

B-12 海面上昇の影響の総合評価に関する研究  
(2) デルタ・湖沼の応答／影響モデル化に関する研究

研究代表者 地質調査所海洋地質部海洋堆積研究室

斎藤文紀

通商産業省工業技術院地質調査所

海洋地質部 海洋堆積研究室

斎藤文紀

地殻物理部 地殻構造研究室

大久保泰邦・田中明子

資源エネルギー地質部 資源解析研究室

鈴木祐一郎

地質標本館 地質標準研究室

佐藤喜男

国際協力室

木下泰正

(委託先) 新潟大学 理学部 地質科学教室

立石雅昭

名古屋大学 文学部 地理学教室

海津正倫

愛媛大学 教育学部 地理学研究室

平井幸弘

平成9 11年度合計予算額 54,476千円

(平成11年度予算額 17,184千円)

[要旨]

近年懸念されている地球温暖化による海面の上昇によってデルタ（三角州）と沿岸湖沼がどのように応答し、影響を受けるのかを明らかにするため、タイ王国とベトナム南部の沿岸域において調査を行った。特に、数千年から数百年の時間スケールでの変化と、数十年から数年の時間スケールでの変化の両方に着目して、過去に起こった、また現在起こっている事例を取り扱った。本研究は6つの研究内容から構成される。それらは、タイ王国チャオプラヤーデルタにおいては、①リモートセンシング画像を用いて土地利用や海岸付近の変動解析手法を開発し、それらから海面変動の影響を明らかにする、②地形と表層地質の調査から、過去7-8千年間におけるデルタの海岸線付近の変化を明らかにすることにより、自然状態におけるデルタの変動過程から現在の問題点を抽出する、③タイ中央平野を構成する沖積層の研究から、過去7-8千年間におけるデルタの海面下の変化と前進様式を明らかにすることにより、自然状態におけるデルタの海域部分の変動過程を示し、堆積量とデルタシステムの観点から現在の問題点を考察する、④過去の環境を明らかにするための基礎的解析方法として有機物の地球化学的解析により、古環境の解析方法を確立する、以上4つのグループからなる。他の2つは、⑤メコンデルタにおける海面上昇の影響の解析、⑥沿岸湖沼域への影響の解析である。

これらの研究の結果、デルタ地域では、将来予想される海面上昇が10-20cm程度でも、沿岸域で侵食問題が顕在化する可能性があること、塩水化問題は流域の水利用と合わせて考慮すべき重要な問題であることが示された。海跡湖における海面上昇影響予測評価においては、各地域のDevelopment factorsの抽出・認識することの重要性を再確認し、それを取り込んだ評価手法を構築した。

[キーワード] 海面上昇, タイ, チャオプラヤー, デルタ, 沿岸湖沼, 衛星画像

## 1. 序

地球温暖化による海面の上昇によって沿岸域はどのように応答し、影響を受けるのか。地球温暖化による海面の上昇は、IPCC1995 報告では、2100 年までに 49cm (範囲 20-86cm) と、また 2500 年には現在よりも 1.5m 高にも達すると予想されており、沿岸侵食や塩水遡上などの沿岸環境に多大な影響を及ぼすことが懸念されている。

海面は、過去において現在と同じ高さで一定していたわけではなく、汎世界的な海面の長期的変動や、地盤沈下などの人間活動による短期的かつ地域的な相対的海面変動など、様々な時間スケールと地域的な違いをもって変動してきた。約 2 万年前から 6 千年前には海面は氷床の融解によって約 120m 上昇し、北米やヨーロッパでは今でもアイソスタシーの効果によって海面は上昇している。将来予想されている海面上昇速度の 100 年で約 50cm の上昇速度は、1000 年で 5m の上昇速度であり、日本周辺や東南アジアでは約 7-8 千年前から 6 千年前に、この速度とはほぼ同じ速度の海面上昇を経験している。また過去数十年をみると、世界の大都市部では地下水の汲み上げなどによって地盤沈下し、相対的に海面が上昇してきた地域も多い。その相対的海面上昇速度は、将来の予想されている上昇速度を上回る速度で起きている地域もある。

このような過去の事例を詳細に検討することは、今後我々が経験するであろう将来の海面上昇の沿岸域への影響に対して、様々な事項を教示してくれる。

## 2. 研究目的

本研究では沿岸域の中で、デルタ（三角州）と沿岸湖沼に焦点を当てて、海面上昇に対するこれらの応答と影響に関して研究を行った。特に、沿岸域で過去に起こった、また現在起こっている事例を、タイ王国とベトナム南部の沿岸域から取り上げて研究を行い、将来の影響評価することを目的とした。

世界各地の河川下流部には、さまざまな規模のデルタが発達している。これらのデルタは低湿地を構成し、古くから稲作の行われてきた東アジアや南アジアでは、人々の居住・生産の場として重要な役割を果たしてきた。またデルタの地域はきわめて低平であるため、河川の氾濫による水害や高潮の被害など、さまざまな自然災害を受けやすい地域であり、わずかな自然環境の変化が多様な問題を引き起こしやすい地域でもある。近年地球規模の環境変動に伴う海面上昇の影響が大きな問題となっているが、チャオプラヤデルタをはじめ、ガンジスデルタやメコンデルタなどのアジアの大規模なデルタでは、居住人口も多く、十分な社会的基盤の整備が行われていない地域が広く分布する。このため、わずかな海面の上昇によってもその影響が多大なものとなる可能性が指摘されている。

デルタ地形のもっとも基本的な共通点は、地表にほとんど起伏がなく、全域がきわめて低平であるという点である。チャオプラヤデルタでも海岸から約 100km 内陸までの地域が 3m 以下の土地となっていて、地表面の傾斜もきわめて緩く、デルタの南半部では  $3 \sim 5/100,000$  あるいはそれ以

下の勾配を示している。このような低平な土地では地表水の排水が困難で、広大な排水不良地が出現しやすい。また、河川に沿う堤防の建設が不十分なところも多く、堤防の全く存在しないところもある。その結果、雨季が始まると河岸の低い部分や内陸の排水不良地などから順に、浸水あるいは湛水が始まり、水面下の土地が広がる。

一方、温暖化に伴って大気の状態も変化し、台風やサイクロン、あるいは集中豪雨などの発生にも変化が現れるとされている。その具体的変化については今後多くの研究によって明らかにされていくと思われるが、温暖化に伴う海面の上昇は台風やサイクロンによって引き起こされる高潮の影響をも増大させると考えられる。デルタ末端のような低平かつ未固結で軟弱な堆積物からなる地域では、わずかな海面の上昇によって高潮の被害が増大することが予想される。海拔高度がきわめて低い臨海部の地域では十分な堤防建設が行われていないところも多く、未固結の堆積物からなる不安定な土地・地盤は大規模な海岸侵食などを引き起こし、土地自体が消失するという極めて危険な状況をひきおこす。

またデルタとともに、海岸沿岸域の代表的な地形のひとつに沿岸湖沼がある。東南アジア各国の海岸沿岸域の内、大規模なデルタの発達が見られなく、波浪が卓越するような海岸では、多くの沿岸湖沼が発達している。沿岸湖沼では、海面の上昇は湖水位の上昇や塩水化などを引き起こし、生産活動の重要な場である湖沼環境に影響を及ぼす。

本研究では沿岸域の地形要素の中で、これらのデルタと沿岸湖沼に焦点を当てて、海面上昇の影響を、過去に起こった、また現在起こっている事例を研究することにより、明らかにすることを目的とした。特に、数千年のタイムスケールと数十年のタイムスケールに焦点をあて、タイ王国とベトナム南部地域の沿岸域への影響を具体的にかつ面的に示すことを目標とした。

### 3. 調査研究方法

特に対象とした地域は、デルタの研究では、タイ王国チャオプラヤーデルタと世界的な大河川のデルタであるメコンデルタ、沿岸湖沼の研究では、タイ王国南部のソクラー湖である。

#### (1) 調査地域の概要

##### ①チャオプラヤーデルタ (Chao Phraya Delta)

チャオプラヤーデルタは、タイの中央部、タイランド湾に面して発達する東西約 120 km、南北約 100 km の広大な沖積低地を構成する。低地の地形は北部の氾濫原、中央部のデルタ性沖積地、南部の潮汐平野に区分され、平野の西部には主として上部更新統からなる広大な扇状地性の地形が広がる(図3)。低地の海拔高度は、西部の扇状地および北部の氾濫原で 5-10 m で、中部および南部では大部分が 5 m 以下であり、臨海部では 1-2 m 程度である。タイ中央平野を構成した河川は、主にこのチャオプラヤー河と西部を流れるメクロン河(Mekong River)で、両河川の流域面積、流量と浮流堆積物運搬量は、チャオプラヤー河がそれぞれ、 $160 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,  $30 \text{ km}^3/\text{yr}$ ,  $11 \times 10^6 \text{ t/yr}$ , メクロン河が、 $27 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,  $13 \text{ km}^3/\text{yr}$ ,  $8.1 \times 10^6 \text{ t/yr}$  である。

バンコク周辺では、過去 30-40 年間に 1m 超える地盤沈下が起きており、この影響はチャオプラヤー河河口にまで及び、数 10cm 規模の地盤沈下が生じている。これは相対予想されている海面上昇速度とほぼ同じ速度であり、将来予測を行う上で、最適な調査地域となっている。

##### ②メコンデルタ (Mekong Delta)

メコンデルタは、チベットに源を発し、インドシナ半島を南下して南シナ海に注ぐメコン河がベトナム南部につくるデルタで、河川流域は、中国、ミャンマー、タイ、ラオス、カンボジア、ベトナムの6ヶ国を含む。メコン河の流域面積、流量と浮流堆積物運搬量は、それぞれ、 $790 \times 10^3 \text{ km}^2$ 、 $470 \text{ km}^3/\text{yr}$ 、 $160 \times 10^6 \text{ t/yr}$ で、世界有数の河川また国際河川である。プノンペンを下ってからは、河川はいくつかに分流し、西側のバサック河と東側のメコン河、メコン河はさらに下流で5つに分流して南シナ海に注いでいる。メコンデルタは、面積が約  $63 \times 10^3 \text{ km}^2$ で、そのうち約85%がベトナム南部に広がっている。標高3-5m以下の低平な平野からなり、海岸に近い幅40-60kmの地域には浜堤列の発達がよい。ベトナムではメコンデルタ上に、1500万人が居住しており、重要な農業生産地域となっている。

### ③ソクラー湖 (Thale Songkhla)

ソクラー湖は、タイ南部のマレー半島東岸に位置する南北約90km、東西約25km、面積1182km<sup>2</sup>の海跡湖である。湖盆は大きく3つの別れており、一番北側の小さな湖が、イノ湖 (Thale Noi)、中央の大きな湖盆が、ルアン湖 (Thale Luang)、南側の外洋とつながっている湖がサップソクラー湖 (Thale Sap Songkhla) と呼ばれる。これらの湖沼の周辺陸域に関して、地形、社会・経済システムに関して調査を実施した。

## (2) 調査分析方法

本研究では、いくつかのグループに別れて、各グループ毎に問題点を設定し、研究を行った。主なグループは、タイ王国チャオプラヤーデルタでは、①リモートセンシング画像を用いて土地利用や海岸付近の変動解析手法を開発し、それらから海面変動の影響を明らかにする、②地形と表層地質の調査から、海岸線付近に堆積した堆積物を解析し、過去7-8千年間におけるデルタの海岸線付近の変化を明らかにすることにより、自然状態におけるデルタの変動過程から現在の問題点を抽出する、③タイ中央平野を構成する沖積層の研究から、過去7-8千年間におけるデルタの海面下の変化と前進様式を明らかにすることにより、自然状態におけるデルタの海域部分の変動過程を示し、堆積量とデルタシステムの観点から現在の問題点を考察する、④過去の環境を明らかにするための基礎的解析方法として有機物の地球化学的解析により、古環境の解析方法を確立する、の以上4つのグループから構成される。本研究はこの他に、⑤メコンデルタにおける海面上昇の影響の解析、⑥沿岸湖沼域への影響の解析、の二つを合わせて、合計6つのグループから構成される。以下では、これら6つのグループ毎に分けて、手法、成果・考察を述べる。なお本報告では、数千年スケールの海面の変動を海水準変動、過去数十年の変動を海面変動と区別した。

### ①リモートセンシング画像解析

1992年初頭に打ち上げられた日本の観測衛星、JERS-1から取得された可視 (OPS) 画像、合成開口 (SAR) 画像、1972年の第1号打ち上げ以来現在も取得が行われている LANDSAT による画像などのリモートセンシング画像を選定し、データベースを作成した。また海岸線の変動、マングローブ林の抽出、河川からの土砂の抽出、土地利用の判読など、海岸付近の環境変動抽出に必要なリモートセンシング画像解析システムを開発し、これらを基にタイの海岸付近の環境変動について判読した。その結果をタイ王国地理院が主に空中写真から描いた5万分の1の地形、土地利



用図などと比較し、さらには現地での追跡調査（グラントゥールス）を行った。それらを基に、環境変動の時期、面積などを調べ、その原因解明、海面変動の影響評価を行い、またリモートセンシング画像解析の有効性についても評価を行った。

## ②地形・表層地質調査

本地域における地形の把握にあたっては、5 万分 1 のスケールの地形図および衛星画像 (JERS-1) のデータを用いて地形分類図を作成し、現地調査を行った。また、堆積物の年代および堆積環境を把握するため、約 30 地点においてハンドオーガーによる掘削調査を行い、年代測定および微化石分析のための試料を採取した (図 4)。なお、海水準変動復原のための年代試料は、地盤沈下の影響を避けるため、主として低地の縁辺部において採取した。年代測定は、名古屋大学のタンデロン加速器を用いて放射性炭素法により行った。

## ③沖積層・貝類群集調査

タイ王国中央平野の 3 地点で、ボーリングを実施し、完新世の海面上昇以降の堆積物を採取した。またピットと呼ばれる人口凹地において、完新世の地層を露頭で観察し、試料を採取した。タイ中央平野では更新世後期から完新世の海成堆積物が厚く堆積しており、特に泥質堆積物を主体とする完新統はバンコク粘土と呼ばれ、貝化石を含み、アユタヤ北方 40Km 付近まで厚さを減じながら連続している。バンコク市南東部、チャオプラヤー河口の Changwat Samut Prakan 地区 Ban Phraek Sa (ピット 1, 図 9) には建築用の土砂を採取するためにピットと呼ばれる海面下まで掘削した人工的な凹地が点在している。このピットでは更新統後期 完新統までの岩相 (厚さ 24m) が観察できる。貝化石の採集は地層面に垂直な 25cm x 25cm、深さ 20cm を単位ブロックにして、最下部のカキ密集層から最上部まで 6 層準にわたってブロックを切り出すブロックサンプリングを行った。1 層準あたり 7 ブロック (1 ブロック + 2 ブロック + 4 ブロック) を採集した。第 1 層準を除いて、採集したブロックは NaTPB による水没処理を行い、その後 1mm の篩による水洗、篩別処理を行い試料とした。また他の 3 地点のピットからも年代測定用の試料を採取した。ボーリングはタイ中央平野の 3 地点でオールコアボーリングにより行い (図 9, Sites 1-3)、回収率は約 80% 以上であった。採取した試料から、有機物の分析用、粒度分析用、軟 X 線写真撮影用などの試料を分取し、また放射性炭素年代用試料を採取した。放射性炭素年代は、Beta Analytic Inc に依頼して分析を行った。

## ④有機地球化学分析

今回分析した試料は、バンコクの北東 90km にある Ban Bang O Nai (上記 Site 1, 図 9) で採取したボーリング試料である。試料を採取した深度およびその岩相を、表 2 に示した。この地点では、完新世以前の堆積物上に基底部に泥炭を伴う一連の海進堆積物が堆積している。分析した試料は泥炭およびその上に重なる粘土層である。堆積学的には、陸上から海域へ堆積環境の変化が推定されている。

一般に堆積物中の有機物を分析する場合、溶媒を用いて抽出性有機物を抽出し、化合物をカラムクロマトグラフィーなどの手法により成分ごとに分別する。各成分についてガスクロマトグラフィー (GC) やガスクロマトグラフィー質量分析器 (GC/MS) により化合物を同定・定量を行い解析するのが一般的なバイオマーカー分析である。しかし、植物の場合、それを構成しているのはセルロース (ヘミセルロースを含む) やリグニンなどの高分子が大部分で、抽出可能な脂質成分の含有量は少ない。また、極性成分が大部分を占めるため GC や GC/MS での分析のためには、メチル化処

理などの前処理を行う必要がある。

今回の分析では、オンライン上で高分子を熱分解で低分子化し、同時にメチル化処理が行える水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH) を用いた熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析 (Py-GC/MS) 法を用いて分析した。分析に使用した熱分解装置は、日本分析工業の JHP-3 型キュリーポイント熱分解装置、GC/MS は HP 社の 6890 型 GC+5973 型 MS を用いた。使用したキャピラリーカラムは Chrompack 社の CP-Sil 5CB(0.25mm x 30m) で、熱分解条件は 590℃ で 20 秒間加熱した。

#### ⑤メコンデルタ調査

本研究はベトナム自然科学研究センター地理学副研究所との共同研究として進められた。共同研究者は同研究所の Nguyen Van Lap, Ta Thi Kim Oanh 両氏である。具体的な調査・研究としては以下の 2 つの課題で行った。

1) 完新世におけるメコンデルタの形成過程と海水準変動

2) メコンデルタにおける海岸線の変化と塩水化

1) の課題における具体的な研究方法は以下の通りである。

メコンデルタの南東部の 9 地点で、完新統を貫くボーリングを行い、総計 300m 近いコア試料を採取した (図 18, 19)。採取したコア試料は半裁し、裁断面の写真撮影、岩相記載を行った後、片方で軟 X 線写真撮影用アクリル試料ケースに封入して軟 X 線写真を撮影し、他方の試料から 2cm 刻みで試料を分割採取した。それらの試料を有孔虫、珪藻などの微化石分析、CNS 化学分析、軟体動物化石、粒度分析に用いた。また、コア中の軟体動物化石、木片などは可能な限り採取し、年代測定用試料とした。年代測定は、名古屋大学のタンデム加速器を用いて、また Beta analytic Inc. に依頼して行った。

2) の課題に関しては、地形図 (1881-1896 年、フランス作成; 1963-1965 年、アメリカ作成; 1977, 1980, 1985, 1998 年、ベトナム作成)、航空写真、衛星写真などを収集、解析した。また、典型的な海岸浸食地域では野外調査を行った。塩水化に関してはベトナム自然科学技術研究センター水文学センターから収集した各測定点の塩分濃度に関するデータと、土地利用図を解析した。

#### ⑥ソクラー湖調査

海跡湖における海面上昇の影響予測評価にあたって、各地域における "Development Factors" をより精度よく認識するために、以下の 7 つのステップからなる手順で行った (図 26)。

まずステップ①として、対象とする海跡湖における自然および社会・経済的特質について、LANDSAT や SPOT, JERS-1 などの衛星画像データ、大縮尺の地形図類 (例えば 1/5 万)、また社会・経済的データとして、対象地域の県や郡単位の基本的な人口や土地の面積、産物ごとの生産量などの、基本的な統計データを収集した。さらにステップ②として、対象地域の空中写真、細かい地点ごとの標高データ、また村や地区ごとの詳細な統計データなど、具体的な文献・資料や、より詳細なデータの収集を行った。

次にステップ③として、ステップ②で得られたデータをもとに、対象地域の地形条件と水文条件、そして土地利用と水利用に注目して、その地域における自然システムおよび社会・経済システムの特徴およびそれらの相互関連について明らかにした。ステップ④では、前段階で明らかにされた自然および社会・経済システムを参考に、研究対象とした海跡湖の湖岸および海岸地帯を、いくつかの等質地域に区分し類型化した。

そしてステップ⑤で、類型化された各タイプごとに、それぞれの "Development factors" を抽出

し将来の海面上昇の影響を予測・評価を行った。ステップ⑥では、ステップ⑤までの作業を統合して、対象とした地域（海跡湖）全体の海面上昇に対する影響予測評価を行い、最終的にはステップ⑦として、他地域（海跡湖）でも使えるようなモデル提出を試みた。

#### 4. 結果, 考察

##### (1) 結果

##### ①衛星画像解析

リモートセンシング画像解析システムについては、取得時期の異なる3つのSAR画像にそれぞれ、赤、緑、青を割り付け重ね合わせ、3つの時期の変動を強調する技術などを開発した。このシステムによって、東南アジアの海岸線に広がるマングローブ林などの土地利用、人工構造物、海岸線の位置、さらにはそれらの変動を抽出することが可能であることが分かった。

