平成３０年度宇宙産業プログラム
に関する事業評価検討会（第１回）
資料７－２

「石油資源を遠隔探知するための衛星利用技術の研究開発（旧：石油資源遠隔探知技術の研究開発）」プロジェクト評価用資料（終了時評価）

平成 30 年 10 月 15 日

経済産業省製造産業局宇宙産業室
株式会社パスコ

1. 事業の概要

本研究開発プロジェクトの事業の概要を表 1-1 に示す。

表 1-1 事業アウトカム指標と指標目標値

プロジェクト名	石油資源を遠隔探知するための衛星利用技術の研究開発事業 （旧：石油資源遠隔探知技術の研究開発）
行政事業レビューとの関係	平成 30 年度行政事業レビューシート：0145
上位施策名	①「日本再興戦略 2016」（平成 28 年 6 月 2 日閣議決定） ②「産業構造ビジョン 2010」（平成 22 年 6 月 3 日産業構造審議会産業競争力部会報告書） ③宇宙基本計画（平成 28 年 4 月 1 日閣議決定） ④エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月 11 日閣議決定）
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室

プロジェクトの目的・概要

＜目的＞

これまでに開発した実証人工衛星（ASTER、ASNARO-1 等）を用いて、石油資源探査に資する情報を効率的に得る技術の実証研究開発を行い、石油資源埋蔵の可能性のある地質構造及び岩相区分等のより効率的な抽出を可能にし、我が国における石油資源探査事業の効率化等を図る。

＜概要＞

実証人工衛星（ASTER、ASNARO-1 等）を運用して各種の画像データを試験的に取得するとともに、そのデータを高度かつ自動的に処理・解析する技術等を開発し、石油資源探査への有用性の検証など、実証研究・事例蓄積を進める。あわせて、複数の資源探査衛星を統合的に運用するシステムの実証等を行う。

予算額等（委託）　（単位：百万円）

開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 27 年度	平成 29 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	株式会社パスコ
H27FY 執行額	H29FY 執行額	H28FY 執行額	総執行額	総予算額
640	480	480	1,600	1,600

2. 事業アウトカム

ASNARO-1 衛星は、我が国の宇宙産業強化を目的として、「産業技術研究開発（小型化等による先進的宇宙システムの研究開発）」において開発された高性能小型地球観測衛星である。2014 年 11 月に打ち上げられてから、軌道上の校正検証と実証運用が継続的に行われており、これらの成果を我が国の宇宙産業強化に着実につなげていくための技術開発が行われてきた。

本事業は、衛星運用の効率化と ASNARO-1 衛星画像データの高付加価値化に関する研究開発を行うとともに、衛星画像データが石油資源探査に活用されることを目的とし、アウトカム指標としては衛星画像データを活用した件数とする。またアウトカム指標を達成するためのアウトプット指標として画像提供数を、利用技術開発としてオルソプロダクト、DSM、モザイクプロダクトの生成と検証を設定する。本事業による高解像度衛星リモートセンシング技術の高度化は、石油資源探査の効率化に寄与することが期待される。

2.1 ASNARO-1 衛星画像の利用

石油探鉱の対象地は、開発途上国で交通手段の少ない地域や、紛争国にあって立入が困難な地域であることが多い。特に紛争地では航空写真撮像のための飛行許可を得ることが難しく、紛争地以外にも国境付近での航空機の飛行は制限されることが多い。こういった地域において高解像度画像を得ようとすると、撮像手段は高解像度人工衛星に頼らざるを得ない。本業務では表 2.1-1 のとおり、4 つのプロジェクトに画像の提供を実施した。撮像対象地域の状況および画像の利用目的をあわせて表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 対象プロジェクトごとの画像利用目的

プロジェクト	画像利用目的	詳細
A (H27～H28)	インフラ未整備 地域の状況把握	インフラ未開発の地域で現状の地形図等が準備されていない。 現地調査に行く際の情報が少ない。
B (H27～H28)	紛争地域の 状況把握	紛争地域のため、調査立ち入りが困難である。 紛争地域のため、地図情報があったとしても経年変化があり 現状の把握が困難である。
C (H27～H29)	雨期が長い 地域の状況把握	天候が悪く測量機会が少ないため現状の地形図等が準備されていない。現地調査に行く際の情報が少ない。
D (H28～H29)	海域の 状況把握	海域のため調査が難しい。 オイルスリックの確認のためには、同一地点を複数回撮像する必要がある。

2.2 広域マップ整備

石油資源探査関連機関のニーズを踏まえ、地域特性の異なる 4 プロジェクト（表 2.1-1 参照）について撮像し、石油資源探査関連機関に提供した。また、インフラ未開発地域における地形図作成の実証としてパイプラインマップを試作した。

2.2.1　地域特性別の撮像実証（平成 27 年度、28 年度、29 年度）

プロダクト利用者として想定した石油資源探査関連機関のニーズを整理し、対象地域を設定して撮像を実施した。撮像計画においては、雲が発生しやすい地域であることや、オイルスリックのように繰り返し撮像が必須の地域であることなどを考慮した撮像優先順位を設定し、石油資源探査に有効な画像データをより多く取得するように配慮した。また、撮像した画像データには雲が含まれる場合があるが、雲がある画像であっても有効利用できる可能性を踏まえ、被雲率が約 50%以下のプロダクトを石油資源探査関連機関に提供した。

2.2.1　（1）撮像進捗報告方法の検討

画像データ提供の際には、撮像計画に対する進捗を示す資料を併せて提供し、定期的な進捗報告を行った。その提供資料の例を図 2.2.1-1 に示す。また、石油資源探査に有効な情報が提供画像の中に含まれていると考えられる場合は、進捗報告の際にその情報を提示して意見交換を行った。

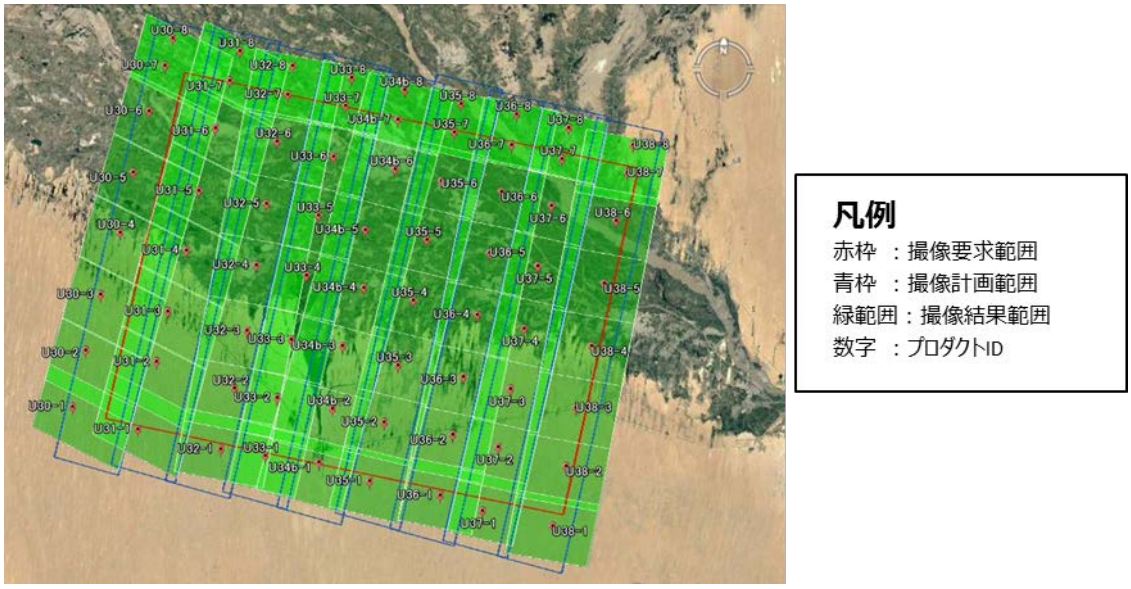


図 2.2.1-1 撮像進捗を示す提供資料の例

2.2.2 （2）繰り返し撮像計画の検討と実証

海洋において、海底に油田が存在するとその地点から油が滲出し、海面にオイルスリック（油膜）が形成されることがある。オイルスリックの位置は風や海流の向きによって時間的に変動するため、油の滲出地点を特定するためには異なる日時に繰り返し撮像した画像を解析する必要がある。そこで、2016 年 9 月～2017 年 6 月におけるプロジェクト D の撮像データからオイルスリックと思われる帯状の筋が確認された地点（図 2.2.2-1 参照）の周辺 6 地点を選定し、繰り返し撮像を行った。繰り返し撮像地点を図 2.2.2-2 に示す。

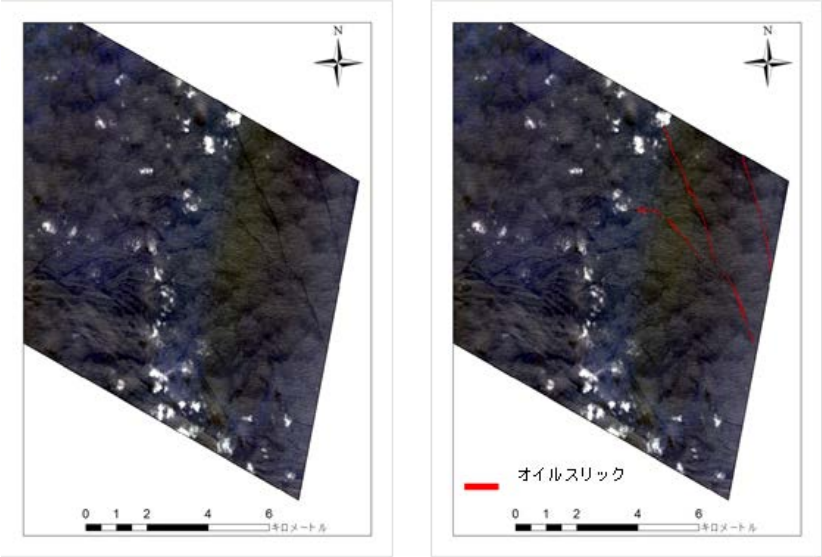


図 2.2.2-1 プロジェクト D の沿岸において確認したオイルスリック
（左：バンド 4:3:2、右：オイルスリック抽出結果）

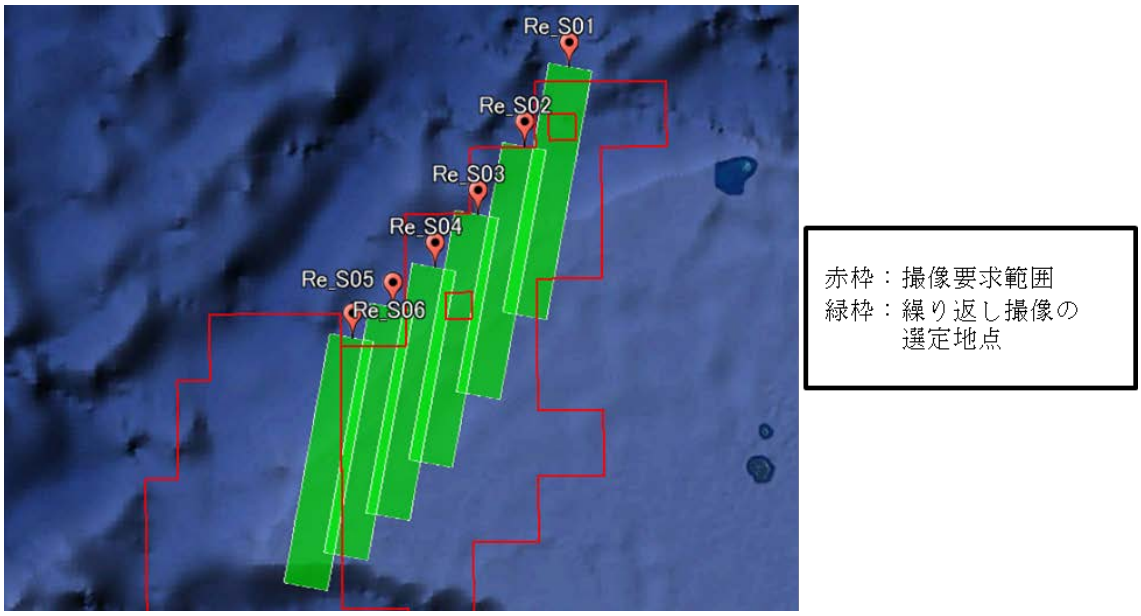


図 2.2.2-2 繰り返し撮像地点

また、繰り返し撮像の実績を表 2.2.2-1 に示す。プロジェクト D については他の衛星を含め、画像データの整備が進んでおらず、特に沿岸域に関しては石油資源探査に必要な情報が乏しい状況であった。本取り組みにおいては、石油資源探査関連機関が特に関心を持っている地点とその周辺の画像データを取得できたとともに、オイルスリックと思われる帯状の筋が確認された地点の画像データを提供することができた。

