

平成22年 6月 1日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20710012

研究課題名（和文） 極域氷床コア中ダストの短周期シグナルの検出と古環境復元

研究課題名（英文） Signal detection of short cycle variations of dust in an polar ice core and paleoenvironment reconstruction

研究代表者

三宅 隆之（MIYAKE TAKAYUKI）

国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

研究者番号：90390715

研究成果の概要（和文）：

季節～数年スケールの短周期シグナル検出と古環境復元をめざし、南極ドームふじ氷床コアで固体微小粒子（ダスト）の高時間分解解析を行った。ダスト濃度は数年以下スケールでその変動が捉えられ、またスペクトル解析から完新世で年層厚相当の周期が見られた。陸域起源物質の非海塩性 Ca^{2+} とダストの比の平均と相対変動は、気温の指標の氷の $\delta^{18}\text{O}$ とよい相関が見られた。以上から、気候ステージごとにダストの構成鉱物種が異なることが示唆された。これは氷期の南極内陸部のダスト発生源とされるパタゴニアの表層堆積物の均質性に由来すると推察された。また温暖期はパタゴニア以外のダストの寄与の可能性も示唆された。

研究成果の概要（英文）：

I conducted high time-resolution analysis of microparticles (dust) in the Dome Fuji ice core, Antarctica in order to study for possible paleoenvironmental indications of seasonal and/or a few year climatic variations. Dust concentration variations were able to be found out within a few years scale in the core. I also found a cycle corresponding to annual layer thickness in the Holocene ice core from spectral analysis of dust concentrations. Both of mean values and relative variations of non-seasalt Ca^{2+} to dust ratios had a good correlation with $\delta^{18}\text{O}$ of ice, which were a good indicator of air temperature on polar ice cores, respectively. It was suggested that mineral composition of dust varied from climatic stages because this probably derived from the homogeneity of surface deposited materials in Patagonia which was reported as dust source area of inland Antarctica in glacial periods. It was also suggested that dust in the core originated from non-Patagonia area as a potential source during warm climatic periods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：気候変動、氷床コア、古環境復元、ダスト、高時間分解

1. 研究開始当初の背景

極域氷床コアに含まれる粒径数百 nm から数 μm の固体微小粒子（ダスト）は、陸域起源物質の指標として古環境復元に用いられている。氷床コア中のダスト濃度は、発生源地域の面積および地表面状態、沈着地の積雪量、大気中からダストを除去する降水など水循環の変動、さらにダストの長距離輸送力の変動に伴って変化するとされている（Lambert et al., 2008）。従来、氷床コアのダスト研究は、千年スケールから氷期サイクルスケールでの解析が中心であり（Petit et al., 1999; Lambert et al., 2008 など）、季節～数年スケールの短周期での研究例は少なく、その動態は不明である。一方、氷床コアに含まれるイオン成分の高時間分解解析から、氷床コアに含まれるイオン成分のうち SO_4^{2-} や Na^+ 、 Mg^{2+} はコア中に塩として存在するため気候シグナルをよく保存しているものの、 Cl^- や NO_3^- は積雪への堆積後、日射その他の作用により、積雪当時のプロファイルの残存が難しいことが示されている（Iizuka et al., 2006）。イオン成分などの化学成分とは異なり、ダストは不溶性の固体微小粒子であるため、年間涵養量が水当量で数 cm 以下と小さい南極内陸部においても堆積後の影響は小さく、積雪中での短周期シグナルの保存性もよいものと考えられる。さらにダストの発生起源に関する情報とあわせ、南極の氷床コアでのダスト解析は、過去の南半球における季節～数年スケールの短周期の大気循環をはじめとする環境変動に関する有益な知見となることが期待される。

2. 研究の目的

本研究は南極・ドームふじ基地で掘削された氷床コア中のダストの高時間分解解析から、季節～数年スケールの短周期シグナルの変化を検出することにより、従来よりも短時間スケールでの過去の環境変動・大気循環に関する知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

試料は南極・ドームふじ基地で 1995 年から 1995～96 年に掘削された氷床コアから、

- (1) 完新世 (Marine Isotope Stage: MIS1、9.6 kyrBP)
- (2) 最終氷期末期最大期 (LGM、MIS2、22

kyrBP)

