

平成 21 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

ULTIMAを用いたグローバルな電磁場擾乱の解析研究	6
衛星・地上多重同時観測によるULF波動の研究	8
ドームふじ基地における天文観測の調査検討	10
極域における成層圏・中間圏の組成変動観測のための小型ミリ波放射計の評価と改良	12
オーロラ活動に伴う極域熱圏中性風の研究	14
極冠帯・極光帯大気のエネルギー力学	16
れいめい衛星と地上レーダー網・オーロラカメラによる極域オーロラ現象の同時観測	18
極域での昼夜自動観測を目的としたライダーシステムの検討	20

(2) 気 水 圏

ドームふじ深層コアの氷およびハイドレートの物理解析	24
ドームふじ深層掘削データ解析による高圧温暖氷掘削の研究	27

(3) 地 圏

衛星重力の応用とその地上検証に関する研究	30
リュツォ・ホルム岩体産コンダライト中のザクロ石の微量元素累帯構造と部分熔融および年代測定可能な副成分鉱物の消長の関係解明	32
東南極ナピア、リュツォ・ホルム岩体に産する造岩鉱物の微細組織解析および熱史への適用	34
南極プレート発散境界インド洋海嶺の発展史に関する研究	36
熔融脈を有する南極産隕石と地球岩石の再磁化特性に関する研究	38
リュツォ・ホルム湾沿岸の浅海及び湖沼堆積物についての環境磁気学及び古環境学的研究	40
氷床縁部露岩域および大陸棚海底の地形・地質データを用いた後期更新世～完新世の南極氷床変動の復元	42

(4) 生 物 圏

低温および塩類ストレス環境下に生息する多価不飽和脂肪酸産生微生物の探索と同定	46
極域より分離した微細藻類や細菌の耐冷性、耐凍性の研究とその応用	49
海洋と南極湖沼における硫黄循環に対するジメチルスルフォキシド（DMSO）呼吸の役割の解明	51
昭和基地周辺における土壌藻類および土壌微生物を用いた環境モニタリングの実施	53
南極における紫外線の生物に与える影響と、好冷性微生物を用いた機能性食品の研究	55
南極のラン藻類を中心とした湖底の藻類群集の光合成に関する研究	57
海洋微生物の低温適応機構	59
オホーツク海沿岸域における海水形成過程と基礎生産動態に関する研究	62

(5) 極 地 工 学

極地における新エネルギー導入によるエネルギー対策に関する研究	66
南極地域観測隊装備衣料の意匠性と機能性についての研究	68
南極における曝露繊維の表面特性変化機構の解明	70

Ⅱ. 研究集会報告

研究集会

南大洋酸性化と海洋生態系変動に関する研究集会	74
極地スカイラジオメータ観測の標準化に関する研究集会	76
南極大気エアロゾル：これまでの観測結果の検討と今後の観測計画のための研究会	77
極限環境における微小生態系の総合的研究	80
大気・雪氷間の物質循環に関する研究小集会	84
東南極地域の内陸氷床トラバース探査の成果とりまとめに関する研究集会	86
寒冷域における降雪と雪結晶の研究と教育の今後の展望	89

Ⅲ. 平成21年度共同研究課題一覧

1 平成21年度共同研究実施件数	94
2 一般共同研究	95
3 研究集会	101

1. 記号の説明

◎……研究代表者

2. 表記例

(研究課題)	ULTIMAを用いたグローバルな 電磁場擾乱の解析研究	
(研究代表者)	◎湯元清文	九州大学宙空環境研究センター・センター長
(共同研究員)	魚住禎司	九州大学宙空環境研究センター・学術研究員
	阿部修司	九州大学宙空環境研究センター・学術研究員
	前田丈二	九州大学宙空環境研究センター・学術研究員
(担当教員)	(国立極地研究所) 佐藤夏雄 教授	
(研究期間)	平成19年～平成21年（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）

ULTIMA を用いたグローバルな電磁場擾乱の解析研究（研究課題） 番号： 19-2

◎湯元清文 九州大学宙空環境研究センター・センター長（研究代表者）

魚住禎司 九州大学宙空環境研究センター・学術研究員（共同研究者）

阿部修司 九州大学宙空環境研究センター・学術研究員

前田丈二 九州大学宙空環境研究センター・学術研究員

（国立極地研究所）

佐藤夏雄 教授（担当教員）

平成19年～平成21年（3か年）（研究期間）

【研究成果】

本研究課題の目的は、国際太陽系観測年(IHY)の視点から太陽-地球系を一つのシステムと考え、太陽面、太陽風、地球磁気圏で発生している様々の擾乱現象の相関性や、擾乱エネルギー・高エネルギー粒子の最終到達点である低緯度・赤道域でのグローバルな発生特性を観測的に定量化することであった。具体的には平成19-21年度の間、ULTIMA (CPMN, MAGDAS等) 観測網に人工衛星データを加えた共同観測・解析研究から、Sq 変動磁場、DP2, sc/si やオーロラに伴う ULF 帯の電磁場擾乱について、太陽系の基礎過程の視点から各現象を捉えた解析研究を実施することであった。その結果、以下のような成果が得られた。

1) Sq 変動磁場:

本研究では電離層を流れるSq 電流が作る比較的規則的に変動するSq 変動に先ず着目した。太陽活動の1周期に相当するCPMN 210 MM の1996 - 2007 年のデータを解析し、Sq 変動をモデリングすること、また、そのモデル構築に用いた変数に対するSq 変動の依存性を明らかにした(Yamazaki, et al., JGR, 2009)。

【手法】磁氣的静穏日を磁気活動度指数の値により選択した一連の静穏日について、Sq 変動に影響を与えられとされるDay of Year, Local time, Solar Activity, Lunar age を変数として、最小二乗法により観測点ごと、成分ごとに経験モデルを作成した。その後、地方時ごとに緯度方向に多項式補間することで、観測点間のSq 変動を求めた。磁気赤道域では、東向き強い電流(Equatorial ElectroJet; EEJ)により、磁場がエンハンスされる。そのため磁気赤道域と中低緯度域に分け、H成分(南北成分)の補間を行った。D 成分(東西成分)については、エンハンスがないため分離せずに補間を行った。

【解析結果】

(1) 太陽活動度 F10.7 の値の増加と共に磁場の水平成分の1時間平均値が大きくなり、中緯度、磁気赤道域の観測点でそれぞれ1年周期、半年周期の変動が見られ

た。

(2) 満月、新月のときに磁場の水平成分の1時間平均値が大きくなる。

(3) 磁気赤道域の観測点のEEJによるH 成分の強度変化について半年周期の変動が見られた。

(4) 磁気赤道域の観測点のD 成分の強度変化について、季節により変動パターンに変化が見られた。

(5) 中緯度の観測点のH,D 成分 について、季節に応じて符合が切り替わる時間に変化が見られた。

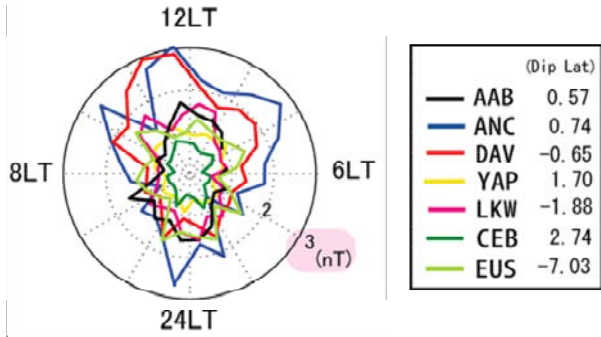
2) DP2夜側磁場変動:

夜側磁場変動を考慮したDP-2 発生モデルの構築を目的として、DP-2 発生時の夜側磁場変動に着目した解析を行った。その結果、夜側DP-2 は頻繁に(本結果ではDP-2発生時の54%で)出現することが明らかになった。また、夜側DP-2 の変動方向は[Nishida,1968]の観測結果と同じセンスであり、電場侵入によるDP-2 発生モデル(Kikuchi et al.1996)だけでは説明できないことが示された。夜側磁場変動を考慮したDP-2 発生モデルには、夜側DP-2 変動の発生メカニズムを加える必要があると考えられる (Imamura et al., 2010合同学会発表予定)。

夜側DP-2 発生メカニズムを知る上で重要な結果を事例解析から得られた。夜側DP-2 は、電離層電流に起因せず、磁気圏の何らかの変動に起因することが示された。現段階で考えられる夜側DP-2 発生要因のうち、本結果を最も説明するモデルは、磁気フラックス密度増加モデル(リコネクションによって磁力線が反太陽方向へ流されることによって夜側磁気フラックス密度が増加する)である。今後の展開としては、磁気フラックス密度増加モデルを検証するために、シミュレーション研究を行うことと、「きく8号」衛星の同時観測結果を用いて磁気圏内磁場変動の統計解析を行うことが挙げられる。

3) グローバルな磁気赤道 Pi2 振幅特性:

磁気赤道域の MAGDAS 観測点 (ANC, EUS, YAP, DAV, CEB, LKW, AAB) において 2007 年 1 月に観測された Pi2 振幅の LT 依存性は図 1 のような結果が得られた。



MAGDAS 各観測点の昼側で Pi2 振幅の赤道振幅異常増加が確認された。夜側だけではなく昼側でも Pi2 振幅が大きくなるという LT 依存性の特徴については、各磁気赤道観測点ともに大まかに似た傾向が確認された。しかし、昼側の赤道振幅異常増加が開始する時間や各観測点の磁気赤道 Pi2 振幅の大きさについては、観測点間に違いが確認された。

以上のことから、同じ磁気赤道 Pi2 であっても観測点によって Pi2 振幅の大きさの評価が異なることがわかる。例えば、昼に 2nT の Pi2 振幅が観測されたとすると、その時に、Pi2 を観測した観測点が AAB であれば、その Pi2 は比較的大きな振幅の Pi2 と解釈されるが、2nT の Pi2 を観測した観測点が ANC であれば、その Pi2 はそれほど大きな振幅の Pi2 ではないと解釈される。

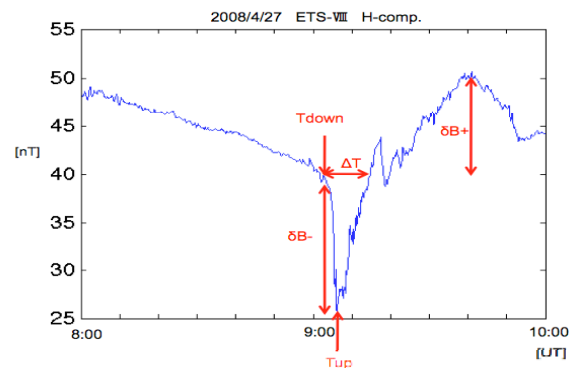
昼側において、磁気赤道に近いほど Pi2 振幅が大きくなる(Fig4-4[a])理由は、磁気赤道の上空を流れる赤道ジェット電流の効果として説明できる。しかし、夜側においても磁気赤道に近づくほど Pi2 振幅が大きくなる傾向がみられた結果は、過去に同様の解析結果が得られた例がなく、南米の磁気赤道 Pi2 の解析を行った Shinohara et al.(1998)の結果では、夜側では磁気赤道域に近づくとも Pi2 振幅はむしろ小さくなっている(Hirayama et al., 2009 合同学会発表済)。

本研究で得られた、夜側の CEB, YAP, DAV で観測された磁気赤道 Pi2 振幅の増大の原因として、2つの原因が考えられる。1 つ目は、夜側の電離層電流による効果である。夜側の電離層電気伝導度と Pi2 振幅が季節変動することは、過去の研究(関悠子 修士論文 2003)でも示されており、夜側の CEB, YAP, DAV 間でみられた磁気赤道 Pi2 振幅の増大が電離層電流によるものであれば、夜側の磁気赤道 Pi2 振幅比に季節変化がみられるはずである。2つ目の考えられる原因は、CA 効果である。CEB, YAP, DAV の観

測点は島に位置しているため、元々同じような振幅の Pi2 振幅に CA 効果によって振幅差が生じている可能性が考えられる。原因が CA 効果であるならば、夜側の磁気赤道 Pi2 振幅に季節変化は見られず、また、CA 効果の違いが磁場データの Z 成分に現れるはずである。

4) サブストーム時の L=6.6 の磁場変化:

サブストーム時の ETS-VIII 衛星高度の磁場変動 H 成分の解析をするにあたり、Tdown(磁場が急激に減少する explosive growth phase の始まりの時間)・Tup(explorative growth で減少した磁場が増加し始める時間)・ ΔT (explorative growth phase で減少した磁場が Tdown 時の磁場と同じくらいまで増加するのにかかる時間)・ δB^- (explorative growth phase でどれだけ磁場が減少したか)・ δB^+ (explorative growth phase で減少した磁場が Tdown 時の磁場と同じくらいまで増加した後、さらにどれだけ増加したか)を定義した。



MAGDAS で観測された Pi2 と ETS-VIII 衛星で観測された磁場 H 成分の変動の Tdown・Tup との時間差を調べるために、それぞれのサブストームイベントに対して、Tdown(H) - T(Pi2), Tup(H) - T(Pi2) をまとめた。横軸 LT、縦軸 min としサブストーム時の ETS-VIII 高度磁場変動 H 成分と地上の MAGDAS で観測された Pi2 との時間差をプロットした。その結果、21:00-22:00LT 付近で Tdown や Tup と Pi2 との時間差が小さく、0~5 分程度であることが分かった。さらに 21:00-22:00 LT 付近から経度方向へ離れるとその差は 20 分程度まで大きくなった。つまり、サブストーム時 21:00-22:00LT 付近では ETS-VIII 高度(L=6.6Re) 磁場 H 成分の変動は、地上で Pi2 が観測されるのとはほぼ同時に始まっていることが解明された。ETS-VIII が経度方向へ離れると地上で Pi2 が観測されてから最大で 20 分程度遅れて ETS-VIII 高度磁場 H 成分の変動が始まっていた(Eto et al., 2010 合同学会発表予定)。

衛星・地上多重同時観測による ULF 波動の研究

◎利根川豊 東海大学工学部・教授

櫻井 亨 東海大学・名誉教授

坂田圭司 東海大学・特任講師

佐藤夏雄 教授、 山岸久雄 教授、 行松彰 准教授、 門倉昭 准教授

平成 19 年～平成 21 年（3 年）

[研究成果]

本研究では、各種 ULF 波動の発生原因とそのエネルギー伝播機構を解明する目的で、太陽風観測衛星 ACE、地球磁気圏内を観測する Cluster 衛星、SuperDARN HF レーダおよび地上磁場観測など太陽風から地上までの観測網を多角的に組み合わせた研究を行った。太陽風と磁気圏内の長周期脈動の関連については、大磁気嵐時の磁気圏尾部の振動モードを明らかにしたり、太陽風動圧と Pc 5 の励起との関係を詳細に解析したり、波動の発生機構解明に取り組んだ。また、最終年度にはジェット旅客機からのオーロラ観測に関する研究もおこなった。これらによって得られた結果を項目ごとに以下に記す。

太陽風プラズマ密度急増に伴う長周期脈動

磁気嵐を引き起こした太陽風変動に伴い発生したと考えられる長周期 ULF 波動について解析した。2006 年 12 月の磁気嵐の例では、北向き IMF において太陽風密度の急増に伴った密度変動が King Salmon (KSM) での HF レーダおよび地上磁場変動にほぼ同一周期（3-4 分）の ULF 波動（Pc 5）として観測された。この ULF 波動は極域のみならず中、低緯度にも及び、その振幅の緯度分布に顕著な equatorial enhancement が確認され、極域から電離層電流として赤道帯に伝播している事が確認された。これらの観測事実は、北向き IMF 時での太陽風動圧変動の磁気圏－電離圏応答の特徴として捉える事が出来き、ULF 波動の励起・伝播の一つの機構として捉える事が出来る。また別のイベント解析では、やはり北向き IMF 中の動圧変動に伴い昼側で Pc 5 が、夜側ではほぼ同周期でオーロラを伴った Pi 2 脈動が同時に観測された例を見出した。

Cluster 衛星-地上同時観測による Psc 4, 5 脈動

磁気嵐を引き起こした太陽風変動に伴い発生したと考えられる長周期 ULF 波動について、前節の研究結果に対し新たに Cluster 衛星による内部磁気圏直接観測データを加えた解析を行った。2006 年 12 月 14 日に発生した磁気嵐の急始(SC)では電離圏でのプラズマ対流が強化される様子が極域 HF レーダで観測され、その強化が磁気緯度 74-78 度の高緯度帯と 60-67 度のオーロラおよびサブオーロラ帯の二つの磁気緯度帯で確認された。同じ磁気緯度帯の地上の磁場観測網では、この SC に伴い特徴的周期の ULF 波動が観測された。また、内部磁気圏の朝側でも Cluster 衛星により顕著な、しかも地上で観測された ULF 波動と等しい周期帯の Pc4 脈動が電場、磁場の双方で観測された。これは、SC に伴って発生した Pc4 帯の振幅 10mV/m 程度の電場が SC の後にも継続的に磁気圏に流入していることを示している。

大型航空機からのオーロラ画像観測の可能性

対流圏界面より高高度の北極圏を飛行する定期国際線の航空機から撮影したオーロラ画像の例を紹介し、地上観測に比べ格段に鮮明なオーロラ画像観測の可能性について研究を行った。

地上からのオーロラ光学観測に比べ、高高度航空機からの観測の利点として 3 つの特徴が挙げられる。その第一点は、晴天率と透明度で、高度 12,000m 上空の水蒸気量は地球全体の水蒸気量の 1 % 以下であり、従ってほぼ 100% に近い晴天率と高い透明度が保障される。二点目は、仰角が約 2 度の水平線以下まで透明度の高い視界が確保されることに

より、頭上から水平線下までオーロラ光を観測することが可能である。特に水平方向のオーロラ光が積分され、微弱なプロトン・オーロラなども撮影の可能性が高まる。三点目に、飛行コースがオーロラ帯とほぼ並行している場合、東行きの便では幅広い地方時の活動を短時間で観測でき、逆に西行きの便ではほぼ一定の地方時間で長時間の観測が可能になる（ジェット機の数と極域の自転速度がほぼ等しいため）。

航空機による観測はこのような利点がある一方、大気中を音速の約 80%の速度で飛行しながらのオーロラ撮像には困難を伴う。まず、画質は気流の安定度に大きく左右され、実際に観測データとして使用可能な良像の撮像確率が問題となる。これは使用するカメラの種類、使用レンズの明るさ、画角、露出指数などを適切に選択することで、ある程度良像確率を上げることは可能である。また、機内からの撮像は、二重の偏光ガラスを通した撮影となるため、地上に於ける撮影の 4 倍の露出時間を必要とする。これは素早い動きのオーロラをシャープに写し撮

るための最大の問題であり、やはり気流の安定が必須となる。

このような過酷な条件のもとであるが、太陽活動サイクル 23 の極大期を含む 1999 年 9 月から 2005 年 3 月までの 5 年 6 ヶ月の間に、大型旅客機の操縦席後方の窓際に設置したカメラで 20 秒ごとに自動撮影された膨大な画像の中に多くの興味あるオーロラ画像を選び出すことができた。使用したのは主に 35mm/F1.4 の広角レンズを装着した銀塩フィルムカメラである。ASA400 のリバーサル・フィルムを 2 倍増感現像し、スキャナーでデジタル化している。露光時間 20 秒で連続撮影しており、その撮影時刻と位置は正確に記録されている。また、星座の位置から画像の方位・仰角も求められ、他のオーロラ科学観測データとの比較研究も十分可能であることを示した。更に、姿勢変化のある飛行中の航空機からコマ撮り画像を星の位置で補正するなどし、オーロラのダイナミックな動きを再現した動画も例を含め、第 33 回極域宙空圏シンポジウムに発表した。

[研究発表]

櫻井亨、菊池崇、橋本久美子、利根川豊、梶川陽平、坂田圭司、第 3 回磁気圏－電離圏複合系における研究会妙録、23 - 46, 2007.

Sakurai, T., Simultaneous excitation of Pi 2 and Pc 5 pulsations driven by density pulses during a magnetic cloud, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会、2007 年 5 月

Sakurai, T., Y. Tonegawa, N. Sato, A. Kadokura, K. Sakata, Y. Kajikawa, Conjugate relationships of Pi pulsations observed at the conjugate stations of Syowa Station in Antarctica and Tjornes, Husafell in Iceland, 第 31 回極域宙空圏シンポジウム、2007 年 7 月

梶川陽平、利根川豊、坂田圭司 ; Tyganenko モデルに IGRF モデルを組み入れた時期地場モデル、第 31 回極域宙空圏シンポジウム、2007 年 7 月

Sakurai, T., T. Kikuchi, K. Hashimoto, Y. Tonegawa, Solar wind driven periodic radar echoes and Pc 5 oscillations during the magnetic storm on 14 December 2006, 第 32 回極域宙空圏シンポジウム、2008 年 8 月

國分勝也、利根川豊、佐藤夏雄、大型航空機からの画像観測の可能性、第 33 回極域宙空圏シンポジウム、2009 年 12 月

ドームふじ基地における天文観測の調査検討

◎中井直正 筑波大学大学院数理物質科学研究科・教授 (研究代表者)

市川 隆 東北大学大学院理学研究科・教授

瀬田益道 筑波大学大学院数理物質科学研究科・講師

高遠徳尚 国立天文台ハワイ観測所・助教

(国立極地研究所)

山岸久雄 教授

本山秀明 教授

平成19年～平成21年(3か年) (研究期間)

【研究成果】

南極ドームふじ基地において赤外線～テラヘルツ・サブミリ波帯で天文観測を行うための準備と調査を行った。

(1) ドームふじ基地での天文観測の意義

銀河は一般に赤外線領域で最も明るい。遠方の銀河は宇宙の膨張とともに我々から遠ざかっているため、放射された赤外線は地上ではドップラー効果的に、より波長の長いテラヘルツ波やサブミリ波帯として観測される。また太陽系内の惑星の大気や太陽系外にある惑星はその温度から赤外線領域で最も明るく、また多くのスペクトル線も出している。従って、これらの研究においては赤外線～サブミリ波の観測が非常に重要である。

しかし、このような波長帯では地球の大気の酸素や水蒸気等によって強く吸収を受け、地上から宇宙を観測することが困難になる。また大気が出す放射そのものが雑音となって観測を妨げる要因となる。

ドームふじ基地は標高が高い(3810m、気圧換算の標高は～4300m)ので酸素が薄く、気温が低い(－20℃～－80℃、平均－54℃)ので大気中の水蒸気は少ない。そのため、大気による吸収は少なく、大気雑音も低いことが期待される。また晴天率が高く、大気擾乱によるシーイングの悪化も少なく、風も穏やかであると考えられている。このような理由からドームふじはドームAと並んで地上で最も天文観測に適した場所と期待される。また夏季は太陽が沈まないで、太陽の観測を長時間に渡って連続的に観測可能であり、冬季は太陽が昇らないので(可視光)近赤外線では同一天体を長期に渡ってモニター観測が可能となる。

人工衛星に搭載した望遠鏡による観測と比較すると、大型望遠鏡の建設が容易である、経費が格段に安い、故障しても修理が可能である、検出器を最新のものに交換可能であるなどの利点がある。

このような理由から、我々は南極天文コンソーシアムを結成して、ドームふじ基地に赤外線～サブミリ波の望遠鏡を設置して他では観測困難な新しい

天文観測を行うことを計画している。

(2) 大気の測定

ドームふじ基地において2006年12月18日～2007年1月14日の期間に南極観測隊員に委託して220GHzにおける大気の透過率を測定した。その結果、大気の光学的厚みは現在地上で最も良いとされているチリ北部のアタカマ高地にあるALMA建設サイト(標高5000m)の同季節(図1右)に比べて格段に優れていることがわかった(図1左)。測定期間中の平均の光学的厚みは $\tau=0.045\pm0.007$ であった。

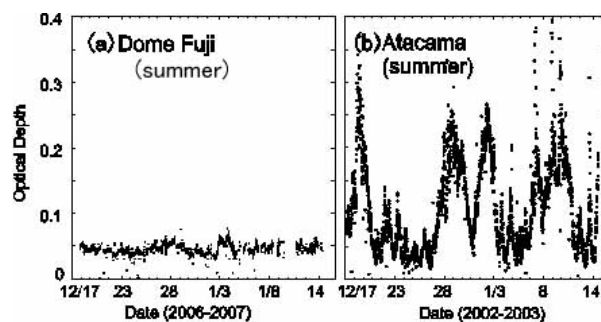


図1. 220GHzの大気の光学的厚み

また、赤外線・可視光で重要となるシーイングの程度を調査するため、同様にSODARを用いて40m～1000m上空の大気の擾乱を測定し、大変興味深い結果を得た。

(3) 40-cm 赤外線望遠鏡の開発

金星の大気の観測を探査機「あかつき」と同時観測したり、銀河合体の進化の化石である近傍銀河の星系ハローの副構造の解明、極夜を利用した長時間連続観測による系外惑星探査及び太陽全面の回折限界でのモニター観測などを目的として、口径40cmの可搬型赤外線望遠鏡を開発した(図3)。これは分解してドームふじ基地に運び、現地で数人によって組み立てができる構造となっている。また実験室の低温槽や北海道での実験により、ドームふじ基地での極寒にも耐えられるようになっている。開発した本望遠鏡を2010年度の第52次南極観測隊でドームふじ基地に搬入し、長期電源供給システム

PLATO を用いて、冬季の無人運転も計画している。

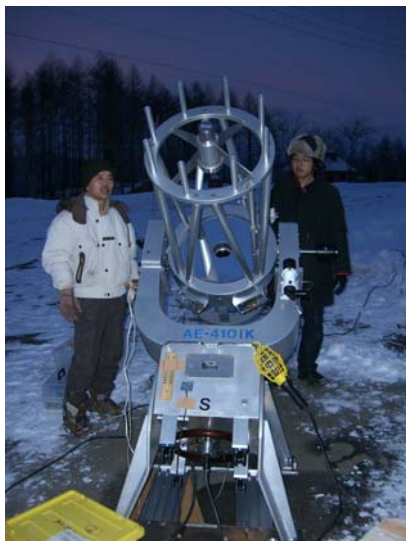


図 2. 40-cm 赤外線望遠鏡

(4) 30-cm 可搬型サブミリ波望遠鏡

500 GHz 帯において一酸化炭素 $\text{CO}(J=4-3)$ 、中性炭素 C I 、星間ダストの熱放射などを観測する目的で口径 30-cm の可搬型サブミリ波望遠鏡を開発した。特に、既存の 115 GHz の $\text{CO}(J=1-0)$ 輝線の天の川

銀河の銀河面に沿った掃天観測と同じ角分解能 ($9''$) で 461 GHz の $\text{CO}(J=4-3)$ の銀河面掃天観測を計画している。これによって、同一角分解能による両者の強度比が求まり、分子ガスの密度と温度を推定することができる。望遠鏡は数人で分解・組立ができる構造となっており、チリのアタカマ高地などで試験を行っている。2014 年度にドームふじ基地に設置する予定である。



図 3. 30-cm 可搬型サブミリ波望遠鏡

[研究発表]

(査読有り)

Ishi, S., Seta, M., Nakai, N., Nagai, S., Miyagawa, N., Yamauchi, A., Motoyama, H., Taguchi, M.; Site testing at Dome Fuji for submillimeter and terahertz astronomy: 220 GHz atmospheric transparency; Polar Science, Vol. 3, p213–p 221, 2010

Lundock, R. G., Ichikawa, T., et al.; Tohoku-Hiroshima-Nagoya planetary spectra library: A method for characterizing planets in the visible to near infrared; Astronomy and Astrophysics, Vol. 507, p1469–p1658, 2009

(査読無し)

Burton, M. et al. (including Ichikawa, T.); Inter-Division IX-X Working Group Encouraging the International Development of Antarctic Astronomy; in Transactions IAU, Vol. 4, Issue 27A, Reports on Astronomy 2006-2009. Edited by Karel van der Hucht. Cambridge: Cambridge University Press, p.328–p.329, 2008

Lundock, R. and Ichikawa, T.; AIR-C: Antarctic infra-red camera; SPIE, Vol.7014, p.89–p.100, 2008

Murata, C., Ichikawa, T., et al.; A 40-cm Infra-Red Telescope in Antarctica; SPIE, Vol.7019, p.79–p.87, 2008

Takato, N., Ichikawa, T., et al.; 2-m class telescope at dome Fuji; Proc. 2nd ARENA Conference on The Astrophysical Science Cases at Dome C, H. Zinnecker, H. Rauer & N. Epchtein (eds.), EAS Publications Series, Vol. 33, p.271–p.274, 2008

極域における成層圏・中間圏の組成変動観測のための小型ミリ波放射計の評価と改良

◎水野 亮 名古屋大学太陽地球環境研究所・教授 (研究代表者)
長浜智生 名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授 (共同研究者)
前澤裕之 名古屋大学太陽地球環境研究所・助教 (共同研究者)
(国立極地研究所)
堤 雅基 准教授 (担当教員)
富川 喜弘 助教 (担当教員)
平成 19 年～平成 21 年 (3 か年) (研究期間)

[研究成果]

ミリ波分光放射計による地上観測は、大気中の微量分子から回転遷移等により放射される線スペクトルの分光を行い、そのスペクトル線の形状（線幅・強度）を逆問題として解くことにより微量分子の鉛直分布を導出するものである。成層圏から中間圏（15km 程度から 70km 程度）をカバーし、昼夜にわたり連続的に定点上空の大気微量分子の高度分布が 10km 弱程度の高度分解能で測定できる。

我々は、52 次隊で昭和基地にミリ波分光放射計を設置し、太陽極大期に増加する極域への高エネルギー粒子の降り込みが中層大気に与える影響を観測的に明らかにする計画を進めている。同観測では非常に微弱な大気分子からのミリ波線スペクトルを受信するため、受信機雑音温度をできる限り低く抑えることが重要となり、そのために名古屋大学で開発してきた超伝導受信機を用いた観測システムを用いることとした。しかしながら、従来の超伝導受信機は超伝導状態を安定に維持するために用いる極低温冷凍機の消費電力が大きく、基地内の全電力を発電機によって賄っている昭和基地で従来型の観測システムを運用することができなかった。そこで、消費電力が少ない小型の極低温冷凍機（従来の 1/3 以下）でも安定した超伝導状態を維持できる観測システムを開発し、昭和基地での運用を実現させることを目指した。

H19 年度は、名古屋大学で開発中であった小型システム試作機を用い、100GHz 帯の受信機を搭載して冷却能力評価とビーム伝送光学系の評価を行った。受信機は約 13.5 時間で 3.7K まで到達し、温度ゆらぎも±20mK 以下と非常に安定しており、冷却能力には全く問題ないことが明らかになった。しかしながら、ビーム伝送光学系に関しては、E 面（鉛直）方向と H 面（水平）方向との間でビームサイズが 4 割ほど初期設計値より大きくなっていること、E 面と H 面でビームウェストの位置がずれる非点収差が発生していることなどの問題が明らかになった。電磁界シミュレーションプログラム GRASP を用いた解析により上記の問題の原因を追及したところ、電磁

ホーンの形状が大きく影響していることが明らかになり、ホーン設計支援プログラム CHAMP を用いて E 面 H 面の対称性がよいコルゲートホーンの再設計を行うこととした。

H20 年度は GRASP と CHAMP を用いて、実際の測定周波数帯である 200-250GHz におけるビーム伝送光学系のシミュレーション計算を行い、ホーンの他に楕円鏡、放物面鏡などの光学コンポーネントの形状を決定した。コルゲートホーンは、230GHz から 265GHz の広帯域にわたり使用できる設計のもので、コルゲート部分の凹凸の幅が 0.2mm と狭く、まず専用の加工用高精度バイトを製作しなければならなかった。また、コルゲートホーンの入力部の円-角導波管変換部は従来の電鑄を用いた方法ではなく、名古屋大学装置開発室に新たに導入した加工面の上下で独立にワイヤー位置を数値制御できる最新のワイヤー放電加工機を用いて製作した。これらの微細加工技術により、設計どおりのコルゲートホーンを安価で短期間に製作することができた。また、楕円鏡や放物面鏡も高精度フライスによる加工で製作し、レーザー三次元測定機で測定した結果、250GHz の観測で必要とされる鏡面精度~50 ミクロン(rms)に対し、5 ミクロン(rms)以下が実現されていることが確認できた。

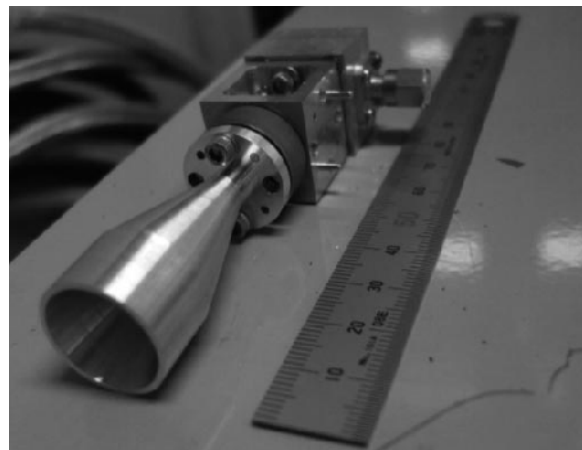


図 1. コルゲート（溝付き）ホーンをつけた 250GHz 帯超伝導ミキサ

また、光学系の再設計と並行して、デジタル分光計のつなぎ込みと解析・観測プログラムの整備を行った。デジタル分光計の開発は、チリ共和国アタカマ高地で稼働中のミリ波分光放射計（従来の大型機）を用いて行った。受信機からの IF 信号出力は、大型機も本課題で開発している小型機も共通の仕様となっているため、従来の大型機で分光計の開発評価が可能である。デジタル分光計以前に用いていた音響光学型分光計は、ブラッグセルに入射する単色光（半導体レーザーを使用）の回折角がブラッグセルを振動させる入力電波の周波数によって変化することを用いた分光計で、設置調整に専門的なスキルが必要とされ、現地で作業を行う越冬隊員に対して負荷を与える可能性が懸念されていた。デジタル分光計は、高速の A/D と FFT を装備した PC であり、音響光学型分光計のような特殊な調整を必要とせず、隊員の負担を大きく軽減できる。また、音響光学型分光計に比べ、周囲温度の変化の影響を受けにくく、また同じ周波数帯域を持った音響光学型分光計と比較すると周波数分解能が 16 倍高くなっている。また、デジタル分光計化に伴い、デジタル分光計と間の TCP/IP によるデータ転送とマルチタスクによる観測機器制御を可能にするため、従来機で用いていた MS-DOS を用いた観測プログラムから変更し、Linux を用いた観測制御プログラムを新たに開発した。上記のデジタル分光計と 250GHz 用の超伝導受信機を用いてアタカマ高地において、昭和基地での観測の主要ターゲットのひとつである NO₂ の試験観測を行い、150 分間の積分で図 2 に示すような線スペクトルが受信でき、受信機以降は目標に達する性能を有することが実証できた。フォワードモデルから予測されたものよりも強度は強くなっているが、形状はモデル計算と似ており、線幅から 0.3hPa 程度の中間圏から放射された線スペクトルと解釈できる。強度が強く出ているのは、熱圏からの放射成分が加わっている可能性が考えられる。

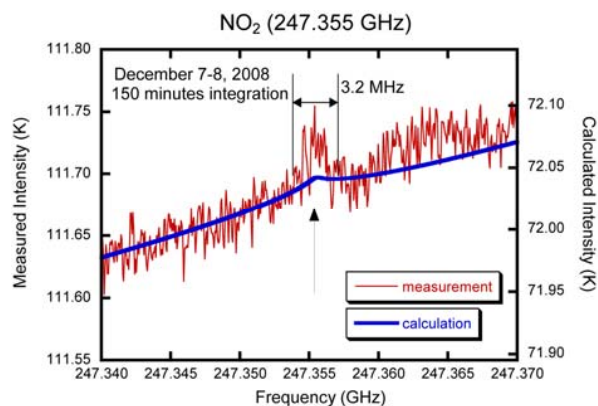


図 2. チリ共和国アタカマ高地で取得した 250GHz 帯の NO₂ スペクトル。積分時間は 150 分。

H21 年度は前年度に設計し製作を始めた新光学系に合わせた極低温用真空容器（クライオスタット）および光学系調整のための 5 軸微調整機構を備えた楕円鏡ホルダー等新たな光学コンポーネント設置用のジグ等を新たに設計製作した。また、電波強度較正用の液体窒素冷却黒体の改良、従来の Gunn 発振器に代わるアクティブマルチプライヤを用いた局部発振信号系の導入など、種々の改良を加え、より操作が簡便で安定した観測システムの完成を目指した。また、昭和基地における光学系調整を短時間で行うため、計算機制御で自動的にデータ取得可能なビームスキャナを新たに開発し、従来 2 人がかりで手動で行っていたビーム測定を 1 人で容易に行えるようにした。開発したビームスキャナを用い、230GHz 帯においてビーム形状の測定を行なった。測定の結果、GRASP を用いた設計値より 12% ほどビーム径が大きくなっているが、実際の観測には支障はなく、実機として十分な性能を有していることがわかった。GRASP を用いて原因のシミュレーションを行ったところ、上記のずれの半分程度はホーンや曲面鏡のアラインメント調整で改善できる見込みがあることが明らかになった。ずれの残りの半分程度の原因は現時点では十分な検証ができていないが、コルゲートホーンのビーム形状が設計値と異なっているためである可能性が高いと考えられる。また、試作機で見られた E 面 H 面の非点収差は見られなくなり対称性のよいビームを得ることができた。

現在、実機の組み立て調整の最終段階に入っている。11 月の出港に向けて光学系・受信機系・分光計をつなぎ込み N₂O ガスセルを用いた模擬観測等を行ない、来年度から昭和基地での定常的なミリ波観測を開始させる予定である。



図 3. 実験室で最終調整中の小型ミリ波超伝導分光放射計。

共同研究報告書（終了）

オーロラ活動に伴う極域熱圏中性風の研究

◎栗原（小泉）宜子 JAXA 宇宙科学研究本部・研究員 （研究代表者）
大山 伸一郎 名古屋大学太陽地球環境研究所・助教 （共同研究者）
野澤 悟徳 名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授（共同研究者）
藤井 良一 名古屋大学・副総長 （共同研究者）

（国立極地研究所）

小川 泰信 講師 （担当教員）

平成 19 年～平成 21 年（3 か年） （研究期間）

【研究成果】

本研究では、EISCAT レーダー・オーロラ地上観測データの解析によって、オーロラ活動にともなう極域熱圏中性風の駆動メカニズムを明らかにする事を目的とする。本研究課題の期間において実施した、（１）オーロラによる加熱領域と熱圏中性風との空間的・時間的な関係および（２）極域中間圏の大気潮汐波の統計的解析についてまとめる。

1. オーロラによる加熱領域と熱圏中性風の関係

EISCAT レーダーや地上観測設備の充実している Tromsø のオーロラ総合観測データを利用して、中性風を導出する際に必要となる電離圏物理量およびオーロラ活動の観測データを取得し、中性風の駆動源と

して考えられているジュール加熱と降下粒子による粒子加熱について定量的に調べるとともに、電離圏電子のエネルギー収支との比較を行った。熱圏中性風については EISCAT レーダーデータを利用したが、誤差の観点から信頼性のある風速を導出できる観測とオーロラ活動との一致が少なく、加熱領域との空間的・時間的な関係について検証を行うのに十分なイベント数を得ることができなかった。これらの解析と相補的に行った電子のエネルギー収支については、地磁気擾乱時において下向き沿磁力線電流による熱電効果が重要な役割をもつことが示唆されたが、衛星等で観測される沿磁力線電流との定量的な比較を行うことが必要であり、引き続き解析を進めている。

2. 極域中間圏の大気潮汐波の統計的解析

極域下部熱圏の力学とエネルギー収支の研究を目的として、2004 年 12 月に行われたロケット・地上協同観測「DELTA キャンペーン」では、オーロラ活動に伴って下部熱圏大気に発生する擾乱現象の存在が観測的に見出されている[Kurihara et al., 2009]。この下部熱圏における擾乱現象は、下層で結合する中間圏を含めた大規模場へ少なからず影響を与えていると考えられる。極域中間圏・下部熱圏では、大気波動といった下層大気からの影響が大きく、これを十分考慮してオーロラ活動に伴う変動を検出しなくてはならない。そこでこの高度領域で支配的な大気潮汐波の定性的な特徴について調べた。

トロムソに設置された MF レーダーは極域中間圏の中性風を観測しており、1998 年

11 月から現在に至るまで連続的にデータを取得している。Nozawa et al. [2007]では、4 年分のデータでの解析結果から、1 日潮汐波については夏に強くなる季節変動と 4 年間にわたり類似した年変動を示すことがわかっている。また半日潮汐波は高度とともに振幅が強くなる傾向があり、2 月と 9 月付近で振幅強度が強い季節変動を示す。そこで解析期間を延ばし約 10 年分のトロムソ MF レーダーデータについて解析を行ったところ、1 日・半日周期の大気潮汐波の季節変動・年変動については、4 年分の解析結果とほぼ同じ結果が得られた。この内容については、2009 年 8 月に開催された The 14th International EISCAT Workshop にて発表を行い、Annales Geophysicae 誌への投稿を予定している。

[参考文献]

Kurihara, J., Oyama, S., Nozawa, S., Tsuda, T. T., Fujii, R., Ogawa, Y., Miyaoka, H., Iwagami, N., Abe, T., Oyama, K.-I., Kosch, M., Aruliah, A., Griffin, E., and Kauristie, K.: Temperature enhancements and vertical winds in the lower thermosphere associated with auroral heating during the Dynamics and Energetics of the Lower Thermosphere in Aurora (DELTA) campaign, *J. Geophys. Res.*, 114, A12306, doi:10.1029/2009JA014392, 2009.

