

各国の地球観測動向シリーズ(第6回)

カナダの地球観測活動の方向性 —Cバンド合成開口レーダと画像処理手法の 融合による地球観測画像の多角的応用—

辻野 照久

概要

カナダの地球観測活動の特徴は、現在1機しか保有していないレーダ衛星を多角的に活用していることである。その基礎となる技術は、悪天候でも夜間でも観測できる合成開口レーダ(SAR)の多様な観測能力と画像処理ソフトウェアの組合せである。特に周波数帯がCバンドのマイクロ波を利用する合成開口レーダは、海洋や氷原などの監視に適しており、植生マッピングや災害救助支援などにも利用できる。カナダ宇宙庁(CSA)はカナダ天然資源省や水産海洋省などと連携して、さまざまな分野でレーダ衛星の応用システムを開発している。今後の地球観測に向けて、1日でカナダ全域を観測可能にするレーダ衛星3機のコンステレーションや、北極地域の気象を常時観測可能にする2機の衛星の開発を行っている。さらに船舶自動識別システム(AIS)による現場データと合成開口レーダによる物体識別を組み合わせることにより、カナダは海上の安全確保や違法行為防止に役立つ海洋監視システムを構築しようとしている。将来的には、日本とカナダの間で相互にSARデータを提供できるようになることが期待される。

キーワード：カナダ宇宙庁，レーダ衛星，合成開口レーダ，画像処理，船舶自動識別システム

1 はじめに

カナダは広大な国土と低い人口密度であることから、宇宙から観測を行うことが極めて有効であり、地球観測活動はカナダの宇宙活動のトッププライオリティとなっている。

カナダの地球観測活動の特徴は、現在1機しか保有していないレーダ衛星を多角的に活用していることである。唯一の観測センサがCバンド合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar : SAR)^{注1)}であるため、光学や他の周波数帯のレーダでない観測

データの取得できないような応用には適さないが、4種類の偏波の組合せ、干渉SAR(InSAR)、恒久散乱体干渉SAR(PSInSAR)などのレーダ画像データ解析手法を駆使して、海氷・水産・運輸・災害などの社会的ニーズに関係する行政組織が積極的にレーダ画像データを利用している。そして多数のソフトウェア企業が社会的ソリューションを実現するために、政府との共同開発に参加している。

本稿では、カナダの地球観測衛星の開発動向やCバンド合成開口レーダの画像データを利用した多角的な応用システムの事例などから、カナダの地球観測活動の方向性を分析する。

注1 Cバンドはマイクロ波の中で周波数が4GHz～8GHzである帯域をいう。合成開口とは、衛星が高速で飛行するため、反射波を受信する開口が衛星のレーダ自体の開口よりも大きくなることを意味する。

2 カナダの宇宙開発活動の概況

カナダは1962年に米国航空宇宙局（NASA）の協力を得て初の衛星「Alouette」を打ち上げ、ソ連・米国・英国に次いで世界で4番目の衛星保有国となった。それ以来、2013年9月までに40機の衛星（地球観測衛星2機、静止通信放送衛星24機、宇宙科学衛星8機、技術試験衛星6機）を軌道に投入し、このうち4割程度が現在運用中である。地球観測衛星のうち現在運用中の「レーダーサット2（Radarsat-2）」が取得したレーダ画像は、政府の業務や民間のビジネスで多角的に利用されているほか、世界各国に販売されている。カナダ政府やカナダ宇宙庁（Canadian Space Agency : CSA）¹⁾は、「レーダーサット」の優れた機能をフルに活用すべく、さまざまなプロジェクトを実施している。

地球観測関連の政府組織としては産業省・環境省・水産海洋省・天然資源省・運輸省などがある。

カナダの地球観測衛星受信局は1971年に天然資源省がカナダリモートセンシングセンター（Center for Canadian Remote Sensing : CCRS）を設立したことからはじまる。カナダ西部のサスカチュワン州プリンス・アルバート受信局（PASS）と東部のケベック州ガティノー受信局（GSS）で高緯度地域を除きほぼカナダ全土をカバーするデータ受信を行っている。

産業省に属するカナダ宇宙庁（CSA）には、衛星開発を企画する科学技術局と画像データ利用を推進する宇宙利用局があり、ジョンH・チャップマン宇宙センター（CSA本部所在地）とデイビッド・フロリダ研究所²⁾において地球観測衛星の開発や応用のための研究が行われている。

