

平成 2 8 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
26-1	成層圏突然昇温による南極での中間圏・熱圏・電離圏変動	Huixin Liu	6
26-2	大型レーダー流星ヘッドエコーによる太陽系ダストの観測	阿部新助	8
26-3	国際宇宙ステーションからの大気光・オーロラの可視・近赤外観測	坂野井健	11
26-4	パルセーティングオーロラに伴うVLF降下電子特性に関する研究	田所裕康	14
26-6	SuperDARNによる極域・中緯度電離圏熱圏ダイナミクスの比較研究	西谷望	16
26-7	数値シミュレーションによる磁気圏ダイナモ機構の解明とSuperDARNによる観測的実証	渡辺正和	19
26-9	極域3次元電離圏結合系の再定式化	吉川顕正	21
26-10	脈動オーロラの準周期性と電子降下過程の研究	藤井良一	2
26-11	降下粒子によるオーロラ発光モデルの開発と粒子コードとの連携計算	加藤雄人	25
26-13	大気電場観測データを用いたグローバルサーキットの研究	鴨川仁	27
26-14	地上多点光学観測による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究	塩川和夫	30
26-15	GNSS受信機及びビーコン受信機を用いた極域電離圏擾乱の研究	大塚雄一	32
26-16	極域-中緯度における地磁気静穏日変化と中性風の長期変動に関する研究	新堀淳樹	35
27-6	グランドミニмум期の太陽風・地球電磁気圏相互作用	塩田大幸	37
27-7	グローバルMHDシミュレーションによる電離圏対流とプラズマシートシンニングの同時発達の検証	橋本久美子	39
27-9	極域サブストーム発生機構の研究	田中高史	41
28-6	放射線帯粒子と磁気異常帯に入射する粒子との関連について	池田慎	43

(2) 気水圏

26-20	極地雪氷中の金属成分解析によるエアロゾル気候変動の研究	鈴木利孝	46
26-22	地中レーダー(GPR)の南極氷床、山岳氷河、多年性雪渓への適用に関する研究	福井幸太郎	48
26-23	雪氷コアを用いたアジアダスト輸送の季節性と沈積フラックスの解明	長島佳菜	50
26-24	氷中の化学成分の詳細解析と氷結晶組織に関する研究	高田守昌	52
26-25	氷衛星の流動や地球氷河・氷床のレオロジーに関する総合的研究	荒川政彦	54
26-26	降雪粒子連続自動接写装置の開発	小西啓之	56
26-27	昭和基地上空のエアロゾル粒径分布のマルチタイムスケール解析	林政彦	58

26-28	夏季南極大陸縁辺部におけるエアロゾルの空間分布	原 圭 一 郎	60
28-16	氷の高周波誘電特性の研究	上 條 敏 生	62
28-18	高緯度積雪域の吹雪粒子からの昇華による大気への水蒸気供給に関する基礎的検討	杉 浦 幸 之 助	64

(3) 地 圏

26-29	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	海 老 原 充	67
26-30	コンドライトの岩石学的タイプの再検討と熱変成作用	木 村 眞	69
26-32	氷河氷床ダイナミクスと地震活動—発生過程—検知率に関する研究	坪 井 誠 司	71
26-33	極域の地球内部不均質構造に関する地震学的研究	趙 大 鵬	73
26-34	グラニュライト中の珪長岩包有物に基づく大陸衝突型造山運動の研究	廣 井 美 邦	75
26-36	衛星および地上測地データを用いた氷床流動変動の研究	福 田 洋 一	77
26-37	合成開口レーダ(SAR)データの高度利用による南極域の観測手法の開発	大 村 誠	79

(4) 生 物 圏

26-38	季節海水中における微小生物群集の環境応答に関する生態学的研究	服 部 寛	82
26-39	南大洋に生息する植物プランクトン種からの揮発性有機化合物放出に関する研究	亀 山 宗 彦	84
26-40	極域における生態系発達と菌類の分布様式に関する研究	大 園 享 司	86
26-42	極域生物に共存する微生物の生物地理に関する研究	長 沼 毅	88
26-43	南極湖沼に生息する動物相:環境変化に対する耐性	斎 藤 裕 美	90
27-23	極域産グラム陽性菌における脂肪酸形成と多価不飽和脂肪酸合成酵素遺伝子の探索	吉 田 磨 仁	92
27-24	多価不飽和脂肪酸合成酵素遺伝子のグラム陽性菌での発現と低温適応機能	折 笠 善 丈	94
28-36	北極植物の気候変動に対する成長応答の解明	和 田 直 也	97

(5) 極地工学

26-44	高地天文台における雪氷災害の軽減対策の研究	酒 向 重 行	101
27-34	南極内陸輸送における振動軽減対策手法の開発	白 川 龍 生	102
27-35	過酷な環境下における事故防止のための実践知の抽出と把握	村 越 真	105
28-44	内陸基地における太陽光発電の発電性能に関する基礎検討	西 川 省 吾	107
28-47	建築・土木に関する極地設営工学研究	金 高 義	109

II. 研究集会報告

研究集会

No.	研究課題名	ページ
28集1	「MTI研究集会」「ISS-IMAP研究集会」合同研究集会	112
28集2	プラズマシート極域電離圏投影問題研究会	115
28集3	新極域科学計算機システムを利用した大規模データ処理とデータ公開に関する研究集会	117
28集4	極域・中緯度SuperDARN研究集会	118
28集6	太陽地球環境データに基づく超高層大気の空間・時間変動の解明	120
28集7	EISCAT研究集会	124
28集8	南極海洋－海水－氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会	125
28集9	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	127
28集10	エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会	128
28集11	グリーンランド氷床の変動と気候・環境変動のかかわりに関する研究	130
28集12	無人機の活用による極地観測の展開	131
28集13	南極エアロゾル研究会	133
28集14	永久凍土変動とそのモニタリングに関する研究集会	135
28集15	南極ドームふじ氷床深層アイスコアの解析による気候・環境変動の研究	137
28集16	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-II	138
28集17	極域でのGGOS中核局構築に向けた必要技術検討	140
28集18	南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明に向けて	142
28集19	2016年 南極医学・医療ワークショップ	143

III. 平成28年度共同研究課題一覧

1. 平成28年度共同研究実施件数	147
2. 一般共同研究	148
3. 研究集会	153

1. 記号の説明

◎・・・・研究代表者

2. 表記例

(研究課題)	季節海氷中における微小生物群集の環境応答に関する生態学的研究
(研究代表者)	◎服部 寛 東海大学生物学部・教授
(共同研究者)	田口 哲 東京大学大気海洋研究所・特任教授 濱崎 恒二 東京大学大気海洋研究所・准教授 片山 智代 創価大学工学部・特任研究員
(担当教員)	(国立極地研究所) 小達 恒夫 真壁 竜介
(研究期間)	平成26年度 ～ 平成28年度 (3か年)

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（1）宙 空 圏

共同研究報告書（終了）

成層圏突然昇温による南極での中間圏・熱圏・電離圏変動

◎Huixin Liu 九州大学・地球惑星科学専攻・准教授（研究代表者）

三好 勉信 九州大学・地球惑星科学専攻・准教授（共同研究者）

（国立極地研究所）

中村 卓司 教授（担当教員）

平成26年～平成28年（3か年）（研究期間）

[研究成果]

The coupling between the mesosphere, thermosphere and ionosphere during stratosphere sudden warming events have been investigated using both observations and numerical simulations.

First, observations by CHAMP has revealed that thermospheric density experiences a significant decrease in the dawn and dusk sectors during the 2009 major stratosphere sudden warming (SSW) event [Liu et al., 2011]. To explain these observations, a numerical simulation is carried out with the GAIA model. The simulation results show that SSW impacts on thermosphere temperature and density

exhibit three major features: 1. The effect is primarily quasi-semidiurnal in tropical regions, with warming in the dawn and dusk sectors (see Fig 1). 2. This pattern exists at all altitudes above 100 km, with its phase being almost constant above 200km, but propagates downward in the lower thermosphere between 100 and 200 km. (see Fig 1) 3. The northern polar region experiences warming in a narrow layer between 100 and 130 km, while the southern polar region experiences cooling throughout 100-400km altitudes. 4. The global net thermal effect on the atmosphere above 100 km is a cooling of approximately -12 K (Fig 2 left). These characteristics provide us with a needed global context to better connect and understand the increasing upper atmosphere observations during SSW events.

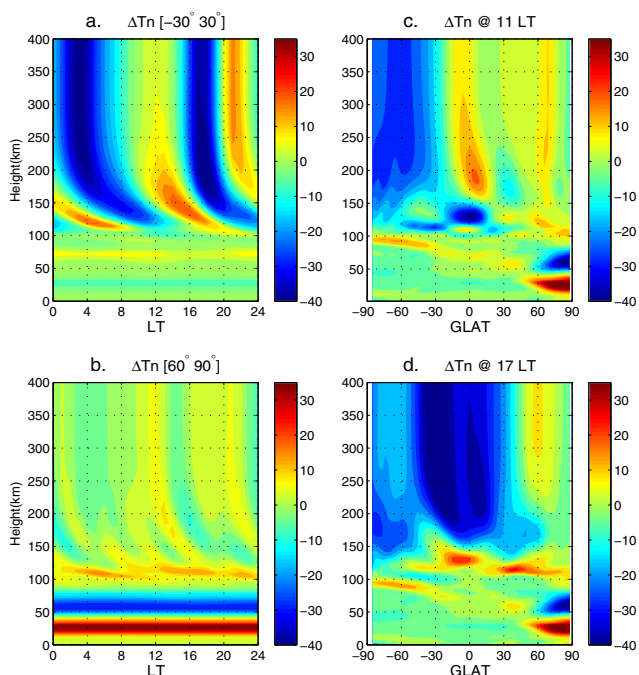


Fig. 1 Temperature perturbations during the 2009 SSW simulated by GAIA. (from Liu et al., 2013)

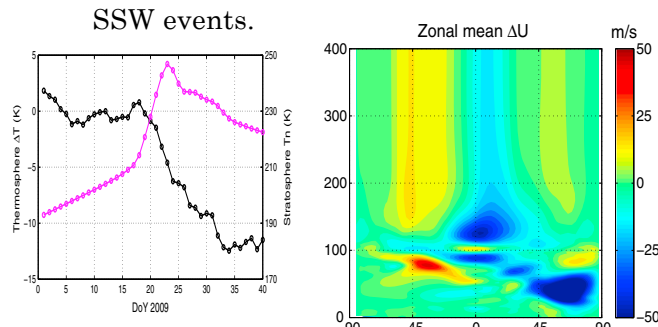


Fig.2 Left: global mean thermosphere temperature perturbation averaged over 100-400 km altitude (black line), along with the stratosphere temperature at 10 hPa averaged over 70-90N (pink); Right: perturbation of zonal wind during SSW. (from Liu et al., 2014)

（裏面に続く）

Furthermore, the thermal and dynamical changes of the zonal mean state of the thermosphere is also investigated using GAIA. Both the zonal mean thermal and dynamical structure of the thermosphere exhibit pronounced changes during the SSW in terms of zonal mean temperature and winds. First, the zonal mean temperature above 100 km altitude drops at all latitudes except for in a narrow band around 60°N. Such temperature perturbations are found to be dominantly caused by changes in direct heating/cooling processes related to solar radiation and thermal heat conduction at high latitudes, but by dynamical processes in tropical regions.

Second, the zonal mean zonal wind experiences a strong westward perturbation in the tropical thermosphere, along with distinct change in the meridional circulation. This change consists of two parts. One is a global scale north-to-south flow accompanied with upwelling/downwelling in the northern/southern polar region, the other is a fountain-like flow in tropical lower thermosphere. The large enhancement of semidiurnal tides is suggested to be the primary cause for the fountain-like flow.

[研究発表]

1. **Huixin Liu**, H. Jin, Miyoshi, Y., H. Fujiwara, H. Shinagawa, Upper atmosphere response to stratosphere sudden warming: Local time and height dependence simulated by GAIA model, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 635-640, doi:10.1002/grl.50146, 2013a.
2. **Huixin Liu**, Y. Miyoshi, S. Miyahara, H. Jin, H. Fujiwara, H. Shinagawa, Thermal and dynamical changes of the zonal mean state of the thermosphere during SSW: GAIA model simulations, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2014JA020222, 6784-6791, 2014.

(共同研究報告書)

大型レーダー流星ヘッドエコーによる太陽系ダストの観測 (研究課題)

◎阿部 新助 日本大学理工学部・航空宇宙工学科・准教授 (研究代表者)

堤 雅基 国立極地研究所・准教授 (共同研究者)

西村 耕司 国立極地研究所・特任准教授 (共同研究者)

(国立極地研究所)

中村 卓司 教授 (担当教員)

平成 26 年～平成 28 年 (3 年) (研究期間)

[研究成果]

地球は、常に彗星や小惑星からのメテオロイド (meteoroids) の衝突に晒されている。一般にメテオロイドは、直径が μm ~ cm サイズのダストで、地球に衝突する地球外物質の殆どが直径 $10\text{--}500\ \mu\text{m}$ の IDPs (Interplanetary Dust Particles) と呼ばれる宇宙塵である。これらの微小地球外物質は、1日に約 $100\text{--}300$ トン地球に降り注いでいることが、黄道光ダスト観測、LDEF (Long Duration Exposure Facility: 長期宇宙暴露装置)、流星レーダー、成層圏ダスト、南極氷床ダスト、海底沈殿物などから示唆されてきた。特に流星レーダーで観測される $10^{-9}\text{--}10^{-3}\text{g}$ の質量領域は、流入フラックスの大半を占め、ダストの密度を 2.0g/cm^3 と仮定すると、地球衝突ダストで支配的なものは、直径約 $200\ \mu\text{m}$ である (図 1)。 10^{-9}g より小さな IDP は、LDEF などの衛星に搭載されたダスト検出器による長期間の直接検出による結果である。我々は、京大生存圏研究所が運用する直径 103m ($8,330\text{m}^2$) の巨大な VHF レーダー (周波数 46.5MHz , 最大出力 1MW) である MU レーダーを用いた流星ヘッドエコー観測により、 $2009\text{--}2016$ 年に

得ることができた。流星アブレーションで生成される電子数は、速度の約 3 乗に比例して減少していくため、同じサイズのダストでも、速度が遅いほど急激に暗くなり観測に掛からなくなる。速度の 3 乗則に因るバイアスを考慮すると、レーダーで観測されたダストの平均速度は約 25km/s となり、低速成分が卓越することが分かる。メテオロイドの発光開始高度は、突入速度、突入角、発光高度における地球大気密度により大きく影響を受ける。これらの条件の違いによる影響を取り除き比較する光学観測から得られた Kb パラメータ (Ceplecha et al. 1988) を流星レーダーに適用すると、ダストの脆さの指標を与えることができる。 Kb パラメータをレーダー流星に適用すると、小惑星起源ダスト (赤)、高密度彗星物質起源ダスト (黄)、短周期彗星起源ダスト (黄緑)、長周期彗星起源ダスト (青色) に分類されることが分かった (図 2)。図 2 に示したふたご座流星群 (Geminids) やペルセウス座流星群 (Perseids) のように、ほぼ同一の突入速度を有する同一流星群中のダスト中にも、 Kb パラメータの大きなバラつきが見られる。これは、メテオロイドが惑星間空間で揮発性物質を失い、地球到達前に枯渇した高強度の構造に変化することを示唆している。

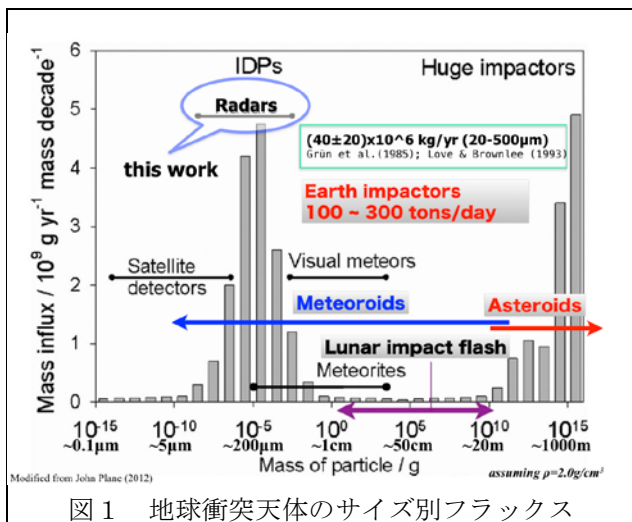


図 1 地球衝突天体のサイズ別フラックス

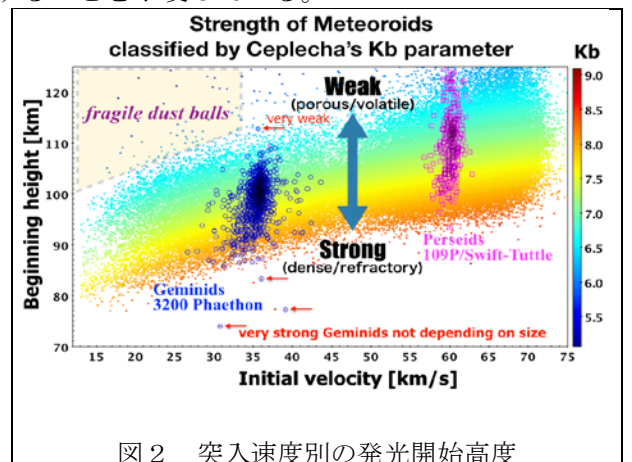


図 2 突入速度別の発光開始高度

18 万個以上のメテオロイド・ダストの観測データを

(裏面に続く)

流星ヘッドエコー観測で得られる RCS(Radar Cross Section)は、レーダーの指向性とメテオロイドのサイズ、質量、速度、形状、組成、大気密度などが複雑に絡み合った幾何学的な断面積と反射率の関数と考えられ、単純にメテオロイドのサイズだけの関数ではない。そこで、光学観測から流星の最大発光等級を測光し、最大 RCS との関連を調べて測光質量からサイズ分布を導出した。MU レーダーと超高感度 TV カメラ(浜松 ICCD+200mm/F1.8 レンズ)の同時観測データを全て再解析して得られた結果を、高速流星 ($V>40\text{km/s}$) と低速流星 ($V<40\text{km/s}$)に分けて図 3 に示した。

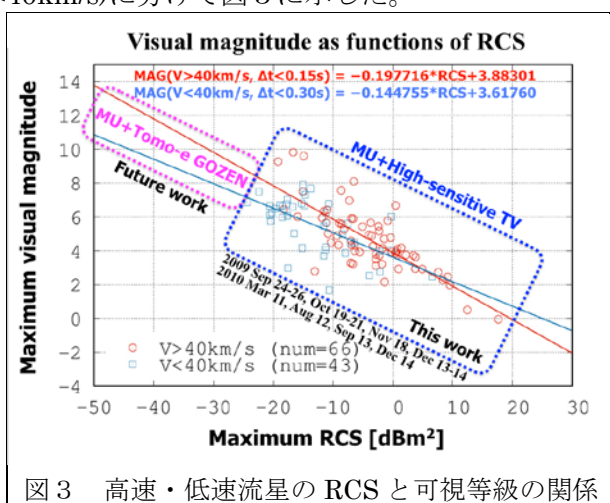


図 3 高速・低速流星の RCS と可視等級の関係

この関係式から流星ヘッドエコー観測で得られた良質なデータ約 15 万個のメテオロイドの等級分布を、高速流星、低速流星、ふたご座流星群に分けて図 4 に示す。約 13 等級(質量に換算で 10^{-9}g , 直径換算で約 $10\mu\text{m}$)の超微光流星まで観測されていることが分かった。

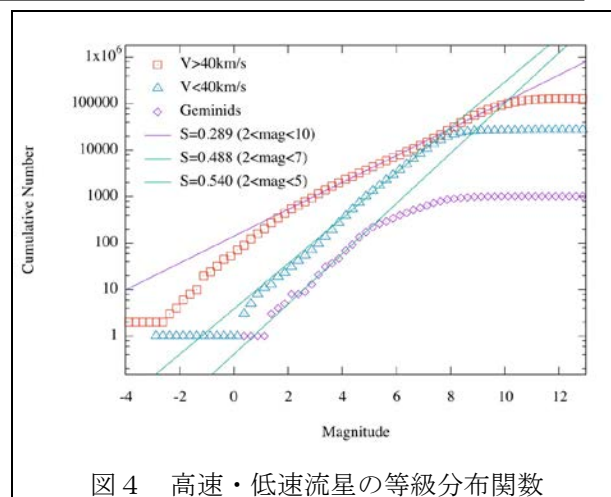


図 4 高速・低速流星の等級分布関数

本研究成果を活かし、今後は、超高感度 CMOS モザイクカメラを搭載し、露光時間 0.5 秒の動画で約 13 等級の流星(分光は 9 等級)まで撮影可能な東京大学・木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡との同時観測を行い、サイズ・質量分布、軌道、組成に関する統計的データを取得する計画である。

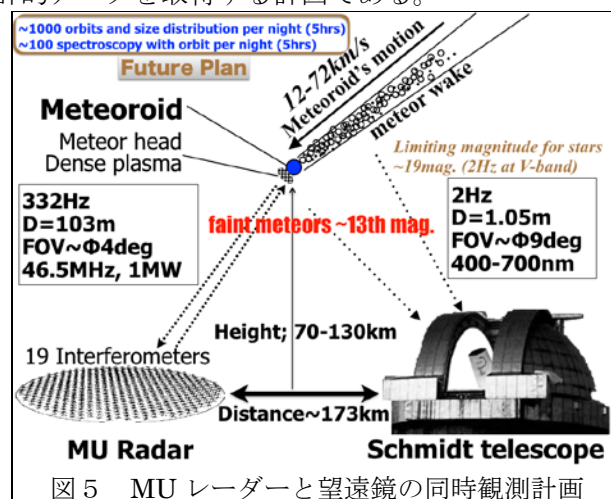


図 5 MU レーダーと望遠鏡の同時観測計画

[参考文献]

- 1) Nakamura, T., Yamamoto, M., Tanaka, Y., Kero, J., Szasz, C., Watanabe, J., Abe, S., Kastinen, D. ; Precise Orbit Determination of Meteors by HPLA Radar and the MU Radar Meteor Head Echo Database, 40th COSPAR Scientific Assembly, Vol., C0.3-7, p14, 2014.
- 2) Shinsuke Abe, Kero Johan, Takuji Nakamura, Yasuour Fujiwara, Souichirou Numatawara, Junichi Watanabe, Hiroyuki Hashiguchi ; Orbit Determination of Meteoroids by MU Radar Meteor Head Echo Observations, Proc. International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Vol.,30, p1-p4, 2015.
- 3) Abdellaoui, G., Abe, S. et al., Meteor studies in the framework of the JEM-EUSO program, Planetary and Space Science, in press, 2016.

[研究発表]

MU レーダー・ヘッドエコー観測による惑星間ダストの軌道と流星アブレーション過程の計測, 第 9 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム収録, 9 巻, p93-p98, 2015

(別紙) 参加者一覧 (研究協力者)

京都大学生存圏研究所・MU レーダー観測所参加・研究協力者

[2014 年度]

沼田 宗一郎 日本大学理工学研究科・大学院生

笠 けやき 日本大学理工学部・学部生

小山 亮 日本大学理工学部・学部生

[2015 年度]

片岡 龍峰 国立極地研究所・准教授

荒木 健吾 日本大学理工学研究科・大学院生

岩崎 太陽 日本大学理工学研究科・大学院生

近藤 史弥 日本大学理工学部・学部生

[2016 年度]

今村 優志 日本大学理工学研究科・大学院生

鴻巣 雄貴 日本大学理工学部・学部生

弘田 旭 日本大学理工学部・学部生

松山 誉 日本大学理工学部・学部生

国際宇宙ステーションからの大気光・オーロラの可視・近赤外観測

◎坂野井 健 東北大学大学院理学研究科・准教授

(国立極地研究所)

中村 卓司 教授

江尻 省 助教

富川 喜弘 准教授

堤 雅基 准教授

平成26年～平成28年(3か年)

[研究成果]

地球超高層大気と下層大気は、大気重力波等によりエネルギー上下結合することが知られているが、その因果関係や伝搬過程はよくわかっていない。本研究は、国際宇宙ステーション (ISS) に搭載された可視近赤外分光装置 (VISI) 観測データを用いて、中間圏界面 (高度 95km) 付近に存在する酸素原子 A-band(762 nm)大気光発光強度分布を求め、メソスケール大気重力波の水平分布を導出した。特に、大気重力波による上下結合の因果関係が明瞭とみなすことができる同心状大気光現象(CGW)に着目し、世界で初めて詳細なイベント解析ならびに統計解析を実施した。

イベント解析では、CGW を引き起こす大気重力波の上下結合過程を明らかにするために、2012 年 10 月 18 日 11UT 付近に北海道東方で発生したアーク状 CGW について、ISS/VISI に加えて複数衛星と地上光学・レーダー同時観測データを用いて調べた。CGW の同心構造から決定された中心と TRIM・MTSAT 衛星による対流圏降雨・対流活動の対応関係から、このソースは本州上空の活発な対流領域であることが示唆された。また、このソースと CGW との距離は約 1400 km 離れているが、この伝搬について稚内 MF レーダーや客観解析 (MERRA) データならびに SABER 衛星データを用いて解析し、高度 45-110 km に存在したサーマルダクト効果で長距離伝搬が可能となったと解釈された。

また、2013 年 6 月 1 日に北アメリカ上空で VISI は高度 95 km の酸素分子 762 nm 発光における大気重力波の同心状構造を捉えた (図 1)。一方、北米 GPS ネットワーク観測 により、TEC マップにおいても同様の同心状構造が明らかにされた。なおこのとき、地上では竜巻による災害が発生していた。この同心円状大気光は、竜巻に関連する雲活動が大気を揺さぶり、それにより励起された大気重力波が中間圏・熱圏まで伝播したものと解釈される。

さらに、大気重力波による上下結合のグローバル

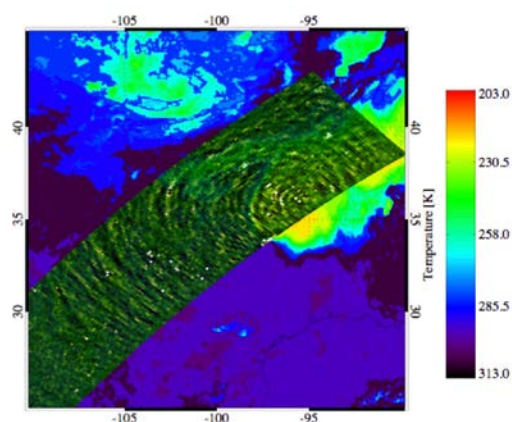


図 1. 2013 年 6 月 1 日に北米上空で観測された酸素分子 762 nm 大気光の同心状構造 (緑) と静止軌道衛星赤外雲画像 (擬似カラー)。

な時空間変動特性を明らかにするため、2013 年から約 3 年間に観測された 235 例の CGW について統計解析を行った。この結果、CGW 構造の水平波長が 40-250 km、半径が 200-3000 km であること、ま

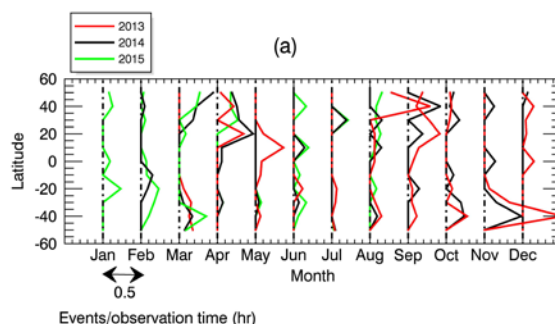


図 2. 2013-2015 年に IMAP/VISI により観測された酸素分子 762 nm 発光における同心状大気重力波構造の緯度分布の月変動。

(裏面に続く)

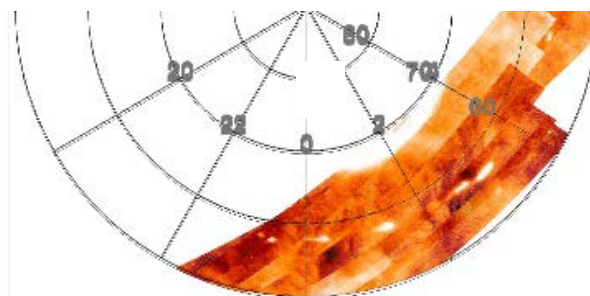


図3. 2015年6月の磁気嵐時に発生した孤立状低緯度オーロラ。ISSの5軌道分の酸素原子762 nm 発光データを重ねて表示している。

た、発生頻度は中緯度に多く低緯度に少ないことが分かった(図2)。さらに、発生頻度は夏半球で高くなるものの、そのピークは夏至よりも2-3ヶ月前倒しし、北半球の場合は2-3月、南半球の場合は8-11月であることが示された。この事実について、GAIA

モデルの風向・風速と温度分布を用いて、大気重力波の中層大気伝搬時におけるフィルター効果や破波について定量評価した。

さらに、IMAP/VISIは2015年6月に発生した磁気嵐時には、磁気緯度57°近傍に孤立したオーロラ発光を観測した。これは酸素原子630 nm、酸素分子762 nm、窒素分子730 nmいずれの発光にも見られた。このとき、地磁気共役点付近の母子里でPc1脈動が観測されていたこと、POES19衛星により数十keVのプロトンが観測されていたことから、この孤立状低緯度オーロラはリングカレントプロトンが波動粒子相互作用により降下した結果発生したものと解釈された。

これらの研究は、従来観測が難しかった中間圏現象について新たな知見をもたらし、また将来地球・惑星探査機光学観測にも示唆を与えるものである。

[研究発表]

Perwitasari, S., T. Sakanoi, T. Nakamura, M. K. Ejiri, M. Tsutsumi, Y. Tomikawa, Y. Otsuka, A. Yamazaki, and A. Saito (2016), Three years of concentric gravitywave variability in the mesopause as observed by IMAP/VISI, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11,528-11,535, doi:10.1002/2016GL071511.

Perwitasari, S., T. Sakanoi, A. Yamazaki, Y. Otsuka, Y. Hozumi, Y. Akiya, A. Saito, K. Shiokawa, S. Kawamura (2015), Coordinated airglow observations between IMAP/VISI 1 and a ground-based all sky imager on concentric gravity wave in the mesopause, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, 9706-9721, doi:10.1002/2015JA021424.

Akiya, Y., A. Saito, T. Sakanoi, Y. Hozumi, A. Yamazaki, Y. Otsuka, M. Nishioka, and T. Tsugawa (2014), First spaceborne observation of the entire concentric airglow structure caused by tropospheric disturbance, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 6943-6948, doi:10.1002/2014GL061403.

齊藤 昭則, 秋谷祐亮, 穂積裕太, 山崎 敦, 阿部 琢美, 鈴木 睦, 村上豪, 坂野井 健, 吉川 一朗, 大塚 雄一, 藤原 均, 田口 真, 山本 衛, 中村 卓司, 江尻 省, 菊池 雅行, 河野 英昭, Huixin Liu, 石井 守, 久保田 実, 津川 卓也, 星野尾 一明, 坂野井 和代, IMAP ワーキンググループ, 国際宇宙ステーションからの超高層大気撮像観測ミッション ISS-IMAP の現状, 第14回宇宙科学シンポジウム 講演集, 2014.

齊藤昭則, 坂野井健, 吉川一朗, 山崎敦, IMAP ワーキンググループ, ISS-IMAP ミッションによって捉えられた超高層大気変動, 第28回大気圏シンポジウム講演集, 2014.

山田貴宣, 大塚雄一, 坂野井健, 山崎敦, 齊藤昭則, 秋谷祐亮, 国際宇宙ステーションからの大気光観測による赤道域電離圏擾乱の研究, 第28回大気圏シンポジウム講演集, 2014.

穂積裕太, 齊藤昭則, 坂野井健, 秋谷祐亮, 山崎敦, 宇宙ステーションからの撮像画像を用いた中間圏大気光メソスケール波動構造の研究, 第28回大気圏シンポジウム講演集, 2014.

(別紙) 参加者一覧

斎藤昭則	京都大学大学院理学研究科・准教授
秋谷祐亮	同・大学院生 (修了済)
穂積裕太	同・大学院生 (修了済)
Perwitasari Septi	東北大学大学院理学研究科・大学院生 (修了済)
山崎 敦	JAXA/ISAS・助教
阿部 琢美	JAXA/ISAS・准教授
鈴木 睦	JAXA/ISAS・主幹研究員
村上豪	JAXA/ISAS・研究員
大塚 雄一	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授
吉川 一朗	東京大学新領域複雑理工・教授
山本 衛	京都大学生存権研究所・教授
Huixin Liu	九州大学大学院理学研究院・准教授
河野英昭	九州大学大学院理学研究員・准教授
石井 守	NICT・室長
久保田実	NICT・室長
津川 卓也	NICT・研究マネージャー
西岡未知	NICT・研究員
藤原均	成蹊大・教授
田口真	立教大・教授
菊池雅行	NIPR・助教
星野尾 一明	電子航法研・研究員
坂野井 和代	駒澤大・准教授

(共同研究報告書 (終了))

パルセーティングオーロラに伴う VLF 降下電子特性に関する研究 (研究課題)

◎田所 裕康 武蔵野大学工学部環境システム学科・講師 (研究代表者)
 加藤 雄人 東北大学大学院・理学研究科・地球物理学専攻・准教授 (共同研究者)
 三好 由純 名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授 (共同研究者)
 (国立極地研究所)
 門倉 昭 教授 (担当教員)
 山岸 久雄 名誉教授 (担当教員)
 平成 26 年～平成 28 年 (3 か年) (研究期間)

[はじめに]

パルセーティングオーロラ (PsA) 研究は長きに渡り行われている。PsA は、ホイッスラーモードコーラス (Miyoshi et al., 2009; Nishimura et al., 2010; Nishiyama et al., 2011; Ozaki et al., 2012) や ECH 波 (Liang et al., 2010) との対応が指摘されているが、その生成機構は未解決問題であると共に近年盛んに議論されている。本研究では、ホイッスラーモードコーラスとの対応に注目し、南極昭和基地で観測された PsA 時の VLF 放射、降下電子との相関解析を行い、生成機構のより一般的な解釈に迫る事を目的とする。

[観測データ]

使用するデータは南極昭和基地で観測されたオーロラ光学観測データ (ATV)、VLF、イメージングリオメータである。コーラス波動との波動粒子相互作用により数十 keV 電子の降下が期待されるが、これをリオメータ、VLF との相関解析を行う事によって時空間変化の特徴を明らかにしていくことを目指す。また、本研究では 2007 年 5 月 17 日のオーロラ

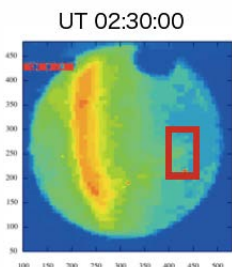


図 1. 2007 年 5 月 17 日 UT02:30:00 のオーロラ画像

また磁気圏現象である波動粒子相互作用に着目するため、ATV 画像とイメージングリオメータに AACGM 座標変換を実施した。

[結果]

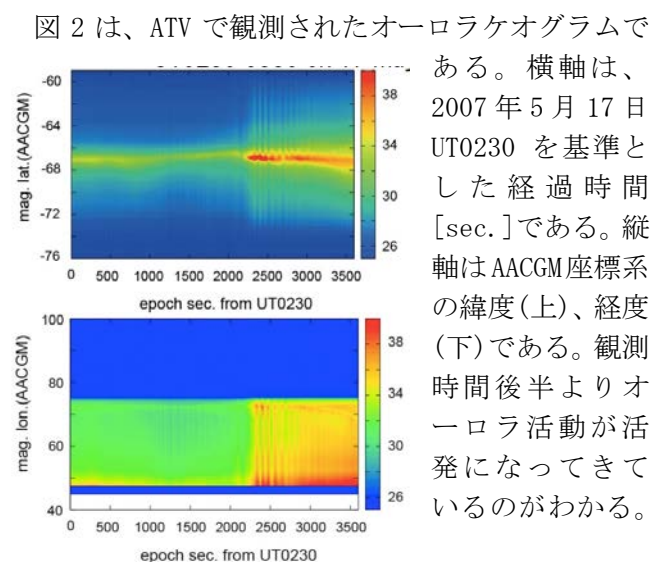


図 2. 2007 年 5 月 17 日 UT02:30:00 のオーロラケオグラム

図 3 は、ATV (上) とイメージングリオメータ (下) の比較である。横軸は 2007 年 5 月 17 日 UT0230 を基準とした経過時間 [min.] である。ATV 画像は図 1 の赤枠で示された部分で観測時間後半はパルセーティングオーロラが観測されている。CNA は注目している ATV 画像近傍のデータを使用している。図 3 の四角で囲んだ領域においてオーロラ発光強度が増加しはじめるとともに CNA で観測されているように数十 keV 降り込み電子も増加しているのがわかる。この時、VLF 強度も弱いながらも増加し始めている (図中には表示せず)。

パルセーティングオーロラ変動に着目し、図 3 と同様の解析を (UT02:59~UT03:00 の 1 分間) 実施した。結果として対応関係は不明瞭であった。

(裏面に続く)

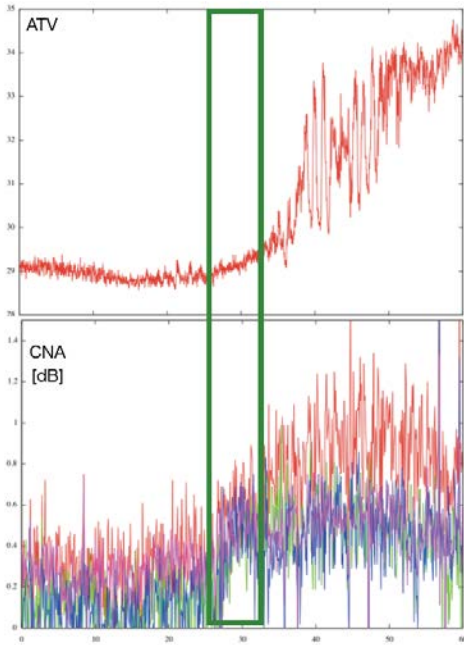


図3. オーロラ発光強度と数十keV降り込み電子の対応

[まとめ・今後の課題]

波動粒子相互作用の物理プロセスに注目し、南極昭和基地で観測されたオーロラ活動時の VLF 放射、降下電子との相関解析を行った。

結果として、数分オーダーでは ATV,VLF,降下電子の対応はあった。一方で PsA の典型的な時間スケール(秒オーダー)だとそれらの対応関係は不明瞭であった。秒オーダーの議論をするためには、磁気座標系を用いたより詳細な時空間相関解析を実施する必要がある。

[補足：学会発表]

Hirovasu Tadokoro, M. Ozaki, Y. Katoh, Y. Miyoshi, H. Yamagishi, A. Kadokura, and Y. Tanaka, Auroral activities in simultaneous ATV, imaging riometer, and VLF observations at Syowa Station: A case study on 17 May 2007, The 5th Symposium on Polar Science,2014年12月.

Hirovasu Tadokoro, M. Ozaki, Y. Katoh, Y. Miyoshi, H. Yamagishi, A. Kadokura, and Y. Tanaka, Relationship between ATV, imaging riometer, and VLF observations at Syowa Station during an auroral event on 17 May 2007, The 6th Symposium on Polar Science,2015年11月.

共同研究報告書（終了）

SuperDARN による極域・中緯度電離圏熱圏ダイナミクスの比較研究（研究課題）

◎西谷 望 名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授（研究代表者）

小川忠彦 名古屋大学・名誉教授（共同研究者）

（国立極地研究所）

行松 彰・准教授（担当教員）

平成 26 年～平成 28 年（3 か年）（研究期間）

[研究成果]

SuperDARN データを始めとする地上観測データ等を活用し、極域・中緯度の電離圏・熱圏ダイナミクスの比較研究を行うことにより、電離圏・熱圏システムの中緯度・高緯度間相互作用、およびその特性の違いの解明を進めた。

具体的には、(1) サブオーロラ帯高速流(SAPS)の特性に関する解明、(2)伝搬性電離圏擾乱(MSTID)の発生特性の解明、(3)SuperDARN レーダーの仰角データの較正方法の開発、を進めた。これらのテーマについて極域 SuperDARN データや北海道-陸別第一・第二 HF レーダー観測等中緯度 SuperDARN データを中心としてイベント解析、統計解析を進めた。

並行して、統計解析用北海道-陸別第一・第二レーダーのデータベースを整備した。さらに、他の SuperDARN 大型短波レーダー、地上・衛星観測データ等との比較を行っていくことにより、極域・中緯度の電離圏・熱圏ダイナミクスの比較研究を進め、また両者間のエネルギー輸送過程に関する解明を進めた。具体的な成果は以下の通りである。

1. サブオーロラ帯高速流 (SAPS)の特性に関する解明

主に地磁気擾乱時にオーロラ粒子降り込み領域の低緯度側において発生するサブオーロラ帯高速流(SAPS)はその存在が 1970 年代に発見され、長年にわたって研究が行われてきた。現在では、磁気圏内のリングカレントの時間・空間変動により電離圏電場およびプラズマフローが励起され、また電離圏電気伝導度の非一様性により電離圏フィードバック不安定性が成長し、電場・プラズマフローがさらに増大するという解釈が一般的に行われているが、その相対的な役割についてはまだ不明な点が残されている。フィードバック不安定の役割を議論するためには SAPS の最低速度を知ることがきわめて有効であるが、今までそのような研究は行われてこなかった。

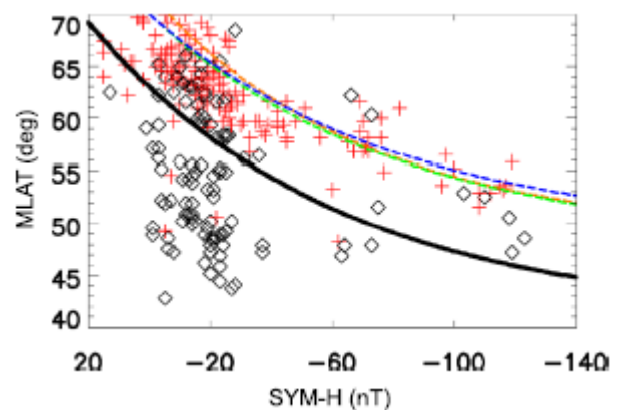


図 1: 北海道-陸別第一短波レーダーデータにより 22-01 MLT で得られたサブオーロラ帯高速流の発生緯度と SYM-H 指数の関係を、高速流の速度により分類して示したプロット。'+'が 150 m/s 以上、'◇'が 150 m/s 未満の西向き高速流である。各種の線は Wang et al. (2008) の経験モデルから得られた関係式による。

本研究課題では、北海道-陸別第一短波レーダーのデータを活用して SAPS の最低速度について統計的解析を行った。図 1 は 22-01 地磁気地方時(MLT)における SAPS 発生緯度と SYM-H 指数の関係を示している。'+'(西向き速度 150 m/s 以上)が緯度-SYM/H 間の関係を明確に示しているのに対し、'◇'(同速度 150 m/s 未満)は明確な関係を示しておらず、これから前者は(発生緯度と SYM/H の関係が過去の複数の研究で指摘されている)典型的な SAPS であるのに対して後者は他の要因による中緯度電離圏エコーであると解釈される。また前者の SAPS の速度の下限は約 150 m/s であると判断できる。他の MLT についても調査した結果、SAPS の速度の下限は 150-200 m/s であることが結論付けられた。この速度は電場にして 7.5-10 mV/m に相当するが、これはフィードバック不安定が十分成長するために必要な電場 50 mV/m と比較して明らかに小さい。

これより、少なくとも速度の遅い(1000 m/s より十分小さい)SAPS については、フィードバック不安定はあまり重要な役割をはたしておらず、それよりも電離圏-磁気圏システム全体における電場駆動のメカニズムが主要な役割を果たしているという結論が得られた。

2. 中規模伝搬性電離圏擾乱の発生特性の解明

中規模伝搬性電離圏擾乱(MSTID)については、過去様々な手段を用いてその特性が研究されてきた。SuperDARN レーダーは MSTID の水平方向の 2 次元分布を観測できる有力な装置であり、極域については過去多くの研究がなされているが、中緯度領域について統計解析を行った研究はあまり多くない。

本研究課題においては、北海道-陸別第一短波レーダーデータと、Ekaterinburg 短波レーダーのデータを用いて、中緯度からサブオーロラ帯における MSTID の特性を調べた。統計解析の結果判明した MSTID の特性は以下の通りである。1)緯度の異なる北海道と Ekaterinburg で観測した MSTID は基本的に同じ特性を有する。2)少なくとも日照領域では MSTID の伝搬方向は HWM07 and GB model から計算して求められた中性風の方向とほぼ反対向きになる。3)太陽活動の増加とともに、MSTID の波長・周期は減少するが、その振幅(密度変動)は増大する。4)地磁気活動指数(AE)の増大とともに、MSTID の波長・速度・振幅は増大する。以上の結果は MSTID の特性について新たな知見を与えるものである。

3. SuperDARN レーダーの仰角データの較正方法の開発

[参考文献]

- Oinats, A. V., N. Nishitani, P. Ponomarenko, and K. Ratovsky, Diurnal and seasonal behavior of the Hokkaido East SuperDARN ground backscatter: simulation and observation, *Earth, Planets and Space*. 68:18, DOI: 10.1186/s40623-015-0378-9, 2016.
- Oinats, A. V., N. Nishitani, P. Ponomarenko, O. Bergardt, and K. Ratovsky, Statistical characteristics of medium-scale traveling ionospheric disturbances revealed from the Hokkaido East and Ekaterinburg HF radar data, *Earth, Planets and Space*. 68:8, DOI: 10.1186/s40623-016-0390-8, 2016.
- Ponomarenko, P., N. Nishitani, A. V. Oinats, T. Tsuya and J.-P. St.-Maurice, Application of ground scatter returns for calibration of HF interferometry data, *Earth Planets Space*, 67:138, doi: 10.1186/s40623-015-0310-3, 2015.
- Nagano, H., N. Nishitani, and T. Hori, Occurrence characteristics and lowest speed limit of Sub-Auroral Polarization Stream (SAPS) observed by the SuperDARN Hokkaido East radar, *Earth Planets Space*, 67:126, doi: 10.1186/s40623-015-0299-7, 2015.

SuperDARN レーダーアンテナシステムは通常主アレイ(16 本)と干渉系アレイ(4 本)から構成されており、両者間の受信信号の位相差を観測することにより受信されたエコーの到来方向の仰角を求めることができるが、多くの場合主アレイと干渉アレイ間の微妙な位相のオフセットにより、仰角を正確に求めることが不可能であった。

本研究課題では、SuperDARN レーダーにおいて頻繁に関するされる地上散乱エコーを用いて、電離圏反射高度がほぼ一定であるという仮定を行うことにより 2 つのアンテナアレイ間の位相オフセットを同定する手法を開発した。この手法により、現在および過去のデータについても位相オフセットを正しく同定し、到来信号の仰角を正確に求めることができるようになった。

4. その他の研究

a. SuperDARN 遠隔受信機データによる電離圏変動の研究

陸別から送信された SuperDARN のバックローブビーム信号を約 1000 km 離れた名古屋大学東山キャンパスで受信し、その信号を解析することにより、反射点における電離圏高度変動の日変化や季節変動を調べた。

b. その他

その他、SAPS や中間圏エコー、Sudden Impulse に伴う電離圏変動等について様々な興味深いデータが見出され、極域・中緯度現象の比較研究を進めた。

(別紙) 参加者一覧

研究協力者(共同研究者以外)

名古屋大学太陽地球環境研究所	博士課程(前期)大学院生(平成 27 年卒業)	永野浩貴
名古屋大学太陽地球環境研究所	博士課程(前期)大学院生(平成 27 年卒業)	津屋太志
名古屋大学太陽地球環境研究所	外国人客員准教授(平成 26 年 9-12 月)	Pasha Ponomarenko
名古屋大学太陽地球環境研究所	外国人共同研究員(平成 26 年 9-12 月)	Alexey Oinats
名古屋大学宇宙地球環境研究所	博士課程(前期)大学院生(平成 28 年-)	飯田剛平

共同研究報告書（終了）

数値シミュレーションによる磁気圏ダイナモ機構の解明と SuperDARN による観測的実証

◎渡辺正和 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・准教授（研究代表者）

（国立極地研究所）

行松彰 准教授（担当教員）

片岡龍峰 准教授（担当教員）

平成 26 年～平成 28 年（3 か年）（研究期間）

[研究成果]

1. 惑星間空間磁場 (IMF) B_y 反転励起シートオーロラに付随する沿磁力線電流とそれを駆動する磁気圏ダイナモ

強い北向き IMF が長く続く状況で、 B_y 成分が反転するとシートオーロラが成長することが知られている。これはシミュレーションでも確かめられているが、シートオーロラに付随する沿磁力線電流についての研究はなかった。図 1 はシミュレーションで IMF B_y が負から正に変化したときのシートオーロラを再現し、それにとまなう沿磁力線電流を示したものである。黒実線は磁力線の開閉境界を表す。夜側の白矢印で示したように、ドリフトしていくシ

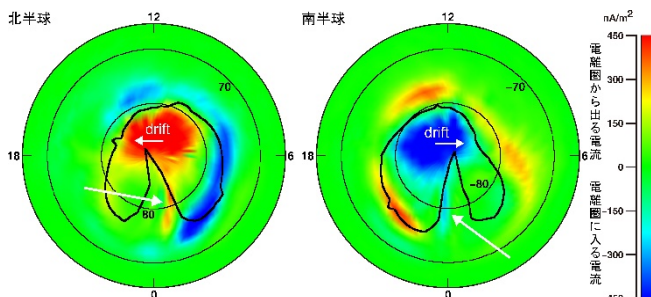


図 1 計算機実験で得られたシートオーロラに伴う沿磁力線電流パターン。黒実線は磁力線開閉境界。

シートオーロラの後方に沿磁力線電流が現れる。シートオーロラが夕方向に移動している場合には電離圏から出る電流で、朝方向に移動している場合には電離圏に入る電流である。沿磁力線電流を駆動する磁気圏ダイナモは膨張する slow mode 擾乱であることが判明した。

図 1 のような沿磁力線電流の観測報告はこれまでないため、観測的検証を行うことにした。1998 年から 2004 年の 7 年間で、IMF が強い北向き (10nT 以上) で B_y 成分が階段状に反転する理想的な事例を探すと、わずか 4 例 (衛星 5 軌道の観測) しかなかった。その 4 例すべてにおいて図 1 の沿磁力線電流が観測された。図 2 はその 1 ひとつである。南半球

のシートオーロラ上空を通過する DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) 衛星の観測で、図 a はイオンドリフトの軌道に垂直な水平成分を (太陽方向が正)、図 b は磁場擾乱の軌道に垂直な水平成分を (太陽方向が正)、図 c と d はそれぞれ降下電子と降下イオンのエネルギーフラックスを、図

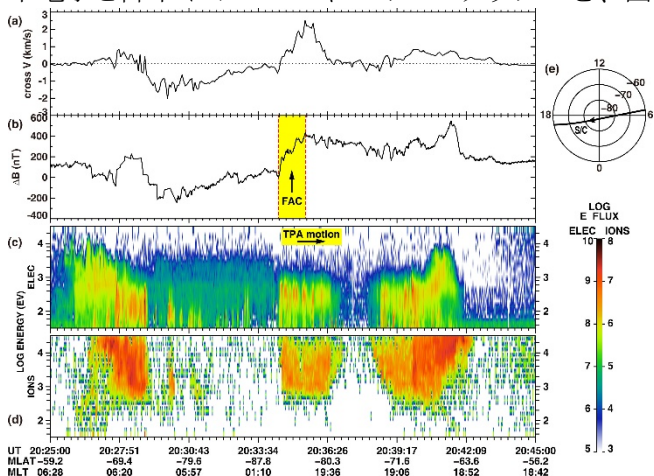


図 2 シートオーロラ上空を通過する DMSP 衛星による観測。左うえからドリフト、磁場、降下電子。

e は衛星の軌道 (tick は沿磁力線電流領域の位置) を示している。図 c と d に見られる中央の降下粒子領域がシートオーロラ (TPA (transpolar arc) と表示) で、図 b が示すようにここに電離圏から出る沿磁力線電流 (FAC (field-aligned current) と表示) が現れている。同様の結果が全 5 軌道で得られた。

2. IMF 斜め北向き時の夜側電離圏に現れる IMF B_y に制御される対流系

IMF 北向き時には、昼側のみならず夜側にも IMF B_y に依存した対流系・沿磁力線電流系が存在することが知られている。この現象をシミュレーションと観測で比較する。図 3 は IMF $B_y < 0$ (時計角約 -45°) の時の北半球の SuperDARN 観測 (2000 年 2 月 21 (裏面に続く))

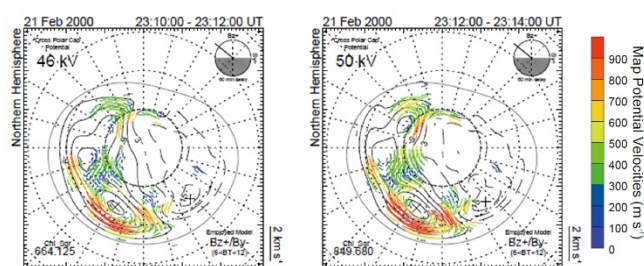


図3 2000年2月21日2310–2314UTに北半球のSuperDARNで観測された対流パターン。

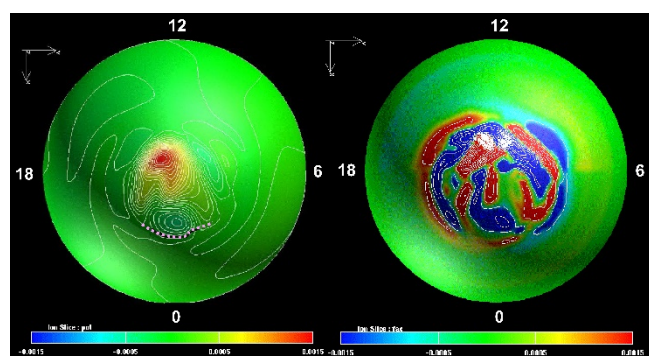


図4 数値計算による時計角 35° のときの北半球における電離圏ポテンシャル(左)と沿磁力線電流(右)。最縁部が磁気緯度 50° 。左図の太い白点線は磁力線の開閉境界。

日2310–2314UT)である。真夜中付近に時計回りの渦が現れている。南半球ではレーダのエコーが少ないが、真夜中付近に反時計回りの渦が現れている

[研究発表]

- Watanabe, M., and M. R. Hairston, Observation of a unipolar field-aligned current system associated with IMF B_y -triggered theta auroras, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 5, 4483–4497, 2016.
- Watanabe, M., S. Sakito, T. Tanaka, H. Shinagawa, and K. T. Murata, Global MHD modeling of ionospheric convection and field-aligned currents associated with IMF B_y triggered theta auroras, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 6145–6166, August 2014, doi:10.1002/2013JA019480, 2014.
- Tanaka, T., T. Obara, M. Watanabe, S. Fujita, Y. Ebihara, and R. Kataoka, Formation of the sun-aligned arc region and the void (polar slot) under the null-separator structure, *J. Geophys. Res. Space Physics*, doi:10.1002/2016JA023584, accepted for publication on 3 March 2017.
- Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka, Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 8695–8711, doi:10.1002/2016JA022822, 2016.
- Cardinal, M. G., A. Yoshikawa, H. Kawano, H. Liu, M. Watanabe, S. Abe, T. Uozumi, G. Maeda, T. Hada, and K. Yumoto, Capacity building: A tool for advancing space weather science, *Space Weather*, 12, 571–576, October 2014, doi:10.1002/2014SW001110, 2014.

