

富山市中心市街地における詳細土地被覆情報取得のための分類手法の比較・検討

大西 暁生¹ 前崎 隆一²

1 はじめに

環境問題は言うまでもなく人間活動に由来している。このような人間活動を表す一つの事象として土地の利用方法に関係する土地の被覆がある。もともと自然的な土地利用や被覆であった場所が、人間の活動が活発になるに伴い、住宅街や商業施設などに転用されていき、また我々の生活を円滑にするために道路や鉄道さらには学校や様々な社会インフラなどが整備されることで人工的な土地利用・被覆に変容されてきた。この結果、現在の土地利用・被覆が我々の日常の活動や生活の‘カタチ’として作り出されてきた。そして、これが原因となり、例えばヒートアイランド現象などといった土地利用・被覆と直結する環境問題が深刻化していった。

このような土地被覆を把握するため、近年では高分解能の衛星画像が様々な研究分野で利用されてきた。筆者らも、今まで高分解能衛星画像の一つである IKONOS を用いて、詳細な土地被覆情報を取得するとともに、とりわけ都市の熱環境に応用してきた(廣田ら, 2002, 大西ら, 2003, 2005, 2006, 2008, Onishi *et al.*, 2010, Cao *et al.*, 2010, 大西・森杉, 2011)。ただし、今まで富山市を対象として同様の研究をしてきたことがないこと、また各土地被覆分類手法の精度検証を比較・検討したことがないことから、本研究ではこれを主な目的として行う。

本研究では、我々が今まで使用してきたピクセルベースを基本とした一般的な土地被覆分類手法であ

る教師なし分類, 教師あり分類, エキスパート分類の3つをとりあげることによって、これらの分類手法を用いた土地被覆の分類結果の精度の検証を富山市の中心市街の IKONOS 画像を用いて行う。これによって、都市内における詳細な土地被覆情報を取得する際の分類手法の精度が明らかになるとともに、これらの手法を利用していく際の比較・検討ができると考えられる。

ただし、最近ではピクセルベースだけではなく、オブジェクトベースによる分類手法も広がりつつある。この手法を含めた比較・検討を行う必要があるが、今回はあくまでもピクセルベースのみを対象とする。

2 使用データと対象地域

本研究において、土地被覆分類で使用した衛星画像は高分解能衛星 IKONOS から撮影した画像である。この IKONOS は米国の偵察衛星の技術を用いて造られたため、撮影したい場所を的確に捉えることができる。また、周期的に同じ軌道の場所を通ることから、時間変化による土地被覆の遷移などの把握が可能である。この衛星の最大の特徴は、従来のリモートセンシング衛星と比較して分解能が高いことである。この分解能は 1m であり、衛星画像の 1 ピクセルが実際の地上の距離の約 1m に相当することを意味している。これによって、従来のリモートセンシング衛星では判別することが難しかった街路樹や住宅の庭木といった小さな緑地を把握することが可能となった。ただし、IKONOS の搭載するセンサは可視域の青・緑・赤と近赤外の 4 つのバンドから構成されており、例えば Landsat 7 号 (ETM+) の 8 つのバンドと比較した場合、扱える波長域は狭いことになる。ただし、Landsat 7 号の解像度は可視域と近赤外などでは 30m となっており、これを比較した場合、IKONOS の解像度の方が圧倒的に詳細な土地被覆の情報を取得できる可能性があることがわかる。

1 東京都市大学環境学部環境創生学科准教授

2 公務員



図1 IKONOS 衛星画像と対象範囲

本研究で用いた IKONOS の対象範囲の画像を図1に示す。撮影範囲は、富山県富山市の経度 $137^{\circ} 09' 49'' \sim 137^{\circ} 13' 42''$ 緯度 $36^{\circ} 39' 46'' \sim 36^{\circ} 42' 09''$ であり、 $5,773\text{m} \times 4,430\text{m}$ の範囲の面積は 25.57km^2 となる。撮影日時は 2006 年 8 月 1 日午前 10 時 59 分 (JST: 日本標準時) である。

