

衛星データビジネス参入に向けた調査・レポート

2024 年 2 月

合同会社げっと

1 はじめに

近年、地球観測衛星の機数が増えたことや AI 技術が発展したことにより、衛星データの利活用が進んでいる。これらのデータは、気候変動のモニタリングや災害時の迅速な対応に利用されるのはもちろんのこと、一次産業や都市開発など、多岐にわたる分野での意思決定支援に不可欠な情報源となっている。特に、アメリカの Landsat プログラムや欧州の Copernicus プログラムから提供される地球観測衛星のデータは、地表の詳細な記録と環境変化の長期トレンドを提供しており、多くの人が利用している。

本報告書は、衛星データ分析のプロジェクトの立ち上げを検討している非専門家に向けたものである。最初に代表的な地球観測衛星サービスを紹介した後に、衛星データ分析における PoC (Proof of Concept) のプロセスの一例を紹介する。また、プロセスに沿って九州を例に仮想的なプロジェクトを紹介することで、分析プロジェクトをどのように立ち上げ、進めていくと良いかを例示する。

2 地球観測衛星サービスの概要

本レポートでは地球観測衛星サービスを以下の 3 つに大別し、それぞれの代表的なプレイヤーを紹介する。

- ① データを取得する地球観測衛星
- ② データを配信するプラットフォーム
- ③ データを分析するためのアプリケーション・ツール

2.1 データを取得する地球観測衛星

図 1 に示すように、地球観測衛星が観測する代表的な方法として、太陽光の反射を観測する光学観測、地表面から放射される電波を受動的に観測する放射観測、衛星が能動的に電波を発しその反射を観測する SAR (サー) 観測がある。

大まかな特徴として以下が挙げられる。

- 光学観測
 - 概要：光学観測は太陽光などの反射を利用して地球の表面や大気を撮影する方法のこと。私たちが視認できる可視光線だけでなく、近赤外線や中赤外線などの波長帯も含まれることがある。
 - 利点：可視光領域を可視化した画像（トゥルー画像）が直感的にわかりやすい。
 - 課題：太陽光の反射を観測する装置であるため、大気の状態により観測結果が影響を受ける他、雲があると地表面を観測できない。通常の地球観測衛星

では夜間に観測できないが、超高感度カメラを搭載することで夜間の地表面の様子を撮影しているような場合もある。

- 放射観測

- 概要：地球から放出される赤外線やマイクロ波などの放射エネルギーを検出する方法のこと。地表や大気の温度や化学組成などを測定できる。
- 利点：可視光では捉えられない情報を捉えることができる。
- 課題：解像度が粗い場合が多く、複雑な解析が必要となる。

- SAR 観測

- 概要：合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar：SAR）を使い、地球表面をマイクロ波で照射した反射波を観測する方法のこと。地盤沈下のような地形や地表の状態などがわかる。よく利用されるのはXバンド（高周波）、Cバンド、Lバンド（低周波）という区分のものである。例えば何か物体を検出する場合にはXバンド、地盤の変化を知りたい場合にはLバンドを利用することがある。
- 利点：昼夜問わず地表面を観測できる。
- 課題：データが直感的にわかりにくく、複雑な解析が必要となる。

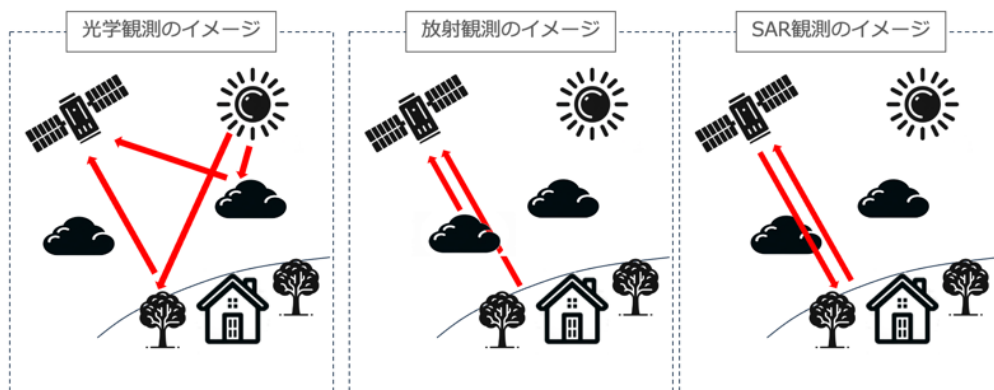


図 1 各観測方法のイメージ

観測の仕方の視点では、データを取得する地球観測衛星は以下の2つに大別できる。

- ①地球全体を定期的に観測することを前提としたベースマップ的に撮影する衛星(以下、定常観測型)
- ②要求があった地点を観測することを前提としたタスキングにより撮影する衛星(以下、非定常観測型)

①定常観測型衛星について

代表的な定常観測型の地球観測衛星を表 1 に示す。定常観測型の衛星は基本的には地表面に対して同一方向に観測装置を向け続けることで観測するものであることから、観測する地上分解能（GSD（Ground Sample Distance のこと、10 mGSD の場合、画像 1 ピクセルに対して地表面 10 m の空間を撮影することになる））や観測手段はもちろんのこと、衛星がその地域を通過（つまり撮影）する時刻である地方時

（Local Time）と、通過した地域に再度戻ってくる（回帰する）までの日数を表す回帰日数（Revisit Period）、が撮影イメージを持つ上で重要な変数となる。なお、表 1 において地上分解能（空間分解能）は衛星の装置や運用モードごとに異なる場合があるため記載を省略しており、必要に応じて参照リンクから確認すること。

例えば Sentinel-2 の場合には、同一軌道上に同等の衛星が A/B の 2 機体制で運用されている。そのため 10 日/機×2 機であることから、約 5 日おきに同一地点を 10:30 頃に撮影するであろうことがわかる。なお、2 機体制だから必ず半分の観測頻度になるわけではなく、軌道配置によってどのような観測パターンになるかは変わる。実際に指定した範囲の直近での撮影予定日時を確認する方法については、Sentinel-2 の場合には図 2 のように Acquisition Plan

(<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-2/acquisition-plans>) のページで KML ファイルが公開されており、ファイルを Google Earth 等で開くことで可視化できる。

光学観測を行う Sentinel-2 の場合には観測モードが単純だが、SAR 観測を行う ALOS-2 の場合には観測モードが複数ある。そのため単純に回帰日数から撮影日を予測するのではなく、SAR 観測のデータを利用する場合には、希望する撮影方式でいつ撮られるのか、ALOS-2 の場合には ALOS-2 の観測計画

(https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/alos-2/a2_observation_j.htm) から確認することが必要となる。

表 1 代表的な定常観測型の地球観測衛星

衛星名	観測方法	国	打ち上げ時期	地方時	回帰日数
ALOS-2 ^{*1}	SAR	日本	2014 年	12:00±15 分	14(46)日
GOSAT-2 ^{*2}	放射	日本	2018 年	13:00±15 分	6 日
Sentinel-1 ^{*3}	SAR	欧州	2014 年(A) 2016 年(B)	18:00 (南から北へ)	12 日/機
Sentinel-2 ^{*4}	光学	欧州	2015 年(A) 2017 年(B)	10:30	10 日/機
Sentinel-3 ^{*5}	光学/放射	欧州	2016 年(A) 2018 年(B)	10:00	27 日/機
Landsat-9 ^{*6}	光学/放射	米国	2021	10:00±15 分	16 日

- *1…<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm>
- *2…https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/documents/pdf/User_Manual_en.pdf
- *3…<https://sentinel.esa.int/documents/247904/1877131/Sentinel-1-Product-Specification>
- *4…https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/s2_msi_product_specification.pdf
- *5…<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-slstr/instrument/specifications>
- *6…<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>

