

衛星リモセンに関する参考資料

～リモートセンシング政策検討ワーキンググループ資料より～

1. 人工衛星によるリモートセンシングの概要
 1. 1 衛星によるリモートセンシングについて
 1. 2 我が国の衛星によるリモートセンシングの利用例
 1. 3 衛星・センサの開発から、運用、衛星データの利用までの一般的な流れ
 1. 4 国内外の衛星(搭載センサ)の動向

2. 民生分野における国内外のリモートセンシングに係る衛星システムの概要
 2. 1 日本における現状
 2. 2 米国における現状と特徴
 2. 3 欧州における現状と特徴

3. リモートセンシングに係る産業を巡る状況
 3. 1 世界の市場動向

1. 人工衛星によるリモートセンシングの概要

1.1 衛星によるリモートセンシングについて

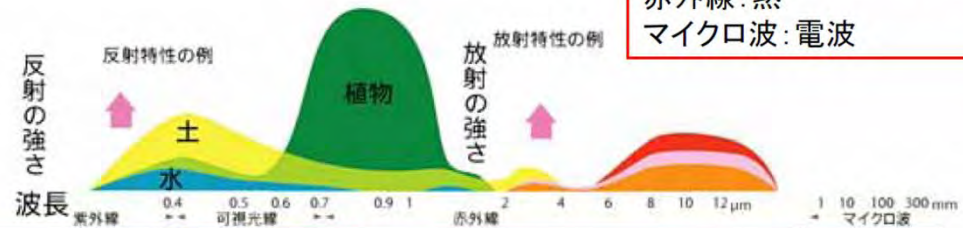
- 人工衛星によるリモートセンシングでは、衛星に観測センサを搭載して地球を観測
- 衛星に搭載したセンサは、地球上の陸域、海域、雲などが反射した、あるいは自ら放射した電磁波（光や電波）を観測
- 得られたデータを解析することにより、地表の土地利用、森林、農作物などの状況や、海面の温度や色、雲の状態や雨の強さなど、様々な情報が得られる
- 宇宙基本計画においては、リモートセンシングに係る衛星システムとして以下がある。
 - 可視光域の光学センサや、レーダなどで、陸域・海域の地球の表面を写真のような画像として撮影する「陸域・海域観測衛星システム」
 - 温室効果ガス濃度、降水量の計測や雲の状況など、主に大気中の様々なデータを取得する「地球環境観測・気象衛星システム」
 - 関心地域の撮像等を行う「安全保障を目的とした衛星システム」

例： 我が国の「陸域・海域観測衛星」である、「だいち」では、以下の3つのセンサーを搭載

●PRISM: 可視域から近赤外域までの全ての光を観測し、対応する白黒画像を取得するパングロマチック(全整色)センサ(空間分解能は2.5m)。また、同じ地域を3方向(直下視、前方視、後方視)から撮影し、立体視画像の取得が可能。

●AVNIR-2: 可視域から赤外域の複数の波長帯(バンド)の光をバンド毎に分けて計測するマルチスペクトル(多波長)センサ。取得画像の各バンドにRGB(赤・緑・青の3原色)を割り当てることで、実際に人間が見ているのと同様のカラー画像を作成することが可能(空間分解能は10m)

●PALSAR: 衛星のアンテナより電波(マイクロ波)を照射し、その電波の反射強度を計測することにより、対象物(地表面)の画像化を行うレーダセンサ。夜間や悪天候時であってもデータを取得することが可能(空間分解能は10m)



1.2 我が国の衛星によるリモートセンシングの利用例

▶ 日本の衛星の利用の現状

○研究利用

- 研究利用については、我が国の衛星、センサーは欧米の衛星と同様、地球科学研究、地球環境研究、気象研究などの分野においては、国内外の研究者に広く利用されている

○公的利用

- 公的利用としては、業務における実利用に供されている分野が存在する一方、様々な利用分野において利用研究、利用実証が進められているものの、まだ緒についたばかりであり、衛星データに関する専門知識を有する利用者がその中心となっているのが現状
- 実利用に供されているものとしては、例えば以下のようなものがある。
 - ✓ 「だいち」などを利用した地図の作成・更新（次ページ参照）、地震や火山活動に係る地殻変動の監視、船舶の運航等に影響する海氷の監視、石油や鉱物資源の調査
 - ✓ 気象衛星「ひまわり」などを利用した気象予報
 - ✓ 情報収集衛星を利用した、外交・防衛等の安全保障及び大規模災害等への対応等の危機管理のために必要な情報の収集
- 利用の実証段階、研究段階にあるものとしては、例えば以下のようなものがある。
 - ✓ 防災マップへの利用や被害状況の把握などの防災・災害対応（次ページ参照）
 - ✓ 河川やダム等の水資源管理
 - ✓ 森林の現況把握、変化把握等の森林管理
 - ✓ 世界の主要穀倉地域における穀物の作付面積、作付時期・刈り入れ時期等の穀物生産動向把握
 - ✓ サンゴ礁の白化現象等のモニタリングや産業廃棄物の不法投棄監視などの環境監視

○民間利用

- 水稻のタンパク質含有量の分析などの作物の育成状況把握や、クリーン開発メカニズムに基づく植林事業などの農林業、民間気象会社による気象予報、資源会社などによる資源調査や資源開発に伴う環境影響評価などがあるが、広く利用されているとは言い難い状況。リアルタイム性（数時間～1日程度）を必要とする用途では、気象業務などに利用が限定されている

1.2 我が国の衛星によるリモートセンシングの利用例(「だいち」の活用例)

▶ 「だいち」の活用例1 (地図の作成・更新)

