

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成27年5月27日現在

機関番号：62611

研究種目：若手研究（S）

研究期間：2009年～2014年

課題番号：21671001

研究課題名（和文）

南極氷床コア分析と気候モデリングに基づく氷期・間氷期の気候変動メカニズムの解明

研究課題名（英文）

Mechanisms of glacial-interglacial climatic changes explored with Antarctic ice core analyses and climate modeling

研究代表者

川村 賢二 (KAWAMURA, Kenji)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：90431478

交付決定額（研究期間全体）（直接経費）：83,000,000円

研究成果の概要（和文）：

南極ドームふじ氷床コアの気体を分析し、主要な温室効果ガスであるCO₂、CH₄、N₂Oや海水温の指標となるKrやXeなど多種のガス成分を対象として、過去70万年間の変動の概略復元および一部の詳細復元を実施した。特に、ドームふじコアに世界初となるO₂/N₂データを用いた正確な年代を与え、その年代を用いた統計検定や、将来予測にも用いられる気候・氷床モデルとの連携により、氷期・間氷期の気候変動メカニズムの理解を進めた。その結果、過去7回の退氷期のトリガーとして地軸傾斜より地軸歳差が重要であるという、従来説を覆す結果を得た。さらに、過去40万年間にわたる10万年周期の氷期サイクルの発現にはCO₂の変動は必須ではなく、軌道要素の変動による地球システム内部の相互作用（特に北米氷床の気候に対するヒステリシスおよび氷床-地殻の相互作用）が本質的に重要であることや、CO₂変動が氷期サイクルの振幅を2倍程度に増幅したことを世界で初めて示した。また、KrやXeのデータ取得も世界初であり、その信頼性検証のため、南極やグリーンランドの複数の氷床コアの分析を実施したうえで、これらのガス成分から過去の海洋の平均温度を最終退氷期について復元した。

研究成果の概要（英文）：

We analyzed the Dome Fuji ice core from Antarctica for major greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O), as well as other gases including the concentrations of Kr and Xe that may be used as proxies for mean ocean temperature. In particular, we accurately dated the core with O₂/N₂ ratio, for the first time, and made advancement on understanding of the mechanisms of glacial-interglacial cycles by statistical test of termination timings and climate-ice sheet modeling. Our results show that the terminations are more closely related with precession than with obliquity. Moreover, for the past 400 kyr, the 100-kyr periodicity of glacial cycles was not primarily caused by CO₂ forcing, but it was caused by orbital forcing and resulting interactions within the Earth system (in particular, hysteresis response of north American ice sheet to climate, and interaction between ice sheet and bedrock). The reliability of Kr and Xe data were carefully confirmed by measuring several ice cores from both Antarctica and Greenland, and the variations of mean ocean temperature over the last glacial termination were reconstructed, for the first time, from these gases in the past atmosphere.

研究分野：複合新領域

キーワード：環境変動・気候変動・南極氷床コア・温室効果ガス・物質循環

1. 研究開始当初の背景

近年、温室効果ガスが人間活動に伴って増加しており、将来的に気候が大きく変化する懸念がある。気候予測の高精度化には、現在気候の研究だけでなく、過去の地球上

で起こった気候変動の把握とメカニズムの解明が重要である。しかしながら、地球史上で最大級である氷期・間氷期変動に関する現在の理解は全く不十分であり、早急に推進すべき学術的課題として国際的な関心事とな

っている。

2. 研究の目的

氷期・間氷期の気候変動に伴って変動する温室効果ガスである CO_2 、 CH_4 、 N_2O の濃度や全球海水温の新しい指標として期待される Kr や Xe の濃度、および関連諸気体の時間変動を復元したうえで正確に年代決定する。得られたデータの時系列を解析するとともに気候モデルへの入力データとして提供し、氷期・間氷期の変動メカニズムについて定量的理解を得る。