3 土地被覆分類手法

本研究では、土地被覆分類手法として教師なし分類、教師あり分類、エキスパート分類の3種類の手法を用いて分類精度の比較・検討を行った。

教師なし分類手法とは、任意のクラス数をあらかじめ設定することにより、コンピュータが自動的にクラスタリングする手法であり、最終的に各クラスと土地被覆分類項目 (クラス) を対応づける手法である。

教師付き分類手法 (レベルスライス法) とは、現地調査などで得られた地表面被覆データ (トレーニングデータ = 教師データ) を用いて分類する手法 (図2) である。例えば、水域と判明している地点のトレーニングデータを基に、コンピュータが教師データのスペクトル特性を判別し、類似したスペクトル特性をもつ土地被覆を水域に分類するという手法である。

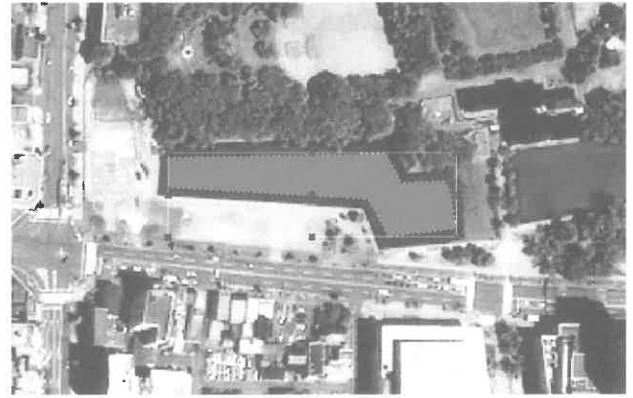


図2 トレーニングデータの取得

エキスパート分類手法は、各土地被覆項目のトレーニングデータからスペクトル特性 (図3) を読み取り、各土地被覆項目の特性を分類の条件 (ルール) として設定する方法である。教師付き分類手法よりも詳しくスペクトル特性の特徴値を読み取ることができるため、教師付き分類手法で発生した誤分類項目を正しく分類することが可能になることがある。吉川ら (2003) はディシジョンツリーを作成し分類を行っていたが、本研究では分類を繰り返すごとに分類結果から誤分類を把握し、なるべく誤分類を発生させない条件値 (閾値) を与える方法を行った。大西ら (2008) の手法を参考にしたい。

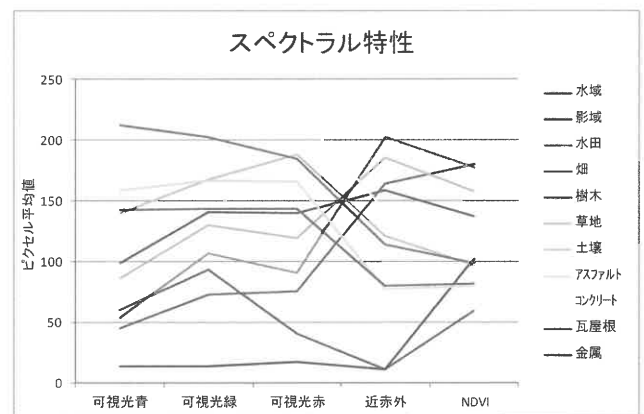


図3 土地被覆項目とバンド間の反射率

3.1 NDVI

NDVI とは Normalized Difference Vegetation Index の略であり、正規化植生指数という。植物の活性度合いを示すものであり、一般的に広く使用される。NDVI は以下の比演算の式で表わされる。

