

衛星データを用いた環境変化抽出システムに関する研究 —土地被覆による環境変化の把握・分析手法及び マイクロ波画像の判読に関する研究—

The System for Environmental Change Extraction Using Satellite Data
—The Method of Environmental Change Understanding and Analysis
by Land Cover and Interpretation for Microwave Imagery—

測 図 部

門脇利広・福島芳和・下地恒明・水田良幸

Topographic Department

Toshihiro KADOWAKI, Yoshikazu FUKUSHIMA,

Tsuneaki SHIMOJI, Yoshiyuki MIZUTA

地理調査部

Geographic Department

政春尋志

Hiroshi MASAHARU

測 地 部

Geodetic Department

勝田啓介

Keisuke KATSUTA

要旨

土地改良と大規模な宅地造成により環境が急速に変化しているタイ国南東部のラヨン地域を研究対象地域として、二時期のLANDSAT-TM画像を用いた土地被覆による環境変化抽出手法の開発及び地理情報システムを用いた環境変化の分析・解析手法の開発を行った。また、マイクロ波画像で解像度の高いRADARSAT画像とLANDSAT-TM画像を使用して合成画像を作成し、マイクロ波画像判読マニュアルを作成した。

本研究により、地理情報と土地被覆による環境変化の関係を定量的に計測することが可能になった。また、作成したマイクロ波画像判読マニュアルにより、耕地界や詳細の植生をより明確に判断できることが確認できた。

なお、本研究は、科学技術振興調整費の総合研究「マイクロ波センサデータ利用等によるリモートセンシング高度化のための基盤技術開発」の一部として行ったものであり、第Ⅰ期「国土情報の把握手法に関する研究」（平成4年度～平成6年度）に引き続き、第Ⅱ期「衛星データを用いた環境変化抽出システムに関する研究」（平成7年度～平成8年度）として、タイ国農業協同組合省国土開発局と共同研究を行ったものである。

1. 目的

熱帯地域においては、熱帯林の減少、砂漠化の進行等の地球環境にかかわる環境問題が緊急の課題となっている。

特に、国土に関する情報のうち、地形、土地利用等の基本的な情報は、環境問題の解析及び対策を立案する上での重要な基礎資料となり、環境変化の監視、把握及び

分析の観点から、社会的・行政的な要請が多い。

本研究は、衛星データを用いた環境変化抽出システムに関する研究として、土地被覆の変化に注目した環境変化の把握・分析手法の開発を目的として以下の研究を行った。

(1) 環境変化抽出手法の開発

二時期の衛星データを用いて土地被覆分類や現地調査等を行い環境変化を抽出する手法の開発を行った。

(2) 地理情報システムを用いた環境変化分析・解析手法の開発

土地被覆の変化状況と既存の地形・土地利用情報を統合し、地理情報システムによる分析・解析手法の開発を行った。

(3) RADARSAT画像等を利用した判読マニュアルの作成

マイクロ波画像であるRADARSAT画像とLANDSAT-TM画像及びそれらの合成画像を比較し、的確な土地被覆分類等を行うためのマイクロ波画像判読マニュアルを作成した。

2. 方法

研究対象地域はタイ国ラヨン地域とした。当地区は、タイ国の首都バンコクから南東に約185km離れたところであり、ここ数年来の農産物の土地改良と大規模な造成のため、土地利用形態及び環境が著しく変化している地域である。

2.1 環境変化抽出手法の開発

全体的な処理フローは、図1のとおりである。

主な処理としては、表1で示された新旧の衛星データから、それぞれ同じ土地被覆の項目について、最尤法により土地被覆分類を行った。それぞれの土地被覆分類を1画素単位で比較し、変化した項目の選定を行った。

次に、選定した変化項目について、誤分類と思われる画素の処理を行うために、一定の大きさを設定した窓を用いて、周囲との比較により誤分類の訂正処理を行った。

また、新旧の土地被覆データよりそれぞれの変化項目を構造化し、土地被覆の変化推移を把握することにした。

なお、土地被覆分類及び変化部の抽出を行うにあたり、分類項目の決定や変化の状況については、試行的な分類結果及び二度の現地調査を踏まえてタイ国農業組合省国土開発局の研究者との議論の結果、以下の点について留

意して行うこととした。

土地被覆の分類項目（9項目）

- ・貯水池及び水部
- ・市街地
- ・水田
- ・パイナップル園
- ・混合果樹園
- ・ゴム園
- ・裸地
- ・草地
- ・森林

変化状況の留意点

- ・森林は、増加していない。
- ・草地は、増加していない。
- ・水田の土地被覆は、時期（季節等）により変化するが、水田の地域は、変化しない。

2.2 地理情報システムを用いた分析・解析手法の開発

全体的な処理フローは、図2のとおりである。

(1) UTM座標への幾何補正

2.1で開発した手法で作成した土地被覆データと地形図の地理情報を重ね合わせるために、土地被覆データの幾何補正を行った。補正方法は、地形図（緯度、経度）と対応付けが可能な道路の交差点等の13点を用いて、UTM座標（UTMゾーン47, m単位）系への投影を行った。

