

天空カメラ画像からの色識別による雲抽出と日射量の変動に関する研究

大竹沙季^{†1} 佐光南美^{†2} 伊藤悠貴^{†3} 平田謙次^{†4} 田中一利^{†5} 安原 航^{†6} 豊谷 純^{†7}

日本大学^{†1†3} 日本大学大学院^{†2} エキスパート科学研究所^{†4†6} (株) afterFIT^{†5} 日本大学^{†7}

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーにおける太陽光発電が注目されており、日射量の予測精度が重要になっている。しかし天気予報の時間的遅れや、予報時間間隔にインターバルがあり、必要とする時刻の予報が得られないといった予報分解能の問題がある。晴天時であれば日射量の変化に大きな変動は見られないが、特に低層の雲が太陽と重なると日射量は大きく変動する。この問題に対して、本研究では、日射量や地上から空を撮影した画像データを用いて、雲を画像から認識してその移動をAIによって予測するモデルを構築する。

この日射量予測に関する先行研究としては、Yuhao Nie et al.(2020)[1]による雲の状態を識別して発電量を予測する報告等がある。また雲の動きに関しては T. Schmidt et al.(2015)[2]によるオプティカルフローを用いた雲移動検出が報告されており、本論もこちらを採用する。

そこで本研究では、地上から空を撮影した画像を用いて雲を、色情報を基に画像認識し、さらにオプティカルフローによってその移動を推測することを試みる。これによって画像から太陽と雲の位置を抽出して、さらに動き予測して、日射量を高精度に予測する事ができる。

そこで本研究では Python3.0 の OpenCV4.0 を利用して地上から空を撮影した画像から太陽や雲に対して自動認識をさせ、雲の移動を推測する。ただし曇天のように空全体が雲で覆われている場合は、太陽の識別や、個としての雲検出は難しい。しかしながら青空に雲が浮かぶような場合は、後述のように太陽や雲の自動認識が可能であり、さらにオプティカルフローを用いて移動検出が可能であることが示されている。

2. 雲のオプティカルフロー

今回行っている研究内容としては、地上から空を雲カメラで撮影した静止画像から雲を検出している。

一例であるが、図 2 にある日の空とそこに浮かぶ雲の画像が示されている。



図1 天空を撮影するカメラ装置(自動撮影)



(a)2021年8月18日10時36分撮影



(b)2021年8月18日10時37分撮影

図2 天空カメラ画像(写真)

上記画像から雲だけを抽出したオプティカルフローが下記の画像になる。

白の部分が雲になり、雲以外のところは基本的に白になっている。太陽も同時に黒色になっており雲だけを検出し

^{†1} SAKI OTAKE, College of Industrial Technology, Nihon University
^{†2} MINAMI SAKO, Graduate School of Industrial Technology Nihon University
^{†3} YUKI ITOH, College of Industrial Technology, Nihon University
^{†4} KENJI HIRATA, Expert Science Institute Inc.

^{†5} KAZUTOSHI TANAKA, afterFIT
^{†6} WATARU YASUHARA, Expert Science Institute Inc.
^{†7} JUN TOYOTANI, Nihon University

ていることがこの画像からわかる。



(a)2021年8月18日10時36分撮影データ



(b)2021年8月18日10時37分撮影データ

図3 雲を識別しているオプティカルフロー（晴天時）

2.1 雨天時の雲の状況

晴天時は雲の動きが非常にわかりやすいが雨天時や天気
が悪い時の雲の画像認識が式の図4になる。



(a)2021年8月24日10時57分撮影



(b)2021年8月24日10時58分撮影

図4 天空カメラ画像（写真）

かなり薄暗く、雲が全体的に多い日になっていることが
この画像からわかる。またこの画像に対して雲認識オプ
ティカルフローに検索をかけたところ、このような図になっ
た。空全体が白い(雲の)領域に覆われていることが示されて
いる。



