

2. C-2 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発
(画像自動判読システムの研究開発)
(終了時評価)

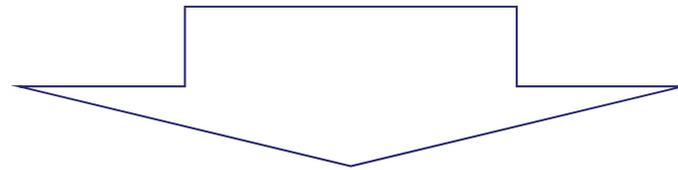
製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
株式会社パスコ

2. C-1. 1. 小型衛星群等によるリアルタイム地球観測網システムの研究開発 (画像自動判読システムの研究開発)の概要

概 要	本プロジェクトは、地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。
実施期間	平成24年度~平成26年度 (2年1か月間)
予算総額	15.7億円(委託) (平成24年度:15.7億円)
実施者	株式会社パスコ
プロジェクト リーダー	株式会社パスコ 衛星事業部 新技術開発部 黒田 晃弘

2. C-2. 2.プロジェクトの目的・政策的位置付け

- ◆ 新成長戦略(平成22年6月18日、閣議決定)
- ◆ 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)
- ◆ 宇宙基本法(平成20年5月28日)
- ◆ 宇宙基本計画(平成21年6月2日、宇宙開発戦略本部決定)



- ✓ 宇宙開発利用の推進
- ✓ 多様な宇宙システムの利用に係るアプリケーションの開発・実証の推進
- ✓ 衛星利用サービスの多様化の推進
- ✓ 観測に関する情報システム等の整備の推進
- ✓ 人工衛星等の整備・活用と分析方法の高度化

