

リモートセンシングによるメコン川・
チャオプラヤデルタの土地被覆解析小川茂男¹・力丸 厚²・中西芳彦³Land Cover Analysis in Mekong River Basin and
Chao Phraya Delta Using Remote Sensing MethodsShigeo OGAWA¹, Atsushi RIKIMARU² and Yoshihiko NAKANISHI³

Abstract

Land cover and agricultural use in the Mekong and Chao Phraya basin in Southeast Asia are analyzed by remote sensing. The Mekong River flows through six countries and the amount of its water flow changes significantly between dry and rainy seasons. In order to attain a sustainable land use and water use of the Mekong River basin, land cover conditions in a wide area should be grasped. We made an agricultural pattern map using seasonal MODIS composite data sets. We classified agricultural areas into five categories: 1) rain-season cropping, 2) dry season cropping, 3) two-season cropping, 4) multi-season cropping, and 5) bare land.

The Chao Phraya River flows through the center of Thailand. The Chao Phraya Delta located along the lower Chao Phraya River is one of the greatest rice granaries in the Asian monsoon area. In order to analyze land use conditions in the Upper East Bank of the Chao Phraya Delta (UEB), the remote sensing analysis was conducted using LANDSAT/ETM+ and LANDSAT/TM data. We classified paddy fields in the UEB into five categories: 1) land preparation/planting, 2) harvested, 3) nearly harvested, 4) growing in shallow water, and 5) growing in deep water (floating rice).

Remote sensing technology has a good advantage to make land use maps and agricultural pattern maps in wide area in Southeast Asia.

Key words: *Remote sensing, Landsat, MODIS, Land cover, Southeast Asia*

2004年9月21日受付, 2005年7月25日改稿, 2005年8月15日受理

¹ (独) 農業工学研究所 地域資源部

¹ Department of Regional Resources, National Institute for Rural Engineering

² 長岡技術科学大学 環境・建設系

² Department of Civil and Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology

³ 国際航業株式会社

³ Kokusai Kogyo Co. Ltd

1. は じ め に

インドシナ半島はメコン川やチャオプラヤ川など大規模なデルタ平野を有し、水田稲作が広範に行われる一方、雨季・乾季のコントラストが明瞭で、河川流量の季節変動・年次変動が大きく、洪水と干ばつが頻繁に発生する地域である（堀，1996；MRC，2003）．今後の安定した土地利用と水資源利用のためには、農作物の作付け状況や灌漑用水利用などの季節変化と長期的変化を正確に把握する必要がある．とくに、将来の人口増加や気候変化などに対する食糧生産や水資源確保の見通しを得るため、広域にわたる土地利用・水資源利用の分析が早急に求められる．このような分析には人工衛星データがしばしば利用される．

衛星データを用いた土地被覆の解析は日本国内で多くの解析事例は見られるが、東南アジアでは、例えばインドネシアにおいて、JICA の土地開発適地選定プロジェクトなどの調査に用いられた例が報告されている（国際協力事業団，1980；1984；齋藤，1996）．しかしながら、水田地帯の農業形態を中心に分類した例は殆ど報告されていない．

東南アジアにおける農業形態は、高度な灌漑システムを用いた水稻の多期作から雨季の天水田や焼畑移動耕作まで非常に多様であり、土地利用、農業形態の実態を正確に捉えることがまず必要である．

土地被覆・土地利用図について、IGBP-DIS（International-Geosphere Biosphere Programme's Data and Information System）の土地被覆分類システムでは17の分類項目が設定されているが（Belward ed., 1996）、農地は1項目（Croplands）のみであり、水田と畑の区別、同じ水田でも天水田と灌漑水田の区別といった細かな農業情報が得られない．また、国土地理院はアジア地域の国々と協力して当該地域の地球地図を作成しているが（丸山・高橋，1999）、土地利用図が整備されていないか土地利用の十分な情報が得られない国については、IGBP-DIS 土地被覆分類データを読み替えて地球地図土地利用分類データを整備しており、この場合も農業は1項目である．この他にも、ランドサットデータを目視判読することにより、メコン川委員会がメコン川下流域の土地被覆図を作成しているが（MRC，2003）、この分類項目においても農地（Agriculture）は1項目である．

本論文では現地調査および既存の文献を参考に、東南アジアのメコン川およびチャオプラヤ川流域の衛星データからデジタル解析によって水田の季節ごとの作付け状況や営農形態を分類する．また、インドシナ半島全域の季節別土地利用・営農形態を区分するとともに、現地調査により得られた結果と微地形について考察を行う．

メコン川は中国雲南省からインドシナ半島を流下する東南アジア最大級の河川であり（Fig. 1）、特に下流域は河川流量の季節変動・年次変動が大きい（国際協力事業団，1998）．メコン川下流域の土地被覆と土地利用の分布を広域的に把握するため、インドシナ半島を一度に、しかもほぼ毎日観測することができ、比較的解像度の高いMODIS 衛星データを利用する．MODIS 衛星は1999年に米国により打ち上げられた新しい衛星で、従来の気象観測が主であったNOAA データよりも可視から近赤外域の波長帯で解像度が高く、また観