Nozawa, S., H. Iwahashi, T. Tsuda, S. Ohyama, R. Fujii, C. M. Hall, A. Manson, C. Meek, A. Brekke, S. Kawamura, and Y. Murayama, Tides in the polar mesosphere derived from two MF radar measurements at Poker Flat and Tromsø, *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, 54, 77-86, 2007.

極冠帯・極光帯大気のエネルギー力学

◎前田佐和子 京都女子大学現代社会学部・教授)
 野澤悟徳 名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授
 (国立極地研究所)
 小川泰信 講師

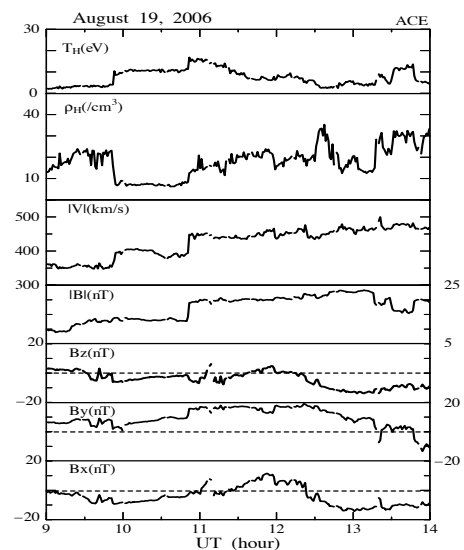
研究期間：平成 19 年度～平成 21 年度（3 か年）

[研究成果]

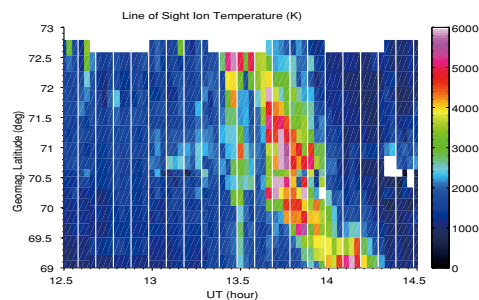
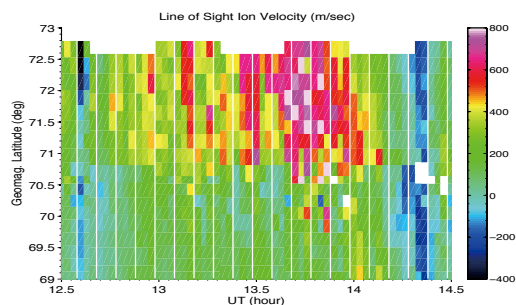
極冠帯イオン対流の低緯度境界付近はイオンと中性気体の摩擦による加熱が生じ易く、磁気圏からのエネルギー流入の窓口となっている。極冠帯低緯度境界ならびに対流逆転領域に対するイオン加熱領域の相対的な位置関係は、磁気圏前面の磁力線再結合過程を通して電離圏にエネルギーが流入する際の物理過程を反映する。この問題は、これまで観測的研究とモデル計算にもとづいて研究されてきた^{(1), (2)}。一方、時間変化する電場に対し、加速される電離気体とそれに引きずられる中性気体のダイナミックな結合についての実証的研究は十分にはなされていない。本研究では、極冠帯対流電場が南向き IMF の成長に伴って増大した

期間、午後側対流セルに沿って太陽方向の高速イオンチャンネルが形成され、チャンネル内のイオンが加熱されたイベントについて、EISCAT レーダー観測結果の解析を行った。この高速イオンチャンネルの成長は SuperDARN レーダーでも確認された。イベントの翌日は IMF が北向きで、電離圏は非常に静穏であったために、イオン速度の増加とイオン温度上昇を量的に特定することが可能となり、両者の関係を定量的に評価できた。高速イオン流に牽引される中性気体が、20 分程度でイオンと等速になりイオン加速が終焉する前に摩擦加熱が減衰することを明らかにした。詳細は以下のとおりである。

観測は、EISCAT Tromsø UHF レーダーと EISCAT Svalbard レーダー (ESR) のビームをそれぞれ北と南に向けて 30 度の仰角に設定した。両ビームは $69^{\circ} - 73^{\circ}$ MLT をカバーし、 $70.5^{\circ} - 70.0^{\circ}$ MLT で交差した。両ビームで取得した視線速度と視線温度を交差点で接続し、イオンチャンネルと加熱領域の空間的、時間的変化を $69^{\circ} - 73^{\circ}$ MLT の範囲で調べた。なお、Sodankylä の EISCAT UHF レーダービームを交差点に向け、2つのレーダーで得られた視線速度の精度を検証した。2006 年 8 月 19 日 10:52 UT の Interplanetary (IP) ショック（右図参照）のあと、惑星間磁場が大きな西向き成分を伴いながら、12:20 UT から 14:00 UT の間、南向きで継続した。南向き IMF の磁気圏前面への到着に同期して昼間側 F 領域でイオン加速とイオン加熱が観測された。13:30 UT に 72.5° MLT 付近に高速イオンチャンネルが現れ、しだいに低緯度に移動し、14:00 UT に 69° MLT に達した。両レーダー



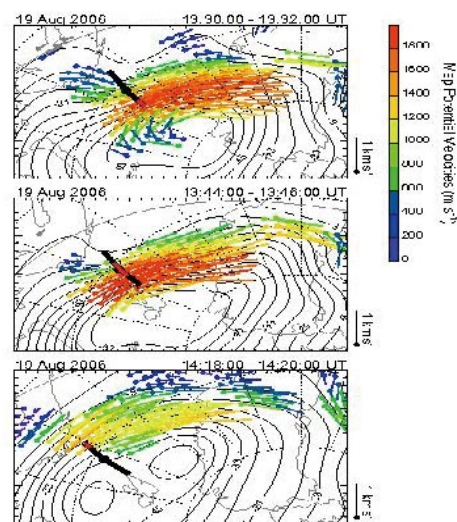
で得られた視線速度から合成された太陽方向のイオン速度は最大 2500 m/s に達した。イオン加熱は、チャンネルの移動に同期して、低緯度側に移った。13:44 UT にはイオン温度が 5000 K に上昇した。



イオン速度とイオン温度の比較から、イオン加熱は、チャンネル内の低緯度側で顕著に生じていることが見て取れる。2つのEISCATレーダービームが交差する地点で得られたイオン速度から求めた摩擦加熱量と、20日の静穏時のイオン温度（1000 K）から推定した19日のイオン温度の上昇量を比較すると、加熱の前半では良く一致するが、加熱が最大に達した時刻の後では、1000 Kの摩擦加熱推定値に対し、イオン温度の上昇はすでに終了している。これは、中性気体がイオン速度と同程度まで加速され、両者の相対速度が小さくなった結果、摩擦加熱が終了した事を示唆している。

イオンチャンネルはSuperDARNレーダーでも観測され、EISCATレーダーの結果と良い一致を見た（右図参照）。特に、後者が観測したイオン加熱領域を赤い棒線で重ねたところ、13:44 UT以降、チャンネル内の高緯度側では加熱が終焉していることが明らかになり、中性気体の応答が実証された。

左図：イオン速度の時間変動（赤色が北向き。縦軸は磁気緯度）。右図：イオン温度の時間変動。



上図：イオンチャンネルとイオン温度上昇領域の対応関係

[参考文献]

- (1) Moen, J., M. Lockwood, K. Oksavik, H. C. Carlson, W. F. Dening, A. P. van Eyken, and I. W. McCrea, The dynamics and relationships of precipitation, temperature and convection boundaries in the dayside auroral ionosphere, *Ann. Geophys.*, 22, 1973-1987, 2004.
- (2) Lockwood, M., J. Moen, A. P. van Eyken, J. A. Davies, K. Oksavik, and I. W. McCrea, Motion of the dayside polar cap boundary during substorm cycles: 1. Observations of pulses in the magnetopause reconnection rate, *Ann. Geophys.*, 23, 3495-3511, 2005.

[研究発表]

- Fujiwara, H., R. Kataoka, M. Suzuki, S. Maeda, S. Nozawa, K. Hosokawa, H. Fukunishi, N. Sato, and M. Lester, Electromagnetic energy deposition rate in the polar upper thermosphere derived from the EISCAT Svalbard radar and CUTLASS Finland radar observations, *Ann. Geophys.*, 25, 2393-2403, 2007.
- Oyama, S., B. J. Watkins, S. Maeda, H. Shinagawa, S. Nozawa, Y. Ogawa, A. Brekke, C. Lathuillere, and W. Kofman, Generation of the lower-thermospheric vertical wind estimated with the EISCAT KST radar at high latitudes during periods of moderate geomagnetic disturbance, *Ann. Geophys.*, 26, 1491-1505, 2008.
- Maeda, S., Y. Ogawa, K. Hosokawa, S. Nozawa, S.-I. Oyama, T. Tsuda, and A. Brekke, Ion heating in high-speed flow channel within the duskside cell of the polar cap ion convection under large IMF-By condition, *J. Geophys. Res.*, 114, A11307, doi:10.1029/2009JA014300, 2009.

れいめい衛星と地上レーダー網・オーロラカメラによる極域オーロラ現象の同時観測

◎平原 聖文 東京大学大学院理学系研究科・教授
 関 華奈子 名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授
 海老原祐輔 名古屋大学高等研究院・特任講師
 (国立極地研究所)
 小川 泰信 講師
 平成19～21年度(3か年)

(研究代表者)
 (共同研究者)
 (共同研究者)

(担当教員)
 (研究期間)

【研究成果】

1. 目的

れいめい衛星は2005年8月24日に打ち上げられ、「オーロラ微細構造の解明」を理学目的としている。この目的に特化した観測機器としてオーロラカメラ・粒子分析器・プラズマ環境モニターが開発・搭載されており、高度約650kmで夜昼子午面内の太陽同期軌道、地球固有磁場の磁力線を補足・追尾可能な衛星姿勢制御方式、というれいめい衛星の軌道・姿勢もオーロラ観測に有利であるため、衛星単独でのオーロラ発光・粒子同時観測を行いつつ、地上レーダー網・オーロラカメラとの多点同時観測も計画・実行されてきた。

特に、この10年間で日本が参画しているオーロラカメラやレーダー等の地上観測網は極めて高度に整備・活用されてきており、れいめい衛星に代表される宇宙機による観測を加え、衛星・地上による多次元・多面的同時観測の総合的発展を促進すべき新時代になったと言える。本研究では、最新のれいめい衛星・地上観測網の機能を活用した共同研究を推進し、極域オーロラ粒子・発光現象の両面から包括的な観測的知見を獲得することを主眼として、共同組織間での相互データ解析・情報交換を行い、特に、従来の単独衛星・地上観測では迫り切れなかったオーロラの微細構造とダイナミクスに関して議論・研究を行うことを目的として遂行された(図1参照)。

2. 計画

以下の様な衛星・地上観測を、れいめい衛星、EISCATレーダー(ESR・KST)、ALIS、THEMIS-GBO、等を用いて実施し、オーロラ発光、電子降下、電離圏加熱と密度変動、電離大気上昇、等における相関を調査し、太陽風・磁気圏・電離圏・プラズマ圏等で構成される多圏構造としてのジオスペース環境において、太陽風・磁気圏からのプラズマ流入・エネルギー輸送に対する電離圏

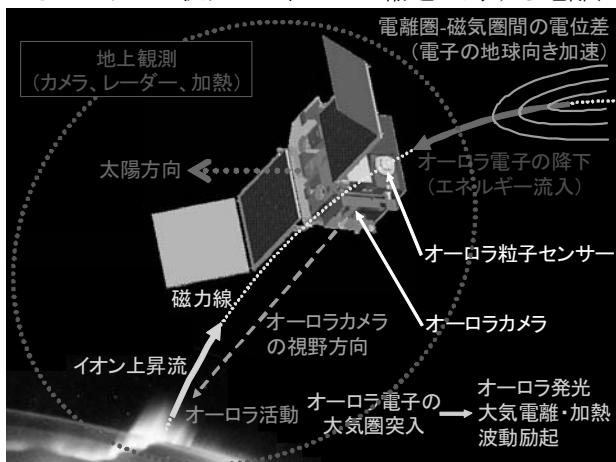


図1 れいめい衛星と電離圏でのオーロラ関連現象



EISCAT Scientific Association

EISCAT SVALBARD RADAR

CP, 42m, tau7, 29 July 2007

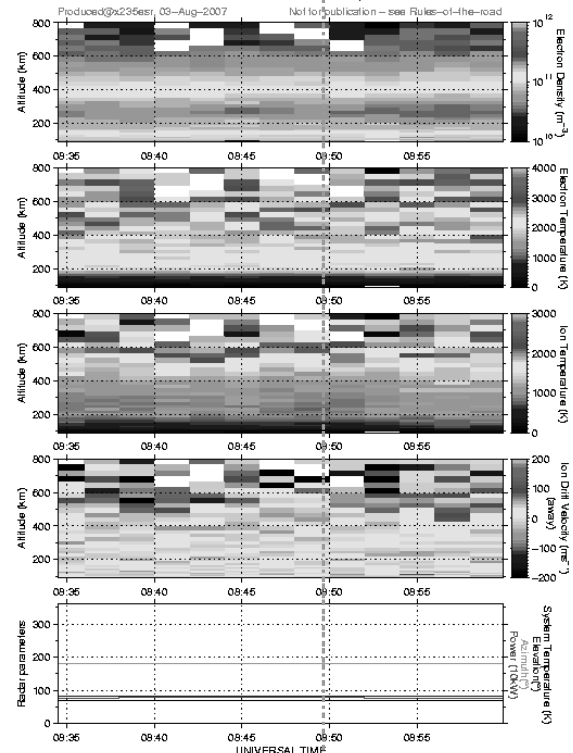


図2 カस्प領域でのESR観測例。縦の赤線が図3のれいめい観測の時間帯に対応しているが、特に顕著な電離圏イオン上昇現象は認められない。

の応答に関する観測的知見を得る。

- ・ れいめい衛星が繰り返し飛翔する昼間側カस्पと夜側オーロラ帯において、主に磁気圏から電離圏への降下電子と電離圏イオンの加熱・加速現象を直接観測により調査する。オーロラ粒子観測では12eV-12keV帯の電子・イオンの全ピッチ角分布が40msec毎に、1eV以下のプラズマ電子計測データは640msec毎のものが公開されている。
- ・ れいめい衛星がそれら領域を飛翔する前後に、低～高高度電離圏における同領域・周辺領域の大局的プラズマ環境データをEISCATにより取得する。
- ・ れいめい衛星により、撮影領域は70km四方に限定されているが、単波長オーロラ発光分布を取得する。観測波長は同時最大3波長であり、428, 558, 670nm、時間分解能は120msec毎である。

なお、2010年2月25日に開催された「SuperDARN・EISCAT・れいめい衛星観測データ解析講習会」の資料が公開されており、機器仕様・観測に関して詳しい記述がある(<http://www.iugonet.org/progress.html>参照)。

2007年7月29日 08UT
REIMEI EISA

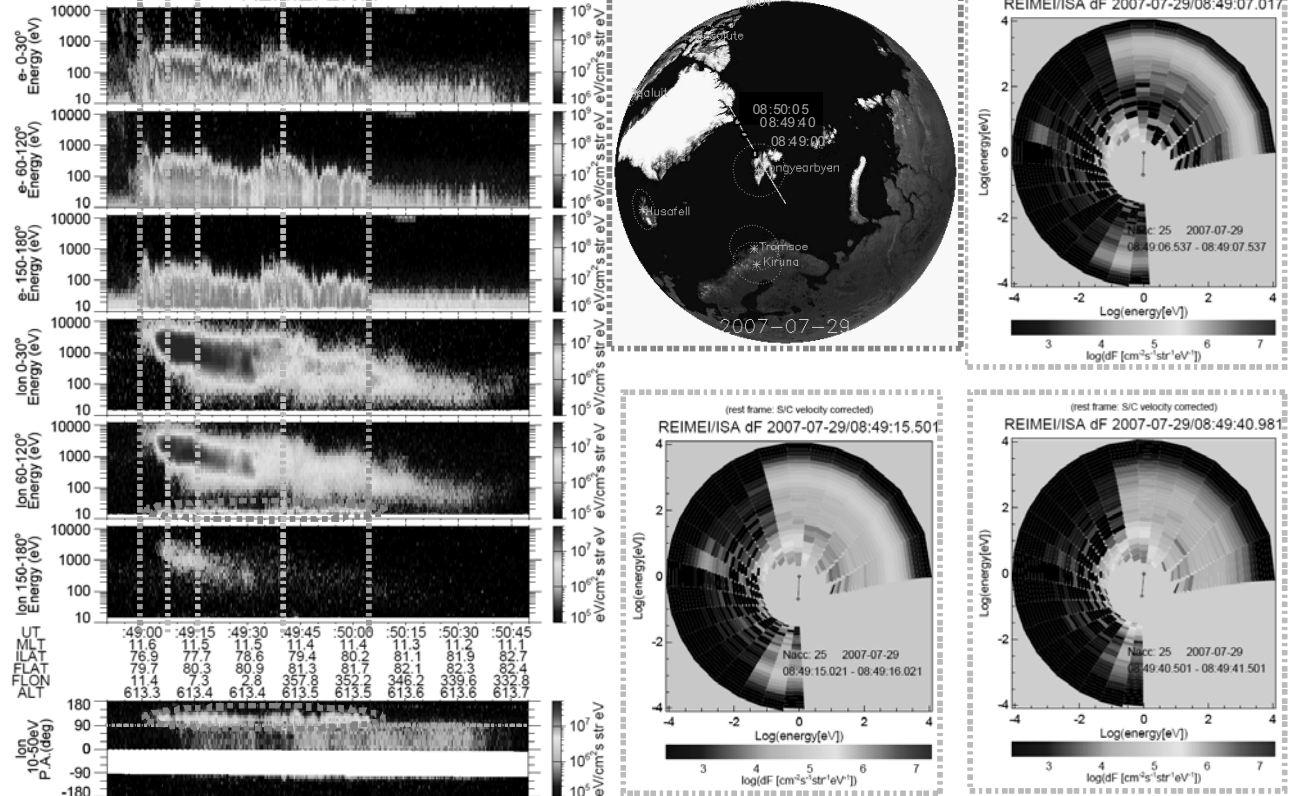


図3 れいめい衛星搭載電子・イオン分析器によるカusp領域観測。イオンの。上段から電子(降下・垂直・上昇方向)、イオン(降下・垂直・上昇方向)のピッチ角別エネルギー分布を示すEnergy-Time図(E-t図)。最下図は10-50eVのイオンのピッチ角分布の時間変化図(P-t図)。E-t図中の縦の赤点線は右の軌道図中の3点に、縦の緑点線は右のイオンのピッチ角・エネルギー分布の2次元表示に対応する。垂直方向成分のイオンのE-t図とP-t図の中の2つの赤い点線楕円は電離圏イオンの加熱・加速現象を示す。

3. 結果・議論

昼側カusp領域でのれいめい衛星・ESRの同時観測に関してはOgawa et al. [2008]に報告されている通り、電離圏イオンの加熱・加速と上昇流現象に良い相関が見られた。一方、図2・3に示す様な例において、ESRの観測領域と緯度にして2度程度、カusp領域がずれた場合、れいめい衛星では顕著な電離圏イオン加熱・加速が観測されても、ESRでははっきりとした兆候が得られないこともある。また、れいめい衛星による電子・イオン観測では、必ずしも強い電子降下と電離圏イオン加熱・加速が対応せず、イオンの加熱・加速機構の発現が電子降下のみで左右されるとは限らないことを示唆する結果となっている。

なお、これら以外に以下の様な研究結果が取得されている。

- ・夜側オーロラ帯でのれいめい観測データを基に、電子降下と電離圏イオン加速現象(TAI)の相関を3種類に分類し、アルベン波加速電子・Inverted-V電子とTAIとの対応を調べた。更に、突発的な沿磁力線イオン降下に関してもTAIやアルベン波加速電子との共存等を見出した。
 - ・2006年3月・2007年2月・2008年3月に共同実施したれいめい衛星・Poker Flat全天カメラの同時観測データが米国の共同研究者により解析された。この研究では地上観測によるディフューズオーロラの空間・時間変動とれいめい衛星による電子観測との比較が行われた。
- また、プラズマ環境(電子密度・温度)データは現在、オーロラ画像・粒子データと比較検討中である。

【研究発表】(査読付き学術論文)

- ・ Coordinated EISCAT Svalbard radar and Reimei satellite observations of ion upflows and suprathermal ions, Y. Ogawa, K. Seki, M. Hirahara, K. Asamura, T. Sakanoi, S. C. Buchert, Y. Ebihara, Y. Obuchi, A. Yamazaki, I. Sandahl, S. Nozawa, and R. Fujii, J. Geophys. Res., 113, A05306, doi:10.1029/2007J, 2008.
- ・ Initial observations of auroras by the multi-spectral auroral camera on board the Reimei satellite, Y. Obuchi, T. Sakanoi, A. Yamazaki, T. Ino, S. Okano, Y. Kasaba, M. Hirahara, Y. Kanai, and N. Takeyama, Earth Planets Space, 60(8), 827-835, 2008.
- ・ Spatial evolution of frictional heating and the predicted thermospheric-wind effects in the vicinity of an auroral arc measured with the Sondrestrom incoherent-scatter radar and the Reimei satellite, Oyama, S., T. T. Tsuda, T. Sakanoi, Y. Obuchi, K. Asamura, M. Hirahara, Yamazaki, Y. Kasaba, R. Fujii, S. Nozawa, and B. J. Watkins, J. Geophys. Res., 114, A07311, doi:10.1029/2009JA014091, 2009.
- ・ Ground-based observations of diffuse auroral structures in conjunction with Reimei measurements, M. Samara, R. G. Michell, K. Asamura, M. Hirahara, D. L. Hampton, and H. C. Stenback-Nielsen, Ann. Geophys., 28, 873-881, 2010.

共同研究報告書（終了）

極域での昼夜自動観測を目的としたライダーシステムの検討（研究課題）

◎川原 琢也 信州大学工学部・准教授（研究代表者）

中村 卓司 京都大学生存圏研究所・准教授、国立極地研究所・教授（共同研究者）

阿保 真 首都大学東京システムデザイン学部・教授（共同研究者）

（国立極地研究所）

堤 雅基・准教授（担当教員）

富川 喜弘・助教（担当教員）

平成 19 年～平成 21 年（3 か年）

（研究期間）

1. はじめに

共鳴散乱ライダーは中間圏界面観測において極めて有効な観測手段ではあるが、深い専門技術が必要となる。そのため、人材に限られる極域観測への応用は少なく、南極に設置されたレーダとの同時観測も希少でレーダデータの有用性も活かしきれていない。この研究課題では、信州大学で開発/観測を行っているナトリウム温度/風観測ライダーの送受信系の技術に関して、現時点における昼間観測手法を示し、実験をとおして自動観測に関して検討した結果を報告する。

2. 昼間観測システム（受信系）

昼間観測システムは、夜間観測に用いている 589nm バンドパスフィルター（バンド幅 3nmFWHM）受信システムに加え、狭帯域 (3pmFWHM) ファラデーフィルタを加える。ファラデーフィルタは強磁場(1750G)の磁気回路を用いる。そのため、信号受信に用いる光電子増倍管から距離をとるために、受信光伝送系に光ファイバーを用いる設計を行う。

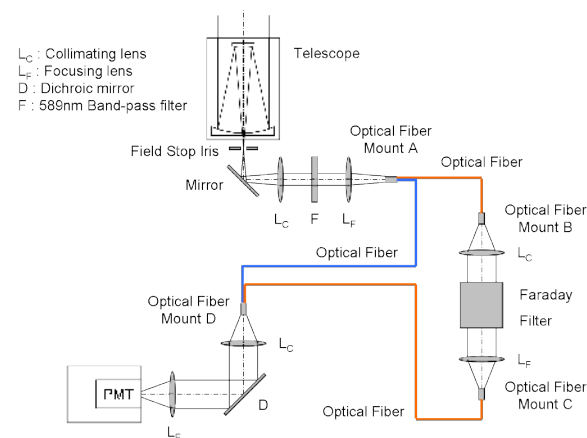


図1 光ファイバーを用いた受信系。昼夜観測の切り替えは、ファイバーの付け替えを行う設計。

ファラデーフィルタは昼間の背景光を大幅に減少させるが、共鳴散乱波長での透過率も減少する。従って、夜間観測にはファラデーフィルタを用いないシステムを使用し、朝方に昼観測への切り替えを行う設計とする。具体的には、ファラデーフィルタを経由する系と経由しない系の2つの光ファイバー経路を用意し、その切り替えを行える様にする（図1）。光路途中に電動制御可能なミラーを挿入し、昼夜の光ファイバーへの入射を選択できるようにする事で、自動観測が可能になる。この手法では、光伝送に光ファイバーを用いる事で光電子増倍管の設置形態が自由となる利点がある一方、使用する光学素子が多くなるため、夜間観測における信号光強度が減少する可能性がある。

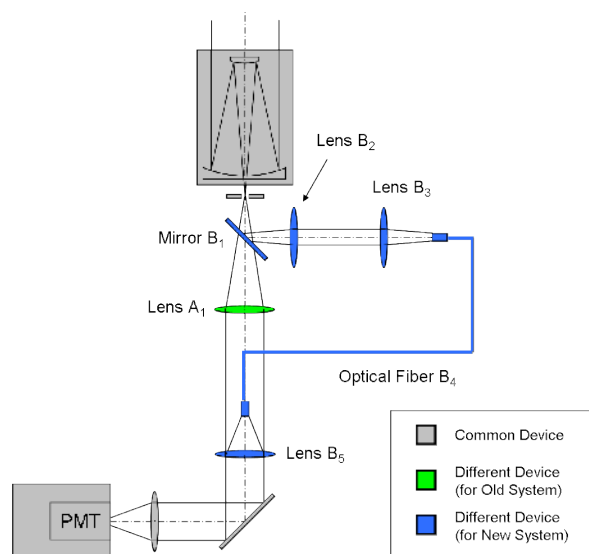


図2 夜観測に用いて来た従来の受信システムと光ファイバーを用いた受信システム。

別手法としては、望遠鏡直下に組んだ従来の夜間観測システムに対し、昼間観測時には視野絞り直後にミラーを挿入し、受信光を昼間観測系に導く。この手法では、可動ミラーを用いているため、直径 1.5mm の光ファイバーへの入射光学系に集光する

再現性が問題となる。

いずれにしても光ファイバー光学系での効率の問題になるため、まずファイバーを用いない従来の観測系と、光ファイバーを用いた観測系の受信信号を計測し、比較を行った。図 2 には実験システムを示す。この比較実験ではファラデーフィルタは用いていない。送信系には、南極観測に使用したレーザ送信系を用いた。光ファイバー直径（コア径）は 1.5mm、入射の NA は 0.39rad である。また、入射レンズ系は光学設計ソフトを用いて設計をし、実験結果と比較した。

光ファイバーを用いた受信光学システムについて、光ファイバー端面での受信光の直径および入射角について、光学ソフトを用いた計算値とそれに基づいて構築した光学系により実際に計測した実測値を表 1 に示す。これらから、実際の入射条件はほぼ達成できていると考えられる。

表 1 ファイバーへの入射条件の予想値と実測値

	計算値	実測値
ファイバー入射端面における集光径	1.02mm	1.12mm
入射角	274mrad	270mrad

実験は等しい計測時間での背景光の信号レベルの比較を行った。光ファイバーを用いた夜間観測用受信光学システムで取得した観測データの背景光は平均 0.95 カウントで、従来の受信光学システムで取得した観測データの背景光は 2.32 カウントであった。したがって、従来の受信光学システムに対する光ファイバーを用いた夜間観測用受信光学システムの受信光取得効率は、約 40%となる。しかし、使用した光学部品は 589nm における透過率はすべて 98%以上で、理論上は全体で 94%程度の効率が期待できるはずである。この差はファイバー入射端面での反射や、入射角度の微調整用のマウントを用いていなかった事、光学設計の甘さが原因と考えられる。これらに関しては再度実験を行い、評価を行っていく。それと平行して、昼夜のシステムの自動切り替え手法を検討していく。

3. レーザ波長制御システム（送信系）

レーザ送信系で重要な点は、射出パルスレーザの波長のモニターと制御である。原理の詳細は省略するが、種レーザで生成した 589nm 連続光レーザを加熱したナトリウムセルに通し、ナトリウム D₂ 線で図 3(a)の様な共鳴散乱スペクトルを計測し、D_{2a} 線ピークの鋭い特徴あるスペクトル（拡大図が図 3(b)）を計測する事ができる。レーザ射出の際は図 3(b)のピークにレーザ波長を自動ロックするプログラムを組む。この波長を基準にし、音響光学素子を用いた波長シフターで他の 2 波長にシフトさせながら観測を継続する。これらの計測手法は既に PC 制御で行っている。従って、自動化は可能と考えている。

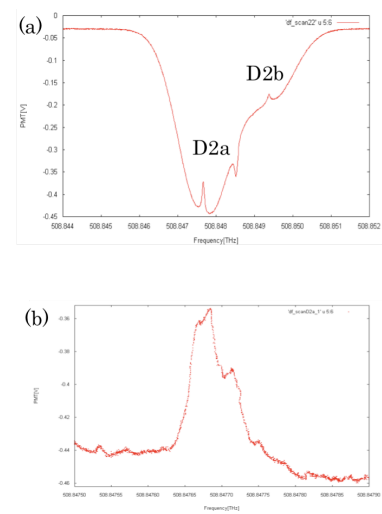


図 3 ナトリウムセルを用いたドップラーフリースペクトル。(a) ナトリウム D₂線全体のスキャン。(b)D_{2a} のみの拡大図

4. まとめ

上記以外の内容も含め、ライダーの自動観測に関して検討した結果をまとめる。

- (1) ネットワーク観測を行うためには、自動化が必須である。
- (2) レーザの動作が安定である事が重要。Nd:YAG レーザのナトリウムライダーは優れた性能である。
- (3) レーザ射出方向のモニターとミラー制御が必要。
- (4) 昼間観測との切替は自動化できるが検証が必要。
- (5) レーザの波長切替は自動化可能。

I . 共同研究報告(終了)

一般共同研究

(2) 気 水 圏

(共同研究報告書 (終了))

ドームふじ深層コアの氷およびハイドレートの物理解析 (研究課題)

◎堀 彰 北見工業大学社会環境工学科・准教授 (研究代表者)

郷原一寿 北海道大学工学系研究科・教授 (共同研究者)

内田 努 北海道大学工学系研究科・准教授 (共同研究者)

宮本 淳 北海道大学低温科学研究所・博士研究員

(国立極地研究所)

本山秀明 教授 (担当教員)

東久美子 准教授

藤田秀二 准教授

平成 19 年～平成 21 年 (3 か年) (研究期間)

[研究成果]

1. はじめに

南極ドームふじ深層コアは最深部の深さが 3000 m 以上の世界で最も深い氷床コアの 1 つであり、氷床コアの解析から過去約 70 万年にわたる地球の気候・環境変動の復元が行われている。氷床の内部構造の詳細を知るため、掘削した氷床コア氷の物理的性質を調べる研究として、これまで多くの氷床コアの結晶組織解析、変形実験などが行われ、氷床内部構造の詳細が明らかになりつつあるが、モデル計算結果との不一致等様々な課題が残されている。

われわれがこれまで深層コアの物理解析として行ってきた X 線を利用した氷床コア氷の構造解析やエア・ハイドレートの顕微鏡観察について、特に第 2 期コアの研究を中心に本研究の主要な成果を以下に示す。

