

IMAGES [International Marine Global Change Study (海洋環境変化に関する国際共同研究)] プログラム

川幡 穂高¹⁾・大場 忠道²⁾

1. はじめに

第四紀の後期には氷期・間氷期という大きな気候変動があったことはよく知られているが、グリーンランド氷床コアの酸素同位体比の変動に基づいて、過去10万年間には急激な気候変動の繰り返しの存在することが明らかにされ、Dansgaard-Oeschger cycle (Dansgaard *et al.*, 1993)と呼ばれている。この変動の頻度は数百年～数千年に一度で、わずか数年～数十年で完了するほど急激な変化である。この発見は、氷期・間氷期といった数千年から1万年単位で変動する気候変動以外にも短時間で大きな変動をもたらす仕組みが地球表層環境に存在する事を意味している。その後の研究で、これらの変動が海底の堆積物でも認められることが明らかになってきている。実際、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、Dansgaard-Oeschger 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; Shulz *et al.*, 1998; Hendy and Kennett, 2000)。このように急激な気候および地球表層環境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, 海洋環境変化に関する国際共同研究) が計画された。堆積速度の遅い場合には、生物攪乱 (bioturbation) 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柱状コアが採取されている。ここでは、まず国際環境プログラムである

IMAGESの活動について概要を紹介する。特に、2001年に東インド洋や西太平洋でIMAGES航海が実施されたので、そのねらいなどについても要点を紹介する。

2. PAGES (Past Global Changes) プログラム

海洋古環境研究は、IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme; 地球圏-生物圏国際共同研究計画) の主要プロジェクトの一つのPAGES (古環境変遷) で行われている。PAGESでは、地球の過去の環境変化を定量的に明らかにすることと、人間活動の地球環境へのインパクトの評価を可能にすることを当面の研究目標にしている。

PAGESは5つの重要課題を定めており、その中の古環境の調査に関連する重点課題PANASH (Paleoclimates of the Northern And Southern Hemispheres) プロジェクトとなっている。その名前が示すように、この重要課題では海陸分布などで非対称な南北両半球での気候変動の関連性や相違性を明らかにすることに焦点が置かれている。このプロジェクトでは、時間スケールに関連してStream IとStream IIの二つの方向性を定めている。前者は比較的短い過去2,000年間を10年以下の精度で検討し、人間活動の地球システムへの影響を歴史記録と自然の環境変化の両面から解明するものである。後者は氷期-間氷期のサイクルを含む数十万年についてを100年精度で検討し、長期自然変動についてその変動要因の解明を目指すものである。

1) 産総研 海洋資源環境研究部門/東北大学大学院理学研究科 (連携講座)

2) 北海道大学大学院地球環境研究科

キーワード: IMAGES (International Marine Global Change Study) (海洋環境変化に関する国際共同研究), 古環境, 高時間分解像度, ビストンコア, 観測船 Marion Dufresne (マリオン・デュフレンヌ号)

