

D-1 渤海・東シナ海における河川経由の環境負荷が海洋生態系に与える影響評価手法に関する研究

(1) 河口域における流入負荷及びその循環の変動把握手法に関する研究

②河口域におけるセディメントトラップを用いた物質の沈降・分解過程の解析手法に関する研究

研究代表者 水産庁西海区水産研究所 岡村和磨

水産庁西海区水産研究所 東シナ海海洋環境部 生物環境研究室 岡村和磨・清本容子・長田宏

平成8-10年度合計予算額 8,863千円
(平成10年度予算額 3,084千円)

【要旨】

1997年秋季及び1998年春季に長江河口域において、セディメントトラップを用いた沈降粒子のフラックスと粒子中の有機物の分解速度を測定する実験を実施した。その結果、沈降粒子フラックスは水塊構造の影響を強く受ける事が示唆された。すなわち成層が発達している時には躍層の上・下層で粒子フラックスの量・質に大きな差が見られるのに対して、鉛直混合が始まると再懸濁により海底の堆積物が巻き上げられ、その影響が上層まで達することにより粒子フラックスの量・質が均一化する傾向にあった。成層時の上層では生物生産が比較的活発になり、沈降粒子の化学組成から秋季には主に珪藻が、春季にはそれ以外の渦鞭毛藻等が主体の植物プランクトン組成であることが示唆された。また、秋季と春季ではC/N比が大きく異なり、秋季が春季よりも生物活動の影響を強く受けた粒子の比率が高いことが示された。沈降粒子中の有機物の分解速度を直接法及び酸素法の2つの方法で測定した結果、直接法では酸素法に比べ分解速度を過大評価する可能性が示された。また、分解速度を測定する沈降粒子の採集期間は、出来るだけ短くする必要があることが示唆された。酸素法の結果より沈降粒子中の有機物の分解速度は、陸源粒子の多い粒子組成を反映して低い値を示した。

【キーワード】

東シナ海、長江河口域、セディメントトラップ、沈降粒子、分解速度

1. 序

渤海・東シナ海は、広大な大陸棚を有し、黄河・長江の2大河川から供給される多量の栄養塩物質と浮遊堆積物により生物生産性が高いと言われる。一方、近年の中國大陸における農・工業生産による人工化学物質の過剰使用、沿岸域への人口集中は、河川経由で供給される汚染物質の増加を招き、また水資源・エネルギー開発等の急激な増大、土地利用形態の変化は、これら物質の供給量や濃度の増加に大きな影響を及ぼしている。

河川から供給される粒状物質により河口域には高濁度域が形成される。溶存態重金属は、塩分15～24の河口域で吸着・凝集され¹⁾、PCBはその80%が粒状態で海洋へ輸送されているとの

報告がある²⁾。この様に高濁度域が形成される河口域において粒状物に吸着・凝集したさまざまな溶存物質（重金属・有害汚染物質等を含む）は、河口域から沖合域にかけての海洋生態系に様々な影響を及ぼすことが予測されるため、その影響を正確に把握するためにまずこれら粒状物質の河口域における挙動を把握する必要がある。

2. 研究目的

長江河口域の高濁度域において、河川経由の負荷が濃縮され、海洋生態系に多大な影響を与えている事は容易に想像できるものの、さまざまな物質を吸着・凝集する粒状物質が実際にどのような挙動を示し、どの様に河口域の生態系に影響を及ぼしているかについての研究は十分になされているとは言えない。そこで本研究では、長江河口域における粒子の沈降及び分解過程で生じる様々な現象を把握する事を目的とした。

3. 研究方法

3.1 粒子採集

1997年10月11～13日（秋季）及び1998年5月20日～6月1日（春季）の期間に、長江河口域の観測点（30°52.5'N, 122°36.5'E；水深約20m）において、中国国家海洋局観測船「海監49号」からセディメントトラップを垂下して沈降粒子のサンプルを得た（図1，表1）。秋季にはセディメントトラップ（ボンゴ型）を2層（5m及び15m深）に設置し、保存液（ホルマリン；最終濃度2%）をサンプル瓶にあらかじめ加えたサンプルを粒子フラックス測定及び化学組成分析に、また保存液を加えなかったサンプルを粒子中の有機物の分解速度の測定に供した。春季には秋季同様セディメントトラップを2層（5m及び15m深）に設置して、得られたサンプルを粒子フラックス測定及び化学組成分析に供する一方で、より正確な粒子中の有機物の分解速度を求めるために、セディメントトラップ2台を5～8m深に短期間（約10時間）設置し、得られたサンプルを分解速度の測定に供した。

3.2 粒子のフラックスおよび化学組成

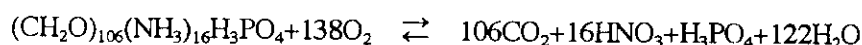
得られた沈降粒子サンプルは、ナイロンネットで1mm以上の粒子を除いた後、適宜分割・サイズ分画（<100 μm , 100–1000 μm ）した後、GF/F及びヌクレポア（孔径0.6 μm ）フィルターを用いて濾過し、有機炭素・窒素、生物起源（BSiO₂）・陸起源珪素（LSiO₂）の分析に供した。有機炭素・窒素の分析は、元素分析計（EA1110；CEインストルメント社製）を用いて、生物起源・陸起源珪素の分析は分光光度計（UV1600；島津製作所製）を用いてそれぞれ行った。

3.3 沈降粒子中の有機物の分解速度

得られた沈降粒子サンプルを穏やかに攪拌し、沈降粒子が均一に懸濁した状態で適宜分割しDO瓶に封入後、暗条件のもと船上より垂下したバックの中（秋季水温；23.1～23.8℃，春季水温；19.2～20.7℃）で培養した。船上より垂下したバックから定期的にDO瓶を取り出し、2つの方法、a)酸素法；ウィンクラー法により酸素の消費量を測定後、その値から粒子中の有機炭素の分解速度を換算式より計算、b)直接法；GF/Fフィルターを用いて濾過し、有機炭素量を元素分析計により直接測定して有機炭素の分解速度を算出、により沈降粒子中の有機物（有機炭素）