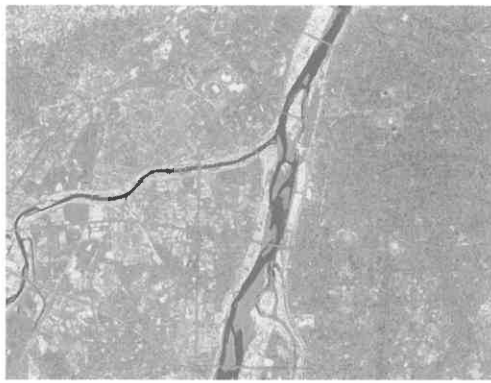
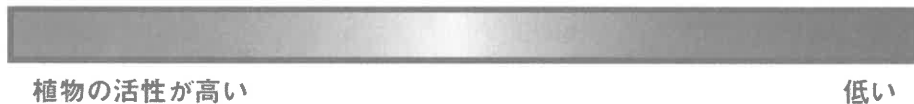


図4 NDVI 画像（全体）



図5 NDVI 画像（富山城）



$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

NIR: 近赤外, *RED*: 可視光赤

これは、植物が光合成を行うと赤波長の光をよく吸収するが、近赤外領域の波長は反射するという性質を利用した指標である。図4と図5を見ると、植生が繁茂する場所で活性が高く、それ以外で低いことが一目でわかる。IKONOS 衛星画像は、前述したように、青波長、緑波長、赤波長、近赤外波長の4バンドで構成されているが、本研究ではここで作成したNDVI画像を5番目のバンドとして衛星画像に加えることで以降の分類を行っている。

3.2 教師なし分類手法

ここではまず教師なし分類手法について検討を行う。教師なし分類手法の方法として、K-means 法および ISODATA 法がよく利用されるが、ここでは ISODATA 法を採用している。ISODATA クラスタリング手法は、クラスタ形成に最小スペクトル距離式を利用する。本研究では、土地被覆分類項目として、水域、影域、水田、畑、草地、樹木、土壌、アスファルト、コンクリート、金属、瓦屋根の11項目を設定した。教師なし分類手法では、クラスタの数を11個に設定し、スペクトル特性など、類似しているパラメータを分析し、ピクセル群をクラ

スタリングする。最終的な土地被覆としての分類は、航空写真やその他現地の情報をもとに、クラスタと判別したい11項目の土地被覆分類項目との対応付けを行う。本研究では、はじめに設定するクラスタの数を20個に設定し、分類後、クラスに該当するクラスタを統合することによって教師なし分類手法を試みた。以下に、対象地域全体の分類結果（図6）及び代表的な箇所として、富山城（図7）、布瀬南公園（図8）、陸上競技場（図9）の分類結果を示す。

分類結果画像の研究対象地域全体（図6）は、とりわけ市街地において赤い色に分類されていることがわかる。この赤色は住宅屋根などのトタンの金属を概ね表わしており、市街地はアスファルトやコンクリートといった人工的な土地被覆が多くを占めることから、それらが金属に誤分類されていると判断できる。また、富山城の分類結果（図7）では富山城公園のお堀池の水域が影域に誤分類され、河川でも同様の誤分類がみられる。この他には、布瀬南公園（図8）や陸上競技場（図9）の結果からわかるように、公園の草地部分や陸上競技場のサッカーコートの草地の部分には畑や瓦屋根といった複数の種類の誤分類を確認することができる。これらの詳細な分類については、教師なし分類手法では難しいと考えられる。



図6 教師なし分類結果（全体）



図7 教師なし分類結果（富山城）



図8 教師なし分類結果（布瀬南公園）



図9 教師なし分類結果（陸上競技場）

凡例	水域	影域	水田	畑	樹木	草地
	土壌	アスファルト	コンクリート	瓦屋根	金属	

3.3 教師あり分類手法

教師あり分類手法とは、現地調査などによって土地被覆が判明している場合に用いる手法の一つである。教師なし分類手法と比較して異なる点は、予め分類クラスを決めておくということである。つまり、教師なし分類手法では最後にクラスと分類クラスの対応関係を決めたが、教師あり分類手法では、最初に水域・水田などの分類クラスを決めて分類を進めていく方法である。ある程度のトレーニングデータがあれば、教師なし分類手法よりも高い精度で被覆分類を行うことが可能であるといわれている。