(2) 土地被覆図の作成

1992年に作成された縮尺5万分の1地形図からディジ

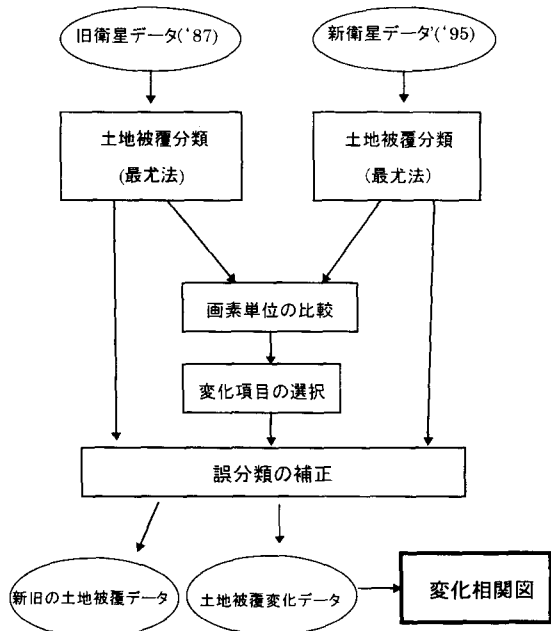


図-1 環境変化抽出手法の処理フロー

表-1 新旧の衛星データ仕様の比較

衛星名	LANDSAT-TM (旧)	LANDSAT-TM (新)
センサ名	TM (光学センサ)	TM (光学センサ)
処理レベル	2.1 (UTM 投影)	2.1 (UTM 投影)
観測年月日	1987 年 12 月 18 日	1995 年 2 月 7 日
地上分解能(m)	30	30
センサ入射角	直下視	直下視
波長帯	バンド 1 : 0.45~0.52 μm バンド 2 : 0.52~0.60 μm バンド 3 : 0.63~0.69 μm バンド 4 : 0.76~0.9 μm バンド 5 : 1.55~1.75 μm バンド 7 : 2.08~2.35 μm	バンド 1 : 0.45~0.52 μm バンド 2 : 0.52~0.60 μm バンド 3 : 0.63~0.69 μm バンド 4 : 0.76~0.9 μm バンド 5 : 1.55~1.75 μm バンド 7 : 2.08~2.35 μm

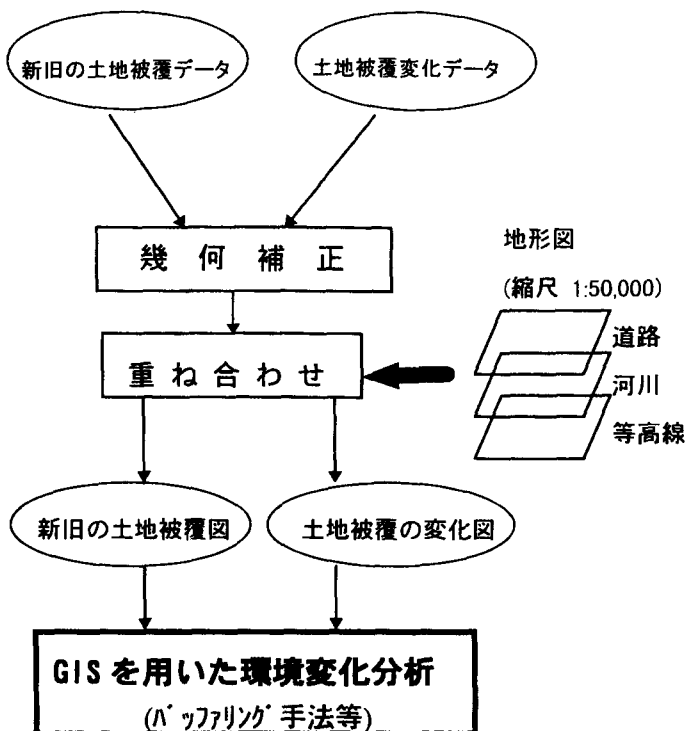


図-2 地理情報システムを用いた分析手法の処理フロー

タイジング手法により道路、河川及び等高線データの地理情報を取得し、幾何補正済みの土地被覆データに重ね合わせ土地被覆図を作成した。また、2.1の作業と同様に新旧の土地被覆図を用いて変化部を抽出した土地被覆の変化図を作成した。