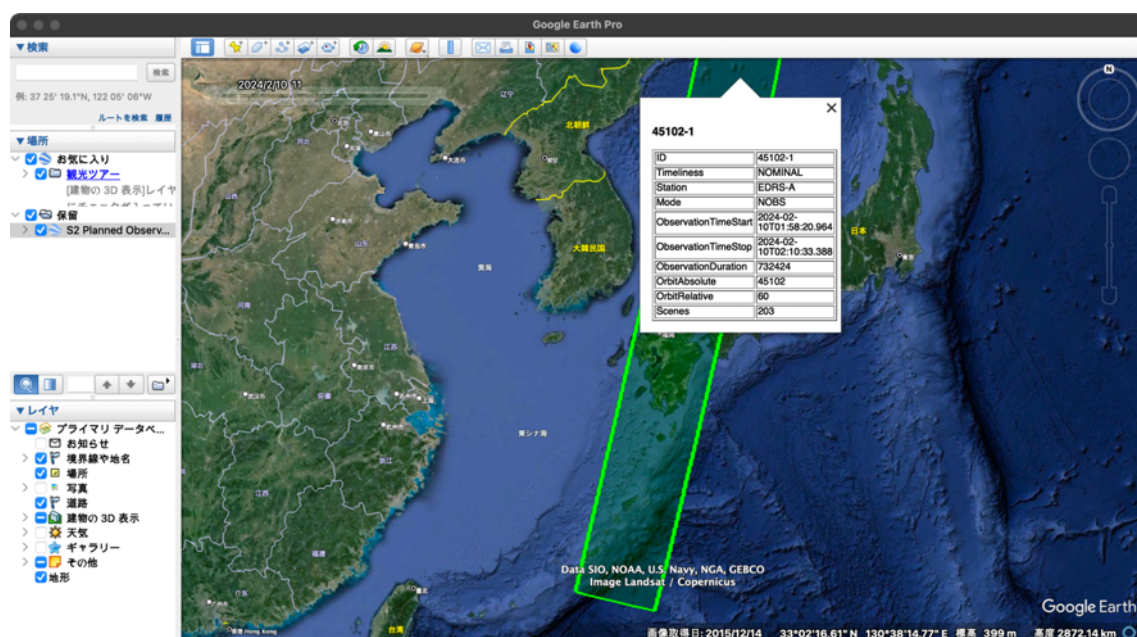


図 2 撮影予定日の確認方法の例

②非常観測型衛星について

代表的な非常観測型の衛星を表 2 に示す。非常観測型の人工衛星は利用者による撮像依頼により指定された時に指定された場所を撮影することが多い。そのため非常観測型の衛星データは有料で購入することが基本となる。定常観測型の衛星は地上分解能が 10 mGSD 程度であるのに対し、非常観測型の衛星は 1 mGSD 以下の場合が多く、最も良い分解能の WorldView-3 は 0.31 mGSD である。

定常観測型の衛星とは異なり、撮影する角度（オフナディア角）が撮影された画像ごとに異なることが特徴となる。オフナディア角が異なる場合には、目視判読の場合には大きな影響はないものの、非常観測型の衛星画像同士の比較の場合には、オフナディア角を揃えた画像に変換する（幾何学的に画像を補正する）ことや影の影響が現れないようにするなどの工夫が必要となる。

なお、衛星機数については2024年2月時点での公開情報からまとめており、最新情報を知りたい場合にはホームページ等で確認すること。

表 2 代表的な非定常観測型の地球観測衛星

衛星名	観測方法	機数	打ち上げ時期	地方時	回帰日数
WolrdView-3 ^{*1}	光学	1	2014	13:30	4.5 日
PlanetScope ^{*2}	光学	+200	2014 ~	9:30-11:30	~ 1
SkySat ^{*3}	光学	21	2013 ~	10:30 / 13:00	~ 1
Pleiades Neo ^{*4}	光学	4	2021	10:30	~ 1
AxelGlobe ^{*5}	光学	5	2021	10:40-11:00	1.4
Satellogic ^{*6}	光学	+46	2013 ~	-	
RADARSAT RCM ^{*7}	SAR	3	2019	6:00	4
COSMO-SkyMed ^{*8}	SAR	4	2007	6:00	16
QPS-SAR ^{*9}	SAR	4	2019	-	-

*1…[https://dgv4-cms-](https://dgv4-cms-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/128/DG2017_WorldView-3_DS.pdf)

[production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/128/DG2017_WorldView-3_DS.pdf](https://dgv4-cms-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/128/DG2017_WorldView-3_DS.pdf)

*2…https://assets.planet.com/docs/Planet_PSScene_Imagery_Product_Spec_letter_screen.pdf

*3…<https://assets.planet.com/marketing/PDF/SkySat-Ortho-Scene-Product-Spec-Sheet.pdf>

*4…<https://intelligence.airbus.com/imagery/our-optical-and-radar-satellite-imagery/pleiades-neo/>

*5…<https://docs.axelglobe.com/en/image-specifications>

*6…<https://satellogic.com/wp-content/uploads/2022/03/Satellogic-Rapid-Response-Data-Sheet-December-2023.pdf>

*7…<https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/technical-features/characteristics.asp>

*8…https://www.asi.it/wp-content/uploads/2019/08/COSMO-SkyMed-Mission-and-Products-Description_rev3-1.pdf

*9…<https://i-qps.net/en/product/>

2018年時点と2023年時点での人工衛星の打ち上げ機数の比較を表3に示す。撮像依頼があった際に、なるべく依頼があってから撮像するまでの時間遅れを短くすることがサービス上は望ましいことから、大型の衛星を1機運用するのではなく、運用機数を増やして

群として運用する形態（コンステレーション）をもつ企業が増えている。群として運用することで同一地点を観測する頻度が向上する利点もある。

他にも、衛星が撮影したデータはデータサイズが非常に大きくなるため、衛星に搭載したコンピュータによりデータ処理することでデータを圧縮して地上に伝送しやすくする工夫や、宇宙空間にある他の衛星を経由して地上にデータを降ろすといった工夫をしているものもある。

また、近年の傾向として、観測するバンド（波長帯）を増やす傾向にあり、ハイパースペクトルセンサを搭載した小型衛星も登場している（表の中では Satellogic が運用する衛星が該当）。ハイパースペクトルセンサとは、対象物から反射された光を非常に細かい波長帯で連続的に捉えるセンサであり、対象物の化学的組成や物理的状态を詳細に分析できることが特徴である。従来のカメラやセンサが数種類（多くても 15 バンド程度）の波長帯を部分的に捉えていたのに対し、ハイパースペクトルセンサは数百から数千もの狭い波長帯でデータを収集するため、対象をより詳細に識別・分析できるようになる。

表 3 2018 年時点と 2023 年時点での人工衛星の打ち上げ機数の比較

事業者	種別	2018 時点	2023 時点
SpaceX	通信	0	4001
Planet	光学	84	287
OneWeb	通信	0	589
GHGSat	光学	1	6
Satellogic	光学	4	38
ICEYE	SAR	2	22
BlackSky	光学	3	16

※<https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database> を参考に作成







2.2 データを配信するプラットフォーム

地球観測衛星を運用する組織/事業者がそのデータを配信するプラットフォームは様々に存在する。各組織/事業者が運用するプラットフォームも当然あるものの、衛星データを利用する側からすると、衛星データごとに異なるサービスサイトにアクセスすることは煩雑である。そのため衛星データの利活用を促進するべく、様々な衛星データを集約し、配信するプラットフォームが多く登場している。表 4 に代表的なプラットフォームを示す。表で示したもの以外にも、Microsoft が提供する Planetary Computer などがある。

