

衛星データとGISによる環境変化解析－太宰府市の例

Environmental Change Analyses by using Landsat Data and GIS :

A Case Study on Dazaifu City

黒木 貴一

磯 望

後藤 健介

宗 建郎

Takahito KUROKI

Nozomi ISO

Kensuke GOTO

Tatsuro SOH

社会科教育講座

西南学院大学

長崎大学

九州大学大学院

(平成18年 9 月30日受理)

要 旨

太宰府市を対象に衛星データの反射率差分と土地利用区分との関係を確認した。その結果、特定の土地利用区分に反射率差分の中央値や標準偏差の変化が大きいことが分かった。さらに反射率差分と土地利用変化との関係を確認した。その結果、反射率差分の標準偏差を目安とした区分データのオーバーレイにより、土地利用の変化域を絞り込めることがわかった。特にndvi差分とb1差分の組み合わせは変化域をよく絞り込めた。ただ、反射率差分を用いたオーバーレイによる点域は、特定の土地利用変化型を多く捉えているが、両者は1対1ではなく多対多の対応関係を持つ。一方、土地利用変化の教師データを用いた最尤法分類では土地利用変化型を分類できるものの、オーバーレイ法に比べ変化無域での誤分類が多い問題を持つ。

キーワード：衛星データ, GIS, 土地利用, オーバーレイ, 最尤法

I. はじめに

日本では、平野の耕地を用いた商業地や住宅地の開発、山地・丘陵地あるいは海岸付近の工業地の開発、管理不十分な山林の荒廃や竹林の増加など、地表の環境変化が著しい。この環境変化は従来、新旧の地形図を比較して把握してきたが、近年、衛星データを利用し解析する手法に変化しつつある。通常、取得時期の異なるデータをそれぞれ土地利用区分（または土地被覆分類）し、その2画像間の差分を求める¹⁾。

ある時点の土地被覆分類を実施するには、設定の分類項目の見られる場所に赴き教師データを得る必要がある²⁾。土地被覆の経年変化を解析するには、過去の土地利用図などの地理情報からも教師データを得る必要がある。しかし衛星の反射率データからの土地被覆分類は人間活動の結果の土地利用区分とは意味が異なる。この違いは早くに認識されながら、土地利用が変化した空間でどう土地被覆が変化したのか、土地被覆が変化した空間でどう土地利用が変化したのかという詳細な確認がなされていない。

そこで西木ほか(2006)³⁾では、反射率が変化した場所の季節による景観変化を詳細に検討した。また土地利用変化と衛星データ変化の関係に関し、後藤ほか(2005)⁴⁾では2時期の衛星データと現在の土地利用データから両者の対応を予備的に検討し、特定の土地利用区分で衛星データの特定バンドの反射率変化が大きいことを見出した。これらの研究過程で、教師データとして使用できる土地利用データの問題点も出された。つまり教師として使用できる土地利用情報には、10mメッシュの細密数値情報(土地利用)や約100mメッシュの国土数値情報がある。しかし前者は大都市圏にしかなく、全国整備された後者は精度が粗い。そこで黒木ほか(2006)⁵⁾では地方を対象とする環境変化を解析するのに役立つ10mメッシュ土地利用データの作成方法をまとめた。

本研究では太宰府市を事例とし、2時期の衛星データと現在の土地利用データから、土地利用区分と反射率変化との関係を詳しく確認する。次に、2時期の衛星データと2時期の土地利用データの各差分を比較し、それより土地利用や土地被覆状

況などの環境が変化した地域を抽出するGISによるオーバーレイ法を検討する。最後に衛星差分データの取り扱いの発展可能性を考察する。

II. 研究方法

1. 対象地域

太宰府市(29.6km²)を研究対象(図1)とした。太宰府市の北東部に三郡山地、南西部に背振山地があり、中央部は狭い平野である。東西から山地の迫る狭い平野部に、防衛施設の水城が設置されている(図2)。太宰府市は、福岡市の南約10kmにある人口約6万7千人の市である。そこに太宰府天満宮、大宰府政庁跡、大野城址などの史跡も多い反面、国道3号線や九州自動車道、JR鹿児島本線や西鉄大牟田線が通っており交通の便が極めてよい⁶⁾。このため、太宰府市は観光都市でもあり、早くに開発の進んだ福岡市のベッドタウンでもある。

2. 土地利用情報の準備

全てのデータ調整及び解析には、ArcView8.3および9.1とそのエクステンションのSpatial Analystを使用した。



図1 太宰府市の位置

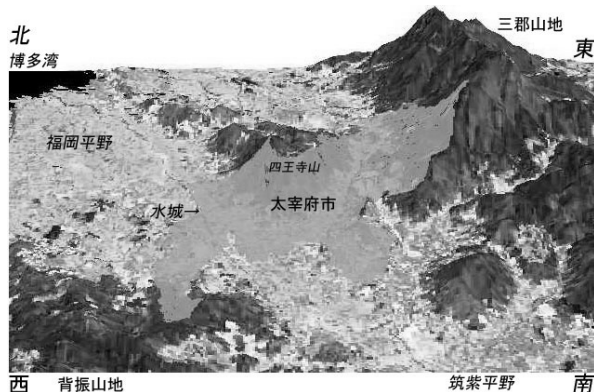


図2 太宰府市の地形

ArcView8.3で昭和50(1975)年頃と平成10(1998)年頃の地形図から作成した10mメッシュ土地利用データ⁵⁾を用意した(図3, 図4)。前者を75土地利用データ, 後者を98土地利用データとする。区分は一般宅地, 樹木宅地, 学校, 水田, 畑, 果樹園, 森林, 竹林, 水域, 広場, 交通施設, 荒地, その他, 鉄道である。

3. 衛星データの準備

1) 使用データ

1986年(5月12日観測)と1999年(4月30日観測)の2時期のLANDSAT/TMデータを用いた。前者を86TMデータ, 後者を99TMデータとする。撮影日の近いデータを選定し季節変動の影響を少なくした。

