

D-1 大陸棚海域循環過程における沿岸-外洋の物質フラックスに関する研究

(3) 海底堆積物を用いた長期物質循環変動の推定手法に関する研究

② 海底堆積物の微化石等を用いた長期物質循環変動の推定手法に関する研究

研究代表者 地質調査所 西村 昭

通商産業省 工業技術院

地質調査所

海洋地質部

中尾征三

海洋鉱物資源課

西村 昭・本山 功

海洋底質課

井内美郎・池原 研・片山 肇・田中裕一郎・  
中嶋 健

海洋物理探査課

山崎俊嗣

地質部

層序構造課

柳沢幸夫

燃料資源部

燃料資源課

渡邊真人・徳橋秀一

燃料鉱床課

古宮正利

平成5-7年度合計予算額 25,682千円

(平成7年度予算額 8,321千円)

(要旨) 地球規模の環境変動に大きな役割を果たしている南極海の周辺から採取した堆積物試料より、この海域の長期の物質循環に関する変動を明らかにするための手法の確立を目指している。ロス海の表層堆積物試料を肉眼記載・軟X-線写真・スメアスライド顕微鏡観察など記載的な分析と指標と考えられる微化石(珪藻・有孔虫)・堆積物の物理的性質(帯磁率・含水比・含砂率)・重鉱物組成のデータに基づいて検討した。ロス海内側では上部の珪藻を多く含む軟泥と下部の固結した砂質シルトの2つの区分ができた。後者は氷期か、または氷床の退く時に形成された堆積物である。ロス海の外側では氷期に底層流が強い時期に形成されたコンターライトと考えられるラミナの発達した堆積物が認められた。

(キーワード) 南極海、海底堆積物、氷期、微化石、生物生産量

1. はじめに

海底堆積物に残された自然環境の長期的変動を明らかにすることは、海洋における物質循環や汚染物質の付加に対する環境への影響への予測に極めて重要なデータを与える。南極周辺海域は栄養塩が多く、生物生産量が大きく、また、深層水の形成に大きな役割を果たしており、氷期-間氷期の大气中の二酸化炭素濃度の変動などの地球規模の環境変動への寄与が大きい地

域である。本研究では、詳細な環境変動に関するデータの蓄積の少ない南極周辺海域において、柱状堆積物試料より基礎的データを抽出し、環境変動についての解析手法の確立を目的としている。太平洋に面している南極海のロス海域における採泥試料を中心に分析を進め解析検討した。

## 2. 南極周辺海域の堆積物と試料

ロス海は太平洋側に位置しており、奥側半分を棚氷に覆われている。大陸棚は一般の大陸のものより深く、平均で水深500～600mあり、陸側のほうが深くなり1000mを超えるところもある。大陸棚外縁も800m位ある。陸棚域は谷とバンク（地形的な高まり）が繰り返している。これらの地形は第四紀の氷床による浸食と堆積盆を形成する地質構造によるものである<sup>1)</sup>。表層堆積物は、バンクの上の粗い砂礫質の堆積物を除くと珪藻を主体とする軟泥または泥質堆積物が一般的である<sup>2)、3)</sup>。また、大陸斜面から海盆底にかけては、これらに加えて有孔虫を多く含む石灰質軟泥もみられる。堆積物中の砂粒は、陸源の砂粒子とプランクトン生物の遺骸からなっている。その変化は、氷山などの漂礫堆積作用と生物生産の変動を示す。

ロス海およびその周辺海域から採取された14本の柱状料（表1、図1）についての堆積学的検討を肉眼記載・軟X-線写真・スメアスライド顕微鏡観察など記載的な分析と指標と考えられる微化石（珪藻・有孔虫）・堆積物の物理的性質（帯磁率・含水比・含砂率）・重鉱物組成のデータに基づいて検討した。年代については、既存の珪藻の生層序学的なデータを解釈したほか、一部の試料についてAMS炭素年代を測定した。

表1. 試料採取地点.

| Sample No. | Location<br>(Lat.) (Long.) |             | Water depth<br>(m) | Topography                                          |
|------------|----------------------------|-------------|--------------------|-----------------------------------------------------|
| GC1201     | 62°41'41"S                 | 139°52'48"E | 4058               | Basin floor of the Dumont D'Urville Sea             |
| GC1203     | 71°20'10"S                 | 175°30'18"E | 2224               | Upper continental rise north of the Ross Sea        |
| GC1204     | 77°25'15"S                 | 175°28'12"E | 662                | Basin floor in the Ross Sea                         |
| GC1205     | 75°55'55"S                 | 175°29'35"E | 543                | Basin floor in the Ross Sea                         |
| GC1206     | 73°44'33"S                 | 175°30'48"E | 580                | Basin floor in the Ross Sea                         |
| GC1208     | 68°29'32"S                 | 172°27'36"E | 3405               | Lower continental rise north of the Ross Sea        |
| GC1301     | 64°49'45"S                 | 145°01'00"E | 3341               | Basin floor of the Dumont D'Urville Sea             |
| GC1302     | 62°29'07"S                 | 144°59'30"E | 2537               | Lower continental slope of the Dumont D'Urville Sea |
| GC1303     | 77°26'46"S                 | 161°11'03"W | 672                | Basin floor in the Ross Sea                         |
| GC1304     | 77°26'26"S                 | 175°54'30"W | 571                | Basin floor in the Ross Sea                         |
| GC1305     | 77°26'23"S                 | 169°46'28"W | 570                | Basin floor in the Ross Sea                         |
| GC1306     | 75°46'11"S                 | 169°59'36"W | 1450               | Continental slope north of the Ross Sea             |
| GC1307     | 72°31'04"S                 | 175°27'54"E | 527                | Bank slope at the shelf break of the Ross Sea       |
| GC1308     | 72°27'38"S                 | 175°37'54"E | 643                | Bank slope at the shelf break of the Ross Sea       |

