

◆ 国土管理特集 ◆

衛星画像から得られる河道・流域情報の評価 — 河道変遷、植生分類、緑被率および不浸透域面積率に関する考察 —

廣瀬葉子* 深見和彦** 金木 誠***

1. はじめに

河道低水路の現状やその変化、河道内の植生や砂州の分布等の情報は、河川計画・管理の基盤情報であり、河川の縦横断測量及び植生調査等を含む河川水辺の国勢調査等の現地調査や、航空写真撮影・判読等により、全国の河川において精力的に調査が実施されている。また、都市河川流域を始めとして、洪水を含む水循環プロセスを流域スケールで把握するための各種調査も広く行われつつある。これらの広域の線的・面的な情報を迅速かつ的確に収集し活用することは、これから河川流域を基本とした国土マネジメントを実行していくうえで、ますます重要になっていくものと考えられる。

現在、衛星のセンサは、可視～近赤外、熱赤外、マイクロ波等、多種多様にわたり、複数の衛星画像を同時に使うことによって、流域管理等に必要とされる情報を、より効率的に収集できる可能性が拡大しつつある¹⁾。

土木研究所では、衛星画像を活用した河川・流域管理関連情報収集手法について検討を行っている。空間分解能が1mの高分解能衛星画像の判読による、河川の利用状況および人工構造物把握への利用性については、既に報告を行っている²⁾。本報では、衛星画像から得られると期待される情報のうち、技術的な成熟度が比較的高い土地被覆・植生関連の情報抽出技術を活用して、河川内の河道(低水路、河川敷)の変遷、植生の種別、および都市河川流域における緑被率、浸透／不浸透面積率の収集について、技術的可能性の検討を行った成果を報告する。

2. 河道変化のモニタリング

2.1 概要

河川において大規模な出水があると流路や砂州

の移動、形状の変化が起こる。このような河道・河床形態の変動を把握することは、氾濫被害防止だけでなく河川の総合的な土砂管理や環境・生態系の管理といった観点からも重要である。ここでは、2時期の高分解能衛星データの比較による河道変化のモニタリングの可能性について検討した。

対象地域は、ある程度の幅を持つ河川区間で、低水路に人工的な護岸がなく、植生のない中州が存在している箇所で、かつ現在入手可能な唯一の高分解能衛星であるIKONOS画像が存在するという条件から、埼玉県熊谷市付近の荒川とした。しかし、高分解能衛星の運用開始から間もないことから、同一地域で複数の前後時期のデータを得ることができなかっただけ、前時期については航空写真で代替することとした。

使用したデータは、IKONOS(デジタルジオ画像、マルチスペクトル、2000.8.11観測)および航空写真(国土地理院、カラー、1998.10.4撮影、縮尺約1/30,000)である。

2.2 河道変化把握の方法

広域の河道を簡易に把握する方法として、画像の自動分類を用いることとした。

航空写真は、スキャナを用いてデジタル画像に変換し、オルソフォト(正射投影)画像を作成した。画素のサイズはIKONOSのマルチスペクトル画像に整合させるため、4mとした。これに、IKONOSの可視域3バンド画像および可視～近赤外域4バンド画像を加えた3つの画像データについて、土地被覆自動分類を行った。分類項目は、水域(河道)、植生域、裸地等の3項目とした。自動分類の手法は、あらかじめ分類項目が決められる場合に一般的に用いられる最尤法を用いた。

