

衛星画像等及び AI 解析を用いた PV 導入量の
把握に関する参考手引書（案）
（全体版）

令和 8 年 3 月

衛星画像等及び AI 解析を用いた PV 導入量の把握に関する参考手引書（案）

目次

目次

第 1 章 参考手引書（案）の概要	1
1.1 背景と目的	1
1.2 想定する利用者	1
1.3 参考手引書（案）の構成	1
1.4 用語定義	2
第 2 章 解析前の準備	5
2.1 解析環境の準備	5
2.1.1 ソフトウェア構成	5
2.1.2 QGIS のダウンロード方法	5
2.2 航空画像及び衛星画像の準備	9
2.2.1 画像データの品質要件	9
2.2.2 衛星及び航空画像データの選定と調達先	10
2.2.3 国土地理院空中写真の QGIS の表示方法	11
2.2.4 航空画像及び衛星画像の測地系・座標系に関する留意点	12
2.2.5 ライセンスと権利処理	15
第 3 章 PV 情報の可視化	16
3.1 参考手引書（案）で想定する PV 位置情報の形式	16
3.2 QGIS での表示方法	18
第 4 章 PV 基礎情報の取得	23
4.1 PV の設置形態や属性の取得	23
4.1.1 地図データを用いた分類	23
4.1.2 目視による判定及び補正	28
4.2 PV 面積の取得	28
4.2.1 座標系の操作	28
4.2.2 面積の取得方法	29
第 5 章 PV 導入量の推計	33
5.1 PV 導入量の推計方法	33
5.1.1 PV 導入量の推計式	33
5.1.2 推計パラメータの設定	33
5.2 PV 導入量推定手法の信頼性と手法選択の基準	39
5.3 実際の計算例	39
5.3.1 面積の導出	39
5.3.2 設置係数の算出（建物系 PV の輪郭が明確ではない場合のみ）	41
5.3.3 導入量の算出	41
第 6 章 AI 開発の手引き	43

6.1 概説	43
6.2 検出アルゴリズム・モデル選定	44
6.2.1 特徴抽出部の選定.....	44
6.2.2 検出処理部の選定.....	44
6.3 データセットの作成	45
6.3.1 航空画像及び衛星画像の仕様.....	45
6.3.2 画像の前処理.....	46
6.3.3 学習データセットの定義及び作成方法.....	47
6.3.4 検証データセットの定義及び作成方法.....	50
6.3.5 データセット作成時における品質管理.....	53
6.4 学習及び推論の実行	54
6.4.1 学習プロセス.....	54
6.4.2 推論プロセス.....	55
6.4.3 出力データ形式.....	55
6.5 精度検証方法.....	56
6.5.1 物体検知の AI モデルの評価指標.....	56
6.5.2 セグメンテーションの AI モデルの評価指標.....	58
6.6 過年度業務における AI 開発の工夫	60
6.6.1 教師データ作成における工夫.....	60
6.6.2 AI モデル及び基盤技術の選定	61
6.6.3 データの前処理及び入力の最適化.....	61
6.6.4 推論後のデータ補正及び事後処理.....	62

第1章 参考手引書（案）の概要

1.1 背景と目的

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、各地方公共団体においては地方公共団体実行計画（区域施策編）に基づく再生可能エネルギー導入目標の達成が喫緊の課題となっている。エビデンスに基づく政策立案、いわゆるEBPMの効果的な推進のためには、地域内の太陽光発電（以下、PV）の導入状況を定量的かつ網羅的に把握し、正確な進捗管理を行うことが不可欠である。

また、従来、地域内のPV導入量の把握は、固定価格買取制度（以下、FIT制度）の認定情報を基礎としてきた。しかし近年、自家消費型PVやPPAと呼ばれる電力販売契約モデルなど、FIT制度に依存しない案件も広がっており、既存の統計手法では実態把握が難しくなりつつある。

上記の背景から、広域を網羅的に観測できる航空画像や衛星画像と、画像認識を行う人工知能（以下、AI）の技術を組み合わせた手法が注目されている。AI解析を用いることで、FIT制度の有無にかかわらず、PV設備の位置や設置面積を網羅的に把握することが期待できる。さらに、得られた情報を基に出力換算等の推計処理を行うことで、地域全体における導入量の把握が可能となる。

本書は、地域内の再エネ導入量を把握したい都道府県等が、衛星画像等を用いてPVの導入件数や導入量の把握ができるように、画像取得、PV位置情報の取得、PV導入量の算出、PV検出のためのAI開発の手引きなど一連の手法について取りまとめたものである。

1.2 想定する利用者

本書の利用者は、都道府県及び市区町村の職員を想定している。主として、環境・エネルギー政策を担当する職員を対象とするが、カーボンニュートラルの実現に向けた施策は多岐にわたるため、利用者は必ずしも当該部署のみに限定されない。地域の脱炭素化や、行政事務における先端技術（衛星データ・AI等）の活用に関わる関連部局の職員においても、調査手法の理解や庁内連携、仕様策定のための実務ガイドとして本書を利用することを想定している。

1.3 参考手引書（案）の構成

本書は、PVの導入状況を把握するための一連の実務フローに沿って構成されている。各章の概要は以下の通りである。

第2章「解析前の準備」では、解析に必要なソフトウェアやハードウェア等の環境構築、及び調査の基礎となる航空画像や衛星画像の選定・調達方法について記述する。

第3章「PV情報の可視化」では、想定されるPV情報の取得形式や地理情報システム（QGIS）上での表示方法について記載する。

第4章「PV基礎情報の取得」では、個々の設備における設置形態や属性情報の取得方法、設置面積の算出方法について記載する。

第5章「PV導入量の推計」では、前章で得られた基礎情報を活用し、地域全体の導入件数や導入容量をキロワット（kW）の単位で定量的に算出する方法を解説する。

第6章「AI開発の手引き」では、PVの検出にAIモデルを用いる場合の体系的な手法について記載する。

1.4 用語定義

本書において使用する主な用語の定義は、以下の通りである。

1) 太陽光発電設備（PV）

太陽光エネルギーを電力に変換する発電設備（Photovoltaics）を指す。本書では、住宅用や事業用といった用途を問わず、建物の屋根上に設置される屋根置き型、及び地上に設置される地上設置型のすべてを対象とする。

2) 固定価格買取制度（FIT）

再生可能エネルギーを用いて発電された電気を、国が定める一定の価格で長期間にわたり電力会社が買い取ることを義務付ける制度（Feed-in Tariff）を指す。本制度に基づく認定情報は、これまで地域内の太陽光発電導入量を把握するための基礎的な統計データとして活用されてきた。

3) REPOS（リーポス）

REPOS（リーポス）とは、環境省が運営する再生可能エネルギー情報提供システム（Renewable Energy Potential System）であり、再生可能エネルギーの導入促進を支援することを目的としている。

4) 人工知能（AI）

人間の学習や推論、認識、判断といった知能の働きを、コンピュータ上のプログラムによって人為的に模倣し、再現したシステムや技術（Artificial Intelligence）を指す。本書では、衛星画像や航空画像から太陽光発電設備の設置箇所を自動で判別する画像認識技術を指して用いる。

5) GIS（Geographic Information System）

地理的位置に関する情報を持ったデータを総合的に管理・加工し、地図上に視覚的に表示するとともに、高度な分析を可能にする技術システムのこと。

6) ポリゴン

地理情報システムにおいて、面積を持つ面状の空間データを表現するデータ形式である。複数の点とそれらを結ぶ線分によって囲まれた、閉じた図形として定義される。

7) **矩形**

すべての角が直角である四辺形、すなわち長方形のことである。

8) **OS (Operating System)**

コンピュータのハードウェアやソフトウェアなどの資源を管理し、アプリケーションソフトを動作させるための基本機能を提供するソフトウェアを指す。

9) **GPU (Graphic Processing Unit)**

主にコンピュータにおいて画像や映像の処理を専門に担当する演算装置を指す。近年では画像処理に留まらず、膨大なデータを同時に処理する並列演算能力の高さから、機械学習や大規模なデータ解析など、高度な計算が求められる先端分野においても広く活用されている。

10) **航空画像**

航空機等に搭載されたカメラ又はセンサにより取得された画像データの総称。本書では、航空機により取得された画像データを一般に「航空画像」と呼ぶ。なお、国土地理院が提供するデータを指す場合は、「空中写真」の用語を用いる。

11) **オルソ画像**

航空画像や衛星画像に対し、地形による歪みやカメラの傾きによるズレを補正し、地図と重ね合わせることができるよう正射変換処理を施した画像のこと。AI 解析の基礎データとして用いられる。

12) **バンド**

人工衛星に搭載されたセンサーが観測する、光や電磁波における特定の波長帯域のことである。

13) **GeoTIFF 画像**

位置情報を保持した TIFF 形式の画像データであり、地理情報システムにおいて衛星画像や航空画像等のラスタデータを扱う際に用いられる代表的なファイル形式である。

14) **測地系**

地球の形状を数学的に定義した楕円体及びその位置決定の基礎となる基準を指す。地球上の位置を特定するための土台であり、準拠楕円体の大きさや形状、地球の中心に対する向きによって規定される。

15) **座標系**

測地系によって定義された土台の上で、具体的な位置を数値、すなわち緯度、経度、あるいは直交する XYZ 軸の距離として表現するための記述形式を指す。

す。同一の測地系であっても、三次元的な空間位置として表すか、平面上の距離として表すかにより、複数の座標系が存在する。

16) CPS (Coordinate Reference System)

地球上の特定の位置を、緯度や経度、標高などの数値を用いて正確に表すための基準となる仕組みである。日本語では座標参照系と呼ばれる。

17) アノテーション

機械学習において、テキストや音声、画像などのデータに対して、情報の内容を示すタグや正解となる意味情報を付与する手作業や処理のことである。

18) 学習

AI が大量のデータから規則性や判断基準を自動的に見つけ出す過程のことである。

19) 推論

AI が事前に学習した規則性や判断基準を基に、新たに入力された未知のデータに対して予測や分類などの結果を出力する処理のことである。

20) 適合率

AI が正解であると予測したデータのうち、実際に正解であった割合を示す評価指標である。

21) 再現率

実際に正解であるデータ全体のうち、AI が正しく正解であると見つけ出せた割合を示す評価指標である。

22) F1 スコア

AI の誤検知の少なさ（適合率）と見逃しの少なさ（再現率）のバランスを調和平均によって計算し、モデルの総合的な予測精度を示す評価指標である。

23) 導入量（単位：kW）

設置された太陽光発電システムが発電できる最大の出力規模の合計を示す指標である。

24) 設置密度（単位：kW/ m²）

PV の面積 1 平方メートル（m²）当たりの設備容量を示す値である。

25) 設置係数

建物の屋根面積のうち、平均的に太陽光パネルの設置に用いられる面積の割合を示す指標である。

第2章 解析前の準備

本章では、取得した太陽光発電設備の位置・形状情報を用いて、実際の設置状況を画像上で確認・解析するための事前準備について整理する。

取得データと現況との整合性を確認し、詳細な解析を効果的に行うためには、大容量データを安定的かつ効率的に処理できるソフトウェア及びハードウェアの環境構築が不可欠となる。また、調査対象エリアを網羅する適切な時期や解像度を備えた画像データの確保も重要である。そのため、本章ではこれら解析環境の構築に必要な具体的な要件を示すとともに、調査の基礎となる航空画像や衛星画像の選定基準、及びその調達方法について定義する。

2.1 解析環境の準備

本節では、解析環境として必要とされているソフトウェア及びハードウェアの種類や要件について記載する。

2.1.1 ソフトウェア構成

用途に応じて以下の3区分に分類されるソフトウェア環境を整備する。

表 2.1.1-1 解析に必要なソフトウェアの区分と要件

種類	目的	必須機能	想定ツール
GIS	航空画像の位置情報確認、解析前後のデータ加工、及び検出結果の地図上での可視化・編集	<ul style="list-style-type: none">・地理参照付き画像や地図データの読み込み・表示、ベクター形式の編集・座標参照系の変換機能	QGIS 等
アノテーションツール	AI モデルに学習させるための教師データの作成	<ul style="list-style-type: none">・画像上で矩形、ポリゴン等のアノテーションを作成する機能・機械学習用フォーマットまたは地理情報形式での出力	CVAT、LabelMe、QGIS 等
AI 解析フレームワーク	AI モデルの構築、学習プロセスの実行、及び新規画像に対する推論の実施	<ul style="list-style-type: none">・AI モデルの実装機能・GPU による高速演算処理への対応	PyTorch、TensorFlow 等

2.1.2 QGIS のダウンロード方法

地理空間情報の解析に必要とされる QGIS のダウンロード方法について説明する。

① QGIS のダウンロードページへ移動する



図 2.1.2-1 QGIS のダウンロード画面

② PC の OS 環境 (Windows や macOS, Linux 等) を選択する。



図 2.1.2-2 OS の選択画面

③ Long Term Release 版 (推奨) をダウンロードする。

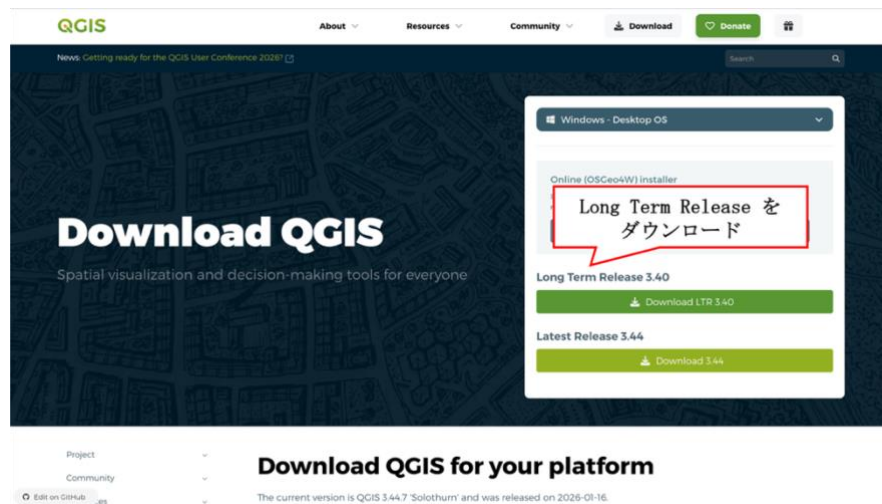


図 2.1.2-3 QGIS のバージョンの選択画面

【参考】 QGIS の基礎知識

1) QGIS とは

QGIS は、航空画像・衛星画像などのラスターデータや、点・線・面で表現されるベクターデータを地図上に表示し、編集や空間解析を行うことができるオープンソースの GIS ソフトウェアである。

2) QGIS を扱うための基礎知識

QGIS で作業を始めるにあたり、基本概念と注意点は以下の通りである。

レイヤ

GIS において、複数のデータが地図上に層状に重ね合わせて表示される。基本の地図に各種データを配置して1つの地図画面を構成する構造を、レイヤ構造と呼び、配置されているそれぞれのデータの「層」を「レイヤ」と呼ぶ。

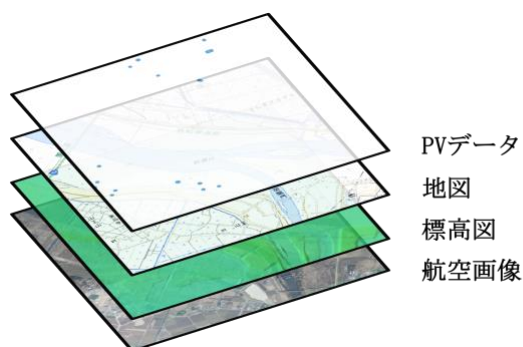


図 2.1.2-4 レイヤ構造の例

ラスターとベクター

本書で主に扱う GIS データは、大きくラスター形式とベクター形式に分けられ、用途に応じて使い分ける。

- **ラスターデータ**：ピクセルと呼ばれる格子状のマスキの集まりで表現される画像データである。航空画像、衛星画像、標高データなどが該当する。
- **ベクターデータ**：座標を持つ点、線、面で図形を表現するデータである。位置を示すポイント、道路網を示すライン、行政界や設備範囲を示すポリゴンなどが該当する。



図 2.1.2-5 ラスターとベクターデータの違い

座標参照系 (CRS)

データを地球上の正しい位置に対応付けるためのルールを、座標参照系 (CRS) と呼ぶ。CRS には、緯度・経度で表す地理座標系と、メートル単位などで表す投影座標系がある。読み込んだデータ同士的位置がずれる場合、CRS の不一致が主な原因の一つとなる。特に、面積や距離を適切に算出するためには、目的に合った投影座標系へ変換することが必要である。

2.1.3 ハードウェア構成

本業務におけるハードウェア要件は、実施する解析内容によって異なる。そのため、(1) GIS を用いた目視確認・面積計測を主とする場合と、(2) AI モデルの学習を行う場合とに分けて、それぞれの推奨スペックを以下に示す。

(1) 標準解析環境 (GIS による目視確認・面積計測用)

PV の位置情報を地図上に表示し、画像を目視で確認しながらトレースや面積計測を行うための環境である。表 2.1.3-1 に示す構成を推奨する。

表 2.1.3-1 標準解析環境において推奨されるハードウェア構成

ハードウェアの種類	推奨スペック	理由
メモリ (RAM)	16GB 以上	広域の航空・衛星画像や、PV データを GIS ソフト上に展開する際、メモリ容量が不足すると動作が緩慢になる可能性があるため。
GPU	グラフィック性能を有する環境	GIS ソフトにおける地図のスクロールやズーム操作を円滑に行うため。
ストレージ (SSD)	空き容量 500GB 以上	数十 GB 単位となる衛星画像データの読み書きを高速化するため。HDD ではなく NVMe 規格等の SSD を推奨する。

(2) 高度演算環境 (AI モデルの開発用)

