

Google Earth Engine を用いた事業評価における
衛星データ活用のマニュアル

2023 年 6 月

改訂履歴

日付	版	内容
2022年8月18日	0.5	素案の策定
2022年10月31日	0.8	協議内容を受けた改訂
2023年2月27日	1	ウェブサイトでの公開

目次

1. はじめに.....	1
1.1. 目的.....	1
1.2. 本マニュアルを読み進めるにあたって.....	1
2. 対象分野と各種指標.....	2
2.1. 農業分野.....	2
2.2. エネルギー分野.....	2
2.3. 防災分野.....	2
3. 各種指標の解析方法.....	3
3.1 農業分野.....	3
3.1.1 灌漑面積.....	3
3.1.2 作付面積.....	12
3.1.3 開墾面積.....	22
3.1.3.1 土地被覆分類による開墾面積の算出.....	22
3.1.3.2 目視判読による開墾面積の算出.....	36
3.1.4 受益面積.....	41
3.1.5 農村道路.....	48
3.1.5.1 Humanitarian Data Exchange (HDX)を活用した農村道路の表示.....	48
3.1.5.2 QGISを活用した農村道路距離の表示.....	55
3.2 エネルギー分野.....	62
3.2.1 環境モニタリング.....	62
3.3 防災分野.....	75
3.3.1 避難施設を利用可能な裨益人口.....	75
3.3.2 降水量の算出.....	75
別添1 リモートセンシング及び衛星データの基本.....	89
1. リモートセンシングとは.....	89
2. 人工衛星の種類.....	90
3. 光学衛星データの基本.....	91
4. SAR衛星データの基本.....	93
5. 衛星データ分析を計画・実施する際の視点.....	93
別添2 地理情報システム(GIS)の基本.....	95
1. GISとは.....	95
2. GISで取り扱う地理空間情報とは.....	95
3. GISで取り扱うデータの種類(ラスタデータ及びベクターデータ).....	95
4. ベクターデータの作成方法.....	96

別添 3	解析手法の補足説明や事例紹介	99
1.	NDVI 及び LSWI の閾値の調整方法.....	99
2.	NDVI の閾値の調整方法.....	100

1. はじめに

1.1. 目的

本マニュアルは、JICA 事業の PDCA サイクルの各段階において、Google Earth Engine (GEE)を用いた衛星データ(地理情報システム(GIS)を含む)の利活用を促進することを目的に作成された。

本マニュアルの活用が想定される PDCA サイクルの各段階は、以下のとおり。

- 形成・計画時
- 実施時
- モニタリング時
- 事後評価時

1.2. 本マニュアルを読み進めるにあたって

本マニュアルは、衛星データ解析を学んだ経験のない人が GEE を使って特定分野の指標に係る衛星データ解析に取り組める内容となっている。ただし、本マニュアルの内容はあくまでも基礎的な解析手法・手順を提供するものに留まるため、実務での活用については個々人で活用方法を検討されたい。

本マニュアルを読み進めるにあたって、まずは、「2 対象分野と各種指標」の中から関心が高い指標を選び、その解析方法を一通り習得されることをお勧めする(取り組みやすい指標として「灌漑面積」や「作付面積」が挙げられる)。「3 各種指標の解析方法」では、衛星データ解析を学んだ経験のない人でも読み進められるよう、専門用語を使うことはなるべく避けたものの、それでも馴染みのない用語や表現に出会うことはあるだろう。馴染みがないと想定される用語や表現については、衛星データ解析の基礎知識を紹介している別添資料の該当箇所へ移動できるよう、脚注に文章内リンクを設定している。仮に、馴染みがなく、かつ、別添資料にも記載されていない用語などに出会った場合には、適宜、インターネットで検索して欲しい。衛星データ解析の基礎知識を丁寧に解説しているサイトの一つには[宙畑](#)がある。

1.3. GEE を初めて使う方へ

最後に、本マニュアルでは GEE を使うことを想定しているため、GEE を全く使った経験がない方は、JICA ウェブサイト「[事業評価における衛星・GIS データ活用](#)」に掲載している「2. Google Earth Engine を用いた衛星データ(夜間光データ)の基礎的な取り扱い方」の「Part 0. 資料」を「[準備資料](#)」から「[講義資料](#)」の順に読まれることをお勧めする。

2. 対象分野と各種指標

本マニュアルで対象とする分野と指標は、以下のとおり。

2.1. 農業分野

No.	指標	定義
1	灌漑面積	農作物の収穫量向上等を目的に、河川や湖などの外部から水が供給される田畑の面積
2	作付面積	農作物の耕作が可能な田畑の面積のうち、実際に作付けされている田畑の面積
3	開墾面積	山林や原野などを切り開いて農地に変換された田畑の面積
4	受益面積	事業により受益をうける地域の耕地面積であり、一般的には灌漑・排水施設が整備され、その恩恵を受ける耕地面積
5	農村道路	GIS ソフトにより地図 (Google map 等) 上に作成されたラインデータもしくはベクターデータ

2.2. エネルギー分野

No.	指標	定義
1	環境モニタリング	火力発電所などから排出される SO ₂ 、NO ₂ 、浮遊粒子といった大気汚染の原因となる物質濃度(mol/m ³)

2.3. 防災分野

No.	指標	定義
1	避難施設を利用可能な裨益人口	避難施設からの一定圏内に居住する人口(人数/m ²)
2	降水量	任意の解析範囲に対する一定期間の降水量(mm)

3. 各種指標の解析方法

「2 対象分野と各種指標」で示した各種指標に対応する解析方法を、(1)解析の全体像と手順、(2)解析事例の紹介、(3)解析結果を解釈する際の留意点といった 3 つの観点から順に紹介する。

3.1 農業分野

3.1.1 灌漑面積

(1) 解析の全体像と手順

灌漑面積の算出にあたり、①解析範囲の設定、②衛星データの取得、③植生指数と水指数を用いた解析が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.1.1-1 図 3.1.1-1 の通り。

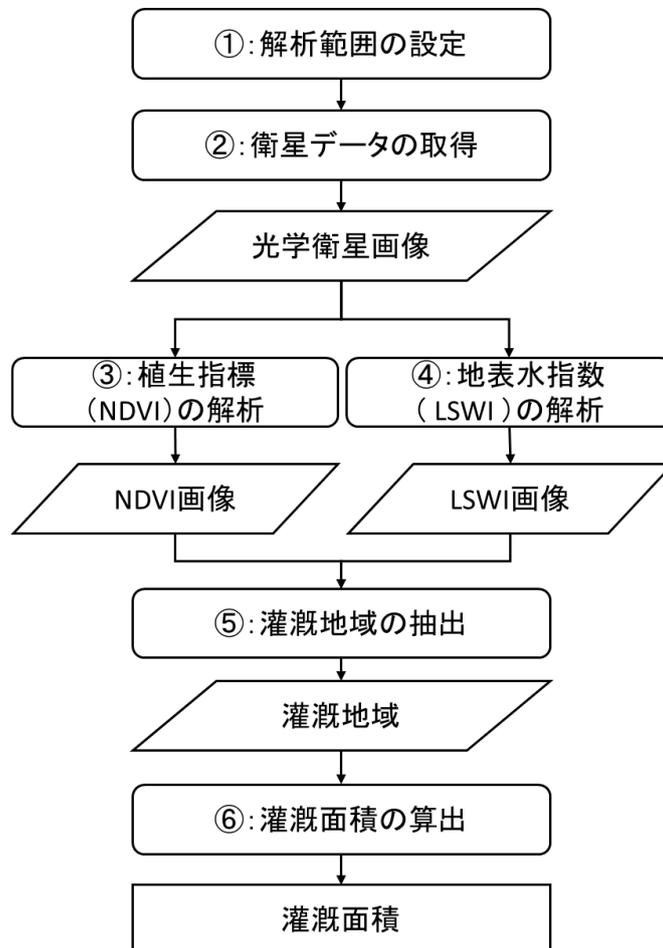


図 3.1.1-1 灌漑面積の解析手順

(2) 解析事例の紹介(タンザニア)

図 3.1.1-1 で示した解析手順に従い、タンザニア北部の田園地帯を解析範囲とし、光学衛星 Sentinel-2 が撮影した 2021 年 5 月～7 月のデータを用いて、灌漑面積の算出を行う。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/ac387a4d3cde516e06ba04b18eac9e93>

① 解析範囲の設定

図 3.1.1-2 に示す通り、マップの左上にあるジオメトリツールを用いて、解析したい範囲を設定する。解析範囲の設定が完了すると、コードエディタ上に「geometry」という変数が生成される(図 3.1.1-3)¹。今回は、ポリゴン(多角形)と呼ばれるベクターデータを作成する²。



図 3.1.1-2 解析範囲(ポリゴン)

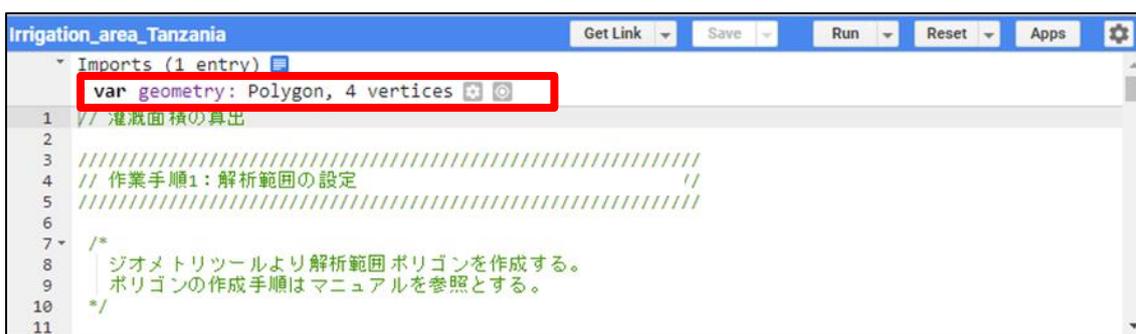


図 3.1.1-3 コードエディタ上に生成された「geometry」変数

¹ ジオメトリツールの使い方を知りたい方は、[こちら](#)。

² ポリゴンを含むベクターデータを詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

② 衛星データの取得

今回の事例では、光学衛星 Sentinel-2(分解能:約 10~60m、データ公開期間:2017 年 3 月 28 日~現在)が撮影した 2021 年 5 月~7 月のデータのうち雲の量が 10%以下かつ日付が一番新しいデータを取得する。

取得方法は、図 3.1.1-4 のスクリプト 18~24 行目の通り。21 行目にて、衛星データに写る雲の量(被雲率)が 10%以下になるようにフィルターを掛ける。

取得した衛星データをマップ上に表示する方法は図 3.1.1-4 の 27~38 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.1.1-5 に示す。

```
Irrigation_area_Tanzania
14 //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
15 // 作業手順2: 光学衛星画像の選定
16 //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
17
18 var imgs_s2 = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2_SR') //Sentinel-2の読み込み。
19   .filterDate('2021-05-01', '2021-07-30') //衛星画像の取得期間を設定する。
20   .filterBounds(geometry) //解析範囲が含まれる衛星画像を設定する。
21   .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 10); //衛星画像内の被雲率を設定する。
22
23 // 期間内の最新画像を選定する。
24 var img = ee.Image(imgs_s2.sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE').first());
25
26 // 衛星画像を解析範囲で切り出す。
27 var s2_clip = img.clip(geometry);
28
29 // 解析範囲を地図画面の中央に配置する。
30 Map.centerObject(geometry);
31
32 // 選定した衛星画像を地図画面に追加する。
33 Map.addLayer (s2_clip, {
34   max: 2000,
35   min: 0.0,
36   gamma: 1.0,
37   bands: ['B4', 'B3', 'B2']}, //B4: 赤バンド、B3: 緑バンド、B2: 青バンド
38   'Image Sentinel 2');
39 //min: max: 地図画面に表示する画素値の最小値・最大値
40 //bands:[]  地図画面に表示される画像のRGBのバンド割り当てを定義する。
41
```

被雲率を小さく設定するほど、雲の少ない画像を取得できる。一方、解析対象期間内に取得できる画像の枚数は少なくなる。

図 3.1.1-4 衛星データの取得・地図への表示を行うスクリプト

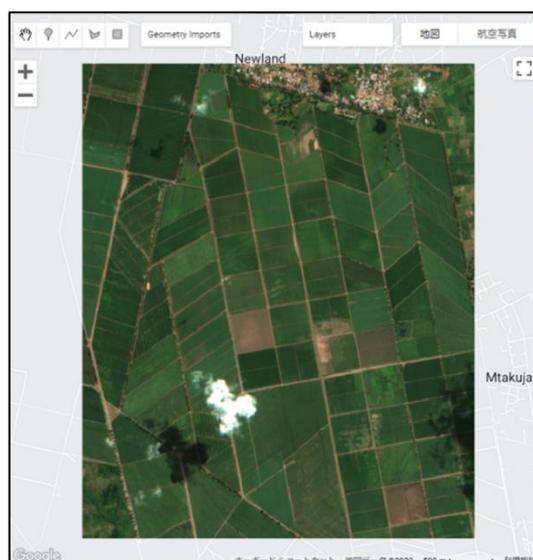


図 3.1.1-5 取得した衛星データ(光学衛星 Sentinel-2)

③&④ NDVI 解析及び LSWI 解析

次に、取得した衛星データを基に植生指数(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)及び水指数(Land Surface Water Index: LSWI)を算出する³。

算出方法は図 3.1.1-6 のスクリプト 61~69 行目、算出したデータをマップ上に表示する方法は 73~82 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.1.1-7 及び図 3.1.1-8 に示す。

```

Irrigation_area_Tanzania
Get Link Save Run Reset Apps
44 //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
45 // 作業手順3,4: NDVI解析 + LSWI解析
46 //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
47
48 /*
49 灌漑面積の抽出には植生活性度を評価するNDVIと地表面水分を評価するLSWIを用いた。
50 評価に用いる指標は地域の特性に合わせて変更する必要がある。他評価指標はNDWI、EVI等がある。
51
52 NDVIの計算式を以下に示す。
53 NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)
54
55 LSWIの計算式を以下に示す。
56 LSWI = (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)
57 NIR:近赤外バンド、RED:赤バンド、SWIR:中間赤外バンド
58 */
59
60 //NDVIの算出
61 var ndvi = s2_clip.expression('(nir-red)/(nir+red)', {
62     'nir':s2_clip.select('B8'),
63     'red':s2_clip.select('B4')});
64 //B8:近赤外、B4:赤バンド
65
66 //LSWIの算出
67 var lswi= s2_clip.expression('(nir-swir)/(nir+swir)', {
68     'nir':s2_clip.select('B8'),
69     'swir':s2_clip.select('B11')});
70 //B8:近赤外バンド、B11:中間赤外バンド
71
72 //NDVI画像を地図画面に追加する。
73 Map.addLayer(ndvi,{max:1, min:0, palette:['ff0000','f04000','f07300','f0b700','f0c000',
74     'f0e400','b9f000','a1f000','59f000','19f000'],'NDVI'});
75 //min: max: 地図画面に表示する画像の最小値・最大値。NDVIは-1.0~+1.0までの値を持つが
76 // 今回は植生活性度を強調表示するために0.0~ +1.0の範囲で地図表示を行っている。
77 //palette: NDVI画像を表示する際のカラー配列リストを作成。NDVIが最小値に近いほど赤色に表示され、
78 // 最大値に近いほど緑色に表示される。
79
80 //LSWI画像を地図画面に追加する。
81 Map.addLayer(lswi,{max:1, min:-1, palette:['ff0000','f00049','f00080','f000bc','f000e8',
82     'ba00f0','7600f0','3400f0','1500f0','001ff0'],'LSWI'});
83 //min: max: 地図画面に表示する画像の最小値・最大値。LSWIは-1.0~+1.0までの値を示す。
84 //palette: LSWI画像を表示する際のカラー配列リストを作成。LSWIが最小値に近いほど紫色に表示され、
85 // 最大値に近いほど青紺色に表示される。
86

```

図 3.1.1-6 NDVI・LSWI の算出・地図への表示を行うスクリプト

³ NDVI 及び LSWI について詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

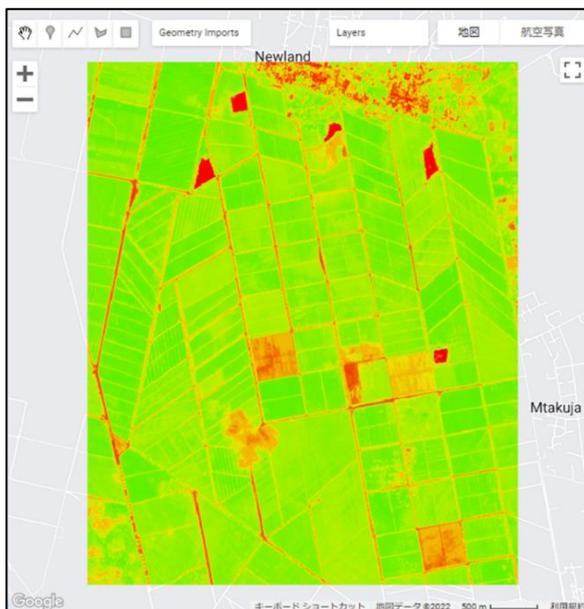


図 3.1.1-7 NDVI 解析結果の表示

※NDVI 値が高い(植生が活発な場所)ほど緑色を表し、NDVI 値が低い(裸地や被雲域)ほど赤色を表す。

※例えば、中央付近の赤い場所は NDVI 値が低いことを示しており、図 3.1.1-5 から裸地であることが分かる。

※表示する色については、図 3.1.1-6 の 73~74 行目の「palette」にて自由に設定できる。

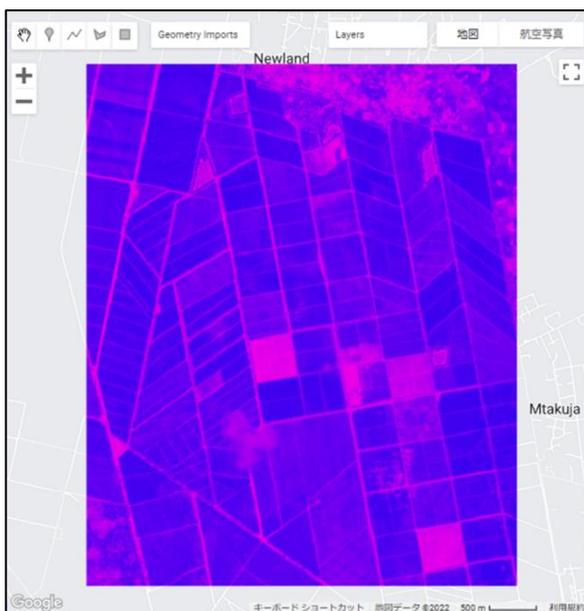


図 3.1.1-8 LSWI 解析結果の表示

※LSWI 値が高い(植生が活発かつ地表面が湿潤な場所)ほど青紺色を表し、LSWI 値が低い(乾燥した裸地)ほど紫色に表示される。

※例えば、中央付近の紫色の場所は LSWI 値が低いことを示しており、図 3.1.1-5 から裸地であることが分かる。

※表示する色については、図 3.1.1-6 の 81~82 行目の「palette」にて自由に設定できる。

⑤ 灌漑地域の抽出

NDVI 及び LSWI の値が算出できれば、それらを組み合わせることで解析範囲内の灌漑地域を抽出できる。

抽出方法は、図 3.1.1-9 図 3.1.1-9 のスクリプト 93 行目の通り。今回の事例では、NDVI 値が 0.4 以上かつ LSWI 値が 0.1 以上となる場所を抽出する（そうした基準値は「閾値（しきいち）」と呼ばれる）。灌漑地域を抽出するための閾値は、気候や栽培歴などに影響されるため、解析範囲ごとで適切に調整する必要がある⁴。

抽出場所をマップ上に表示する方法は 98 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.1.1-10 に示す。

```
Irrigation_area_Tanzania
GetLink Save Run Reset Apps
89 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
90 // 作業手順5: 灌漑地域の抽出
91 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
92
93 var irrigation_area=ndvi.gte(0.4).and(lswi.gte(0.1));
94 //NDVI値が0.4以上かつLSWI値が0.1以上のpixelを灌漑地域として抽出する。
95 //※閾値は解析範囲により調整が必要である。
96
97 //灌漑地域を地図画面に追加する。
98 Map.addLayer(irrigation_area,{max:1, min:0, palette:['FFFFFF','0000FF'],'irrigation_area'});
99 //灌漑地域として抽出された場合は青色に表示され、灌漑地域以外は白色に表示される。
100
```

図 3.1.1-9 灌漑地域の抽出・地図への表示を行うスクリプト

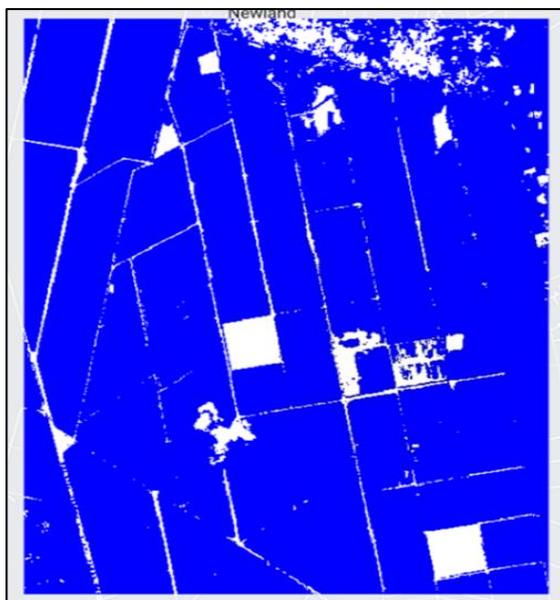


図 3.1.1-10 灌漑地域の抽出結果の表示

※NDVI 値が 0.4 以上かつ LSWI 値が 0.1 以上の場所は青色で表示されており、それ以外は白色で表示されている。

※図 3.1.1-7 及び図 3.1.1-8 で確認した中央付近の裸地については、白色で表示されている。

※表示する色については、図 3.1.1-9 の 98 行目の「palette」にて自由に設定できる。

⁴ 閾値の調整方法及び他事例について知りたい方は、[こちら](#)。

⑥ 灌漑面積の算出

抽出した灌漑地域(図 3.1.1-10 の青色で塗りつぶされていた場所)の面積を算出する。

算出方法は、図 3.1.1-11 のスクリプト 107~117 行目の通り。算出した灌漑面積を 120 行目に示すスクリプトによってコンソール画面に表示する(図 3.1.1-12 の赤枠部分)。

```
Irrigation_area_Tanzania *
103 ////////////////////////////////////////////////////
104 // 作業手順6: 灌漑面積の算出 (単位m2) //
105 ////////////////////////////////////////////////////
106
107 var areaImage = ee.Image.pixelArea().addBands(irrigation_area);
108 var areas = areaImage.reduceRegion({
109   reducer: ee.Reducer.sum().group({
110     groupField: 1,
111     groupName: 'irrigation_area',
112   }),
113   geometry: irrigation_area.geometry(),
114   scale: 10, //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位m)
115   maxPixels: 1e13,
116   tileSize: 1
117 });
118
119 // 灌漑面積の表示
120 print(areas, 'Irrigation_area');
```

図 3.1.1-11 灌漑面積を算出するスクリプト

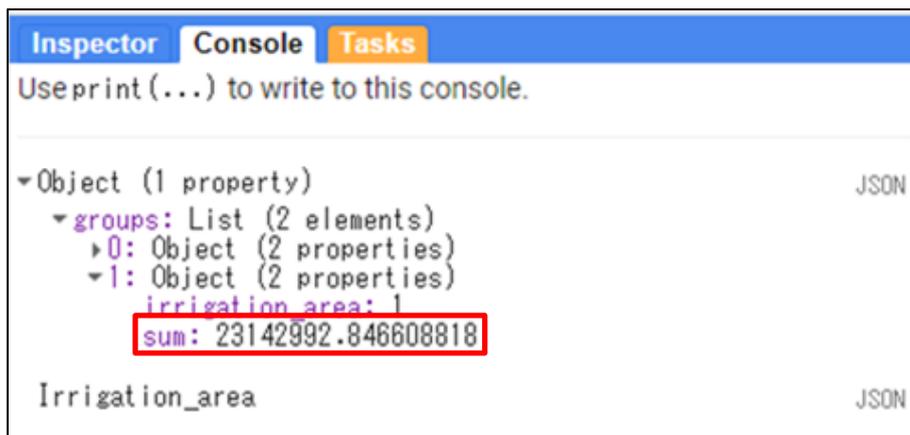


図 3.1.1-12 灌漑面積の算出結果例(単位: m²)

⑦ Google Drive への書き出し(参考)

抽出した灌漑地域は画像データとして Google Drive へ書き出す(エクスポート)ことで、報告書への添付や統計ソフトでの追加的な解析が可能となる。出力方法は図 3.1.1-13 のスクリプト 123~127 行目の通り。

```
121
122 // 灌漑地域の出力
123 Export.image.toDrive({
124   image: irrigation_area,
125   description: 'Irrigation_Sentinel2_10m',
126   scale: 10, //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位m)
127   region: geometry});
128
```

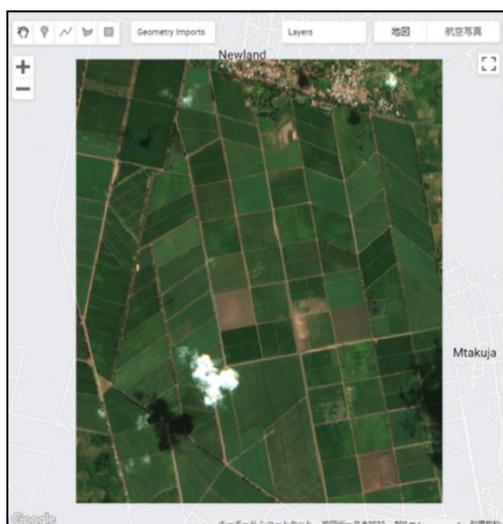
図 3.1.1-13 抽出した灌漑地域を画像データとしてエクスポートするスクリプト

(3) 解析・結果に関する留意点

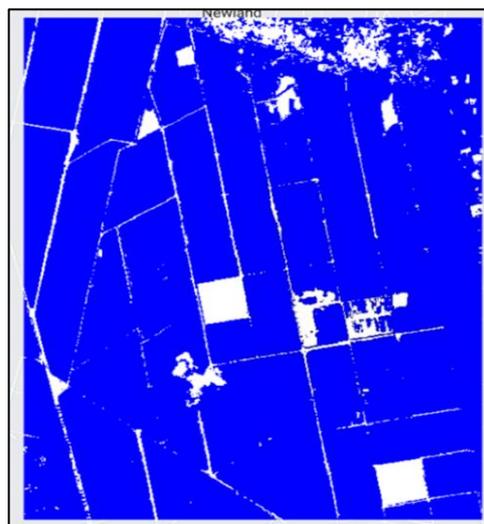
今回の事例から、灌漑地域の抽出にあたり、以下 3 点について留意する必要があることが分かる。

① 解析範囲の設定

今回の事例では、解析範囲をポリゴンデータという形で手動作成した。そのため、取得した衛星画像データ及び抽出した灌漑地域(図 3.1.1-14)を比較すると、右上部の田畑でない地域や田畑の間にあるあぜ道も灌漑地域として一部抽出されていることが分かる。



取得した衛星データ(光学衛星 Sentinel-2)



抽出した灌漑地域

図 3.1.1-14 衛星画像と灌漑地域抽出結果の比較

このことは、算出する灌漑面積を過大に見積もってしまうことに繋がる。より正確な灌漑面積を算出したい場合には、解析したい田畑の位置情報(GPS データ)を取得し、解析に取り入れる必要がある。

② 衛星データの取得時期

今回の事例では光学衛星 Sentinel-2 が撮影した 2021 年 5 月～7 月のデータを利用したものの、解析対象とする国や地域によって気候や栽培歴は異なるため、衛星データの取得時期は個々の事例で注意して検討する必要がある。

③ NDVI 及び LSWI の閾値の調整・設定

今回の事例では NDVI 値が 0.4 以上かつ LSWI 値が 0.1 以上となる場所を灌漑地域として抽出したものの、それぞれの閾値は衛星データの取得時期と同様、気候や栽培歴などに影

響されるため、解析対象ごとに適切に調整する必要がある⁵。

(4) 参考文献

- H.A.Zurqani, 2021, Mapping and quantifying agricultural irrigation in heterogeneous landscapes using Google Earth Engine, Remote Sensing Applications: Society and Environment 23(2021), 100590
- Kunlun Xiang, Wenping Yuan, Liwen Wang, Yujiao Deng, 2020, An LSWI-Based Method for Mapping Irrigated Areas in China Using Moderate-Resolution Satellite Data,
- ZHANG YouShui, XIE YuanLi, 2008, Vegetation Water Content Estimation Using NDVI and LSWI from MODIS Images, Dili Kexue (Scientia Geographica Sinica), Vol28, Issue1, p.72-76
- 内田 諭, 2009, 熱帯湿潤気候帯に適用可能な多時期 Landsat データを用いた土地利用の判別手法, 写真測量とリモートセンシング 48 (6), p.348-356
- Ahmed G. Kayad, Khalid A. Al-Gaadi, ElKamil Tola, Rangaswamy Madugundu, Ahmed M. Zeyada, Chariton Kalaitzidis, 2016, Assessing the Spatial Variability of Alfalfa Yield Using Satellite Imagery and Ground-Based Data, PLoS One. 2016; 11(6): e0157166

⁵ 閾値の調整方法及び他事例について知りたい方は、[こちら](#)。

3.1.2 作付面積

(1) 解析の全体像と手順

作付面積の算出にあたり、①解析範囲の設定、②衛星データ(2 時期)の取得、③植生指数を用いた 2 時期の解析が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.1.2-1 のとおり。

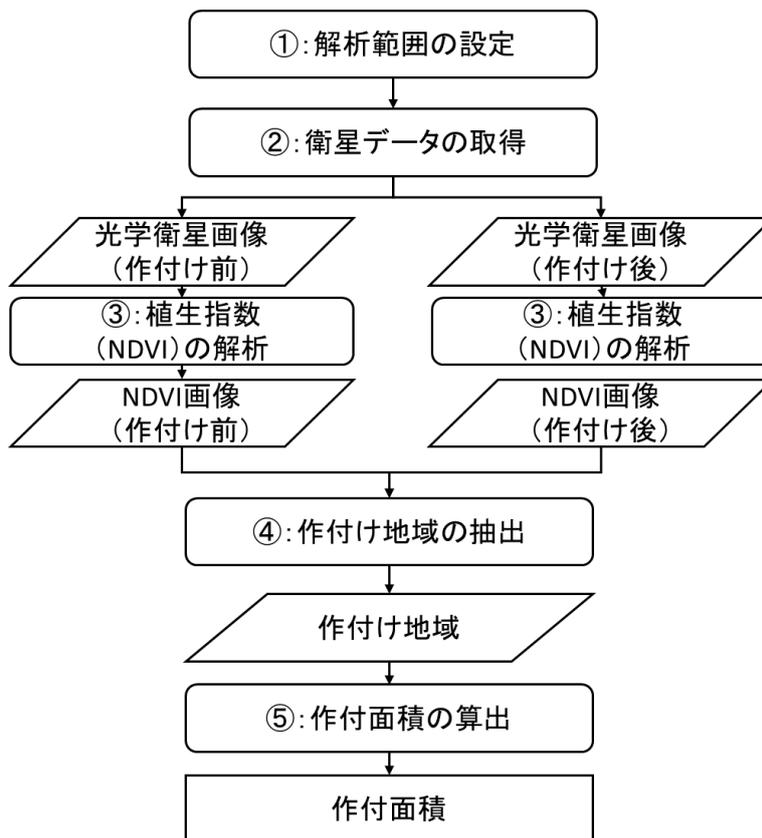


図 3.1.2-1 作付面積の解析手順

(2) 解析事例の紹介(ミャンマー)

図 3.1.2-1 に従い、ミャンマー南部の田畑地帯を解析範囲とし、光学衛星 Sentinel-2 が撮影した 2019 年 6 月～8 月のデータを用いて、灌漑面積の算出を行う。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/d089fc23b435d3e3ed3a5a52a9637e63>

① 解析範囲の設定

図 3.1.2-2 に示す通り、マップの左上にあるジオメトリツールを用いて、解析したい範囲を設定する。解析範囲の設定が完了すると、コードエディタ上に「geometry」という変数が生成される(図 3.1.2-3)⁶。今回は、ポリゴン(多角形)と呼ばれるベクターデータを作成する⁷。

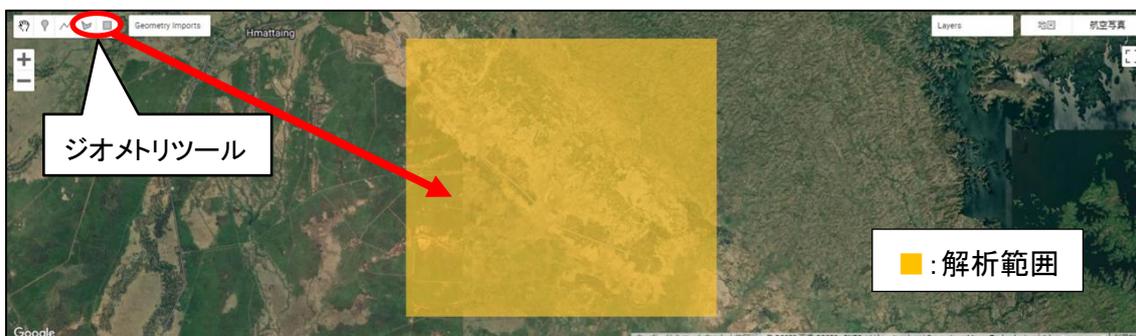


図 3.1.2-2 解析範囲(ポリゴン)