IKONOS画像と航空写真画像から得られた2000年と1998年の画像を用いて、画像同士の重ね合わせ処理を行い、この2時期の河道変化箇所を抽出した。

2.3 結果

図-1には、自動分類に使用した画像とそれらの

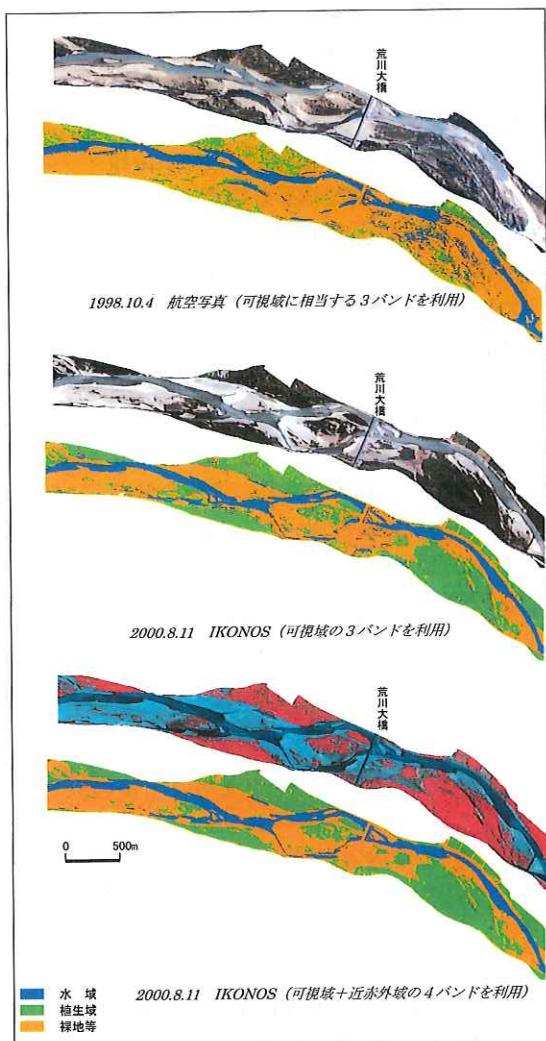


図-1 河道抽出に用いた画像と自動分類結果

自動分類結果を示す。

航空写真オルソフォト画像による分類では、被覆の形状は概ね抽出されているが、教師とした領域内での判別効率を見ると、項目相互の誤分類が多くなっている。本調査で用いた航空写真が10月で植生が枯死または変色する時期でもあり、植生域が他の項目（とくに水域）に誤分類されているのが目立つ。

IKONOS画像を用いた分類では、近赤外域を除いた3バンドによる場合と、近赤外域を含む4バンドを用いた場合の2ケースを実

施した。近赤外域を除いた3バンドによる分類では、航空写真と同様に植生域や裸地域が水域に区分されている箇所が見られるが、近赤外域を加えた4バンドを用いた分類では、そのような誤分類は少なくなっている。どちらの組み合わせにおいても、河道（水域）は概ね正しく抽出された。

このことから、1998年の航空写真による分類結果と、2000年のIKONOS画像4バンドによる分類結果を用いて、この2時期における河道（水域）変化画像を作成した（図-2）。2時期の間の河道変化箇所を4m分解能で明解に把握できることがわかる。

3. 河川の植生種別の判別

3.1 判読による植生種別の区分

高分解能衛星画像を用いて、河川区域における植生種別の判別可能性を検討した。

対象区域は、ある程度の広さの河川敷と河幅を有し、自然的・人工的双方の土地被覆からなり、かつ夏季のIKONOS画像が存在する箇所を条件に検索し、前節の河道変化モニタリングと同様に埼玉県熊谷市付近の荒川とした。

使用した元データは、IKONOSのマルチスペクトル（可視～近赤外の4バンド）及びパンクロマチックの2種のデジタルジオ画像（2000.8.11撮影）である。デジタルジオ画像は、平坦地では地形図にはほぼ整合するような幾何補正が施されており、本研究の対象地域では誤差1画素前後の十分な位置精度を持つものと考えた。ここでは、2.で植生と判定された領域をさらに詳細に判読分類することを目的とすることから、分解能4mのマルチスペクトルと同1mのパンクロマチックから擬似的に作成した分解能1m相当のカラー合成画像を用いた。図-3には、判読に用いたIKONOS画像の

