ヒマラヤーチベットの隆起とアジアの大規模デルタ：デルタの特徴と完新世における進展

Uplift of the Himalayas and Tibetan Plateau and large river deltas in Asia: their characteristics and Holocene evolution

Abstract

斎藤文紀*

Yoshiki Saito *

2005年3月24日受付.

2005年10月5日受理.

* 産業技術総合研究所地質情報研究部門
IGG, GSJ/AIST, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan.

Y. Saito, yoshiki.saito@aist.go.jp

Large rivers in Asia have been controlled by the uplifts of the Himalayas and Tibetan Plateau in their origin, distribution and history during the late Cenozoic. Deltas formed by these large rivers have been forming wide delta plains and prograding onto shelves during the Holocene. Sea-level changes have impacted the evolution of deltas, particularly their stacking pattern of deltaic sediments and facies. A delta has evolved from an aggradational delta during the rise of sea level to a progradational delta during the subsequent sea-level stand and fall. Moreover delta progradation has lead more wave-dominated coastal environments. Deltas of various stages in this delta evolutionary model can be seen in Asia and in the world at present.

Key words: Asia, delta, large river, sea-level change, Holocene, delta evolution, regime shift

はじめに

世界の大河川分布を見ると、堆積物運搬量の大きなトップ16河川のうち、10の河川がアジアに分布している。西から順に、アジア大陸を流下するインダス河、ナルマダ河、ゴダバリ河、ガンジスーブラマプトラ河、イラワジ河（エーヤワディー河）、メコン河、紅河（ホン河）、長江（揚子江）、黄河、とパプアニューギニア島を流れるフライ河である（Mil-

liman and Syvitski, 1992; 堀・斎藤, 2003）。第16位のフライ河を除けば、世界13大河川のうちの9河川がアジアに分布し、そのほとんどが、チベット高原とヒマラヤ山脈に源をもつ（第1図）。また、河川を通じて世界の陸域から海域に供給される土砂の7～8割が、アジア大陸とアジアとオセアニアの島嶼の河川によっており、陸起源堆積物の運搬や堆積が、地球上において最も活発にこれらの地域で起こっている（Milliman, 1991; Milliman and Syvitski, 1992）。ヒマラヤ

第1図. アジアの大河川分布. 堀ほか（印刷中）を改編.

第2図. アジアの堆積盆における新生代における堆積速度変化. Métivier et al. (1999) に加筆.

とチベットの隆起によって形成されたこれらの大河川とモンスーンによる多量の降水が、アジア周辺海域の活発な堆積作用を生じさせており、テクトニクスと気候が地球規模の堆積分布を大局的には支配し、これらの地域を地球表層の堆積の中心としている。本総説では、これらの大河川に関わる近年の研究の進展と大河川がつくる完新世のデルタに関して概説し、それらの研究の重要性を示したい。ここでいうデルタは、陸域から海域に広がる堆積システムとしてのデルタを指す。世界の大規模デルタやアジアのデルタに関しては、堀・斎藤 (2003), 堀ほか (印刷中), Hori and Saito (in press) に詳述しているので、参照してほしい。

隆起と河川争奪

インド亜大陸の衝突以前のアジアでは、高い山脈や高原は現在のヒマラヤ山脈やチベット高原地帯には存在しなかったと考えられており、中国地域では東側が高く、西側が低平であったために、河川は西に流れ、現在のインド洋側に注いでいたとされる (Wang, 2004)。アジアにおける新生代の堆積盆の堆積量変遷を取りまとめた Métivier et al. (1999) によれば、堆積量は、アジア全体としてインド亜大陸の衝突以降に徐々に増加し、さらに約 10 Ma 以降には加速度的に急増し、現在に至っている (第2図 a)。現在の河川が運搬する土砂量と堆積盆における堆積量は、第四紀に関してはよい相関を示し (第3図)、堆積盆への土砂の供給には河川が重要な役割を担っていることがわかる。また、この図は、現在の河川分布や各河川の流域が、第四紀を通じて大きく変化しなかった可能性が大きいことも示している。一方、第四紀以前の新第三紀においては、アジアの大河川は、それぞれの流域を変化させ、河川争奪が頻繁に起こっていたことが知られている。チベット高原における隆起が時間とともに主たる隆起地域を変化させてきたことなどによって、下刻に差異が生じ河川争奪が起き、流域を変化させてきた。これらの変化は、主にブラマプトラ河、イラワジ河、サルベーン河、メコン河、紅河、長江の間で起こっており (Brookfield, 1998; Clark et

