

# ベトナムのメガデルタに魅せられて

齋藤文紀<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

ベトナムとは思えないような天気だった。昼間の最高気温が8度しかない。小学校は朝の気温が10度を下回っているので休校。ベトナムを訪れるようになって20年近くが経つが、ハノイでこのような天候に遭遇するのは初めてだった。2016年1月26日のことである。ベトナムと言ってもハノイは四季があり、冬は結構寒く、中国文化の影響を強く受けているが、南のホーチミン市(旧サイゴン)は、乾季と雨季が明瞭で常夏の熱帯の気候であり、カンボジアの文化の影響を受けている。ベトナムは南北で大きな違いがある。

ベトナムには、世界を代表する2つの大きなデルタ(三角州)がある。ハノイ(河内)付近を三角形の頂点とする紅河(ホン河)デルタ、カンボジアのプノンペン付近からベトナムに広がるメコンデルタ(メコン河デルタ)である。巨大なデルタはメガデルタと呼ばれているが(Woodroffe *et al.*, 2006)、これら2つはメガデルタに該当する。アジアには、このようなメガデルタが多数分布している。東から黄河デルタ、長江(揚子江)デルタ、珠江デルタ、紅河デルタ、メコンデルタ、チャオプラヤデルタ、イラワジ(エーヤワディー)デルタ、ガンジス・ブラマプトラデルタ、インダスデルタ。これらすべてが、ヒマラヤとチベット高原に源流を持つ河川のデルタであり、ヒマラヤとチベットの隆起がこのような大河川の形成や発達を支配していることがわかる(齋藤, 2005a)。この他にも、インド高原に流域をもつゴダバリデルタも世界を代表するデルタである。アジアには何故このように大規模なデルタが多数分布しているのだろうか。デルタは、河川から供給された土砂が河口域に堆積し、海岸線が前進することによって形成される。海岸線の前進を大きく規制しているのは、運搬される土砂の量と海水準の変動である。アジアには運搬土砂量の大きな大河川が多数分布していること、完新世の海水準変動において、過去6千年間相対的に海水準が低下している地域が多いことが主な原因である。北米やヨーロッパの地域は、最終氷期最盛期に氷床が分布し、その周辺域は

完新世を通して海水準が上昇している地域が多い。一方、アジア地域は、氷床から遠く離れており(ファーフィールドと呼ばれる)、氷床の影響は受けないが、氷床が融解して増加した海水の荷重によるアイソスタシーの影響を受け、6~4千年前に現在よりも高い海水準が認められる地域が多い。これは、その頃世界的に海水準が高かったのではなく、海洋が荷重によって沈降し、海洋域のマントルが大陸の縁辺部に流動することによって隆起した結果である。この現象はハイドロアイソスタシーと呼ばれている。日本において、6千年前の縄文海進の頃に海面が2~3m高かったのもこの現象である(横山, 2007; 中田・奥野, 2011)。日本でも、相対的に海面が低下したことによって沖積平野が広く発達している。

さて、話をベトナムに戻そう。小論では、約20年にわたり取り組むことになったベトナムでの研究成果や、これまでの行ってきた活動を報告したい。

## 2. 共同研究の始まり

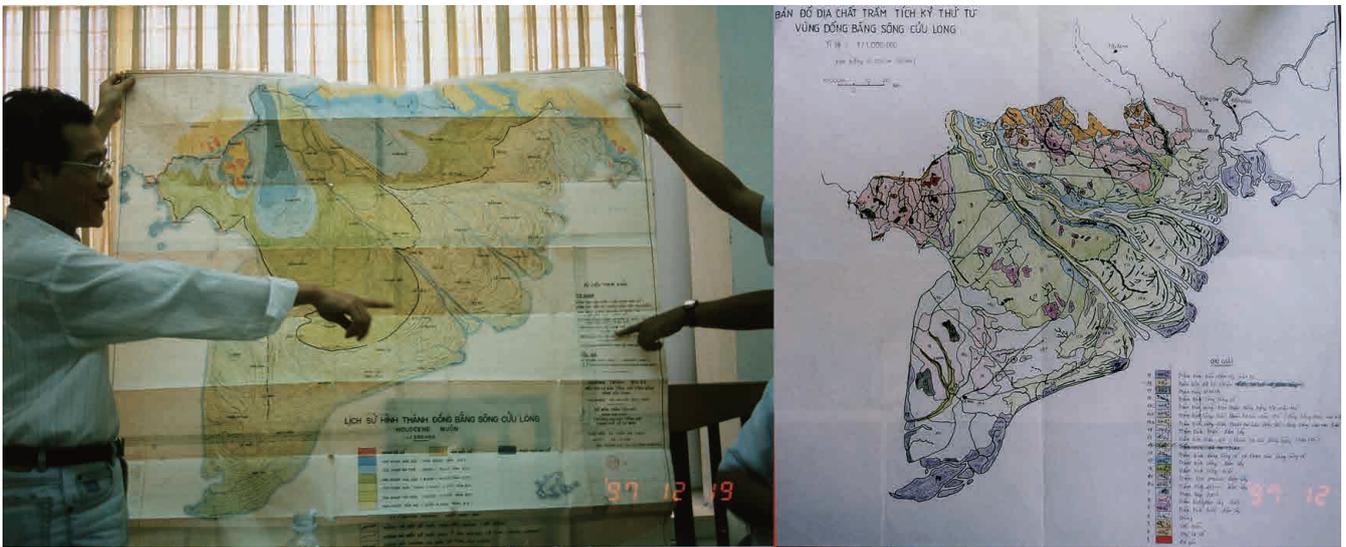
1997年の暮れに近い12月18日、初めてベトナムの地を訪問することになった。環境庁地球環境研究総合推進費「海面上昇の影響の総合評価に関する研究」プロジェクトが1997年度から始まり、プロジェクトの会合がタイのアジア工科大学で開催された。その会議後に同プロジェクトのメンバーである新潟大学の立石雅昭さんと小林巖雄さん、名古屋大学の海津正倫さん、愛媛大学の平井幸弘さんと一緒にベトナム、ホーチミン市を訪れ、同プロジェクトの研究対象であるメコンデルタを視察することになった(第1図)。現地のホストは、Vietnam National Centre for Natural Science and Technology(現在のベトナム科学技術院: Vietnam Academy of Science and Technology)に属するSub-Institute of Geography(地理副研究所、現在のホーチミン市資源地理研究所: Ho Chi Minh City Institute of Resources Geography)の Nguyen Van Lap(ラップ)さんで(第2図左)、彼が新潟大学で立石さんの指導の下で学位を取得していたことが縁で、メコンデルタ

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード: ベトナム, メガデルタ, 三角州, 完新世, 共同研究



第1図 バンコクからホーチミン市への飛行機から撮影したメコン河。右下にプノンペン。左から流れてくるトンレサップ川とメコン河本流が、プノンペンで合流し、メコン河とバサック河に分かれる。



第2図 左：地理副研究所で説明をする Nguyen Van Lap（ラップ）さん。右：地理副研究所で作成されていたメコンデルタの地形分類図。これらの成果は、後に Nguyen et al. (2000)として、発表される。

が調査地域に選ばれた。ホーチミン市は、メコンデルタというよりもサイゴン川が形成した平野に位置している。このためホーチミン市からメコンデルタの中央部に行くにも150～200 km近い移動が必要で、9つの分流を持つといわれる大河川を越えなければいけない。今では多くの橋や、一部高速道路も建設され移動が容易になったが、当時はフェリーを使い、分流を渡る必要があった。メコン河は、ベトナムでは、Song Cuu Long と呼ばれる。九龍川という意味で、正に多くの分流が特徴の大河川である。地理副研究所では、Ho Van Chin 所長やスタッフの Ta Thi Kim Oanh（オワン）さんのお世話になった。それから20年近くも共同研究をすることになるとは、この時は夢にも思わなかった。

