

## ◆ 21世紀の新技術特集 ◆

# リモートセンシングを活用した河川流域情報収集

廣瀬葉子\* 深見和彦\*\* 金木 誠\*\*\*

## 1. はじめに

河川や水資源に関する計画と総合的な管理では、治水・利水・環境といった側面で、水循環に過度の負担をかけない国土マネジメントの考え方の導入が必要であることが、広く認識されつつある<sup>1)</sup>。その基盤として、河川流域で現実に起こっている水循環の実態や、河川管理に必要となる河道や河川敷の現況などの情報を必要な精度で迅速に把握することへのニーズは、今後ますます高まっていくものと考えられる。

多様な情報を、安全で迅速に広い範囲を観測する方法として、21世紀にも注目されるのが、リモートセンシングである。リモートセンシング情報は、広範な地域の同時観測、面的な情報の取得、同様の精度での周期的な観測、といった特長を有している。土木研究所では、衛星や航空機からのリモートセンシング情報の特長と、高速ネットワークや先進の移動体通信等の今後加わる新たな技術にも注目し、河川管理の新しいニーズに対応する情報取得の手法について検討している。本文では、その背景となる近年のリモートセンシングの進歩と、土木研究所での取り組みの一端について紹介する。

## 2. 注目されるリモートセンシング・センサ

### 2.1 衛星リモートセンシング

衛星リモートセンシングは、1972年にLANDSAT1号が打ち上げられて以来、急速に発展し浸透した技術である。現在では、気象観測衛星、陸域観測衛星、海洋観測衛星など、様々な目的の衛星が打ち上げられている。ここでは、主として陸域観測衛星について述べる。

陸域を観測することを目的とした衛星画像では、これまで LANDSAT TM(米国)と、SPOT HRV(仏国)がよく利用されてきた。これらの衛

星画像は、20mから30mの空間分解能をもち、広域をグローバルな視点から観測することに適している。

さらに現在では、多くの国が様々な目的のために、最新の技術をもった観測機器(センサ)を搭載した衛星の運用および開発を行っている。国家のみではなく、民間企業も商業ベースで独自に衛星を打ち上げ、衛星ビジネスが新たな展開を見せており、図-1は、主な衛星の空間分解能とデータ取得期間を比較したものである。国内での衛星データの利用は、これまでどちらかというと利用方法や解析技術の研究が主体で、本格的な実用は気象や漁業など限定された分野のみだったが、現在の衛星関連技術等の動向から、広く国土管理技術に関連する分野においても、本格的な利用への動きが活発になっている<sup>2)</sup>。

今後の衛星リモートセンシングセンサのキーワードとして、高分解能センサ、多波長帯センサ、マイクロ波センサの3つを取り上げ、その利用性と今後の動きについて整理する。

#### (1) 高分解能(空間分解能)センサ

2000年9月現在、軍事目的以外で入手できる最高の空間分解能は、IKONOS(米国、スペースイメージング社)画像の1mである。1mの空間分解能をもつ衛星は、今後も数基の打ち上げが予定されている。

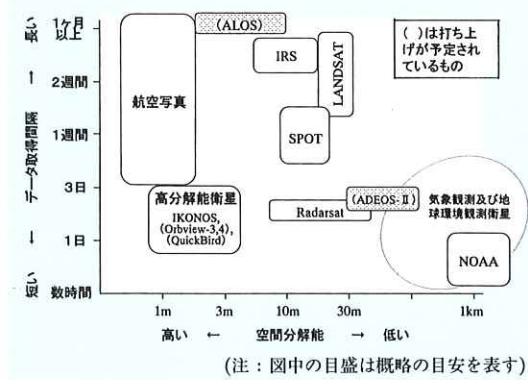


図-1 主な衛星の空間分解能とデータ取得期間の比較

空間分解能が向上することによる効果は、図-2に示すとおりである。20~30mの分解能では、都市の大まかな構造(建物の密集地帯、緑地帯等)がわかる程度であるが、1mの分解能になると建物自体の構造や樹木の形を判別することができる。

さらにIKONOS衛星画像では、単に空間分解能が高いだけでなく、1点(1画素)のデータ量が従来の8bitから11bitに向かっていることは特筆される。このことは、256(2の8乗)階調が、2048(2の11乗)階調になるということで、宇宙からの観測で常に問題となっている建物や地形の陰になる部分の判別が、従来に比べて容易になる可能性を示している。

