

東シナ海における陸源堆積物の収支と輸送過程

片山 肇¹⁾

1. はじめに

黄海・渤海^{ぼっかい}を含む広義の東シナ海には、黄河と長江(揚子江)の2つの大河川が流入し、世界の河川から供給される浮遊堆積物の約1割がこの海域にもたらされている(Milliman and Meade, 1983; Milliman and Syvitski, 1992). 東シナ海陸棚と外洋(太平洋)との間には沖縄トラフの凹みと琉球弧の高まりがあり、陸棚を越えて輸送される堆積物の多くは沖縄トラフに堆積していると推定される。陸棚から沖縄トラフへ輸送される陸源堆積物の輸送量や輸送過程、供給源についての研究は、沖縄周辺海域における海洋地質学的研究の重要なテーマの一つである。

東シナ海の陸源堆積物の収支については、斎藤らによって中国国内誌の論文データを含めて、よくまとめられている(斎藤・楊, 1993; 1994; 斎藤ほか, 1994; 斎藤, 1998)ので、本稿では、主にこれらをもとに、その後公表された資料も加えて堆積物収支について概観し、さらに陸棚から沖縄トラフへの輸送過程に関する最近の研究を紹介する。

2. 東シナ海の陸源堆積物の収支

2.1 陸源堆積物の供給源と供給量

広義の東シナ海に最も多量の堆積物を供給しているのは黄河である。黄河からの堆積物供給量は 1.1×10^9 トン/年と、世界の河川のうちで2番目に多い(Milliman and Meade, 1983)。現在黄河の河口は渤海にあり、堆積物の80-85%は河口沿岸域から渤海内に、15-20%が黄海に堆積しており、長江河口と済州島^{さいしゅう}を結んだラインより南の狭義の東シナ海に輸送されている量は、黄河からの供給量の1%以下の 0.1×10^8 トン/年以下に過ぎないと推定される(斎

藤・楊, 1994)。

東シナ海へ輸送される黄河系の堆積物としては、現在の黄河から供給される堆積物とは別に、旧黄河河口域の海岸浸食による供給もある。黄河は、1855年以前には山東半島の南の黄海に流入し、河口域に堆積物をためていた。旧黄河河口域の江蘇省^{こうそ}の海岸は現在は激しい海岸浸食を受けており、海域への堆積物の供給源となっている。この旧黄河河口域の侵食による堆積物と黄河から供給される堆積物を合わせて黄河系堆積物と呼ぶことにする。斎藤ほか(1994)によると、旧黄河河口域から海域への堆積物供給量は、海岸の侵食量から推定して年平均 5×10^8 トン/年と見積もられ、そのうち江蘇省沿岸域の堆積量 $1.8-3.6 \times 10^8$ トン/年と黄海中部の堆積量 1.3×10^8 トン/年を差し引いた $0.1-1.9 \times 10^8$ トン/年が狭義の東シナ海へ輸送されていると推定される。

東シナ海に流入するもう一つの大河川である長江からの供給量は、約 $4.6-4.8 \times 10^8$ トン/年と見積もられている(Milliman and Meade, 1983; 斎藤ほか, 1994)。長江よりも南の浙江省^{せつこう}および福建省^{ふっけん}の諸河川から東シナ海への堆積物供給量は、合計して $0.2-1.58 \times 10^8$ トン/年(斎藤ほか, 1994)と見積もり量のばらつきが大きい。

一方、東シナ海の堆積物収支において、台湾からの堆積物供給はこれまで重視されていなかったが、台湾全体からの浮遊堆積物供給量は $2.6-7.0 \times 10^8$ トン/年(Dadson *et al.*, 2003; Milliman and Kao, 2005; Deng *et al.*, 2006)と、長江からの堆積物供給量の半分から1.5倍程度に達する量が見積もられ、無視できない。それらの中には南シナ海や太平洋へ輸送されるものも含まれているが、台湾西岸から台湾海峡に流入する細粒堆積物の多くは、北向き台湾海流によって東シナ海に輸送されると推定される(Milliman

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: 東シナ海, 陸源堆積物, 堆積物収支, 輸送過程, 沖縄トラフ, 黄河, 長江, 台湾

第1表 東シナ海への堆積物供給量の見積りの例.