タイなどの国では1960年代以降、主にエビ養殖のためにマングローブ林が広範囲に伐採され、これが海岸地域の環境変動の原因の一つとなっている。プーケット島の北東に広がるバンガ湾は大マングローブ地域である。マングローブ林は海水と通常の森林のスペクトルの両方を有することから、特徴的なスペクトルとなり、OPS画像で抽出可能である。また季節によって樹高が変化するなどの原因から、3つの時期のSAR画像の重ね合わせ図では、特徴的なテクスチャーを示し、抽出が可能であることが分かった。SAR画像は雲の影響が少ない全天候型であるため、このような繰り返し観測には最適であることも分かった。リモートセンシング画像から抽出されたバンガ湾周辺のマングローブ林の面積は約170 km<sup>2</sup>であった。

タイ湾頭の海岸地域は古くからエビ養殖が盛んであったが、現在では激しい海岸浸食が進行している。この地域では1950年代頃からマングローブ林の伐採と養殖池の開発が行われていたようで、現在ではエビの養殖池のほとんどが放棄され、一部塩田として利用されている他は単なる溜池となっている。リモートセンシング画像の解析では、その面積はおよそ210 km<sup>2</sup>と見積もられた。

タイ鉱物資源局の調べでは1969年から1987年までの間に、主にチャオプラヤ河口西側海岸で、最大700m程度の海岸浸食が起こっていることが分かっている。この地域のリモートセンシング画像は残念ながら1980年代以降の画像しか入手できなかった。しかし、1960年代の空中写真から作成されたと思われる5万分の1の地形図との比較（図1）や、1980年代以降のリモートセンシング画像との比較では、1987年以降も200mから300mの海岸浸食が続き、1992年にはこの海岸浸食がほぼ停止したことを示した。

現地調査を行った結果では、タイ湾頭の浸食場所の海岸線にはマングローブが生い茂っており、その陸側はすでに放棄された広大な溜池となっている。またその反対側の沖合いでは現在も稼動中と思われる電柱が並び、ここが昔の海岸線付近であったことを物語っていた。以上をまとめた地形変化を図2に示す。

原因については、地盤沈下とそれによる相対的の海面上昇が考えられる。またマングローブの伐採、上流のダム建設に伴うチャオプラヤ河から供給される土砂量の減少も関係していると考えられる。これらについては考察で再度取り上げる。

OPS画像においては、川から流れ出る土砂混じりの水は純粋な海水とは異なるスペクトルを示



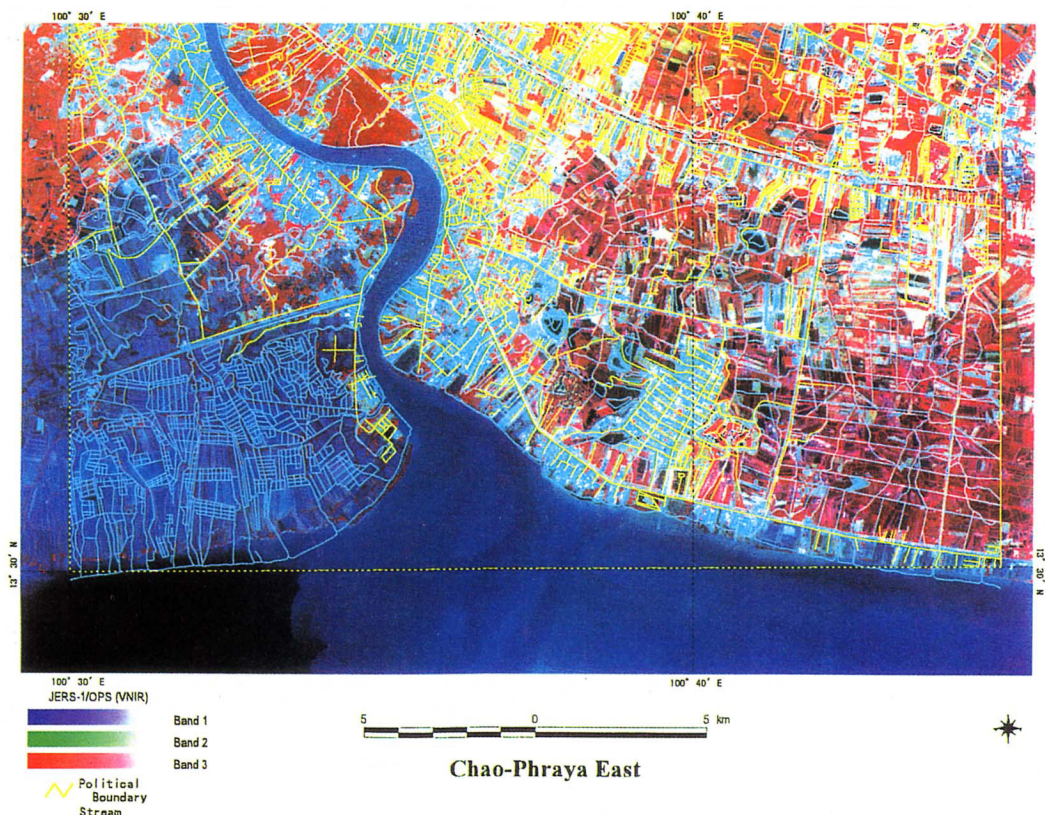


図 1. 地理情報（白および黄色線）と 1995 年取得の JERS-1/OPS 画像（カラー）。地理情報は 1970 年代以降の空中写真から作成された 1991 年時点の 5 万分の 1 地形図（Royal Thai Survey Department）から作成。海岸線は、1969 年の地形図を踏襲している。

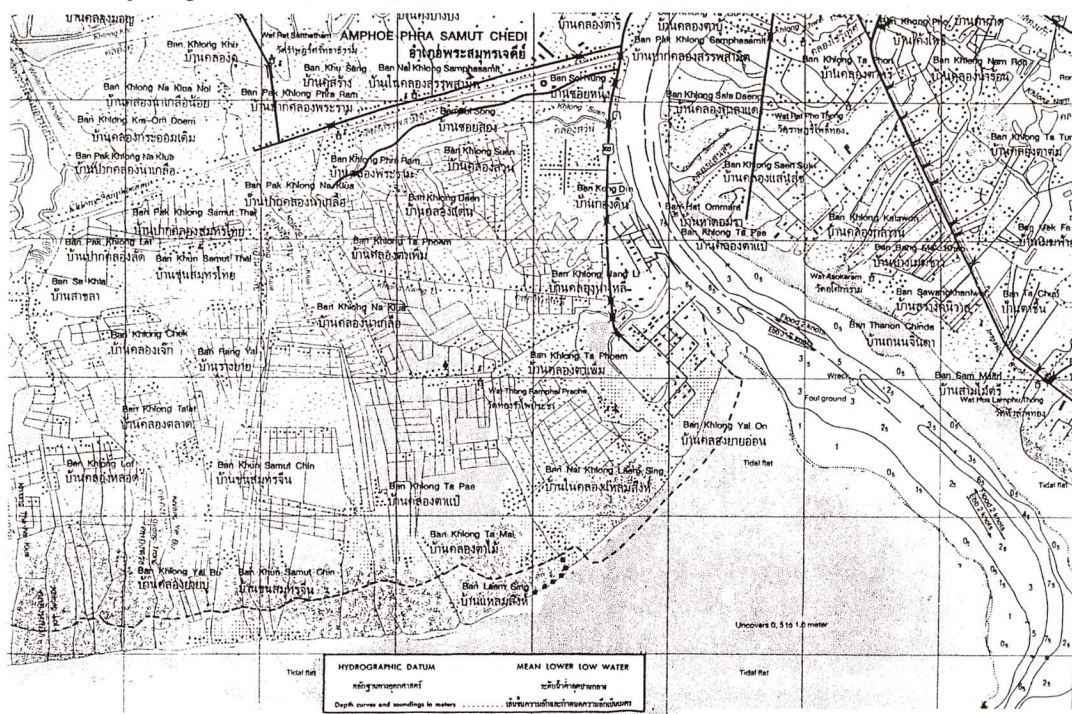


図 2. 1995 年と 1970 年頃の海岸線の比較。1991 年時点の 5 万分の 1 地形図（図 1 参照）。海岸線は、1969 年の地形図を踏襲している。破線は 1995 年取得の OPS 画像から判読した海岸線。1999 年 12 月に確認したマングローブの並びはここに位置すると考えられる。黒四角は 1999 年 12 月のグランドトゥルースで確認された電信柱のおよその位置。

す。このため OPS 画像を解析することにより、チャオプラヤ河から供給される土砂量の増減や、土砂の流れの変動を求めることができる可能性がある。

タイ湾頭東のライヨン地域は近年工業地帯へと変貌しつつある地域で、海岸域では 1980 年代から埠頭、埋め立てなどの人工構造物の建設が著しい。この地域は海岸の浸食によって道路や建物の崩壊が起きている。現地調査を行った結果では、浸食の全長は数 km と長いが、幅は 100m 以下である。この地域のリモートセンシング画像では内陸の人工湖の拡大も明瞭である。ダムは土砂を堰きとめるため、河口付近の堆積環境に大きな影響を与える。しかし浸食による海岸線の微小な変動はリモートセンシング画像では明確でない。この理由は、SAR 画像では、砂地と海の区別が付きにくいこと、OPS 画像の分解能が数十 m 程度で、この分解能より小さな変動は抽出しにくいことが考えられる。

## ②地形・表層地質調査

### ア 完新統の層序・層相

本地域における完新統は、上部更新統の河成層をおおって堆積するシルト・粘土層および泥炭層よりなり、下位から基底泥炭層、海成粘土層、干潟堆積物、氾濫原堆積物の 4 つのユニットに分類される (図 5)。このうち、基底泥炭層は、更新統の埋没面をおおって発達し、すでに Somboon ら<sup>11-3)</sup>によって完新世前期から中期の  $^{14}\text{C}$  年代値がいくつか得られている。また、低地縁辺部においても現海水準あるいはそれより若干高い泥炭層が認められ、それらの年代は 6000–7000 yrs BP の値を示している。なお、これらの泥炭層の多くは木片を多量に含んでいることなどから、マングローブ泥炭であると推定される。海成粘土層はバンコク粘土ともよばれ<sup>4)</sup>、基底泥炭層あるいは下位の更新統の堆積物をおおって堆積し、極めて軟弱な灰色あるいは緑灰色の粘土層よりなる。層厚は平野中央部において 20 m に達する地点もあるが、多くの地点では 5–10 m 程度であり、平野縁辺部に向けて層厚を減じる。干潟堆積物は層厚数メートル以下のシルト層よりなり、多くの場合、砂の薄層がみられ、植物片あるいは貝化石が混入することも多い (図 6)。その厚さは低地の縁辺部では 3–5 m、中央部で 2–3 m 程度であり、平野の南の方へ向けて減少する。その上面はかなり平坦で、最上部の陸成堆積物によっておおわれている。最上部の陸成堆積物は、褐色–赤褐色をおびた灰色のシルトあるいはシルト質粘土層から成る。層厚は低地の北部において 2–3 m 程度、中部から南部で 1–2 m 程度であり、臨海部の潮汐平野の部分ではほとんど堆積していない。

### イ $^{14}\text{C}$ 年代値と海水準変動

過去の海水準を示すと考えられるマングローブ泥炭層および過去の干潟堆積物より年代測定試料を採取し、名古屋大学のタンデトロン加速器を用いて放射性炭素による年代測定を行った。得られた年代値と堆積物の産出高度をダイアグラム上にプロットして本地域の相対的海水準変動を推定した (図 7)。

その結果、約 8000 年前における -10 m 程度の海水準から 6000 年前頃における +2 m 程度の海水準への急激な海面上昇と、その後の約 4500 前頃の一時的な海退、3500 年前頃の再海進の傾向が読みとれた。この海水準変動は Sinsakul (1992)<sup>5)</sup>によって報告されているタイ全国のデータに基づく海水準変動と同様の傾向を示しており、我が国で明らかにされている完新世中期から後期の海水準変動の傾向とも調和する。



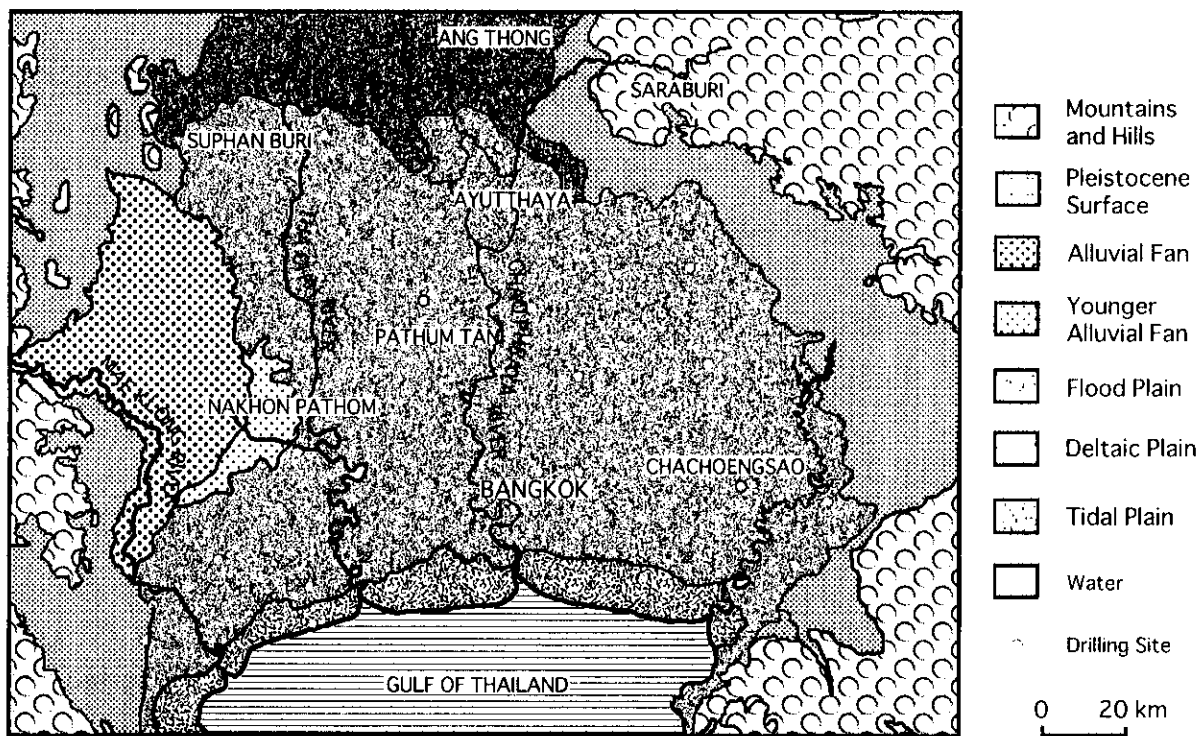


図 3. チャオプラヤデルタの地形概観図

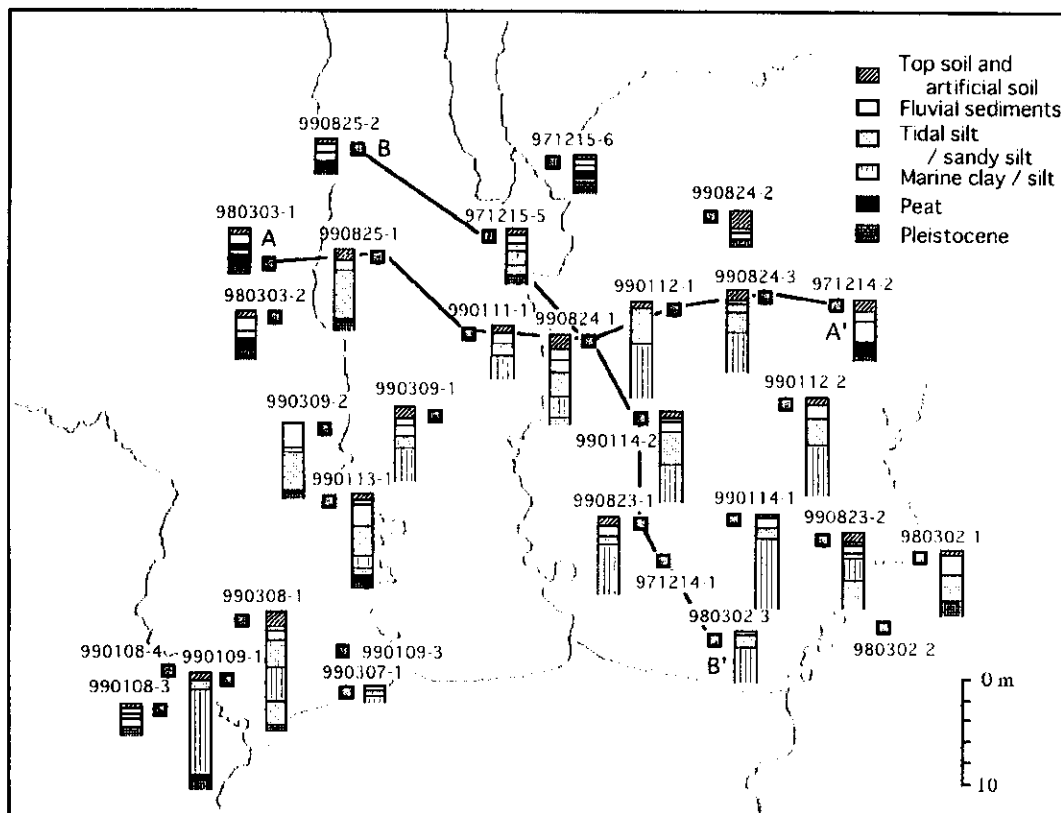


図 4. ボーリング結果に基づく表層地質柱状図



## ウ 海岸線の変化

Somboon and Thiramongkol (1988)<sup>3)</sup>に示されるように、完新世中期の内湾最拡大期における海岸線は現在の海岸線から約 70 km 内陸の Ayutthaya 付近にまで達している。本研究によって明らかにされた当時の海岸域における完新世堆積物の層厚は 1–2 m 程度であり、更新世堆積物をおおう基底泥炭層と干潟堆積物、表層の河成堆積物からなる。この泥炭層はマングローブ泥炭と判断され、その分布は当時のマングローブ林の分布を示唆している（図 8）。さらに、低地中央部の干潟堆積物と海成層との境界の年代は干潟前縁部の位置と年代を示している。また、低地の南西部には浜堤が発達しており、その堆積物の年代は約 3400 yrs BP であった。

これらの分布と年代は、空間的な海岸線の変化を復原する有力な手がかりとなる。以上のことから、完新世中期の内湾がその後干潟へと変化し、低地の拡大にともなって干潟の地域が海側へと移動した過程が明らかになった。なお、堆積物の特徴や衛星画像や地形図の解析から、現在の臨海部にもマングローブ林が広く分布していたことが推定されるが、現在はその痕跡が僅かに見られるのみで、大部分は破壊されて塩田や養殖池などに姿を変えている。

## ③沖積層・貝類群集調査

Ban Prakan ピットでは更新統上部から完新統に至る連続した岩相柱状図を作製することができ、しかも完新統は散在型の貝化石群を豊富に含んでいる。Ban Phraek Sa ピット（ピット 1）では下位から泥岩優勢砂岩泥岩細互層、化石を含まない灰白色泥層、淡赤色泥層、赤褐色中粒砂、カキ密集砂層、灰白色泥層、厚さ 13.5m の青灰色の泥層（バンコク粘土）が見られ、全体で厚さは 24m であった（図 9, 10）。カキ密集層の上位の灰白色泥層の上部は風化土壌化しており、バンコク粘土とは不整合関係にある。カキ密集層下の管状生痕の発達する赤褐色中粒砂層は酸化帯としてバンコク市内で広く追跡される。最下部の貝化石層は主に離弁のカキ殻がからなる密集層を形成している。殻固着型の *Ostrea*, *Spondylus*, *Balanus*, *Anomia*, 足糸付着型の *Chlamys* がいずれも離弁で貝殻の保存状態も良好であるが、これら以外の貝化石は貝殻が溶脱している。上部のバンコク粘土層中の貝化石群は散在型で貝殻の保存状態も良好である（図 11）。二枚貝の *Scapharca*, *Clementia*, *Solen*, *Placuna* が合併で自生位置で保存されていた。巻貝類も貝殻の摩滅、棘突起・殻口の破損もなくの完全に保存されていた。また最上部では *Macoma*, *Monothyra* が合併で自生位置で保存されていた。バンコク粘土の中部には甲殻類（十脚目）の巣穴の一部が石灰質の平扁な舌状の生痕化石として、密集して産出した。貝化石群集と岩相の垂直変化から、第 1 層準の内湾湾口部、陸化、第 2 層準から第 5 層準までが内湾砂泥底、第 6 層準が内湾奥部と海洋環境が変化した事が明らかとなった（図 12）。放射性炭素年代はカキ密集層は *Chlamys* (*Mimachlamys*) *nobilis* (Reeve) を試料として、最下部が 45,620 年前、上部は 43,480 年前であった。またバンコク粘土は *Paphia* (*Neotapes undulata* (Born)) を試料として、最下部が 4,600 年前、下部から中部が 3540–1680 年前、最上部が 840 年前である事が判明した（<sup>14</sup>C 年代）。

