

令和 2 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
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	6
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	9
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	11
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	13
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クスの研究	熊本 篤志	15
30-12	デジタルプラネ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	19
31-11	南米赤外線カメラによる超高層大気波動のイメージング	鈴木 臣	21
31-12	太陽圏環境と宇宙線変動のシミュレーション研究	三宅 晶子	23
2-6	数値シミュレーションによる太陽風-磁気圏電離圏系相互作用の研究	藤田 茂	25

(2) 気水圏

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	28
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	30
31-18	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および船体着氷メカニズムの解明	山口 一	33

(3) 地圏

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	38
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	40
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	42
30-19	南極産アングライト隕石の鉱物学的研究	三河内 岳	45
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 真	49
2-18	両極域における地球内部構造・地震発生・地震活動に関する総合的研究	趙 大鵬	51

(4) 生物圏

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	54
30-23	季節海水域におけるアイス・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	56
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	58
30-25	飛翔性海鳥類の食性と海洋環境の関係について	山本 麻希	60
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	62

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	.....	65
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	.....	67
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	.....	69
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	.....	71
(5)極地工学				
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	.....	75
30-32	極地における高空風力発電手法の研究	赤坂 剛史	.....	77
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	.....	79

Ⅱ. 研究集会報告

研究集会

No.	研究課題名	ページ
2集1	南極における宙空圏研究・観測の将来構想に関する研究集会	83
2集2	PANSY研究集会	84
2集3	SuperDARN研究集会	85
2集4	中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究集会	86
2集5	STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(極域を軸とする宇宙天気現象の予測精度向上に向けて)	87
2集6	EISCAT研究集会	88
2集7	太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用	89
2集10	ニーオルスン観測研究集会	91
2集11	南極エアロゾル研究会	92
2集12	南極テラヘルツ望遠鏡によるサイエンスの検討	93
2集14	無人機の活用による極地観測の展開	94
2集15	南極メソスケール雪氷研究集会	95
2集16	2020年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会	96
2集18	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	98
2集20	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-VI	99
2集21	極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会	100
2集22	マルチスケールの極域地圏変動から探る多圏地球システムと全球環境変動	101
2集25	2020年 南極医学・医療ワークショップ	102
2集26	南極海産およびオホーツク海産翼足類の分類および生理生態実験に関する研究集会	103

Ⅲ. 令和2年度共同研究課題一覧

1.	令和2年度共同研究実施件数	105
2.	一般共同研究	106
3.	研究集会	111

1. 記号の説明

◎・・・・研究代表者

2. 表記例

(研究課題)

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クスの研究

(研究代表者)
(共同研究者)

◎熊本 篤志 東北大学大学院理学研究科・准教授
加藤 雄人 東北大学大学院理学研究科・教授
佐藤 由佳 日本工業大学共通教育系・専任教育講師

(担当教員)

(国立極地研究所)
小川 泰信 准教授
宮岡 宏 特任教授

(研究期間)

平成30年度 ～ 令和2年度 (3か年)

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（1）宙 空 圏

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

(国立極地研究所)

堤 雅基 教授

小川泰信 准教授

研究期間 平成 30 年～令和 2 年 (3 ヶ年)

概要 ノルウェー・トロムソ (69.6°N, 19.2°E) の EISCAT 観測所において運用されている流星レーダー、全天イメージャー (極地研所有) とナトリウム (Na) ライダー、フォトメータ (宇宙地球環境研究所所有) のデータを併用して、オーロラ擾乱に伴う、北極域下部熱圏・中間圏大気の大気安定度変動を観測的に明らかにすることを目的とした。具体的には、①大気温度データよりブラントバイサラ周波数を求め、対流不安定が発生しているか吟味する。②大気温度データおよび風速データを併用して、リチャードソン数を求め、動的不安定の発生を吟味する。③オーロラ活動度の指標として、K 指数、全天イメージャー画像、フォトメータデータを用い、大気不安定度とオーロラ活動度の相関を吟味する。トロムソ Na ライダーにより取得された 2012 年 1 月から 2019 年 3 月までの約 8 年分のデータを解析した。また、新規開発したフォトメータの校正実験を極地研究所にて行い、2017 年 2 月からトロムソで冬季自動観測を毎年実施した。このフォトメータの初期結果を論文にまとめた。

大気安定度

ブラントバイサラ周波数(N)は次式で定義される。

$$N^2 = \frac{g}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma_d \right) \quad (1)$$

リチャードソン数(R_i)は、次式で定義される。

$$R_i = \frac{N^2}{\frac{d^2 u}{dz^2} + \frac{d^2 v}{dz^2}} \quad (2)$$

ここで、 g :重力定数、 T :大気温度、 z :鉛直方向座標、 Γ_d :乾燥断熱減率、 u, v :東向きおよび西向き風速である。式①から、大気温度の鉛直勾配が N を決める本質的なパラメータであり、大気温度鉛直勾配が負に大きくなり、 Γ_d を「超えると」、 N^2 は負になり、大気は対流不安定になる。式②から、右辺の分母は、水平風速の鉛直勾配を示し、鉛直勾配が大きくなる (鉛直風速シアアが大きくなる) と分母が大きくなり、 R_i が小さくなる。そして、 $1/4$ より小さくなると、大気は動的不安定となる。

結果

高度 85 km から 95 km において静的不安定確率は 0.6% から 20.6% まで、動的不安定確率は 2.0% から 20.1% まで変動した。ここで確率は、時間×高度領域 (例えば、6 分分解能幅×1 km 分解能幅で 1 領域とする) の全データ数を分母に、不安定になっている領域の総数を分子として、求めたものである (Zhao et al., *JASTP*, 65, 219-232, 2003)。静的不安定確率と動的不安定確率は弱い正の相関を示すのみで、強い相関はみられなかった。通常大気温度の鉛直勾配が、負に大きくなると静的不安定になり、かつ動的不安定にもなる傾向があると考えられる (式②の分子が小さくなるため)。しかし、両者に強い相関がみられなかったことは、動的不安定については、風速場の寄与が、大気温度の鉛直勾配より大きいことを示唆する。

静的不安定確率は高度 80 km から 100 km において、高度 90 km 付近がより安定な領域となり、

その上下でより不安定となる高度構造を示した。一方で動的不安定確率は、そのような高度変化を示さず、高度方向にほぼ一定であり、高度 95 km より上で不安定度が少し高くなった。

議論

大気不安定状態を生成する要因として、半日潮汐波の振幅、太陽活動度依存性 (F10.7 指数)、オーロラ活動依存性 (K 指数)、成層圏突然昇温、大気重力波の散逸との関連性を調べた。オーロラ活動依存性 (K 指数) を調べるときには、光学観測データを相補的に用いた。その結果、静的不安定度に関して、高度 95 km 以上の領域でトロムソにおける地磁気擾乱指数である K 指数と弱い正の相関があり、オーロラ活動への依存性が示唆された。また、高度 81 km - 85 km において、大気重力波のポテンシャルエネルギー(Kogure et al., *JGR*, 122, 7869-7880, 2017)が大きく減少することから、大気重力波の砕波が、静的不安定を起こす原因の一つであることを指摘できる。さらに、成層圏突然昇温後には、日毎の不安定確率がそれより前の期間よりも小さくなる傾向が見つかった。これは、成層圏・中間圏高度における水平平均風による大気重力波の鉛直伝搬への影響が指摘できる。動的

不安定度に関して、半日潮汐波の振幅が大きいほど不安定確率が高くなることが示され、大気潮汐波によって生じる鉛直風速シアが不安定状態を生成する要因になることを示した。

5 波長フォトメータ

沿磁力線方向のオーロラ降下粒子による発光観測のため、新フォトメータを開発した。このフォトメータの特徴は、①5 波長同時観測、②200 Hz の高速サンプリング、③視野確認機能、④コンパクト、である。特に、視野調整機能により、フォトメータによる沿磁力線方向観測を実現した。校正実験を極地研究所で実施し、その後、冬季自動観測をトロムソにて毎年実施した。

今後

大気不安定度に関するオーロラ活動度の依存性は、今回 K 指数で評価している。しかし、K 指数は 3 時間値であり、時間分解能はよくない。今後は、より時間分解能の高い、s 全天イメージャでオーロラの水平分布、フォトメータにより降下粒子エネルギーを求め、より詳細に定量的な議論をする予定である。

Nozawa, S., T. Kawabata, K. Hosokawa, Y. Ogawa, T. Tsuda, A. Mizuno, R. Fujii, and C. Hall, A new five-wavelength photometer operated in Tromsø (69.6°N, 19.2°E), *Earth, Planets and Space*, 10.1186/s40623-018-0962-x, 70:193, 2018.

Ogawa, Y., Y. Tanaka, A. Kadokura, K. Hosokawa, Y. Ebihara, T. Motoba, B. Gustavsson, U. Brandstrom, Y. Sato, S. Oyama, M. Ozaki, T. Raita, F. Sigernes, S. Nozawa, K. Shiokawa, M. Kosch, K. Kauristie, C. Hall, S. Suzuki, Y. Miyoshi, A. Gerrard, H. Miyaoka, and R. Fujii, Development of low-cost multi-wavelength imager system for studies of aurora and airglow, *Polar Science*, 23, 100501, <https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.100501>, 2020.

Pancheva, D., P. Mukhtarov, C. Hall, C. Meek, M. Tsutsumi, N. Pedatella, S. Nozawa, and A. Manson, Climatology of the main (24-h and 12-h) tides observed by meteor radars at Svalbard and Tromsø: Comparison with the Models CMAM-DAS and WACCM-X, *JASTP*, 207, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105339>, 2020.

Kawamura, Y., K. Hosokawa, S. Nozawa, Y. Ogawa, T. Kawabata, S. Oyama, Y. Miyoshi, S. Kurita, and R. Fujii, Estimation of the emission altitude of pulsating aurora using the five-wavelength photometer, *Earth, Planets and Space*, 72:96, 10.1186/s40623-020-01229-8, 2020.

(別紙)

研 究 協 力 者 参 加 者 一 覧

	一般共同研究(令和2年度報告)			課題番号	30-3
	研究課題名	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			
	氏名	所属	職	備考	
所内 (極地研)					
小計	名				
所外 (極地研以外)	川端哲也	名古屋大学	技術職員		
	前田咲穂	名古屋大学	修士学生		
小計	2 名				
合計	2 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。

レーダー観測、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
 (国立極地研究所)
 小川泰信 准教授
 片岡龍峰 准教授
 平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究は、オーロラ帯(トロムソ)から極冠域(ロングイヤビン)に展開されている装置(EISCAT, ESR, MF レーダー、ナトリウムライダー等)による観測、数値シミュレーションから、太陽活動・地磁気活動変化に対する極域昼側電離圏・熱圏変動を明らかにすることを目的に実施された。

本研究で得られた主な知見は以下のとおりである。

EISCAT 等観測

地磁気静穏時の特徴として、北向きの ESR 観測(32m アンテナによる高緯度側観測)ではイオン速度変動(速度シア)や急激なイオン温度変動がしばしば見られ、その他ではほぼ静穏な電離圏が観測される。一方、地磁気擾乱時にはトロムソ上空で激しい電離圏変動が現れ、また、高度 70 km にまで到達する高エネルギー粒子の降込みが観測された例があった。

上記以外にも、地磁気静穏時の極冠域昼側電離圏変動において理解が十分ではない現象が存在することも確かめられた。例えば、2021 年 3 月 25 日の ESR 観測では、大規模な地磁気擾乱が生じなかったにも関わらず、ESR42m アンテナ観測(沿磁力線観測)では高度 100 km 以下にまで侵入する高エネルギー降下粒子が観測された。

GCM シミュレーション

高エネルギー粒子の流入による電離、大気加熱、大気組成変動を調べるための数値コードを開発し

てきた。数値コードの動作確認や GCM への組み込みを行っている。また、大気圏・電離圏統合モデル(GAIA)に関して、極域での物理過程の高精度化を試みたほか、長期計算のための各種試験をおこなった。

2020 年初旬から現在まで、新型コロナウイルスの世界的な感染が続いている。この影響により、本研究で計画していた 2019 年度(2020 年 3 月)の EISCAT 特別実験は中止となり、また、2020 年度(2021 年 3 月)の特別実験は現地スタッフに依頼しての実施となった。今後、本研究の課題を継続し、EISCAT データ解析や GCM シミュレーションを実施していく予定である。

コロナ禍によって研究活動が大きく制限されたが、オンライン等による研究発表が行われた。本研究課題に関連する研究結果は以下のように公表された。

[本研究に関連する主な研究発表]

学術論文

Yasunobu Miyoshi, Hidekatsu Jin, Hitoshi Fujiwara, and Hiroyuki Shinagawa (2018), Numerical study of traveling ionospheric disturbances generated by an upward propagating gravity wave, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2017JA025110.

Chihiro Tao, Hidekatsu Jin, Yasunobu Miyoshi, Hiroyuki Shinagawa, Hitoshi Fujiwara, Michi Nishioka & Mamoru Ishii (2020), Numerical forecast of the upper atmosphere and ionosphere using GAIA, *Earth, Planets and Space*, 72:178 <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01307-x>.

Hiroyuki Shinagawa; Chihiro Tao; Hidekatsu Jin; Yasunobu Miyoshi; Hitoshi Fujiwara (2020), Numerical prediction of sporadic E layer occurrence using GAIA, *Earth, Planets and Space*,

口頭発表

Satonori Nozawa・Yasunobu Ogawa・Hitoshi Fujiwara・Takuo Tsuda・Takuya Kawahara・Norihito Saito・Satoshi Wada・Tetsuya Kawabata・Toru Takahashi・Masaki Tsutsumi・Chris Hall・Asgeir Brekke, Horizontal temperature gradients in the polar MLT region above Tromsø using sodium LIDAR data, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

Hitoshi Fujiwara・Satonori Nozawa・Yasunobu Ogawa・Yasunobu Miyoshi・Hidekatsu Jin・Hiroyuki Shinagawa・Chihiro Tao・Ryuhō Kataoka・Huixin Liu, Ionospheric heating in the dayside polar region during solar minimum and geomagnetically quiet equinox periods, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

陣英克・三好勉信・埜千尋・品川裕之・藤原均・松村充, 大気圏-電離圏結合モデル GAIA の高精度化と検証, 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会, 名古屋大学, 11月, 2018.

野澤 悟徳・津田 卓雄・斎藤 徳人・高橋 透・川原 琢也・小川 泰信・藤原 均・和田 智之・小川 洋平・Hall Chris・Brekke Asgeir, Statistical study of Sporadic Sodium Layer (SSL) observed at Tromsø, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 5月, 幕張, 2019.

藤原 均・野澤 悟徳・小川 泰信・三好 勉信・陣 英克・品川 裕之・埜 千尋, Characteristics of the ionospheric variations in the dayside polar region, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 10月, 熊本, 2019.

藤原 均, 三好 勉信, 野澤 悟徳, 小川 泰信, 陣 英克, 埜 千尋, 品川 裕之, Space weather modelling of the dayside polar ionosphere and thermosphere, 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 7月, オンライン, 2020.

野澤 悟徳, 津田 卓雄, 斎藤 徳人, 川原 琢也, 和田 智之, 小川 泰信, 藤原 均, 高橋 透, 川端 哲也, ホール クリス, ブレッケ アスゲイル, Statistical study of Sporadic Sodium Layers (SSLs) above Tromsø (2), 地球惑星科学関連学会連合大会 (JpGU-AGU Joint Meeting), 7月, オンライン, 2020.

極域および中低緯度レーダー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

橋本久美子 吉備国際大学農学部・教授

(国立極地研究所)

西村幸敏 ボストン大学宇宙科学研究センター・准教授

西谷望 名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授

富澤一郎 電気通信大学宇宙電磁環境研究センター・協力研究員

門倉昭 国立極地研究所・教授

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

極域から中低緯度・赤道に出現する地磁気急始(SC)、地磁気脈動(Pc5, Pi2)、そして長時間変動する DP2, storm/substorm の磁場変動は、磁気圏電流に加えて電離圏電流の寄与が大きい (Kikuchi, AGU Book 2021)。SC の場合、磁気圏境界電流により放射され、赤道面を伝搬する compressional MHD mode による磁場増加(DL 成分)に、極赤道電離圏 E 層電流による DP (PI, MI)成分が重畳する (Araki, PSS1977)。E 層電流は、光速で伝搬する地球電離圏導波管内 TM_0 電磁波モードにより伝送される (Kikuchi and Araki, 1979; Kikuchi, 2014)。中緯度では、DL, PI, MI, そして沿磁力線電流 (FAC)の磁場が重畳するため、顕著な緯度・地方時依存性を示す(Araki, AGUbook1994)。このために、地上磁場データだけで伝搬モードを特定することが困難であった。この課題解決のために、我々は、グローバル地磁気観測データに加えて、電気通信大学が実施している中緯度 HF Doppler(HFD)サウンダーの解析を進めた。HFD 周波数は、電離圏 F 層プラズマの上下運動速度を与え、電離圏F層電場を与える。電離圏電場とグローバル磁場、特に赤道ジェット電流による磁場との高い相関は、電離圏電場が TM_0 mode によって伝送される電位性電場であることを示す(Kikuchi et al., JGR2016)。グローバルシミュレーションによる沿磁力線電流と電位性電場・電流の再現は、これまで、磁気圏電離圏対流 (Tanaka, JGR1995), SC (Fujita et al., JGR2003; Tanaka, SSR2007), Substorm (Tanaka, JGR2000; Ebihara et al., JGR2014)についておこなわれた。電位性電場の特徴として、昼半球と夜半球で逆向きになり、かつ、夕方(20 MLT)の Prague では昼間と同じ東向き電場が観測された。電場の evening anomaly が 21MLT まで現れることは、統計的解析により示され(Kikuchi et al., JGR1985)、グローバルシミュレーションにより再現された特性と一致することが確認された(Kikuchi et al., JGR2016)。これらの成果を受けて、我々は、HFD の多点同時観測により、SC および磁気嵐電場の evening anomaly を含む地方時特性

を調べた。

この目的のために、チェコ Prague (PRG)、アルゼンチン Tucuman (TCM)、台湾 Zhongli (ZHL)で HF Doppler 観測をおこなっているチェコ大気物理学研究所のグループ(Dr. J Chum)と共同研究をおこなった。まず、磁気

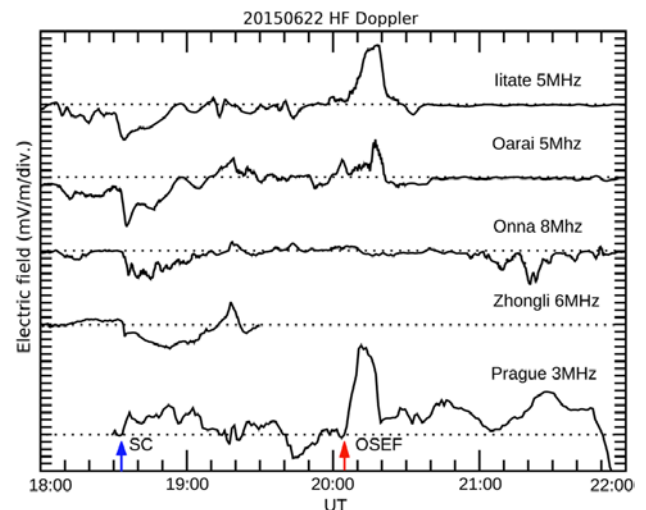


図 1. 日本(Iitate, Oarai, Onna)、台湾(Zhongli)、チェコ(Prague)で同時観測した磁気嵐の電場。SC は磁気嵐の開始を示し、OSEF は overshielding electric field を示す。

嵐主相の電場を解析し、evening anomaly を確認した (Hashimoto et al., 2020)。図 1 は、日本(Iitate, Oarai, Onna)、台湾(Zhongli)、チェコ(Prague)で観測された磁気嵐電場を示す。負の Doppler 周波数は東向き電場、正の Doppler 周波数は西向き電場に対応する。SC と同時に発達した磁気嵐主相の対流電場が日本の夜間(03 MLT)で西向き電場として観測される一方、夕方(20 MLT)の Prague では昼間と同じ東向き電場が観測された。電場の evening anomaly により、磁気嵐主相の電場を伝送する波動が compressional mode ではなく、地球電離圏導波管 TM_0 mode であることが確認された。Hashimoto et al.(2020)は、また、磁気嵐回復相で夜半球の日本(05 MLT)とチェコ(22 MLT)で強い東向き overshielding 電場(図 1 の OSEF)が発生することを示した。Overshielding 電場は、磁気圏内部で発達する

Region-2 field-aligned current(R2 FAC)に伴う電場で、対流電場と逆向きである。磁気嵐回復相の overshielding 電場は、日本、台湾、チェコで同時に観測され、かつ高緯度 SuperDARN レーダーでも観測された。オーロラジェット電流と静止衛星 ETS-8 が観測した磁場 dipolarization により、サブストームによる R2 FAC 電場であることが明らかになった。

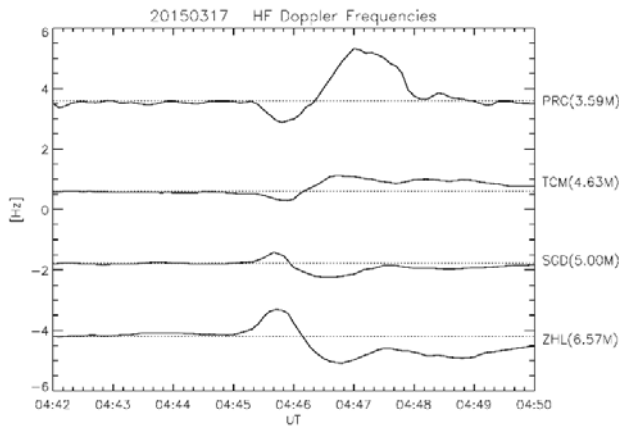


図 2. SC 時の昼と夜の HF Doppler 周波数同時観測。Prague (PRG), Tucuman (TCM) は夜側 (0545, 0025 MLT)、Sugadaira (SGD), Zhongli (ZHL) は昼側 (1345, 1250 MLT) であった。負の Doppler 周波数は東向き電場により、正の Doppler 周波数は西向き電場による。

次に、HFD によりグローバル同時観測された SC の中緯度電離圏電場と、極赤道磁力計による PI, MI 磁場を解析した。図 2 は、夜半球の PRG(0545 MLT), TCM(0025 MLT) と、昼半球の SGD(1345 MLT), ZHL(1250 MLT) で、同時観測された HFD 周波数を示す。SC 電場が連続する PI, MI 電場で構成され、それらは互いに逆向きであることを示す。また、PI, MI 電場は共に、昼半球と夜半球で逆向きになる電位性電場であることを示す(Kikuchi et al., 2021)。この解析ではさらに、PI 電場が昼と夜で同時 (10 秒精度) に開始することが明らかになった。PI, MI 電場が地球電離圏導波管 TM_0 mode により、光速度伝搬することを示している。

References

1. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, and T. Nagatsuma (2017), Substorm overshielding electric field at low latitude on the nightside as observed by the HF Doppler sounder and magnetometers, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, doi: 10.1002/2017JA024329
2. Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, T. Araki, A. Shinbori, B. Veenadhari, T. Tanaka, and T. Nagatsuma (2016), Response of the incompressible ionosphere to the compression of the magnetosphere during the geomagnetic sudden commencements, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2015JA022166.

[研究発表]

1. Kikuchi, Takashi (2021), Penetration of the magnetospheric electric fields to the low latitude ionosphere, *Space Physics and Aeronomy Collection Volume 3: Ionosphere Dynamics and Applications, Geophysical Monograph 260*, First Edition. Edited by Chaosong Huang and Gang Lu. © 2021 American Geophysical Union. Published 2021 by John Wiley & Sons, Inc. DOI: 10.1002/9781119507512.ch14
2. Kikuchi, Takashi, Jaroslav Chum, Ichiro Tomizawa, Kumiko K. Hashimoto, Keisuke Hosokawa, Yusuke Ebihara, Kornyanat Hozumi, Pornchai Supnithi (2021), Penetration of the electric fields of the geomagnetic sudden commencement over the globe as observed with the HF Doppler sounders and magnetometers, *Earth Planets and Space*, DOI: 10.1186/s40623-020-01350-8.
3. Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, I. Tomizawa, K. Hosokawa, J. Chum, D. Buresova, M. Nose and K. Koga (2020), Penetration electric fields observed at middle and low latitudes during the 22 June 2015 geomagnetic storm, *Earth, Planets and Space*, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01196-0>
4. Tanaka, T., Ebihara, Y., Watanabe, M., Den, M., Fujita, S., Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, and R. Kataoka (2020), Reproduction of ground magnetic variations during the SC and the substorm from the global simulation and Biot-Savart's law. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2019JA027172. <https://doi.org/10.1029/2019JA027172>
5. Tanaka, T., Ebihara, Y., Watanabe, M., Den, M., Fujita, S., Kikuchi, T., et al. (2019). Development of magnetic topology during the growth phase of the substorm inducing the onset of the near-Earth neutral line. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 124, 5158–5183. <https://doi.org/10.1029/2018JA026386>

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 共通教育学群・講師
 熊本篤志 東北大学 大学院理学研究科・准教授
 加藤雄人 東北大学 大学院理学研究科・教授
 新堀淳樹 名古屋大学 宇宙地球環境研究所・特任助教
 (国立極地研究所)
 門倉昭 教授
 小川泰信 准教授
 平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

地球の極域電離圏では、太陽からのエネルギー注入を受け、オーロラ発光現象のみならず、粒子加速、降下粒子による電離や加熱など、様々なエネルギー過程が生じている。その中で生じた非熱的電子を自由エネルギーとして、電離圏 200～1000 km では MF/HF 帯オーロラ電波 (auroral roar, MF burst, THR) が発生し、その一部が地上と宇宙空間に向かって放射されている (図 1; *LaBelle and Treumann, 2002*)。本研究は、北欧域で展開する地上観測と地球周回衛星による観測を基に、MF/HF 帯オーロラ電波の発生機構を解明することを目的としたものである。

平成 30 年夏季には、新しく開発した MF/HF 帯電波観測用の観測装置をフィンランド・キルピスヤルビにある KAIRA 観測点に設置し、観測を開始した。加えて、スバルバルの KHO 観測所に既設のアンテナの修繕や屋外ケーブルの交換、観測データを集録する外付けハードディスクドライブの交換などを実施した。本現地作業の前までは、主にケーブルの断線により 3 基のアンテナによる同時観測が不可能な状況であったが、これにより観測装置の復旧が完了し、所期のフル観測を再開することができた。図 2 は、KAIRA 観測点でのスペクトルデータ

の一例であり、夜間の電離圏電波吸収の低減による遠方雷放電の検出強度増加などが確認できる。

平成 30 年夏季の現地作業以後は、各観測点の地上電波観測機で過去に観測されたデータも含めて、MF/HF 帯オーロラ電波の各イベントを同定し、出現特性やスペクトル微細構造の特徴についての個別の解析を進めた。比較的強度の大きな現象が検出されやすい $2f_{ce}$ auroral roar については、先行研究 [e.g., *Shepherd et al., 1998; Hughes and LaBelle, 2001*] と同様の多様なスペクトル微細構造が観測された。図 3 (a) および (b) は、KHO 観測所での波形観測より得た 10 秒分のデータの例である。図 3 (a) では、10～20 kHz/s 程度の正の周波数ドリフトを持つ多数のエレメントが 1 kHz 程度の間隔で出現しているが、約 8 分後の図 3 (b) では、全く異なる特徴がみられる。また、本研究で特筆すべき成果の 1 つとして、auroral roar の中でも高周波の成分である $4f_{ce}$ auroral roar のスペクトル微細構造を初めて検出したことが挙げられる。図 3 (c) は、KHO 観測点での $4f_{ce}$ auroral roar の観測例であり、このイベントでは、3 分程度にわたって 3～4 Hz 程度の強度変調が見られた。他の $4f_{ce}$ auroral roar のイベントでは、

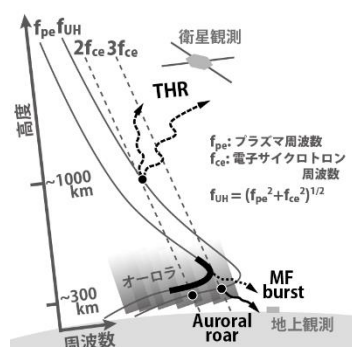


図 1 MF/HF 帯オーロラ電波発生と発生領域近傍の特性周波数を示す概念図。電子の特性周波数 (f_{ce} , f_{pe} , f_{UH}) に関連した共鳴条件を満たす領域が発生領域と考えられている。

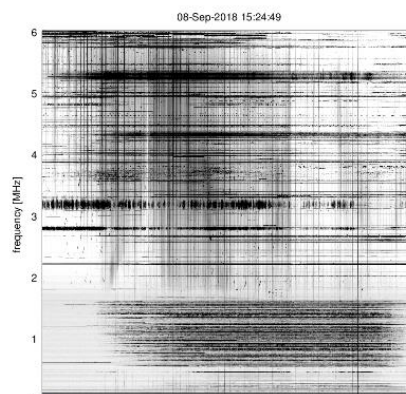


図 2 KAIRA 観測点での観測例
 (2018 年 9 月 8 日の半日分のスペクトルデータ)

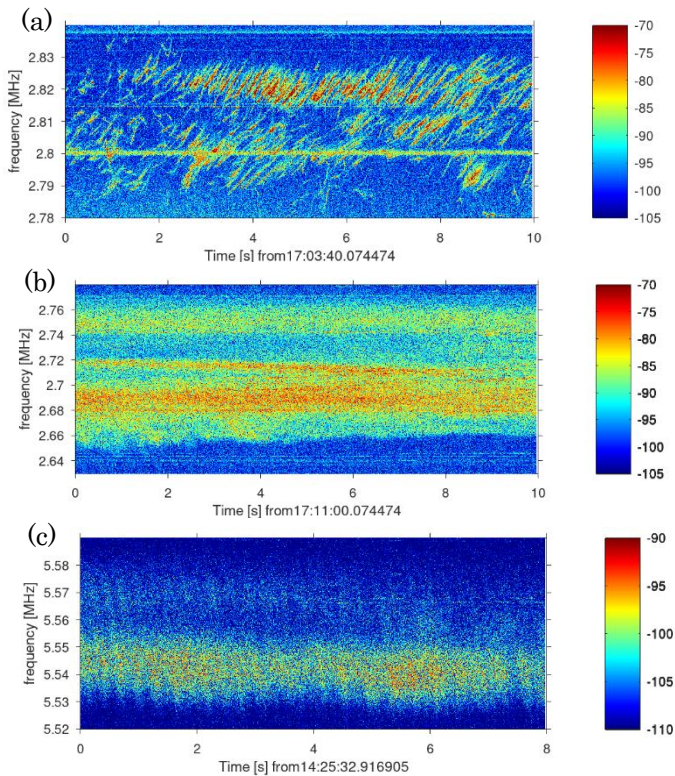


図3 KHO観測所での高分解能観測の例

- (a), (b) 2017年1月9日に観測された $2f_{ce}$ auroral roar イベント
(10秒プロット、多様な微細構造が見られる)
(c) 2015年8月18日に観測された $4f_{ce}$ auroral roar イベント
(8秒プロット、 $\sim 3\text{Hz}$ の強度変調が見られる)

明瞭な構造がないものもあったが、特徴的な変調 ($3 \sim 4\text{Hz}$ 程度) が含まれるものも複数検出された。このような強度変調は、 $2f_{ce}$ auroral roar に対して提唱されている説 [Shepherd *et al.*, 1998; Hughes and LaBelle, 2001; Ye *et al.*, 2007] を踏まえると、電離圏電子密度の空間構造や電子分布関数の変調に起因していることが示唆される。今後、詳細な理論的検討を進めるとともに、他の電離圏観測との同時観測イベントを得て、auroral roar のスペクトル微細構造の成因について検証する計画である。

一方、令和元年度中には観測機器の不具合 (KHO 観測所: データ集録用パソコンの故障、KAIRA 観測点: 高分解能データ集録用 SSD) が発生したことにより、十分な観測イベントを得る前に、高分解能観測の継続が困難な状況となってしまった。KAIRA 観測点では、低分解能のスペクトル観測は継続しており、1年強の連続観測の中で、複数のイベント ($2f_{ce}$ auroral roar: 3例, MF burst: 1例) が検出されたが、いずれも強度が弱く、詳細解析には向かないイベントであった。今後、太陽活動度の上昇に伴って、MF/HF 帯オーロラ電波の発生頻度も上昇することが期待されるため、データ集録部の修繕を行い、高分解能観測の再開によってより多くのイベントを検出し、これらの未解明事項を究明する計画である。

[参考文献]

- 1) LaBelle, J., and R. A. Treumann, Auroral radio emissions, 1. Hisses, roars, and bursts, *Space Sci. Rev.*, **101**, 295-440, doi:10.1023/A:1020850022070, 2002.
- 2) Shepherd, S. G., J. LaBelle, and M. L. Trimpi, Further investigation of auroral roar fine structure, *J. Geophys. Res.*, **103** (A2), 2219-2229, doi:10.1029/97JA03171, 1998.
- 3) Hughes, J. M., and J. LaBelle, First observations of flickering auroral roar, *Geophys. Res. Lett.* **28**, 123-126, doi: 10.1029/2000GL012210, 2001.
- 4) Ye, S., J. LaBelle, P. H. Yoon, and A. T. Weatherwax, Experimental tests of the eigenmode theory of auroral roar fine structure and its application to remote sensing, *J. Geophys. Res.*, **112**, A12304, doi:10.1029/2007JA012525, 2007.

