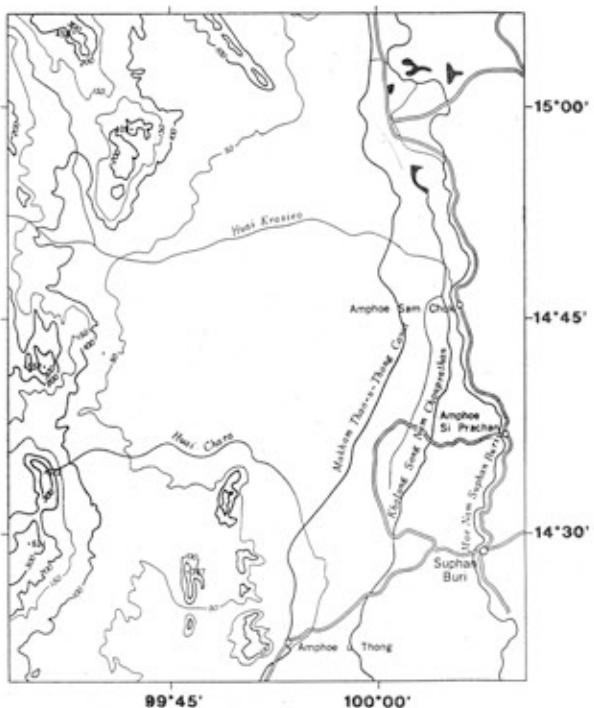
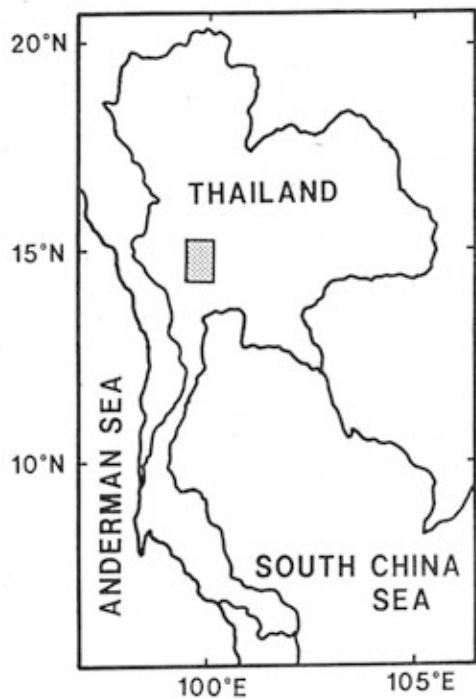


衛星リモートセンシングによるタイ中央平原西部クラシオ川流域の洪水地形分類
付図 タイ中央平原西部クラシオ川流域の水害地形分類図

A Geomorphological Survey Map of the Kraseio River Basin in the Western Part of the Central Plain of Thailand Showing Classification of Flood-inundated Areas.



平成3年3月
科学技術庁
防災科学技術研究所

Published by

The National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
Science and Technology Agency
Japan, March 1991

衛星リモートセンシングによるタイ中央平原西部 クラシオ川流域の洪水地形分類

大倉 博・植原茂次

防災科学技術研究所

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・トンチャイ シムキン

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

**Geomorphological Land Classification of Flood-inundated Area
in the Western Part of the Central Plain of Thailand
Based on Satellite Remote Sensing Data**

By

Hiroshi OHKURA and Shigetsugu UEHARA

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

Shigeko HARUYAMA

Institute of Science and Technology, Waseda University, Japan

Masahiko OYA

Faculty of Education, Waseda University, Japan

Suvit VIBULSRESTH, Ramphing SIMKING and Thongchai SIMKING

Remote Sensing Division, National Research Council of Thailand

Abstract

The purposes and applications of the field of geomorphological land classification are explained. Also, the history of the classification in the field for flood prevention and the procedure for map making in this field based on satellite remote sensing are explained.

The study area is set up along the boundary of the Chao Phraya River delta in the western part of the Central Plain of Thailand. The map has been made in a scale of 1 : 100,000. This study has been carried out in an area of about 72 km x 110 km which includes the Krasieo River basin.

The map is made using mainly visual photo obtained from Landsat data. A principal component analysis method is applied to Landsat TM data, which gives good results for visual photo interpretation.

For the purpose of evaluating the circumstances of a disaster caused by flooding and/or drought, a change in the landuse over a period of 15 years has been detected using Landsat TM data and MSS data in the area.

The geomorphological characteristics of the Krasieo River basin are analyzed, and the conditions in which an inundation is caused by heavy rains are investigated for every geomorphological elements of the basin.

Key words: Remote sensing, Thailand, Flood, Geomorphological land classification

キーワード：リモートセンシング，タイ，洪水，地形分類

目 次

1.はじめに.....	2	6. 地形分類図からみたクラシオ川流域の地形の特性.....	19
2. 地形分類図の目的と利用.....	3	7. 1988年の水害について.....	23
3. 水害地形分類図の歴史.....	6	8. 水害地形分類図の評価.....	28
4. 水害地形分類図の作成過程について.....	8	9. 謝 辞.....	31
5. タイ中央平原の地域概観.....	16	参考文献.....	32

1. はじめに

アセアン諸国での近年の国土の変化は激しい。この国土の自然環境の変化は、新興工業社会の建設に伴った都市域を中心としたものと、産業基盤としての農業をはじめとした第一次産業部門の充実に付随したものとが共存している。タイ国においても、バンコク首都圏を中心にして都市地域の拡大がはかられており、この地域では人工集中の激しさから環境は急変している。一方、農業地域においても農地の拡大によって生産をのばしてきたために、水田、畑作、果樹などの農地は従来の適地のみでなく、最適とは言えない地域であっても新規に開墾されてきている。

このような開発行為はタイにおいては中央平原の西部地域でも顕著である。また、開発はかならずしも地域のインフラストラクチャの整備がなされてからとは限らず、その前に進展していくことが多いために、開発による経済性が先行して開発によって助長される自然災害の視点がみおとされがちである。そこで、河川流域を開発の進展のひとつの単位としてとらえ、このうえにたち、自然災害の発生を地形および人工改変地域の拡大との関連でみなおすことは重要であろう。

このような問題意識から本研究をおこなうこととした。また、ここでは従来より確立されている空中写真の判読を基礎にした水害地形分類図の作成に加え、流域の規模、空中写真、地形図などの未整備地域での災害マッピングを考慮に入れて、衛星リモートセンシングの利用をより一層ひろげることを考えた。また、人工改変地域のマッピングについてはランドサット画像の初期のものを用いることにより、現時点の土地利用との差異の検出も可能である。

本報告の全体の調整取まとめは大倉博が担当したが、各章の執筆分担は章末に示した。

2. 地形分類図の目的と利用

2.1. 地形分類とはなにか

地形分類とは、平野あるいは山地地域における土地の性格を明確にするために、同一の形態、構造あるいは成因を有する地域とこれとは異なった形態、構造、成因の地域と区分して分類することであり、その分布を地形分類図として表現する。

本研究では採用している地形区分の内容は表1に示している。地表面をその形成過程にてらして区分し、地理的な空間認識の中でその分布を示すことにより、河川の流域規模の広域の地形、自然環境を把握することになる。また、微地形の静的な分布の表示はこれだけに留まらず、成因を考えることにより自然環境の変化を読み取ることも可能である。

2.2. 地形分類の目的

日本では地形分類は大きく、(1)地形構成、地形形成過程を明らかにするためといった学問

表1 地形分類に用いている地形単位(大矢, 1984)

Table 1 Geomorphological unit for land classification(Oya, 1984).

区分		内容	適用
台地・段丘	高位面	形成時期がもっとも古く高位にある台地または段丘面のグループ、開析が著しい	洪積台地または段丘面のうち、もっとも高位にあるグループ
	上位面	形成時期が古い台地または段丘面のグループ、開析がすんでいる	洪積台地または段丘面のうち、上位にあるグループ
	中位面	形成時期が中程度の台地または段丘面のグループ、広い平坦は原面がみられる	洪積台地または段丘面のうち、中位にあってほぼ対比の標準として利用されているグループ
	下位面	形成時期が比較的新しい台地または段丘面のグループ。開析があまりすんでいない	洪積台地または段丘面のうち、下位にあるグループ
	低位面	形成時期がもっとも新しい台地または段丘面のグループ	通常沖積段丘面とみなされるグループ。一部洪積最下位面が含まれることがある
山麓堆積地形	山麓堆積地形	主として衝积、雨洗により、斜面の下方に生じた岩屑、風化土などの緩やかな堆積地形面	表面傾斜ほぼ15°以下
	崖錐	主として雨洗、崩落により、斜面の下方に生じた岩屑の相対的に急な堆積地形面	表面傾斜ほぼ15°以上
	土石流堆	岩塊、泥土等が堆積した地形。やや扇状地に似た平面形で、末端部は急斜面	比較的生成が新しく開析がすんでいないもの、泥流、浮石流を含む
低地の微高地	扇状地	山麓部にあって主として砂礫からなる扇状の堆積地形	砂礫質で表面傾斜2~3°以上15°以下のもの。範囲を溪口部周辺に限定する
	緩扇状地	山麓部または扇状地の縁辺部にあって砂、シルト質からなり、傾斜も比較的緩やかな堆積地形	砂ないしシルト質で表面傾斜2°~3°以下のもの

区分		内容	適用用
低地の微高地	自然堤防	河川の流路沿いまたは周辺に砂やシルトが堆積してできた帯状の微高地	河川流路沿いに帯状またはバッチをなし、砂ないしシルト質で一般面との比高0.5~1.0m以上
	砂丘	風によって運ばれた砂からなる小高い丘	海岸または稀に河岸に位置し、風成であることが明らかな砂質微高地で一般面との比高3~4m以上
	砂(礫)堆 砂(礫)州	海岸、湖岸付近で砂または礫からなる波浪、沿岸流によってできた微高地	ほぼ海岸線に平行して内陸部に存在し、一般面より0.5~1.0m以上数m程度高い微高地
	天井川沿いの 微高地	天井川に沿って形成された半人工的微高地	堤外地が河川敷となっているもので一般面との比高数m~10m以上
凹地・浅い谷		台地、段丘、低地の微高地などの表面に細流や地下水の働きによってできた凹地や浅い谷	台地、段丘、低地の微高地などの表面より0.5~1mから数m程度まで低い部分
低地の一般面	谷底平野 氾濫平野	山地、丘陵地、台地、段丘を刻む河川の沖積作用により、広く開けた平坦地	砂、シルト、粘土などよりなり、高地で挿まれている沖積地、および河間地を占めた広く開けた一般面
	海岸平野 三角州	浅海堆積面が海退により陸化した平坦地、および河口部にあってはシルト、粘土質からなる平坦地	砂堆や砂堤または背後の粗砂、細砂、シルト質の一般面、および河口付近は主としてシルト、粘土質の一般面
	後背低地	河川の沖積作用が比較的及ばない沼沢性起源の低湿地	主として粘土や泥炭質物質からなり沼沢性で河川の沖積作用が比較的及ばない低湿地
	旧河道	過去の河川流路の跡	干上了の旧河床、一般面よりの比高0.5~1.0m、自然堤防よりの比高1~2m内外低い帯状の凹地
頻水地形	湿地	地下水位が著しく高い土地	湿地は地下水位が地表下ほぼ20cm以内の部分
	天井川の部分	堤防によって囲まれた河床が堤内地より高い部分	堤防で囲まれた河床または水面が堤内地より高い部分
	高水敷	堤外地のうち洪水時に冠水する土地	河川または海岸の堤外において平水では冠水しないが異状高水時に冠水する部分
	低水敷・浜	堤外地のうち高水時に冠水する部分、および海岸の波打ち際の砂地	河川の平常の流量を通ずる部分および海岸の前砂にあたる部分
	落堀	過去の破堤洪水の際に洪水流の激しい侵食によってできた堤内地の凹地、通常池とか湿地になっている	堤内または旧堤内にあって形成記録のあるもの、または洪水記録、写真判読によってほぼ確実なもの
	潮汐平野	潮の干満によって水面上になったり水面下になったりする土地	写真判読でその範囲が不明なものは、海図を利用する
人工地形	平坦化地	山地、丘陵地、台地などの斜面を切取り整地した平坦地または緩傾斜地	宅地造成地、ゴルフ場、採土地跡などの主として切取りによる平坦ないし緩傾斜地
	農耕平坦化地 階段耕作地	山地、丘陵地、台地などの斜面を農耕地として切取りにより整地した土地、および階段状の耕作地	斜面を農耕地として整地した平坦ないし緩傾斜地、階段耕作では崖を縦描して記入する
	切土斜面	切取られた斜面	比高5m正射影の幅15m以上の切取り斜面
	高い盛土地	とくに高潮、洪水などの防禦対策上、高く盛土された土地、陵墓、古墳などの高い盛土地を含む	内陸部では一般面との比高ほぼ2m以上、沿岸部では水面よりの比高ほぼ3m以上の盛土地
	盛土地	主として低地において盛土して造成された土地	主として低地において0.5~2m盛土した部分。市街地では0.5m未満でも表す