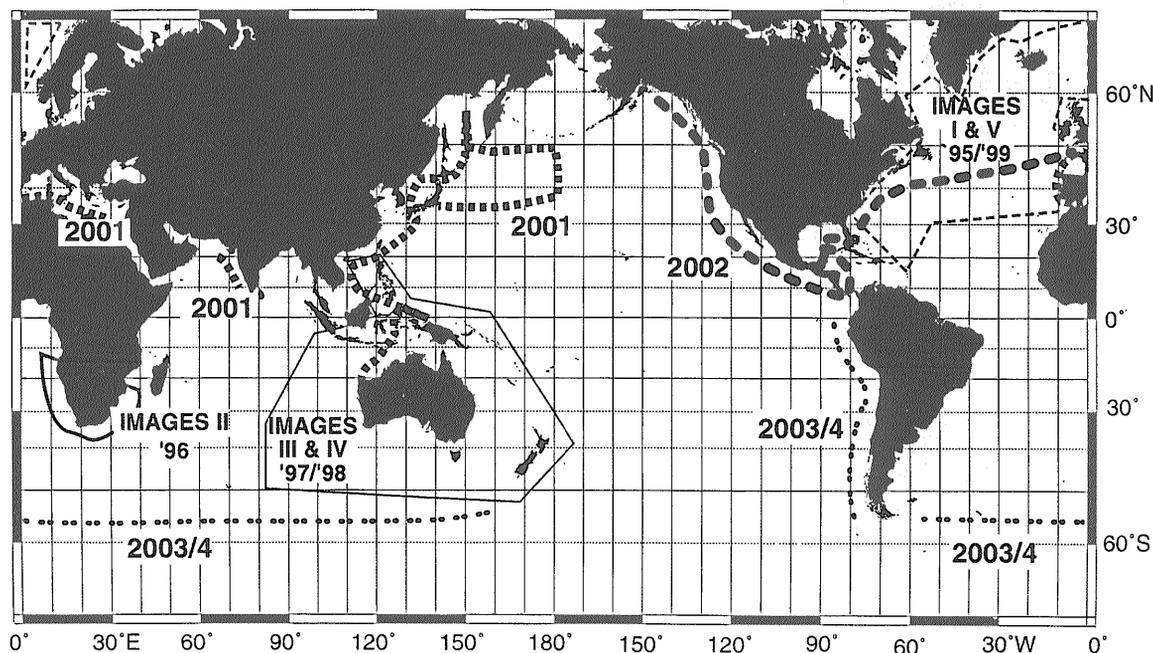
3. IMAGESプログラム

IMAGESはPAGESおよびSCOR (The Scientific Committee 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。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、オーストラリア、カナダ、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、日本、メキシコ、オランダ、ニュージーランド、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MARION DUFRESNE号を使用して行われている(第1図)。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、化学的变化を測定すること、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。これまで行われた航海の海域を第2図に示す。1995年IMAGES Iが北太平洋とノルウェー海、1996年にIMAGES IIがナミビア沖の湧昇域とインド洋／大西洋の連結



第1図 観測船Marion Dufresne (マリオン・デフレンヌ号)。この船はフランス極地研究所に所属し、総トン数8700、長さは120.50m、幅20.60m、喫水6.95mである。この観測船はIMAGESなどの海洋地質の研究のみならず、地球物理、海洋物理などの研究のためにも用いられる。

部分、1997年にIMAGES IIIが南オーストラリアとニュージーランドから南シナ海へのかけての海域、1998年にIMAGES IVがインドネシア多島海から西太平洋暖水塊、東シナ海にかけての海域、1999年にIMAGES Vが北大西洋の海域であった。2001年はオーストラリアの北のアラフラ海、インドネシア多島海、南シナ海を経て、東シナ海、日本周辺海域、オホーツク海などで調査が実施された。IMAGESプログラムの運営費は、各国が支払う分担金で維



第2図 これまで実施されたIMAGES航海の調査海域の概略図。

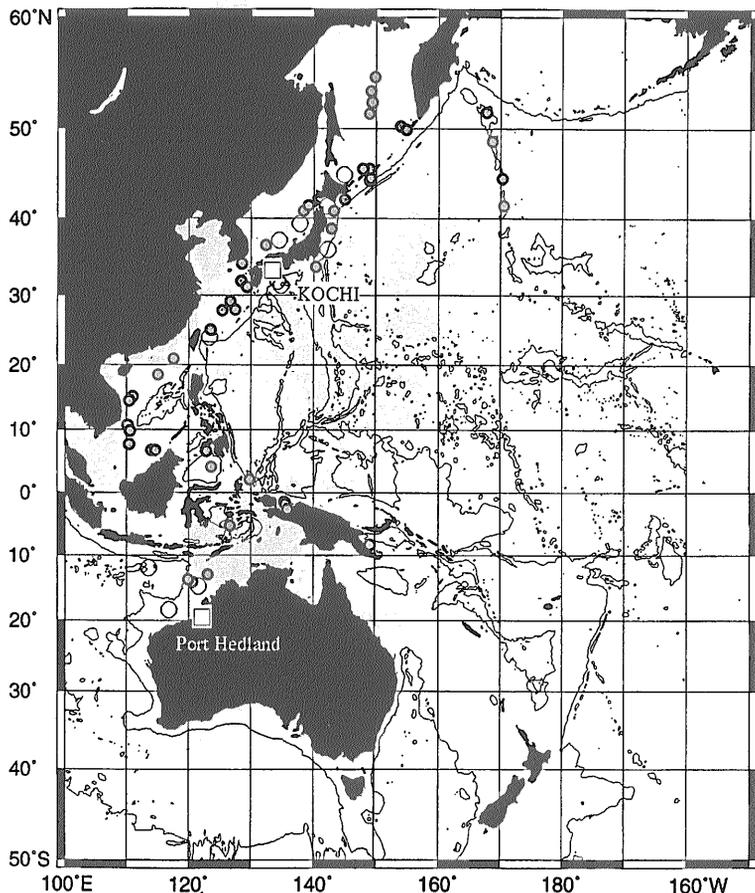
持されており、日本は年間10,000US\$を負担している。また、航海に参加するための研究資金については、主導権をもって航海を運営する場合から、研究船の備船料を支払う形式、また、各々の堆積物柱状コアを買い取る形などさまざまで、費用負担は各々のケースで異なっている。