[研究発表]

- 1) 佐藤由佳, 熊本篤志, 加藤雄人, 小川泰信, 門倉昭, New Observation of MF/HF Radio Emissions in the Northern Scandinavia, 第144回 SGPSS 総会および講演会, 2018年11月
- 2) Y. Sato, A. Kumamoto, Y. Katoh, Y. Ogawa, A. Kadokura, and A. Shinbori, Observations of MF/HF auroral radio emissions at three ground-based stations, Japan Geoscience Union Meeting 2019, 2019年5月
- 3) Y. Sato, A. Kumamoto, Y. Katoh, A. Kadokura, Y. Ogawa, and A. Shinbori, Ground-based observations of MF/HF auroral radio emissions at three stations, JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual, 2020年7月

飛翔体観測・地上観測に基づく電離圏・内部磁気圏プラズマダイナミクスの研究

◎ 熊本 篤志 東北大学・大学院理学研究科・准教授

加藤 雄人 東北大学・大学院理学研究科・教授

佐藤 由佳 日本工業大学・共通教育学群・講師
(国立極地研究所)

小川 泰信 准教授

宮岡 宏 特任教授

平成30年度～令和2年度（3か年）

1. はじめに

本研究では、衛星・観測ロケットによるその場観測，地上観測をもとに，電離圏・内部磁気圏での波動・粒子相互作用によって引き起こされるプラズマダイナミクスの解明に取り組んだ．特に，各種地上観測データと観測運用中のあらせ (ERG) 衛星のデータを活用して，(A) 地磁気脈動に同期した高エネルギー電子・コーラス波動の変調，(B) 波状構造を伴うサブオーロラ帯高速フローに焦点を当てて解析研究を実施した．それぞれの結果を2,3節に示す．

2. 地磁気脈動に同期した高エネルギー電子・コーラス波動変調の解析

あらせ衛星による観測データを用いて、地球内部磁気圏で発生する地磁気脈動と同期してホイッスラモードコーラス放射・keV 帯高エネルギー電子が変動する現象について解析・考察を進めた．地球磁気圏の高エネルギー電子の生成と消失過程の双方でホイッスラモードコーラス放射が果たす役割の重要性が指摘されており，これらの放射強度がどのような要因で変動しているかについては、未解明の問題が多く残されている．本研究では，地球磁気圏朝側で数分間の周期を持つ地磁気脈動に同期してコーラス放射が周期的に強度増大するイベントに注目して事例解析を行った結果，報告例の少ないトロイダルモードの地磁気脈動との相関イベントであること，35～60keV 電子のフラックスとピッチ角分布にも同周期の

変化が見られることを明らかにした．また，これら解析結果に基づく考察から，地磁気脈動が高エネルギー電子の粗密を生じることで、コーラス放射の変調が観測されるという解釈を示した [Ono, 2020]．

3. 波状構造を伴うサブオーロラ帯高速フローの解析

磁気嵐やサブストーム時に電離圏サブオーロラ帯では Subauroral Polarization Stream (SAPS) と呼ばれる西向き的高速フローが出現するが，それらには波状構造を伴うイベント (SAPSW) が含まれることが報告されている [Mishin et al., 2005]．SAPSW の成因を探るため，本研究では，SuperDARN (電離圏) とあらせ衛星 (磁気圏) の双方で同じ SAPSW を観測したイベントの解析から，SAPSW の発生時に磁気圏側のあらせ衛星で，対応する電場の変動が観測されることを明らかにした．さらに，磁気圏側で同様の電場変動が観測される際に，イオン圧の変動も観測されていることに着目して，波状の圧力分布を伴って地球方向にインジェクションするイオンの高圧領域で，圧力勾配ドリフトによって電離圏との間に沿磁力線電流を伴う電流回路が形成されて，電離圏側に波状に磁気圏電場が印可されているという仮説を検討している．この仮説は，通常の SAPS の成因として提案されている Current generator モデル [Anderson et al., 1993] をより小規模なイオン群に適用したもののだが，同様の現象がシミュ

レーション研究でも報告されている [Ebihara et al., 2009].

4. 今後の展望

(A) 地磁気脈動に同期した高エネルギー電子・コーラス波動の変調の解析は、少数イベントに基づく結果であることから、同様イベントの探索を進めることで、このイベントおよび解釈の一般性・特殊性について、さらに理解を深めていけるものと期待している。(B) 波状構造を伴うサブオーロラ帯高速フローの解析も、電離圏側は DMSP、磁気圏側は Van Allen Probes など他の観測データも活用して解析できるイベントを増やしていくとともに、Super DARN データを利用した磁気圏側でのイオンの2次元空間分布の推定、波状構造の成因についても解析・考察を進めて行きたい。

今後、あらせ衛星との連携を検討していけそうな地上観測として、北欧で展開されている極域オ

ーロラ電波観測を挙げることができる。地上観測の継続・システム更新と並行して、定常観測データのアーカイブ化も進めるようにできると、事例・統計解析に取り組みやすくなるものと期待される。

本研究では当初、極域電離圏カスプ周辺領域でのイオンアウトフロー現象の解明を目指す観測ロケット SS-520-3 号機の観測データを利用した解析研究も計画していたが、打ち上げ予定が 2021 年冬に延期されたことから、本研究の研究期間内には解析研究を実施できなかった。あけぼの衛星の低周波プラズマ波動・イオン質量分析データの事例解析からは、 H^+ のサイクロトロン周波数から低域混成共鳴周波数付近までの範囲の静電波の寄与が示唆されている [Ishigaya, 2018]。2021 年度冬に SS-520-3 号機の観測データが得られて、こうした仮説の検証が進められるようになることを期待している。

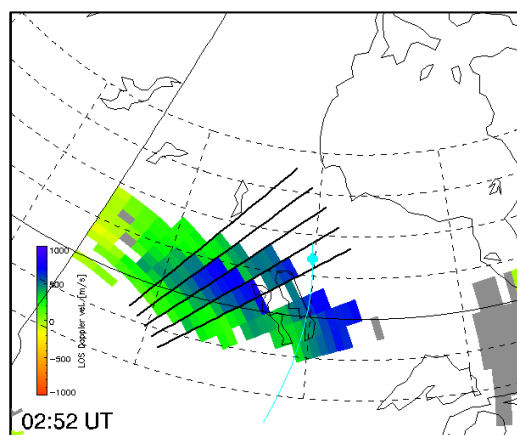


図 1. 2017 年 7 月 9 日に SuperDARN で観測された SAPSWS イベント

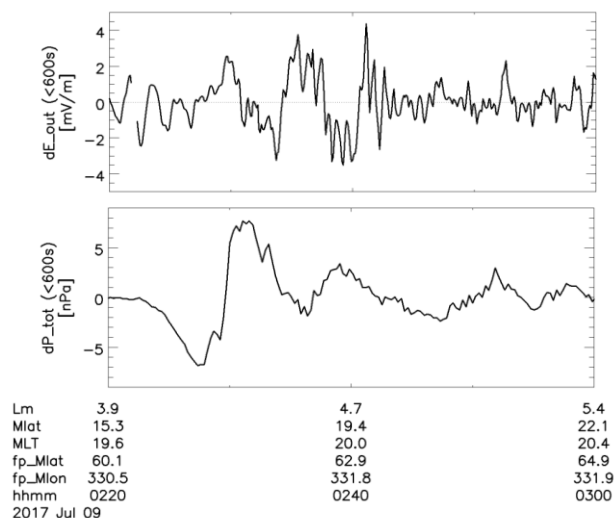


図 2. 2017 年 7 月 9 日にあらせ衛星で観測された電場およびイオン圧力の変動

[参考文献]

Anderson, P. C., W. B. Hanson, R. A. Heelis, J. D. Craven, D. N. Baker, and L. A. Frank, A proposed production model of rapid subauroral ion drifts and their relationship to substorm evolution, J. Geophys. Res., 98, 6069-6078, 1993.

Ebihara, Y., N. Nishitani, T. Kikuchi, T. Ogawa, K. Hosokawa, M.-C. Fok, and M. F. Thomsen, Dynamical property of storm time subauroral rapid flows as a manifestation of complex structures

of the plasma pressure in the inner magnetosphere, *J. Geophys. Res.*, 114, A01306, doi:10.1029/2008JA013614, 2009.

Mishin, E. V., and W. J. Burke, Stormtime coupling of the ring current, plas masphere, and topside ionosphere: Electromagnetic and plasma disturbances, *J. Geophys. Res.*, 110, A07209, doi:10.1029/2005JA011021, 2005.

Ishigaya, Y., H⁺ and O⁺ ion heating by ELF waves in the dayside cusp region (昼側カスプ領域における ELF 帯プラズマ波動による水素・酸素イオン加熱), Master's thesis, Tohoku University, 2018.

[研究発表]

1. Ono, A., Modulation of energetic electron distribution caused by toroidal mode ULF waves in association with periodic enhancement of chorus emissions (コーラス放射の周期的強度増大に関連したトロイダルモード ULF 波動による高エネルギー電子分布の変調に関する研究), Master's thesis, Tohoku University, 2020.

2. 竹中 達, あらせ衛星観測結果に基づくホイッスラーモードコーラス放射とプラズマ密度変動の対応についての研究, 修士論文, 東北大学, 2019.

3. Kumamoto, A., F. Tsuchiya, Y. Kasahara, Y. Kasaba, H. Kojima, S. Yagitani, K. Ishisaka, T. Imachi, M. Ozaki, S. Matsuda, M. Shoji, A. Matsuoka, Y. Katoh, Y. Miyoshi, and T. Obara High Frequency Analyzer (HFA) of Plasma Wave Experiment (PWE) onboard the Arase spacecraft, *Earth Planets Space*, 70, 82, doi:10.1186/s40623-018-0854-0, 2018.

4. 深見岳弘、熊本篤志、加藤雄人、西谷望、堀智昭、笠羽康正、土屋史紀、寺本万理子、木村智樹、笠原禎也、小路真史、中村紗都子、北原理弘、松岡彩子、今城峻、横田勝一郎、笠原慧、桂華邦裕、風間洋一、S.-Y. Wang、C.-W. Jun、浅村和史、三好由純、篠原育、S. G. Shepherd, あらせ衛星と SuperDARN で観測された SAPS Wave Structure の事例解析, 2020 年度極域・中緯度 SuperDARN 研究集会, オンライン, 2021 年 3 月 5 日.

5. 佐藤 由佳, 熊本 篤志, 加藤 雄人, 小川 泰信, 門倉 昭, 新堀 淳樹, Ground-based observations of MF/HF auroral radio emissions at three stations, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 千葉, 2020 年 7 月 12-16 日.

(別紙) 参加者一覧

研究協力者（共同研究者以外）

竹中 達 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程前期大学院生（平成30年度修了）

大野 敦裕 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程前期大学院生（令和元年度修了）

深見 岳弘 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程前期大学院生

デジタルプラネ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生産デザイン工学科情報システムコース・准教授

田中高史 九州大学・名誉教授

藤田茂 気象大学校・講師／極地研特任教授

北村健太郎 九州工業大学

古賀崇了 近畿大学

(国立極地研究所)

門倉昭 教授

田中良昌 准教授

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究では数値シミュレーションで再現された地球磁気圏に生じるさまざまな電磁気現象（おもにオーロラ）を立体的可視化するシステムを開発した。当該研究によって数値シミュレーション結果の観察を容易にする。本研究によりオーロラを見たことのない人々が仮想空間で可視化されたオーロラを鑑賞することによりオーロラに関連する電磁気的な諸現象に興味を持つことを期待した。

本研究ではUnityと呼ばれる3Dゲームエンジンを研究に用いた。Unityは、世界中で様々な事例に広く用いられ、様々な開発ノウハウが存在する。また、UnityのUIを用いた円滑な開発の可能性に期待したためである。開発は以下の手順に沿って遂行した：

1. あらかじめ用意されているcsvなどのテキストファイルから物理的な情報（地磁気、荷電粒子、電位など）を読み取る。
2. 情報から実際の形状に近い、かつ実際に見ることが出来るものに近いオーロラを3D平面にプロットし可視化する。
3. 上記の手段で可視化したオーロラに拡大・縮小などの簡単なインタラクションを持たせる。
4. Unityの3D平面上で作成したオーロラをASKA3Dなどの3D投影ツールを用いて立体的に投影する。

データ処理

今回使用したデータは数値シミュレーションにより生成された地球磁場をcsv形式で格納したものである。左手座標系であるUnityで正しい位置に物理量を可視化するため、座標および物理量を同時に回転させ座標系の変換を行った。データ取り込みの処理の流れを以下に示す：

1. csvファイルから座標を含めた物理的な情報を読み取る。
2. 可視化を行う際にオブジェクトごとに設定されている座標を三次元回転する。
3. 最後に、ワールド座標（3D平面全体の座標）基準でオブジェクトの回転を行う。

オブジェクト生成と空間への配置

本研究では物理量を可視化するために3Dオブジェクトを生成した。地球に見立てた球体全体ならびに生成したオブジェクトを過不足なく投影できるようカメラを設置し、カメラオブジェクトは空のゲームオブジェクトの子オブジェクトとして扱う。こうして視点回転の際に球体を動かすことなく可視化した物理量の観察を可能にしている。

まず、実現方法の手法を満足できるような環境づくりとして、スクリプトから地球球面上にオブジェクトを生成するシステムの構築を行った。

最初に、地球周辺に星を設置した。星を描画する際には、位置天文衛星ヒッパルコスの観測データ⁽¹⁾

を用い、それらのデータを変換して表示するスクリプトを、空のオブジェクトに取付け実行した。

仕組みとしては、あらかじめ設置された地球の座標からランダムな緯度経度を定め、それらを左手座標系での緯度経度へと変換し、その座標にオブジェクトを設置している。これにより、疑似生成したオーロラを複数の視点にて観察することを可能にした。

これらの成果をもとに、csv ファイルから座標を取得し、取得した値から物理量の簡易な可視化を行った。可視化した物理量は地表に沿って分布しその値によって色付けを変更した。なお地球に見立てた球面の外側に透明な球殻オブジェクトを設置し、地球上の電離層を表現した。

まとめ

本研究により 3D 平面上で動作する簡易な物理量観測システムを開発した。本研究にはいくつかの課題が挙げられる。

今回の研究では、地磁気の観測データを完全に可視化することが困難であったため、代替案として平面オブジェクトを出力したが、オーロラの形状や色

などの特徴をより正確に表現できれば、ユーザの没入感を向上することができたであろうと考えられる。

また、磁力線の可視化を目的とした線の描画も試みたが、使用した LineRenderer 関数の仕様上、磁力線のような曲線の描画には多数の中間点が必要であった。これらの中間点の座標を生成するためのスクリプトの記述が煩雑になる一方で、これらの中間点の正確な座標を表現するための座標値の精度を確保できなくなる問題が発生した。その結果、正しい数値シミュレーション結果が出力されなくなってしまう恐れがあったため、今回は実装を見送る結果となった。また、読み取った物理量の詳細を画面上で確認する方法の確立も課題に挙げられる。

今後の展望としては、まず上記の未実装の機能を実装していく。特に実際の形状に近いオーロラの可視化は本研究の今後の発展のためにも必須である。また、実際にオーロラの可視化に成功した場合、様々な場所で実演を行い多くのユーザにシステムの操作感をレビューしてもらうことにより、ユーザビリティ向上を目指す。

[参考文献]

1) Perryman M. A. C., et. al., "The Hipparcos Catalogue" *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 500, p. 501-504 (2009).

[研究発表]

才田聡子, 柏田元輝, 外村慶明, 尾花由紀, 北村健太郎, 古賀崇了, “データサイエンス教育の題材としてのオープンデータ可視化 Web アプリケーションの開発”, 情報教育シンポジウム論文集, Vol. 2019, 17-23, (2019).

Saita S., et. al., “Development of Web Based Visualization System for a Simulated Earth’s Magnetosphere”, OSp13, *The Tenth Symposium on Polar Science* (2019).

福井 悠太, “インタラクティブな電磁気現象可視化システムの提案”, 令和二年度 北九州工業高等専門学校 情報システムコース 卒業研究 論文集 (2020).

仲純平, 才田聡子, “web カメラと一般的なディスプレイを用いた立体視システムの提案”, INTERACTION2021 (第 25 回一般社団法人情報処理学会シンポジウム) (2021).

南米赤外線カメラによる超高層大気波動のイメージング

©鈴木臣 愛知大学地域政策学部・准教授
 (国立極地研究所)
 江尻省 助教
 西山尚典・助教
 平成31年～令和2年(2か年)

[研究成果]

本研究は、2017年に南米パタゴニアに設置した赤外線大気光カメラ(図1)を用いて、超高層大気における大気波動を検出しその特徴を明らかにするプロジェクトである。南米地域は、大気重力波のホットスポットとしても知られており、南極大陸上空大気との力学的つながりを議論する上でも非常に重要だといえる [Sato et al., JAS. 2012]。これまで得られている画像データから、波動構造の基本パラメータの統計的描像、延いては、南極圏大気のダイナミクスへの影響の解明へとつなげる。なお、観測装置の設計、設置には申請者も参加している(図2)。

本研究で用いた赤外線カメラ(Xenics Xeva-1.7-320)は、観測波長領域 900~1700 nm の超高感度なInGaAsセンサーを搭載しており、超高層大気のOHバンド発光(発光高度 85 km)の観測に適している。観測は、320×256 画素(約500 KB の CSV ファイル)の全天OH大気光画像を露光2秒、サンプリング時間5秒で取得している。

観測開始の2017年12月7日から2018年2月15日(新月期間の54晩)のカメラ視野内の天気を画像から判断した結果を図3に示す。この期間の総観測時間9,910分のうち、大気光画像が解析でき

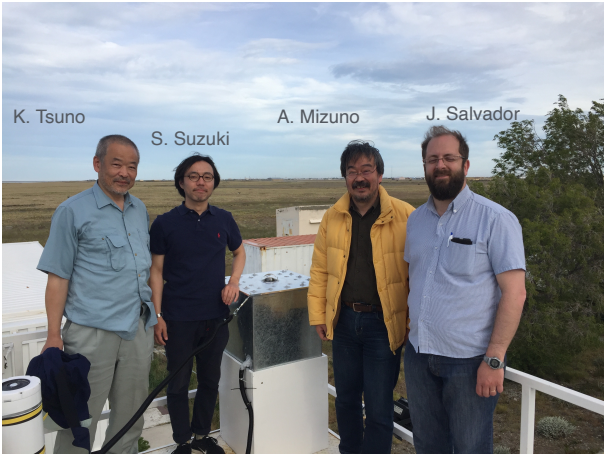


図2: カメラを収めた装置ボックス(中央)。

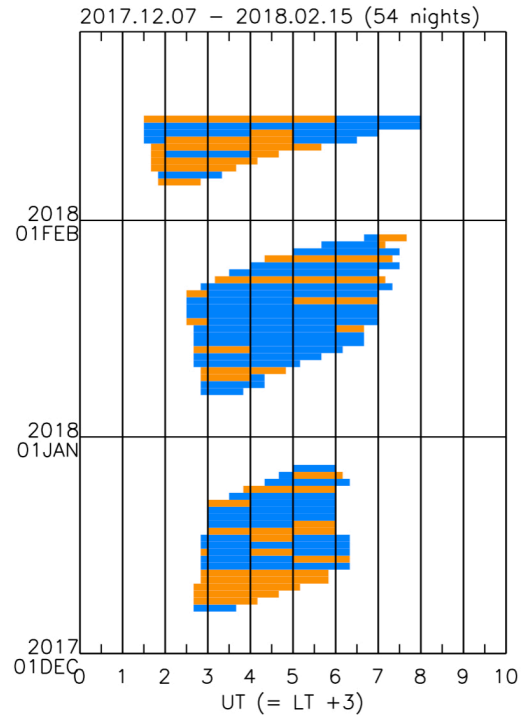


図3: 観測場所の晴天時間(オレンジ:晴天, 青:曇りや雨)。

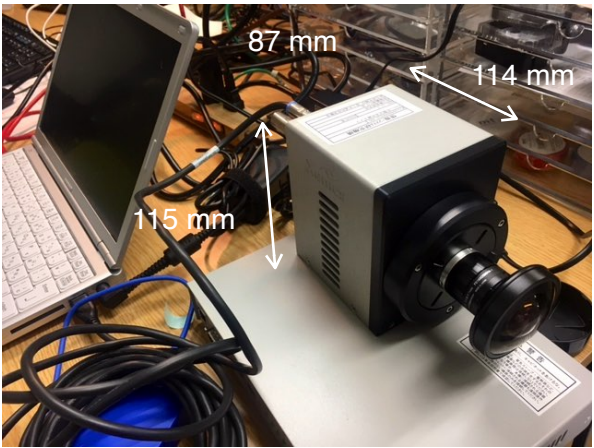


図1: 赤外線大気光カメラの外観。

る晴の時間は3,530分、雲が多く大気光の構造が見られない時間が6,380分であり、晴天率は35.5%となった。この期間の晴天率としては、日本の観測サイトとほぼ同程度であると言える。また、多くの小規模重力波とともにより小さなリップル構造も観測されていた（図4）。

本研究において、南米赤外線大気光カメラの観測データ解析環境の構築と、初期解析をおこなうことができた。今後は、大気光画像から得られた波動構造のパラメータの統計的な特徴、季節変化とともに波動の励起源の推定をおこなっていく必要

がある。

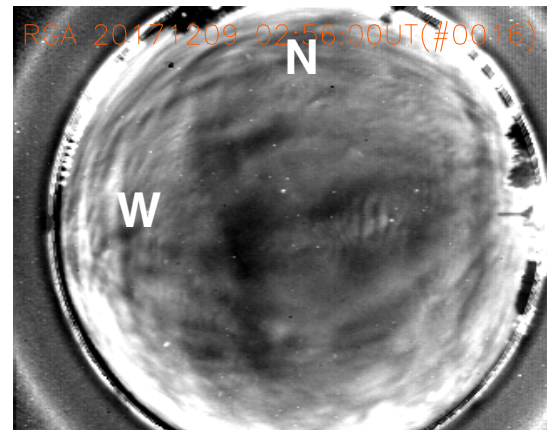


図4: 2017年12月9日の観測画像（OH大気光）。東西方向に伸びた大気重力波の波面と、中央付近により細かい波面構造を持つリップルが確認できる。

[参考文献]

Sato, K., S. Tateno, S. Watanabe, and Y. Kawatani; Gravity Wave Characteristics in the Southern Hemisphere Revealed by a High-Resolution Middle-Atmosphere General Circulation Model, Journal of the Atmospheric Sciences, doi: 10.1175/JAS-D-11-0101.1, 2012

太陽圏環境と宇宙線変調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

鷲見治一 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・客員研究員

(国立極地研究所)

片岡龍峰 准教授

平成31年～令和2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、本研究では磁気流体 (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を構築した。また、受入責任教員らが開発を進めている WASAVIES と同様の手法で南極における中性子モニターの計数率も求め、南極昭和基地での宇宙線観測データ公開サイトに理論予測値として公開した。具体的な成果は以下の通りである。

1. MHD-SDE ハイブリッドシミュレーションモデルの構築

太陽圏内における宇宙線輸送計算のための太陽圏背景場は、太陽から太陽圏外縁部にわたる広範囲の太陽風の流れ、とりわけ太陽圏電流シートを精度良く再現することが要求される。本研究では、直行格子の適合格子細分化法 (AMR 法) を MHD 太陽風シミュレーションに用いることにより、外部太陽圏においても太陽圏電流シートの解像度を高めつつ、太陽から距離 100 AU までの太陽圏の広がりを実算することに成功した。そしてこの太陽圏背景場を SDE を用いた宇宙線輸送シミュレーションに導入し、MHD-SDE ハイブリッドシミュレーションの基礎モデルを構築した。図 1 に、2018 年 9 月 30 日の太陽圏背景場を考慮して銀河宇宙線陽子および反陽子各 200 粒子の軌跡を時間に対して後ろ向き計算した結果 (伝播時間 15 日時点のスナップショット) を示す。太陽圏磁場による銀河宇宙線のドリフト運動により、宇宙線変調には宇宙線の電荷 (q) と

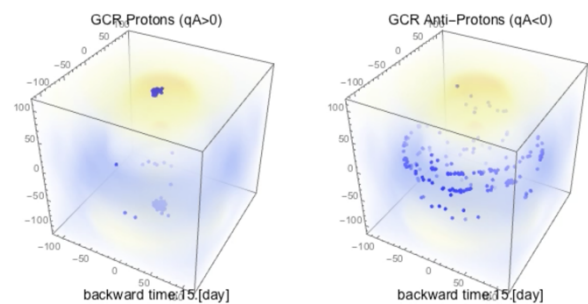


図 1 銀河宇宙線陽子 (左図) および銀河宇宙線反陽子 (右図) の太陽圏内における軌跡 (伝播時間 15 日時点のスナップショット)。背景色は太陽風速度を示し、低緯度領域には低速太陽風 (水色)、高緯度領域には高速太陽風 (黄色) が広がる。

太陽圏磁場の極性 (A) に応じた荷電依存性が生じることが知られている。MHD-SDE ハイブリッドシミュレーションで得られた銀河宇宙線の軌跡にも顕著な荷電依存性を確認することができ、 $qA>0$ の正極性 (銀河宇宙線陽子) の場合には太陽圏極領域を短時間で伝播するのにに対し、 $qA<0$ の負極性 (銀河宇宙線反陽子) の場合には太陽圏内を長時間さまよう結果が得られた。これらの結果はこれまでに知られていた宇宙線変調の荷電依存性に矛盾しない。さらに本シミュレーションでは、太陽圏内における宇宙線伝播の様子に顕著な南北非対称性があることも確認できた (図 2 参照)。これは従来の宇宙線変調に関する数値シミュレーションでは確認できなかった結果であり、MHD シミュレーションで得た太陽圏背景場を導入することで、南北非対称性を持つ実際の太陽圏環境を模擬できた成果と考えられる。

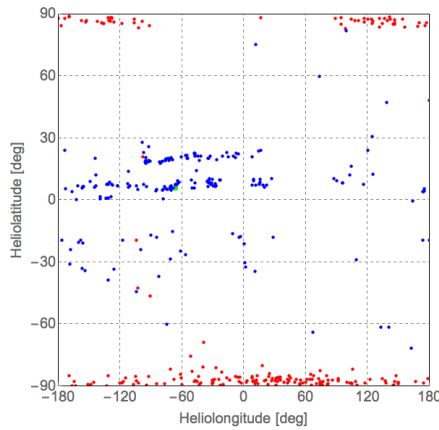


図2 銀河宇宙線陽子(赤)および銀河宇宙線反陽子(青)の太陽圏外縁部(100AU)における緯度・経度マップ

2. 南極昭和基地における中性子モニター計数率の予測値

過去数十年の太陽圏環境(太陽風と惑星間空間磁場)の変化をもとに2021年までの太陽圏環境の予測モデル(参考文献1)を立て、Miyake(参考文献2)と同様の宇宙線伝播計算手法で地球に到来する宇宙線(陽子とヘリウム)のエネルギースペクトルを数値計算した。さらに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、宇宙線が大気中の粒子と衝突した際に生成される中性子の量、および昭和基地の中性子モニターで期待される観測量を算出した。本結果は南極昭和基地での宇宙線観測データサイトに理論予測値として公開した。今後も引き続き太陽変動モデルの改良を進め、より精度の高い予測値に更新していく予定である。

[参考文献]

- 1) S. Miyake, R. Kataoka, and T. Sato; Cosmic ray modulation and radiation dose of aircrews during the solar cycle 24/25, Space Weather, 15, 589-605 (2017).
- 2) S. Miyake; Charge-sign dependence in the solar modulation during the solar cycle 23, Proceedings of Science ICRC2017, 018 (2017).

[研究発表]

- S. Miyake, T. Matsumoto, R. Kataoka, T. Sato, D. Shiota, H. Miyahara, S. Imada, and H. Ueno; MHD-SDE Hybrid Simulation of the Cosmic Ray Modulation, JpGU-AGU Joint Meeting, Virtual, 12-16 July, 2020.
- S. Miyake, T. Matsumoto, R. Kataoka, T. Sato, D. Shiota, H. Miyahara, S. Imada, and H. Ueno; Hybrid Simulation for the Solar Modulation of the Galactic Cosmic Rays During Recent Solar Cycle, AGU Fall Meeting, San Francisco, 11 Dec., 2019.
- T. Matsumoto, D. Shiota, R. Kataoka, H. Miyahara, and S. Miyake; A Dynamical Model of the Heliosphere with the Adaptive Mesh Refinement, Journal of Physics: Conference Series, 1225, 012008, 2019.
- S. Miyake, T. Matsumoto, R. Kataoka, T. Sato, D. Shiota, H. Miyahara, S. Imada, and H. Ueno; Solar modulation of galactic cosmic rays during grand minima: A hybrid simulation, Japan Geophysical Union Meeting, Chiba, 28 May, 2019.

数値シミュレーションによる太陽風・磁気圏電離圏系相互作用の研究

◎藤田茂 気象大学校 講師・極地研究所 客員教授
(国立極地研究所)
片岡龍峰 准教授
令和2年 (1か年)

[研究成果]

SC の PI 電流系に関する新たな発見： SC に伴う極域の PI 磁場変動は高緯度ほど継続時間が長いことが観測されている。この事実は、昼間の磁気圏圏界面圧縮で生成した磁気音波が磁気圏内でアルペン波に変換して電離圏高度の沿磁力線電流になるという従来の PI 電流生成モデルでは説明できない。今回、SC のシミュレーション結果を詳細に解析し、従来の PI 電流系に加えて、この現象を説明する新たな2つの電流系を発見した。その2つの電流系の模式図を図1に示す。

まず、高緯度に現れる PI 電流系を説明する。SC を引き起こす太陽風動圧急増域は地球に向けて平面波的に伝搬してくる。動圧急増域が磁気圏圏界面に到達した直後は、昼間の磁気圏圏界面は圧縮を受け、磁気圏内では図1の黒矢印で示したように、地球方向に向けたプラズマの流れが生じる。このプラズマ流は、正午付近では太陽-地球方向になる。この流れに伴う慣性電流は東向きの直線的な電流である。正午からある程度離れた MLT において、プラズマ流は太陽-地球方向から横に逸れるようになる。ここでは東向きの慣性電流が方向を変えるだけでなく、電流が午後側赤道面で収束、午前側赤道面で発散を示す。これにより図1の赤線でしめすような沿磁力線電流が発生し、電離圏に流れる。この電流は最も高緯度域の PI 電流を形成する。この電流系の経度方向の伝搬速度は昼間の磁気圏圏界面の変形が決め、電離圏高度では最も遅い。

次に、図1の青色で示された低緯度側の PI 電流系の生成機構を説明する。この電流系の一端は電離圏であるが、他の端は磁気圏圏界面を横切って magnetosheath に至る不思議な電流系である。磁気圏圏界面を横切る場所は、図1に示すように、太陽風の動圧変動のフロントが磁気圏圏界面を横切る領域である。ここでは、プラズマの流れがフロントを挟んで前面で減速している。このため、夕方側を考えた時、この原則領域には磁気圏圏界面を横切る慣性電流が流れることになる。この電流によって、magnetosheath の電流と磁気圏内の電流が連結する。

こうして磁気圏内に入り込んだ電流は慣性電流であり、磁力線に対して垂直に流れる電流である。この垂直電流は、磁気圏内部に進入し、プラズマの β 値が小さくなる内部磁気圏で沿磁力線電流に変換し電離圏につながっていく。この電流系の経度方向の移動速度は太陽風速度に関連しており、図1の赤字で示した高緯度 PI 電流系より速い。

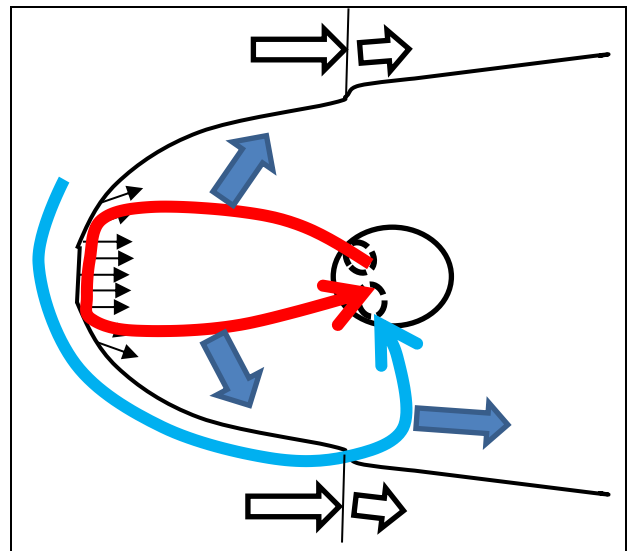


図1：SC の PI 期に現れる2つの電流系。赤い曲線が高緯度 PI 電流系で青い曲線は低緯度 PI 電流系である。昼間磁気圏内黒細矢印は磁気圏圏界面圧縮に伴う地球向きのプラズマ流、朝夕の磁気圏圏界面外側の白抜きの太い矢印は太陽風フローで、磁気圏圏界面から東西に延びる直線は SC を引き起こした太陽風動圧上昇域のフロントを示す。藍色の太い矢印は電流系の移動方向を示す。

結局、この2つの電流系が PI 期に同時に発生するために、一つの経度で観測した場合、低緯度側では青の電流系の経度方向の伝搬が速く、PI 磁場変動の継続時間は短くなり、高緯度側では赤の電流系がゆっくりと経度方向に移動するため、継続時間が長くなる。

なお、Fujita et al. (2003)が示した PI 電流系は、図 1 の青い電流系と赤い電流系の遷移域の電流である。

現在、この研究成果を論文に発表するため準備中である。

宇宙天気再解析データ作成に向けた REPPU コードの改良: 上記の SC 研究でも用いた REPPU コードは、太陽風を入力として、電磁流体力学に従った磁気圏電離圏でのプラズマの動きを正確に計算する数値モデルである。最近 NICT にて、このコードを用いた宇宙天気リアルタイムシミュレーションが始まり、宇宙天気予報にも応用されるようになってきている。そこで、REPPU コードの現象再現性を確かめ、将来的には、データ同化技法を応用し、宇宙天気再解析データを作成することが可能かを見極めるために、開発研究を開始した。まず、REPPU コードの電離圏現象再現精度を調べるため、自転軸の傾き、磁軸の歳差運動、太陽風磁場 xyz 3 成分をとり入れた新しい REPPU を作成した。その結果、SuperDARN で観測された電離圏電場ポテンシャル観測結果をほぼ再現することを確認した。また、

AMPERE で得られた沿磁力線電流分布と REPPU コードで得られた沿磁力線電流分布は大まかに相似であることを確認した。これらのことから、改良された REPPU コードの結果は第 1 段階の宇宙天気再解析データであると考えることができる。

さらにデータ同化によって電離圏電気伝導度の最適分布を得る方法を探るために、改良された REPPU コードで用いている電離圏電気伝導度決定因子を変化させ、計算結果がどのように変わるかを調べる感応実験を行った。その結果、地上磁場について、REPPU コードの計算結果と観測結果の比較を行うことがデータ同化に有効に使える可能性があることを確かめた。

*この研究は、情報システム研究機構による「未来投資型プロジェクト」の支援を受けている。

シミュレーションによる磁気圏電離圏現象研究: 九州大学の田中名誉教授と共に、REPPU コードを用いた substorm を中心とする磁気圏電離圏現象の研究を継続している。

[参考文献]

- 1) Fujita, S., T. Tanaka, T. Kikuchi, K. Fujimoto, K. Hosokawa, and M. Itonaga (2003), A numerical simulation of the geomagnetic sudden commencement: 1. Generation of the field-aligned current associated with the preliminary impulse, *J. Geophys. Res.*, **108** (A12), 1416, doi:10.1029/2002JA009407.