供給源	斎藤ほか(1994) (×10 ⁸ t/yr)	Deng <i>et al.</i> (2006) (×10 ⁸ t/yr)
黄河	< 0.1	< 0.2-1.6
長江	4.6-4.8	3.4-5.0
その他の浙江省・福建省の河川の合計	0.2-1.58	0.17
旧黄河河口域	0.1-1.9	1.0
台湾		2.6
黄砂	0.056-0.85	0.056
合計	5.1-9.2	9-10

and Kao, 2005). Deng *et al.* (2006)は台湾からの供給量 7.0×10^8 トン/年のうちの36%の約 2.6×10^8 トン/年が東シナ海陸棚上に輸送されていると見積もっている. この他に, 沖縄トラフに面した台湾北東部の河川から供給される $0.08-0.17 \times 10^8$ トン/年程度の堆積物が, 沖縄トラフ南西部に直接輸送されていると考えられる (Huh *et al.*, 2006).

それ以外の陸源物質の供給源として風成塵(黄砂)が挙げられる. Gao *et al.* (1992)は大気中の風成塵量の観測結果から, 狭義の東シナ海に供給される風成塵の総量を $0.056-0.85 \times 10^8$ トン/年と見積もっている.

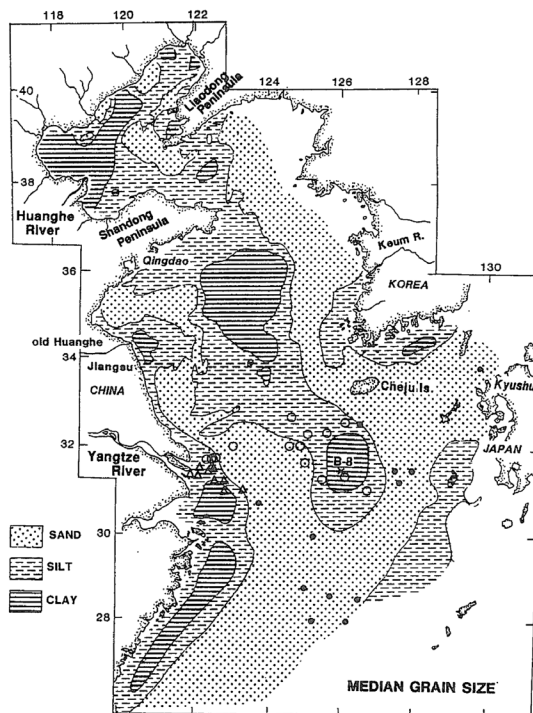
第1表に斎藤ほか(1994)およびDeng *et al.* (2006)による狭義の東シナ海への陸源堆積物の供給量の見積もりを示した.

2.2 堆積量

東シナ海の中中部から外側陸棚には砂質堆積物が広く分布しているが, これらの堆積物は最終氷期の低海水準期から海面上昇期に堆積したものと考えられている (Suk, 1989). 一方, 泥質堆積物は長江河口沖から沿岸に沿って南方に帯状に広がる分布と, 黄海中部から済州島の南に延びる分布が認められ(第1図), これらが現世堆積物と考えられる. 陸棚上では²¹⁰Pbや¹³⁷Csによって最近100年程度の堆積速度が多く の地点で求められ, 年平均堆積量が見積もられている.

済州島の南の堆積量は $0.2-0.6 \times 10^8$ トン/年 (DeMaster *et al.*, 1985; Alexander *et al.*, 1991; 斎藤, 1998)と見積もられている. この泥は黄河系の堆積物に特徴的なカルサイトを含有していることから, Milliman *et al.* (1985a)は黄河起源の堆積物とした. 斎藤

ほか(1994)は, 山東半島南方の水中三角洲底置面の堆積速度との比較から, 済州島の南の泥の堆積物のうち黄河から輸送される量は1割程度に過ぎず, 残りの約9割は江蘇省の旧黄河河口域から供給されていると推定した. 一方, Sr同位体比から, この海域への長江起源の堆積物の貢献度がかなりあるという指摘もあり(野原ほか, 1995, 1996), 数値実験でも長江の堆積物が済州島の南や黄海中央部まで輸送されることが示されている (Yanagi and Inoue, 1995). したが



第1図 東シナ海の堆積物分布. 斎藤ほか(1994)による.

