

D-1 陸域由来の環境負荷変動に対する東シナ海の物質循環応答に関する研究

(2) 東シナ海陸棚域の堆積物による過去50年間の長江經由土砂供給量の長期変動に関する研究

独立行政法人産業技術総合研究所

地質情報研究部門 沿岸都市地質研究グループ 斎藤文紀

深部地質環境研究センター 地下環境機能チーム 金井 豊

長崎大学 水産学部沿岸環境学研究室 松岡数充

〈研究協力者〉 中国 中国海洋大学 楊 作升

華東師範大学 陳 中原

平成14～16年度合計予算額（予定） 31,006千円

（うち、平成16年度予算額 10,200千円）

〔要旨〕 河川の堆積物運搬量の変動が沿岸海域に与える影響を明らかにするため、黄河と長江において河川の土砂運搬量データ、海域の堆積物に記録された変動記録、海岸沿岸域の地形などの変動記録を総合的に解析することを試みた。

黄河では、ダムの堆砂や流域の水利用によって運搬土砂量が激減しており、1999年以降はデルタ全域で海岸線が後退する状況となっている。1976年以降の海岸線変化と運搬土砂量との関係から、年間運搬土砂量から2.5億トンを引きいた値が陸域の拡大速度とよい相関があることから、波浪による沿岸域における土砂の再移動量は年間2.5億トンと推量され、海岸線を維持するためには同量の土砂供給が最低必要であることがわかった。

長江では、長江デルタのデルタフロントとプロデルタの海域から採取した柱状堆積物について鉛210とセシウム137を用いて堆積速度の変化を検討した。水深14.5m、19.7m、26.8mから採取したコアの鉛210法による表層付近の堆積速度は、柱状試料試料の下部の堆積速度よりも小さく、またセシウム137法による堆積速度よりも小さかったことから、近年の堆積速度の減少が推定され、減少は沖合ほど明瞭であった。長江の河川から海域への土砂供給量は1980年代後半以降、顕著に減少しており、2000年には1960-1980年代の供給量の約6割にまで低下している。このことが堆積速度減少の原因と考えられ、特に沖合ほど減少が顕著であることは、沿岸域が潮汐卓越環境であることを反映していると考えられる。プロデルタ・内側陸棚から採取した柱状試料の堆積相も潮汐の影響を強く示しており、供給土砂の減少はより沖合の堆積作用に影響が出易いことが明らかとなった。また長江中流の宜昌と下流の大通における土砂運搬量にはよい相関があり、この関係から推定される三峡ダム建設後の海域への土砂量は、1960-1970年代の土砂量の約半分、三峡ダムの貯水直前よりも1-2割減少することが示された。

〔キーワード〕 長江、黄河、土砂量、沿岸浸食、ダム

1. はじめに

地球規模での河川から海域への土砂供給量はおよそ年間200億トンと推定されているが、近

年のダム建設等の人間活動によってその約3割が減少しているとされている。世界の半数以上のダムがアジアにおいて建設されており、アジアにおいては21世紀においても長江の三峡ダムやメコン流域など、多くのダムが建設または計画中である。ダム建設は、海域への土砂運搬量を大幅に減少させるため、海岸・沿岸における侵食や、粒子に付着している栄養塩の減少による海洋生物生産の減少等、マイナスの環境影響を与えることが多い。このため流域の開発と沿岸域の環境保全をいかにして調和的にまた持続的に行うかは、地球環境を保全する上で重要な課題となっている。

2. 研究目的

本研究は、2009年に運用が開始される長江三峡ダムの海岸沿岸域への影響評価に資することを目的としている。特にダム建設に伴う土砂の運搬量の減少による沿岸環境への影響評価と沿岸域の環境保全の観点から、保全のために必要な土砂量（閾値）や沿岸域の堆積環境への影響に焦点をあてる。アジアには、黄河、長江、紅河（ホン河）、メコン河、ガンジス河などの大河川が多く分布し、これらの大河川の流域は居住や農業生産にとって重要な場となっている。流域のダム建設は、流域に大きな影響を及ぼすとともに、沿岸海域へも多大な影響を与える。メコン河では、上流の中国において建設されたダムによって、海域へ運搬される土砂が約1割減少しており、紅河ではホアヒンダムの建設によって3-4割の土砂が減少しているとされている。また中国の黄河では、1950年代後半からのダム建設によって運搬土砂量は以前の10分の1以下にまで減少しており、沿岸侵食が顕在化している。このように多くの大河川がダムの問題を抱える中、東南アジアから東アジアにおいて最も大きな流域と水量をもつ長江で三峡ダムが建設されている。長江では、2009年からの三峡ダムの本格運用の前に、2003年からダムの貯水が始まっており、海域への運搬土砂量はすでに減少していると考えられる。長江では、三峡ダム以前にも、流域には4万を超えるダムが建設されており、運搬土砂量は過去20年の間に減少してきている。このためダム建設は現状を更に悪化させることが予想され、沿岸環境の保全のためにも、過去数十年間に起こった現象の正確な把握は、今後の予測と環境保全管理のためにも重要である。特に三峡ダムの建設による運搬土砂の減少は、回復するまでには百年を要すると見積もられており、数十年の時間スケールでの解析が必要である。以上の視点から、本研究では、黄河と長江を題材に、過去数十年間の運搬土砂量の変化と沿岸海域における応答に焦点をあてて研究を実施した。

3. 研究方法

中国においては河川の土砂運搬量等のデータは、1950年頃以降から取得されており、これらのデータと海岸沿岸域の古水深・古地形データ、沿岸海域から取得した堆積物に連続的に記録されたデータを解析することによって、過去50年間の土砂輸送量の変動とその海域への影響を評価することが可能である。長江では、すでに4万を超えるダム建設が行われているとされ、土砂供給量は1950-1980年代と比べて約6割にまで低下していることから、これらの減少が、海域から採取した堆積物試料にどのように記録されているのか、どのような影響が及んでいるかに焦点を当てて研究を行った。このため、長江沖のデルタフロントからプロデルタ域の6地点で堆積物柱状試料を採取し、これらの試料のうち、過去50年間の環境変動を記録していた3本