2. 主要な研究成果

2. 1 深層コア氷の X 線回折測定

(1) 転位密度測定

氷床コアの薄片試料に含まれる氷結晶に対して、北海道大学低温科学研究所の低温仕様 X 線回折装置を利用してロッキングカーブを測定した。ロッキングカーブを解析してその幅を求め、入射角の補正を行った後、次式に従って転位密度 D を求めた。¹⁾

$$D = \frac{F^2 - f^2 - f_0^2}{9b^2} \quad \dots (1)$$

式中の、 F はロッキングカーブの幅 (補正後)、 f は入射 X 線の幅、 f_0 は試料 (氷) の固有幅、 b はバーガースベクトルの大きさである。

各深さの試料の結晶について (10-12) 反射の測定・解析を行い、得られた転位密度の深さ依存性を図 1 に示

す。全体的な傾向としては、深さともに転位密度が減少する傾向が見られた。これは、氷床の流動の過程で起きる氷の塑性変形時に導入された転位が、深部では時間の経過および温度の上昇の影響によりその消滅が促進されたために転位密度が減少したと考えられる。また、特に深さ 2700 m 付近では転位密度の分布に幅があるが、これに関しては、2500 m 以深での氷床コアの層位の傾斜が報告されており、それに関連した複雑な変形の挙動を反映している可能性が考えられる。

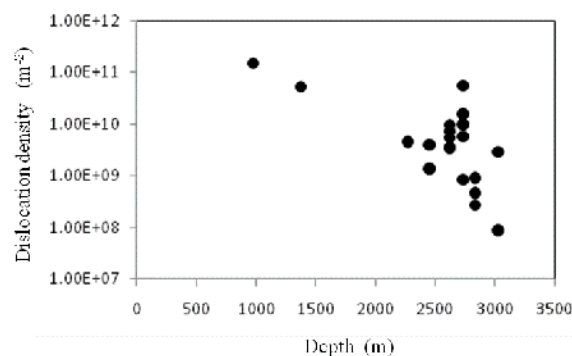


図 1 (10-12) 反射のロッキングカーブ解析により求められた転位密度。

(2) 格子定数測定

ドームふじ深層氷床コア氷の各結晶粒の格子定数の平均値の深さ依存性を図 5 に示す。バルク (薄片) 試料の格子定数は、 a 軸の格子定数 a と c 軸の格子定数 c とともに粉末試料の場合と同様に実験室氷と比べて大きいことが確認された。しかし、格子定数の変化は粉末の場合よりも小さいことと、深さ依存性が a と c とでは異なり、深さの増加とともに a は増加、 c は減少し、 a と c が同じ深さ依存性を示す粉末の場合とは深さ依存性が異なり、先の粉末 X 線回折の結果は粉末化の影響を反映していることが明らか

になった。その一方で、南極の氷床コア氷の固有の性質として、格子定数が実験室氷と比較して大きくなることと、図2に示す深さ依存性が明らかになった。

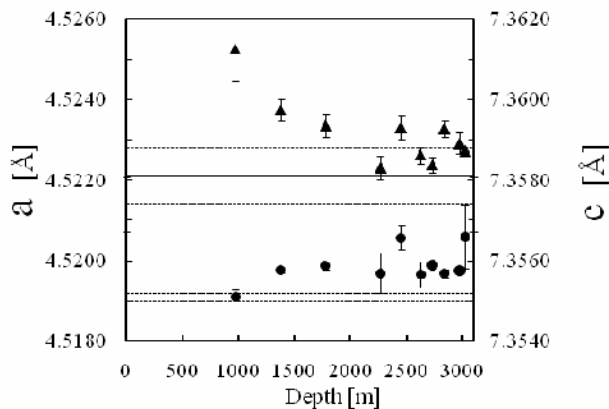


図2 ドームふじ深層氷床コア氷の各結晶粒の格子定数の平均値 (●: a, ▲: c) の深さ依存性 (255 K (−18°C) で測定)。

2. 2 X線ラウエ法による結晶方位解析

宮本らの開発したX線ラウエ法による結晶方位解析システム²⁾を用いて氷床コアの氷結晶の方位解析を行った。特に本研究では、X線ラウエ法により亜境界(小傾角粒界)間の方位角度を測定する方法を確立した。

氷床内部の氷結晶中に観察される亜境界の形状と方位関係は、次の3つのパターンに分類できることが明らかになった。

- ① Parallel type → 基底面に平行
- ② Normal type → 基底面に鉛直
- ③ Zig-zag type → ①と②合成。ジグザグ状に伸びている。

これらを模式的に示すと図3のようになる。今後は

ドームふじ深層コアについて系統的な解析を行う予定である。

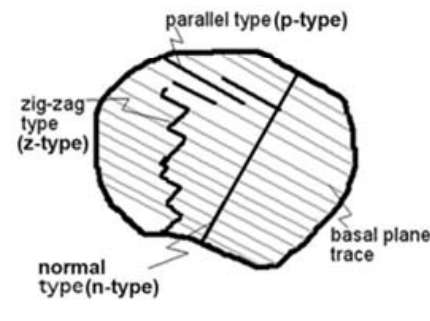


図3 氷床コア氷結晶の亜境界パターン。

2. 3 ハイドレートの物理解析

第1期ドームふじコアのハイドレートの顕微鏡観察結果に基づく数密度分布等については、既に大野ら³⁾により報告されているが、本研究では、それを補う形で第2期コアについて同様の解析を行った。第2期ドームふじコア(深度2400m~3000m超)は、最深部で約72万年前の氷と推定されている。すなわち空気ハイドレート中には、その時代の空気がそのまま保存されている。そこでこの深部コア中に含まれる空気ハイドレートについて、数・大きさ・形態等を測定し、それぞれの深さ変化について考察した。試料中に存在するハイドレートの数、大きさおよび形態の観察を行う。そして、空気ハイドレートの数密度 N_h (個/mm³)、平均粒径 R_h (ハイドレートを等断面積の円と近似したときの円の平均半径; mm)、および6種類に分類した結晶形態の割合を求め、其々の深度に対する変化を考察した。数密度 N_h は、本研究の測定範囲である2400m以深では、全体的に深さとともに減少していく傾向が見られた。(詳細については現在投稿準備中の論文として発表する。)

[参考文献]

- 1) A. Hori, M. Oguro, T. Hondoh, and V. Y. Lipenkov; Ice lattice distortion along the deepest section of the Vostok core (Antarctica) from X-ray diffraction measurements, *Annals of Glaciology*, Vol. 39, 2004, 501-504.
- 2) A. Miyamoto, H. Shoji, A. Hori, T. Hondoh, H. B. Clausen and O. Watanabe; Ice fabrics evolution processes under various deformation conditions revealed by X-ray crystallographic analyses, *Annals of Glaciology*, Vol.42, 2005, 47-52.
- 3) H. Ohno, V. Ya. Lipenkov, and T. Hondoh, Air bubble to clathrate hydrate formation in polar ice sheets: a reconsideration based on the new data from Dome Fuji ice core, *Geophysical Research Letters*, 31, 2004, 2004GL021151.

[研究発表]

口頭発表のみにつき省略。

(別紙)

参 加 者 一 覧

□研究プロジェクト ■一般共同研究 □研究集会		課題番号	19-12
研究課題名	ドームふじ深層コアの氷およびハイドレートの物理解析		
氏名	所属	職	備考
所内	本山秀明	気水圏研究グループ	教授
	東久美子	気水圏研究グループ	准教授
	藤田秀二	気水圏研究グループ	准教授
小計	3 名		
所外	堀 彰	北見工業大学社会環境工学科	准教授
	郷原一寿	北海道大学工学系研究科	教授
	内田 努	北海道大学工学系研究科	准教授
	宮本 淳	北海道大学低温科学研究所	博士研究員
	新山 篤	北海道大学工学系研究科	大学院生
			研究協力者
小計	5 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。

ドームふじ深層掘削データ解析による高圧温暖氷掘削の研究

◎ 古崎 睦 旭川工業高等専門学校・教授
 田中洋一 株式会社ジオシステムズ・取締役
 新堀邦夫 北海道大学低温科学研究所・技術専門職員
 津田勝幸 旭川工業高等専門学校・教授
 高田知哉 旭川工業高等専門学校・准教授
 (国立極地研究所)
 本山秀明 教授
 平成 20～21 年 (2 ヶ年)

【研究成果】

1. はじめに

2001 年 12 月のパイロット孔掘削に始まった「第二期ドームふじ深層氷床掘削計画」は、その後 2003/04～2006/07 の 4 シーズンにわたって掘削が実施され、2007 年 1 月には 3,035.22m 深までの深層コア掘削に成功した。3,000m までの掘削は比較的順調に推移したが、以降、岩盤の接近とともに氷温が上昇し、コアバレル内での掘削チップの氷化やドリル先端部での底部融解水の再凍結などが生じたため、困難を極めた。

本研究では、掘削期間中にモニターした掘削データ（ドリルモーター電流・電圧、コアバレル回転速度、接地圧、コアブレイク時の張力等）、および、掘削終了後に実施したドリル部品（カッター刃・コアキャッチャー刃）の摩耗状況の観察結果などを解析することによって、高圧温暖氷掘削に及ぼす諸条件の影響を検討した。

2. 掘削状況と温暖氷問題

図 1 に期間中における掘削の進捗状況（日毎掘進長および掘削深度）を、図 2 および図 3 に液封液温度と深度、および液封液温度とコア長との関係をそれぞれ示す。

3,000m 深までの掘削では 1 ラン当たりの平均掘進長が 3m を超え（最大 3.84m/run）、概ね順調に推移していたが、液封液温度が -4°C を上回った辺り（以降を「高圧温暖氷」と称する）から急激にコア長が短くなり、掘進速度が著しく低下した。

地熱のため、最深孔底部付近での液温は最高 -2.6°C に達し、カッターマウント周辺における切削チップの氷化（図 4(a)）、コアバレルおよびチップチャンバー内でのチップの圧密化（同(b)および(c)）、底部融解水の再凍結（同(d)）などの現象が確認された。

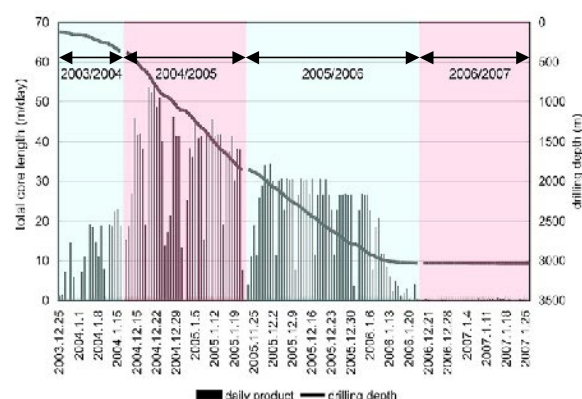


図 1 2003/04～2006/07 シーズンにおける深層掘削の進捗状況

2003/04：到達深度 362.31m、掘削長 240.91m、平均掘進長 3.21m/run
 2004/05：到達深度 1850.35m、掘削長 1488.04m、平均掘進長 3.67m/run
 2005/06：到達深度 3028.52m、掘削長 1178.17m、平均掘進長 3.25m/run
 2006/07：到達深度 3035.22m、掘削長 6.670m、平均掘進長 0.10m/run

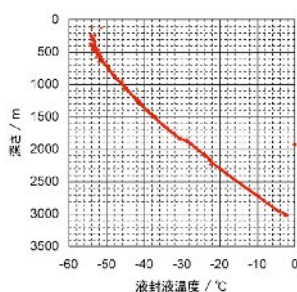


図 2 液封液温度と深度の関係

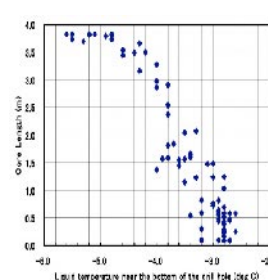


図 3 液封液温度とコア長の関係
 (対応する深度は 2899.36～3028.52m)

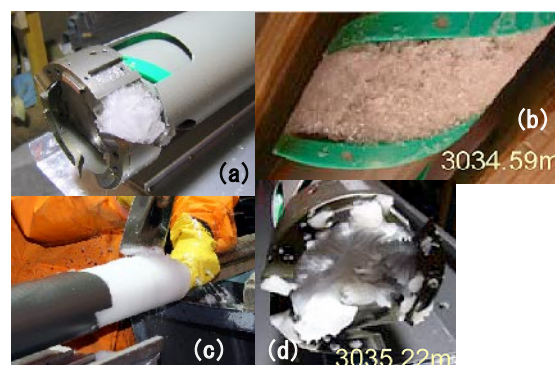


図 4 高圧温暖氷掘削時に見られた諸現象

3. 掘削データ

図5に、記録した多くの掘削データの中から、特に重要な接地圧(a) およびコアブレイク時の張力(b) と深度との関係を示した。

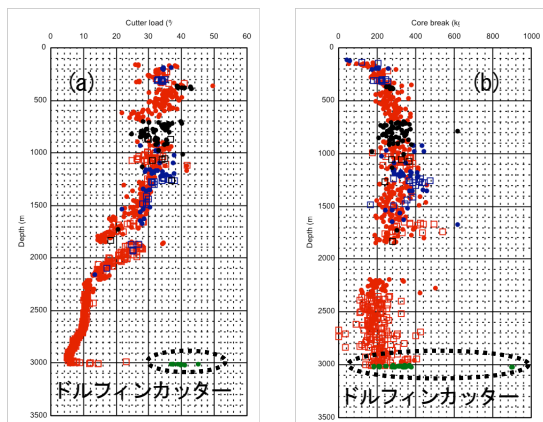


図5 接地圧(a)およびコアブレイク値(b)と深度の関係

接地圧は氷床掘削における最重要因子の一つである。極力小さな値に設定することが望ましく、2,500m以深では10~5%で順調に掘削が進行した。しかし、底部近傍になると融解水の存在の為に小さな接地圧ではドリルが氷に食いつかず、結果として値を増加せざるを得なかった。

また、深くなるにつれて、得られるコアの長さが極端に短くなったので(図3)、必然的にコアブレイク時に要する張力が1,000kg 近くまで急激に増大していることがわかる。

4. カッター刃の摩耗状況観察

氷床底部の高圧温暖氷用に開発された「ドルフィンカッター」刃の電子顕微鏡写真例を図6に、撮影した写真から求めた凸凹率 $\ast$ と刃の使用回数との関係を図7に示す。

カッター刃情報	左端部 (内側)	中央部	右端部 (外側)
No. : D040-5 すくい角 40° ラン回数: 8 回、コア長計: 0.53m 平均コア長 : 0.07m、新品			
No. : D045-12 すくい角 45° ラン回数: 9 回、コア長計: 1.04m 平均コア長 : 0.12m、48 次隊再研磨品 (47 次隊で 7 ラン使用)			

図6 高圧温暖氷掘削用ドリルカッター刃の電子顕微鏡写真例 (倍率 100 倍、2006/07 シーズン使用後)

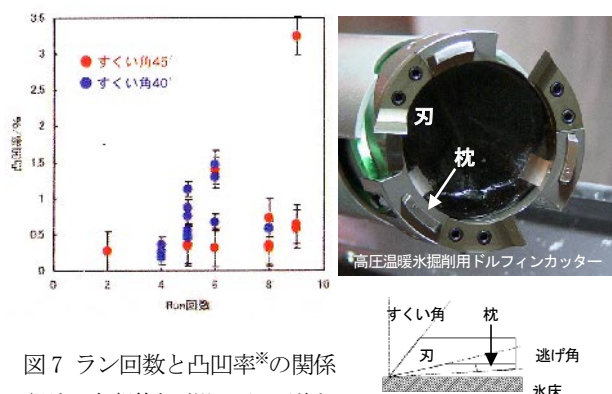


図7 ラン回数と凸凹率 $\ast$ の関係
($\ast$ ある仮想的な平滑刃面の面積を基準として、凸部と凹部の面積和の割合を相対的に表した値)

3,000m までの掘削においては、刃の寿命は約 40m と見積もられ、現場で再研磨した後繰り返し使用された。

ドルフィンカッターの電子顕微鏡観察によれば、刃先の破損・摩耗状況はカッター毎に大きく異なるが、大まかな傾向として (1) 同じ使用頻度では、すくい角 40° の方が 45° のものより破損・摩耗の程度がやや大きいこと、(2) 使用頻度とともに刃先の凸凹率は増加し、大きな切削圧がかかる外側の方がより破損・摩耗が大きい傾向がある、ことがわかった。

【研究発表】

- (1) 古崎 睦、田中洋一、新堀邦夫、本山秀明、津田勝幸、高田知哉：ドームふじ深層掘削データ解析による高圧温暖氷掘削の研究 (その一)、平成 20 年度極域気水圏・生物圏合同シンポジウム (2008)
- (2) 古崎 睦、田中洋一、新堀邦夫、本山秀明、津田勝幸、高田知哉：ドームふじ深層掘削データ解析による高圧温暖氷掘削の研究 (その二)、第 32 回極域気水圏シンポジウム (2009)

I . 共同研究報告(終了)

一般共同研究

(3) 地 圏

衛星重力の応用とその地上検証に関する研究

◎福田洋一 京都大学大学院理学研究科・教授
(国立極地研究所)
澁谷和雄 教授
野木義史 准教授
土井浩一郎 准教授
平成 19 年～平成 21 年 (3 か年)

【研究成果】

1. はじめに

2002 年 3 月 17 日に打ち上げられた衛星重力ミッション GRACE のデータは、2003 年以降、順次公開されており、さまざまな研究に利用されている。特に、南極域では、GRACE のデータを利用することで、南極氷床の消長を氷の質量変動として直接捉えることができるようになっている(例えば、Velicogna and Wahr, 2006)。我々は、本研究以前にも、シミュレーションを中心とした衛星重力データの南極地球科学への応用に関する基礎的研究(Fukuda et al., 2002) などを進めてきており、衛星データと地上データを用いた氷床変動検出方法の提案(Fukuda et al., 2003)や、そのための実験的観測(Fukuda et al., 2006)などを実施してきた。これらの成果を受け、本研究では、一般に広く利用されるようになり精度も向上した GRACE データと他の衛星データや地上データなどを用いることにより、GRACE データの検証と同時に高度な応用・利用方法を探ることを主な目的とした。以下、本研究の主な成果として、エンダービーランドでの質量トレンドの解釈(Yamamoto et al., 2008)、ならびに、南極大陸全域での GRACE および ICESat (Ice, Cloud and land Elevation Satellite) レーザー高度計データと GIA モデルの比較結果(山本・福田, 2010)について報告する。

2. エンダービーランドの質量トレンド

GRACE データを用いた南極氷床変動の研究では、早くから、氷床の経年変化が著しい3つの地域が存在することが知られていた(Chen et al., 2006)。このうち、エンダービーランドでは、GRACE データに正の経年変化、すなわち質量の増加が明瞭に認められるが、その原因については十分に説明されてい

なかった。このため、我々は、以前から、GRACE データ、GIA モデル、ICESat データ、さらに、JARE による雪尺測定データの比較を行うことで、その原因についての検討を行ってきた。本研究では、これらの解析をさらに進め、以下のような知見を得るに至った(Yamamoto et al., 2008)。

- 1) GRACEとICESat のデータはいずれも水当量換算で数 10mm/yr の正のトレンドを示しており、大局的にはよく一致している。
- 2) GIA モデルから予想される質量トレンドは、この数分の1から1桁程度小さい。
- 3) JARE の雪尺データと GRACE, ICESat の結果はオーダー的に整合する。
- 4) 雪尺データは 2002 年から 2007 年にかけて単調な増加を示すのに対し、GRACE, ICESat は 2006 年から 2007 年にかけては減少の傾向を示し、両者に差異が存在する。

以上の諸点を総合すると、エンダービーランドの質量増加を GIA のみで説明することは困難であり、その主要な原因は降雪の蓄積による質量増加と考えるのが自然と思われる。一方、4)に示した雪尺と GRACE, ICESat の食い違いを説明する一つのアイデアとしては、氷床基底部分の融解による質量減少が考えられる。雪尺は氷床表面での降雪の蓄積を測定するのみであり、氷床底部からの融解が生じていてもそれを検出することはできない。一方、GRACE は全質量変化として、また、ICESat は氷床高度の絶対値変化として氷床底部で生じる融解も検出することが可能である。現場観測でこのことを実証ためには、

GPSや絶対重力のその場観測が有効と考えられ、今後、その実現に向けた取り組みも重要な課題である。

GRACEとICESat データを組み合わせることで、原理的には GIA モデルを検証することが可能である。ただし、現状では GRACE, ICESat データともに、測定誤差が大きなことなどから、必ずしも信頼性の高い結果を得ることは困難である。それにも関わらず、エンダービーランドでの両者の比較は、GIA モデルと矛盾しない値を示しており、上述の議論の信頼性をサポートしている。

3. GRACE, ICESat と GIA モデル

GRACE による質量トレンドは、積雪、氷床融解による表面質量変動と GIA による地球内部での質量変動の和である。一方、ICESat による表面高度変化から見積もられる質量変動には、GIA による質量変動は含まれないため、両者の差から、GIA モデルを検証することが可能である。このことを利用し、エンダービーランドでは、GRACEとICESat データから GIA モデルを検証することの可能性が示された。そこで、同様の解析を南極大陸全域でも試みた。その際、GRACE のデータとしては CNES/GRGS の最新の 10 日解を、また、ICESat についても最新の Release 28 のデータを使用した。現在得られている結果はまだ暫定的なもので、GIA モデルとしてどれが良いかを判断するには至っていないが、例えば、「ロス海での

大きなトレンドは認められない」こと、「大陸縁辺部を取り巻くような質量トレンドは見られない」ことなどの特徴が示されている(山本・福田, 2010)。これらは、LGM における Ice dome の位置や大きさの推定、また完新世の氷床分布などを考える際などに、重要な知見を与えうるものと考えられ、今後のより詳細な解析に期待が寄せられる。

4. おわりに

GRACE データの公開が進み、また ICESat のデータも加わり、これらの利用研究が盛んに行われるようになっている。一方で、その検証のための地上データの役割も益々重要となっている。その意味で、先に示した雪尺のみならず、GPS や重力、さらに GIA モデル検証のための種々のその場観測など、JARE での地上観測の重要性を再度強調したい。

なお、本研究の開始当初は、GRACE データに加え、新たな衛星重力データとして GOCE データの利用も計画したが、GOCE の打ち上げが再三延期となり、2009 年 3 月には打ち上げられたものの、まだ実際にデータは公開されていない。GOCE のデータは重力の時間的変化の研究には不向きであるが、詳細な重力異常マップの作成には有効である。特に、航空重力や船上重力との併用利用には大きな期待が寄せられ、今後の一つの重要な研究テーマであろう。実データの早期の公開を期待したい。

[参考文献]

- Chen, J.L., C.R. Wilson, D.D. Blankenship and B.D. Tapley (2006): Antarctic mass rates from GRACE, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L11502, doi: 10.1029/2006GL026369.
- Fukuda Y., S. Aoki and K. Doi (2002): Impact of satellite gravity missions on glaciology and Antarctic Earth sciences, *Polar Meteorology and Glaciology*, 16, 32-41.
- Fukuda Y., K. Shibuya, K. Doi and S. Aoki (2003): A Challenge to the Detection of Regional to Local Scale Ice Sheet Movements in Antarctica by the Combination of In-situ Gravity Measurements and Gravity Satellite Data, 3rd Meeting of the International Gravity and Geoid Commission (IGGC), Tziavos(ed.), GG2002, 243-248.
- Fukuda Y., Y. Hiraoka and K. Doi (2006): An experiment of precise gravity measurements on ice sheet, Antarctica, IAG Symposia 130, C. Tregoning and C. Rizos (eds), Springer, 88-93.
- Velicogna, I. and J. Wahr (2006): Measurements of time-variable gravity show mass loss in Antarctica, *Science*, 311, 1754-1756, doi:10.1126/science.1123785.

[研究発表]

- Yamamoto, K., Y. Fukuda, K. Doi and H. Motoyama (2008): Interpretation of the GRACE-derived mass trend in Enderby Land, Antarctica, *Polar Science*, 2, 267-276, doi: 10.1016/j.polar.2008.10.001.
- 山本圭香・福田洋一(2010): 最近の GRACE データと南極氷床, GIA の研究への利用について, 月刊地球, 367, 224-228.

リュツォ・ホルム岩体産コンダライト中のザクロ石の微量元素累帯構造と部分溶融および年代測定可能な副成分鉱物の消長の関係解明

◎河上哲生 京都大学大学院理学研究科・助教

池田 剛 九州大学理学研究院・准教授

(国立極地研究所)

白石和行 教授

本吉洋一 教授

外田智千 准教授

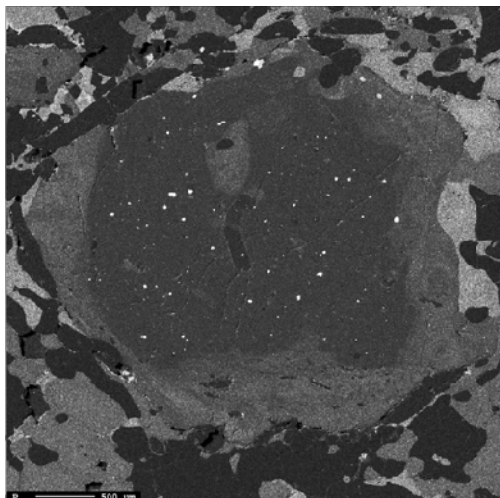
平成 19 年～平成 21 年 (3 か年)

[研究成果]

1. ザクロ石中のリンの組成累帯構造とリン酸塩鉱物の消長の関係

リュツォ・ホルム岩体スカレビークスハルセン産ザクロ石-珪線石片麻岩 (Kawakami & Motoyoshi, 2004) について、リン酸塩鉱物の産状とザクロ石中のリンによる組成累帯構造を検討した結果、スカレビークスハルセン産の試料に関して以下のことが明らかとなった。

まず、ザクロ石はリンによる不連続な組成累帯構造により、リンに富むリム部とリンに乏しいコア部に分けることが出来た (図 1)。コア/リム境界が



▲図 1 ザクロ石のリンによるマッピング結果。白っぽいところほどリン濃度が高い。

不規則な形状をしており、かつコアとリムに包有されるアルミノ珪酸塩の違い (コアで藍晶石、リムで珪線石) がコアとリムの形成圧力の違いを示すことから、この境界はザクロ石の融食・再成長境界であると結論した。ザクロ石中のリン濃度の変化は、包有されるリン酸塩鉱物組合せの変化を伴っていた。すなわち、コアではモナズ石+燐灰石が包有される一方、リムではモナズ石のみが包有された。異なる

ザクロ石粒を比較する際の等時間面としてリンによるコア/リム境界を用いると、ザクロ石中のリンによる不連続な組成累帯構造形成とリン酸塩鉱物組合せの変化を P-T パスとリンクして考えることができる。リンに乏しいザクロ石コア部は主として昇温期に藍晶石から珪線石の安定領域で成長し、その間おそらく燐灰石がザクロ石のリン濃度をバッファードしたであろう。一方リンに富むザクロ石リム部は降温期に流体に飽和したソリダス付近でメルトから直接晶出し、このとき燐灰石が存在せずモナズ石のみが存在、ザクロ石中のリン濃度はバッファードされなかっただろう。ザクロ石の融食はこれらのザクロ石成長ステージ間の減圧時に起きたと考えられる。この成果を Kawakami & Hokada (2010) として論文にまとめた。

より一般的にリン酸塩鉱物の消長と、ザクロ石中のリンによる組成累帯構造の関係を理解するためには、温度圧力時間履歴のよく制約されたサンプルを用いてさらなるケーススタディの蓄積が必要である。

2. CHIME 年代測定

1. で用いたサンプルのうち、2 試料に含まれるモナズ石について、CHIME 年代測定を行った。CHIME 年代測定は、ザクロ石 4 粒に包有されるモナズ石 7 粒と、ザクロ石直近のマトリクス中に産するモナズ石 3 粒について行った。その結果、590-520 Ma (± 30-50 Ma) の年代を示すモナズ石が大半であったが、670-570 Ma (同) を示すモナズ石もザクロ石リムの包有物として 1 粒見つかった。これまでリュツォ・ホルム岩体から得られてきた 550-520 Ma の SHRIMP ジルコン年代値 (Shiraishi et al., 1994; 2003) より有意に古い 650-580 Ma 前後の CHIME モナズ石

年代値は、スカーレン（ザクロ石－スピネル片麻岩やザクロ石－黒雲母片麻岩）から報告されている。650-580 Ma を示すモナズ石は、560-500 Ma を示すモナズ石よりも M-HREE (Sm, Gd, Dy) に富む傾向がある (Hokada & Motoyoshi, 2006)。

スカレブークスハルセンから新たに見いだされた 670-570 Ma を示すモナズ石も Sm や Gd、Dy に富む特徴が見られ、形成時にはザクロ石と平衡共存していなかった可能性がある。一方、560-500 Ma を示すモナズ石は M-HREE に乏しく、ザクロ石コア・リム両方に包有されるから、ザクロ石と平衡共存していたと考えられ、ザクロ石珪線石片麻岩を作った主たる変成作用は 560-500 Ma であり、ザクロ石コアとリムの形成年代差は検知できない。

スカーレンの 650-580 Ma を示すモナズ石もスカレブークスハルセンのモナズ石も、古い年代を示す部分は長径 100 μ m 程度の粒径を持つ。従って、560-500 Ma 頃の変成作用前から存在したモナズ石のうち、もともと粗粒なもののみ 560-500 Ma 頃の変成作用を生き延び、細粒なものはザクロ石リム成長時までの間に、モナズ石成分に不飽和な部分溶融メルト中で溶解してしまった (Hokada & Motoyoshi,

2006) のかもしれない。

3. ザクロ石の粒径分布 (CSD)

リュツォ・ホルム岩体産ザクロ石－珪線石片麻岩について、ザクロ石の粒径分布 (CSD) を検討した結果、スカーレン産の試料に関して以下のことが明らかとなった。

ザクロ石のモードの少ない試料では、対数正規分布の CSD パターンを示し、モードの多い試料では、複数の対数正規分布の重ね合わせの CSD パターンを示した。前者のパターンから、ザクロ石のモードの少ない試料では、1 種類のザクロ石生成反応が進行し、核形成－成長時の粒径分布を凍結したことがわかった。後者のパターンは、複数のザクロ石生成反応によって、核形成－成長が進行したことを示唆する。

高温の変成帯でありながら、高温時における熟成による粒径改変が検知されないことより、粒間流体が枯渇していたか、高温の継続時間が短かったか、その両者が関与していたか、が考えられる。

この成果を Goto & Ikeda (2008) として論文にまとめた。

[参考文献]

- Hokada, T. & Motoyoshi, Y. (2006) Electron microprobe technique for U-Th-Pb and REE chemistry of monazite, and its implications for pre-, peak- and post-metamorphic events of the Lützow-Holm Complex and the Napier Complex, East Antarctica. *Polar Geoscience*, 19, 118-151.
- Kawakami, T. & Motoyoshi, Y. (2004) Timing of attainment of spinel + quartz coexistence in garnet -sillimanite leucogneiss from Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 99, 311-319.
- Shiraishi, K., Ellis, D.J., Hiroi, Y., Fanning, C.M., Motoyoshi, Y. & Nakai, Y. (1994) Cambrian orogenic belt in East Antarctica and Sri Lanka: Implications for Gondwana Assembly. *Journal of Geology*, 102, 47-65.
- Shiraishi, K., Hokada, T., Fanning C. M., Misawa, K. & Motoyoshi, Y. (2003) Timing of thermal events in the Dronning Maud Land, East Antarctica, *Polar Geoscience*, 16, 76-99.

[研究発表]

- Goto S. & Ikeda T. (2008) Crystal size distribution and chemical composition of garnet in quartzofeldspathic gneisses of the Lützow-Holm Complex in Skallen, East Antarctica. *Geological Society of London Special Publication*, **308**, 391-400.
- Kawakami, T., Grew, E. S., Motoyoshi, Y., Shearer, C. K., Ikeda, T., Burger, P. V. & Kusachi, I. (2008) Kornerupine *sensu stricto* associated with mafic and ultramafic rocks in the Lützow-Holm Complex at Akarui Point, East Antarctica: What is the source of boron? *Geological Society of London Special Publication*, **308**, 351-375.
- Kawakami, T. & Hokada, T. (2010) Linking *P-T* path with development of discontinuous phosphorus zoning in garnet during high-temperature metamorphism—an example from Lützow-Holm Complex, East Antarctica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **105**, in press.