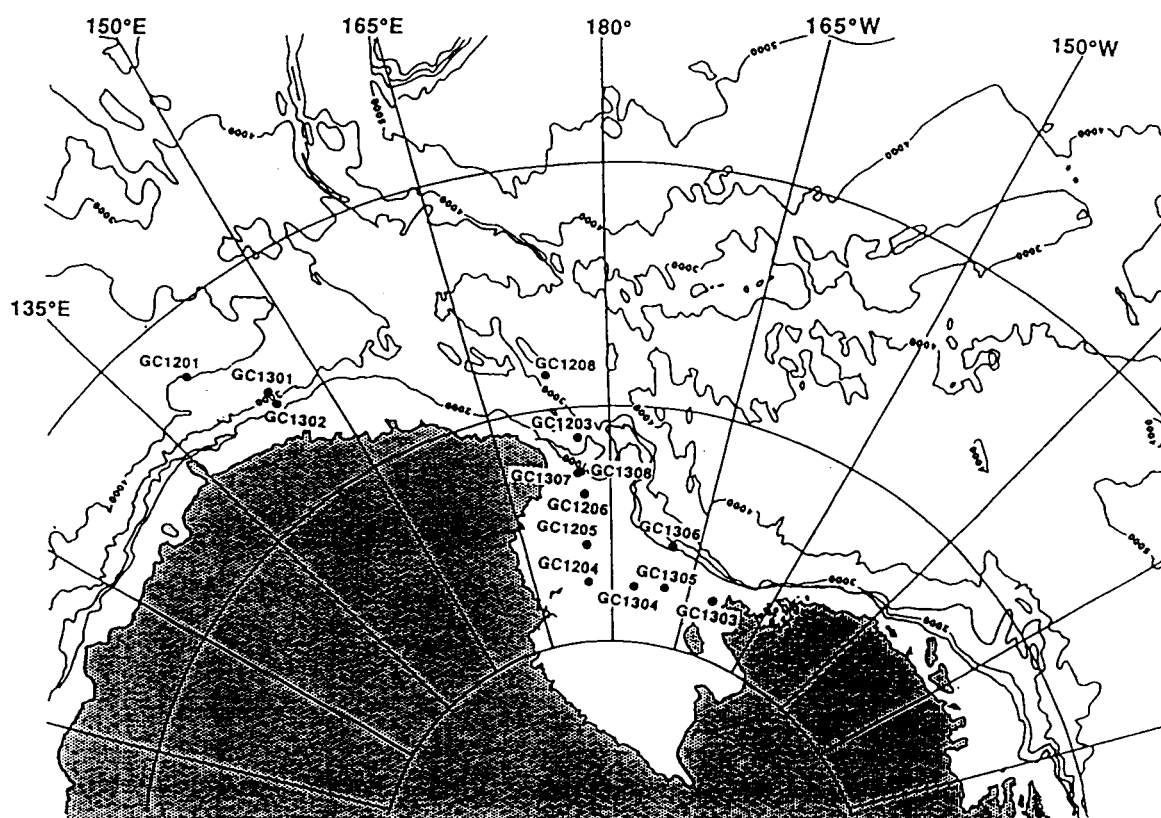


図1. 試料採取地点.

分析方法の概略を以下に述べる.

[微化石] 微化石の分析は予察的に柱状試料の20cm間隔で行った. 珪藻は堆積部0.5gを熱湯中で分散させ、適当な濃度の懸濁液からプルーラックスを封入剤にしてプレパラートを作成し、顕微鏡下で観察同定した. 有孔虫は堆積物約15gを温水で泥水化して120 $\mu$ mのフルイで水洗してその残渣から有孔虫を拾い出した.

[堆積物の物理的性質]

帯磁率は2インチ立方の試料を柱状試料から連続的に採取し、Martison Type-2帯磁率により測定した. 含水比は10cm間隔で柱状試料から注射器を用いて3~5cm<sup>3</sup>の定容量試料を採取して決定した. 含水比は乾燥重量をベースとして計算した. 同一試料について、含水比とともに乾燥密度・湿潤密度を決定した. 含砂率は含水比測定後の試料について63 $\mu$ mのメッシュで水洗して決定した. 乾燥後、125 $\mu$ m、250 $\mu$ mのメッシュでふるい、中粒砂以上・細粒砂・極細粒砂に区分して各粒度の量比も決定した.

[重鉱物] 後背地及びロス海における氷山の運動との関連を検討するため、分析試料は、一つの柱状試料につき、極表層部（概ね、表面から0~15cm；surfaceの頭文字からSシリーズの試料と命名）と表面から50~150cm下位の層準（deepの頭文字からDシリーズの試料と命名）の2つの層準から採取し、両者の比較を行った（表2）. 堆積物中の砂粒子（細粒~極細粒砂；250~63 $\mu$ m）を塩酸で煮沸して鉱物の表面の酸化物を取り除き、比重2.96の四臭化エタンにより重鉱物を分離した. 磁性鉱物は磁石で取り除いた.