図 3.1.2-3 コードエディタ上に生成された「geometry」変数

⁶ ジオメトリツールの使い方を知りたい方は、[こちら](#)。

⁷ ポリゴンを含むベクターデータを詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

② 衛星データの取得

今回の事例では、作付け前後の土地の状況を把握するため、2 時期の衛星データが必要となる。一般的に、ミャンマーでは、5～10 月に作付け、11～1月に収穫が行われる。そのため、光学衛星 Sentinel-22(分解能:約 10～60m、データ公開期間:2017 年 3 月 28 日～現在)が撮影した 1 月 1 日～3 月 30 日のデータ(作付け前)と 10 月 1 日～10 月 31 日のデータ(作付け後)のうち雲の量が 10%以下かつ日付が一番新しいデータを取得する。

取得方法は、図 3.1.2-4 のスクリプト 18～24 行目の通り。21 行目及び 26 行目にて、衛星データに写る雲の量(被雲率)を 10%以下になるようにフィルターを掛ける。

取得したデータを図 3.1.2-4 の 33～56 行目に示すスクリプトによってマップ上に表示する。スクリプトの実行結果を図 3.1.2-5 及び図 3.1.2-6 に示す。

```

Cropland_Myanmar                               Get Link  Save  Run  Reset  Apps  Settings
14 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
15 // 作業手順2: 光学衛星画像の選定                //
16 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
17
18 var imgs_s2_before = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2_SR')//Sentinel-2の読み込み。
19   .filterDate('2019-01-01', '2019-03-30') //衛星画像の取得期間を設定する。
20   .filterBounds(geometry) //解析範囲が含まれる衛星画像を設定する。
21   .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 10); //衛星画像内の被雲率を設定する。
22
23 var imgs_s2_after = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2_SR')//Sentinel-2の読み込み。
24   .filterDate('2019-10-01', '2019-10-31') //衛星画像の取得期間を設定する。
25   .filterBounds(geometry) //解析範囲が含まれる衛星画像を設定する。
26   .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 10); //衛星画像内の被雲率を設定する。
27
28 // 期間内の最新画像を選定する。
29 var img_before = ee.Image(imgs_s2_before.sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE').first()); //作付け前の衛星画像
30 var img_after = ee.Image(imgs_s2_after.sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE').first()); //作付け後の衛星画像
31
32 // 衛星画像を解析範囲で切り出す。
33 var s2_clip_b = img_before.clip(geometry);
34 var s2_clip_a = img_after.clip(geometry);
35
36 // 解析範囲を地図画面の中央に配置する。
37 Map.centerObject(geometry);
38
39 // 選定した衛星画像を地図画面に追加する。
40 //作付け前の衛星画像
41 Map.addLayer (s2_clip_b, {
42   max: 2000,
43   min: 0.0,
44   gamma: 1.0,
45   bands: ['B4', 'B3', 'B2']}, //B4: 赤バンド、B3: 緑バンド、B2: 青バンド
46   'Image Sentinel Before 2');
47 //min: max:  地図画面に表示する画像の最小値・最大値
48 //bands:[]  地図画面に表示される画像のRGBのバンド割り当てを定義する。
49
50 //作付け後の衛星画像
51 Map.addLayer (s2_clip_a, {
52   max: 2000,
53   min: 0.0,
54   gamma: 1.0,
55   bands: ['B4', 'B3', 'B2']}, //B4: 赤バンド、B3: 緑バンド、B2: 青バンド
56   'Image Sentinel After 2');
57 //min: max:  地図画面に表示する画像の最小値・最大値
58 //bands:[]  地図画面に表示される画像のRGBのバンド割り当てを定義する。
59

```

図 3.1.2-4 衛星データの取得・地図への表示を行うスクリプト

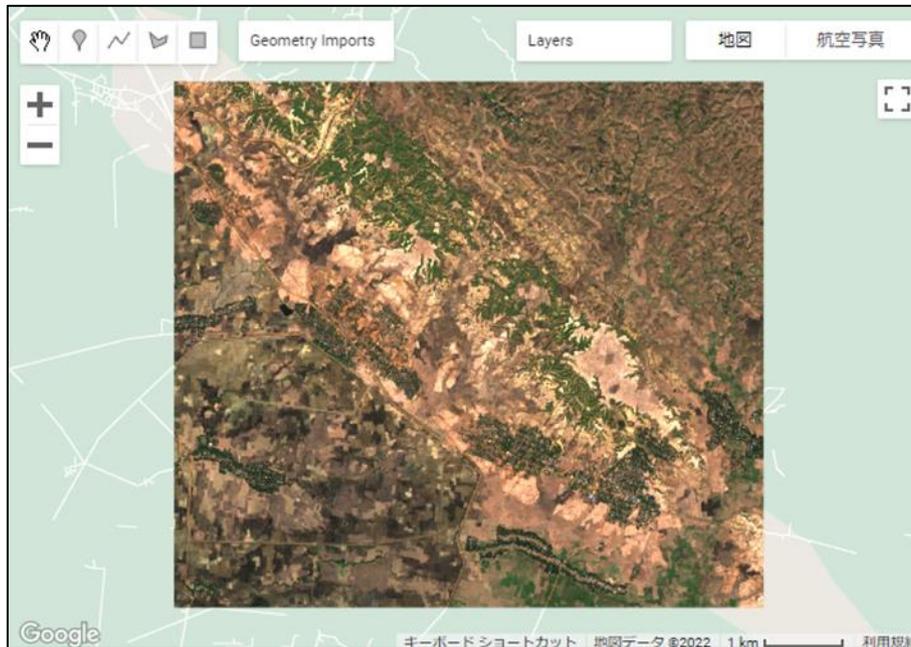


図 3.1.2-5 取得した衛星データ(光学衛星 Sentinel-2、作付け前)

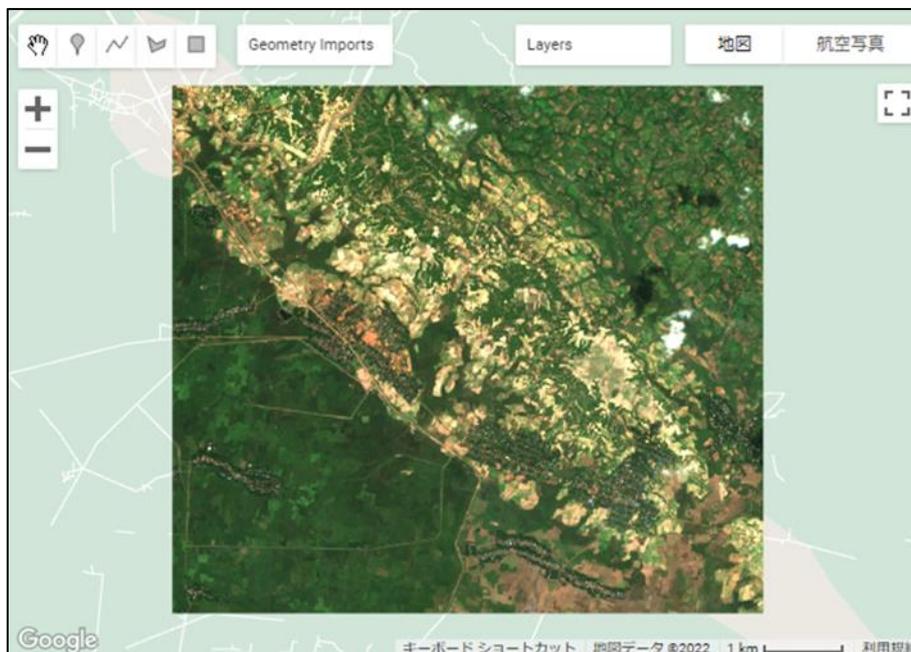


図 3.1.2-6 取得した衛星データ(光学衛星 Sentinel-2、作付け後)

③ NDVI 解析

取得したデータを基に植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) を算出する⁸。

算出方法は、図 3.1.2-7 のスクリプト 74~82 行目の通り。算出したデータを 86~95 行目に示すスクリプトによってマップ上に表示する。スクリプトの実行結果を図 3.1.2-8 及び図 3.1.2-9 に示す。

```
Cropland_Myanmar *
62 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
63 // 作業手順3: NDVI解析 //
64 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
65
66 /*
67  作付け地域の抽出には植生活性度を評価するNDVIを用いた。
68
69  NDVIの計算式を以下に示す。
70  NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)
71 */
72
73 // 作付け前のNDVIの算出
74 var ndvi1 = s2_clip_b.expression('(nir-red)/(nir+red)', {
75   'nir':s2_clip_b.select('B8'),
76   'red':s2_clip_b.select('B4')});
77 //B8: 近赤外、B4:赤バンド
78
79 // 作付け後のNDVIの算出
80 var ndvi2 = s2_clip_a.expression('(nir-red)/(nir+red)', {
81   'nir':s2_clip_a.select('B8'),
82   'red':s2_clip_a.select('B4')});
83 //B8: 近赤外、B4:赤バンド
84
85 //NDVI画像(作付け前)を地図画面に追加する。
86 Map.addLayer(ndvi1,{max:1, min:0, palette:['ff0000','f04000','f07300','f0b700','f0c000',
87 'f0e400','b9f000','a1f000','59f000','19f000']},'Before_NDVI');
88 //min: max:  地図画面に表示する画像の最小値・最大値。NDVIは-1.0~+1.0までの値を持つが
89 //          今回は0.0~ +1.0の範囲で地図画面表示を行っている。
90 //palette:   NDVI画像を表示する際のカラー配列リストを作成。NDVIが最小値に近いほど赤色に表示され、
91 //          最大値に近いほど緑色に表示される。
92
93 //NDVI画像(作付け後)を地図画面に追加する。
94 Map.addLayer(ndvi2,{max:1, min:0, palette:['ff0000','f04000','f07300','f0b700','f0c000',
95 'f0e400','b9f000','a1f000','59f000','19f000']},'After_NDVI');
96 //min: max:  地図画面に表示する画像の最小値・最大値。NDVIは-1.0~+1.0までの値を持つが
97 //          今回は0.0~ +1.0の範囲で地図画面表示を行っている。
98 //palette:   NDVI画像を表示する際のカラー配列リストを作成。NDVIが最小値に近いほど赤色に表示され、
99 //          最大値に近いほど緑色に表示される。
100
```

図 3.1.2-7 NDVI・LSWI の算出・地図への表示を行うスクリプト

⁸ NDVI 及び LSWI について詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

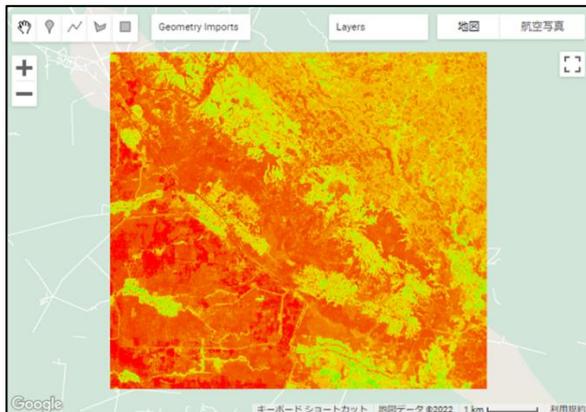


図 3.1.2-8 NDVI 解析結果の表示(作付け前)

※NDVI 値が高い(植生が活発な場所)ほど緑色を表し、NDVI 値が低い(裸地や被雲域)ほど赤色を表す。

※例えば、解析対象範囲全体として赤色を表しているが、これは解析対象範囲全体として裸地であることを示す。

※表示する色については、図 3.1.2-7 の 86~87 行目の「palette」にて自由に設定できる。

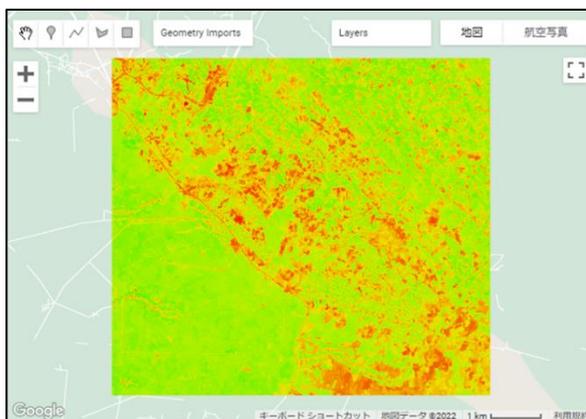


図 3.1.2-9 NDVI 解析結果の表示(作付け後)

※NDVI 値が高い(植生が活発な場所)ほど緑色を表し、NDVI 値が低い(裸地や被雲域)ほど赤色を表す。

※例えば、解析対象範囲全体として緑色を表すが、これは解析対象範囲全体として植生が活発であることを示す。

※表示する色については、図 3.1.2-7 の 94~95 行目の「palette」にて自由に設定できる。

④ 作付け地域の抽出

算出した 2 時期(作付け前と作付け後)の NDVI を組み合わせることで作付け地域の抽出を行う。

抽出方法は図 3.1.2-10 のスクリプト 107~109 行目の通り。今回の事例では、作付け前において NDVI の閾値を 0.45、作付け後においては 0.6 と設定する⁹。

算出したデータを 113、117、121 行目に示すスクリプトによってマップ上に表示する。スクリプトの実行結果を図 3.1.2-11 及び図 3.1.2-12 に示す。

⁹ 閾値の調整方法及び他事例について知りたい方は、[こちら](#)。

```

103 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
104 // 作業手順4：作付け地域の抽出 ( //
105 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
106
107 var before_plantig=ndvi1.gte(0.4); //作付け前のNDVI画像から植生・非植生の二値化を行う。
108 var after_plantig=ndvi2.gte(0.5); //作付け後のNDVI画像から植生・非植生の二値化を行う。
109 var planting =before_plantig.eq(0).and(after_plantig.eq(1));
110 //作付け前は非植生であったが、作付け後は植生に変化した地域を作付け地域として抽出する。
111
112 //作付け前のNDVI地域を地図画面に追加する。
113 Map.addLayer(before_plantig,{max:1, min:0, palette:['FFFFFF','00FF00']},'before_plantig');
114 //植生として抽出された場合は緑色に表示され、非植生として抽出された場合は白色に表示される。
115
116 //作付け後のNDVI地域を地図画面に追加する。
117 Map.addLayer(after_plantig,{max:1, min:0, palette:['FFFFFF','00FF00']},'after_plantig');
118 //植生として抽出された場合は緑色に表示され、非植生として抽出された場合は白色に表示される。
119
120 //作付け地域を地図画面に追加する。
121 Map.addLayer(planting,{max:1, min:0, palette:['FFFFFF','0000FF']},'plantig area');
122 //作付け地域として抽出された場合は青色に表示され、
123 //作付け地域として抽出されなかった場合は白色に表示される。
124

```

図 3.1.2-10 作付け地域の抽出・地図への表示を行うスクリプト

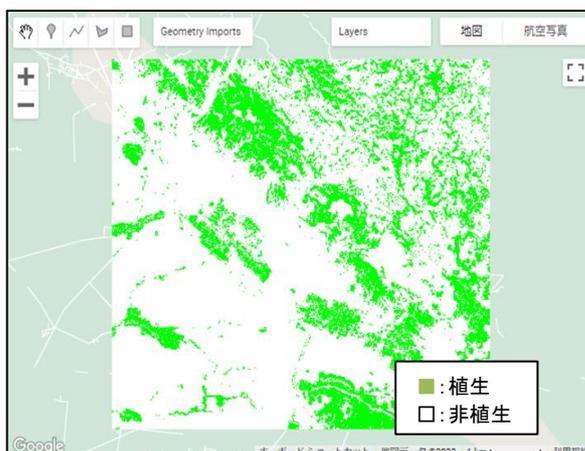


図 3.1.2-11 NDVI 値が 0.45 以上の場所(作付け前)

※NDVI 値が 0.45 以上の場所は緑色を表し、0.45 未満の場所は白色を表す。

※例えば、解析対象範囲全体として緑色と白色の割合が 1:1 の印象を持つ。

※表示する色については、図 3.1.2-10 の 113 行目の「palette」にて自由に設定できる。

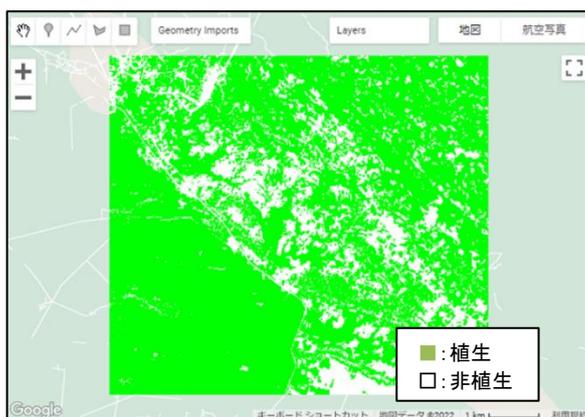


図 3.1.2-12 NDVI 値が 0.6 以上の場所(作付け後)

※NDVI 値が 0.6 以上の場所は緑色を表し、0.6 未満の場所は白色を表す。

※例えば、解析対象範囲全体として緑色割合が非常に多い印象を持つ。

※表示する色については、図 3.1.2-10 の 117 行目の「palette」にて自由に設定できる。

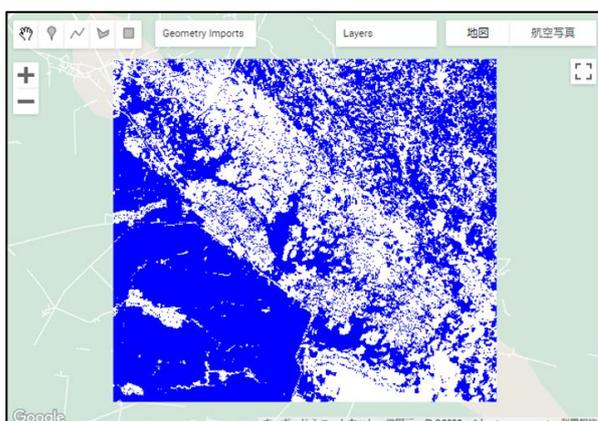


図 3.1.2-13 作付け地域の抽出結果の表示

※図 3.1.2-11 では白色で表されていたものの、図 3.1.2-12 では緑色として表された場所を、青色で示している。

※例えば、解析対象範囲全体として青色となった場所が非常に多い。

※表示する色については、図 3.1.2-10 の 121 行目の「palette」にて自由に設定できる。

⑤ 作付面積の算出

解析対象範囲の作付面積(図 3.1.2-13 にて青色で表示された場所の総面積)を算出する。

算出方法は図 3.1.2-14 のスクリプト 131~141 行目の通り。算出した作付面積(m²)を 144 行目に示すスクリプトによってコンソール画面に表示する(図 3.1.2-15 の赤枠部分)。

```

Cropland_Myanmar *
127 ///////////////////////////////////////////////////
128 // 作業手順5: 作付け面積の算出 (単位m2) //
129 ///////////////////////////////////////////////////
130
131 var areaImage = ee.Image.pixelArea().addBands(planting);
132 var areas = areaImage.reduceRegion({
133   reducer: ee.Reducer.sum().group({
134     groupField: 1,
135     groupName: 'planting_area',
136   }),
137   geometry: planting.geometry(),
138   scale: 10, //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位:m)
139   maxPixels: 1e13,
140   tileScale: 1
141 });
142
143 //作付け面積の表示
144 print(areas, 'planting_area');
  
```

図 3.1.2-14 作付面積の算出スクリプト

```

Inspector Console Tasks
Use print(...) to write to this console.

Object (1 property) JSON
  groups: List (2 elements)
    0: Object (2 properties)
      planting_area: 0
      sum: 22683125.078374974
    1: Object (2 properties)
      planting_area: 1
      sum: 28763341.567166645
planting_area JSON
  
```

図 3.1.2-15 作付面積の計算結果(単位:m²)

⑦ Google Drive へのエクスポート(参考)

抽出した作付け地域を画像データとして Google Drive へエクスポートすることで、報告書への添付や統計ソフトでの追加的な解析が可能となる。算出方法は図 3.1.2-16 のスクリプト 147～151 行目の通り。

```
146 //作付け地域の出力
147 Export.image.toDrive({
148   image: planting,
149   description: 'PlantingArea_Sentinel2_10m',
150   scale: 10, //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位:m)
151   region: geometry});
152
```

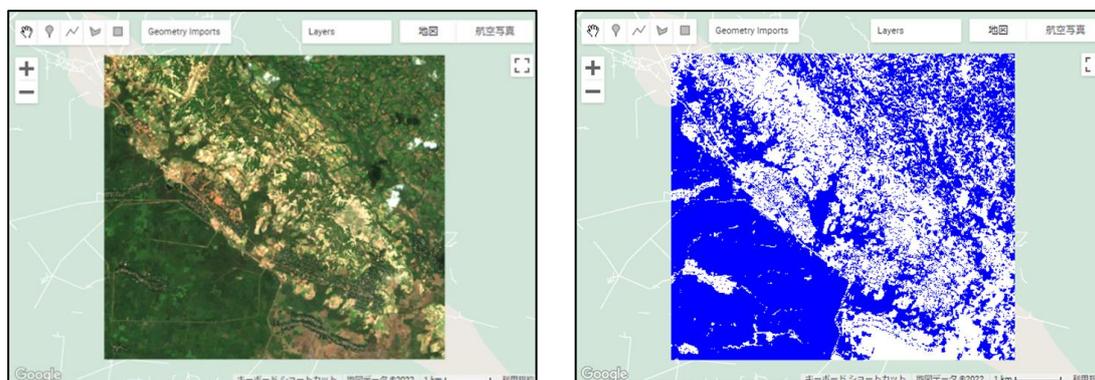
図 3.1.2-16 抽出した作付け地域を画像データとしてエクスポートするスクリプト

(3) 解析・結果に関する留意点

今回の事例から、作付け地域の抽出にあたり、以下 3 点について留意する必要があることが分かる。

① 位置情報(GPS データ)の重要性

今回の事例において使用した衛星画像(図 3.1.2-17 左図)と抽出した作付け地域(図 3.1.2-17 右図)を比較すると、左画像では緑色として表示されており作付け地域として考えられるような場所でも、右画像においては作付け地域として抽出されておらず、解析の不確実性が垣間見える。



取得した衛星データ
(光学衛星 Sentinel-2、作付け後)

抽出した作付け地域

図 3.1.2-17 衛星画像と作付け地域抽出結果の比較

これは、抽出する作付け面積、更には算出する作付け面積を過大もしくは過少に見積もっている可能性を示唆している。より正確な作付け地域を抽出、作付け面積を算出したい場合には、解析したい田畑の位置情報(GPS データ)を取得し、解析に取り入れる必要がある。

② 衛星データの取得時期

今回の事例では光学衛星 Sentinel-2 が撮影した 1 月 1 日～3 月 30 日のデータ(作付け前)と 10 月 1 日～10 月 31 日のデータ(作付け後)を利用したものの、解析対象とする国や地域によって気候や栽培歴は異なるため、衛星データの取得時期は個々の事例で注意して検討する必要がある。

③ NDVI¹⁰の閾値の調整・設定

今回の事例では、NDVI 値について作付け前を 0.45 以上、作付け後を 0.61 以上となる場所を作付け面積として抽出したものの、それぞれの閾値は衛星データの取得時期と同様、気候や栽培歴などに影響されるため、解析対象ごとで適切に調整する必要がある¹¹。

(4) 参考文献

- 李 海蘭, 近藤 昭彦, 沈 彦俊, 2011, 作付け前後の衛星リモートセンシングによる中国三江平原の水田面積の経年変化に関する研究, 水文・水資源学会誌, 2011, p.328-336
- 岡本 勝男, 小野 公大, 土井 佑也. 2015, 2 時期の Landsat データから算出した水指数と植生指数の変化を用いた 2002 年青森県水田の検出と水稲作付面積推定. システム農学(J.JASS), 2015, 31(4):109-116
- 大澤 一雅, 國井 大輔, 齋藤 元也, 2010, 多時期 ASTER 画像による宮城県大崎地域での農地の作付け分類, システム農学, 26 巻 (2010) 2 号, p.67-67,
- 小川 茂男. 2007. 衛星データを用いたインフラ整備・農地管理・土地利用の調査. システム農学, 23 巻(2007)2 号, p.111-118,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jass/23/2/23_111/_article/-char/ja

¹⁰ NDVI 及び LSWI について詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

¹¹ 閾値の調整方法及び他事例について知りたい方は、[こちら](#)。

3.1.3 開墾面積

3.1.3.1 土地被覆分類による開墾面積の算出

(1) 解析の全体像と手順

開墾面積の算出にあたり、①解析範囲の設定、②衛星データ(2 時期)の取得、③教師データの読み込み、④機械学習を用いた土地被覆分類図の作成が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.1.3-1 の通り。

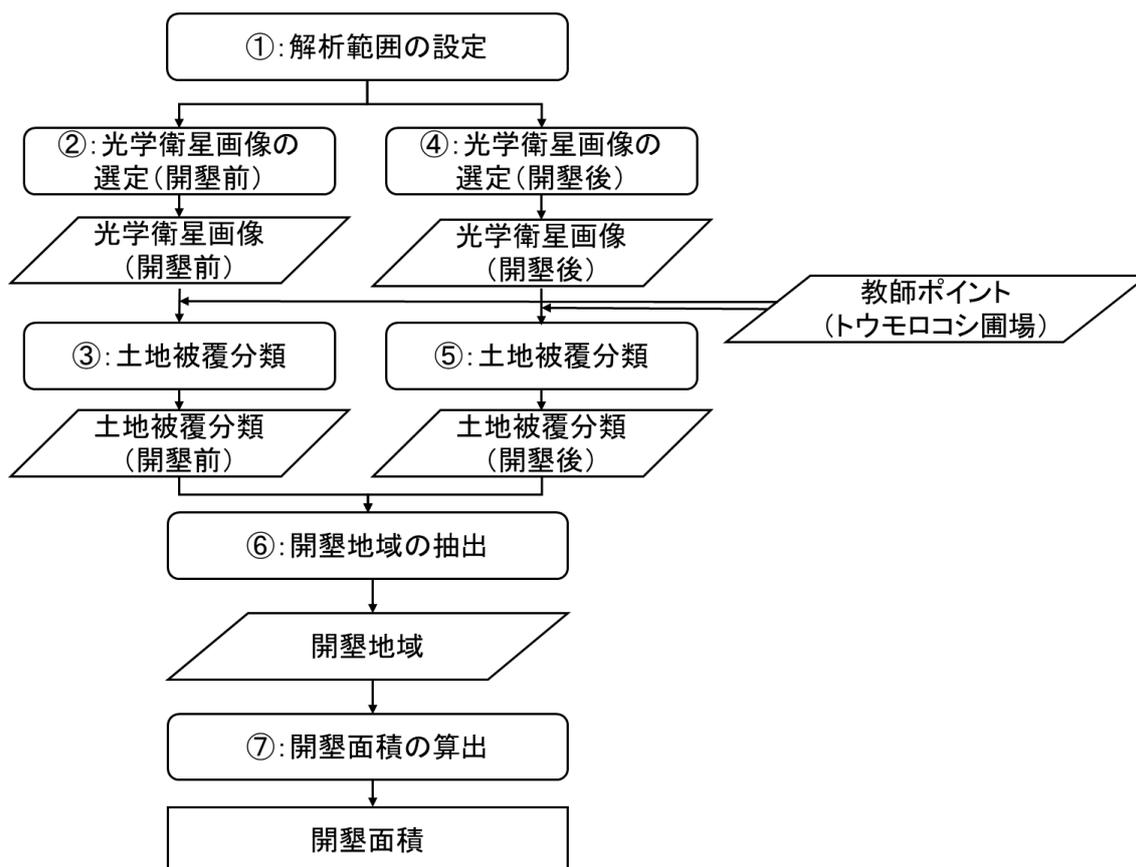


図 3.1.3-1 開墾面積の算出フロー

(2) 解析事例の紹介(ナイジェリア)

図 3.1.3-1 で示した解析手順に従い、ナイジェリア中部を解析範囲とし、光学衛星 Sentinel-2(分解能:約 10~60m、データ公開期間:2017 年 3 月 28 日~現在)が撮影した 2017 年 6 月~10 月(開墾前)及び 2020 年 6 月~10 月(開墾後)の 2 時期データを用いて、トウモロコシ圃場を対象とした開墾面積の算出を行う。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/ce41e12bd3e32b884416ffd466ca5dd2>

① 解析範囲の設定

図 3.1.3-2 に示す通り、マップの左上にあるジオメトリツールを用いて、解析したい範囲を設定する。解析範囲の設定が完了すると、コードエディタ上に「geometry」という変数が生成される(図 3.1.3-3)¹²。今回は、ポリゴン(多角形)と呼ばれるベクターデータを作成する¹³。

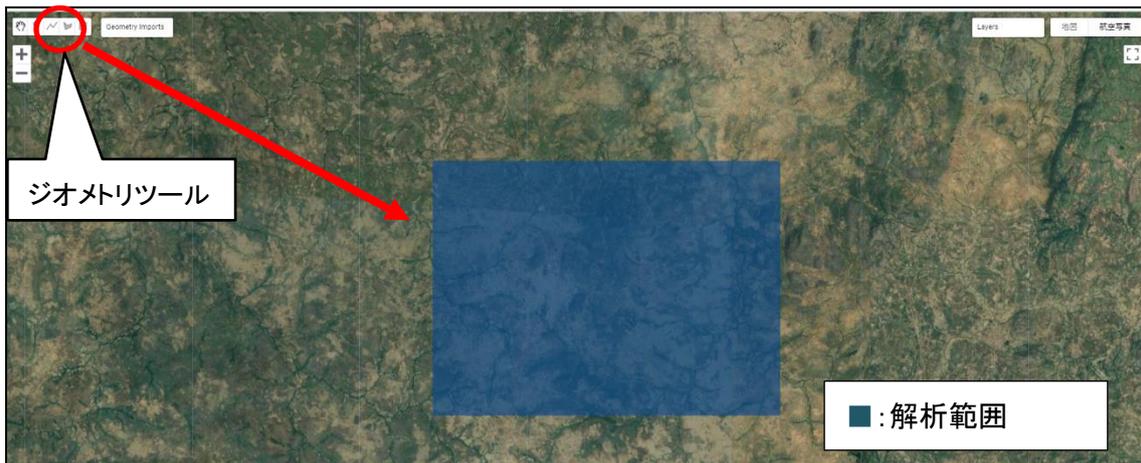


図 3.1.3-2 解析範囲(ポリゴン)

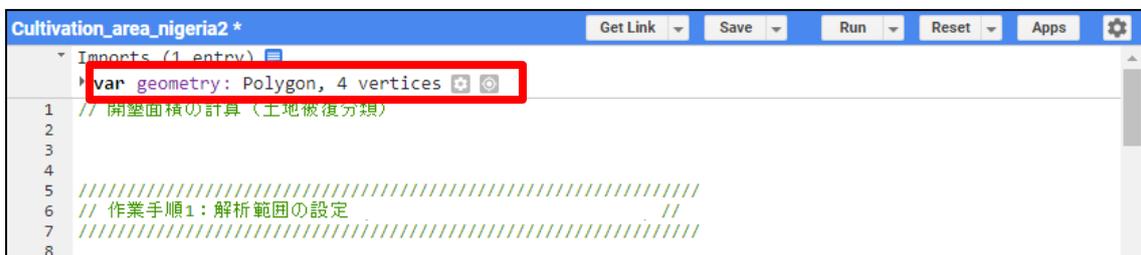


図 3.1.3-3 コードエディタ上に生成された「geometry」変数

¹² ジオメトリツールの使い方を知りたい方は、[こちら](#)。

¹³ ポリゴンを含むベクターデータを詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

② 衛星データの取得(開墾前)

開墾前の画像を選定するため、今回の事例では、光学衛星 Sentinel-2 が撮影した 2017 年 6 月 15 日～10 月 15 日のデータを取得する。

取得方法は図 3.1.3-4 のスクリプト 21～39 行目の通り。衛星、期間、解析範囲をそれぞれ 21～22 行目、25～26 行目、29～31 行目で指定し、34～39 行目において条件に適合する画像を取得する。



```
16  ////////////////////////////////////////////
17  // 作業手順2: 光学衛星画像の選定 (開墾前) //
18  ////////////////////////////////////////////
19
20  //開墾前の光学衛星画像の選定
21  var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2'); //Sentinel-2の読み込み。
22  var s2c = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY'); //Sentinel-2の被雲箇所の読み込み。
23
24  // 使用する衛星画像の期間を指定
25  var start = ee.Date('2017-06-15');
26  var end = ee.Date('2017-10-15');
27
28  // 解析範囲の読み込み
29  var aoi = ee.FeatureCollection(
30    |-'projects/earthengine-community/tutorials/classify-maizeland-ng/aoi');
31  Map.centerObject(geometry);
32
33  // 解析範囲と解析期間の設定
34  function filterBoundsDate(imgCol, aoi, start, end) {
35    return imgCol.filterBounds(aoi).filterDate(start, end);
36  }
37
38  s2 = filterBoundsDate(s2, aoi, start, end);
39  s2c = filterBoundsDate(s2c, aoi, start, end);
40
```

図 3.1.3-4 光学衛星画像の選定(開墾前)スクリプト

この際、画像中の被雲箇所は後工程の土地被覆分類において誤分類の要因となるため、削除を行う。光学衛星 Sentinel-2 では解析された被雲箇所が画像と共に公開されているため、これを用いる。