独自の PV 検知 AI モデルの学習及び推論を実行するための環境である。演算処理能力と GPU メモリ容量が必要とされる。表 2.1.3-2 に示す構成を推奨する。

表 2.1.3-2 高度演算環境において推奨されるハードウェア構成

ハードウェアの種類	推奨スペック	理由
メモリ (RAM)	64GB 以上	大量の学習用画像データを CPU 側で前処理し、GPU へ遅滞なく転送し続けるために大容量のメモリを確保する必要があるため
GPU	VRAM 16GB 以上 (24GB 推奨)	解像度 50cm 級の高精細画像を AI に読み込ませて学習する際、VRAM 容量が 16GB 未満では、メモリ不足により学習プロセス自体を実行できないリスクが高いため

ストレージ (SSD)	1TB 以上	学習データ、重みファイル、ログ、チェックポイント等を保存するため。
-------------	--------	-----------------------------------

2.2 航空画像及び衛星画像の準備

PV の導入量データと現況との整合性を確認し、解析を行うための基盤となる画像データを準備する。本節では、画像上での太陽光パネルの判読に必要な解像度や撮影時期などの品質要件、及びコストやライセンスを考慮した調達優先順位について記述する。

2.2.1 画像データの品質要件

太陽光パネルの形状 (約 1m×1.7m) の視認性を確保するために、以下の要件を満たす画像を選定する。

表 2.2.1-1 画像データの品質要件

項目	要件	理由
地上分解能	50cm 以内	パネルの集合体の輪郭、架台の向き、パネル列の隙間が判別可能となるため。
測地系・座標系	地理座標系 (WGS84 または JGD2011)	GIS 上での標準的な互換性を確保し、他の地図データと正確に重ね合わせるため。
処理レベル	地形による歪みが補正された、オルソ画像であること	PV の位置情報 (緯度経度) と画像を GIS 上で正確に重ね合わせるため。
撮影時期	・直近 1 年以内であること (推奨) ・発電設備の運転開始日以降に撮影されたものであること	発電設備が完成・設置された状態の正確な位置と形状を特定するため。また、現況の周辺環境 (植生など) を反映させるため。
雲量	調査対象エリアにおける雲量が 10% 以下、かつ発電所等の重要施設の上空がクリアであること。	発電設備が雲やその影に隠れて判読不能になるのを防ぎ、トレース作業の精度と網羅性を確保するため。
ファイル形式	GeoTIFF 形式	画像データ内部に位置情報を保持し、座標変換時の情報損失や位置ズレを防ぐため。

【参考】航空画像・衛星画像の地上分解能とデータの特徴

航空画像や衛星画像は、ピクセルサイズを示す地上分解能によって用途や取得条件が大きく異なる。

表 2.2.1-2 航空画像及び衛星画像の解像度と用途や取得条件の関係

解像度	内容
20cm	国土地理院が公開する空中写真であり、無料でデータ取得が可能であり、更新は平野部で3年から5年に1回程度である。
30cm	民間の商用超高解像度衛星画像である。
3m	超小型衛星群による画像である。多数の衛星で毎日地球全体を撮影しており、日々の変化抽出に優れる。利用は有料である。
10m から 30m	無償公開されている地球観測衛星画像である。過去数十年の環境変化を追跡する標準データとして広く利用されている。

2.2.2 衛星及び航空画像データの選定と調達先

コスト、更新性、解像度及び成果物への二次利用の可否を踏まえ、画像データの調達先を選定する。

表 2.2.2-1 画像データの調達先の比較と選定基準

画像の種類	特徴	調達方法	適用判断
国土地理院 空中写真	<ul style="list-style-type: none"> ・無償 ・約 20～40cm（解像度） ・撮影時期が古く、現況を反映しない可能性あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・地理院地図の Web サイトからダウンロード ・QGIS 等の GIS ソフトウェアによる読み込み 	対象エリアの撮影年次が比較的新しく、現況確認に支障がない場合に採用
地方自治体 提供データ	<ul style="list-style-type: none"> ・無償または有償 ・公開される範囲や時期は限られる 	各自治体のオープンデータカタログサイト等からダウンロード	国土地理院より新しい、または高解像度な画像を公開している場合に採用
民間商用 衛星画像	<ul style="list-style-type: none"> ・有償 ・約 30～50cm（解像度） ・最新状況の把握、広域の継続閲覧、シームレスな背景地図利用など、用途に応じた対応が可能 	用途に応じて以下の手段から選択・調達する。 ① アーカイブ購入・新規撮影依頼 ② 定額契約 ③ シームレス・ベースマップ利用	公共データでは更新性、解像度又は利用条件の要件を満たせない場合に採用

※ 一般的な民間 Web 地図サービスをブラウザ上で閲覧することも考えられる。しかし、利用規約により、GIS ソフトウェアへの画像データの直接読み込みや、成果物への転載及びトレース行為が制限されている場合がある。Web 地図サービスは最新状況を目視で確認する参考情報としての利用に留めるべきであることに注意されたい。

本書では、例示のために、国土地理院の空中写真を用いる。ただし、国土地理院空中写真は必ずしも PV 設置の年度よりも後に撮影されたとは限らないため、観測したい PV が画像中に表示されないことがあることに注意されたい。最新の衛星画像を取得するには、既存の自治体保有のデータの利用もしくは、民間商用衛星画像の購入を検討する必要がある。

2.2.3 国土地理院空中写真の QGIS の表示方法

本項では、画像データを代表して国土地理院の空中写真を利用する場合の、QGIS での表示方法について説明する。

- ① QGIS を開き、画面左側にあるブラウザのパネルを参照する。
※ 表示されていない場合は、メニューの「ビュー」>「パネル」>「ブラウザ」にチェックを入れる。

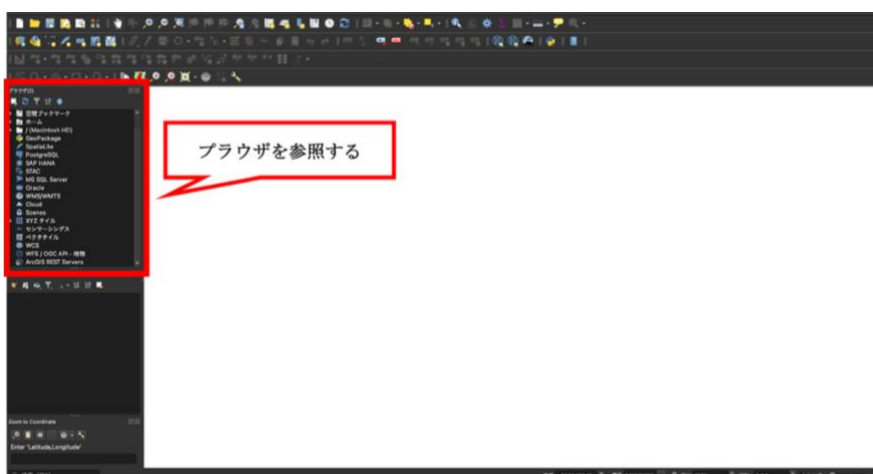


図 2.2.3-1 QGIS のパネル画面

- ② ブラウザパネル内にある「XYZ Tiles」を右クリックし、「新規接続」を選ぶ。

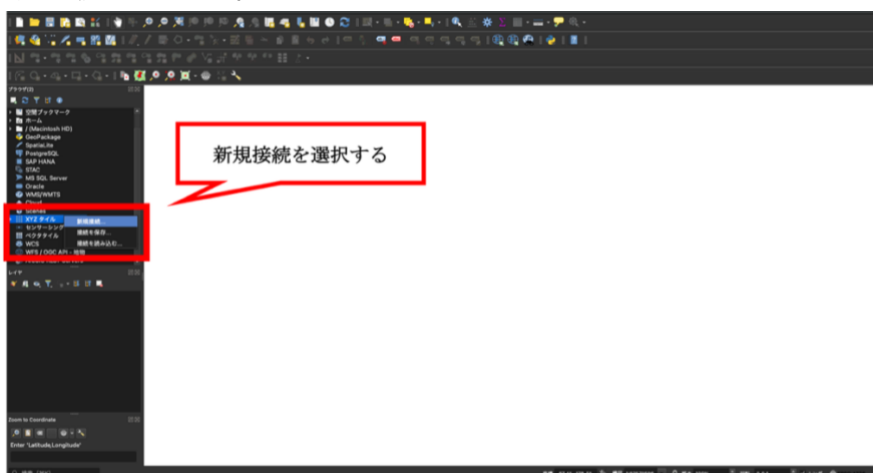


図 2.2.3-2 QGIS の XYZ Tiles の設定画面

- ③ 設定画面が開かれ、以下を入力する。
名前：任意の名前（地理院地図_航空写真）

座標系を統一することで、距離や面積の計測における不整合を抑え、位置の誤認や図形の歪みを低減することができる。

2. 視認性と位置精度の維持

背景画像の座標系にソフトウェアの表示設定を合わせることで、不要な再投影による再サンプリングを避け、画質の劣化や輪郭の不明瞭化を抑えることができる。その結果、地形や境界の判読をより正確に行いやすくなる。

以下に、QGISにおける座標系の確認方法及び座標系の選択方法を示す。

① QGISにおいて、右下に表示される座標系を確認する。



図 2.2.4-1 QGISでの座標系の確認

② 基準となる座標系を選択する。

画面右下の座標系の表示を押し、統一する座標系を選択する。特に指定がなければ、自治体の地域が含まれる平面直角座標系に統一することを推奨する。

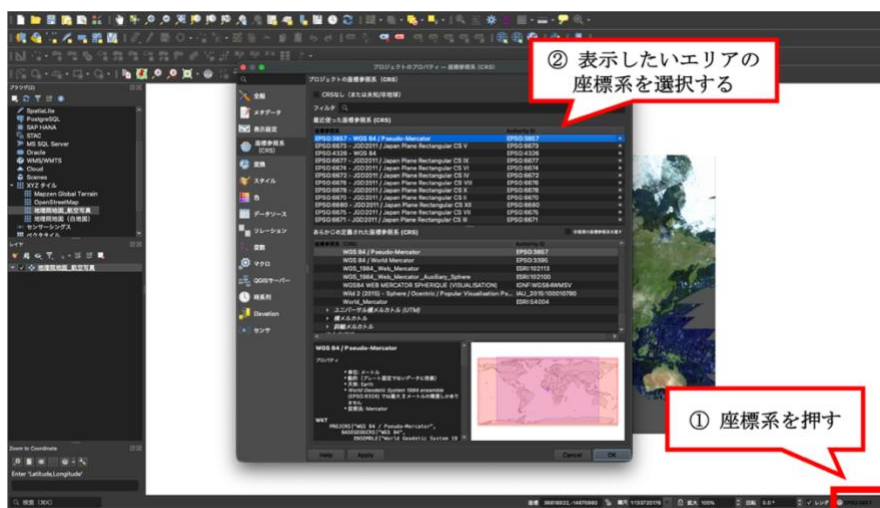


図 2.2.4-2 QGISでの座標系の変換

【参考】GIS 業務における座標参照系（CRS）の基礎知識

GIS で複数のデータを正確に重ね合わせるためには、座標参照系の理解が不可欠である。本書で主に扱う座標参照系として、以下の3つが挙げられる。

1) 地理座標系

代表的な設定値として、EPSG コード 4326 や EPSG コード 6668 が挙げられる。

特徴：地球上の位置を緯度・経度の角度で表現する。EPSG コード 4326 は WGS84 と呼ばれる世界共通の基準を用いる。一方、EPSG コード 6668 は、日本の測量法で定められた日本測地系 2011 を用いる。

注意点：角度による表現であるため、平面上の地図における距離や面積を直接計算することには適していない。

2) ウェブ・メルカトル

代表的な設定値として、EPSG コード 3857 が挙げられる。

特徴：国土地理院の地理院タイルをはじめ、多くの Web 地図サービスで採用されている座標系である。地球全体を正方形のタイル状に分割し、シームレスに表示できる利点がある。

注意点：高緯度になるほど面積が拡大される図法であるため、画面上の表示用として適しているが、この座標系上で測量計算や面積算出を行うことは適していない。

3) 平面直角座標系

代表的な設定値として、東京都などを対象とする EPSG コード 6677 などが挙げられ、対象地域に応じて全国で第 1 系から第 19 系まで存在する。

特徴：測量法に基づき、日本の公共測量で用いられる座標系である。単位はメートルであり、全国を 19 の区域に分け、それぞれの対象地域内で歪みが小さくなるよう設計されている。

注意点：正確な距離や面積の算出に適している一方、対象外の地域には適用できない。例えば、第 9 系を用いて北海道のデータを扱うことは適切ではない。

表 2.2.4-1 系番号と EPSG コードの対応

系番号	EPSG コード	系番号	EPSG コード
第 1 系	EPSG:6669	第 11 系	EPSG:6679
第 2 系	EPSG:6670	第 12 系	EPSG:6680
第 3 系	EPSG:6671	第 13 系	EPSG:6681
第 4 系	EPSG:6672	第 14 系	EPSG:6682
第 5 系	EPSG:6673	第 15 系	EPSG:6683
第 6 系	EPSG:6674	第 16 系	EPSG:6684
第 7 系	EPSG:6675	第 17 系	EPSG:6685
第 8 系	EPSG:6676	第 18 系	EPSG:6686
第 9 系	EPSG:6677	第 19 系	EPSG:6687
第 10 系	EPSG:6678		

※ 各系番号の適用区域の詳細は、国土地理院「平面直角座標系」を参照。

参考サイト：<https://www.gsi.go.jp/LAW/heimencho.html>

2.2.5 ライセンスと権利処理

調査の成果物を政府資料やオープンデータとして公開する場合は、調達する画像の利用規約について以下の点を確認・処理する必要がある。

表 2.2.5-1 画像データのライセンス及び権利処理

画像の種類	ライセンス・権利処理
国土地理院 空中写真	<p>国土地理院コンテンツ利用規約に基づき、原則として、出典を明記することで商用利用、加工及び第三者提供を含む二次利用が可能である。なお、編集・加工して利用する場合は、出典の記載に加え、編集・加工を行った旨を記載する必要がある。ただし、個別の利用ルールが適用されるコンテンツや、測量法上の手続が必要となる場合があるため、利用に当たっては対象データの条件を確認する。</p>
民間商用 衛星画像	<p>民間商用衛星画像は、ライセンス条件により、購入組織内での利用に限定される場合がある。そのため、成果物を公開又は共有する場合は、元画像そのものの公開・再配布の可否に加え、画像解析により得られたベクターデータ等の派生成果物が外部公開・再配布可能かどうかを、契約条件に基づいて確認する必要がある。また、成果物の権利帰属、利用許諾及び著作者人格権の取扱いについても、契約上あらかじめ整理しておく必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・派生成果物の公開条件の確認：画像解析等により抽出したポリゴンやライン等のベクトルデータであっても、外部公開、再配布又は商用二次利用の可否は、元画像ライセンスにおける派生成果物の定義や個別契約条件に依存する。このため、元の画素情報やメタデータを再現できない成果物であることに加え、当該成果物の外部公開等が契約上許諾されていることを確認する必要がある。 ・画像自体を公開する場合の契約条件の調達：背景地図等として画像そのものを公開する必要がある場合は、通常の組織内利用ライセンスではなく、画像自体の公開又は再配布が許諾された契約条件を確認し、必要に応じて適切なライセンスを確保する必要がある。 ・成果物の権利帰属の整理：成果物の著作権帰属、利用許諾、著作者人格権の取扱い等については、委託契約等で明確にしておく必要がある。

第3章 PV情報の可視化

本章では、解析の基礎データとなる PV の位置情報を可視化する手法について述べる。

3.1 参考手引書（案）で想定する PV 位置情報の形式

本書では、住宅や工場の屋根などに設置された太陽光発電設備（以下、建物系 PV）と野立ての太陽光パネルなど地面に直接設置された太陽光発電設備、及び、大規模な施設の屋根や屋上に設置された事業用の太陽光発電設備（以下、土地系及び大規模建物 PV）に分類した位置情報の形式を想定する。このように設置形態や規模によって分類する理由は、対象の特性に応じて、適用すべき AI による抽出手法や得られるデータ形式が異なるためである。具体的には、建物系 PV は対象の存在位置を中心に把握する物体検知が適しているのに対し、土地系及び大規模建物 PV は、比較的大きな面積を有し、形状や占有範囲を面的に把握しやすいため、セグメンテーションの適用が有効である。

表 3.1-1 PV 位置情報の分類や形式

分類	特徴	形式
建物系 PV	一般住宅や事業所の屋根等に設置された、太陽光発電設備を指す	矩形もしくはポイントデータ
土地系及び大規模建物 PV	地面に直接設置された野立て設備、又は大規模施設の屋根若しくは屋上に設置された事業用の太陽光発電設備を指す	ポリゴンデータ

(1) 建物系 PV

パネルの矩形、もしくは、矩形の重心点を記録したポイントデータとして表現されることを想定する。



図 3.1-1 建物系 PV の矩形（左）、ポイントデータ（右）の例

(2) 土地系及び大規模建物 PV

土地系 PV と大規模建物 PV は、パネル領域のポリゴンデータとして表現されることを想定する。ポリゴンの生成単位はパネルの配置状況に依存し、集合体が一体としてポリゴン化される場合と、パネル間隔が空いているために単体としてポリゴン化される場合がある。