[研究発表]

1. Borovsky, J.E., Birn, J., Echim, M.M., Fujita, S., Lysak, R. L., Knudsen, D. J., Marghitu, O., Otto, A., Watanabe, T.-H., and Tanaka T. Quiescent Discrete Auroral Arcs: A Review of Magnetospheric Generator Mechanisms, *Space Sci Rev* (2020) 216: 1. <https://doi.org/10.1007/s11214-019-0619-5>
2. Tanaka, T., Y. Ebihara, M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka (2020), Reproduction of ground magnetic variations during the SC and the substorm from the global simulation and Biot-Savart's law, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2019JA027172. <https://doi.org/10.1029/2019JA027172>
3. H. A. Uchida, R. Kataoka, A. Kadokura, K. Murase, A. S. Yukimatu, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, Y. Ebihara, K. Hosokawa, A. Matsuoka, S. Kurita, S. Fujita, and I. Shinohara (2020), Asymmetric development of auroral surges in the Northern and Southern Hemispheres. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL088750. <https://doi.org/10.1029/2020GL088750>
4. T. Tanaka, Y. Ebihara, M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka (2020), Formation of the Harang reversal relating the substorm onset process, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, e2020JA028170. <https://doi.org/10.1029/2020JA028170>.

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（2）気 水 圏

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 長岡技術科学大学機械創造工学専攻・准教授

東信彦 長岡技術科学大学・学長

高田守昌 長岡技術科学大学機械創造工学専攻・助教

(国立極地研究所)

東久美子 教授

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

極地における氷床流動にはいくつかのメカニズムが考えられており、それらの内の一つは氷の自重によるせん断変形に起因した塑性流動により起きると考えられている¹⁾。このような塑性流動は、氷のすべり変形が関係しており、氷 Ih の結晶構造においては、高温では底面や非底面で活動する転位の運動によりすべり変形が活発に起き、これにより氷床流動が加速する²⁾。すべり変形の本質は、転位がすべり面をすべり方向にすべることで塑性変形が起き、これが温度と応力に応じて伝搬する過程にある。簡単のため、氷の高温クリープ現象が、底面すべりのみに依存すると仮定すると、転位は(0001)〈11 $\bar{2}$ 0〉すべりを起こして塑性変形を起こすことになる³⁾。

氷の塑性変形が進む際、転位が粒界に達すると、pile-up を起こしてそこに堆積する。また転位と転位がすべり変形中に相互作用を行えば転位がtangleを起こす。この結果、高温変形に伴い亜粒界が形成され、その後再結晶を起こして加速クリープを起こす²⁾。しかしながら、氷床流動はもちろん、人工氷を用いたクリープ実験でも、実際にどの程度の転位がクリープ変形中に形成、堆積されるかほとんどわかっていない。X 線トポグラフィー法を除き、X 線を用いて氷床コアの転位密度解析を最初に測定したのが Hori らである⁴⁾。彼らは Vostok の氷床コア

の深度変化に伴う転位密度を測定し、 10^9 m^{-2} のオーダーの転位密度の解析に成功している。そこで本研究では、低温で測定可能な X 線装置を新たに開発し、低温測定用のステージの作製、その X 線プロファイルの評価および解析手法を確立した。

図 1 に温度 -20°C 、負荷応力 2MPa でクリープ変形させたクリープ前後の人工氷の光学顕微鏡 (OM) 像を示す。

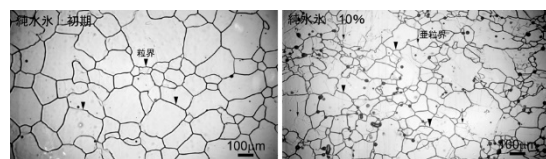


図 1 クリープ変形により生じた人工氷の初期組織と 10%ひずみを与えた試料の OM 像

クリープ変形後に粒界付近に亜粒界が形成されていることがわかる。同時に変形後結晶粒径が微細化した領域が粒界近傍に見られ、再結晶も生じている。これらの組織は転位がクリープ変形に伴い運動していることを如実に表している。

図 2 に、開発した X 線 (Rigaku, Ultima IV) 用ステージの外観写真を示す。冷却には、乾燥窒素ガスを用い、ガスを銅合金製のパイプで液体窒素中に誘導しガス温度を下げ、その冷却ガスをステージの下部に誘導し、試料ステージを冷却するシステムを構築した。氷試料を設置するホルダーにはカプト

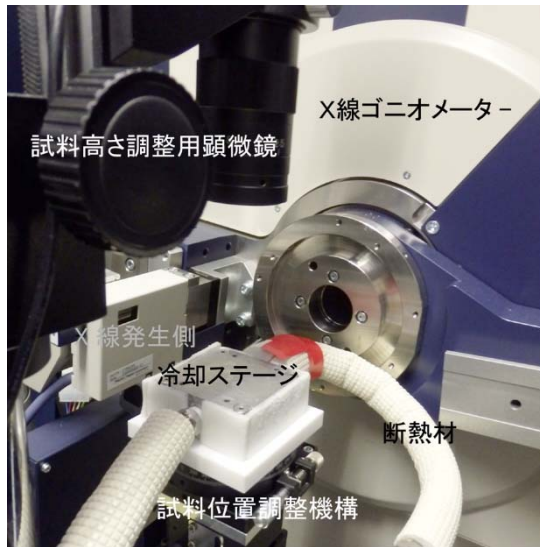


図2 開発した X 線測定用ステージ
ンテプを用い、-10 °C の低温室でカプ
ンテプ内に氷試料を封じ込め、試料を X
線回折 (XRD) 装置に輸送中に試料表面に
霜が付くことを防いだ。

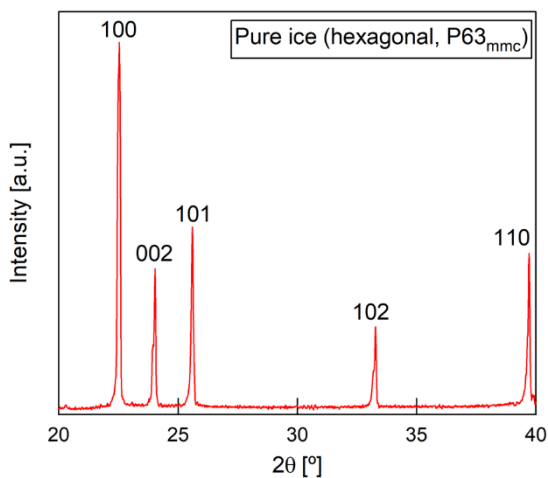


図3 人工氷から得られた XRD パターン

図3に純氷から得られた X 線プロファイ
ルを示す。氷の Ih の結晶構造を見事に再現
した結果が得られた。この X 線プロファイ
ルより転位密度を測定する手法の詳細は割

愛するが、クリープ変形中に 10^{15} m^{-2} のオー
ダーの転位密度が活動していることを明ら
かにした。

[参考文献]

- 1) 東信彦, トライボロジスト, 50 (2005) 725-730.
- 2) S.H. Faria, I. Weikusat, N. Azuma, J. Struct. Geol., 61 (2014) 21-49.
- 3) T. Hondoh, Physics of Ice Core Records, Hokkaido University Press, Tokyo, (2000) 3-24.
- 4) A. Hori, T. Hondoh, M. Ogura, V.Y. Lipenkov, Ann. Glaciol., 39 (2004) 501-504.

[研究発表]

- 1) T. Homma, T. Saruya, M. Takata, N. Azuma, K. Goto-Azuma, Effects of impurity drag in NEEM (North Greenland Eemian ice Drilling) ice core being applied phase transition, ISAR-6, 2020 年 3 月 2 日, 一橋ホール, 東京.
- 2) K. Hirai, M. Takata, N. Azuma, K. Goto-Azuma, T. Homma, Dislocation density measurement in artificial polycrystalline ice by X-ray diffraction, 第 10 回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所, 2019 年 12 月 4 日, 東京.
- 3) W. Shigeyama, K. Goto-Azuma, K. Fukuda, F. Nakazawa, M. Takata, T. Homma, N. Azuma, D. Dahl-Jensen, D.D. Jensen, Size and shape of solid particles in a Greenland ice core, Japan Geoscience Union Meeting 2019, 2019 年 5 月 28 日, 千葉.

(別紙) 参加者一覧

研究協力者

平井一輝 長岡技術科学大学機械創造工学専攻・修士 2 年 (令和 2 年度修了)

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
 飯塚芳徳 北海道大学低温科学研究所・准教授
 (国立極地研究所)
 本山秀明 教授
 平成 30 年～令和 2 年度 (3 か年)

[研究成果]

本報告書では、本研究課題で実施されたグリーンランドの北西部で採取された雪氷試料の化学・生物解析から明らかになった、この地域での物質・水循環に関する研究成果から学術論文として公表された 2 つの成果について述べる。

グリーンランド北西部カナック氷帽における氷河表面への不純物付加量の空間分布とその起源の推定 (研究発表リスト 1)

はじめに

現在の温暖化下においてグリーンランド氷床および周辺の氷河・氷帽の質量損失は、海水準上昇を引き起こす最も大きな要素の一つである。特に氷河や氷帽は、氷床に比べて、標高が低い位置に存在するため、気温上昇に対する応答が敏感である。氷河・氷帽の質量損失は主に気温上昇と表面アルベドの低下によって増進されている。表面アルベドが低下すると太陽放射の吸収が増加し、融解が促進されるからである。表面アルベドの低下は、積雪粒子の増大と不純物濃度の増加によって生じる。

グリーンランド北西部のカナック氷帽では 2012 年より表面質量収支の観測が行われ、中流域では氷河表面の暗色化によって気温に対する表面融解量の割合が上、下流域より大きいことが明らかになった¹⁾。氷河表面への汚れ物質は、大気からの降下と氷河表面の融解によって氷体内から露出によって付加される。本研究では、カナック氷帽において、融雪期前の積雪に含まれる不純物から大気降下量を、氷体内に含まれる不純物から露出する不純物量の空間分布を求め、氷体内における不純物分布が形成されたメカニズムを考察した。

観測場所、試料採取方法、化学分析方法

観測は 2017 年 6 月にグリーンランド北西部のカナック氷帽にて行われた。消耗域の下流 (標高 240m、430m)、中流 (580m、740m)、上流 (840m、970m) において融雪期前の季節積雪の観測と試料採取、氷

体の試料採取を行った。試料は清浄なポリエチレン袋内で融解後、清浄なポリプロピレン瓶にて保管した。不溶性不純物濃度、水の安定同位体比は北海道大学低温科学研究所においてコールターカウンター (Beckman; Multisizer 3)、キャビティーリングダウン分光器 (Picarro; L2130i) で、トリチウム含有量は国立極地研究所において液体シンチレーションカウンター (Aloka; LSC-LB1) でそれぞれ分析した。

結果と考察

積雪中の不純物濃度に積雪水当量深度を乗じ、SIGMA-B サイトの AWS データから推定した積雪期間を除して、各地点の年間の大気降下物量を推定した。また氷体中の不純物濃度に氷河の年間消耗量を乗じて、氷体から露出する不純物の年間積算量を推定した (図 1)。その結果、暗色している中流域において氷体から露出する不純物濃度が高く、年間露出量が高いことが分かった。この中流域の氷体の水同位体比は間氷期の値を示したことから、大気降下物量が 10 倍近く大きかった氷期に堆積した不純物ではなく、完新世の温暖期に上流域で生物繁殖を伴う不純物の濃縮が生じ、それが流動によって、現在の中流域に露出しているというメカニズムが推定された。

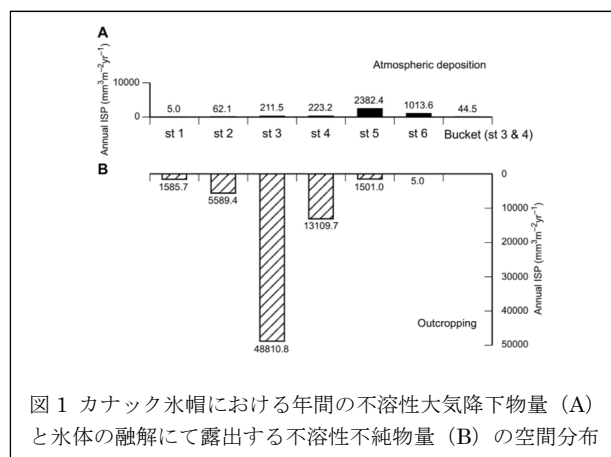


図 1 カナック氷帽における年間の不溶性大気降下物量 (A) と氷体の融解にて露出する不溶性不純物量 (B) の空間分布

北西グリーンランド氷床氷縁部 (SIGMA-A) アイスコアを用いたバフィン湾周辺の環境変動 (研究発表リスト 2, 4)

はじめに

グリーンランド氷床氷縁部で採取されたアイスコアは、局所的な環境復元に適しており、特に海洋、海氷況の変化に関する情報を復元できることが特徴である。本研究ではグリーンランド氷床北西部 SIGMA-A サイトで掘削されたアイスコアを用いて約 100 年間のバフィン湾の海氷況の変化をその要因について議論した。

観測場所と化学分析

アイスコアは 2017 年 5~6 月に、北海道大学低温科学研究所で開発された軽量型浅層メカニカルドリル (DOKODEMO Drill II) にて採取された。試料は冷凍で持ち帰り、低温室にて密度、層位等の物理解析を行った後、分割して融解し、以下の化学分析を行った。溶存化学種濃度、水の安定同位体比は北海道大学低温科学研究所においてイオンクロマトグラフィー (Thermo; ISC-2100)、キャビティリングダウン分光器 (Picarro; L2130i) で、トリチウム含有量は国立極地研究所において液体シンチレーションカウンター (Aloka; LSC-LB1) でそれぞれ分析した。

結果と考察

[参考文献]

1) Tsutaki, S. et al. (2017). Surface mass balance, ice velocity and near-surface ice temperature on Qaanaaq Ice Cap, northwestern Greenland, from 2012 to 2016. *Ann. Glaciol.*, 58, 181-192. doi: 10.1017/aog.2017.7

[研究発表]

- 1) Matoba, S. et al. (2020). Spatial distribution of the input of insoluble particles into the surface of the Qaanaaq Glacier, northwestern Greenland. *Front. Earth. Sci.* 8:542557. doi: 10.3389/feart.2020.542557
- 2) Kurosaki, Y. et al. (2020). Reconstruction of sea ice concentration in northern Baffin Bay using deuterium excess in a coastal ice core from the northwestern Greenland Ice Sheet. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 125, e2019JD031688. doi:10.1029/2019JD031688.
- 3) Amino, T. et al. (2020). Increasing dust emission from ice free terrain in southeastern Greenland since 2000. *Polar Science*, in press. doi:10.1016/j.polar.2020.100599.
- 4) 黒崎ら (2018). バフィン湾周辺の環境がグリーンランド北西部の降雪中の d-excess と化学成分に与える影響、雪氷、80(6)、515-529.

水同位体比とナトリウム濃度の季節変動、火山と水爆実験の示準層を用いて試料年代を推定し、全長 60m で 1909 年まで復元できることが推定された。水同位体比の季節変動から求めて年間表面質量収支量は、観測地点まで到達した空気塊が近傍の海洋から獲得した水蒸気量と高い相関を示し、氷床氷縁部の質量収支には、ローカルな水循環が影響していることが示された。春の過剰重水素の変動は、バフィン湾の海氷面積と高い相関を示した。この関係を用いて 1909 年から現在までの海氷面積の変動を復元し、1909~1920 年代は海氷面積が少なかったことが示された。また、復元された海氷面積の変動は、1950 年代と 1980 年代は南からの海洋の熱輸送と相関があり、1920-1950 年代と 1990 年代以降は気温と相関していることが示された。

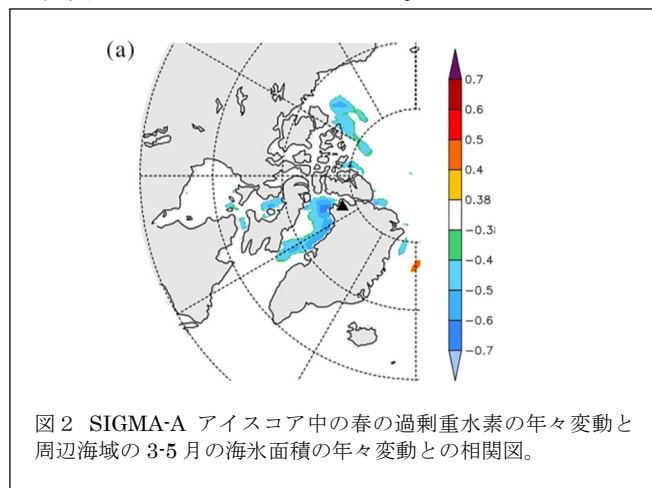


図 2 SIGMA-A アイスコア中の春の過剰重水素の年々変動と周辺海域の 3-5 月の海氷面積の年々変動との相関図。

(別紙) 参加者一覧 (研究協力者)

網野智美	北海道大学大学院	環境科学院	博士課程 (前期)	大学院生	平成 30 年度卒業
黒崎 豊	北海道大学大学院	環境科学院	博士課程 (前期)	大学院生	平成 30 年度卒業
柴田麻衣	北海道大学大学院	環境科学院	博士課程 (前期)	大学院生	平成 30 年度卒業
羽月 稜	北海道大学大学院	環境科学院	博士課程 (前期)	大学院生	平成 30 年度卒業
川上 薫	北海道大学大学院	環境科学院	博士課程 (後期)	大学院生	
安藤卓人	北海道大学	北極域環境研究センター	博士研究員		

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および船体着氷メカニズムの解明

◎山口 一 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授

早稲田卓爾 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授

村山英晶 東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授

小平 翼 東京大学大学院新領域創成科学研究科・助教

尾関俊浩 北海道教育大学教育学部・教授

澤村淳司 大阪大学工学研究科・助教

金野祥久 工学院大学機械工学科・教授

菊地 隆 海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター・センター長/東京大学大学院新領域創成科学研究科・客員教授

松沢孝俊 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所・主任研究員

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

(国立極地研究所)

牛尾収輝 教授

田村岳史 准教授

平成31年～令和2年(2か年)

[研究成果]

本研究期間中には、氷況が厳しくラミング航行が主体であった第55次航海(共同研究者の澤村が参加)のデータ解析を行うとともにラミングの数値モデルを開発し、その検証を行った。また、第61次航海に大学院生2名が参加し、水中航行性能試験と海水飛沫観測を行なった。しかし、第60次航海以降、EM氷厚計測等、氷況の詳細データが得られておらず、仮解析を実施するに止まっている。また、第62次航海には大学院生3名が乗船観測する予定であり準備を整えていたが、コロナ禍のため乗船・観測とも全てキャンセルとなり、データが得られていない。以下、第55次航海データ解析結果および研究成果、第61次航海データの解析速報の順に概要を記す。

(1) 第55次航海のラミングデータ解析とラミング航行数値モデルの構築

「しらせ」搭載の氷海モニタリングシステムに記録された船体挙動データと氷況を対応づけた。例を図1,2に示す。Area01は氷況の厳しい所(平均氷厚5.08m)、Area02はそれより緩い所(平均氷厚3.78m)であり、それぞれ451回、497回のラミングデータ

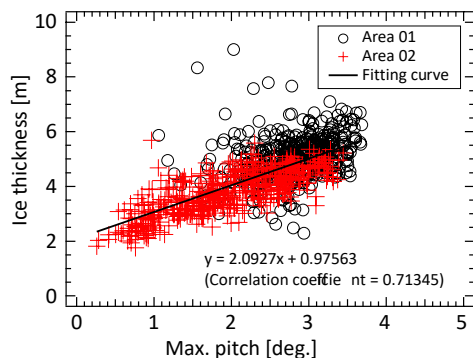


図1 船の最大ピッチと氷厚(+積雪深)の相関

を解析しプロットした。氷厚の大きい方が氷への船体乗り上げが大きくなるので船体ピッチ(船首上げを+)も増大とともにラミング進出距離が指数関数的に短くなる。一方、氷厚と最大ピッチの関係は線形的である。

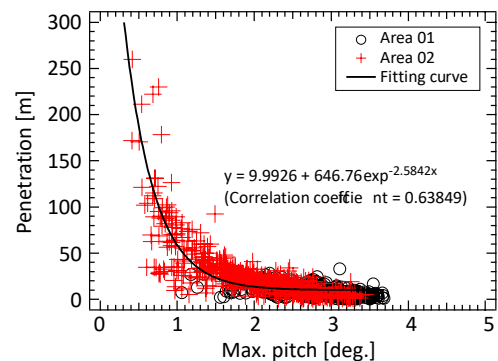


図2 船の最大ピッチとラミング進出距離の関係

ラミング時のエネルギーバランスを定式化した。考慮されるエネルギーは、1)氷への衝突前の船の運動エネルギー、2)ラミング中の船の運動エネルギー、3)船のプロペラ推力が加えるエネルギー、4)船体と氷の衝突によるエネルギー散逸、5)船の氷への乗り上げによる位置エネルギー、6)船体と氷との摩擦によるエネルギー散逸、の6成分である。

表1 ラミング進出距離の観測と計算の比較

		Measured [m]	Calculated [m]
Area 01 (444 rams)	Total	3663	3516
	Avg.	8.268	7.936
	SD	5.385	9.104
Area 02 (375 rams)	Total	6484	5250
	Avg.	17.38	14.04
	SD	7.51	6.67

表1に、エネルギーバランスから計算したラミング進出距離の観測と計算の比較を示す。平均進出距離で見れば差が5%程度 (Area01)、20%程度 (Area02) であり、まずまずの一致度と言えよう。しかし、計算にはまだ多くの仮定が含まれている上、個々のラミングイベントを見ると非常に大きな差の出ることもあるので、さらなる改良も必要である。

(2) 第61次航海データの解析速報

船体着氷研究に供する基礎データを得るため、第01甲板と第06甲板に海水飛沫計を取り付け、飛沫を計測した。これまでと同様の計測であるが、今回は、これまでの教訓を踏まえて、解析時に、降水による飛沫と艦橋窓洗浄時の飛沫を含まないよう、特に注意した。

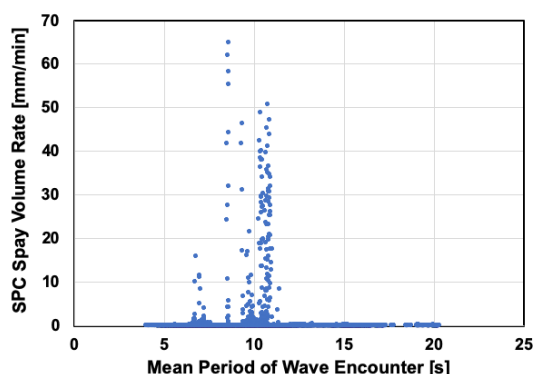


図3 SPC型しぶき計(第06甲板)で計測された飛沫量と出会い波周期の関係

図3に、第06甲板に設置したSPC型しぶき計により計測された1分あたりの飛沫体積(単位面積あたり。雨量に相当する表現)と船の出会い波周期の関係を示す。出会い波周期8~10秒あたりに飛沫量の

強いピークが見られる。出会い波周期は船の進む向きと速度によって変わるため、この結果は、波浪が厳しい所でも船体着氷を避けうる操船法があることを示唆している。

一方、水中航行性能試験については、ラミング進出距離に対する船首部散水の効果について、積雪深に注目した解析を行なった。図4に結果を示す。

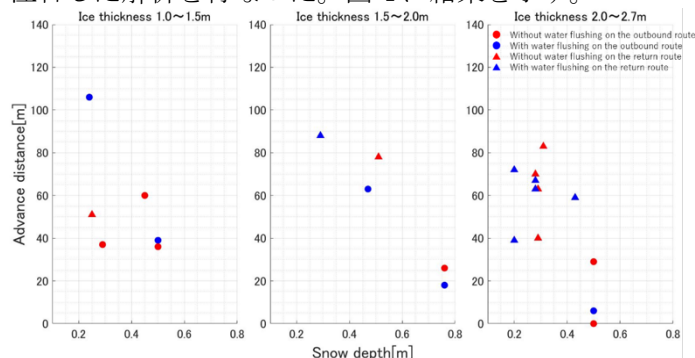


図4 ラミング進出距離と積雪深および船首部散水有無の関係：左より、氷厚小、中、大の結果。青が散水あり、赤が散水なし。○が往路、△が復路。これまで通り、データの大きなバラつきと時間制限によるデータ数の少なさが目立つが、積雪深が小さいほどラミング進出距離が延びることが示されている。また、散水ありの進出距離の平均が56m、散水なしの場合が49mであり、6%の増加が見られる。また、図には示されていないが、散水ありの場合、進出距離が140mを超える場合もあった。これらより、散水の効果は積雪が少ない方が大きそうだと推論できる。一方、散水による燃料消費量の増加は、これまで通り約4%と計測されたため、総合的に散水による消費燃料低減効果があることが、確認された。

[研究発表]

- Sawamura, J., H. Yamaguchi, S. Ushio and Y. Yamauchi, Calculation of penetration distance during ship ramming in multi-year ice, Okhotsk Sea and Polar Oceans Research, 4(2020), 10-17. (査読有)
- Sawamura, J., H. Yamaguchi, S. Ushio and S. Mizuno, Penetration distance of icebreaker "SHIRASE" during her Antarctic voyage and the calculation of ship ramming in heavy ice condition, Proc. 25th Intern. Symp. Ice, Trondheim (online), Nov. 23-25, 2020, 12p. (査読有)
- 伏見修一, 尾関俊浩, 安達聖, 富樫数馬, 山ロー, SPC型しぶき計および雨量計型しぶき計の捕捉率の風速依存性に関する研究. 寒地技術論文・報告集, 35, 1-4, 2019. (概要査読有)
- Onomura, T., R. Matsushita, H. Yamaguchi, S. Ushio, Y. Yamauchi and S. Mizuno, Sea-water spray measurement and icebreaking operation during JARE61 Shirase cruise, 11th Symposium on Polar Sciences, Nov 16 - Dec 18, 2020, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo (online), 1p. (Poster Presentation).
- Kusakawa, R., S. Fushimi, T. Ozeki, H. Yamaguchi and J. Inoue, Field observation of sea spray amount along MR18-05C, 6th Intern. Symp. Arctic Res., Mar 18 - Apr 10, 2020, Tokyo (online), 1p. (Poster Presentation).
- Kusakawa, R., S. Fushimi, T. Ozeki, H. Yamaguchi and J. Inoue, Experimental cruise for sea spray generation in MR18-05C. Tenth Symposium on Polar Sciences, Dec 3 - Dec 5, 2019, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo, 1p. (Poster Presentation).
- 伏見修一, 尾関俊浩, 安達聖, 富樫数馬, 山ロー, SPC型しぶき計および雨量計型しぶき計の捕捉率の風速依存性に関する研究. 第35回寒地技術シンポジウム, Nov 27-29, 2019, 札幌, 1p.

(別紙)

参加者一覧

小野村知之、松下凜太郎

以上、全て大学院学生

(別紙)

研 究 協 力 者 参 加 者 一 覧

		一般共同研究(令和2年度報告)		課題番号	31-18
		研究課題名	しらせ氷海モニタリングデータの解析による 海水状況の把握および船体着氷メカニズムの解明		
		氏名	所属	職	備考
所内 (極地研)					
小計	0 名				
所外 (極地研以外)	小野村知之	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	大学院生		
	松下凜太郎	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	大学院生		
小計	2 名				
合計	2 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。

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（3）地 圏

インフラサウンドによる極域表層環境変動の研究

- ◎ 山本 真行 高知工科大学 システム工学群・教授
 石原 吉明 宇宙航空研究開発機構・研究員
 長尾 大道 東京大学 地震研究所・准教授
 村山 貴彦 日本気象協会 事業本部事業統括部・主任技師
 松島 健 九州大学 大学院理学研究院・准教授
 平松 良浩 金沢大学 金沢大学理工研究域自然システム学系・教授
 戸田 茂 愛知教育大学 教育学部・教授
 柿並 義宏 北海道情報大学 情報メディア学部・准教授
 中元 真美 地震予知総合研究振興会・副主任研究員

(国立極地研究所)

金尾政紀 准教授

平成 30 年 – 令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

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

本研究による成果は、以下にまとめられる。昭和基地の 11 年間のモニタリング観測データを用いて、波形・スペクトル特性の時間変動について研究した。合わせて、取得データの公開についても詳細に記載した (Ishihara et

al., 2020)。広域解析では昭和基地及び周辺露岩域の地震データを用いて、各周波数帯の波動の到来方向推定を行い、リュツォ・ホルム湾の海氷振動を起源とするイベント検知を行い、インフラサウンドアレイによる結果と比較考察を行った (Tanaka et al., 2019)。また、南極の露岩域で取得したインフラサウンドデータを用いた極域表層変動に伴う衝撃波の自動検出アルゴリズムの開発を行った (Sorimachi and Yamamoto, 2017)。さらに昭和基地及び周辺氷床上の微気圧変動アレイ観測データより、各周波数帯の波動の到来方向推定を行い、リュツォ・ホルム湾の波浪や海氷振動を起源とするイベント検知を行った (Murayama et al., 2018)。その結果、2016 年 4 月の海氷流出時期と震源位置との明瞭な相関が得られた。またインフラサウンドおよび可聴音の比較観測から、氷河崩落に伴うと考えられるイベント検出を行った。砕氷船「しらせ」船上の南大洋波浪の解析からは、船体動揺による高度変化の影響について評価した (Kakinami et al., 2018)。なお、南極域における大気-海洋-固体圏の物理相互作用解明におけるインフラサウンドの重要性についてレビューを行った (Kanao, 2018)。

昭和基地における宙空系のデータを活用しつつオーロラ活動とインフラサウンドとの関係性の研究にも着手しており（Ohata and Yamamoto, 2020）、今後も継続した研究を行い、励起源となる地震・火山・海洋波浪・氷震・オーロラ関連現象など、極地に特徴的な波動に焦点を当て、大気伝播特性と時空間変化の解明に向けて貢献する。インフラサウンドの長距離伝搬特性から、雑音源の少ない極地での観測はグローバル観測網の一翼を担う意味で意義がある。インフラサウンド用の微気圧計は主に「包括的核実験禁止条約観測網（CTBTO）」に属しているが、南極大陸沿岸部でのアレイ観測は、これまでノイマイヤー基地とマクマード基地のみであり、南極域の観測網の充実のためにも、東南極リュツォ・ホルム湾域での長期間の観測が望まれ、CTBTO との連携促進・データ供給の

ために昭和基地でのモニタリング観測は重要である。また、西南極テラノバ湾の韓国基地（Jang Bogo）における韓国極地研究所（KOPRI）とのインフラサウンド共同観測を継続中であり、昭和基地での観測と西南極でのデータとを比較することで、南極大陸全域における大気-海洋-固体圏の物理相互作用解明と極域表層環境モニタリングへの貢献が期待される。さらに、励起源となる海洋波浪・低気圧・海水変動・遠地震・火山爆発・大氷震・オーロラ関連現象など、極地に特徴的な波動の大気伝播特性の解明から、「固体地球応答と雪氷圏変動への影響（SERCE）/SCAR」等のプロジェクト推進へ寄与すると共に、極域沿岸域での防災・減災への指標としても貢献が期待される。

[研究発表]

- Ishihara, Y., Murayama, T., M.-Y. Yamamoto, T. Matsushima and M. Kanao, Infrasound observation at Japanese Antarctic Station “Syowa”: 11 years observations and results, *Polar Data Journal*, 4, 45–54, doi: 10.20575/00000012, 2020
- Tanaka, Y., Y. Hiramatsu, Y. Ishihara and M. Kanao, Characteristics of non-tectonic tremors around the Lützow–Holm Bay, East Antarctica, during 2013–2015, *Polar Science*, 19, 77–85, doi:10.1016/j.polar.2018.11.010, 2019
- Sorimachi, R., Yamamoto, M.-Y., Suggestion of using a position estimation method for infrasound source findings in Antarctica, *The 8th Symposium on Polar Science*, Dec. 8, Tachikawa, 2017
- Murayama, T., M. Kanao and M.-Y. Yamamoto, Characteristic infrasound events associated with sea-ice discharges in the Lützow-Holm Bay of Antarctica: April 2016, *Antarctica - A Key To Global Change*, ISBN 978-953-51-6851-5, IntechOpen, London, United Kingdom, 1-10, doi:10.5772/intechopen.83023, 2018
- Kanao, M., Interaction Between the Multi-Spheres of the Earth's System and Polar Regions, Special Issue on " Polar Seismology - Advances and Impact", ISBN 978-1-78923-569-2, Chapter 9, pp. 87-97, IntechOpen, London, United Kingdom, doi: 10.5772/intechopen.78558, 2018
- Kakinami, Y., T. Murayama, M.-Y. Yamamoto, M. Kanao, Detection of infrasound wave on icebreaker SHIRASE during JARE-54 and -55, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会、プログラム U03-04、5 月 20 日-5 月 24 日、幕張メッセ国際会議場, 2018
- Ohata, H., Yamamoto, M.-Y., Establishment of investigating methods for clarifying the correspondence between infrasound in the polar regions and natural phenomena such as the aurora, *The 11th Symposium on Polar Science*, Nov. 16-Dec. 18, online, 2020.