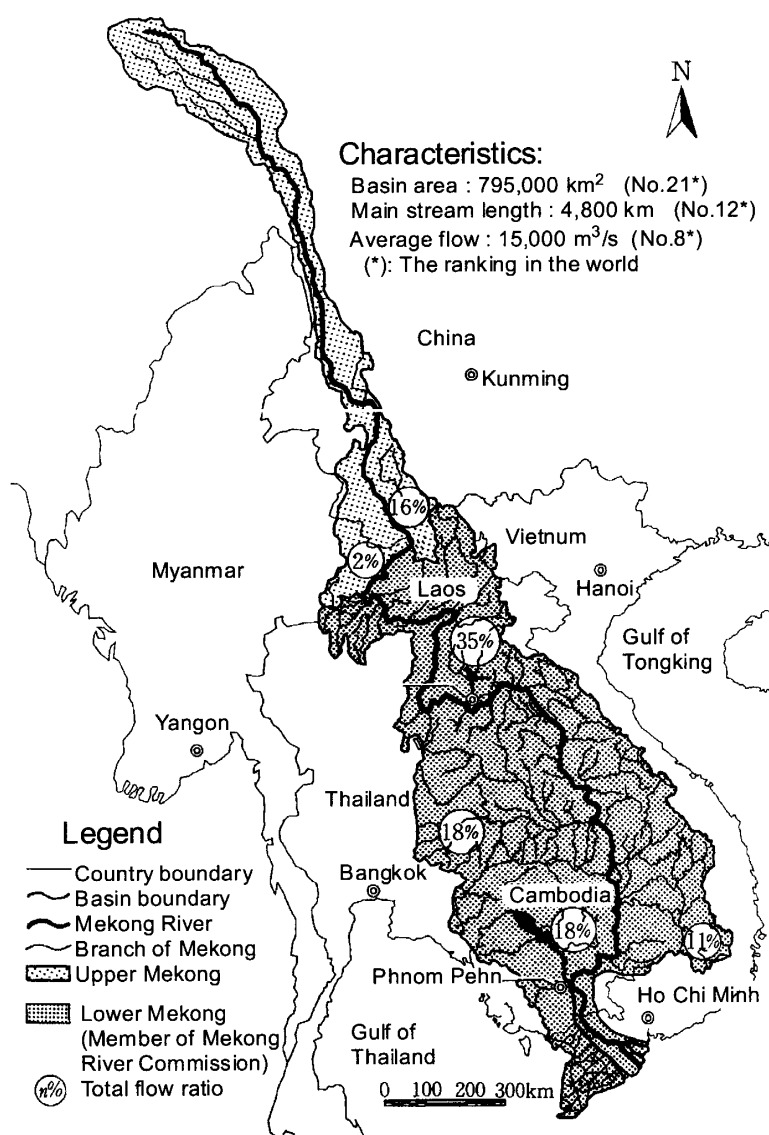


Fig. 1. Location of Mekong River Basin area

測波長帯が増えているため、陸域の観測に有効である。そこで、多時期の MODIS データを用いることにより、営農形態の違いに注目して農地の分類を行った。

一方、タイ中央部を流下するチャオプラヤ川はタイ第一の河川であり、下流域のチャオプラヤデルタはアジアモンスーン地域における米の一大産地である (Fig. 2)。雨季の補給灌漑を主目的として実施された大チャオプラヤプロジェクト (RID, 1957) により乾季稲作も可能となった。このプロジェクト以降、農家が個々の判断で雨季・乾季に関係なく水稲作を展開し、水利秩序が崩れるようになった (柚山ほか, 2000)。また、上流域での降雨の減少傾向により、ダムへの流入量が減少しつつあり、水不足に拍車をかけている。さらに、流域内の浮イネ・深水イネ田の面積が大幅に減少し、洪水の貯留機能が低下し洪水に拍車をかける原因になっている。このような流域内の土地利用変化を面的に把握するた

め、チャオプラヤ川流域の解析には 30 m と解像度が高く約 180 km の幅で観測しているランドサットデータを用いる。

2. メコン川下流域における土地被覆解析

2.1. データ

前述したように、メコン川下流域では広域を対象とした農地利用の季節変化を捉えることを主眼とし、8日間合成の MODIS Surface Reflectance データセットを用いた。このデータは空間分解能 500 m, 幅約 2330 km, 可視～短波長赤外の 7 バンドよりなる。本研究では 2000 年 2 月から 2001 年 1 月までの総計 27 シーンを入手した。これらを用いることにより、水域や植被の季節変化を求めることが出来る。また、森林域を抽出するために、EC-JRC (European Community Joint Research Centre) が SPOT/Vegetation から作成した GLC 2000