土地被覆項目ごとに 10 個ずつ分類の基準となる

シグネチャを取得し、11 項目いずれかの分類クラスに属する場合はそのままその分類クラスへ、11 項目いずれにも該当しなかった場合はパラメトリック・ルールを使用、複数の分類クラスを重複した場合もパラメトリック・ルールを使用した。パラメトリック・ルールは最尤法を適用して分類クラスの決定を行った。以下に、対象地域全体の分類結果（図 10）及び代表的な箇所として、富山城（図 11）、布瀬南公園（図 12）、陸上競技場（図 13）の分類結果を示す。

対象地域全体の分類結果（図 10）では、教師なし分類結果で見られた市街地での金属の誤分類は解消



図 10 教師あり分類結果（全体）



図 11 教師あり分類結果（富山城）



図 12 教師あり分類結果（布瀬南公園）



図 13 教師あり分類結果（陸上競技場）

凡例	水域	影域	水田	畑	樹木	草地
	土壌	アスファルト	コンクリート	瓦屋根	金属	

されていることがわかる。富山城の分類結果（図 11）から富山城のお堀や河川内に発生した影域の誤分類も概ね正しく分類された。しかし、樹木の被覆内に水田や草地在がゴマ塩状に誤分類（微小領域の発生）されるなど、細かな誤分類が見られた。他に道路上にコンクリートや土壌が混在する誤分類もみられた。布瀬南公園（図 12）や陸上競技場（図 13）では、教師なし分類結果でみられた草地と瓦の誤分類などは大幅に改善され、草地の被覆形状が明確になった。ただし、畑の誤分類は解消することができず、次に

行うエキスパート分類手法にて分類を試みる。

3.4 エキスパート分類手法

エキスパート分類手法とは、各土地被覆から切り取ったシグネチャから取得される、各バンドにおける各土地被覆項目のピクセル値の平均値のスペクトラル特性を各土地被覆項目の分類条件として設定し、分類を行うものである。スペクトラル特性とは、ピクセル値の平均値やバンド間の増減・傾き（レッドエッジ）などである。本研究では、大西ら（2008）

表 1 誤分類対応表

誤分類 被覆項目	水域	影域	水田	畑	樹木	草地	土壌	アスファルト	コンクリート	瓦屋根	金属
水域		◎			○					○	
影域	◎										
水田				○	◎	○					
畑						◎					
樹木			◎	○		○					
草地				◎							
土壌									○	◎	
アスファルト							○		◎	○	
コンクリート								◎			◎
瓦屋根							◎		○		
金属									◎	○	

