

- 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海洋物質循環変動の推定手法に関する研究
 ① 海底堆積物の化学組成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 国立環境研究所 高松武次郎

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ	海洋研究チーム	原島 省・原田茂樹
水圏環境部	部長	渡辺正孝
	土壤環境研究室	高松武次郎
(委託先)	名古屋大学	増澤敏行・中塚 武

平成5～7年度合計予算額	23,100 千円)
(平成7年度予算額	7,789 千円)

〔要旨〕南極海のヴェッデル海の陸棚上 (GC808) およびヴェッデル海 (GC801)、ロス海 (GC1208) およびエンダービー沖 (GC1002) の水深約3500mの深海から採集された堆積物コアのオパール、炭酸カルシウム、炭素、および窒素の分析と、中性子放射化分析による25元素の分析を行った。また高炭酸カルシウム層から浮遊性有孔虫殻を分離し、加速器質量分析計により放射性炭素年代測定を行った。その結果オパール含有量はヴェッデル海陸棚上の約45%からエンダービー沖コア下部の約2%以下まで大きく変動し、これはそれぞれのコア上部の平均堆積速度約200cm/kyrから約0.6cm/kyrの変化に対応していた。オパール含有量とBa含有量との間にはそれぞれの地点では直線関係が認められたがその傾きは大きく異なっていた。オパール含有量に対するBr含有量の関係は全コアを通してほぼ同じ直線上に分布していた。ヴェッデル海においては12kyr以後の後氷期になって生物生産が劇増した可能性が示された。海底堆積物のオパール、BaおよびBr含有量とその変動は、海洋表層における生物生産量の変動の有力な指標となる。

〔キーワード〕南極海、堆積物、¹⁴C年代測定、生物生産、オパール、微量元素

1. 序

海底堆積物は、海洋で起こった全過程の産物が連続的に堆積したものであり、海底堆積物柱状試料は、この海洋環境の変動の最も重要な連続的記録である。海洋堆積物の主要構成成分は、海洋表層での光合成から始まる生物生産活動により生産された有機物、珪藻や放射虫の殻をなす無定形珪酸 (オパール)、有孔虫や円石藻の殻をなす炭酸カルシウム、海水中で沈積した鉄・マンガン酸化物などの自生鉱物、大気あるいは河川を通して陸上から運ばれた陸源の珪酸塩鉱物や有機物に、人類活動の結果もたらされた重金属や人工有機化合物などが含まれる。地球環境の変動に対し海洋は熱的にも、また二酸化炭素やメタンなどの温室効果気体など物質的にも、大変大きな役割を担っていると考えられるが、その解明のためには、海洋の物質循環の仕組みと短期的および長期的変動機構の解明が必要である。その中で特に、海洋の物質循環の主要な過程である、海洋表層での光合成から出発する生物生産とその産物の深海への輸送、分解、堆積、回帰の過程 (いわゆる海洋の生物地球化学的循環) とその変動機構の解明が重要な課題であり、これはまた海洋の大循環の変動にも連動している。

本研究では、生物生産の極めて高い南極海に注目し、堆積物柱状試料中の生物源物質および微量元素組成を求め、また加速器質量分析計により放射性炭素年代測定を行い、過去の生物生産量の変動を推定する手法の開発を試みる。

2. 試料と方法

(1) 試料

南極海の異なる海域を代表させる目的で、現在南極深・底層水が形成されている2つの海域であるヴェッデル海（大西洋側）の陸棚上（GC 808; 61.0° S, 45.1° W; 水深376m; 全長545cm）及び深海部（GC 801; 60.0° S, 52.3° W; 水深3328m; 全長666cm）、ロス海（太平洋側; GC 1208; 68.5° S, 172.5° E; 水深3605m; 全長470cm）およびインド洋側のエンダルビー沖ケルゲレン海台（GC 1002; 63.8° S, 78.9° E; 水深3658m; 全長396cm）の4地点の柱状堆積物試料を解析対象として選別した（図1、2）。試料は白嶺丸の航海で重力式採泥器により採集され、密閉して5度で保存されていたものから、10cm毎に3cmずつ分取し、60°Cで3日間乾燥させたものを分析に供した。

(2) 有孔虫の分画

乾燥させた堆積物試料に熱湯をそそいで放置し泥化させたのち63μmのふるいで水洗し、残渣を蒸発皿にとり乾燥させた。乾燥残渣を実体顕微鏡下で濡らした面相筆を用いて浮遊性有孔虫と底生有孔虫に分画した。

(3) 放射性炭素年代測定

分画した有孔虫試料を希塩酸で全重量の約10%相当の表面を溶解し、Milli-Q水で水洗後乾燥させた。この乾燥試料を真空中で同位体比測定用ピロリン酸で60.0°Cで分解して二酸化炭素とし、真空ライン中で精製したのち、鉄を触媒として水素でグラファイトに還元してターゲットとし（Kitagawa et al., 1993）、名古屋大学のタンデトロン加速器質量分析計（AMS）によりNBSシュウ酸（NBS SRM-4990C）を標準として¹⁴C/¹³C比を測定した。またその二酸化炭素試料の一部を用いてMAT262質量分析計により¹³C/¹²C比を測定し、同位体分別を補正して¹⁴C年代（yr BP）を求めた（Stuiver and Polach, 1977）。有孔虫が全く含まれていなかったGC 801とGC 808コアに対しては、堆積物試料を塩酸で処理して無機態炭素を除去後、有機態炭素を封管中で燃焼して二酸化炭素とし、真空ライン中で精製して同様にグラファイトターゲットとして¹⁴C年代の測定を行った。

(4) 生物性無定形珪酸（オパール）の定量

堆積物中の生物性無定形珪酸（オパール）は、Mortlock and Froelich (1989) 法を一部改良して行った。乾燥粉末試料約100mgをポリプロピレン製スピッツ管に取り、10%過酸化水素水で有機物を分解除去し、洗浄後1M塩酸溶液で炭酸カルシウムを除去し洗浄した。これを乾燥させた後2MNaCO₃溶液を加え85°Cの湯浴中で定期的に攪拌し、3時間後および5時間後に上澄み液を分取した。この溶液を中和後、フローインジェクション分析計とオートサンプラーを用い、モリブデン酸黄法により溶存珪酸を測定し、3時間値と5時間値から0時間値を求め、含水率を10%（Mortlock and Froelich, 1989）として、オパール量を求めた。

(5) 炭酸カルシウムの定量

オパール定量の際の過酸化水素+塩酸画分のCaを原子吸光法により定量し、炭酸カルシウム量を求めた。

(6) 全炭素と全窒素の定量

元素分析計により、全炭素と全窒素を定量した。

(7) 中性子放射化分析

短寿命核種 (Al, V, Mn, Na, Cl) は、乾燥試料約30mgをポリエチレン袋に二重に熔封し、ミリポアーフィルターに添着乾燥させたNa500 μ g、Mn20 μ gと共に京都大学原子炉実験所の圧気輸送管Pn-3 (熱中性子束 $2.34 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) において20秒間照射し、11分から20分冷却後にGe(Li)半導体検出器-4024チャンネル波高分析器により γ 線スペクトルを測定した。中・長寿命核種 (Na, Br, As, Sb, Zn, Co, Cr, Ba, Rb, Cs, Th, Hf, Ta, U, Sc, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) は乾燥試料約100mgを50.25 μ gのCo標準とともに同じく圧気輸送管Pn-2 (熱中性子束 $2.75 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) で50分間照射し1週間冷却後および1カ月冷却後、 γ 線スペクトルを測定した。 γ 線スペクトルは小山等が開発した γ 線スペクトル解析プログラム(Koyama et al., 1987)によりコンパレータ法により解析し、同時に照射しているミリポアフィルタに添着乾燥した26元素の標準で補正した(Masuzawa et al., 1989)。また、長期に渡る再現性のモニターのために、地質調査所の標準岩石試料JB-1を同時に照射した。