被雲箇所の読み込みは、画像の取得と共に図 3.1.3-4 のスクリプト 22、39 行目にて行う。取得した被雲箇所の画像からの削除方法は図 3.1.3-5 のスクリプト 42～83 行目の通り。

```

40
41 // 被雲箇所の削除
42 function indexJoin(colA, colB, propName) {
43   var joined = ee.ImageCollection(ee.Join.saveFirst(propName).apply({
44     primary: colA,
45     secondary: colB,
46     condition: ee.Filter.equals(
47       {leftField: 'system:index', rightField: 'system:index'})
48   }));
49
50   return joined.map(function(image) {
51     return image.addBands(ee.Image(image.get(propName)));
52   });
53 }
54
55 function buildMaskFunction(cloudProb) {
56   return function(img) {
57     var cloud = img.select('probability').gt(ee.Image(cloudProb));
58     return img.updateMask(cloud.not());
59   };
60 }
61
62 }
63
64 var withCloudProbability = indexJoin(s2, s2c, 'cloud_probability');
65
66 var maskClouds = buildMaskFunction(50);
67 var s2Masked = ee.ImageCollection(withCloudProbability.map(maskClouds))
68   .select(ee.List.sequence(0, 12));
69
70 var median = s2Masked.median();
71
72 var difFromMedian = s2Masked.map(function(img) {
73   var dif = ee.Image(img).subtract(median).pow(ee.Image.constant(2));
74   return dif.reduce(ee.Reducer.sum()).addBands(img).copyProperties(img, [
75     'system:time_start'
76   ]);
77 });
78
79 var bandNames = difFromMedian.first().bandNames();
80 var bandPositions = ee.List.sequence(1, bandNames.length().subtract(1));
81 var mosaic = difFromMedian.reduce(ee.Reducer.min(bandNames.length()))
82   .select(bandPositions, bandNames.slice(1))
83   .clipToCollection(aoi);
84

```

図 3.1.3-5 被雲箇所の削除(開墾前)スクリプト

③ 土地被覆分類図の作成(開墾前)

取得したデータを基に土地被覆分類図を作成する。土地被覆分類の手法は 2 つに大別され、教師データ(学習用の正解データ)を用いる教師付き分類と教師データを用いない教師無し分類がある。教師付き分類は教師データに精度が依存するものの、あらかじめ定められたカテゴリー(土地分類)に画像を分類するのに適している。一方、教師無し分類は統計的手法により画像の分類を行うため、分類結果を実際のカテゴリーと対応づける必要がある。

今回の事例では、教師付き分類を行うため教師データを作成する。

教師データの作成方法は、参考文献より引用する方法、ジオメトリツールを用いて目視で作成する方法、現地調査を行って GPS データを取得する方法の 3 つに大別される。今回の事例では、解析対象範囲内において 2017 年のトウモロコシ圃場位置データが GEE のコミュニティサイト¹⁴で公開されているため、これを教師データとして用いる。

作成方法は図 3.1.3-6 のスクリプト 96~97 行目に示す通り。作成した教師データを 100 行

¹⁴ Google Earth Engine Community ウェブサイト
(<https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/community/write>)

教師付き分類には様々な手法があるが、今回の事例では、機械学習¹⁵の解析手法の一つである、CART と呼ばれる決定木分析を採用する。決定木分析は樹木状の構造にルールを定め学習を行う解析手法であるため、ニューラルネットワークを用いる一般的な機械学習に比べ、その構造を解釈することが容易である。

分析方法は図 3.1.3-8 のスクリプト 109~122 行目の通り。算出したデータを 125~127 行目に示すスクリプトによってマップ上に表示する。スクリプトの実行結果を図 3.1.3-9 に示す。

```
102 //開墾前の土地被覆分類
103 // 土地被覆分類に使用するバンドの選択
104 var bands = [
105   'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B8A', 'B9', 'B10', 'B11', 'B12'];
106 var imageCl = mosaic.select(bands);
107
108 // 教師ポイントを準備して分類アルゴリズム (CART) に学習と分類を実施。
109 var training = imageCl
110   .sampleRegions({
111     collection: trainingPts,
112     properties: ['class'],
113     scale: 30,
114     tileScale: 8
115   })
116   .filter(ee.Filter.neq(
117     'B1', null));
118
119 var trainedCart = ee.Classifier.smileCart().train(
120   {features: training, classProperty: 'class', inputProperties: bands});
121
122 var classifiedCart = imageCl.select(bands).classify(trainedCart);
123
124 //分類結果の地図画面表示
125 var classVis = {min: 0, max: 1, palette: ['f2c649', '484848']};
126 var classifiedCart_clip= classifiedCart.clip(geometry);
127 Map.addLayer(classifiedCart_clip.clipToCollection(aoi), classVis, 'Befor_Cultivation_area');
128
```

図 3.1.3-8 土地被覆分類(開墾前)スクリプト

¹⁵ 機械学習とは、データを分類する方法の1つで、教師ポイントから画像の特徴を自動で学習し、教師ポイントに類似する画像データを分類する方法である。

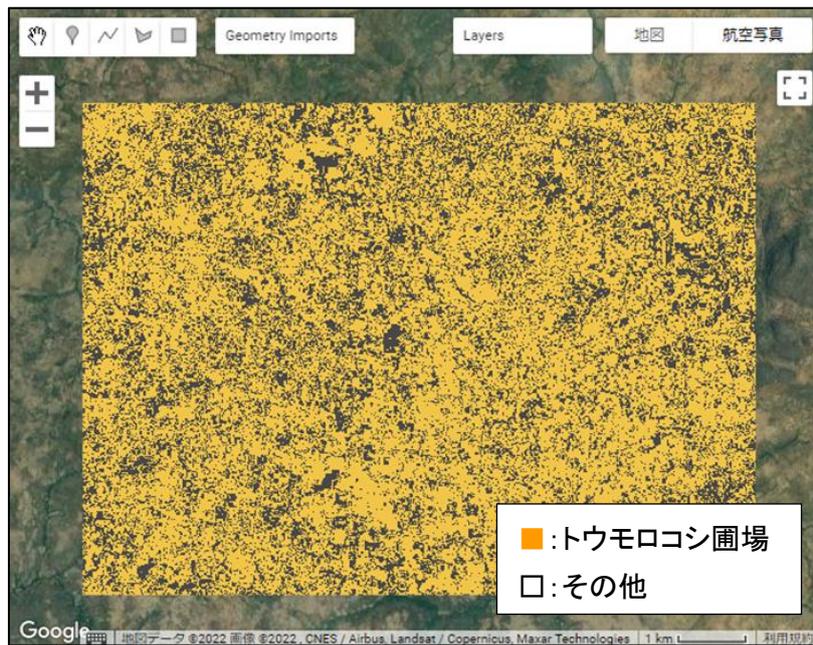
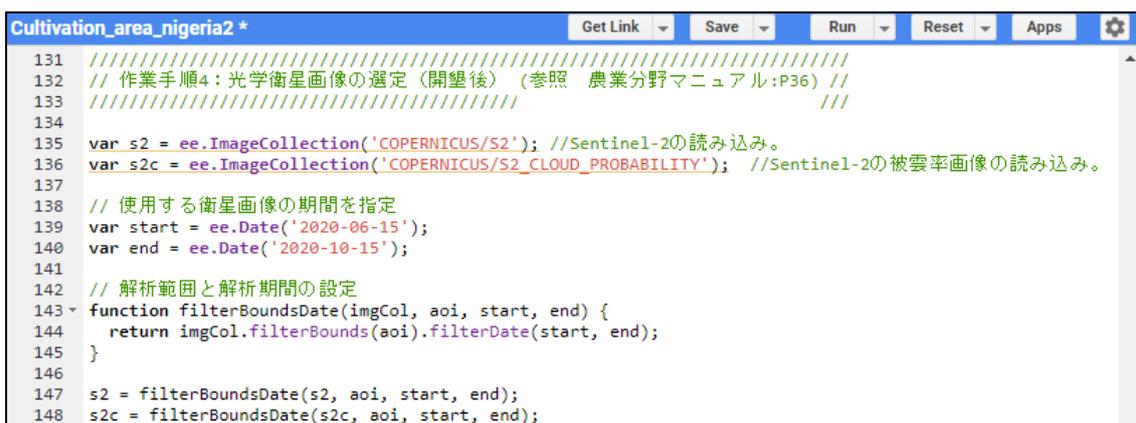


図 3.1.3-9 開墾前の土地被覆分類結果

④ 衛星データの取得(開墾後)

開墾後の画像を選定するため、開墾前と同じく光学衛星 Sentinel-2 が撮影した画像を、開墾前画像の取得時期から3年後の2020年6月15日～10月15日において取得する。

取得方法は図 3.1.3-10 のスクリプト 135～148 行目の通り。衛星、期間をそれぞれ 135～136 行目、139～140 行目で指定し、143～148 行目において条件に適合する画像を取得する。



```
Cultivation_area_nigeria2 *
131 //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
132 // 作業手順4: 光学衛星画像の選定 (開墾後) (参照 農業分野マニュアル:P36) //
133 //////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
134
135 var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2'); //Sentinel-2の読み込み。
136 var s2c = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY'); //Sentinel-2の被雲率画像の読み込み。
137
138 // 使用する衛星画像の期間を指定
139 var start = ee.Date('2020-06-15');
140 var end = ee.Date('2020-10-15');
141
142 // 解析範囲と解析期間の設定
143 function filterBoundsDate(imgCol, aoi, start, end) {
144   return imgCol.filterBounds(aoi).filterDate(start, end);
145 }
146
147 s2 = filterBoundsDate(s2, aoi, start, end);
148 s2c = filterBoundsDate(s2c, aoi, start, end);
```

図 3.1.3-10 衛星画像の選定(開墾後)スクリプト

この際、開墾前画像の処理と同様に、画像中の被雲箇所は後工程の土地被覆分類において誤分類の要因となるため、削除を行う。

被雲箇所の読み込みは、画像の取得と共に図 3.1.3-10 のスクリプト 22、39 行目にて行う。取得した被雲箇所の画像からの削除方法は、図 3.1.3-11 のスクリプト 42～83 行目の通り。

```

150 // 被雲箇所の削除
151 function indexJoin(colA, colB, propName) {
152   var joined = ee.ImageCollection(ee.Join.saveFirst(propName).apply({
153     primary: colA,
154     secondary: colB,
155     condition: ee.Filter.equals(
156       {leftField: 'system:index', rightField: 'system:index'})
157   }));
158
159   return joined.map(function(image) {
160     return image.addBands(ee.Image(image.get(propName)));
161   });
162 }
163
164 function buildMaskFunction(cloudProb) {
165   return function(img) {
166
167     var cloud = img.select('probability').gt(ee.Image(cloudProb));
168
169     return img.updateMask(cloud.not());
170   };
171 }
172
173
174 var withCloudProbability = indexJoin(s2, s2c, 'cloud_probability');
175
176 var maskClouds = buildMaskFunction(50);
177 var s2Masked = ee.ImageCollection(withCloudProbability.map(maskClouds))
178   .select(ee.List.sequence(0, 12));
179
180 var median = s2Masked.median();
181
182 var difFromMedian = s2Masked.map(function(img) {
183   var dif = ee.Image(img).subtract(median).pow(ee.Image.constant(2));
184   return dif.reduce(ee.Reducer.sum()).addBands(img).copyProperties(img, [
185     'system:time_start'
186   ]);
187 });
188
189 var bandNames = difFromMedian.first().bandNames();
190 var bandPositions = ee.List.sequence(1, bandNames.length().subtract(1));
191 var mosaic = difFromMedian.reduce(ee.Reducer.min(bandNames.length()))
192   .select(bandPositions, bandNames.slice(1))
193   .clipToCollection(aoi);
194

```

図 3.1.3-11 被雲箇所の削除(開墾後)スクリプト

⑤ 土地被覆分類図の作成(開墾後)

「③ 土地被覆分類(開墾前)」と同様の解析手法により、開墾後の土地被覆分類図を作成する。

教師データには、使用画像の撮影時期と同時期に取得されたデータを用いることが望ましいが、今回の事例では、適当なデータが入手できないため開墾前画像の解析時と同様の教師データを使用する。

使用バンドの指定方法は図 3.1.3-12 のスクリプト 202~204 行目の通り。解析精度を重視し、全てのバンドを使用している。機械学習(CART)による分類方法は、図 3.1.3-12 のスクリプト 207~220 行目の通り。算出したデータを 223~225 行目に示すスクリプトによりマップ上に表示する。スクリプトの実行結果を図 3.1.3-13 に示す。

```

Cultivation_area_nigeria2 *
197 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
198 // 作業手順5: 土地被覆分類 (開墾後) //
199 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
200
201 // 分類に使用するバンドの選択
202 var bands = [
203   'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B8A', 'B9', 'B10', 'B11', 'B12'];
204 var imageCl = mosaic.select(bands);
205
206 // 教師ポイントを準備して分類アルゴリズム (CART) に学習と分類を実施。
207 var training = imageCl
208   .sampleRegions({
209     collection: trainingPts,
210     properties: ['class'],
211     scale: 30,
212     tileScale: 8
213   })
214   .filter(ee.Filter.neq(
215     'B1', null));
216
217 var trainedCart_2 = ee.Classifier.smileCart().train(
218   {features: training, classProperty: 'class', inputProperties: bands});
219
220 var classifiedCart_2 = imageCl.select(bands).classify(trainedCart);
221
222 //分類結果の地図画面表示
223 var classVis = {min: 0, max: 1, palette: ['f2c649', '484848']};
224 var classifiedCart_2_clip = classifiedCart_2.clip(geometry); //解析範囲で切り抜き
225 Map.addLayer(classifiedCart_2_clip.clipToCollection(aoi), classVis, 'After_Cultivation_area');
226

```

図 3.1.3-12 土地被覆分類(開墾後)スクリプト

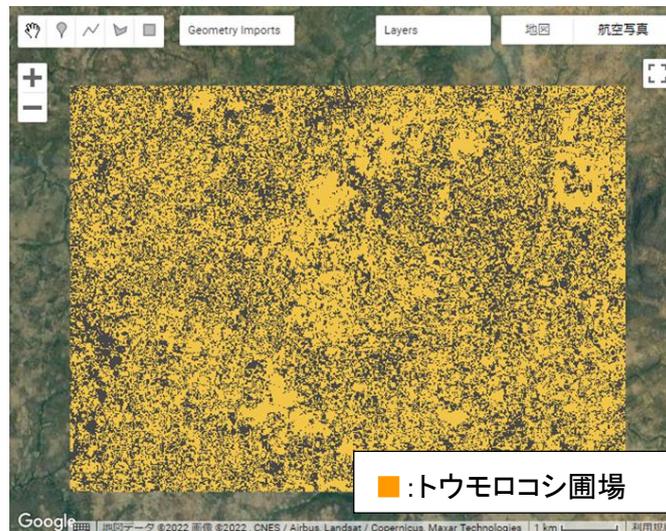


図 3.1.3-13 開墾後の土地被覆分類イメージ

⑥ 開墾地域の抽出

作成した2時期(開墾前と開墾後)の土地被覆分類図を用いて開墾地域の抽出を行う。

抽出方法は図 3.1.3-14 のスクリプト 234 行目の通り。開墾前の数値が 0.5 より小さく、かつ開墾後の数値が 0.5 より大きくなっている範囲を開墾地域とする。236~237 行目に示すスクリプトにより、解析範囲での切り抜きとマップ上への表示を行う。スクリプトの実行結果を図 3.1.3-15 に示す。

```
Cultivation_area_nigeria2 *
229 ////////////////////////////////////////////////////
230 // 作業手順6：開墾地域の抽出 //
231 ////////////////////////////////////////////////////
232
233 //開墾地域として抽出された場合は橙色、被開墾地域として抽出された場合は白色に表示される。
234 var cultivation_area = classifiedCart.lt(0.5).and(classifiedCart_2.gt(0.5))
235
236 var cul_area_clip= cultivation_area.clip(geometry); //解析範囲で切り抜き
237 Map.addLayer(cul_area_clip, {max:1, min:0, palette:['FFFFFF','b35900']}, 'Cultivation_area');
238
239
```

図 3.1.3-14 開墾地域の抽出スクリプト

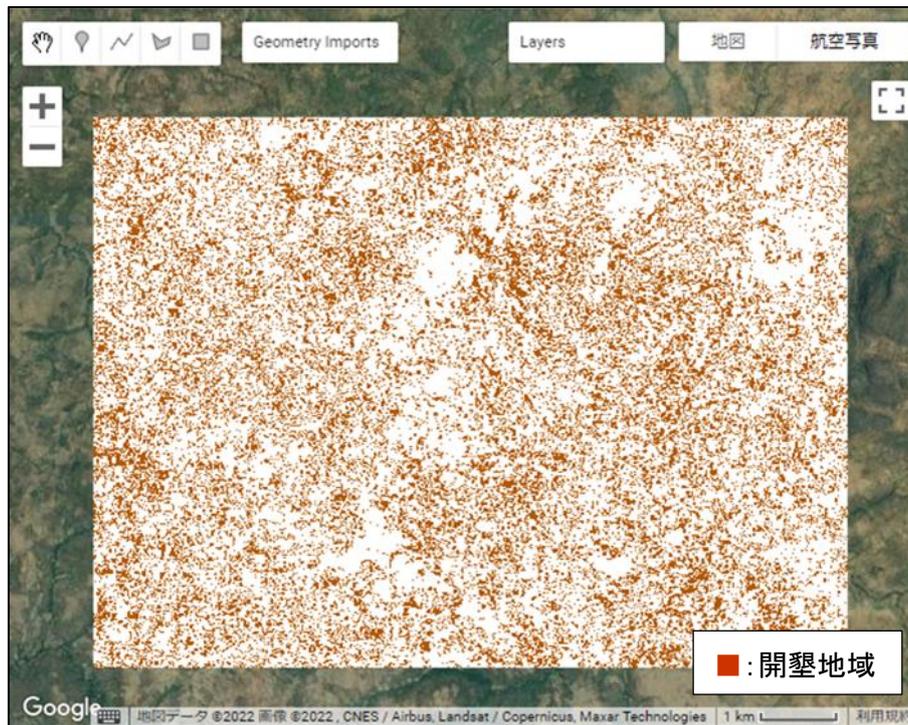


図 3.1.3-15 開墾地域の抽出イメージ

⑦ 開墾面積の算出

抽出した開墾地域の面積を算出する。

算出方法は図 3.1.3-16 のスクリプト 244～254 行目の通り。算出した開墾面積を 256 行目スクリプトによってコンソール画面に表示する(図 3.1.3-17 の赤枠部分)。



```
Cultivation_area_nigeria2 *
240 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
241 // 作業手順7: 開墾面積の算出 (単位m2) //
242 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
243
244 var areaImage = ee.Image.pixelArea().addBands(cul_area_clip);
245 var areas = areaImage.reduceRegion({
246   reducer: ee.Reducer.sum().group({
247     groupField: 1,
248     groupName: 'cultivation_area',
249   }),
250   geometry: cul_area_clip.geometry(),
251   scale: 10, //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位:m)
252   maxPixels: 1e13,
253   tileScale: 1
254 });
255
256 print(areas, 'Cultivation_area');
```

図 3.1.3-16 開墾面積の算出スクリプト

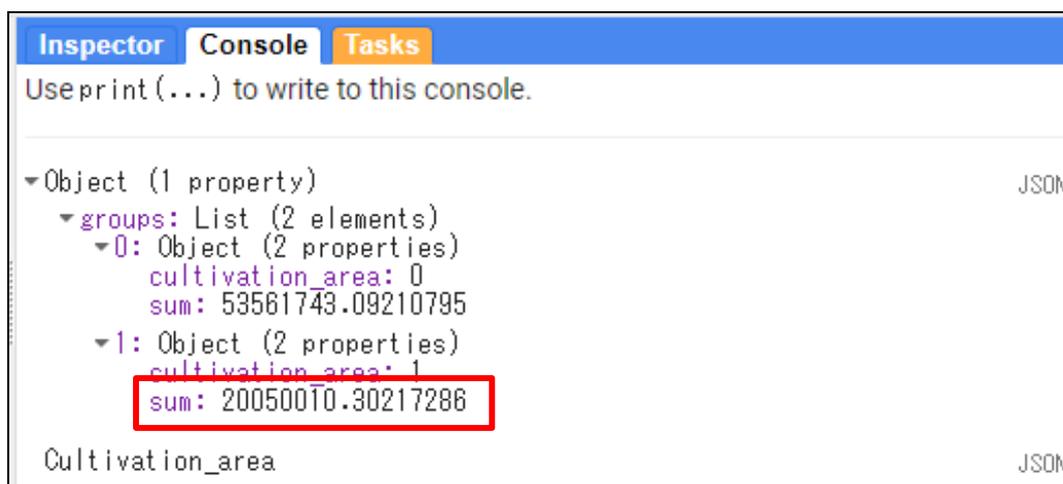


図 3.1.3-17 開墾面積の算出結果イメージ(単位:㎡)

⑧ Google Drive への書き出し（参考）

抽出した開墾地域は画像データとして Google Drive へ書き出す(エクスポート)ことで、報告書への添付や統計ソフトでの追加的な解析が可能となる。

算出方法は図 3.1.3-18 のスクリプト 269～263 行目の通り。

```
258 // 開墾マップの出力
259 Export.image.toDrive({
260   image: cul_area_clip,
261   description: 'Cultivation_Sentinel2_10m',
262   scale: 10, //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位:m)
263   region:cul_area_clip.geometry()});
```

図 3.1.3-18 抽出した開墾地域を画像データとしてエクスポートするスクリプト

(3) 解析・結果に関する留意点

今回の事例から、環境モニタリング数値の算出にあたり、以下 2 点について留意する必要があることが分かる。

① 教師データの事前準備

本手法では、衛星画像を用いて土地被覆分類を行い、農地(トウモロコシが作付けされた地域)と農地以外の土地被覆に分類している。二時期の光学衛星を用いることで開墾前の衛星画像では農地以外であったが、開墾後に農地に変化した地域を開墾地域として抽出し、開墾面積を計算している。

土地被覆分類を実施する際、開墾前後の農地と特定できる位置(教師ポイント)が必要となる。よって、解析時期に合わせた教師データを他の GIS ソフトウェア等を利用して用意する必要がある。

② 処理容量を考慮した対象地域の設定

設定する開墾地域の面積によっては GEE の計算容量を超えるため面積計算の結果がエラーとして表示される場合がある(図 3.1.3-19)。設定する開墾地域は GEE 上で処理可能な 80MiB 以下に設定する必要がある。

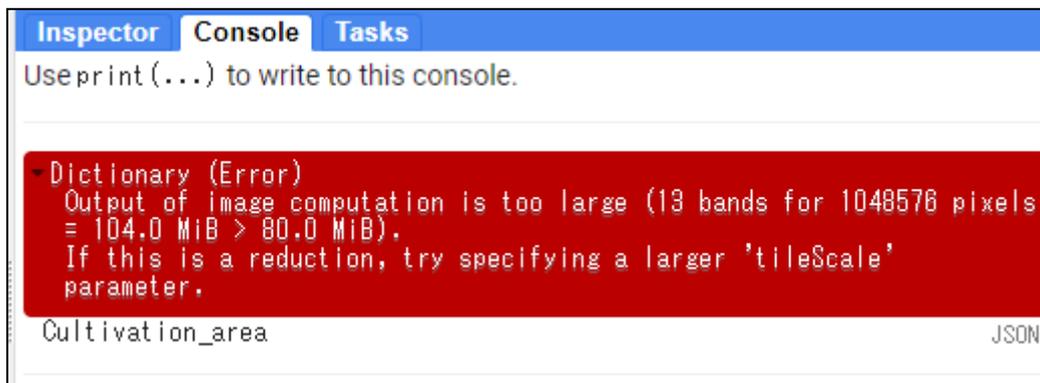


図 3.1.3-19 開墾面積の計算エラー画面

(4) 参考文献

- 国土技術政策総合研究所 衛星データ利用マニュアル
<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/eiseireport/no2/1-8.pdf>
- PjNation, 2020, Rapid Classification of Croplands, Google earth engine Community site
<https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/community/classify-maizeland-ng>
- Lucrêncio S. Macarrigue et al., 2022, Developments in Land Use and Land Cover Classification Techniques in Remote Sensing: A Review, Journal of Geographic Information System, Vol.14
- John A. Richards, 1986, Supervised Classification Techniques, Remote Sensing Digital Image Analysis, PP173-189
- Roger J. Lewis, 2000, An Introduction to Classification and Regression Tree (CART) Analysis, In Proceedings of the Annual Meeting of the Society for Academic Emergency Medicine, San Francisco, Vol.14
- Google Earth Engine Community ウェブサイト
<https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/community/write>

3.1.3.2 目視判読による開墾面積の算出

「3.1.3.1 土地被覆分類による開墾面積の算出」では画像解析により開墾面積を算出する手法を確認したが、本項では、目視確認による手作業で開墾面積を算出する手法を確認する。

本手法は手作業であるため、広範囲を対象とする場合には適さないものの、現地の作物の栽培状況が把握できない場合であっても、衛星画像上の圃場の形状から開墾面積が算出できるという利点がある。

(1) 解析の全体像と手順

開墾面積の算出にあたり、①光学衛星画像の取得、②光学衛星画像の表示、③目視による開墾地域の入力、④開墾面積の算出が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.1.3-20 の通り。

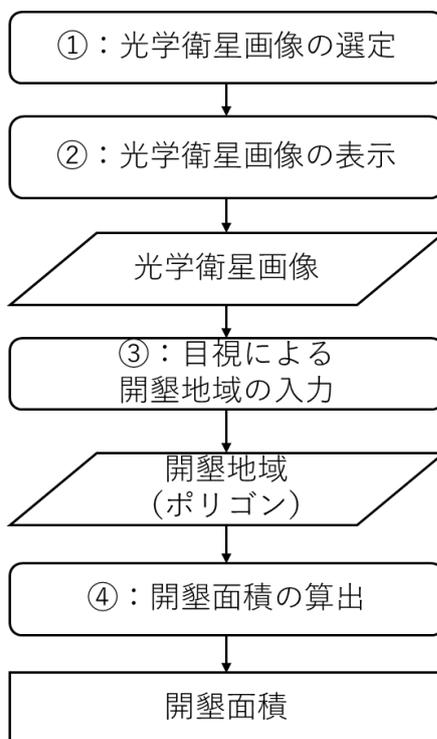


図 3.1.3-20 開墾面積の算出フロー

(2) 解析事例の紹介(愛知県)

図 3.1.3-20 で示した解析手順に従い、愛知県西部を解析範囲とし、光学衛星 Sentinel-2 が撮影した 2021 年 5 月～9 月のデータを用いて開墾面積の算出を行う。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/a037f8f9741229e90d629185752b326f>

① 光学衛星画像の選定

今回の事例では、光学衛星 Sentinel-2 が撮影した 2021 年 5 月～9 月のデータのうち雲の量が 10%以下かつ日付が一番新しいデータを取得する。

取得方法は、図 3.1.3-21 のスクリプト 8～13 行目の通り。10 行目にて、衛星データに写る雲の量(被雲率)が 10%以下になるようにフィルターを掛ける。

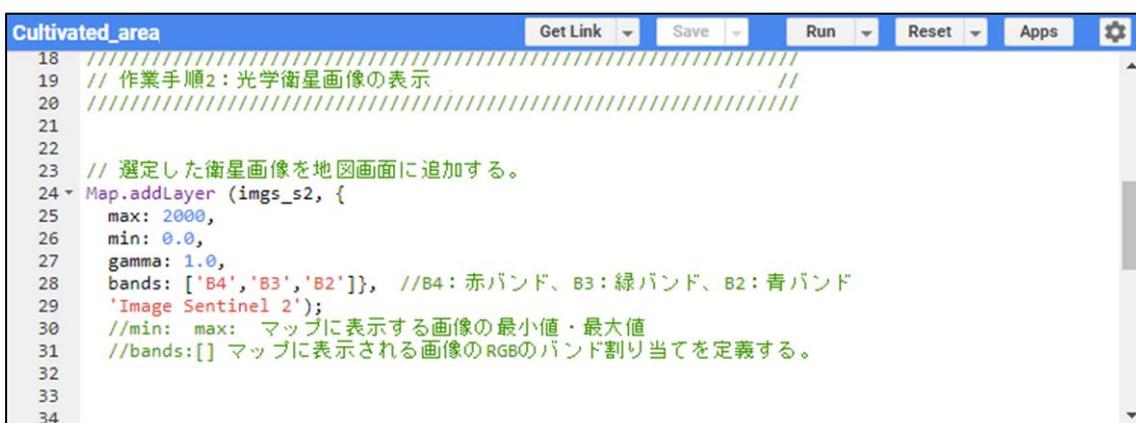


```
Cultivated_area
Get Link Save Run Reset Apps
Imports (1 entry)
var geometry: Polygon, 45 vertices
1 //開墾面積の算出 (目視判読)
2
3
4
5 //作業手順1: 光学衛星画像の選定
6
7
8 var imgs_s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR') //Sentinel-2の読み込み。
9   .filterDate('2021-05-01', '2021-09-30') //衛星画像の取得期間を設定する。
10  .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 10); //衛星画像内の被雲率を設定する。
11
12 //期間内の最新画像を選定する。
13 var img = ee.Image(imgs_s2.sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE').first());
14
```

図 3.1.3-21 光学衛星画像の選定スクリプト

② 光学衛星画像の表示

取得した衛星データをマップ上に表示する。表示方法は図 3.1.3-22 の 24～29 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.1.3-23 に示す。



```
Cultivated_area
Get Link Save Run Reset Apps
18
19 //作業手順2: 光学衛星画像の表示
20
21
22
23 //選定した衛星画像を地図画面に追加する。
24 Map.addLayer(imgs_s2, {
25   max: 2000,
26   min: 0.0,
27   gamma: 1.0,
28   bands: ['B4', 'B3', 'B2']}, //B4: 赤バンド、B3: 緑バンド、B2: 青バンド
29   'Image Sentinel 2');
30 //min: max: マップに表示する画像の最小値・最大値
31 //bands:[] マップに表示される画像のRGBのバンド割り当てを定義する。
32
33
34
```

図 3.1.3-22 光学衛星画像の表示スクリプト

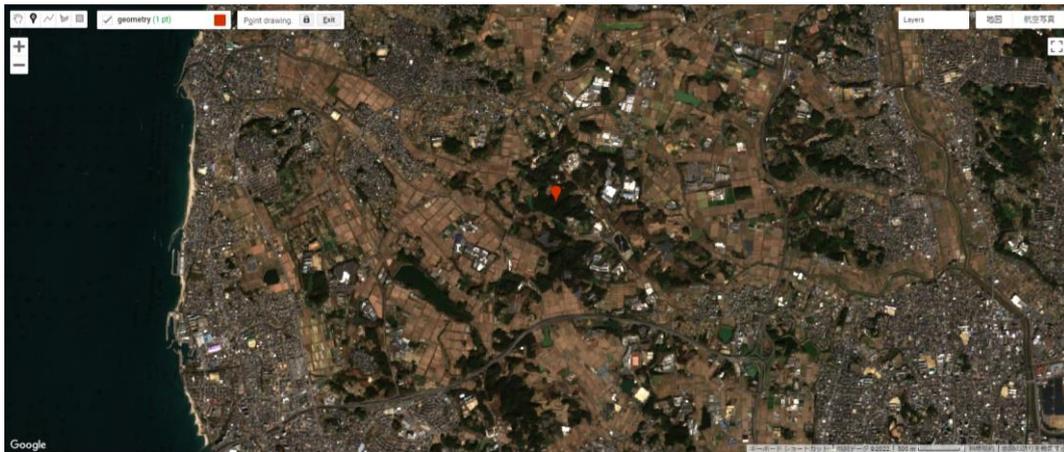


図 3.1.3-23 光学衛星画像の表示結果

③ 目視による開墾地の入力

目視判読により開墾地域と確認できる範囲に対し、ジオメトリツールを用いて境界の入力を行う(図 3.1.3-24)。



図 3.1.3-24 開墾地の入力例

境界の入力が完了し、開墾地域が作成された状態を図 3.1.3-25 に示す。



図 3.1.3-25 目視より作成した開墾地域(ポリゴン)例

④ 開墾面積の算出

抽出した開墾地域の面積と周長を算出する。

開墾面積 (m²) の算出及びコンソールへの表示方法は図 3.1.3-26 のスクリプト 54 行目、開墾地域の周長 (m) の算出及びコンソールへの表示方法は 57 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.1.3-27 に示す(赤枠部分)。

```
Cultivated_area  Get Link  Save  Run  Reset  Apps  ⚙️
46  ////////////////////////////////////////////////////
47  // 作業手順4：開墾面積の算出                                     //
48  ////////////////////////////////////////////////////
49
50  // 解析範囲を地図画面の中央に配置する。
51  Map.centerObject(geometry);
52
53  //開墾面積の算出 (単位m2)
54  print('Polygon area: ', geometry.area());
55
56  // 開墾地域の周長算出 (単位m2)
57  print('Polygon perimeter: ', geometry.perimeter());
58
59
```

図 3.1.3-26 開墾地域の面積算出スクリプト

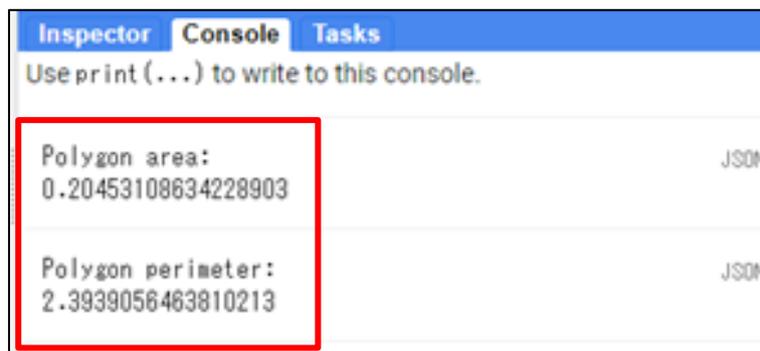


図 3.1.3-27 開墾面積 (m²) 及び開墾地域の周長 (m) の算出結果

(3) 結果・解析結果の留意点

本手法は、現地の作物の栽培状況を把握せずとも、圃場の形状から開墾地域を把握することに有用である。ただし、開墾地域の入力は作業者の目視判読により行われるため、作業者ごとに入力精度に差が出ないように注意が必要である。