画像自動判読システムの開発の動機と目的

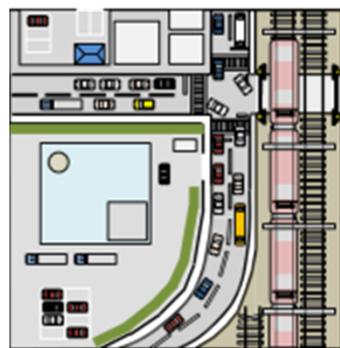
小型衛星の普及による
衛星数の増加

搭載センサの高度化による高分解能化

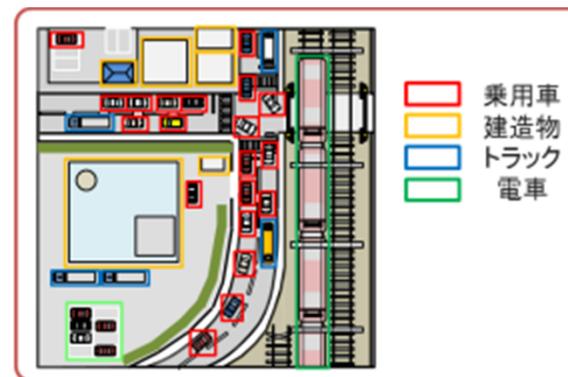
得られる画像（データ量）が加速度的に増加

大量のデータから、必要な情報を迅速に
抽出することが必要

人間が衛星画像から情報を抽出する際の暗黙知をコンピュータ自身が学習させ、コンピュータに高速かつ正確に情報（地物）を抽出（判読）させる



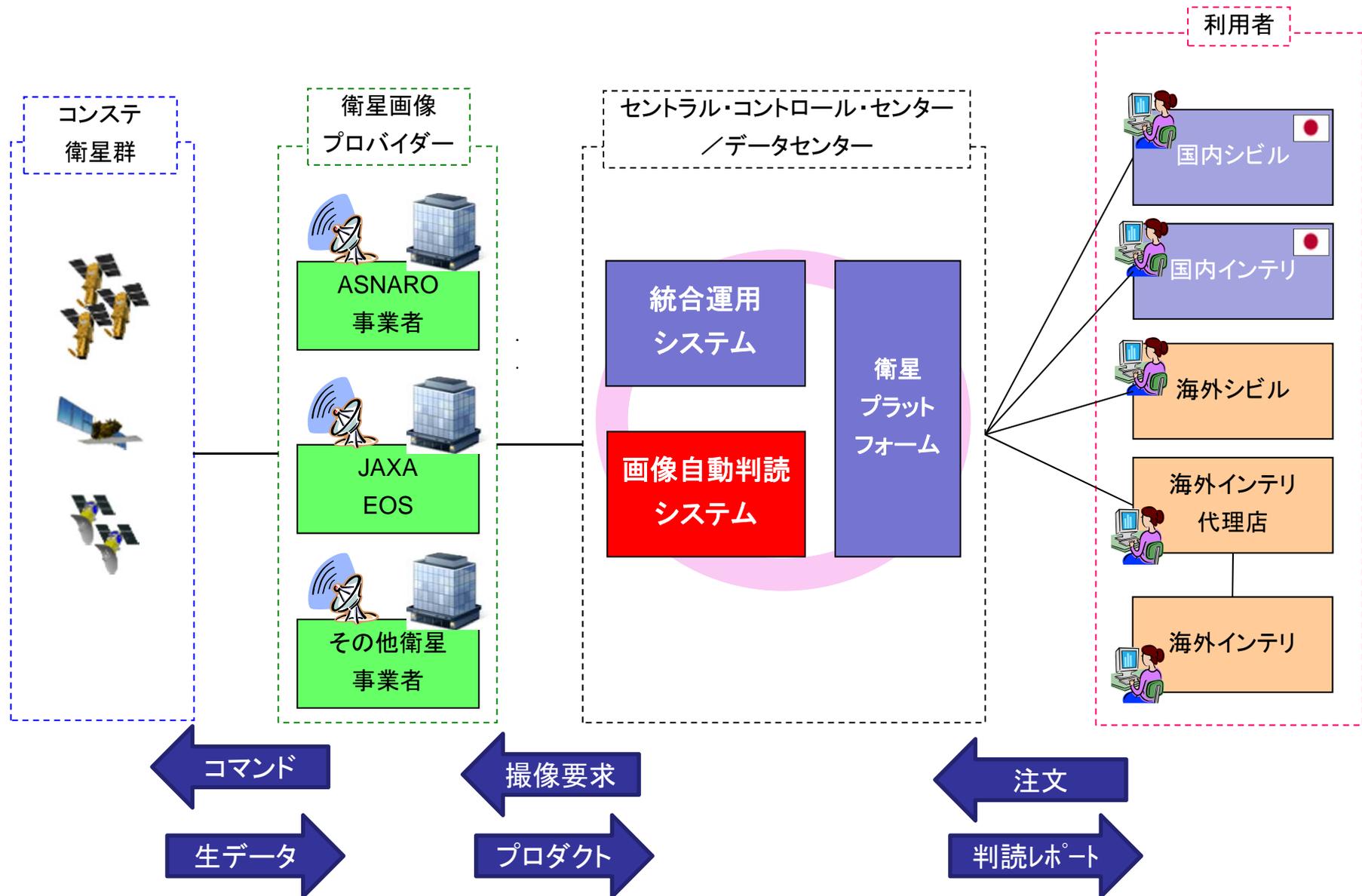
入力衛星画像



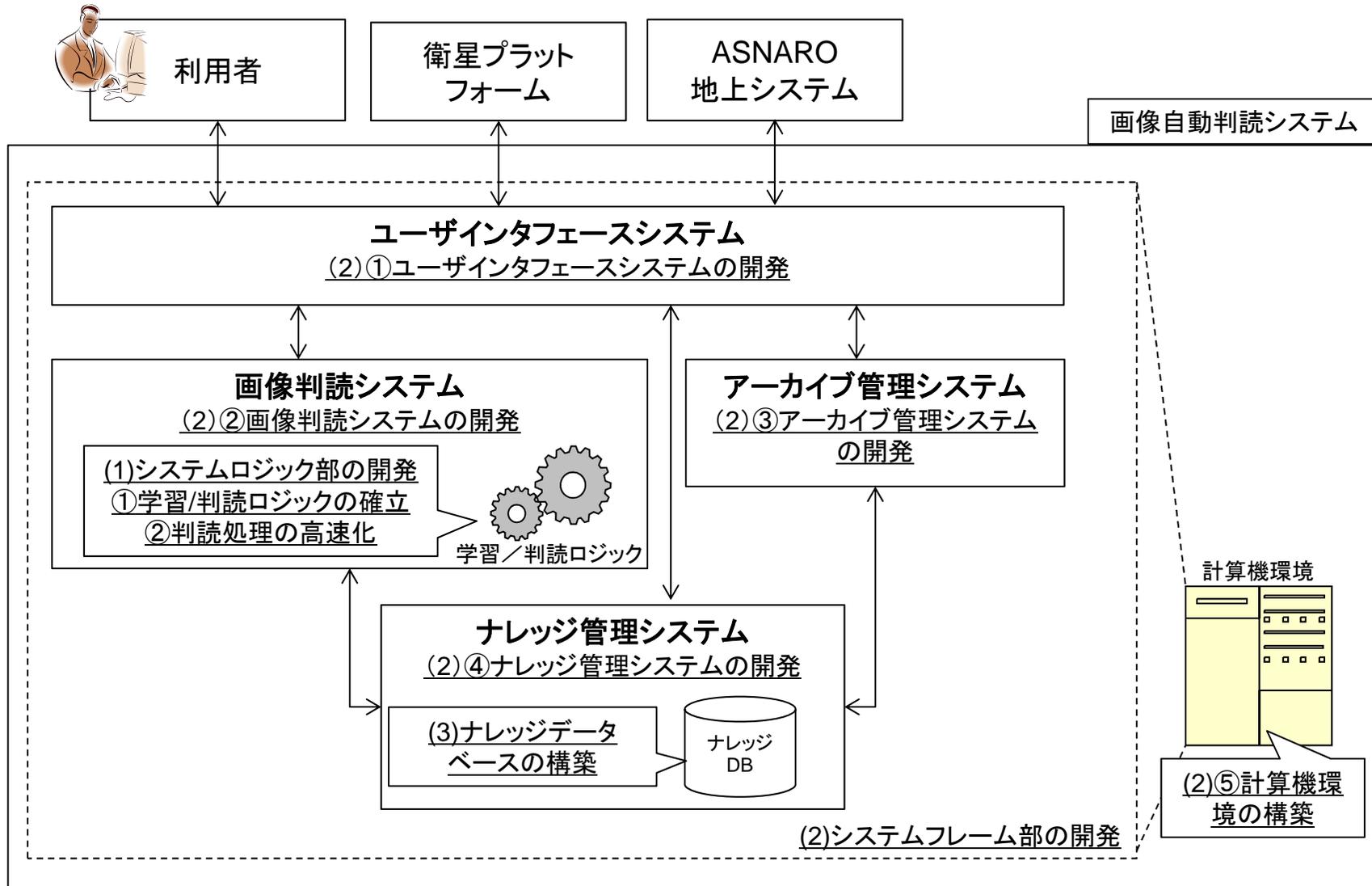
出カイメージ

乗用車
建造物
トラック
電車

画像自動判読システムの位置付け

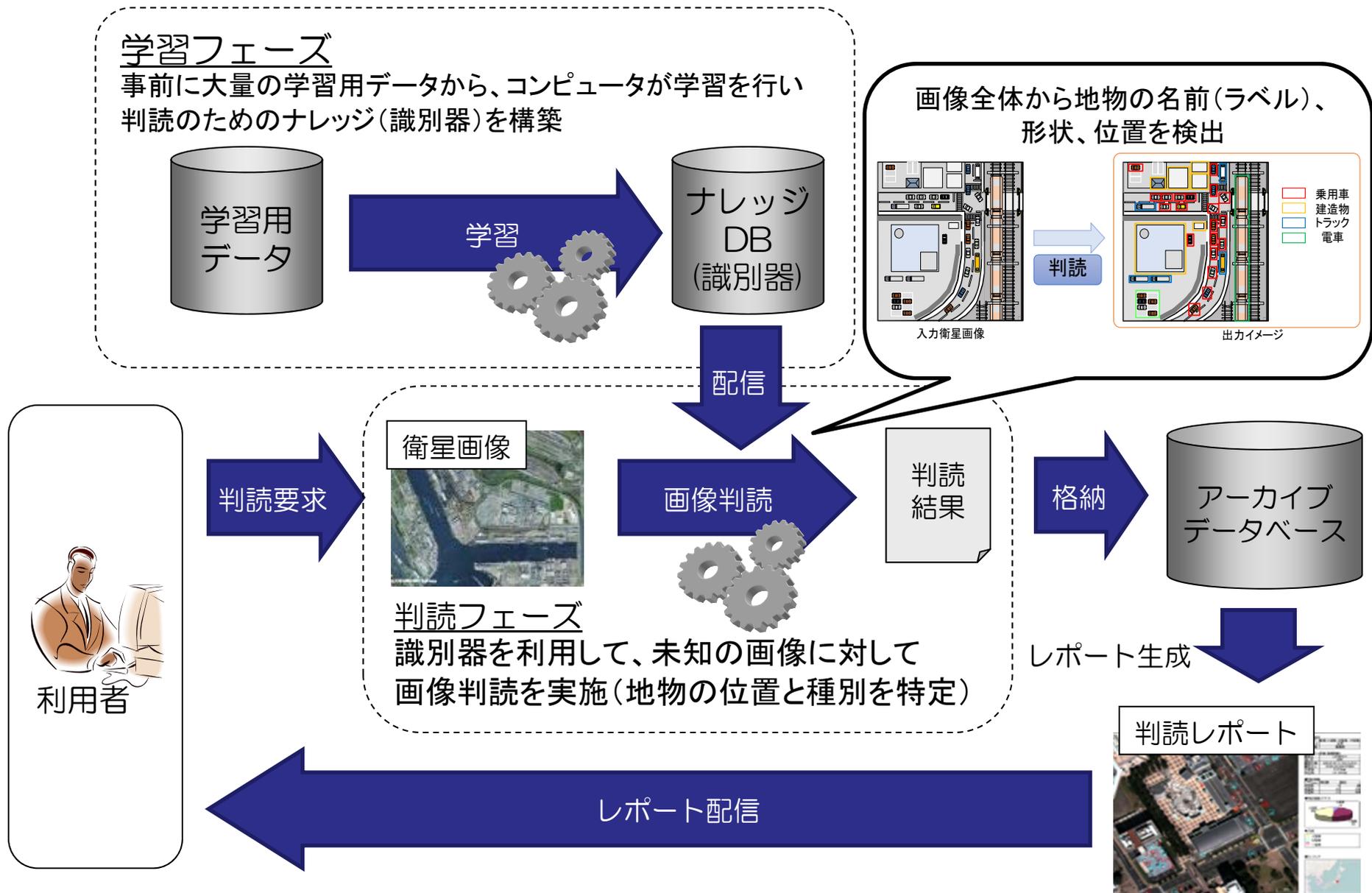


画像自動判読システムの全体像と要素技術



- (1)システムロジック部の開発: 画像自動判読のコアとなる判読ロジックの開発
- (2)システムフレーム部の開発: システムの骨格や外部とのインターフェース等の機能の開発
- (3)ナレッジデータベースの構築: コンピュータが学習を行うための学習データ等の整備

画像自動判読システムのサービスフロー



2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(1) システムロジック部の開発		
① 学習／判読ロジックの確立	画像から、コンピュータが地物の判読のための知識を自ら獲得（学習）し、未知の画像から地物の種類や位置を特定（判読）するためのロジックを確立する。 対象とする画像は、光学画像、合成開口レーダー画像及びその複合とし、画像中で視認できる様々な地物の判読に対応する汎用性の高いロジックを目指す。	衛星画像から地物の位置や種類を特定する確立された技術はなく、従来は人間の手作業にて実施されている。 大量に得られる衛星画像から、効率よく情報を抽出するためには、人間の作業をコンピュータに代替させる必要がある。また、利用者の幅広いニーズに対応するためには、衛星画像で視認できる様々な地物に対応した汎用性の高いロジックが必要である。
② 判読処理の高速化	光学画像、合成開口レーダー画像、光学／合成開口レーダー統合のそれぞれの判読処理が、3分以内に完了できるよう判読処理の高速化を行う。	サービスの価値の向上のためには、画像の入手から、短時間で判読結果（レポート）を利用者に提供する必要がある。判読処理の高速化は必要不可欠である。

2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
(2) システムフレーム部の開発		
① ユーザインターフェイスシステムの開発	<p>ウェブを介して、ワンストップで利用者へ判読サービス（画像の入手から判読レポートの提供）を提供するための機能を開発する。</p> <p>開発にあたっては、利便性やシステムへのアクセスのし易さ等を考慮する。</p> <p>【性能目標】 画面応答速度：1秒以内</p>	<p>幅広く判読サービスを提供するためには、ウェブへの対応は必要である。また、衛星画像の入手から判読レポートの提供までをワンストップで提供することにより、システムの価値の向上が期待できる。加えて、利便性を考慮すると、サービス画面の応答速度は短時間であることが望ましい。</p>
② アーカイブ管理システムの開発	<p>判読処理によって判読された大量の地物の情報を、分散データベースにて、高速に取り扱う機能を開発する。</p> <p>【性能目標】 100万件のデータから10件のデータの検索及び抽出：1秒以内</p>	<p>判読結果のウェブ上への表示や、リアルタイムでのレポート作成機能の提供のためには、判読された大量のデータへのアクセスが必要となる。しかし、一般的なデータベースでは長い時間を要するため、利便性を考慮し、データベースの分散化等によるデータアクセスの高速化が必要である。</p>