国の基本図である2万5千分1地形図の作成・更新への活用

• 経年変化の抽出

「だいち」画像は、航空機による空中写真に比べて解像度は劣るが、1シーンに広い範囲が含まれ、また歪みの少ない画像を高頻度で入手できるため、大きな人工物等の経年変化の抽出に有用。通常空中写真と現地調査による地形図の更新作業の効率化に寄与する。

• 地形図の修正

離島や南極等の空中写真撮影が困難な地域で正確な標高データが必要な場合には、「だいち」PRISMにより、同じ地域を3方向から撮影し、ステレオ画像による立体計測を実施して地形図を作成・更新することも可能。

▶ 「だいち」の活用例2 (防災・災害対応)

防災関連機関と共に、防災マップ作りなどの防災計画利用、地震や火山のモニタリング、地域の災害情報共有など、防災活動への活用

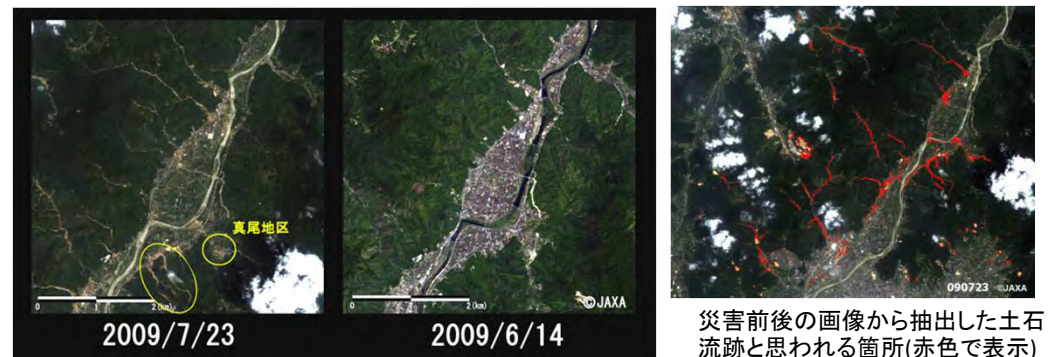
• 被災状況の把握 (右図参照)

衛星画像から災害の被災状況を迅速に把握するため、被災前後に撮影された二つの画像において、特徴的な同一点を抽出するなどして位置合わせを行った上で、画像の輝度値などから被災箇所である画像変化を抽出。

• 防災マップの作成

「だいち」が撮影した日本列島の画像の上に、地形図情報を重ね、災害時の現地確認や復旧・復興対策、防災訓練など、防災を目的とした利用に役立てるために作成。

など

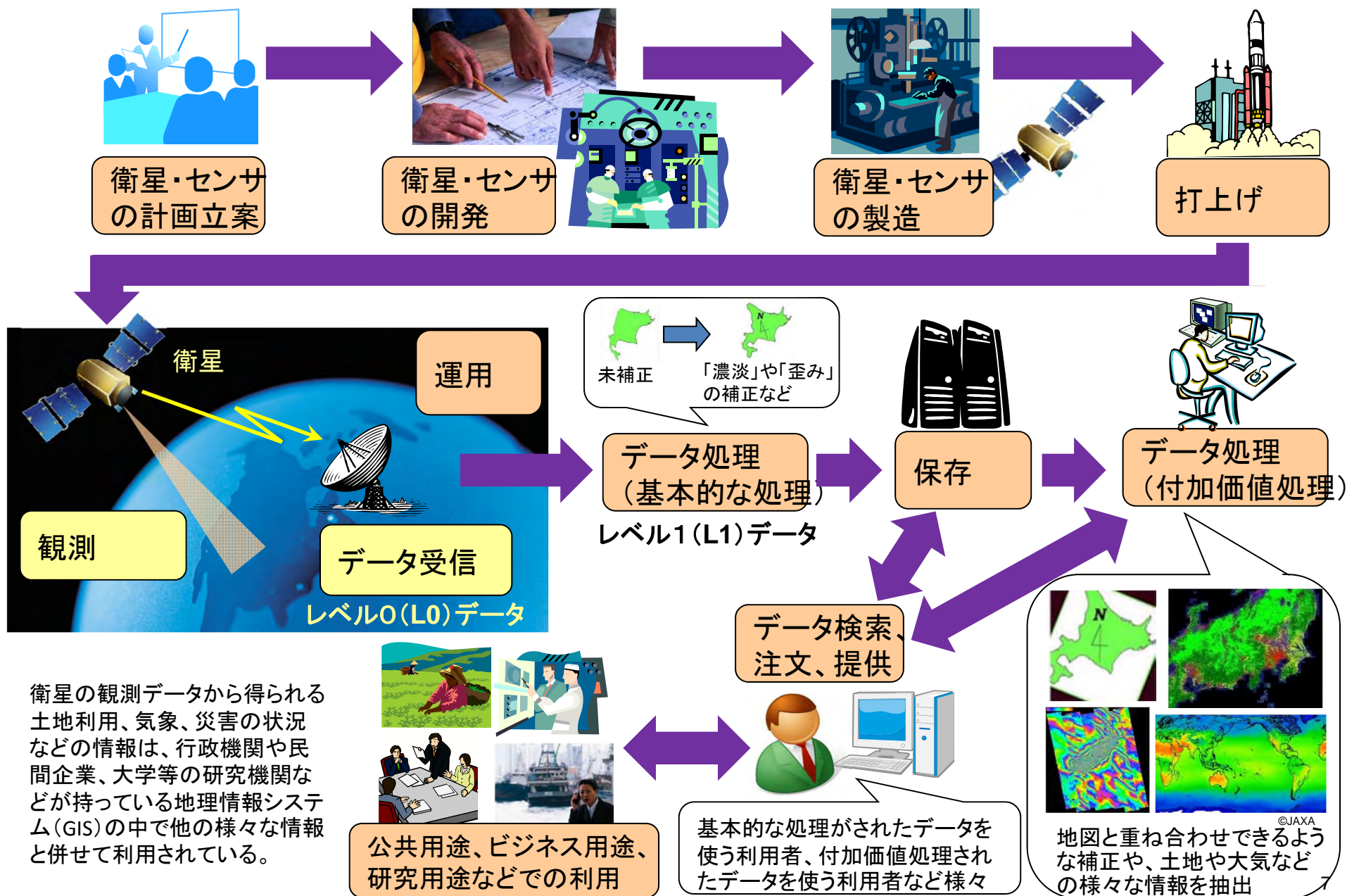


防府市真尾地区付近の拡大図(それぞれ約5km四方)
左: 災害後(2009年7月23日観測)、右: 災害前(2009年6月14日観測)

