

衛星リモートセンシングを用いた新潟市の土地利用モニタリング

岡島 遙¹・阿部信行^{1*}

(平成17年6月29日受付)

要約

衛星画像による土地利用モニタリングが新潟市の都市計画に有効であるかどうかを、1984年及び2001年、の Landsat 衛星 TM5号データを使用して検証した。解析は差画像作成、教師つき分類の2手法を用いて行った。差画像は近赤外域及び NDVI (の2種類の値から作成し、現地調査により精度を求めた。結果、植生域の変化抽出には NDVI 差画像が効果的であり、植生以外の変化抽出には近赤外域差画像が効果的である、ということがわかった。

差画像では、近赤外域差画像と NDVI 差画像から変化箇所とともに無変化箇所も大まかに把握することができた。教師つき分類は1984年、2001年それぞれで行い、分類精度を求めた。分類精度は両年とも高かった。

以上2手法の結果から、衛星データを用いた土地利用モニタリングの有効性を検証した。

新大農研報, 58(1):63-70, 2005

キーワード：土地被覆抽出、衛星リモートセンシング、LANDSAT/TM、差画像、教師つき分類

新潟市は、2005年3月に周辺12市町村と、10月に巻町と合併し、政令指定都市を目指した新・新潟市が誕生する。新市の都市計画目標のひとつに「田園型政令指定都市」(新潟市¹ 2004)があり、政令都市性と田園都市性とを兼ね備えたものだという。このような都市計画においては、農地、湖沼、森林などと都市域とのバランスを大事にした開発が求められ、そのためには広範な視野と長期的な観測が必要になってくる。これに対し、衛星リモートセンシングでは広範な地域の情報を短期間かつ継続的に収集でき、新・新潟市の都市計画に対し有効であると考えられる。

本研究では、新たに新潟市になる地域全体の衛星画像を用いて、衛星画像による土地利用モニタリングが新潟市における都市計画に有効であるか、どのように役立てられるか、を検証する。具体的には、2時点の衛星画像を使用して、この間の土地利用変化の把握が可能かどうかを調べる。また2時点それぞれにおいて分類画像を作成し、新市域における土地利用の特徴および土地利用変化の把握を行う。



図-1 解析対象地

解析条件

1. 調査及び解析対象地

解析対象地は、2005年3月21日に合併予定の13市町村(新潟市、豊栄市、横越町、亀田町、新潟市、小須戸町、白根市、味方村、月潟村、湯東村、中之口村、西川町、岩室村)および2005年10月10日合併予定の巻町である(図-1)。

2. 使用データ及びソフト

使用した衛星データは米国のリモートセンシング衛星 Landsat/TM5号による1984年6月及び2001年6月撮影の新潟市画像(空中分解能28.5m×28.5m)である。フルシーンの大きさは約185km×170kmであるが、対象地である新市域で切り抜いて使用する。

また、国土地理院刊行 CD-ROM 版数値地図25000(地図画像)および課税対象面積値(統計値)(新潟市²2004)のデータを使用する。課税対象面積値データには、新市における課税対象地

別の面積が合併市町村ごとに記されている。課税対象地は分類されているが、非課税対象地面積は信用における数値ではないため一まとめになっている。実際は非課税対象地面積も全体の約三割を占めており無視するわけにはいかない。しかし水田面積に関しては、そのほとんどが課税対象地となっていることから信用できる数値として使用する。

なお、解析に使用するソフトウェアは、衛星データに関しては EARDASIMAGINE8.7、現地調査データに関しては ArcGIS である。

解析方法

1984年及び2001年の2時点で撮影された衛星画像を用い、幾

¹新潟大学農学部

*代表著者：tomiko@agr.niigata-u.ac.jp

何補正、対象地での切り抜きという前処理を行う。解析は差画像作成、教師つき分類という2手法を用いて、前処理後の画像を用いて行う。差画像は近赤外域及びNDVIの2種類の値から作成し、現地調査により精度を求める。また、教師つき分類は1984年、2001年それぞれで行い、2枚の分類画像を作成後、面積誤差率及び分類精度を求め、評価する。解析1及び2で変化域を抽出し、最終的に2手法の結果から衛星データを用いた土地利用モニタリングの新潟市都市計画における有効性を検証する。