近年ではデータ配信のみならず、データを保存・分析するためのクラウド環境も合わせて提供される場合があり、必要に応じて分析環境を拡張することで分析しやすく

なっている。また、クラウド環境での使用に最適化された GeoTIFF ファイルの一種である COG (Cloud Optimized GeoTIFF) フォーマットが利用されるようになったことで、衛星データ全体ではなく必要な画像データに部分的なアクセスができるようになったことで、利便性が向上している。

表 4 代表的な衛星データを配信するプラットフォーム

	USGS 	Copernicus 	SIWEI Earth 	AWS 	Google Earth Engine 	Tellus 
主体	国	国	国	民間	民間	民間
運用国	アメリカ	欧州	中国	アメリカ	アメリカ	日本
無償提供開始	2008～	2014～	2019～	2015～	2010～	2019～
地球観測衛星による主な提供データの例	Landsat-1～8 Aqua Terra ICE-Sat SMAP Suomi NPP など	Sentinel-1 Sentinel-2 Sentinel-3 Sentinel-5p Aeolus Swarm など	遥感 (他、計23機) など	Landsat Sentinel-2 NOAA Planet RADARSAT-1 など	Sentinel-1 Sentinel-2 Sentinel-3 Sentinel-5p Landsat MODIS など	ALOS ALOS-2 ASPNAR-1 ASPNAR-2 SLATS など
インターフェース	GUI/API	GUI/API	GUI/API	API/IDE	API/IDE	GUI/API/IDE
データダウンロード	有	有	?	有	有	無
クラウド環境	提供無し	提供無し	提供無し	提供有り	提供有り	提供有り
商用利用	可	可	可?	可	契約により可	契約により可
紐づくPF		sobloo, ONDA, Mundi, CREODIAS, WEKEO				

上記で紹介した以外にも衛星データを配信するプラットフォームはある。ここでは民間事業者である SkyFi を紹介する。

SkyFi について

アメリカ発のスタートアップである SkyFi は、様々な地球観測衛星を有する企業と提携することで、各社が有する衛星データを一括で提供できるプラットフォームを提供している。

従来まで衛星データを購入する際には、おおまかには以下のステップを踏む必要があった。特に希望する衛星データを検索するプロセスにおいて、事業者によって契約している代理店が異なることから、様々な代理店を探す必要性があるところが煩雑となる。

1. 解決したい課題から適した衛星データを決定する
2. 衛星データを提供する代理店のサービスサイトにアクセスし、撮影時期・範囲・購入条件等を加味して希望するデータがあるか検索する

- (ア) 検索した結果、希望するデータがなかった場合には希望する範囲を撮影している衛星データを見つけられるまで他の衛星データを検索する
3. 希望するデータを見つけた場合には、購入する衛星データの購入を代理店に申請する
- (ア) 申請の結果、受理された場合には購入できるようになり、支払いする
4. 代理店が衛星データを取得している事業者に要求し、事業者が納品用のデータを生成する
5. 衛星データが利用者に納品される

この煩雑なプロセスを解決しようとしているのが SkyFi である。直感的に操作可能なユーザ・インターフェース (UI) を持ち、検索画面で希望する条件を入力すると、様々な衛星データ事業者の撮影データの中から希望に合致する衛星データを提示することが特徴である (図 3)。購入を希望するデータと範囲を指定すると、購入費用がすぐ提示される点でも利用者にとっては大変わかりやすくなっている。

2024 年 2 月 15 日現在では 37 の企業がパートナーとして名前を連ねている。2024 年 1 月 30 日には PlanetScope の画像も 1 枚ごとに購入できるようになっており、その利便性が向上している。

表 5 SkyFi で衛星画像を購入する際の参考価格

アーカイブ画像		新規撮像画像	
アーカイブ画像は、過去に撮影された衛星画像のデータベースから提供される。多くの画像は購入後24時間以内にダウンロードできるようになる。		新規撮像注文することで、利用者は将来の日付で特定の場所の画像を撮影するよう指示できるようになる。入手できるまでの時間は衛星による。	
■ 分解能1m程度の画像		■ 分解能1m程度の画像	
最低購入面積	5 km ²	最低購入面積	25 km ²
価格	4 ドル / km ²	価格	7 ドル / km ²
■ 分解能0.5m程度の画像		■ 分解能0.5m程度の画像	
最低購入面積	5 km ²	最低購入面積	25 km ²
価格	7 ドル / km ²	価格	12 ドル / km ²
■ 分解能0.3m程度の画像		■ 分解能0.3m程度の画像	
最低購入面積	5 km ²	最低購入面積	25 km ²
価格	22.5 ドル / km ²	価格	30 ドル / km ²

※<https://www.skyfi.com/pricing> の内容を参考に作成
(2024/02/10 現在の価格。最新情報はホームページを確認すること)

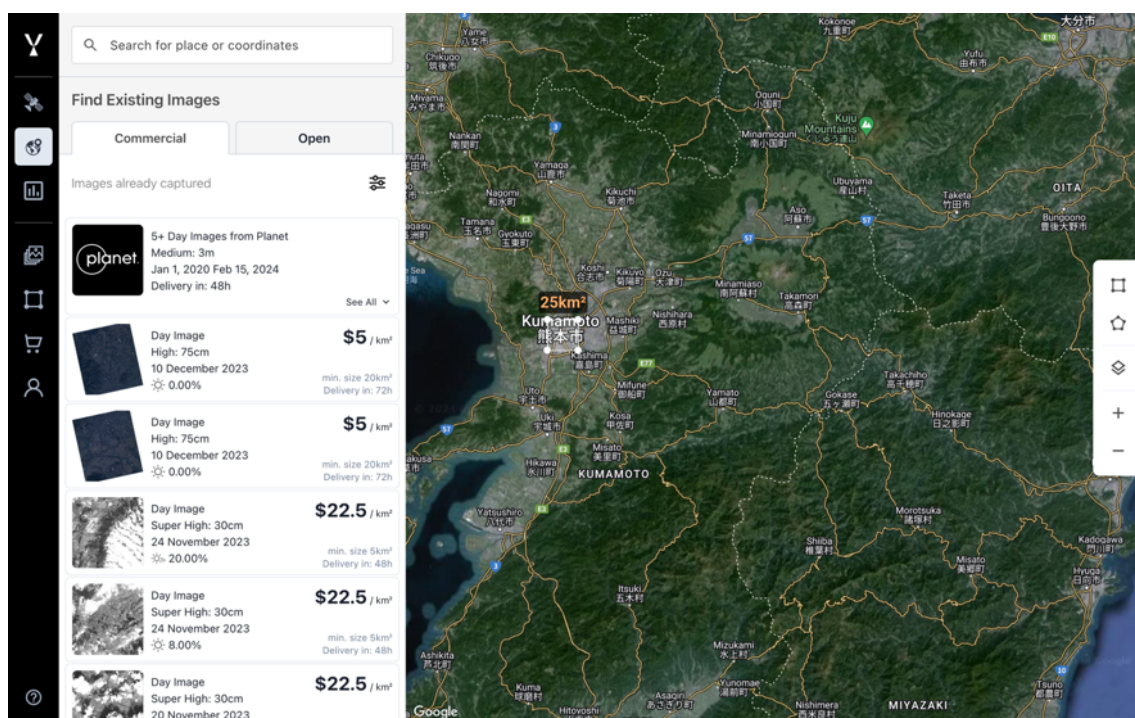


図 3 SkyFi のサービスイメージ。図中左に示すように購入費用と納品までの時間目安 (Delivery in) がすぐ明示されるために分かりやすい

2.3 データを分析するためのアプリケーション・ツール

衛星データを分析するためのアプリケーションはツールも様々に存在する。前掲の Google Earth Engine や Planetary Computer などの WEB 上で分析することを前提としたものや、ArcGIS や QGIS といったローカル環境で分析^{*1}できるものもある。