って長江からもこの海域へ堆積物が供給されている可能性が高い。

長江からの堆積物について Milliman *et al.* (1985b) は、河口沿岸域に40%、河口沖の北緯30度以北の内側陸棚に30%が堆積しており、残りの30%が南方へ輸送されると推定した。また DeMaster *et al.* (1985) は、河口前面の内側陸棚に長江からの供給量の約40%の 2.0×10^8 トン/年が堆積しているの見積もった。南方沿岸域の堆積速度のデータはこれまで乏しかったが、近年この海域の堆積速度のデータが増加してきた(たとえば Huh and Su, 1999; Su and Huh, 2002 など)。それらのデータをまとめた Deng *et al.* (2006) による東シナ海全体の沿岸から内側陸棚の泥質堆積物の堆積量の見積もりは、 5.7×10^8 トン/年と長江からの供給量よりも大きい。長江以外の中小河川からの供給量あるいは旧黄河河口域から長江河口沖に輸送される量が従来の推定よりも多いか、台湾からの堆積物の一部がこの海域に輸送されているのかもしれない。一方、Liu *et al.* (2006) はチャープソナーを用いた高分解能音波探査によって長江河口沖から南方沿岸域にかけての泥の分布域全体の堆積量を見積もり、過去7,000年間の堆積物の総量を 1.7×10^{12} トン、年平均堆積量を 2.4×10^8 トン/年と見積もった。このうち約68%が北緯30度以北の河口域に、残りの32%がこれより南方の沿岸域に堆積している。7,000年前以降の年平均堆積量は現在の長江からの供給量の約半分に相当する。この値は、2,000年前以前には長江からの堆積物供給量は現在の半分程度であったとする Saito *et al.* (2001) の推定とよく一致する。また河口沖と南方沿岸域の堆積量の割合は、Milliman *et al.* (1985b) の推定とも整合している。

それでは陸棚を越えて沖合に輸送される堆積物量はどのように見積もられているのであろうか。従来の研究の多くは、東シナ海に供給されている堆積物の多くは陸棚上に堆積していると推定しているが、具体的な沖合への輸送量を示したデータは少ない。Deng *et al.* (2006) は、陸棚外縁付近における海底高濁度層の懸濁物濃度と流速の観測データから静穏時と暴浪時の沖合への平均的なフラックスを計算し、海底高濁度層の厚さを20m、陸棚外縁の延長を1,000km、暴浪の年平均日数を23日として陸棚全域から沖合への輸送量を 0.4×10^8 トン/年と見積もった。これは彼らの推定した東シナ海への堆積物供給量の約4%に相

当する。しかしこの見積もりは少ないデータからの大胆な計算であり、あまり信頼性が高いとは言えない。

沖縄トラフ内では多くの堆積物試料で ^{14}C 法による年代が求められている(Ujiie and Ujiie, 1999; Xu and Oda, 1999; Jian *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2001; Ijiri *et al.*, 2005 など)。それらから計算される過去数百~数千年間の平均堆積速度は2-100cm/kyと場所によって大きな違いがある。斎藤・楊(1993)は沖縄トラフの平均堆積速度を20cm/kyとしてトラフ全体の堆積量を 0.2×10^8 トン/年と概算した。しかし、4章で述べるように東シナ海への堆積物供給量は完新世の間でも大きく変わったと考えられるため、東シナ海の堆積物収支計算のためには陸棚上と同じ100年程度の時間スケールの堆積速度分布データを用いる必要があるが、この時間スケールの堆積速度のデータは十分ではない。Oguri *et al.* (2003) は東シナ海中部における陸棚から沖縄トラフ底に至る試料の ^{210}Pb による堆積速度を求め、陸棚斜面で $0.11\text{--}0.14\text{g/cm}^2/\text{yr}$ 、トラフ底で $0.05\text{g/cm}^2/\text{yr}$ 前後と、斜面からトラフ底に向かって堆積速度が小さくなることを示した。一方、台湾に接する沖縄トラフ南西端部では、 ^{210}Pb や ^{137}Cs を用いた堆積速度が比較的多数の地点で求められている。この海域の堆積速度は平均 $0.25\text{g/cm}^2/\text{yr}$ とトラフ中部よりも大きく、沖縄トラフの水深1,000m以深の面積の8%に相当する範囲の堆積量は 0.14×10^8 トン/年と見積もられている(Huh *et al.*, 2006)。この堆積量は台湾北東部の河川から沖縄トラフへ直接供給されている量にほぼ見合っているが、台湾全体から東シナ海への推定供給量よりはかなり小さく、台湾起源の堆積物はより広範囲に拡散している可能性がある。