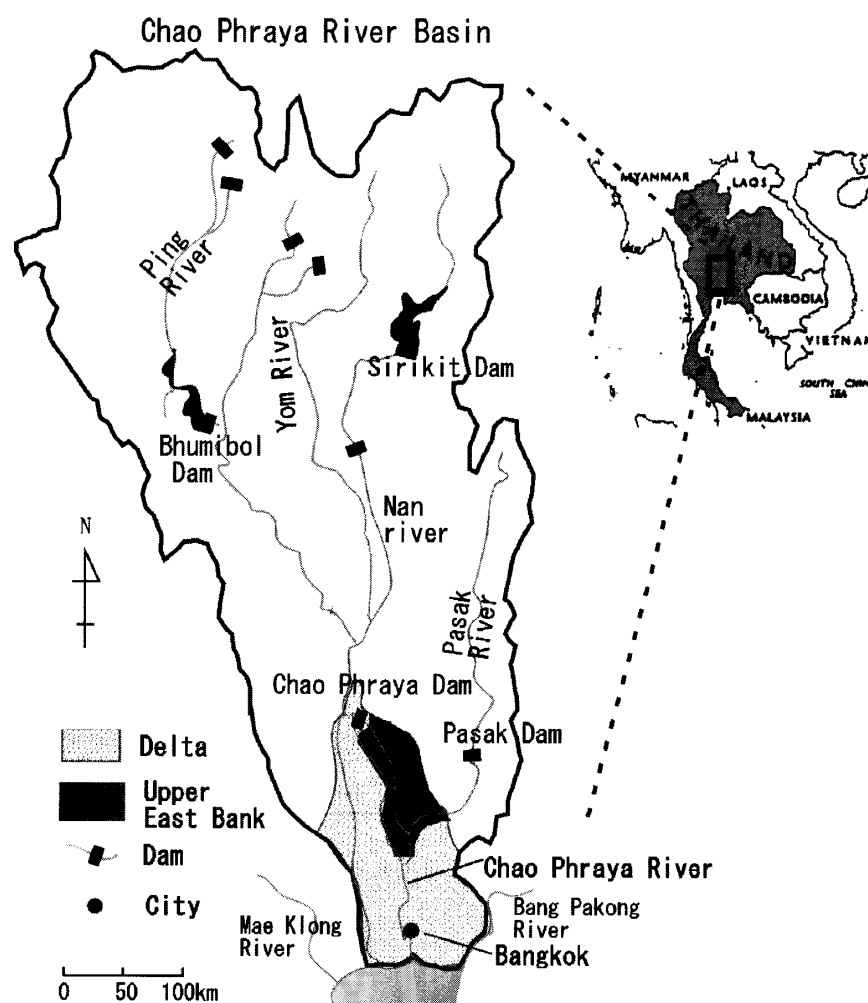


Fig. 2. Location of Upper East Bank of Chao Phraya

(Global Land Cover 2000) を用いた (JRC, 2001). このデータは 1 km メッシュのデータである. また, プノンペン周辺を中心としたより詳細な土地被覆分類のために, 2 時期のランドサット ETM+ データ (乾季の終わりにあたる 2001 年 5 月 8 日および乾季の中盤である 2003 年 2 月 7 日観測のデータ) を用いた.

2.2. 解析方法

全体の解析の流れは Fig. 3 の通りであり, その概要を以下に示す.

まず, 8 日間分を合成した MODIS Surface Reflectance データセットを用い, 植生指数 (VI: Vegetation Index) と裸地指数 (BI: Bare soil Index) の関係から, 植生が 0 % から 100 % まで変化する植生被覆密度 (VD: Vegetation Density) を計算する. これは, 画像を主成分分析することにより, 第 1 主成分が植生指数 (植生が高いほど高い値) を表し, 第 2 主成分が裸地指数 (裸地面積の割合が高いほど高い値) を表す. このとき, X 軸に植生指数, Y 軸に裸地指数を 8 ビットデータ (0 ~ 255 の整数値) で示すと, 植生被覆密度が 0 から 100 % の間ではほぼ直線上に変化する関係にある (Fig. 4).

このように計算した VD を 4 つの期間ごとに最大の VD 値をその期間の代表値とした (雨季前半: 6 ~ 8 月, 雨季後半: 9 ~ 11 月, 乾季前半: 12 ~ 2 月, 乾季后半 3 ~ 5 月).

