

地球資源に対する衛星画像ソリューション

Solution for Earth Resource Using Satellite Imagery

坂口 英志

Sakaguchi Hideyuki

賀川 義昭

Kagawa Yoshiaki

風間 頼子

Kazama Yoriko

限られた地球資源への関心が高まる中、地球資源の発見やモニタリングに地球観測衛星の活用が期待されているが、それを用いたソリューションを構築するにはさまざまな技術が必要である。

日立グループは、衛星画像利用システムの開発・提供経験から得た知見により、環境関連の地球資源である森林資源、農地資源、生物資源に対するモニタリングのソリューションモデルを構築している。今後は、これらの分野についてグローバルな展開を個々に推進するとともに、スマートシティなど、日立グループのグローバルなトータルソリューションの一部として、環境関連の地球資源の衛星画像のモニタリングに関する衛星画像の活用に着目していく。

1. はじめに

レアアース、CO₂排出量削減が期待される森林など、毎日のように地球資源に関連する記事が新聞紙上にをにぎわしている。

地球資源には、鉱物資源、森林資源、生物資源、農地資源、水資源、海洋資源などがあるが、これらの地球資源はグローバルかつ広範囲に分布しているため、地上に設置されたセンサーでは観測範囲が狭く、発見やモニタリングが困難である。そのため、地球上空を周回し、グローバルかつ広範囲に地球を観測する地球観測衛星の活用が期待される。

衛星画像は、米国の検索サイト大手のGoogle^{※1)}社がGoogle Earth^{※1)}で公開して以来、地球全体の衛星画像を見ることができ、身近になった。

衛星画像は身近になったが、地球資源分野にどのように衛星画像を利用し、モニタリングなどのソリューションを構築すればよいかは、衛星画像の利用についての技術的ノウハウがなければわからない。

日立製作所ディフェンスシステム社は、その前身の組織も含めると1970年代より安全保障ユーザーを中心として地球観測衛星の受信処理設備、および衛星画像の利用システムの開発・提供を多く手がけており、衛星画像の利用システムにかかわるソリューションの実績がある。

衛星画像を活用した地球資源モニタリングに関するソリューションの概要を図1に示す。

ここでは、地球資源のうち環境に関連する森林資源、農地資源、生物資源について事例を挙げ、それらに関する背景や要求などを説明し、衛星画像を活用したモニタリングのソリューションについて述べる。