[AMS炭素年代] 石灰質の殻からなる有孔虫（浮遊性・底生について区別）を水洗した砂粒子から、顕微鏡下で20~30mg拾いだした. 分析は北海道大学の村山雅史氏の協力により名古屋大学において測定

表 2. 重鉍物分析試料の採取深度.

| Sample No. | S-sample depth(cm) | D-sample depth(cm) |
|------------|--------------------|--------------------|
| GC1203     | 0 - 15             | 50-60              |
| GC1204     | 0 - 12             | 143-153            |
| GC1205     | 0 - 12             | 78-88              |
| GC1206     | 0 - 15             | 78-88              |
| GC1208     | 0 - 15             | 70-80              |
| GC1303     | 7 - 17             | 97-107             |
| GC1304     | 0 - 15             | 50-60              |
| GC1305     | 0 - 15             | 130-140            |
| GC1306     | 5 - 15             |                    |
| GC1307     | 5 - 15             | 37-47              |
| GC1308     | 0 - 10             | 48-58              |

した.

### 3. 環境指標の分析結果

分析解析した試料の記載的検討により岩相柱状図を作成した(図2). ロス海内部では海底下数10 cm~1 mに固結した堆積物があり、採取された柱状試料は短い試料となっている. 岩相の特徴については物理的性質と併せ後述する.

#### 3-1. 微化石

ロス海内部の上部の珪藻を多く含む軟泥の珪藻群集は、現存種のいわゆるice algaeの*Nitzschia curta*、*Nitzschia sublinearis*、*Thalassiosira antarctica* からなる. 下部の試料は珪藻が少なく*Actinocyclus ingens*、*Paralia sulcata*などの再堆積種を含む群集である.

ロス海内部では浮遊性有孔虫は産出しない. 底生有孔虫は砂質有孔虫 (*Miliamina earlandi*, *Pseudobolivina antarctica*, *Trochamina* spp. *Reophax* spp. など) のみ殻なる群集で、海底の極表層の試料では比較的多く産出するが数十cm下位では少数または、まったく産出しなくなってしまう. おそらく有機物に分解する初期続成過程において殻が分解する現象を示しており、柱状試料下部では群集としては過去の環境を十分に示す指標となりえない可能性が高い. 大陸棚縁辺の堆積物では、貝殻、フジツボ片などとともに石灰質の有孔虫(浮遊性有孔虫の*Neogloboquadrina pachyderma*、底生有孔虫の*Cibicides refulgens*, *Globocassidulina subglobosa*, *Trifarina earlandi*など) が産出する. 後述する年代からするとこれらの多産するところは氷期の堆積物である. ロス海外側の試料では水深にともない群集が変化し、石灰質有孔虫はGC1201、GC1208のみで認められた.

#### 3-2. 堆積物の物理的性質

帯磁率は一般に含まれる磁性鉍物量を示す. この海域では陸源の粗粒な粒子とともに磁性鉍物が運搬堆積するために、その変化は砂粒子の含有率とともに氷山の漂礫堆積作用の影響の強弱の指標となる. 帯磁率と砂粒含有率が相関をもって変化することからも陸源の指標になることが指示される. 帯磁率の柱状試料での連続測定は簡便であり、漂礫運搬作用の指標としてきわめて有効である. 堆積物の含水比