(a)2021年8月24日10時57分撮影データ



(b)2021年8月24日10時58分撮影データ

図5 雲を識別しているオプティカルフロー（曇天時）

雲のオプティカルフローを取ることで、雲の動きが
はっきりとわかり、これによって雲の移動の予測を行える
ようになる。

ただし空に雲が浮かんでいるような雲の大きさが小さい
場合は、雲の動きを予測しやすいが、このように空全体が雲
に覆われていると、いま見えていない空の領域にどのよう
な形状で雲が続いているかが分からないという問題が出て
くる。

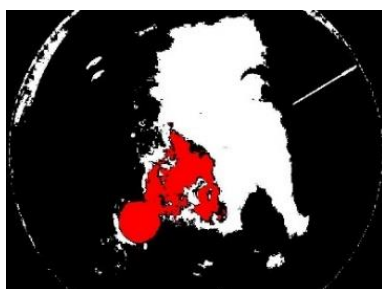
3. 太陽と雲の識別

本研究では天空カメラで1分毎に24時間365日自動で天
空の画像をカメラで撮影して蓄積を行っている。その中で
今回は静止画像から太陽と雲の識別を行った。その画像デ
ータの識別に関しては、色の三原色や精度情報を基に太陽
や雲を識別した。

まず、本研究ではピクセルごとに色情報を正規化して、太
陽や雲を識別した。例えば下記の図5の画像は(a)(b)で1分
後の空画像が示されており、雲が1分間で変形を伴いな
がら移動していることが示されている。なお、これは図2と同
じの画像から雲と太陽の識別を行っている。赤い部分が太
陽として認識された領域である。



(a)2021年8月18日10時36分撮影データ



(b) 2021年8月18日10時37分撮影データ

図6 太陽と雲の分類

赤い丸が太陽を示しており、その周辺の雲の一部明るい部分も輝度が高いために、太陽といて認識（赤く着色）されていることがわかる。

ただし、太陽は球体上で一定の大きさを要するために、大きさや形状で判断したり、基本的には正規化した色情報から識別することができる。

4. 雲の移動検出

4.1 検出方法

本研究では先行研究でも実績[2]のあるオプティカルフロー[3]を用いて雲の動きを捉えた。

赤色のベクトルがいくつかあると思うが、各ベクトルが向いている方向に1分前の画像と比較してどのくらい雲が動いているのかを示している。

ここでオプティカルフローは、パターン認識の領域で著名な Lucas-Kanade 法[4]が著名であるが、2枚以上の複数画像を用いて、画像の時間的空間的勾配に注目して動作を推定する。ここではオプティカルフローを使用して雲の検出を行っている。

4.2 雲の移動検出（成功例）

実際の天空画像を撮影して、画像から雲認識に成功をした例として図7に示されるような画像を扱った。



(a) 2021年8月18日11時49分撮影

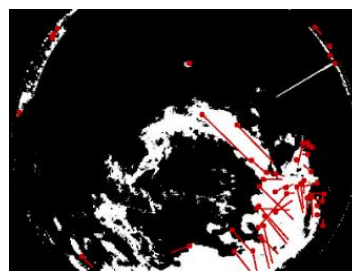


(b) 2021年8月18日11時50分撮影

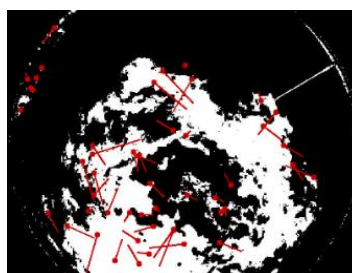
図7 天空カメラ画像（写真）

これに対してオプティカルフロー解析を用いて雲の動きを捉えたのが、以下の図8である。雲ではない部分は黒で無理つぶし処理を行っているため、白い部分が雲となっている。また雲の端にある赤い矢印が示されており、これが移動ベクトルである。この移動ベクトルは1分前の画像との比較でそのくらい雲が動いたのかということを表している。

このように雲を認識してさらにその移動ベクトルをもとにして雲の移動が予測できる様子が示されている。



(a) 2021年8月18日11時49分撮影データ



(b) 2021年8月18日11時50分撮影データ

図8 オプティカルフロー（成功例）

雲ではない部分は黒く塗りつぶして処理を行っているため白い部分が雲となっている。この日の雲は少ないので繊細に雲を捉えることができています。

図8の中の赤のベクトルは、雲が移動する方向と大きさを表している。これは1分前からどのくらい移動しているのかを、ベクトルで表したものである。1分間だけの変化となっており、動きがない部分の雲には、ベクトルも表記されていないことがわかる。

