

研究課題名(和文)極地氷床における物理過程の解明とそれに基づく気候・環境変動史の高分解能解析

研究課題名(英文)Physical processes in polar ice sheets and high resolution analyses of Earth's history in climatic and environmental changes.

研究代表者

本堂 武夫 (Hondoh, Takeo)

北海道大学・低温科学研究所・教授



研究の概要: 南極やグリーンランドの氷床は地球システムの重要な構成要素であり、掘削された氷コアは過去数十万年にわたる地球の歴史を秘めたタイムカプセルである。これを読み解くために、微視的研究と巨視的研究の橋渡しをするNanoglaciology(ナノ雪氷学)の創成を目指して、直面する3つの課題を解決した。

研究分野/科研費の分科・細目/キーワード: 氷床研究/環境科学・環境動態解析/氷コア・物理過程・氷床流動・ハイドレート・レーダー探査・気候変動・環境変動

1. 研究開始当初の背景

(1) 氷床コアの微量化学分析データから過去の気候・環境が論じられていたが、問題にしている化学物質の存在状態が分からないために、抽出されるシグナルの信頼性に疑問が呈されていた。

(2) 氷床がいかに変動するかという問題は、地球システムの中心課題の一つであるが、氷がきわめて塑性異方性の強い物質であるにもかかわらず、流動モデルでは氷を等方的な変形体として扱っていた。

(3) レーダー探査は基盤地形や氷床全体の形状を測定するための標準的な手法になっていたが、氷床内部からの反射層に対する理解が不十分でこれを利用する研究が遅れていた。

2. 研究の目的

(1) 表層における物質移動と成層構造の形成過程を解明して、堆積時の情報が、深部へ伝達されるメカニズムを明らかにする。深部で気泡が消えてハイドレートが生成されるメカニズムを明らかにし、それに伴う気体分別を定量的に明らかにする。

(2) 氷の結晶方位分布の相違が氷の変形速度に及ぼす影響を取り込んだ氷床流動モデルを構築し、氷床変動シミュレーションの信頼性向上を図る。

(3) 氷の誘電特性を利用する新たなレーダー探査法を開発し、氷床内部の結晶組織や広域に及ぶ流動特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) アイスコアの内部を詳細に調べるために、X線や光散乱などの様々な実験手法と分子動力学法などのシミュレーションを複合的に用いた。

(2) 氷の塑性変形データに基づいて、異方性を取り込んだ流動則を理論的に考察した。

(3) 多周波レーダーおよび偏波レーダーによる観測手法と南極観測で得られるデータの解析手法を開発した。

4. 研究の主な成果

(1) 物質移動と成層構造

南極ドーム Fuji コアを解析して、氷床表面で形成される物理的な層構造が深部に伝搬するメカニズムを明らかにした。また、SEM-EDS および顕微 RAMAN を用いて、氷中の化学物質の分布を詳細に調べた結果、イオン種の大部分が硫酸塩などの塩として固体微粒子の状態で存在することを初めて明らかにした。これまでに見つかっている塩微

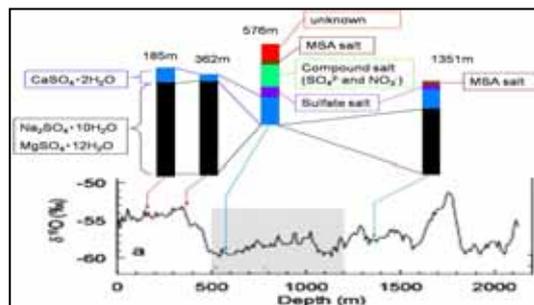


図1 気候区分による塩微粒子の組成

粒子の組成は、図1の通りであり、気候区分による相違および南北両極コアの相違を明らかにした。さらに、塩生成反応の結果としての最終生成物とイオンバランスの関係を反応生成ダイヤグラムとしてまとめ、陽イオンの分布は細部にいたるまで元の分布を保存することを明らかにした。

深部で気泡からクラスレート・ハイドレートに遷移する過程で、ハイドレートの核生成が塩微粒子から優先的に起こること、および氷コアから復元される過去の大気組成データに対する気体分別の影響を評価した。