メコンデルタでは、地理副研究所において詳細な地形の調査や完新世の海水準変動の研究が行われていた。第2

図右は、当時研究所で作成されていた地形分類図で、河口からカンボジア国境まで約200 km、南東北西方向で300 kmにも及ぶデルタ全域の詳細な地形区分が行われていた。これらの成果は、1997年に東京で行われた第四紀の国際会議でラップさんによって発表され、2000年に国際学術誌から報告されている (Nguyen et al., 2000)。

### 3. メコンデルタと紅河デルタ

第1表に、メコンデルタと紅河デルタの特徴をまとめている。流量が大きなメコン河と流量の割に懸濁物量が多く比較的急勾配の紅河、懸濁物の多さが紅い（ホン）河という名前にも反映している。メコン河の勾配は緩く、河床が標高0 mになるのは、河口から約600 kmも上流である。河口から約250 kmのカンボジアとベトナムの国境で

第1表 紅河とメコン河の特徴. 堀・斎藤 (2003), Ta et al. (2005), Woodroffe et al. (2006), Tanabe et al. (2006), Milliman and Farnsworth (2013)から作成.

	全長 (km)	流域面積 (万km <sup>2</sup> )	流量 (km <sup>3</sup> /y)	浮遊堆積物 運搬量 (百万トン/y)	浮遊砂濃度 (懸濁物濃度) (kg/m <sup>3</sup> )	デルタ平野面積 (km <sup>2</sup> )	平均波高 (m)	平均潮差 (m)	最大潮差 (m)
メコン河	4,800	81	550	160	0.34	62,520	0.9	2.5	3.2-3.8
紅河	1,100	16	120	130	1.08	10,300	0.88	2.0-2.6	3.2-4.0

も乾季には約1mの潮差がある。2つのデルタで河口沿岸域の潮差はほぼ同じだが、メコン河は1日2回潮の半日周潮で、紅河は世界的にも珍しく1日1回潮の日周潮である。河口部の波浪は、メコンデルタは、南シナ海の南部に位置し、前面が開けているので、冬季の波浪の影響を強く受けている。また冬季は南シナ海全体で南部に海水が吹き寄せられ、メコン河の河口付近では冬季の水位が約40cm高い。これらの影響を受けてメコンデルタでは、南西に向けた沿岸流が冬季に卓越し、堆積物輸送や地形形成に大きく影響しており、河口付近では南西方向への砂州や砂嘴の成長が顕著である。一方、紅河デルタはトンキン湾に位置していることから、メコン河に比べて波浪の影響は小さく、河口部の砂州もほぼ対称系を示す。メコンデルタの陸域部分の面積は、全体で6万km<sup>2</sup>を超えるとされている。ベトナム内のデルタだけでも3.79万km<sup>2</sup>に達する。関東平野の面積が1.7万km<sup>2</sup>、関東地方の面積が3.2万km<sup>2</sup>であることを考えるとその大きさがわかる。このデルタ全てが、完新世の過去7千年ほどの間に形成されている。

#### 4. メコンデルタの層序と発達史とIGCP-475 第2回会合

メコンデルタの共同研究の最初の成果は、メコンデルタの沖積層の層序の確立と完新世の地史の解明であった。オワンさんらによる一連の論文が第1期の成果であろう (Ta et al., 2001, 2002a, 2002b; Tanabe et al., 2003a; Ta et al., 2005)。最終氷期最盛期には70mを超える深度の谷地形が現在の平野下に発達していたこと、完新世のデルタは、当初は潮汐が卓越するデルタであったが、デルタの前進に伴い、南シナ海の波浪の影響を強く受けるようになり、浜堤が形成されるようになったこと、それに伴いデルタの前進速度が低下し、堆積物は南西方向に運ばれ、カマウ半島が形成されたこと、などが主要な成果である。

メコン河とメコンデルタは、世界でもトップ10位内にランクされる。運搬土砂量と流量で世界10位、デルタ平野の面積では3位であり、世界を代表するデルタである

(堀・斎藤, 2003)。しかしながら、ミシシッピデルタやガンジス・ブラマプトラデルタ等と比べて、地質学的な研究は余りされていなかった。ラップさんやオワンさんたちによる一連の成果は、メコンデルタの基礎的な情報を世界に発信し、共同研究が可能であることを示したことで、その後のメコンデルタ研究を発展させたことは間違いない。その大きな契機となったのは、2005年1月10日から16日にホーチミン市で開催されたIGCP-475の第2回会合、国際デルタ会議であろう (斎藤, 2005b)。海外の22ヶ国から72名、ベトナム国内から31名、合計で103名が参加した。デルタや沿岸域研究で有名な、Janok Bhattacharya, Liviu Giosan, Colin Woodroffe, Steven Goodbred, Eric Wolanski, Klaus Schwarzerなど錚々たる顔ぶれが参集した (第3図)。海外からの参加者のほとんどがメコンデルタを訪れるのは初めてであり、彼らに貴重な機会を提供することができたとともに、ラップさんやオワンさんたちの成果を参加者に示すことができた。この会合は、2004年末に締結されたベトナム科学技術院 (VAST)と産業技術総合研究所との包括研究協力協定後の最初の会合であったことから、ベトナム科学技術院のDang Vu Minh院長も開会式に参加し、歓迎の挨拶を行っている。

#### 5. ベトナム地質鉱物局との共同研究

環境庁の予算でベトナムのデルタの研究を行うのに際し、上記の共同研究に加えてベトナム地質鉱物局 (DGMV: Department of Geology and Minerals of Vietnam, 現在のベトナム地質鉱物総局 GDGMV: General Department of Geology and Minerals of Vietnam) と共同研究することになり、「ベトナムのデルタ」という題目で、2000年に地質調査所とベトナム地質鉱物局との間で、2001年から2003年の3ヶ年の共同研究が行われることになった。具体的には、紅河デルタの沖積層調査とメコンデルタの音波探査調査である。