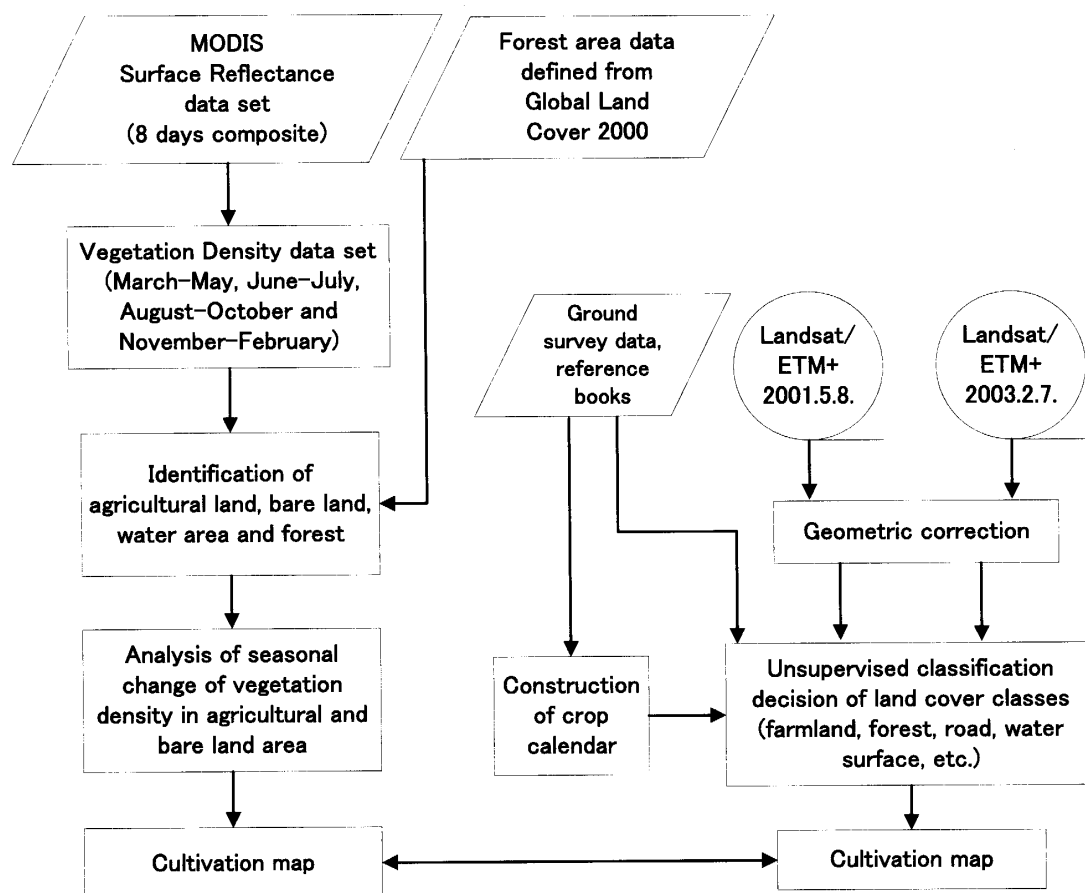


Fig. 3. Procedure of making a land cover map in the Lower Mekong river basin

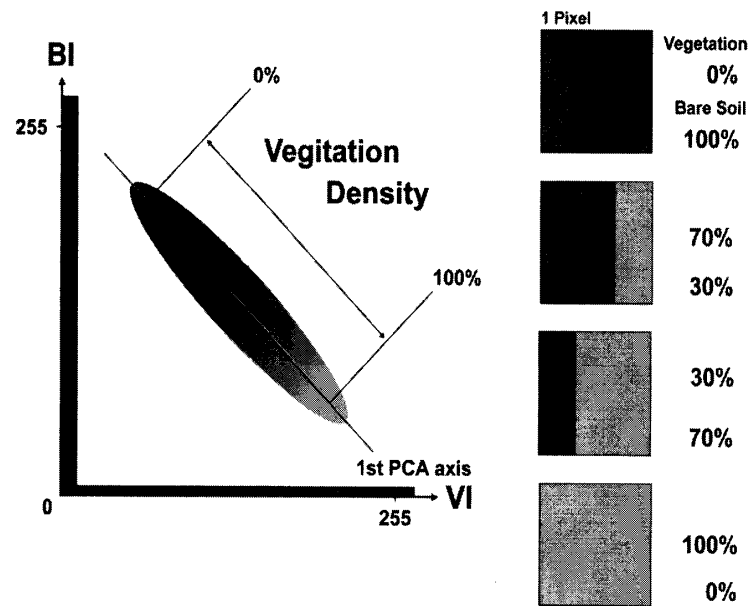


Fig. 4. Estimation method of Vegetation Density

次に、統合した4時期のVDに対し、GLC 2000より抽出した森林域マスクデータを用い、森林域、水域とそれ以外（農地と裸地）に分類した。さらに、4時期の植生被覆密度ファイルを用いて、農地と裸地についてクラスター分類（K-mean法）により植生被覆密度（VD）を16種類に分類し、季節変化から農地と裸地を類型化した（Table 1）。植生被覆密度の変化を分かりやすくするために、植生被覆密度を3段階（0～29%、30～59%、60～100%）に分けて示した。これらの年間変動から次のように5種類に類型化した。植生被覆密度が年間を通して低いクラス（これを裸地として分類）、植生被覆密度が雨季に高く乾季に低いクラス（これを雨季中心型）、雨季乾季に高い時期があるクラス（これを雨季乾季混合型）、年間を通して植生被覆密度が高いクラス（多期作型）、乾季に植生被覆密度が高いクラス（乾季中心型）、である。

これとは別に、2001年5月と2003年2月のランドサットETM+データを教師なし分類（ISODATA法）により分類し、乾季中盤と乾季終わりの土地被覆分類図を作成した。2時期の分類結果をマトリクスで組み合わせることにより、詳細な土地被覆分類を作成した。また、これらの分類結果について現地調査により検証した。

2.3. 結果

Table 1に示した分類区分に従い、インドシナ半島全体の農業形態別分布図を作成した（Fig. 5）。森林域、水域、裸地を除いた農地を雨季作、雨季乾季混合、乾季作、多期作の4種類に区分した。これによれば、タイ東北部やチャオプラヤ川流域辺縁部に広大な雨季作地帯があり、メコンデルタやマレー半島に多期作地帯が広く分布すること、トンレサップ湖周辺やカンボジアのメコン川両側にもまとまった雨季作が認められることなどが指摘できる。

Table 1. Classification of farming pattern from Vegetation Density

Class No.	Mean Vegetation Density value in each class				Farming pattern
	Rainy season		Dry season		
	Jun.-Aug.	Sep.-Nov.	Dec.-Feb.	Mar.-May	
1	4.6	3.3	2.7	2.7	Bare land
2	14.6	40.7	5.1	6.4	Rain-fed area
3	37.5	8.9	3.5	7.7	Rain-fed area
4	31.3	10.9	9.1	48.6	Two season mixed
5		12.2	7.5	11.9	Rain-fed area
6	54.2	52.7	6.4	14.3	Rain-fed area
7		34.1	19.6	55.6	Two season mixed
8	48.9	33.2	46.4	35.9	Multi season cropping
9	15.9	6.7	55.9	34.5	Dry season cropping
10	46.0	16.1			Two season mixed
11	57.9	46.8			Multi season cropping
12			34.7	37.6	Multi season cropping
13	37.8			56.3	Multi season cropping
14			56.9		Multi season cropping
15		33.0			Multi season cropping
16					Multi season cropping

VD(%)
0~29
30~59
60~100

VD(%)