- (3) 亜間氷期 (MIS3、58 kyrBP)
- (4) 亜氷期 (MIS4、68 kyrBP)
- (5) 亜間氷期 (MIS5a、85 kyrBP)
- (6) 亜氷期 (MIS5d、113 kyrBP)
- (7) 最終間氷期 (MIS5e、131 kyrBP)
- (8) 氷期 (MIS7d から 7c への移行期、222 kyrBP)

の計 8 試料を選択した。それぞれのコアの長さは、約 50 cm である。これらの氷床コアは、低温室 (-20°C) に設置した簡易クリーンブース内で、予め洗浄したセラミックナイフにより氷床コア外部の汚染を除去しながら、氷床コアの深さ方向に約 2～5 mm 間隔で切削し試料とした。これらは氷床コアの深さにもよるが、おおよそ数ヶ月から 2～3 年に相当する。得られた試料は融解後、レーザーパーティクルカウンターでダスト濃度を、イオンクロマトグラフィーで Ca^{2+} をはじめとするイオン成分濃度を測定した。なお Ca^{2+} は Röhrlisbeger et al. (2002) の方法で海洋エアロゾルと地殻平均の値から、陸域起源成分である非海塩性 Ca^{2+} (以下 nss- Ca^{2+} と表記) を計算し、解析を行った。

4. 研究成果

氷床コア中のダスト濃度は、気候ステージごとに大きく異なった。すなわち温暖期である完新世 (平均 5.9 ppbv) や最終間氷期 (13.1 ppbv) は低く、一方寒冷期、特に最終氷期末期の LGM (249 ppbv) や亜氷期の MIS4 (201 ppbv) では高濃度となった。また最終氷期の他の亜氷期 (MIS5d、29.4 ppbv) や亜間氷期 (MIS3、40.8 ppbv : MIS5a、17.0 ppbv)、最終氷期の前の氷期 (MIS7d から 7c への移行期、28.9 ppbv) は、中間的な濃度となった。これらは従来報告されているドームふじ氷床コアの当該気候ステージでのダスト濃度 (Fujii et al., 2003) とおおむね一致する。またこれらの傾向は nss- Ca^{2+} でも同様だった。それぞれの気候ステージでのダスト濃度の変動は、年層相当厚以下の間隔でもその変動が見られており、季節～数年スケールでのダスト濃度変動を捉えることができた。例として、図 1 に完新世と LGM のダスト濃度プロファイルをそれぞれの年層相当厚とともに示す。特に年層相当厚の大きい温暖期である完新世 (図 1) や最終間氷期では、顕著に

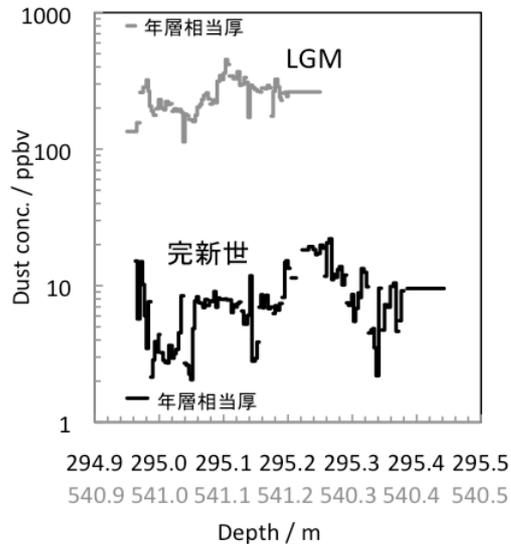


図1 南極・ドームふじ氷床コアにおける高時間分解による完新世と最終氷期最大期(LGM)でのダスト濃度プロファイル。横軸の一段目は完新世の、二段目はLGMにおける氷床コアの深さをそれぞれ示す。横バーは各気候ステージでの氷の年層相当厚 (cm ice eq.) を示す。

現れていた。ダスト濃度の相対的な変動は、ダスト濃度の低い温暖期には大きく、ダスト濃度の高い寒冷期には小さい傾向が見られた。

次にダスト濃度でのスペクトル解析を試みた。その結果、温暖期の完新世では当該コア深度での年層相当厚に対応する周期が見られた。温暖期は寒冷期に比較して、年間の堆積量(質量収支)が大きいと考えられている。このことは、温暖期のダスト濃度変動には、年相当の周期性がある可能性を示唆する。

