

沿岸海域の懸濁態粒子の粒径分布の現地測定とデトリタス分布

鷲見 栄一*・鋤崎 俊二**

1. ま え が き

沿岸海域の懸濁態粒子は、粘土やシルトの無機態粒子、有機性の非生物態粒子（デトリタス）および動植物プランクトン類等からなる。それらの粒子は個々の粒子の物性に依じて、沿岸海域の中で違った挙動を示すと思われる。ここでは、沿岸海域の水中で直接に測定した懸濁態粒子の粒径分布とデトリタスとの関係について検討する。

2. 懸濁態粒子の粒径分布とデトリタス

2.1 懸濁態粒子の粒径分布の測定方法

海域における懸濁態粒子の粒径分布は、コールター・カウンターによって長らく測定されてきている。この計測器の問題点は、海水試料を採水した後に実験室で分析する方法が取られることである。これらの操作の間で粒子によっては崩壊し、水中に存在した粒子の粒径分布とは違った結果になる（Johnson ら, 1994）。

最近、懸濁態粒子の体積濃度の粒径分布を現地の（*in situ*）水中で測定できるレーザー光散乱を使った計測器が開発された（Agrawal・Pottsmith, 2000）。ここでは $1.25 \sim 250 \mu\text{m}$ の範囲を測定できる SEQUOIA 社の LISST-100 を使用した。本計測器は上記の粒径範囲を対数的に 32 分割して測定できるが、 $4.36 \mu\text{m}$ 以下に種々の雑音が入るために、 $5.11 \mu\text{m}$ 以上を図示した。最小サンプル間隔は 0.385 秒間である。水深は、深度計の分解能によって $8 \sim 9 \text{ cm}$ おきに測定される。校正は標準粒子（例えば、JSR 社製）を使うが、沿岸海域では形状も物性も違う粒子が多く存在するため、堆積物について実験室での測定例が報告されてきている（Traykovski ら, 1999）。

図-1 は、培養された鞭毛藻（*Pavlova lutheri*）と伊勢湾（四日市港沖）で赤潮を形成した鞭毛藻（*Prorocentrum sigmoides*）を 2000 年 10 月 17 日に現地測定した例（鷲見・鋤崎, 2001）を示す。前者は球状で粒径は約 $6 \mu\text{m}$ であるが、この計測器では $6.03 \mu\text{m}$ にピークを持っていた。後者は楕円状で等価粒径が $26.3 \mu\text{m}$ であったが、

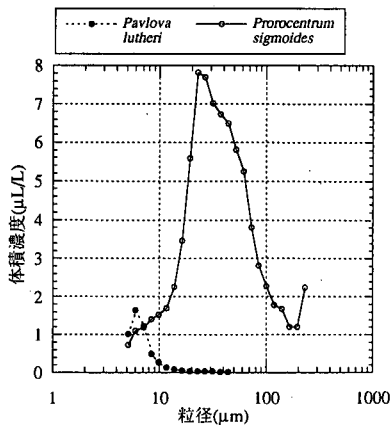


図-1 培養された鞭毛藻（*Pavlova lutheri*）と伊勢湾での鞭毛藻（*Prorocentrum sigmoides*）

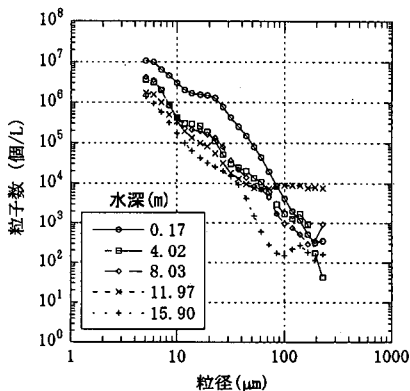


図-2 伊勢湾での水深方向の粒子数の粒径分布

$22.7 \mu\text{m}$ から $26.7 \mu\text{m}$ にピークを持っていた。表層で採水した試料を顕微鏡で計数した結果、 189 万個/L であった。LISST-100 で測定された水深 0.17 m の上記の二つの粒径の粒子数を合計すると、 205 万個/L になった（図-2）。以上のように、培養した単一種や赤潮のように単一種が優占しやすい場合には、生物態粒子でも測定できることが判った。