第3図. アジアの大河川の現在の土砂運搬量と海域における第四系の堆積量との関係. Métivier and Gaudemer (1999) に加筆. 黄河は、流域における森林伐採などの人為的な影響によって土砂運搬量が大きく増加していることから (Milliman et al., 1987; Saito et al., 2001), 10 分の 1 に見積もられている。

al., 2004 など)、特に顕著な変化は、ベトナム北部からトンキン湾に流入する紅河である。紅河は、過去にはアジアで最も大きな流域をもつ大河であったが、河川争奪が起こったことにより、長江がそれに置き換わった (Clark et al., 2004)。これらの河川争奪の解析は、その多くを地形とわずかに残る河川堆積物によっていることから、時間分解能や堆積物組成による解析に限界がある。第4図に示した河川争奪変遷や Clark et al. (2004) に示されている長江の6段階に分かれる河川争奪史においても、各段階がいつかは明示されていない。各河川の下流部から海域に広がる堆積盆では、これらの河川争奪による流域・後背地の変化によって、土砂供給量や構成物質が変化するはずである。第2図 b にメコンデルタからその沖合の堆積盆における堆積速度変化を示している

第4図. アジアの大河川の河川争奪変遷. Clark et al. (2004) に加筆. A: 長江の中流域と上流域, メコン河, サルベーン河, ブラマプトラ河の上流域が, 古紅河に流入し, 南シナ海に注いでいた時期. 長江では三峡が分水嶺となっていた. B: 長江中流域が古紅河から長江の流域に変わり, 東シナ海に注ぐ. 古紅河の流域に, サルベーン河, ブラマプトラ河の上流域がまだ含まれる. C: 長江, メコン河, サルベーン河の上流域は現在のように流れるが, ブラマプトラ河の上流域はイラワジ河に流入する. D: 現在の流域分布. A から B の河川争奪は, 5–12 Ma よりも若いと推定されている.

が, より高時間分解能の堆積速度変遷図や, 堆積物の構成物質からの後背地(流域)の推定ができれば, より実証的で詳細な流域変遷の解析が可能となる. Yang et al. (2005) は, このような見地から, 長江デルタで採取したボーリング試料の堆積物の化学分析を行い, 約 1.2 Ma に現在の長江上流域が長江に流入しはじめたと推定している. 最も流域面積の変化が大きく, 河川争奪史において鍵となる紅河の堆積盆においてこのような解析が行われることが望まれ, 同テーマに関して IODP (国際統合深海掘削計画) への提案がされていることから将来の解析が期待される.

デルタとアジアの大規模デルタ

上述したように, アジアには多量の土砂を運搬する河川が多く分布し, これら大河川の河口部に大規模なデルタを形成している. デルタは, 河川から供給された土砂が水域に堆積し, 海岸線が前進することによって形成された地形・堆積システムである. 同じく河口部に形成される堆積システムにエスチュアリーがあるが, これは海岸線が陸側に移動する海進

によって形成される堆積システムであり, 海進と海退によって両システムは区別される (Boyd et al., 1992; Dalrymple et al., 1992). アジアに分布するデルタの特徴として, 流域面積に比べて, デルタの平野部分の面積が大きいことがあげられる (第5図). 流域の土砂生産が大きいことに加えて, ハイドロアイソスタシーによって, 約 6~7 千年前以降陸域が隆起し, 相対的に海水準が低下したことによって, デルタの前進が促されたためである. 日本周辺も同様である (Nakada et al., 1991).

アジアのデルタにおいては, 1990 年代以降, 多数のボーリング試料が採取され, 堆積相解析と C-14 年代測定が行われ, 最終氷期最盛期以降の河口域のシステムの変遷や完新世におけるデルタの発達が千年スケールで解析されてきており, 気候変動や海水準変動との関係が詳細に議論されている: 黄河デルタ (Saito et al., 2000, 2001; Yi et al., 2003a; Yi and Saito, 2004), 長江デルタ (Saito et al., 2001; Hori et al., 2001a, b, 2002a, b, c; Yi et al., 2003b; Yi and Saito, 2004), 紅河デルタ (Tanabe et al., 2003a, b; Hori et al.,

第5図. 世界の主要なデルタの面積と河川流域との関係. 直線は1次回帰線を示す. Coleman and Roberts (1989) に加筆.

2004; Li et al., in press), メコンデルタ (Ta et al., 2001, 2002a, b; Tanabe et al., 2003d; Ta et al., 2005), チャオブラヤデルタ (Tanabe et al., 2003c), ガンジス・ブラマプトラデルタ (Umitsu, 1993; Goodbred and Kuehl, 1999, 2000a, b; Goodbred et al., 2003), インダスデルタ (Giosan et al., 2005). また, 過去数十年を対象とした堆積物の物質収支の定量的な解析も行われるようになった: 黄河・長江 (Milliman and Jin, 1985; 斎藤・楊, 1994; 斎藤, 1998), ガンジス・ブラマプトラデルタ (Kuehl et al., 1997; Allison et al., 1998; Goodbred and Kuehl, 1998; Allison and Kepple, 2001). さらにガンジス・ブラマプトラデルタにおいては, 深海底のベンガルファンの自然堤防における充填堆積物の発達と最終氷期以降の海水準上昇や土砂運搬量の変化の関係も明らかになってきている (Weber et al., 1997).