3 地点から採取したボーリング試料の内、西部地域の Site 2 は海棲の貝の産出がなく、全堆積物を用いて年代測定を行っている。年代値は 6520–7540 年と古く、信頼度が低い（表 1）。このためここでは他の 2 地点（Site 1, Site 3）について述べる。これら 2 地点の年代データを深度と年代軸にプロットしたのが、図 13 である。また同図には、それらの値から推定された各ボーリング地点における埋積曲線が示されている。この埋積曲線は、デルタフロントが各ボーリング地点



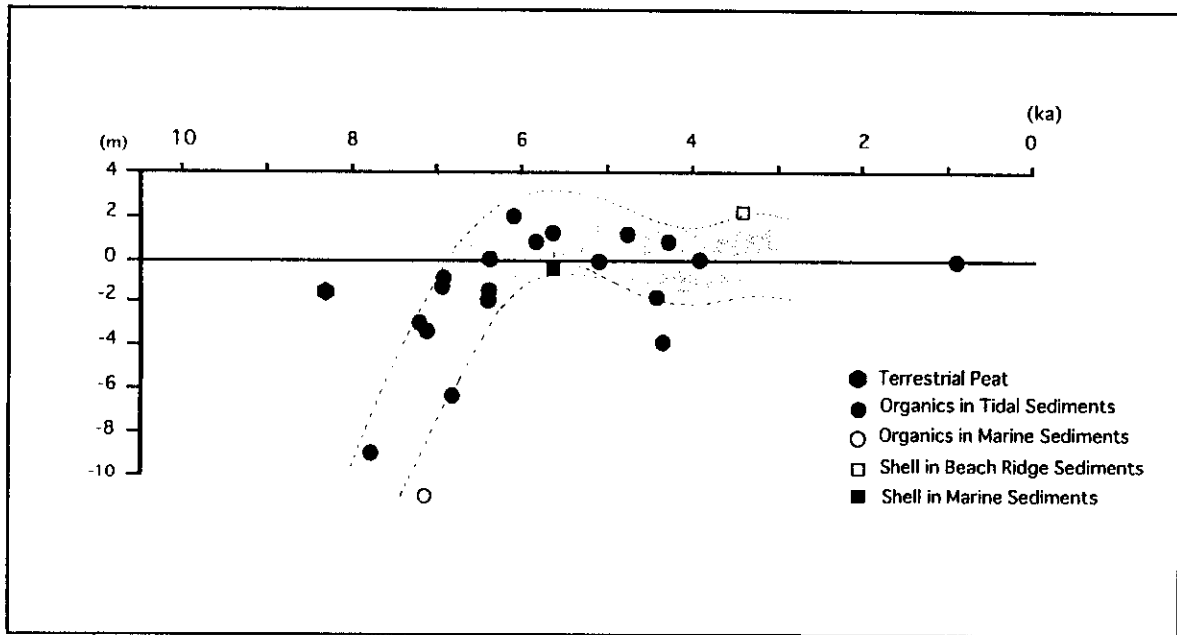


図 7. チャオプラヤデルタにおける完新世中・後期の相対的海水準変動

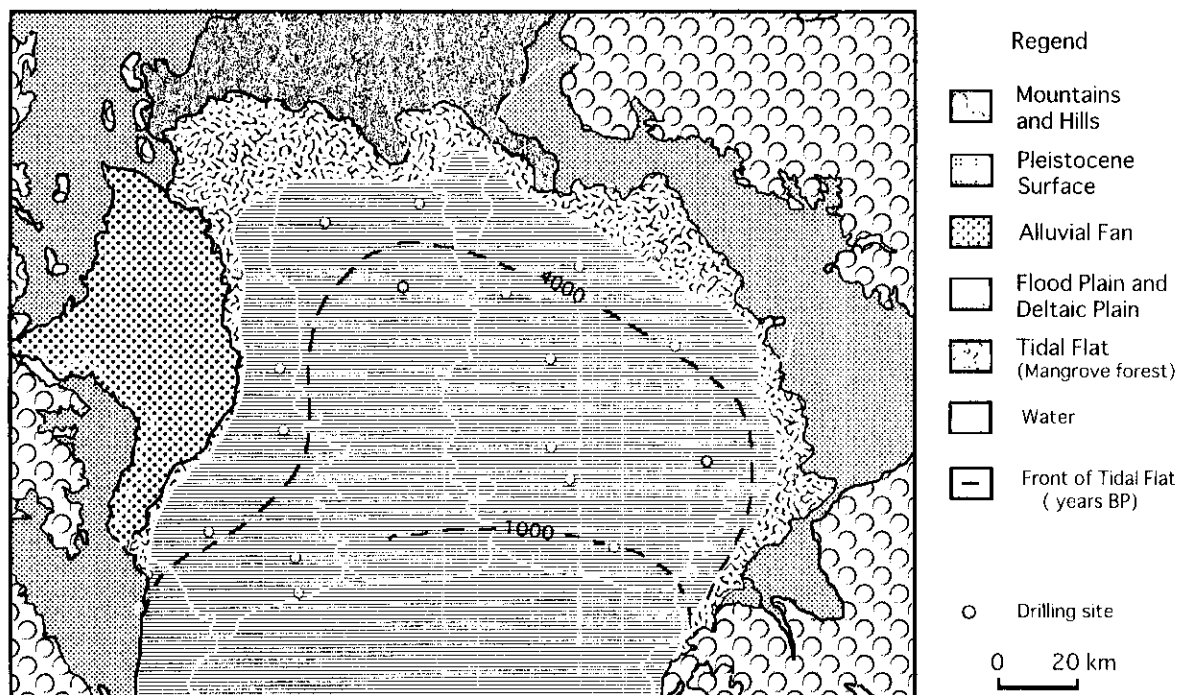


図 8. チャオプラヤデルタの完新世中期における古地理と海岸線の移動

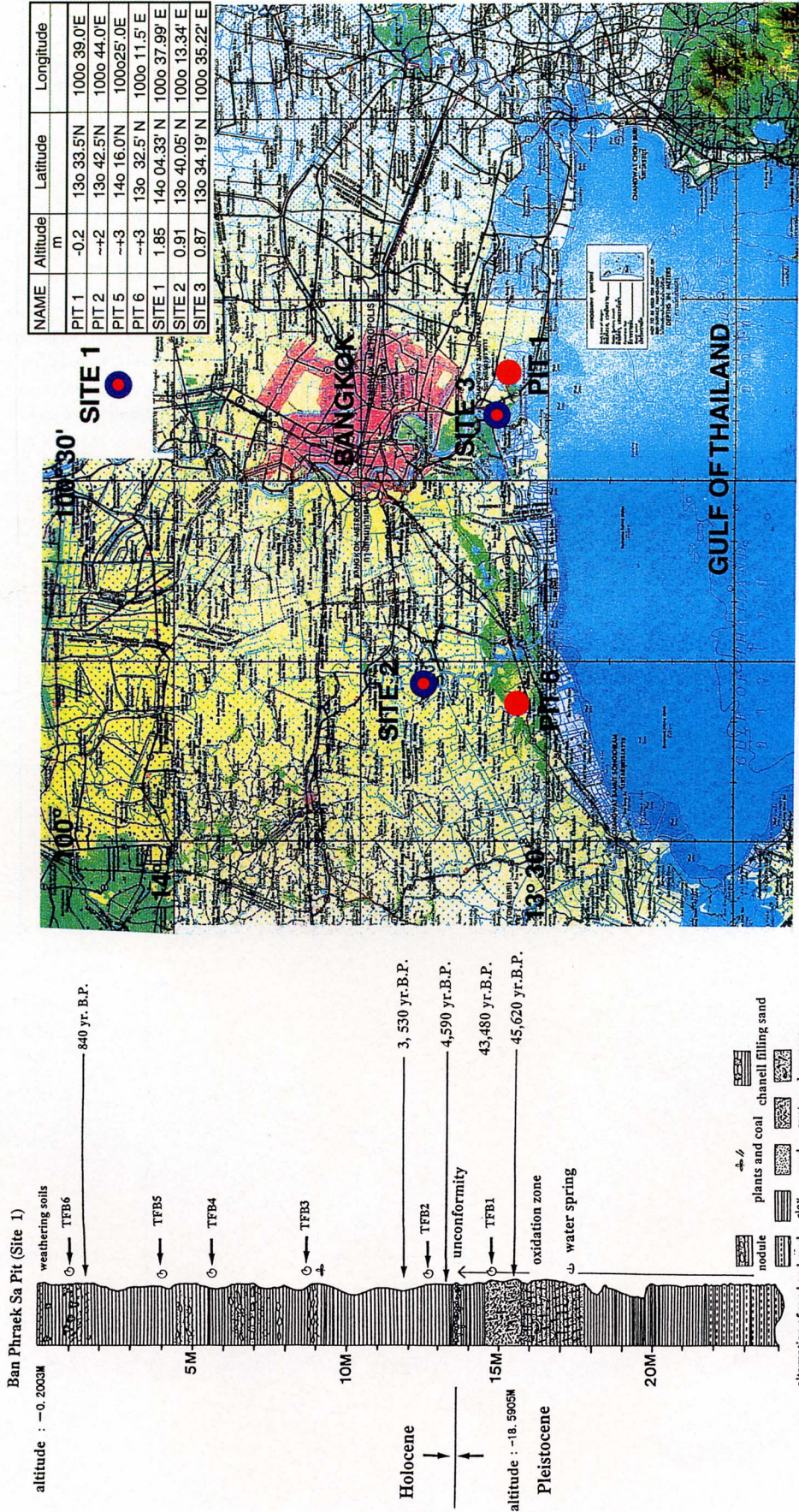


図 9. ボーリング地点とピット地点位置図。

図 10. ピット 1 地点における柱状図。  
同地点における他の放射性年代値は表 1 参照。

| Specific | Name                                                                    | Total | TFB2 | TFB3 | TFB4 | TFB5 | TFB6 |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| 1        | <i>Vermetus mura</i> (Pilsbry)                                          | 1021  | 485  | 148  | 307  | 73   | 28   |
| 2        | <i>Vermetus rufus</i> (Dunker)                                          | 397   | 187  | 53   | 168  | 159  |      |
| 3        | <i>Vermetus</i> sp. (Pilsbry)                                           | 356   | 21   | 234  | 6    | 45   |      |
| 4        | <i>Succinea</i> (Succinea) <i>gemma</i> (Yokoyama)                      | 28    | 33   | 4    | 19   | 222  |      |
| 5        | <i>Arca</i> <i>thanaos</i> (Nakamura)                                   | 28    | 134  | 5    | 2    | 5    |      |
| 6        | <i>Rugosella</i> ( <i>Rugosella</i> ) <i>solens</i> (Gould)             | 183   | 52   | 8    | 28   | 79   |      |
| 7        | <i>Elasmobranchium</i> ( <i>Elasmobranchium</i> ) <i>solens</i> (Gould) | 101   | 15   | 12   | 1    | 20   | 15   |
| 8        | <i>Pagurus</i> ( <i>Neorhynchus</i> ) <i>undulatus</i> (Born)           | 65    | 15   | 12   | 1    | 1    | 43   |
| 9        | <i>Mesochorus</i> ( <i>Mesochorus</i> ) <i>undulatus</i> (Born)         | 54    | 12   | 4    | 14   | 4    | 38   |
| 10       | <i>Cryptosiphia</i> ( <i>Cryptosiphia</i> ) <i>undulatus</i> (Born)     | 54    | 12   | 4    | 14   | 4    | 38   |
| 11       | <i>Cryptosiphia</i> ( <i>Cryptosiphia</i> ) <i>undulatus</i> (Born)     | 54    | 12   | 4    | 14   | 4    | 38   |
| 12       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 13       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 14       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 15       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 16       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 17       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 18       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 19       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 20       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 21       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 22       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 23       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 24       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 25       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 26       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 27       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 28       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 29       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 30       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 31       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 32       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 33       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 34       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 35       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 36       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 37       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 38       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 39       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 40       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 41       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 42       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 43       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 44       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 45       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 46       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 47       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 48       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 49       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 50       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 51       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 52       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 53       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 54       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 55       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 56       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 57       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 58       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 59       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 60       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 61       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 62       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 63       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 64       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 65       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 66       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 67       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 68       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 69       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 70       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 71       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 72       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 73       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 74       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 75       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 76       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 77       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 78       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 79       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 80       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 81       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 82       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 83       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 84       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 85       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 86       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 87       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 88       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 89       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 90       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 91       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 92       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 93       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 94       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 95       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 96       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 97       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 98       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 99       | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |
| 100      | <i>Diadema</i> ( <i>Diadema</i> ) <i>undulatus</i> (Born)               | 42    | 18   | 3    | 10   | 3    | 10   |

図 11. ピット 1 地点から産出した貝化石一覧。

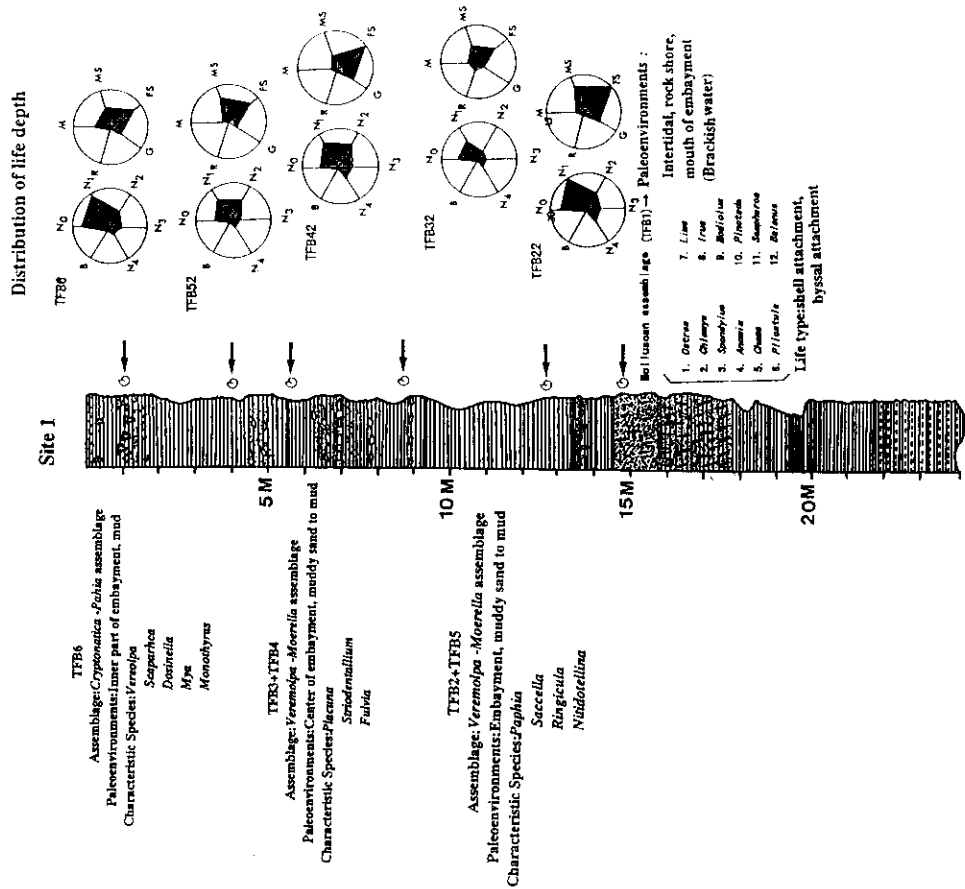


図 12. ピット 1 地点における貝化石群集解析結果。



表 1. ボーリング試料とピットからの採取試料の放射性炭素年代一覧.

