

特集

化石 79, 18-20, 2006

西太平洋におけるIMAGES (International Marine Global Change Study) コアを用いた高時間解像度の環境復元の意義

川幡穂高*・西 弘嗣**・丸山俊明***

*東京大学海洋研究所/独立行政法人産業技術総合研究所/東北大学大学院理学研究科・**北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻・***山形大学理学部地球環境学科

Significance for the high-resolution environmental reconstruction by using IMAGES (International Marine Global Change Study) cores collected in the western Pacific

Hodaka Kawahata*, Hiroshi Nishi** and Toshiaki Maruyama***

*Ocean Research Institute, University of Tokyo, Minamidai 1-15-1, Nakano-ku, Tokyo 164-8639, Japan (kawahata@ori.u-tokyo.ac.jp) /Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology /Graduate School of Science, Tohoku University; **Graduate School of Science, Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, N10 W8 Kita-ku, Sapporo, 060-0810, Japan (hnishi@ep.sci.hokudai.ac.jp); ***Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa, Yamagata-City, Yamagata, 990-8560, Japan (maruyama@sci.kj.yamagata-u.ac.jp)

Abstract. Reconstruction of the long-term response of ocean environments to various climate changes (e.g., ENSO: El Niño/Southern Oscillation, Asian monsoon, Glacial-Interglacial change) is an essential step for better understanding of climate system of the Earth. We have joined the IMAGES (International Marine Global Changes Study) program in order to investigate the high-resolution study on the Pleistocene environmental change in the coastal and hemipelagic regions. Japanese communities have been conducting geochemical, geophysical and paleontological works on the IMAGES cores in the western Pacific from the equatorial region to the Okhotsk Sea.

Key words: IMAGES (International Marine Global Change Study), rapid climatic change, high resolution analysis, paleoceanography

はじめに

近年、人類活動の増大により二酸化炭素が放出され、大気中の二酸化炭素濃度が増加し、その結果として気候変動をもたらすのではないかと危惧されている。しかしながら、地球の表層環境は自然の働きのみでも大きく変化してきた。しかも、その変化は数百年～数千年に一度での頻度であるものの、わずか数年～数十年という短期間で終了するほど急激な気候の変化が報告されてきている。

私達が生活する完新世は間氷期とも呼ばれているが、第四紀の後期には、氷期・間氷期が繰り返された。グリーンランド氷床コア中の酸素同位体比は大気中の温度を記録しているとみなされているが、これを調べたところ過去10万年間には急激な気候変動の繰り返しが存在することが明らかになった。この変動は、Dansgaard-Oeschger cycle (D-O cycle: Dansgaard *et al.*, 1993) と呼ばれ、氷期・間氷期の環境変動の半分にも達する位の大きな変動であることから驚きをもって迎えられた。

D-O cycle にみられるような急激な変動は、概して北米大陸に大規模な氷床が存在していることが条件ではないかという説もあるが、温暖で安定していると考えられて

きた完新世であっても、氷床コアの記録によれば8.2 kaには急激な寒冷化が起こったことが報告されている (Björck *et al.*, 1996)。このように、自然の働きのみでも、気候あるいは環境はしばしば短期間で大きく変化することが明らかとなってきた。

IMAGES (国際全海洋変動研究) プロジェクト

さて、D-O cycle が氷床コアから報告された後、この変動が海底の堆積物でも認められることが報告されている。北太平洋のカムチャツカ半島沖や、カリフォルニア沖のサンタバーバラ海盆、アラビア海北部などで採取された海底コアを高時間分解能で分析して、D-O cycle に対応するような海洋環境変動が確認されつつある (Kotilainen and Shackleton, 1995; Schulz *et al.*, 1998; Hendy and Kennett, 2000)。このように気候および地球表層環境の急激な変動を復元するとともに、その変動の支配因子を明らかにするためにIMAGES (International Marine Global Change Study) が計画された。

IMAGES は PAGES (Past Global Changes, <http://www.pages-igbp.org>) および SCOR (Scientific Committee

表1. IMAGES コアを解析する際の対象時間解像度、解像現象、分析手法.

	試料間隔	時間解像度	分析手法	対象現象
1980年代	10 cm	~1000年	手動	ミランコビッチ
1990年代	2-4 cm	数十-1000年	自動化学分析	Dansgaard-Oeschger
2000年代	1-2 mm	1-10年	電磁波分析	ENSOなど

on Oceanic Research) に援助されて成立したプロジェクトで1995年にスタートした. IMAGESの趣旨, これまでの活動, そして科学的成果については以下のwebサイトが参考になる (<http://www.images-pages.org>).