3. 陸棚から沖縄トラフへの堆積物輸送過程

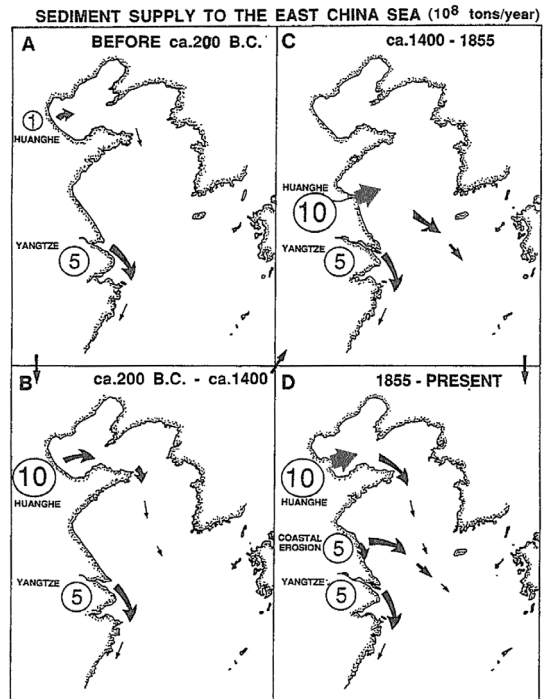
陸棚から沖縄トラフへの堆積物輸送プロセスの研究では、Iseki *et al.* (2003) が陸棚および沖縄トラフ中部に設置したセディメントトラップ試料の分析結果から、一般に沖縄トラフへの粒子フラックスは秋から春にかけて大きく夏に小さくなること、この一般的な季節変動とは無関係に短期的にフラックスが急増することがあること、海底から約200mおよび400m上のフラックスに比べ海底直上のフラックスが常に大きいことから底層付近を経由した側方輸送が重要であることを示した。Honda *et al.* (2000) も同様のフラックスの

季節変動を報告している。また岡村ほか(1997)は東シナ海中部から北部の陸棚外縁付近の10測線で春季に海水中の濁度の分布を観測し、地域的な違いがかなりあること、1週間程度の間には濁度は大きく変化していることを示した。長江の河川流量および堆積物輸送量は夏季に大きくなる(Zhang *et al.*, 2005)が、河口沖に一度堆積した堆積物の9割が冬季の暴浪時に再移動していると考えられている(McKee *et al.*, 1983; Milliman *et al.*, 1985b)。陸棚から沖繩トラフへの堆積物輸送は、河川からの堆積物供給時期とは関係なく、陸棚上の季節的な海洋環境変化や短期的な暴浪によって海底堆積物が再懸濁し、底層付近を經由して陸棚斜面からトラフへと輸送されていると考えられる(Iseki *et al.*, 2003)。一方、台湾に接するトラフ南西端における粒子フラックスは、台湾の河川の堆積物供給量の変動によく対応して変動しているという報告もある(Hsu *et al.*, 2006)。

東シナ海北部の陸棚斜面にはあまり海底谷は見られないが、南部には斜面を刻む多くの海底谷が発達しており、陸棚からトラフへの堆積物輸送に海底谷が重要な役割を果たしていると考えられる。Chung and Hung (2000)は沖繩トラフ南西部斜面域の海底谷内外に設置したセディメントトラップによって、陸棚からトラフへは主に海底谷を經由して粒子が輸送されていることを示した。

また、沖繩トラフ南西端部のコア中に挟在するタービダイトと台湾近海で発生した地震との対応を検討した研究もある(Huh *et al.*, 2006)。さらに陸棚斜面から斜面基部にはスランプや土石流堆積物の存在も報告されており(Liu *et al.*, 2005)、トラフへの堆積物輸送に大きな役割を果たしている可能性があるが、その分布や堆積時期の検討は十分に行われていない。

東シナ海陸棚上に分布する堆積物の供給源については鉱物組成や化学組成を用いて多くの研究が行われ、黄河系・長江系あるいは朝鮮半島系の堆積物を識別する多くの指標が提示されている(Yang *et al.*, 2003)が、台湾起源の堆積物の識別指標はこれまで報告されていない。Katayama and Watanabe (2003)は沖繩トラフへ輸送される粒子における黄河系と長江系の相対的な貢献度が季節的に変化していることを示したが、各供給源からの貢献度がどの程度であるか、またトラフ内の地域的な違いについて検討した研究はあまりなく、今後の研究が待たれる。