(3) 分析・解析

地理情報システムを用いて、(2)で作成した道路及び河川からのバッファリング（線状物を中心に片側100m, 300m, 600m, 1 km及びそれ以上）処理を行い、全体的変化量に対するバッファリングされた領域での変化量を示した変化率を求めることにより変化の特性を把握した。解析する土地被覆の変化は、1画素単位で分類したものであるためバッファリングは、画素単位（1画素30 m×30m）とした。また、地形による傾向を知るため等高線を用いて標高による土地被覆の特性を把握することとした。

2.3 RADARSAT画像等を利用した判読マニュアルの作成

(1) マイクロ波画像判読マニュアルの作成

第Ⅰ期で作成したSAR画像判読マニュアル（JERS-1 SAR画像使用）を充実させるため、より解像度の高いマイクロ波画像であるRADARSAT画像を用いることとした。また、タイ国農業協同組合省国土開発局より研究者を招聘し、現地調査結果やRADARSAT画像を踏まえて意見交換を行い、より詳細なマイクロ波画像判読マニュアルを作成した。

(2) 合成画像の作成

マイクロ波画像の判読性を高めるため、解像度の低いLANDSAT-TM画像と解像度の高いRADARSAT画像を用いてより鮮明な画像である合成画像を作成し、判読マニュアルに追加した。

作成フローは、図-3のとおりである。

図中のHSI変換後のIの部分（網掛け部）は、使用しないデータを示す。各々の画像は、既に幾何補正済みの画像であるが、地上分解能や精度の違いにより位置ズレが生じる恐れがあるので、両画像より同じ地点の地上基準点を基にUTM座標系へ再度、投影を行い、RADARSAT画像の地上分解能（補正済み画像では、6.2m）に合わせて再配列を行った。次に各バンドを組み合わせたRGB表現のLANDSAT-TM画像を色相（H）、彩度（S）、明度（I）にHSI変換し、その後、単バンドのRADARSAT画像を明度（I）として、LANDSAT-TM画像より作成した明度（I）と入れ替え、HSI逆変換を行い、RGB表現をして合成画像を作成した。

これにより、LANDSAT-TM画像の持つマルチスペクトル情報とRADARSAT画像が持つ細かな空間情報を1つの画像上に効果的に合成することが出来た。

(3) 作成仕様

マイクロ波画像判読マニュアルの仕様は、分類項目毎

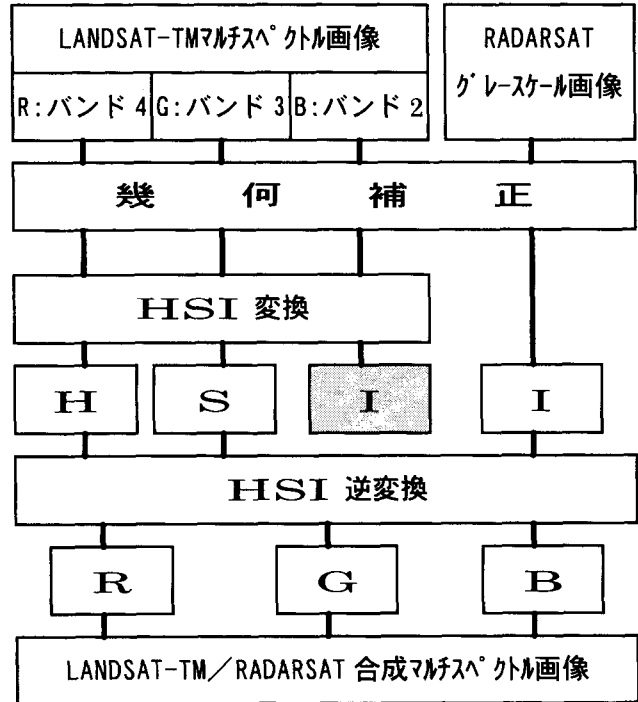


図-3 合成画像作成フロー

にLANDSAT-TM画像、RADARSATの画像、合成画像、現地写真（一部転載無し）及びそれぞれの判読に対する所見を記載した。なお、分類項目は2.1で示した土地被覆分類の9項目とした。

(4) 使用した衛星データの仕様

使用した衛星データの仕様を表-2に示す。

LANDSAT-TM画像は、2.1及び2.2で使用了ものと同じである。RADARSAT画像は、1995年11月に打ち上げられた、カナダのCバンド（波長：5.6cm）の合成開口レーダのみを搭載した陸域観測衛星の画像で、今回は各観測モードの中で最も地上分解能が高い、ファインモードのUTM投影画像を使用した。

