

平成 21 年 5 月 7 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19710001  
 研究課題名（和文） 南極氷床コアの高時間分解能解析による約 40 万年前の間氷期の年々環境変動特性の解明  
 研究課題名（英文） Paleoclimatic reconstruction on inter-annual scale of interglacials analyzed by Dome Fuji ice core, Antarctica  
 研究代表者  
 飯塚 芳徳 (IIZUKA YOSHINORI)  
 北海道大学・低温科学研究所・助教  
 研究者番号：40370043

研究成果の概要:南極ドームふじ氷床コアの溶存イオン濃度を数 mm 分解能の深さ分解能で分析し、おもな溶存イオン濃度の短周期変動が季節変動に起因していることを示唆した。完新世のナトリウムイオン濃度の短周期変動が南極海の海氷面積の季節変動と対応していることを提唱し、南極のヒプシサーマルの時期はそれ以後のやや寒冷な時期に比べて、海氷の季節変動幅が小さく、冬季に現在ほど北上していない可能性を示唆した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：環境動態解析

科研費の分科・細目：一般・環境動態解析

キーワード：極地、環境変動、地球化学

## 1. 研究開始当初の背景

年間の堆積量が多い雪氷コアによる古地球環境変動の解読は海底コアなどの他の手法に比べて高時間分解能な情報をもたらす長所がある。研究代表者は 2006 年度までの科学研究費（若手 B）を活用し、南極氷床ドームふじ深層コアを用いて、厚さ 2mm ほどの無機イオン濃度分析法を開発した。雪氷コアに含まれる無機イオン濃度は、陸海域変動、物質循環変動、火山活動などの

古地球環境変動の解読に極めて有力な環境シグナルであり、南極内陸の氷床コアの氷試料 2mm 厚は数ヶ月間の環境情報に相当する。無機イオン濃度を数ヶ月の時間分解能で解読した結果、完新世や最終氷期に季節変動と思われる短周期の変動が存在することを明らかにしてきた。

研究代表者のグループは 2006 年度までの科学研究費（学術創成）の研究成果として、ドームふじ氷床コアに含まれる無機イ

オン濃度が酸や塩など様々な化合物で存在していることを明らかにした。具体的には顕微ラマン分光器により、完新世には硫酸ナトリウムが最終氷期には硫酸カルシウムや塩化ナトリウムが塩の主成分であることが同定され、これらの塩は氷中で固体として存在するために拡散の影響を受けにくくなり、より深部においても古環境情報を保持されることを示した。

このように、研究代表者の周囲は氷床コアに含まれる化学プロキシーを用いた高時間分解能な古環境復元を行うにあたり、潜在的な知見が得られつつあった。

## 2. 研究の目的

研究代表者は氷床コア厚さ 2mm ごとの無機イオン濃度分析法を開発したスキル、顕微ラマン分光器を有している研究環境を活かし、本研究計画期間内に以下のことを明らかにすることを目的とした。

- ・ドームふじ氷床コアから間氷期の連続な数十年間の環境変動を季節レベルの時間分解能で解読すること。
- ・溶存無機イオンが主にどのような塩や酸で分布しているのかを明らかにし、環境復元に好適な無機イオン種を選別すること。
- ・環境復元に好適な無機イオン種を用いて、環境シグナルの年々変動、季節変動を評価し、間氷期における古地球環境変動を復元すること。

## 3. 研究の方法

(1)氷床コア中無機イオン濃度を 2mm ごと分析した

無機イオン濃度分析用の氷床コアを低温クリーンルームに設置されたクリーンベンチ内において 2mm 厚ごとセラミックナイフで削り、その削氷を化学的汚染のない袋

の中で融解した。分注した氷試料の無機イオン濃度をイオンクロマトグラフィーで分析した。

(2)氷床コア中の塩を同定した

氷を密閉空間中で昇華させ、不揮発性粒子のみを取り出す方法を開発した。この方法から、完新世や最終氷期最盛期の氷に含まれる塩の組成を同定した。

(3)環境シグナルの年々、季節変動から気候イベントや環境変動シナリオを検証した  
間氷期の環境シグナルの年々変動、季節変動の特性から、特に年層が厚く保存されている完新世の間氷期に着目し、海氷面積の季節変動の抽出と検討を進めた。

## 4. 研究成果

(1) イオン濃度の短周期変動

イオン濃度の短周期変動について、各イオン種の特徴は以下の通りであった。

硝酸イオン・・・積雪表面での揮発の影響を受け、深さ 60cm くらいまでの浅い積雪中から大気中に硝酸イオンの大部分が移動する(雪から抜ける)。深さ 60cm 以深の低濃度の硝酸イオンは拡散の影響で、その短周期変動が検出されにくくなる。