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 島根大学総合理工学部・教授

(国立極地研究所)

外田智千 教授 堀江 憲路 助教

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究ではリュツォ・ホルム岩体に産する変花崗岩類・変斑レイ岩類の解析をもとにして、それらの原岩が形成された当時の地質環境を把握することを目的とした。これにより、ゴンドワナ超大陸の以前における当地の地質学的意義が見えてくる。このことは当岩体より近年報告されはじめた原生代（約 25～5 億年）の年代値の解釈にも重要である。解析に用いる試料は申請者らが参加した第 58 次南極地域観測隊の調査によって得られたものである。この調査は岩体の西から東に、ボツンヌーテン、ルンドボークスヘッタ、スカレビークハルセン、ラングホ

ブデ、西オングル、オメガ岬、明るい岬、天文台岩、日の出岬、あけぼの岩、新南岩の各露岩で行われた。また、本研究では Dunkley et al. (2021)¹⁾により年代値が公表された当地の変花崗岩類についてもデータを取得解析した。解析した露岩を図 1 に示す。

リュツォ・ホルム岩体に分布する変花崗岩類・変斑レイ岩類は、従来、輝石片麻岩、普通角閃石黒雲母片麻岩、黒雲母普通角閃石片麻岩、含ザクロ石花崗岩質片麻岩、ザクロ石片麻岩などと区分されてきた。ただし、これら全てが変花崗岩類・変斑レイ岩類に属するわけではない。例えば、層状片麻岩を成

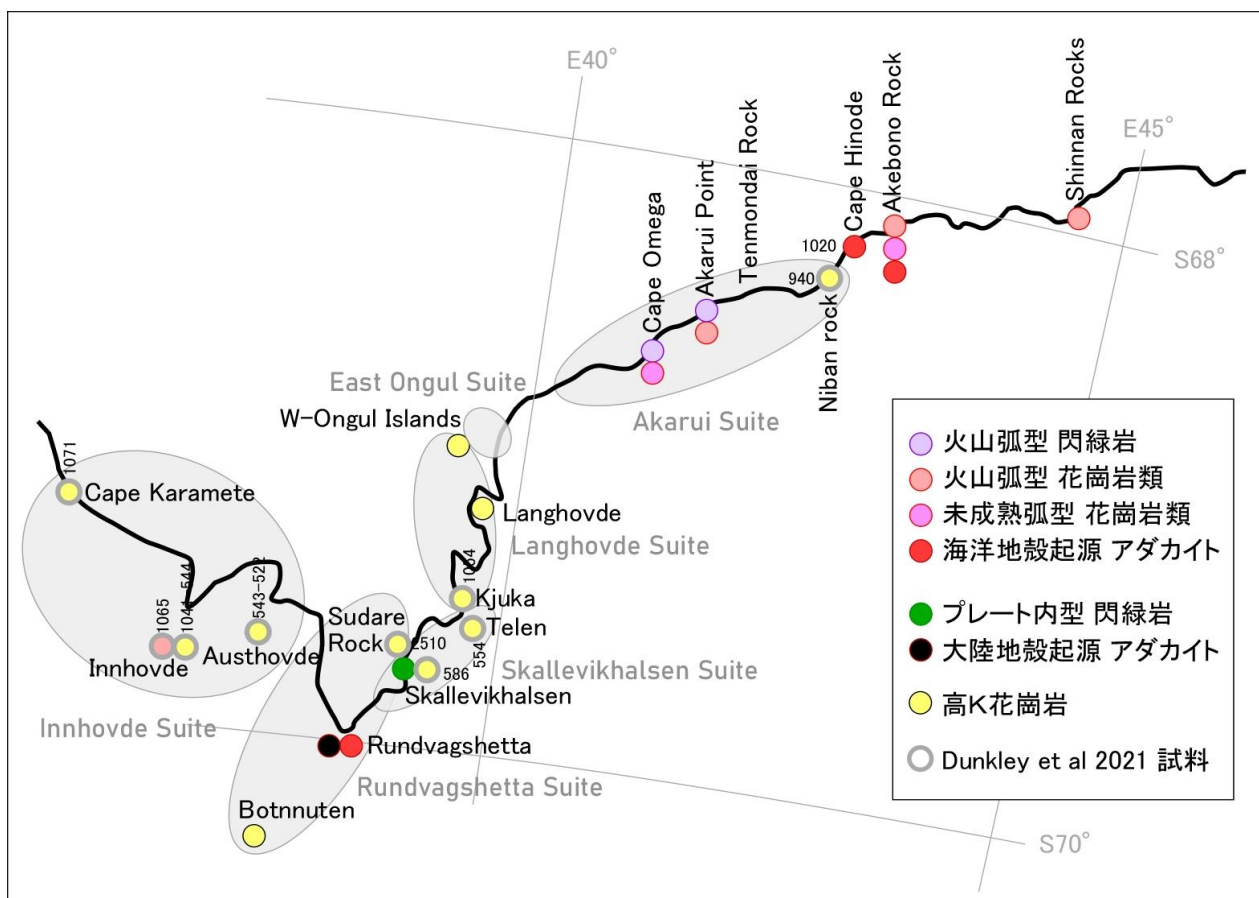


図 1 リュツォ・ホルム岩体で検討した露岩とその結果。Dunkley et al. (2021)によるジルコン年代を数字で示し、そして提案された各スーツの名称も示している。

して砂泥質片麻岩および石灰岩・石灰珪質岩が互層する場合も多い。これらは原岩が深成岩であったとは判断できず、むしろ堆積岩起源の可能性が高い。第58次の調査では、①母岩に貫入して脈を伸ばす、②暗色包有岩を有する、③他の変成岩類に斜交して分布する、などといったマグマ活動の痕跡を認めながら試料を採取した。

このように得られた全試料について薄片観察を行った。その結果、大まかには西部に花崗岩質～閃緑岩質のチャーノックaitが広く確認された。しかし、同地域には優白質の変花崗岩類も散在している。一方、東部には普通角閃石や黒雲母を伴う変トナール岩～変花崗閃緑岩が広く分布することが確認された。ただし日の出岬ではチャーノックait質である。そして分布域や岩体の形状から、これらよりも新しい貫入岩と解釈できる石英・斜長石・アルカリ長石を主体とした優白質～淡桃色の変花崗岩類も散在する。

変斑レイ岩類はこれらの花崗岩質岩石にブロック状の捕獲岩、暗色包有岩、もしくは岩脈として付随し、それぞれ変花崗岩類の活動時期と比較して、先行貫入岩、同時貫入岩、もしくは後期貫入岩と判断される。

化学分析に関しては採取試料の約9割について蛍光X線分析装置による全岩化学分析を実施し、約3割についてICP-MSによる微量化学分析を実施した。それぞれの露岩において固有の特徴が認められるものの、大まかにはオングル島より東部で低Kかつ高Naの岩石が多く、西部で高Kかつ低Naの岩石が多い傾向が認められた(図2)。各露岩で採取した試料数が異なるため、この傾向は必ずしも正確とは言えないが、リュツォ・ホルム岩体の西部と東部での全岩化学組成の違いを示唆する。

それぞれの露岩について岩石の主成分・微量元素の特徴を詳しく検討した結果、東部には火山弧型の花崗岩～閃緑岩の組成を有する岩石が多く、また海洋地殻起源のアダカイト質の岩石も認められた。このことより火山弧環境で形成した岩石が原岩となっていると解釈される。一方、西部では高Kの花崗

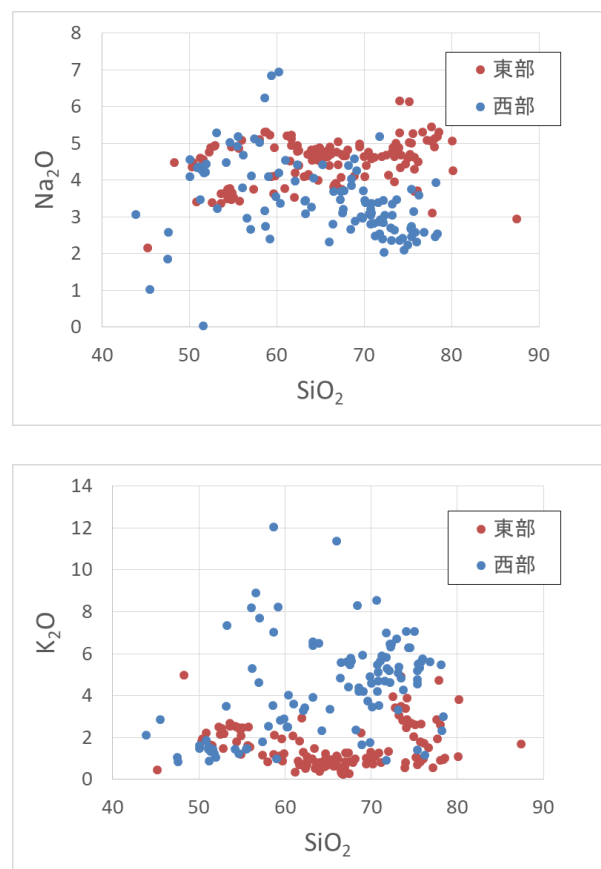


図2 リュツォ・ホルム岩体の変花崗岩類～変斑レイ岩類の化学組成傾向

岩類が多産する。高K花崗岩の場合は、A-type花崗岩やプレート内部での地殻融解による花崗岩など種々の成因が考えられて単純ではない。本研究では形成環境まで解明することは出来なかった。ただし、一部では海洋地殻起源や大陸地殻起源のアダカイト質岩石と認定できる岩石もあった。高K花崗岩類の成因については、さらなる希土類元素分析やSr・Nd同位体比分析などを重ね、今後の課題として検討する。加えて、今回の研究により形成環境が判別できてきた東部の岩石には年代測定を行う必要がある。西部の岩石には火成活動の特徴が判明した後に年代測定を進めていく。

[参考文献]

1) Daniel J. Dunkley, Tomokazu Hokada, Kazuyuki Shiraishi, Yoshikuni Hiroi, Yoshifumi Nogi, Yoichi Motoyoshi ; Geological subdivision of the Lützow-Holm Complex in East Antarctica: From the Neoproterozoic to the Neoproterozoic, Polar Science Vol.,26, p1-p9.

[研究発表]

Atsushi Kamei, Hazumi Tashima, Tomokazu Hokada, Sotaro Baba, Ippei Kitano, Yoshikuni Hiroi, Yoichi Motoyoshi. Igneous activity of Middle Proterozoic meta-tonalite in Cape Hinode, Prince Olav Coast, East Antarctica. The Ninth Symposium on Polar Science (2018年12月)

「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
 藤谷 渉 茨城大学理学部・准教授
 (国立極地研究所)
 山口 亮 准教授
 木村 眞 特任教授
 平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

月は、月-地球系の一部を構成する重要な天体である。月岩石中に水が含まれることが近年明らかになり、月の研究から水惑星・地球の出自を解明できるかもしれない、と考えられつつある(橋爪, 2019, 鹿山・橋爪, 2019)。本研究では、月火成岩中カリ長石に捕獲された窒素・水素同位体組成を求めることにより、形成初期の月・岩石圏における揮発性元素の同位体進化史を解読する。

この情報から、最有力の月形成仮説であるジャイアント・インパクト形成仮説、あるいは、形成直後の惑星表面に揮発性物質が供給されたとするレイト・ベニア仮説など、月・地球系の形成や水惑星の形成・進化、など地球科学の根幹をなす重要な仮説の検証が可能である。

還元的な月岩石圏では、窒素はアンモニウムイオンの形で、カリ長石に濃集している可能性が高い。これは、アンモニウムイオンとカリウムイオンのイオン価数とイオン半径がほぼ同じため、月岩石圏内においてマグマからカリ長石が形成する過程において、アンモニウムイオンとカリウムイオンが同じ挙動をすることが予想されるためである。本研究では、月隕石に含まれるカリ長石中の窒素・水素の微小領域同位体分析の作業と並行し、月隕石・カリ長石の形成史や衝撃履歴を評価した。

本研究を実現するには、月隕石に含まれる 10 ミクロン大のカリ長石中の窒素質素分析を実現するために、以下に説明する二次イオン質量分析計(SIMS)を用いた分析技術を新規に開発する必要がある。本共同研究では、この基礎技術の開発を進めた。SIMS 分析において、窒素単独の二次イオン生成率が著しく低いことが知られている。SIMS 分析において、窒素を検出し、同位体分析を行うためには、CN⁻や NO⁻分子イオンの形を用いるのが通例である。中でも、炭素と結合したシアンイオン(CN⁻)は特に生成率が高く、このイオンを用いて同位体分析が行われることが多い。従って、隕石中の窒素同

位体分析が可能なのは、有機物やグラファイト・炭化物などの炭素質物質に限定されていた。しかし、カリ長石にアンモニウムイオンが含まれることがあっても、この鉱物に炭素が濃集することは原理的にあり得ない。本研究では、この問題を克服するため、カリ長石に人工的に炭素イオンを照射し、カリ長石中の窒素を人工的に二次イオンとして誘起することを計画した。イオン照射は、高崎の量子応用研究所の施設(TIARA)を用いて行った。約 50keV の ¹³C⁺イオンを SIMS 分析用カリ長石標準試料並びに、国立極地研究所から貸与された月隕石 Asuka-881757 に照射した。このエネルギー(一核子当たり約 4 keV)は、太陽風の持つエネルギーの約 4 倍に相当し、照射されると、鉱物表面から約 200nm の深さまで侵入し、そこで止まることが知られている。なお、一般的な炭素同位体(¹²C)ではなく、¹³C イオンを用いることにより、物質表面・界面に大量に存在する汚染有機物の識別が容易となり、正確な分析が可能となる。

イオン照射の後、東京大学・大気海洋研究所に備わる NanoSIMS50 を用い、SIMS 分析を数度にわたって進めた。一次イオン照射に伴い ¹³C 照射層を徐々にラスタしながら削り進め、複数のイオン検出器を用い、¹³C, ¹²C¹⁴N, ¹³C¹⁴N, ¹³C¹⁵N, ³⁰Si を同時検出した。しかし、平成 30 年、令和 2 年に進めた分析においては、¹³C¹⁴N⁺ イオン並びに ¹³C¹⁵N⁺イオンの生成効率が期待より著しく低く、その原因解明に長い期間を要した。現象として、一次イオン照射領域の一部、あるいは大部分において、二次イオンが生成されず、二次イオンが照射面内において著しく均質に見られる、というのが見られた。最終的に、カリ長石の電気伝導性の著しい低さにその原因があったことが令和 3 年 3 月中旬実施の SIMS 分析によりようやく確認された。この SIMS 分析では、試料の数十ミクロン四方の局所領域に Cs⁺一次イオンを照射する。継続的に大量の正イオンを照射する

ことにより、照射領域全体が電荷を帯びることになり、二次イオン生成率の低下につながるということが知られている。チャージアップと呼ばれるこの現象を回避するために、試料直上に電子雲を形成し、正電荷の一次イオンと電荷を中和するなどの操作を行うことにより、この問題を回避される。チャージアップ自体は、大部分の無機鉱物で知られる問題だが、鉱物種ごとにその電荷中和の容易さが異なる。数度にわたる NanoSIMS 試行の結果、カリ長石分析では、各分析点での分析開始に当たって、この電荷中和に向けた調整を他種の鉱物の分析よりも相当厳密に行う必要があることがようやく判明した。最終回の分析を通じて、カリ長石の SIMS 分析を正しく行うメソッドをようやく確立することができた。

以下の図 1 は、カリ長石標準試料における、 ^{13}C のイメージング図である。左図は、最も ^{13}C が多く含まれる深さにおける図、右図は、 ^{13}C 打ち込み層を掘りぬいた後の図である。30 ミクロン四方をラスタしているが、一次イオンのプローブ直径が 7 ミクロン程度あるため、縁の部分は、中心領域よりも掘られる深さが浅いため、このように見られる。左図では、周縁部はまだ ^{13}C 打ち込み層に到達しておらず、右図の周縁部では、周縁部から内側に向かって斜めに削られ、 ^{13}C 打ち込み層の露頭が見えている状態である。

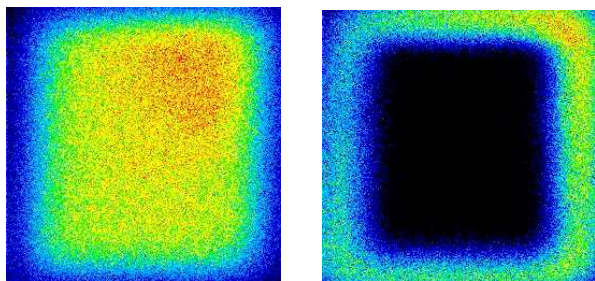


図 1、 ^{13}C を打ち込んだカリ長石標準試料の ^{13}C イメージング結果。左図は、 ^{13}C 打ち込み層の中で、最も濃度が高い深さにおけるイメージ。ラスタ領域全体 (30 ミクロン四方) の中心領域 (約 20 ミクロン四方領域) では、 ^{13}C が比較的均等に生成されているのがわかる。右図は、中心部の領域において、 ^{13}C 打ち込み層を掘りぬいた後のイメージ。

チャージアップの問題が解決され、二次イオン生成率が大幅に向上し、正確な $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$ のマススペクトルが得られたため、窒素同位体の分析を初めて実施することができた。現状ではデータ解析が完了し

[研究発表]

橋爪 光 (2019) 月面に供給される揮発性物質とその起源. 日本惑星科学会誌・遊星人 28, 6-13.

鹿山 雅裕, 橋爪 光 (2019) 月内部に存在する揮発性成分. 日本惑星科学会誌・遊星人 28, 24-36.

ておらず、標準試料と月隕石 Asuka-881757 の双方において、地球の通常の同位体比組成 ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N} = 0.0037$) に近い値が見られる、ということ以上はまだわからない。これが、炭素質コンドライトに近い値 (地球より 4% 大きい $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比) かエンスタタイトコンドライトに近い値 (地球より 3% 小さい $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比) か等の識別はまだ難しい。同位体比組成について、今後、詳細に解析を進める予定である。

窒素の定量についても、現在、新しいデータに基づき、改めてデータ解析を進めている。図 2 のように、イオン照射された ^{13}C により誘発された $^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ イオン、並びに $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$ イオンを明確に確認することができる。

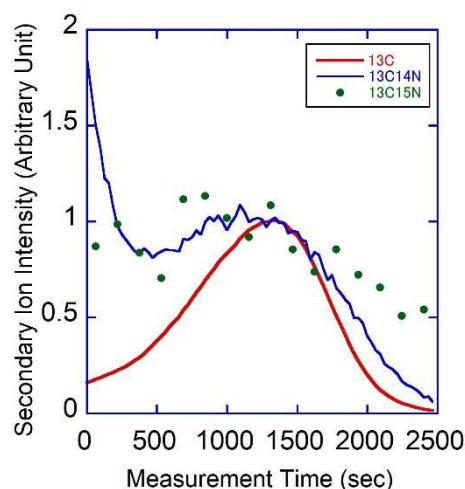


図 2、 ^{13}C 照射されたカリ長石標準試料において見られた ^{13}C に誘発されたシアン化イオン。各測定時間において均質な二次イオン生成が見られた領域 (例、図 1 の中心領域) の二次イオンカウント数を合計した。 ^{13}C のカウント数が最大に到達した約 1300 秒経過後のイオンカウント数でそれぞれ規格化した値が示されている。

月隕石 Asuka-881757 で得られた窒素定量指標 ($^{13}\text{C}^{14}\text{N}/^{13}\text{C}$) は、カリ長石標準試料と概ね同じ値であることがわかった。これらの標準試料は 50-100 ppm の窒素濃度を持つことがわかっているのも、これと大差ない窒素濃度を持つのかかもしれない。月岩石中の全岩窒素濃度はせいぜい 1ppm であることが知られており、ここで報告する暫定値が最終的に確認されると、カリ長石への約 100 倍の窒素濃集している新しい知見が得られることになる。

(別紙)

研究協力者（共同研究者ではない参加者。大学院生等）

茨城大学・大学院理工学研究科・理学専攻・博士前期課程 浅野森之佑（2018-2019）

茨城大学・大学院理工学研究科・理学専攻・博士前期課程 三浦颯人（2020）

南極産アングライト隕石の鉱物学的研究

◎三河内 岳 東京大学総合研究博物館・教授

(国立極地研究所)

山口 亮 准教授

平成30年～令和2年（3か年）

[研究成果]

太陽系最古の玄武岩質エコンドライトであるアングライト隕石には、結晶化年代が非常に古く（約45.64億年前）、急冷結晶化した試料（急冷アングライト：“quenched angrite”）が知られているが、衝撃変成の影響をほとんど受けていないために、絶対年代と相対年代を結びつけるタイムアンカーとして広く用いられている（e.g., Amelin 2008）。しかし、急冷アングライトの試料数は非常に少ないために、火成活動の詳細は明らかになっていない。本研究では、南極産とサハラ砂漠産の急冷アングライト隕石の岩石組織、バルク組成、冷却速度の3点について特に着目して、火成活動の解明から、初期太陽系の微惑星の進化過程を明らかにしようと試みた（Hayashi et al. 2020）。また、火成岩体に地球のコマチアイトに共通する点がいくつか見られることが分かり、両者の比較を行った（Hayashi and Mikouchi 2021）。

極地研の所有する Asuka-881371 隕石を含めた8つの急冷アングライトを分析した結果、岩石組織については、カンラン石とアノーサイトが樹枝状組織を示すもの、比較的粗粒なオフィティック組織を示すもの、アノーサイトがスピニフェックス組織を示すものの3つに大別できることが明らかになった（図1）。また、急冷アングライトの多くの試料はカンラン石の外來結晶を含んでいるが、含まれているカンラン石外來結晶が周囲の石基メルトと元素拡散した際に形成される Fe-Mg ゾーニングプロファイルから、Mikouchi et al. (2003) と同様の手法で冷却速度を求めた。バルク組成については、サハラ砂漠産の試料である NWA 7203 や NWA 12774 など、先行研究によりバルク組成が求められていない試料につい

て、EPMA を用いた多点測定を行い、バルク組成を推測した。

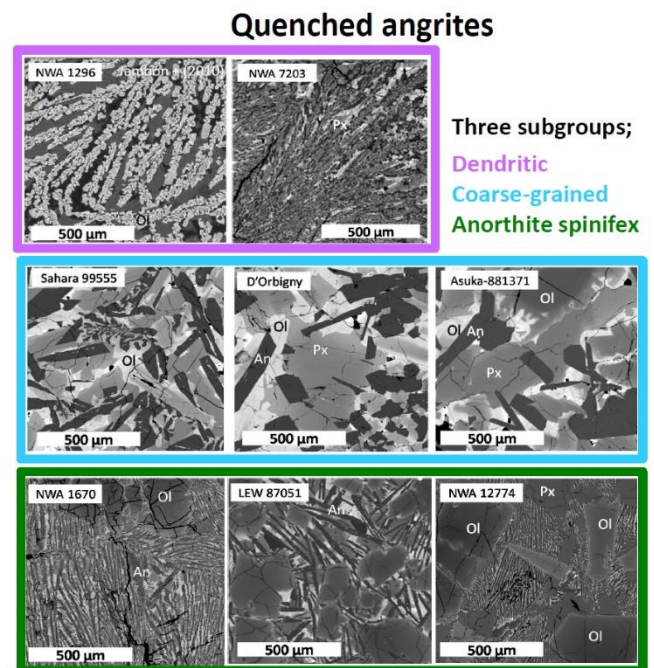


図1 急冷アングライトの岩石組織。樹枝状（dendritic）組織を示すもの（上図の“Dendritic”）、オフィティック（ophitic）組織を示すもの（上図の“Coarse-grained”）、スピニフェックス（spinifex）組織を示すもの（上図の“Anorthite spinifex”）の3つに大別できる。

以上の結果、岩石組織、バルク組成、冷却速度は試料ごとにその値が異なるものの（冷却速度：4～300℃/時間, 1300-800℃）、冷却速度の差は岩体での埋没深度の差に対応しており、深度が深くなればカンラン石外來結晶の量も増え、バルク組成もより Mg に富む組成になると言う相関関係が存在することが明らかになった。これらの結果から、急冷アン

グライトの元岩体は、カンラン石外来結晶を取り込んだマグマが、アングライト母天体の地表に溶岩流として噴出して、それが急速に冷却されて形成されたものと推定された (Hayashi et al. 2020)。

このように、アングライト天体表層で見られた層状岩体の存在は、マグマ組成や結晶サイズなどは大きく異なるものの、太古代の地球で知られているコマチアイト岩体と類似した点がいくつか見られた。両者とも再表層に最も細粒の組織の層が存在しており、それより下にランダムな方位に結晶化した結晶が存在する相があり、さらにその下にスピニフェ

ックス組織の層がある。いずれも層厚は数メートル程度である (図2)。

アングライト母天体での火成活動が、コマチアイト形成時の火成活動 (例えば Hill et al. 1995) と類似のものであったと仮定すると、冷却速度の異なる樹枝状組織とオフィティック組織の2つの組織を1つの試料中に持つ NWA 7203 という試料の存在を考慮することにより、急冷アングライトは、割れ目噴火から遠い場所の、散発的な溶岩流により形成された岩体に由来すると対比することができる (Hayashi and Mikouchi 2021)。

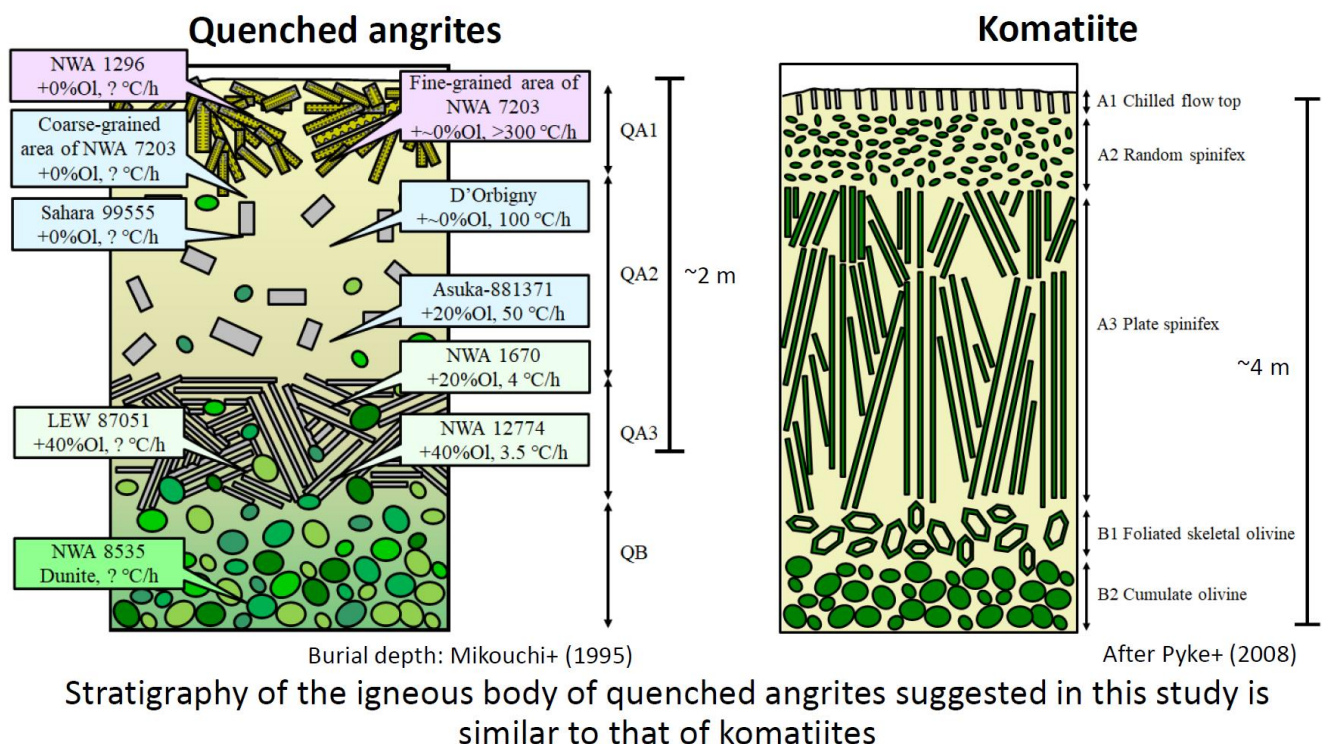


図2 急冷アングライト (左側) とコマチアイト (右側) 岩体を比較したもの。両者で類似した組織を示す層状構造を持つことがわかる。

[参考文献]

- Amelin Y. (2008) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, 4874-4885.
Hayashi H. and Mikouchi T. (2021) *LPI Contribution No. 2548*, id.2601.
Hayashi H. et al. (2020) 43rd NIPR Symposium on Antarctic Meteorites (11th Polar Symp).
Hill R. E. T. et al. (1995) *Lithos*, 34, 159-188.
Mikouchi T. et al. (2003) *Meteoritics and Planet. Sci.*, 38, Supple. A115.

[研究発表]

- Takenouchi A., Mikouchi T. and Yamaguchi A. (2018) Shock veins and brown olivine in Martian meteorites: Implications for their shock pressure-temperature histories. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 53, 2259-2284, DOI: 10.1111/maps.13120.
- Hasegawa H., Mikouchi T., Yamaguchi A., Yasutake M., Greenwood R. C. and Franchi I. A. (2019) Petrological, petrofabric, and oxygen isotopic study of five ungrouped meteorites related to brachinites. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 54, 752-767, DOI: 10.1111/maps.13249.
- Takenouchi A., Mikouchi T., Kobayashi T., Sekine T., Yamaguchi A. and Ono H. (2019) Fine-structures of planar deformation features in shocked olivine: a comparison between Martian meteorites and experimentally shocked basalts as an indicator for shock pressure. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 54, 1990-2005, doi: 10.1111/maps.13367.
- Ono H., Takenouchi A., Mikouchi T. and Yamaguchi A. (2019) Silica minerals in cumulate eucrites: Insights into their thermal histories. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 54, 2744-2757, doi:10.1111/maps.13384.
- Deng Z., Moynier F., Villeneuve J., Jensen N. K., Liu D., Cartigny P., Mikouchi T., Siebert J., Agranier A., Chaussidon M. and Bizzarro M. (2020) Early oxidation of the martian crust triggered by impacts. *Sci. Adv.*, 6, eabc4941, DOI: 10.1126/sciadv.abc4941.
- Costa M. M., Jensen N. K., Bouvier L. C., Connelly J. N., Mikouchi T., Horstwood M. S. A., Suuronen J. -P., Moynier F., Deng Z., Agranier A., Martin L. A. J., Johnson T. E., Nemchin A. A. and Bizzarro M. (2020) The internal structure and geodynamics of Mars inferred from a 4.2 Gyr zircon record. *Proc. Natl. Academy Sci.*, 118, doi.org/10.1073/pnas.2016326117.
- Zolensky M. E., Takenouchi A., Mikouchi T., Gregory T., Nishiizumi K., Caffee M. W., Velbel M. A., Ross D. K., Zolensky A., Le L., Imae N. and Yamaguchi A. (2021) The nature of the CM parent asteroid regolith based on cosmic ray exposure ages. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 56, 49-55, <https://doi.org/10.1111/maps.13561>.
- Hayashi H. and Mikouchi T. (2021) Stratigraphic comparison between quenched angrites and komatiites, 52nd Lunar and Planetary Science Conference, LPI Contribution No. 2548, id.2601.