第2図 東シナ海への堆積物供給量の変遷。斎藤ほか(1994)による。

4. 堆積物供給量と堆積量の時間変化

前章までは、現在の河川からの供給量・地形および海洋環境下における堆積物収支と輸送過程を概観したが、過去の状況はそれとは大きく異なっていたと考えられる。

黄河や長江からの堆積物供給量は完新世の間にも大きく変化したと考えられている。斎藤ほか(1994)は黄河系堆積物の供給量の変化を大きく4つの期間に分けて示した(第2図)。現在黄河から東シナ海へ輸送される堆積物量は、旧黄河河口域の海岸浸食によって供給される量に比べてかなり少なく、済州島南の泥の分布域では堆積物の1/10程度と推定されている(第2図(D))。西暦約1400年頃から1855年までの期間は、黄河は山東半島の南の黄海に流入していた。デルタの堆積量を差し引いたこの時期の黄河から黄海・東シナ海への堆積物輸送量は、現在の旧黄河河口域からの輸送量の2-4倍にもなっていたと推定される(第2図(C))。西暦約1400年よりも前には現在と同様に黄河は渤海に流入していたが、当時は江

蘇省の海岸浸食はほとんどなかったため、東シナ海への黄河系堆積物の輸送量は現在の1/10程度であった(第2図(B)). さらに約2,000年前以前は黄河の堆積物供給量自体が現在の1/10程度であり、東シナ海へ輸送される堆積物量は(B)の時期のさらに1/10、現在の1/100程度であったと推定される(第2図(A)). 一方、長江の堆積物供給量についてもデルタの前進速度の変化から、2,000年前以前には現在の半分程度の 2.4×10^8 トン/年と推定される(Saito *et al.*, 2001). 黄河や長江の堆積物供給量が約2,000年前以降に大きく増加した理由は、主に流域の開発等の人為的影響によると推定されている(Saito *et al.*, 2001).

また、広大な陸棚を持つ東シナ海では、氷河性の海水準変動によって黄河や長江の河口の位置は大きく移動し、それに伴って沖繩トラフへの堆積物輸送量も大きく変化したと考えられる。沖繩トラフ中部や南部では最終氷期最盛期や完新世よりも海面上昇期に堆積速度が数倍大きかったことが示されている(Xu and Oda, 1999; Wei *et al.*, 2005). Oguri *et al.* (2000) は有機炭素の同位体比の検討から、海面上昇期には陸棚堆積物が再移動することにより沖繩トラフへの輸送量が増大したと推定した。この時期の陸棚上の潮流が非常に強くなっていたというシミュレーション結果(Uehara and Saito, 2003)もこれを支持している。一方、沖繩トラフ北部で採取された柱状試料では、最終氷期最盛期から完新世までの堆積速度の変化はそれほど顕著ではない(Ijiri *et al.*, 2005)。このような沖繩トラフの堆積速度の時間変化や場所による違いを明らかにし、その原因を検討することも、この海域の堆積作用・物質循環の研究に大きく貢献すると考えられる。

5. まとめ

東シナ海には大量の陸源堆積物が供給されている。その多くは陸棚上に堆積しており沖繩トラフへ輸送される量は少ないと考えられているが、陸棚を越えて沖合へ輸送される量の見積もりは十分に行われておらず、沖繩トラフ全体の堆積量の見積もりが必要である。東シナ海への堆積物の供給源としては黄河と長江に加え、これまで重視されていなかった台湾からの供給も無視できない。沖繩トラフへの輸送量や供給源およびそれらの時間的な変化を解明するこ