表-2 LANDSAT-TM及びRADARSAT仕様の比較

衛星名	LANDSAT-TM	RADARSAT
センサ名	TM（光学センサ）	SAR（マイクロ波センサ）
処理レベル	2.1（UTM投影）	UTM投影による 地図補正画像
観測年月日	1995年2月7日	1997年2月12日
地上分解能（m）	30	10
センサ入射角	直下視	45～48度
波長帯	バンド2：0.52～0.60 μm バンド3：0.63～0.69 μm バンド4：0.76～0.9 μm	Cバンド 5.6 cm
バンドの組合せ	2：青 3：緑 4：赤	グレースケール画像

3. 結果

3.1 環境変化抽出手法の開発

衛星データから作成した二時期の土地被覆分類結果を図-4に示す。

図-4は、横軸に土地被覆の分類項目を、縦軸に観測年（1987年と1995年）毎の土地被覆の面積（ km^2 ）をそれぞれ表したものである。大きな変化としては、草地が大幅に減少し、市街地、パイナップル園及び裸地が増加を示している。これは、草地、森林が農地拡大や宅地造成等による市街地の拡大が行われたためと考えられる。また、貯水池が増加しているが、これは、北西地域の大規模な貯水池の造成によるものである。造成された貯水池の周辺は、現在パイナップル園が多いが、現地調査の結果、貯水池が海岸地域の工業用として造成された

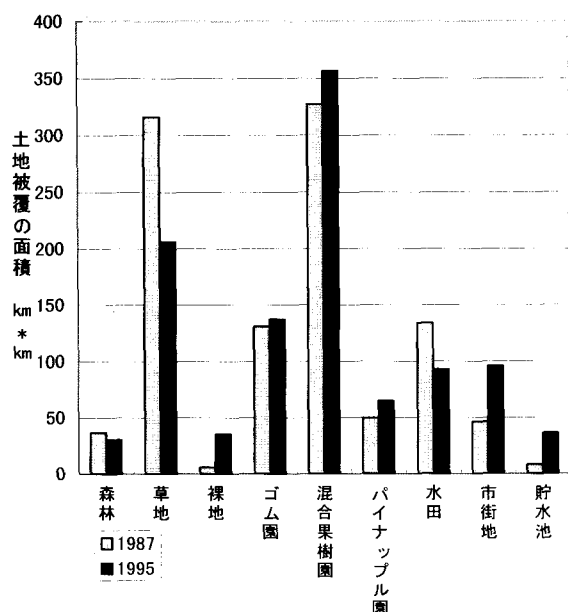


図-4 各項目毎の土地被覆

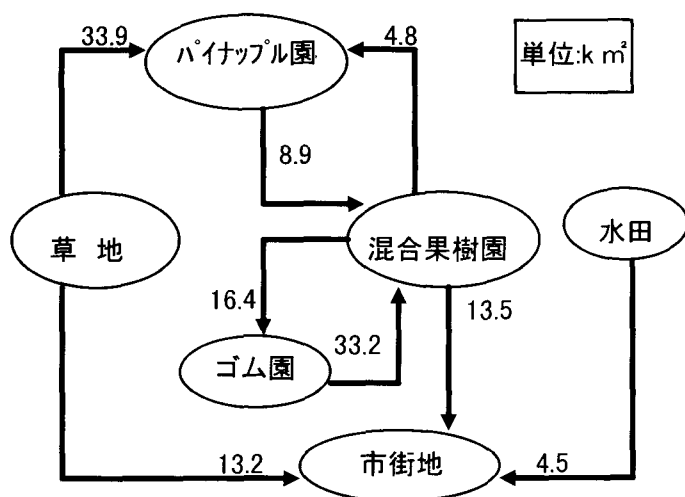


図-5 土地被覆における変化推移相関図

ことが確認されている。

新旧の土地被覆の変化推移の相関を図-5に示す。

変化推移の対象とする項目としては、変化状況の留意点等のタイ国農業協同組合省国土開発局の研究者の意見を参考に、全項目を対象とするのではなくある一定の大きさ以上の変化を対象とし、土地改良や市街化につながるような項目を選定した。矢印の数字は変化面積(km^2)を表している。これにより、二時期のデータのみではあるが、当地区における土地被覆の大まかな流れが推測できた。例えば市街地の場合は、草地→パイナップル園→混合果樹園→市街地の順、又は直接、草地→市街地となることが推測される。パイナップル園と混合果樹園及びゴム園と混合果樹園は、相互に利用の行き来があることが推測される。また、パイナップル園、ゴム園→混合果樹園への変化は大きい、混合果樹園→パイナップル園、ゴム園への変化が小さい。これは、当地区の土地利用の特徴である、傾斜の緩やかな順に水田、混合果樹園、パイナップル園・ゴム園等のプランテーションとなることから考えると、傾斜の緩やかな土地に適合した土地利用、土地改良が拡大していることが示されている。