図-2 は、上記の伊勢湾における水深方向の粒子数の粒径分布である。LISST-100 によって測定された体積濃

度から等価粒径 (d) を使って粒子数に換算した。表層で赤潮の鞭毛藻が上乘せされたような傾向が現れ、底層に向かって大きな粒子が相対的に増加していた。一般的な海域では、大きな粒子から順次に累積した粒子数 (N) を使った $N=ad^{-m}$ によって検討される。 m が 3 以上の場合は小さい粒子が多く、 m が 3 以下の場合は大きな粒子が多いことを示す (McCave, 1984)。この場合は、水深 4 m から底層まで m は 3 以下であり大きな粒子が多かった。

2.2 デトリタス濃度の推定方法と粒径分布

図-3 は、多摩川の表層河川水 A, B (図-5 の T1) と四日市港から流出した海底上約 1 m の底層水の懸濁態粒子の粒径分布である。多摩川 A は 2000 年 6 月 15 日に、多摩川 B は 2001 年 2 月 28 日に、四日市港は 1999 年 8 月 12 日に測定した。80 μm 辺りにピークを持つ比較的に単純な粒径分布であった。この粒径のピークは種々の場に普遍的に顕著に現れ、生物態粒子とは考えにくく、また、この大きさの無機態粒子がその沈降速度から常に浮遊していることも考えにくい。このため、懸濁態粒子の構成からデトリタスと考えた。

デトリタス量の見積もり方法は現在でも確立されていないため、ここでは次の方法で見積った (小川ら, 1994; 環境庁, 1997)。植物プランクトンは、炭素/クロロフィル ($C/\text{Chl. a}$) 比を一定 (36) と仮定し、 Chl. a 濃度にその比を乗じて植物プランクトン炭素量とした。動物プランクトンは、種類ごとの個体数と体積を顕微鏡により測定し、平均体積と個体数から既存の換算ファクターを用いて炭素量を推定した。微小鞭毛虫 (HMF) についても同様である。バクテリアは、DAPI 染色によって計数された全菌数に炭素含量ファクター (20 fgC/cell) を乗じてバクテリア炭素量とした。デトリタス量は、懸濁態有機炭素 (POC) から植物プランクトン、動物プランクトン、HMF およびバクテリアの炭素量を差し引いて算出した。

表-1 は、多摩川の表層河川水 A, B と四日市港から流出した海底上約 1 m の底層水の POC の組成とその比率である。ただし、POC と SS (懸濁物量) の比は、24.9%, 27.9%, 4.9% であった。多摩川の A ではデトリタスの比率は 94.0%, B では 79.8% であった。A ではほとんど生物態粒子が無くデトリタスであるが、B ではデトリタスの比率が少なく植物プランクトンが 15.4% 含まれていた。

図-3 の粒径分布で比較すると、A では 80 μm 辺りにピークを持つ形であったが、B では 20 μm 辺りにピークが重なっていた。B では試料を異なる孔径のふるいで分画したが、63~125 μm で C/N は 1.6 と小さく、80 μm 辺りの粒子は凝集性有機態粒子 (aggregate) が大部分と考えられた。四日市港ではデトリタスの比率は 77.5% であ