黄河については、海岸線の変化を追跡するため中国海洋大学と共同で衛星画像による解析を行った。また深淺測量による海底地形のデータを参考にした。

以上のような海域や現地のデータに加えて、黄河と長江の過去約50年間の河川データを総合解析に利用した。

4. 結果・考察

(1) 黄河における土砂減少の影響

黄河では、過去約40年間に大規模なダムが多数建設され、運搬土砂量は以前の10分の1程度にまで低下している。10年毎の土砂運搬量は、1950年代が13億トン/年、1960年代が11.7億トン/年、1970年代が8.8億トン/年、1980年代が6.6億トン/年、1990年代が2.9億トン/年と徐々に減少しており、1990年代の値は、1950年代の22%、1960年代の24%に過ぎない。1980年代までは流域の水利用の増加も顕著で、黄河の水資源の約6割が活用され、土砂の減少とともに流量も大きく減少している。懸濁物濃度は1998年までは、大きな減少は認められない。黄河においては、1990年代に入って断流（干上がり）が顕著に観測されるようになる。特に1997年は、年間226日間、最長で河口から約600kmにわたって断流が生じた。この断流の原因は明らかでないが、三門峡と利律（河口に一番近い観測点）の流量データを比較すると、1980年代まで見られた両データの相関が1990年代は無くなり、急激に利律での流量が減少している。つまり両観測点間で流量が減少し、これが断流につながっている。1998年まで大きな変化が無かった懸濁物濃度は、1999年に小浪底ダムの運用が始まって以降、利律では5分の1以下に激減し、運搬土砂量は、1億トン以下に減少した。1950-1960年代の10分の1以下である。1997年に顕著であった断流は、それ以降はダムの効果的な運用によって、ほぼ改善されている。

これらの変動に対して、海岸沿岸域ではどのような現象が見られただろうか。1976年に黄河デルタ内では大規模な河道の付け替えが行われた（図3）。北に向かっていた流路は、東に向けられ、それ以降、デルタは東側に成長するようになる。北側では土砂供給が無くなったことと、北からの卓越風による波浪によって沿岸侵食が顕著に見られるようになる。侵食量は、年間2-3億トンと見積もられており、沿岸侵食は現在も継続している。一方1976年以降、新しい河口部では、年間約20km²以上の速度で陸域を拡大してゆく。運搬土砂量は徐々に減少しているが、1998年までは、河口部においてはデルタは拡大している。1996年に新しい河口が開削されて以降は、旧河口において侵食と海岸線の後退が認められるが、新河口を含めた河口部全体では、拡大傾向にあった。それ以前の速度とほぼ同じである。しかし、1999年以降は、河口部においても海岸線の後退が認められるようになる。小浪底ダムの運用以降である。これによって、ほぼデルタ全域で侵食が卓越するようになった。黄河の土砂運搬量は黄土高原の森林伐採による人間活動によって、約千年前に以前の約10倍に急増したことが明らかになっているが（Hu et al., 1998）、おそらくそれ以降初めて大規模なデルタ河口の後退である。

1976年以降の黄河河口部におけるデルタの陸域面積と、利律の土砂運搬量の累積値とを比較すると興味深い関係がある。毎年の土砂運搬量から2.5億トンを引いた値と面積の増加が良い相関を示す。つまり、利律の土砂運搬量から2.5億トンを引いた値が海岸沿岸域に堆積し、陸域の拡大に寄与している量で、2.5億トンが河口部から沖合に再移動する土砂量（陸域の拡大に寄与しない量）と考えられる。つまり2.5億トンが黄河河口部の海岸線を維持するのに必要な土砂量

と考えられる。黄河デルタ全体を考えると、1976年以前の河口域である北部での沿岸侵食量の年間2-3億トン、現在の河口部における侵食量の2.5億トン、合わせて年間5億トンの土砂供給が維持のために必要である。



図3. 中国黄河デルタの衛星画像.

1976年以前の河口域（北側）では東への人工的な河道付替に伴い、供給土砂が激減し、大規模な沿岸侵食が起きている。1976年以降では、1999年に運用が開始された小浪底ダムによって、東側に位置する2つの河口でも侵食が卓越するようになり、デルタ全域で侵食が卓越している。

(2) 海域における堆積速度とその変化

デルタフロントからプロデルタ域

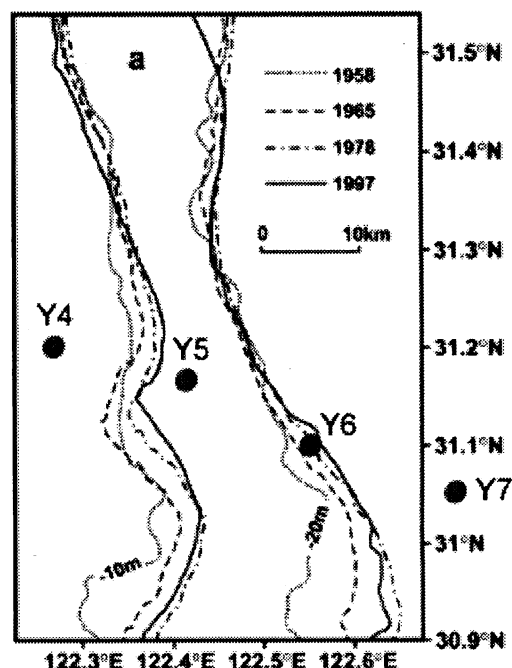
長江デルタの最も活発に堆積が行われているデルタフロントから採取した柱状試料の堆積速度データの一覧を表1に、詳細な地形図上の位置を図4に示す。鉛210法においてコア下部で以前の堆積速度が求まったコアについては、その値も示した。セシウム137法については、1963年の値のピーク以降の堆積速度の平均値として示した。

得られた堆積速度と、1958年から1997年間の海底地形図の変化から読みとれる堆積速度を比較すると、おおそよく似た値と傾向を示している。Y-5地点では、地形変化（1958-1997）からは、約1.6m（4.1cm/y）、セシウムの1963年のピーク以降では、1m以上（2.9cm/y以上）、同じくY-6地点では、地形変化は、約2.9m（7.4cm/y）、セシウムでは、1.5 m+-（2.4-4.5cm/y）となり、

ほぼ似た値となるが、地形変化の方が大きな値を示した。これらの違いは海底地形図の精度（特に1958年）やコアのショートニングの影響によるものであろう。

	表層部 (Pb-210)	過去40年の平均 (Cs137) (20-40年前: Pb210)
Y5 コア 水深 14.5m	2.0 cm/y	2.8-2.9 cm/y
Y6 コア 水深 19.7m	2.2 cm/y	3.5 (2.4-4.5) cm/y
Y7 コア 水深 26.8m	1.8 cm/y	4.3-6.6 cm/y (4.3 cm/y)

表 1 長江沖コアの過去40年間の堆積速度変化
図 4（右）長江デルタフロントの海底地形変化
(Yang et al., 2003 に試料採取点を加筆)



