

## 可視・赤外衛星画像に基づく雲量算出を用いた太陽光発電出力予測の検討

## A Study on Photovoltaic Power Output Forecasting Using Cloud Amount Estimation Based on Visible and Infrared Satellite Images

新沢 陸<sup>†</sup> 浦野 昌一<sup>†</sup>  
Riku Niizawa Shoichi Urano

## 1. はじめに

日本を含む 125 カ国・1 地域は 2050 年までに温室効果ガスの排出量を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを実現することを表明した。カーボンニュートラル達成に向け、電力事業分野では再生可能エネルギーに注目が集まっている。中でも太陽光発電は設置の容易さや、昼間の発電量の多さから主力電源としての運用が期待されている。しかし、太陽光発電は時間・場所・天候により出力が大きく変動するため、高精度な予測が難しくなる課題がある。太陽光発電出力を正確に予測することは、電力システムの安定化にもつながるため、発電量予測は重要である。

太陽光発電量は特に天候に依存するため、発電量予測には気象データを用いた予測モデルの構築が一般的である。また、人工衛星から得られる衛星データを用いることで、予測精度の向上が見込める<sup>[1]</sup>。

本稿では、可視画像および赤外画像を用いることで予測精度向上を目指す。筆者らはこれまでの研究において、太陽光発電が発電可能な時間帯(10:00~16:00)に焦点を当て、昼間の時間帯のみ観測可能な可視画像を用いて 1 時間先の発電量を予測するモデルを構築してきた<sup>[2]</sup>。しかし、計算コストを抑制できる一方で、太陽光発電の立ち上がりの時間帯の予測精度を向上することが出来なかった。そこで、可視画像だけではなく、夜間も観測可能な赤外画像を組み合わせ、24 時間連続した予測モデルを構築する。その際、衛星画像から関東地方上空の雲量を分析することで、予測精度向上を目指す。また、予測対象を東京電力管内の太陽光発電の総発電量とし、広域の発電量を 1 つの予測モデルとして構築することで、計算コストの削減も目的とする。

## 2. 衛星画像

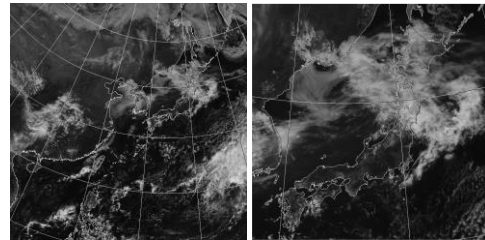
本稿では、日本気象協会<sup>[3]</sup>が提供している静止気象衛星ひまわり 8 号が観測した衛星画像を使用する。衛星画像には様々な種類があるが、本稿では可視画像及び赤外画像を使用する(図 1)。

## 2.1 赤外画像

赤外画像とは、雲・地表から放射される赤外線を観測した衛星画像である(図 1-(a))。赤外線の強さは温度により変化し、温度の低い部分はより白く、高い部分はより黒く表現される。また、赤外線を観測しているため、24 時間観測可能な衛星画像である。

## 2.2 可視画像

可視画像とは雲や地表に反射された太陽光を観測した衛



(a) 赤外画像 (b) 可視画像  
図 1 衛星画像 (2018 年 4 月 1 日 12:00)



図 2 衛星画像の活用方法

星画像である(図 1-(b))。太陽光の反射が大きい部分はより白く、小さい部分はより黒く表現される。太陽光の反射が無い夜間は雲の観測が出来ないため、昼間のみ利用可能な衛星画像である。

## 2.3 衛星画像の活用方法

本稿では、24 時間連続した太陽光発電出力を予測対象としているため、赤外画像及び可視画像の両方を使用する。図 2 のように時間帯で区別し、衛星画像を使用する。以下に図 2 の①~③の具体的な内容を示す。

- ① 9:00~17:00 は可視画像と赤外画像を組み合わせ衛星画像を分析し、その他の時間帯は赤外画像のみを使用した分析を行う
- ② 9:00~17:00 は可視画像のみの衛星画像を分析し、その他の時間帯は赤外画像のみを使用した分析を行う
- ③ 24 時間赤外画像のみを使用した衛星画像分析を行う

上記 3 つのパターンごとに、衛星画像から関東地方上空の雲量を算出し、太陽光発電出力予測の特徴量とする。

## 3. 雲量算出

図 2 の①~③のそれぞれのパターンに対して、雲量算出を下記の手順で行う。

- 1) 衛星画像ごとに雲を判別するための最適な閾値を求める
- 2) 各衛星画像の最適な閾値を用いて、各衛星画像のピクセルごとに、雲の有無を判別する

<sup>†</sup> 明治大学大学院 先端数理科学研究科 ネットワークデザイン専攻  
Meiji University Graduate School of Advanced Mathematical Sciences Network Design Program

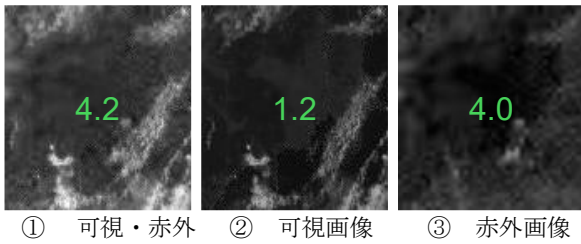


図3 雲量算出結果

3) 雲と雲でないピクセルの面積比により、0~10 の値で衛星画像上の全雲量を算出する

この際、閾値の算出は大津の二値化<sup>[4]</sup>を参考に行う。

図3は2018年4月1日12:00の関東地方上空の衛星画像であり、雲量算出の結果も示している。

図3-①は、可視画像と赤外画像を組み合わせた雲量算出の結果を示しており、4.2と算出された。この際、可視・赤外画像のどちらかに雲があると判別されたピクセルに対して雲有として上記の手順で雲量算出を行っている。