2. 森林資源

森林資源では、現在最も脚光を浴びているのがREDD+ (Reduced Emissions from Deforestation and Forest

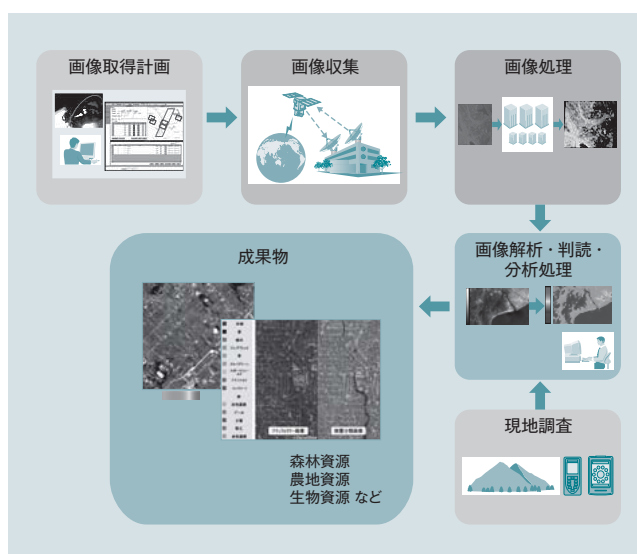


図1 | 衛星画像活用による地球資源モニタリングのソリューションの概要
衛星画像は、森林資源、農地資源、生物資源といった地球資源分野での活用が期待されている。

※1) Google, Google Earthは、Google Inc.の登録商標である。

Degradation in Developing Countries-plus) であり、途上国のCO₂排出権取引にかかわる仕組みである。

REDD+は、2005年にカナダのモントリオールで開催された気候変動枠組条約第11回締約国会議(COP11: Conference of Parties 11)において、コスタリカ、パプアニューギニアにより提案された。当初は森林減少のみであったが、それではブラジル、インドネシア、熱帯アフリカ諸国以外の途上国が利益を得られないために、インドネシアのバリで開催されたCOP13(2007年)では「森林劣化」(Forest Degradation)も加えることになり、REDDとなった。さらに、ポーランドのポズナンで開催されたCOP14(2008年)では、インドなどの植林活動を行っている国もメリットがあるように森林保全、持続可能な森林管理、炭素貯蔵量増加も含まれ、それらを「plus」とし、現在のREDD+となった。

そして、2010年にメキシコのカンクンで開催されたCOP16では、途上国は2020年までに現在よりもCO₂排出量を削減するための計画を立てて実行するとともに、国際的な検証を受けることが合意された。

国際連合(国連)の資料によれば、REDD+のマーケットの規模は1.2~2.4兆円/年であり、このうち炭素蓄積量の算定にかかわる部分が8%程度で約1,440億円/年と予想されており、衛星画像の新たなマーケットとして期待されている。

REDD+では、途上国は過去のCO₂排出量を算定してプロットし、それを外挿して将来のCO₂排出量を予測する(図2参照)。その予測値と実際のCO₂の排出量が取引の材料(インセンティブ)となる。

COPにおける科学的・技術的な事項の情報や助言の提供を目的とした補助機関SBSTA (Subsidiary Body for

Scientific and Technological Advice) は、COP15 (2009年)で、森林域におけるCO₂排出量の変化は、森林における炭素蓄積量の変化で算定し、算定方法は、IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) が策定した最新のガイドライン (IPCCガイドライン) を用いることとした。ガイドラインでは、炭素蓄積量はリモートセンシングと地上調査の組み合わせにより、次式で算定としている。

$$\text{炭素蓄積 (C-ton)} = \Sigma \text{森林面積 (ha)} \times \text{炭素密度 (C-ton/ha)}$$

この算定にあたっては、森林面積の測定についてはリモートセンシング、炭素密度の測定については地上調査が調査方法として期待されている。

COPでは、対象領域を国 (National) もしくは準国 (Sub-national) レベルとし、CO₂の排出量カーブを描くための期間は京都議定書と同様に1990年からとする方向である。

これらの対象領域、期間を満足し、森林面積の測定が可能な衛星には、1990年よりも前から地球を観測しているLandsat衛星(米国:解像度30 m/画素)、SPOT^{※2)}衛星(フランス:解像度2.5~10 m/画素)などがある。

森林域の衛星画像の例を図3に示す。同図からわかるように、衛星画像から森林の有無、木の種類(樹種)、およびその面積の抽出が期待される。

地上調査は、対象となる領域(国もしくは準国レベル)の樹種に対するバイオマスを算定する。バイオマスの算定は、樹種ごとに種々の高さ(樹高)の木を切ってドライマスを測り、回帰式を作成して樹種ごとに樹高に応じたバイオマスを算定できるようにする。ただし、対象領域ごとにバイオマスの算定ができない場合は、IPCC Good Practice