IMAGESの開始当初の予定では、精度良く種々の指標を分析するために直径15cm以上のコア試料採取と同地点におけるマルチプルコアラーやボックスコアラーによる不攪乱表層堆積物採取が義務づけられていた。また、古海洋環境を精度よく復元するためには現代の地球環境を理解することが不可欠で、底層水と間隙水の採取、CTD観測、プランクトンネットによる生物採取、セジメントトラップによるフラックスと季節性の解析も分析項目に加えられていた。しかし、実際には航海の時間が制約されているため、ピストンコアの採取のみが実施されている場合が多い。古海洋の解析について、タ

ーゲットとなっている研究項目は、水温、栄養塩、一次生産、二酸化炭素分圧、炭酸塩保存性、酸化還元状態、風化生成物(陸源)供給量の復元などで、これらのデータセットが蓄積されればきわめて精度の高い環境復元が達成され则认为される。

4. 日本周辺でのIMAGESコアの研究

日本周辺の航海は、2001年の5-6月に実施され、後半のレグを大場忠道が首席研究員として乗船した。この航海での堆積物採取地点を第3図に示す。西太平洋での研究テーマについては、赤道から中緯度までの海域では熱輸送が重要である。特に、西太平洋暖水塊と、それから派生した黒潮あるいは対馬海流と親潮の流路や流量の変化は地球的規模の気候変動にも大きな影響を与えるものと考えられている。各々の地点ごとの科学的な研究目的と責任者(敬称略)は以下のとおりである。南から



第3図

2001年(平成13年)に西太平洋航海で実施された採泥予定地点。特に日本側がリクエストしている観測点を白丸(○)で、他国がリクエストしている観測点を(●)で示す。航海は、オーストラリアのポートヘッドランド(□)から始まり、台湾のキールン等に入港し、高知(□)で終了した。最終的な日本側が主導権をもって研究を実際するサイトは11地点であった。

北に向かって紹介する。

西太平洋暖水塊内東インド洋 (川幡穂高): 西太平洋暖水塊内に存在するインドネシア通過流は、「地球的規模の表層循環の関所」で、この海域での海洋環境変動が地球的規模での海洋循環や気候変動で主役を演じていた可能性がでてきた。そこで、太平洋からインド洋に向かう流れがどのように変動してきたのかを探るのが研究目的である。特に、現在のインドネシア通過流はインドネシア多島海を通過しているが、少なくとも最終氷期最盛期に海水準が約120m下がった時には、ほとんどの大陸棚は陸化し、太平洋からインド洋へ表層水が通過できたのは、ロンボク海峡とその東側のみであった。このため、通過量はかなり制限されたであろうし、この海域での表層水の塩分、水温の変動は、地球的規模での海洋循環においても大きな影響をもたらしていたに違いない(川幡, 1998; Kawahata, 1999)。