平成21年度国立極地研究所共同研究報告書（終了）

東南極ナピア、リュツォ・ホルム岩体に産する造岩鉱物の微細組織解析および熱史への適用

◎三宅 亮 京都大学大学院理学研究科・准教授
北村雅夫 京都大学大学院理学研究科・教授
下林典正 京都大学大学院理学研究科・准教授
(国立極地研究所)
白石和行 教授
本吉洋一 教授
外田智千 准教授
平成19年～平成21年（3か年）

【研究成果】

長石などの造岩鉱物は様々な微細組織を持つことが知られている。こうした微細組織は、その鉱物・岩石の経てきた温度・圧力などの履歴を反映している。東南極ナピア、リュツォ・ホルム岩体は超高温変成作用を受けており、そこに産出する造岩鉱物中には非常に特異かつ複雑な微細組織を持つことが知られている。

たとえば、超高温変成岩類中の長石は *ternary feldspar* と呼ばれ、複雑な離溶組織を持つことが知られており、その復元した組成から長石の生成温度が見積もられている(Hokada, 2001)。しかし長石中の電子顕微鏡スケールでの組織観察などについての詳細な研究はほとんどない。

そこで、本研究の目的は、鉱物の微細組織を解析し、東南極大陸・ナピア岩体およびリュツォ・ホルム岩体の熱史へ適用することである。

本研究では、ナピア岩体 Riiser-Larsen 山に産する *ternary feldspar* と *sillimanite*、リュツォ・ホルム岩体の Rundvågshetta 産の *sillimanite* を、ユニバーサルステージを用いた光学顕微鏡観察、走査型電子顕微鏡 (SEM) による EDX 組成分析・EBSD 方位解析および透過型電子顕微鏡 (TEM)を用いて分析・観察を行い、以下の結果を得た。

長石について

光学顕微鏡・SEM の観察の結果、Hokada (2001) で報告されている *oligoclase* と *orthoclase* の離溶組織（いわゆるパーサイト、アンチパーサイト組織）が観察された。この離溶組織を3タイプに分類した（図1）。タイプAは(901)を界面とした *oligoclase* と *orthoclase* 離溶ラメラのみが、タイプBはタイプAと同様の(901)を界面とした *oligoclase* と *orthoclase* 離溶ラメラに加え(403)を界面とした *oligoclase* ラメラが、タイプCでは、(901)を界面とした *oligoclase* と *orthoclase* 離溶ラメラに加えそれとは明らかに別方位の

界面を持つ *oligoclase* と *orthoclase* 離溶ラメラが存在する。*Oligoclase* ラメラの化学組成は約 $An_{29}Ab_{70}Or_1$ 、EBSD では $C\bar{1}$ でのみ指数がつき、一方 *orthoclase* の化学組成は $An_2Ab_8Or_{90}$ 、 $C2/m$ の指数がついた。この分析結果にタイプごとの違いは特に見ることはできなかった。この分析値をもとに復元した *ternary feldspar* のバルクの化学組成は *oligoclase*, *orthoclase* の量比によってことなるが、ほぼ Hokada (2001)で報告されている値となった。このことから、1050℃以上の高温の変成作用を受けていたことが分かる。しかし、この分相過程・後の温度については Fuhrman & Lindsley (1988)などの低温で *plagioclase* と *K-feldspar* とが共存するタイライン上には、実験結果はのらず、大きな差がみられた。この理由としては Fuhrman & Lindsley (1988)などのモデルでは、 $C2/m$ 同士で分相した時点での化学組成であり、今回のような *oligoclase* が $C2/m$ から $C\bar{1}$ へ相転移している場合には適用できない、と考えられる。

次に、3タイプに共通する(901) *oligoclase* と *orthoclase* ラメラについて TEM で観察した。(901)を界面にもつラメラは Willaime & Brown (1974)の *coherent elastic boundary model* によって示唆されている(601)の界面に近く、*coherent spinodal* 分解により形成したと考えられる。*orthoclase* 部分では微細な *tweed* 状の組織が観察できた（図2）。組織の方向からこれは、アルバイト双晶とペリクリン双晶であると考えられる。こうした *tweed* 状組織は *orthoclase* の Al/Si の秩序化に伴う相転移で形成されたと考えられる。こうした組織は花崗岩などでも報告されている（Gerald, 1982 など）。

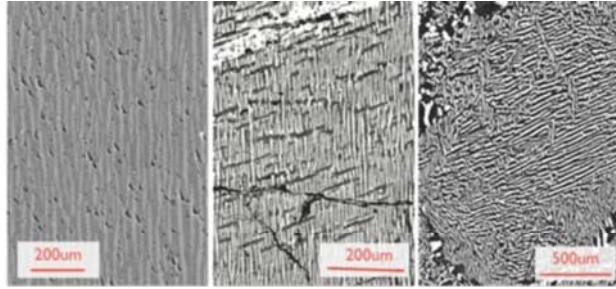


図1 oligoclaseとorthoclaseの2相分離組織(図左からタイプ A、タイプ B、タイプ C)

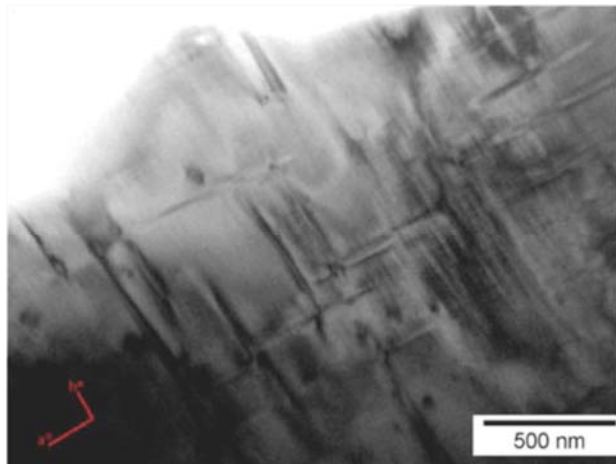


図2 orthoclase 中に観察できる tweed 状組織

sillimanite について

ナピア岩体の Mt. Riiser-Larsen の sillimanite を透過型電子顕微鏡を用いて観察した結果、反位相境界様組織を確認した(図3)。一方、リュツォ・ホルム岩体の Rundvågshetta 産の sillimanite からはこのような組織は全く見いだせなかった。ナピア岩体産の試料から見出した反位相境界様組織は、試料中のおよそ中心部にのみ観察できる。また、試料の sillimanite 中には微細な析出物が見られ、電子線回折像からこの析出物が mullite であると決定した。この mullite は方位が揃っているものの、sillimanite

との方位関係は見出せなかった。

研究試料中で限られた領域にのみ反位相境界様組織が確認されたことは、その領域は Al / Si が完全に無秩序化する温度には達していないが、部分的な Al / Si 無秩序が起こる程度の温度圧力条件には達していたことを示すのではないかと考えられる。そこで、反位相境界様組織が確認された sillimanite の形成温度条件の見積もりを行った。Holland and Carpenter (1986)では、2GPa, 1300 °C 以上の高温加熱実験を行い、反位相境界様組織を確認している。それ以下の温度での実験がないため、確かなことはいえないが、反位相境界様組織が確認される試料はかなりの高温条件を経験したと考えられる。本研究の試料は mullite + SiO₂ に分解してはいないため、また Robie and Waldbaum (1968)の示す sillimanite が mullite + quartz に分解する反応直線から、sillimanite の安定領域は、圧力 8.5±1 kbar の条件下で 1400 °C 以下という温度が考えられる。すなわち、本研究で得られた反位相境界様組織の存在する領域は、かなりの高温条件を経験したと推測できる。

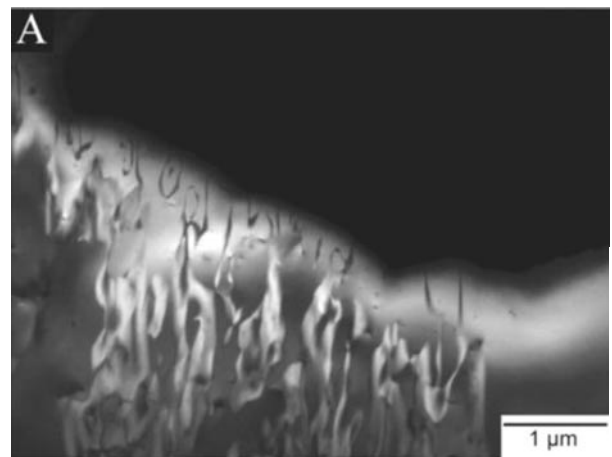


図3 sillimanite 中の反位相境界様組織

【研究発表】

(口頭発表)

三宅亮・外田智千・鳥越洋平；東南極大陸ナピア岩体に産する石英中に産する ferropseudobrookite について・日本鉱物科学会 2007 年会・東京大学（東京）・2007 年 9 月 22-24 日

三宅亮・崎山智昭・外田智千；東南極ナピア岩体に産する超高温変成岩中の sillimanite の微細組織・第 27 回南極地学シンポジウム・国立極地研究所（東京）・2007 年 10 月 18-19 日

三宅亮・崎山智昭・外田智千；東南極ナピア岩体に産する超高温変成岩中の sillimanite の微細組織・日本鉱物科学会 2008 年会・秋田大学（秋田）・2008 年 9 月 20-22 日

南極プレート発散境界インド洋海嶺の発展史に関する研究

◎松本 剛 琉球大学理学部・教授

沖野郷子 東京大学海洋研究所・准教授

佐藤 暢 専修大学経営学部・准教授

(国立極地研究所)

野木義史 准教授

白石和行 教授

本吉洋一 教授

平成 19 年度～平成 21 年度（3 か年）

【研究成果】

南極プレートのうちインド洋域では、その東半分は中速拡大海嶺である南東インド洋海嶺によってインド・オーストラリアプレートと接し、また、海嶺三重点の北東進によって西半分では南西インド洋海嶺が発達し、アフリカプレート（ソマリアプレート）と接している。ここは、拡大方向が約 4000 万年前に時計回りに 35 度、1920 万年前に反時計回りに 10 度変化したことが原因となって、海嶺軸・トランスフォーム断層の再配置が起こっている。また、これに合せて、随所でマンタルカンラン岩が露出している。本研究は、当該海域で近年取得された地球物理観測データ（地形・重力・地磁気全磁力及びベクトル成分）の解析によって、拡大方向の変化の原動力、これに伴う海嶺軸の再配置のメカニズム、再配置と岩石種との関係を定量的に評価し、以て南極プレートの変形過程の解明に資することを目的として実施された。

南極プレートの発散境界に当たる南東・南西インド洋海嶺において得られた「しらせ」及び JAMSTEC 船「かいれい」「よこすか」による地磁気 3 成分測定データを解析し、これら海嶺の拡大様式を考察した。また、平成 20 年度以降は、この解析結果の更なる検証を進めるために、「みらい」など他船によるデータの解析を併せて行った。

南東インド洋海嶺は年 7cm 程の拡大速度を持つ中速拡大海嶺であり、南極プレートとインド・オーストラリアプレートの境界を構成する拡大軸の一部である（図 1）。しかし、拡大軸の地形形態を見ると、102° E より西側では、中軸ドームがある

など、東太平洋海膨型の速い拡大の特徴を示し、また 103° E より東側は、中軸谷があるなど、大西洋中央海嶺型の遅い拡大の特徴を示す（Ma and Cochran、1997）。

南東インド洋海嶺東部から AAD（オーストラリア・南極間断層域）にかけての領域については、日本南極観測隊(JARE)輸送のための「しらせ」の指定航路となっており、同船に装備された海洋地球物理観測装置（海底地形・重力・地磁気）によって、航走中のデータが取得されている。このうち、第 30～35、37～42、45 次隊による地磁気三成分データを用いて、航路上の海底の磁化構造を求めた。「しらせ」が通過している範囲は、東経 95～115 度の範囲である。

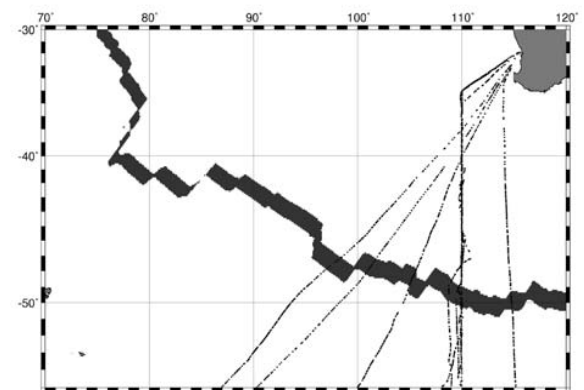


図 1：南東インド洋海嶺(SEIR)の拡大軸と「しらせ」第 30～35、37～42、45 次隊航跡。

図 2 は結果の一例であり、地磁気 3 成分データから磁氣的境界の走行を求めたものである。東経 97.5° 付近は、一次セグメント（トランスフォーム断層間の領域）が長いため、安定した拡大を行っており、磁気境界走行は等年代線モデル(Muller et al., 2008) の示す向きとほぼ平行になっている。一方、東経 102° より東では、一次セグメントが短く不安定となり、更に、拡大軸の向きが徐々に WNW-ESE 方向になるため、斜向拡大に転じていると見られる。また、この辺りは、Melville による精密地形調査によれば、低速拡大型の 2 次・3 次セグメント境界や伝搬性拡大（特に 112.5° E 付近のものが明瞭）などが発達しており、これらのセグメントにより生成された海底の磁化構造は一樣ではなく、時代とともに複雑に変異している

ことを示唆している。上述のように、この辺りは低速拡大としての特徴を有するため、マグマ供給量の少ない海嶺では海嶺軸セグメントでの拡大の向きは一樣ではなく、マグマ供給の緩・急によって不安定な拡大が生じ、その結果、磁気境界走行も一樣にならないことが考えられる。超低速拡大に当たる南西インド洋海嶺では、同様な傾向がより顕著に見られた。このことは、高速拡大の特徴を持つ太平洋プレート（南東インド洋海嶺の102° E以西も同様）での拡大が安定して一樣な向きで起こっていることと対比される。

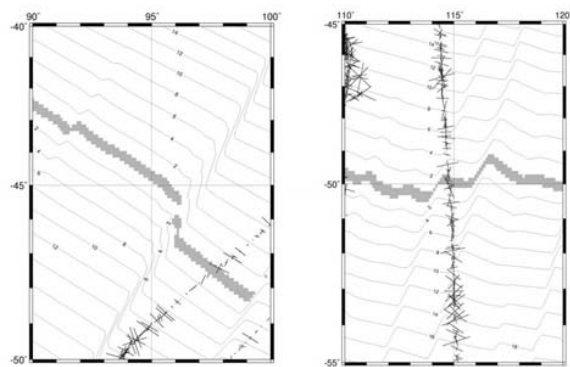


図2：磁氣的境界の走行と、これまで求められていた等年代線（単位：100 万年）。(a)：90～100° E の範囲。(b)：110～120° E の範囲。

このことを更に検証するため、同じく南極プレートの境界であり高速拡大海嶺としての性質を持つ太平洋南極海嶺について、同様の解析を行った。使用したデータは、「みらい」MR08-06Leg1 航海の地磁気三成分データである。太平洋・南極海嶺の48.1° S の海嶺軸両側で片側拡大速度が約 3.2～4.4cm/yr の中速拡大と算出でき、磁氣的境界の走向は海嶺と平行であった。また、チリ海嶺においても同様の傾向が見られた。太平洋・南極海嶺の拡大方向は磁氣的境界からみて一定方向に安定して拡大していることがわかる。

図3は、太平洋・南極海嶺の東側の測線上の記録を示したものである。モデルと対比した結果、31.1Ma まで年代を決定できた。海嶺の西側の拡大速度は4.2cm/y から4.4cm/yr と安定しているが、東側の拡大速度は2.5cm/yr から4.6cm/yr と安定しない。磁氣的境界の走向は概ね太平洋・南極海

嶺と平行であり、安定している。このことから、海嶺の西側では拡大速度、拡大の向きともにほぼ安定してプレートが拡大している一方で、海嶺の東側では、拡大の向きは安定しているものの、拡大速度が常に一定と云うわけではないことが明らかになった。また、等年代線モデル(Muller et al., 2008)と対比した結果、年代が一致しない地域があったため、等年代線の再評価を行う必要がある。この周辺には太平洋－南極－ファラロンプレートの triple junction trace (TJT) が存在し、またこの海域の全磁力異常についても既にまとめられている(Tebbens, 1997)が、TJT の正確な位置は不明瞭であり、TJT による地磁気異常の乱れとの関係についても、今後検証していく必要がある。

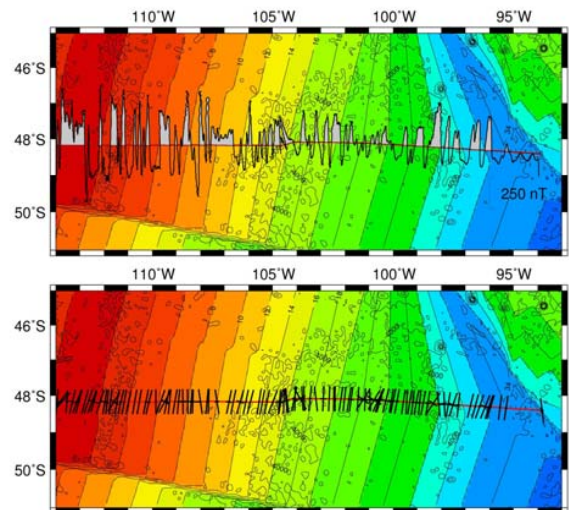


図3：太平洋南極海嶺48° Sを横切る測線のうち、海嶺軸の東側についての、地磁気全磁力異常（上）及び磁気境界走行（下）。

【研究発表】

松本 剛・野木義史・沖野郷子・佐藤 暢、「南極プレート発散境界インド洋海嶺の磁化構造」、第27回極域地学シンポジウム，2007。

松本 剛・野木義史、「南東・南西インド洋海嶺の磁化構造」、日本地球惑星科学連合2008年大会。

喜瀬慎一郎・土井明日加・松本 剛・阿部なつ江、「海洋地球研究船「みらい」で得られた太平洋完全横断地磁気三成分データの解析」、ブルーアース'10シンポジウム，2010。

共同研究報告書

熔融脈を有する南極産隕石と地球岩石の再磁化特性に関する研究（研究課題）

◎中村 教博 東北大学大学院理学研究科地学専攻・助教（研究代表者）

庄野 安彦 東北大学金属材料研究所・名誉教授（共同研究者）

（国立極地研究所）

船木 實 助教授（担当教員）

平成19年～平成21年（3ヵ年）（研究期間）

【研究成果】

熔融脈を有する隕石や岩石の残留磁気の信頼性を明らかにする目的で、これまでに1) 高圧鉱物相が発達する衝撃隕石に発達する熔融脈が、最終衝撃時以降変成作用をまったく受けていないことを磁化と高圧鉱物相の温度-時間関係から導出（研究成果1）、2) 白亜紀花崗岩中の斜長石単結晶をもちいた古地球磁場強度の推定（研究成果2）、3) 南アフリカ・ヴェデフォート隕石孔周辺花崗岩のもつ異常残留磁化の原因物質が黒雲母の衝撃変態による細粒磁鉄鉱であることの発見（研究成果3）、4) 台湾集集地震の震源断層であるチェルンプ断層深部断層岩の温度上昇（研究成果4）と5) 隕石薄片中の磁化鉱物を段階的にレーザースポット加熱消磁する装置の開発、を実施した。

1) 地球上の隕石クレーターでの出来事は、そのまま宇宙空間でも起こりえる。事実、隕石同士の衝突現象は普遍的な現象で、衝突を被った隕石にはしばしば衝撃熔融脈が形成されている。地球の場合と同様に、衝撃熔融脈の形成時には隕石形成時の磁化情報はリセットされてしまう。そこで、このリセット時の磁化情報から隕石衝突時の初期地球や原始太陽系の磁場環境を復元することを試みた。テンハム隕石(L6/S5)は高圧鉱物を含む幅数ミリの衝撃熔融脈が多数発達している。この隕石の表面磁化を極地研究所所有の磁気力顕微鏡(MFM)をもちいて観察し、衝突熔融脈中の細粒な鉄ニッケル粒子が残留磁化を担っている事を突き止めた。また、走査型電子顕微鏡とX線分析からこの鉄ニッケル粒子がニッケルをほとんど含まない事を示し、比較的変質に弱い珪酸塩ガラスに覆われている事をみいだした。さらに、衝撃熔融脈部分と基質部分それぞれを小型ダイヤモンドカッターでマイクロサンプリングし、極地研究所所有の超伝導磁力計により、残留磁化測定・段階交流消磁実験・熱消磁実験をおこなった。

その結果、基質部分の磁化の安定な成分の方向が

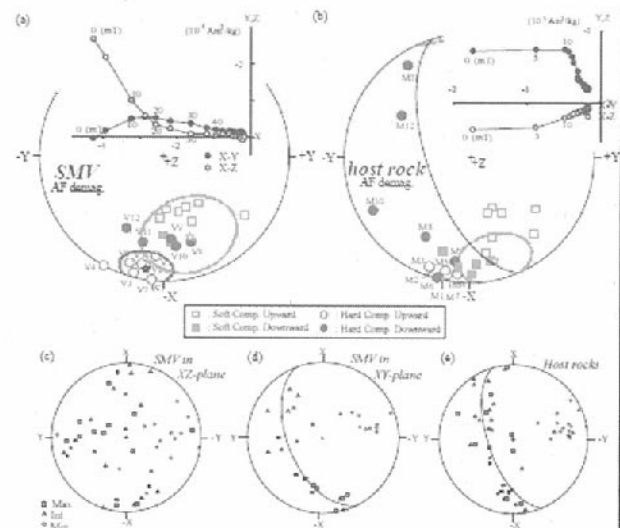


図1、衝撃熔融脈の交流消磁実験と初期磁化率異方性の結果。衝撃熔融脈は集中、母岩は磁化率異方性によって磁化が分布している。

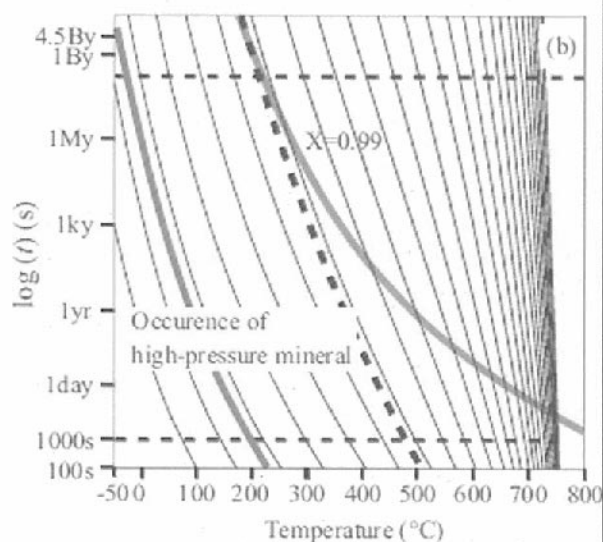


図2、温度-時間関係。ピンクは高圧鉱物不安定領域のため、磁化は左下部分領域にあるべき

ばらついているにもかかわらず、衝撃熔融脈の安定な磁化成分が単一の脈中では一方向を示すことが明らかになった(図1)。さらに、衝撃熔融脈に含まれる高压鉱物相の生存と磁化の熱安定性に関する反応速度論的温度-時間関係を算出することで、衝撃熔融脈の形成後に熱変成作用を被っていないことを示した(図2)。これは、衝撃熔融脈の残留磁化が衝撃時の磁場を獲得していることの科学的信頼性を示している。さらに、交流消磁実験結果から当時の磁場の強度を簡便な方法で推定すると、数ミリテスラもの非常に高い値がえられた。今後、この時の真偽を確かめるべく、詳細な観察と磁場推定実験をおこなう予定である。この成果は国際誌 *Geochemistry, Geophysics and Geosystems* 誌にて公表した。

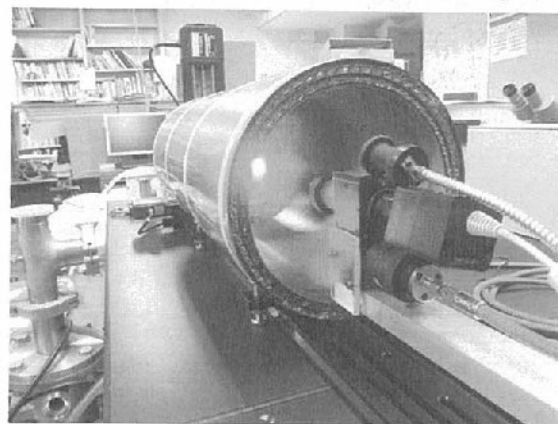
2) 酸性深成岩中の斜長石や輝石といったケイ酸塩鉱物には極細粒な磁鉄鉱の離溶ラメラが発達している。極細粒でケイ酸塩鉱物に包有されているため、変質に強く太古の古地磁気情報を安定に記録していると考えられている。しかし、離溶ラメラは異方的に成長しているため、古地磁気強度推定には、異方性の影響を取り除く必要がある。そのために、離溶磁鉄鉱の熱残留磁化異方性と非線形磁化獲得のキャリブレーション方法を確立した。この成果は *Earth, Planets and Space* 誌において公表した。

3) 南アフリカ・Vredefort 隕石孔中の衝撃を受けた花崗岩は強く磁化している。これまでこの残留磁化の原因として、石英中衝撃面状ラメラ沿いに発達する針状の磁鉄鉱であるとされていた。衝撃面状ラメラは隕石衝突時に形成されるため、花崗岩の強い磁化は隕石衝突時のプラズマ磁場を獲得していると説明されている。そこで、研究

室で開発中の走査型磁場顕微鏡と顕微ラマン分光装置を利用して、強い磁化の原因を解明した。その結果、衝撃面状ラメラ沿いの磁鉄鉱には残留磁化を担う鉱物は見出せず、衝撃波の通過により黒雲母結晶の外形を保ったまま磁鉄鉱に改変した部位が強い残留磁化を担うことを見出した。この成果はアメリカ地質学会の特集号で公表した。

4) 台湾 Chelungpu 断層掘削試料を用いて、断層運動時の温度上昇を推定した。この成果は *Earth, Planets and Space* 誌において公表された。

5) 走査型磁場顕微鏡をもちいて、定方位薄片のミリスケールの熱消磁実験をおこなうことで、貴重な隕石試料から信頼ある古地磁気研究をするために、スポットレーザー段階加熱装置の開発を進めている(図3)。この装置を含め、総合的に南極隕石や地球物質から過去の磁場空間に関する



情報を探り、太古の地球ダイナモ運動や星形成期の磁気双極流の役割を解明してゆく予定である。

[研究発表]

1. Y. Sato and N. Nakamura (in press), Shock melt veins of Tenham chondrite as a possible paleomagnetic recorder: rock magnetism and high-pressure minerals, *Geochemistry, Geophysics, and Geosystems*. (ISI誌)
2. Y. Usui and N. Nakamura (in press), Nonlinear thermoremanence corrections for Thellier paleointensity experiments on single plagioclase crystals with exsolved magnetites: a case study for the Cretaceous Normal Superchron, *Earth, Planets and Space*. (ISI誌)
3. N. Nakamura, Okuno, K., Uehara, M., Ozawa, T., Tatsumi-Petrocholis, L. and Fuller, M. (in press), Coarse-grained magnetites in biotite as a possible stable remanence-carrying phase in Vredefort granites, *GSA Special Paper "Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV"*. (Book)
4. Mishima, T., Hirono, T., Nakamura, N., Tanikawa, W., Soh, W. and Song, S. R., (2009), Changes to magnetic minerals caused by frictional heating during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake, *Earth Planets Space*, 61, 797-801. (ISI誌)

(共同研究報告書(終了))

リュツォ・ホルム湾沿岸の浅海及び湖沼堆積物についての環境磁気学及び古環境学的研究 (研究課題)

◎佐藤高晴 広島大学総合科学部学部・准教授 (研究代表者)

竹田一彦 広島大学生物圏科学研究科・准教授 (共同研究者)

(国立極地研究所)

船木 實 助教授 (担当教員)

平成 19 年～平成 21 年 (3 年) (研究期間)

[研究成果]

南極大陸リュツォ・ホルム湾沿岸には、後氷期のリバウンドによる海跡湖が多く見られる。本研究では、第 46 次南極観測隊で採取した海跡湖(親指池)の湖底堆積物柱状試料から発見された、硫酸ナトリウム(mirabilite)の礫について、生成のメカニズムを明らかにし定量的にもその妥当性を示した。また、丸湾南池コアについては、2 本のコアの帯磁率測定結果と微化石分析結果、炭素 14 年代をもとに、海水環境から淡水環境への変化の年代を推定すると共に、磁性鉱物がコアの深さによって変化しているだけではなく、採取後 2～3 年で強度が大きく変化する部分があることが示された。

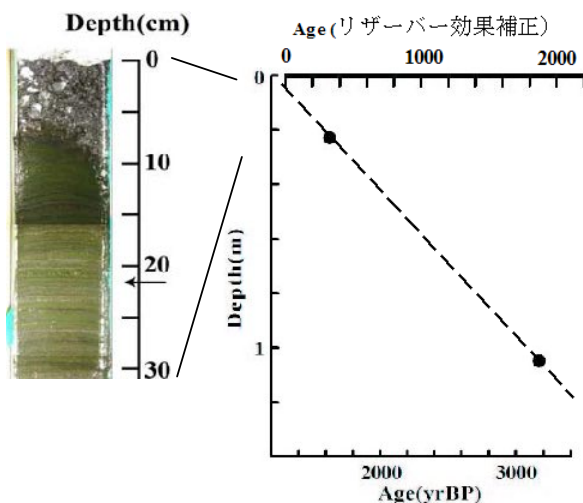


図 1. 親指池コア 0y5-1 最上部の写真と炭素 14 年代(上のスケールはリザーバー効果を 1300 年とした場合の年代)

親指池は、海岸から 30m 足らずしか隔てられていない水深約 5 m の池で、湖面の標高も数十 cm～1 m 程度で、越冬期間には、わずかに湖水の流出が認められた。2005 年 1 月の水温は水深 1.5 m で 15℃、湖

底で -3℃、塩分濃度は、127psu であった。コアは夏期間(2005.1)に 1 本、越冬期間(2005.11)に 2 本採取した。全てのコア最上部、5～10 cm の部分には数 mm～数 cm の多くの無色透明な析出鉱物と思われる礫－帰国後の X 線回折実験により mirabilite だと推定－が見られた(図 1. 左)。その下部にはいずれもラミナ構造の堆積物が見られ、更にその下にはウニ *Stereochinus neumayeri* の化石が見られるコアがあった。

親指池が潮間帯付近の池でありながら高塩分の塩湖になったのは、後氷期の氷床後退に伴う隆起で海底のくぼみから潮間帯の池になる間に、海水が結氷する際の brine のくぼみへの蓄積に加えて、海から隔てられる時間が長くなってからは、日射による濃縮が加わったことが成因と考えられる。海水は冷却されると -8.2℃ で mirabilite、-22.9℃ で hydrohalite ($\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) が析出することが知られている(Donald E. Garrett, 2001)。これらのことから、濃縮した湖水から寒冷な冬季に mirabilite の微結晶が水中で析出し堆積後、夏期に溶解し、再結晶し結晶が成長し礫ができたことが考えられる。

以下の仮定の下で、mirabilite 析出量の見積もりを行った。

< 仮定 >

1. 海水が組成を変えずに濃縮した。
2. その後、塩素イオンは保存されたが、硫酸イオンは一部 mirabilite となった。

用いたデータは、2005 年 1 月に採取した水試料の分析データと、標準海水のデータである。

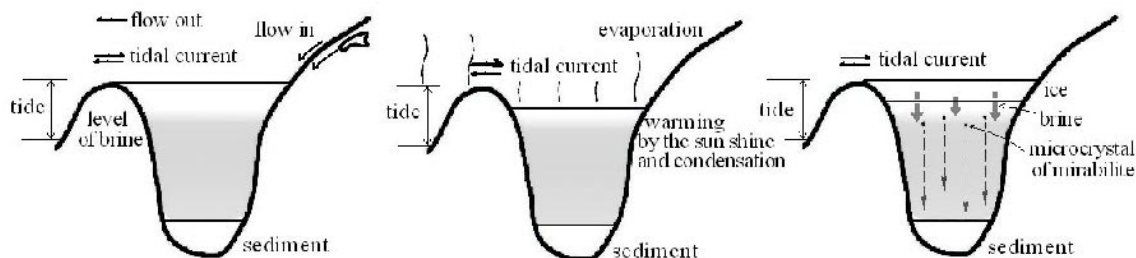


図2. ミラビライトのれき生成メカニズムの概念図

<親指池の採水試料のイオン濃度[M/L]>

試料名	塩素イオン	硫酸イオン
Oy4-1-4m	2.253	0.0772

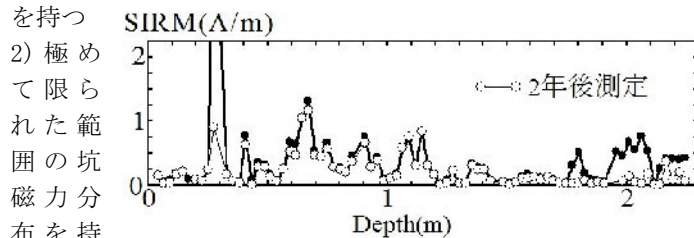
<標準海水のイオン濃度(重量%)>

塩素イオン	55.07
硫酸イオン	7.72

これらから、1 cm 平方、深さ 5 m の湖水柱を考えた場合の硫酸イオン不足量 (1.90g) を求め、それに対応する mirabilite の析出量 (6.4g) と体積 (4.3 cm³) を求めた。この量は、実際の析出量から考えて、極めて妥当なものである。

丸湾南池から採取した 2 本のコアの併せて 4 層準の炭素 14 年代と、帯磁率変動の対応関係、微化分析から、海水環境から淡水環境への変化の年代を 3070BP~3025BP (リザーバー効果含まず) と推定し

た。また、岩石磁気学的実験により、浅海から潮間帯、更に淡水に堆積環境が変遷していくにつれ、低抗磁力成分の出現が減り、イルメナイト〜ヘマタイト系列の高抗磁力成分が増大する期間が 2 回見られた。この低抗磁力成分は、1) 安定な自然残留磁化を持つ



2) 極めて限られた範囲の坑磁力分布を持つ 3) 帯磁率は小さいが非履歴残留磁化は大きい 4) 帯磁率、残留磁化強度ともに 2 年後測定時には、部分的に大幅に強度が減少した (図 3)。

図3. 丸湾南池コア Ms5S の飽和等温残留磁化再測定による変化

[参考文献]

- 1) Donald E. Garrett, 2001: 'Sodium Sulfate: Handbook of Deposits, Processing, & Use', pp. 384., 2001, Elsevier.

[研究発表]

1. Takaharu. Sato, Koji. Seto, Makio. Ohkawa, Kazuhiko. Takeda, Recent mirabilite rubbles covering on the bottom of Lake Oyayubi along the Soya Coast, Antarctica, SCAR/IASC IPY Open Science Conference 2008, St. Petersburg, Russia, 2008 年 7 月 9 日
2. 佐藤高晴、瀬戸浩二、船木實、福井学、高野淑識、丸湾南池を中心とした南極宗谷海岸沿岸の湖沼から採取した堆積物の磁氣的性質、第 16 回汽水域研究発表会、松江テルサ、2009 年 1 月 11 日
3. 佐藤高晴、竹田一彦、大川真紀雄、瀬戸浩二、南極大陸の海跡湖で発見された硫酸ナトリウムの礫と透明なラミナ堆積物、汽水域研究会 2010 年大会、松江テルサ、2010 年 1 月 10 日

共同研究報告書（終了）

氷床縁辺部露岩域および大陸棚海底の地形・地質データを用いた後期更新世～完新世の南極氷床変動の復元

◎澤柿教伸 北海道大学大学院地球環境科学研究院・助手 （研究代表者）

岩崎正吾 北見工業大学・特許流通アソシエイト （共同研究員）

（国立極地研究所）

三浦英樹 助教 （担当教員）

平成 20 年～平成 21 年（2 か年） （研究期間）

【研究成果】

本共同研究では、更新世～完新世における南極氷床変動の復元、および氷床縁から大陸棚における氷床底の地形・地質学的プロセスを解明することを目的として、JARE47 で取得した海底音響探査データを用いて海底地形を解析するとともに、陸域の地形・堆積物の記載をとりまとめ、氷床縁から陸棚域への地形・堆積物の連続性や差異について検討した。

第四紀後期の南極氷床変動を復元するには、大陸棚上へ氷床が拡大した際にともなう様々な地質現象を明らかにしていく必要があるが、Lützow-Holm 湾内海域および湾東岸の宗谷海岸の氷床縁に点在する露岩域では、これまで、日本南極地域観測隊(JARE)の活動により、陸上の氷河地形・堆積物の記載、ならびに海底地形探査やグラビティコアラを用いた海底堆積物採取が何度か実施されてきた。しかし、この海域は年間を通じて海水が発達するため、船舶を用いた海底探査は容易ではなく、ほとんどの場合、海水上から観測機材を投入する方法がとられてきた。これには、厚い海水を開孔する作業を伴うために時間と労力を要し、海水上を安全に移動できる冬期間に実施しなければならず、探査範囲や点数には限界があった。また、重力コアラによる試料採取においても、比較的軽量のコアラを用いざるを得なかったため、表層付近の採取にとどまっており、完新世を超える古い堆積物を採取できていなかった。JARE47（2005-2007）では、上記の問題を克服し、海水上からの海底探査を効率的に行い、また完新世を超える古い堆積物まで貫通できるような大型のグラビティコアラの投入を可能にするため、独自に海底探査システムを開発して（Nishimura et al., 2006）、越冬期間中に実際に機材を用いて探査活動を実施した。

宗谷海岸の氷床縁辺部に位置する Skarvsnes 露岩域には「Osen Till」と呼ばれる氷床底堆積物が分布する。これまでの氷河構造地質学的調査から、この堆積物は、過去の氷床下で生成・運搬・堆積・変形されたものであり、これを堆積させた当時の氷床が底面融解し、氷の変形だけでなく底面すべりや堆

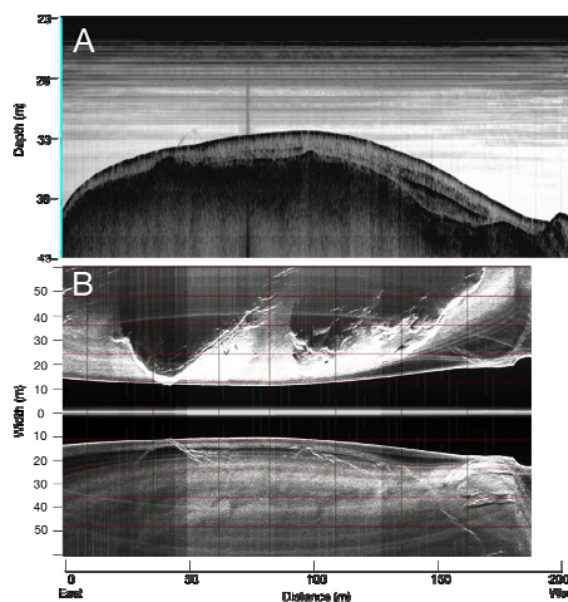


図 1 オーセン湾海底における音響探査の結果

積物の変形によって流動していたと解釈されている。また、同地域では、Drumlin と呼ばれる氷床底の浸食作用を示す流線型の基盤地形が分布し、その分布パターンと水文学的解析から、この地形を形成した時期の氷床底は融解状態にあつて氷床底水流も浸食に寄与していたことが示唆されている。Drumlin はロス海における海底探査でも記載され、南極氷床からの氷の流出の 9 割を担っていると見積もられている氷床底で形成されたのではないかという議論が展開されており、近年、氷床の安定性を議論する上で重要視されつつある地形でもある。

JARE47 では、Osen Till の分布域の沖合にあたる Osen 湾で、開発したシステムを用いて海底物理探査とグラビティコアラによるサンプリングを実施した。その結果、湾の中央部に 2-3m 前後の比高をもつバンパが存在し、EW 方向に軸をもつ湾の形状と斜交する WSW 方向に伸びていることを見いだした（図 B）。この方向は、陸上で観察される Drumlin の方向と整合的で、上流方向に急斜面を持つ Stoss-and-lee 形状をなすことから、このバンパ

も陸上と同様の **Drumlin** であると解釈できる。また、湾の海底には一様に数メートル程度の薄い表層堆積物が沈積しており、バンプの凹部やバンプの外洋側（氷床流動の下流側）では層厚が増して、明瞭な多層構造をなしていることが確認できた（図 1）。

今回得られた結果で特筆すべき点は、陸上では確認される場所が極めて限られる氷河底堆積物が、海底下では海成層の下位にかなり広く分布して見られること、および **Drumlin** を作る基盤地形を覆って **Till** が存在することである。前者は、本来広く陸上に存在した **Till** がその後浸食されたとするこれまでの解釈を支持するものであり、後者は **Drumlin** の形成時と同時か形成後に堆積物を形成する作用も氷床底で働いていたことを示唆している。これらにより、東南極氷床の末端部に位置する当地域において、底面凍結型ではなく底面融解状態で堆積物の変形を伴って氷床が流動していたという解釈が、従来以上に強化された。

さらには、当地域の氷床が氷流化していた可能性も示唆される。ラングホブデ・やつで沢上流にある氷河ダムの下流側に円形の穴が開いているのが確認され（図 2）、内部が大きな空洞となっていることを確認したが、この事実もまた氷底水流の可能性を強く示唆している。やつで沢は直線的に伸びる U 字谷で、氷河ダム直下からは U 字谷底がさらに函谷状



図 2 やつで沢上流の氷河ダムに開いた氷洞

に浸食された二段構造をなす。氷洞内の側壁も同様に垂直の基盤岩からなり、この函谷に地形的に連続することから、ダム内の空洞は氷河底洪水吐をなしているものと考えられる。これらの事実は、過去および将来において、氷河ダムから排水が発生したりダム自体が決壊したりする可能性を強く示唆し、やつで沢の地形発達や上流の湖の盛衰を考える上で重要な鍵となる。

[参考文献]

- 1) Nishimura, K., Miura, H., Iwasaki, S., Sawagaki, T., Kawakami, T., Minoshima, K., Murakami, Y., Sayanagi, K., Haraguchi, T. (2006): Development and Preliminary Test of Acoustic Survey System for Submarine Sediments under the Antarctic Sea Ice. TECHNO-OCEAN2006 / 19th JASNAOE Ocean Engineering Symposium, P103a.