※2) SPOTIMAGE, SPOTは、フランスおよびその他の国におけるフランスSpot Image社の商標または登録商標である。

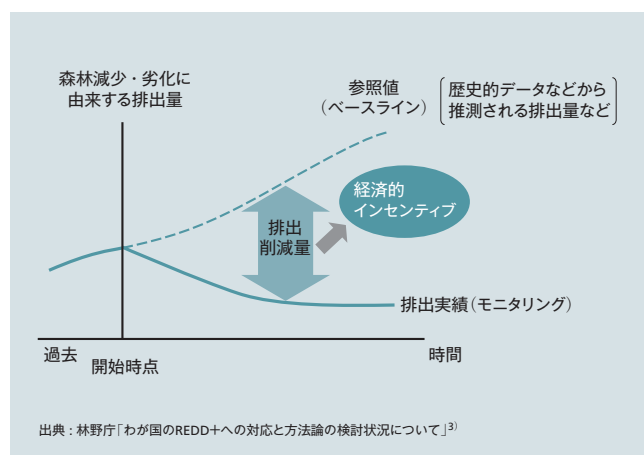


図2 REDD+の仕組み

REDD+ (Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries-plus) では、過去のCO₂排出量を算定し、それから将来の排出量を予測する。予測された排出量と実際の排出量の差がインセンティブ(取引の材料)となる。



図3 森林域の衛星画像

フランスのSPOT衛星の2.5 m解像度の画像(オーストラリアのキャンベラ)を示す。森林の有無、木の種類(樹種)および面積がわかる。

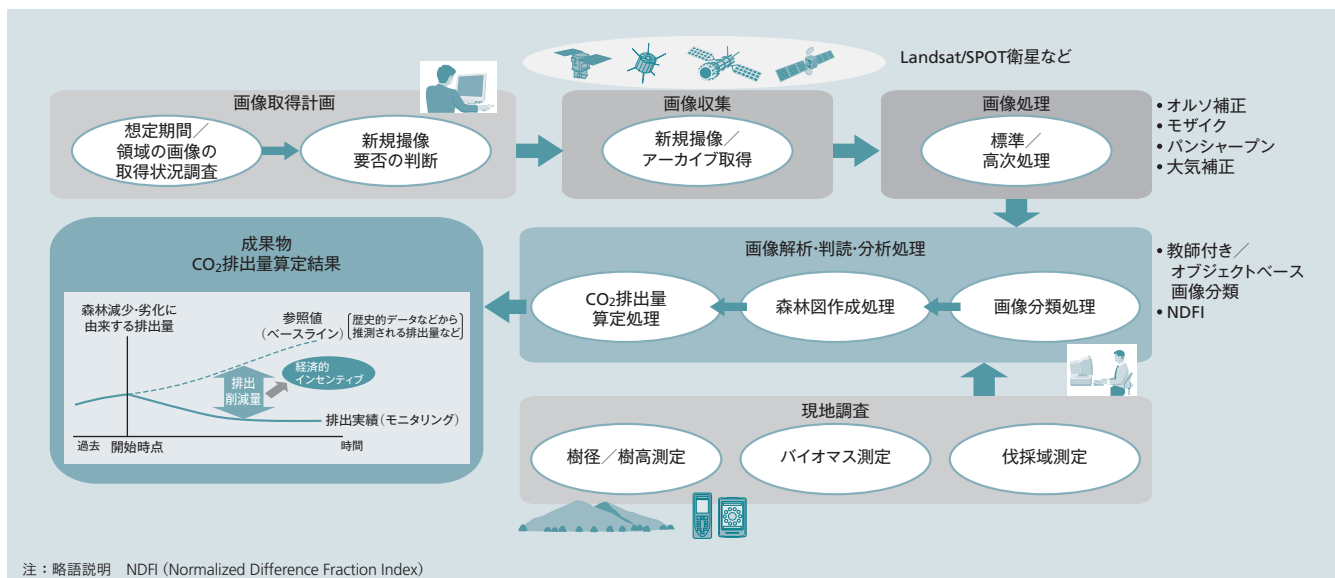


図4 | REDD+のための衛星画像および関連技術を用いたソリューション
実現には衛星画像と現地調査の両方が必要である。

Guidanceにある値を用いることになる。

以上を考慮したREDD+に関する衛星画像を活用した森林のモニタリングのソリューションを図4に示す。

前述のとおり、REDD+の森林の炭素蓄積量の変化は、リモートセンシングと地上調査の組み合わせで実施する。

衛星画像としては、炭素蓄積量を算定するにあたり、1990年頃からであればLandsat/SPOT衛星の画像が中心になる。また、2006年以降の衛星画像であれば、日本の衛星「だいち (ALOS : Advanced Land Observing Satellite)」のPRISM, AVNIR-2といった光学センサーの画像の活用も考えられる。