の分解速度を求めた。

なお、a) の酸素法における酸素消費量から有機炭素減少量への換算には以下の関係式を用いた。



すなわち、炭素原子 106 mol を分解するためには、酸素原子 276 mol が必要となる計算である。

また、a)、b) の手法で得られた有機炭素の減少量から、分解過程が時間に対して対数関係にあると仮定して、次式により沈降粒子中の有機炭素の分解速度 (k ; /d) を算出した³⁾。

$$k = -1/t \cdot \ln [(N_0 - \Delta D)/N_0]$$

ここで、 t は培養期間、 N_0 は有機炭素の初期値、 ΔD は培養期間中の有機炭素の減少量を示す。

4. 結果と考察

4.1 沈降粒子のフラックス及び組成

4.1.1 1997 年秋季観測

観測期間中の現場海域の海況は比較的穏やかであり、水温・塩分の鉛直分布から成層が発達していることが窺える (図 2 a)。乾重量フラックスは上層 (5 m 深) で 29.6 g/m²/d、下層 (15 m 深) で 96.5 g/m²/d と下層で高い値を示した (図 3)。このときの有機炭素含量はそれぞれ 1.9%、0.9%であった。上層では生物起源珪素の含有量が 2.0% と比較的高い値を示す一方で、陸起源珪素の含有量は上・下層でそれぞれ 46.6、51.5%に達した (図 4)。また、全乾重量フラックス中の大型粒子 (100-1000 μm) の割合は、上・下層でそれぞれ 12.4%、3.7%と低い割合を示し、そのほとんどが 100 μm 以下の小型粒子から構成されていた (図 5)。一方、全有機炭素フラックス中の大型粒子の割合は、上・下層においてそれぞれ 34.9%、8.4%を示し、上層では全有機物に占める大型粒子の割合が高いことがわかる (図 6)。Cloern⁴⁾ は成層の発達と植物プランクトンの増殖との間に正の相関があることを報告し、その要因として鉛直混合が収まることによる有光層深度の深化を挙げている。本観測期間中も成層の発達により懸濁粒子量が減少し、光条件が好適になることによって、上層では生物活動が比較的活発に行われ、粒子の有機炭素含量及び大型粒子の割合が高くなったと考えられる。また上層では生物源珪素の割合が比較的高いことから珪藻を主とした生物生産が行われていた事が推察される。更に沈降粒子中の BSiO₂ (生物起源珪素) /POC (懸濁態有機炭素) 比 (質量比) は上層において 1.05 を示すが、生体の珪藻の値が 0.65 ± 0.20 であることから⁵⁾、沈降粒子中には分解が進み殻の占める比率が高い (デトライタス状) のものが多く含まれていたものと考えられる。一方下層においては、有機炭素含量が低いこと、さらに粒子フラックスが上層に比べて高かったことから、躍層下において海底堆積物の再懸濁が起きていたことが推察される。また、上・下層ともに C/N 比 (質量比) が 5.0 程度の値を示すことから (図 7)、陸起源粒子の影響は大きいものの、秋季のこの海域では生物活動の影響を強く受けた粒子によって粒子中の有機物が構成されていたものと考えられる。

4.1.2 1998 年春季観測

春季には、沈降粒子フラックス測定及び粒子中の有機物の分解速度測定の為に計 4 回の係留実験を実施した。水温・塩分の鉛直分布（図 2 b）を見ると、現場海域の海況は前半（係留実験 1, 2）は穏やかであり、成層が発達しているのが窺える。中盤（係留実験 3）には低気圧の通過が幾つかあり海況は不良なときが多く、さらに大潮の時期とぶつかったために、水塊の鉛直混合が盛んになった。後半（係留実験 4）では海況は回復したために、水塊の鉛直混合は弱まり、ゆっくりではあるが成層し始めた。各係留期間中の上層（5 m 深、但し実験 2 のみ 8 m 深）における乾重量フラックスは、係留時期の順番に $43.8 \text{ g/m}^2/\text{d}$, $45.6 \text{ g/m}^2/\text{d}$, $370.2 \text{ g/m}^2/\text{d}$, $148.1 \text{ g/m}^2/\text{d}$ と大きく変化した（図 8）。また、上層の沈降粒子中の有機炭素含量は 0.74~1.90% で推移し、乾重量フラックスの増加とともに減少する傾向にあった。係留実験 3 では、上層においても沈降粒子フラックスが $370.2 \text{ g/m}^2/\text{d}$ に達し、有機炭素含量が上層では最も低い 0.74% を示すなど、海底表層堆積物の再懸濁が表層近くまで達していたことが推察される。係留実験 2, 4 ではセディメントトラップを下層（15m 深）にも設置したが、下層における乾重量フラックスはそれぞれ $547.9 \text{ g/m}^2/\text{d}$, $229.2 \text{ g/m}^2/\text{d}$ であり、成層が発達していた係留実験 2 では下層でのみ乾重量フラックスが非常に大きくなる一方で、鉛直混合の影響が残っていた係留実験 4 では上・下層とも乾重量フラックスが比較的大きい傾向にあった（図 3）。係留実験 2 の上層において、沈降粒子の有機炭素含量は最大の 1.9% を示したが、これは水温の上昇と共に成層が発達したことにより、秋季同様に生物活動が盛んになったためと考えられる。成層の発達による生物活動の活発化は秋季と同様の現象と考えられるが、このとき生物起源珪素の含有量は 1% 程度と秋季に比べ低い値を示す（図 4）。これは生物生産が珪藻以外のもの、例えば渦鞭毛藻等によって行われたと推察される。尚、優占していたと推察された秋季の珪藻・春季の渦鞭毛藻類は、それぞれメソコズム実験においてメソコズム内で優占した植物プランクトンと一致する。係留実験 2 の下層において有機炭素含量は最小の 0.63% を示した（図 3）。海底表層堆積物の有機炭素含量が 0.47% であることから、躍層下において盛んに起こっていた海底表層堆積物の再懸濁により、有機炭素含量が低くなったものと考えられる。係留実験 4 の結果からもわかる通り、水塊が鉛直混合し始めると表層堆積物の再懸濁は表層近くまで及び、上層において乾重量フラックスの増加と有機炭素含量の減少、下層においてはそれとは逆に乾重量フラックスの減少と有機炭素含量の増加が起き、水塊として均一化する傾向にあった。沈降粒子中の陸起源珪素の含有量は乾重量フラックスの 50% 以上に達した（図 4）。また、乾重量フラックス中の小型粒子の割合は、係留実験 2 の上層で 68.5% と比較的低いほかは 80% 以上を示し（図 5）、秋季同様に多くが小型粒子によって構成されていた。係留実験 2 において全有機炭素フラックス中の大型粒子の割合は、上層で 47.1% と全有機物に占める大型粒子の割合が非常に大きく（図 6）、成層期の上層では生物活動が盛んに行われていたことが窺える。一方、沈降粒子の C/N 比（質量比）は 7.2~8.4 と秋季に比べ高い値を示した（図 7）。これは、秋季に比べ春季には、盛んな海底表層堆積物の再懸濁により分解の進んだ粒子が水塊中に多く存在していたためと考えられる。