2009年7月21日から26日にかけて九州北部・山口県で活発な梅雨前線の影響により局地的な豪雨が降り、各地で大雨ともなう災害が発生。「だいち」により、7月23、26、27、30日に光学、レーダによる緊急観測を実施。図は防府市真尾地区付近を拡大したもの。7月23日の画像上に黄色丸で示した真尾地区は、豪雨ともなう土石流によって大きな被害を受けた老人ホームの辺り。

1.3 衛星・センサの開発から、運用、衛星データの利用までの一般的な流れ

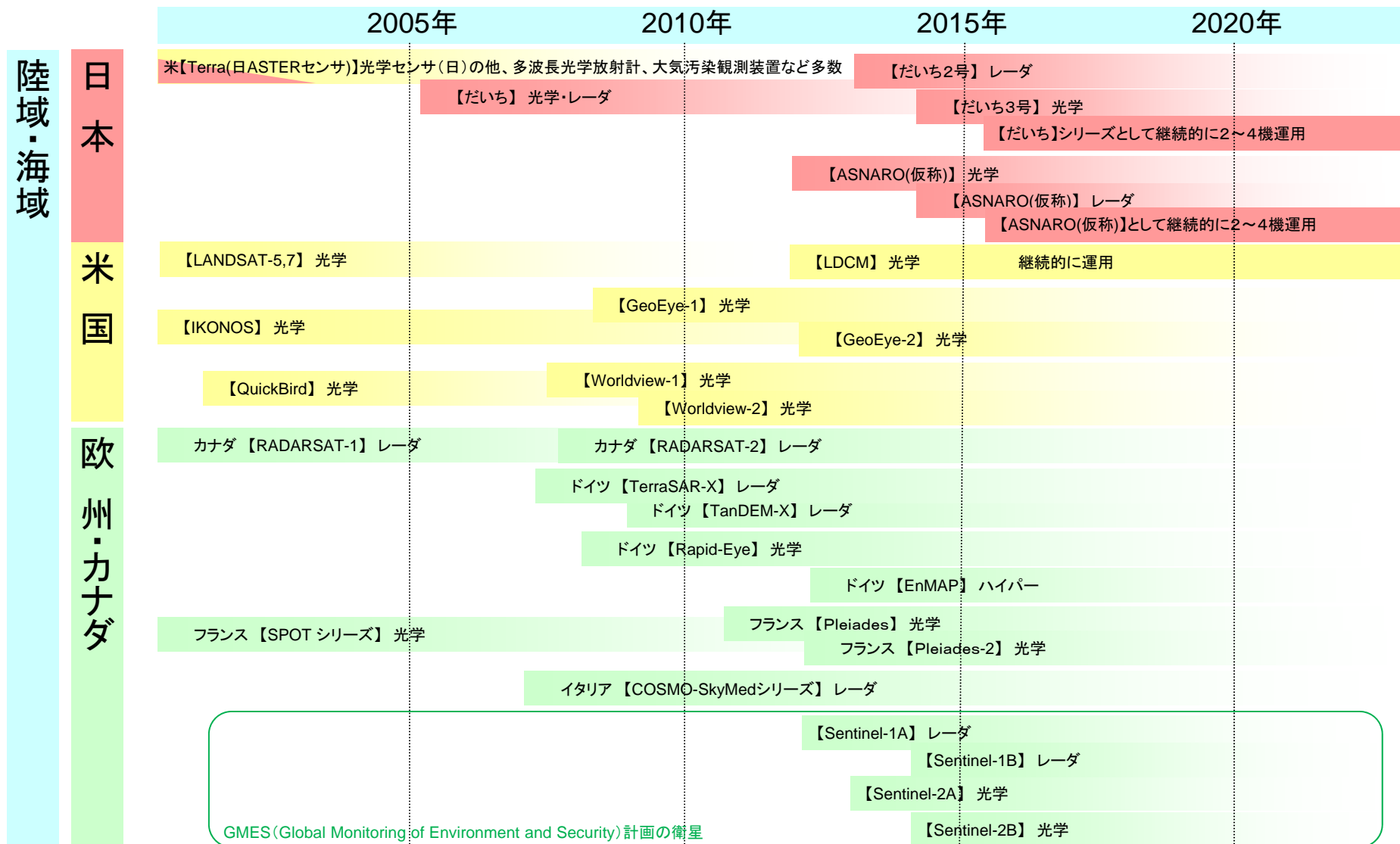
衛星やセンサの開発から、運用、衛星データの利用までの一般的な流れの概略を以下に示す



衛星の観測データから得られる土地利用、気象、災害の状況などの情報は、行政機関や民間企業、大学等の研究機関などが持っている地理情報システム (GIS) の中で他の様々な情報と併せて利用されている。

1.4 国内外のリモートセンシングに係る衛星(搭載センサ)の動向(1/3)

