

河川から日本周辺海域への堆積物供給量と 海域での堆積速度

斎藤文紀¹⁾・池原 研¹⁾

1. はじめに

あれは4, 5年ほど前だったろうか, 筆者の一人が, アメリカの有名な海洋学者をつくばから成田空港へ送っていた時だった. 利根川を通過したとき「この利根川が日本で一番流域面積が大きい川なんですよ」と話しかけた. その返答は, 意外で, 堆積学を専門としていた筆者には非常にショッキングなものだった. 「堆積学にとって, 川の長さや流域面積, 河川流量はそれほど重要ではない. 最も重要なのは, 堆積物の運搬量だ. 日本の川で最も運搬量の大きいのはどの川か.」堆積速度などには関心は持っていたが, 残念ながら指摘されたような視点や問題意識は持ち合わせていなかった.

2. 河川の土砂供給量—世界の河川—

世界の大河の, 流域面積, 河川流量, 浮遊堆積物運搬量のベストテンを第1表に示す. また, 東ユーラシアに

おける主な河川の流域における単位面積当りの河川流量を第1図に, 単位面積当りの堆積物生産量を第2図に示す(世界の河川の堆積物運搬量については, 本特集号池原による第3図を参照). 堆積物運搬量のベストテンに入る河川だけで世界全体の運搬量の約40%を占めており, 特に世界全体の運搬量の約70%が南アジアからオセアニアにかけて, 地形の起伏の大きい, 多雨地帯の河川で占められている. 堆積物の生産量の階層区分と陸域面積, 堆積物運搬量の関係を見ると(第2表), 面積的には生産量100トン/km²/年以下の地域が約70%を占めるが, 残りの30%の地域が運搬量の約90%を占めており, 南アジアなどの限られた地域で堆積物の生産と海域への供給が活発に生じていることがわかる.

世界全体で河川から海域へ供給される堆積物の量は, 15×10⁹トン/年で, このうち浮遊物質が13.5×10⁹トン/年, 河床に沿うベッドロードで運搬される量が約1.5×10⁹トン/年と見積られている. 陸域で生産される量は, これらよりも多く, 32-51×10⁹トン/年と推定されている

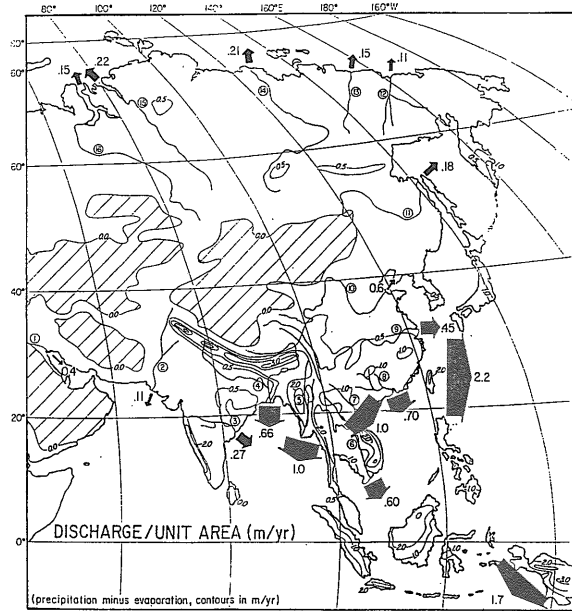
第1表 世界の主要な河川の流域面積, 河川流量, 浮遊堆積物運搬量のベストテン (Milliman, 1991).