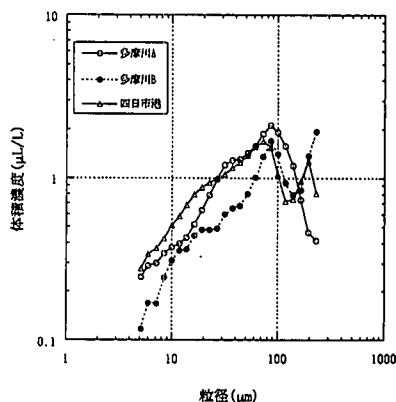


図-3 多摩川の表層河川水と四日市港から流出した海底上約 1 m の底層水の懸濁態粒子の粒径分布

表-1 多摩川の表層河川水と四日市港から流出した海底上約 1 m の底層水の POC の組成と比率

	POC	植物プランクトン	動物プランクトン	HMF	バクテリア	デトリタス
多摩川A	2494	25.2	49.1	2.7	72.8	2344.1
	100	1.0	2.0	0.1	2.9	94.0
多摩川B	1450	223.2	19.5	2.7	47.0	1157.6
	100	15.4	1.3	0.2	3.2	79.8
四日市港	618	50.4	23.9	1.1	63.7	478.8
	100	8.2	3.9	0.2	10.3	77.5

上段: 濃度 ($\mu\text{gC/L}$), 下段: 比率 (%)

り、同じ傾向であった。このように、流入する河川水中の懸濁態粒子および沿岸海域で沈降した海底上の懸濁態粒子ともに、ほぼ同じような粒径分布を持ち、POC の中でデトリタスの比率が非常に高いことが得られた。

3. 汽水域と沿岸海域における懸濁態粒子の粒径分布

3.1 多摩川における懸濁態粒子の粒径分布

河川から流入した懸濁態粒子が海水中で電荷的に凝集する現象は古くから知られているが、室内実験による実証や概念図になることが多い。ここでは、現地で測定した懸濁態粒子の粒径分布の傾向から検討する。

図-4 は、汽水域の多摩川と沿岸海域の東京湾の測定点を示す。多摩川では、河川水である丸子橋 T1 から河口の T13、東京湾では、河川流量の大きい荒川の影響を把握するために A1 から A6、東京湾内水の影響を把握するために B1 から B5 のライン観測を行った。

図-5 は、1999 年 7 月 28 日における多摩川の干潮時の塩分断面分布である。多摩川大橋上流から河床近くに海水が認められ、典型的な緩混合型になっていた。しかし、多摩川大橋下流から六郷橋にある塩分 10 の等濃度線に

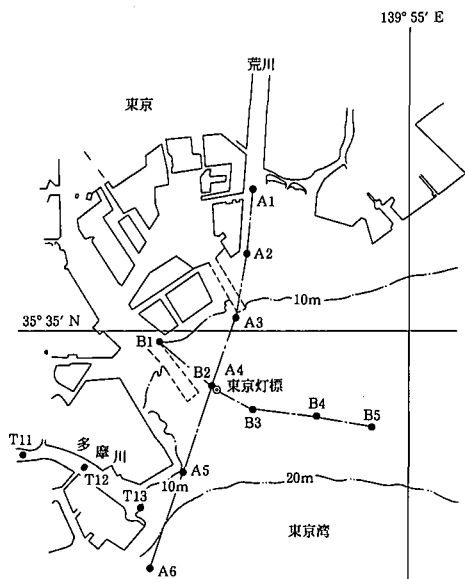


図-4 多摩川と東京湾の測定点

見られるように、この区間の河床近傍は海水の滞留域になっていた。図中の斜線部は、塩分勾配がある程度に変化し、次に述べる懸濁態粒子の大きな粒径の体積濃度が大きく増加する部分を示す。

図-6 は、T7 における水温・塩分と懸濁態粒子の体積濃度の鉛直分布を示す。体積濃度は代表的な粒径だけを示している。表層から水深 2 m までは、河川水の時と同じように各粒径ともに体積濃度は鉛直方向に一樣であった。水深 2 m から 44.0 μm と 85.2 μm の体積濃度は増加し、水深約 3 m で最大になって、それより下層では徐々に減少していた。塩分は、水深 2 m から 3 m で 3.56 から 5.62 に徐々に増加し、水深 3.5 m では 11.77 と急激に増加し躍層になっていた。躍層上のある厚さに大きな粒子が集積滞留し、躍層下から徐々に減少している過程は他の地点でも見られた。大きな粒径の体積濃度が増加し減少していく層を、図-5 の中に斜線部で示してある。