図 3.1-2 土地系 PV のポリゴンデータの例

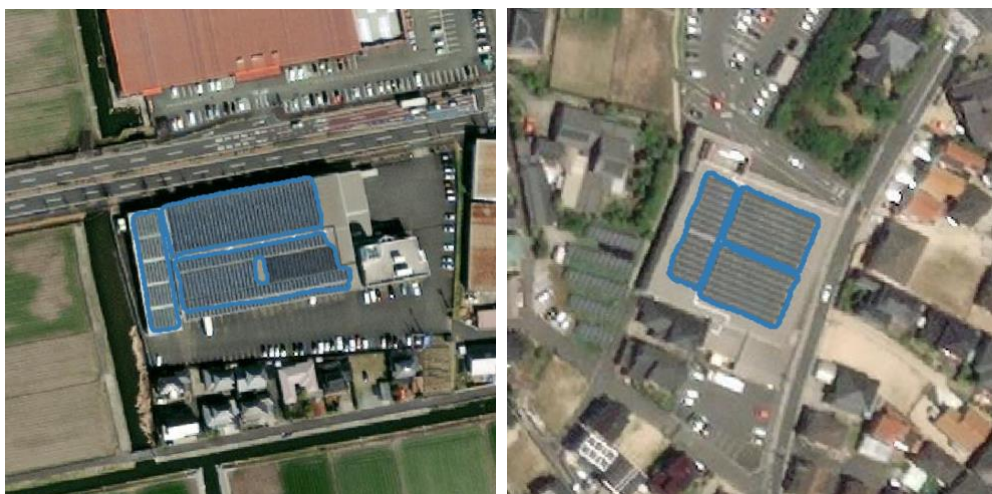


図 3.1-3 大規模建物 PV のポリゴンデータの例

3.2 QGIS での表示方法

本節では、例として、土地系ポリゴンデータ及び建物系ポイントデータを QGIS 上で表示する手順を説明する。本節の終了時点での土地系 PV と建物系 PV の GIS での表示例は以下の図の様である。

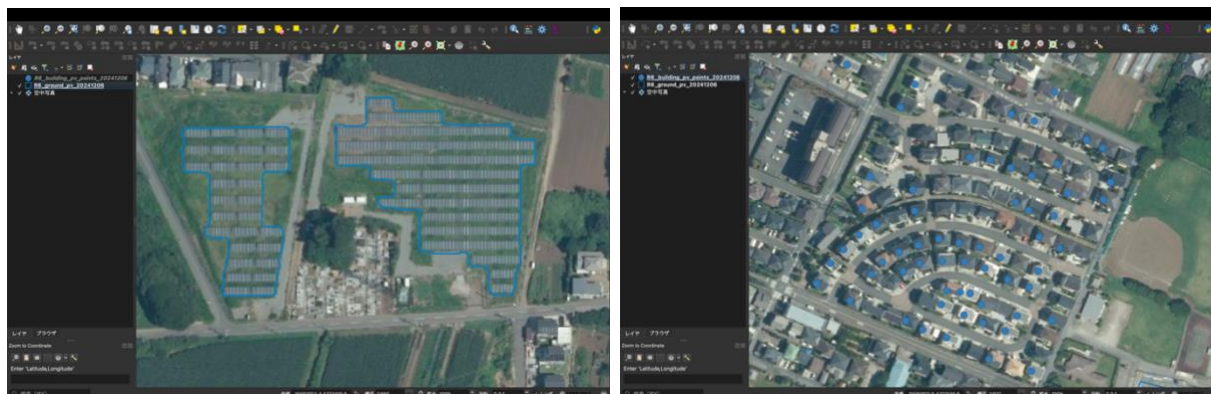


図 3.2-1 本節終了時の土地系 PV (左) と建物系 PV (右) の表示例

作業を始める前に、以下の環境構築を実施する。

環境構築の手順

1. QGIS アプリケーションをダウンロードする (参考 : 2.1.2 項)
2. QGIS アプリケーションを起動する
3. 新規プロジェクトを作成する
4. ベースマップとして、航空画像や衛星画像を表示する (参考 : 2.2.3 項)
5. 特定のフォルダ内に、土地系 PV と建物系 PV のデータを格納する

【フォルダの階層構造の例】

```
├── Desktop
│   └── PV
│       ├── R6_ground_pv_20241206
│       │   ├── R6_ground_pv_20241206.cpg
│       │   ├── R6_ground_pv_20241206.dbf
│       │   ├── R6_ground_pv_20241206.prj
│       │   ├── R6_ground_pv_20241206.shp
│       │   └── R6_ground_pv_20241206.shx
│       ├── R6_building_pv_points_20241206
│       │   ├── R6_building_pv_points_20241206.cpg
│       │   ├── R6_building_pv_points_20241206.dbf
│       │   ├── R6_building_pv_points_20241206.prj
│       │   ├── R6_building_pv_points_20241206.shp
│       │   └── R6_building_pv_points_20241206.shx
│       └── PV-analysys.qgz
```

次に、土地系 PV のポリゴンデータ及び建物系 PV の矩形やポイントデータを QGIS 上で表示する手順について説明する。

1. レイヤーの追加（土地系 PV のポリゴンデータの場合）

① メニューバーから「レイヤー」→「レイヤーを追加」→「ベクターレイヤーを追加」→「…」をクリックし、フォルダ内の .shp ファイルを選択したうえで「追加」をクリックする。

- 例として、
Desktop/PV/R6_ground_pv_20241206/R6_ground_pv_20241206.shp を用いる。
- シェープファイルを QGIS の画面上に直接ドラッグ&ドロップすることでも追加できる。



図 3.2-2 QGIS でのレイヤーの追加手順

② 「…」をクリックする。

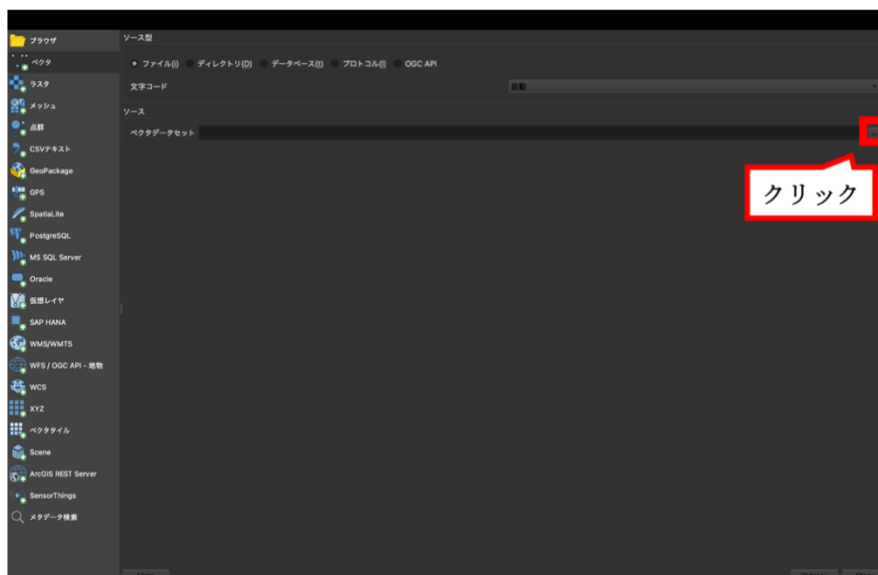


図 3.2-3 QGIS での操作手順

③ シェープファイルを選択

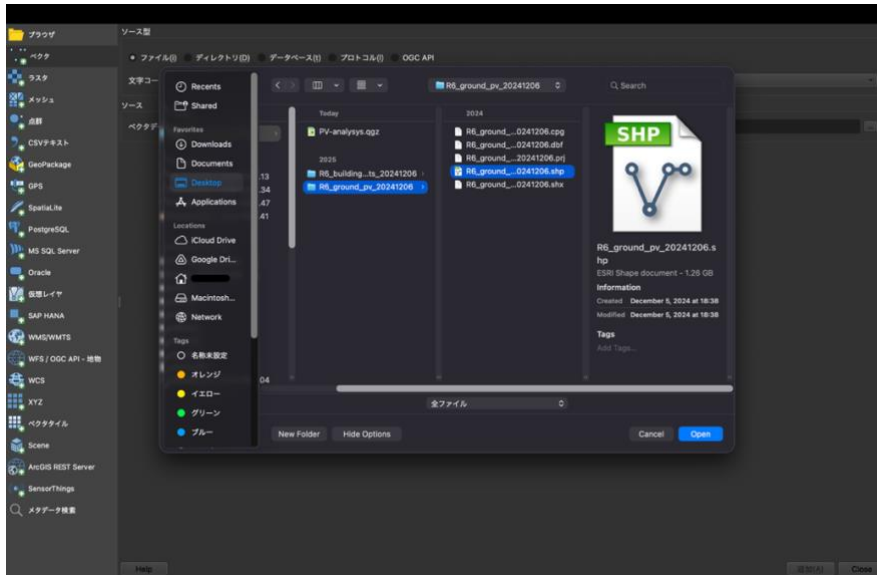


図 3.2-4 QGIS でのシェープファイルの選択画面

④ 「追加」をクリック

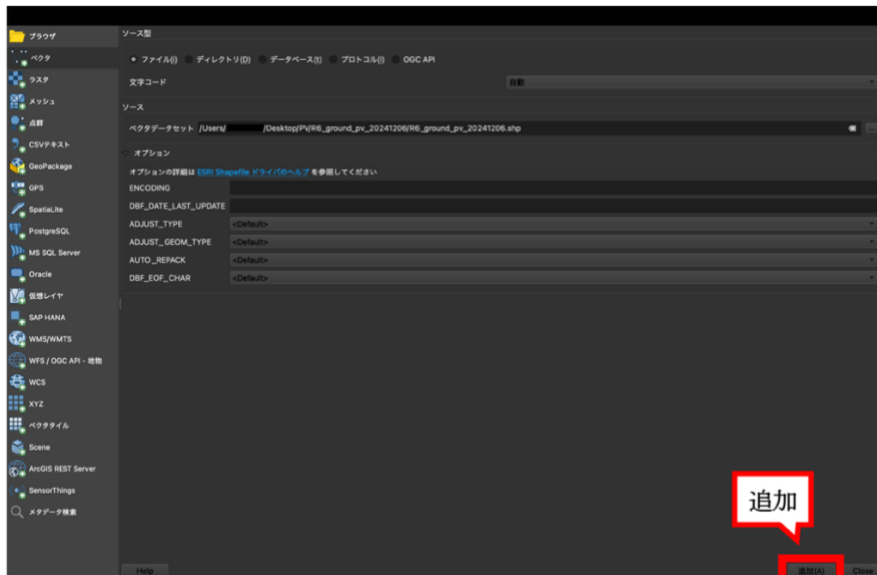


図 3.2-5 QGIS でのシェープファイルの追加画面

⑤ 土地系 PV のポリゴンデータが表示される。

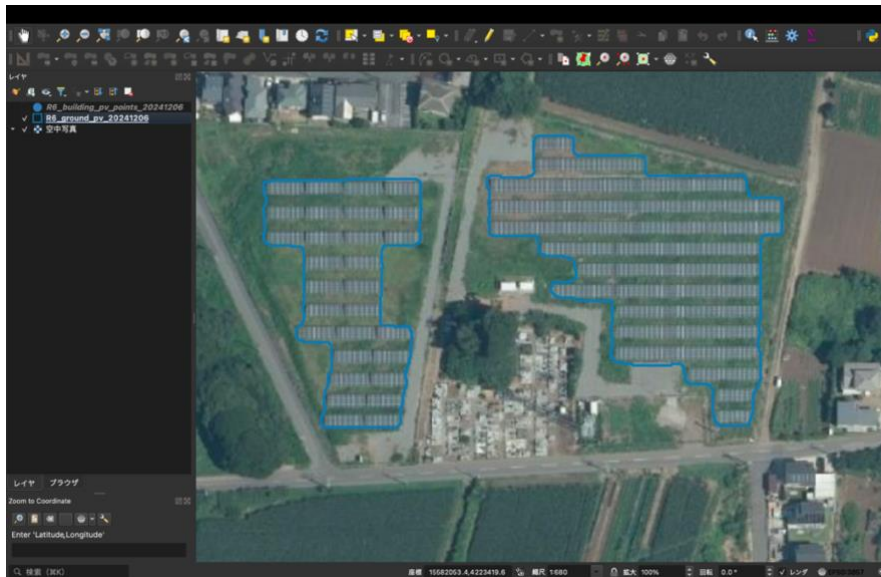


図 3.2-6 QGIS で土地系 PV のポリゴンデータの表示

2. レイヤーの追加（建物系 PV のポイントデータの場合）

土地系 PV のポリゴンデータと同様の手順で、ポイントデータを表示する。例として、

Desktop/PV/R6_building_pv_points_20241206/R6_building_pv_points_20241206.shp を扱う。

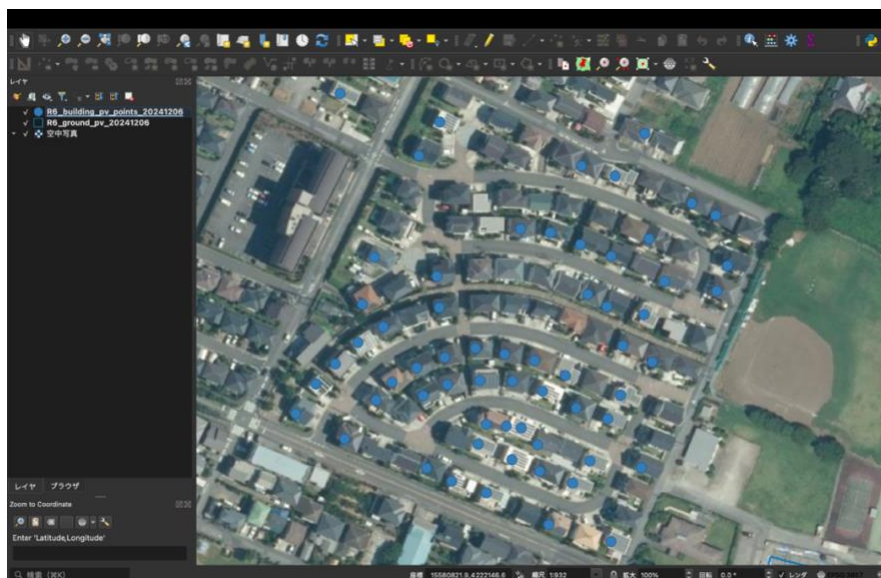


図 3.2-7 QGIS で建物系 PV のポイントデータの表示

3. 表示の確認とトラブルシューティング

マップキャンバス上に各データが表示されていることを確認する。表示されない場合は、以下の点を順に確認・修正する。

- レイヤーパネル上に土地系 PV 建物系 PV の 2 つのレイヤーが表示されていることを確認する。

- 画面右下のボタンからプロジェクト全体の CRS を自治体の平面直角座標系 (EPSG:6669~EPSG:6687) に設定する。
- レイヤーパネル上で2つのレイヤーが、航空画像や衛星画像のレイヤーよりも上になるよう、ドラッグ&ドロップで順序を変更する。
- レイヤーの視認性を高めるため、レイヤーパネル上の建物系 PV や土地系 PV のパネルを右クリックし、「プロパティ」→「シンボロジー」から表示スタイルを調整する。(例: ポリゴンデータを outline blue、ポイントデータを dot blue. etc)

4. 保存

メニューバーから、「プロジェクト」→「保存」、もしくは“Ctrl + S”でここまでの作業内容を保存しておく。QGISは自動保存がされないためこまめに保存することを推奨する。また、QGISに読み込んだ元データのパソコン上での保存場所やフォルダ名を後から変更すると、次回起動時にエラーとなり地図上に表示されない。その場合は、移動先のフォルダからデータを再度読み込み直す必要がある。

第4章 PV 基礎情報の取得

本章では、PV の位置・形状データと地理空間情報を用いて、PV に関する基礎情報を取得する方法を紹介する。

4.1 PV の設置形態や属性の取得

PV データについては、その設置場所が建築物の屋根上（建物系 PV）であるか、地面上（土地系 PV）であるかを判別するとともに、PV が設置されている建物や土地の属性を把握する必要がある場合がある。

本節では、PV の設置形態および関連する属性の分類を行う方法について述べる。分類にあたっては、利用可能な地理空間データの精度や整備状況を踏まえ、適切な手法を選定する。

4.1.1 地図データを用いた分類

GIS 上において、PV の位置情報と既存の建物図形データとの重ね合わせを行い、属性を付与する手法である。参照データについて、例として以下が挙げられる。

表 4.1.1-1 設置形態の分類時における参照データの例

参照データ	主な活用内容
高精度な民間地図データ	建物枠との重複判定による、設置形態（屋根設置・地上設置等）の高精度な分類が可能。
公的機関等の公開データ（国土数値情報、基盤地図情報 等）	有償データの利用が困難な場合の代替手段。土地利用細分メッシュや公共施設データ等を用いた補完的解析に使用する。
自治体保有データ（都市計画基礎調査、家屋図 等）	自治体内部で保有する高精度な建物データが存在する場合、より精緻な判定を行うための追加資料として活用を検討する。

以下では、公的機関等の公開データのダウンロードと分類方法について手順を説明する。今回は、PV の設置形態や属性を取得するための操作を例示するために、入手が容易な国土数値情報のデータを用いる。ただし、国土数値情報の分類情報はメッシュ単位であるため、建物が含まれる土地の分類は把握できるが、個別の建物単位での正確な分類はできないことに注意されたい。