3. 研究の方法

我が国が掘削した南極ドームふじ氷床コアは、過去の大気を閉じこめたタイムカプセルである。この空気を変質させることなく抽出し、精密に計測することにより、温室効果気体や希ガスおよび関連要素の過去の変動を正確に復元する。また、将来予測にも用いられる全球気候モデルや氷床モデルを利用し、氷床コア分析から得られた結果を解析することにより、氷期・間氷期の気候変動の原因やメカニズム、および気候と温室効果ガス変動との関連を明らかにする。

4. 研究成果

(1) ガスクロマトグラフや質量分析計、空気抽出装置を用いた氷床コア空気の高精度分析手法の開発を進め、世界最高の精度と少試料での分析を実施するための環境を構築した。高い精度を保ちつつ試料量を減らすために既存の技術に数々の改良を施し、多成分 (CO_2 、 CH_4 、 N_2O の濃度、 N_2 および O_2 の同位体、 O_2/N_2 比、 Ar/N_2 比、空気含有量) の分析を、空気量として約 5 mlSTP (氷の質量で約 60g) 以下という僅かな試料量で行うことに成功した。

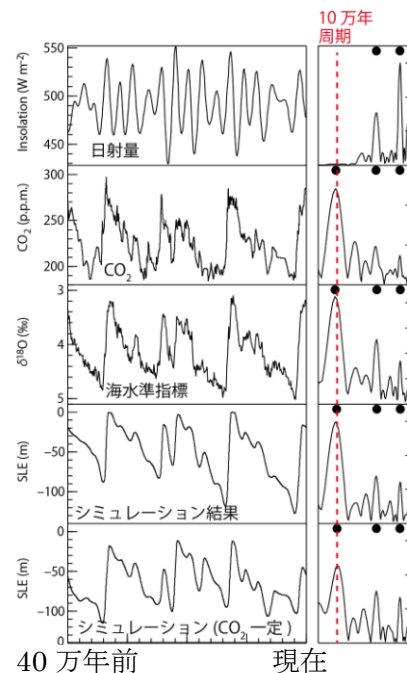
(2) 第2期ドームふじコアの深部 (2800–3029m) における気体の基本解析を推進した。その結果、ドームふじコアの最深部に至るまで、 O_2/N_2 データに夏期日射のシグナルを明瞭に認めた。欧州連合が掘削した南極ドームCコアではこの分析は成功しておらず、ドームふじコアの世界的価値が高まった。本データから約 1 万年毎に深度-年代の束縛点を得ることに成功し、それに基づいて年代計算を行うことで、70 万年にわたるドームふじコアの年代を構築した。このことは、50 年以上さかのぼる誤差 2000 年程度の年代 (あらゆる古環境記録において世界一の精度) が確立されたことを意味しており、今後の波及効果は大きいことが期待される。

CO_2 、 CH_4 、 N_2O の濃度、重力分離効果の補正に必要な N_2 の同位体比、過去の水循環や生物生産の指標となる O_2 の同位体比の分析も実施し、これらの気体の過去 70 万年

間にわたる氷期-間氷期スケールの変動を復元した。ドームふじコアの深部のデータは全体的にドームCコアのデータと整合的であったが、一部に違いが見られた。特に、約 55 万~70 万年前では、両コア間に系統差が見られ、ドームCコアの値が平均 12ppm 低い結果となった。欧州グループは 2015 年の論文でドームCコアの 65 万年前以前における CO_2 濃度が過小評価されていたことを報告しているが、本研究の結果は、非常に古い氷床コアからの CO_2 濃度復元には、さらに解決すべき課題が残されていることを示した。

(3) 10 万年周期の氷期-間氷期サイクルが生み出されるメカニズムを探るため、 O_2/N_2 年代を用いた過去 7 回の退氷期のタイミングと、歳差および地軸傾斜の変動との間の関連性を、統計検定によって調べた。その結果、地軸傾斜の変動より、歳差運動 (夏の日射に卓越する成分) の方が重要であることが示された。各軌道要素の相対的重要性は Nature 等で論争が続いているが、従来は年代精度が低いデータに基づいた研究に留まっていた。本成果によって当該分野の研究が大きく進展することが期待される。

