

東京湾から外洋への粒子移動

乗木 新一郎*

1. 東京湾

全海洋に対して沿岸域の占める面積は10%にも満たないが、海洋の一次生産の1/4~1/3が沿岸で行われているので¹⁾、沿岸域での物質循環、例えば、大陸棚に沿って沿岸域から外洋への物質輸送のメカニズムなどを理解することは重要である。

東京湾は、房総半島西端の洲ノ崎と三浦半島南端の剣崎を結ぶ線より以北の南北80km、総面積が1500km²で、湾口が狭く、外海との水の入れ替わりが制限された内湾性の強い湾である。この海域は、小櫃川-多摩川を結ぶ線と、三浦半島の観音崎-房総半島の富津岬を結ぶ線で三つに分けられ、北から湾奥部、湾中部、湾口部と呼ばれている²⁾。東京湾へは、人類活動によって排出される化学物質が入りこんでいるので、常に富栄養化している。硝酸塩などの窒素化合物やリン酸塩のような生物必須元素の溶存物質の収支の研究が多くなされている^{3,4)}が、内湾から外洋へ移動・輸送されている粒子の実態についてはあまり理解されていない。そこで、1995年から2002年までの7年間にわたり東京湾口部に定点を設けてセジメントトラップ実験を行った。そして、7日間毎の計324の沈降粒子試料を得た。その結果を概観する。

2. セジメントトラップと試料採取

セジメントトラップとは、海中を沈降する粒子を捕捉する装置の総称であり、形、大きさな

どが研究者によって創意工夫されている。直径数cm、深さ数十cmの塩化ビニル製の円筒のものや、直径50cmないし1m、深さ1mくらいのロート状のものなどがある⁵⁾。下部には250mlから500ml程度の試料受け器がついている。複数の受け器がタイマーで回転する時間分画式が広く使われていて、一回の設置と揚収で複数の期間の粒子の捕集が可能であり、粒子の量や化学成分の時間変動を解析して、化学物質の移動量や輸送機構を明らかにすることができる。

ロープの一端にフロートを、もう一方にはアンカーを付ける。セジメントトラップは粒子を採取したい水深にあわせてステンレス製などの枠に取り付けロープに固定して係留する。アンカーの上部に取り付けた音響式切り離し装置を



図1 試料採取地点

*北海道大学大学院地球環境科学研究院 教授

第222回京都化学者クラブ例会（平成20年12月6日）講演

作動してセジメントトラップをアンカーから離して揚収する。ここでは、シリンダー口径が10 cm (捕集口面積0.0079m²), 高さ90cm のものを用いた。東京湾湾口部 (北緯35度03分, 東経139度40分) において, 水深850m の地点に係留した (図1)。東京湾海底谷と呼ばれる地形で急激に深くなっているところであり, セジメントトラップの係留地点は, その海底谷の出口で底の部分である。セジメントトラップの設置水深は750m である。

セジメントトラップの係留と回収, 海水と堆積物の採取は東京水産大学 (現東京海洋大学) が行っている青鷹丸による東京湾の定期観測時に行った。

3. 7年間の全粒子束と突発的に観測される大きな粒子束

全粒子束は観測の半分以上 (61%) の期間で 25g/m²/day より小さい粒子束であった (図2)。そして, 50g/m²/day より大きい粒子束が不規則に突発的に観測された。平均で28g/m²/day であった。これは, 相模湾や日本近海域での粒子束に比べて1桁以上大きい。

25g/m²/day 以下の定常的な沈降粒子束は, 次のような機構で説明される。東京湾の底層には主に, 潮汐, 風そして湾内へ流入した河川水 (淡水) の流れによって作られる東京湾を周回する残差流がある⁶⁾。このことによって, 表層から沈降した粒子や表層堆積物の巻き上がりによる粒子が湾内の底層で混ざる。その一部が潮流ポンプ⁷⁾ の作用によって湾外へと流出する。このことは, 沈降粒子中の Mn/Al や ²¹⁰Po /²¹⁰Pb の研究によっても明らかにされていて, この機構が恒常的な粒子の流出を支えている, と考えられている。

しかし, 7年間の観測によって, 平均的な粒子束を大きく超える粒子束が不規則に観察された。このような不規則に全粒子束を大きくさせると要因について考えてみる。要因としては, 生物活動の急激な増加, 大気圏降下物の増加, 物理的要因 (気象要素) などがあろう。

東京湾内では, 生物活動の指標である Chl.a 値は季節変動があり, 平均的に見ると夏季に高く (30 μg/l<) 冬季に低い (5 μg/l程度)。観測した沈降粒子中の生物起源粒子の主成分であるオパール, 炭酸カルシウム, 有機物の平均濃