2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
③画像判読システムの開発	判読処理を行うための複数の計算機（処理ノード）に効率よく要求（ジョブ）を割り当て、短時間で判読処理を完了させるジョブスケジューリング機能を開発する。 【性能目標】 処理ノードへのジョブ割当：2秒以内 判読処理完了：3分以内	単位時間当たりの判読処理量を最大化し、かつ判読処理自体も短時間で完了させるためには、複数の計算機を効率よく運用する必要がある。そのためには、計算機と要求を管理するためのジョブスケジューリング機能が必要である。
④ナレッジ管理システムの開発	コンピュータが画像判読を実行する際のナレッジ（識別器）や、そのナレッジを生成するための学習用/評価用データを管理する機能を開発する。本機能は、システムの運用者が利用する機能であるため、運用性や、サービスの継続性を考慮して開発を行う。	識別器の生成には、大量の学習用データ/評価用データが必要である。また、複数の地物の判読に対応するためには、複数のナレッジ（識別器）が必要である。判読サービスを継続的に提供するためには、これらの情報をより簡便に管理でき、サービスの拡張にも対応できることが望ましい。

2. C-2. 3. 目標

地球観測衛星から得られる大量の衛星画像に対して、利用者が必要とする地物の自動判読を高速に実施し、利用者に判読結果を最適な形で提供するためのシステムを開発する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
⑤ 計算機環境の構築	画像自動判読システムを動作させるための計算機環境の設計・構築を行う。 設計にあたっては、本システムを構成する各システムの処理特性や処理性能、運用性を十分考慮する。	各種性能要求を満たしつつ、計算機リソースを効率的に利用するためには、合理的な設計に基づいた計算機環境が必要である。また、判読サービスを継続的に提供するためには、計算機の管理に関わるコストの最小化が必要である。
(3) ナレッジデータベースの構築	衛星画像から、システムロジック部の開発等に利用する学習用／評価用データの整備を行う。	短期間で効果的、効率的に研究開発を行うためには、大量の学習用データ／判読用データを整備する必要がある。

2. C-2. 4. 成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1)システムロジック部の開発			
①学習／判読ロジックの確立	画像から、コンピュータが地物の判読のための知識を自ら獲得（学習）し、未知の画像から地物の種類や位置を特定（判読）するためのロジックを確立する。対象とする画像は、光学画像、合成開口レーダー画像及びその複合とし、画像中で視認できる様々な地物の判読に対応する汎用性の高いロジックを目指す。	機械学習の一つであるディープラーニング手法をベースとして、画像中で視認できる地物や被覆に対する汎用的な判読ロジックを確立した。また、精度評価を行い、十分に実用に足る精度を有することを確認した（建造物で80%以上）。	達成
②判読処理の高速化	光学画像、合成開口レーダー画像、光学／合成開口レーダー統合のそれぞれの判読処理が、3分以内に完了できるように判読処理の高速化を行う。	複数の処理ノード、マルチコアCPU、GPGPUを活用した並列分散処理を判読処理に適用することにより、3分以内の判読処理完了を実現した。	達成

2. C-2. 4. 成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
(2) システムフレーム部の開発			
① ユーザーインターフェイスシステムの開発	ウェブを介して、ワンストップで利用者へ判読サービス（画像の入手から判読レポートの提供）を提供するための機能を開発する。 開発にあたっては、利便性やシステムへのアクセスのし易さ等を考慮する。 【性能目標】 画面応答速度：1秒以内	ウェブを介して判読サービスを利用者に提供するためのユーザーインターフェイスシステムを設計、製造し、試験を行った。ワンストップでサービスを提供するため、衛星プラットフォームやASNARO地上システム等の外部システムとの連携機能を具備した。加えて、利便性やシステムへのアクセスのし易さの向上のため、ウェブGIS上で判読結果表示の対応およびタブレット端末への対応を実施した。 【性能】 画面遷移：0.6秒	達成
② アーカイブ管理システムの開発	判読処理によって判読された大量の地物の情報を、分散データベースにて、高速に取り扱う機能を開発する。 【性能目標】 100万件のデータから10件のデータの検索及び抽出：1秒以内	判読結果が格納されるデータベースの制御及び管理を担う、アーカイブ管理システムを設計、製造し、試験を行った。 高速なデータアクセスを実現するため、データベースの分散化を行った。設計にあたっては、分散データベースに求められる要件（速度、可用性等）を整理し、プロトタイピングを行うことで、データベース管理システムの選定を行った。 【性能】 100万件のデータから10件のデータの検索及び抽出：0.0137秒	達成

2. C-2. 4. 成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
③画像判読システムの開発	判読処理を行うための複数の計算機（処理ノード）に効率よく要求（ジョブ）を割り当て、短時間で判読処理を完了させるジョブスケジューリング機能を開発する。 【性能目標】 処理ノードへのジョブ割当：2秒以内 判読処理完了：3分以内	処理ノードの管理および判読学習処理の実行と制御及び管理を担う、画像判読システムを設計、製造し、試験を行った。 複数の判読処理ノードの監視、判読要求の分散発行、進捗モニタリング等を行うための、ジョブスケジューラー機能と、システムロジック部の研究結果による仕様変更のインパクトを最小限にするための汎用処理フレームワークを具備した。 【性能】 処理ノードへのジョブ割当：1.0秒 判読処理完了：113秒/40秒/140秒（光学/SAR/統合）	達成
④ナレッジ管理システムの開発	コンピュータが画像判読を実行する際のナレッジ（識別器）や、そのナレッジを生成するための学習用/評価用データを管理する機能を開発する。本機能は、システムの運用者が利用する機能であるため、運用性や、サービスの継続性を考慮して開発を行う。	コンピュータが画像判読を実行する際のナレッジ（識別器）の管理を担う、ナレッジ管理システムを設計、製造し、試験を行った。継続的かつ効率的な識別器の精度の向上を実現するため、判読結果からのフィードバック機能を具備した。	達成