流域面積	×10 ⁶ km ²	年間河川流量	km ³ /年	年間浮遊堆積物運搬量	×10 ⁶ トン/年
1. アマゾン	6.15	1. アマゾン	6,300	1. ガンジス	1,670
2. ザイール	3.72	2. ザイール	1,250	2. 黄河	1,080
3. ミシシッピー	3.27	3. オリノコ	1,100	3. アマゾン	900
4. (ナイル)	(3.03)	4. ガンジス	971	4. 揚子江	478
5. ラプラタ	2.83	5. 揚子江	921	5. イラワジ	285
6. エニセイ	2.58	6. ミシシッピー	580	6. マグダネラ	220
7. オビ	2.50	7. エニセイ	560	7. ミシシッピー	210
8. レナ	2.49	8. レナ	514	8. オリノコ	210
9. 揚子江	1.81	9. プラタ	470	9. 珠江	160
10. アムール	1.86	10. メコン	470	10. メコン	160
11. マッケンジー	1.81				
小計	29.24	小計	13,115	小計	5,373
	(世界総計の29%)		(世界総計の40%)		(世界総計の40%)

注: 各数値とランキングが一部整合的でないが, これらは元論文に従う.

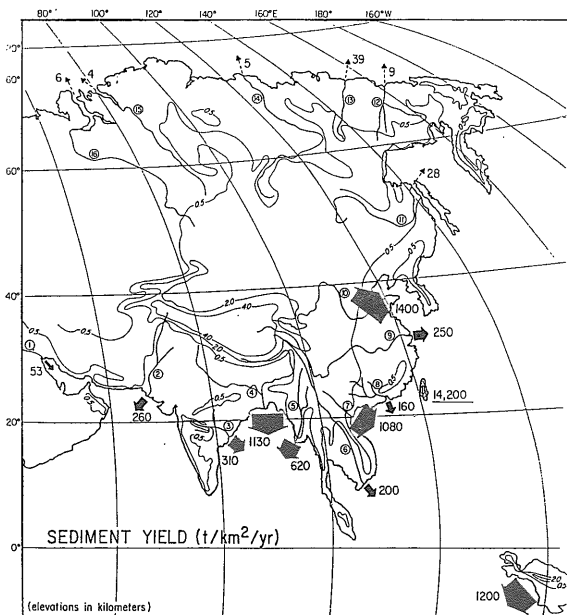
1) 地質調査所 海洋地質部

キーワード: 堆積速度, 日本周辺海域, 河川, 堆積物運搬量, 炭素循環, 物質循環, 完新世



第1図 東ユーラシアにおける主な河川の流域単位面積当りの河川流量 (m/年). 陸域の等値線は、降水量から蒸発量を引いた値を示す (単位は m/年) (Milliman, 1991).

- ①チグリス・ユーフラテス川, ②インダス川, ③ゴダバリ川, ④ガンジス川, ⑤イラワジ川 (エーヤーワディ川), ⑥メコン川, ⑦ホン川 (ソンコイ川), ⑧チュー川 (珠江), ⑨揚子江, ⑩黄河, ⑪アムール川, ⑫コリマ川, ⑬インディギルカ川, ⑭レナ川, ⑮エニセイ川, ⑯オビ川.



第2表 世界の河川の堆積物生産量の階層別陸域面積と堆積物運搬量の占有百分率 (Milliman, 1991)

堆積物生産量 (トン/km ² /年)	陸域面積 (%)	堆積物運搬量 (%)
5-10	23	1
10-50	31	5
50-100	15	7
100-500	21	24
500-1,000	6	34
>1,000	4	30

(Milliman, 1991). 両者の差が、内陸の湖沼や貯水地、扇状地、平野などにおける堆積量である。

これらの堆積物運搬量は、どのくらいの量だろうか。たとえば黄河が1年間に運搬する量は、 1.1×10^9 トンである。間隙率を約6割、密度を 2.5 g/cm^3 とすると1トン=1 m³、黄河が運搬する土砂の体積は 1.1×10^9 m³となる。これは東京湾 (面積1,000km², 平均水深17m) をわずか約15年で埋めてしまう量に等しい。また、日本全体の生産土砂量と比べると、生産土砂量が年間 2×10^8 m³と見積られることから、上述の仮定では約5-6倍の量である。