1mの空間分解能をもつ衛星画像は、航空写真と比較されることが多い。分解能だけから見ると、より地表に近い位置から撮影している航空写真の方が格段に優れているが、高分解能衛星画像には、ディジタルデータであるために画像処理やGIS(地理情報システム)への利用が容易であること、近赤外域でのデータを取得していること、1~2日に1回程度の定期的な観測が可能であること、など航空写真にない利点がある。

高分解能衛星画像は、航空写真に近い形で地物が判別できる一方、一度の観測範囲は約10km四方程度と、従来のLANDSAT TMの約180km、SPOTの約60kmと比べても非常に狭い。したがって、流域全体のような広い範囲の情報の概要が必要な場合には、空間分解能より観測範囲を優先してデータを選択した方が効率的な場合もある。

高分解能を有し、観測範囲が広いものには、インドの衛星IRSがある。IRSは、白黒画像で空間分解能5.6m(PAN)、カラー画像で同24m(LISS)のデータを、約70km四方の広範囲で収集する。また2002年に打ち上げが予定されている日本の陸域観測技術衛星(ALOS)<sup>3)</sup>は、白黒画像で空間分解能2.5m(PRISM:パンクロマチック立体視センサ)、カラー画像で同10m(AVNIR-2:高性能可視近赤外放射計2型)を搭載する予定である。PRISMの観測幅は35km、AVNIR-2の観測幅は70kmとなっている。

衛星画像または航空写真は、空間分解能の違いのみでなく、得られる情報や観測範囲から、利用

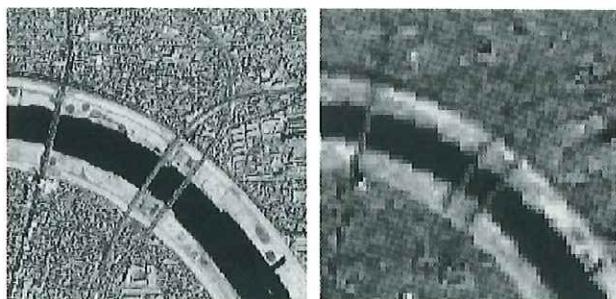


図-2 分解能1m衛星画像(左:IKONOS©日本スペースイメージング社)と分解能24m衛星画像(右:IRS©ANTRIX)

目的によってこれらを使い分けていくことが必要である。

## (2) 多波長帯化

リモートセンシングのセンサは、通常、地上の物体から反射される光(電磁波)の可視域から近赤外域の波長帯を区切って、その反射強度を観測し記録するものである。一方、地表面の物質(植生・土・水等)は、異なる分光反射率(電磁波の波長別の反射率)を示す(図-3)。さらに植生や鉱物は、種類によって異なる分光反射率を示すことが知られており、波長帯を細かく分割してデータを取得すれば、分光反射率の違い(分光反射特性)によって植生や鉱物の種類を判別することができる。従来の衛星センサの観測波長帯は、可視域2~3バンド、近赤外域1バンド程度が主流となっている。このような波長帯域での観測では、広葉樹・針葉樹・水田・畑・都市域といった大まかな植生・土地被覆分類は可能だが、さらに細かい樹種等の区分は困難であった。今後、ハイパースペクトルと呼ばれる約200バンドの波長帯域のデータを取得できるセンサが商業目的で打ち上げられる予定で、植生や地質などのより詳細な区分への利用が期待されている。

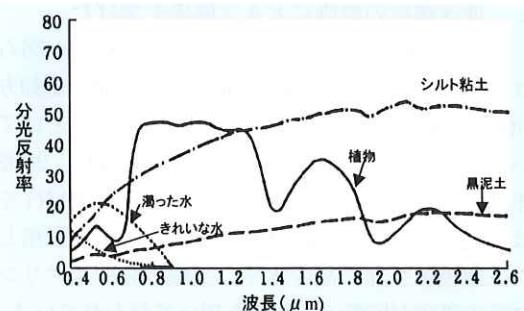


図-3 植物、土、水の分光反射率  
(出典:「図解リモートセンシング」<sup>4)</sup>)

### (3) SAR(合成開口レーダ)

マイクロ波センサは、天候及び昼夜の別なく観測できるセンサとして注目され、1990年代に打ち上げられた衛星のほとんどは、何らかの種類のマイクロ波センサを搭載している。