以上の得られたデータを堆積速度の変遷の観点からみると、表層部の過去約20年間の鉛210法による堆積速度は、セシウム137による過去40年間の平均と比べて、水深14.5mのY5地点で約7割、水深19.7mのY6地点で約6割、水深26.7mのY7地点で3-4割しかない。鉛210法によって柱状試料の下部で求められた値は、セシウム137による値に近い。以上から、明らかに表層部において堆積速度は減少しており、表層部の堆積物の方が水分を多く含むことを考えると、重量換算の堆積速度はこれ以上に減少している。また水深による違いを見ると、水深が増加するほど、つまり沖合ほど、堆積速度の減少が大きい。一般に、波浪卓越型の沿岸域では、営力は水深が浅いほど大きく、沖に向かって弱くなり、堆積物の移動方向は、沖向きであるのに対し、潮汐卓越型の沿岸域では、岸に向かって営力が弱まり、堆積物は岸方向に運搬される。波浪卓越型の底質分布が、岸から沖に粗粒から細粒に変化するのに対し、潮汐卓越型の沿岸域では、沖から岸に粗粒から細粒に変化する。岸向きの堆積物輸送は、上げ潮流の方が下げ潮流よりも大きくなることによるもので、この堆積物輸送は潮汐ポンプと呼ばれる。長江沿岸域は、典型的な潮汐卓越型の沿岸環境であり、次に述べるようにプロデルタから内側陸棚の海域でも潮汐起因の堆積様式が確認されている。堆積速度の減少が沖合ほど明瞭に現れたのは、長江沖が潮汐卓越の沿岸環境であるために、沖合ほど減少した堆積物供給の影響を受け易かったことが考えられ、今後予想されるダム建設による土砂の減少も沖合に顕著に影響が現れる可能性が大きい。

プロデルタから内側陸棚域

長江沖のプロデルタから内側陸棚域には、最終氷期の最盛期以降の海水準上昇期に形成され

たとされるリッジとトラフ地形が発達している。海進期に形成された潮汐起因のリッジ地形と考えられている。今回同地域から採取した堆積物試料の堆積構造（図5）と含まれる貝のC-14年代（図6）から、リッジ地形では現在も堆積が認められること、堆積物はシルトと粘土のリズミックな葉理で特徴づけられ、潮汐の影響を受けて堆積した可能性が大きいこと、過去数百年間の堆積が顕著で、過去約千年間の土砂供給の増加が推定されること、などが読みとれる。このことからリッジ地形は、放棄された地形ではなく、現在も形状を維持するほどに潮汐の影響を受けている可能性が大きいこと、陸域のボーリング試料の解析で示されているように過去千年から2千年間は流域の人間活動によって海域への運搬土砂量が増加した可能性が大きいこと（Saito et al., 2001）が考えられる。このことから、前項でも述べたように沿岸域から内側陸棚にかけて、広く潮汐卓越型の堆積環境が広がっていることが予想される。

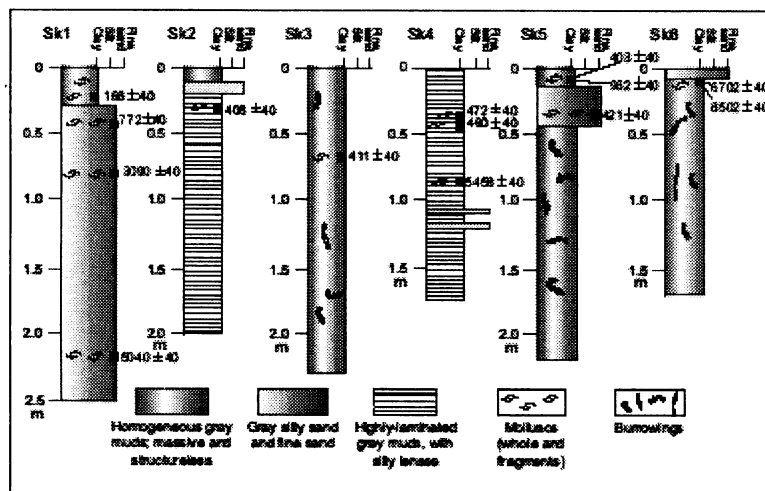


図5. プロデルタから内側陸棚域から採取した柱状試料（Wang et al., 2005）

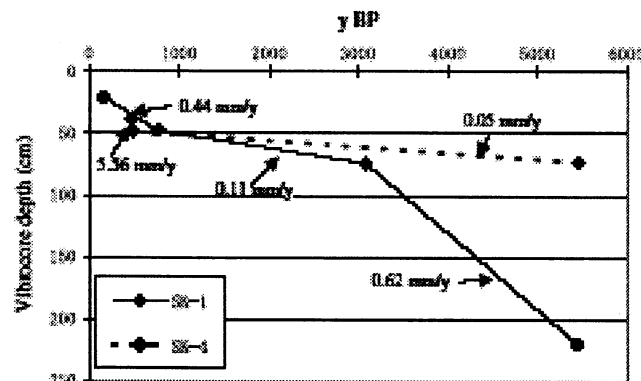


図6. プロデルタから内側陸棚域から採取した柱状試料の堆積速度変化（Wang et al., 2005より）

(3) 河川からの土砂供給量の減少と海域での堆積分布

長江の土砂運搬量は、河口に最も近い観測点の大通において1950-1970年代の平均値から4.8億トン/年とされてきた。しかし、過去50年間の変動を見てみると、図7に示したように、1980年代後半以降、顕著に土砂運搬量が減少している。同様な減少は、中流域の宜昌（Yichang）に

においても観測されていることから、長江上流域における土砂減少が主な原因と考えられる。長江では4万を超える小規模ダムがすでに建設されており、2003年から始まった三峡ダムの貯水前に、今まで報告されてきた以前の値の約6割の年間約3億トンにまで土砂運搬量は大きく減少している。

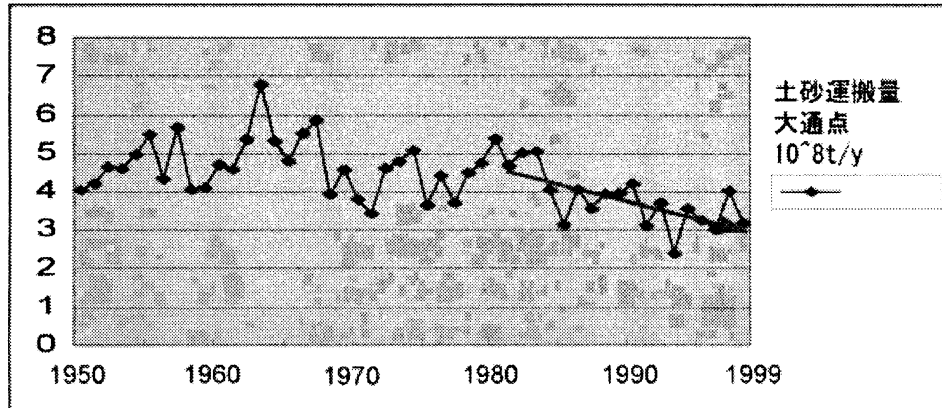


図7. 過去50年間における長江の土砂運搬量.