さらに $nss\text{-Ca}^{2+}$ とダストの質量比を求めた(以下、 $nss\text{-Ca}^{2+}$ /ダスト比と表記)。なおダストの密度は 2.5 g cm^{-3} (Fujii et al., 2003) とし、これらの気候ステージごとの平均値と標準偏差(SD)を求めた。これらはいずれも陸域起源物質であり、その比は陸域起源物質の発生源地域の鉱物組成に由来していると考えられる。平均質量比は、寒冷期であるLGMで最も小さく(平均 \pm SD: 0.104 ± 0.015)、温暖期である最終間氷期で最も大きく(0.250 ± 0.176) なった。これら平均値と気温の指標となる各氷床コアの氷の $\delta^{18}\text{O}$ と比較した。図2に示す。 $\delta^{18}\text{O}$ と $nss\text{-Ca}^{2+}$ /ダスト比の平均値の相関は、 $r=0.97$ と非常に良かった。また $nss\text{-Ca}^{2+}$ /ダスト比のSDも氷の $\delta^{18}\text{O}$ と比較した結果、 $r=0.85$ とこちらもよい相関が見られた。

以上まとめると、南極ドームふじ氷床コア中のダスト濃度は、数年以下の短周期シグナ

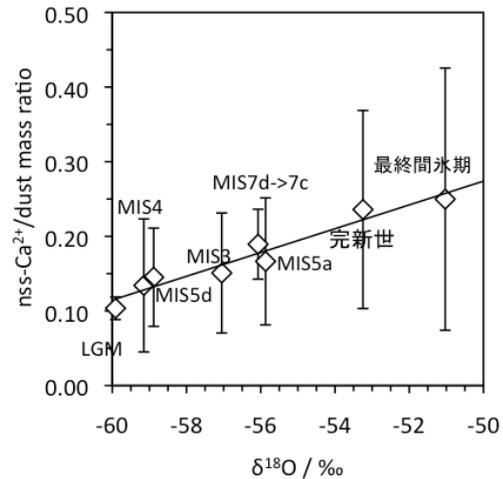


図2 南極・ドームふじ氷床コアにおける高時間分解解析による気候ステージごとの $\delta^{18}\text{O}$ と $nss\text{-Ca}^{2+}$ とダスト質量比の平均値との関係。エラーバーは標準偏差を示す。

ルとして残存していることが明らかとなった。スペクトル解析の結果、特に温暖期である完新世では、年層相当厚に対応する周期が見られ、年相当の周期性がある可能性が示唆された。これらは数年以下スケールでの変動のため、海水準変動に伴うダスト発生源面積の変化が直接の原因の可能性は低い。またいずれも陸域起源物質である $nss\text{-Ca}^{2+}$ /ダスト比は、 $\delta^{18}\text{O}$ とよい相関があることから、南極・ドームふじにおいては気候ステージごとにダストの構成鉱物種が異なることが示唆された。これは南極内陸部の氷期のダストの発生源は南アメリカのパタゴニア地域と考えられている (Grousset et al., 1992; Delmonte et al., 2008 など) が、氷期-間氷期サイクルに伴う海水準変動によって露出する、パタゴニアの表層堆積物の均質性由来であると推察された。寒冷期であるLGMやMIS4では、ダスト濃度の相対的変動は小さい傾向でかつ $nss\text{-Ca}^{2+}$ /ダスト比の平均値とSDも小さく、ダスト起源の変動は比較的安定していたことが推察された。一方、温暖期である完新世と最終間氷期では、ダスト濃度の相対的変動は大きく、かつ $nss\text{-Ca}^{2+}$ /ダスト比の平均値とSDも大きいことから、比較的短周期なダスト発生源表層の変化やパタゴニア以外からのダストの寄与も起因となっている可能性が示唆された。

今回十分に検討を行うことができなかったが、今後同位体比解析などダストの発生源の直接的な検討を行うことによって、寒冷期のダスト発源地域の短周期での変動の有無だけでなく、現在では情報の乏しい温暖期のダスト発源地域が寒冷期と異なるのか、また短周期で異なるのか否か、明らかにできる