また、将来予測にも用いられる大気海洋結合モデルと 3 次元氷床モデルを組み合わせた上で、過去の日射や正確に年代決定された CO_2 変動を入力データとして、過去 40 万年の氷期-間氷期サイクルのシミュレーションに世界で初めて成功した (図 1)。 CO_2 濃度や各軌道要素を一定にした感度実験の結果、 CO_2 は気候変動の増幅フィードバックとして重要だ

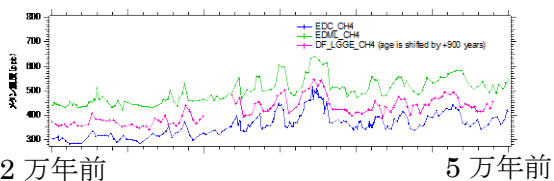


(図 1) 氷期サイクルの数値実験。日射量と CO_2 は入力データ、海水準指標は検証データ。右列は周期解析結果 (10 万年周期は赤線、有意なピークは●)。10 万年周期は CO_2 一定でも発現するが、振幅が小さい。Abe-Ouchi et al., 2013 (Nature).

が、氷期サイクルの源ではないことが強く示唆され、上述したデータ解析の結論とも整合的であった。また、モデルに入力するCO₂データの年代が氷期サイクルの振幅の再現に非常に重要であることや、わずか20 ppm程度の差で10万年周期の発現有無が決定されることが判明し、正確なCO₂復元の重要性も示された。このように、本研究は氷期-間氷期のメカニズム理解にブレークスルーをもたらした。

(4) CH₄濃度の詳細分析を実施し、1万年前~5万年前にかけて、北半球の急激な気候変動に対応するCH₄濃度急増イベントを明瞭に復元した。これにより南極氷床コアのガス年代対比を実施し、コア間の相違を見出した(図2)。今後同種の分析をさらに進めていく基盤も整った。

さらに、氷期-間氷期のCH₄循環解明のため、最終間氷期から現在にかけてのCH₄濃度と水素・炭素同位体比の分析を実施し、気候変動に伴うCH₄放出源強度の変動を推定した。その結果、氷床の盛衰に伴って高緯度湿地帯や森林火災といったCH₄放出源が変動していたことを明らかにした。



(図2) ドームふじコアのCH₄濃度の詳細解析結果(紫)。他の南極氷床コアの結果を比較のため示す(青、緑)。視認性向上のため濃度を上下にずらして表示してある。北半球の突然の気候変動に伴った濃度変動が明瞭に見られ、コア間の精密年代対比も可能になった。投稿準備中。

(5) ドームふじコアやGISP2コア、NEEMコア、WAISコアについて、Kr/N₂やXe/N₂、KrとXeの同位体比を世界で初めて分析可能にし、それらの退氷期の変動を明らかにした。Kr/N₂やXe/N₂は海水への溶解度が大きく化学生物学的な放出・吸収源がないため、大気中の濃度が平均海水温の指標となることが期待される。18,000年前から11,000年前にかけてKr/N₂とXe/N₂が上昇したことを見だし、簡易モデルで解析した結果、この間に海水温が約2.5°C上昇したと推定した。南極の気温やCO₂濃度の上昇との同時性も示され、南極・南大洋の全球変動における重要性が示唆された。また、KrとXeの同位体比からフィルン内の対流混合層厚を推定する基礎を、南極メガデューン地帯のフィルン空気の解析と理論考察、数値モデリングにより築いたうえ、ドームふじにおける氷期の混合層厚が従来の推定値とかけ離れている可能性を見いだした。さらに、これらの希ガス濃度が過去の氷床

