

最近の地球観測衛星の動向

株式会社 サテライト・ビジネス・ネットワーク
葛岡 成樹

1. はじめに

昨年から今年にかけて、グローバルな地球観測衛星（EO衛星）の世界で新しい動きがいくつか起こっている。この小稿では、EO衛星の発展・進化におけるエポックともなる最近の話題をいくつか取り上げ、グローバルなEO衛星の最新状況をまとめるとともに、今後の動きを考えてみる。なおこの原稿をまとめるに当たっては、最近出席した以下の国際会議、および欧米の衛星業界の専門家との情報交換で得た情報を元にした。

- ・USGIF（米国地理空間インテリジェンス協会）主催：GeoInt2013*^(注)（2014年4月14日から17日まで米国フロリダ州タンパにて開催）

注：本来は2013年秋に開催される予定であったが、米国予算不成立による政府閉鎖で一時間

催が危ぶまれていた。結局GeoInt2013は2014年春に延期となってGeoInt2013*とアスタリスクを付けての開催となった。

- ・米国航空宇宙学会およびユタ州立大学主催：Small Satellite Conference2014（2014年8月2日から7日まで米国ユタ州ローガンにて開催）
- ・Euroconsult社主催：World Satellite Business Network（2014年9月8日から12日までフランスパリにて開催）

まず世界の衛星業界を概観するため、衛星の数を見てみよう。Euroconsult社によると2004年から2013年の10年間では、133機のEO衛星（Civil）が打上げられたが、今後2014年から2023年の10年間では、283機が打上げられると想定されている。2013年のEO衛星（Civil）の予算は全世界合計で\$8.6Bであり、

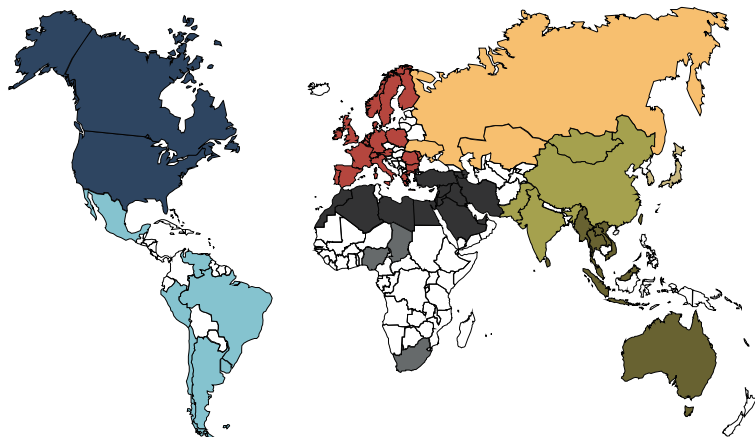


図1 衛星を上げた国（2013年段階）

©Euroconsult, 2014（Euroconsult World Satellite Business Weekでの発表）

2012年から比べて12%の増加である。EO衛星を打上げる国数も現在までの33カ国（図1）から今後の10年では40カ国を超えるものと見込まれている。世界的にはEO衛星は数・規模からだけ見ても、大きく発展していることは間違いない。

またEO衛星の商用データ販売は、2013年こそ米国国防省予算削減の影響を受けて成長がなかったものの、2014年以降はまた増加することが想定され、全体としては成長傾向であることは間違いない。

このように、EO衛星の世界は数・規模が拡大していることは確かであるが、それと同時にEO衛星の質にも大きな動きがある。従来EO衛星は、EO情報基盤整備衛星（たとえばLandsatやSentinelなど汎用的データ収集を目的とするもの）、技術開発衛星、さらには国威発揚衛星（新興国が国内外にアピールする

ため、ともかくも打上げて運用すること自体を目的とするもの）などに区分することができたが、最近では特定目的のためのEO衛星が多く打上げられるようになってきた。これらのEO衛星ではミッション目的達成のため、EO衛星に要求される性能のある部分を突出させて特徴を持つようになってきた。以下、EO衛星の性能を空間分解能、時間分解能、スペクトル分解能という観点から捉え、それぞれEO衛星の最新の動きを紹介する。

2. 高空間分解能衛星

2014年8月13日に、米国Digital Globe社のWorldView-3が打上げられた。WorldView-3はパンクロマティックバンドでの空間分解能が31cmと、商用民間衛星として最高空間分解能をもつ衛星である。現在センサの校正検証中であるが、打上後わずか13日後に公開された

