衛星リモートセンシングによるタイ中央平原の水害地形分類　　付　タイ中央平原水害地形分類図

著者	大倉 博, 春山 成子, 大矢 雅彦
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	83
ページ	1-25
発行年	1989-03-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002821/

RESEARCH NOTES OF THE NATIONAL RESEARCH CENTER FOR DISASTER PREVENTION
No. 83

Specal Coordination Funds for Promoting Science and Technology

A GEOMORPHOLOGICAL LAND CLASSIFICATION FOR THE FLOOD-INUNDATED AREA IN THE CENTRAL PLAIN OF THAILAND USING SATELLITE REMOTE SENSING TECHNOLOGY

国立防災科学技術センター研究速報

第 83 号

科学技術振興調整費

(昭和61－63年度)

衛星リモートセンシングによるタイ中央平原の水害地形分類

付　タイ中央平原水害地形分類図

平 成 元 年 3 月

科 学 技 術 庁

国立防災科学技術センター

Published by the National Research Center for Disaster Prevention

Science and Technology Agency

Japan, March 1989

528.74：551.4(593)

衛星リモートセンシングによるタイ中央平原の水害地形分類
付 タイ中央平原水害地形分類図

大倉 博

国立防災科学技術センター

春山成子・大矢雅彦

早稲田大学

スーウィット ウイブーンセート・ランプン シムキン・ラサミー スワウィラカムトン

タイ王国 科学技術エネルギー省 国家研究評議会 リモートセンシング部

A Geomorphological Land Classification for the Flood-inundated Area in the Central Plain of Thailand using satellite remote sensing technology

By

Hiroshi OHKURA

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Shigeko HARUYAMA

Institute of Science and Technology, Waseda University, Japan

Masahiko OYA

Faculty of Education, Waseda University, Japan

Suvit VIBULSRESTH, Ramphin SIMKING and Rasamee SUWANWERAKAMTORN

Remote Sensing Division, National Research Council of Thailand

Abstract

A Geomorphological Survey Map of the Central Plain of Thailand Showing Classification of Flood-inundated Area has been made. The scale of the map is 1/250,000 and the extent of the area is limited in 13°8′N～15°25′, and 91°30′E ～101°10′E.

The map shows micro geomorphological elements, such as natural levee and back marsh etc., mainly on the low lying land of the alluvial plain. This map indiates the relationships between micro-geomorphological elements and the conditions of flood inundation, and is useful not only disaster prevention but also

rational land use planning.

We have classified land form into the geomorphological elements by utilizing satellite images and topographic maps. The former were taken by the Landsat 2, 4 and 5, the latter were made by the Royal Thai Survey and the scale is 1/250,000. The satellite images are quite useful because the area is almost 150 km×200 km and we can analyze such large area in one scene of the image.

The Central Plain of Thailand comprises the triangular-shaped plain from Chai Nat to the Gulf of Thailand. Chao Phraya River is the biggest one in the plain and flows from north to south in the center of the plain. The base of the plain extends from the Mae Klong to the Bang Pakong including either Tha Chin or Suphan River.

Following facts have been found.

(1) Combinations of geomorphologic elements are as follows;
Chao Phraya R. : N.L. + Upper D. + Lower D.
Bang Pakong R. : f + n. l. + d.
Mae Klong R. : F + n. l. + d.,
where, "F" means Fan. "N. L." means nutural levee.
"D" means delta.
Capitals show major topography.

(2) Deltas are divided into two types, higher and lower areas: The former is situated in the upper reaches area of Ayutthaya and the largest natural levees extend along the Chao Phraya River course from Chai Nat to Ayutthaya. When flooding happens, this area is inundated at first and the flood water advances to back marshes where it is stagnated for a long duration. The lower delta has small lower natural levee zones where flood water inundation is shallow but lasts longer duration than higher delta area. A large difference in flood runoff rate discharge is seen between this area and the headwaters area where the downward movement of flood water from the upper to lower reaches takes only several days. Flood water takes roughly one to three months to get through the delta area.

(3) Delta area is never hit by storm surges but has a high possibility of land side water flooding, because the plain's gradient is gentle and its drainage is poor. At present, Bangkok, being a large concentration of population, is highly susceptible to flooding.

目　　次

1. はじめに …… 3
2. 地形分類図の目的と利用 …… 3
3. 水害地形分類図の歴史 …… 4
4. 地形分類図の作成方法 …… 5
5. タイ中央平原をとりまく地域 …… 9
6. 地形分類からみたタイ中央平原の地形特性 …… 12
7. タイ中央平原の水害 …… 15
8. チャオプラヤ川の開発 …… 22
9. 謝　　辞 …… 24
10. 参考文献 …… 24

1. はじめに

水害地形分類図は，主として沖積平野の低地部において，自然堤防，後背湿地等の微地形条件と洪水氾濫状況との関係を明らかにし，水害の予測に資するため，これら微地形条件を地図化するもので，災害対策のみならず合理的な土地利用計画にも資することができる。

衛星リモートセンシング技術を用いて実用レベルで水害地形分類図を作成する手法を開発することを目的に，付図のタイ中央平原の水害地形分類図を作成した。タイ中央平原を選んだ理由は，次の通りである．①タイ中央平原の最大河川であるチャオプラヤ（Chao Phraya）川のチャイナートダム（Chainat）より下流域の勾配は0.02/1000以下ときわめて平坦であり，内水氾濫と洪水氾濫とが毎年発生している．このため，水害地形分類図は，同平原の合理的な土地利用と保全のために利用できる．②この氾濫域は東西・南北，大略，150km×200kmの枠内に入り，地球観測衛星LANDSATの画像1シーンの範囲の185km×170kmとほぼ同程度の広さである．このため，衛星リモートセンシングの特徴の一つである広域データの一括処理を生かせる．③同平原は熱帯サバンナ気候に属し，乾季と雨季とが明瞭に分かれる．乾季において，衛星画像の取得機会が多く，多くの画像を利用できる．

一般的な地形分類図の作成は主に航空写真の目視判読によって行ってきた．しかし，対象地域が数百キロメートル四方の広域にわたる場合は，航空写真の枚数が膨大になり，この目視判読は多大な労力を必要とする．この労力を軽減するためにコンピュータを用いて，衛星画像をデジタル解析・処理する手法を開発するのが，本研究の目的である．デジタル解析・処理による微地形の抽出・分類の結果の評価と確認を行うためには，まず専門家による衛星画像判読図との照合および現地調査による確認が必要である．本地域に関しては，まだ微地形分類図が作成されていないため，上記の衛星画像の判読による水害地形分類図の予察図を作成し，現地調査を含めてデジタル解析結果を検証している．付図の「タイ中央平原水害地形分類図」は，衛星画像の目視判読によって作成された水害地形分類の予察図にデジタル解析の結果を付加して，調製したものである．デジタル解析・処理のために収集した衛星画像の範囲のみを分類したので，付図は西端，特に北西部分が斜めに欠けている．

本報告では，水害地形分類図の概念と付図の作成過程を簡単に述べ，地形分類図からみたタイ中央平原の地域特性を述べた．洪水地形分類のための衛星画像のデジタル解析・処理の精細については，別途，報告する予定である．

2. 地形分類図の目的と利用

地形分類図とは，その土地の性格を明確にするために，形態，構造あるいは成因が同一な地域と異なった他の地域とを区別して類型化することであり，その分布を地形分類図として表現することである．

水害地形分類図では，このように地形分類を行った上で，各々の地形の性格から万一破堤，氾濫があった場合に洪水の性格（浸水範囲，流動方向，浸水深の深浅，河道変遷の有無，湛水期間の長短，侵食，堆積の有無）などについての予測をも表示するものである．

これは，特に沖積平野が，主として河川が山地を侵食し，砂礫を運搬して浅海底などを埋積することにより形成されてきたことに基づいている．砂礫は平常ではほとんど堆積せず，大部分が洪水時に行われる．従って，平野の微起伏，砂礫の分布状態は洪水の歴史の集積とみることができる．それ故に，平野の地形をその成因から分類すれば，過去の洪水の状態を推定することができ，洪水の状態,洪水の性格・規模は急激な変化をもたらすことはないため,将来の洪水についてもある程度までは予測が可能である．現在では河川に沿って堤防が築堤されており，洪水防御のためダム建設も進んではいるが，計画を上回る規模の洪水がおき，万一破堤することがあれば，基本的には地形に応じた洪水パターンがみられるはずである．この見地にたって作成されているのが，水害地形分類図である．そこで，水害地形分類図は最大規模の洪水時の出水状況を予測するための基礎資料となりうるばかりでなく他の水文データとの併用により中小洪水時の洪水の状態の予測も可能である．

日本においては，水防のための築堤などの河川工事において，また，最大規模の高潮災害にそなえるための都市計画の樹立の基礎に水害地形分類図が利用されてきている．

3. 水害地形分類図の歴史

日本では第二次世界大戦直後において河川の治水工事が十分になされていなかったこと，枕崎（1945），カスリーン（1947），アイオン（1948）などの大型台風が頻繁に来襲したために，各地で大洪水が発生することになった．特にカスリーン台風では利根川が栗橋地点において決壊したために東京が洪水にのまれることになった．このときの八斗島地点での最大洪水流量は16860㎥／secに達した．明治時代以降の洪水流量は降水量に特に大きな変動がないにも関わらず，下流での増加がめだっている．この現象については，当時の一部の河川工学者らは流域の開発の進展と同時に，河道の直線化，築堤などの河川工事にも大きな原因があることを認め，河川のみに降雨を集中させてきたそれまでの河川工事のあり方に見直しを求める声も強くなった．そこで，河川流域全体の土地利用，自然環境，社会的な環境の変化との関係を推定し，総合的に河川を研究する学問としての地理学の知識も治水計画に要請されるようになった．また，1950年代の日本においては食糧増産のために，水田経営，農業経営の高度化が望まれるようになり，特に沖積平野に関する地形学的知識の集積が期待され