Yang et al. (2002)は、三峡ダム建設後の土砂運搬量の見積もりを行っているが、用いたデータが貯水直前のもので見積もられていないため、近年の土砂量の減少が正確に反映されていない。そこで、大通と宜昌における1986年から2000年までの土砂量の調べたところ図8のような良好な関係が得られた。2001年と2002年の数値もほぼ同様の関係があった。この関係式と、近年の宜昌における運搬量、三峡ダム建設で見積もられているダムから下流域への土砂放出率などを用いて、大通における土砂量を見積もると、約2.1-2.2億トンが得られた。これに三峡ダム下流域における河道からの侵食による土砂供給を追加すると、推定される運搬土砂量は、おおよそ年間2.5億トンと算定された。この値は、2003年の貯水開始直前の値よりも約2割弱少ない量である。

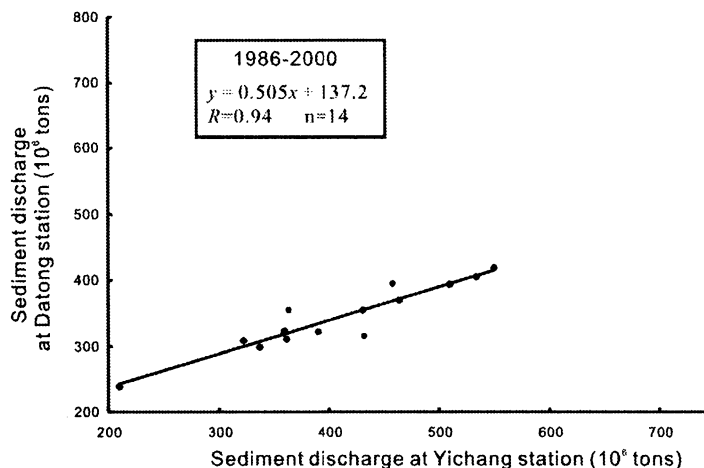


図8. 大通と宜昌における土砂運搬量の関係

これらの見積もりと海域での堆積様式を総合すると、三峡ダム建設後は、土砂運搬量は1960-1970年代の約半分まで減少し、海域での堆積量は沖合で特に大きく減少することが予想さ

れる。しかし、2003年の貯水開始直前のデータと比較すると約1-2割の減少となる。干潟域などへは、潮汐ポンプの影響で泥質堆積物についてはそれほど大きな減少には至らない可能性が大きい。しかし、この見積もりは浮遊堆積物量からの推定で、ベッドロードに関しては評価していない。ベッドロードについては、ダム建設は浮遊堆積物以上に大きな影響を与えることが予想され、加えて河道で行われている砂利採取や浚渫は、粗粒堆積物の欠如を助長する。干潟などにおいては、ベッドロードによる砂の供給が、その形成に大きな役割を担っており、特に、河口州や水深5-8mに分布している砂質堆積物帯が大きな影響を受けることが考えられる。

(4) 海産パリノモルフ解析結果

長江流域における人間活動の海洋への影響と長江沖の海洋環境変遷を明らかにするために、長江沖で採取された柱状試料中に含まれる海産パリノモルフ（渦鞭毛藻シスト、有孔虫ライニングなど）群集変化の分析を行った。試料は、図1のY-9地点の柱状試料を用いた。沿岸性堆積物中には様々な微化石が含まれており、とりわけ珪藻や渦鞭毛藻シスト、花粉・胞子が重要な構成要素である。その中でも渦鞭毛藻シストは休眠状態での細胞である一方で、ある種の渦鞭毛藻は有毒種や有害赤潮原因種でもある。また、渦鞭毛藻は単細胞原生物であり、一般的に独立栄養種群と従属栄養種群とに区分される。それぞれの種群は食物連鎖の初期段階に位置していることから、両種群の変遷をたどることによって、栄養塩類の挙動を推察することが可能である。

Y-9地点の柱状堆積物からは、花粉やシダ植物胞子とともに、海産パリノモルフである渦鞭毛藻シスト、小型有孔虫ライニング、コペポダ類休眠卵が検出された。

渦鞭毛藻シストは11属20種以上を確認した。出現量は堆積物1gあたり80-85cm層準での328個体から330-335層準での1062個体であった。シストは下部と中層部でやや多くなり、210-215, 230-235cm層準では672-772個体、330-335, 350-355cm層準では626-1062個体を数えた。全体を通して従属栄養性種が優占した。内訳はゴニオラックス類では*Spiniferites*属4種、*Lingulodinium* 属、*Operculodinium* 属、*Impagidinium* 属、*Tuberculodinium* 属、ギムノディニウム類では *Polykrikos* cf. *kofoidii*, *P. schwartzii*, *Pheopolykrikos hartmannii*, プロトペリディニウム類では*Brigantedinium*属3種以上、*Protoperidinium leonis*, *P. subinereme*, *P. claudicans*, *P. oblongum*, *Protoperidinium* sp. (*Trinovantedinium capitatum*) カルキオディネラ類では*Scrippsiella*属、ディプロプサリス類では*Diplopelta* cf. *parva*であった。これらのシストを栄養細胞期の栄養摂取様式の違いによって区分すると、独立栄養種群にはすべてのゴニオラックス類とギムノディニウム類の*Pheopolykrikos hartmannii*が、従属栄養種群にはすべてのプロトペリディニウム類とディプロプサリス類、ギムノディニウム類の*Polykrikos* cf. *kofoidii*, *P. schwartzii*が含まれていた。

ゴニオラックス類では分析したすべての試料で*Spiniferites bulloideus*が安定して産する。熱帯-亜熱帯沿岸性の*Tuberculodinium vancampoei*は330cm, 165cm, 125cm層準で多産する。プロトペリディニウム類ではほぼ全層準をとって褐色・球形の*Brigantedinium*属が卓越する。

今回分析した試料全体からは*Gymnodinium catenatum*や*Alexandrium catenella*, *A. tameses*などの麻痺性貝毒原因種は確認されなかった。

5. 本研究により得られた成果

河川の堆積物運搬量の変動が沿岸海域に与える影響を明らかにするため、黄河と長江において河川の土砂運搬量データ、海域の堆積物に記録された変動記録、海岸沿岸域の地形などの変動記録を総合的に解析することを試みた。

黄河では、ダムの堆砂や流域の水利用によって運搬土砂量が激減しており、1999年以降はデルタ全域で海岸線が後退する状況となっている。1976年以降の海岸線変化と運搬土砂量との関係から、年間運搬土砂量から2.5億トンを引いた値が陸域の拡大速度とよい相関があることから、波浪による沿岸域における土砂の再移動量は年間2.5億トンと推量され、海岸線を維持するためには同量の土砂供給が最低必要であることがわかった。