- ① 国土数値情報ダウンロードサイトから、土地利用欄の土地利用細分メッシュをダウンロードする。



図 4.1.1-1 国土数値情報ダウンロードサイトにおける操作

② 該当する自治体が所属する範囲を選択する。



図 4.1.1-2 国土数値情報ダウンロードサイトにおけるエリアの選択画面

③ 画面を下にスクロールし、最新年度の世界測地系のファイルをダウンロードする。世界測地系のファイルをダウンロードすることを推奨する。

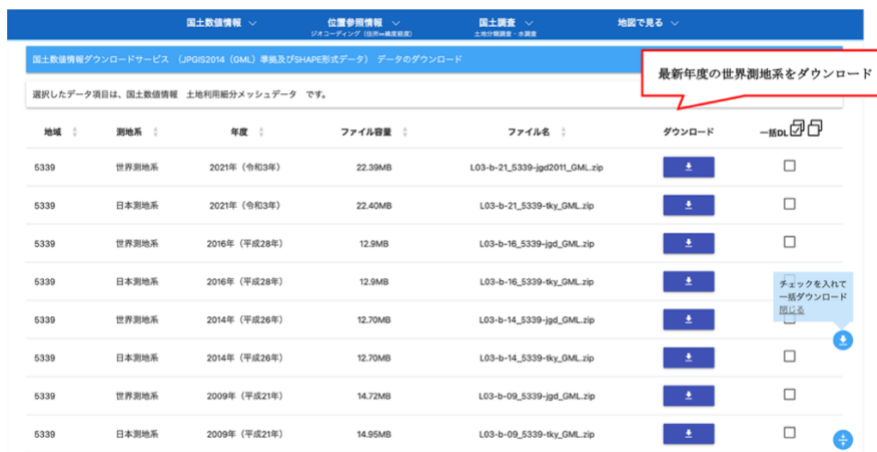


図 4.1.1-3 国土数値情報ダウンロードサイトにおけるダウンロード画面

- ④ ダウンロードしたファイルを QGIS で表示する。
 ダウンロードデータのうちシェープファイルを選択し、QGIS の
 レイヤヘッドラッグ&ドロップする。

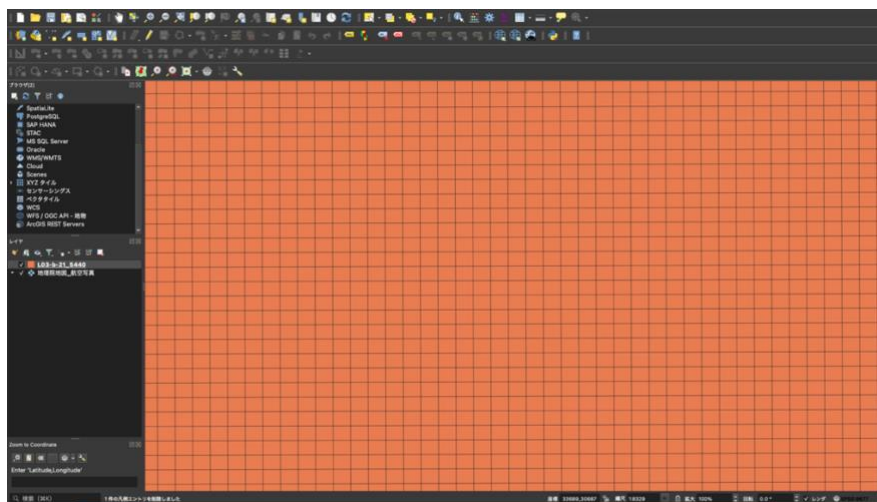
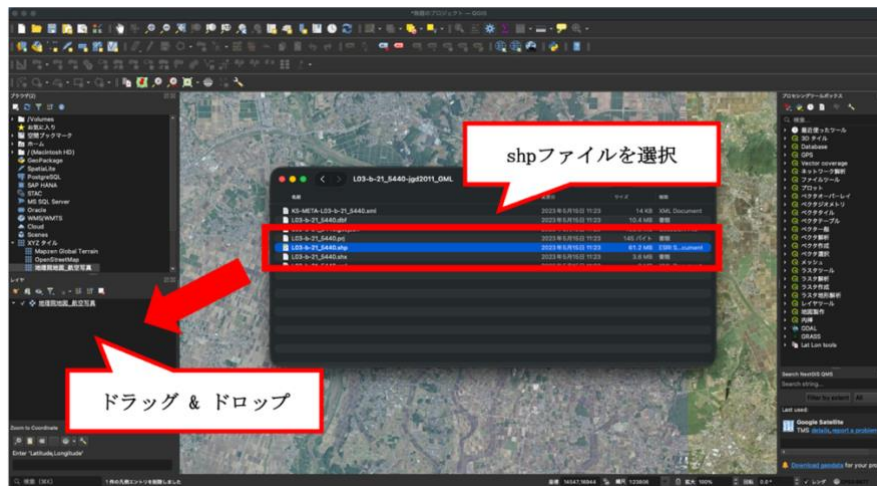
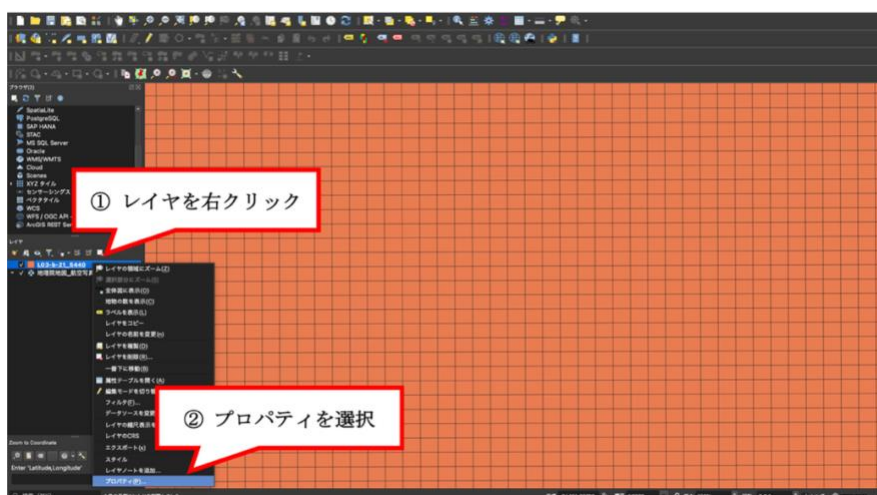


図 4.1.1-4 ダウンロード情報の QGIS での表示

- ⑤ 下地の航空画像や衛星画像が見えない場合は、プロパティより
 編集を行う。「シンボロジ」>「outline_ (色名)」を選択す
 る。



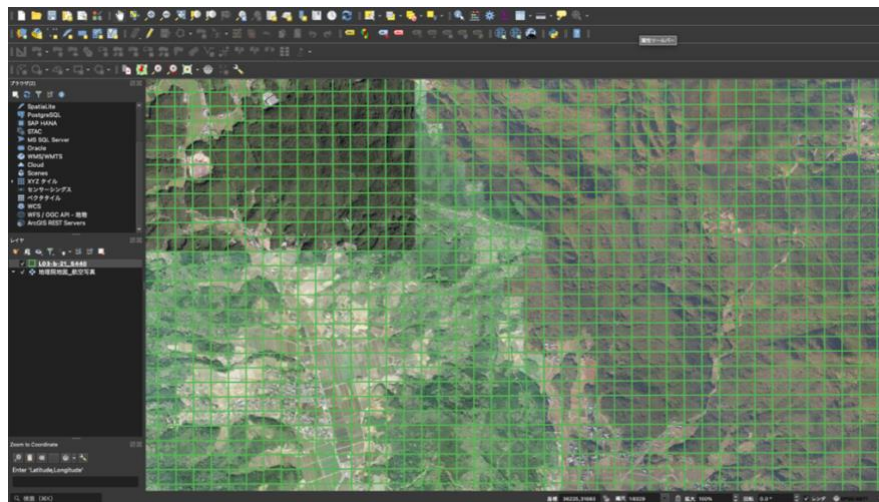
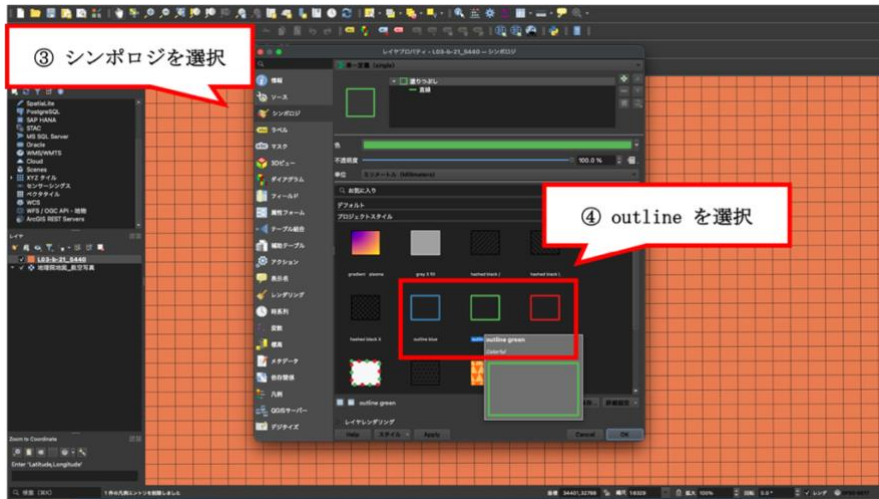
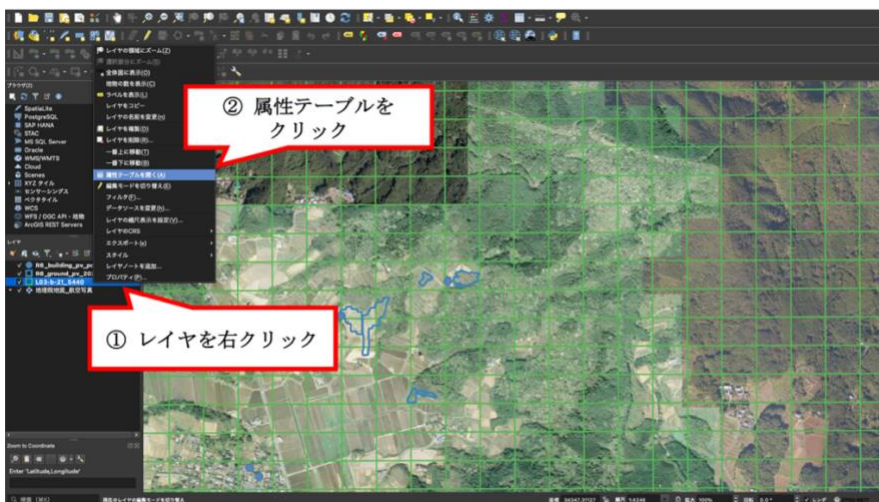
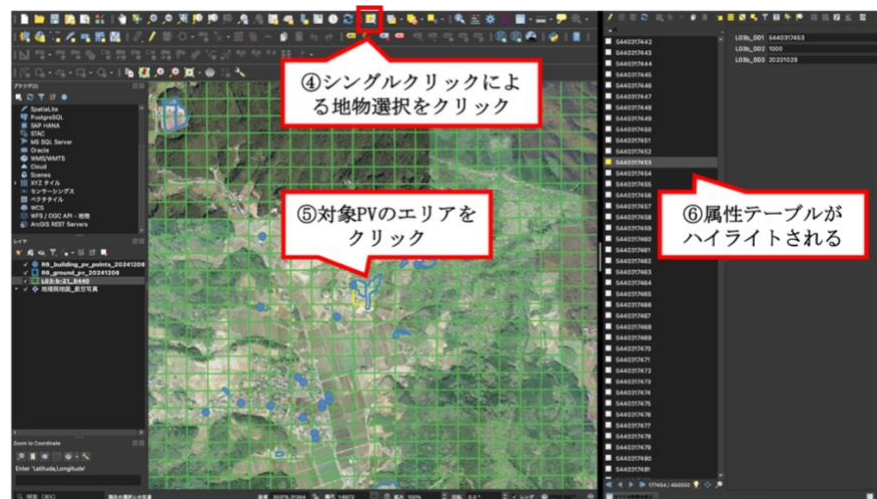
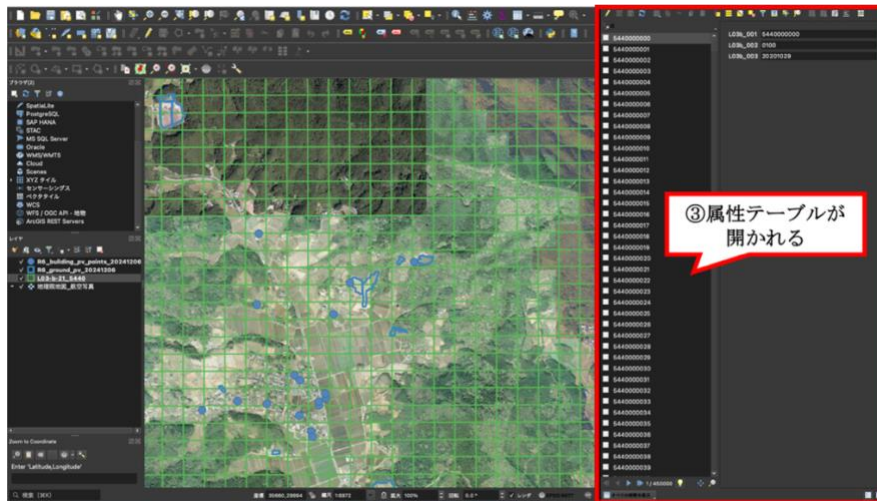


図 4.1.1-5 ダウンロード情報の QGIS での表示

⑥ PV のレイヤを配置する。その後、土地利用細分メッシュデータの属性テーブルを開き、対象 PV の属性を確認する。





国土数値情報のホームページに記載されている、データ構造や属性情報を参考に、番号と属性を対応付け、属性情報を確認する。

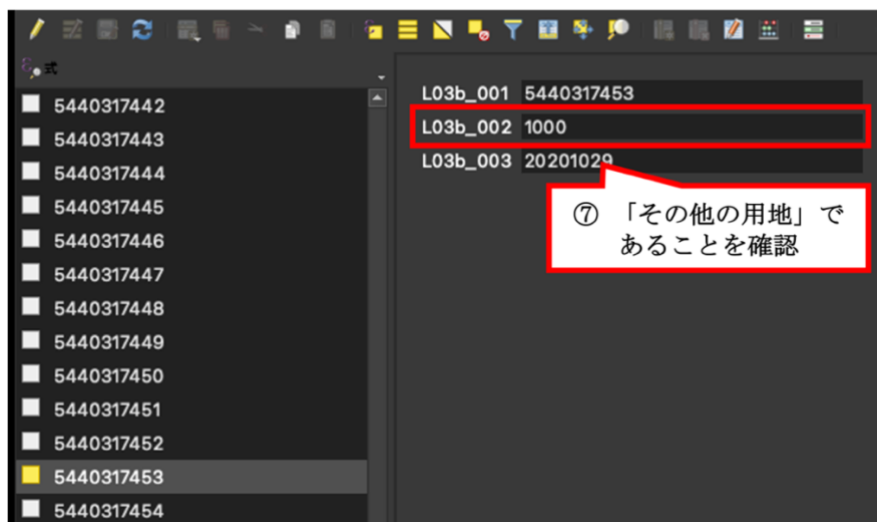


図 4.1.1-6 ダウンロード情報の QGIS での属性情報の確認

4.1.2 目視による判定及び補正

4.1.1 項で示したような地図データの入手が困難な場合、あるいはデータの更新頻度や精度が不十分であり、自動判定のみでは正確性が担保できないエリアについては、人の目視による判断を実施する。具体的には、GIS 上で PV の位置情報と最新の地図や航空画像を重ね合わせ、作業者が一点ずつ設置状況や属性を確認する。これにより、データの制約がある環境下においても、分類の品質を確保するものとする。



図 4.1.2-1 PV の位置情報と地図を用いた PV の属性の確認例

右図は国土地理院の地理院タイル（白地図）である。青枠は PV の位置情報を表し、白地図と照らし合わせることで、PV の属性を判定する。

4.2 PV 面積の取得

PV の面積を算出する方法について説明する。面積を精度よく算出するため、座標系は日本の測量基準に適合した平面直角座標系へ変換した上で、面積の算定および形状の精緻化を行う。

4.2.1 座標系の操作

面積計算の精度を確保するため、全てのデータに対し、対象地域に応じた平面直角座標系への投影変換を行う。

表 4.2.1-1 座標系変換の対象と目的

項目	内容
変換前の座標系	地理座標系やウェブ・メルカトル等
変換後の座標系	対象自治体が所在する地域に対応した平面直角座標系の系番号
目的	面積計算に適した座標系へ変換し、対象地域における距離及び面積の歪みを小さく抑える

4.2.2 面積の取得方法

座標変換後のデータを用い、検出結果の特性に応じて、以下のとおり面積情報を取得する。

(1) 物体検出データ（ポイントもしくは矩形データ）の場合

物体検出によって得られたポイント又は矩形データは、あくまで PV の存在位置を示す情報であり、そのままでは正確な面積算出には適さない。このため、正確な面積を把握する必要がある場合には、以下の手順により実際の形状に即したポリゴンを作成することを推奨する。

表 4.2.2-1 矩形・ポイントデータを用いた面積情報の取得方法

項目	内容
1 手動によるポリゴン作成	GIS 上で PV 位置を参照しつつ、背景の航空画像や衛星画像を目視確認し、実際の太陽光パネルの形状に沿って手動でポリゴンデータを作成する。
2 面積の採用	矩形の面積ではなく、手動で作成したポリゴンの幾何面積を、当該設備の設置面積として採用する。これにより、屋根形状や設置状況に即した推計が可能となる。

以下にて、QGIS での矩形もしくはポイントデータを用いた面積情報の確認方法について紹介する。なお、航空及び衛星画像の解像度不足等の理由から、PV の輪郭が読み取れない場合もあることに注意されたい。