紅河デルタの調査はベトナム地質鉱物局の北部地質図作



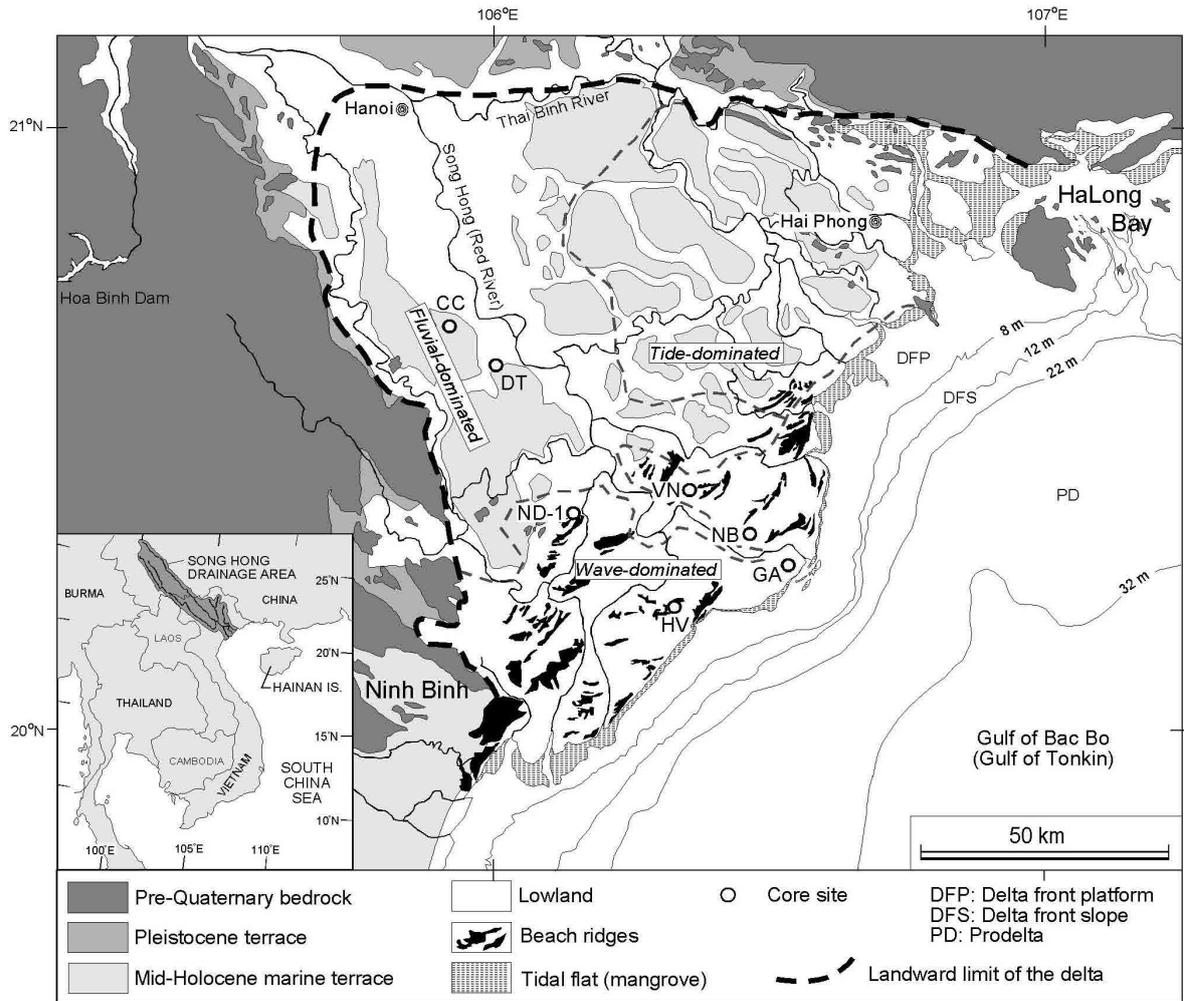
第3図 IGCP-475の第2回会合の集合写真. ホーチミン市タンサンニャットホテル. 2005年1月13日.

成部 (Northern Geological Mapping Division) と、メコンデルタの調査は地球物理部 (Geophysics Division) との共同研究として実施された。2001年2月に共同研究を開始するに当たり、ハノイのベトナム地質鉱物局を訪問した際に、共同研究の始まりのお祝いとして夕食に招待された。レストランは二者択一で、コブラか、犬の選択であった。ハノイの紅河を挟んだ対岸は、コブラ料理が有名な地域である。学生の頃に四万十帯の調査でマムシを食べた経験があるのでコブラの選択をしたが、店に入ると壁一面の網のケージに生きたコブラが入れてあり、2匹を選べという。コブラ以外には猿もいた。結局、店の人がコブラを選び、出されたコブラ料理は10皿を超えるフルコースであった。ただ、心臓を蒸留酒に入れて乾杯をしたり、生き血を蒸留酒に入れて乾杯をしたり、先が思いやられる共同研究の始まりであった。

紅河デルタの調査では、ベトナム地質鉱物局の国際室の Nguyen Van Quy (クイ) さん、北部地質図作成部の Vu Quang Lan (ラン) さん、Ngo Quang Toan (トアン) さんにお世話になった。丁度、英国地質調査所 (BGS) の Mathers らによる紅河デルタの表層微地形図の報告書が出版され (Mathers *et al.*, 1996)、トアンさんらを中心に紅河デルタの第四紀地図が2000年に出版された直

後であったことから、完新世の海成段丘分布など、既存の資料を使用することができた。また環境庁のプロジェクトでは、2000年度からの第2期に東京大学の春山成子さんが加わり、彼女らの調査とも合わせて、紅河デルタの沖積層の研究が行われた。沖積層の基底図、模式柱状図、完新世の紅河デルタの地史、上部第四系の地史など多くの成果が得られている (第4図) (Tanabe *et al.*, 2003b, 2003c, 2006; Hori *et al.*, 2004; Hanebuth *et al.*, 2006; Tanaka *et al.*, 2011)。

メコンデルタの調査では、地球物理部と共同で音波探査を河道と沿岸部で行った。産総研からは村上文敏さんが責任者として参加し、ベトナム地質鉱物局側は地球物理部長の Nguyen Tran Tan (タン) さんが全体の責任者で、実行責任者は Nguyen Truong Luu (ルウ) さん (現副部長) であった。調査は、2002年から2003年にかけて3回実施され、音波探査の総延長は1,700 kmで、ほぼメコンデルタ全域の主要な河道や水路と沿岸域で調査を行うことができた。調査機器は、地球物理部が所有するものを用いて行われ、音源はブーマーとスパーカーで、シングルまたは8チャンネル記録システムが採用された (Murakami *et al.*, 2004) (第5図)。本調査によってメコンデルタにおいて最終氷期最盛期の谷地形が明らかになっている。



第4図 紅河デルタ。Tanabe *et al.* (2006)に、Ha Long BayとNinh Binhを加筆。デルタ平野の離水面である完新世の海成段丘がデルタの内陸側に分布している。ハロン湾 (Ha Long Bay)とニンビン (Ninh Binh)には完新世の離水ノッチが見られる (第10図)。



第5図 2002年4月にメコン河で行われた音波探査調査。

## 6. ベトナムでの調査のたのしみ

ベトナムではコブラやハリネズミなど珍しい物を食することもあるが、ベトナムでの調査の楽しみは、何と云っても美味しい食事である。野菜が豊富で、麺類の種類も多い。ベトナムといえばフォー（Pho）が有名だが、それ以外にも、少し硬めの麺のフーチャー（Hu Tieu）、うどんのようなバンカン（Banh Canh）、ソーメンのようなブン（Bun）、どれも米粉から作られた麺類である。牛肉、豚肉、鳥肉やカニ・エビ・イカ、魚介類などが使われるが、決まり事があるようで、フォーは牛肉と豚肉、フーチャーやバンカンには牛肉が一般的には使われないようである。各地で名産があり、ハノイと言えばブンタン（Bun Thang）、ブンモック（Bun Moc）、ブンガン（Bun Ngan）、ブンチャ（Bun Cha）、ベトナム中部のフエと言えばブンボー（Bun Bo）フエ、南部のニャチャンといえばブンカー（Bun Ca）、メコンデルタ中央部のミトー（My Tho）といえばフーチャーミトーなど、地域ごとに何かしらの麺類がある（オアンさんからの情報提供）（第6図）。飲み物は、地方に行くと蒸留酒が一般的で、もち米からつくったネップモイやうるち米からのルアモイが有名だ。これも各地に特産品がある。

珍しいお酒では、壺に籾殻とうるち米を入れて作ったルオカン（Ruou Can）がある（第7図）。ベトナム北部の山岳地域からラオスからタイの山岳地域のお酒のようだ。ベトナム地質鉱物局（DGMV）とのメコンデルタの共同調査の際に、ハノイのスタッフが持ってきくれたお酒で、壺に入った酒に竹のストローを刺し、一斉に一緒に飲む。液