長江では、長江デルタのデルタフロントとプロデルタの海域から採取した柱状堆積物について鉛210とセシウム137を用いて堆積速度を比較した。水深14.5m, 19.7m, 26.8mから採取したコアの鉛210法による表層付近の堆積速度は、柱状試料試料の下部の堆積速度よりも小さく、またセシウム137法による堆積速度よりも小さかったことから、近年の堆積速度の減少が推定され、減少は沖合ほど明瞭であった。長江の河川から海域への土砂供給量は1980年代後半以降、顕著に減少しており、2000年には1960-1980年代の供給量の約6割にまで低下している。この土砂供給の減少が直接的な原因と考えられ、特に沖合ほど減少が顕著であることは、沿岸域が潮汐卓越環境であることを反映していると考えられる。プロデルタから内側陸棚の海域から採取した柱状試料の堆積相も潮汐の影響を強く示しており、供給土砂の減少はより沖合の堆積作用に影響が出易いことが明らかとなった。また長江中流の宜昌と下流の大通における土砂運搬量にはよい相関があり、この関係から推定される三峡ダム建設後の海域への土砂量は、1960-1970年代の土砂量の約半分、三峡ダムの貯水直前よりも1-2割減少することが示された。海域における細粒堆積物の分布については沖合での堆積速度の大幅な減少が予想され、海岸沿岸域ではベットロードの減少とその影響が懸念される。

6. 参考文献

- Chen, Z., Saito, Y., Kanai, Y., Wei, T., Li, L., Yao, H. (2004) Low concentration of heavy metals in the Yangtze estuarine sediments, China: a diluting setting Estuarine, Coastal and Shelf Science, 60, 91-100.
- Hu, D., Saito, Y. and Kempe, S., 1998, Sediment and nutrient transport to the coastal zone. In James N. Galloway and Jerry M. Melillo, eds, Asian Change in the Context of Global Climate Change: Impact of Natural and Anthropogenic Changes in Asia on Global Biogeochemical Cycles, Cambridge University Press, IGBP Book Series 3, p. 245-270.
- Matsuoka, K. and Fukuyo, Y., 2000. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC, 29p.
- Saito, Y., Yang, Z., 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.
- Wang, Z.H., Saito, Y., Hori, K., Kitamura, A., Chen, Z.Y. (2005) Yangtze offshore, China: highly laminated sediments from the transition zone between subaqueous delta and the

continental shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62, 161-168.

Yang, S.L., Zhao, Q.Y., Belkin, I.M., 2002. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of human activities. *J. Hydrology*, 263, 56-71.

Yang, S.L., Belkin, I.M., Belkina, A.I., Zhao, Q.Y., Zhu, J., Ding, P.X., 2003. Delta response to decline in sediment supply from Yangtze River: evidence of recent four decades and expectations for the next half-century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 689-699.

7. 国際共同研究等の状況

本研究は、黄河と長江の河川データについては中国海洋大学との共同研究として行われ、長江沖海域のコアについては華東師範大学との共同研究として行われた。成果は、IGBPのコアプロジェクトのLOICZ(海岸沿岸域における陸域と海域の相互作用の研究)における第1期(～2003年)の成果をとりまとめた単行本に研究成果の一部が掲載される予定(2005年出版)である。また、本研究の成果を踏まえて、APN(アジア太平洋ネットワーク)にMega-Deltas of Asiaを提案し(中国の共同研究者が代表者で、共同PIとして参画)採択され、2003-2004年度に同プログラムを共同推進した。またより広範囲にアジアの沿岸域と流域との問題を取りあげるため、ユネスコと国際地質科学連合が推進するIGCP(国際地質科学共同研究計画)に「モンスーンアジア太平洋地域のデルタ」を代表者として提案し、採択され、2003年度から5ケ年計画で推進している。これらの国際プロジェクトの年会を、2004年1月にタイ王国バンコクとアユタヤで開催し、17ケ国から約100名の参加があった。また2005年1月にベトナムホーチミン市で第2回会合を国際デルタ会議として開催し、22ケ国から103名の参加があった。これらの会合では、本研究で問題として取り扱ったダム建設による土砂輸送の減少と沿岸侵食等の問題が、アジアの各地域で顕在化しつつあることが報告された。これらのアジア各地のデルタにおける問題は、IPCCの第4次報告書の第2ワーキンググループ会合でも取り上げられ、アジアのデルタが共通課題として扱われることになり、同課題へのcontributing authorとして成果を報告している。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表(学術誌)

<論文(査読あり)>

- ① K. Uehara, Y. Saito, K. Hori: *Marine Geology*, 183, 179-192 (2002) "Paleotidal regime in the Changjiang (Yangtze) Estuary, the East China Sea, and the Yellow Sea at 6 ka and 10 ka estimated from a numerical model".
- ② K. Hori, Y. Saito, Q. Zhao, P. Wang: *Journal of Sedimentary Research*, 72, 884-897 (2002) "Evolution of the coastal depositional systems of the Changjiang (Yangtze) River in response to Late Pleistocene-Holocene sea-level changes".
- ③ K. Hori, Y. Saito, Q. Zhao, P. Wang: *Geo-Marine Letters*, 22, 127-132 (2002) "Control of incised-valley fill stacking patterns by accelerated and decelerated sea-level rise: Changjiang example during the last deglaciation".
- ④ H.Y. Lu, Z.X. Liu, N.Q. Wu, S. Berne, Y. Saito, B.Z. Liu, L. Wang: *Boreas*, 31, 378-385