(ここでは示していない)。この渦の起源は、磁気圏尾部で起こるDungey型のリコネクションとこれまで解釈されてきた。この現象を数値シミュレーションで再現した。図4は時計角 35° ($B_y > 0$)のときの北半球における電離圏対流(左)と沿磁力線電流

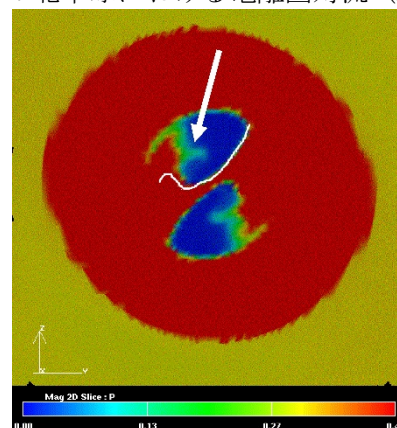


図5 $X = -26 R_E$ の断面におけるプラズマ圧。赤い円形部分(半径約 $45 R_E$)の縁はbow shock。白線は磁力線の開閉領域。ダイナモは白矢印が示す部分(プラズマシートからトーチ状に伸びた先端)にある。

(右)である。 $B_y > 0$ であるので図3とパターンが朝夕で反転しているが、真夜中付近に反時計回りの渦が再現されている。ただし渦中心は開いた磁力線上にあり、Dungey型のリコネクションというこれまでの描像とは合わない。図5はポテンシャルピークを作る沿磁力線電流を磁気圏へ追跡

し、磁気圏ダイナモの場所を同定したものである。ダイナモはローブの真ん中にあり、このことから沿磁力線電流の起源はDungey型リコネクションではないと言える。従来の考え方の再考を迫る新たな結果が得られた。

共同研究報告書（終了）

極域 3次元電離圏の再定式化

◎九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・講師

（国立極地研究所）

行松彰 教授

小川泰信 准教授

田中良昌 特任准教授

平成 26 年～平成 28 年（3 年間）

[研究成果]

極域3次元電離圏におけるプラズマダイナミクスの再定式化を行った。

従来電離圏のプラズマダイナミクスは、主にイオン、電子の電場に対する易動度、及びこの両者の運動の差による電離層電流の連続性に関する磁気圏電離圏結合、更には磁力線を横切る水平面に広がる電流システムの形成等が議論されてきた。このロジック展開はしばしば与えられた沿磁力線電流（磁気圏起源を仮定）と電離層電流の連続性を満たすように、電離圏で形成される静電場（電離圏起源を過程）を求める定常状態をベースとした電離圏ポテンシャルソルバーの解を基に展開されている。

ポテンシャルソルバーにより与えられる解構造は“何が何を駆動するのか？”というcausalityが消失した定常状態を形成している場合は、正しく自然を記述しているとしてよいであろう。しかしながら、実際には絶えず変動する自然現象を対象とした解析に於いても、(a) この沿磁力線電流を投影した極域から低緯度・磁気赤道域に向けてポテンシャル（電場）は瞬時に伝播・形成される、そして低緯度領域におけるプラズマはこの電場によって駆動される、或いは (b) 電離圏で形成された静電場は磁気圏全体を揺り動かすとして磁気圏MHDシミュレータの境界条件として採用するなど、磁気圏電離圏間の高度方向及び水平方向の結合に関する因果律を排除した形の文脈が公然と用いられている。ここに

は結合の局所性と大局性の混同、或いは完全なる無視といった深刻な問題を内在しているように感じられる。

我々は電離圏のプラズマダイナミクスと、電離圏 E 層での Hall 電場生成、そして電磁誘導効果をベースに

- (1) 電離圏プラズマの運動を励起するものは、アンペール力か、中性大気からの運動量移送であること。
- (2) 電離層電場は、プラズマの運動によって励起されるものであること。
- (3) この電場の勾配領域（wave-front）に於いて磁場が励起され、結果アンペール力が生じること。
- (4) ここで生じたアンペール力が新しいプラズマの運動を励起し、電場の勾配を消失させるとともに wave-front 領域を位相速度と整合した領域へと伝播させること。
- (5) これらが高度方向、水平方向の 3次元磁気圏電離圏結合の本質を担っていること。

などの、物理過程に忠実な電離圏プラズマダイナミクスの定式化を行った。

この定式化により例えば伝導度勾配領域における分極場生成過程についても、プラズマダイナミクスに基づく記述が可能であり、且つ、電流クロージャーのロジックからは帰結されない重要な知見が得られる。例えば

- (A) 電離層電流が伝導度勾配領域を跨ぐ場合
アンペール力がプラズマに作用し、高伝導度領域（重いプラズマ質量密度）領域では勾配領と垂直方向に遅い速度しか獲得できず、低伝導度領域（軽いプラズマ質量密度領域）ではより速い速度が獲得され、密度勾配領域に沿う形で速度 shear が生まれる。

この速度 shear に伴う対流電場が勾配領域での分極場を生成する。

(B) 電流が伝導度勾配領と垂直な場合

アンペール力により、プラズマは密度勾配領域をまたぐ形で速度を獲得するが、低伝導度領域では速い速度を高伝導度領域では遅い速度が獲得されるため、勾配領域に於いて速度発散が生じる。従って、この速度によって誘導される Hall 電場は発散を持ち、結果伝導度勾配領域での分極場を誘導する。

プロセス (A) については電流クロージャーのロジックのみからも得られる結果である。一方、プロセ

ス (B) については先に紹介したコンベンショナルなロジック展開からは決して得られることのない物理過程である。

このように我々が再定式化した 3 次元電離圏の物理過程は、まだコミュニティが理解していないいくつかの重要な物理過程を導くことが可能である。本定式化を用いて、高緯度から低緯度の電場侵入問題や、磁気赤道域でのプラズマバブル発生メカニズムについても、ダイナミクスと電磁誘導による因果を含んだ記述が可能であり、磁気圏電離圏結合の全球結合問題へと適用していく予定である d。

[研究発表 ; 一部抜粋]

- Ohtani, S., and A. Yoshikawa (2016), The initiation of the poleward boundary intensification of auroral emission by fast polar cap flows: A new interpretation based on ionospheric polarization, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2016JA023143. (Selected as Editor's Highlight)
- Takahashi, K., M. D. Hartinger, D. M. Malaspina, C. W. Smith, K. Koga, H. J. Singer, D. Frühauff, D. G. Baishev, A. V. Moiseev, and A. Yoshikawa (2016), Propagation of ULF waves from the upstream region to the midnight sector of the inner magnetosphere, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 8428–8447, doi:10.1002/2016JA022958.
- Imajo S., A. Yoshikawa, T.Uozumi; S. Ohtani, A. N.Sodnomsambuu Demberel, B. M. Shevtsov (2016), Solar terminator effects on middle-to-low Pi2 pulsations, *Earth, Planets and Space*, 68 (1), 13768 (1), 137.
- Uozumi, T., A. Yoshikawa, S. Ohtani, S. Imajo, D. G. Baishev, A. V. Moiseev, and K. Yumoto, (2016), Initial deflection of middle-latitude Pi2 in the pre-midnight sector: Remote detection of oscillatory upward field-aligned current at substorm onset, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2015JA021698.
- Nishimura N., T.Kikuchi; Y.Ebihara, A.Yoshikawa, S.Imajo; W. Li, H. Utada, Evolution of the current system during solar wind pressure pulses based aurora and magnetometer observations, *Earth, Planets and Space*, 68 (1), 144, (2016).
- Bisoi, O.S. K., D. Chakrabarty, P. Janardhan, R. G. Rastogi, A. Yoshikawa, K. Fujiki, M. Tokumaru, and Y. Yan (2016), The prolonged southward event of 274 May 1998: Solar, interplanetary causes and geomagnetic consequences, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 3882–3904, doi:10.1002/2015JA022185.
- Bolaji, O. S., E. O. Oyeyemi, O. P. Owolabi, Y. Yamazaki, A. B. Rabiou, D. Okoh, A. Fujimoto, C. Amory-Mazaudier, G. K. Seemala, A. Yoshikawa, O. K. Onanuga, Solar Quiet Current Response in the African Sector Due to a 2009 Sudden Stratospheric Warming Event, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 2016 August 6, doi:10.1002/2016ja022857.
- Tsuda, T., M. Yamamoto, H. Hashiguchi, K. Shiokawa, Y. Ogawa, S. Nozawa, H. Miyaoka, and A. Yoshikawa, A proposal on the study of coupling processes with atmospheric radars and ground-based observation network, *Radio Sci.*, 51, doi: 10.1002/2016RS006035, 2016."
- Fujimoto, A., T. Uozumi, S. Abe, H. Matsushita, S. Imajo, J. K. Ishitsuka, and A. Yoshikawa, Long-term EEJ Variations by Using the Improved Sun and Geosphere, Vol.11, Issue 1, 2016
- Imajo, S., A. Yoshikawa, T. Uozumi, S. Ohtani, A. Nakamizo, R. Marshall, B. M. Shevtsov, V. A. Akulichev, U. Sukhbaatar, A. Liedloff and K. Yumoto (2015), Pi2 pulsations observed around the dawn terminator, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, doi:10.1002/2013JA019691.
- Hori, T., Y. Miyashita, Y. Miyoshi, K. Seki, T. Segawa, Y.-M. Tanaka, K. Keika, M. Shoji, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Abe, A. Yoshikawa, K. Yumoto, Y. Ohana, N. Nishitani, A. S. Yukimatu, T. Nagatsuma, M. Kunitake, K. Hosokawa, Y. Ogawa, K. T. Murata, M. Nose, H. Kawano, and T. Sakanoi, CDF data archive and integrated data analysis platform for ERG-related ground data developed by ERG Science Center (ERG-SC), *J. Space Sci. Info. Jpn.*, vol. 4, JAXA-RR-14-009 (ISSN 1349-1113), 75–89, 2015.
- Baishev D.G., Moiseyev A.V., Boroyev R.N., Kobayakova S.E., Stepanov A.E., Mandrikova O.V., Solovov I.S., Khomutov S.Yu., Polozov Yu.A., Yoshikawa A., Yumoto K., Magnetic and ionospheric observations in the Far Eastern region of Russia during the magnetic storm of 5 April 2010, *Sun and Geosphere*, 2015. - Vol.10, N2. - P.133-140
- BR Kalita, PK Bhuyan, A Yoshikawa, NmF2 and hmF2 measurements at 95° E and 127° E around the EIA northern crest during 2010–2014, *Earth, Planets and Space* 67 (1), 1-22, 2015
- Yoshimasa Tanaka, Yasunobu Ogawa, Akira Kadokura, Noora Partamies, Daniel Whiter, Carl-Fredrik Enell, Urban Brändström, Tima Sergienko, Björn Gustavsson, Alexander Kozlovsky, Hiroshi Miyaoka, Akimasa Yoshikawa, Eastward-expanding auroral surges observed in the post-midnight sector during a multiple-onset substorm, *Earth, Planets and Space* 67 (1), 1-10, 2015
- Nurul Shazana Abdul Hamid, Huixin Liu, Teiji Uozumi and Akimasa Yoshikawa (2015), Empirical model of equatorial electrojet based on ground-based magnetometer data during solar minimum in fall, *Earth, Planets and Space* (2015) 67:205 DOI 10.1186/s40623-015-0373-1
- Ieda, A., S. Oyama, H. Vanhamaki, R.Fujii, A. Nakamizo, O. Amm, T. Hori, M. Takeda, G. Ueno, A. Yoshikawa, R. J. Redmon, W. F. Denig, Y. Kamide and N. Nishitan (2015), Approximate forms of daytime ionospheric conductance, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 10,397–10,415. doi:10.1002/2014JA020665.
- Wang, G. Q., M. Volwerk, R. Nakamura, P. Boakes, T. L. Zhang, A. Yoshikawa, and D. G. Baishev (2015), Flapping current sheet with superposed waves seen in space and on the ground, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 0,078–10,091. doi:10.1002/2014JA020526.
- O.S. Bolaji, A.B. Rabiou, O.R. Bello, A. Yoshikawa, K. Yumoto, O.O. Odeyemi and O. Ogunmodimu (2015), Spatial Variability of Solar Quiet Fields Along 960 Magnetic Meridian in Africa: Results from Magdas, *J. Geophys. Res. Space Physics*, Accepted manuscript online: 26 MAR 2015, DOI: 10.1002/2014JA020728
- Liu, J., L. Liu, T. Nakamura, B. Zhao, B. Ning, and A. Yoshikawa (2014), A case study of ionospheric storm effects during long-lasting southward IMF Bz-driven geomagnetic storm, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 7716–7731, doi:10.1002/2014JA020273.
- Teramoto, M., N. Nishitani, V. Pilipenko, T. Ogawa, K. Shiokawa, T. Nagatsuma, A. Yoshikawa, D. Baishev, and K. T. Murata (2014), Pi2 pulsation simultaneously observed in the E and F region ionosphere with the SuperDARN Hokkaido radar, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 3444–3462, doi:10.1002/2012JA018585.
- Yamazaki, Y., A. D. Richmond, A. Maute, Q. Wu, D. A. Ortland, A. Yoshikawa, I. A. Adimula, B. Rabiou, M. Kunitake, and T. Tsugawa (2014), Ground magnetic effects of the equatorial electrojet simulated by the TIE-GCM driven by TIMED satellite data, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 3150–3161, doi:10.1002/2013JA019487.
- Imajo S., K. Yumoto, T. Uozumi, H. Kawano, S. Abe, A. Ikeda, K. Koga, H. Matsumoto, T. Obara, R. Marshall, V. A. Akulichev, A. Mahrous, Liedloff, and A. Yoshikawa (2014), Analysis of propagation delays of compressional Pi 2 waves between geosynchronous altitude and low latitudes, *Earth, Planets and Space*, 66:20 (24 April 2014)
- Nurul Shazana Abdul Hamid, Huixin Liu, Teiji Uozumi, Kiyohumi Yumoto, Bhaskara Veenadhari, Akimasa Yoshikawa, Jairo Avendaño Sanchez (2014), Relationship between the Equatorial Electrojet and Global Sq Currents at the Dip Equator Region, *Earth, Planets and Space* 2014, 66:146, doi:10.1186/s40623-014-0146-2

(共同研究報告書 (終了) 作成見本)

脈動オーロラの準周期性と電子降下過程の研究 (研究課題)

藤井良一 名古屋大学宇宙地球環境研究所・特任教授 (研究代表者)

情報・システム研究機構理事 (終了時)

徳永旭将 九州工業大学大学院情報工学研究院・准教授 (共同研究者)

(国立極地研究所)

小川泰信 准教授 (担当教員)

平成 26 年 3 月～平成 29 年 3 月 (3 か年) (研究期間)

[研究成果]

本共同研究は、最も典型的なオーロラの一つである pulsating aurora (PsA) について、1) ノルウェー Tromsø で実施された光学観測を基に、その準周期性の特性を定量的かつ統計的に明らかにすること、2) 欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダーで観測される電子密度とその時間変動から得られるイオン生成率高度分布を基に、降下粒子のエネルギースペクトル分布を推定し、従来から言われているピッチ角散乱による降下に加えて、沿磁力線加速の兆候がみられるか否かを明らかにすることを目的とした。光学観測としては EISCAT サイトに設置された多波長フォトメータ及び高感度テレビによる観測データを利用した。PsA のオンオフは 1 秒程度で起こるため、電子密度データとして EISCAT レーダーのパワーデータを用いた。

EISCAT レーダーから得られる、時間分解能が良いアンテナ受信強度データを電子密度のプロキシとして利用して、数秒で変化するオーロラについて 0.3~0.4 秒程度の時間分解能で電離圏電離の高度プロファイルの特性が得られることを示した。PsA に伴う電離は、PsA と位相差を持って同期し、かつその高度は 90km から 150km に及んでいた。これは従来数 keV から数 10 keV の電子により引き起こさ

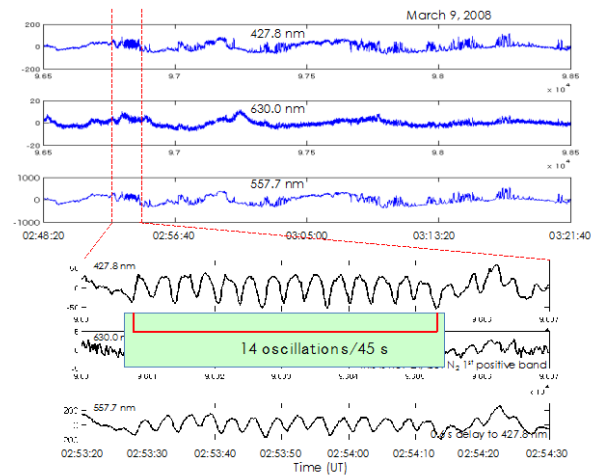


図 1 : EISCAT Tromsø サイトの多波長フォトメータで観測された、脈動オーロラと 0.3 Hz 振動。

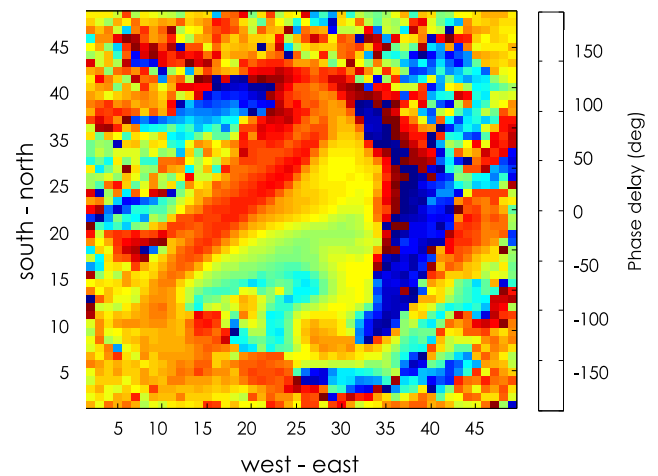


図 2 : EISCAT Tromsø サイトの全天オーロラ TV カメ

ラで観測された、0.3 Hz 振動の電離圏高度での分布（等高線）と Tromsø の磁気天頂の変動を基準とした位相分布。120 度の位相差が約 1 秒の差に相当。

れると考えられていた PsA が 1keV 程度の降込みを伴うことを示す結果である。

トロムソに設置された全天オーロラ TV により観測された 45 秒程度継続する純粋な 0.3Hz 周期変動 (Fig. 1) の空間-時間特性を EISCAT も併用して調べた。この周波数帯の純粋な 0.3Hz 周期変動はオーロラ帯では過去に一例観測されたのみ (Roldugin et al., 2013) で、空間時間変動が調べられたのは初

めてのことである。0.3 Hz 振動域は Fig. 2 の等高線で描かれた領域内に存在し、振動の位相を変化し乍ら生起していた。Tsyganenko モデルで磁気圏に投影した結果、0.3 Hz 振動は磁気圏内で 1500 km 程度の距離 (図 2 で中心の磁気天頂から左上方向の赤色の分布までの距離) を 1 秒間程度の時間で伝搬していることが判明した。この伝搬速度が何に相当しているかについてははっきりとしないが、Alfven 速度に対応している可能性がある。

これらの結果は、2015 年の AOGS の招待講演等で発表し、現在成果論文を準備中である。

[参考論文]

1) Roldugin, V. C., A. V. Roldugin, and S. V. Pilgaev (2013), Pc1-2 auroral pulsations, *J. Geophys. Res.*, 118, 74-81, doi:10.1029/2012JA017861.

[研究発表]

- 1) Fujii, R., Energy Spectra of Pulsating Auroras by using High Time Resolution EISCAT Power Data, AOGS 2015.
- 2) Fujii, R., Substorm currents and Cowling channels, AGU Chapman Conference on Currents in Geospace and Beyond. The conference will be hosted in Dubrovnik, Croatia, 22-27 May 2016.
- 3) Fujii, R., Substorm Birkeland currents and Cowling channels in the ionosphere, 2016 AGU Fall Meeting, 12-16 December 2016.

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

降下粒子によるオーロラ発光モデルの開発と粒子コードとの連携計算

◎加藤雄人 東北大学大学院理学研究科・准教授
 平木康隆 電気通信大学大学院理工学研究科・研究員
 (国立極地研究所)
 小川泰信 准教授
 平成26年～平成28年(3か年)

[研究成果]

パルセーティングオーロラに代表されるオーロラの微細構造や発光強度の変調は、磁気圏で発生するプラズマ波動の発生周期や励起領域の空間スケールに深く関連すると考えられている。本研究課題はオーロラ微細構造の時間・空間発展を定量的に明らかにすることを目的として、プラズマ粒子コードとオーロラ発光モデルとの連携計算を可能にする数値モデルの開発に取り組んだ。コーラス放射の励起過程を解くシミュレーションで再現される、降り込み電子のエネルギースペクトルとその時間変化を用いることで、オーロラ微細構造の周期的変化や空間構造を定量的に議論することをねらいとした。

研究期間初年度の平成26年度から、オーロラ発光モデルの基盤となるモンテカルロ法を用いた衝突判定モジュールの開発と、ミラー力によるピッチ角変化を考慮した粒子軌道追跡モジュールの開発に着手した。

衝突判定モジュールでは、Hiraki and Tao (2008)で用いられた手法を参考に、乱数生成ルーチンを用いたモンテカルロ計算を実施する。高度300 km以下の領域を対象として、中性大気の数密度の高度変化に応じて衝突確率を変化させ、降り込んでくる高エネルギー電子と中性大気との衝突過程を再現するモデルを構築した。

粒子軌道追跡モジュールについては、同じく高度300 km以下の領域での背景磁場強度の空間変化を考慮して、高エネルギー電子の運動に伴うピッチ角の変化を計算しつつ、粒子軌道を追跡するコードの開発を行った。

高度100 kmにミラー点を持つ粒子は、高度300 kmではピッチ角が約70度となる。すなわち、高度300 kmで70度よりも大きなピッチ角を持つ粒子は、単純にミラー運動するだけでは高度100 km以下には到達できない。また、降り込み粒子の運動に伴って高度が低くなるにつれて、粒子のピッチ角が大きくなり、結果として沿磁力線方向の速度成分が相対的に小さくなる。本研究で開発した衝突判定モジュールと粒子軌道追跡モジュール

を組み合わせることにより、降り込み粒子のピッチ角変化を取り入れて電離圏高度での中性大気との衝突過程を解くことが可能となった。

本研究では開発したコードを用いて、降り込み電子と大気との衝突過程に関する計算機シミュレーションを実施した。計算では初期条件として、高度300 kmでのピッチ角分布が等方である条件と、ロスコーン角(70度)よりも大きなピッチ角を持つ粒子のみを考慮した条件をそれぞれ設定して、計算結果の違いを検討した。

計算結果を図1に示す。青がピッチ角分布を等方とした条件で、衝突した電子の数は高度110～120 kmで最大となっている。一方、赤色で示した結果がロスコーン角よりも大きなピッチ角を持つ粒子のみで解いた場合の計算結果であり、約130 kmで最大となる結果となっている。これらの計算結果から、ミラー力を考慮することによって、ピッチ角分布の違いが電子と中性大気との衝突に有意な違いが現れることが示された。

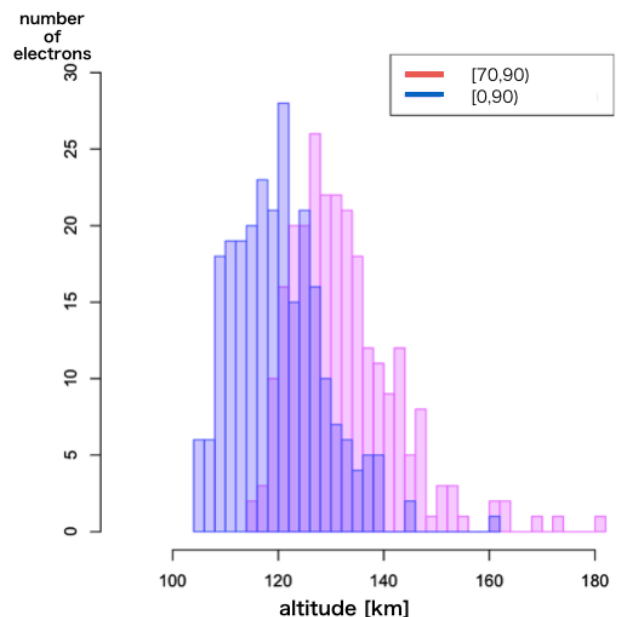


図1 中性大気と衝突した電子の高度分布

以上の研究成果については、各年度の極域科学シンポジウムで報告した。本研究課題により、オーロ

ラ発光モデルの基盤となるモンテカルロ法を用いた衝突判定モジュールと、ミラー力によるピッチ角変化を考慮した粒子軌道追跡モジュールの開発が完了した。今後、開発したコードと磁気圏での波動粒子相互作用を解くプラズマ粒子コードを用いた連携計算を実施するとともに、2016年12月20日

に打ち上げられた「あらせ」衛星や地上観測結果との比較研究が実施されることで、オーロラ微細構造や発酵高度の時間変動の要因に資する成果が得られ雨と記載される。

[研究発表]

Katoh, Y., Y. Hiraki, and Y. Ogawa, Simulation study of the auroral electron precipitation by whistler-mode chorus in the magnetosphere and resultant auroral emissions, The 5th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Tokyo, 2-5 December, 2014.

Katoh, Y., Y. Hiraki, and Y. Ogawa, Pitch angle scattering by whistler-mode chorus emissions and the effect of the mirror force on the motion of precipitating electrons, The 6th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Tokyo, 16-19 November, 2015.

Katoh, Y., N. Shoji, Y. Hiraki, and Y. Ogawa, Study of the resonant scattering of auroral electrons by whistler-mode chorus emissions and the pitch angle distribution at an altitude of auroral emissions, The 6th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Tokyo, 29 November – 2 December, 2016.

(共同研究報告書 (終了))

大気電場観測データを用いたグローバルサーキットの研究

◎東京学芸大学教育学部・准教授 (研究代表者) 鴨川仁
 北海道大学大学院理学研究科・教授 (共同研究者) 高橋幸弘
 東京学芸大学教育学部・専門研究員 (共同研究者) 鈴木祐子
 (国立極地研究所)
 教授 (担当教員) 門倉昭
 特任助手 源 泰拓
 平成26年～平成28年(3か年) (研究期間)

[研究成果]

地球は負に帯電した大地と正に帯電した中間圏・電離圏により、巨大な地球球コンデンサーをなしている。これにより、大気には約 100 V/m の電場が存在すると言われており¹⁾、大気電場の向きは一般に下向き、つまり地面に向かう向きを正と定義している。この巨大な電気回路は全地球電気回路(Global electrical circuit)と呼ばれ、世界中のどこかで日々発生している局所的な雷雲や降雨等の気象現象による電氣的活動により形成されている。雷雲や降雨等により大地や電離圏へ供給された総電気量変化は、晴天静穏の領域における大気電場の測定により、グローバルな成分としての抽出が可能だと考えられている。しかし、実際には、大気電場は僅かな大気汚染等にも影響を受けてしまうため、人間活動がさかんな地域では極所的な影響を強く受け、グローバル成分の測定は難しい。大気汚染の影響をさけるために、昭和基地では昔から大気電場計測が断続的に行われている。たとえば近藤によると²⁾、1969年～1971年間の昭和基地での晴天静穏時の大気電場の平均値は 66 V/m と報告されている。2005年度以降では、数か月以上の欠測期間は時折あるものの、ほぼ連続に近い観測が行われている。それらのデータを用いた源・門倉による晴天静穏時の大気電場日変化では³⁾、風速1分値の1時間中央値が 6 m/s 未満の時間帯を用いれば、目的とするカーネギーカーブ⁴⁾が得られるとされている。しかし大気汚染はないものの地吹雪による雪粒子の帯電が観測の主たるノイズ源になってしまうという問題は避けられない。本研究では、全地球電気回路変動成分抽出精度を高めるため、地吹雪による大気電場変動の解明を目指す。

2011年から南極昭和基地において大気電場の3地点同時連続観測を行っている。測定に使用した Bolttek 社製フィールド・ミルはインドの Maitri 基地でも用いられ、カーネギーカーブが得られている

などの報告がなされている⁴⁾。測定器は地面に接地し、積雪で埋まらないよう、地上 2 m の高さに設置されている(図 1)。高度方向の大気電場変動の特徴を調べるため、2015年より地上 10 m の高さの測定器を設置した(図 1)。



図 1. 南極昭和基地に設置した測定器の位置とその様子。2011年に設置した3測定器はCh1-3、2015年に設置された測定器はCh4。

地吹雪発生時において、大気電場に正の大きな変動がみられた。これは過去に昭和基地で測定を行った Kikuchi⁵⁾などと同様の結果である。また、文献に示される複数の室内実験によると粒径の大きい雪粒子ほどより大きい負電荷を帯びることが分かっており、さらに大きい粒径、つまり重たい粒子は舞い上げられにくく地表面付近にあると考えられる。そのため空間電荷密度は雪面近傍ほど大きくなることが予想される。以上のことから大気中での吹雪粒子は高度方向に図2のような勾配をもった分布になる、というモデルを提案した。帯電は雪粒子の激しい衝突や摩擦でおこるため、1粒子の帯電量は風速のみ依存し、風速が大きいほど粒子は高い高度まで分布する。このような分布を考えると、大気電場が正に激しく変動することを示せる。

(裏面に続く)

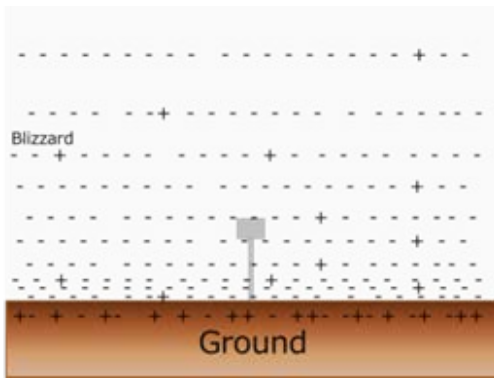


図 2. 地吹雪発生時の空間電荷分布図。

さらにこの仮説を検証するため、昭和基地に設置された 2 m と 10 m の測定器の値を比較した。高い位置に測定器が存在すると、等電位線が大きく曲げられる。さらに風速が大きければ帯電する電荷量も大きくなることから、等電位線が密になると予想される。以上の 2 つのことから、風速が大きく、高い測定器の電場値により大きな効果がみられるはずである。そこで、2 m と 10 m の大気電場測定結果を風速ごとに分け、相関図を示した(図 3)。風速が大きくなるに従って傾きが小さくなっていることか

ら、10 m の測定器付近の電場が、風速が大きいくほど大きくなっていることが示された。

以上の観測検証より、帯電した雪粒子の高度方向の勾配が大気電場の正の変動に寄与していることが分かった。ゆえに、長い間未説明となっていた吹雪粒子の帯電と大気電場の変動の関係を解釈できた。

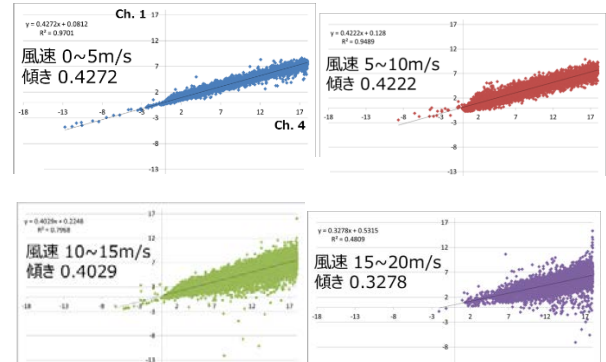


図 3. 2015 年 3 月から 8 月に測定された Ch1 (2 m) と Ch4 (10 m) の相関図。横軸は Ch4 の電場値、縦軸は Ch1 の電場値。

[参考文献]

- 1) D. R. MacGorman and W. D. Rust (1998), The Electrical Nature of Storms, Oxford University Press, 422p.
- 2) G. Kondo (1971), JARE Data Rep., 11, 1 - 12.
- 3) Y. Minamoto, and A. Kadokura (2011), Polar Sci., 5, 313-318.
- 4) C. Panneerselvam et al. (2010), Earth Planets Space, 62, 545-549.
- 5) K. Kikuchi (1970), J. Meteor. Soc. Japan., Ser. II, 48 (5) 452-460.

[研究発表]

- 石川智也(東京学芸大), 鈴木裕子, 源泰拓, 門倉昭 (国立極地研究所), 佐藤光輝 (北大), 鴨川仁 (東京学芸大), 地吹雪発生時の地表大気電場変動の発生機構, 日本大気電気学会第 95 回研究発表会, 2017 年 1 月
- 鈴木裕子 (東京学芸大), 源泰拓 (国立極地研究所), 大宮哲 (寒地土木研究所), 門倉昭 (国立極地研究所), 佐藤光輝(北大), 鴨川仁 (東京学芸大), 地吹雪発生時の大気電場変動, 日本大気電気学会第 94 回研究発表会, 2016 年 1 月
- 石川智也 (東京学芸大), 大宮哲 (寒地土木研究所), 鈴木裕子 (東京学芸大, 国立極地研究所), 新田英智 (東京学芸大), 鴨川仁 (東京学芸大), 大気電場計測による地吹雪の判定について ~序報~, 雪氷研究大会 (2016・名古屋), 2016 年 9 月
- 石川智也 (東京学芸大), 鈴木裕子 (東京学芸大, 国立極地研究所), 源泰拓 (国立極地研究所), 大宮哲 (寒地土木研究所), 門倉昭 (国立極地研究所), 佐藤光輝 (北大), 鴨川仁 (東京学芸大), 南極昭和基地における地吹雪発生時の大気電場変動, 雪氷研究大会 (2016・名古屋), 2016 年 9 月
- 石川智也 (東京学芸大), 鈴木裕子 (東京学芸大, 国立極地研究所), 門倉昭 (国立極地研究所), 源泰拓 (国立極地研究所), 佐藤光輝 (北大), 鴨川仁 (東京学芸大), 昭和基地観測された地吹雪時大気電場変動, 第 7 回極域科学シンポジウム, 2016 年 11 月
- 鈴木裕子 (東京学芸大), 門倉昭, 源泰拓 (国立極地研究所), 佐藤光輝 (北大), 鴨川仁 (東京学芸大), 地吹雪時の吹雪粒子の帯電と大気電場変動の関係, 第 6 回極域科学シンポジウム, 2015 年 11 月

(別紙)

参 加 者 一 覧

一般共同研究		課題番号	26-13
研究課題名	大気電場観測データを用いたグローバルサーキットの研究		
氏名	所属	職	備考
所内	門倉昭	国立極地研究所	教授
	源 泰拓	国立極地研究所	特任助手
			平成27年は気象庁所属
小計	2 名		
所外	鴨川仁	東京学芸大学	准教授
	高橋幸弘	北海道大学	教授
	井智史	気象庁	一般職員
	鈴木裕子	東京学芸大学	専門研究員
			平成26年のみ
			平成27年は育成研究員
小計	4 名		
合計	6 名		

※研究プロジェクト・一般共同研究・研究集会、いずれかを■にしてください。

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

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

※行が不足する場合、適宜追加してください。

地上多点光学観測による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究

◎塩川和夫 名古屋大学宇宙地球環境研究所・教授 (研究代表者)
 大塚雄一 名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授 (共同研究者)
 濱口佳之 名古屋大学宇宙地球環境研究所・技術職員 (共同研究者)
 山本優香 名古屋大学宇宙地球環境研究所・技術職員 (共同研究者)
 足立 匠 名古屋大学宇宙地球環境研究所・技術職員 (共同研究者)
 (国立極地研究所)
 担当教員：門倉昭教授・小川泰信准教授・江尻省助教
 研究期間：平成 26 年～平成 28 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究グループは、大気光の撮像や、その発光高度での風速、温度を計測することができる超高層大気イメージングシステム (Optical Mesosphere Thermosphere Imagers-OMTIs) を開発し、電離圏・熱圏・中間圏の大気・プラズマダイナミクスを研究している。全天カメラ 14 台、ファブリ・ペロー干渉計 5 台、掃天フォトメータ 3 台、分光温度フォトメータ 5 台で、ロシア、国内 4 か所、オーストラリア、タイ、インドネシア、カナダ、ノルウェー、米国 (ハワイ)、ナイジェリアでそれぞれ自動観測を行い、オーロラや超高層大気変動に関する新しい科学成果を得た。これらの機器はすべて、国立極地研究所の光学校正実験施設を用いて較正が行われてきた。これらの機器を使って、オーロラに伴う熱圏風のダイナミクス、大気重力波の伝搬特性、プラズマの不規

則構造の緯度・季節依存性、磁気嵐に伴う低緯度オーロラの出現特性などを調べた。これらの研究成果は、以下にリストした 2 3 編の論文として公表されている。

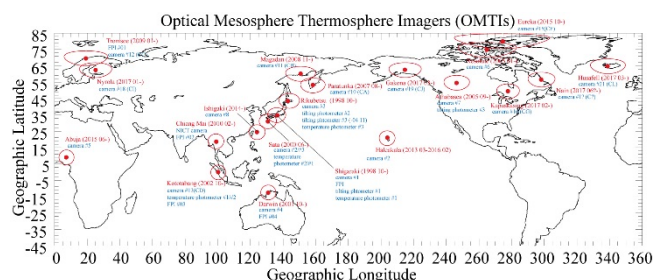


図 1 : OMTIs の光学観測機器の配置

[研究発表]

研究発表 (本共同研究に基づいて、国立極地研究所の光学校正システムを用いて較正された光学観測機器による研究成果。査読ありの論文、平成 26 年度以降。)

1. Oyama, S., Y. Miyoshi, K. Shiokawa, J. Kurihara, T. T. Tsuda, and B. J. Watkins, Height-dependent ionospheric variations in the vicinity of nightside poleward expanding aurora after substorm onset, *J. Geophys. Res.*, 119, doi: 10.1002/2013JA019704, 2014.
2. Nishimura, Y., L. R. Lyons, Y. Zou, K. Oksavik, J. I. Moen, L. B. Clausen, E. F. Donovan, V. Angelopoulos, K. Shiokawa, J. M. Ruohoniemi, N. Nishitani, K. A. McWilliams, and M. Lester, Day-night coupling by a localized flow channel visualized by polar cap patch propagation, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi: 10.1029/2014GL060301, 2014.
3. Matsuda, T., T. Nakamura, M. K. Ejiri, M. Tsutsumi, and K. Shikawa, New statistical analysis of the horizontal phase velocity distribution of gravity waves observed by airglow imaging, *J. Geophys. Res.*, 119, 9707-9718, doi: 10.1029/2014JD021543, 2014.
4. Reisin, E.R., J. Scheer, M.E.Dyrland, F.Sigernes, C.S.Deehr, C.Schmidt, K. Hoppner, M.Bittner, P.P.Ammosov, G.A.Gavriilyeva, J.Stegman, V.I.Perminov, A.I.Semenov, P.Knieling, R.Koppmann, K.Shiokawa, R.P.Lowe, M.J. Lopez-Gonzalez, E.Rodriguez, Y.Zhao, M.J.Taylor, R.A.Buriti, P.J.Espy, W.J.R.French, K.-U.Eichmann, J.P.Burrows, C.vonSavigny, Traveling planetary wave activity from mesopause region airglow temperatures determined by the Network for the Detection of Mesospheric Change (NDMC), *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 119, 71-82, 2014.
5. V. Lakshmi Narayanan, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Saito, Airglow observations of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances from Yonaguni: Statistical characteristics and low latitude limit, *J. Geophys. Res.*, 119, doi: 10.1029/2014JA020368, 2014.
6. Oberheide, J., K. Shiokawa, S. Gurubaran, W. E. Ward, H. Fujiwara, M. J. Kosch, J. J. Makela and H. Takahashi, The geospace response to variable inputs from the lower atmosphere: A review of the progress made by Task Group 4 of CAWSES-II, *Progr. Earth Planet. Sci.*, 2:2, DOI 10.1186/s40645-014-0031-4, 2015.
7. Fukushima, D., K. Shiokawa, Y. Otsuka, M. Nishioka, M. Kubota, T. Tsugawa, T. Nagatsuma, S. Komonjinda, and C. Y. Yatini, Geomagnetically conjugate observation of plasma bubbles and thermospheric neutral winds at low latitudes, *J. Geophys. Res.*, 120, doi: 10.1002/2014JA020398, 2015.
8. Hori, T., Y. Miyashita, Y. Miyoshi, K. Seki, T. Segawa, Y.-M. Tanaka, K. Keika, M. Shoji, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Abe, A. Yoshikawa, K. Yumoto, Y. Obana, N. Nishitani,

- A. S. Yukimatu, T. Nagatsuma, M. Kunitake, K. Hosokawa, Y. Ogawa, K. T. Murata, M. Nose, H. Kawano, and T. Sakanoi, CDF data archive and integrated data analysis platform for ERG-related ground data developed by ERG Science Center (ERG-SC), *J. Space Sci. Info. Jpn.*, vol. 4, JAXA-RR-14-009 (ISSN 1349-1113), 75-89, 2015.
9. Hashimoto A., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S.-I. Oyama, S. Nozawa, T. Hori, M. Lester, and M. Johnsen, Statistical study of auroral fragmentation into patches, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1029/2015JA021000, 2015.
 10. Thomas, E.G., K. Hosokawa, J. Sakai, J. B. H. Baker, J. M. Ruohoniemi, S. Taguchi, K. Shiokawa, Y. Otsuka, A. J. Coster, J.-P. St.-Maurice, K. A. McWilliams, Multi-instrument, high-resolution imaging of polar cap plasma transportation, *Radio Science*, 50, doi: 10.1002/2015RS005672, 2015.
 11. Motoba, T., S. Ohtani, B. Anderson, H. Korth, D. Mitchell, L. Lanzerotti, K. Shiokawa, M. Connors, C. Kletzing, G. Reeves, On the formation and origin of substorm growth phase/onset auroral arcs inferred from conjugate space-ground observations, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1029/2015JA021676, 2015.
 12. Perwitasari, S., T. Sakanoi, A. Yamazaki, Y. Otsuka, Y. Hozumi, Y. Akiya, A. Saitou, K. Shiokawa, and S. Kawamura, Coordinated airglow observations between IMAP/VISI and a ground-based all-sky imager on concentric gravity wave in the mesopause, *J. Geophys. Res.*, 120, 9706–9721, doi:10.1002/2015JA021424, 2015.
 13. Perry, G., H. Dahlgren, M. Nicolls, M. Zettergren, J.-P. St-Maurice, J. Semeter, T. Sundberg, K. Hosokawa, K. Shiokawa, and S. Chen, Spatiotemporally resolved electrodynamic properties of a sun-aligned arc over Resolute Bay, *J. Geophys. Res.*, 120, 9977–9987, doi:10.1002/2015JA021790, 2015.
 14. Ozaki, M., S. Yagitani, K. Sawai, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, R. Kataoka, A. Ieda, Y. Ebihara, M. Connors, I. Schofield, Y. Katoh, Y. Otsuka, N. Sunagawa, and V. K. Jordanova, A direct link between chorus emissions and pulsating aurora on timescales from milliseconds to minutes: A case study at subauroral latitudes, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1029/2015JA021381, 2015.
 15. Tulasi Ram, S., T. Yokoyama, Y. Otsuka, K. Shiokawa, S. Sripathi, B. Veenadhari, R. Heelis, K. K. Ajith, V. S. Gowtam, S. Gurubaran, P. Supnithi and M. Le Huy, Dusk side enhancement of equatorial zonal electric field response to convection electric fields during the St. Patrick's day storm on March 17, 2015, *J. Geophys. Res.*, 120, doi: 10.1029/2015JA021932, 2015.
 16. Sakaguchi, K., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, and M. Connors, Isolated proton auroras and Pc1/EMIC waves at subauroral latitudes, in *Auroral Dynamics and Space Weather*, Geophysical Monograph 215, Edited by Yongliang Zhang and Larry J. Paxton, American Geophysical Union. Published by John Wiley & Sons, Inc., 2016.
 17. Nomura, R., K. Shiokawa, Y. Omura, Y. Ebihara, Y. Miyoshi, K. Sakaguchi, Y. Otsuka, and M. Connors, Pulsating proton aurora caused by rising tone Pc1 waves, *J. Geophys. Res.*, 121, doi:10.1002/2015JA021681, 2016.
 18. Oyama, S.-I., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, K. Hosokawa, B. J. Watkins, J. Kurihara, T. T. Tsuda, and C. T. Fallen, Lower-thermospheric wind variations in auroral patches during the substorm recovery phase, *J. Geophys. Res.*, 121, doi: 10.1002/2015JA022129, 2016.
 19. Tsuda, T., M. Yamamoto, H. Hashiguchi, K. Shiokawa, Y. Ogawa, S. Nozawa, H. Miyaoka, and A. Yoshikawa, A proposal on the study of solar-terrestrial coupling processes with atmospheric radars and ground-based observation network, *Radio Sci.*, 51, doi: 10.1002/2016RS006035, 2016."
 20. Ozaki, M., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, R. Kataoka, S. Yagitani, T. Inoue, Y. Ebihara, C.-W Jun, R. Nomura, K. Sakaguchi, Y. Otsuka, M. Shoji, I. Schofield, M. Connors, and V. K. Jordanova, Fast modulations of pulsating proton aurora related to subpacket structures of Pc1 geomagnetic pulsations at subauroral latitudes, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070008, 2016.
 21. Nishino M. N., K. Shiokawa, and Y. Otsuka, The first long-term all-sky imager observation of lunar sodium tail, *Icarus*, 280, 199-204, 2016.
 22. Zou, Y., Y. Nishimura, J. K. Burchill, D. J. Knudsen, L. R. Lyons, K. Shiokawa, S. Buchert, S. Chen, M. J. Nicolls, J. M. Ruohoniemi, K. A. McWilliams, and N. Nishitani, Localized Field-aligned Currents in the Polar Cap Associated with Airglow Patches, *J. Geophys. Res.*, 121, doi: 10.1002/2016JA022665, 2016.
 23. Zou, Y., Y. Nishimura, L. R. Lyons, K. Shiokawa, Localized Polar Cap Precipitation in Association with Non-storm Time Airglow Patches, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi: 10.1002/2016GL071168, 2017.

共同研究報告書（終了）

GNSS 受信機及びビーコン受信機を用いた極域電離圏擾乱の研究（研究課題）

◎大塚 雄一 名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授（研究代表者）

細川 敬祐 電気通信大学・准教授（共同研究者）

塩川 和夫 名古屋大学太陽地球環境研究所・教授

山本 優佳 名古屋大学太陽地球環境研究所・技術専門職員

濱口 佳之 名古屋大学太陽地球環境研究所・技術専門職員

足立 匠 名古屋大学太陽地球環境研究所・技術職員

（国立極地研究所）

小川 泰信 准教授（担当教員）

平成26年～平成28年（3か年）（研究期間）

[研究成果]

1. はじめに

電離圏において電子密度不規則構造が存在すると、人工衛星からの送信された電波の信号強度や搬送波の位相が変化することがあり、この現象はシンチレーションと呼ばれている。受信信号強度が変動する振幅シンチレーションは、人工衛星から送信された電波が電子密度不規則構造により回折し、電波が干渉し合うことによって発生する。振幅シンチレーション指数 S_4 は、受信信号強度の標準偏差を平均信号強度で正規化したもので定義されている。一方、位相シンチレーションは、電波の伝搬経路上の屈折率変動による受信信号の位相変動であるため、電子密度の空間的・時間的変動によって引き起こされる。位相シンチレーション指数 σ_ϕ は、搬送波位相変動の標準偏差で定義される。位相シンチレーションは赤道域および極域のどちらにおいても発生するが、振幅シンチレーションは主に赤道域で大きく、極域では小さいことが知られている。

2. GNSS 受信機による電離圏擾乱の観測

本研究では、ノルウェー・トロムソに設置されている2周波（L1:1575.42 MHzとL2:1227.60 MHz）のGlobal Navigation Satellite System(GNSS) 受信機を用いて、高緯度における位相シンチレーションと振幅シンチレーションの比較・解析を行った。シンチレーション指数は、GPS 衛星から送信される信号強度と位相を、サンプリング周波数 50Hz で観測して調べた。本研究では、位相シンチレーション指数として σ_ϕ ではなく、全電子数(Total Electron Content; TEC)の時系列の差分 (ROT:Rate of TEC)の標準偏差である ROTI(Rate of TEC change

Index) を用いた。本研究では、1秒値のTECを用い、1分毎にROTIを求めた。また、従来の研究では、極域において振幅シンチレーションはほとんど発生しないとされていたが、本観測では低ノイズの受信機を使うことによって極域での弱い振幅シンチレーションを観測することに成功した。

3. 電離圏擾乱の季節・地方時変化

2013年1月から2015年12月までの3年分の観測データをもとに、 S_4 とROTIの季節変動を調べた。図1に、2014年における S_4 とROTIの時間・季節変化を示す。 S_4 とROTIは主に春と冬の夜間に大きな値になっており、季節・地方時依存性が見られた。このような特徴は、極域の夏季は太陽放射による電離生成により電子密度が一様になってしまうが、冬季の夜間では極冠域パッチなどによる電子密度不規則構造が存在するためだと考えられる。しかし、 S_4 とROTIが増大する時間は、必ずしも一致していなかったため、両値の日変動を調べた。このとき、 S_4 とROTIの増大が同時に発生した場合、 S_4 のみが増大した場合、ROTIのみが増大した場合で比較した。 S_4 とROTIが同時に増大するのは主に朝や昼間が多かった。一方のみが増大するのは夜間に多く、ROTIの増大に比べ、 S_4 の増大は長時間継続する傾向がみられた。また、夏の昼間には、ROTIのみ増大する場合もみられた。

4. シンチレーションと光学観測との比較

トロムソにおけるオーロラの光学観測データを用い、33例の全天に広がるオーロラと同時に発生す

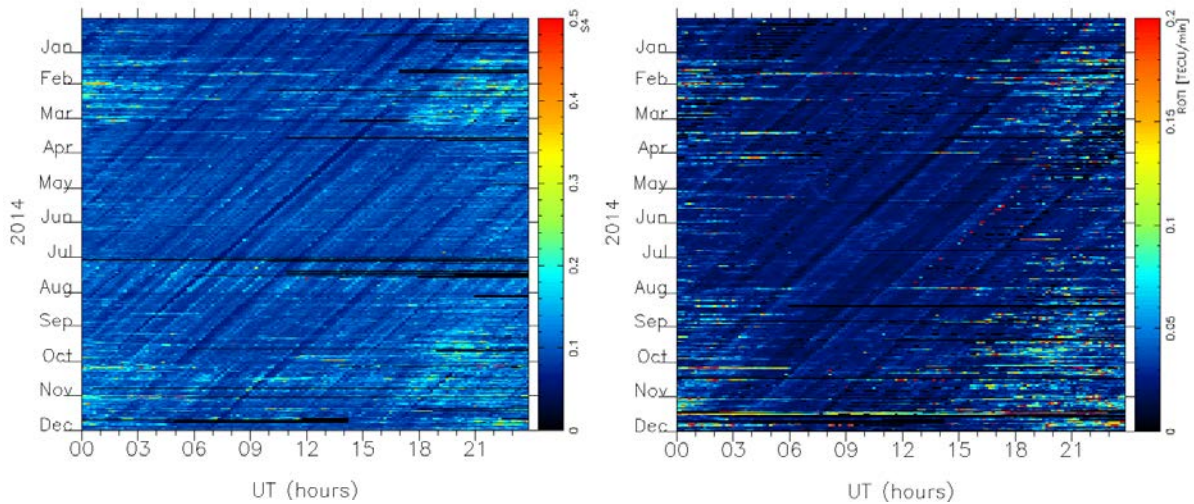


図 1: 2014 年にノルウェー・トロムソにおいて GNSS 受信機で観測された振幅シンチレーション指数 S_4 (左)と電離圏擾乱の指数 ROTI (右) の時間・季節変化。

る位相及び振幅シンチレーションを調べた。33 例のうち 22 例において、シンチレーションが起きていた。全天に広がるオーロラの後には位相シンチレーションは発生せず、振幅シンチレーションが数時間にわたって断続的に発生していた。これは、電離圏電子密度の粗密構造が存在し、電波の回折が起こって振幅シンチレーションが発生したが、粗密構造が存在する高度範囲が狭いため、電波の伝搬経路に沿った積分である位相変動としては変動が小さかったためと考えられる。

5. シンチレーションと全電子数変動との比較

ROTI の増大と振幅シンチレーションの発生とは必ずしも一致しないことが明らかになったが、この不一致の原因を調べるため、互いに 242m 離れた 2 点に設置された受信機を用い、全電子数変動の相互相関係数を調べた。その結果、ROTI は増大しているが、振幅シンチレーションが発生していない場合は、2

点間の全電子数変動の相関が高いことが明らかになった。これは、プラズマ密度の空間構造が無い場合、電波は回折されず、振幅シンチレーションは起こらないためと説明できる。また、冬季昼間には、弱い振幅シンチレーションが頻繁に発生していることが明らかになったが、これは中規模伝搬性電離圏擾乱 (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance; MSTID) に伴うものであると考えられる。

6. まとめ

ノルウェー・トロムソに設置されている 2 周波 GNSS 受信機を用いて、極域における電離圏シンチレーションの発生特性を統計的に明らかにし、オーロラの光学観測及び全電子数観測と比較することにより、シンチレーションを起こす電離圏擾乱の特性について調べた。

[研究発表]

上蔀 広大、大塚 雄一、小川 泰信、細川 敬祐、トロムソにおける GNSS 受信機を用いた電離圏シンチレーション観測、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、幕張メッセ、2015 年 5 月 24-29 日。

上蔀 広大、大塚 雄一、小川 泰信、細川 敬祐、ノルウェー・トロムソにおける GNSS 受信機を用いた電離圏シンチレーションの観測、第 138 回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、東京大学、2015 年 10 月 31 日-11 月 3 日。

大塚 雄一、上蔀 広大、小川 泰信、細川 敬祐、ノルウェー・トロムソにおける GNSS 受信機による電離圏シンチレーション観測、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、幕張メッセ、2016 年 5 月 22-26 日。

坂本 明香、大塚 雄一、小川 泰信、細川 敬祐、ノルウェーにおける GPS 受信機を用いたシンチレーションと TEC 変動の研究、中間圏・熱圏・電離圏研究集会、情報通信研究機構、2016 年 8 月 29-31 日。

(別紙)

参 加 者 一 覧

<input type="checkbox"/> 研究プロジェクト <input checked="" type="checkbox"/> 一般共同研究 <input type="checkbox"/> 研究集会			課題番号	26-15
研究課題名	GNSS受信機及びビーコン受信機を用いた極域電離圏擾乱の研究			
氏名	所属	職	備考	
所内	小川泰信	宙空圏	准教授	
小計	1 名			
所外	大塚雄一	名古屋大学宇宙地球環境研究所	准教授	
	細川 敬祐	電気通信大学	准教授	
	塩川 和夫	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教授	
	山本 優佳	名古屋大学宇宙地球環境研究所	技術専門職員	
	濱口 佳之	名古屋大学宇宙地球環境研究所	技術専門職員	
	足立 匠	名古屋大学宇宙地球環境研究所	技術職員	
	上薮 広大	名古屋大学宇宙地球環境研究所	大学院生	
	坂本 明香	名古屋大学宇宙地球環境研究所	大学院生	
小計	8 名			
合計	9 名			

※研究プロジェクト・一般共同研究・研究集会、いずれかを■にしてください。

※外国人研究者の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

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

※行が不足する場合、適宜追加してください。

(共同研究報告書)

極域・中緯度における地磁気静穏日変化と中性風の長期変動に関する研究

◎新堀淳樹 名古屋大学宇宙地球環境研究所・教授 (研究代表者)

小山幸信 大分工業専門高等学校情報工学科・講師 (共同研究者)

佐藤由佳 国立極地研究所・特任研究員

(国立極地研究所)

門倉昭 教授 (担当教員)

堤雅基 准教授

田中良昌 特任准教授

平成26年～平成28 (3か年) (研究期間)

[研究成果]

地磁気日変化(Sq)の主要因は、昼間側の電離圏 E 領域を中心として高度 90-150 km に流れる電離圏電流である。この Sq 電離圏電流は、電離圏 E 領域での中性大気と電離大気の相互作用を通じて生じたダイナモ電場によって駆動されるため、Sq 場の長期変動の解析を通じて高度 90-150 km に相当する電離圏・熱圏下部領域における長期変動を捉えることができる。これまでの Sq 場の磁場振幅の長期変動に関する研究結果から、Sq 場の長期変動をもたらす主要因は、地球の主磁場の永年変化や太陽活動による電離圏電気伝導度の変化であると考えられている¹⁾。近年、Elias らは、低緯度に分布する3つの地磁気観測点から得られた約40年にわたる長期の地磁気データを解析し、太陽活動を除去した Sq 場の磁場振幅には正のトレンドが存在することを見出した²⁾。しかしながら、解析に使用した地磁気観測点が3点とかなり少なく、赤道域から両半球にまたがる極域にかけての観測事実に基づいた、Sq 場の磁場振幅、およびその磁場変動から見積もられる電離圏ダイナモ電場の長期変動の全球的な描像は未解明の事項として残されている。このような背景の下で本研究では、2009年から開始された大学間連携プロジェクト「Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork: IUGONET」³⁾によってアーカイブされた長期の全球地磁気、太陽活動度、地磁気指数、中間圏・下部熱圏における風速データ、及び電離圏電気伝導度モデル値を用いて、Sq の磁場振幅と電離圏ダイナモ電場の長期変動特性を明らかにし、その要因を考察する。

本研究ではまず、地磁気静穏日を同定するために地磁気指数(Kp)を用いて、各日の Kp 値に対して4を超えない日を地磁気静穏と同定し、その日に該当する中緯度から赤道域における地磁気データの解析を行った。用いた地磁気データは、京都大学地磁

気センターでアーカイブされている1時間値であり、古いものでは、1890年から使用可能となっている。次に、これらの地磁気データから地磁気日変動を抽出するために、南北(X)と東西(Y)成分について真夜中の地磁気の数値からの偏差分を Sq 場による変化とした。ここで、真夜中の地磁気の数値を基準とした理由は、電離圏電気伝導度の値が昼間側に比べて2桁も小さく、ほとんど電離圏電流による効果はないからである。このようにして得られた各静穏日における地磁気変化を各時間に対して1ヶ月平均し、その長期データについて詳細に調べた。これにより、季節変化や太陽活動の地方時依存性を見ることが出来る。

一方、地磁気変動から電離圏電場を見積もる際に電離圏電気伝導度の情報が必要となるが、小山らによって開発された計算ツール⁴⁾を利用して、各地磁気静穏日に対して計算を行い、その1ヶ月平均値を用いた。さらに、電離圏を薄層としてみなし、高度方向に積分された2次元電気伝導度の値を求め、オームの法則にしたがって地磁気変動量から電離圏電場を算出した。

図1は、上のパネルから順に1958年から2015年までの57年にわたる1ヶ月平均された太陽活動度指数(F10.7)を時系列プロットで、中緯度観測点(女満別)と赤道付近の観測点(Guam)で観測された正午付近の電離圏電場(東西、南北成分)をコンタープロットでそれぞれ表している。コンタープロットの縦軸は、月を表す。図1においてF10.7が示すように太陽活動11年周期に同期して、Sq 場の磁場変動から見積もられた電離圏電場が変動していることがいとれる。中緯度の女満別の東西電場成分を除いて電場の大きさが太陽活動極大期に増加する傾向を

(裏面に続く)

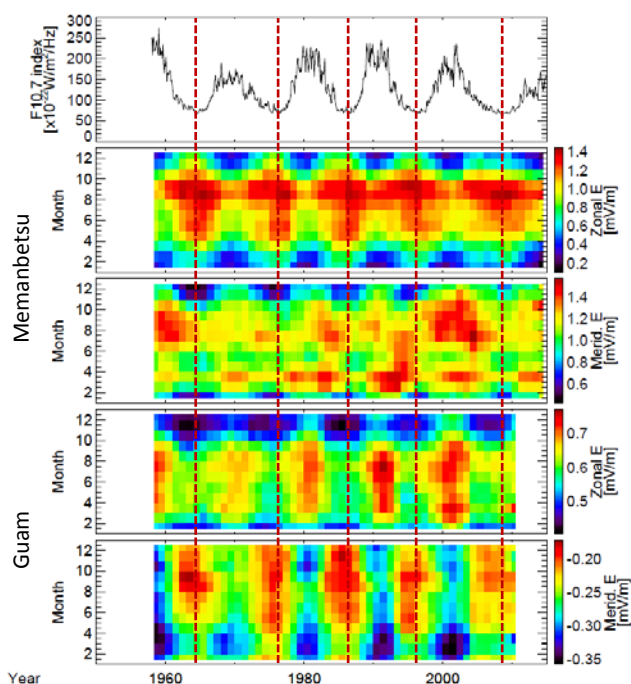


図 1. 1958-2015 年の期間における 1 ヶ月平均された太陽活動指数(F10.7)、女満別とグアムにおける電離圏東西電場。縦の点線は太陽活動極小を示す。

表しているが、中緯度の東西成分のみ太陽活動極小期に小さくなるという太陽活動依存性を示している。また、女満別、および Guam 観測点における電場成分にも顕著な季節変動も見受けられ、その変動の様相は東西・南北成分で異なっていることがわかる。例えば、女満別に着目してみると、東西電場は 8 月に最大、1 月に最小となる 1 年周期変動を示すが、南北電場は 3 月と 8 月付近に極大となり、1 月と 5 月に極小となる半年周期変動を示した。これは電離圏 E 領域における中性大気と電離大気の相互作用で生じるダイナモ電場と分極電場の空間分布が季節に応じて変化することを意味している。

[参考文献]

- 1) Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, Y. Otsuka, and A. Yatagai, Long-term variation in the upper atmosphere as seen in the geomagnetic solar quiet daily variation, *Earth, Planets and Space*, **66**, doi:10.1186/s40623-014-0155-1, 2014.
- 2) Elias, A. G., M. Z. Artigas, and B. F. H. Barbas, Trends in the solar quiet geomagnetic field variation linked to the Earth's magnetic field secular variation and increasing concentrations of greenhouse gases, *J. Geophys. Res.*, **115**, A08316, doi:10.1029/2009JA015136, 2010.
- 3) Hayashi, H., Y. Koyama, T. Hori, Y. Tanaka, S. Abe, A. Shinbori, M. Kagitani, T. Kouno, D. Yoshida, S. UeNo, N. Kaneda, M. Yoneda, N. Umemura, H. Tadokoro, T. Motoba, and IUGONET project team, Inter-university upper atmosphere global observation network (IUGONET), *Data Sci. J.*, **12**: WDS179, 2013.
- 4) Koyama, Y., A. Shinbori, Y. Tanaka, T. Hori, M. Nose, S. Oimatsu, An Interactive Data Language software package to calculate ionospheric conductivity by using numerical models, *Computer Physics Communications*, **185**, 3398-3405, doi:10.1016/j.cpc.2014.08.011, 2014.