を基礎として、(2)国土の有効利用、保全のために行う応用部門からの必要性の2つの目的がある。前者では地表の形態、地形形成営力、形成時期、物質構成などの把握から地形研究を進めていくが後者の応用面からのアプローチでは土地分級、災害予測などへ発展させようとするものであり、これは地形分類の2つの大きな柱であろう。

災害予測は、特にモンスーンアジアの水害地形分類図の多発地域では重要な使命である。欧米での地形分類に比べて、きわめて緻密な微地形分類の構築がなされた背景には日本が水害を含め、多くの自然災害を発生させる素地があったからにほかならない。今まさに自然災害の発生により生産基盤を失おうとしている農業に大きく依存する地域では、地形分類図の作成は、災害を予知し自然災害の発生を軽減する計画を策定する際には有効な手段である。

地形分類図の作成に当っては取り扱う地域に応じて、(1)水害、(2)土砂災害、(3)地盤沈下、(4)地盤災害などへの応用が目的とされよう。本研究では水害への応用として水害地形分類図の作成を中心している。

水害地形分類図では与えられた地域の地形分類を行った上で、各々の地形単位の性格から、万一、破堤、氾濫があった場合の洪水の性格、すなわち、浸水範囲、流動方向、浸水深の深浅、河道変遷の有無、湛水期の長短、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。このような地形分類が洪水予測を可能にするのは、河川が山地を侵食し、砂れきを運搬して浅海底などを埋積することにより、沖積平野が形成されてきたに基づいている。また、これらの砂れきの堆積は平常ではほとんど行われずに大部分が洪水時に行われる。従って、平野の微起伏、砂れき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ると考えられる。洪水の状態、洪水の性格については、この数年間では急激な変化をもたらすことはないため、将来的にもある程度までは洪水予測が可能である。

2.3. 地形分類図の利用

日本では河川に沿って堤防が築堤されており、洪水防御のためのダム建設もすすんではいるが、予定を上回る規模の洪水が起き、万一破堤することがあれば、基本的には平野形成に関わった微地形に応じた洪水パターンがみられるはずである。この見地にたって水害地形分類図をよみなおすことにより、最大規模、超過洪水時の出水状況を予測するための基礎資料としてこれを用いることができよう。また、水害防備のための築堤などの河川工事においてのリハビリを行っていく際に、漏水箇所の検出、堤防の強化地点、遊水池の選定に利用できよう。また、河床変動についても地形形成過程がかかわりあっていることから、将来の河床変動の動向をつかむことにも利用できよう。台風、サイクロンなどにより誘発される最大規模の高潮災害の発生についても、すでに伊勢湾台風時に高潮災害の検証がなされており、高潮侵入限界は水害地形分類図のなかでおさえることが可能である。このような、いつおきてても不思議のない自然現象に対して、住民の生活への影響を軽微にするための都市計画を行う

場合の最適な土地利用計画の樹立の基礎としても利用できよう。また、水害多発地域の水害予知のために、すでに水害地形分類図による住民への啓蒙もなされてきている。

当該地域のタイ中央平原の西部のクラシオ川流域においては、河川の堤防建設はすすんでおらず、また、上流地域に貯水池が建設されているものの、農業用水確保のダムであり治水用としての機能は少ない。また、現在農業地域の拡大によって土地利用の高度化により、かつて災害と認知されなかった出水が水害と考えられるようになってきている。このような地域では、すでに開発は進んでいるが、水害地形分類図は水害発生に対してその軽減策を講じるための計画樹立の基礎資料となりうると考えられる。(春山、大倉、大矢)

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こなかったことと、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。この時の栗橋地点での最大洪水流量は $17000\text{m}^3/\text{sec}$ で記録上では日本最大であった。明治時代以降の洪水流量は降水量の増加がないにも関わらず、特に下流流域での増加がめだっている。この現象については、当時的一部の河川工学者らは河道の直線化、築堤などの河川工事に原因を求め、河川のみに降雨を集中させてきたこれまでの河川工事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、人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が治水事業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料増産のために、水田経営、農業経営の高度化がのぞまれるようになり、特に沖積平野への集積が期待されるようになった。このようななかで、自然地理学者による積極的な堆積地形の研究がすすめられて、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すことになったが、この4年前に水害地形分類図の概念が大矢(1956)により用意されたこともあり、これを機に日本での水害地形の研究がおおいに進められるようになった。

この水害地形分類図の海外への応用例としては、プラマプトラガンジス川下流地域、メコン川のヴィエンチャン平原、メコン川支流ナムムン川下流地域、スマトラ島パダン、タイ中央平原などがあげられる。これらの水害地形分類図は河川工学と接点を持つことにより、治水計画策定のために大いに役立ってきた(表2)。自然河川において、河川の歴史を知り将来的展望に立って河川の動向をつかむことができるからである。それによって洪水予測を行うとともに、各河川の性格を知った上で治水計画を立てることができる。

タイ国における水害地形分類図については上記の目的にあわせて、リモートセンシング技術の高度化に資するために、この研究の前段階として、縮尺25万分の1の小縮尺の水害地形

表2 水害地形分類図一覧

Table 2 A list of geomorphological land classification maps for flooding.

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
木曾川	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
諫早川	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
豊庄内川*	1978	豊川平野治水地形分類図	同 上
小川原湖*	1982	小川原湖周辺地形分類図	建設省庄内川工事事務所
最上川*	1982	庄内平野水害・地盤液状化予測地形分類図	建設省高瀬川総合開発事務所
網走川*	1984	網走川水害地形分類図	建設省酒田工事事務所
阿賀野川*	1984	阿賀野川水害地形分類図	北海道開発局
常呂川*	1985	常呂川水害地形分類図	建設省阿賀野川工事事務所
黄瀬川*	1985	黄瀬川流域地形分類図	北海道開発局
霞ヶ浦・北浦*	1987	霞ヶ浦・北浦周辺地形分類図	建設省沼津工事事務所
葛飾区*	1988	葛飾区および周辺地域地形分類図	建設省霞ヶ浦工事事務所
Nam Mune	1961	メコン河下流域主要支流踏査総合報告書	葛飾区教育委員会
Nam Gam	1961	同 上	日本政府メコン調査団
Vientiane平原	1967	Geographical Study of Flood Immediately Down-Stream from Pa Mong in the Mekong River	同 上
Brahmaputra-Jamuna, Ganges	1976	ジャムナ川梁橋計画調査報告書II 河川制禦計画	M.OYA
Padang	1983	A Geomorphological Survey Map of Padang City and Surrounding Area in West Sumatra Showing Classification of Flood Stricken Areas	国際協力事業団
タイ中央平原	1989	A Geomorphological Survey Map of the Central Plain of Thailand Showing Classification of Flood-inundated Area	同 上
			国立防災科学技術センター

分類図をすでに作成している。今回の10万分の1の縮尺の水害地形分類図の作成は、リモートセンシングを更に実用にむけて、衛星画像からより細かな部分の地形を判読し、水害との対応を精査しようとするものである。(春山、大矢)

4. 水害地形分類図作成過程について

本報告の水害地形分類図作成については、タイ中央平原の西部、スファンブリ地域の東経99度30分-100度10分、北緯14度15分-15度15分の地域について行うこととした(図1a, b)。

水害地形分類図作成に際しては、先に行って来たタイ中央平原の25万分の1縮尺の水害地形分類図と同様に、衛星画像から主要な地形単位である山地、残丘、台地、扇状地、谷底平野、自然堤防、後背湿地、三角州、ラグーンなどの平面的分布を色調、パターン、テクスチャなどから分類を行うことによりすすめた。この際に1950年代、1970年代刊行のタイ国の5万分の1縮尺の地形図を参考にした。1988年12月、1989年12月、1990年8、9月に現地調

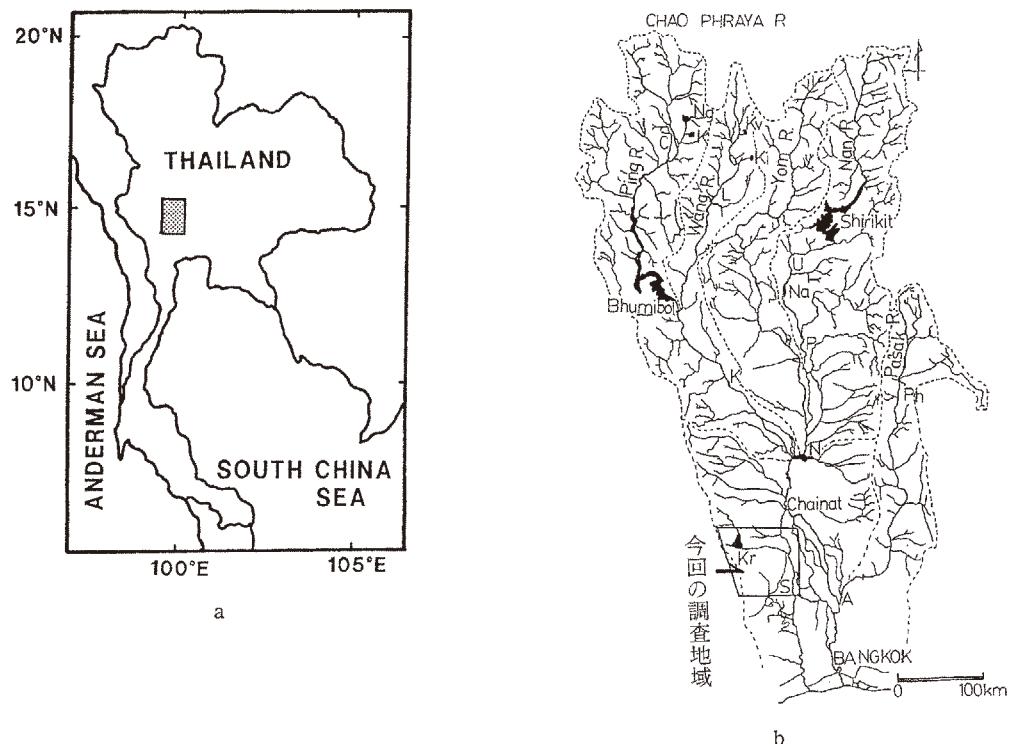


図1 調査地域
a. 位置, b. チャオプラヤ川水系

Fig. 1 Study area
a. Location, b. Drainage system of Chao Phraya River.

