

衛星データの実利用特別小委員会 研究活動報告

パシフィックコンサルタンツ株式会社

町田 聡

1. 研究概要

1. 1 研究の背景と目的

人工衛星をプラットフォームとするリモートセンシングデータ（以下衛星データ）は、言うまでもなく即時性、広域同時性、繰り返し性（定期性、継続性）などの特長を持つものであり、従来の情報収集手段にはないさまざまな利点が、多くの研究事例をとおして実証されてきている。しかし建設分野に限って見た場合、具体的な利用を紹介した事例報告は必ずしも多くない。またこれまで発表されてきた研究事例は、利用分野が土地被覆分類や環境監視など、一部の利用分野に偏った印象を与えている。

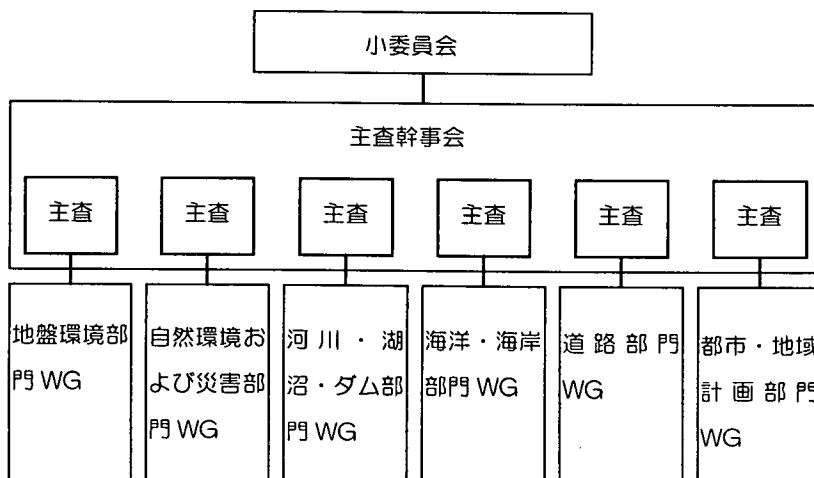
近い将来、地上分解能が数 m から 1m 程度の高分解能衛星データの取得・流通が、商業ベースで行われようとしている。また SAR (Synthetic Aperture Radar) に代表される全天候型センサの開発も進められており、衛星データの利用可能性が急速に広まりつつある。

そのような背景のもと、建設分野における衛星データの実用的な利用方法について検討し、将来の技術に対するニーズを取りまとめることを目的とし、1995 年度に「人工衛星を用いた地球観測データの実利用研究会」（大林成行会長）が設置された。1996 年度には同研究会を母体に土木情報システム委員会内の臨時小委員会として「衛星データの実利用特別小委員会」が発足した。当小委員会は、（社）日本リモートセンシング学会土木リモートセンシング研究会の協力を受けて、1998 年 3 月までの 2 年間にわたり研究を行ってきた。

1. 2 研究体制および研究内容

建設分野における衛星データの利用は、広範な建設事業の中で多様な適用が考えられる。そこで本小委員会では、46 名（1998 年 3 月末現在）の委員の技術専門分野などをもとに、衛星データの利用対象分野毎に 6 つのワーキンググループを組織した（図－1）。

各ワーキンググループは、①技術動向の把握、②衛星データの利用可能性検討、③シミュレーションデータを用いた画像データ処理／解析のケーススタディの手順で研究を進めた。