ここでは、多種類あるマイクロ波センサのうち、SAR(合成開口レーダ)について述べる<sup>5)</sup>。SARは、センサ自身が地上に向けて電磁波を発信し、その地上からの散乱波を受信する方式(能動型)のマイクロ波センサの一種で、衛星軌道のような高々度から高解像度の情報を得るために開発された。SARでは、一般的に提供されているデータを用いて、後方散乱係数を算出するといった手順が必要で、光学センサに比べてデータの扱いが難しいこと、得られた画像が地表面の何を表しているのかがわかりにくいくこと、センサの地表に対する角度(入射角)によって同じ地物が全く異なった反射を返すこと、などの難点がある。しかし、昼夜や天候に關係なく地表が観測できることや、光学センサでは得られない地表面の粗度、植生バイオマス、積雪状態などの物理量が計測できることに、大きな利点がある。

SARを利用した画期的な技術に干渉SARと呼ばれる方法がある<sup>5)</sup>。これは、異なる2点または異なる時期に観測した2種類のSARデータを用いて地表面の高さを計測することができる技術で、標高や地殻変動を精度よく観測することを目的に研究が進められている。

SARを搭載した衛星で現在運用されている代表的なものは、カナダのRADARSAT-1である。我が国にも、1992年に打ち上げられた地球観測衛星1号(JERS-1:ふよう1号)がある。この衛星は、1998年の運用終了まで貴重なデータを提供し、地球環境の観測に大きな成果を挙げた。

今後、SARについても空間分解能の向上が図られるとともに、複数の偏波(電磁波の電界の振動方向)でのデータ観測ができるセンサが開発されている。我が国の陸域観測技術衛星(ALOS、2002年打ち上げ予定)に搭載されるSAR(PALSAR)では、4種類の偏波の組合せが可能で、偏波を利用した土地被覆分類の高度化や、土壤水分モニタリング等の研究が模擬データ等を用いて行われている。

#### 2.2 航空機リモートセンシング

これまで、航空写真撮影や写真測量を除くと、

国内での航空機搭載のリモートセンシングセンサの利用は非常に限定されたもので、研究目的としても欧米諸国に比べて実績が少ないので実状である。稠密な国土利用がされている我が国では、最も効果的な情報取得の方法と考えられ、今後の衛星利活用の時代においても引き続き活用されるべきである。

衛星用のセンサを航空機に搭載することの利点は、ひとつには衛星より低高度から観測することによって、より鮮明な画像が得られること、またひとつには航空機の機動性を活かして、観測したい地点を観測したい時に観測できる、ということがある。航空機リモートセンシングが実現されたのは、航空機の位置測定装置(GPS)と姿勢計測装置などの性能が飛躍的に向上したことによる。

機動性に富み、高精度のデータが得られる航空機搭載型のセンサは、河川流域情報を収集する技術としても非常に有望と考えられる。

航空機リモートセンシングにおける新しい動向として、ここでは(1)3次元レーザスキャナ、(2)航空機搭載SARの2つを紹介したい。

#### (1) 3次元レーザスキャナ

3次元レーザスキャナの特長は、自身の位置(平面上の位置と高度、プラットフォームの姿勢)を正確に計測しながら地表までの距離を測ることによって、地表面の位置と高さを求めるものである。現在、国内では国産及び海外メーカーの機器が導入され、実用化されつつある。

3次元レーザスキャナで計測できるある一点の水平位置の精度は概ね数m(飛行高度の約1/1000)、高さの精度は概ね10数cmで、地上測量に比べて劣るものとの、地表面の高さを面的に計測できる利点がある。また、モードの切り替えによって樹木の高さの測定も期待される<sup>6)</sup>。

#### (2) 航空機搭載SAR

航空機搭載SARは、災害直後の地表面の状況調査やデジタル標高モデルの作成、干渉SARを用いた地形変動の調査等への利用を目指して、研究が行われている。最近では、噴火中の有珠山、雄山(三宅島)の火口の様子を観測し、災害対策への情報提供に大きな期待がかけられている<sup>7)</sup>。

### 3. 河川管理のための情報収集

ここまで見てきたように、リモートセンシ

グは情報を収集するセンサとともに、衛星や航空機の位置決定・姿勢計測など、周辺技術の進歩によって長足の進歩を遂げようとしている。それに伴って、河川管理を目的とした情報収集においても活用可能性が広がっている。

河川管理では、平常時の河川調査および監視、災害時の緊急な情報収集、さらに流域全体を視野に入れた流域水循環特性の把握のための情報収集など、使用目的によって様々な範囲、精度、収集頻度の情報が必要である。