- ▶ 我が国及び欧米の民生分野における主な衛星(民間の衛星も含む)の一覧を以下に示す。
(一覧は、「陸域・海域観測衛星」、「環境観測・気象(周回)衛星」、「静止気象衛星」に分類。)
- ▶ 国内外で様々な衛星が運用されており、今後も継続的に計画されている状況にある。
- ▶ この他、安全保障を目的とした衛星システムとして、我が国においては情報収集衛星があり、欧米においても同様の衛星が展開されている。



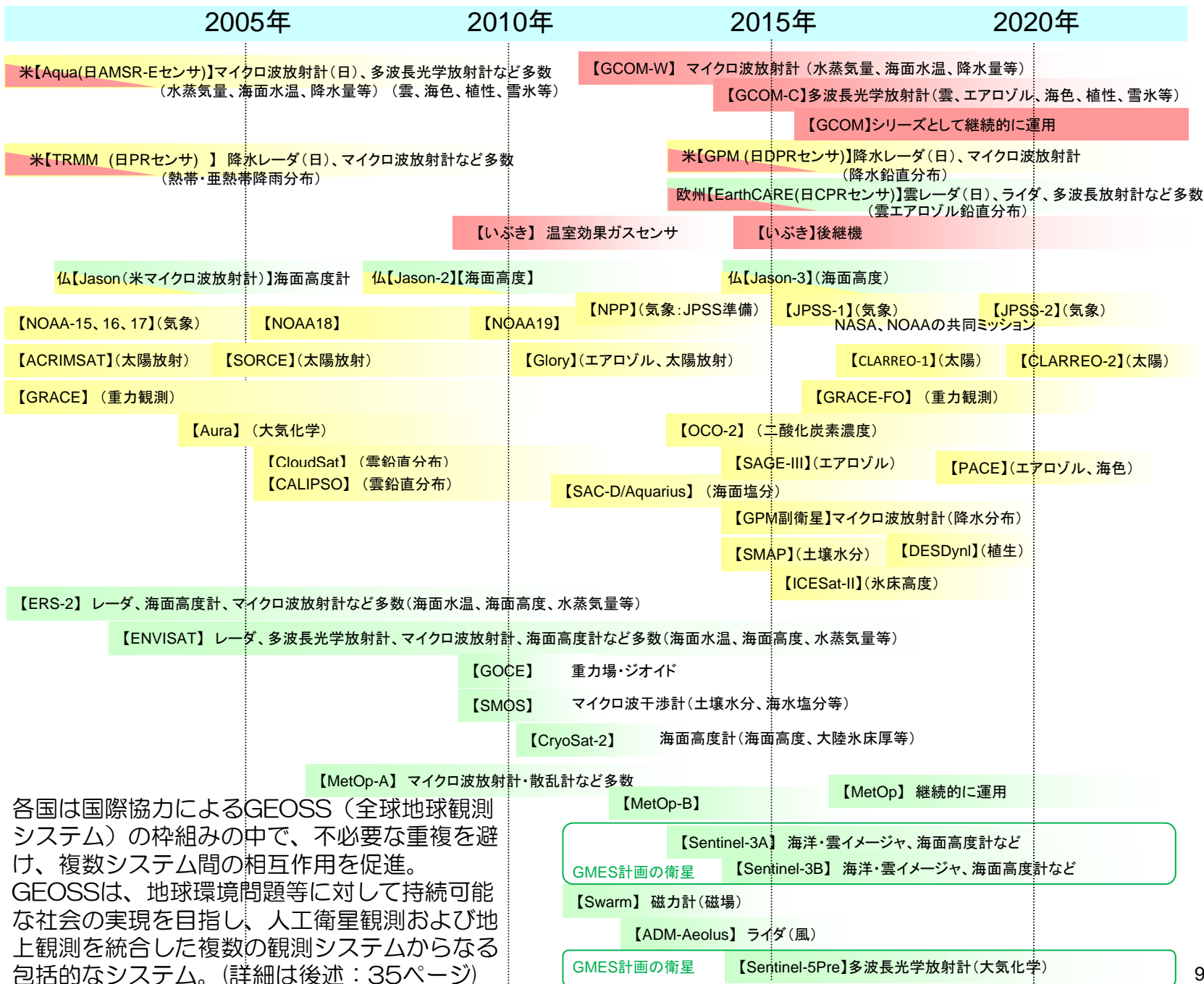
1.4 国内外のリモートセンシングに係る衛星(搭載センサ)の動向(2/3)

環境・気象(周回)