一般的にオイルスリックの撮像には SAR 衛星が利用されることが多いが、高頻度撮影が可能な ASNARO-1 衛星においてもオイルスリックを抽出できる可能性があることが示唆された。

表 2.2.2-1 繰り返し撮像実績の内訳（2017 年 12 月 14 日時点）

撮像地点 ID	2017 年									合計
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
Re_S01	-	-	2	2	2	0	1	1	0	8
Re_S02	-	-	1	0	1	0	1	0	0	3
Re_S03	-	-	1	3	2	1	2	1	0	10
Re_S04	-	-	1	3	1	2	0	0	0	7
Re_S05	-	-	2	3	1	1	0	0	0	7
Re_S06	-	-	1	1	0	0	1	0	0	3

海域の撮像においては、撮像時の撮像ポインティング角や太陽位置によってサンスポット等が生じ、画像の見え方が大きく異なることがある。同じ地点を繰り返し撮像してそれらの画像を比較する場合、見え方が異なる画像の時系列データセットは判読の障害となる。そのため、できる限り同じような条件で撮像する必要があるが、撮像条件に太陽位置等の情報を加味することは、計画策定が煩雑になり非効率的である。従って、太陽位置等条件を含めた撮像計画を効率的に行う手法の検討や手法を確立することが今後の取り組むべき事項として挙げられる。

2.2.2 パイプラインマップの試作（平成 28 年度）

道路、港湾、パイプライン等の既存インフラに関する情報は、探鉱段階から開発段階へ移行する際の経済性評価に大きな役割を果たすものである。国内においては、一般財団法人石油開発情報センターが海外の石油・天然ガスの探鉱・開発に関する様々な情報を提供しており、そのなかでも既存インフラに関しては、IHS 社が提供する IRIS21（International Relational Information System 21）のデータベース利用のサポート事業を実施している。IRIS21 は石油や天然ガスの探鉱、開発、生産等に関するデータベースであり、IHS 社が長年に亘り収集・蓄積したデータをユーザが検索・出力することができる Web サービスと GIS が用意されている。IRIS21 には約 3 万件を超える油･ガス田情報や約 60 万件を超える坑井情報等が蓄積されており、その範囲は米国とカナダを除く約 180 ヶ国に及んでいる。このように、既存インフラに関わる情報提供の有償サービスが成立しており、ASNARO-1 衛星による同種情報の整備には市場性があるものと考えられる。

2.2.2 （1）長挟物の撮像計画の検討と実証

海外のパイプラインには延長が数千 km に及ぶものも数多くあり、地上調査によって全体を把握することは困難である。また、衛星で調査する場合でも対象が広域に亘ることから、なるべく短期間で効率良く撮像することが望まれる。そこで、図 2.2.2-1 に示す延長約 102km のパイプラインを対象に撮像シミュレーションを実施し、ASNARO-1 によるパイプラインの効率的撮像方法について実証した。

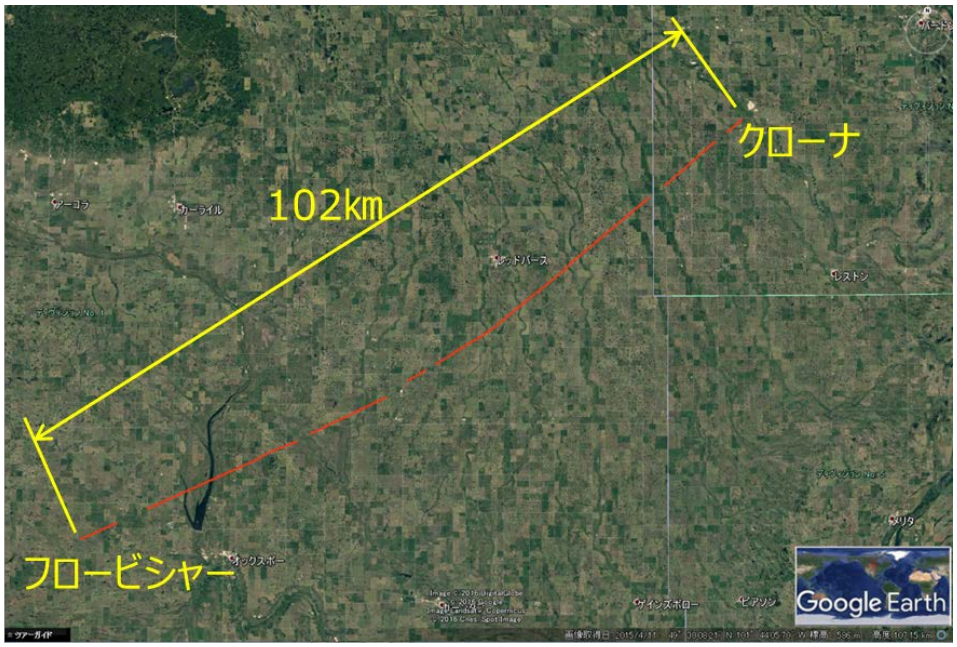


図 2.2.2-2 シミュレーション対象地（カナダ：クローナ～フロービシャー間）

また、スナップショットモードによる撮像シミュレーション結果のフットプリントを図 2.2.2-3 に、撮像回数を表 2.2.2-1 に示す。ここで入射角条件を 30°に制限した場合の撮像日数は 13 日となった。入射角条件を 45°に設定すると、入射角条件 30°よりも撮像機会が増えることから、撮像日数が 13 日から 8 日に短縮することができた。

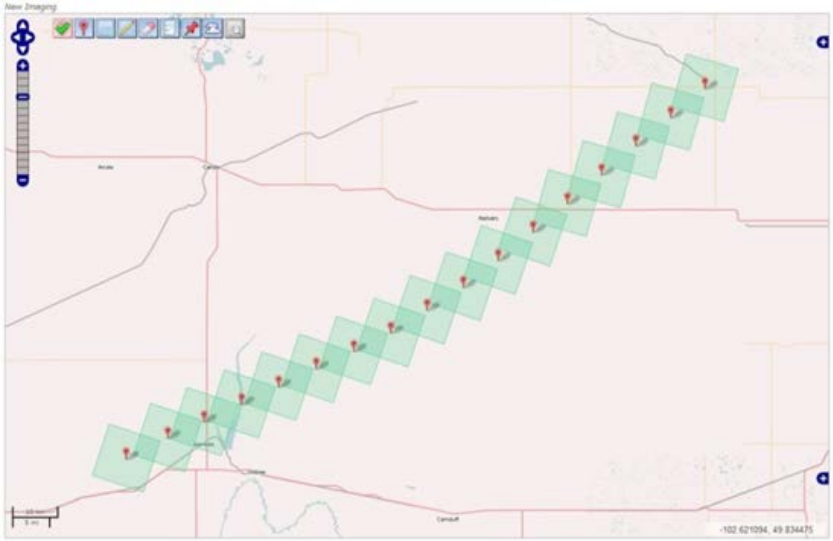


図 2.2.2-4 スナップショットモード撮像のフットプリント

表 2.2.2-2 スナップショットモード撮像によるシミュレーション結果

撮像入射角	30°	45°
撮像回数	17 回	17 回
撮像日数	13 日間	8 日間

次にスキューショットモードによる撮像シミュレーション結果のフットプリントを図 2.2.2-5 に、スナップショットモードと比較した撮像回数を表 2.2.2-3 に示す。ここで、スキューショットモードの撮像回数は 2 回となり、入射角条件 45° のときのスナップショットモード撮像よりも少なくなり、撮像日数は 8 日から 2 日に短縮することができた。これらの結果から、ASNARO-1 衛星の撮像モードを適切に組み合わせることにより、パイプラインのような広域に亘る撮像も効率的に実施できることを実証できた。

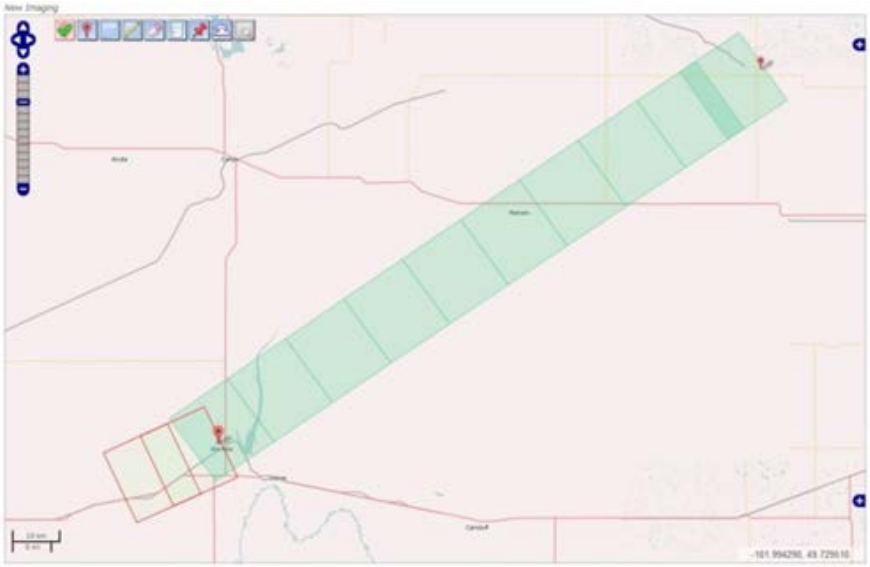


図 2.2.2-6 スキューショットモード撮像のフットプリント

表 2.2.2-3 シミュレーション結果の比較

撮像条件	スナップショット 入射角 45°	スキューショット
撮像回数	17 回	2 回
撮像日数	8 日間	2 日間

2.2.2 （2）パイプラインマップの作成

ASNARO-1 衛星画像を基にパイプラインの GIS データを試作し、石油探鉱に関わる既存インフラデータベース整備における ASNARO-1 衛星の有用性について実証した。先に述べたように石油や天然ガスの探鉱に関連する GIS データベースとして IRIS21 があるが、有償サービスであることや対象範囲が米国とカナダを除く地域であることから利用が限定される。そこで、現在の米国画像地図庁が整備した DCW（Digital Chart of the World）データを参照資料として、ASNARO-1 衛星の画像を基に DCW データを編集することによってパイプラインデータを整備した。ここで DCW データは 1/100 万航空作戦チャートをデジタイズした GIS データであり、既存インフラに関しては地上に敷設されたパイプラインのほか、地下埋設されているパイプラインの情報が含まれている。しかし、航空作戦チャートは 1989 年を最後に更新されておらず、また小縮尺のために掲載されている情報が正確ではなく、そのままでは石油探鉱計画等に用いることはできない。

ここで、ASNARO-1 衛星の画像を背景画像にして、目視判読によってプロジェクト A 国①の DCW を編集した例を以下に示す。

実証はプロジェクト A 国①とプロジェクト A 国②の国境付近の地域ア（図 2.2.2-7）と地域イ（図 2.2.2-8）の砂漠 2 か所を対象とした。ここで両地域のパイプラインは地下に埋設されており、目視判読においては未舗装の道路を誤判読しないよう、敷設線形も考慮しながら判読した。編集したパイプラインデータと DCW を比較すると、編集によってパイプラインが正しい位置に修正されていることのほか、ASNARO-1 衛星の画像では複数のパイプラインが並行して敷設されていることが判別できたことから、パイプライン施設の規模（本数）まで判読することができた。位置だけでなく施設規模も把握できることは、経済性評価に有益な情報を与えることができると考えられる。