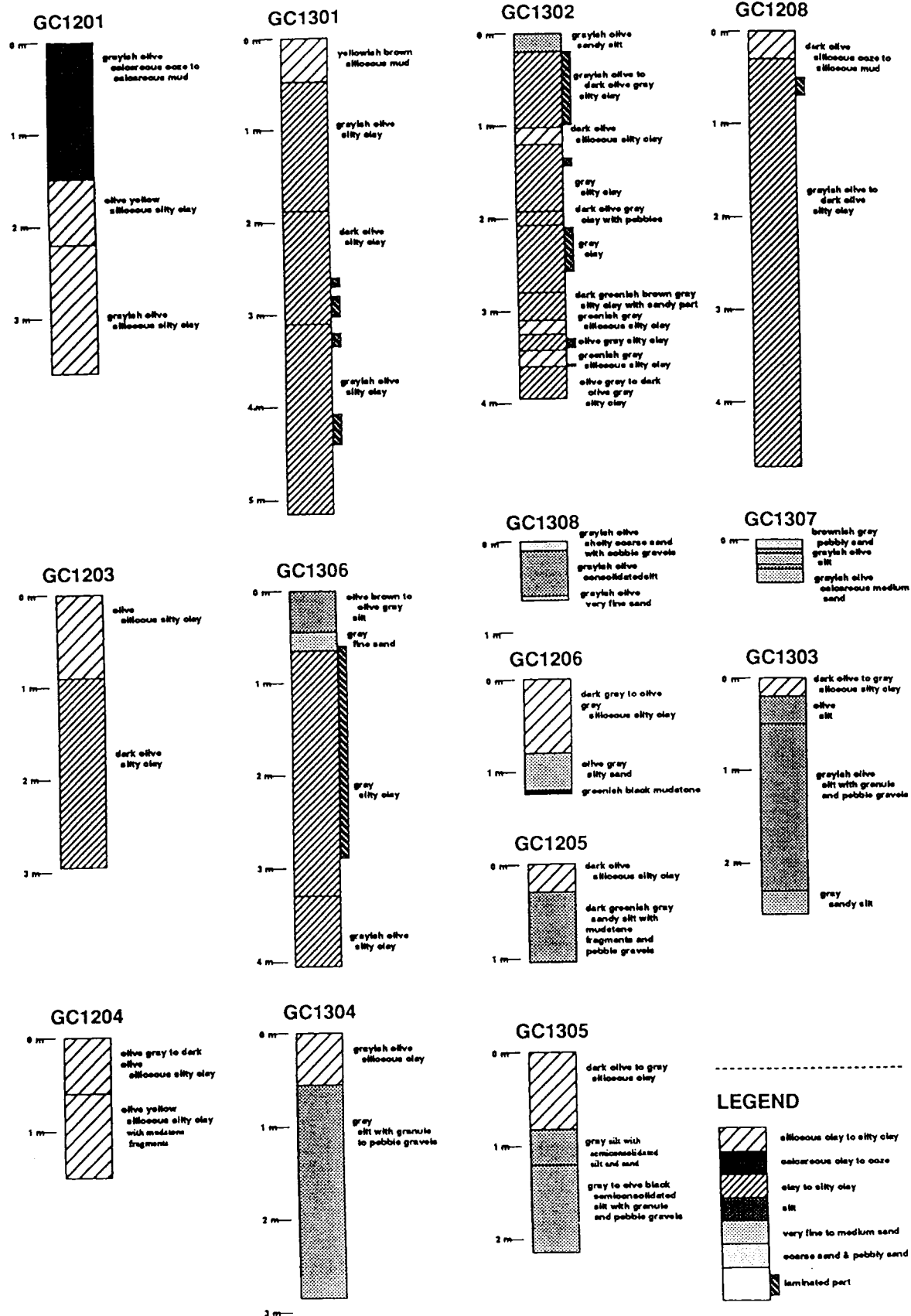


図 2. 柱状試料岩相記載.

は含砂率と逆相関関係である。また、堆積物の含水比と乾燥密度は対数関係で、湿潤密度と乾燥密度の間の関係は一次関係である。湿潤密度と乾燥密度の関係で密度の小さい部分で分散が大きいのは、堆積物の主要な構成物質に陸源と生物源（石灰質と珪質生物の殻）の両者があるためである。堆積物の諸性質は、ロス海内部とロス海の外側（便宜的に等深線1000mより以深）で大きく異なる。ロス海外側においては、砂粒含有量は10%以下で、含水比は100%前後で安定している。それに対して、ロス海内部においては、砂粒含有率は30~40%で、含水比は上部の珪藻質の軟泥は70~150%と大きい、下部のシルト質粘土で50%以下である。この下部に見られる含水比の小さい堆積物は固結度も高く通常の堆積物の加重による圧密のみでは形成されず、過去の氷床の拡大期に氷床の加重の影響下で形成されたと推定される。

海域を代表する試料として、ロス海内部・陸棚縁・ロス海外部の深海盆の3点の代表的な試料の記載と分析結果を示す（図3）。深海盆や陸棚斜面の下部の堆積物は、基本的には生物起源粒子と陸源の泥質物からなる半遠洋性泥質堆積物からなるが、一部にラミナの発達した堆積物がある。これはシルト質の生物源粒子をほとんど含まない堆積物で、氷期に底層流が強い時期に形成されたコンターライトと考えられる（GC1302）<sup>4)</sup>。陸棚縁においては、砂質の堆積物が分布しており（GC1307）、底層水の流れの強い影響を受けていることが推定される。その流れには、ロス海に流入する流れである可能性がある。ロス海内部の柱状試料は、上部の未固結の珪藻に富む軟泥堆積物と下部の固結した砂粒子を比較的多く含み、また、一部には泥岩片を含むシルト質粘土に2分される（GC1305）。前者は現在と同じ堆積環境での堆積物であるが、後者は氷期か、または氷床の退く時に氷床に影響されて形成された堆積物の可能性が高い。

### 3-3. 重鉱物組成

重鉱物の分析結果を各試料について産出頻度を求め、それに基づいてSシリーズとDシリーズについて分布図を示した（図4、図5）。両シリーズとも、重鉱物組成の分布パターンの特徴はほぼ同じで、この間に粗粒堆積物を運搬・沈積した氷山の流動形態に大きな違いがなかったことが想定される。ただし、一部は氷山でなく氷河により運搬された氷礫土である可能性もある。重鉱物組成の分布パターンからは、ロス海は、西部域と中・東部域に分けられることが判明した。このことは、陸域における氷河の流動形態（流線パターン）からみて、西南極と東南極の地質の違いを反映したものと考えられる。特に、陸棚西部域で卓越するオリビンとチタンオージェイトを含むクリノパイロキシンは、ビクトリアランドの東縁を縁取るように分布すマクマード・アルカリ火山岩類（後期新生代）に由来するものと考えられる。

### 3-4. 試料の年代

環境変動を考察するにあたっては年代決定をすることが必要であるが、南極周辺の堆積物については石灰質堆積物が少ないことから、年代決定が十分行われた試料が少ない。

珪藻での生層序区分がなされており<sup>5)</sup>、第四紀の現在に近いほうから、*Nitzschia keruguelensis* Zone (0-0.2 Ma)、*Hemidiscus karstenii* Zone (0.2-0.35 Ma)、*Rouxia isopolica* Zone (0.35-0.66 Ma)の帯が設定されている。ロス海内部の試料の上部の珪質軟泥は*Nitzschia keruguelensis* Zone (0-0.2 Ma)にあたる。しかし、下部については特異な群集であり再堆積の種を含んでいて、年代は確定できない。ロス海外側の試料では、上記3帯がすべて柱状試料に