とは、東シナ海全体の堆積物収支や輸送過程を考える上でも重要である。

謝辞: 地質情報研究部門の斎藤文紀、井上卓彦の両氏には多くの文献を教えていただいた。

文 献

- Alexander, C. R., DeMaster, D. J. and Nittrouer, C. A. (1991) : Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 98, 51-72.
- Chung, Y.-C. and Hung, G.-W. (2000) : Particulate fluxes and transports on the slope between the southern East China sea and the South Okinawa Trough. *Cont. Shelf Res.*, 20, 571-597.
- Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W. B., Hsleh, M.-L., Willett, S. D., Hu, J.-C., Horng, M.-J., Chen, M.-C., Stark, C. P., Lague, D. and Lin, J.-C. (2003) : Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature*, 426, 648-651.
- DeMaster, D. J., McKee, B. A., Nittrouer, C. A., Qian, J. and Cheng, G. (1985) : Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 4, 143-158.
- Deng, B., Zhang, J. and Wu, Y. (2006) : Recent sediment accumulation and carbon burial in the East China Sea. *Glob. Biogeochem. Cycles*, 20, GB3014, doi:10.1029/2005GB002559, 1-12.
- Gao, Y., Arimoto, R., Duce, R. A., Lee, D. S. and Zhou, M. Y. (1992) : Input of Atmospheric trace elements and mineral matter to the Yellow Sea during the spring of a low-dust year. *Jour. Geophys. Res.*, 97, 3767-3777.
- Honda, M., Kusakabe, M., Nakabayashi, S. and Katagiri, M. (2000) : Radiocarbon of sediment trap samples from the Okinawa Trough: lateral transport of ^{14}C -poor sediment from the continental slope. *Mar. Chem.*, 68, 231-247.
- Huh, C.-A. and Su, C.-C. (1999) : Sedimentation dynamics in the East China Sea elucidated from ^{210}Pb , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$. *Mar. Geol.*, 160, 183-196.
- Huh, C.-A., Su, C.-C., Wang, C.-H., Lee, S.-Y. and Lin, I.-T. (2006) : Sedimentation in the Southern Okinawa Trough - Rates, turbidites and a sediment budget. *Mar. Geol.*, 231, 129-139.
- Hsu, S.-H., Kao, S.-J. and Jeng, W.-L. (2006) : Quantitative links between fluvial sediment discharge, trapped terrigenous flux and sediment accumulation, and implications for temporal and spatial distributions of sediment fluxes. *Deep-Sea Res. I*, 53, 241-252.
- Ijiri, A., Wang, L., Oba, T., Kawahata, H., Huang, C.-Y. and Huang, C.-Y. (2005) : Paleoenvironmental changes in the northern area of the East China Sea during the past 42,000 years. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 219, 239-261.
- Iseki, K., Okamura, K. and Kiyomoto, Y. (2003) : Seasonality and composition of downward particulate fluxes at the continental shelf and Okinawa Trough in the East China Sea. *Deep-Sea Res. II*, 50, 457-473.
- Jian, Z., Wang, P., Saito, Y., Wang, J., Pflaumann, U., Oba, T. and Cheng, X. (2000) : Holocene variability of the Kuroshio Current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. *Earth Planet. Sci., Lett.*, 184, 305-319.