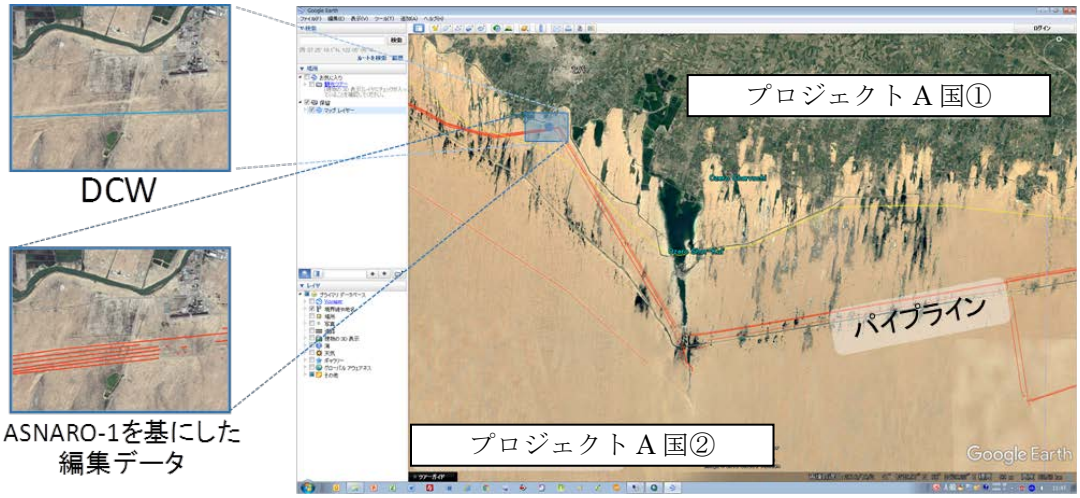


図 2.2.2-7 パイプラインマップの試作例（地域ア）

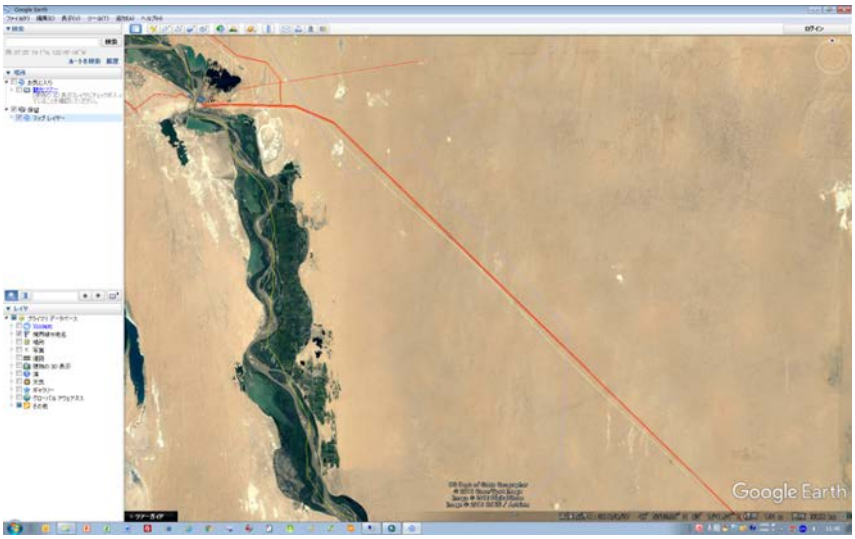


図 2.2.2-8 パイプラインマップの試作例（地域イ）

2.3 事業アウトカム

これらの議論を踏まえたアウトカム指標、そしてアウトカム指標を達成するための指標目標値を表 2.3-1 に整理するものとする。

表 2.3-1 事業アウトカム指標と指標目標値

<table>
<tr><th colspan="3">事業アウトカム指標</th></tr>
<tr><td colspan="3">【成果目標】
本事業は、石油ガス探査に係る実利用を想定して ASNARO-1 衛星を実証運用し、運用方法の確立について研究開発を行うことを目的とする。
効率的な運用を実施し、ユーザに対して十分な品質・精度を有するデータを遅延なく、かつ長期継続的に提供することで、石油開発企業等が資源探査・開発において、毎年度 2 件以上の事業に衛星画像データを活用することを目指す。

【事業アウトカム指標】
衛星画像データを活用した件数とする。</td></tr>
<tr><th colspan="3">指標目標値</th></tr>
<tr><th>年度</th><th>目標値（計画）</th><th>達成状況（実績値・達成度）</th></tr>
<tr><td>1 年目
（平成 27 年度）</td><td>2 件</td><td>3 件のプロジェクトについて、対象地域の画像撮像を行い、被雲率 50%以下の画像について提供を行った。
また、画像提供のフィードバックとして、画像を事業に利用するうえでの課題等があげられた。</td></tr>
<tr><td>2 年目
（平成 28 年度）</td><td>2 件</td><td>4 件のプロジェクトについて、対象地域の画像撮像を行い、被雲率 50%以下の画像について提供を行った。
また、画像のさらなる利活用について、検討を行うとともに、1 年目の課題の対応策を検討した。</td></tr>
<tr><td>3 年目
（平成 29 年度）</td><td>2 件</td><td>2 件のプロジェクトについて、対象地域の画像撮像を行い、被雲率 50%以下の画像について提供を行った。
オイルスリック判別のための海域の画像については、繰り返し撮像を実施した。</td></tr>
</table>

3. 研究開発内容及び事業アウトプット

3.1 研究開発内容

実証運用では石油資源探査に係る実利用を想定し、撮像要求受付・処理、撮像計画立案、撮像及び画像処理等を実施し、石油資源探査機関に対して撮像画像の提供を行った。並行して、S/N や MTF などの画像校正や軌道傾斜角修正などのメンテナンスに関わる運用を実施し、商用運用のためのコンセプトの見直しを行った。

なお、高解像度衛星画像データは航空写真測量の代替が想定され、GIS における背景図としての利用やステレオ計測によるマッピング等の用途が考えられる。例えば、撮像時の入射角によっては急峻な山地地域において画像に倒れこみが発生し、判読性能が低下するだけでなく、GIS データとの重ね合わせが困難になる。また、プロダクトは 10 ㎞×10 ㎞を単位としたシーンで提供されるため、広域の画像を扱う際には、隣り合うシーン間の位置合わせや画像表示ソフトウェアでの複数シーン表示が必要になる。最後に、標高は現地調査の予察につながる重要な情報であり、航空写真測量と同じように得られることが必要である。そのための利用技術開発として、オルソ幾何補正、DSM、モザイクといった画像処理による高付加価値プロダクト生成技術の開発を行った。

3.2 事業アウトプット

事業アウトプット指標とその達成状況を表 3.2-1 示す。

表 3.2-1 事業アウトプット指標

事業アウトプット指標			
【指標】 石油資源探査における ASNARO-1 の画像データ提供件数（シーン数） 【設定理由】 アウトカムに記載した内容を達成するため、経済産業省から指定されたエリアの撮像を実施し、画像を提供する。			
指標目標値（計画及び実績）			
年度	目標値 （計画シーン）	達成状況 （提供シーン）	原因分析 （未達成の場合）
1 年目 （平成 27 年度）	242	369	―
2 年目 （平成 28 年度）	396	471	―
3 年目 （平成 29 年度）	300	246	提供シーンは被雲率 50%以下としている。3 年目のプロジェクトのうち、1 エリアは、雨の多い地域であることから、撮像シーン数に対する提供シーン数は 5%程度となり、想定よりも提供可能なシーン数が少なかった。

3.3 利用技術開発

3.3.1 利用技術開発

ASNARO-1 衛星の画像データは石油資源探査の効率化や、既存鉱区の権益確保のための情報収集に利用することが想定される。その際、既存 GIS 情報との重ね合わせによる高度な地理情報分析や、DSM による地形情報取得が主な利用用途であると考えられる。そこで、画像プロダクトの解析にあたり、総合システム開発仕様書に規定されている、付加価値プロダクト品質特性と撮像画像処理（高次処理）機能を確認した。

また、通常の衛星画像はシーン単位に分割して配布されるが、ASNARO-1 衛星の画像は高解像度のため中解像度衛星画像よりも容量が大きく、そのハンドリングにはメモリやハードディスクといったコンピュータ資源を必要とする。航空写真画像でも同様の問題が生じるが、既存の航空写真画像販売サービスでは国土基本図の図郭で切り出されたモザイク画像を提供することによってユーザの利便性向上を図っていることが多い。このような状況を考慮した利用上の課題と対応策について、表 3.3.1-1 として整理する。

表 3.3.1-1 画像利用上の課題とその対応

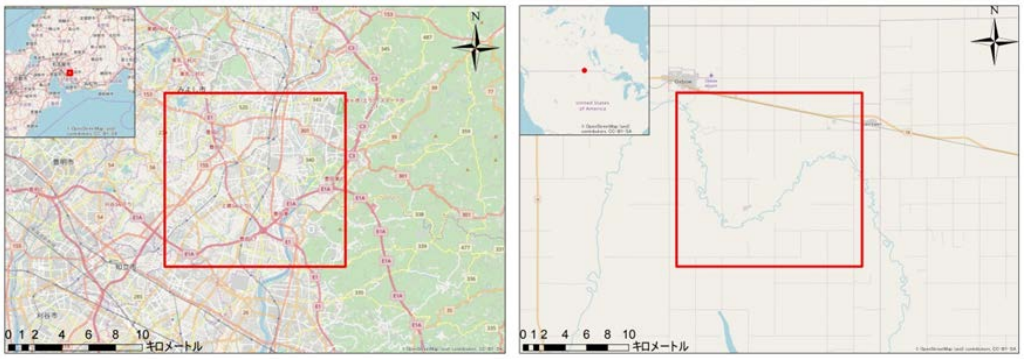
課題	課題（詳細）	対応策	対応策（詳細）
画像の倒れこみ	地球観測衛星は撮像する角度が付いているため、急峻な山地地域において画像に倒れこみが発生する。画像に倒れこみが発生すると現状把握が難しくなるばかりでなく、GIS データとの重ね合わせができなくなる。	オルソプロダクトの生成	地形による画像の倒れこみを解消する為にオルソ補正を検証。 オルソ画像をもとに現状把握や地図との重ね合わせ表示を実証。
標高の把握	画像プロダクトによる地表面現状把握の実施後、現地調査のための車両通行可否を把握する必要がある。 地形を分析することで、石油資源の有無や埋蔵量の変化の把握につながる。	DSM の生成	現地の標高情報を得るために撮像成果から標高データ（DSM）の生成を検証。 生成した標高データが現地調査に資するデータとなることを実証。
撮像範囲の全体把握	提供される画像プロダクトは 1 シーン毎に分割されている。位置合わせの手間やソフトウェアでの画像読み込みに時間を要する。 撮像された範囲を広域的に把握することが困難である。	モザイクプロダクトの生成	撮像された各シーンをつなぎ合わせるモザイク処理を検証。 各シーンをつなぎ合わせて全体把握を実証。

3.3.2 オルソプロダクトの生成（平成 29 年度）

ASNARO-1 衛星の特長として、ポインティング角の設定自由度が高く、他衛星よりも大きく斜め方向から撮像することができる。これは撮像頻度を高める効果をもたらすが、角度がついていることによって急峻な山地地域において画像に倒れこみが発生する弊害がある。画像に倒れこみが発生すると現状把握が難しくなるばかりでなく、GIS データとの重ね合わせができなくなることから、地形による画像の倒れこみを解消する為にオルソ補正を検証することが必要である。

3.3.2（1）対象地域

対象地域（図 3.3.2-1）は、愛知県豊田市及びカナダ国サスカチュワン州オックスボーとした。ここでカナダ国の対象地域は油井やパイプラインが多く分布している地域として選定した。



（a）愛知県豊田市　　（b）カナダ国サスカチュワン州オックスボー

図 3.3.2-1 対象地域

3.3.2（2）処理の流れ

ASNARO-1 衛星のパンクロマチック画像に対して既存の DEM を用い、オルソ幾何学補正を実施した。処理のながれを図 3.3.2-2 に示す。ここでセンサの画面距離・レンズ歪み・ピクセルサイズに関する内部標定パラメータ並びに撮像したときの衛星位置・姿勢に関する外部標定パラメータの調整計算は行わず、センサ固有部から出力される RPC を用いた。