3. 結果

Table 1にロス海のGC1208コアのオパール、炭酸カルシウムおよび主、微量29元素の組成をまとめる。図3に主としてAMS¹⁴C年代による各コアの年代を、また図4~7に4地点のコアにおけるオパール、炭酸カルシウム、Al、Ba、BrとUの鉛直分布を示す。

ヴェッデル海陸棚上の水深376mから採集された全長545cmのGC808コアは、全層珪藻軟泥からなっており、オパール含有量は40-50%と極めて高くまたコアを通してほぼ一様であった。炭酸カルシウムは全層で1%未満とほとんど含まれていなかった。アルミノ珪酸塩含有量の指標であるAl含有量は高いオパール含有量に対応して2-3%と低くコアを通してほぼ一様であった。オパールと似た挙動を示すBaは、このコアではほぼ300-500ppmの間で変動し、あまり高くなかった。有機物含有量を反映するBr含有量が大変高くまた、還元条件下で沈積しやすいU含有量も高かった。有機態炭素を用いたAMS¹⁴C年代によれば(図3)このコアの最下部でも約6ky BP程度と極めて若く、平均堆積速度は約200cm/kyrと極端に高かった。有機態炭素含有量はオパールによる希釈を補正すると2.6-3.0%と高かった。これらの結果から、このヴェッデル海陸棚上では、主として珪藻による極めて活発な生物生産が行われており、その産物であるオパールと有機物が活発に堆積した結果、平均45%という極めて高いオパール含有量と高い有機態炭素含有量をもつ珪藻軟泥として、極めて高い堆積速度で堆積し、その結果、現在の堆積物中では初期続成過程での硫酸還元が活発に進行している。

GC808コアからあまり遠くないヴェッデル海の水深3328mから採集された全長666cmのGC801コアは、深さ210cm以浅が珪藻軟泥であり、それ以深は緑灰色シルトであった。図5に示すように、オパール含有量は深さ210cm以浅で高く最高22%に達し、それ以深では5-11%の間で変動し、深さ550cm以深では2.5%前後と低くなっていた。炭酸カルシウム含有量は、二、三やや高いピークを示すがそれ以外では1%未満とほとんど認められなかった。Al含有量はオパール含有量とは逆に変動し、深さとともにやや増加する傾向を示していた。Baはオパールに比較的似た変動を示し、最高1140ppmという高い値を示していた。Brは注目すべきことにオパール含有量と大変良く似た分布を示した。有機態炭素含有量は0.5%程度であまり高くなかった。Uは所どころ高い層が認められるが全体的にはそれほど高いものではなかった。有機態炭素を用いたAMS¹⁴C年代によればコア底部で20kyr前後と推定され、またコア上部の傾きからの平均堆積速度は約33cm/kyrでGC808コアより約1桁低いものの、堆積速度としては高いものであった。

ロス海開口部近くの水深3405mから採集された全長470cmのGC1208コアは、30cmまでが珪藻軟泥、それから65cmまでが有孔虫軟泥でそれ以深に珪藻もしくは有孔虫を含む

シルト質粘土の互層からなっていた。オパール含有量は上部で高いが4-9.3%の間で変動し、あまり高くはなかった。炭酸カルシウム含有量の高い層が4層見い出され、最高は15.7%であった。Alは5-6%の間で変動していた。BaとBrはコア上部で高い、オパールに似た分布を示していた。U含有量は1.5-3.2ppmの間で変動しあまり高くはなかった。浮遊性有孔虫のAMS¹⁴C年代の外挿からは、コア底部で60-70kyr程度と推定され、測定された年代部分の平均堆積速度は約13cm/kyrであり、GC 801コアの約半分であった。

インド洋側エンダービー沖のケルゲレン海台の水深3458mで採集された全長396cmのGC 1002コアは、150cmまでは珪藻に富む軟泥、また下部は有孔虫に富む軟泥からなり、150cmおよび270cm付近に細砂層を含む。オパール含有量は150cm以浅で高く最高9.0%であった。炭酸カルシウムは90-160cm層で2%未満の他は全層で高くコア上部では最高24%をまたコア下部では最高40%に達していた。Al含有量はオパール及び炭酸カルシウム量と逆の変動を示していた。Baはオパールに大変良く似た分布を示し、最高3430ppmという極めて高い濃度を示した。Brもオパールに似た変動が認められた。Uは幾つか3ppmを越える層が認められるが、全般にはあまり高くはなかった。浮遊性有孔虫を用いるAMS¹⁴C年代測定はコア上部でのみ行われ、40cm以深は微化石層序に基づく推定年代(西村、私信)である。それによれば、コア底部で650kyrと極めて古く、またコア上部の平均堆積速度は約0.6cm/kyrとGC 1208コアの約20分の1と極めて低いものであった。

4. 考察

南極海は、栄養塩に富んだ深層水が湧昇し、その栄養塩を使って活発な生物生産が行われている海域であり、そのなかでヴェッデル海とロス海は北部北大西洋と共に深底層水が形成されている場でもある。栄養塩に富む南極海においては、生物生産は主に珪藻によって行われており、生物性オパールがセディメントトラップにより捕捉される沈降粒子の主要構成成分となり(Tsunogai et al., 1986; Fisher et al., 1988)、これらが珪藻軟泥として堆積する。今回ヴェッデル海の陸棚上とヴェッデル海、ロス海とケルゲレン海台のほぼ水深3500m前後の3地点の計4地点のコアを解析を行った。その結果、生物生産産物であるオパール、炭酸カルシウムおよび有機物含有量においてもまた陸源のアルミノ珪酸塩の組成においても、さらには堆積速度においても極めて大きな変動を示した。

堆積物中のオパール含有量は、陸源のアルミノ珪酸塩粒子の供給速度と海洋表層で生産された珪藻の供給速度とのバランスで決まることから、高いオパール含有量は海洋表層の高い生物生産量の反映とみなすことができ、さらにこれは堆積速度にも反映される。今回解析した4地点の平均堆積速度はGC 808コアの約200cm/kyrからGC 1002コアの約0.6cm/kyrまで3桁の変動を示したが、これはオパール含有量の順序と一致している。また、深底層水を形成しているヴェッデル海とロス海においてケルゲレン海台より高いオパール含有量と堆積速度を示したのは前者においてより活発な湧昇と生物生産が行われていることの反映かもしれない。特にヴェッデル海の水深376mのGC 808コアの約45%という高いオパール含有量と水深3328mのGC 801コアの上部の約10%というオパール含有量の差は、沈降・堆積過程でのオパールの溶解の反映と考えられる。

海洋における生物生産量の指標としてBaの有用性が議論されている(Dymond et al., 1992) 図8aにこの4地点のコアにおけるオパールとBaの関係を示す。GC 808コアを除き、それぞれのコアにおいてBa含有量として約500ppmを通る正の相関関係が認められる。しかしその傾きは海域によってかなり異なる。とりわけ平均45%という極めて高いオパール含有量を示したGC 808コアにおいてBaの濃縮が全く認められていない。これはオパール

に対するBaの濃縮機構を解明する上で有力な糸口となる可能性がある。

Brは海洋生物の有機物部分に共存する元素と考えられているが、図8bにオパール含有量に対するBr含有量関係を示す。GC808コアにおいては大きなばらつきを示すものの、GC808コアを含め4地点のコアを通してほぼ同一の直線上に分布している。これは、海洋堆積物中の生物源物質の指標としてのBrの可能性を示唆している。

図9にAl含有量に対するTh含有量の関係を示す。ヴェッデル海の2地点のコアはほぼ同じ直線上にプロットされ、ヴェッデル海、ロス海、ケルゲレン海台の順にTh含有量が増加し、Th/Al比としておよそ0.0012、0.0020、0.0035の順で増加している。これは供給された陸源のアルミノ珪酸塩の組成が異なっていることの反映と考えられ、特にインド洋側の東南極大陸においてはプレカンブリア期の花崗岩系の地質が卓越していることの反映と考えられる。