- (2002) “Rice domestication and climate change: phytolith evidence from East China”,
- ⑤ Z. Yang, Y. Saito, B. Liu, J. Zhang, H. Wang: LOICZ Report & Studies no. 26, 118-121 (2002) “Decadal and millennial time-scale changes of water and sediment discharge of the Huanghe (Yellow River) caused by human activities”
 - ⑥ Y. Saito, Z. Chen, J. Li, H. Shen, K. Hori: LOICZ Report & Studies no. 26, 122-124 (2002) “Decadal and millennial time-scale changes of water and sediment discharge of the Changjiang (Yangtze River) caused by human activities”
 - ⑦ K. Oguri, E. Matsumoto, M. Yamada, Y. Saito, K. Iseki: Deep-Sea Research part II, 50, 513-528 (2003) “Sediment accumulation rates and budgets of depositing particles of the East China Sea”
 - ⑧ S. Yi, Y. Saito, H. Oshima, Y. Zhou, H. Wei: *Quaternary Science Reviews*, 22, 609-628 (2003) “Holocene environmental history inferred from pollen assemblages in the Huanghe (Yellow River) delta, China: climatic change and human impact”
 - ⑨ Yi, S., Saito, Y., Zhao, Q., Wang, P.: *Quaternary Science Reviews*, 22, 1501-1519 (2003) “Vegetation and climate changes in the Changjiang (Yangtze River) delta, China, during the past 13,000 years inferred from pollen records”
 - ⑩ 堀 和明, 斎藤文紀: 地学雑誌, 112, 337-359 (2003) 「大河川デルタの地形と堆積物」
 - ⑪ Chen, Z.Y., Saito, Y., Hori, K., Zhao, Y.W., Kitamura, A.: *Marine Geology*, 198, 245-257 (2003) “Early Holocene mud-ridge formation in the Yangtze offshore, China: a tidal-controlled estuarine pattern and sea-level implications. “
 - ⑫ Uehara, K., Saito, Y.: *Sedimentary Geology*, 162 (1-2), 25-38 (2003) “Late Quaternary evolution of the Yellow/East China sea tidal regime and its impacts on sediment dispersal and seafloor morphology”
 - ⑬ 斎藤文紀: 地質と調査, no. 98, pp. 24-30. (2003) 「シーケンス層序学による沖積層の捉え方」
 - ⑭ Cho Hyun-Jin, Kim, Chang-Hoon, Moon, Chang-Ho, and Matsuoka, K.: *Botanica Marina* 46, 332-337 (2003) “Dinoflagellate cysts in Recent sediments from the southern coastal waters of Korea”
 - ⑮ Wang Zhao-Hui, Matsuoka K., Qi YuZao and Lu Sen-Hui: *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 34, 422-430 (2003) “Distribution of cysts of toxic *Alexandrium* spp. And *Gymnodinium catenatum* along the Chinese coastal waters”
 - ⑯ Matsuoka, K., Joyce, B. Linda, Kotani, Y., and Matsuyama, Y.: *Journal of Plankton Research*, 25, 1461-1470 (2003) “Modern dinoflagellate cysts in hypertrophic coastal waters of Tokyo, Bay, Japan”
 - ⑰ Cho Hyun-Jin and Matsuoka K.: *Bulletin of the Marine and Environmental Research Institute*, 27, 9-13, Cheju National University, Korea (2003) “Analysis of marine environmental changes based on dinoflagellate cyst biostratigraphy in the East China Sea”
 - ⑱ Yoshida, M., Mizushima, K., and Matsuoka, K.: *Plankton Biology and Ecology*, 50, 61-64

- (2003). "Alexandrium acatenella (Gonyaulacales: Dinophyceae): morphological characteristics of vegetative cell and resting cyst"
- ⑲ Wang Z.-H., Matsuoka K., Qi Y.Z. and Lu S.-H.: *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 34, 422-430 (2003) "Distribution of cysts of toxic *Alexandrium* spp. And *Gymnodinium catenatum* along the Chinese coastal waters"
 - ⑳ Wang Z.-H., Matsuoka, K., Qi Y.-Z. and Lu S.-H., *Oceanologica et limnologia Sinica*, 34, 422-430 (2003) "Distribution of cysts of toxic *Alexandrium* spp. And *Gymnodinium catenatum* along the Chinese coastal waters"
 - ㉑ Wang Z.-H., Matsuoka, K., Qi Y.-Z. and Gu X.-L. *Acta ecologica Sinica*, 23, 2073-2081. (2003) "Vertical distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Shenzhen Bay of the South China Sea"
 - ㉒ Wang Z.-H., Matsuoka, K., Qi Y.-Z. and Gu X.L. *Marine Environmental Science*, 22, 5-8 (2003) Vertical distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from the Aotou area Daya Bay.
 - ㉓ Chen, Z., Saito, Y., Kanai, Y., Wei, T., Li, L., Yao, H.: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60, 1, 91-100. (2004) "Low concentration of heavy metals in the Yangtze estuarine sediments, China: a diluting setting"
 - ㉔ 斎藤文紀: 堆積学研究, no. 58, 33-38 (2004)
「現世堆積作用と堆積学, そして地球環境変化の研究」
 - ㉕ Yi, S., Saito, Y.: *Quaternary International*, 121, 1, 75-87. (2004) "Latest Pleistocene climate variation of the East Asia monsoon from pollen records from two East China regions"
 - ㉖ Azanza, R.V., Siringan, F.P., San Diego-Mcglone, M.L, Yniguez, A.T., Macalalad, N.H., Zamora, P.B., Agustin, M.B., and Matsuoka, K.: *Phycological Research*, 52, 376-386 (2004) "Horizontal dinoflagellate cyst distribution, sediment characteristics and benthic flux in Manila Bay, Philippines"
 - ㉗ Wang, Z.-H., Qi, Y., Lu, S.-H, Wang, Y. and Matsuoka, K.: *Phycological Research*, 52, 387-395(2004) "Seasonal distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Changiang River Estuary"
 - ㉘ Wang, Z.-H., Matsuoka, K. and Qi, Y., Lu, S.-H, Wang, Y.: *Phycological Research*, 52, 396-407 (2004) "Dinoflagellate cyst records in recent sediments from Daya Bay, South China Sea"
 - ㉙ Mizushima, K. and Matsuoka, K.: *Phycological Research*, 52, 408-413 (2004) "Vertical distribution and germination ability of *Alexandrium* spp. Cysts (Dinophyceae) in the sediments collected from Kure Bay of the Seto Inland Sea, Japan"
 - ㉚ Wang, Z.H., Saito, Y., Hori, K., Kitamura, A., Chen, Z.Y.: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62, 1-2, 161-168 (2005) "Yangtze offshore, China: highly laminated sediments from the transition zone between subaqueous delta and the continental shelf"
 - ㉛ Liu, B.Z., Saito, Y., Yamazaki, T., Abdeldayem, A., Oda, H., Hori, K., Zhao, Q.H.:

Journal of Coastal Research, 21, (in press) (2005) “Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) characteristics of tide-influenced sediments in the Late Pleistocene-Holocene Changjiang incised-valley fill, China”

- ③② Saito, Y.: In Coastal Change and the Anthropocene, IGBP Book series, Springer, (in press) (2005) “Deltaic coast dynamics”
- ③③ Saito, Y.: In Chen, Z. et al. eds., Mega-deltas of Asia: conceptual model and its application to future delta vulnerability, China Ocean Press, Beijing, (in press) (2005) “Mega-deltas in Asia: Characteristics and human influences”
- ③④ Hori, K., Saito, Y.: In A. Gupta, ed., Large Rivers: Geomorphology and Management, John Wiley & Sons, (in press) (2005) “Classification, architecture, and evolution of large-river deltas”