るようになった．このような中で，堆積地形の研究が積極的に進められて，地形分類図の作成をみるようになった．伊勢湾台風（1959）は，濃尾平野に甚大な洪水災害をもたらしたが，その４年前に水害地形分類図が大矢（1956）により作成されていたこともあり，これを機に日本での水害地形の研究が大いに進められるようになった．大矢他が現在までに作成してきた水害地形分類図を表－１に示す．表－２にはここで用いられている地形要素の定義を示した．

4. 地形分類図の作成方法

タイ中央平原はナコンサワン（Nakhon Sawan）付近を北端にし，タイ湾まで続いている．このうち，自然堤防の発達し始めるチャイナート以南，タイ湾までの13°20′Ｎ～15°20′Ｎ，99°30′Ｅ～101°10′Ｅの南北・東西それぞれ約220㎞×180㎞の範囲を作図範囲にした．縮尺は１／25万である．

一般に，水害地形分類図は航空写真と大縮尺地形図を資料とし，これに現地調査を行って作成される．しかし，作図範囲が約220㎞×180㎞と広大な範囲に及ぶため，この範囲を覆う航空写真は膨大な数量になるので，作業の効率化のため地球観測衛星ランドサット等の衛星画像を用いた．

水害地形分類図の作成にあたり，次のような手順を取った．

(1) 衛星画像データの収集

縮尺1/25万の分類図の作図に見合った分解能を持つ地球観測衛星として，ランドサット，スポット，もも１号があげられる．これらの衛星それぞれの最高空間分解能は，ランドサットが30m，スポットが10m，もも１号が50mである．

本研究を開始した1986年において，ランドサットだけがタイ中央平原全域の乾季と雨季を含む多時期の画像を撮影していた（スポットの打ち上げは1986年２月，もも１号の打ち上げは１９８７年３月である）．しかし，この画像は空間分解能が80mのＭＳＳと呼ばれるセンサーによって取得されたものである（空間分解能30mのＴＭのタイの画像の撮影は1987年12月に始まった）．研究対象範囲がタイ中央平原のほぼ全域にわたることと，乾季と雨季の区別が明らかな地域において乾季と雨季の画像の比較によって洪水地形分類の多くの情報が得られることから，ランドサットＭＳＳ画像を主体にＣＣＴ（電子計算機適合磁気テープ）の形態で収集解析することにした．収集した画像データを表－３に示す．

ランドサットについて簡単に説明する．ランドサットは，１号が1972年７月，ＮＡＳＡによって打上げられた人工衛星であり，現在までに５機の衛星が打ち上げられている．現在４号と５号が軌道上で活躍中である．４号と５号はＭＳＳ（多重分光走査計：Multi Spectral Scanner）とＴＭ（セマテックマッパー：Thematic Mapper）と呼ばれるセンサーを搭載している．軌道の高度705㎞，回帰日数（同一地点の上空を通過する周期）は16日である．

表1　水害地形分類図一覧（大矢雅彦による。ただし＊は共著）

Table 1　A list of geomorphological land classification maps for flooding by Dr. Masahiko Oya (＊ shows the map made by a joint work)

地域	発行年	地図名または付図となっている場合の本名	発行所
木曽川	1956	水害地域に関する調査研究　第1部	総理府資源調査会
筑後川	1957	水害地域に関する調査研究　第2部 —筑後川流域における地形と水害型—	科学技術庁資源局
諫早	1959	諫早水害に関する調査 —水害地域に関する調査　第3部—	同上
石狩川	1961	石狩川泥炭地域の地形と水害 —水害地域に関する調査　第4部—	同上
吉野川	1963	吉野川流域の水害地形と土地利用— —水害地域に関する調査　第5部—	同上
狩野川	1966	狩野川流域の地形・土地利用と昭和33年水害 —水害地域に関する調査　第6部—	同上
九頭竜川	1968	九頭竜川流域の水害地形と土地利用 —水害地域に関する調査　第7部—	同上
三陸海岸*	1961	チリ地震津波調査報告書 —海岸地形とチリ地震津波—	建設省河川局海岸課・国土地理院
有明海北岸低地*	1963	有明海北岸低地高潮調査報告書 —海岸地形と高潮—	同上
寝屋川	1971	寝屋川流域水害構造解析図	国立防災科学技術センター
津軽平野*	1977	津軽平野水害地形分類図	国土地図
静清地区*	1977	静清地区水害地形分類図	建設省土木研究所
矢作川*	1977	矢作川下流平野水害地形分類図	建設省豊橋工事事務所
豊川	1988	豊川平野治水地形分類図	同上
庄内川*	1979	庄内川治水地形分類図	建設省庄内川工事事務所
小川原湖*	1982	小川原湖周辺地形分類図	建設省高瀬川総合開発事務所
最上川*	1982	庄内平野水害・地盤液状化予測地形分類図	建設省酒田工事事務所
網走川*	1984	網走川水害地形分類図	北海道開発局
阿賀野川*	1984	阿賀野川水害地形分類図	建設省阿賀野川工事事務所
常呂川*	1985	常呂川水害地形分類図	北海道開発局
黄瀬川*	1958	黄瀬川流域地形分類図	建設省沼津工事事務所
霞ケ浦・北浦*	1987	霞ケ浦・北浦周辺地形分類図	建設省霞ケ浦工事事務所
葛飾区*	1988	葛飾区および周辺地域地形分類図	葛飾区教育委員会
Nam Mune	1961	メコン河下流域主要支流踏査総合報告書	日本政府メコン調査団
Nam Gam	1961	同上	同上
Vientiane平原	1967	Geographial Study of Flood Immediately Down-Stream from Pa Mong in the Mekong River	M. OYA
Brahmaputra-Jamuna, Ganges	1976	ジャムナ川架橋計画調査報告書Ⅱ 河川制禦計画	国際協力事業団
Padang	1983	A Geomorphological Survey Map of Padang City and Surrounding Area in West Sumatra Showing Classification of Flood Stricken Areas	同上

表 2　国土調査法における地形分類の基準

Table 2　A criterion of geomorphological land classification in the law of Land Survey.

A．地形の分類と定義

地形の分類		定義
大分類	小分類	
山地・丘陵地	山頂緩斜面	急斜面により囲まれた山頂部の小起伏面または緩斜面
	山腹緩斜面	山腹に付着する階段状の緩斜面
	山麓緩斜面	侵食作用によって生じた山麓部の緩斜面および火山地における溶岩または火山岩層の堆積による山麓部の緩斜面
	急斜面	山地丘陵地における前三分類以外の斜面
台地	岩石台地	地表の平坦な台状または段丘状の地域で基盤岩石が出ているかまたはきわめて薄くかつ軟弱な被覆物質でおおわれているもの
	砂礫台地	地表の平坦な台状または段丘状の地形で厚くかつ軟弱な砂礫層からなるもの
	石灰岩台地	石灰岩からなる台状の地域で石灰岩特有の溶食形を示すもの
	火山灰台地	火山灰砂礫の一次的堆積によってできた台状または階段状の地域できわめて厚い火山灰砂礫からなるもの
	溶岩台地	溶岩でおおわれ周囲を崖で囲まれた台状の地域
低地	谷底平野	谷底にある平坦面で現在河流の沖積作用が及ぶ地域
	扇状地	山麓地にあって主として砂礫質からなる扇状の堆積地
	三角州	河川の河口部にあって主として泥土からなる低平な堆積地形の地形
	干潟	潟または潮の干上がったもの（干拓および塩田を含む）
	河原	流水におおわれることのある川ぞいの裸地
	磯	汀線付近の平坦な裸岩地域
	浜	汀線付近の砂礫でおおわれた平坦地

出典：地形調査作業規程準則〔昭和29年7月2日総理府令第50号〕

B．地形の細分類と定義

地形の分類	定義
地すべり地形	基盤の傾斜が比較的緩やかであって，地表面の原形を極端に変えることなく山腹斜面が徐々に活動して生ずる地形
崩壊地形	山腹斜面または崖の一部が急激に崩落して生じた跡の地形で灌木が生育している程度になっているものまでとする
麓層面および崖錐	傾斜地の下方に生じた岩屑からなる堆積地形
泥流地形	泥流によって生じた不整形の地形
土石流地形	岩塊，泥土等が水を含んで移転し，かつ堆積して生じた地形
砂礫堆	波，河流または潮流もしくは氷河によって生じた砂礫の堆積した地形
被覆砂丘	風によって生じ，かつ砂からなる波状地形で植物でおおわれているもの
裸出砂丘	風によって生じ，かつ砂からなる波状地形で，植物でおおわれていないもの
湿地	排水不良で，湿地性植物の生育する地域
泥炭地	分解のすすんでいない湿地性植物の遺体をその組織が肉眼で認められるものが黒褐色または黄褐色を呈して堆積している地域
天井川	人工堤防設置の結果として河床が平野面より高くなった河すじ
潮汐平地界	潮汐平地の海側の境界
岸欠潰	河岸または海岸の一部が崩落し崖を形成しつつある場合
遷移点	河床の傾斜度が急に変化する地点
傾斜変換線	山腹の傾斜がやや急にかわるおおむね等高の点を結ぶ線
火山地界	原地形が火山噴出により生じかつ火山噴出岩または火山砕屑物により地形が特徴づけられている地域の境界線
崖	長くのびる一連の急斜面
谷密度界	谷密度80以上の地域とその他の地域の境界線