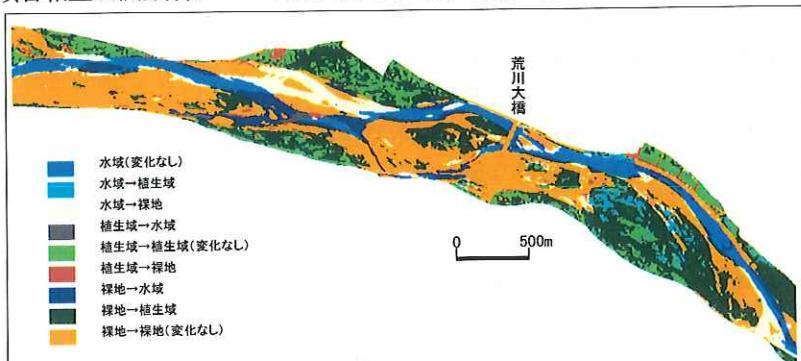


図-2 2時期の河道変化等抽出画像

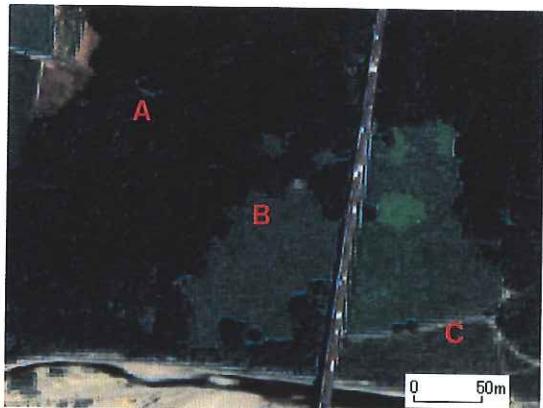


図-3 植生判読に用いた IKONOS 画像
(1m カラー合成画像)
A: 広葉樹、B: 芝地、C: 雜草地

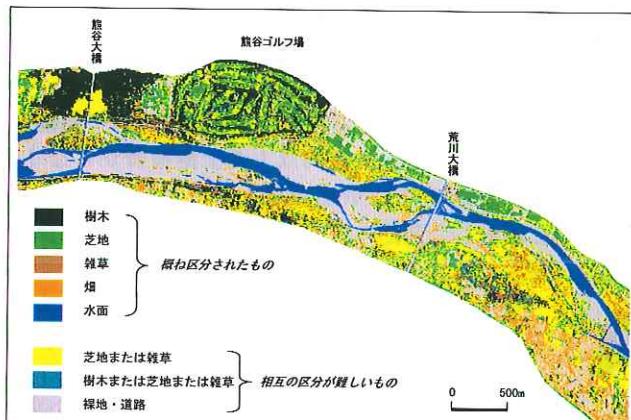


図-4 IKONOS 画像の自動分類結果

例を示す。図-3 上の A の部分は、形状、陰影から樹木であると判別できる。樹種区分については、樹冠の形状から広葉樹であることまでは判別できる。B、C の部分はその平面的な広がりから、草地と判別できる。B は色調が比較的均質でかつ、きめが揃っていることから、芝地と推測される。C は、B と比較してきめが揃っておらず、様々な種類からなる雑草地であると考えられる。

以上のことから IKONOS 画像の判読により、樹木は、樹冠の形状が判別可能な場合には、針葉樹と広葉樹の区分が可能である。単木で存在し影が判別可能ならば、相対的な樹高の推定も可能と考えられる。草地は、色調ときめ等をもとに、芝地と雑草地は概ね区分可能である。

3.2 画像処理による植生の分類

河川における河道および各種植生分布の詳細を迅速に客観的に把握する手法として、IKONOS 画像の自動分類をさらに検討した。ここでは、分

類項目をあらかじめ設定せず、どの程度の項目に分類できるかを検討するため、自動分類の手法にはクラスタリング (ISODATA 法³⁾) を用いた。

IKONOS 画像は、可視～近赤外 (4 バンド) のマルチスペクトルを用いた。当初の分類クラスは 30 クラスとし、判読結果を参考に分類クラスを統合して土地被覆区分画像を作成した。

分類の結果は、図-4 に示す通りである。統合した分類項目は、樹木、芝地、雑草、烟、水面の 5 項目に対応すると考えられる。これらのうち、芝地と雑草、樹木と芝地または雑草、裸地と道路の間では、一部に相互の区分が困難な領域が残された。これは、これらの土地被覆項目の分光特性が似ていることが原因であり、季節の異なる 2 時期の衛星画像を用いた自動分類によって区分は可能になると考えられる。