その中で、衛星等のリモートセンシング画像から得られる可能性が高いものは、イ) 水質等監視(水質監視、土砂動態監視)、ロ) 河道等監視(河道・護岸の監視、河川区域・氾濫原の地形把握と監視)、ハ) 河川敷の監視(河川利用実態調査、河川区域の土地利用・植生繁茂状況の把握)、ニ) その他の河川区域監視(不法占有、不法係留船、ゴミの不法投棄等の監視)などである。また、ホ) 降雨量、大気中の水蒸気量、土壤水分量、積雪量などの水文量も、直接観測できる可能性がある。さらに、ヘ) 森林土壤深さや植生からの蒸発散に関連する葉面積指数などのように、流域の水循環を評価するうえで重要なパラメータについても、リモートセンシングが利用できる可能性がある<sup>8),9)</sup>。本稿では、ロ) 及び ハ) について、土木研究所の最近の取り組みを紹介する。

### (1) 河川敷の土地被覆モニタリングへの利用

河川敷空間の利用状況のモニタリングは、航空写真を利用するか、現地調査によって行われてきた。これらの手法は確実ではあるが、コストと時間がかかり、常に最新の情報を同様の精度で把握しておくことは困難である。この方法に代わって衛星画像を利用できれば、リアルタイムとはいえないまでも、最近の状況を迅速に把握することができると考えられる。

したがって、1mの空間分解能を持つIKONOS衛星の画像を用いて、どの程度の地物が判別できるかを検証した。判別する土地利用・被覆項目は、河川水辺の国勢調査に準じたものとした。

IKONOS画像は、空間分解能が4mのカラー画

表-1 空間分解能の違いによる判別結果比較

判別項目	1m解像度リアルカラー (IKONOS)	0.5m白黒 (航空写真)	0.25m白黒 (航空写真)
早瀬・航跡	早瀬は水面状態から判別、船の航跡も判別可能	可能	可能
ワンド	概ね輪郭は判別可能	概ね可能	概ね可能
浅瀬	画像強調により可能性あり	可能	可能
自然護岸	概ね判別可能	可能	可能
人工護岸	判別可能	可能	可能
流入支川・排水の位置	判別可能	可能	可能
高木群	画像強調により被覆物の判別は可能、高さの判別は困難	概ね可能	概ね可能
低木群		概ね可能	概ね可能
高い丈草本群		概ね可能	概ね可能
低い丈草本群		概ね可能	概ね可能
裸地群		可能	可能

像と1mの白黒画像を合成して1mのカラー画像を作成し、画像からの判読が可能かどうかの判定をした。さらに、縮尺1/4,000のカラー航空写真を用いて、空間分解能0.25mと0.5mの白黒デジタル画像を作成し、判読を行った。空間分解能0.5m以下ではほとんどの被覆物が判別できたが、1mでは、とくに植物の高さや種類が判別困難な結果となっている(表-1)。

しかしながら、IKONOS画像がデジタル画像である長所を生かし、画像強調による情報収集の可能性も考えられる。図-4は、水面部分に合わせて白黒のコントラストを調整(画像強調)した結果、円内の河川を航行する船舶の航跡と浅瀬による白波が判別できた例である。

のことから、高分解能衛星画像を用いた調査は、従来の調査法に完全に代わるものではないが、最新の情報を常に把握しておくために、詳細調査の期間中の予備的な調査または出水後の状況調査などの手段としては利用可能と考えられる。

### (2) 航空機からの地盤及び樹木の高さの計測

河川管理において、河道の疎通能力を把握することは重要である。ここでは、迅速に高頻度・広範囲な情報を求める手段として、航空機搭載の3次元レーザスキャナを用いて、河川敷での植生繁茂の状況や高さ情報を精度検証を行った。今回は、平地を流れる河川を対象に航空機搭載の3次元レーザスキャナでデータを取得し、同時期に行つた地上測量の成果と比較することにより精度の検証を行った結果を紹介する。

3次元レーザスキャナでの計測では、地表面に

樹木があった場合、レーザパルスは葉、枝、地面その他のどこかに当たって返ってくる(図-5)。したがって、レーザスキャナで観測した元のデータは、地表面、樹冠、幹など、様々な箇所からの反射を含んだものである。検証ではまず、レーザスキャナで観測した元データから、専用のソフトウェアを用いて、地面の高さ(以下、地盤高)データを作成した。

