

過去72万年間の気候変動情報を含むアイスコアの物理と層位および「最古の氷」の研究

Study on physics and layers of ice cores containing information of climate change over the past 720 k-years, and study on the "oldest ice"

課題番号：18H05294

藤田 秀二（FUJITA, SHUJI）

国立極地研究所・研究教育系・教授



研究の概要（4行以内）

本研究では、最先端の連続高分解能解析手法群を用い、南極のドームふじで採取した過去72万年の気候変動情報を記録するアイスコアの層位を高分解能で解読する。古気候シグナルとしての情報価値創出に加え、経時変質の性質と素性を明らかにし、複数のコア間の精緻な年代同期や比較解析を実現し、将来に掘削する150万年規模のアイスコアのもつ情報の質を予測する。

研究分野：環境動態解析

キーワード：南極、氷床、アイスコア、気候変動、年代、古気候

1. 研究開始当初の背景

気候変動のシグナルを含有している極地氷床のアイスコアは、深いほど年代が古くなり、氷床の流動によって鉛直に圧縮変形し、さらには地熱の影響を受けてシグナルには種々の経時変質が起こる。気候変動の信号を非常に古い氷まで高時間分解能で解読できれば、急激な気候変動の歴史を読み解くことができる。本研究では、結晶物理と連続融解を手法とする最先端の連続高分解能解析手法群を用い、約20万年前から72万年前に遡る非常に古いアイスコアの層位を高時間分解能で解読する。

2. 研究の目的

アイスコアの気候アーカイブとしての価値と信頼性を格段に高め、限界をもまた明確に知る目的で以下の5項目を問う。

- I. 氷結晶、構成する水分子、含有不純物の経時拡散過程
- II. 氷床変動史の解読と変形履歴の定量値や法則。
- III. 南極の複数のアイスコア間での、約72万年前までの精密な年代同期の可能性検証。
- IV. 各気候ステージで起こった急激な気候変動イベントの時空間拡散過程。
- V. 約150万年超の年代をもつ「最古の氷」は南極の氷床底部での存在と分布の解読。

3. 研究の方法

問いに挑むアクションとして、層序を読み取る2つの手法を主に用いる。まず、最も深い約1000メートル区間深度帯の層毎の圧縮

変形履歴や、分子拡散の物理履歴を読む。「ミリ波共振器」と呼ばれる手法を用い、結晶集合組織の層構造の連続解析を、約20mm分解能で実施する。さらに、氷のなかで拡散しにくい物質の層序を読み取る。ケイ素、ナトリウム、カルシウムの連続解析を、「連続融解解析システム」（略称CFA）と呼ぶ手法を用いて実施する。測定分解能は約10mmとなる。

4. これまでの成果

I. アイスコアの物理層位の計測

(1) 機器開発

ミリ波帯の誘電率テンソルを計測するため、広帯域で使用可能な共振器を新規に製作した。信号発生器の調達とあわせ、共振器と組み合わせた運用試験を実施した。また、アイスコア精密な平行面をもつ板状試料の整形のため、氷面滑面作成用マイクロームを製作した。

(2) 実際の物理層位計測

結晶方位構造の層位やその発達を読み解くために、ミリ波誘電率テンソルの計測をすすめている。深度2,500mまで概ね5m深毎に1mの区間を、分解能20mmで連続計測している。深度が増大するにつれての結晶C軸の鉛直軸への集中やそのゆらぎを明らかにしつつある。特に、2年目にはブリットル帯である611m深から871m深については、260m長にわたる連続計測を実現した。前例の無いレベルの詳細度と統計的な有意性をもつデータを取得した。

(3) 結晶C軸方位の直接計測と検討

ミリ波誘電率テンソルの計測とあわせ、結晶

C軸方位の直接計測もすすめた。ドームふじ深層コアの約 800m 深の試料について、結晶 C 軸方位計測装置を用いて結晶 C 軸方位分布の解析を実施した。約 500 個の結晶粒についての結晶方位を取得した。

II. 連続融解計測装置系 (CFA) を用いたアイスコアの化学層位計測

(1) 融解ヘッドの新規開発

アイスコアの化学層位計測用の機器である連続融解計測装置系 (CFA) の試料融解ヘッドの改良に着手し、小型融解ヘッドを試作した。今後の深部 (2, 400m 深~3000m 深) の計測のために消費する試料を従来比で約 75% に抑える。また、融解ヘッドからの汚染防止のため、融解ヘッドの表面処理を行った。今後運用試験を重ねて、3 年目以降に、実際の深部の計測にこれを応用する。