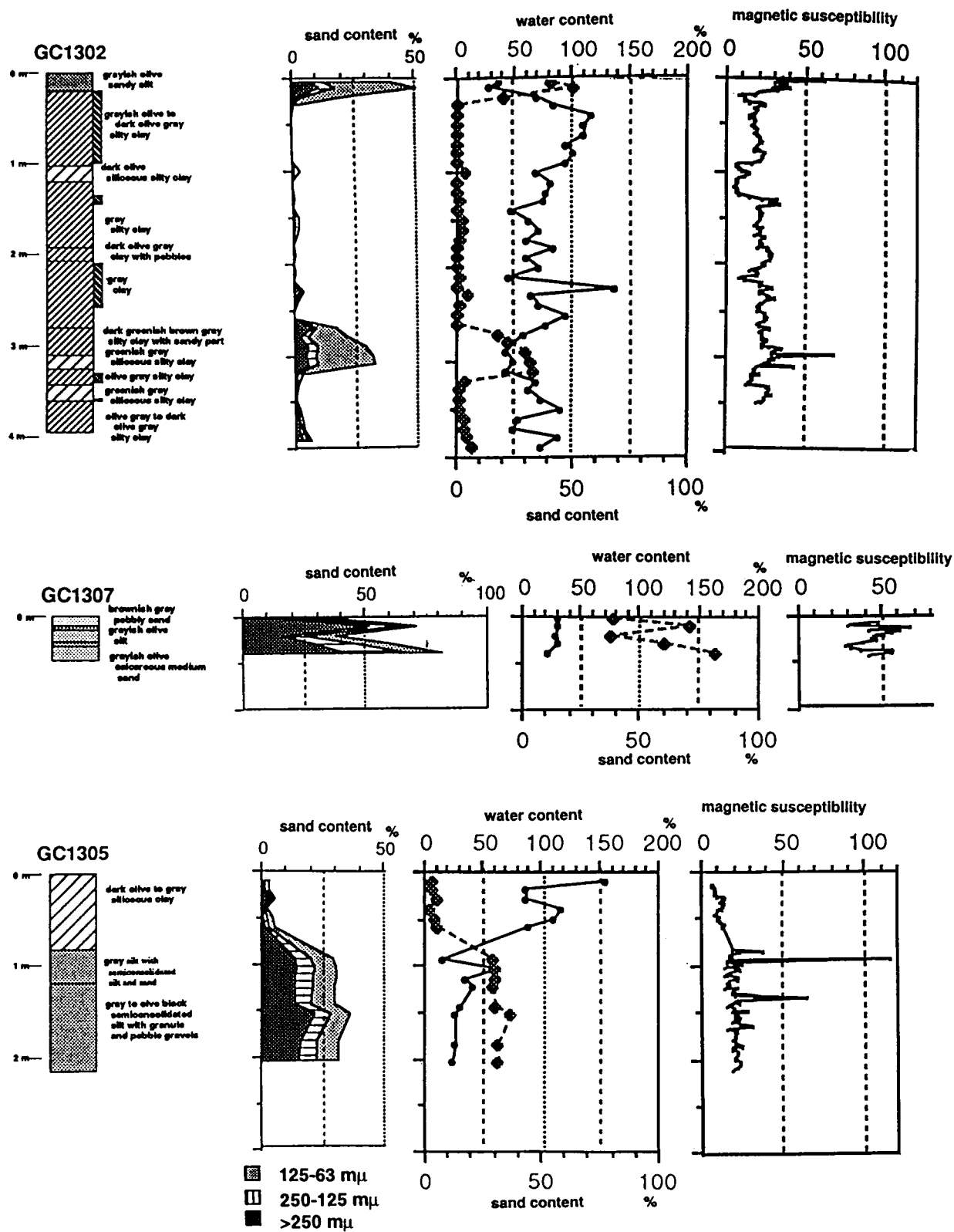


図3. 代表的試料の環境指標分析結果.