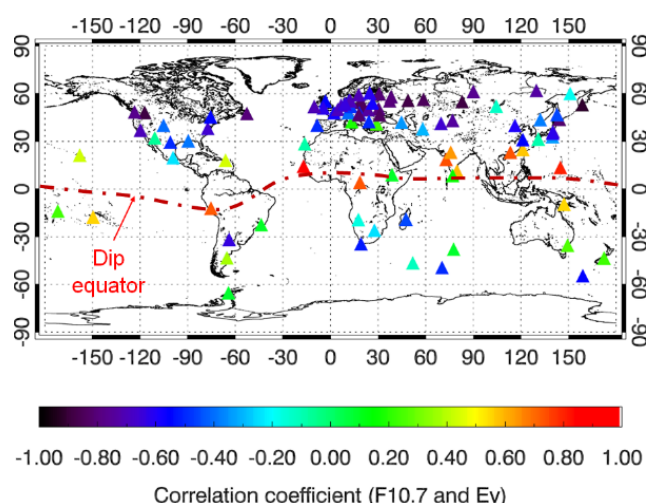


図 2. 正午付近における Sq 場の東西電場と太陽活動度(F10.7)との相関係数の分布。カラーバーは、相関係数の値を示す。赤の点線は伏角赤道を表す。

中緯度と赤道域における Sq 場の東西電場の太陽活動依存性の違いが他の観測点でも見られるかを見るために、中緯度から赤道に分布する約 80 点の地磁気観測点における Sq 場の東西電場と太陽活動度(F10.7)との相関係数の分布を調べた。その結果、図 2 に示されるように、中・低緯度では太陽活動指数と負相関であり、逆に磁気赤道付近では正相関であった。その傾向について地理経度に対する明瞭な依存性は見られなかった。Sq 場の電離圏電場は、熱圏下部領域の太陽潮汐風によるダイナモ作用によって作られるため、これまでの研究結果を基にして考えると、その電場強度には正の太陽活動依存性が見られるはずである。しかし、本研究の結果は、これまでの常識とは逆であり、太陽活動極大期に電離圏ダイナモ電場を小さくさせる機構が存在することを示唆した。

(共同研究報告書 (終了))

グランドミニмум期の太陽風・地球電磁気圏相互作用 (研究課題名)

◎塩田大幸 情報通信研究機構・研究員 (研究代表者)

三宅晶子 茨城高専・准教授 (共同研究者)

松本倫明 法政大学人間環境学部・教授 (共同研究者)

宮原ひろ子 武蔵野美術大学・准教授 (共同研究者)

鷲見治一 アラバマ大学・教授 (共同研究者)

(国立極地研究所)

片岡龍峰 准教授 (担当教員)

平成 27 年～平成 28 年 (2 か年) (研究期間)

[研究成果]

1. 磁気嵐の予測に向けたコロナ質量放出シミュレーションを実現

参考文献：Shiota and Kataoka (2016)

コロナ質量放出がはるばる地球にまで運んで来た強い磁場は、磁気嵐が発生するためのエネルギー源となります。現在、磁気嵐の発生をいち早く予測するために広く使われている類似のシミュレーションでは、常に得られている太陽監視データを使って、どれほどの勢いでコロナ質量放出が発生し、それがいつ地球に直撃するか、という予測が可能です。しかし、磁気嵐の予測に最も肝心の物理量である、コロナ質量放出が引きちぎった磁場は、これらのシミュレーションには含まれていません。そのため、磁気嵐のはじまりそうなタイミングはある程度予測できても、磁気嵐の規模はわからない、という状況でした。本研究では、コロナ質量放出が太陽から引きちぎる「磁場」も、太陽監視データのみを用いて入力できる新しい方法を発案し、「磁場入り」のコロナ質量放出シミュレーションを実現しました。

コロナ質量放出の磁場は、前方の遅い太陽風に追突して圧縮されたり、複数のコロナ質量放出が複雑に重なりあって強化されたりします。

今回、新たに開発されたシミュレーションでは、コロナ質量放出が短時間に何度も発生し、まわりの太陽風を押し分けながら、複雑に変化していく様子も自動的に再現される、ということも本研究によって確認されました。これまでは非常に予測しづかった磁気嵐であっても、事前にその発生を予測できるようになることで、人工衛星などへの被害を未然に防ぐといった貢献も期待されます。

2. 航空機高度での宇宙線被ばく量を 2024 年まで予測

参考文献：Miyake, Kataoka, and Sato (2017)

現在、太陽活動は次第に弱まっていることが知られています。太陽活動の弱い時期には、宇宙線が地球に到達しやすくなり、国際宇宙ステーションや航空機での被ばく量が増加します。そのため、宇宙線強度や被ばく量の今後の変化を正確に予測することが求められますが、これまでの予測では、太陽活動の強弱によって増減する太陽黒点数などを基にした半経験的な手法が用いられており、実際の測定値との大きな差が指摘されていました。

本研究では、宇宙線の物理プロセスを考慮した宇宙線伝播シミュレーションを開発しました。このシミュレーションで 1980 年～2015 年の宇宙線の強度を再現したところ、測定値とよく一致しました。

さらに、このモデルを用いて 2016 年～2024 年の航空機高度での被ばく線量を予測しました。その結果、今後の太陽活動極小期前後 5 年間における年間被ばく量の平均値は、前回の極小期 (2009 年) 前後 5 年間の平均値と比較して約 19% 増大するという結果を得ました。この値はただちに航空機乗務員の健康に悪影響を与えるほどの増加量ではありません。しかし、年間線量の上限值付近まで働く航空機乗務員は、今後の太陽活動の低下に注意しなければいけないことを示しています。また、過去の宇宙線の増減の 11 年周期などの痕跡は年輪や氷の同位体 (^{14}C や ^{10}Be) に記録されているため、本研究で得られた成果は、太陽活動が数十年にわたって極端に低下したグランドミニмумの太陽風の状況を再現する研究の理論的な基礎になることも期待されます。

[参考文献]

1) Shiota, D., and R. Kataoka, Magnetohydrodynamic simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME), Space Weather, doi:10.1002/2015SW001308.

2) Miyake, S., R. Kataoka, and T. Sato, Cosmic Ray Modulation and Radiation Dose of Aircrews During the Solar Cycle 24/25, Space Weather, doi:10.1002/2016SW001588.

グローバル MHD シミュレーションによる電離圏対流とプラズマシートシンニングの同時発達の検証

◎吉備国際大学地域創成農学部・教授 橋本 久美子
 名古屋大学・名誉教授 菊池 崇
 (担当教員) 国立極地研究所・教授 門倉 昭
 (研究期間) 平成 27 年～平成 28 年 (2 か年)

[研究成果]

本研究課題では、太陽風磁場の南向き変動によるプラズマシートシンニングをグローバル MHD シミュレーションにより再現し、衛星・地上の観測データと比較することにより、内部磁気圏および磁気圏尾部への対流電場の伝送過程を検証する。

これまで、極域電離圏電場の発達から数分遅れて、partial ring current による磁場減少が全ての地方時で同時に発生することを示した (Hashimoto, Kikuchi 他, 2002)。また、極域 DP2 電流の発達から数分以内に、静止衛星軌道でプラズマシートシンニングが開始される事を示した (Hashimoto and Kikuchi, AGU Monograph, 2005)。このほか、内部磁気圏の電場が極域 DP2 電流発達から 1 分程度の遅れで発達することが内部磁気圏衛星により観測された (Nishimura, Kikuchi 他, 2009)。磁気圏対流電場が赤道電離圏まで侵入することは DP2 電流として知られている (Nishida, 1968) が、中低緯度電離圏の南北方向電流により極域から中緯度を經由して赤道電離圏へ伝送されることが明確になった (Kikuchi, Hashimoto 他, 2010)。これらの結果を総合すると、太陽風磁気圏相互作用の結果発生する磁気圏対流電場がまず極域電離圏へ伝送され、電離圏を中緯度から赤道へ高速で伝搬し、さらに電離圏から内部磁気圏へ伝送されると推定される。

一方、グローバル MHD シミュレーションにより substorm growth phase 時に plasma sheet thinning が発達することが再現された (Tanaka, Kikuchi, Hashimoto 他, 2010)。MHD シミュレーションでは、磁気圏と電離圏が沿磁力線電流により結合されており、この M-I 結合は、電離圏で Poisson 方程式を解き、得られた電離圏電場を内部境界条件として磁気圏へ反映させることで実現されている。言い換えると、極域電離圏電場が中低緯度電離圏へ瞬時に伝搬し、さらに電離圏から内部磁気圏へ伝送されることを示唆している。磁気圏対流が磁気リコネクションにより生成された磁気フラックスの移動 (Dungey, 1961) によるなら数 10 分の時間遅れが予想されるが、これが現実的でないことが示された (Tanaka, Kikuchi, Hashimoto 他, 2016)

これまでの電離圏電場の伝搬に関する解析は、MHD シミュレーションの結果と矛盾しない。しかし、中低緯度から赤道の磁場データを用いているために、電離圏電流が十分な強度を持つ昼間に限られていた。このため、夜側内部磁気圏で発生するプラズマシートシンニングに直接関係する夜側電離圏電場の観測が必要になった。

本課題ではまず、電通大 HF Doppler 観測データから substorm や DP2 時に中緯度電離圏で発達する電場を抽出することを試みた。こののち、プラズマシートシンニングとの相関解析をおこない、さらにグローバル MHD シミュレーションで再現される電離圏電場とプラズマシートシンニングの比較解析をおこなう。

平成 27 年度はまず、電離圏電場の夜側での特性を調べるために、DP2 型電離圏電流を伴うことが知られている磁気嵐急始 (SC) に着目して、HF Doppler データを解析した。この結果、夜側の電場が昼側の電場と逆向きであることに加えて、夕方の電場が昼間と同じ向きになる”夕方異常”を示すことを明らかにした。この成果を JGR 誌に発表した (Kikuchi, Hashimoto 他, 2016)。

(裏面に続く)

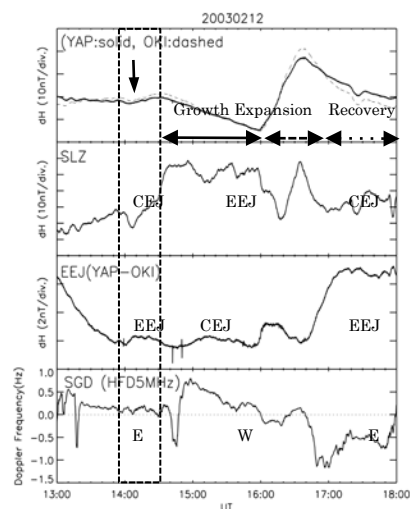


図 1 上から Yap と沖縄、Sao Luiz の地磁気 H 成分、夜側の EEJ、菅平の HF Doppler 観測。2003 年 2 月 12 日に IMF の南向き変動により 1430UT にサブストーム成長相が始まった。

これと並行して 27 年度および 28 年度には、Substorm 時に夜側電離圏で発達する電場を検出し、磁場から求められた昼間の電場と逆向きであるだけでなく、expansion phase の開始と同時に領域 2 型沿磁力線電流の発達による過遮蔽電場が卓越することを見出した。この成果は論文にまとめ、投稿を予定している (Hashimoto, Kikuchi 他、2017)。

このほか、中緯度の HF Doppler を用いた解析の過程で、極域電離圏対流とプラズマシートシンニングの速い応答以外にも新しい応答があることを見出した。

急激な IMF 南向き変動により、グローバルな電離圏で対流電場が強まる直前の約 5 分から 20 分間に以下の特徴が見られた。

1. 中低緯度ではすべての地方時で同時に磁場 H 成分が減少する。
2. 昼側赤道において、カウンター赤道ジェット（西向き）電流が強まる。
3. 夜側赤道において、赤道ジェット（東向き）電流が強まる。
4. 夜側低緯度では、HF Doppler サウンダーにより東向き電場が観測される。

[参考文献]

- Dungey, J. W., Interplanetary magnetic field and the auroral zones, *Phys. Rev. Lett.*, 6(2), 47–48, 1961.
- Hashimoto K. K., T. Kikuchi and Y. Ebihara, Response of the magnetospheric convection to sudden interplanetary magnetic field changes as deduced from the evolution of partial ring currents, *Journal of Geophysical Research*. *J. Geophys. Res.*, 107(A11), 1337, doi:10.1029/2001ja009228, 2002
- Hashimoto K. K. and T. Kikuchi, Quick response of the near-Earth magnetotail to changes in the interplanetary magnetic field, In “The Inner Magnetosphere: Physics and Modeling”, *Geophysical Monograph Series 155*, edited by T. I. Pulkinn, N. T. Tsyanenko and R. H. Friedel, p.47-53, American Geophysical Union, Washington DC, 2005.
- Nishida, A. (1968), Coherence of geomagnetic DP2 magnetic fluctuations with interplanetary magnetic variations, *J. Geophys. Res.*, 73, 5549–5559, doi:10.1029/JA073i017p05549.
- Nishimura Y., T. Kikuchi, J. Wygant, A. Shinbori, T. Ono, A. Matsuoka, T. Nagatsuma, D. Brautigam (2009), Response of convection electric fields in the magnetosphere to IMF orientation change, *J. Geophys. Res.*, 114, A09206, doi:10.1029/2009JA014277.
- Tanaka, T., A. Nakamizo, A. Yoshikawa, S. Fujita, H. Shinagawa, H. Shimazu, T. Kikuchi, and K. K. Hashimoto (2010), Substorm convection and current system deduced from the global simulation, *J. Geophys. Res.*, 115, A05220, doi:10.1029/2009JA014676.
- Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, R. Kataoka (2016), Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi: 10.1002/2016JA022822.

[28 年度発表論文]

Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, I. Tomizawa, Y. Ebihara, Y. Nishimura, T. Araki, A. Shinbori, B. Veenadhari, T. Tanaka, and T. Nagatsuma, 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, 2016.

5. 継続時間は約 5 ~ 20 分である。

事例を図 1 に示す。

これらの地磁気と電場の観測データの特徴は太陽風動圧が減少したときの磁気圏電離圏応答である negative SI 発生時と共通している。動圧が下がることにより低緯度では磁場 H 成分がすべての地方時で同時に減少し、同時に極から赤道電離圏に dusk-to-dawn(対流電場と逆向き)電場がかかる。同様の特徴は、太陽風動圧の急激な変動がない場合にも、8 事例についてみられた。IMF 南向き変動に対する磁気圏電離圏の応答過程として、これまで対流電場の発達に注目してきたが、磁気圏が膨張ないしは磁気圏内が減圧することと等価な応答があることを示唆する結果である。本研究の前提としていた磁気圏電離圏対流の応答がそれほど単純ではないことを示唆する。

今後、事例を増やしこれらの特徴が太陽風中の動圧と関係なく発生するかどうか明らかにし、IMF の変動に対する磁気圏対流の応答と言えるのか確認する必要がある。

(共同研究報告書 (終了))

極域サブストーム発生機構の研究 (研究課題)

◎田中高史 九州大学 名誉教授 (研究代表者)
 鷲見治一 アラバマ大学 研究員 (共同研究者)

(国立極地研究所)
 片岡龍峰 准教授 (担当教員)
 平成 27 年～平成 28 年 (2 年) (研究期間)

[研究成果]

1. 問題の背景

サブストームでは、一連のオーロラ擾乱と磁場変動が逐次発生し、それらは成長相、オンセット、拡大相、回復相という phase で特徴づけられると考えられています。このうちサブストームを最も特徴づけるオンセットは、真夜中付近からオーロラが突然輝き出す現象です。これは地球惑星科学に多くある、不連続性発生問題の一つと考えられます。またオンセット前の成長相では、オンセットを予言するかのように quiet arc (薄い帯状オーロラ) が現れます。またオンセット後の拡大相では、westward traveling surge (WTS) という明るく西方に移動する独特のオーロラが発生します。これらのオーロラ発生を一連の現象として理解するのは難問で、磁気圏物理学最大の未解決問題と言えるでしょう。

各オーロラがどのように発生するかは良く研究されています。問題は各オーロラに対応して、磁気圏でどのような変動が進行しているかを知ることです。本課題では、オーロラ (主にアークタイプ) は沿磁力線電流 (FAC) と共存し、各 phase における FAC の起源を解明すれば、サブストームの原因も自ずから明らかになる、という観点で研究を進めました。

FAC の起源はこれもまた難問です。観測からは FAC を磁気圏までトレースすることができません。それどころか、FAC の場所の磁力線を磁気圏までトレースすることさえできません。良く見かける FAC のトレース図は、ほとんどカートゥーンで書かれたものばかりで、信憑性は定かではありません (おそらくほとんどが誤り)。この点から、サブストーム研究は停滞を余儀なくされているようです。

この研究ではサブストームと FAC をシミュレーションで再現し、トレースを可能にしました。またシミュレーション結果から FAC を理解する上で、2 つのポイントを設定しました。第 1 は FAC は磁気圏の運動を電離圏に伝えるものであり、FAC がどの

ような運動を伝えようとしているかを知らなければならぬという点です。第 2 は、FAC は電離圏にエネルギーを供給するものであり、ダイナモによるエネルギー変換が必要であるという点です。したがってダイナモの駆動機構を知る必要があります。これらの観点を追求すれば、一連のサブストームオーロラを、対流発展の結果として統一的に説明することができることが分かりました。

2. シミュレーションの概要

本研究では、サブストームシミュレーションの解から FAC のトレースを行いました。用いたシミュレーションは、REPPU (REProduce Plasma Universe) コードです。このコードは電離圏解像度を上げることに主眼を置いて開発されています。そのため、特異点を持たない非構造格子を採用し、多量の計算に耐えるため、ハイブリッド並列となっています。総格子数は約 1 億、電離圏での解像度は 0.5 度となっています。現在 REPPU コードに対抗できるシミュレーションは世界のどこにも存在しないでしょう。

今までは、MHD を破る過程がサブストームを生じさせると思われていました。グローバルシミュレーションの解像度を上げると、サブストームが再現されるといふ事実は常識を否定するものでしょう。計算されたプラズマ分布と FAC から予想される一連の電離圏上のオーロラを描画すると、観測と寸分違わず一致し、これによって得られた解の信憑性は、疑う余地のないものであることが確認されます。以下では、解の解析から、各 phase で磁気圏がどのような変動をし、どのようなメカニズムで FAC を生成しているかについて、判ったことを報告します。

3. 成長相

成長相の対流は、ローブからプラズマシートに侵入せず、東西に曲げられ、プラズマシート表面をかするようにして、地球から比較的遠い領域 (>10Re)

を通過して、昼側に達します。このような対流はローブプラズマシート間にシアアを含み、このシアアを電離圏に伝達する FAC が quiet arc を生成します。ダイナモはマントルにあります。このような対流の原因は、プラズマシートはそのトポロジーから電離圏との結合が弱く、電離圏電場とカップルした対流運動が困難なためです。

内部磁気圏では磁気圏と電離圏がカップルした対流が実現し、プラズマシート内端から磁場が運び出されます。これが thinning を引き起こします。

quiet arc に伴う FAC は、電離圏から上空に向かうにつれ、徐々に磁力線の方向からずれ、ローブプラズマシート境界に至ります。このずれを認識しないと、FAC は 10Re 以内の内部磁気圏に至ると勘違いしてしまいます。今までのサブストーム研究では、ほとんどこのような勘違いが行われています。

4. オンセット

サブストームで特に着目されるのが、オンセットです。今までのオンセットモデルは、current wedge(CW)に尽きるといえます。これは尾部にある電流が切断され、電離圏に短絡し、その際の FAC がオンセットオーロラを輝かせるというものです。本研究では、このモデルは歴史的な誤りであると結論されました。

グローバルシミュレーションからは、地球近傍ダイナモという別の機構が発見されました。これは初めての CW でないオンセットモデルといえるでしょう。地球近傍ダイナモは、インジェクション（プラズマ注入）によって内部磁気圏にコンパクトな圧力領域が形成され、これが過渡的なダイナモを形成し、FAC を発生するという機構です。またオンセット FAC を別の面から見れば、インジェクションを起こすプラズマ流 (squeezing) の渦を電離圏に投影していることも示しました。

[研究発表]

Tanaka, T. (2015), Substorm auroral dynamics reproduced by the advanced global M-I coupling simulation, In Auroral dynamics and space weather, Geophys. Monogr. Ser., vol. 215, edited by Y. Zhang and L. J. Paxton, p. 177, AGU, Washington D. C.

Ebihara, Y., and T. Tanaka (2015), Substorm simulation: Insight into the mechanisms of initial brightening, J. Geophys. Res., 120, doi:10.1002/2015JA021516.

Ebihara, Y., and T. Tanaka (2015), Substorm simulation: Formation of westward traveling surges, J. Geophys. Res., 120, doi:10.1002/2015JA021697

Washimi, H., G. P. Zank, Q. Hu., T. Tanaka, and K. Munakata (2015), MHD modeling of the outer heliospheric structures around the heliopause, ApJ, 809:16 (12pp), doi:10.1088/0004-637X/809/1/16

Tanaka, T., M. Watanabe, M. Den, S. Fujita, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, and R. Kataoka (2016), Generation of field-aligned current (FAC) and convection through the formation of pressure regimes: Correction for the concept of Dungey's convection, J. Geophys. Res. Space Physics, 121, doi:10.1002/2016JA022822.

インジェクションは対流経路変更に伴う過渡現象です。オンセット後の対流はプラズマシートに侵入し、10Re 以内の内部磁気圏を経由します。この経路変更は力バランスの変更を伴う状態遷移です。プラズマシート対流は、電離圏対流とは切り離されており、磁気張力により駆動されます。

FAC の一般論として、FAC の起源は常に圧力領域形成によるダイナモであり、flow braking で FAC が生成されるというカートゥーンは誤りであることが結論されました。反平行リコネクションと Dungey 対流で理解される伝統的磁気圏物理学も、このような誤りで構成されています。磁気圏物理学の正しい理解には、ヌルーセパレーター構造、ダイナモ、FAC を構成する必要があります。

5. 拡大相

拡大相の WTS は東西に拡大する圧力領域のダイナモと電離圏 Hall 電流発散の協同で発生することが示されました。電離圏伝導度が、上向き FAC で上昇し、FAC の変動を生じ、これが磁気圏ダイナミクスを変動させるという、磁気圏—電離圏結合系ダイナミクスの結果が WTS です。詳しくは後ほど報告しますが、同じようにしてオメガやトーチも説明可能でしょう。

6. 結論

これまでの観測から推定されたサブストームのカートゥーンは、大抵は誤りであったという結論です。衛星観測によるサブストーム科学というアメリカ文明に対して、グローバルシミュレーションによる解決というのが日本の研究です。サブストームは、複合系科学であり、部分的な構造を取り出して説明することはできないでしょう。これは、地球惑星科学全般の真理であり、物理学と異なる地球惑星科学の本質です。

(共同研究報告書 (終了))

放射線帯粒子と磁気異常帯に入射する粒子との関連について (研究課題)

◎池田 慎 武蔵大学人文学部・教授 (研究代表者)
巻田和男 拓殖大学・名誉教授 (共同研究者)
加藤泰男 名古屋大学・技術補佐員
大川隆志 気象庁地磁気観測所・主任研究官
西野正徳 元名古屋大学・助教授
(国立極地研究所)
門倉 昭 教授 (担当教員)
平成28年～平成28年 (1か年) (研究期間)

[研究成果]

磁気異常帯域での発光現象を調べるために、これまでブラジル・サンタマリア市郊外のブラジル南部宇宙観測所及びアルゼンチン・ラプラタ大学附属トレレウ地磁気観測所において CCD カメラを設置し、観測を行ってきた。2017 年度にはブラジルとアルゼンチンの中間地帯であるウルグアイのアイグア観測所に CCD カメラ等の観測機器を設置し、観測を開始した。下図に観測所に設置したカメラと観測された大気光(多重バンド)現象を示す。



アイグア観測所(ウルグアイ)の屋上に設置した CCD カメラと GPS アンテナ



多重バンド (大気光) 現象
2016・Oct 21, 10h08mUT, Aigua Obs.

今後の課題

CCD カメラは PC コントロールされ、100km 程離れたモンテビデオの対応研究者がインターネットにより観測データの収集を行うことになっている。ただ、カメラシステムは完全自動化でなく、手動によりレンズ蓋の開け閉めやレンズのクリーニング等を行う必要がある。今後、光学データの収集を継続するためには、観測所の管理人によるサポート体制を確立することが重要である。

[研究発表]

2016 年武蔵大学人文学部雑誌 (武蔵大学人文学部の紀要) 第 48 巻第 1 号¹⁾において、プラズマが高温の場合の近似として、高エネルギー相対論的粒子を含む、弱相対論的プラズマの形式的な分散式が導出された。プラズマ圏の内側で行われている HAARP 送信実験や、放射線帯粒子によるホイスラーモード波の生成・伝播・増幅・減衰の波動探査、さらには、放射線帯粒子のような相対論的粒子の散乱・降り込み等による宇宙線の吸収の問題等にも、これを適用する事を考えている。今後、数値計算を試みながら、観測との比較を予定している。この論文はまだ不完全ではあるが、ホイスラーモード線形増幅率導出のための分散式が、変数に運動量を使いながら、プラズマが高温の場合の近似として導出された。プラズマは、数少ない高エネルギーの相対論的粒子を含む、弱相対論的プラズマとして仮定されている。

(裏面に続く)

武蔵大学人文学会雑誌第46巻第2号(2014)²⁾の増幅率の結果は、プラズマが低温の場合の近似として導出され、低温近似プラズマによる、ホイスラーモード弱相対論的線形増幅率であった。今回の武蔵大学人文学会雑誌第48巻第1号1)の論文の目的は、プラズマ圏内、放射線帯の高温弱相対論的粒子

に適用される。数少ない相対論的高エネルギー粒子を含むプラズマに対するこれらの結果は、温度による効果も含み、まさに、プラズマ圏の内側で生じる様々な散乱・降下する粒子探査の一助となると思われる。

[参考文献]

- 1) 池田 慎、武蔵大学人文学会雑誌、第48巻、第1号、裏P49-裏P59 (2016)
- 2) 池田 慎、武蔵大学人文学会雑誌、第46巻、第2号、裏P1-裏P7 (2014)

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（2）気 水 圏

極地雪氷中の金属成分解析によるエアロゾル気候変動の研究

◎鈴木利孝 山形大学学術研究院理学部・教授（研究代表者）

飯塚芳徳 北海道大学低温科学研究所・助教（共同研究者）

（国立極地研究所）

本山秀明 教授（担当教員）

平成 26 年～平成 28 年（3 か年）

【研究成果】

エアロゾルは、それが持つ放射強制力や化学組成により、地表のエネルギーと物質の循環をコントロールし、地球の気候と環境の変動に深く関与している。過去の地球気候変動にエアロゾルが果たしてきた役割を解明するには、極地において採取された氷コア中の金属成分を測定することが有効な手法となる。これまで、氷コアに含まれる溶存イオン種の CFA (e.g. Bigler et al., 2006)、濾過によって集めた粒子の PIXE 測定 (e.g. Ghermandi et al., 2003)、酸可溶性部分の ICP-SFMS 測定 (e.g. Gaspari et al., 2006) 等の研究例が報告されてきた。南極氷床に供給、保存されている粒状物、特に鉱物粒子、に含まれる金属成分の多くは難溶性であり、コア中の難溶性金属成分の重要性が指摘されている (e.g. Traversi et al., 2004; Gaspari et al., 2006)。最近の室内実験においても鉱物粒子中の金属成分は酸性条件下で速やかには溶出しないことが証明されている (Rhodes et al., 2011)。このような問題を解決するためには、コアの全分解分析が有効であるが、これまで鉄についてのわずかな測定例 (Gaspari et al., 2006) があるのみである。本研究では、氷コアを蒸発乾固させ、その残留物を酸で全分解することにより、氷コアに含まれる Al、Na 等金属成分の全濃度（溶存態+粒子態）を測定することを試みた。これにより、粒状物、溶存物を問わず、南極氷床に供給された鉱物および海塩エアロゾルの定量的解析を進めることが可能となる。

本研究では、第 1 期および第 2 期ドームふじ深層氷コア (DF コア) に含まれる Al、Na をはじめとする金属成分の全濃度（溶存態+粒子態）を測定し、過去

72 万年の気候変動に伴う、(1) 海洋および地殻起源エアロゾルの南極氷床への輸送量の変遷、(2) エアロゾルの供給源の変遷および変質等を明らかにすることを目的とした。

氷コアから厚さ約 7cm、質量約 50g の氷片を分取して 1 試料とした。氷表面の汚染を除去した後、ポリエチレン容器内で全量を融解させ、0.1N 硝酸溶液とした。溶液をテフロン製容器内で蒸発乾固させた後、残渣を硝酸とフッ化水素酸を用いたマイクロ波分解法で全分解し、ICP 質量分析法により、Al、Fe、Mn、Na、Mg、Ca、Ba、Sr の濃度を検量線法により測定金属全濃度の分析結果から算出した鉱物および海塩エアロゾルフラックスの過去 72 万年のフラックスを図 1 に示した。鉱物・海塩フラックスは Mid-Brunhes Event (MBE) に相当する約 43 万年前以降に振幅が

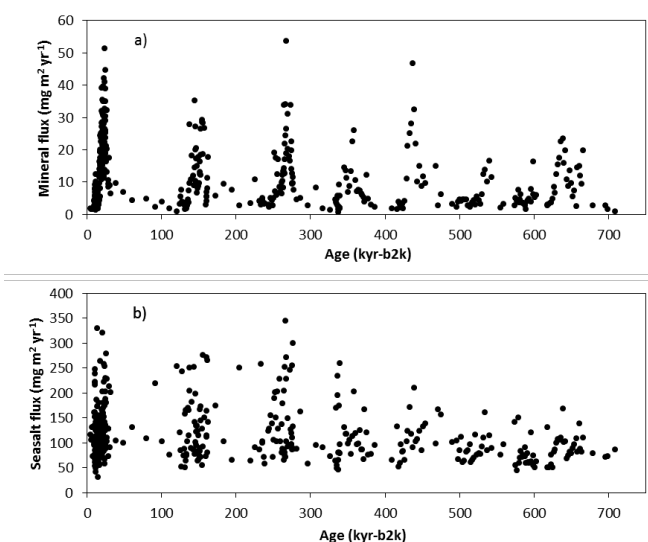


図 1 南極ドームふじにおける過去 72 万年にわたる a) 鉱物エアロゾル、b) 海塩エアロゾルフラックス変動

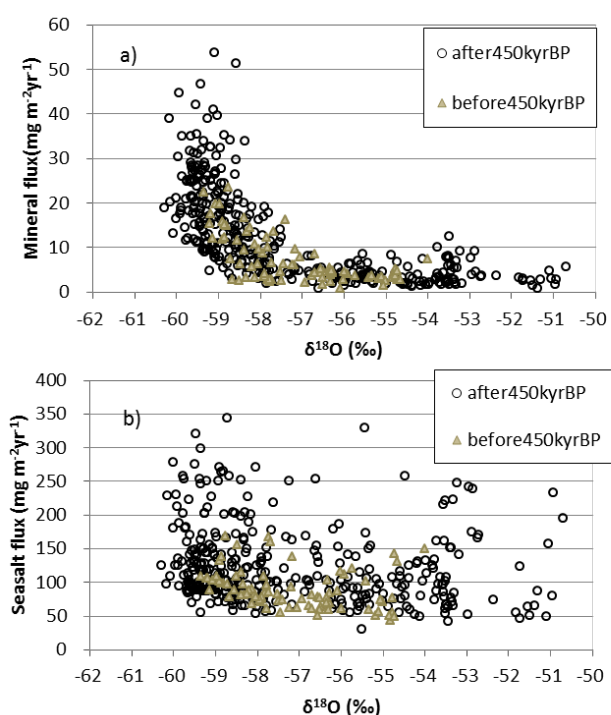


図2 $\delta^{18}\text{O}$ と a) 鉱物エアロゾル、b) 海塩エアロゾルフラックスとの関係。45 万年前以前のデータを Δ 、以後のデータを \circ で表示した。

大きくなることがわかった。この結果は、これまでに得られている DF コアや EDC コアなどにおける $\delta^{18}\text{O}$ やダスト濃度の結果と一致する。

気温の指標となる $\delta^{18}\text{O}$ に対する鉱物・海塩エアロゾルの関係を図 2 に示した。鉱物エアロゾルフラックスは、 $\delta^{18}\text{O}$ が約 -57‰ を境に急増することがわかった。 $\delta^{18}\text{O}$ が -57‰ 以上において両者の相関関係は $R^2 = 0.0006$ と極めて小さかったのに対し、-57‰ 以下では $R^2 = 0.355$ の寄与率を示した。海塩エアロゾルと $\delta^{18}\text{O}$ の関係については鉱物エアロゾルのそれと比べてばらつきが大きく、一見して有意の相関性は認められなかった。海塩エアロゾルのフラックスは 45 万年前以降、 $\delta^{18}\text{O}$ 値によらず全体的に大きくなったが、鉱物エアロゾルでは $\delta^{18}\text{O}$ が -57‰ 以下になるとフラックスが急増した。このことは、海塩エアロゾルの大部分は南極大陸近傍の海洋あるいは海氷から供給されるため、その供給量は全球的気候変動よりも地域気象に強く依存することが予想される一方、鉱物エアロゾルの大部分は南極大陸から遠く離れた陸地から長距離空輸されたものであり、その供給量は全球的気候変動と子午面循環に強く依存することを示しているのではないかと考えられる。

【参考文献】

- Bigler et al., Aerosol deposited in East Antarctica over the last glacial cycle: Detailed apportionment of continental and sea-salt contributions, *Journal of Geophysical Research*, **111**, D08205, 2006.
- Gaspari et al., Atmospheric iron fluxes over the last deglaciation: Climatic implications, *Geophysical Research Letters*, **33**, L03704, 2006.
- Ghermandi et al., Elemental composition determined by PIXE analysis of the insoluble aerosol particles in EPICA-Dome C ice core samples representing the last 27000 Years, *Geophysical Research Letters*, **30**, 21-76, 2003.
- Traversi et al., Aluminium and iron record for the last 28 kyr derived from the Antarctic EDC96 ice core using new CFA methods, *Annals of Glaciology*, **39**, 300-306, 2004.

【研究発表】

鈴木利孝, 米倉綾香, 飯塚芳徳, 平林幹啓, 本山秀明

南極ドームふじコア中の金属成分, 2016 年度雪氷研究大会, 名古屋大学, 名古屋, 2016.

荒井美穂, 鈴木利孝, 飯塚芳徳, 平林幹啓, 本山秀明

南極ドームふじ深層コア中の金属成分, 2015 年度雪氷研究大会, 信州大学, 松本, 2015.

共同研究報告書（終了）

地中レーダー（GPR）の南極氷床、山岳氷河、多年性雪渓への適用に関する研究（研究課題）

◎立山カルデラ砂防博物館・主任学芸員 福井幸太郎（研究代表者）

立山カルデラ砂防博物館・学芸課長 飯田 肇（共同研究者）

（国立極地研究所）

藤田秀二 准教授（担当教員）

平成 26 年～平成 28 年（3 か年）（研究期間）

【研究成果】

1. はじめに

国立極地研究所所有の地中レーダ（GPR:GSSI 社製 SIR3000）は第 48/49 次隊の日本スウェーデン内陸トラバース旅行や第 54 次隊の内陸旅行の際にフィルム層の内部構造探査に使われた。南極氷床上では、等年代層が数 100km にわたって追跡できるため過去数百年間の涵養量の空間分布を推定するのに有効であることが分かってきている。今後も氷河・氷床の内部構造探査に積極的に活用していく予定である。

この地中レーダによる氷河観測の有効性や限界について検討するために 2014～2016 年 5～9 月にかけて飛騨山脈北部およびブータンヒマラヤの氷河・雪渓で地中レーダを用いた内部構造探査を実施した。使用するアンテナの周波数は 100MHz である。今回はサンプリング間隔を変化させてサンプリング間隔の違いが取得データにどのような影響を与えるのか検証した。



図 1 ガンジュラ氷河上流部での GPR 探査. アンテナの周波数は 100MHz. 2014 年 10 月 12 日撮影.

2. 結果

【ブータンヒマラヤ・ガンジュラ氷河】 ガンジュラ氷河はブータンヒマラヤの標高 5000m 付近に位置する長さ 1km 程のサドル（鞍部）氷河である。2014 年 10 月に名古屋大学と共同で 100MHz アンテナを用いて氷厚観測を行った。その結果、鞍部付近で氷厚がもっとも厚く 70m 近くに達していることが分かった。縦断方向の測線では岩盤からの反射が不明瞭であったが横断方向の測線では明瞭であった。

【内蔵助雪渓】 2016 年 10 月に 100MHz アンテナを用いた氷厚観測を実施した。その結果、氷厚は最大 25 m に達することが分かった。岩盤からは非常に強い反射がえられた。データのサンプリング間隔を 16 回/秒から 24 回/秒に増やしたところ氷体内部の礫層からの反射も明瞭にとらえることができるようになった。

3. まとめ

(1) 100MHz アンテナは、厚さ 70 m までの氷厚探査に有効であることを海外の氷河でも確認できた。

(2) データのサンプリング間隔を可能な限り多くした方が岩盤や内部層からの反射を明瞭にとらえることができることが分かった。

今後も国内外の氷河や南極氷床で最適な氷厚および内部構造観測ができるように立山・劔岳の氷河、多年性雪渓で gain 調整やサンプリング間隔などのセッティングを煮詰めていく。

（裏面に続く）

[研究発表]

- (1) 福井幸太郎・飯田肇 (2015) : 立山連峰の氷河と万年雪, とやまと自然, 148, 1-8.
- (2) 福井幸太郎・飯田肇 (2015) : 日本の氷河. 『低温環境の科学事典』. 朝倉書店, 278-279.
- (3) 福井幸太郎・飯田肇 (2015) : 日本にも現存していた氷河ー立山劔岳での現地観測からー. 地理月報. 543号, 6-9.
- (4) 藤田秀二・福井幸太郎・中澤文男・榎本浩之・杉山慎 (2015) : 日本-スウェーデン共同南極トラバース 2007/2008 実施報告: II .現地調査活動報告. 南極資料, 59(1), 87-161.
- (5) 藤田秀二・福井幸太郎・中澤文男・榎本浩之・杉山慎・藤井理行・藤田耕史・古川晶雄・原圭一郎・保科優・五十嵐誠・飯塚芳徳・伊村智・本山秀明・スーディクシルヴィアン・植村立 (2014) : 日本-スウェーデン共同南極トラバース 2007/2008 実施報告: I .企画立案・事前準備と科学研究成果の概要. 南極資料, 58(3), 352-392.
- (6) Kariya Yoshihiko, Kuniyasu Mokudai, Tatsuto Aoki and Kotaro Fukui (2015): Guidebook for XIX INQUA Post-Congress Excursion, PO-8. Quaternary geology and geomorphology in the Japanese Alps (August 3rd to 6th 2015), 54p

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

(共同研究報告書 (終了))

雪氷コアを用いたアジアダスト輸送の季節性と沈積フラックスの解明

◎長島 佳菜 国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター・技術研究員
鹿山 雅弘 東北大学学際科学フロンティア研究所新領域創成研究部・助教 (平成 26-27 年度のみ)

(国立極地研究所)

東 久美子 教授

平成 26 年～平成 28 年 (3 か年)

[研究成果]

1. はじめに

アジアを起源とする風送ダストの長距離 (数千～数万 km) 輸送は、地球環境に多大な影響を与え (例えば放射強制力 (Tegen et al., 1996) や海洋の基礎生産に与える影響 (Maher et al., 2010) など) 近年大きく注目されている。しかし、これまでに得られている観測データの期間が短く (単発のダストイベント～数年)、ダストの供給源や輸送量、さらにはそれらの経年変化とその要因についての評価が遅れている。そこで本研究では、カナダで採取された雪氷コアを用いて、Ca イオン濃度の計測を基にアジアダスト輸送量の過去 100 年間の変動を復元し、その季節・経年変動を明らかにし、変動要因の検証を行った。更に石英の粒子単位のカソードルミネッセンス分析を基に、雪氷コア中のダスト粒子の供給源推定を試みた。

2. 対象試料・分析項目

アジアダストの主要な供給源から約 10,000 km に位置するカナダの Mount Logan で採取された雪氷コアを用いて、過去約 100 年間 (1909 年～2001 年) を季節毎～数年の時間分解能で、Ca イオン濃度の計測、碎屑物の粒径分析、および石英のカソードルミネッセンス分析を行った。以下に本研究の主な結果を記述する。

3. Ca イオン濃度が記録するダスト輸送量の変動

Mount Logan でこれまでに測定された酸素同位体比の変動と比較し、Ca イオン濃度の増減の季節を推定したところ、春に最も高いピークが見られる年が

多かった。しかしながら、そのピークが初夏にかけて続く場合や、秋から冬にかけての高いピークが見られる年もあった。

次に、年代決定の結果を用いて、Ca イオン濃度の年平均値を計算したところ、過去 100 年あまりの間の変動は数十年スケール変動が卓越し、PDO インデックスの年平均値と負の相関を示すことが分かった。すなわち PDO インデックス値が負の年は、アジア内陸部からカナダへのダストの輸送が活発になっていることが明らかになった。その理由として、PDO インデックスが負の年には、アリューシャン低気圧の弱化に伴い、北太平洋上のダスト輸送に寄与する偏西風ジェットが高緯度側で強くなること (Nagashima et al., 2016) が挙げられる。

4. 雪氷コア中のダストの供給源推定

太平洋を越えて長距離輸送されるダストは、粒径が小さく量が少ないため、これまで供給源推定が行われた例は限られている。そこで本課題では、石英粒子のカソードルミネッセンス分析に基づく供給源推定法の雪氷コアへの応用を目指した。

本研究ではまず雪氷コア中に含まれる微量のダスト粒子を濃集してカソードルミネッセンス分析を行うまでの一連の手法の確立を行った。ダスト濃集には、濾過によってフィルター上に粒子を集める方法を選択した。3種類の素材のフィルター; 1. ポリカーボネート (ミリポア アイソポア HTTP01300 孔径 0.4 μ m 寸法 13 Φ mm)、2. ニトロセルロース (ミリポア HAWP 01300)、3. 親水性 PTFE (ミリ (裏面に続く))

ポア オムニポア JHWP01300 およびアドバンテック T050A013A) の中から、1. ポリカーボネートのものがカソードルミネッセンス分析にも、また同じフィルターを用いて行う ICP-MS 分析にも最適であることを明らかにした。得られたフィルター試料は常温で乾燥させたのち、真鍮製のディスクに張り付けて蒸着することで、雪氷コア中の石英粒子のカソードルミネッセンス分析が可能になった。

次に得られた方法を基に、Mount Logan 雪氷コアのフィルター試料に含まれる石英粒子のカソードルミネッセンス分析を行った。分析には、岡山理科大学の SEM (JEOL: JSM-5410) -CL (Oxford: Mono CL2) 装置を用いた。その結果、2001 年春のダストイベント層に含まれる石英のスペクトルは、赤色発光を持つ粒子の割合が卓越する中国北西部・タクラマカン砂漠由来の石英の特徴を持つことが分かった (図 1 参照)。

先行研究 (例えば Zdanowicz et al., 2006) では、2001 年春のダストイベントの供給源について Sr や Nd の同位体比などを基に中国～モンゴルのゴビ砂漠由

来と推測しており、本研究とは異なる結果が報告されている。今後は地上観測・衛星観測データなどを基に 2001 年のダストイベントの供給源の特定を進めてカソードルミネッセンス分析結果の裏付けを進め、他の時代のフィルター試料から得られた結果についても詳細な議論を行う。

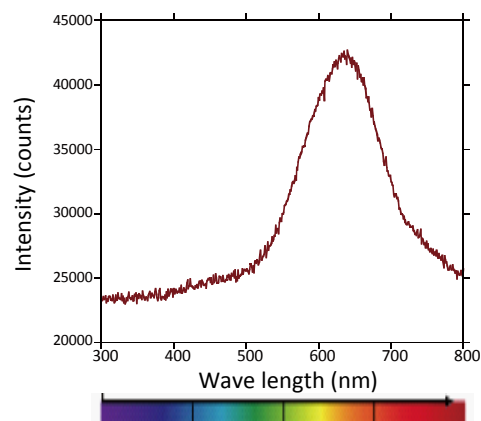


図 1 雪氷コアに含まれる石英粒子の典型的な CL スペクトル (感度補正は行っていない)

[参考文献]

- Maher, B. A., J. M. Prospero, D. Mackie, D. Gaiero, P. P. Hesse, and Y. Balkanski (2010), Global connections between aeolian dust, climate and ocean biogeochemistry at the present day and at the last glacial maximum, *Earth Sci. Rev.*, 99, 61–97, doi:10.1016/j.earscirev.2009.12.001.
- Nagashima, K., Y. Suzuki, T. Irino, T. Nakagawa, R. Tada, Y. Hara, K. Yamada, and Y. Kurosaki (2016), Asian dust transport during the last century recorded in Lake Suigetsu sediments, *Geophysical Research Letters*, 43, doi:10.1002/2015GL067589.
- Tegen, I., A. L. Andrew, and I. Fung (1996), The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils, *Nature*, 380, 419–422.

[研究発表]

- ・「堆積物を用いたアジアダスト長距離輸送の季節性の検証」長島佳菜・東久美子・原由香里、風送ダスト研究会 2014 年 12 月 11 日
- ・Asian dust input to the North Pacific and its seasonal to decadal variations, Kana Nagashima, Yukari Hara, Hirotsugu Nishido, Yoshiaki Suzuki, Ryuji Tada, Kosei Sasaoka, Kumiko Goto-Azuma, Kazuyoshi Yamada, Tomohisa Irino, Takeshi Nakagawa, SG12/06 Project members, XIX INQUA Congress, July 29, 2015

(共同研究報告書 (終了))

水中の化学成分の詳細解析と氷結晶組織に関する研究

- ◎高田 守昌 長岡技術科学大学・助教 (研究代表者)
- 本間 智之 長岡技術科学大学・准教授 (共同研究者)
- 東 信彦 長岡技術科学大学・学長 (共同研究者)
- 野田 和宏 長岡技術科学大学・大学院生 (育成研究員、平成 26 年度)
- 繁山 航 長岡技術科学大学・大学院生 (育成研究員、平成 26、27 年度)
- 司馬 遼太 長岡技術科学大学・大学院生 (育成研究員、平成 28 年度)

(国立極地研究所)

東久美子 教授 (担当教員)
平成 26 年～平成 28 年 (3 年間) (研究期間)

[研究成果]

本研究では、フィルムの融解装置の開発と、氷試料の氷結晶組織の解析を行った。本報告書では、前者に内容を絞る。

極地で掘削された雪氷コアには微量のイオン成分・金属元素・微粒子や過去の大気が含まれており、それらを分析することで過去の大気・環境変動を解読することが可能である。Sigg et al.(1994)は、氷コアの融解分析手法として連続融解システム(CMS)で氷を融解し分析するシステムを開発した。CMSは、氷床コアの底面を加熱・融解し、汚染のないコア内側の融解液のみを融解面上で分離して連続的に分析器に送る方法であり、これにより cm オーダ

に及ぶ氷床コアの分析を従来手法と比べ、大幅に短縮できることから、現在では広く用いられている(Osterberg et al., 2006)。

この氷床コア用 CMS を、氷床浅層部の通気性を有するフィルムコアに適用すると、空隙の毛管力で融解液が試料中を上昇し、深度方向の試料が混合されるため、高時間分解能での分析ができない。そこで我々は、Osterberg et al.(2006) の開発した氷床コアの CMS に吸引機構を追加し、フィルム融解液の上昇を抑制する装置を開発した(図 1)。本装置で、融解液の上昇を抑制できた。しかし、分析用の試料内側からの融解液と汚染の可能性があり廃液とすべき試料外側の融解液とが混合され、内側流路に流れ込む問題が生じた。このため、融解液上昇を抑制し、内側融解液と外側融解液を融解プレート上の分離壁で適切に分離できるように、融解液の混合の原因を追究した。融解面の吸引孔の配置位置に対して、試料サイズが小さい場合、外側流路の吸引孔の一部が大気に開放され、内側の吸引力が外側に対して大きくなり、外側融解液が内側に流れ込こむことが分かった。そこで、外側吸引孔の大気開放を防ぎ、内側と外側流路に働く吸引力がなるべく等しくなるよう、吸引孔の配置と径を変更した再改良型の融解プレートを設計・製作した。融解液上昇の抑制効果とフィルム密度との関係性を評価するため、粒径を揃えた氷粒を作製して圧密する人工フィルム作製方法を確立した。5 種類の密度(300, 400, 500, 600, 700 kg/m³)の人工フィルム試料を作製し、液面上昇と分離の評価を行った。この結果の例を図 2 に示す。すべての密度のフィルム 1 試料において、液面上昇を(裏面に続く)

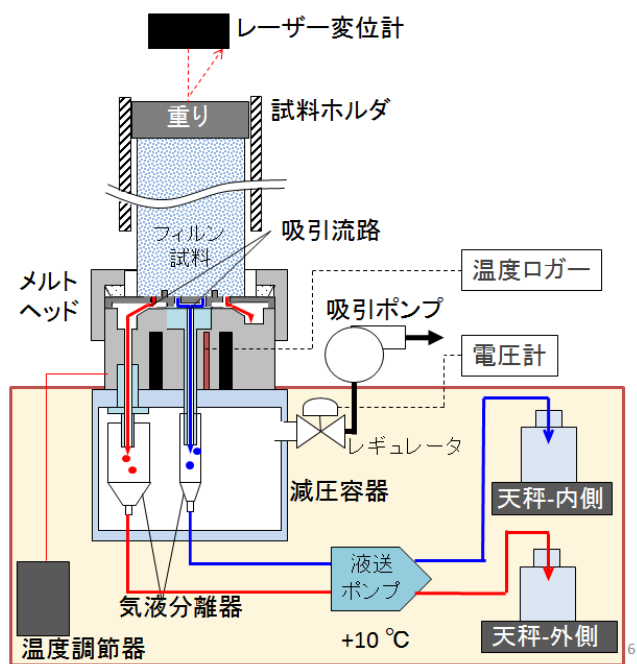


図 1 フィルム融解装置の概要
一の高空間分解能の分析が可能となった。3000 m

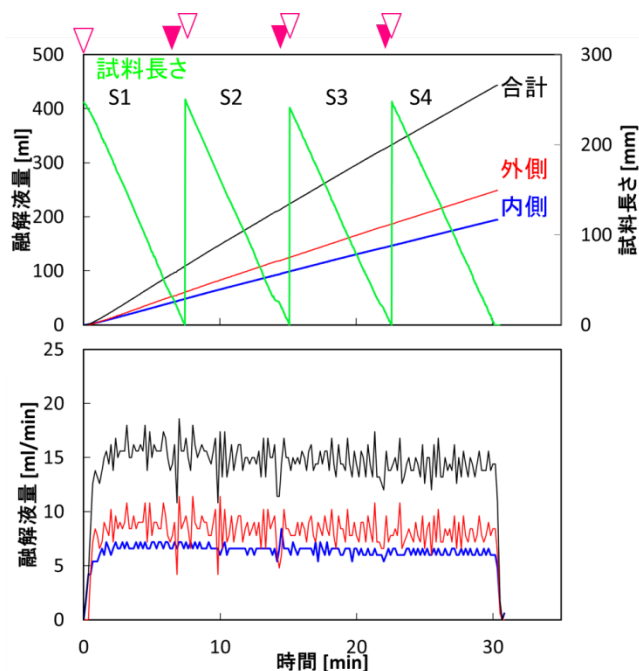


図2 人工フィルム試料の融解実験例。▽は試料融解開始、▼は試料を継ぎ足しのタイミング（密度 600kg/m³、計 1 m 試料の融解）

1 mm 以下に抑えることができた。また、内側と外側の融解液は、設計分離比と同じか外側に融解液が

[参考文献]

1) Rémi DALLMAYR, Kumiko GOTO-AZUMA, Helle ASTRID KJÆR, Nobuhiko AZUMA, Morimasa TAKATA, Simon SCHÜPBACH, Motohiro HIRABAYASHI, Bulletin of Glaciological Research, Vol. 34 (2016), p11 – p 20.