査を行うことによって地域的な検証をした。

ここで用いた地形図はAmphoe Si Prachan, Amphoe Song Phi Nong, Amphoe Bang Len, Ban Loa Khwan, Amphoe U-Thong, Ban Chorakhe Sam Phan, Ban Nong Lan, Changwat Chainat, Amphoe San Buri, Amphoe Doem Bang Nang Buat, Amphoe Sam Chuk, Khao Chong Kling, Ban Wang Phai, King Amphoe Bo Phloi, Changwat Kanchanaburi, Ban Kut Chok, Khao Rattian, Ban Chain, Ban Nong Ya Sai, Ban Kok Ngin, Amphoe Ban Rai, Ban Wang Khan, Ban Dong Chuak(1957年作成の地形図), の図幅である。

1988年12月の現地調査では特に微地形と1988年の水害の対応関係について調査し, 1989年12月では1988年撮影のランドサット画像を現地で対照させた。1990年8, 9月ではさらに現地の地形を精査することと, 水害の資料の収集につとめた。(春山, 大倉)

4.1. 判読に利用したランドサットTM画像について

ランドサットTMパルク処理済みCCT(Computer Comparable Tape)を用いて, 解析対象範囲を包含する経度1度, 緯度1度の範囲の地理補正画像を作成した。

地理補正の手法はアフィン変換および最近隣法を用い, 再配列の地図座標の刻みは緯度0.9202秒, 経度0.9375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28.32m, 東西方向に28.14mになり, 経度1度, 緯度1度の範囲は3840ピクセル×3912ラインであらわされる。

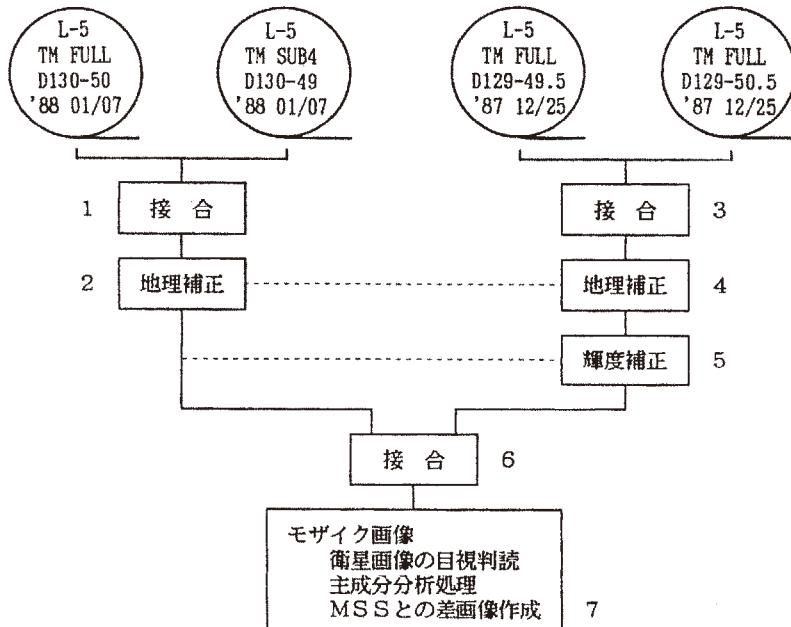


図2 デジタルモザイク画像作成手順

Fig.2 Procedure for getting a digital mosaic image.

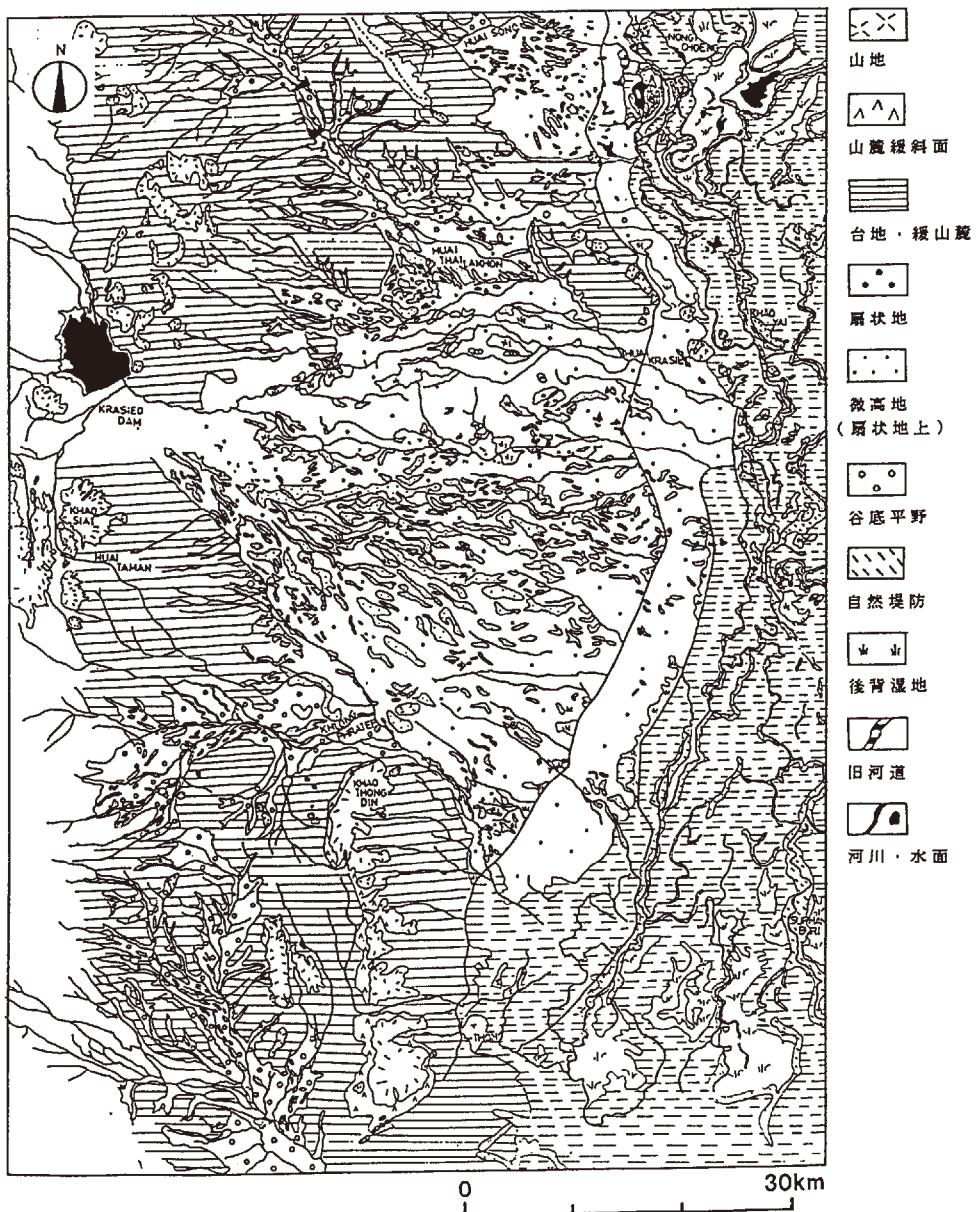


図3 タイ中央平原西部の洪水地形予察図

Fig. 3 Provisional geomorphological land classification map of the western part of the Central Plain of Thailand.

平原西部域については図2に示される手順に従って、TMフルシーン3画面、サブシーン1画面を用いてデジタルモザイク画像を作成した。用いた画像は、ランドサット5号TM、パス-ロウ129-49.5 1987年12月25日フルシーン(以下、画像はL-5 TM D129-49.5 87/12/25 FULLと略記する)、L-5 TM D129-50.5 87/12/25 FULL、L-5 TM D130-49 88/01/17 SUB-4、L-5 TM D130-50 88/01/17 FULLである。

異なるパス間の接合のために、図中の地理補正2で得られた画像を地理補正4と輝度補正5の補正の基準画像にした。地理補正4では基準画像と重なり合う部分に基準点を設け画像対画像の地理補正を行った。輝度補正5では同部分に設けたトレーニングエリアのCCTカウント値の平均と分散が両画像で等しくなるように輝度を補正した。接合6は、重なり合う部分で一方の画像から他方の画像へ段階的(線形に)移行するようにした。

これらの地理補正済みの画像から、バンド2、バンド3、バンド4にそれぞれ青、緑、赤を割り当てた縮尺10万分の1のフルスカラー画像写真を作成し、これの目視判読によって洪水地形分類予察図を作成した。平原西部域の画像写真と洪水地形分類予察図を写真1(巻末)、図3に示す。(大倉)

4.2. 大縮尺水害地形分類図の作成について

水害地形分類図の作成には図4のようなプロセスをとった。

本研究地域のクラシオ川流域はタイ中央平原の西部地域であり、25万分の1縮尺のタイ中央平原水害地形分類図の作成にあたり、1989年に一部分をすでに図化している。そこで、研究地域の主な地形単位が台地、扇状地であるところに留意して水害地形分類図の作成を行った。

現在、タイ国では大縮尺の地形図は5万分の1縮尺のものが全国ベースで作成されているが、一般には収集が困難である。ここでは1950年代、1970年代に刊行された地形図を中心収集し、等高線、土地利用の読み取りを行った。また、地質図、文献等についてはすでに前年度までに現地で収集したものを用いた。これらの資料を基礎にして地形分類の原案を作成した。ついで、衛星データの取得、画像の作成を行ったうえで、タイ中央平原水害地形分類図作成時にすでに得ている画像と地形の対応関係を基礎にして水害地形分類予察図(図3)を作成した。

ここでは、扇状地の微地形と水害との対応に重点を置いたために、等高線から読み取れる地盤高線、および画像の色調、テクスチャなどを用いてがかりにして、扇状地の面区分を行った。次に、古い扇状地面状に涸れ川が識別できたので、扇状地形成当時の旧河道を読み取った。流水作用によって形成される扇状地では流水によって運搬される土砂の堆積地形のプロセスを追いかけるために地形図のなかでの微高地を識別し、このうえで、衛星画像に相当する地域の分布形態を識別した。このような判読を経て、水害地形分類予察図の作成の結果、3つに面区分を行った扇状地が性格の異なる水害状況をみせていることがわかったために、

水害地形分類図作成の流れ図

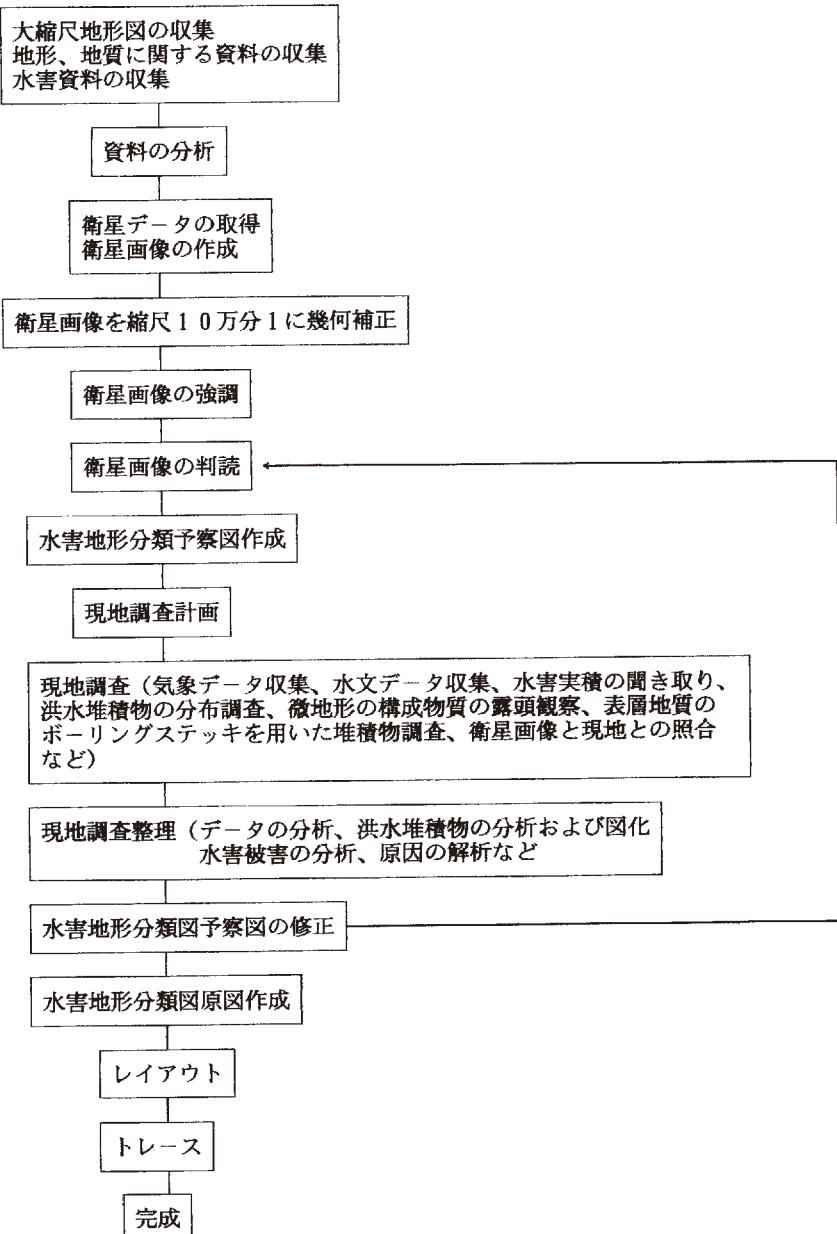


図4 水害地形分類図の作成手順

Fig. 4 Procedure for making the geomorphological survey map of flood-inundated area.