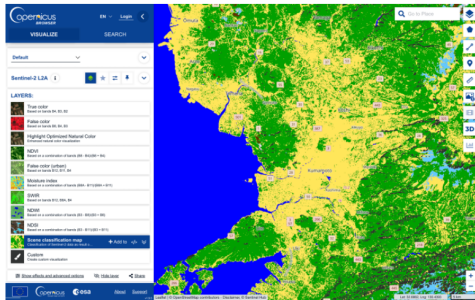
^{*1}…ArcGIS や QGIS はクラウド上で解析することもできる

分析する手法は大きくは 2 つあり、利用者がボタンを押すことで分析を進める GUI ベースのアプリケーションと、利用者がコーディングすることで分析を進める CUI ベースのアプリケーションが存在する。

無料で利用できる分析環境はいくつかある。例えば、GUI ベースのものとしては、オープンソースの地理情報システム (GIS) ソフトウェアである QGIS や、CUI ベース (ノートブック形式も含む) のものとしては、ブラウザ上で Python を記述、実行できる Google Colaboratory (通称 Google Colab) が有名である。なお、衛星データ配信プラットフォームが提供する CUI ベースの分析環境においても、データはプラットフォームから手動もしくは API (Application Programming Interface) 等で取得する必要がある。

GUI（グラフィック）ベースの操作

個々人がやりたい細かい作業までは対応できないものの、あたりをつけるには十分な機能が実装されている場合が多い



CUI（キャラクター）ベースの操作

万人が扱うのは難しいものの、作業者の力量に応じて細かい設定まで変更できるため、実現したいことを実装できることが多い

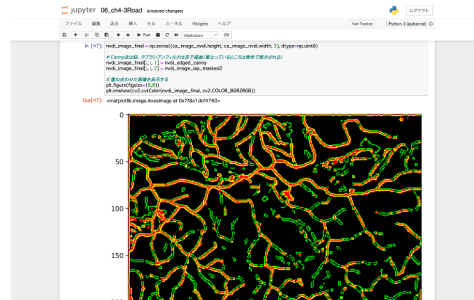


図 4 衛星データの大まかな分析手法

分析するツールも様々に存在しており、オープンソースで公開されているものも多い。例えば GitHub 上で以下のようなツールが公開されており、目的にあったツールを探して利用すると良い。

<https://github.com/topics/satellite-data>

ツールのみならず、データセットも GitHub 上では公開されている。機械学習等を用いて分析する際には参考になるものがあるか確認すると良い。

<https://github.com/chrieke/awesome-satellite-imagery-datasets>

3 衛星データを利用したサービス構築のプロセス

衛星データを利用したプロジェクトを PoC（Proof of Concept）として実施する際の流れの一例を図 5 に示す。この章で示すのはあくまで例示であり、必要となる技術の例はプロジェクトの内容によって変わる他、時間目安はプロジェクトの目的と規模、携わる人員のスキルセット・能力によって大きく変わるので注意すること。以下では、プログラムによる画像処理の経験はあり、調べながら衛星データ分析を進めることを想定した時間を目安として記載している。

なお、以下のようにプロジェクトを組んで進めずとも、まずは一人で手を動かして目的が達成できそうかを簡単に確認する、ということもある。

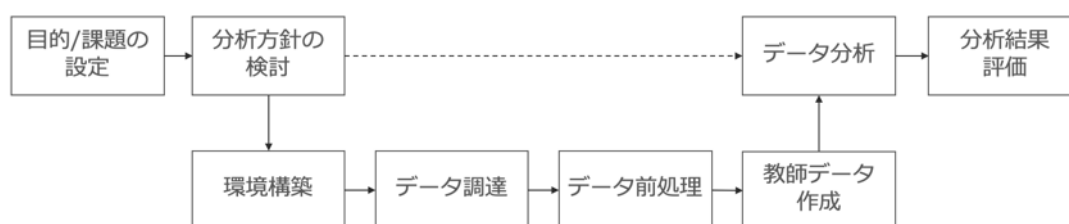


図 5 PoC（Proof of Concept）における分析プロセスの例

それぞれのプロセスの概要について以下記載する。

1. 課題の特定と目的の明確化

- 概要：
 - どのようなビジネスもしくは社会的な課題を解決したいのか明確にする。この段階で目的に合致した衛星データの種類を特定する。
- 時間目安：
 - 数日から数週間
- 必要技術の例
 - プロジェクトマネジメント、システム設計（要件定義等）

2. データ分析方針の策定

- 概要
 - 分析の目的に合わせた方針を策定する。
 - 分析方針に沿って、どのデータを利用するのか、どの手法を用いるのかを検討する。
 - 探索(分析)しながら分析手法を決定する場合があるため、この段階で1つの手法に決める必要はなく、データを確認した後に分析手法を決めることも多い。

- 分析時間がかかったとしても精度をよくしたいのか、ある程度の精度で分析結果を早く入手できるようにしたいのか、などトレードオフの関係が存在する。
 - 時間目安
 - 数日
 - 必要技術の例
 - 統計解析，機械学習，ドメイン知識
- ### 3. 環境構築
- 概要
 - 分析やモデル訓練に必要なソフトウェア，ツール，ライブラリ等を準備する。データ分析や機械学習に適した開発環境を設定し，必要に応じてクラウドサービスや専用の計算リソース，ストレージを構成する。
 - 時間目安
 - 数日から数週間
 - 必要技術
 - プログラミング言語とライブラリ，クラウドコンピューティング（AWS、Google Cloud Platform、Microsoft Azure 等）， Docker などのコンテナ技術
- ### 4. データの調達
- 概要
 - 必要な衛星データを提供する事業者を選定し，データを購入/入手する。この段階では，課題解決のために必要となるデータの品質や波長帯，分解能，時系列の範囲などを検討する。
 - 有料/無料に関わらず，データを分析する環境にダウンロードする必要がある，取得するデータサイズが大きければ大きいほど，データを揃えるのに時間を要する。例えば Landsat-9 の場合，画像 1 枚（シーン）あたり 100 MB 程度で合計 11 バンドあり，すべてのバンドのデータをダウンロードすると 1 GB 程度になる。なお，クラウド環境で分析する場合にはダウンロードが不要なサービスも存在する。
 - 課題解決のために衛星データ以外のデータも必要となる場合には合わせて調達する。
 - この段階で教師データを購入する場合もある。
 - 時間目安
 - 事業者及び必要となるデータ量によるが，数日から数週間
 - 必要技術の例

- IoT センサ等のデータ取得に関する技術

5. データ前処理

- 概要

- 収集したデータを分析に適した形に整える。衛星データの分析の際には、大気補正や幾何補正、欠損値の処理などが必要な場合がある。
- 衛星データ以外も組み合わせて分析する場合には、組み合わせることができるよう双方のデータを処理する必要がある。
- 場合によっては紙媒体への記録など、分析にすぐ利用可能な形式になっていない場合もあるため、データを作成するところから始める必要がある。紙媒体でデータが存在する場合には画像処理技術（OCR など）を利用することで分析可能な形に加工する。