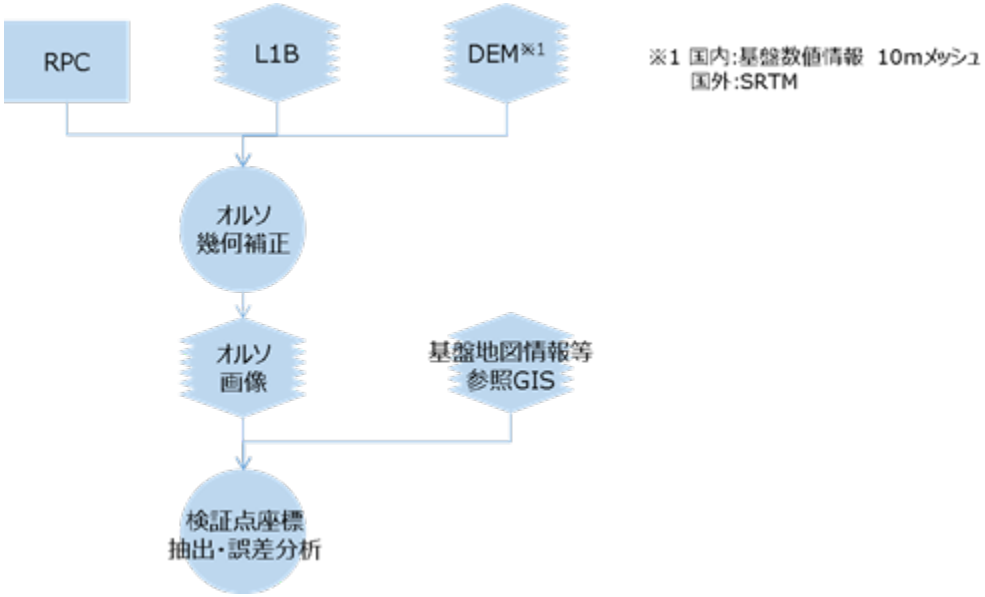


図 3.3.2-2 オルソ画像処理のながれ

3.3.2（3）成果

基準となる既存 GIS データとオルソ画像を比較し、水平精度を検証した。基準とした GIS データは、豊田市に関しては国土地理院の基盤地図情報道路縁データを用い、カナダに関しては The Government of Canada and Natural Resources Canada の道路中心線データを用いた。

オルソ画像と既存 GIS データを重ね合わせた結果をそれぞれ図 3.3.2-3 及び図 3.3.2-4 に示す。同図はオルソ画像と既存 GIS データの位置関係を示しており、定性的な水平精度を確認することができる。同図の拡大を見ると、オルソ画像と既存 GIS データの間に水平位置のずれ（残差）があることが確認できる。

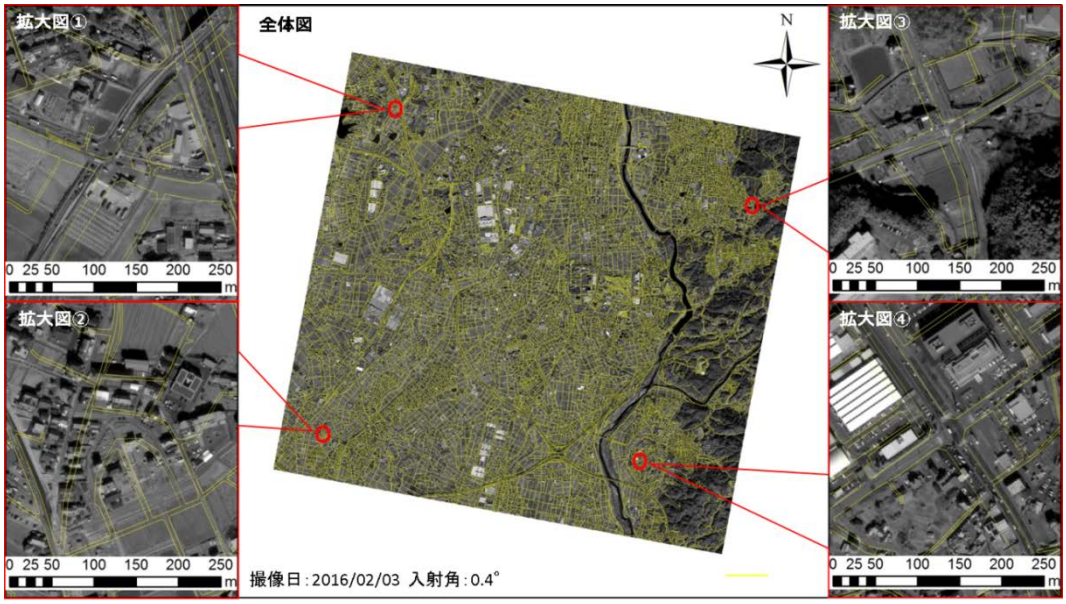


図 3.3.2-3 オルソ画像と既存 GIS データの重ね合わせ結果（愛知県）

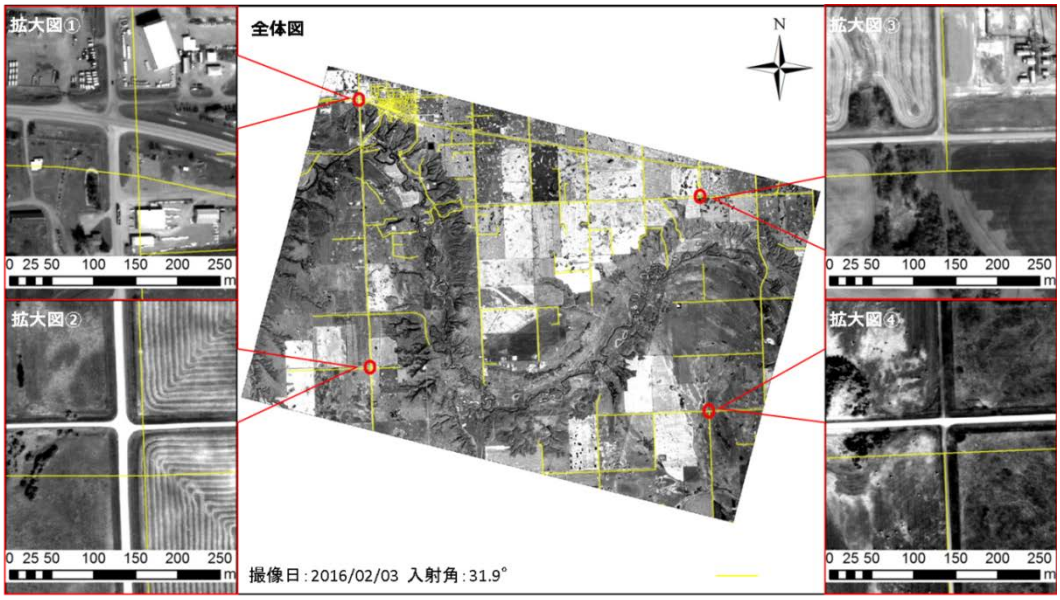


図 3.3.2-4 オルソ画像と既存 GIS データの重ね合わせ結果（カナダ国）

次に、検証地点を設け、水平精度の定量的検証を行った。検証地点は図 3.3.2-5 及び図 3.3.2-6 に示すポイントの位置とし、愛知県で 100 地点を、カナダ国で 39 地点を設定した。豊田市においては、既存 GIS データが道路縁であるため、拡大図に示したように、交差点の角を検証点とし、オルソ画像と既存 GIS の残差を分析した。ここで、基盤地図情報道路縁データは都市計画区域内で 2.5m 以内の水平精度を有する。

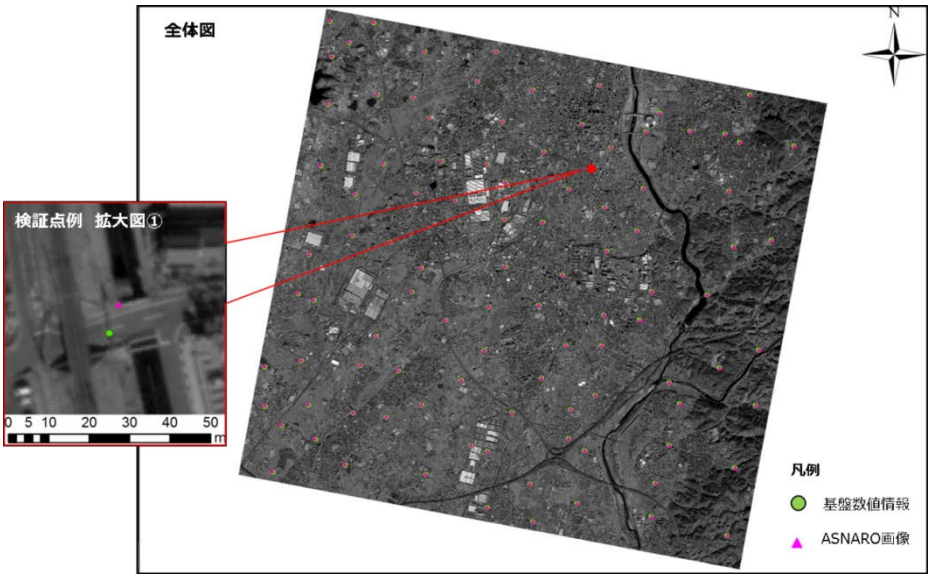


図 3.3.2-5 オルソ画像と既存 GIS データより取得した検証点（愛知県）

また、カナダ国の GIS データは道路中心線データのため、交差点中央を検証地点としてオルソ画像と既存 GIS の残差を分析した。ここで、The Government of Canada and Natural Resources Canada の道路中心線データは縮尺 1/50,000 相当の GIS データである。

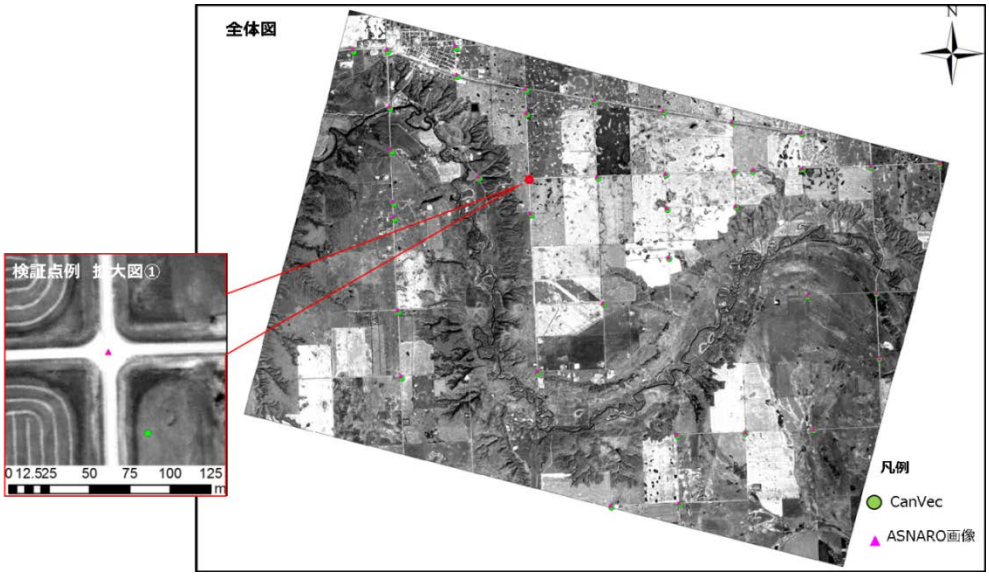


図 3.3.2-6 オルソ画像と既存 GIS データより取得した検証点（カナダ国）

分析により得られた水平精度を、既存の衛星オルソ画像の水平精度と比較した。その結果を表 3.3.2-1 に示す。ここで既存の衛星オルソ画像は、石油・鉱物資源探査を主たる目的として提供されている ASTER L3A 画像とした。

表 3.3.2-1 水平精度

検証項目	ASTER L3A	ASNARO-1	
		愛知県	カナダ国
GSD（m）	30	0.5	0.5
検証点数	-	100.0	39.0
平均残差（m）	-	15.5	50.6
RMSE（m）	-	17.1	52.5
標準偏差（m）	5 ※	7.3	11.6

※ASTER L3A の標準偏差の出展：
渡辺宏（2006）, ASTER データとその精度について, 日本リモセン学会誌, Vol. 26, No. 1

表 3.3.2-1 を見ると、水平精度（標準偏差）は ASTER L3A よりも悪いものとなった。しかし、「ディジタルオルソ作成のための公共測量作業マニュアル」（国土交通省国土地理院、2004）で規定されたオルソ画像の規格によると、地図情報レベル 10,000

の水平精度は 10.0m 以内であることとなっており、ASNARO-1 のオルソ画像は同 10,000 相当の水平精度を満足していることが確認できた。ここで地図情報レベルとは、写真図縮尺との相当関係として定義された数値であり、同 10,000 のオルソ画像は縮尺 1/10,000 の写真図として利用することができる。