東シナ海 (氏家 宏) と高知沖 (安田尚登): 黒潮は、北赤道海流を源として、温暖な表層海流として、北西太平洋の温暖な気候をもたらす重要な環境要素である。黒潮は、台湾-与那国島から沖縄トラフへ流入、大陸起源の沿岸水と混合し、東シナ海北部では、2つに分岐し、主要部分はトカラ列島を横断し、高知沖に達し、もう一つは対馬海流となって日本海に流入する。これまでの研究から、黒潮を中心とした表層水塊は、過去2万年間大きく変動してきたことが知られている(Ujiie and Ujiie, 1999)。特に、流路の変動が浮遊性有孔虫から示唆されており、黒潮の平面的な変動、流量の変動、鉛直方向の変動を復元し、その周辺への環境を解析するのが研究目的である。

鹿島沖 (大場忠道) と下北沖 (成田尚史): 鹿島沖は親潮と黒潮とがぶつかりあうことが知られており、両海流の盛衰は日本列島周辺の海洋および陸上環境に大きな影響を与えてきたと考えられている。これまでの研究から鹿島沖は北からの海流と南からの海流の盛衰を解析するのに最も適した場所である。また、下北沖は親潮と対馬海流が接する場所であり、鹿島沖とあわせて解析することにより日本周辺の熱エネルギー・水分の供給などについて貴重な束縛条件が得られるものと期待される。

オホーツク海 (坂本竜彦, 池原 実): オホーツ

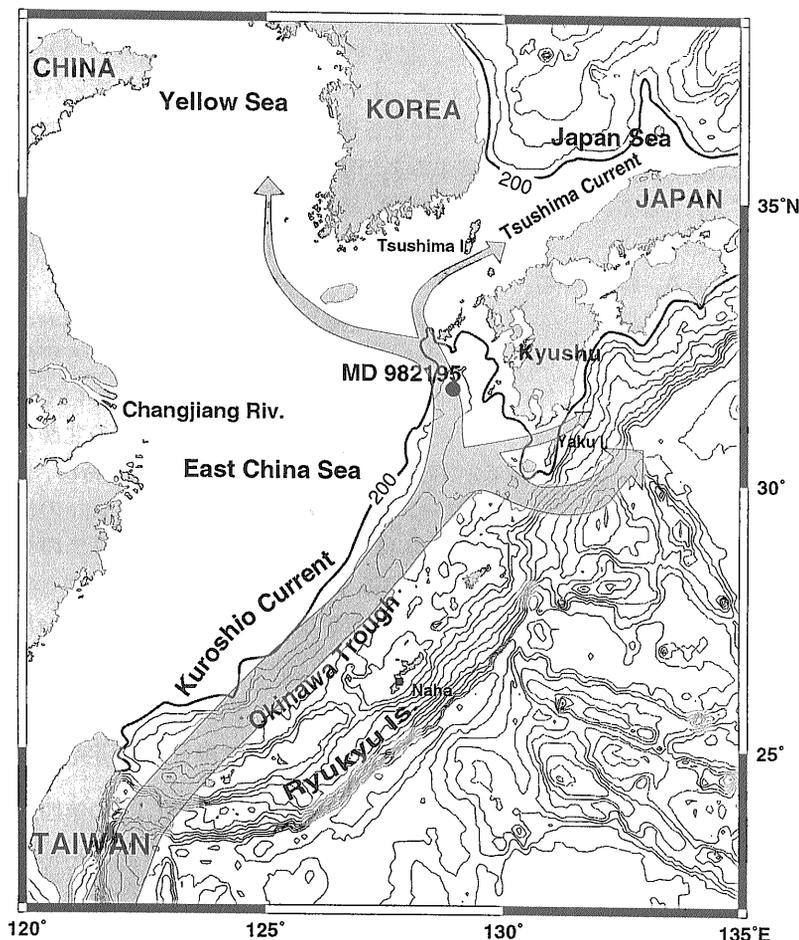
ク海は地球上で低緯度に位置する季節海水域であるとともに、北太平洋中層水の形成域の一つと考えられている。また、生物生産量が高いことから、生物ポンプによる炭素循環や生物地球化学プロセスを考察する上で重要と考えられる。海水分布や表層塩分の変動、それに伴う中層水の形成の変動などについて数万年間の環境復元が期待されている。

