

太陽電池パネル上の雑草影画像を用いた 雑草生育状況推定

杉野 雄一¹, 原 重臣¹

概要： 大規模太陽光発電所では、除草費用がコスト面の負担になっている。本研究では、雑草影のかかった太陽電池パネルを上から撮影した画像を画像処理して影領域を抽出する。雑草はパネルの南側に沿って垂直にあると仮定し、日時と緯度経度によって決まる太陽光方向を用いて、抽出画像から雑草の生育状況の推定としての雑草モデルを生成する。雑草の生育状況が同じとして、撮影時以外の任意の日時におけるパネルにかかる影を雑草モデルから推定する。

1. はじめに

現在、再生可能エネルギーの技術革新に伴うコストの低下や固定価格買取制度により、太陽光発電も発電所に限らず身近なところにまで設置されるようになってきた。発電所に設置される太陽電池パネルは、建設費、維持管理コスト、地面からの反射熱などを考慮して、地面に直接敷設されることが多い。そのため雑草の生育が維持管理上の問題になっている。碎石をまいたり、防草シートを使用したり、除草剤を散布したりする雑草対策は、効果の継続性、周辺環境への影響などのために、いずれも決定的な対策と言えるものではなく、人力による除草作業に頼っているというのが現状である。

当然、雑草が成長すると太陽電池の影となり、発電量に対して影響を与える。そのため発電所の管理者は定期的な除草作業を余儀なくされている。しかし、大規模太陽光発電所の敷地は広大であるため、多額の除草費用がかかってしまっている。そのため、除草費用と雑草による発電量の減少のトレードオフを詳細に研究し、最適な除草スケジュールを割り出したいという要求がある。本研究では、太陽電池を上から撮影した画像から、画像処理により雑草の影領域を抽出する。雑草はパネルの南側に沿って垂直にあると仮定し、日時と緯度経度によって決まる太陽光方向を用いて、抽出画像から雑草の生育状況の推定としての雑草モデルを生成する。雑草の生育状況が同じとして、撮影時以外の任意の日時におけるパネルにかかる影を雑草モデルから推定する。

2. 雑草影領域の抽出

2.1 太陽電池パネルの撮影

太陽電池パネルを上から撮った写真を得るために、5 m の長さがある自撮り棒にスマートフォンを取り付けて撮影を行

った(図 1)。太陽電池パネルは傾斜を付けて設置されており、パネルに対して斜め上からの写真になる。撮影の際にはアレイの全形の枠が切れないように気をつける。図 2 に撮影した画像の例を示す。



図 1 雑草影のかかった太陽電池パネルの自撮り棒を用いた上からの撮影



図 2 雑草影の掛かった太陽電池パネルの上からの写真

2.2 雑草影領域の抽出

図 2 のような上から撮った太陽電池パネルの写真から、雑草影領域を抽出する手順を以下に示す。

1. マウスを用いてパネルの 4 隅を指定して、画像におけるパネルの位置を取得する
2. 射影変換による台形補正を行って、パネルを長方形画像に変換する(図 3)。
3. 太陽電池パネルの寸法を元にして、太陽電池セルごと

¹ 佐賀大学
Saga University, Saga, Saga 840-8502, Japan

の画像に分割する（図4）。

4. 太陽電池画像を2値化する。
5. 膨張、収縮処理を行ってノイズ除去する。（図5）
6. 黒の画素数をカウントして、セルの影比率を求める。



図3 台形補正したパネル画像



図4 太陽電池セルごとに切り出した影画像



図5 2値化、膨張・収縮処理により抽出したセルの影領域
プログラミング言語は Python [1], 画像処理ライブラリは OpenCV を用いた[2]。算出したセルの影比率の一部は以下のようになる（単位 %）。

0.0	7.71	65.38	34.45	31.12	13.32
0.0	0.42	2.40	0.0	0.0	0.0

この結果は、今後の研究において、太陽電池パネルの回路モデルを用いて発電量をシミュレーションする際に用いられる。

3. 雑草影画像から雑草モデルの作成

3.1 雑草影領域の抽出

前節と同様の方法で、図2のような雑草影画像の影領域の抽出を行った。結果を図6に示す。図1に見えるような太陽電池パネルの集まりをアレイと呼ぶ。図7のように雑草は太陽電池アレイの南側に沿って存在すると仮定し、雑草モデルとしてとらえる。空間のxyz座標系、およびアレイに沿ったY座標系を図7のように入れる。太陽電池パネル上の雑草影画像から影領域の抽出を行った結果を利用すれば、アレイ上の任意の点 (X_a, Y_a) を与えれば、そこに影があるかないかを判定することができる。