解析1—差画像作成

解析1の差画像作成は、全域から特に変化のあった地域、変化がほとんど無かった地域のそれぞれを容易に抽出するために、2時点の画像の差を新たに画像化することで変化域を浮き上がらせる手法である。今回は2通りの解析を試みた。どちらも植生を基準に行う方法である。一つは、植物は近赤外域に反応が良く出ることからLANDSAT/TMの持つ7バンドのうちで近赤外域にあたるバンド4のみを取り出し、輝度値の差を求めて画像にする方法である。もう一つは、植生の解析に多く使用されているNDVIという植生指数を各年の画像で求め、それらの値の差を求めて画像にする方法である。

1.1 近赤外域差画像

植生は、太陽光の反射率が可視域で弱く、近赤外域で強く現れるという特徴をもつ。そこで、LANDSAT5号で最も植生の特徴が表れるバンド4の値を2時点間で引き算して差を得、得られた値を画像化することで変化箇所抽出を試みる。

1.2 NDVI 差画像

正規化植生指標であるNDVIは、Rouse *et al.* (1973) による提案後、大まかな植物状況を図る指標として広く利用されている。植物の葉に含まれるクロロフィル（可視域の赤の波長帯を強く吸収）と、葉の細胞構造（近赤外の波長帯を強く反射）、それぞれの光の反射・吸収特性を利用して、算出される指標であり、画素に対応する地表上の植被率が大きいほど値は大きく、また植物の活性の高まりなどによる葉の重なりが増大などによっても値は増加する。数式を示す。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

ここで、IRは近赤外（LANDSAT/TMではバンド3）、Rは赤外（LANDSAT/TMではバンド4）の反射率である。とりうる値の範囲は-1~1に正規化される。正規化することで場所、季節、大気効果等の観測条件の違いによる影響を小さくする。近赤外域差画像と同じく、このNDVIの値を2時点間で引き算して差を得、得られた値を画像化することで変化箇所抽出を試みた。

解析2—教師つき分類

分類は大きく分けて、教師つき分類と教師なし分類の2種類に分けられる。今回は、解析者に依存した方法である教師つき分類を行った。スペクトル的な特徴のみに着目した分類を行うのではなく、目で見て判断できるようなピクセルを意味のあるクラスに分類する方が今回は有効であると判断したためである。

教師つき分類には、大きく分けて2つのルールがある。Non-parametric Rule（統計情報以外で判断する場合の分類ルール）と、Parametric Rule（統計情報で判断する場合の分類ルール）である。今回はこれらを組み合わせ、未分類地域が出ないような設定で分類を行った。具体的には、はじめに多次元マルチレベルスライス法で分類し、分類できなかったピクセルは最尤法を用いて分類する経路をとった。

Non-parametric Rule (統計情報以外で判断する場合の分類ルール)	Parallelepiped
Overlap Rule (複数の分類結果がでる場合の分類ルール)	Parametric Rule
Unclassified Rule (未分類領域での分類ルール)	Parametric Rule
Parametric Rule (統計情報で判断する場合の分類ルール)	Maximum Likelihood

Parallelepipedとは多次元レベルスライス法である。多次元レベルスライス法では、候補ピクセルのデータ・ファイル値が、クラスの定義域を表す上限値・下限値と比較される。クラス母集団が多次元正規分布に従うか否かには依存しない。上限値・下限値は、今回は各トレーニングデータから得られたシグネチャにおける、各バンドの最小および最大データ・ファイル値で表される。

Maximum Likelihoodとは、最尤法である。最尤法は教師つき分類では最もよく使われる分類方法である。

現地調査

現地調査は、解析1の精度評価および解析2のトレーニングエリア取得のために行う。調査対象地は、解析対象地と同じく、合併予定14市町村全域である。解析1で衛星画像から抽出した変化地、無変化地のうち特徴的な点へ行き、位置確認、写真撮影を行う。