(別紙)参加者一覧

研究協力者(共同研究者以外)

大野 遼	東京大学大学院理学系研究科・大学院生（令和元年度博士課程修了）
林 秀幸	東京大学大学院理学系研究科・大学院生（平成 30 年度修士課程修了）

角礫岩コンドライトの分類及び衝撃履歴の解明

◎茨城大学理学部・名誉教授 木村 眞

(国立極地研究所)

山口 亮 准 教 授

平成30年～令和2年（3か年）

[研究成果]

コンドライトは太陽系最古の物質の一つであり、原始太陽系星雲から母天体形成までの一連の過程を復元するために最も重要な試料である。また母天体における様々な過程を研究する上でも欠かせない。本研究では国立極地研究所所蔵の南極隕石コレクションやデータを用い、それらの隕石の熱履歴や衝撃履歴の解明、分類学的検討などを行った。研究に当たっては国立極地研究所に設置してあるX線マイクロアナライザー、走査電子顕微鏡、及びラマン分光計を使用した。

研究期間中に得られた主な成果を以下に記す。

1) 隕石の化学組成に関する研究：

極地研究所所蔵の膨大な隕石コレクションに関して湿式分析が長年にわたってなされてきた。その結果を総括し、議論を行った。普通コンドライトに関しては基本的に従来の他の隕石データと整合的な分析値が得られている。しかしながら、多くのコンドライトに関しては地球上での風化の影響が認められる。 H_2O が含まれるようになったり、酸化的環境下で金属鉄や硫化鉄が酸化鉄に変化している。これに加えて、一部のコンドライトは従来の分析値とは大きく異なっていることが認められた。これらについては薄片観察を行い、ほとんどのものが角礫

岩化作用を経ているものであることを確認した。この作用の間に異質岩片が混入したり、一部の鉱物が失われることにより、組成が変化したものと思われる。

炭素質コンドライトやエンスタタイト・コンドライトの分析値は少数ではあったが、解析を行った。概ね従来の分析値と一致するが、エンスタタイト・コンドライトについては特に風化の影響がある。また炭素質コンドライトについては従来の分析値と不一致なものもあることが明らかになった。これは文献にあげられている既知の分析値が代表的なものでは無く、それらのコンドライトの組成範囲が実際にはより広いことによると思われる。分化隕石も分析値は少数であるが、既存の分類体系を支持する結果が得られた。本研究で取り上げたデータの総数は1000を越え、今後隕石のデータベースとして活用されることが期待される。この成果は研究発表[1]として発表した。

2) メソシデライトに関する研究：

分化隕石の一種であるメソシデライトは金属鉄と珪酸塩鉱物などが混合した隕石である。従来知られていたすべてのメソシデライトはこれらの鉱物が混合後、熱変成作用や溶融作用を被り、始源的特徴が失われて

いる。それらの作用の程度によりメソシデライトは1-4のサブグループに分類されていた。われわれはメソシデライトの一つを研究し、これが熱変成作用を余り被っていない始源的特徴を多く保持するものであることを明らかにした。それを踏まえて、メソシデライトのサブグループ分類に”0”を追加することを提唱した。分類基準としては二次的にカンラン石の周囲に発達することが広く知られていたコロナがほぼ形成されていないこと、もともとの火成作用を反映する輝石の累帯構造が保持されていること、シリカ鉱物がもともとの火成作用で生じた種類であること、金属鉄が始源的形態を保っていることなどをあげた。本研究はメソシデライトの始源的性質を明らかにしたもので、今後この種類の隕石の研究に寄与するものと思われる。この成果は[2]として発表した。

3) 始源的CMコンドライトに関する研究：

炭素質コンドライトの一種であるCMは最近の小惑星サンプルリターンの観点からも注目されている隕石である。従来知られていたすべてのCMは水質変成作用や加熱脱水作用を被っており、その始

源的性質は失われている。このため他の種類の炭素質コンドライトとの成因的關係などはあまり明らかでは無かった。本研究では近年南極で回収された3個のAsuka隕石を取り上げた。これらは水質変成作用などをほとんど被っていないことが岩石鉱物学的研究から明らかになった。これらの特徴に基づいて、CMコンドライトの分類を見直し、従来から用いられていたサブタイプ 2.7-2.0に新たに3.0-2.8を加えることを提唱した。3.0はほとんど水質変成作用を被っていない始源的特徴を保持するものである。コンドルール中にガラスが残存し、マトリックスなどに含水鉱物がほとんど含まれないものである。また酸素同位体組成も測定し、他の炭素質コンドライト、特にCOコンドライトと始源物質が共通の性質を一部保有していたことも明らかにした。この成果は[3]として発表した。今後のCMコンドライトの研究に寄与するものと期待される。

[研究発表]

- [1] Kimura M., Imae N., Yamaguchi A., Haramura H., Kojima H. (2018) Bulk chemical compositions of Antarctic meteorites in the NIPR collection. *Polar Science* 15:24-28
- [2] Kimura M., Sugiura N., Yamaguchi A., Ichimura K. (2020) The most primitive mesosiderite Northwest Africa 1878, subgroup 0. *Meteoritics & Planetary Science* 55:1116-1127
- [3] Kimura M., Imae N., Komatsu M., Barrat J.A., Greenwood R.C., Yamaguchi A., Noguchi T. (2020) The most primitive CM chondrites, Asuka 12085, 12169, and 12236, of subtypes 3.0-2.8: Their characteristic features and classification. *Polar Science* 26:100565

両極域における地球内部構造・地震発生・地震活動に関する総合的研究

- ◎ 趙 大鵬 東北大学大学院理学研究科・教授
坪井 誠司 海洋研究開発機構地球情報基盤センター・情報技術担当役
岩田 貴樹 県立広島大学・准教授
豊国 源知 東北大学大学院理学研究科・助教

(国立極地研究所)
金尾政紀 准教授

令和2年(1か年)

[研究成果]

本研究では、グリーンランドや南極氷床縁辺で発生する氷河地震の活動度を統計学的に解析、また波形データより発生メカニズムを解明することを目的とした。既存のグローバル観測網(FDSN)と合わせた広域解析により、温暖化による氷床後退と氷河地震発生に関連性を明らかにすると共に、氷床内の発生位置並びに地震断層のパラメータを推定し、得られた震源メカニズムから理論地震波形を計算して、観測波形と比較して発震機構の妥当性を検証する。さらに氷床上観測点のノイズ相関解析より表面波脈動の伝搬方向について検討する。

また地震波トモグラフィー等の手法を用いて、極域からみたマントル～地球深部の不均質構造とダイナミクスに関する地震学的研究を行う。得られた地球内部構造を他の地球物理学的及び地質情報と比較することで、地球史における超大陸の形成分裂等の極域におけるテクトニクスと、現在のダイナミクスについて考察する。特にグリーンランド周辺域で得られる速度構造からは、かつてのプレートテクトニクス(大西洋の拡大プロセス、アイスランド・ホットスポット移動履歴、プレート収束帯での海洋性プレート沈み込み様式、等)を考察可能である。さらにグリーンランド全域での地殻熱流量分布、及び氷床底面の熔融分布推定のための比較データセットの提供が期待される。

ポスト国際極年(IPY)では、グリーンランド氷床変

動の長期監視に向けた「グリーンランド氷床の地震モニタリング観測網(The Greenland Ice Sheet monitoring Network; GLISN)」が継続中である。GLISNは世界科学会議(ICSU)/国際地震学会(IASPEI)の国際デジタル地震観測網(FDSN)で提案され、気候変動監視と温暖化増幅メカニズム解明を目的とした14カ国のプロジェクトである(Clinton, Tsuboi et al., Eos Trans., AGU, 2014; Toyokuni et al., Antarctic Record, 2014)。国際的枠組みとしては、SCAR/SERCE, IASC/SAON, IPY/POLENET等と連携し実施している。我が国は平成23年度より米国IRISとの共同で氷床上の観測点(ICE-S、標高2,900m)を設置・毎年現地観測を行っている。

今年度の研究内容としては、この「グリーンランド氷床の地震モニタリング観測網(GLISN)」で得られたデータを用いて、地震波走時トモグラフィー手法によりグリーンランド直下・周辺域の全地殻・マントルの地震波3次元構造を詳細に求めた(Toyokuni et al., 2020a; 2020b)。主な成果は下記の通りである：(1) グリーンランド直下の核-マントル境界からマントル遷移層の底まで上昇する未知のホットブルームを発見し、「グリーンランドブルーム」と命名した、(2) スバールバル諸島西部直下の上部マントルに未知のホットブルームを発見し、「スバールバルブルーム」と命名した、(3) グリーンランド氷床直下の地殻内に、グリーンランドを乗せたプレートが

過去（8～2 千万年前）にアイスランドプルームの上を通過したことに伴う熱軌跡に対応する低速度域を見いだした。類似した特徴は先行研究でも指摘されていたが、本研究で初めて、低速度域が地殻内の高温域と一致することが確かめられ、熱軌跡であることが明確となった。さらに未知であったヤンマイエンプルームの熱軌跡も発見した。(4) グリーンランド氷床が底部で大規模に融けている地域は、(3)の2つの熱軌跡の交点に位置していることが見いだされた。交点では他の地域よりも地殻の温度が上昇していると考えられることから、従来謎であった氷床底部融解のメカニズムを初めて説明する概念で、氷床融解や全地球海面上昇の予測にも大きく寄与すると考えられる。

本研究により期待される効果としては、氷河地震は極域表層環境変動の新指標となる可能性が高く、その地震活動から温暖化の影響を評価する研究は独創的であり、グリーンランド氷床の気候変動に対する応答メカニズム解明と将来予測に関する新しい学際的視点をもたらすと

期待される。氷河地震の発生機構研究は、地震活動の時間的推移と氷河末端部のダイナミクス解明への貢献が期待され、また他の雪氷学・気象学・地球物理学データとの比較により、新知見が得られる可能性がある。さらに、気候モデリングや氷床古環境との対比・連携により、気候変動のグリーンランド氷床変動に及ぼす影響の精度向上にも貢献する。

特に、GLISN 観測データを用いた地震波干渉法・地震波トモグラフィー手法により得られる、グリーンランド氷床下の地殻・上部マントルの地震波速度構造・熱構造と地殻熱流量、氷床下部・及び氷床底面での融解状態の把握は、経年変化・季節変化を考察することで、北半球の温暖化のグリーンランド氷床への影響とその増幅メカニズム解明へ貢献する。これらの研究を発展させれば、氷床底部からの融水量を地震観測から間接的に推定することができ、将来の海水準変動予測の精度向上にも役立つことが期待される。

[研究発表]

Toyokuni, G., Matsuno, T., & Zhao, D.: P-wave tomography beneath Greenland and surrounding regions: 1. Crust and upper mantle.

Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125, e2020JB019837. <https://doi.org/10.1029/2020JB019837>, 2020a

Toyokuni, G., Matsuno, T., & Zhao, D.: P-wave tomography beneath Greenland and surrounding regions: 2. Lower mantle. Journal

of Geophysical Research: Solid Earth, 125, e2020JB019839. <https://doi.org/10.1029/2020JB019839>, 2020b

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（4）生 物 圈

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 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科・特任講師

荒川 和晴 慶應義塾大学大学院環境情報学部・准教授

(国立極地研究所)

伊村 智 教授

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

1 研究背景と目的

極域をはじめとする極限環境では他の生物にはない耐性能力や代謝機能、さらにはゲノム上の変異蓄積傾向などが想像される。そのため、そうした環境に生息する生物を対象とし、ゲノミクス、トランスクリプトミクス、プロテオミクス、メタボロミクスを統合したマルチオミクス解析を実施することで、それら能力の分子レベル理解に加え、様々な生存戦略の可能性を探ることを目指す。

生物は生育する環境に応じて適応することで進化を繰り返してきた。そのため極限環境であればその耐性能力はこれまで知られていない特殊な分子機構あるいは既知機構の転用により実現している可能性がある。極域はそうした極限環境に加え、地理的にも大きく他の生息域とは隔離された地域である。そのため、生物の物理的な流動性をほとんど排除したゲノム進化を観察する最適な環境と言える。そこで本研究では南極に生息しているクマムシ (*Acutuncus antarcticus*) のオミクス解析およびアイスコアサンプルからの微生物単離検証を主に行った。

2 南極クマムシのトランスクリプトーム解析

南極大陸に生息しているクマムシ (*A. antarcticus*) は他のクマムシが持っている乾眠や凍眠に移行することができる能力を持つことが知られているが (Kinchin, *et al.*, 1994; Velasco-Castrillón, *et al.*, 2014; Tsujimoto, *et al.*, 2016)、特に通年の平均温度が低い南極大陸で生息するためにどのような寒冷耐性機構を持って

いるのかは明らかにされていない。そこで *A. antarcticus* が外気温に応じてどのような遺伝子を発現変動させているのかを調査すべく、分子基盤となるリファレンスデータの整備およびトランスクリプトーム解析を実施した。トランスクリプトーム解析に用いるサンプルには、飼育環境の温度を 5℃から 20℃まで 5℃ずつ上げ、その環境下で飼育されたクマムシを用いた。各条件下のクマムシを集め、total RNA の抽出を行った。このとき、発現量解析時の統計処理に合わせて、biological replicate を 3 つずつ用意した。抽出された total RNA から mRNA セレクションを行い、得られた mRNA を全て二本鎖 cDNA に合成した。合成で得られた二本鎖 cDNA を用いて Illumina シーケンス用のライブラリを作成した。シーケンス自体は Illumina の NextSeq 500 で実施され、シーケンスキットには 75 cycle のキットが用いられた。シーケンスの結果、各サンプルで十分なシーケンスリードが得られ、平均すると約 15 M リードであった。次に得られたシーケンスリードをゲノムデータにマッピングし、カウントデータから発現定量およびサンプル間の発現変動解析を行った。*A. antarcticus* の温度条件毎の発現変動解析結果の一部を図 1 に示す。得られた結果のうち最も発現量に変動したのが 5℃と 20℃で飼育した条件間であり、FDR < 1%の基準で計算した結果、およそ 14%の遺伝子の発現量が有意に変動していることがわかった (図 1)。

クマムシには耐性関連遺伝子が多く知られており (Yamaguchi, *et al.*, 2012; Tanaka, *et al.*, 2015; Hashimoto, *et al.*, 2016)、そうした遺伝子群がどれほど変動しているのかを今後詳細解析していく必要がある。

3 アイスコアサンプルの調査

南極より得られたアイスコアサンプルを有効利用するための研究打ち合わせおよび研究目的や方法論に関する意見交換を目的とするミーティングを行った。

2018 年 8 月 10 日に国立極地研究所へ直接訪問し、アイスコアの利用方法や研究所施設内での管理体制に関して共有していただいた。またその後に「極域大気～アイスコア中の微生物に関する研究集会」を 2019 年 2 月 26 日 (火) 13 時～2 月 27 日 (水) 午前という期間で国立極地研究所にて実施した。近年極地研では南極・北極の過去 1000 年～9000 年前のアイスコアを使って、古代菌類の培養に成功している。しかしながらその一方で極域での微生物の挙動については依然として不明な点が多く、謎に包まれたままである。そこで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ために、極域における微生物の研究を

柱に、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らと所属機関を超えた集会を行うことで、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。コロナの影響で残念ながらそれ以降の集会はキャンセルが続いてしまっているが、極域の微生物研究会 ML としてその後も継続して意見交換している。

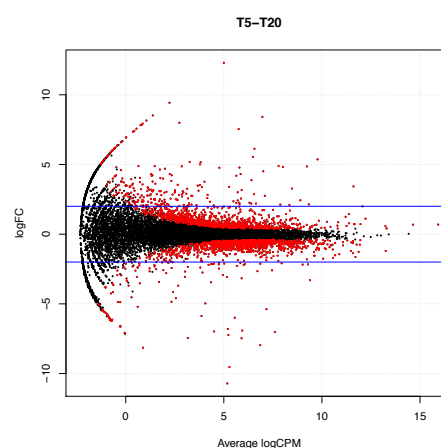


図 1：温度間での遺伝子発現変動 (FDR < 1%)

[参考文献]

- 1) Kinchin IM (1994) The biology of tardigrades. U. K: Portland Press.
- 2) Velasco-Castrillón A, Gibson JAE, Stevens MI (2014) A review of current Antarctic limno-terrestrial microfauna. Polar Biol, 37:1517-1531.
- 3) Tsujimoto M, Imura S, Kanda H (2016) Recovery and reproduction of an Antarctic tardigrade retrieved from a moss sample frozen for over 30 years. Cryobiology, 72(1):78-81.
- 4) Yamaguchi A, Tanaka S, Yamaguchi S, Kuwahara H, Takamura C, Imajoh-Ohmi S, et al (2012) Two novel heat-soluble protein families abundantly expressed in an anhydrobiotic tardigrade. PLoS ONE, 7(8), e44209.
- 5) Tanaka S, Tanaka J, Miwa Y, Horikawa DD, Katayama T, Arakawa K, et al (2015) Novel mitochondria-targeted heat-soluble proteins identified in the anhydrobiotic Tardigrade improve osmotic tolerance of human cells. PLoS ONE, 10(2), e0118272.
- 6) Hashimoto T, Horikawa DD, Saito Y, Kuwahara H, Kozuka-Hata H, Shin IT, et al (2016) Extremotolerant tardigrade genome and improved radiotolerance of human cultured cells by tardigrade-unique protein. Nat Commun, 7, 12808.

季節海水域におけるアイス・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

(極地研究所)

真壁 竜介 助教

平成 30 年～令和 2 年(3 か年)

[研究成果]

本研究ではアイス・アルジーの不凍物質として知られる透明細胞外重合体粒子(以降、TEP)の調査を季節海水域である北海道サロマ湖にて行った。サロマ湖での調査は平成 31 年 2 月と令和 3 年 2 月に実施した。加えて、アイス・アルジーの TEP 生産についてより詳しく調査するためにアイスタंकを作成し、室内培養実験を 3 度おこなった。しかしながら、現在分析・解析途中の段階であるため、ここでは平成 31 年 2 月のサロマ湖調査の結果と作成したアイスタंकについて報告する。

1. サロマ湖におけるアイス・アルジーと TEP 調査

アイス・アルジーおよび TEP の調査はサロマ湖の 5 観測点にておこなった。各観測点にて、海水と海水サンプルを採取し、海水試料は底面から 0–10 cm、10–20 cm、>20 cm の 3 つに切り分け、海水試料は 0 m と 1 m の 2 深度から得た。アイス・アルジーの現存量の指標となるクロロフィル *a* 濃度は平均して海水よりも海水で高かく、特に海水底面部分の 0–20 cm において濃度が高かった(図 1)。TEP 濃度もクロロフィル *a* 濃度と同様の傾向を示し、海水よりも海水底面付近で濃度が高まった(図 2)。海水中の最大 TEP 濃度は観測点 1 の海水 0–10 cm で得られ(平均値±標準偏差: $944 \pm 254 \mu\text{g Xanthan gum equivalent L}^{-1}$)、この値は南極の海水で報告されている TEP 濃度($3\text{--}3,071 \mu\text{g Xanthan gum equivalent L}^{-1}$)の範囲内であった(Dumont et al., 2009)。海水内の TEP 濃度とクロロフィル *a* 濃度は相関関係がみられなかったが、0–10 cm、10–20 cm、>20 cm に分けてこれらの関係を調査したところ、>20 cm の海水にのみ有意な正の相関関係が認められた。このことから、海水上部ではアイス・アルジーによって生産された TEP が氷内に蓄積していたと考えられた。一方、0–20 cm では有意な関係がなく、海水採取時において、海水底付近で増殖したアイス・アルジーや TEP などが流出したことが考えられた。今後、サン

プリング法についても検討が必要と思われる。

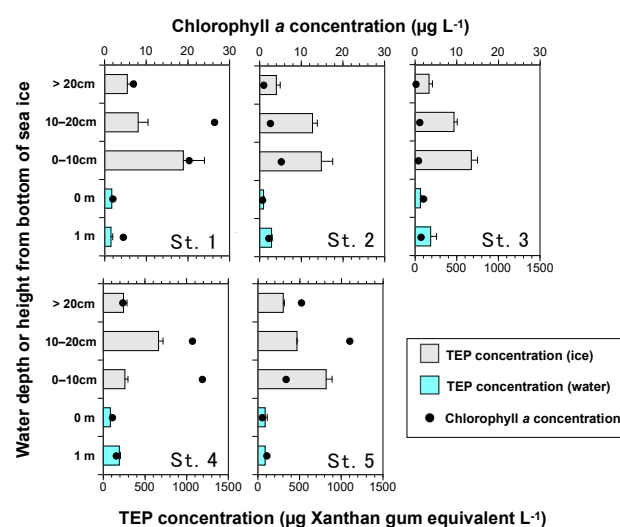


図 1. サロマ湖の海水と海水におけるクロロフィル *a* 濃度と TEP 濃度

2. アイスタंकの作成と海水作成試験

本研究で作成したアイスタंकの模式図を図 2 に、試験中の写真を図 3 に示した。アイスタंकは高さ約 70 cm、幅約 20 cm の円柱状水槽である(図 2A、図 3A、B)。これに、f/2 培地を 18 L 注ぎ、インキュベーター内の温度を 0°C に設定後、ポンプにて水槽内の培地を攪拌した。なお、コンタミネーションを避けるため、水槽の開口部(上部)はサランラップで覆った。アイスタंक内にアイスアルジー(*Detonura confervacea*, サロマ湖産)を植え継ぎ、LED ライトを点灯させてからインキュベーター内の温度を -5°C に設定し、アイスタंक内に氷を形成させた。海洋表面での海水形成を再現するため、アイスタंकの底面に低出力のシート状のヒータを設置し、アイスタंकの上部から氷が形成されるようにした(図 2A)。翌日にはアイスタंक表面に氷が形成され、概ね 5 日程度でアイ

スタングの上部から 2/3 程度の位置まで氷が形成された(図 2B、図 3C、D)。この状態で 3 週間程度培養を行ったところ、氷内にアイス・アルジーと思われる茶色い塊が形成された(図 2B)。アイスタング下部の高塩分水(100%程度)を完全にポンプで吸い出した後、アイスタングを逆さにし、氷を取り出した(図 3E)。この氷を 10 cm

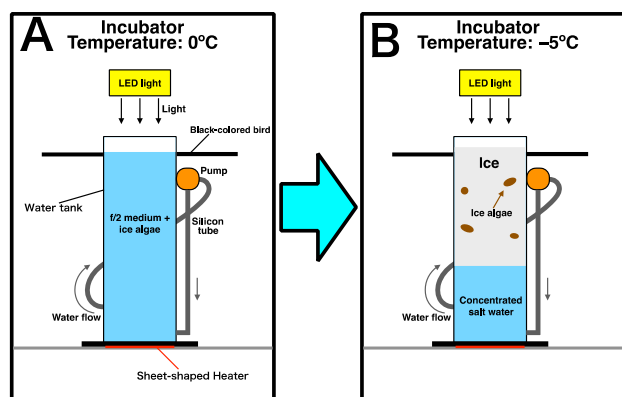


図 2. 本研究で作成したアイスタングの模式図。A: 実験開始前の様子。インキュベーター内の温度は 0°C であるため、アイスタング内に氷は形成されていない。B: 実験開始後の様子。インキュベーター内の温度は -5°C でアイスタング内に氷が形成され、氷内においてアイス・アルジーの増殖がみられた。

毎に切り分け、ユニパックに入れて(図 3F)、5°C の水槽内で解凍した。解凍後の液体をろ過し、クロロフィル *a* と TEP 等の試料とした。本装置で培養実験を重ね、アイス・アルジーの TEP 生産を詳細に評価する予定である。

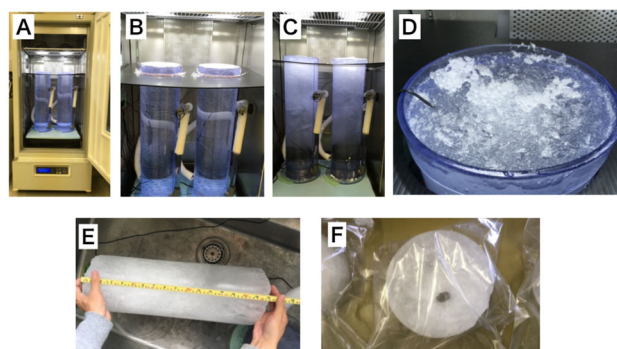


図 3. アイスタング実験の様子。A: インキュベーター内に設置されたアイスタング(2 個)、B: 結氷前のアイスタングの様子、C: 結氷時の様子、D: 結氷時のアイスタング開口部(上部)の様子、E: アイスタングから取り出した氷柱(長さ約 50 cm)、F: 10 cm 毎に切り分けユニパックに入れられた氷試料

[参考文献]

Dumont, I., V. Schoemann, D. Lannuzel, L. Chou, J.-L. Tison, and S. Becquevort (2009) Distribution and characterization of dissolved and particulate organic matter in Antarctic pack ice. *Polar Biol*, 32, 733–750, doi: 10.1007/s00300-008-0577-y.

[研究発表]

野坂裕一(2020) 2019 年 2 月のサロマ湖におけるアイスアルジーと透明細胞外重合体粒子(TEP)濃度. 口頭発表, 第 7 回オホーツク海洋生物研究会, 札幌, 2020 年 1 月 10 日

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・特定准教授
 中井 亮佑 産業技術総合研究所生物プロセス研究部門・研究員
 辻本 恵 慶應義塾大学環境情報学部・専任講師

(国立極地研究所)

伊村 智 教授

平成30年～令和2年(3か年)

【研究成果】

近年の微生物分析技術の発展により、南極生態系における微生物(主に細菌や古細菌)の重要性が確実視されてきた。一方で、宿主感染などを通して生物相／微生物相に密に関わるウイルスについては、検出や周辺技術が未成熟であることから、その実態や多様性は不明な点が多い。本研究では、国立極地研究所に保管してある冷凍試料を用いたウイルスメタゲノム解析によって、未知ウイルスの検出技術開発および多様性解明を目指した。

はじめに、メタゲノムデータからウイルスを検出するためのパイプラインの作出を試みた。通常、ウイルスの検出には塩基配列をクエリーとして使い、アミノ酸配列のデータベースを検索する BLASTx [1] が使用される。この方法では比較的遺伝的に遠いウイルスであっても検出できる反面、大量のコンピューター資源を必要とするため、メタゲノム解析のような多くの配列をクエリーとして使用する研究には適していない。そこで、本研究ではスパコンを用い、高速な配列類似性検索プログラムである MMseqs2 [2] を用いた高速ウイルス検出系の開発を試みた。ここでは詳細は省略するが、高速な MMseqs2 と BLASTx を用いた3段階の検索により、効率的にウイルス様配列の検出が

可能であることを確認した。

次に、南極の一部の湖底に存在する「コケ坊主」に焦点を当ててウイルスメタゲノム解析を行った。コケ坊主は表面がコケで覆われたユニークな柱上の構造物である[3]。これまでの研究によって、その内部には多数の微生物が存在することが明らかとなっており、南極生態系において極めて興味深い研究対象である[4,5]。

はじめに、DNA ウイルスを対象とした解析を行った。コケ坊主の内層および外層よりそれぞれ DNA を抽出し、ショットガンメタゲノム解析を行った。その後、*de novo* アセンブルを行い、得られたコンティグを用いて上記の MMseqs2/BLASTx によるウイルス様配列の探索を行った。得られたウイルス様配列を用いて分子系統樹解析を行った。その結果、多数のウイルス様配列が得られ、一部は遺伝的に極めて新規のウイルスであった(次頁の図に一例を示す)。

本研究において検出した全てのウイルス様配列は、既知のバクテリオファージに比較的近縁のウイルスであり、これらのウイルスの宿主は細菌であることが示唆された。今後はより詳細に、CRISPR や tRNA 配列を解析することによって、その宿主に関する情報も得られるであろう。

Caudovirales; Myoviridae

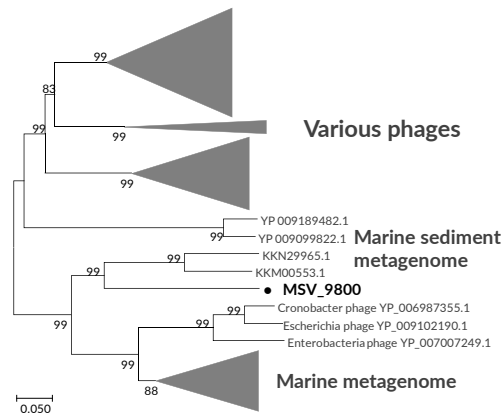


図 | コケ坊主から検出したウイルスの一例。
得られた配列を用いて、分子系統樹解析を行った。コケ坊主より得られたウイルス様配列を●で示す。

またウイルス様配列はメタゲノム解析によって得られたリードのごく一部であり、今後は密度勾配遠心などの前処理によってウイルスを濃縮する必要があると考えられた。あるいは、ウイルス特異的な核酸を増幅

するのも有効かもしれない。現在は得られた DNA を Rolling Circle Amplification (RCA) 法によって増幅し、環状 DNA ウイルスの選択的な検出法にも挑戦している。

その他にも RNA ウイルスの探索を目的として、RNA ウイルスを効率的に検出する革新的な手法である FLDS 法も試みた [6,7]。しかし、本研究においては用いた検体からの RNA の抽出が著しく困難であり、本研究期間内には達成することができなかった。

本研究では南極生態系における未知ウイルスの一端の解明に成功した。しかし、依然として得られたウイルス配列は南極生態系に存在するウイルスのごく一部であると考えられる。今後のさらなる手法の改良により、ウイルス、ひいては南極生態系の理解につながるであろう。

【参考文献】

1. Camacho C et al. **BLAST+: architecture and applications.** *BMC Bioinformatics* 2009, **10**:421.
2. Steinegger M et al. **MMseqs2 enables sensitive protein sequence searching for the analysis of massive data sets.** *Nat Biotechnol* 2017, **35**:1026-1028.
3. Imura S et al. **Benthic moss pillars in Antarctic lakes.** *Polar Biology* 1999, **22**:137-140.
4. Nakai R et al. **Microflorae of aquatic moss pillars in a freshwater lake, East Antarctica, based on fatty acid and 16S rRNA gene analyses.** *Polar Biology* 2012, **35**:425-433.
5. Nakai R et al. **Eukaryotic phylotypes in aquatic moss pillars inhabiting a freshwater lake in East Antarctica, based on 18S rRNA gene analysis.** *Polar Biology* 2012, **35**:1495-1504.
6. Urayama S et al. **FLDS: A Comprehensive dsRNA Sequencing Method for Intracellular RNA Virus Surveillance.** *Microbes Environ* 2016, **31**:33-40.
7. Urayama S et al. **Unveiling the RNA virosphere associated with marine microorganisms.** *Mol Ecol Resour* 2018, **18**:1444-1455.

【研究発表】

1. Masayuki Horie, Ryosuke Nakai, Megumu Tsujimoto, Satoshi Imura, Keizo Tomonaga. Viral metagenomics analysis of an Antarctic moss pillar. 第 66 回日本ウイルス学会学術集会.