(2) 実際の CFA 計測

これまで、CFA を用いドームふじコアの 200m 深~570.5m 深の試料について連続解析を実施した。また同様に、ドームふじ近傍で 2017/2018 年に新たに掘削された 152m 長の浅層コアについて、125.4m ~ 97.5m 28m 分の試料について解析をこれまでに実施した。

III. 塩微粒子の層位にかかる研究

北海道大学では研究分担者・飯塚らが、初年度より、本科研費で整備した顕微ラマン用 DPSS レーザーを調達した。これを用いて、本研究の研究対象であるドームふじアイスコア中に含まれる塩微粒子に対して種類・組成の同定作業を実施した。間氷期の氷の層位に含まれる塩微粒子では硫酸ナトリウムが大半を占めるが、氷期には、硫酸カルシウムや硝酸ナトリウムが多く出現することを見出した。

IV. アイスコアの信号形成にかかるプロセスにかかる研究

アイスコアの信号形成にかかるプロセスとして、2017 年度に南極地域観測隊 (大野、藤田が参加) に於いて南極内陸部のドームふじ地域で実施した氷床表面約 50cm 深度の比表面積の計測・解析を実施した。また、信号形成を解明する目的で、南極ドームふじ南方地域で 2018/2019 年に新たに掘削された 142m 長の浅層アイスコアの各種解析を実施した。

V. ドームふじアイスコアの固体電気伝導度解析

2017 年度に南極から持ち帰ったドームふじアイスコアの試料を用いて深度 2000-2400m の交流固体電気伝導度の連続計測を 2018 年 10 月までに完了した。ドームふじアイスコアとドーム C アイスコアの年代同期延伸作業を試行した。2 本の南極ドームふじ深層コア (DF1 コア、DF2 コア) について、固体電気

伝導度 (DEP) 値の 2 コア間の信号強度の比較を実施した。

VI. 氷床探査用レーダによる観測のデータ処理

2018 年度に第 60 次南極地域観測隊は、南極内陸部のドームふじ地域で氷床探査用レーダを用いての約 2000m 厚~3000m 厚をもつ南極氷床の大深部からの電磁波の散乱状態を調査した。レーダのデータの解析を実施し、氷床の大深部に存在する層構造を確認した。さらに、連携研究者の氷床モデル研究グループとの共同研究により、氷床流動一次元モデルとレーダシグナルの対比から、深層部から得られる層位信号がもつ年代を推定した。これらの研究経過については、年度内に開催された複数の学会に於いて発表した。

5. 今後の計画

本研究をけん引する人的なチーム体制は、2 年次中盤までに、研究代表者・分担者 3 名・特任研究員 2 名として整った。この体制で、基本的に当初計画に従い、「4. これまでの成果」に記載した各項目の研究を遂行する。そして、これらを統合する形のデータ検討や考察をおこない、論文化とデータ出版の加速をはかる。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

F Rodriguez-Morales et al. (**A. Abe-Ouchi**, **S. Fujita**, **S. Tsutaki**を含む), "A Compact Multi-Channel Radar for >1Ma Old Ice Core Site Identification in East Antarctica," *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Yokohama, Japan, 2019, pp. 4161-4164.

Oyabu, I. et al. (**Y. Iizuka**, **A. Abe-Ouchi**を含む), M. Hansson (2020): "Compositions of Dust and Sea Salts in the Dome C and Dome Fuji Ice Cores From Last Glacial Maximum to Early Holocene Based on Ice-Sublimation and Single-Particle Measurements." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 125(4): doi://10.1029/2019JD032208

Christo Buizert et al. (**Kumiko Goto-Azuma**, **Shuji Fujita**, **Motohiro Hirabayashi**を含む), Abrupt ice-age shifts in southern westerly winds and Antarctic climate forced from the north. *Nature* 563, 681-685 (2018). doi://10.1038/s41586-018-0727-5

7. ホームページ等

http://researchmap.jp/s_fujita/
<http://polaris.nipr.ac.jp/~icc/NC/htdocs/>
<http://polaris.nipr.ac.jp/~icrc/NC/htdocs/sfujita@nipr.ac.jp>