塩化物イオン・・・塩化物イオンは拡散の影響で、その短周期変動が検出されにくくなる。

硫酸イオン・・・硫酸イオンは揮発や拡散の影響を受けていないように見え、見かけの短周期変動を保持しているように見える。しかしながら、その短周期変動は陽イオンとの塩を形成したため、もともと硫酸イオンが有していた濃度変動は検出されにくくなる。

陽イオン(ナトリウムイオン、カルシウムイオン)・・・揮発や拡散の影響を受けていないように見え、季節変動レベルの短周期

変動を保持している可能性が高い。  
詳細は Iizuka et al., 2006 を参照。

## (2) 塩組成とイオンバランスの関係について

あるイオンバランスを有している氷に含まれる代表的な塩を推定する方法を提案した。硫酸カルシウム、硫酸ナトリウム、硝酸塩、塩化物塩の順で優先して塩を形成するとし、陽イオンと陰イオンの濃度の許す限り上述の優先順で形成できると仮定すると、推定された塩の主成分はラマン分光器で同定した塩の主成分とよく一致した。このことから、ある時代に含まれている塩の主成分をイオン濃度から推定できることを示し、イオン濃度プロキシの古気候復元への応用性が増した。

詳細は Iizuka et al., 2008b を参照。

## (3) ナトリウムイオン濃度と海氷面積変動

(1)で述べたとおり、ナトリウムイオンは降雪時の短周期変動をより深部まで保存しやすい傾向になる。近年、イギリスのグループが南極内陸の氷床コアに含まれるナトリウムイオン濃度が南極周辺海域の海氷面積変動に関係があることを提唱している。そこで、短周期変動を抽出した長所を生かして、完新世における季節変動レベルでのナトリウムイオン濃度変動を解説した。

その結果、過去 30 年間のナトリウムイオン濃度の短周期変動が南極海の海氷面積の季節変動と対応していることを示唆し、完新世のナトリウムイオン濃度の短周期変動から、南極のヒプシサーマルの時期はそれ以後のやや寒冷な時期に比べて、海氷の季節変動幅が小さく、冬季に現在ほど北上していない可能性を示唆し

た。

詳細は Iizuka et al., 2008a を参照。

## 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 4 件)

- ① Yoshinori Iizuka, Takeo Hondoh, Yoshiyuki Fujii Antarctic sea-ice extent during the Holocene reconstructed from inland ice-core evidence, *J. Geophys. Res.*, 113, D15114, 10.1029/2007JD009326, 2008a, 査読有
- ② Yoshinori Iizuka, Shinichiro Horikawa, Toshimitsu Sakurai, Sigfus Johnson, Dorte Dahl-Jensen, Jorgen Peder Steffensen, and Takeo Hondoh A relationship between ion balance and the chemical compounds of salt inclusions found in the Greenland Ice Core Project and Dome Fuji ice cores, *J. Geophys. Res.*, 113, D07303, 10.1029/2007JD009018, 2008b, 査読有
- ③ Hideaki Motoyama, Okitsugu Watanabe, Yoshiyuki Fujii, Kokichi Kamiyama, Makoto Igarashi, Sumito Matoba, Takao Kameda, Kumiko Goto-Azuma, Kaoru Izumi, Hideki Narita, Yoshinori Iizuka and Elisabeth Isaksson, Analyses of ice core data from various sites in Svalbard glaciers from 1987 to 1999, *NIPR ARCTIC DATA REPORTS*, 7, 2008, 査読無
- ④ 飯塚芳徳, 氷床コア中の不揮発性粒子を観察するための氷昇華法の開発, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, 14, 19-23, 2008, 査読無

[学会発表] (計 17 件)

- ① Takayuki Miyake, Yoshiyuki Fujii, Motohiro Hirabayashi, Ryu Uemura, Takayuki Kuramoto, Kumiko Goto-Azuma, Hideaki Motoyama, Yoshinori Iizuka, Makoto Igarashi, Mika Kohno, Keisuke Suzuki, Toshitaka Suzuki, Koji Fujita, Shinichiro Horikawa : A 720-kyear record of dust variability from the Dome Fuji ice core, Antarctica. American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, San Francisco, 15-19, Dec., 2008.