3.2 地理情報システムを用いた環境変化分析・解析手法の開発

衛星データから分類した土地被覆データをUTM座標系に幾何補正し、道路、河川及び等高線の地理情報を重ね合わせて作成した、1995年の土地被覆図を図-6に示す。

道路、河川及び等高線を重ね合わせるにより、視覚的に土地被覆を把握することが可能になった。また、道路、河川及び地形（等高線）により土地被覆が区分されていることが明確になった。特に、市街地は、道路、河川周辺に多く存在することや混合果樹園に比べパイナップル園は標高の高いところに多く存在すること及びゴム園は、河川により区分される等が明確に把握できた。

また、変化抽出部分と地理情報の重ね合わせを行った土地被覆の変化図を図-7に示す。

これにより、土地被覆の変化が、地理情報データと密接に関係することを視覚的に把握することが可能になった。市街地に变化するのは道路周辺が多いことや北西地域においてパイナップル園に多く変化していること及び東側山岳地域の森林が裸地に変化した等が明確に把握できた。

さらに、道路及び河川からのバッファリング手法による空間分析の結果を表-3、表-4に示す。

バッファリング手法により図-6、図-7で行った視覚的な把握を定量的に分析することができた。

道路との関係では、市街地へ変化した部分の約50%が、道路から300mの範囲にあり、道路周辺に集中していることや、混合果樹園、ゴム園及び裸地への変化は、道路

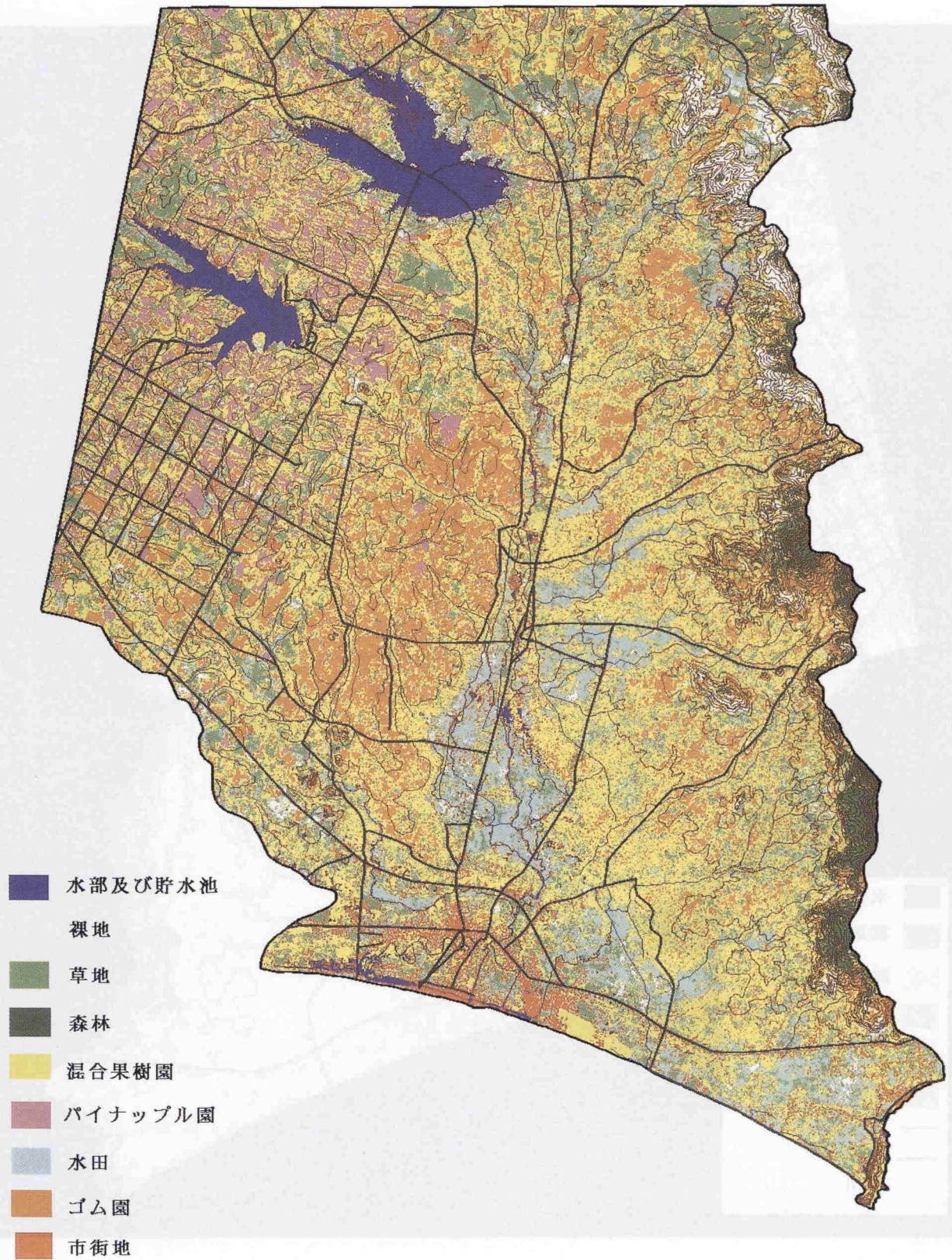


図-6 1995年 土地被覆図

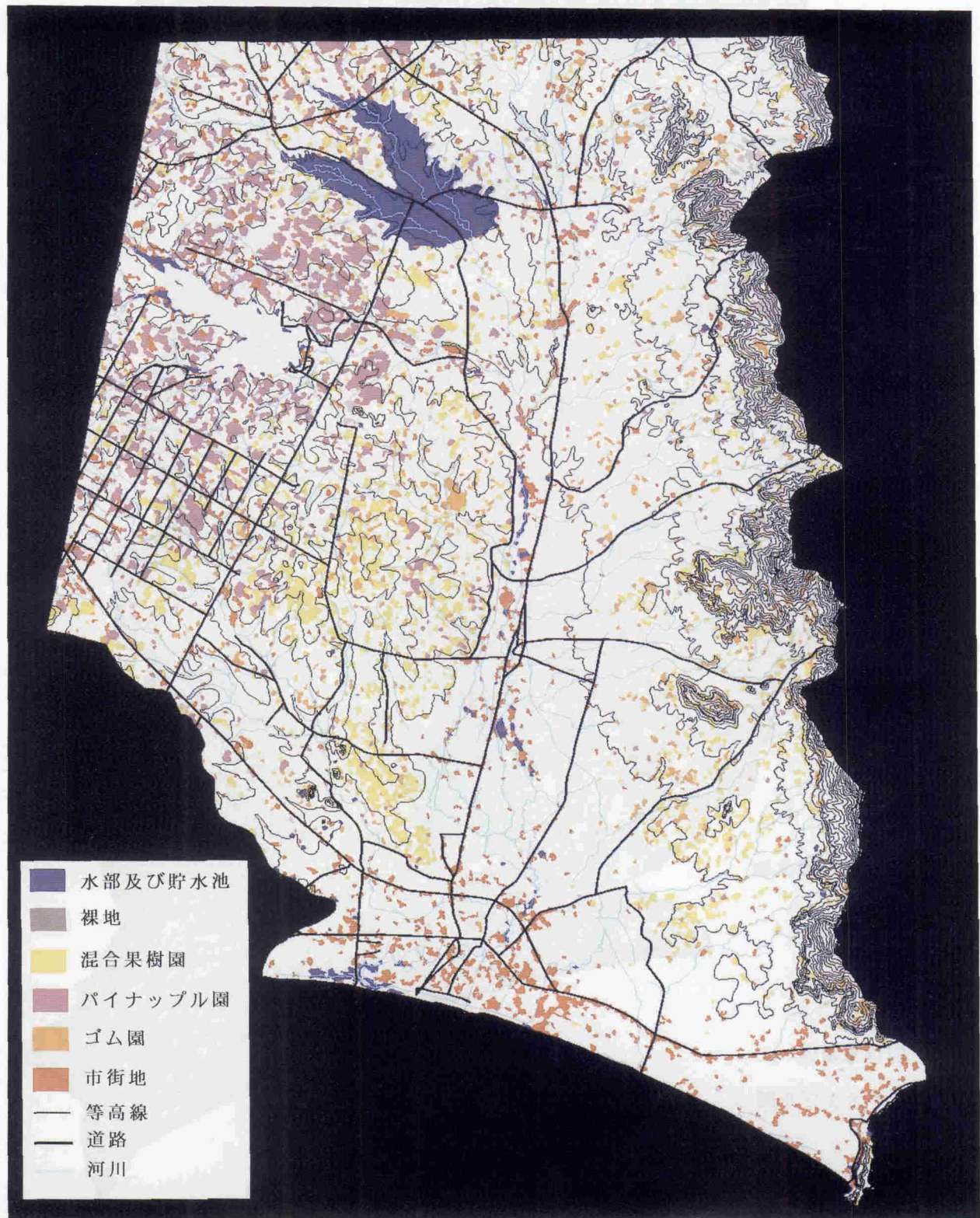


図-7 変化抽出後の土地被覆（1995年）と地理情報の重ね合わせ

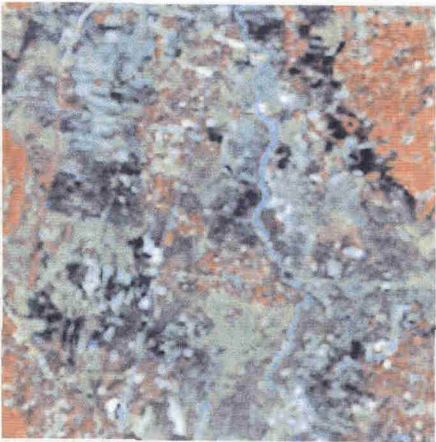
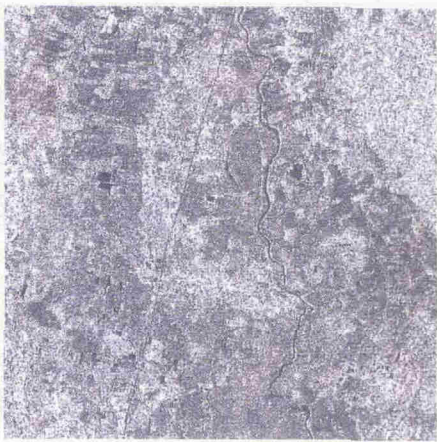
判読項目 (INTERPRETATION) : 水田 (Paddy Field)	