4.2 沈降粒子中の有機物の分解速度

1997 年秋季は酸素法により、上層（5 m 深）・下層（15 m 深）の沈降粒子中の有機物の分解速度を、1998 年春季は酸素法及び直接法により、上層（5~8 m 深）の沈降粒子中の有機物の分解

速度をそれぞれ測定した。酸素法によって得られた 1997 年秋季の分解速度は上層で 0.026 ± 0.002 /d, 下層で 0.022 ± 0.002 /d であった (図 1 0)。上層で下層より分解速度が速いのは、上層における生物起源粒子の多さを反映しているためと考えられる。

直接法によって得られた 1998 年春季の分解速度は、係留実験 1 で 0.223 ± 0.027 /d, 係留実験 3 で 0.035 ± 0.009 /d であった。一方、酸素法によって得られた 1998 年春季の分解速度は、係留実験 1 で 0.053 ± 0.004 /d, 係留実験 3 で 0.024 ± 0.001 /d であった (図 1 1)。この様に、係留実験 1, 3 とともに直接法によって求めた分解速度の方が高い値を示した。井関ら³⁾は、粒子の分解速度と有機炭素含量との関係として有機炭素含量が 5%以上の時に、分解速度は 0.1 以上の値を示すことを報告している。係留実験 1 における沈降粒子中の有機炭素含量は 1.3%であることから、直接法で得られた 0.223 ± 0.027 /d は過大評価をしている可能性が考えられる。また係留実験 3 (沈降粒子中の有機炭素含量は 0.7%) では、培養期間が 1 日未満では酸素法に比べ直接法の値が大きい、1 日以降では値はほぼ一致する (図 1 2)。更に直接法と酸素法によって得られた分解速度の差は、有機炭素含量が高い粒子ほど顕著であった。これらのことから、酸素法よりも直接法によって得られた分解速度の値が高い傾向にあるのは、分解してもなくなった粒子の一部が濾過作業時に破壊され、海水中に有機炭素が溶出するために生じたのではないかと推測される。

次に、酸素法によって得られた 1997 年と 1998 年の値を比較すると、有機炭素含量はそれぞれ 1.9%, 1.3% (実験 1), 0.7% (実験 3) を示したが、1997 年の分解速度は有機炭素含量が高いにも関わらず、1998 年に比べ半分程度に留まっている。これは 1997 年の測定結果が、約 2 日かけて採集した粒子を用いた値であるために、1998 年の 10 時間程度の係留によって得られた粒子に比べて分解の進んだ粒子の割合が多くなり、分解速度が小さくなったものと考えられる。

今回得られた分解速度は、陸起源粒子の影響を多く受けていることを反映して、総じて低い値であったものと考えられる。因みに分解速度が 0.053 /d 及び 0.024 /d の時、粒子中の有機炭素が 10%減少するまでに掛かる時間は、それぞれ 2 日及び 4 日と計算された。沈降粒子の分解速度が比較的小さいことから、風浪によって高い頻度で海底からの再懸濁が生じる本海域では、水塊へ有機物が絶えず供給される機構があるものと考えられる。これらが河口域から沖合域へ輸送された場合に、河口域が栄養塩の供給の他に有機物の供給源としての役割を果たす可能性が示唆される。今後、これらの役割を把握するためには河口域から沖合域にかけて同様の調査をする必要がある。

5. 本研究により得られた成果

1997 年秋季及び 1998 年春季の長江河口域におけるセディメントトラップ係留実験により以下の事が明らかになった。

- ① 沈降粒子の組成は、そのおよそ半分が陸起源珪素 ($LSiO_2$) によって占められ、約 70%以上が 100 μm 以下の小型粒子により構成されていることから、陸域の鉱物起源粒子の影響を非常に強く受けていることがわかった。
- ② 沈降粒子フラックスは水塊構造の影響を強く受ける事が示唆された。成層期には、上層で生物活動の活発化、躍層下の下層では海底表層堆積物の再懸濁が生じ、両者の粒子フラックスの量・質ともに大きな差が見られる一方、鉛直混合期には海底表層堆積物の再懸濁の影響が上層まで達し、上・下層で粒子フラックスの量・質が均一化した。

- ③ 沈降粒子の化学組成から、秋季には主に珪藻が、春季にはそれ以外の渦鞭毛藻等が、生物生産を担う主要な植物プランクトンであることが示唆された。また、秋季と春季では C/N 比（質量比）が大きく異なり、秋季に比べ春季には、盛んな海底表層堆積物の再懸濁により分解の進んだ粒子が水塊中に多く存在していたと推察された。
- ④ 沈降粒子中の有機物の分解速度を、直接法及び酸素法の 2 つの方法で測定した結果、直接法では分解速度が過大評価される可能性が示唆された。また、正確な分解速度を測定するには、沈降粒子の採集期間を出来るだけ短くする必要があることも示唆された。
- ⑤ 長江河口域における沈降粒子中の有機物の分解速度は、陸源粒子の多い粒子組成を反映して全体に低い値を示した。

6. 引用文献

- 1) Lin Z., J. Zheng, J. Chen and R. Huan (1985): Flocculation of Fe, Al, Mn, Cu, Pb and Zn in dissolution with mixing processes in the estuaries. *Acta Oceanologica Sinica*, 7, 36-44.
- 2) Abaron A., J. Aboine and J. P. Dupont (1987): Role of suspended matter on the distribution of PCB in the Seine estuary (France). *Cont. Shelf Res.*, 7, 1345-1350.
- 3) Iseki K., F. Whitney and C. S. Wong (1980): Biochemical changes of sedimented matter in sediment trap in shallow coastal waters. *Bull. Plank. Soc. Japan*, 27, 27-36.
- 4) Cloern J. E. (1987): Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Cont. Shelf Res.*, 7, 1367-1381.
- 5) Brzezinski M. A. (1985): The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. *J. Phycol.*, 21, 347-357.