◎：相互に誤分類が発生している項目

○：どちらか片一方に誤分類が発生している項目

この表の◎で示される項目を基準として分類条件の設定を行った。閾値の設定方法は以下に示す①～③を用いた。

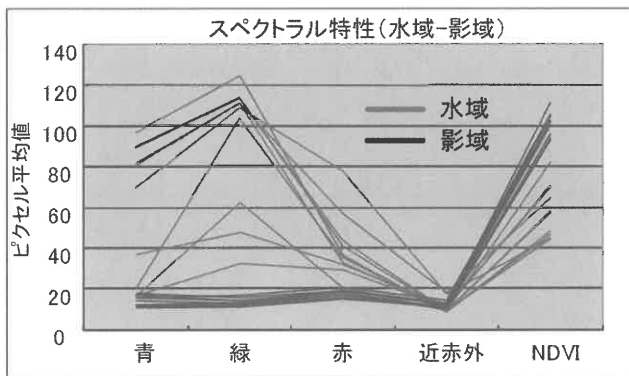


図 14 スペクトル特性（平均）の一例

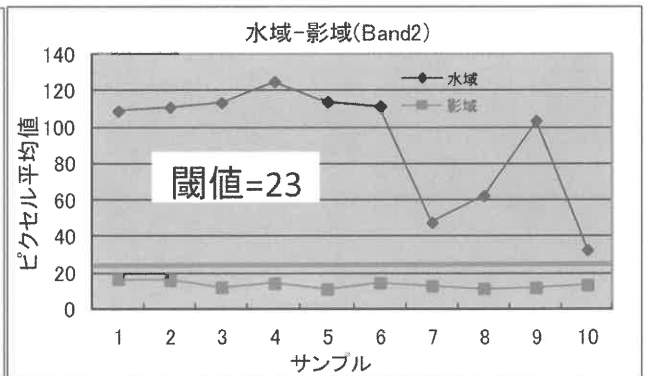


図 15 平均値を用いた閾値の設定の一例

吉川ら（2003）を参考に教師なし分類手法の結果から、分類クラスで誤分類の多かったクラスをリストアップし、その誤分類を解消することに重点を置いて分類を行った。表 1 に、誤分類対応表を示す。

①ピクセル値の平均値を閾値として設定

水域（青色）、影域（黒色）の各バンドにおける平均値のグラフ（図 14）を示す。この誤分類を解消する条件の一つとして、バンド 2（緑）の平均値の差を用いる。図 15 は明確にその差を表したグラフである。横軸にサンプル数、縦軸に平均ピクセル値をとり、水域と影域のバンド 2 における平均値を分けることのできる値（赤棒）を閾値として設定した。図 15 の場合、閾値を決める方法は水域の値が最小のもの、影域の値の最大のものの中間点をとるように設定した。

②ピクセル値の傾きを閾値として設定

図 16 は水田（黄緑）と畑（濃緑）の各バンドにおける平均ピクセル値のグラフである。水田のスペクトル特性として、バンド 3（赤）・4（近赤外）間の急激な傾き（レッドエッジ）が見られる。この傾きの違いを横軸にサンプル数、縦軸にバンド 4 とバンド 3 の差をとったグラフで表したものが図 17 である。閾値を決める方法は先の①の場合と同様である。

③別途トレーニングデータを取得

図 18 は畑（緑）と草地（ピンク）の平均値のグラフである。このように平均値が混同していると、①及び②の方法でも閾値を設定できない。この場合、新たにシグネチャを取得し、全体的な傾向から外れているシグネチャを削除するなどして、再度閾値を設定した。