3. 河川の土砂供給量—日本の河川—

さて、日本の河川ではどうだろうか。第3表に日本の河川の流域面積、長さ、河川流量のベストテン、第4表にダム堆砂から推定される堆積物運搬量の多い河川をそれぞれ示す。日本では土砂運搬が主に洪水時に行われており、そのデータが取得しにくいことから、堆積物の運搬量に関するデータは外国に比べて少ない。堆砂と言っても堆積物は砂ではなく、大半はシルト以下の粒径である。ダムの堆砂のデータなどから日本で生産される土砂の総量は、約 2×10^8 m³/年と推定されている (須賀ほか, 1976; 芦田ほか, 1983; 石原, 1985)。このうちダムに堆砂する量は、約半分の $50-60 \sim 120 \times 10^6$ m³/年、ダムより下流への土砂流出は $90 \sim 120 \times 10^6$ m³/年と推定されている。特に $10 \mu\text{m}$ 以下の細粒物質の多くが下流に流出していると考えられている。日本で最も運搬土砂量の大きい河川は天竜川で、 38×10^6 m³/年と推定され (芦田ほか, 1983)、第4表の値よりも大きいのはダムからの流出量が考慮されているためである。特に運搬量の大きい河川は

第2図 東ユーラシアにおける主な河川の堆積物生産量 (トン/km²/年). 陸域の等値線は等高線を示す (単位は km). 地形の起伏の大きい河川で生産量が大きいことがわかる (Milliman, 1991).

第3表 日本の主要な河川の流域面積，河川流量，堆積物運搬量のベストテン（理科年表平成3年版）

流域面積	×10 ⁸ km ²	長さ	km	河川流量	km ³ /年
1. 利根川	16.84	1. 信濃川	367	1. 信濃川	16.7
2. 石狩川	14.33	2. 利根川	322	2. 石狩川	14.7
3. 信濃川	11.90	3. 石狩川	268	3. 阿賀野川	13.4
4. 北上川	10.15	4. 天塩川	256	4. 最上川	11.7
5. 木曾川	9.10	5. 北上川	249	5. 北上川	9.3
6. 十勝川	9.01	6. 阿武隈川	239	6. 利根川	9.2
7. 淀川	8.24	7. 最上川	229	7. 淀川	8.1
8. 阿賀野川	7.71	8. 木曾川	227	8. 木曾川	7.9
9. 最上川	7.04	9. 天竜川	213	9. 雄物川	6.6
10. 天塩川	5.59	10. 阿賀野川	210	10. 天竜川	6.5
(11. 阿武隈川)	(5.40)			(11. 天塩川)	(6.4)
(12. 天竜川)	(5.09)				