日本

米国

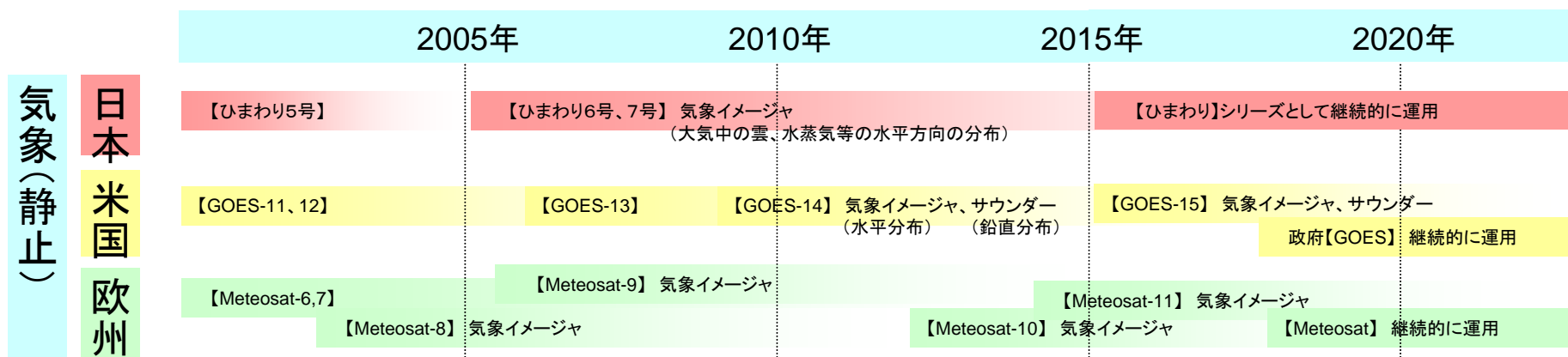
欧州・カナダ



- 各国は国際協力によるGEOSS(全球地球観測システム)の枠組みの中で、不必要な重複を避け、複数システム間の相互作用を促進。
- GEOSSは、地球環境問題等に対して持続可能な社会の実現を目指し、人工衛星観測および地上観測を統合した複数の観測システムからなる包括的なシステム。(詳細は後述:35ページ)

1.4 国内外のリモートセンシングに係る衛星(搭載センサ)の動向(3/3)

静止気象衛星「ひまわり」は、世界気象機関(WMO)の世界気象監視(WWW)計画に基づく全球観測システムの一翼を担うとともに、GEOSSの構築にも資する。我が国は静止気象衛星「ひまわり」シリーズを30年以上にわたって運用している。



2. 民生分野における国内外のリモートセンシングに係る衛星システムの概要

2. 1 日本における現状

➤ 現在運用中の日本の衛星

● 政府系の衛星

我が国では、各機関ごとに衛星を保有、運用している。また、衛星データについても、各機関ごと独自の処理・保存・配信システムにより運用。現在運用されている主な衛星（センサ）は以下のとおり

□ 陸域・海域観測衛星

- 「だいち」：光学センサ（パナクロマチックセンサ（空間分解能2.5m）、マルチスペクトルセンサ（空間分解能10m））とレーダセンサ（空間分解能10m）の両方を搭載する衛星。地図作成、災害状況把握、資源調査などに活用。2009年度のデータ提供実績は年間約30万シーン。（JAXAからの提供（主に国内外の共同研究目的）と民間機関からの提供（商業目的）の合計）
- 米国衛星Terra搭載ASTERセンサ：可視から熱赤外領域までに14バンドを有するマルチスペクトルセンサ（ASTER：空間分解能15m）を我が国が開発し搭載。石油資源探査に活用。（植生分布等の土地利用モニタリングなどにも活用例あり）