[研究発表]

高田 守昌，東 久美子，平林 幹啓，Remi Dallmayr，東 信彦(2015), 氷床コア中の溶存イオン成分の連続融解分析装置の開発 - 南極みずほコアの分析テスト -, 第 6 回極域科学シンポジウム

司馬 遼太，野田 和宏，高田 守昌，東 信彦，東 久美子(2015), 氷床コアフィルム試料の連続融解装置の開発，第 6 回極域科学シンポジウム

繁山 航, 永塚尚子, 本間智之, 高田守昌, 東 久美子, Ilka Weikusat, Martyn R. Drury, Ernst-Jan Kuiper, Gill Pennock, 東 信彦(2014), 後方散乱電子回折 (EBSD) による氷結晶中の微小方位差測定, 第 6 回極域科学シンポジウム

司馬遼太, 野田和宏, 高田守昌, 東信彦, 東久美子 (2015), 氷床コアフィルム融解装置の開発, 第 7 回極域科学シンポジウム,

繁山 航, 永塚 尚子, 本間 智之, 高 田守昌, 東 久美子, Ilka Weikusat, Martyn R. Drury, Ernst-Jan N. Kuiper, Gill M. Pennock, Ramona V. Mateiu, 東 信彦(2015), 固体微粒子が氷の変形・結晶組織変化に及ぼす影響, 第 7 回極域科学シンポジウム

多少吸引されており、分析のためには適切な融解液の分離可能となった。試料を連続して継ぎ足しつつ融解する場合は、通常の CFA 分析と同様またはそれ以上に、試料のセンタリング・継ぎ足しのタイミング・平滑な試料端面であることが重要であることが明らかとなった。さらに、減圧容器中で試料の損失をもたらす融解液の気化を最小限に抑えるため、試料密度ごとに適した吸引圧力を検討し、気化液量を 3 %以下に抑えることが可能となった。これらの結果から、液上昇を抑え、融解液を適切に分離し、試料を損失なく融解・液送するというフィルム用 CMS の仕様を満たすと考えた。

そこで、実際のフィルムで検証を行うため、国立極地研究所の低温室に本装置を持ち込み、南極 S 25 地点で採取された浅層コアの融解実験を実施した。この結果の詳細は解析中であるが、分析用の内側の試料と外側の試料の分離は、得られたサンプル試料の流量からは、人工試料同様に適切に分離できていると言える。同一深度の試料で本装置と古来の手作業での試料を採取したので、化学イオン成分の濃度比較を行い、検証する予定である。

共同研究報告書（終了）

氷衛星の流動や地球氷河・氷床のレオロジーに関する総合的研究

◎荒川政彦 神戸大学理学研究科・教授（研究代表者）
保井みなみ 神戸大学理学研究科・助教（共同研究者）
久保友明 九州大学理学研究院・准教授
野口直樹 岡山大学惑星物質研究所・助教
(国立極地研究所)
東 久美子 教授 (担当教員)
平成 26 年～平成 28 年 (3 か年) (研究期間)

[研究成果]

地球科学的タイムスケールで重要な氷の流動メカニズムは拡散クリープである。拡散クリープは 0.1 MPa 以下という低応力で卓越する塑性変形機構であり、低温変形装置を用いて歪み速度と応力の関係を直接調べることができない。そこで、氷多結晶体の拡散実験を実施し、結果得られる粒界・体拡散係数に基づいて、拡散クリープ下での変形流動則を明らかにすることにした。まず、顕微ラマン分光法を使った同位体分析法を確立し、氷拡散対の同位体トレーサーの拡散プロファイルを 1 μm オーダーの高い空間分解能で決定できるようにした。そして、氷多結晶体を試料とする同位体トレーサー拡散実験を温度圧力条件 235～245 K, 100 MPa で実施し、体拡散係数の圧力依存性と粒界拡散係数の上限値を制約することができた(図 1 : Noguchi et al. 2016)。

さらに正確に粒界拡散係数を決定するためには、粒成長による粒界移動の影響を排除できる bicrystal を使った拡散実験が必要である。bicrystal は 2 つの単結晶が接合したものであり、結晶間の粒界の構造と粒界拡散係数は、2 つの結晶の方位関係に依存して大きく変化することが予想される(本堂 1979)。このため、EBSD によって氷の bicrystal の方位関係を決定し、粒界構造と粒界拡散係数の対応

関係を決めることが重要である。本共同研究期間中に bicrystal を作製することは出来なかったが、極地研究所の所有する低温 SEM-EBSD の使い方と試料作成法を教授してもらい、測定がスムーズに実施できるようになった。本研究により、bicrystal 拡散実験を実施するための技術的基盤が確立できた。

図 1 氷多結晶体の D₂O の拡散プロファイル(左図)と拡散対の写真(右図)

一方、太陽系天体で見られる流動地形や断層地形の形成過程を理解する上で重要な性質は、構成物質の脆性-塑性境界である。特に、氷天体を対象とする場合は、氷・岩石混合物の脆性-塑性境界とそれに対する岩石含有率依存性を決定する必要がある

(裏面に続く)

が、これまで詳細に調べられた研究例はない。そこで、氷・シリカ混合物の一定歪速度変形実験を行い、脆性-塑性境界が起こる歪速度に対するシリカ含有率依存性を調べた。その結果、シリカ体積含有率 0.18 以下では、シリカ含有率の増加に伴って脆性-塑性転移が起こる歪速度が増加することがわかった (図2)。

一方、0.29 以上になると逆に歪み速度は、減少することが分かっている (Yasui & Arakawa, 2008)。そこで、低温 SEM を用いて、試料構造を詳細に調べた結果、試料を構成する氷粒子のサイズと氷粒子を囲むように分布するシリカ粒子と凍結した水の

混合層の構造が、脆性-塑性境界が起こる歪速度の増減に関係することが分かった。

また、脆性-塑性境界が起こる歪速度は理論モデルが存在し (Schulson, 1990)、実験から得られた脆性-塑性境界歪速度と理論モデルを比較するには、fracture toughness を測る必要がある。そこで、変形実験と同じ試料を用いて三点曲げ実験を行った。その結果、シリカ体積含有率が 0.34 になると純氷よりも fracture toughness が約 4~5 倍大きくなることが分かった。さらに、fracture toughness はシリカ体積含有率の 0.5 乗で増加することがわかった。

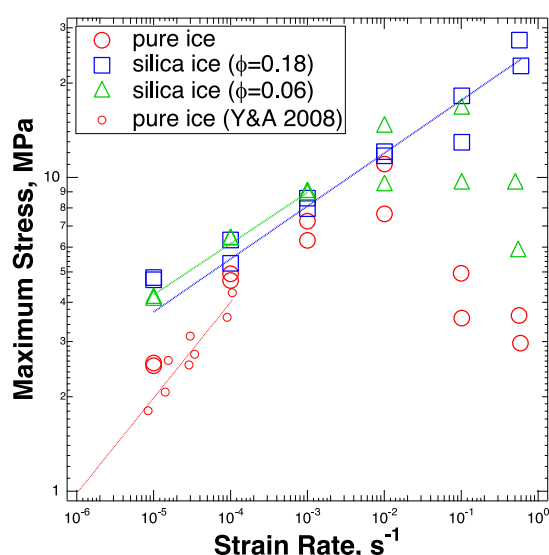


図2 応力-歪み曲線から得られた最大応力と歪速度の関係。凡例の silica ice における ϕ はシリカ体積含有率を示す。また、Y&A 2008 は先行研究の Yasui and Arakawa (2008) である。最大応力がピークとなる歪速度が、脆性-塑性境界となる。

[参考文献]

- 1) 本堂武夫; 氷結晶粒界の構造と諸性質, 雪氷, 41 巻, p.253-257, 1979.
- 2) Yasui, M., Arakawa, M. (2008), Experimental study on the rate dependent strength of ice-silica mixture with silica volume fraction up to 0.63, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L12206, doi:10.1029/2008GL033787.
- 3) Schulson, E. M. (1990), The brittle compressive fracture of ice, *Acta Metall. Mater.*, 38, 1963-1976.

[研究発表]

- 1) Noguchi N., Kubo T., Durham W.B., Kagi H., Shimizu I. (2016), Self-diffusion of polycrystalline ice I_h under confining pressure: Hydrogen isotope analysis using 2-D Raman imaging, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 257, 40-47.

共同研究報告書（終了）

降雪粒子連続自動接写装置の開発（研究課題）

◎小西啓之 大阪教育大学教育学部・教授（研究代表者）

亀田貴雄 北見工業大学工学部・教授（共同研究者）

（国立極地研究所）

平沢尚彦 助教（担当教員）

平成 26 年～平成 28 年（3 か年）（研究期間）

[研究成果]

1. はじめに

南極氷床下の降雪量に寄与するダイヤモンドダストのような降水粒子のサイズが小さく、空間濃度が小さい降水の降水量をより正確に求める方法を探るため、種々の降水量計を用いた性能比較観測を北海道内陸部の陸別で 2012 年から行っている。その過程で降雪粒子の粒径と落下速度をレーザー光を用いて測定する光学式雨量計を用いれば、粒径と落下速度に応じた個々の降雪粒子の密度や質量を仮定することにより、比較的真値に近い降水量を見積もることができることがわかった。しかし数多くの降雪事例について降水量を見積もったところ、雪片等の比較的大きな降雪粒子が降る場合は、精度良い降水量を求めることができるのに対し、微小な単結晶や小さな雪片からなる降水粒子の場合、実際の降雪量と大きな誤差が生じることが明らかになり、再考が必要となった。

そこで、光学式雨量計の計測と同時に実際にどのような降雪粒子が降っていたのかを記録できるような装置が必要であると考え、氷晶自動観察装置の開発とその利用を目的とし、本研究を行った。

2. 観測

2-1. 雨量計(降雪量計)

粒径と落下速度を測定できる光学式雨量計として OTT parsivel、Thies Laser Precipitation Monitor (LPM) の 2 種の雨量計を用いた。Parsivel は粒径 26mm までを 32 クラス、落下速度 22.4m/sec までを 32 クラス、一方、LPM は粒径 8.5mm までを 22 クラス、落下速度 10m/sec までを 20 クラス、それぞれ 1 分間に降った降雪粒子をクラス分けして集計する装置である。また、弱風時しかデータは得られないが、より真値に近い降雪量を測定することができる天秤法による降雪量測定も行った。

2-2. 氷晶自動観察装置

さらに降雪粒子の形状を記録する方法として氷晶自動観察装置を試作した。この装置は観察部と積もった雪の除去部からなり、観察部は USB 顕微鏡カメラ (Dino-Lite) を直径 10cm 高さ 0.8m の塩ビ管内に鉛直上向きに設置し、USB ケーブルで屋内のパソコンと接続した。カメラは最大倍率の 210 倍にし、顕微鏡上の 2.4mm×1.7mm の範囲を撮影した。撮影間隔は 1 分に 1 枚 (12 月 24 日～1 月 17 日) または 30 秒に 1 枚 (1 月 18 日～2 月 18 日) とした。積もった雪の除去部はカメラの観察視野が悪くなるのを防ぐため、真空ポンプと電磁弁、タイマーを組み合わせ、1 分間に 1 回間欠的に空気を噴射するようにした。その概要を図 1 に示す。

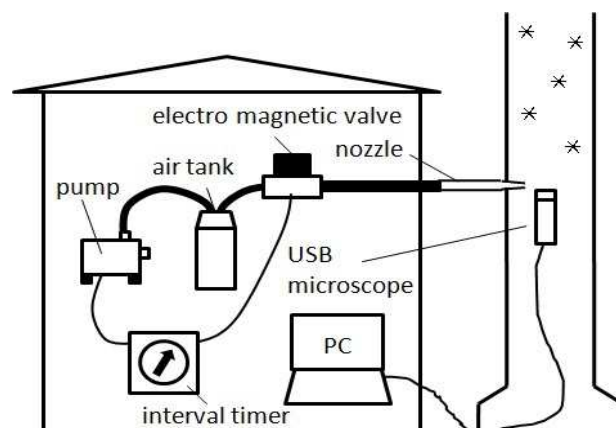


図 1. 氷晶自動観察装置の概略図

3. 観測結果

2014 年 12 月 24 日から 2 月 15 日まで観測を行い、2m/sec 以下の弱風時にのべ 10 例の降雪を観測した。降雪は地上気温が -2°C から -16°C のときに 1～2 時間程度続く弱い降雪が主であった。観測された雪結晶の種類は、樹枝状の単結晶、放射角板や砲弾集合などの多結晶、濃密雲粒付きの結晶などがあり、代表的な写真を図 2 に示す。降雪強度の強弱と撮影した降雪粒子数の増減はほぼ一致していたことから、撮影された降雪

粒子は各時刻の代表する降雪粒子であると考えられる。

次に Parsivel のデータを用いて推定した降雪強度と真値に近い天秤法による降雪強度の比較を図3に示した。降雪強度はどちらも1分間降雪量から求めた降雪強度である。2月13日の例は、最大降雪強度が1mm/hrを超える比較的強い降雪の場合の例で、相関係数は0.9を超え、また両者の比も0.98とほぼ1に近いことからParsivelによる推定降雪強度が真値とほぼ一致していることが分かる。一方12月29日の降雪強度が0.3mm/hrを超えないような弱い降雪の場合は、相関係数は0.56と低く、また両者の比は0.6と小さいことから、Parsivelによる推定降雪強度が、真値に比べ乱れ、その値も小さいことが分かる。このように弱い降雪の場合、推定した降雪強度が実際の値に比べ大きく異なっている(小さい)ことがしばしば見られ、推定した降雪強度が実際の値に比べ大きく異なるのは粒子の形状や密度と関係があると考えられる。

次に降雪粒子の落下速度と降雪強度推定値の正確さの関係を調べた。図4は例として各降雪時における1.25mm粒子の平均落下速度とParsivelの推定降雪強度と天秤法による降雪強度との比の関係を示した。落下速度が小さいときは、Parsivelによる降雪強度推定値は真値より小さく、落下速度が大きくなると推定値が真値に近くなること分かる。落下速度が小さい、すなわち密度が小さい粒子のとき(樹枝状などの雪結晶のとき)は見積もり量が小さくなること、落下速度が大きくなり密度が大きい粒子のとき(霰などの粒子のとき)は見積もり量が真値に近いことがわかった。

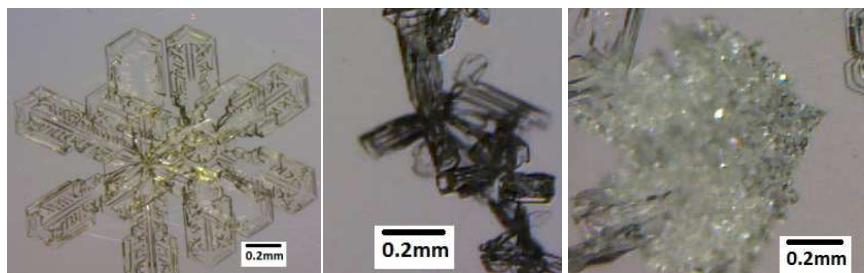


図2. 氷晶自動観察装置で撮影した雪結晶例。左から広幅六花(P2b)、砲弾集合(C4d)、濃密雲粒付立体(R2d)

これらのことを考慮し、光学式雨量計を用いて降雪強度のより良い推定をするためには、降雪粒子の形状について観測例数を増やし、落下速度や粒径分布による密度の補正を加える必要がある。

[研究発表]

- ・光学式雨量計による降雪強度推定値の検証比較観測、小西啓之、野々村達也、平沢尚彦、2015、極域科学シンポジウム

- ・光学式降水量計検証のための USB 顕微鏡を用いた降雪粒子観測、小西啓之、野々村達也、平沢尚彦、2014、日本雪氷学会雪氷研究大会講演要旨集

- ・USB 顕微鏡を用いた雪結晶観察装置の試作と降雪粒子観測、小西啓之、野々村達也、平沢尚彦、2015、日本気象学会春季大会講演要旨集

- ・ Providing the better methods to estimate snowfall rate by using laser disdrometers H. Konishi and N. Hirasawa, 2016, Proc., 17th Int. Conference Cloud and Precipitation at Manchester, England

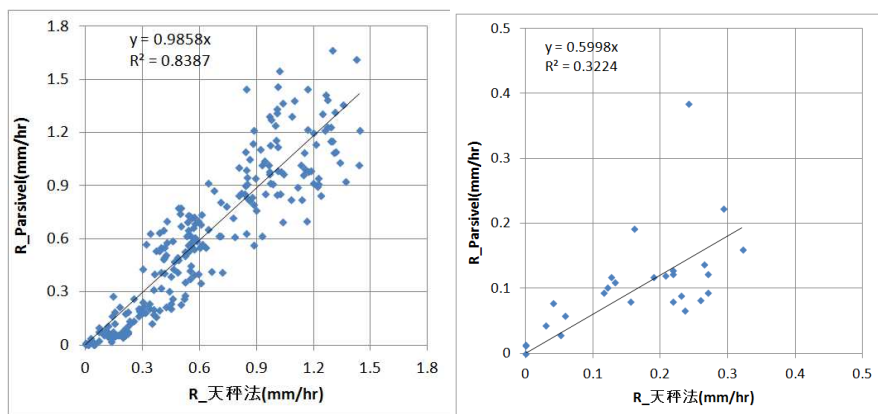


図3. 天秤法によって求められた降雪強度と光学式雨量計(Parsivel)のデータを用いて推定した降雪強度の比較。左：2015/02/13、右：2014/12/29

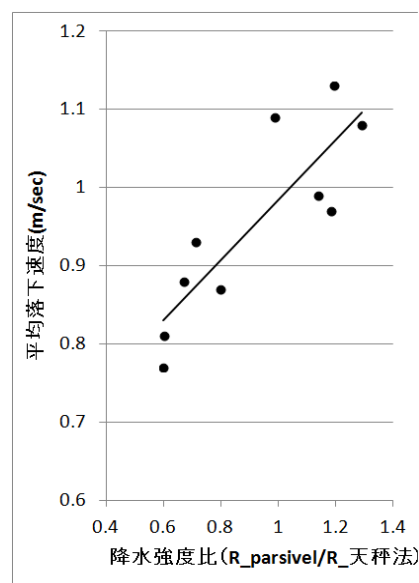


図4. 光学式雨量計(Parsivel)から推定した降雪強度と真値の比と降雪粒子の平均落下速度の関係。

(共同研究報告書 (終了))

昭和基地上空のエアロゾル粒径分布のマルチタイムスケール解析

◎林 政彦 福岡大学理学部・教授 (研究代表者)
木津暢彦 気象庁・観測部・調査官 (共同研究者)
白石浩一 福岡大学理学部・助教
原圭一郎 福岡大学理学部・助教
(国立極地研究所)
平沢尚彦 助教 (担当教員)
平成 26 年～平成 28 年 (3 か年) (研究期間)

[研究成果]

昭和基地及びしらせ船上, S17 航空拠点において, 第 55, 56, 57 次越冬隊, 第 56, 57, 58 次夏隊によって, エアロゾルの気球観測, 気球浮揚無人滑空機による観測を実施し, 小型エアロゾルゾンデによる観測手法を確立するとともに, 同ゾンデの観測の拡張性を確認した。また, この期間の観測を含む 1997 年 (第 38 次南極地域観測隊) から継続している昭和基地における長期のエアロゾルゾンデ観測の観測データを用いて, 対流圏界面付近のエアロゾル動態について, 特に圏界面付近の変動と成層圏-対流圏間のエアロゾル交換に注目した解析を行った。

1. 小型エアロゾルゾンデによるエアロゾル観測

1) エアロゾルゾンデの小型化による放球作業改善

55 次夏隊で行った新旧エアロゾルゾンデの比較データ解析を行い, データの継続性を担保できることが確認された。また, 55 次越冬隊から, 昭和基地での新型エアロゾルゾンデの観測を実施し, 新型エアロゾルゾンデの放球に関しては, 2kg 気球と巻き下げ器の使用が放球作業の負担および放球判断に対する風速条件の制約を著しく緩くすること, 2kg 気球で高度 30km までの観測が可能であることを確認した。

2) 船上 OPC-ECC 連結ゾンデ観測

第 56 次南極地域観測隊夏隊で, しらせ船上より, 小型 OPC および ECC センサーを RS06G ラジオゾンデに連結し, エアロゾル, オゾン同時観測を実施した。800g ゴム気球, 巻き下げ器による飛揚を行った。船上でのガス充填時には, 放球袋を用いることで, 気球の動揺を抑え, 放球までの保持が容易になった。気球バースト高度は 23km 近くまで達し, 成層圏下層のエアロゾル・オゾンの鉛直分布の船上での同時観測が可能であることを示した。その他, 船

上観測における放球袋使用の有用性や OPC-ECC 連結ゾンデが問題なく動作することを確認した。

3) 昭和基地におけるノイズ問題

56 次越冬隊の観測から, 昭和基地における観測でダウンリンクデータの復調音に頻繁にノイズが乗る現象が発生し, データ欠損を起こしていた。メーカー, 気象庁, 過去の観測経験者等との協力により原因究明に取り組んだ。最終的に, 57 次越冬中に行われた昭和基地の事故停電の原因となっていた基地内の送電線の地絡対策後の観測では, ノイズが見られず正常なデータ取得ができるようになった。これらの結果より, ノイズの原因は, 送電線の被覆劣化による導線摩擦あるいは放電によるものと推測され, 小型エアロゾルゾンデの観測システムとしての問題点がないことを確認した。

4) 気球浮揚無人滑空機によるエアロゾル観測

56 次南極地域観測隊夏隊では, S17 において気球浮揚無人滑空機 (BALGLIP) に固定翼航空機を用いた観測を実施した。23km で気球が破裂し, パラシュートで降下, 高度 12km で気球とパラシュートを分離して自律滑空飛行により放球地点上空まで帰還させた。この観測で高度 23km までのエアロゾル粒径分布の観測とエアロゾルのサンプリングに成功した。また, 58 次南極地域観測隊夏隊で, S17 航空拠点から小型電動ロガロ翼機を滑空機として, 気球搭載用小型エアロゾルゾンデを無人機用にアレンジして BALGLIP を実施し, 高度 5km までのエアロゾル粒径分布観測に 2 回成功した。これらを通じて, 気球浮揚滑空機による観測装置回収式のエアロゾル粒径分布観測を定常的に実施する技術的な基礎を確立, 確認した。

(裏面に続く)

2. 南極対流圏界面付近のエアロゾル分布

昭和基地で 1997 年から 2014 年まで、18 年間にわたって実施された 87 回のエアロゾルゾンデ観測のデータを用いて圏界面付近のエアロゾル鉛直分布を解析した。

1) 長期変動

観測を始めた 1997 年から 2000 年にかけては、エアロゾル濃度が減少する傾向が見られたが、200 年以降が増大に転じた。人工衛星観測やライダー観測で示される現象と同じ傾向であり、南極成層圏エアロゾルにも他の地域の成層圏に達する中規模の火山噴火の影響が南極成層圏にも及んでいると考えられる。

2) 季節変化

夏季のエアロゾル分布は、圏界面 (8~10km) を境に成層圏と対流圏で明確な粒子数濃度、粒径分布の違いが見られた (図 1) 一方、春季には、温度勾配から決められる圏界面 (10~14km) にはエアロゾル濃度の境界が見られず、夏季の圏界面高度より低い高度 5km 付近までならかにエアロゾル濃度が変化する様子が示されている。これらの結果は、冬季に放射過熱がなくなることで成層圏が低温化し、成層圏最下層が対流圏の一部となることで、成層圏エアロゾルが対流圏に輸送されていることを示唆している。

3) 2014/15 夏季のエアロゾル層浸食

2014/15 の夏季に第 56 次南極地域観測隊により行われた船上 OPC-ECC ゾンデ観測, S17 における気球浮揚無人滑空機観測の結果から、圏界面付近のエアロゾル鉛直分布において、温位 325K より低い領域では、エアロゾル濃度の変動が大きいことが分かった。同時期の圏界面の温位高度は、305K から

325K の間で変動しており、圏界面高度の不均一性あるいは対流欠堂による対流圏空気の成層圏への浸食によって成層圏エアロゾルが対流圏に輸送されたり、成層圏エアロゾルの除去が起きていることが示唆された。

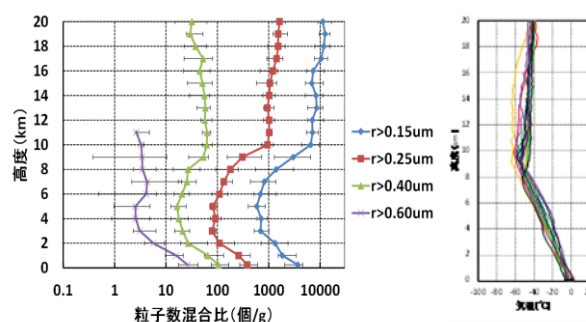


図 1 夏季のエアロゾル混合比 (左) と気温 (右) の鉛直分布

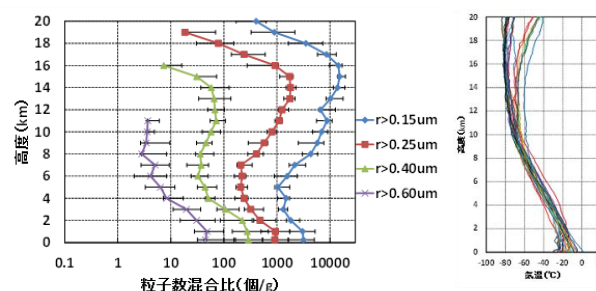


図 2 春季のエアロゾル混合比 (左) と気温 (右) の鉛直分布



図 3 気象ゾンデ (青線) および気球および BALGLIP 搭載 OPC ゾンデ (●) による 2014 年 12 月、2015 年 1 月の圏界面の温位高度の変化 (左) と 0.3mm 以上のエアロゾル濃度の鉛直分布 (右)

[研究発表]

Hara, K., Hayashi, M., Yabuki, M., Shiobara, M., and Nishita-Hara, C.: Simultaneous aerosol measurements of unusual aerosol enhancement in troposphere over Syowa Station, Antarctica, Atmos. Chem. Phys., 14, 4169-4183, doi:10.5194/acp-14-4169-2014, 2014.

Higashino, S., M. Hayashi, S. Nagasaki, S. Umemoto, and M. Nishimura, A Balloon-Assisted Gliding UAV for Aerosol Observation in Antarctica, Transactions of JSASS Aerospace Technology Japan, Vol.12, No.APISAT-2013, pp.a35-a41, 2014.

Higashino, S., Okada, T., Hayashi, M., Nagasaki, S., Ozuka, K., A Balloon-Assisted Gliding UAV for Stratospheric Aerosol Observation Using Two-Stage Separation Method in Antarctica, Proceedings of The 2015 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT-2015),

(研究課題) 夏季南極大陸縁辺部におけるエアロゾルの空間分布

◎原圭一郎 福岡大学理学部・助教 (研究代表者)
林 政彦 福岡大学理学部・教授 (共同研究者)

(国立極地研究所)

平沢尚彦 助教 (担当教員)
平成 26 年～平成 28 年度 (3 か年) (研究期間)

[研究成果]

南極大気中のエアロゾル、特に超微小粒子 ($D_p < 100 \text{ nm}$) の数濃度は夏季に明瞭な濃度極大を示す。この夏季の濃度極大は、新粒子生成過程とその後の粒子成長過程と密接に関係している。本研究では、南極周辺海域・南極沿岸部 (昭和基地など) で、エアロゾルの観測を空間的に実施し、夏季南極大気中の超微小粒子の空間分布、新粒子生成過程及び、新粒子生成が起きる場所・条件を理解することを目的とする。

[観測・解析]

超微小粒子の数濃度・粒径分布の計測には、SMPS (Scanning mobility particle sizer) を用いた。本研究では、JARE45-47 に昭和基地で連続観測をしたデータの解析を進めただけでなく、JARE56-57 では、しらせ船上で連続観測を実施した。さらに、昭和基地でモニタリング観測として行われている CPC (Condensation particle counter) を用いた CN (Condensation nuclei) 濃度の解析も実施した。SMPS により得られた粒径分布データは、汚染データを削除した後に日平均を取り、粒径分布が対数正規分布で近似されると仮定して、モードフィッティングを行った。

[結果]

SMPS で計測された超微小粒子の粒径分布とフィッティング結果の一例を Fig.1 に示す。Fig.1 で示された粒径分布は、明瞭な 4 峰分布を有している。

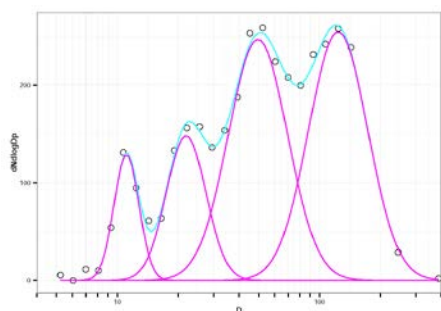


Figure 1. Example of aerosol size distribution measured at Syowa Station, Antarctica. Open circles show aerosol size concentration in each size bin. Cyan and pink lines indicate log-normal fitted mode and sum of the number concentrations.

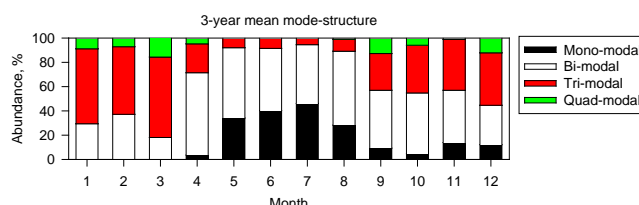


Figure 2. Seasonal features of abundance of each modal structure in aerosol size distributions at Syowa Station, Antarctica during JARE45-47.

観測期間 (JARE45-47) では、1 峰～4 峰分布が確認された。Fig.2 に各粒径分布の出現頻度季節変化を示す。3～4 峰分布は 9-4 月に高頻度で確認されていた。3～4 峰分布が出現する際は、粒径の小さなモード (Nucleation mode) が出現するため、大気中での新粒子生成現象とその後の粒子成長過程と密接に関連していることが伺える。さらに、夏季に 3～4 峰分布の出現頻度が高いことから、新粒子生成・粒子成長が頻繁に起きていることが示唆される。また、冬季には、1 峰分布の頻度が増加しており、強風時の海塩粒子発生と密接に関係していることが予想される。

Fig.3 に各モードの粒径と粒子数濃度の季節変化を示す。 $D_p > 80 \text{ nm}$, 30-50 nm のモードは、濃度レベルに違いはあるものの、年間を通じて出現が確認されていた。また、Nucleation mode に相当する $D_p < 20 \text{ nm}$ 域のモードは、8 月頃から $D_p < 10 \text{ nm}$ の粒径域で

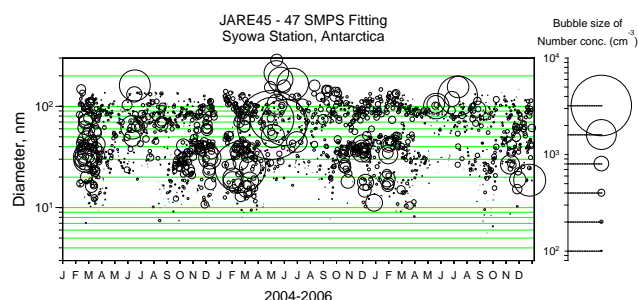


Figure 3. Seasonal features of mode sizes and the number concentrations at Syowa Station, Antarctica.

(裏面に続く)

出現しはじめ、夏には粒子数濃度が高く、モード径は $D_p > 10 \text{ nm}$ となるが多かった。この季節変化は、日射量の増加に伴い、大量のエアロゾル前駆物質が海洋生物活動などから大気へ放出され、大気中で光酸化が進み、新粒子生成が進行していることと関係していると考えられる。8-9月では、エアロゾル前駆物質濃度は、まだそれほど高くないことが予想され、新粒子生成が起きても、 $D_p > 10 \text{ nm}$ まで粒子が成長するには時間がかかるのに対し、エアロゾル前駆物質ガス濃度が高い夏季には、春・秋と比べると高くなるため、新粒子生成が起きた後に、比較的早く $D_p > 10 \text{ nm}$ まで成長していることが予想される。南極沿岸部の地上近傍で $D_p < 5 \text{ nm}$ からの粒子成長が明瞭に確認できる新粒子生成は夏季に頻りに観測されているが(Koponen et al. 2003; Asmi et al., 2010; Kyrö et al. 2013; Weller et al. 2015)、昭和基地では、 $D_p < 5 \text{ nm}$ からの粒子成長が明瞭に確認でき

るような新粒子生成イベントは3年間の連続観測では、わずか1-2回/年程度の頻度だった。この違いは、昭和基地はカタバ風の影響を強く受けた環境下にあることに起因するとみられる。昭和基地上空では、自由対流圏下層部で新粒子生成と関係した高CN層が確認されていたため、自由対流圏で新粒子生成をした粒子が、昭和基地地上付近まで輸送されてきていることが示唆される(Hara et al., 2011)。自由対流圏での新粒子生成や地上への輸送は、昭和基地で観測されたCNデータの解析や海氷上でのエアロゾル観測(Humphries et al., 2016)でも確認されていた。

現在も昭和基地やしらせ船上で実施された観測データの解析は継続して行っている。解析を終えたデータあるいは最終段階の解析を進めているデータについては、学会での研究発表を始めており、論文発表の準備を進めている。

[参考文献]

- Asmi, E. et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 4253-4271, doi:10.5194/acp-10-4253-2010.
Hara, K. et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 11 (11), 5471-5484, doi:10.5194/acp-11-5471-2011.
Humphries, R. S. et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 16 (4), 2185-2206, doi:10.5194/acp-16-2185-2016.
Koponen, I., A. et al., *J. Geophys. Res.*, 108 (D18), doi:10.1029/2003JD003614.
Kyrö, E.-M. et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 13 (7), 3527-3546, doi:10.5194/acp-13-3527-2013.
Weller, R. et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 15 (19), 11399-11410, doi:10.5194/acp-15-11399-2015.

[研究発表]

発表準備中

[研究協力者]

- 西田千春 福岡大学・福岡から診る大気環境研究所・ポスドク
長田和雄 名古屋大学大学院・環境学・教授
矢吹正教 京都大学・生存圏科学研究所・助教
三上七海 福岡大学・理学部・卒研生

氷の高周波誘電特性の研究

- ◎上條 敏生 首都大学東京 理工学研究科 電気電子工学専攻・助教（研究代表者）
 近 匡 成蹊大学 理工学部・教授（共同研究者）
 藤井 政俊 島根大学 医学部・准教授（共同研究者）
 内海 倫明 東海大学 工学部専攻・教授（共同研究者）
 千葉 雅美 首都大学東京 理工学研究科・客員研究員（共同研究者）
 矢吹 文昭 首都大学東京 理工学研究科・客員研究員（共同研究者）
 （国立極地研究所）
 藤田 秀二 准教授（担当教員）
 平成 28 年（1 か年）（研究期間）

【研究成果】

1. はじめに

代表者らは、超高エネルギーニュートリノの巨大検出媒質候補として、南極氷床・岩塩ドームを検討している¹⁾。ニュートリノ検出器の感度を上げるためには、媒質における電波減衰長が長いことが必要である。電波減衰長は複素誘電率の虚部に依存している。また、電波反射係数は複素誘電率の実部に依存している。したがって、検出器の設計には、氷の高周波誘電特性のデータが必須となる。代表者らは、マイクロ波帯において低損失な岩塩の複素誘電率測定を行ってきた²⁾が、UHF 帯での氷の複素誘電率測定例はあまり報告されていない³⁾。この原因として、UHF 帯における氷の誘電損失が非常に小さく、キャパシタンス法や S パラメータ法による測定法が適用できないこと、円筒空洞共振器法においては 1GHz 以下の周波数帯では共振器が大きくなり、必然的に大きな氷試料が必要であること、共振器法における挿入孔による測定誤差が増大することなどが考えられる。

代表者らは低損失材料の複素誘電率測定用に開発した試料挿入孔封鎖型円筒 TM₀₁₀ 空洞共振器²⁾を用いて、単結晶氷の複素誘電率を測定した。測定は-30 度の低温環境実験室において実施した。今回複素誘電率の結晶軸方位依存性（異方性）を測定することを目標とした。大きな単結晶氷を得るために、単結晶の引き上げ装置⁴⁾を作製した。c 軸に平行な方向に引き上げた試料と c 軸に垂直な方向に引き上げた試料の 2 種類を作製し、これから測定試料を切り出した。

2. 円筒 TM₀₁₀ 空洞共振器を用いる UHF 帯における複素誘電率測定法

図 1 に-30℃の低温環境実験室に設置した UHF 帯（500MHz、700MHz、1GHz）の円筒 TM₀₁₀ モード空洞共振器の写真を示す。今回より図 2 の 300MHz 共振器も新たに導入した。

TM₀₁₀ モード共振器の電界だけが存在する位置（中央）に円柱試料を挿入し、共振器の透過係数（S₂₁）の

周波数特性をベクトルネットワークアナライザ（VNA）で測定する。複素比誘電率 $\hat{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon''$ の実部は試料挿入時と挿入しない場合の共振周波数の差から、虚部は共振器の Q の逆数の差から摂動公式により求められる。この共振器は誤差の要因となる試料挿入孔を封鎖しており、厳密解による計算もできるため、高精度の測定が可能である²⁾。

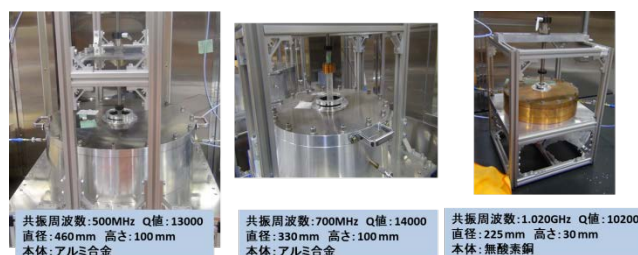


図 1. 試料挿入孔封鎖型円筒 TM₀₁₀ 空洞共振器
 (左から順に 500MHz, 700MHz, 1GHz)

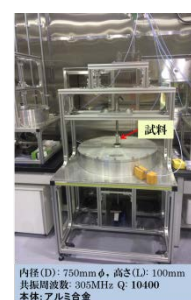


図 2. 今回より使用した 300MHz の空洞共振器

3. 大きな氷の単結晶の作製

試料の長さは共振器の高さと同じ寸法である。1GHz 用試料は直径 (D) が 5-8mm φ、長さ (L) が 30mm であるが、500MHz と 700MHz の共振器では、試料の D は 20mm φ 程度、L は 100mm と非常に長くなる。旋盤とマイクロームで加工してこの寸法を出すため、切り出す前の試料の長さは 160mm 程度が必要である。通常の作製法ではこのような大きな単結晶を作製することは困難なため、氷の単結晶引き上げ装置⁴⁾を作製した。図 3 に装置全体の写真を示す。アク

リルパイプ（内径 54mm φ、長さ 500mm）の下部をテフロン栓で蓋をしてから純水を入れ、上部には結晶軸方向の分かった種結晶を配置してアルミ栓で蓋をし、これら全体を減速したモーターにより引き上げた。純水パイプはヒーターを巻いたアルミ管の中に入れ、水が凍らないように温度を設定した。引上げ速度は気泡や多結晶が生じないようにゆっくり引き上げた。図 3 の左側のパイプは c 軸に平行な方向に、右側のパイプは c 軸に垂直な方向にそれぞれ引き上げを行った。当初作製していた試料の引上げ方向が b 軸方向だったことがエッチピット法等により判明したため、後半から a 軸方向への引き上げに変更して作製を行った。これにより b 軸の引き上げ時に観測された刃状（じんじょう）転移がほとんど生じなくなかった。

また、直径の小さな試料の工作を容易にするため、大きなパイプの中に小パイプを入れて引き上げた。

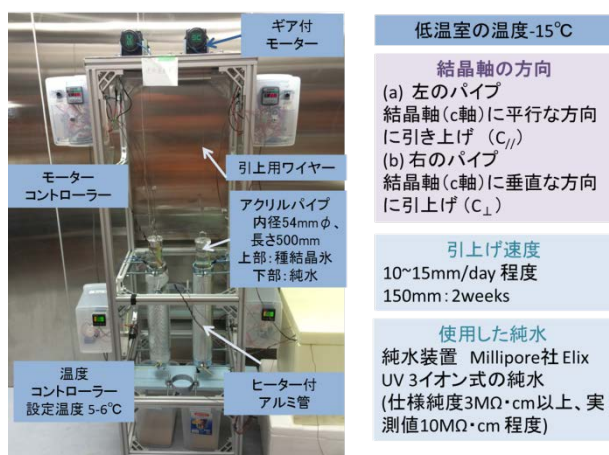


図 3. 単結晶引き上げ装置の写真

4. 測定結果

まだ確定した値とはなっていないが、単結晶水の複素誘電率の周波数特性測定例を示す。図 4 に複素比誘電率実部の測定結果を示す⁵⁾。複素誘電率の実部は c

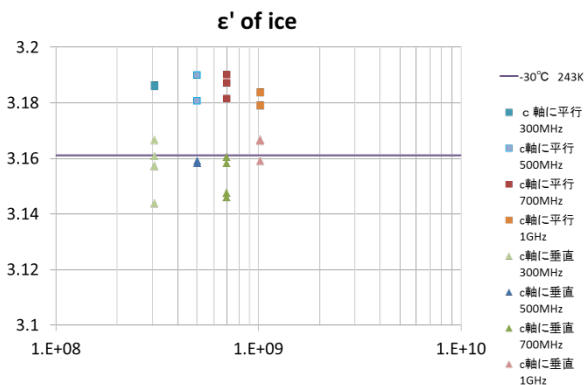


図 4. 単結晶水の複素比誘電率(実部)

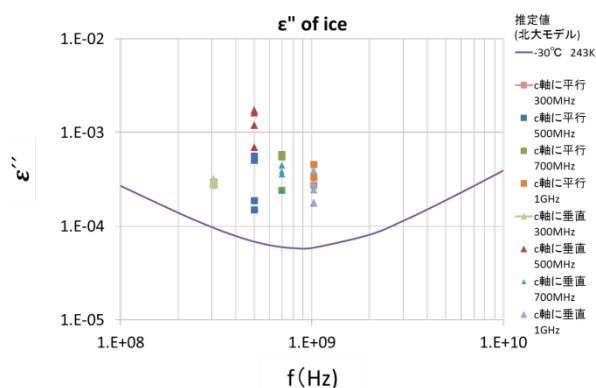


図 5. 単結晶水の複素誘電率(虚部)

軸に平行な場合の方が、c 軸に垂直 (b 軸) な場合の誘電率よりも大きいことが確認できた。図 5 に複素誘電率虚部の周波数特性を示す。

今後、a 軸方向の試料の測定や温度依存性の測定も実施しデータを確定していく予定である。

[謝辞] 単結晶引き上げ装置の作製に当たりアドバイスをいただいた長岡科学技術大学の東教授・高田助教に深謝いたします。また、単結晶のサンプルを提供していただいた長岡科学技術大学の上村教授に深謝いたします。

[参考文献および研究発表]

- 1) Masami Chiba, Toshio Kamijo et al., "Measurement of Attenuation Length for Radio Wave in Natural Rock Salt and Performance of Detecting Ultra High-Energy Neutrinos", ARENA 2006, Journal of Physics: Conference Series, Volume 81, 012003 (2007) <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/81/1/012003/meta>
- 2) SND Study Group, 「摂動共振器法による岩塩の複素誘電率測定 -V・UHF 帯における試料挿入孔封鎖型空洞共振器の開発-」, http://hiug.jp/wave/snd/snd_cavity.htm
- 3) S. Fujita et al., "A summary of the complex dielectric permittivity of ice in the megahertz range and its applications for radar sounding of polar ice sheet", Physics of Ice Core Records, pp. 185-212 (2000)
- 4) Victor F. Petrenko and Robert W. Whitworth, "Physics of Ice", Oxford University Press, pp. 13-14 (1999)
- 5) 上條敏生, 千葉雅美, 矢吹文昭, 近匡, 内海倫明, 藤井政俊, 藤田秀二, 「UHF 帯における単結晶氷の複素誘電率の測定」雪氷研究大会 (2016 名古屋大学), P2-49 (2016-9)

共同研究報告書（終了）

高緯度積雪域の吹雪粒子からの昇華による大気への水蒸気供給に関する基礎的検討（研究課題）

◎杉浦幸之助 富山大学研究推進機構極東地域研究センター・准教授（研究代表者）

（国立極地研究所）

平沢尚彦 助教（担当教員）

山内 恭 特任教授

平成 28 年（1 年）（研究期間）

[研究成果]

1. はじめに

高緯度積雪域からの昇華により変動する大気水蒸気は、どれくらいの温室効果をもたらすのかを最終的に解明するため、本研究課題では（研究期間 1 年）、高緯度積雪域の吹雪粒子からの昇華量を推定する手法について検討することを目的とする。

2. 高緯度積雪域からの昇華

一般に高緯度積雪域での水収支式は以下で与えられる。

$$P = E + R \pm \Delta S$$

ここで、 P は降水量、 E は昇華量、 R は流出量、 S は貯留量である。

平成 27 年度国立極地研究所一般共同研究「高緯度積雪域からの昇華による大気への水蒸気供給に関する基礎的検討」では、積雪域における昇華量 E が降水量 P に対してどの程度の割合をしめるのかについて、先行研究をもとに整理した。その結果、米国・Wyoming では、昇華蒸発量は冬季降水量の 33% (Tabler, 1975), Pomeroy et al. (1997)によるとカナダ・Inuvik では 20%, Liston and Strum (1998) の米国・Imnavait では 9~22%, Mann et al. (2000) の南極・Halley では 4%をしめている。また、Bintanja (1998)の南極・D-10 では、昇華蒸発量は年降水量の 10~20%, King et al. (2001)の南極・Halley では 10%をしめていた。

3. 再解析データによる昇華の見積

Sugiura et al. (2008) は、1987 年の ECMWF 再解析データ（気象要素は、風速、積雪深、温度。グリッドは 2.5deg×2.5deg）と 1987 年の ISLSCP Initiative I データ（気象要素は海氷。グリッドは

1deg×1deg）を用いて、吹雪粒子からの昇華量の特徴を調べている。この結果によると、再解析データによる吹雪の昇華量は、同年のアラスカのツンドラ域における気象観測データから推定された値

(Liston and Strum, 1998) よりも少なくなっている。今後はさらに多点での比較検討が必要である。

また、Mann et al. (2000)によると南極ハレー基地における吹雪時の相対湿度はかなり早い段階で飽和に達するとしている。再解析データによる推定

(Sugiura et al., 2008) にはこのような効果が考慮されていないことから、今後は再解析データを用いた推定にさらなるプロセスの考慮が必要である。

さらに、Sugiura et al. (2008) の研究手法を用いて、異なる年の吹雪による昇華量を暫定的に全球スケールで見積もった。その結果、特に北半球南半球ともに海氷上で発生する吹雪からの昇華量が顕著に年によって異なることが示された (図 1)。また昭和基地周辺域で特に多く算出されている。吹雪からの昇華量の分布は、このように海洋域との関係があることから、海氷上の雪面状態の実態を整理する必要がある。

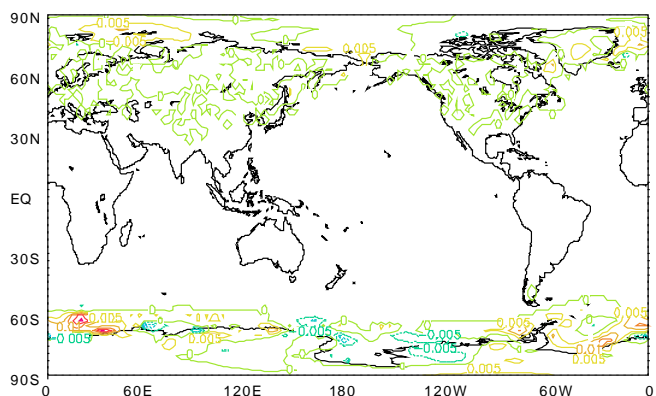


図 1 1987 年と 1988 年の年平均吹雪昇華量の差

(裏面に続く)

[参考文献]

- 1) Bintanja, R. (1998), The contribution of snowdrift sublimation to the surface mass balance of Antarctica. *Annals of Glaciology*, Vol. **27**, p251–p259.
- 2) King, J.C., P.S. Anderson, G.W. Mann (2001), The seasonal cycle of sublimation at Halley, Antarctica. *Journal of Glaciology*, Vol. **47**, p1–p8.
- 3) Liston, G.E., M. Sturm (1998), A snow-transport model for complex terrain. *Journal of Glaciology*, Vol. **44**, p498–p516.
- 4) Mann, G.W., P.S. Anderson, S.D. Mobbs (2000), Profile measurements of blowing snow at Halley, Antarctica. *Journal of Geophysical Research*, Vol. **105**, p24491–p24508.
- 5) Pomeroy, J.W., P. Marsh, D.M. Gray (1997), Application of a distributed blowing snow model to the Arctic. *Hydrological Processes*, Vol. **11**, p1451–p1464.
- 6) Sugiura, K., T. Ohata (2008), Large-scale characteristics of the distribution of blowing-snow sublimation. *Annals of Glaciology*, Vol. **49**, p11–p16.
- 7) Tabler, R.D. 1975. Estimating the transport and evaporation of blowing snow. In *Symposium on Snow Management on the Great Plains, Bismarck, North Dakota, July 1975. Proceedings*. Lincoln, NE, University of Nebraska, 85–105. (Great Plains Agricultural Council Publication 73.)

[研究発表]

杉浦幸之助, 吹雪時の大気への水蒸気供給と吹雪発達に関する基礎的検討. 国立極地研究所研究集会「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」, 2017年3月29日.

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（3）地 圏

共同研究報告書（終了）

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（研究課題）

◎海老原 充 首都大学東京大学院理工学研究科・教授（研究代表者）

白井 直樹 首都大学東京大学院理工学研究科・助教（共同研究者）

（国立極地研究所）

小島 秀康 教授（担当教員）

山口 亮 准教授（担当教員）

平成 26 年～平成 28 年（3 か年）（研究期間）

【研究成果】

誘導結合プラズマ質量分析法（ICPMS）を用いて南極隕石の分類を行うために、ELEMENT XR ICP-MS の立ち上げを行った。ICP-MS 法は高感度元素分析法として利用されており、分析では固体試料を一度溶液化して行う方法に加えて、レーザーアブレーション法を用いて固体試料を溶液化せずに固体のまま測定する方法も利用できる。そこで、本研究では上記の 2 つの方法を南極隕石の分類に適用できるように、分析値の評価について研究を行った。本研究で得られた成果について、2 つの具体例を述べる。

鉄隕石の元素組成分析

鉄隕石は、主に鉄ニッケル合金からなる隕石であり、ほとんどの鉄隕石は分化した小惑星の核であると考えられている。鉄隕石は、元素組成（Ni, Ga, Ge と Ir）によりいくつかのグループに分類されている。鉄隕石の元素組成は、中性子放射化分析法と ICP-MS によって求められており、主に放射化学的中性子放射化分析法が使われている。放射化学的中性子放射化分析法では、複雑な化学分離を行う必要がある。また化学収率を求めるため、再度試料を放射化する必要があり、定量値を得るまでに時間がかかる。一方、溶液を用いた ICP-MS では、試料の溶液化の際、Ge が GeCl_4 として揮発する恐れがある。そこで、本研究ではより簡単に鉄隕石の分類が可能な分析法の開発を行った。用いた分析手法は、機器中性子放射化分析法（INAA）と LA-ICPMS である。

1) INAA

できるだけ高確度な定量値を得るために、 γ 線測定時の自己吸収と妨害となる核種あるいは妨害核反応について検討した。そして、多くの元素の定量を可能にするために、短時間（10 秒）と長時間（4

時間）の中性子照射を行った。短時間と長時間照射で、それぞれ 5 元素（Co, Ni, Cu, Ge と Rh）と 15 元素（Cr, Fe, Co, Ni, Ga, As, Mo, Ru, Sb, W, Re, Os, Ir, Pt と Au）の定量が可能であった。Ga と Ge 含有量の異なる 4 つの鉄隕石（Canyon Diablo, Cape York, Muonionalusta と Dronino）の分析を行い、文献値とよい一致が得られた。短時間照射で Ge と Ni の定量が可能であり、これまでの分析法に比べてより簡便に鉄隕石の化学的分類が可能であることがわかった。現在の条件では、一部の鉄隕石の Ge を検出することはできないが、Ga あるいは Ir を用いることで、全ての鉄隕石の分類が可能であることがわかった。

2) LA-ICPMS

INAA で分析した 4 つの同じ鉄隕石中の 21 元素（P, S, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Mo, Ru, Rh, Pd, Sb, W, Re, Os, Ir, Pt と Au）の定量を試みた。分析に用いたスポットサイズは $100\ \mu\text{m}$ であり、照射パターンはラインモードを用いた。低分解能（ $R=300$ ）で 21 個の同位体（ ^{31}P , ^{32}S , ^{53}Cr , ^{57}Fe , ^{59}Co , ^{60}Ni , ^{63}Cu , ^{69}Ga , ^{73}Ge , ^75As , ^{95}Mo , ^{101}Ru , ^{103}Rh , ^{105}Pd , ^{121}Sb , ^{182}W , ^{187}Re , ^{190}Os , ^{193}Ir , ^{195}Pt と ^{197}Au ）を測定した。LA-ICPMS で得られた値は、INAA で得られた値あるいは文献値と良い一致を示した。表 1 には、本研究で用いた分析条件下での INAA と LA-ICPMS の検出限界を示した。LA-ICPMS の検出限界が INAA に比べ低いことがわかった。現在用いている分析条件では、IVA と IVB 鉄隕石の Ge を検出することは不可能だが、分解能をあげることにより、バックグラウンドが低下し、それらの鉄隕石中の Ge を検出することが可能であると考えられる。

（裏面に続く）

検出限界を考慮して、LA-ICPMS を用いることにより簡便に鉄隕石を分類することが可能であると結論付けた。

表 1. INAA と LA-ICPMS の検出限界 (ppm)

	Ni	Ga	Ge	Ir
INAA	11,000	0.61	9.9	0.039
LA-ICPMS	330	0.053	1.8	0.002

EET 92023

溶液による ICP-MS による南極隕石の分類を確立するために、初めに希土類元素に注目した。研究代表者は、これまでに隕石中の高確度な希土類元素の定量を行ってきた。NIPR に設置された ICP-MS でも高確度な分析値を得ることができるのか、同一

試料を首都大学東京と国立極地研究所の ICP-MS で希土類元素濃度を求め、分析値の比較を行った。用いた試料は Elephant Moraine (EET) 92023 である。EET 92023 は低 Ca 輝石及び斜長石からなる集積岩であり、ユークライト隕石に類似した分化隕石である。首都大学東京と国立極地研究所の ICP-MS で求めた希土類元素濃度は、5%以内で一致しており、国立極地研究所の ICP-MS (ELEMENT XR) を用いても高確度な分析値が得られることがわかった。今後は、分類に必要な主要元素を含む多くの元素の分析値の信頼性を高める実験を継続していく予定である。

[参考文献]

- 1) Shirai N., Hidaka Y., Yamaguchi A., Sekimoto S., Ebihara M. and Kojima Y. Neutron activation analysis of iron meteorites. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol., 303, p 1375–p 1380, 2015.
- 2) Yamaguchi A., Shirai N., Okamoto C. and Ebihara M. Petrogenesis of the EET 92023 achondrite and implications for early impact events. *Meteoritics & Planetary Science*, DOI: 10.1111/maps.12821, 2017.