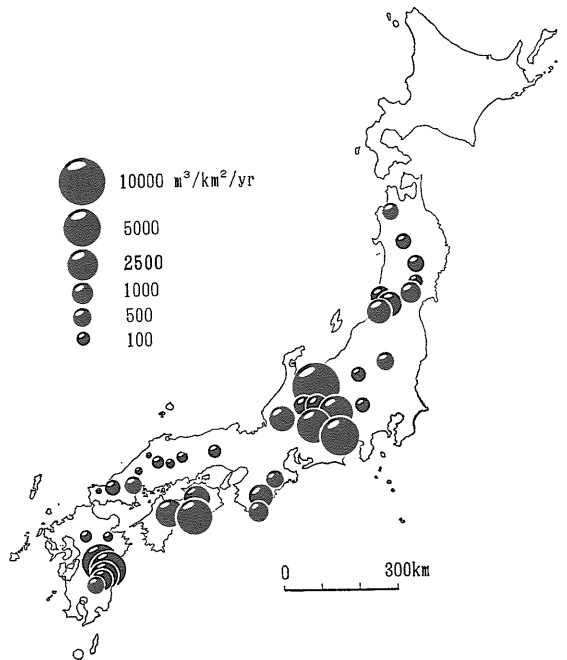
第4表 ダムの堆砂量からみた堆積物運搬量の多い河川

	堆積土砂量 (10 ⁶ m ³ /年)		比堆砂量 (m ³ /km ² /年)	
	1	2	1	2
天竜川	8.30	23.60	1,848	1,587
木曾川	3.60	5.61	706	469
大井川	3.03	1.12	4,360	2,559
阿賀野川	2.06	3.87	306	183
庄川	1.82	1.30	1,654	934
信濃川	1.60	0.72	1,600	428
新宮川	1.57	0.48	2,139	
黒部川	1.27	0.24	6,796	3,885
石狩川	1.22	0.79	304	249
吉野川	1.19	0.98	1,585	1,229
北上川	1.13	0.79	359	389

鈴木(1986), 芦田ほか(1983), 鈴木(1986), 石原(1975).

10⁷m³/年オーダー、ベストテンクラスの河川は、10⁶m³/年オーダーと覚えていけば良いようである。

第4表の比堆砂量は、ダムの年間の堆砂量を流域面積で割った値で、その地域の堆積物生産量の目安となる。ダムから下流への流出量が同程度（芦田ほか，1983）とすると、この値の倍の数値が堆積物の平均的な生産量となる。第3図は、Yoshikawa (1974) が各地のダムの堆砂量から推定したダムへの単位面積当りの堆積物運搬量（侵食量）の分布を示している。中部日本、西南日本外帯、東北日本日本海側などでは、2,500-10,000m³/km²/年の値を示し、特異に大きいことがわかる。1 m³=1.3トンとすると、これらの値は3,250-13,000トン/km²/年となり、日本と同じく島弧の台湾の値14,200トン/km²/年とほぼ同等の値となる（第2図参照）。日本全体では面積37万km²に対して生産量が2億m³であることから、全国平均では540m³/km²/年で、上述の換算では約700トン/km²/年である。第2表においては日本全体では500-1,000トン/km²/年の階級に入る。



第3図 ダムの堆砂からみた堆積物生産量 (Yoshikawa, 1974).

一般に河川が運搬する土砂量を推定する場合、既設ダムの堆砂実績に基づく経験的な方法と流砂量式に基づく水理学的方法とがある（芦田ほか，1983）。この他に河道や河口部の地形変化から見積する方法、数千年から1-2万年のある一定期間に堆積した総量（地層）から推定する方法などがある。後者の2種の方法は、地形学的なまた地質学的方法であり、外国では一般に用いられている。日本でも信濃川の付け替えに伴う沿岸部の地形変化などからの研究がある（石原，1975：ほか）が、全国を網羅するような研究例はまだない。今回紹介した河川による堆積物の運搬量は、世界の河川のそれぞれが河川の中一下流域での懸濁物濃度と流量、水理学的方法によ