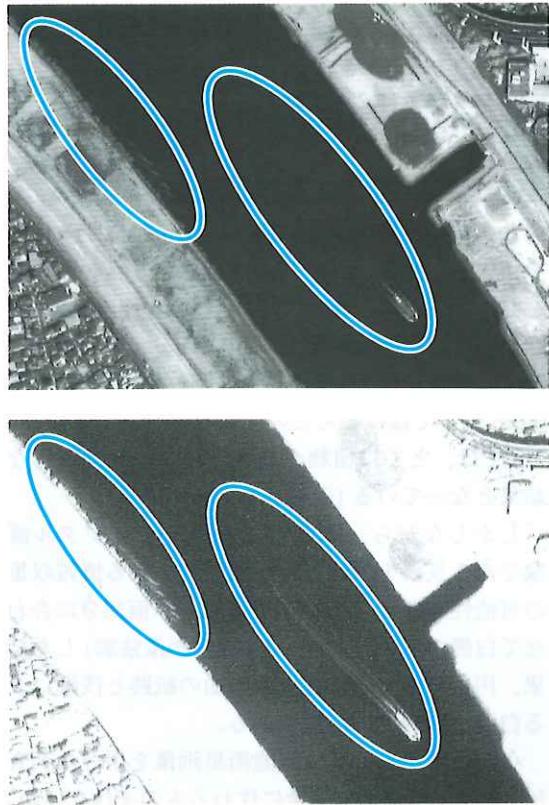


図-4 画像強調による航跡・浅瀬の抽出(内円)  
(上: 強調前 下: 強調後) ©日本スペースイメージング社

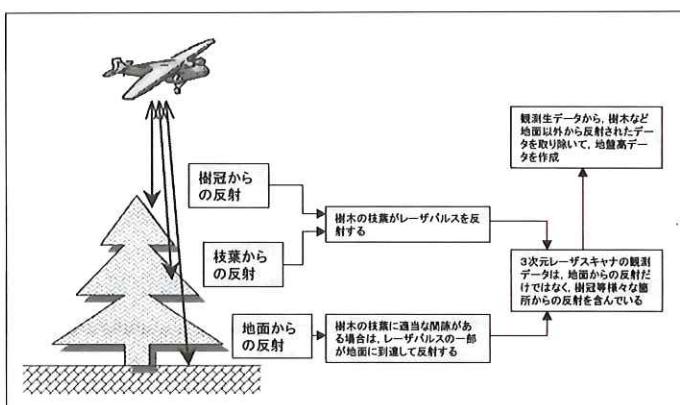


図-5 3次元レーザスキャナの計測概念

図-6には、地上測量による地盤高と、レーザスキャナによる観測データ及びレーザスキャナによる地盤高を示す。レーザスキャナで得られた地盤高データ(図-6の点線)と地上測量による地盤高(図-6の十印)の差は、樹木や低木が生育していない箇所では10~20cm程度なのに対し、低木やアシなど植生が密生している箇所では約30~60cmとなっている。

植生の高さは、レーザスキャナで観測した元データとそれを基に作成した地盤高データの差と考えられる。これを実測した植物の高さと比較した結果、樹木の高さは概ね整合したが、アシの密生地についてばらつきがある数字となった。これは、アシのように細い葉や茎が密生している植物の場合、レーザがアシの様々な部分から反射してくるためと推測できる。

今回の検証から、3次元レーザスキャナでの地盤高の計測では、植生のない箇所では実測値との誤差が10~20cm程度のデータを得られることがわかった。また樹木の高さの計測でも、樹冠にある程度の空隙があれば概ね妥当な値が得られることがわかった。

#### 4. おわりに

すでに、衛星及び航空機搭載型の新しいセンサの実証実験または試験的な運用が始まっている。そこには、河川管理において必要な情報が、従来の方法よりも安全で効果的に得られる大きな可能性がある。ここで忘れてはならないのは、一つの新しい情報収集技術の登場によって、従来の手法の全てに代わるわけではない、ということである。重要なのは、一つの現象を知るための手段として、色々な選択肢が提供されており、その中から目的に応じて最適なものを的確に選択して利用することと考えられる。とくに河川管理のための情報は、その目的も要求される精度も変化に富んでいる(図-7参照)。最新の情報を最適な精度で把握できる手段として、リモートセンシングを積極的に利用していくことは、極めて重要である。