(2) 結晶組織の発達過程と氷床流動

深部では、氷結晶方位の集中によって、ランダム方位の場合よりもはるかに速い流動が予測されるが、これまでの流動モデルではこのような異方性は無視されてきた。本研究では、連続体モデルの中に結晶方位分布の相違による変形し易さを表す項(Deformability)を取り込んで、この難問を解決した。このモデルを南極DML地点に適用すると、図2のように、異方性を考慮した場合、水平流動速度は3.5倍大きくなり、Deformabilityは理論的に計算したものと実測の結晶方位分布から求めたものが良く一致した。

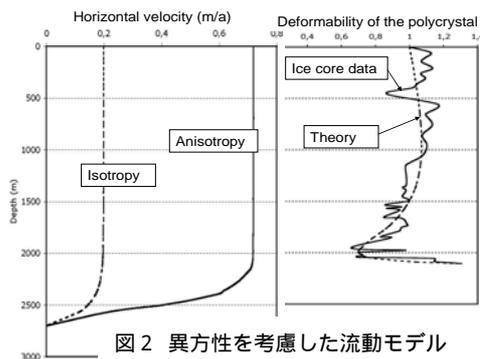


図2 異方性を考慮した流動モデル

(3) 氷床レーダー探査

氷の誘電特性を利用して、氷床内部の酸性不純物層(等年代層)や氷結晶組織の異方性

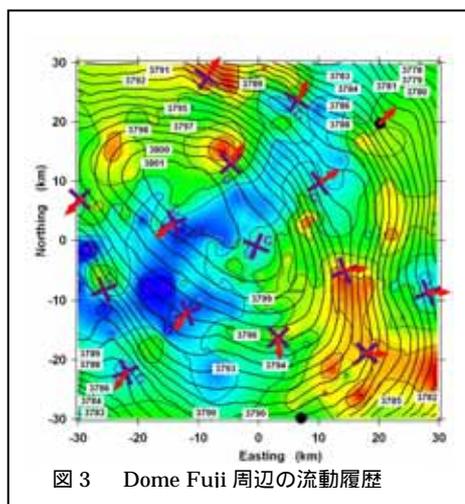


図3 Dome Fuji周辺の流動履歴

分布を探查するレーダーシステムを開発してきた。本研究では、これまでの南極観測で得られたデータを解析して、流動に伴う氷床内部の結晶組織分布を明らかにするなど、画期的な情報抽出に成功した。一例として、図3は、ドームFuji周辺の偏波レーダーデータを解析して、氷床内部の結晶主軸の2方向(+印)を求めたものである。表面地形から求めた最大傾斜方向(矢印)と比較した結果、両者の相違から、氷期の流動方向が部分的に現在とは違うこと、およびそれをもたらすような表面地形の変化を推定することができた。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

(1) 塩微粒子の発見は、氷コア研究者のみならず、大気化学の研究者にもインパクトを与えており、これまで推測の域を出なかった塩形成が実証されたことの意義は大きい。

(2) レーダー探査の新技术は各国の南極研究にインパクトを与えており、国際共同観測計画が始まっている。

(3) ハイドレートの生成およびそれに伴う気体分別は、氷床研究者に微視的な視点の重要性を認識させた最初のインパクトである。

(4) 異方性を取り込んだ流動モデルは、世界に先駆けた成果である。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

(1) Fujita, S., Maeno, H. and Matsuo, K.: Radio-wave depolarization and scattering within ice sheets: a matrix-based model to link radar and ice-core measurements and its application, *J. Glaciology*, 52(178), 407-424 (2006)

(2) Iizuka, Y., **Hondoh, T.** and Fuji, Y.: Na_2SO_4 and MgSO_4 salts during Holocene period in a Dome Fuji ice core derived by high depth-resolution analysis, *J. Glaciology*, 52(176), 58-64 (2006)

(3) Ohno, H., Igarashi, M. and **Hondoh, T.**: Salt inclusions in polar ice core: Location and chemical form of water-soluble impurities, *Earth and Planetary Science Letters*, 232, 171-178 (2005)

(4) Iizuka, Y., Fujii, Y., Hirasawa, N., Suzuki, T., Motoyama, H., Furukawa, T. and **Hondoh, T.**: SO_4^{2-} minimum in summer snow layer at Dome Fuji, Antarctica, and the probable mechanism, *J. Geophysical Research*, 109(D4), D04307-1 to D04307-6 (2004)

ホームページ等

<http://www.ice.lowtem.hokudai.ac.jp/project/index.html>