コンドライトの岩石学的タイプの再検討と熱変成作用

◎茨城大学理学部・教授 木村 眞（研究代表者）

（国立極地研究所）

小島秀康 教授（担当教員）

山口 亮 准教授（担当教員）

平成26年～平成28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を主として用い、それらの隕石の熱履歴の解明、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。

得られた成果の主なものを以下に記す。

1) 極地研究所所有の炭素質コンドライトの分類学的検討中に特異な特徴を示す試料を発見した。これは炭素質コンドライト的な酸素同位体組成、全岩化学組成を示すが、コンドルールのサイズ、存在度、マトリックスの存在度が普通コンドライトに類似するものであった。一方、難揮発性包有物は多数含まれ、炭素質コンドライトの特徴を示す。この隕石は従来のどの炭素質コンドライト・グループにも属さない種類のものであることが明らかとなった (Kimura et al., 2014)。

2) 上記の隕石をウィスコンシン大学の共同研究者と共に酸素同位体的研究を行った。特にコンドルールを分析したが、これらの特徴は他のコンドライト中のコンドルールの特徴と一致し、FeOの少ないものは還元的かつ¹⁶Oに富む環境で形成されたことが明らかになった。一方FeOに富むものは酸化的かつ¹⁶Oに乏しい環境下で形成された (Tenner et al., 2016)。

3) 隕石の多くは母天体上で衝撃変成作用を受け、衝撃ベインを生じている。本研究期間中ではエンスタタイト・コンドライト中のベインを研究し、その中から始めて高压鉱物、コーサイトを発見した。これは太陽系初期に激しい天体同士の衝突が様々な領域で起こっていたことを明らかにしたものである (Kimura et al., 2016)。

4) はやぶさ試料の初期分析チームのメンバーとして岩石学的特徴、分類上の位置づけ、宇宙風化などを検討し、結果を公表した (Noguchi et al., 2014)。

5) 隕石中の様々な鉱物に関する総説を公表した (木村, 2015)。

[研究発表]

- M. Kimura, J. A. Barrat, M. K. Weisberg, N. Imae, A. Yamaguchi, and H. Kojima. (2014) Petrology and bulk chemistry of Yamato-82094, a new type of carbonaceous chondrite. *Meteoritics & Planetary Science*, 49, 346-357.
- Friedrich, J.M., Perrotta, G.C., and Kimura, M. (2014) Compositions, geochemistry, and shock histories of recrystallized LL chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 139, 83-97.
- Y. N. Miura, K. Nagao And M. Kimura. (2014) Noble gases in individual chondrules of the Allende CV3 chondrite. *Meteoritics & Planetary Science*, 49, 1034-1056.
- T. Noguchi, M. Kimura, T. and other 14 authors. (2014) Sylvite and halite on particles recovered from 25143 Itokawa: A preliminary report. *Meteoritics & Planetary Science*, 49, 1305-1314.
- Noguchi, T., Bridges, C.J., Hicks, J.L., Gurman, J.S., Kimura, M., and other 11 authors. (2014) Mineralogy of four Itokawa particles collected from the first touchdown site. *Earth, Planets and Space*, 66, 66:124.
- 木村 眞 (2015) 隕石中の鉍物：序説, *岩石鉍物科学*, 44, 1-9.
- H. Hiyagon, N. Sugiura, N.T. Kita, M. Kimura, Y. Morishita, Y. Takehana. (2016) Origin of the eclogitic clasts with graphite-bearing and graphite-free lithologies in the Northwest Africa 801 (CR2) chondrite: Possible origin from a Moon-sized planetary body inferred from chemistry, oxygen isotopes and REE abundances. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 186, 32-48.
- Kimura M., Yamaguchi A. and Miyahara M. (2016) Shock-induced thermal history of an EH3 chondrite, Asuka 10164. *Meteoritics & Planetary Science* (in press).
- T. J. Tenner, M. Kimura, and N. T. Kita (2016) Oxygen isotope characteristics of chondrules from the Yamato-82094 ungrouped carbonaceous chondrite: further evidence for common O-isotope environments sampled among carbonaceous chondrites. *Meteoritics & Planetary Science* (in press).

両極における氷河地震の活動度と発生過程に関する研究

- ◎ 坪井 誠司 海洋研究開発機構・部長
古本 宗充 名古屋大学大学院環境学研究科・教授
岩田 貴樹 常磐大学コミュニティ振興学部・准教授
姫野 哲人 滋賀大学経済学部・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

平成 26 年 - 平成 28 年 (3 か年)

[研究成果]

近年グリーンランド氷床、特に縁辺部での流出に伴う振動現象(氷河地震, Glacial Earthquake)が顕著に観測されている。氷床内あるいは氷床底部で起きていると考えている氷河地震の発生メカニズムと頻度は、氷河流動および近年の気候変動との関連性が指摘され、これらを解明することは極域氷床の変動メカニズムと温暖化増幅作用を知る上で重要である。本研究では、主に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。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の関連性を明らかにする。

ポスト国際極年(IPY)における、グリーンランド氷床全域の変動現象の長期的監視に向けて、国際的な研究グループによる「グリーンランド氷床の地震モニタリング観測計画(The GreenLand Ice Sheet monitoring Network; GLISN)」が進行中である(Clinton et al., 2014)。GLISNは平成23年度より地震観測点の設置が始まり、JAMSTEC、極地研究所と米国地震観測網IRISおよびデンマーク地球物理研究所との共同により、平成23年度に氷床上の地震観測点を設置した(ICE-S, Toyokuni et al., 2014)。この観測点のデータは一部リアルタイムで伝送されているが、すべてのチャンネルの連続波形記録は観

測点まで行き回収する必要がある。回収した氷床上の地震観測点で得られる地震観測データをGLISN計画で得られるグリーンランド島内の地震観測網のデータと統合し、氷河地震の地震活動の解析をさらに進める。具体的には、氷河地震の正確な震源決定と震源メカニズムの決定により、氷床中の発生位置とその原因となる断層パラメータを決定する。我が国が氷床に設置した観測点(ICE-S)は、国際的研究グループと連携して実施し、他国の地震観測点と統合した解析が可能である。

本研究による成果は、以下にまとめられる。平成26年度は、GLISN観測の日本チームの活動状況についてまとめた(Toyokuni et al., 2014)。平成27年度は、GLISNで得られた波形データより氷床内部の波形生成モデリング計算を行った(Toyokuni et al., 2015)。また、昭和基地の遠地地震の検知率について統計解析を行い、長期変動と極域表層環境との関係について調べた(Iwata and kanao, 2015)。さらに、これまで国際地震センター(ISC)へ報告した地震数の長期変動と季節変化について検討した(Storchak et al., 2015)。氷床上観測点のノイズ相関解析からは、表面波脈動の伝搬方向とその例起源(主に波浪)について検討した(Toyokuni et al., AGU Fall, 2015)。海洋潮汐がトリガーとなるグリーンランドの氷河地震

の応力特性についても研究した（伊藤・古本, 2016）。さらに、北極域全域の最近の地震活動について概観をレビューした（Kanao et al., 2015）。平成 28 年度は、氷床上観測点のノイズ相関解析を継続し、グリーンランド全域の氷床内部及び上部マントルの地震波速度構造を調べた（Toyokuni et al., 2016）。GLISN 観測点の組み合わせにより、観測点間を結ぶ測線下の地震波速度変化の時間変動、並びに空間分布の特徴を調べた。地震波速度の

増減と氷床底面の融解・熱流量の分布に強い相関があることが示唆された。さらに、地球温暖化による氷床後退と氷河地震発生との間の関連性を明らかにするため、ETAS モデルを用いた統計解析（Himemno et al.）からは、2005 年以降の氷河地震の分布は、グリーンランドの北西部での増加が示された。

[研究発表]

- Clinton, J. F., M. Nettles, F. Walter, K. Anderson, T. Dahl-Jensen, D. Giardini, A. Govoni, W. Hanka, S. Lasocki, W. S. Lee, D. McCormack, S. Mykkelveit, E. Stutzmann and S. Tsuboi, Real-time geophysical data enhance Earth system monitoring in Greenland, *Eos Trans.*, Vol. 95, No. 2, 13-24, AGU, 2014
- Himeno, T., M. Kanao and S. Tsuboi, Activities of glacial and tectonic earthquakes around the Greenland, (in prep.) *Polar Sci.*, 2016
- 伊藤武男、古本宗充、海洋潮汐がトリガーとなる氷河地震, *月刊地球* 2015 年 2 月号<通巻 425 号>, 37, 37-43, 2015
- Iwata, T., and Kanao, M., A Quantitative Evaluation of the Annual Variation in the Teleseismic Detection Capability at Syowa Station, Antarctica, *Polar Science*, Vol. 9, 26-34, doi:10.1016/j.polar.2014.10.002, 2015
- Kanao, M., V. D. Suvorov, S. Toda and S. Tsuboi, Seismicity, structure and tectonics in the Arctic regions, *Geoscience Frontiers*, Volume 6, Issue 5, 665-677, 10.1016/j.gsf.2014.11.002, 2015
- Storchak, D. A., M. Kanao, E. Delahaye and J. Harris, Long-term accumulation and improvements in seismic event data for the polar regions by the International Seismological Centre, *Polar Science*, 9, 5-16, 10.1016/j.polar.2014.08.002, 2015
- Toyokuni, G., M. Kanao, Y. Tono, T. Himeno, S. Tsuboi, D. Childs, K. Anderson and H. Takenaka, Japanese Contribution to the Greenland Ice Sheet Monitoring Network (GLISN), *Antarct. Rep.*, 58, 1-18, 2014
- Toyokuni, G., H. Takenaka, M. Kanao, and S. Tsuboi, Numerical modeling of seismic waves for estimating influence of the Greenland ice sheet on observed seismograms, *Polar Science*, Vol. 9, 80-93, doi:10.1016/j.polar.2014.12.001, 2015.
- Toyokuni, G., H. Takenaka, M. Kanao, S. Tsuboi and Y. Tono, Seismic waveform modelings for estimating influence of the ice sheet on observed seismograms, AGU Fall 2015 Meeting, S23B-2705, Dec. 14-18, San Francisco, California, USA, 2015
- Toyokuni, G., H. Takenaka, R. Takagi, M. Kanao, S. Tsuboi, Y. Tono, D. Childs, and D. Zhao, Seismological evidence for ice sheet pressure melting, (submitted to) *Nature*, 2016

極域の地球内部不均質構造に関する地震学的研究

- ◎ 趙 大鵬 東北大学大学院理学研究科・教授
宮町 宏樹 鹿児島大学大学院理工学研究科・教授
竹中 博士 岡山大学大学院自然科学研究科・教授
小林 励司 鹿児島大学大学院理工学研究科・准教授
伊藤 喜宏 京都大学防災研究所・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

平成 26 年 - 平成 28 年 (3 か年)

[研究成果]

本研究では、昭和基地及び国際デジタル地震観測網 (FDSN) をはじめ、国際極年 (IPY2007-2008) を含めて利用可能な地震学的各種データを利用し、極域を中心としたマントル～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った。

内容は、1) 遠地深発地震の実体波波形、走時を用いた地殻不均質構造、2) 遠地深発地震の実体波波形、走時を用いた上部マントルの地震学的不連続面、3) 遠地浅発地震の表面波を用いたプレートスケール～地域的な不均質構造、異方性推定、4) 中心核の不均質構造と異方性、経年変化、5) 液体核 (外核) の構造とダイナミクス、6) 核-マントルの境界 (CMB) の不均質、7) 外核～下部マントルの遷移層 (D''層) の不均質、8) 下部マントルの不均質、9) 上記結果とブルームテクトニクスの対応によるマントル進化過程の解明、等に分類される。

国際極年では、多国籍の国際共同観測 (POLENET, AGAP/GAMSEIS 等) により南極大陸の広範囲の領域に新たな観測点が展開され (Kanao et al., 2014a)、データ量も飛躍的に増えたため、空間的にも高分解能な地球内部不均質構造研究を進めることができた。以下、個別の研究成果についてさらに詳細を記載する。

地震波の伝搬媒質となる固体地球表層 (地殻～上部マントル)、及び雪氷圏 (大陸氷床) の微細構造推定も

行った。東南極エンダービーランド～ドロンニングモードランドの広域なりソスフェア構造とテクトニクスを、ロシアのデータを加えて再吟味した (Kanao et al., 2014b)。

国際極年 IPY で得られた南極域の広域データ (POLENET) の表面波トモグラフィーにより、南極プレート全域の 3 次元上部マントル速度の不均質構造を、これまで以上の高い空間分解能で求めた (An et al., 2015a)。また、南極プレート全域の上部マントル 3 次元温度構造モデルについても表面波トモグラフィー解析による結果をもとに精度よく推定した (An et al., 2015b)。さらに、POLENET データによる走時トモグラフィーにより、西南極マリーバードランド下の上部マントルの熱構造異常を検知した (Lloyd et al., 2016)。

昭和基地を含む両極域の FDSN に属する広帯域地震計データのスペクトル解析から、巨大地震で励起される地球中心核の低周波固有モードの励起状態の緯度分布を推定した (Shimizu et al., 2015)。さらに観測波源の有力な候補地である南極プレート周辺の地震活動の時空間分布の特徴を調べた (Kanao, 2014)。

氷床の効果を考慮した全地球地震波伝播モデリングによる研究では、氷床が観測波形に与える影響を前もって調べておく必要がある。これまで全地球をターゲットとした計算精度と効率の良い理論地震波形計算手法の

をベースにして、グリーンランド氷床モデルを使用して、氷床による効果が観測される地震波形に与える影響について重点的に調べた。氷床中を伝搬する地震波形計算により、氷床の厚さや基盤深度情報も加味して、氷床中を伝わる実体波の生成様式を推定した (Toyokuni et al., 2015)。

これらの本研究による成果を含め、国際極年における極域地震学的研究成果をエルゼビア社の Polar Science 特集号として編集・出版した (2015, Vol. 9, Issue 1, ELSEVIER 社、Kanao et al. 他、計 15 編)。

[研究発表]

- An, M., D. A. Wiens, Y. Zhao, M. Feng, A. A. Nyblade, M. Kanao, Y. Li, A. Maggi and J.-J. L  v  que, The Antarctic Plate from Surface Wave Observations: S-velocity Model and Moho Topography, *J. Geophys. Res. (Solid Earth)*, 120, 1, 359–383, doi:10.1002/2014JB011332, 2015a
- An, M., Wiens, D. A., Zhao, Y., Feng, M., Nyblade, A., Kanao, M., Li, Y., Maggi, A. and L  v  que, J., Temperatures, inferred lithosphere-asthenosphere boundary, and heat flux beneath the Antarctic Plate, *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, 120, 12, 8720–8742, 10.1002/2015JB011917, 2015b
- Kanao, M., Wiens, D., Tanaka, S., Nyblade, A., Toyokuni, G., Shore, P., Tsuboi S., Heeszel, D., Usui, Y. and Parker, T., Broadband seismic deployments in East Antarctica: IPY contribution to monitoring the Earth’s interiors, *Annals of Geophysics*, 57, SS0322, doi:10.4401/ag-6379, 2014a
- Kanao, M., V. D. Suvorov, M. Yamashita and B. Mishenkin, Crustal structure and tectonic evolution of Enderby Land, East Antarctica, by deep seismic surveys, *Tectonophysics*, 627, 38-47, doi:10.1016/j.tecto.2014.04.014, 2014b
- Kanao, M., Seismicity in the Antarctic continent and surrounding ocean, *Open J. Earthq. Res.*, 2014, 5-14, doi:10.4236/ojer.2014.31002, 2014
- Kanao, M., D. Zhao, D. A. Wiens, and E. Stutzmann, Recent Advance in Polar Seismology: Global Impact of the International Polar Year – Overview, *Polar Science*, 9, 1-4, 10.1016/j.polar.2014.12.003, 2015
- Lloyd, A., D. Wiens, A. Nyblade, S. Anandakrishnan, R. Aster, A. Huerta, T. Wilson, I. Dalziel, P. Shore, D. Zhao, A seismic transect across West Antarctica: Evidence for mantle thermal anomalies beneath the Bentley Subglacial Trench and the Marie Byrd Land Dome, *J. Geophys. Res. (Solid Earth)*, 120, 8439-8460, 2015.
- Shimizu, H., Y. Hiramatsu and I. Kawasaki, Search for latitudinal variation of spectral peak frequencies of low-frequency eigenmodes excited by great earthquakes, *Polar Science*, 9, 17-25, 2015
- Toyokuni, G., H. Takenaka, M. Kanao and S. Tsuboi, Numerical modeling of seismic waves for estimating influence of the Greenland ice sheet on observed seismograms, *Polar Science*, 9, 80-93, 2015

グラニュライト中の珪長岩包有物に基づく大陸衝突型造山運動の研究

◎廣井美邦 千葉大学理学研究科・教授

M. サティッシュ・クマール 新潟大学理学部・教授

角替敏昭 筑波大学生命環境科学研究科・教授

加々島慎一 山形大学理学部・准教授

隅田祥光 長崎大学教育学部・准教授

(国立極地研究所)

本吉洋一教授、外田智千准教授

平成 26 年～平成 28 年 (3 か年)

[研究成果]

研究代表者らは、かつて大陸地殻の中下部を構成していたと考えられる泥質グラニュライトや塩基性グラニュライト中のざくろ石中に、急冷したことを示唆する組織を特徴とするメルト包有物を見出し、「珪長岩包有物」と命名した (Hiroi et al., 2014)。「珪長岩包有物」の産出はスリランカのハイランド岩体、南極のリュツォ・ホルム岩体、南アフリカのリンポポ帯、カナダのグレンビル帯など原生代初期以降の地球上の多様な場所の大陸衝突型造山帯で確認されている。

リュツォ・ホルム岩体では、これまでに西オングル島、ホノール奥岩、スカレブークハルセン、ルンドヴォークスヘッタ産のグラニュライトに

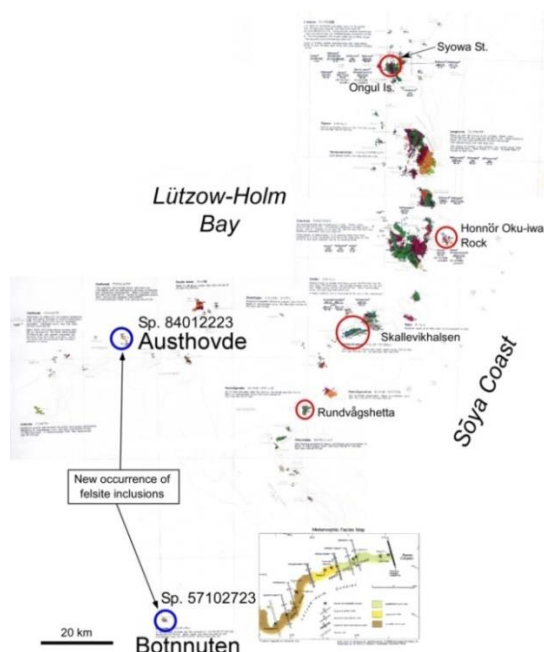


図1. リュツォ・ホルム岩体における「珪長岩包有物」含有グラニュライトの産地 (青丸が本研究による新産地)

「珪長岩包有物」が確認されていたが、本研究により、新たにアウストホブデとボツヌーテン産のグラニュライトからも確認された (図1) (廣井、2017印刷中)。特にボツヌーテンはリュツォ・ホルム湾から内陸に入ったところに位置しており、「珪長岩包有物」産出範囲を大きく広げるものである。またこの試料は第1次観測隊で採集されたもの (57102723) であり、採集から 60 年ぶりに改めてその学術的な重要性を示すとともに、試料保管の重要性も示している。

Eclogitic basic granulite (84012223 A) from Austhovde, East Antarctica

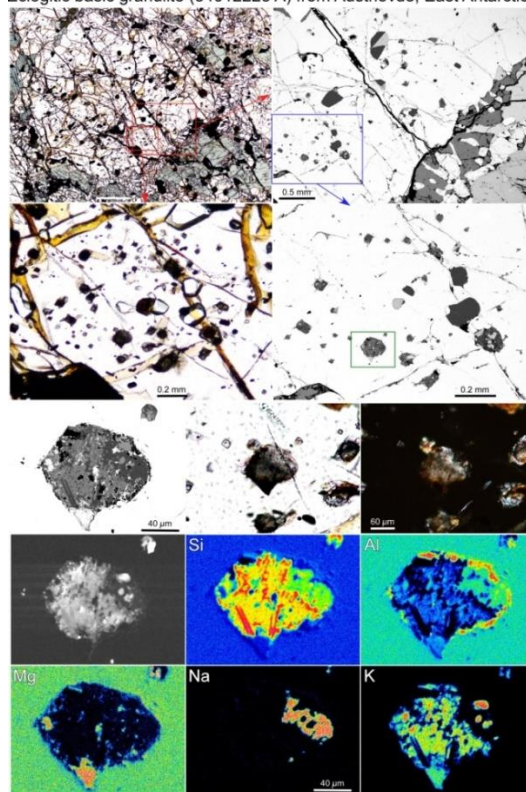


図2 アウストホブデ産の塩基性グラニュライト (84012223) 中の「珪長岩包有物」の例。石英の一部が樹枝状結晶の形態を示し、過冷却状態が発生したことを示す。

アустロホブデの試料 (84012223) は鉄に富む塩基性岩で、主としてザクロ石と単斜輝石によって構成されており、エクロジャイト的な岩石である (図2)。「珪長岩包有物」中に石英の樹枝状結晶が見られることがあり、過冷却状態が発生したことで、その後、その微細組織をよく保存すべく母岩のグラニュライトが急冷したことを示している。

ボツヌーテンの試料 (57102723) はミグマタイト的な泥質岩で、主要鉱物は珪線石、ざくろ石、黒雲母、斜長石、アルカリ長石、石英である (図3)。

「珪長岩包有物」は多様な鉱物組成を示すが、花崗岩質であることが多く、石英が自形で斑晶状の形態を示すこともある。そのような石英粒のSEM-CL 観察では、明瞭な累帯構造が見られ、内部の方ほど明るく光り、高いTi含有量、したがって高温の晶出温度を示唆する。石英基部には他形の紅柱石が出現することがあり、本岩に多量に出現する珪線石形成時よりも後の降温時に結晶化したことを示している。

特に多数の珪長岩包有物が多い確認されているスリランカでは、その出現がハイランド岩体の周縁部に限定されており、貫入火成岩体に生成される急冷周縁相に類似している。そのため、本研

究によって珪長岩包有物出現が広範囲で確認されたリュツォ・ホルム岩体は、これまでの理解とは異なり、多数の「グラニュライト岩体」の集積したものであることを示唆しているのかもしれない。さらなるデータの収集と解析が必要である。

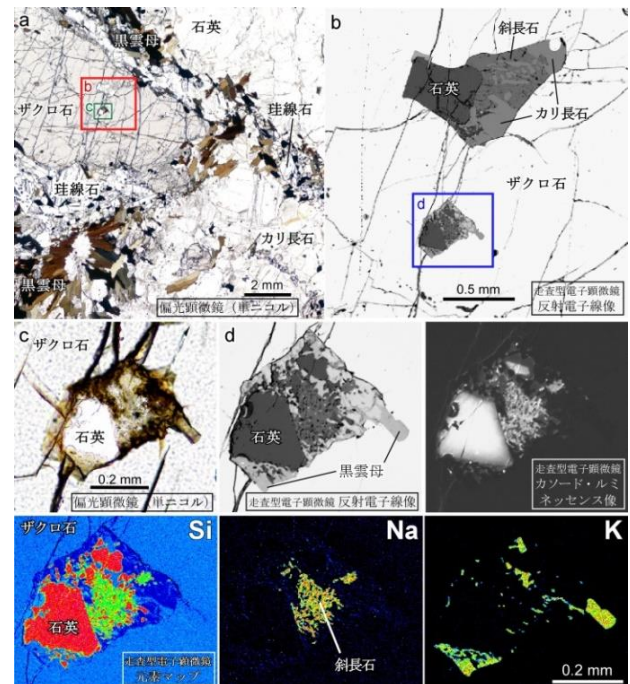


図3 第1次観測隊によって採集され、極地研究所に保管されているボツヌーテン産の泥質グラニュライト (57102723) 中の「珪長岩包有物」の例。SEM-CL 像で、自形・斑晶状の石英が累帯構造構造を示すことに注目。

【参考文献】

- 廣井美邦 (2015) 大陸衝突型造山帯で岩石は高速移動するか：グラニュライトから「珪長岩包有物」の発見。『科学』, 59, 418-423.
- Tsunogae, T., Yang, Q.Y., Santosh, M., 2015. Early Neoproterozoic arc magmatism in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Petrology, geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes and tectonic implications. *Precambrian Research* 266, 467-489. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301926815001898>
- Takamura, Y., Tsunogae, T., Santosh, M., Malaviarachchi, S.P.K., Tsutsumi, Y., 2015. Petrology and zircon U-Pb geochronology of metagabbro from the Highland Complex, Sri Lanka: Implications for the correlation of Gondwana suture zones. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113(2), 826-841. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.07.001>
- Tsunogae, T., Yang, Q.Y., Santosh, M., 2016. Neoproterozoic – Early Paleoproterozoic and Early Neoproterozoic arc magmatism in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Insights from petrology, geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes. *Lithos* 263, 239-256. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024493716000827>
- Kazami, S., Tsunogae, T., Santosh, M., Tsutsumi, Y., Takamura, Y., 2016. Petrology, geochemistry and zircon U-Pb geochronology of a layered igneous complex from Akarui Point in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica: Implications for Antarctica-Sri Lanka correlation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 130, 206-222. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912016301109>
- Takamura, Y., Tsunogae, T., Santosh, M., Malaviarachchi, S.P.K., Tsutsumi, Y., 2016. U-Pb geochronology of detrital zircon in metasediments from Sri Lanka: Implications for the regional correlation of Gondwana fragments. *Precambrian Research* 281, 434-452. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301926816302030>
- Yano, M., Tsunogae, T., Santosh, M., Yang, Q.Y., Shaji, E., Takamura, Y., 2016. Ultrahigh-temperature metagabbros from Wynad: implications for Paleoproterozoic hot orogen in the Moyar Suture Zone, southern India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 130, 139-154. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912016301092>
- 廣井美邦 (2017 印刷中) ゴンドワナ大陸と南極。『極地』 104 号

衛星および地上測地データを用いた氷床流動変動の研究

◎福田洋一 京都大学大学院理学研究科・教授

(国立極地研究所)

土井浩一郎 准教授

野木義史 教授

青山雄一 助教

平成 26 年～平成 28 年 (3 年)

【研究成果】

1. はじめに

GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)の衛星重力データや、Envisat(Environmental Satellite)、ICESat (Ice, Cloud and land Elevation Satellite)などの衛星高度計データを利用した南極氷床変動の研究はこれまでも広く行われており、氷床質量変動のみならず、GIA (Glacial Isostatic Adjustment)の研究にとっても重要な成果を挙げていることは周知のことである (例えば、Yamamoto et al., 2011)。従来、これらの研究は比較的広域での変動を対象としたものが主であり、流域スケールでの氷床の流動までも明らかにしようという試みはあまりなされていない。しかし、氷床変動モデルとも連携した将来的な氷床変動予測のためには、氷床変動がどのようなメカニズムで生じているかを明らかにすることが重要であり、そのためには流域スケールでの氷床変動を精密に知る必要がある。

そこで本研究では、主に昭和基地周辺の白瀬氷河を中心とした流域スケールでの氷床変動に着目し、GRACE の衛星重力データに衛星高度計データや表面質量収支モデルを用い、高空間分解での氷床質量変動を捉えることを試みた。また、将来的には、氷床や基盤地形と氷床流動との関係も考慮し、GNSS(Global Navigation Satellite System)ブイ等の地上データを加味することで、大陸氷床が海洋へどのように移動 (流動) していくかを明らかにすることを目標とした。さらに、その過程で、質量移動ともなう荷重変化が、昭和基地での超伝導重力観測や絶対重力測定、GNSS 等の地上観測により検出でき

るのか、あるいは、逆に観測データにどの程度の影響を及ぼすのかについても検証を試みた。

2. 氷床・基盤地形と氷床変動

流域スケールでの氷床変動を考える際、氷床やその基盤地形は、氷床流動を制御する重要な要因と考えられる。そこで、昭和基地が位置するドローニングモードランドからエンダービーランドにかけての地域で、Envisat、ICESat のデータによる氷床高度変化と地形・基盤構造の関係について調べた。その結果、氷床高度変化の大きな地域は、ほぼ海岸線に近い領域に限定されており、さらに、表面地形の勾配の大きい地域と良く一致していることが判明した。これらの地域では、年周的な高度変化も大きく、地表風変化との間にも相関がみられことから、氷床上の雪が地表風により運ばれ、地表傾斜の大きいところに吹き溜まることにより大きな高度変化を生じさせている可能性を示唆するものである。一方、白瀬氷河の下流域に於いて、大きな高度変化が確認できたが、これは GRACE による質量変化のピーク位置とも調和的であることから、白瀬氷河の流動と関連する変化を示唆するものである。

3. GRACE、高度計、表面質量収支モデルの比較

白瀬氷河流域での質量収支の定量的な見積のため、GRACE、衛星高度計データに加え、RACMO (Regional Atmospheric CLimate Model) 2.3 (Van Wessem et al., 2014)の表面質量収支モデルとの比較を行った。その結果、この地域での一般的な傾向として、GRACE データが使用可能となった 2002 年以降、質量増加が継続していることが確認できた。な

お、この地域での GIA の影響は変動量の 10%程度であるのでモデル間の差を考慮してもこの傾向は確かである。

次に、GRACE、Envisat、RACMO の Firn モデルを組み合わせるにより、特に勾配の大きかった 2008 年から 2010 年の質量増加の要因について検討を行った。簡単のため、新雪、フィルンの密度をそれぞれ 100kg/m^3 、 350kg/m^3 と仮定し、GIA の影響を補正した GRACE の質量変動勾配と、Envisat の高度変化勾配、RACMO モデルを比較した。その結果、高度計で得られた氷床の高さ変化は、新雪による質量増加を RACMO の Firn モデルの 10%程度とすると調和的であり、この地域の質量増加は降雪によるものであることが示された。一方で、GIA モデルによる誤差も変動の 10%程度はあると思われることから、今後、より詳細な質量収支の見積もりのためには、GIA モデルの高精度化も重要な課題である。

4. 昭和基地地上観測との関係

氷床変動は、質量変化や荷重の変化として重力の変化や地殻変動を引き起こす可能性があり、昭和基地での超伝導重力計観測やGNSS などの宇宙測定観測でこれらの変動が捉えられるかは興味深いところである。昭和基地での超伝導重力観測については、Aoyama et al. (2016)が詳細な解析を行っているが、それによると、大陸での氷床変動そのものの影響を直接捉えることは困難であるが、昭和基地と大陸での降雪の状況が良い相関を示すことから、昭和基地でのローカルな降雪の影響による重力変化と、GRACE が捉えた質量変化に

よい相関があることが示された。このことは、昭和基地での降雪観測が大陸での降雪観測の一定の代表値として利用できる可能性を示している。

5. おわりに

GRACE の衛星重力データ、Envisat、ICESat の衛星高度計データに、RACMO の表面質量収支モデルを加え、白瀬氷河流域での氷床質量収支バランスについて検討を行い、現状の測定精度等を考慮すると、これらは調和的であり、この地域での降雪による氷床質量増加傾向が確認できた。また、昭和基地での超伝導重力計観測では、昭和基地での積雪量の増加として同様のシグナルが捉えられていることも判明した。

一方、氷床の直接的な流動を捉える手段として、GNSS ブイによる測定が有効であることが示されているが(Aoyama et al., 2013)、JAREでは白瀬氷河周辺での GNSS ブイ観測を広範囲に展開し、最近、通年での流動観測に成功している。本研究では、これらの観測データと氷床変動の直接的な関係について調べるまでには至っていないが、これらのデータが氷河末端部での氷床の融解メカニズムを知る上で重要なデータとなることは確かである。

今後、さらに InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)による氷床変動データや現地での観測による氷床変動データも用い、衛星高度計、衛星重力データと組み合わせた氷床流動・変動メカニズムの解明に向けた研究を継続することが重要である。

[参考文献]

- Aoyama Y., K. Doi, H. Ikeda, H. Hayakawa, K. Shibuya (2016): Five years' gravity observation with the superconducting gravimeter OSG#058 at Syowa Station, East Antarctica: gravitational effects of accumulated snow mass, *Geophys. J. Int.*, 205, 1290–1304.
- Van Wessen et al., (2014): Improved representation of East Antarctica surface mass balance in a regional climate model. *J. Glac.*, 60(222), 761-770, doi: 10.3189/2014JG14J051.
- Yamamoto, K., Y. Fukuda and K. Doi (2011): Interpretation of GIA and ice-sheet mass trends over Antarctica using GRACE and ICESat data as a constraint to GIA models, *Tectonophysics*, 511, 69-78.

[研究発表]

合成開口レーダ（SAR）データの高度利用による南極域の観測手法の開発

◎大村 誠 高知県立大学文化学部・教授
 小池 克明 京都大学大学院工学研究科・教授
 山之内 勤 (一財)リモート・センシング技術センター・主任研究員
 中村 和樹 日本大学工学部・准教授

(国立極地研究所)

土井浩一郎 准教授

平成 26 年～平成 28 年（3 か年）

1. はじめに

地球環境変動を反映する南極氷床・氷河などの変化の観測に、極夜や悪天でも広域の地表観測が可能な衛星搭載合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) を利用した研究を続けてきた [たとえば 1]。その中で、極地研究所に蓄積されている南極域の 1990 年台初めからの衛星搭載 SAR (ERS-1/2, JERS-1) データで南極コーツランドの強度画像の再検討を進め、氷河・クレバスなどの地表の特徴的な形状とその変化を明らかにした [2]。その後、2006 年から 2011 年に運用された我が国の ALOS 衛星に搭載された PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) データの干渉解析やフルポラリメトリ (Full Polarimetric) SAR データの解析も行った [たとえば 3]。これらの取り組みをもとに、2014 年に打ち上げられた我が国の ALOS-2 衛星からの L-band SAR データも含めて高度利用する南極域の観測手法の開発を目指した。

2. 氷河流動の観測

SAR は全天候・太陽光の条件を問わず地表の広域の画像データを取得できることから、悪天候が多く、極夜の期間も存在する南極域での地表観測に活用され、SAR 画像で氷河や海上の氷山・氷の形状はよく判別できる。

本研究が関係する例では、1996 年から 2015 年に及ぶ、これまでの我が国の 3 つの SAR 搭載衛星 (JERS-1, ALOS, ALOS-2) のデータを各衛星の運用期間ごとに解析することで白瀬氷河の過去 20 年間の流動速度が詳しく調査された [4]。その中では、ある期間の SAR 振幅画像ペアに対して画像相関法を適用することによって、上流から下流へのプロファイルに沿っての流動速度の差、流動速度の経年変化などが観測された。また、同じ手法で 1996 年から 1998 年に取得された JERS-1 搭載 SAR データを用いた解析では、白瀬氷河の東部と西部の流線での流動速度の差により白瀬氷河が下流で湾曲する様

子が示され、この氷河が流れ込むリュツォ・ホルム湾の海底地形なども考慮して、この氷河下の基盤地形の東西の非対称性と氷河の湾曲について考察された [5]。また、白瀬氷河上流部付近の氷の質量収支バランスの推定において、ALOS 衛星搭載 PALSAR 画像から得られた氷河流動速度ベクトル (図 1) も考慮された [6]。このように、白瀬氷河周辺での氷河流動の観測に SAR 振幅画像での画像相関法の有効性が示された。また、観測頻度は少なくなるものの、ALOS 衛星と ALOS-2 衛星に搭載された SAR により得られるフルポラリメトリ SAR データの偏波情報を生かす手法も検討した。

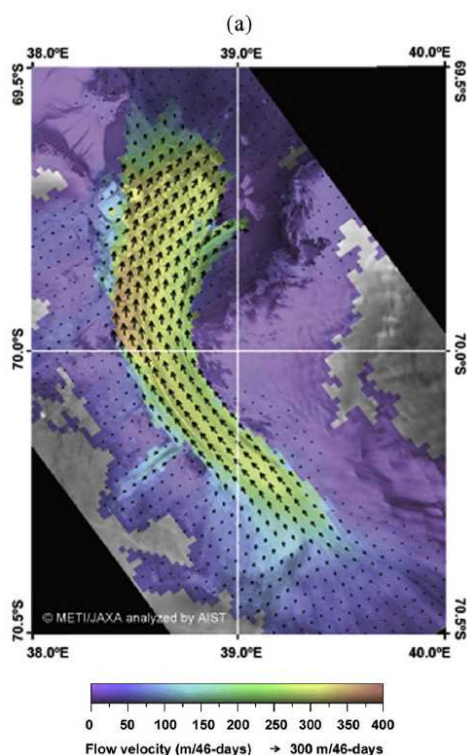


図 1 白瀬氷河の流動速度ベクトル
 (Nakamura *et al.* [6])

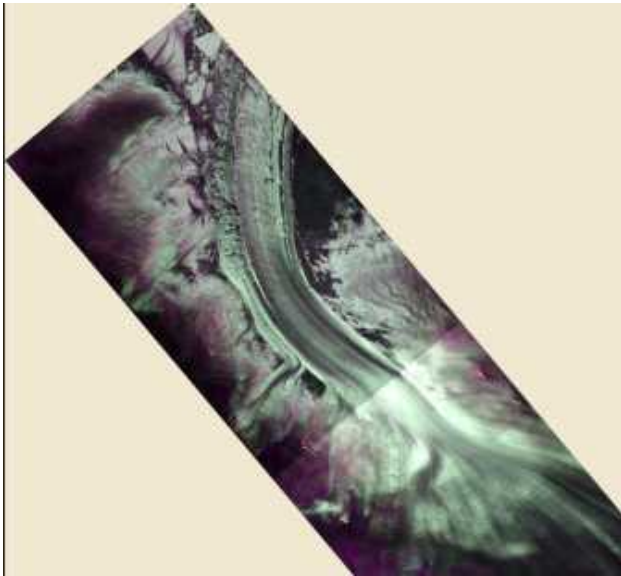


図2 白瀬氷河の偏波合成画像の例
ALOS-2/PALSAR-2 (2015/06/07)
オリジナルデータ (C) JAXA

3. 白瀬氷河の初歩的な偏波 SAR 画像

白瀬氷河に着目して、2015年6月7日に取得された ALOS-2 搭載 PALSAR-2 によるフルポラリメトリ SAR データの振幅画像を使い、初歩的な偏波合成画像を作成した(図2)。偏波合成画像は HH, HV, VV 偏波によるデータを必要に応じて演算して作成した画像をそれぞれ光の3原色 (R, G, B) に割り当てるものであり、今回の例では HH, HV, VV 偏波の画像をそのまま R, G, B に割り当てた初歩的なものである。今回の偏波合成画像では全体に G の

[参考文献]

- 1) 大村 誠・小池克明・山之口 勤・中村和樹・澁谷和雄・土井浩一郎：合成開口レーダ (SAR) による南極域の地表変化の時系列解析, 平成 22 年度共同研究報告書, 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所, pp.62-63, 2011.
- 2) Koike K., H. Yoshida, M. Omura, K. Shibuya, and K. Doi : Temporal changes in crevasses in the middle Slessor Glacier, Coats Land, East Antarctica: factor analysis of SAR data, Earth, Planets and Space, Vol.64, pp.257-267, 2012.
- 3) 大村 誠・小池克明・山之口 勤・中村和樹・澁谷和雄・土井浩一郎：合成開口レーダ (SAR) による南極域の地表変動観測手法の改善, 平成 25 年度共同研究報告書, 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所, pp.66-67, 2014.
- 4) 中村和樹, 山之口勤, 青木茂, 土井浩一郎, 澁谷和雄: 南極・白瀬氷河の 20 年間の流動速度変動, 雪氷, 79 巻, 1 号, pp.3-15, 2017.
- 5) 中村和樹, 山之口勤, 土井浩一郎, 澁谷和雄: 南極・白瀬氷河における氷流の東への湾曲, 雪氷, 78 巻, 6 号, pp.417-424, 2016.
- 6) Kazuki Nakamura, Tsutomu Yamanokuchi, Koichiro Doi, Kazuo Shibuya: Net mass balance calculations for the Shirase Drainage Basin, east Antarctica, using the mass budget method, Polar Science, vol.10, no.2, pp.111-122, 2016.
- 7) Saepuloh, A., Koike, K., Urai, M., Sumantyo, J.T.S.: Identifying surface materials on an active volcano by deriving dielectric permittivity from polarimetric SAR data, IEEE Geosci. & Remote Sens. Lett., vol.12, no.8, pp.1620-1624, 2015.

色調 (HV 偏波画像) の強度が比較的強く、氷表面での体積散乱が強いことがわかる。しかし、氷河上の流線やクレバスなどの構造と散乱状況の関連は明確ではない。さらに散乱体と電波との相互作用を意識した解析手法が求められる。

4. まとめ

SAR データを高度利用する南極域の観測手法の開発を試みた。白瀬氷河に注目し、初歩的な多偏波データの RGB 合成画像では、SAR 振幅画像ペアの画像相関法で求めた流速分布と比較して議論できるような画像は得られなかった。また、先の研究[3]を受けて、多偏波 SAR データから地表物質の電磁的パラメータを導き出す手法 dPSAR (dielectric permittivity from polarimetric SAR : Saepuloh *et al.*[7]) の導入も進める予定だったが、南極域で適切なデータを見出すことができず、検討が進まなかった。

本研究で使用した ALOS/PALSAR データの所有権は経済産業省(METI)および宇宙航空研究開発機構(JAXA)にあり、JAXA と国立極地研究所との協定に基づき提供され、(一財)宇宙システム開発利用推進機構 から配布されたデータも使用しました。また、ALOS-2/PALSAR-2 データの所有権は JAXA にあり、使用したデータは JAXA' s ALOS-2 RA-4 (PI No. 1496)の枠組で提供されました。

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（4）生 物 圈

平成28年度共同研究報告書（終了）

季節海氷中における微小生物群集の環境応答に関する生態学的研究（研究課題）

◎服部 寛 東海大学理工学部・教授（研究代表者）
田口 哲 東京大学・大気海洋研究所・特任教授（共同研究者）
濱崎恒二 東京大学大気海洋研究所・准教授（共同研究者）
片山智代 東京大学 農学部・特任研究員（共同研究者）

（国立極地研究所）

小達恒夫 教授（担当教員）
平成26年～平成28年（3か年）（研究期間）

【研究成果】

この共同研究は南北両極域外洋と沿岸域における季節的結氷海域の研究の2部構成になっている。初めに外洋の結氷海域の研究成果について報告し、次に内湾の結氷海域の研究成果について報告する。

「1」外洋の結氷海域の研究成果

共同研究期間および直前の期間において東京海洋大学の海鷹丸の南極航海に、国立極地研究所の南極地域観測8期の重点観測研究の海洋生物グループとして、研究代表者である服部寛および共同研究者である片山智代が参加し、「南極海の酸性化環境下における植物プランクトンの動態」の研究を行った。そのなかで特に、南極海の表層混合層の酸性化による植物プランクトン動態の予測研究を行い、鉄添加環境ではあるが、50-100年後に予測されている二酸化炭素濃度下では、植物プランクトンの現存量が半減することを予想した。また、表層中の植物プランクトンのサイズによる光吸収効率の違いを明らかにする研究を行うと同時に、南極海の表層混合層中の植物プランクトンの強光に対する応答の船上実験による研究をクロロフィルa色素の蛍光分析を用いて行った。加えて、南極海の表層混合層中の植物プランクトンの強光に対する応答の船上実験による研究をクロロフィルa色素の蛍光分析を用いて行った。平成26年度以前の重点8期の航海で得られた実験結果と本共同研究成果をもとにした論文を2017年の国際学術雑誌の *Polar Biology*, *Polar Science* に印刷発表し、平成29年に印刷される *Polar Scienc* に受理された原稿もいくつかある。これらすべての実験結果は極地研究所の国際シンポジウムですでに公表済みでもある。

北極では日本とカナダとの共同研究が平成16年から18年まで行われ、冬季期間における海氷から放出、沈降するアイス・アルジーの光合成活性の有無と特徴を明らかにする実験を行った。この実験結果をも

とにして、論文を国際学術雑誌の *Polar Biology* に印刷発表を平成24年に行った。その主な内容は冬季期間に海氷から放出、沈降するアイス・アルジーは活発な光合成活性を有し、海水中に放出された後も、春季の植物プランクトンの大増殖の「種」個体群となる可能性があることを示唆した。

以上は主に植物プランクトンの分布と生理が環境条件とどのように対応するかとの研究であるが、動物プランクトンを対象にした南北両極域の研究をおこなった。

北極では日本とカナダの共同研究の一環として、カナダ北極圏に設置したセジメントトラップで捕集された動物プランクトン種組成と沈降量の変化の生体学研究を行い、*Polar Biology* に成果を発表した。

南極においては、海鷹丸の南極航海において海洋表層に分布する翼足類の種組成とサイズ組成空生活史をおからかにする試みを初めて実施し、研究原稿は既に *Polar Science* にじゅりされている。

「2」内湾の結氷海域の研究成果

季節海氷域の南端に位置し、海氷の季節消長現象が顕著に現れる北海道のサロマ湖で現場観測、実験を行った。クロロフィルa色素の蛍光分析による、アイス・アルジーの低光度への適応の機構の解明を行った。また、季節海氷域の南端に位置し、海氷の季節消長現象が顕著に現れる北海道のサロマ湖で現場観測と実験を行った。クロロフィルa色素の蛍光分析による、アイス・アルジーの低光度への適応の機構の解析と強光度に対する光保護適応の解明が出来たことが研究成果としてあげられる。同時に、サロマ湖の愛すアルジーのタンパク質様溶存有機物の蓄積特性に付いても実験研究を行った。この実験結果をもとにして、論文を国際学術雑誌の *Polar Biology* および *Annals of Glaciology* に印刷発表を行った。そ

の主な内容は低い光強度に適応したアイス・アルジーは強い光強度に暴露されると、非化学消光機構によって余分な光を細胞外に放出して自らの細胞を強光から守る応答を保持していることを明らかにした。

【今後の予定】

今年度が共同研究の最終年度であるが、国際学術雑誌に未公表の研究成果もあるので、継続して印刷発表の努力をおこたらないようにしたい。

[研究発表]

Motokawa, Syozo, Hiroshi Hattori, Hiroshi Sasaki, and Satoru Taguchi (2014) Photoprotective acclimation of natural assemblages of phytoplankton at various optical depths in the Indian sector of the Southern Ocean. *Polar Biol.*, 37, 1373-1381. DOI 10.1007/s00300-014-1527-5

Takao, Shintaro, Toru Hirawake, Gen Hashida, Hiroshi Sasaki, Hiroshi Hattori, Koji Suzuki (2014) Phytoplankton community composition and photosynthetic physiology in the Australian sector of the Southern Ocean during austral summer 2010/2011. *Polar Biol.*, DOI 10.1007/s00300-014-1542-6

Granskog, Mats A., Daiki Nomura, Susann Müller, Andreas Krell, Takenobu Toyota, Hiroshi Hattori (2015) Evidence for significant protein-like dissolved organic matter accumulation in the Sea of Okhotsk in sea ice. *Annals of Glaciology*, 56, 1-8. doi: 10.3189/2015AoG69A002

Makabe, Ryosuke, Hiroshi Hattori, Makoto Sampei, Gérald Darnis, Louis Fortier and Hiroshi Sasaki (2016) Can sediment trap-collected zooplankton be used for ecological studies? *Polar Biol.*, DOI 10.1007/s00300-016-1900-7

Katayama, Tomoyo, Ryosuke Makabe, Makoto Sampei, Hiroshi Hattori, Hiroshi Sasaki, and Satoru Taguchi (2016) Photoprotection and recovery of photosystem II in the Southern Ocean phytoplankton. *Polar Sci.*, doi.org/10.1016/j.polar.2016.12.003

Akiha, Fumihiro, Gen Hashida, Ryosuke Makabe, Hiroshi Hattori and Hiroshi Sasaki (accepted) Distribution in the abundance and biomass of shelled pteropods in surface waters of the Indian sector of the Antarctic Ocean in mid-summer. *Polar Sci.*,

Endo, Hisashi, Hiroshi Hattori, Tsubasa Mishima, Gen Hashida, Hiroshi Sasaki, Jun Nishioka, Koji Suzuki (accepted) Phytoplankton community responses to iron and CO₂ enrichment in different biogeochemical regions of the Southern Ocean. *Polar Biol.*,

3. 研究協力者（共同研究者ではない参加者。大学院生等）については、（別紙）参加者一覧に記載し、報告書に添付してください。

本川正三 創価大学 大学院後期過程 学生（研究協力者）
遠藤寿 北海道大学 地球環境研究院 学生（研究協力者）

(共同研究報告書 (終了))

南大洋に生息する植物プランクトン種からの揮発性有機化合物放出に関する研究 (研究課題)

◎ 亀山宗彦 北海道大学大学院地球環境科学研究院・准教授 (研究代表者)

鈴木光次 北海道大学大学院地球環境科学研究院・教授 (共同研究者)

(国立極地研究所)

小達恒夫 教授 (担当教員)

平成 26 年～平成 28 年 (3 年) (研究期間)

[研究成果]

本研究では計画時には南大洋に生息する植物プランクトン種の室内培養実験を行う予定であったが、新たに構築する予定であった室内培養実験系を作成するに十分な研究費を獲得することができなかった。そのため、極域で得られた海水試料を培養し、放出される微量気体成分を測定することでその特徴を捉えることとした。

本研究では海洋開発研究機構「みらい」MR15-03 航海 (図 1) に乗船し、北極海において現場海水を採取し、船上で培養実験を行った。本培養実験は今後の気候変動に伴う酸性化・高温化・淡水化といった予想される環境変化への生物応答及びそれに伴う硫化ジメチル (DMS) 及びその前駆体のジメチルスルフォニオプロピオネート (DMSP) の放出の違いがあるかどうかについて検討を行った。

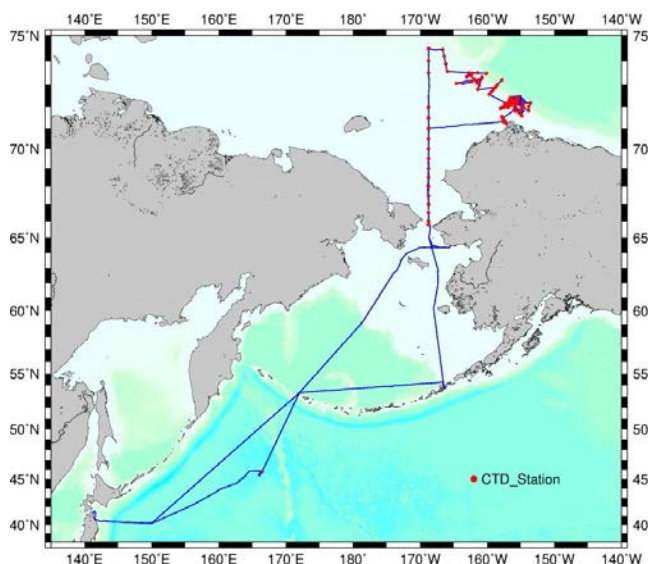


図 1 : MR15-03 航海航路図

本研究では北極海のアラスカ・バロー沖 (71°44' N, 155°20' W) で水深 10 m の試料を採取し、「みらい」後部甲板において船上培養を行った。採取した海水試料を培養条件別に 10 L のロンテナー 2 本準備し、十分量の栄養塩を添加した後、海表面に対し約 50% の光量下で培養を行った。培養条件を表 1 に示す。

表 1 : 船上培養実験条件

Treatment	Recipe
LT	Unamended control
LT600	LT + high CO ₂ SW
HT	+5°C rel. LT
HT600	HT + high CO ₂ SW
LTLS	LT + Milli-Q water
LTLS600	LTLS + high CO ₂ SW
HTLS	+5°C rel. LTLS
HTLS600	HTLS + high CO ₂ SW

表 1 に示すように、本研究では、酸性化を評価するために pCO₂分圧を 300 μatm および 600 μatm、温暖化を評価するために水温を 2.2°C および 7.2°C、そして淡水化を評価するために塩分を 29.4 および 27.8 に調整し、それぞれ複合的な要因も評価するために 8 つの実験区を設けた (図 2)。約 2 週間の実験期間中に LT、HT の各系列で 4 回ずつ DMS 及び DMSP の試料採取を行った。栄養塩、クロロフィル a 濃度、植物プランクトン色素濃度、検鏡試料、一次生産等の生物パラメータ試料に関しても採取した。

DMS 試料は採取時に GF/F フィルターを装着したフィルターホルダーによって植物プランクトン細胞を除去したろ液を約 30 mL 採取し、船上で Kasamatsu et al. (2004) を基にパージ&トラップ (P&T) による気体抽出及び炎光光度計 (FPD) を備えたガスクロマトグラフ (GC-2014、島津製作所製) を用いて測定した。DMSP 試料は溶存態の DMSP_d と粒子態の DMSP_p を区別するために、Kiene and Slezak (2006) で報告された重力ろ過方法を用いた DMSP_d 試料とろ過しない全量である DMSP_t 試料の 2 つを作成し、5N の HCl をそれぞれ 0.5、1.0 mL 添加することで保存して陸上に持ち帰った。陸上に持ち帰った試料は 6N NaOH を用いてアルカリ化することによって DMSP を DMS の形とした後、上記の P&T-GC-FPD 手法によって濃度を定量した。

(裏面に続く)



図 2：船上培養実験と試料採取の様子

本研究で得られた結果を図 3 に示す。LT 系列と HT 系列では明らかに植物プランクトンの増殖速度に差があることがわかった。植物プランクトンは通常水温が高いほど増殖速度が高まるのが分かっており、本研究の船上培養実験もこの一般性は保たれていることがわかった。また、LT、HT 各系列において Chl-a の結果からは各実験区間の違いは顕著にはみられなかった。検鏡およびフローサイトメトリーの結果、植物プランクトン群集全体に占める割合のうち一般に大型種である珪藻の割合が高温になることによって低くなっていることがわかり、温暖化が小型の植物プランクトンへの種構成を変化させる可能性を暗示している。

DMS、DMSPt の結果でも同様に HT 系列が有意に LT 系列よりも濃度が高くなっていることがわかった。また、そのうち酸性化させた実験区（例えば LT に対する LT600）は DMS、DMSPt 共に濃度が高くなっており、淡水化させた実験区（例えば LT に対する LTLS）は特に DMSPt で濃度が低くなる傾向にあった。また、DMS に比べて DMSPt の方が各実験区における応答の違いが早くみられた。それぞれの実験区における DMS、DMSPt の生成に関して今後更に生物パラメータと比較することによってその制限因子について検討を進める予定である。

[参考文献]

- 1) Kasamatsu, N., Kawaguchi, S., Watanabe, S., Odate, T. and Fukuchi, M. (2004): Possible impacts of zooplankton grazing on dimethylsulfide production in the Antarctic Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 61(5), 736-743.
- 2) Kiene, R. P. and Slezak, D. (2006): Low dissolved DMSP concentrations in seawater revealed by small-volume gravity filtration and dialysis sampling. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 4(4), 80-95.