飛翔性海鳥類の食性と海洋環境の関係について

◎山本麻希 長岡技術科学大学工学部・准教授
(国立極地研究所)
高橋晃周 准教授
平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

餌は海鳥の生態を知る上で重要な要素であり、生態系における役割を説明する栄養ニッチを理解する上で重要な役割を果たしている。海鳥が選択する餌種とその組成は、採餌範囲内における海鳥の各餌種の入手可能性と分布と強く相関する。しかし、多くの海鳥において、長期間の餌種とその組成の変化と海洋環境の関係についての知見は乏しい。本研究では、新潟県村上市沖の日本海中部に位置する粟島で、ヒナを育てているオオミズナギドリ

(*Calonectris leucomelas*) の餌種とその種組成の経年変化を長期間にわたり調べ、海洋環境との関係について検証を行った。2008 年から 2013 年までと 2017 年から 2019 年までの合計 9 年間で、計 622 個の胃内容物サンプルを採取し、筋肉組織から DNA を抽出し、餌魚種の判別を行った。

その結果、オオミズナギドリは、カタクチイワシ (*Engrauls japonicus*) を主な餌として利用しているが、年によっては、マルソウダやマイワシも利用することがあることが分かった (図 1)。さらに、粟島で繁殖するオオミズナギドリは、性別によって餌種の選択に違いも見られた (図 2)。カタクチイワシの組成は、育雛初期に比べ育雛後期に向かって減少したのに対し、反対に、底生魚類の組成割合は初期から後期になるにつれ、大幅に増加した (図 3)。

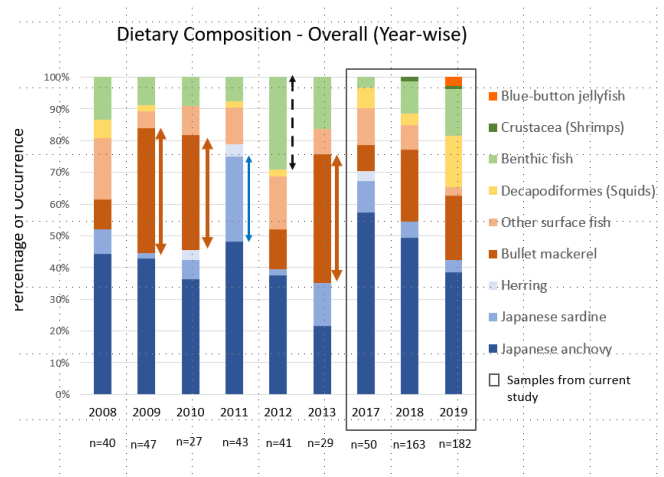


図 1 海鳥の餌種の出現割合の経年変化

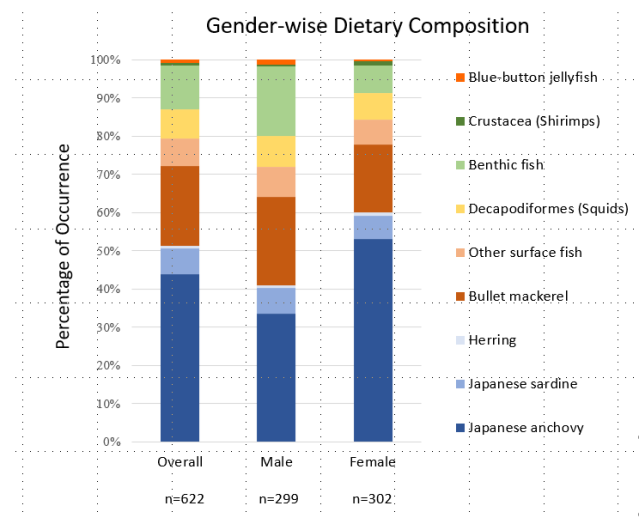
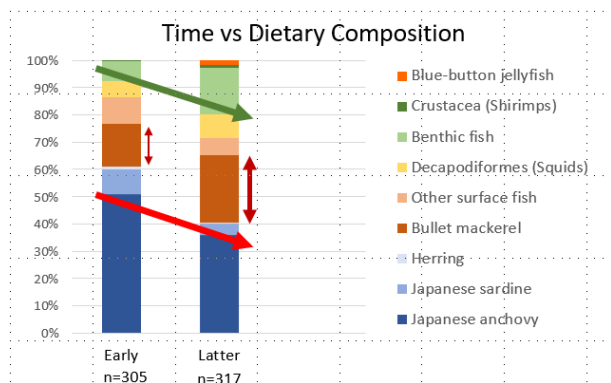


図 2 雌雄の餌種の出現割合の違い

また、SST (海表面温度) と餌種の多様性について シンプソンの多様性インデックス (Krebs 1989) を算出し、相関関係を調べたところ、海表面温度が高いほど、餌種の多様性が高くなる正の相関関係が見られた。



これは、海表面温度が高いほど日本海中部域の生産性が低下し、主要な餌生物であるカタクチイワシの利用可能性が低下し、オオミズナギドリは様々な魚種を利用して餌の種をスイッチングすることで、海洋環境の変動に対応している可能性が示唆された。

図 3 育雛初期と育雛後期の餌種構成の変化

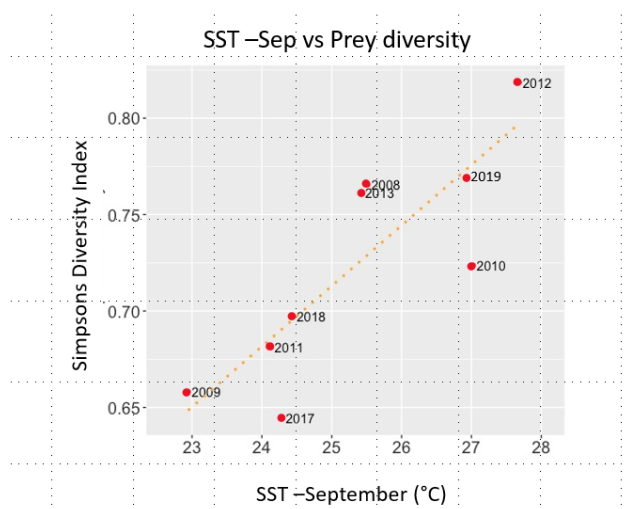


図 4 シンプソンの多様性インデックス (Krebs 1989) と 9 月の海表面温度の相関関係

参考文献

1. Krebs C.J. (1989) Ecological Methodology (Second Edition) Addison Wesley Longman, Inc, California

(参加者一覧)

長岡技術科学大学大学院 生物統合工学専攻 2 年生 HIKKADUWA PALLIYA GURUGEI CHAMITHA DULANJAYA DE ALWIS

植物プランクトンの冷温適応に関する研究

◎ 高澤(笠松)伸江 京都先端科学大学バイオ環境学部・准教授

(国立極地研究所)

小達 恒夫 教授, 真壁 竜介 助教

平成 30 年～令和 2 年(3 年間)

【研究成果】

植物プランクトンは水圏生態系における主たる一次生産者であり, それを基盤として生態系の食物連鎖は成り立っている. 日本国内において, 冬季に凍結する川や滝は少なくなく, そこで生存する植物プランクトンは寒冷な気候のもと, 凍結・解凍を繰り返しながら種を存続させている可能性が高い. 藤澤(2018)は, 身近な池・河川・湖沼に生息する植物プランクトンの環境応答性を調査し, いくつかの種に耐冷性があること, さらに生息域により同種間の寒冷環境への応答性が異なる可能性を示唆したが, 凍結期間や, 周辺水の凍結・融解速度の影響, 耐冷環境下での植物プランクトンの形態学的特徴など, 低温という過酷な環境にける植物プランクトンの環境応答性については十分な調査はなされていない. 非常に寒冷な環境で, 植物プランクトンが凍結するときに受けるストレスは, 脱水によるものや浸透圧の変化, 細胞膜の直接的な傷害などの要素があると考えられる. 実際のところ, 植物プランクトンは, 植物プランクトンを含む水が凍っていく時と, その後溶けだしていく時の二つのタイミングで, そのようなストレスを受けやすいのではないかと予想される. そこで, 本研究では, 国内の水域(河川・湖沼・池)によく見られ, 耐冷性が確認されている特定の植物プランクトン種について, 周辺水を凍結・融解させたときの植物プランク耐冷性の特性を明らかにするため培養実験を行った.

今回は, 藤澤(2018)および玉川(2020)で耐冷性が見られた緑藻の代表的な種 *Closterium moniliferum* (ミカヅキモ属) を対象に, 培養水の凍結速度と融解速度を変化させ, それに伴う植物プランクトン細胞の生死の状況を把握した. 植物プランクトンの生死判定には EvanceBlue 溶液

(最終濃度 0.1 %, ナカライテスク社)を使用した. ストレスにより細胞膜が破れるとそこから EvanceBlue 溶液が細胞内に入り, 組織を染色する. ここで染色された細胞を死細胞(死んだ個体)とした.

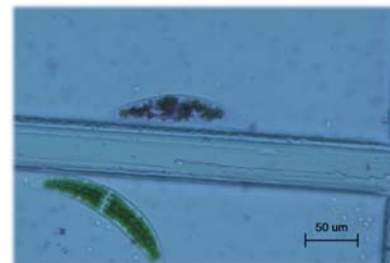


図 1. EvanceBlue で染色した死細胞(上)と生細胞(下).

まず, 凍結速度の影響を見るため, 培養水を完全凍結させるまでの時間を変化させた. -20°C で振とう器を用いて培養したとき, 培養水を -20°C にいれてから 20 分間で急激に培養水温が下がり, 30 分後に培養水中に氷が混ざり始め, 徐々に氷が増えていき 105 分後には培養水は完全凍結した. 一方, -20°C に培養フラスコを静置した場合は, 20 分後から培養水に氷が混ざり始め, 60 分後に完全凍結した. その時の水温, 死細胞の割合の時間変化を図 2 に示す.

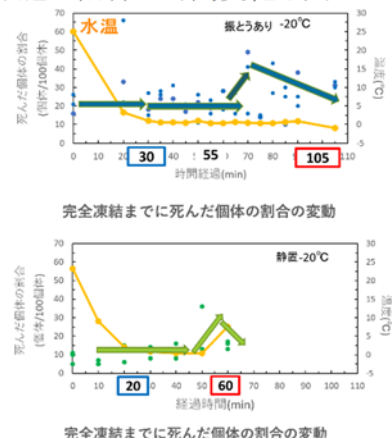


図 2. 培養水の凍結時間を変化させたときの死細胞の割合(青●もしくは緑●)の時間変化

60分で完全凍結したときより、105分で完全凍結した方がより多く死亡個体が確認できた。完全凍結するまでに時間がかかると死亡個体が増加することが示唆された。また、凍結し始めからしばらくは死亡個体の割合が一定だが、完全凍結する20～50分前に死亡個体数が増加し、凍結する直前には再び減少するという傾向が見られた。

次に、培養水が完全に融解するまでの時間に差をつけた場合の植物プランクトンへの影響をみるため、培養水の周囲温度に大きく差をつけ0℃付近、20℃、50℃で融解する比較実験を行った。

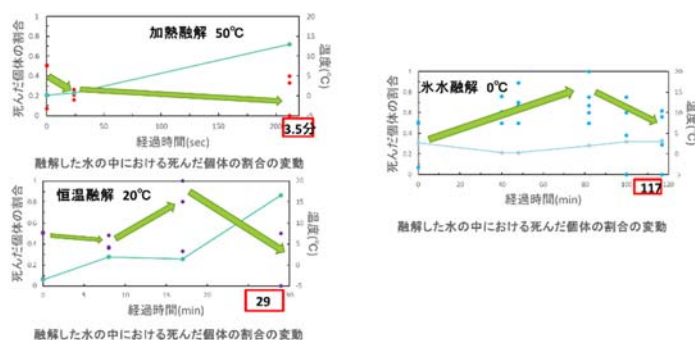


図3. 培養水の融解速度を変化させたときの死細胞の割合の時間変化。

その結果、3.5分で完全融解したものは培養水の温度の上昇が著しく、加熱開始直後に死亡

個体の割合が減少したが、それ以降はほとんど割合の変化は見られなかった。29分で完全融解したものに関しては、融解開始から17分後に、死細胞の割合が増加し、温度の上昇とともに死細胞の割合が減少した。完全融解まで117分(約2時間)かかったものは、全体的に死細胞の割合はゆるやかに増加し、50分を過ぎたあたりから培養水の温度の上昇が僅かに見られ、それに伴い死細胞の割合が減少した(図3)。融解速度の半かの実験からは、融解にかかる時間が短いほど死細胞の割合が低くなる傾向が見られた。ここから、植物プランクトンにとって融解の最中にかかるストレスをより継続的に長い時間受けるほど負荷が大きく、むしろ多少急激な温度変化であっても急速に融解した方が細胞の生死に与える影響が少ないことが示唆された。また、「凍結ストレス」と「融解ストレス」の死細胞の割合の増減に与える影響の差はほとんどないことが明らかになった。

本研究から、周辺水の凍結や融解に時間がかかるほど植物プランクトンの細胞の生死への影響が大きくなること、凍結ストレスと融解ストレスは植物プランクトンの細胞の生死に同じような程度で影響を与えることが示唆されたが、その要因については今後も検討が必要である。

【参考文献】

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

【研究発表】

N. Kasamatsu-Takasawa, E. Yoshida, A. Fujisawa, K. Tamagawa, R. Makabe, and T. Odate, Cold tolerance of phytoplankton living in rivers, ponds and lakes. The 11th Symposium on Polar Science, Mon. 16 Nov. - Fri. 18 Dec., National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo.

玉川叶馬(2020)珪藻 *Aulacoseira* 属, *Nitzschia* 属, *Fragilaria* 属及び緑藻 *Closterium* 属の耐冷性について. 令和元年度京都先端科学大学卒業論文。

吉田絵里奈(2021)植物プランクトンの環境応答性~寒冷環境に着目して~. 令和2年度京都先端科学大学卒業論文。

(別紙)

研 究 協 力 者 参 加 者 一 覧

	一般共同研究(令和2年度報告)			課題番号	30 - 26
	研究課題名	植物プランクトンの冷温適応に関する研究			
	氏名	所属	職	備考	
所内 (極地研)					
小計	名				
所外 (極地研以外)	高橋 啓伍	総合研究大学院大学	博士課程4年		
	吉田 絵里奈	京都先端科学大学	4年		
	玉川 叶馬	京都先端科学大学	4年	(2019年度当時)	
小計	3 名				
合計	3 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。

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

綿貫 豊 北海道大学水産科学研究院・教授

(国立極地研究所)

高橋晃周 准教授

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究では、北極域や日本北部で繁殖する海鳥類を主な研究対象とし、ジオロケータ等の装着や安定同位体計測による採餌行動の観測や二重ラベル水法によるエネルギー消費の計測を行い、海洋環境の年変化に対する海鳥類の応答を明らかにすることを目的とした。

具体的な内容として、令和元年度までに実施した野外調査で得た試料の分析やデータの解析を行った。この間に得られた成果について、1) ウミネコのエネルギー消費の環境応答と 2) ベーリング海北部セントローレンス島で繁殖する海鳥の環境応答、について報告する。

1) ウミネコのエネルギー消費の環境応答

海水温などの海洋環境が変化し、海鳥類にとっての餌の利用可能性が低下すると、海鳥は採餌にかかる努力量を増加させるなどの応答をすると予想されている。このような採餌努力量の増加は、エネルギー消費量の増大として現れると考えられる。

しかし、過去の様々な海鳥種の研究において、餌の利用可能性の低下に対する繁殖中の親のエネルギー消費における応答は様々である。エネルギー消費が予想通りに増大する種もあれば、明らかな餌の利用可能性の低下にも関わらずエネルギー消費が変化しない種もあり、なぜエネルギー消費の環境応答が種間で大きく異なるのかが課題となっていた。一方で、同種内の個体であっても、採餌能力やボディーコンディションなどの個体の「質」によって環境応答が異なる可能性があるが、そのような同種内での個体の応答の違いに注目した研究はなかった。

そこで、本研究では、岩手県蕨島に生息するウミネコ (*Larus crassirostris*) を対象とし、繁殖中の親鳥のエネルギー消費量の年間の変化を調査した。周辺の海水温が高く餌の利用可能性が高かった 2012 年と、海水温が低く餌の利用可能性が低かった 2013

年の 2 年間で、抱卵中の親のエネルギー消費・体重変化を比較した。また、親の「質」の影響を考慮するために、2 卵を抱卵する個体 (繁殖における「質」の低い個体) と 3 卵を抱卵する個体 (「質」の高い個体) を比較した。個体のエネルギー消費の計測は、二重ラベル水法¹⁾によって実施した。

その結果、餌の利用可能性の年間の変化に対する親鳥のエネルギー消費量の応答は、2 卵と 3 卵を抱卵する個体で異なることが明らかになった (図 1)。

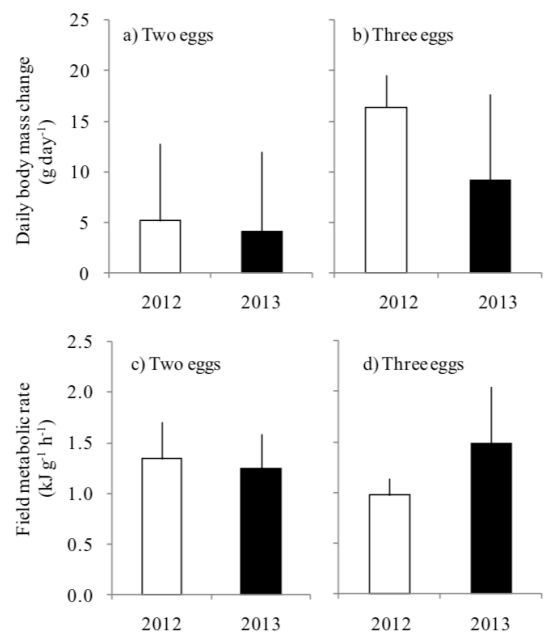


図 1. 抱卵中のウミネコの一日あたりの体重増加 (a, b) とエネルギー消費量 (c, d) の 2 年間で比較。年間の変化のパターンは 2 卵 (a, c) と 3 卵 (b, d) を抱卵する個体間でも異なった。

親の一日あたりの体重増加量は 3 卵を抱卵する個体で、2 卵を抱卵する個体よりも高く、採餌能力の高さを反映すると考えられた。一方、3 卵を抱卵する個体では餌の利用可能性の低下に伴って、エネルギー消費量が減少した。

ギー消費量が増加したが、2卵を抱卵する個体ではエネルギー消費量の変化はなかった。以上の結果から、ウミネコのエネルギー消費における環境応答は、採餌能力などの個体の「質」によって同種内でも大きく異なることが明らかになった。エネルギー消費における環境応答の種間の違いを議論するにあたり、種内の個体の「質」の差を考慮する必要があることが示唆された。

本成果は Kume et al. (2019)として学術誌 *Ornithological Science* に出版された。

2) ベーリング海北部セントローレンス島で繁殖する海鳥の環境応答

北極域の近年の海水減少は海洋生態系の低次生物生産の変化を通じて海鳥に大きな影響を与えると予想されている。本研究では、ベーリング海北部セントローレンス島において海鳥類の生態に関する野外調査を2016年～2019年に実施し、取得した試料の分析やデータの解析を行って、海水の張り出し面積の年々変動に対する海鳥類の環境応答を明らかにすることを試みた。

島で繁殖するコウミスズメ(*Aethia pusilla*)、エトロフウミスズメ(*Aethia cristatella*)、ミツユビカモメ(*Rissa tridactyla*)、ウミガラス(*Uria aalge*)、ハシブトウミガラス(*Uria lomvia*)の5種について、血液と餌生物の安定同位体分析によって食性を推定するとともに、血中のストレスホルモン(コルチコステロン)濃度の変化を調べることで、島周辺の海水密接度の変化(衛星データから取得)が海鳥の栄養ストレス状態に与える影響を調べた。

その結果、島周辺の海水密接度が低下した年の夏には、海鳥の血中のストレスホルモン濃度が増加する傾向が5種すべてで見られた(図2)。

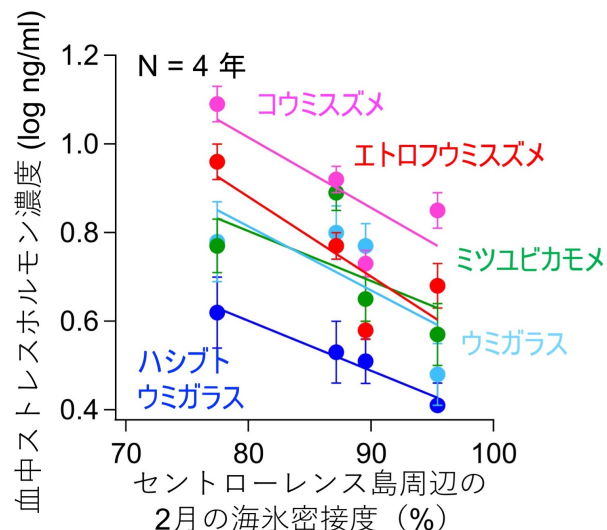


図2. セントローレンス島で繁殖する5種の海鳥の血中ストレスホルモン濃度の年変化と島周辺の海水密接度との関係。いずれの種でも海水密接度が低下するとストレスホルモン濃度が上昇した。

血中のストレスホルモン濃度は、動物プランクトン食性のウミスズメ類2種で高く、底生の魚類などを食べるハシブトウミガラスで低い傾向が見られた。これらの結果から、北極域の近年の海水減少は、餌の利用可能性の低下を通じて、この地域の海鳥に栄養的なストレスを与えており、特にプランクトン食性の小型ウミスズメ類に強い影響を与えていることが示唆された。ベーリング海北部においては、2018年～2019年にかけて、記録的な海水の張り出し面積の減少が報告されており、今後の海水減少がこの地域の海洋生態系に与える影響が懸念される。

本成果は Will et al. (2020)として学術誌 *Deep Sea Research II* に出版された。

[参考文献]

- Shirai M, Niizuma Y, Yamamoto M, Oda E, Ebine N, Oka N, Yoda K (2015) High levels of isotope elimination improve precision and allow individual-based measurements of metabolic rates in animals using the doubly labeled water method. *Physiological Reports*, Vol., 3(11), e12552.

[研究発表]

- Kume Y, Shirai M, Mizutani Y, Niizuma Y (2019) Parental birds incubating larger clutches regulate their field metabolic rates in response to environmental changes. *Ornithological Science*, 18, 161-167.
- Will AP, Takahashi A, Thiebot JB, Martinez A, Kitaiskaia E, Britt L, Nichol D, Murphy J, Dimond A, Tsukamoto S, Nishizawa B, Niizuma Y, Kitaysky AS (2020) The breeding seabird community reveals that recent sea ice loss in the Pacific Arctic does not benefit piscivores and is detrimental to planktivores. *Deep Sea Research II*, 181, 104902.

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動物科学科・准教授
 甲能直樹 国立科学博物館地学研究部・研究主幹
 瀬川高弘 山梨大学総合分析実験センター・特任助教
 森宙史 国立遺伝学研究所・助教
 (国立極地研究所)
 伊村智 教授
 本山秀明 教授
 高橋晃周 准教授
 秋好歩美 技術専門員

平成30年～令和2年（3か年）

【研究成果】

鰭脚類（アシカ科、アザラシ科、セイウチ科）は、高次消費者として海洋生態系において重要な役割を果たしている。それゆえ地史的な環境変動と鰭脚類の進化史の関わりは非常に興味深い問題である。鰭脚類の種間レベルでの大進化については申請者らの分子進化学的研究や古生物学的研究によりどのようなタイミングで種分化や形態的な進化が進むのかが少しずつ解明されはじめてきた。その一方、種内レベルでの小進化については研究が進んでいない。これは主として鰭脚類のゲノムの突然変異率についての理解が進んでいないことに起因する。この問題を解決するために本研究申請では国立極地研究所に収蔵されているウェッデルアザラシ（*Leptonychotes weddellii*）の標本群（骨、ミイラなど）を用いて古代 DNA 解析を行った。ウェッデルアザラシの集団サイズは 50~100 万頭と推定されており鰭脚類の中でも特に集団サイズが大きい種のひとつである。古代 DNA 解析により突然変異率を直接推定できるため、集団サイズが経時的にどのように変動したのかを正確に推定することが可能となった。本研究により鰭脚類の集団サイズが環境とどのように関わってきたのかを解明することができると期待される。

ウェッデルアザラシのサンプルとして第 60 次南極地域観測隊の国立極地研究所の高橋晃周准教授が南極の Skarvsness、Lang Hovde（昭和基地周辺：図 1 青印）で採取したミイラ化したアザラシ遺体（合計 7 個体）、および極地研究所の標本室に保管されていた南極 Dry valley（マクマード基地周辺）で採取されたミイラ化したアザラシ遺体（1 個体：赤印）

からの古代 DNA 解析をおこなった。

これらの標本から国立極地研究所のクリーンルーム下で無菌的に試料内部のサンプリングをおこなった。無菌的に DNA を抽出し、年代の古い DNA に特化した手法でショットガンメタゲノムライブラリーを作成し、次世代シーケンサーによる大規模解読をおこなった。

先進ゲノム支援の支援を受けて、Illumina HiSeq, および NovaSeq 6000 シーケンサーを用いて、8 個体のアザラシサンプルから約 16 億リード解読した。その結果、24x—400x の coverage でミトコンドリアゲノムの構築に成功した。

図 1 に本研究により推定されたウェッデルアザラシのミトコンドリアゲノムに基づく最尤系統樹を示す。

本研究で決定した8個体のミトコンドリアゲノムと参照配列(NC008424:地理的情報不明)とのML系統樹

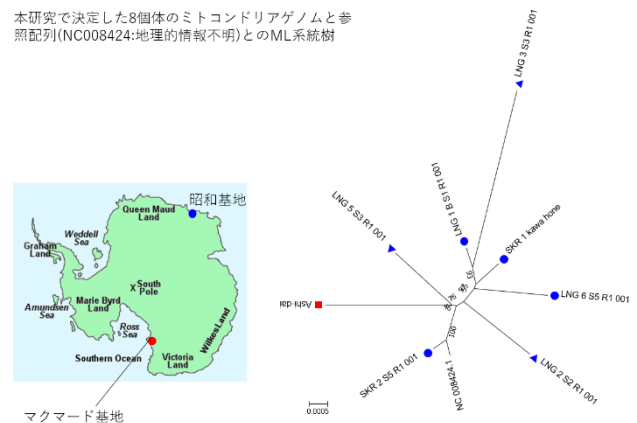


図 1: ミトコンドリアゲノム全長配列に基づく最尤系統樹

次いで、標本の C14 年代を校正点としてウェッデルアザラシのミトコンドリアゲノムの突然変異率を算出した。その結果を図 2 に示す。

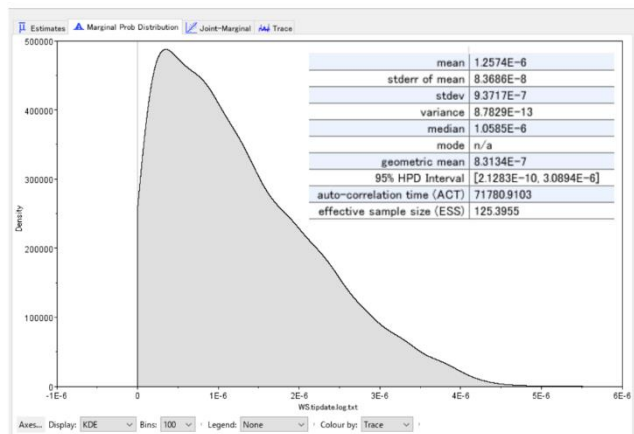


図 2: ベイズ法に基づくウェッデルアザラシミトコンドリアゲノムの突然変異率の事後確率分布

ウェッデルアザラシのミトコンドリアゲノムの突然変異率は $1.26 \times 10^{-6}/\text{site/year}$ と推定された。これは古代 DNA に基づく先行研究で報告されている他の哺乳類や鳥類の突然変異率と概ね同等の値である。

次いで、ウェッデルアザラシの系統地理的な構造と集団間の分岐の時期や集団サイズの変動史を解き明かすために先行研究で報告されている現生のウェッデルアザラシ 344 個体のミトコンドリア DNA 調節領域と併せて系統樹推定を行った（データ非表示）。その結果、ロス海および南極大陸東部の個体群は系統樹上に散在し明確な地理的構造を持たないことが明らかとなった。その一方で、両地域間で集団サイズの変動史に差異が見られたため（図

4）、ロス海と大陸東部とで独自に異なる集団が進化し、それがごく最近交雑しあった可能性が示唆された。特にロス海の集団では（Tajima's D では有意ではなかったが）、ミスマッチ分布がポアソン分布を示し、近年の集団サイズの急速な拡大があったことが示された。統計量 $\tau(2ut \cdot u)$ は突然変異率、 t は急速な集団サイズの拡大があった時期）が 3.694 であったため、本研究で推定された前述の突然変異率 ($1.26 \times 10^{-6}/\text{site/year}$) から、約 3000 年前であったことが示された。

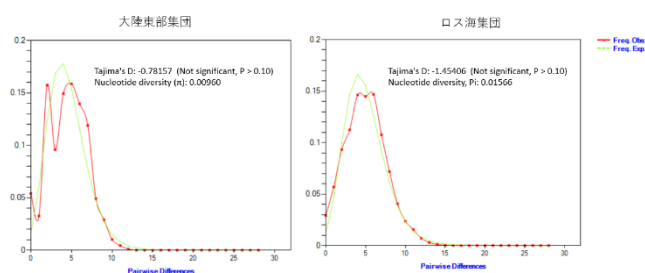


図 3: 大陸東部のウェッデルアザラシ集団とロス海のウェッデルアザラシ集団のミスマッチ分布の比較

今後の詳細な核遺伝子の分析で南極大陸の海洋生態系で捕食者として重要な地位を占めるウェッデルアザラシの生態進化史が解き明かされていくことが期待される。

現在本研究申請の結果は論文作成中であるが、本申請に関連して出版した論文を下記に示す。

[研究発表]

Takahiro Segawa and Takahiro Yonezawa (2020) Evaluation of reported sediment samples from 20 Ma using a molecular phylogenetic approach: comment on Liu et al. (2017), *Environmental Microbiology* 22, 813-818.

Takahiro Segawa, Ryo Matsuzaki, Nozomu Takeuchi, Ayumi Akiyoshi, Francisco Navarro, Shin Sugiyama, Takahiro Yonezawa, Hiroshi Mori (2018) Bipolar dispersal of red-snow algae. *Nature Communications* 9, 3094.

Takahiro Segawa, Nozomu Takeuchi, Koji Fujita, Vladimir B. Aizen, Eske Willerslev, Takahiro Yonezawa (2018) Demographic analysis of cyanobacteria based on the mutation rates estimated from an ancient ice core. *Heredity*.120.562-573.

双方向通信・GPS ロガーを用いたアデリーペンギンの群れ行動解析

◎三田村啓理 京都大学フィールド科学教育研究センター・教授
 荒井修亮 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校・理事
 野田琢嗣 京都大学フィールド科学教育研究センター・研究員

(国立極地研究所)

高橋晃周 (准教授)

渡辺佑基 (准教授)

平成30年～令和2年(3か年)

[研究成果]

本研究は、新規に開発した発信機兼受信機の機能を持った双方向通信ロガーおよびGPS ロガーを用いて海洋動物の群れ行動を詳細にモニタリングする手法を確立することを目的とした。

極地研究所の高橋晃周博士、京都大学大学院情報学研究科(現在、国立極地研究所)の高木淳一博士、総合研究大学院大学博士課程の渡邊日向氏が第60次南極地域観測隊(2018年11月から2019年3月)に参加し、ラングホブデ袋浦においてアデリーペンギンの行動・生態調査をおこなった(図1)。その際、超音波バイオテレメトリー手法を用いた実験を行い、本共同研究にかかるデータ取得を行った。具体的には、1)新しい視点に立った動物の群れ行動を把握できる双方向通信ロガーを開発するとともにアデリーペンギンの群れ行動へ適用した。また、2)超音波発信機および超音波受信機を用いて同時に複数個体の水中での3次元位置を推定した。



図1 集団で潜水を行うアデリーペンギン

1) 双方向通信ロガーによる群れ行動の把握

既存のバイオロギング手法では、データロガーは自らの計測したデータを記録するだけである。そのため、複数の生物に装着したとしても、1個のデータロガーだけが回収された場合、単体のデータしか得られない。そこで、動物の群れ行動を理解するために、ロガー同士が近接している場合、ロガーに記録されたデータを

音響通信によって相互共有するシステム(双方向通信ロガー InterFish、アクアサウンド社)の開発をおこなった。つまり複数のロガーそのものが回収されなくても、1個のロガーが回収されると、データ通信システムにより記録された複数個体の情報を回収することが可能となる。例えば、この双方向通信ロガーを装着した個体Aの周辺に双方向通信ロガーや超音波発信機を装着している個体B、C、Dが遊泳していれば、個体Aに装着された双方向通信ロガーには4個体(A、B、C、D)の情報が記録される。双方向通信ロガーは個体ID、遊泳深度、温度情報を1秒間隔で発信するため、ある一定範囲内を遊泳する4個体の遊泳深度、経験水温を把握できる。

本調査では、双方向通信ロガーおよびGPS データロガー(AxyTrek、TechnoSmArt Europe srl.)を13個体に装着した。また、個体ID及び深度情報を約1秒間隔で発信する超音波発信機(AQPX-1250P、アクアサウンド社)を20個体に装着した。GPS から得られた位置情報および双方向通信ロガーに記録された遊泳深度を用いて、集団潜水行動を観察した。双方向通信ロガーに記録された遊泳深度データから、2個体から4個体

程度の集団潜水(採餌)行動を観察することができた(図 2)。本研究により、アデリーペンギンは、狭い空間(受信範囲: 300m程度)において繰り返し同調潜水して採餌することが明らかになった(図 2)。約 4 日間の記録期間において、各双方向通信ロガーには 7 個体から 24 個体(装着個体を除く)のデータが記録されていた。アデリーペンギンのように集団で採餌する生物において、双方向通信ロガーは効果的にその群れ行動を観察できることが示された。

2) 超音波発信機および超音波受信機による群れ行動の把握

超音波受信機(AQRM-1000、アクアサウンド社)3台を岸沿いの海氷の割れ目に落とし、約 15m 置きに設置した。我々の開発した高精度 3 次元測位手法(Takagi et al. 2018, 2021)を応用して、超音波発信機や双方向通信ロガーを装着したアデリーペンギンの水中での 3 次元位置を推定することで集団潜水(採餌)行動を観察した。

2019 年 1 月 4 日 13 時から 1 月 11 日 6 時までの約 7 日間、受信機を係留し続けた。その結果、アデリーペンギン複数個体を同時に、かつ高精度に測位することに成功した。2 個体から 5 個体の同調潜水を観察できた。代表的な 2 個体の遊泳軌跡及びその際の個体間距離を図 3A 及び図 3B に示す。岸沿いの海氷の割れ目から潜水したアデリーペンギンは、潜水開始地点から水平到達距離 50–100m 程度の範囲で採餌潜水を行っていた。また、20m 以内の距離を保ちつつ潜水していたことが明らかになった。双方向通信ロガーを用いて観察された深度方向の同調のみならず、3 次元的にも同調して潜水している様子が観察された。

双方向通信ロガーは超音波受信機を設置していない水域においても複数個体による同調潜水行動を記録、観察できるのに対して、超音波発信機および超音波受信機は受信機を設置している水域においてのみ同調潜水行動を記録、観察できる。これらの技術を駆使することで、アデリーペンギンの群れ行動の謎に光が当たると思われる。

[研究発表]

Junichi Takagi, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Yoshinori Miyamoto, Keiichi Uchida, Jun Shoji, Hiromichi Mitamura (2018) Simultaneous observation of intermittent locomotion of multiple fish by fine-scale spatiotemporal three-dimensional positioning. *PLOS ONE*, 13:7, e0201029.