- 時間目安

- 数日から数週間

- 必要技術の例

- 画像処理技術，データクリーニング，GIS（地理情報システム）技術，AI サービス（例：Amazon Textract 等）

6. 教師データの作成

- 概要

- 機械学習モデルの訓練には、正確な教師データ（ラベル付けされたデータ）が必要となる。
- 衛星データの教師データを作成する場合には、分析の目的に合わせて手動または半自動でデータにラベルを付けする。自動で教師データを生成する試みも始まっている。
- 正解情報として地上でデータを収集する場合もあり、例えば農場の状態が各月でどうなっているかという筆記記録も正解情報となり得る。分析結果の妥当性を確認する上で有用となる場合がある。
- すでに存在する教師データを利用する場合にはこの時間を短縮できる。
- 作成した教師データはすべて分析に利用するのではなく、推定結果の妥当性を検証する答え合わせのためにも利用する。

- 時間目安

- 数週間から数ヶ月（作成する教師データの量に依る）

- 必要技術の例

- データラベリング（例：QGIS, GroundWork 等），機械学習の基礎知識

7. データ分析の実施

- 概要
 - 取得している衛星データ等を用いて、選択した手法に基づいてデータを分析する。
 - この際に複数の手法を並行して分析することで、分析精度の差を比較する場合が多い。
- 時間目安
 - 数週間から数ヶ月
- 必要技術の例
 - プログラミング（Python, R など）、統計解析、機械学習アルゴリズムの適用、GitHub 等の利用等

8. 分析結果評価

- 概要
 - 分析結果の妥当性と信頼性を検証する。選択した手法の分析結果が妥当か、教師データとして使わなかったデータを利用することで検証する他、論文等で示された結果と比較することで妥当性を検証することもある。
 - 基本的に手法が有効かどうかは過去の情報を利用する場合が多いが、教師データが存在しない場合にはリアルタイムのデータで検証する必要がある。リアルタイムなデータを用いて分析した場合、結果が妥当か現地調査する場合もある。この場合には時間がかかる。
 - 目的に応じた評価方法を実施すること。
- 時間目安
 - 数日～数週間
- 必要技術の例
 - プログラミング、統計解析等

以上が PoC におけるプロセスの例である。

以下は事業化を進める際に追加で実施するステップの例となる。PoC は自社投資や国/自治体の予算を用いながら半年から一年程度かけて実施することが多い。事業化に向けて複数回の PoC を実施する場合や、市場に出した反応を見ながら改善しながら作り上げる場合などもある。プロジェクトの目的に応じて適切なプロセスを検討すること。事業化においては、衛星データを購入/入手する以外には衛星データを用いたサービス独自のプロセスがあるわけではなく、通常の事業化の進め方を参考にするが良い。

9. 社会実装に向けた戦略策定

- 概要
 - 分析結果をもとに，社会実装に向けた戦略を検討する．
 - 顧客候補者を探し出す等の作業が必要となり，時間がかかる．
- 時間目安
 - 数ヶ月

10. 実証実験

- 概要
 - 実世界での小規模テストを通じて，技術の有効性と市場の反応を確認する．
 - PoC を複数回繰り返すことも含める．
- 時間目安
 - 数ヶ月から 1 年程度（プロジェクトの性質による）

11. 製品化・サービス化

- 概要
 - 実証実験の成功を受け，製品やサービスを市場に向けて本格的に開発する．
- 時間目安
 - 半年～1 年以上

4 九州において想定されるユースケース

3章のプロセスに沿ってプロジェクトを実施する場合に、200万円規模のプロジェクト実施のユースケースと2,000万円規模のプロジェクト実施のユースケースを以下に例示する。なお、以下は所定の金額でプロジェクトを実施できることを保証するものではなく、事業会社の規模により単価は異なる点には留意すること。また、保有するスキルセットによって各プロセスに要する時間も大きく異なる点も留意すること。

- 仮想プロジェクト

九州域における不法投棄を見つけ出すプロジェクトを実施するとする。

- 200万円規模のプロジェクトの例について

➤ 概要

不法投棄物を直接的に衛星データで見つけるのではなく、間接的に不法投棄物が放置される場所を衛星データから推定可能かどうかを検証する。予算規模から衛星データを購入するのは現実的ではないため、基本的には予算は分析費用やフィールドワークの費用として利用する。衛星データを分析するには不法投棄物がある場所を把握する必要があるためにフィールドワークを実施する。実証期間は半年～1年程度。

200万円規模の場合には、サービス導入に向けた高度な分析を実施する、というよりは分析がそもそも成立するかを確認するようなケースが多い。

今回の例では、プロジェクトの進行を管理するプロジェクトマネージャ（PM）1名、分析者（データサイエンティストやシステムエンジニアなども含む）2名の3名体制として考える（図6）。

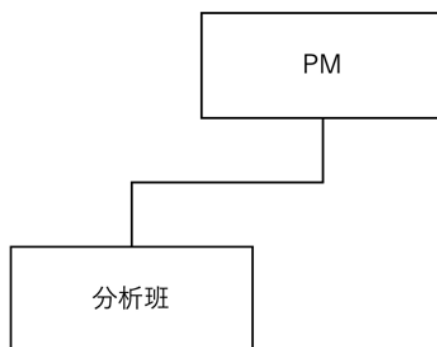


図6 体制の例

人員の時間を単価 1 万円とした場合、全体として 200 時間利用できるとして、例えば PM が 60 時間、分析者 2 名が 140 時間を利用できるとした場合には以下のように配分できる（PM はプロジェクトの進捗管理やビジネス検討などを実施しているとして、以下の合計時間から除いた）。

衛星データは Sentinel 等を利用することで購入費用はかからない想定とした。

今回の場合には不法投棄物されている場所を探すフィールドワークも必要となる。そのため 200 時間すべてを分析に費やすわけではなく、20～30 時間程度はフィールドワークに割くことになる想定である。

本プロジェクトで必要となる時間目安を表 6 に示す。

表 6 本プロジェクトで必要となる時間目安のまとめ

対象者	実施内容	時間目安
PM のタスク	プロジェクト進行	50 時間/人
分析班のタスク	データ収集と前処理	30 時間/2 人
	データ分析	50 時間/2 人
	結果の検証	30 時間/2 人
両者の共通タスク	フィールドワーク	30 時間/3 人
	まとめ	10 時間/3 人

- 1. プロジェクト計画と分析に向けた準備（合計：20 時間）
 - プロジェクト憲章の策定（5 時間）：プロジェクトの目標を明確にし、達成するための概略計画を立てる。この際に、最低限何を達成したい（何が検証できるとよいか）のか、を明確にしておくが良い。
 - WBS の策定（5 時間）：目標達成に向けて必要となるタスクに分解する。分解したタスクにチームメンバーの役割を割り当て、プロジェクトスケジュールを確定する。
 - データの検討（8 時間）：利用する衛星データの種類（光学・SAR 等）や、利用する地上データを調査した上で決定する。場合によっては現地調査してからデータを決定する。
 - ツールと分析方針の検討（2 時間）：データ分析に使用するアプリケーションを選定する。

分析方針を決定する上で解くべき課題を具体化することが重要となる。たとえば、どのようなものが不法投棄されているかを知りたい場合には不法投棄されている物体そのものを検出できるようになる必要があり、どのような場所で不法投棄されているかを知りたい場合には不法投棄された物体が放置されている場所の

特徴を押さえるだけで良い。また、不法投棄されたタイミングですぐ検出したいのか、ごみ収集を回ろうとする際の計画を立てるときに利用したいのか、によっても適した手法が異なる。今回は不法投棄された物体が放置されている場所の特徴を押さえない場合を想定して検討を進める。