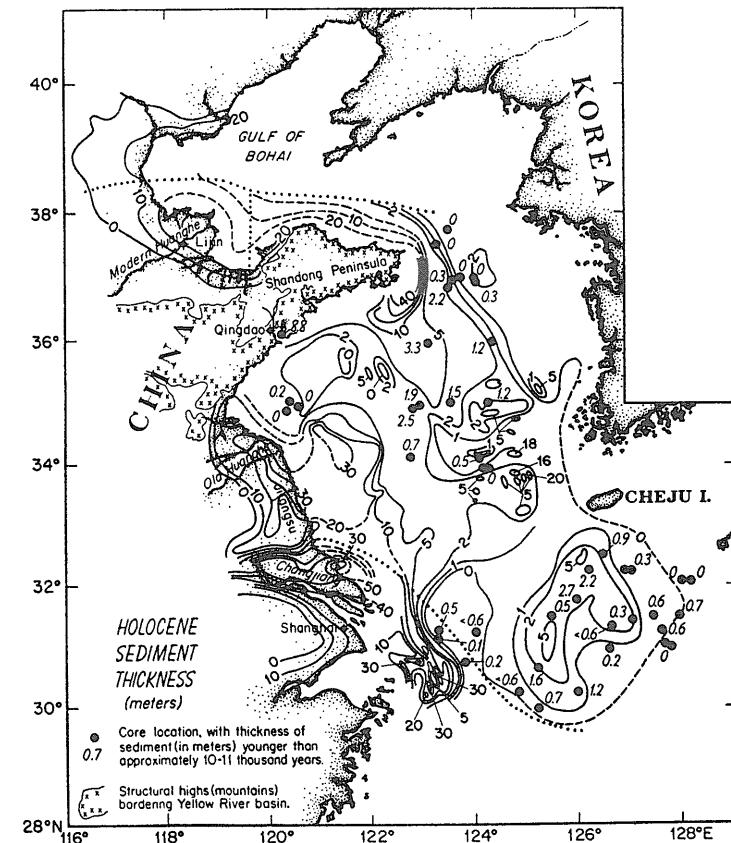
っているのに対し、日本では河川の上流域にあるダムの堆砂量を河川の運搬量とみなしたものであって河川から海域へ供給している量を直接示していない。これは日本の河川が急流であり、堆積物の運搬が洪水時などを中心に発生することから、平水時の観測結果から推定しにくいことに原因がある。このことから逆に海域に堆積している量からの推定が重要となる。物質循環の研究の重要性が叫ばれている今、河川からの供給量に関して、河川工学のデータだけではなく学際的な、多方面からのアプローチが必要である。

それでは、海域における堆積物はどのくらいあるのだろうか。一般に河川から供給された堆積物は、主に沿岸域や陸棚域に堆積し、25-30%以下が陸棚外縁を越えて外洋に供給されると考えられている (Milliman, 1991)。現在も海水準が上昇している北海周辺や北米中南部では、河口域に瀉やエスチュアリーが発達し、堆積物は沿岸域に90%以上が捕獲されていると推定されている。一方、南アジアなどの陸棚の狭い、河口が直接外洋に面してい

るところでは比較的多量の堆積物が陸棚外縁を越えていると考えられている。第4図は黄海から東シナ海における完新世の堆積物の等層厚線図を示している。これらの堆積量と沖縄トラフの柱状試料データなどから、黄河からもたらされる堆積物は、沿岸から中部陸棚に約90%、外側陸棚の済州島 (Cheju Is.) 南部に約4%弱、約7%が陸棚を越えると思われている。なお、黄河流域は、第1図のように単位面積当りの河川流量が少ないにもかかわらず、第2図のように高い土砂生産量を示している。これは約2,000年前に始まった黄土地帯の農耕利用によるものと推定され、それ以前には黄河は大河と呼ばれていた (Milliman et al., 1987)。