このような研究を通じて, 完新世の海水準変動が, デルタの形成, 発達, 堆積作用に大きな役割を担っていることが明らかになってきた. 世界的にも完新世のデルタの形成は, 後氷期の海水準上昇速度が低下する約8千年前に始まることが報告されている (Stanley and Warne, 1994). アジアにおいても, 長江, 紅河, メコン河においては, ほぼその時期から河口域のシステムはエスチュアリーからデルタに変化し, 海岸線が海側に移動する海退が始まっていることから汎世界的な海水準変動の影響を強く受けていることが考えられる. しかし海水準の上昇は引き続いて起こっており, 河口から離れた地域では, 潮間帯の堆積物分布は引き続き陸側に拡大し,

河口の前進と潮間帯域の陸側への拡大が同時に起こっている (紅河デルタ: Tanabe et al., 2003b など). 一方, ガンジス・ブラマプトラ河では, デルタの開始は, 約11千年前に始まったとされており, 後氷期の温暖化に伴う土砂量の急増がデルタの開始を早めたとされている (Goodbred and Kuehl, 2000a).

デルタの堆積物の累重様式は, 海水準変動に対応した2つの時期に分けることができる. すなわち, 海水準上昇期に対応する累重型と海水準の安定期から低下期に対応する前進型である. 長江, 紅河, メコン河のデルタでは, 約8千年前頃のデルタの開始時期から約6千年前まで, デルタの前進と海水準の上昇に伴って, デルタ平野での累重と沖合のプロデルタ域での上方深海化が起こり, デルタ平野と沖合との水深差が増加し, デルタフロント斜面が形成された (紅河デルタ: Hori et al., 2004). 海水準上昇期のエスチュアリンシステムの時期においては, 平野部に厚く地層を堆積させていた. 同様に海水準上昇期のデルタにおいても平野部では継続して累重型の地層形成が行われたことになる. デルタの形成は, 開析谷が溺れ谷化し, その中で後退していた河口域の堆積システムが海側へ移動を開始した時期をもって始まる. このことから, 初期の地形は, 湾入部や溺れ谷などの形状を呈している (メコンデルタ, 長江デルタ, 紅河デルタ). このため, 波浪の影響よりも潮汐の影響を強く受けた堆積相が多い (第6図).

一方, 6千年前以降は, 海水準の安定から低下に伴ってデルタの海側への前進が顕著に見られる. 紅河デルタでは, 約4千年前の地球規模の寒冷化に伴うと考えられる海水準の急速な低下によって, 約6千年前から2千年間広がっていたデルタ平野が離水し, 完新世段丘面を形成し, デルタの堆積場が一気に海側に移動している. アジアの大規模デルタでは, 過去6千年間のデルタの前進距離は約100～250 kmに達し, 海進に伴って広がっていた湾入部は急速に陸化し, 河口部は大きく前進した. その結果, メコンデルタでは陸棚幅が3～4割もこの期間に狭くなった. デルタの前進は, 河口域における堆積環境を内湾域からより外海に直面するような環境に変化させている. この変化に伴って, メコンデルタでは約3千年前から波浪の影響を強く受けるようになり, 浜堤が発達するようになっている. 同様な変化は紅河デルタでも認められ, デルタの海岸部の南側に浜堤列が数多く認められる. 長江においては, 海岸線が凹状の溺れ谷のデルタから凸状のデルタに変化し, 東シナ海に直接面するように変遷しているが, 東シナ海が, 潮汐卓越型の海域であることを反映してか, 波浪の影響は顕著でない.

一方, 黄河デルタは沿岸環境が波浪卓越型であり, また氷期の開析谷も明瞭ではない. 黄河では黄土高原における森林伐採による土壌流出によって, 約1～2千年前に堆積物量が10倍に増加したことが推定されており, 現在見られる鳥趾状の形状も激増した土砂量によるものである. 本来の黄河デルタは, 流路の移動に伴うデルタロープの側方移動によって放棄されたロープが波浪の侵食を受け, 残留・打ち上げ堆積物からなる貝殻堤 (チェニアー) を形成してきた. このため