現地での微地形観察を行うことにした。

露頭観察、表層地質の観察から流水により形成されてきた扇状地、土石流堆積による扇状地、また、扇状地を刻む谷に形成されている原成の扇状地を識別した。地形形成プロセスの違いは水害状況にも相違をもたらしており、これらの違いを衛星画像に表現されている色調、パターンの違いから図化した。また、現地では水害の状況を聞き取ることにより、水害地形分類図の地形単位との照合を行った。このような調査、図上作業をとうして水害地形分類図を完成させた。(春山、大倉)

4.3. 衛星画像の主成分分析

TM画像は7バンドから構成されるが、画像解析装置の表示装置(CRT)に同時に表示できるのは3バンドまでである。多バンド画像の情報の効率的な表示のため、主成分分析法を用いてバンド圧縮を行った。

TMモザイク画像の7バンド間の相関係数行列から得られた固有値、固有ベクトルを表3に示す。第1主成分の各バンドに対する係数値は、可視域(バンド1, 2, 3)、中間赤外バンド(バンド5, 7)に対して0.4以上0.5未満、熱赤外バンド(バンド6)と近赤外域バンド(バンド4)に対してそれぞれ0.33, 0.15と全て正になる。これから、第1主成分は全バンドの輝度、特に、可視域、中間赤外域の反射輝度を表わしていることが分かる。第2主成分は、近赤外域のバンド4の係数が0.96と非常に大きく、植生の活性度を表わしている。第3主成分は熱赤外バンドの係数が0.80と大きく、地表温度との相関が高い。ただし、可視域バンドの係数が-0.43から-0.22と負の値を持つため、可視域バンドの反射輝度が高くなると第3主成分の得点は少なくなる。

第1、第2、第3主成分に青、赤、緑を割りあてた場合に平原西部域の画像(写真2：巻末)

表3 ランドサットTM画像の主成分分析の固有値と固有ベクトル
Table 3 Eigenvalue and eigenvector of the principal component analysis in Landsat TM image.

主成分番号	I	II	III	IV	V	VI	VII	
固 有 値	4.99	0.95	0.55	0.35	0.09	0.04	0.02	
寄 与 率	71.24	13.63	7.90	5.03	1.31	0.55	0.33	
累 積 寄 与 率	71.24	84.87	92.77	97.80	99.12	99.67	100.00	
個 有 ベ ク ツ ル	バンド1 バンド2 バンド3 バンド4 バンド5 バンド6 バンド7	0.42 0.41 0.42 0.15 0.41 0.33 0.42	-0.14 0.02 -0.16 0.96 0.12 -0.12 -0.09	-0.22 -0.43 -0.29 0.03 0.16 0.80 0.13	0.18 0.38 0.09 0.11 -0.56 0.47 -0.51	-0.85 0.39 0.33 -0.06 -0.01 0.08 0.11	-0.02 -0.46 0.67 0.04 0.27 0.02 -0.51	-0.03 0.38 -0.38 -0.20 0.64 0.02 -0.52

表4 主成分分析処理画像の発色と地形要素との関係
 Table 4 The relation between color and geomorphological unit in a picture obtained from the principal component analysis.

発色	性質	地形要素
赤	植活性度 大, 温度 低	植生に密に覆われた山地(高山), 植生に密に覆われた河道・旧河道・後背湿地
青	バンド4を除く輝度 大 温度 中・低	裸地または植生が疎な微高地・台地・扇状地
緑	温度 高, 植活性度 小, 可視・中間赤外域の反射輝度 小	やや湿潤な裸地
マゼンダ	植活性度 中, 可視・中間赤外域の反射輝度 大, 温度中・低	植生(疎から密)に覆われたデルタ・谷底平野
シアン	植物活性度小, 可視・中間赤外の反射輝度 大, 温度 高	植生のない乾燥微高地・台地・扇状地
黄	植活性度 大, 温度 高	植生に密に覆われた自然堤防・山麓緩斜面・微高地
黒	植活性度 小, 温度 低, 可視・中間赤外の反射輝度 小	水面(河川, 旧河道, 後背湿地)

に見られる地形要素の発色を表4に示す。異なるパス間のモザイク画像を用いたのにもかかわらず、地形要素を類別できる。特に、フォールスカラー画像ではほぼ同色に発色する植生に覆われた「河道・旧河道・後背湿地」と「自然堤防」との類別、「台地・扇状地」と「谷底平野」との類別が容易にできる。(大倉)

4.4. 人工改変地の抽出手法の開発

平原西部域において15年間隔てた衛星画像間の差画像を作成し人工改変地の抽出を行った。用いた画像は、TMモザイク画像とランドサット1号MSS、パス-ロウ139-50 1973年1月7日(以下、MSS画像という)である。

差画像の作成の手順は次の通りである(図5)。1)MSSの6個の各ディテクタ間の感度の相違により生ずるMSS画像のラインむらを除く補正をした。補正是シーン全体(ただし、雲を除く)から求めた各ディテクタの出力の累積頻度曲線が一致するようにした。2)MSS画像の地理補正是、TMモザイク画像を基準画像として画像対画像の補正を行った。3)MSS画像のバンド4, 5, 6, 7の輝度を、それぞれ近似的に対応するTMモザイク画像のバンド2, 3, 4, 4を基準にして補正した。ここでは、2画像間で地表状態が不変と思われる「稻刈り後の水田」、「自然堤防」、「植生密度の濃い山地」にトレーニングエリアを設定し、トレーニングエリアの輝度値の平均値と標準偏差が対応バンド間で一致するように補正した。輝度補正

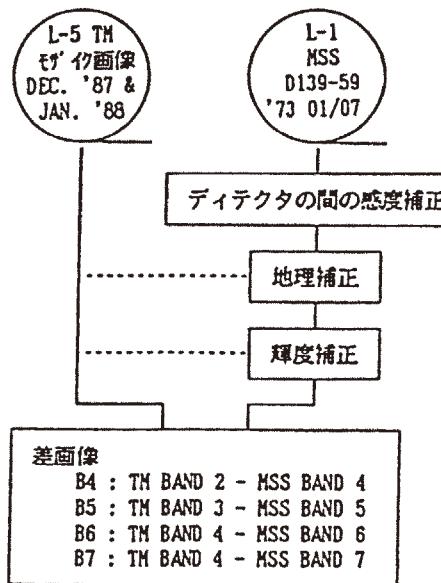


図5 差画像の作成手順

Fig. 5 Procedure for obtaining a picture from discrepancy.

後のMSS画像を写真3(巻末)に示す。4)TMモザイク画像とMSS画像の対応する画素のバンド間の輝度値の差演算、(TMバンド2)-(MSSバンド4)、(TMバンド3)-(MSSバンド5)、(TMバンド4)-(MSSバンド6)、(TMバンド4)-(MSSバンド7)を行い4バンドの差画像を作成した(以後、差画像のバンドをそれぞれ、B4、B5、B6、B7という)。

人工改変地の抽出は、3)で用いたトレーニングエリア内の差画像の輝度の標準偏差 σ を求め、閾値 4σ を越える画素を抽出した。

差画像のバンド間の相関係数を表5に示す。相関係数が0.16と相関が最も低いB5とB7を用い、その画素の値によって人工改変地を分類、抽出した。B5とB7の合成写真を写真4(巻末)に示す。図6はB5の値が正のものを示し、地表被覆が植生または水域から裸地(無機質)へ変化、すなわち、1973年以降に開拓・建設された耕地、道路、水路等の人工改変地を示していると考えられる。図7はB5の値が負かつB7の値が負のものを示し、裸地(無機質)または植生から水域もしくは土壤水分の多い裸地に変化していると考えられる。なお、画素を1/8に間引いて表示したため、道路、水路などは連続していない。これら、改変値の抽出は閾値に依存するが、現地調査を行い最悪な閾値を決定する予定である。(大倉)

表5 差画像のバンド間の相関

Table 5 The relation among bands of the discrepancy picture.

B4 : TM BAND 2 - MSS BAND 4

B5 : TM BAND 3 - MSS BAND 5

B6 : TM BAND 4 - MSS BAND 6

B7 : TM BAND 4 - MSS BAND 7

	B4	B5	B6	B7
B4	1.00	0.93	0.54	0.32
B5		1.00	0.40	0.16
B6			1.00	0.90
B7				1.00

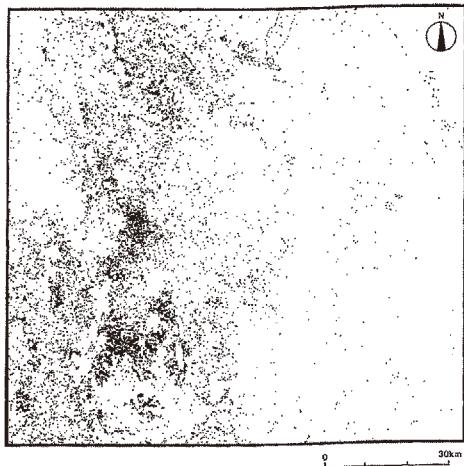


図6 差画像から抽出された人工改変地。乾燥裸地
Fig. 6 Artificially altered area estimated from the discrepancy picture. Dry naked land.

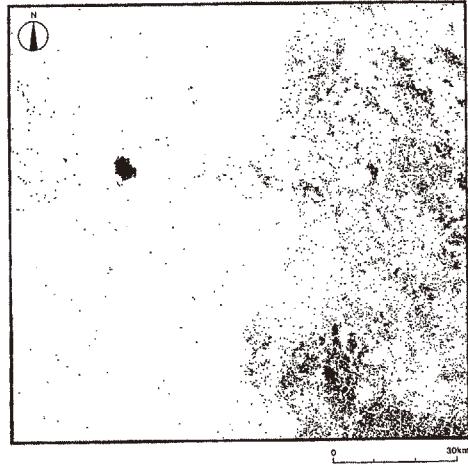


図7 差画像から抽出された人工改変地
Fig. 7 Artificially altered area estimated from the discrepancy picture. Humid naked land.