第6図 ベトナムの麺類。  
左上：フーチャー、右上：フォーボー、左下：バンカン、  
中下：ブンチャ、右下：ミー

面が下がるが、何と水を追加して、もとの分量にしてしまう。徐々にお酒は薄くなるが、酔っ払ってきているので気にならない。メコンデルタで採れた手長エビを食しながらの酒は格別であった。なお、船の調査で毎晩飲んでいたのは、20リットルのポリタンクに入った蒸留酒であった。

もうひとつ忘れてならないのは、ビールである。北部では薄目の生ビールのピアホイが楽しめる。紅河デルタを調査していた2000～2002年頃は田舎では一杯2,000～4,000ドン（20～30円）だったように思う。ベトナムのビールは、北部はピアハノイ、南部は、ピア333（バーバーバー）、ピアサイゴンが有名である。ベトナムのビールはフランス統治時代にフランスの製造技術により作られ始めた。ピア333、ピアサイゴンのSABECOは1875年創業、ピアハノイのHABECOは1890年創業で非常に古い。中国ではロシア人が設立したハルビンビールが最も古く1900年、ドイツの租借地で作られた青島ビールは1903年創業、フィリピンのサンミゲルはスペインの技術により1890年の創業である。日本では、1877年に冷製札幌ビール、1888年にキリンビール、1890年にエビスビール、1892年にアサヒビールが発売されている。ベトナムのビールの歴史はアジアでは古い方なのだ。

## 7. 近年のデルタの変動を探る

沖積層の調査によって、メコンデルタや紅河デルタの層序や完新世の環境変動は徐々に明らかになってきた。しかし、千年オーダーの時間スケールの解析では、現在の環境変化の理解には直接貢献できない。季節単位、年単位、十年単位、百年単位、これらの変動を知ることによって、過去の変動の解析結果を、現在の環境変化や将来予測に貢献できる。このギャップを埋めることを目的として、2005



第7図 ベトナムのお酒とコーヒー。  
左：壺酒、右上：ピアハノイとピア333、右下：ベトナム  
コーヒー、コーヒーの下には練乳。アイスに入れてカフェ  
スアダー。

年度から 2007 年度の 3 ケ年間、日本学術振興会のベトナムとの二国間共同研究「メコンデルタの海岸沿岸域における変化と人間活動の影響に関する研究」が行われた。日本学術振興会に対応するベトナム側の省庁はベトナム科学技術院 (VAST) で、ベトナム科学技術院は、研究機関を擁する政府機関であるとともに、研究予算を配分する省庁でもある。本課題はベトナムとの二国間共同研究が始まって初めての採択テーマであった。ベトナム側の代表者は、先に述べた地理副研究所のラップさんである。

2005 年の最初の調査で、地中レーダー探査装置 (GPR) を日本から持ち込みメコンデルタの浜堤で調査を行った。日本の九十九里浜平野では前浜堆積物が明瞭に識別できていたことから (Tamura *et al.*, 2008; 田村ほか, 2008), 同様の結果を期待して、浜堤がよく発達した地域で調査を行ったが (七山, 2006; 渡辺, 2008), 結果は芳しくなかった。海側に緩く傾斜する反射が見られない。いくつか試みたがよく似ている。それではと、実際の海浜に向かい、メコンデルタ中央部のチャービン省の海岸、バードンビーチに向かうと、そこには今までに見たこともない海浜の景色が広がっていた。潮間帯である前浜には、数列の沿岸州が発達し、潮が引くとそれらが露出している。日本の浜堤平野で見られるような前浜は存在しなく、沿岸州とトラフが分布する上部外浜に近い。海側に単調に傾斜する反

射面が見られなかった主な原因は、この沿岸州とトラフであった。メコンデルタは上記したように潮差が 3 ~ 4 m に達する。潮間帯は、満潮時には、上部外浜と似た環境となり、干潮時には干潟のように露出する。これでは、海側に傾く明瞭な反射面が見られないのも無理はない。

調査は未だ途中で、さてこれからどうするか。GPR 調査を継続することは難しい。咄嗟の判断で、この見たこともない潮間帯の沿岸州とトラフのモニタリングを行えば新しいことが見つかるかもしれないという直感を頼りに、潮間帯の測量をすることに急遽変更する。継続して行うためには、ベンチマークと潮汐表が必要になる。慌てて、ニャチャンの海洋研究所から潮汐表を取り寄せ、建物などを基準点に測量を実施することになる。幸いに GPR 調査用に測量の機材は揃っている。結果的に 3 ケ年のプロジェクトで秋に 3 回、春に 2 回の測量を潮汐ビーチで実施することができた。すべて人海戦術で、400 m の巻縄を引き、オートレベルで測量を行った。村上文敏さん、七山 太さん、田村 亨さん、渡辺和明さん、立石雅昭さん、洞口圭史さん、またベトナム側のラップさん、オアンさん、スタッフのランさんほか、多くの方々に参加、協力を得て、調査を遂行できた (立石, 2007; 渡辺, 2008) (第 8 図)。今ならドローンを用いた空中写真で容易に測量ができたかもしれない。



第 8 図 チャービン省バードン海岸での測量と堆積物調査, GPR 調査。



の Tran Duc Thanh (タン) 所長, タイからはチュラロンコン大学地質学科の Jarupongsakul Thanawat (タナワット) 准教授が各国のとりまとめを行った。この事業の会合「沿岸侵食の監視と評価に関するセミナー」を, CCOP の DelSEA プロジェクトと共催し, 2010 年 11 月 24 日~29 日にハイフオンのベトナム科学技術院海洋環境資源研究所 (Institute of Marine Environment and Resources (IMER): 元の Haiphong Institute of Oceanology) がホストとなり実施した (斎藤, 2011)。12 ヶ国から約 50 名が参加し, 研究発表の後には, 沿岸侵食が顕著な紅河河口の南部地域, ニンビンの完新世中期の離水ノッチ (後述する第 10 図参照) とハノイ周辺の旧河道の巡検が行われた。

これら以外にも, ハノイでは, ベトナム国家大学ハノイ校のハノイ科学大学 (Hanoi University of Science; Vietnam National University, Hanoi) の Tran Nghi 教授, ハノイ鉱山地質大学 (Hanoi University of Mining and Geology) の Mai Thanh Tan 教授にはお世話になり, 大学においてセミナーを開催して頂いた。

## 9. 完新世におけるベトナムの海水準変動

ベトナムにおける研究成果のひとつに完新世の海水準変動とデルタとの関係がある。完新世のデルタは, 世界の 36 のデルタをレビューした Stanley and Warne (1994) によって, 中期完新世以降の海水準の上昇速度が低下したことに応答してデルタの形成が始まったことが知られている。最終氷期最盛期以降から前期完新世までは海水準の上昇速度が大きく, 河口域での堆積量では海岸線を維持できず, 溺れ谷を形成しつつ, 海岸線は後退していた。上昇速度が低下したことから, 河口での堆積によって, 海岸線が海側に前進を始め, デルタが形成され始めたのである。徐々に海水準の上昇速度が遅くなるならば, 土砂供給の大きな河川では, より早くデルタの形成が始まるはずだが, 年代に大きな差異はない。完新世初期における海水準の上昇に伴う海岸線の後退は一律でなく, 9,000 年前から 8,500 年前に急速に海岸線が陸側に移動していることがアジアのデルタの研究から明らかになってきた (Hori and Saito, 2007)。特に 8,500 年頃は海水準の上昇が大きく, その上昇の後に 8,000 年頃からデルタが前進し始めていることが, メコンデルタのカンボジア低地における研究から明らかになった (Tamura *et al.*, 2009; Nguyen *et al.*, 2010)。同様な例は, オランダのライン・ムッセデルタや中国の長江デルタなどからも報告されている (Hijma and Cohen, 2010; Wang *et al.*, 2013; Song