- ① 矩形もしくはポイントデータから PV の位置情報を確認し、PV の太陽光パネルの輪郭が認識できるかを確認する。

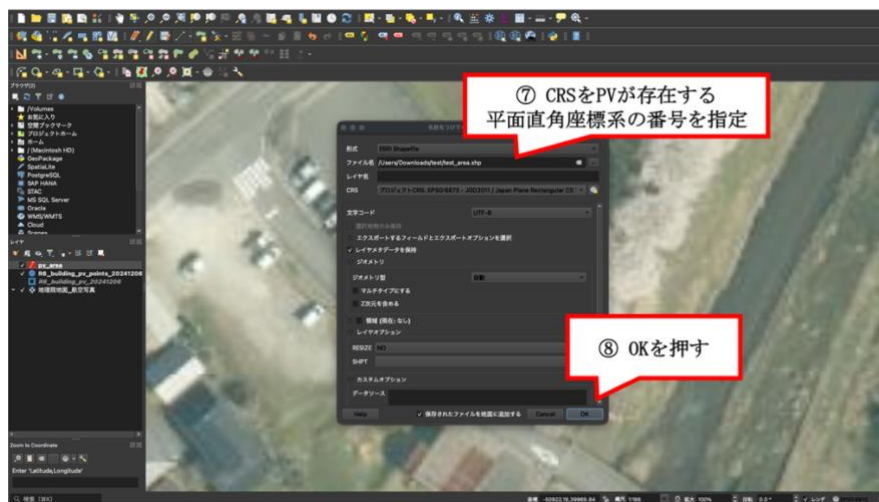
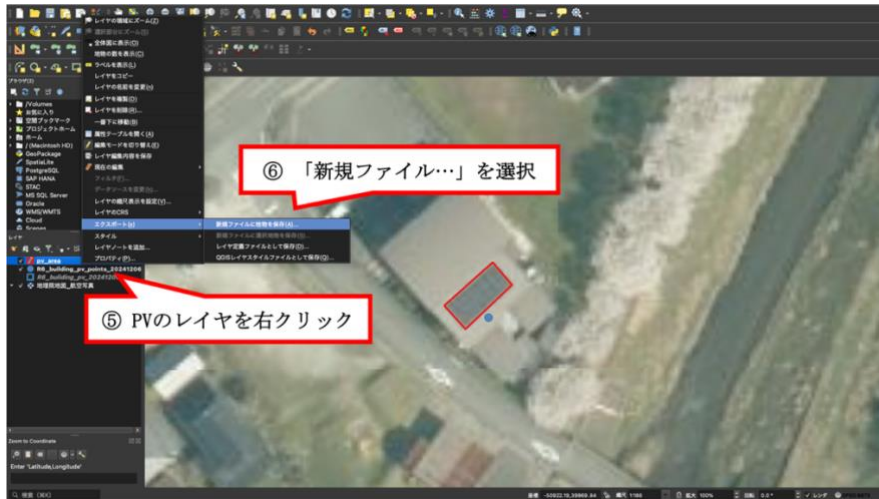


図 4.2.2-1 PV の輪郭の確認

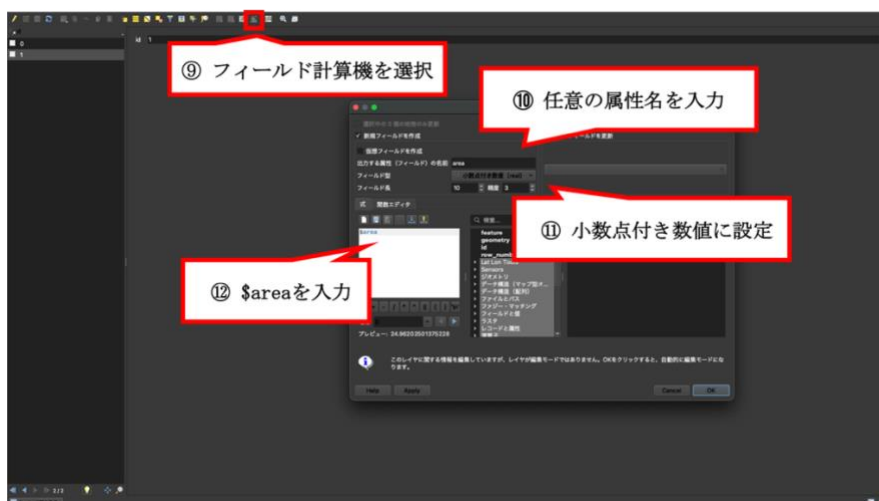
青色のポイントは PV の位置情報を表す。

- ② ポリゴンを表示するための新規レイヤを作成し、新規レイヤ上にPVの輪郭をなぞるようにポリゴンを作成する。その後、作成したポリゴンの面積情報を取得する。





新規生成されたレイヤを右クリックし、属性テーブルを選択する。



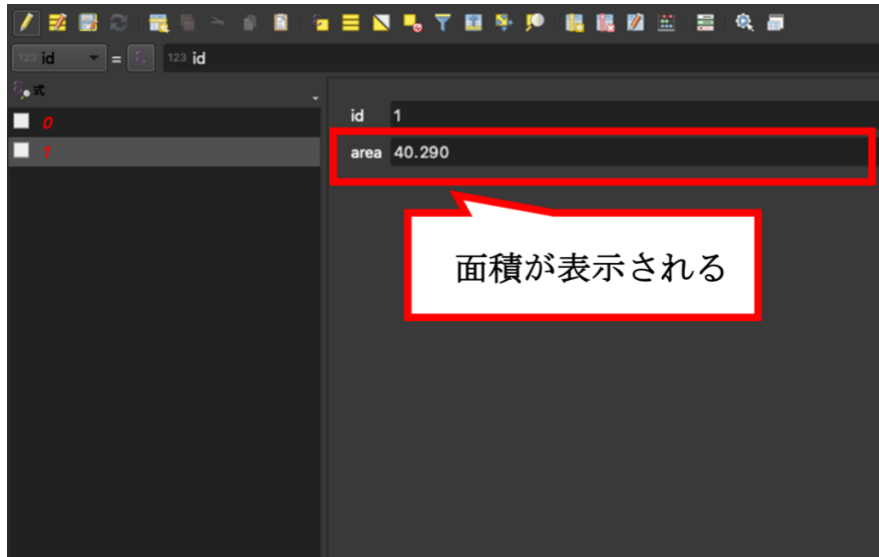


図 4.2.2-2 ポイントまたは矩形データを基点とした面積取得方法

(2) セグメンテーションデータ (ポリゴン) の場合

セグメンテーションによって得られたポリゴンデータは、AI がパネルの設置形状を詳細にトレースしているため、原則としてその図形面積をパネル設置面積として採用する。

表 4.2.2-2 ポリゴンデータの面積情報の取得方法

項目	内容
1 形状の確認と微修正	GIS 上でポリゴン形状と航空画像や衛星画像を照合し、明らかな形状の崩れや、パネルのない領域への食い出し等が確認された場合は、適宜形状を修正する
2 面積の採用	微修正したポリゴンの幾何面積を、当該設備の設置面積として採用する

ポリゴンデータの面積取得方法は、4.2.2 項の (1) と同様であるため、操作手順は省略する。

第5章 PV 導入量の推計

本章では、各自治体における PV 導入量 (kW) (以下、導入量) の推計手法について記述する。

5.1 PV 導入量の推計方法

5.1.1 PV 導入量の推計式

本項では、導入量の算出の際に用いる推計式について説明する。PV 設置係数 (以下、設置係数) 及び設置密度を用いて、建物系及び土地系 PV の導入量を推計する。推計式を表 5.1.1-1 に示す。建物系 PV と土地系 PV で導入量の推計式は異なる。なお、設置係数及び設置密度の定義は 5.1.2 項で説明する。

建物系 PV の場合は、衛星画像から太陽光パネルの形状を明確に認識できる場合と、認識できない場合とで推計式が異なる。太陽光パネルの形状を認識できる場合は、PV 面積 (m²)、設置密度 (kW/m²) を用いて導入量を推計する。形状を認識できない場合は、PV 設置の建物面積 (m²)、設置係数 (m²/m²)、設置密度 (kW/m²) を用いて推計される。前者の方が推計精度は高いため、太陽光パネルの形状を認識できる場合には当該式を用いることが望ましい。ただし、画像から太陽光パネルの形状を明確に認識できない場合も想定されるため、その場合は後者の式を用いる。

一方で、土地系 PV の場合は、PV 面積及び設置密度を用いて導入量を推計する。

表 5.1.1-1 PV 導入量の推計式

項目	内容
建物系	<u>航空画像及び衛星画像から太陽光パネルの形状を明確に認識できる場合</u> PV 導入量 (kW) = PV 面積 (m ²) × 設置密度 (kW/m ²) <u>航空画像及び衛星画像から太陽光パネルの形状を明確に認識できない場合</u> PV 導入量 (kW) = PV 設置の建物面積 (m ²) × PV 設置係数 (m ² /m ²) × 設置密度 (kW/m ²)
土地系	PV 導入量 (kW) = PV 面積 (m ²) × 設置密度 (kW/m ²)

5.1.2 推計パラメータの設定

前項の推計式における各変数の定義、及び具体的な数値について記述する。

(1) 建物系 PV の導入量推計式の場合

(1-1) PV 面積及び PV 設置の建物面積

PV 面積は、PV 間の隙間を含めた PV 自体の面積と定義する。

PV 設置の建物面積は、画像上の建物の外形をなぞることで算出される面積とする。建物の壁面を直接判読することが困難であるため、建物外形は屋根外形を基準として取得する。図 5.1.2-1 の右図に、建物面積を求める際の建物外形の例を示す。

屋根外形の判読にあたっては、屋根として連続していると判断できる範囲を一体の外形として取得する。渡り廊下や明確な構造分離が確認できる場合は、別の建物として扱う。また、屋根形状が複雑で境界の判別が困難な場合は、屋根として認識できる範囲の最大外形を基準として外形を取得する。



図 5.1.2-1 建物系における PV 面積（左）と PV 設置の建物面積（右）
左図は建物系 PV の面積を表し、PV 間の隙間を面積に含める。右図は建物系 PV の建物面積を表し、画像上の建物の外形をなぞることで算出される。

(1-2) 設置密度

設置密度は、単位面積あたりの設備容量を示す係数であり、推計式において面積をキロワット単位の導入量に変換するために用いる。設置密度は、近年のパネル性能や実装実態を踏まえ、 0.13 から $0.20\text{kW}/\text{m}^2$ 程度の値を設定することが推奨される。特に指定がない場合は、環境省「令和 7 年度衛星画像等を用いた太陽光発電設備の導入量把握に向けた調査・検討委託業務」（以下、令和 7 年度の検証業務）の結果も踏まえて、 $0.15\text{kW}/\text{m}^2$ の値を利用することを推奨する。



図 5.1.2-2 建物系 PV における設置密度の概念図

【設置密度の算定】

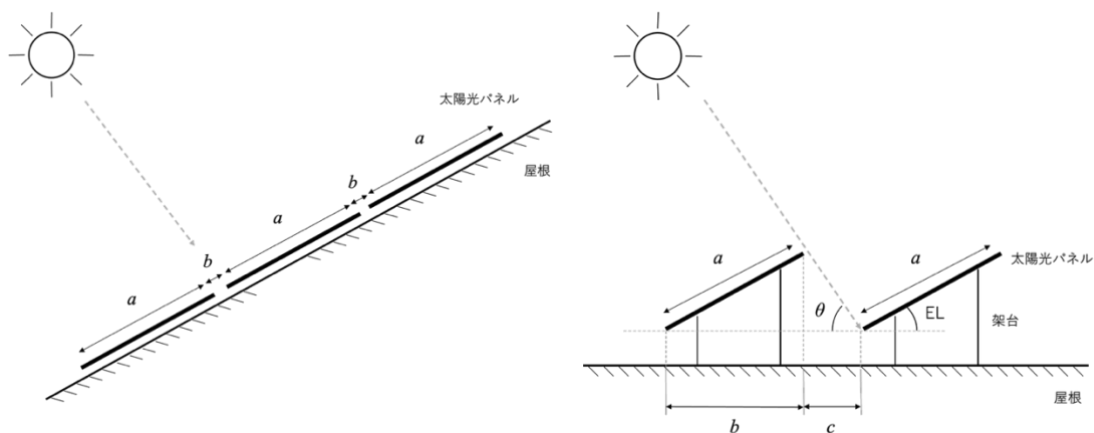


図 5.1.2-3 建物系 PV における PV の設置形態

パネルは一般的に使用されていると考えられる幅 2.00m×奥行（図の a）1.00m、出力 400W を想定した。建物系 PV の設置形態としては、斜めの屋根に設置される場合と地面と平行の屋根に設置される場合を想定した。

① 斜めの屋根に設置される場合

パネル間の隙間は、架台の金具や施工上・メンテナンス上必要な最低限の寸法（数 cm ～十数 cm 程度）となる。隙間をほぼゼロとして屋根面に敷き詰めたと仮定する。

1kW のシステムを構成するために必要なパネル自体の総面積は、

$$2.00\text{m} \times 1.00\text{m} \times 1,000 \div 400 = 5.00 \text{ m}^2/\text{kW}$$

となる。つまり、屋根面における設置密度は約 0.20 kW/m² である。

② 地面と平行の屋根に設置される場合

陸屋根に設置する場合、太陽高度による影の影響を防ぐため、パネル間に十分な間隔を空ける必要がある。図に示したパネルの設置角度 θ と、影が最も長くなる冬至の南中時を想定した太陽高度 EL を用いて、後ろのパネルに影が掛からない最低限の隙間を算出する。パネルの設置角度を 20 度、日本の標準的な緯度である北緯 35 度とした場合、影を避けるためのパネル間隔は約 1.50m となる。

1kW のシステムを構成するために必要なパネル自体の総面積は、

$$2.00\text{m} \times 1.50\text{m} \times 1,000 \div 400 = 7.48 \text{ m}^2 / \text{kW}$$

となる。つまり、屋根面における設置密度は約 0.13 kW/m² である。

表 5.1.2-1 設置角度が 20° におけるパネル間隔

(a=1.00m)	設置角度 20°		
北緯	b (m)	c (m)	パネル間隔 b+c (m)
25	0.94	0.39	1.32
30	0.94	0.46	1.40
35	0.94	0.56	1.50
40	0.94	0.68	1.62
45	0.94	0.86	1.80

(1-3) 設置係数

設置係数は、建物の屋根面積からその上に設置されていると推定される PV 面積を導き出すための係数である。太陽光パネルの面積に対して、建物の屋根面積を割ることで算出される。衛星画像の解像度が低く、パネルの輪郭を個別に抽出できない場合に、PV 面積を推計する上で必要な変数となる。

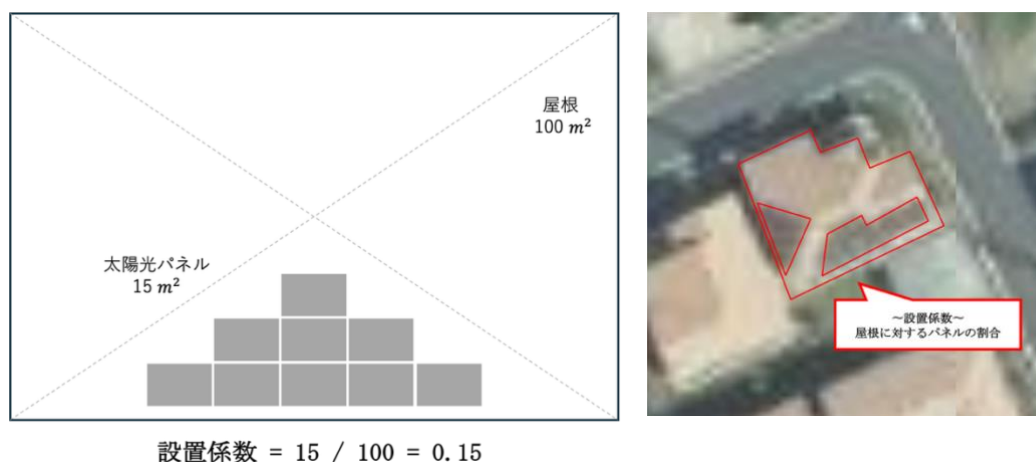


図 5.1.2-4 建物系 PV における設置係数の定義

設置係数の値は、令和 6 年度衛星画像等を用いた太陽光発電設備の導入量把握調査・検討委託業務（以下、令和 6 年度 PVAI 業務）において詳細に検討されている。令和 6 年度 PVAI 業務にて算出された値を用いる。設置係数は、建物の属性ごとに値が異なる。建物のカテゴリ区分と設置係数の値の関係を表 5.1.2-2 に示す。施設名や施設の特徴から、その施設がどの中分類に属するかを判断し、中分類に対応する設置係数を参照することで、施設の設置係数を求める。

表 5.1.2-2 施設のカテゴリ区分と設置係数の値

区分	大分類	中分類	判断に使用した情報	設置係数
公共関連施設	交通関連施設	鉄道	鉄道駅	0.09
		道の駅	道の駅	0.13
	官公庁	都道府県・市町村役場	都道府県庁、市役所、区役所、町村役場、市区町村役場出張所、東京 23 区の区役所	0.09
		官公署等	官公署、裁判所、刑務所、保健所、警察署、消防署、税務署、郵便局、森林管理所、交番	0.1
		その他の官公庁施設	公民館、皇室施設、その他の公共施設、官公庁	0.06
	学校	小・中・高等学校等	小学校、中学校、高校、専修学校・各種学校、特別支援学校	0.07
		大学等	短期大学、大学、高専、大学校	0.21
		保育施設	幼稚園、保育園	0.14
		不明	上記に含まれない学校	0.16