(4) 参考文献

- European Space Agency (ESA), 2015, Sentinel-2 User Handbook
https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook.pdf/8869acdf-fd84-43ec-ae8c-3e80a436a16c?t=1438278087000
- Xuying Wang et al., 2023, A Survey of Farmland Boundary Extraction Technology Based on Remote Sensing Images, Electronics, Vol.12

3.1.4 受益面積

(1) 解析の全体像と手順

受益面積の算出にあたり、①事業前後データの読み込み、②受益地域の抽出、③受益面積の算出が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.1.4-1 の通り。ここで、事業前後のデータとは、「3.1.1 灌漑面積」や「3.1.2 作付面積」で作成及びエクスポートを行った灌漑地域や作付地域のデータを指す。

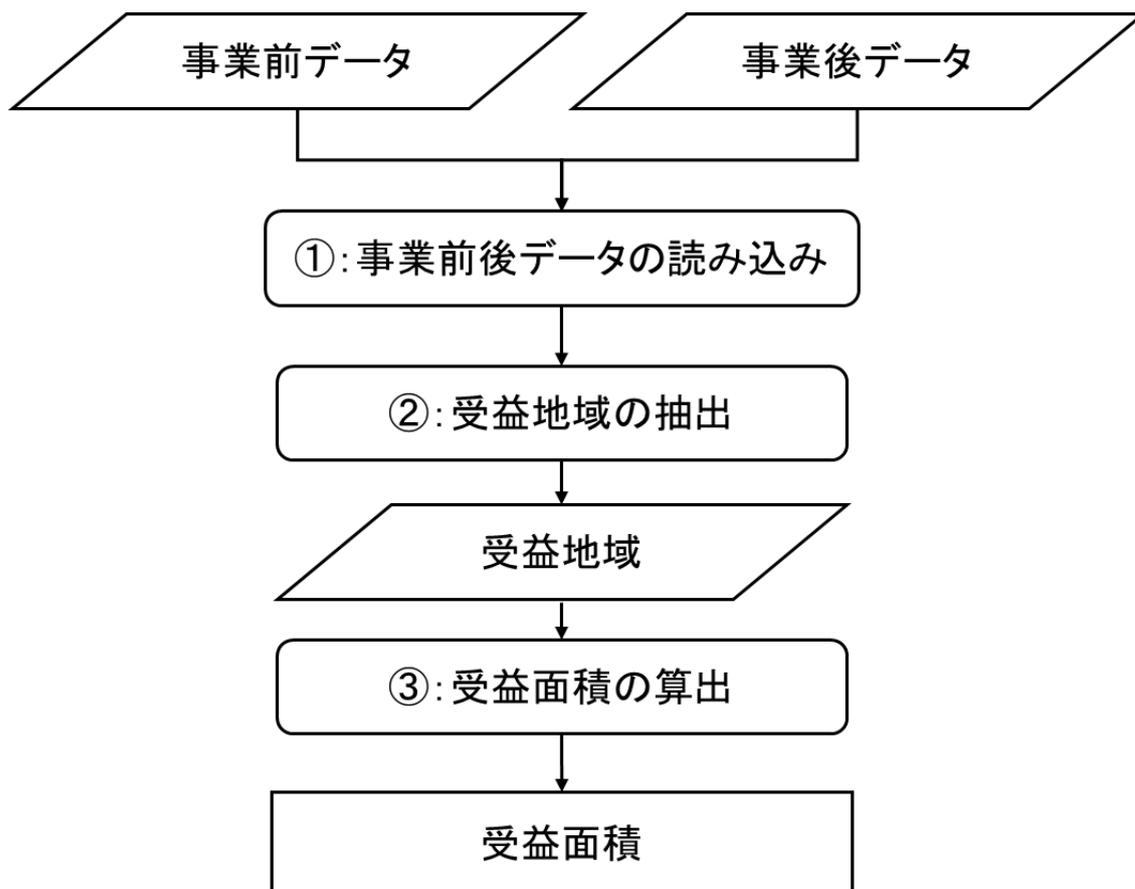


図 3.1.4-1 受益面積の算出フロー

(2) 解析事例の紹介(ミャンマー)

図 3.1.4-1 に従い、ミャンマー南部の田畑地帯を解析範囲とし、「3.1.2 作付面積」において作成したデータを用いて、受益面積の算出を行う。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/9118f393689e65301c71fae13c232802>

① 事業前後データの読み込み

アセットマネージャー画面(図 3.1.4-2)より、事前に作成した事業開始前と事業開始後のデータとそのファイル形式を選択する。

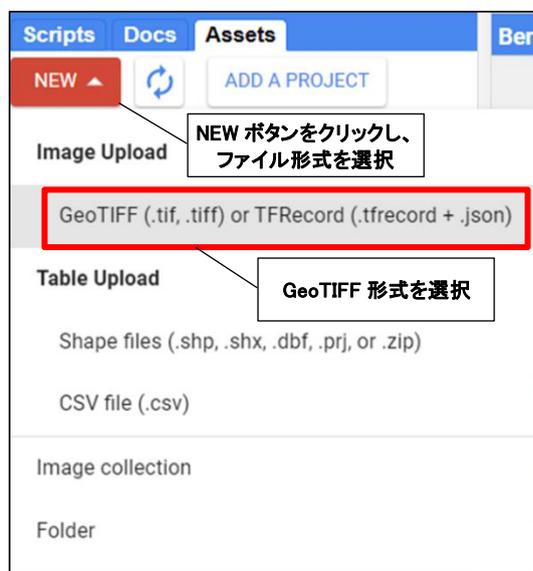


図 3.1.4-2 アセットマネージャー

アップロード画面(図 3.1.4-3)が表示されたら、当該データを選択し、右下のアップロードボタン(赤枠)をクリックする。

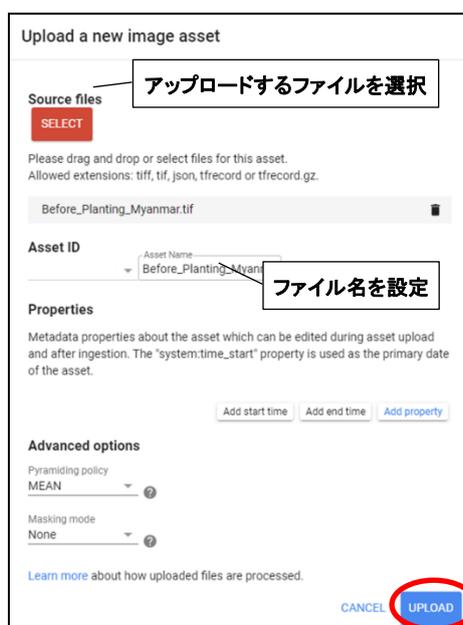


図 3.1.4-3 アップロード画面

再びアセットマネージャー画面(図 3.1.4-4)より、当該データを選択し「Import into script」(赤枠)をクリックする。以上の作業により、コードエディタ上に事業前後データが定義される(図 3.1.4-5)。

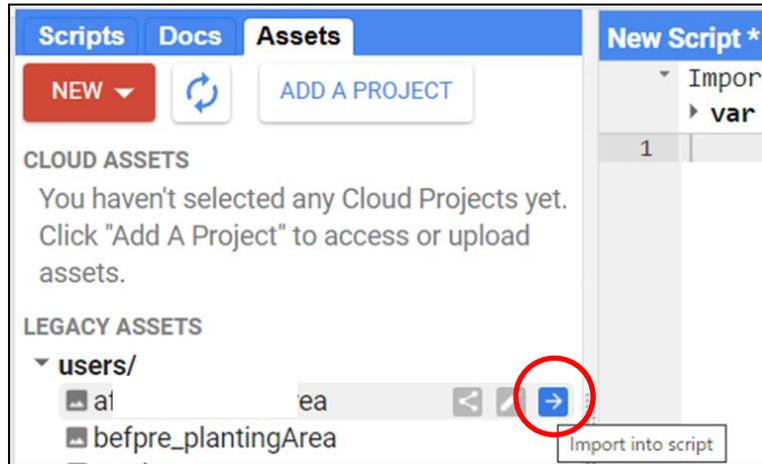


図 3.1.4-4 作付け地域のインポート

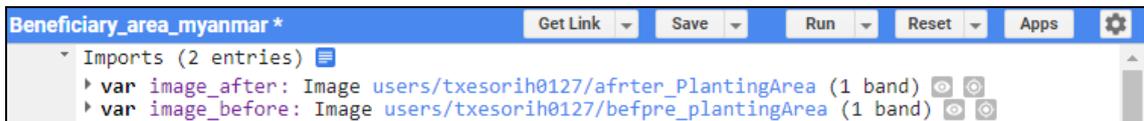


図 3.1.4-5 コードエディタ上に定義された事業前後データ

読み込んだ事業前後データをマップ上に表示する。

表示方法は図 3.1.4-6 の 13,18,23 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.1.4-7 及び図 3.1.4-8 に示す。

```

1 // 受益面積の算出
2
3 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
4 // 作業手順1：事業前後データの読み込み
5 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
6
7 /*
8  | 作成した事業前後データを本スクリプトに読み込む
9  | 事業前後データの読み込み手順はマニュアルを参照とする。
10 | */
11
12 // 事業前後データを地図画面の中央に配置する。
13 Map.centerObject(image_after);
14
15 // 事業前後データを地図画面に追加する。
16 //事業前データの地図画面表示（例：作付け地域）
17 //作付け地域として抽出された場合は赤色に表示され、作付け地域以外は白色に表示される。
18 Map.addLayer(image_before,{max:1, min:0, palette:['FFFFFF','FF0000'],'before plantig area'});
19
20
21 //事業後データの地図画面表示（例：作付け地域）
22 //作付け地域として抽出された場合は緑色に表示され、作付け地域以外は白色に表示される。
23 Map.addLayer(image_after,{max:1, min:0, palette:['FFFFFF','00FF00'],'after plantig area'});
24

```

図 3.1.4-6 事業前後データの読み込みスクリプト

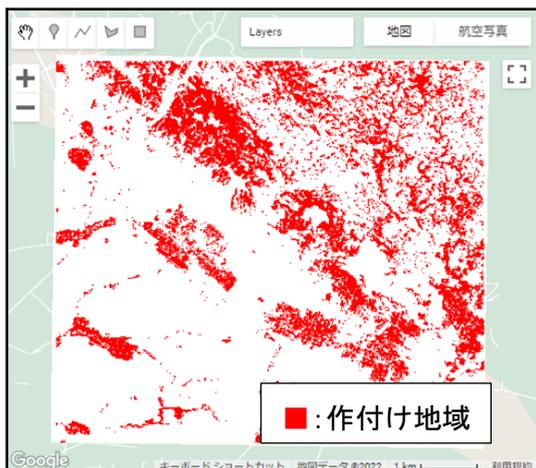


図 3.1.4-7 事業前データ(作付け地域)

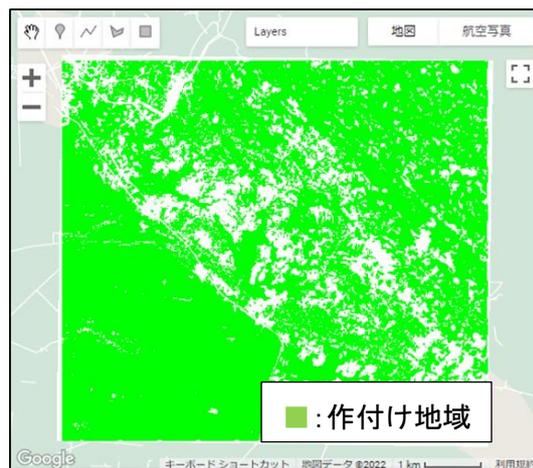


図 3.1.4-8 事業後データ(作付け地域)

② 受益地域の抽出

読み込んだ事業前後のデータを用いて受益地域の抽出を行う。

抽出方法は図 3.1.4-9 のスクリプト 33 行目の通り。今回の事例では、事業前に作付け地域ではなかったが事業後に作付け地域に変化した地域を受益地域として抽出する。抽出した受益地域を 38 行目に示すスクリプトによりマップ上に表示する。スクリプトの実行結果を図 3.1.4-10 に示す。

```
Beneficiary_area_myanmar *  Get Link  Save  Run  Reset  Apps  ⚙️
28 ////////////////////////////////////////////////////
29 // 作業手順2：受益地域の抽出 //
30 ////////////////////////////////////////////////////
31
32 //事業前は作付け地域以外であったが事業後に作付け地域に変化した地域を受益地域として抽出する。
33 var Beneficiary_area =image_before.eq(0).and(image_after.eq(1));//受益地域の抽出
34
35
36 //受益地域を地図画面に追加する。
37 //受益地域は青色に表示され、受益地域以外は白色に表示される。
38 Map.addLayer(Beneficiary_area,{max:1, min:0, palette:['FFFFFF','0000FF']},'Beneficiary area');
39
40
```

図 3.1.4-9 受益地域の抽出スクリプト

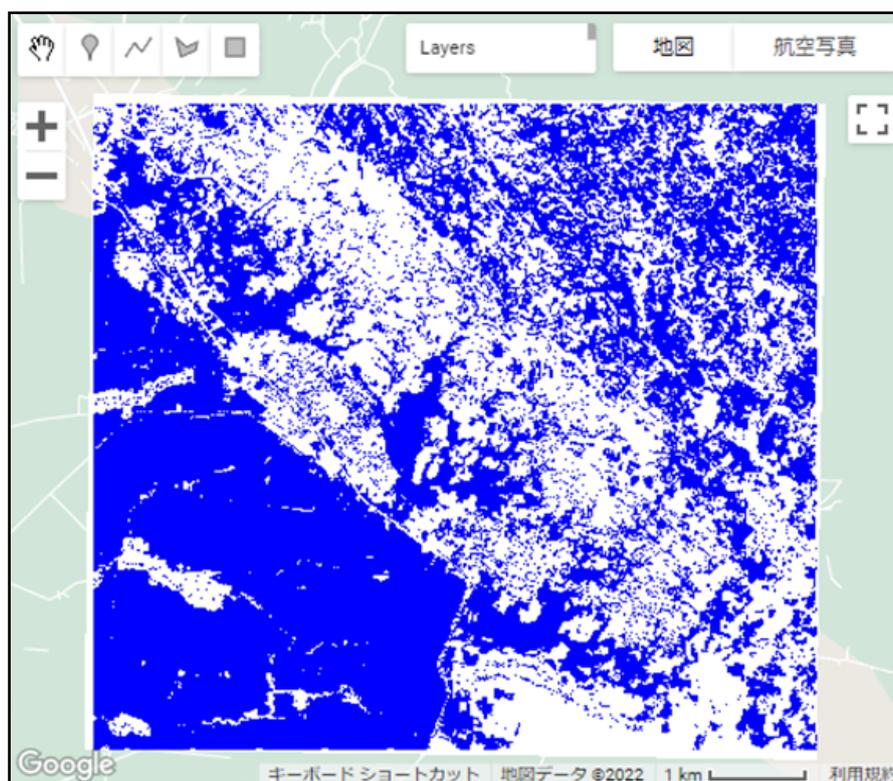


図 3.1.4-10 受益地域のイメージ

③ 受益面積の算出

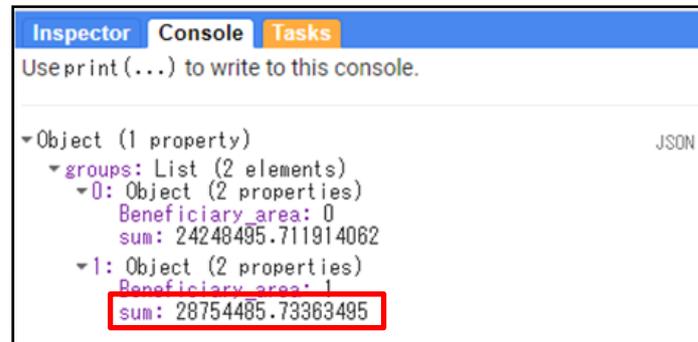
抽出した受益地域の面積を算出する。

算出方法は図 3.1.4-11 のスクリプト 47～57 行目の通り。算出結果を 60 行目に示すスクリプトによってコンソール画面に表示する(図 3.1.4-12 の赤枠部分)。



```
Beneficiary_area_myanmar *
43 ////////////////////////////////////////////////////
44 // 作業手順3: 受益面積の算出 (単位m2)
45 ////////////////////////////////////////////////////
46
47 var areaImage = ee.Image.pixelArea().addBands(Beneficiary_area);
48 var areas = areaImage.reduceRegion({
49   reducer: ee.Reducer.sum().group({
50     groupField: 1,
51     groupName: 'Beneficiary_area',
52   }),
53   geometry: image_after.geometry(),
54   scale: 10, //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位m)
55   maxPixels: 1e13,
56   tileSize: 1
57 });
58
59 //受益面積の表示
60 print(areas);
```

図 3.1.4-11 受益面積の算出スクリプト



```
Inspector Console Tasks
Use print (...) to write to this console.

Object (1 property)
  groups: List (2 elements)
    0: Object (2 properties)
      Beneficiary_area: 0
      sum: 24248495.711914062
    1: Object (2 properties)
      Beneficiary_area: 1
      sum: 28754485.73363495
```

図 3.1.4-12 受益面積の計算結果

④ Google Drive への書き出し(参考)

抽出した受益地域は画像データとして Google Drive へ書き出す(エクスポート)ことで、報告書への添付や統計ソフトでの追加的な解析が可能となる。出力方法は図 3.1.4-13 のスクリプト 63~67 行目の通り。

```
62 //受益地域の出力
63 Export.image.toDrive({
64   image: Beneficiary_area,
65   description: 'Beneficiary_area_Sentinel2_10m',
66   scale: 10 //Sentinel-2の分解能を設定する。(単位m)
67 });
```

図 3.1.4-13 抽出した受益地域を画像データとしてエクスポートするスクリプト

(3) 解析・結果に関する留意点

今回の事例から受益面積の算出にあたり、事業前後データの取得時期に留意する必要があることが分かる。

本手法では、事業前後データ(灌漑面積、作付け面積、開墾面積等)の差異をもとに受益地域を把握している。このため受益地域を正確に把握するためには、各データの作成時に、解析対象地域の栽培方法や作物の栽培暦を考慮した時期に撮影された衛星画像が用いられていることを確認する必要がある。

(4) 参考文献

- Google Earth Engine guides, Importing Raster Data
https://developers.google.com/earth-engine/guides/image_upload

3.1.5 農村道路

GEE での解析は一部分に留まるものの、参考としてオープンストリートマップ(OSM)¹⁶を用いた農村道路の作成方法を示す。

3.1.5.1 Humanitarian Data Exchange(HDX)を活用した農村道路の表示

(1) 作成方法の全体像と手順

農村道路のトレースを行うにあたり、①OSM データの取得、②OSM データの GEE への読み込み、③OSM データの表示が主な手順となる。

(2) 解析事例の紹介(タンザニア)

「(1) 作成方法の全体像と手順」に従い、今回の事例では、OSM データのうちタンザニアの道路データを HDX ウェブサイトからダウンロードし、GEE 上で表示する。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/875698237e76046f7e14b4a51e7fa1e3>

① OSM データの取得

HDX ウェブサイト¹⁷にアクセスし、解析に必要な国又は地域の OSM データをダウンロードする。手順は、以下の通り。

手順 1 HDX ウェブサイト(<https://data.humdata.org/datase>)を開く(図 3.1.5-1)。

手順 2 「LOCATIONS」より「United Republic of Tanzania」を選択する(図 3.1.5-1 の赤枠①)。

手順 3 「FORMATS」(取得するデータフォーマット)より「SHP」を選択する(図 3.1.5-1 の赤枠②)。

手順 4 「TAGS」より「roads」を選択する(図 3.1.5-1 の赤枠③)。

手順 5 検索結果の一番上のリンクをクリックする(図 3.1.5-1 の赤枠④)。

¹⁶ OSM とは、誰でも自由に地図を編集・利用することが可能なオープンデータを提供する地理情報サービスのこと。

¹⁷ HDX は、組織間でデータを共有するためのオープンプラットフォーム。

The screenshot shows the HDX (Humanitarian Data Exchange) website interface. At the top, there is a navigation bar with the HDX logo, a search bar, and links for 'DATA', 'LOCATIONS', 'ORGANISATIONS', and 'DATAVIZ'. A red 'ADD DATA' button is visible on the right.

The main content area is titled 'HOME / DATASETS'. It features a search bar with the text 'Search all datasets ...' and a 'SHOW FILTER' button. Below the search bar, there are several filter sections:

- LOCATIONS:** A list of countries with checkboxes. The 'United Republic of Tanzania' is checked and highlighted with a red box and a circled '1'. Other options include Afghanistan [1], Albania [1], Algeria [4], and American Samoa [1].
- FORMATS:** A list of file formats with checkboxes. 'SHP' is checked and highlighted with a red box and a circled '2'. Other options include Garmin IMG [1], Geopackage [1], and KML [1].
- TAGS:** A list of tags with checkboxes. 'roads' is checked and highlighted with a red box and a circled '3'. Other options include administrative divisions [5], airports [1], aviation [1], and buildings [1].

Below the filters, two dataset results are displayed:

- HOTOSM Tanzania Roads (OpenStreetMap Export):** This dataset is highlighted with a red box and a circled '4'. It is provided by the Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT) and has 800+ Downloads. It was updated on 30 June 2020, with a dataset date of March 01, 2021-M. The update frequency is 'Every week'. The description mentions it is an OpenStreetMap export for GIS applications, including features like highway IS NOT NULL, layer width, oneway, source, highway smoothness, lanes, surface, name, and bridge. It lists available formats: SHP, GEOPACKAGE, KML, GARMIN IMG, and a download icon.
- Tanzania Road Network:** This dataset is an extraction of roads from OpenStreetMap data made by WFP - World Food Programme. It has 800+ Downloads and is updated 'Live'. The dataset date is October 19, 2018-October 19, 2018. The update frequency is 'Live'. It lists the SHP format.

図 3.1.5-1 HDX ウェブサイト

手順 6 「HOTOSM Tanzania Roads (OpenStreetMap Export)」画面が開く。画面中央部の「Data and Resources」より、「hotosm_tza_roads_lines_shp.zip」をダウンロードする(図 3.1.5-2 の赤枠)。

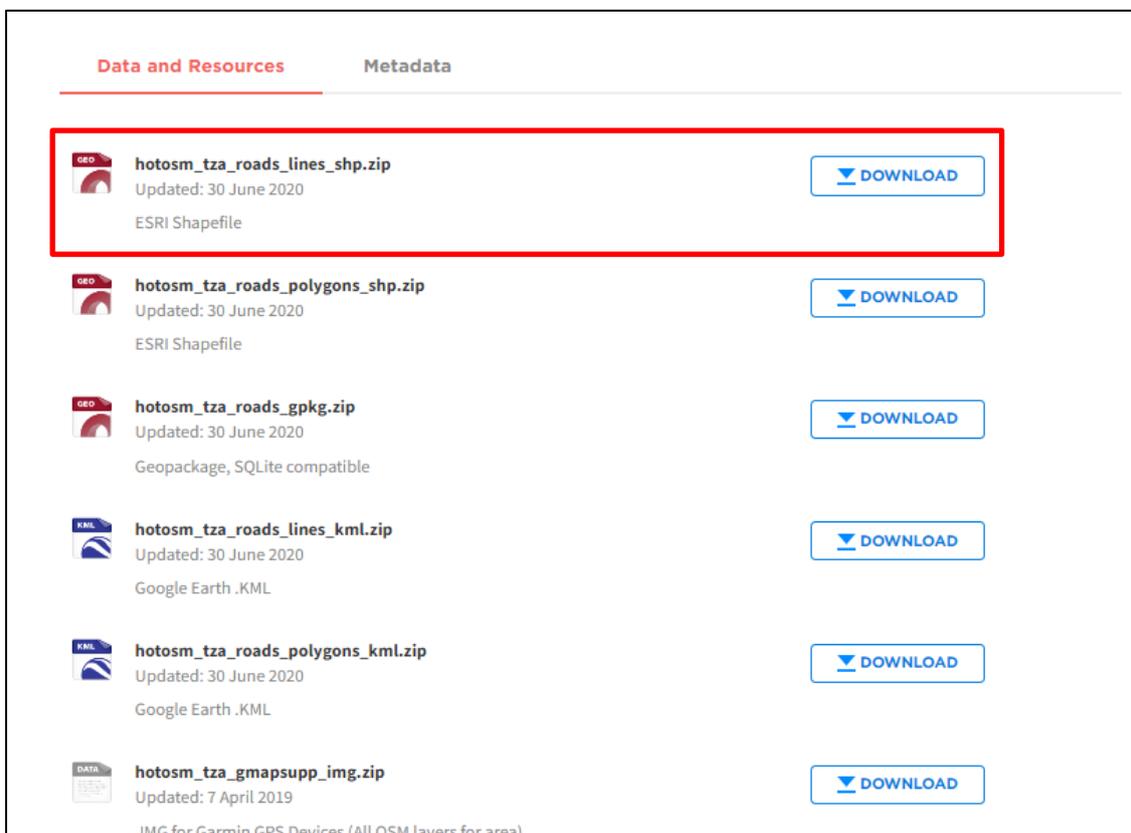


図 3.1.5-2 HOTOSM Tanzania Roads (OpenStreetMap Export)の中央部

② OSM データの GEE への読み込み

ダウンロードしたタンザニアの道路データの GEE 上での読み込み手順は、以下の通り。なお、当該データは zip ファイル形式のため、事前に解凍しておく。

手順 1 GEE のコードエディターを開き、「Assets」タブをクリックする。

手順 2 アセットマネージャー内の「NEW」ボタンをクリックする(図 3.1.5-3 の赤枠)。

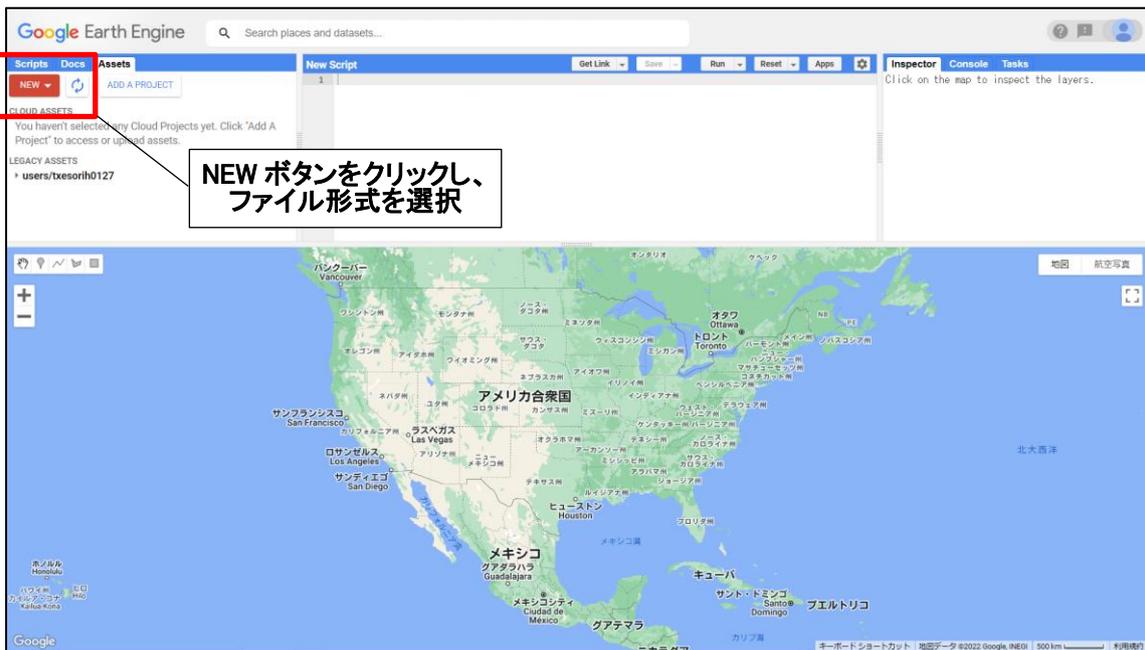


図 3.1.5-3 GEE コードエディタ

手順 3 アップロードするファイル形式を選択する画面が表示されるので、「Shape files」を選択する(図 3.1.5-4 の赤枠)。

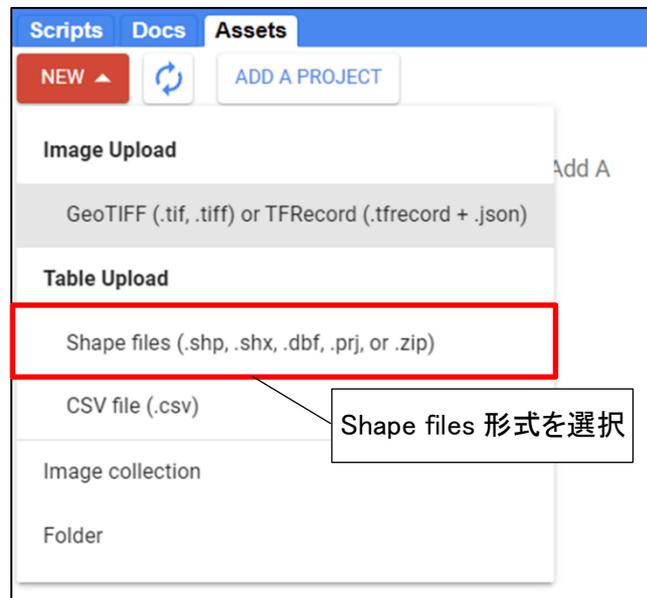


図 3.1.5-4 ファイル形式の選択画面

手順 4 ファイルのアップロード画面が開くので、「SELECT」ボタンをクリックし、アップロードする道路データを選択する。アップロードするファイルとして拡張子が「shp」、「dbf」、「prj」、「shx」、「cpg」となるものを選択する(図 3.1.5-5 の赤枠①)。

手順5 「Asset ID」に任意のファイル名を入力する(図 3.1.5-5 の赤枠②)。

手順6 「UPLOAD」ボタンをクリックする(図 3.1.5-5 の赤枠③)。

Upload a new shapefile asset

Source files ①

SELECT

Please drag and drop or select files for this asset.
Allowed extensions: shp, zip, dbf, prj, shx, cpq, fix, qix, sbn or shp.xml.

Asset ID ②

users/txesor ih0127/ ▾ Asset Name

Properties

Metadata properties about the asset which can be edited during asset upload and after ingestion. The "system:time_start" property is used as the primary date of the asset.

Add start time Add end time Add property

Advanced options

Character encoding
UTF-8 🔍 ?

Maximum error
1.0 ?

Split large geometries ?

[Learn more](#) about how uploaded files are processed.