可能性がある。これらは南極を含む南半球での過去の環境変動・大気循環を考察する上で重要な知見となり得るだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Iizuka, Y., T. Miyake, M. Hirabayashi, T. Suzuki, S. Matoba, H. Motoyama, Y. Fujii, T. Hondoh, Constituent elements of insoluble and nonvolatile particles during the Last Glacial Maximum of the Dome Fuji ice core, *Journal of Glaciology*, 査読有、Vol.44, No.191, 2009, 552-562
- ② 三宅隆之、平林幹啓、植村立、東久美子、本山秀明、極域氷床深層コアの化学成分分析用試料の汚染除去前処理方法の検討、南極資料、査読有、53 巻、3 号、2009、259-282 [学会発表] (計 27 件)
- ③ Miyake, T., Y. Iizuka, K. Sano, T. Tatenuma, R. Uemura, T. Hondoh, Y. Fujii, High time-resolution analysis of dust in the Dome Fuji ice core, East Antarctica: a comparison of differential climate stages during the last glacial period, American Geophysical Union 2009 Fall Meeting, 2009 年 12 月, アメリカ・サンフランシスコ.
- ④ Iizuka, Y., A. Tsuchimoto, T. Sakurai, M. Hirabayashi, T. Suzuki, T. Miyake, R. Uemura, S. Fujita, H. Motoyama, Y. Fujii, T. Hondoh, Constituent elements of soluble particles of the Dome Fuji surface snow and ice core, The 2nd International Symposium on the Dome Fuji Ice Core and Related Topics, 2009 年 11 月, 国立極地研究所 (東京都立川市) .
- ⑤ Miyake, T., Y. Fujii, M. Hirabayashi, R. Uemura, T. Kuramoto, K. Goto-Azuma, H. Motoyama, K. Fujita, S. Horikawa, Y. Iizuka, M. Igarashi, M. Kohno, K. Suzuki, T. Suzuki, Dust record from the Dome Fuji ice core, Antarctica over the past 720-kyrs, The 2nd International Symposium on the Dome Fuji Ice Core and Related Topics, 2009 年 11 月, 国立極地研究所 (東京都立川市) .
- ⑥ Goto-Azuma, K., M. Hirabayashi, T. Miyake, T. Kuramoto, H. Motoyama, M. Igarashi, R. Uemura, Y. Fujii, Y. Iizuka, M. Kohno, K. Suzuki, T. Suzuki, K. Fujita, S. Horikawa, Variability of sea-salt, mineral dust and non-sea-salt sulfate aerosols at Dome Fuji, East Antarctica during the past seven glacial cycles, The 2nd International Symposium on the Dome Fuji Ice Core and Related Topics, 2009 年 11 月, 国立極地研究所 (東京都立川市) .
- ⑦ Uemura, R., H. Motoyama, V. Masson-Delmotte, J. Jouzel, T. Miyake, M. Hirabayashi, T. Kuramoto, M. Kohno, K. Goto-Azuma, Y. Fujii, K. Fujita, S. Horikawa, M. Igarashi, Y. Iizuka, K. Suzuki, T. Suzuki, Deuterium-excess record from the Dome Fuji ice core over the past 720,000 years, The 2nd International Symposium on the Dome Fuji Ice Core and Related Topics, 2009 年 11 月, 国立極地研究所 (東京都立川市) .
- ⑧ 三宅隆之、平林幹啓、植村立、東久美子、本山秀明、極域氷床深層コアの化学成分分析用試料の汚染除去前処理方法の検討、第 32 回極域気水圏シンポジウム、2009 年 11 月、国立極地研究所 (東京都立川市) .
- ⑨ Iizuka, Y., A. Tsuchimoto, T. Sakurai, M. Hirabayashi, T. Suzuki, T. Miyake, R. Uemura, S. Fujita, H. Motoyama, Y. Fujii, T. Hondoh, Constituent elements of soluble particles of the Dome Fuji surface snow and ice core, ILTS International Symposium "Frontier of Low Temperature Science", 2009 年 11 月, 北海道大学 (札幌市) .
- ⑩ 三宅隆之、平林幹啓、植村立、東久美子、本山秀明、第 2 期ドームふじ氷床コアの化学成分分析用試料の前処理方法の検討、雪氷研究大会 (2009・札幌)、2009 年 9 月、北海道大学 (札幌市) .
- ⑪ 飯塚芳徳、鈴木利孝、櫻井俊光、平林幹啓、三宅隆之、植村立、本山秀明、藤井理行、本堂武夫、南極ドームふじ氷床コアによる氷期間氷期スケールの水溶性エアロゾルの主要組成変動、雪氷研究大会 (2009・札幌)、2009 年 9 月、北海道大学 (札幌市) .
- ⑫ 本山秀明、東久美子、植村立、三宅隆之、平林幹啓、倉元隆之、飯塚芳徳、鈴木啓助、藤田秀二、南極ドームふじ氷床深層コアの化学基本解析について、雪氷研究大会 (2009・札幌)、2009 年 9 月、北海道大学 (札幌市) .
- ⑬ 飯塚芳徳、鈴木利孝、平林幹啓、三宅隆之、本山秀明、藤井理行、本堂武夫、南極ドームふじ氷床コアによる過去 72 万年間の水溶性エアロゾルの主要組成変動、2009 年度日本地球化学会年会、2009 年 9 月、広島大学 (広島県東広島市) .
- ⑭ Goto-Azuma, K., M. Hirabayashi, T. Miyake, R. Uemura, T. Kuramoto, H. Motoyama, M. Igarashi, Y. Iizuka, K. Suzuki, T. Suzuki, K. Fujita, S. Horikawa, M. Kohno, Y. Fujii, K.