	病院	病院	病院	0.1
	娯楽・商業施設	文化施設	動物園、水族館、植物園、美術館、博物館・文学館・科学館・資料館、公立図書館、体験・学習館、ホール・劇場・文化会館	0.07
		商業施設	物産館・観光市場、市場	0.08
		スポーツ施設	体育館、その他スポーツ施設	0.13
	その他施設	供給処理施設	浄水場・終末処理場、斎場	0.23
		工場等	公設の研究所	0.09
		宿泊施設	青年の家	0.04
	住居系施設	集合住宅	住宅整備公団、都道府県営・市営団地	0.14
非 公 共 関 連 施 設	学校	専門学校	自動車学校、その他学校	0.45
	娯楽・商業施設	大規模商業施設	百貨店、ショッピングセンター、複合商業施設	0.09
		スーパー	スーパー	0.34
		コンビニ	コンビニエンスストア	0.36
		飲食店	ファミリーレストラン、ファーストフード、飲食店・レストラン	0.42
		レジャー施設	健康ランド、ボウリング場、射撃場、銭湯	0.20
		その他娯楽・商業施設等	DIY、カーディーラー、自動車用品店、専門店、レンタカー、その他娯楽施設	0.20
	業務施設	業務施設	銀行、その他企業重要施設	0.18
	工業施設	工場等	工場、研究所	0.22
	その他施設	倉庫等	ガソリンスタンド、倉庫	0.41
		その他施設（政令指定都市）	その他施設、会議場	0.15
		その他施設（政令指定都市以外）		0.38
	宿泊施設	宿泊施設	ホテル	0.14
	住居系施設	集合住宅	一般マンション、寮・社宅、一般マンションの棟番号、寮・社宅の棟番号、住宅整備公団の棟番号、都道府県営・市営団地の棟番号	0.20
戸建住宅（政令指定都市）		普通建物（100㎡未満）	0.47	
戸建住宅（政令指定都市以外）			0.40	

(2) 土地系 PV

(2-1) PV 面積

土地系 PV における PV 面積は、図 5.1.2-5 に示すように、パネルとパネル間の隙間を含めた面積と定義する。



図 5.1.2-5 土地系 PV における PV 面積の定義

(2-2) 設置密度

土地系 PV における設置密度は、環境省「令和 3 年度再エネ導入ポテンシャルに係る情報活用及び提供方策検討等調査委託業務」の荒廃農地（地上設置型）の設置密度の値である、 $0.11\text{kW}/\text{m}^2$ を用いる。なお、令和 7 年度の検証業務では、 $0.11\text{kW}/\text{m}^2$ を用いた場合の導入量の推定精度の妥当性を確認したため、特に指定がなければ、 $0.11\text{kW}/\text{m}^2$ を用いることを推奨する。



図 5.1.2-6 土地系 PV における設置密度の概念図

5.2 PV 導入量推定手法の信頼性と手法選択の基準

本節では、令和7年度の検証業務において、建物系 PV 及び土地系 PV について推計結果と実測値を照合することにより精度検証を行った。その結果を踏まえ、PV 導入量の推定手法の選択基準を以下のとおり整理する。

建物系 PV については、画像の鮮明度によって推計精度が大きく左右される。画像上で太陽光パネルの輪郭を明確に確認できる場合は、実測値との対応関係が良好な2変数の推計手法を優先的に用いる。一方、太陽光パネルの輪郭の判読が困難な場合は、個々の建物ごとの推計精度は低下するものの、地域全体でどの程度導入されているかを把握するのに適した3変数の推計手法を適用する。

土地系 PV については、推計値が実測値に近い値を安定して示すことが確認された。検証結果でも高い一致度が得られ、推計値と実測値の間に大きな偏りも認められなかったことから、2変数の推計手法を採用し、信頼性の高い統計データとして活用する。

表 5.2-1 建物系 PV 及び土地系 PV における推計手法の比較評価と選択基準

対象区分	推計手法 (変数)	適用基準・結論
建物系 PV	2 変数 (PV 面積・設置密度)	建物系 PV の太陽光パネルの輪郭が明瞭な場合に採用。個別推計において高い精度を有する。
建物系 PV	3 変数 (PV 面積・設置密度・設置係数)	建物系 PV の太陽光パネルの識別が困難な場合に採用。地域全体の総量把握には適している。
土地系 PV	2 変数 (PV 面積・設置密度)	土地系 PV の全案件に適用。実測値と高度に整合しており、高い妥当性を有する。

5.3 実際の計算例

本節では、導入量を算出するまでの一連の過程の例について記載する。

5.3.1 面積の導出

建物系 PV の太陽光パネルの輪郭が明確な場合、明確ではない場合、土地系 PV の場合、に分けて、PV の面積を導出する。QGIS での面積の測定方法は、4.2.2 項に示した通りである。

1. 建物系 PV の太陽光パネルの輪郭が明確である場合

太陽光パネルの輪郭をなぞり、ポリゴンを作成することで、PV 面積を算出する。

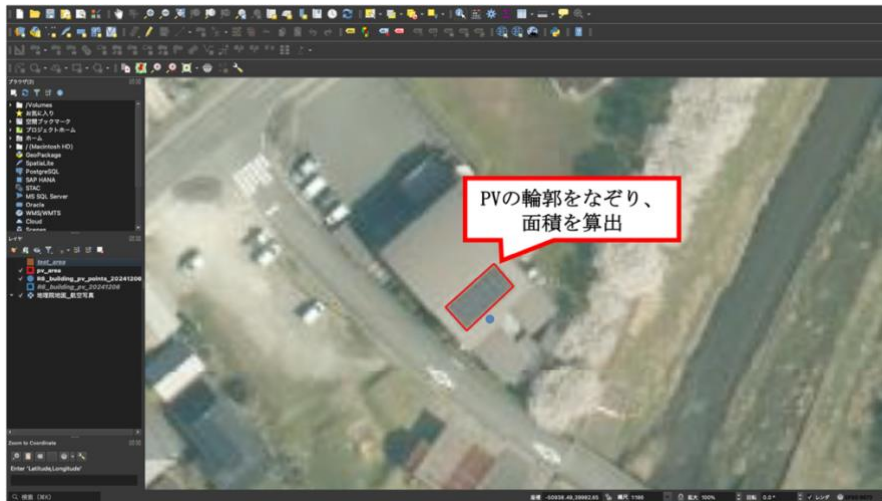


図 5.3.1-1 建物系 PV において太陽光パネルの輪郭が明確である
場合の PV 面積取得

2. 建物系 PV の太陽光パネルの輪郭が明確ではない場合
建物屋根の輪郭をなぞり、ポリゴンを作成することで、面積を算出する。



図 5.3.1-2 建物系 PV において太陽光パネルの輪郭が明確でない
場合の建物の面積取得

3. 土地系 PV の場合
太陽光パネルの輪郭が明確であることを前提とし、輪郭をなぞり、ポリゴンを作成することで、面積を算出する。



図 5.3.1-3 土地系 PV の面積取得

5.3.2 設置係数の算出（建物系 PV の輪郭が明確ではない場合のみ）

建物系 PV の輪郭が明確ではない場合のみ、5.3.1 項で求めた建物の面積と設置係数を用いて、PV の面積を推計する必要がある。

① 建物の属性を確認する。

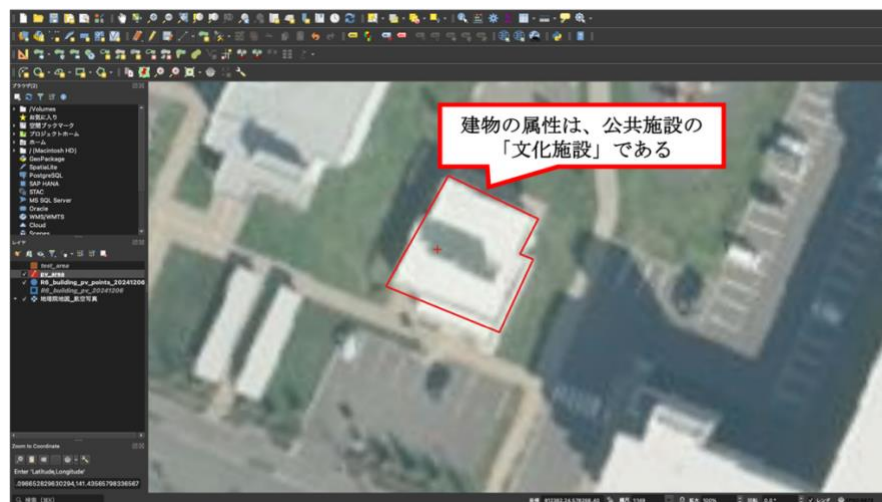


図 5.3.2-1 建物属性の確認

② 表 5.1.2-2 を参照し、建物の設置係数を求める。

公共施設の文化施設の設置係数は、0.07 である。

③ 建物の面積の値に設置係数の値をかけることで、PV 面積を推計する。例えば、建物の面積が 180m² であった場合、設置係数が 0.07 であるため、両者の値を掛けて、PV の面積は 12.6m² であると推計される。

5.3.3 導入量の算出

PV 面積と設置密度の値を用いて、該当 PV の導入量を推計する。

1. 建物系 PV の場合

PV 面積の値に、設置密度の値を掛けることによって導入量が推計される。例えば、PV の面積が 12.6m^2 である場合、設置密度の値は $0.15\text{kW}/\text{m}^2$ であるため、導入量は 1.89kW と推計される。

2. 土地系 PV の場合

建物系 PV の場合と同様に、PV の面積の値に、設置密度の値を掛けることによって導入量が推計される。例えば、PV の面積が 12.6m^2 である場合、設置密度の値は $0.11\text{kW}/\text{m}^2$ であるため、導入量は 1.386kW と推計される。

【推計値と公的統計データを比較する際の留意点】

導入量の推計結果の妥当性を確認するため、自治体等が公表している既存の統計データと比較検証を行う場面が想定される。その際、以下の3つの観点から算定基準の違いに留意して確認を行う必要がある。

1. 直流容量と交流容量の定義の違い

国や自治体が公表する値は、一般にパワーコンディショナの出力を基準とした交流容量ベースである。一方、本書の方法で推計される値は、パネルの設置面積を基に算出した直流容量ベースである。このため、両者は定義が異なり、単純に比較できないことに留意が必要である。

2. 過積載による直流容量と交流容量の差

近年は、発電量を最大化するため、交流容量を上回るパネル容量を設置する過積載という設計が一般的に用いられている。このため、実際の設備では、直流ベースの推計値が交流ベースの公表値より大きくなる傾向がある。したがって、数値の大小だけで推計の適否を判断せず、算定基準の違いを踏まえて評価する必要がある。

3. 設備規模に応じた換算係数の適用

両者を比較可能にするためには、設備規模に応じた過積載率を換算係数として設定し、推計値を補正することが有効である。過年度業務における調査では、事業用が中心となる 10kW 以上の設備については FIT 制度の実績データから算出した加重平均値である 1.26 を、住宅用が主となる 10kW 未満の設備については既往の調査事例を踏まえた 1.10 を、それぞれ参考値として用いた。これらの値はあくまで参考値であり、実際の比較に当たっては、対象とする設備区分や地域特性等を踏まえて適切に設定する必要がある。

第6章 AI 開発の手引き

本章では、第2章で整備した環境やデータを用いて、AI解析等を用いて全国の建物等に設置されているPVの位置情報を取得する方法について説明する。本手法は、自治体が独自に開発を行う場合や、民間企業等へ業務を委託する場合に参考とすることを想定している。

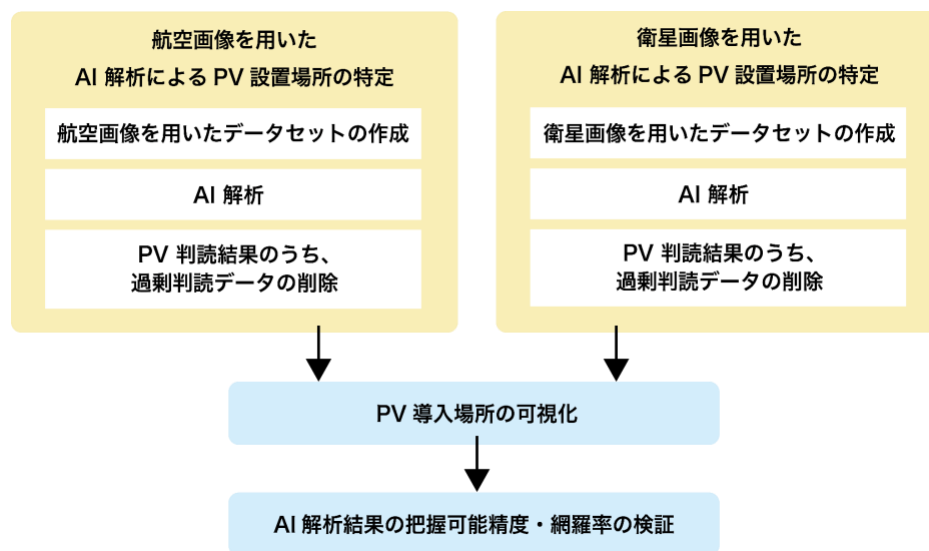


図 6-1 全国建物等に設置されている PV 設置状況の取得方法

6.1 概説

本節では、広域エリアにおける PV の分布状況を効率的かつ網羅的に把握するため、航空画像や衛星画像を対象とした AI 技術による自動検出手法について説明する。

広範囲に点在する PV を目視判読により網羅的に特定することは、膨大な時間と労力を要するため現実的ではない。一方、近年の画像認識技術の発展により、航空画像等の画像データから特定の地物を高精度で自動抽出することが可能となっている。

PV 位置情報の取得は、大きく分けて 6.2 節から 6.5 節までの 4 つのプロセスから構成される。自治体において民間企業等へ AI 開発業務を委託する際には、仕様書の策定や、納品されたデータ、AI モデルの妥当性を評価するための基準として、各プロセスを理解することが推奨される。また、6.6 節に過年度の関連業務（以下、過年度業務）における AI 開発の工夫点についても記載し、開発を行う際の参考とすることができる。

1. **検出アルゴリズム・モデル選定 (6.2 節)** : PV の検出に適した AI モデルを選定し、その構造や採用根拠を明確化する工程。
2. **データセットの作成 (6.3 節)** : 解析の基礎となる航空・衛星画像を整備し、AI モデルに学習させるための教師データや AI モデルの性能を確認するための検証データを作成する工程。

3. **学習及び推論の実行（6.4 節）**：AI モデルの学習及び、学習済みモデルを用いて対象エリア全体の推論を行い、得られた画像解析結果を GIS 等で利用可能なデータへ出力する工程。
4. **精度検証方法（6.5 節）**：出力された検出結果と実態を比較し、その検出精度を定量的及び定性的に評価する工程。
5. **過年度業務における AI 開発の工夫（6.6 節）**：過年度までの業務における AI 開発の際の工夫点について記載し、開発の参考となる情報を記載する。

6.2 検出アルゴリズム・モデル選定

検出対象の特性や、GPU 性能を含む利用可能な計算資源に応じて、適切な AI モデルを選定する必要がある。本節では、モデル選定の指針となる（1）特徴抽出部の選定及び（2）検出処理部の選定について記述する。なお、自治体が民間企業等に委託を行う場合は、委託先が提案するモデルや手法について、コスト及び精度への影響を踏まえて妥当性を確認することが望ましい。

6.2.1 特徴抽出部の選定

本要素は、入力画像から輪郭、色、模様、文脈情報等の特徴を抽出する役割を担う。特徴抽出部の代表的な構成としては、CNN ベースのニューラルネットワーク及び Transformer ベースのニューラルネットワークが挙げられる。選定に当たっては、利用可能な計算資源と求められる検出精度のバランスを勘案する必要がある。

表 6.2.1-1 特徴抽出部の代表的な方式の比較と選定基準

項目	CNN ベース (ResNet, EfficientNet 等)	Transformer ベース (ViT, Swin Transformer 等)
特徴	画像の局所的な特徴（エッジ、色、模様等）の抽出に強みを持つ。実績が豊富で、比較的安定した学習を行いやすい。	広域の文脈情報や、離れた領域同士の関係性の把握に強みを持つ。周辺情報も踏まえて対象を識別しやすい。
計算 負荷	比較的計算効率が高く、限られた計算資源でも扱いやすい。	一般に学習時の計算量・メモリ消費が大きくなりやすい。ただし、Swin Transformer 等では効率化が図られている。
推奨 ケース	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計算資源に制約がある場合 ・ 高速な推論が求められる場合 ・ 安定したベースラインを構築したい場合 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 十分な計算資源を確保できる場合 ・ 広域文脈の活用による精度向上が見込まれる場合

6.2.2 検出処理部の選定

本要素は、特徴抽出部によって抽出された特徴量から実際にパネルを検知し、その位置座標や確信度等の結果を出力する役割を担う。検出した結果をどのような形式で出力したいかによって、適用するアルゴリズムを選択する。

表 6.2.2-1 検出処理部の代表的な方式の比較と選定基準

項目	物体検知のモデル	セグメンテーションのモデル
概要	対象物を四角い枠（バウンディングボックス）で囲む手法。	対象物の領域を画素単位のマスクとして抽出する手法。必要に応じて抽出結果をポリゴン化できる。
代表的モデル	YOLO, Faster R-CNN, DETR 等	Mask R-CNN, SegFormer, Mask2Former 等
メリット	処理速度に優れる場合が多く、位置把握や件数把握に適する。一般に、セグメンテーションに比べてアノテーション負荷が低い。	対象物の形状や境界をより詳細に把握でき、面積算出や形状解析に適する。
選定基準	PV の概略位置、分布、件数を把握したい場合。	PV の形状、面積、境界を把握したい場合。

6.3 データセットの作成

本節では、収集した元画像から AI モデルの学習及び精度検証に用いるデータセットを作成する一連の工程について記述する。

6.3.1 航空画像及び衛星画像の仕様

AI モデル用のデータセットを作成するに当たり、2.2.1 項で定めた共通要件に加え、機械学習アルゴリズムが画像特徴を適切に学習できるように、以下の追加要件を定める。

