最近の研究から

ボストークコア解析の最近の成果¹⁾

— 古気候と古環境 —

長田和雄²⁾

1. はじめに

東南極・ボストーク基地は東経106°48′, 南緯78°28′に位置し, 最終氷期・後氷期トランジション(約300m深)を越えるコアがこれまでに4本掘削されている(本堂ら, 1992). それらのコアのうち, 1970年代に採取されたものについては, Barkov *et al.* (1977) による酸素同位体比の深度分布についての解析に始まり, 微粒子・化学成分(De Angelis *et al.*, 1984)の予察的な解析も報告されていた. その後, 15万年に及ぶ古気候変化の記録が1985年に出版されたのを皮切りに(Lorius *et al.*, 1985, Jouzel *et al.*, 1987), 気泡中気体成分の濃度や化学成分, 微粒子濃度や粒径分布・鉱物組成, ¹⁰Be濃度など驚くほど多量の論文が出版されている.

ここでは紙面の都合上, 上記報告についての解説などは他に譲り(Lorius and Oeschger, 1994; 長田・内田, 1994), 1993年から1994年にかけて出版された興味ある3つの論文を中心に概観し, 今後の研究展望に触れてみたい. また, 続編として含有空気量やクラスレート水和物・物理的特性についての紹介が予定されている.

2. ボストークコア解析

ボストークコアの解析結果の中で, 1985年から1992年までに出版された報告のほとんどが2083mの3Gコアを解析したものであった(15万年前までさかのぼる). Jouzel *et al.* (1993) は, 新たに掘削された4Gコア(2546m)を継ぎ足して22万年前までの気温(δD), 微粒子濃度, 気泡中酸素分子の酸素同位体比, 気泡中の二

酸化炭素濃度とメタン濃度を報告している.

Jouzel *et al.* (1993) は, 最新の知見を元にして旧バージョンのLorius *et al.* (1985) で用いた年代スケールとは異なる新しい年代スケール(EGT: Extended Glaciological Time scale)を採用している. この論文で明らかにされた主な事柄は, ①第二氷期は最終氷期に比べて寒くなりっぱなしだったこと, ②CO₂とCH₄の変動傾向が22万年間に渡り気温の変化パターンとほぼ似ていたこと, ③ダスト濃度は第二氷期中ずっと埃りっぽかったこと, ④氷床コアから推定される氷床量の変化と海底コアから推定される変化とが良く似ていたこと(後述)である.

一方Bender *et al.* (1994a) は, ボストークコア中の気泡中酸素分子の酸素同位体比の変化(Sowers *et al.*, 1991; 1993)をもとにして, 光合成・呼吸に関与する陸上植物と海洋植物の一次生産量の相対比率が間氷期も氷期もほぼ一定であったことを示し, 低緯度地域での陸上水文現象の変化と低緯度帯での陸上植物・海洋生物の生産量が密接な関係にあったことを示唆している. これは, CO₂やCH₄のような生き物の関与する温室効果ガスの気候変化に伴う大気中濃度変化を考える際に重要であろう(Bender *et al.*, 1994b).

さらに, Bender *et al.* (1994c) は, ボストークコアの気泡中酸素分子の酸素同位体比の変化と中央グリーンランドで得られたGISP2コアのそれとの比較と, 海底コアに記録された過去の氷床量変化とを比較している.

これまでも氷床コア解析によって得た気温の変化と海底コアなどに記録された表面海水温や水量, ダスト・フラックスの変化は比較されてきたが, 年代スケールの整合性は必ずしも十分な精度ではなかった. 例えば万年~10万年オーダーの年代について, 氷床コアの年代は流動モデルによるモデル年代や年層を数える暦年代が主であるのに対し, 海底コアの方は放射性炭素年代やミランコビッチ・サイクルを元にした年代軸を用いていて, 比較の際に同じ時間軸の上に立つことが難しかった.

1) Recent progress in Vostok ice core analysis: paleoclimate and paleoenvironment.

2) 名古屋大学太陽地球環境研究所
〒464-01 名古屋市中千種区不老町
(Kazuo OSADA, Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Nagoya 464-01, Japan).

この報告でボストークコアに関連して興味深いのは、グリーンランドでしばしば見られる最終氷期中の温暖期が2000年以上の期間に渡ること、ボストークコアの気温記録でも暖かくなっていることである。言い換えれば、最終氷期中には global に何度か暖かくなったことを示している。これまでも総合的に(視覚的に)推測されていたことではあるが、気泡中酸素分子の酸素同位体比の変化が過去の海水中酸素同位体比、ひいては過去の氷量の変化を反映していることを利用して、大雑把とは言え両氷床コアと海底コアの時間軸を整理して見せたことに大きな意義がある。

3. 今後の研究

本稿で紹介してきたように、氷床コアデータは南極・グリーンランド氷床の対比はもちろん陸上・海底各種コアとの緻密な比較による議論が行なわれ、望まれてきている。コア解析に関して近年特に目立つこととしては、雪氷学者以外の研究者がコアデータの解釈や新技術の発展に重要な貢献をしていることである(例えば Broecker, 1994; Bender *et al.*, 1994abc, Sowers *et al.*, 1991; 1993)。Jouzel (1994) が述べているように、CH₄濃度プロファイルを用いた両氷床データの時間軸合わせや水-ガス年代差の問題など、追及すべきことはまず第一に年代である。古くて新しい課題として今後ますます精密な年代が必要となることは間違いない。