*et al.*, 2013)。メコン河河口部の海水準変動の応答については, Tamura *et al.* (2009) の後, 花粉分析によって潮間帯のマングローブ群集の詳細な解析が行われ, 8,200 年前を境に海進から海退に転じたことが明らかになっている (Li *et al.*, 2012)。また河口部ではない周辺部 (Plain of Reeds) における堆積環境の変化については, Hanebuth *et al.* (2012) によって, エスチュアリーからデルタ環境への変遷が明らかにされている。

完新世の始まりには, ヤンガードリアス直後の急激な海水準の上昇 (融水パルス 1B: Meltwater Pulse 1B) があるとされていたが (Fairbanks, 1989), 近年の研究ではそのような急激な海面上昇は確認されていない (Bard *et al.*, 2010; Tjallingii *et al.*, 2014)。9,000 年前から 8,000 年前の海水準の上昇については, サンゴを用いた海水準変動の研究においても連続的な良質な記録は報告されていなく (Smith *et al.*, 2011), オランダや中国においても 8500 年前以降に限られ, 連続的なデータは報告されていなかった。この 9,000 年前から 8,000 年前の急激な海面上昇に対し, メコンデルタの沖合と陸域のデータを取りまとめて, 初めて海面上昇の全容が明らかになっている (Tjallingii *et al.*, 2014)。彼らのデータは, ハイドロアイソスタシーの効果が除かれていないので若干誇張されているが, その上昇の規模や速度を見ることができる。最終氷期最盛期後では, 融水パルス 1A (Meltwater Pulse 1A) が最も大きい (Fairbanks, 1989; Deschamps *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2016), それに次ぐ上昇であったことがわかる。完新世のデルタは, この急激でかつ大規模な海面上昇の直後から形成が始まったのである。これはデルタに限ったことではないだろう。現在の海岸沿岸環境, 海岸沿岸地形すべてに当てはまるに違いない。

この海面上昇の中心は 8,500 年前である。8,500 年前といえば, 北米にあったローレンタイド氷床の背後の氷河湖であるアガシー湖が決壊・消滅し, 淡水が一気にハドソン湾を經由して北大西洋に供給された時期と重なる。この淡水供給が北大西洋から始まる海洋大循環に影響し, 8,200 年前の寒冷化が起こった。 (Barber *et al.*, 1999)。しかし, アガシー湖の淡水だけでは, 海面は 50 cm 程度しか上昇しない (Teller *et al.*, 2002)。氷床そのものが崩壊し, 融解または冰山として海洋に流出したのである (Lajeunesse and St-Onge, 2008; Jakobsson, 2008)。Gregoire *et al.* (2012) もこの時期のローレンタイド氷床の融水過程をシミュレーションから提示している。

最終氷期最盛期以降の南シナ海南部のスندا陸棚における海水準変動や地層形成については, Hanebuth *et al.*

(2011)で取りまとめが行われており、ハイドロアイソタシーによって、海水準変動曲線がタイ湾奥部からメコンデルタ域でどのように違うかが示されている。

デルタの形成が始まって以降の最も大きな変化は、約4千前頃の相対的な海水準の低下である。紅河デルタでは最も内陸側にデルタ平野が離水した完新世の海成段丘が見られる。ボーリング調査や露頭調査によれば中期完新世の高い海水準に対応した潮間帯の堆積物が離水しており、堆積は約4千年前頃まで継続している (Funabiki *et al.*, 2007, 2012)。同様なデルタ面の離水は長江デルタの内側でも見られ、同じく4千年前頃に離水している (Song *et al.*, 2013)。

ベトナムでは紅河デルタの北東部のハロン湾と、陸のハロン湾と呼ばれるデルタ南東部のニンビンにおいて、見事なノッチを観察することができる (第10図)。現在の海面から2~3m上位にあるノッチが、中期完新世に形成されたノッチである (Tanabe *et al.*, 2003c, 2006)。またメコンデルタでもタイ湾側において島状に分布する石灰岩の基盤にノッチが見られる (Nguyen *et al.*, 2000; Kiernan, 2011) (第10図)。これらのノッチから報告されている年代を見ると、ノッチは約4千年前頃に放棄されており、デルタの完新世の海成段丘の形成時期とほぼ同じである。なお、中期完新世の高海面については、メコンデルタの北東の海岸でも離水したビーチロックが報告されている (Stattegger *et al.*, 2013)。

現在国際地質科学連合 (IUGS) の国際層序委員会 (ICS) の第四紀層序委員会 (SQS) において、完新世の細分が検討されている。Walker *et al.* (2012) にその詳細が示されており、前期と中期の境が8,200年前、中期と後期の境が4,200年前である。これらの境は、デルタの形成が始まった時期と完新世の高位面 (デルタ平野の内側の離水面) の形成時期とほぼ一致する。より高時間分解能の解析を期待したい。

## 10. デルタ堆積物に記録された人間活動の歴史

デルタ堆積物には、完新世における様々な人間活動の歴史が記録されている。紅河デルタの完新世における堆積した地層を数千年ごとに区切って、その堆積量の変化を見ると、9千年前から2千年前までは年間2千万トンでほぼ同じだが、過去2千間は年間5千万トンに急増する (Tanabe *et al.*, 2006)。ダムによる土砂輸送が減少する以前の年間1億トンから1億3千万トンには及ばないが、過去2千間の間でも更に急増していることが推定さ

れる。堆積物に含まれる花粉分析の結果からも、3,300年前から2,100年前の間に山地草本が増加しており、2,100年前から1,500年前にはイネ科の花粉が増加する (Li *et al.*, 2006a, b)。これらの結果から、紅河では流域における森林伐採とそれに伴う土壌流出がこの時期に顕著になったことがわかる。また堆積物に含まれる炭質物の含有量の変化を見ると、5,000年前から1,500年前までは、気候変動とリンクし、含有量が少ない時期は寒冷な時期に一致する。しかし、過去1,500年間はこのような関係は明瞭ではなく、含有量の多い時期は王朝の交代時期と重なり、戦争による火災が炭質物の増加として堆積物に記録されている (Li *et al.*, 2009)。この研究は、Li Zhen (李珍) さんが第41回CCOP年次総会においてEager賞を受賞し、その副賞の資金を基に行われた研究である。

## 11. 数十年から数百年の変動の解明

これまで述べたデルタの変遷や海水準変動は、沖積層の調査では時間スケールが千年から数千年であり、海浜の調査は季節から数年であり、残念ながらその間には大きなギャップがある。従来の手法ではこのギャップを埋めることは難しかったが、当部門の田村 亨さんがメコンデルタの完新世の浜堤から採取した海浜堆積物の石英砂の光ルミネッセンス (OSL) 年代を、イギリス、シェフィールド大学のMark Bateman教授と共同で測定したことによって、新たな地平を切り拓くことができた。オアンさんらの研究によってメコンデルタでは過去約3千間は浜堤が発達してきたことがわかっていたので (Ta *et al.*, 2005)、この浜堤の海浜堆積物を系統的に採取すれば、浜堤の平面的な分布とこれらの年代から、当時の海岸線を詳細に復元することが可能になる。OSL年代測定による研究が、ラップさんやオアンさんとの共同研究によって行われ、過去3,500年間の詳細な海岸線の移動やメコン河の分流の歴史が明らかになった (Tamura *et al.*, 2012a, b) (第9図)。世界のデルタの中で、ここまで詳細に地形変化と変遷が明らかになっているデルタは少ない。