Martin (1990) の指摘以来、最終氷期に南極海の生物生産が現在より極めて活発であったかどうか議論されている。ヴェッデル海のGC801コアのオパール含有量がヴェッデル海における珪藻による生物生産の反映であるとすれば(図5)、氷期が終わる12kyr BP以後にオパール含有量が劇増しており、むしろ後氷期になって生物生産が高まったことを示している。

5. 引用文献

- Dymond, J., E. Suess and M. Lyle (1992) Barium in deep-sea sediment: a geochemical proxy for paleoproductivity. *Paleoceanography*, 7, 163-181.
- Fischer, G., D. Futterer, R. Gersonde, S. Honjo, D. Ostermann and G. Wefer (1988) Seasonal variability of particle flux in the Weddell Sea and its relation to ice cover. *Nature*, 335, 426-428.
- Kitagawa, H., T. Masuzawa, T. Nakamura and E. Matsumoto (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon*, 35, 295-300.
- Koyama, M., M. Matsushita and J. Takada (1987) Reactor neutron activation analysis by using multi-elemental comparators: problems of nuclear constants of ^{128}I and ^{175}Yb and several other nuclides. *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, 113, 199-207.
- Martin, J.H. (1990) Glacial-interglacial CO_2 change: The iron hypothesis. *Paleoceanography* 5, 1-13.
- Masuzawa, T., S. Noriki, T. Kurosaki, S. Tsunogai and M. Koyama (1989) Compositional change of settling particles with water depth in the Japan Sea. *Mar. Chem.*, 27, 61-78.
- Mortlock, R.A. and P.N. Froelich (1989) A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep-Sea Res.*, 36, 1415-1426.
- Stuiver, M. and H.A. Polach (1977) Reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*, 19, 355-363.
- Tsunogai, S., S. Noriki, K. Harada, T. Kurosaki, Y. Watanabe and M. Maeda (1986) Large but variable particulate flux in the Antarctic Ocean and its significance for the chemistry of Antarctic water. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, 42, 83-90.

研究発表

- Kitagawa, H., T. Masuzawa, T. Nakamura and E. Matsumoto (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon*, 35, 295-

300.

Takamatsu, T., M. Kawashima, T. Masuzawa and J. Takada (1994) Geochemical study of trace elements in the hydrosphere by neutron activation analysis - Characteristics of the elemental composition in a sediment core (GC1002) from the Antarctic Ocean - KURRI Prog. Rep. 1993: Section I, 244-245.

German, C.R., T. Masuzawa, M.J. Greaves, H. Elderfield and J.M. Edmond (1995) Dissolved rare earth elements in the Southern Ocean: Cerium oxidation and the influence of hydrography. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 1551-1558.

Table 1. Major and minor chemical composition of Core GC1208 from the Antarctic Ocean.

No.	Depth (cm)	Name	Opal (%)	CaCO ₃ (%)	C (%)	N (%)	Al (%)	Fe (%)	Na (%)	Cl (%)	Mn (ppm)	Br (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)
5-7	60	1	8.33	0.78	0.54	0.09	5.59	4.25	3.09	3.26	1066	120	3.1	0.97	176	19.2	68	83
5-8	70	2	9.30	0.79	0.34	0.06	6.14	4.39	2.59	2.15	1154	73	3.5	0.39	185	19.9	79	116
5-9	80	3	5.33	14.35	1.82	0.04	5.61	3.68	2.23	1.65	906	52	3.2	0.75	141	17.2	58	94
5-10	90	4	5.75	15.73	2.12	0.03	5.81	3.61	2.24	2.12	870	64	3.2	0.60	142	15.4	63	99
4-1	100	5	5.92	6.40	0.74	0.03	5.56	4.02	2.57	2.14	1083	69	3.2	0.93	154	16.4	73	80
4-2	110	6	7.45	1.63	0.24	0.03	5.36	3.36	2.48	1.81	618	52	-	0.40	123	10.4	67	76
4-3	120	7	7.72	0.88	0.10	0.02	4.98	3.48	2.7	1.82	904	57	-	0.51	123	13.7	70	67
4-4	130	8	6.56	1.06	0.18	0.03	5.96	4.02	2.81	2.06	930	68	-	0.93	160	19.6	71	87
4-5	140	9	5.12	4.93	0.70	0.03	5.71	4.34	2.57	1.99	534	70	3.5	0.97	165	18.2	67	77
4-7	160	10	4.43	7.19	0.74	0.04	5.66	4.11	2.46	2.27	520	72	-	0.92	155	18.8	74	97
4-9	180	11	5.19	1.04	0.16	0.03	6.18	4.12	2.42	1.84	1124	61	4.6	0.90	165	20.2	69	76
4-10	190	12	5.73	5.10	0.72	0.03	5.81	3.85	2.47	1.98	999	65	2.8	0.55	154	17.9	65	132
3-1	200	13	4.88	0.72	0.11	0.03	6.19	4.20	2.37	1.61	1249	56	4.3	0.95	156	19.6	76	93
3-2	210	14	5.46	0.64	0.09	0.03	6.07	4.04	2.4	2.01	1183	59	4.3	0.70	154	20.7	78	105
3-3	220	15	5.93	0.62	0.10	0.03	6.11	4.16	2.54	2.11	938	65	3.2	0.75	168	17.9	73	105
3-4	230	16	5.29	0.71	0.11	0.03	5.82	4.10	2.31	1.96	1140	56	3.1	0.84	150	18.1	68	101
3-5	240	17	5.39	0.66	0.08	0.02	5.78	4.09	2.29	1.73	952	54	3.3	0.77	148	19.6	72	99
3-7	260	18	5.95	0.59	0.10	0.03	5.85	3.95	2.41	1.75	878	58	-	1.00	154	17.8	69	95
3-9	280	19	6.47	0.68	0.10	0.02	5.79	3.57	2.27	1.61	691	49	-	0.71	133	13	66	91
3-10	290	20	7.34	0.69	0.10	0.02	6.11	3.41	2.21	1.48	543	49	4.0	0.53	127	12.9	63	74
2-1	300	21	6.92	0.82	0.13	0.02	5.55	3.47	2.19	1.52	575	49	-	-	52	13.8	78	98
2-2	310	22	5.46	1.01	0.10	0.02	6.15	3.94	2.41	1.81	845	55	-	-	142	14.7	64	113
2-3	320	23	6.01	1.68	0.18	0.02	5.44	3.77	2.44	1.51	606	56	-	0.68	140	15.6	65	93
2-4	330	24	4.92	3.97	0.48	0.02	6.29	3.56	2.26	1.61	1274	50	3.9	0.88	181	25.8	65	101
2-5	340	25	6.08	8.76	1.09	0.02	5.41	3.59	2.34	1.72	842	55	-	0.68	142	17.3	65	90
2-7	360	26	5.62	2.51	0.33	0.03	5.63	3.90	2.44	1.66	968	56	4.4	1.02	38	17.9	78	90
2-8	370	27	5.58	1.36	0.19	0.03	5.98	3.74	2.44	1.67	890	60	-	0.89	117	16.8	70	90
2-9	380	28	5.81	0.75	0.09	0.03	5.77	3.75	2.33	1.67	885	51	3.3	0.64	154	14.6	67	92
2-10	390	29	6.91	0.75	0.12	0.02	6.04	3.78	2.42	1.63	716	51	-	0.67	128	14.4	71	98
1-1	400	30	6.95	0.84	0.09	0.03	6.02	3.85	2.42	1.7	753	55	2.6	0.74	160	14.5	76	101
1-2	410	31	6.21	0.88	0.09	0.02	6.42	3.79	2.36	1.74	849	51	-	-	41	14.9	70	101
1-3	420	32	5.65	0.74	0.08	0.02	6.19	3.54	2.24	1.55	910	47	-	0.64	134	16.7	59	111
1-4	430	33	5.68	0.77	0.09	0.03	5.80	3.62	2.43	1.65	918	52	-	0.89	133	18.2	62	95
1-5	440	34	5.78	0.68	0.09	0.03	6.06	3.80	2.45	1.72	806	53	-	0.41	141	16.3	59	88
1-7	460	35	5.39	1.39	0.16	0.03	6.24	3.80	2.43	1.67	950	56	-	0.76	46	17.8	69	107
1-8	470	36	5.50	8.26	0.97	0.03	5.82	3.59	2.42	1.74	753	54	4.9	0.83	139	15.6	57	102
1-9	480	37	5.01	6.47	0.77	0.03	5.73	3.63	2.42	1.79	999	56	3.6	-	117	17.1	78	96
1-10	490	38	6.09	8.80	0.97	0.03	5.59	3.71	2.38	1.75	955	55	-	0.88	169	23.6	65	95
cc-1	500	39	5.52	12.94	1.46	0.02	5.48	3.37	2.26	1.79	853	56	5.9	1.54	-	14.3	73	117
cc-2	510	40	4.63	9.36	1.00	0.02	6.09	3.43	2.38	1.62	958	52	-	0.80	57	16	65	100
cc-3	520	41	4.99	5.29	0.60	0.02	ND	4.08	2.37	ND	ND	56	5.1	1.18	153	21.6	69	ND