| SAMPLE SITE | altitude surface, m | subbottom depth, m | altitude BPSL, m | Materials                                 | method      | C-14 age yBP | error | delta 13C permil | conventional C-14 age yBP | error | C-14 age yBP   | Calendar year          | code   |
|-------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------------------------------------|-------------|--------------|-------|------------------|---------------------------|-------|----------------|------------------------|--------|
| PIT 1       | -0.20               |                    | 0.30             | Paphia (Neolaris) undulata (Born)         | AMS         | 1880         | 50    | -1.0             | 2280                      | 50    | 1880           | AD 70                  | 137881 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 1.30             | Macoma sp.                                | Radiometric | 840          | 100   | -2.6             | 1210                      | 100   | 730            | AD 1220                | 120475 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 3.45             | Paphia (Neolaris) undulata (Born)         | AMS         | 1680         | 40    | -1.1             | 2070                      | 40    | 1630           | AD 320                 | 137879 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 5.90             | Scapharca sp.                             | AMS         | 2050         | 60    | -1.3             | 2440                      | 60    | 2085           | BC 135                 | 137880 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 9.20             | Placuna (P.) placenta (Linnaeus)          | AMS         | 2900         | 50    | -1.1             | 3290                      | 50    | 3135           | BC 1185                | 137878 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 12.90            | Papia (Neotapes) undulata (Born)          | AMS         | 3540         | 40    | -1.4             | 3930                      | 40    | 3530           | BC 1935                | 115346 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 13.70            | Papia (Neotapes) undulata (Born)          | Radiometric | 4600         | 190   | -1.2             | 4990                      | 200   | 4590           | BC 3355                | 115345 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 14.80            | Chlamys (Minachlamys) nobilis (Reeve)     | AMS         | 43480        | 1550  | -1.1             | 43870                     | 1550  | 43470          |                        | 115341 |
| PIT 1       | -0.20               |                    | 16.00            | Chlamys (Minachlamys) nobilis (Reeve)     | AMS         | 45620        | 1810  | -1.2             | 46010                     | 1810  | 45610          |                        | 115340 |
| PIT 2       |                     |                    |                  | Scapharca sbucrenata (Lischke)            | AMS         | 7550         | 60    | -9.6             | 7800                      | 60    | 7400           | BC 6580                | 115342 |
| PIT 2       |                     |                    |                  | Macoma sp.                                | AMS         | 7360         | 70    | -8.3             | 7630                      | 70    | 7230           | BC 6435                | 115343 |
| PIT 2       |                     |                    |                  | wood fragment                             | AMS         | 8310         | 120   | -29.1            | 8250                      | 120   | 8250           | BC 7280                | 115347 |
| PIT 5       |                     |                    |                  | Dosinella sp.                             | AMS         | 5850         | 60    | -9.6             | 6100                      | 60    | 5700           | BC 4985                | 115344 |
| PIT 6       |                     |                    | ca. 2            | Scapharca sp. cf. S. glohosa ursus Tanaka | AMS         | 1840         | 60    | -2.1             | 2210                      | 60    | 1815           | AD 135                 | 130684 |
| PIT 6       |                     |                    | ca. 4            | Scapharca sp. cf. S. glohosa ursus Tanaka | AMS         | 2510         | 70    | -1.1             | 2900                      | 70    | 2705           | BC 755                 | 130683 |
| PIT 6       |                     |                    |                  | Crassostrea sp.                           | AMS         | >49960       |       | -7.3             | >50240                    |       |                |                        | 130682 |
| SITE 1      | 1.85                | 340                | 1.55             | Veremolpa micra (Pilsbry)                 | AMS         | 3930         | 80    | -1.7             | 4310                      | 80    | 4415           | BC 2465                | 134956 |
| SITE 1      | 1.85                | 340                | 1.55             | charred material                          | AMS         | 8270         | 70    | -27.8            | 8230                      | 70    | 9240           | BC 7290                | 134957 |
| SITE 1      | 1.85                | 450                | 2.65             | organic sediment                          | AMS         | 4450         | 40    | -24.0            | 4470                      | 40    | 5055           | BC 3105                | 134958 |
| SITE 1      | 1.85                | 580                | 3.95             | Paphia (Neotapes) undulata (Born)         | AMS         | 3680         | 50    | -5.5             | 4000                      | 50    | 3985           | BC 2035                | 134959 |
| SITE 1      | 1.85                | 630                | 4.45             | Cryptomya sp.                             | AMS         | 3380         | 50    | -5.5             | 3700                      | 50    | 3620           | BC 1670                | 134960 |
| SITE 1      | 1.85                | 925                | 7.4              | Veremolpa micra (Pilsbry)                 | AMS         | 4100         | 100   | -1.0             | 4500                      | 100   | 4700           | BC 2750                | 130667 |
| SITE 1      | 1.85                | 1125               | 9.4              | Veremolpa micra (Pilsbry)                 | AMS         | 3960         | 50    | -1.2             | 4350                      | 50    | 2535           | BC 4485                | 130668 |
| SITE 2      | 0.91                | 315-320            | 2.26             | plant fragment                            | AMS         | 6520         | 80    | -29.2            | 6450                      | 80    | 7410           | BC 5460                | 134961 |
| SITE 2      | 0.91                | 460-465            | 3.71             | organic sediment                          | AMS         | 7540         | 50    | -26.4            | 7520                      | 50    | 8355           | BC 6405                | 134962 |
| SITE 2      | 0.91                | 555-560            | 4.66             | organic sediment                          | AMS         | 7470         | 40    | -26.7            | 7450                      | 40    | 8210/8265/8305 | BC 6260/6315/6355      | 134963 |
| SITE 2      | 0.91                | 770                | 6.79             | organic sediment                          | AMS         | 7530         | 50    | -26.4            | 7510                      | 50    | 8350           | BC 6400                | 134964 |
| SITE 2      | 0.91                | 865                | 7.74             | wood fragment                             | AMS         | 7410         | 60    | -28.0            | 7360                      | 60    | 6225           | BC 8175                | 130669 |
| SITE 2      | 0.91                | 1056               | 9.65             | wood fragment                             | AMS         | 7120         | 60    | -27.3            | 7080                      | 60    | 7930           | BC 5980                | 130670 |
| SITE 3      | 0.87                | 155                | 0.68             | wood fragment                             | AMS         | 210          | 60    | -27.5            | 170                       | 60    | 10150/185/275  | AD 1940/1800/1765/1675 | 130671 |
| SITE 3      | 0.87                | 275                | 1.88             | wood fragment                             | AMS         | 190          | 40    | -25.3            | 190                       | 40    | 155170/280     | AD 1795/1780/1670      | 130672 |
| SITE 3      | 0.87                | 322                | 2.35             | Verendae (sp. et gen. indet.)             | AMS         | 2070         | 50    | 0.3              | 2490                      | 50    | 2135           | BC 185                 | 130673 |
| SITE 3      | 0.87                | 712                | 6.25             | Macoma sp.                                | AMS         | 1150         | 50    | -3.0             | 1510                      | 50    | 1055           | AD 895                 | 130674 |
| SITE 3      | 0.87                | 812                | 7.25             | Macoma sp.                                | AMS         | 1070         | 40    | -3.8             | 1410                      | 40    | 1305           | AD 645                 | 132937 |
| SITE 3      | 0.87                | 862                | 7.75             | Natica sp.                                | AMS         | 5490         | 50    | -2.1             | 5870                      | 50    | 6280           | BC 4330                | 130675 |
| SITE 3      | 0.87                | 1008               | 9.21             | Paphia (Neotapes) undulata (Born)         | AMS         | 2860         | 50    | 0.5              | 3280                      | 50    | 3115           | BC 1165                | 130676 |
| SITE 3      | 0.87                | 1210               | 11.23            | Macricardium mansitii (Ouka)              | AMS         | 2760         | 50    | -0.2             | 3170                      | 50    | 2945           | BC 995                 | 130677 |
| SITE 3      | 0.87                | 1303               | 12.16            | Paphia (Neotapes) undulata (Born)         | AMS         | 2890         | 50    | -0.4             | 3300                      | 50    | 3150           | BC 1200                | 130678 |
| SITE 3      | 0.87                | 1380               | 12.93            | Crassostrea sp.                           | AMS         | 44400        | 1000  | -4.5             | 44740                     | 1000  |                |                        | 130679 |
| SITE 3      | 0.87                | 1423               | 13.36            | Crassostrea sp.                           | AMS         | 35900        | 710   | -1.5             | 36290                     | 710   |                |                        | 130680 |

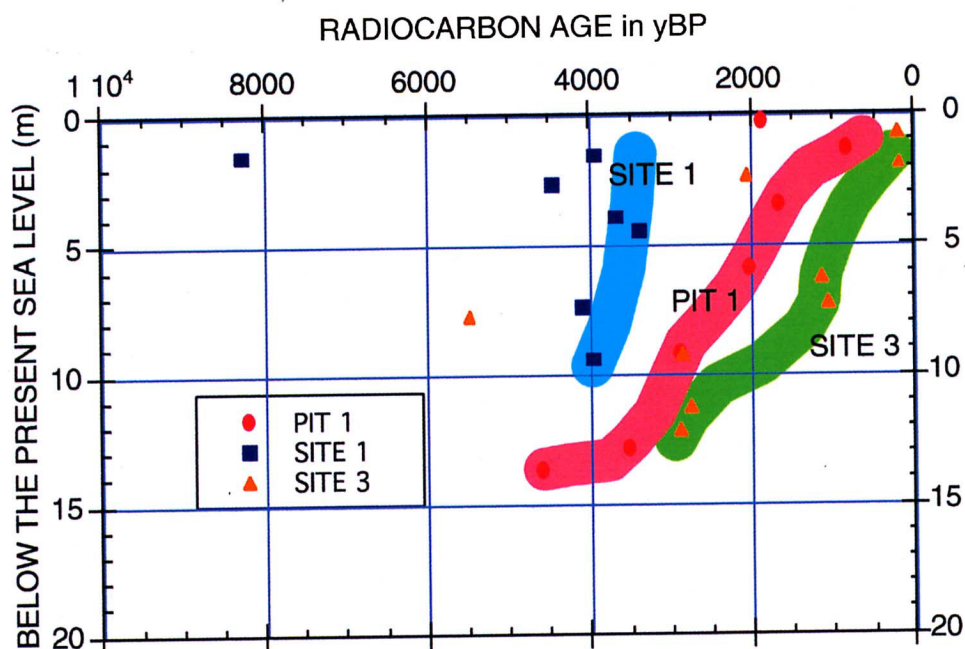


図 13. ボーリング地点 (Site 1, Site 3) とピット 1 における埋積曲線.

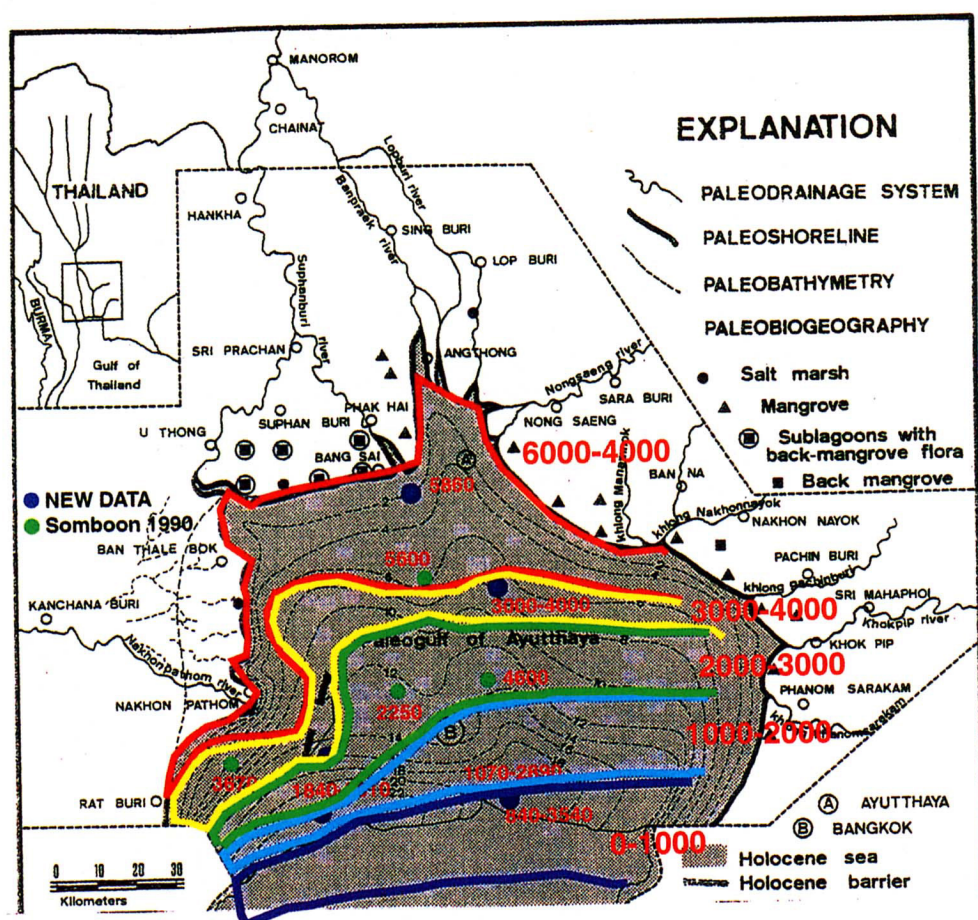


図 14. 過去 6 千年間におけるデルタフロントの前進過程.  
基図は Somboon (1990, 1992) による.

を通過した年代を明瞭に示している。これによれば、通過した年代は、Site 1 では 3000-4000 年前、Site 3 では約 1000 年前となっている。また Pit 1 では 3000-1000 年前となっている。これらのデータと既存の放射性炭素年代を基に、デルタフロントの通過位置を過去 6 千年間についてタイ中央平野全域について示した図を、図 14 に示す。チャオプラヤーデルタとメクロンデルタによって約 6 千年前の湾入から徐々に南方へデルタが前進してきたことが読みとれる。

#### ④有機地球化学分析

今回のバイオマーカ解析では、耐塩性植物であるマングローブ由来のバイオマーカおよび植物に普遍的に含まれるリグニン由来のバイオマーカに着目して解析を行った。

マングローブ由来のバイオマーカを明らかにするため、まず熱帯域に生息するマングローブの解析を行った。結果のトータルイオンクロマトグラム(TIC)を図 15 に示す。図中で ● 記号をつけた特徴的なピークは、そのマススペクトルや従来の文献<sup>6)</sup>との比較からタラクサロール(Taraxerol)と考えられる。コア試料中の、泥炭(No.121410)およびその上位に重なる海成粘土(No.121413)の TIC を図 15 下に示す。泥炭中には、タラクサロールの存在が確認できるが、海成粘土中には明確なピークとしては存在していない。タラクサロールの陸源有機物中における存在比を求めるためには、陸源有機物全体を示すバイオマーカが必要であるが、残念ながら現時点で、そのようなバイオマーカを決定することができていない。このため現時点では、タラクサロールの存在を定性的に示すにとどまっているが、マングローブ植物の関与を知ることが、古環境解析に有意義な情報をもたらすことは明らかである。

植物を構成する主要な構成物は、セルロースとリグニンであるが、セルロースは分解されやすく堆積物中の有機物中に保存されにくい。他方リグニンはベンゼン骨格を持つアルコールの重縮合により生成された高分子で、比較的分解されにくく保存されやすい。また、起源物質であるアルコールの種類が植物種により異なるため、リグニンを Py-GC/MS で分析することにより起源物質が明らかにできれば古植生を解析できる可能性がある。リグニンの熱分解で生成されるフェノールの種類と植物の種類についての関係を表 3 に示す。

堆積物を Py-GC/MS で分析した時にリグニンの分解生成物についてのクロマトグラムを図 16 に示す。各化合物は熱分解時に TMAH によりオンラインメチル化されている。一般に最も多く生成されるのはバニル酸(Va)およびシリンジ酸(Sa)で、両者の比は古植生における針葉樹、広葉樹の比を示している可能性がある。分析結果を表 2 および図 17 に示す。深度が増すに従い相対的に Va が増加する傾向がみられる。この結果を、下部ほど針葉樹が多かった解釈するよりも、Hedges et al. (1988)<sup>7)</sup>が示したように、Va と Sa の微生物による分解速度の違いに起因すると考えるほうが妥当と思われる。しかし、表 2 に示した完新世石狩泥炭(Ishikari Peat)の値に比べ Sa が多く、針葉樹の寄与が石狩泥炭などに比べ少なかったと思われる。この結果は、熱帯植物に針葉樹が少ないことと一致している。

#### ⑤メコンデルタ調査

##### ア 完新世におけるメコンデルタの形成過程と海水準変動

1997 年と 1998 年度に掘削したコア試料について、岩相記載、軟 X 線写真、粒度組成、珪藻化石、CNS 含有量、年代値などのデータが総合的に解析された(図 18, 19)。



表 2. 分析試料の採取深度、岩相およびリグニン由来化合物の分析値.

| Samples       | depth(m) | rock-type | Sa/Va | Vh/Va | Vo/Va |
|---------------|----------|-----------|-------|-------|-------|
| 121413        | 2.8      | clay      | 1.412 | n.d.  | n.d.  |
| 121412        | 3.8      | clay      | 0.958 | n.d.  | n.d.  |
| 121411        | 4.1      | peat      | 0.563 | 0.792 | 0.167 |
| 121410        | 4.5      | peat      | 0.479 | 0.688 | 0.167 |
| Ishikari peat |          | peat      | 0.375 | 0.146 | 0.146 |

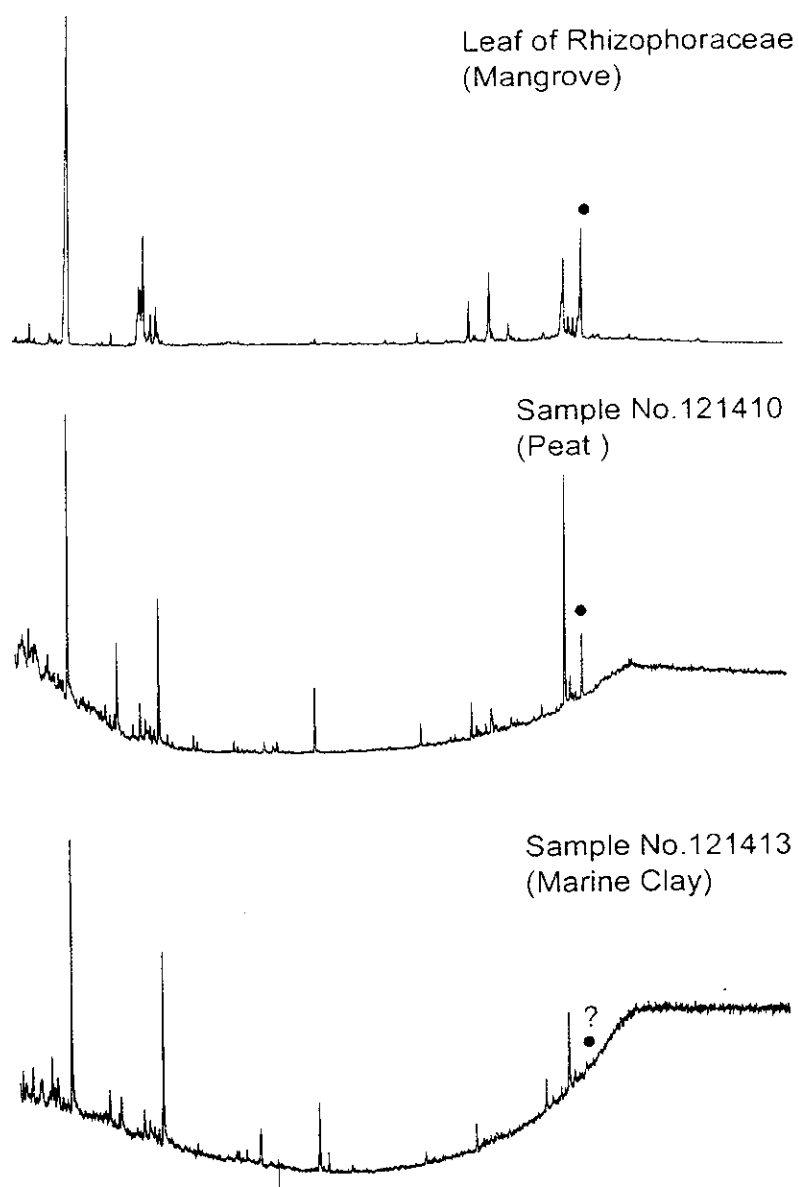


図 15. 現世ヒルギ科の葉 (*Rhizophoraceae* leaf), 完新世堆積物中の泥炭 (Peat No. 121410) および海成粘土 (Marine Clay, No. 121413) の熱分解 GC/MS による全イオンクロマトグラフ (TIC). ●はタラクサロール (Taraxerol).

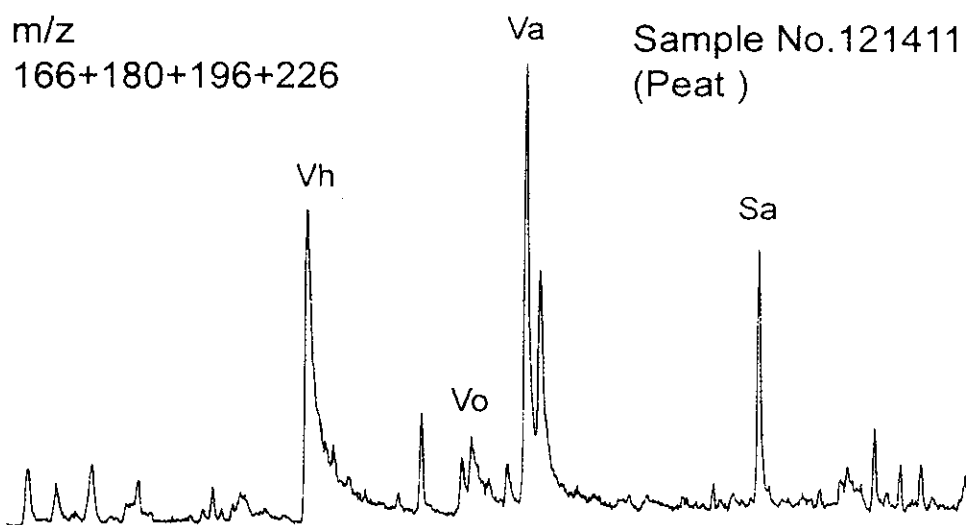


図 16. 熱分解 GC/MS による質量数 166+180+196+226 のイオンクロマトグラム.  
Vh, Vo, Va, Sa はリグニン起源のフェノール化合物. Vh: Vanilin, Vo: Acetovanillon, Va: Vanilic acid, Sa: Sylngic acid.