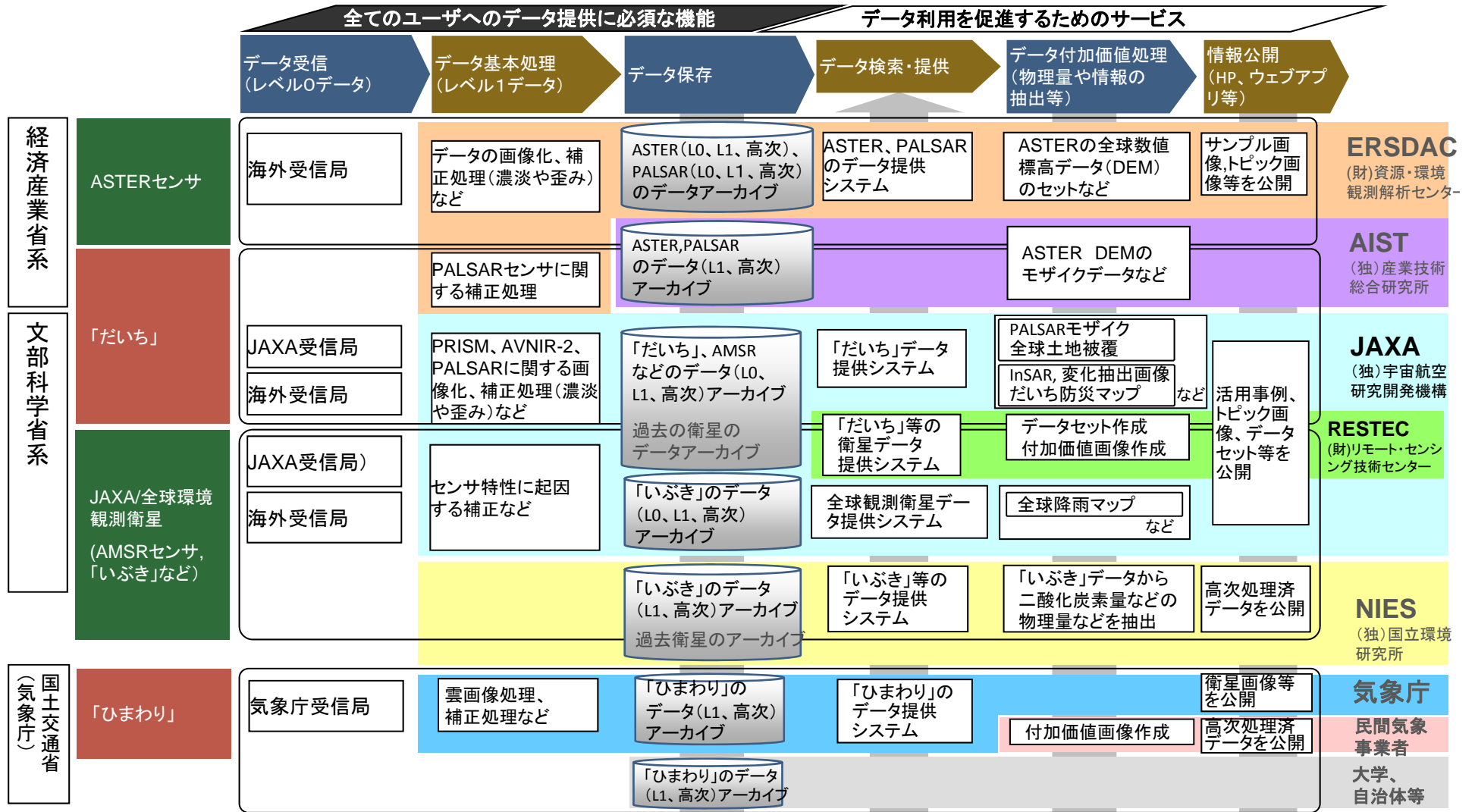
□ 地球環境観測・気象衛星

- 米国衛星Aqua搭載AMSR-Eセンサ：マイクロ波放射計（AMSR-E）を我が国が開発し搭載。降水量、水蒸気量、海面温度などを計測し、気象予報や地球科学研究、洪水予測などに活用。
- 米国衛星TRMM搭載PRセンサ：降雨レーダ（PR）を我が国が開発し搭載。熱帯・亜熱帯域の降雨分布を観測し、気象予報や気象科学研究などに活用。
- 「いぶき」：温室効果ガスの濃度分布を計測し、温室効果ガスの吸収排出量の把握などに活用。
- 「ひまわり6号、7号」：可視・赤外放射計を搭載。アジア・太平洋地域の雲、水蒸気、火山灰等の分布を、2機の衛星で24時間常時観測し、台風や集中豪雨等の監視、数値予報、航空機の安全運航等に利用。

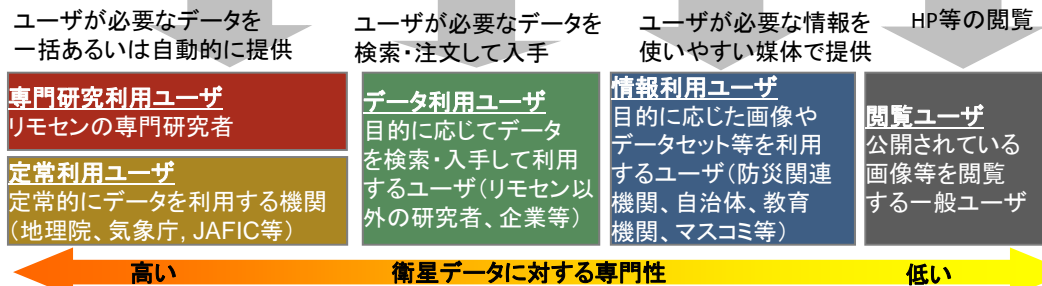
2. 1 日本における現状

- 欧米と異なりリモートセンシングに係る民間の衛星は存在しない
 - ・ 海外の高分解能陸域・海域観測衛星の民間衛星運用会社（IKONOSやGeoEyeを運用する米GeoEye社、QuickBirdやWorldViewを運用する米DigitalGlobe社など）の代理店は存在
- 日本の衛星の今後の計画（構想を含む）（国内外の衛星の動向については7～9ページ参照）
 - 陸域・海域観測衛星
 - 「だいち」シリーズとして、レーダセンサ（空間分解能1～3m）を搭載する「だいち2号」、光学センサ（空間分解能0.8m）を搭載する「だいち3号」を予定。また、従来のマルチスペクトルセンサのバンドをさらに詳細に分析可能なハイパースペクトルセンサ（185バンド：空間分解能30m）を「だいち3号」に搭載予定。
 - 欧米の高分解能な陸域・海域観測商用衛星に匹敵する光学センサを搭載する小型光学衛星（ASNARO：空間分解能0.5m未満）を予定。
 - 地球環境観測・気象衛星
 - AMSR-Eセンサの後継となるマイクロ波放射計や、雲、エアロゾル、海色、植生などをグローバルに観測する多波長光学放射計を搭載するGCOM（地球環境変動観測ミッション）を予定。
 - 降水や雲を詳細観測する降水レーダセンサ（DPR）、雲レーダセンサ（CPR）を開発し、欧米の衛星に搭載予定。
 - 「ひまわり8号、9号」では、防災のための監視機能を強化するため、解像度を2倍、観測頻度を3～8倍に強化する。さらに、火山灰をはじめ大気中の微粒子等の分布や移動を高精度に把握するため、観測画像の種類を3倍に強化する。

2.1 日本における現状 日本の衛星システムと、その利用の現状(鳥瞰図)



- 我が国では、各機関ごとに衛星を保有、運用しており、衛星データについても、各機関ごと独自の処理・保存・配信システムにより運用。
- 現状は、専門性の高いユーザーによる利用が中心となっている。



2.2 米国における現状と特徴

➤ 現在運用中の米国の衛星

● 政府系の衛星

米国では、各機関がそれぞれの目的に応じて、衛星をそれぞれ運用。各地上システムの統合化は想定されていない。政府が資金負担している衛星のデータ（中空間分解能データから低空間分解能データ）は、廉価あるいは無料で配布し、付加価値産業育成を目指している。また、高空間分解能データは、画像購入保証等による支援のもと、民間事業者からのサービス調達の形態を取っている。

□ NASA（米国航空宇宙局）

- ・NASAは、科学観測を主対象とした衛星を運用。特に、地球環境問題への貢献を目指す国際協力プロジェクトとして、Earth Observing System (EOS) 計画や、その後継計画である、Earth Systematic Missions (ESM) 計画等を推進。
- ・雲・地球放射観測、陸域・海域の中分解能観測、大気温湿度、陸面・海面温度、降水量分布などを総合的に観測するために多数のセンサを搭載するTerraやAquaのような衛星のほか、太陽放射、雲・エアロゾル、温室効果ガスの観測など目的を絞った衛星など、多岐にわたる衛星を多数運用。
- ・EOS衛星のデータは、DAAC (Distributed Active Archive Center) により9箇所（アラスカ大、USGS（以下参照）、コロラド大、NASA各フィールドセンターなど）で分散管理。それぞれのセンターで利用分野毎のアプリケーションツール等も提供