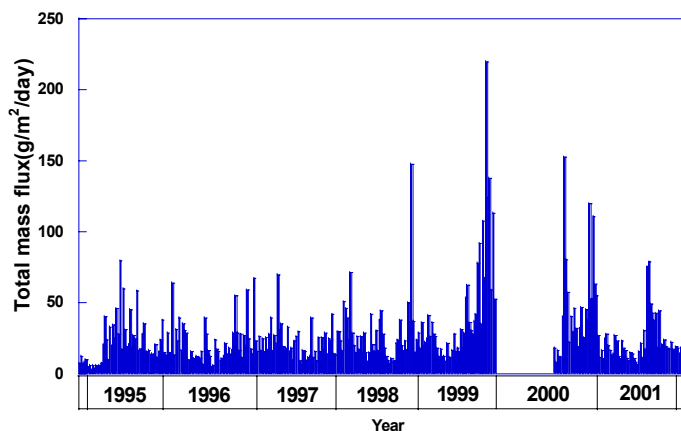


図2 7年間の全粒子束

表1 全粒子束と主成分組成の平均値

平均	flux g/m ² /day	陸起源粒子 %	Opal %	CaCO ₃ %	有機物 %
全平均	28	69	14	3	14
台風・低気圧期	74	74	12	2	12
降水期	75	70	14	2	14
黒潮貫入期	107	73	12	2	13

度はそれぞれ、約14%、3%、14%であった(表1)。そして、これらの濃度は夏季に高く、冬季に低くなる傾向が見られ、表層 Chl.a 濃度の変動とは矛盾しない。しかし、全粒子束の急激な増加を説明できる生物起源粒子の増加は観測されていない。東京湾口で観測される全粒子束の増減に対して生物起源粒子の増減は支配的ではないと考えられる。

また、観測された全粒子束は最少で3.3 g/m²/day (1995年1月17~23日)であるので、日本列島付近で観測されている大気からの降下量よりも2桁程度大きい。大気からの降下は、東京湾湾口部での全粒子束の増減には関係がないと考えて良いだろう。

そこで、次のような物理的(気象的)要因について考えてみる。

3-1. 台風や低気圧の通過による海水混合による海底堆積物粒子の巻き上がりとの移動

台風や低気圧が東京湾周辺に接近、または通過すれば、湾内の浅い海域の海底表面堆積物が再懸濁され、湾口から流出することが考えられる。1995年5月と8月に観測された低気圧、1996年9月の台風17号、11月の台風24号、2000年9月の台風17号、2001年9月の台風11号、9月の台風15号の通過時に大きな粒子束が観測された。

3-2. 降水量の増加、河川の増水による陸起源物質の流入とエスチュアリー循環による輸送

大雨が降る事によって、陸起源物質や人為起源物質などが河川に大量に流入ことが考えられる。河川流量を4河川(江戸川、荒川、多摩川、鶴見川)の1日の流量の値を合計(一本の川とみなして)してみると、河川の流量の増加と全粒子の増加が一致している期間は(期間は省略して月だけを記す)、1995年は5月と7月、1996年は5月と9月、1997年は9月、1998年は3月と4月、1999年は8月と9月、2000年は9月である。

3-3. 海底地震による海底堆積物の移動

三陸沖に設置したセジメントトラップ観測の結果、設置期間中に大地震が起こり、その地震による地面の揺れが起こした海底堆積物の巻き上がり、粒子の移動による全粒子束の増大を観測した⁸⁾。設置期間中に東京湾周辺では大きな地震が起こらなかったため、地震発生による海底堆積物の急激な巻き上がりによる全粒子束の増大は無かったと考えられる。

3-4. 潮汐による粒子の移動

東京湾において、潮流ポンプによる下げ潮が湾内から多くの粒子を流出させていることを明らかにしているが、捕集期間が7日間であるの

で、これより短い間隔でおこる潮汐による突発的な大きな粒子束の説明は難しい。

3-5. 黒潮の接近と湾内への貫入による粒子の移動

黒潮系暖水が東京湾口に波及すると、暖水は東京湾内中層に貫入し、高濁度の東京湾内水が表層と底層から外洋に流出する。東京（芝浦）、南伊豆そして布良（房総）において黒潮接近による潮位の上昇が観測されてから、1～2週間以内に大きな全粒子束の増加の応答が見られた。2000年12月～2001年1月にかけての50 g/m²/day以上の大きな粒子束、1998年と1999年の冬季に観測された大きな粒子束がこの機構が働いたと考えられる。

4. 希土類パターンと陸起源粒子の起源

全期間で観測した粒子の大部分（約70%）は陸源の粒子であった（表1）。

陸起源粒子の主成分はAlであるが、起源の特定には利用できない。ここでは、希土類元素

のパターンを利用する。希土類元素の濃度をPAAS（Post-Archean average Australian Shale）で規格化して⁹⁾ 比べることにする。