Junichi Takagi, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Jun Shoji, Hiromichi Mitamura (2021) Challenge of monitoring cohesive movement in homing fish using fine-scale 3D-positioning. *Aquatic Biology*, 30, pp33–46.

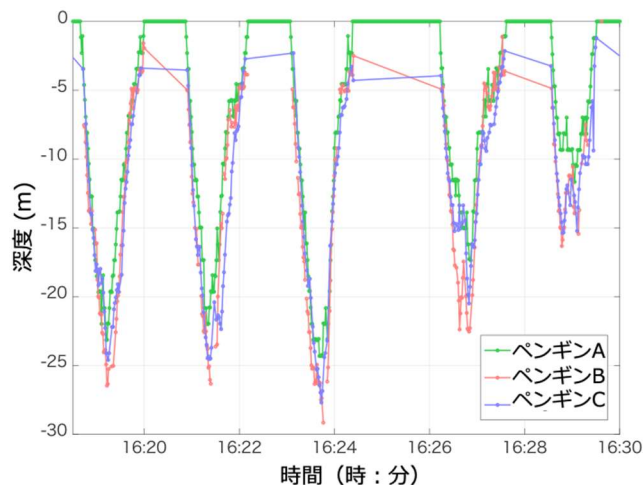


図 2 双方向通信ロガーに記録されたアデリーペンギン 3 個体の同調潜水行動。双方向通信ロガーが装着されたペンギン A の周囲でペンギン B、C が同調して深度 10 から 30m まで潜水していたことがわかる。

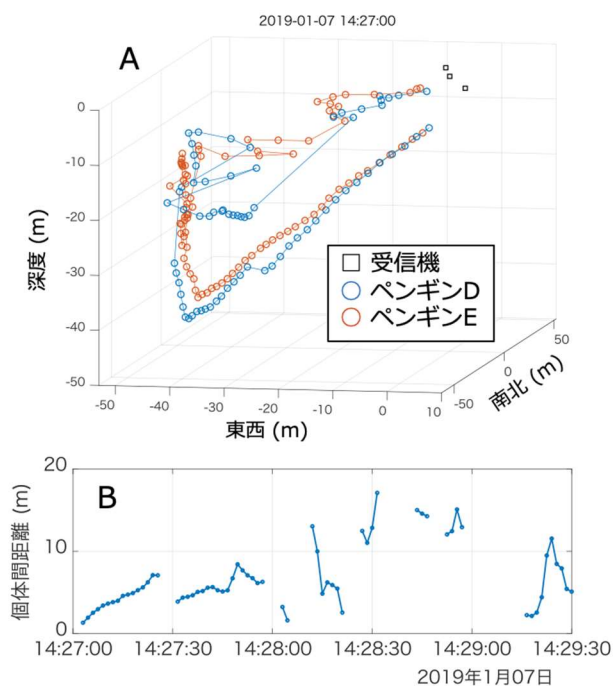


図 3 2 個体の同調潜水における 3 次元の遊泳軌跡 (A) とそのときの個体間距離 (B)。2 個体が 3 次元的に同調して潜水していたことがわかる。

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

(国立極地研究所)

内田雅己 准教授

伊村 智 教授

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

周北極高山性植物の一種であるチョウノスケソウ (*Dryas octopetala* L.) は、北半球の高緯度ツンドラ帯から中緯度高山帯にかけて、広範囲に分布している。そのため、緯度や標高の違いによって引き起こされる気象条件や生育環境が集団間で大きく異なり、形態的あるいは遺伝的な分化が生じていることが期待される。本研究は、日本及び北東アジアにおける中緯度高山帯に生育している集団と、スバルバル諸島スピッツベルゲン島における高緯度ツンドラ帯に生育している集団との間において、葉の内部における細胞や組織の構造と外部における形態の違いを明らかにする目的で実施した。

日本の高山帯 3 集団 (中央アルプス宝剣岳 (JNH)・ハケ岳硫黄岳 (JNY)・北アルプス立山 (JTT)) とスバルバル諸島スピッツベルゲン島の 2 集団 (アドベントダーレン (SA)・ニーオルスン (SNA)) を対象とした。但し、アドベントダーレンにおいては、UiT ノルウェー北極大学のエリザベス・クーパー教授が実施している積雪増加試験地 (スノーフェンス) 内外 (試験対照区 (SAC) と試験区 (SAS)) に生育するチョウノスケソウを別集団として扱い、その結果、スバルバル諸島では計 3 集団 (SAC, SAS, SNA) とした。本研究に用いた試料は、2017 年 (北アルプス立山及びアドベントダーレン) 及び 2018 年 (中央アルプス宝剣岳・ハケ岳硫黄岳・スバルバル諸島ニーオルスン) に採取した。

葉面積及び葉身長幅比の測定結果を図 1 に示した。日本の集団は面積が大きく葉身幅に対して葉身長が小さな丸みを帯びた形態を示し、スバルバル諸島の集団では面積が小さく細長い形態の葉を有していた。このような外部形態を示す葉それぞれについて、樹脂に包埋して染色後、葉身横断面切片を作成し (図 2)、葉肉細胞の形態や葉肉細胞中の葉緑体の数を観察・計測した。その結果、柵状組織を構成する葉肉細胞について、日本の集団では、細胞の幅に対する長さの比が大きな細長い形をしているのに対して、スバルバル諸島の集団ではその比が小さく、すなわち丸みを帯びた形をしていること

がわかった (図 3 左図)。これらの細胞の形態の違いは、一定体積の柵状組織の中に細胞をどれくらい配置できるかということに関係し、従って光合成能力に影響を与えることが予想される。

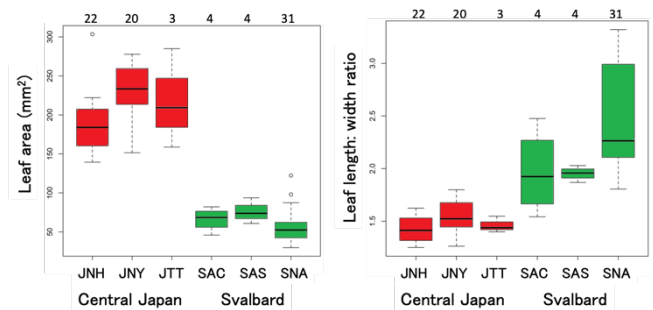


図 1. 葉面積 (左図) と葉身幅に対する葉身長比 (右図) の集団間比較。JNH, 長野県宝剣岳; JNY, 長野県ハケ岳 (硫黄岳); JTT, 富山県立山; SAC, アドベントダーレン対照区; SAS, アドベントダーレン実験区; SNA, ニーオルスン。グラフ上の数字はサンプル数 (個体数) を示している。

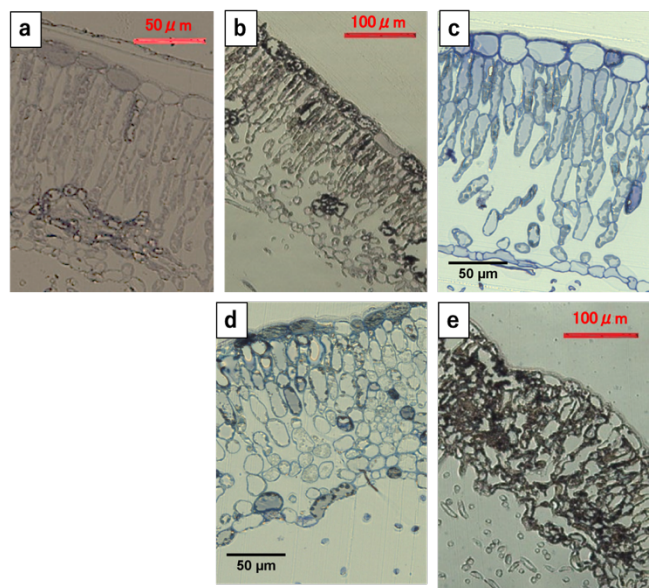


図 2. 樹脂包埋により作成した葉身横断面切片の画像。a, 宝剣岳; b, ハケ岳 (硫黄岳); c, 立山; d, アドベントダーレン; e, ニーオルスン。

次に、葉肉細胞あたりの葉緑体の数を比較したところ、スバルバル諸島の集団に比べ、日本の集団では、1.8 倍ほど多いことが分かった（図 3 右図）。

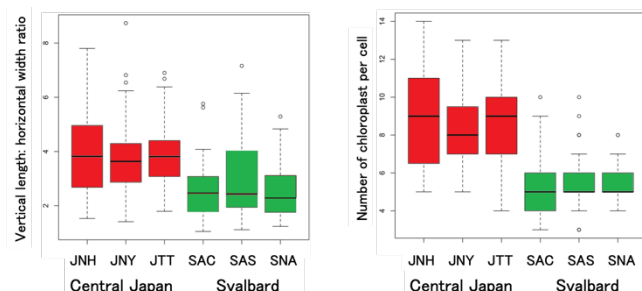


図 3. 葉肉細胞の幅に対する長さの比（左図）と葉肉細胞あたりの葉緑体数の集団間比較（ $n = 72$ ）。

葉肉細胞の形態だけでなく、細胞あたりの葉緑体数にも違いが見られた。葉の中に作られる細胞について考えると、一定体積中により多くの細胞を配置しやすい“細長い形”の細胞の中に 1.8 倍ほど多くの葉緑体が配置されている日本の集団は、スバルバル諸島の集団に比べて、光合成速度が高いことが期待される。実際に、ニーオルスンと立山の集団から採取したシュートを用いて光合成速度を測定したところ、立山集団の方が 2 倍以上高い最大光合成速度を示した（関川・和田，2017）。生育温度が高く、生育期間が長い中緯度高山帯においては、豊富な光資源を獲得しやすいような形質が細胞レベルで生じている可能性がある。

葉の外部形態については、北海道大雪山（小泉岳）（JHK）と中国長白山（CC）の調査地を加え、さらに詳しい解析を実施した。但し、中国の長白山については、森林限界から山頂まで、チョウノスケソウが連続して分布しているため、標高の低い方から順に、CC1（1970 m）、CC2（2000 m）、CC3（2250 m）、CC4（2270 m）、CC5（2550 m）と名付け、別集団として扱った。解析に用いた葉形質は、Marcysiak（2014）を参照に、次の 8 形質とした。基部幅、頂点の鋸歯幅、最大鋸歯長、鋸歯数、葉面積／周囲長、葉身長／最大葉身幅、最大葉身幅／基

部幅、最大葉身幅／頂点の鋸歯幅。これらの形質を用いて、判別分析を実施した（図 4）。

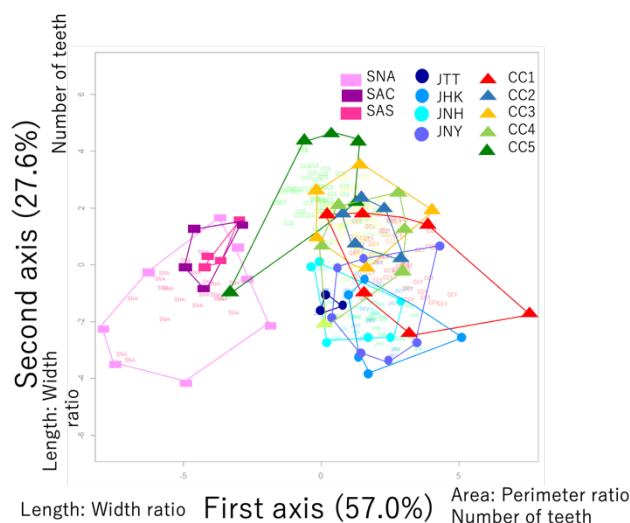


図 4. 日本の 4 集団、中国長白山の 5 集団、スバルバル諸島 3 集団の 8 葉形質を用いた判別分析の結果。

判別分析により、第 1 軸で 57%，第 2 軸で 28%，合計 85%の葉形質の変動を説明した。第 1 軸により、北東アジアの集団とスバルバルの集団は分離され、前者が周囲長に対して葉面積が大きく鋸歯数の多い葉形態を有し、後者は細長い形をした葉身を有することが特徴としてあげられた。また、中国長白山における標高に沿った形質の変化は第 2 軸に沿った変化として表現され、すなわち、標高の増加に伴い、葉身幅に対する葉身長が減少し、鋸歯数が増加する傾向が見られた。このような葉形質の比較は、これまで欧州内の集団間で行われ、北東アジアの集団比較は実施されてこなかった。今回得られた知見は、アジアの一変種（*Daras octopetala* var. *asiatica*）の分類学的な特徴との比較と共に、気候条件との解析を更に行うことで、周北極要素の植物における環境適応と分化のメカニズム解明への貢献が期待される。

[参考文献]

- 1) 島 朱音（2018）分布北限と南限に生育するチョウノスケソウの葉形質変異．富山大学理学部生物圏環境科学科 平成 29 年度卒業論文．
- 2) 村井 萌香（2019）北極圏と中緯度高山に生育する周北極高山植物・チョウノスケソウの葉形質変異．富山大学理学部生物圏環境科学科 平成 30 年度卒業論文．
- 3) 馬庭千菜実（2020）周北極高山性植物・チョウノスケソウと高山植物・ミヤマキンバイにおける葉形態の集団間変異．富山大学理学部生物圏環境科学科 令和元年度卒業論文．

(別紙) 参加者一覧

1. 島 朱音 (富山大学理学部生物圏環境科学科)
2. 村井萌香 (富山大学理学部生物圏環境科学科)
3. 馬庭千菜実 (富山大学理学部生物圏環境科学科)
4. 玉置大介 (富山大学学術研究部理学系)
5. 唐原一郎 (富山大学学術研究部理学系)
6. 関川清広 (玉川大学農学部環境農学科生態系科学領域)
7. Cooper J Elizabeth (UiT The Arctic University of Norway)

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（5）極 地 工 学

氷床コア深層掘削機の次世代コンピューターの開発

◎高田守昌 長岡技術科学大学・助教

(国立極地研究所)

本山秀明 教授

平成 30 年 (1 年)

[研究成果]

1. はじめに

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

2. 掘削機電装部の設計

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

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

3. ウインチケーブルを介したデータ通信テストおよび検討

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

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

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

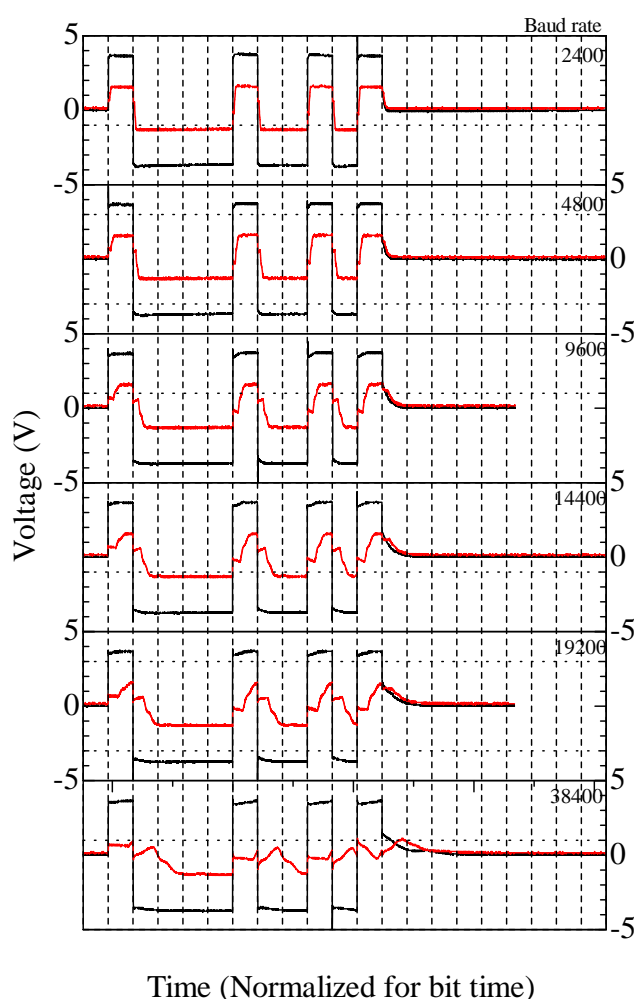


図 1 3500m ケーブルを介した RS485 通信文字 H を送信 (黒) し、受信 (赤) した波形

[研究発表]

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

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

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

4. 電装部の検討と試作

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



図 2 次世代コンピュータのため選定および試作したデバイス類

5. 試作機のテスト

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

6. まとめ

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

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・准教授
 藤井 裕矩 TMIT 研究開発部・所長
 大久保 博志 神奈川工科大学工学部・教授
 草谷 大郎 都立産業技術高等専門学校・准教授
 丸山 勇佑 前田建設工業技術研究所・研究員
 中嶋 智也 大阪府立大学・講師

高橋 泰岳 福井大学大学院工学研究科・教授
 遠藤 大希 新居浜工業高等専門学校・助教
 中台 章 ジオスポーツ株式会社・代表取締役
 (国立極地研究所)
 菊池 雅行 教授
 平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

[研究成果]

高空の安定した豊富な風力を利用する「高空風力発電」は、2010 年くらいから先端技術の急速な発展に支えられ、世界的に盛んに研究開発されている。この高空風力発電では、太陽光利用発電や、通常の低地風力発電が不安定であるのに比べ定常的な電力エネルギーを供給することが可能である。しかも、ジーゼル発電のように燃料の枯渇による停止がなくなる。

本研究では極地における高空発電手法について

1. 垂直軸風車浮遊型発電システム
2. ポンピング型発電システム
3. 渦巻き型発電システム

について研究を行い、各々基礎的な成果を得た。

このうち、1 に関しては、現在世界各国で提案され、研究開発されている高空風力発電手法の色々な手法の基礎的要素を検討し、我国における「高空風力発電研究会」(代表世話人：藤井)を中心に、極地での有効な電源供給手法としての活用手法を研究した。

また、2 に関しては、2018 年度からは無人機研究会(代表の極地研客員教授(林政彦))へ参加しその活用手法を検討中である。また、成果も一部公表した。

3 に関しては、「渦巻き型風力発電機」の研究を行った。現在南極でモニタリングで観測しているエアゾル観測装置(極地研所有)への電源供給等の試験を行うとともに、キャラバン隊のための携帯型風力発電機の試作研究を行う。

以上 3 種類の課題について検討するとともに、現在世界各国で提案され、研究開発されている高空風力発電手法の色々な手法を検討し、我国における「高空風力発電研究会」(代表世話人：藤井)を中心に、極地での電源供給手法

としての有効な活用手法を研究した。

1. 垂直軸風車浮揚型発電システムについて

1-1 テザー型風力発電システム

本システムは、風車をカイトを用いて浮遊させ、テザーを用いて地上の発電機と接続し発電するユニークな空中風力発電システムを提案し、そのフィールド実証試験をめざして研究開発を続けている(図 1)。

本システムの主要課題は、

- ① 垂直軸型風車の高空への浮揚
- ② 上空で取得した風力エネルギーの地上への伝達

の 2 点であるが、複数回のフィールドテストを含む実験によって、浮揚手法、伝達手法について基礎的な特性が得られた。

2. ポンピング型発電システムについて

2-1 カイトによるポンピング飛行軌道の研究

ヒステリシス制御による飛行軌道制御を開発し、実験によって安定した 8 の字飛行を可能にすることがわかった。

2-2 無人航空機による飛行軌道の研究

テザー(引き綱)で拘束された TUAV(Tethered

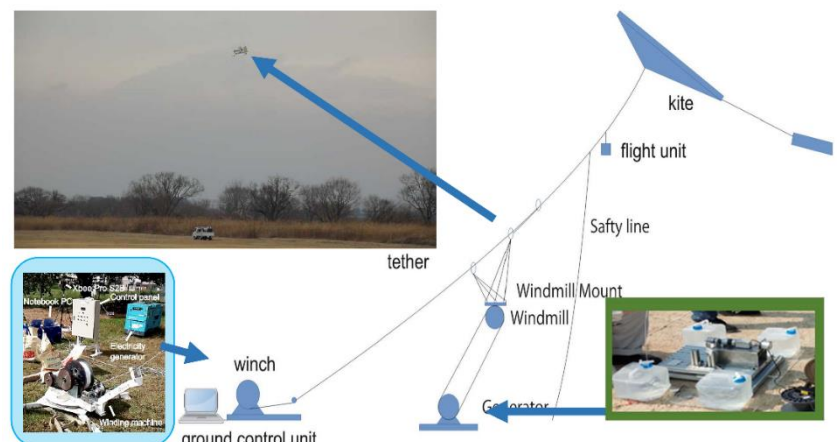


図 1 テザー型空中風力発電システム

Unmanned Air Vehicle: テザー型無人航空機) の運動について定式化し、これを基礎として、フィールド実験によって基礎的な検証を行った。

2-3 ポンピング発電システムの開発

独自のシステムを開発し、特性を調べるための実際の上空機(カイト)を使用した屋外発電実験を実施した。

3. 渦巻き型発電システムについて

風力発電を行うことによって、極地で良く用いられているジーゼル発電のような燃料の枯渇による停止がなくなる。「渦巻き型風力発電機は、携帯型の風力発電機として提案し研究開発を行った(図2)。

まとめ

本研究では極地における高空発電手法に関する 3



図2 渦巻き型発電システム

種類の課題について研究を行い、各々基礎的な成果を得た。

[参考文献]

- 1) 藤井裕矩, 丸山勇佑, 草谷大郎, 中嶋智也, 高橋泰岳, 大久保博志, “空中風力発電の研究・開発の動向と展望”, 日本風力エネルギー学会誌, 第44巻, 第2号, 2020年8月, p176-181.
- 2) 藤井裕矩, “kW から MW へー高性能 UAV による風力発電の検討”, 同上, p198-p201.
- 3) 中嶋智也, “空中風力発電における垂直軸型風車の特徴と選択基準”, 同上, p194-197.
- 4) 大久保博志, “垂直軸風車とテザー駆動を用いた空中風力発電システム”, 同上, p202-205.
- 5) 高橋泰岳, “福井大学における空中風力発電関連研究”, 同上, p206-p208.
- 6) 遠藤大希, “Ground-Gen 方式空中風力発電の実験に基づく比較検討(搭載風車運搬方式とポンピング運動方式の場合)”, 同上, p214-217.
- 7) 遠藤大希, “空中風力発電を目的とした連風浮体の力学及び運用特性に関する実験的研究”, 日本航空宇宙学会学会誌, 第67巻6号, 2019年12月.
- 8) 遠藤大希, “高空風力地上発電システムの設計計算と運用に関する実験的研究”, 風力エネルギー学会学会誌, 2019年3月.
- 9) 遠藤大希, “発電機地上設置方式空中風力発電の実験的基礎研究”, 学位論文, 学位授与機関(福井大学, 工博乙第73号), 2020年3月23日.
- 菊池雅行, “高空風力発電の極地での有効活用手法の研究”, 第15回南極設営シンポジウム(国立極地研究所), 2018年6月4日.
- 2) 藤井裕矩, 草谷大郎, 山本広樹, 丸山勇佑, 大久保博志, 高橋泰岳, 遠藤大希, 中台章, 赤坂剛史, 菊池雅行, “極地における空中風力発電の手法について”, 第16回南極設営シンポジウム(国立極地研究所), 2019年6月3日.
- 3) Hironori A. FUJII, Takumi TOMITA, Tairo KUSAGAYA, and Hiroki YAMAMOTO, “Three-Dimensional Flight Trajectories of Tethered UAV for Optimal Energy Generation”, Airborne Wind Energy Conference 2019, University of Strathclyde, U.K., October 15-16, 2019.
- 4) Masafumi Narikawa and Yasutake Takahashi, “Hysteresis Control of a Kite Flying Figure-of-Eight Maneuvers”, Airborne Wind Energy Conference 2019, University of Strathclyde, U.K., October 15-16, 2019, p115.
- 5) 藤井裕矩, “極地での風力発電の提案”, (第9回) 無人航空機の活用による極地観測の展開, 国立極地研究所, 2019年11月21日.

[その他]

- 1) 藤井裕矩, 山本広樹, “理論上可能です。”, TBS テレビ, 2019年12月23日深夜0:26放送, <http://www.tbs.com/roram/riron> 20191223/.

[研究発表] (主要なもののみ)

- 1) 藤井裕矩, 赤坂剛史, 大久保博志, 草谷大郎, 丸山勇佑, 中嶋智也, 高橋泰岳, 遠藤大希, 中台章,

第Ⅲ期ドーム計画に向けた新規深層掘削システムの設計および実証試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
 的場澄人 北海道大学低温科学研究所・助教
 森 章一 北海道大学低温科学研究所・技術専門職員
 佐藤陽亮 北海道大学低温科学研究所・技術専門職員
 高田守昌 長岡技術科学大学・助教
 宮原盛厚 (株) アノウィ・代表取締役
 小林明雄 九州オリンピック工業 (株)・第 2 技術課係長
 吉瀬也寸志 九州オリンピック工業 (株)・第 3 製造課課長
 大谷昌央 九州オリンピック工業 (株)・第 3 技術課主任

(国立極地研究所)

- 本山秀明 教授
 川村賢二 准教授
 中澤文男 助教

平成 30 年～令和 2 年 (3 か年)

【研究成果】

第 IX 期および第 X 期南極観測 6 か年計画において、「新ドームふじ基地における氷床深層コア掘削」(以下「第Ⅲ期ドーム計画; DF3」) が進行中である。

本共同研究では、DF1・DF2 およびそれ以降に得られた情報・知見・成果を基に、DF3 用深層ドリルシステムおよび周辺機器を設計・製作し、国内での実証試験を通して必要な改良を進めてきた。

<平成 30 (2018) 年度>

DF3 で使用するウインチやマストの製作を進めるとともに、ドリルの仕様検討や新規通信システムの実証試験、新規掘削刃 (ステップカッター) による掘削試験等を実施した。

- ・平成 30/9/26「深層掘削研究会掘削実務者会合」 (@極地研)
 - ⇒ EGRIP 2018 における掘削状況や、新規通信システムの実証実験について、報告および情報交換を行った。
- ・平成 30/10/16「第 3 期ドーム計画&新学術氷床班 2018 合同集会」 (@極地研)
 - ⇒ DF3 において使用する掘削システムの調達状況および関連実験・試験の結果や計画について報告した。
- ・平成 30/12/20-21「深層掘削研究会」 (@極地研)
 - ⇒ 低温環境実験室にて、新規に作製したステップカッターを用いた氷柱掘削試験を実施し、モーター電圧・電流値やドリルの回転数と掘削ピッチ、生成するチップの性状等についての実測値を得た。また、DF3 掘削場レイアウトや発電機等に関する報告や液封液に関する実験報告、通信システム開発に関する進捗状況の報告を行った。

<令和元 (2019) 年度>

前年度までの議論を基にドリル 1 号機を製作。そのドリルに新規作製したステップカッターを装着し、氷柱を用いた掘削試験を行った。

- ・令和元/7/29-30「深層掘削研究会掘削実務者会合」 (@極地研)
 - ⇒ 完成済みのウインチ・マスト、製作中のドリル 1 号機、改良製作中の電装部、その他周辺機器や予備品等について確認し、また、今後の実験・訓練計画について検討を行った。
- ・令和元/10/28-30「深層掘削研究会」 (@極地研)
 - ⇒ 低温環境実験室にて、改良を施したステップカッターやシュールを用いた氷柱掘削試験を実施し、各種データや映像を取得した。
- ・令和元/11/6「第 3 期ドーム計画&新学術氷床班 2019 合同集会」 (@極地研)
 - ⇒ DF3 において使用する掘削システムの調達状況および関連実験・試験の結果や計画について報告した。
- ・令和 2/1/28-31「総合掘削試験」 (@九州オリンピック工業 (株))
 - ⇒ 屋外に高さ 22.9m の実験タワーを組み立て、今回作製された全長 12.2m の深層ドリルを吊した状態で氷柱掘削試験を実施した。

<令和 2 (2020) 年度>

DF2 掘削孔の維持作業、および DF3 におけるパイロット孔掘削・リーミング (孔径拡張)・ケーシングパイプ設置作業に必要な諸準備を行った。

- ・令和 2/9/29-30「掘削訓練」(@極地研)
 - ➡ DF2 掘削孔維持のための延長パイプ接続手順の確認、DF3 用ケーシングパイプ接続手順の確認、リーマーの組み立ておよび動作確認を行った。
- ・令和 3/3/15-16「リーマーによる掘削訓練」(@九州オリンピア工業 (株))
 - ➡ 市販の氷柱を浅層ドリルで掘削し、更に新規に作製したリーマーを用いて 3 段階で拡張する訓練を実施した。また、現地で組み立て使用する液封液の供給ラインを確認した。

以下に、本研究における主な具体的成果を示す。

(1) ステップカッターの開発・製作・掘削試験

DF2 で完遂できなかった氷床底部温暖氷の掘削にも有用なステップカッター (3 分割刃) を開発した。市販氷、 -30°C 氷および -50°C 氷を用いた複数回にわたる実証試験とそれに伴う改良を重ね、低電流で所定の掘削ピッチを満足するカッター刃が得られた (図 1~3)。

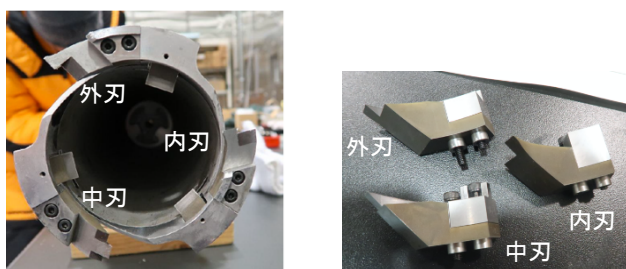


図 1 開発した改良型ステップカッター

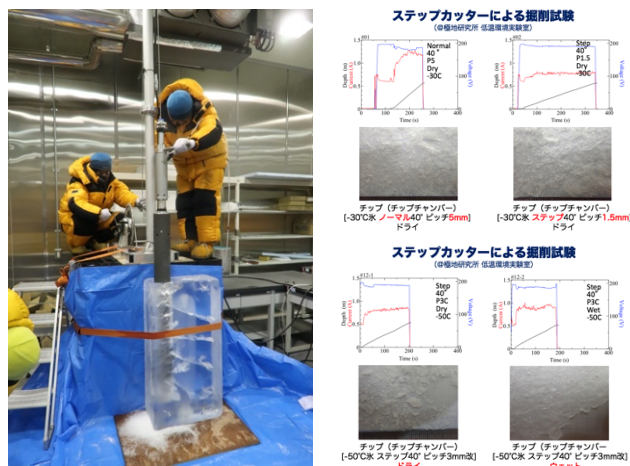


図 2 ステップカッターを用いた掘削試験の一例



図 3 総合掘削試験の様子

(2) 新規ドリル通信システムの開発

DF2 における要改善点の一つであったドリル通信システムについて、新規設計-試作-実証試験-改良を行った (図 4)。現地で使用するドリルシステムを用いた「総合掘削試験」においても、良好な通信・制御が可能であることが実証された。

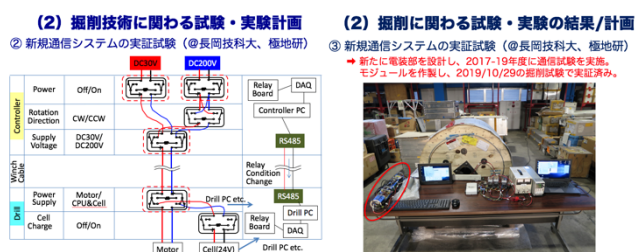


図 4 開発した新規ドリル通信システム

(3) 液封液に対するケーシングパイプの耐性試験

DF3 において、液封液 (酢酸ブチル) が満たされるケーシングパイプについて、その素材の耐性試験 (質量・サイズ・引張強度) を行った。常温下での浸漬では、積層間への液の侵入による質量増加、膨潤、強度低下が認められたが、DF3 での使用条件に近い -50°C での浸漬ではいずれもほとんど変化は認められず、使用に問題のないことが確かめられた (図 5)。

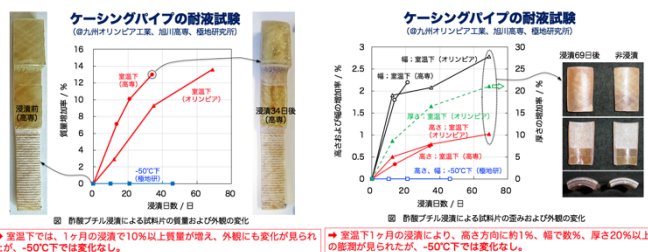


図 5 液封液に対するケーシングパイプ材の耐性試験

【研究発表】

- 1) 本山秀明、高橋昭好、田中洋一、新堀邦夫、宮原盛厚、吉本隆安、藤井理行、鈴木利孝、古川晶雄、東 久美子、鈴木啓助、武藤淳公、五十嵐 誠、山崎哲秀、藤田秀二、斎藤 健、渡辺原太、古崎 睦、李 院生、鄭 址雄、福井幸太郎、中澤文男、亀田貴雄、藤田耕史、大日方一夫、齊藤隆志、神山孝吉、木下 淳、東 信彦、中山芳樹、渡辺興亜、高田守昌、小澤行雄、小林明雄、吉瀬也寸志 (2020) : 南極ドームふじ基地における第 2 期氷床深層コア掘削、南極資料、64、284-329.
- 2) Motoyama, H., Takahashi, A., Tanaka, Y., Shinbori, K., Miyahara, M., Yoshimoto, T., Fujii, Y., Furusaki, A., Azuma, N., Ozawa, Y., Kobayashi, A. and Yoshise, Y. (2020) : Deep ice core drilling to a depth of 3035.22 m at Dome Fuji, Antarctica in 2001-07, Annals of Glaciology, 1-11, doi:10.1017/aog.2020.84.