[研究発表]

Sawagaki, T., Miura, H. and Iwasaki, S. (2008): Discovery of an ice cave in the Yatude Valley, Langhovde, Dronning Maud Land, East Antarctica, Polar Science, 2, 287-294. doi:10.1016/j.polar.2008.10.002

三浦英樹 (2009) 第四紀後期の気候変動と地球システムの挙動-その原因とメカニズムの解明に向けて。第四紀研究 48, 103-108.

(別紙)

参 加 者 一 覧

☐ 研究プロジェクト ☒ 一般共同研究 ☐ 研究集会		課題番号	地圏20-25	
研究課題名		氷床縁辺部露岩域および大陸棚海底の地形・地質データを用いた後期更新世～完新世の南極氷床変動の復元		
氏名	所属	職	備考	
所内	三浦英樹	助教		
小計	1 名			
所外	澤柿教伸	北海道大学	助教	
	岩崎正吾	北見工業大学	特許流通アソシエイト	
小計	2 名			
合計	3 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。

I . 共同研究報告(終了)

一般共同研究

(4) 生 物 圏

(共同研究報告書 (終了))

低温および塩類ストレス環境下に生息する多価不飽和脂肪酸産生微生物の探索と同定

◎東條 元昭 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・准教授

奥山英登志 北海道大学大学院地球環境科学研究院・准教授

小亀 一弘 北海道大学大学院理学研究院・准教授

(国立極地研究所)

神田 啓史 教授

平成19年～平成21年(3か年)

[研究成果]

多価不飽和脂肪酸は(PUFA)を生体膜の極性脂質や貯蔵脂質の成分として含まれ、主として魚類から抽出されたものが栄養補助食品などとして広く利用されている。近年は、魚類以外の PUFA 供給源として、これらの環境に生息する低温および塩類ストレス環境下に生息する微生物(植物プランクトン、藻類、細菌、卵菌類、接合菌類など)が新たな PUFA 供給源として注目されている。これらのうち卵菌類は極域から熱帯までの陸上や沿岸部海中に広く分布し、一般に分離や培養が容易で、生育が旺盛なものが多く、グルコースから脂肪酸を合成して菌体や胞子中に蓄積する性質がある。このような性質から、卵菌類は PUFA 供給源として有望な微生物になり得ると考えられる。しかし、低温環境や海水中に生息する卵菌類の研究例が少なく、それらの種同定や PUFA 産生能の調査はほとんど行われていない。

そこで本研究では、低温や塩類などの環境ストレス下に生息する卵菌類の分離と同定を試みた。また、それらの菌株のいくつかについて、培養時の温度と培地中の NaCl 濃度が、アラキドン酸(AA)やエイコサペンタエン酸(EPA)などの長鎖多価不飽和脂肪酸(LCPUFA)の菌体内含有量に及ぼす影響を調べた。

1. 卵菌類の1属である *Pythium* 属菌を土壌から効率的に分離するための培地の開発 (Morita and Tojo 2007, 東條 2008)

Pythium 属菌は植物体や土壌から素寒天培地などで分離することが可能だが、分離培地上で細菌などが同時に繁殖し、思うように分離されないことがある。本属菌の選択培地を使うと、細菌などの繁殖が抑えられ効率的に *Pythium* 属菌を分離することができる。一方、従来のほとんどの *Pythium* 属菌選択培地には、殺菌剤のペンタクロロニトロベンゼン(PCNB)が添加されて

おり、PCNBの製造中止(微量の発がん性物質を含むことが明らかになったため)に伴って、選択培地の作製も困難になっていた。そこで、PCNBやバンコマイシンを含まない3つの新たなピシウム菌選択培地を開発したところ、現在、*Pythium* 属菌選択培地として最も広く使われている PARP 培地と同等の選択性を示すことが示された。

2. 低温や塩類などの環境ストレス下に生息する卵菌類の分離と同定

上述1で開発した *Pythium* 属菌選択培地等を用いて、低温や塩類などの環境ストレス下に生息する *Pythium* 属菌の分離を試みた。その結果、約150菌株の本属菌が分離された(東條元昭 2008, 2009a, 2009b)。これらのうちのいくつかの株は、新種あるいは日本新産種であったので、以下のように記載した。

(1) 積雪下のゴルフ場のケンタッキーブルーグラスで発生した褐色雪腐病菌の同定 (Masumoto et al. 2009)

2007年4月に札幌市近郊のゴルフ場の積雪下のケンタッキーブルーグラスで褐色雪腐病の激しい発生が見られた。ゴルフ場のシバでの褐色雪腐病の報告例は国内では見られないため、病徴を記録するとともに、病原菌を同定して宿主に対する病原性を調べた。分離された *Pythium* 属菌計5菌株の形態的特徴、菌糸生育速度反応およびrDNA-ITS領域の塩基配列を調べた結果、すべての菌株が *Pythium iwayamai* と同定された。このうちの1菌株について、ケンタッキーブルーグラスに対する病原性をポットを用いた接種試験で調べたところ、褐色雪腐病の病徴が再現された。

(2) 海浜の土壌から分離された新種 *Pythium apinafurcum* Uzuhashi & Tojo, sp. nov. の記載 (Uzuhashi et al. 2009)

和歌山県下の海浜の土壌から *Pythium* 属 6 菌株を分離した。これら全ての分離菌株は互いに形態が類似し、球状遊走子のうち、1 個または 2 個の卵胞子を有する造卵器、複雑に分枝する 2 次菌糸の形成により形態的に既知の *Pythium* 属菌と区別された。また菌糸の伸長は 34℃で最も速く 40℃まで生育可能な高温生育性を示した。D1/D2 領域の塩基配列に基づく分子系統樹では、*Pythium* 属菌で既報のいずれの系統群とも異なる新規の単系統群を形成した。これらの菌株の代表 2 株について、バミューダグラス、キュウリおよびキャベツの幼植物に対する病原性を調べたところ、いずれも病原性を示さなかったが、これらの植物根組織から高頻度に再分離され、また根の細胞中に卵胞子を形成した。これらの結果から、今回の分離菌株は既知の *Pythium* 属菌種と明らかに異なる性質を有しているため、新種、*Pythium apinafurcum*として記載した。

(3)大阪湾の干潟から分離された日本新産種 *Pythium grandisporangium* Fell & Master の記載 (Kurokawa and Tojo 2010)

*Pythium grandisporangium*は、これまでに米国南部のマングローブ植物とカナダやオランダの海産藻類からの分離報告があるが、日本を含め他の地域での分布

は知られていない。ここでは、2006 年と 2007 年に大阪湾岸汽水域のヨシの根とその周囲の海水からそれぞれ 1 菌株ずつ分離された *Pythium* 属菌計 2 株を、培養形態、菌糸生育温度および rDNA-ITS 領域の塩基配列に基づいて、*P. grandisporangium* と同定した。これらの菌株の菌糸はいずれも 0-9%の海水塩を含むコーンミール寒天培地上で伸長し、伸長速度は 2%の海水塩を含む同培地上で最も速かった。また、ヨシの根に対する病原性は、シャーレ内での接種実験では認められなかった。

3. 長鎖多価不飽和脂肪酸 (LCPUFA) の菌体内含有量に及ぼす培養時の温度と培地中の NaCl 濃度の影響

大阪湾の干潟から分離からアラキドン酸 (AA) やエイコサペンタエン酸 (EPA) などの長鎖多価不飽和脂肪酸 (LCPUFA) をもつ糸状菌を 28 株単離した。そのうち、A 株と B 株については培養温度を 25℃, 31℃, 培地中の NaCl 濃度をゼロから 6%と変えて、LCPUFA の含量に及ぼす影響を検討したところ、温度の影響は軽微で、NaCl の濃度の影響を大きく受けることがわかった。

[研究発表]

Morita, Y and Tojo, M (2007) Modifications of PARP medium using fluazinam, miconazole, and nystatin for detection of *Pythium* spp. in soil. Plant Disease 91: 1591-1599.

東條元昭 (2008) フルアジナムとミコナゾールを用いたピシウム菌選択培地の作製と病害診断への応用. 植物防疫 62: 161-163.

東條元昭 (2008) 英国観測基地での日々 ―南極にカビを求めて―. 極地 44: 68-75

東條元昭 (2009a) ノリの病気 アカグサレ菌の分類. 海洋と生物 31: 611-613

東條元昭 (2009b) ノリアカグサレ菌の分類学的研究. 日本水産学会誌 75: 910-911

Masumoto S, Shigyo, T and Tojo M (2009) *Pythium* snow blight of Kentucky bluegrass turf in a golf course in Hokkaido, Japan. Journal of Japanese Society of Turfgrass Science 38: 33-36.

Uzuhashi, S, Tojo, M, Kobayashi S and Kakishima, M (2009) *Pythium apinafurcum* sp. nov. : its morphology, molecular phylogeny, and infectivity for plants. Mycoscience 50:281-290.

Kurokawa K, Tojo M (2010) First record of *Pythium grandisporangium* in Japan. Mycoscience (in press)

(別紙) 参加者一覧

研究協力者

森田 洋子 (大阪府立大学 大学院農学生命科学研究科)
小林 咲麗 (大阪府立大学 大学院生命環境科学研究科)
黒川 恵子 (大阪府立大学 大学院生命環境科学研究科)
増本 翔太 (大阪府立大学 大学院生命環境科学研究科)
柿畠 眞 (筑波大学 大学院生命環境科学研究科)
埋橋 志穂美 (筑波大学 大学院生命環境科学研究科)
執行 拓宇 (バイエルクロップサイエンス (株))

極域より分離した微細藻類や細菌の耐冷性、耐凍性の研究とその応用

◎ 長島秀行 東京理科大学理学部・教授
井上和仁 神奈川大学理学部・教授
田口精一 北海道大学工学部・教授
(国立極地研究所)
神田啓史・教授
平成 19 年～平成 21 年 (3 ヶ年)

〔研究成果〕

1. 南極陸域より分離した単細胞藻類の系統と凍結耐性

南極大陸のドライヴァレー地域の岩石表層から分離した単細胞緑藻 *Chlorella* A789-12 株と *Stichococcus* A789-13 株を、プログラムフリーザーを用いて各種速度で凍結、融解し、その好冷性や耐凍性を、生育および光合成活性により調べた。その結果、凍結・融解速度が速いほど、処理後の培養による回復率が高いこと、また、 -30°C まで凍結耐性があることが明らかになり、南極陸域に固有な種である可能性を示した。それに対し、温帯産の緑藻クロレラ *Chlorella vulgaris* C-135 株では、 -20°C の凍結処理によりほとんど活性を失い、凍結耐性が弱いことが分かった。同様に、南極スコット基地より分離された糸状黄緑藻 *Xanthonema sessile* PAB759 株は、凍結耐性を示さず、南極固有種ではないことが示唆された。

つぎに、A789-12 株と A789-13 株の種の同定は、DNA データベース上のホモロジー検索により、近縁の藻類の 18S rDNA 配列データを集め、近隣結合法および最尤法による分子系統樹を作成することにより行った。その結果、A789-12 株は単細胞緑藻の *Chlorella vulgaris*、または、*C. sorokiniana* に近縁と考えられた。顕微鏡による細胞壁の異方性 Anisotropy の観察から、A789-12 株は、ほぼ *Chlorella vulgaris* と同定された。一方、A789-13 株については、部分塩基配列を比較した結果、すでに報告され

ている南極産 *Stichococcus bacillaris* S-3 株と高い相同性を示したことから、単細胞緑藻の *Stichococcus bacillaris* で、南極陸域にかなり分布していることが推定された。

2. 緑色硫黄細菌 *Chlorobaculum tepidum* の酸化還元調節機構と硫黄化合物の酸化

極域に対応した光合成微生物の環境適応を明らかにするために、緑色硫黄光合成細菌 *Chlorobaculum tepidum* (旧属名 *Chlorobium*) を材料として、以下の研究を行った。

(1) 細胞内レドックス応答機構の解析

チオレドキシン(Trx)は活性部位にある 2 つのシステインを用いて、標的となるタンパク質を還元し、その活性を調節している。レドックス制御に関与する 2 つのシステインのうち 1 つをセリンに置き換えた変異型 Trx を利用してアフィニティークロマトを作製した。カラムに補足されたタンパク質を、過剰の還元剤 DTT を加えることでカラムから溶出させ、二次元電気泳動、質量分析することで、*C. tepidum* の Trx の標的タンパク質を網羅的に解析した。同定されたタンパク質の中には、還元的 TCA 回路で働くクエン酸合成酵素(CS)、クエン酸リアーゼ(CL)、リンゴ酸デヒドロゲナーゼ(MDH)が含まれていた。緑色硫黄細菌はカルビン回路の代わりに還元的 TCA 回路を用いて炭酸固定を行う。そこで大腸菌を用いて CS、CL、MDH の発現系を構築し、精製したタンパク質を用いてその酵素活性を調べた。酸化剤存在下では CL と MDH の酵素活性は著しく減少し、Trx と DTT により活性が増大した。一方、CS の活性は逆の挙動を示した。以上の結果より *C. tepidum* の炭酸固定系は細胞内のレドックスに応答して制御されることが示された。

(2) チオ硫酸酸化マルチ酵素系の解析

緑色硫黄細菌は硫化物やチオ硫酸塩などの硫黄化合物を電子供与体として光合成を行うが、硫黄化合物から光化学反応中心への電子伝達系路については未だ不明な点が多い。*C. tepidum* のゲノム中にはチオ硫酸酸化に関わる

と予想される蛋白質をコードする *sox* 遺伝子クラスターが存在する。*C. tepidum* の細胞抽出物から、光化学反応中心複合体への直接の電子供与体となるシトクロム(Cyt) *c*-554 の還元活性を指標にして、チオ硫酸酸化に関与する成分の同定・精製を行い、SoxYZ、SoxAXK、SoxB、SoxF の 4 つのタンパク質複合体を得、さらに、これら複合体のサブユニットを大腸菌内で組換えタンパク質として発現させた。生化学的な解析の結果、チオ硫酸から Cyt *c*-554 への電子伝達には SoxYZ、SoxAXK、SoxB の 3 つの蛋白質複合体が必須であり、さらに、SoxF は単独ではチオ硫酸酸化を行わないが、SoxYZ、SoxAXK、SoxB との共存化で、チオ硫酸酸化速度を約 2 倍に上昇させるが、電子受容体としてウマ由来の Cyt *c* を用いると、活性の上昇の効果は小さく、電子供与体となるシトクロムの種類に対応した特異性があることが見いだされた。

3. 中等度好熱菌および低温性細菌由来のアゾ色素還元分解酵素の熱安定性

環境浄化を目的として、人工染料の主要成分であるアゾ化合物の微生物分解に寄与する酵素群の活性・温度プロファイルの基礎データを集積し、染料により汚染された低温下の河川に応用可能な酵素を選定しようとした。中等度好

[参考文献]

- 1) T. Ogawa, T. Furusawa, R. Nomura, D. Seo, N. H. Matsuda, H. Sakurai and K. Inoue (2008): SoxAX binding protein, a novel component of the thiosulfate-oxidizing multienzyme system in the green sulfur bacterium *Chlorobium tepidum*. *J. Bacteriol.* 190:6097-6110.
- 2) N. H. Matsuda, K. Inoue and T. Hisabori (2009): Roles of thioredoxins in the obligate anaerobic green sulfur photosynthetic bacterium *Chlorobaculum tepidum*. *Molecular Plant*, 2:336-343.
- 3) Ken'ichiro MATSUMOTO, Kazuma TAKASE, Yoko YAMAMOTO, Yoshiharu DOI, Seiichi TAGUCHI (2009): "Chimeric enzyme composed of polyhydroxyalkanoate (PHA) synthases from *Ralstonia eutropha* and *Aeromonas caviae* enhances production of PHAs in recombinant *Escherichia coli*", *Biomacromolecules*, Vol.10(4), pp.682-685.
- 4) Toshihiko OOI, Takeshi SHIBATA, Ken'ichiro MATSUMOTO, Sinichi KINOSHITA, Seiichi TAGUCHI (2009): "Comparative enzymatic analysis of azoreductases from *Bacillus* sp. B29", *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, Vol. 73(5), pp.1209-1211.

熱菌である *Geobacillus stearothermos* 由来のアゾ還元酵素 (AzrG) は、活性の至適温度が、対応する中温性の酵素群と比べて高く、構造変性温度もそれを支持する結果を得た。その構造要因を中温性酵素の X 線結晶構造解析結果により考察したところ、触媒残基が集中する疎水コア部の疎水性残基が AzrG に多く分布していることが熱安定性向上の理由であると推定した。

つぎに、*G. stearothermophilus* のゲノム DNA から、アゾ基を含む染色化合物を還元分解酵素 (azo-reductase: AzrG) を遺伝子クローニングし、大腸菌で機能発現した。組換え AzrG を精製し、各種酵素学的性質を調べた。特に、高温での失活測定を中温性同類酵素と比較すると、明らかに長時間での高温耐性を示すことがわかった。現在、中温性酵素の X 線結晶構造解析結果が出たので、この高温耐性と構造との機能相関を調べている。また、現在、低温性細菌由来の類似還元酵素を遺伝子クローニングし、大腸菌での発現系を構築した。組換え大腸菌の破碎物から可溶性画分として回収した。しかし、今のところメチルレッド基質に対して反応性を検出できず、中温でも折りたたみに障害がでている可能性が示唆されている。

海洋と南極湖沼における硫黄循環に対するジメチルスルフォキシド（DMSO）呼吸の役割の解明

◎松崎雅広 広島大学大学院理学研究科・助教（研究代表者）
高橋陽介 広島大学大学院理学研究科・教授（共同研究者）
（国立極地研究所）
神田啓史 教授
平成 19 年～平成 21 年（3 か年）

[研究成果]

南極の湖沼は流出入がほとんどなく、動物による環境かく乱や人間活動による汚染もほとんどない。南極湖沼は地球規模の自然界での硫黄循環（サイクル）の過程を理解するモデルとなる「閉鎖生態系」として考えることができる。これまでに南極湖沼での硫黄循環における DMSO 呼吸の寄与を DMSO 呼吸遺伝子の定量的解析から明らかにできるかどうかを調べるために、南極湖沼に存在する DMSO 呼吸細菌を分離しようと考え、これまでに南極昭和基地周辺の高濃度塩湖すりばち池と舟底池から *Marinobacter* sp. (参考文献1) と *Halomonas* sp. を分離した。しかしながら、DMSO 呼吸遺伝子(*dmsA*)の分離には至っていない。閉鎖生態系における物質循環を考える上でそれぞれの湖沼における細菌群集構造の違いを知ることは重要である。そこで本研究ではまず南極昭和基地周辺の露岩域に数多く点在する湖沼の網羅的な細菌群集構造解析を行った。

1) 塩湖の細菌群集構造解析

スカルプスネスの子鉢池、ありさ池、ねずみ池の水試料から DNA を抽出し、PCR 法により 16S rRNA 遺伝子を増幅しそれぞれの池のクローンライブラリーを構築した。水試料は塩分濃度の薄い上層と塩分濃度の濃い下層を用いた。約 1.4 kb の正しいサイズをもつクローンをランダムに分離し、各サンプルについて少なくとも 20 クローン以上の配列を決定した。各池の上層は塩分濃度が 0.25-0.79% の低塩分であり、*Roseobacter* sp. と *Marinobacter* sp. の共通する菌属が確認された。*Roseobacter* sp. は海洋性の光合成細菌であり、*Marinobacter* sp. は海洋性の細菌である。しかしながら特定の菌属が優占せず、多様性に富んでいた (図1)。特にねずみ池においては、未知のクローンが 48% を占めていた。一方高塩分濃度の下層は塩分濃度が 1.65-5.1% で幅がある。下層の細菌群集構造は上層に比べてより未知の菌属の割合が多かった。特に子鉢池とねずみ池においては約 60% が未知の菌属で占めら

れていた。さらに同定された菌属も数多く出現し、多様性に富んでいることが明らかとなった。

図 1. Bacterial community structure in salt lakes			
Depth	Closest identified relative	Similarity (%)	Number of clones
Kobati	Uncultured bacterium clone ARKDM5-58	97.3-98.8	9
	Roseobacter sp. SL25	98.7-99.1	6
	Uncultured Flavobacteriaceae bacterium clone LA1-B21N	98.0-98.2	3
	Bacterium DG948	99.4	2
	Uncultured bacterium clone SH_S2	98.6-98.7	2
	Others	97.6-98.5	3
	Unidentified		9
	Others	97.3-99.9	8
	Unidentified		18
Arisa	Roseobacter sp. SL25	94.3-99.2	8
	Psychroflexus torquis	96.7-97.7	2
	Marinobacter lipolyticus	96.1-99.0	2
	Marinospirillum sp.	96.8-97	2
	Others	95.3-99.9	10
	Unidentified		3
	Leptolyngbya antarctica ANT-FIRELIGHT.1	99.6-100	5
	Uncultured Arcobacter sp. clone DS172	98.0-98.7	5
	Flavobacterium micromadi strain LMG 21919	98.2-99.5	4
	Roseobacter sp. SL25	96.7-99.0	3
Nezumi	Others	94.5-100	6
	Unidentified		4
	Marinobacter sp.	96.2-99.1	6
	Roseobacter sp. SL25	96.3-99.0	2
	Uncultured Flavobacteriaceae bacterium clone LA1-B21N	97.3-98.1	2
	Marinospirillum sp. vlc_Sn-red	97.1	2
	others	95.7-97.1	9
	Unidentified		19
	Uncultured bacterium clone LAgut-16S-P13	96.1-97.3	3
	Others	95.1-97.9	12
	Unidentified		22

2) 淡水湖の細菌群集構造解析

ラングホブデのぬるめ池、スカルプスネスの地蔵池、菩薩池、如来池、仏池、親子池、孫池の細菌群集構造解析を行った。データベース解析からはすべての淡水湖において *Thiomicrospira* sp. が優占属となり全クロンの 48-86% を占めていた。*Thiomicrospira* sp. は北極や南極の海洋とアメリカのマクナード基地周辺の滝に生息する。一方、塩湖にも出現した

図 2. Bacterial community structure in freshwater lakes				
Depth	Closest identified relative	Similarity (%)	Number of clones	
Jizou	2 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	99.1-99.6	18
	Uncultured <i>Flavobacteriaceae</i> bacterium clone LA1-B21N	98.2	1	
	<i>Halanaerobium</i> sp. M2	97.4	1	
	Uncultured organism clone ctg_CGOAB20	97.7	1	
Bosatsu	2 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	98.3-99.6	17
	Uncultured <i>Flavobacteriaceae</i> bacterium clone LA1-B21N	97.9	2	
	<i>Marinospirillum</i> sp. vlc_Sn-red	97.2	1	
	Uncultured epsilon proteobacterium clone 33-PA8B00	96.5	1	
	Unidentified		1	
Nyorai	3 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	99.1-99.6	25
	Uncultured <i>Flavobacteriaceae</i> bacterium clone LA1-B21N	97.8-98.2	4	
	Uncultured bacterium clone TFP20L09	98.8	1	
	<i>Marinospirillum</i> sp. vlc_Sn-red	96.9	1	
	Uncultured alpha proteobacterium clone LC1-25	96.4	1	
Hotoke	2 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	98.8-99.6	24
	Uncultured <i>Flavobacteriaceae</i> bacterium clone LA1-B21N	97.9-98.2	4	
	<i>Roseobacter</i> sp. SL25	99.0	1	
	Unidentified		2	
Oyako	2 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	98.3-99.6	20
	<i>Marinospirillum</i> sp. vlc_Sn-red	96.9-97.3	6	
	Uncultured <i>Flavobacteriaceae</i> bacterium clone LA1-B21N	97.2-98.2	5	
	Uncultured bacterium clone Cc106	98.9	1	
Mago	14.5 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	98.9-99.6	26
	Uncultured <i>Flavobacteriaceae</i> bacterium clone LA1-B21N	98.1-98.2	2	
	<i>Roseobacter</i> sp. SL25	99	1	
	Uncultured bacterium clone Cc106	99	1	
	<i>Marinobacter</i> sp. Aplumel.1727a	98.5	1	
	<i>Halanaerobium</i> sp. M2	97.9	1	
Namazu	0.5 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	97.9-99.6	17
	<i>Marinospirillum</i> sp. vlc_Sn-red	96.2-97.2	5	
	<i>Halomonas</i> sp. SYO J71	95.8-96.8	2	
	Uncultured <i>Flavobacteriaceae</i> bacterium clone LA1-B21N	98.1	1	
Nurume	3 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	98.6-99.6	16
	Others	97.1-99.4	6	
	Unidentified		2	
	14.5 m	<i>Thiomicrospira</i> sp. AD03	99.3-99.7	12
	<i>Marinobacter</i> sp.	99.0-99.7	3	
<i>Roseobacter</i> sp. SL25	98.9-99.0	2		
Others	97.7-99.0	3		
	Unidentified		5	

uncultured *Flavobacteriaceae*、*Roseobacter* sp.、*Marinospirillum* sp.などの菌属も数は少ないながら共通に出現した。この結果は海水由来の細菌属が淡水に変化した後でも生息し続けていることが示唆された。しかしながら、その出現頻度は低く、*Thiomicrospira* sp.が優占する単純な細菌群集構造を形成していた。淡水湖と塩湖には過剰に酸素が存在することから、これらの細菌群集構造の違いは塩分濃度の違いが原因であることが考えられた。

3) 塩湖と淡水湖に出現する細菌属の系統解析

淡水湖と塩湖に出現する細菌属の塩基配列を用いて両池に出現する細菌の系統の違いを調べた。淡水湖のみに出現した *Thiomicrospira* sp. は塩

湖と淡水湖に共通に出現する *Marinospirillum* sp.や *Marinobacter* sp.に近縁であった。また、塩湖にのみ出現した細菌属はそれ自身を含む単独のクレードに分類され、しかも未培養クローンとして登録されているものが大半であった。このことはこれらの細菌が現在までに培養分離されていない細菌種であるか、もしくは氷河期後に大陸が上昇し取り残された細菌がそのまま南極湖沼において生き続けてきた古い細菌種である可能性も考えられる。

以上の結果は夏の時期の細菌群集構造を解析したものである。今後は氷で湖沼表面が覆われる時期から開氷までの期間の細菌群集構造の変化を調べることで、細菌群集の変化と物質循環に関する研究の端緒となることが期待できる。

[参考文献]

- 1) Matsuzaki, M., Kubota, K., Ban, S., Imura, S., Kunugi, M., and Satoh, T.; Dimethyl sulfoxide-respiring bacteria in Suribati Ike, a hypersaline lake, in Antarctica and the marine environment, *Polar Bioscience*, Vol. 20, p73-p82.

[研究発表]

- 1) Kudoh, S., Tanabe, Y., Matsuzaki, M. and Imura, S. ; In situ photochemical activity of the phytobenthic communities in two Antarctic lakes. (2009) *Polar Biol.*, Vol.,32, No.11, p1617-p1627.
- 2) Kimura, S., Ban, S., Imura, S., Kudoh, S. and Matsuzaki, M.; Limnological characteristics of vertical structure in the lakes around Syowa Oasis, East Antarctica. (2010) *Polar Science*, Vol., 3, p262-p271.

昭和基地周辺における土壌藻類および 土壌微生物を用いた環境モニタリングの実施

◎大谷修司 島根大学教育学部・教授
巢山弘介 島根大学生物資源科学部・准教授
(国立極地研究所)
神田啓史 教授
平成 19 年～平成 21 年 (3 か年)

[研究成果]

はじめに

大谷と巢山は 41 次夏隊に参加し、昭和基地周辺の土壌藻類の種組成に新たに土壌微生物群集構造を加えた土壌環境のモニタリングを行うために 8 定点を定めた (大谷他 2000)。平成 13 年から平成 18 年の共同研究ではモニタリングが効率よく行えるように土壌藻類の生物指標種や人間の影響のある地点とその他の地点における微生物群集の特徴についても検討を加えた (大谷・巢山 2003, 2007)。平成 19 年から 21 年度の共同研究では、それらのモニタリングを継続し実施した。また、これまでのモニタリングにおいて南極の土壌中でもセルロースが分解されることが示されたが、その分解微生物については不明な点が多いことから、今回、土壌から微生物を分離し、その性質について検討した。

材料および方法

1) 土壌藻類は、昭和基地近くの 4 つのモニタリング地点 (S1～S4) から JARE45, 46, 49 によって採集された土壌試料を用いて、種組成の調査を行った。土壌藻類の培養には BBM 寒天培地を用い、15℃, 500～1500lux, 12 時間, 12 時間の明暗周期の条件で約 2 ヶ月培養を行なった。寒天培地上に出現した土壌藻類を柄付き針で取り出し、その形態を微分干渉顕微鏡 (オリンパス BX60) を用いて観察し、種の同定を行なった。

2) JARE41 によって設置された 8 個所のモニタリング定点のうち、比較的貧栄養な 3 地点 (S5、

S6、S7)、観測隊の活動により富栄養化している 2 地点 (S1 および S2)、アデリーペンギンの営巣によって富栄養化している 1 地点 (S8) を選定し、JARE45～JARE48 によって各地点から採取された後、冷凍されて持ち帰られた土壌の微生物群集構造をキノンプロファイル法で解析した。また、昭和基地周辺の土壌から希釈平板法によりセルロース分解微生物を分離し、様々な温度 (20～50℃) におけるセルラーゼ活性を調査し、標準的かつ著名なセルロース分解性糸状菌 (*Trichoderma reesei* JCM22676) と比較した。

結果及び考察

1) 土壌藻類の種組成

JARE45, 46, 49 採集試料の出現種は、これまでの出現傾向と類似しており、藍藻 *Phormidium* 属、緑藻 *Chlorella* 属、*Schizochlamydeella* 属、*Diplosphaera* 属、*Macrochloris* 属、*Prasiola* 属、*Raphidonema* 属、黄緑藻 *Xanthonema* 属、*Botrydiopsis* 属、*Heterococcus* 属、珪藻 *Navicula* 属などが検出されている。

緑藻 *Chlorella vulgaris* は 41 次隊では、昭和基地内の排水口付近、小便所付近からのみ出現し、人間の影響の少ない地点からは出現しない傾向があった。JARE45, 46, 49 の試料でも依然として昭和基地近郊で出現する傾向が続いており、*Chlorella vulgaris* は人間活動の影響を受けて分布を拡大した可能性を指摘できる。

S2 では、JARE42 以降出現種が少ない傾向は

依然として続いており，JARE45，46，49 の出現種は0，1，3であった。

2) 土壤微生物群集構造解析

2007年採取土壤の微生物群集構造をキノンプロファイル法で解析したところ，観測隊の活動により富栄養化していた定点の一つ（S2）においては，2004年まではユビキノン類が比較的高い割合で検出され続け，優占するユビキノンの分子種（Q-8，Q-9，Q-10）は年毎に異なった。一方，S5 および S6 で割合が高かったメナキノン類のうち MK-8(H4)は検出されたが，MK-7(H4)は検出されなかった。しかし，2006 年からは Q-9 および Q-10 は検出されなくなり，Q-8 の割合も低下した上に MK-7(H4)が検出され始め，2007 年にはそれが優占キノン種となった。このことから，S2 では，かつては人間活動の影響による

多様な有機物の供給が富栄養化を招き，それにより β -， γ -または α -Proteobacteria が優占していたが，近年になって汚染防止の取り組みが功を奏した結果，Actinobacteria が優占するという昭和基地周辺本来の貧栄養な裸地土壤の群集構造にまで回復しつつある可能性が示唆された。

また，昭和基地周辺土壤からは，標準的かつ著名なセルロース分解性糸状菌（*Trichoderma reesei* JCM22676）に比べて低温下（20℃）でも分解活性が維持されるタイプのセルラーゼを有する糸状菌が分離され，それらが土壤中におけるセルロースの分解に寄与している可能性が示唆された。

引用文献

大谷修司・巢山弘介・神田啓史 2000 昭和基地周辺における土壤藻類および土壤微生物による環境モニタリング．南極資料 44：265-276.

大谷修司，巢山弘介 2003. 南極基地周辺における土壤藻類を用いた土壤環境評価方法の確立平成 13～14 年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書，6+58 頁

大谷修司，巢山弘介 2007. 昭和基地周辺における土壤藻類及び土壤微生物を用いた環境モニタリングの実施．平成 18 年度共同研究報告書，58-59 頁

研究発表

Tanabe, Y., Ohtani S., Kasamatsu, N., Fukuchi, M. and Kudoh, S. (2010)

Photophysiological responses of phytobenthic communities to the strong light and UV in Antarctic shallow lakes Polar Biol. 33:85- 100.