位置確認はTrimble社のDGPS（Differential GPS）受信機を用いる。また、画像上での土地区分を明確にするためデジタルカメラで写真撮影を行う。

精度の表し方

1. 面積誤差率

分類した土地利用と同じ区分での実測値があれば、分類によって求めた面積と実測値とから分類画像の面積の誤差率を求めることができる。今回は、新潟市の課税対象土地区分面積データを用いる。市などの所持する面積データは、課税対象となるところ以外は正確な数値でないため、公表はされない。しかし水田のみは、存在する水田のほぼ全部が課税対象となっている、と言ってよい。そこで、分類で算出した水田面積のみ、誤差率を求める。

誤差率算出方法は、以下のとおりである。

$$(\text{誤差率}) (\%) = (\text{真値と推定値の差}) / (\text{真値}) * 100$$

2. 分類精度検定

分類精度検定には、いくつかの方法がある。それぞれの検定で明らかになる精度も異なってくる。

分類評価には、以下の二つの方法があげられる。

- ・閾値処理：分類画像から誤分類されたピクセルを除去する方法。
- ・精度評価：分類結果をグランド・トゥルース・データと比較する方法。

Producer's accuracy：現地調査データの何%が分類結果と一致したか

User's accuracy：分類結果のうち何%が正しく分類されたか

Overall Classification accuracy：総合分類精度
今回は、後者の方法を採用する。

精度評価には、Error matrix 表を用いる。対角成分の合計をサンプルの総数で除したものが、全体精度 (Overall accuracy) である。一方、行列の縦方向と横方向で、精度を出すことができる。縦方向で算出する精度を Producers Accuracy (誤差を計算して omission error と称することもある)、横方向で算出する精度を Users Accuracy (誤差を commission error と称することもある) と呼ぶ。前者は各クラスのトレーニングサンプルの精度を、後者は出力された分類画像における各クラスの信頼度を、表現したものである (Lillesand, M.Thomas & Kiefer, W.Ralph. 1994)。

より統計学的に洗練された分類精度の表現方法として、Kappa 係数 (KHAT) がある (Campbell, B.Hames, 2002)。Kappa 係数の算出にも、上述の判定効率表が使われる。Kappa 係数は、無作為な割り当てをどれだけ回避しているかを示すものである。全体精度と同様に値が高いほど高精度を意味するが、全体精度とは異なり、列の総和、行の総和を考慮しているため、より包括的な表現を実現している。

結果と考察

解析 1 - 差画像作成

赤外線、NDVI とともに2001年の輝度値から1984年の輝度値を引いた。そのため、輝度値の変化が無いまたは少ない場合は限りなく0に近く、誤差も考慮して0近辺は変化の無いものとして色で分けることはしなかった。

近赤外線バンドにおいては、バンド4の値のみをそのまま用いて差し引いた。17年間で輝度値が減少している場合、すなわち1984年の方が高い値の場合は差を-で示し、図-2に赤で示した。逆に輝度値が増加している場合は差を+で示し、図-2では緑で示した。色分けのクラスは+-両方に4段階、変化なしは白1段階で、それぞれは変化域に含まれると思われた段階から+-両方に向かって、頻度によって割り振った。

NDVI 画像においては、2時点それぞれの画像から各年のNDVIを求め、それらを差し引いた。NDVIは先述したとおり、値は-1~+1の範囲で植生活性が高い場合は+、低い場合は-

-を示す。このことから、2001年のNDVIの方が低い、すなわち植生活性が弱まった場合は差を-で示し、図-3では赤で示した。逆に2001年のNDVIの方が高い、すなわち植生活性が高まった場合は差を+で示し、図-3では緑で示した。色分けのクラスは近赤外線同様、+-両方に4段階、変化なしは白1段階で、それぞれは変化域に含まれると思われた段階から+-両方に向かって、頻度によって割り振った。