ＭＳＳは，左右に振動する走査鏡に，約185㎞幅の地表面からの太陽反射光をとらえ，可視光線で緑と赤に対応する２種類，近赤外線で２種類の計４種類の波長帯（バンド）で観測する装置である．このため同じ地域の異なった４つのバンドの画像を同時に得ることが出来る．１シーン約185㎞×170㎞の画像データはバンドごとに衛星の進行方向に直角に3600点，進行方向に平行に2400点，計864万点のデジタルデータから構成される．これらの点はグラビア印刷を拡大したときにみられる点に相当するものでピクセル（画素）と呼ばれる．この，ピクセルの地表での大きさ約80ｍが空間分解能になる．

表３　収集衛星データ
Table 3　Collected satellite images

Path-Row	Date	Satellite
１２９－５０	'８４．　４．１２	Ｌ４　ＭＳＳ
	'８５．　２．　２	Ｌ５　ＭＳＳ
	'８５．　７．２０	Ｌ４　ＭＳＳ
	'８５．１２．　３	Ｌ５　ＭＳＳ
	'８６．１１．　４	Ｌ５　ＭＳＳ
	'８７．１２．　９	Ｌ５　ＴＭ
１２９－５０.５	'８６．　５．１２	Ｌ５　ＭＳＳ
１２９－５１	'８４．　４．１２	Ｌ４　ＭＳＳ
	'８５．　２．　２	Ｌ５　ＭＳＳ
	'８５．　７．２０	Ｌ４　ＭＳＳ
	'８５．１２．　３	Ｌ５　ＭＳＳ
	'８７．１２．　９	Ｌ５　ＴＭ
１３０－５０	'７９．　１．　３	Ｌ２　ＭＳＳ

Ｌ２：Landsat　№２，Ｌ４：Landsat　№４　and　Ｌ５：Landsat　№５

(2)　衛星画像の幾何補正

衛星画像には幾何学的な歪がある．これを補正するための基図および水害地形分類図の基図として縮尺１／25万の地形図を現地タイで収集した．この縮尺の 地形図が国外持ち出し可

能な最大縮尺の地形図である．この地形図がＵＴＭ（Universal Transverse Mercator）図法で作図してあるので，ＣＣＴデータ上の原画像もＵＴＭ図法に基づく地図座標への変換，すなわち，地理補正をコンピュータを用いて行った．再配列の地図座標の刻みは緯度1.8404秒，経度1.8750秒にした．このとき１ピクセルの大きさは北緯14度付近で南北方向に56.63ｍ，東西方向に56.27ｍになる．

幾何補正済みの画像データから縮尺１／25万のカラー写真を作成した．カラーの配色はＭＳＳデータのバンド４，バンド５，バンド７をそれぞれ青，赤，緑に割り付けたナチュラルカラーである．このとき，地表が活力ある植生によって被覆されている場合は緑，無機質および，濁水による場合は赤紫，清水による場合は黒くなる．

(3)　現地地上調査と予察図の作成

1986年12月に，この時点で収集・補正済みの1979年１月３日，1985年２月２日および1986年５月12日の衛星写真を携帯して現地調査を行い，洪水地形要素の画像上の特徴を調べた．この特徴に基づき，画像の目視判読によって地形界を記入し地形分類予察図を作成した．

1987年12月に，再度現地調査を行った．現地ではハンドレベルを用いた簡易測量，ボーリングステッキを用いた表層地質調査と表層土壌の収集，水害実績の聞込みを行うとともに文献調査を行った．表層土壌はＸ線解析を行い，採取地点の表土堆積鉱物の供給河川を同定した．

(4)　地形分類図の調製

現地調査で得られた知見と表－３の衛星画像を用いて地形分類図を作成した．

分類のために抽出された微地形の画像上の特徴は次のとうりである．画像が鮮明な乾季において，自然堤防，扇状地，谷底平野が植生の卓越した緑色になる．このうち，扇状地にみられる砂糖黍の栽培地帯は，点状の緑が不規則に集まったようになる．河川は赤紫に，後背湿地は黒になる．デルタ，ラグーン，泥州の画像上の特徴は地域によって多様性がある．これは，これらの地形要素には，稲が栽培されていることが多く，稲の栽培は水の有無に影響され，標高の高低，灌漑の有無などの水利条件によって稲の栽培・生育ステージが異なることによる．なお，ラグーンと泥州の一部は果樹園に利用されており，ここでは通年にわたり植生の緑が卓越している．海岸平野は養魚池，塩田に利用され，赤紫や黒く見える．

時期による画像上での色の変化は，デルタ，ラグーン，泥州は大きく，自然堤防，谷底平野，河川は少ない．

なお，以上に述べた地形要素の衛星画像上の特徴，および時期による変化は何れも例外がある．

5.　タイ中央平原をとりまく地域

タイ中央平原は北西部をドイインタノン（Doi Inthanon）山（2595 m）を最高峰とするタノントイチャイ（Thanon Toichai）山脈，ダウナ（Dauna）山脈などの1800 m級の内陸高地，東部をコラート（Khorat）高原に囲まれる南北方向に細長い平野である（図－1）．平野中央部にはチャオプラヤ川が流下しているが，西部にメクロン（Mae Klong）川，東部にバンパコン（Bang Pakong）川が流入し複数河川の形成する複合平野である．河川営力ではチャオプラヤ川（全長約980㎞，流域面積約162,600㎢，既往最大流量5,400㎥／sec）が最も大きく，内陸高地の北部からピン（Ping），ワン（Wang），ヨム（Yom），ナン（Nan）川の4河川がナコンサワン付近で合流した後に，河川名をチャオプラヤ川と変えるが，チャイナットで第一の派川，スファンブリ（Suphan Buri）川，ついでノイ（Noi）川を分流し，南下するとアユタヤ（Ayutthaya）でパサック（Pa Sak）川を合流して低平な平野を流れてタイ湾に注ぐ，チャオプラヤ川はタイにおける第1級の河川であるがメコン（Mekong）川のような国際河川ではなく，水源から河口部まですべて，タイ国内で完結している．

内陸高地は変成作用を受けた火成岩，堆積岩で構成され，開析度は高く，山稜の傾斜も緩く，侵食ステージでは末期の老年期地形を呈し，準平原，孤立丘を多く残している（Thiramongkol，1983）．一方，ランパン（Lampang），チェンマイ（Chiang Mai）などをはじめ数多くの山間盆地を形成し，洪積段丘がよく発達している．Wongtangswad（1976）はランパン盆地に3段の河岸段丘，扇状地を認めている．Intrasuta（1983）はチェンマイ盆地が樹枝状水系を示すこと，カンブリアからオルドヴィス紀の石灰岩およびこの上に層状構造を示す石炭期の堆積物と花崗岩などの地質構造がみられることを報告し，第三紀後期－更新世前期の高位段丘はボルダーから砂礫の未固結堆積物，更新世中期－後期の低位段丘がカオリン的粘土をレンズ状に挟む細粒物質からなることを示した．

平野の北東に広がるコラート高原はいわゆる構造平野とよぶものである．第三期中期から第四期の間に曲隆運動および地塊断層を受けたこのコラート高原（Thiramongkol，1987）は砂質岩を基盤として未固結堆積物質で構成されている．高原の西縁部の境界線はペチャブン（Phethabun），ドンプラヤエン（Don phraya Yen）山脈であり，バンパコン川の源流付近では1000－1300 mの高度であるが，全体的には500 m前後の丘陵状をなし，中央平原側の段丘とは明瞭な境界線をもっている．高原の西側，中央平原に接する地域には扇状地が形成されている．

中央平原は農学の分野から多くの報告がなされている．高谷（1982）は農学を基礎においた地形分類を行い，扇状地，古デルタ，新デルタ，臨海部などの地形に区分した上で，細かな考察を加えた．Thiramongkol（1983）は古デルタを更新世に，新デルタを完新世の前期，後期の2時期に区分し，扇状地においても3時期に区分し，地形面を海進との関係で説明を行った．松尾（1965）はトンブリ（Thon Buri）－バンコク間の土質断面図を解析して，デルタの地下水位は高位にあること，地表下30mが粘土層，180 mまでが粘土層と砂層の互層であるこ