画像処理としては、地図上にも重ねられる形態とするオルソ (正射影) 補正処理、高分解能のパンクロマチック画像の解像度にマルチスペクトル画像の解像度を合わせるパンシャープン処理などの高次処理が必要となる。

画像解析・判読・分析処理においては、目視による樹種および面積計測を支援するための教師付き画像分類、領域をセグメントとして分割するのに適し、森林とそれ以外の境界や樹種ごとの分類を容易にするオブジェクトベースの画像分類を活用する。さらに、画像解析・判読・分析処理については、樹種の自動分類やNDFI (Normalized Difference Fraction Index) の活用による中分解能の衛星画像からの森林劣化域の抽出が将来的に期待される。

現地調査 (地上調査) では、バイオマスを算定するため木の分布を調べる際に、木々の直径や樹高を計測するレーザや超音波の測距計と胸高直径計などが必要になる。これらによって計測された値と衛星画像から得られた結果を基にしてCO₂の排出量を算定する。

しかし、対象となる途上国、新興国は赤道近辺に集中し

ており、この領域では、天候が悪く雲がかかる時間率が高く、地表面から500～1,000 kmという高度を周回する衛星に搭載した光学センサーでは、想定期間内に対象領域全域を観測できない可能性がある。この課題に対して、天候に関係なく地表面を観測できるレーザ型センサーであるSAR (Synthetic Aperture Radar) の活用が期待される。

なお、ここではCOPで議論されている国もしくは準国レベルについて述べたが、市町村など、より狭いエリアを対象とする自主的炭素市場ではCOPと異なり、1990年からのCO₂排出量算定が必要であれば、日立グループが配布権を有する米国DigitalGlobe^{※3)}社のQuickBird/World View-2衛星などによる0.5～0.6 m級の高分解能衛星画像を主として利用することが期待される。

3. 農地資源

農地資源は、大きく分けて土地利用状況管理と栽培管理 (その土地を有効に活用し、作物の収量や品質を向上させるための管理) の二つがある。

農林水産省の資料「農業用水分野における国際貢献」⁴⁾によれば、世界の耕作地面積の伸びは鈍化し、耕作地面積の増加が人口の増加に追いつかず、一人当たりの耕作地面積は年々減少していると報告しており、グローバルな食糧問題が懸念される。

この対策としては、耕作地面積の増加もしくは単位面積当たりの収量向上が考えられる。

前者は、森林域などの他の用途に利用されている土地を耕作地に変更する必要があるが、例えば森林域の農地への

※3) DigitalGlobeは、DigitalGlobe社の登録商標である。



©DigitalGlobe

図5 | 千葉県長南町の水田の衛星画像

中央に見えるのが水田である(WorldView-2衛星画像/2010年7月21日撮影)。

転用はCO₂の排出量の増加を招くなど、環境に悪影響を及ぼす可能性がある。後者については、単位面積当たりの収量を向上させるために土地や作物の状態を監視して栽培管理を行うことが考えられる。

ここでは、世界的な栄養不足人口10.2億人の約6割を占めるアジアの食糧問題に関する対策として、主たる作物である水稻に対する収量向上について述べる。

まず、水田の衛星画像を図5に示す。同図にあるように、衛星画像は上空から撮影するため水田全体をモニタリングすることが可能であり、休耕状態や水を張った状態、苗を植えた状態、稲を生育している状態、収穫期といった異