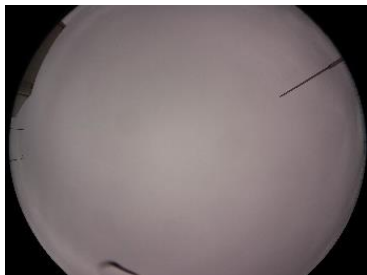
4.3 雲の移動検出（失敗例）

実際の天空画像を撮影して検出に成功をした前節とは異なり、雲の画像認識が難しい場合がある。

以下の図 9 はこの一例であり空の大半が雲で覆われている例である。この例では日中にもかかわらず空全体が薄暗く、雲の形状や厚さがほとんど確認できないような画像になっている。



(a) 2021 年 8 月 23 日 11 時 40 分撮影



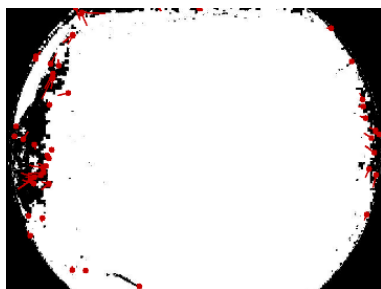
(b) 2021 年 8 月 23 日 11 時 41 分撮影

図 9 天空カメラ画像（写真）

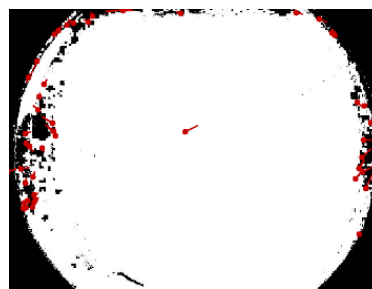
これに対して前節と同様な手法の検出を行った結果として、図 9 を、オプティカルフロー解析を用いて雲の動きを捉えたのが、以下の図 10 である。

この図ではほとんどが空の大半が雲で覆われていて個別の雲の状態確認できないため、解析の結果も同じように大半が白くなって表示されている。周囲のところどころに赤い点のようなものがある。さらに加えてこの画像には真ん中にも一点だけ認識されている。

このような結果から雲画像から個別の雲に対しての認識は行うことができるが、全体的な雲の動きが認識できていないことがこの結果からわかってくる。



(a) 2021 年 8 月 23 日 11 時 40 分撮影データ



(b) 2021 年 8 月 23 日 11 時 41 分撮影データ

図 10 オプティカルフロー（失敗例）

5. おわりに

本論では雲を撮影した画像データの色情報と輝度情報から、太陽と雲の自動認識ができることを示した。またオプティカルフローを用いて雲を認識し、新旧の画像を基に移動ベクトルを取得して、移動を予測することも示された。

これらの結果から、時系列の画像データから雲を認識することを確認して、さらに雲は時々刻々と変形しながら移動するために、これを追跡しながら移動を予測できることが示された。ただし雨天や曇天など雲が空全体に広がっている状況では、太陽や雲認識ができない事が確認できた。

今後はさらに高精度に移動が予測できる手法を確立し、さらに過去のデータに基づく統計的な手法を組み合わせ、日射量を高精度に予測できるようにしたい。

参考文献

- [1] Yuhao Nie et al., PV power output prediction from sky images using convolutional neural network: The comparison of sky-condition-specific submodels and an end-to-end model, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Volume 12, Issue 4, 046101 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0014016>
- [2] T. Schmidt et al., Evaluating the spatio-temporal performance of sky imager based solar irradiance analysis and forecasts, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 26997–27039, 2015, <https://acp.copernicus.org/preprints/15/26997/2015/acpd-15-26997-2015.pdf>
- [3] Enric Meinhardt-Llopis et al., Horn–Schunck Optical Flow with a Multi-Scale Strategy, *Image Processing On Line*, 3(2013), pp.151–172
- [4] Bruce D. Lucas and Takeo Kanade. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 674-679, 1981.