Earth Observation Commercial Data Sales by Typology

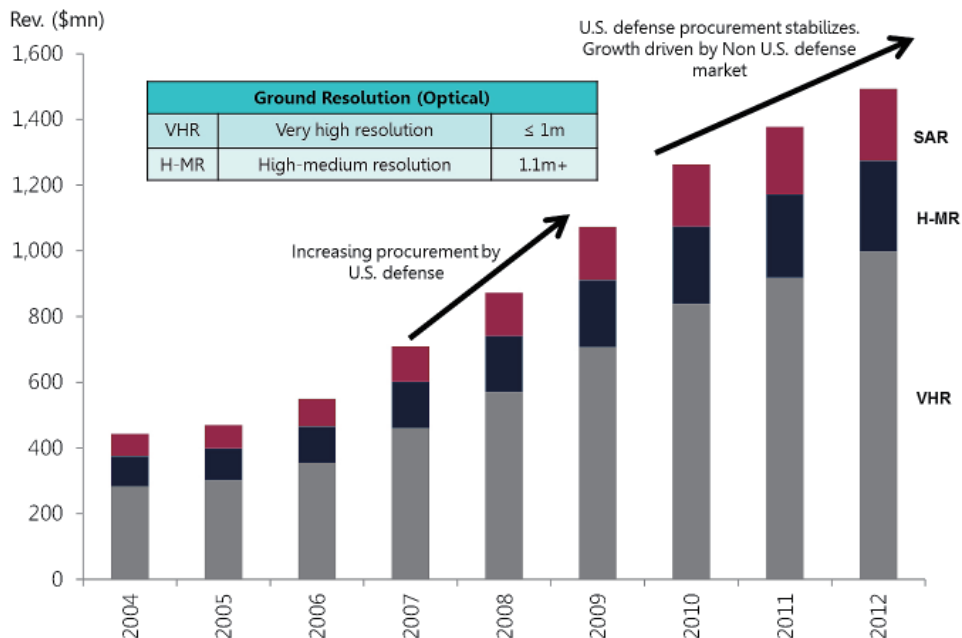


図2 商用EOデータ販売市場

©Euroconsult, 2014 (Euroconsult World Satellite Business Weekでの発表)

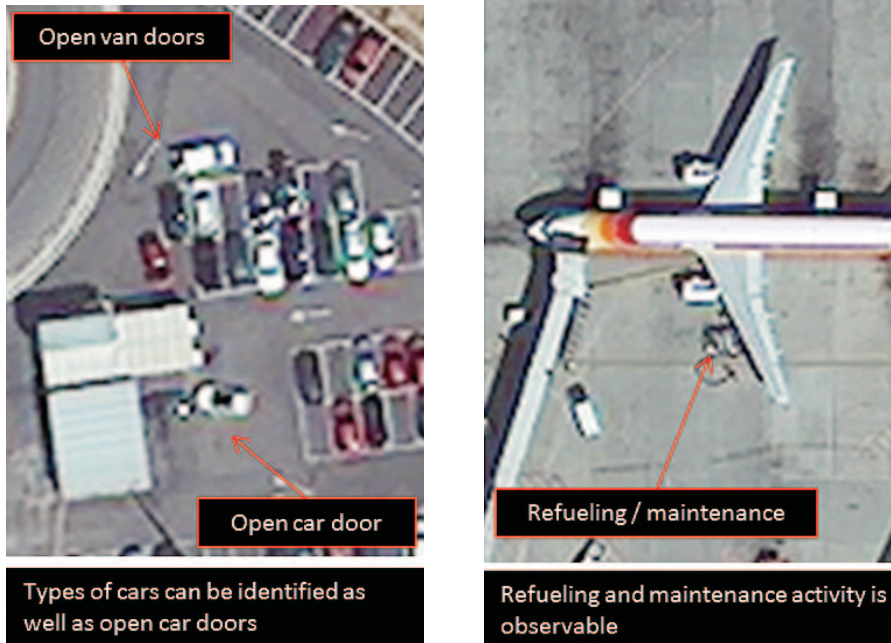


図3 WorldView-3の初画像（40cm空間分解能）

Copyright: Digital Globe (<http://www.digitalglobeblog.com/2014/08/26/worldview-3-first-images/>)