表面融解の検出にも有効であることを示した。

(6) ドームふじ近傍において雪層からの空気の採集と浅層掘削、および孔温度の測定を実施した。これと平行してフィルン空気の希ガスを分析し、結果をフィルン空気拡散モデルの国際比較プロジェクトに供した。その結果、フィルンの最深部での気泡取り込み過程の定式化に関して、モデル間の相違が著しいことが判明し、特にCO₂やCH₄の同位体の人為起源の変化の推定結果が、本プロセスの取り扱いによって大きく変わることを示した。

(7) ドームふじコアおよびドームCコアの水同位体比データを解析するとともに、大気-海洋結合モデルで淡水実験を実施し、気候の平均状態と、南北シーソーを含む気候変動性との関連を調べた。その結果、氷期の中間的な気候状態において気候変動の繰り返し時間が最も短くなることを見いだした。このことは、最終氷期に見られていた、氷期最盛期や間氷期には気候変動が起こりにくい様相が、80万年間を通した共通の傾向であることを示す。数値シミュレーションの結果は、北部北大西洋への淡水流入に対する海洋子午面循環と南北シーソーの感度が、氷期の中間的なCO₂濃度と氷床サイズを与えた場合に最も高くなるという、データと整合性が高い結果を得た。

(8) 地質年代学的に重要な地磁気反転イベントであるブリュンヌ-松山地磁気境界(B-M境界)の絶対年代を推定する研究に参加し、ドームC氷床コアの¹⁰Beデータを、欧州が最近出版したAICC2012年代を用いて更新した。その結果、同コアから推定されるB-M境界年代値(約77万年)が千葉県地層に含まれる火山灰のU-Pb年代測定から推定した年代値と整合的であることが判明した。これは従来の定説である78万年前より1万年も若く、今後この年代をもとに、恐竜絶滅の年代など様々な地層年代が修正される可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者及び研究協力者に下線)

[雑誌論文] (計18件)

- (1) Orsi, A. J., K. Kawamura, J. M. Fegyveresi, M. A. Headly, R. B. Alley and J. P. Severinghaus, Differentiating bubble-free layers from melt layers in ice cores using noble gases, *J. Glaciol.*, 印刷中. 査読有.
- (2) F. Parrenin, S. Fujita, A. Abe-Ouchi, K. Kawamura, V. Masson-Delmotte, H. Motoyama, F. Saito, M. Severi, B. Stenni, R. Uemura, and E. Wolff, Climate dependent contrast in surface mass balance in East Antarctica