	0~29
	30~59
	60~100

Table 2. Reclassification due to two classified matrix

2001.5.8		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003.2.7		out of area	water, shadow	forest, shrub	rain-fed paddy, field	recession rice (late)	grassland	wetlands, grassland	wet soil, shadow	cloud	field, urban
0	out of area	out of area	out of area	out of area	out of area	out of area	out of area	out of area	out of area	out of area	out of area
1	water	water	water	grassland	recession rice (early)	recession rice (late)	recession rice (late)	recession rice (late), wet land	recession rice (late)	water	recession rice (late)
2	forest, shrub	out of area	recession rice (early)	forest, shrub	recession rice (early)	forest, recession (late)	recession rice (early)	forest, shrub	recession rice (late)	forest, shrub	recession rice (early)
3	field, recession rice, field	out of area	recession rice (early)	forest, shrub	recession rice (early)	recession rice (late)	recession rice (early)	field, two crops field	recession rice (early)	recession rice (early)	recession rice (early)
4	rain-fed paddy, field	out of area	field, rain-fed paddy	field	rain-fed paddy	field	recession rice (late)	field	field, urban	field, rain-fed paddy, sand bank	field, urban
5	grassland	out of area	field, rain-fed paddy	forest, shrub	recession rice (early)	forest, shrub	grassland	grassland, deforestation	grassland, wetland	cloud	grassland
6	recession rice (late)	out of area	double cropping rice	deforestation	recession rice (late)	recession rice (late)	recession rice (late)	double cropping rice	recession rice (late)	recession rice (late)	recession rice (late)
7	recession rice (early)	out of area	forest, shrub, recession rice (early)	recession rice (late)	recession rice (early)	recession rice (late)	recession rice (late)	wetlands, grassland	recession rice (early)	recession rice (early)	recession rice (early)

乾季の2時期のランドサット ETM + データをそれぞれ分類し、マトリクスで組み合わせることにより、プノンペン周辺のより詳細な土地被覆分類図を作成した (Fig. 6)。2001年5月8日の分類画像は9項目、2003年2月7日の分類画像は7項目に土地被覆分類項目を設定し、これら分類項目のマトリクスを作成して分類項目を決定した (Table 3)。ここで、農地は畑、水田 (天水田)、減水期① (11月下旬～1月初旬頃の乾季の早い時期に水稻が作付けけされた氾濫地区)、減水期② (1月後半以降に作付けけされた氾濫地区) に分類した。解析対象地区のベトナム側では2期作を実施しているが、乾季のデータだけでは2期作かどうか明確に区別できないことから減水期水稻作 (減水期①) として分類した。また、湿地とリセッションライスの区別が、2時期データを用いることにより精度が向上した。