CANCEL UPLOAD ③

図 3.1.5-5 アップロード画面

③ OSM データの表示

アセットマネージャーに表示されたアップロードデータを、インポートボタンをクリックし GEE へ読み込む(図 3.1.5-6)。

読み込んだデータをマップ上へ表示する方法は図 3.1.5-7 のスクリプト 32 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.1.5-8 に示す。

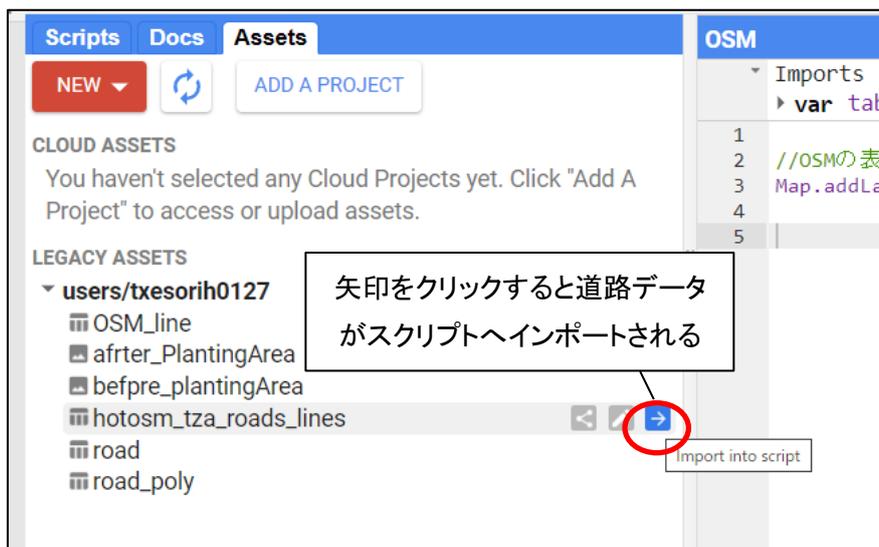


図 3.1.5-6 道路データのスクリプトへの読み込み

```

OSM *
Get Link Save Run Reset Apps
27 ////////////////////////////////////////////////////
28 // 作業手順3 : GEE上にOSMを表示する。 //
29 ////////////////////////////////////////////////////
30
31 //OSMを地図画面に追加する。
32 Map.addLayer (table,{palette:['ff0000']}, "OpenStreetMap");
33

```

図 3.1.5-7 道路データを表示するスクリプト



図 3.1.5-8 道路データの表示結果(タンザニアのローアモシ灌漑地域周辺)

(3) 解析・結果に関する留意点

今回利用した OSM データは、世界中の誰もが作成・編集を行うことが可能なデータである。このため、利用するには目視確認等でデータの精度を確認する必要がある。なお、正確な農村道路を作成するには、現地の地図情報、高精度な衛星データ及び航空写真を用いる必要がある。

(4) 参考文献

- OpenStreetMap 公式サイト
<https://www.openstreetmap.org/#map=5/35.588/134.380>
- The Humanitarian Data Exchange 公式サイト
<https://data.humdata.org/>

3.1.5.2 QGIS を活用した農村道路距離の表示

(1) 作成方法の全体像と手順

農村道路のトレースを行うにあたり、①OSM データ出力範囲の設定、②OSM データの取得及び形式変換が主な手順となる。

(2) 解析事例の紹介(タンザニア)

「3.1.5.1 Humanitarian Data Exchange (HDX) を活用した農村道路の表示」と同様、タンザニアの道路データを QGIS からダウンロードし、GEE 上で表示する。

① OSM データ出力範囲の設定

図 3.1.5-9 に示す通り、マップの左上にあるジオメトリツールを用いて、解析したい範囲を設定する。解析範囲の設定が完了すると、コードエディタ上に「geometry」という変数が生成される¹⁸。今回は、ポリゴン(多角形)と呼ばれるベクターデータを作成する¹⁹。コードエディタ上に表示される緯度経度情報を取得する(図 3.1.5-9 の赤枠)。

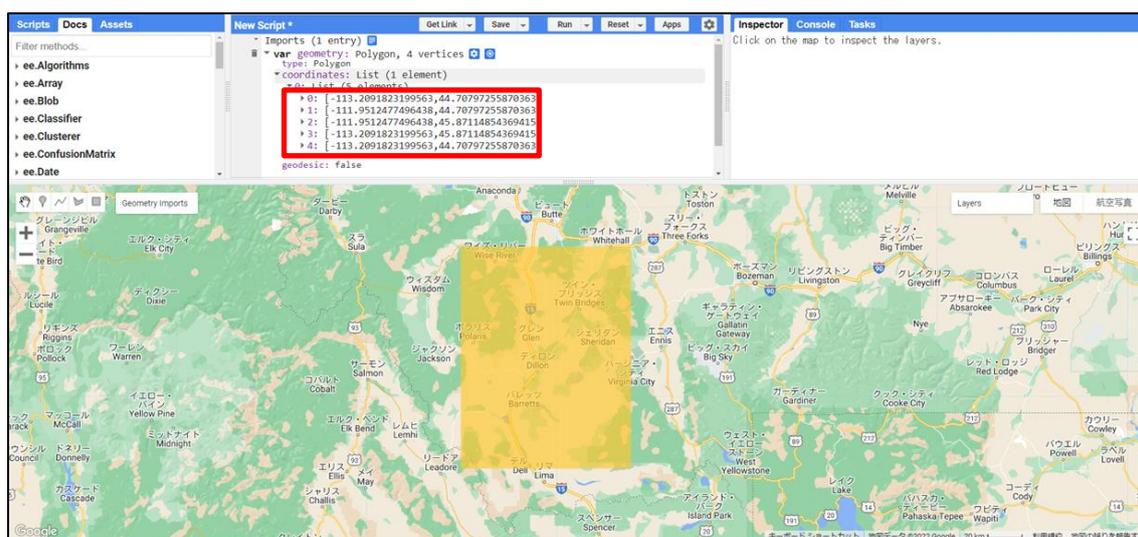


図 3.1.5-9 OSM 出力範囲の設定

② OSM データの取得及び形式変換

QGIS を用いて OSM データを取得し、shp 形式に変換する。手順は以下の通り。

¹⁸ ジオメトリツールの使い方を知りたい方は、[こちら](#)。

¹⁹ ポリゴンを含むベクターデータを詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

手順1 QGIS を起動する。初期画面を図 3.1.5-10 に示す。

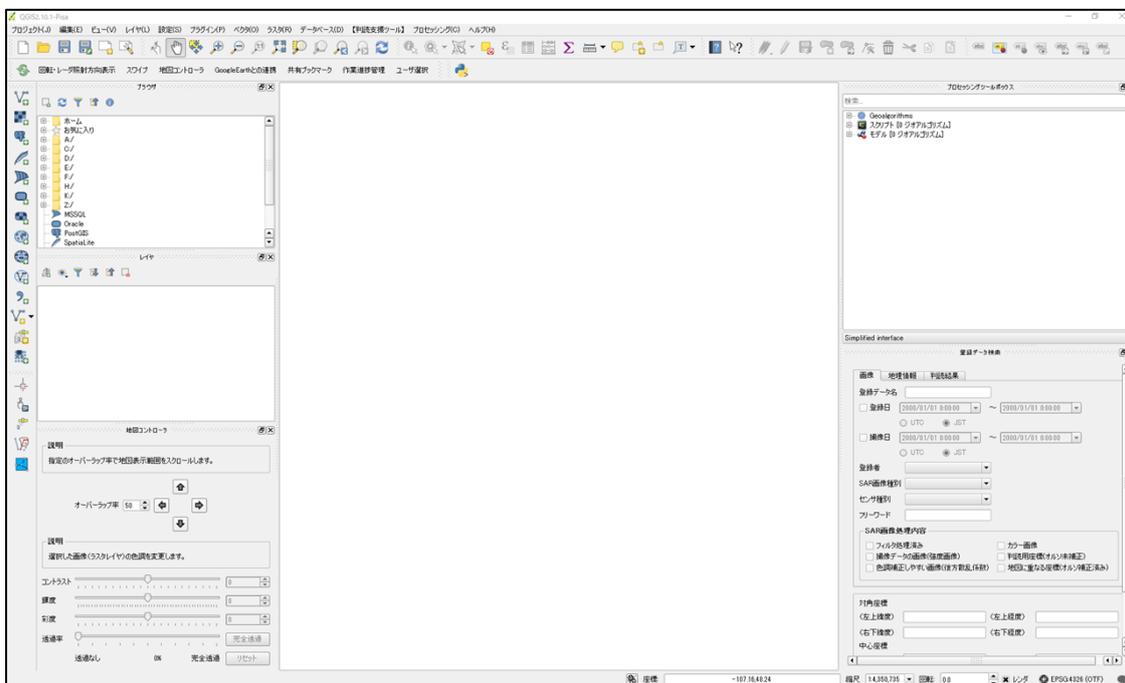


図 3.1.5-10 QGIS の初期画面

手順2 「ベクタ」より「OpenStreetMap」を選択し「データをダウンロードする」をクリックする。

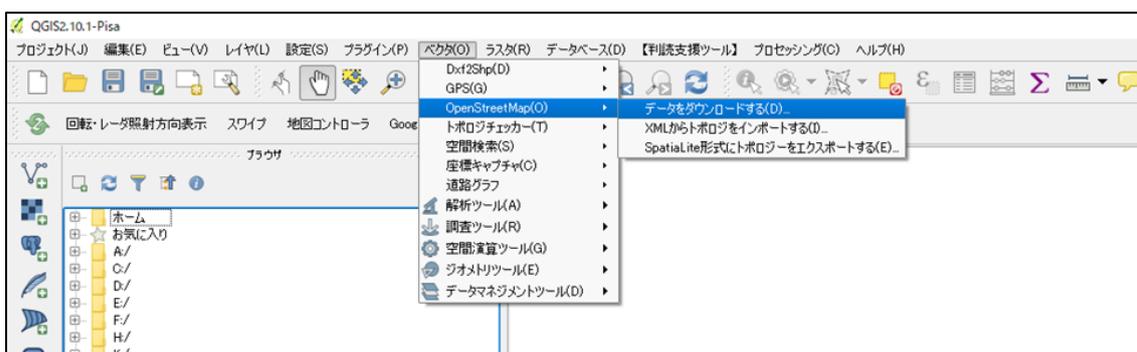


図 3.1.5-11 OSM のダウンロード

手順 3 「① OSM データ出力範囲の設定」において取得した緯度経度情報を入力し OSM データの出力範囲を設定する(図 3.1.5-12)。

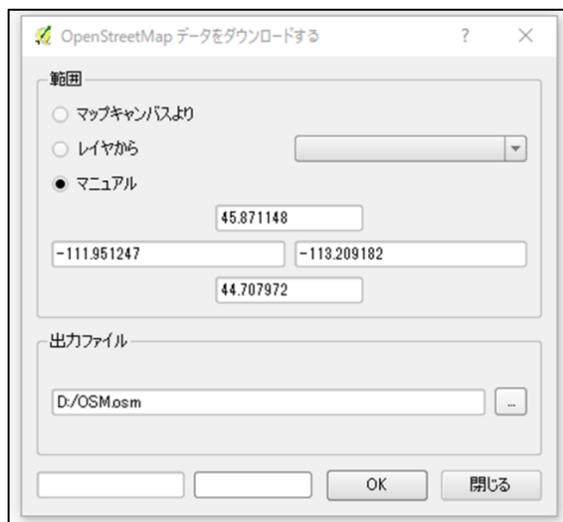


図 3.1.5-12 OSM の出力範囲設定

手順 4 OSM データを QGIS に適したファイル形式に変換するため、「ベクタ」より「OpenStreetMap」を選択し「XML からトポロジをインポートする」をクリックする(図 3.1.5-13)。

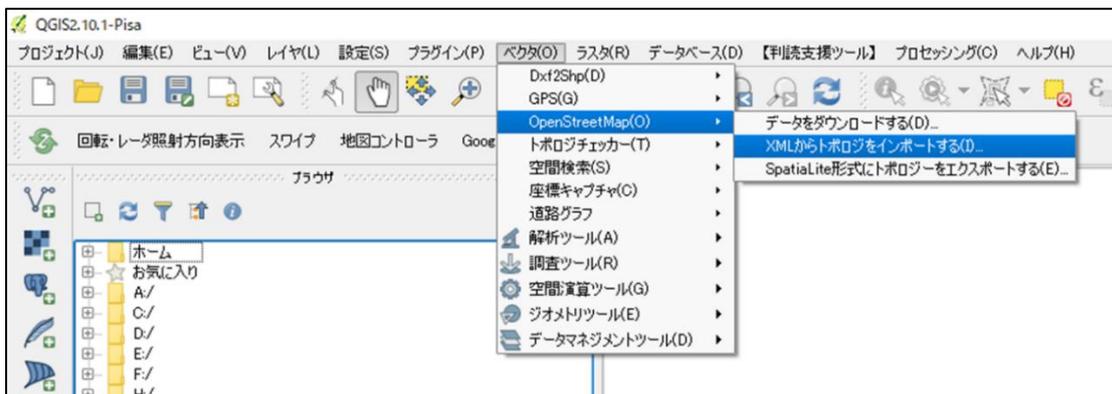


図 3.1.5-13 OSM のインポート

手順 5 OSM データを DB ファイルに変換する(図 3.1.5-14)。

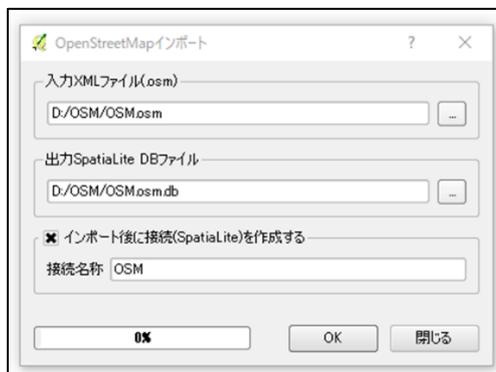


図 3.1.5-14 OSM ファイルのインポート

手順 6 さらに DB ファイルをラインデータに変換するため、「ベクタ」より「OpenStreetMap」を選択し「SpatiaLite 形式にトポロジーをエクスポートする」をクリックする(図 3.1.5-15)。

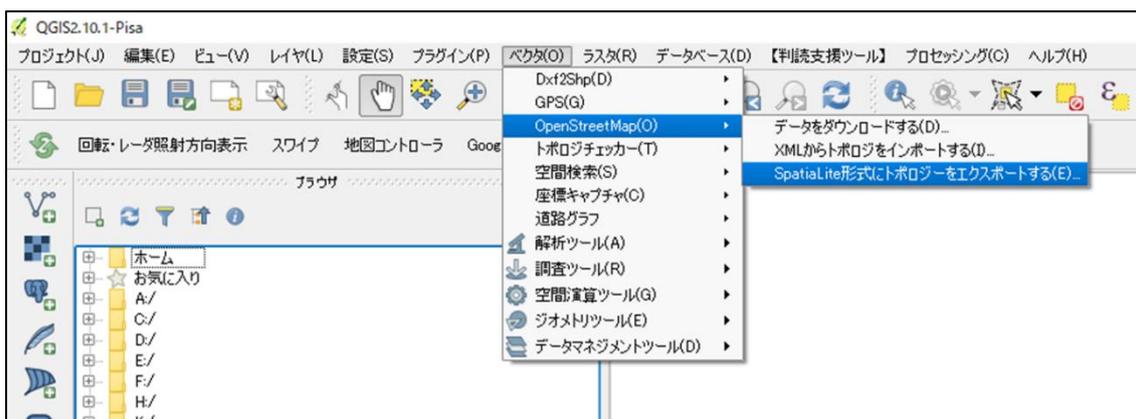


図 3.1.5-15 OSM のダウンロード手順 6

手順 7 エクスポート条件として、下記を設定し、「OK」をクリックする(図 3.1.5-16)。実行結果として、QGIS 上に OSM のラインデータが出力された様子を図 3.1.5-17 に示す。

- ・エクスポートタイプ:「ポリライン」
- ・出力レイヤ名 :任意のファイル名を設定
- ・出力されるタグ :「全てを選択する」

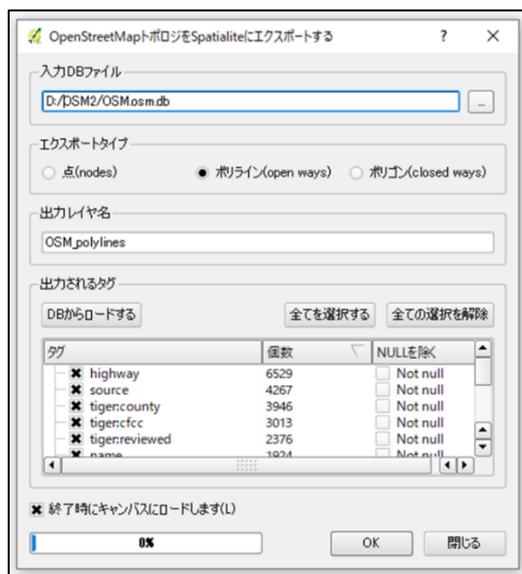


図 3.1.5-16 OSM トポロジを Spatialite にエクスポート

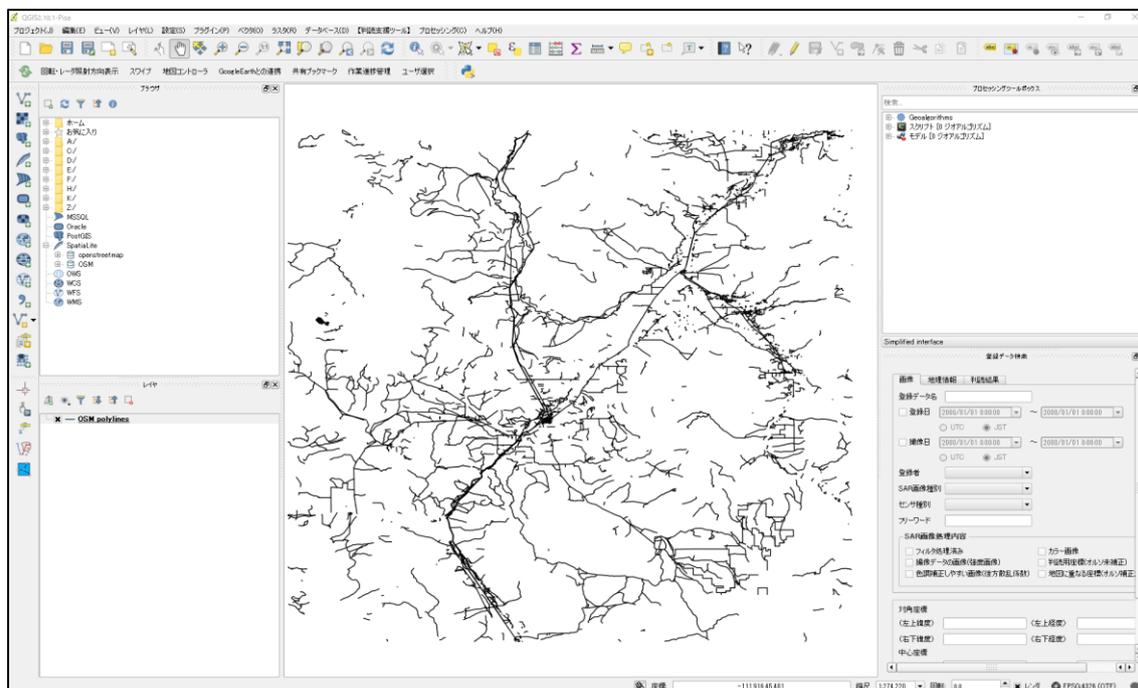


図 3.1.5-17 OSM のラインデータの出力結果

手順 8 得られたラインデータを shp 形式に変換する。「レイヤ」ウィンドウにおいて当該データを右クリックし、「名前を付けて保存」を選択する(図 3.1.5-18)。開いたウィンドウにおいて出力形式に shp 形式を設定し「OK」をクリックすることで、shp 形式での OSM の取得が完了する(図 3.1.5-19)

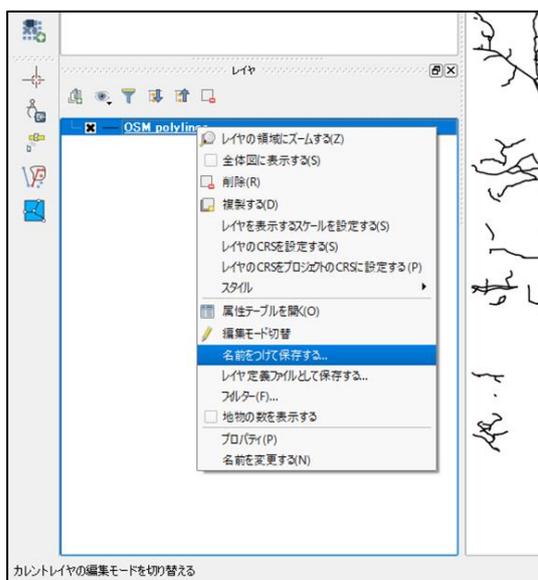


図 3.1.5-18 OSM ファイルの出力

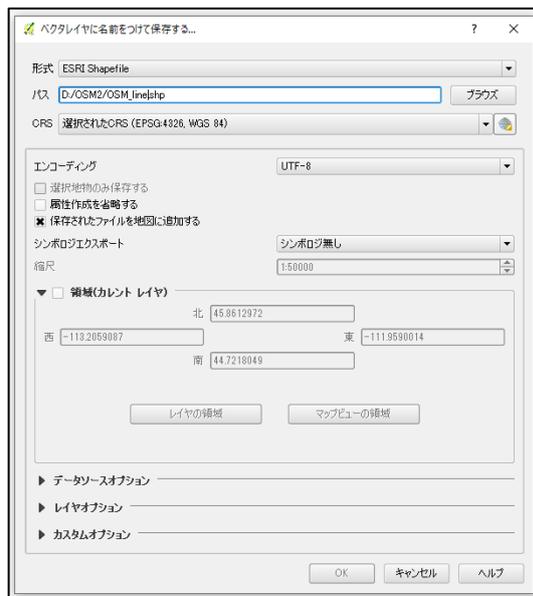


図 3.1.5-19 OSM の shp 形式での保存

「3.1.5.1 ③ OSM データの表示」と同様の手順により、GEE 上に当該データをアップロードした結果を図 3.1.5-20 に示す。

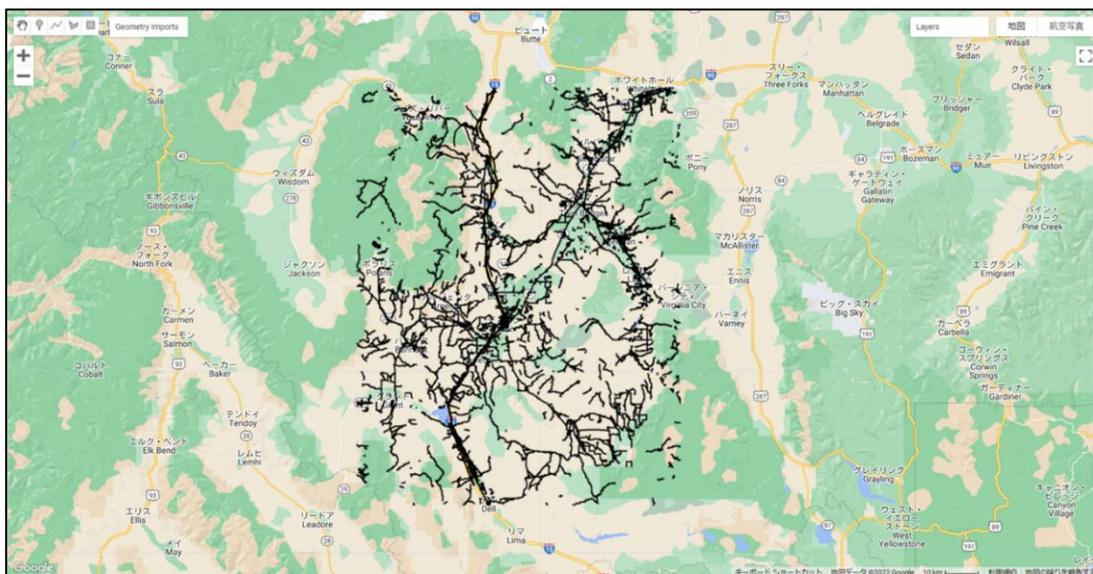


図 3.1.5-20 GEE 上にアップロードした OSM のラインデータ

(3) 解析・結果に関する留意点

本手法の実施には、事前に QGIS の使用環境を整えておく必要がある。QGIS はフリーのソフトウェアであり、QGIS 公式サイト(<https://www.qgis.org/ja/site/>)にてダウンロードが可能である。

今回利用した OSM データに関しては、「3.1.5.1(3) 解析・結果に関する留意点」で述べたように、その精度を確認する必要がある。

(4) 参考文献

- QGIS 公式サイト

<https://www.qgis.org/ja/site/>

3.2 エネルギー分野

3.2.1 環境モニタリング

(1) 解析の全体像と手順

環境モニタリング数値(SO₂、NO₂、浮遊粒子)の算出にあたり、①発電所の設定、④衛星データの取得、⑤年平均画像の作成、⑥事業前後の差異の算出が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.2.1-1 の通り。

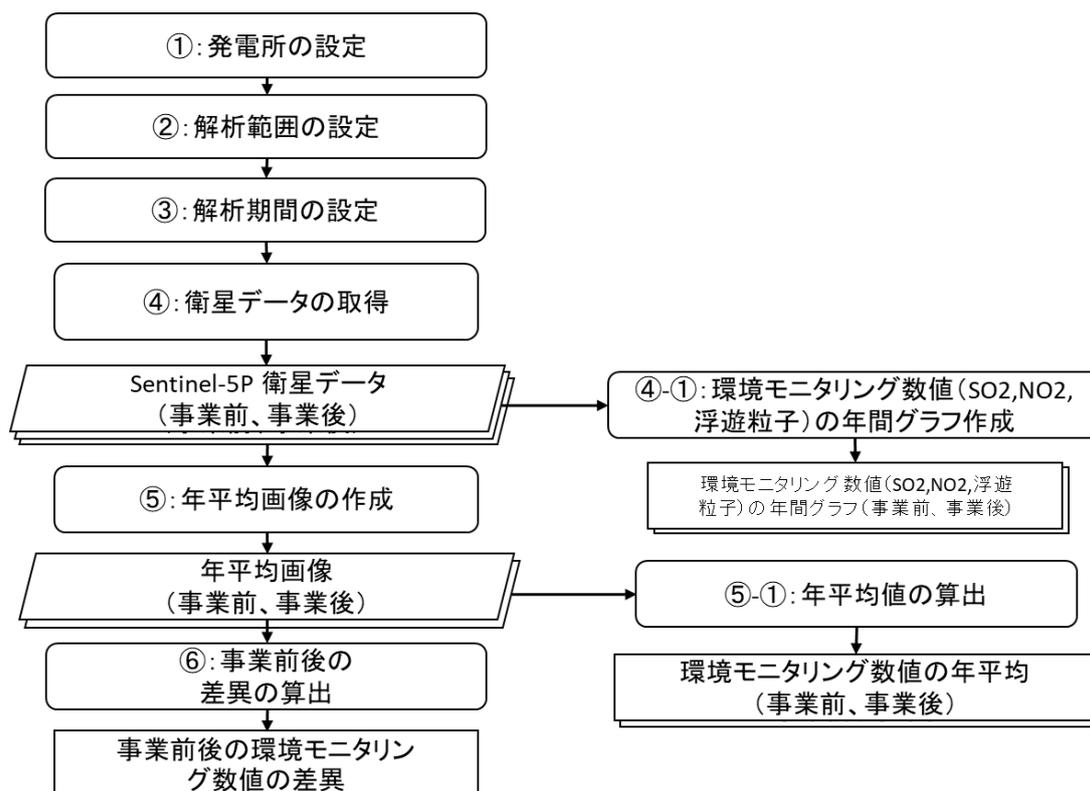


図 3.2.1-1 環境モニタリング数値の解析手順

(2) 解析事例の紹介(アゼルバイジャン:シマル火力発電所)

図 3.2.1-1 で示した解析手順に従い、2019 年 9 月に完工したアゼルバイジャンのシマル火力発電所を解析対象とし、環境モニタリング衛星 Sentinel-5P(分解能:約 1,000m、データ公開期間:2018 年 7 月 14 日～現在)が撮影した 2018 年 8 月 1 日～2019 年 7 月 31 日(事業開始前)及び 2021 年 8 月 1 日～2022 年 7 月 31 日(事業開始後)のデータを用いて、事業前後での環境モニタリング数値の差異を確認した例を次に示す。ここでは、NO₂ を例としてスクリプトを紹介する。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/712f7aba10e8483676a0b43680462296>

① 発電所の設定

図 3.2.1-2 に示す通り、マップの左上にあるジオメトリツールを用いて、解析対象とする火力発電所を設定する。火力発電所の設定が完了すると、コードエディタ上に「geometry」という変数が生成される(図 3.2.1-3)²⁰。今回は、ポリゴン(多角形)と呼ばれるベクターデータを作成する²¹。



図 3.2.1-2 火力発電所の範囲(ポリゴン)

```
Environmental_monitoring_index
Get Link Save Run Reset Apps
Imports (1 entry)
var geometry: Polygon, 4 vertices
1 // 環境モニタリング数値
2
3 //////////////////////////////////////
4 // 作業1: 発電所の設定
5 //////////////////////////////////////
6
7 /*
8 ジオメトリツールより発電所ポリゴンを作成する。
9 ポリゴンの作成手順はマニュアルを参照とする。
10 */
11
```

図 3.2.1-3 コードエディタ上に生成された「geometry」変数

²⁰ ジオメトリツールの使い方を知りたい方は、[こちら](#)。

²¹ ポリゴンを含むベクターデータを詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

② 解析範囲の設定

新設・改修した火力発電所から排出される環境モニタリング数値を算出するために、火力発電所に対して解析範囲を設定する。今回は火力発電所周辺 1,000m を解析範囲とする。解析範囲の設定方法は図 3.2.1-4 のスクリプト 18 行目の通り。



```
Environmental_monitoring_index *  Get Link  Save  Run  Reset  Apps  ⚙
14  //////////////////////////////////////
15  // 作業2：解析範囲の設定 //
16  //////////////////////////////////////
17
18  var bufferOut = geometry.buffer(1000); //発電所周辺に解析範囲を設定する。
19
```

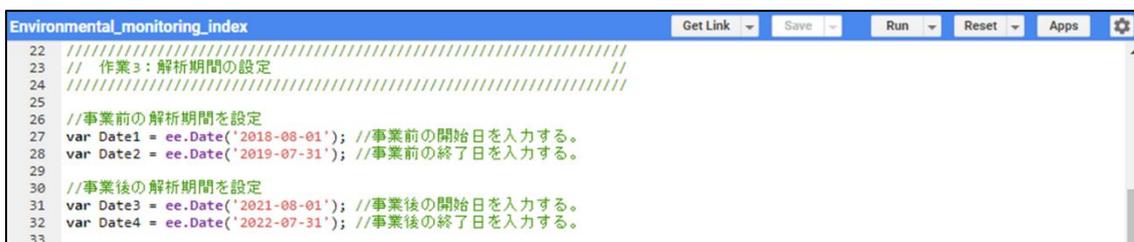
図 3.2.1-4 解析範囲の設定を行うスクリプト

③ 解析期間の設定

今回の事例では、火力発電所の新設・改修事業に伴い、事業前後の衛星データ取得期間を設定する。対象とするシマル火力発電所は 2019 年 9 月に建設が完工している。

環境モニタリング数値は撮影時の雲や風、周辺状況(コロナによる経済活動の変化、火山活動など)の影響を受けることが想定されるため、解析期間は事業前と事業後の 1 年間を設けることとする。事業前の解析期間は 2018 年 8 月 1 日～2019 年 7 月 31 日とし、事業後の解析期間は 2021 年 8 月 1 日～2022 年 7 月 31 日とする。

解析期間の設定方法は図 3.2.1-5 のスクリプト 27 行目～32 行目の通り。



```
Environmental_monitoring_index  Get Link  Save  Run  Reset  Apps  ⚙
22  //////////////////////////////////////
23  // 作業3：解析期間の設定 //
24  //////////////////////////////////////
25
26  //事業前の解析期間を設定
27  var Date1 = ee.Date('2018-08-01'); //事業前の開始日を入力する。
28  var Date2 = ee.Date('2019-07-31'); //事業前の終了日を入力する。
29
30  //事業後の解析期間を設定
31  var Date3 = ee.Date('2021-08-01'); //事業後の開始日を入力する。
32  var Date4 = ee.Date('2022-07-31'); //事業後の終了日を入力する。
33
```

図 3.2.1-5 解析期間の設定を行うスクリプト

④ 環境モニタリング数値 (SO₂,NO₂,浮遊粒子)の取得

今回の事例では、Sentinel-5P 衛星の撮影した NO₂ 濃度の高解像度画像 (解像度: 1,113.2m)を取得する。

取得方法は図 3.2.1-6 のスクリプト 42~49 行目の通り。事業前の NO₂ 濃度の高解像度画像の設定を 42 行目、NO₂ 濃度の高解像度画像のバンド情報である NO₂ 濃度情報 (mol/m²) の設定を 43 行目にて行う。事業後は 47 行目と 48 行目にて同様の設定を行う。

SO₂ の解析を行う場合は、42 行目と 43 行目、47 行目と 48 行目のパラメータを下記のように変更する。

42 行目 : var SP5_BEFORE = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_SO2')

43 行目 : .Select('NO2_column_number_density')

47 行目 : var SP5_AFTER = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_SO2')

48 行目 : .Select('NO2_column_number_density')

浮遊粒子の解析を行う場合は、42 行目と 43 行目、47 行目と 48 行目のパラメータを下記のように変更する。

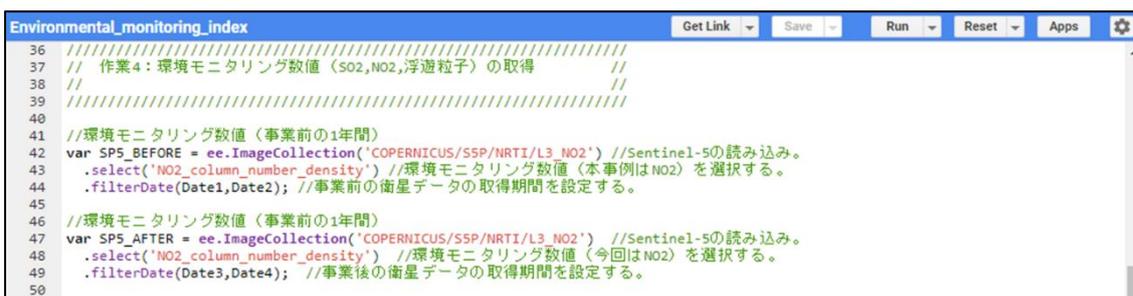
42 行目 : var SP5_BEFORE = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_AER_AI')

43 行目 : .Select('absorbing_aerosol_index')

47 行目 : var SP5_AFTER = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_AER_AI')

48 行目 : .Select('absorbing_aerosol_index')

上記で設定した環境モニタリング数値の解析に必要な衛星画像及びバンド情報を表 3.2.1-1 に整理する。



```
Environmental_monitoring_index
36 ////////////////////////////////////////////////////////////////
37 // 作業4：環境モニタリング数値 (SO2,NO2,浮遊粒子) の取得 //
38 ////////////////////////////////////////////////////////////////
39 ////////////////////////////////////////////////////////////////
40
41 //環境モニタリング数値 (事業前の1年間)
42 var SP5_BEFORE = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2') //Sentinel-5の読み込み。
43 .select('NO2_column_number_density') //環境モニタリング数値 (本事例はNO2) を選択する。
44 .filterDate(Date1,Date2); //事業前の衛星データの取得期間を設定する。
45
46 //環境モニタリング数値 (事業前の1年間)
47 var SP5_AFTER = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2') //Sentinel-5の読み込み。
48 .select('NO2_column_number_density') //環境モニタリング数値 (今回はNO2) を選択する。
49 .filterDate(Date3,Date4); //事業後の衛星データの取得期間を設定する。
50
```