巢山弘介，大谷修司，井藤和人 2008. 南極固有の土壤生態系に及ぼす人為的影響の監視．平成 16 年度～平成 19 年度 科学研究費補助金（基盤研究（C））研究成果報告書，3+37 頁

島田哲男，巢山弘介，井藤和人 2009 . 南極昭和基地周辺土壤からのセルロース分解菌の分離とそのセルラーゼ活性．第 25 回日本微生物生態学会講演要旨集，59

共同研究報告書（終了）

南極における紫外線の生物に与える影響と、好冷性微生物を用いた機能性食品の研究（研究課題）

◎高橋哲也 島根大学教育学部・教授（研究代表者）
山本達之 島根大学生物資源科学部・教授（共同研究者）
麻生祐司 島根大学教育学部・准教授（共同研究者）
（国立極地研究所）
神田啓史 教授（担当教員）
平成 19 年～平成 21 年（3 か年）（研究期間）

【研究成果】

南極の真夏は、長時間の日照、雪の照り返し、低湿度、空気中の浮遊粉塵量が少ないことなどの理由から紫外線の照射量が多く、また極寒な地域であるために生物への様々な影響がある。本研究では、南極における紫外線の生物に与える影響と、好冷性微生物を用いた機能性食品の研究という 2 つの広範囲な生物に関する研究を実施した。

1. 南極における紫外線の生物に与える影響

真夏の南極は、一日の積算紫外線量が赤道直下よりも多いことが知られている。事実、日本南極地域観測隊ではサングラス、日焼け止めクリーム、紫外線カット剤配合リップクリームなどが隊員全員に支給され、夏作業にはそれらの使用は決して欠かすことができない。

太陽光線の約 6% は紫外線エネルギーであることが知られており、波長の短いものほどエネルギーが大きい。「しわ」、「しみ」といった皮膚障害や白内障の恐れもある¹⁾²⁾。美容的にも気になる皮膚の老化現象も、日光に含まれる紫外線による光老化が主な原因とされている³⁾。紫外線は皮膚の遺伝子にも傷つけ、さらには免疫力も低下させる⁴⁾。

南極ではヒト線維芽細胞を、2 次元培養法と再構成人工皮膚中で培養を行い、紫外線照射が線維芽細胞に及ぼす影響について調べた。ヒト皮膚線維芽細胞は、DMEM と牛血清に抗生物質を加えた通常の培養液によって CO₂ インキュベータ中で維持し、コンフルエントな状態を確認してから紫外線照射を行った。

照射する紫外線は、①昭和基地の環境科学棟内に光ファイバによって引き込んだ、南極の自然光、②人工的な UV-A と UV-B の光源から放射光の 2 種類の

光源を各々用いた。線維芽細胞から産生される MMP タンパク質の量が、紫外線照射によって変化するかどうか、ザイモグラフィ法によって調べた。人工光源による紫外線照射の影響について評価を行っているが、昭和基地で実施予定の南極の春にオゾンホールが発生している時期の紫外線照射の実験と合わせて評価を継続している。

再構成人工皮膚は、コラーゲンを模して架橋ゼラチンから合成し、線維芽細胞を 2 次元培養と同じ培養液を用いて培養した。再構成人工皮膚の SEM 写真には細胞サイズより大きめの多くの空洞が観察され、線維芽細胞はそこに定着すると推察された。線維芽細胞を含んだ再構成皮膚のヘマトキリン・エオジン染色写真からも、細胞が再構成人工皮膚中で定着している様子が観察された。

2. 好冷性微生物を用いた機能性食品の研究

南極大陸は低温で且つ貧栄養な極限環境である。また、そこに生息する動植物は他地域との交流も非常に少ないため、特異な微生物が分離培養できるものと期待される。そこで、それらの微生物資源の確保を目的に、南極リュツォホルム湾周辺域である東オングル島・昭和基地周辺、ラングホブデ袋浦、ラングホブデ雪鳥沢、オングルカルベン等の各地域に生息する動植物をその分離源として採取を行った。本研究では、特に乳酸菌、酢酸菌などの有用微生物に着目してその探索を行った。

動植物の採取地点としては、東オングル島のじゃがいも池、かもめ池、たらちね池、水汲み沢、蜂の巣山、ラングホブデ袋浦、ラングホブデ雪鳥沢であり、湖底植生、藍藻、緑藻、コケ類（オオハリガネゴケ等）などを採取した。また、東オングル島西浦

Table Bacterial Culture Results on Several Media

	Incubation temperature	MRS liquid medium	1/10 MRS liquid medium	GM liquid medium	SH liquid medium
Bottom Sediments of Lake (Tarachine Lake)	4℃	40 days, —	40 days, —	28 days, + + +	—
	30℃	6 days, —	6 days, —	—	—
Bottom Sediments of Lake (Skarvsnes, Naga Lake)	4℃	21 days, —	24 days, +	23 days, + + +	24 days, +
<i>Cyanothece major</i> (Kamome Lake)	4℃	40 days, —	40 days, —	40 days, + + +	—
	30℃	7 days, —	9 days, +	13 days, + + +	—
<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (No.2)	4℃	34 days, —	34 days, —	15 days, + + +	21 days, +
	30℃	34 days, —	34 days, —	—	—
<i>Ceratodon purpureus</i> (No.5-1)	4℃	12 days, + + +	12 days, + + +	12 days, + + +	18 days, +
<i>Trematomus bernacchii</i> (Boulenger)	4℃	28 days, +	28 days, +	28 days, +	—
	30℃	7 days, + + +	7 days, + + +	7 days, + + +	—
<i>Pagothenia borchgrevinkii</i> (Boulenger)	4℃	28 days, +	28 days, +	28 days, +	—
	30℃	7 days, + + +	7 days, + + +	7 days, + + +	—
Brittle Star	4℃	5 days, + + +	5 days, + + +	5 days, + + +	5 days, + + +
<i>Stereichinus neumayeri</i> (Meissner) No.1	4℃	5 days, +	5 days, +	5 days, +	5 days, +

●GM liquid medium: 0.5% Peptone, 0.1% Glucose, 0.25% Yeast extract, 50 ppm Cycloheximide

沖より、魚類（ショウワギス、ボウズハゲギス）、ヒトデ（蜘蛛ヒトデ、星形ヒトデ）、ウニも採取した。そして、昭和基地内にて4℃と30℃での低温培養を行うとともに、一部の試料は30%グリセロールを加えてそのままストックした。培養に関しては、MRS 培地、1/10MRS 培地、SH 培地及び、GM 培地を用いて行った。その結果、湖底植生からは GM 培地のみに生育が確認された。藻類、コケ類からは、一部ではあるが MRS 培地を含む全ての培地での生育が

確認された（1～2 週間の培養）。その他、魚類の腸内からも MRS 培地での生育が確認できた。

それらは、30%グリセロールを加えて液体窒素保管で持ち帰るとともに、一部のサンプルについては、そのまま4℃にて培養しながら日本に持ち帰った。現在、その分析を行っており、生化学的性質の解析など、菌種の同定などを行っている。

[参考文献]

- 1) T. D. Tenkate, *J. Environ. Health*, **61**, 2, 9-15 (1998).
- 2) A. J. Swerdlow, *Radiat. Prot. Dosim.*, **91**, 1/3, 19-23 (2000).
- 3) K. Matsunaga, *Radiation Biology Research Communications*, **33**, 3, p.282-295 (1998).
- 4) A. Morita, A. Maeda, *Jpn. J. Dermatol.*, **118**, 9, p.1683-1689 (2008).

[研究発表]

1. 高橋哲也, 田中啓友, 服部俊治, 入江伸吉, 工藤栄, 伊村智, 神田啓史: コラーゲン人工皮膚を用いた紫外線カット素材の紫外線防御評価, 繊維学会誌, 第65巻, 第12号, 344-350頁 (2009)
2. 高橋哲也, 山本達之, 笠井稚子, 近藤哲男, 田中啓友, 服部俊治, 入江伸吉, 工藤栄, 伊村智, 神田啓史: 南極における紫外線カット素材のコラーゲン人工皮膚への防御効果, 繊維学会誌, 第65巻, 第12号, 351-358頁 (2009)
3. Tatsuyuki Yamamoto, Naoki Murakami, Keisuke Yoshikiyo, Tetsuya Takahashi and Naoyuki Yamamoto: A Raman Scattering and FT-IR Spectroscopic Study on the Effect of the Solar Radiation in Antarctica on Bovine Cornea, *Journal of Molecular Structure*, No.963, pp. 183-187 (2010)

南極のラン藻類を中心とした湖底の藻類群集の光合成に関する研究

菓子野康浩	兵庫県立大学理学部・准教授	(研究代表者)
佐藤和彦	兵庫県立大学理学部・教授	(共同研究者)
原慶明	山形大学理学部・教授	(共同研究者)
(国立極地研究所)		
工藤栄	准教授	(担当教員)
平成 19 年～平成 21 年 (3 か年)		(研究期間)

[研究成果]

昭和基地周辺には様々な規模や水質の湖沼が確認されている。塩濃度の比較的低い塩湖や淡水湖ではラン藻マットが発達している。また、珪藻や緑藻、さらにコケ植物が混在している実態が、近年明らかにされてきた。湖水は一般に貧栄養であり、そのため高い透明度を保っている。このような環境は、温暖域の湖底とは全く異なるものである。これら光合成生物の光合成特性を分析し、特殊な環境にいかにして光合成機構を適応させてきたのかを明らかにすることは、湖底の生態系を解明するために是非とも必要なことである。

本研究の進行に合わせ、研究協力者である田邊優貴子博士は、南極大陸の中で繁栄を成し遂げた藻類の群集としての適応戦略を光生理・生態学的観点から解明することを目指し、湖底藻類の光合成特性と保持色素組成の応答を南極に於いて解析した。その結果、藻類群集が群集内における保持色素量を鉛直方向の濃度勾配を形成していること、さらに、その色素類の光防御・光捕集・光制御という3つの機能を統合しつつも、光環境に応じて各作用の大きさを調整し、群集というひとつのシステムとして南極の湖底環境に応答していることを示した。このような応答機構を備えることにより、光を得ることが可能ではあっても、強光・強紫外線という非常に危険な環境とも言える夏の短期間に、過剰な光の防御によって藻類群集は正の光合成を維持することができ、南極の湖底で大群落を築き上げていたと考えられる(参考文献 1, 2, 3)。

南極では田邊博士が上記のような成果を上げて行きつつあり、一方、湖底の藻類を健全な状態で日本に持ち帰るのには困難が伴った。そこで、南極の湖の近くで繁殖するラン藻類や緑藻類を日本に持ち帰り、光合成特性を解析した。南極大陸の光環境はいつぱんにはよく

知られていないが、夏季には昭和基地周辺でも東京の真夏と同程度の光強度となる。しかも、東京よりも強い紫外線が降り注ぐ。このような光環境下での光合成がどのように行われているかを分析した。材料は、陸生のラン藻 *Nostoc commune* と緑藻カワノリである。昭和基地近くの岩場から冷凍状態で持ち帰られたものを、低温で解凍し、光合成特性を測定した。この際、南極のラン藻類や緑藻類の特性をより明確にするために、日本産の陸生ラン藻(兵庫県立大学のキャンパスで採取した陸生のラン色細菌 *Nostoc commune*)と比較検討した。このことにより、南極の藻類の光合成特性の一部を浮き彫りにすることが可能となると考えられる。

光合成特性を非破壊的にパルス変調蛍光分光法で測定した。昭和基地周辺の光合成生物(緑藻およびラン藻)の最大光合成活性は、意外にも20度前後と比較的高温であり、常温性(日本産)のものより若干低い程度であった。しかし、低温域は、常温性(日本産)のものは活性を大きく失うのに対し、昭和基地周辺からの光合成生物は0度程度の温度でも比較的高い活性を保持していた。このような特性が、南極の低温環境での光合成的増殖を可能にしているということが明らかとなった。また、昭和基地周辺からの光合成生物は常温性のものよりも強光下で高い活性を示し、南極の強光下で生育していることを反映しているものと考えられる。南極で採取されたラン藻は、兵庫県立大学大学キャンパスで採取されたものと比較すると、紫外線吸収物質をより多く含んでいた。強い紫外線が降り注ぐ南極の環境に適応した結果であると考えられる。これらの特性は、南極の湖底で大群落を形成する光合成生物の特性とよく一致している。さらに緑藻は乾燥状態からは速やかに光合成活性が回復した。これらの性質により、乾燥が続く南極の

低温・強光環境下での光合成的増殖を可能にしているということが明らかとなった。また、南極のラン藻では、系 I に対する系 II の割合が高くなっていたことも特筆すべき特徴である。

これらの解析に並行して、好冷性微細藻類の刻々と光環境が変化する自然環境下における光合成特性を詳らかにするために、サロマ湖のアイスアルジーの光環境応答機構の解析を進めた。アイスアルジーは、サロマ湖や、北極圏・南極圏などの季節海氷域では、海氷底部を濃い茶色に染めるほど増殖し、極域の生態系を支えるほどの光合成活動を行っている。冬季の北海道サロマ湖で、海氷底部からアイスアルジーを採取した。自然環境下では、太陽の動きに応じて光強度が徐々に、一日を通じて変化する。採取は、そのような光条件(太陽高度)の変化を考慮し、午前 9 時、午前 11 時、午後 2 時、午後 5 時に行った。そしてその場で、Pulse Amplitude Modulation (PAM) 法により非破壊的に光合成特性を分析し、実験室に於いて HPLC により、色素組成を分析した。

その結果、最大光合成活性は、朝夕は低いが、

[参考文献]

1. Tanabe Y, Kudoh S, Imura S, Fukuchi M (2008) Phytoplankton blooms under dim and cold conditions in freshwater lakes of East Antarctica. *Polar Biol.* **31**:199-208.
2. Tanabe Y, Ohtani S, Kasamatsu N, Fukuchi M & Kudoh S (2009) Photophysiological responses of phytobenthic communities to the strong light and UV in Antarctic shallow lakes. *Polar Biol.* **33**: 85-100.
3. Kudoh S, Tanabe Y, Matsuzaki M & Imura S (2010) In situ photochemical activity of the phytobenthic communities in two Antarctic lakes *Polar Biol.* **32**: 1617-1627.

[研究発表]

1. Kosugi M, Katashima Y, Aikawa S, Tanabe Y, Kudoh S, Kashino Y, Koike H & Satoh K (2009) Comparative study on the photosynthetic properties of *Prasiola* (Chlorophyceae) and *Nostoc* (Cyanophyceae) from Antarctic and non-Antarctic sites. *J Phycol*, *in press*.
2. Nagao R, Tomo T, Noguchi E, Nakajima S, Suzuki T, Okumura A, Kashino Y, Mimuro M, Ikeuchi M & Enami I (2009) Purification and characterization of a stable oxygen-evolving Photosystem II complex from a marine centric diatom, *Chaetoceros gracilis*. *Biochim Biophys Acta*: *in press*.
3. Aikawa S, Hattori H, Gomi Y, Watanabe K, Kudoh S, Kashino Y & Satoh K (2009) Diel tuning of photosynthetic systems in ice algae at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan. *Polar Sci* **3**: 57-72.
4. Ikeda Y, Komura M, Watanabe M, Minami C, Koike H, Itoh S, Kashino Y & Satoh K (2008) Photosystem I complexes associated with fucoxanthin-chlorophyll-binding proteins from a marine centric diatom, *Chaetoceros gracilis*. *Biochim Biophys Acta* **1777**: 351-361.
5. Nagao R, Ishii A, Tada O, Suzuki T, Dohmae N, Okumura A, Iwai M, Takahashi T, Kashino Y & Enami I (2007) Isolation and characterization of oxygen-evolving thylakoid membranes and Photosystem II particles from a marine diatom *Chaetoceros gracilis*. *Biochim Biophys Acta* **1767**: 1353-1362.

光強度が強くなる日中には上昇していた。また、過度の光は光合成系に損傷を与えるが、そのような強光から光合成系を保護するシステムがほとんどの光合成生物に備わっている。その保護機構の最大活性は、朝夕は小さいが、日中には高くなっていた。光合成活性や保護機構の活性が光強度に応じて変化するのとは当然であるが、本研究では、その最大活性、つまり能力自体が光強度の変化に合わせて、巧妙に調節されていることが明らかとなった。また、ほとんどの光合成生物では、光強度が高いお昼頃に「昼寝現象」と呼ばれる光合成の活性低下が起こることが知られている。しかし、そのような「昼寝現象」は認められなかった。海氷下の低温・弱光下で生育する珪藻類の特徴的な適応であろうと考えられる。さらに、強光からの保護機構には、通常キサントフィル色素が関与するが、その保護機構の活性とキサントフィル色素の含量の間には明瞭な関係が見出されなかった。これらの光合成生物には、他の光合成生物とは異なる保護機構が存在する可能性がある。

(共同研究報告書 (終了))

海洋微生物の低温適応機構 (研究課題)

奥山英登志 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)

(国立極地研究所)

渡邊研太郎 教授

(担当教員)

平成19年～平成21年 (3か年)

(研究期間)

[研究成果]

はじめに

本研究では海洋微生物、特に海洋細菌の低温適応機構を細胞そのものの疎水性の面から検討した。既に筆者らはエイコサペンタエン酸 (EPA) とドコサヘキサエン酸 (DHA) の多価不飽和脂肪酸 (PUFA) をもつ細菌が親水性の活性酸素 (Reactive oxygen species; ROS) である過酸化水素に対して耐性をもつことを、大腸菌に多価不飽和脂肪酸合成酵素遺伝子 (*pfa*) を導入した系、及び生来 EPA をもつ海洋細菌 *Shewanella marinintestina* IK-1 (以下 IK-1 株) とその EPA 欠損株 (IK-1Δ8 株) を用いた系で明らかにしている (参考文献 1-3)。

EPA も DHA も長鎖脂肪酸であり、細菌の主要脂肪酸であるパルミチン酸 (16:0) やパルミトオレイン (16:1) に比べて疎水度が高い。従って、長鎖脂肪酸を含む細胞膜、即ち細胞そのものの疎水性も、16:0 や 16:1 を持つものに比べて相対的に高いと考えられる。筆者らは上記の PUFA が示す抗酸化性が、PUFA をもつ細胞膜リン脂質二重層内に形成される疎水度の高い領域による親水性物質の透過阻害効果、即ち「膜遮蔽効果」(図 1 参照) と理解している (研究発表 5)。

もし、膜遮蔽効果仮説が正しいのであれば、1) 当該効果は膜透過性の親水性物質一般に適用できる、2) 疎水性物質に対しては逆に遮蔽効果を示さない、3) この効果を持つ細胞、即ち PUFA をもつ細胞は、持たない細胞に比べて疎水的である、4) PUFA を高いレベルでもつ細菌が好冷細菌であることを考えれば、膜遮蔽効果は細菌の低温適応の有用な手段と考えられる。本研究では IK-1 と IK-1Δ8 株を使い、上記の 1) から 4) の課題について検討した。

材料と方法

IK-1 と IK-1Δ8 は 3%NaCl を含む LB 培地を用い、特に断らない限り 20°C で振盪培養した。各種物質

の増殖阻害実験は 96 穴のマイクロタイタープレートを用いて行い、最低阻害濃度 (MIC) を求めた。親水性物質としては過酸化水素 (H_2O_2)、 H_2O_2 のアナログである *tert*-butyl hydroxyl peroxide (*t*-BHP)、及び抗生物質の ampicillin sodium (Amp), kanamycin sulphate (Kan), tetracycline hydrochloride (Tet), streptomycin sulphate (Str), 疎水性物質として *N,N'*-dicyclohexylcarbodiimide (DCCD) と *m*-chloro phenyl hydrazone (CCCP) を用いた。細胞の疎水性の度合いは BATH 法 (参考文献 4) で測定した。脂肪酸分析は細胞を直接メタノリシスし、脂肪酸メチルエステルを定法によりガスクロマトグラフィにより行った。

結果及び考察

まず、IK-1 株と IK-1Δ8 株の増殖に与える親水性阻害物質の効果を見た。IK-1 株の H_2O_2 と *t*-BHP に対する MIC はそれぞれ 100 μ M 及び 1 mM であった。一方、IK-1Δ8 株のそれは、それぞれ 10 μ M, 100 μ M であり、いずれも IK-1 株の方が ROS に対しては高い耐性を示した。

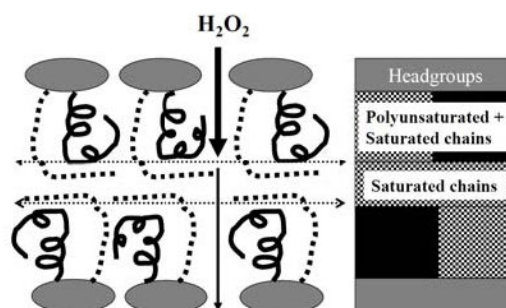


図 1. リン脂質二重層の膜遮蔽効果の模式図。

楕円はリン脂質の極性基、実線は PUFA、破線は中鎖脂肪酸、点線内が特に疎水度の高い領域を示す。細胞外部の H_2O_2 の透過 (拡散) が疎水領域により妨げられる。(研究発表 5 の図を改変)

次に、4種類の抗生物質 Amp, Kan, Tet, Str が二株の増殖に与える影響を見たが、何れの場合も IK-1株が IK-1Δ8 に比べて高い MIC を示した。今回用いた Amp, Kan, Tet, Str の抗生物質は全て塩として用いているために水（培地）に易溶であり、親水性物質として挙動したと考えられる。

一方、二種の疎水性物質（酸化リン酸の脱共役剤）である DCCD と CCCP のエタノール溶液を培養系に与えた場合は、親水物質の場合とは全く逆の結果を示し、IK-1 株の CCCP と DCCD に対する MIC はそれぞれ 1 μM 及び 1 mM であり、IK-1Δ8 株についてはそれぞれ 10 μM と 10 mM 以上の濃度であった。1%エタノールは株の増殖に影響を与えなかった。以上の結果を表 1 にまとめた。

BATHにより測定した IK-1 株と IK-1Δ8 株の細胞の疎水度はそれぞれ 94.1%及び 99.0%であり、IK-1 株の方が高い疎水度を示した。

これらの結果から、上記の 1) から 3) の課題については予想した結果が得られた。課題 4) についてはまだ確定できないが、好冷細菌の EPA（及び DHA）含量は培養温度が低下するに伴い増加するので、結果的に細胞の疎水度は上がると考えられる。PUFA を合成する好冷菌は超長鎖の多価不飽和炭水

素（PUHC）を持つが、筆者らはその構造を決定した。好冷性海洋細菌が PUFA と PUHC の含量を増して、細胞の疎水度を上げることが低温・海洋という条件でどのような意味があるかは依然として不明である。今後、好冷細菌の生態的な側面から PUFA 及び PUHC の存在意義を検討する必要がある

表 1. IK-1 株と IK-1Δ8 株の増殖に及ぼす各種物質の影響（最低阻害濃度（MIC））（研究発表 2 の表を改変）

		MICs	
		IK-1 株	IK-Δ8 株
ROS			
H ₂ O ₂	水	100 μM	10 μM
t-BHP	水	1 mM	100 μM
抗生物質			
Amp	水	1000 μg mL ⁻¹	500 μg mL ⁻¹
Kan	水	250 μg mL ⁻¹	100 μg mL ⁻¹
Str	水	300 μg mL ⁻¹	150 μg mL ⁻¹
Tet	水	6 μg mL ⁻¹	3 μg mL ⁻¹
脱共役剤			
CCCP	1% エタノール	1 μM	10 μM
DCCD	1% エタノール	1 mM	> 10 mM

[参考文献]

- 1) Nishida T, Orikasa Y, Ito Y, Yu R, Yamada A, Watanabe K & Okuyama H (2006) *Escherichia coli* engineered to produce eicosapentaenoic acid becomes resistant against oxidative damages. FEBS Lett **580**: 2731–2735.
- 2) Nishida T, Orikasa Y, Watanabe K & Okuyama H (2006) The cell membrane-shielding function of eicosapentaenoic acid for *Escherichia coli* against exogenously added hydrogen peroxide. FEBS Lett **580**: 6690–6694.
- 3) Nishida T, Yano Y, Morita N & Okuyama H (2007) The antioxidative function of eicosapentaenoic acid in a marine bacterium, *Shewanella marinintestina* IK-1. FEBS Lett **581**: 4212–4216.
- 4) Rosenberg M, Gutnick D & Rosenberg E (1980) Adherence of bacteria to hydrocarbons: a simple method for measuring cell-surface hydrophobicity. FEMS Microbiol Lett **9**: 29–33.

[研究発表]

- 1) S. Sugihara, Y Orikasa, & H. Okuyama (2010). The highly expressed *Escherichia coli* *entD* gene complements the *pfaE*-deficient *pfa* genes responsible for the biosynthesis of long chain *n*-3 polyunsaturated fatty acids. FEMS Microbiol Lett Under submission.
- 2) T. Nishida, R. Hori, N. Morita and H. Okuyama (2010) Membrane eicosapentaenoic acid is involved in the hydrophobicity of bacterial cells and affects the entry of hydrophilic and hydrophobic compounds. FEMS Microbiol Lett In press.
- 3) S. Sugihara, R. Hori, H. Nakanowatari, Y. Orikasa, Y. Takada, I. Yumoto, N. Morita, Y. Yano, K. Watanabe & H. Okuyama (2010) Possible biosynthetic pathways for all *cis*-3,6,9,12,15,19,22,25,28-hentriacontanoic acid in bacteria. Lipids **45**: 167–177.
- 4) Y. Orikasa, M. Tanaka, S. Sugihara, R. Hori, T. Nishida, A. Ueno, N. Morita, Y. Yano, K. Yamamoto, A. Shibahara, H. Hayashi, Y. Yamada, A. Yamada, R. Yu, K. Watanabe & H. Okuyama (2009) *pfaB* products determine the molecular species produced in bacterial polyunsaturated fatty acid biosynthesis. FEMS Microbiol Lett **295**: 170–176
- 5) H. Okuyama, Y. Orikasa & N. Nishida (2008) Significance of antioxidative function of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in marine microorganisms. Appl Environ Microbiol **74**: 570–574.
- 6) S. Sugihara, Y. Orikasa, and H. Okuyama (2008) An EntD-like phosphopantetheinyl transferase gene from *Photobacterium profundum* SS9 complements *pfa* genes of *Moritella marina* strain MP-1 involved in biosynthesis of docosahexaenoic acid. Biotechnol Lett **30**: 411–414.

別紙：研究協力者一覧

杉原慎二（北海道大学大学院環境科学院修士課程学生）

堀竜二（北海道大学大学院環境科学院修士課程学生）

中野渡瞳（北海道大学大学院環境科学院修士課程学生）

折笠善丈（北海道大学大学院地球環境科学研究科博士課程学生：当時）

西田孝伸（北海道大学大学院地球環境科学研究科博士課程学生：当時）

上野晃生（北海道大学大学院地球環境科学研究科博士課程学生：当時）

田中美加（北海道大学大学院地球環境科学研究科研究補助員：当時）

高田泰弘（北海道大学）

森田直樹（産業技術総合研究所）

湯本勲（産業技術総合研究所）

矢野豊（水産総合研究センター）

渡部和郎（財団法人相模中央化学研究所：当時）

山田章子（財団法人相模中央化学研究所：当時）

湯玲子（財団法人相模中央化学研究所：当時）

山本公平（大阪府立大学）

芝原章（大阪府立大学）

林秀則（愛媛大学）

共同研究報告書（終了）

オホーツク海沿岸域における海氷形成過程と基礎生産動態に関する研究 （研究課題）

◎西野康人 東京農業大学生物産業学部・准教授 （研究代表者）
 谷口 旭 東京農業大学生物産業学部・教授（共同研究者）
 塩本明弘 東京農業大学生物産業学部・教授（共同研究者）
 朝隈康司 東京農業大学生物産業学部・講師（共同研究者）
 佐藤智希 東京農業大学生物産業学部・博士研究員（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 19 年～平成 21 年（3 か年） （研究期間）

【研究成果】

能取湖は北海道東部に位置するオホーツク海に面する海跡湖である。その湖口部はオホーツク海とつながり、潮汐により湖内の海水交換が行われる。また、大きな流入河川もないため、塩分は 33 psu 前後の値を示し、オホーツク海と同等である。この能取湖の中央部を調査地（水深約 20 m）として、H19-H21 年度に観測を実施した。

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

1) 海水中のクロロフィル濃度

調査期間中海水中のクロロフィル濃度は底層部で高い値を示した（図 1）。湖面が全面結氷して間も無い（1 週間程度）2 月上旬の海氷では底層部でもっともクロロフィル濃度が高く約 40 μ g/L であった（図 1）。2 月の中旬から下旬にかけては 150 μ g/L の値を示し、氷の成長にともないアイスアルジーが増殖している様子がうかがえた。一方、3 月になると全層でクロロフィル濃度が急激に減少し、融氷期にはアイスアルジーが海中に放出される様子が観測された（図 1）。

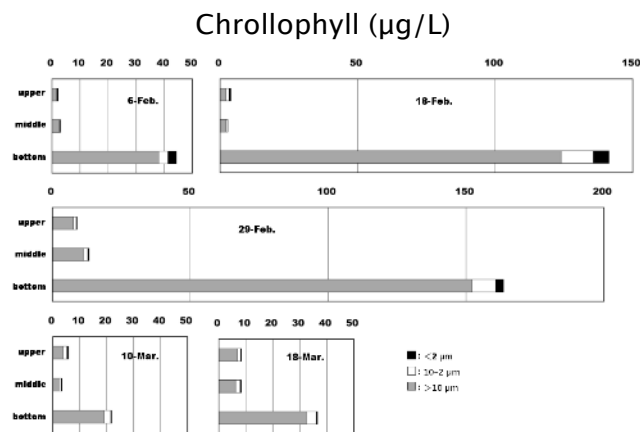


図 1. 海水の各部位におけるサイズ別クロロフィル量の推移

2) 水中のクロロフィル濃度

結氷後間も無い 2 月上旬の水中のクロロフィル濃度は全層で $1\mu\text{g/L}$ 以下の低い値を示した (図 2)。このとき、 $2\mu\text{m}$ 以下の小型の植物プランクトンが約 80%を占していた。2 月中旬になると表層でクロロフィルの増加がみられ、このときも $2\mu\text{m}$ 以下の小型の植物プランクトンが約 50%を占めていた。2 月下旬から 3 月になると $10\mu\text{m}$ 以上の植物プランクトンの増殖がみられるようになった。特に 3 月下旬は 5–10m 層にクロロフィル極大がみられ、 $10\mu\text{g/L}$ 近い値を示した (図 2)。この中層域 (5–10m) 域でのクロロフ

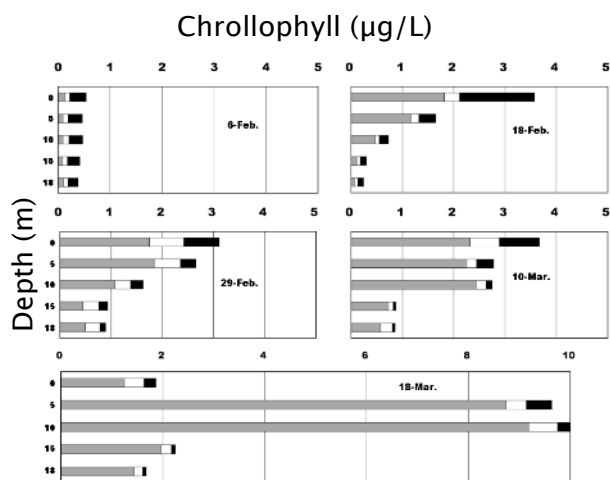


図2. 海氷下の水中の水深ごとのサイズ別クロロフィル量の推移

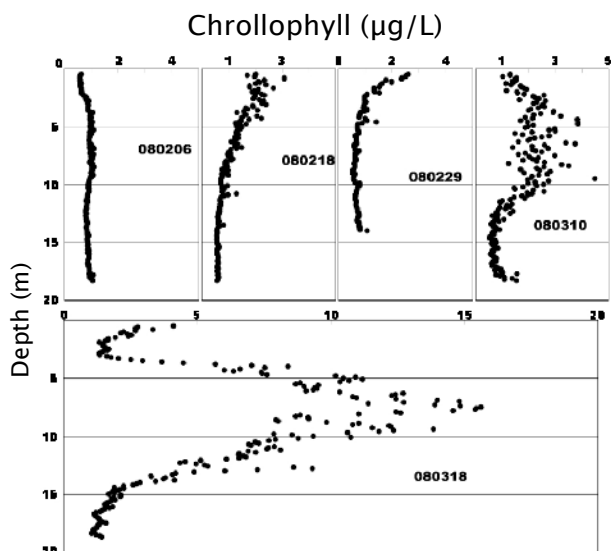


図 3. 氷下 CTD 測定によるクロロフィル a 濃度の鉛直分布の変動

イル極大が存在する現象は CTD 観測でも確認され (図 3)、7.5m 付近でクロロフィル極大が測定された (約 $15\mu\text{g/L}$)。水深約 5m 以浅と水深約 15m 以深では数 $\mu\text{g/L}$ であったことから、極端なクロロフィル濃度の増加がきわめて狭い層でおこったことが確認された。この海氷下のクロロフィル濃度の急激な増加は、海氷下で植物プランクトンが増加したものか、あるいはオホーツク海で増殖した植物プランクトンが流入してきたものか、本研究では明らかにできなかったが、海氷下あるいはオホーツク海沿岸では、3 月中旬にはブルームが起こっている可能性が示唆された。

[研究発表等]

- 1) Gomi, Y., A. Taniguchi & M. Fukuchi, (2007) Temporal and spatial variation of the phytoplankton assemblage in the eastern Indian Sector of the Southern Ocean in summer 2001/2002, *Polar Biology*, 30, 817-827,
- 2) Ichinomiya, M., M. Honda, H. Shimoda, K. Saito, T. Odate, M. Fukuchi & A. Taniguchi. (2007) Structure of the summer under fast ice microbial community near Syowa Station, eastern Antarctica., *Polar Biology*, Vol.,30, 1285–1293.
- 3) Nishino, Y., T. Satoh, .K. Asakuma, A. Shiimoto and A. Taniguchi, (2008) Seasonal and vertical distribution of phytoplankton and nutrients in Lagoon Notoroko on the coastal Okhotsk Sea., *International Symposium on Application of a Closed Experimental System to Modeling of ^{14}C Transfer in the Environment*, 196-201.
- 4) Kazuaki, T., T.Ono, I. Yasuda, S. Osafune, A.Shiimoto and H. Sugisaki (2009) Possible mechanisms of decadal-scale variation in PO_4 concentration in the western North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 36, L08606, doi:10.1029/2009GL037327.
- 5) 西野康人、佐藤智希、谷口旭. (2009)オホーツク沿岸能取湖の結氷期における生物生産におよぼす海氷の影響に関する研究-クロロフィルaと栄養塩の分布特性-. 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集,20

I . 共同研究報告(終了)

一般共同研究

(5) 極 地 工 学

極地における新エネルギー導入によるエネルギー対策に関する研究

◎ 木村 茂雄 神奈川工科大学工学部・教授
森 武昭 神奈川工科大学工学部・教授
坪井 一洋 茨城大学工学部・准教授

(国立極地研究所) 鮎川勝教授 菊池雅行助教
平成19年～平成21年(3か年)

【研究成果】

1. 緒言

本研究では、南極地域における、太陽光や風力といった自然エネルギーの利用の効率化を図るべく、要素技術の確立を目的とした。

2. 研究成果

2-1. 太陽光発電パネルの最適設置解析コードの開発

暖期間には日射強度が高いため太陽光発電も有効なエネルギー源となりえる。このため、すでに昭和基地には総計55kWの太陽光発電パネル(Photovoltaic Panel: パネルと略記)が装備されている。パネルの開発は目覚ましい進歩を遂げているが、それでも市販レベルでのパネルのエネルギー変換効率は10数%に過ぎない。従って、利用面での効率向上には、負荷等の変動に関わりなく最大電力を出力する制御方式の検討と設置周辺環境を考慮した年間発電量を最大化しえる設置方法の検討の蓋然性が高い。本研究では、後者に着目し、パネルの最適設置角を求める計算コードを開発した。極域においては、雪面のアルベドが高い。パネルの設置においては一般に南中時の方位と設置場所の緯度をもって最適設置角としている。開発した計算コードでは、日射を、1. 直達、2. 天空、3. 反射の3成分に分け、それぞれ提案式をもって表現でき、上述の雪面での反射による日射を忠実に再現しえる。また、当該計算コードではパネル周辺の構造物(山や丘といった地形、ビルなどの建築物、データを完備すれば電柱や照明用の塔も可)の影の影響を評価しつつ、年間での発電量最大を図りえる設置角の評価も可能である。本計算コードの適用として、研究者の所属する機関が在する神奈川県厚木市の駅前商店街に設置された一連の太陽光パネルについて検討を行った。結果からは、指示書に記載された設置法とおりの設置例は10%未満であり、極端に偏して設置されたパネルでは、最適に設置することで年間に受ける日射を約44%増加させることが可能となることが判明した[成果1,2]。

他方、昭和基地における太陽光発電施設では、飛散物(小石、氷片等と推定)の衝突によるパネルの損傷が多数報告されている。パネル設置法の改良、パネル表面に保護膜を設けるなどすることで対策となしえようが、いずれも本研究で開発された発電量を最大化する手法を適用することで、パネル群の最適な配置としえる。今後の課題として取り組みたい。研究者は既にシミュレータを準備し、飛散物対策の検討に入らんとしている。

2-2. 新規風力タービンの選定と検証

将来を見据えた風力利用の観点から、当該研究に関わ

る筆者らも参加しているエネルギーWorking Groupによって次期の風力タービンの選定がなされた。既に実績を有するAustraliaの基地とは異なり、大型資材の陸揚げの可能性、輸送、昭和基地で利用可能な重機類の仕様から鑑み、利用しえる風力タービンの規模は数十kW程度に制限される。しかしながら、この規模は南極の基地という特殊事情からは、一定の規模の発電量を複数で担うことにより、1台のタービンの不具合の発生時にもその影響を最低限に抑えることができるという利点にもつながる。一般に風力タービンは相当に実績のある場合においても口頃の保守点検が欠かさずになされることが要求されることから発電機や制御機器を風力タービン下部に設置しえる日本飛行機(株)製の垂直軸型タービンが決定された[成果3,4]。

風力利用に際しては風の観測が重要となる。低温下の期間が極めて長い昭和基地における安定した風の観測に対しては、筆者らのこれまでの経験から、風力タービンで用いられる風向風速計にも低温、飛散雪氷粒子の影響を考慮した対策が肝要であろうと判断される。そこで、寒冷環境下での風観測に関して予想される問題点の指摘と対策に関して検討を加えた[成果4-16]。さらに、着氷雪の検知に必要な機器に関して着氷雪風洞試験を実施することで既存の機器の利用可否に関して検討を加えた。[成果17-19]