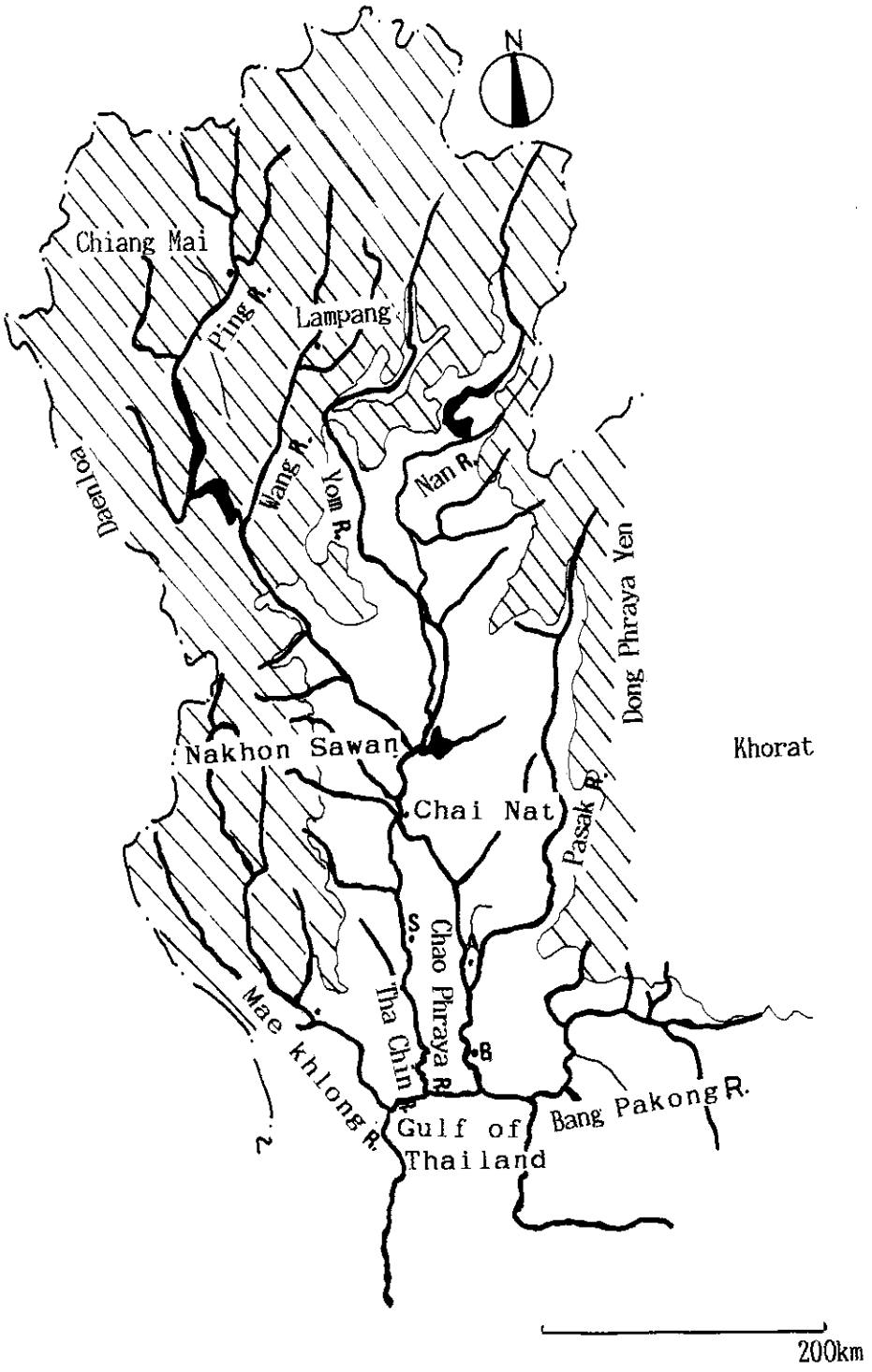


図 1　タイ中央平原と周辺地域（S：スファンブリ，A：アコタヤ，B：バンコック）

Fig. 1　The central plain and its vicinity (S: Suphan Buri, A: Ayutthaya, B: Bangkok

とを示した．大矢（1979）はチャイナット以南を高位デルタ，低位デルタに区分し，氷期の海面低下以降の平野の地形発達を略述した．Hastings and Liengsakul（1983）はタイにおける第四紀の気候変動を地層中の堆積物の^{14}C年代測定を行って，60,000年前の乾燥，冷涼期，30,000年前の湿潤，温暖期，20,000年前の乾燥，冷涼期，11,000年前の湿潤，温暖期を推定し，完新世の海退を示唆している．Supajanya（1980）は海岸地形および堆積物から古海岸線の一つを，現在の標高3.5 m－4 m付近に想定した．

この水害地形分類図においては，熱帯の安定陸塊の一部分としての中央平原の平坦さを示し，雨季，乾季を持つ熱帯サバンナ（Aw）気候下での岩石風化の盛んな地域特性を考えにいれて，特に温帯多雨造山帯の日本の堆積平野との差に着目して，微地形区分を行った．

6. 地形分類図からみたタイ中央平原の地形特性

タイ中央平原は中央部がチャオプラヤ川流域，東部がバンパコン川流域，西部がメクロン川流域で占められている．ここでの微地形の特性は次のようである．

(1) 扇状地

チャオプラヤ川においてはチャイナット以南に扇状地は認められないが，メクロン川および中央平原の縁辺部においては扇状地，および段丘化した扇状地がみられる．

メクロン川流域においては，カンチャナブリ（Kanchanaburi）を扇頂部とする開析扇状地が北側にみられ段丘化しているが，南部では現在でも形成作用が続いている扇状地が認められる．扇頂から扇端までの距離は50kmにもおよぶが，地形面勾配は1／1,000と緩やかであり，メクロン川の流路変遷によって扇状地が南側に拡大したと考えられる．カンチャナブリからナコンパットム（Nakhong Pathom）にかけての扇状地面には網目状の旧河道部を示す凹地部がみられ，この周辺に砂堆が形成されている．カンチャナブリ東方の扇状地堆積物は表層を2 mほど白色粘土で被覆されているが，赤色粘土によりセメントされた礫層がその下部に続いている．礫層はけつ岩，片麻岩，砂岩など長径4 cm程度の亜角礫が無秩序に堆積している．扇状地は現在では砂糖黍畑として利用されている地域が多い．また，出水時においては地表面は布状洪水（薄層流）により全面にわたり洪水が引き起こされるが，極めて水のひきは速い．

平野北部ではフアイクラシエオ（Huai Krasieo）川がドンチャン（Don Chang）からドンシェジ（Don Chedi）にかけて半径50kmにおよぶ開析扇状地を広げており，扇端部分はスファンブリ川流域に覆いかかるように張り出している．開析された凹地部分は水田として利用されている地域もあるが一般には地表面に水分が不足しているため砂糖黍畑として利用されている．平野の東側ではドンプラヤエン山脈およびコラート高原から流出する小河川が緩傾斜の扇状地を形成している．何れも日本の扇状地と比較すると極めて傾斜はゆるやかで

あるが広範に広がっている．地表面はラテライトに被覆され，堆積物の粒径が小さく細かいという点に特色がみられる．

タイ中央平原の扇状地は緩勾配，砂礫質という特色がみられ，表面をラテライトに被覆され現在では成長が止まっているものが多い．

(2) 自然堤防地帯

自然堤防地帯は大きく2つの地域に分かれる．チャオプラヤ本流においては高位自然堤防地帯はチャイナットーアユタヤ間，これにより下流側には低位自然堤防地帯が位置している．前者の自然堤防の比高は2.5 m－3.5 mであるが，局部的には6 mにおよぶものもあり，後者の比高は1.8－2 mであるが最下流部においては50 cm 程度の比高にしかならない．自然堤防の背後には後背湿地が形成されているが，高位自然堤防地帯においては後背湿地での湛水深は4.5－5 mにおよぶ．自然堤防の表面は灰色を呈しているが砂質シルトで構成される場合が多くまれに赤色の粘土ブロックを含んでいる．

後背湿地は雨季における湛水状況をもとにして湛水深により3区分した．高位自然堤防地帯における後背湿地は湛水深が深く，湛水期間も長いといった特性があり，雨季が終わり乾季に入っても湛水が続くか，あるいは一年中湛水する沼沢地が多く分布している．また，これらの沼沢地はかつての河道にあたるものも多く，サンファヤ（Sanpphaya）－シンプリ（Sing Buri）間での最大深をしめすものはこの性格を持っている．アユタヤ付近における深い後背湿地はラグーン起源のものであり，これらとは異なるものである．

平野西部地域における後背湿地の分布は中央部とは異なっている．西部地域の山麓部に広がる扇状地，すなわち，メクロン川の扇状地扇端からタチン（Tha Chin）（スファンブリ）川流域の後背湿地の比較的深い沼沢地の分布は，扇端部の湧水との関係からとらえることができる．平野東部のバンパコン川流域ではラグーン起源と思われる後背湿地の分布がみられる．

後背湿地の表層は粘土であるが，30－60cm下には青みをおびた腐植物を混える層があり，この層はアユタヤ付近では2 m以上におよんでいる．

自然堤防の平面形はチャイナット以南40kmまではチャオプラヤ，スファンブリ川ともに本流から放射状に分派する旧河道に沿って形成が進んでいるため，分岐点で広く末端で狭い．チャオプラヤ川の場合，アユタヤ付近に東西方向に広がる隆起砂州のためにこの上流側は背水を受ける地域となっている．河道に沿う自然堤防も下流側から上流側に押し上げるような形態をとっている．これに対して，スファンブリ川はバンプラマ（Ban Pla Ma)以南にかつてはラグーンが存在したため比較的静かな水域に河川が流入したと考えられ，河道の末端部分は分岐の繰り返しを示している．このため，自然堤防は分岐するにしたがって比高を減少させている．ノイ川はチャオプラヤ，スファンブリ両河川の中央部に位置しており，河川に沿って発達する自然堤防は比高は大きくないが平面的にはかなり広域に発達している．