さらに精度向上の可能性を検討するために、残差の特徴分析のための詳細な検証を実施した。詳細検証では、図 3.3.2-7 に示したように、画像を 9 つの区画に分け、それぞれで平均残差、RMSE 及び標準偏差を算出することとした。区画ごとに水平精度を計算した結果、中央及び東側の区画では、ASTER L3A よりも良い水平精度を得ることができ、一部の区画については地図情報レベル 2,500 相当の水平精度を満足していることが確認できた。

区画ごとに残差の方向（図中の歪方向参照）を調べると、東側の区画は東北東方向に、中央の区画は北方向に、西側の区画は北北西方向の幾何学的歪みがあることがわかった。複数の画像に対して同様の詳細検証をしたところ、図 3.3.2-7 と同じ傾向がみられたことから、ASNARO-1 衛星による画像には内部標定パラメータの精度に問題があることが示唆された。このことにより、L1V 画像の調整計算によって、標準偏差だけでなく位置正確度（絶対位置精度）を高めることも可能と考えられる。

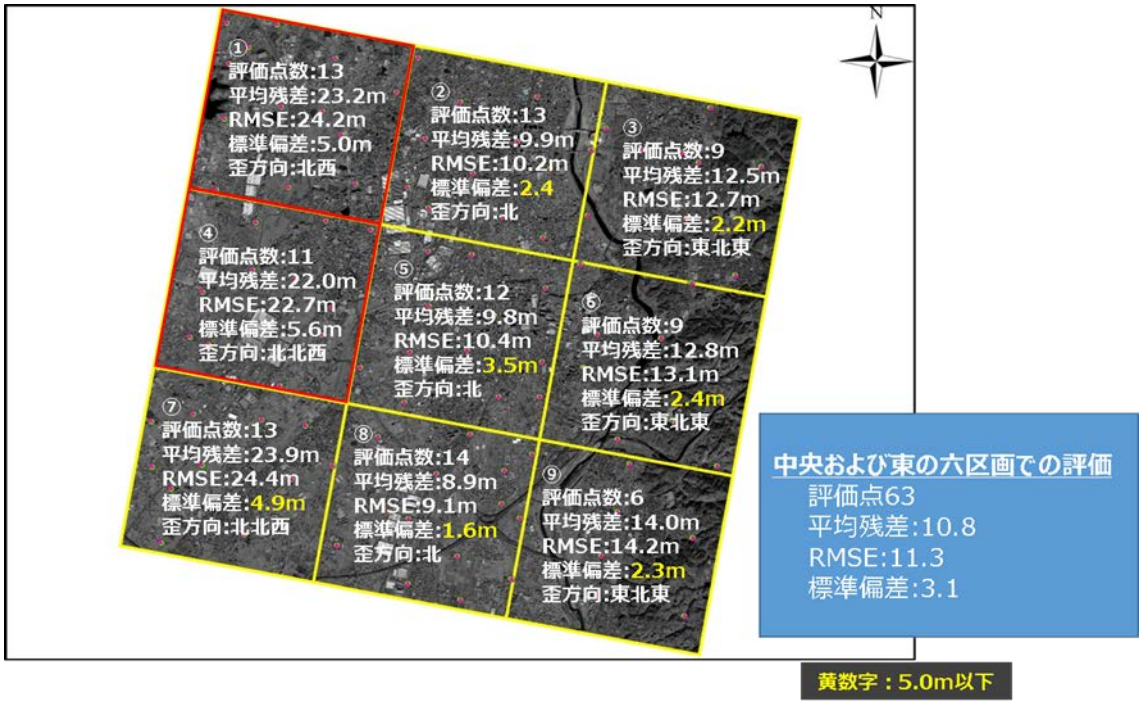


図 3.3.2-7 区画別水平精度検証結果（愛知県）

3.3.3 DSM の作成（平成 29 年度）

高分解能衛星画像データの用途として、地表面現状把握の実施後に現地調査のための車両通行可否を把握することが考えられる。また、詳細な地形を分析することで、石油資源の有無や埋蔵量の変化の把握につながる。そこで、標高情報を得るために撮像成果から標高データ（DSM）を生成し、現地調査に資するデータとなりうることを実証した。

3.3.3（1）対象地域

対象地域は、オルソ画像で水平精度の検証を行った愛知県豊田市及びカナダ国サスカチュワン州オックスボーと同じ地域とした。

3.3.3（2）処理の流れ

DSM 画像はステレオ画像セットのマッチングにより作成した。処理の流れを図 3.3.3-1 に示す。ここでセンサの画面距離・レンズ歪み・ピクセルサイズに関する内部標定パラメータ並びに撮像したときの衛星位置・姿勢に関する外部標定パラメータの調整計算は行わず、センサ固有部から出力される RPC を用いた。そのため、作成された DSM 画像には水平位置の系統的なずれ（残差）が含まれているものと考えられた。そこで、別途作成したオルソ画像（パンクロマチック）と既存 GIS データの水平位置誤差を分析し、分析結果に基づいて DSM 画像を一次アフィン変換し、残差が最少となるように調整した。またパンクロ画像の GSD0.5m に対して余裕を持たせ、DSM 画像の GSD は 3.0m とした。

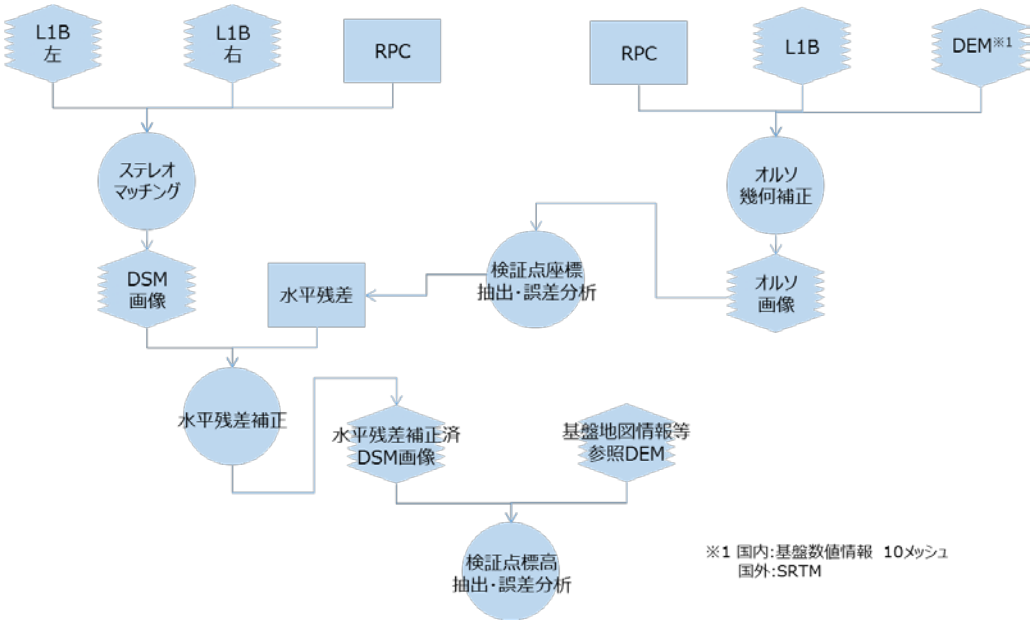


図 3.3.3-1　DSM 作成処理の流れ

3.3.3（3）水平残差の補正

豊田市に関して、オルソ画像上に DSM 画像を重ね合わせ表示した結果を図 3.3.3-に示す。ここで DSM 画像は半透明にして重ね合わせており、暖色になるほど高さが高いことを示している。拡大図①を見ると、中高層建物の位置や形状が DSM 画像とオルソ画像で一致していることがわかる。また拡大図②を見ると、高速道路のジャンクションの位置や形状が DSM 画像とオルソ画像で一致していることがわかる。このことから、ステレオマッチングによる DSM 画像の水平残差が正しく補正されているとともに、高さ変化の傾向が実際の地形や地物を良く表していることが定性的に実証できたものと考えられる。

次に、別途作成したオルソ画像（パンクロマチック）と既存 GIS データの水平位置誤差の分析結果に基づいて DSM 画像の一次アフィン変換を行い、残差が最少となるように DSM 画像の水平位置を補正した。愛知県の DSM 画像に含まれる水平残差を補正した結果を図 3.3.3-3 に示す。ここで残差の補正に用いた基準 GIS データは、国土地理院の基盤地図情報道路縁データであり、これは都市計画区域内で 2.5m 以内の水平位置精度を有する。

DSM 画像の中央には東西方向に配置された橋梁があるが、基準 GIS データ中の橋梁と DSM 画像中の橋梁位置には、南北方向の残差があることがわかる。一次アフィン変換した結果、南北方向の残差は小さくなり、基準 GIS データと DSM 画像がほぼ一致している。

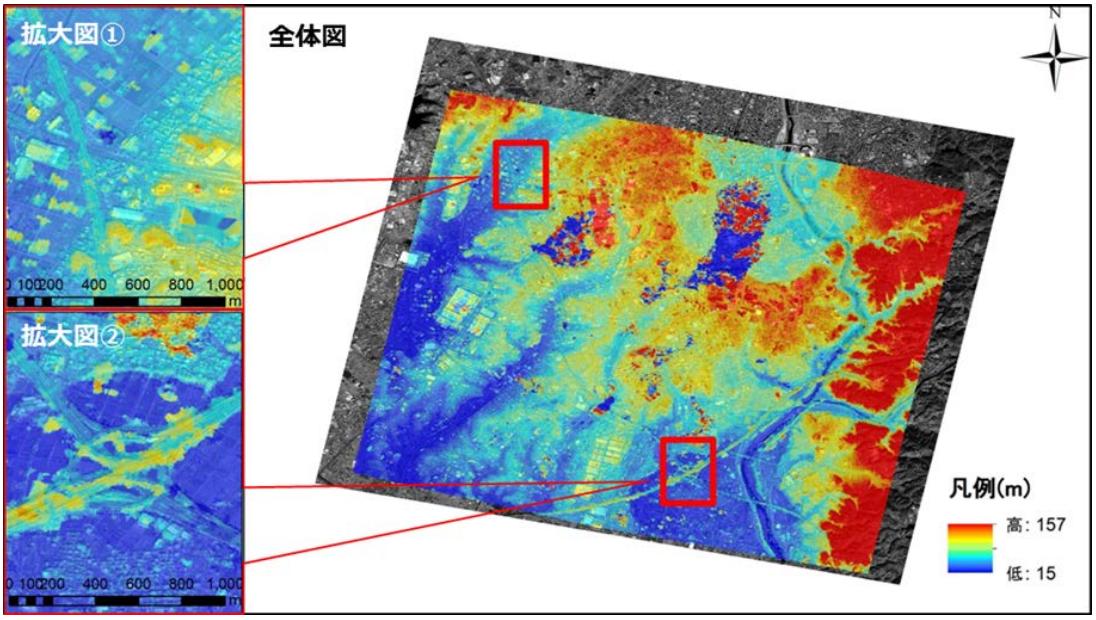
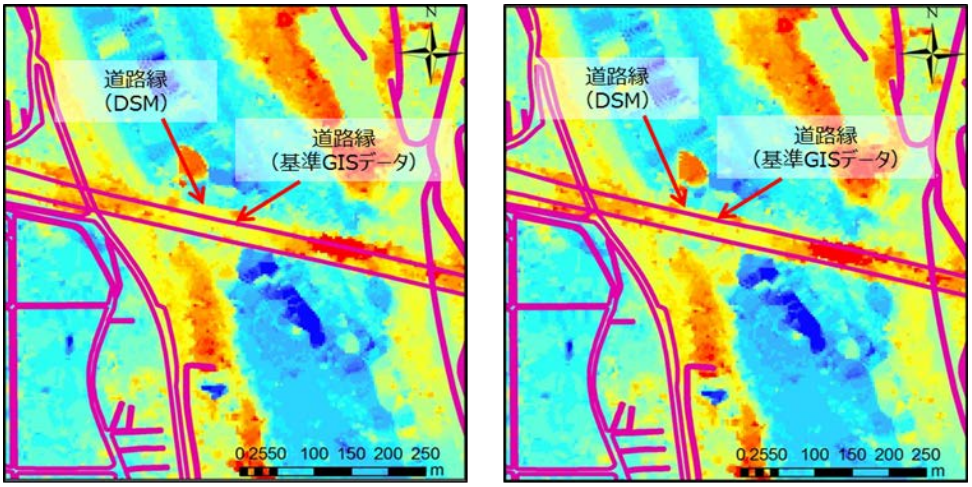