- Katayama, H. and Watanabe, Y. (2003) : The Huanghe and Changjiang contribution to seasonal variability in terrigenous particulate load to the Okinawa Trough. *Deep-Sea Res. II*, 50, 475-485.
- Li, T., Liu, Z., Hall, M. A., Berne, S., Saito, Y., Chang, S. and Cheng, Z. (2001) : Heinrich event imprints in the Okinawa Trough: evidence from oxygen isotope and planktonic foraminifera. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 176, 133-146.
- Liu, B.-H., Li, X.-S., Zhao, Y.-X., Zheng, Y.-P. and Wu, J.-L. (2005) : Debris transport on the western continental slope of the Okinawa Trough: slumping and gravity flowing. *Oceanol. Limnol. Sinica*, 36, 1-9.
- Liu, J. P., Xu, K. H., Li, A. C., Milliman, J. D., Velozzi, D. M., Xiao, S. B. and Yang, Z. S. (2006) : Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea. *Geomorphology*, doi:10.1016/j.geomorph.2006.03.023.
- McKee, B. A., Nittrouer, C. A. and DeMaster, D. J. (1983) : Concepts of sediment deposition and accumulation applied to the continental shelf near the mouth of the Yangtze River. *Geology*, 11, 631-633.
- Milliman, J. D., Beardsley, R. C., Yang, Z.-S. and Limeburner, R. (1985a) : Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms. *Cont. Shelf Res.*, 4, 175-188.
- Milliman, J. D. and Kao, S.-J. (2005) : Hyperpycnal discharge of fluvial sediment to the ocean: impact of super-typhoon Herb (1996) on Taiwanese rivers. *Jour. Geol.*, 113, 503-516.
- Milliman, J. D. and Meade, R. H. (1983) : World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Jour. Geol.*, 91, 1-21.
- Milliman, J. D., Shen, H.-T., Yang, Z.-S. and Meade, R. H. (1985b) : Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 4, 37-45.
- Milliman, J. D. and Syvitski, J. P. M. (1992) : Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *Jour. Geol.*, 100, 525-544.
- 野原昌人・児玉幸雄・土器屋由紀子・大山準一 (1995) : 黄海・東シナ海堆積物の起源: Sr同位体比からの証拠. *地質雑*, 101, 739-742.
- 野原昌人・横田節哉・斎藤文紀 (1996) : 黄河・揚子江堆積物の化学組成・同位体比. *日本地球化学会年会講演要旨集*, 227.
- Oguri, K., Matsumoto, E., Saito, Y., Honda, M. C., Harada, N. and Kusakabe, M. (2000) : Evidence for the offshore transport of terrestrial organic matter due to the rise of sea level: The case of the East China Sea continental shelf. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 3893-3896.
- Oguri, K., Matsumoto, E., Yamada, M., Saito, Y. and Iseki, K. (2003) : Sediment accumulation rates and budgets of depositing particles of the East China Sea. *Deep-Sea Res. II*, 50, 513-528.
- 岡村和麿・井関和夫・清本容子・星加 章・谷本照巳 (1997) : 春季の東シナ海陸棚縁部における広域濁度分布. *海の研究*, 6, 361-369.
- 斎藤文紀 (1998) : 東シナ海の堆積環境と堆積物収支. *沿岸海洋研究*, 36, 43-58.
- 斎藤文紀・池原 研・片山 肇・松本英二・楊 作升 (1994) : 東シナ海陸棚堆積物に記録された黄河の河道変遷と人為的影響. *地質ニュース*, no.476, 8-16.
- 斎藤文紀・楊 作升 (1993) : 東シナ海の堆積物収支. 第3回環境地質学シンポジウム. 日本地質学会環境地質研究委員会, 123-128.
- 斎藤文紀・楊 作升 (1994) : 黄河: 河川流量, 浮遊堆積物運搬量と堆積物収支. *堆積学研究*, no.40, 7-17.
- Saito, Y., Yang, Z. and Hori, K. (2001) : The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: a review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene. *Geomorphology*, 41, 219-231.
- Su, C.-C. and Huh, C.-A. (2002) : ^{210}Pb , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$ in East China Sea sediments: sources, pathways and budgets of sediments and radionuclides. *Mar. Geol.*, 183, 163-178.
- Suk, B.-K. (1989) : Sedimentology and history of sea level changes in the East China Sea and adjacent seas. In: Taira, A. and Masuda, F., eds., *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, Terra Sci. Pub., Tokyo, 215-231.
- Uehara, K. and Saito, Y. (2003) : Late Quaternary evolution of the Yellow/East China Sea tidal regime and its impacts on sediments dispersal and seafloor morphology. *Sediment. Geol.*, 162, 25-38.
- Ujiie, H. and Ujiie, Y. (1999) : Late Quaternary course changes of the Kuroshio Current in the Ryukyu Arc region, northwestern Pacific Ocean. *Mar. Micropaleontol.*, 37, 23-40.
- Wei, K.-Y., Mii, H.-S. and Huang, C.-Y. (2005) : Age model and oxygen isotope stratigraphy of site ODP1202 in the southern Okinawa Trough, northwestern Pacific. *TAO*, 16, 1-17.
- Xu, X. and Oda, M. (1999) : Surface-water evolution of the eastern East China Sea during the last 36,000 years. *Mar. Geol.*, 156, 285-304.
- Yanagi, T. and Inoue, K. (1995) : A numerical experiment on the sedimentation processes in the Yellow Sea and the East China Sea. *Jour. Oceanogr.*, 51, 537-552.
- Yang, S. Y., Jung, H. S., Lim, D. I. and Li, C. X. (2003) : A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth-Sci. Rev.*, 63, 93-120.
- Zhang, J., Xu, K., Qi, L., Yang, Y. and Watanabe, M. (2005) : Estimation of freshwater and material fluxes from the Yangtze River into the East China Sea by using TOPEX/Poseidon altimeter data. *Hydrol. Process.*, 19, 3683-3698.

KATAYAMA Hajime (2007) : Budget and transport process of terrigenous sediments in the East China Sea.

<受付: 2007年2月14日>