フランスを中心として, ドイツ, アメリカ, イギリスなどの国際協力により質の高い古海洋学的データの蓄積を行うこと, コア試料の総合解析による海洋環境変遷の研究を目標としている. 現在では, 日本, 中国, デンマーク, フランス, ドイツ, アイスランド, インド, インドネシア, メキシコ, ノルウェー, ポルトガル, ロシア, 南アフリカ, スペイン, スウェーデン, スイス, 台湾, チュニジア, 英国, 米国など24の国が参加している. 航海は現在のところフランス観測船マリオン・デフレンヌ号 (*R/V Marion Dufresne*) を使用して行われている. この研究の目的は, 過去30万年位を対象に, 短い時間レンジでの海洋の気候学的, 化学的変化を測定すること, 地球の内因的, 外因的な感度を調べること, および大気中の二酸化炭素濃度を支配する因子を明らかにすることである.

1998年および2001年に科学技術振興調整費「炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究」の研究予算でマリオン・デフレンヌ号を備船し, 大口径のピストンコアによる堆積物の採取が行われた. 堆積速度の小さい場合には, 生物攪乱などによって堆積物が鉛直方向にかき混ぜられて過去の記録が平均化されてしまうので, IMAGESの航海では, 堆積速度の速い所で長い連続堆積物の柱状コアが採取されている. その点, 日本周辺海域のコアでは, 堆積速度が速いため, 数十年の精度という最高の解像度で古環境の復元を行うことができる試料を得ることができた.

このIMAGESプログラムの成果に基づき, 西太平洋, 特に日本周辺海域の第四紀の古環境の変遷とその地球規模の環境変動と関連性を考察・議論し, 日本周辺の研究から世界に発信できる成果を探ることを目的として平成17年1月21日に日本古生物学会のシンポジウムが開催された. なお, このシンポジウムは, 国際惑星地球年 (International Year of Planet Earth) に関連する企画の一つとして, 古生物学会が主催するものになった.

高時間解像度と分析手法

IMAGESがめざす内容は上に掲げたが, これは, 時間解像度あるいは対象とする現象と密接に関連している. IMAGESコアを解析する際の時間解像度, 対象現象, 分

析手法を表わしたのが表1である.

1970-1980年代には, ミランコビッチサイクルなどが主な研究対象であった. 日射量は地球の軌道の特徴づける重要なパラメーターと考えられていた. 日射量変動の主な周期は3つあり, 一番目は22.1~24.5度まで変化する地軸の傾き (obliquity) で, 周期は約41 kyrである. 二番目は約100 kyr周期で0.005から0.006まで変化する軌道離心率 (eccentricity) である. 最後は地軸の方向に関係した歳差運動 (precession) で, この運動の周期はおよそ26 kyrであるが, 日射量に対する効果は約20 kyrの周期を示している.

1980年代の後半からは, D-O cycleなどを研究対象としたため, 解像度は数十年~千年程度となってきた. 今後はこの時間解像度はさらに短くなり, 数年から1年以下になるものと予想される. すなわち, 過去のエルニーニョ・南方振動 (ENSO: El Niño/Southern Oscillation) なども研究対象になると思われる. このような時間解像度を解析するためには, 分析間隔が1~2 mmと非常に高解像度となるので, 手法も光や蛍光X線など電磁波に頼るようになるかと予想される. しかしながら, 電磁波で得られる情報は, 基本的に色などで, 直接的な環境指標ではない. そこで, これらに意味づけすることが重要ということになる. 例えば, 水温や微化石を基にした一次生産などとの対応が挙げられる.

高時間解像度と研究対象

分析の対象とする時間スケールの違いは, 対象とする気候あるいは環境の支配因子の違いと関係している. ここで, 図1に地球表層, 特に海洋環境変動因子を模式的に表わすが, 例えば, ミランコビッチに対応した環境変動の解析では, しばしば解像度は1000~3000年程度が必要で, この場合には深層循環あるいは底層水の化学組成の変化などが重要となってくる.

しかしながら, 数十年位の短い変動になってくると, 表層内循環などの変動も重要で, 一見同じように地球表層環境を研究しているように思われても, IMAGESプログラムがめざす時間スケールは従来の研究とはかなり違ってくる.