□ USGS（米国地質調査所）

- ・USGSは、陸域観測を主対象とした衛星を運用。Landsatに搭載される光学センサは、分解能は高くない（空間分解能は、パンクロマチックセンサ 15m、マルチスペクトルセンサ 30m）ものの、1972年以来継続して地球の姿を撮り続けている。2008年よりLandsat7のデータをインターネットで無償公開。アクセス数がそれまでの年間約2.5万件から2010年度は240万件を超えたと言われている。衛星はNASAが開発。
- ・Landsatデータなどは、USGSのEDC (Earth Resources Observation Systems (EROS) Data Center) にてナショナルアーカイブとして管理。
- ・政府利用等のために、民間衛星データを大量購入（データバイ）している。ただし、安全保障用途はNGA（米国国家地球空間情報局）が購入。

□ NOAA（米国海洋大気圏局）

- ・NOAAは、気象観測・地球環境変動観測を主対象とし、静止軌道（GOES）と極軌道（POES）の気象衛星を組合せて運用。衛星はNASAが開発している。
- ・NESDIS (National Environmental Satellite, Data, and Information Service) にて気象・海洋系のデータを管理。

2.2 米国における現状と特徴

● 民間系の衛星

- 高分解能の画像を取得する衛星について、民間が主体となって開発・運用している。（GeoEye社のIKONOS（空間分解能0.82m）やGeoEye（空間分解能0.41m）、DigitalGlobe社のQuickBird（空間分解能0.61m）やWorldView（空間分解能0.5m）など）
- ただし、IKONOS、QuickBirdに対して2002年に政府による画像購入契約を締結したのを皮切りに、2003年以降、政府による次世代衛星の開発費等の支援や画像の長期に亘る購入保証を行ってきており、GeoEyeシリーズ、WorldViewシリーズといった民間衛星の下支えとなっている。
- 処理・保存設備などは独立して保有し、政府系システムと連携はしていない。
- ライセンス制により事業者を管理
 - ・ 政府は国家安全保障及び対外政策上、必要であればデータの収集や配布に制限を課すことが可能

➤ 米国の衛星の今後の計画（構想を含む）（国内外の衛星の動向については7～9ページ参照）

□ NASA

Terra、Aquaのような大気・陸域・海洋を総合的に観測する衛星については、気象関連の部分をNOAAとの共同ミッションであるJPSS（Joint Polar Satellite System）や我が国のGCOMIにゆだねつつ、地球科学コミュニティの要請に基づく個々の衛星（太陽放射、雲・エアロゾル、温室効果ガスなどの観測）を継続的に運用予定。

□ USGS

Landsat-7の後継機として、LDCM（Landsat Data Continuity Mission）を計画。

□ NOAA

静止気象衛星のGOESシリーズを継続的に運用する計画。一方、極軌道衛星については、NOAAシリーズを、軍事／民生デュアルユースの衛星シリーズに置き換える構想があったが、再度プログラムの見直しがあり、現在はNASAとの共同ミッションとして、JPSSシリーズを運用していく予定となっている。

2.3 欧州における現状と特徴

▶ 現在運用中の欧州の衛星

● 政府系の衛星

欧州では、陸域・海域観測衛星については、各国宇宙機関がそれぞれ民間企業と連携して衛星を開発・運用している。地球環境観測衛星については、主にESAが開発・運用。気象衛星については、多国籍機関である、EUMETSATが衛星を開発し運用。

□ フランス

- ・ 政府の宇宙機関は、高等教育・研究省と国防省の共管であるCNES（国立宇宙研究センター）。
- ・ 光学センサ（パンクロマチックセンサ、マルチスペクトルセンサ）を搭載する陸域・海域観測衛星であるSPOTシリーズ（SPOT-5の空間分解能は2.5m）を、官民連携で継続的に開発・運用。シリーズが進む毎に徐々に性能向上を図ってきている。

□ ドイツ

- ・ 政府の宇宙機関は、連邦経済技術省の監督下にあるDLR（ドイツ航空宇宙センター）。
- ・ 高分解能なXバンドのレーダセンサを搭載する、TerraSAR-X、TanDEM-X（ともに空間分解能1mの同型機）を官民連携で開発・運用。地表の高解像度撮像に加え、2機を近接飛行させ、わずかな視差の違いで同一場所を同時に観測することにより、世界中の高解像度の数値標高モデル（DEM）の作成を行っている。

□ イタリア

- ・ 政府の宇宙機関は、大学科学技術研究省監督下のASI（イタリア宇宙機関）。
- ・ 高分解能レーダセンサを搭載する衛星、COSMO-SkyMed（空間分解能1m）を政府主導で開発。軍事／民生でのデュアルユースに加え、リソースの一部を民間に開放し商業販売を行っている。現在、4機の衛星が運用されており、毎日6時頃、及び18時頃に、4つの衛星が約24分間隔で飛来。同一地点を一日に5～6回観測可能。

□ ESA（欧州宇宙機関）

- ・ マイクロ波放射計、海面高度計、光学放射計など多数のセンサを搭載し、総合的な地球環境観測を行うERSシリーズやENVISAT等を開発・運用している。

□ EUMETSAT（欧州気象衛星開発機構）

- ・ 静止気象衛星であるMeteosatシリーズ、極軌道周回衛星であるMetOpシリーズを開発・運用。

2.3 欧州における現状と特徴

- 民間系の衛星

- 官民協力形態で実施されているものが多く、政府と密接に連携（前述の通り）
- GMES（「全球環境・安全モニタリング計画」（後述））へ協力している衛星もある
- 処理・保存設備などはそれぞれが保有しているが、GMESのHMA（Heterogeneous Mission Accessibility）等に参加し政府系システムと緩やかな連携を目指している