Table 1. (continued)

No.	Depth (cm)	Name	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Cs (ppm)	Th (ppm)	Hf (ppm)	Ta (ppm)	U (ppm)	Sc (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Tb (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
5-7	60	1	1350	145	8.8	12.4	5.5	1.84	1.6	12.0	32.2	67	5.4	1.03	0.85	3.1	0.44
5-8	70	2	1690	152	9.3	12.5	5.8	1.98	2.1	12.2	34.6	72	5.9	1.10	0.83	2.6	0.31
5-9	80	3	1190	146	7.4	12.1	6.5	1.65	1.8	9.8	30.9	61	5.4	1.08	0.84	2.2	0.46
5-10	90	4	1150	130	8.4	11.6	5.1	1.67	1.9	10.1	31.1	57	5.4	1.02	0.82	2.5	0.45
4-1	100	5	823	126	8.3	12.2	6.1	2.06	1.9	10.9	34.5	67	6.0	1.17	1.08	2.6	0.60
4-2	110	6	577	97	4.9	10.0	6.8	2.68	2.0	8.5	36.4	68	5.7	1.23	0.91	2.5	0.48
4-3	120	7	580	127	4.2	10.2	7.6	2.79	2.2	8.6	38.6	72	5.7	1.31	0.96	3.2	0.50
4-4	130	8	1120	147	7.9	12.3	7.0	2.69	3.2	10.8	40.0	79	6.8	1.26	1.01	3.1	0.50
4-5	140	9	912	145	9.5	12.8	7.1	2.12	1.9	11.7	34.3	71	6.0	1.15	1.16	1.9	0.53
4-7	160	10	1020	150	9.1	12.0	5.9	1.71	2.5	11.6	31.8	71	5.8	1.11	0.99	2.1	0.44
4-9	180	11	1280	154	9.3	13.7	6.6	1.93	2.1	11.5	35.9	73	6.2	1.11	1.02	2.5	0.54
4-10	190	12	1040	150	8.4	12.0	6.4	2.01	1.9	11.0	33.1	66	5.6	1.05	0.89	3.1	0.43
3-1	200	13	1300	157	9.0	13.3	7.0	1.80	3.0	11.7	37.2	73	6.4	1.17	1.06	3.0	0.57
3-2	210	14	992	158	8.8	13.5	7.3	2.14	3.2	11.6	35.3	71	6.0	1.11	1.11	3.2	0.37
3-3	220	15	1220	151	8.5	12.0	7.0	2.01	2.5	12.5	34.8	69	6.2	1.05	0.89	2.6	0.51
3-4	230	16	1120	146	8.3	12.2	6.5	1.88	2.5	11.3	35.5	69	6.1	1.13	0.91	2.5	0.43
3-5	240	17	1020	163	8.7	12.3	6.4	1.75	2.9	11.5	34.0	68	6.0	1.20	1.00	3.0	0.37
3-7	260	18	946	142	8.8	13.0	6.9	1.84	2.9	11.2	33.3	73	6.0	1.10	0.92	2.5	0.46
3-9	280	19	981	128	6.8	11.7	6.9	1.76	3.0	10.4	33.8	61	5.9	1.05	0.97	3.1	0.54
3-10	290	20	698	145	7.8	12.0	6.2	1.47	2.5	10.1	33.4	63	6.1	1.12	0.83	3.2	0.48
2-1	300	21	681	98	6.9	13.2	6.0	1.47	-	10.2	36.9	65	6.3	1.12	-	3.6	0.64
2-2	310	22	757	135	7.3	11.5	6.9	2.10	2.0	11.0	41.3	71	7.0	1.18	0.63	3.0	0.38
2-3	320	23	701	140	7.5	12.0	6.8	2.15	3.3	10.3	37.9	70	6.5	1.30	1.41	3.5	0.47
2-4	330	24	714	142	8.5	11.7	5.4	1.86	-	9.9	36.9	75	6.8	1.28	-	2.6	0.44
2-5	340	25	961	-	8.0	12.5	7.0	1.98	-	10.7	36.3	67	6.1	1.04	-	3.0	0.58
2-7	360	26	1260	147	9.1	12.7	6.3	1.78	3.2	11.2	37.4	69	6.7	1.27	-	2.7	0.43
2-8	370	27	1170	135	7.9	12.7	6.2	2.07	2.4	11.0	38.0	72	6.5	1.19	1.46	3.4	0.43
2-9	380	28	1190	-	7.6	11.1	6.7	2.00	2.7	10.3	36.9	72	6.5	1.11	-	3.4	0.52
2-10	390	29	853	-	7.0	11.8	7.1	1.78	3.2	10.5	37.3	66	6.4	1.25	0.79	2.6	0.51
1-1	400	30	744	119	7.9	12.1	6.9	2.06	2.4	10.7	39.4	71	6.7	1.22	1.30	3.1	0.42
1-2	410	31	644	-	7.5	12.4	7.2	2.36	-	10.4	39.6	74	6.9	1.21	-	3.2	0.45
1-3	420	32	770	116	7.9	11.5	5.9	1.59	2.3	10.3	36.2	67	6.4	1.15	-	4.3	0.51
1-4	430	33	1050	143	8.7	11.6	6.4	1.79	3.0	10.8	36.5	74	6.5	1.19	-	2.9	0.47
1-5	440	34	942	120	8.4	11.5	6.5	1.94	2.4	10.7	37.8	80	6.7	1.27	0.84	3.1	0.56
1-7	460	35	1253	101	7.8	12.6	6.8	1.90	2.3	11.0	38.8	71	6.8	1.29	-	2.8	0.41
1-8	470	36	1207	141	8.2	11.2	6.3	1.58	2.0	10.1	35.4	63	5.8	1.13	0.94	2.5	0.41
1-9	480	37	1330	151	7.9	11.8	5.3	1.78	2.0	10.5	36.0	67	6.3	1.10	-	3.6	0.42
1-10	490	38	995	179	8.4	11.8	6.6	1.88	-	10.5	36.8	72	6.3	1.25	0.90	2.4	0.49
cc-1	500	39	1045	139	7.8	11.9	5.0	1.79	1.6	9.7	32.4	61	5.8	1.01	-	2.6	0.36
cc-2	510	40	936	114	8.1	13.0	6.3	1.76	2.1	9.8	35.2	64	5.9	1.03	-	3.1	0.57
cc-3	520	41	1270	231	9.7	13.3	5.8	1.73	2.7	11.4	36.9	71	6.6	1.33	-	3.5	0.45