試験画像ではスペイン・マドリードの空港が良く見える（図3：<http://www.digitalglobeblog.com/2014/08/26/worldview-3-first-images/>）。一般に1m空間分解能画像では車の検出は幾分不確かであるが、50cm空間分解能画像では車のフロントガラスの形が分かり、30cmでは車のサイドミラーが検出できるとされている。図3に示すWorldView-3の初画像は一般公開用画像のため空間分解能を40cmに下げているものの、自動車のドアが開いているところが良く見えており、従来のWorldView-2やGeoEye-1の50cm空間分解能の画像とはまた一味違った画像となっている。

米国では商用リモートセンシング法に基づき、商用販売する衛星画像の空間分解能は従来50cmまでに規制されていた。WorldView-3を打上げるに当たりDigital Globe社は米国政府と密な調整を続け、規制の緩和を実現した（<http://www.spacenews.com/article/civil->

[space/40898digitalglobe-wins-approval-of-relaxed-operating-restrictions-with-proviso](http://www.spacenews.com/article/civil-space/40898digitalglobe-wins-approval-of-relaxed-operating-restrictions-with-proviso)）。この報道によると、米国政府では当面はすべての顧客に対して40cmの空間分解能画像までは販売可能とし、2015年5月以降WorldView-3の最高性能の画像の販売が可能になるとのこと。またこの際、25cmまで緩和することも予定しているとのことである。

いずれにせよ、EO衛星の画像もいよいよ30cm台空間分解能の時代になってきた。このような高空間分解能画像は、安全保障・防衛用途に必須であることはもちろん、民生の目的にとっても従来の空中写真に替わる用途が想定される。たとえば30cm空間分解能画像を使うと、1/2,500縮尺の都市計画図などの修正に衛星画像を使うことが従来以上に容易になる可能性が大きい。日本の場合1/2,500縮尺の都市計画図に対する需要が大きく、これが衛星

画像で修正可能となると衛星画像の利用は格段に増加するものと考えられる。今後のDigital Globe社による画像の校正検証、さらに校正検証済み画像を用いた地図修正可能性研究の成果が待たれるところである。

さてWorldView-3が打上げられた後の高空間分解能衛星はどうなるのだろうか。Digital Globe社は開発済みで保管してあるGeoEye-2をWorldView-4と改名して調整の上2016年に打上げを計画している。しかしDigital Globe社以外に30cm程度の空間分解能を持つ衛星の打上計画は明確ではない。米国の安全保障向け衛星画像処理の責任機関であるNational Geospatial-Intelligence Agency (NGA) がClear View、Next View、Enhanced Viewという高空間分解能商用EO衛星画像調達プログラムに基づいて従来IKONOS、QuickBirdなどWorldView-3に至る高空間分解能EO衛星の需要を牽引してきた。しかし2010年にEnhanced Viewが10年間プログラムとして制定された後、米国国防予算の縮減に伴ってその次の画像調達プログラムが明らかになっておらず、またEnhanced View自体も今後どうなるか予断を許さない状況である。高空間分解能EO衛星画像の最大ユーザであるNGAの需要が明確にならない以上、民間会社としては次の開発計画を立てられないのが実情であろうか。

3. 高時間分解能

昨年から今年にかけて、SkyBox社のSkySat、PlanetLabs社のDoveと小型衛星の話題がホットになってきた。これらの小型衛星が従来の大学などで開発されたものと異なるのは、多数の衛星を打上げて商用利用を打ち出したことである。小型衛星ということは本質ではなく、多数機による高頻度観測がその本質であると言える。つまり高時間分解能衛星の登場

である。

従来からBlackBridge社のRapidEyeは5機、e-Geos社のCOSMO-SkyMedは4機の同一衛星を運用し、ほぼ毎日観測できるという高頻度観測を謳っていた。しかしPlanetLabs社による100機、SkyBox社による20機（将来的には100機も）ではそれぞれ3~5m (PlanetLabs)、1m (SkyBox) 程度の空間分解能で観測する構想を発表している。Doveはサイズが10cm×10cm×34cm、重量も1.33kgと超小型の衛星ではあるが、これで分解能3m程度の画像をすでに取得している。この構想が実現すると、最終的には日中1.5~3時間ごとの高時間分解能観測が可能となり、定点観測という言葉が現実となってくる。衛星の機数が20機を超えると、時間分解能として従来の衛星とは全く異なった利用方法が期待される。