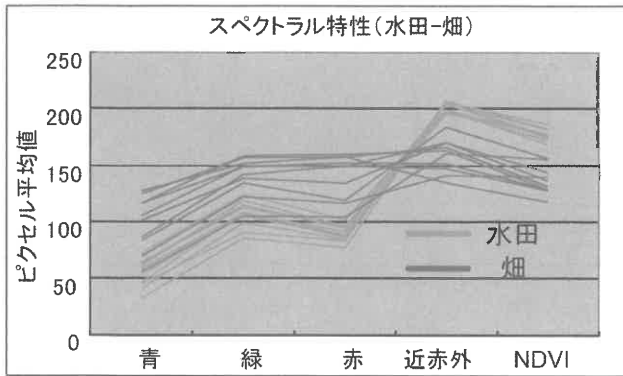


図 16 スペクトラル特性（傾き）の一例

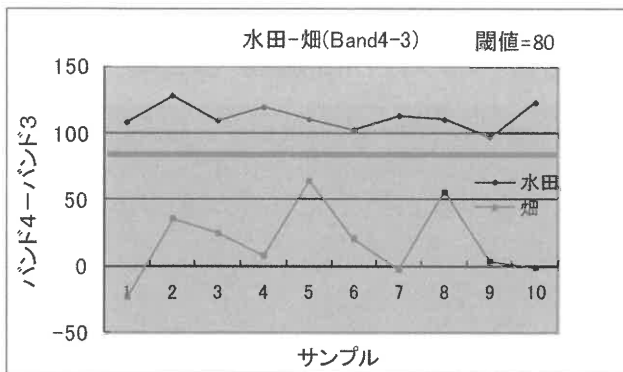


図 17 傾きを用いた閾値の設定の一例

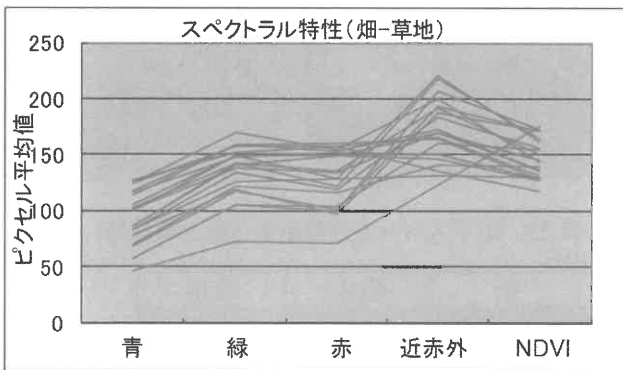


図 18 スペクトラル特性の一例

条件値を設定し分類した結果、誤分類が解消されない項目がある場合は、閾値の微調整や条件値の変更を行いながら分類を繰り返した。対象地域全体の分類結果（図 19）及び富山城（図 20）、布瀬南公園（図 21）、陸上競技場（図 22）の分類結果を以下に示す。

富山城の分類結果（図 20）では、城址公園内の草地の被覆が教師あり分類結果と比べ明確に分類され、土壌内に存在していたコンクリートの誤分類も解消されていることがわかる。布瀬南公園の分類結果（図 21）や陸上競技場の分類結果（図 22）より、草地被

覆内に点在していた畑の誤分類、土壌被覆内に誤分類されていた瓦屋根も解消され、分類精度が高くなったことがわかる。

4 精度検証結果と比較

ここまでの分析によって、3つの分類手法を用いて、それぞれ詳細な土地被覆分類画像を作成した。ここでは、これらの土地被覆分類手法から得られた分類結果を精度検証する。検証方法には、検証地点をランダムに 165 地点選定し、現地調査によって実際の土地被覆を把握した。そのポイントデータと結果画像を重ね合わせることにより精度検証を行った。

表 2 にプロデューサ精度の検証結果を示す。プロデューサ精度とは、検証データに対して、分類画像上で同じ被覆項目に分類されている画素数の割合である。

教師なし分類手法の精度は畑、樹木、草地といった緑地や建物の屋根の精度が著しく低かった。畑、瓦屋根に関しては精度 0.00%と教師なし分類手法の全体精度を大きく低下させている原因であることがわかった。全体精度は 50.30%と半分の正答率であった。教師あり分類手法では、教師なし分類と比較して、各被覆項目で飛躍的に精度が向上しており、全体精度は 69.09%と約 20%の向上を示した。エキスパート分類手法では、畑や草地といった緑地の中でも精度が低かった項目の精度向上がみられ、全体精度は 75.76%と約 5%の向上がみられた。また、教師なし分類、教師あり分類の手法と比べ、全項目において、概ね精度が高い値であることがわかった。