- over the past 216 kyr, *Clim. Past Discuss.*, 11, 377-405, 2015. 査読無.
doi: 10.5194/cpd-11-377-2015
- (3) Suganuma, Y., M. Okada, K. Horie, H. Kaiden, M. Takehara, R. Senda, J. Kimura, K. Kawamura, et al., Age of Matuyama-Brunhes boundary constrained by U-Pb zircon dating of a widespread tephra, *Geology*, G36625.1, 2015. 査読有.
doi: 10.1130/G36625.1
- (4) Ghosh, A., Patra, P. K., Ishijima, K., Umezawa, T., Ito, A., Etheridge, D. M., Sugawara, S., Kawamura, K., et al., Variations in global methane sources and sinks during 1910-2010, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 2595-2612, 2015. 査読有.
doi:10.5194/acp-15-2595-2015
- (5) Sigl, M., J. R. McConnell, M. Toohey, M. Curran, S. B. Das, R. Edwards, E. Isaksson, K. Kawamura, S. Kipfstuhl, K. Krüger, L. Layman, O. J. Maselli, Y. Motizuki, H. Motoyama, D. et al., Insights from Antarctica on volcanic forcing during the common era, *Nature Climate Change*, 4, 693-697, 2014. 査読有.
doi:10.1038/nclimate2293
- (6) Kawamura, K., J. P. Severinghaus, M. R. Albert, Z. R. Courville, M. A. Fahnestock, T. Scambos, E. Shields, and C. A. Shuman, Kinetic fractionation of gases by deep air convection in polar firn, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 11141-11155, 2013. 査読有.
doi:10.5194/acp-13-11141-2013
- (7) Abe-Ouchi, A., F. Saito, K. Kawamura, M. E. Raymo, J. Okuno, K. Takahashi, and H. Blatter, Insolation-driven 100,000-year glacial cycles and hysteresis of ice-sheet volume, *Nature*, 500, 190-193, 2013. 査読有.
doi:10.1038/nature12374
- (8) Fischer, H., J. Severinghaus, E. Brook, E. Wolff, M. Albert, O. Alemany, R. Arthern, C. Bentley, D. Blankenship, J. Chappellaz, T. Creyts, D. Dahl-Jensen, M. Dinn, M. Frezzotti, S. Fujita, H. Gallee, R. Hindmarsh, D. Hudspeth, G. Jugie, K. Kawamura, et al., Where to find 1.5 million yr old ice for the IPICS "Oldest-Ice" ice core, *Climate of the Past*, 9, 2489-2505, 2013. 査読有.
doi:10.5194/cp-9-2489-2013
- (9) Svensson, A., M. Bigler, T. Blunier, H. B. Clausen, D. Dahl-Jensen, H. Fischer, S. Fujita, K. Goto-Azuma, S. J. Johnsen, K. Kawamura, et al., Direct linking of Greenland and Antarctic ice cores at the Toba eruption (74 ka BP), *Climate of the Past*, 9, 749-766, 2013. 査読有.
doi:10.5194/cp-9-749-2013
- (10) Suzuki, K., T. Yamanouchi, K. Kawamura, and H. Motoyama, The spatial and seasonal distributions of air-transport origins to the Antarctic based on 5-day backward trajectory analysis, *Polar Science*, 7, 205-213, 2013. 査読有.
doi:10.1016/j.polar.2013.08.001
- (11) NEEM Community Members (133 authors including K. Kawamura, K. Goto-Azuma and M. Hirabayashi, alphabetical order), Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core, *Nature*, 493, 489-494 2013. 査読有.
doi 10.1038/Nature11789
- (12) Buizert, C., P. Martinerie, V. V. Petrenko, J. P. Severinghaus, C. M. Trudinger, E. Witrant, J. L. Rosen, A. J. Orsi, M. Rubino, D. M. Etheridge, L. P. Steele, C. Hogan, J. C. Laube, W. T. Sturges, V. A. Levchenko, A. M. Smith, I. Levin, T. J. Conway, E. J. Dlugokencky, P. M. Lang, K. Kawamura, et al., Gas transport in firn: multiple-tracer characterisation and model intercomparison for NEEM, Northern Greenland, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 4259-4277, 2012. 査読有.
doi:10.5194/Acp-12-4259-2012
- (13) Witrant, E., P. Martinerie, C. Hogan, J. C. Laube, K. Kawamura, E. Capron, S. A. Montzka, E. J. Dlugokencky, D. Etheridge, T. Blunier, and W. T. Sturges, A new multi-gas constrained model of trace gas non-homogeneous transport in firn: evaluation and behavior at eleven polar sites, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 11465-11483, 2012. 査読有.
doi:10.5194/acp-12-11465-2012
- (14) Suganuma, Y., Y. Yokoyama, T. Yamazaki, K. Kawamura, C. S. Horng, and H. Matsuzaki, Be-10 evidence for delayed acquisition of remanent magnetization in marine sediments: Implication for a new age for the Matuyama-Brunhes boundary, *Earth and Planetary Science Letters*, 296, 443-450, 2010. 査読有.
doi:10.1016/J.Epsl.2010.05.031
- (15) Severinghaus, J.P., M. R. Albert, Z. R. Courville, M. A. Fahnestock, K. Kawamura, S. A. Montzka, J. Mühle, T. A. Scambos, E. Shields, C. A. Shuman, M. Suwa, P. Tans, R. F. Weiss, Deep air convection in the firn at a zero-accumulation site, central Antarctica, *Earth and Planetary Science Letters*, 293, 360-368, 2010. 査読有.
doi:10.1016/j.epsl.2010.03.003
- (16) Masson-Delmotte, V. et al. (23 authors including K. Kawamura), An abrupt change

of Antarctic moisture origin at the end of Termination II, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 107, 12091-12094, 2010. 査読有. doi:10.1073/pnas.0914536107/-/DC.