図一 1 組織体制

2. 高分解能衛星データの特徴と建設分野における利用可能性

2. 1 高分解能衛星データの特徴

一般に衛星データは、観測上ならびにデータ処理・利用上の観点から、表－1 に示すような特徴を有している。

表－1 衛星データの特徴

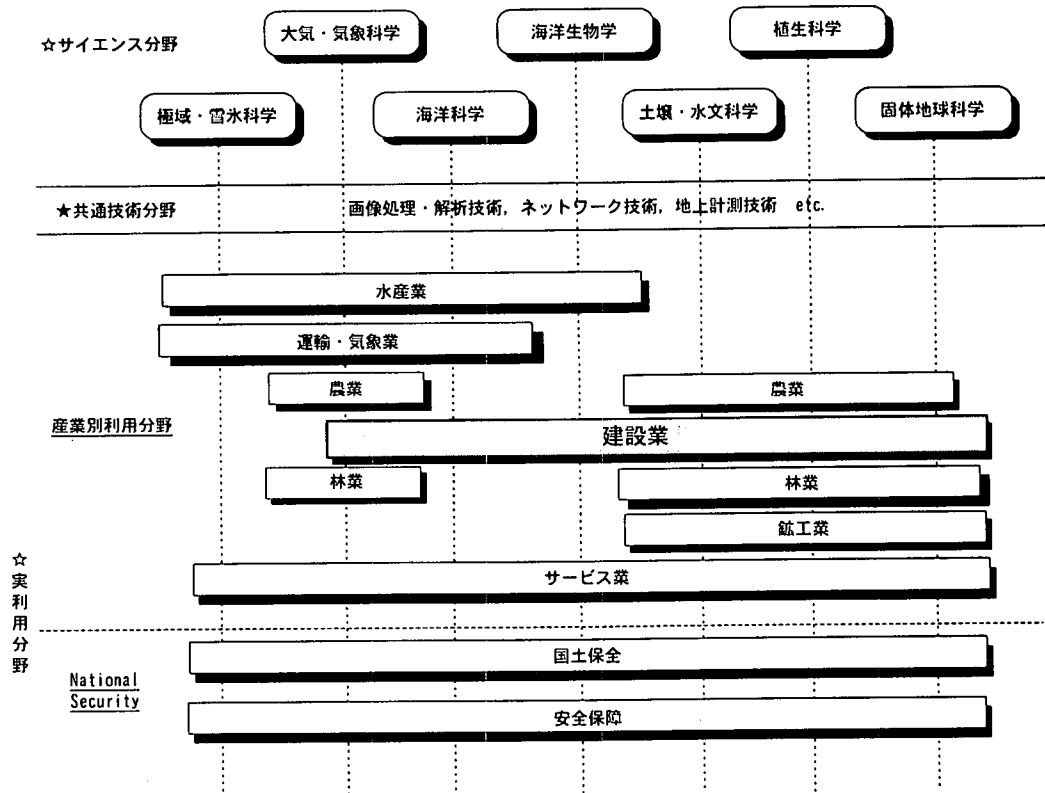
	特 徴
観測上の特徴	・広域性（一様性、同時性） ・周期性（繰返し観測、過去のデータ取得） ・リアルタイム性（複数の衛星データ利用による観測頻度の高密度化）
データ処理・利用上の特徴	・判読性 ・コンピュータ適合性（加工、演算） ・不可視情報の可視化 ・遠隔性

こうした特徴に加え、高分解能衛星データは、以下に示す有意な特徴を持っている。

- ①高分解能：計画中の高分解能衛星に搭載されるセンサは、パンクロで1 m程度の地上分解能を有する。
- ②ポインティング機能：衛星を地上から制御することで、軌道直下だけでなく広範囲のデータ取得が可能。また同一地点の情報を複数の軌道から取得し、ステレオデータ（立体視可能）の取得も可能。
- ③短周期：衛星の数や軌道計画などにもよるが、現在計画中のほとんどの高分解能衛星が1 日～4 日周期で同一箇所のデータを取得可能。

2. 2 建設分野における利用可能性

衛星データの利用に関して、これまで研究されてきた科学分野と実利用分野との関連を図－2 に示す。



図－2 衛星データの科学分野と実利用分野の関連

本小委員会では、高分解能衛星データが持つ特徴・制約事項等を踏まえ、建設各分野における従来からの業務手法、およびそこで利用される情報の種類・精度などに関する検討を行った上で、建設分野全般での高分解能衛星データの利用可能性について検討し、一覧表にとりまとめた。紙面の関係上、ここでは各分野に対する検討結果の中から、一例（海洋・海岸分野における検討結果）を表－2に示す。なお、このような形でとりまとめた高分解能衛星データの利用可能性に関しては、後述するケーススタディの結果と合わせて分野毎に考察を行っている。各分野に対する高分解能衛星データの利用可能性に関する考察は、後述する。