- Kawamura, S. Aoki, T. Nakazawa, Environmental changes during the past seven glacial cycles reconstructed from Dome Fuji, East Antarctica, MOCA-09: IAMAS-IAPSO-IACS 2009 Joint Assembly, 2009年7月, カナダ・モントリオール.
- ⑬ 三宅隆之、藤井理行、平林幹啓、植村立、倉元隆之、東久美子、本山秀明、五十嵐誠、飯塚芳徳、河野美香、鈴木啓助、鈴木利孝、藤田耕史、堀川信一郎、南極ドームふじ氷床コアにおける過去 72 万年のダストフラックス変動、日本地球惑星科学連合 2009 年大会、2009 年 5 月、幕張メッセ国際会議場 (千葉市) .
- ⑭ Motoyama, H., R. Uemura, M. Hirabayashi, T. Miyake, T. Kuramoto, Y. Tanaka, Dome Fuji Ice Core Project Members, Characteristics of basal ice and chemical constituents at Dome Fuji, Antarctica, European Geosciences Union General Assembly 2009, 2009 年 4 月、オーストリア・ウィーン.
- ⑮ Miyake, T., Y. Fujii, M. Hirabayashi, R. Uemura, T. Kuramoto, K. Goto-Azuma, H. Motoyama, Y. Iizuka, M. Igarashi, M. Kohno, K. Suzuki, T. Suzuki, K. Fujita, S. Horikawa, A 720-kyear record of dust variability from the Dome Fuji ice core, Antarctica, American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, 2008 年 12 月, アメリカ・サンフランシスコ.
- ⑯ Motoyama, H., R. Uemura, M. Hirabayashi, T. Miyake, T. Kuramoto, Y. Tanaka, Dome Fuji Ice Core Project Members, Characteristics of basal ice and subglacial water at Dome Fuji, Antarctica ice sheet, American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, 2008 年 12 月, アメリカ・サンフランシスコ.
- ⑰ 蓼沼拓也、東久美子、三宅隆之、平林幹啓、倉元隆之、本山秀明、藤井理行、南極ドームふじ氷床コアにおける最終氷期の温暖化イベント (AIM イベント) の連続化学分析、第 31 回極域気水圏・生物圏合同シンポジウム、2008 年 12 月、国立極地研究所 (東京都板橋区) .
- ⑱ 本山秀明、植村立、平林幹啓、三宅隆之、倉元隆之、田中洋一、ドームふじ氷床コア研究グループ (ICC)、南極ドームふじにおける氷床底面付近の状態と底面融解、第 31 回極域気水圏・生物圏合同シンポジウム、2008 年 12 月、国立極地研究所 (東京都板橋区).
- ⑲ 東久美子、平林幹啓、三宅隆之、植村立、倉元隆之、本山秀明、五十嵐誠、飯塚芳徳、鈴木啓助、鈴木利孝、藤田耕史、堀川信一郎、堀川信一郎、河野美香、藤井理行、ドームふじにおける過去 72 万年間のオービタル・スケール及び千年スケールのエアロゾル変動、第 31 回極域気水圏・生物圏合同シンポジウム、2008 年 12 月、国立極地研究所 (東京都板橋区).
- ⑳ 三宅隆之、藤井理行、平林幹啓、植村立、倉元隆之、東久美子、本山秀明、五十嵐誠、飯塚芳徳、河野美香、鈴木啓助、鈴木利孝、藤田耕史、堀川信一郎、南極ドームふじにおける過去 72 万年のダスト変動、第 31 回極域気水圏・生物圏合同シンポジウム、2008 年 12 月、国立極地研究所 (東京都板橋区).