これらの組織の関連を図表1に示す。

3 地球観測活動

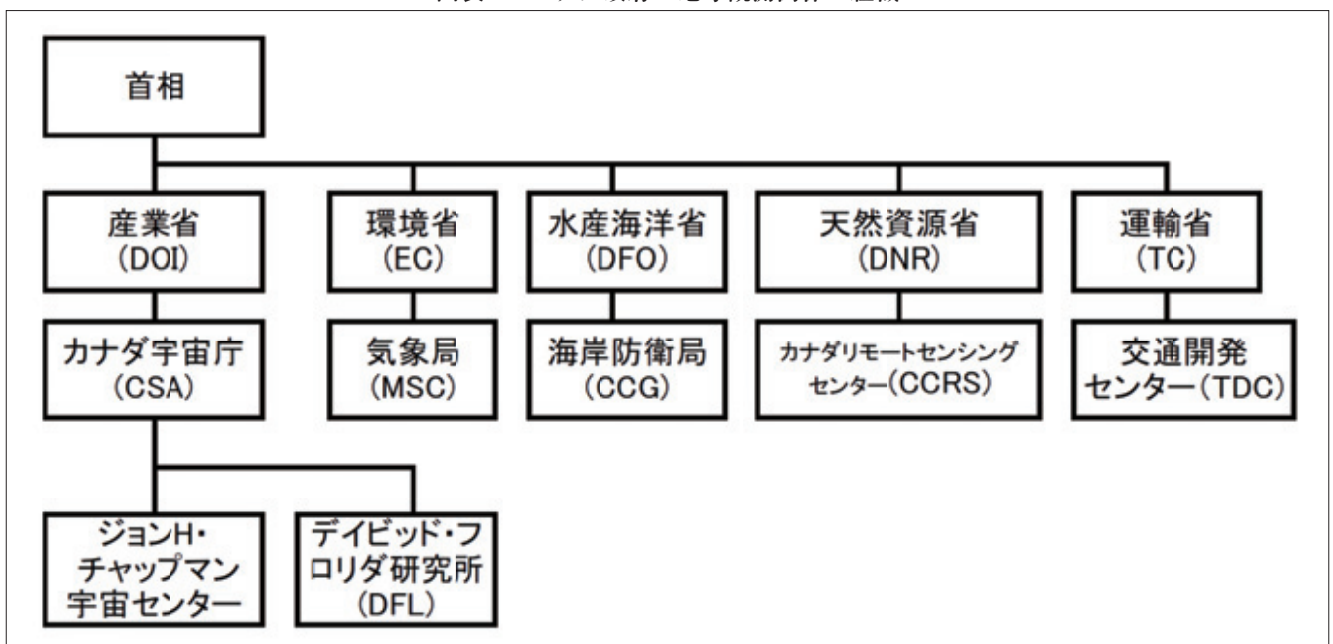
3-1 地球観測関連の組織

カナダ政府は、氷原観測・海洋監視・森林管理・生態系保護・農業支援など幅広い分野で自国の衛星および外国衛星の観測データを利用している。地

3-2 宇宙予算

カナダ政府の宇宙予算は毎年約3億カナダドルで安定している。ほとんどカナダ宇宙庁（CSA）に割り当てられる。カナダは欧州宇宙機関（European Space Agency : ESA）の準加盟国であり、カナダの宇宙予算の一部はCSAを通じてESAへ拠出される。ESAの予算総額におけるカナダの拠出割合は約0.6%である。

図表1 カナダ政府の地球観測関係の組織



出典：各種資料に基づき科学技術動向センターにて作成

3-3 地球観測衛星

(1) 地球観測衛星の打上げ実績

カナダ宇宙庁は図表2に示すようにこれまでに2機のレーダーサットを打ち上げた。最初に打ち上げられた「Radarsat-1」は2013年5月9日に運用終了となったため、現在運用中のカナダの地球観測衛星は「Radarsat-2」のみである。マクドナルド・デトワイラー・アソシエイツ社(MDA)はCSAの委託によりレーダーサットの開発・製造を行った。

(2) 「Radarsat-2」後継機の開発

運用中の「Radarsat-2」の後継として、カナダ宇宙庁は2018年打上げを目指して「レーダーサット・コンステレーション・ミッション(Radarsat Constellation Mission: RCM)」を開発中である。RCMはCバンドの合成開口レーダ(SAR)を搭載した3機編隊の衛星群により、図表3の右図のようにカナダ全土を1日でカバーできるようになる³⁾。RCM衛星の主契約者はMDA社で、2013年にカナダ宇宙庁から衛星製造・打上げ費として706百万カナダドル(706億円)で受注した⁴⁾。分解能は3m、観測幅は10km、設計寿命7年、1機当たりの質量1400kgである。サブミッションとして船舶自動識別システム(Automatic Identification System: AIS)⁵⁾用の機器も搭載する。