2) 幾何補正

OM-SATにより, LANDSAT/TMデータの7パ

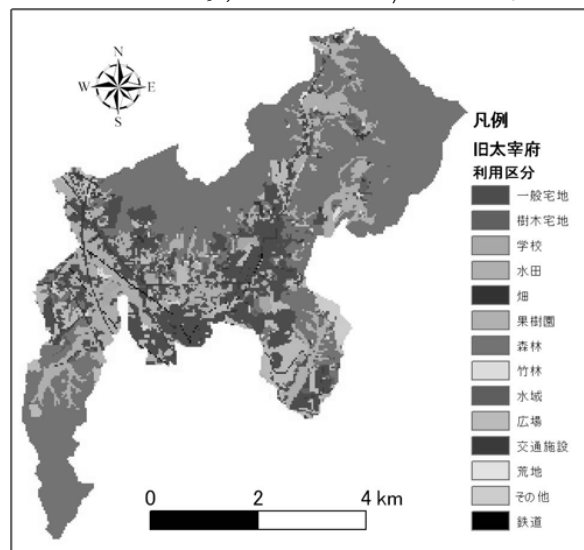


図3 1975年頃の土地利用分布

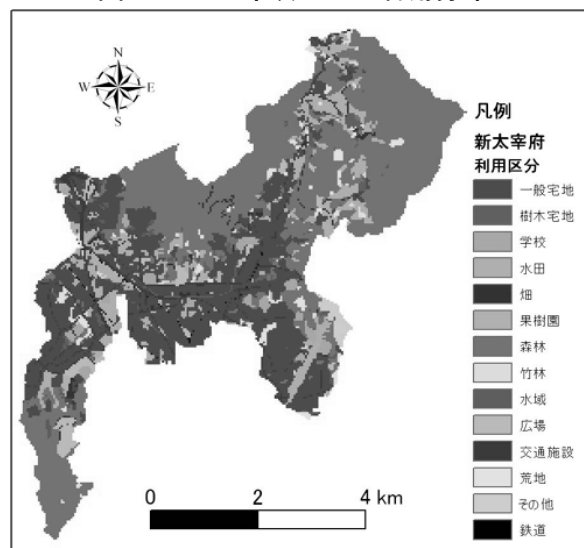


図4 1998年頃の土地利用分布

ンドに対し、tiff形式の画像ファイルを緯経度で四角形に切り出す。OM-SATの座標が秒単位までなので、ArcView8.3でより細かい幾何補正を実施する。その手順は添付資料の資料1と資料2で示す。

4. 土地利用と反射率変化との関係の解析

1) クロス集計

ArcView8.3のカスタマイズのコマンド「tabulate area」を用いて、98土地利用データの区分に対し99TMデータと86TMデータの各バンドの値をクロス集計しExcelデータとする。

2) 中央値と標準偏差

バンド毎に土地利用毎に反射率毎の占める面積を求め、それより土地利用毎に中央値と標準偏差を求める。またバンド毎の中央値と標準偏差も求める。

3) データ補正

バンド毎の土地利用毎の中央値からそのバンドの中央値を減算し、99および86TMデータの中央値を0にそろえる補正を行う。

4) 差分観察

99TMデータと86TMデータの中央値および標準偏差の変化を詳しく見る。

5. 土地利用変化と反射率変化との関係解析

1) 土地利用変化地域の抽出

98土地利用データと75土地利用データを「tabulate area」でクロス集計し、Excelデータとする。変化域全体に対し2.5%以上の面積を占める土地利用変化型を抽出する。

2) 土地利用変化型の分布図

資料3の手順でgrid演算を進め、98土地利用データと75土地利用データから、変化域全体に対し2.5%以上の面積を持つ土地利用変化型(水田から一般宅地、森林から一般宅地、広場から一般宅地、森林から学校、水田から森林、森林から広場、水田から交通施設、森林から荒地、その他の変化域、変化無域)の分布図を作成する。

3) 反射率差分データの準備と分析

99TMデータおよび86TMデータの各バンドの反射率から求めた中央値について、86TMデータに対する99TMデータの差分を計算する。99TMデータからその差分と、86TMデータを減じて反射率差分データとする。各データの標準偏差(1/4, 1/2, 3/4)を鍵として反射率変化域を3区分する。最後に2種類の反射率差分の区分結果を重ね合わせ、反射率変化域を9区分する。9区分結果と土

地利用変化域との対応を資料4の手順で確認する。なお、各時期のb3(バンド3の意味)とb4を用いてndvi(植物活性度)差分も計算した。

III. 98土地利用データと反射率変化との関係

表1は98土地利用データに対する中央値補正した99TMデータである。反射率は、学校、広場など裸地が広がり白っぽく見える土地利用では高く、逆に、森林、竹林、水域など、黒っぽく見える土地利用では低い。樹木宅地、水田、畑などは、両者の中間的な値を示す。果樹園ではb1～b3は負でb4～b7が正であり、一般宅地、交通施設、鉄道ではb4のみが負、森林や竹林ではb4のみが正となるなど、全バンドの反射率が正か負に偏らない場合が多い。また学校のように全バンドの反射率は正だが、その値のばらつきが大きいものもある。表2は98土地利用データに対する中央値補正した86TMデータである。99TMデータと同様に、反射率は学校、広場などでは高く、逆に、森林、竹林などでは低く、水田、畑などでは前二者の中間的な値を示す。しかし水域は86TMデータではb1, b2, b6が正で、樹木宅地はb4が負だった。果樹園はb1～b3が正で、b4値はより高かった。一般宅地、交通施設、鉄道および森林、竹林の傾向は99TMデータと同じである。

表3は98土地利用データに対する99TMデータと86TMデータの反射率の変化である。バンド別に見るとb3, b4, b5に極端に大きな値が見られる。反射率変化が±4以上の項目を強調した。特に、学校、果樹園、広場の反射率変化は大きい。全てが負の変化をした。植物は近赤外域で反射率が高くなるため、それらの土地利用区分で1986年から1999年の間に植生が減少したと思われる。次に、樹木宅地や水域などで反射率変化が大きい。そのうちb4は増加しており、これらの土地利用区分では植生が増加したと思われる。たとえば、都市化が進み樹木宅地の樹木が相対的により目立つようになった、あるいは管理放棄されたか富栄養化により水域の緑が増えたことも考えられる。また学校と広場、一般宅地と交通施設、森林と竹林と荒地の反射率変化の特徴が似ている。

表4は98土地利用データに対する99TMデータの標準偏差である。バンド別に見るとb5とb7に高い値が多い。値が20以上を示す項目を強調した。学校と荒地はb6を除きいずれのバンドも値が高い。学校ではコンクリートの校舎、グラウンドまたはプールなど、荒地では耕作放棄された水田や宅地造成中地などの性質の異なる土地被覆が混在し

表 1 99TM データ中央値補正結果

99TMデータ	一般宅地	樹木宅地	学校	水田	畑	果樹園	森林	竹林	水域	広場	交通施設	荒地	その他	鉄道
Band1	13.0	2.8	28.8	6.3	3.1	-3.0	-13.2	-10.2	-2.8	9.1	15.6	4.1	-2.3	12.9
Band2	5.7	1.8	17.5	4.2	2.3	-0.7	-6.5	-4.0	-2.0	5.8	7.2	3.2	0.8	5.8
Band3	10.2	3.3	30.6	7.4	4.0	-1.1	-11.5	-8.1	-4.1	10.5	12.4	5.7	0.1	10.6
Band4	-6.5	2.0	10.9	9.2	8.6	8.4	2.0	6.0	-16.8	4.7	-8.2	7.8	23.0	-5.3
Band5	9.2	10.4	47.3	19.3	16.2	11.9	-15.4	-2.3	-22.0	26.4	7.0	19.5	31.9	9.4
Band6	7.8	1.2	5.5	3.4	3.5	4.0	-7.4	-1.4	1.2	5.4	7.2	1.8	4.9	9.3
Band7	13.3	8.3	34.9	10.3	7.3	1.7	-14.6	-7.7	-10.0	14.5	11.2	8.7	5.0	11.7