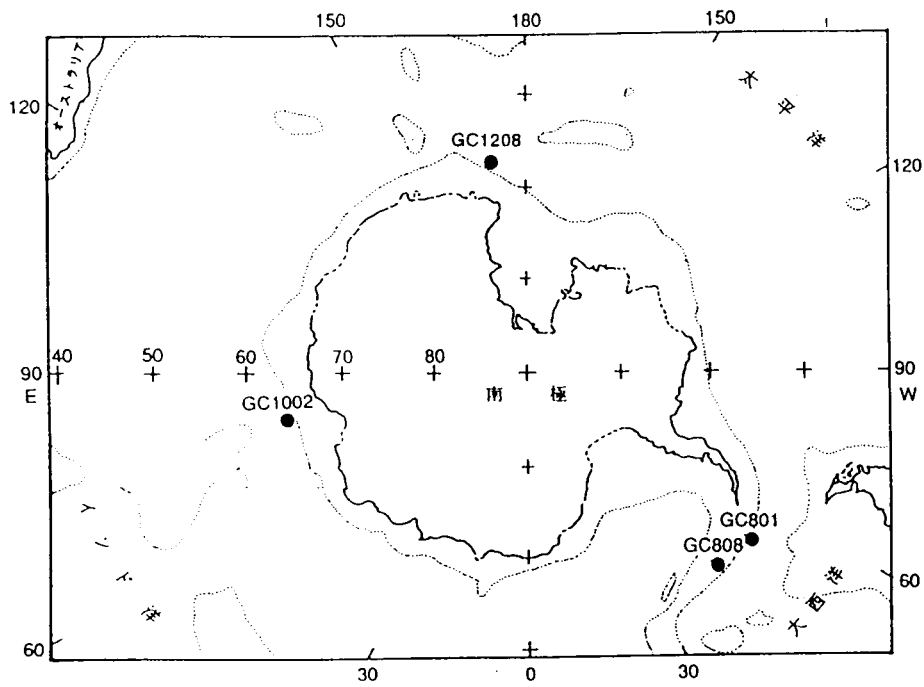


図1. 南極周辺海域の地形と解析したコア試料の採取位置。破線は水深3000mを示す。

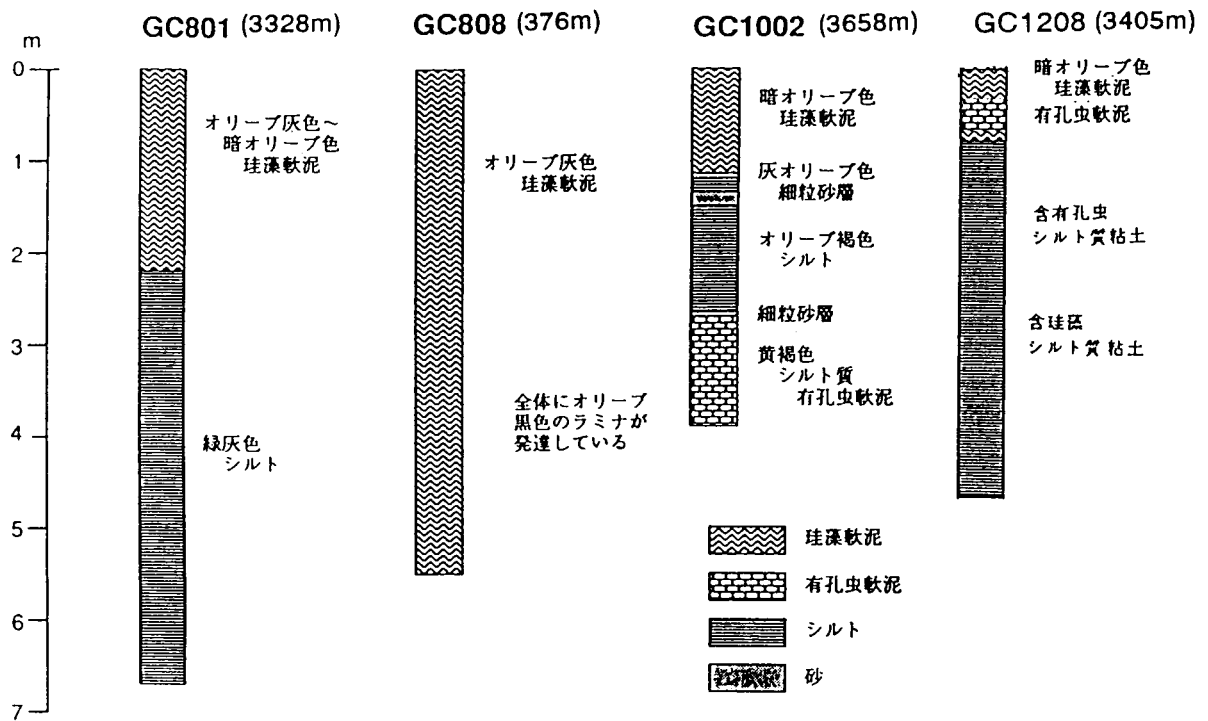
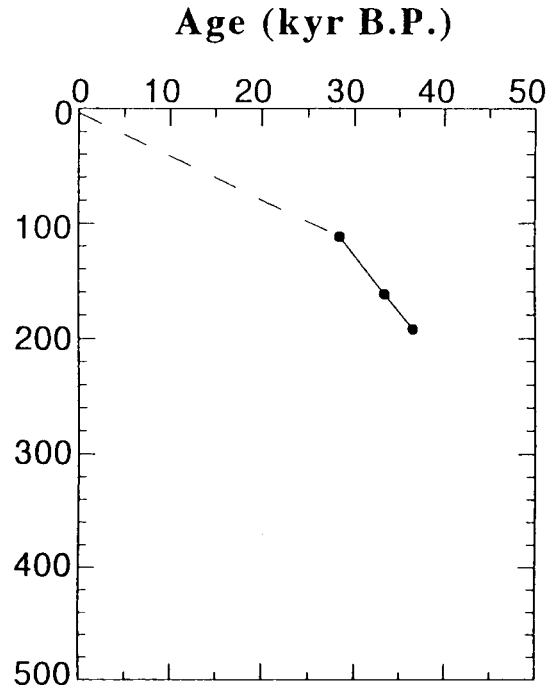
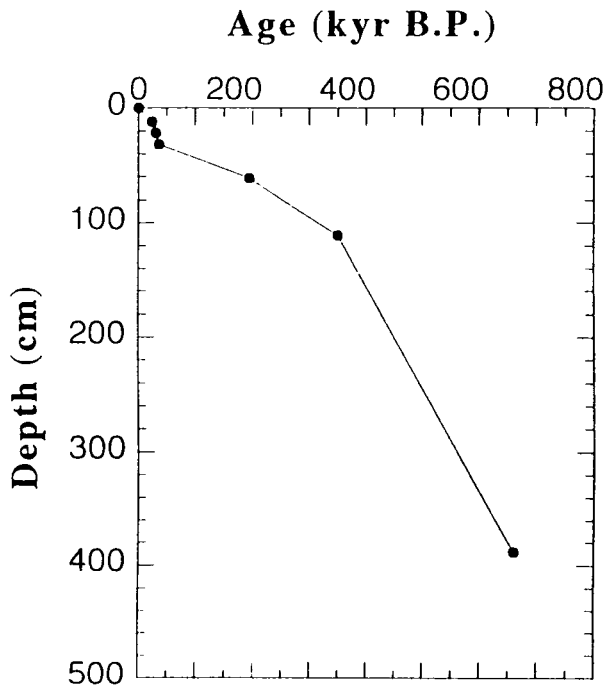


図2. 解析した柱状堆積物試料の岩相記載。

GC1002 (63.8°S, 78.9°E; 3658m) GC1208 (68.5°S, 172.5°E; 3605m)



GC808 (61.0°S, 45.1°W; 376m)

GC801 (60.0°S, 52.3°W; 3328m)