4. 浸透/不浸透域面積率と緑被率の把握

4.1 概要

河川流域内の蒸発散量・ヒートアイランド現象分布の把握や洪水流出量の算定等に必要なパラメータである緑被率及び浸透/不浸透域面積率について、衛星画像から把握する場合の評価精度を、航空写真により作成した検証データと比較することにより検討を行った。ここで、空間分解能の異なる 3 種類 (LANDSAT/TM, SPOT-HRV, 及び IKONOS) の衛星画像による結果を相互に比較することにより、衛星データの分解能が判別結果に及ぼす影響についても同時に検証を試みた。

対象地域は、3 つの衛星データの撮影日が出来るだけ近いことを条件に都市周辺のデータを検索し、埼玉県熊谷市付近の市街地を含む約 5km 四方を対象地域とした。

使用したデータは、次の通りである。

表-1 使用データ

衛星データ	LANDSAT TM	SPOT HRV	IKONOS アジタルジオ画像 マルチスペクトル		
撮影日	2000.8.3	2000.7.31	2000.8.11		
PATH-ROW	108-35	330-277	—		
解像度	30m	20m	4m		
航空写真		国土地理院撮影 カラー空中写真 縮尺 約 1/30,000			
撮影日	1998.10.4				
写真番号/コース番号	CKT-98-02x / C1-6, 7, 8				

4.2 衛星画像及び航空写真の前処理

LANDSAT/TM および SPOT データは、幾何補正したのち IKONOS データと同一の範囲を切り出し、データセットを作成した。なお今回使用した LANDSAT/TM データにおいて一部雲が存在していたため、以後の検討においては雲および雲影を抽出し 3 つのデータについてマスク処理を行ったものを使用した。

航空写真は、衛星データと重ね合わせて比較するため、オルソフォト画像を作成した。空間解像度は 1m とした。

4.3 検証用データ作成

対象地域のうち、中心市街地付近の約 2.3km 四方について航空写真を判読し、緑地/非緑地および浸透域/不浸透域の検証用データを作成した。

判読基準は次の通りとし、判読の最小単位は一般的な住宅の敷地面積を想定して 10m 四方とした。

- ・緑地：樹木や植栽がまとまって見られる箇所
- ・浸透域：公園や学校、畠等の地面が露出している箇所、水面、緑地

4.4 緑地/非緑地の分類精度

それぞれの衛星画像について NDVI (正規化植生指数) を算出し、閾値を設定することで緑地/非緑地の分類を行った。NDVI は次式によって求めた。

$$\text{NDVI} = \{1 + (IR - R)/(IR + R)\} \times K$$

$$IR = ir - irMIN$$

$$R = r - rMIN$$

$$K = 127 \quad (\text{LANDSAT, SPOT の場合})$$

$$k = 1,023 \quad (\text{IKONOS の場合})$$

ir : 近赤外バンドの輝度値

r : 可視光(赤)バンドの輝度値

irMIN : *ir* の最低値

rMIN : *r* の最低値

閾値の設定は、判別分析法(大津の方法)を用いた。これは画像の濃度ヒストグラムから最適閾値を自動的に決定する方法である。この方法は、ヒストグラムが双峰性を示すと予想される都市域の NDVI のような場合(図-5)に、閾値を統計的に決定するのに有効である³⁾。ここで決定した閾値に基づいて、各衛星画像を 2 値化し、緑地/非緑地画像を作成した(図-6)。

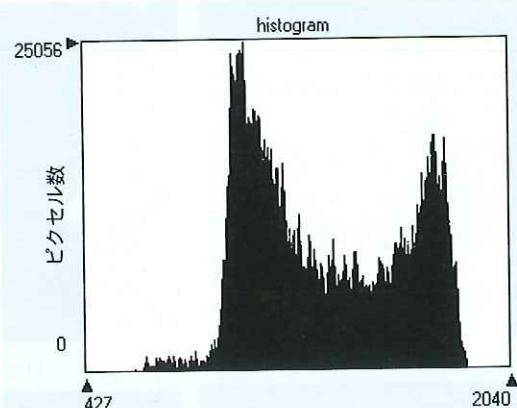


図-5 都市市街における NDVI のヒストグラム

航空写真による検証地域(2.3km 四方)での各衛星画像から求めた緑地の面積率は、LANDSAT/TM が 9.7%、SPOT が 10.3%、IKONOS が 15.6% となった。検証データの緑地面積率は 16.0% である。