表 2 86 TM データ中央値補正結果

86TMデータ	一般宅地	樹木宅地	学校	水田	畑	果樹園	森林	竹林	水域	広場	交通施設	荒地	その他	鉄道
Band1	16.0	2.9	35.3	5.8	6.1	1.1	-15.9	-10.6	1.0	18.3	16.5	2.1	-4.0	16.3
Band2	8.4	1.9	24.8	4.7	5.0	2.5	-9.4	-5.1	0.1	13.9	9.0	2.5	0.3	8.8
Band3	13.9	2.9	41.8	7.7	7.7	2.0	-15.5	-9.0	-1.1	24.9	14.4	3.8	-1.7	15.3
Band4	-5.5	-2.5	11.5	8.0	12.0	21.6	1.1	7.4	-21.3	8.2	-6.9	11.2	28.8	-9.4
Band5	14.1	3.5	58.2	17.6	19.7	16.8	-19.8	-8.8	-17.9	44.6	11.2	14.3	31.5	12.3
Band6	7.0	1.1	4.8	2.8	2.3	2.1	-6.3	-1.8	1.2	3.9	5.8	0.2	4.5	9.4
Band7	15.7	5.6	40.5	9.7	9.4	2.5	-16.8	-10.4	-7.2	24.9	12.7	4.7	4.3	15.2

表 3 反射率の補正中央値の変化

反射率差	一般宅地	樹木宅地	学校	水田	畑	果樹園	森林	竹林	水域	広場	交通施設	荒地	その他	鉄道
Band1	-3.0	-0.1	-6.5	0.5	-3.0	-4.1	2.7	0.4	-3.9	-9.2	-0.9	2.0	1.7	-3.4
Band2	-2.8	-0.1	-7.3	-0.4	-2.7	-3.2	2.9	1.0	-2.2	-8.1	-1.8	0.7	0.5	-3.0
Band3	-3.8	0.4	-11.2	-0.3	-3.7	-3.1	3.9	0.9	-3.1	-14.4	-2.0	1.9	1.8	-4.7
Band4	-1.0	4.4	-0.5	1.1	-3.5	-13.2	0.9	-1.4	4.5	-3.5	-1.3	-3.4	-5.8	4.1
Band5	-4.9	6.9	-10.9	1.8	-3.5	-5.0	4.4	6.5	-4.2	-18.2	-4.2	5.2	0.4	-2.9
Band6	0.8	0.1	0.7	0.6	1.2	1.8	-1.0	0.4	0.0	1.5	1.3	1.6	0.3	-0.1
Band7	-2.4	2.7	-5.6	0.6	-2.1	-0.9	2.2	2.6	-2.8	-10.4	-1.6	4.0	0.7	-3.5

表 4 99TM データの標準偏差

99TMデータ	一般宅地	樹木宅地	学校	水田	畑	果樹園	森林	竹林	水域	広場	交通施設	荒地	その他	鉄道
Band1	12.1	10.2	26.7	12.9	11.6	6.4	12.3	7.3	12.3	15.0	13.2	20.1	5.1	7.6
Band2	6.4	5.8	17.9	6.9	6.5	3.7	7.7	4.3	6.9	9.1	7.3	11.7	3.8	4.4
Band3	10.8	10.5	31.3	12.2	12.5	7.5	13.5	7.6	11.9	16.4	12.6	20.7	6.2	8.0
Band4	11.6	12.8	23.8	15.8	18.0	12.6	14.9	11.0	20.6	16.1	13.2	16.4	15.7	13.3
Band5	17.4	16.6	52.5	18.6	20.8	16.6	24.5	14.4	27.0	31.1	18.1	34.7	22.9	14.7
Band6	3.9	3.6	3.8	5.0	5.8	5.7	5.6	4.0	5.8	3.9	4.7	5.7	2.4	1.7
Band7	12.6	12.8	34.6	14.7	14.7	10.5	15.6	10.2	15.8	19.8	13.0	23.5	9.8	9.5
平均値	10.7	10.3	27.2	12.3	12.8	9.0	13.5	8.4	14.3	15.9	11.7	19.0	9.4	8.5

表 5 86TM データの標準偏差

86TMデータ	一般宅地	樹木宅地	学校	水田	畑	果樹園	森林	竹林	水域	広場	交通施設	荒地	その他	鉄道
Band1	11.8	8.3	24.3	11.9	14.5	13.6	9.1	7.8	13.4	21.5	14.1	22.1	5.1	9.2
Band2	7.2	4.5	18.6	7.0	9.4	9.0	6.2	4.7	9.1	16.2	8.4	14.7	4.3	6.3
Band3	12.0	7.6	31.7	12.4	16.7	15.7	9.8	7.8	15.2	28.5	14.1	25.0	6.5	10.6
Band4	12.3	11.4	22.5	14.7	15.5	15.4	17.7	12.1	24.0	20.3	14.7	18.7	16.6	13.2
Band5	17.7	12.7	48.4	18.0	23.9	24.3	19.7	14.4	34.0	43.1	19.8	34.9	22.9	15.3
Band6	3.7	3.1	2.8	4.2	4.6	3.5	3.9	3.9	5.1	4.1	4.6	4.4	2.5	2.6
Band7	12.5	10.0	29.9	14.0	16.7	14.6	11.0	9.4	19.4	25.0	13.9	22.9	9.5	11.1
平均値	11.0	8.2	25.5	11.8	14.5	13.7	11.1	8.6	17.2	22.7	12.8	20.4	9.6	9.8

表 6 標準偏差の変化

標準偏差差	一般宅地	樹木宅地	学校	水田	畑	果樹園	森林	竹林	水域	広場	交通施設	荒地	その他	鉄道
Band1	0.2	1.9	2.3	0.9	-2.8	-7.2	3.2	-0.5	-1.1	-6.5	-1.0	-2.0	0.0	-1.7
Band2	-0.8	1.3	-0.6	-0.1	-2.9	-5.2	1.5	-0.5	-2.2	-7.1	-1.2	-3.0	-0.5	-1.9
Band3	-1.2	2.8	-0.4	-0.1	-4.2	-8.2	3.7	-0.1	-3.4	-12.1	-1.6	-4.2	-0.3	-2.6
Band4	-0.7	1.4	1.3	1.1	2.5	-2.8	-2.8	-1.1	-3.4	-4.2	-1.5	-2.3	-0.9	0.1
Band5	-0.4	4.0	4.1	0.6	-3.1	-7.7	4.8	0.0	-7.0	-12.0	-1.8	-0.2	0.0	-0.7
Band6	0.2	0.6	1.0	0.7	1.3	2.2	1.7	0.1	0.7	-0.2	0.1	1.3	-0.1	-0.9
Band7	0.1	2.8	4.7	0.7	-2.0	-4.1	4.6	0.9	-3.6	-5.2	-0.9	0.6	0.3	-1.5
平均	-0.3	2.1	1.8	0.5	-1.6	-4.7	2.4	-0.2	-2.8	-6.8	-1.1	-1.4	-0.2	-1.3

標準偏差が高いと思われる。全ての土地利用のうち果樹園、竹林、鉄道の標準偏差は低い。これらはその場所の土地被覆状況が似通っていることを示す。

表 5 は 98 土地利用データに対する 86TM データの標準偏差である。バンド別に見ると、b3、b5、b7 に高い値が多い。99TM データと同様に、学校と荒地の値は b6 を除きいずれも高い。全ての土地利用のうち樹木宅地と竹林の標準偏差の平均は低い。