不法投棄がよくされる場所の特徴や不法投棄されるタイミングを理解することから始める。例えば、不法投棄される場所の情報が SNS や自治体の掲示板等にある場合には、その場所の位置と日時、不法投棄物の情報をまとめる。この際に、地理的なデータを表現するためのフォーマットの一つである GeoJSON 形式や Google Map 等を利用することで KML 形式にて情報をまとめる場合がある。

不法投棄の情報がデスク調査で見つけられない場合には、実際に地域を見回ることによって不法投棄されている場所を探す。一般的には耕作放棄地等の人目がない場所に不法投棄されることが多いと言われるため、例えば耕作放棄地となっている場所を見回ると良い。その中で不法投棄されている場所を見つけたら、写真等で記録する。なお、九州域における不法投棄を探したい場合、九州全域を対象とするのは 200 万円の場合には困難であるため、どこか地域を絞って実験することになる。

- 2. データ収集と前処理 (合計: 30 時間)

- データ収集 (15 時間): 選定したデータソースから必要な衛星データを収集する。ローカルにデータをダウンロードして分析するか、クラウド上で分析するかによって要する時間は大きく変わる。
- データクレンジングと前処理 (15 時間): 収集したデータのノイズ除去や雲や影の除去などの前処理を行う。

不法投棄されている場所が人目のつかない耕作放棄地であった場合には、以下のようなデータ収集が考えられる。なお、今回は予算規模からデータ購入するのに費用を当てない、つまり無料の衛星データを利用する前提で検討する。

無料の衛星データは様々あるものの、今回は Sentinel-2 を対象に探すことを考える。図 7 に示すように衛星データからは直接的にゴミがあるかどうかはわからないものの、Google Map 等ではゴミがある様子を確認できる。そのため、以下では Sentinel-2 (光学) により耕作放棄地を探すことで間接的に不法投棄物がありそうな場所を探すことを想定して検討する。

期間としては、例えば過去 2 年間の日々の不法投棄の情報が入手できる場合には、2 年分の衛星データを収集すると良い。

なお、探す不法投棄物が大型の場合には、周辺に比べて不自然に電波の反射強度が強いことで Sentinel-1 (SAR) により見つけられる可能性もある。そのため

Sentinel-1 により不法投棄物を検出するシナリオもあり得るかもしれないが今回は割愛する。



図 7 南多久町の最終処分場を Sentinel-2 で確認した結果

衛星データ

- ・ Sentinel-2 データ：耕作放棄地を探すために、光学データを利用する。このデータを分析することで植生や土地利用に関する情報も取得できる。
- ・ Suomi-NPP：人目がないということは街明かりがあまりないと考えられるため利用する。

この際、衛星データは雲がかかっていると興味領域のデータが見えない場合がある。そのため目的の範囲に雲がかかっているかどうかを確認することは重要となる。図 8 に雲がある例、図 9 に雲がない例の画像をそれぞれ示す。同じような被雲率（画像の中で雲が占める割合のこと）であったとしても、目的とする場所（図中のピンの場所）に雲があるかどうかによって、分析に利用できるデータかどうかは変わってくる。

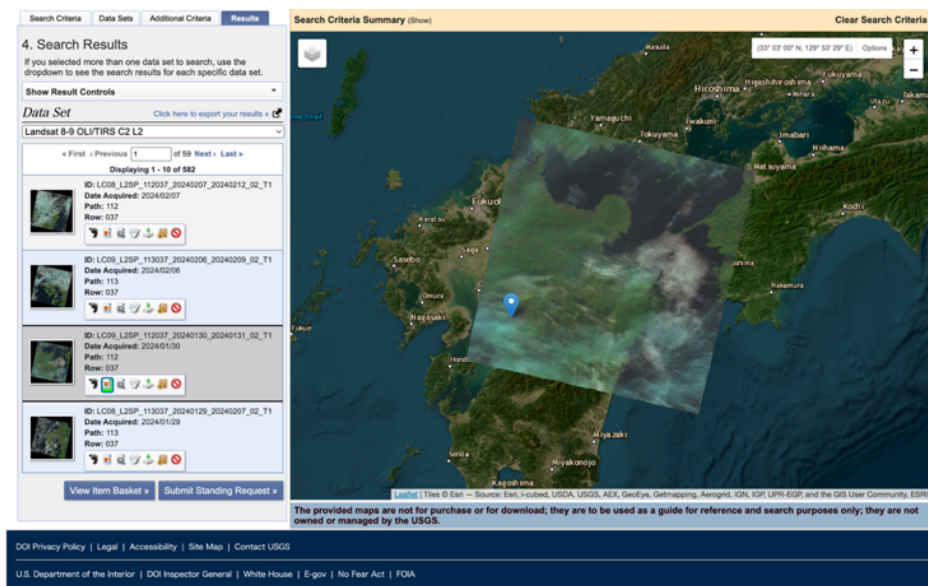


図 8 雲がかかっている例

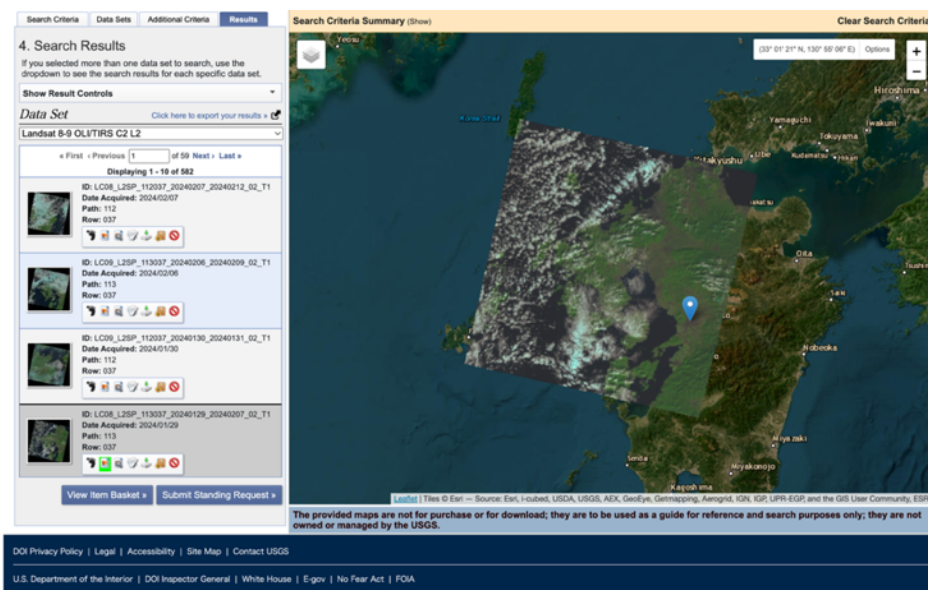


図 9 雲がかかっていない例

地上データ

- ・ 筆ポリゴン：どこが田畑かわかれば分析しやすくなるため圃場データとして筆ポリゴン (<https://www.maff.go.jp/j/tokei/porigon/>) を利用する。
- ・ OSM（道路情報）：不法投棄したいものは自動車で運ぶ可能性が高いため、道沿いにあるかどうかが重要になるのではないかと考えられる。

- 3. 特徴抽出と分析（合計：50 時間）
 - 特徴抽出（20 時間）：衛星データから不法投棄の可能性が高い特徴（例：植生の変化、地形、アクセスの容易さなど）を抽出する。
 - データ分析（30 時間）：抽出した特徴を基に、機械学習モデルや統計的手法を用いて不法投棄されそうな場所を特定する。

様々な分析手法があるため、入手できたデータと保有するコンピューティングリソースの制約から目的に合った手法を選択して分析を進める。

- 4. 結果の検証と精度向上（合計: 30 時間）
 - 結果の検証（20 時間）：地上調査や既知のデータと比較して分析結果の妥当性を検証する。
 - （精度向上（10 時間））：検証結果を基に、分析プロセスの改善やモデルを調整し、精度を向上させる。