低位自然堤防地帯では沖積面における自然堤防と後背湿地との比高は小さいが，蛇行部滑走斜面にシルト質の堆積物を堆積させている．

メクロン川ではラトブリ（Rat Buri）より下流側に，バンパコン川ではチャチョエングサオ（Chachoengsao）より下流側に自然堤防の形成が見られる．一般に自然堤防は集落，果樹園，畑として利用されている．

(3) 三 角 州

タイ中央平原の三角州の地形勾配は0.01－0.02／1,000と緩やかであり，著しく低平である．地形面は海面水準の高低により陸上部分で大きく2面に区分され，これに現在形成中の陸上側の三角州および海底三角州に分類した．高位三角州面は高位自然堤防をのせるチャイナットーアユタヤ間のスファンブリ，チャオプラヤ両河川に挟まれた地域とチャオプラヤ川以東に分布している．低位三角州は（1）スファンブリ川流域，（2）現在のチャオプラヤ川の氾濫地域及び，（3）バンパコン川流域に形成されているが，（1）の地域ではラグーンに流入する湖沼三角州の性格をもち，三角州の発達は良好であるが，（2）の地域は砂州が前面に位置しているために三角州の発達は阻害され，谷底平野の性格を持っている．また，（3）の地域ではコラート高原の縁辺に形成されている小扇状地に続く三角州の複合の性格を有している．

三角州の前面には砂州，泥州およびラグーンの組合せから成る起伏に乏しい海岸地形が形成されている．砂州については離水時期の異なるものを隆起砂州，隆起砂堆として区別した．また，現在の海岸線とほぼ平行する砂州については構成物がシルトおよび粘土であるので泥州とした．泥州はメクロン川からチャオプラヤ川までの，バンコク以南に断片的ではあるが3列形成されており，西南西－東北東の方向に位置している．バンパコン川－チャオプラヤ川では泥州は顕著でないが，バンパコン川東部地域ではバンコクにみられる泥州に対応すると考えられる泥州がみられる．現在の海岸線に沿う地域では極めて小さな泥州が形成されている．

これらのラグーンは主に19世紀以降の開拓事業が行われることになり，一大湿地から水田に変貌を遂げた地域であり，表面に海成粘土を堆積し，半かん半淡貝類が棲息している．

沿岸地域の潮汐平野は細泥からなる平坦な地形面であり，現在，えびの養殖，塩田としての利用が進んでいる．

タイ中央平原を構成するチャオプラヤ，メクロン，バンパコン川の地形要素の組合せを示すと次のようになる．

(1) チャオプラヤ川　N.L. + Upper D + Lower D

(2) メクロン川　F + n.l. + d

(3) バンパコン川　f + n.l. + d

ここで，N.L.は自然堤防と後背湿地，Dはデルタ，Fは扇状地である．また，小文字は小

表4　堆積物の鉱物分析

Table 4　Mineral analysis of sediments

Mineral species / Sample No.	Qtz	Fel	Amp	Mus	Chl	Hal
No.1 Chao Phraya R.	++	±	−	+	±	+
No.2 Tidal Flat	+	−	−	++	++	−
No.3 Bang Pakong R.	++	+	+	++	++	−
No.4 Tha Chin R.	+++	++	−	+	−	+

Qtz.：Quartz, Fel：Feldspars, Amp：Amphibole, Mus：Muscovite（Sericite, Illite), Chl：Chlorite, Hal：Halloysite

規模な地形を示す.

三角州における表層地質を調べたところ表4のような結果を得た.

7. タイ中央平原の水害

タイ中央平原はケッペンの気候区分における熱帯サバンナ（Aw）気候に属し，バンコクでの年平均気温は28.3℃（統計期間1951－1980年），年降水量は1418.7㎜（1953－1980年）である．バンコクの気温の年変化は5－6℃にすぎないが，降水量の年変化は大きく，乾季,雨季の月平均降水量の差は320㎜にもおよび,統計期間1953－1980年では降水量の最多月の9月で332.1㎜，最小月の1月で9.9㎜であった．また，上流域にあたるチェンマイでは年平均気温は25.9℃（統計期間1952－1980年），年降水量は1285.4㎜（統計期間1951－1980年），降水量の最多月の9月で262.3㎜，最小月の2月で9.6㎜である．雨季は4月から始まるが，とくに降水量が多くなるのは8－10月である（図－2）.

高谷（1982）はチャオプラヤデルタの農業景観の中でラングシット（Lang sit）地区の雨季における水田の湛水状況について，7月湛水なし，8月は20㎝の湛水，9－10月は50㎝の湛水，11月に減水，12月に水が完全に引くことを示した．水田における湛水は地域による差異が非常に大きく，水利事業が行われる前での農業形態には如実にこの差異があらわれていた．現在では，ブミポンダム（Bhumiphol），シキリットダム（Sirikit），チャイナットダムおよび用排水路の建設により，洪水の直接的な水田経営への影響は緩和されているよう

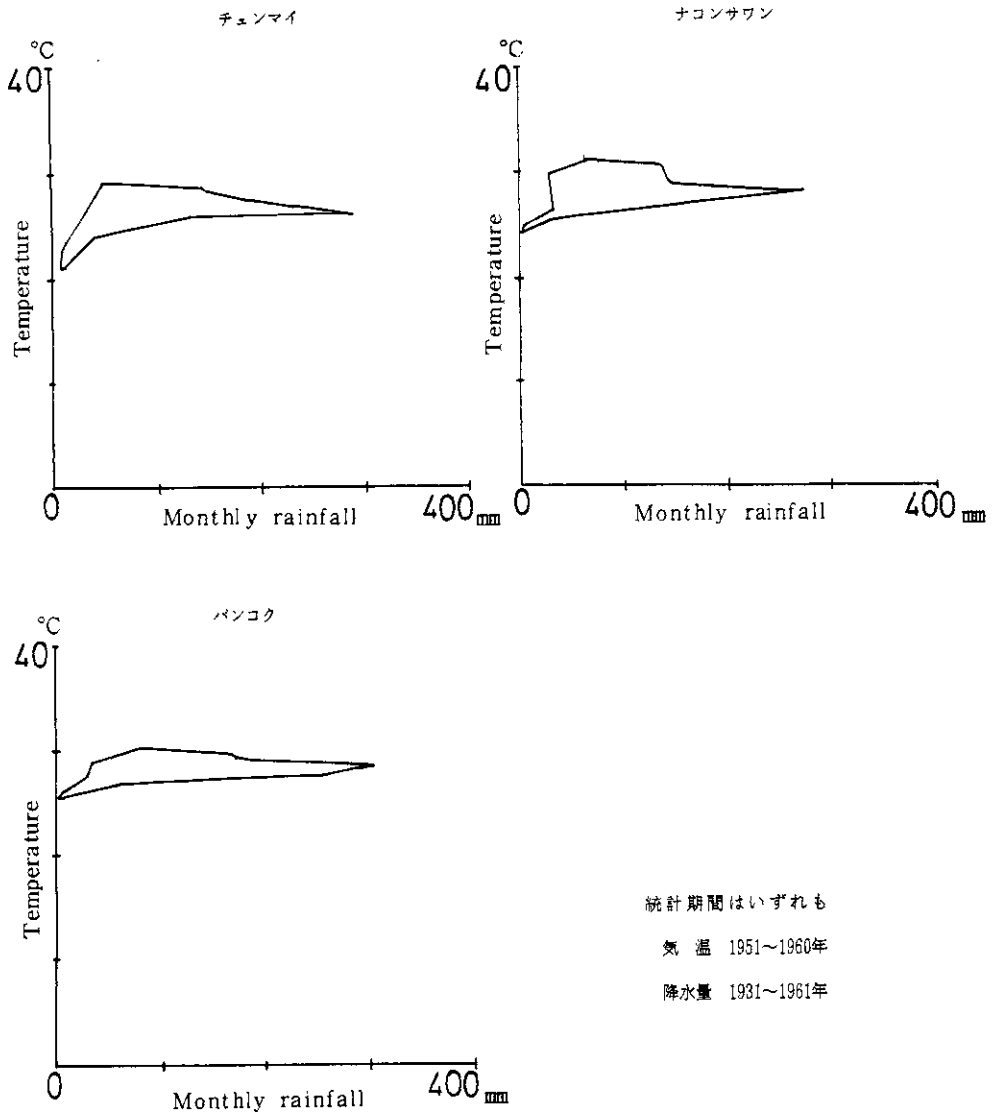


図2　主要都市のクライモグラフ

Fig. 2　Climographs of main cities

である．

平野の微地形と水害については一般に表－5のような関係が認められる．チャオプラヤ川は，河川の流路が長いことと勾配が緩やかなこと，さらに，ナコンサワンより上流域に山間盆地を持ち，ナコンサワンに遊水地を有することがあいまって，上流域の降水量がすべて一度にチャオプラヤ川に流出しタイ中央平原を洪水に引き込むわけではなく，流量の増加は極めて緩やかに起き，長時間を要する．しかし，平野部における降水量は上流地域より多いため雨季の始まりとともに平野表面の湛水は増大し始めるようになる．この際，平野の地形勾配が極めて小さいために洪水流は排水困難におちいり，湛水深を増すことになる．