LANDSAT-TM Image  Test Sight Area : 5 x 5 (km) Path-Row : 128 - 51 Date : 7.Feb.1995	RADARSAT Image  Test Sight Area : 5 x 5 (km) Date : 12, Feb, 1997
Composition of LANDSAT-TM and RADARSAT images 	現地写真 (FIELD PHOTOGRAPH) 
特徴 (CHARACTERESTIC) Paddy field in their growing stage, submerged in water will appear white since there are corner reflector of the RADAR signal, but paddy after cultivation, some open land will appear dark to gray tone due to the particular reflector of the RADAR signal. For LANDSAT-TM date will appear light blue in paddy after cultivated and red in paddy (growing stage)	

図-8 マイクロ波画像判読マニュアルの一例

表-3 道路からの距離に対する土地被覆変化の割合(%)

変化後の土地被覆	道路からの距離					合計
	100m	300m	600m	1 km	1km以上	
市街地	22.4	24.1	22.2	15.1	16.2	100
パイナップル園	9.4	20.7	22.3	20.0	27.5	100
混合果樹園	6.1	13.5	16.5	19.6	44.3	100
ゴム園	4.9	9.9	14.7	17.6	52.9	100
裸地	1.7	4.9	7.1	11.5	74.7	100
貯水池	8.9	20.2	26.2	23.6	21.1	100

表-4 河川からの距離に対する土地被覆変化の割合(%)

変化後の土地被覆	河川からの距離					合計
	100m	300m	600m	1 km	1km以上	