## 12. 危機的な現在のデルタの環境

現在世界のデルタの多くは、危機的な状況にある。特にアジアのデルタは、ダム建設や砂利採取などの流域における人間活動と、干潟の埋め立てやマングローブ伐採等による土地利用の変化、地下水の汲み上げなどのデルタ内の人間活動によって、大きな影響を受けている。ベトナムの



第10図 ベトナムのノッチ。左上：ハロン湾，数段のノッチが確認出来る。左下：ハロン湾，上段の連続性の良いノッチが中期完新世，右上：ニンビンの中期完新世ノッチ，右下：メコンデルタのノッチ，箱尺は3 m，中段の連続性の良いノッチが中期完新世，上段は年代が得られていない。メコンデルタのノッチは，タイ湾側に見られる。2段ノッチの下段が完新世ノッチ。上段は年代が得られていない。

デルタも例外ではなく，流域のダム建設によって河川からの運搬土砂量は大きく減少してきている (Thanh *et al.*, 2004 ; Lu *et al.*, 2014)。また流域の砂利採取量は非常に大きく，2011年だけで，主河道から 3,448 万  $m^3$  の砂利採取が行われている (Bravard *et al.*, 2013)。またメコンデルタでも 1998 年から 2008 年の 10 年間に 2 本の主河道において 1.3 m 水深が深くなっており，2 億  $m^3$  の堆積物を失っており，年間にすると平均で 2 千万  $m^3$  である (Brunier *et al.*, 2014)。年間の浮遊堆積物運搬量が 1 億 6 千万トンとしたら，ベッドロードの運搬量は 1 割程度であることから，1,600 万トンしかない (約 1 千万  $m^3$ )。供給量の数倍の砂利採取がメコン河で行われていることになる。また現在の浮遊堆積物運搬量やベッドロードの量は，1 億 6 千万トンよりもはるかに少なくなっていることも報告されている。運搬土砂量の減少や砂利採取は，デルタの発達を阻害し，海岸侵食や沿岸侵食を導くことが予想され

る。実際にメコンデルタでは，2003 年から 2012 年間の海岸線の変化を見ると，2003 年から 2007 年と 2007 年から 2012 年を比べると，デルタ河口前面では陸域の拡大速度が，0.78  $km^2/y$  から 0.26  $km^2/y$  に減少してきている (Anthony *et al.*, 2015)。また沖合でも 2003 年から 2012 年の間に，懸濁物濃度が減少してきていることが衛星データの解析から示されている (Loisel *et al.*, 2014)。第 11 図の写真のように，メコンデルタでは多くの地域で海岸侵食が目につくようになってきている。更に，地下水の汲み上げ過多による地盤沈下が 2007 年から 2010 年間の InSAR の解析によりメコンデルタの広域で示されており (Urban *et al.*, 2013, 2014 ; Schmidt, 2015)，環境は悪化の一途をたどっている。これら約 10 年間の変化は，デルタが発達し，成長してきた地形変化とは調和的でない。これらのギャップを埋める数十年間から数百年間の解析と，変動と変化の要因を明らかにする必要がある。よ



第10図 メコンデルタの海岸侵食。全てチャービン (Tra Vinh) 海岸。

り長期的な変化や変動の中で現在の変化を評価する必要があるだろう。また、現在のデルタの環境をいかに正確にモニタリングするかも重要な課題である。運搬土砂量、砂利採取量、またデルタ平野、河道から沿岸域の地形変化など、基礎的なデータの定常的な取得技術の確立も重要な課題である。様々な衛星データの活用が大きな役割を担うことは間違いない (Tanaka *et al.*, 2016)。持続的なデルタの利活用とデルタの保全のためにも、早急に対応することが重要である。

### 13. おわりに

小論では、筆者らが行ってきたベトナムでの研究や活動を、その背景を中心に述べた。ベトナムとの共同研究では、ベトナム科学技術院の研究所であるホーチミン市資源地理研究所 (元の地理副研究所) のラップさんとオアンさん、ハノイの海洋地質・物理研究所のファックさん、ハイフオンの海洋環境資源研究所のタンさん、またベトナム

地質鉱物総局のランさんやタンさん、彼らと巡り会えたことが、ここに述べた数多くの成果を得ることができた最大の要因である。幸いにも、2015年にはベトナム科学技術院 (VAST) からホーチミン市資源地理研究所の発展に貢献したとして VAST Campaign Medal を授与して頂いた (<https://www.gsj.jp/researches/topics/vast-campaign-medal.html> 2016/2/17 確認)。身に余る光栄である。約20年間のベトナムとの共同研究の間に、人が育ち、研究は大きく進展した。それに少しでも貢献できたとしたら、この上ない幸せである。今、ベトナムのメガデルタは環境が悪化しつつある。特にこの20数年間における流域とデルタ域の人間活動の影響が大きく、これに地球温暖化に伴う海面上昇や気候変動が助長しようとしている。これらの対策や環境保全のために、今後も科学的な基礎を提供できればと思っている。

## 文 献

- Anthony, E.J., Brunier, G., Besset, M., Goichot, M., Dussouillez, P. and Nguyen, V.L. (2015) Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human Activities. *Scientific Reports*, **5**, 14745.
- Barber, D.C., Dyke, A., Hillaire-Marcel, C., Jennings, A.E., Andrews, J.T., Kerwin, M.W., Bilodeau, G., McNeely, R., Southon, J., Morehead, M.D. and Gagnon, J.-M. (1999) Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, **400**, 344–348.
- Bard, E., Hamelin, B. and Delanghe-Sabatier, D. (2010) Deglacial meltwater pulse 1B and Younger Dryas sea levels revisited with boreholes at Tahiti. *Science*, **327**, 1235–1237.
- Bravard, J.-P., Goichot, M. and Gaillot, S. (2013) Geography of sand and gravel mining in the Lower Mekong River. First survey and impact assessment. *EchoGéo*, **26**, URL : <http://echogeo.revues.org/13659> ; DOI : 10.4000/echogeo.13659. (2016/2/17 確認)
- Brunier, G., Anthony, E.J., Goichot, M., Provansal, M. and Dussouillez, P. (2014) Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: The marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilization. *Geomorphology*, **224**, 177–191.
- Deschamps, P., Durand, N., Bard, E., Hamelin, B., Camoin, G., Thomas, A.L., Henderson, G.M., Okuno, J. and Yokoyama, Y. (2012) Ice-sheet collapse and sea-level rise at the Bølling warming 14,600 years ago. *Nature*, **483**, 559–564.
- Erban, L.E., Gorelick, S.M., Zebker, H.A. and Fendorf, S. (2013) Release of arsenic to deep groundwater in the Mekong Delta, Vietnam, linked to pumping-induced land subsidence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **110**, 13751–13756.
- Erban, L.E., Gorelick, S.M., Howard, A. and Zebker, H.A. (2014) Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, **9**, 084010.
- Fairbanks, R. G. (1989) A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, **342**, 637–642.
- Funabiki, A., Haruyama, A., Nguyen, V.Q., Pham, V.H. and Dinh, H.T. (2007) Holocene delta plain development in the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, **30**, 518–529.
- Funabiki, A., Saito, Y., Vu, V.P., Nguyen, H. and Haruyama, S. (2012) Natural levees and human settlement in the Song Hong (Red River) delta, northern Vietnam. *The Holocene*, **22**, 637–648.
- Gregoire, L.J., Payne, A.J. and Valdes, P.J. (2012) Deglacial rapid sea level rises caused by ice-sheet saddle collapses. *Nature*, **487**, 219–222.
- Hanebuth, T.J.J., Saito, Y., Tanabe, S., Vu, Q.L. and Ngo, Q.T. (2006) Sea levels during late marine isotope stage 3 (or older?) reported from the Red River delta (northern Vietnam) and adjacent regions. *Quaternary International*, **145–146**, 119–134.
- Hanebuth, T.J.J., Proske, U., Saito, Y., Nguyen, V.L. and Ta, T.K.O. (2012) Early growth stage of a large delta – transformation from estuarine-platform to deltaic progradational conditions (the northeastern Mekong River Delta, Vietnam) . *Sedimentary Geology*, **261–262**, 108–119.
- Hanebuth, T.J.J., Voris, H.K., Yokoyama, Y., Okuno, J., and Saito, Y. (2011) Formation, fate, and implications of depocentres along the sedimentary pathway on the Sunda Shelf (Southeast Asia) over the past 140 ka. *Earth-Science Reviews*, **104**, 92–110.
- Hijma, M.P. and Cohen, K.M. (2010) Timing and magnitude of the sea-level jump prelude the 8,200 yr event. *Geology*, **38**, 275–278.
- 堀 和明・斎藤文紀 (2003) 大河川デルタの地形と堆積物. *地学雑誌*, **112**, 337–359.
- Hori, K. and Saito, Y. (2007) An early Holocene sea-level jump and delta initiation. *Geophysical Research Letters*, **34**, L18401.
- 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. *Sedimentary Geology*, **164**, 237–249.
- Jakobsson, M. (2008) The last stampede of a glacial lake. *Nature Geoscience*, **1**, 152–153.