5. タイ中央平原の地域概観

タイ中央平原をとりまく地域

タイ中央平原はすでに、前回のタイ中央平原25万分の1縮尺の水害地形分類図作成の報告で述べている。タイ中央平原は北西部をドインタノン山(2595m)を最高峰とするタノントイチャイ山脈、ダウナ山脈などの1800m級の内陸高地、東部をコラート高原に囲まれる南北

方向に細長い平野である。平野中央部にはチャオプラヤ河が流下しているが、西部にメクロン河、東部にパンパコン河が流入し複数河川の形成する複合平野である。河川蓄力ではチャオプラヤ河(全長約980km、流域約162,600km²、ナコンサワンでの既往最大流量5400m³/sec)が最も大きく、内陸高地の北部から、ピン、ウォン、ヨム、ナン河の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河と変えるが、チャイナットで第1の派川、スファンブリ河、ついで、ノイ川を分流し、南下するとアユタヤでパッサク河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一級の河川であるがメコン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。一方、ランパン盆地では3段の河岸段丘、扇状地の形成が認められる。チエンマイ盆地では水系が樹枝状水系を示している。カンブリアからオルドヴィス紀に形成されたと考えられる正片麻岩、準片麻岩、ペルム-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紀の堆積物と花こう岩などの地質構造がみられることが報告されている。第三紀後期-更新世前期の高位段丘ボルダーは砂れきの未固結堆積物、更新世中期-後期の低位段丘は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が示されている。

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。第三紀中期から第四紀の間に曲隆運動および地塊断層運動を受けたこのコラート高原は砂質岩を基盤として未固結堆積物で構成されている。高原の西縁部の境界線はペチャブン、ドンプラヤエン山脈であり、パンパコン河の原流付近では1000-1300mの高度であるが、全体的には、500m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で分けられる。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。

タイ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)は農学に基礎をおいた地形区分を行い、扇状地、古デルタ、新デルタ、頻海部などの地形に区分したうえで、古デルタを更新世に、新デルタを完新世の前期、後期の2時期に形成されたものとしている。松尾(1965)はトンブリ-バンコクの土質断面図を解析して、デルタの地下水位は高位になると、地表下30mが粘土層、180mまでが粘土層、砂層の互層であることを示した。大矢(1979)はチャイナット以南を高位デルタ、低デルタに区分し、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気候変動を地層中の堆積物のC¹⁴年代測定を行って研究した。その結果は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、温暖期を示し、完新世の海退を示唆している。Chaimanee and Tiyapirach(1983), Supajanya(1983)は古海岸線の一つを海岸地形および堆積物から、現在の標高3.5-4m付近に想定した。

タイ中央平原は熱帯サバンナ気候下、安定陸塊の一部分をなしており、侵食期に入った平

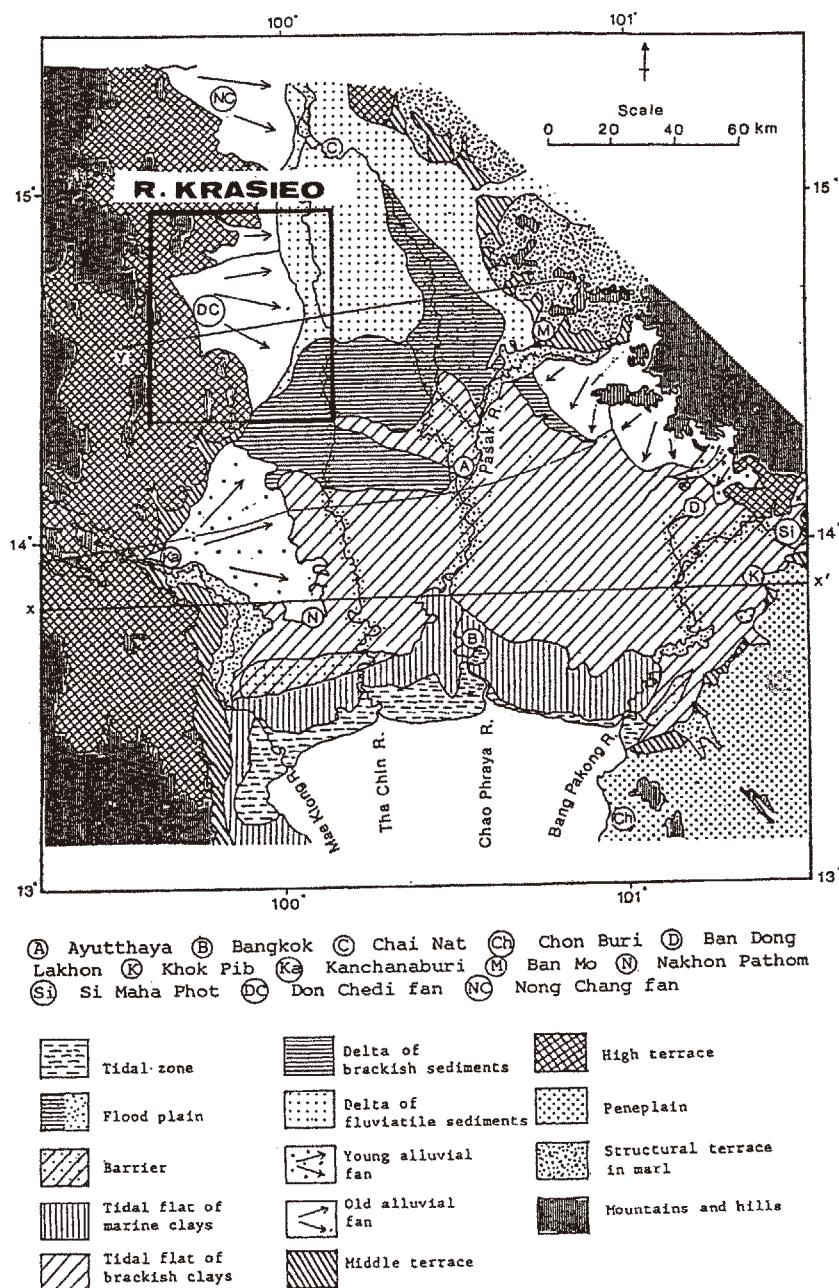


図8 タイ中央平原の地形区分図(Thiromongkol, 1983)

Fig. 8 Geomorphological map of the Central Plain of Thailand. (Thiromongkol, 1983)

野である。また、この平野の平坦さは河川がグレードに達していることから、将来も大きな堆積地域には転じないだろうと予測される。水害地形分類図からは平野の南半分は海成作用により形成された歴史を有しており、海岸線に平行する泥州の形成により、平坦な平野勾配を流下する洪水流は沿岸で排水困難に陥ることも指摘できた。高温なうえに、雨季、乾季の明瞭な気候帯で、岩石風化が盛んであるといった地域特性を有しており、現在の河川の運搬物資はきわめて粒度が細かいといった性格をもっている。これは、特に温帶多雨造山帯の日本の堆積平野とは大きな差異がある。この差異は平野地形全体の構成要因として重視されよう。

タイ中央平原の西部地域については、Thiramongkol(1983)(図8)他により、扇状地、段丘複合地形として示されているものの、精密な地形研究調査例は少なく、この研究ではじめて地形の調査結果が示されるといってよい。(春山)

6. 地形分類図からみたクラシオ川流域の地形の特性

タイ中央平原西部地域に位置するクラシオ川流域は、ケッペンの気候区分においては、熱帯サバンナ(Aw)気候に属し、乾季、雨季が明瞭な地域である。タイ中央平原においては臨海部より内陸部のナコンサワン、チャイナートで降水量で少ない。図9にはタイ中央平原とこれを取り巻く周辺地域の降水量の年間の分布を示した。チャオプラヤ川流域の中ではバンコク、アユタヤをふくむ東部地域に比較的降水量の大きな地域があり、西部でもミャンマー国境に近い山岳地域では1600-2000mmの年間降水量が認められる。クラシオ川流域においてはほぼ1000-1200mmの年間降水量となっている。

クラシオ川流域を含むスファンブリ県の年間降水量は最近60年間の平均で1287mmである(図10)。また、降水量の年変動はモンスーンアジアのなかでみれば必ずしも大きいほうではないが、1954年で最大の1981mm、1961年で最小989mmを記録しており、1911年から1975年までの標準偏差は196mm(The Asean Compendium of Climatic statistics, 1982)と算定されている。また、月別にみてみると、9、10月の雨季の末期の降水量の変動は大きい。このような降水量が背景となっているために、農業地域では豊水年には洪水と、渴水年には干害の被害が発生している。また、扇状地地域での自然植生は乾燥に強いユーカリ樹、サボテンなどである。

クラシオ川はチャオプラヤ川水系のスファンブリ川に注ぐ一支部であり、タイ中央平原の西部地域をしめている。平野の西側地域はカンチャナブリを扇頂とするメクロン川流域の扇状地と同様に更新世に形成された古い扇状地である。高谷(1982)のメナムデルタの地形分類のなかでは扇状地、段丘複合地域にあたっており、「死んだ扇状地」と表現されている地域である。扇状地地形といつても、日本の扇状地は活動的であり、巨礫から細礫を堆積させ、常時流送土砂で堆積作用が大きいが、それとは異なっている。クラシオ川の扇状地では河川勾