検証データとの差が最も大きいのは LANDSAT/TM を用いた場合で、その差は 6.3%、SPOT では 5.7% 程度である。IKONOS では 0.4% と、航空写真とほとんど変わらない結果が得られた。

図-6 を見ると、IKONOS 画像による緑地分布は、LANDSAT や SPOT のような中程度の分解能では把握することが困難であった小規模な緑地も抽出されている。都市域では、小規模な緑地が多数点在することから、航空写真により近い空間分解能をもつ IKONOS 画像において、検証データに近い緑被率が得られたと考えられる。

また、このことから、過去に LANDSAT または SPOT 画像のような空間分解能のデータを用いて緑地を調査した緑被率算出結果と比較する場合には、その値の取り扱いには注意が必要であると言える。

4.5 浸透域/不浸透域の分類精度

3 つの衛星画像を用いて対象地域の土地被覆分類を行い、その項目を浸透域と不浸透域に統合し浸透域/不浸透域画像を作成した。分類項目は、樹林地、草地、水田、裸地・畠地、水域、建物・コンクリート被覆地とし、分類方法には最尤法を用いた。分類項目は、次に示すように浸透域/不浸透域に統合した。

- ・樹林地、草地、水田、裸地・畠地、水域 → 浸透域
- ・建物・コンクリート被覆地 → 不浸透域



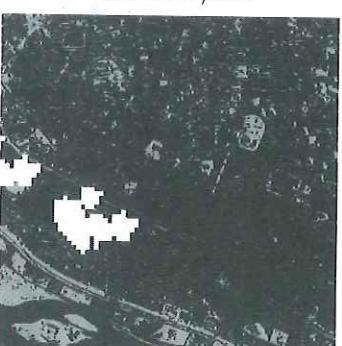
航空写真判読結果（検証データ）



LANDSAT/TM



SPOT/HRV



IKONOS

図-6 都市域での緑地/非緑地画像（灰色の部分が緑地、白い部分は雲）

航空写真による検証地域での各衛星画像から求めた不浸透域の割合は、LANDSAT/TMが81.3%、SPOTが80.4%、IKONOSが74.4%となった。検証データの不浸透面積率は、71.0%である。ここでも、空間分解能の高いIKONOS画像が、検証データに最も近い値となっている。

しかし、分類結果を個別にみると、いずれの衛星画像でも浸透域と不浸透域が相互に誤分類されている。航空写真判読での不浸透域が衛星の分類画像で浸透域に誤分類されている割合は、約4% (LANDSAT/TM) から約13% (IKONOS) で

ある。この誤分類を減少させるために、IKONOS画像において、詳細な教師データによる再分類を行った。教師データは、IKONOS画像の疑似1m分解能カラー合成画像を用い、建物・コンクリート被覆地と裸地について、次の12項目と置換した。

- ・道路
- ・屋根(色で5分類):白、灰色、青、緑、赤
- ・裸地
- (河原を明るさで3分類)
- (畠地)
- (グランドを明るさで2分類)

詳細な教師データに置き換えて分類した土地被覆画像から浸透域/不浸透域を作成した結果、浸透域が33.0%、不浸透域が63.7%となり、先の分類結果と比較すると、検証データとの差はかえって大きくなつた。

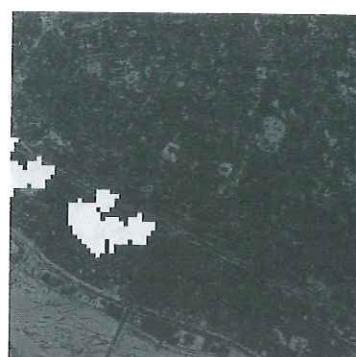
図-7には、IKONOS画像を用いた浸透/不浸透域画像と検証データ

を示す。検証データと比較すると、ある程度まとまった浸透域(グランド、畠地等)は再抽出結果の方が正しく抽出されているが、全体的に浸透域(裸地)が増加し、不浸透域(建物・コンクリート被覆地)が減少した結果となつた。教師データを細かく限定して取得したことで、もともと建物・コンクリート被覆地に分類されていた画素が、その他の項目に分類されたと考えられる。