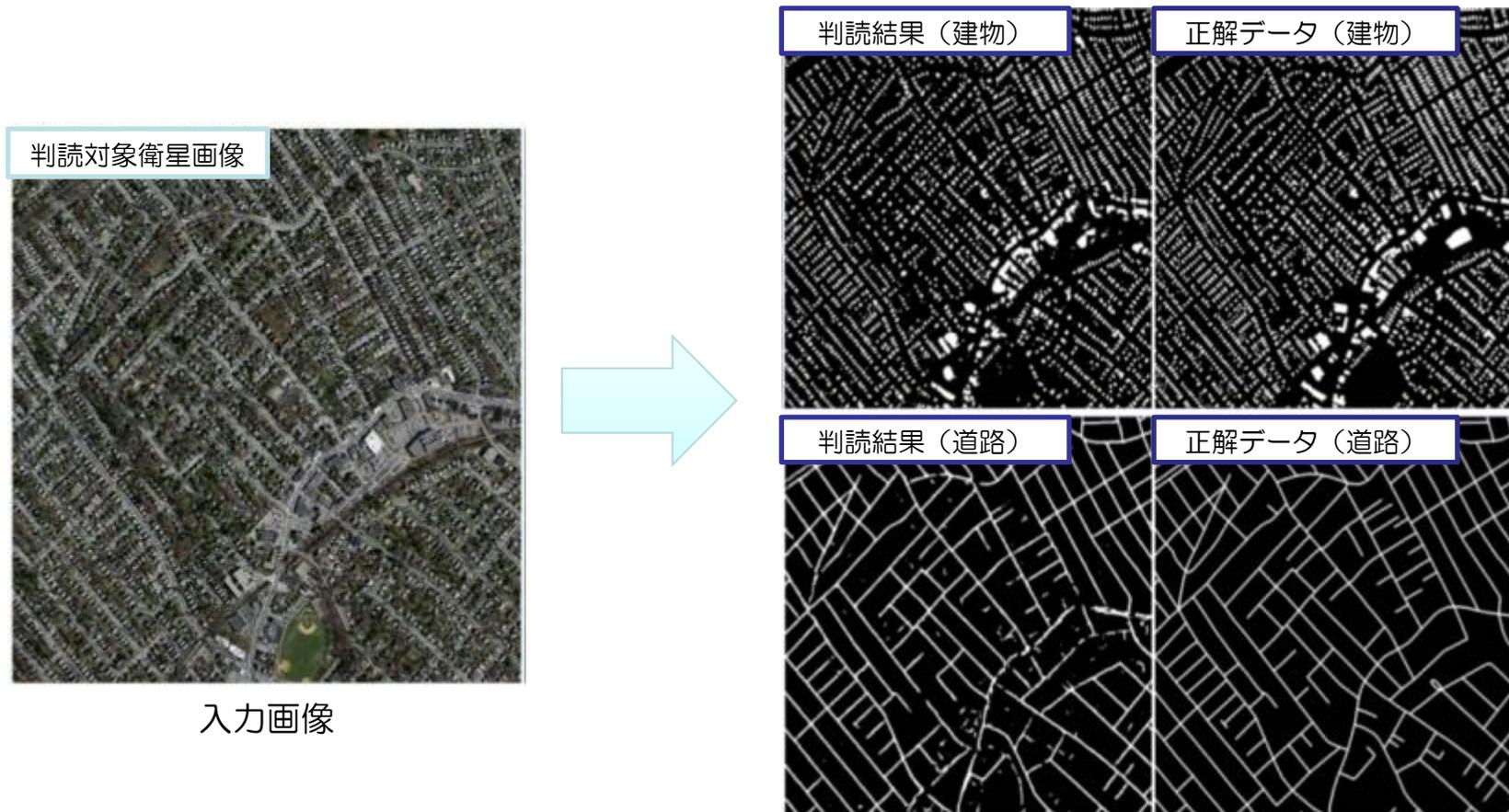
2. C-2. 4. 成果、目標の達成度

高分解能光学衛星画像及び高分解能合成開口レーダー衛星画像から、対応衛星画像で目視認識可能な地物や土地被覆を判読するシステムを開発した。

要素技術	目標・指標	成果	達成度
⑤ 計算機環境の構築	画像自動判読システムを動作させるための計算機環境の設計・構築を行う。設計にあたっては、本システムを構成する各システムの処理特性や処理性能、運用性を十分考慮する。	システムロジック部およびシステムフレーム部の研究成果や設計を踏まえ、機械装置のサーバー、ネットワーク等の要件整理、計算機環境の設計および機器選定・調達を行い、構築を行った。 処理特性に応じて、システムによってネットワーク規格やストレージを使い分けることにより、効率的かつ合理的な設計を行った。また、計算機の集約・仮想化や自動デプロイ機能の具備を行い、運用性の向上と、ランニングコストの低減を図った。	達成
(3) ナレッジデータベースの構築	衛星画像から、システムロジック部の開発等に利用する学習用／評価用データの整備を行う。	大量の学習用／評価用データを整備する必要があるため、効率性を考慮した整備ツールを作成した。当該ツールを活用し、衛星画像や航空写真から、学習用／評価用データを約45万セット整備した。	達成

判読ロジックの確立

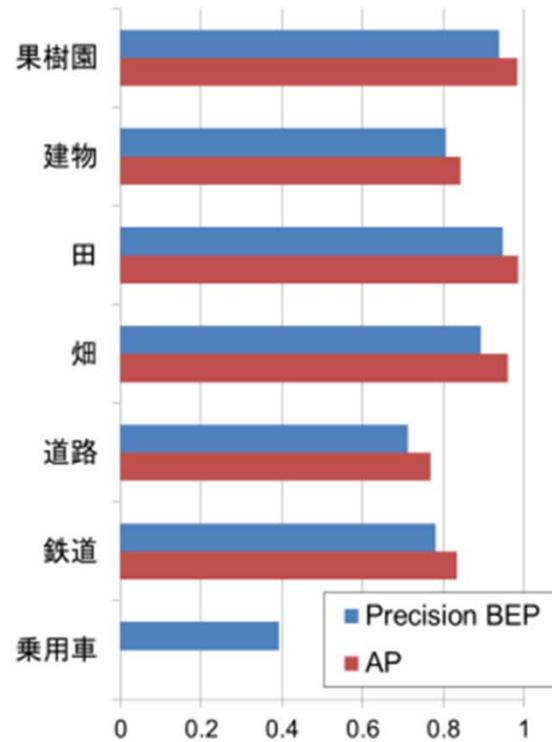
- 機械学習アルゴリズムの1つであるディープラーニング(深層学習)をベースとした、判読ロジックを確立した。
- ディープラーニングは、ニューラルネットワークを用いた手法であり、人間の脳を模した構造をもつニューラルネットワークを多層に重ねた構造を有することで、より抽象的な特徴の抽出が可能となっている。



入力画像

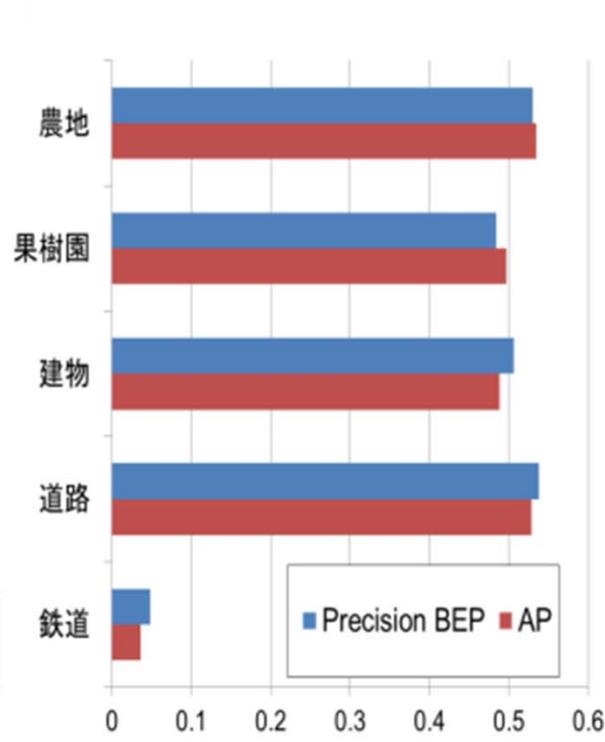
地物判読検証結果

■ 光学判読



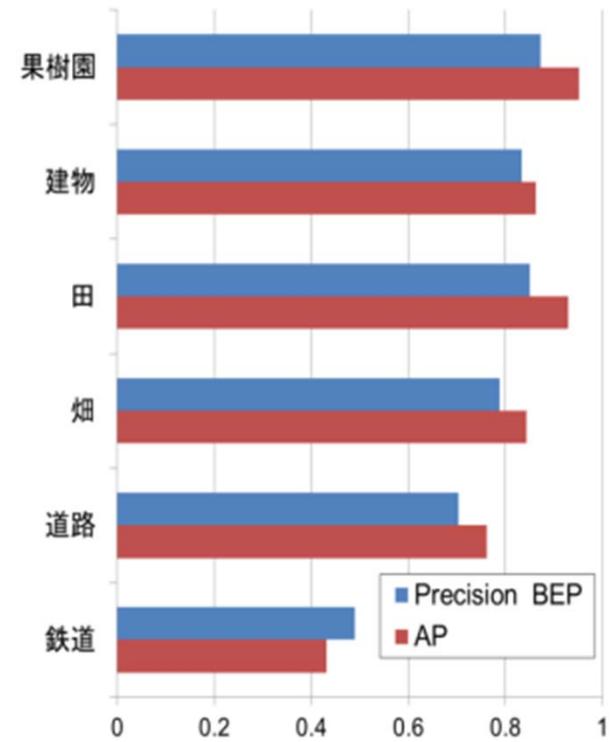
mAP値 : 0.90

■ 合成開口レーダー判読(SAR)



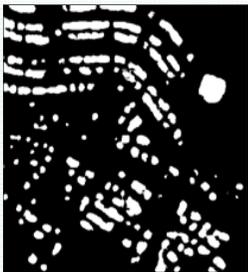
mAP値 : 0.42

■ 光学/SAR統合判読



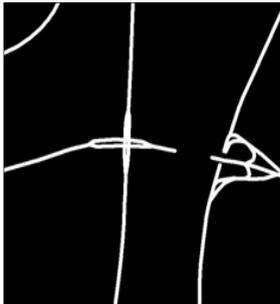
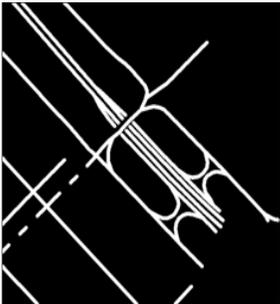
mAP値 : 0.80