【国際共同研究等の状況】

本研究は、中国国家海洋局との共同研究の一環として実施されており、今回の研究成果は、中国国家海洋局東海分局調査船「海監 49」に環境庁国立環境研究所、通産省工業技術院地質調査所、水産庁西海区水産研究所の日本側研究員と国家海洋局第 1・2 研究所、国家海洋局東海分局、青島海洋大学の中国側研究員が乗船した 1997 年秋季及び 1998 年春季調査によって採取された試料に基づくものである。

【研究成果の発表状況】

(1) 口頭発表

- ① Okamura K. and Y. Kiyomoto (1999): Preliminary data on flux and decomposition rate of sinking particles in the Changjiang Estuary. The Japna-China joint workshop on the cooperative study of the marine environment.

(2) 論文発表

- ① Okamura K. and Y. Kiyomoto (1999): Preliminary data on flux and decomposition rate of sinking particles in the Changjiang Estuary. *Proceedings of the Japna-China joint workshop on the cooperative study of the marine environment.* (予定)

(3) その他

- ① 岡村和麿 (1997) : 東シナ海の海洋生態系の維持・管理, 保全に関する国際共同研究. 西水研ニュース, 88. 20-22.
- ② 岡村和麿 (1998) : 東シナ海の海洋生態系の維持・管理, 保全に関する国際共同研究 (続報). 西水研ニュース, 94. 7-9.

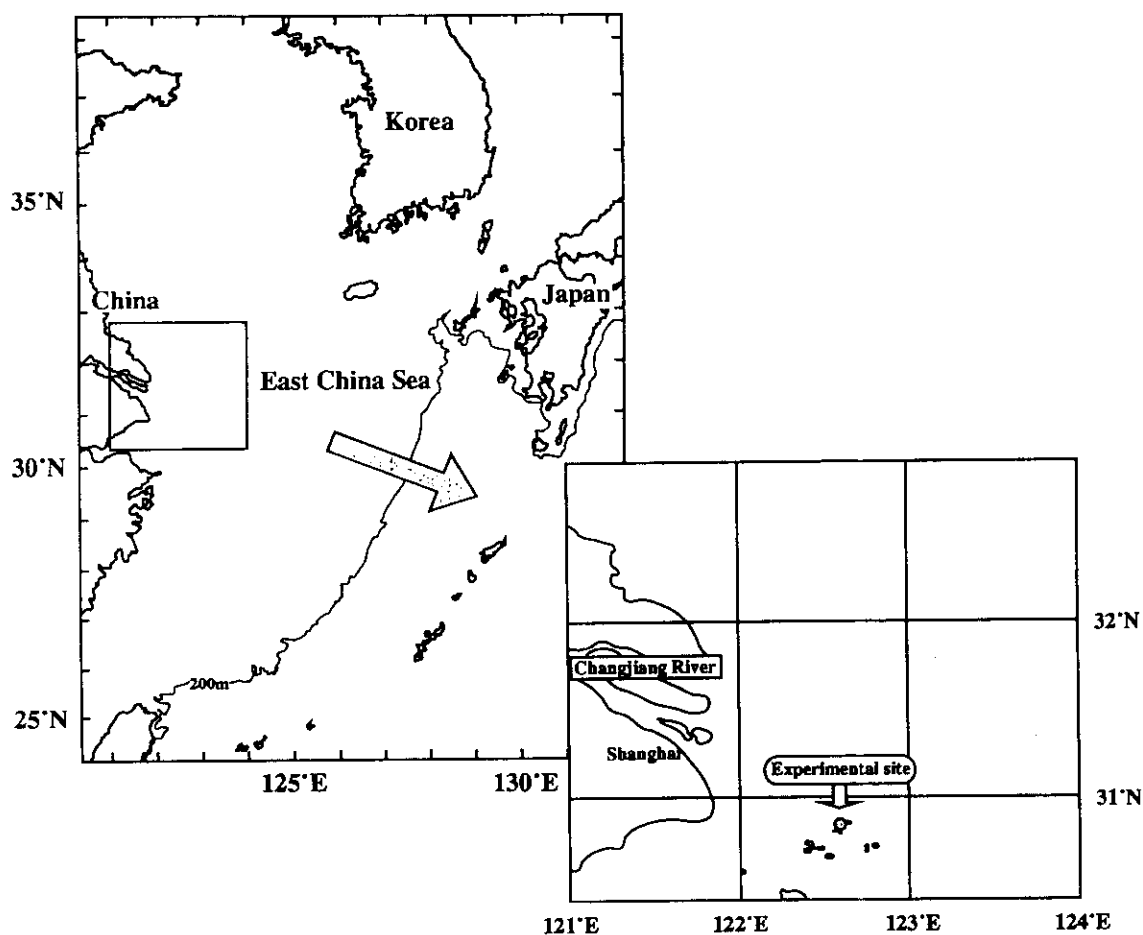


図 1. セディメントトラップ係留実験の実施された海域

表 1. 実施されたセディメントトラップ係留実験の実施要項

実験番号	実験実施日	係留期間 (d)	係留水深 (m)	測定項目
係留実験	1997年10月11 - 13日	2.19	5, 15	フラックス・分解速度
係留実験 1	1998年5月20日	0.42 (10h)	8	分解速度
係留実験 2	1998年5月22 - 23日	1.15	5, 15	フラックス
係留実験 3	1998年5月26日	0.42 (10h)	5	分解速度
係留実験 4	1998年5月30 - 6月1日	1.97	5, 15	フラックス

1997年10月11 - 13日

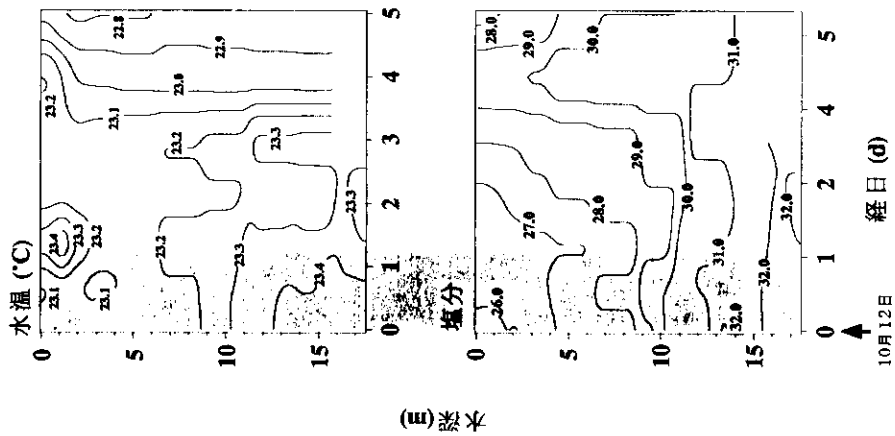


図 2a. 1997年秋季における実験海域の水温 (°C), 塩分の鉛直分布. 灰色のエリアは係留実験期間を示す.