- ㉑ Motoyama, H., R. Uemura, M. Hirabayashi, T. Miyake, T. Kuramoto, Y. Tanaka, Dome Fuji Ice Core Project Members, Characteristics of basal ice and chemical constituents at Dome Fuji, Antarctica ice sheet, Quaternary Climate: from Pole to Pole EPICA Open Science Conference, 2008 年 11 月, イタリア・ヴェネチア.
- ㉒ Uemura, R., H. Motoyama, T. Miyake, M. Hirabayashi, T. Kuramoto, K. Goto-Azuma, V. Masson-Delmotte, J. Jouzel, Y. Fujii, K. Fujita, S. Horikawa, M. Igarashi, Y. Iizuka, M. Kohno, K. Suzuki, T. Suzuki, A 720,000 years deuterium-excess record from the Dome Fuji ice core, Antarctica, Quaternary Climate: from Pole to Pole EPICA Open Science Conference, 2008 年 11 月, イタリア・ヴェネチア.
- ㉓ Iizuka, Y., T. Sakurai, T. Miyake, M. Hirabayashi, T. Suzuki, S. Matoba, H. Motoyama, Y. Fujii, T. Hondoh, Constituent elements of insoluble and nonvolatile particles of the Dome Fuji ice core, Quaternary Climate: from Pole to Pole EPICA Open Science Conference, 2008 年 11 月, イタリア・ヴェネチア.
- ㉔ Goto-Azuma, K., M. Hirabayashi, T. Miyake, R. Uemura, T. Kuramoto, H. Motoyama, M. Igarashi, Y. Iizuka, K. Suzuki, T. Suzuki, K. Fujita, S. Horikawa, M. Kohno, Y. Fujii, K. Kawamura, S. Aoki, T. Nakazawa, Orbital and millennial-scale variability of sea-salt, dust and non-sea-salt sulfate aerosols during the past 720,000 years, Quaternary Climate: from Pole to Pole EPICA Open Science Conference, 2008 年 11 月, イタリア・ヴェネチア.
- ㉕ 本山秀明、植村立、平林幹啓、三宅隆之、田中洋一、ドームふじ氷床コア研究グループ (ICC)、南極ドームふじにおける氷床

底面付近の状態、雪氷研究大会（2008・東京）、2008年9月、東京大学（東京都文京区）。

②⑥ 三宅隆之、飯塚芳徳、佐野清文、蓼沼拓也、植村立、本堂武夫、藤井理行、南極ドームふじ氷床コアにおけるダストの高時間分解能解析・その2-異なる気候ステージの比較-、雪氷研究大会（2008・東京）、2008年9月、東京大学（東京都文京区）。

②⑦ 三宅隆之、飯塚芳徳、蓼沼拓也、佐野清文、植村立、本堂武夫、藤井理行、南極ドームふじ氷床コアにおけるダストの高時間分解能解析：ダストとカルシウムイオンとの関係、日本地球惑星科学連合2008年大会、2008年5月、幕張メッセ国際会議場（千葉市）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三宅 隆之 (MIYAKE TAKAYUKI)

国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

研究者番号：90390715

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：