日本海 (多田隆治): 先に述べたDansgaard-Oeschger cycleの発信源が中-低緯度にある可能性の追及と、アジアモンスーンとの関係について探るのが研究目的である。このため、日本海の北部と中部で2つのコアを採取する予定である。特に、アジアモンスーンとDansgaard-Oeschger cycleの位相差との検証は、西太平洋および東アジアの気候・海洋変動のみならず、全球的な環境変動とのリンケージという点からも興味深い(Tada *et al.*, 1999)。

5. 1998年のIMAGES航海で得られた研究成果

日本周辺海域では、1998年のIMAGESの第四次航海において東シナ海で3本のピストンコアが採取された。一つのコア(MD982195)は、九州西方沖の水深746m、位置北緯31度38.33分、東経128度56.63分で採取された(第4図)。この海域は現在、黒潮から分かれた対馬暖流の影響下にある。コアの全長は33.65mで、全体としてオリーブ色をした均質なシルトからなっている。コア上部から5.1-6.0mには鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)と21.8-22.9mには始良丹沢火山灰(AT)がはさまれている。浮遊性有孔虫の酸素同位体カーブおよび炭素14の分析から、このコアの最下部の年代はおよそ4万年前に達しており、それから計算される平均的な堆積速度は約80kyr⁻¹と非常に速い値を示していた。このことは、10cmごとに有孔虫の同位体、群集解析等の分析を行うと、平均約125年間隔という高時間分解能での古環境の解析が可能となることを意味している。

浮遊性有孔虫(*Globigerinoides ruber*)の酸素同位体カーブは、酸素同位体ステージ3から1にかけての環境変動を記録している(第5図上)。そして、大きなマイナス方向のスパイク、すなわち淡水



第4図
九州西方沖の東シナ海で採取されたMD982195の地点(黒丸印, ●)。

の流入により塩分が下がったことが認められた。特に、図中で①と示したピークは、2%にも及ぶほど大きなものである。MD982195コアの酸素同位体記録をグリーンランドの氷床コア(GISP2)の酸素同位体カーブ(第5図下)と比較すると、Dansgaard-Oeschger cycleの1~11までのピークが本コアの酸素同位体が小さくなるピークに対比できる。このような対比は高時間解像度での解析によってはじめて成し遂げることが可能となった。

また、浮遊性有孔虫の群集解析、安定同位体比の分析結果は、過去約4万年間の九州西方沖の海洋環境が次のように変化してきたことを物語っている：1) 約4.1~2.4万年前の期間では、*Globigerina bulloides*の多産に代表されるように、海洋表層の一次生産は高かったと推定された。2) 約2.4~1.5万年前の期間では、寒冷で、海水準も下がったため、大陸からの淡水の影響が顕著であった。3)