- 欧州の衛星の今後の計画（構想を含む）（国内外の衛星の動向については7～9ページ参照）

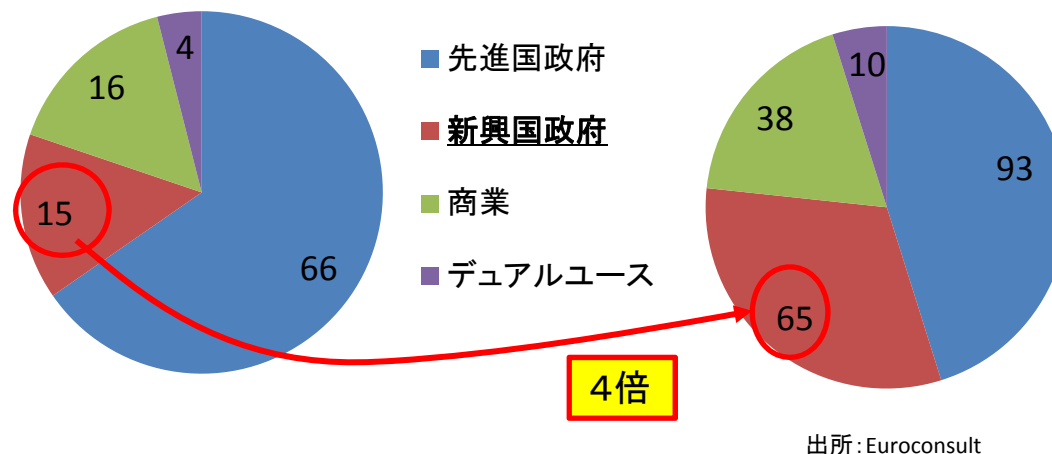
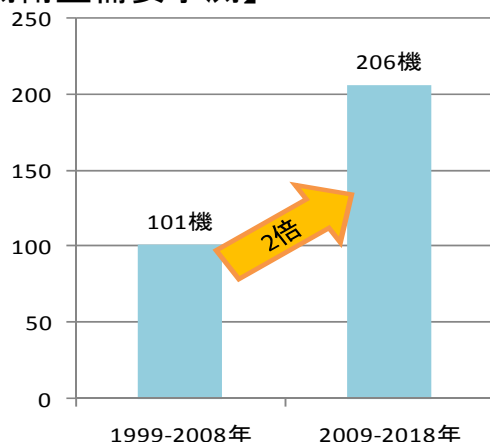
- 欧州が関係する衛星観測と地上観測を統合的に運用管理し、各種サービスを提供することを目指し、GMES（Global Monitoring of Environment and Security：全球環境・安全モニタリング）計画を推進
- GMESでは、Sentinelと呼ばれる衛星群を整備予定。
 - ・ Sentinel-1：レーダセンサ（空間分解能5m）
 - ・ Sentinel-2：光学センサ（マルチスペクトル（空間分解能10m））
 - ・ Sentinel-3：海洋・雲イメージャ、陸面・海面温度放射計、海面高度計
 - ・ Sentinel-4：気象イメージャ（大気化学、気象（静止））
 - ・ Sentinel-5：多波長光学放射計、赤外サウンダ（大気化学、気象（周回））
- GMESでは各国およびESAが保有している衛星データを統合的に管理する方向性（各国間あるいは官民を越えた統合化）。低解像度の画像データについて、無償公開の議論も行われている。
 - ・ データシステムは全欧州にあり、それぞれの処理・保存・配布システムを生かしつつ、緩やかな連携を指向
 - ・ 分散管理されている各国・各衛星のデータを統合的にユーザに提供するHMAや、長期保存についてのLong-term Data Archiveなどのプロジェクト
 - ・ 民間企業の一部も参加（SPOT Image、Infoterra（ともに現Astrium GEO-Information Services）など）
- 気象系の担当機関であるEUMETSATもGMESに参加し、気象データも含めた統合化を目指している
- フランス国立宇宙センター（CNES）は、SPOTシリーズよりも高分解能な光学衛星であるPleiades（空間分解能0.7m）による、地図作成、災害観測などの民生利用と、国家防衛などの軍事利用のデュアルユース衛星を推進。イタリアとの協力によるCOSMO-SkyMedとの相互利用も推進

3. リモートセンシングに係る産業を巡る状況

3.1 世界の市場動向

- ① リモートセンシングに係る衛星の需要は、特に打ち上げ手段を持たない国の多い新興国において大きな伸び。新興国においては、過去10年と今後10年では約4倍の需要がある。
- ② 衛星リモセンの市場規模は国内100億円、海外1000億円～2000億円程度と想定。また、年15%程度の成長率で、今後10年で約4倍に拡大するとの見通しもある。国内外ともに、市場は安全保障分野が大勢で、多くが衛星データ画像販売。

【地球観測衛星需要予測】



【世界の衛星データ(画像系)の市場規模(推計)】

出典	対象年	年間売上試算	備考
ESA調査レポート(欧州宇宙機関)	2006	4.12億ユーロ(0.5千億円)	
Laser Focus World誌(米国の技術専門誌)	2008	11億米ドル(1千億円)	高分解能画像のみ。付加価値サービス含む。 <u>2013年には25億米ドルと市場予測。</u>
ASPRS調査レポート(米国写真測量学会)	2001	24億米ドル(2.4千億円)	
Euroconsult社	2009	予測: 10億ドル以上	データの売上。 <u>2018年には39億ドルと市場予測。</u>
BCC Research社(米国の調査会社)	2006	70億米ドル(7千億円)	