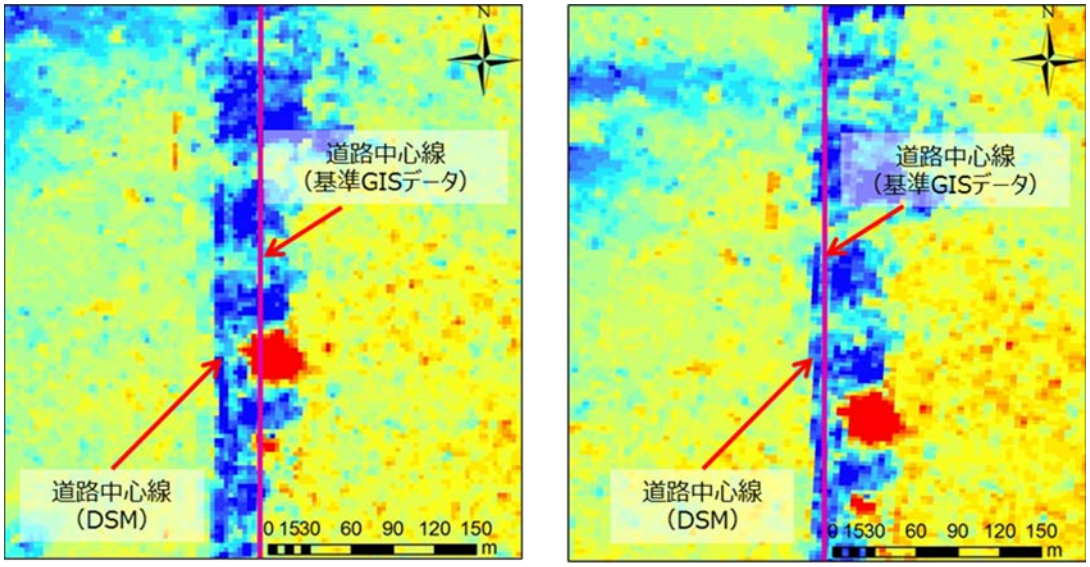
図 3.3.3-2　DSM 画像とオルソ画像の重ね合わせ結果（愛知県）



（a）残差補正前　　（a）残差補正後

図 3.3.3-3　DSM 画像の残差補正結果（愛知県）

同様に一次アフィン変換しカナダの DSM 画像に含まれる水平残差を補正した結果を図 3.3.3-4 に示す。ここで残差の補正に用いた基準 GIS データは、The Government of Canada and Natural Resources Canada 道路中心線データであり、縮尺 1/50,000 レベルで整備されている。DSM 画像中央にある赤い部分が家屋であり、濃い青色で南北に延伸する道路中心線と伺える。この位置を基準 GIS データの道路中心線位置と比較すると東西方向の残差があることがわかる。DSM 画像の水平位置を補正した結果、東西方向の残差は小さくなり、基準 GIS データと DSM 画像がほぼ一致している。



（a）残差補正前　　（a）残差補正後

図 3.3.3-4　DSM 画像の残差補正結果（カナダ）

3.3.3（4）成果

水平残差を補正した DSM 画像と基準標高画像を比較し、高さ精度を検証した。基準とした標高画像は、豊田市に関しては国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル（10m メッシュ）を用い、カナダに関しては SRTM（90m メッシュ）を用いた。

検証を実施するにあたり、図 3.3.3-5 及び図 3.3.3-6 に示す通り、豊田市で 40 地点の検証点を、カナダ国で 50 地点の検証点を設けた。ここで、グラウンドや農場等の周囲の建物等の影響を受けない場所を検証点に設定した。

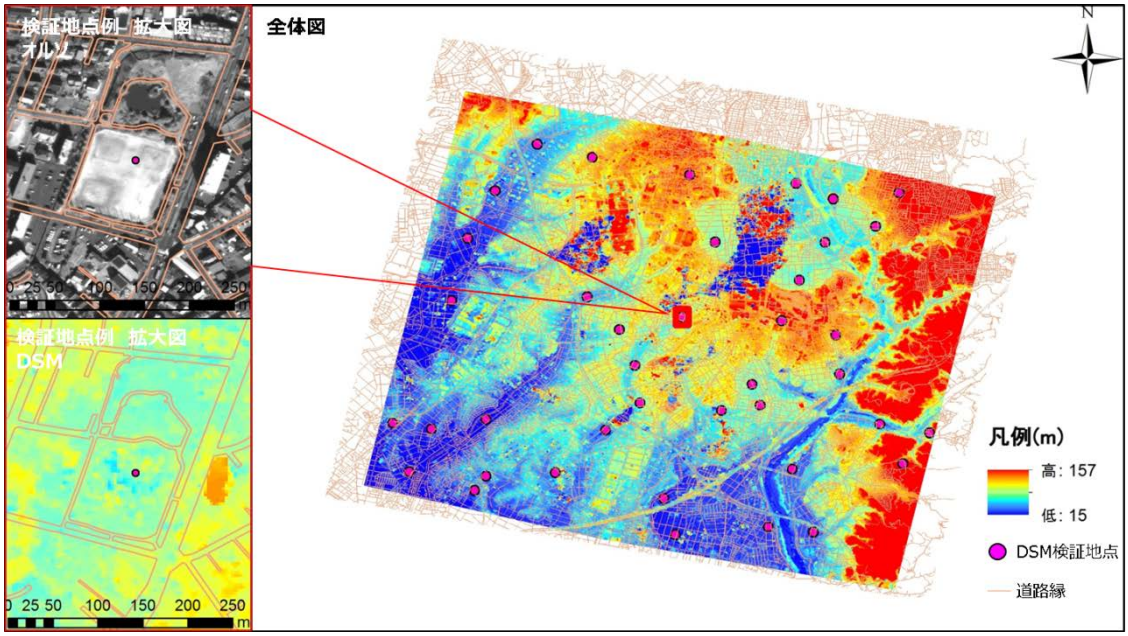


図 3.3.3-5 高さ精度検証地点（豊田市）

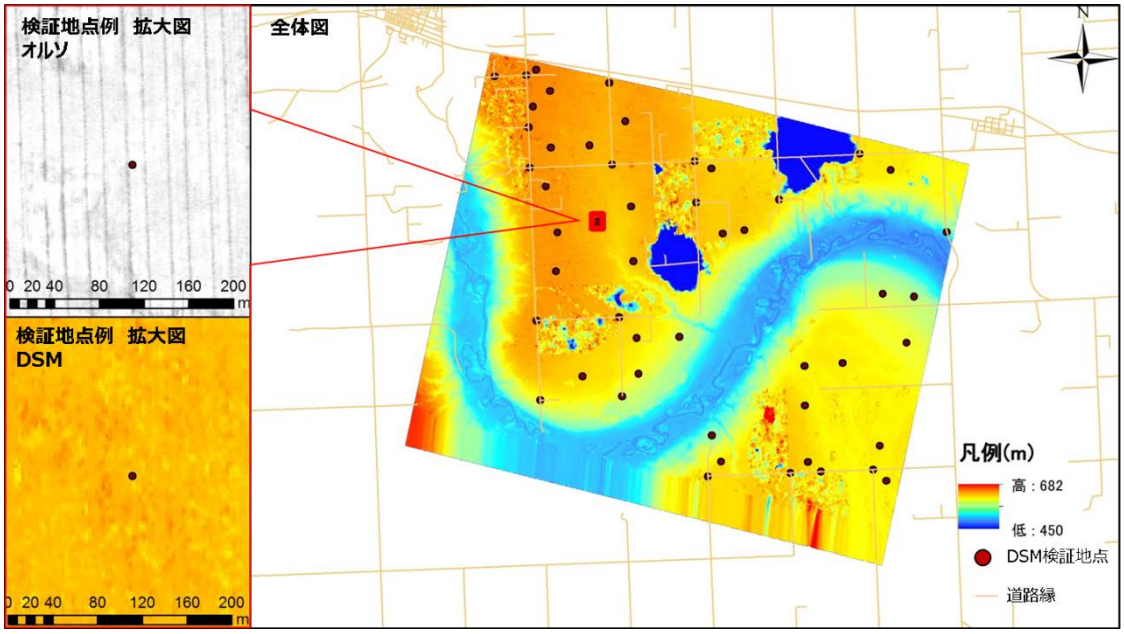


図 3.3.3-6 高さ精度検証地点（カナダ）

豊田市及びカナダ国での高さ精度に関しても水平精度と同様に、石油・鉱物資源探査を目的として整備された ASTER 衛星の成果品（GDEM）と比較した。比較結果を表 3.3.3-1 に示す。

表 3.3.3-1 高さ精度

検証項目	ASTER GDEM	ASNARO-1	
		愛知県	カナダ国
GSD（m）	30	3.0	3.0
検証点数	-	40.0	50.0
平均残差（m）	-	20.5	13.8
RMSE（m）	-	21.1	14.3
標準偏差（m）	7～14※	4.9	3.4

ここで愛知県の標準偏差は 4.9m、カナダ国の標準偏差は 3.4m だった。GDEM の標準偏差は 7.0m～14.0m であり、ASNARO-1 衛星画像で整備できる DSM 画像によって GDEM を高解像度かつ高精度で更新することが可能であることを実証できた。また、オルソ画像の項で述べたように、L1V 画像の調整計算をすることによって水平位置正確度を高めることができる可能性がある。このことは、ステレオマッチングの精度向上にも寄与すると考えられ、DSM 画像のさらなる高精度化が期待できる。

※ASTER GEDM の標準偏差の出展：ASTAER 全球 3 次元地形データより
https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/J/2.html

3.3.4 モザイクプロダクトの生成（平成 29 年度）

ASNARO-1 衛星画像データとして提供するプロダクトは 1 シーン毎に分割されているものを対象とし、1 シーンを超える面積の対象領域を取り扱う際には。シーン間位置合わせの手間やソフトウェアでの画像読み込みに時間を要する。このように、広域を対象とした場合には撮像された各シーンをつなぎ合わせるモザイク処理が必要とされる場合がある。そこで、各シーンをつなぎ合わせたことにより、広域把握の有用性について実証した。

3.3.4（1）対象地域

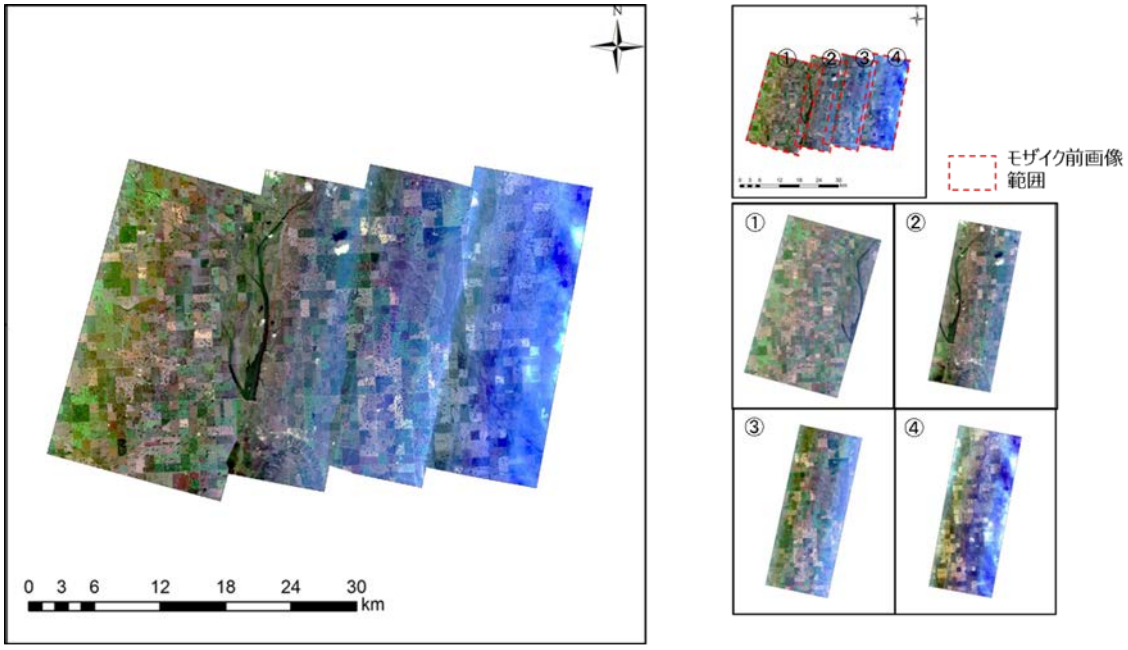
対象地域はカナダ国サスカチュワン州オックスボー及び中国新疆ウイグル自治区トルファン地区とした。両地域は石油ガス関連施設が多く立地しており、油井やパイプラインが多く分布している地域として選定した。