第6図. アジアのデルタの完新世における発達モデル

貝殻堤で囲まれたローブ堆積物の側方への重なりでデルタが特徴づけられ、他の大規模デルタとは異なった特徴を有している。

ガンジス・ブラマプトラデルタは、アジアの大規模デルタでは珍しくテクトニクスによる沈降によって、完新世を通じて相対的に海水準が上昇している (Islam and Tooley, 1999)。このため、過去 6 千年間のデルタの前進距離はデルタの規模に比べて小さい (Goodbred and Kuehl, 2000a)。数十年の時間スケールにおける現在のデルタの堆積物収支は、デルタ平野に 30 %、沿岸陸棚域に 40 %、深海域に陸棚谷などを通じて 30 % となっている (Goodbred and Kuehl, 1999)。これらのデータには観測点より上流の河成平野での堆積が含まれていないことから、おそらく約半分近くの堆積物が平野部に堆積している。このことは、海面上昇によって形成される平野上の堆積空間が現在も埋積されていることを示しており、累重的かつ前進的にデルタが成長していることを示している。他の大規模デルタ地域では、相対的に海水準が低下しているために、平野上での堆積空間が十分ではなく、前進によってデルタが成長しているのと大きな違いである。ガンジス・ブラマプトラデルタにおける最終氷期以降の平野、沿岸と深海の 3 地域の関係を見ると、最終氷期の低海水準期には土砂供給量は現在の 3 分の 1 以下で、それらは深海域にほとんどが堆積していた。モンスーンの強化とともに土砂量は増加し、モンスーンが最も強くなる約 9 千年前には土砂供給量は現在の 2 倍以上でその大半がデルタ平野から河成平野に堆積したとされている (Goodbred and Kuehl, 2000b)。平野

部にこのような多量の土砂が急速に堆積していることは、海面上昇に対応して上方に形成された堆積空間が効果的に埋積されていることを示している。一方、Allison et al. (2003) は 9 千年前から 6 千年前のデルタの位置について、Goodbred and Kuehl (2000a) が示した地域よりも内陸側に推定している。それによれば、完新世の初期にはガンジスデルタとブラマプトラデルタは個々の河口部に別個に分布し、デルタの前進によって複合デルタとなったとしている。今後はより詳細な堆積相と古環境の解析が期待される。

以上のデルタの発達モデルを図化したのが、第 6 図である。メコンデルタや紅河デルタは、デルタ形成開始から累重型を経て、前進型に進展している。紅河デルタでは北部が潮汐卓越型で、波浪の影響は中部から南部に限られることから、より波浪の影響を受けて平滑な海岸線の形状を示すメコンデルタの方が、このモデルではより進展したデルタと言えるかも知れない。現在の状況が継続するならばメコンデルタは前進と海面の低下によって、より陸棚縁に近付くことから、さらに波浪の影響を受けるデルタに将来は進展する可能性が大きい (Tanabe et al., 2003d)。しかし、メコンデルタでは約 3 千年前に潮汐卓越型のデルタから潮汐波浪卓越型のデルタに進展し、その結果、波浪の影響により堆積物が岸方向に拡散し、デルタの前進が半減している。さらなるデルタの前進は、より平滑な海岸線を有する浜堤平野に近いデルタへと進展させるであろう。

メコンデルタや紅河デルタと同じく完新世に海水準が低下した長江デルタでも 250 km を超えるデルタの前進が見られ

た。この間に河口は、溺れ谷の中から東シナ海に直接面するようになる。しかし、東シナ海が世界でも有数の潮汐が卓越する浅海環境であることから、長江は現在でも潮汐卓越型のデルタとなっている。

一方、これらのデルタとは異なり、ガンジス・ブラマプトラデルタは、相対的に海水準がまだ上昇していること、上方への堆積空間を埋積する累重・前進型のデルタであることから、未だ初期の段階のデルタと言える。

アジアの他のデルタに目を向けると、珠江デルタは潮汐卓越型であり、モデリングによって過去6千年間のデルタの進展が解析されている(Wu, 2002)。潮汐卓越型の沿岸環境では、一般に上げ潮流の方が下げ潮流よりも堆積物運搬能力が大きいことから、岸向きの物質輸送が卓越することが知られている(潮汐ポンプ)。このため、河川から内湾域に供給された土砂は、潮流によって岸向きに運ばれる。島が多い地域では、個々の島からの土砂ではなく、周辺の河川から運ばれた土砂が湾内の島に付加されてゆく。韓国の漢江前面の仁川空港付近ではこの作用によって個々の島が拡大している。珠江デルタでは、海岸線の変遷が内陸から現海岸線に向かって徐々に前進する古地理図が描かれていた(李ほか, 1991)が、Wuの再現したモデルでは個々の島が徐々に拡大してゆき、内陸からのデルタの前進がそれらを取り込んで現在のデルタになったことが示されている。韓国西岸はデルタの発達はいくつか、エスチュアリーからデルタの過渡期またデルタ形成の初期の段階にあり、他の地域では見ることでできない潮汐卓越型のエスチュアリーからデルタへの環境を見ることができる。