極域観測系(南極観測センター、設営業務)によって選定された風力タービンの国内試験地を決定し、試験を開始した。試験地は秋田県にかほ市の仁賀保高原とし、2009年3月に試験を開始した(図1、2参照)。極地研と現地とを電話回線で接続してデータを転送しえるシステムを構築し、データ採取を開始した。当初風力タービン本体、通信施設に問題が発生したため、要素の改修・改良に努め、結果データ取得が可能となった。



図1. 風力タービン国内試験地点

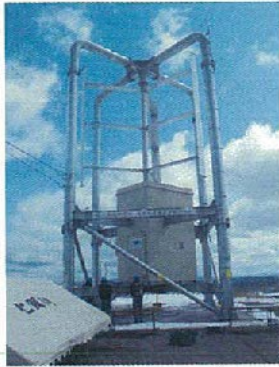


図 2. 風力タービン
(日本飛行機社製垂直軸型 NWT A1-20)

図 3 に風速に対する出力を示す。垂直軸型の風力タービンでは空力特性を変えることによる出力制御はできない。そこで、強風時には負荷を変える事で運転モードを切り替えて稼働させる。この実績を元に、実際の昭和基地で観測された風速出現頻度を用いて年間の期待発電量を求めると、設計時に目標とした 18MW を達成しえることが判明した。

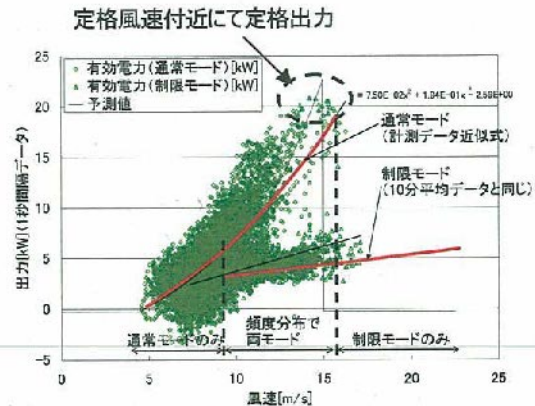


図 3. 風力タービン発電出力

南極域での効率的な自然エネルギー利用のための基礎技術の確立を目的として、太陽光発電パネルの最適設置と風力タービンの安定的稼働に関して検討を加えた。実際の昭和基地での利用にはいたってはおらないが、今後の研究の成果を反映させていく所存である。

3. 結言

研究成果の発表 (発表予定を含む)

1. 山田修路, 木村茂雄他: 周囲の遮蔽物の影響を考慮した Photovoltaic (PV) パネルの最適傾斜角について, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2008, pp. 421-424
2. 木村茂雄他 4 名: 厚木市における自然エネルギー利用: なかちょう大通り商店街に設置された太陽光発電パネルに関する考察、環境対応型太陽エネルギー利用シンポジウム 2010 in 厚木, 23.01.2010 5 pages
3. 木村茂雄他 3 名: 昭和基地での稼働を目的とした風力発電装置, 第 6 回南極設営シンポジウム, 05.06.2009
4. S. Kimura et al.: Effect of snowing on wind speed measurement in view of wind power production, 4th International Solar Energy Society Conference, 27 Jun - 02 Jul, 2010 in Yokohama
5. 木村茂雄他 4 名: 寒冷環境における着氷雪対策に関する考察 -観測機器における着氷雪対策-, 第 5 回南極設営シンポジウム, Jun., 2008
6. Shigeo Kimura: Wind turbines in a cold climate, Forum by Vestas, Nov., 2008
7. 森川浩司, 木村茂雄他: 寒冷地で発生する超音波風向風速計の問題, 雪氷研究大会, Sept., 2008, pp.195
8. 森川浩司, 木村茂雄他: 凍結による超音波風速計誤動作のメカニズム解明に関する研究, 寒地技術論文・報告集 Vol. 24, Nov., 2008, pp. 48-52
9. 木村茂雄他: 着氷雪による風計測上の問題, 第 55 回風に関するシンポジウム, Mar., 2009
10. 森川浩司, 木村茂雄他: アメダスデータを用いた着氷雪の風況解析に与える影響評価 - 風力発電への適用、日本雪氷学会 雪氷研究大会 (2009 札幌), Sept. 2009
11. 木村茂雄他: 寒冷環境下での風力利用に関する風速計測の問題, 寒地技術論文・報告集 Vol. 25, 2009, 査読論文として採用
12. 木村茂雄他: 降雪環境における風観測とその風力利用への影響, 第 31 回風力エネルギー利用シンポジウム, Nov. 2009 4pages
13. S. Kimura, et al.: A new surface coating for prevention of icing on airfoil, SAE2007-01-3315, SAE Aircraft & Engine Icing International Conference and Exhibition (Society of Automotive Engineers), 2007 7-pages
14. 木村茂雄他: 着氷防止塗料の開発と応用化技術に関する研究 寒地技術論文・報告集 査読論文 07-I-022 2007, pp.120-125
15. 小島徹也, 木村茂雄他: 加熱法による着氷防止策にあたえる表面性状改質の効果, 雪氷研究大会, Sept., 2008, pp.199
16. S. Kimura, et al.: Icephobic coating for prevention of secondary icing, Winterwind 2008, Norrköping, Sweden, Dec., 2008
17. S. Kimura, et al.: Calibration of the off-the-shelf ice detectors by icing wind tunnel test, COST727 Action, MC Meeting in Prague, 2008.06
18. 木村茂雄他: 着氷検知器の性能評価, 寒地技術論文・報告集 Vol.24, Nov., 2008, pp.53-57
19. S. Kimura, et al.: Evaluation of ice detecting sensors by icing wind tunnel test, Proceedings of 13th International Workshop on Atmospheric Icing on Structures, Andermatt, Switzerland, Sept. 2009, 9pages.

共同研究報告書（終了）

南極地域観測隊装備衣料の意匠性と機能性についての研究（研究課題）

◎ 大阪樟蔭女子大学学芸学部・教授	（研究代表者）伊豆原月絵
日本大学・名誉教授	（共同研究者）平山善吉
帝国繊維(株)・主任研究員	前 田 昭 夫
矢田工業(株)・研究員	成 田 淳 子
アートマン企画(株)・主任研究員	阿 部 昌 紀

（国立極地研究所）

極地設営工学 教授	（担当教員） 鮎 川 勝
極地工学 助 教	菊 池 雅 行
平成 19 年～平成 21 年（3 か年）	（研究期間）

【研究成果】

1. 緒言

2007 年 11 月に、国立極地研究所と伊豆原月絵が共同研究の成果として、意匠登録申請を行い、2009 年 10 月に南極観測隊ウェアの上衣、下衣、それぞれ 2 件の意匠登録が認められた。

本研究では、衣服内温度の調節、制電性機能による静電気の発生抑制など、極地の特殊環境に適した繊維材料、付属品（ファスナー、釦、マジックテープ、糸、紐、ニップルなど）を用いて、人間工学に基づいた労作性と機能性を考慮したデザイン（意匠）および構成を研究し極地に適した作業服を作成することを目的とした。

方法として 1，繊維材料と付属品の検討をおこない、その結果を基に、改良した試作品を作成した。2，極地にて、隊員の協力による着用実験とアンケート調査を行い検討した。3．低温室で試作品の機能性試験および手袋の着装試験を行った。

今後は、その低温室試験結果と極地での着用実験アンケートの結果から、さらに改良を重ねて、ウェアおよび衣料に関する成果を国立極地研究所との共同研究の成果として明らかにしていきたい。また、これらを通じて、南極地域観測隊のイメージアップと研究成果により、社会に貢献したい。

2. 研究成果

2-1. 人間工学的手法に基づく装備衣料の開発 -人間工学に基づいた衣服設計の理論-

衣服を設計する際には、運動・生理を考慮した機能性と感覚・心理による装飾性の二つに分けて配慮する必要がある。特殊環境の作業性衣料の場合は、主に安全のためにも機能性が重要である。

南極装備ウェアの開発では、筆者は、被服学の研究者として、また、衣服デザイナーとして、人体の静的形態（人間の解剖学的な筋肉、骨の構造による機能）と動的形態（動作による人体の部位の変化）を考慮し、作業活動に適した機能的な衣服を追及した結果、「座る・屈む」動作も多いことから、胴体部分は、「ゆとり量」を通常の 3 倍設計しジャケット丈も長くした。軽量で保温性があり、透湿防水性、

蒸散拡散性、帯電防止効果の機能が低い繊維を用い、軽量化に成功した。

中綿には、1 軽量、2 吸水拡散性、3 蒸散性、4 透湿性、5 保温性を考慮して選択し、活動中に急激に汗をかいた場合、図 1 に示したように運動により生じた体内の蒸気を素早く中綿内部に吸収し、中綿の広い範囲から蒸気を拡散させ、生地表面から素早く排出させるので、汗にならず冷えない。図 2 は、綿やポリエステルに比べ冷え感が低いことを示し、図 3 の原綿の吸湿能力は、シリカゲル、羊毛の約 3 倍以上、図 4 は、身体からの水分を吸収して発熱する能力は羽毛の約 4 倍であることを示している。

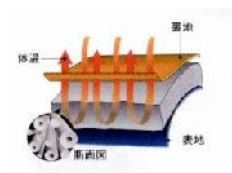


図1 中綿の繊維特性

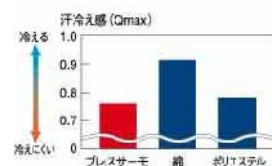


図2 中綿の汗冷え抑制性能



図7 南極で着装の開発ウェア

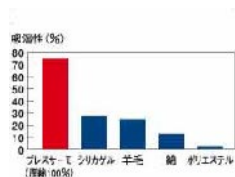


図3 原綿の吸湿能力図

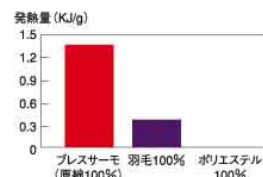


図4 吸湿による発熱性比較

図 2,3,4 は、ミズノ(株) プレスサーモ 資料より転載



図5 開発装備ウェア



図6 開発ウェア・サロペット

図6の開発ウェアの上衣の色彩は、切り替え部分の 패턴のパーツごとに色彩に変化をもたせ、ジャパングルーといわれる藍色を顔周りの肩と袖に用いて、日本人のアイデンティティーを表し、安全性のために誘目性の高い赤をポイントカラーにすることで、装飾的なデザインを構築した。

また、下衣のサロペットも同素材で制作した。

3 結言

開発ウェアは、意匠登録を認可され、国立極地研究所および大阪樟蔭女子大学と企業による産学協同事業としての成果となり、社会貢献を成しえた。

[参考文献]

- 『エクストリームウェア-究極の服をつくる技術-』見た目と機能を両立させた次世代南極服に本研究成果が掲載された、佐藤聡著, 技術評論社, p210-p 221. 平成 21 年 3 月 13 日

[研究発表]

- 『極地調査に適した機能的なウェア』第4回南極設営シンポジウム-極地でのエネルギー利用と環境保全, 建築・土木・装備-論文報告集 p161-p166, 平成 19 年 2 月
- 『南極地域観測隊の装備ウェア』, 洗濯の化学財, 団法人 洗濯化学協会, 通巻 208 号, No.53, 第1号 p42-p 48, 平成 20 年
- 『南極観測隊装備ウェアの開発』, Vol. 64, No.6, 平成 20 年 6 月, 繊維学会誌 繊維と工業, 平成 20 年 6 月 Vol. 64, No.6 p173-p177
- 『南極観測隊装備ウェアの研究開発』, 南極資料, Vol. 52, No.2, p399-p408, 平成 20 年 9 月
- 『南極観測事業における開発ウェアの機能性について』平成 19 年 6 月, 第4回南極設営シンポジウム-新エネルギー利用と環境保全-国立極地研究所
- 『安全, 健康, 持続可能社会を目指したファイバー材料・南極地域観測隊・装備ウェアのデザイン性と機能性』平成 19 年 12 月, 社団法人繊維学会主催, 関東支部講演会, 東京工業大学に於いて講演
- 『南極観測隊ウェア・装備の機能性とデザイン』社団法人繊維学会主催, 第 33 回関西繊維科学講座, 平成 20 年 12 月, p399-p408
- 『南極観測隊装備の開発研究について』第 6 回南極設営シンポジウム論文報告集, 国立極地研究所, 平成 21 年 10 月, p229-p261

共同研究報告書（終了）

南極における曝露繊維の表面特性変化機構の解明

◎奥野温子 武庫川女子大学生生活環境学部・教授

横山宏太郎 (独)農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター・専門員

吉田恭子 武庫川女子大学生生活環境学部・准教授

野田明日香 武庫川女子大学生生活環境学部・助手

中野由美子 武庫川女子大学生生活環境学部・助教

(国立極地研究所)

菊池雅行 助教

平成 19 年～平成 21 年（3 か年）

[研究成果]

1. はじめに

極寒地や高所のような特殊環境では、温和な自然環境において想像も出来ない厳しい状況が待ち受けている。特に近年、南極域でのフロンによるオゾン層の破壊は、有害紫外線である UV-B 量を増大させ、環境問題とともに人への影響の警告となっている。このような過酷な自然環境への対抗手段の一つとしての衣服は、身体の保護的機能の重大な役目を持ち、繊維素材劣化のメカニズムの解明は、紫外線防御はもちろん、風雪に耐える新機能をもつ繊維素材の開発の基礎となる。

著者らは、ルート旗として南極にさらされていたナイロン6布の表面が、温和な環境では見られない特殊な形態を示すことを報告してきた。そこで、本研究では、日本南極地域観測隊の協力のもと、昭和基地からドームふじに至る旅行ルート上（標高 1095m～3786mの間）に曝露されたナイロン6布、及び昭和基地に長期曝露をおこなった衣料繊維素材（ナイロン6、ポリエステル、アクリル、綿、毛、絹）について、試料の表面形態を中心に考察を行った。また、これらの原因を解明するために、南極域の夏季と、新潟県の 12 月から 2 月にかけての平均気温がほぼ一致していることから、新潟県上越市において同様の曝露を行って比較検討試料とした。更に、極寒地における繊維表面の特異な形態変化の原因を明らかにするため、実験室内において寒冷環境を想定し検討した。

2. 内陸での曝露試料の表面形態

Fig. 1は、昭和基地からドームふじに至る旅行ルート上の標高 1095m～3780mに設置されたナイロン6の赤旗で、約8ヶ月間経過後に回収されたもので、標高の順に回収された旗とその表面形態を示した。まず、標高の低い昭和基地よりでは、低気圧による強風と吹き下ろしのカタバ風による強風で繊維同士は激しくあおられ摩擦を繰り返し、その摩擦熱で融着している様子がみられ、試料の残存量も極めて少ない。一方、標高が 2000mを超え 2500m付近では低地に比べて試料の残存量も多く融着はみられない。一方、2800m～2900m付近では強風のためか繊維間に融着がみられる。3150m～3400m付近では表皮層が剥離し、ドームふじに近い 3740m付近では、試料はほぼ原形のまま残存しており、表面にはオリゴマーの生成が観察される。また、この付近では、繊維表面の剥離と融着が同時

にみられる。このような形態は、標高差はあるにしろ、紫外線によりダメージを受けた表皮は、吹きつける強風によって剥がされ、一層ずつ順次内部へと劣化が進行し、繊維径は同心円を描くように細くなると思われる。したがって、繊維強度の低下は少なく、温和な条件での繊維劣化と形態を異にしている。いずれにしても、形態変化の原因については単純な説明は困難であり、気候との関係について今後更に検討を行う必要はあるが、強烈な紫外線と強風の複合作用による形態変化に加え、熔融表面にみられるオリゴマーの生成など寒冷地における劣化現象として興味深いものである。

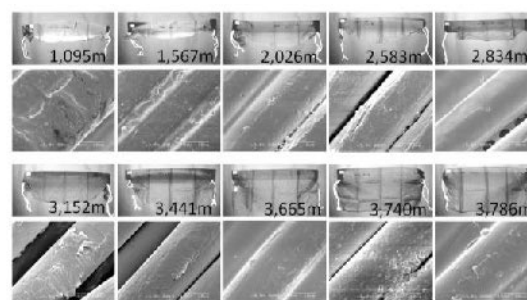


Fig.1 標高差による曝露試料の表面形態（ナイロン6布）

3. 長期曝露試料の表面形態

Fig. 2は、昭和基地において、繊維が破断されるまでの 232 日間の長期に渡って曝露された試料の表面形態である。ナイロン6及びポリエステルでは、82 日間の曝露で、表面にオリゴマーの生成がみられ、ナイロン6では 140 日、ポリエステルでは 202 日以降、曝露日数の増加とともに成長がみられる。また、綿、毛、絹繊維のいずれも 82 日間で表面に結晶状の物質の生成が観察され、特に絹では 140 日を経過したものに結晶状のもの成長がみられ、さらに 232 日を経過した各試料は、いずれも表皮層より剥離が進行して破断に至っている。一般に耐曝露性が低いと言われているナイロン6で、紫外線によるダメージを受けたスポットがみられるものの繊維の破断には至っておらず、耐曝露性にすぐれた性能をもつアクリルやポリエステル繊維に切断がみられることは、南極での強風により屈曲摩擦がくり返し行われたものと考えられる。

そこで、南極域の夏季と新潟県の冬季(12 月～2月)の平均気温がほぼ一致していることから新潟県上越市において同様の曝露を行い、Fig. 3に南極域と上越市、及び温暖な兵庫県

西宮市でいずれも約3ヶ月間曝露を行った試料布についての表面形態を示した。

これらにみられるように、特にナイロン6繊維では、南極域では表皮層の剥離がみられ、上越市での曝露では、表皮層の剥離とスポットが随所にみられるが、温暖な西宮市では、クレータ一状の突起が一定間隔で規則的に生じている。このように、環境差が繊維表面にもたらす影響は大きい。

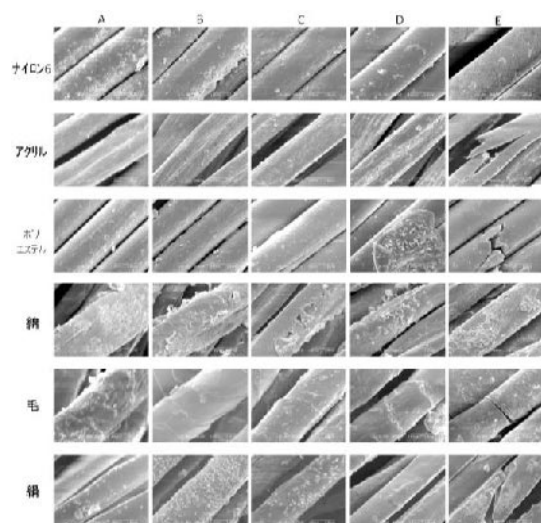


Fig.2 長期間曝露による表面形態の変化
A : 82 日、B : 140 日、C : 171 日
D : 202 日、E : 232 日

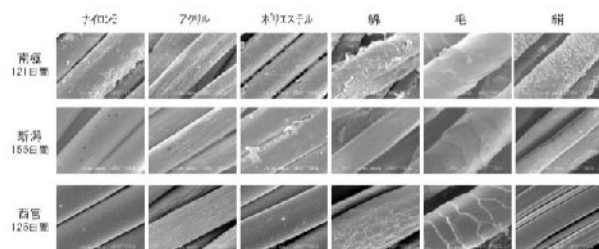


Fig.3 南極及び日本国内（上越市及び西宮市）における曝露試料の表面形態

4. 寒冷環境を想定して設置した試料表面の変化

南極域における繊維表面の特異な形態変化や結晶物の付着の要因は、水分、温度、雪、紫外線、強風などが考えられるため、それぞれの影響を分離できるように試料を設置し、表面形態の変化から要因の解明を試みた。Fig.4は、紫外線透過用アクリル板(2枚)に水、雪、風の侵入を完全に防ぐように試料を封じ込め、南極域及び西宮市にて曝露を行ったもので、紫外線の影響の評価を試みた。予想に反して、南極域で146日間、西宮市で219日間の曝露においては、いずれの繊維にも大きな変化はみられていない。そこで、 $-24^{\circ}\text{C} \sim -29^{\circ}\text{C}$ 、湿度46%の冷凍庫を低温環境とし、また、氷上を想定して、製氷機内に試料を設置して表面形態を観察しFig. 5に示した。試料は、ポリエステル袋で密封して氷や水に直接ふれないようにした状態と、直接設置したものとで比較をしたが、両者でそれほど大きな差はみられなかった。しかし、製氷機内に自然状態で設置した毛の表面に結晶状のものの生成が、ナイロンではオリゴマーの生成が確認され、結晶物の生成には、少なからず水分の影響が考えられる。また、水に浸したまま常温で暗所においた試料では、56日目位から綿ではフィブリルにそってクラックが、毛ではスケールの剥離とごくわずかな結晶状のものが観察された。

氷機内に試料を121日間設置して表面形態を観察しFig. 5に示した。試料は、ポリエステル袋で密封して氷や水に直接ふれないようにした状態と、直接設置したものとで比較をしたが、両者でそれほど大きな差はみられなかった。しかし、製氷機内に自然状態で設置した毛の表面に結晶状のものの生成が、ナイロンではオリゴマーの生成が確認され、結晶物の生成には、少なからず水分の影響が考えられる。また、水に浸したまま常温で暗所においた試料では、56日目位から綿ではフィブリルにそってクラックが、毛ではスケールの剥離とごくわずかな結晶状のものが観察された。

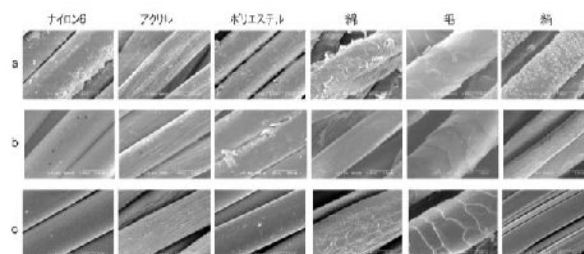


Fig.4 アクリル板を用いて試料を密封し紫外線の影響による表面形態の変化
a : 南極曝露（パネルなし）146 日
b : 南極曝露（パネルあり）146 日
c : 西宮曝露（パネルあり）219 日

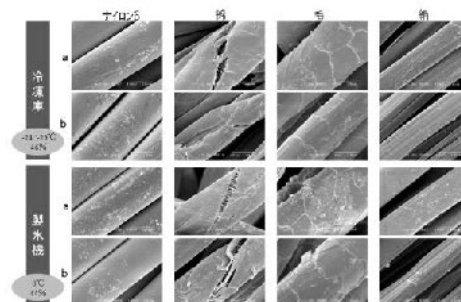


Fig.5 低温環境として冷凍庫内、氷上を想定して製氷機内に設置した試料の表面形態（設置日数121日）
a : 試料を直接設置
b : ポリエチレン袋に封入し密封状態で設置

5. まとめ

曝露試料の電子顕微鏡による表面形態変化から、南極域での厳しい気象条件に特有な形態変化が明らかとなり、特に天然繊維上に形成される板状結晶状のものが観察されるなど、興味を持たれるが、天然繊維であるために時にその形態は複雑をきわめ、原因の究明は模索段階である。今後は、これらの現象の解明と得られたデータを基に、表面加工によって極寒地においても快適な衣料素材の開発を試みる予定である。

南極において、試料の曝露にご協力いただきました日本南極地域観測隊の皆様に、心より感謝申し上げます。

- 1) T.Okuno, Y.Nakano, K.Yoshida, K.Yokoyama, M.Hamaguchi, K.Yano and M.Matsuo; Morphology and Mechanical Property of Nylon 6 Fibers in the Flags Exposed on the Route between Syowa Station and Dome Fuji in the Antarctic, Polymer Journal Vol.37, No.3. P.P.169-176(2005)
- 2) T.Okuno, A.Noda, K.Yoshida, K.Yokoyama and M.Matsuo; Morphology and Mechanical Property of Textile Fibers Exposed in the Antarctic, POLYCHAR World Forum on Advanced Materials(2006)
- 3) T.Okuno, K.Yoshida, Y.Nakano, K.Yokoyama, M.Matsuo; Surface Properties of Nylon 6 Textile Fiber Exposed in the Antarctic, 17th Bratislava International Conference on Macromolecules(2003)

Ⅱ. 研究集会報告

研究集会

(研究集会報告書)

研究課題名： 南大洋酸性化と海洋生態系変動に関する研究集会

開催日： 平成21年11月16日

開催場所： 情報・システム研究機構 国立極地研究所 6階

出席者： (別紙)「参加者一覧」のとおり

開催の目的：

南極観測第Ⅷ期計画で、重点研究観測のサブテーマとして採択された課題「南極海生態系の応答を通して探る地球環境変動」に関して、研究目的・観測内容等について共通理解を深める。また、現場観測のプラットフォームと想定される東京海洋大学「海鷹丸」の航海計画概要について検討する。

経過：

研究代表者・佐々木による議事進行で、「海の酸性化勉強会報告」(服部)、「無脊椎動物を用いた酸性化実験」(栗原)、「円石藻類を用いた酸性化実験」(芳村・服部)、「南極海の酸性化状況」(橋田)、「110°E線付近の海洋学」(飯田・高橋)が紹介された。また、第Ⅷ期計画として、「炭酸系物質の分布、変動観測」(吉川・橋田)、「表層係留系による測定項目、翼足類を用いた酸性化実験、殻の観察法」(佐々木)の概要紹介があった。さらに「海鷹丸」航海の概要について(茂木・小達)、及び今後の日程等について(小達)説明が行なわれた。

成果：

重点研究観測「南極海生態系の応答を通して探る地球環境変動」に関する国内外の最新の動向を知ることが出来た。また、重点研究観測の立案者及び「海鷹丸」を活用して実施予定の一般研究観測「南大洋観測システム」の関係者が一堂に集まり、観測の概要を紹介することができた。観測予定海域における観測点の配置等については、限られた観測時間で効率的な成果を得るために、重点研究観測の研究代表者である佐々木を中心に検討を加え、平成22年4月に予定されている専門部会までには確定させることとした。さらに、観測項目については、この集会後に計画を聴取し、重複項目の整理、観測分担体制、得られた観測データの扱いについて検討を行うこととした。平成22年度の第52次観測での具体的観測実施計画を作成する上で、有意義な集会であった。

(別紙)

参 加 者 一 覧

☐ 研究プロジェクト ☐ 一般共同研究 ☒ 研究集会		課題番号	1
研究課題名		南大洋酸性化と海洋生態系変動に関する研究集会	
氏名	所属	職	備考
所内	福地光男	国立極地研究所	教授
	小達恒夫	国立極地研究所	教授
	橋田 元	国立極地研究所	助教
	飯田高大	国立極地研究所	助教
	高橋邦夫	国立極地研究所	特任研究員
	野村大樹	国立極地研究所	特任研究員
小計	6 名		
所外	佐々木 洋	石巻専修大学・理工学部	教授
	吉川久幸	北海道大学大学院・環境科学院	教授
	服部 寛	東海大学(札幌校舎)・生物理工学部	教授
	谷村 篤	三重大学大学院・生物資源学研究科	教授
	芳村 毅	(財)電力中央研究所	主任研究員
	栗原晴子	琉球大学・理学部	助教
	茂木正人	東京海洋大学・海洋科学部	准教授
小計	7 名		
合計	13 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。

集 会 等 実 施 報 告 書

				※係記入欄	
☐ シンポジウム ☐ ワークショップ ☒ 研究集会 ☐ 会合 ☐ その他 いずれかを■にしてください。					
集会名	極地スカイラジオメータ観測の標準化に関する研究集会				
開催日時	2010年1月27日		開催場所	セミナー室(C301)	
概要	北極ニーオルスンおよび南極昭和基地で継続実施中のスカイラジオメータ観測はエアロゾルや雲の光学的性質を調べるために行われ、主にアジア域で展開されるSKYNET観測網で採用する観測モードや解析法に準拠している。そこで、本研究集会では、SKYNETを含む研究コミュニティでのデータの相互利用や共同研究を視野に入れ、SKYNETにおける諸問題についての現状報告や研究発表を行い、さらに、極地における長期的モニタリング観測として確立するため、最適な観測モードや解析方法の標準化、並びにそれに関連する現状の問題点について意見交換を行った。				
報告者 (担当者)	塩原匡貴				
所 内	氏名	所属		備考	
	塩原匡貴	気水圏			
	小計	1 名			
所 外	氏名	所属		※注	備考
	内山明博	気象研		大学院生 外国人	
	山崎明宏	気象研		大学院生 外国人	
	坂見智法	気象研		大学院生 外国人	
	青木一真	富山大		大学院生 外国人	
	久慈 誠	奈良女子大		大学院生 外国人	
	井上陽子	奈良女子大		大学院生 外国人	
	小林 拓	山梨大		大学院生 外国人	
	早坂忠裕	東北大		大学院生 外国人	
	萩原雄一朗	東北大		大学院生 外国人	
	高村民雄	千葉大		大学院生 外国人	
	カトリ・プラディーブ	千葉大		大学院生 外国人	ネパール
	小計	11 名			
合計 12 名			大学院生	1 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

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

○ 外国人の場合、備考欄に所属先の国名を記入してください。

○ 行が不足する場合、適宜追加してください。

研究課題名： 南極大気エアロゾル：これまでの観測結果の検討と今後の観測計画のための研究会

日時：2009 年 8 月 3 日 13:00～18:00、8 月 4 日 09:30～16:00

場所：極地研究所(立川) 総合研究棟3階セミナー室(C301)

参加者(敬称略・五十音順)

8 月 3 日 青山朋樹(堀場製作所、JARE49 冬)、浅野 比(山口東京理科大、JARE49 冬)、上田 紗也子(名大院・環境学)、長田和雄(名大院・環境学)、菊地 正(山口東京理科大)、木津 暢彦(気象庁)、古賀聖治(産総研、JARE51 夏)、小林 拓(山梨大)、佐々木利(気象庁、JARE51 冬)、塩原匡貴(極地研)、鈴木香寿恵(極地研)、竹中規訓(大阪府立大)、中島浩一(気象庁)、中島英彰(環境研)、西田千春(福岡大)、林 政彦(福岡大)、原圭一郎(福岡大)、平沢尚彦(極地研)、藤田 進(気象庁)、増永拓也(JARE51 冬)、松元 誠(気象庁)、村山利幸(東京海洋大)、三浦和彦(東京理科大)、山内 恭(極地研)、和田 誠(極地研)：計 28 名

8 月 4 日 青山朋樹(堀場製作所、JARE49 冬)、上田紗也子(名大院・環境学)、長田和雄(名大院・環境学)、菊地 正(山口東京理科大)、古賀聖治(産総研、JARE51 夏)、小林 拓(山梨大)、佐々木利(気象庁、JARE51 冬)、塩原匡貴(極地研)、鈴木香寿恵(極地研)、竹中規訓(大阪府立大)、中島英彰(環境研)、西田千春(福岡大)、林 政彦(福岡大)、原圭一郎(福岡大)、平沢尚彦(極地研)、増永拓也(JARE51 冬)、山内 恭(極地研)、和田 誠(極地研)：計 19 名

開催の目的：

現在、担当者により、過去のエアロゾル越冬観測から得られたデータ・サンプルの解析・分析が精力的に進められている。今後の成果発表を進めていくにあたり、解析結果の相互比較を行っていくことが重要となる。また、JARE49 でも越冬エアロゾル観測がなされ、JARE50 夏時期に海鷹丸により昭和基地沖海水縁付近のエアロゾル観測も実施された。現在のエアロゾル観測の状況・改善点の検討し、エアロゾル観測の将来計画を議論していくことも、今後のエアロゾル観測を改善していくためには不可欠である。本研究小集会では、観測結果の相互比較を行うこと、現状のエアロゾル観測の状況・問題点を把握すること、将来計画を議論することを目的として、研究会を開催した。

経 過：

研究会は下記のプログラムで開催された。

8 月 3 日：

13：00	今回の研究会内容紹介	原
13：05-	司会：西田	

観測報告：

JARE49 越冬報告 その1	浅野（山口東京理科大）
JARE49 越冬報告 その2	青山（堀場製作所）
海鷹丸 0809 での観測概要	長田・上田（名大）
手持ちサンフォトによるエアロゾルの光学的厚さの観測	小林（山梨大）

越冬状況：

JARE50 越冬観測状況報告	武田（代理：原）
-----------------	----------

観測計画：

JARE51 夏隊での大気観測	古賀（産総研）
-----------------	---------

休憩

15：15～

司会：原	
JARE51 越冬観測計画	和田（極地研）

新しらせ エアロゾル観測関連作業	塩原（極地研）
観測データベースの作成：方針と具体的対応	山内（極地研）
係留気球による対流圏下層のエアロゾル観測	原（福岡大）
これまでの観測結果の成果発表状況と報告書	林（福岡大）

8月4日：

09：30～

司会：長田

VIII 期観測計画

VIII 期観測計画概要（気水圏含む）	和田（極地研）
VIII 期・重点研究観測（PANSY 他）	山内（極地研）
PANSY 観測から見た物質循環（仮題）	富川（極地研）
申請書の内容概要紹介	林（福岡大）
船上エアロゾル観測計画	塩原（極地研）
越冬エアロゾル観測計画	林（福岡大）
夏時期エアロゾル観測計画	原（福岡大）

13：00～

司会：原

南極氷床上の降水・水蒸気・エアロゾル分布の観測提案	平沢（極地研）
氷中の（光）化学反応の研究および雪面から放出される窒素酸化物の測定	竹中（大阪府立大）
無人機を利用したエアロゾル観測	林（福岡大）
南極昭和基地及びノルウェーNy-Ålesund での PSCs 観測	中島（環境研）
VIII 期詳細討論	林（福大）

14：30～

成 果:

研究会初日には、JARE49 のエアロゾル越冬観測、JARE50 夏時期に行ったエアロゾル観測に参加した各担当者により観測結果の解析状況報告や得られた結果についての紹介がなされた。現在、越冬観測中の観測状況・改善点などの議論も行われた。また、解析が進んだ結果の紹介も行われ、各観測から得られたデータ間の比較・検討を行うことができた。さらに、観測方法、観測保守作業とその支援体制に関連する課題も確認することができた。これまでに行われてきたエアロゾル観測結果をまとめるために成果発表を南極資料に特集号を組む方向で議論し、今後の予定を決めた。

研究会2日目は、第 VIII 期エアロゾル観測計画を中心に話題提供、議論がなされた。気水圏の関連する重点観測計画と、既に申請の行われた第 VIII 期(主に前半)エアロゾル観測計画の内容を関係者に紹介した。さらに VIII 期後半のエアロゾル観測計画の詳細について、提案者や計画関係者から紹介・話題提供がなされた。その結果、具体的な計画内容について、計画・方針を調整・議論することができた。

(研究集会報告書)

研究課題名： 極限環境における微小生態系の総合的研究

開催日： 平成21年12月11日

開催場所： 国立極地研究所 6F B607

出席者： (別紙)「参加者一覧」のとおり

開催の目的：400字程度

南極などのいわゆる極限環境において、無機的环境が有機的環境へと変化していく過程や、生態系が複雑化していく過程の解明を目的とし、バクテリア、菌類、藻類、コケ類、減税生物や緩歩動物などの微小生物や、それら微小生物をとりまく微小環境の環境条件に注目しながら研究を進めている。第49次南極地域観測において小川が採集した南極地域の土壌、生物、水などの試料を分担して分析した結果について、情報交換を行い、今後の研究方針を明確にすることを目的として本研究集会を開催した。

なお、当研究小集会に参加したメンバーは、井上、小川を除き、南極での調査・観測経験を持たない。南極の自然環境や生物環境の特性についての詳細情報を共有することで、現在開発中の、微小生物採集用の掘削機、及び微小環境調査用の環境測定装置に関する今後の設計方針などについても、各種分析の担当者の要望等を集約することも併せて目的とした。

経過：400字程度

以下のプログラムに沿って、平成21年度の研究成果等を報告し討論を行った。

【プログラム】 () 内は報告者

0. 自己紹介

1. 藻類集合体 ～南極マリモ、阿寒湖マリモ～

- ① 概要 (小川麻里)
- ② マリモの構造、内部環境 (小川麻里)
- ③ マリモ内部のバクテリア (吉村義隆) *
- ④ マリモの化学的特徴 (三田肇)
- ⑤ スカーレン大池の古陸水学 (井上源喜)
- ⑥ マリモ科藻類の系統 (倉持卓司)
- ⑦ 内部環境測定装置 (宮川厚夫)
- ⑧ その他