表－2 海洋・海岸分野における利用可能性検討結果（検討結果例）

大分類	中分類	小分類	適用	衛星利用可能性
海岸・海洋構造物施工	地形調査	海岸地形	航空写真、地形図等の代替として適用可能	◎
		河口地形	航空写真、地形図等の代替として適用可能	◎
	水深調査	深浅測量	航空写真の代替として、浅瀬に適用可能性あり	○
	計画	船舶動態監視	連続したデータが取れるなら、港湾計画等で必要となる船舶の動態監視が可能である	○
	施工管理	海洋工事濁度状況	濁度分布を把握することにより適用可能	◎
環境モニタリング	海岸特性	植生	土地被覆、植物活力度を把握することにより植生モニタリングが可能	◎
		砂浜	土地被覆を把握することによりモニタリングが可能	◎
	水質	工場排水（濁度）	濁度分布を把握することにより適用可能	◎
		工場排水（温排水）	熱赤外域のデータを用いて温度分布を把握することにより適用可能	◎
		河川濁水流出	濁度分布を把握することにより適用可能	◎
		赤潮	水質、温度分布状況を把握することにより、予測できる可能性あり	○
		青潮	水質、温度分布状況を把握することにより、予測できる可能性あり	○
	流況	離岸流、海浜流	流向・流速の把握に適用可能性あり	○
		温（冷）排水	濁度分布を把握することにより適用可能	◎
		海流・潮汐流	流向・流速の把握に適用可能性あり	○
		波向	波向きの把握に適用可能	◎
		静穏分布	波を抽出することにより適用可能	◎
	浮遊ゴミ		航空写真代替として適用可能	◎
	オイル流出		航空写真代替として適用可能	◎
	流氷		流氷の面積、密度、氷の状況（積雪の有無、厚さ）などの把握に適用可能	◎
水産	藻場造成	磯焼け対策	透明度・濁度の把握により適用可能	◎
	人工湧昇流発生構造物効果調査	湧昇流	濁度分布を把握することにより適用可能	○
		珊瑚礁監視	分布状況の把握、水質の把握により適用可能	◎
	干潟	干潟造成	形状（面積）の把握に適用可能	◎
海象予測	海象調査・波浪推算		波浪観測に適用可能	○

【凡例：◎＝実績有・適用可能，○＝可能性有，△＝適用困難，×＝適用不可】

3. 衛星データからの情報抽出方法に関する検討

3. 1 一般的な衛星データの処理手順

衛星データから情報を抽出するための手順は、一般に以下に示す3つのステップに集約される。

- ①事前準備：衛星データから情報を抽出する際には、まず利用目的と利用方法を事前に明確にする。具体的には、対象領域、データ取得時期、センサの種類（分解能、観測波長帯）等を明確にする。
- ②データの入手：目的とするデータの検索、注文等を行い、衛星データを入手する。
- ③画像処理・解析による情報の抽出：入手した衛星データの画像処理・解析を行い、情報を抽出する。

3. 2 高分解能衛星データの処理において留意すべきと考えられる事項

高分解能衛星データに関しても、基本的な処理の流れは従来のものと変わらないと考えられる。しかしデータが持つ特徴を考慮した場合、以下に示す事項について注意が必要と考えられる。

①幾何学的歪の補正時における地上座標の計測

地上分解能が数10mの衛星データの場合には、国土地理院発行の縮尺1/25,000地形図等によりデータが持つ幾何学的歪の補正が可能である。しかし、地上分解能が数m程度の高分解能衛星データの場合、上記のような地形図では精度が不足しており、非常に高い精度の地上座標が必要となる。