河川から流入した懸濁態粒子は海水中で電荷的に凝集していると思われるが、懸濁態粒子の体積濃度の粒径分布からは aggregation によってより大きな粒子に成長していることが推定された。

3.2 東京湾における懸濁態粒子の粒径分布

汽水域から沿岸海域へ懸濁態粒子が流入していく過程を把握するために、荒川の A ライン(図-4)について年間の調査を行っている。図-7 は、2000 年 8 月 18 日の濁度 (C) と 9 月 14 日における懸濁物量 (SS) の断面分布である。濁度は濁度計 (アレック社製 PT-1) によって、懸濁物量は重量法によって測定した。8 月では荒川河口か

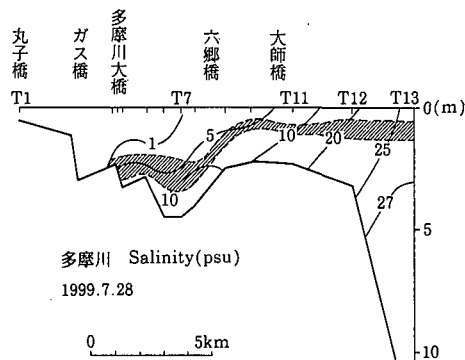


図-5 多摩川の干潮時の塩分断面分布

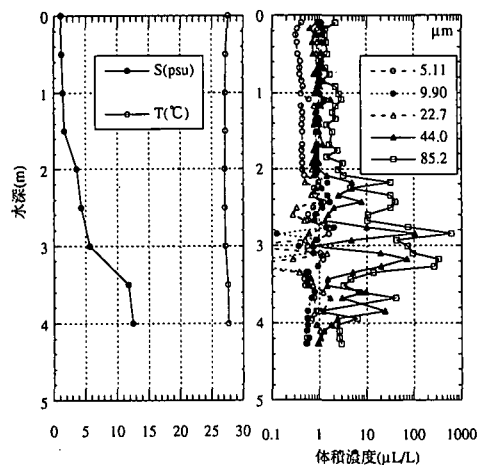
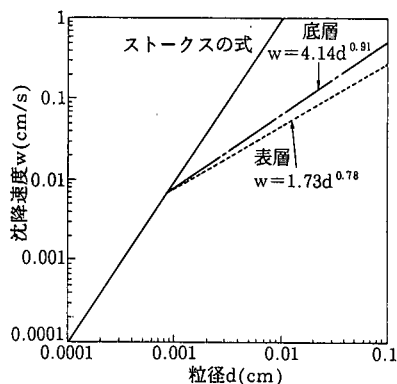


図-6 T7 における水温・塩分と懸濁態粒子の体積濃度の鉛直分布

ら濁度の高い汽水域の水が東京湾に流入し、一部は表層を輸送され、一部は底層に沿って輸送されていた。中層に濁度の低い (3 mg/L 以下) 海水が侵入していた。このパターンは、他の河川の流出過程の場合にもよく見られる。東京港内水の流出過程を把握するために行った 1999 年 9 月 28 日の B ラインでもほぼ同じ傾向であった。

図-8 は、A4 における 8 月 18 日の水温・塩分と懸濁態粒子の体積濃度の鉛直分布を示す。体積濃度は代表的な粒径だけを示している。塩分は河川水の影響で表層から徐々に増加し約 2 m で躍層になっており、約 6 m と約 13 m にも躍層があった。0 m から 0.76 m の表層では、各粒径の体積濃度はほぼ一樣であった。約 1.5 m で、各粒径ともに体積濃度は増加しており、大きな粒径 (44.0 μm と 85.2 μm) の体積濃度は特に大きく増加していた。約 6 m より下層では、小さな粒径の体積濃度は急激に減少していた。大きな粒径の体積濃度は、約 6 m、約 11 m および約 13 m で増加しているが、ほぼ躍層周辺で増加していた。躍層上で増加し、躍層より下層で徐々に減少し