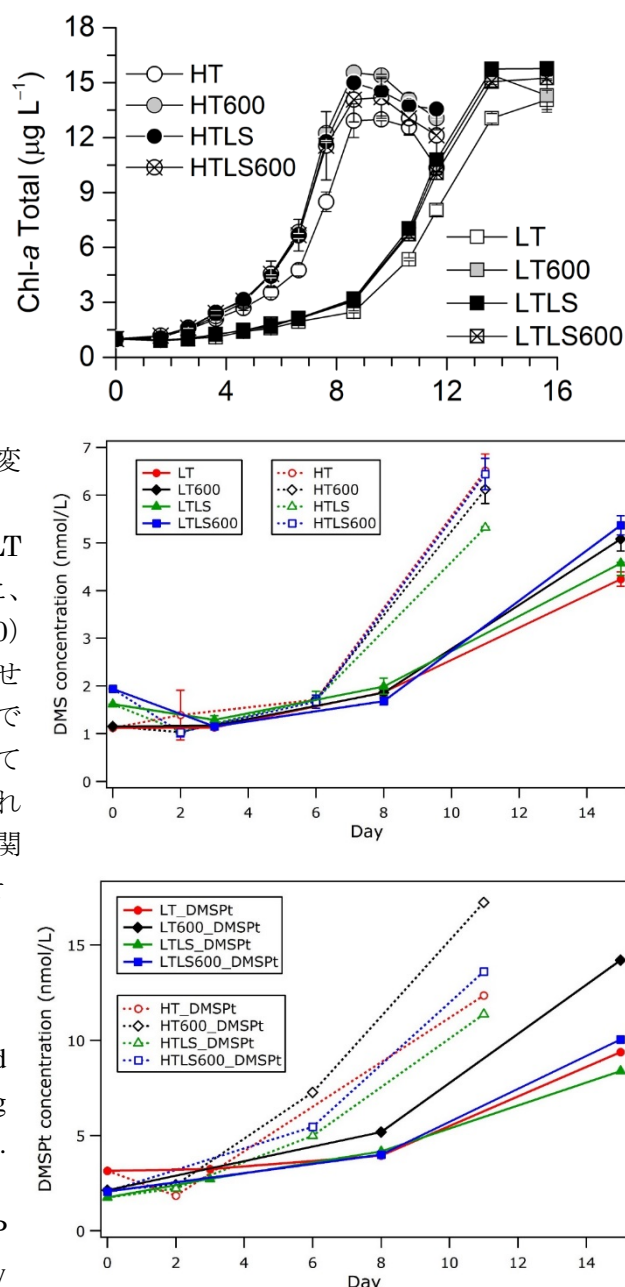


図 3：培養実験における（上）クロロフィル a、（中）DMS 濃度、（下）DMSPt 濃度時系列変化

極域における生態系発達と菌類の分布様式に関する研究

◎大園享司 同志社大学理工学部・教授

(国立極地研究所)

内田雅己 准教授

平成 26 年～平成 28 年 (3 か年)

[研究成果]

極域生態系では、近年の地球規模での温暖化傾向にともない氷河の後退が進行しており、それにもなつて新たに出現した地表面への植物や菌類の定着と、時間経過にともなう生態系の遷移が進行している。菌類は極域生態系における生物多様性の一翼を担うのみならず、分解や共生といった機能を通じて生態系の動態にも影響を及ぼす(例えば、Osono 2007)。本研究では、北極および南極の生態系発達にともなう炭素・窒素の集積パターンを明らかにするとともに、土壌における物質集積において中心的な役割を担う菌類の地理的な分布パターンについて検討した。2003、2004 年度にカナダ国ヌナブト準州エルズミア島のツンドラ域で採取した試料、および 2009 年度の第 51 次南極地域観測隊に参加時に、南極大陸リュッツォホルム湾沿岸の露岩域で採取した試料を研究に用いた。また、生態系および菌類についての研究データが集積している高緯度地域の山岳生態系をモデルとして、生態系のダイナミクスや保全に関する最新のデータを成書に集約した。

(1) 北極の氷河後退域における生態系の一次遷移と炭素・窒素の集積

カナダ高緯度北極・エルズミア島のオーブローヤ湾周辺に位置する氷河後退域において、植生および土壌の炭素・窒素の蓄積量を調べた。氷河広帯域全体を対象とした一次遷移系列(図 1)と、周氷河作用であるマッドボイルの発生に起因する植生遷移系列の 2 つの空間スケールに注目して、植生・土壌試料の採取を行なった。氷河後退域全域を対象とした調査から、植生の地上部と地下部、地表のリター、および土壌の炭素・窒素量は、立地の水分条件、氷河後退後の年代、および植生により差が認められた。また植生の地上部、地表のリター、生物土膜、および土壌の炭素・窒素量は、周氷河地形であるマッドボイルの不活性化の段階を経るにともない増加しており、マッドボイルの出現が植生と土壌の局所的な乱を引き起こすことが示された。主成分分析の結果、立地の水分条件が炭素・窒素量の蓄積パターンに影響を及ぼす主要因であることが明らかとなった。

同じ調査地ではすでに、優占的な植物である維管

束植物の *Salix arctica* と、コケ植物である *Hylocomium splendens* および *Racomitrium lanuginosum* の分解に関わる菌類について明らかにしている(Osono et al. 2012, 2014)。今回の研究結果と合わせることで、菌類による分解活性の低さが生態系における土壌炭素・窒素の集積を引き起こす一因であることが示された。

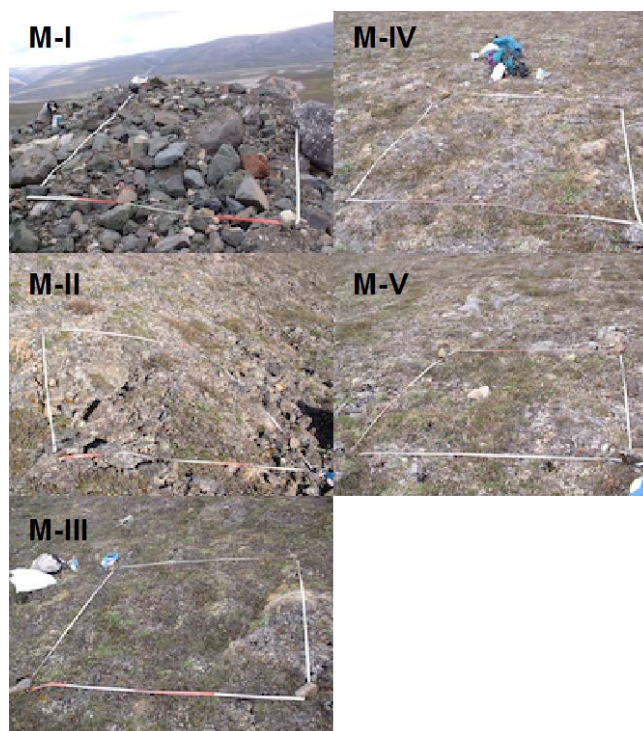


図 1. 氷河後退にともなう一次遷移。M-I、M-II、M-III、M-IV、M-V は、氷河後退からそれぞれおよそ 250-400 年、2400-3300 年、8000 年、12000-15000 年、25000-35000 年が経過した場所と推定される(長谷川ら、2004)。

(2) 大陸性南極の露岩域における菌類の地理的分布パターンと制限要因

大陸性南極の露岩域は大陸面積の 2%程度を占めており、冷涼で乾燥した環境下にあるだけでなく、大陸氷床で分断され孤立している上に、他の大陸からも遠く離れている。このような極限環境下における菌類群集の種多様性と、群集組成に及ぼす環境制

(裏面に続く)

限と分散制限の寄与を明らかにするための研究を行った。南極地域観測隊第 51 次隊に参加した期間中、東南極のリュッツ・ホルム湾およびアムンゼン湾の 5 ヶ所の露岩域にてサンプリングを行った。コケ群落が認められた全 41 地点において、地点あたり 5 点、計 205 点のコケ試料を採取した。冷凍下で日本に持ち帰り、徳増の改変洗浄法を用いてコケ組織（長さ約 2 cm）から菌類を分離・培養した。得られた菌株の形態観察と rDNA ITS・28S 領域の塩基配列の解析により、分類群の検討と系統解析を行った。その結果、23 種 289 株が分離された。*Phoma herbarum* がもっとも高頻度で分離され（143 点、全 205 点の 70%）、続いて *Alternaria* sp.（41 点、同 20%）、*Dothideomycete* sp.（27 点、同 13%）が高頻度であった。環境条件（コケ種やコケ組織の窒素濃度など）および空間変数（緯度経度から求めた座標ベクトル）が菌類群集の組成に及ぼす相対的な影響を、db-RDA とよばれる解析方法に基づく variation partitioning により定量化した。その結果、コケ種、含水率、電気伝導度、窒素濃度が環境要因

として選択された。これら環境要因と空間要因は単独で、群集組成全体のそれぞれ 13.7%と 1.6%を説明したことから、環境制限の相対的重要性が示唆された。リュッツ・ホルム湾から約 500 km 離れたアムンゼン湾のデータを除外して、リュッツ・ホルム湾のデータのみで解析すると、空間要因の説明力が 4.7%に増加したことから、リュッツ・ホルム湾内での菌類の分散制限が示唆された。

(3) 高緯度地域の山岳生態系の時間的・空間的動態と保全

気候変動に脆弱な極地生態系のモデルとして、ユネスコの世界自然遺産に指定された貴重な自然・生態系を誇るカナディアンロッキーをフィールドに、これまで明らかにされてきた気候変動と植生の変遷、生態系の遷移、生態系の物質循環と土壤生物の役割、そして人間活動が生態系に及ぼす影響に関する最新のデータをまとめた。

[参考文献]

- 1) Hasegawa M., Sawaguchi S. & Amaizawa A. (2004) Late quaternary glaciation in the Oobloyah Bay area, N.W. Ellesmere Island, Canada. *Sundai Shigaku (Sundai Historical Review)* 123: 1-28 (in Japanese with English abstract).
- 2) Osono T (2007) Ecology of ligninolytic fungi associated with leaf litter decomposition. *Ecological Research* 22: 955-974.
- 3) Osono T., Ueno T., Uchida M. & Kanda H. (2012) Abundance and diversity of fungi in relation to chemical changes in arctic moss profiles. *Polar Science* 6: 121-131.
- 4) Osono T., Matsuoka S., Hirose D., Uchida M. & Kanda H. (2014) Fungal colonization and decomposition of leaves and stems of *Salix arctica* on deglaciated moraines in high-Arctic Canada. *Polar Science* 8: 207-216.

[研究発表]

大園享司 (2015) 山岳生態学のすすめ—カナディアンロッキー. 京都大学学術出版会.

Hirose D., Hobara S., Matsuoka S., Kato K., Tanabe Y., Uchida M., Kudoh S. & Osono T. (2016) Diversity and community assembly of moss-associated fungi in ice-free coastal outcrops of continental Antarctica. *Fungal Ecology* 24: 94-101.

Osono T., Mori A.S., Uchida M. & Kanda H. (2016) Accumulation of carbon and nitrogen in vegetation and soils of deglaciated area in Ellesmere Island, high-Arctic Canada. *Polar Science* 10: 288-296.

国立極地研究所共同研究報告書（終了）

極域生物に共在する微生物の生物地理に関する研究

◎長沼 毅 広島大学大学院生物圏科学研究科・教授

（国立極地研究所）

伊村 智

平成 26 年～平成 28 年（3 年間）

【研究成果】

極域の陸上生物のモデル生物として、本研究では荒原性風衝地生態系で優占する「地衣類」をターゲットとした。2010-2011 年の JARE52 で採取した地衣類、2014 年にアフリカ・ウガンダの山岳氷河周辺域（ルウェンゾリ山）で採集した地衣類、極地研究所のハーバリウムに保管されている北極地衣類、および、海外研究者から分与してもらった亜北極地衣類を研究材料とした。これらの地衣類の構成菌類と光合成生物（藻類あるいはシアノバクテリア）および共在微生物の DNA を抽出し、16S/18S rRNA 遺伝子や ITS 配列等にもとづく系統解析ならびに系統地理学的な傾向性や固有性について調べた。この三ヵ年における研究成果を以下に報告する。

1. 地衣類の共在微生物を研究する目的

地衣類は菌類と光合成生物（藻類あるいはシアノバクテリア）の共生体としてよく知られているが、近年の研究により、地衣類に共在する微生物、特にバクテリアの役割が注目されるようになってきた。また、それにともない、地衣類の共在するバクテリアの多様性・固有性・汎存性などにも関心が持たれるようになってきた。その理由のひとつは「生物地理」である。地衣類の生物地理の研究例について、生物医学系の学術文献データベース PubMed にて「地衣類、生物地理」のキーワードで検索語したところ、1995～2014 年の 20 年間で 99 件ヒットが、その半分以上（58 件）は 2010 年以降の文献だ



図 1. *Umbilicaria* 属のイワタケ、約 1 cm 大

ったことから、近年になって急に注目されはじめた研究分野であることがわかるだろう。その地衣類の中でも、本研究では特に *Umbilicaria* 属の「イワタケ」に着目した（図 1）。

イワタケは見つけやすく、また、採集しやすいことから、その生物地理に関する研究は多い。しかし、イワタケに共在するバクテリアに関する研究はまだほとんどなく、共在バクテリアの多様性や種組成のパターンについての知見はほとんどないといってよい。そこで、本研究では、前述したように極域を含む世界各地から採集されたイワタケの共在バクテリアについて、下述する非培養法を用いて網羅的な多様性解析を行うことにした。

2. 非培養法による共在微生物の多様性解析

採集したイワタケ個体を粉砕し、DNA を抽出した。この DNA は菌類と光合成生物（藻類あるいはシアノバクテリア）と微生物（おもにバクテリア）に由来するバルク DNA（混合

DNA) である。このバルク DNA に対して、真核生物の菌類と藻類については 18S rRNA 遺伝子と内部転写スペーサー領域 (ITS) をターゲットとした遺伝子増幅 (PCR) を行い、PCR 産物の塩基配列を解析した。

一方、共生細菌については 16S rRNA 遺伝子をターゲットとした PCR を行い、PCR 産物を個別に大腸菌に組み込んで「クローン・ライブラリー」を作成した。このライブラリーから個別の PCR 産物の塩基配列を解読することで、細菌の種類別の存在度を知ること、すなわち多様性解析ができる。できるだけ多くの PCR 産物を解析することで解析の精度が上がるので、本研究では地衣類 1 個体から 100 個程度の PCR 産物の塩基配列を解読した。

解読した塩基配列を DNA データベースに照合して地衣類の構成菌類・藻類および共生細菌の種類ないし属名を推定することで、種組成や生物地理に資する知見を得た。

3. 共生微生物の分類群構成 (門レベル)

南極・ルウェンゾリ山頂・北極産の地衣類 (イワタケ) の共生微生物について、これまでに 700 クローンほど解析したところ、種レベルではきわめて多様性が高く、どの地域にどの微生物種が多いというような傾向性は見られなかった。また、南極でも異なる地点で採集したイワタケについて、互いに近い場所で採ったイワタケと、比較的遠く離れた場所で採ったイワタケの共生微生物相を見ても、近い微生物相が似ているというような傾向性もなかった。そこで、この報告では、南極・ルウェンゾリ山頂・北極と大まかに地域分けし、かつ、種レベルではなく門レベルで微生物をグループ分けして、大まかな地域間での比較を行った (図 2)。

この結果、(1) 南極産イワタケではバクテロイデス門スフィンゴバクテリア綱に属するものが優占していること、(2) ルウェンゾリ山頂産イワタケではアシドバクテリア門およびアルマティモナス門のものが優占していること、

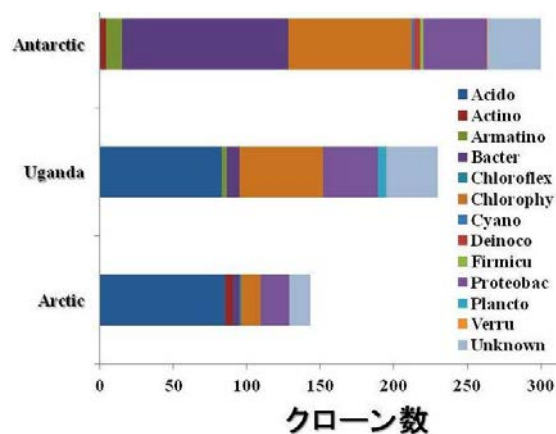


図 2. 地域ごとの共生微生物の多様性。

上から南極・ルウェンゾリ山頂・北極産の地衣類の共生微生物の分類群 (門レベル) とそれらの存在度を反映する「クローン数」。

(3) 北極産イワタケではアシドバクテリア門、特にエダフォバクター属のものが優占していることがわかった。

これらの微生物が地衣類との相互関係でどのような役割を果たしているかは不明である。しかし、16S rRNA 遺伝子などで特徴づけられる「遺伝子型」よりむしろ、門レベルで括られる代謝機能などの「表現型」のほうが、生物地理学的に意義がありそうとの着想を得ることができた。これは今後の研究の展開に重要な示唆を与えたことになる、

【研究発表】 (口頭発表は省略)

- (1) 長沼 毅 (2016) 微生物はなぜ小さいのか. *現代思想*, 44(11), 40-61.
- (2) 長沼 毅 (2016) 極限環境生物学における最近の進展—新発見とオミックス. *生物の科学 遺伝*, 70(3), 178-183.
- (3) 長沼毅 (監修) (2015) 『極限の世界にすむ生き物たち』, 96pp, 誠文堂新光社.
- (4) 長沼 毅 [監修] (2015) 『驚異の極限生物ファイル: クマムシだけじゃない! 過酷な環境を生き抜くタフなやつら』, 144pp, 誠文堂新光社.
- (5) 長沼 毅 (2014) ナノサイズの微生物、『環境と微生物の事典』, p.72, 朝倉書店.

(共同研究報告書 (終了))

南極湖沼に生息する動物相：環境変化に対する耐性 (研究課題)

◎東海大学生物学部・准教授 斎藤 裕美 (研究代表者)

東海大学生物学部・教授 服部 寛

(国立極地研究所)

高橋 邦夫 助教

伊村 智 教授

平成 26 年～平成 28 年 (3 年)

[研究成果]

南極の大陸には、周辺部および裸岩帯のオアシス等の限られた地域に多くの湖沼群が分布している。従来、南極湖沼は超貧栄養湖であると考えていたが、これら湖沼は成立過程により、淡水湖、塩湖、氷内湖、氷底湖、部分循環湖等、様々な環境を示し、地球上でもっとも湖内環境の多様性が高いと考えられている。これらの南極湖沼の環境の特徴は、年変動が高いことである。冬では凍った湖面より水中の生産者は低い活性を示すが、夏では氷の解凍にて、生産者の活性は高くなり、生物にとって過酷な環境である。また、上記以外の年変動以外では、湖内の水生植物群落の年齢が高いため、環境は安定していると考えられる。南極湖沼の生態系は陸上からの有機物の流入が極めて少ないため、陸上で形成された淡水湖や水で閉ざされた湖沼では生産性が低いと考えられている。一方、海起源や海から定期的・一時的な海水の流入のある湖沼では富栄養化もみられる。特に、コケ類や藻類マット上には多くの動物が生息すると考えられている (Toro et al. 2007)。このような、独自の多様な環境をもった湖沼群も、現在、温暖化に直面しており、湖内の水温上昇は陸上よりも高いため、生態系に与える影響が問題視されている (Laybourn-Parry and Wadham 2014)。

日本の昭和基地は南極大陸の東側に位置しており、基地周辺部の昭和オアシスでは、湖底から塔のような 300 年以上形成されたコケの集合や底生藻類などの植物群落が調べられている。コケ坊主には、ワムシ、線虫類、クマムシなどのメイオVENTスや従属栄養細菌の存在が遺伝子解析により確認されている。一方で、メイオVENTスの研究は稀であり、Kudoh ら (2008) によるぬるめ池のソコムジンコの鉛直分布だけである。このソコムジンコは、*Harpacticus furcatus* であることが確認されている (高橋 未発表)。ぬるめ池は海洋から一時的に海水が流入される湖であり、2008 年のサンプルから、ソコムジンコ以外にも自由生活性の線虫が高密度

で生息することが確認された。従来、動物の分布が確認された湖沼にて、水深と底質の違いによる動物分布を明らかにした研究はない。そこで、本研究では第 49 次日本南極地域観測隊の 2008 年 2 月 3 日から 4 日に採集されたぬるめ池 (南緯 69 度 13 分, 東経 39 度 39 分) のデータにて、ソコムジンコと線虫類の水深に対する密度と湖内環境との関係を分析した。さらに、湖底でのソコムジンコと線虫の分布を調べるため、第 54 次日本南極地域観測隊の 2012 年 1 月 24 日にコアサンプラーにて採集された、湖底の堆積物を厚さ 1cm 毎に切り分け、その中の動物の生息密度を調べた。さらに、分析中ではあるが SEM (走査型電子顕微鏡) によるぬるめ池の堆積物上の藻類相を報告する。

分析の結果、本研究の線虫群は *Microlaimus* sp., *Chromadora* sp., *Anticoma* sp. の 3 属から構成された。2008 年のサンプルでは採集した 5 地点 (2.4m, 3.9m, 4m, 5.4m, 9.4m) の中で、線虫およびソコムジンコの密度は比較的浅い水深 2.4m から 3.9m にて高い値を示し、水深 5.4m で最小値、それ以深で高い値になった。各鉛直分布の優占度は各属で異なり、*Microlaimus* sp. は水深 9.4m で密度が高く、*Chromadora* sp. は浅層で高く、*Anticoma* sp. は水深による密度変化が確認できなかった。富栄養化の指標となる C/N 比 (コペポダに対する線虫の密度の比) は、著しく線虫が多い比になり、湖内が富栄養化状態に近くなっていることを示した。さらに、ソコムジンコは溶存酸素と濁度に負の相関がある一方で線虫群は湖内環境との関係がみられなかった。しかし、属別にて分析すると、*Microlaimus* sp. は水温と、*Anticoma* sp. は pH と負の相関がみられた。

2012 年度のコアサンプルでは、ソコムジンコは全く確認できず、線虫群のみが確認された。採集中、冷凍保存したため、解凍時に線虫の蘇生が期待されたが、蘇生しなかった。(裏面に続く)

解凍した線虫は白くなっており、採集時に死んだと考えられる。コアの採集水深中 (0m、2.0m、5.9m、7.9m、10.7m)、水深 2.0m ならびに 5.9m にて高密度の線虫群を確認したが、他の水深では全く確認できなかった。堆積物中の線虫の群集構成は、2008 年度のサンプルと異なり、*Anticoma* sp. が著しく優占 (80-100%) した。さらに、堆積物の深さと線虫の密度との関係は、水深 2.0m、5.9m とともに 0-1cm の堆積表層にて高い密度を示し、4cm まで確認されるものの、それ以深には著しく低い値を示した。SEM を用いた堆積物の表層の分析では、珪藻類が優占し、約 5 科で構成されることから、多様性は低い。また円心目に対して羽状目は、水深が深くなるに伴い密度が低くなる傾向であるので、浮遊性の円心目に対し、羽状目は底生性でメイオファウナたちの餌資源として利用されている可能性がある。

これらの結果より、ぬるめ池は陸上起源の湖沼ではあるが、海水が流れ込むことにより塩湖に属する部分循環湖である (Laybourn-Parry and Wadham 2014)。海水中の海産の動植物が移入した際、一部が湖内の環境苛酷な環境に対して生き残ったと考えられる。ぬるめ池の塩分は、水深 2m まで淡水と同じで、2m-10m を海水と同じ塩分、10m 以深にて高塩分の層を形成しており、高塩分の水塊は循環せず 10m より浅い部分の海水が循環する。また、高塩分では、貧酸素または、無酸素状態になる。ぬるめ池の動物は、この海水と同じ塩分層に分布するため、海起源であると考えられる。しかし、海洋に比べ、ぬるめ池の線虫群および珪藻類は少ない種数で

[参考文献]

- 1) Laybourn-Parry J. and Wadham J. L. (2014). Antarctic lakes. Oxford University Press. pp. 215.
- 2) Toro M., Camacho A., Rochera C., Rico E., Bañón M., Fernández-Valiente E., Marco E., Justel A. Avendano M. C., Ariosa Y., Vincent W. F. and Quesada A. (2007) Limnological characteristics of the freshwater ecosystems of Byers Peninsula, Livingston Island, in maritime Antarctica. *Polar Biology*, 30, p635.
- 3) Kudoh S., Tanabe Y. and Takahashi T. K., (2008) Abundance of benthic copepods in a saline lake in East Antarctica. *Polar Biology*, 31, p1539-1542.

[研究発表]

- Hiromi Saito, Tkahashi T. Kunio, Hiroshi Hattori, Kudho Sakae, Imura Satoshi (2015) Vertical distribution of two types of meio-fauna community in East Antarctic saline lake Nurume-Ike, Biodiversity Symposium 2015 in Thailand. <http://www.scesap.org/events.html>.
- Hiromi Saito, Hiroshi Hattori, Tkahashi T. Kunio, Kudho Sakae, Imura Satoshi (2016) Vertical distribution of copepod and nematode assemblages at Lake Nurume-Ike, an Antarctic meromictic lake, Annual meeting of British Ecological Society, <http://www.britishecologicalsociety.org/>.
- Hiromi Saito, Hiroshi Hattori, Tkahashi T. Kunio, Kudho Sakae, Imura Satoshi (2017) Vertical distribution of copepod and nematode assemblages at Lake Nurume-Ike, an Antarctic meromictic lake ASLO 2017 Aquatic Sciences Meeting, <https://www.sgmeet.com/aslo/honolulu2017/>.

構成されるため、湖内の過酷で特異的な環境に適応した種のみが生息していると考えられる。ぬるめ池の流出口は海につながっているため(海拔 1m ほど)、一時的に波などによって海洋の有機物が流入しやすいと考えられることより、湖内では海洋から流入した有機物による富栄養化が進んでいるのかもしれない。本研究では湖底の高塩分の層直前にソコミジンコと線虫が多く出現した。これは、部分循環湖では時折みられる例であり、まず、躍層となっているため物理的に動物が溜まった可能性と、この層には化学的成分である N や P が貯まりやすいため、植物プランクトンの生産が高まり、それを餌資源とする動物も集まった可能性がある。

ぬるめ池は昭和オアシスの中でも形成プロセスが特異的であり、部分循環湖であるため湖内の動物分布域が限られるが、現在、昭和オアシスの中で湖沼と比べ、豊かな動物群を内包する湖である。ぬるめ池の動物群集は、一見定着しにくい条件であっても、動物群集が構築される例として、重要な資料を提供すると考えられる。

さらに南極大陸では温暖化の影響も報告されており、比較的形成時期が若く、規模の小さい多数の湖沼からなる南極湖沼群は、温暖化により水温上昇が起こりやすく、微妙なバランスで構築されていた生態系を破壊しやすい。このような、湖沼で湖内環境とメイオファウナの成立や構築プロセスを分析する事は、今後問題が起こった後の、極地の保全管理に対して有用な情報を与えると考えられる

共同研究報告書（終了）

極域産グラム陽性菌における脂肪酸形成と多価不飽和脂肪酸合成酵素遺伝子の探索

◎吉田磨仁 北海道大学大学院地球環境科学研究院・助手

黒沢則夫 創価大学理工学部・教授

森田直樹 産業技術総合研究所生物プロセス研究部門分子生物工学研究グループ・研究グループ長

橋本美佳子 北海道大学大学院環境科学院生物圏科学専攻 共同研究育成研究員

（国立極地研究所）

渡邊研太郎 教授

伊村智 教授

平成 27 年～平成 28 年（2 か年）

[研究成果]

はじめに

脂肪酸のうち、エイコサペンタエン酸(EPA)やドコサヘキサエン酸(DHA)などの炭素数が 20 以上で二重結合が 3 つ以上のものを長鎖多価不飽和脂肪酸(LC-PUFA)と呼ぶ。バクテリアでは、LC-PUFA は複数の触媒ドメインをもつ大型の不飽和脂肪酸合成酵素(Pfa 酵素)によって合成され、Pfa 酵素をコードする遺伝子は *pfa* 遺伝子と呼ばれている。LC-PUFA を合成するバクテリアは主に、極域の海洋や高圧で低温な深海から単離されていることから、LC-PUFA は低温や高圧環境への適応に働いているのではないかと考えられている。バクテリアの LC-PUFA は細胞膜のリン脂質を構成しているが、細胞膜における LC-PUFA の機能についてはよくわかっていない。これまでに報告された LC-PUFA を産生するバクテリアはすべてグラム陰性菌に限られており、グラム陽性菌からはみつかっていない。ところが、最近、*pfa* 遺伝子に相同性のある遺伝子をゲノム中に持つグラム陽性菌が報告されはじめ[1, 2]、LC-PUFA を産生するグラム陽性菌存在の可能性が浮上してきた。グラム陰性菌とは膜構造が大きく異なるグラム陽性菌で LC-PUFA を産生する種が発見されれば、LC-PUFA の細胞機能を知る上でも、また、*pfa* 遺伝子の進化を考える上でも、貴重な情報を与えてくれるに違いない。LC-PUFA 産生グラム陽性菌がいるとすれば、低温環境に生息している可能性が高いと考えられる。そこで、南極の土壌サンプルを用いて LC-PUFA を合成するグラム陽性菌の探索と分離を試みた。

南極土壌からのバクテリアの培養と脂肪酸分析

南極大陸リュット・ホルム湾に面したラングホブデの上釜池及びスカルブスネスのひょうたん池から採取された土壌 5g を 10ml の 0.5M NaCl 溶液に懸濁し、その上清 100 μ l を寒天培地に塗抹した。グラム陰性菌が増えないようにするために、培地にナリジクス酸 25 μ g/ml を加えた。寒天培地には Marine Broth(MB)と LB、Brock's basal salt(BBS)[3]の 3 種類を用いた。

5°Cで約 1 ヶ月培養した結果、いずれの寒天培地からも 10~20 個のコロニーが得られた。次に、各寒天培地ごとにコロニーを集め、脂肪酸を抽出し、ガスクロマトグラフィー/マススペクトル(GC/MS)で分析した。その結果、ひょうたん池由来のコロニーから、EPA や DHA とは異なる LC-PUFA(構造は未決定)が検出された。しかしながら、この方法では、LC-PUFA の有無を多数のコロニー個々に調べるのは検出感度の問題と手間の点から困難であることがわかった。そこで次の実験を試みることにした。

土壌からの DNA の抽出と PCR による *pfa* 遺伝子の検出

南極の池 6 地点と陸 6 地点(表 1)から採取された土壌およびコケサンプル(池 1~6、陸 1~6)から DNA を抽出した。*pfa* 遺伝子群およびそのホモログにおいて塩基配列が高く保存されている領域(*pfaA* ケトシンターゼドメインの部分配列約 500bp)を増幅する縮重プライマーを用いて、抽出した DNA を鋳型として PCR を行った。得られた増幅産物は、大腸菌を用いてクローニングし、塩基配列を決定した。塩基配列情報から系統樹を作成し、グラム陽性菌で確認されている *pfa* 遺伝子ホモログと相同な配列が存在するかどうか調べた。南極サンプルのうち、池 2(ラングホブテ東ユキドリ池)と池 4(ラングホブテあけび池)の土壌およびコケから抽出した DNA を鋳型とした結果、目的のサイズの DNA 断片が増幅された(図 1)。分子系統解析の結果、池 2 および池 4 から抽出した DNA には少なくとも 5 種類の *pfa* 遺伝子ホモログ(クローン A~E)が存在することが示された(図 2)。さらに、5 種類の *pfa* 遺伝子ホモログのうち 1 種類(クローン B)はグラム陽性菌(*S. pristinaespiralis*)の *pfa* 遺伝子ホモログと相同性が高いことがわかった。また、*pfa* 遺伝子ホモログは 12 地点中 2 地点のみから検出されたことから、これらバクテリアはかなり局所的な分布をしている可能性がある。この方法によって *pfa* 遺伝子ホモログを環境中の DNA から有効に検出することができることがわかったが、本研究で確認された *pfa* 遺伝子ホモログを持つバクテリアが LC-PUFA を産生しているかどうかはわからない。そこで、目的のバクテリアを単離すべく、培養実験を試みた。

東ユキドリ池土壌からのバクテリアの培養

pfa 遺伝子ホモログが検出された東ユキドリ池サンプルから前記と同様な方法でバクテリアを培養した。ただし、あけび池のサンプルは残念ながら紛失したためこの実験には使えなかった。この培養実験ではナリジクス酸は使わず、抗真菌剤としてシクロヘキシミド 50 μ g/ml を添加した。寒天培地には上記 3 種類に加えて 0.1 倍希釈 LB も用いた。5°Cで約 2 ヶ月培養した結果、いずれの培地からもコロニーが得られたが、0.1 倍希釈 LB では他にくらべ約 10 倍の数のコロニーが得られた。比較的コロニー数が少なかった LB 培地からはコロニーを直接採取し、*pfaA* 縮重プライマーで PCR を行なったが、増幅産物は得られなかった。その他の培地は、*pfaA* 遺伝子断片をプローブとしたコロニーハイブリダイゼーションによってスクリーニングしたが、ポジティブなコロニーは残念ながら検出されなかった。

土壌に含まれる脂肪酸の分析

pfa 遺伝子ホモログを持つバクテリアが存在していれば、その土壌からは LC-PUFA が検出されるかもしれないと考え、東ユキドリ池サンプルから脂肪酸を抽出し GC で分析した。

その結果、EPA と思われるピークが検出された(図 3)。このピークが EPA だとしても、バクテリア以外の藻類などの真核生物由来である可能性もあるため、EPA 産生バクテリア存在の証拠とはならないが、*pfa* 遺伝子ホモログの存在と考え合わせると、EPA を産生し、しかもグラム陽性菌であるバ

クテリアが南極の池には生息している可能性がある。今回、寒天培地による培養では *pfa* 遺伝子ホモログを持つバクテリアを単離できなかったが、土壌サンプルからの抽出物を添加するなどした集積培養を施すことで、目的のバクテリアを単離できるかもしれない。

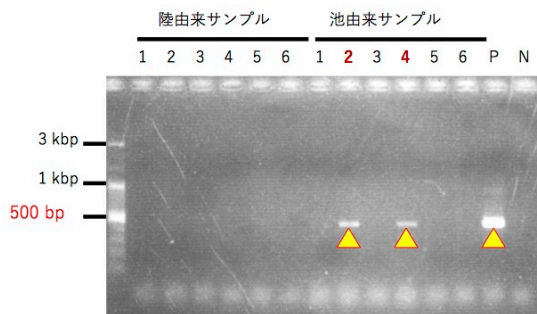


図 1. 土壌 DNA からの *pfa* 遺伝子の増幅

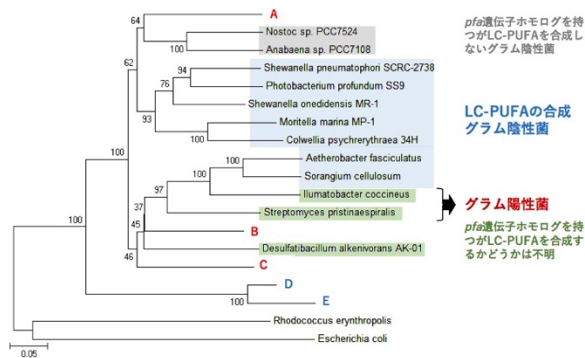


図 2. 土壌 DNA から得られた *pfa* 遺伝子ホモログの系統解析

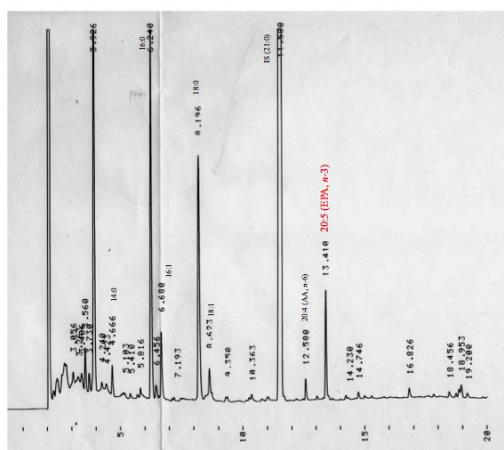


図 3. 東ユキドリサンプルから抽出した脂肪酸の GC パターン

[参考文献]

- 1) Shulse, C. N. and E. E. Allen: Widespread Occurrence of Secondary Lipid Biosynthesis Potential in Microbial Lineages. PLoS One, 6: 2011.
- 2) Fujinami, S., H. Takarada, H. Kasai, M. Sekine, S. Omata, T. Harada, R. Fukai, A. Hosoyama, H. Horikawa, Y. Kato, H. Nakazawa and N. Fujita: Complete genome sequence of *Humatobacter coccineum* YM16-304(T). Stand Genomic Sci, 8: 430-440, 2013.
- 3) Kurosawa, N., Y. H. Itoh, T. Iwai, A. Sugai, I. Uda, N. Kimura, T. Horiuchi and T. Itoh: *Sulfurisphaera ohwakuensis* gen. nov., sp. nov., a novel extremely thermophilic acidophile of the order Sulfolobales. International Journal of Systematic Bacteriology, 48: 451-456, 1998.

[研究発表]

- 1) Hashimoto, M., Y. Orikasa, H. Hayashi, K. Watanabe, K. Yoshida and H. Okuyama: Occurrence of trans monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in *Colwellia psychrerythraea* strain 34H. Journal of Basic Microbiology, 55: 838-845, 2015.
- 2) 吉田磨仁、足立匠、永峰賢、森田直樹 (2016) DHA 高生産 Thraustochytrid sp. 12B 株の挑戦 海洋と生物, 38, 1, 41-45
- 3) 永峰賢、高谷政宏、深野透、吉田磨仁、森田直樹 (2016) 高付加価値を有する DHA 含有リン脂質の製造方法 New Food Industry, 58, 9, 13-20
- 4) Yoshida, K., M. Hashimoto, R. Hori, T. Adachi, H. Okuyama, Y. Orikasa, T. Nagamine, S. Shimizu, A. Ueno and N. Morita: Bacterial Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids: Their Biosynthetic Genes, Functions, and Practical Use. Mar Drugs, 14: 2016.
- 5) Ueno, A., S. Shimizu, M. Hashimoto, T. Adachi, T. Matsushita, H. Okuyama and K. Yoshida: Effects of Aerobic Growth on the Fatty Acid and Hydrocarbon Compositions of *Geobacter bemidjensis* BemT. J Oleo Sci, 66: 93-101, 2017.

共同研究報告書（終了）

多価不飽和脂肪酸合成酵素遺伝子のグラム陽性菌での発現と低温適応機能（研究課題）

◎折笠 善丈 帯広畜産大学・食品科学研究部門・助教 (研究代表者)
 花方 寛 ヒゲタ醤油株式会社・研究開発部・グループリーダー (共同研究者)
 黒沢 則夫 創価大学・工学部環境共生工学科・教授 (共同研究者)
 吉田 磨仁 北海道大学大学院地球環境科学研究院・助手 (共同研究者)
 (国立極地研究所)
 渡邊 研太郎 教授 (担当教員)
 平成27年～平成28年（2か年） (研究期間)

[研究成果]

[はじめに] エイコサペンタエン酸(EPA)やドコサヘキエン酸 (DHA)などの多価不飽和脂肪酸 (PUFA)は高等植物を除く生物に広く分布する。細菌の場合、その存在は現時点でグラム陰性菌の一部の属に認められるだけでPUFAは検出されていない。細菌におけるPUFAの限定的な分布、特にグラム陽性菌に存在しない（できない）とみられるこの生物学的理由を明らかにするため、本研究では①グラム陰性菌由来のEPAまたはDHA合成酵素遺伝子群 (*pfaA-E*) (図1)をグラム陽性菌で発現してPUFAの合成が可能かどうかを確認すること、② *pfaA-E*を個別にクローン化してグラム陽性菌におけるタンパク質レベルでの発現を実施することを目的とした。

以前の研究により、PUFA合成遺伝子として海洋細菌 *Moritella marina* MP-1由来のDHA合成に関わる5つの *pfa* 遺伝子群 (*pfaA-pfaE*) を使用し、*Brevibacillus* の発現システムII (タカラバイオ) を用いて *pfaB* および *pfaE* の組み込みに成功しているが、その免疫的検出において安定性を欠いていた。今回、特異性をより高めた抗体を新たに作成し、すべての *pfa* 遺伝子産物 (PfaA-PfaE) に対してその効果を確認することを目的とした。

[材料と方法]

1) 培地・培養条件

使用した菌株およびプラスミドは表1のとおり。*M. marina* MP-1 および *Shewanella pneumatophori* SCRC-2738 の培養には、NaCl 含量を3%としたLB培地 [10 g/L Bacto-tryptone, 5 g/L Bacto-yeast-extract, 30 g/L NaCl] を使用した。*Escherichia coli* DH5 α /pDHA4 および *E. coli* DH5 α /pSTV29 の培養にはLB培地 [10 g/L Bacto-tryptone, 5 g/L Bacto-yeast-extract, 10g/L NaCl] にクロラムフェニコールを終濃度100 μ g/mLとなるように加えたものを使用した。

2) 無細胞抽出液の調製

得られた培養液を2本の50 mL容ファルコンチュー

ブに移し、あらかじめ4°Cに設定した遠心分離機を使用し、8,000 rpmで5分間遠心分離した。上澄みを除去し、滅菌ミリQ水で懸濁した後、適宜1.5 mLチューブに分注した。これを200 μ Lあたり5秒間5回、出力100 W (最大出力500 Wの20%) の条件で超音波処理にて菌体破碎を行った後、あらかじめ4°Cに設定した遠心分離機にて13,000 rpm, 30分間遠心分離した。ここで得られた上清を可溶性タンパク質画分として回収し、残ったペレットに50 μ Lの滅菌ミリQ水を加え懸濁したものを不溶性タンパク質画分として回収した。タンパク質画分にはcComplete, mini, EDTA-free (Roche) を7倍希釈濃度となるように加え、-20°Cに保管した。

3) SDS-PAGE

それぞれの菌体の可溶性画分を12.5%のポリアクリルアミドゲルで、250 V, 20 mA, 60分泳動した。

4) ウェスタンブロッティング

PVDFメンブレンに12 Vで60分通電し転写した。メンブレンはPBSで5分洗浄を2回繰り返し替えた後に、EzBlock BSA (アトー株式会社) を用いて60分ブロッキングした。PBSで5分洗浄し、60分1次抗体反応を行った。一次抗体反応液は、各ウサギ血清抗体をPBSで4,000倍希釈したものをを用いた。二次抗体反応はMulti Capture HRP (和光純薬工業株式会社) を用いて60分行った。EzWestBlue (アトー株式会社) を用いて5-15分反応させ発色させた。

表1 使用菌株とプラスミドベクター

菌株・プラスミド	特徴	分譲元	参照
菌株			
<i>M. marina</i> MP1	DHA生産菌	ATCC	Colwell RR, et al. 1964
<i>S. pneumatophori</i> SCRC-2738	EPA生産菌	相模中央化学研究所	Yazawa, K. 1996
<i>E. coli</i> DH5 α /pDHA4	MP-1由来の <i>pfa</i> 遺伝子を持つ		Orikasa
<i>E. coli</i> DH5 α /pSTV29	空ベクターを持つ		Orikasa
<i>E. coli</i> BL21(DE3)/pET21a- <i>pfaE</i>	MP-1由来の <i>pfaE</i> 遺伝子を持つ		This study
<i>E. coli</i> BL21(DE3)/pET21a	空ベクターを持つ		This study
プラスミド			
pDHA4	MP-1由来の <i>pfa</i> 遺伝子をクローンしたベクター		Orikasa et al. 2009
pET21a		タカラバイオ株式会社	
pET21a- <i>pfaE</i>			Orikasa

[結果と考察]

作製した各ポリクローナル抗体を用いたウエスタンブロッティングを行った結果、DHA 合成酵素遺伝子産物のうち PfaA, PfaB, PfaC, PfaD において特異的な発色シグナルを示した。PfaE には特異的な反応は見られず、*S. pneumatophori* SCRC-2738 のサンプルのみ広範囲に非特異的な微弱な反応が見られた(図 2)。また、上記を含む全ての EPA 合成酵素遺伝子産物には特異的な反応は見られなかった。結果には示していないが、*pfaE* 遺伝子過剰発現大腸菌株を作成して同様の条件で PfaE 抗体を使用したウエスタンブロッティングでは特異的な発色シグナルが確認できた。DHA 合成に関わる *pfa* 遺伝子産物と EPA 合成に関わる *pfa* 遺伝子産物間のアミノ酸配列上の類似性のため、MP-1 由来の作製ポリクローナル抗体が EPA 合成に関わる *pfa* 遺伝子にも反応することが考えられた(表 2)。しかし、ウエスタンブロッティングの結果、両者遺伝子産物の反応には明らかな差異が見られたことから、実際には、抗原認識部位(エピトープ)において、使用した菌株間ではアミノ酸配列上の相同性が低く、DHA 合成酵素遺伝子産物にのみ特異的に反応したことが考えられた。更に、MP-1 と同じ好冷菌である *Colwellia psychrerythraea* 34H の *pfa* 遺伝子産物のアミノ酸配列を参照し比較した結果、*S. pneumatophori* SCRC-2738 よりも高い相同性が認められたことから、MP-1 由来の作製ポリクローナル抗体が *C. psychrerythraea* 34H に反応する可能性が予想された。これによって、作製ポリクローナル抗体を使用した DHA 合成細菌スクリーニングへの利用も期待される。

また、MP-1 由来の *pfaE* 遺伝子産物については *pfaE* 遺伝子過剰発現株のみに明瞭な反応が得られたことから、*pfaE* 遺伝子の発現量がウエスタンブロットの感度限界を下回った可能性が考えられた。より明瞭な反応を得るためには、ウエスタンブロッティングの条件検討、対象とする推定エピトープの変更を含めた更なる最適化が必要であると考えられる。

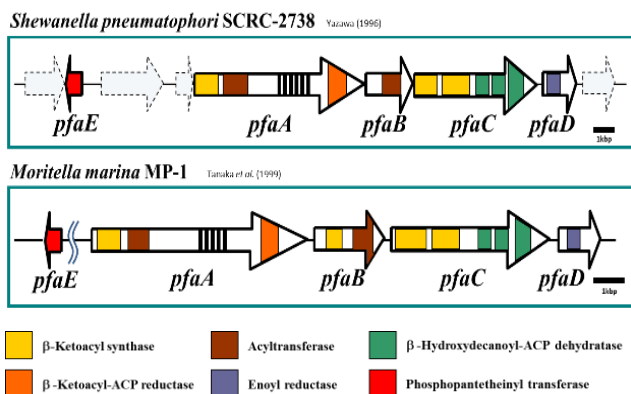


図 1. EPA/DHA 合成細菌由来の *pfa* 遺伝子群の遺伝子マップ

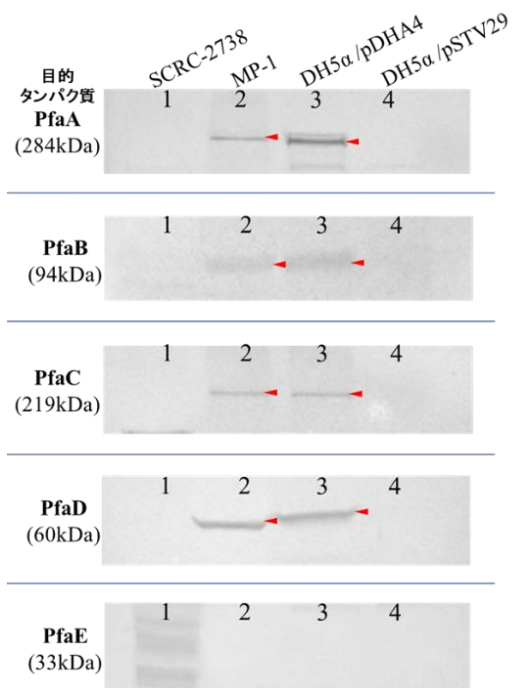


図 2. ウエスタンブロッティングの結果. PfaA-D には特異的な発色シグナルを確認。(1: SCRC-2738, 2: MP-1, 3: DH5α/pDHA4, 4: DH5α/pSTV29, 矢印: 各目的遺伝子産物と思われる発色シグナル)

表 2 推定エピトープのアミノ酸配列

Protein	strain (size)	Identity of whole chain (%)	Amino acid sequence	Identity of epitope (%)
PfaA	MP-1 (2652)	-	HAKDVLSS - DDQQLNSRLQEC	-
	SCRC-2738 (2756)	53	ATEQAQDSQADSRLNKRLKDM	50.0
	34H (2771)	70	PVTN - EA - DEKAFNSRLQEC	57.1
PfaB	MP-1 (865)	-	CWQQPGLMSARLAQSNFNFH	-
	SCRC-2738 (780)	30	VWQNPHALISKQTDPDPLFTS	35.0
	34H (900)	52	AWQQPGLMSARLANSDTFNQ	85.0
PfaC	MP-1 (2011)	-	LALYKAPVDKPHYKLGGQC	-
	SCRC-2738 (2004)	49	CRHFNAPANQPHYRLAGGQ	73.7
	34H (2016)	72	LPLYQAPSNKPHYKLGGQC	89.5
PfaD	MP-1 (538)	-	CLKLQGVSLSTELASYRTSD	-
	SCRC-2738 (543)	64	LTAQGVKVPQAQLLRWKPNDQ	52.6
	34H (532)	86	LKLQGVSLSTELAGYRSED	89.5
PfaE	MP-1 (287)	-	VRARSNNQQTVEYKC	-
	SCRC-2738 (277)	31	SSNKPNAPQKSG	30.8
	34H (282)	58	LRATSDNQKTDYQ	92.3

[まとめ]

海洋細菌 *M. marina* MP-1 由来の DHA 合成に関わる 5 つの *pfa* 遺伝子群 (*pfaA-pfaE*) のうち、グラム陽性菌である *Brevibacillus choshinensis* において確実に発現・保持されていることを、ウエスタンブロット法で確認するため、より特異的な抗体作成を試みた。その結果、DHA 合成遺伝子群 *pfaA-pfaE* のほぼすべての産物に明瞭な反応がみられることが示された。現在までに *pfaB* および *pfaE* において遺伝子導入が実施されているが、今後は、今回作成した抗体を用いることでより安定した抗原抗体反応が可能となることから、*B. choshinensis* の DHA 合成遺伝子群を導入した組み換え体の確実な取得が期待される。

[研究発表]

ポスター発表

1) Kenji Gocho, Mikako Hashimoto, Kiyohito Yoshida, Ayano Horiuchi, Megumi Yokoyama, Yoshitake Orikasa.
Detection of bacterial poly unsaturated fatty acids synthetic enzyme using polyclonal antibody. 第 67 回日本生
物工学会大会., Kagoshima, Japan, 26 Oct. 2015.