2枚の差画像のうちどちらか一方でも変化を示していたら変化地とし、現地調査を行った。現地調査と比較すると、近赤外線にはっきりと+として表れた変化は、そのほとんどが裸地または建造物であった。また、近赤外線とNDVIの両方において-として表れた変化は、新たに創出された水辺であった。一方、無変化地とした森林の差画像を見比べると、NDVIの方がより濃い緑、すなわち、より+の値を示していることがわかる。ここから、植生域にはNDVIの方が有効であると言える。

近赤外線差画像とNDVI差画像は、どちらも植生域の変化を抽出する目的で作成した。しかし結果を比較すると、同じように変化が表れている箇所もあるが全く逆の変化を示している箇所も少なからず見られる。近赤外線には植生だけでなく様々な物質の情報が反映されており、植生が増加していないにも関わらず差が+を示している箇所は、全バンドにおいて輝度値が上がったために近赤外線も上がったものと考えられる。

以上から、植生域の変化抽出にはNDVI差画像が効果的であり、植生以外の変化抽出には近赤外線差画像が効果的である、ということがわかった。図-4に、差画像として変化があった箇所を現地写真と共に示した。施設の建設や公園造成等がある。一方、無変化の例を図-5に示した。海岸林や住宅地など変化が少なかった箇所である。

解析 2 - 教師つき分類

教師つき分類の際に分類クラスの元となるトレーニングデータをより正確なものとするため、現地調査を行った。現地調査の結果および画像の目視による判読、空中写真、地図を元にAOI機能を用いてトレーニングデータを取得し、各年の画像において教師つき分類を行った。