表 6 は 98 土地利用データに対する 99TM データと 86TM データの標準偏差の変化である。全体的に負の変化を示すものが多く極端な変化は少ない。標準偏差の変化が ± 4 以上を示す項目を強調した。特に、果樹園、広場、学校、森林の標準偏差の変化が大きい。それら区分で 1986 年から 1999 年の間に大きな土地被覆状況の変化が生じたことを示す。果樹園と広場はほぼ全てが負に変化し、逆に学校と森林は b5 と b7 が正の大きな変化を示す。1986 年に果樹園と広場は開発の対象であり、土地利用改変は激しかったが、1999 年には開発が落ち着いてきたことをうかがわせる。しかし学校と森林では、1999 年に以前より土地利用改変が大きくなったものと思われる。また荒地と畑では b3 の値が大きく減少し、その他バンドも減少傾向のため、その改変は 1986 年よりも落ち着いてきたものと思われる。学校と森林、果樹園と広場の標準偏差の変化の特徴は似ている。

まとめると、反射率の中央値では果樹園、広場、学校で土地利用の変化に起因する値の変化が見える。その土地利用の場所で、土地利用の変化が顕著だったことを示す。特に b3, b4, b5 に変化が大きく現れた。標準偏差では、98 土地利用の果樹園、広場、学校、森林で土地利用の変化に起因する値の変化が見える。そして、土地利用毎に、バンドの変化量や正負の傾向は独特の特徴である。中央値で反射率が変化しない土地利用でも、標準偏差では変化している場合もあり、中央値の変化以外に標準偏差の変化を考慮すると、土地利用変化の場所をより詳しく特定できることがわかった。

IV. 土地利用変化と反射率変化の関係

1. 土地利用変化の状況

表 7 は新旧の土地利用データのクロス集計結果を、変化域の全面積に対する百分率で表した。変化域の全面積は太宰府市の約 29% にあたる 865ha である。変化域全体に対して 2.5% 以上の面積を持つ土地利用変化型を強調した。それらは、①水田

から一般宅地(150ha で 17.3%)、②森林から一般宅地(107ha で 12.3%)、③広場から一般宅地(116ha で 13.5%)、④森林から学校(24ha で 2.7%)、⑤水田から

表 7 土地利用データのクロス集計

(%)	新土地利用													
	一般宅地	樹木宅地	学校	水田	畑	果樹園	森林	竹林	水域	広場	交通施設	荒地	その他	鉄道
一般宅地	0.6	0.6	1.9	0.3	0.0	1.9	0.0	0.4	0.3	2.4	0.3	0.0	0.0	0.2
樹木宅地	0.7	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
学校	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
水田	17.3	0.1	0.7	0.8	0.2	4.1	0.1	1.1	0.5	2.9	1.5	0.0	0.0	0.2
畑	1.2	0.0	0.1	0.2	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
果樹園	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	12.3	0.2	2.7	1.8	0.4	0.4	0.6	1.1	3.6	2.4	4.6	0.1	0.0	0.0
竹林	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
水域	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
広場	13.5	0.1	0.3	0.3	0.1	0.0	1.5	0.0	0.2	1.4	1.1	0.0	0.0	0.0
交通施設	1.7	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
荒地	0.8	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
その他	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
鉄道	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0

森林(36ha で 4.1%)、⑥森林から広場(32ha で 3.6%)、水田から交通施設(25ha で 2.9%)、⑧森林から荒地(40ha で 4.6%)である。2.5% 以上の変化域で全体の 61% を占める。

図 5 は太宰府市における変化域の分布である。太宰府市の東端、北端、南端の山地ではほとんど変化は見られず、それ以外の平野部で激しい土地利用変化があった。この中の土地利用変化型①～⑧、その他の変化、変化無の分布を図 6 に示す。①は市中央部に多い。写真 1 は四王寺山から南を見下ろした一般宅地の景観だが、その大半是水田から変化した。②は市の東部、北西部、南部にあり、変化無域に隣接することが多い。写真 2 は市北西部にある急傾斜地の一般宅地の景観だが、そこは森林から変化した。③は②よりも平野側で、①よりも山地側にある。南東部に③が広範囲にある。写真 3 は市南東部にある緩傾斜地の一般宅地の景観だが、そこは広場から変化した。1986 年当時には造成が進められていたものと考えられる。④は②および③に隣接する場所に多い。写真 4 は市南東部にある丘陵地上に立地した高等学校の様子だが、そこは森林から変化した。この周囲には多くの一般宅地が形成されている。⑤は北部、南部、東部の山地域に幅の狭い線的な広がりを持つ。また面積の小さい点状の場所もある。それらは隣接する同士が線的に連続するように配置する。写真 5 は市東部にある雑草と竹林の景観だが、そこは水田から変化した。耕作放棄された水田に雑木が繁茂している。また線的な分布は、谷底低地の水田の耕作放棄の結果を示すと考えられる。⑥は市の南部に広く分布する。写真 6 は市南部にある駐車場と墓地の景観だが、そこは森林から変化した。⑦は交通網の発達する市中央部に最も多く、そのほか東部にも多い。写真 7 は市東部の道路の景観だが、そこは水田から変化した。道路脇は水

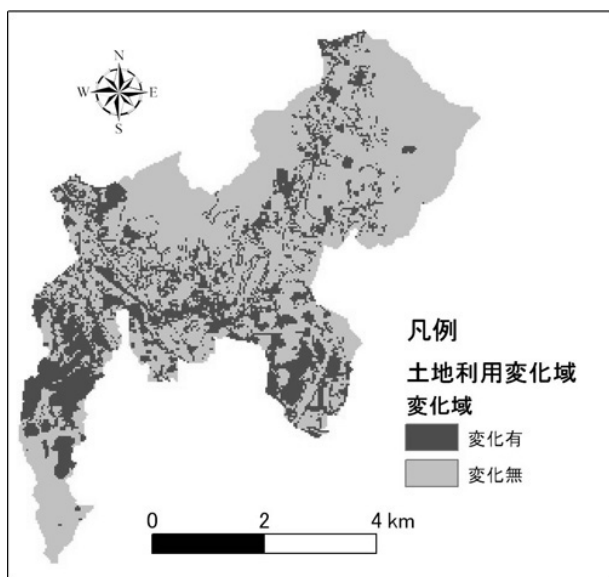


図5 土地利用変化域の分布

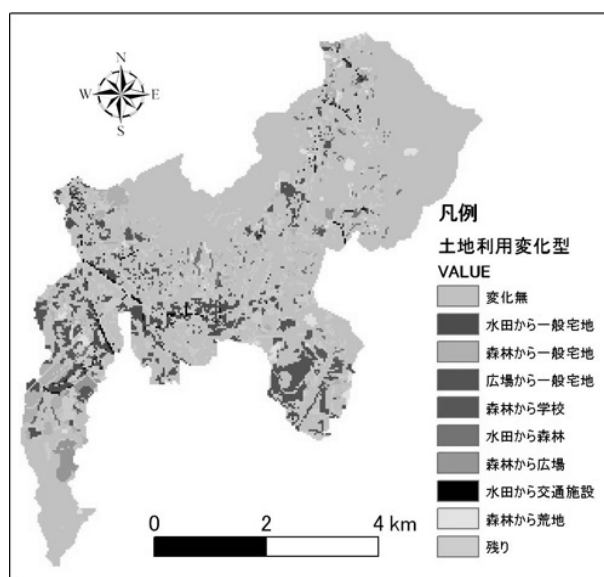


図6 土地利用変化型の分布



写真1 水田から一般宅地



写真4 森林から学校



写真2 森林から一般宅地



写真5 水田から森林



写真3 広場から一般宅地



写真6 森林から広場



写真7 水田から交通施設



写真8 森林から荒地

田である。⑧は市中央部を除く市域全体に分散している。写真8は市西部にある建物に囲まれた造成地の景観だが、そこは森林から変化した。そこは宅地用の造成が最近為され、建築前の状態のため荒地になっている。