表 6.3.1-1 データセットの形式及び構成に関する要件

項目	要件	理由
画質	<ul style="list-style-type: none"> ・PV を判読可能な空間分解能及び画質を有すること ・著しい雲、霞、白飛び、ぼけ、ノイズ又は圧縮劣化がないこと 	画質の低下は、PV の境界や模様の判読を困難にし、誤検知又は未検知の要因となるため
バンド構成	<ul style="list-style-type: none"> ・原則として RGB3 バンドを用いること ・利用可能であり、有効性が見込まれる場合は、近赤外を含む 4 バンド画像の利用を検討すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・RGB 画像は調達しやすく、既存の学習手法との整合性が高いため ・近赤外は、植生等との識別補助に有効な場合があるため
ビット深度	<ul style="list-style-type: none"> ・原データのビット深度を可能な限り保持すること ・学習時には、8bit 又は float 形式等に統一し、前処理方法を仕様として明確化すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・ビット深度を一律に縮小すると、元画像の情報量が失われる場合があるため ・一方で、学習時には入力形式を統一することで、前処理及びモデル学習の再現性を確保しやすいため

6.3.2 画像の前処理

(1) 画像の分割及び結合

AI モデルによる学習及び推論に用いる画像は、モデルが処理可能な入力サイズ及び形式に合わせる必要がある。このため、収集した元画像の特性に応じて、以下のとおり分割又は結合の処理を行い、解析用データセットの規格を統一する。

(1-1) 衛星画像における分割処理

GeoTIFF 等の衛星画像は、1 ファイル当たりの画素数が大きい場合があり、そのままでは計算負荷や GPU メモリ使用量が大きく、学習又は推論に適さないことがある。そのため、元画像を AI モデルが処理可能な入力サイズ（例：512×512 ピクセル、640×640 ピクセル等）に分割する処理を行う。

なお、分割境界上で太陽光パネルが分断され、検知漏れ又は判定精度の低下が生じることを防ぐため、隣接する画像間には一定の重複領域を設けて切り出しを行う。

(1-2) 航空画像における分割処理

航空画像等のうち、Web 地図等で利用されるタイル配信形式のデータは、256×256 ピクセル程度の小さな単位で管理されている場合がある。こうしたタイルを単独で使用すると、判定に必要な周辺情報が不足し、AI モデルの認識精度に影響を与える可能性がある。

このため、縦横複数枚のタイルを結合し、衛星画像と同様に解析に適した入力サイズとなるよう再構成する処理を行う。

(2) 雲が支配的な画像の排除

令和 6 年度 PVAI 業務等において、衛星画像に雲、雲影又はヘイズが含まれる場合、太陽光パネルの視認性が低下し、AI による検出精度や作業員による判読精度が低下し得ることが確認されている。したがって、これらの影響が大きい画像を学習用又は検証用データセットから適切に除外することが望ましい。対象画像を除外する方法としては、主に以下の 4 つが考えられる。

1. **AI 等による自動判定**：雲検出用の AI モデルを用いて、雲、雲影又はヘイズを自動判定し、対象画像を除外する方法。
2. **ルールベースによる判定**：画像の反射率、品質バンド、シーン分類情報等に基づき、設定した閾値又は判定ルールによって雲域等を抽出し、対象画像を除外する方法。
3. **メタデータ・品質情報による機械的除外**：衛星データの提供元が付与する雲量メタデータや品質情報を参照し、基準値を超える画像を機械的に除外する方法。
4. **目視確認による手動除外**：作業員が対象画像を目視で確認し、雲、雲影又はヘイズの被覆状況を総合的に判断した上で、手動で除外する方法。

これらの方法は、それぞれ導入コスト、処理速度及び判定精度に長短がある。このため、単一の方法に依拠するのではなく、段階的に組み合わせた運用フローを構築することが現実的である。例えば、まず雲量メタデータや品質情報を用いて広域的に不

適な画像を低コストで除外し、その後、ルールベース処理又は AI による自動判定によって局所的な雲やヘイズを含む候補を絞り込み、最終的には目視確認によって学習データの品質保証を行う、といった運用が考えられる。こうした多段階の対応により、作業効率と判定精度の両立を図ることができる。

6.3.3 学習データセットの定義及び作成方法

AI モデルの学習において、データセットの品質を均一に保つため、以下の基準に従ってアノテーションを実施する。

(1) 対象物の定義

画像内で視認できる PV の設置範囲を対象とする。建物そのものではなく、パネル部分のみを抽出対象として定義する。具体的な判断基準は以下の通りとする。

表 6.3.3-1 アノテーション対象の包含・除外基準

区分	具体的な定義
対象とするもの	画像上で PV パネルの輪郭又は規則的な配列が判読できる部分を対象とする。影がある場合であっても、パネルの存在及び範囲が視認できる部分は対象に含める。
対象外とするもの	建物全体、架台の基礎、フェンス、パワーコンディショナその他の付帯設備、並びにパネルが設置されていない屋根面は対象外とする。また、影や遮蔽によりパネルの実体が確認できない部分は対象外とする。



図 6.3.3-1 データセットの対象と対象外の例

(2) 手法別のアノテーション基準

検出モデルの特性に合わせ、物体検出用（矩形）とセグメンテーション用（多角形）で以下の通り基準を適用する。

表 6.3.3-2 検出手法別の作図ルール

項目	物体検出の基準（矩形）	セグメンテーションの基準（多角形）
主な対象と用途	一般住宅等の小規模設備 （設置位置と個数の特定）	野立て及び大規模な建物屋根 （正確な設置形状と面積の特定）
形状と角度	画像座標軸に平行な外接矩形（長方形） 対象設備が斜めに設置されている場合であっても回転させず、全体が収まる最小の長方形とする。	多角形（ポリゴン） パネルの外周に沿って作図する。設備の設置角度や形状に合わせて、正確に輪郭をなぞるものとする。
包含範囲	対象設備全体を過不足なく含む最小の外接矩形とする。	パネルのエッジを正確にトレースする。余白を含めないよう留意する。
分離・除外	屋根面が異なる場合や、対象設備の間に明確な隙間が確認できる場合は、別々のボックスとして作成する。	アレイ間に大きな隙間がある場合は、複数のポリゴンに分割する。内部の障害物も可能な限り除外する。



図 6.3.3-2 検出手法別の作図例（左：矩形、右：多角形）

(3) 画像品質と判断困難なケースへの対応

視認性が低い画像等については、誤学習を防ぐ観点から以下の通り取り扱う。

- 不明瞭な画像

解像度不足、画像の歪み、またはハレーション等により、パネルかどうかの判別が困難なものは、誤学習を防ぐために対象外とする。

- 建設中及び撤去済みの扱い

架台のみが存在しパネルが設置されていない状態、または明らかに撤去されている跡地については、対象外とする。



図 6.3.3-3 不明瞭な画像例

(4) アノテーションデータの学習用形式への変換

作成したアノテーションデータは、そのままでは AI モデルの学習に利用できない場合があるため、必要に応じて、AI モデルが利用可能な学習用データ形式に変換する。代表的な形式として COCO 形式がある。変換に当たっては、画像ごとのファイル名、画像サイズ、クラス情報及びアノテーション座標を対応付けて構造化する。なお、画像の分割又は結合を行った場合は、処理後の画像に合わせてアノテーション座標を補正し、画像とアノテーションの対応関係を維持する必要がある。

6.3.4 検証データセットの定義及び作成方法

AI モデルのタスク（物体検知およびセグメンテーション）に応じて、検証目的や評価指標が異なるため、それぞれに適した形式で正解データを作成する。以下に各タスクにおける正解データの定義および作成手順を示す。

(1) 物体検知用の正解データ

物体検知モデルの精度検証では、パネルが設置された対象物を正確に特定できているかを評価する。正解データの定義および具体的な作成基準は以下の表の通りとする。

表 6.3.4-1 物体検知用の正解データ定義と作成基準

項目	定義及び作成基準
基本定義	太陽光パネルが設置されている建物の外形を表すポリゴンとして作成する
作成手順・参照データ	衛星画像や航空画像等を参照し、屋根上に太陽光パネルが明確に確認できる建物の外形をトレースする
同一建物で屋根面が複数ある場合	1階と2階などパネルが複数の面に分かれている場合でも、同一の建物として認識できる範囲は1つのポリゴンに統合する
同一敷地内に複数棟がある場合	同一敷地内であっても、棟ごとに独立した別ポリゴンとして作成する

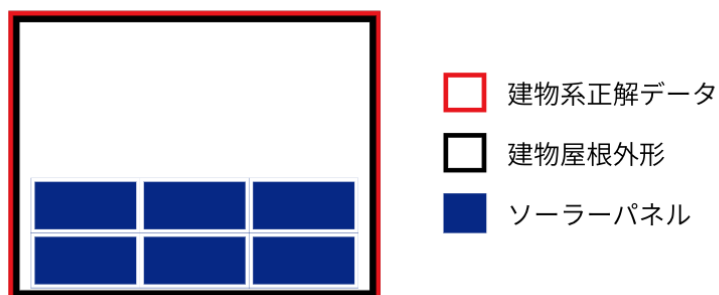


図 6.3.4-1 建物系 PV の正解データの定義

本図は、建物系 PV の正解データの定義例を示したものである。建物屋根外形（黒枠）のうち、ソーラーパネル（青色領域）が設置されている建物全体の外形を、建物系 PV の正解データ（赤枠）として定義する。

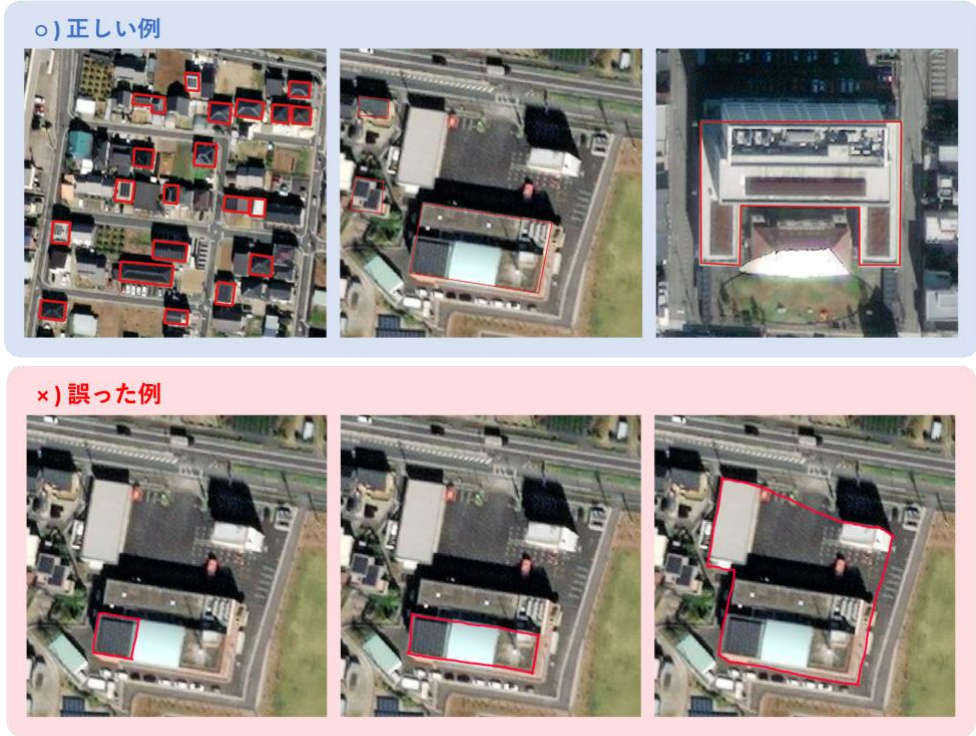


図 6.3.4-2 建物系 PV の正解データの作成基準（正誤例）

本図は、建物系 PV 正解データの具体的な作成例を示したものである。上段には、太陽光パネルが設置された建物全体を適切に囲んだ正しい作成例を、下段には、建物の一部のみを囲む場合や、過剰に広い範囲を囲む場合などの誤った作成例を示す。

(2) セグメンテーション用の正解データ

セグメンテーションモデルの精度検証では、対象の有無の検知に加え、面積や形状の抽出精度も評価する必要がある。このため、目的の異なる 2 種類のポリゴン、すなわち設備敷地全体を表すポリゴンと、パネル群の形状を表すポリゴンを作成する。

(2-1) 設備敷地全体を示すポリゴン

対象エリア内に発電設備が存在するかどうかを敷地単位で評価することを目的として作成する。主に、適合率、再現率及び F1 スコア等による検知有無の評価に用いる。正解データの定義及び具体的な作成基準は、以下の表に示すとおりである。

表 6.3.4-2 設備敷地全体を示すポリゴンの定義と作成基準

項目	定義及び作成基準
基本定義	一体的に整備・管理されていると判断される発電設備の敷地全体を表すポリゴン
作成手順・参照データ	衛星画像等を参照し、連続して配置されたパネル群の外周を囲むように作成する
境界の判断基準	フェンスや道路、法面等の物理的な区切りを参考に、目視で一体的に管理されていると判断される範囲を一つの敷地として扱う

隣接事業との区別	隣接する別の発電事業と明確に区別できる場合は、事業単位ごとに敷地を分けて作成する
----------	--

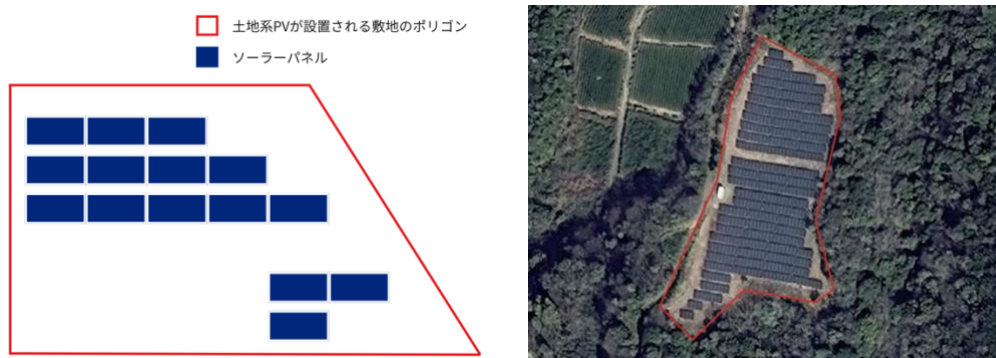


図 6.3.4-3 設備敷地全体を表す正解ポリゴンの作成概要

本図は、設備敷地全体を示す正解ポリゴンの作成概要である。個々の太陽光パネルを単体で囲むのではなく、周囲の森林や地形の変化を参考に、連続して配置されたパネル群全体を赤枠で示す一つの大きなポリゴンとして作成する。

(2-2) パネル群の形状を示すポリゴン

AI モデルの推論結果と正解データを直接比較し、面積ベースの指標を算出することを目的として作成する。正解データの定義及び具体的な作成基準は、以下の表に示すとおりである。

表 6.3.4-3 パネル群の形状を示すポリゴンの定義と作成基準

項目	定義及び作成基準
基本定義	敷地ポリゴンの内部において、同一方向に整列し、連続して設置されたパネル群の塊ごとに、その外周を囲むように作成する。
作成手順 (隙間の扱い)	パネル列の間にある細い隙間は、原則として同一の塊に含めてトレースする。
作成手順 (分断の扱い)	道路、水路、地形の切れ込み等により明確に分断されている場合は、塊ごとに別のポリゴンとして作成する。
空間的粒度 (留意事項)	AI モデルの出力結果と比較しやすい粒度となるよう、個々のパネル単体ではなく、パネル群の単位で外形をトレースする。全国的な一貫性を確保する観点からも、この粒度で統一して作成する。



図 6.3.4-4 パネル群形状を表す正解ポリゴンの作成概要

本図は、パネル群の形状を示す正解ポリゴンの作成概要である。個々の太陽光パネルを単体で囲むのではなく、同じ方位で連続して設置されたパネル列の塊ごとに、青枠で示すポリゴンとして作成する。道路や大きな隙間によって明確に分断される場合は、塊ごとに別のポリゴンとして分ける。

6.3.5 データセット作成時における品質管理

作成される正解データの品質は、AI モデルの最終的な推論精度に影響する。作業者ごとの判断の属人性を排除し、データセット全体の一貫性を担保するため、以下の品質管理体制を整備し、運用する。

(1) アノテーション基準の策定と標準化

作業着手前に、詳細な判定基準を定めたアノテーションガイドラインを策定する。

- **定義の明確化**：パネル領域の境界線設定、影や反射の取り扱い等を明文化する。
- **判断困難事例の共有**：衛星画像では判読が難しいケース（汚れ、植生の被覆、類似構造物との区別など）について、典型的な正解例と不正解例を図示した資料を作成し、全作業者間で判断基準の目合わせを実施する。

(2) 多段階チェック体制の構築

人為的なミスや見落としを防ぐため、単独の作業者による作成で完結させず、クロスチェックを含む多段階のレビュー体制を採用する。

(3) 基準の継続的な改善

作業工程で新たに発見された判断に迷う事例や例外的なパターンについては、随時ガイドラインへ追記を行う。変更点を全作業者に即時共有・周知することで、プロジェクト進行中においても品質基準の揺らぎを防ぎ、常に最新の基準でデータ作成が行われる運用とする。

表 6.3.5-1 品質チェック体制と役割

役割	タスク概要
1次作成	担当エリアの画像に対し、ガイドラインに基づき正解データの作成を行う。

2次検証	作成者とは異なる別の作業者が、作成されたデータを全数または抜き取りで確認し、基準との乖離や見落としがないか検証する。
最終承認	最終的な品質責任者が、エリア全体の一貫性を確認する。特に判断が割れる境界事例については、責任者が最終判断を下し、データの均質化を図る。

6.4 学習及び推論の実行

本節では、構築したモデルにデータを学習させるプロセスと、そのモデルを用いて推論を実行し、解析結果を生成するプロセスについて記述する。

6.4.1 学習プロセス

作成した画像と正解ラベルのペアである教師データを用い、PVの特徴をAIモデルに学習させる。

(1) データセットの分割

教師データは、学習用データ及び評価用データに区分して整備する。必要に応じて、学習時の調整に用いる検証用データと、最終的な性能確認に用いるテスト用データを分けて設定する。