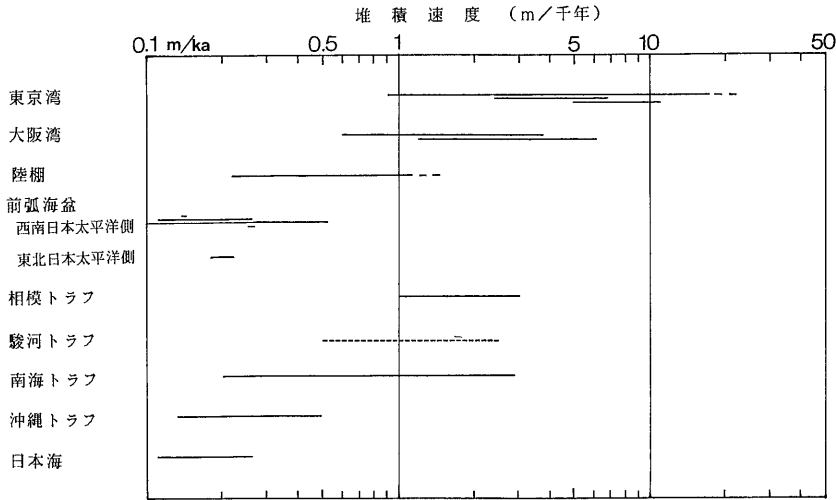
4. 日本周辺海域の堆積速度

日本の河川から供給された碎屑物や沿岸侵食によって生産された碎屑物は、主に周辺の海域である、河口部の三角州、瀉などの沿岸域や、陸棚域、陸棚斜面、前弧海盆、トラフ、海溝、縁海などに堆積している。川からもたらされた物質は、これらの周辺海域を一様に覆っているわけではない。海底で安定した、また堆積し易い場所に選択的に堆積している。場所によっては流れによって海底で侵食が起きているところや、また供給量と再移動量がつりあって無堆積に近いところも多い。ここでは、海底から採取された柱状試料を用いて鉛210法、炭素14法、年代のわかっている火山灰層 (テフラ)、音波探査などによって求められた主要な堆積場の堆積速度について述べる。



第4図 黄海、東シナ海における完新統の等層厚線図 (Milliman et al., 1987)。陸棚のデータはボーリング資料と年代値に、海域のデータは音波探査、柱状試料とその年代値などによる。

第5図は、主な堆積場ごとの堆積速度を対数目盛りで示した図である。内湾沿岸域では、堆積速度は数mから十数m/千年で最も大きい値を示す。沿岸域を除くと、相模トラフ、駿河トラフ、南海トラフは他の海域に比べて堆積速度が比較的大きい。相模トラフ、駿河トラフでは陸棚が狭く、河川から供給された多くの碎屑物は浅海域に堆積せず、海底谷などを通じてより深い海底へもたらされていると考えられている。相模トラフ、駿河トラフ、南海トラフで堆積速度が大きいのはそのためであろう。これらの堆積場を除けば、



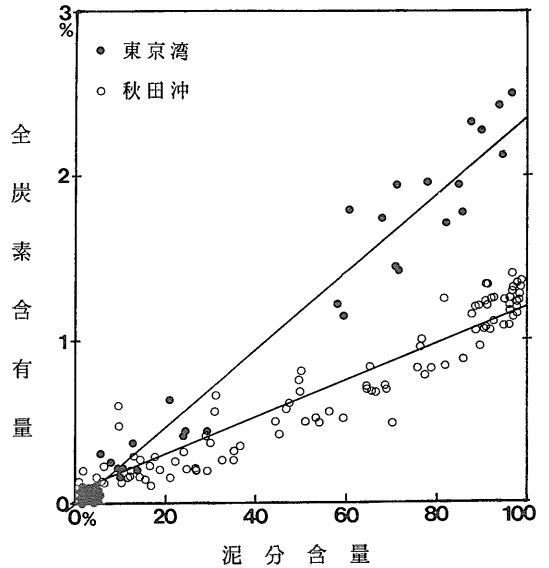
第5図(左)
日本周辺海域の堆積速度。
各海域のデータは、年代既知のテフラ、鉛210法、炭素14法などによって求められたデータ等をもとに作成。

沿岸域から陸棚域、そしてより沖合の前弧海盆や日本海へと、堆積速度は十数 m/千年から十数 cm/千年と減少している。ある河川から供給されたような碎屑物が、各堆積場にどの程度の割合で堆積しているかは、残念ながら日本周辺海域ではまとまったデータはない。