- (17) PALEO SEA level working group (32 authors including K. Kawamura and A. Abe-Ouchi, alphabetical order), The sea-level conundrum: Case studies from palaeo-archives, *J. Quat. Sci.*, 25, 19-25, 2010. 査読有. doi: 10.1002/jqs.1270
- (18) 川村賢二, 氷床コアから探る第四紀後期の地球システム変動, *第四紀研究*, 48, 109-129, 2009. 査読無. doi:10.4116/jaqua.48.109.

[学会発表] (計 63 件)

- (1) (招待講演) 川村賢二, 極域アイスコアからみた退氷期と間氷期, 日本第四紀学会 2014 年大会, 2014 年 9 月 5~9 日, 東京大学 (柏).
- (2) (招待講演) 川村賢二, アイスコアによる古気候解析に関わる諸課題, *地球流体現象の疎構造*, 2014 年 3 月 13-14 日, 京都大学 (京都).
- (3) (招待講演) 川村賢二, 氷床コアと海底コアの年代同期, *2013 年度古海洋・古気候に関するシンポジウム*, 2014 年 1 月 7-8 日, 東京大学 (柏).
- (4) (招待講演) 川村賢二, 氷床コア分析による過去の CO₂ の復元, *日本気象学会秋季大会シンポジウム「二酸化炭素研究の最新展開」*, 2013 年 11 月 20 日, 仙台国際センター.
- (5) (招待講演) Kawamura, K., Climatic forcing and glacial cycles over the last 700,000 years viewed from Antarctica, *International CAWSES-II Symposium*, 2013 年 11 月 18-22 日, 名古屋大学.
- (6) (招待講演) Kawamura, K., Climatic and atmospheric histories over the past 700,000 years from the Dome Fuji deep ice core, Antarctica, *G-COE 2012 Symposium*, 2012 年 9 月 25-28 日, 戦災復興記念館 (仙台).
- (7) (招待講演) Kawamura, K., Timing of interglacials with respect to precession and obliquity, *4th PIGS Workshop*, 2012 年 7 月 2-5 日 Cambridge (UK).
- (8) (招待講演) 川村賢二, 氷床コアから見た南北気候のつながり, *日本気象学会春季大会シンポジウム「変動する地球気候の鍵 - 南極・北極 -」*, 2011 年 5 月 20 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京).
- (9) (招待講演) K. Kawamura, Timing and duration of the last four interglacial periods, *3rd workshop of PAGES working group on past interglacial climates*,

2010 年 10 月 20 日, New York (USA).

- (10) (招待講演) K. Kawamura, Greenhouse gases, nitrogen, oxygen and noble gas variations over glacial-interglacial cycles, *10th International Conference on Paleoclimatology*, 2010 年 8 月 30 日, La Jolla (USA).
- (11) (招待講演) K. Kawamura, Millennial-scale climatic changes during the last seven glacial periods: perspective from the Dome Fuji ice core records, *PAGES Regional Workshop*, 2010 年 6 月 6 日, 名古屋大学 (名古屋).
- (12) (招待講演) 川村賢二, 南極氷床コアから探る過去のグローバル気候変動, *日本地球惑星科学連合 2010 年大会*, 2010 年 5 月 28 日, 幕張メッセ (幕張).
- (13) (招待講演) 川村賢二, 1000 年から 10 万年の時間スケールにおけるグローバル気候変動 ~ 氷河期から人為起源の気候変化を見据える ~, *地球惑星科学連合 2009 年大会*, 2009 年 5 月 18 日, 幕張メッセ (幕張).
- (14) (招待講演) K. Kawamura, Millennial-scale Southern Hemisphere Climatic Variability During the Last Seven Glacial Periods and its Relation to Northern Hemisphere Climate, *AGU Chapman Conference on Abrupt Climate Change*, 2009 年 7 月 15 日, Columbus (USA).