当初定めた目的を達成できる精度となっているかどうかを検証する。

- 5. 報告書作成と発表（合計：10 時間）
 - 報告書（納品物）の作成（8 時間）：プロジェクトの結果と提案をまとめた報告書を作成する。
 - 発表の準備と実施（2 時間）：報告書を基に発表資料を作成し、関係者への発表を行う。

実施したことをまとめた上で発表する。

- 2,000 万円規模のプロジェクトの例について

- 概要

2,000 万円の予算がある場合には、予算は分析費用やフィールドワークの費用のみならず、衛星データの購入に費用をあたられるようになる。そのため高分解能な光学画像や SAR 画像の購入に割り当てる。予算の 1 割程度(200 万円)を衛星データ購入に当てるとした場合、光学画像だと\$750.00(11 万円)/25km², SAR 画像だと\$1750.00 (26 万円) /25km² (いずれも SkyFi から購入を想定) の購入費用とすると、それぞれ 5 枚ずつ購入できる。衛星データ以外にもドローン等で不法投棄がどのように映るかを実験しながら教師データを増やし、分析精度の向上を狙う。分析についても試行錯誤を繰り返しながら、目的を達成するための手段を見つける。実証期間は 1 年程度。

2,000 万円規模の場合には、サービス導入に向けた分析の試行錯誤を複数回繰り返し実施できる。複数回繰り返すことで、対応できるケースを増やせるだけでなく、分析精度の向上を狙うこともできる場合もある。

2,000 万円のプロジェクトとなった場合には体制を拡充できる。例えば、プロジェクトの進行を管理するプロジェクトマネージャ（PM）1 名、ビジネスチームをマネジメントする立場のマネージャ 1 名、ビジネス開発担当 2 名、分析チームをマネジメントする立場のマネージャ 1 名、分析者（データサイエンティストやシステムエンジニア、アプリケーション開発者なども含む）4 名、フィールドワーク担当（不法投棄されている場所を探す、意図的に不法投棄されている場所を作って撮影するなどを行う役割とする）3 名で 12 名体制として考える（図 10）。この際に、ビジネス側の立場の者は衛星データに関する基本的な素養（つまり何ができるかの知識はある状態）があることが望ましい。

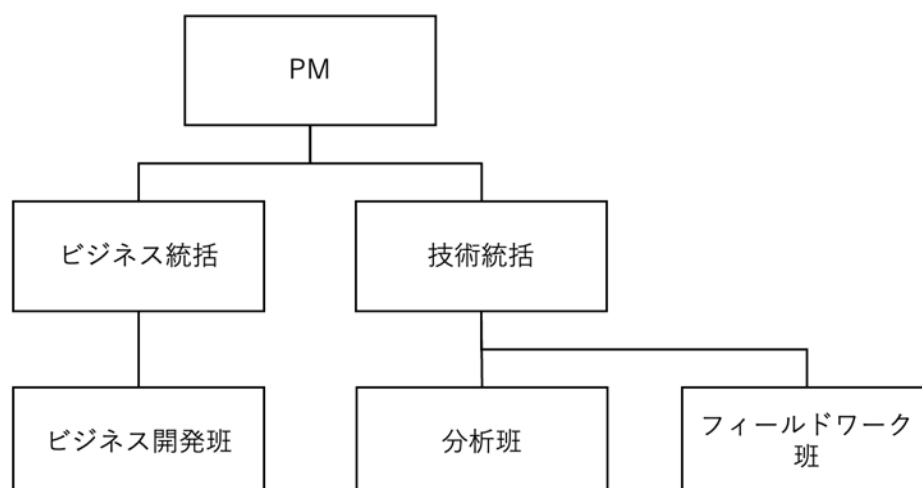


図 10 体制の例

人員の時間単価を 1 万円とした場合、合計で 2,000 時間利用できるとする。12 名体制なので、1 人あたり平均 166 時間を利用できることとする。

基本的な分析の流れは 200 万円のプロジェクトと同じで良いものの、合計で 2,000 時間割くことができるため、教師データを作成したり、データを購入したり、異なるデータを用いて分析したり、より高度な分析を試行錯誤したり、アプリケーションのプロトタイプ（モックアップ）を開発したりするのに時間を割くことができる他、ビジネス検討やフィールドワークにより時間を割くことができるようになる。

以下では 2,000 万円になったことで特徴的に実施できることについて記述する。

①教師データの作成

不法投棄については、①いつ、②どこで、③何がどのような規模で、が大きな変数となる。サービス化を考えた場合には、スコープとして定めた範囲にある①～③の変数については対応できることが望ましい。そのためなるべく多くのパターンを理解し、教師データを収集することが重要となる。

①どのようなタイミングで不法投棄を発見したいか、ということはもちろんのこと、地域によっては季節変化を考慮することも重要になる。雪の上の不法投棄と、草の上での不法投棄では見え方も当然変わってくる。教師データとしてどちらのケースも用意しておくことができれば、どちらのケースにも対応できるサービスを構築できる可能性がある。

②不法投棄を探すにも、実際に不法投棄されている場所の情報を過去から蓄積できている場合は少ない。そのため、不法投棄された状況を意図的に作り出すことで、衛星データで撮影し、その撮影結果を確認することで不法投棄されることでどのように衛星データで見えるのかを試すことができる。放棄された場所の状態による見え方の差を理解しておくことも重要となるため、例えば田畑や山林、住宅地など複数の場所で同様の実験を繰り返すことで分析精度を高めていくことができる。

③不法投棄されている状態を複数作ることで、どのような不法投棄の状況までは衛星データで確認できるのか、理解しておくことも重要である。冷蔵庫1つが不法投棄された状態なのか、電子レンジが複数不法投棄された状態なのかによっても見え方は変わってくるため、目的に照らし合わせて、どのようなケースまで対応できる必要があるかを考えた上で撮影状況を作り出すことが重要となる。この際に、光学・SAR問わず高分解能な衛星データを多く購入することは難しいため、ドローン等で地上を撮影し、分解能を下げることで擬似的に衛星が取得したようなデータを生成することで分析することも手段としてあり得る。

教師データが充実していると分析精度を向上できるため、このプロセスに多くの時間を割きながら、取得した教師データを利用しながら複数回一連の流れを繰り返し試行することが重要となる。

②データの購入

プロジェクトの目的にも依るものの、有料データを購入することが目的と合致しており、かつ事業化した場合にも定期的に衛星データを購入することを前提としたビジネスモデルを前提した場合には、有料の衛星データ等を購入することがある。データを新規撮像して購入する場合には、アーカイブ画像を購入するよりも高額になるため、新規撮像したとしてもビジネスとして成立するかどうかを考えた上で購入することが重要となる。例えば SkyFi 経由で 161km² 範囲の新規撮像を光学衛星で行う場合には 5,798 ドル程度は最低限でも必要となる（あくまで参考価格であることに注意すること。実際にかかる費用はご自身でご確認ください）。九州全域だと 36,780 km² になる

ため、全域をタスキングし続けることは現実的ではない。さらに、全域を観測対象とする場合には、その範囲を定期的に撮影し続けるビジネスモデルが成立するかどうかを検討することが重要となる。この際に、人が行きにくいものの監視する必要がある場所のみに絞って観測するようにするといった制約をつけることで、現実的な金額に収まる可能性もある。

また、有料のデータを購入したとしても良いビジネスモデルだったとしても、いたずらに最初からデータを購入するのではなく、無料のデータでまずは分析し、有料のデータを利用することでどのようなアウトプットが期待できそうか見通しをつけてから購入することが重要である。