(3) 北極域通信気象衛星の開発

北極域通信気象衛星「PCW(Polar Communication and Weather mission)」はカナダとして初の極軌道気象観測衛星である。気象観測を行う搭載機器は、米欧の次世代静止気象衛星向けに開発中のイメージング分光放射計(Imaging Spectroradiometer)が用いられると予想される。軌道周期は12時間~24時間、軌道傾斜角は約100度、遠地点を北極側に取った離心率0.7程度の長楕円の準天頂軌道とし、2機1組で運用することなどが検討されている⁶⁾。

4 合成開口レーダによる観測

4-1 合成開口レーダの観測能力

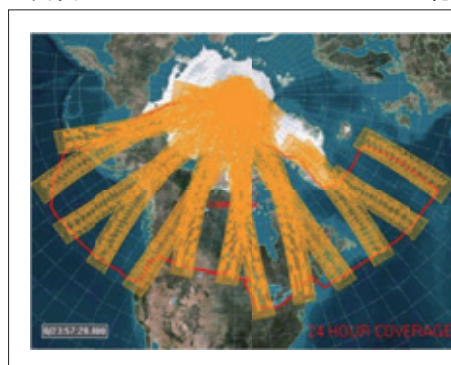
「Radarsat-2」の主な観測対象は、海洋・沿岸・海氷・植生・陸域表面などである。マイクロ波による観測の特徴として、全天候・24時間観測可能、すなわち雲に覆われていて衛星から地上が見えない場合や、夜間で光がない場合でもレーダ装置から発せられる電波の反射を同じレーダ装置で受信することで地上のわずかな高低差を検出でき、同一地点の別の画像と比較することで変化を検出できる。観測対象はレーダの周波数により適性が異なるが、カナ

図表2 カナダの地球観測衛星の概要

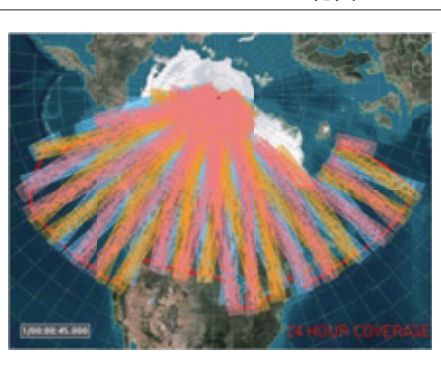
| 分野 | 衛星シリーズ名 | 打上げ年月 | センサ | 空間分解能 | 衛星製造企業 | 打上げ数 | 運用数 |
|----|------------|----------|------|--------|--------|------|-----|
| 陸域 | Radarsat-1 | 1995年11月 | Cバンド | 8-30m | MDA | 1 | 0 |
| 海洋 | Radarsat-2 | 2007年12月 | SAR | 2-100m | | 1 | 1 |
| 計 | | | | | | 2 | 1 |

出典：各種資料に基づき科学技術動向センターにて作成

図表3 Radarsat-2の1日のカバー範囲



RCMの1日のカバー範囲



出典：参考文献3

ダが採用している C バンド (4.8GHz) は主に海洋や海水などの観測に適している。

4-2 光学観測との比較

光学センサで観測可能な雲の分布、大気の状態、海の色などマイクロ波では識別できない観測対象はレーダによる観測ができない。よって、1年の大部分が雲で覆われているような晴天率の低い地域における地上の物体の変化の検出や高度差の観測などに適している。

4-3 レーダ画像の解析

レーダによる観測画像から意味のある情報を抽出する手法としては、同一場所の2枚のSAR画像の干渉から変動を読み取る「干渉SAR」(Interferometric SAR : InSAR)⁷⁾、複数の干渉SARの差分を抽出する「差分干渉SAR」(DifSARまたはD-InSAR)、水平・垂直の偏波を用いる「偏波干

渉SAR」(Polarimetric InSAR : PolInSAR)、地上の恒久散乱点を組み合わせた「恒久散乱点干渉SAR」(=Permanent Scatterer InSAR : PSInSAR)⁸⁾などがある。カナダのIT企業は従来から画像処理ソフトウェアの開発を得意とし、レーダ画像の重ね合わせや収束計算などのアルゴリズムを統合化して、実用ソフトとしての応用範囲を広げている。