[研究協力者一覧]

堀内綾乃, 午腸健司 (帯広畜産大学・食品科学)

(共同研究報告書 (終了))

【研究課題名】

北極植物の気候変動に対する成長応答の解明

【共同研究者】

◎和田直也 富山大学研究推進機構極東地域研究センター・教授

(国立極地研究所)

内田雅己 准教授

伊村 智 教授

【研究期間】

平成 28 年～平成 29 年 (6 ヶ月)

【研究成果】

氷河後退域における植生遷移の理解を深めるために、氷河後退後約 70 年以内に侵入・定着したキョクチャナギ (*Salix polaris*) の遷移初期集団に着目し、遷移後期集団との葉形質の比較を通じて、本種の生理生態学的環境馴化力を評価した。

調査地は、高緯度北極圏内にあるスバルバル諸島ニーオルスンの東ブレッガー氷河後退域である。現地調査及び資料の採取は 2010 年 7 月に実施した。

着目した葉形質は、個葉面積、SPAD 値 (葉緑素含量)、LMA (Leaf Mass per Area)、炭素濃度、窒素濃度、CN 比、プロアントシアニジン (縮合型タンニン) 濃度、炭素安定同位体比、窒素安定同位体比である。葉面積は葉の短径と長径の実測値から楕円近似から算出し、SPAD 値はコニカミノルタの葉緑素計 (SPAD-502PLUS)、炭素及び窒素濃度は CN コーダ分析器 (Yanaco MT-700)、プロアントシアニジンはブタノール塩酸法、炭素及び窒素安定同位体比は元素分析/同位体比質量分析計 (EA/IRMS) を用いて測定した。

遷移初期集団と後期集団の生育環境を明らかにするため、微気象の観測と土壤理化学性について調査した。微気象については、気温、湿度、日射得量、土壤水分量を、土壤理化学性については、炭素濃度、窒素濃度、CN 比、炭素及び窒素安定同位体比について調べた。

氷河後退域の遷移初期集団の生育環境は、未発達な有機物土壌のため、貧栄養と乾燥ストレスに曝されていることが予想される。このような環境に馴化するためには、菌根菌との共生による窒素利用効率の増大や気孔の閉鎖に伴う水利用効率の増大が期待される。これらの指標として、前者については窒素安定同位体比、後者については炭素安定同位体比を用いた。キョクチャナギと共生している外生菌根菌は有機物中の窒素を分解・吸収して宿主に渡す時に同位体分別を行うため、菌根菌存在下では宿主の窒

素同位体比は有機物土壌の値や非共生植物の値よりも低くなることが予想される。また、植物は乾燥ストレスに曝されると水利用効率を高めるために気孔を閉鎖する割合を高め、その結果として二酸化炭素を固定する酵素であるルビスコ (リブロース 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ) の同位体分別が低下し高い炭素同位体比を示すことが期待される。さらに、植食者に対する防御物質と考えられるプロアントシアニジンの濃度を調べることにより、遷移初期集団の被食防御力を評価した。

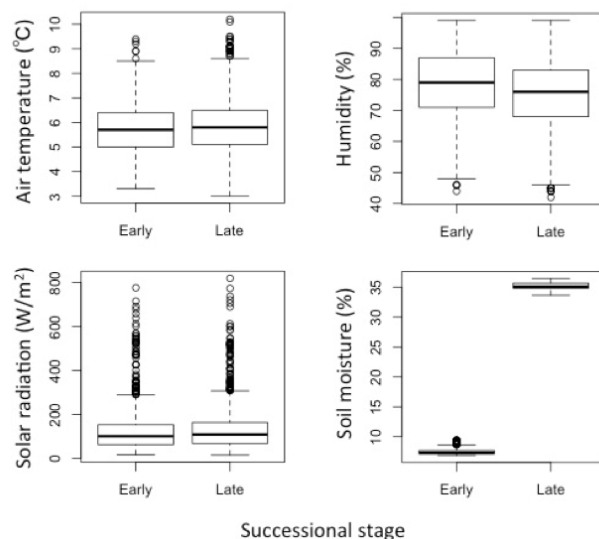


図 1. キョクチャナギの遷移初期と後期集団の微気象の比較

微気象の比較から、気温、湿度、日射量については集団間に大きな違いはみられず、土壤水分のみに顕著な違いがあることが分かった (図 1)。

(裏面に続く)

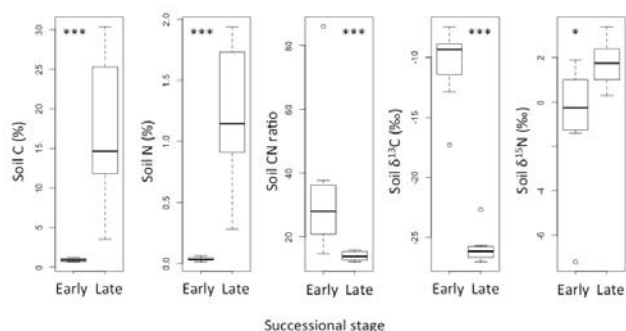


図 2. キョクチャナギの遷移初期と後期集団の土壌特性の比較

土壌特性の比較から、遷移初期集団の土壌は炭素及び窒素が著しく乏しく、また同位体比も大きく異なることから有機物の起源が異なる可能性があることが分かった (図 2)。

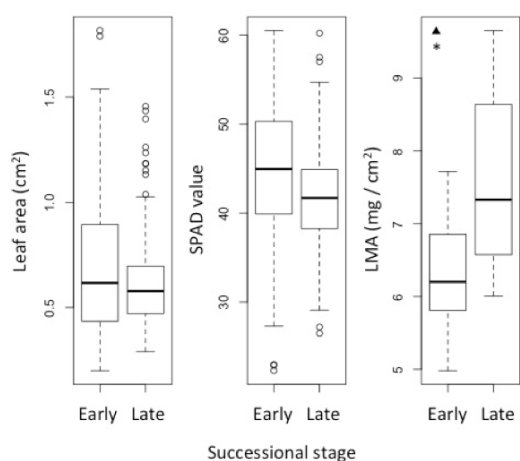


図 3. キョクチャナギの遷移初期と後期集団の葉形質 (葉面積・SPAD 値・LMA) の比較

葉面積は両集団間で有意な差はみられなかった (図 3)。SPAD 値 (図 3) 及び窒素濃度 (図 4) は遷移初期集団でやや高い値を示していたが統計的に有意な差は検出されなかった。

葉の窒素同位体比は両集団間で有意な差はみられず (図 4) かつ土壌中の値 (図 2) よりも低い値を示していたことから、遷移初期集団においても外生菌が関与しておりその結果高い葉内窒素濃度が維持されていることを明らかにした。

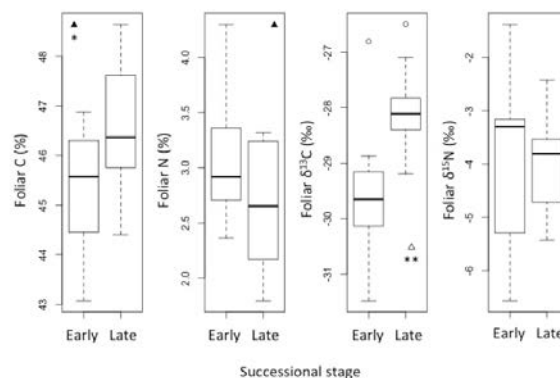


図 4. キョクチャナギの遷移初期と後期集団の葉形質 (C 濃度・N 濃度・ $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$) の比較

乾燥ストレスに応じて増大が予想された葉形質の一つである LMA は遷移初期集団において低い値を示した。葉の炭素濃度は遷移初期集団で有意に低く、かつ葉の炭素安定同位体比が予想に反して低い値を示した。これらの結果は、遷移初期集団においてよりもむしろ遷移後期集団において水利用効率が高く、乾燥ストレスが強いことを示唆していた。

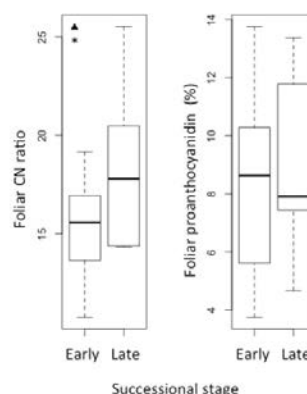


図 5. キョクチャナギの遷移初期と後期集団の葉形質 (CN 比・プロアントシアニン濃度) の比較

葉の CN 比は遷移初期集団で低かった。一方、プロアントシアニン濃度は両集団間で有意な差が検出されなかった。これらの結果は、遷移初期集団では防御物質に大きな投資を行っていないこと、低い CN 比は植食者の選好性を介して被食されるリスクが高いことを示唆していた。

(別紙) 参加者一覧

1. 平尾 章 (筑波大学菅平高原実験センター)
2. 蒲池 浩之 (富山大学大学院理工学研究部 (理学領域))
3. 中坪 孝之 (広島大学大学院生物圏科学研究科)
4. WIDORY DAVID (Université du Québec à Montréal)

I . 共同研究報告（終了）

一般共同研究

（5）極 地 工 学

高地天文台における雪氷災害の軽減対策の研究

◎東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター・助教 酒向重行 (研究代表者)
 東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター・特任助教 小西 真広 (共同研究者)
 (国立極地研究所)
 菊池雅行 助教 (担当教員)
 平成26年～平成28年 (3か年) (研究期間)

[研究成果]

1. 研究の背景と目的：

南米チリ北部アタカマ地方チャナントル山に赤外線遠望鏡を設置することが計画されているが、構造物は流れの剥離を生み、積雪の吹きだまりが発生するため、建物の吹きだまり性状を評価する必要がある。

本研究では、1/350 縮尺模型を用いた吹雪風洞実験の結果から、建物周辺の吹きだまり性状を評価した。また、風速の測定からの性状評価も試みた。

2. 実験装置および実験方法：

実験は(独)防災科学技術研究所雪氷防災センターの低温風洞装置を使用し地吹雪状態を再現し行った。実験条件は、風洞内の気温は-15℃、相対湿度60%、風速6m/secの一樣流である。合板、地形模型等は吹雪粒子供給装置より4m風下に設置した。模型雪は同施設内で生成した人工雪で新雪に近い結晶が保持されたものを使用した。地吹雪継続時間は15分間で開始から5分間ごとに吹きだまりをレーザー距離計にて計測した。模型と各実験Caseを図1、表1にそれぞれ示す。また、風速を熱線風速計によって各Caseの建物有と無の両ケースを計測した。

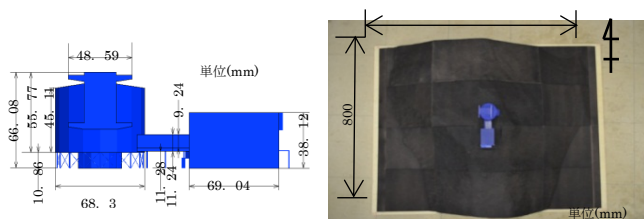


図1：実験模型（建物と地形）

表1：各実験条件

Case	地形	主風方向	ドーム開閉部
1	有	西	主風方向
2	有	東	主風方向
3	無	西	主風方向
4	無	東	主風方向

3. 実験結果と考察：

図2に各Caseの堆積量と時間の関係を、図3に堆積量分布図をそれぞれ示す。地形の有無を比べると、地形有の場合のほうが、堆積量が少なく、堆積高さが低いことが確認できた。

次に、図4にCase1, Case3の水平方向の平均風速と地表面からの高さの関係を示す。図4(a), (b)から建物近傍では、地表面付近風速が漸近せず増大した。また、図4(c), (d)から建物中心地点と建物中心から風上風下共に50mm地点でも建物無の場合と同様にCase3が6m/sec以下なのに比べて、Case1では6m/sec以上を計測できた。このことから地形効果により風速が増加し吹き払い効果が得られることがわかった。

さらに図2, 図3から地形有のCase1とCase2を比べるとCase2では2倍以上の堆積となった。チャナントル山の卓越風向であるCase1のほうが堆積量が少なく、計画されている建物配置は最適であることが分かった。

(裏面に続く)

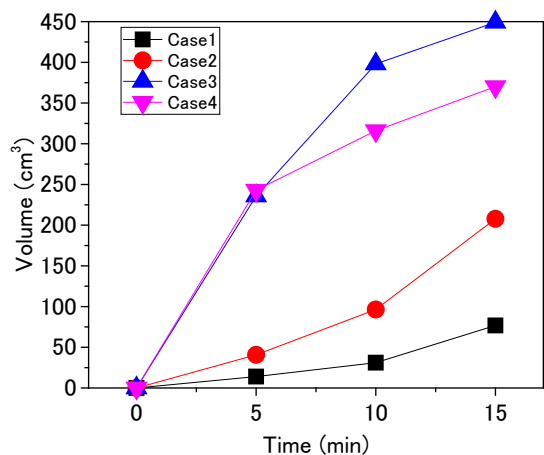


図 2 : 各 Case の堆積量

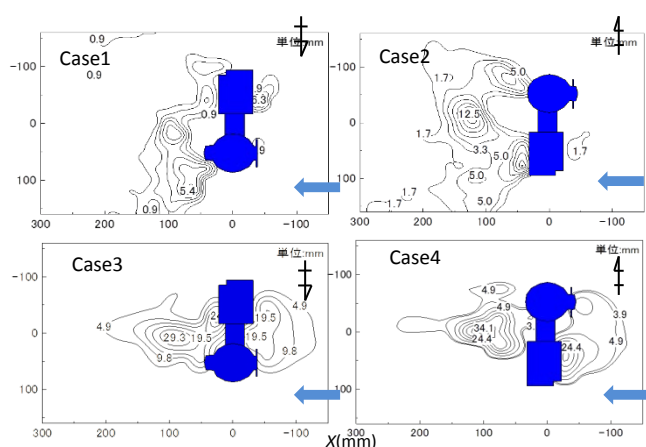
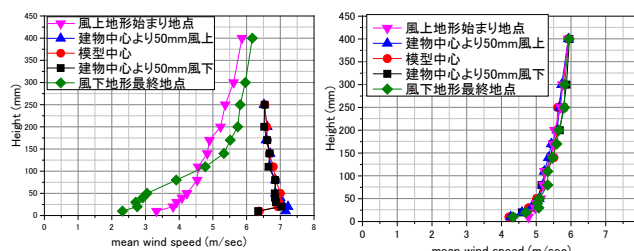
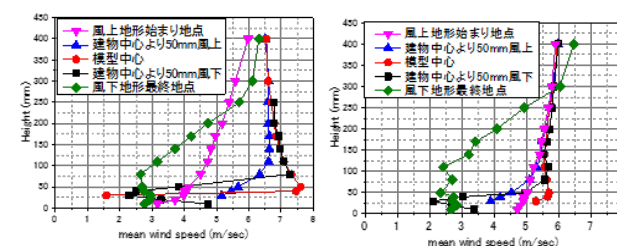


図 3 : Case ごとの 15 分時の堆積分布



(a)Case1 建物無

(b)Case3 建物無



(c)Case1 建物有

(d)Case3 建物有

図 4 : Case 1, 3 の平均風速分布

4. 成果 :

建物近傍における吹きだまり性状に関して、地形の効果によって、積雪堆積量が減少することが風洞実験から確認できた。地形の駆け上がりによって、地表面付近の風速が増加し、吹き払い効果が得られることが熱線風速計による風速分布の実測から確認できた。

以上から、チャナントール山山頂に建設される天文観測棟周辺の吹きだまり性状には、地形の効果が有利に作用することが確認できた。

[研究発表]

1. Konishi et al, The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m Telescope: enclosure design and wind analysis, SPIE Proceedings , 2016, Volume 9906.

共同研究報告書

南極内陸輸送における振動軽減対策手法の開発 (研究課題)

◎白川龍生 北見工業大学工学部・准教授 (研究代表者)

(国立極地研究所)

菊池雅行 助教

(担当教員)

平成 27 年～平成 28 年 (2 か年)

(研究期間)

※都合により平成 28 年を以て終了した。

[研究成果]

本研究の目的は、南極内陸輸送の際、精密機器類 (例えば、天体観測用望遠鏡) への振動による損傷を防ぐための方法を開発することである。具体的には、前方を走行する雪上車またはそりに無線式ジャイロセンサを搭載し、この振動情報をリアルタイムに後方車両 (精密機器類を積載したそりを牽引する雪上車) へ送信し、後方の雪上車の運転者が路面情報を予測して減速や回避行動を取れるような運転支援システムの開発である (図 1)。

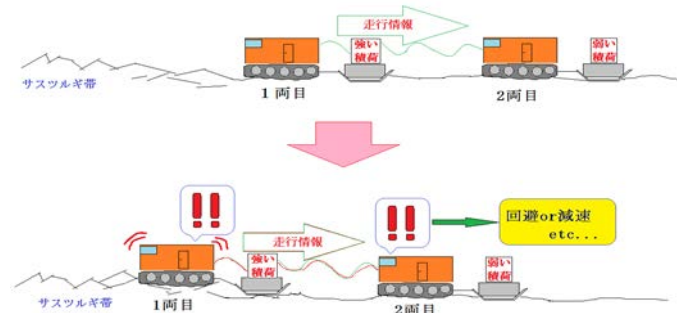


図 1 研究のイメージ

以下、本研究で得られた知見を示す。

- 北海道において冬期の低温環境下や地吹雪発生時の通信状況を確認し、雪上車を想定した自動車による屋外走行試験を実施した。ここでは極地研から貸与された無線式ジャイロセンサー (以下、無線ジャイロとする) を用い、振動を計測した。
- 屋内での通信実験：ここでは 2 台の台車を使用し、無線ジャイロと PC をそれぞれ搭載した (図 2 左)。実験は 3 パターン行った。実験 1 では、無線ジャイロが約 140m 離れた距離でも通信出来ることを確認した。実験 2 では、電波障害物区間に入ると通信が停止し、通過すると記録が再開されることを確認した。実験 3 では、PC を載せた台車も移動局にすることによって実験 2 で記録出来なかった区間のデータを含め、連続した計測データ



図 2 屋内実験装置 (左) と屋外実験装置 (右)



図 3 屋内実験の様子と無線式ジャイロセンサー

を得ることが出来た。

- 屋外での通信実験：ここでは無線ジャイロの低温環境下での動作を確認するため、屋外にてそりを用いて実験した (図 2 右)。当日の外気温は -4.5°C 、天候は曇りの条件で実施し、約 120m 離れた距離での通信を確認した。屋内実験に比べると通信距離は短かった。
- 屋外での車両走行実験：雪上車の走行速度を模擬した 2 台の自動車による走行実験を行った。無線ジャイロと PC をそれぞれの車両に設置し、一定の間隔 (約 30~50m) を保ち走行した (図 4)。車両実験では 1 号車の振動データを 30~50m 後方を走行する 2 号車へ送信し、2 号車では全区間に亘ってこれをリアルタイムに受信することができた。なお、この実験では無線ジャイロと受信機のアンテナを車体の外側に設置する必要があることを確認した。
- 以上の実験結果から、後方を走行する車両は数秒後に通過する地点の路面情報 (例えば (裏面に続く))



図4 車両実験の様子(左:概観、右:2号車車内)

10km/h (=2.8m/s) の場合は約 10 秒後に 30m 先の地点を通過) を、先行する前方車両の振動データによって予測することができる。従来から行われている無線機による連絡を補完する情報として活用すると、積荷の振動軽減に寄与

できると思われる。

- 以上の実験結果から、後方を走行する車両は数秒後に通過する地点の路面情報（例えば 10km/h (=2.8m/s) の場合は約 10 秒後に 30m 先の地点を通過) を、先行する前方車両の振動データによって予測することができる。従来から行われている無線機による連絡を補完する情報として活用すると、積荷の振動軽減に寄与できると思われる。これらの知見は、「第IX期以降の内陸行動に関する技術検討会」にて報告した。
- しかしながら、筆者らが検討した方法は、既に次世代の南極内陸輸送のニーズと一致していないことが上記技術検討会の際に判明した。このことから、本研究は研究期間途中で終了することにした。

[参考文献]

- 1) 日下稜ほか：雪上車牽引機の加速度データ解析 - 南極沿岸 S16～ドームふじまでの観測 - , 北海道の雪氷, Vol.30, pp.115-118, 2011.

[研究発表]

- 1) なし

以上

(過酷な環境下における事故防止のための実践知の抽出と把握)

◎村越真 静岡大学教育学部・教授 (研究代表者)
 (国立極地研究所)
 菊池雅行 助教 (担当教員)
 平成 27 年～平成 28 年 (2 か年) (研究機関)

[研究成果]

1. 研究目的

南極観測隊員の極地におけるリスクへの意識とスキルの実態を明らかにすることを目的に、質問紙およびインタビュー調査を行った。

2. 研究方法

1) 質問紙調査

58 次南極観測隊員に対して、①冬訓練前、②冬訓練直後、③出発前 (11 月 10 日) に調査を実施した。①②では、(a)南極でのリスクやそれへの対応についての意識 11 項目、(b)南極のリスク (11 項目) への対応についての自己評価、を尋ねた。(a)は防護動機理論 (Rogers,1975) に基づき、南極のリスクへの不安と南極のリスクへの効力感に関する項目に加え、日常リスクへの効力感に関する 2 項目を加えた。南極のリスクについては事故事例集等を参考にした。③では(a)(b)に加えて、(c)南極でのリスク対応の考え方 (15 項目) を尋ねるとともに、(d)昭和基地の写真を提示し、指定した 10 地点×6 項目のリスクの発生しやすさを判断する危険予知課題を実施した (図 1)。判断させたリスクは、タイドクラックへの転落、ウィンドスクープへの転落、ブリザードによるロスト・ポジション、クレバスへの転落、露岩での転倒、重機や資材運搬にかかわるだけが、であった。

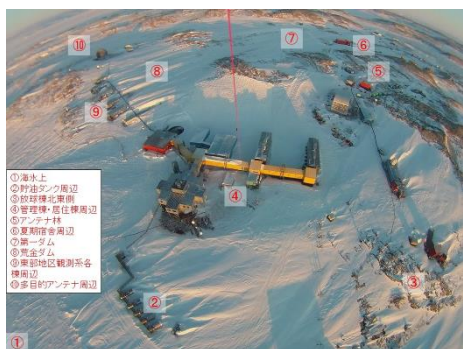


図 1 空中写真を利用した危険予知判断課題

2) インタビュー調査

過去の観測隊の FA 5 名および、①②の時に依頼し、自発的な協力が得られた 58 次南極観測隊員 (含む同行者) に対して 30 分程度の面接を実施した。面接ではリスクへの意識と対応の自己評価を、半構造化された形で尋ね、考察の参考とした。

3. 研究成果

1) 極地のリスク意識の 2 因子性

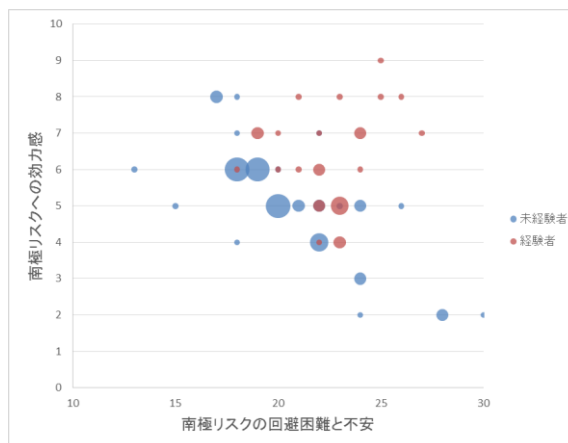
リスク意識 11 項目について、3 回の調査をまとめて、因子分析 (最尤法) を実施したところ、3 因子が適切だと判断された。プロマックス回転の結果の各因子の負荷量は表 1 の通りである。これより第一因子を「南極リスクの回避困難と不安」、第二因子を「日常リスクへの効力感」、第三因子を「南極リスクへの効力感」と名付けた。南極リスクに関する 2 因子は、負の相関はあるが -0.191 と相関は低い。効力感が低いからリスクの不安が高まる訳ではなく、両因子は比較的独立した意識であると考えられる。

表 1 リスクに対する意識の因子分析結果

	因子 1	因子 2	因子 3
⑧リスクを回避するのは大変	.614	-.051	.002
①南極の自然環境に不安	.568	.148	.073
⑥事故を皆無にすることは難	.542	.087	.163
③屋外のリスクを察知するのは大変	.523	.089	-.240
⑨事故に遭うかもしれない	.521	-.101	-.064
④海氷の上を歩くことに不安	.471	-.092	.000
⑩事故や怪我が起こる時分かる	-.046	1.031	-.127
⑪事故が無いように身の回りに注意	.108	.558	.194
⑤危ない場所は分かると	.083	-.100	.878
⑦自分の身を守ることができる	-.127	.222	.603

2) 未経験隊員は経験隊員、リスク不安、リスク効力感ともに低い

図 2 調査③における経験者/未経験者のリスク意識得点。●の大きさは度数を表す。



「南極リスクの回避困難と不安」と「南極リスクへの効力感」それぞれに負荷量の高い項目の合計得点に対して、南極観測隊参加経験の有無（夏・冬を問わない）と調査時期の二要因の分散分析を行った結果、参加経験の主効果がいずれの因子にも見られた（それぞれ $F(1,147)=7.544, p<.01$; $F(1,147)=22.545, p<.001$ ）。なお、「南極リスクの回避困難と不安」「南極のリスクへの効力感」いずれも経験者の方が高かった。調査時期③での経験者／未経験者の両得点をプロットしたのが、図2である。

3) リスク対応の自己評価とその経験差

各時点で、観測隊経験差を見たところ、全ての時点で「作業工具による打撲等」「一酸化酸素中毒」は有意差が見られなかった。一方、出発直前の「日焼け」で経験差が有意ではなかった以外は全ての項目で有意差が見られた。

4) 訓練（調査時期）による変化

リスク意識の2因子では、「南極リスクの回避困難と不安」で調査時期による有意傾向が見られた ($F(2,147)=2.604, p<.1$) が、「リスクへの効力感」の有意差は見られなかった ($F(2,147)=2.145, p>.1$)。

表2 リスク意識得点の時期による評価

		冬訓練前	冬訓練後	出発直前
南極リスクへの効力感	未経験者	4.8	5.7	5.1
	経験者	6.2	6.6	6.3
南極リスクの回避困難と不安	未経験者	19.7	19.5	20.9
	経験者	21.0	21.3	22.4

4) 未経験者のリスク特定能力の課題

表3中の上行の×は経験者の過半数がそのようなリスクはないと考えた場所である。その多くで未経験者は経験者に比べより「想定される」あるいは「想定されるが頻度は高くない」を選択する傾向にあった。つまり未経験者は経験者に比べて、全体的にリスクが「ある」と考える傾向にあった。村越(2015)は子どもの自然体験を描いたイラストに対するリスク特定やリスク評価において、教育学部の学生に比べて経験豊かな指導者はリスクを保有する傾向

にあることや、イラストを利用した授業の結果、学生のリスク評価もリスクの程度に応じて保有する傾向が生じることを示した。経験者がリスクを保有するのは、リスクの程度が低いと判断しているからと考えられる。本研究の結果も、未経験者はリスクの性質の理解が十分でないためリスクの精緻な評価ができず、聞いたことのあるリスクについて場所に限らず可能性があるという回答する傾向にあることが一因だと考えられる。リスク発生につながるハザードを理解していなければ、必要な場所で適切に注意のレベルを高めることは難しい。未経験者は、この点に課題があることが指摘できる。

表3 経験者／未経験者の回答分布（サマリー）

場所	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
リスク										
タイドクランクへの転落	○	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	ns	ns	**	*	*	*	ns	**	ns	+
ウインドスクープへの転落	△	○	x	○	△	○	x	△	○	○
	+	ns	+	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns
ブリザードによるロスト・ポジション	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
クレバスへの転落	△	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	**	**	***	**	*	*	ns	ns	*	*
露岩での転倒	x	△	○	△	○	○	△	x	○	○
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	+	+	ns	ns
重機や資材運搬にかかわるけが	△	○	○	○	○	○	△	△	○	○
	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
現場特徴	海氷上	貯油タンクそば	建物そば	建物そば	アンテナ林	宿舎そば	第一ダム	荒金ダム	観測棟	多目的アンテナ

上行は経験者の回答分布で、○：過半数が「想定される」を選択、△：回答が割れたもの、×：過半数が「想定されない」を選択。下行は経験者／未経験者の回答分布の χ^2 検定結果。* : $p<.05$, ** : $p<.01$, *** : $p<.001$ 。

4. 結論

58次隊への3回の調査より、観測隊参加経験の違いによるリスク意識やリスク対処スキルの自己評価に違いがあることが明らかになった。またハザードの空間的分布によるリスクの評価についても、未経験者と経験者は異なっていた。

今後隊次を越えて調査することで、この傾向が一般的なものなのかどうかを確認する必要がある。また、結果の背後にある未経験者のリスクに対する知識構造や推論を明らかにすることが課題として残されていると同時に、本研究の結果は、安全教育プログラム改善への応用などが期待される。

[参考文献]

1) Rogers, R. W. (1975) A protection motivation theory of fear appeals and attitude change. The Journal of psychology, vol. 91, p.93-p.114.

村越真(2015) KYTシートによる危険予知トレーニングは、リスク特定・対応スキルを向上させるか 教科開発学論集、No. 3, p.35-p.46.

[研究発表]

なし

共同研究報告書（終了）

内陸基地における太陽光発電の発電性能に関する基礎検討（研究課題）

◎西川省吾 日本大学理工学部・教授（研究代表者）

（国立極地研究所）

菊池 雅行 助教

（担当教員）

平成28年（1か年）

（研究期間）

【研究成果】

昭和基地から約1,000km離れた内陸基地では、燃料輸送が非常に困難なため、可能な限り太陽光発電など現地で取得可能な再生可能エネルギーを活用することが重要である。本研究では、再生可能エネルギーの中では比較的導入が容易な太陽光発電システムを対象に、基礎検討として各種設置条件における発電量を簡易なシミュレーションにより求めた結果を示す。

シミュレーションには、2003年2月から2004年1月までに「ドーム富士基地」（南緯77度19分，東経39度42分，標高3,810m）で計測された1時間ごとの水平面日射量と気温を用いた。日積算水平面日射量と日平均気温を図1に示す。横軸は1月1日を「1」とした場合の日である。

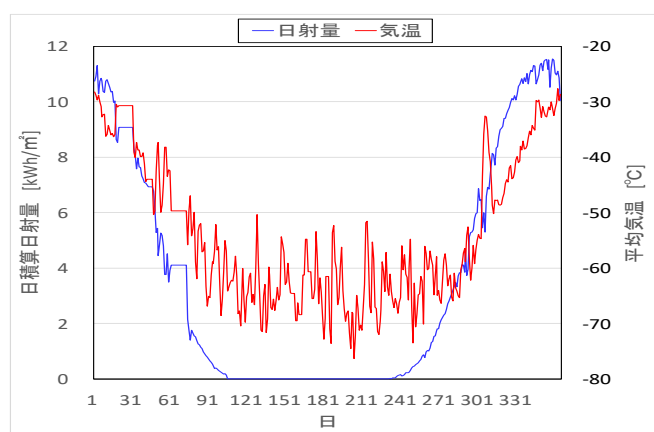


図1 水平面日射量と平均気温

図1から分かる通り季節変動は大きいものの、国内の日射変動に比べると遥かに安定しており、容易に高い精度で太陽光発電の出力予想が可能と考えられる。また、4か月間程度は全く日射が無くなるが、1月、12月頃は日積算日射量が10kWh/m²を超えている。国内では最高でも7kWh/m²程度であることを考えると相当高いことが分かる。

本研究では、発電性能から見た太陽電池の最適設置条件を明らかにするため、検討条件を以下のとおりとした。

(1) 固定式アレイにおける方位と傾斜角度

方位：北，東，西，北から東方向へ30°（北30東），北から東方向へ60°（北60東），北から西方向へ30°（北30西），北から西方向へ（北60西）の7通り。

傾斜角度：0°（水平）から10°ごとに90°（垂直）まで10通り

したがって組合せは64通りになる。

(2) 固定式アレイと追尾式アレイ

追尾は二軸方式とした。ただし、追尾範囲は(1)に示す固定式の方位，傾斜角度と同じとした。また、追尾間隔は1時間とした。

（方位，傾斜角度）における太陽電池面の日射量の算出手順は次のとおりである。

①水平面全天日射量を直散分離することにより，直達成分，天空散乱成分および地面散乱成分の3成分を求める。ただし，天空散乱成分はPerezの式を適用した。②任意の傾斜角・方位における3成分を求め合成することにより斜面（太陽電池面）の日射強度を求めることができる。また，地表面散乱成分を求めるに当たっては，内陸地域の状況を考慮し，アルベド（地表面反射係数）は0.8とした。なお，先行研究として，昭和基地において今回の推定手法の精度を評価し，高精度で発電量を推定できることを確認している。¹⁾

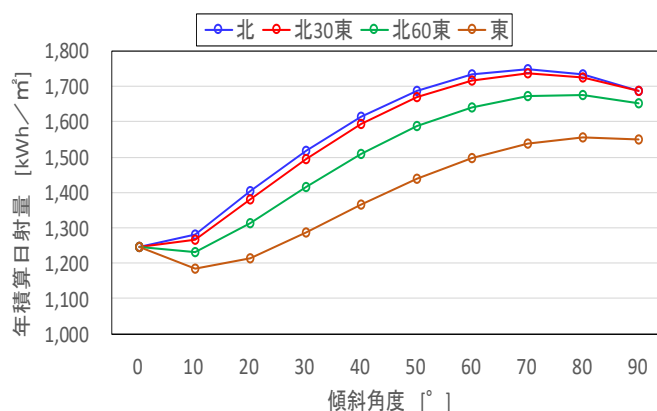


図2 傾斜角度と年間日射量

（裏面に続く）

図2に太陽電池面の方位・傾斜角度と年間日射量の関係を示す。方位の違いによる影響は、北を中心に東西がほぼ同じ特性になるため、ここでは北から東までの範囲のみ示している。この図より、北に近いほど日射量が多いことが分かるが、 30° 東に向けた程度であれば、真北との差はわずかであることが分かる。そして、最も方位の影響が顕著になるのは傾斜角度が $50\sim 70^\circ$ の範囲である。日射量が最適になる傾斜角度は約 70° である。この時の年積算日射量は $1,750\text{kWh}/\text{m}^2$ であり、これは東京より約40%以上も高い。

次に方位が真北の場合における、傾斜角度と(年間の)日射成分の割合の関係を図3に示す。

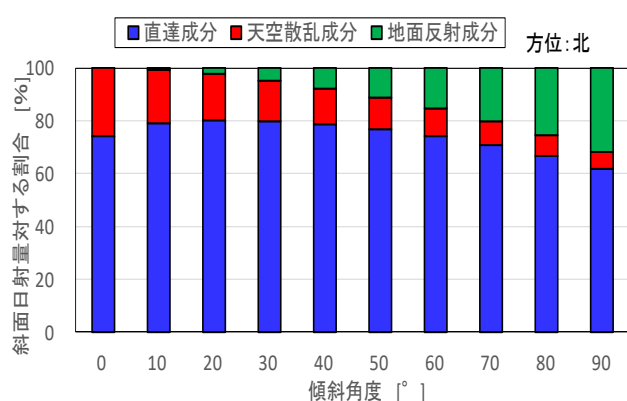


図3 傾斜角度と日射成分の割合(北)

水平面における直達成分は70%以上と高く、追尾式、集光式に適した気象条件であることが確認できる。傾斜角度が大きくなるにつれ天空散乱成分の割合が小さく、反対に地表面反射成分が大きくなる。日射量が最大になる傾斜角度 70° では、地表面反射成分は約20%になる。

固定式と追尾式の各月の比較を図4に示す。固定式の設置条件は、年積算日射量が最大になる真北・傾斜角度 70° である。日射量が大きくなるにつれ、固定式と追尾式の差が大きくなり、1月と12月では追尾式が約2倍にもなる。年積算日射量でみると、

追尾式は約 $3,200\text{kWh}/\text{m}^2$ で固定式の約1.8倍である。

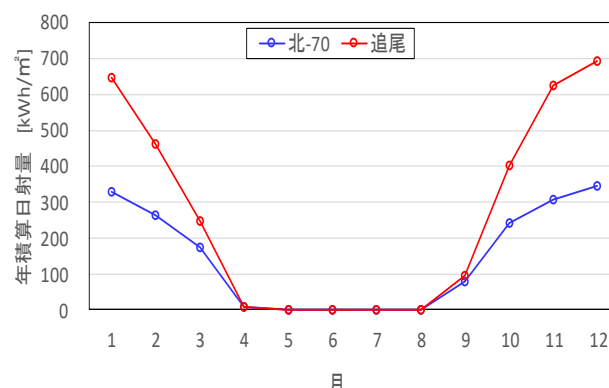


図4 固定式と追尾式の日射量

実際の発電量は、日射量の次に太陽電池温度が影響し、低温になるほど変換効率が高くなる。太陽電池温度は、直接、計測していないので気温から推定する。気温と太陽電池温度の関係については参考文献2)に準じた。この関係の妥当性については、昭和基地において確認している。1) 本研究では最も普及の進む多結晶太陽電池モジュールを想定し、基準状態(日射強度 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 、電池温度 25°C 、エアマス1.5)での変換効率は15%、温度係数は $-0.5\%/^\circ\text{C}$ とした。この結果、最も日射量の高い1月、12月には約18%と高い効率を維持することができる。このため、単位容量(1kW)の太陽電池の発電量は年積算で、固定式(北- 70°)が約 $2,200\text{kWh}$ であるのに対し追尾式は約 $4,000\text{kWh}$ もある。東京などでは約 $1,000\sim 1,100\text{kWh}$ であり、内陸基地での追尾式は約4倍と非常に大きな発電量が得られることが期待できる。

以上のことから、内陸基地において太陽光発電は冬季の約5ヶ月間は全く発電できないものの、年積算で見ると国内よりもかなり大きな発電量が期待でき有望なことが分かる。特に、二軸追尾式にすることにより、東京の4倍近い発電量が期待できる

[参考文献]

- 1) 比留間一彦 他 ; 「昭和基地における太陽電池モジュールの発電性能」, 日本太陽エネルギー学会誌「太陽エネルギー」, Vol.,42, No3, p45-p52.
- 2) JIS C 8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法

[研究発表]

無し

建築・土木に関する極地設営工学研究（研究課題）

◎福島工業高等専門学校建設環境工学科・助教 金 高義（研究代表者）

（国立極地研究所）

菊池 雅行 助教

（担当教員）

平成28年～平成29年（1か年）

（研究期間）

[研究成果]

1. はじめに：

南極地域観測隊の行動において、橇の使用の重要性は言うに及ばないが、デポ後に橇周辺に発生したスノドリフトからの掘り出し作業が長年大きな課題となっている。南極でのスノドリフト問題は模型風洞実験によって評価と予測が実施されてきた（例えば1）。しかし、模型風洞実験は、模型製作技術と労力がボトルネックとなっている。本研究では、近年発展が著しい3Dプリンターを使用した風洞実験模型の作成手法の確立を第一の目的とした。

また、スノドリフト評価と予測は近年数値風況解析でも定性的ではあるが一定の成果をあげている（例えば2）。実験模型の3DCADデータは使用して数値風況解析を実施して、南極ドームふじ基地にデポした橇周辺のスノドリフト性状と比較・検証を実施することを第二の目的とした。

2. 風洞実験模型作成：

主に内陸旅行時に使用される12ftコンテナ搭載の大型橇を対象とした（図1）。3DCADデータはAutodesk社・AutoCADを使用して作成した（図2）。次に3DCADデータの印刷を縮尺1:50で実施した。手作りの場合は多大な労力を要する複雑なトラス構造を全自動で30分ほどで印刷することに成功した（図3）。印刷には武藤工業社・3DプリンターMF-2000を使用した。



図1：大型橇。

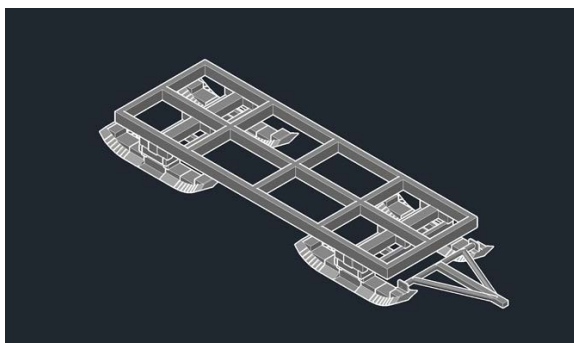


図2：大型橇の3DCADデータ。

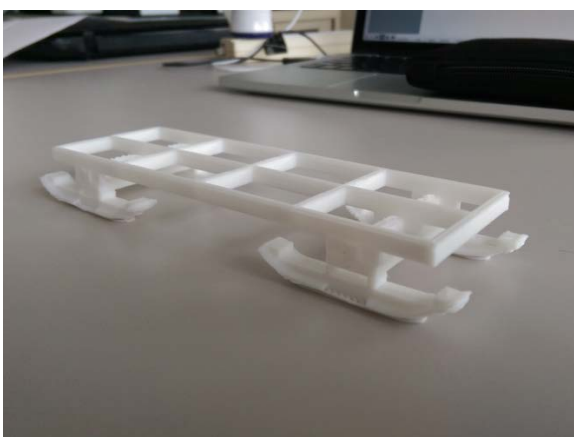


図3：3Dプリンターで印刷された風洞実験模型。

（裏面に続く）

次に作成された風洞実験模型の精度検証を実施した。大型櫛のビーム太さの再現度をノギスで計測して、理論値との差異を評価した。検証箇所を図4に示す。表1に示すように、誤差は最大でも10%に収めることに成功した。

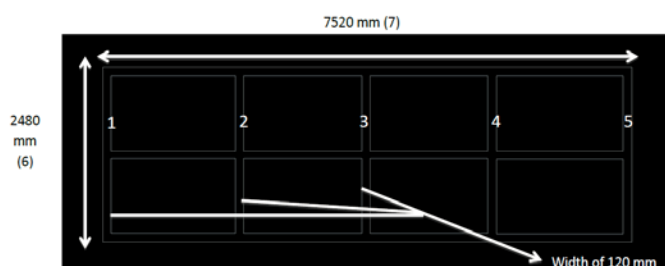


図4：大型櫛の平面図と検証箇所

表1：検証のまとめ。

Unit (mm)	Full size (1/50)	Size of the printed model	Error margin (mm)	Error rate (%)
Beam width 1	2,4	2,35	0,05	7,08
Beam width 2	2,4	2,51	0,11	4,58
Beam width 3	2,4	2,5	0,10	4,17
Beam width 4	2,4	2,65	0,25	10,42
Beam width 5	2,4	2,48	0,08	3,33
Body width 6 at the bottom	49,6	49,55	0,05	0,10
Body width 6 on the top	49,6	49,21	0,39	0,79
Length 7	150,4	152,6	2,20	1,46
Height 8	4,8	5,24	0,44	9,17

3. 予備的解析：

最後に3DCADデータを使用して数値風況解析を実施し、ドームふじに2冬期間デポした大型櫛のスノドリフト性状と比較した。定性的ではあるが、地表面付近の高風速と現地で雪面剥離領域に良好な一致を確認できた。

[参考文献]

- 1) 金ら；南極昭和基地における基本観測棟設計のためのスノドリフト性状評価，寒地技術論文・報告集 2014, Vol.,30, p 134 – p 139.
- 2) 金ら；南極ドームふじにおける9m・天文観測架台のスノドリフト性状評価，寒地技術論文・報告集 2015, Vol.,31, p 258 – p 263.

[研究発表]

無し。

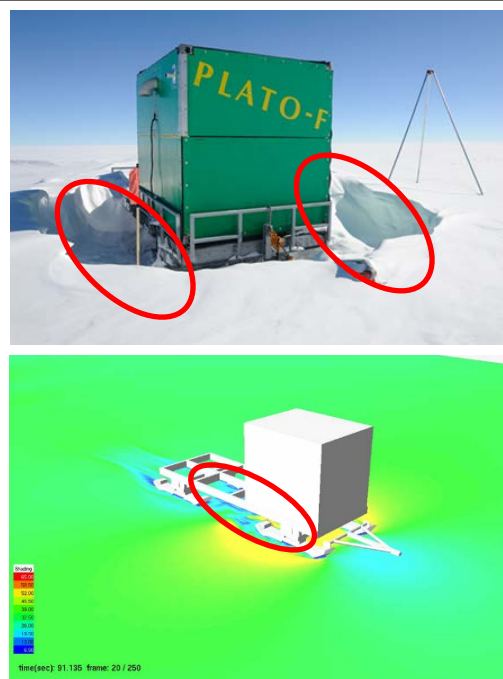


図5：ドームふじにデポした大型櫛周辺のスノドリフト性状（上）と数値風況解析結果（下）との比較（枠線は高風速領域と剥離領域）。

4. まとめと今後：

以下に今回の研究で得られた知見を示す。

- 大型櫛のような複雑構造物の風洞実験模型を3DCADデータと3Dプリンターから作成することに成功した。
- 作成された模型風洞実験は10%以内の精度を実現した。
- 予備的解析結果から高風速領域と雪面剥離領域に良好な一致を確認できた。

今後の課題であるが、櫛の最適デポ手法の構築が最終目標である。まずは越冬隊員に櫛周辺のスノドリフト性状と引き出しの問題事例についてのヒアリングを実施する。次に本研究で構築したシステムで数値風況解析を実施する。有力な解析パラメータは例えば風向が考えられる。各風向での結果をリスク解析して、櫛の最適デポ手法の仮説を立てる。その後、模型風洞実験を経て、仮説の証明を目指す。

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 checked="" type="checkbox"/> 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> 談話会・講演会 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。					
集会名	「MTI 研究集会」「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」合同研究集会				
開催日時	2016年8月29日(月)～8月31日(水)	開催場所	情報通信研究機構		
概要	国立極地研究所、情報通信研究機構、名古屋大学宇宙地球環境研究所、京都大学生存圏研究所の4機関共同で主催し、3日間の日程で開催、76名(うち学生は17名)が参加し、招待講演を含む52件(口頭28件、ポスター24件)の研究発表が行われた。前年度に引き続き、MTI Grand Challenge と題して「成層圏・対流圏から見るMTIとの結合」「磁気圏・プラズマ圏から見るMTIとの結合」の2つのトピックについて、MTI分野で解決すべき課題の洗い出しを行ったほか、学生・若手研究者向けのMTI観測に関するチュートリアルセッションを開催した。また、MTI大型研究紹介というセッションを設けて現在進行中・計画中の大型計画の情報交換を行った。合同で開催した「宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会」では、衛星観測とロケット観測に焦点をあて、新しいミッションの構想と今後の進め方について情報交換と議論を行った。				
報告者(担当者)	富川喜弘				
所 内	氏名	所属		備考	
	富川喜弘	宙空圏			
	宮岡宏	宙空圏			
	江尻省	宙空圏			
	堤雅基	宙空圏			
	高橋透	宙空圏			
	小計	5名			
所 外	氏名	所属	大学院生 ※	外国人 ※	備考
	CAI Lei	名古屋大学宇宙地球環境研究所		○	
	Huixin Liu	九州大学		○	
	Kornyanat Watthanasangmechai	情報通信研究機構		○	
	Libo Liu	Chinese Academy of Sciences		○	中国
	Philippe Baron	情報通信研究機構		○	
	Prayitno Abadi	名古屋大学大学院工学研究科	○	○	
	Tam Dao	名古屋大学宇宙地球環境研究所	○	○	
Yang-Yi Sun	九州大学		○		

	氏名	所属	大学院生 ※	外国人 ※	備考
所	阿部 琢美	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所			
	大塚 雄一	名古屋大学宇宙地球環境研究所			
	大山 伸一郎	名古屋大学宇宙地球環境研究所			
	落合 啓	情報通信研究機構			
	恩藤 忠典				
	加藤 優作	電気通信大学大学院	○		
	菊池 崇	名古屋大学宇宙地球環境研究所			
	北村 佑輔	京都大学大学院理学研究科	○		
	衣笠 菜月	横浜国立大学大学院	○		
	久保田 実	情報通信研究機構			
	齊藤 昭則	京都大学大学院理学研究科			
	斎藤 享	電子航法研究所			
	坂本 明香	名古屋大学大学院理学研究科	○		
	佐々木 雅範	宇宙航空研究開発機構			
	塩川 和夫	名古屋大学宇宙地球環境研究所			
	品川 裕之	情報通信研究機構			
	澁谷 亮輔	東京大学大学院理学系研究科	○		
	正村 駿	千葉大学大学院	○		
	陣 英克	情報通信研究機構			
	新堀 淳樹	京都大学生存圏研究所			
	杉山 俊樹	名古屋大学大学院理学研究科	○		
	鈴木 臣	愛知大学			
	埜 千尋	情報通信研究機構			
	高橋 富士信	横浜国立大学			
	高橋 幸弘	北海道大学			
	高見 晃平	電気通信大学大学院	○		
津川 卓也	情報通信研究機構				
津田 卓雄	電気通信大学大学院				
中井 陽一	理化学研究所仁科加速器研究センター				
中島 悠貴	北海道大学	○			
中田 裕之	千葉大学大学院工学研究科				
中溝 葵	情報通信研究機構				
中村 正人	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所				
長南 光倫	千葉大学大学院工学研究科	○			

	氏名	所属	大学院生 ※	外国人 ※	備考
所	西岡 未知	情報通信研究機構			
	西谷 望	名古屋大学宇宙地球環境研究所			
	東尾 奈々	宇宙航空研究開発機構			
	藤原 均	成蹊大学理工学部			
	星野 宏和	宇宙航空研究開発機構			
	穂積 裕太	京都大学大学院理学研究科	○		
	松田 貴嗣	総合研究大学院大学	○		
	松村 充	名古屋大学宇宙地球環境研究所			
	安井 良輔	東京大学理学系研究科	○		
	八束 優	電気通信大学大学院	○		
	横山 竜宏	情報通信研究機構			
	吉川 顕正	九州大学理学研究院			
	渡邊 祐貴	電気通信大学大学院	○		
	村山 泰啓	情報通信研究機構			
	渡邊 堯	情報通信研究機構			
	野崎 憲朗	情報通信研究機構			
	石井 守	情報通信研究機構			
	平 和昌	情報通信研究機構			
	山本 衛	京都大学			
	外	今井 弘二	情報通信研究機構		
前野 英生		情報通信研究機構			
長妻 努		情報通信研究機構			
岩井 一正		情報通信研究機構			
久保田 康文		情報通信研究機構			
川崎 春夫		宇宙航空研究開発機構			
三好 由純		名古屋大学			
細川 敬祐		電気通信大学大学院			
鈴木 睦		宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所			
入交 芳久		情報通信研究機構			
小計		71 名			
合計	76 名		大学院生	17 名(内数)	
			外国人	8 名(内数)	

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、○を記入してください。それ以外は記入不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> ワークショップ <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 会合 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。					
集会名		プラズマシート極域電離圏投影問題研究会			
開催日時		2016年9月20日、21日		開催場所	極地研究所
概要		近年、地球磁気圏の磁気流体グローバルシミュレーションを用いた研究が進んだことにより、太陽風、磁気圏、電離圏を渦巻くプラズマ対流と電流系が、準定常から分単位という幅広い時定数において、これまで観測されてきた様々なオーロラ現象との定量的な対応が調べられる時代となりました。その結果、グローバルな磁気圏の磁気流体的な状況を把握しつつ、シミュレーション結果が予測する様々なローカル現象を、観測によって確認し検証する、という研究手法も成立しつつあります。このように、磁気圏・電離圏の研究を進めていく上で、シミュレーションは不可欠なものとなっていますが、依然として、十分に現実の現象を明らかにできない点が存在していることも事実です。磁気圏物理学は、太陽風や電離圏との相互作用なども含め、複合系として扱う必要があり、系全体が自己無撞着性を満たすことが重要です。そこで今年度の研究会では、この分野で先端的な役割を果たしてこられた藤田茂先生(気象大学校を今年度退官される予定)に、地球磁気圏複合系の理論・シミュレーション・モデリングについて基調講演をしていただき、観測結果による検証までを含めた磁気圏複合系に関する研究成果を共有し、今後の分野の発展のため、どのようなアプローチを考えていかなければならないのか、について議論を行いました。			
報告者(担当者)		片岡龍峰			
所 内	氏名	所属		備考	
	片岡龍峰	宙空圏研究グループ			
	門倉昭	宙空圏研究グループ			
	内田ヘルベルト陽仁	宙空圏研究グループ		総研大生	
	行松彰	宙空圏研究グループ			
	田中良昌	宙空圏研究グループ			
小計		5名			
所 外	氏名	所属		※注	備考
	西田篤弘	JAXA			
	品川裕之	NICT			
	吉川顕正	九州大学			
	中田裕之	千葉工業大学			
	海老原祐輔	京大			
田中高史	九大				

	氏名	所属	※注	備考
所 外	蔡	筑波大		
	新堀淳樹	京大		
	堀智昭	名大		
	藤田茂	気象大学校		
	高橋直子	東北大	大学院生	
	荒木徹	京大		
	西谷望	名大		
	渡辺正和	九大		
	菊池崇	名大		
	橋本久美子	吉備国際大学		
	小計	16 名		
合計 21 名			大学院生	2 名(内数)
			外国人	名(内数)

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄

<input checked="" type="checkbox"/> 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> その他					
いずれかを■にしてください。					
集会名	新極域科学計算機システムを利用した新しいデータ解析とモデリング手法に関する研究集会				
開催日時	平成28年7月22日	開催場所	国立極地研究所3階セミナー室		
概要	平成27年2月より極域科学計算機システムが更新され、これまで不可能であった大規模計算が可能になった。大容量メモリと高速演算性能を生かし、より高精度のデータ解析手法の開発とシミュレーションのためのアルゴリズムの開発が重要になっている。次世代の計算機環境を見据えた、現在の開発環境と利用者の研究の方向性を探るため、研究集会を開催する。				
報告者 (担当者)	岡田雅樹				
所 内	氏名	所属	備考		
	門倉昭	極域データセンター			
	片岡龍峰	宙空圏研究グループ			
	田中良昌	宙空圏研究グループ			
	西村耕司	宙空圏研究グループ			
	山田恭平	気水圏研究グループ			
	高尾信太郎	生物圏研究グループ			
	岡田雅樹	極域データセンター			
	小計	7 名			
所 外	氏名	所属	大学院生 ※	外国人 ※	備考
	鷺見治一	アラバマ大学			
	渋谷亮輔	東京大学	○		
	田中高史	九州大学			
	藤田茂	気象大学校			
	棚橋俊夫	(株)日立製作所			
	川上晋	(株)日立製作所			
	黒沢一平	エクセルソフト(株)			
	森新之助	エクセルソフト(株)			
小計	8 名				
合計	15 名		大学院生	1 名(内数)	
			外国人	0 名(内数)	

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、○を記入してください。それ以外は記入不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄		
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> ワークショップ <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 会合 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。						
集会名		極域・中緯度SuperDARN研究集会				
開催日時		2016年8月9～10日		開催場所		
		国立極地研究所 3階セミナー室				
概要		1999年極地研も加盟して創設された国際短波レーダー観測網プロジェクト「SuperDARN」は、21年目を迎えた。特に近年では極域のみならず中緯度へも視野を拡大し、磁気嵐の全体像やサブオーロラ帯の現象、高～中緯度の領域間結合の研究も発展している。昨年同様、日本で加盟する極地研、情報通信研究機構、名古屋大学の3機関が主催する共催の形式で開催し、極域並びにサブオーロラ帯や高中緯度間結合を含めた超高層大気研究に関する研究会を実施し、現在進行中の様々な共同研究の進捗や成果について発表して情報交換を行うと共に、今後日本のSuperDARN研究界が世界を牽引してゆくべき重要課題について掘り下げた議論を行った。				
報告者(担当者)		行松 彰				
所 内	氏名	所属		備考		
	行松 彰	極地研・准教授				
	佐藤 夏雄	極地研・名誉教授・特任教授				
	宮岡 宏	極地研・教授				
	中村卓司	極地研・教授				
	田中良昌	極地研・特任准教授				
	西山尚典	極地研・助教				
	門脇優香	極地研・技術補佐員				
	小計	7名				
所 外	氏名	所属		※注		備考
	長妻 努	通信総合研究機構・研究マネージャー		大学院生 外国人		
	西谷 望	名古屋大・准教授		大学院生 外国人		
	堀 智昭	名古屋大・特任准教授		大学院生 外国人		
	渡辺正和	九州大・准教授		大学院生 外国人		
	細川敬祐	電通大・准教授		大学院生 外国人		海外よりWebEx参加
	河野英昭	九州大・准教授		大学院生 外国人		WebEx参加
	三好由純	名古屋大・准教授		大学院生 外国人		WebEx参加
	中溝 葵	通信総合研究機構・主任研究員		大学院生 外国人		
	飯田剛平	名古屋大・修士課程 1年		大学院生 外国人		
	Lei Cai	名古屋大・Oulu大(Finland)・ポスドク		大学院生 外国人		
大山伸一郎	名古屋大・講師		大学院生 外国人			

	氏名	所属	※注	備考
所 外	長妻 努	通信総合研究機構・研究マネージャー	大学院生 外国人	
	西谷 望	名古屋大・准教授	大学院生 外国人	
	堀 智昭	名古屋大・特任准教授	大学院生 外国人	
	渡辺正和	九州大・准教授	大学院生 外国人	
	細川敬祐	電通大・准教授	大学院生 外国人	海外よりWebEx参加
	河野英昭	九州大・准教授	大学院生 外国人	WebEx参加
	三好由純	名古屋大・准教授	大学院生 外国人	WebEx参加
	中溝 葵	通信総合研究機構・主任研究員	大学院生 外国人	
	飯田剛平	名古屋大・修士課程 1年	大学院生 外国人	
	Lei Cai	名古屋大・Oulu大(Finland)・ポスドク	大学院生 外国人	
	大山伸一郎	名古屋大・講師	大学院生 外国人	
	所 外	田中高史	九州大・名誉教授	大学院生 外国人
菊池 崇		名古屋大・名誉教授	大学院生 外国人	
藤田 茂		気象大学校・講師	大学院生 外国人	
寺本万里子		JAXA/ISAS・研究開発員	大学院生 外国人	
小原隆博		東北大・教授・センター長	大学院生 外国人	
高橋直子		東北大・博士課程3年	大学院生 外国人	
五十嵐喜良		京都大学・研究員	大学院生 外国人	
	小計	18名		
	合計	25名	大学院生	2名(内数)
			外国人	1名(内数)

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

	氏名	所属	※注	備考
所	梅村 宜生	名大ISEE		
	川嶋 貴大	名大ISEE	大学院生	
	塩川 和夫	名大ISEE		
	蔡磊	名大ISEE	外国人	中国
	三浦 翼	名大ISEE	大学院生	
	北川 貞之	気象庁地磁気観測所		
	島村 哲也	気象庁地磁気観測所		
	長町 信吾	気象庁地磁気観測所		
	大川 隆志	気象庁地磁気観測所		
	中野 慎也	統数研		
	岩橋 清美	国文研		
	村山 泰啓	情報通信研究機構		
	渡邊 堯	WDS-IPO		
	森田 諭	国立天文台 太陽観測所		
	林 寛生	富士通FIP		
	家森 俊彦	京都大学 理学研究科		
	新堀 淳樹	京都大学生存圏研究所		
	山本 衛	京都大学生存圏研究所		
	能勢 正仁	京都大学 理学系研究科		
	外	荒木 徹	前 京都大学	
井上 拓海		金沢大学 電波情報工学研究室	学部4年	
瀬口 大介		九州大学	大学院生	
阿部 修司		九州大学 ICSWSE		
吉川 顕正		九州大学 理学研究院		
今城 峻		九州大学 理学研究院		
益岡 葵		高知工業高等専門学校	専攻科2年	
金井 昭太		大阪電気通信大学工学部	学部3年	
山口 智右		大阪電気通信大学工学部	学部4年	
尾花 由紀		大阪電気通信大学工学部		
櫻井 亨	東海大学			
	小計	30 名		
合計			大学院生	4 名(内数)
			外国人	1 名(内数)