このように多数衛星を使って高時間分解能の観測サービスが有効であり、市場があることが分かってくると、従来個別に開発していた衛星を打上後グルーピングして多数機をコンスタレーション（群）として運用することが行われるようになった。まずイギリスSSTL社が開発し、各国に納入した衛星の世界的な画像販売権を集約させてDMCii社が空間分解能2.5mから22mのものまで計5機を運用している（2014年9月現在）。さらにもともと別の会社が独自に開発した衛星を集めてコンソーシアムを形成し、多数衛星による高時間分解能観測をねらったグループがPanGeoとして2014年9月に発足した。これは現在7機、2017年に打上げられる予定の衛星を含めて計9機、さらに船舶自動識別装置（AIS）向けの衛星2機を加えたコンソーシアムで、スペイン、ロシア、UAE、中国といった宇宙開発新興国が集まったものである。



図4 PlanetLabs社のDove製造状況
(<https://www.planet.com/flock1/>)

またSkyBox社のSkySatでは、最長90秒と短時間ではあるものの究極の高時間分解能画像ともいえる動画が撮影可能である。この動画は毎秒30フレームであり、時間分解能は1/30秒ということも可能であろう。この動画では都市部における自動車一台一台の走行状況が良くわかり、都市の交通管制など従来のEO衛星では対応できなかった新しい利用分野が開拓される可能性がある (<http://vimeo.com/92072374?from=outro-embed>)。衛星からの動画としては、カナダのUrtheCast社も国際宇宙ステーション (ISS) 上にカメラを設置した。UrtheCast社が設置したカメラのうち5m空間分解能の静止画中心分解能カメラ画像は既に発表されているが、1m空間分解能の高精細度動画カメラ (Ultra HD) は未だ調整中である。

さてこのように昨今急速に実現されてきた高時間分解能衛星ではあるが、今後の動向はどのようなのだろうか。各衛星運用機関が連携

するDMCiiやPanGeoのようなコンソーシアムは今後とも発展していくことだろう。ただし初めから商用として多数衛星を保有する高時間分解能衛星では、いくつかの課題も見えてきている。まず最初の課題として、衛星の軌道投入回数がある。ロケットからの一度の打上では基本的には同一軌道面への衛星投入となる。多数の衛星の場合異なった軌道面をいくつか設定し、一つの軌道面に何機の衛星を投入するかが運用上のポイントとなるが、多数の軌道面を実現するには基本的には打上回数を増やすしかなく、打上げコストをどれだけ抑えられるかがポイントとなろう。PlanetLabs社のようにISSから放出することも一案ではあるが、ISSの高度だと小型衛星の寿命は1年程度となりそのためまた多数の衛星を放出するという形態になってしまう。また二番目の課題としては、衛星の運用が重要になってくる。20機を超えるような衛星コンスタレーションを運用するには、地上局に必要なアン

テナの数、さらには運用の省力化をどう実現するかがポイントとなる。SkyBox社のSkySatはSkyNodeという小型地上局を展開することを計画しており、また運用も従来の衛星のようにポインティングして希望する箇所を撮影するのではなく絶えず直下を観測するように運用が容易なシステム設計としている。いずれにせよ多数の衛星を効率よく運用するためには、従来の運用からは一段進んだ新しい衛星コンステレーションとしての運用が今後必要となってくるだろう。

4. 高スペクトル分解能

高空間分解能、高時間分解能のEO衛星のニュースが注目を浴びている中、もう一つのEO衛星の特性であるスペクトル分解能を高めた高スペクトル分解能衛星、ハイパースペクトルセンサを搭載する衛星の計画が9月10日に発表された。Boeing社が米国のHySpecIQ社から商用ハイパースペクトルセンサを搭載した衛星を受注したというニュースだ (<http://www.spacenews.com/article/financial-report/41823world-satellite-business-week->

[hyperspectral-imaging-startup-orders](http://www.spacenews.com/article/financial-report/41823world-satellite-business-week-))。HyperSpecIQ社は鉱物資源、農業・林業、エネルギー産業向けにハイパースペクトルデータを商用販売する計画であり、衛星調達のための資金調達は完了したとのことである。

高スペクトル分解能のハイパースペクトルセンサは、地表面特性の分類や特徴抽出能力に優れていることは明らかではあったが、その技術開発や市場開発の困難さから従来は研究開発用の衛星あるいは航空機搭載センサに限定され、商用衛星はなかった。実際米国ではNASAのEO-1衛星にHyperionというハイパースペクトルセンサが搭載され、また日本・ドイツでも独自の衛星搭載ハイパースペクトルセンサや衛星の開発を進めている。さらにNASAは2009年にHyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO) というハイパースペクトルセンサをISSに搭載し、データ収集を続けている。このセンサは400-900nmの範囲を87bandsでカバーするものであり、浅海域の海洋画像を取得することを目的としている。しかしこれらはいずれも技術開発の位置付けであった。今回の発表によると、アンカーカス