2. 反射率の変化域

後出の資料4の3)のb1の事例(図7)を示し、反射率差分の区分方法を補足する。GISでは反射率差分の平均や標準偏差の値とともにヒストグラムを確認できる。平均に近い値は土地利用の変化がなく、平均から離れる値は土地利用の変化を意味すると解釈する。その目安に標準偏差を利用した。ここではb1の $\pm 1/2$ 標準偏差を基準に3区分し、それぞれ0点、3点、6点とした。

資料4の5)の解釈方法に関し(図8)で補足する。ndvi差分を1点、2点、3点に分類する。b1, b5, b7差分を0点、3点、6点に分類する。次に両者をGISでオーバーレイ(加算)すると、地表を1～9点に区分できる。一方、図5から変化無域を0、変化域を1として2区分するデータを用

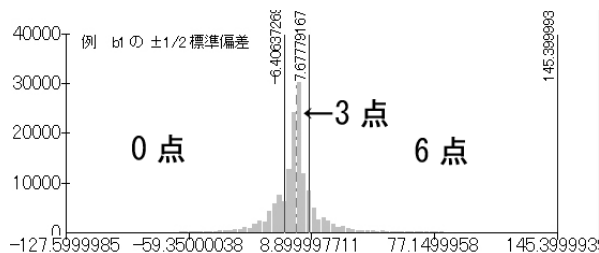


図7 標準偏差による区分イメージ

重ね合せ計算		b1,b5,b7			
		より低い	標準偏差内	より高い	
		0	3	6	
ndvi	より低い	1	2	3	
	標準偏差内	2	5	8	
	より高い	3	6	9	
		↓			
		比較			標準偏差
		↓			$\pm 1/4$
土地利用分析		0	7		$\pm 1/2$
		変化無	変化		$\pm 3/4$
		←1変化100%			0変化無100%→
変化地域の抽出が良くできていれば、グラフ形状は右のようになるはず。		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
＊多少の誤差があるとして。		8			
		9			

図8 オーバーレイ法の考え方と評価

意する。この2区分データと9区分データをクロス集計するが、予想として1, 3, 7, 9点域は土地利用の変化域を最もよく表し、5点域は変化無域を最もよく表し、2, 4, 6, 8点域は両者の中間的な場所を示すと予想される。

図9は $\pm 1/2$ 標準偏差で区分したndvi差分とb1, b5, b7差分のオーバーレイ評価を示す。縦軸は点数で、横軸はその点域における土地利用の変化と変化無の割合である。1, 3, 7, 9点域は変化域を最もよく表し、5点域は変化無域を最もよく把握しており、図8の予想通りである。中でもb1差分は変化の有無が最も明瞭に区分され、b5差分は不明瞭である。次にndvi差分とb1差分のオーバーレイを工夫した。

図10は $\pm 1/2$ 標準偏差で区分したndvi差分と $\pm 1/4$ および $\pm 3/4$ 標準偏差で区分したb1差分とのオーバーレイ評価を示す。 $\pm 1/4$ 標準偏差のb1差分を用いると、 $\pm 1/2$ 標準偏差の場合より変化無域を多く把握してしまう。ところが、 $\pm 3/4$ 標準偏差のb1差分を用いると、 $\pm 1/2$ 標準偏差の場合より、5点域の変化無域の割合はあまり変化せず、1, 3, 7, 9点域は変化域をより多く把握している。

まとめると標準偏差で区分したndvi差分と各バンド差分をクロス集計した結果、ndvi差分とb1差分の組合せがより変化域全体を把握しやすく、中でも $\pm 1/2$ 標準偏差で区分したndvi差分と $\pm 3/4$ 標準偏差で区分したb1差分の組み合わせが変化域と変化無域の区分をよくできた。図11にそのオーバーレイ画像を示す。

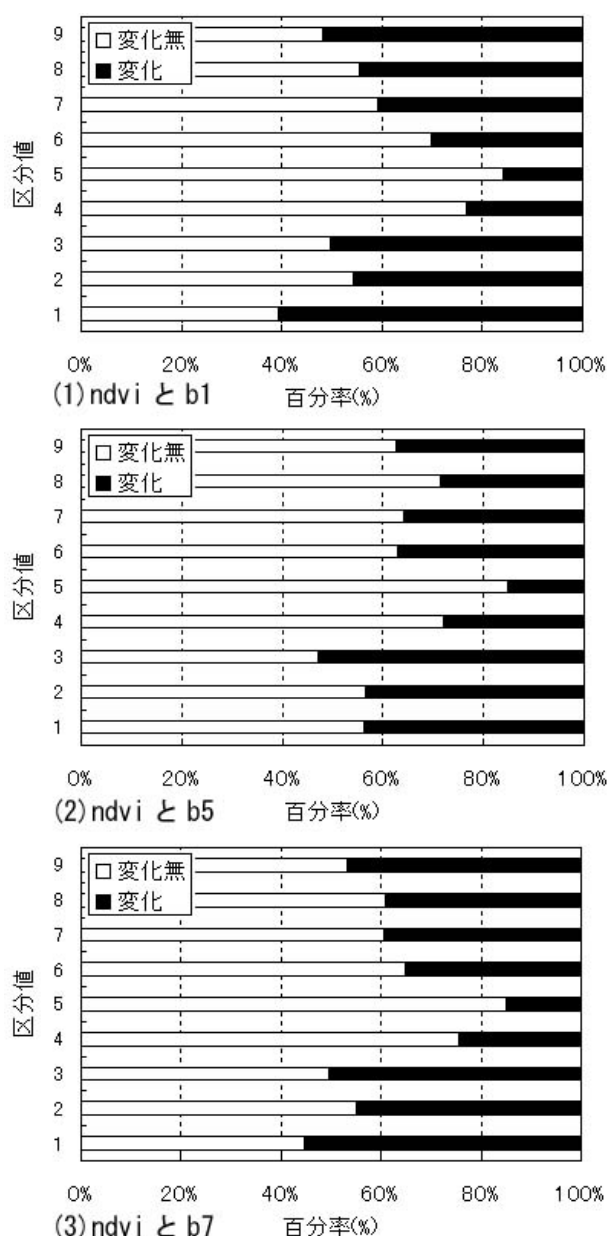


図9 ndvi 差分と各バンド差分のオーバーレイ評価

V. 考察

これまで地表の変化は、衛星データを最尤法分類しその結果間の差分で議論されることが多い。しかし近年、各種目的から2時期の衛星差分データを用いた地表の分類が試みられた。たとえば土地被覆区分⁷⁾、地震災害範囲認定⁸⁾、火山災害の回復過程⁹⁾などである。本研究では、ある特定の土地利用空間に、衛星データの反射率の変化が明瞭であることを示した上で、衛星の反射率差分から土地利用の変化域を区分するオーバーレイ法の案を示した。そこで、その手法の有用性について若干の考察を行う。