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

氏名		所属
門倉 昭	カドクラ アキラ	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
佐藤 夏雄	サトウ ナツオ	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
田中 良昌	タナカヨシマサ	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
小川 泰信	オガワ ヤスノブ	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
中村 卓司	ナカムラ タクジ	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
宮岡 宏	ミヤオカ ヒロシ	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
堤 雅基	ツツミ マサキ	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
高橋 透	タカハシ トオル	国立極地研究所 宙空圏研究グループ
藤原 康徳	フジワラ ヤスノリ	総研大
金尾 政紀	カナオ マサキ	国立極地研究所 地圏研究グループ
南山 泰之	ミナミヤマ ヤスユキ	国立極地研究所 情報図書室
梅村 宜生	ウメムラ ノリオ	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
川嶋 貴大	カワシマ タカヒロ	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
塩川 和夫	シオカワ カズオ	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
蔡磊	ツァイ レイ	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
三浦 翼	ミウラ ツバサ	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
北川 貞之	キタガワ サダユキ	気象庁 地磁気観測所
島村 哲也	シマムラ テツヤ	気象庁 地磁気観測所
長町 信吾	ナガマチ シンゴ	気象庁 地磁気観測所
大川 隆志	オオカワ タカシ	地磁気観測所
中野 慎也	ナカノ シンヤ	統計数理研究所 モデリング研究系
岩橋 清美	イワハシ キヨミ	国文研
村山 泰啓	ムラヤマ ヤスヒロ	NICT
渡邊 堯	ワタナベ タカシ	WDS-IPO
森田 諭	モリタ サトシ	国立天文台 太陽観測所
林 寛生	ハヤシ ヒロキ	富士通FIP
家森 俊彦	イエモリ トシヒコ	京都大学 理学研究科
新堀 淳樹	シンボリ アツキ	京都大学生存圏研究所
山本 衛	ヤマモト マモル	京都大学生存圏研究所
能勢 正仁	ノセ マサヒト	京都大学 理学系研究科地磁気センター
荒木 徹	アラキ トオル	前 京都大学
井上 拓海	イノウエ タクミ	金沢大学 電波情報工学研究室
瀬口 大介	セグチ ダイスケ	九州大学
阿部 修司	アベ シュウジ	九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター
吉川 顕正	ヨシカワ アキマサ	九州大学 理学研究院 地球惑星科学部門
今城 峻	イマジョウ シュン	九州大学 理学研究院地球惑星科学部門
益岡 葵	マスオカ アオイ	高知工業高等専門学校 高田研究室
金井 昭太	カナイ ショウタ	大阪電気通信大学 工学部 環境科学科
山口 智右	ヤマグチ トモアキ	大阪電気通信大学 工学部基礎理工学科
尾花 由紀	オバナ ユキ	大阪電気通信大学 工学部基礎理工学科
櫻井 亨	サクライ トオル	東海大学

職名

教授
特任教授
特任准教授
准教授
教授
教授
准教授
特任研究員

准教授
図書館職員
研究員
博士前期課程1年
教授
Postdoctor
博士前期課程1年
所長
研究官
技術主任

准教授

Senior Adviser
専門研究職員

教授
研究員
教授
助教
名誉教授
学士4年
博士後期課程2年
学術研究員
講師
学術振興会特別研究員(PD)
専攻科2年
学部3年
学部4年
講師
名誉教授

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄

シンポジウム ■ 研究集会・ワークショップ 打合せ・会合 談話会・講演会 その他

いずれかを■にしてください。

集会名 EISCAT研究集会

開催日時 平成28年1月29日 開催場所 国立極地研究所

概要 北極域超高層大気研究の中心的な役割を担う欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダーの全国共同利用の推進と、EISCAT/EISCAT_3Dレーダーを軸とする北極域の超高層大気観測研究の戦略を議論することを目的として、国内研究集会を開催した。まず前半に、EISCAT_3Dに関する最新の情報交換・意見交換とEISCATを利用した研究成果発表を行った。後半には、2016年度のEISCAT特別実験の実施状況や初期観測結果に関する報告と共に、特別実験に関連する幅広い議論を行った。

報告者(担当者) 宮岡宏、小川泰信

所 内	氏名	所属	大学院生※ (総研大生)	外国人	備考
		宮岡 宏	国際北極環境研究センター		
	小川 泰信	国際北極環境研究センター			
	堤 雅基	宙空圏研究グループ			
	田中良昌	宙空圏研究グループ			
	高橋透	宙空圏研究グループ			
	小計	5 名			

所 外	氏名	所属	大学院生	外国人	備考
		野澤悟徳	名大		
	細川敬祐	電通大			
	津田卓雄	電通大			
	早川基	宇宙研			
	阿部琢美	宇宙研			
	近藤裕菜	東北大	○		
	遠藤友	東北大	○		
	田口聡	京大			
	藤田浩輝	九大			
	小計	9 名			

合計	14 名	大学院生	2 名(内数)
		外国人	名(内数)

※注 「大学院生」、「外国人」に該当する場合は、○を記入してください。

集 会 等 実 施 報 告 書

			※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> ワークショップ <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 会合 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。				
集会名	南極海洋-海氷-氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会			
開催日時	2017/1/16 13:30~18:50	開催場所	国立極地研究所 (多目的会議室)	
概要	南極氷床-海氷-海洋システムにおいて、西南極氷床の融解加速と海洋の役割が注目を集める一方、東南極サブシステム間における相互作用の地域的相違と十年規模から数百万年規模の時間変動の存在が明らかになりつつある。本課題は、東南極におけるサブシステム間相互作用特性の海盆間差異の解明と十年規模変動の実態把握を目指す。ウィルクスランド沖及び白瀬氷河周辺域を舞台とした氷床-海洋相互作用の素過程の詳細な把握に観測の焦点を当てる。また、リュツォ・ホルム湾域にみられる定着氷や氷河氷舌の十年規模変動、および海洋経年変動の実態と関係性を明らかにする。集会ではこれまでの研究成果に基づき新たなメカニズム他が提案され(4件の話題提供)、現在進行中の58次観測観測結果を検討し、同時に次年度(59次)以降の計画立案をすすめた。			
報告者 (担当者)	青木 茂			
所 内	氏名	所属	備考	
	牛尾収輝	気水圏研究グループ		
	野木義史	地圏研究グループ		
	土井浩一郎	地圏研究グループ		
	青山雄一	地圏研究グループ		
	菅沼悠介	地圏研究グループ		
	藤井 昌和	地圏研究グループ		
	高橋晃周	生物圏研究グループ		
	柏瀬陽彦	北極観測センター	受け入れが北大のため、実質的には出張	
小計	8 名			
所 外	氏名	所属	※注	備考
	青木茂	北大低温研		
	大島慶一郎	北大低温研		
	杉山慎	北大低温研		
	豊田威信	北大低温研		
	平野大輔	北大低温研		
	野村大樹	北大水産		
	山根詩織	北大理学部	(大学院学生)	学部4年、H29年度進学
二橋創平	苫小牧高専			

所 外	氏名	所属	※注	備考
	中村和樹	日本大学		
	板木拓也	産総研		
	澤柿教伸	法政大学		
	小計	11 名		
合計 19 名			大学院生	1 名(内数)
			外国人	0 名(内数)

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

					※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム ■ 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> 談話会・講演会 <input type="checkbox"/> その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	寒冷域における降雪観測や雪結晶の研究と教育の今後の展望					
開催日時	平成29年3月29-30日			開催場所	極地研C301	
概要	南極などの寒冷域における降雪機構や雪結晶成長機構を考える上で、南極での観測や研究の対象やその方法の検討を行った。特に今回は、地吹雪の三次元的な構造や観測方法、南極での水収支の観測結果や観測方法、雪結晶の三次元的な構造やその測定方法などが報告され、活発な議論が行われた。また、今後の南極観測での提案が行われ、今後とも継続的な議論の必要性が確認された。					
報告者 (担当者)	島田 互(富山大学・代表者)					
所 内	氏名	所属		大学院生※ (総研大生)	外国人☒	備考
	平沢 尚彦	気水圏研究グループ				
	小計	1 名				
所 外	氏名	所属		大学院生☒	外国人☒	備考
	藤吉 康志	北大低温研				
	西村 浩一	名古屋大学				
	本田 明治	新潟大学				
	杉浦幸之助	富山大学				
	本吉 弘岐	防災科学技術研究所				
	小西 啓之	大阪教育大学				
	山下 晃	大阪教育大学				
	島田 互	富山大学				
	望月敦史	富山大学				学部生
小計	9 名					
合計	10 名			大学院生	0 名(内数)	
				外国人	0 名(内数)	

※注 「大学院生」、「外国人」に該当する場合は、○を記入してください。

集 会 等 実 施 報 告 書

					※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム ■ 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> 談話会・講演会 <input type="checkbox"/> その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会					
開催日時	2017年2月16-17日			開催場所	国立極地研究所(C301)	
概要	エアロゾル・雲・降水の相互作用に関して、数値モデル、衛星観測、レーダー観測、降水粒子観測、野外エアロゾル観測、室内実験等、様々なアプローチで研究を進めている関係者が合計26名集い、活発な議論がなされた。現在の研究状況や今後の研究の方向性についても検討できた。					
報告者 (担当者)	荒木健太郎 (當房豊)					
所内	氏名	所属		大学院生※ (総研大生)	外国人☒	備考
	近藤豊	極地研				
	當房豊	極地研				
	山内恭	極地研				
	小計	3名				
所外	氏名	所属		大学院生☒	外国人☒	備考
	荒木健太郎	気象研				
	岩崎博之	群馬大				
	岩田歩	金沢大		○		
	折笠成宏	気象研				
	勝本康介	東大		○		
	川合秀明	気象研				
	木ノ内健人	金沢大		○		
	小池真	東大				
	佐藤陽祐	理研				
	島伸一郎	兵庫県立大				
	鈴木健太郎	東大AORI				
	瀬戸里枝	東工大				
	田尻拓也	気象研				
	橋本明弘	気象研				
藤原智貴	東大・AORI					
眞下陽子	カガクの粒					

所 外	氏名	所属	大学院生	外国人	備考
		三浦和彦	東京理科大		
	三隅良平	防災科研			
	宮原ひろ子	武蔵野美大			
	森樹大	東大	○		
	山内晃	長崎大	○		
	山下克也	防災科研・雪氷			
	Tzu-Hsien Kuo	気象研		○	
	小計	23 名			
合計	26 名		大学院生	5 名(内数)	
			外国人	1 名(内数)	

※注 「大学院生」、「外国人」に該当する場合は、○を記入してください。

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄

シンポジウム 研究集会・ワークショップ 打合せ・会合 談話会・講演会 その他

いずれかを■にしてください。

集会名 グリーンランド氷床の変動と気候・環境変動の関わりに関する研究集会

開催日時 2017年3月8日～3月9日 開催場所 国立極地研究所セミナー室

概要 グリーンランド氷床のモデリング、氷床変動と気候・環境変動に関するモデリング、氷の力学的性質と不純物とのかかわり、掘削孔の検層技術、アイスコアの不純物分析技術、NEEM氷床コア及びSIGMAコアの解析結果、EGRIPでの観測報告と積雪サンプルの分析結果等に関する最新の研究成果と今後の観測・研究計画について発表を行うとともに、討論を行った。また、2017年のEGRIP観測計画について打ち合わせを行った。

報告者(担当者) 東久美子

所 内	氏名	所属	備考
	東久美子	気水圏研究グループ	
	藤田秀二	気水圏研究グループ	
	川村賢二	気水圏研究グループ	
	中澤文男	気水圏研究グループ	
	永塚尚子	気水圏研究グループ	
	大藪幾美	気水圏研究グループ	
	平林幹啓	気水圏研究グループ	
	繁山航	気水圏研究グループ	大学院生□
小計	8名		

所 外	氏名	所属	大学院生 ※	外国人 ※	備考
	阿部彩子	東大大気海洋研			
	シェリフ多田野サム	東大大気海洋研	○		
	大石龍太	東大大気海洋研			
	宮原盛厚	オリンピア工業(株)			
	荒井美穂	山形大	○		
	Ralf Greve	北大低温研	○		
	本間智之	長岡技術科学大			
	高田守昌	長岡技術科学大			
	猿谷友孝	長岡技術科学大			
齊藤冬樹	JAMSTEC				
小計	10名				

合計	18名	大学院生	3名(内数)
		外国人	1名(内数)

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、○を記入してください。それ以外は記入不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄		
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> 談話会・講演会 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。						
集会名		無人航空機の活用による極地観測の展開(第6回)				
開催日時		2016/8/25 13:00~17:30		開催場所	C401講義室	
概要		UAVを用いた観測の現状, 58次隊におけるS17を拠点としたUAV気水圏観測, 第IX期におけるUAVを用いた観測提案の採択, 予算配分状況と見込み, 南極における運用ルール検討状況等, 10件の話題提供を受け議論を行った。大型予算の獲得などをめざした大規模なUAV運用の展開を図るべきというような提案も受け議論を行った。				
報告者(担当者)		平沢 尚彦				
所 内	氏名	所属		備考		
	平沢 尚彦	気水圏		58次隊参加予定		
	橋田 元	気水圏, 南極観測センター				
	片岡 龍峰	宙空				
	内藤 靖彦	生物		名誉教授		
	青山 雄一	地学				
	石沢 賢二	極地工学				
	小計	6 名				
所 外	氏名	所属		大学院生 ※	外国人 ※	備考
	林 政彦	福岡大学				58次隊参加予定
	小林史尚	弘前大				
	川野哲也	九州大				
	高山 佳久	東海大				
	中田 浩毅	(株)kktイノベート				58次隊参加予定
	小原 徳昭	Robotista				
	岡部 和夫	スカイリモート				
	大録 洋志	個人				
	名倉 義信	山梨技術工房				
	設楽 丘	タイプエス				
角屋 守	X-TREME JAPAN					

所 外	氏名	所属	大学院生 ※	外国人 ※	備考
	齊藤 晃紀	(株)四門			
	小塩 哲郎	名古屋市科学館			58次隊参加予定
	内田ヘルベルト陽仁	総研大・宙空	○		
	川又 基人	総研大・地圏	○		
	小計	15 名			
合計	21	名	大学院生	2 名(内数)	
			外国人	0 名(内数)	

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、○を記入してください。それ以外は記入不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> ワークショップ <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 会合 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。				
集会名	南極大気エアロゾル研究会			
開催日時	2018年8月3-4日	開催場所	極地研	
概要	8月3日: JARE56のエアロゾル越冬観測報告、JARE57夏時期に行ったエアロゾル観測、JARE57の越冬観測状況の報告が行われ、現状の確認と改善・対応点の議論を行った。次に第Ⅸ期の南極観測計画の紹介およびJARE58の夏・越冬期に実施予定の観測計画の紹介を行い、今後の予定の確認、相互の観測体制の調整、議論がなされた。 8月4日: これまでに進められた観測結果・解析・分析結果の紹介と討論が行われ、各観測データ間の比較や今後の解析方針の確認した。さらに今後の観測研究計画に向け、各担当者から、これまでの研究から得られた知見と今後の研究すべき課題の紹介と議論する時間を設け、“南極エアロゾルの現状”をとりまとめた。			
報告者(担当者)	原圭一郎・塩原匡貴			
所 内	氏名	所属	備考	
	塩原匡貴	気水圏		
	當房 豊	気水圏		
	富川喜弘	宙空		
	高村友海	南極観測センター		
	橋田元	南極観測センター		
	山田恭平	気水圏		
	大藪幾美	気水圏		
	小計	7名		
所 外	氏名	所属	※注	備考
	原圭一郎	福岡大	大学院生 外国人	
	林政彦	福岡大	大学院生 外国人	
	野村雄介	山梨大	大学院生 外国人	
	松下隼士	JARE56(越冬)	大学院生 外国人	
	古賀聖治	産総研	大学院生 外国人	
	東野伸一郎	九州大	大学院生 外国人	
	竹中規訓	大阪府大	大学院生 外国人	
松本潔	山梨大	大学院生 外国人		

	氏名	所属	※注	備考
所	木津暢彦	気象庁	大学院生 外国人	
	水野太治	気象庁	大学院生 外国人	
	小林史尚	弘前大	大学院生 外国人	
	林政彦	福岡大	大学院生 外国人	
	東野伸一郎	九州大	大学院生 外国人	
	川野哲也	九州大	大学院生 外国人	
	Nuerasimugli Alimas	JARE58(同行者)	大学院生 <input checked="" type="checkbox"/> 外国人	
外	野呂和嗣	大阪府大	<input checked="" type="checkbox"/> 大学院生 外国人	
	服部祥平	東工大	大学院生 外国人	
	荒井美穂	山形大	<input checked="" type="checkbox"/> 大学院生 外国人	
	堀雅裕	JAXA	大学院生 外国人	
	小計	19 名		
合計 26 名			大学院生 3 名(内数)	
			外国人 1 名(内数)	

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

					※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム ■ 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> 談話会・講演会 <input type="checkbox"/> その他						
いずれかを■にしてください。						
集会名	永久凍土の変動とそのモニタリングに関する研究集会					
開催日時	平成29年1月16－17日			開催場所	国立極地研究所	
概要	表記研究集会を国立極地研究所を会場として2日間に渡って開催した。研究発表は初日の16日に6件、翌17日に4件、合計10件行った。発表領域は、日本国内の季節凍土の分布から北極域の永久凍土環境の観測・モニタリング、凍土に関わる地形調査、凍土の分布と大きく関わる氷床の変動、アラスカでの炭素循環や北極域でのCO ₂ フラックスの観測など、多岐に及んでいる。これらの研究発表においては、質疑応答も含めて一人あたりの持ち時間を40分に設定することで詳細な解説と深い議論が可能となり、今回の研究集会においても十分な情報交換と議論を行うことができた。また、国内外の最新の研究状況を共有し、現在進行中のプロジェクトの紹介も行われるなど、これから研究を進める上での重要な情報源となった。このように、凍土をキーワードとして永久凍土の研究者をはじめとして多分野の研究者が集まり、議論に多くの時間を割くことの出来た、大変有意義な研究集会であった。					
報告者 (担当者)	原田 鈺一郎					
所 内	氏名	所属		大学院生※ (総研大生)	外国人☒	備考
	兒玉 裕二	国際北極環境研究センター				
	末吉 哲雄	研究戦略企画室				
	三浦 英樹	地圏研究グループ				
	菅沼 悠介	地圏研究グループ				
	川又 基人	地圏研究グループ		○		
小計	5 名					
所 外	氏名	所属		大学院生☒	外国人☒	備考
	原田 鈺一郎	宮城大学				
	松岡 憲知	筑波大学				
	池田 敦	筑波大学				
	斉藤 和之	海洋研究開発機構				
	赤川 敏	低温圏工学研究所				
	吉岡 美紀	専修大学				
	永野 博彦	千葉大学				
	森 淳子	中央大学				
	金 高義	福島工業高等専門学校				
渡邊 達也	北見工業大学					

所 外	伊豆田 久雄	(株)精研			
	伊川 浩樹	農業環境変動研究センター			
	飯島 慈裕	三重大学			
	小計	13 名			
合計	18 名		大学院生	1 名(内数)	
			外国人	名(内数)	

※注 「大学院生」、「外国人」に該当する場合は、○を記入してください。

集 会 等 実 施 報 告 書

※係記入欄

シンポジウム ■ 研究集会・ワークショップ 打合せ・会合 談話会・講演会 その他

いずれかを■にしてください。

集会名	南極ドームふじ氷床深層アイスコアの解析による気候・環境変動の研究				
開催日時	平成 29年 3月28－29日	開催場所	国立極地研究所		
概要	南極ドームふじではこれまでに2本の氷床深層コアや多数の浅層コアが掘削され、高度な技術を駆使して解析がすすめられている。これらのデータを他の古環境データや気候・氷床モデルと合わせて解析することで、気候変動システムをさらに深く理解し地球環境変動予測をさらに高精度化することを目的とした研究集会を開催した。				
報告者 (担当者)	藤田秀二				
所 内	氏名	所属	大学院生※ (総研大生)	外国人	備考
	藤田秀二	気水圏			
	東久美子	気水圏			
	本山秀明	気水圏			
	川村賢二	気水圏			
	大藪幾美	気水圏			
	永塚尚子	気水圏			
	近藤豊	気水圏			
	繁山航	総研大	○		
	平林幹啓	気水圏			
小計	9 名				
所 外	氏名	所属	大学院生	外国人	備考
	阿部彩子	東京大学大気海洋研究所			
	青木周司	東北大学			
	植村立	琉球大学			
	飯塚芳徳	北大低温研			
	大野浩	北見工業大学			
	堀彰	北見工業大学			
	堀内一穂	弘前大学			
	望月優子	理研			
	服部祥平	東京工業大学			
	石野咲子	東京工業大学	○		
荒井美穂	山形大学	○		特別共同利用研究員	
小計	11 名				
合計	20 名		大学院生	2 名(内数)	
			外国人	0 名(内数)	

※注 「大学院生」、「外国人」に該当する場合は、○を記入してください。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> ワークショップ <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 会合 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。					
集会名	可聴下波動伝播特性による極域の多圏融合物理現象解明に関する研究集会-II				
開催日時	2017年3月28日～29日		開催場所	極地研3Fセミナー室 ・5F会議室(C501)	
概要	極域で様々な励起源をもつ可聴下周波数帯域(数10Hz～0.001Hz)の波動伝播特性から、大気-海洋-雪氷-固体地球の多圏システムにおける物理的相互作用のメカニズム解明に関する研究成果の発表・意見交換を中心に行った。なお、科研費補助金(基盤A一般)の年次会合を兼ねて実施した。 初日は58次夏隊報告、昭和基地で観測される氷震微動、昭和基地及び周辺域での測地学的研究、大陸氷床での無人航空機による気象観測、昭和基地の遠地地震検知率、南極と北極地域のホットスポットの深部構造、地震学的検証によるグリーンランド氷床の圧力融解、等の最新の話題提供があった。 二日目は昭和基地インフラサウンドデータの長期トレンド・アレイ観測データ解析・波浪によるインフラサウンド・スカーレンでの可聴音との比較観測、超低周波音を対象としたモニタリング方法の検討、南極での火球バーストによる隕石雲、等について紹介があった。また午後には、科研費研究の進め方、59次観測隊の準備予定、データ処理管理公開について意見交換を行った。				
報告者(担当者)	金尾 政紀				
所 内	氏名	所属		備考	
	金尾政紀	地圏研究グループ			
	土井浩一郎	地圏研究グループ			
	青山雄一	地圏研究グループ			
	平沢尚彦	気水圏研究グループ			
	藤原康徳	総研大			
小計		5名			
所 外	氏名	所属		※注	備考
	山本真行	高知工科大学		大学院生 外国人	
	豊国源知	東北大学		大学院生 外国人	
	松島 健	九州大学		大学院生 外国人	
	岡田和見	北海道大学		大学院生 外国人	
	戸田 茂	愛知教育大学		大学院生 外国人	
	坪井誠司	海洋研究開発機構		大学院生 外国人	
	石原吉明	JAXA		大学院生 外国人	
	竹内由香里	森林総合研究所		大学院生 外国人	
	平松良浩	金沢大学		大学院生 外国人	
	趙 大鵬	東北大学		大学院生 外国人	

	氏名	所属	※注	備考	
所	田中佑弥	金沢大学	大学院生 外国人		
	大山 亮	日本海洋事業	大学院生 外国人		
	反町玲聖	高知工科大学	大学院生 外国人		
	岩田貴樹	常盤大学	大学院生 外国人		
	虫明一彦	(株)いろはプロジェクト	大学院生 外国人		
	柿並義宏	苫小牧高専	大学院生 外国人		
	外	土肥哲也	小林理研	大学院生 外国人	
		長尾大道	東大地震研	大学院生 外国人	
		山岸久雄	元極地研	大学院生 外国人	
	小計	19 名			
合計 24 名			大学院生 3 名(内数)		
			外国人 0 名(内数)		

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> ワークショップ <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 会合 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。				
集会名	極域でのGGOS中核局構築に向けた検討			
開催日時	平成28年9月1日	開催場所	2F大会議室	
概要	社会的関心事である、氷床変動による海水準変動監視には、陸地の地殻変動とは独立で、長期にわたり安定して1mmの精度を保証する全世界共通の位置・高さ基準(地球基準座標系)が不可欠である。そのため、国際測地学協会(IAG)の傘下に新たな組織“GGOS”(Global Geodetic Observing System; 全球統合測地観測システム)が設置され、地球上に均質配置したGGOS中核観測局で、VLBI、GNSS、DORIS、SLRの複数の宇宙測地技術を1つのシステムとして統合的に観測・解析を行い、地球環境監視に耐えうる地球基準座標系の構築を目指している。また、2015年2月の国連総会において、地球規模の測地基準座標系(GGFC)に関する決議が採択され、人間の社会・経済活動に正確な位置情報を提供すべく、世界各国が連携して測地観測を改良・維持することが求められている。このような世界情勢に対応するため、関連する国内の研究者・技術者(所外25名、所内7名)が集まり、国連の活動(ロードマップ作成)、ならびにVLBIやSLR、重力などの観測・技術に関する多数の講演を基に、南極昭和基地のGGOS中核局化に向け、最低限必要となる技術・観測、科学的な意義について議論した。			
報告者(担当者)	土井 浩一郎			
所 内	氏名	所属	備考	
	野木 義史	地圏研究グループ		
	青山 雄一	地圏研究グループ		
	奥野 淳一	地圏研究グループ		
	早河 秀章	地圏研究グループ		
	中元 真美	南極観測センター		
	白水 薫	総研大	大学院生	
	小計	6名		
所 外	氏名	所属	※注	備考
	大坪俊通	一橋大学	大学院生 外国人	
	服部 晃久	一橋大学	大学院生 外国人	学部生
	秋山恭平	JAXA	大学院生 外国人	
	長岡継	海上保安庁海洋情報部	大学院生 外国人	
	松下優	海上保安庁海洋情報部	大学院生 外国人	
	川畑 亮二	国土地理院	大学院生 外国人	
宮原 伐折羅	国土地理院	大学院生 外国人		

所	高島 和宏	かなめ測量株式会社	大学院生 外国人	
	國森裕生	NICT	大学院生 外国人	
	瀧口博士	NICT	大学院生 外国人	
	関戸衛	NICT	大学院生 外国人	
	氏原秀樹	NICT	大学院生 外国人	
	三浦雄二	株式会社 ユニバース	大学院生 外国人	
	洲崎保司	株式会社 ユニバース	大学院生 外国人	
	荒木眞太郎	株式会社エスアンドエー	大学院生 外国人	
	大井浩二	オーテックス株式会社	大学院生 外国人	
	泉 忠	(有)TTC (NICT)	大学院生 外国人	
	宇佐美 敬之	(有)TTC (NICT)	大学院生 外国人	
	黛克典	NEC	大学院生 外国人	
	橋本並樹	NEC	大学院生 外国人	
	名和一成	産総研	大学院生 外国人	
	外	村上真幸	パスコ	大学院生 外国人
熊澤寿樹		東陽テクニカ	大学院生 外国人	
志賀則之		東陽テクニカ	大学院生 外国人	
山本圭香		国立天文台	大学院生 外国人	
小計		26 名		
合計 32 名			大学院生	1 名(内数)
			外国人	0 名(内数)

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

					※係記入欄			
<input type="checkbox"/> シンポジウム ■ 研究集会・ワークショップ <input type="checkbox"/> 打合せ・会合 <input type="checkbox"/> 談話会・講演会 <input type="checkbox"/> その他								
いずれかを■にしてください。								
集会名		南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明に向けて						
開催日時		2016年11月1日・2日			開催場所		5階会議室	
概要		昭和基地沿岸の海産動物相の多様性解明に向けて、今後の課題やJAREにおける潜水調査の実施計画などを、国内の若手分類研究者やJARE潜水調査経験者を交えて議論を行った。同時に、昨年度取得したデータの報告をすると共に、所内に保管されている液浸標本や冷凍試料の観察を行い、新たに海産動物を検出した。						
報告者(担当者)		角井 敬知						
所 内	氏名		所属			備考		
	伊村 智		生物圏研究グループ					
	辻本 恵		生物圏研究グループ					
	渡邊 研太郎		生物圏研究グループ					
	高橋 邦夫		生物圏研究グループ					
	渡辺 憲一		生物圏研究グループ					
	櫻井 久恵		生物圏研究グループ					
	小計		6 名					
所 外	氏名		所属		大学院生 ※	外国人 ※	備考	
	角井 敬知		北海道大学					
	上野 大輔		鹿児島大学					
	沼波 秀樹		東京家政学院大学					
	鈴木 忠		慶応義塾大学					
	嶋田 大輔		慶応義塾大学					
	藤本 心太		東北大学					
	田中 隼人		東京大学					
	Woo Sau Pinn		北海道大学		○	○		
自見 直人		北海道大学		○				
小計		9 名						
合計		15 名			大学院生		2 名(内数)	
					外国人		1 名(内数)	

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、○を記入してください。それ以外は記入不要です。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄	
<input type="checkbox"/> シンポジウム <input type="checkbox"/> ワークショップ <input checked="" type="checkbox"/> 研究集会 <input type="checkbox"/> 会合 <input type="checkbox"/> その他 いずれかを■にしてください。					
集会名		南極医学医療ワークショップ2016			
開催日時		2016年7月23日		開催場所 国立極地研究所大会議室	
概要		本ワークショップは、南極観測隊での医学研究の成果や今後の研究、医療の方向性に関する知見・意見を集約するとともに、当年出発する観測隊での医学研究の実施計画案策定にも資することを目指して毎年この時期に開催している。別添のプログラムにある15件の発表があり、昼食時、ワークショップ後の懇親会等を通して様々な質疑応答、情報交換が行われた。中国から1名、韓国から3名の参加者があり、南極医学・医療関係者を含め、34名の参加があった。 中国の中山基地で昨年越冬した医師からは、越冬中の疾患の概要、極夜期に骨密度が低下した例が見られ、運動により防止できそうであること、また、医療の他に担当した、野菜栽培について報告があった。韓国からは、韓国極地医学会の概要、成り立ちにつき報告があり、今後韓国極地研究所とも連携をとって貢献していきたい旨、また、キングジョージ島の3種のペンギンより検出された新種のアデノウィルスについての報告があった。JAREの帰国した医師からは、昨年越冬した医師より、ポータブル心拍変動測定器を用いた、南極の寒冷環境における自律神経系の変化をみる研究につき報告があった。また、越冬中の医師2名からは、それぞれの研究テーマの経過報告のほか、基地の医務室等をライブ映像で紹介する時間もあった。これまでの調査に基づく研究として、越冬隊員の心理研究の結果の一部が報告された。南極における第三四半期現象の様相を検討したところ、疲労度は観測系隊員の方が設営系隊員より優位に高いスコアとなった。また、越冬隊員の感情状態と自我状態との関連を解析したところ、「抑うつ」や「怒り」の背後には、協調性は高いが従順な自我状態の存在が推測され、また、自分の信念を貫く自我状態や、他者に寛容な自我状態が、「抑うつ」や「怒り」に抑止的に働く可能性が示唆された。 その他、昭和基地での「ハウスダスト」の調査では、「コナヒョウヒダニ」と思われる虫体が採取され、昭和基地にも国内と同様な症状が発生する可能性が示唆された。			
報告者(担当者)		渡邊研太郎			
所内	氏名	所属		備考	
	別添資料参照				
	小計	11 名			
所外	氏名	所属		※注	備考
	別添資料参照			大学院生 外国人	
	小計	223 名			
合計 34 名				大学院生	0 名(内数)
				外国人	5 名(内数)

※注 「大学院生」もしくは「外国人」に該当する場合のみ、どちらかを選んでください。それ以外は選択不要です。

南極医学医療ワークショップ2016 参加者リスト 2016年7月23日開催

	氏名	所属等	備考
1	伊村 智	国立極地研究所	
2	白石 和行	国立極地研究所	
3	橋田 元	国立極地研究所	
4	藤本 理	国立極地研究所	
5	渡邊 研太郎	国立極地研究所	
6	岡田 雅樹	国立極地研究所	
7	本吉 洋一	国立極地研究所	
8	森川博久	第57次隊 医師	医師
9	西山幸子	第57次隊 医師	医師
10	大江 洋文	第58次隊 医師	医師
11	服部 素子	第58次隊 医師	医師
12	KIM, Hankyeom	College of Medicine, Korea University	韓国医師
13	SONG, Jin Won	College of Medicine, Korea University	韓国医師
14	JANG, Yeonsik	Gachon University Gil Hospital	韓国医師
15	嶋田 和人	JAXA	?
16	WANG Zheng	Jiangxi Province ShangRao People's Hospital	中国隊医師
17	LEE, Eun Jung	science reporter/correspondent for KBS	韓国ジャーナリスト
18	下枝 宣史	TMCとちぎメディカルセンター	医師
19	長谷川 達央	綾部市立病院 耳鼻咽喉科	医師
20	川部 哲也	大阪府立大学人間社会学部 講師	
21	橋本 信子	北里大学皮膚形成外科	医師
22	鳴岩 伸生	京都光華女子大学人間科学部	
23	桑原 知子	京都大学大学院教育学研究科	教授
24	五十嵐 喜良	京都大学大学院情報学研究科	
25	森川 健太郎	昭和大救急部、多摩総合医療センター	医師
26	財津 崇	東京医科歯科大学	医師
27	大野 義一郎	東京勤労者医療会 東葛病院	医師
28	町田 浩道	聖隷浜松病院 内視鏡外科	医師
29	池田 篤史	筑波大学付属病院	医師
30	大谷 眞二	鳥取大学医学部附属病院	医師
31	田中 正敏	福島県立医科大学名誉教授	医師
32	古見 知安	富士通	
33	長谷山 和也	富士通	
34	佐々木 麻子	立命館大学 衣笠学生サポートルーム	

極地研職員

11名

JARE医師 経験者

2016年 南極医学医療ワークショップ

プログラム (v.720) 発表者のみ記載
2016年7月23日(土曜日) 10時~16時
国立極地研究所・大会議室(2F)

<http://www.nipr.ac.jp/outline/summary/access.html>

- 10:00 開会のあいさつ 大野義一郎(東葛病院/極地研)
- 10:05 01: 近年の南極観測での医学研究と第9期南極観測計画での医学研究計画(2016~2023)
渡邊研太郎(極地研)
- 10:20 02: JARE56の越冬医療報告と極地環境による自律神経系の変化についての一考察
及川欧(旭川医大/JARE56)
- 10:40 03: Medical care and research of Zhongshan station in 2015-2016
Zheng WAN (ShangRao People's Hospital)
- 11:00 04: The Brief History of the Korean Society of Polar Medicine
Hankyeom KIM (Korea University)
- 11:20 05: 南極における第三四半期現象: 気分と職種、パーソナリティーの関連
川部哲也(大阪府立大学)
- 11:40 06: 日本の南極観測隊越冬隊における感情状態と自我状態との関連
鳴岩伸生(京都光華女子大学)
- 12:00 集合写真@演壇 & ランチタイム@ラウンジ
- 12:50 07: 緊急時の遠隔医療について - 南極での緊急時メッセージ通信実験の提案 -
五十嵐喜良(京都大学)
- 13:10 08: Medical management system and severe cases in Japanese wintering over
challenge. 大野義一郎(東葛病院/極地研)
- 13:30 09: Novel Adenovirus in Antarctic penguins. Jin-Won SONG (Korea Univ.)
- 13:50 10: 昭和基地のハウスダスト調査 長谷川達央(綾部市立病院/JARE54)
- 14:10 11: Vegetable planting in Zhongshan station
Zheng WAN (ShangRao People's Hospital)
- 14:30 12: 昭和基地における排尿状態と心理状態との関連
池田篤史(日立総合病院/筑波大学)
- 14:50 ティーブレイク@ラウンジ
- 座長: 町田浩道(聖隷浜松病院/JARE55)
- 15:20 13: 第57次越冬経過報告
--1 『ストレスコーピングによる心理精神的疾患発症予防の検討』の途中経過
森川博久(JARE57@昭和基地)
--2 環境要因が作業効率に与える影響
西山幸子(JARE57@昭和基地)
- 15:40 14: 口腔衛生の遠隔管理の展望 財津 崇(東京医科歯科大学/JAXA)
- 16:00 15: 第58次医学研究計画 大江洋文、服部素子(JARE58)
- 16:20 閉会のあいさつ
- 16:30 懇親会 (1時間)

Ⅲ. 平成28年度共同研究課題一覧

1. 平成28年度共同研究実施件数

区分	研究分野	平成28年度実施件数			平成28年度 終了件数	平成29年度 継続件数
		継続	新規	計		
		件数	件数	件数		
一般共同研究	宙空圏	21	10	32	17	14
	気水圏	15	11	26	10	16
	地圏	9	10	19	7	12
	生物圏	16	10	26	8	18
	極地工学	3	8	11	5	6
	計	64	49	114	47	67
研究集会		19			18	-

※宙空圏の1件は中止、研究集会の1件は開催せず

2. 一般共同研究

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
宙空圏	26-1	成層圏突然昇温による南極での中間圏・熱圏・電離圏変動	Huixin Liu	九州大学大学院理学研究院・准教授	H26～H28	3年
	26-2	大型レーダ流星ヘッドエコーによる太陽系ダストの観測	阿部 新助	日本大学理工学部・准教授	H26～H28	3年
	26-3	国際宇宙ステーションからの大気光・オーロラの可視・近赤外観測	坂野井 健	東北大学大学院理学研究科・准教授	H26～H28	3年
	26-4	パルセーティングオーロラに伴うVLF, 降下電子特性に関する研究	田所 裕康	武蔵野大学工学部環境システム学科・講師	H26～H28	3年
	26-6	SuperDARNIによる極域・中緯度電離圏熱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	H26～H28	3年
	26-7	数値シミュレーションによる磁気圏ダイナミクス機構の解明とSuperDARNIによる観測的実証	渡辺 正和	九州大学国際宇宙天気科学教育センター・准教授	H26～H28	3年
	26-9	極域3次元電離圏結合系の再定式化	吉川 顕正	九州大学国際宇宙天気科学教育センター・講師	H26～H28	3年
	26-10	脈動オーロラの準周期性と電子降下過程の研究	藤井 良一	名古屋大学宇宙地球環境研究所・名誉教授	H26～H28	3年
	26-11	降下粒子によるオーロラ発光モデルの開発と粒子コードとの連携計算	加藤 雄人	東北大学大学院理学研究科・准教授	H26～H28	3年
	26-13	大気電場観測データを用いたグローバルサーキットの研究	鴨川 仁	東京学芸大学教育学部・准教授	H26～H28	3年
	26-14	地上多点光学観測による電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究	塩川 和夫	名古屋大学宇宙地球環境研究所・教授	H26～H28	3年
	26-15	GNSS受信機及びビーコン受信機を用いた極域電離圏擾乱の研究	大塚 雄一	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授	H26～H28	3年
	26-16	極域-中緯度における地磁気静穏日変化と中性風の長期変動に関する研究	新堀 淳樹	名古屋大学宇宙地球環境研究所・研究員	H26～H28	3年
	27-1	衛星観測ならびに地上観測に基づく内部磁気圏プラズマダイナミクス及び電離圏-磁気圏結合の研究	熊本 篤志	東北大学大学院理学研究科・准教授	H27～H29	3年
	27-3	レーダー・磁力計・オーロラTV観測によるSC, PC5の研究	菊池 崇	名古屋大学宇宙地球環境研究所・名誉教授	H27～H29	3年
	27-4	レーダー・ライダーを用いた極域下部熱圏・中間圏大気ダイナミクスの解明	野澤 悟徳	名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授	H27～H29	3年
	27-6	グランドミニマム期の太陽風・地球電磁気圏相互作用	塩田 大幸	名古屋大学宇宙地球環境研究所・特任助教	H27～H28	2年
	27-7	グローバルMHDシミュレーションによる電離圏対流とプラズマシートシンニングの同時発達の検証	橋本 久美子	吉備国際大学地域創成農学部・教授	H27～H28	2年
	27-8	極域地上データに基づく磁気嵐時のULF波動特性の研究	北村 健太郎	徳山工業高等専門学校機械電気工学科・准教授	H27～H29	3年
	27-9	極域サブストーム発生機構の研究	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	H27～H28	2年
	27-11	グローバルMHDシミュレーションによるオーロラ現象再現性の検証	才田 聡子	北九州工業高等専門学校・准教授	H27～H29	3年
	28-1	Substorm発生時におけるオーロラ及びPi型波動の発達過程の究明	櫻井 亨	東海大学工学部・名誉教授	H28～H29	2年
	28-2	ライダーシステムを活用した大気科学・大気環境監視に関する研究	津田 卓雄	電気通信大学情報理工学研究科・助教	H28～H30	3年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間		
宙空圏	28-3	光学オゾンゾンデを用いた成層圏オゾンおよび二酸化窒素の観測	村田 功	東北大学大学院環境科学研究科・准教授	H28～H30	3年	
	28-4	昭和基地宇宙線観測システムの開発	宗像 一起	信州大学理学部・教授	H28～H30	3年	
	28-5	SuperDARNで観測される磁力線共鳴現象からの磁気圏領域推定	河野 英昭	九州大学国際宇宙天気科学・教育センター・准教授	H28～H30	3年	
	28-6	放射線帯粒子と磁気異常帯に入射する粒子との関連について	池田 慎	武蔵大学・教授	H28	1年	
	28-7	新しいレーザー技術の南極観測への応用	桂川 眞幸	電気通信大学大学院情報理工学研究科・教授	H28～H30	3年	
	28-8	超高高度分解能共鳴散乱ライダーのための受信系開発	川原 琢也	信州大学工学部情報工学科・准教授	H28～H30	3年	
	28-9	Pc 1帯電離圏MHD波動検出のための新しいSuperDARN観測手法の開発	堀 智昭	名古屋大学宇宙地球環境研究所・特任准教授	H28	1年	
	28-10	高感度小型全天カメラの多地点観測による大気光研究	鈴木 臣	愛知大学地域政策学部・准教授	H28～H30	3年	
	28-11	薄明大気光観測用小型ファブリペロイメージャーの開発	鈴木 秀彦	明治大学理工学部・専任講師	H28～H29	2年	
	気水圏	26-20	極地雪氷中の金属成分解析によるエアロゾル気候変動の研究	鈴木 利孝	山形大学理学部・教授	H26～H28	3年
		26-22	地中レーダー(GPR)の南極氷床、山岳氷河、多年性雪溪への適用に関する研究	福井 幸太郎	立山カルデラ砂防博物館・主任学芸員	H26～H28	3年
26-23		雪氷コアを用いたアジアダスト輸送の季節性と沈積フラックスの解明	長島 佳菜	国立研究開発法人海洋研究開発機構・技術研究員	H26～H28	3年	
26-24		氷中の化学成分の詳細解析と氷結晶組織に関する研究	高田 守昌	長岡技術科学大学・助教	H26～H28	3年	
26-25		氷衛星の流動や地球氷河・氷床のレオロジーに関する総合的研究	荒川 政彦	神戸大学大学院理学研究科・教授	H26～H28	3年	
26-26		降雪粒子連続自動接写装置の開発	小西 啓之	大阪教育大学・教授	H26～H28	3年	
26-27		昭和基地上空のエアロゾル粒径分布のマルチタイムスケール解析	林 政彦	福岡大学理学部・教授	H26～H28	3年	
26-28		夏季南極大陸縁辺部におけるエアロゾルの空間分布	原 圭一郎	福岡大学理学部・助教	H26～H28	3年	
27-12		グリーンランド氷床の雪氷試料の化学・生物分析	的場 澄人	北海道大学低温科学研究所・助教	H27～H29	3年	
27-13		グリーンランド氷床に含まれる水溶性エアロゾルを用いた人為的気温変動の解読	飯塚 芳徳	北海道大学低温科学研究所・助教	H27～H29	3年	
27-14		次世代型液封深層掘削装置及び周辺機器の検討・開発	古崎 睦	旭川工業高等専門学校・教授	H27～H29	3年	
27-15		大気中酸素濃度変動に基づく炭素循環に関する研究	青木 周司	東北大学大学院理学研究科・教授	H27～H29	3年	
27-16		X線小角散乱を用いた雪氷中エアロゾルのナノ情報解析技術の構築	本間 智之	長岡技術科学大学・准教授	H27～H29	3年	
27-18		雲粒子顕微鏡システムによる極域の雲の微物理特性	小林 拓	山梨大学大学院総合研究部・准教授	H27～H29	3年	
27-19		極域ガバナンスの研究—科学と法政策のインターフェイス	柴田 明穂	神戸大学大学院国際協力研究科・教授	H27～H29	3年	
28-12	北極チャクチ海における海氷の係留・衛星観測研究	深町 康	北海道大学低温科学研究所・准教授	H28～H30	3年		

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間		
気水圏	28-13	ポリニヤでの海水生成及びそれに伴う南極底層水形成に関する研究	大島 慶一郎	北海道大学低温科学研究所・教授	H28～H30	3年	
	28-14	南極海水コアを用いた大気および海洋生物地球化学過程の解明	野村 大樹	北海道大学大学院水産科学研究科・助教	H28～H30	3年	
	28-15	南極域における現地・衛星観測データを用いた海水厚導出アルゴリズムの開発	館山 一孝	北見工業大学工学部・准教授	H28～H30	3年	
	28-16	氷の高周波誘電特性の研究	上條 敏生	首都大学東京理工学研究科・助教	H28	1年	
	28-17	しらせ氷海モニタリングデータの解析による海水状況の把握	山口 一	東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授	H28～H30	3年	
	28-18	高緯度積雪域の吹雪粒子からの昇華による大気への水蒸気供給に関する基礎的検討	杉浦 幸之助	富山大学研究推進機構極東地域研究センター・准教授	H28	1年	
	28-19	リモートセンシング観測データを用いた雲の動態解析	久慈 誠	奈良女子大学自然科学系・准教授	H28～H30	3年	
	28-20	南極表面積雪の物理解析	大野 浩	北見工業大学・助教	H28～H30	3年	
	28-21	衛星搭載の合成開口レーダデータを用いた南極海水変動の解析	中村 和樹	日本大学工学部・准教授	H28～H30	3年	
	28-22	近年の両極変化に伴う大気海洋循環変動と極端気象発現過程	本田 明治	新潟大学理学部自然環境科学科・准教授	H28～H30	3年	
	地圏	26-29	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	海老原 充	首都大学東京大学院理工学研究科・教授	H26～H28	3年
		26-30	コンドライトの岩石学的タイプの再検討と熱変成作用	木村 眞	茨城大学理学部・教授	H26～H28	3年
26-32		氷河氷床ダイナミクスと地震活動—発生過程—検知率に関する研究	坪井 誠司	国立研究開発法人海洋研究開発機構地球情報研究センター・部長	H26～H28	3年	
26-33		極域の地球内部不均質構造に関する地震学的研究	趙 大鵬	東北大学大学院理学研究科・教授	H26～H28	3年	
26-34		グラニュライト中の珪長岩包有物に基づく大陸衝突型造山運動の研究	廣井 美邦	千葉大学理学研究科・教授	H26～H28	3年	
26-36		衛星および地上測地データを用いた氷床流動変動の研究	福田 洋一	京都大学大学院理学研究科・教授	H26～H28	3年	
26-37		合成開口レーダ(SAR)データの高度利用による南極域の観測手法の開発	大村 誠	高知県立大学文化学部・教授	H26～H28	3年	
27-20		LGM以降のグリーンランド氷床融解史に関する地形・地質学的研究	前杵 英明	法政大学文学部・教授	H27～H29	3年	
27-21		インフラサウンドによる極域表層環境変動の研究	山本 真行	高知工科大学システム工学群・教授	H27～H29	3年	
28-23		変成反応組織を用いたリュツォ・ホルム岩体での物質移動、変成継続時間の解明	池田 剛	九州大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年	
28-24		微惑星表層に記録された衝突履歴の解明	宮原 正明	広島大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年	
28-25		東南極ドロンピングモードランドおよびスカンジナビア半島に産する高度変成岩類に記録された部分熔融と流体活動履歴	河上 哲生	京都大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年	
28-26		太古代・原生代の海洋底堆積物に残される地球海底環境変遷	清川 昌一	九州大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年	
28-27	東南極ナピア岩体に産する造岩鉱物の微細組織観察および熱史への適用	三宅 亮	京都大学大学院理学研究科・准教授	H28～H30	3年		

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
地圏	28-28	彗星及び小惑星起源の南極微隕石を用いた極初期の母天体過程の解明	野口 高明	九州大学基幹教育院・教授	H28～H30	3年
	28-29	リュツォ・ホルム岩体の変成作用と微小地塊・テレーンの多重衝突	馬場 壮太郎	琉球大学教育学部・教授	H28～H30	3年
	28-30	南極産火星隕石の鉱物学的研究	三河内 岳	東京大学大学院理学系研究科・准教授	H28～H29	2年
	28-31	南極内陸部のポリゴンに関する地形・地質学的研究	小山 拓志	大分大学教育福祉科学部・准教授	H28～H29	2年
	28-32	チリ海嶺—海溝に沈み込みつつある中央海嶺の火成活動の衰退	松本 剛	琉球大学理学部・教授	H28～H30	3年
生物圏	26-38	季節海水中における微小生物群集の環境応答に関する生態学的研究	服部 寛	東海大学生物学部・教授	H26～H28	3年
	26-39	南大洋に生息する植物プランクトン種からの揮発性有機化合物放出に関する研究	亀山 宗彦	北海道大学大学院地球環境科学研究院・助教	H26～H28	3年
	26-40	極域における生態系発達と菌類の分布様式に関する研究	大園 享司	同志社大学理工学部・教授	H26～H28	3年
	26-42	極域生物に共生する微生物の生物地理に関する研究	長沼 毅	広島大学大学院生物圏科学研究科・教授	H26～H28	3年
	26-43	南極湖沼に生息する動物相：環境変化に対する耐性	斎藤 裕美	東海大学生物学部・講師	H26～H28	3年
	27-22	キタゾウアザラシの摂餌回遊行動と海洋環境に関する研究	三谷 曜子	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・准教授	H27～H29	3年
	27-23	極域産グラム陽性菌における脂肪酸形成と多価不飽和脂肪酸合成酵素遺伝子の探索	吉田 磨仁	北海道大学大学院地球環境科学研究院・助手	H27～H28	2年
	27-24	多価不飽和脂肪酸合成酵素遺伝子のグラム陽性菌での発現と低温適応機能	折笠 善丈	帯広畜産大学食品科学研究部門・助教	H27～H28	2年
	27-25	南大洋の動物プランクトンを対象とした音響観測手法に関する研究	甘糟 和男	東京海洋大学先端科学技術センター・助教	H27～H29	3年
	27-26	南大洋の海水中に出現する微細藻類の生理学的研究	宮崎 奈穂	東京海洋大学学術研究院海洋環境学部門・助教	H27～H29	3年
	27-27	南極露岸域、氷河上に生育する藻類の光合成特性の解明	小池 裕幸	中央大学理工学部・教授	H27～H29	3年
	27-28	オホーツク海沿岸能取湖における海水生成期の低次生産層の動態	西野 康人	東京農業大学生物産業学部・准教授	H27～H29	3年
	27-29	極域生態系における元素循環関連遺伝子群の網羅的検出手法の開発	押木 守	長岡工業高等専門学校・助教	H27～H29	3年
	27-30	極域における水環境中の窒素起源および窒素循環速度に関する研究	角皆 潤	名古屋大学大学院環境学研究科・教授	H27～H29	3年
	27-31	海鳥類の採餌行動と活動中のエネルギー消費の測定	新妻 靖章	名城大学農学部・教授	H27～H29	3年
	27-32	ジャイロ・GPSロガーを用いたアデリーペンギンの採餌行動解析	三田村 啓理	京都大学大学院情報学研究科・准教授	H27～H29	3年
	28-33	藻類の耐氷性に関する研究	高澤 伸江	京都学園大学バイオ環境学部・准教授	H28～H29	2年
	28-34	野生植物に寄生する低温性糸状菌の多様性と生態解析	東條 元昭	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・准教授	H28～H30	3年
	28-35	極域の光合成生物の生理応答機構の解析	菓子野 康浩	兵庫県立大学生命科学研究科・准教授	H28～H30	3年

分野	No.	研究課題名	研究代表者氏名	所属・職	研究期間	
生物圏	28-36	北極植物の気候変動に対する成長応答の解明	和田 直也	富山大学研究推進機構極東地域研究センター・教授	H28	1年
	28-37	昭和基地周辺モニタリング定点から分離された土壌藻類の分類学的研究	大谷 修司	島根大学教育学部・教授	H28～H30	3年
	28-38	亜寒帯域沿岸の表層水におけるpH高解像度マッピング技術の開発	今井 圭理	北海道大学水産学部附属練習船おしよる丸・助教	H28～H30	3年
	28-39	極地に生息する病原体、病原因子・抗菌薬耐性因子の網羅的解析	石井 良和	東邦大学医学部・教授	H28～H30	3年
	28-41	南極湖沼生態系の数理モデル化に関する研究	佐々木 顕	総合研究大学院大学先導科学研究科・教授	H28～H30	3年
	28-42	南極の紫外線が生物に及ぼす影響に関する研究	高橋 哲也	島根大学教育学部・教授	H28～H30	3年
	28-43	南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明	上野 大輔	鹿児島大学大学院理工学研究科・助教	H28～H30	3年
極地工学	26-44	高地天文台における雪氷災害の軽減対策の研究	酒向 重行	東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター・助教	H26～H28	3年
	27-34	南極内陸輸送における振動軽減対策手法の開発	白川 龍生	北見工業大学工学部・准教授	H27～H28	2年
	27-35	過酷な環境下における事故防止のための実践知の抽出と把握	村越 真	静岡大学教育学部・教授	H27～H28	2年
	28-44	内陸基地における太陽光発電の発電性能に関する基礎検討	西川 省吾	日本大学理工学部・教授(国立極地研究所 客員教授)	H28	1年
	28-45	組込技術を用いたインタラクティブ展示に関する研究	伊豆原 月絵	日本大学理工学部・教授	H28～H30	3年
	28-46	防水型極地回収気球搭載回路の開発	森本 真司	東北大学大学院理学部理学研究科・教授	H28～H30	3年
	28-47	建築・土木に関する極地設営工学研究	金 高義	福島工業高校専門学校・助教	H28	1年
	28-48	雪上車および橇による内陸輸送力強化に関する基礎研究	香川 博之	金沢大学理工研究域機械工学系・講師	H28～H30	3年
	28-49	新内陸基地建設に向けた物資輸送計画の検討	横山 宏太郎	農業・食品産業技術総合研究機構・フェロー	H28～H30	3年
	28-50	昭和基地～極地研間衛星回線の効率利用に資する南極観測データの高速度伝送実験	村田 健史	国立研究開発法人情報通信研究機構統合データシステム研究開発室 統括	H28～H30	3年
	28-51	南極での緊急時メッセージ通信システムに関する研究	五十嵐 喜良	京都大学大学院情報学研究科・招へい研究員	H28～H29	2年

3. 研究集会

No.	研究課題名	研究代表者	所属・職
28集1	「MTI研究集会」「ISS-IMAP研究集会」合同研究集会	富川 喜弘	国立極地研究所・准教授
28集2	プラズマシート極域電離圏投影問題研究会	田中 高史	九州大学国際宇宙天気科学教育センター・学術研究者・名誉教授
28集3	新極域科学計算機システムを利用した大規模データ処理とデータ公開に関する研究集会	岡田 雅樹	国立極地研究所・准教授
28集4	極域・中緯度SuperDARN研究集会	行松 彰	国立極地研究所・准教授
28集6	太陽地球環境データに基づく超高層大気の空間・時間変動の解明	田中 良昌	国立極地研究所・特任准教授
28集7	EISCAT研究集会	宮岡 宏	国立極地研究所・教授
28集8	南極海洋－海水－氷床システムの相互作用と変動に関する研究集会	青木 茂	北海道大学低温科学研究所・准教授
28集9	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	富山大学大学院理工学研究部・准教授
28集10	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・研究官
28集11	グリーンランド氷床の変動と気候・環境変動のかかわりに関する研究	東 久美子	国立極地研究所・教授
28集12	無人機の活用による極地観測の展開	林 政彦	福岡大学・教授
28集13	南極エアロゾル研究会	原 圭一郎	福岡大学・助教
28集14	永久凍土変動とそのモニタリングに関する研究集会	原田 鉱一郎	宮城大学食産業学部・准教授
28集15	南極ドームふじ氷床深層アイスコアの解析による気候・環境変動の研究	藤田 秀二	国立極地研究所・准教授
28集16	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-II	金尾 政紀	国立極地研究所・准教授
28集17	極域でのGGOS中核局構築に向けた必要技術検討	土井 浩一郎	国立極地研究所・准教授
28集18	南極沿岸・陸上生態系における微小動物相の多様性解明に向けて	角井 敬知	北海道大学大学院理学研究院・講師
28集19	2016年 南極医学・医療ワークショップ	渡邊 研太郎	国立極地研究所・教授

本報告書は、平成28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。