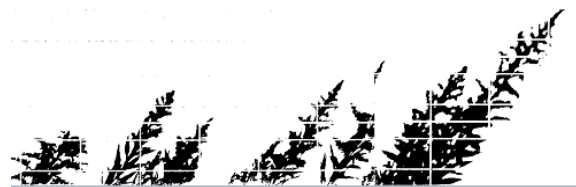


図6 パネル上の雑草影画像から抽出した影領域

3.2 アレイ上の点と雑草面上の点の対応

アレイ上の雑草影から雑草モデルを求めるためには、アレイ上の任意の点 (X_a, Y_a) と図7の雑草面上の点 (X_w, Z_w) の対応を求めなければならない。太陽方向は図8の天頂角と方位角で表す。任意の日時と緯度経度を決めれば、太陽の天頂角と方位角を計算することができる。アメリカ海洋大気庁(NOAA)が公開している Solar Calculator を用いた[3]。

天頂角、方位角をそれぞれ θ_0, ϕ_0 とする。アレイ上の点 (X_a, Y_a) と雑草面上の点 (X_w, Z_w) の関係は、媒介変数 t を使って、

$$t = -\frac{Z_w}{\tan \theta_p \sin \theta_0 \sin \phi_0 + \cos \theta_0}$$

$$X_a = X_w + t \sin \theta_0 \cos \phi_0 \quad (1)$$

$$Y_a = -\frac{\sin \theta_0 \sin \phi_0}{\cos \theta_p} t$$

となる。(1)式は、雑草面上の点 (X_w, Z_w) から、アレイ上の対応する点 (X_a, Y_a) を求める式である。また、この式を X_w, Z_w について解けば、

$$t = -\frac{Y_a \cos \theta_p}{\sin \theta_0 \sin \phi_0}$$

$$X_w = X_a - t \sin \theta_0 \cos \phi_0 \quad (2)$$

$$Z_w = Y_a \sin \theta_p - t \cos \theta_0$$

となる。(2)式は逆に、アレイ上の点 (X_a, Y_a) から、雑草面上の点 (X_w, Z_w) を求める式である。

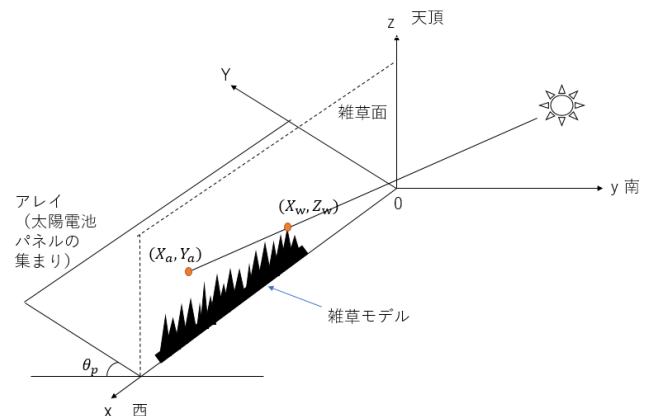


図7 アレイ上の位置ベクトルの図

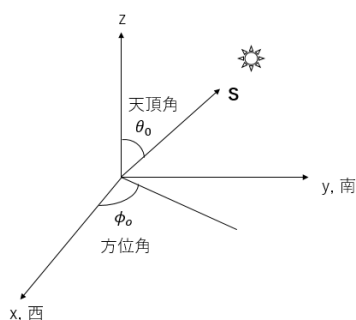


図 8 太陽方向を表す天頂角と方位角

3.3 雑草影からの雑草モデルの作成

影領域を抽出した雑草影画像から、雑草モデルを作成する手順は以下のようになる。

```

For 雑草面上の格子点( $X_w, Z_w$ )に対して do
  式(1)で対応する( $X_a, Y_a$ )を求める
  影領域を抽出した雑草影画像を用いて点( $X_a, Y_a$ )に雑
  草かげがあるか、ないかを調べる
  If 影あり  $\Rightarrow$  点( $X_w, Z_w$ )の画素を黒にする
  If 影なし  $\Rightarrow$  点( $X_w, Z_w$ )の画素を白にする
End for
    
```