<その他誌上発表（査読なし）>

- ① 斎藤文紀：「アジアの気候変動とその影響：気候変動と海面上昇」名古屋大学環境学研究科，9-12 (2002) 「黄河デルタにおける近年の環境変動」
- ② 斎藤文紀：AIST Today, 3(4), 20-23. (2003) 「アジアデルタプロジェクトー環境変遷の解明及び環境保全と持続的な開発に向けて」
- ③ 柳 哲雄・上 真一・茅根 創・小島治幸・斎藤文紀・田辺信介・宮城豊彦・門谷 茂：原沢英夫・西岡秀三編著「地球温暖化と日本 第3次報告ー自然・人への影響予測ー」古今書院，221-259. (2003) 「海洋環境への影響」
- ④ 斎藤文紀：監修竹内 均「地球環境調査計測事典 第3巻沿岸域編」フジ・テクノシステム，125-128. (2003) 「堆積物の移動」
- ⑤ 松岡数充：竹内 均（監修）地球環境調査計測事典，第3巻沿岸域編，フジテクノシステム，554-559. (2003) 「渦鞭毛藻類」
- ⑥ Anderson, D.M., Fukuyo Y., and Matsuoka, K.: In Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., and Cembella, A.D. (eds.), Manual on Harmful Marine Microalgae, Monographs on Oceanographic Methodology, UNESCO Publishing, 165-189 (2003) “Cyst methodologies”.
- ⑦ Matsuoka, K., and Fukuyo Y.: In Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., and Cembella, A.D. (eds.), Manual on Harmful Marine Microalgae, Monographs on Oceanographic Methodology, UNESCO Publishing, 563-592 (2003) “Taxonomy of Cysts”.
- ⑧ Saito, Y.: Proceedings of International Symposium on Long-Term variations in the Coastal Environments and Ecosystems, Ehime University, (in press) (2005) “Characteristics and recent environmental changes of large river deltas in Asia”

(2) 口頭発表（学会）

- ① Y. Saito: IGBP-LOICZ Synthesis and Future Meeting, Miami, USA (2002) “Deltaic coast dynamics”
- ② 堀 和明，斎藤文紀：地球惑星科学関連学会2002年合同大会，東京（2002）「海水準上昇速度の変化に支配された長江の開析谷埋積過程」

- ③ S. Yi, Y. Saito, A. Nishimura: 日本古生物学会2002年年会 (2002)“A pollen record of latest Quaternary climatic changes from the Huanghe (Yellow River) delta, China”
- ④ S. Yi, Y. Saito, A. Nishimura: 日本古生物学会2002年年会 (2002)“Pollen-inferred paleoclimatic changes of the Changjiang (Yangtze River) delta, China during the past 12 kyrs”
- ⑤ Y. Saito: International Conference on Tidal Dynamics and Environment, Hangzhou, China (2002) “Deltas in Asia: their characteristics and tide influence”
- ⑥ Y. Saito: Vietnamese-Japanese Geological Workshop 2002 on Delta Evolution and Recent Environmental Changes, Ho Chi Minh City, (2002)“Characteristics of Asian deltas: recent changes and Holocene evolution”
- ⑦ K. Hori, Y. Saito, Q. Zhao, P. Wang: 2002 Annual Meeting of the Geological Society of America, Denver, (2002)“Holocene evolution of the tide-dominated Changjiang (Yangtze) delta”
- ⑧ Y. Saito: 2002 Annual Meeting of the Geological Society of America, Denver, (2002)“the evolution of deltas: examples from Holocene Asian deltas”
- ⑨ 堀 和明, 斎藤文紀: 日本地理学会2003年春季学術大会, 東京「開析谷充填システムと海水準変動速度との関係」
- ⑩ 堀 和明, 斎藤文紀, 趙 鴻泉, 汪 品先: 日本堆積学会2003年例会, 東京. 「更新世末期から完新世の海水準変動に対する長江河口域の堆積システムの応答: エスチュアリーからデルタへの進展」
- ⑪ 斎藤文紀: 日本堆積学会2003年例会, 東京. 「現世堆積作用と堆積学, そして地球環境変動研究」
- ⑫ 堀 和明, 斎藤文紀: 日本地理学会2003年春季学術大会, 東京「開析谷充填システムと海水準変動速度との関係」
- ⑬ 堀 和明, 斎藤文紀, 趙 鴻泉, 汪 品先: 日本堆積学会2003年例会, 東京. 「更新世末期から完新世の海水準変動に対する長江河口域の堆積システムの応答: エスチュアリーからデルタへの進展」
- ⑭ 斎藤文紀: 日本堆積学会2003年例会, 東京. 「現世堆積作用と堆積学, そして地球環境変動研究」
- ⑮ 斎藤文紀: 地球惑星科学関連学会2003年合同学会「アジアの大規模デルタに見られる沖積層」
- ⑯ 斎藤文紀: 日本地質学会110年学術大会, 2003「黄河デルタの近年の変容と人間活動」
- ⑰ Saito, Y., Chen, Z.Y., Kanai, Y.: ComDelta: Open Conference on COMPARING MEDITERRANEAN AND BLACK SEA PRODELTAS, 2003「Sedimentation and stratigraphy of the prodelta of the Changjiang (Yangtze River), China」
- ⑱ Iwataki, M., Kim, K. -Y., Kim, Y. S., Lee, Y. -W., Kim, C. -H., Takayama, H. and Matsuoka, K.: Seventh International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates, Sept. 21-25, 2003, Nagasaki, Japan 「Morphology and Phylogeny of an Enigmatic Unarmored Dinoflagellate Possessing Chloroplasts and Striation」.
- ⑲ Fujii, R. and Matsuoka, K.: Seventh International Conference on Modern and Fossil