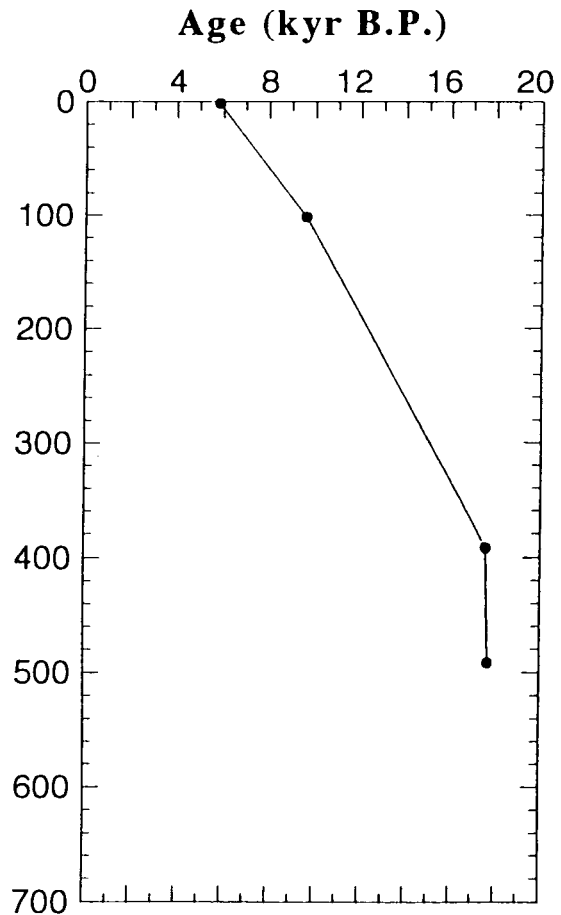
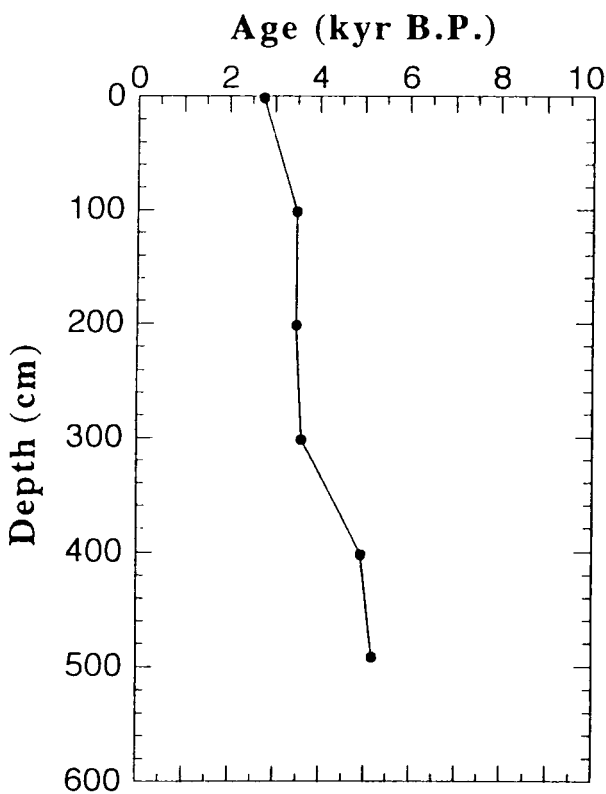


図3. 南極海の4地点の柱状堆積物試料のAMS¹⁴C年齢。

GC808 (61.0°S, 45.1°W; 376m)

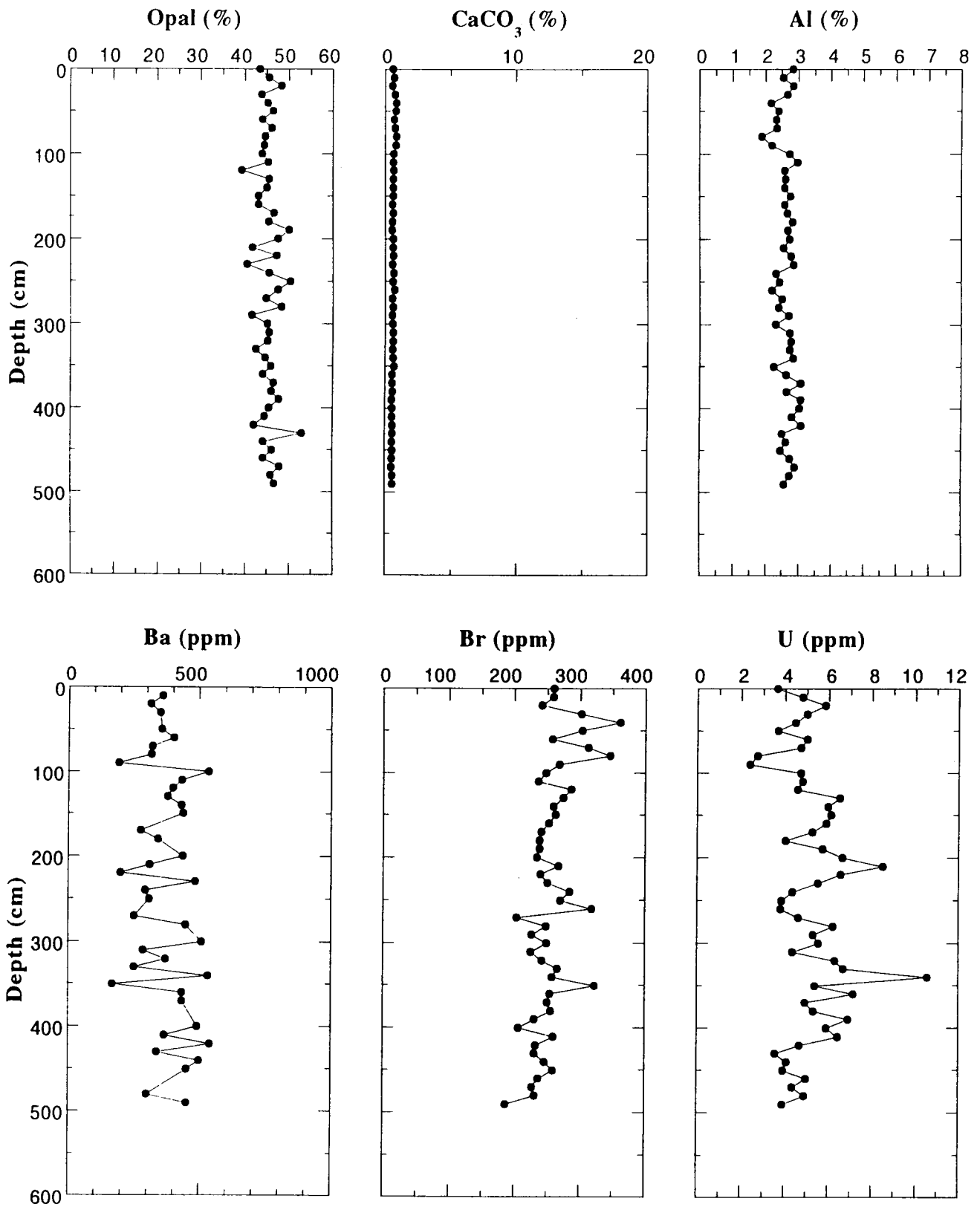


図4. ヴェッデル海陸棚域のGC808コアにおける6化学成分の鉛直分布。

GC801 (60.0°S, 52.5°W; 3328m)