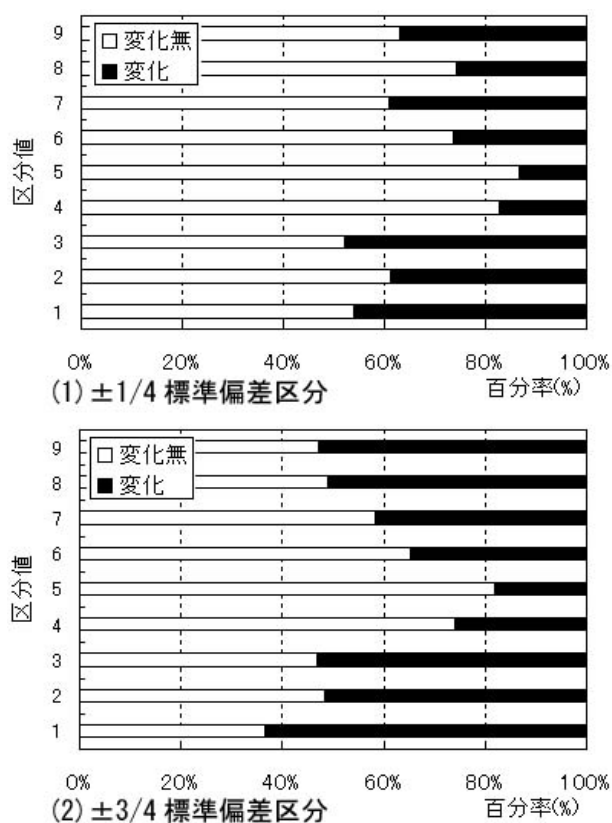


図10 異なる標準偏差の基準による評価

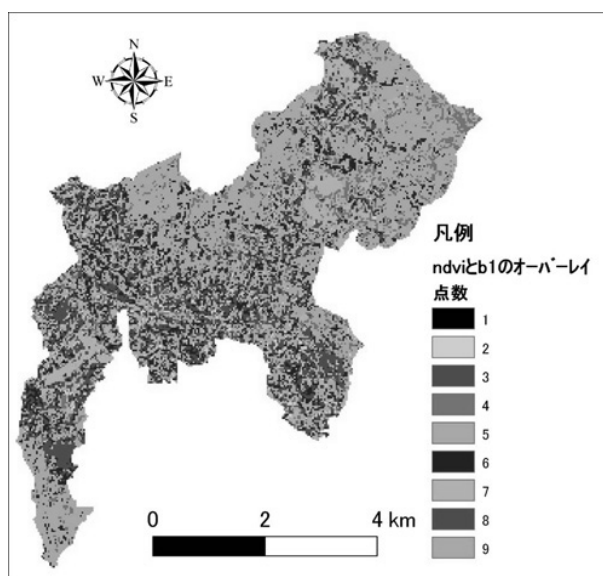


図11 オーバーレイによる9区分

1. 反射率変化域の土地利用変化

図6と図11をオーバーレイし、1～9点域の土地利用変化型を求めた(表8, 表9)。表8はオーバーレイの点域に対する土地利用変化型の、表9は土地利用変化型に対するオーバーレイの点域の面積割合を示した。

表 8 では 1, 2, 3, 8, 9 点で変化域が 50% を超え, それらの点域に土地利用変化域を多く含む。4, 5, 6 点で変化無域が 60% を超え, その点域に変化無域を多く含む。これらは $\pm 1/2$ 標準偏差内の ndvi 差分をもつ地域である。変化型①は 1, 2, 3, 7, 8, 9 点域のそれぞれに 10% 近く含まれる。特に 2 点域で多く把握された。変化型②は 1, 2, 3, 7 点域のそれぞれに 7% 近く含まれる。特に 3 点域で多く把握された。変化型③は 2 点域で 11% も含まれる。次に 1, 3 点域で 7% 近く含まれる。変化型④は 9 点域で 17% も含まれる。次いで 8 点域で 5% なので, 9 点域で把握された面積の多さが際立つ。変化型⑤は全点域で 2% 以下である。面積が少なく, どの点域で把握率が高いかの判断が難しい。変化型⑥は 9 点域で 7.5% もある。その際立つ点で変化型④と共通する。変化型⑦は 8 点域の 2.6% が最大である。変化型⑧は 1, 7 点域の 3.3% が最大である。これらのことから変化型①, ②, ③は 1, 2, 3 点域で, 変化型①はさらに 7, 8, 9 点域でも, 変化型②はさらに 7 点域で, 変化型④と⑥は 9 点域で, 変化型⑦は 8 点域で, 変化型⑧は 1, 7 点域で多く捉えられたことになる。

表 9 ではヒストグラム中央付近の値を持つ 5 点域を除外して考える。3, 6 点域が最も広く土地利用の変化域を捉えている。これらは b1 が $+3/4$

標準偏差以下の地域にあたる。次に 4, 7 点域が広く土地利用の変化域を捉えている。各変化型を広く (10% 以上) を捉えた点域を見る。変化型①と②は 3, 6, 7 点域, 変化型③は 3, 6 点域, 変化型④は 3, 6, 8 点域, 変化型⑤は 4, 3, 7 点域, 変化型⑥は 3, 6, 7 点域, 変化型⑦は 7, 6, 3, 4 点域, 変化型⑧は 7, 3, 6, 4 点域である。森林が変化した変化型④, ⑥は 3 点域にその 40-50% の範囲が含まれている。

以上のように, 衛星データのオーバーレイによる点域は, それぞれ特定の土地利用変化型との対応が良い。しかし, 各点域には複数の土地利用変化型が共存する。逆に各土地利用変化型は, それぞれ特定の点域との対応は良いが, 各変化型は複数の点域で把握されている。したがって, 反射率差分のオーバーレイにより, 土地利用の変化域を良く把握できるが, その変化型と点域との個々の対応付けは難しい。

2. 差分データの最尤法分類

ArcView9.1 のリモートセンシング画像解析用エクステンション Image Analysis を用いて, 複数の反射率差分の組み合わせに対し, 最尤法分類を行い図 11 と比較する。あらかじめ図 6 から土地利用変化の教師データを作成した。ndvi 差分と b1 差分, ndvi 差分と b1 差分と b7 差分をコンポジットバ

表 8 9 区分に対する土地利用変化型

		オーバーレイ解析結果								
土地利用変化型		1	2	3	4	5	6	7	8	9
⑩	変化無域	36.7	48.4	46.7	74.1	81.9	65.3	58.2	49.1	47.2
①	水田から一般宅地	1.0	11.5	8.5	4.2	3.2	5.5	8.6	1.0	8.5
②	森林から一般宅地	6.7	7.2	7.6	2.9	1.8	4.5	7	3.7	3.8
③	広場から一般宅地	6.7	11.5	7.6	2	2.8	5.8	2.2	4.4	2.8
④	森林から学校	3.3	2	2.4	0.1	0.2	0.7	0.8	5.1	1.2
⑤	水田から森林	0	0.6	1.3	1.8	1	0.7	2	1.7	1.9
⑥	森林から広場	0	0.7	4.2	0.5	0.2	1.1	1.4	2.9	7.5
⑦	水田から交通施設	0	1	1	1	0.6	1	1.8	2.6	0
⑧	森林から荒地	3.3	1.1	1.6	1.7	1	1.3	3.3	1.1	0
⑨	その他	39.3	16	19.2	11.7	7.4	14.1	14.5	9.5	11.3
合計		100	100	100	100	100	100	100	100	100
変化無域			2.5% < ≤ 5%		5% < ≤ 10%			10% <		