今後は、目的と用途に応じて、衛星画像、航空機画像、地上観測データを選択し、またGISやGPSなど他の

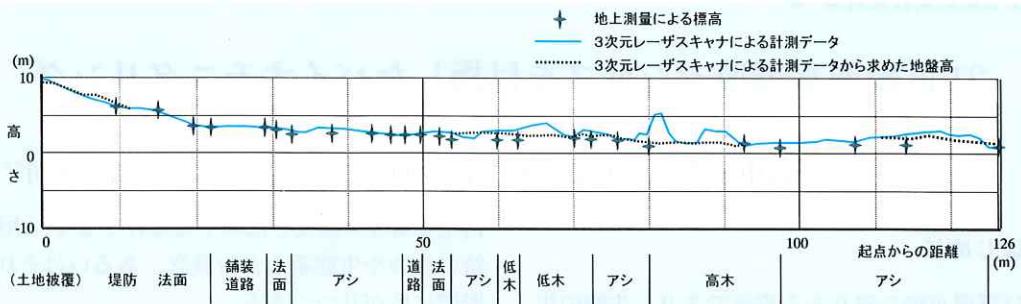


図-6 3次元レーザスキャナ及び実測による計測結果  
(3次元レーザスキャナによる高さは、近傍の測定点から補完して求めた値)

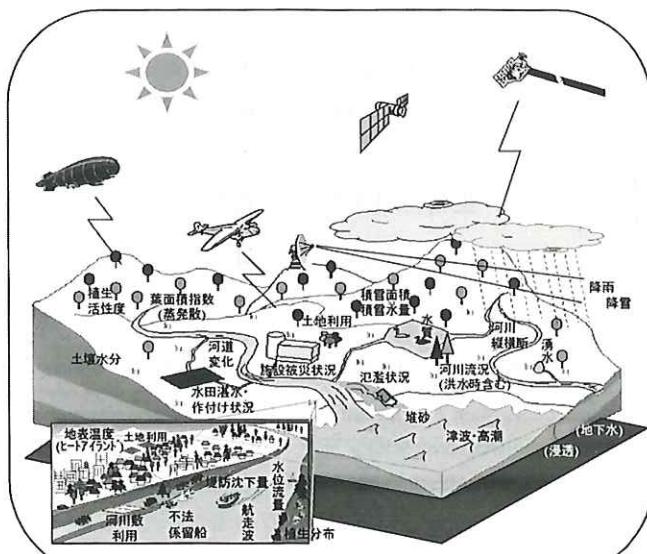


図-7 リモートセンシングによる河川流域情報収集の概念図

技術との組合せによる効率的な情報の収集と活用についての知見を蓄えていくことが重要な課題である。

21世紀は、これまでより一層、多様な情報を活用する時代ととらえられる。そのための取り組みは、始まったばかりである。

### 参考文献

- 1) 河川審議会総合政策委員会水循環小委員会：流域における水循環はいかにあるべきか，中間報告，1998.
- 2) 森重卓雄：国土管理への衛星データの利用，JACIC情報，58号，pp.22-26, 2000.
- 3) 宇宙開発事業団ホームページ：  
[http://yyy.tksc.nasda.go.jp/Home/Earth\\_Obs/j/ilos.j.html](http://yyy.tksc.nasda.go.jp/Home/Earth_Obs/j/ilos.j.html)
- 4) 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング，(社)日本測量協会，1992.
- 5) 飯坂謙二監修、日本写真測量学会編：合成開口レーダ画像ハンドブック，朝倉書店，1998.
- 6) 田村正行、高槻幸枝：航空機レーザスキャナによる樹高計測、写真測量とりモートセンシング，Vol.39, No.2, pp.8-13, 2000.
- 7) 郵政省通信総合研究所地球環境計測部データ応用技術研究室ホームページ：  
<http://www.crl.go.jp/ck/ck521/PI-SAR/J/usu-J.html>,  
<http://www.crl.go.jp/ck/ck521/PI-SAR/J/izu-izu-J.html>
- 8) 深見和彦：河川管理への衛星データ応用研究事例－土木研究所における取り組み－：JACIC情報，58号，pp.60-63, 2000.
- 9) 廣瀬葉子、深見和彦、金木誠：衛星データと地理情報を利用した土壤厚さ推定の試み、土木学会第55回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), DISC1 第II部 II-100, 2000.

廣瀬葉子\*



建設省土木研究所河川部  
水文研究室交流研究员  
Yoko HIROSE

深見和彦\*\*



同 水文研究室主任研究员  
Kazuhiko FUKAMI

金木 誠\*\*\*



同 水文研究室長  
Makoto KANEKI