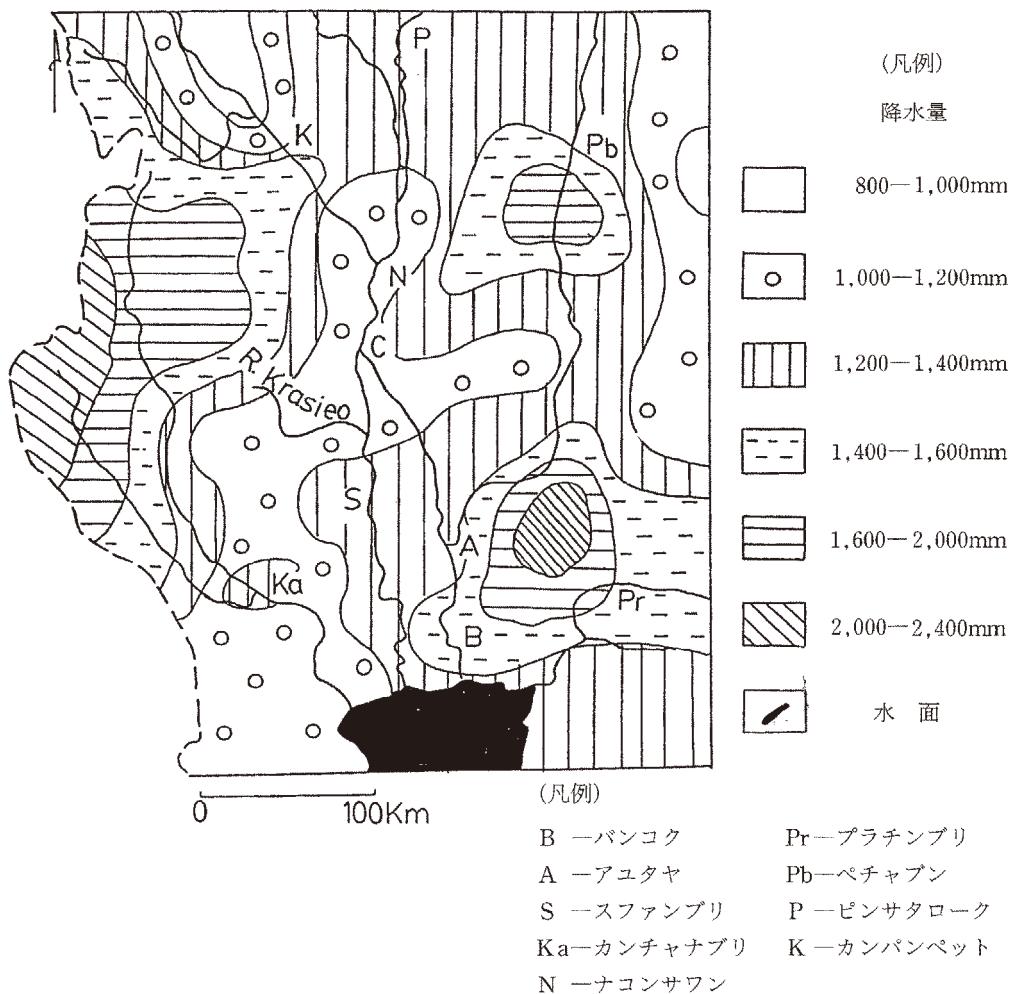


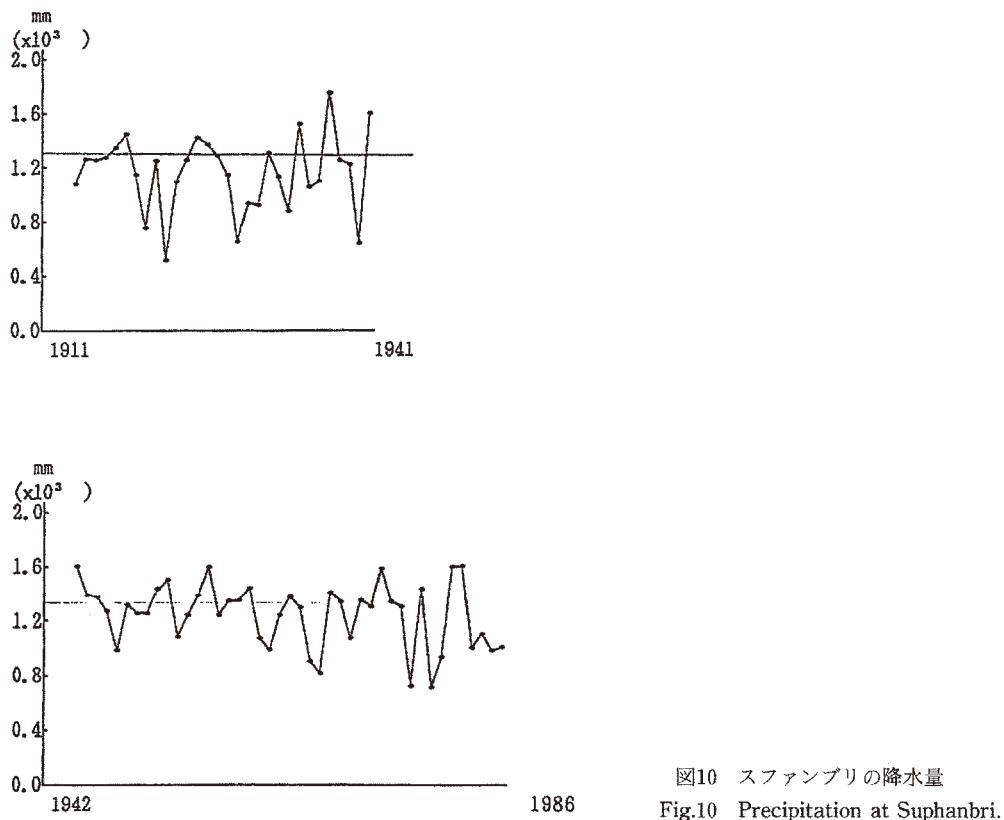
図9 タイ中央平原の降水量分布図

Fig. 9 Precipitation map of the Central Plain of Thailand.

配、地形面勾配がゆるやかであり、地形を構成しているものは細礫、砂などであり、すでに成長のとまった地域では扇状地の礫層の上部で土壌化作用が進んでいる。

6.1. クラシオ川流域の地形

クラシオ川流域では乾燥地域に特有なペディメント、インセルベルグの地形が認められる。上流地域では山頂部が平坦に侵食された、低高性のある山地が北西-南東方向に形成されている。これらの山地は連続性のよいものもあるが、インセルベルグ、あるいは、孤立丘と考えられる島状の山地も認められる。山地の西側斜面には侵食地形のペディメントの緩傾斜面が形成されていることが多く、東側山麓部に形成されている緩傾斜の山麓斜面に堆積物質がみられる。また、平野地形は台地、扇状地とこれらを刻む谷地形として谷底平野、小規模な自



然堤防、後背湿地、旧河道で構成されている。ここに示した水害地形分類図にはこのほかにクラシオ川流域に関連する隣接地域として、スファンブリ川流域西部地域の自然堤防および、デルタ地域を示している。水害地形分類図では旧河道の役割は極めて重要であるために、旧河道は強調してある。また、扇状地については形成年代の子細までは不明であるが、形成年代の異なる地形面では洪水の状況は異なるために、これを区別した。

6.2. 扇状地を取り巻く地域

上流地域には山地、台地を刻む谷地形が形成されている。谷底平野は平野の幅が広く、台地との境界は明瞭であるが、その比高は小さい。また、谷底平野面は中央が起伏にとむ、凸型の横断面をみせており、ラテライト化した土壤に被覆されているが、砂礫がランダムに堆積した地層断面から、土石流が堆積したものと考えられる。この土石流が堆積の後、かなりの時間をかけて、土壤層が形成されたものと解釈される。

谷底平野では10年確率程度の豪雨時には流れの早い流水により、地表面が削剝を受けやすく、冠水被害を受けてきていた。特に土石流堆積の谷底平野では表流水は台地崖下の凹地に

流れ込む傾向がみられる。クラシオ川の北側のタイ・ラコン(Thai Lakhon)川では、現在は灌漑用水確保のための小ダムが建設されたために、水の調整がなされるようになり洪水被害の発生はおさえられてきている。クロン・プラテープ(Khlong Phratep)を始めとした小谷底平野の水の得やすい谷では水田地帯として開発されており、降水量の少ない年は水不足となるが多い年は水害の発生もみられる。

基盤岩石が削剝をうけたペディメント地形は山麓に広く形成されている。この地形の地域は土壌層は浅く、現在、なお、削剝は継続中である。このようなペディメント地形はかつては、未利用地であったが、近年耕地の拡大が進むにつれて、トウモロコシ、キャッサバ、野菜などを生産する農地に変化しており、多量の水は必要としないものの、農業生産の基礎となる降水量は不足がちで、旱魃の危険性が高い。

台地部分のうち、ペディメント地形に続く地域で新しい堆積物を被覆させる地域以外は現在侵食のすんでいる。ほぼ平坦な地形面であるが地表面はラテライト土壌が被覆している。この地域も未利用地の時代が長く続いていたが、現在では、焼き払いをかけてトウモロコシ、キッサバなどの畑作地域に変化した。また、中央平原での水田耕作に必要な動力資源であった、水牛の農閑期での放牧地域となっている地域もある。

6.3. 扇状地を取り巻く地域

クラシオ川流域の扇状地は地形形成プロセスの違いから大きく3つに区分される。これらの扇状地を扇状地Ⅰ、扇状地Ⅱ、扇状地Ⅲとした。各々の扇状地についての特色は次のようにある。扇状地Ⅰは扇頂から扇端までの地盤高は標高50-150mでほぼ扇型の形態をみせている。更新世に形成された古い扇状地であり現在地形形成作用はとまっている。この扇状地面には旧流路にそって砂礫堆が発達している。扇状地Ⅱは、幅の広い谷底平野にみられる扇状地面であり、横断形、堆積物から土石流によるものと考えられる。クラシオ川の北側のタイラコン川流域には典型的な土石流扇状地が形成されている。谷幅に規制されているために規模は大きくなはない。扇状地Ⅲは高位の扇状地Ⅰ面を切って形成されている水系網が明瞭な扇状地である。この扇状地は現在地形形成作用が継続されている。

扇状地Ⅰは扇頂近くにクラシオダムが建設されたために、扇頂付近での河川の様子には変化が表れています。扇状地は扇頂のクラシオダムから頂角60度、斜辺約60kmの二等辺三角形の平面形を示している。この扇状地では現在ではクラシオ川が扇状地の北辺地域を蛇行して流下しており、扇状地の末端でスファンブリ川に流入する。北辺部は扇状地の中央部分とくらべると地盤高が低く、更新世に形成された扇状地を現在のクラシオ川が谷地形を刻んでいる。しかし、扇状地河川であるために、谷地形を流れるクラシオ川は土砂の運搬堆積作用をわずかながらも行っており、現在の河道は網状流路を示し、これにそって微高地と後背湿地が交互に形成されている。

すでに形成作用が終了した扇状地Ⅰ面には扇状地面形成時代の流路および、網状流路の痕

跡が砂礫堆として残存している。また、これらのうろこ状の砂礫堆に挟まれる低い地域には後背湿地がみられ、雨季にはこれらの旧河道、後背湿地は水面となる。また、現在ではクラシオ川の上流地域でもたされた降水量はクラシオダムに貯留され、下流には伝わらないが、これより下流側の降水量については、涵養施設がないために、扇状地面を布状洪水として地盤高の低い地域に流れる。この時、降水量の多くは旧河道に集中する傾向はある。一方、この旧河道は乾季には涸れ川状態であり、扇状地の末端のみに地下水位の高い地域、湧水がみられるのみである。

扇状地Iの南側の低地はチャラ川が扇状地I面を刻み、この谷に新たな扇状地が形成されている。この扇状地III面にも砂礫堆が流下方向に形成されており、これらの砂礫堆間を旧河道の放射状の痕跡が認められる。この扇状地IIIは南西側の台地を刻む谷からの支流に涵養されて、水量が豊富であり、雨季には扇状地面いっぱいに洪水流が流れる。

扇状地IIは山地、台地を刻む谷底平野にみられる。現在、山地斜面には崩壊地域は多くはない、この扇状地II面を形成した時代も古いものと考えられる。しかし、山地斜面の後退にともない、緩やかな速度での斜面の削剝は進んでおり、これらの岩屑が豪雨時に二次的な土石流として押し出され、地形形成にかかわっていると考えられる。

6.4. 扇状地の末端からスファンブリ川流域の低地

クラシオ川の扇状地末端からスファンブリ川にかけての地域はシプラチャン(Si Prachan)からバンプラマ(Bang Pla Ma)にかけて、スファンブリ川のデルタが形成されている。この区間ではスファンブリ川および、サムチュエクから放射状にのびる支流河川に沿って小自然堤防が形成されており、この微高地上には集落が立地している。この自然堤防地帯は古くは高燥地帯であり、砂糖黍畑として利用されていた時期が長い。スファンブリの主要な市街地地域もまた、このような自然堤防上に南北に細長い都市地域を形成している。

扇状地の末端から、スファンブリ川流域の低地にかけては、平原の頂部にあたるチャイナートから南にのびる主要な用水路が2本並走している。この地域では豊富な水を背景にして養魚地が増加している。この地域は雨季の内水氾濫の影響を受けるだけでなく、地形勾配は小さいものの、水利構造物の建設が扇状地の末端になされているために、もともと湧水地域でもある。このために、雨季の末期に外水、内水による湛水が重なると、自然排水が困難になる。1988年の洪水にも、2つの用水路に挟まれた地域では大きな湛水被害ができている。農業地域の拡大と、生産基盤をささえるべき農業用水の施設が必ずしも、地形的には調和していない例であろう。(春山)

7. 1988年の水害について

1988年の雨季の6、9、10月は1983年と同様にモンスーンによる豪雨がタイ中央平原地域のチャオプラヤ川流域の北部地域、派川のスファンブリ川流域に湛水被害を発生させた。1988

1988年洪水の降水量の推移

	Oct. 19	Oct. 20	Oct. 21	Oct. 22
Chainat	71mm(水位16.54m, 流量17016m ³ /s)	13mm(水位16.55m, 流量2132m ³ /s)	32mm	1.3mm
Suphanburi	55mm(水位16.5m, 流量71.8m ³ /s)	33mm(水位16.58m, 流量74m ³ /s)	12mm	4mm
Kanchanaburi	74mm	50mm	1mm	2mm
Bangkok	108mm	80mm	70mm	8mm
Nakhon Sawan	9.2mm	9mm	52.9mm	0.2mm
Chiang Mai	0	3.5mm	15.5mm	0.3mm
Bumibol Dam	5.0mm	70.2mm	155mm	11.7mm
Jan. 1-Oct. 22				
Chainat	1301mm			
Suphanburi	1151mm			
Kanchanaburi	1489mm			
Bangkok	2050mm			
Nakhon Sawan	1571mm			
Chiang Mai	1349.6mm			
Bumibol Dam	1318mm			

表6 1988年洪水の降水量の変化

Table 6 Variation in precipitation at the 1988 flood.