近赤外線差画像とNDVI差画像から、変化箇所とともに無

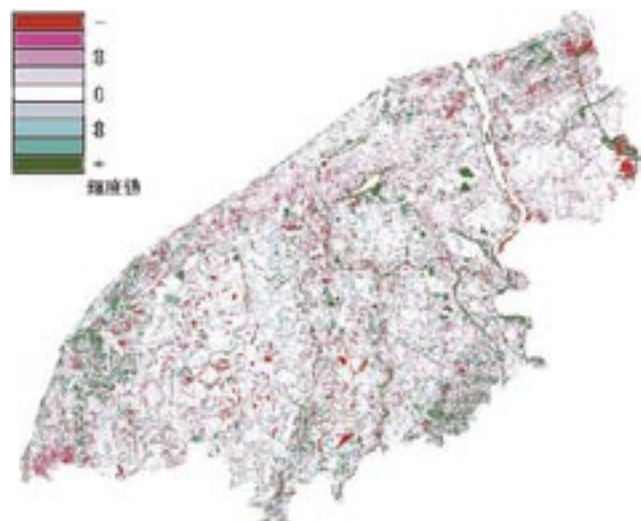


図-2 近赤外線差画像

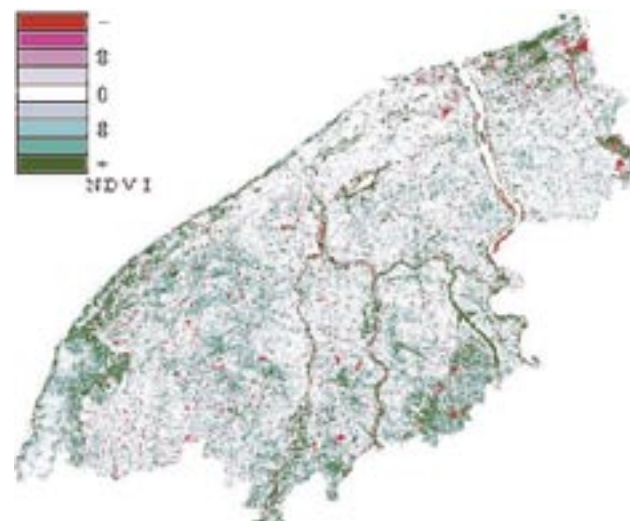


図-3 NDVI 差画像

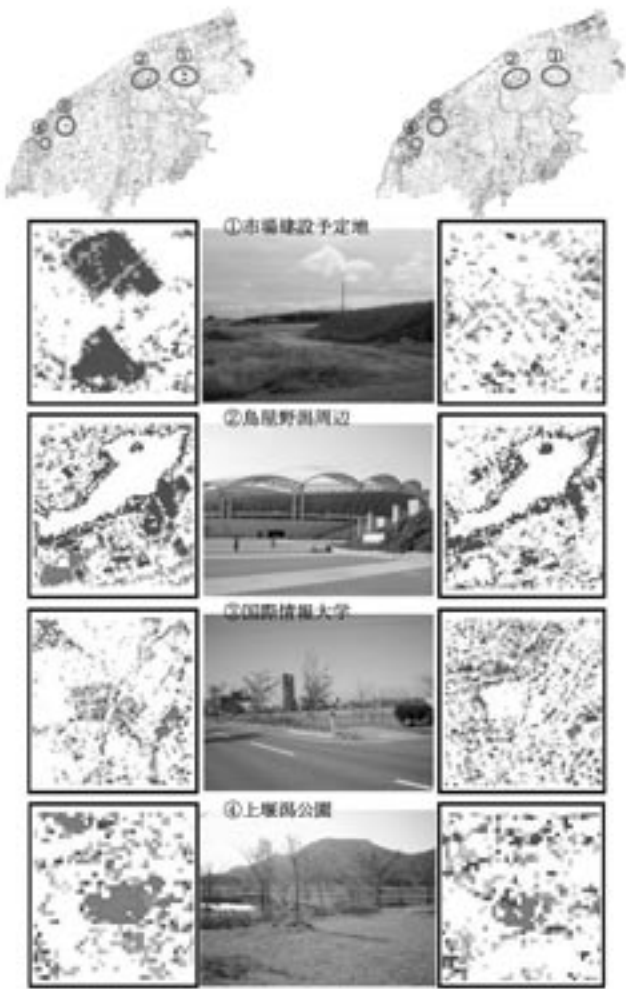


図-4 差画像変化地域 現地調査結果

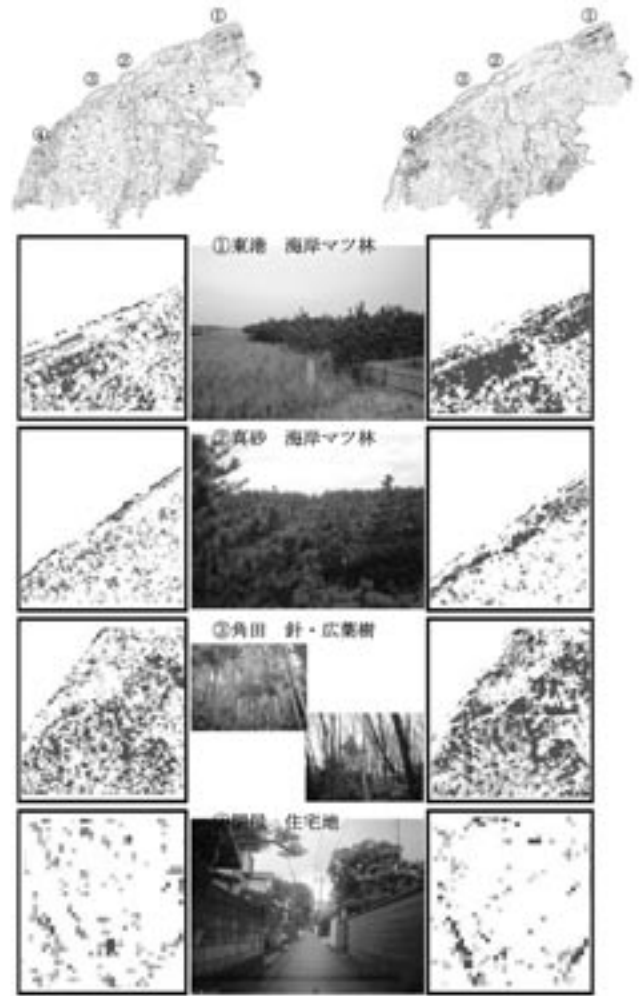


図-5 差画像無変化地域 現地調査結果

変化箇所も大まかに把握することができた。無変化箇所抽出結果を参考に得たトレーニングエリアを用いて、教師つき分類を行った。

2時点とも、針葉樹・広葉樹・緑地・水田・畑・水域・宅地・裸地の8種類に分類し、色付けをした。1984年の分類画像を図-6に、2001年の分類画像を図-7に示した。

分類画像から、2時点とも新潟市を中心として放射状に都市域が広がり、その間に水田が広がっていることがわかった。この放射状の形態は道路網と深くつながりがあると考えられる。また、特に新潟市西側から巻町にかけての地域に畑が広がり、新津市から小須戸町、巻町から岩室村の各地域を中心に森林が広がっている。

新市域全体の画像と地目別の面積比較より、水田部に宅地が進出することで水田が縮小し都市域(宅地)が拡大している。また高速道路ができたことで、その周辺に宅地が進出している。裸地は都市域の広大な駐車場なども含むが、2001年では宅地の間などに散在している。

市町村別に見ても、各市町村の都市域は拡大しており、逆に水田が縮小している。また、海岸や山間部、水田の周辺に針葉

樹が増加、あるいは活性化している。

分類画像における土地区分面積のグラフからも、水田が減少し宅地が増大していると言える。このように減少してもなお水田が面積の3割以上を占めていることは、新潟の土地利用が他の都市と異なる特徴的な点と言える。

面積誤差率による評価

1984年は黒崎市との合併前、2001年は合併後のデータであるため、分類画像も分類後にそれぞれを対象地でさらに切り抜き、面積を算出した。各年の分類画像における水田面積と課税対象水田面積の2視点から、誤差率は1984年が5.05%、2001年が3.29%であった(表-1)。

分類画像と課税対象水田面積との比較による誤差率から、分類画像において水田はよく分類できていると言える。水田は土壌の上に水を張っているという独特の様相から、他と区別しやすく、正確に分類できたものと考えられる。