のことから、浸透/不浸透域の抽出においても、高分解能衛星画像は従来の衛星画像に比較して総体として高精度となるが、教師データの



(1) 検証データ



(2) IKONOS画像による不浸透域抽出



(3) IKONOS画像による再抽出結果

図-7 IKONOS画像による不浸透域抽出結果(黒色が不浸透域)

取り方によっては、従来の衛星画像では区別できなかった個別の屋根や土の色が、分類の精度に影響すると考えられる。

5. 各検討成果のまとめ

5.1 河道変化モニタリングへの利用性

本調査では、過去の航空写真と最新のIKONOS画像(いずれも4m分解能)を用いて、自動分類による河道変化の抽出を試みた。分類項目は、水域(河道)、植生域、裸地等の3項目としたが、航空写真画像の自動分類結果に誤判別が多く見られたために、土地被覆変化の面積評価には至らなかつた。しかしながら、河道=水域(低水路)については、その位置変化を明瞭にとらえることができた。今後、2時期の高分解能衛星データを用いることができるようになれば、河道変化のみならず、土地被覆分類の精度が高まり、それらの変化を比較的簡単にモニタリングできると考えられる。

5.2 植生種別の区分への利用性

本調査では、IKONOS画像の画像判読と自動分類を用いた植生種別の区分可能性を検討した。画像判読では、樹木(広葉樹)と草地(芝地・雑草地)は明確に区分することができた。また、近赤外域を含むデジタルデータという特徴を生かし、クラスタリングによる自動分類を行った結果、草地をさらに3種類に分類することができた。但し1時期の衛星画像に基づく自動分類のみでは、正確性に欠ける部分もあった。2時期の画像を併用する等、分類精度の向上を図ることは今後の課題である。

これらのことから、高分解能衛星画像による植生種別区分は、地上や航空機から行う詳細な現地調査を、時間もしくは空間的に補間・拡大するための補助的な手法として有効と考えられる。

5.3 市街地における高分解能衛星の利用性

LANDSAT/TM、SPOT、IKONOS画像を用いて、市街地における緑被率および浸透/不浸透域の抽出を検討した結果、分解能が最も高いIKONOS画像が、トータルでの面積率として最も良い精度を示した。土地被覆が細分化されている市街地では、高分解能衛星画像がより有効であると言える。但し、浸透/不浸透域の抽出では相互に誤分類されているケースもあり、特に高分解能衛星画像での教師データのとり方には注意が必要である。

6. おわりに

本研究は、河川管理に関連した河道・流域情報取得への衛星リモートセンシング画像の利活用の可能性を探るため、近年注目を集める高分解能衛星画像に焦点をあてて、河道(低水路)の変動状況や、河川敷内の植生分類、および都市河川流域における緑被率や浸透域/不浸透域面積率の情報取得への応用を試みたものである。

今後は、河川管理の現場での試行的な経験の蓄積も含めて実証的な検討を進め、より具体的な衛星画像利用の指針を確立していくことが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 山形与志樹、小熊宏之、土田聰、関根秀真、六川修一：京都議定書で評価される吸収源活動のモニタリングと認証に関わるリモートセンシング計測手法の役割、日本リモートセンシング学会誌、Vol.21, No.1, pp.43-57, 2001.
- 2) 廣瀬葉子、深見和彦、金木誠：リモートセンシングを活用した河川流域情報収集、土木技術資料、Vol.43, No.1, pp.14-19, 2001.
- 3) 高木幹雄、下田陽久監修：画像解析ハンドブック、東京大学出版会、1991。

廣瀬葉子



(前 國土交通省土木研究所
河川部水文研究室交流研究員)
Yoko HIROSE

深見和彦



独立行政法人土木研究所水工
研究グループ(水理水文)
主任研究員
Kazuhiko FUKAMI

金木 誠



國土交通省國土技術政策総合研
究所危機管理技術研究センター
水害研究室長
Makoto KANEKI