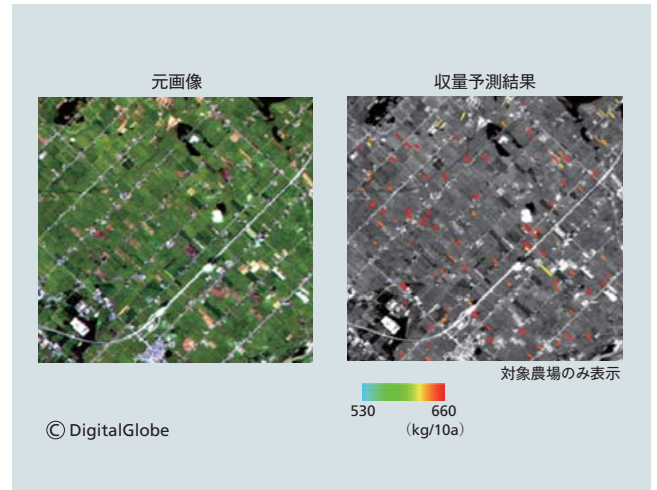


図6 | 衛星画像を用いた水稻の収量予測結果の例
処理前の画像を左に、収量予測後の画像を右に示す。

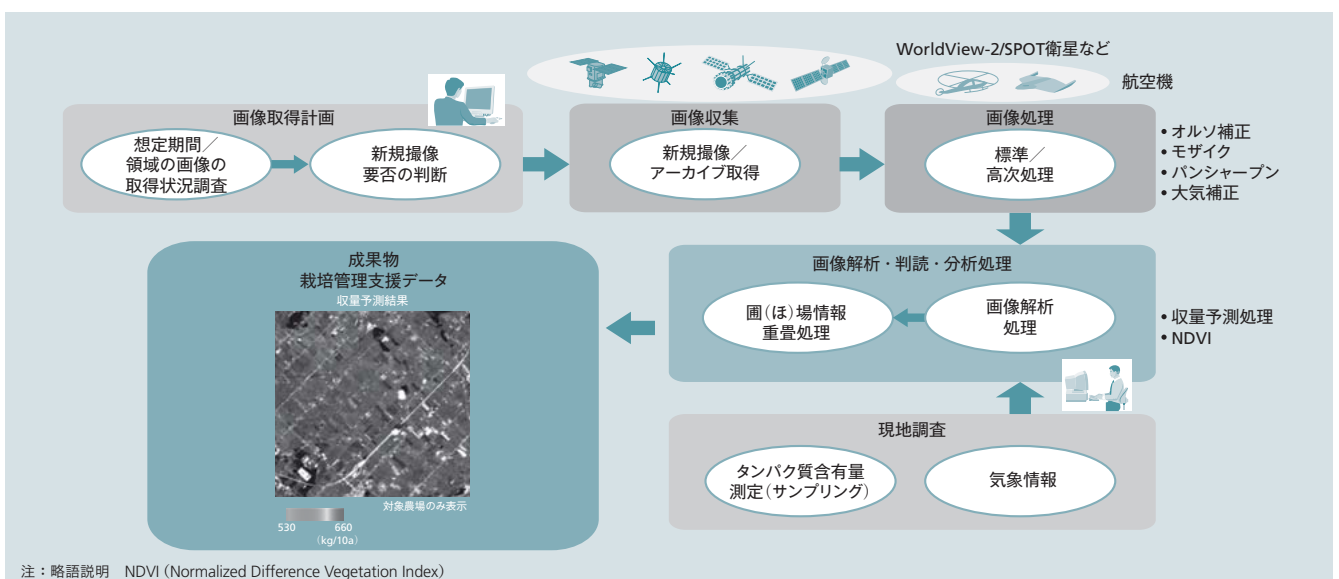
なった状態の水田を撮影することもできる。

収量向上のためのモニタリングでは、これらの状態に応じて、(1) 休耕状態の水田の土壌の状態を観測し、適切な施肥を行う、(2) 稲が生育しているときの水田を観測して、追加で施肥したり、水の管理を行う、(3) 収穫期の水田を観測して収穫量を予想し、その量から次年度の水田の土壌改良に利用するという三つの対策が考えられる。