地物判読結果(建物)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

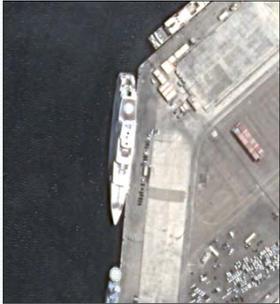
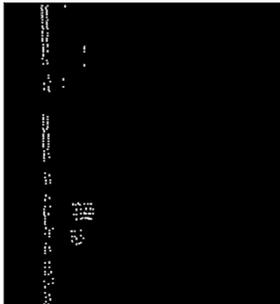
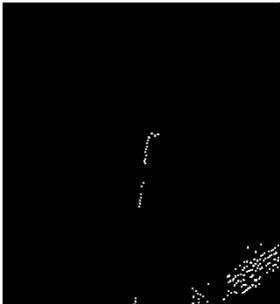
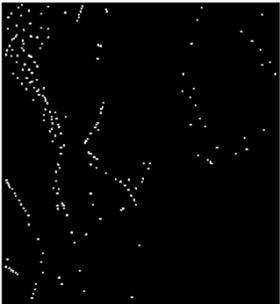
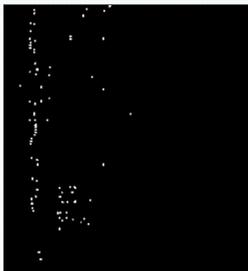
: 対象クラス(前景)
 : 非対象クラス(背景)

地物判読結果(道路)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

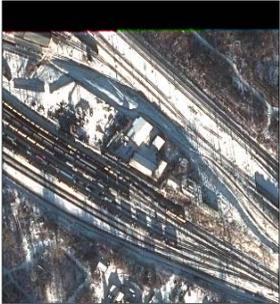
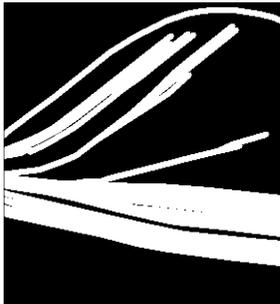
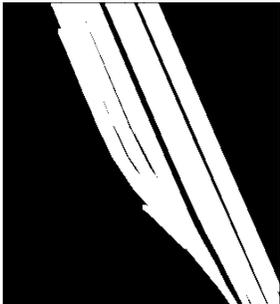
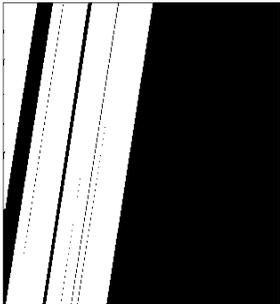
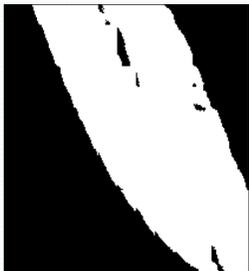
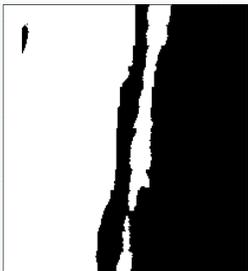
:対象クラス(前景)
 :非対象クラス(背景)

地物判読結果(自動車)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

:対象クラス(前景)
 :非対象クラス(背景)

地物判読結果(鉄道)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

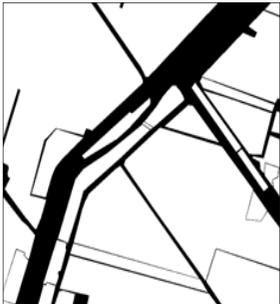
 :対象クラス(前景)  :非対象クラス(背景)

地物判読結果(田)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

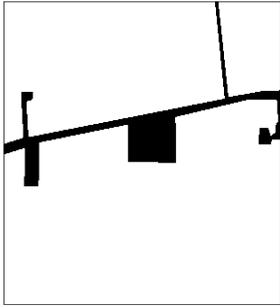
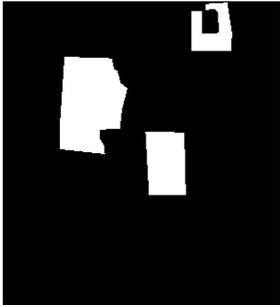
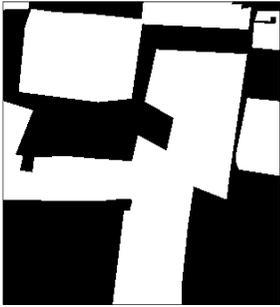
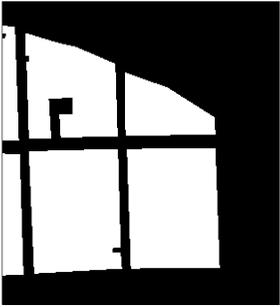
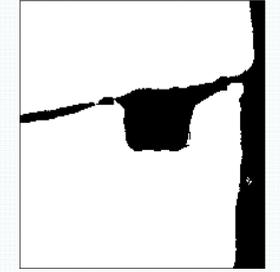
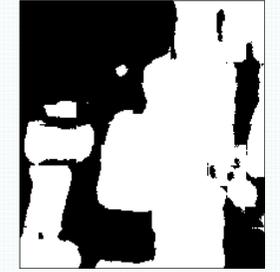
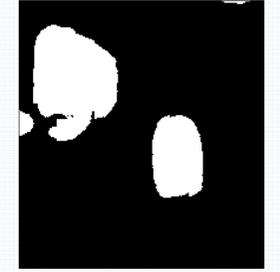
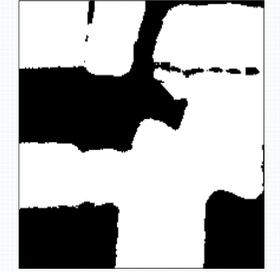
:対象クラス(前景)
 :非対象クラス(背景)

地物判読結果(畑)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

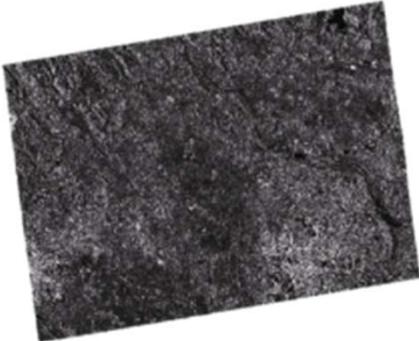
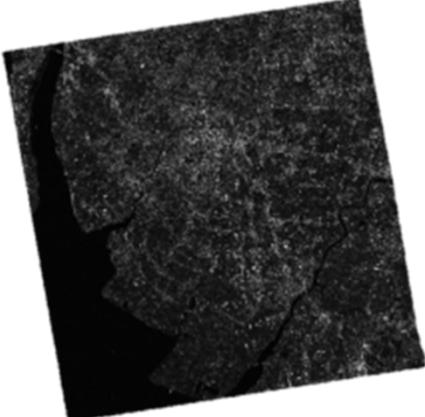
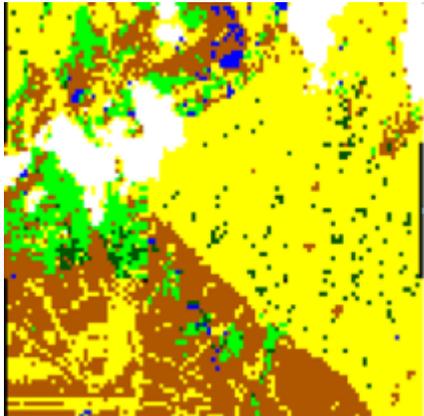
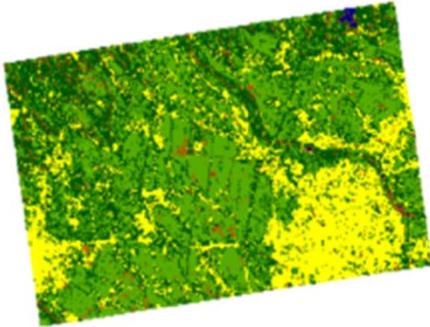
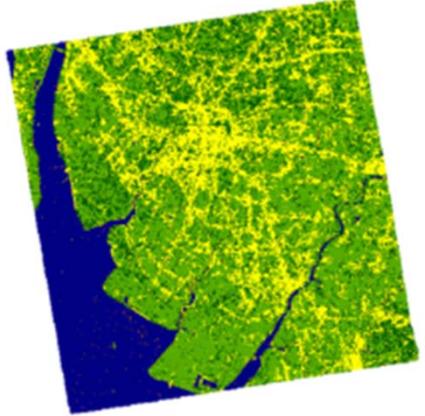
:対象クラス(前景)
 :非対象クラス(背景)