②撮像角度による歪

高分解能衛星データは衛星の運用上、常に直下視データが提供されるとは限らず、斜視データが提供されることが多いと考えられる。そのため、高分解能衛星データは地表面の比高差により非常に大きな投影歪みを有する。とくに山間部におけるデータ処理では、十分な幾何学的ひずみの補正が必要である。また都市域を対象としたデータでは、建物の高さによってその形状が大きく歪む。

③隠蔽部の発生

②と同じ理由により、都市域の建物等のように比高差が激しい領域では、隠蔽部（建物の影になり、画像に写らない領域）が発生する。また、異なる軌道から同じ領域を撮像したデータを比較する場合には、隠蔽部の発生箇所が異なるため、注意が必要である。

④影の影響

高分解能衛星データでは、建物や樹木の影が明瞭に撮像される。そのため、影の領域には実際に何があるのかを判読することができず、画像処理・解析を行う上で大きな障害となる。また、多時期に撮像されたデータを比較する場合には、各画像ごとに影の位置、長さ等が異なるため、何らかの方法によって影の影響を除去してから、比較を行う必要がある。

⑤分類処理手法

高分解能衛星データは非常に地上分解能が小さいため、従来の分類手法（クラスター分析等）を施すと、細かく分類されすぎてしまい、必要とする分類結果を得ることができない場合がある。また(2)～④に示した要因によっても、誤分類を起こす可能性がある。高分解能衛星データを対象とした分類処理においては、高分解能衛星データ専用の処理アルゴリズムが必要となるものと考えられる。

⑥熱赤外データ

現在計画されている最も高分解能な衛星のデータにおいても、熱赤外波長域のデータが持つ地上分解能は数10mクラスであり、可視・近赤外データと比べると1桁以上地上分解能が大きくなる。すなわち、熱赤外データを用いた処理・解析は、可視・近赤外データとは異なることを、あらかじめ念頭に置く必要がある。

4. 高分解能衛星シミュレーションデータを用いた画像処理／解析ケーススタディ

首都圏域を対象に作成された高分解能衛星のシミュレーションデータを利用する機会を得た。高分解能衛星シミュレーションデータは、航空写真をもとに作成された疑似的なマルチスペクトルデータであり、今後取得されるデータと視野角、波長帯域、バンド構成などにおいて同一ではない。しかし、従来の衛星データと大幅に異なる高精度の画像情報が、建設分野の実務にどう適用できるかを知る意味で、これを利用した解析が我々の研究に役立つと期待される。そこで、この高分解能衛星シミュレーションデータを用いて具体的な画像処理／解析を行い、その中で建設分野への適用可能性について検討を進めた。

4. 1 高分解能衛星シミュレーションデータの概要

高分解能衛星シミュレーションデータとは、上空より撮影された航空写真（近赤外波長域を含む）をカラーイメージスキャナで近赤外域、赤、緑の3バンドに分解したマルチスペクトルデータ（デジタルデータ）であり、地上分解能は1 mに調整されている。

各地点で撮影され作成された画像データは、それぞれ撮影位置の異なる2ヶ所から撮影されたステレオ画像データとなっており、2つの画像データを用いて実体視を行うことも可能である。

4. 2 シミュレーションデータを用いた画像処理／解析の内容

入手した高分解能衛星シミュレーションデータを用いて、具体的な画像処理／解析を行った。その結果に対して各WGで考察を加えることで、建設分野における各種業務への利用可能性を検討した。