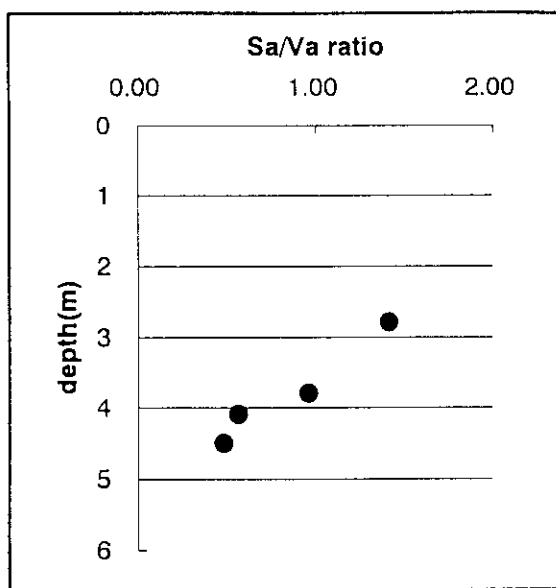


図 17. Sa/Va 比の垂直変化

表 3. リグニンフェノール化合物と起源植物の関係.

|                | conifer | angiosperm | harbecous |
|----------------|---------|------------|-----------|
| vanillic       | ○       | ○          | ○         |
| syringic       |         | ○          | ○         |
| hydroxybenzoic |         |            | ○         |
| coumaric       |         |            | ○         |

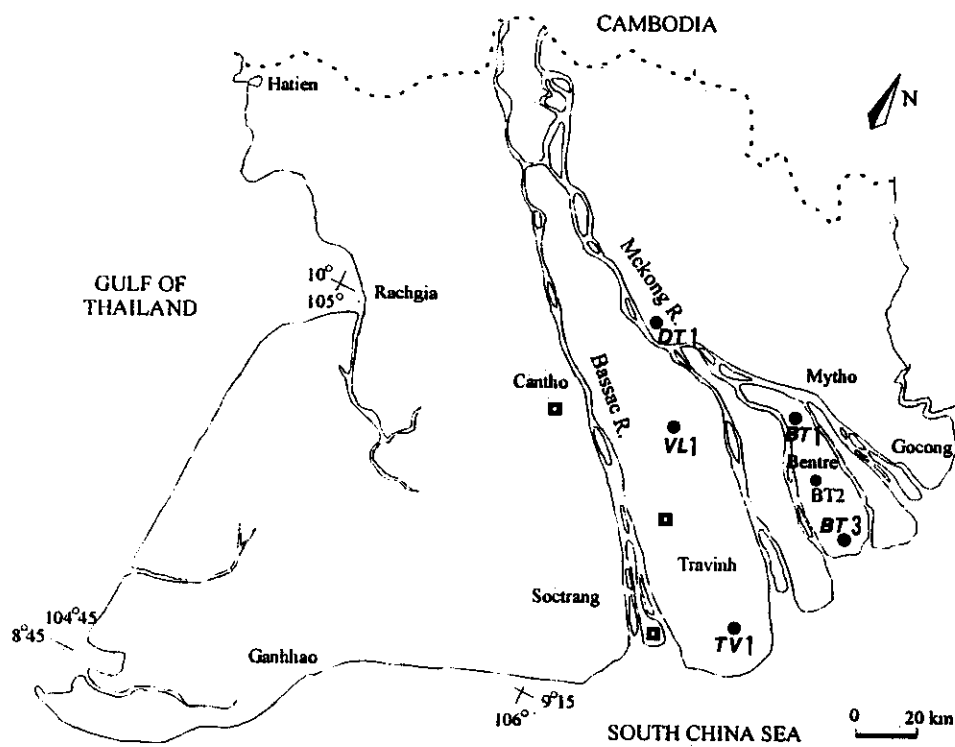


図 18. メコンデルタにおけるボーリング地点位置図。  
1997 年と 1998 年採取地点は、●，1999 年採取地点は、□。

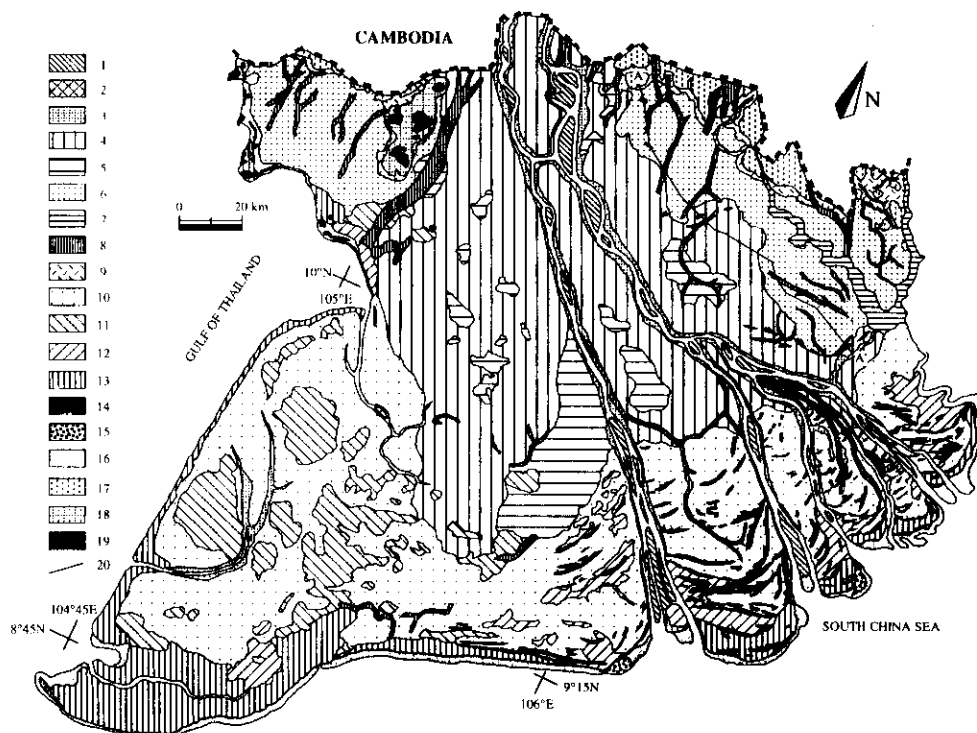


図 19. メコンデルタ地形区分図。

1 channel bar, 2 point bar, 3 bank consisting of natural levee and crevasse splay, 4 flood basin, 5 bank swamp, 6 swamp, 7 flood plain, 8 abandoned channel, 9 alluvial apron, 10 coastal plain, 11 marsh, 12 salt marsh, 13 mangrove marsh, 14 beach ridges and sand dunes, 15 sand marsh, 16 tidal flat, 17 late Pleistocene deposits, 18 weathered land, 19 basement rock.

これらの解析から得られた、1997 年度掘削されたベンチャー地域における 3 本の掘削コア (BT1, BT2, BT3) の対比 (図 20) と 1998 年度掘削したチャービン地域のコア TV1 (図 21) の層相、ビンロン VL1 とチャービン TV1 を結ぶ断面に沿った模式的発達様式 (図 22) を示す。

完新統の最大深度は BT2 において 55m であり、やや北西方に位置する VL1 でも完新統は約 35 m と、周囲の掘削点より深い。海岸線に近い、BT1 や TV1 では 20m 前後であり、海進初期には東に開いた湾入地形が想定される。およそ 6 千-5 千年前の温暖期の最大海進期には、海はベトナムカンボジア国境よりもさらに内陸に侵入したと考えられるが、以降、基本的には海岸平野が前進する過程が想定される。その前進過程には図 22 に示したように、2 千数百年ぐらい前までは年間 20 数 m という速度で前進している。その後、前進速度は半減している。前進速度がこの時期以降急速に減少した原因は今のところ明かでないが、供給される碎屑物が波浪や潮汐の影響で広く分散する過程が大きな影響を与えた可能性が考えられる。このことは表層地形に見られる浜堤列の発達や、同地域から採取されたコアの層相からも支持され、デルタの外側の地域ほど波浪の影響を強く受けていることと調和的である。

メコンデルタの形成に関しては、浜堤列が顕著に発達するという現在の地形的特徴から、波浪や風が大きな影響を与えたと考えられてきた。しかし、完新統コアに認められる堆積相の時空分布は、地層形成過程での潮汐の重要性を示している。いずれのコアでもその上部に潮下帯から潮間帯の堆積相が厚く発達している。デルタフロントの堆積物の上部、深いところではおよそ 10 数 m の層準から潮汐堆積物が出現する。現在の三角州平野の海側部分における重要な特徴である浜堤列は地表付近での碎屑物の運搬、移動形式としての風と波浪の重要性を示唆するが、その影響はデルタ堆積物の最上部に限られると予想された。

#### イ 海岸線の変化と塩水化

メコンデルタの海岸線には浸食海岸、堆積海岸、平衡海岸が認められた (図 23)。

浸食海岸：南シナ海に面した海岸に多い。特にカマウ半島のガンハオ ドュオンケオ間の 60km で顕著である (表 4, 図 24 右)。海岸線の平均後退速度は 30-50m/yr であり、場所によっては 100m/yr に達している。浸食面積は特にこの 30 年間で大きくなっており、メコン河からの土砂供給量が減少している可能性がある。

堆積海岸：クアチュー、クアダイ、クアディンアン、クアタンデなどのメコン川河口部とカマウ半島西海岸に認められる。メコン川河口における海岸の前進速度は 10-15m/yr であるが、カマウ半島西海岸では 50-80m/yr に達している (図 24 左)。この地域での平均堆積面積は  $1.2 \text{ km}^2/\text{yr}$  ( $122 \text{ ha}/\text{yr}$ ) に達している (表 5)。メコン川から運び込まれた堆積物が沿岸流によって大量に運搬されているものと思われる。

メコンデルタは広大で低平な平野であり、高度 4-10m に達する沿岸砂丘列を除くと、平均的な高度は 0.5-2m である。塩水化はこの低地にとってはきわめて深刻な問題である (図 25)。南シナ海における平均潮位差 3-4 m という量と、自然の流路と人工水路の網目状の発達が塩水化を進行させている。一方、メコン川の流量とその氾濫は塩水化を押しとどめる重要な要素である。塩水化はベトナムとカンボジア国境近くにもうけられたタンチャウとチャウドック観測所での平均的な年流量に比して 20% 以下になったときに特に進行している (表 6, 7)。

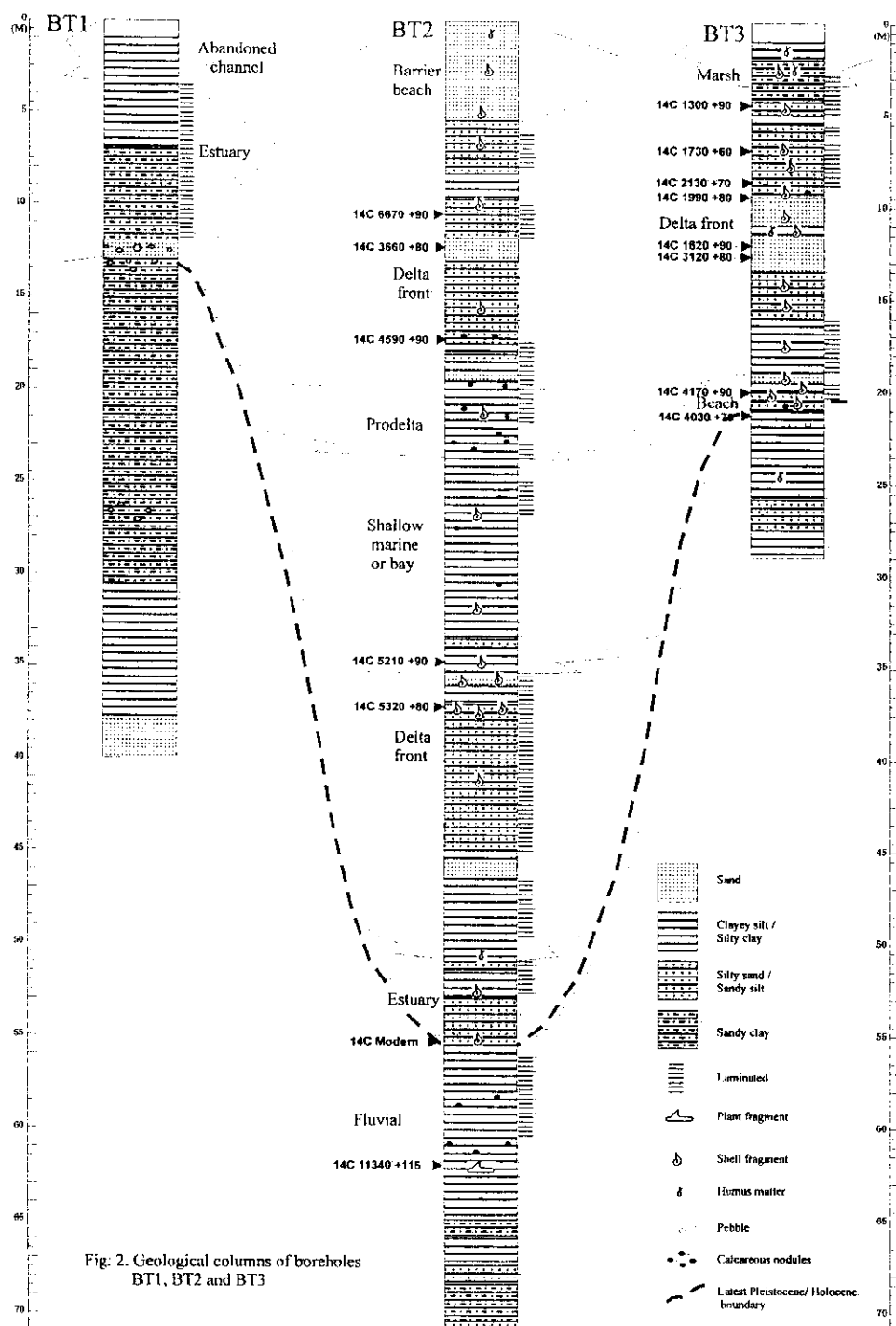


Fig. 2. Geological columns of boreholes BT1, BT2 and BT3

図 20. BT1, BT2, BT3 におけるボーリング柱状図と層相対比.