- Kanai, Y., Saito, Y., Tamura, T., Nguyen, V.L., Sato, A. and Ta, T.K.O. (2013) Sediment erosion revealed by study of Cs isotopes derived from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Geochemical Journal*, **47**, 79–82.
- 金井 豊・齋藤文紀・田村 亨・Nguyen Van Lap・Ta Thi Kim Oanh・佐藤明夫 (2013) メコンデルタ堆積物におけるベリリウム-7, 鉛-210 及び放射性セシウム同位体の分布と堆積環境の季節変化. *地球化学*, **47**, 89–100.
- Kiernan, K. (2011) Monadnocks of the Mekong delta: character and evolution. *Cave and Karst Science*, **38**, 71–80.
- Lajeunesse, P. and St-Onge, G. (2008) The subglacial origin of the lake Agassiz-Ojibway final outburst flood. *Nature Geoscience*, **1**, 184–188.
- Li, Z., Saito, Y., Matsumoto, E., Wang, Y., Tanabe, S. and Vu, Q.L. (2006a) Climate change and human impact on the Song Hong (Red River) delta, Vietnam, during the Holocene. *Quaternary International*, **144**, 4–28.
- Li, Z., Saito, Y., Matsumoto, E., Wang, Y., Haruyama, S., Hori, K. and Doanh, L.Q. (2006b) Palynological record of climate change during the last deglaciation from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **235**, 406–430.
- Li, Z., Saito, Y., Dang, P.X., Matsumoto, E. and Vu, Q.L. (2009) Warfare rather than agriculture as a critical influence on fires in the late Holocene, inferred from northern Vietnam. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **106**, 11490–11495.
- Li, Z., Saito, Y., Mao, L.M., Tamura, T., Li, Z., Song, B., Zhang, Y.L., Lu, A.Q., Sieng, S. and Li, J. (2012) Mid-Holocene mangrove succession and its response to sea-level change in the upper Mekong delta, Cambodia. *Quaternary Research*, **78**, 386–399.
- Liu, J., Milne, G.A., Kopp, R.E., Clark, P.U. and Shennan, I. (2016) Sea-level constraints on the amplitude and source distribution of Meltwater Pulse 1A. *Nature Geoscience*, **9**, 130–134.
- Loisel, H., Mangin, A., Vantrepotte, V., Dessailly, D., Dinh, D.N., Garnesson, P., Ouillon, S., Lefebvre, J.-P., Mériaux, X. and Phan, T.M. (2014) Variability of suspended particulate matter concentration in coastal waters under the Mekong's influence from ocean color (MERIS) remote sensing over the last decade. *Remote Sensing of Environment*, **150**, 218–230.
- Lu, X.X., Matti Kumm, M. and Oeurng, C. (2014) Reappraisal of sediment dynamics in the Lower Mekong River, Cambodia. *Earth Surface Processes and Landforms*, **39**, 1855–1865.
- Mathers, S.J., Davies, J., McDonald, A., Zalasiewicz, J.A. and Marsh, S. (1996) The Red River Delta of Vietnam. British Geological Survey Technical Report WC/96/02, 41p.
- Milliman, J.D. and Farnsworth, K.L. (2013) River Discharge to the Coastal Ocean. A Global Synthesis. Cambridge University Press, 394p.
- Murakami, F., Saito, Y., Kinoshita, Y., Tateishi, M., Nguyen, T.L., Luong, B.L. and Nguyen, T.T. (2004) High-resolution seismic reflection survey in the Mekong river delta, Vietnam. In Nguyen, T.V., Saito, Y., Nguyen, V.Q., and Ngo, Q.T., eds., *Stratigraphy of Quaternary system in deltas of Vietnam*. Department of Geology and Minerals of Vietnam, Hanoi, Vietnam, 25–35.
- 中田正夫・奥野淳一 (2011) グレイシオハイドロアイソスタシー. *地形*, **32**, 327–331.
- 七山 太 (2006) 産総研・沿岸都市地質研究グループ, 新潟大学とベトナム VAST の共同による地中レーダーを用いたメコンデルタの浅層地下構造の調査風景. *地質ニュース*, no.626, 表紙.
- Nguyen, T.V., Saito, Y., Nguyen, V.Q. and Ngo, Q.T., eds. (2004) *Stratigraphy of Quaternary system in deltas of Vietnam*. Department of Geology and Minerals of Vietnam, Hanoi, 223p.
- Nguyen, V.L., Ta, T.K.O. and Tateishi, M. (2000) Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, **18**, 427–439.
- Nguyen, V.L., Ta, T.K.O. and Saito, Y. (2010) Early Holocene initiation of the Mekong River delta, Vietnam, and the response to Holocene sea-level changes detected from DT1 core analyses. *Sedimentary Geology*, **230**, 146–155.
- 齋藤文紀 (2005a) 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.