図一11 凝集性有機態粒子と無機態粒子の沈降速度

4. あとがき

河川水中の懸濁態粒子は、80 μm 辺りにピークを持つ粒径分布で、ほとんどがデトリタスと考えられた。汽水域から沿岸海域に流入する過程において、躍層上に集積滞留し、80 μm 辺りの体積濃度は急激に増加していた。海底近くの底層でも、この粒径のピークが卓越した粒径分布になっていた。このように季節や場所（河川、汽水域、沿岸底層）にかかわらず存在するものとして、デトリタスである凝集性有機態粒子が考えられた。この粒子は古くから知られているが、その形成機構は未解明な点が多い。

図一11は、過去に得られた凝集性有機態粒子と無機態粒子の沈降速度 (w) と粒径 (d) との関係である。ただし、沈降速度と粒径の単位は cm/s と cm である。表層の式は Gibbs (1985) によって、底層の式は谷本・星加 (1994) によって現地で測定された結果である。無機態粒子（比重：2.65）の沈降速度は、ストークスの式 ($w = 8976d^2$) から計算したものである。約 10 μm 以上で、同じ粒径の沈降速度は、表層、底層、ストークス式の順に大きくなっている。ここで興味深いのは、表層と底層の

二つの式が、約 10 μm でストークスの式に交差していることである。物理的なモデルを考えると、約 10 μm 以下の無機態粒子は、表層と底層の式に従って aggregation し粒径が大きくなっていると考えれば、表層にあった小さい粒子が底層では少なくなり、底層で大きな粒子が卓越してくる現象を説明することができる。

謝辞：培養された鞭毛藻 (*Pavlova lutheri*) の提供で、愛知県水産試験場鈴木輝明漁場改善研究室長にご協力を頂きました。ここに記してお礼申し上げます。

参考文献

- 小川浩史・嶋村茂・亭島博彦・加藤憲二・石川公敏 (1994): 内湾における微小食物連鎖と有機物循環, 1994 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, p. 363.
- 環境庁企画調整局研究技術課編 (1997): 沿岸生態系における内部生産物質の循環過程と環境影響評価技術に関する研究, 平成 9 年度環境保全研究成果集 (II), 46-I-1-46-I-68.
- 鷺見栄一・鋤崎俊二 (2001): 伊勢湾の懸濁態粒子の粒径分布と組成に関する考察, 2001 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, p. 302.
- 鷺見栄一・田中祐志 (1999): 沿岸域の底層における懸濁態粒子の物理的挙動, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 991-995.
- 谷本照巳・星加 章 (1994): 大阪湾と江田内湾における懸濁粒子の沈降速度, 海の研究, Vol. 3, No. 1, pp. 13-20.
- Agrawal, Y. C. and H. C. Pottsmith (2000): Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport, Marine Geology, Vol. 168, pp. 89-114.
- Gibbs, R. J. (1985): Estuarine flocs: their size, settling velocity and density, J. Geophys. Res., Vol. 90, pp. 3249-3251.
- Johnson, B. D., K. Kranck and D. K. Muschenheim (1994): Physicochemical factors in particle aggregation, in the Biology of Particles in Aquatic Systems, edited by R. S. Wotton, Lewis Publishers, pp. 75-96.
- McCave, I. N. (1984): Size spectra and aggregation of suspended particle in the deep ocean, Deep Sea Research, Vol. 31, No. 4, pp. 329-352.
- Traykovski, P., R. Latter and J. D. Irish (1999): A laboratory evaluation of the laser in situ scattering and transmission instrument using natural sediments, Marine Geology, Vol. 159, pp. 355-367.