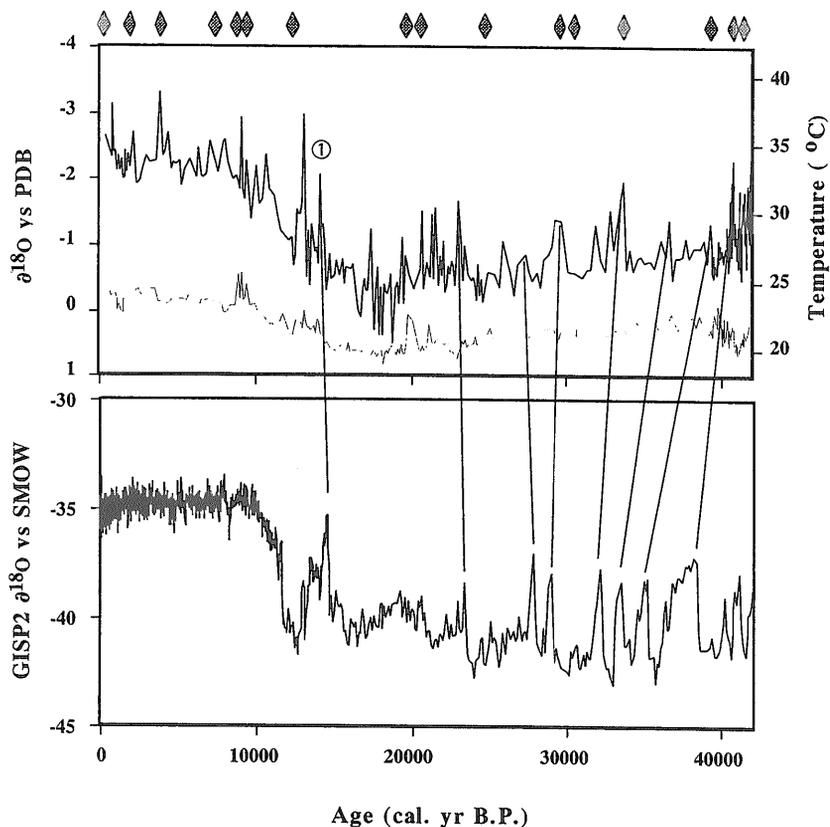
次の約1.5万~8千年前には、黒潮の影響が次第に強くなった。4) 8千年前以降は、現在と同様の海洋環境になった(第5図)。

現在、このコアについては、CTスキャンや無機・有機化学分析が進行しており、堆積物中の陸の環境に関する指標の解析も含め、高時間解像度での陸と海の環境やその関係が復元されるものと期待される。

謝辞：日本における本プロジェクトは、現在、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」の中の研究項目「気候変動が物質循環に与える影響」の中で実施されている。

引用文献

Dansgaard, W., Johnsen, S., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P.,



第5図

上の図は、MD982195 コアの浮遊性有孔虫 *Globigerinoides ruber* . s.s. から得られた酸素同位体比とアルケノンの分析から求めた表層水温。下の図は、グリーンランド氷床コア (GISP2) から得られた酸素同位体比の変動。短周期な変動は Dansgaard-Oeschger cycle (Dansgaard *et al.*, 1993) と呼ばれている。グラフ上の菱形の印は 14C 年代を測定した層準。図は、井尻ほか (投稿中) から引用。

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) : Dansgaard-Oeschger cycles and the California current system: planktonic foraminiferal response to rapid climate change in the Santa Barbara Basin, Ocean Drilling Program hole 893A. *Paleoceanography*, 15, 30-42.

井尻 晁, 王 律江, 大場忠道, 川幡穂高 (投稿中) : 過去4万年間の九州西方沖における環境変動。第四紀研究, 投稿中。

Kawahata, H. (1999) : Fluctuations in the ocean environment within the Western Pacific Warm Pool during Late Pleistocene. *Paleoceanography*, 14, 639-652.

川幡穂高 (1998) : 西太平洋暖水塊の全球表層環境に果たす役割—特に氷期の環境について—。地質ニュース, no.529, 15-20.

Kotilainen, A. and Shackleton, N.J. (1995) : Rapid climate variability in the North Pacific Ocean during the past 95,000 years. *Nature*, 377, 323-356.

Martinson, D.G., Pisias, W.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, Jr.T.C. and Shackleton, N.J. (1987) : Age and dating and the orbital theory of the ice age: development of a high resolution 0-300,000 year chrono-stratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29.

Shulz, H., Rad, U.V., and Erlenkeuser, H. (1998) : Correlation between Arabian Sea and Greenland climate oscillations of the past 110,000 years. *Nature*, 393, 54-57.

Tada, R., Irino, T. and Koizumi, I. (1999) : Land-ocean linkages over orbital and millennial timescales recorded in late Quaternary sediments of the Japan Sea. *Paleoceanography*, 14, 236-247.

Ujiie, H. and Ujiie, Y. (1999) : Late Quaternary course changes of the Kuroshio Current in the Ryukyu arc region, northwestern Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 37, 23-40.

KAWAHATA Hodaka and OBA Tadamichi (2001) : IMAGES (International Marine Global Change Study) program.

<受付: 2001年2月5日>