図5 ハイパースペクトルセンサ搭載Boeing 502 Phoenix
(<http://www.boeing.com/boeing/defense-space/space/bss/factsheets/502/phoenix.page>)

タマーである米国安全保障・防衛機関向けのデータ販売（同盟国を含む）はBoeing社が、グローバルの民生・商用向けのデータ販売はHyperSpecIQ社が担当するとしており、完全な実用衛星を目指している。

Boeing社／HyperSpecIQ社のハイパースペクトルセンサは200バンドで可視近赤外域および短波長赤外域を観測し、従来のセンサよりもスペクトル精度が高いという程度の情報しか現状では発表されていない。なおこのセンサを搭載する衛星はBoeing社の502 Phoenixという600kg小型衛星であり、まずは2機を2018年に打上げるとのことである。

一方高空間分解能を目指していたDigital Globe社も、WorldView-2から多スペクトルバンド路線を打ち出し、WorldView-3に至っては可視近赤外域を8バンドかつ短波長赤外域を8バンド、さらに大気補正用の補助センサCAVISを併せて計27バンドと、従来のマルチスペクトルセンサに比べてスペクトル分解能が大幅に向上している。Digital Globe社はこれを称してスーパースペクトルセンサと称している。

このようにハイパースペクトル、スーパースペクトルセンサとして高スペクトル分解能が実現されつつあるが、この時の課題はデータ処理・利用方式にある。ハイパースペクトルデータを有効活用するには、各種ターゲットのスペクトルをライブラリとして標準装備しておくことが必要になると同時に、どうしてもノイズの多いハイパースペクトルデータの分類・ターゲット抽出のアルゴリズムをさらに改良することが必要となってくる。またハイパースペクトルセンサは一度に観測できるスォース幅が従来のマルチスペクトルセン

サに比べて狭いのが一般的である。すべての観測対象域をハイパースペクトルセンサで観測するのではなく、マルチスペクトルセンサとハイパースペクトルセンサとで同時観測し、両センサの重複した箇所ターゲットモデルを作成し、マルチスペクトルセンサだけの観測地域をモデルを用いてデータ処理するというスケールアップ技術の開発が待たれる。

5. 今後のEO衛星

以上空間分解能、時間分解能、スペクトル分解能とEO衛星の重要な性能がこの一年で格段に進んだことを示してきた。これは一つの衛星でこの3つの性能をすべて向上したというわけではなく、ミッション目的に応じた複数の発展方向を目指している。LandsatやSentinelというEO情報基盤整備のための衛星はある意味汎用目的のため標準的な性能を持っていると言える。また新興国の国威発揚衛星は、ともかくも衛星を保有することが最優先課題である。これに対して商用を目的とするEO衛星は、それぞれのミッションに最適化させ、それぞれの市場でのプロフィットが最大となるような衛星の設計を目指している。

衛星の性能は、技術だけで決まるものではない。例えばEO衛星の過去最大の市場であった安全保障・防衛市場においても、無人飛行機（UAV）などの利用がますます盛んになる。衛星は情報収集の手段の一つであり、飛行船・街頭監視カメラなどと同じく情報収集ツールの一つに過ぎない。さらには画像以外にもSNSや公開情報などからの情報収集、インテリジェンス作成が盛んになる。このような時代において、安全保障・防衛向けのEO衛星は、他社のEO衛星と競合するだけではなく、UAV

や街頭監視カメラなど異なった種類の情報収集ツールと競合することとなる。このため単に性能を向上させればよいというものではなく、期待される市場のサイズの中で最大の利益を上げ、他のツールにはできない性能を実現することが必要となってくる。つまりますます市場の中での立ち位置を良く考えた衛星の機能・性能が求められることとなろう。

この結果、ある性能に特出した、ある意味

尖がったEO衛星がニッチ市場を狙って登場することも出てくるだろう。このようなニッチ市場を狙うEO衛星を数多く実現するため、バスなど共通部分の低価格化は避けられず、標準小型衛星の利用はますます増加する。最終的には汎用目的衛星は政府のEO情報基盤整備衛星、商用EO衛星は特色を持って特定の市場を狙うという流れが今後ますます進むものと考えられる。