5. 海域堆積物の有機物含有量

堆積物に含まれる炭素や窒素などの有機物の含有量は、炭酸塩を多く含む堆積物などを除けば、日本周辺海域では一般的に泥分含量と正の相関がある。泥っぽい堆積物の方が有機物を多く含んでいる。言い替えば堆積物中の有機物は、泥とほとんど同じ様な挙動をしているといえる。二つの堆積物の含有量を比較するとき、単純にその含有量だけではなく、泥分含量を考慮して比較すれば、堆積物の性質をより正確に示すことができる。また、堆積物に含まれる有機物の量は、泥分含量だけではなく、各海域の特性にも依存している。第6図は、東京湾木更津沖の干潟から水深十数mの浅海域から採取した試料と秋田沖の陸棚から採取した試料の全炭素の含有量と泥分含量の相関を示している。各海域での相関係数は、木更津沖が0.989、秋田沖が0.909であり、それぞれ炭素含有量と泥分含量の相関はよい。木更津沖の堆積物の全炭素含有量の平均値は0.76%、秋田沖は0.58%であり、前者の堆積物の方が約30%ほど多い。ただしこれらの平均値は単純に加算平均されたもので泥分含量の補正はされていない。一方、第6図中の2本の回帰線から明らかのように、ある泥分含量における全炭素の量を比べると、木更津沖の堆積物の方が約2倍、多く含んでいることがわかる。平均値の比較で約30%しか含有量が多くでなかったのは、木更津沖の試料には炭素含有量の少ない砂質

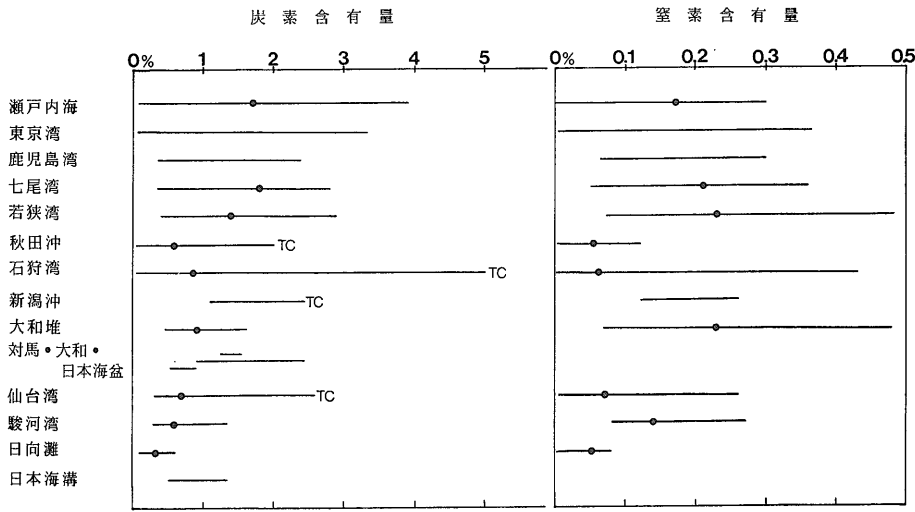
第6図(下)
東京湾木更津沖の浅海堆積物と秋田沖の陸棚堆積物の泥分含量と全炭素含有量の関係。全窒素の含有量でもほぼ同様の相関が認められる。



の堆積物が多かったためである(第6図参照)。

さて、日本周辺海域の堆積物の有機物の含有量はどの程度だろうか。第7図に日本周辺海域の堆積物の炭素(全炭素TCまたは有機炭素)、全窒素含有量を示す。内湾域や陸棚域で含有量はやや多く、炭素で0.5-2.5%の値を示すところが多い。またより沖合の日本海の内海盆や太平洋側のトラフや海溝では多くは0.3-1.5%の値を示している。

図には示していないがこれらの堆積物の炭素窒素比(C/N比)は、おおよそ内湾から陸棚の堆積物では4-15、沖合の堆積物では3-8の値を示している。前者の方が値が大きいのは、一般に炭素中に陸起源物質の炭素が含まれる場合 C/N比は大きくなるが、海洋で生産されるプランクトン等が多くなると C/N比は5前後の小さい値