収量向上のためのモニタリングの例として、マルチスペクトルの衛星画像と現地の気象データなどを用いた水稻の成長シミュレーションを組み合わせ、水稻の収穫量を予測した結果の例を図6に示す。

これらを考慮した水稻の収量向上に対する衛星画像を活用したモニタリングのソリューションを図7に示す。

全体的な流れは森林資源と大きく変わらないが、画像収集では、対象とする圃(ほ)場の大きさによって使用する



注：略語説明 NDI (Normalized Difference Vegetation Index)

図7 | 水稻の収量向上に関する衛星画像を活用したモニタリングのソリューション

観測時期は作物の生育時期であり、期間が短いため、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) など衛星以外による補完撮像も考慮する必要がある。

衛星画像の空間分解能が高分解能から中分解能と変わる。また、作物の収穫期およびその直前というきわめて限られた時期に撮像する必要があるため、衛星以外にUAV(Unmanned Aerial Vehicle)などの航空機による撮像手段も補完として考慮する必要がある。

画像解析・判読・分析処理でも、森林資源と異なり収量予測処理が必要になる。なお、衛星画像を活用したモニタリングのソリューションを活用すれば、NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)から、食味を左右すると言われる水稻のタンパク質の含有量の解析が可能となり、水稻の品質を示すこともできる。

4. 生物資源

2010年10月に愛知県名古屋市で開催された生物多様性条約第10回締約国会議(以下、COP10と記す。)を契機に、生物多様性問題が注目され始めている。生物多様性からもたらされる生物資源は、食品、木材、薬品、観光名所の創出など経済的価値を生むだけでなく、自然災害の低減、酸素の供給、気温・湿度の調整、水の循環などの恩恵も生み出している。

現在、生物種の絶滅速度は自然状態の1,000倍に加速され、1年に約4万種の生物が絶滅していると言われている。このような危機に対し、2002年にオランダのハーグで開催されたCOP6において、「2010年目標」として生物種の損失速度を顕著に減少させるという目標が立てられた。結果的には達成することはできなかったが、COP10ではポスト2010年目標として「愛知目標」が採択された。

愛知目標では、2010年目標にはなかった生態系保護地域の面積に関する数値目標が盛り込まれ、各国がよりいっそう生物多様性の保全に努めることが求められるようになった。日本はCOP10の議長国であるだけでなく、世界有数の生物が豊かな国であり、この分野で世界をリードしていくべき立場にあると考える。

海外では、生物多様性保全対策に市場メカニズムを活用する取り組みが始まっている。それらの取り組みの代表的なものとして「生物多様性オフセット」がある。これは土地開発によって失われた生態系の損失を定量的に評価し、他の土地に同等の生態系を復元もしくは保護することでその損失を相殺(オフセット)する仕組みである。米国、オーストラリアをはじめ、世界約30か国でこの仕組みが法制化されている。そして、第三者があらかじめ復元・保護した生態系を権利として開発業者に販売する市場が形成されている。

「生物多様性版スターンレビュー」とも呼ばれるTEEB(The Economic of Ecosystems and Biodiversity)の報告書で

は、生物多様性オフセットの市場は2020年に1兆円規模になると予測している。

生物多様性オフセットにおいては、(1)開発によって失われる生態系をどの場所にオフセットするかを決定する、(2)オフセット先の新たな生態系が保全されているかをモニタリングするということが重要になると考えられる。

(1)に関しては、衛星画像に対して土地被覆分類を施し、適地を選定することが考えられる。オフセット先は対象となる土地が緑地か否かだけでなく、周辺の土地利用にも依存する。このために衛星画像から土地被覆分類図を作成し、開発される土地のオフセット先として適した土地を探し出すことが必要になる。