1998年5月20日 - 6月1日

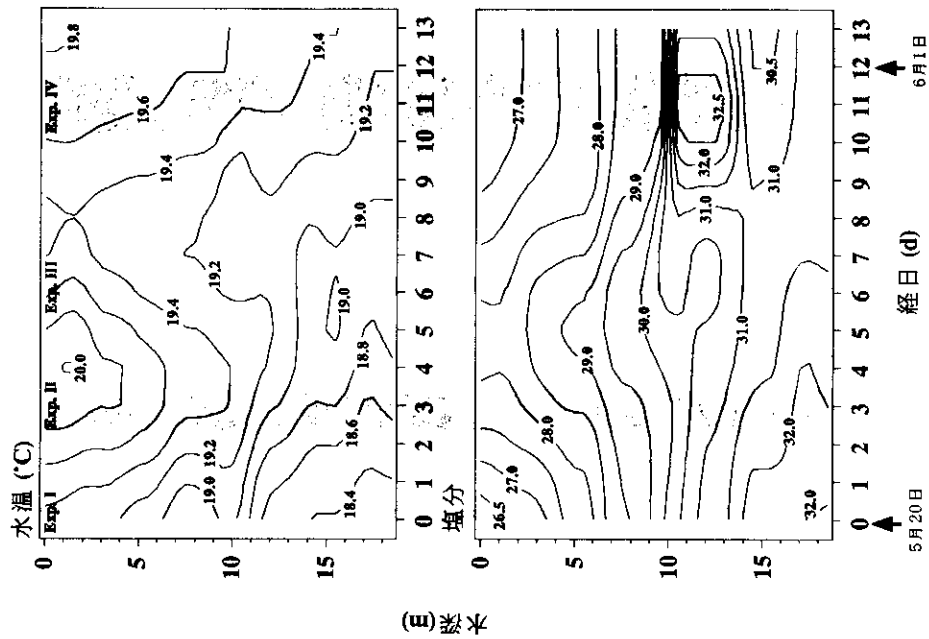


図 2b. 1998年春季における実験海域の水温 (°C), 塩分の鉛直分布. 灰色のエリアは係留実験期間を示す.

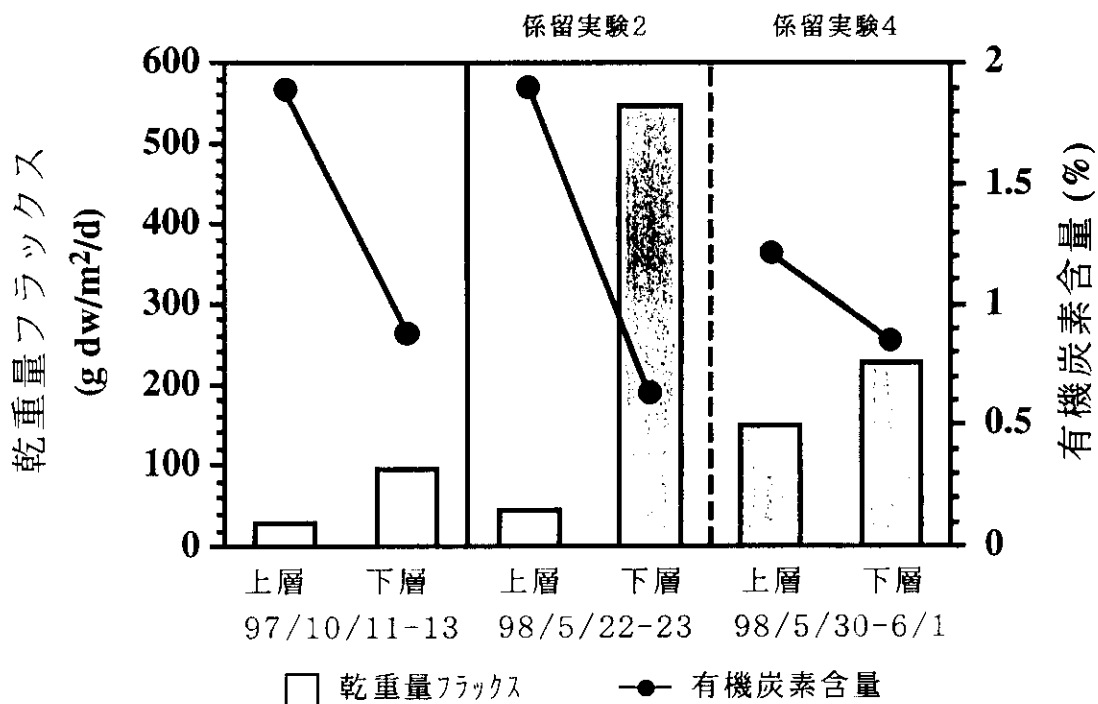


図 3. 秋季・春季の実験海域における上・下層の乾重量フラックスと有機炭素含量.