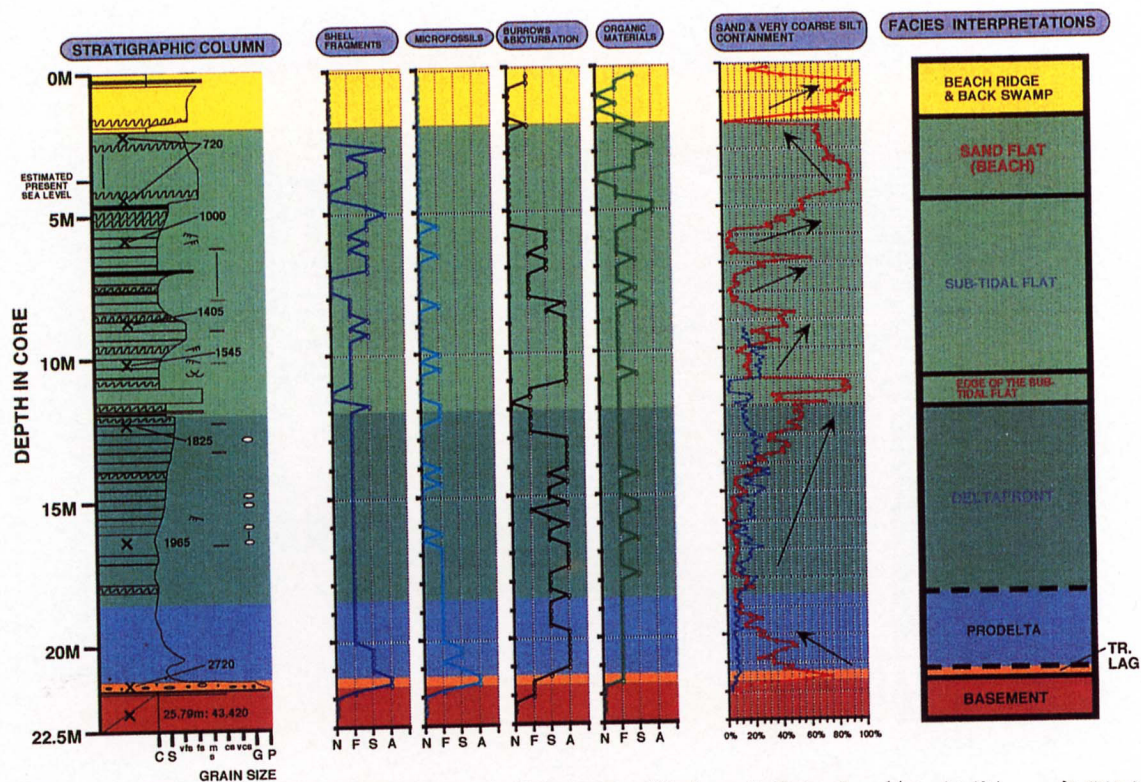


図 21. TV1 ボーリングにおける堆積相解析（粒度，砂粒組成， $^{14}\text{C}$  年代）．色調区分は堆積相の区分を示す（図 22 参照）．

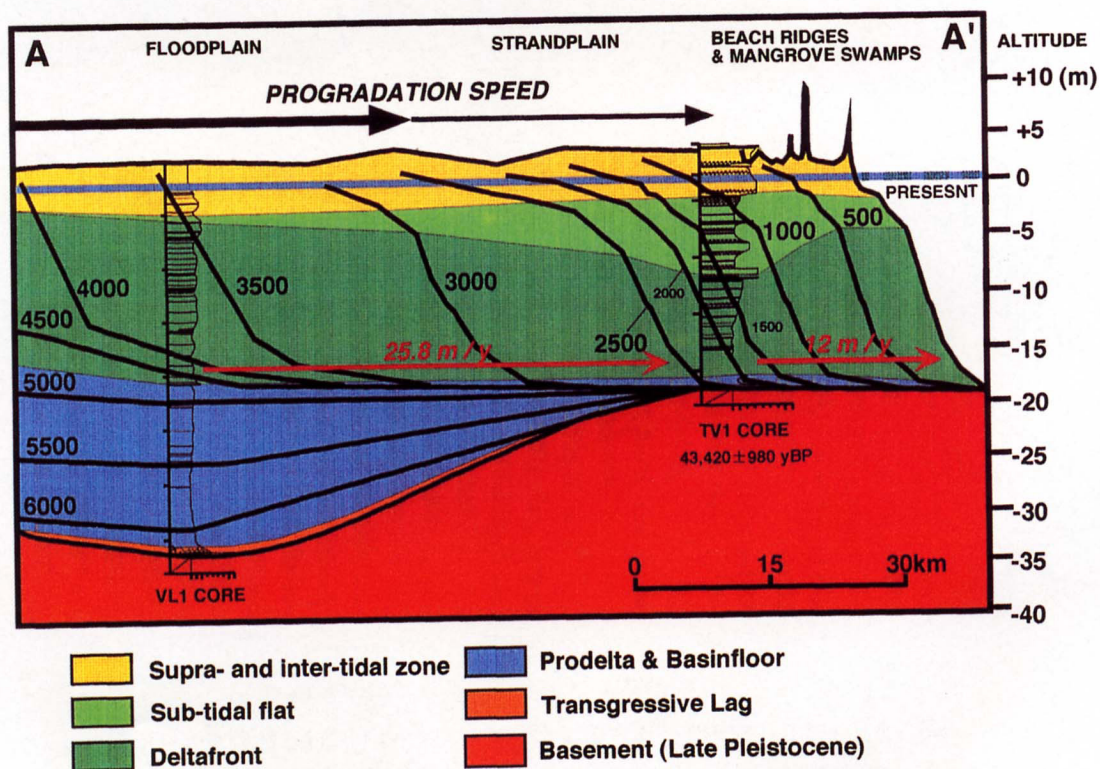


図 22. VL1 から TV1 ボーリング地点におけるメコンデルタの前進過程．堆積相分布と同時間線を示す．

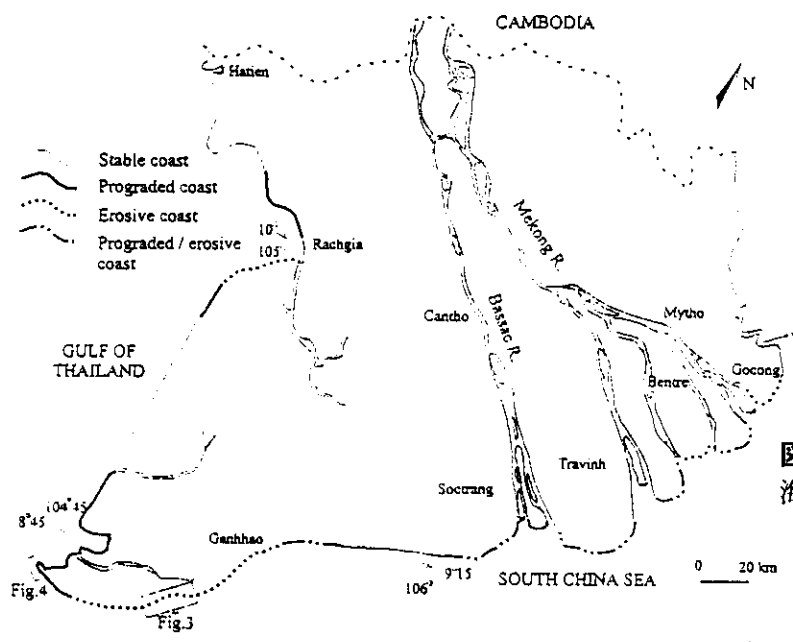


図 23. メコンデルタにおける海岸線の侵食、堆積状況。

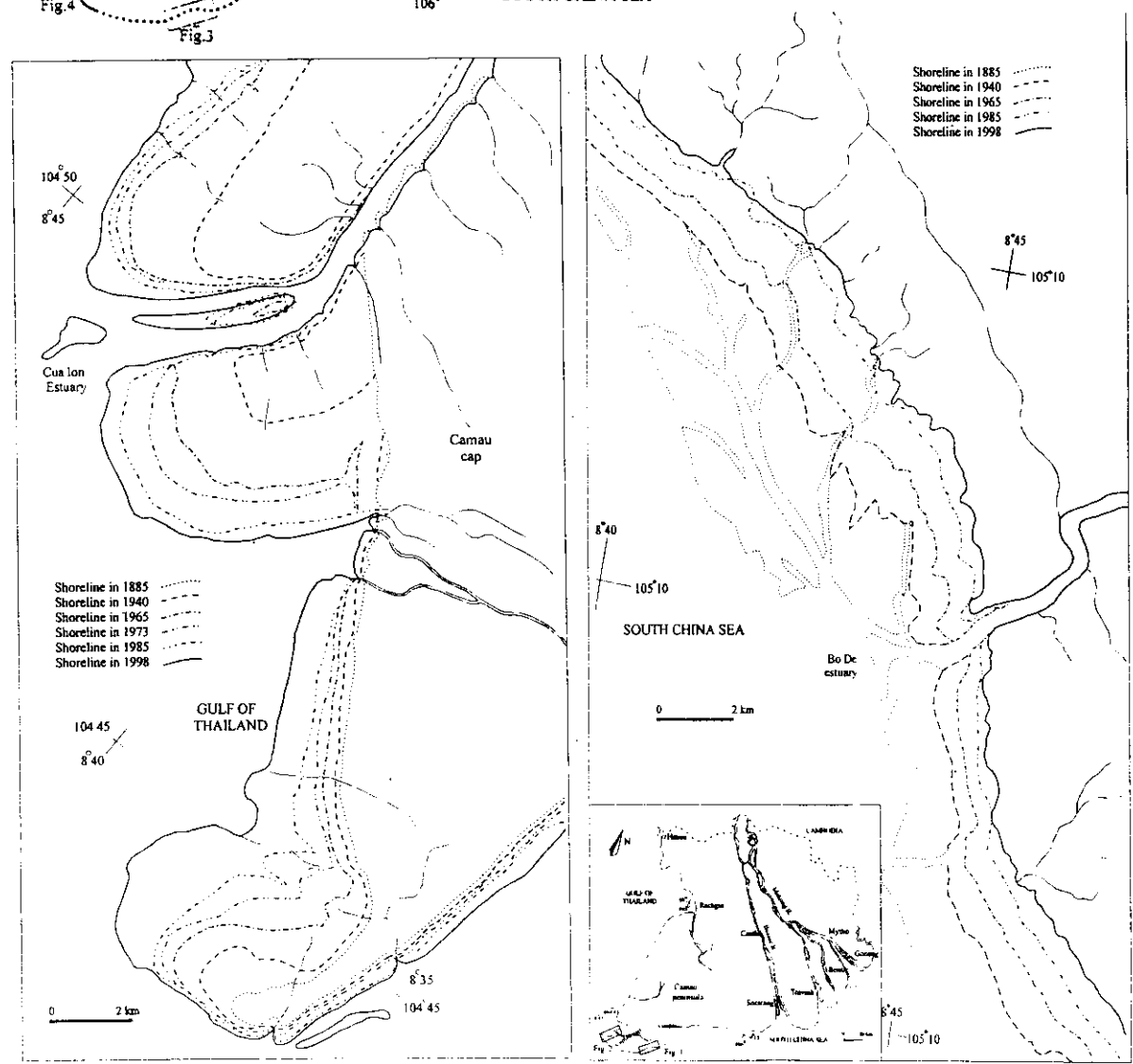


図 24. 過去約 100 年間におけるカマウ岬周辺における海岸線の変遷図。  
左：堆積海岸，位置は図 23 の Fig. 4. 右：侵食海岸，位置は図 23 の Fig. 3.

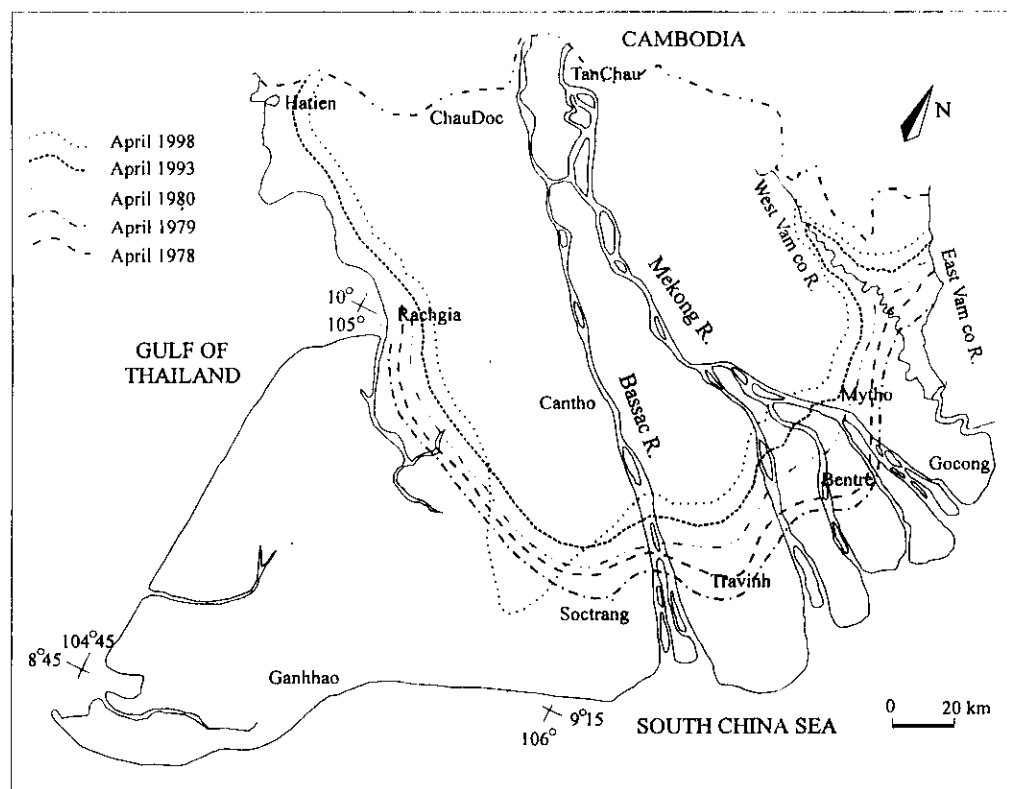
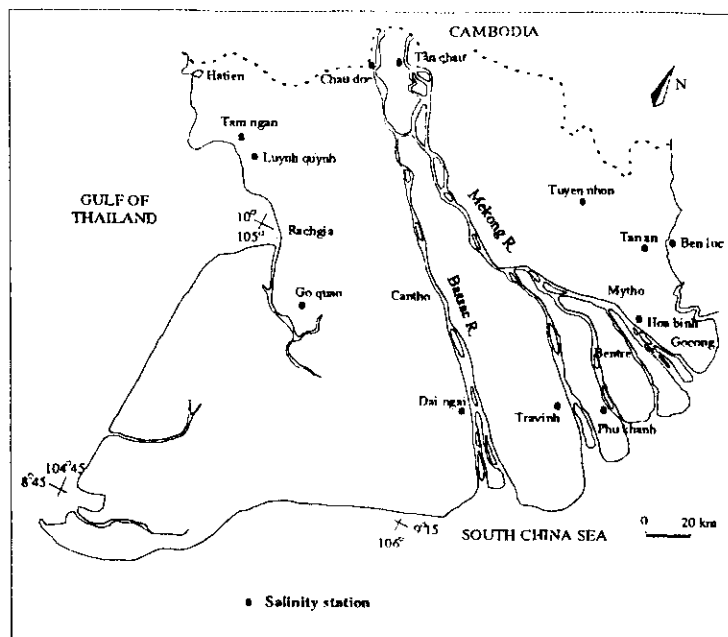


図 25. メコンデルタの乾季（4月）における地下水の塩分 4 パーミル位置の変化図。上は、データの採取地点。

表 4 . 1855 年以降の Ganh Hao-Duong Keo 地域における海岸線後退速度.

| Interval  | Erosive area (ha) | Rate of erosion (ha/yr) |
|-----------|-------------------|-------------------------|
| 1885-1940 | 6494              | 118                     |
| 1940-1965 | 2344              | 94                      |
| 1965-1985 | 2427              | 121                     |
| 1985-1998 | 1625              | 125                     |
| 1885-1998 | 12890             | 114                     |

表 5 . 1855 年以降の Ca Mau 岬西部における海岸線前進速度.

| Interval  | Prograded area (ha) | Rate of progradation (ha/yr) |
|-----------|---------------------|------------------------------|
| 1885-1940 | 5875                | 107                          |
| 1940-1965 | 3181                | 127                          |
| 1965-1985 | 3189                | 159                          |
| 1885-1985 | 12245               | 122                          |

表 6 . 1996-1998 年における Tan Chau と Chau Doc 観測点における流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) .

| Year      | Station      | Jan.  | Feb. | Mar. | Apr. | May  |
|-----------|--------------|-------|------|------|------|------|
| 1996      | Tan Chau (1) | 6031  | 3534 | 2390 | 2010 | 3760 |
|           | Chau Doc (2) | 1452  | 846  | 511  | 440  | 751  |
|           | 1+2          | 7483  | 4380 | 2909 | 2450 | 4511 |
| 1997      | Tan Chau     | 8136  | 5291 | 3230 | 2620 | 2720 |
|           | Chau Doc     | 2022  | 1164 | 661  | 547  | 551  |
|           | 1+2          | 10158 | 6455 | 3891 | 3167 | 3271 |
| 1998      | Tan Chau     | 5829  | 3347 | 1789 | 1511 | 2021 |
|           | Chau Doc     | 1223  | 705  | 432  | 375  | 486  |
|           | 1+2          | 7052  | 4052 | 2221 | 1886 | 2507 |
| 1996-1998 | 1+2          | 8231  | 4962 | 3004 | 2501 | 3430 |
| 1978-1990 | 1+2          | 8010  | 4695 | 2570 | 1865 | 2767 |

表 7 . Ca Mau 岬の観測点における地下水の塩分濃度変化 (パーミル) .

| Station | XEO RO |      |      | MY THANH |      |      | GANH HAO |      |      | SONG DOC |      |      | CA MAU |      |      |
|---------|--------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|--------|------|------|
|         | Apr.   | May  | Jun. | Apr.     | May  | Jun. | Apr.     | May  | Jun. | Apr.     | May  | Jun. | Apr.   | May  | Jun. |
| 1983    | 18.5   | 12.8 | 10.0 | 25.0     | 26.0 | 26.0 | 31.6     | 32.3 | 32.3 | 30.0     | 30.6 | 23.0 |        |      |      |
| 1994    |        |      |      |          |      |      |          |      |      |          |      |      | 25.5   | 21.8 | 2.6  |
| 1995    |        |      |      |          |      |      |          |      |      |          |      |      | 32.9   | 33.0 | 21.6 |
| 1996    | 21.5   | 8.4  | 2.0  | 22.8     | 18.6 | 15.5 | 27.9     | 28.0 | 25.5 | 28.8     | 27.2 | 24.2 | 27.5   | 21.7 | 15.5 |
| 1997    | 12.6   | 9.8  | 3.1  | 21.0     | 22.3 | 19.2 | 31.4     | 30.8 | 30.8 | 31.4     | 32.2 | 30.7 | 31.8   | 33.1 | 12.3 |
| 1998    | 23.4   | 22.1 | 9.1  | 23.2     | 29.4 | 24.4 | 32.9     | 33.7 | 32.8 | 35.8     | 36.0 | 32.6 | 35.7   | 37.8 | 29.4 |
| 1999    | 9.8    | 0.6  | 1.4  | 25.3     | 21.2 | 23.1 | 30.4     | 31.0 | 29.4 | 32.5     | 29.0 | 25.2 | 31.4   | 4.7  | 1.6  |

## ⑥ ソンクラー湖調査

本研究では、具体的な研究対象地域として、タイ国南部のソンクラー湖を選び、とくに海面上昇の影響を受けやすい南部のサップソンクラー湖について詳しく検討した。

**自然システム：**ソンクラー湖全域における、地形条件と水文条件を整理した（表8）。ソンクラー湖の湖岸は、4つの地形区に区分され、そのうち湿地帯、湖岸低地、デルタは、それぞれノイ湖、ルアン湖、サップソンクラー湖の湖盆と関係が深い（図27）。水文条件のうち、雨季の大雨が湖岸や谷底平野での洪水発生の一因となっており、またルアン湖、サップソンクラー湖の塩分濃度の変動と深く関わっている。

**社会・経済システム：**上述の5つの地形区ごとに、代表的な土地利用と水利用、および現在の環境問題を整理した（表9）。各地形区における土地利用は、その多くがそれぞれの地域の特徴的な微地形とうまく対応し、土地の性格を生かした土地利用がなされている。しかし近年、一部ではそのような従来の土地利用状況から、新しい土地利用形態も出現している。

以下、とくに海面上昇の影響を強く受けると推定されるソンクラー湖南部のサップソンクラー湖湖岸における結果を示す。

### ア サップソンクラー湖における湖岸の類型化

サップソンクラー湖の湖岸は、微地形と土地利用の違いから、①サップソンクラー湖北東岸の浜堤列平野、②ソンクラー市の市街地が広がっている湖口より南側の砂嘴、そして③サップソンクラー湖西岸から南岸に広がる三角州性低地の3地区に分けられる（図28）。

**浜堤列平野：**浜堤列平野の南端では、18列の浜堤が発達しているが、海岸よりの7列、湖岸よりの5列、中間の6列の3つの部分に区分される（図29）。海岸よりの低い部分は、メラルカ林および湿地で、近年その両側で急速に都市的開発が進んでいる。平野中央部では、浜堤に沿って集落が立地し、以前水田であった堤間低地は不耕作地となって放棄されたところが多い。湖側の浜堤のうち、最も湖岸に近い浜堤の内陸側には、4年前につくられた新しいエビの養殖池が広がっている。その周辺では、地下水が塩水化し、パルミラヤシが立ち枯れている。

**砂嘴：**ソンクラー市の中心市街地が広がる砂嘴は、海面より+2-3mの高さで、海側には海面からの高さ3m、幅20mの海岸堤防を兼ねた道路が造られ、湖側も護岸および堤防が築かれている（図30）。海岸には幅50-60m、延長4.5kmの砂浜が広がるが、その南部ではこの20年ほどの間に砂浜の浸食が急速に進み、漁村が内陸に移動した（平井，1995）。市街地北側には、幅約500m、延長約2kmの新しい砂嘴が伸びている。その湖岸側の堤防は、湖水面から+2.2mの比高があるが、砂嘴そのものは海面からの高さが0.5-1m以下である。

**三角州性低地：**南岸には、ウタパオ川やバンクラム川、そして南西岸にプミ川などの諸河川が流入し、低平な三角州性低地が広がる（図31）。湖岸低地の高さは、湖水面から0.5-1m以下で非常に平坦であるが、微地形の違いと土地利用の特色から、さらにa. 浜堤・後背湿地/水田地区、b. 自然堤防/近郊野菜地区、c. 新デルタ/住宅・工場地区、d. メラルカ林/エビ養殖地区、e. メラルカ林/公共施設地区の、5地区に細分される。

### イ サップソンクラー湖における海面上昇の影響予測

サップソンクラー湖湖岸で類型化されたそれぞれの地区における Development factors を確認した上で（表10）、将来海面が1m上昇したと仮定しその影響予測及び評価を行った（図32）。