アジアにおけるデルタ研究の重要性

以上のようにアジアには多様な種類のデルタと多様な進展段階のデルタを見ることができる。デルタの研究で有名なミシシッピとナイルデルタを見ると、両デルタともに現在が最も海水準が高い時期にあり、累重型のデルタの時期にある。ヨーロッパのポーデルタ、ラインムッセデルタなども同様である。デルタの用語は、ナイルデルタの形状がギリシャ語の Δ に似ていることに由来するが、ナイルデルタの三角形では、沿岸域に沿う地域にしかデルタ堆積物は分布していなく、内側は扇形の河川堆積物からなっている(Stanley and Warne, 1993)。また分流河口の間にはバリアーとラグーンが分布し、海進期によく見られる沿岸地形を呈している。分流河口間にラグーンが発達しやすい理由は、この地域が完新世を通じて海水準上昇にあった(Warne and Stanley, 1993)ことによる。ミシシッピデルタにおいても海水準が上昇しており、これによって放棄されたデルタローブは沈水し、バリアーアイランドに変容し、海水準の上昇がデルタの進展に大きな影響を及ぼしている(Penland et al., 1988)。

従来行われてきた欧米のデルタの区分では、地形や現在の堆積作用を基に分類が行われてきた。(Galloway, 1975; Coleman and Wright, 1975, など)。また構成する堆積物の粒度(Orton and Reading, 1993)や海水準変動との関係が多少考慮されている(Dalrymple et al., 1992)が、デルタの

進展から現在の世界のデルタを位置づけた研究はほとんどない。現在の沿岸域に見られるバリアーアイランド、エスチュアリー、デルタ、浜堤平野などの分布は、完新世の相対的な海水準変動と堆積物の供給量にほとんどが支配されている(斎藤, 2003; Saito, 2005)。同様に、現在世界で見られるデルタの形状や発達過程も、海水準変動と堆積物供給量に大きく依存している。

日本におけるデルタ研究の期待

日本周辺や他の島弧地域には、狭い陸棚と粗粒で多量の土砂供給で特徴づけられるファンデルタが数多く分布している。これらのデルタもアジアからオセアニアの島嶼を特徴づける重要な堆積システムであり、現行過程の研究に向いている。また、これらは、高海水準期の現在における低海水準期(氷期)の狭い陸棚環境や陸棚縁デルタに最も類似した堆積システムである。この特殊性を活用して、パプアニューギニアやニュージーランドで研究が行われている(Walsh and Nittrouer, 2003 など)。

一方、日本の沖積平野で見られる浜堤平野の多くは、堆積物の供給源を考えれば波浪卓越型のデルタとして位置づけることができる。浜堤・外浜システムの中にデルタ性の堆積物がどのように保存され、また逆に河川の影響を浜堤・外浜システムの地層からいかに識別するかは再度検討する必要がある。ここでも、ハイドロアイソスタシーによって日本周辺では約6～7千年前に相対的に高海水準が記録され、以降は徐々に低下し幅広い浜堤平野が形成されている。欧米でバリアーやエスチュアリーの研究が進展してきたように、日本においても基礎的なデータの豊富さや発達史上の利点を生かして浜堤・外浜システムの研究が期待できる。

おわりに

現在、地質科学国際研究計画 IGCP-475「モンスーンアジア太平洋地域のデルタ: DeltaMAP」が2003年から5ヶ年計画で遂行されている。主に過去5万年間を対象として、大規模デルタから島弧のファンデルタまで、また現在のデルタから氷期の低海水準期のデルタまで、アジアのさまざまなデルタを対象として20数ヶ国の参画の下で取り組まれている。アジアには、世界の大規模デルタの多くが分布し、さらにさまざまなタイプのデルタが見られる。また発達段階の異なったデルタを見ることができ、地層として残されるデルタ堆積物が、どのような機構で形成され、進展してゆくか、すばらしい研究材料を提供してくれている。

IGCP-476の代表であり地質学会でのシンポジウムと本特集号を企画し、お誘いをして頂いた多田隆治教授に謝意を表したい。また査読者の保柳康一氏と海津正倫氏には丁寧に原稿を読んで頂いた。記してお礼申しあげる。

文 献

- Allison, M.A. and Kepple, E.B., 2001, Modern sediment supply to the lower delta plain of the Ganges-Brahmaputra River in Bangladesh. *Geo-Mar. Lett.*, **21**, 66-74.
Allison, M.A., Khan, S.R., Goodbred, S.L., Jr. and Kuehl, S.A., 2003, Strati-