平野を地形単位ごとにみてみると，一般には表－5のような水害特性がみられる．高位自然堤防地帯ではチャイナットで洪水流がチャオプラヤ川，スファンブリ川，およびノイ川のおのおのの流路に分流，拡散した後に，捌けきれずに溢流氾濫したものは旧河道を走り，一部川岸を侵食しながら，土砂堆積を行い，深い後背湿地から浅い後背湿地をつぎつぎに湛水する．下流側への流下は行われるが，その際に深い後背湿地では内水排除が不能となり長期にわたる湛水にはいるものと考えられる．自然堤防では最高水位を記録するときには冠水するが洪水は速やかに排水される．

低位自然堤防地帯のチャオプラヤ川本流は人工的に河道を付け変え，捷水路（cut off）が建設されているために，旧河道の締切り部分は破堤の危険度が高い．チャオプラヤ川では溢流氾濫のパターンがみられるが，スファンブリ川はソンピノン（Song Phi Nong）付近の旧ラグーンを経たのちは，地盤高が河川に沿って低くなる傾向があり，自然堤防の比高も小さいため，西側のメクロン川の扇状地の水系からも集水して本川に集中する．バンパコン川ではおよそ1㎞幅の規則正しい波長の蛇行が繰り返され，この蛇行部に自然堤防が形成されているが，河川規模が小さいため，破壊的な出水にはいたらないようである．扇状地地帯では，雨季の始まりとともに出水が引き起こされるが，地形勾配が平野中央部より大きいた

表5　地形要素と洪水氾濫形態との関係

Table 5　Topography and flooding type

地形要素	洪　水　氾　濫　形　態
扇状地	洪水時砂礫の侵食と堆積がみられる．冠水しても排水は良好である．しばしば流路の変遷がみられる．
自然堤防	異状の洪水時に冠水する．冠水しても排水は良好である．
後背湿地	洪水時長期間たん水する．水深は深い．
デルタ	洪水時たん水するが，水深は後背湿地より浅い．高潮の害をうけることがある．
旧河道	洪水時よく浸水する．洪水が流れやすい．
砂洲	洪水時冠水せず，津波，高潮は乗り越えることがある．

めに，表面を布状洪水（薄層流）に覆われ速やかに減水するようである．しかし，水利事業の進展とともに水路網がひかれ，また道路の建設が進んだために，これら人工的な構造物の背後が沼沢化し，長期にわたる湛水をみるようになった地域もある．また，メクロン川流域の扇状地においては北部，南部では出水が異なり，カンチャナブリーナコムパットム線にあたる地域では網状流の痕跡が残り，これらが凹地をなし，雨季における常習的な湛水地となっている．

ラグーン地帯では特に平野内部にもたらされた降水により，内水排除が困難になるための湛水である．ラグーン内部での湛水期間は短く，かつ湛水深は浅い．潮汐平野では満潮時に，海水の進入が常にみられるが，高潮災害に見舞われることはない．

最近，バンコクでは水害の発生が多いことが指摘されている．バンコクの水害については，人為的な側面と，自然環境の両側面から捉えることが必要である．Kanchanalak (1964) はチャイナットにおけるチャオプラヤ川の懸濁物質の量を表－６に示し，年間の山地侵食量を0.12－0.32㎜と推定した．図－３，図－４には水中三角州の前進の様子を示し，過去50年間のバンコクのチャオプラヤ川の最大洪水時における水位を求めたところ，11㎜／10年の割合で上昇していることが分かった（表－７）．これから，バンコクの地盤高が海抜２ｍにすぎないことを考えあわせると，地下水の過剰汲み上げを一要因とする地盤沈下（アジア工科大学（ＡＩＴ）によれば1930－1980年の沈下は0.692ｍ，図－５），水中三角州の前進による洪水水位の上昇はバンコクの洪水に対して重要な問題をなげかけている．

バンコクの最近の出水は1975，1978，1980，1982，1983年であるが，このうち1983年の水害は大被害を与えた．このときの降水量は８月　416.5㎜，９月　331.8㎜，10月284.8㎜で８－10月の３カ月の合計は1078.1㎜であった（図－６）．1983年の水害は最近40年間では最大規模であった．この水害については，異常降雨にあわせて，上記の地盤沈下による内水排除の機能の低下，土地利用変化にともなう保水能力の低下などの要因分析がなされてきているが，これにあわせて，河川本流の直線化にともなう流量の本川への集中化，都市域増大にもかかわらず下水設備が未整備，クローンの埋め立てに伴う排水能力の低下などの諸点が指摘できよう．

表６　チャオプラヤ川の懸濁物質

Table 6　Suspensions in Chao Phraya River

年	１００万ｔ
１９４９	１１.５
１９５１	１４.７
１９５２	９.７
１９５３	１０.５

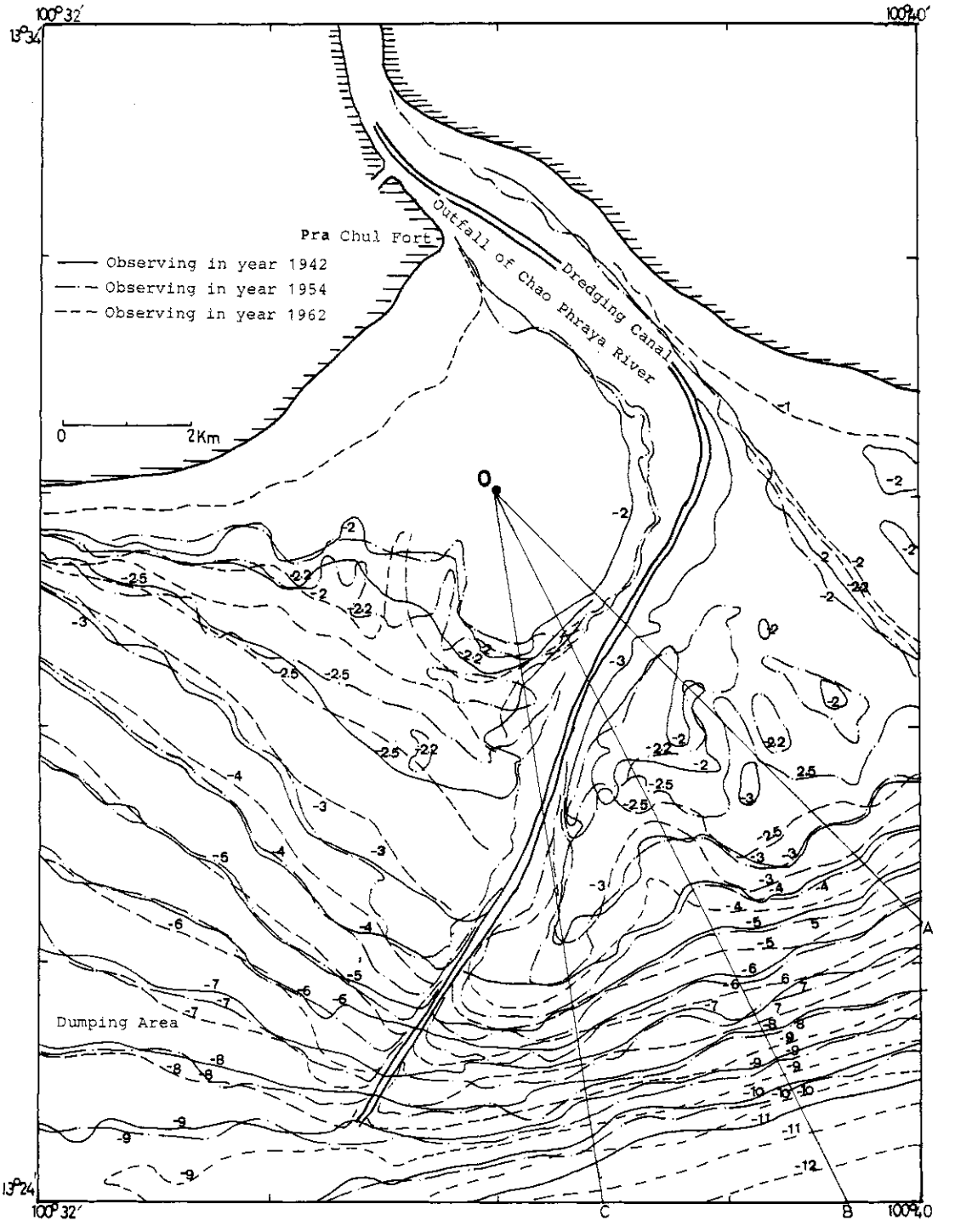


図3　チャオプラヤ川河口部および海底デルタの等深線図〔B. Kanchanalak (1964)〕

Fig. 3　Contour Line Map-Contour line in meter referring to M.S.L. [after B. Kanchanalak (1964)]