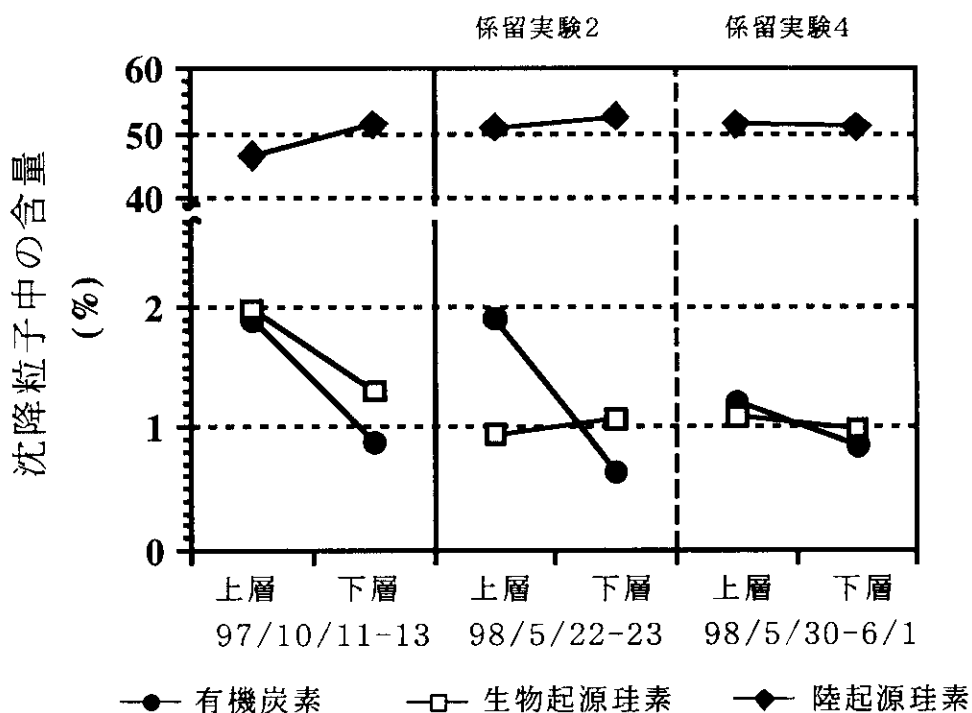


図 4. 秋季・春季の実験海域における上・下層で採集された沈降粒子中の有機炭素・生物起源珪素及び陸起源珪素の含量.

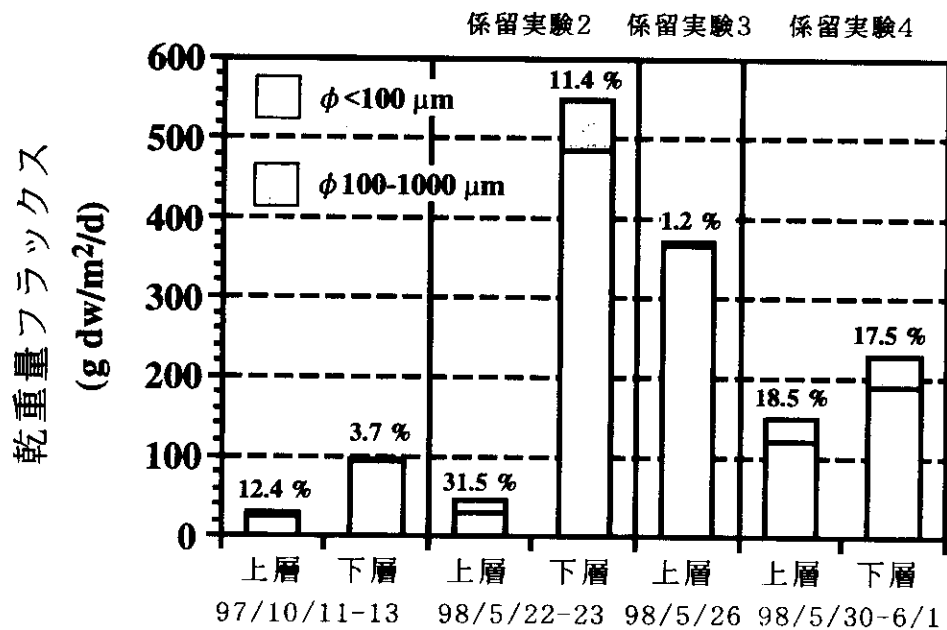


図 5. 秋季・春季の実験海域における乾重量フラックス中の小型粒子 ($\phi < 100 \mu\text{m}$) 及び大型粒子 ($\phi 100-1000 \mu\text{m}$) の割合.

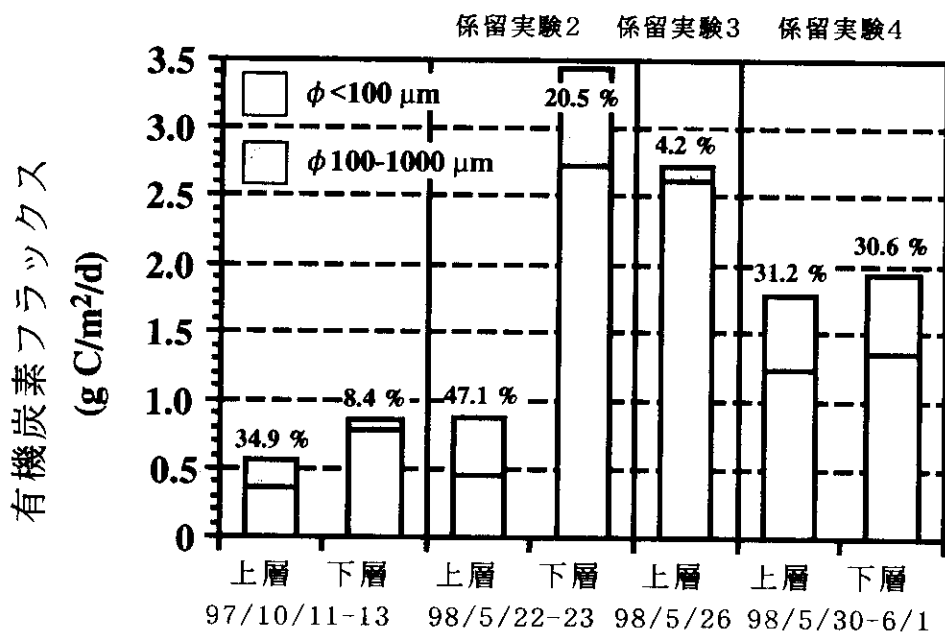


図 6. 秋季・春季の実験海域における有機炭素フラックス中の小型粒子 ($\phi < 100 \mu\text{m}$) 及び大型粒子 ($\phi 100-1000 \mu\text{m}$) の割合.