表 9 土地利用変化型に対する 9 区分

		オーバーレイ解析結果									
土地利用変化型		1	2	3	4	5	6	7	8	9	合計
⑩	変化無域	0	1.5	8.4	10.8	56.6	14	7.1	1.4	0.2	100
①	水田から一般宅地	0.2	4.9	21.2	8.4	30.1	16.4	14.5	3.9	0.5	100
②	森林から一般宅地	0.2	4.2	26.4	8.2	23.5	18.7	16.5	2	0.3	100
③	広場から一般宅地	0.2	6.1	24.5	5.2	34.4	22.4	4.8	2.3	0.2	100
④	森林から学校	0.4	5.5	35.8	2	9.8	14.5	9	12.9	7.1	100
⑤	水田から森林	0	1	14.6	15.4	41.5	9.7	14.4	2.9	0.5	100
⑥	森林から広場	0	1.4	49.3	4.8	11	14.6	11.3	5.4	2.3	100
⑦	水田から交通施設	0	2.4	14.2	11.8	31.5	17	17.3	5.9	0	100
⑧	森林から荒地	0.2	1.8	14.5	12.7	34.7	13.8	20.7	1.6	0	100
⑨	その他	0.3	3	21.4	10.5	31.6	18.6	10.9	3.4	0.3	100
	変化無域		10% <	≤ 20%		20% <	≤ 30%		30% <		

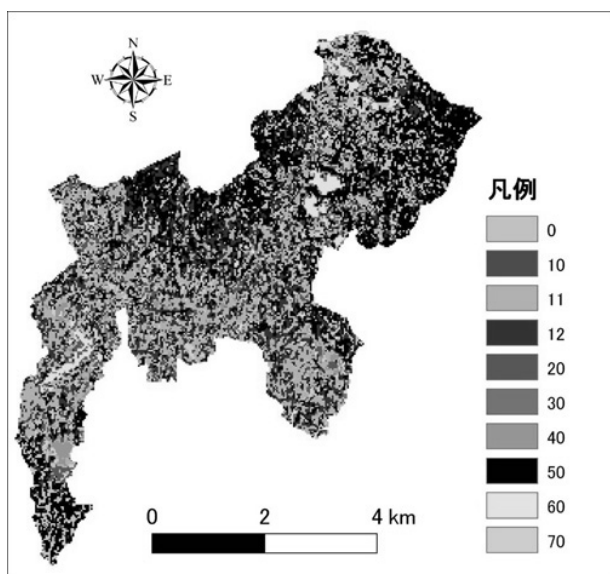


図 12 ndvi, b1 差分による最尤法分類

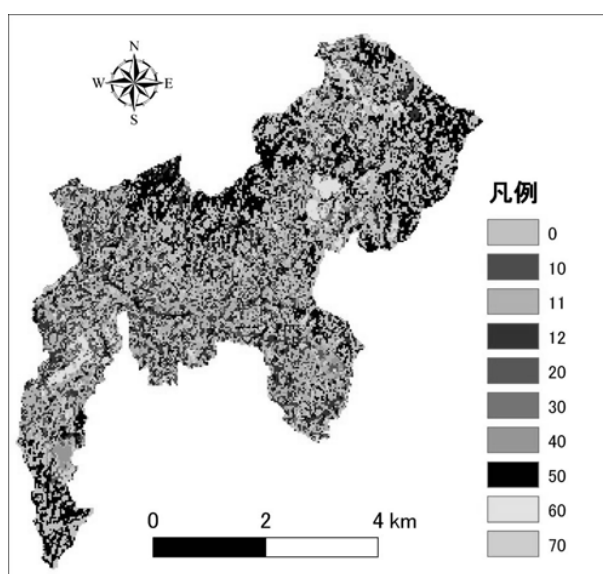


図 13 ndvi, b1, b7 差分による最尤法分類

ンドとし、両組を教師データに基づく最尤法分類した。結果を図12と図13に示す。図12では、②森林から一般宅地、④森林から学校、⑥森林から広場、⑦水田から交通施設はある程度把握できたが誤分類も多い。また①水田から一般宅地、③広場から一般宅地、⑤水田から森林、⑧森林から荒地、変化無はあまり把握できていない。一方、図13では②森林から一般宅地、④森林から学校、⑥森林から広場、⑦水田から交通施設、変化無をある程度把握でき図12より誤分類が少ない。図11は両図に比較して変化無を多く把握できたが、土地利用の変化した地域では変化型が混在する区分にとどまっている。

まとめると、最尤法分類では適切にバンド差分を組み合わせると、土地利用変化型の分類は可能だが、変化無域での誤分類が多い問題を持つ。

IV. まとめ

本研究では衛星の反射率差分から土地利用変化を把握できるか否かを検討した。その結果は次の5点にまとめられる。

- 1) 反射率差分の中央値や標準偏差の変化が特定の土地利用区分で顕著に見られることは、反射率差分から土地利用の変化域を絞り込めることを意味する。
- 2) 反射率差分の標準偏差に着目したオーバーレイで、土地利用の変化域を絞り込める。
- 3) 土地利用の変化域はndvi差分とb1差分の組み合わせで最もよく絞り込める。
- 4) 反射率差分のオーバーレイによる点域は、特定の土地利用変化型を多く捉えられるが、両者

の区分は多対多の対応関係を持つ。

- 5) 土地利用の変化データは、衛星の反射率差分による土地利用変化分類の教師データにできる。

- 6) 適切なバンドの反射率差分を組み合わせると、最尤法で土地利用変化の分類はある程度可能だが、変化無域での誤分類が多い。

地表の反射率を捉える衛星データはこれまで土地被覆区分のみでなく、土地被覆を鍵に低地の地形区分にも使用できることが示されてきた。たとえば大倉ほか(1989)¹⁰⁾ではタイ中央平原で洪水被害予測が可能な地形区分を行った。また、小川ほか(2006)⁷⁾ではその差分から平野の地形と関連深い土地利用区分を行った。しかし、まだ山地・丘陵地に対して、衛星の反射率差分による地形区分に関する検討はないため、今後、斜面災害予測を目指した衛星の反射率データ解析方法をさらに検討する予定である。

謝辞

本研究には、平成16年度科学研究費補助金(基盤研究(C))；課題番号16500653「衛星データによる土地被覆の季節的变化と経年的変化の比較研究」(研究代表者 磯望)および、平成18年度科学研究費補助金(基盤研究(C))；課題番号18500780「人工衛星データによる斜面特性の評価の詳細研究」(研究代表者 黒木貴一)の一部を利用した。

参考文献

- 1) 長澤良太(2002):リモートセンシングによる土地資源評価-東南アジアの土地利用-, 古今書院,

132p.