また, 高時間解像度での研究では, 各々の因子の時間的なずれを利用して, 先行あるいは遅延を明確に認識することができ, これは原因と結果を判断する上で非常に重要な基準である. 換言すると, 原因は, 必ず結果の前

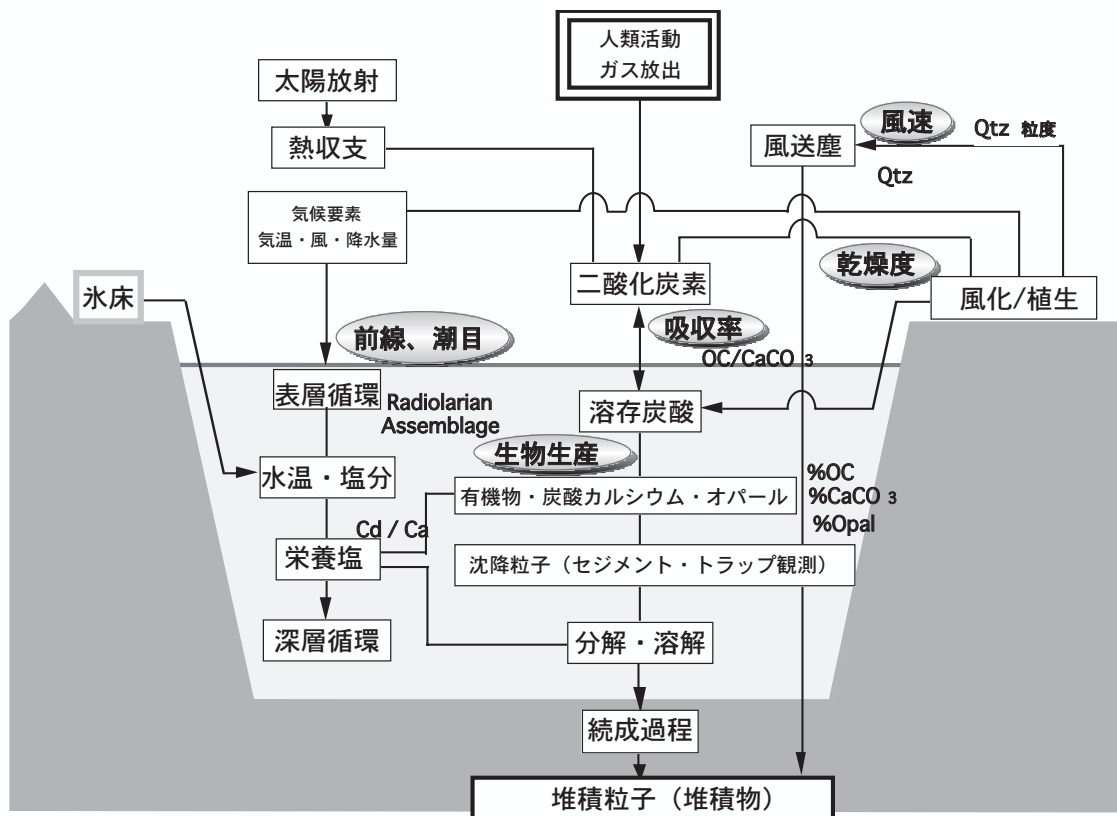


図 1. 地球表層環境と海洋環境に関する因子をつながりを示した模式図。

にあるので、高時間解像はこれまであいまいだった因果関係を突き詰められる絶好の機会が与えられるとも言える。また、十年程度から百年程度の時間解像度は現世の地球環境研究と同じなので、その点でも現代の環境問題が対象としているようなプロセスの解明にも貢献できると期待される。

謝辞

日本における IMAGES 航海の実施、コアの採取は、科学技術振興調整費「炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究」の研究資金でまかなわれた。本研究費の一部に文部省科学研究費補助金（研究代表者 川幡穂高）16340161および17253006を使用した。

文献

Bjorck, S., Kromer, B., Johnsen, S., Bennike, O., Hammarlund, D., Lemdahl, G., Possnert, G., Rasmussen, T. L., Wohlfarth, B., Hammer, C. U. and Spurket, M., 1996. Synchronized terrestrial atmospheric deglacial records around the North Atlantic. *Science*, **274**, 1155-1160.

Dansgaard, W., Johnsen, S., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjornsdottir, A. E., Jousel, J. and Bond, G., 1993. Evidence for general in stability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, **364**, 218-220.

Hendy, I. L. and Kennett, J. P., 2000. Latest Quaternary North Pacific surface-water responses imply atmosphere-driven climate instability. *Geology*, **27**, 291-294.

Kotilainen, A. T. and Shackleton, N. J., 1995. Rapid climate variability in the North Pacific-Ocean during the Past 95,000 years. *Nature*, **377**, 323-326.

Schulz, H., von Rad, U., Erlenkeuser, H. and von Rad, U., 1998. Correlation between Arabian Sea and Greenland climate oscillations of the past 110,000 years. *Nature*, **393**, 54-57.