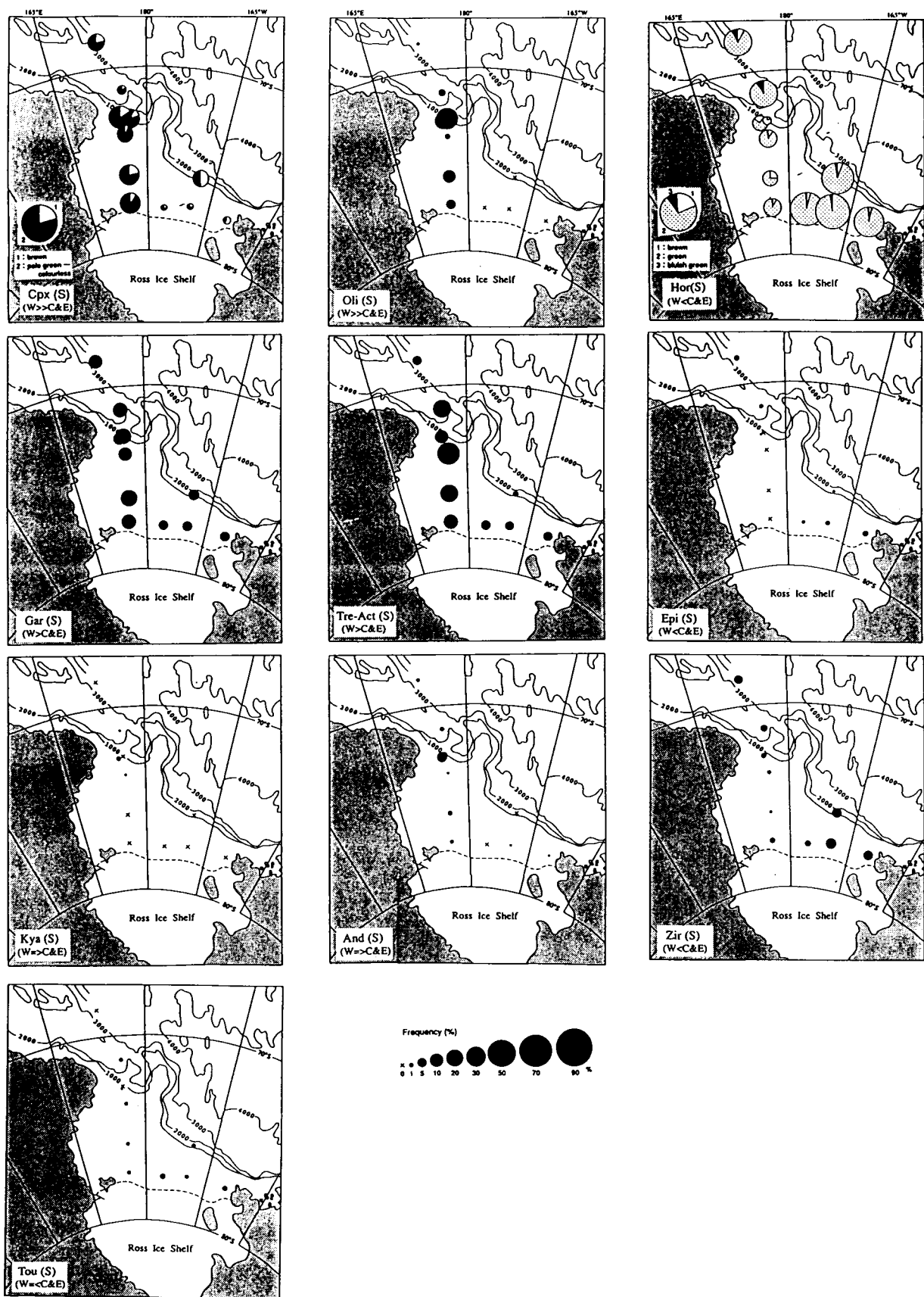


图4. 重鉍物分析結果 (表層)