＜研究協力者（共同研究者ではない参加者。大学院生等）等参加者一覧＞

- ・ 高橋昭好氏（元（株）地球工学研究所・代表取締役）
- ・ 田中洋一氏（元（株）ジオシステムズ・代表取締役）
- ・ 新堀邦夫氏（元北海道大学低温科学研究所・嘱託職員）
- ・ 大藪幾美氏（極地研究所・特任研究員）
- ・ 津滝 俊氏（極地研究所・特任研究員）
- ・ 繁山 航氏（極地研究所・大学院生）
- ・ 米倉綾香氏（極地研究所・大学院生）
- ・ 井上 峻氏（極地研究所・大学院生）

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 <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		南極における宙空圏研究・観測の将来構想に関する研究集会						
開催日時		2021年2月17日(水)10:00-17:00			開催場所		zoom	
概要		南極観測第Ⅹ期6か年計画における宙空圏関連観測・研究の情報共有や議論、および一般・萌芽研究観測の公募に関する情報提供を目的として本研究集会を開催した。参加者は39名(所内12名、所外27名(海外から2名))であった。第Ⅹ期重点研究観測の紹介や今後のモニタリング観測の方針、第Ⅹ期に新たに立ち上げる予定の観測計画などに関する計18件の講演が行われ、南極における宙空圏関連観測・研究に対して海外を含む所内外の多くの研究者が関心を持ち、継続・新規の様々な観測を実施する意向を持っていることを改めて感じる事ができた。本研究集会で得られた観測計画の情報や今後の方向性についての議論の内容を、今後の第Ⅹ期宙空圏関連観測計画の策定に反映していく予定である						
報告者 (担当者)		富川喜弘						
所内参加者数		12 名			合計		39 名	
所外参加者数		27 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		
富士山NPO	1							
名大ISEE	3							
Colorado Univ.	1	1				米国		
NICT	2			1				
JAMSTEC	1							
北大	1							
明治大	6		5	1	3			
筑波大	4							
関西学院大	1							
信州大	2							
駒沢大	1			1				
静岡県立大	1							
北海道情報大	1							
Toulon Univ.	1	1				フランス		
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"/> 研究会 <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせその他 <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		PANSY研究集会					
開催日時		2021年3月30日(火)13:00-17:10			開催場所		zoom
概要		第Ⅹ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2020年度の観測・研究の成果の紹介と、63次および第Ⅹ期の観測・研究計画の議論と情報共有のため、本研究集会を開催した。昨年度に引き続き、新型コロナウイルス感染防止のため、全ての講演をWeb会議システムzoomを用いて実施した。各観測装置のPIからの講演のほか、最新の研究成果や第Ⅹ期に向けた計画等に関する計11件の講演が行われ、18名(大学院生2名を含む)が参加した。					
報告者 (担当者)		佐藤 薫 (富川喜弘)					
所内参加者数		7 名			合計 18 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
明治大		3		2		2	
名大ISEE		2					
信州大		1					
京大院理		1					
東大院理		2		1	1		
京大RISH		1					
京大院情報		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								
<div>いずれかを■にしてください。</div>								
集会名		SuperDARN研究集会						
開催日時		2021年3月5日09:55-19:00			開催場所		オンライン開催	
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を、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極地研主担当でオンラインにて開催した。極域・中緯度に跨る幅広いテーマで発表があり、磁気嵐の全体像やサブ極光帯の現象、極域～中緯度の領域間結合や大気上下結合等の研究等の成果や、内部磁気圏観測衛星「あらせ」(ERG)等との共同研究の成果等、17件の発表と、最近の動向や観測計画・共同研究の将来計画を含む総合討論を行った。						
報告者 (担当者)		行松 彰						
所内参加者数		8 名			合計			34 名
所外参加者数		26 名						
所外参加者の内訳								
大学・機関名		参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考	
ROIS/極地研/総研大		8		2	1			
名古屋大		8		6		4		
NICT		4		1	1			
九州大		4	1		1			
電気通信大		1						
東北大		2		1		1		
JAXA/宇宙研		1		1	1			
千葉大		2		1	1	1		
駒沢大		1			1			
統数研		1		1				
山東大		1		1				
三菱電機		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		中間圏・熱圏・電離圏研究会						
開催日時		令和２年９月２８-３０日			開催場所		オンライン（zoom）	
概要		令和2年9月28日から30日にかけて表記の研究集会を含む4研究集会を合同で開催した。中間圏・熱圏・電離圏研究会では、学生・若手研究者の口頭発表を中心にプログラムを構成し、活発な議論が行われ、今後の発展につながる研究集会となった。						
報告者（担当者）		津田 卓雄：電通大						
所内参加者数		4 名			合計 66 名			
所外参加者数		62 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		1			
京都大学	12		7	3	7			
名古屋大学	12		5	2	5			
九州大学	7	1	4	4	4			
千葉大学	6	1	3	1	3			
電気通信大学	6		4	1	4			
情報通信研究機構	5	1		3				
東北大学	4		2	1	2			
九州工業大学	2			2				
明治大学	2		2		2			
北海道大学	1							
海洋研究開発機構	1							
JAXA	1							
三菱電機	1							
無所属	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 实 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		STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(極域を軸とする宇宙天気現象の予測精度向上に向けて)					
開催日時		2020.9.28		開催場所		オンライン	
概要		当該期間(2019.10-2020.9)における極域を中心とした太陽地球環境の概況を報告し、その推移や注目現象を概観した。次に当該期間の現象に関する観測データやシミュレーション結果などについて多方面から報告を行い、詳細な状況について議論した。昨今の状況を踏まえ、当研究集会はMT研究集会他と合同開催の形で、オンラインで実施された。					
報告者 (担当者)		西谷 望(片岡龍峰・行松彰・小川康信)					
所内参加者数		2 名		合計 33 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	
総研大(極域科学専攻)	0						
名古屋大学	7		3	1	3		
情報通信研究機構	9		1	2			
京都大学	4	1	2		2		
九州大学	3		1	1	1		
九州工業大学	1			1			
鹿児島工業高等専門学校	1						
千葉大学	3		1	1	1		
地磁気観測所	1						
東北大学	1						
無所属	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		EISCAT研究集会					
開催日時		2021年3月17,25日			開催場所		オンライン開催
概要		1日目には、2020年度に実施された欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダー特別実験に関する結果報告や議論、現行EISCATレーダーを中心に用いた研究成果発表、北欧の観測網の今後の展望を紹介し、議論を実施した。 2日目には、2022年度後期から第1期運用開始予定のEISCAT_3Dレーダーに関する情報共有や議論を行うと共に、EISCAT_3Dの観測開始を踏まえた今後の展開や科学課題に関する招待講演や、EISCAT_3D を用いた具体的な研究希望や提案の紹介があり、それらを踏まえて総合討論を行った。					
報告者 (担当者)		小川泰信					
所内参加者数		9 名			合計 31 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)	1			1	1		
名古屋大学	5				1		
電気通信大学	3				1		
京都大学	3						
東京大学	2				1		
東北大学	1				1		
九州大学	1						
成蹊大学	1						
駒沢大学	1						
信州大学	1						
NICT	1						
日本学士院	1						
日本文理大学	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		太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用						
開催日時		2020年9月28～30日			開催場所		Zoomによるオンライン	
概要		<p>令和2年度極地研研究集会「太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用」を、第431回生存圏シンポジウム、令和2年度名大ISEE研究集会との共催で9月28～30日の期間に開催した。当初、名古屋大学にて開催する予定であった本研究集会は、新型コロナウイルス感染症拡大の防止のため、全てオンラインとした。また、昨年度と同様、本研究集会に密接に関連する「MTI研究集会」、「STE現象報告会」、「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」の3研究集会と合同で実施した。</p> <p>我々の研究集会は、太陽地球系物理学分野の研究者・学生、データ所有者、データベース・解析ツール開発者等が集まり、各々の研究の紹介と議論を通じて、各自の研究に最適な解析方法を見出すと共に、物理現象の理解、成果創出への最適な道筋を構築することを目的として、以下のようなセッションを実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・講習セッション：太陽地球系物理学分野で広く利用されているデータ解析ソフトウェアであるIDL、MATLAB、及び、IDLをベースとした超高層大気データの統合解析ツール「SPEDAS」の講習を実施（3件を並列開催） ・招待講演セッション：大学院生を中心に高度な解析手法を含む最新研究成果を紹介（4件） ・議論セッション：修士学生が5分程度の研究紹介を行った後、進行役のアドバイザー、議論を正しく誘導するファシリテータ、その他の参加者ととも、各研究課題の解決に向け、類似の研究を行っている研究者との情報交換や、今後の共同研究への発展など、自由な議論を行う（最大4件を並列開催し、合計11件） <p>多くの研究者、学生が参加し、非常に活発な議論が行われ、参加者からも高い評価を得ることができた。特に、初めての試みであった議論セッションは、多くの参加者との議論を通じ、研究課題の行き詰まっている問題の解決策を学生自身が発見できる場として十二分に機能した。また、研究者の側から、コロナ禍で他機関の研究者との議論が困難な状況の中で、自由に議論・コミュニケーション・教育できる場であったことが賛同され、来年度以降も継続してほしいとの要望を受けた。</p> <p>本研究集会で利用したデータ解析講習資料はIUGONETウェブサイトで公開している（http://www.iugonet.org/workshop/20200929）。</p>						
報告者 (担当者)		阿部修司 (門倉昭、田中良昌)						
所内参加者数		3 名			合計 60 名			
所外参加者数		57 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		
Harris Geospatial	7			1				
情報通信研究機構	2	1		1				
九大・理	9		1	5	7			

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
九大・総理工	1					
九大・国際宇宙	1					
京大・理	5				3	学部生1
京大・理・附属天文台	2				1	
京大・生存圏	2					
九工大	2			2		
千葉大	7			1	5	
大阪電気通信大	1			1		
電通大	3					
東北大	2				1	
名大ISEE	13				5	学部生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 实 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		ニーオルスン観測研究集会						
開催日時		令和2年8月31日			開催場所		オンライン	
概要		ニーオルスン基地の現状についての説明の後、これ迄に実施されたライダー、スカイラジオメータ、全天カメラ、日射計などのリモートセンシング観測、並びに無人航空機や雨量計などの直接サンプリング観測についての報告があった。 それに続き総合討論を行った。その結果、コロナ禍の現状を踏まえ、まずは既に観測されたデータ解析を進め、来年度以降、再開あるいは新規に可能な観測について検討していく事になった。						
報告者(担当者)		久慈 誠						
所内参加者数		6 名			合計 21 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		
国立極地研究所	6							
福岡大学	3							
山梨大学	1							
名古屋大学	2							
京都大学	1							
奈良女子大学	1							
富山大学	2							
気象研究所	3							
国立環境研究所	1							
JAXA EORC	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 <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 研究集会 研究会 ワークショップ <input type="checkbox"/> 研究談話会 <input type="checkbox"/> 研究打ち合わせ その他 </div>						
いずれかを■にしてください。						
集会名		第23回南極エアロゾル研究会				
開催日時		令和2年7月27日		開催場所		
		オンライン（Zoom）				
概要		JARE60越冬観測報告、JARE61夏観測報告、JARE61越冬観測状況確認を行った。新型コロナウイルス感染症対応に関連するJARE62観測計画の変更・調整について議論も行った。さらに、これまでの観測経過、データ解析、データ管理、今後の解析方針について関係者で確認・議論を行った。また、今後の研究計画についての提案・調整・議論を進めた。				
報告者 （担当者）		原圭一郎（平沢尚彦）				
所内参加者数		6 名		合計 28 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
福岡大学	3				1	
JARE62	2					
JARE61	2		2	2		
JARE60	2					
気象庁	2					
北海道大学	1					
名古屋大学	2					
京都大学	1					
東京工業大学	1					
山梨大学	1					
九州大学	2				1	
奈良女子大学	1					
大阪府立大学	1					
タイプエス	1					
極地研究所	6		1	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

[illegible]

- 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。

- 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。

- 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。

96

大学・機関名	参加者数	内、				備考
		外国人	若手	女性	大学院生	
筑波大	3		3		3	
環境研	2					
金沢大	2				1	
産総研	1					
森林総研	1		1			
東京学芸大	1				1	
東工大	1					
三重大	1					
琉球大	1					
気象庁	1					
武蔵野美大	1			1		
理研	1					
神戸大	1		1	1	1	
筑波大	1		1		1	
弘前大	1		1		1	
eロボティクス	1					
いすみ鉄道	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 实 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		c					
開催日時		令和3年1月25日		開催場所		Web開催	
概要		<p>南極、北海道道東など極寒冷地における降雪量の実測・衛星による測定法やその検証方法、南極におけるブリザード発生時の大気総観場と地形の関係の解析、単純化した降雪結晶形状と積雪密度の関係の解析、鉱物などの氷晶核により発生する氷晶の総数や形状の解析などの報告があった。これに対し、南極昭和基地に設置中のXバンドレーダーの観測計画やその測定方法、PANSYとの組み合わせでの解析方法などの議論を行った。</p> <p>1. JARE62 & 63の昭和基地の降水レーダー観測について 小西啓之(大阪教育大)、平沢尚彦(極地研)</p> <p>2. GPM衛星で観測できる弱い降雪 -北海道陸別での地上観測との比較- 小西啓之(大阪教育大)、平沢尚彦(極地研)</p> <p>3. 昭和基地におけるブリザード時の降水システムの総観規模的な特徴 平沢尚彦(極地研)</p> <p>4. Review: 「Microphysics of Snowfall Over Coastal East Antarctica Simulated by Polar WRF and Observed by Radar. by Vigon et al., JGR, 2019.」 平沢尚彦(極地研)</p> <p>5. 「計算機降雪実験からの積雪の理解」 田邊章洋(防災科研新庄)</p> <p>6. 「過冷却雲中での鉱物粒子等の氷晶核能力の測定」 島田 互、大岩敬典、強力麻唯、関原清流(富山大・理)</p>					
報告者 (担当者)		島田 互					
所内参加者数		6 名		合計 17 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	
富山大学	1						
大阪教育大学	1						
東京大学	1			1			
防災科学技術研究所	3						
北海道大学	1						
福岡大学	2			1		内、1名学部生	
新潟市役所	1			1			
紋別市役所	1						
総研大(極域科学専攻)	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 实 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			
<div>いずれかを■にしてください。</div>							
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-VI					
開催日時		2021年(令和3年)3月19日 11:00 ~ 18:00		開催場所		Zoom オンライン開催	
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、62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ー研究、並びに63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)		山本 真行 (金尾 政紀)					
所内参加者数		2 名		合計		25 名	
所外参加者数		23 名					
所外参加者の内訳							
大学・機関名	参加者数	内、 外国人	内、 若手	内、 女性	内、 大学院生	備考	
極地研	2		1	1			
JAMSTEC	1						
北海道情報大	1						
小林理研	2		1				
金沢大	1						
高知工科大	2				1		
県立広島大	1						
地震予知振興会	1			1			
日本気象協会	1						
九大	1						
東北大	2						
北大	1						
JAXA	4		1	1			
森林総合研究所	1			1			
東邦マーカントイル(株)	1						
(株)日本海洋事業	2						
大阪大	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 <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		極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会						
開催日時		2021年(令和3年)1月15日(金) 13:00 ~ 18:00			開催場所		オンライン開催	
概要		本集会では、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、特に極域関連のデータベースやデータシステム、及びその公開手法、またデータ共有(相互利用)・データ引用・データ出版・データジャーナル等について、データの長期保全・公開の現状・問題点や将来計画、並びに極域科学研究進展のために望まれる機能等について意見交換を行った。また、極域の多様なデータセットを利用したデータサイエンスの研究について紹介し、極域科学の各分野におけるデータ関連研究の現状について相互理解を深めると共に、近未来の展望について議論した。						
報告者 (担当者)		金尾 政紀						
所内参加者数		17 名			合計 37 名			
所外参加者数		20 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	2							
国土地理院	1							
産総研	2							
法政大	1			1				
高知工科大	1							
北大	1							
NICT	1							
情報研	2							
環境研	2			2				
ISEE	1							
日本オラクル(株)	1							
静岡県立大	1							
信州大	1							
富山大	1							
地震予知振興会	1			1				
科学技術振興機構	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。

- 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。

○ 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 实 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。								
集會名		南極海産およびオホーツク海産翼足類の分類および生理生態実験に関する研究集会						
開催日時		令和2年10月9日			開催場所		知床ダイビング企画	
概要		<p>近年、人為起源の環境問題の一つとして、海洋酸性化が炭酸カルシウム外骨格を持つ海洋性物に及ぼす影響評価が精力的に研究されている。酸性化の進行が早い両極域海洋に分布する翼足類は浮遊性の巻貝であり、対象種として注目されている。本研究チームは翼足類に焦点を当て、現場での生態観察に加え、飼育実験により酸性海水の影響評価へ向けた基礎的学術研究に努めている。</p> <p>オホーツク海沿岸海域は極域海洋の擬似現場として活用されており、対象種である翼足類が容易に採集出来る世界でも珍しい海域である。本研究集会は極域海洋、およびオホーツク海産翼足類を用いた基礎的学術研究を進めている研究者間での情報共有を図り、翼足類を用いた酸性海水の影響評価へ向けた研究計画の立案および研究協力網の構築を目指すことを目的とする。特に現場での潜水(ダイビング)により直接的な現場実験の立案を進めるため、現地ダイバーの協力のもと、現場調査を伴う研究集会を実施した。</p>						
報告者 (担当者)		高橋邦夫						
所内参加者数		1 名			合計 6 名			
所外参加者数		5 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	
北海道立オホーツク流氷科学センター		1						
蘭越町貝の館		1						
知床ダイビング企画		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。

Ⅲ. 令和 2 年度共同研究課題一覧

1.令和2年度共同研究実施件数

区分	研究分野	一般共同研究			令和2年度 終了件数	令和2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	18	10	28	9	19
	気水圏	11	7	18	3	15
	地圏	9	10	19	6	13
	生物圏	19	7	26	9	17
	極地工学	6	0	6	3	3
	計	63	34	97	30	67
研究集会		26			19	－

※研究集会の7件は開催せず

2. 一般共同研究

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
宙空圏	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～R2	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～R2	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～R2	3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群・講師	H30～R2	3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～R2	3年
	30-12	デジタルプラネタリア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～R2	3年
	31-1	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	H31～R3	3年
	31-2	地上デジタル放送波の伝搬遅延を用いた水蒸気量推定の技術開発及び実証実験	花土 弘	情報通信研究機構 電磁波研究所・研究マネージャー	H31～R3	3年
	31-3	光学リモートセンシングによる超高層領域の大気組成に関する研究	津田 卓雄	電気通信大学大学院情報理工学研究科・助教	H31～R3	3年
	31-4	SuperDARNで観測されるFLRを用いた磁気圏領域の連続的同定	河野 英昭	九州大学大学院理学研究部地球惑星科学専攻／九州大学国際宇宙天気科学・教育センター（併任）・准教授	H31～R3	3年
	31-5	VLF/LF帯電波の電波伝搬を用いた高エネルギー電子降下現象の実証的研究	土屋 史紀	東北大学大学院理学研究科・助教	H31～R3	3年
	31-6	大気微量成分の経年変化に及ぼす力学輸送効果の研究	村田 功	東北大学大学院環境科学研究科・准教授	H31～R3	3年
	31-7	金属原子ライダー観測に応用するパルスレーザースペクトル計測のための光ヘテロダイン計測手法の確立	川原 琢也	信州大学学術研究院工学系・准教授	H31～R3	3年
	31-8	南極昭和基地の宇宙線観測による宇宙天気現象の研究	加藤 千尋	信州大学学術研究院理学系・教授	H31～R3	3年
	31-9	EISCATレーダーとあらせ衛星の観測に基づく地球電離圏から磁気圏へのプラズマ供給機構に関する研究	関 華奈子	東京大学大学院理学系研究科・教授	H31～R3	3年
	31-10	船舶搭載用のプラズマバブル・熱圏大気光観測システムの開発	坂野井 健	東北大学大学院理学研究科・准教授	H31～R3	3年
	31-11	南米赤外線カメラによる超高層大気波動のイメージング	鈴木 臣	愛知大学地域政策学部・准教授	H31～R2	2年
	31-12	太陽圏環境と宇宙線変動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	H31～R2	2年
	2-1	地上多点光学・電磁場観測による電離圏・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環境研究所・教授	R2～R4	3年
	2-2	磁気圏ULF波動の電離圏オーロラ活動への効果	櫻井 亨	東海大学・名誉教授	R2～R3	2年
	2-3	電離圏サブストームの磁気圏投影構造	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／名誉教授	R2～R3	2年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
	2-4	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	R2～R4	3年
	2-5	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	R2～R4	3年
	2-6	数値シミュレーションによる太陽風-磁気圏電離圏系相互作用の研究	藤田 茂	気象大学校・講師	R2	1年
	2-7	大域的磁場位相構造から観た地球磁気圏プラズマ過程とその歪んだ投影としての極域電離圏現象	渡辺 正和	九州大学大学院理学研究院・准教授	R2～R4	3年
	2-8	LODEWAVE用スーパープレッシャー気球の開発	齋藤 芳隆	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所・准教授	R2～R3	2年
	2-9	低緯度電離圏電場の太陽風変動依存性	橋本 久美子	吉備国際大学農学部・教授	R2～R4	3年
	2-10	南極昭和基地大型大気レーダーを用いたFAIのイメージング手法の開発	齊藤 昭則	京都大学大学院理学研究科・准教授	R2	1年
気水圏	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	長岡技術科学大学工学研究科機械創造工学専攻・准教授	H30～R2	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～R2	3年
	31-13	衛星搭載合成開口レーダデータを用いた東南極の氷河と海氷の変動解析	中村 和樹	日本大学工学部情報工学科・准教授	H31～R3	3年
	31-15	南極域のエアロゾル長期変動の解析	原 圭一郎	福岡大学理学部・助教	H31～R3	3年
	31-16	北極広域に沈着した光吸収性粒子の測定手法の確立とその空間分布の観測的解明	森 樹大	東京理科大学理学部第一部物理学科・助教	H31～R3	3年
	31-17	雲ゾンドを用いた冬季の北極海で生じる雲特性変化の解明	佐藤 和敏	北見工業大学地球環境工学科・助教	H31～R3	3年
	31-18	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および船体着氷メカニズムの解明	山口 一	東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授	H31～R2	2年
	31-19	東南極氷床境界域における海洋物理過程の研究	大島 慶一郎	北海道大学低温科学研究所・教授	H31～R3	3年
	31-20	気球・UAV・地上in-situ観測データによる極域エアロゾル循環機構解析	林 政彦	福岡大学理学部地球圏科学科・教授	H31～R3	3年
	31-21	北極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	H31～R3	3年
	31-22	両極由来の寒気に伴う顕著大気現象発現にかかわる極域—熱帯域大気海洋結合システムの解明	本田 明治	新潟大学理学部・教授	H31～R3	3年
	2-11	極地アイス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	R2～R4	3年
	2-12	カナダ雪氷コアに含まれるアジアダストの粒径別・供給源推定～バックグラウンドダストはいつどこからどれだけ輸送されるのか～	長島 佳菜	海洋研究開発機構 地球環境部門・技術研究員	R2～R3	2年
	2-13	南極海水サンプル中の物理・化学・生物特性の定量評価	野村 大樹	北海道大学大学院水産科学研究院・助教	R2～R4	3年
	2-14	氷床フィルムの物理解析	大野 浩	北見工業大学地球環境工学科・准教授	R2～R4	3年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
	2-15	東南極の氷床頂部から氷床沿岸部で発生する吹雪の変動特性	杉浦 幸之助	富山大学学術研究部・教授	R2～R4	3年
	2-16	南大洋上のエアロゾル粒子光学特性の観測およびデータ解析	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	R2～R4	3年
	2-17	両極の気象・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	三重大学大学院生物資源学研究科・教授	R2～R4	3年
地圏	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～R2	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	島根大学学術研究院環境システム科学系・教授	H30～R2	3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	茨城大学理工学研究科理学野・教授	H30～R2	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	東京大学総合研究博物館・教授	H30～R2	3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～R2	3年
	31-23	東南極セール・ロンターネ山地における下部地殻流体活動の温度―圧力―時間条件の精密解析	河上 哲生	京都大学大学院理学研究科・准教授	H31～R3	3年
	31-24	リュツォ・ホルム岩体の精密な温度構造および物質移動の素過程の解明	池田 剛	九州大学理学研究院・准教授	H31～R3	3年
	31-25	インパクトが引き起こす物質進化と天体進化の解明	宮原 正明	広島大学大学院理学研究科・准教授	H31～R3	3年
	31-26	UAVを利用した東オングル島積雪深分布変化解析の研究	荒川 逸人	防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所・主幹研究員	H31～R3	3年
	2-18	両極域における地球内部構造・地震発生・地震活動に関する総合的研究	趙 大鵬	東北大学大学院理学研究科・教授	R2	1年
	2-19	雪の処理方法の違いが微隕石に与える影響の評価	野口 高明	九州大学基幹教育院・教授	R2～R4	3年
	2-20	リュツォ・ホルム岩体東部および南部の変成作用と地体構造区分	馬場 壮太郎	琉球大学教育学部・教授	R2～R4	3年
	2-21	古生代炭酸塩岩のカルシ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	R2～R4	3年
	2-22	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	R2～R4	3年
	2-23	南極の氷河性迷子石と環太平洋地域の津波性巨礫の粘性残留磁気による定置機構の解明	中村 教博	東北大学高度教養教育・学生支援機構・教授	R2～R4	3年
	2-24	南極氷試料中の火山灰・風成塵・宇宙塵に関する岩石磁気学的研究	小田 啓邦	産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門	R2～R4	3年
	2-25	衛星搭載合成開口レーダ (SAR) データの総合的な解析による南極・アムンゼン湾周辺の長期モニタリング	大村 誠	高知県立大学文化学部・教授	R2～R4	3年
	2-26	南極大陸で回収されたエンスタタイトコンドライト隕石の化学組成に関する研究	海老原 充	早稲田大学教育・総合科学学術院・教授	R2～R3	2年
	2-27	東南極リュツォ・ホルム岩体における褶曲帯・延性断層岩帯・地震性断層岩帯の形成テクトニクスに関する研究	豊島 剛志	新潟大学自然科学系(理学部)・教授	R2～R3	2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	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・特任講師	H30～R2	3年
	30-23	季節海水域におけるアイス・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～R2	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～R2	3年
	30-25	飛翔性海鳥類の食性と海洋環境の関係について	山本 麻希	長岡技術科学大学・准教授	H30～R2	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	京都先端科学大学バイオ環境学部・准教授	H30～R2	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～R2	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動物科学科・准教授	H30～R2	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～R2	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～R2	3年
	31-27	南極の短波長紫外線が生物に及ぼす影響に関する生化学的研究と気象データの統計解析	高橋 哲也	島根大学人間科学部・教授	H31～R3	3年
	31-28	南極クマムシの生活史戦略に関する研究	辻本 恵	慶応義塾大学環境情報学部・専任講師	H31～R3	3年
	31-29	極域の光合成生物の生理応答機構の解析	菓子野 康浩	兵庫県立大学大学院生命理学研究科・准教授	H31～R3	3年
	31-30	南極沿岸における海産微小動物相とその特徴の解明	上野 大輔	鹿児島大学大学院理工学研究科・准教授	H31～R3	3年
	31-31	沿岸海跡湖能取湖におけるアイスアルジーの一次生産の動態と動物プランクトンの分布動態の関りについて	西野 康人	東京農業大学生物産業学部・教授	H31～R3	3年
	31-32	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端科学研究科生命共生体進化学専攻・教授	H31～R3	3年
	31-34	南極におけるレジオネラ属菌とその宿主となるアメーバの解析	石井 良和	東邦大学医学部微生物・感染症学講座・教授	H31～R3	3年
	31-35	極地土壌のCO2放出と土壌ガス拡散係数に関する研究	米村 正一郎	県立広島大学・教授	H31～R3	3年
	31-36	極域に生息する植物寄生性糸状菌の多様性と生態の解明	東條 元昭	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・教授	H31～R3	3年
	31-40	南極をめぐる科学と国際動向に関する社理連携研究	柴田 明穂	神戸大学大学院国際協力研究科・教授、極域協力研究センター長	H31～R3	3年
	2-28	亜北極生態系における菌類を中心とした生物多様性の比較評価	大園 享司	同志社大学理工学部・教授	R2～R4	3年
	2-29	極地に生息している菌類の多様性の変化の解明	辻 雅晴	旭川工業高等専門学校 物質化学工学科・准教授	R2～R4	3年
	2-30	極域地衣類の菌類・藻類・共生微生物の種組成に関する研究	長沼 毅	広島大学大学院統合生命科学研究科・教授	R2～R4	3年
	2-31	南極のアイスコア試料や動物化石資料のゲノム解析による生物相変遷解明	瀬川 高弘	山梨大学総合分析実験センター・特任助教	R2～R4	3年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
	2-32	高緯度北極陸域生態系に対する温暖化の影響	中坪 孝之	広島大学大学院統合生命科学研究科・教授	R2～R4	3年
	2-33	海洋酸性化がハダカメガイ(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	R2～R4	3年
	2-34	南極湖沼底マッピングROVの開発	後藤 慎平	東京海洋大学学術研究院・助教	R2～R4	3年
極地工学	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～R2	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航空システム工学科・講師	H30～R2	3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～R2	3年
	31-37	南極昭和基地におけるエネルギー供給に関する極地工学研究	小原 伸哉	北見工業大学工学部地球環境工学科・教授	H31～R3	3年
	31-38	南極内陸基地に関する輸送および建築等に関する極地工学研究	香川 博之	公立小松大学生産システム科学部・教授	H31～R3	3年
	31-39	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	H31～R3	3年

3. 研究集会

No.	研究課題名	研究代表者	所属・職
2集1	南極における宙空圏研究・観測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
2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
2集3	SuperDARN研究集会	行松 彰	国立極地研究所・准教授
2集4	中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究集会	津田 卓雄	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教
2集5	STE研究連絡会現象報告会および現象解析ワークショップ(極域を軸とする宇宙天気現象の予測精度向上に向けて)	西谷 望	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授
2集6	EISCAT研究集会	小川 泰信	国立極地研究所 国際北極環境研究センター・准教授
2集7	太陽地球系物理学分野のデータ解析手法、ツールの理解と応用	阿部 修司	九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター・学術研究員
2集10	ニーオルスン観測研究集会	久慈 誠	奈良女子大学・准教授
2集11	南極エアロゾル研究会	原 圭一郎	福岡大学理学部・助教
2集12	南極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
2集14	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
2集15	南極メソスケール雪氷研究集会	杉浦 幸之助	富山大学学術研究部・教授
2集16	2020年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会	荒木 健太郎	気象庁気象研究所台風・災害気象研究部・研究官
2集18	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 亙	富山大学理学部・准教授
2集20	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-VI	山本 真行	高知工科大学システム工学群・教授
2集21	極域データの保全・公開と利活用に関する研究集会	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
2集22	マルチスケールの極域地圏変動から探る多圏地球システムと全球環境変動	奥野 淳一	国立極地研究所・助教
2集25	2020年 南極医学・医療ワークショップ	大野 義一郎	東京勤労者医療会東葛病院・副院長／国立極地研究所・客員教授

本報告書は、令和 2 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。