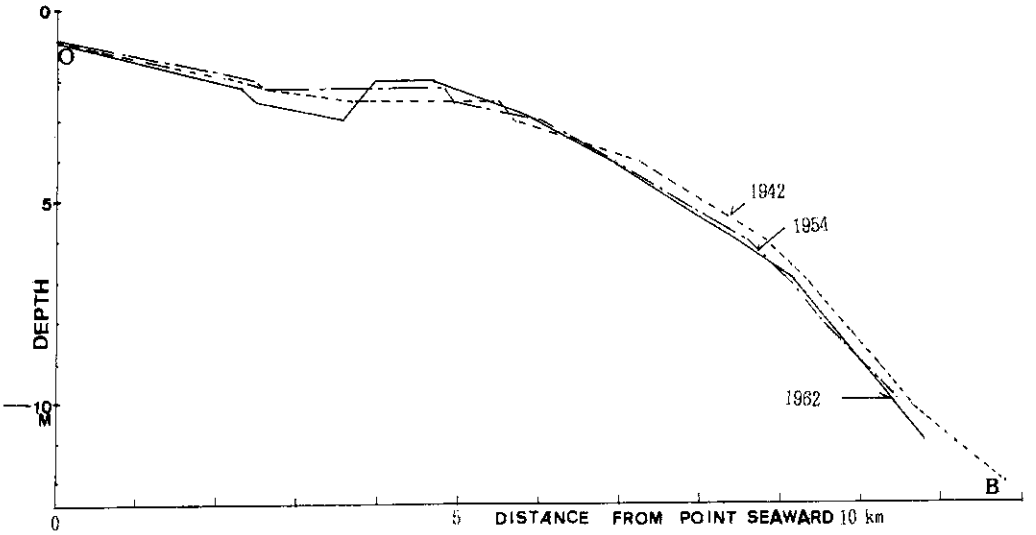


図4　1942年から1962年における水中デルタの前進〔B. Kanchanalak (1964)〕

Fig. 4　Outfall extention of Chao Phraya Delta (Profile along Section O-B in Fig. 3). [after B. Kanchanalal (1964)]

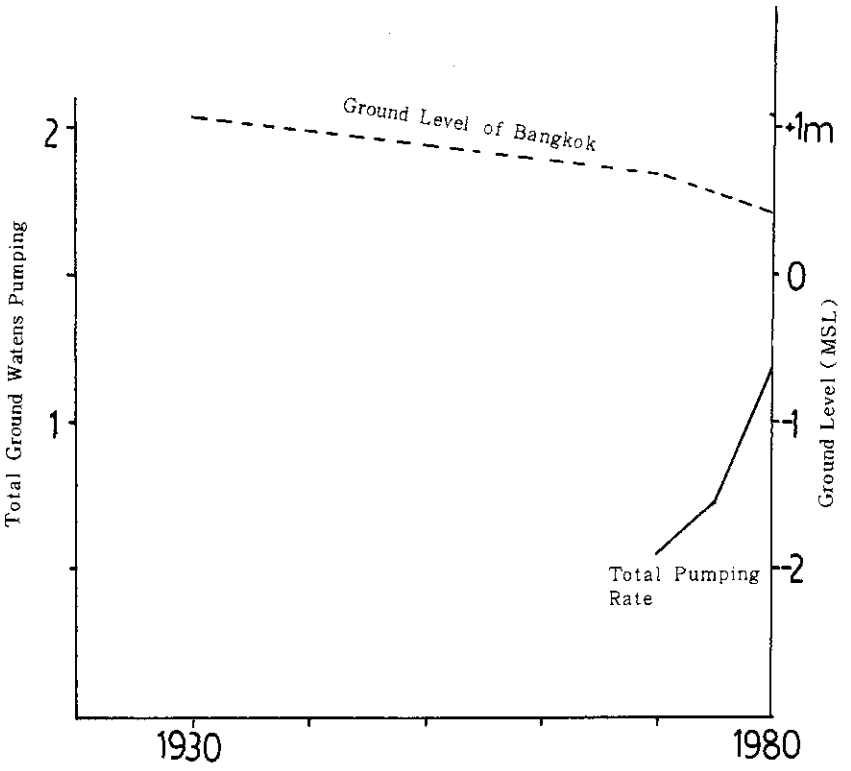


図5　バンコクの地盤低下

Fig. 5　Land subsidence of Bangkok

表7　水中デルタの前進とバンコクの洪水位の上昇

Table 7　Outfall extention of Submarine Chao Phraya Delta and increase of flood level in Bangkok

水中デルタの前進（m）	洪水上昇（cm）	年
100	3.64	3
200	7.28	7
300	10.92	10
400	14.56	13
500	18.20	17

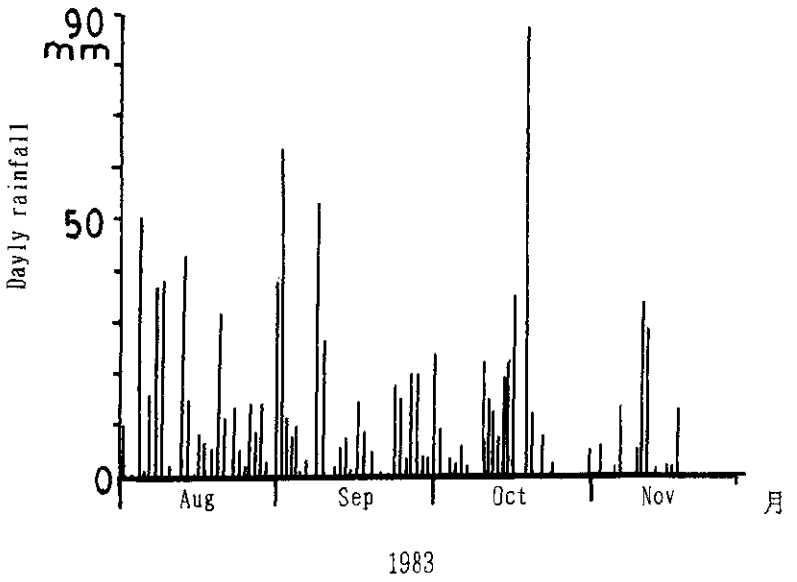


図6　バンコクの1983年8月から11月の日雨量

Fig. 6　Daily rainfall amount in Bangkok from August to November in 1983

8. チャオプラヤ川の開発

チャオプラヤ川の河道は低平地域であるにもかかわらず比較的屈曲が少ない．これは，アユタヤ朝に入り16世紀以降活発に行われた河川開発にともなう河川蛇行部の捷水路の開削事業によるものである．これは田辺（1973），高谷（1982）等が指摘するように舟運確保を目的とした運河掘削と考えられ，高谷らによればチャオプラヤ川本川だけではなく，支，派川を積極的に利用した運河，水路掘削もなされており，（1）都市を取り囲む都市環濠運河，（2）バンパコン川あるいはスファンブリ川（タチン川）などとチャオプラヤ川を結び付ける横断運河も15世紀以降には掘削されている．

図－7は地形分類図から，チャオプラヤ川本川沿岸地域の旧河道部を抜き出して，高谷（1988）らの報告により開削年代がわかるものについて示した．アユタヤ朝（1350－1767年）においては，アユタヤ北東部（The Khu Na 運河），クレトヤイ（K. Kret Yai），クレトノイ（K. Kret Noi），ラトムアンノン（K. Lat Muang Non），およびラトクルンテプ（K. Lat Krung Thep）運河などが開削されており，チャオプラヤ河の蛇行部を切り，短絡化がはかられている．また，これに合わせて，バンパコン川とチャオプラヤ川を結ぶヨン（K. Yong），デン（K. Den），ダム（K. Dam），およびマハチャイ（K. Mahachai）運河がそれぞれ開削されている．デン運河は旧チャオプラヤ川の本流にあたっており，これらの運河はすでに指摘にあるように既往の水路をたくみに利用したものと思われる．

バンコクに遷都した以降も，水路開削事業は継続され，ロード（Lawd），ロープ（Lawb），クルン（Krung），バンカピ（Bang Kapi），およびサエンサエブ（Saen Saeb）などの運河開削がおこなわれた．19世紀末葉における，運河開削は特に当時の米輸出のための米増産，生産地拡大を考えにいれ，灌漑，排水などの水田経営高度化をもめざしたものであった（田辺，1973．そこで，舟運，灌漑両面を備えた運河開削を成功させるために，“運河管理10項目勅令（1979）”，“Nakhon Nuangkhet 運河令（1977）”が施行され，運河管理にも大いに注意が払われていた（田辺，1973）ようである．

1890年代以降は運河開削はかなり大規模になり，1981年には35 rai（56,000ha）の水田化をめざしたラングシット地区の開拓事業が運河掘削，灌漑工事を伴ってスタートし，臨海部のチャロエン（Charoen）運河は1991－92年に掘削された．この時期になると大規模な水田開発をめざす水利事業としての性格が強くなり，20世紀の王立灌漑局（ＲＩＤ）の創設へとつながっていく．

ハイデ（Heide）はオランダ人技師であるが，1899年に王立灌漑局の初代灌漑局長としてむかえられると同時に，チャオプラヤ川デルタの中央域の水不足地，潮汐侵入により塩害をおこす地域にたいしての農業水利事業の計画を樹立した．また，これにひきつぎ，ワード（Ward）はパサック川において，サウスパサク（South Pasak）計画（1915－24）をたて