- 地質学雑誌, **111**, 717-724.
- 斎藤文紀 (2005b) 国際デルタ会議開催される (2005年1月10日~16日ベトナムホーチミン市). GSJ Newsletter, no. 5, 5.
- 斎藤文紀 (2011) JSPS - CCOP/GSJ/AIST デルタの沿岸侵食に関する合同セミナー報告 (紅河デルタ). GSJ Newsletter, no. 79, 3-5.
- 斎藤文紀 (2016) アジアの大陸棚から沿岸域の研究. 第四紀研究, **55**, 49-57.
- Schmidt, C. (2015) Alarm over a sinking delta: Rise and Fall project seeks ways to slow land subsidence in Vietnam's populous Mekong delta. *Science*, **348**, 845-846.
- Smith, D.E., Harrison, S., Firth, C.R. and Jordan, J.T. (2011) The early Holocene sea level rise. *Quaternary Science Reviews*, **30**, 1846-1860.
- Song, B., Li, Z., Saito, Y., Okuno, J., Lu, A.Q., Hua, D., Li, J., Li, Y.X. and Nakashima, R. (2013) Initiation of the Changjiang (Yangtze) delta and its response to the mid-Holocene sea level change. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **388**, 81-97.
- Stanley, D. J. and Warne, A.G. (1994) Worldwide initiation of Holocene deltas by deceleration of sea-level rise, *Science*, **265**, 228-231.
- Stattegger, K., Tjallingii, R., Saito, Y., Michelli, M., Nguyen, T.T. and Wetzel, A. (2013) Mid to Late Holocene sea-level reconstruction of Southeast Vietnam using beachrock and beach-ridge deposits. *Global and Planetary Change*, **110**, 214-222.
- Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I. and Saito, Y. (2001) Sediment facies and diatom and foraminifer assemblages of Late Pleistocene-Holocene incised-valley sequence from the Mekong River Delta, Bentre Province, Southern Vietnam: the BT2 core. *Journal of Asian Earth Sciences*, **20**, 83-94.
- Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I. and Saito, Y., Nakamura, T. (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. *Sedimentary Geology*, **152**, 313-325.
- 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. *Quaternary Science Reviews*, **21**, 1807-1819.
- Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Konayashi, I. and Saito, Y. (2005) Holocene delta evolution and depositional models of the Mekong River Delta, southern Vietnam. In Giosan, L. and Bhattacharya, J.P., eds., *River Deltas - Concepts, Models and Examples*, SEPM special publication no. **83**, 453-466.
- Tamura T., Murakami, F., Nanayama, F., Watanabe, K. and Saito, Y. (2008) Ground-penetrating radar profiles of Holocene raised-beach deposits in the Kujukuri strand plain, Pacific coast of eastern Japan. *Marine Geology*, **248**, 11-27
- 田村 亨・村上文敏・七山 太・斎藤文紀・渡辺和明 (2008) 海浜堆積物の地中レーダー記録. 地質ニュース, no. 642, 19-24.
- Tamura, T., Saito, Y., Sieng, S., Ben, B., Kong, M., Sim, I., Choup, S. and Akiba, F. (2009) Initiation of the Mekong River delta at 8 ka: evidence from the sedimentary succession in the Cambodian lowland. *Quaternary Science Reviews*, **28**, 327-344.
- Tamura, T., Horaguchi, K., Saito, Y., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Ta, T.K.O., Nanayama, F. and Watanabe, K. (2010) Monsoon-influenced variations in morphology and sediment of a mesotidal beach on the Mekong River delta coast. *Geomorphology*, **116**, 11-23.
- Tamura, T., Saito, Y., Nguyen, V.L., Ta, T.K.O., Bateman, M.D., Matsumoto, D. and Yamashita, S. (2012a) Origin and evolution of inter-distributary delta plains, insights from Mekong River delta. *Geology*, **40**, 303-306.
- Tamura, T., Saito, Y., Bateman, M.D., Nguyen, V.L., Ta, T.K.O. and Matsumoto, D. (2012b) Luminescence dating of beach ridges for characterizing multi-decadal to centennial deltaic shoreline changes during Late Holocene, Mekong River delta. *Marine Geology*, **326-328**, 140-153.
- Tanabe, S., Ta, T.K.O., Nguyen, V.L., Tateishi, M., Kobayashi, I. and Saito, Y. (2003) Delta Evolution Model Inferred from the Holocene Mekong Delta, Southern Vietnam. In Sidi, F.H., Nummedal, D., Imbert, P., Darman, H., Posamentier, H.W., eds., *Tropical Deltas of Southeast Asia - Sedimentology, Stratigraphy, and Petroleum*

- Geology*, SEPM Special Publication no. 76, 175–188.
- Tanabe, S., Hori, K., Saito, Y., Haruyama, S., Doanh, L.Q., Saito, Y., Hiraide, S. (2003b) Sedimentary facies and radiocarbon dates of the Nam Dinh-1 core from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, **21**, 503–513.
- Tanabe, S., Hori, K., Saito, Y., Haruyama, S., Vu, V.P. and Kitamura, A. (2003c) Song Hong (Red River) delta evolution related to millennium-scale Holocene sea-level changes. *Quaternary Science Reviews*, **22**, 2345–2361.
- Tanabe, S., Saito, Y., Vu, Q.L., Hanebuth, T.J.J. and Ngo, Q.L. (2006) Holocene evolution of the Song Hong (Red River) delta system, northern Vietnam. *Sedimentary Geology*, **187**, 29–61.
- Tanaka, G., Komastu, T., Saito, Y., Nguyen, D.P. and Vu, Q.L. (2011) Temporal changes in ostracod assemblages during the past 10,000 years associated with the evolution of the Red River delta system, northeastern Vietnam. *Marine Micropaleontology*, **81**, 77–87.
- Tanaka, A., Uehara, K., Tamura, T., Saito, Y., Nguyen, V.L. and Ta, T.K.O. (2016) Temporal changes in river-mouth bars from L-band SAR images: a case study in the Mekong River delta, South Vietnam. In Tessier, B., Reynaud, J.-Y., eds., *Contributions to Modern and Ancient Tidal Sedimentology Proceedings of the Tidalites 2012 Conference*. Special Publication of International Association of Sedimentologists, no. 47, 21–33, John Wiley & Sons.
- 立石雅昭 (2007) ベトナム、メコンデルタ海岸の沿岸砂州、その形態的变化に関する調査ノート. 堆積学研究, no. 65, 29–32.
- Teller, J.T., Leverington, D.W. and Mann, J.D. (2002) Freshwater outbursts to the oceans from glacial Lake Agassiz and their role in climate change during the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews*, **21**, 879–887.
- Thanh, T.D., Saito, Y., Huy, D.V., Nguyen V.L., Ta, T.K.O. and Tateishi, M. (2004) Regimes of human and climate impacts on coastal changes in Vietnam. *Regional Environmental Changes*, **4**, 49–62.
- Tjallingii, R., Stattegger, K., Stocchi, P., Saito, Y. and Wetzel, A. (2014) Rapid flooding of the southern Vietnam shelf during the early to mid-Holocene. *Journal of Quaternary Science*, **29**, 581–588.
- Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Bjorck, S., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O. and Weiss, H. (2012) Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*, **27**, 649–659.
- Wang, Z.H., Zhan, Q., Long, H.Y., Saito, Y., Gao, X.Q., Wu, X.X., Li, L. and Zhao, Y.N. (2013) Early to mid-Holocene rapid sea-level rise and coastal response on the southern Yangtze delta plain, China. *Journal of Quaternary Science*, **28**, 659–672.
- 渡辺和明(2008) メコンデルタ海岸測量記. 地質ニュース, no. 650, 2–14.
- Woodroffe, C.D., Nicholls, R.J., Saito, Y., Chen, Z. and Goodbred, S.L. (2006) Landscape variability and the response of Asian megadeltas to environmental change. In Harvey, N., ed., *Global Change and Integrated Coastal Management: the Asia-Pacific Region*. Coastal Systems and Continental Margins, **10**. Springer, 277–314.
- 横山祐典 (2007) 地球温暖化と海面上昇—氷床変動・海水準上昇・地殻変動. 日本第四紀学会・町田 洋・岩田修二・小野 昭編「地球史が語る近未来の環境」東京大学出版会, 33–54.

---

SAITO Yoshiki (2016) Collaborative study on megadeltas in Vietnam.

---

(受付: 2016年2月17日)