- **学習用**：モデルが直接パラメータを学習するために使用する。
- **検証用**：学習の進捗を確認し、過学習を防ぐための調整に使用する。
- **テスト用**：完成したモデルの最終的な精度を客観的に評価するために使用する。

(2) データ拡張

AIモデルの学習において、教師データの量が不足している場合、学習データに過度に適応する過学習が生じ、未知のデータに対する検知精度が低下するおそれがある。これを防ぐため、分割後の画像に対して幾何学的な変換処理を施し、学習用データセットを拡張する手法（データ拡張）を採用する。具体的には、太陽光パネルの設置方位が地形や日照条件により多様であることを考慮し、元画像に対して90度ごとの回転（0°、90°、180°、270°）及び反転処理を行う。これにより、モデルの回転不変性及び汎用性の向上を図る。

(3) 学習の実行と最適化

設定した学習率やバッチサイズ等のハイパーパラメータに基づき、GPU等の計算資源を活用して、各タスク（物体検出及びセグメンテーション）に特化したモデルの学習を実行する。学習プロセスでは、クラス分類誤差や矩形領域・ピクセル領域の推定誤差など、各モデルの目的に応じた損失関数を定義し、その値が小さくなるよう重みパラメータを逐次更新する。これにより、一致度指標等の改善を通じて、対象物の検出・抽出精度の最適化を図る。

6.4.2 推論プロセス

学習済みモデルに広域の衛星画像等を入力し、自動検知を実施する。

(1) 広域画像の分割処理

巨大な画像データは、モデルの入力サイズ（例：512px 四方）に合わせて分割し、一定の重複領域を設けて順次解析を行う。これにより、画像の境界付近に位置するパネルの検知漏れを防止する。

(2) 推論結果の統合と重複除去

入力画像を重複ありで分割した場合は、各領域の推論結果を統合し、元の広域画像の座標系に戻す。この際、重複領域で同一のパネルが複数検知されることがあるため、最も信頼度スコアの高い結果を残し、その他を削除する非最大値抑制（NMS: Non-Maximum Suppression）を適用する。

一方、入力画像を重複なしで分割した場合は、統合時にアルゴリズムを用いて同一のPVかどうかを判定する処理を行う。具体的には、検出結果間の距離に閾値を設けて同一判定する方法や、角度・形状の類似性を用いる方法などが考えられる。

(3) 誤検出への対応と検知結果の精査

AIによる自動検知結果には、建物、農地、ため池その他の類似形状を持つ対象が誤って含まれる可能性がある。このため、信頼度スコアに基づく閾値処理を行い、現実性の低い検知結果を自動的に除外する。さらに、抽出結果については目視による最終確認を行い、明らかな誤検出を修正又は削除することで、結果の信頼性を確保する。

6.4.3 出力データ形式

解析結果は、GISや統計解析に活用できる標準的な形式で出力する。

表 6.4.3-1 出力データの主な仕様

項目	内容	形式（例）
地理空間データ	PVの検出領域のポリゴン又は矩形	GeoJSON, Shapefile 等
属性情報	緯度経度、信頼度スコア等	CSV, Excel
画像データ	検知箇所を可視化したマスク画像	GeoTIFF, PNG

6.5 精度検証方法

本節では、AI モデルによる物体検出及びセグメンテーションの精度を評価するための指標を整理する。両者は、モデルの出力形式及び分析の目的が異なるため、それぞれに適した基準で評価する必要がある。具体的には、物体検出は対象物の有無及び概略位置の把握を目的とするため、適合率、再現率及び F1 スコアにより性能を評価する。一方、セグメンテーションは対象物の形状や占有面積の抽出を目的とするため、単なる検知数の正確性とどまらず、敷地単位での検知精度及び抽出面積の一致度という 2 つの観点から評価を行う。

6.5.1 物体検知の AI モデルの評価指標

物体検知の AI モデルの精度検証では、PV が設置された建物等を適切に検知できているかを評価することを目的とする。評価指標としては、検知結果の正確性（誤検出の少なさ）と網羅性（見逃しの少なさ）を総合的に把握するため、適合率、再現率及び F1 スコアを用いる。PV の検知有無の判定基準は以下のとおりとする。

表 6.5.1-1 物体検知 AI モデルにおける検知有無の判定基準

	条件
1	正解データのポリゴン内に 1 つ以上の予測ポイントデータが存在する場合、当該正解データを真陽性 (TP) とする。なお、1 つの正解ポリゴンにつき、TP は 1 件とする。
2	重複検知については、同一の正解ポリゴン内に複数の予測ポイントデータが存在する場合、そのうち 1 点のみを TP とみなし、2 点目以降の余剰な予測ポイントはすべて偽陽性 (FP) としてカウントする。例えば、1 つの正解ポリゴンに対して 3 つの予測ポイントが存在する場合、1 点を TP、残りの 2 点を FP として扱う。
3	PV が設置されているにもかかわらず、正解データのポリゴン内に予測ポイントデータが 1 つも存在しない場合、当該正解データを偽陰性 (FN) とする。
4	いずれの正解データのポリゴン内にも含まれない位置に予測ポイントデータが存在する場合、当該予測ポイントを偽陽性 (FP) とする。

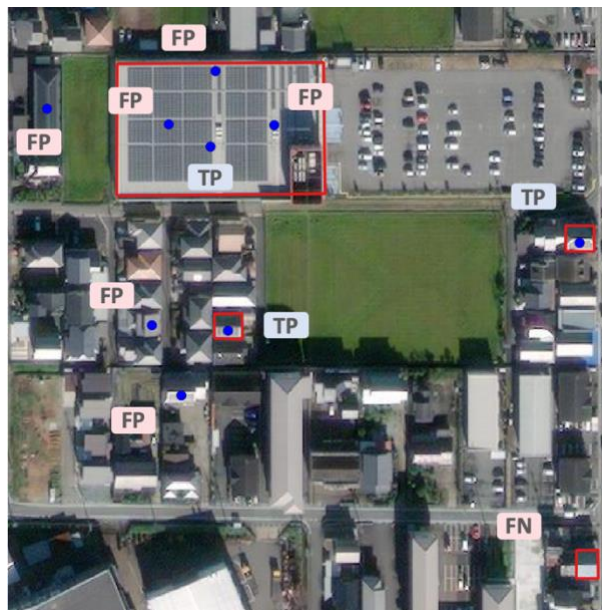


図 6.5.1-1 建物系 PV 検出における各判定 (TP/FP/FN) の定義例

赤枠は正解ポリゴン、青点は予測ポイントデータを表す。正解ポリゴン内に予測ポイントが 1 点存在する場合は TP とし、同一の正解ポリゴン内に複数の予測ポイントが存在する場合は、そのうち 1 点のみを TP、残りを FP とする。また、いずれの正解ポリゴン内にも含まれない予測ポイントは FP、正解ポリゴン内に予測ポイントが存在しない場合は FN とする。

指標の計算式は以下のとおり定義する。なお、添字の bld は建物単位で集計した件数を、pred は予測ポイント単位で集計した件数を表す。具体的には、 TP_{bld} は TP と判定された建物数、 FN_{bld} は FN と判定された建物数、 FP_{pred} は FP と判定された予測ポイント数を表す。

① 適合率 (Precision)

$$Precision_{bld} = \frac{TP_{bld}}{TP_{bld} + FP_{pred}}$$

② 再現率 (Recall)

$$Recall_{bld} = \frac{TP_{bld}}{TP_{bld} + FN_{bld}}$$

③ F1 スコア

$$F1_{bld} = 2 \times \frac{Precision_{bld} \times Recall_{bld}}{Precision_{bld} + Recall_{bld}}$$

6.5.2 セグメンテーションの AI モデルの評価指標

セグメンテーションの AI モデルの評価では、AI モデルが出力した領域（マスク又はポリゴン）について、以下の2つの観点から確認する。

1. **敷地単位での検知精度**：対象エリア内において、PV が設置された敷地を適切に検知できているかを示す指標
 2. **総面積の算出精度**：対象エリア内において、PV の推定総面積が正解の総面積とどの程度一致しているかを示す指標
- それぞれの観点について、以下に詳説する。

(1) 敷地単位での検知精度の評価

敷地ごとの PV の有無を正しく判定できているかを評価するため、敷地（parcel）単位での検証を行う。正解データのポリゴンと予測データのポリゴンの重なり関係を判定基準とし、敷地単位での検知精度を評価する。なお、正解データは PV が設置されている敷地のポリゴンであり、予測データは AI モデルが検知した PV のポリゴンである。検知有無の判定基準は以下のとおりとする。

表 6.5.2-1 敷地単位での検知有無の判定基準

条件	
1	正解データのポリゴンのうち、1つ以上の予測データのポリゴンと一定以上の重なりがある場合、当該正解データのポリゴンが表す敷地を TP（検知成功敷地）とする
2	予測データのポリゴンのうち、いずれの正解データのポリゴンとも一定以上の重なりがない場合、当該予測データを FP（誤検知した敷地）とする
3	正解データのポリゴンのうち、いずれの予測データのポリゴンとも一定以上の重なりがない場合、当該正解データのポリゴンが表す敷地を FN（見逃し敷地）とする



図 6.5.2-1 各判定（TP/FP/FN）の定義例

赤枠は正解ポリゴン、青枠は予測ポリゴンを表す。左図は、正解ポリゴンと予測ポリゴンが対応すると判断される例であり、TP の例である。中央図は、正解ポリゴンに対応しない予測ポリゴンが出力された例であり、FP の例である。右図は、正解ポリゴンが存在するにもかかわらず対応する予測ポリゴンが得られなかった例であり、FN の例である。

以上の定義に基づき、敷地単位での適合率、再現率及び F1 スコアを以下のとおり定義する。なお、添字の parcel は敷地単位で集計した件数を、pred は予測ポリゴン単位で集計した件数を表す。具体的には、数式中の、 TP_{parcel} は TP と判定された敷地数、 FN_{parcel} は FN と判定された敷地数、 FP_{pred} は FP と判定された予測ポリゴン数を表す。

① 適合率 (Precision)

$$\text{Precision}_{\text{parcel}} = \frac{TP_{\text{parcel}}}{TP_{\text{parcel}} + FP_{\text{pred}}}$$

② 再現率 (Recall)

$$\text{Recall}_{\text{parcel}} = \frac{TP_{\text{parcel}}}{TP_{\text{parcel}} + FN_{\text{parcel}}}$$

③ F1 スコア

$$F1_{\text{parcel}} = 2 \times \frac{\text{Precision}_{\text{parcel}} \times \text{Recall}_{\text{parcel}}}{\text{Precision}_{\text{parcel}} + \text{Recall}_{\text{parcel}}}$$

(2) 総面積の算出精度

総面積の算出精度を評価する目的は、検証地域全体において、正解データと予測データの面積の一致度及び、予測面積の過大・過小評価の傾向を定量的に把握することである。評価に当たっては、検証エリア内の全ての正解データ及び予測データを対象として計算する。

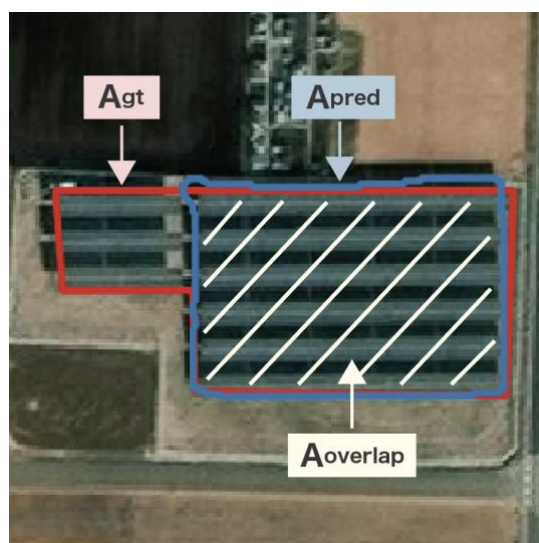


図 6.5.2-2 面積精度算出のための面積定義

Aoverlap は正解データと予測データが重なる面積、Agt (gt : ground truth) は正解データの総面積、Apred (pred : prediction) は予測データの総面積を表す。

面積の一致度を評価する指標として、適合率、再現率及びF1スコアを以下のとおり定義する。なお、面積ベースのTP、FP及びFNは、それぞれ、正解データと予測データが重なる面積、予測データのうち正解データと重ならない面積、及び正解データのうち予測データと重ならない面積を表す。ここで、適合率は予測データの総面積のうち正解データと一致した面積の割合を、再現率は正解データの総面積のうち予測データで捉えられた面積の割合を表す。F1スコアは、これら2つの指標を総合的に評価するための指標である。

① 適合率 (Precision)

$$\text{Precision}_{\text{area}} = \frac{\text{TP}_{\text{area}}}{\text{TP}_{\text{area}} + \text{FP}_{\text{area}}} = \frac{A_{\text{overlap}}}{A_{\text{pred}}}$$

② 再現率 (Recall)

$$\text{Recall}_{\text{area}} = \frac{\text{TP}_{\text{area}}}{\text{TP}_{\text{area}} + \text{FN}_{\text{area}}} = \frac{A_{\text{overlap}}}{A_{\text{gt}}}$$

③ F1 スコア

$$\text{F1}_{\text{area}} = 2 \times \frac{\text{Precision}_{\text{area}} \times \text{Recall}_{\text{area}}}{\text{Precision}_{\text{area}} + \text{Recall}_{\text{area}}}$$

さらに、総面積の過大・過小評価の傾向を把握するために、総面積の相対誤差を以下のように定義する。

$$\text{RelativeError} = \frac{A_{\text{pred}} - A_{\text{gt}}}{A_{\text{gt}}}$$

RelativeErrorの値が0より大きい場合、予測データの総面積が正解データの総面積より大きく、結果として総面積を過大評価していることを意味する。一方で、0より小さい場合、総面積を過小評価していることを意味する。

6.6 過年度業務における AI 開発の工夫

過年度業務における PV を検知する AI の開発を通じて得られた知見を本節にて整理する。今後の AI 開発の参考情報として活用されることを想定している。以下に、開発フェーズごとの具体的な工夫と施策を文章及び表形式で取りまとめた。

6.6.1 教師データ作成における工夫

教師データの作成に当たっては、データ品質の向上と目的に応じた適切なラベル付けを重視した。具体的には、AI の学習精度の低下につながる要因を可能な限り排除するとともに、地域特性や対象物の形状に応じて、きめ細かなデータ整備を行っている。

表 6.6.1-1 教師データ作成及びアノテーションにおける工夫

工夫のポイント	詳細内容
---------	------

学習困難データの除外	目視判読が困難な低画質画像や、ため池など判定が難しい対象は学習対象から除外し、過剰な誤検出を防止する。
苦手地域の重点学習	雲がないにもかかわらず検出漏れや誤検出が多かった地域については、当該地域の画像を重点的にラベル付けし、不適切な検出を削減する。
パネル間隔を考慮した学習	北海道等に見られる、パネル間隔が広い配置形状を正確に捉えるため、複数のパネルをまとめて扱うのではなく、パネル単体で抽出できるように教師データを設定する。
事業用設備を含めた学習	土地系 PV を検知するセグメンテーションモデルにおいて、工場や倉庫などの事業用建物上 PV は誤検知の要因となり得るため、これらも学習対象に含め、類似対象との混同を抑制する。

6.6.2 AI モデル及び基盤技術の選定

単一のモデルに依存するのではなく、対象物の特性や検知目的に応じて複数の AI 技術を使い分ける方針を採用した。画像の種類や用途ごとに適したモデルを選定し、検知精度の向上を図っている。

表 6.6.2-1 AI モデル及び基盤技術の選定方針

工夫のポイント	詳細内容
基盤モデルの高度化	従来の標準的な物体検出モデルに加え、より高性能な基盤モデルや新しい AI 技術の導入を進め、検知性能の向上を図る。
用途に応じた技術の使い分け	一般的な建物上 PV の検出には物体検出を用い、土地系 PV や大規模な建物上 PV の抽出にはセグメンテーション技術を用いる。また、雲の把握には専用の AI を用いるなど、対象に応じて適切な技術を選定する。
超解像技術の検証	画像の解像感を補う手法として超解像技術の適用可能性を検証したが、過年度業務では、実在する太陽光パネルの形状が損なわれるおそれが確認されたため、適用には慎重な判断が必要である。

6.6.3 データの前処理及び入力最適化

AI による検出精度の向上を図るため、画像品質の確保と計算負荷の軽減の両立を意識し、入力画像の選定及び前処理の最適化を行っている。

表 6.6.3-1 データの前処理及び入力最適化の方針

工夫のポイント	詳細内容
雲・薄雲画像の除外	専用 AI 及び目視確認により、抽出の妨げとなる雲や薄雲を含む画像を事前に把握し、必要に応じて画質の良い過去のアーカイブ画像に差し替える。

解像度の調整	大規模建物上 PV の抽出では、一般的な建物上 PV より低い解像度でも形状抽出が可能であることを確認し、精度を保ちつつ計算コストを削減する。
データ拡張処理	利用可能な学習用画像に限られる場合には、データ拡張処理を施すことで、十分な量の学習データセットを確保する。

6.6.4 推論後のデータ補正及び事後処理

AI による推論結果には、ノイズや不適切な検知が含まれる場合がある。このため、GIS や各種アルゴリズムを用いた事後処理を適用し、結果データの精度向上を図っている。

表 6.6.4-1 推論後のデータ補正及び事後処理の工夫

工夫のポイント	詳細内容
検出結果の位置ずれへの対応	AI の抽出結果と地図データとの間に位置ずれが生じた場合であっても、建物外形から 5m 以内にあるものは当該建物に設置された PV として扱うなどの補正処理を行う。
確率やサイズによる除去	網羅性を優先して検出閾値を下げたことにより生じる田畑等の誤検出に対しては、検出確度が一定の基準を満たさないものや、極端に大きい検出枠を機械的に除去する。