年の1年間の降水量はタイ気象庁のデータによれば、タイ中央平原の西部地域、スファンブリ地点で1192mm、また、この南側のカンチャナブリ地点では1214mmであった。一年間の降水量としては平均的な年であったが、スファンブリでは6月に日降水量103mmを最高に、9月には日雨量77mm、この時は6日間連続した降水量がみられ、6日間で150mmがもたらされた。また、10月には日雨量55mmを中心にこれを含む3日間で119mmの降水量がもたらされた(表6)。

この年の降水量は、6月から10月の初旬にかけて、断続的に、降雨強度の強い雨を降らせた。扇状地の末端に位置するドンシェデー地点では、図11に示すように9月29日には日降水量94mm記録している。この時期には、すでに地下に浸透した地下水とともに、一気に洪水流が扇状地末端に集中して、特に扇状地の末端での湛水を激化させた。農家の聞き取りから、洪水流の流れかたは、1983年とくらべても早く、水田には土砂が堆積し、生育期にある稲は収穫不可能になった地域が多いことがわかった。また、農業用の灌漑水路の建設により、扇状地地域では水不足が解消されて二期作が可能になったものの、扇状地末端地域では雨季末期には洪水被害を受けること多くなったようである。このために、年に1回の植え付しかできないこともあり、1988、1983年のような降雨強度の大きな豪雨に襲われる年では、二期作において2回とも収穫できないこともあるとのことであった。

クラシオダムは農業用の灌漑水源としての側面の大きい貯水施設である。このダムでは1983年から1988年のダムの水面変動を記録している。図12には、最近8年間のクラシオダムの水面の変動を示した。通常、クラシオ川流域では1-3月に貯水池面の水位が高く保たれ、水田耕作での灌漑時期の5-8月に水が減少するのが一般的である。しかし、1983、1988年には、通常は水位の低下がみられる9月から、急激な水量の増加を示している。この2か年の降水量は他の年と比べて雨季の末期にことに大きかったことが知られよう。

1988年の洪水被害はタイ中央平原ではウタイタニ(Uthai Tani)で、20,000rai(1rai=0.16ha)、チャイナット(Chai Nat)で1,450rai、シンブリ(Sing Buri)で、293rai、アントン(Ang Thong)で11,621rai、アユタヤ(Ayuttaya)で1,390raiであり、チャオプラヤ川本流では、アントン地域で大きな被害が発生している。また、ここにスファンブリ(Supan Buri)での被害は大きく、Sam chuk, Dumbang Nan Buach, Si Prachang, Don Chediを中心にして、農地74,489raiの水田が湛水による被害を被ることになった。(図13、14)

この年のクラシオ川流域での水害の発生地域は、主にマハムタオイ-ウートン運河、およびクロン、ソンナム、チャンプラチャン運河の西側であった。これはクラシオ川の扇状地の末端の湧水地域と一致している。この用水路は地形の高まりに作られたものである。用水建設当時、重力灌漑の考え方から平原の頂部のチャイナートからタイ中央平原の農業地域には主要な幹線水路がほぼ南北方向に建設が計画された。これらはなるべく地盤高の高い地域を選び建設がすすめられた。また、土工量を少なくするために自然の地形勾配を利用した。しか

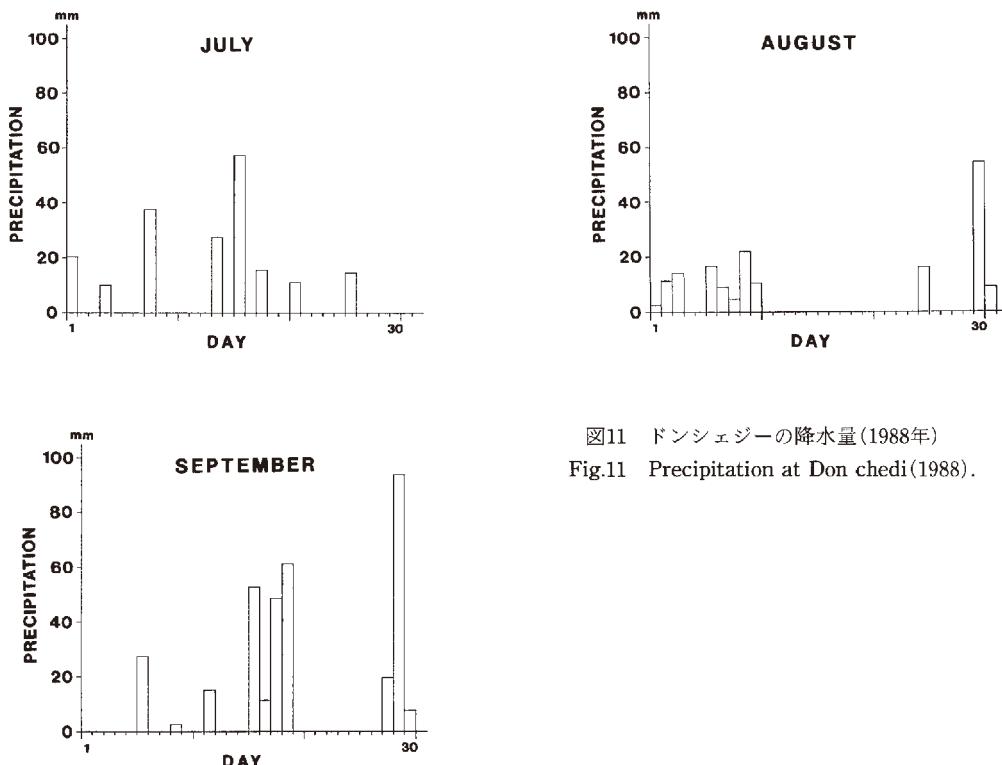


図11 ドンシェジーの降水量(1988年)
Fig.11 Precipitation at Don chedi(1988).

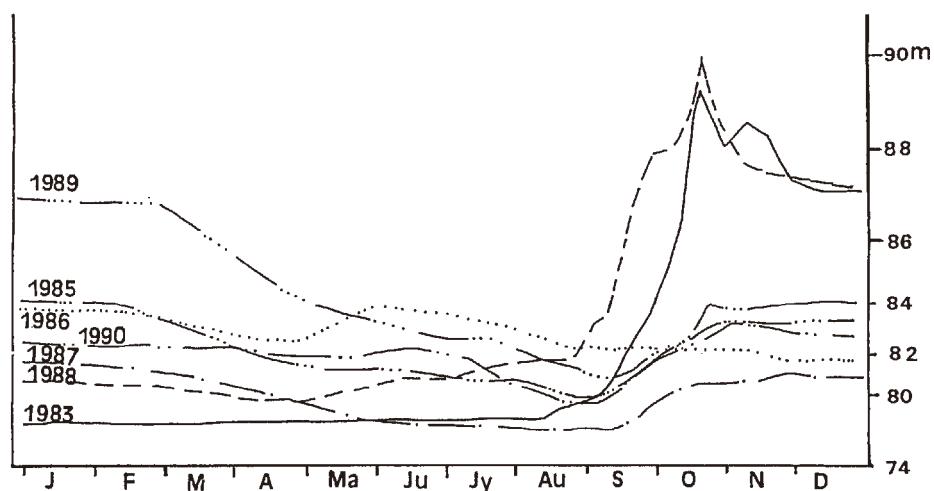
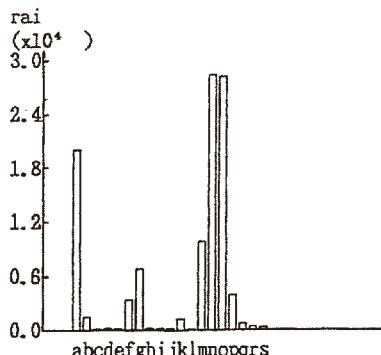


図12 クラシオダムの水位
Fig.12 Water level of Krasieo Dam.



a: Uthaithani City
b: Chainat City
c-e: Singburi Province
f-i: Angthong Province
j-l: Ayuttaya Province
m-s: Suphanburi Province
p: Donchedi City

図13 1988年水害面積

Fig.13 The area suffered from the 1988 flood.

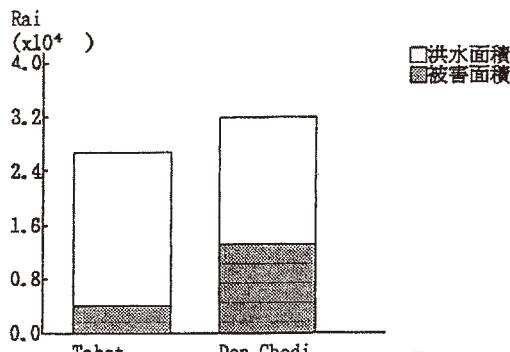


図14 スファンブリ県の洪水被害面積及び被災面積

Fig.14 Flood area and suffered area in Suphanburi Province.

し、この農業水路の位置は、扇状地の末端の地域であり、少ないとはいえ伏流水を含む水流が集められる地域であった。この水路は扇状地末端をふさぐような形になっている。

ここでの水害発生は扇状地地域での水害の特徴として、降雨から出水までの時間が早く、さらに1箇所に水害が集中するのではなく、扇状地面いっぱいに布状の洪水形態をとることである。また、被災1ヵ月後に同地を調査した結果、下流側での、土砂堆積が大きく、扇状地の現面を削りながら、かつ扇状地末端で部分に、細流物質を堆積させていることがわかった。この時の堆積土砂をサンプリングして、分析した結果は図15に示した。この扇状地I, IIIでは、雨季の末期には長期にわたる冠水被害をうけるようになったようである。

1988年のスファンブリ川流域での湛水被害を受けた地域は自然堤防の背後に形成されている後背湿地であった。これらの後背湿地では6, 10, 11月にスファンブリ川が増水、溢流、

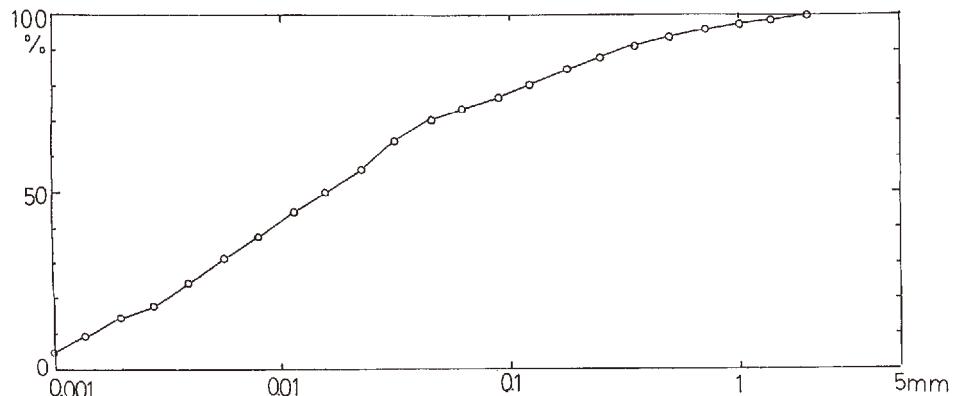


図15 ドンシェディーの粒度分析図
Fig.15 Grain size distribution of Don Chedi.

氾濫により粘土分を多く含む流水で水田が1ヵ月ずつ湛水したために、一期、二期とも米の収穫ができなかった地域も多い。スファンブリ川流域の水害の特色は、特に湛水深の深い後背湿地、沼沢地を取り囲む後背湿地で長期湛水地域が出現したが、道路、水路が湛水の長期湛水に大きな影響を与えたことも指摘できよう。すなわち、ほぼ東西方向にひかれた道路の北側と南側では洪水は対象的であり、北側(ここではスファンブリ川にとっての上流側)で湛水被害が多発した。バンプラマー地点では洪水後1.5ヵ月の経過の後にも稻が出水により倒伏している状態が検出でき、出水時にかなりの流水の早さがあったことがわかる(図16)。スファンブリ川流域の場合、サムチェックを頂点にして放射状に旧河道が分布しているために、洪水は本川に集中するのではなく、本川から溢流するタイプの氾濫を示している。(春山)

8. 水害地形分類図の評価

すでに、水害地形分類図の有用性は日本の伊勢湾台風時の高潮災害、河川洪水の氾濫地域の分布と地形分類図との調和により、実際に発生した災害による検証はなされている。一方、人工の急激な増加とともに新たな都市地域の拡大、土地利用の変化など、かつての自然適応の社会スタイルが変化してきているので、河川流域には急激な変化が起きている。微地形と人工構造物との関係に注目した研究が必要になってきている。

このような土地利用変化に伴って、すでに東京低地では全般的な洪水の性格は微地形により決まるという結論は得られている(春山, 1988)。しかしさらに詳しく見ると、道路、水路などの人工構造物、また、地表面の被覆の状況の変化は洪水状況に変化をもたらしている。

本研究でみてきたクラシオ川流域においても、扇状地の末端で灌漑水路の建設により背水

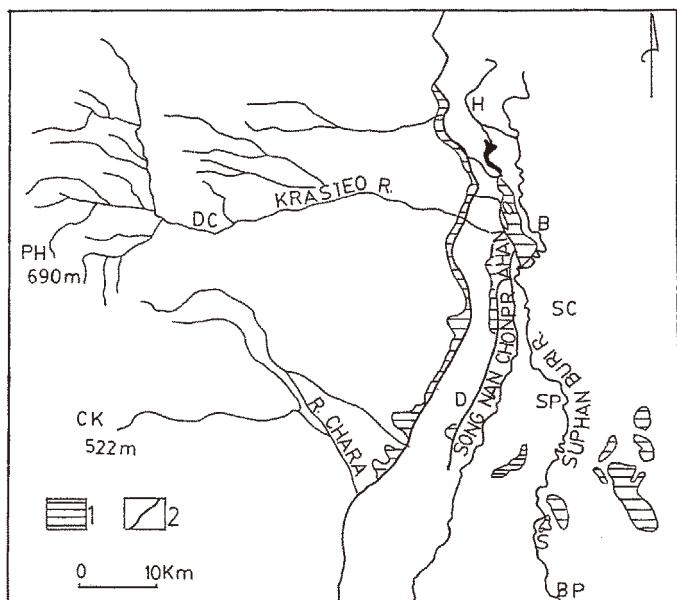


図16 1988年水害状況図。1. 洪水による被災農地。2. 水面

Fig.16 Flood map of the 1988 flood.