地物判読結果(果樹)

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5
入力画像					
正解データ					
判読結果					

:対象クラス(前景)
 :非対象クラス(背景)

被覆判読結果

	光学	SAR単偏波	SAR多偏波
入力画像		 偏波HH	 偏波HH+VV
判読結果	 精度： 97.2%	 精度： 73.8%	 精度： 80.4%

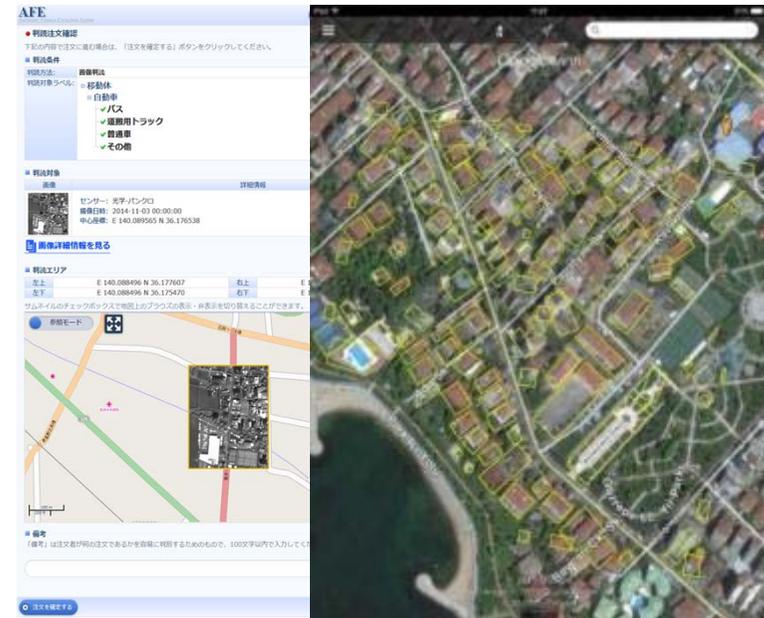
判読ラベル	色
水域	
草地	
森林	
都市部	
雲	
裸地	
※無効値	

システムフレーム部の開発

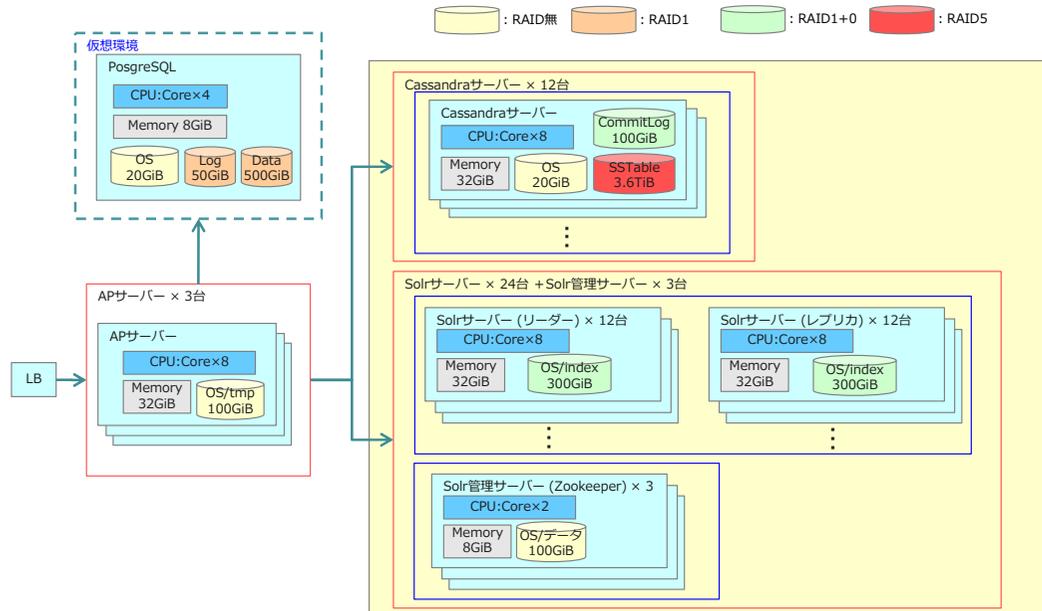
ウェブGIS上への判読結果表示



タブレット対応とGoogle Earth連携



分散データベースによる高層データアクセスの実現



計算機外観



2. C-2. 5. 事業化、波及効果

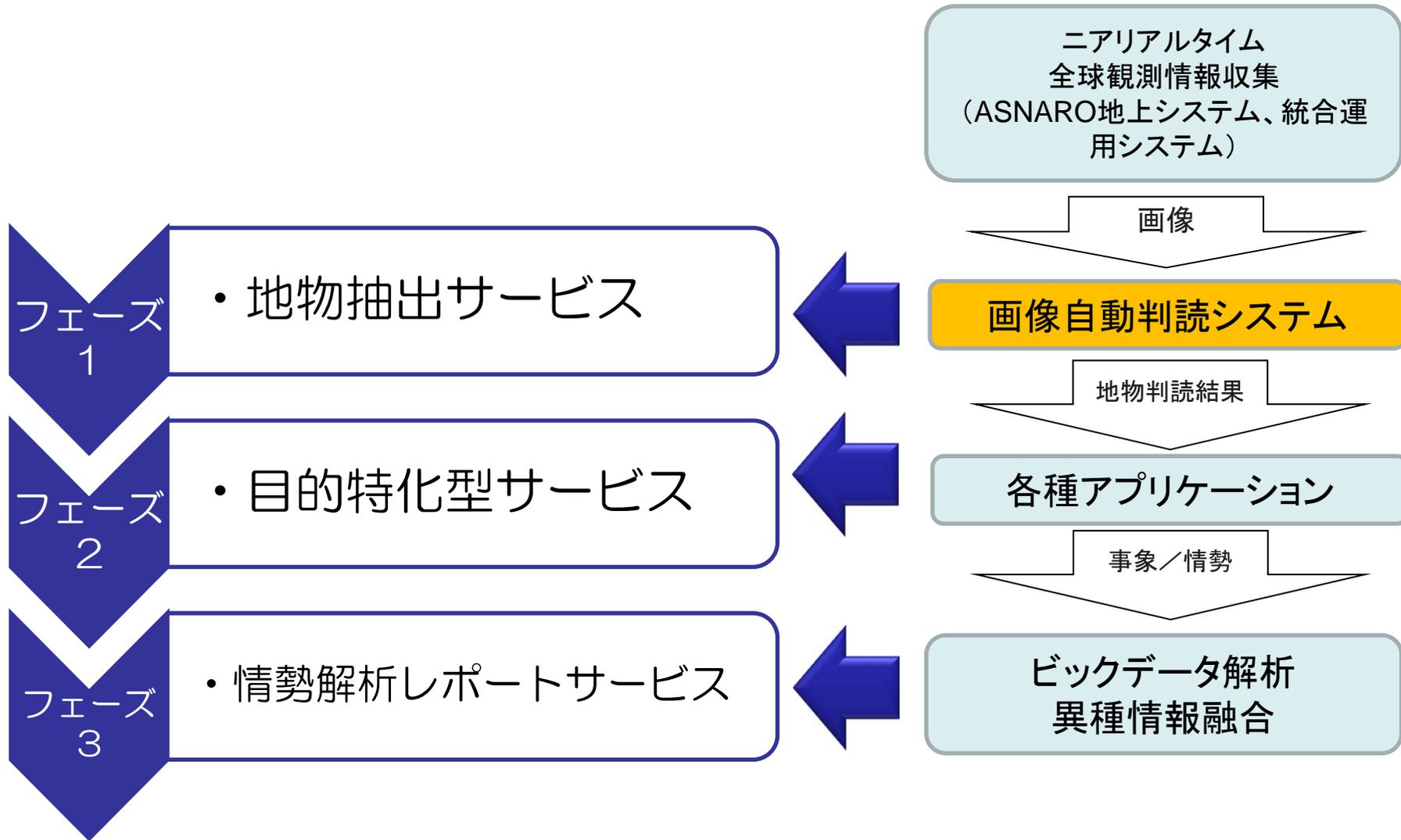
本研究開発成果を活用して、国内外の民間企業や政府/自治体に対し、インターネット（窓口に衛星プラットフォームを利用）や専用線を介した判読サービスを提供することを予定している。