貯水池	29.6	34.8	21.7	9.5	4.4	100
ゴム園	13.7	22.7	27.4	19.2	17.0	100
市街地	17.8	28.8	25.1	15.2	13.0	100
パイナップル園	9.2	32.2	36.4	17.2	5.0	100
混合果樹園	10.5	22.4	26.7	22.3	18.1	100
裸地	9.0	21.7	28.7	23.5	17.1	100

から1 km以上離れてからでも約50%の変化があることから、道路に無関係に変化していることが等が示された。また、河川との関係では、変化したすべての項目の約60%が、600mの範囲内で変化しており、すべての変化項目に対して同じ様に影響していることが示されている。さらに、等高線との関係では、標高50m~70mでパイナップル園の増加が多いことや標高20m~50mで混合果樹園の増加が多いこと及び標高0 m~20mで市街地が増加していることが把握できた。

3.3 RADARSAT画像等を利用した判読マニュアルの作成

マイクロ波画像判読マニュアルは、項目別に9枚で構成されている。その中の1項目を一例として図-8に示す。

(1) RADARSAT画像の判読

本研究では、第1期に作成したJERS-1を利用したSAR画像判読マニュアルと比較し特徴を述べることをとする。

RADARSATとJERS-1の両マイクロ波センサを比べた場合、RADARSATはバンドの波長が短く、センサ入射角が大きいことから、後方散乱の成分としては、地表面による表面散乱が小さく、植被上層の植物自体による体積散乱が大きくなり、植生の判読が容易になった。

また地上分解能の違いにより、耕地の区画線や市街地の道路、街区等の線状対象物の判読性が向上した。表-5に両マイクロ波センサの比較を示し、項目毎に判読結果を述べることにする。

表-5 RADARSAT及びJERS-1のマイクロ波センサの比較

衛星名	RADARSAT	JERS-1
波長帯 (cm)	Cバンド 5.6	Lバンド 24
センサ入射角(度)	45 ~ 48	35
地上分解能 (m)	10	18
偏波	HH	HH