- graphic evolution of the late Holocene Ganges–Brahmaputra lower delta plain. *Sediment. Geol.*, **155**, 317-342.
- Allison, M.A., Kuehl, S.A., Martin, T.C. and Hassan, A., 1998, Importance of flood-plain sedimentation for river sediment budgets and terrigenous input to the oceans: insights from the Brahmaputra-Jamuna River. *Geology*, **26**, 175-178.
- Boyd, R., Dalrymple, R. and Zaitlin, B.A., 1992, Classification of clastic coastal depositional environments. *Sediment. Geol.*, **80**, 139-150.
- Brookfield, M.E., 1998, The evolution of the great river systems of southern Asia during the Cenozoic India-Asia collision: rivers draining southwards. *Geomorphology*, **22**, 285-312.
- Coleman, J.M. and Roberts, H.H., 1989, Deltaic coastal wetlands. *Geol. Mijnbouw*, **68**, 1-24.
- Coleman, J.M. and Wright, L.D., 1975, Modern river deltas: variability of processes and sand bodies. In Broussard, M.L. ed., *Deltas, Models for Exploration*. Houston Geological Society, 99-149.
- Clark, M.K., Schoenbohm, L.M., Royden, L.H., Whipple, K.X., Burchfiel, B.C., Zhang, X., Tang, W., Wang, E. and Chen, L., 2004, Surface uplift, tectonics, and erosion of eastern Tibet from large-scale drainage patterns. *Tectonics*, **23**, TC1006, doi:10.1029/2002TC001402.
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. and Boyd, R.A., 1992, A conceptual model of estuarine sedimentation. *Jour. Sediment. Petrol.*, **62**, 1130-1146.
- Galloway, W.E., 1975, Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In Broussard, M.L., ed., *Deltas, Models for Exploration*. Houston Geological Society, 87-98.
- Giosan, L., Clift, P., Constantinescu, S. and Tabrez, A.R., 2005, Development of the Indus mega-delta. *Abst. Progr. An International Conference on DELTAS (Mekong Venue): Geological Modeling and Management*, Ho Chi Minh city, Sub-Institute of Geography, VAST, 19.
- Goodbred, S.L., Jr. and Kuehl, S.A., 1998, Floodplain processes in the Bengal Basin and the storage of Ganges-Brahmaputra river sediment: an accretion study using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb geochronology. *Sediment. Geol.*, **121**, 239-258.
- Goodbred, S.L., Jr. and Kuehl, S.A., 1999, Holocene and modern sediment budgets for the Ganges-Brahmaputra River system: evidence for highstand dispersal to flood-plain, shelf, and deep-sea depocenters. *Geology*, **27**, 559-562.
- Goodbred, S.L., Jr. and Kuehl, S.A., 2000a, The significance of large sediment supply, active tectonism, and eustasy on margin sequence development: Late Quaternary stratigraphy and evolution of the Ganges-Brahmaputra delta. *Sediment. Geol.*, **133**, 227-248.
- Goodbred, S.L., Jr. and Kuehl, S.A., 2000b, Enormous Ganges-Brahmaputra sediment discharge during the strengthened early Holocene monsoon. *Geology*, **28**, 1083-1086.
- Goodbred, S.L., Jr., Kuehl, S.A., Steckler, M.S. and Sarker, M.H., 2003, Controls on facies distribution and stratigraphic preservation in the Ganges-Brahmaputra delta sequence. *Sediment. Geol.*, **155**, 301-316.
- 堀 和明・斎藤文紀, 2003, 大河川デルタの地形と堆積物. 地学雑, **112**, 337-359.
- Hori, K. and Saito, Y., in press, Classification, Architecture, and Evolution of Large-river Deltas. In Gupta, A., ed., *Large Rivers*, John Wiley and Sons.
- 堀 和明・斎藤文紀・田辺 晋, 印刷中, アジアの大河川に見られる沖積層. 地質学論集.
- Hori, K., Saito, Y., Zhao, Q., Cheng, C., Wang, P., Sato, Y. and Li, C., 2001a, Sedimentary facies and Holocene progradation rates of the Changjiang (Yangtze) delta, China. *Geomorphology*, **41**, 233-248.
- Hori, K., Saito, Y., Zhao, Q., Cheng, C., Wang, P., Sato, Y. and Li, C., 2001b, Sedimentary facies of the tide-dominated paleo-Changjiang (Yangtze) estuary during the last transgression. *Mar. Geol.*, **177**, 331-351.
- Hori, K., Saito, Y., Zhao, Q. and Wang, P., 2002a, Architecture and evolution of the tide-dominated Changjiang (Yangtze) River delta, China. *Sediment. Geol.*, **146**, 249-264.