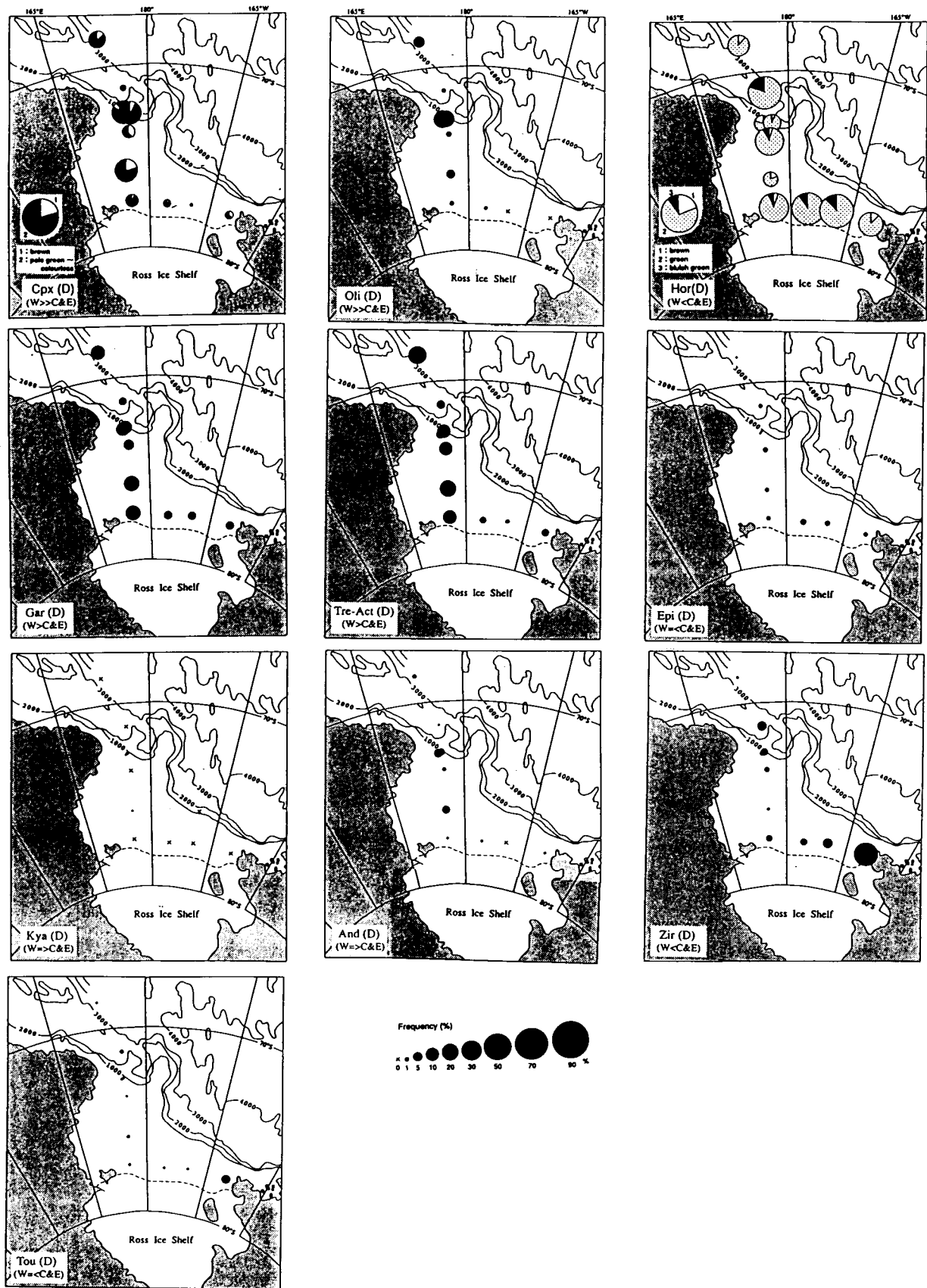


図5. 重鉍物分析結果 (柱状試料中下部)

認定され、堆積速度が小さいものも認められる。

大陸棚外縁付近の石灰質の砂質堆積物に産出した有孔虫について、AMS炭素年代を測定した。GC1307, 42-44 cm (浮遊性有孔虫)  $33,680 \pm 350$ 年、GC1307, 42-44 cm (底生有孔虫)  $34,890 \pm 400$ 年、GC1206, 89-90cm (底生有孔虫)  $20,190 \pm 230$ 年の結果が得られ、最終氷期の年代を示す。

#### 4. ロス海的环境変遷

以上の研究結果から推定した模式的な氷期から現在の南極周辺海域の堆積環境の変遷を示した(図6)。年代資料は必ずしも多くないが、今までの報告<sup>6), 7)</sup>によればロス海内部の柱状試料の上部の珪藻に富む堆積物は後氷期以降の現在と同様の堆積環境での堆積物と考えられる。また、下部に見られる含水比が極端に小さく固結している堆積物は、今後さらに、年代の検討の必要があるが、現在のロス海が最終氷期に南極大陸の氷床に覆われた時の加重により形成されたと考えられる<sup>6), 8)</sup>。ロス海外縁付近の石灰質の堆積物は最終氷期にもそこでは明瞭な外洋の影響下であったことを示す。さらに、深海盆や陸

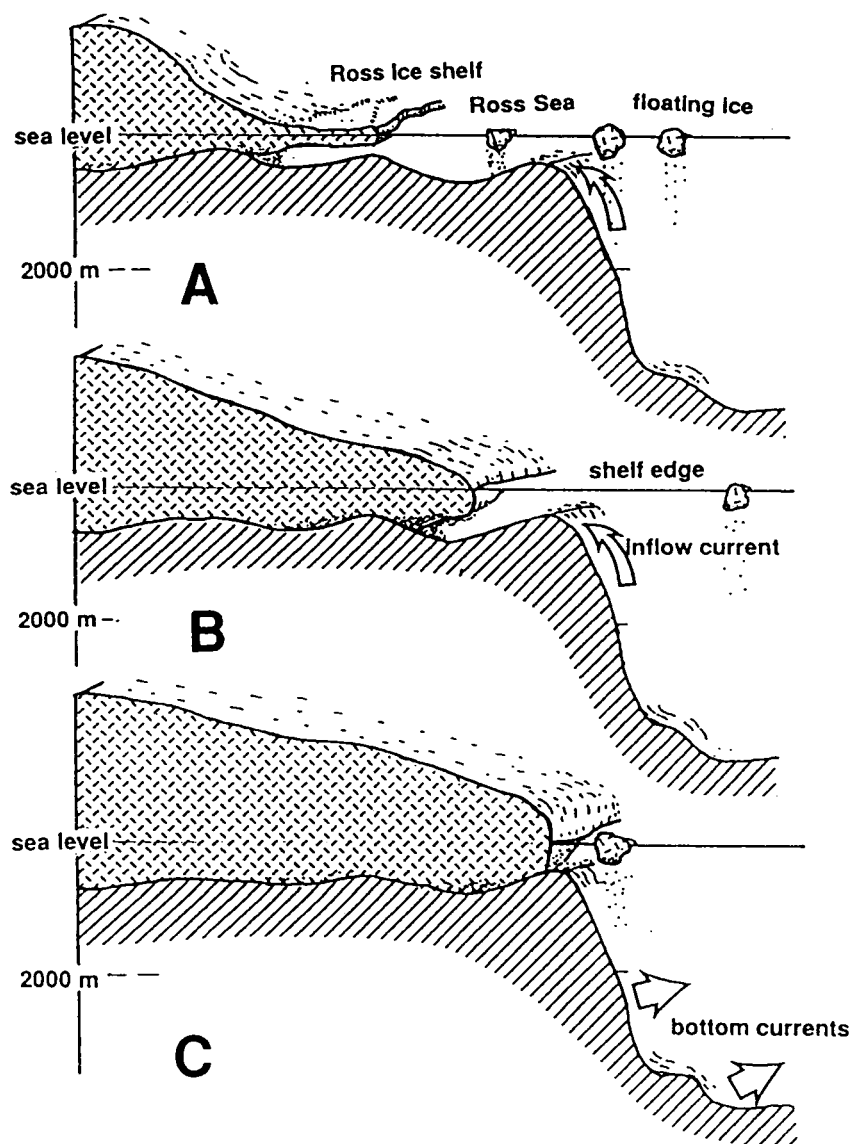


図6. 堆積環境の変遷 (A; 現在、B; 融氷期、C; 最終氷期最寒期)