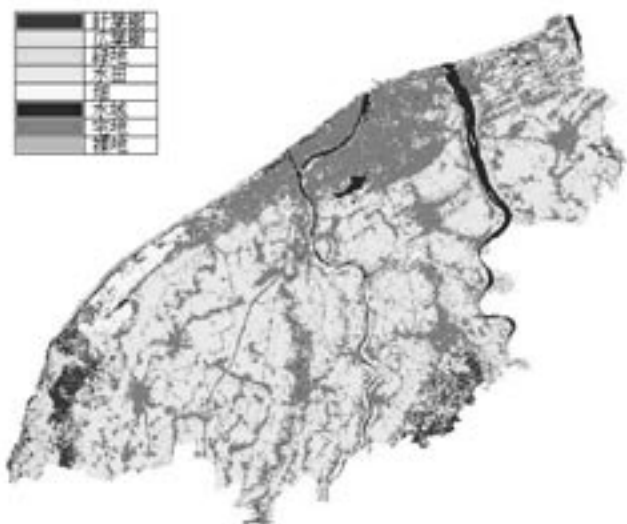


図-6 1984年 教師つき分類

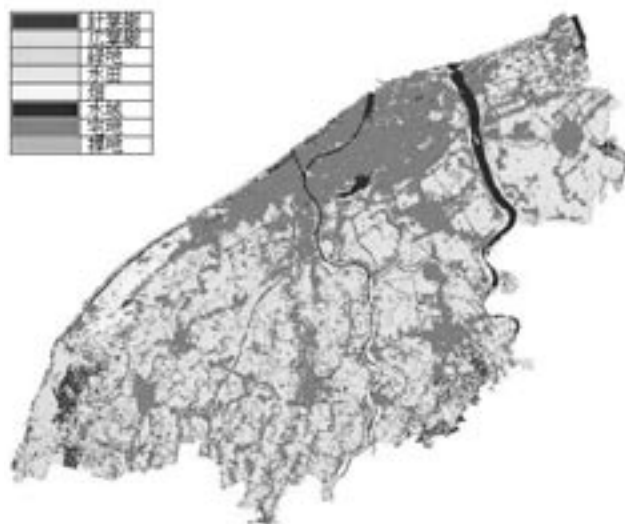


図-7 2001年 教師つき分類

表1 分類画像における水田面積の課税対象水田面積に対する誤差率

年次		(ha)	誤差率
1984年	教師つき分類	5891.71	5.05%
	課税対象水田面積	5608.6	
2001年	教師つき分類	5811.12	3.29%
	課税対象水田面積	6009.0	

表2 1984年画像教師つき分類におけるトレーニングエリアからの分類制度評価

Class	分類クラス									Producer's accuracy
	針葉樹	広葉樹	緑地	水田	畑	裸地	宅地	水域	総数	
針葉樹	278	0	0	5	0	0	0	5	288	97%
参照	広葉樹	101	99	0	0	0	0	0	200	50%
ク	緑地	0	0	32	0	0	0	0	32	100%
ラ	水田	0	0	2	2367	2	1	0	2375	100%
ス	畑	8	3	60	6	626	3	17	726	86%
	裸地	0	0	0	0	9	173	8	190	91%
	宅地	1	1	1	1	3	3	935	946	99%
	水域	0	0	0	0	0	1	0	1025	100%
	総数	388	103	95	2379	640	181	960	5783	
User's accuracy	72%	96%	34%	99%	98%	96%	97%	99%		
Overall accuracy	96%			KHAT 0.943057269						

表3 2001年画像教師つき分類におけるトレーニングエリアからの分類制度評価

Class	分類クラス									Producer's accuracy		
	針葉樹	広葉樹	緑地	水田	畑	裸地	宅地	水域	総数			
針葉樹	1402	28	1	44	0	0	6	3	1484	94%		
参照	広葉樹	52	1048	0	0	0	0	0	1100	95%		
ク	緑地	0	0	19	0	0	0	0	19	100%		
ラ	水田	1	0	0	3240	0	2	1	3246	100%		
ス	畑	27	8	4	17	277	1	33	368	75%		
	裸地	1	0	0	1	0	142	14	158	90%		
	宅地	0	0	0	14	1	2	2334	2351	99%		
	水域	0	0	0	0	0	0	0	1028	1028	100%	
	総数	1483	1084	24	3316	278	147	2388	1034	9754		
User's accuracy	95%	97%	79%	98%	100%	97%	98%	99%				
Overall accuracy	97%			KHAT 0.965286610								

分類画像の精度評価

Producers Accuracy は、1984年では広葉樹が50%と低いが、他は86から100%と高い値を示した（表-2）。2001年では畑が75%で最も低く、他は90から100%と高い値を示した（表-3）。

Users Accuracy は、1984年では緑地が極端に低く34%、針葉樹が72%、他は96から99%であった。2001年では緑地が79%、他は95から100%であった。

緑地は、1984年・2001年ともに存在していた新潟ゴルフクラブおよび新津カントリークラブからトレーニングエリアを取得した。このため広範囲に取得できず、また周辺の針葉樹・広葉樹と混ざってしまい分類がうまくいかなかったものと考えられる。

畑は、砂地の畑も土の畑も果樹園もすべて畑とした。また、畑はその時に育てている植物によって輝度値が変わる。以上の点から、分類が難しかったと考えられる。

Overall Classification Accuracy は、2時点とも97%、96%であった。Producers Accuracy、Users Accuracy では一部の分類結果があまり思わしくなかったが、全体的には両年とも精度良く分類できたと言える。

まとめ

1984年と2001年の LANDSAT/TM5号画像を用いて、近赤外域と NDVI のそれぞれで差画像を作成した。ここから植生域とその他から変化・無変化地域を読み取り、トレーニングエリアを作成して2時点それぞれで教師つき分類を行った。