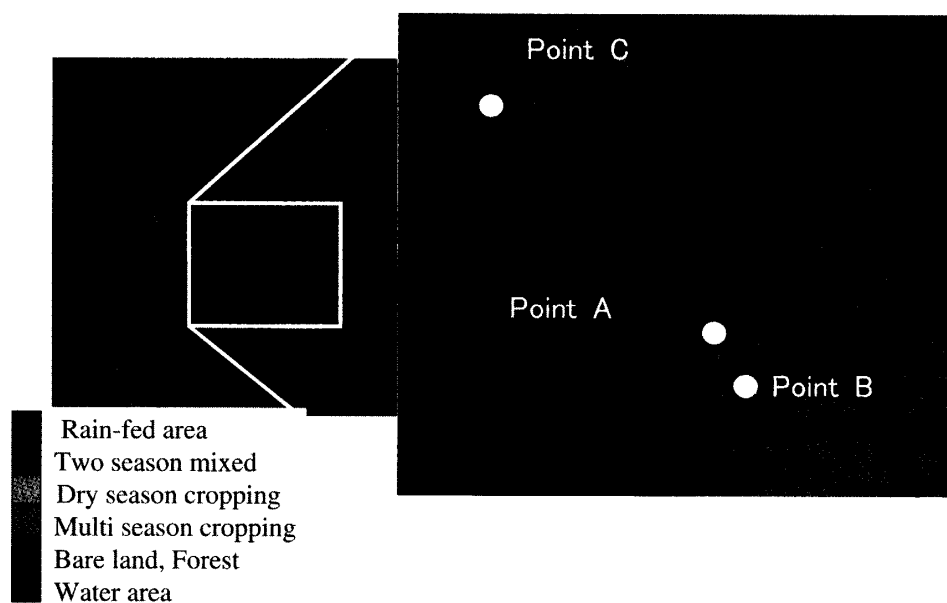


Fig. 5. Land cover classification map in the Lower Mekong River Basin

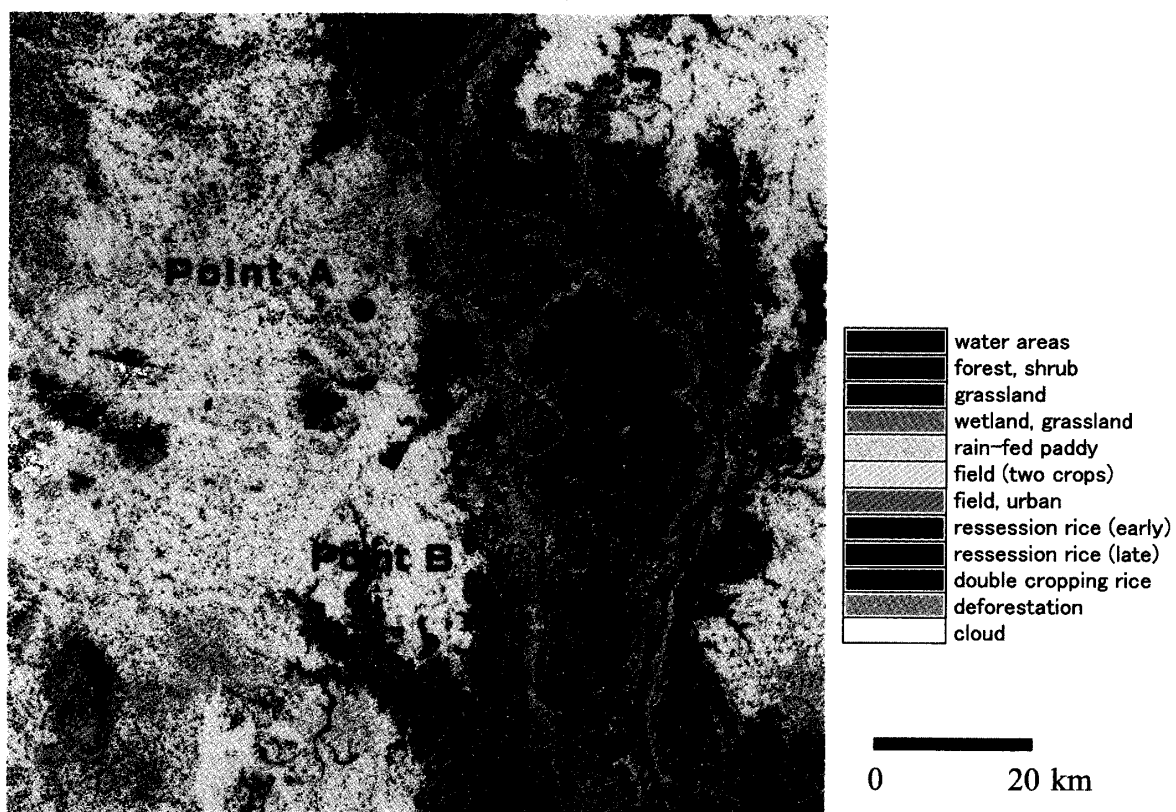


Fig. 6. Land cover classification map around Phnom Penh

Table 3. Crop Calendar of rice in Upper East Bank of Chao Phraya Delta

Type of rice	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul
① High Yield Variety (Three times/year)	←				→	←							→
② Usual Rice cultivate (Two times/year)	←					→	←						→
③ Only One time/year (Mainly floating rice)	←					→							

↑ ↑
 Landsat/ETM+ Landsat/TM
 1999.11.16 1993.12.27

以上のように、1時期で分類した項目は複数の土地被覆項目を含んでいるが、マトリックスで2時期の分類項目を組み合わせることにより、更に細かく土地利用を分類することができた。

MODIS データから得られた結果 (Fig. 5) とランドサット ETM + データから得られた結果 (Fig. 6) を比較すると、全体的には雨季中心型と多期作型の分布の傾向はほぼ一致している。しかし、細かく見ると、プノンペン周辺で面積の小さい森林マスクが一部不備なために、その部分が多期作型 (年間を通して植生被覆密度が高い) として分類されていた。また、畑作の部分や雨季乾季混在型の項目で一致しない部分が一部で見られた。これらは解像度の違いや解析アルゴリズムの違い等によるものと思われる。

2.4. 現地調査結果との照合

MODIS およびランドサットデータより得られた結果を検証するためカンボジアの農業地帯より特徴的な3カ所を選定し現地を行った (Fig. 5)。ポイント A はプノンペン市街地から南東約 10 km のプレクトノット川近くの水田地帯で雨季作地帯である (カンダル州)。ポイント B はバサック川に隣接した農地でコルマタージュの後背地に位置し、乾季稲作が行われている (カンダル州)。ポイント C はバタンバン州で国道 5 号線沿いの農地で雨季作 (天水田) 地帯であり、画像上でも同様な営農形態として分類されていた。調査地区には 2 期作地帯がほとんどなく確認が行えなかった。このように、全項目を現地で確認していないので、今後さらに現地調査などにより検討する必要があるものの、営農形態を概ね反映した広域の土地被覆・土地利用図を作成できたと考える。

今回の解析では水の項目を加えていないため、畑作と水田作の区別をしなかった。基本的には対象地域では水田作が主であるため解析結果はほぼ妥当と思われるが、水の有無の情報を加えた解析を今後検討する予定である。

3. チャオプラヤ川デルタにおける解析

3.1. データ

解析対象地区はチャオプラヤデルタの上流東岸域（UEB: Upper East Bank of the Chao Phraya Delta, 約 40 km×100 km）とした（Fig. 2）。この地区は比較的水に恵まれ、2期作・3期作など先進的な稲作を展開している地域である。このため、雨季の終わってから乾季にかけての土地被覆状況を検討するため、解析には2時期の衛星データ（1999年11月16日観測のランドサット ETM+データと1993年12月27日観測のランドサット TMデータ）を用いた。

3.2. 解析方法

解析手順の概要は Fig. 7に示すとおりである。まず、既存のデータ、現地調査、聞き取り調査等により、水稻の作付け状況を整理した。また、解析の準備として、画像及び GIS データが重なるようにランドサットデータの地理補正と GIS データの構築を実施した。次に、2時期のランドサットデータを各々教師なし分類（ISODATA 法）し、地形図や現地調査の結果を用いながら土地被覆分類を行った。乾季の始まりにあたる 12 月 27 日のランドサット TM データでは、森林、道路、市街地と農地が比較的判別しやすいこと、乾季に