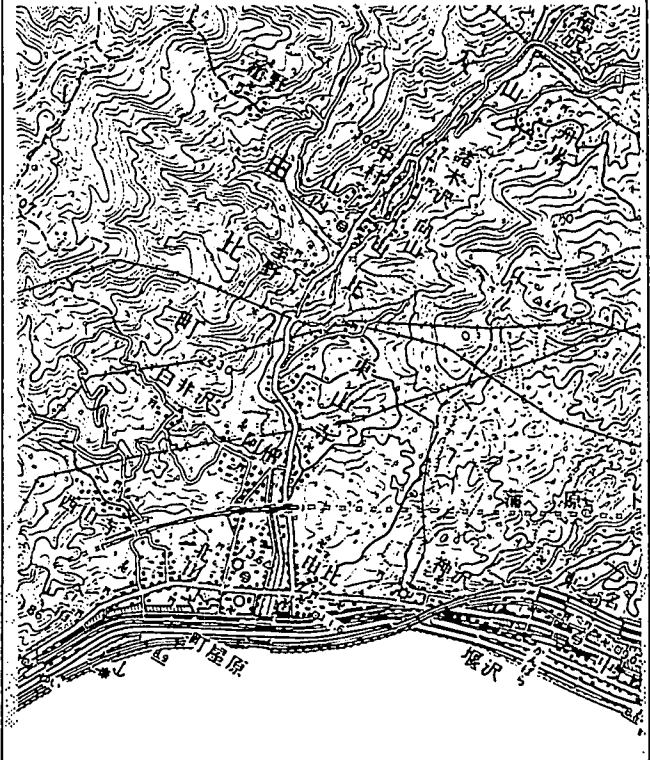
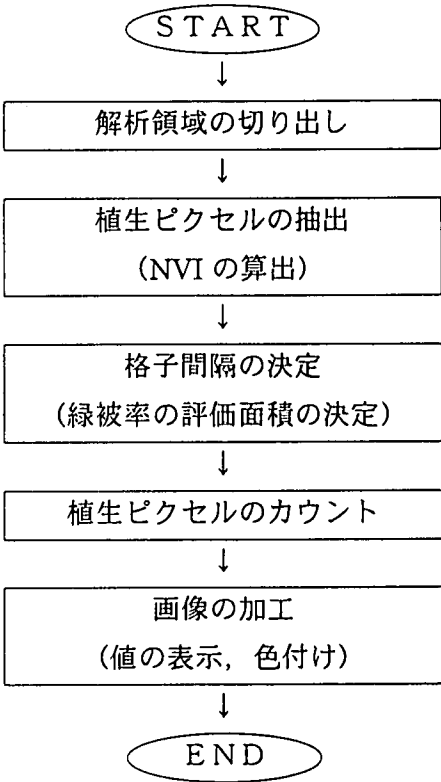
ケーススタディは、各業務分野毎の業務プロセス分析結果を受け、表－3に示す16項目について行った。

表－3 各利用分野毎に行ったケーススタディ一覧

部門	ケーススタディ内容
地盤環境部門	地形分類図作成支援画像の作成
	産業廃棄物処理場分布図の作成
自然環境および災害部門	斜面崩壊地の抽出支援画像の作成
	高分解能衛星の実運用を想定した災害現況把握
河川・湖沼・ダム部門	水面状況のパターン強調図の作成
	土地利用分類図の作成
	河道植生分類図の作成
海洋・海岸部門	波向き図の作成
	海域パターン強調図の作成
	静穏分布図の作成
道路部門	車両抽出
	路線計画への適用検討
都市・地域計画部門	熱環境シミュレーションを前提とした土地被覆分類図の作成
	市街地における植生抽出
	市街地における建物輪郭線抽出の可能性検討
	大規模地域開発等を想定した景観シミュレーションへの衛星データの適用検証

4. 3 ケーススタディ結果

ケーススタディの結果は、その対象地域、画像処理／解析手法などとともに定型フォーマットで整理した。また、出力された画像処理／解析結果の各種画像をもとに、各ワーキンググループで討議を行い、それぞれの分野における実務への適用可能性ならびに今後の検討課題等に関して考察を加えた。ケーススタディ結果の一例を、図－3 A および図－3 B に示す。