3.3.4（2）処理の流れ

当該地域を複数回にわたり撮像を実施した。撮像された画像の中で、天候の良い画像選び、ERDAS Imagine でシーン間の色を調整し、さらにモザイク処理を行った。

3.3.4（3）成果

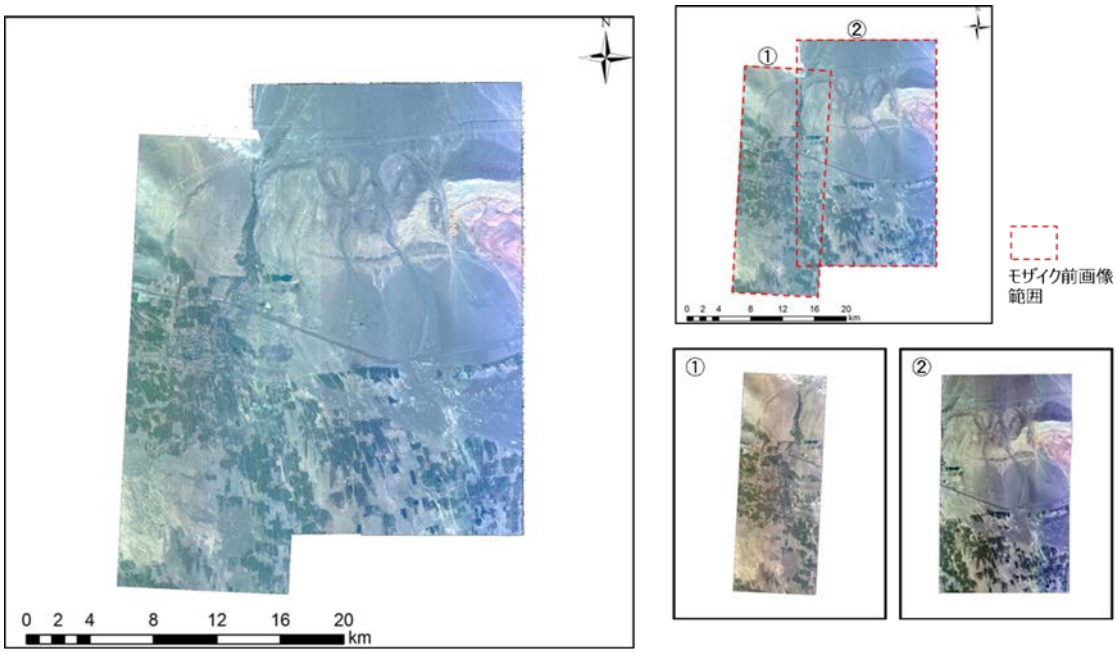
カナダ国のモザイク前後の画像を図 3.3.4-1 に示す。ここでモザイク処理には 4 ストリップの画像を用い、作成したモザイク画像の範囲は南北約 30km、東西約 40km となった。



（a）モザイク処理後　　（b）モザイク処理前

図 3.3.4-1 モザイク処理画像（カナダ国）

同様に、中国のモザイク前後の画像を図 3.3.4-2 に示す。ここでモザイク処理には 2 ストリップの画像を用い、作成したモザイク画像の範囲は南北約 30km、東西約 20km となった。



（a）モザイク処理後　　（b）モザイク処理前

図 3.3.4-2 モザイク処理画像（中国火焔山）

次に、石油資源探査を目的とした広域インフラ情報の把握を想定した画像地図の作成例を図 3.3.4-3 及び図 3.3.4-4 に示す。画像地図には、画像から判読した油井やパイプラインなどの情報も表示している。ここで油井やパイプラインは ASNARO-1 衛星画像を参照情報として、目視判読によって抽出したものである。

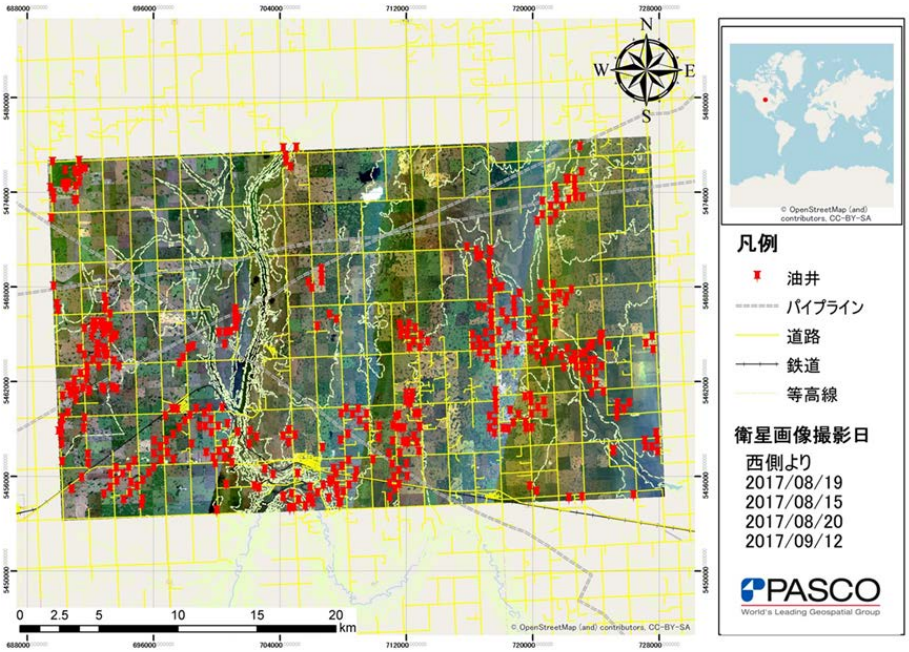


図 3.3.4-3 画像地図作成例（カナダ国）

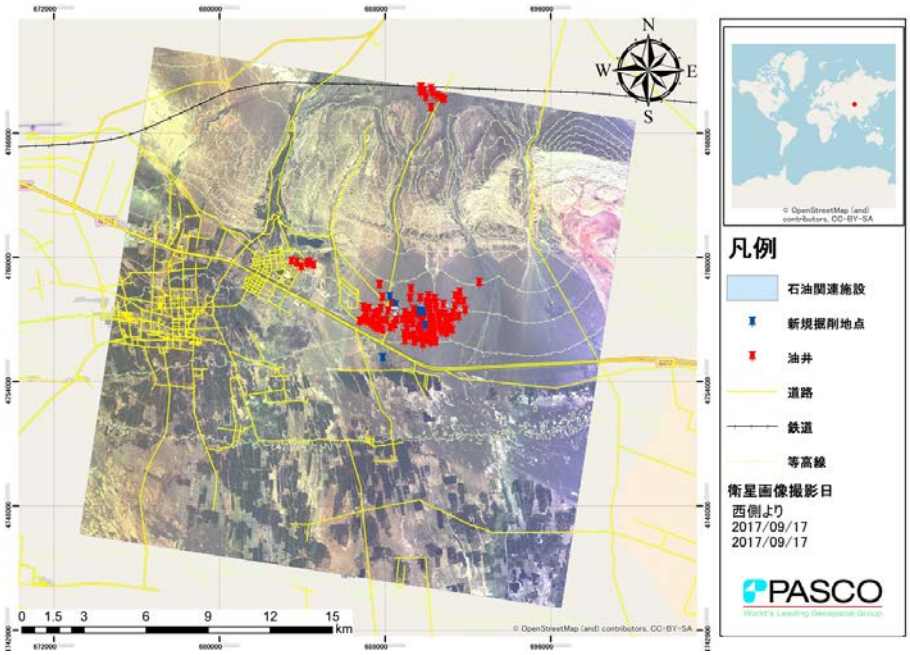


図 3.3.4-4 画像地図作成例（中国火焔山）

油井やパイプラインの拡大画像を図 3.3.4-5 に示す。これを見ると、ASNARO-1 衛星の解像度であれば、石油関連施設の配置だけでなく、その種類を同定できることがわかる。さらに、同施設を高頻度にモニタリングすることによって施設の稼働状況を把握することもでき、既存鉱区の権益確保のための情報収集に活用することができる。

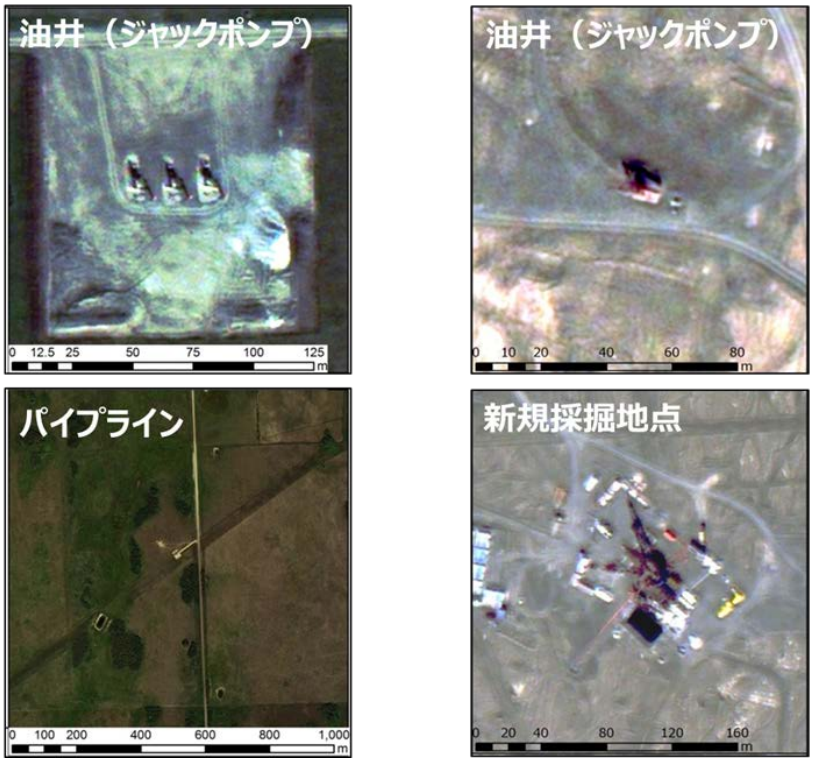


図 3.3.4-5 画像判読例（左：カナダ国　右：中国火焔山）

モザイク画像を作成することにより、広域インフラ情報の把握・整備が可能であることを実証できた。そこで、同様のモザイク画像を民間の商用高解像度衛星で生成するとしたときの、画像撮像に係るコストを比較した。比較した結果を表 3.3.4-1 に示す。ここで ASNARO-1 衛星の画像単価は、収支モデルの検討結果をもとに 1,900 円/km² とした。また、民間高解像度衛星は仏国 AIRBUS 社の Pleiades 衛星を想定し、決められた期限内に決められたカバレッジを撮像する ONE PLAN で撮像した場合のコストを計算した。ONE PLAN の画像単価は標準観測で 3,000 円/km² であり、ASNARO-1 衛星の約 1.6 倍である。中国火焔山で 909 千円、カナダ国で 1,637 千円の撮像コスト低減を図ることができることがわかる。

表 3.3.4-1 撮像コストの比較

項目	中国火焔山	カナダ国
モザイクに使用したシーン数	2	4
モザイク出力面積（km²）	826	1,488
全撮像シーン数	4	7
①ASNARO-1 のコスト（千円）	1,569	2,827
②Pleiades のコスト（千円）	2,478	4,464
コスト差②－①（千円）	909	1,637

4. 当省（国）が実施することの必要性

当該研究開発課題（本プロジェクト）を実施するには、実施者（民間）と石油資源に関連する機関が参画する必要があり、当省においては以下の理由により、実施することが必要であった（表 4-1）。

表 4-1 当省が実施することの必要性

理由	詳細
実証国の選定	石油資源のポテンシャルのある国を ASNARO-1 衛星で観測する必要があるが、民間企業の判断だけでは実証国を選定するのは困難であった。 本事業を国が実施することにより、機微情報である石油資源のポテンシャルのある国の選定及び衛星による観測を可能とする。
高い技術難度	石油資源探査については、高い技術難度が求められ、石油資源に関連する機関の本事業への参画が不可欠であった。
異分野連携	本事業は「石油資源確保」と「宇宙利用促進」の事業目的が設定されており、「エネルギー政策」と「宇宙政策」を所管している経済産業省（国）で実施する必要があった。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