沈降粒子の希土類元素は粒子量の大小に関わらず、パターンに特徴的な差が見られなかった。そして、中希土類（Sm～Ho）と重希土類（Er～Lu）は、軽希土類（La～Nd）に比べて濃縮しており、Ce, Eu, Dy, Tmに正のアノマリが見られた（図3）。

海底近くでは、しばしば高濁度層が観測される。濁度計を下ろしながら、St08（北緯35度03分、東経139度46分、水深580m）の580m付近（海底直上）とSt09（北緯35度05分、東経139度45分、水深640m）の540m付近と底層直上である640m付近の30～50%の透過度である高濁度水を採水した。この高濁度水中の粒子から得られた希土類パターンは、沈降粒子の希土類パターンによく似ており（図3）、この高濁度水中の粒子がセジメントトラップに捕集されたことを強く示唆している。

東京湾の2点で採取した表層堆積物の希土類

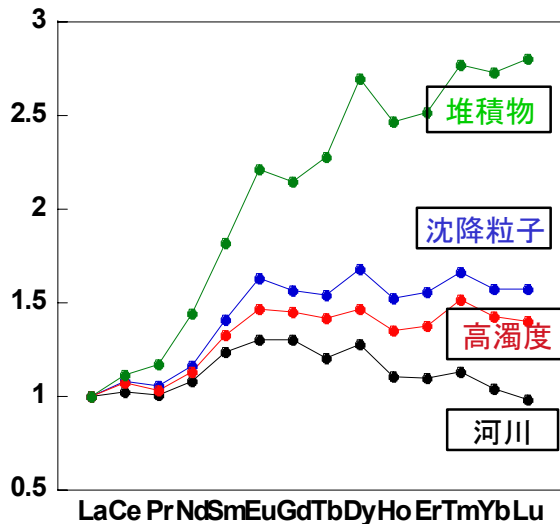


図3 Laを基準とした希土類パターン

パターンは中希土類元素と重希土類元素が軽希土類元素に比べて濃縮していることを示す急な右上がりであった (図3)。そして、その濃縮度合いは沈降粒子のそれらよりも大きかった。この違いは、セジメントトラップによって捕集された沈降粒子が全て表層堆積物の巻き上がりだけでは説明できないことを示唆している。

多摩川の河川水中の粒子の希土類パターンは上流から採水されたものと下流で採水されたものとはほとんど同じであった。沈降粒子と同じように Ce, Eu, Dy, Tm に正のアノマリが見られた。しかし、沈降粒子のような重希土類濃縮は見られず、中希土類濃縮であった (図3)。

希土類元素の La/Yb 比は陸起源物質の起源を決定するための指標として有用である¹⁰⁾。La/Yb 比の大小関係は、河川粒子 > 高濁度水粒子 = 沈降粒子 > 堆積物であった (図3)。La/Yb 比を用いれば、沈降粒子は、河川から流入してあまり変質の受けていない粒子と、堆積して変質を受けた粒子とがそれぞれ約50%の混合によっていることが強く示唆される。

5. まとめ

物理的 (気象的) 要因で、東京湾口から外洋へ突発的に大きな粒子の流出があることがわかった。そして、それは、河川から流入して間もない粒子と堆積して変質を受けたものが約50%混合したものであった。

文 献

- 1) R. Wollast, *Ocean Margin Processes in Global Change*, Dahlem Workshop Reports, 365-381 (1991)
- 2) 宇野木早苗, 岸野元彰, *The Institute of Physical and Chemical Research*, No. 1, 89pp (1977)
- 3) T. Yanagi, T. Saino, T. Ishimaru and S. Uye., *J. Oceanogr.*, **49**, 249-256 (1993)
- 4) T. Ishimaru and T. Matsumura, *Bull. Coastal Oceanogr.*, **43**(2), 113 - 117 (2006).
- 5) 乗木新一郎, *海洋化学研究*, **15**(2), 72-88 (2002)
- 6) 宇野木早苗, *海の研究*, **7**, 283-292 (1998)
- 7) T. Yanagi, M. Shimizu, T. Saino and T. Ishimaru, *J. Oceanogr.* **48**, 13-21 (1992).
- 8) M. Itou, I. Matsumura and S. Noriki, *Deep-Sea Res.* **47**, 1987-1998 (2000)
- 9) S. R. Taylor and S. M. McLennan, *The continental crust: its composition and evolution*, ed. by S. R. Taylor and S. M. McLennan, Blackwell Scientific, Oxford, p 9-52 (1985)
- 10) S. Otosaka and S. Noriki, *Mar. Chem.* **72**, 329-342 (2000)