データは光学だけ・SAR だけ、ではなく、それぞれのデータを組み合わせた分析も有効な可能性がある。目的を達成するために有効な解決手段を見つけるための試行錯誤を繰り返すことが肝要である。

③アプリケーションのプロトタイプ開発

社会実装するためのアプリケーションを開発するには十分な時間を確保できないものの、サービスをリリースする際のモックアップを開発する工数を確保することはできることが多い。そのため、サービス利用を想定する顧客に実際に触ってもらうことで反応を見るために、プロトタイプを開発することがある。

どのようなデータの可視化が目的に対して効果的かどうかを検証することで、事業化へ進める。例えば市民への不法投棄を是正させるためのポスターに利用するためのデータである場合には、ある程度の正確性であってもよく、九州の各地域でどれほどの不法投棄がされているかを可視化することの方が重要かもしれない。もしくは不法投棄された物体を回収する立場の人からすると、不法投棄の見回りをしなくても大丈夫な場所を洗い出してもらうだけでも、見回りの手間が減るかもしれない。不法投棄した人を特定したい場合には、不法投棄している現場を撮影していることが重要となり、（現在の技術では困難だが）モビリティの特定が必要となるかもしれない。

このように、目的に応じてどのような分析のアウトプットとすべきかも変わるため、アウトプットの形式が有効かどうかをエンドユーザに見せることで反応を見ることが重要である。この際に、分析精度 100%の完璧なプロダクトを開発しようとするのではなく、例えば分析精度が 60%程度だったとしても、利用可能なユースケースを見つけながら対応できるユースケースを増やしながらか開発を進めるのが良いだろう。

5 おわりに：衛星データのプロジェクトを立ち上げる際に

衛星データのプロジェクトを立ち上げる際に、何から始めると良いか考えることが難しい、という課題がある。そのため参考に以下3つの選択肢を紹介するとともに、九州で取り組むと良いと考えられる衛星データを利用したアイデアをいくつか紹介する。

最初に取り組む際の3つの選択肢

①セミナーへの参加

オンライン・オフライン（現地開催）問わず、様々なセミナーやワークショップが各地域で開催されている。九州であれば、例えば九州宇宙ビジネスキャラバン、福岡県宇宙ビジネス研究会、宇宙 MUGEN 会議などが行われている。イベントに参加し、専門家と議論することで、取り組みのきっかけを得られることがある。

②衛星データを実際に分析してみる

自ら手を動かし、衛星データとはどのようなものかを確認するのも良い。様々な教材が公開されているため、自分に合う教材を見つけて分析することで、衛星データでどのようなことができそうかを確認するのも良いだろう。

例えば以下のような教材がオンラインで公開されている：

- ・コーディング事例

宇宙ビジネスメディア宙畑 (<https://sorabatake.jp/satellite/notebooks/>)

Python で学ぶ衛星データ解析基礎 (<https://github.com/tamanome/satelliteBook>)

夜間光分析 (<https://worldbank.github.io/OpenNightLights/welcome.html>)

また、他の企業の分析事例などを通して、アイデア発想するのも良いだろう。特に ESA Project showcases は具体的なプロジェクトが幅広く分野ごとにまとまっているため、英語ではあるものの、検討する際に非常に参考になる。

- ・分析事例

地球観測衛星データサイト (<https://earth.jaxa.jp/ja/eo-knowledge/index.html>)

Collection of custom scripts (<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/>)

NASA Worldview (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>)

Earth Observing Dashboard (<https://eodashboard.org/>)

ESA Project showcases (<https://business.esa.int/projects>)

③気になるデータを取得してみる

まずは気になるデータを取得（計測）してみることから始めることで、そのデータが将来衛星データ分析の際の教師データになる可能性もある。衛星データは過去に撮

影しているデータを遡ることができるものの、地上データはセンサを自ら設置しない限りはデータを蓄積できない。そのため、まずは気になるデータを取得しておき、その分析から始め、衛星データを組み合わせることによってどのようなことができそうかを考える手もある。このような観点からも、記録しておく、さらにはデジタルで記録できるようにしておくことが重要と思われる。

データを蓄積している場合には、このようなデータを蓄積していますよ、ということオープンにすることで、思わぬところから利用させて欲しいという連絡が来る場合もあろう。

九州を舞台にした衛星データ利用のアイデア案の紹介

本レポートでは不法投棄を対象に仮想プロジェクトを考え紹介したが、九州でのプロジェクトを考えた場合には様々なプロジェクトがあり得る。

以下では2つアイデアを紹介する。

・農地の管理

農地管理への衛星データ利用は広くされている。そのため参考にできる先行事例が多くあり、衛星データの利活用を始める最初のステップとして良いと考えられる。この際に、すべての農作物に対して衛星データを利活用する分析手法が公開されているわけではないため、まだ衛星データを用いた分析が取り組まれていない農作物については、生育状態を地上で確認しながら、衛星データの値がどのように変化しているかを理解することから始めるのも良いだろう。

・水資源の管理

本レポートでは紹介していないが、光学・SAR・放射観測以外に、重力を観測する衛星（GRACE）がある。この衛星が観測した重力の変化を分析することで、地下水の変化を推定する試みがある。GRACEの観測結果は分析結果も含めて公開されているものの、例えば自身の地域の地下水がどの程度変化しているのかを知っていなければ、その推定結果がどの程度妥当かどうかを判断することは難しい。そのため、まずは地下水がどの程度になっているか地上で測る活動から始めることで、将来的には衛星データを利用することで地下水の状況を管理することができるようになるかもしれない。

水資源の観点からは水質の変化を確認していく試みも良いだろう。

利用のアイデアを発想できたとしても、そのアイデアとまったく同じテーマについての先行事例がない場合もある。例えば不法投棄プロジェクトを立ち上げよう、となった場合には、それに特化セミナーは存在しない。そのため衛星データとして一般的

にどのようなことができそうか，ということを説明するようなワークショップやセミナーに出ると良い．この際に，不法投棄に関連したテーマとして，衛星データによる耕作放棄地の検出や，衛星データによる海洋ゴミの検出はプロジェクトとして存在するため，興味の範囲を広げて調べてみるのも良いだろう．

実際の分析については，まずは衛星データに慣れることも重要であるため，衛星データを用いた基礎的な分析から始め，不法投棄に関連したテーマを行う流れだと良い．この際に，最初から本格的に分析することは困難と思われるため，まずは Google Earth や国土地理院地図などを通して，上空からどのような場所は見えて，どのような場所は見えないのか，ということを実際に見てみるのは有効である．また，Copernicus Browser などを通して，その場所は衛星データではどのように見えるのか，ということと比較してみることも有効である．この際に，撮影予定日を把握できるようになったら，撮影するタイミングで何か写したい対象物を置いてみて，それが実際に衛星データでどのように映るのか，ということを試してみることも非常に有効である．

本レポートでは不法投棄を例としてプロジェクトの考え方・進め方を紹介したが，衛星データの撮影枚数が増えているだけでなく，AI 技術が発展していることで分析のハードルは下がっている．そのため新しく衛星データのプロジェクトを始める敷居は大きく下がっている．ご自身の気になるトピックに応じて，ぜひ衛星データを用いて分析に挑戦してもらいたい．

筆者略歴 田中康平

2017 年総合研究大学院大学・物理科学研究科・宇宙科学専攻修了，博士（工学）．超小型衛星の研究・開発に携わった後に，衛星データの利活用に関する業務などを行う．

著書に「Python で学ぶ衛星データ解析基礎 ―環境変化を定量的に把握しよう―」．