5 応用事例

5-1 カナダ政府の「Radarsat-2」画像データの応用事例

カナダ宇宙庁の地球観測部門が実施している地球観測応用センター (EOAC) は、「地球観測応用開発プログラム」(EOADP)⁹⁾、「政府関連イニシアチブプログラム」(GRIP) および科学・定常応用研究 (SOAR) の3つの枠組を通じて70件余りの応用システムの開発を推進している。その多くが「Radarsat-2」のSAR画像データを利用するものである。テーマによって開始時期や開発期間が異なる

図表4 「Radarsat-2」画像データを利用した応用事例

| 分野 | 事例 | 主な利用目的／解析手法 | 担当省庁 | 開発担当企業 |
|--------|----------------------------------|--|-------------------------------|---|
| 気候・水 | 氷河監視 ¹⁰⁾ | 氷河の融解や氷床移動の観測。干渉SAR手法・差分干渉SAR・偏波干渉SARなど複数の手法の組合せ。 | 天然資源省／カナダリモートセンシングセンター (CCRS) | C-CORE社 (Centre for Cold Ocean Resources Engineering) |
| 災害 | 偏波分析法による変化検出 ¹¹⁾ | ハリケーン・モンスーン・洪水・地震などの災害救援支援。4種類の偏波 (HH、VV、HV、VH) を利用。 | CSA | MDA Geospatial Services社 |
| エネルギー | 重要なエネルギーインフラの監視 ¹²⁾ | ダム、発電所、長期貯蔵施設、処理施設、鉱山などの重要なエネルギー関連の施設の遠隔監視。 | CSA | C-CORE社 |
| 農業・生態系 | 沼沢化進行地帯における森林地図作成 ¹³⁾ | 沼沢化の監視。より大きい課題として全国規模で森林のバイオマスのマッピング。「ALOS」画像も併用。 | カナダ森林局 (CFS) | AECOM Consultants |
| 公共インフラ | 建造物の健全性診断 ¹⁴⁾ | メンテナンスコストを低減しつつ公共インフラの安全性を向上させる。PSInSAR利用。 | カナダ運輸省 (TC) ／交通開発センター (TDC) | 3v ジオマチクス社 |

出典：各種資料に基づき科学技術動向センターにて作成

ため、既に運用中のシステム、開発段階を終了して運用準備段階に入ったシステム、開発途中の研究テーマ、募集中のテーマなどが混在している。

「Radarsat-2」の画像データを用いたテーマは、気候、水、災害、エネルギー、農業（森林）、生態系、生物多様性、公共インフラなどの分野においてさまざまな事例がある。いくつかの分野の代表的な事例の概要を図表4に示す。

5-2 合成開口レーダと船舶自動識別システムの融合－不審船の監視

RCMの3機の衛星を製造するMDA社は、安全保障を目的とする海洋監視のために、RCM搭載のCバンドSARと船舶自動識別システム(AIS)を組み合わせた「MDA BlueHawk」¹⁵⁾というシステムを開発中である。すべての船舶がAIS情報を正しく発信していれば、海上における船舶の運航状況(現在位置、速度、進行方向など)はAISデータによって把握できるが、AISを搭載せずに違法な操業を行う船舶や、発信情報を故意に偽っている船舶は衛星によるAIS情報収集だけでは正しいデータが取得できない。そこで、CバンドSARにより識別した洋上の船舶位置データと突き合わせて、AIS情報と合致する船舶を取り除くことにより、画像データでしか認識できない船舶はAIS情報を発信していないか不正な位置データを発信していると判断でき、不審船(外国の軍事用船舶を含む)の可能性がある船舶を検出することができる。MDA社はこのシステムによりカナダ領海内に侵入、あるいは接近する船舶の監視、海賊対策、テロ対策、違法漁業、不法投棄、密輸など、安全保障や環境に影響を及ぼす恐れ

のある不審船を検出し、海上保安機関に情報提供することを目指している。なお、3機のRCM衛星だけではAIS情報収集が不十分であるため、カナダのexactEarth社の超小型衛星が取得したAISデータも利用されることになろう。

6 おわりに

カナダは地球観測データを最大限活用する革新的なアプリケーションの開発に力を入れており、政府の各機関や産業界がそれぞれの業務に地球観測データを活用している状況の一端を紹介した。レーダーサットは技術的なレベルの高さや応用範囲の多彩さなどでカナダが国家の誇りとしており、図表5に示すようにカナダの100ドル紙幣に「Radarsat-1」と受信局及びカナダの地図が描かれているほどである。