WorldView-2衛星画像を用いた土地被覆分類図の例を図8に示す。

また、(2)に関しては、オフセット先の土地を定期的に衛星で撮影することでオフセット先の植生の状況がモニターできる。衛星は航空機と異なり、地球を周回しているので航空機のようにモニタリングのためにあえて飛行させる必要がなく、モニタリングを省力化できる可能性がある。植生状況をモニターするには、植生の活性度を表す指数であるNDVIが有用である。また、植生の健康状態や植生の成長度の把握が可能とされるRed Edgeバンドを有するWorldView-2衛星画像を用いれば、よりきめ細かいモニタリングを行うことが期待できる。

これらを踏まえた生物多様性オフセットに対する衛星画像を活用したモニタリングのソリューションを図9に示す。

生物多様性オフセットでは土地開発地域が対象であり、領域が狭いため、衛星画像としてはQuickBird衛星、WorldView-2衛星といった高分解能衛星画像が有用である。

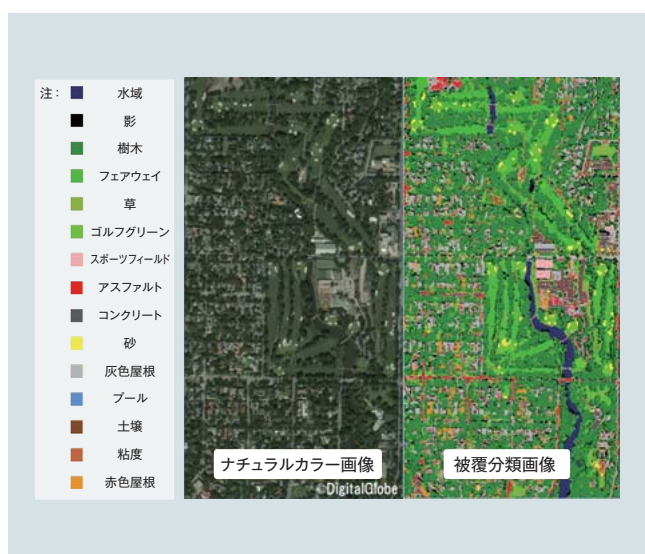


図8 | WorldView-2衛星画像を用いた土地被覆分類図の例
ナチュラルカラー画像を左に、土地被覆をカテゴリ別に色分けした画像を右に示す。

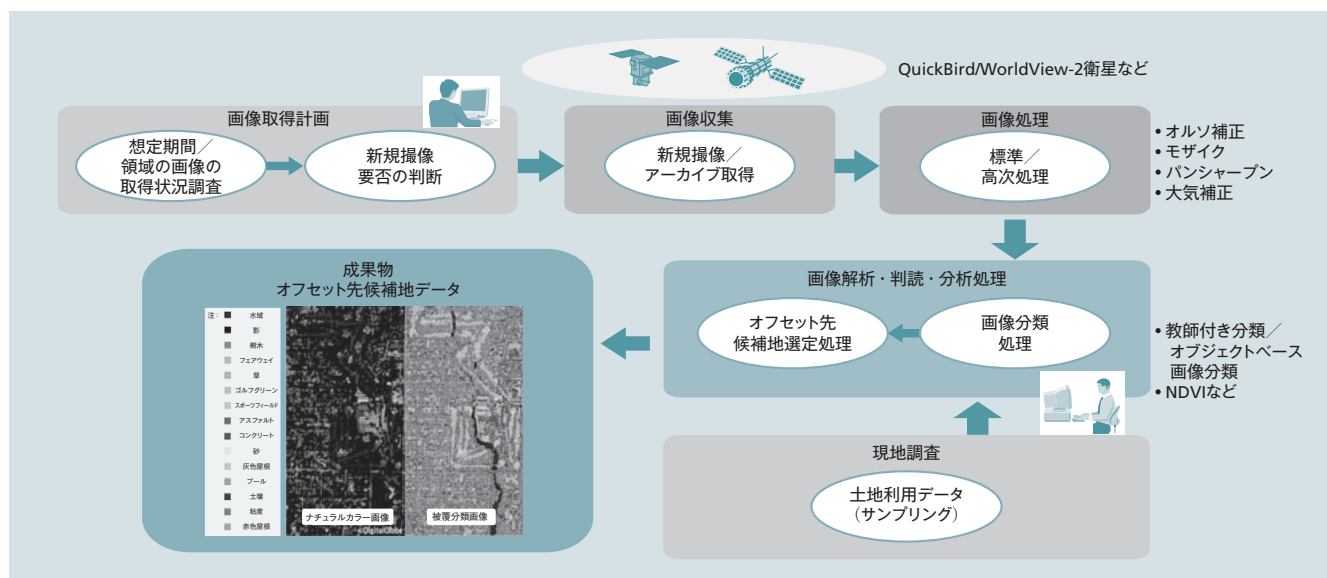


図9 生物多様性オフセットのための衛星画像を活用したモニタリングのソリューション

生物多様性オフセットでは土地開発地域が対象であるため、QuickBird、WorldView-2などの高分解能衛星画像が有用である。

画像解析・判読・分析処理については、森林資源と同様に、教師付き／オブジェクトベースの画像分類処理と植生の活性度を示すNDVIが有用である。また、WorldView-2衛星画像であれば、Red Edgeバンドの活用によってきめ細かなモニタリングを行うことも考えられる。

5. おわりに

ここでは、地球資源のうち環境に関連する森林資源、農地資源、生物資源について事例を挙げ、それらに関する背景や要求などを説明し、衛星画像を活用したモニタリングのソリューションについて述べた。

衛星画像は、グローバルな領域など、広いエリアを効率的、継続的に、均質な情報で収集できるため、グローバルな地球資源の発見やモニタリングに利用できる有力なコンテンツである。