- Hori, K., Saito, Y., Zhao, Q. and Wang, P., 2002b, Evolution of the coastal depositional systems of the Changjiang (Yangtze) River in response to Late Pleistocene-Holocene sea-level changes. *Jour. Sediment. Res.*, **72**, 884-897.
- Hori, K., Saito, Y., Zhao, Q. and Wang, P., 2002c, Control of incised-valley fill stacking patterns by accelerated and decelerated sea-level rise: Changjiang example during the last deglaciation. *Geo-Marine Lett.*, **22**, 127-132.
- Hori, K., Tanabe, S., Saito, Y., Haruyama, S., Nguyen, V. and Kitamura, A., 2004, Delta initiation and Holocene sea-level change: example from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Sediment. Geol.*, **164**, 237-249.
- Islam, M.S. and Tooley, M.J., 1999, Coastal and sea-level changes during the Holocene in Bangladesh. *Quatern. Intern.*, **55**, 61-75.
- Kuehl, S.A., Levy, B.M., Moore, W.S. and Allison, M.A., 1997, Subaqueous delta of the Ganges-Brahmaputra river system. *Mar. Geol.*, **144**, 81-96.
- 李平日・喬彭年・鄭洪漢・方國祥・黃光慶, 1991, 珠江三角洲一萬年來環境演變. 海洋出版社, 北京, 154p.
- Li, Z., Saito, Y., Matsumoto, E., Wang, Y., Tanabe, S. and Quang Lan Vu, Q.L., in press, Climate change and human impact on the Song Hong (Red River) delta, Vietnam, during the Holocene. *Quatern. Intern.*
- Métivier, F. and Gaudemer, Y., 1999, Stability of output fluxes of large rivers in South and East Asia during the last 2 million years: implications on floodplain processes. *Basin Res.*, **11**, 293-303.
- Métivier, F., Gaudemer, Y., Tapponnier, P. and Klein, M., 1999, Mass accumulation rates in Asia during the Cenozoic. *Geophys. Jour. Intern.*, **137**, 280-318.
- Milliman, J.D., 1991, Flux and fate of fluvial sediment and water in coastal seas. In Montoura, R.F.C., Martin, J.-M. and Wollast, R., eds., *Ocean Margin Processes in Global Change*. John Wiley and Sons, 69-89.
- Milliman, J.D. and Jin, Q., eds., 1985, Sediment Dynamics of the Changjiang Estuary and the Adjacent East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, **4**, 1-251.
- Milliman, J.D., Qin, Y., 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. *Jour. Geol.*, **95**, 751-762.
- Milliman, J.D. and Syvitski, J.P.M., 1992, Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the oceans: the importance of small mountain rivers. *Jour. Geol.*, **100**, 525-544.
- Nakada, M., Yonekura, N. and Lambeck, K., 1991, Late Pleistocene and Holocene sea-level changes in Japan: implications for tectonic histories and mantle rheology. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **85**, 107-122.
- Orton, G.J. and Reading, H.G., 1993, Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology*, **40**, 475-512.
- Penland, S., Boyd, R. and Suter, J.R., 1988, Transgressive depositional systems of the Mississippi delta plain: a model for barrier shoreline and shelf sand development. *Jour. Sediment. Petrol.*, **58**, 932-949.
- 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, 2003, シーケンス層序学による沖積層の捉え方. 地質と調査, 2003 (4), 24-30.
- Saito, Y., 2005, Characteristics and recent environmental changes of large river deltas in Asia. *Proceedings of an international symposium on Long-term variations in the coastal environments and ecosystems*, Ehime University, 97-103.
- Saito, Y., Wei, H., Zhou, Y., Nishimura, A., Sato, Y. and Yokota, S., 2000, Delta progradation and chenier formation in the Huanghe (Yellow River) Delta, China. *Jour. Asian Earth Sci.*, **18**, 489-497.
- 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.S. 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.
- Stanley, D.J. and Warne, A.G., 1993, Nile Delta: recent geological evolution and human impact. *Science*, **260**, 628-634.
- Stanley, D.J. and Warne, A.G., 1994, Worldwide initiation of Holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise. *Science*, **265**, 228-231.
- Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I. and Saito, Y., 2001, Sedimentary facies, diatom and foraminifer assemblages in a late