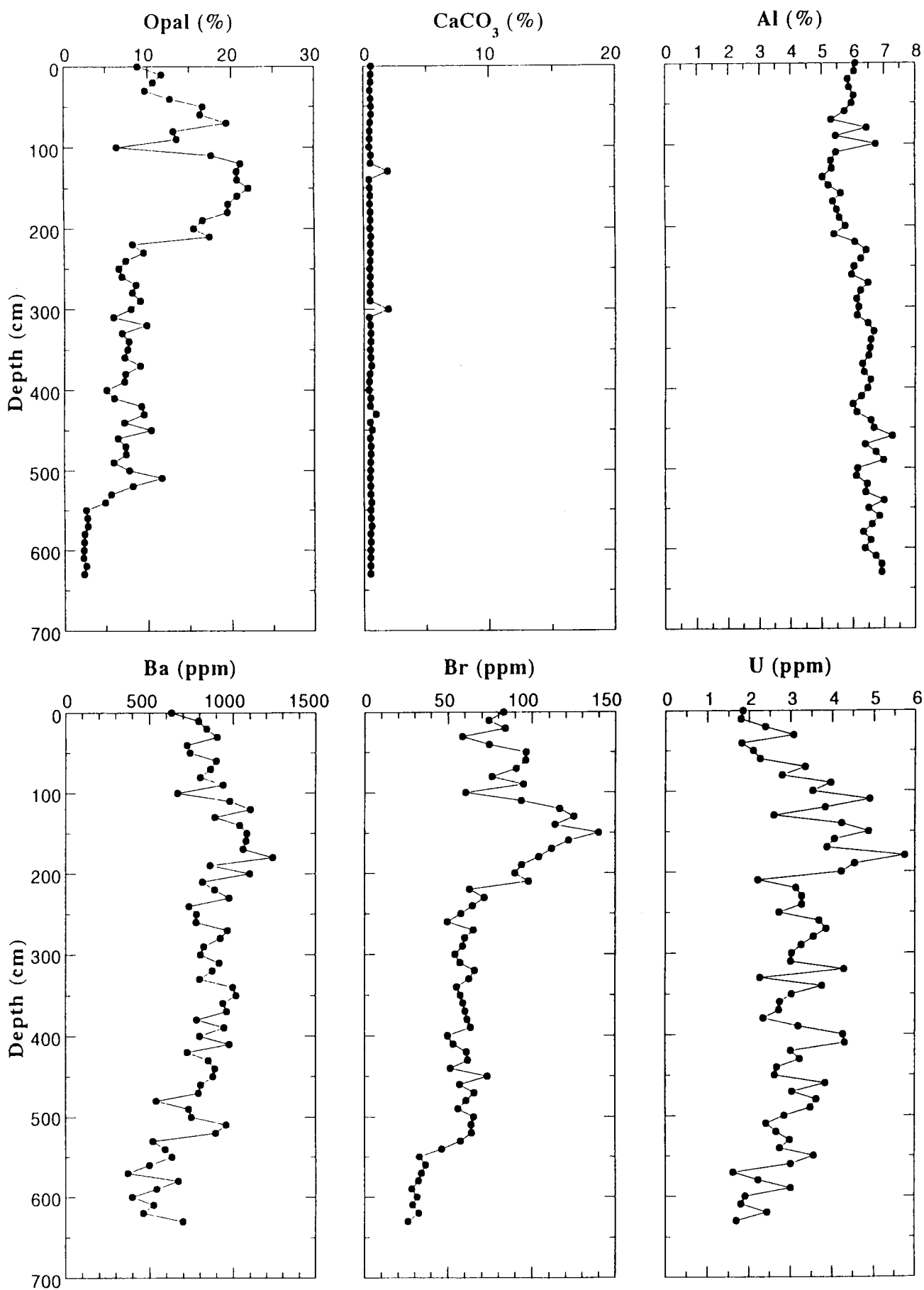


図5. ヴェッデル海のGC801コアにおける6化学成分の鉛直分布。

GC1002 (63.8°S, 78.9°E; 3650m)

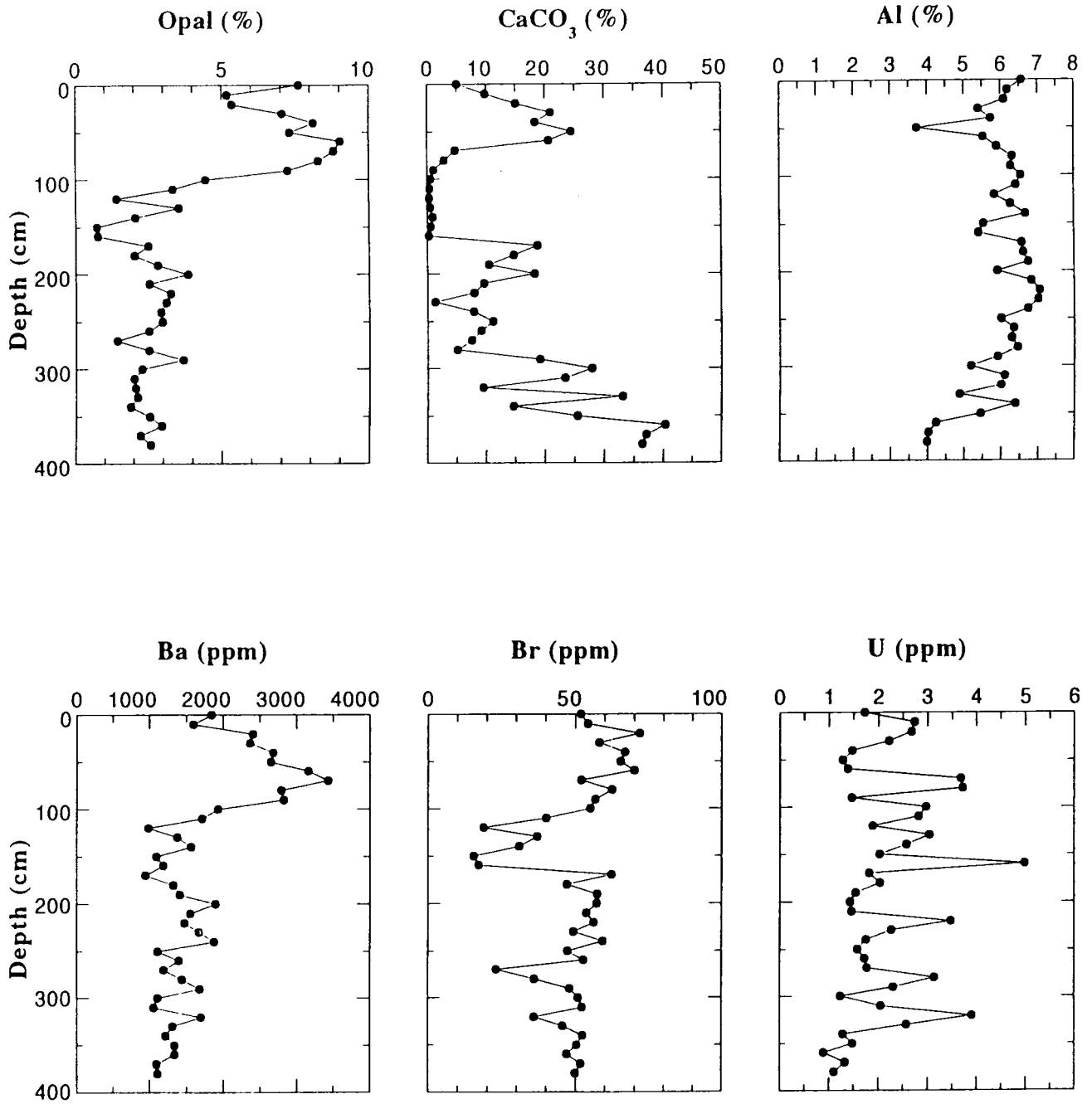


図6. エンダビー沖ケルゲレン海台のGC1002コアにおける6化学成分の鉛直分布。

GC1208 (68.5°S, 172.5°E; 3405m)