最近の石油ガス資源開発業界では、探鉱開発に必要な作業はアウトソーシングされ、それを専門に実施する石油サービス会社が作業を請け負う傾向にある。石油ガス探査手法の成果を利用する主体は、資源エネルギー戦略を立案する公的機関及び国内資源企業や商社だったが、今後は石油サービス会社での利用が想定される。したがって、本事業成果のユーザも石油サービス会社が想定される。

石油サービス会社へのヒアリングによると、ASNARO-1 衛星の事業化において最も大きな阻害要因は、海外の商用高解像度衛星との競合になるものと考えられる。ASNARO-1 衛星は可視近赤外線放射計であり、短波長赤外線画像の取得や超多波長型センサでないことから、石油ガス資源開発に特化した利用技術を開発することは考えにくく、石油サービス会社の利便性を高めるための方策が必要である。具体的には、付加価値プロダクトを整備するとともに、入札前の鉱区情報などを積極的に入手し、先行的にアーカイブ画像を整備することが考えられる。特に、発生位置の特定が困難で、撮像画像が他用途に転用困難なオイルスリックに関しては、衛星撮像のためのリソースの空き状況を考慮しながら、衛星運用事業者自身の取り組みとしてのモニタリング撮像を検討することも必要である。

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを図 5-1 に整理する。

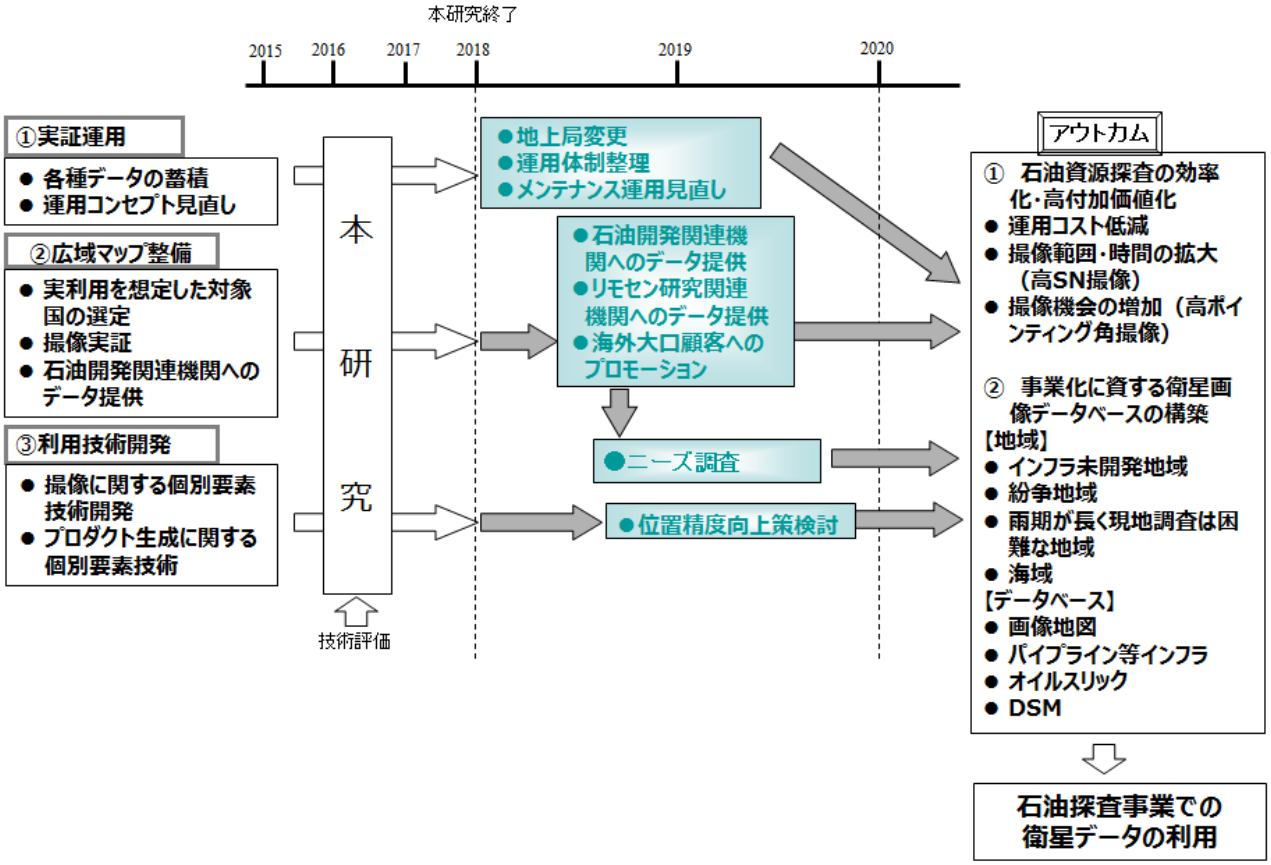


図 5-1 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

石油資源遠隔探知技術研究開発事業（ASNARO-1 衛星による石油資源探査実施研究）の実施において、有識者の意見を踏まえつつ事業を推進するため、事業の開発計画、ASNARO-1 衛星の運用状況、画像利用状況、運用計画、商業化に向けた取り組み、課題等を検討する委員会（以下、技術委員会とする）を開催した。ここで、岩崎晃氏（東京大学院先端科学技術研究センター教授）は委員長として、事業全般に渡って評価を担当し、岩男弘毅氏（産業技術総合研究所資質調査総合センター地質情報研究部門リモートセンシング研究グループ長）は画像校正や位置精度等について評価を担当し、白坂成功氏（慶応技術大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授）は衛星運用について評価を担当した。

また、石油資源探査関連機関も参画し、ASNARO-1 衛星画像データを提供するとともに、画像データに対する意見を事業にフィードバックした。さらに、衛星利用による石油サービス事業に精通した立場として一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構（JSS）がアドバイザとして参画し、主に石油資源探査現場における衛星利用の実態や要望などを本事業にフィードバックした。

技術委員会は事業期間中に 3 回実施し、石油資源探査での利用を想定した運用やデータ処理技術について検討した。

これらのマネジメント体制を図 6-1、技術委員会開催実績を表 6-1 に整理する。

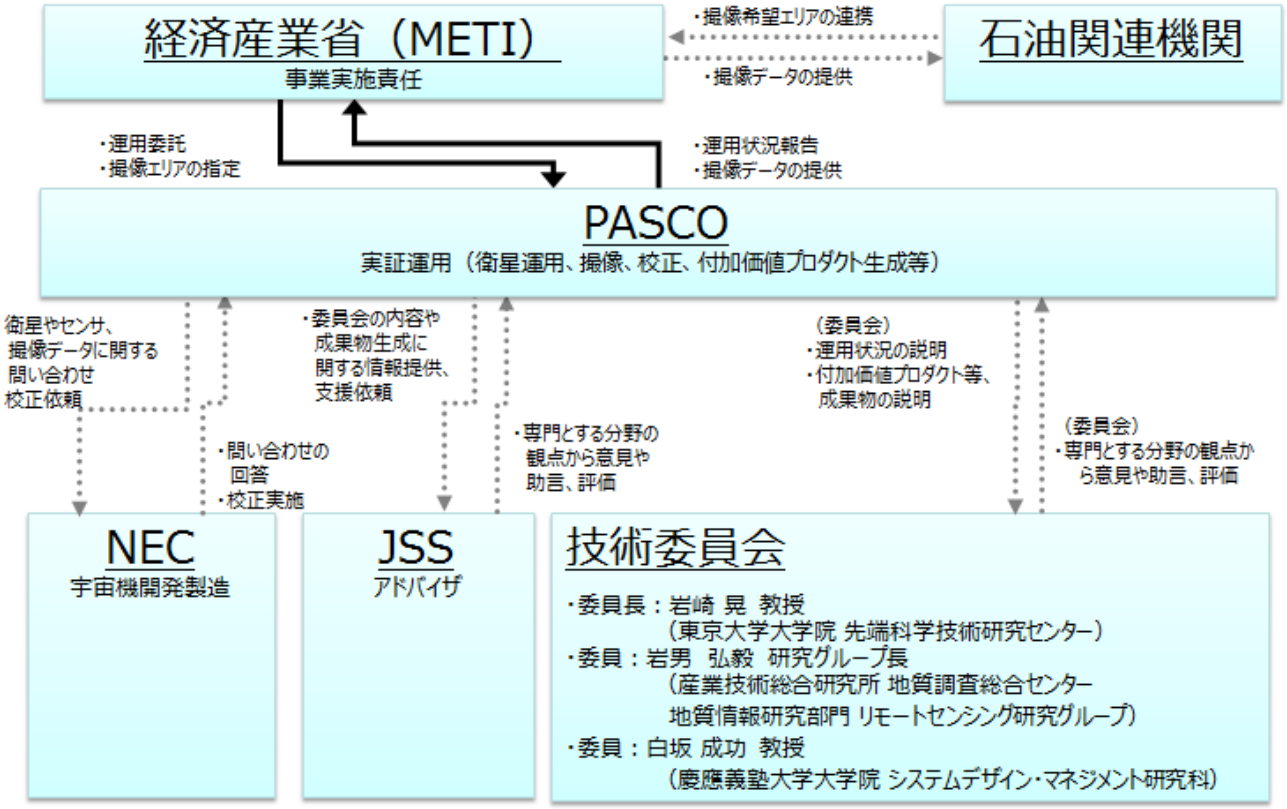


図 6-1 マネジメント体制

表 6-1 技術委員会開催実績

日時	会議名	主な議事
2016 年 12 月 15 日 （木） 10:00 ～ 12:00	平成 28 年度 第 1 回技術委員会	（1）ASNARO-1 事業概要報告 （2）ASNARO-1 運用実績・計画報告 （3）資源探査分野における利用状況報告 （4）資源探査分野における商業化に向けた取組み等 （5）資源探査分野以外での利用に関する報告 （6）パスコデータセンター視察 （7）委員評価
2017 年 3 月 3 日 （金） 10:00 ～ 12:00	平成 28 年度 第 2 回技術委員会	（1）ASNARO-1 運用結果報告 （2）資源探査分野における利用結果報告 （3）資源探査分野における商業化に向けた課題等 （4）資源探査分野以外での利用に関する報告 （5）委員評価
2017 年 12 月 24 日 （金） 10:00 ～ 11:40	平成 29 年度 第 1 回技術委員会	（1）ASNARO-1 事業概要報告・運用計画・実績報告 （2）運用実績報告 （3）付加価値プロダクトの生成・検証と石油資源探査における利活用 （4）成果物確認 （5）高ポインティング角撮像及び高 S/N 撮像について （6）成果物確認 （7）委員評価

7. 費用対効果

◆前提条件

- 投入された国費総額：16 億円（平成 27 年～平成 29 年第 3 四半期）
- ASNARO-1 の設計寿命を平成 31 年度までとする
- 平成 29 年度第 4 四半期より商業化がスタート

◆主な効果

- 石油資源探査の効率化

・オイルスリックの目視確認が可能であることや、パイプラインの本数がわかる高精度な地図の作成等が検証できた。

これまでの撮像画像を利用することで広域地図の作成が可能である。

また､類似分解能をもつ海外衛星による新規撮像による画像整備と比較すると、コストは 55%程度となり、大幅な原価削減となる。

- 我が国の宇宙産業拡大

・今後も撮像を継続し、過去分の撮像も含めると、年間 4000 シーン程度の画像データをオープン＆フリー事業へ提供することができる。これにより衛星画像の利活用推進に貢献できる。

- 特殊撮像の利用

・実証運用では、高 SN 撮像や高ポインティング撮像の検証も実施している。高 SN 撮像により太陽高度がマイナスの場合でも、露光時間を長くすることで、地物判別が可能な画像が取得できた。他衛星の場合は太陽高度が 5 度以下で撮像を受け付けないなどの制約がある中、ASNARO-1 では冬季の高緯度地域の撮像等も可能となる。

また、高ポインティング撮像を行うことで、高頻度で同一地点を撮像することができるため、地震、豪雨、火山等の災害において、緊急撮像を行うことや高頻度の定点観測を行うことも可能である。

以上