第7図
日本周辺海域の堆積物に含まれる炭素と窒素の含有量。TCは全炭素含有量を示し、それ以外は有機炭素含有量を示す。横線上の●印は平均値を示す。

をとるためであろう。

次に日本周辺海域で堆積している炭素の総量はどの程度だろうか。日本周辺海域での堆積速度分布や堆積総量についてのデータは、周辺海域全体を議論するほどにはないので、ここでは河川から供給される碎屑物の量と海域での炭素含有量をもとに推定してみよう。既に河川からの土砂供給量について述べたように、日本の河川が海域へ運搬する総量は年間に約 $1 \times 10^9 \text{ m}^3$ と見積ることができる。堆積物の密度を 1.3 t/m^3 、海域に堆積した堆積物の炭素含有量を1%とすると、日本周辺海域で堆積している炭素の総量は、年間 $1 \times 10^9 \text{ m}^3 \times 1.3 \text{ t/m}^3 \times 1\% \text{ C} = 1.3 \times 10^6 \text{ t C}$ となる。この量は、日本から1年間に大気中に放出される二酸化炭素の量（3億トンC）の、約0.4-0.5%にしかすぎない。

6. おわりに

海域における物質循環研究では、炭素循環の生物地球化学的な面が特に重要視されている。しかし、日本周辺だけをみても、河川から供給される碎屑物（粒子状物質）、溶存物質に関するデータは、基礎的なかつ重要なデータであるにもかかわらず、非常に少ない。この解決のためにはさらに多面的なアプローチが必要となってくるであろう。特に沿岸域の問題については、IGBP（地球圏-生物圏国際協同研究計画）の中で LOICZ（Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone: 沿岸域における陸と海の相互作用研究計画）が1993年より開始される。この計画では、人為的な影響による自然環境の変化が特に重視されている。陸域から海域に供給される物質は、そのほとんどが質、量ともに人為的な影響を受けており、それによって海域もまたその影響下にある。栄養塩の増加、ダムの堆

砂による土砂供給量の減少など問題は多い。科学技術庁では科学技術振興調整費総合研究によって平成4年度から「縁辺海における物質循環機構の解明に関する国際共同研究」をJGOFS（世界海洋フラックス研究計画）、LOICZと密接に関連して、東シナ海を中心とした海域を対象に実施する。地質調査所でも、地質学的な（堆積学的な）見地からこの研究計画に参加し、研究を行う予定である。

引用文献

- 芦田和男・高橋 保・道上正規（1983）：河川の土砂災害と対策—流砂・土石流・ダム堆砂・河床変動—。森北出版，防災シリーズ5，260p。
- 石原藤次郎（1975）：土砂の流送・運搬に伴う自然環境変化に関する研究。文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果，A-50-9，117p。
- Milliman, J.D. (1991): Flux and fate of fluvial sediment and water in coastal seas. In Mantoura, R.F.C., Martin, J.-M. and Wollast, R., eds., Ocean Margin Processes in Global Change, John Wiley and Sons Ltd., 69-89.
- Milliman, J.D. and Meade, R.H. (1983): World-wide delivery of river sediment to the oceans. J. Geol., 91, 1-21.
- Milliman, J.D., Qin, Y.-S., Ren, M.-E. and Saito, Y. (1987): Man's influence on the erosion and transport of sediment by Asian rivers: The Yellow river (Huanghe) example. J. Geol., 95, 751-762.
- 須賀堯三・島貫 徹・徳永敏朗（1976）：全国河川上流部の流出土砂量。土木技術資料，18，59-64。
- 鈴木徳行（1986）：ダム堆砂に関する排砂対策について。ダム技術，4(2)，19-30。
- Yoshikawa, T. (1974): Denudation and tectonic movement in contemporary Japan. Bull. Dept. Geogr., Univ. of Tokyo, 6, 1-14.

SAITO Yoshiaki and IKEHARA Ken (1992): Sediment discharge of Japanese rivers, and sedimentation rate and carbon content of marine sediments around the Japanese Islands.

<受付：1992年2月7日>