2. 極限環境とそこに生息するバクテリア等微小生物

- ① 概要 (小川麻里)
- ② 南極氷床、雪氷、土壌の化学特性 (三田肇)
- ③ 南極氷床、雪氷、土壌の紫外線耐性 (小林憲正)
- ④ 南極氷床、雪氷、土壌に生息するバクテリア (吉村義隆) *
- ⑤ その他高山など (吉村義隆) *
- ⑥ 無菌掘削装置 (石崎教夫) *
- ⑦ その他

3. まとめ

論文としてのまとめ方、今後の研究方針など

(* 吉村、石崎の両名は、急きょ出席できなくなったため、代理で小川より報告した。)

成 果：800 字程度

本研究小集会において、物理、化学、生物分野にわたる幅広い分野の研究者が研究情報交換したことで、極域生態系を多彩な視点で幅広くとらえなおすことができ、研究テーマの魅力、および研究を進める上での問題点を共有することができた。また、現在開発中の機器については、改良点が明確となった。成果報告のために今後検討が必要な項目について認識することができたので、次年度以降の速やかな成果報告と、今後の南極観測を含む極限環境調査や試料採取、試料の分析研究を効率的に進めることにつながると期待される。

1. 藻類集合体 ～南極マリモ、阿寒湖マリモ～

南極スカーレン大池に発生する南極マリモは、構成生物種、大きさなどの点で阿寒湖マリモとは異なるが、内部に向かって層状の構造を作る、表層から中心部に向かって還元的な環境を作り出す、原生生物をはじめ多様な生物が内部の環境変化に応じてすみ分けているなど、共通する特徴を持つ。

①藻類集合体を作り出す微小環境をより精密に測定する。②藻類集合体内部での微生物のすみ分けの様子を可視的にとらえなおす。③藻類集合体が周辺環境に及ぼす影響を周辺土壌等の化学成分分析によって調べる。これら3つについて、南極マリモと阿寒湖マリモを比較しながら重点的に調査・研究を実施することを確認した。

③については、49 次隊での採集試料だけでは不足するため、52 次隊以降への、試料採集申請をする必要がある。

2. 極限環境とそこに生息するバクテリア等微小生物

南極等極限環境の土壌、雪氷等に含まれるバクテリア等の微小生物の特徴として、紫外線や宇宙線への耐性が高いことを明らかにしつつある。

南極昭和基地周辺地域は紫外線や宇宙線が高いことで知られるが、低温や乾燥など生物にとってストレスとなりうる様々な環境要因とのかかわりを検討することが重要なことを確認した。特に宇宙線に関しては、宇宙線の種類

によるエネルギー量や頻度によって生物への影響が全く異なることが予想される。

次年度以降の研究では、紫外線、宇宙線などの環境条件に関する詳細な情報を収集し、我々のデータと照合していくことが重要である。

(別紙)

参 加 者 一 覧

□研究プロジェクト □一般共同研究 ■研究集会		課題番号	研4
研究課題名	極限環境における微小生態系の総合的研究		
氏名	所属	職	備考
所内	伊村智	生物圏研究グループ	准教授
	石崎教夫	会計課	職員
			当日欠席
小計	2 名		
所外	井上源喜	大妻女子大学	教授
	遠藤慎一	藤崎慎吾	サイエンスライター
	小川麻里	安田女子大学	講師
	大林由美子	横浜国立大学	研究教員
	河合純	横浜国立大学	大学院生
	倉持卓司	葉山しおさい博物館	研究員
	桑原裕典	福岡工業大学	大学院生
	小林憲正	横浜国立大学	教授
	齊藤威	IAS総合研究所	代表取締役
	高橋淳一	NTTマイクロシステム インテグレーション研究所	研究員
	三田肇	福岡工業大学	教授
	宮川厚夫	静岡大学	研究員
	森貴久	帝京科学大学	准教授
	吉村義隆	玉川大学	准教授
			当日欠席
小計	13 名		
合計	15 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。

研究課題名： 大気・雪氷間の物質循環に関する研究小集会

日時：10月26日 13:00～27日 14:30

場所：極地研究所(立川) 総合研究棟3階セミナー室(C301)

参加者(敬称略・五十音順)

東久美子(極地研)、飯塚芳徳(北大・低温研)、五十嵐誠(理研)、植竹 淳(極地研)、長田和雄(名大院・環境学)、河村公隆(北大・低温研)、倉元隆之(極地研)、佐野清文(総研大)、鈴木香寿恵(極地研)、竹中規訓(大阪府立大)、中澤文男(極地研)、野村大樹(極地研)、橋田 元(極地研)、原圭一郎(福岡大)、三宅隆之(極地研)、本山秀明(極地研)、藪下彰啓(京都大)、山内 恭(極地研)、和田 誠(極地研)

開催の目的：

これまでに南極大陸氷床上の表面積雪の観測・アイスコア解析、沿岸域や内陸部でのエアロゾル観測や気象観測が実施されてきた。それぞれの観測について個別に議論がされることが多く、物質交換・循環の観点から大気圏と雪氷圏間の物質移動・交換の議論は、これまでにほとんど行われていなかった。大気雪氷間の物質交換について、これまでの観測データや室内実験結果を比較し、今後の共同研究の方向を検討するため、本研究会を開催した。

経 過：

研究会は下記のプログラムで開催された。

10月26日

13:00-

研究会の趣旨

原(福岡大)

◆輸送から見た大気・雪氷の物質交換

BC 観測から見えてきた南米・アフリカから南極域への長距離輸送 原(福岡大)

南極に飛来する花粉の起源推定を目的とした花粉一粒ずつの DNA 分析

中澤(極地研)

南極氷床への大気輸送起源の空間分布とその季節・年々変動 鈴木(極地研)

南極域への水の輸送と南極氷床の涵養 平沢(極地研)

◆大気・雪氷界面付近で起きている・起きていること

大気～積雪間の物質移動：できそうでできなかった研究 ～粒も積もれば床となる～

長田(名古屋大院)

南極域生物地球化学の Black Box—冬季海水圏にどう挑むか 橋田(極地研)

海水中の栄養物質について—大気・海水下からの供給 野村(極地研)

南極の雪・アイスコア中の有機物

河村(北大低温研)

氷中の種々の化学反応のメカニズムと氷中化学反応の環境への影響

竹中(大阪府立大)

雪氷中 Nitrate の光分解反応が大気中の O_3 と HCHO 濃度に及ぼす影響: 室内実験とモデル計算

藪下(京都大)

10月27日

9:30-

◆観測的に見えてきていること

氷コア中のエアロゾル組成から見た過去の南極大気エアロゾル組成(表面積雪・浅層コア中の化学成分変化)

飯塚(北大低温研)

南極域での海塩成分の組成分別

原(福岡大)

ドームふじでの降雪・飛雪・積雪のイオンや同位体の季節変動及び広域での地域特性

本山(極地研)

ドームふじ浅層コア中の過去 2000 年分の化学成分濃度変化

五十嵐(理研)

ドームふじルート上における表面積雪の化学特性

倉元(極地研)

S16~ドームふじ間の表面積雪中の化学成分濃度変化

五十嵐(理研)

13:00-14:30

総合討論

成 果:

初回の研究会のため、研究会の方針は、これまでに各担当者が行ってきた研究内容から、他分野と関連する内容、連携して観測・研究を行うことで理解を深化できると期待される内容について、各々が話題提供をし、相互の理解を深め、現状で得られている知見を整理する方向とした。

研究会初日には、大気中の輸送過程(主に南極圏外からの長距離輸送)と大気積雪間の物質交換、大気・雪氷界面付近で起きている諸過程について、話題提供がなされた。すでにこれまでの観測から得られた知見、解析が進められ得られてきた知見、過去の研究のレビュー、今後の観測計画の提案が中心となっていた。研究会 2 日目は、雪氷圏(主に大陸上積雪・降雪)の観点から見た化学成分の挙動を中心に話題提供がなされた。

両日とも各分野からみた解析は進んでいたが、話題提供後の他分野からのコメント、討論により、今後の課題を鮮明にすることができた。また、それぞれの分野で既に解析中のデータを相互比較することにより、大気・雪氷圏の物質循環や低中緯度域から南極への長距離輸送過程の詳細を検討できる項目も確認できた。

現時点では、共同研究・観測までは立ちあがっていない。しかし、個別にデータの比較を進められる点もあり、本研究会を継続することで、部門を跨いだ融合的な研究を行えるようになるだろう。次年度以降も同様の研究会を開催していく予定である。

(研究集会報告書)

研究課題名： 東南極地域の内陸氷床トラバース探査の成果とりまとめに関する研究集会

開催日： 平成 22 年 2 月 22-23 日

開催場所： 国立極地研究所

出席者： (別紙)「参加者一覧」のとおり。スウェーデンから 5 名、日本から 12 名、計 17 名。

開催の目的：

日本・スウェーデン合同の内陸氷床トラバース観測の現地観測が完了し、観測終了後 2 年目段階でのデータ分析やサンプル処理に基づく研究成果を持ち寄り、氷床内陸部の諸現象の概要や細部を議論する研究会合として実施した。平成 20 年度に実施をした会合に続く議論とし、現地観測に参加した研究者と支援をした研究者が一堂に会して議論をした。論文としてのとりまとめに向けて、研究進捗の現状を確認することを目的とした。

経過：

別添の研究集会プログラムに沿って、これまでの研究経過報告と議論をすすめた。前回会合から 1 年たつため、この一年の研究の進捗状況やデータの解析状況を確認した。

成果：

これまでの研究経過報告と議論に基づき、南極の日本スウェーデントラバースについて、論文とりまとめ計画を作成した。論文に含める項目や、関連するアクションプランを話しあうことができた。論文に今後含める項目として、トラバースルートにかかる氷床表面形状の情報、10 m 深雪温の情報、積雪の酸素同位体の情報、堆積環境の情報を抽出した。そして、そのためのプランとして、リードオーサーを藤田秀二とし、そこにデータを集めることとした。今後、IPY オスロ会議で成果を報告し、速やかに論文化をはかる。投稿する先を Polar Science にすることを内定した。

(別紙)

参 加 者 一 覧

☐ 研究プロジェクト ☐ 一般共同研究 ☒ 研究集会				課題番号
研究課題名		東南極地域の内陸氷床トラバース探査の成果とりまとめに関する研究集会		
氏名	所属	職	備考	
所内	藤田秀二	国立極地研究所	准教授	
	鈴木香寿恵	国立極地研究所	特任研究員	
	スーディク スィルヴィア	国立極地研究所	特任研究員	
	東久美子	国立極地研究所	准教授	
	中澤文男	国立極地研究所	特任研究員	
	倉元隆之	国立極地研究所	特任研究員	
	藤井理行	国立極地研究所	所長	
小計	7 名			
所外	榎本浩之	北見工業大学	教授	
	保科優	名古屋大学	大学院生	
	飯塚芳徳	北海道大学低温科学研究	助教	
	原圭一郎	福岡大学	助教	
	福井幸太郎	立山砂防カルデラ博物館	学芸員	
	Per Holmlund	Stockholm University	Professor	スウェーデン
	Torbjörn Karlin	Stockholm University	大学院生	スウェーデン
	Margareta Hansson	Stockholm University	Associate Professor	スウェーデン
	Johan Ström	Norsk Polar Institut	Professor	ノルウェー
	Susanne Ingvander	Stockholm University	大学院生	スウェーデン
小計	10 名			
合計	17 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。

JASE Workshop 2010 Program

Time(min)	approximate time	Title (Tentative)	Key researchers	Presenter
30	2/22(Mon.) 13:30-14:00	Progress of the processing on the radar sounding data: Ice thickness, internal structure and subglacial conditions	Shuji Fujita and Per Holmlund	S. Fujita
10	14:00-14:10	Small scale variations of the ice sheet surface topography: local variation of the depositional environment	Kotaro Fukui, H. Motoyama, Swedish reseacher and S. Fujita	S.Fujita
30	14:10-14:40	Features of firn stratification detected from Ground Penetrating Radar	Kotaro Fukui and Shuji Fujita	K. Fukui
Coffee Break				
30	15:00-15:30	Physical structure of the 1-m-deep pits along the entire JASE traverse	Shin Sugiyama and Hiroyuki Enomoto	H. Enomoto
30	15:30-16:00	Spatial and temporal snow grain size variability along the Japanese Swedish Antarctic Expedition 2007/2008 traverse route, Dronning Maud Land.		Susanne Ingvander.
20	16:00-16:20	Changes of surface snow density in a summer in the Antarctic Dome Fuji region	S. Fujita, Enomoto, Nakazawa, Fukui, Sugiyama, Kameda, K. Fujita, Motoyama	S. Fujita
30	16:20-16:50	Postdepositional changes in water stable isotopes in snowpack at Dome Fuji, Antarctica	Y. Hoshina, K. Fujita, Y. Iizuka	Yu Hoshina
10	16:50-17:00	Physical structure of the 4-m-deep pits along the JASE traverse	Enomoto, S. Fujita, K. Fujita, Fukui, Iizuka, Motoyama, Nakazawa, Sugiyama,	S. Fujita
30	17:00-17:30	First results from chemical analyses of surface snow sampled along the entire JASE traverse route	Torbjörn Karlin and Margareta Hansson	Torbjörn Karlin
	17:40	Departure for the banquet		
	18:10	Banquet		
30	2/23(Tue.) 9:30-10:00	Features of the surface of the ice sheet along the traverse route in the satellite images	Surdyk Sylviane	S. Surdyk
30	10:00-10:30	Discussions on the regional variability of microwave emission and snow conditions along the JASE traverse route	H. Enomoto	H. Enomoto
Coffee Break				
30	10:50-11:20	Large scale characteristics of JASE traverse route in Antarctica derived from microwave and meteorological data	H. Enomoto	H. Enomoto
20	11:20-11:40	Pollen in the snow samples collected during the JASE traverse	Fumio Nakazawa	F. Nakazawa
20	11:40-12:00	Distribution of stable isotopes in surface snow on the plateau of East Dronning Maud Land, Antarctica, observed by Japanese-Swedish traverse expedition	Kotaro FUKUI(NIPR), Ryu UEMURA (LSCE), Shuji FUJITA, Hideaki MOTOYAMA (NIPR)	K. Fukui
Lunch				
30	13:10-13:40	Aerosol constituents in inland area during JASE	Keiichiro Hara	K. Hara
30	13:40-14:10	BC in snow during the JASE	Johan Ström and Margareta Hansson	Johan Ström
30	14:10 -	Discussions (until ~15:00)		

平成 21 年度 国立極地研究所 研究集会報告書

研究課題名： 寒冷域における降雪と雪結晶の研究と教育の今後の展望

開催日： 平成 22 年 1 月 8 日～ 9 日

開催場所： 国立極地研究所 3 階セミナー室

出席者： (順不同、敬称略)

島田 互 (富山大学)、小西啓之、山下 晃 (大阪教育大学)、高橋忠司 (埼玉大学)、
亀田貴雄 (北見工業大学)、村井昭夫 (石川県教育センター)、樋口敬二 (名古屋大学)、
菊地勝弘 (北海道大学)、遠藤辰雄 (元鳥取環境大学)、茂木智行、稲垣孝一、
加藤孝春、中西眞純 (富山大学)、和田誠、平沢尚彦 (国立極地研究所)

開催の目的：

南極のような低温域での降雪機構を考えるうえで、また低温域での雪結晶の成長機構を考えるうえで、南極での観測や研究の対象・方法の検討を行う。さまざまな専門分野から独自の研究結果の報告を行い、その解釈を検討することを目的としている。また、このような研究成果を教育にどのように活かしていくかについても検討を行う。

経過：

下記のプログラムで開催した。学会などよりも時間〈各自約 30 分〉を取った話題提供を各自行い、参加メンバーで、今後面白そうな研究や、教育面へどの様に生かしていくかを探った。

● 2010/1/8(金) 14:00 ～ 18:00

菊地勝弘「低温型雪結晶」

小西啓之「強力保冷剤を用いた氷晶作成実験」

村井昭夫「鏡面冷却式露点計による雪結晶生成時の湿度測定」

山下 晃「過冷却雲中で行われた人工雪実験の比較」

山下 晃「水分子模型と多目的模型の紹介」=展示=

高橋忠司「畸形雪結晶 (malformed snow crystals) の成因に関する考察」

平沢尚彦、小西啓之「シーロメータによる降雪量測定」

加藤孝春、島田 互「低温雲箱を用いた固体エアロゾル粒子の氷晶核化能力測定」

稲垣孝一、島田 互「低温核生成による氷晶の形態的特徴」

島田 互、荒川清志「-20℃付近で成長する多結晶雪の立体構造」

● 2010/1/9(土) 9:30 ～ 11:30

樋口敬二「雪結晶の新しい分類表を作る会の活動について」

亀田貴雄「学校教育における雪結晶生成実験

—北見工業大学の物理学実験での実施例—」

亀田貴雄, 高橋修平「舗装路面上のアイスジャムで観察された白い斑点模様

—2009 年 11 月 1 日北見および置戸での観察—」

和田 誠「雲粒子形成に関与すると考えられる硫化ジメチルの南極海での観測報告」

和田 誠「今後 3 年間(52 次隊から)の南極観測の研究課題など紹介」

成 果 :

天然雪結晶に関する研究、南極での雪結晶の形態研究、低温域の結晶および多結晶まで含めた雪結晶の新しい分類法、低温型雪結晶の立体構造の解析、実験室でこれらの雪結晶を作る方法の紹介の他、雲底高度計を用いた降雪や霜の総量の見積もりなど、水蒸気や霜などを含めた H_2O が起こす自然現象とその物理機構の紹介などがなされた。

人工・天然の雪結晶の成長機構やその形態形成に関して未解明な点が数多く残っていること、また雪結晶の成長条件である温度・湿度の測定の難しさを再認識し、さまざまな議論を行えたことは有意義であった。

また、南極のような降水量の少ない場所での「真の降水量」「微量成分」測定の重要性と、その測定の困難さを再認識できたことも大きな収穫であった。

これらの議論に基づいて、今後の研究・教育にどう活かしていくかについては、今後とも継続して研究・議論していく必要があると感じられた。

(別紙)

参 加 者 一 覧

☐ 研究プロジェクト ☐ 一般共同研究 ☒ 研究集会		課題番号	7
研究課題名		寒冷域における降雪と雪結晶の研究と教育の今後の展望	
氏名		所属	職
所内	和田誠	気水圏	教授
	平沢尚彦	気水圏	助教
小計	2名		
所外	島田互	富山大学	准教授
	小西啓之	大阪教育大学	准教授
	高橋忠司	埼玉大学	教授
	亀田貴雄	北見工業大学	准教授
	村井昭夫	石川県教育センター	指導主事
	樋口敬二	名古屋大学	名誉教授
	菊地勝弘	北海道大学	名誉教授
	山下晃	大阪教育大学	名誉教授
	遠藤辰雄	元鳥取環境大学	教授
	茂木智行	富山大学大学院	大学院生(修士)
	稲垣孝一	富山大学	学生
	加藤孝春	富山大学大学院	大学院生(修士)
	中西眞純	富山大学大学院	大学院生(修士)
	小計	13名	
合計	15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。

Ⅲ. 平成 21 年度共同研究課題一覧

1 平成21年度共同研究実施件数

区 分	研究分野	平成21年度実施件数			平成21年度 終了件数	平成21年度 継続件数
		新 規	平成20年度 からの継続	計		
一般共同研究	宙空圏	12	20	32	8	24
	気水圏	11	9	20	2	18
	地 圏	9	15	24	7	17
	生物圏	12	16	28	8	20
	極地工学	0	4	4	3	1
	計	44	64	108	28	80
研究集会		7			7	0

2 一般共同研究

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
宙空圏	ULTIMAを用いたグローバルな電磁場擾乱の解析研究	湯元 清文	九州大学宙空環境研究センター・教授（センター長）	19～21 3年
	衛星・地上多重同時観測によるULF波動の研究	利根川 豊	東海大学工学部・教授	19～21 3年
	ドームふじ基地における天文観測の調査検討	中井 直正	筑波大学大学院数理物質科学研究科・教授	19～21 3年
	極域における成層圏・中間圏の組成変動観測のための小型ミリ波放射計の評価と改良	水野 亮	名古屋大学太陽地球環境研究所・教授	19～21 3年
	オーロラ活動に伴う極域熱圏中性風の研究	栗原 宜子	名古屋大学太陽地球環境研究所・GCOE研究員	19～21 3年
	極冠帯・極光帯大気のエネルギー力学	前田 佐和子	京都女子大学現代社会学部・教授	19～21 3年
	れいめい衛星と地上レーダー網・オーロラカメラによる極域オーロラ現象の同時観測	平原 聖文	東京大学大学院理学系研究科・教授	19～21 3年
	極域での昼夜自動観測を目的としたライダーシステムの検討	川原 琢也	信州大学工学部・准教授	19～21 3年
	高感度光学観測ネットワークによる電離圏・熱圏・中間圏ダイナミクスの研究	塩川 和夫	名古屋大学太陽地球環境研究所・教授	20～22 3年
	Hall共役電流を用いたCowling効果解析手法の開発	吉川 顕正	九州大学宙空環境研究センター・助教	20～22 3年
	アイスランドにおける宇宙線生成核種強度の時間変動と太陽活動の関係についての研究	櫻井 敬久	山形大学理学部・教授	20～22 3年
	極域衛星帯電に関するプラズマシミュレーション研究	臼井 英之	京都大学生存圏研究所・准教授	20～22 3年
	極域におけるGPSシンチレーション観測	大塚 雄一	名古屋大学太陽地球環境研究所・助教	20～22 3年
	オゾンホール回復過程の研究	柴崎 和夫	國學院大学人間開発学部・教授	20～22 3年
	リモートセンシング観測とモデルの結合による極域電磁圏ダイナミクスの研究	田口 聡	電気通信大学電気通信学部・准教授	20～22 3年
	サブストームにともなう遮蔽電場の発達に関する研究	橋本 久美子	九州保健福祉大学薬学部・教授	20～22 3年
	GPSTECによる電離圏擾乱の時空間変動と地圏 - 大気圏 - 電離圏結合に関連する研究	服部 克巳	千葉大学大学院理学研究科・准教授	20～22 3年
	EISCATレーダー用信号処理装置の開発	大山 伸一郎	名古屋大学太陽地球環境研究所・助教	20～22 3年
	広帯域世界ELF磁場計測ネットワークと極域総合観測による宇宙気候研究の構築	高橋 幸弘	東北大学大学院理学研究科・准教授	20～22 3年

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
宙空圏	SuperDARNによる極域・中緯度電離圏ダイナミクスの比較研究	西谷 望	名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授	20～22 3年
	北欧におけるレーダーおよび光学観測機器を用いた下部熱圏・中間圏の観測研究	野澤 悟徳	名古屋大学太陽地球環境研究所・准教授	21～23 3年
	極域ULF波動と中高エネルギー粒子変動の比較研究	北村 健太郎	徳山工業高等専門学校機械電気工学科・助教	21～23 3年
	短波レーダー電場観測による極域から低緯度・赤道域への電磁場侵入の研究	篠原 学	鹿児島工業高等専門学校・教授	21～23 3年
	地球磁場減少による超高層大気環境への影響	巻田 和男	拓殖大学工学部・教授	21～23 3年
	地球磁気圏内及び近傍における波動モード同定と波動-粒子相互作用に関する研究	芳原 容英	電気通信大学電子工学科・教授	21～23 3年
	オーロラX線の発生機構と高エネルギー粒子加速の研究	中川 道夫	大阪産業大学工学部・客員教授	21～23 3年
	宇宙天気とその境界領域の研究	三澤 浩昭	東北大学大学院理学研究科・准教授	21～23 3年
	地上磁場観測網データを用いた磁気圏プラズマ密度推定	河野 英昭	九州大学宙空環境研究センター・准教授	21～23 3年
	オーロラ粒子加速と磁気圏サブストームonset	森岡 昭	東北大学・名誉教授	21～23 3年
	雷放電と上層大気圏/電離圏との電磁結合に関する研究	早川 正士	電気通信大学電気通信学部・教授	21～23 3年
	光学・レーダー・地磁気・GPS-TECデータを用いた極域電磁圏ダイナミクス	細川 敬祐	電気通信大学電気通信学部・助教	21～23 3年
	衛星観測と地上観測の対比による宇宙嵐時の内部磁気圏プラズマダイナミクス及び電離圏-磁気圏結合の解明	小野 高幸	東北大学大学院理学研究科・教授	21～23 3年
気水圏	ドームふじ深層コアの氷およびハイドレートの物理解析	堀 彰	北見工業大学工学部社会環境工学科・准教授	19～21 3年
	極域メソスケール気象モデルの適応	遊馬 芳雄	琉球大学理学部・教授	20～22 3年
	南極氷床内陸域の雪氷学的研究	亀田 貴雄	北見工業大学工学部社会環境工学科・准教授	20～22 3年
	南極氷床浅層掘削コアの詳細解析による環境変動解析	鈴木 啓助	信州大学理学部・教授	20～22 3年
	ドームふじ深層掘削データ解析による高圧温暖氷掘削の研究	古崎 睦	旭川工業高等専門学校物質化学工学科・教授	20～21 2年
	エアロゾルゾンデデータによる南極エアロゾルの変動機構の研究	林 政彦	福岡大学理学部・教授	20～22 3年
	パルスパワー砕氷装置の開発	猪原 哲	佐賀大学理工学部・准教授	20～22 3年

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
気水圏	北極域におけるエアロゾルの光学的特性	青 木 一 真	富山大学大学院理工学研究部・准教授	20～22 3年
	降雪粒子観測機器の特性および粒子判別法に関する研究	小 西 啓 之	大阪教育大学・准教授	20～22 3年
	南極氷床コア金属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・准教授	21～23 3年
	北太平洋域の気候変動復元のための山岳アイスコアの化学解析	的 場 澄 人	北海道大学低温科学研究所・助教	21～23 3年
	Repeat Photographyによる氷床末端の変動の検出	齋 藤 隆 志	京都大学防災研究所・助教	21～22 2年
	北極圏スパーラルバルにおける極成層圏雲とオゾン破壊に関する研究	中 島 英 彰	(独)国立環境研究所・主席研究員	21～23 3年
	大気中酸素濃度の高精度観測による地球表層での二酸化炭素循環の研究	中 澤 高 清	東北大学大学院理学研究科・教授	21～23 3年
	船舶用スカイラジオメータ観測手法の改良に関する基礎研究	小 林 拓	山梨大学大学院医学工学総合研究部・助教	21～23 3年
	地球観測衛星から推定されたエアロゾル・雲の比較検証研究	久 慈 誠	奈良女子大学理学部・講師	21～22 2年
	80GHz帯輝度衛星画像を用いた南極大陸地上気温分布算出の研究	畑 中 雅 彦	室蘭工業大学工学部・教授	21～23 3年
	南極域大気浮遊粒子状物質の季節及び高度別挙動に関する研究	浅 野 比	山口東京理科大学・助教	21～23 3年
	両極異変が全球気候変動へ及ぼす遠隔作用についての観測的研究	立 花 義 裕	三重大学大学院生物資源学研究科・教授	21～23 3年
	南極雪氷中の火山・宇宙起源物質の研究 (IV)	福 岡 孝 昭	立正大学地球環境科学部・教授	21～23 3年
地圏	衛星重力の応用とその地上検証に関する研究	福 田 洋 一	京都大学大学院理学研究科・教授	19～21 3年
	リュツォ・ホルム岩体産コンダライト中のザクロ石の微量元素累帯構造と部分熔融および年代測定可能な副成分鉱物の消長の関係解明	河 上 哲 生	京都大学大学院理学研究科・助教	19～21 3年
	東南極ナビア、リュツォ・ホルム岩体に産する造岩鉱物の微細組織解析および熱史への適用	三 宅 亮	京都大学大学院理学研究科・准教授	19～21 3年
	南極プレート発散境界インド洋海嶺の発展史に関する研究	松 本 剛	琉球大学理学部・教授	19～21 3年
	熔融脈を有する南極産隕石と地球岩石の再磁化特性に関する研究	中 村 教 博	東北大学大学院理学研究科・助教	19～21 3年
	リュツォ・ホルム湾沿岸の浅海及び湖沼堆積物についての環境磁気学及び古環境学的研究	佐 藤 高 晴	広島大学大学院総合科学研究科・准教授	19～21 3年
	両極域における上部マントル不均質構造に関する地震学的研究	中 西 一 郎	京都大学大学院理学研究科・教授	20～22 3年

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
地圏	極域からみた地球深部～中心核のダイナミクスと地震学的構造	古本 宗充	名古屋大学大学院環境学研究科・教授	20～22 3年
	氷床縁部露岩域および大陸棚海底の地形・地質データを用いた後期更新世～完新世の南極氷床変動の復元	澤 柿 教伸	北海道大学大学院地球環境科学研究院・助教	20～21 2年
	東南極ナピア岩体の原岩構成からみた太古代大陸地殻の形成と進化	石塚 英男	高知大学理学部・教授	20～22 3年
	リーセルラルセン山地域ナピア岩体の放射年代測定, および岩石磁気・地球電磁気的研究	岩田 尚能	山形大学理学部・講師	20～22 3年
	非平衡コンドライトの分類と形成過程に関する研究	木村 眞	茨城大学理学部・教授	20～22 3年
	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	大村 誠	高知女子大学生活科学部・教授	20～22 3年
	石英中のチタンと鉄の分配から見た東南極ナピア岩体, レイナー岩体, リュッツォホルム岩体の変成履歴の精密解析	川 寄 智佑	愛媛大学大学院理工学研究科・教授	20～22 3年
	東南極リュッツォ・ホルム岩体および周辺の地質体の再キャラクター化	廣井 美邦	千葉大学大学院理学研究科・教授	20～22 3年
	極域海洋堆積物および南極等の岩石を対象とする古環境と地磁気変動の研究	酒井 英男	富山大学大学院理工学研究部・教授	21～23 3年
	グリーンランド氷床コアと海底堆積物コアのD/Oサイクル対比に基づく日本の主要テフラの高精度編年に関する研究	池原 研	(独)産業総合技術研究所地質情報研究部門・グループ長	21～23 3年
	融氷河堆積物のOSL年代測定による第四紀氷床変動史の復元	前 奎 英明	広島大学大学院教育研究科・教授	21～23 3年
	東南極セール・ロンダーネ山地の岩石学、構造地質学および地球化学的研究	土屋 範芳	東北大学大学院環境科学研究科・教授	21～23 3年
	東南極・セールロンダーネ山地の変動テクトニクスの解明	小山内 康人	九州大学大学院比較社会文化研究院・教授	21～23 3年
	東南極中央ドロンニングモードランドの変成作用と原岩形成場	馬場 壮太郎	琉球大学教育学部・教授	21～23 3年
	インフラサウンド計測に基づく極地大気-海洋-個体圏相互作用の研究	山本 真行	高知工科大学工学部・准教授	21～23 3年
生物圏	低温および塩類ストレス環境下に生息する多価不飽和脂肪酸産生微生物の探索と同定	東 條 元昭	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・准教授	19～21 3年
	極域より分離した微細藻類や細菌の耐冷性、耐凍性の研究とその応用	長 島 秀行	東京理科大学理学部第一学部・教授	19～21 3年
	海洋と南極湖沼における硫黄循環に対するジメチルスルフォキシド(DMSO)呼吸の役割の解明	松崎 雅広	広島大学大学院理学研究科・助教	19～21 3年

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
生物圏	昭和基地周辺における土壌藻類および土壌微生物を用いた環境モニタリングの実施	大谷 修司	島根大学教育学部・教授	19～21 3年
	南極における紫外線の生物に与える影響と、好冷性微生物を用いた機能性食品の研究	高橋 哲也	島根大学教育学部・教授	19～21 3年
	南極のラン藻類を中心とした湖底の藻類群集の光合成に関する研究	菓子野 康浩	兵庫県立大学大学院生命理学研究科・准教授	19～21 3年
	海洋微生物の低温適応機構	奥山 英登志	北海道大学大学院地球環境科学研究院・准教授	19～21 3年
	オホーツク海沿岸域における海水形成過程と基礎生産動態に関する研究	西野 康人	東京農業大学生物産業学部・准教授	19～21 3年
	極域微生物の生物地理的多様性に関する研究	長沼 毅	広島大学大学院生物圏科学研究科・准教授	20～22 3年
	南極海における小型動物プランクトンおよび植物プランクトンの分布と生物量に関する研究	谷村 篤	三重大学大学院生物資源学研究科・准教授	20～22 3年
	極域の環境変動情報に関する生物地球化学的研究	井上 源喜	大妻女子大学社会情報学部・教授	20～22 3年
	海水生物群集の低次生産動態と環境応答に関する生態学的研究	田口 哲	創価大学工学部・教授	20～22 3年
	環境変動が魚類の回遊動態に及ぼす影響に関する調査研究	河邊 玲	長崎大学環東シナ海海洋環境資源研究センター・准教授	20～22 3年
	海水域の環境変動に対応する生物ポンプの変化に関する研究	佐々木 洋	石巻専修大学理学部・教授	20～22 3年
	極域および高緯度海域における地球温暖化の海洋生態系への影響	齊藤 誠一	北海道大学大学院水産科学研究院・教授	20～22 3年
	南極海に分布する魚類の系統及び生理・生態に関する研究	岩見 哲夫	東京家政学院大学家政学部・教授	20～22 3年
	再捕獲が難しい海洋動物を対象としたバイオロギング研究の新展開	佐藤 克文	東京大学海洋研究所・准教授	21～22 2年
	三次元空間における海洋生物の行動および環境計測に関する研究	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・助教	21～23 3年
	GPSデータロガーを用いたオオミズナギドリ飛翔行動の解析	依田 憲	名古屋大学大学院環境学研究科・准教授	21～23 3年
	西南極地域における大型捕食動物の行動生態に関する研究	渡辺 伸一	福山大学生命工学部・講師	21～23 3年
	動物装着型小型記録計の回収システムの開発	京相 雅樹	東京都市大学工学部・講師	21～23 3年
	東南極陸上生態系における菌類の種多様性と環境適応能	星野 保	(独)産業技術総合研究所ゲムノファクトリー研究部門・主任研究員	21～23 3年
	絶対的抗菌薬非暴露環境における耐性菌の検出	田村 豊	酪農学園大学獣医学部・教授	21～22 2年

研究分野	研究課題	研究代表者		研究期間 (平成)
		氏名	所属・職	
生物圏	周極域森林生態系に生育する蘚苔・地衣類の分布と現存量	松浦 陽次郎	(独) 森林総合研究所立地環境研究領域・室長	21～23 3年
	海水期のオホーツク海における粒子物質と動・植物プランクトン、アイスアルジー群集が氷の後退に伴う影響	佐藤 博雄	東京海洋大学海洋科学部・准教授	21～23 3年
	南極産大型藻類標本のデータベース化と分子系統解析	瀧田 智	お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科・准教授	21～23 3年
	南氷洋産無脊椎動物由来の新規医薬素材の探索研究	稲垣 昌宣	安田女子大学薬学部・講師	21～22 2年
	極域における微小生態系研究のための微笑環境測定装置および軽量型無菌掘削機の開発	小川 麻里	安田女子大学文学部・講師	21～23 3年
極工	極域における新エネルギー導入によるエネルギー対策に関する研究	木村 茂雄	神奈川工科大学・教授	19～21 3年
	南極地域観測隊装備衣料の意匠性と機能性についての研究	伊豆原 月絵	大阪樟蔭女子大学学芸学部・准教授	19～21 3年
	南極における曝露繊維の表面特性変化機構の解明	奥野 温子	武庫川女子大学生活環境学部・教授	19～21 3年
	昭和基地における再生可能エネルギー利用の最適化	西川 省吾	日本大学理工学部・准教授	20～22 3年

3 研究集会

研究課題名	研究代表者	
	氏 名	所属・職
1 南大洋酸性化と海洋生態系変動に関する研究集会	佐々木 洋	石巻専修大学理工学部・教授
2 極地スカイラジオメータ観測の標準化に関する研究集会	塩原 匡貴	国立極地研究所・准教授
3 南極大気エアロゾル:これまでの観測結果の検討と今後の観測計画のための研究会	原 圭一郎	福岡大学理学部・助教
4 極限環境における微小生態系の総合的研究	小川 麻里	安田女子大学文学部・講師
5 大気・雪氷間の物質循環に関する研究小集会	原 圭一郎	福岡大学理学部・助教
6 東南極地域の内陸氷床トラバース探査の成果とりまとめに関する研究集会	榎本 浩之	北見工業大学工学部・教授
7 寒冷域における降雪と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

本報告書は、平成 21 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。