カナダはレーダ衛星を1機しか保有していないため、外国のレーダ衛星を利用する機会も求めている。我が国が2014年に打ち上げる予定の「ALOS-2」に搭載されるフェーズドアレイLバンド合成開口レーダ(PALSAR-2)は植生の観測に適しており、「だいち(ALOS)」の運用終了で途絶えていたLバンド画像データが再び利用できるようになることに対するカナダからの期待は大きい。RCMを利用することによる1日のカバー範囲の拡大や北極域の気象の連続観測などは、我が国にとっても利用価値が高いことから、将来的には、日本とカナダの間で相互にレーダ画像データを提供することが期待される。

図表5 カナダの100ドル紙幣に描かれた「Radarsat」と受信アンテナ



出典：World Banknotes (<http://allbanknotes.blogspot.jp/search/label/Canada>)

参考文献

- 1) CSA のウェブサイト : <http://www.asc-csa.gc.ca/eng>
- 2) デイビッド・フロリダ研究所 : <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/df/>
- 3) ESA ウェブサイト RCM : https://earth.esa.int/documents/10174/233696/5-From_RADARSAT-2_RADARSAT_Constellation+Mission+data+continuity.pdf
- 4) 世界の観測衛星コンステレーションの概要, 五百木誠, 2013年5月27日 : <http://www8.cao.go.jp/space/committee/tyousa-dai3/siryoushi.pdf>
- 5) 洋上の広域船舶情報収集のための小型衛星を開発, 科学技術動向 2012年7/8月号 : <http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2308/1/NISTEP-STT130-8.pdf>
- 6) PCW/PHEOS-WCA : QUASI-GEOSTATIONARY VIEWING OF THE ARCTIC AND ENVIRONS FOR WEATHER, CLIMATE AND AIR QUALITY, J. C. McConnell et al. 2012年6月 : http://www.cfa.harvard.edu/atmosphere/publications/PCW_PHEOS-WCA-general_20120613_v2.pdf
- 7) 国土地理院ウェブサイト 干渉 SAR のしくみ初級編 : <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/mechanism/mechanism01.html>
- 8) 衛星画像を用いた広域地盤変動解析について, 環境省 水・大気環境局 長面智志他 : <http://jgs-chubu.org/download/syn5/pdf/19/s1908.pdf>
- 9) CSA/EOADP のウェブサイト : <http://www4.asc-csa.gc.ca/auot-eoau/eng/eoadp/Home.aspx>
- 10) RADARSAT-2 Glacier Monitoring in Support of Climate Change Impact Assessment and Water Resources Management, : <http://www4.asc-csa.gc.ca/auot-eoau/eng/eoadp/Projects/72250.aspx>
- 11) Improved Change Detection from RADARSAT-2 Polarimetry, CSA/EOADP のウェブサイト : <http://www4.asc-csa.gc.ca/auot-eoau/eng/eoadp/Projects/72030.aspx>
- 12) Critical Infrastructure Monitoring for the Energy Sector (CIMES), CSA/EOADP のウェブサイト : <http://www4.asc-csa.gc.ca/auot-eoau/eng/eoadp/Projects/72654.aspx>
- 13) Improving forest mapping in boreal zones sensitive to paludification, CSA/EOADP のウェブサイト : <http://www4.asc-csa.gc.ca/auot-eoau/eng/eoadp/Projects/72213.aspx>
- 14) RADARSAT-2 Structural Health Monitoring, CSA/EOADP のウェブサイト : <http://www4.asc-csa.gc.ca/auot-eoau/eng/eoadp/Projects/72472.aspx>
- 15) MDA BlueHawk のウェブサイト : http://is.mdacorporation.com/mdais_canada/Offerings/Offerings_MDABlueHawk.aspx

執筆者プロフィール



辻野 照久

科学技術動向研究センター 客員研究官
<http://members.jcom.home.ne.jp/ttsujino/space/sub03.htm>

専門は電気工学。旧国鉄で新幹線の運転管理、旧宇宙開発事業団で世界の宇宙開発動向調査などに従事。現在は宇宙航空研究開発機構（JAXA）調査国際部調査分析課特任担当役、科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター特任フェローも兼ねる。趣味は全世界の切手収集。カナダ切手はビクトリア女王の時代から2,100種類以上を保有。