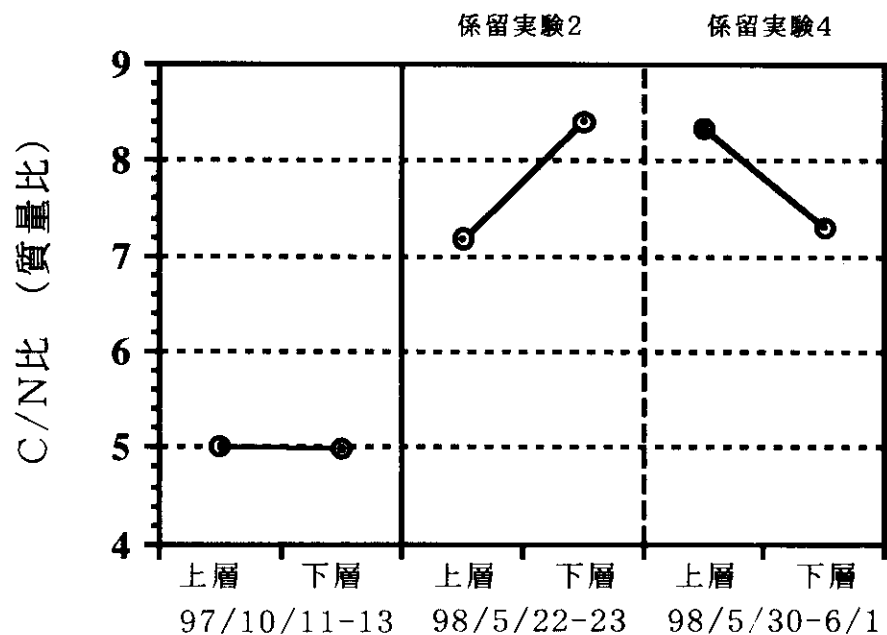


図 7. 秋季・春季の実験海域における上・下層で採集された沈降粒子中の有機物のC/N比（質量比）

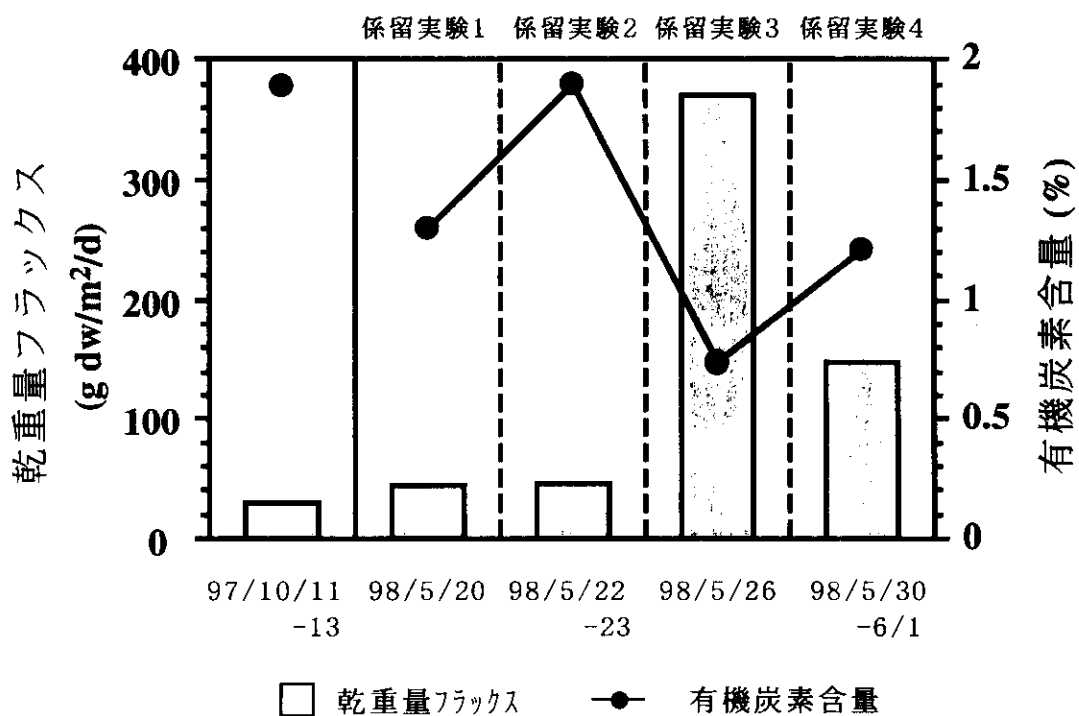


図 8. 秋季・春季の実験海域における上層の乾重量フラックスと有機炭素含量.

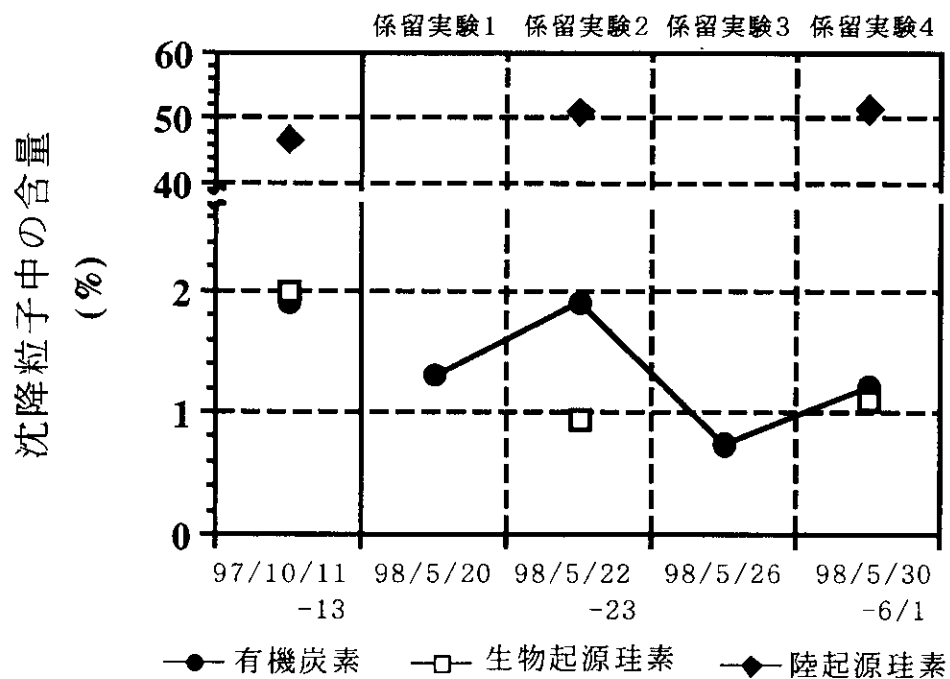


図 9. 秋季・春季の実験海域における上層で採集された沈降粒子中の有機炭素・生物起源珪素及び陸起源珪素の含量.