- Pleistocene—Holocene incised-valley sequence from the Mekong River delta, Bentre Province, southern Vietnam: the BT2 core. *Jour. Asian Earth Sci.*, **20**, 83-94.
- Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I. and Saito, Y., 2002a, Sediment facies and Late Holocene progradation of the Mekong River Delta in Bentre Province, southern Vietnam: an example of evolution from a tide-dominated to a tide- and wave-dominated delta. *Sediment. Geol.*, **152**, 313-325.
- Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I., and Saito, Y., 2005, Holocene delta evolution and depositional models of the Mekong River Delta, southern Vietnam. *SEPM Spec. Publ.*, no. 83, 453-466.
- Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I., Tanabe, S. and Saito, Y., 2002b, Holocene delta evolution and sediment discharge of the Mekong River, southern Vietnam. *Quatern. Sci. Rev.*, **21**, 1807-1819.
- Tanabe, S., Hori, K., Saito, Y., Haruyama, S., Doanh, L.Q., Sato, Y. and Hiraide, S., 2003a, Sedimentary facies and radiocarbon dates of the Nam Dinh-1 core from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Jour. Asian Earth Sci.*, **21**, 503-513.
- Tanabe, S., Hori, K., Saito, Y., Haruyama, S., Vu, V.P. and Kitamura, A., 2003b, Song Hong (Red River) delta evolution related to millennium-scale Holocene sea-level changes. *Quatern. Sci. Rev.*, **22**, 2345-2361.
- Tanabe, S., Saito, Y., Sato, Y., Suzuki, Y., Sinsakul, S., Tiyapairach, N. and Chaimanee, N., 2003c, Stratigraphy and Holocene evolution of the mud-dominated Chao Phraya delta, Thailand. *Quatern. Sci. Rev.*, **22**, 789-807.
- Tanabe, S., Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I. and Saito, Y., 2003d, Delta evolution model inferred from the Mekong Delta, southern Vietnam. In Posamentier, H.W., Sidi, F.H., Darman, H., Nummedal, D. and Imbert, P., eds., Tropical Deltas of Southeast Asia—Sedimentology, Stratigraphy, and Petroleum Geology, *SEPM Spec. Publ.* no. 76, 175-188.
- Umitsu, M., 1993, Late Quaternary sedimentary environments and landforms in the Ganges Delta. *Sediment. Geol.*, **83**, 177-186.
- Walsh, J.P. and Nittrouer, C.A., 2003, Contrasting styles off-shelf sediment accumulation in New Guinea. *Mar. Geol.*, **196**, 105-125.
- Wang, P., 2004, Cenozoic deformation and the history of sea-land interactions in Asia. In Clift, P., Wang, P., Kuhnt, W., and Hayes, D., eds., *Continent—Ocean Interactions within East Asian Marginal Seas*, Geophysical Monograph Series, AGU, 149, 1-22.
- Warne, A.G. and Stanley, D.J., 1993, Archaeology to refine Holocene subsidence rates along the Nile delta margin, Egypt. *Geology*, **21**, 715-718.
- Weber, M.E., Wiedicke, M.H., Kudrass, H.R., Hubscher, C. and Erlenkeuser, H., 1997, Active growth of the Bengal Fan during sea-level rise and highstand. *Geology*, **25**, 315-318.
- Wu, C.Y., 2002, A study on the evolution of the Pearl river delta in the last 6000 years: long-term morphodynamic modeling approach. *Abst. International Conference on Tidal Dynamics and Environment*, Nanjing University, B-65.
- Yang, S., Cai J., and Li, C., 2005, Rare earth elemental compositions of the Changjiang and Huanghe sediments and its applications for tracing the river origins and uplift history of the Tibetan Plateau. *Abst. Progr. An International Conference on DELTAS (Mekong Venue): Geological Modeling and Management*, Ho Chi Minh city, Sub-Institute of Geography, VAST, 128.
- Yi, S. and Saito, Y., 2004, Latest Pleistocene climate variation of the East Asia monsoon from pollen records of two East China regions. *Quatern. Intern.*, **121**, 75-87.
- Yi, S., Saito, Y., Oshima, H., Zhou, Y. and Wei, H., 2003a, Holocene environmental history inferred from pollen assemblages in the Huanghe (Yellow River) delta, China: Climatic change and human impact. *Quatern. Sci. Rev.*, **22**, 609-628.
- Yi, S., Saito, Y., Zhao, Q. and Wang, P., 2003b, Vegetation and climate changes in the Changjiang (Yangtze River) delta, China, during the past 13,000 years inferred from pollen records. *Quatern. Sci. Rev.*, **22**, 1501-1519.

(要 旨)

斎藤文紀, 2005, ヒマラヤ—チベットの隆起とアジアの大規模デルタ：デルタの特徴と完新世における進展. *地質雑*, **111**, 717—724. (Saito, Y., 2005, Uplift of the Himalayas and Tibetan Plateau and large river deltas in Asia: their characteristics and Holocene evolution. *Jour. Geol. Soc. Japan*. **111**, 717—724.)

アジアの大河川は、その成因、分布、変遷において、ヒマラヤとチベット高原の隆起の影響を強く受けてきた。これらの大河川がつくるデルタは、完新世において広大なデルタ平野を形成しつつ、陸棚域を前進してきている。デルタの成長に最も影響を及ぼしているのは、完新世の海水準変動であり、海水準上昇期の累重型のデルタから海水準安定期の前進型のデルタに、また内湾域から陸棚域にデルタが前進することによって、より波浪の影響を受けるように進展してきた。アジアに分布するさまざまなデルタは、このようなデルタ成長モデルの中に位置づけることが可能であり、異なった発達段階のデルタをみることができる。