図 3.2.1-6 環境モニタリング数値 (SO₂,NO₂,浮遊粒子)の取得を行うスクリプト

表 3.2.1-1 環境モニタリング数値の解析に必要な衛星画像及びバンド情報

環境モニタリング数値	衛星画像	バンド情報	単位
NO ₂	COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2	NO2_column_number_density	mol/m ²
SO ₂	COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_SO2	SO2_column_number_density	mol/m ²
浮遊粒子	COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_AER_AI	absorbing_aerosol_index	

④-① 環境モニタリング数値(SO₂,NO₂,浮遊粒子)の年間グラフの作成

今回の事例では、「NO₂」を解析対象とし、④-①ではNO₂の年間グラフを作成する。

作成方法は図 3.2.1-7のスク립ト57~79行目の通り。グラフに載せるデータと解析範囲、解析方法の設定を59~64行目と71~76行目に行う。作業2で設定した「buffer」を解析範囲として使い、その範囲内の平均値を求める。この際にスケールサイズ(m 単位)を設定する必要があるが、Sentinel-5P 衛星の解像度が 1,113.2mであることから、今回は「1113.2」と入力する。

作成した環境モニタリング数値の年間グラフを 67 行目と 79 行目に示すスク립トによってコンソール画面に表示する。スク립トの実施結果を図 3.2.1-8 及び図 3.2.1-9 に示す。

```
Environmental_monitoring_index *  Get Link Save Run Reset Apps
53 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
54 // 作業4-1：環境モニタリング数値（SO2,NO2,浮遊粒子）の年間グラフの作成 //
55 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
56 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
57 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
58 //環境モニタリング数値（SO2,NO2,浮遊粒子）の年間グラフ（事業前の1年間）を作成する。
59 var ENVI_BEFORE = ui.Chart.image.series({
60   imageCollection:SP5_BEFORE, //グラフに含めるデータを設定する。今回は事業前の環境モニタリング数値を用いた。
61   region:bufferOut, //グラフを算出する際の算出範囲を設定する。今回は解析範囲を用いた。
62   reducer:ee.Reducer.mean(), //データの算出方法を設定する。今回は平均値を算出する。
63   scale:1113.2 //reducerに使用するスケール（単位m）今回はSentinel-5の解像度を参考にした。
64 });
65
66 //事業前1年間の環境モニタリング数値の年間グラフをconsole画面に表示する。
67 print('環境モニタリング数値（SO2,NO2,浮遊粒子）の年間グラフ（事業前の1年間） 単位：mol/m2',ENVI_BEFORE);
68
69
70 //環境モニタリング数値（SO2,NO2,浮遊粒子）の年間グラフ（事業後の1年間）
71 var ENVI_AFTER = ui.Chart.image.series({
72   imageCollection:SP5_AFTER, //グラフに含めるデータを設定する。今回は事業後の環境モニタリング数値を用いた。
73   region:bufferOut, //グラフを算出する際の算出範囲を設定する。今回は解析範囲を用いた。
74   reducer:ee.Reducer.mean(), //データの算出方法を設定する。今回は平均値を算出する。
75   scale:1113.2 //reducerに使用するスケール（単位m）今回はSentinel-5の解像度を参考にした。
76 });
77
78 //事業後1年間の環境モニタリング数値の年間グラフをconsole画面に表示する。
79 print('環境モニタリング数値（SO2,NO2,浮遊粒子）の年間グラフ（事業後の1年間） 単位：mol/m2',ENVI_AFTER);
80
```

図 3.2.1-7 環境モニタリング数値の年間グラフの作成を行うスク립ト

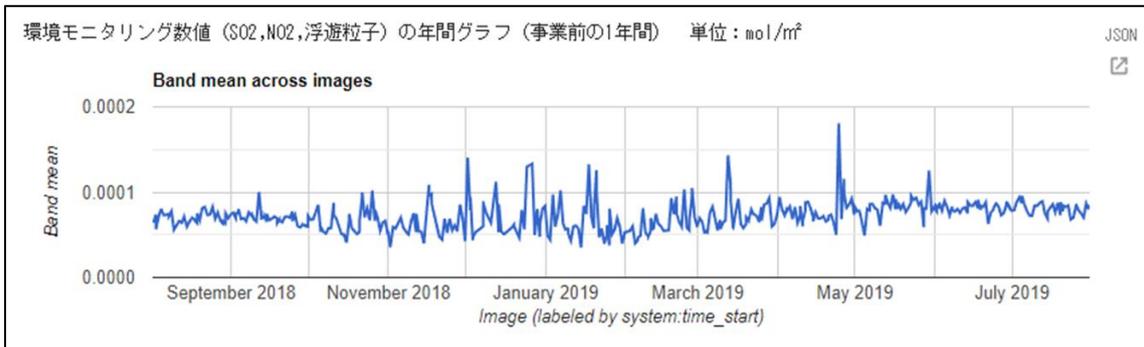


図 3.2.1-8 事業前の環境モニタリング数値の年間グラフ (2018年8月～2019年7月)

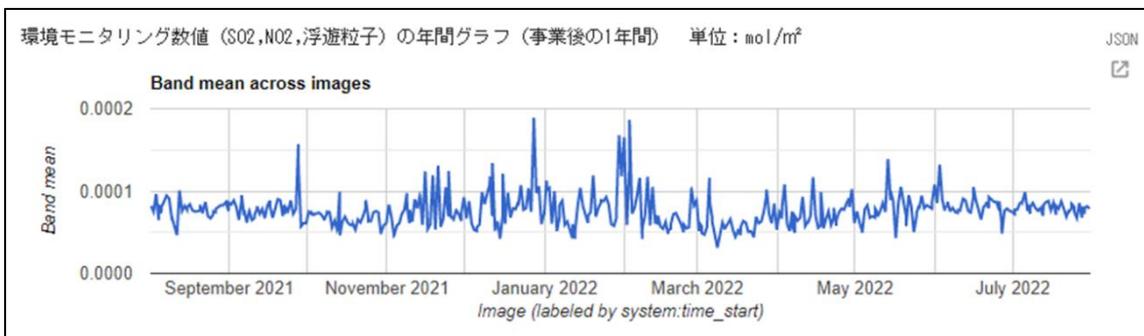


図 3.2.1-9 事業後の環境モニタリング数値の年間グラフ (2021年8月～2022年7月)

⑤ 年平均画像の作成

事業前後の環境モニタリング数値の年平均画像の作成方法は図 3.2.1-10 のスクリプト 88～90 行目の通り。また、年平均画像の配色設定(カラーパレットの設定)方法を 94 行目、年平均画像を地図画面上に表示する方法を 100 行目と 103 行目に示す。スクリプトの実行結果を図 3.2.1-12 及び図 3.2.1-13 に表す。

参考情報として SO2 と浮遊粒子のスクリプト実行結果を図 3.2.1-14 から図 3.2.1-17 に示す

```
Environmental_monitoring_index
83 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
84 // 作業5：年平均画像の作成 //
85 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
86
87 //事業前の年平均画像の作成
88 var SP5_BEFORE_img = SP5_BEFORE.mean();
89 //事業後の年平均画像の作成
90 var SP5_AFTER_img = SP5_AFTER.mean();
91
92
93 //カラーパレットの設定(地図画面上に表示する画像の数値の範囲と配色を設定する。)
94 var band_viz = {min: 0, max: 0.0002, palette:['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green', 'yellow', 'red']};
95 /*min,max: 地図画面上に表示する画素値の最小値・最大値を設定する。
96 palette : 画像を表示する際のカラー配列リストを作成する。
97          画素値が最小値に近いほど黒色に表示され、最大値に近いほど赤色に表示される。*/
98
99 //事業前の年平均画像を地図画面上に表示する。
100 Map.addLayer(SP5_BEFORE_img, band_viz, '事業前の環境モニタリング数値の年平均画像');
101
102 //事業後の年平均画像を地図画面上に表示する。
103 Map.addLayer(SP5_AFTER_img, band_viz, '事業後の環境モニタリング数値の年平均画像');
104
105 //指定する座標に地図画面を移動
106 Map.setCenter(50.2120249, 40.498697, 11); //対象とするシマル火力発電所周辺へ地図画面を移動する。
107
```

図 3.2.1-10 年平均画像の作成を行うスクリプト

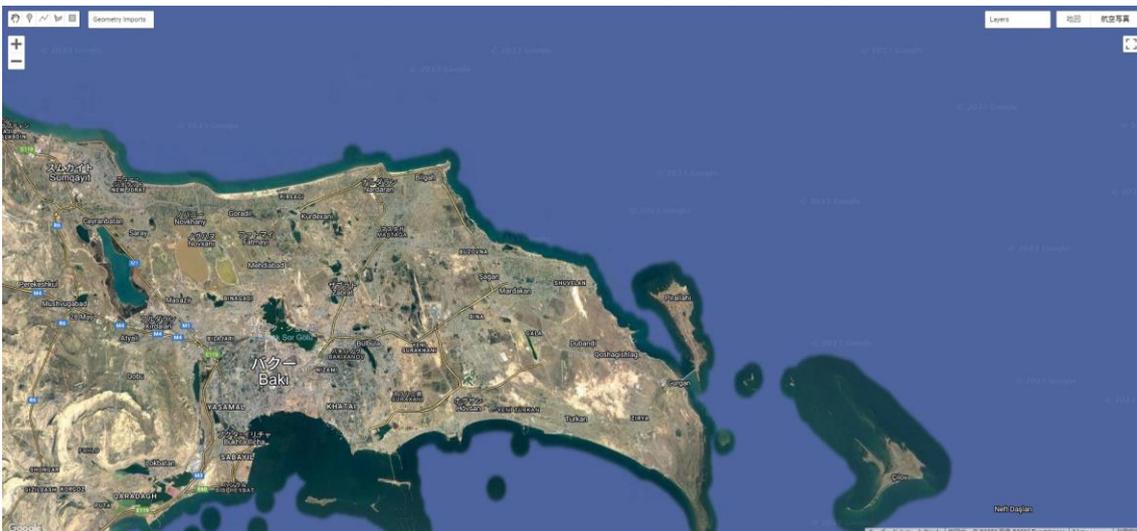


図 3.2.1-11 シマル火力発電所の周辺状況(衛星画像)



図 3.2.1-12 事業前の環境モニタリング数値(NO2)の年平均画像



図 3.2.1-13 事業後の環境モニタリング数値(NO2)の年平均画像

※モニタリング数値の配色は画素値が最低値に近い順に黒色＞青色＞紫色＞シアン色(水色)＞緑色＞黄色＞赤色に設定している。

※表示する色については、図 3.2.1-10 の 94 行目の「palette」にて自由に設定できる。

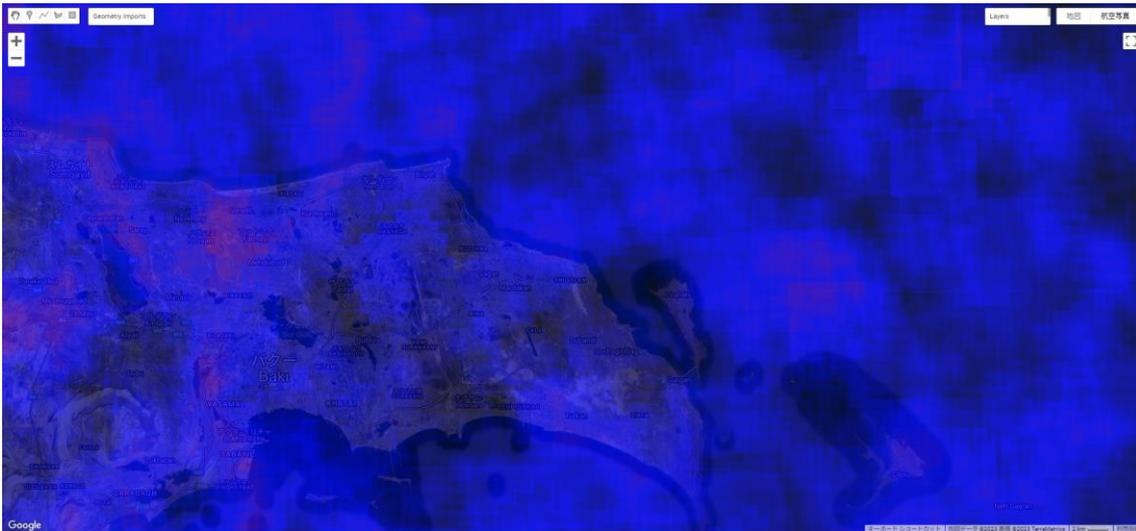


図 3.2.1-14 【参考】事業前の環境モニタリング数値(SO2)の年平均画像

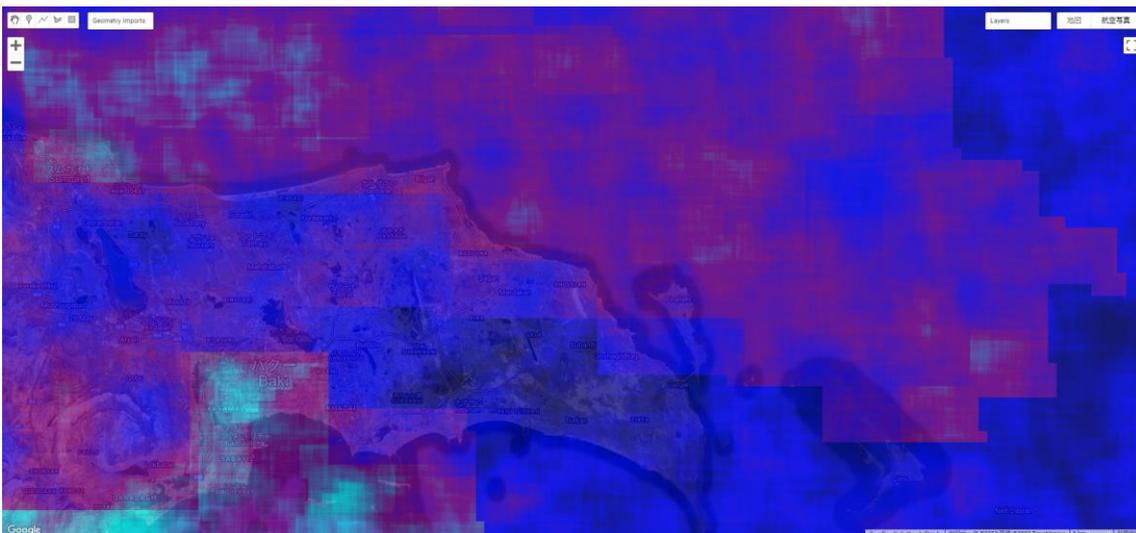


図 3.2.1-15 【参考】事業後の環境モニタリング数値(SO2)の年平均画像

※モニタリング数値の配色は画素値が最低値に近い順に黒色＞青色＞紫色＞シアン色(水色)＞緑色＞黄色＞赤色に設定している。

※表示する色については、図 3.2.1-10 の 94 行目の「palette」にて自由に設定できる。



図 3.2.1-16 【参考】事業前の環境モニタリング数値(浮遊粒子)の年平均画像

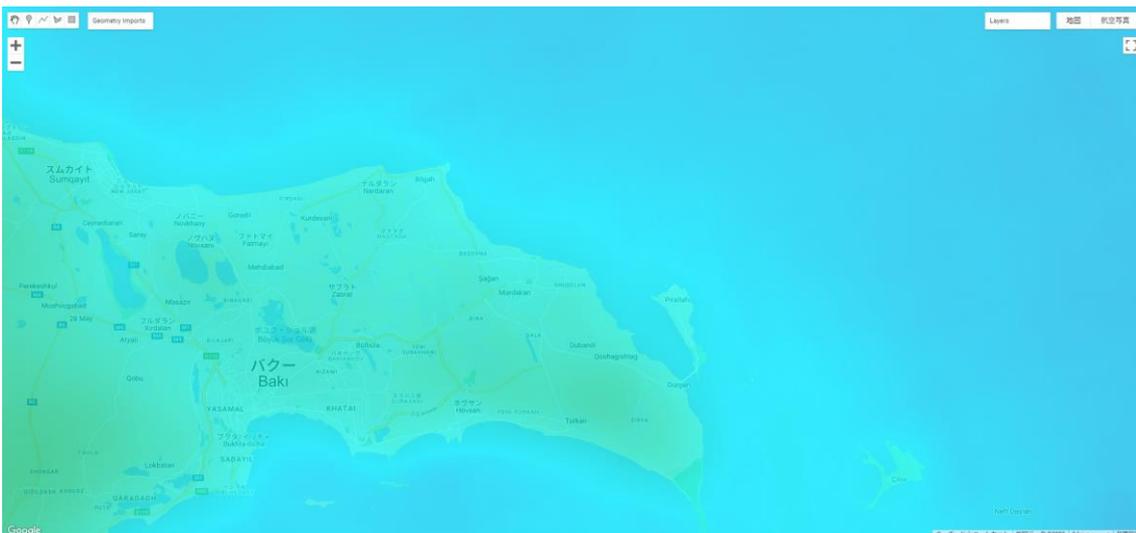


図 3.2.1-17 【参考】事業後の環境モニタリング数値(浮遊粒子)の年平均画像

※モニタリング数値の配色は画素値が最低値に近い順に黒色＞青色＞紫色＞シアン色(水色)＞緑色＞黄色＞赤色に設定している。

※表示する色については、図 3.2.1-10 の 94 行目の「palette」にて自由に設定できる。

⑤-① 年平均値の算出

作成した環境モニタリング数値の年平均画像より、解析範囲内の年平均値の算出を行う。

算出方法は図 3.2.1-18 のスクリプト 115~123 行目と 127~135 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.2.1-19 及び図 3.2.1-20 に示す。

```
Environmental_monitoring_index  Get Link Save Run Reset Apps
110 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
111 // 作業5-1: 年平均値の算出
112 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
113
114 //事業前の年平均値の算出
115 var SP5_BEFORE_measure = SP5_BEFORE_img.reduceRegion({
116   reducer: ee.Reducer.mean(), //データの処理方法を設定する。今回は平均値を算出する。
117   geometry: bufferOut, //データの処理を行う際の範囲を設定する。今回は解析範囲を用いた。
118   scale: 1113.2, //reducerに使用するスケール(単位m)今回はSentinel-5の解像度を参考にした。
119   maxPixels: 1e13, //解析するpixelの最大数。
120 });
121
122 //環境モニタリング数値の年平均値(事業前)をConsole画面に表示。
123 print('事業前の環境モニタリング数値の年平均(単位: mol/m2)', SP5_BEFORE_measure);
124
125
126 //事業後の年平均値の算出
127 var SP5_AFTER_measure = SP5_AFTER_img.reduceRegion({
128   reducer: ee.Reducer.mean(), //データの処理方法を設定する。今回は平均値を算出する。
129   geometry: bufferOut, //データの処理を行う際の範囲を設定する。今回は解析範囲を用いた。
130   scale: 1113.2, //reducerに使用するスケール(単位m)今回はSentinel-5の解像度を参考にした。
131   maxPixels: 1e13, //解析するpixelの最大数。
132 });
133
134 //環境モニタリング数値の年平均値(事業後)をConsole画面に表示。
135 print('事業後の環境モニタリング数値の年平均(単位: mol/m2)', SP5_AFTER_measure);
136
```

図 3.2.1-18 年平均値の算出を行うスクリプト

```
事業前の環境モニタリング数値の年平均(mol/m2) JSON
Object (1 property) JSON
  NO2_column_number_density: 0.00007268773232637314
```

図 3.2.1-19 事業前の環境モニタリング数値の年平均(mol/m²)

```
事業後の環境モニタリング数値の年平均(mol/m2) JSON
Object (1 property) JSON
  NO2_column_number_density: 0.00007658971510444505
```

図 3.2.1-20 事業後の環境モニタリング数値の年平均(mol/m²)

⑥ 事業前後の差異の算出

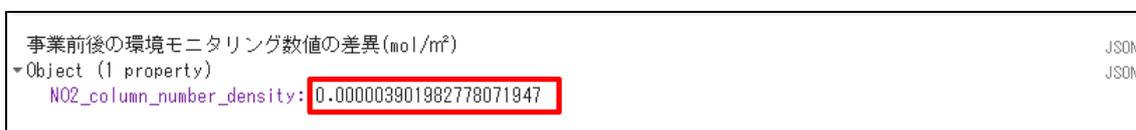
事業前後での環境モニタリング数値の差異の算出方法は図 3.2.1-21 のスクリプト 145～156 行目の通り。算出結果をコンソール画面に出力する方法を 156 行目に、その実行結果を図 3.2.1-22 に示す。

本指標は、火力発電所を新設した場合、環境モニタリング数値は増加することを想定している。事業前後の環境モニタリング数値の差異 (mol/m^2) がプラスの場合は、環境モニタリング数値が事業前と比較して事業後に増加傾向であることを意味する。一方、差異がマイナスの場合には、環境モニタリング数値が減少傾向であることを意味する。



```
Environmental_monitoring_index *
139 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
140 // 作業6: 事業前後の環境モニタリング数値の差異の算出 //
141 // // //
142 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
143
144 //事業前後の環境モニタリング数値の差分値の算出
145 var subtract = SP5_AFTER_img.subtract(SP5_BEFORE_img);
146
147 //事業前後の環境モニタリング数値の差異の算出
148 var sub_measure = subtract.reduceRegion({
149   reducer: ee.Reducer.mean(), //データの処理方法を設定する。今回は平均値を算出する。
150   geometry: bufferOut, //データの処理を行う際の範囲を設定する。今回は解析範囲を用いた。
151   scale: 1113.2, //reducer|に使用するスケール(単位m)今回はSentinel-5の解像度を参考にした。
152   maxPixels: 1e13, //解析するpixelの最大数。
153 });
154
155 //事業前後の環境モニタリング数値の差異をConsole画面に表示する。
156 print('事業前後の環境モニタリング数値の差異(単位: mol/m²)', sub_measure);
157
```

図 3.2.1-21 事業前後の環境モニタリング数値の差異を算出するスクリプト



```
事業前後の環境モニタリング数値の差異(mol/m²) JSON
Object (1 property) JSON
  NO2_column_number_density: 0.000003901982778071947
```

図 3.2.1-22 事業前後の環境モニタリング数値の差異 (mol/m^2)

(3) 解析・結果に関する留意点

今回の事例から、環境モニタリング数値の算出にあたり、以下 3 点について留意する必要があることが分かる。

① 解析期間の確認

環境モニタリング数値は撮影時の風や雲などの影響を受けるため、観測期間を 1 年間程度設けることが望ましい。

② 衛星データの確認

Sentine-5 衛星は 2018 年 7 月 4 日からデータ公開されている。火力発電所の事業評価を行う場合は 2018 年 7 月以降の観測データがあるか確認する必要がある。

③ 解析結果の考え方について

環境モニタリング数値は発電所の他に市街地を走る自動車などからも排出される。そのため、解析結果より得られる環境モニタリング数値は周辺状況によって変化する。特に 2019 年から 2022 年は新型コロナウイルスによる経済活動の停滞による環境モニタリング数値の改善例もある。

(4) 参考文献

- Hamidreza, 2022, Spatiotemporal Analysis of NO2 Production Using TROPOMI Time-Series Images and Google Earth Engine in a Middle Eastern Country:RemoteSens (2022)
- Gantuya ,2022, Assessment of COVID-19 Impacts on Air Quality in Ulaanbaatar, Mongolia, Based on Terrestrial and Sentinel-5P TROPOMI Data: Aerosol and Air Quality Research (2022)
- N.Theys,2019, Global monitoring of volcanic SO2 degassing with unprecedented resolution from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor:scientific reports(2019)
- Manuel,2019, TROPOMI enables high resolution SO2 flux observations from Mt. Etna, Italy, and beyond:scientific reports(2019)
- Sentinel-5 Precursor Level 1b and Level 2 Numbered Validation Requirements:esa(2015)

3.3 防災分野

3.3.1 避難施設を利用可能な裨益人口

(1) 解析の全体像と手順

避難施設の利用可能な人数を算出するにあたり、作業1:対象施設の設定、作業3:推定居住人口データの取得、作業4:解析範囲内の居住人口の算出が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.3.1-1 の通り。

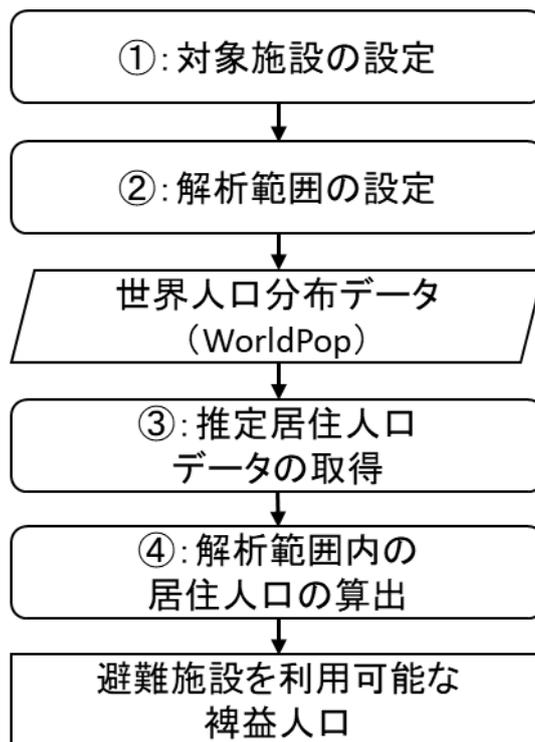


図 3.3.1-1 避難施設の利用可能な裨益人口の解手順

(2) 解析事例の紹介(インドネシア)

図 3.3.1-1 で示した解析手順に従い、インドネシアの西スマトラ州パダン市内の学校施設を対象施設とし、WorldPop の提供する世界人口分布データ(分解能:約 100m、データ公開期間:2020年1月~2021年1月)を用いて、避難施設を利用可能な裨益人口の算出を行う。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/8e0d52739cedd8c1910ba0983047435e>

① 対象施設の設定

図 3.3.1-2 に示す通り、マップの左上にあるジオメトリツールを用いて、対象施設を設定する。対象施設の設定が完了すると、コードエディタ上に「geometry」という変数が生成される(図 3.3.1-3)²²。今回は、ポリゴン(多角形)と呼ばれるベクターデータを作成する²³。



図 3.3.1-2 対象施設の設定(ポリゴン)

```
Population_estimate_index
Imports (1 entry)
var geometry: Polygon, 4 vertices
1 //避難施設の利用可能な裨益入口
2
3 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
4 // 作業1:対象施設の設定
5 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
6
7 /*
8 ジオメトリツールより対象施設ポリゴンを作成する。
9 ポリゴンの作成手順はマニュアルを参照とする。
10 */
11
```

図 3.3.1-3 コードエディタ上に生成された「geometry」変数

② 解析範囲の設定

避難施設周辺の居住人数を算出するために、避難施設に対して解析範囲を設定した。解析範囲の設定方法は図 3.3.1-4 のスクリプト 18 行目の通り。

```
Population_estimate_index *
14 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
15 // 作業2:解析範囲の設定
16 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
17
18 var bufferOut = geometry.buffer(1000); //対象施設周辺に解析範囲を設定する。
19
```

図 3.3.1-4 解析範囲の設定を行うスクリプト

²² ジオメトリツールの使い方を知りたい方は、[こちら](#)。

²³ ポリゴンを含むベクターデータを詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

③ 推定居住人口データの取得

今回の事例では、WorldPop の提供する世界人口分布データ(公開期間:2020 年 1 月 1 日 ~2021 年 1 月 1 日)を取得する。

取得方法は図 3.3.1-5 のスクリプト 27~40 行目の通り。28 行目にて、世界人口分布データ内のバンド情報である推定居住人口データを取得し、31 行目にて、推定居住人口データの配色設定(カラーパレットの設定)を行う。さらに37行目にて、取得した推定居住人口データを地図画面上に追加する。スクリプトの実行結果を図 3.3.1-6 に示す。

```
Population_estimate_index *
22 ///////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
23 // 作業3:推定居住人口データの取得
24 ///////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
25
26 //世界人口分布データの読み込み
27 var dataset = ee.ImageCollection("WorldPop/GP/100m/pop_age_sex_cons_unadj")
28   .select('population'); //推定居住人口データを選択する。
29
30 //カラーパレットの設定(地図画面上に表示する画像の数値の範囲と配色を設定する。)
31 var band_viz = {min: 0.0,max: 100.0, palette: ['red', 'yellow', 'green']};
32 /* min,max: 地図画面上に表示する画素値の最小値・最大値を設定する。
33    palette : 画像を表示する際のカラー配列リストを作成する。
34    | | | | 画素値が最小値に近いほど赤色に表示され、最大値に近いほど緑色に表示される。*/
35
36 //推定居住人口データを地図画面上に表示する。
37 Map.addLayer(dataset, band_viz, "推定居住人口データ");
38
39 //指定する座標に地図画面を移動
40 Map.setCenter(100.351678, -0.92101, 12); //インドネシアの西スマトラ州パダン市へ地図画面を移動する。
41
```

図 3.3.1-5 推定居住人口データの取得

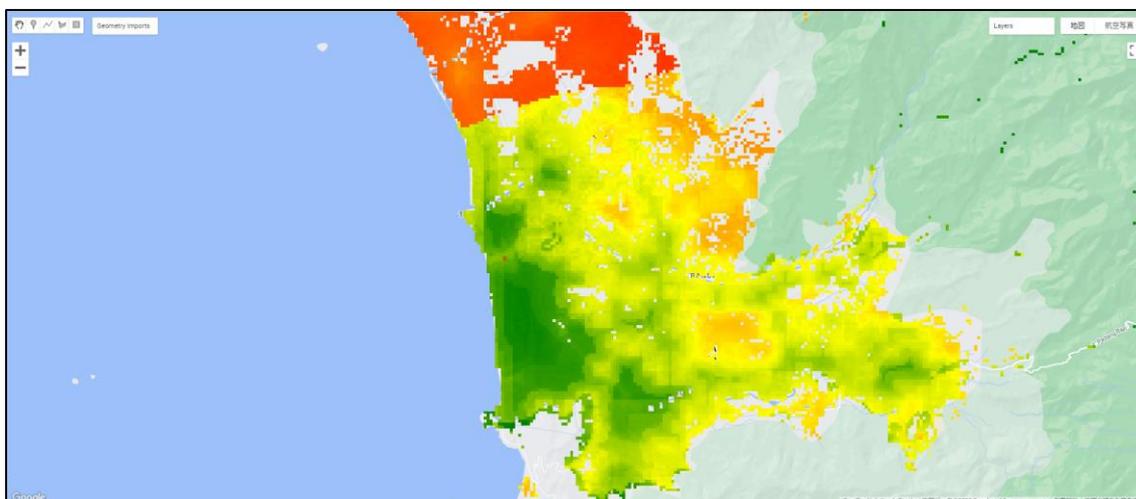


図 3.3.1-6 推定居住人口データの地図画面への出力結果

※推定居住人口の配色は画素値が最低値に近い順に赤色>黄色>緑色に設定している。

※表示する色については、図 3.3.1-4 の 31 行目の「palette」にて自由に設定できる。

④ 解析範囲内の推定居住人口の算出

取得した推定居住人口情報より解析範囲内の居住者数の算出を行う。

算出方法は図 3.3.1-7 のスクリプト 53~58 行目の通り。スクリプトの実行結果を図 3.3.1-8 に示す。

```
Population_estimate_index *
44 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
45 // 作業4:解析範囲内の推定居住人口の算出 //
46 // //
47 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
48
49 //推定居住人口の合計画像の作成
50 var worldpop_sum = dataset.sum();
51
52 //解析範囲内の推定居住人口の合計値の算出
53 var worldpop_clip_measure = worldpop_sum.reduceRegion({
54   reducer: ee.Reducer.sum(), //データの処理方法を設定する。今回は合計値を算出する。
55   geometry: bufferOut, //データの処理を行う際の範囲を設定する。今回は解析範囲を用いた。
56   scale: 92.77, //reducerに使用するスケール(単位m)今回はWorldPopの解像度を参考にした。
57   maxPixels: 1e13, //解析するpixelの最大数。
58 });
59
60 //対象施設を利用可能な裨益人口をConsole画面に表示。
61 print("対象施設を利用可能な裨益人口 (単位:人)",worldpop_clip_measure);
62
```

図 3.3.1-7 解析範囲内の居住者数の算出

```
対象施設を利用可能な裨益人口 (単位:人) JSON
Object (1 property) JSON
  population: 30006.509332589547
```

図 3.3.1-8 対象施設を利用可能な裨益人口

(3) 解析・結果に関する留意点

今回の解析に用いた推定居住人口データは、国別の国勢調査データと建物・集落情報などに基づき作成されている(図 3.3.1-9)。このため、従来の推定居住人口データ(図 3.3.1-10)に見られたような、無人地域(青丸)への誤った人口の割り当ては軽減されており、より正確な人口分布を示していると言える。しかし一方で、同データは建物・集落情報の影響を受けやすいため、建物・集落が誤って識別されている場合には、人口の過小配分が発生する可能性がある。