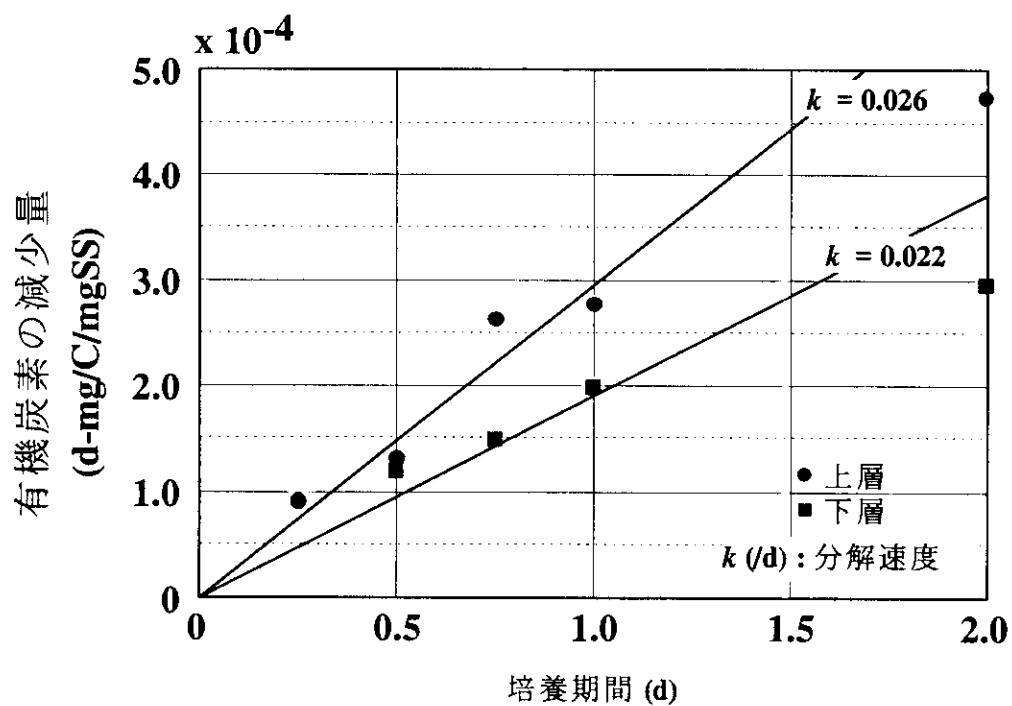


図 10. 1997年秋季の酸素法によって求めた沈降粒子中の有機炭素の減少量の経時変化.

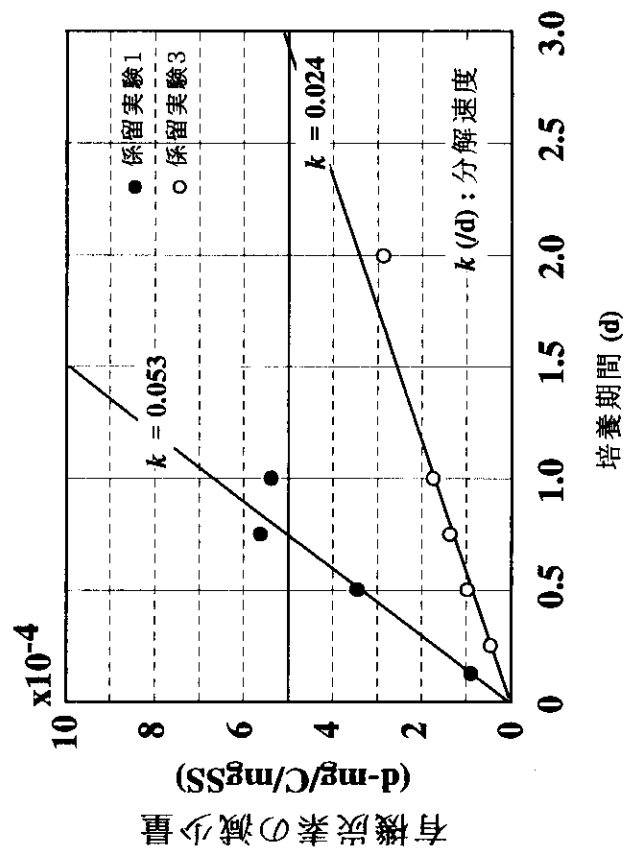


図 11. 1998年春季の係留実験1及び3において、酸素法によって求めた沈降粒子中の有機炭素の減少量の経時変化.

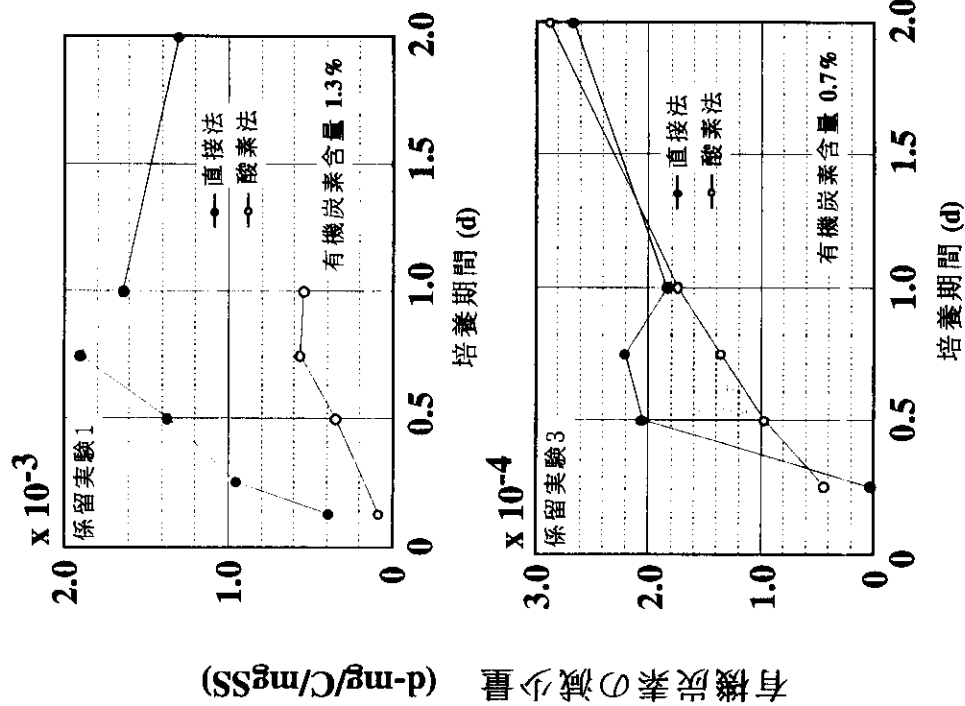


図 12. 1998年春季の係留実験1及び3において、直接法及び酸素法によって求めた沈降粒子中の有機炭素の減少量の経時変化.