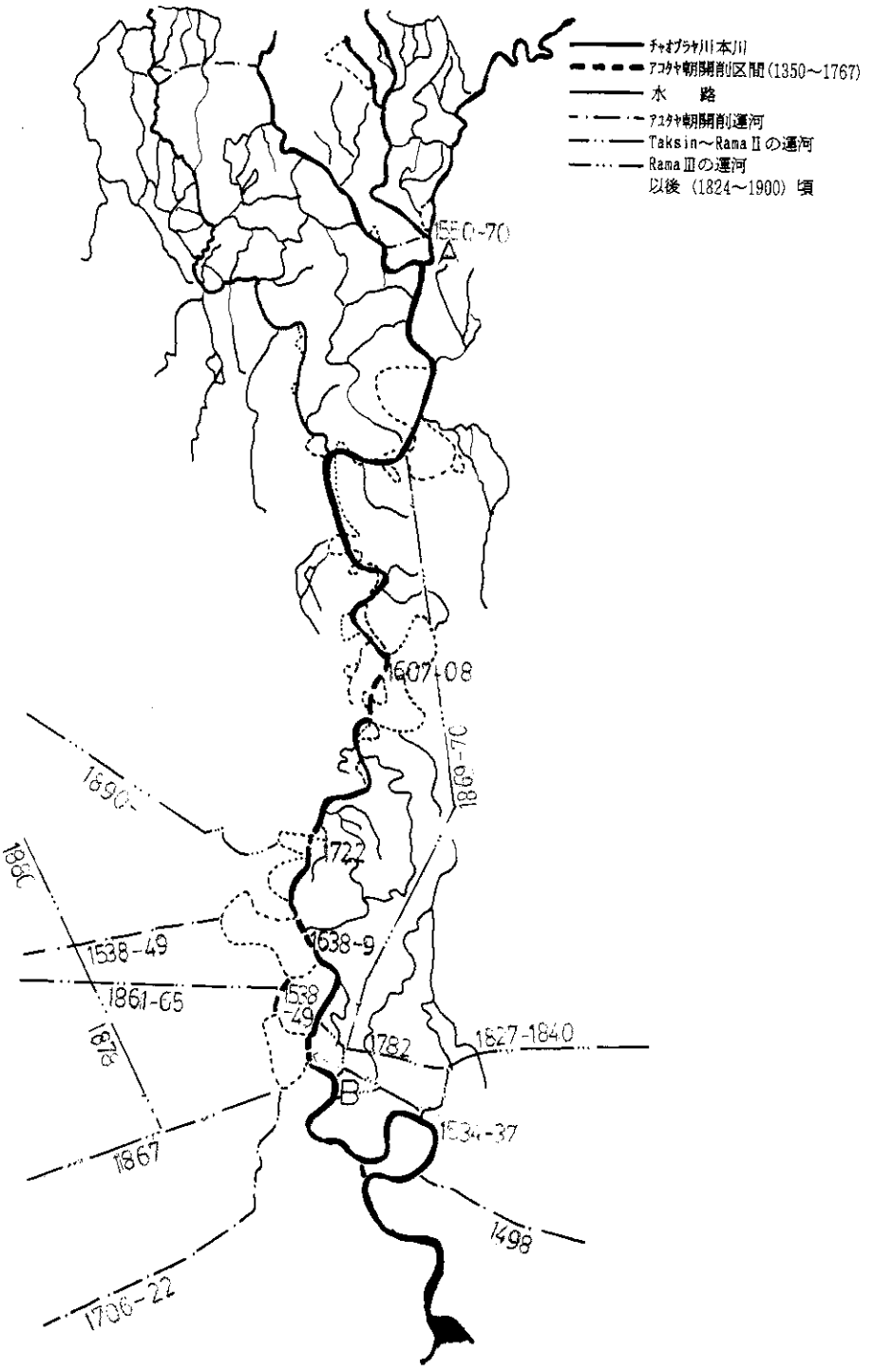


図7　水　路　図

Fig. 7　Map of water channels

ダムを設置するとともに，ラングシット地区への送水が始まることとなった．また，バンヒア（Bang Hia）計画では海岸部の脱塩および開田，スファン（Suphan）計画(1921－55)においてはスファンブリ川の舟運，農業水利事業が目的となり，ナコンナヨク（NaKhon Nayok）計画（1933－54）ではナコンナヨク川に堰を築き，デルタの水利改良事業が行われた．

第二次大戦後では大チャオプラヤプロジェクトが1952年に着工され，チャイナットダムをはじめとする水路網の整備が行われ，このプロジェクトを補強するものとして，1962年には ディッチズアンドダイクス（Ditches & Dikes）プロジェクトが実行された．これらをとおして，デルタの水利改善がなされるとともに，上流にブミポル，シキリット両ダムが計画され，流域の一貫した水管理システムが機能し始めることになった．

9. 謝　　辞

本研究は，科学技術振興調整費による「アセアン諸国とのリモートセンシング技術の高度化とその応用に関する共同研究：洪水地形分類手法に関する研究」によるものである．この研究は，科学技術庁国立防災科学技術センターとタイ王国科学技術エネルギー省国家研究評議会タイリモートセンシングセンターとの国際共同研究であり，早稲田大学教育学部地理学教室の協力を得て，1986年4月から1989年3月の3ケ年間にわたって行われた．研究にあたり援助，助言をいただいた皆様に謝意を表します．

特に，タイ中央平原の現地地上調査の準備にあたり，国立防災科学技術センター第4研究部長　植原茂次博士，同情報処理研究室長　幾志新吉博士に有益な助言と援助を頂いたことに心から謝意を表します．また，現地調査において，各方面へのてくばりを頂いたタイ国家研究評議会リモートセンシング部 Darasri Srisangthong 博士と，調査に同行され地理学的に有益な助言を頂いた同リモートセンシング部 Chaiwat Rodprom 氏に心から深い謝意を表します．

参 考 文 献

1）安芸皎一（1965）：東南アジアにおける水利開発の問題点について，東南アジア研究3－，pp52-64.
2）Alekseev, M. N. and Takaya, Y. (1967)：An Outline of the Upper Conozoic Deposits in the Chao Phraya Basin, Central Thailand, 東南アジア研究5－2
3）春山成子，大倉　博，大矢雅彦（1988）：ランドサット画像の地理への応用　－タイ中央平原の水害地形分類図作成を例として－，早稲田大学理工学研究所報告第121輯，pp. 32～48
4）Hastings, P. and Liengsakul, M. (1983)：Chronology of the late Quaternary climatic changes in Thailand, First symposium on geomphology and Quatenary geology of Thailand, pp. 24－34.
5）Intrasuta T. (1983)：Ground Water Potential in Unconsolidated Sediments in

Chiang Mai Basin, First Symposium on Geomorphology and Quarternary Geology of Thailand, pp. 179～195.

6) Kanchanalak, B. (1964) : Significant changes of River Hydrology due to Delta Extension at Its Outfall, Scientific Problem of the Humid Tropical Zone Deltas and their Implications, UNESCO

7) 松尾新一郎 (1965) : タイ国における地下水開発の構想とそれに伴なう土質改良について, 東南アジア研究, 3－2, pp. 47－61.

8) 南　勲 (1969) : Chao Phraya河における塩水侵入と河川流量. 東南アジア研究, 3－4, pp. 77－84.

9) Nutalaya, P. and Rau, J. L. (1981) : The Seaking Metropolis, Episodes, 4, pp. 3－8.

10) 大倉　博, 春山成子, 大矢雅彦 (1988) : ランドサット画像の地理への応用　—タイ中央平原の水害地形分類図作成を例として—, 日本地理学会予稿集.

11) 大倉　博, 春山成子 (1988) : 衛星データによるタイ中央平原の洪水地形分類, 日本リモートセンシング学会第8回学術講演会論文集, pp. 41－44.

12) 大矢雅彦 (1979) : 河川の開発と平野, 大明堂, 全163.

13) Takaya, Y. (1971) : Physiography of Rice Land in the Chao Phrya Basin, 東南アジア研究, 9－3, pp. 375～397.

14) 高谷好一 (1988) : 熱帯デルタの農業発展　—メナム・デルタの研究—, 東南アジア研究叢書18, 叢文社, 全392ページ

15) 田辺繁治 (1973) : Chao Phrayaデルタの運河開発に関する一考察 (I)　—Ayutthaya朝よりRatanakosin朝四世王治世まで, 東南アジア研究, 11－1, pp. 14～48.

16) 田辺繁治 (1973) : Chao Phrayaデルタの運河開発に関する一考察 (II)　—19世紀末期における変容過程—, 東南アジア研究11－2, pp. 191～222.

17) Thiramonkol, N. (1983) : Proc. 1st Symposium on Geomorphology and Quaternary Geology of Thailand, pp. 6－23.

18) Thiramonkol, N. (1978) : Notes on the Origin of Potash in the Northeast, Mineral Resources, Gazette, 23－8, pp. 25－40.

19) 友杉　孝 (1966) : Chao Phrayaデルタの灌漑排水開発の歴史的発展過程, 東南アジア研究所, 3－4, pp. 147－151.

20) Supajanya, T. (1980) : Delineation of the Regression shoreline in the Lower Chao Phray Plain, ccop XVII 75, pp. 232－237.

21) Wongtangswad, N. (1976) : Chiany Mai Region Geomorphology, Map Scale 1 : 250, 000.

(1989年1月6日原稿受理)

平成元年３月23日　印刷
平成元年３月30日　発行

編集兼
発行者　国立防災科学技術センター

茨城県つくば市天王台３－１
電話（0298）51－1611 郵便番号305

印刷所　アサヒビジネス株式会社
東京都文京区本駒込６－15－８