- Dinoflagellates, Sept. 21-25, 2003, Nagasaki, Japan 「Seasonal Change of Dinoflagellates Cyst Flux in Sediment Trap Settled in Omura Bay, West Japan」
- ②⑩ Tezaki, K., Iwataki, M. and Matsuoka, K. : Seventh International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates, Sept. 21-25, 2003, Nagasaki , Japan 「Species Composition of Dinoflagellates Occurred in Coastal Waters of Nagasaki」 .
- ②⑪ Yoshida, M., Al-Muftah, A. and Matsuoka, K. : Seventh International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates, Sept. 21-25, 2003, Nagasaki , Japan 「Toxic Dinoflagellates in Qatari Water」 .
- ②⑫ Mizushima, K. and Matsuoka, K. : Seventh International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates, Sept. 21-25, 2003, Nagasaki , Japan 「Germination Ability of *Alexandrium* spp. Cysts in the Kure Bay of Seto Inland Sea, Japan」 .
- ②⑬ Wang, Z., Matsuoka, K., Qi, Y., and Fujii, R. : Seventh International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates, Sept. 21-25, 2003, Nagasaki , Japan 「Distribution of dinoflagellate resting cysts in surface sediments from Dapengao are of Daya Bay, the South China Sea」 .
- ②⑭ Yamatogi, T., Sagaguti, M., Maruta, H., Iwataki, M., and Matsuoka, K. : Seventh International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates, Sept. 21-25, 2003, Nagasaki , Japan 「Effects of temperature, salinity and light intensity on the growth of a harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* from coastal waters of West Japan」 .
- ②⑮ Uehara, K., Saito, Y. : 5th International Conference on Asian Marine Geology, Thailand, 2004 「Late Quaternary evolution of the Yellow/East China Sea tidal regime and its impacts on sediments dispersal and seafloor morphology」
- ②⑯ Yang, Z.S., Wang H.J., Saiuto, Y., Li, G.X., Sun, X.X. : 5th International Conference on Asian Marine Geology, Thailand, 2004 「Phase Change of the Modern Huanghe Delta Evolution since its last end channel shift in 1976 (and its phase Change)」
- ②⑰ Liu, J., Saito, Y., Zhao, L.Y., Wang, H., Zhen, Z.S., Jin, S.M. : 5th International Conference on Asian Marine Geology, Thailand, 2004 「Development of Stratigraphy in the offshore area of the Yellow River Delta during the late Quaternary」
- ②⑱ Saito, Y. : 1st Annual Meeting of IGCP-475, 2004 「Characteristics of Asian deltas and their Holocene evolution」
- ②⑲ Saito, Y. : International Symposium on Shallow Geology and geophysics, 2004 「Sediments and sequence stratigraphy in coastal to shelfal regions」
- ③⑩ 岩滝光儀・川見寿枝・高山晴義・吉田天士・広石伸互・松岡数充 : 2004年日本プランクトン学会 (松山) (2004) 「無殻渦鞭毛藻 *Gymnodinium microreticulatum* と類似種の出現」
- ③⑪ 岩滝光儀・川見寿枝・松岡数充 : 日本古生物学会第154回例会 (山形) 2004 「シストを形成する無殻渦鞭毛藻類の多系統性」
- ③⑫ 松岡数充・藤井理香・川見寿枝・岩滝光儀 : 日本古生物学会第154回例会 (山形) 2004 「Therapylic archeopyleをもつ *Protoperidinium thulesense* (Balech) Balechシストの分類

学的意義」

- ③③ Saito, Y.: Forum on Marine Science (2004) “Contribution to delta research from Asia: advantage, recent progress and future study”
- ③④ Saito, Y.: 41st CCOP Annual meeting, Technical session (2004) “Asian river deltas: characteristics and human influences”
- ③⑤ 斎藤文紀：日本学術会議シンポジウム「私たちの明日を考える：地球史が語る近未来の環境」(2004)「海面変動，人間活動とアジアの大規模三角州」
- ③⑥ Saito, Y.: 1st Meeting, SCOR-LOICZ-IAPSO Working Group 122 on Mechanisms of Sediment Retention in Estuaries (2004)“Preservation potential and sediment facies of delta/estuary system”
- ③⑦ Saito, Y.: International Symposium on 「Long-term variations in the coastal environments and ecosystems」(2004) “Holocene evolution and recent environmental changes of large river deltas in Asia”
- ③⑧ 斎藤文紀：日本学術会議シンポ「人為的な沿岸環境擾乱の指標としての生物」(2004)「沿岸環境における底質と堆積作用」
- ③⑨ Yang, Z.S., Wang, H.J., Milliman, J.D., Saito, Y.: International symposium on coastal resource-environmental system and management strategies (2004) “Phase changes in the modern Huanghe (Yellow River) delta”
- ④⑩ 斎藤文紀：第111年日本地質学会学術大会(2004)「ヒマラヤーチベットの隆起とアジアの大規模デルタ」
- ④⑪ Saito, Y.: International symposium on coastal resource-environmental system and management strategies (2004) “Deltas, their natural changes and anthropogenic changes”
- ④⑫ Yi, S.H., Saito, Y., Chen, Z.Y.: 2nd Annual meeting of IGCP-476 (2004) “Pollen evidence for the medieval warm period and little ice age from the subaqueous Changjiang (Yangtze river) delta, the East China Sea”
- ④⑬ Saito, Y.: 32nd International Geological Congress (2004) “Characteristics of Asian deltas and their Holocene evolution”
- ④⑭ Saito, Y.: 2nd IAG Yangtze Conference (2004) “Centennial to millennial scale changes of Asian deltas from natural and anthropogenic viewpoints”
- ④⑮ Saito, Y.: International Symposium on Shallow Geology and geophysics (2004) “Sediments and sequence stratigraphy in coastal to shelfal regions”
- ④⑯ Goodbred, S.L., Saito, Y.: AAPG Annual Meeting (2004) “Toward a unifying model of monsoon-driven delta systems: IGCP-475 DeltaMAP project”
- ④⑰ Yang, Z.S., Wang, H.J., Saito, Y., Milliman, J.D., Shi, G.Y.: International Conference on Deltas (2005) “Effects of dams on the Changjiang (Yangtze river) on sediment discharge to the sea during the past 53 years and in the future”
- ④⑱ 斎藤文紀：神奈川県立生命の星・地球博物館講演会「温暖化に伴う環境の変遷」(2005)「地球温暖化による海面上昇とアジアの三角州」

- ④⑨ Yang, S.Y., Li, C.X., Saito, Y. Zhao, Q.H., Saito, Y.: International Conference on Deltas (2005) “Geochemical compositions of postglacial sediments in the Changjiang and Huanghe deltas and paleoenvironmental changes”
- ⑤⑩ Woodroffe, C.D., Chen, Z.Y., Goodbred, S.L., Nicholls, R.J., Saito, Y.: International Conference on Deltas (2005) “Asian megadeltas and their response to climate change: a geoscientific framework for vulnerability assessment and sustainable development”
- ⑤⑪ Y. Saito: AAPG 2005 Annual Meeting (2005) “Lessons from Holocene deltas: Facies, evolution and regime shift”

(3) 出願特許 なし

(4) シンポジウム, セミナーの開催 (主催のもの)

- ① The 1st Annual meeting of IGCP-475 DeltaMAP and APN Mega-Deltas of Asia (2004年1月16日～20日, タイ王国バンコク・アユタヤ, 参加者約100名)
- ② International Conference on Deltas: Geological Modeling and Management (2005年1月10日～16日, ベトナムホーチミン市, 参加者103名)

(5) マスコミ等への公表・報道等 なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

アジアにおける人間活動のデルタへの影響を明らかにし, 各国における研究の推進と成果の普及を目指して, 本研究の成果を基にユネスコと国際地質科学連合が推進するIGCPにプロジェクトを米国の研究者と共同提案し, 2003年2月に行われた理事会において承認され, 2003年から5ヶ年計画で同プロジェクトを推進している. また現在IGBP-LOICZでは第2期の科学計画と実行戦略を作成中で, 本研究の成果を基に次期10年の研究計画立案に科学推進委員として積極的に貢献した. またIPCC第4次報告書の第2ワーキンググループにおいて, アジアのデルタに関する共通課題に関して, Contributing Authorとして成果を報告している.