また、客観的なデータを提供できるため、REDD+や生物多様性オフセットなどの取引に向けた算定および検証用データとして利用できる。

今後は、これらの分野に対するグローバルな展開を個々に推進するとともに、スマートシティなど、日立グループのグローバルなトータルソリューションの一部として環境関連の地球資源のモニタリングに関する衛星画像の活用に寄与していきたいと考えている。

参考文献など

- 1) GOF-C-GOLD, REDD sourcebook, <http://www.gofc-gold.uni-jena.de/redd/>
- 2) 独立行政法人森林総合研究所：REDDプラスに係る森林技術者講習会テキスト（2010.12）
- 3) 林野庁：わが国のREDD+への対応と方法論の検討状況について、
http://www.jbic.go.jp/ja/about/topics/2010/0908-01/100727_redd_akahori.pdf
- 4) 農業用水分野における国際貢献，農林水産省（2010.6）
- 5) 北海道農業のためのリモートセンシング実利用マニュアル改訂版，国土交通省北海道開発局（2008.3）
- 6) 林，外：生物多様性・生態系と経済の基礎知識，中央法規出版（2010）

執筆者紹介



坂口 英志

2005年日立製作所入社，ディフェンスシステム社 情報システム本部 エンジニアリング部 所属
現在，衛星画像とそれを活用したシステムの開発および地球資源分野における衛星画像を活用するシステムの事業化に従事



賀川 義昭

2001年日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社（現 株式会社日立ソリューションズ）入社，グローバル事業統括本部 ロケーションインテリジェンス本部 Iシステム部 所属
現在，高分解能衛星画像配給サービスおよび衛星画像を含む空間情報を活用したサービス開発に従事



風間 頼子

2005年日立製作所入社，中央研究所 情報システム研究センタ 知能システム研究部 所属
現在，衛星画像解析の研究に従事
博士（工学）
日本リモートセンシング学会会員，日本地球惑星科学会会員