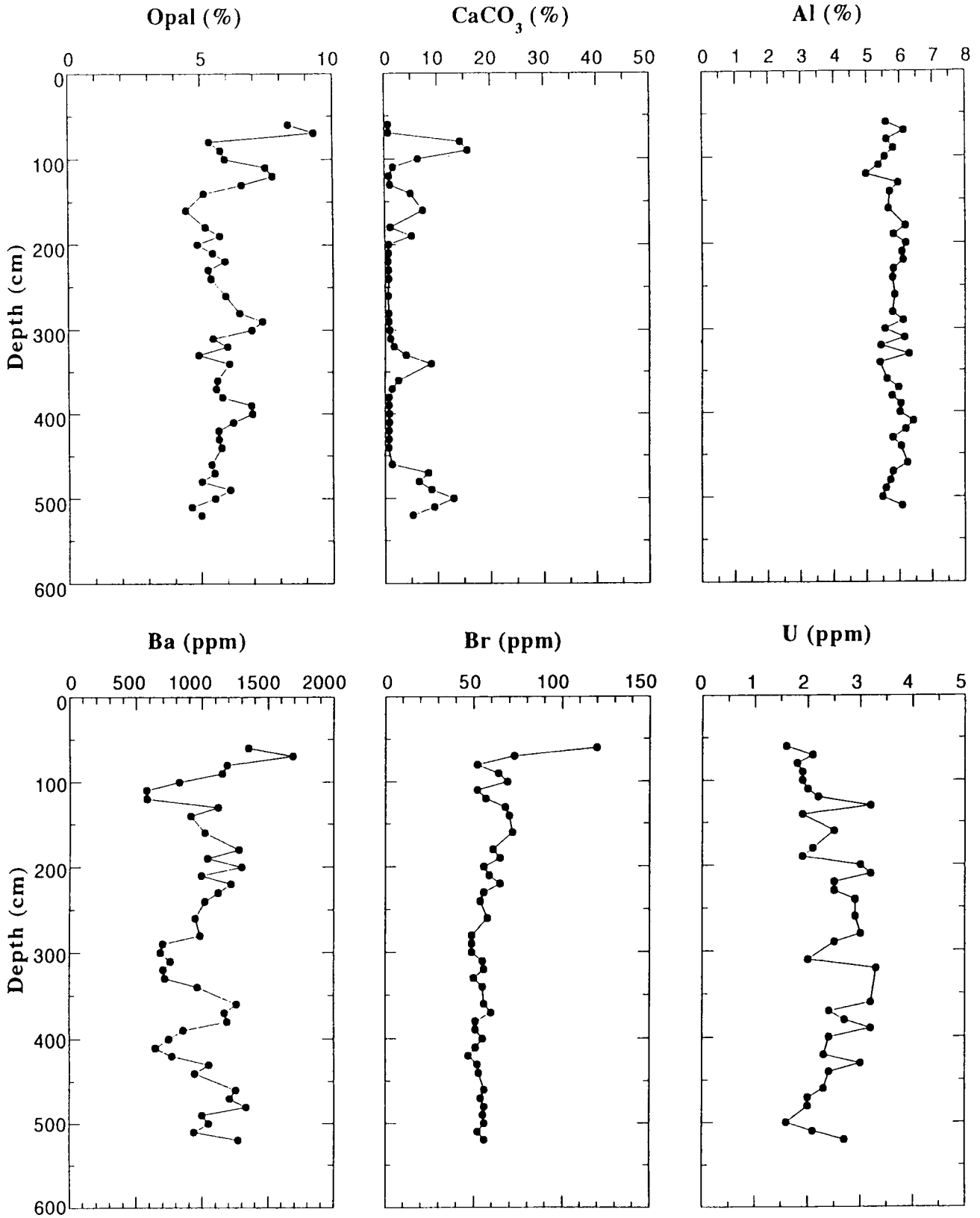


図7. ロス海のGC1208コアにおける6化学成分の鉛直分布。

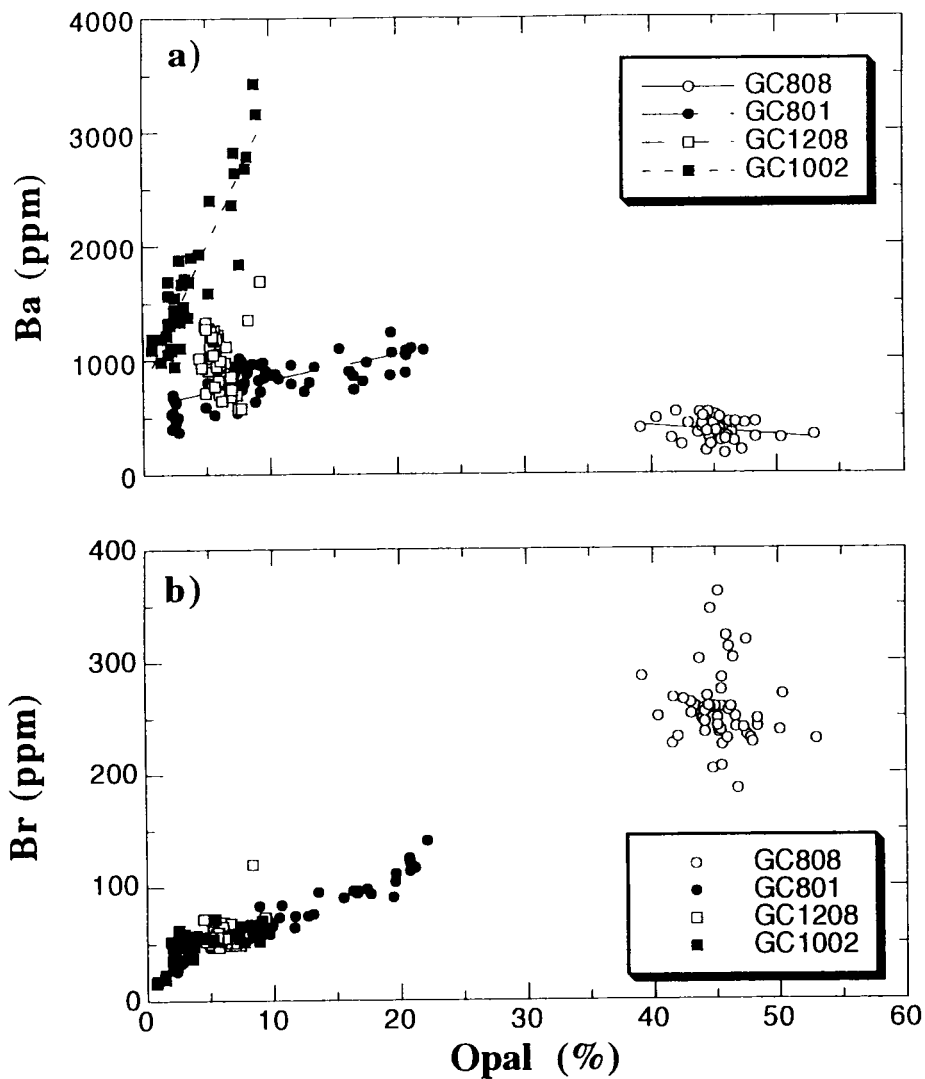


図8. 南極海の4地点のコアにおけるオパールに対するBa (a) とBr (b) 含有量の関係。

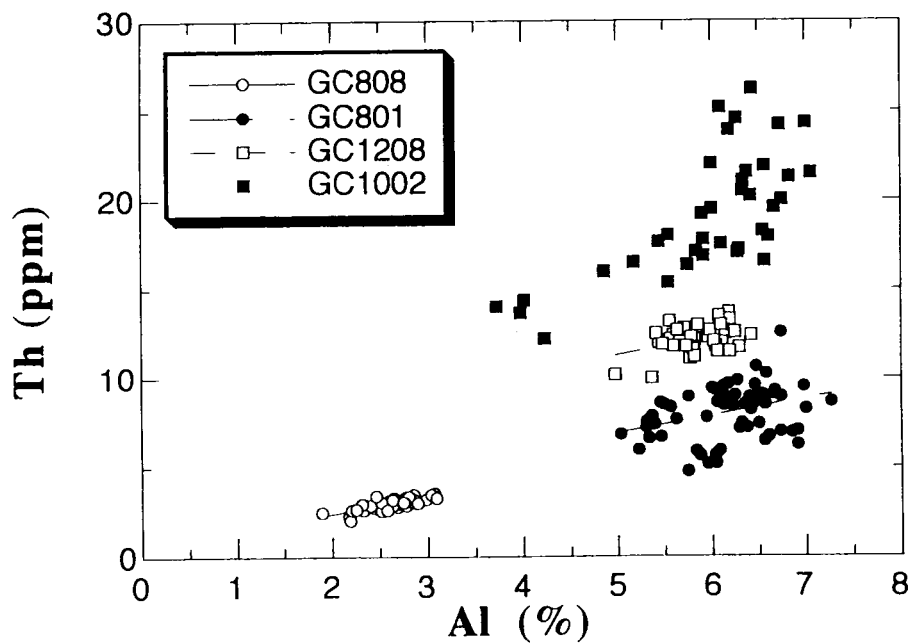


図9. 南極海の4地点のコアにおけるAlとTh含有量との関係。