**浜堤列平野：**海側と湖側いずれも、海面からの高さ1.5-2.5mの浜堤が発達しており、直接浸

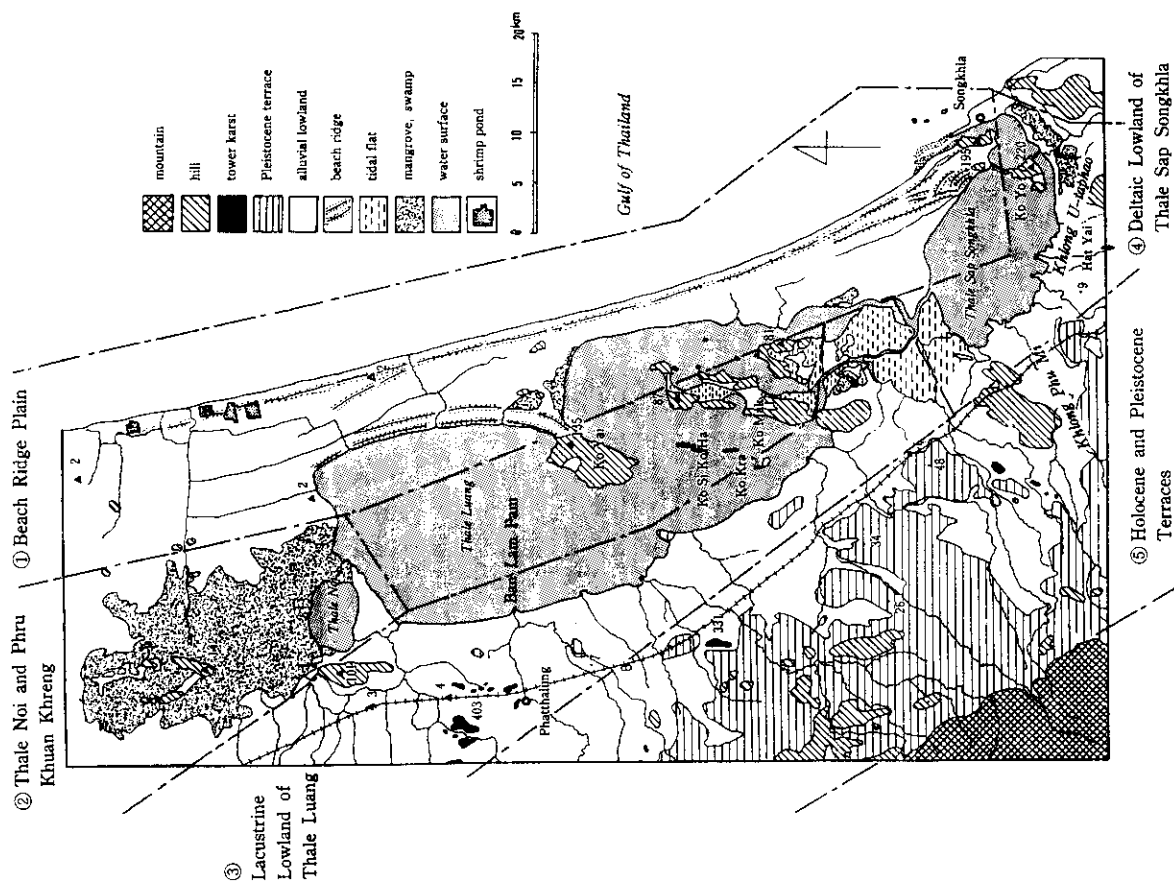


図 27. ソンクラー湖周辺における地形区分図。

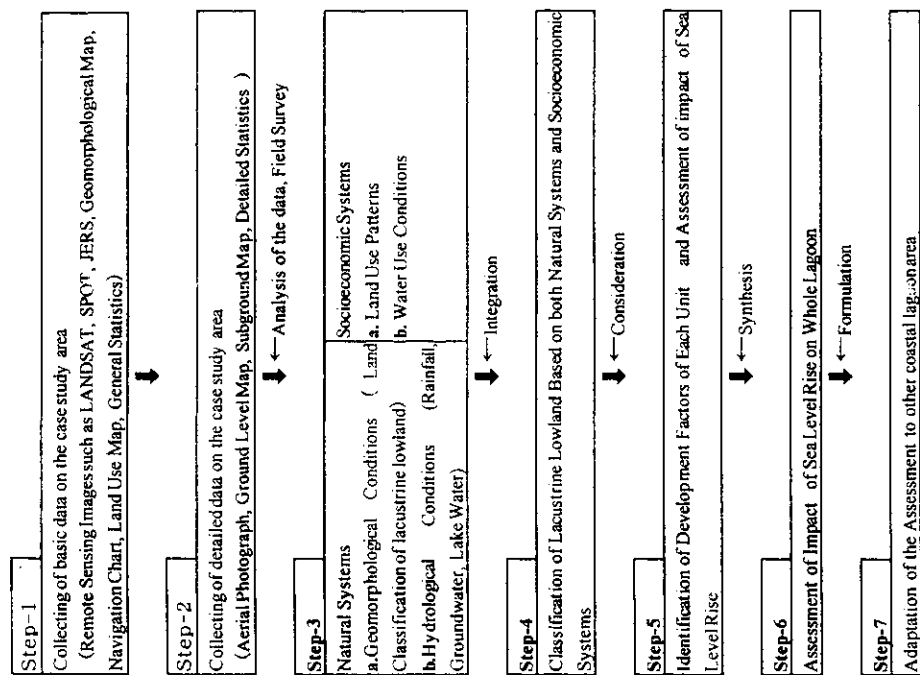


図 26. 海面上昇の湖沼域への影響評価を行うためのアセスメント手順。



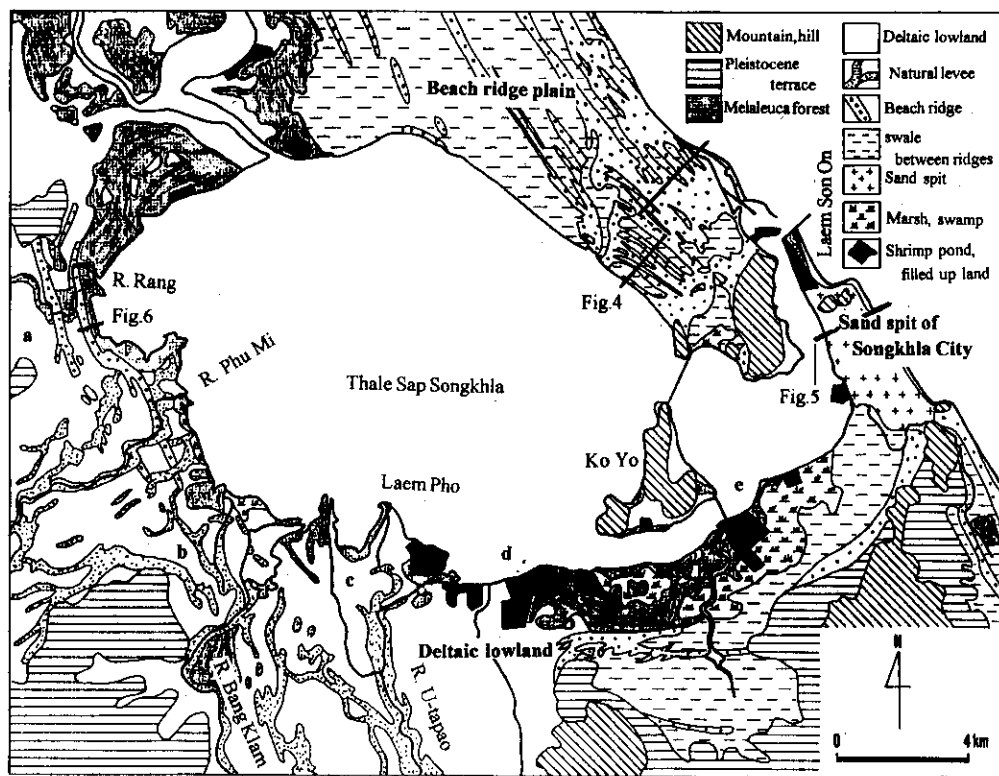


図 28. サップソングラー湖周辺における地形区分図。

Fig.4 , Fig. 5, Fig. 6 の地形断面図は、それぞれ図 29, 図 30, 図 31 に示す。

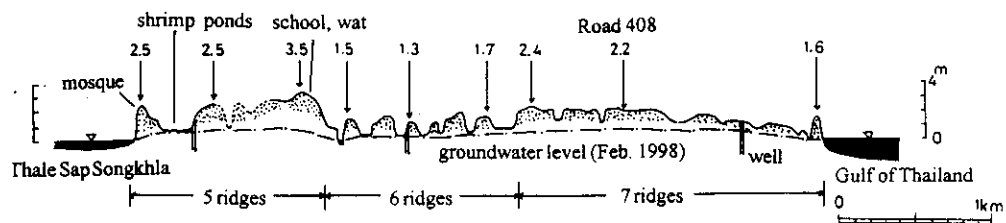


図 29. サップソングラー湖東部の浜堤平野における地形断面図。

位置は図 28 の Fig. 4.

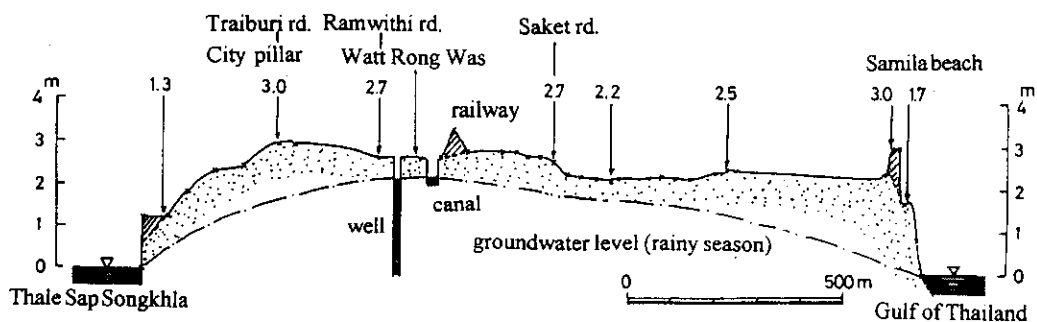


図 30. サップソングラー湖東部の砂嘴における地形断面図。

位置は図 28 の Fig. 5.

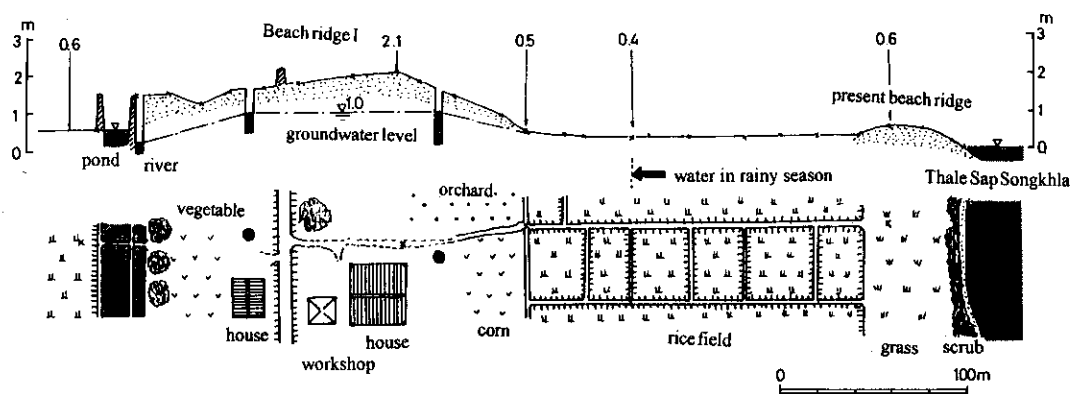


図 31. サップソングラー湖西部の三角州における地形断面図.  
位置は図 28 の Fig. 6.

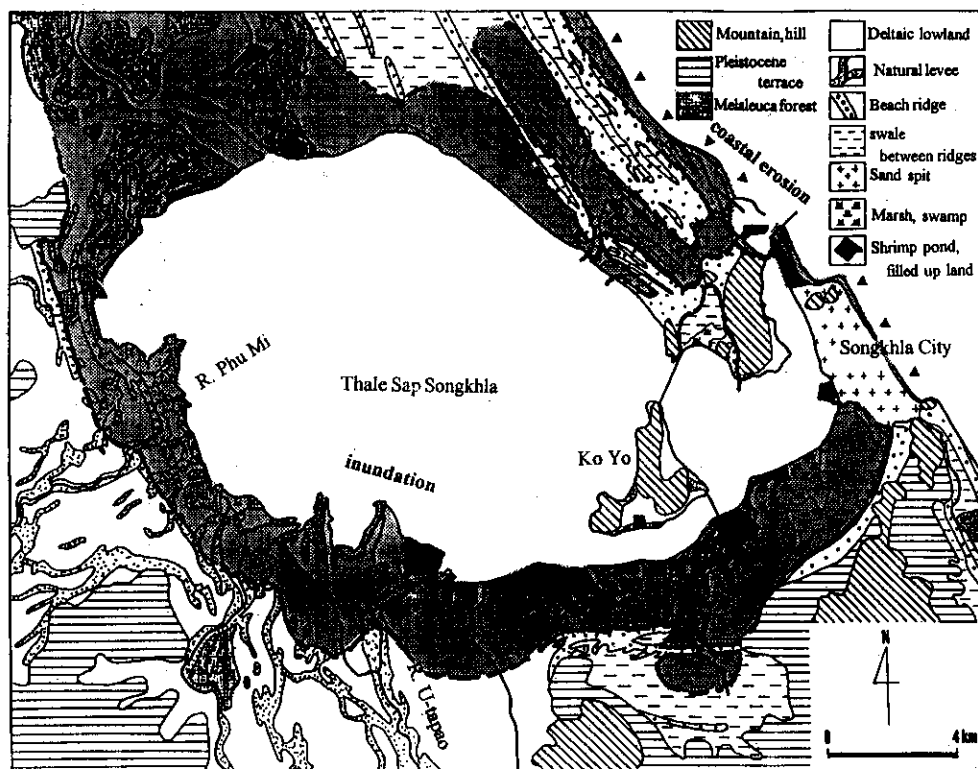


図 32. サップソングラー湖周辺への海面上昇影響評価.

表 8. ソンクラー湖における地形と水文環境.

| Geomorphological Conditions                       |                                                                | Hydrological Conditions |                     |                                                                         |                                                                                 |                                |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
|                                                   |                                                                | Mean Depth              | Lake Level at Flood | Salinity in Lake Water                                                  | Groundwater                                                                     | Precipitation                  |
| Beach Ridge Plain                                 | Beach<br>Beach Ridge<br>Lowland between Ridges                 |                         |                     |                                                                         | Shallow Groundwater in Beach Sand                                               | Extremely Dry in Dry Season    |
| Swamp<br>(Thale Noi and its Vicinity)             | Swamp<br>Grassland<br>Peat swamp Forest<br>Evergreen Forest    | 1.1 m                   |                     | Fresh Water                                                             |                                                                                 |                                |
| Littoral Lowland<br>(Western Part of Thale Luang) | Northern Coast                                                 | 1.8 m                   | 0.5 m-0.6 m         | Flood Season: Fresh Water<br>Usually: Below 1‰<br>Dry Season: Above 10‰ | Shallow Groundwater in Alluvial Deposits<br>+                                   |                                |
|                                                   | (Ko Yai: Land-tied Island)<br>Southern Coast                   | 1.2 m                   | 1 m-2 m             | Usually: 5-15‰<br>Dry Season: Above 20‰                                 | Deep Groundwater in Frachures or Solution Cavities in Basal Rocks and Limestone |                                |
| Delta<br>(Southern Coast of Thale Sap Songkhla)   |                                                                | 1.4 m                   | 1 m-1.5 m           | Flood Season: Fresh Water<br>Usually 20-30‰                             | Shallow Groundwater in Alluvial Deposits                                        |                                |
| Terraces                                          | Pleistocene Terrace<br>Holocene Terrace<br>Valley Bottom Plain |                         |                     |                                                                         |                                                                                 | Heavy Rainfall in Rainy Season |

表 9. ソンクラー湖とその周辺域における土地利用と水利用.

| Geomorphological Conditions    |                                                                      | Land Use Pattern                                                                                                                  | Water Use Condition                                                                           | Environmental Problems                                                                |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Beach Ridge Plain              | Beach/Sand Dune<br>Beach Ridge<br>Lowland between Ridges             | Shrimp Farming Pond<br>Settlement/Fruit Garden<br>Paddy Field (Partly Waste Land)                                                 | Pumping Up Sea Water<br>Shallow Groundwater<br>North: Lake Water<br>South: Rainfall/Farm Pond | Water Pollution<br>Increase in Salinity<br>Increase in Salinity                       |
|                                | Lacustrine Lowland<br>East coast of Thale Luang                      | Melaleuca Forest<br>(Partly Waterfowl Park)                                                                                       |                                                                                               |                                                                                       |
| Thale Noi Swamp                | Swamp<br>Grassland<br>Peat Swamp Forest<br>Tropical Evergreen Forest | Partly Waterfowl Park<br>(Partly Paddy Field)<br>(Partly Used for Wood or Fuel)                                                   |                                                                                               |                                                                                       |
| Thale Luang Lacustrine Lowland | Northern Coast                                                       | Paddy Field (Partly Fish Farming)<br>Grassland<br>Fruit Garden<br>Resort Area<br>Paddy Field<br>Fruit Garden<br>Rubber Plantation | River Water/Reservoir                                                                         | Flood                                                                                 |
|                                | Khuan Rae River Delta<br>Southern Coast                              |                                                                                                                                   |                                                                                               |                                                                                       |
| Thale Sap Songkhla Delta       | Thale Sap Songkhla<br>Southern Coast<br>U-tapao River                | Shrimp Farming Pond<br>Public Space<br>Settlement<br>Factories<br>Truck Farm<br>Rubber Plantation<br>Paddy Field                  | Lake Water<br><br>River Water<br>Groundwater                                                  | Water Pollution<br>Flood<br>Flood<br>Water Pollution<br>Increase in Salinity<br>Flood |
|                                | Phu Mi River                                                         |                                                                                                                                   |                                                                                               |                                                                                       |
| Terraces                       | Pleistocene Terraces<br>Holocene Terraces<br>Valley Bottom Plain     | Rubber Plantation<br>(Partly Deforestation)<br>Paddy Field                                                                        |                                                                                               | Flood                                                                                 |

表 10. ソンクラー湖周辺の 3 地区における Development Factor.

| Geomorphological zone                   | Development Factors                                         |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Beach ridge plain                       | Shrimp farming<br>Drainage, Ground water<br>Coastal erosion |
| Sand spit                               | Coastal erosion                                             |
| Deltaic lowland                         | Flood, Inundation                                           |
| a. Natural levee, Back marsh/rice field | Flood, Inundation                                           |
| b. Natural levee/Truck farming          | Truck farming                                               |
| c. New delta/Housing, Canning factories | Urbanization                                                |
| d. Melaleuca/Shrimp farming             | Shrimp farming                                              |
| e. Melaleuca/Public facilities          | Urbanization                                                |

水する面積はそれほど大きくはない。しかし、浜堤基部の浸食が激化し、海側の浜堤上の公園やキャンプ場、湖側の堤間低地にあるエビ養殖池などは、一部使用不能となる可能性がある。とくに、雨季の洪水時には、湖側の湖岸に近い堤間低地は、浸水や湛水の被害が大きい。平野中央の堤間低地では、最も低い部分の高さが 0.5m ほどしかなく、わずかな海面上昇でも恒常的に排水不良となり、将来の土地利用が制限される。

**砂嘴：**砂嘴部分の高さは海面より 2-3m 以上あり、市街地には直接的な影響は及ばない。しかし、観光リゾート地となっているサミラビーチでは、砂浜の浸食がより激しくなり、砂浜そのものが消失する可能性がある。また、市街地の北側にある現成の砂嘴部分は、海面からの比高が 0.5-1m 以下なので、水没・消失する。

**三角州性低地：**三角州低地は土地の高さが低く、現在でも雨季の洪水時には、湖岸の広い範囲が浸水する。海面上昇時には、内陸側の浜堤基部まで湖岸線が後退し、その背後の後背湿地も一部浸水、排水不良となる。雨季には浜堤上でも浸水や土地の浸食被害等を受けることが予想される。南岸の新しいデルタやメラルカ林地区では、広い範囲が水没し、雨季の洪水時の被害が大きい。とくに、これらの地区では、大規模なエビ養殖池や住宅・工場、公共施設などの都市的施設が多く、いったん浸水被害を受けるとその影響は深刻となる。また、低地全体で湖岸の地下水位が上昇し、現在灌漑用水として利用されている浅層地下水への塩分混入の問題が発生する。

## (2) 考察

### ①沿岸侵食と海面上昇

過去および現在の海岸沿岸の変動から、将来の海面上昇の影響評価としてどのようなことが言えるだろうか。今回調査を行ったタイの海岸沿岸域は、過去 50 年間における相対的海面上昇速度が、将来予想されている上昇速度とほぼ等しい。タイ沿岸域で近年最も深刻な問題となっているのはチャオプラヤ河河口の沿岸侵食である（図 1, 2）。この沿岸侵食は 1970 年代からすでに始まっており海岸線はすでに 500m 以上後退し、影響は河口から西側に広がっている。この主たる原因が何かは不明だが、タイ湾北西部に流入するメクロン河との比較は興味深い示唆を与えてくれる。

海岸線が維持されるためにはいくつかの要因がある。海岸線の維持は堆積と侵食の平衡の結果であり、土砂の供給量の減少は沿岸侵食のひとつの重要な要因である。チャオプラヤ河とメクロン河とも近年はダムの建設によって土砂供給量の減少が予想される。両河川による土砂供給量は、合わせて約  $20 \times 10^6$  トン/年と見積もられているが、この値は過去 3000-4000 年間の海岸線の変遷、デルタフロントの前進から推量される堆積土砂量とほぼ等しい。つまりこれが自然状態での海岸沿岸域への土砂供給量といえる。近年のダム建設に伴う土砂供給量の減少については両河川とも影響を受けているが、ダム建設の影響はメクロン河の方が大きいとされている。また土砂供給量を減少させるもうひとつの要因として河道における土砂採取がある。これも両河川において行われており、同様にメクロン河の方が土砂採取は深刻と考えられている。

このように土砂供給量の減少は、メクロン河の方が顕著であると考えられるにもかかわらず、メクロン河河口西側には、自然状態のマングローブが発達しており、沿岸侵食は問題となっていない。両河川における唯一の大きな違いは、地盤沈下であり、チャオプラヤ河口ではバンコクの地盤沈下の影響を受けて 1960 年代以降数 10cm の地盤沈下、すなわち相対的海面上昇が起こって

いる。波浪の卓越する沿岸域では、海面上昇はブルーン則によって沿岸浸食を引き起こすことが知られているが、当地域はマングローブや干潟の発達する泥質な沿岸環境であり、砂質の沿岸環境とは異なった様式が考えられる。チャオプラヤ河口沖は、泥質堆積物からなる非常に勾配の緩い海底が広がっている。勾配は 1m/1km 程度しかない。地盤沈下による数 10cm の海底面の沈下は、数 10cm の水深の増加を意味し、緩い勾配のため水深の増加割合が大きい。このためエネルギーの減少が少ないまま波浪が海岸線に達することが予想され、これが沿岸浸食を引き起こしている可能性が大きい。

特に重要なのは、この沿岸浸食が 1970 年代からすでに始まっていることで、閾値が数 10cm ではなく 10cm 前後で生じている可能性があることは重要である。将来予想されている海面上昇は 50cm 程度と小さいが、10-20 年先にも沿岸浸食の問題がマングローブの発達する熱帯沿岸域の広域で生じる可能性があることを示しており、早急により定量的な解析と、影響に対する対処が必要である。

## ②デルタの自然環境と海面上昇

また、沿岸浸食の問題とは別に、陸域においてもいくつかの注意すべき問題がある。チャオプラヤデルタのような地表勾配の極めて緩い地域では、海面の上昇に伴って低地を流れる各河川の河床勾配が緩やかになり、排水条件がかなり悪くなる。チャオプラヤデルタでも雨季に顕著な氾濫が見られるが、海面が上昇すると水没地域・水没期間の増大が予想される。現在自然排水のみに頼っている地域では、海面の上昇の結果、乾季における排水も困難になると思われる。

さらに、海面の上昇は臨海部における塩水侵入域の拡大をも引き起こす。一般に、河川の最下流部では河道内に海水が河川水の下に楔状に侵入する塩水遡上の現象が見られる。河川の流量が相対的に小さい場合や潮差が大きく鉛直方向の混合が活発な場合には河道内の表層部までが塩水となり、農業用水等への利用が困難となる。ガンジスデルタやメコンデルタなど、比較的潮差の大きな海に面して発達するデルタでは、すでに河道への塩水の侵入、地下水の塩水化の問題が起こっているが、チャオプラヤデルタにおいても、海面の上昇によって感潮域が内陸側に拡大し、河道への塩水の侵入、地下水の塩水化が進行するものと思われる。

なお、東南アジアや南アジアのデルタの臨海部ではマングローブ林が分布する。マングローブ林は高潮の被害を軽減する役割を持つなどから、その保護の問題が近年大きくクローズアップされているが、現実にはその破壊が急速に進行し続けている。本研究で明らかにされたように、チャオプラヤデルタにおいてもマングローブ林を起源とする泥炭層が顕著に発達しており、かつては広大なマングローブ林が形成されていたことがうかがわれる。しかしながら、現在ではその分布は極めて限られており、チャオプラヤ川の河口付近などでは顕著な海岸侵食によって消失しつつあるマングローブ林も見受けられる。

