	東京大学大学院理学系研究科・教授
30集3	極域磁場・オーロラ変動のグローバルメカニズム研究会	田中 高史	九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・学術研究者
30集4	中間圏、熱圏、電離圏(MITI)研究集会	鈴木 秀彦	明治大学理工学部・専任講師
30集5	宙空および周辺分野のシミュレーション研究集会	埜 千尋	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所・研究員
30集6	地球環境の歴史的変遷に関する文理融合研究	谷川 恵一	国文学研究資料館・副館長/教授
30集7	「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の推進	山本 衛	京都大学生存圏研究所・教授
30集8	EISCAT研究集会	宮岡 宏	国際北極環境研究センター・教授
30集9	極域科学計算機システムを用いた極域科学研究の今後の展開	岡田 雅樹	国立極地研究所・准教授
30集10	極域における宙空圏観測・研究の将来構想に関する研究集会	富川 喜弘	国立極地研究所・准教授
30集11	SuperDARAN研究集会	行松 彰	国立極地研究所・准教授
30集12	南極海洋-海氷-氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会	青木 茂	北海道大学低温科学研究所・准教授
30集13	寒冷域における降雪観測や雪結晶の研究と教育の今後の展望	島田 互	富山大学理学部・准教授
30集14	2018年度 エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会	佐藤 陽祐	名古屋大学大学院工学研究科・助教
30集15	南極エアロゾル研究会	原 圭一郎	福岡大学理学部・助教
30集16	ロシア北極域の環境変動観測研究の現状と将来	飯島 慈裕	三重大学大学院生物資源学研究科・准教授
30集17	永久凍土の変動とそのモニタリングに関する研究集会	原田 鉱一郎	宮城大学食産業学群・教授
30集18	南極30m級テラヘルツ望遠鏡によるサイエンスの検討	久野 成夫	筑波大学数理物質系・教授
30集19	グリーンランドの氷床・気候変動とその影響	東 久美子	国立極地研究所・教授
30集20	南極ドームふじ氷床深層コア全層詳細解析および「最古のアイスコア」についての研究討論集会	藤田 秀二	国立極地研究所・教授

No.	研究課題名	研究代表者	所属・職
30集21	2018年度 極域大気～アイスコア中の微生物に関する研究集会	中澤 文男	国立極地研究所・助教
30集22	可聴下波動伝播特性による極域の多圏融合物理現象解明に関する研究集会-IV	山本 真行	高知大学システム工学群・教授
30集23	東南極リュツォ・ホルム岩体およびその周辺地域・関連地域の地殻進化の研究	豊島 剛志	新潟大学自然科学系(理学部)・教授
30集24	極域のオープンデータ・オープンサイエンスに関する研究集会	金尾 政紀	データサイエンス共同利用基盤施設/国立極地研究所・准教授
30集25	太陽系小天体探査に向けた惑星物質の分光的研究(その2)	海田 博司	国立極地研究所・助教
30集26	極域から探る地球表層変動と固体地球の応答	奥野 淳一	国立極地研究所・助教
30集27	南極沿岸生態系における動物相の多様性解明に向けて	角井 敬知	北海道大学大学院理学研究院・講師
30集28	「北極研究の長期構想」改訂を踏まえた北極研究構想研究集会	青木 輝夫	岡山大学理学部地球科学科・教授
30集29	無人機の活用による極地観測の展開	林 政彦	福岡大学理学部・教授

本報告書は、平成30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。