図3-②は、可視画像のみを使用した雲量算出の結果を示しており、1.2と算出された。

図3-③は、赤外画像のみを使用した雲量算出の結果を示しており、4.0と算出された。

#### 4. シミュレーション

本稿では、1時間先の東京電力管内の太陽光発電総出力を予測対象とする。

##### 4.1 予測手法

本稿の学習・予測はLight GBM及びLSTMにより行う。どちらも機械学習モデルの一種である。Light GBMは複数の決定木を組み合わせたモデルであり、LSTMは長期的な時系列データのパターンを記憶しながら学習できるニューラルネットワークの一種である。

##### 4.2 学習・予測期間

学習期間: 2017年1月1日9:00~2018年12月31日23:00

予測期間: 2019年1月1日0:00~2019年12月31日23:00

##### 4.3 入力データ

全てのシミュレーションにおいて、「東京電力パワーグリッド株式会社<sup>[5]</sup>の過去のエリア太陽光発電実績データ、国土交通省気象庁<sup>[6]</sup>が提供している東京電力エリア管内各都道府県の気温・湿度・日射量の気象データ、太陽高度」を入力変数とする。また、衛星画像から求めた雲量を下記4つのCaseに分けて使用する。

- ・昼間は可視・赤外画像を組み合わせ、夜間は赤外画像のみを使用した雲量 (Case1 (図2-①))
- ・昼間は可視画像のみを使用し、夜間は赤外画像のみを使用した雲量 (Case2 (図2-②))
- ・昼夜赤外画像のみを使用した雲量 (Case3 (図2-③))
- ・雲量を使用しない場合 (Case4)

上記4つのCaseごとに予測を行い、MAPE、RMSE、MAEにより精度比較を行う。

##### 4.4 シミュレーション結果

各Caseのシミュレーション結果を表1に示す。Light GBMとLSTMを比較すると、全てのCaseにおいてLight

表1 予測結果

		Case1	Case2	Case3	Case4
Light GBM	MAPE [%]	19.38	20.36	20.5	20.47
	RMSE [万kWh]	72.56	74.54	75.35	75.12
	MAE [万kWh]	55.65	57.65	58.24	58.13
LSTM	MAPE [%]	22.66	23.24	22.74	22.99
	RMSE [万kWh]	98.88	100.15	104.06	100.84
	MAE [万kWh]	76.78	78.11	81.04	78.77

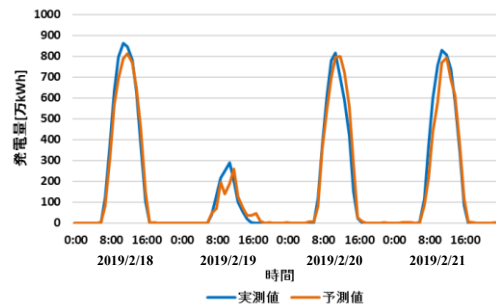


図4 Light GBMによるCase1予測結果

GBMにより学習・予測を行った方の精度が良かった。また、Caseごとに比較すると、昼間は可視・赤外画像を組み合わせ、夜間は赤外画像のみを使用した雲量を入力としたCase1が良い精度となった。

ここで、最も精度が良かったLight GBMによるCase1について着目する(図4)。図4より、晴天が連日となっている2019年2月20日~2月21日の予測は上手く出来ていることが分かる。しかし、曇天時の2019年2月19日12:00前後の予測が追いついていなかった。これは、Light GBMの過学習の可能性が考えられるため、モデルの見直しが必要であると考えている。

#### 5. まとめ

本稿では、可視・赤外画像を使用した太陽光発電出力予測の検討を行った。結果として可視・赤外画像を組み合わせることで、予測精度の向上が出来た。しかし、曇天時における予測精度に課題があるため、機械学習モデルの見直しや、衛星画像をより有効的に使用することで、更なる精度向上を目指す。

##### 参考文献

- [1] 加藤 丈佳, 「太陽光発電の出力予測技術の開発動向」, 電気学会誌, Vol.137, No.2, pp.101-104 (2017)
- [2] 新沢・浦野 「衛星画像を用いた太陽光発電出力予測の基礎検討」, 電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-24085,PSE-24-085, pp.19-24 (2024.9)
- [3] 日本気象株式会社: 「お天気データサイエンス」, <https://ods.n-kishou.co.jp/> (2024.5)
- [4] 大津 展之, “判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法”, 電子通信学会論文誌 D, Vol.J63-D, No.4, pp.349-356 (1980)
- [5] 東京電力パワーグリッド株式会社: 「エリア需給実績データ / 当日」 [https://www.tepcoco.jp/forecast/html/area\\_data-j.html](https://www.tepcoco.jp/forecast/html/area_data-j.html) (2024.5)
- [6] 国土交通省気象庁: 「過去の気象データ検索」, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/select/prefecture00> (2023.12)