[図書] (計 4 件)

- (1) 日本気象学会地球環境問題委員会編 (川村賢二, 阿部彩子, 齋藤冬樹 を著者に含む), *地球温暖化 - そのメカニズムと不確実性*, 朝倉書店, 2014 年, 総頁数 168.
- (2) 日本雪氷学会編 (川村賢二, 本山秀明, 東久美子 を著者に含む), *新版 雪氷辞典*, 古今書院, 2014 年, 総頁数 315.
- (3) 国立環境研究所地球環境研究センター編著 (川村賢二 を査読者に, 阿部彩子 を著者に含む), *地球温暖化の事典*, 丸善出版, 2014 年, 総頁数 452.
- (4) 藤井理行, 本山秀明, 東久美子, 飯塚芳徳, 伊村智, 植村立, 川村賢二, 神田啓史, 河野美香, 藤田秀二, 堀内一穂, 三澤啓司, 望月優子, *極地研ライブラリー アイスコア ~ 地球環境のタイムカプセル ~*, 成山堂書店, 2011 年, 総頁数 242.

[その他]

受賞 2011 年度 日本雪氷学会 平田賞
受賞 2011 年度 泉萩会 森田記念賞

ホームページ

<http://polaris.nipr.ac.jp/~icc/NC/htmls/>
<http://polaris.nipr.ac.jp/~kawamura/>

アウトリーチ（一部のみ掲載）

朝日新聞 Do 科学 寒い氷期はいつくるの？ 2010年7月10日

TV 取材協力・素材提供 爆笑問題のニッポンの教養 南極 秘密のタイムカプセル 2010年12月7日

TV 録画出演・素材提供 奇跡の地球物語 南極 地球未来を懸けた挑戦 2009年11月22日

TV 録画出演・素材提供 とびだせ！科学くん 2009年10月26日

サイエンスカフェ・一般講演多数（国立極地研究所、立川市、駒澤大学、雪氷学会等）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川村 賢二 (KAWAMURA, Kenji)
国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号：90431478

(2) 研究協力者

阿部 彩子 (ABE, Ayako)
東京大学・大気海洋研究所・准教授

吉森 正和 (YOSHIMORI, Masakazu)
東京大学・大気海洋研究所・特任助教

齋藤 冬樹 (SAITO, Fuyuki)
海洋研究開発機構・研究員

中澤 高清 (NAKAZAWA, Takakiyo)
東北大学・理学研究科・教授

青木 周司 (AOKI, Shuji)
東北大学・理学研究科・教授

本山 秀明 (MOTOYAMA, Hideaki)
国立極地研究所・研究教育系・教授

東 久美子 (AZUMA, Kumiko)
国立極地研究所・研究教育系・准教授

平林 幹啓 (HIRABAYASHI, Motohiro)
国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

小端 拓郎 (KOBASHI, Takuro)
国立極地研究所・研究教育系・外来研究員

鈴木 香寿恵 (SUZUKI, Kazue)

統計数理研究所・研究員

植村 立 (UEMURA, Ryu)
琉球大学・理学部・准教授

Jeffrey P. Severinghaus
米国カリフォルニア大学サンディエゴ校・スクリップス海洋研究所・教授

Jerome Chappellaz
フランス氷河環境地球物理研究所・上級研究員

Frederic Parrenin
フランス氷河環境地球物理研究所・研究員

Maureen Raymo
コロンビア大学・ラモン・ドーティー地球科学研究所・教授

Lorraine Lisiecki
カリフォルニア大学サンタバーバラ校・助教