No. 14	部門：都市・地域計画部門	テーマ：市街地における植生抽出
場所： 静岡県由比町 画像サイズ： 1,000×700 画素 (1,000×700m) 拡大図： 200×140 画素 (200×140m)		
画像処理／解析の方法 1) 評価領域の切り出し 役場を中心に、海岸線と水平方向に 1,000m、垂直方向は山側 500m、海側 200m を切り出した。 2) NVI の算出 準備されたデータのうち、r (ランドサット TM データ 4 バンドに対応)、g (同 3 バンドに対応) から植生指数 NVI を算出した。算出式は一般的な植生の判断基準である、 $0.2 \leq (r-g) / (r+g)$ を満たすピクセルを植生とした。 3) 緑被率の算出 100m 間隔の格子を図に重ね、各格子内の植生ピクセルをカウントし、面積比率を算出する。 ※NVI の算出においては Adobe Photoshop の Filter Factory を、植生ピクセル数のカウントにはヒストグラム機能を用いた。		

図－3 A ケーススタディ結果（例）

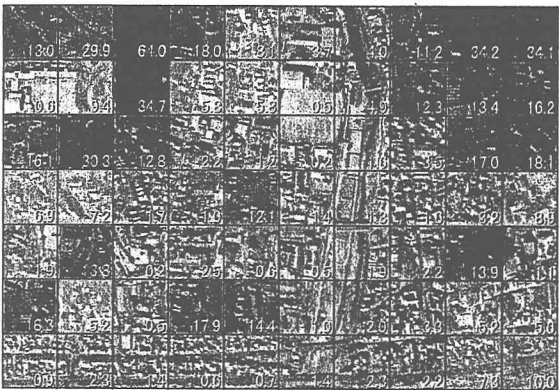
結果



図1 植生MAP 1,000×700m



図2 植生MAP拡大図 200×140m

図3 緑被率MAP(単位%) 1,000×700m
格子間隔:100m 評価領域:100×100m図4 緑被率MAP(単位%) 1,000×700m
格子間隔:100m 評価領域:300×300m

処理結果に対する考察・コメント

1) 植生ピクセルの抽出について (図1, 図2)

- ・NVI の算出式は多くの方が提案しており、季節、地域(樹種)等によって異なる。今回の例では、樹冠を有する樹木はかなり正確に抽出されているが、背の低い植生は抽出されないことがある(河川敷など)。
- ・分解能1mの効果は、大きな樹木を一本一本判別できる点である。
- ・陰の影響が大きく、過小評価される傾向がある。

2) 格子間隔と評価距離の設定について (図3, 図4)

- ・今回は100m格子を用いたが、評価する内容によって格子間隔を変える必要がある。例えば、人が緑を感じることでできる距離は約200~250mと言われている。また、微気候に影響を及ぼす距離は風速2m/sで約100~200m, 5m/sで約50mと言われている。
- ・図3は100m格子毎の緑被率を示し、図4は1つの格子に対して周辺8つの格子を加えた計9つの格子の平均値を示す。つまり図3は評価距離約50m、図4は約150mと言え、同格子間隔でも評価距離の違いによって結果が異なる。

テーマに対する考察・コメント

高解像度衛星データの持つ高い解像度を活用し、市街地における植生抽出を試みた。その結果、従来は航空写真などをもとに行っていた緑被抽出に対し、高解像度衛星データが十分に活用できることが確認された。ただし、高層ビルの林立する密集市街地などにおける影の影響なども考えた場合、どんな状況下においても十分な分類を行うことができるとは断言できない。今後も更なる検証が必要であろう。

4. 4 ケーススタディのまとめ

高分解能衛星データの建設分野における広範な適用可能性を考えた場合、本研究の中でとりあげた 16 項目のケーススタディは、非常に限られたものである。しかしその限られたケーススタディの中からも、高分解能衛星からの情報が幅広い業務分野へ適用可能であることを窺い知ることができた。