以上の方法で算出した雑草モデルを図 9 に示す。図 6 の雑草影は傾いているが、算出した雑草モデルはほぼ垂直になっている。

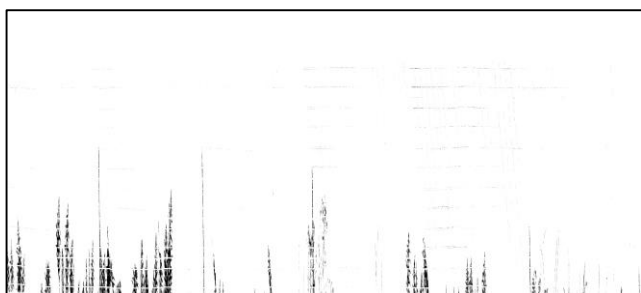


図 9 .影から算出した雑草モデル

4. 雑草モデルからの雑草影の作成

雑草モデルの算出と同様に、式(2)を用いれば、以下の手順でパネル上の影を作成することができる。

1. 影の高さと幅を決める
2. アレイ上の任意の点を指定する
3. その点に雑草の影がかかっているかを(2)式と雑草モデルを用いて判定する
4. 影があった場合その点の画素を黒にする

以上のアルゴリズムから求めた影モデルを図 10 に示す。図 6 と比較すると正確にもとの形を再現できている。

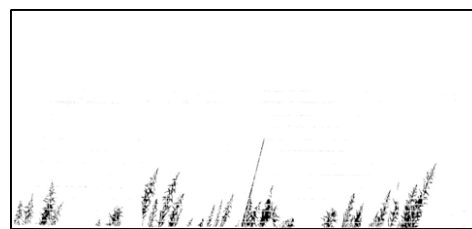


図 10 雑草モデルから算出したパネル上雑草影
このアルゴリズムの天頂角と方位角を変更することにより、様々な日付や時間の影を作り出すことができる。図 11-13 にそれぞれ春分、夏至、冬至の日 14 時の影を示す

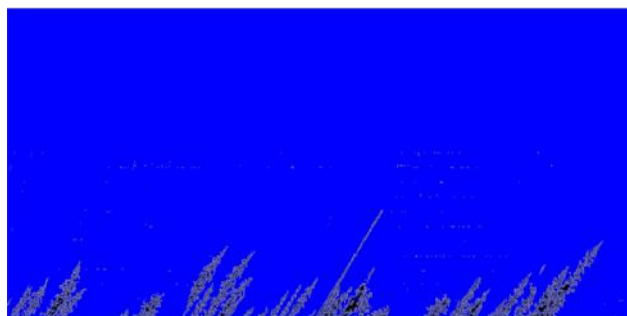


図 11 春分の日 14 時の推定された雑草影

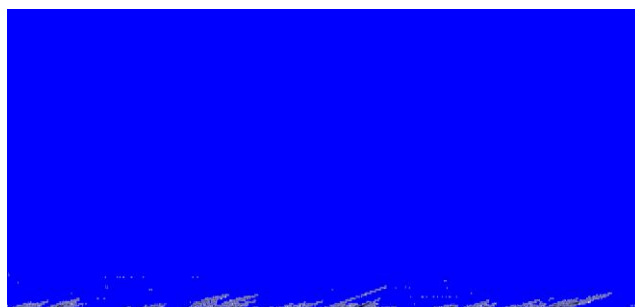


図 12 夏至の日 14 時の推定された雑草影

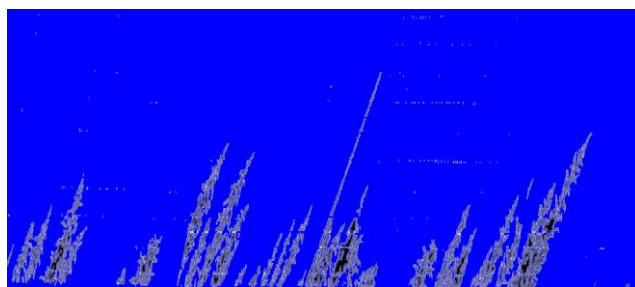


図 13 冬至の日 14 時の推定された雑草影

5. まとめ

パネル上から撮った雑草影写真から雑草モデルを作成する方法を提案した。その際、雑草モデルはパネル南側に沿って垂直にあることを仮定した。雑草モデルは雑草の生育状況を表す。雑草モデルが得られれば、任意の日時におけるパネル上影を推定することができる。以上の結果は、雑草が生育するスピードなどを与えて、年間における発電所における雑草影の影響をシミュレーションする際に役立つ。

参考文献

- [1] Jake VanderPlas, 「Python データサイエンスハンドブック」, OREILLY, 2018.
- [2] OpenCV レファレンスマニュアル, <http://opencv.jp/opencv-1.0.0/document/>.
- [3] NOAA Solar Calculator, <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>