各市町村とも、1984年・2001年ともに宅地周辺に水田・畑という構造が見られる。都市域の周辺に水田・畑が広がっていることは、都市住民にとっても郊外住民にとっても、住みよい都市環境形態であると考えられる。このような都市域と水田域の

好配置は、渡り鳥や動植物にとっても生息地を分断しないということから大切な条件である。このように、都市部と農村部のバランスのよい位置関係は新潟特有の魅力であり、合併後も部分的・全体的両方からの土地利用把握が欠かせない。

都市計画を行うとき、利用区分別の面積だけではなくそれぞれの配置が重要である。面積のみであれば、課税対象地に関しては調査することはできるが、面積からは土地配置は判断できない。しかし衛星リモートセンシングを用いることで、利用区分別の土地配置図を容易に得ることができる。

さらに衛星リモートセンシングデータを用いた分類画像は目で見て簡単に理解できるため、市民にわかりやすい情報として有効に活用できると考えられる。

以上から、新潟市にとって衛星リモートセンシングでのモニタリングは有効であると言える。

市町村合併は市町村に住む全ての人々が理解し、参加していかなければならない問題である。しかし、わかってはいても、難しい言葉で説明されても尻込みしてしまうことが多いように思う。衛星リモートセンシングを用いることで視覚的に理解できるならば、より市民と市政が近くなるのではないかと考えられる。

今回は、宅地と水田は良い精度で分類できたが緑地・畑・針葉樹・広葉樹があまり良い精度で分類できなかった。今後は他の農産物や森林でもより適切な分類を目指すことで、衛星リモートセンシングが新潟市にとってさらに有用なものになると考えられる。

また、海岸林や森林、緑地の枯死、衰弱を含む緑の状態をも考慮した分類がどのくらい可能か、ということも興味深い。今回明らかになった NDVI 差画像の有効性を利用して、さらに新潟市全域における緑の状態の変化域を抽出するのも新潟市にとって有用なものになると考えられる。

引用文献

- Campbell, B.J. 2002. Introduction to Remote Sensing, 3rd ed. pp.1-620. The Guilford Press, New York.
- Lillesand, M.T. and K.W. Ralph. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. pp.1-750. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 新潟市¹、2004. 新潟市政令指定都市パンフレット, vol.3. 新潟市.
- 新潟市²、2004. 新・新潟市（巻町含む）における地目別土地面積の概要, 「地目別土地利用面積の変化」. 新潟市.
- Rouse, J.W., R.H. Haas., J.A. Schell and D.W. Deering. 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In Third ERTS, Symposium.. Special Publication SP-3511, pp.309-317. NASA..

Monitoring Changes in Land Usage in Niigata City using Satellite Image

Haruka OKAJIMA¹ and Nobuyuki ABE^{1*}

(Received June 29, 2005)

Summary

To examine the usefulness of monitoring land cover with satellite images for municipal planning in Niigata City, we analyzed the LANDSAT/ TM-5 data obtained in 1984 and 2001 using image differencing and supervised classification. For image differencing, we used two types of values; infrared and normalized difference vegetation index (NDVI). We analyzed the accuracy by comparison with the actual measurements. NDVI was found useful for the detection of the land cover change of vegetation, while the infrared image differencing was found useful for detection of other changes in land cover.

It was possible to detect roughly the unchanged area as well as the land cover changes using the infrared image differencing and NDVI image differencing methods. The supervised classification done in 1984 and 2001 to determine the accuracy of the classification revealed a high classification accuracy in both years. The results of the above two methods indicated the usefulness of satellite data for monitoring land usage.

Bull. Facul. Agric. Niigata Univ., 58(1):63-70, 2005

Key words: land cover change detection, LANDSAT/TM, image differencing, supervised classification

¹Faculty of Agriculture, Niigata University

*Corresponding author: tomiko@agr.niigata-u.ac.jp