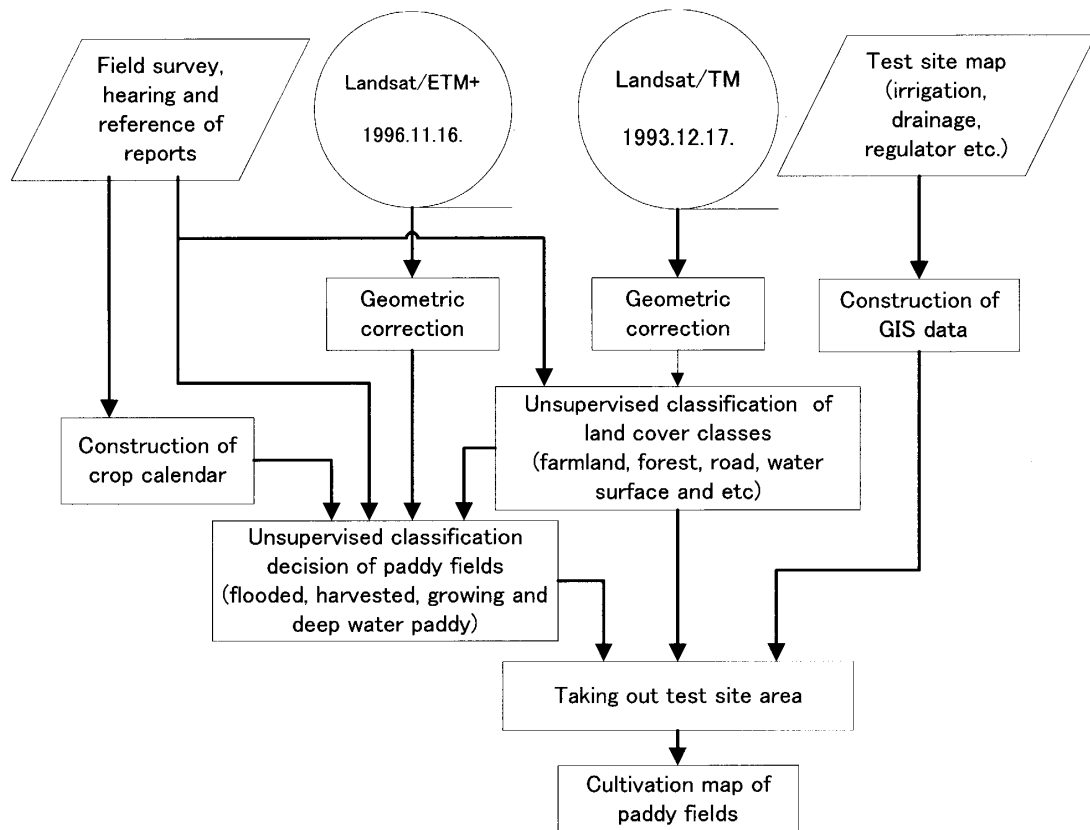


Fig. 7. Procedure of making a cultivation map of paddy field in Upper East Bank of the Chao Phraya Delta

入って雲のない画像が得られたことから、ISODATA 法により 40 項目に分類し、主な土地被覆項目（農地、森林、道路、水域等）を決定した。対象地区の農地はほとんどが水田であり、この農地の耕作状況を 11 月 16 日のランドサット ETM + データにより現地調査や DRAS CENTER (1999, 2001) のデータを参考に分類した。11 月 16 日は雨季の末期にあたり、水田の状態の違いは営農の違いを反映している。すなわち収穫時の水田や収穫後再び田植えをした水田などを区別することができる。

3.3. 結果

対象地域 (UEB) の作付けはほとんどが水稻であり、過去の文献 (DRAS CENTER, 1999; 2001), 聞き取りおよび現地調査から、作付けの様式は 3 種類に分類された。すなわち、①年 3 回栽培する High Yield Variety (高収量品種) の作付け、②年 2 回栽培する標準的な水稻作付け、③年 1 回栽培する深水稻および浮稻の作付けである (Table 3)。①は生育期間が短いが施肥管理や水管理が必要であり、特に乾季でも水が得られる地域に限られる。②は在来品種を栽培し、生育期間が 5～6 カ月必要である。乾季でも水を必要とするが、①ほど水の条件は厳しくない。③は洪水期に水深が 1～2 m 程度になり、水のコントロールが出来ない低地にみられる。収量は①、②に比べて低い。

対象地区は水田がほとんどであり、1993 年 12 月 27 日観測のランドサット TM から水田、森林、道路・水路等に分類した。次に 1996 年 11 月 16 日観測のランドサット ETM + から水田内を教師なし分類した。その結果、水田は 5 種類 (2 回目の代かきか既に植え付けが終了した水田、収穫が終了した水田、収穫間近の水田、生育～出穂時期の水田、生育中で深水稻または浮き稻の水田) に分類された (Fig. 8)。衛星データが観測された 11 月 16 日

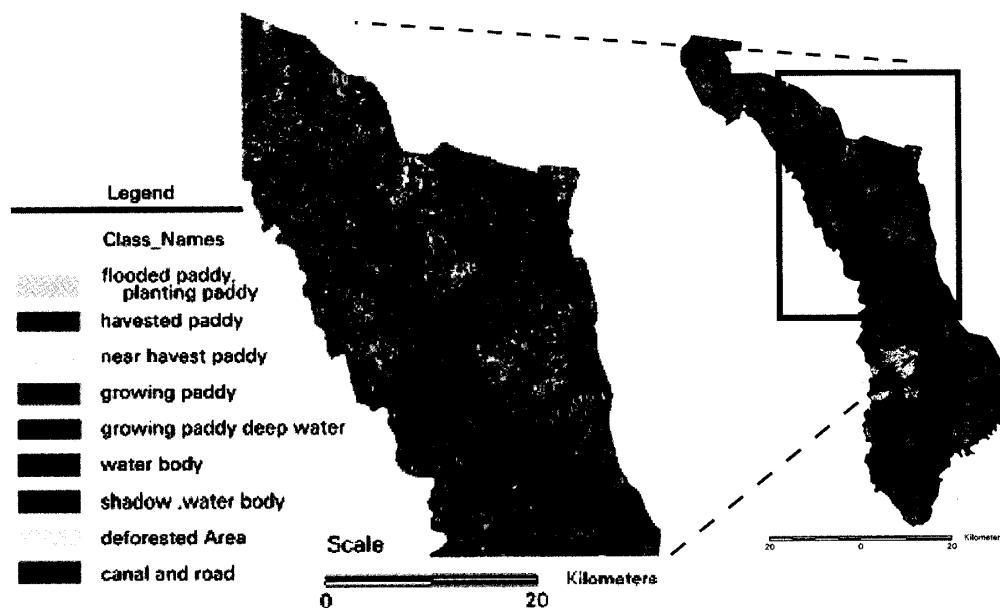


Fig. 8. Land cover and paddy field map in the Upper East Bank of the Chao Phraya Delta (classified from Landsat/ETM+16 Nov., 1996)