その一方で、今後入手できるであろう高分解能衛星データの諸元等について考えた場合、建設分野の実務における我々の要求に対して必ずしも必要十分な精度・内容の情報が得られるのかという点では、明確でない部分も多い。高分解能であるがゆえに画像処理／解析の過程で発生する課題も、ケーススタディを通じてかいま見られてきつつある。利用分野・利用目的によっては、必ずしも高分解能を要求しない場合もあり、今後は利用目的に応じたデータの空間精度について最適値を見いだすことも、ひとつの重要な研究課題であると考えられる。また、画像処理／解析の手法についても、従来までの衛星データを用いた画像処理／解析の中で用いられてきた手法とは異なる、新たな手法の研究開発も必要になってくるであろう。

5. 建設各分野における衛星データの利用に関する考察

各ワーキンググループにおける検討およびケーススタディ結果をもとに、分野毎の利用可能性、高分解能衛星データの入手によって期待される効果、および今後の課題・展望を考察した。以下に、その概要を整理する。

5. 1 地盤環境分野

地盤環境分野における高分解能衛星データの利用は、地盤に関連する基礎的な情報を入手する点に主眼が置かれており、利用可能性は全般的にかなり高いものと考えられる。具体的には、地形分類や地すべり・断層等の特徴的な地形および特殊な土質の分布範囲の抽出、地表地質分類、地質構造の推定、直接的または間接的な手法による土壌分類などに有効であると考えられる。また、従来は空中写真の撮影頻度から、即時的な適用が制約されていた防災分野での活用や、変質帯や熱情報の取得において、データの適用効果は大きいものと考えられる。さらに、地盤に関する環境問題の中で重要な位置を占める産業廃棄物関連等では、廃棄物処分に関わるモニタリングや効率的な処分計画の策定における有効活用が期待される。

5. 2 自然環境および災害分野

衛星データの特徴は、自然災害の防災上必要な情報にマッチしており、今後この分野においては、ますます需要が高まるものと考えられる。とくに、地域特性に支配される防災情報に対し、常に新しい情報に更新できる衛星データの利点は、リアルタイム防災に欠かせない情報源の 1 つとなることが予想され、高精度データの実用化は発災直後の被害推定等のリアルタイム防災情報の精度向上に大きく寄与することが期待される。具体的には、地震災害、火山災害、斜面災害、豪雨災害等の被害予測、被災状況の把握、二次災害の予測に有効であると考えられる。

5. 3 河川・湖沼・ダム分野

衛星データは、広域にわたる面的な情報を、電子化情報として把握できるという特性を持っており、河川・湖沼・ダム分野においても、面としてのデータを把握する必要性が高い業務に対しての利用可能

性が高い。具体的には、治水・利水における土地利用把握、環境管理といった分野で流域に関わる各種情報取得における適用可能性が高く、今後大いに利用が拡大するものと考えられる。特に、流出解析の前提条件となる土地利用状況の把握においては、従来からの手法に替わる情報入手方法として活用が期待される。さらに、高分解能衛星データの特性を活かした河川内の情報取得に関しては、河道内植生の把握、河道形状の把握、等において非常に有効な情報源になるものと考えられる。

5. 4 海洋・海岸分野

海洋・海岸分野は対象とする領域が非常に広いため、広大な領域を瞬時に観測することのできる衛星データを有効に活用することが期待される。また、高分解能衛星データは、対象物の詳細な調査、モニタリング等においても、非常に有効に利用されることが期待できる。具体的には、海岸・海洋構造物施工における地形調査、海岸特性モニタリング、水質モニタリング、流況モニタリング、等の分野での活用が期待される。

5. 5 道路分野

道路分野に限ったことではないが、衛星データの普及にあたっては、従来手法に対する付加価値の向上、コストダウンなどの明らかなメリットが必要である。そういった面を考慮した場合、道路分野において高分解能衛星データは、従来の航空写真の代替的利用として利用可能性のあるものと考えられる。従来の航空写真は有効な資料ではあるが、常に最新で必要となるエリアのものがあるとは限らず、別途撮影するには非常にコストがかかる。そのため、高分解能衛星データの入手の容易性が増せば、利用可能性は高くなるものと考えられる。利用分野としては、特に道路網計画を行う際の、対象地域における地域構造・土地利用等の把握に有効であると考えられる。具体的には、道路施設現況調査、路線計画、環境調査、維持管理などにおける利用が期待される。