棚斜面の下部の堆積物には、ラミナの発達した部分があるが、現在の堆積物にはそれらが認められないので、この堆積物は氷期の底層水の流れが現在より強化されていた時期に形成されたコンターライトと考えられる。

#### 引用文献

- 1) Davey, F. J. (1987): Geology and structure of the Ross Sea region. *The Antarctic continental margin: geology and geophysics of the western Ross Sea*. edited by Cooper, A. K. and Davey, F. J., CPCEMR Earth Science Series, vol.5B: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1-15.
- 2) McCoy, F. W. (1991): Southern ocean sediments: Circum - Antarctic to 30°S. *Marine geological and geophysical atlas of the Circum - Antarctic to 30°S*. edited by Hayes, D. E. Antarctic Research Series (American Geophysical Union), 54, 37-46.
- 3) Anderson, J. B., Brake, C.F. and Myers, N. C. (1984): Sedimentation on the Ross Sea continental shelf, Antarctica. *Marine Geology*, 57, 295-333.
- 4) Bonn, W. J., Futterer, D. K., and Globe, H. (1994): Quaternary sedimentation at the Antarctic continental margin. *Terra Antarctica*, 1, 319-320.
- 5) Akiba, F. (1982): Late Quaternary diatom biostratigraphy of the Bellingshausen Sea, Antarctic ocean. Rep. Tech. Res., Cent., J. N. O. C., 16, 31-74.
- 6) Kellogg, T. B., Osterman, L. E., and Stuiver, M. (1979): Late Quaternary sedimentology and benthic foraminiferal paleoecology of the Ross Sea, Antarctic. *Jour. Foraminiferal Research*, 9, 322-335.
- 7) DeMaster, D. J., Dunbar, R. B., Gordon, L. I., Leventer, A. R., Morrison, J. M., Nelson, D. M., Nittrouer, C. A., and Smith JR., W. O. (1992) Cycling and accumulation of biogenic silica and organic matter in high-latitude environments: the Ross Sea. *Oceanography*, 5, 146-153.
- 8) Anderson, J. B., Kennedy, D. S., Smith, M. J., and Domack, E. W. (1991): Sedimentary facies associated with Antarctica's floating ice masses. *Glacial Marine Sedimentation; paleoclimatic significance*. edited by Anderson, J. B. and Ashely, G. M. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., 1-25.

#### 国際共同研究等の状況

特になし

#### 成果の公表状況

##### 誌上発表

Agyingi, Cristopher M., Tokuhashi, S., and Nishimura, A. (1994) Heavy mineral composition of surface sediments around the Ross Sea, Antarctica.

中尾征三 (1993) 地球環境変遷の研究－過去に学ぶ意義と時間尺度の重要性について－. 地質ニュース、475、487-503.

- 西村 昭 (1993) 海洋の深層水循環と第四紀後期の環境変遷. 地質ニュース、375、16-21.
- 西村 昭・棚橋学・池原研 (1994) 炭素循環と堆積物に固定される炭素量. 月刊海洋、26(6), p.362-366.
- 西村 昭・川幡穂高・中尾征三 (1994) 地球環境と炭素循環—地質学は地球温暖化問題に貢献できるか—. 地質学雑誌、100, p.383-390.
- Nishimura, A., Yuasa, M., Nakasone, T., Nakahara, and Ioka, N. (in press) Sedimentological study of the sea bottom sediments in and around the Ross Sea Continental Shelf, Antarctica. Proceeding of the NIPR Symposium on Antarctic Geosciences.
- Tokuhashi, S., Agyingi, Cristopher M., and Nishimura, A. (in press) Areal and vertical variation of heavy mineral composition of the surface sediments, Ross Sea, Antarctica. Proceeding of the NIPR Symposium on Antarctic Geosciences.
- 頭発表
- 中尾征三 地球環境変動のバッファーとしての海洋の役割. (社) 深海底鉱物資源開発協会特別講演会1994.2.
- 西村 昭 深海の状況. 「新素材の深海ステーションへの適用」シンポジウム、海洋技術協会、1994.6.20.
- 西村 昭・湯浅真人・仲宗根 徹・中原昌樹・井岡 昇 南極、ロス海とその周辺海域の表層堆積物. 日本地質学会第102年年会 1995.4.1-3.
- 西村 昭・湯浅真人・仲宗根 徹・中原昌樹 南極、ロス海とその周辺海域の表層堆積物の分布と特徴. 極地研究所シンポジウム 1995.10.
- 徳橋秀一・クリストファー・M・アギンギー・西村 昭 南極ロス海表層堆積物中の重鉱物組成. 日本地質学会第102年年会 1995.4.1-3.
- 徳橋秀一・クリストファー・M・アギンギー・西村 昭 重鉱物組成からみた 南極ロス海における表層堆積物の特徴. 石油技術協会平成7年度春期講演会 1995.6.6-9.
- 徳橋秀一・クリストファー・M・アギンギー・西村 昭 南極ロス海表層堆積物中の重鉱物組成の地域的・垂直的变化. 極地研究所シンポジウム 1995.10.