最後に、各分類手法による精度の結果が比較しやすいように、通常肉眼画像に近いトゥルーカラー画像とあわせて図 23 を示す。



図 19 エキスパート分類結果（全体）

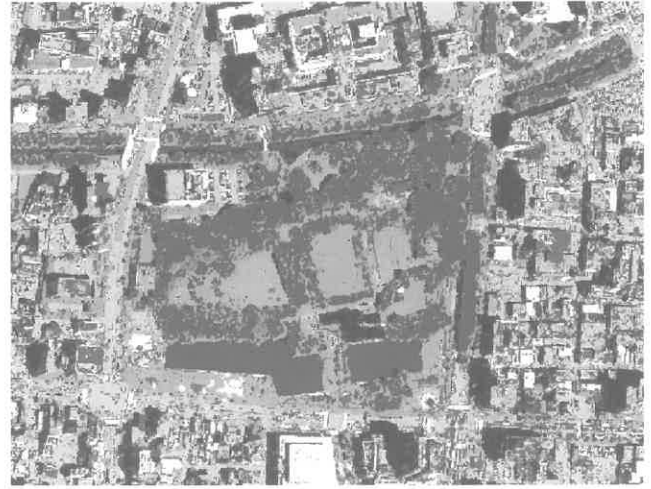


図 20 エキスパート分類結果（富山城）



図 21 エキスパート分類結果（布瀬南公園）

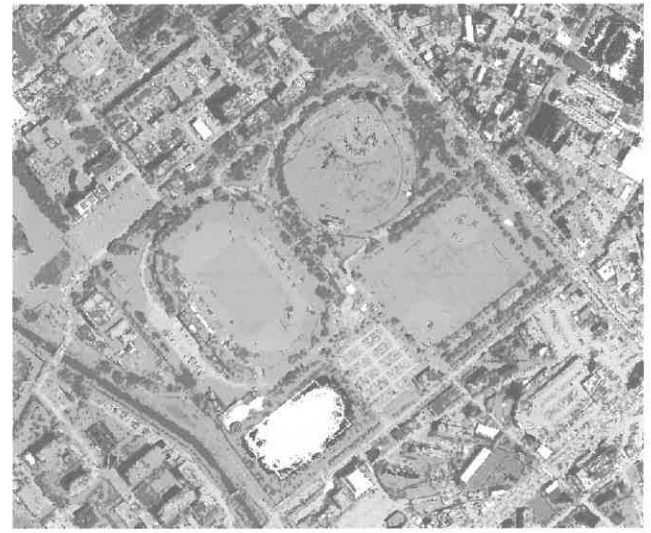


図 22 エキスパート分類結果（陸上競技場）

凡例	水域	影域	水田	畑	樹木	草地
	土壌	アスファルト	コンクリート	瓦屋根	金属	

表 2 精度検証結果

分類手法 \ 分類クラス	水域	影域	水田	畑	樹木	草地
教師なし分類	66.67%	93.33%	86.67%	0.00%	46.67%	33.33%
教師あり分類	86.67%	86.67%	100.0%	20.00%	80.00%	26.67%
エキスパート分類	93.33%	75.00%	93.33%	53.33%	80.00%	86.67%
分類手法 \ 分類クラス	土壌	アスファルト	コンクリート	瓦屋根	金属	全体精度
教師なし分類	46.67%	86.67%	60.00%	0.00%	33.33%	50.30%
教師あり分類	66.67%	100.0%	80.00%	60.00%	53.33%	69.09%
エキスパート分類	60.00%	93.33%	66.67%	60.00%	60.00%	75.76%