5. 6 都市・地域計画分野

都市・地域計画分野という広い括りの中で考えた場合、衛星データは、さまざまな計画業務における支援情報として活用可能である。しかし一方では、業務の中で必要とされる情報が十分な精度で得られなかったり、必要なインターバルでデータが取得できないなど、現在の技術では必ずしも十分ではなく、今後の技術開発に期待される部分も多く残されている。都市・地域計画分野における衛星データの活用は、各種計画業務を支援する基礎的情報の取得において最も期待される。面的に広がる対象地域の情報を常時取得・更新していく際に、従来の手法では得られない広域を同時に観測した情報や、それを自動的にコンピュータ処理して短時間で結果を出せる技術の効果は大きい。とくに刻々と変わる建物の情報や植生などの情報に関しては、衛星データの利用に対する期待は大きい。

6. まとめ

本小委員会では、建設各分野における既往の業務手法と利用情報に関する分析を行い、その結果を考慮しつつ、高分解能衛星データの利用可能性について検討を行った。さらに、シミュレーションデータを用いて建設各分野における業務に則した具体の画像処理／解析を行う中で、各業務分野における高分解能衛星データの利用可能性について、多角的な検討を行ってきた。

しかしながら、本研究で使用したシミュレーションデータは、あくまでも航空写真から作成したもの

であり、今後実際に取得されるデータとは分解能・スペクトル構成などが異なるものである。今後は、本研究の成果をもとに、実際に取得される高分解能衛星データを用いた再検証を行うことで、コスト面での検討を併せてトータルな利用可能性の評価に繋げていくことが必要であろうと考えられる。

一方、高分解能衛星データの実利用に際して従来の衛星マルチスペクトルデータを利用するために開発整備されてきたソフトウェア（画像処理／解析の手法）をそのまま用いることが適当か否かについては、未だ十分な結論が得られているわけではない。本小委員会も、これらの命題に具体的な指針を得ることを考えて発足したものである。今後確度の高い指針を纏めていくためには、利用分野または対象項目ごとに、①定量評価指標に基づいた分類精度評価（教師付き最尤法を用いた画像分類精度の評価）、②トレーニングデータの再抽出効果、③トレーニングクラスの再設定効果、④空間情報の適用効果、などといった項目に関してさらに詳細な評価検証を行っていくことが大切である。このような地味な実証実験を利用分野、対象項目ごとに蓄積していくことによって、高分解能衛星データの効用と限界が明らかになるはずである。

また、実際の業務の中で高分解能衛星データを利用していくエンドユーザの側から、今後の衛星データへ要望を出していくことも重要であろう。そして将来的には、建設分野における実際の業務が持つニーズを反映した、独自の衛星の打ち上げも期待される。他方、エンドユーザ側においては、新たな情報入手を前提にした意識改革も必要であろう。業務計画の立案においては、従来の手法に固執せず、衛星データという新たな情報収集手段を念頭においた検討が必要であろうし、またそれに応じたデータ処理／解析手法の変革も考えていかねばならないであろう。そうした相互努力の中で、単に技術的な面ばかりでなく、コスト的にも十分に従来の手法に対して見合う高分解能衛星データの活用方向が見つかっていくものと期待される。

謝辞

本研究の中で行った高分解能衛星シミュレーションデータの画像処理／解析においては、入手データの前処理から画像処理／解析、後処理にいたる一連の作業の大部分を、東京理科大学リモートセンシング研究所および同大学理工学部土木工学科大林研究室の学生諸氏に協力していただいた。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- ・日本リモートセンシング研究会編「図解リモートセンシング」（社）日本測量協会
- ・大林成行編著「実務者のためのリモートセンシング」フジ・テクノシステム
- ・土木情報システム委員会衛星データの実利用研究会編「建設分野を対象とした衛星データの実利用可能性に関する検討[一次報告書]」（社）土木学会