1. Agricultural land suffered from the flood.
2. Water.

を受けて長期湛水するようになった地域があり、人工構造物の建設が洪水に大きく関与していた例として取り上げられよう。

タイ中央平原では日本の堆積平野とは土砂収支の状況が異なり、比較的穏やかな土砂収支、洪水状況といえる。しかし、土地利用の高度化にともない土地のもつ被災ポテンシャルは、従来の伝統的な社会の下でもち得たものより増大している。すなわち、自然災害の発生に際して防備すべき地域が増大しているというべきであろう。そこで、ここで作成した水害地形分類図の微地形ごとの水害における評価をだしておくことにする。

本地域で取り扱った水害と微地形については次のような関係でとらえることができる。ここでは、1988年の実際に発生したドンチェヂ地点での降水量から、日降水量94mm、これを含む連続180mmの降水量が発生したとして、危険度を表7のように評価した。(春山)

表7 微地形の洪水危険度

Table 7 State of inundation caused by the daily rainfall 90mm and total continuous rainfall 180mm.

地 形	日降水量 94mm、連続 180mmの降水量での洪水状況
1. 扇状地	(従来の評価) 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、しばしば、流路の変換が認められる。
1.1 扇状地 I	布状洪水で地表面全体を洪水流が流下し、上流側では侵食、下流側では堆積がなされている。 扇状地の末端では地下水が湧出し、湛水しやすい状況にあるために、扇状地の末端を締め切る形での人工構造物は長期湛水を助長する。人工構造物による背水をこうむる扇状地の末端での湛水深度は40—70cmであり粘土分を多く含む流水により1ヶ月にわたる湛水。
1.2 扇状地 II	この扇状地は谷底平野に形成されているために、谷頭、谷壁が侵食されることにより扇状地に土砂が堆積する。土砂流送の運搬距離は短い。主谷にむかう各々の支谷の出口には生産された土砂が洪水流を巻き込むかたちで堆積する。土石流堆積物で特に中央部が盛り上がる地形を示しているために、洪水流は谷壁をつたわって流れる。
1.3 扇状地 III	布状洪水で地表面全体を洪水流が流下し、上流側で侵食、下流側で堆積がなされる。 扇状地の末端では地下水が湧出し、湛水しやすい状況にあるために、扇状地の末端を締め切る形での人工構造物は長期湛水を助長する。 扇状地 I よりは洪水の出方が早く、冠水は扇状地の全面で発生する。
2. 自然堤防	冠水するが冠水しても排水は良好である。3—4日で洪水流は引く
3. 後背湿地	洪水時に長期湛水する。湛水深度の大きな湿地では2~3ヶ月にわたる湛水をする。自然堤防背後の浅い湿地では冠水直後に流速が早いために、地表面の侵食をおこし、押堀を形成することもある。湛水期間は浅い湿地地域で短い、後背湿地において水路、道路などの構造物が建設されることにより、地表面での流水、地表面下での地下水流动には変化がおこり、形成当時同質な後背湿地でも上流側に湛水期間の大きな地域が形成される。
4. 旧河道	洪水時には湛水し、本流につぐ流速で洪水が流れる。平常では流水がみらなくとも地下水位が高く、流動しているために、ここを横切る人工構造物は地下水流动による漏水が心配される。
5. ペデイメント	洪水時に斜面が削剝され、斜面の後退がみられる。

9. 謝 辞

本研究は、科学技術庁の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(第II期)：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、科学技術庁防災科学技術研究所とタイ王国科学技術エネルギー省タイ国家研究評議会との共同研究であり、早稲田大学教育学部地理学教室の協力を得て、1989年4月から1991年3月までの2ヶ年にわたって下表の分担によって行われ、現地調査も合同で4回実施している。研究にあたり御援助、御助言を頂いた皆様に謝意を表わします。

特に、現地調査において、各方面への便宜をはかつて頂いたタイ国家研究評議会リモートセンシング部長Paibul Ruangsiri博士と同リモートセンシング部データ解析室長Darasri Srisangthong博士に心から謝意を表します。

機関及び参加者	分担作業
科学技術庁防災科学技術研究所 植原茂次、大倉 博	全体取りまとめ 衛星データの収集 CCTデータ処理・解析による水害地形分類図の作成 判読研究のための各種カラー合成画像の調整
早稲田大学教育学部 大矢雅彦、春山成子	衛星画像の判読による水害地形分類図の作成
タイ王国科学技術エネルギー省 タイ国家研究評議会 スーウィット ウイブーンセート、ランプン シムキン、トンチャイ シムキン	現地地上調査 CCTデータの処理・解析による水害地形分類図の作成

参考文献

- Asean Sub-Committee on Climatology, Asean Committee on Science and Technology Asean Secretariat (1982) : The Asean Compendium of Climatic Statistics.
- Chaimanee, N. & Tiyapirach(1983) : On the coastal morphology of Songkhla Province, Geomorphology and Quaternary Geology of Thailand.
- 春山成子(1988) : 葛飾区および周辺地域の地形, 「水と葛飾」, 葛飾区教育委員会。
- 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121.
- 春山成子(1990) : マニラの水害の地理学的研究, 早稲田大学理工学研究報告127.
- 春山成子(1990) : パンコクの水害の地理学的研究, 早稲田大学理工学研究報告130.
- Hastings, P. & M. Liengsakul(1983) : Chronology of the late Quaternary Climatic Changes in Thailand, First Symposium on Geomorphology and Quaternary Geology of Thailand.
- 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ともなう土質改良について, 東南アジア研究, 3-2.
- 大倉博, 春山成子, 大矢雅彦, 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 スワンウィラ カムトン(1989) : 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, 国立防災科学技術センター研究速報 第83号.
- 大矢雅彦(1979) : 「河川の開発と平野」, 大明堂.
- 大矢雅彦(編)(1984) : 「地形分類の手法と展開」, 古今書院.
- Oya, M. & S. Haruyama (1987) : Flooding and Urbanization in the Lowlands of Tokyo and Vicinity, National Disaster Science, Vol. 9-2.
- Supanjanya, T. (1980) : Delineation of the Regression Shoreline in the Lower Chao Phraya Plain, CCOPXVII-75.
- Supanjanya, T. (1983) : Tentative Correlation of Old Shorelines around the Gulf of Thailand, Geomorphology and Quaternary Geology of Thailand.
- 高谷好一(1982) : 「熱帯デルタの農業発展」, 創文社.
- Thiramongkol, Narong (1983) : Geomorphology of the lower Central, Thailand, Geomorphology of River and Coastal Plains, Committee for Co-ordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in Asean.

(1990年12月20日原稿受理)

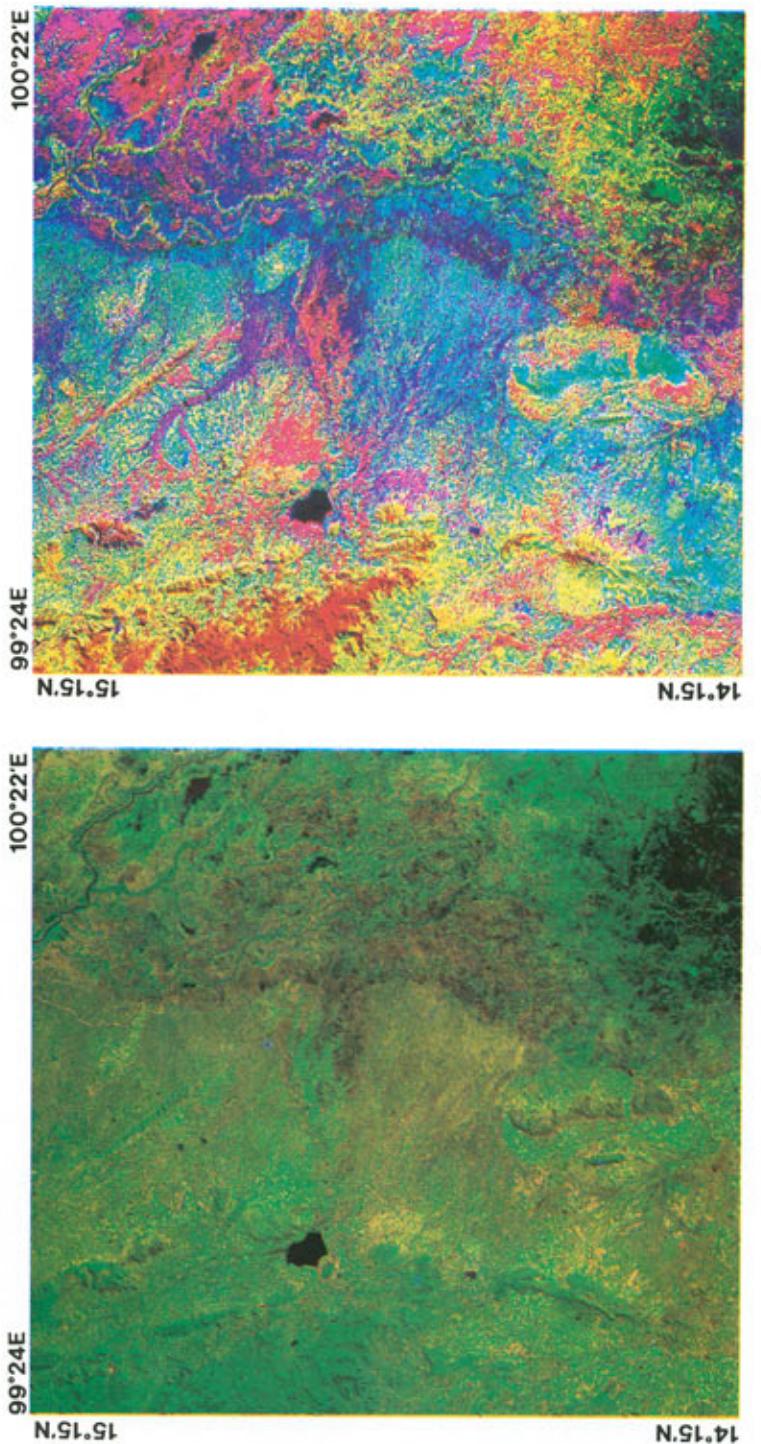


写真 1 タイ中央平原西部域のTMモザイク画像
LANDSAT-TM 1987 12/25 & 1988 01/17
(赤: バンド 3, 緑: バンド 4, 青: バンド 2)
Photo 1 Mosaic TM image of the western part of the Central Plain of Thailand
LANDSAT-5 TM DEC/25/87 & JAN/17 88
(R : band 3, G : band 4, B : band 2)

写真 2 主成分分析処理画像(入力画像: TM バンド 1~7)
(青: 第1主成分、赤: 第2主成分、緑: 第3主成分)
Photo 2 Image analyzed by principal Component Method
(Input image: Landsat-5 TM band 1-band 7)
(B: 1 st component, R: 2 nd comp., G: 3 rd comp.)