は洪水の末期にあたり、作物カレンダーの3種類に分けると、既に収穫期間近であるか、収穫済みで植生のない状態、次期作付けのために耕起した状態、2回めの代かきで湛水した状態、2回目の水稻移植した状態、が①の地区にあたる。②の地区は生育期の後半で画像から見ると植生で覆われた状態である。また、③の地区は水深が深いため、衛星データからみると水面が多い水田（深水稲、浮き稲）である。

3.4. 現地調査結果との照合

衛星の観測時期とは異なるが、UEBの一部を2001年11月10日に踏査した結果、上記の①～③ごとに稲の生育状況の違いが見られた。すなわち、①の地区（年3回作付け）では既に稲を収穫し代かきをしている水田が多くみられ、また、収穫の終了した水田も見られた。これらの地区は洪水期でも氾濫の危険がなく、灌漑用の水も確保しやすい条件にあるといえる。②の地区（年2回作付け）は多少水深のある水田が多く（水深30 cm程度）、生育最盛期～出穂初期で水田は植生に覆われた状態であった。③の地区（年1回作付け）は水深が深く（約1～1.5m）、また、生育の途中で出穂はしておらず、水面から30 cm程度水稻が出ていた。この水田を真上から見ると水面が高い割合で見える水面に近い状態で、Fig. 8のGrowing paddy deep waterの地区と一致していた。③の部分は相対的に低く、周りが道路や河川堤防で囲まれているため排水されない状態になっていた。このような微地形を反映して深水稲、浮き稲の水田が広がっていることが分かった。

以上の結果から、UEBの中で田面標高が比較的高く主要水路に近い水田地帯では3期作が行われ、主要水路から離れるに従って2期作の水田が広がり、排水河川に近い地区で相対的に低い地形の水田で深水稲、浮き稲が栽培されている様子がわかる。大倉ほか（1989）、春山（1998）のタイ中央平原地形分類図によれば、①は自然堤防やデルタI面上流側、②はデルタI面、③は後背湿地II（半年湛水）にほぼ相当する。低平な水田地帯においても、微地形によって水環境が異なっており、その結果営農形態が異なるといえる。標高データはランドサットデータから直接得られないが、微地形や水利条件に対応した農業を展開していることから、微地形の情報を間接的に得ることができる。

4. 結 論

本報告では、衛星データを利用し、メコン川下流域を含むインドシナ半島全域の農地の営農形態の違い、チャオプラヤデルタの水稻作付け状況と地形の関係について検討した。インドシナ半島を対象に、MODISデータを用いて植生被覆密度の季節変化から営農形態別に分類した結果（Fig. 5）は、現地調査と比較した結果、ほぼ妥当なものと判断された。また、チャオプラヤデルタ北東部の水稻作付け状況は洪水末期のランドサットETM+データを利用することにより詳細に読み取れ、低平な水田地帯であっても微地形によって作付け状況が影響されていることが分かった。

以上のように、広域の土地利用状況、営農形態の違いを調査する上で、リモートセンシ

ングは有効な手法であり、食糧生産や水資源利用の予測やモデル化を行う上で重要なデータを得ることができる。

引用文献

- Belward, A. S. ed. (1996) The IGBP-DIS Global 1km Land Cover Data Set "DISCover" Proposal and Implementation Plans.: Report of the Land Cover Working Group of IGBP-DIS, IGBP-DIS Working Paper, 13, 11-19.
- DRAS CENTER (2001) Dry-season water allocation and management in the Chao Phraya Delta.: Kasetsart University.
- DRAS CENTER (1999) Improvement of rice cultivation and water management in the flooded area of Central Plain of Thailand - A zooming of rice varieties by using remote sensing imagery.: Kasetsart University.
- 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ータイ中央平原の水害地形分類図作成を中心にして：早稲田大学理工学研究所報告, 121, 32-48
- 堀 博 (1996) メコン河 開発と環境：古今書院
- JRC (2001) Global Land Cover 2000 Workshop on legend.: Joint Research Centre, European Union.
- 国際協力事業団 (1980) インドネシア共和国 農業開発リモートセンシング技術協力計画実施協議調査報告書
- 国際協力事業団 (1984) インドネシア農業開発リモートセンシング計画帰国専門家報告書 I～IV
- 国際協力事業団 (1998) メコン河流域開発・環境調査研究報告書
- 丸山弘通, 高橋広典 (1999) 地球地図整備の実施状況：国土地理院時報, 91, 70-85.
- MRC (2003) State of the Basin Report 2003.
- 大倉 博, 春山成子, 大矢雅彦 (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, 83, 1-15.
- 大矢雅彦, 丸山裕一, 海津正倫, 春山成子, 平井幸弘, 熊木洋太, 長澤良太, 杉浦正美, 久保純子, 岩橋純子, 長谷川奏, 大倉 博 (1998) 「地形分類図の読み方・作り方」：古今書院, 1-138.
- RID (1957) The Greater Chao Phraya Project, Thailand.
- 齋藤元也 (1996) 技術情報「農業におけるリモートセンシングの利用と課題」：農林業協力専門家通信, 17 (1), 16-30.
- Steeve Van Beek (1995) *The Chao Phraya River in Transition.*: Oxford University Press, 121-147.
- 柚山義人, 宮崎 健, 鬼丸竜治, 中沢 昇 (2000) タイ国チャオプラヤデルタにおける稲作と水管理：農業土木学会誌, 68 (9), 31-37.