判読サービスとしては、衛星画像から抽出した地物／被覆を利用者に提供することを予定している（地物抽出サービス）。

また、波及効果として、判読サービスの高度化による、利用者の目的に特化したサービス（目的特化型サービス）の実現が期待される。

最終的には、地上で起こりうる様々な事象や情勢（経済活動等）を、衛星画像等を中心とするビックデータ情報解析により可視化を行い、リアルタイム情報として利用者に提供するサービス（情勢解析レポートサービス）の実現を目指す。

事業化のロードマップ

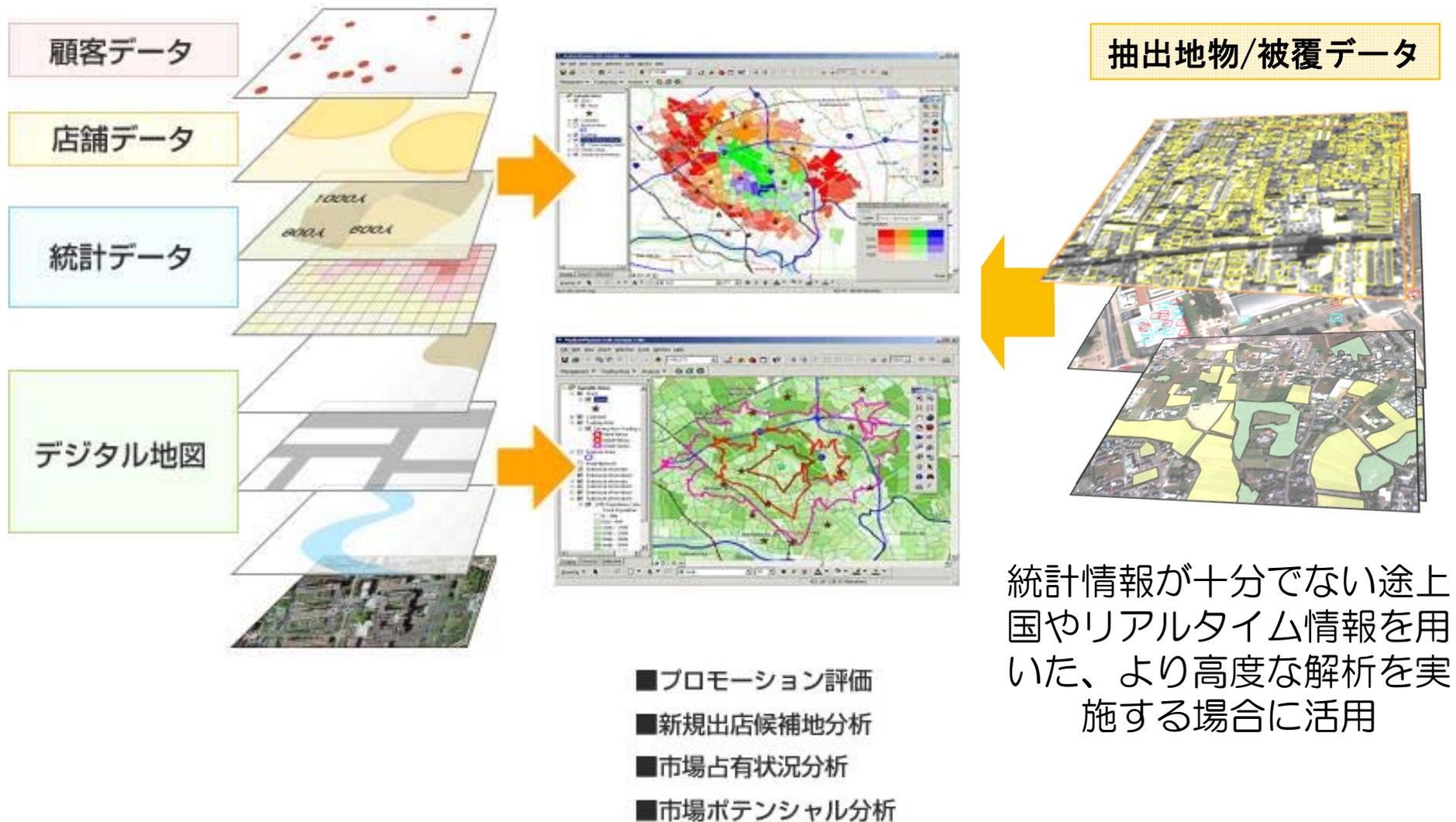


フェーズ1:

目的特化型サービスの例

適用分野		適用例
農業		作付け状況確認、生育管理、収穫の状況確認・予測、耕作放棄地、転作、災害査定、土地変化、植生分野、疫病管理、休耕地調査、農地海岸域調査
林業		樹種、バイオマス、不法伐採・造林未済地、病虫害(樹木の枯損)、森林管理
鉱業		鉱場モニタリング、生産量推定、採掘地選定
漁業		魚場モニタリング、海洋生簀モニタリング、漁獲量推定、密漁監視、漁獲量調整
保険		農業保険料率算定
物流		物流推定(空路、海路、鉄道運輸)、最適航路ナビゲーション
エネルギー		発電量推定(太陽光、風力、水力等)、太陽光パネル普及モニタリング
金融		先物取引、経済活性度推定
マーケティング ※次スライドで例示		販売促進ターゲット分析、プロモーション評価、新規出店候補地分析、市場占有状況分析、市場ポテンシャル分析
施設 管理	港湾	堤防(防波堤、防潮堤)、港湾施設
	道路	道路築造状況(拡幅、延長含む)、道路周辺地の状況
	ダム	ダムサイト(敵地選定、ダム管理)、土砂発生量(堆砂量の推定等)、水量・水位(ダム管理)
都市 国土 管理	都市	家屋移動(移動、滅失、移転、増改築等)、固定資産税予測、土地利用、ヒートアイランド、都市緑地
	環境	不法投棄モニタリング、廃棄場管理、陸域汚染評価、河川汚染評価
	地図	地形図作成・更新、主題図作成・更新(都市計画図、土地利用、植生、河川、水系、農地、森林管理図)
	海洋	船舶監視、海域汚染評価、サンゴ礁(白化減少)モニタリング、マングローブ監視、旱魃域監視、領海監視(不正海洋プラント等)
災害支援・防災		洪水、地震、津波、火山活動、火災(山火事)、風水害・高潮、各種事故(航空機、鉄道、船舶座礁等)、道路防災、被害把握(時間経過により必要な情報精度が変化することが特徴)

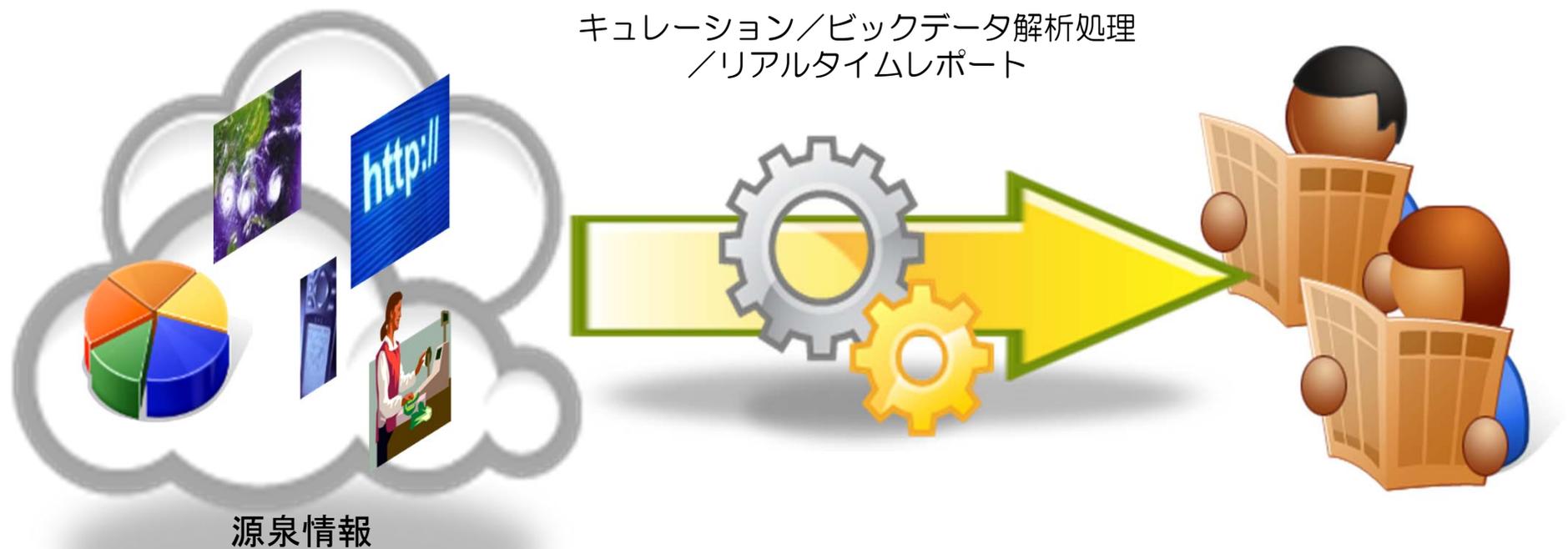
目的特化型サービスの例(マーケティング)



