

# 衛星雲画像の空間周波数を用いた日射量予測法の研究

(学生員) 高橋 里枝\*, 谷口 浩成(東京農工大学)  
(正員) 大谷 謙仁(産業技術総合研究所), 黒川 浩助(東京農工大学)

## Irradiation Forecast by Using Spatial Frequency on GMS Image

Satoe Takahashi, Hironari Taniguchi (Tokyo University of Agriculture and Technology)  
Kenji Otani (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)  
Kosuke Kurokawa (Tokyo University of Agriculture and Technology)

### 1. はじめに

太陽光発電システムが電力系統に多数台連系されると、天候による太陽電池の出力変動のために、電力供給運用に大きく影響を与える可能性がある。そこで著者らはこれらの問題の軽減を目指して、衛星雲画像を利用した日射量予測法の研究を進めている。これまで著者らは日射量予測の基礎研究<sup>(1)</sup>として、2枚の衛星雲画像から算出した雲移動ベクトルを用いて、雲アルベド(雲による日射の反射率)を予測する方法を開発してきた。本報告では、この雲アルベド算出法を改良した、衛星雲画像から得られる空間周波数を用いた予測法について検討した。

### 2. 空間周波数を用いた雲移動ベクトル算出法

#### (1) 予測に用いる雲画像データサイズ

予測には、気象衛星『ひまわり』(GMS)5号から1時間に1枚ずつ配信される衛星雲画像を使用した。実際に予測を行うにはこの衛星雲画像から必要な範囲のデータだけを抽出するため、用いる画像の範囲(以下データサイズ)を決める。高速フーリエ変換(以下FFT)を使用するために、 $2^n \text{ pixel} \times 2^n \text{ pixel}$ のデータサイズを設定する。この際、雲アルベドを求めたい観測地点が画像中央になるようにデータを取得する。

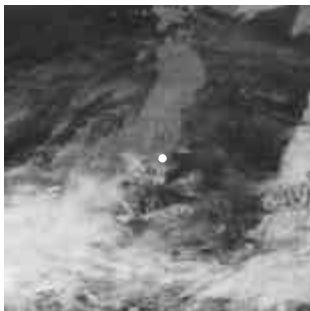


図1 1998年5月5日正午の可視画像  
データサイズ 256pixel × 256pixel  
(画像中央の点は観測地点)

#### (2) 雲アルベド画像の作成

取得したデータサイズの衛星雲画像を用いて、予測日までの1ヶ月間の地表面データを観測する<sup>(1)</sup>。そこから算出された地表面データを元の衛星雲画像から取り除き、地表面を排除した、雲アルベド画像を作成する(図2参照)。

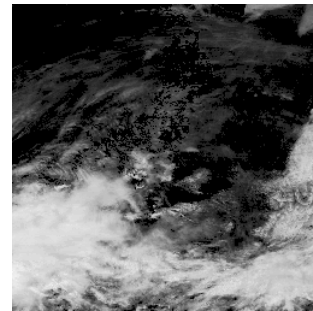


図2 雲アルベド画像例(1998年5月5日正午)

#### (3) 雲移動の算出

雲移動を算出するには、時間の異なる2枚の画像を使用する。1時間前の画像と現在の画像それぞれにFFTを施す。これにより得られたデータのうち、位相データを用いて逆高速フーリエ変換(IFFT)を施し、フーリエ位相データを求める。図3では、輝度が高いほど位相が大きいことを示している。



図3 フーリエ位相画像例  
(1998年5月5日 左: 11時, 右: 正午)

これら2つのデータの類似度を算出し、類似度の最大ピーク値を算出する。過去画像 $f(x,y)$ と現在画像 $h(x,y)$ のフーリエ位相画像を $f(x,y)$ ,  $h(x,y)$ とすると、類似度分布 $g(x,y)$ は以下の式で算出できる<sup>(2)</sup>。

$$g(x,y) = \iint f^f(x,y)h^f(x,y)dx dy \quad (1)$$

(ただし、 $x, y$ は画像の $x$ 座標、 $y$ 座標を表す)