- ② 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、飯塚芳徳、五十嵐誠、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，国立極地研究所，国立極地研究所，12 月 2-5 日，2008.
- ③ 佐藤弘康、鈴木利孝、飯塚芳徳、平林幹啓、本山秀明、藤井理行：ドームふじ氷コアに記録された金属異常濃縮と CO2 濃度の関係。第 31 回極域気水圏・生物圏合同シンポジウム，国立極地研究所，国立極地研究所，12 月 2-5 日，2008.
- ④ Iizuka, Y., Sakurai, T., Miyake, T., Uemura, R., Hirabayashi, M., Suzuki, T., Matoba, S., Motoyama, H., Fujii, Y. and Hondoh, T. Constituent elements of insoluble and nonvolatile particles of the Dome Fuji ice core, EPICA open science conference, Venice, Italy, Nov.10-13, 2008.
- ⑤ Goto-Azuma. K., Hirabayashi, M., Miyake, T., Uemura, R., Kuramoto, T., Motoyama, H., Igarashi, M., Iizuka, Y., Suzuki, K., Suzuki, T., Fujita, K., Horikawa, S., Kohno, M., Fujii, Y., Kawamura, K., Aoki, S. and Nakazawa, T. : Orbital and millennial-scale variability of sea-salt, dust and non-sea-salt sulfate aerosols during the past 720,000 years reconstructed at Dome Fuji, East Antarctica. EPICA open science conference, Venice, Italy, Nov.10-13, 2008.
- ⑥ Uemura R., Motoyama, H., Miyake, T., Hirabayashi, M., Kuramoto, T., Goto-Azuma, K., Masson-Delmotte, V., Jouzel, J., Fujii, Y., Fujita, K., Horikawa, S. Igarashi, M., Iizuka, Y., Kohno, M., Suzuki, K., Suzuki, T. : A 720,000 years record of deuterium-excess variation from the Dome Fuji ice core, Antarctica. EPICA open science conference, Venice, Italy, Nov.10-13, 2008.
- ⑦ 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解析・その 2 -異なる気候ステージでの比較-。2008 年雪氷研究大会，
- (社) 日本雪氷学会・日本雪工学会，東京大学本郷キャンパス，9 月 24-27 日，2008.
- ⑧ 櫻井俊光，飯塚芳徳，堀川信一郎，内田努，本堂武夫：南極氷床 Dome Fuji コア深部に含まれる微粒子とエアロソールの分布。2008 年雪氷研究大会，(社) 日本雪氷学会・日本雪工学会，東京大学本郷キャンパス，9 月 24-27 日，2008.
- ⑨ 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，幕張メッセ国際会議場、千葉，5 月 25-30 日，2008.
- ⑩ 三宅隆之、飯塚芳徳、蓼沼拓也、柳澤和勲、佐野清文、植村立、本堂武夫、藤井理行：High-time resolution analysis of dust in the Dome Fuji deep ice core, Antarctica: Relationship between dust and calcium ion. 2007 American Geophysical Union fall meeting, San Francisco, 10-14, December, 2007.
- ⑪ 三宅隆之、藤井理行、東久美子、飯塚芳徳、五十嵐誠、植村立、河野美香、佐藤和秀、鈴木啓助、鈴木利孝、平林幹啓、福岡孝昭、藤田耕史、堀川信一郎、本山秀明、吉田尚弘、渡邊興亜：南極ドームふじ氷床コアにおける過去 72 万年のダスト濃度の変動。第 30 回極域気水圏シンポジウム，国立極地研究所，12 月 1-4 日，2007.
- ⑫ 蓼沼拓也、飯塚芳徳、三宅隆之、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氷期・氷間氷期のダスト濃度の高時間分解能解析。第 30 回極域気水圏シンポジウム，国立極地研究所，12 月 1-4 日，2007.
- ⑬ 三宅隆之、飯塚芳徳、蓼沼拓也、柳澤和勲、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。2007 年度日本雪氷学会全国大会，富山大学，9 月 25-28 日，2007.
- ⑭ 櫻井俊光，飯塚芳徳，堀川信一郎，本堂武夫：南極 Dome Fuji 氷床コア深部に含まれる微粒子の分布と化学組成。2007 年度日本雪氷学会全国大会，富山大

学, 9月25-28日, 2007.

- ⑮ Iizuka, Yoshinori, T. Sakurai, S. Horikawa, T. Hondoh, S. Johnson, D. Dahl-Jensen, J. P. Steffensen: A relation between major ion balance and chemical compounds of salt inclusions in the GRIP and Dome Fuji ice cores. PICR-2, 北海道大学低温科学研究所, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2-6 February, 2007.
- ⑯ Sakurai, Toshimitsu, H. Ohno, S. Horikawa, Y. Iizuka, T. Hondoh, S. Johnson, D. Dahl-Jensen, J. P. Steffensen: Comparison of salt inclusions between the Dome Fuji and GRIP ice cores - Implications for aerosol distributions during Termination I -. PICR-2, 北海道大学低温科学研究所, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2-6 February, 2007.
- ⑰ Horikawa, Shinichiro, T. Sakurai, Y. Iizuka, T. Hondoh, S. Johnson, D. Dahl-Jensen, J. P. Steffensen: Analysis of Micro-inclusions in the Dome Fuji and the GRIP ice cores by using Scanning Electron Microscope. PICR-2, 北海道大学低温科学研究所, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 2-6 February, 2007.

[図書] (計1件)

飯塚芳徳、澤柿教伸、杉山慎、的場澄人, 氷床から過去の地球環境を復元する, なぞの宝庫・南極大陸, 131-170, 技術評論社 (ISBN)978-4-7741-3661-5, 2008

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

飯塚 芳徳 (IIZUKA YOSHINORI)

北海道大学・低温科学研究所・助教

研究者番号: 40370043