- 2) 長谷川均(2001): リモートセンシングデータ解析の基礎. 古今書院, 140p.
- 3) 西木真織・磯望・後藤健介・黒木貴一(2006): LANDSATデータによる北部九州の地表の季節変動. 日本第四紀学会講演要旨集, 36, 196-197.
- 4) 後藤健介・黒木貴一・磯望・宗建郎(2005): GISを用いた土地利用区分から見た衛星データ反射率特性の微細研究. 2005年春季学術大会日本地理学会発表要旨集, 67, 247p.
- 5) 黒木貴一・磯望・後藤健介 (2006): GISによる2万5千分の1地形図からの詳細土地利用データ作成とその利用. 福岡教育大学紀要, 第55号, 第2分冊, 39-48.
- 6) 太宰府市文化ふれあい館(2002): 太宰府-人と自然の風景. 79p.
- 7) 小川茂男・力丸厚・中西芳彦(2006): 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. 地形, 27-2, 221-233.
- 8) 細川直史・座間信作(1998): 地震被害地域抽出のための衛星データ分類手法の比較. 消防研究所報告, 85, 10-21.
- 9) 黒木貴一・磯望・後藤健介・宗達郎(2005): 衛星データとGISによる雲仙火砕流被災地およびその周辺の環境変化解析. 地形, 26, 298-299.
- 10) 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・ランブン シムキン・ラサミー スワウィラカムトン(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, 83, 1-25.

添付資料

資料1 四角ポリゴンを利用した幾何補正

- 1) Esri社提供 (http://www.esri.com/support/arcgis_desktop/downloads.shtml)の2次メッシュポリゴンを用いて, 数値地図25000(地図画像)を幾何補正する。
- 2) OM-SATにより切り出された緯経度範囲のポリゴンのshapeファイルを作成する。このとき, ArcCatalogでGCS Tokyo座標系のポリゴン用shapeファイルを作っておき, それをエディタ→編集の開始→フィーチャの修正→ポリゴン選択→スケッチプロパティ→数値の修正→スケッチ終了→選択解除→編集の保存→編集の終了と作業を進め, 所定の四角ポリゴン形状とする。
- 3) ArcMapを開き, 四角ポリゴンをレイヤーと

して追加する。

- 4) 任意バンドのtiffファイル画像をArcMap上に追加する。
- 5) tiffファイル画像の四隅を四角ポリゴン四隅に合わせ幾何補正し, 30mのグリッドデータとする。幾何補正作業時は拡大率1:10以上を目安とする。
- 6) 幾何補正した数値地図画像をレイヤーとして追加し, グリッドデータと数値地図画像との位置関係を比較し, 東西南北端線を目安にグリッドデータの緯経度のずれを秒単位で把握する。
- 7) 四角ポリゴンの緯経度ずれを2)の作業で修正する。
- 8) 四角ポリゴンの投影法をArcToolboxで平面直角座標系Ⅱ系に変換する。
- 9) 四角ポリゴンを用いて, 7バンドすべての幾何補正を実施する。

資料2 ArcView内のファイルによる幾何補正作業

- 1) Esri社提供 (http://www.esri.com/support/arcgis_desktop/downloads.shtml)の2次メッシュポリゴンを用いて, 数値地図25000(地図画像)を幾何補正する。
- 2) ArcMapのレイヤの投影法を平面直角座標系Ⅱ系とし, そこに幾何補正した数値地図画像を追加する。
- 3) 水域の明瞭なバンド4を用い, 4つ以上のGCP(コントロールポイント)のトータルRMSエラーが10m以下になるように調整し幾何補正する。その結果ArcView内のファイルに, バンド4のtiffに対する座標や投影法を定める拡張子tfwとauxファイルができる。
- 4) そのtfwファイルを元に, 残り6バンドに対する6つのtfwファイルを複写し, 対応名称を付ける。
- 5) Spatial Analystのオプションの作業ディレクトリ設定→解析時の座標系の設定(アクティブデータフレームと同じ座標系)→セルサイズ30mの設定を行う。
- 6) ラスタ演算でウィンドウにファイル名を追加し, 評価ボタンを押す。計算結果は適切なファイル名を付けて保存する。

資料3 土地利用変化型の区分方法

- 1) 98土地利用データを, 一般宅地を0, 学校を4, 森林を8, 広場を12, 交通施設を16, 荒地を20, 残りを24に再分類し, ファイル1とする。

- 2) 75土地利用データを、水田を1、森林を2、広場を3、残りを4に再分類し、ファイル2とする。
- 3) ファイル1とファイル2をGrid演算で足し、さらに、①水田から一般宅地は10、②森林から一般宅地は11、③広場から一般宅地は12、④森林から学校は20、⑤水田から森林は30、⑥森林から広場は40、⑦水田から交通施設は50、⑧森林から荒地は60、残りは70と再分類し、それをファイル3とする。
- 4) 98土地利用データから75土地利用データをGrid演算で引き、さらに、変化域を1、変化無域を0と再分類し、ファイル4とする。
- 5) ファイル3とファイル4をGrid演算で足し、さらに再分類を実施し、①水田から一般宅地は10、②森林から一般宅地は11、③広場から一般宅地は12、④森林から学校は20、⑤水田から森林は30、⑥森林から広場は40、⑦水田から交通施設は50、⑧森林から荒地は60、その他の変化域は70、変化無域を0とし、それをファイル5とする。

分3、区分Bと区分3をGrid演算で加算し反射率変化域を9区分する。

- 6) 資料3のファイル5と加算結果全てとをクロス集計する。

資料4 標準偏差を目安とする区分

- 1) 資料3で用意されたファイル4(土地利用の変化域1、変化無域0)とb1、b2、b5、b6、b7、ndviの差分データを濃淡表示画像で比較しndvi、b1、b5、b7がファイル4と比較的似ることを視覚的に確認する。
- 2) ndvi差分データのヒストグラムを分析しデータを3区分する。区分Aは平均値から $\pm 1/2$ 標準偏差内($-1/2$ 標準偏差より大きく $+1/2$ 標準偏差以下)を2、 $+1/2$ 標準偏差より大を3、 $-1/2$ 標準偏差以下を1とする。区分Bは、平均値から $\pm 3/4$ 標準偏差内($-3/4$ 標準偏差より大きく $+3/4$ 標準偏差以下)を2、 $+3/4$ 標準偏差より大を3、 $-3/4$ 標準偏差以下を1とする。
- 3) b1、b5、b7は、平均値から $\pm 1/2$ 標準偏差内($-1/2$ 標準偏差より大きく $+1/2$ 標準偏差以下)を3、 $+1/2$ 標準偏差より大を6、 $-1/2$ 標準偏差以下を0とする区分1を行う。
- 4) またb1は、平均値から $\pm 1/4$ 標準偏差内($-1/4$ 標準偏差より大きく $+1/4$ 標準偏差以下)を3、 $+1/4$ 標準偏差より大を6、 $-1/4$ 標準偏差以下を0とする区分2と、平均値から $\pm 3/4$ 標準偏差内($-3/4$ 標準偏差より大きく $+3/4$ 標準偏差以下)を3、 $+3/4$ 標準偏差より大を6、 $-3/4$ 標準偏差以下を0とする区分3を用意した。
- 5) 区分Aと区分1、区分Aと区分2、区分Aと区