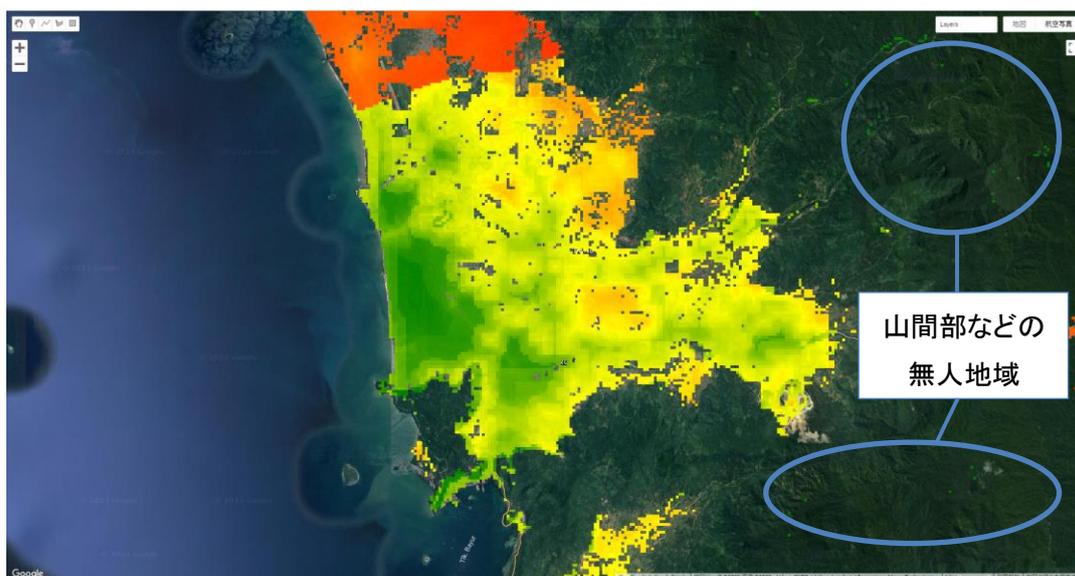


図 3.3.1-9 推定人口分布データの作成イメージ

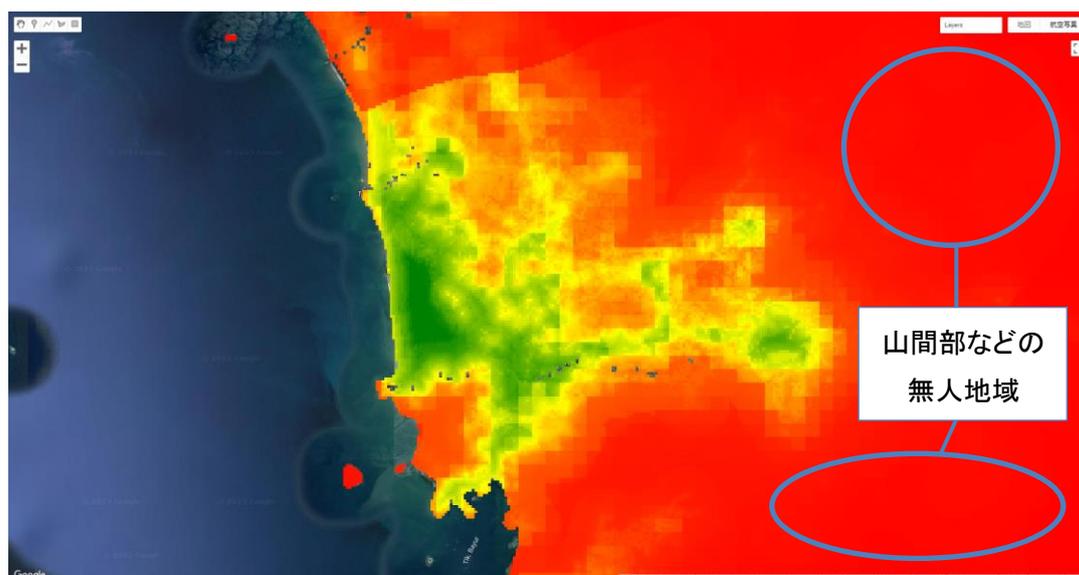


図 3.3.1-10 従来の推定人口分布データの作成イメージ

※推定居住人口の配色は画素値が最低値に近い順に赤色>黄色>緑色に設定している。

(4) 参考文献

- WorldPop ウェブサイト

https://www.worldpop.org/methods/top_down_constrained_vs_unconstrained/

3.3.2 降水量

(1) 解析の全体像と手順

降水量を把握するにあたり、①解析範囲の設定、③衛星データの取得、④降水量画像(mm)の作成、⑤降水量の平均値(mm)の算出が主な手順となる。詳細な解析手順は図 3.3.2-1 の通り。

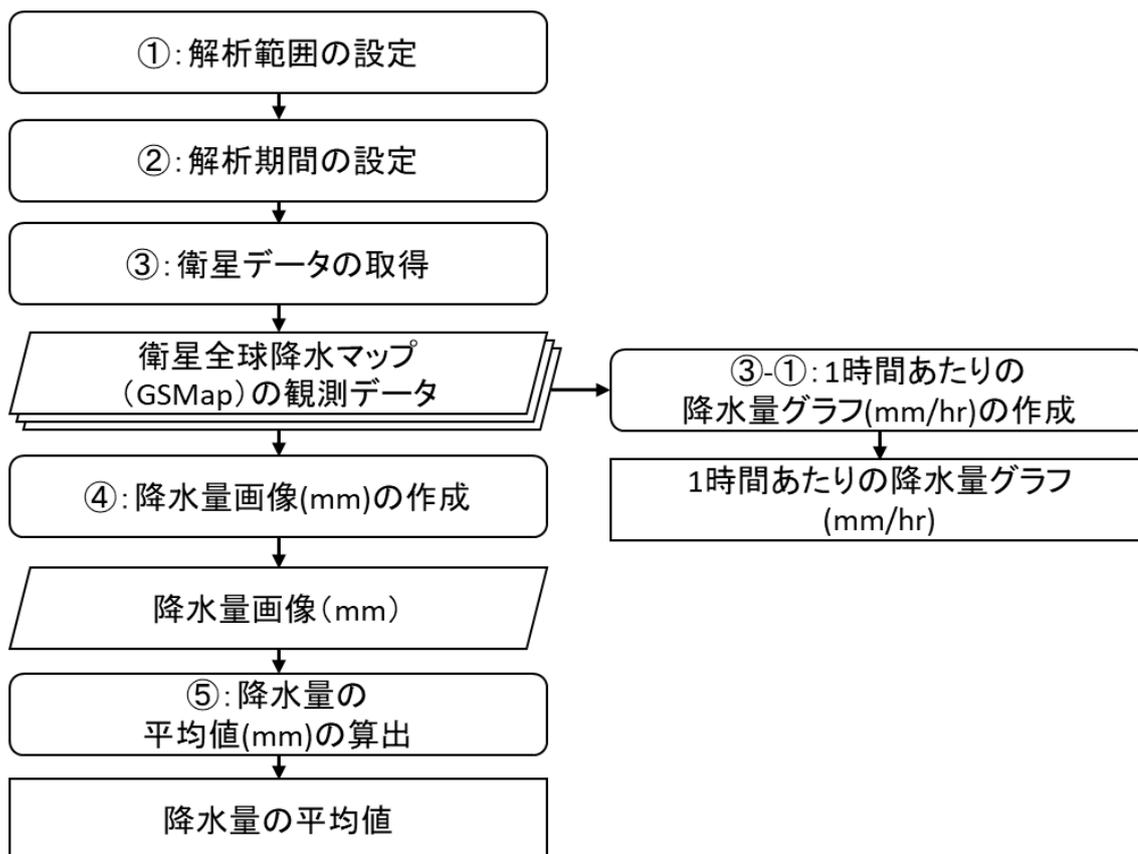


図 3.3.2-1 降水量の把握手順

(2) 解析事例の紹介(ブラジル)

図 3.3.2-1 で示した解析手順に従い、ブラジルのリオデジャネイロ州周辺を解析範囲とし、JAXA の提供する衛星全球降水マップ (GSMaP: Global Satellite Mapping of Precipitation、分解能:約 10,000m、データ公開期間:2014 年 3 月 1 日～現在)の提供する 2022 年 2 月 1 日～2 月 28 日のデータを用いて、降水量の平均値の算出を行う。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/a87288d226ac341a93af8190eddfbdd2>

① 解析範囲の設定

図 3.3.2-2 に示す通り、マップの左上にあるジオメトリツールを用いて、解析したい範囲を設定する。解析範囲の設定が完了すると、コードエディタ上に「geometry」という変数が生成される(図 3.3.2-3)²⁴。今回は、ポリゴン(多角形)と呼ばれるベクターデータを作成する²⁵。

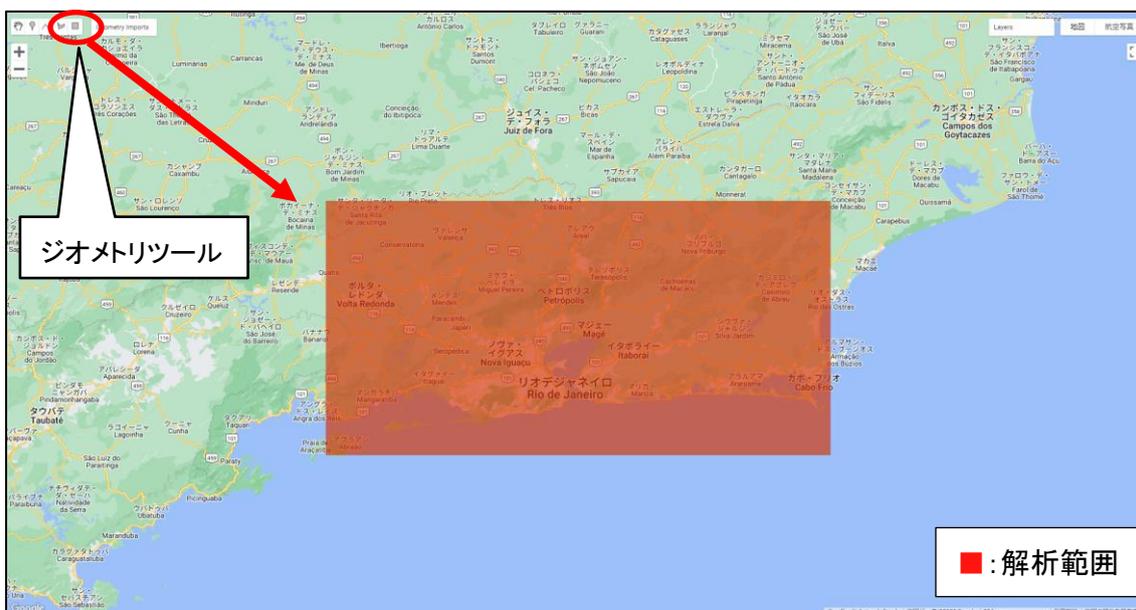


図 3.3.2-2 解析範囲(ポリゴン)



図 3.3.2-3 コードエディタ上に生成された「geometry」変数

²⁴ ジオメトリツールの使い方を知りたい方は、[こちら](#)。

²⁵ ポリゴンを含むベクターデータを詳しく知りたい方は、[こちら](#)。

② 解析期間の設定

降水量データを算出するにあたり、降水量データの取得期間を設定する。今回の事例ではブラジルのリオデジャネイロ州を対象に降水量の多い雨季の2022年の2月1日～2月28日を解析期間として設定する。

解析期間の設定方法は図 3.3.2-4 のスクリプト 18～19 行目の通り。



```
Raindistribution_evaluation_index
14 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
15 // 作業2: 解析期間の設定 //
16 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
17
18 var Date1 = ee.Date('2022-02-01'); //1時間あたりの降水量(mm/hr)の取得開始日を入力する。
19 var Date2 = ee.Date('2022-02-28'); //1時間あたりの降水量(mm/hr)の取得終了日を入力する。
20
```

図 3.3.2-4 解析期間の設定を行うスクリプト

③ 降水量データ(1時間あたりの降水量(mm/hr))の取得

今回の事例では、2022年の2月1日～28日までの衛星全球降水マップ(GSMaP)の観測データを取得する。

取得方法は図 3.3.2-5 のスクリプト 28～30 行目の通り。解析に用いる降水量データ(GSMaP)の設定を28行目、1時間あたりの降水量(mm/hr)のバンド情報の設定を29行目にて行う。



```
Raindistribution_evaluation_index
23 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
24 // 作業3: 降水量データの取得(1時間あたりの降水量(mm/hr)) //
25 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
26
27
28 var dataset = ee.ImageCollection('JAXA/GPM_L3/GSMaP/v6/operational') //GSMaPの読み込み。
29 .select('hourlyPrecipRate') //1時間あたりの降水量(mm/hr)を選択する。
30 .filterDate(Date1, Date2); //降水量データの取得期間を設定する。
31
```

図 3.3.2-5 降水量データ(1時間あたりの降水量(mm/hr))の取得を行うスクリプト

③-① 1時間あたりの降水量グラフ(mm/hr)の作成

取得した1時間あたりの降水量データについて、時系列グラフを作成する。作成方法は図 3.3.2-6 のスクリプト 40~48 行目の通り。グラフに載せるデータと解析範囲、集計方法の設定を40~45 行目にて行う。作業1で設定した「geometry」を解析範囲として用い、その範囲内の平均値を求める。この際にスケールサイズ(m 単位)を設定する必要があるが、衛星全球降水マップ(GSMaP)の解像度が11,132mであることから、今回は「11132」と入力する。

作成した1時間あたりの降水量の一ヶ月間の変化グラフを48 行目に示すスクリプトによってコンソール画面に表示する。スクリプトの実施結果を図 3.3.2-7 に示す。

```

Raindistribution_evaluation_index *
34 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
35 // 作業3-1: 1時間あたりの降水量グラフ(mm/hr)の作成 //
36 // //
37 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
38
39 //1時間あたりの降水量グラフ(mm/hr)を作成する。
40 var precipitation_mean = ui.Chart.image.series({
41   imageCollection: dataset, //グラフに含める降水量データを設定する。
42   region: geometry, //グラフを作成する際の解析範囲を設定する。
43   reducer: ee.Reducer.mean(), //データの解析方法を設定する。今回は平均値を算出する。
44   scale: 11132 //reducerに使用するスケール(単位m)今回はGSMaPの解像度を参考にした。
45 });
46
47 //1時間あたりの降水量グラフ(mm/hr)をconsole画面に表示する。
48 print('1時間あたりの降水量グラフ(mm/hr)', precipitation_mean);
49

```

図 3.3.2-6 1時間あたりの降水量グラフ(mm/hr)の作成を行うスクリプト

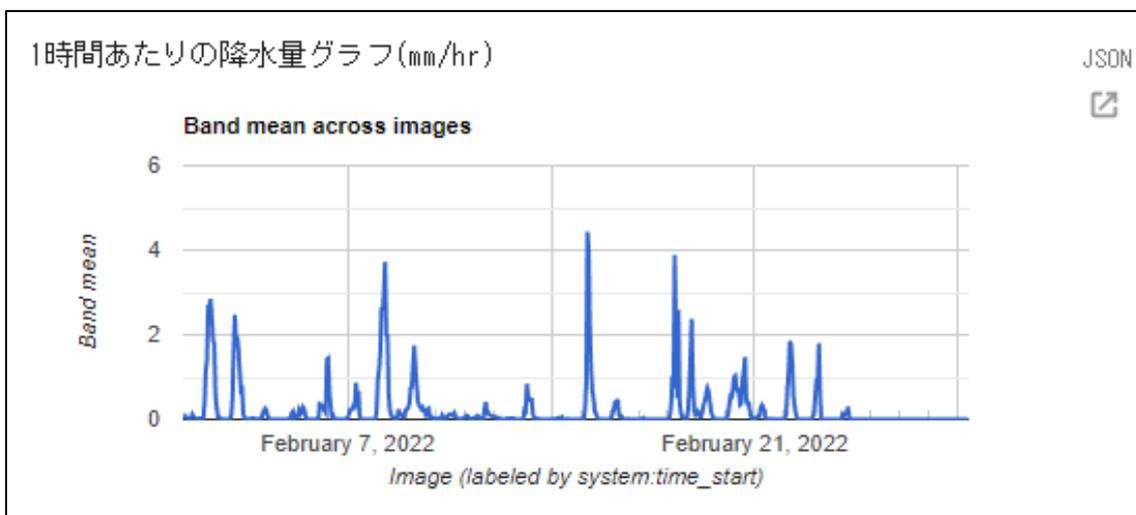


図 3.3.2-7 1時間あたりの降水量グラフ(mm/hr)

④ 降水量画像(mm)の作成

取得した 1 時間あたりの降水量データ(mm/hr)より、1か月間の平均降水量を示す降水量画像(mm)を作成する。降水量画像の作成方法は図 3.3.2-8 のスクリプト 57~60 行目の通り。また、降水量画像の配色設定(カラーパレットの設定)方法を 64 行目、降水量画像を地図画面に表示する方法を 71 行目に示す。スクリプトの実施結果を図 3.3.2-9 に表す。

```
Raindistribution_evaluation_index *
52 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
53 // 作業4：降水量画像(mm)の作成 //
54 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
55 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
56 ////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
57 var analysis_period = Date2.difference(Date1,'day'); //解析日数の算出する。
58 var precipitation_mean = dataset.mean(); //1時間あたりの降水量データ(mm/hr)の平均値を算出する。
59 var precipitation_clip = precipitation_mean.clip(geometry); //解析範囲でクリップする。
60 var precipitation_analysis = precipitation_clip.multiply(24).multiply(analysis_period);
61 //クリップした1時間あたりの降水量データ (mm/hr) に対して、24時間×解析日数を乗算することで降水量(mm)画像を作成する。
62
63 //カラーパレットの作成
64 var band_viz = {min: 0, max: 500, palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green', 'yellow', 'red']};
65 //min,max: 地図画面に表示する画素値の最小値・最大値を設定する。
66 //palette: 画像を表示する際のカラー配列リストを作成する。
67 // | | | | | 画素値が最小値に近いほど黒色に表示され、最大値に近いほど赤色に表示される。*/
68
69
70 //降水量画像 (mm) を地図画面へ表示する。
71 Map.addlayer(precipitation_analysis, precipitationVis, '解析範囲内の降水量画像');
72 //指定する座標に地図画面を移動
73 Map.setCenter(-43.1212, -22.5903, 9); //解析対象とするブラジル リオデジャネイロ州周辺へ地図画面を移動する。
74
```

図 3.3.2-8 降水量画像(mm)の作成を行うスクリプト

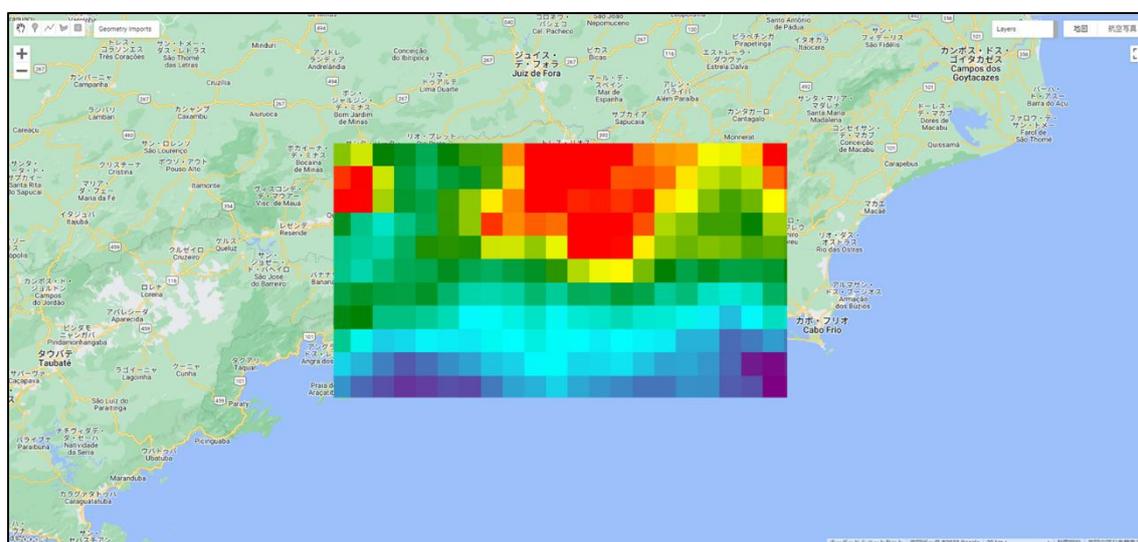


図 3.3.2-9 降水量画像(mm)のマップ表示結果

※降水量の配色は画素値が最低値に近い順に黒色>青色>紫色>シアン色(水色)>緑色>黄色>赤色に設定している。

※表示する色については、図 3.3.2-8 の 64 行目の「palette」にて自由に設定できる。

⑤ 降水量の平均値(mm)の算出

作成した降水量画像(mm)より、解析範囲内の降水量の平均値を算出する。

降水量の平均値(mm)の算出方法は図 3.3.2-10 の 83~88 行目の通り。算出結果を 90 行目に示すスクリプトによってコンソール画面に表示する。スクリプトの実行結果を図 3.3.2-11 に示す。

```
Raindistribution_evaluation_index *
77 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
78 // 作業5: 降水量の平均値(mm)の算出 //
79 // //
80 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
81
82 //解析範囲内における平均降水量(mm)の算出
83 var precipitation_reduceRegion = precipitation_analysis.reduceRegion({
84   reducer: ee.Reducer.mean(), //データの処理方法を設定する。今回は平均値を算出する。
85   geometry: geometry, //データの処理を行う際の範囲を設定する。今回は解析範囲を用いた。
86   scale: 11132, //reducerに使用するスケール(単位m) 今回はGSMapの解像度を参考にした。
87   maxPixels: 1e13, //解析するpixelの最大数。
88 });
89
90 print("降水量の平均値 (mm) ",precipitation_reduceRegion);
91
```

図 3.3.2-10 降水量の平均値(mm)の算出を行うスクリプト

```
降水量の平均値 (mm) JSON
▼ Object (1 property) JSON
  hourlyPrecipRate: 149.767806688994712
```

図 3.3.2-11 降水量の平均値 (mm)

(3) 解析・結果に関する留意点

今回の事例から、環境モニタリング数値の算出にあたり、以下 3 点について留意する必要があることが分かる。

① 解析期間の確認

解析期間を半年以上設けてしまうと、Google Earth Engine で処理可能なデータ数(5,000)を上回るため解析エラーが発生する(図 3.3.2-12)。

② 衛星データの確認

GSMaP の観測領域は北緯 60 度、南緯 60 度であり、それ以外の地域(寒冷地)の降水量は公開されていない(図 3.3.2-13)。

③ 解析結果の考え方について

GSMaP の精度は地表の状態や気温・積雪などの影響を受けるため、対象地域の気候や季節を考慮する必要がある。



図 3.3.2-12 GEE でデータ処理可能なデータ数を超えた場合の解析エラー画面

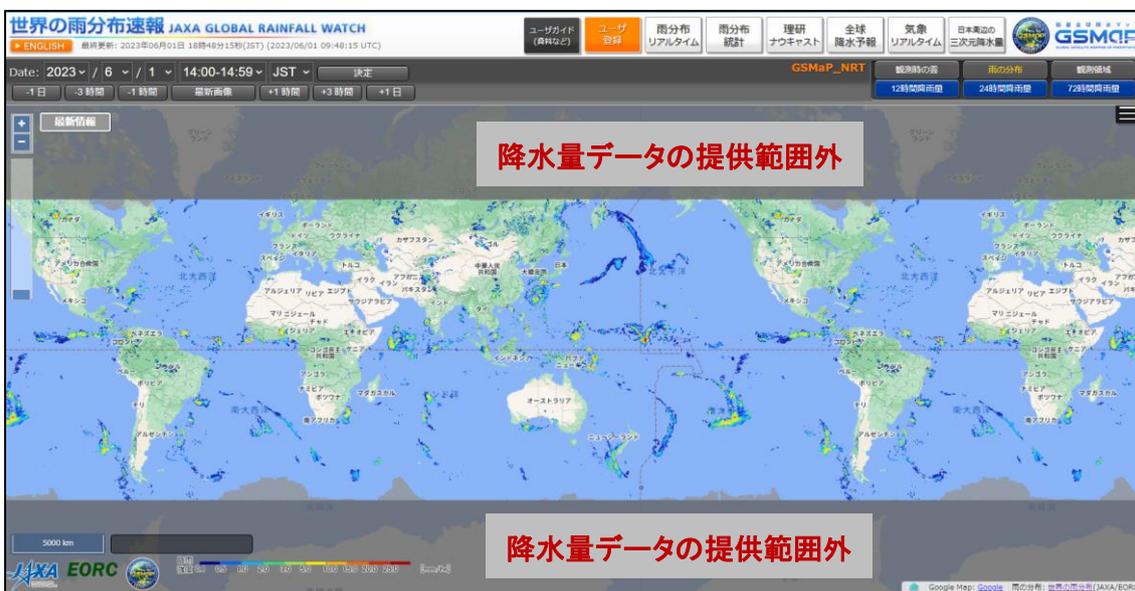


図 3.3.2-13 GSMaP の観測領域(引用:世界の雨分布速報より(一部変更)²⁶)

²⁶ 世界の雨分布速報サイト
(<https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.j.htm>)

(4) 参考文献

- YAMAJI, 2021, An Approach to Reliability Characterization of GSMaP Near-Real-Time Precipitation Product, Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 2021 Volume 99 Issue 3 Pages 673-684
- 青梨, 2022, 衛星観測による全球降水マップの開発と社会での実利用推進, 2019 年度岸保・立平賞受賞記念講演, 2022 年 69 巻 4 号 p.183-195
- Nodzu, Precipitation estimation performance by Global Satellite Mapping and its dependence on wind over northern Vietnam, 2019, Progress in Earth and Planetary Science, Article number: 58 (2019)

別添1 リモートセンシング及び衛星データの基本

1. リモートセンシングとは

地球観測衛星等のように遠く離れたところから、対象物に直接触れずに対象物の大きさ、形及び性質を観測する技術をリモートセンシングと総称されている(図 別添 1-3.3.2-1)。

対象物に直接触れることなく観測できる理由として、観測を行う対象物が反射又は放射している光等の電磁波の特性を利用しているからである。一般的に、物質から反射又は放射される電磁波の特性は、物質の種類や状態によって異なる。すなわち、物質から反射又は放射される電磁波の特性を把握し、それらの特性とセンサでとらえた観測結果とを照らし合わせることで、対象物の大きさ、形、性質を知ることができる。

地球観測衛星によるリモートセンシングには、幾つかの特徴がある(図 別添 1-2)。観測結果は、これらの特徴を生かして地球環境に係わる様々な研究や私たちの生活と係わりの深い様々な分野に利用されている。

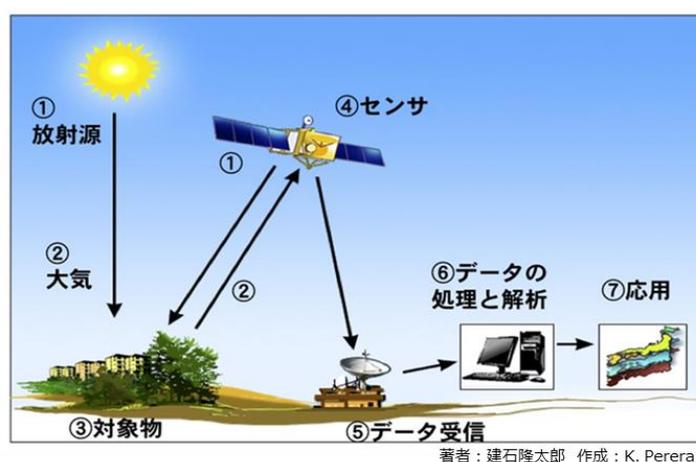


図 別添 1-3.3.2-1 リモートセンシングの概念(イメージ図)

広域性	対地表障害性	周期性	均質性
• 数 10km～数 1,000km の幅をほぼ同時に観測することができる	• 災害や国境などで、人が現地に行けないような場所を観測することができる	• 衛星の回帰軌道に合わせて同じ場所を一定の周期で観測することができる	• 1回の観測で撮影したシーン内の太陽光などの条件が比較的均一である

図 別添 1-2 衛星リモートセンシングの特徴

2. 人工衛星の種類

人工衛星は、地球観測のほか気象観測、通信・放送、測位、惑星探査等の目的で活用されている。地球観測には地上 500km 程度の衛星軌道上から地球を観測する地球観測衛星が活用され、地球観測衛星は光学センサを搭載した「光学衛星」とマイクロ波センサを搭載した「SAR 衛星(レーダー衛星)」に大別される。

光学衛星は太陽光の反射から画像生成するため、人間が見るものと近い形で表現される。観測波長には、可視光(VIS)と近赤外線(NIR)がある。光学衛星のデータの特徴として、雲の影響を受けやすい、夜間の撮影は困難などがある。

SAR 衛星は衛星自らが電波を地表へ放射し、マイクロ波の反射から画像生成する。そのため光学衛星の課題であった雲の影響や夜間での撮影が可能である。SAR 衛星によって観測に用いるマイクロ波の波長(バンド)が異なるため、利用目的に合った SAR 衛星を選定する必要がある。

また、マイクロ波の跳ね返りを観測しているため、光学衛星画像と異なり SAR 衛星画像は人間が見慣れた画像とは異なるため、画像に写っているものを判読するには慣れが必要である(図 別添 1-3)。



横浜港 ALOS-2 StripMap Mode 分解能3m 入射角40°

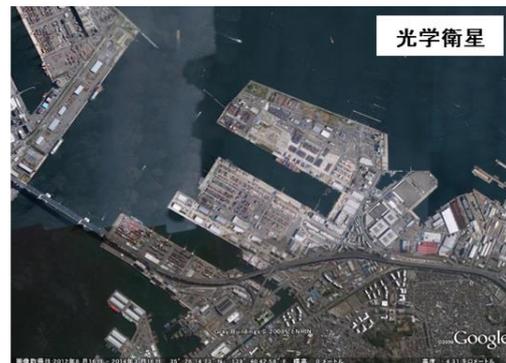
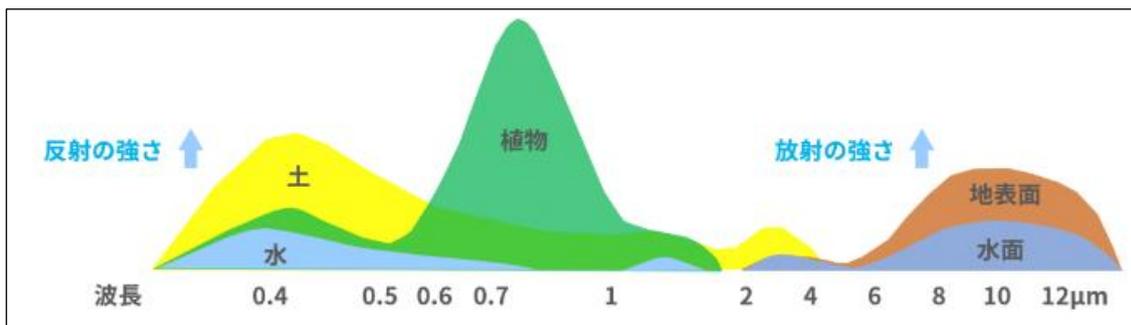


図 別添 1-3 SAR 衛星画像と光学衛星画像の比較(イメージ図)

3. 光学衛星データの基本

(1) 光学衛星が観測するデータについて

光学衛星画像は太陽光の反射をセンサが感知して画像を作成している。一般的なカメラのセンサは可視光(光の三原色である赤・緑・青)の電磁波(波長)のみを取得しているものの、光学衛星は可視光に加えて近赤外線(人の目では捉えられない)と呼ばれる波長も捉えている。図 別添 1-4 は波長の反射特性を図示したものであるが、可視光とは約 $0.4\sim 0.8\mu\text{m}$ 、近赤外線は約 $0.7\sim 2.5\mu\text{m}$ の範囲となる。



(出典) 宙畑「[光の波長って何？なぜ人工衛星は人間の目に見えないものが見えるのか](#)」より編集

図 別添 1-4 光の波長における地表面の反射特性

(2) 光学衛星の取得するデータについて

光学衛星が取得したデータはパナクロ画像とマルチスペクトル画像に分けることが可能である。パナクロ画像は特定の波長帯の情報を記録した画像データであり、画像は白から黒までグレースケールで表現される。一方、マルチスペクトル画像は複数の波長帯の情報を記録した画像データであり、複数の波長帯の画像を重ね合わせることで、一つのカラー画像を作成する(図 別添 1-5)。

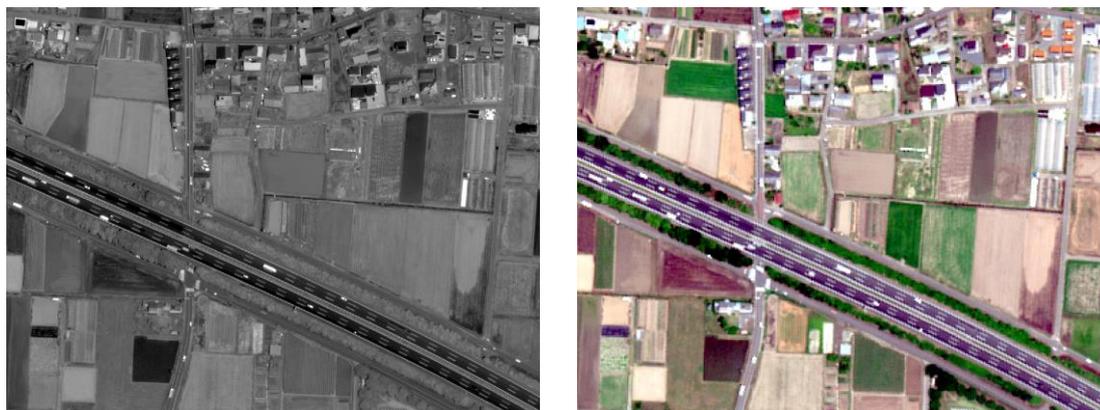


図 別添 1-5 光学衛星画像(左図:パナクロ画像、右図:マルチスペクトル画像)