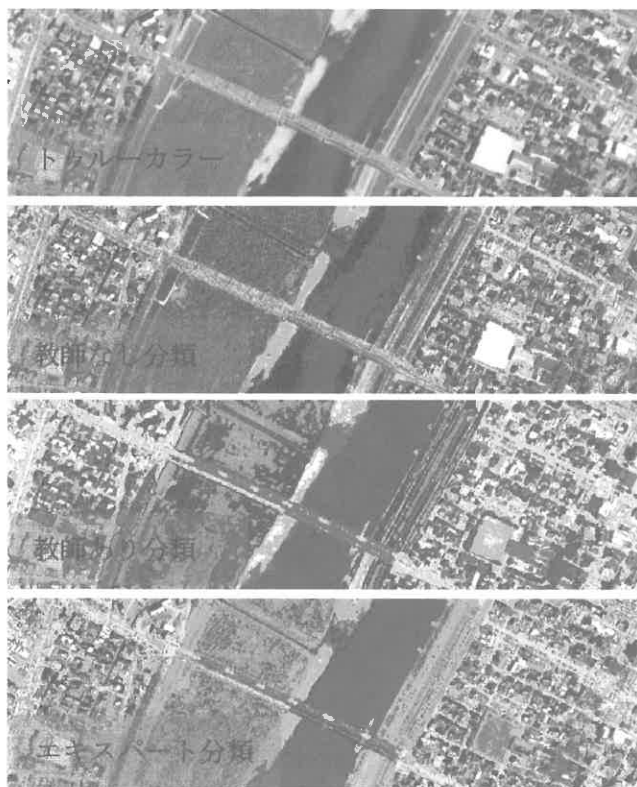


図 23 分類結果の比較

5 まとめ

近年, IKONOS や GeoEye-1 といった高分解能衛星画像を用いることによって地表面の詳細な被覆の情報を知ることができる。本研究では, 富山市の IKONOS 衛星画像を用いて, ピクセルベースを基本とした一般的な土地被覆分類手法である教師なし分類, 教師あり分類, エキスパート分類の3つを取りあげることによって, これらの分類手法を用いた土地被覆分類結果の精度検証を行った。

この結果, 教師なし分類, 教師あり分類, エキスパート分類の順番で精度が向上することがわかった。ただし, 教師あり分類とエキスパート分類の手法の間での精度向上は全体精度として約5%に留まった。この点, 分類項目の設定や求める精度, また分類にかかる時間をよく吟味し, 適切な分類手法を選択することをお勧めする。

今後は, ピクセルベースだけではなく, オブジェクトベースにおける分類手法も試みることによって, その精度の検証を比較・検討したい。さらには, ここで得られた高精度且つ詳細な土地被覆情報をヒートアイランド現象などの環境問題の把握と対策に応用していきたい。

謝辞

本研究は, 富山県立大学特別研究費(奨励研究費)地域的課題「コンパクト・シティ実現を目指した未来都市像の明示化に関する研究」の一環として行われたものである。また, この紀要は富山県立大学工学部環境工学科における前崎隆一氏の卒業論文及び第23回日本都市計画学会中部支部研究発表会論文・報告集, 第9回環境情報科学ポスターセッションでの発表などをもとに構成されている。

付記

なお, 本紀要のカラー版が必要な場合は筆者までお問い合わせください。

参考文献

- [1] A. Onishi, X. Cao, T. Ito, F. Shi and H. Imura: Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots, Urban forestry & Urban greening, Vol. 9 (4), pp.323-332, 2010.
- [2] 廣田福太郎, 大西暁生, 森杉雅史, 井村秀文: 高分解能衛星を用いた都市内緑地分析に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.30, pp.91-99, 2002.
- [3] 大西暁生, 廣田福太郎, 吉川拓未, 森杉雅史, 井村秀文: 高分解能衛星画像を用いた詳細土地被覆情報と輝度温度との関係-緑地の特性に着目して-, 環境システム研究論文集, Vol.31, pp.357-365, 2003.
- [4] 大西暁生, 松浦未央子, 森杉雅史, 井村秀文: LANDSAT ETM+画像におけるヒートアイランド現象の把握とIKONOS画像を用いた特殊空間緑化の熱環境緩和効果に関する研究, 環境共生学会審査付研究発表論文, Vol.10, pp.92-102, 2005.
- [5] 大西暁生, 森杉雅史, 林良嗣, 井村秀文: 詳細土地被覆情報を用いた土地利用別ヒートアイランド緩和効果に関する研究, 環境の管理, No.61, pp.23-35, 2006.
- [6] 大西暁生, 森杉雅史, 村松由博, 井村秀文, 林良嗣: 愛知県豊田市における詳細土地被覆情報の取得と熱環境解析への適用に関する研究, 地球環境研究論文集, Vol.16, pp.181-190, 2008.
- [7] 大西暁生, 森杉雅史: 名古屋市中心部における空閑地緑化が都市熱環境緩和効果に与える影響, 社会技術研究論文集, Vol. 8, pp.149-158, 2011.

- [8] X. Cao, A. Onishi, J. Chen and H. Imura: Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data, *Landscape and urban planning*, Vol. 96, pp. 224-231, 2010.
- [9] 吉川拓未, 廣田福太郎, 大西暁生, 森杉雅史, 井村秀文: 都市域の熱環境解析のための詳細土地被覆情報に関する基礎的研究, *環境システム研究論文発表会講演集*, Vol.31, pp.591-597, 2003.