## ③塩水問題

ベトナムのメコンデルタで見られた地下水の塩水侵入の問題は、特に渇水期（乾季）におけるデルタ環境では重要である。この要因としては、流量の減少が最も大きいと考えられ、乾季の水の供給源となっている中国内からの流量や人為影響を知ることが需要である。すでに中国内ではメコン本流にダム建設プロジェクトが開始されており、一部のダムは完工している。これらの人

為的な影響が下流域のメコンデルタに及んでいる可能性も大きく、要因を深く掘り下げることが必要である。この塩水浸入は、海面上昇によってさらに助長、加速される可能性が大きく、流域の人為的活動と合わせた海面上昇の影響評価を行う必要がある。

## 5. おわりに/本研究により得られた成果

チャオプラヤーデルタとメコンデルタにおいて、過去数年年間と数十年間に起こった沿岸域の現象を解析した結果、将来予想される海面上昇が海面上昇が10-20cm程度でも、沿岸域で侵食が顕在化することが明らかとなった。また、塩水化問題は、流域の水利用と合わせて、考慮すべき重要な問題であることが示された。以下、各研究グループ毎に成果を示す。

### (1) 衛星画像解析

衛星画像解析によって、1987年以降のチャオプラヤー河口の海岸線の変動を捉えることができた。その変動は1992年には停止した可能性が高い。1987年-1992年の間の変動量は、海岸侵食の激しい場所で300m程度であった。

ライオン地域の海岸侵食は全長数kmに及ぶ大規模なものであるが、幅が100m以下と狭く、リモートセンシング画像の分解能より小さいなどの理由から抽出は難しい。

マングローブ林は、OPS画像で特徴的なスペクトルを示し、抽出可能である。またSAR画像においても特徴的なテクスチャーを示し、抽出が可能であることが分かった。

OPS画像においては、川から流れ出る土砂混じりの水は海水とは異なるスペクトルを示し、川から供給される土砂量の増減や、土砂の流れの変動を求めることが可能である。

海岸地域の変動は海岸付近の要素だけでなく、ダム建設など、内陸側の要素も関係する。リモートセンシング画像はこれらの内陸側の要素も抽出し得る。

### (2) 地形・表層地質調査

チャオプラヤーデルタの地形は完新世中期に拡大した内湾を埋積する形で、干潟が海側に拡大しながら形成されてきたことが示され、その形成過程および地形や堆積物の特徴から、僅かな海面上昇によっても多大な影響を受けることが明らかになった。具体的には極めて低平な地形のために排水不良地が出現しやすく、地下水位の塩水化や塩水遡上地域の拡大が心配されること、軟弱なシルト・粘土質堆積物からなるために海岸侵食を受けやすいことなどが指摘される。また、臨海部は本来マングローブ林が大規模に生育できる環境であるにもかかわらず、現在はマングローブ林の破壊が進行しており、植林などを積極的に行って海岸域の保全をすすめる必要があると考えられる。

### (3) 沖積層・貝類群集調査

タイ中央平野を構成する完新統を精査した結果、6千年前に広がった内湾が、チャオプラヤー河とメクロン河によって徐々に埋積されてきていることが明らかとなった。埋積量は、現在両河川が運搬する土砂量とほぼ同じで、自然状態の前進速度が示された。過去3,4千年間の平均前進速度は、20km/ky (20m/y)で、沿岸域の堆積量は  $20 \times 10^6 \text{t/yr}$  であった。

現在チャオプラヤー河河口から西側の沿岸域で顕在化している沿岸侵食に関しては、メクロン河との比較から、地盤沈下による相対的海面上昇が主たる原因と考えられ、遠浅の浅海域の沈下



が、エネルギーを減衰することなく海岸に打ち寄せる波浪を引き起こし、沿岸侵食に及んでいる可能性が大きいことが考察された。

#### (4) 有機地球化学分析

バンコク北東で得られた完新世堆積物コア試料について熱分解 GC/MS によりバイオマーカ解析を行った結果、最下部の泥炭中にはマングローブ起源のバイオマーカが含まれているが、海成粘土層には含まれていない。リグニン起源のバイオマーカ分析結果から針葉樹の少ない古植生が推定されることがわかった。

#### (5) メコンデルタ調査

最終氷期以降の地球温暖化に伴う急速な海面上昇とその後の高海面期に、メコンデルタはメコン川による大量の碎屑物供給に起因して、比較的浅い海域を急速に埋め立て、前進してきた。デルタ前縁の前進速度はおおよそ2千数百年前に低下している。前進速度は波浪などによる堆積物の拡散が寄与していると考えられる。

近年の海岸線の変化においては、年間百 ha 以上に及ぶ浸食地域が広域で認められ、深刻な被害をもたらしている。一方で、漂砂による堆積前進地域が認められ、碎屑物の分散過程が変化しているものと考えられる。特に乾季における表層水の塩水化が着実に進行しており、飲料水、農業などに大きな影響を及ぼすものと考えられ、早急な対策が求められている。これらの原因としては、メコン河流域の、ダム建設や水利用の変化が考えられ、海面上昇はこれらの悪影響をより加速させ、深刻化させる可能性がある。

#### (6) ソンクラー湖調査

海跡湖における海面上昇影響予測評価において、各地域の Development factors の抽出・認識することの重要性を再確認し、それを取り込んだ評価手法を構築した。

具体的な研究事例としたサップソンクラー湖では、①海岸に面した浜堤列平野や砂嘴では、浸水よりも浸食が深刻で、堤防や護岸などのハードな土木工事の必要性がある。一方、②内陸の三角州性低地での水没範囲が広く、とくに周辺都市の都市化に伴う諸施設の被害に対しての対応策が必要である。また、湖口の幅が広がることで、③湖内の塩分濃度の上昇や湖岸の地下水への影響について、また④湖岸で広がっているエビの養殖池の問題への対応が求められる、ことなどが具体的に明らかになった。

## 6. 引用文献

- <sup>1)</sup> Somboon, J. R. P. (1988) *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 2, 201-210.
- <sup>2)</sup> Somboon, J. R. P. (1990) *Geomorphology of the Chao Phraya delta, Thailand*. Ph.D. Thesis, Kyoto University, 86p.
- <sup>3)</sup> Somboon, J. R. P. and Thiramongkol, N. (1988) *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 2, 53-60.
- <sup>4)</sup> Nutalaya, P. (1983) *Geological Society of Malaysia Bulletin*, 16, 99-116.
- <sup>5)</sup> Sinsakul, S. (1992) *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 7, 23-37.
- <sup>6)</sup> Rullkötter, J., T.M. Peakman and H.L. ten Haven (1994) *Org. Geochem*, 21, 215.
- <sup>7)</sup> Hedges J. I., R.A. Blanchette, K. Weliky and A.H. Devol (1988) *Geochim Cosmochim Acta*, 52,

### 〔国際協同研究等の状況〕

本研究のうち、タイ南部のソンクラーク湖はプリンスソンクラーク大学と、タイ中央平野はタイ王国鉱物資源部（DMR）と、ベトナム南部は国立科学技術研究センター地理学研究所との共同研究として実施された。また本研究は、IGBP-Japan の LOICZ 小委員会とも連携して行っている。

### 〔研究成果の発表状況〕

#### （１） 口頭発表

- (1) Nguyen Lap Van, Ta Chi Kim Oahn, and M. Tateishi: International Symposium on Quaternary Environmental Change in The Asia and Western Pacific Region, Tokyo 1997, “Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam”
- (2) Saito, Y. : Workshop on comprehensive assessment on effects of sea level rise in Thailand, Bangkok, 1997 “Influence of sea-level rises on coastal regions from a geological viewpoint”
- (3) 平井幸弘：IGBP シンポジウム（日本学術会議），(1998)  
「海跡湖における海面上昇の応答/影響のモデル化と対応戦略」
- (4) 佐藤喜男, Sin Sinsakul, 斎藤文紀, 鈴木祐一郎：日本第四紀学会大会, (1998)  
「タイ王国バンコク市周辺の更新統上部・完新統産貝化石群について」
- (5) 斎藤文紀：第 14 回地質調査所講演会, (1998)  
「地球環境問題と海水準変動：過去の変動から学ぶ」
- (6) Van Lap Nguyen, Thi Kim Oanh Ta, M. Tateishi, I. Kobayashi: International Workshop on sediment transport and storage in coastal sea-ocean system, Tsukuba, Japan. 1999, “Coastal variation and saltwater intrusion on the coastal lowlands of the Mekong River Delta, Southern Vietnam”
- (7) Thi Kim Oanh Ta, Van Lap Nguyen, M. Tateishi, I. Kobayashi, Van Chin Ho: International Workshop on Sediment transport and storage in coastal sea-ocean system, Tsukuba, Japan 1999, “Some new results on Late Pleistocene-Holocene deposits of BenTre area in the Mekong River Delta, Southern Vietnam”
- (8) 佐藤喜男・鈴木裕一郎・山本正伸・斎藤文紀：日本古生物学会第 148 回例会，兵庫県立人と自然の博物館, (1999)「鹿児島県熊毛郡南種子町大浦マングローブ沼沢堆積物中の有機地球化学的研究研究及び堆積物中の貝化石群について」
- (9) 佐藤喜男・鈴木裕一郎・山本正伸・斎藤文紀：日本第四紀学会，京都大学理学部, (1999)「鹿児島県熊毛郡南種子町大浦マングローブ沼沢地堆積物中の有機地球化学的研究研究及び堆積物中の貝化石群について」
- (10) 平井幸弘：日本地理学会海岸・沿岸域の環境動態研究グループ研究例会, (1999)  
「海跡湖における海面上昇の影響予測評価－タイ国ソンクラーク湖の事例報告－」
- (11) Tanabe, S. Thi Kim Oanh Ta, Van Lap Nguyen, Tateishi, M., Kobayashi, I., and Saito, Y.: Fourth International Conference on Asian Marine Geology, Qingdao, China, 1999, “Sedimentary facies of

the Holocene Mekong River Delta deposits, Vietnam”

- (12) Umitsu, M., Sinsakul, S., Tiypairach, N. Chaimanee, N., and Kawase, K. : Coastal Change on the Time Scale of Decades to Millennia in the late Quaternary, Honolulu, USA, 1999, “Holocene evolution of the Central Plain, Thailand. International symposium of The Non-steady State of the Inner Shelf and Shoreline”
- (13) Umitsu, M. : Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 1999, “Late Holocene sea-level change and evolution of the Central Plain, Thailand.”Late Holocene sea-level change and evolution of the Central Plain, Thailand”
- (14) Hirai, Y.: Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, 1999, “Assessment of Impacts of Sea Level Rise on Coastal Lagoons – A Case Study of the Songkhla Lake in South Thailand –”.
- (15) Tateishi, M., Van Lap Nguyen, Thi Kim Oanh Ta, S. Tanabe, I. Kobayashi, T. Nakamura, and Y. Saito: Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 1999, “Late Pleistocene to Holocene Sedimentation and Relative Sea-Level Change on Mekong River Delta, Southern Vietnam”
- (16) Saito, Y., Sato, Y., Suzuki, Y., and Sin Sinsakul: Thai-Japanese Geological meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha Am, Thailand, 1999, “ Chaophraya delta progradation in the Late Holocene”
- (17) Suzuki, Y. and Yamamoto, M.: Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha Am, Thailand, 1999, “Biomarker indicators for depositional environment of post-glacial sediments in Chao Phraya River Delta”
- (18) Sato, Y., Sin Sinsakul, Saito, Y. and Suzuki, Y.: Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha Am, Thailand , 1999, “Reconstruction of the fluctuation of sea level changes by the analysis of Pleistocene and Holocene molluscan assemblages from Bangkok area in Thailand”
- (19) Okubo Y., Tanaka A., Kaku M. and Sinsakul S.: Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, 1999, “Role of remote-sensing survey for environmental change”
- (20) Tanaka A. Okubo Y., and Kaku M.: Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, 1999, “Multi-temporal analysis and estimation of the changes in the coastal environment of Thailand using J-ERS-1 SAR data”
- (21) Van Lap Nguyen, Thi Kim Oanh Ta, and M. Tateishi: Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand. 2000, “Coastal Variation and Saltwater Intrusion on the Coastal Lowlands of the Mekong River Delta, Southern Vietnam”
- (22) 鈴木祐一郎：有機地球化学研究会弘前シンポジウム，(1999) 「陸源有機物のバイオマーカーとオレアナンの起源について」
- (23) Okubo, Y., A. Tanaka, M. Kaku and Sinsakul S.: International Workshop on Deltas: Their Dynamics,

Facies and Sequences with Special References to Sea-level Changes and Human Impacts, 2000, "Role of remote-sensing survey for environmental change"

- (24) Umitsu, M., Sinsakul, S., Tiyaipairach, N. Chaimanee, N., and Kawase, K.: International Workshop on Deltas: their Dynamics, Facies and Sequences With special references to sea-level changes and human impacts, Tsukuba, Japan, 2000, "Late Holocene Sea-Level Change and Evolution of the Lower Chao Phraya Delta, Thailand"
- (25) Tanabe, S., Thi Kim Oanh Ta, Van Lap Nguyen, M. Tateishi, I. Kobayashi and Y. Saito : International Workshop on Deltas: their Dynamics, Facies and Sequences With special references to sea-level changes and human impacts, Tsukuba, Japan, 2000, "Sedimentary Facies and Progradation Model of the Holocene Mekong River Delta in Vietnam"
- (26) Nguyen Van Lap, Ta Chi Kim Oanh, M. Tateishi, S. Tanabe, I. Kobayashi, T. Nakamura and Y. Saito: International Workshop on Deltas: their Dynamics, Facies and Sequences With special references to sea-level changes and human impacts, Tsukuba, Japan, 2000, "Mekong River Delta Progradation into the South China Sea in the Late Holocene"
- (27) Nguyen Van Lap, Ta Thi Kim Oanh, and M. Tateishi: International Workshop on Deltas: their Dynamics, Facies and Sequences With special references to sea-level changes and human impacts, Tsukuba, Japan, 2000, "Coastal Change and Saltwater Intrusion Related to Human Activities in the Coastal Lowlands of the Mekong River Delta, Southern Vietnam"
- (28) Saito, Y., Y. Sato, Y. Suzuki, S. Sinsakul, S. Tiyaipairach, and N. Chaimanee: International Workshop on Deltas: their Dynamics, Facies and Sequences With special references to sea-level changes and human impacts, Tsukuba, Japan, 2000, "Late Holocene Delta Front Migration of the Chao Phraya Delta, Thailand"
- (29) 海津正倫：日本地理学会春季学術大会，早稲田大学，東京，(2000)  
「地球環境変動に対する熱帯アジアのデルタの応答」
- (30) 海津正倫・S. シンサクル・S. ティヤパイラチ・N. チャイマニー・川瀬久美子：日本地理学会春季学術大会，早稲田大学，東京，(2000)「完新世後期におけるチャオプラヤデルタの堆積環境と海岸線の変化」
- (31) 平井幸弘：日本地理学会春季学術大会，早稲田大学，東京，(2000)  
「タイ国南部ソンクラ湖における海面上昇の影響予測評価」

## (2) 論文発表

- (1) 斎藤文紀：工業技術，38(9)，16-17 (1997)「地球温暖化の沿岸域への影響」
- (2) 大久保泰邦・賀来 学・田中明子：物理探査学会第 97 回学術講演会論文集(1997)，355-359  
(1997)「アジアにおける海水準変動影響評価のためのリモートセンシング画像解析」
- (3) 斎藤文紀：日本産業技術振興会技術資料，no. 283, 25-31, (1998)  
「地球環境問題と海水準変動：過去の変動から学ぶ」
- (4) 平井幸弘：日本地形学連合編「地形工学セミナー 2：水辺環境の保全と地形学」古今書院，

- 86-111, (1998)「湖沼の開発利用と環境保全」
- (5) 平井幸弘：愛媛大学教育学部紀要第 III 部自然科学, 19(2), 1-15, (1999)  
「タイ南部ソンクラー湖湖岸における自然及び社会・経済システム」
- (6) A. Tanaka, Y. Okubo, M. Kaku: In Land-Sea Link in Asia. Edited by Saito, Y. et al. JISTEC & Geological Survey of Japan, Tsukuba, 244-247, (1999)  
「Multi-temporal analysis for assessment of sea level change in Thailand using J-ERS-1 SAR data」
- (7) V. L. Nguyen, T. K.O. Ta, M. Tateishi, I. Kobayashi: In Land-Sea Link in Asia. Edited by Saito, Y. et al., JISTEC & Geological Survey of Japan, 212-217, (1999) 「Coastal variation and saltwater intrusion on the coastal lowlands of the Mekong River Delta, southern Vietnam」
- (8) T. K. O.Ta, V. L. Nguyen, M. Tateishi, I. Kobayashi, V.C. Ho: In Land-Sea Link in Asia, Edited by Saito, Y., et al., JISTEC & Geological Survey of Japan, 218-223, (1999) 「Some new results on Late Pleistocene-Holocene deposits of BenTre area in the Mekong River Delta, southern Vietnam」
- (9) 海津正倫・川瀬久美子：名古屋大学文学部研究論集, 史学, no. 45, 163-174, (1999)  
「タイ南部の沖積低地における沖積層とマングローブ林の発達」
- (10) Umitsu, M., Pramojanee, P., Ohira, A., and Kawase, K.: Tropics, 8 317-328. (1999) 「Late Holocene Mangrove Habitat and Evolution of Coastal Lowlands in Southern Thailand」
- (11) Fujimoto, K., Miyagi, T., Murofushi, T., Mochida, Y., Umitsu, M. Adachi, H., and Promojanee, P.: Tropics, 8, 239-255 (1999) 「Mangrove Habitat Dynamics and Holocene Sea-level Change in the Southwestern Coast of Thailand」
- (12) 海津正倫・川瀬久美子：名古屋大学文学部研究論集, 134, 163-174. (1999) 「タイ南部の沖積低地における沖積層とマングローブ林の発達」
- (13) Hirai, Y., Satoh, T. and Tanavud, C.: Regional Views, 12, 33-45, (1999) 「Assessment of Impacts of sea level rise on coastal lagoons -case studies in Japan and Thailand-」
- (14) 平井幸弘：ラグナ（汽水気研究）, 7, 印刷中 (2000) 「タイ国南部ソンクラー湖における海面上昇の影響予測評価」
- (15) Nguyen Lap Van, Ta Chi Kim Oahn, and M. Tateishi: Journal of Asian Earth Sciences, Vol.18, No.4, 印刷中, (2000) 「Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam」
- (16) Umitsu, M.: Proceedings of Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, "Late Holocene sea-level change and evolution of the Central Plain, Thailand."Late Holocene sea-level change and evolution of the Central Plain, Thailand"
- (17) Hirai, Y.: Proceedings of Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, "Assessment of Impacts of Sea Level Rise on Coastal Lagoons – A Case Study of the Songkhla Lake in South Thailand –".
- (18) Tateishi, M., Van Lap NGUYEN, Thi Kim Oanh TA, S. Tanabe, I. Kobayashi, T. Nakamura, and Y. Saito: Proceedings of Thai – Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea – Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, "Late Pleistocene to Holocene

Sedimentation and Relative Sea-Level Change on Mekong River Delta, Southern Vietnam”

- (19) Saito, Y., Sato, Y., Suzuki, Y., and Sin Sinsakul: Proceedings of Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, “Chaophraya delta progradation in the Late Holocene”
- (20) Suzuki, Y. and Yamamoto, M.: Proceedings of Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, “Biomarker indicators for depositional environment of post-glacial sediments in Chao Phraya River Delta”
- (21) Sato, Y., Sin Sinsakul, Saito, Y. and Suzuki, Y.: Proceedings of Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, “Reconstruction of the fluctuation of sea level changes by the analysis of Pleistocene and Holocene molluscan assemblages from Bangkok area in Thailand”
- (22) Okubo Y., Tanaka A., Kaku M. and Sinsakul S.: Proceedings of Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, “Role of remote-sensing survey for environmental change”
- (23) Tanaka A. Okubo Y., and Kaku M.: Proceedings of Thai-Japanese Geological Meeting on The Comprehensive Assessments on Impacts of Sea-Level Rise, Cha-Am, Thailand, 投稿中, 2000, “Multi-temporal analysis and estimation of the changes in the coastal environment of Thailand using J-ERS-1 SAR data”

(3) 出願特許, 受賞等

なし