(3) 光学衛星を利用した衛星データ解析の基本的な考え方

図 別添 1-4 に示した通り、地表面からの反射は物体ごとにその反射特性が異なる。光学衛星を利用した衛星データ解析では、その反射特性を活用する。

例えば、植生を解析したい場合、図 別添 1-4 の「植物」と記載されている山を確認すると、近赤外線（NIR）の範囲で反射が強く、可視光の範囲で反射が弱いことが分かる。これは、植物が持つクロロフィル α と呼ばれる物質が光合成を行う際に可視光の波長を吸収し、近赤外線の波長を強く反射するためである。この反射特性を利用し、近赤外線（NIR）と可視光の赤色（Red）を用いて正規化植生指数（Normalized Difference Vegetation Index: NDVI）を計算することで（数式 1-1）、植生の分布状況や生育状況を把握することが可能となる。数式上、NDVI は値として $-1 \sim +1$ までの範囲を取り、 $+1$ に近いほど植物の量や活性度が高いことを示す（図 別添 1-6）。

他にも、植物と濡れた地表面に反応するものとして、水指数（Land Surface Water index: LSWI）が存在する。LSWI は、近赤外線（NIR）と短波赤外線（SWIR）から算出できる（数式 1-2）。NDVI と同様、値として $-1 \sim +1$ までの範囲を取り、 $+1$ に近いほど植生が活発かつ地表面が湿潤であることを示す（図 別添 1-7）。

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}$$

数式 1-1

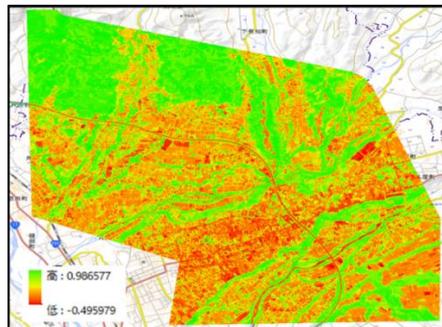


図 別添 1-6 NDVI 解析(左図:光学衛星画像、右図:NDVI)

$$\text{LSWI 指標} = \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR})}{(\text{NIR} + \text{SWIR})}$$

数式 1-2

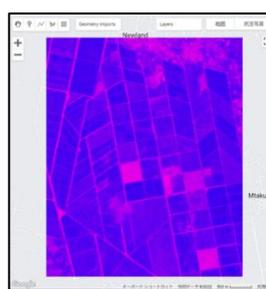


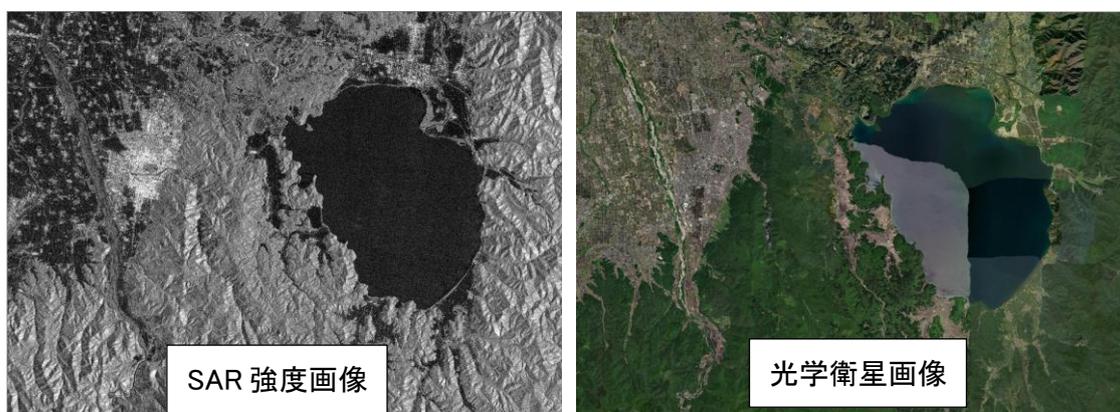
図 別添 1-7 LSWI 解析(左図:光学衛星画像、右図:LSWI)

4. SAR 衛星データの基本

(1) SAR 衛星データ利用について

SAR 衛星は、衛星自身がマイクロ波を射出し地表面から反射したマイクロ波を観測している。地表面を反射したマイクロ波の強度(後方散乱強度)から、対象の大きさや表面の性質を把握することが可能である。また、マイクロ波を射出して地表面から SAR 衛星に跳ね返ってくるまでの時間を計測することで衛星から地表面までの距離を計測することも可能である。

SAR 衛星の観測データから生成される強度画像(後方散乱強度)を図 別添 1-8 に示す。強度画像はグレースケールで表現され、後方散乱強度が大きい都市部では白色を示し、水域など表面が滑らかな領域では後方散乱強は小さくなり画像上では黒色を示す。



光学衛星画像 : Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

図 別添 1-8 SAR 衛星強度画像と光学衛星画像の比較(福島県の猪苗代湖周辺)

5. 衛星データ分析を計画・実施する際の視点

衛星データ分析では利用目的を明確にし、分析に必要な情報を整理する。衛星データ分析に必要な情報としては「対象範囲」、「対象期間」、「分析手法」、「衛星データの空間分解能」、「衛星データの時間分解能」が挙げられる。

「対象範囲」とは、分析を行う領域の事である。

「対象期間」とは分析を行う期間の事である。期間が古い場合は対応する衛星データが存在しない場合もある。

「分析手法」では、目的に沿った物理量や情報を検討する。例えば農業分野では作物の生育状況を把握するために植生の量や活力を示す植生指標(例:NDVI 指標)が用いられる。植物は可視光(特に赤色)を吸収し、近赤外光を反射する特徴があるため。

「衛星データの空間分解能」とは、対象を測定または識別できる能力の事であり、目的に対して最適な分解能の衛星データを選択する必要がある。空間分解能が高いほど対象地物の詳細な情報を得られるが、データ処理にかかる時間は増える。また、高分解能な衛星データは有償のものが多いといった欠点も存在する。

「衛星データの時間分解能」とは衛星データの観測頻度であり、時間分解能が高いほど、観測頻度が多い。光学衛星は雲の影響を受けやすいため時間分解能が高い衛星データの方が分析に適した衛星データを得られる確率が高い。ただし、衛星データは空間分解能が高いほど一度に観測できる範囲が狭くなる。

別添2 地理情報システム（GIS）の基本

1. GIS とは

GIS とは Geographic Information System の略称であり、日本語では「地理情報システム」と総称される。コンピュータ上で様々な地理空間情報（空間上の位置を含む様々な情報）を管理・加工、視覚的に表示することが可能であり、様々な地理空間情報を用いて分析を行うシステムである。GIS の活用例として、カーナビゲーションが挙げられる。カーナビゲーションでは、現在地と目的地を入力することで移動経路と所要時間、料金などを検索することが可能である。

GEE では、光学衛星画像や SAR 衛星画像が用意されており、目的に応じて GIS と衛星データを組み合わせることで、目的に応じた解析が可能となる。

2. GIS で取り扱う地理空間情報とは

GIS で取り扱う地理空間情報とは、「空間上の特定の地点又は区域の位置を示す情報（位置情報）とそれに関連付けられた様々な事象に関する情報、もしくは位置情報のみからなる情報をいう。地理空間情報には、エリアにおける自然、災害、社会経済活動など特定のテーマについての状況を表現する土地利用図、地質図、ハザードマップ等の主題図、都市計画図、地形図、地名情報、台帳情報、統計情報、空中写真、衛星画像等の多様な情報がある。」（地理院公式 HP より引用）

3. GIS で取り扱うデータの種類（ラスターデータ及びベクターデータ）

GIS では、「ラスターデータ」と「ベクターデータ」の 2 種類のデータを取り扱う。ラスターデータは行と列の格子状に並んだセル（ピクセル）で構成されるデータであり、セル 1 つ 1 つが数値情報と位置情報を持つ（図 別添 2-1）。ラスターデータの身近な例として、写真が挙げられる。写真をデータとして扱う際には、ラスターデータとなる。

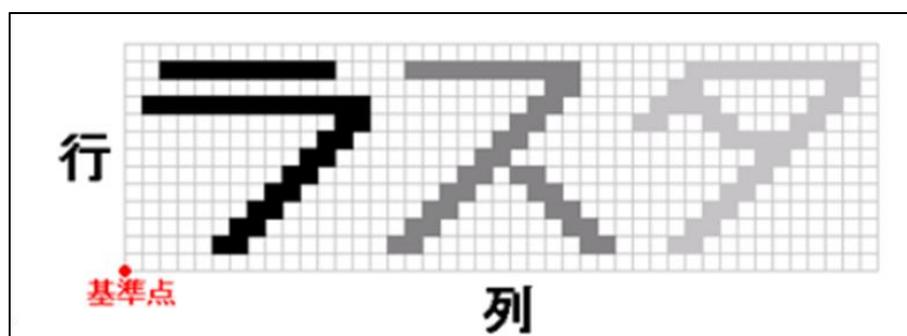


図 別添 2-1 ラスターデータのイメージ

一方、ベクターデータは、画像データの表現方法の一つであり、ポイント（点）、ライン（線）、面（ポリゴン）の 3 要素で表現したものになる（図 別添 2-2）。ポイントデータは、長さや幅の

無い対象物を指す。地図表示の例としては、信号、山頂点、気象観測点などが挙げられる。ラインデータは長さや方位情報を備え、複数の点を接続するものを指す。地図表示の例としては、道路や鉄道、河川などが挙げられる。ポリゴンデータは境界線を表す線の終点を始点に一致させ、閉鎖領域を作った面を指す。地図表示では家屋や市市町村といった行政区画が挙げられる。

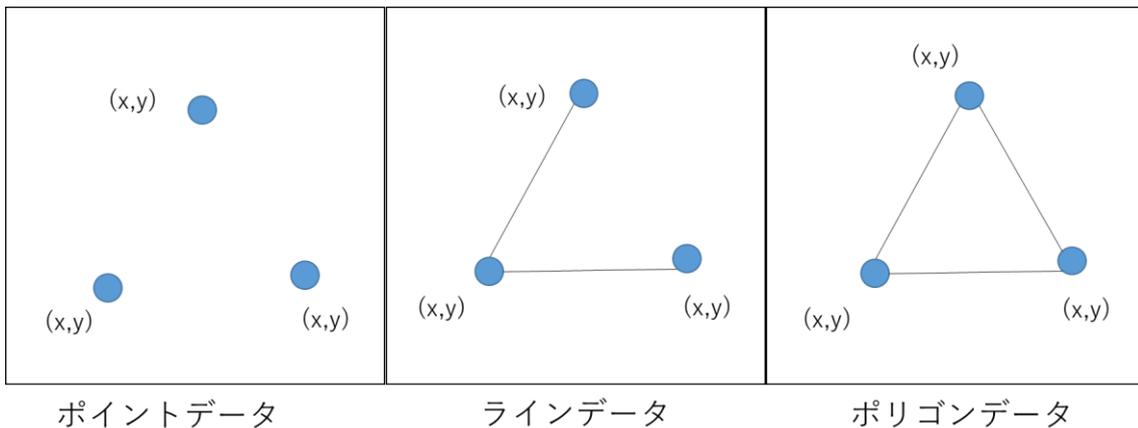


図 別添 2-2 ベクターデータのイメージ

4. ベクターデータの作成方法

GEE では、コードエディタ上で任意のベクターデータを作成することが可能である。作成可能なベクターデータはポイントデータ(●)、ラインデータ(〰)、ポリゴンデータ(▽、■)の3種類あり、ポリゴンデータについては図形(▽)と長方形(■)の2種類ある。ベクターデータの作成手順を以下に示す。

① GEE のコードエディタを表示する。

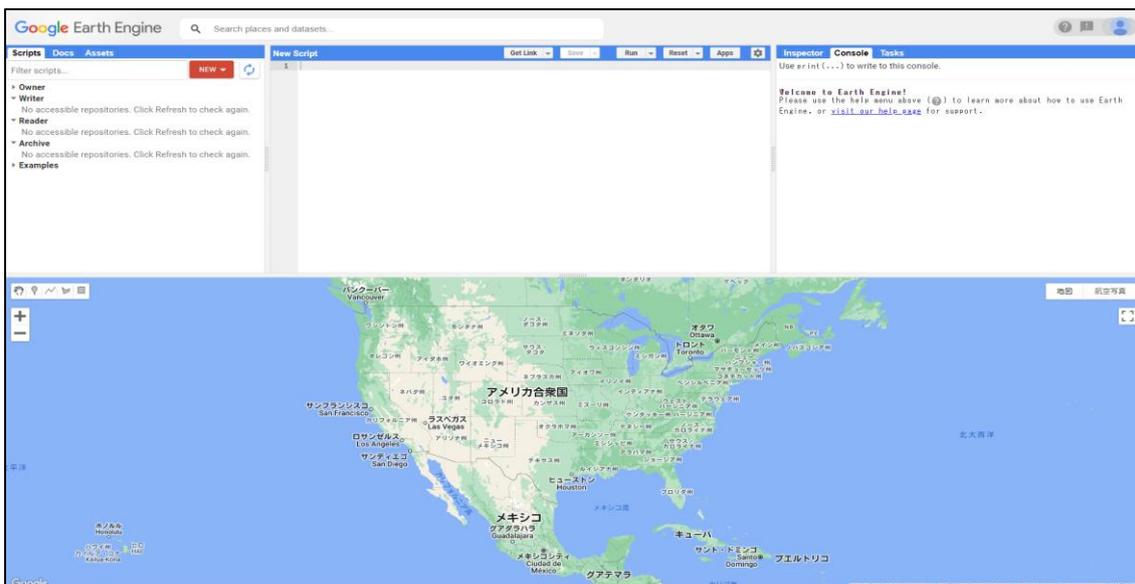


図 別添 2-3 GEE のコードエディタ

② ジオメトリツールよりベクターデータの形式をクリックする。



図 別添 2-4 ジオメトリツール

③ ポリゴンデータを作成する(「geometry」という変数が作成される)。

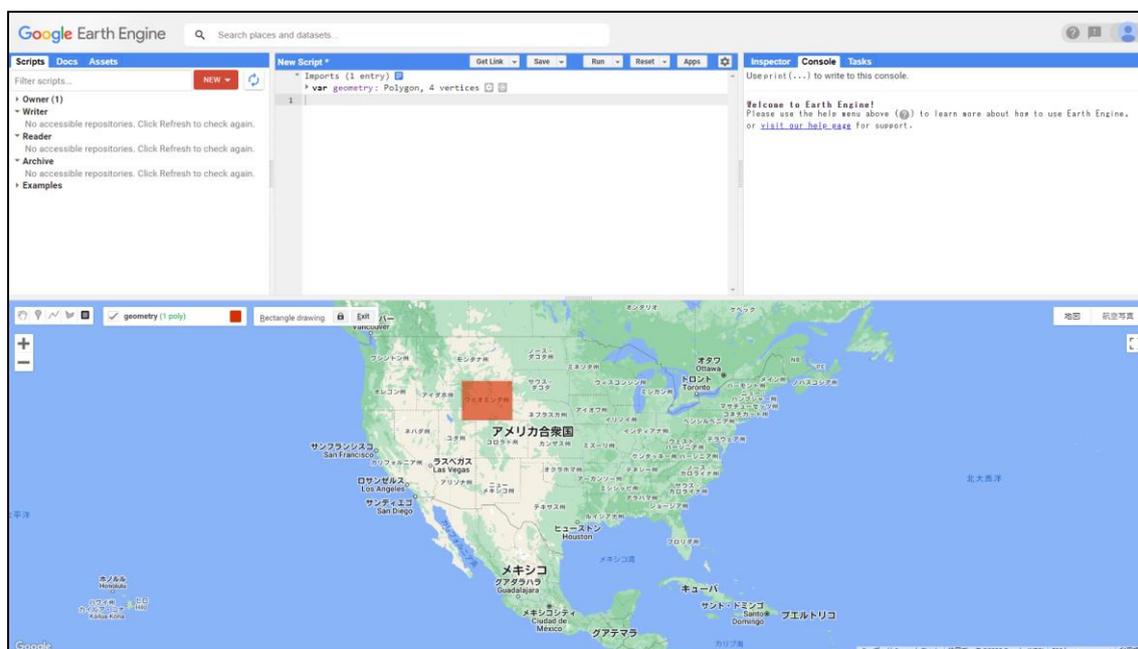


図 別添 2-5 ベクターデータの作成

<参考:バッファの生成方法>

任意のポリゴンデータの作成後、コードエディタに図 別添 2-6 に示すスクリプトを入力することで、ポリゴンデータに対してバッファ²⁷を生成することができる。

バッファの生成方法は 17~18 行目、マップ上への表示方法は 26~28 行目の通り。バッファの範囲(単位は m)を設定する際は、プラスマイナスの符号をつけることでバッファ生成面の向きを決めることも可能である。

²⁷ バッファとは、ベクターデータからの特定の距離範囲のことである。

■スクリプトのリンク

<https://code.earthengine.google.com/77a76fed45828dcba1d30338c49db576>

```
Make_Buffer *
Get Link Save Run Reset Apps
Imports (1 entry)
  var geometry: Polygon, 4 vertices
1 //バッファの生成方法
2
3 //////////////////////////////////////
4 // 作業1: 解析範囲の設定
5 //////////////////////////////////////
6
7 /*
8 ジオメトリツールより解析範囲ポリゴンを作成する。
9 ポリゴンの作成手順はマニュアルを参照とする。
10 */
11
12 //////////////////////////////////////
13 // 作業2: バッファの発生
14 //////////////////////////////////////
15
16
17 var bufferOut = geometry.buffer(100000); // ポリゴンの外側100kmの範囲にバッファを発生
18 var bufferIn = geometry.buffer(-100000); // ポリゴンの内側100kmの範囲にバッファを発生
19
20
21 //////////////////////////////////////
22 // 作業3: 地図画面へ表示
23 //////////////////////////////////////
24
25
26 Map.addLayer(bufferOut, {color: 'red'}, 'Buffer out');
27 Map.addLayer(geometry, {color: 'blue'}, 'No buffer');
28 Map.addLayer(bufferIn, {color: 'yellow'}, 'Buffer in');
29
```

図 別添 2-6 バッファを生成するスクリプト

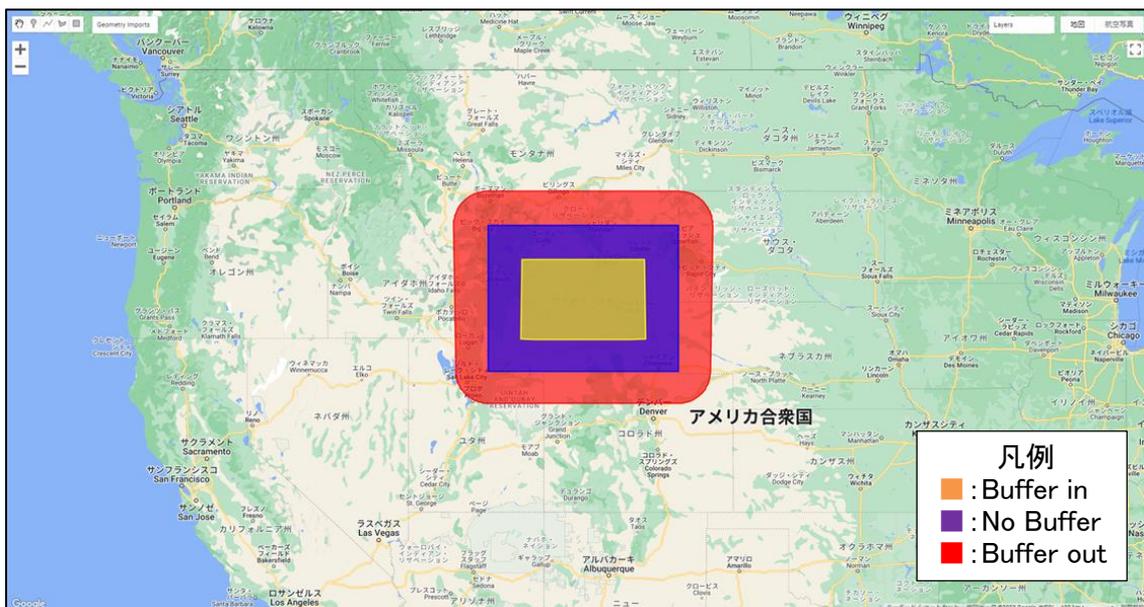


図 別添 2-7 バッファの生成結果

別添3 解析手法の補足説明や事例紹介

1. NDVI 及び LSWI の閾値の調整方法

灌漑地域の抽出にあたり、NDVI 及び LSWI の閾値を調整する必要性が生じる。その背景には、NDVI と LSWI の値は、分析対象地域の気候や栽培歴に影響を受けることが挙げられる。そのため、分析者は、設定した閾値の結果と実際の画像を比較しながら、NDVI と LSWI の閾値を決定する必要がある。

本マニュアルでは、「3.1.1 灌漑面積」で紹介したタンザニアの事例とは別に、スーダンとアメリカを対象として NDVI と LSWI の閾値の設定事例を紹介する。

① スーダンの事例

スーダンで灌漑地域を抽出する際には、NDVI 及び LSWI の閾値を調整した結果、表 別添 3-1 のとおり、NDVI の閾値を 0.3、LSWI の閾値を-0.1 とすることが適切と判明した。

表 別添 3-1 スーダンにおける解析範囲に係る NDVI 及び LSWI の閾値

解析範囲	衛星データの取得時期	NDVI の閾値	LSWI の閾値
スーダン	2020/5/1～2020/9/30	0.3	-0.1

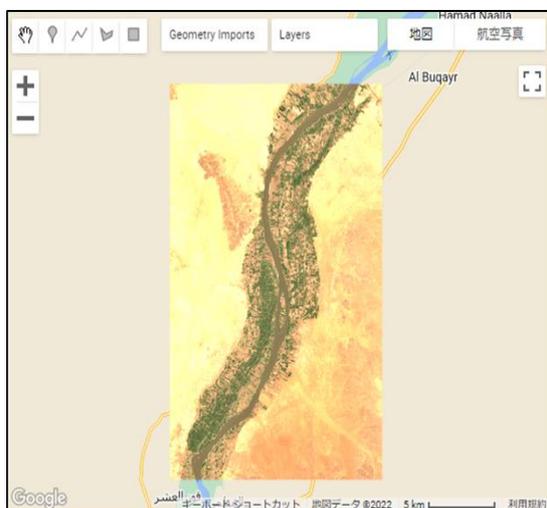


図 別添 3-1 解析範囲

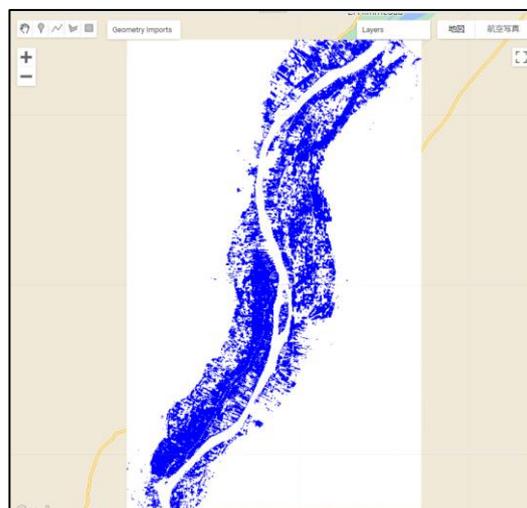


図 別添 3-2 灌漑地域の抽出結果

② アメリカの事例

アメリカで灌漑地域を抽出する際には、NDVI 及び LSWI の閾値を調整した結果、下表のとおり、NDVI の閾値を 0.3、LSWI の閾値を-0.6 とすることが適切と判明した。

表 別添 3-2 アメリカにおける解析範囲に係る NDVI 及び LSWI の閾値

解析範囲	衛星画像の取得時期	NDVI の閾値	LSWI の閾値
アメリカ	2019/6/1～2019/8/30	0.3	-0.6

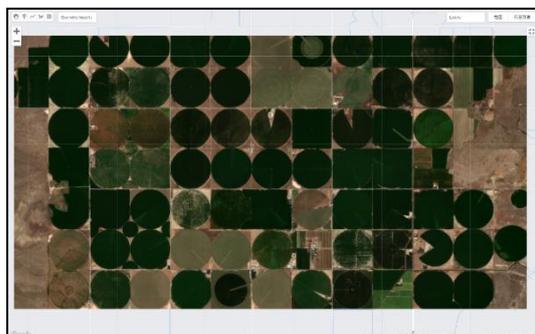


図 別添 3-3 解析範囲

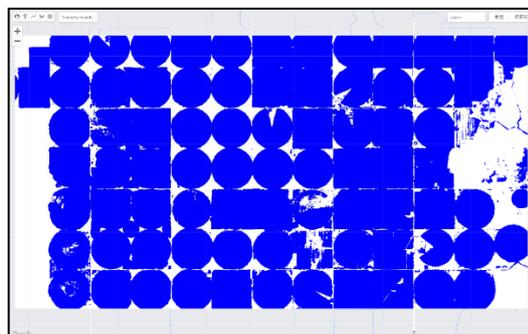


図 別添 3-4 灌漑地域の抽出結果

2. NDVI の閾値の調整方法

作付け地域の抽出にあたり、NDVI の閾値を調整する必要性が生じる。その背景には、NDVI の値は、分析対象地域の気候や栽培歴に影響を受けることが挙げられる。そのため、分析者は、設定した閾値の結果と実際の画像を比較しながら、NDVI の閾値を決定する必要がある。

本マニュアルでは、「3.1.2 作付面積」で紹介したミャンマーの事例とは別に、日本を対象として NDVI の閾値の設定事例を紹介する。

表 別添 3-3 日本における解析範囲に係る NDVI の閾値

解析範囲	衛星画像の取得時期	衛星画像の取得時期	作付け前の NDVI の閾値	作付け後の NDVI の閾値
日本(宮城県)	2019/1/1～ 2019/3/30	2019/7/1～ 2019/8/10	0.4	0.5

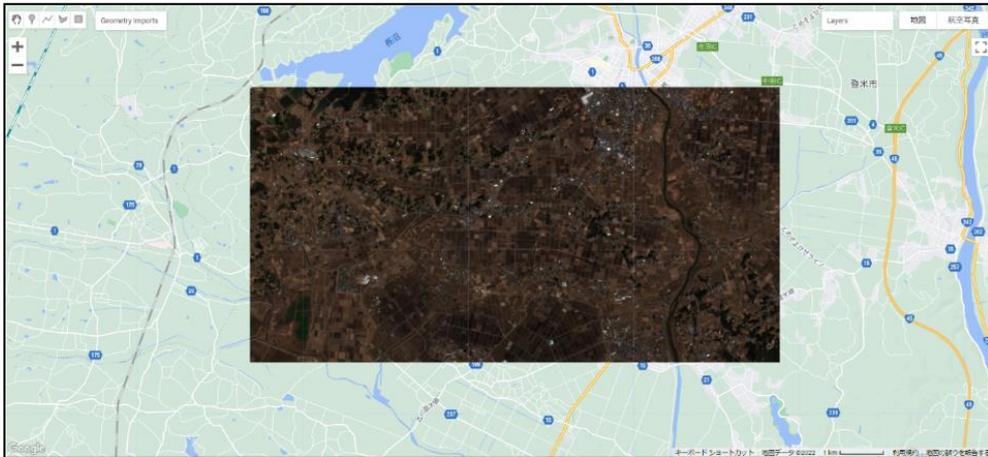


図 別添 3-5 取得した衛星データ(光学衛星 Sentinel-2、作付け前)

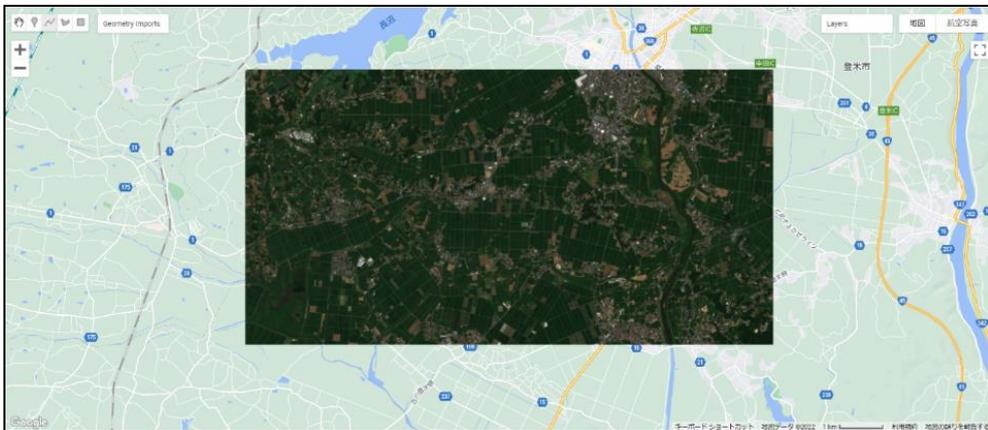


図 別添 3-6 取得した衛星データ(光学衛星 Sentinel-2、作付け後)

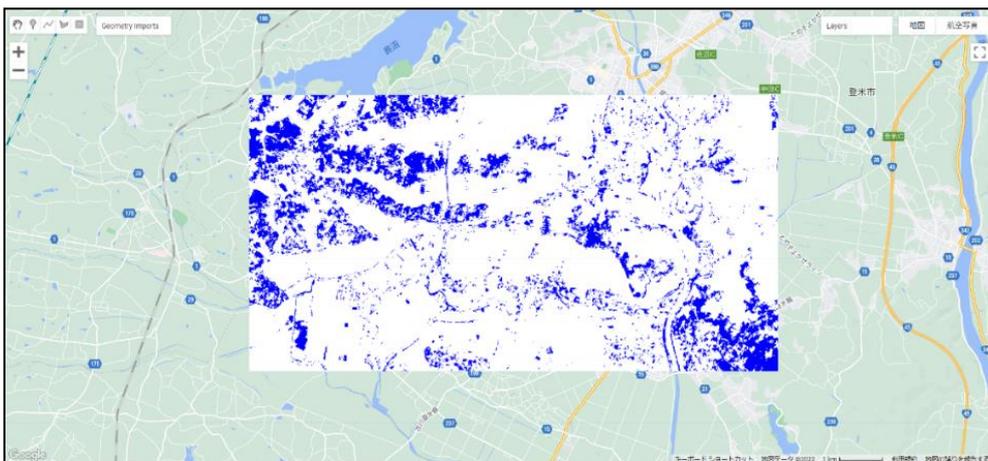


図 別添 3-7 NDVI 値が 0.4 以上の場所(作付け前)

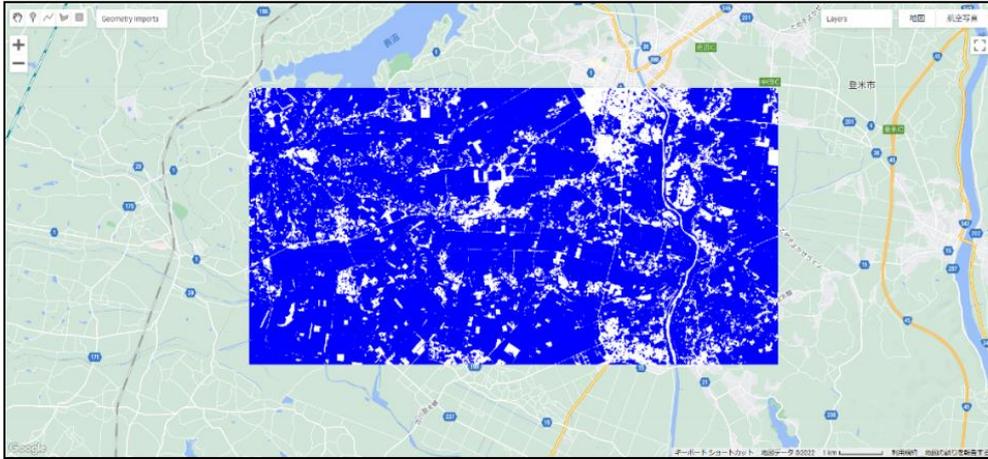


図 別添 3-8 NDVI 値が 0.5 以上の場所(作付け後)

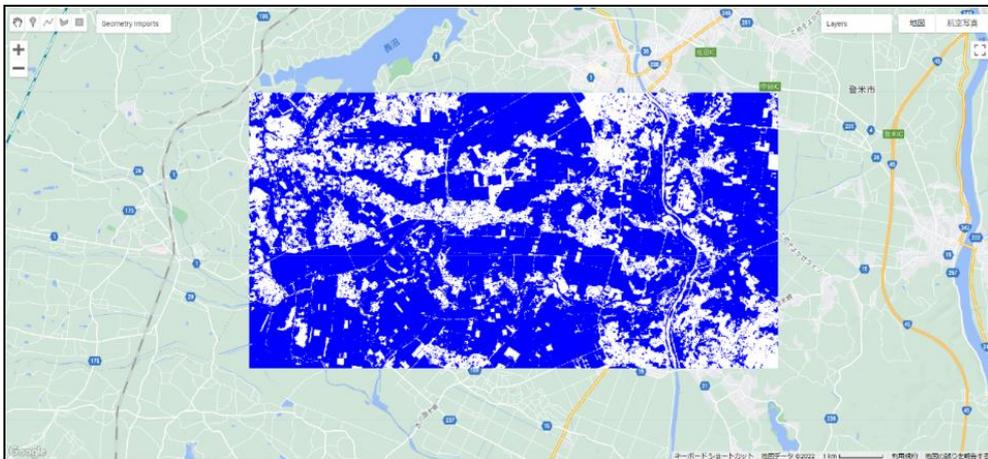


図 別添 3-9 抽出した作付け地域