またボストークコアに限らず、氷床コアの解析結果が気候モデルや海底コアの解釈に大きな影響を与えており、その波及効果には目を見張るものがある。氷床コア解析でこれまでにない新たな解析項目の実用化(気泡中の COS (硫化カルボン) 濃度や氷中の有機物質濃度、希土類濃度のパターン変化、微量元素の同位体パターン変化など)や解釈の進歩は、雪氷学以外の分野の研究者との緊密な議論・共同研究が不可欠である。氷床コア解析がこうした学際的な研究になればなるほど、一本のコアを共有しつつ成果を最大化するための視点が鍵になるのかも知れない。

文 献

- Barkov, N. I., Korotkevich, E. S., Gordienko, F. G. and Kotlyakov, V. M., 1977: The isotope analysis of ice cores from Vostok station (Antarctica), to the depth of 950m. *IAHS Publ.* **118**, 382-387.
- Bender, M., Sowers, T. and Labeyrie, L., 1994a: The Dole effect and its variations during the last 130,000 years as measured in the Vostok ice core. *Global Biogeochem. Cycles*, **8**, 363-376.
- Bender, M., Tans, P. P., Ellis, J. T., Orchardo, J. and Habfast, K., 1994b: A high precision isotope ratio mass spectrometry method for measuring the O₂/N₂ ratio of air. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **58**, 4751-4758.
- Bender, M., Sowers, T., Dickson, M.-L., Orchardo, J., Grootes, P., Mayewski, P. A. and Meese, D. A., 1994c: Climate correlations between Greenland and Antarctica during the past 100,000 years. *Nature*, **372**, 663-666.
- Broecker, W. S., 1994: Massive iceberg discharges as triggers for global climate change. *Nature*, **372**, 421-424.
- De Angelis, M., Legrand, M., Petit, J. R., Barkov, N. I. and Korotkevitch, Y. S., 1984: Soluble and insoluble impurities along the 950m deep Vostok ice core (Antarctica)-climatic implications. *J. Atmos. Chem.*, **1**, 215-239.
- 本堂武夫, 内田努, 前晋爾, Duval, P. and Lipenkov, V. Ya., 1992: ボストークコアに含まれるクラスレート水和物の結晶学的解析. *南極資料*, **36**, 268-278.
- Jouzel, J., 1994: Ice cores north and south. *Nature*, **372**, 612-613.
- Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J. R., Genthon, C., Barkov, N. I., Kotlyakov, V. M. and Petrov, V. M., 1987: Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years). *Nature*, **329**, 403-408.
- Jouzel, J., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Bender, M., Chappellaz, J., Genthon, C., Kotlyakov, V. M., Lipenkov, V., Lorius, C., Petit, J. R., Raynaud, D., Raisbeck, G., Ritz, C., Sowers, T., Stievenard, M., Yiou, F. and Yiou, P., 1993: Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period. *Nature*, **364**, 407-412.
- Lorius, C., Jouzel, J., Ritz, C., Merlivat, L., Barkov, N. I., Korotkevich, Y. S. and Kotlyakov, V. M., 1985: A 150,000-year climatic record from Antarctic ice. *Nature*, **316**, 591-596.
- Lorius, C. and Oeschger, H., 1994: Palaeoperspectives: Reducing uncertainties in global change? *AMBIO*, **23**, 30-36.

長田和雄・内田努, 1994: ボストーク深層コア解析の成果 (レビュー), 氷床コアによる古環境復元の学際的研究推進計画の検討, 平成5年度科学研究費補助金 (研究代表者 藤野和夫) 研究成果報告書, 北海道大学低温科学研究所, 45-65.

Sowers, T., Bender, M., Raynaud, D., Korotkevich, Y. S. and Orchado, J., 1991: The $\delta^{18}\text{O}$ of atmospheric O_2 from air inclusions in the Vostok ice core: timing of CO_2 and ice volume changes dur-

ing the penultimate deglaciation. *Paleoceanography*, **6**, 679-696.

Sowers, T., Bender, M., Labeyrie, L., Martinson, D., Jouzel, J., Raynaud, D., Pichon, J. and Korotkevich, Y. S., 1993: A 135,000 year Vostok-SPECMAP common temporal framework. *Paleoceanogr.* **8**, 737-766.

(1995年1月4日受付)

第18回極域気水圏シンポジウムのお知らせ

南極域では、南極観測における主要な研究計画として、「氷床ドーム深層掘削観測計画」が進められており、第36次観測隊はドーム基地に越冬して深層掘削を開始しようとしております。また昭和基地では、「南極大気化学観測計画」が実施されております。北極域ではスバルバル、グリーンランド等で地球科学に関するさまざまな観測が実施されております。一方国内では、これまでに得られた氷床コアの分析とデータ解析、衛星データの解析等を始めとして、南極、北極域の試料を用いた多方面にわたる研究が続けられております。

今年も南北両極域を中心とした気象学、雪氷学、海洋学に関連する研究成果と今後の研究展望等に関するシンポジウムを開催いたします。ふるって御参加ください。

なお今年は北極関連の講演を中心に特別セッションを設ける予定です。

記

日 時 平成7年7月18日(火)・19日(水)
会 場 国立極地研究所・講堂
発表申込締切 5月8日(月) 必着
連 絡 先 国立極地研究所 気水圏シンポジウム係「古川晶雄」
〒173 東京都板橋区加賀 1-9-10
Tel: 03-3962-5580
Fax: 03-3962-5719
E-mail: glacier@nipr.ac.jp