当地区の北西地域にある両貯水池の間に挟まれるようなパイナップル園、草地及び混合果樹園が混在する地域では、光学センサのLANDSAT-TM画像を用いても各項目の判読は困難であるが、RADARSAT画像を用いることにより、パイナップル園は後方散乱が強いため輝度値が高く、草地は逆に後方散乱が弱いため輝度値は低くなり、混合果樹園は、ほぼその中間の輝度値になることから、各項目の判読が可能になった。水田の判読は、草地と比べ輝度値はさらに低くなる傾向にあり、容易であった。密集した市街地や工場地帯も、後方散乱が強くなり今回の土地被覆分類の9項目の中で輝度値が最も高くなっており、判読が容易である。しかし、ゴム園と混合果樹園の判読は、混合果樹園の方が、後方散乱が強く輝度値が高いと思われたが、RADARSAT画像上では、両者の違いは見られなかった。

また、森林、裸地の傾向としては、地形の尾根線がくっきりあらわれ、特に森林では様々な樹冠により強い後方散乱の輝度値を示していた。しかし、後方散乱を指標とした輝度値からの森林と裸地の区別は困難であった。

さらに、線状対象物は、パイナップル園の耕地界や市街地付近の街区や道路等はかなり細かい箇所まで判読が可能であった。土地被覆分類での利用を考えた場合、もちろん面的判読が主であるが、各項目間での比較検討を考えた場合、耕地界等の判読の容易さは、土地被覆判読に大きく寄与するものと考えられる。

(2) 合成画像の判読

合成画像の判読については、(1)のRADARSAT画像と比較し特徴を述べることにする。

作成した合成画像は、RADARSAT画像にLANDSAT-TM画像のマルチスペクトル情報を付加することで以下の点で判読における効果が確認できた。

一面に広がるゴム園の中に、所々草地が点在する地域

では、単独でのRADARSAT画像ではそれぞれの項目が同等の輝度値となり判読は困難であったが、合成画像を用いることにより、草地は薄い緑色が配色され、判読が可能になった。

また、(1)の課題であったゴム園と混合果樹園の判読についても、合成画像を用いることにより、ゴム園は均一な紫色、混合果樹園は紫色と白色の微粒子が混在したような配色となり、区別が可能になった。

さらに、森林と裸地の判読でも、RADARSAT画像を用いると観測方向の違いにより、同じ項目でも観測斜面側は輝度値が高く、反対斜面側は輝度値が低くなり、判読が困難であったが、合成画像を用いることにより、裸地は濃い緑色として森林は濃い紫色として配色され判読が可能になった。

4. まとめ

本研究において、衛星画像から土地被覆分類図を作成し、変化部分の抽出画像を地形図の地理情報と重ね合わせることで視覚的な把握が容易になった。また、地理情報システムを用いることで、土地被覆から見る環境変化の

形態・規模を定量的に把握することが可能になった。

したがって、環境問題や農業生産に対する政策立案を行うための基礎資料を作成することが可能になったことから、熱帯林の減少等、環境変化の正確な監視に寄与することが期待できる。

今後は、さらに地理情報システムを活用し、土壌図や傾斜等の地理情報を用いた地形と環境変化の詳細な関係を調査・分析すること及び農業生産量や人口推移等の地域経済活動と環境変化の関係を調査・分析することが課題として挙げられる。

また、RADARSAT画像等を用いてマイクロ波画像判読マニュアルを作成したことにより、水部、道路及び耕地界等の線状物やゴム園と混合果樹園等の植生が鮮明に判読が可能になった。熱帯地方においてマイクロ波画像を用いることは、天候に左右されず地表の状態を観測できるため、有用な手段として十分に意義のある成果を得ることができる。

今後は、さらにRADARSAT画像の研究を進めることにより、熱帯地域における環境把握の精度を向上させることが可能になると思われる。

参 考 文 献

- （財）資源観測解析センター（1992年）：合成開口レーダ（SAR）（財）資源観測解析センター平成4年3月31日発行
 下地恒明（1996年）：衛星データを用いた環境変化抽出について、建設関連業月報，Vol.16，13～15頁，1996年7月
 野々村邦夫，保谷忠男 他（1991年）：熱帯地域の環境特性等の解明に関する研究 ―熱帯地域の土地利用 状況調査に関する研究― 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）成果報告書
 丸山弘通，政春尋志 他（1995年）：熱帯地圏表層変動の把握手法の開発 ―国土情報（地形・土地利用） 把握に関する研究― 熱帯地域の環境変動に関する国際共同研究（第Ⅰ期）成果報告書