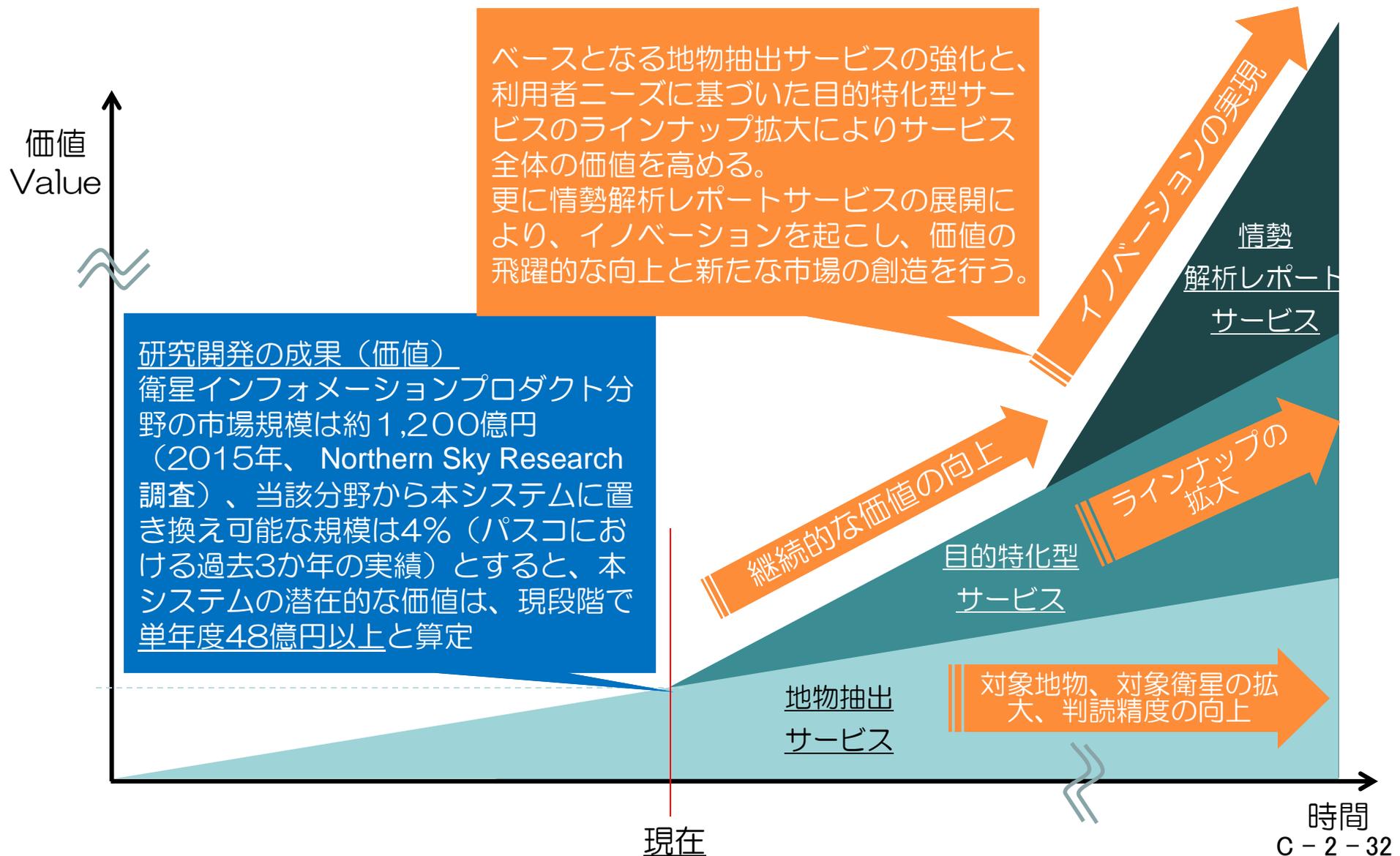
情勢解析レポートサービス

- 目的特化型サービスの更なる拡張であり、**地上で起こりうる様々な事象や情勢(経済活動等)を、衛星画像等※を中心とするビックデータ情報解析により可視化**を行い、リアルタイム情報として利用者に提供する。
- これにより、既存市場の拡大だけでなく、**新たな市場の創造(イノベーション)と顧客拡大**を目指す。

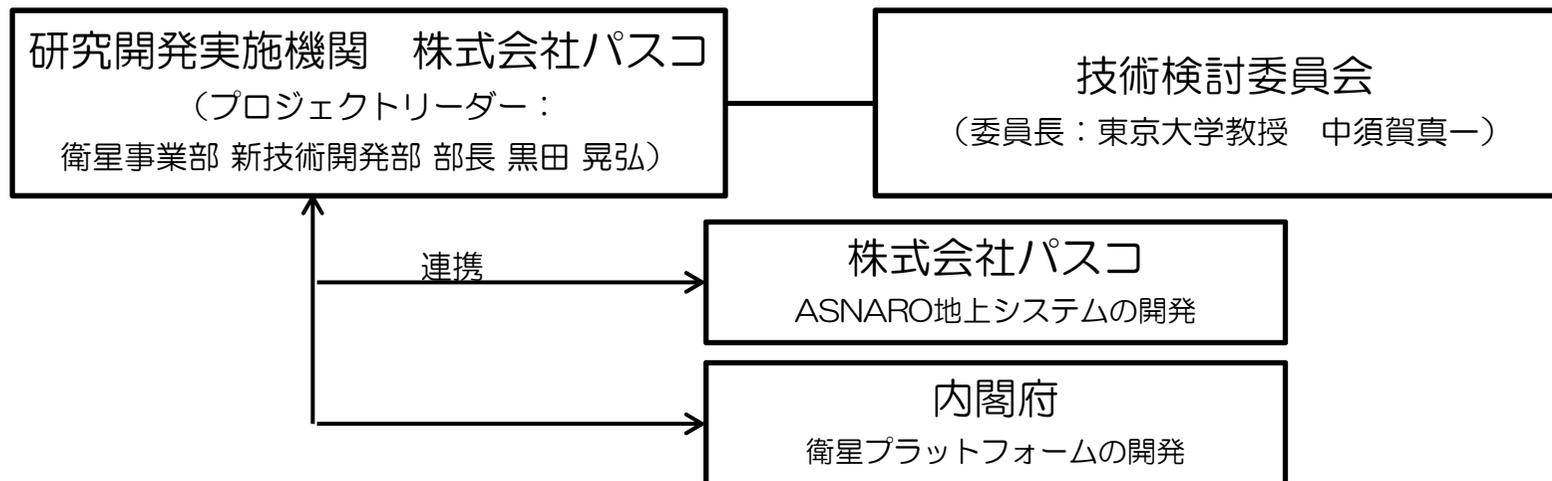
※衛星画像、航空写真、静的情報(統計値、地図等)、動的情報(インターネットニュース、SNS、POS、自動車軌跡、船舶軌跡、携帯電話位置、各種センサ情報等)



費用対効果



2. C-2. 6. 研究開発マネジメント・体制等



研究開発の実施に当たっては、衛星画像の利活用、画像判読の研究開発、人工知能の研究開発、光学/SAR衛星のセンサ開発、コンピュータアーキテクチャの研究開発等に関わる学識経験者、専門家等からなる8名の有識者による技術評価委員会を設置し、事業計画、開発成果等の第三者評価を実施した。

■ 技術検討委員会 委員一覧（敬称略、委員長を除き五十音順）

氏名	委員会職位	所属
中須賀 真一	委員長	東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授
秋山 演亮	委員	和歌山大学 宇宙教育研究所 所長・教授
麻生 英樹	委員	産業技術総合研究所 知能システム研究部門 上級主任研究員
柴崎 亮介	委員	東京大学 空間情報科学研究センター 教授
白坂 成功	委員	慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 准教授
関口 智嗣	委員	産業技術総合研究所 情報通信・エレクトロニクス分野 副研究統括
村山 裕三	委員	同志社大学大学院 ビジネス研究科 副学長
横塚 英世	委員	東海大学 情報技術センター 准教授