類似度の最大ピーク値を観測した地点 $(x,y)$ から、2枚の画像の位置がどれくらいずれているかを読み取ることができる。過去と現在の2枚の画像を比較して画像の位置のずれが検出されたということは、過去から現在にかけてそれだけ雲が動いたと判断することができる。よって類似度の

最大ピーク値の位置を調べることで、過去から現在の雲の移動を算出することができる。

算出した雲の移動データを雲移動ベクトル  $C = (C_x, C_y)$  とし、現在の画像が雲移動ベクトル  $C$  で 1 時間後の画像に移行すると仮定する。

### 3. 雲アルベド予測の評価

#### (1) 雲アルベド予測の結果

フーリエ変換で算出した雲移動ベクトルを使った、雲アルベドの予測結果を図 4 に示す。予測結果の評価には反射率誤差(実測反射率と予測反射率の差)を用いた。予測期間、時間、観測地点は以下のとおりである。画像データサイズは、使用する雲アルベド画像中の雲の状態、形状等を考慮して、 $2^n \text{pixel} \times 2^n \text{pixel}$  サイズになるように設定した。

予測期間：1998年5月～1999年4月

予測時刻：11時～13時

予測地点：茨城県つくば市

(北緯  $36.5^\circ$ , 東経  $140.5^\circ$ )

結果を比較するために、相互相関法を用いた予測法<sup>(1)</sup>の結果も同時に示す。

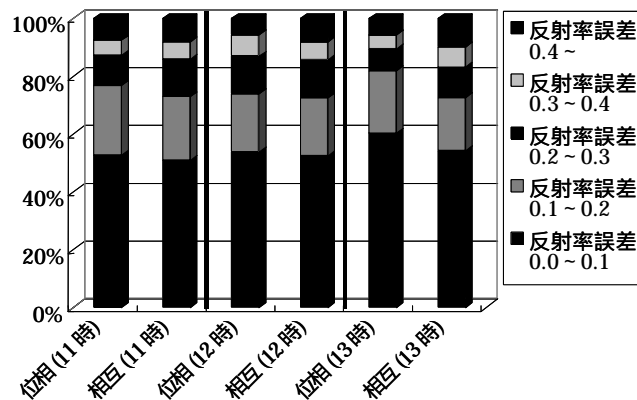


図 4 各時間における年間反射率誤差の割合

図 4 より、位相相関法の方が相互相関法よりも全反射率誤差に対する低い反射率誤差の占める割合が大きくなった。つまりフーリエ位相相関法では、全体的に予測誤差が少なくなっていることが分かる。適中率(反射率誤差が  $0 \sim 0.1$  である確率)で比べても、位相相関法は適中率が高く、従来法と比べて大きく予測をはずすケースが少なくなったと言える。特に 13 時の予測では適中率が 60% 以上になり、高い適中率を算出した。これらの結果とデータ数(11 時: 307, 12 時: 284, 13 時: 227)から算出した年間平均適中率は、位相相関法で 0.553、相互相関法で 0.524 となり、位相相関法の方が平均約 3% 改善していた。

#### (2) 予測結果の検証

位相相関法の反射率誤差が相互相関法と比べて最も低くなった 13 時の予測を例に、予測結果の検証を行った。図 5 では観測地点付近に大きくて厚い雲がかかっていたが、観測点から少し離れた所は雲の濃淡や形状変化が激しい。このような場合、位相相関法では雲は動いていないと判断する。しかし相互相関法は、形状の近い他の雲を追っている雲と判断することがあり、雲が動いていると見なしてしまう(表 1 参照)。すると間違った予測をしてしまう場合が多いことから、このような状態では位相相関は誤差が少ない場

合が多い。

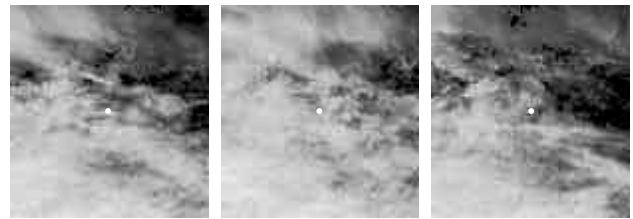


図 5 1998年5月11日(左より11時,12時,13時)の雲アルベド画像(画像サイズ:  $256 \text{pixel} \times 256 \text{pixel}$ )

表 1 図 5 での予測結果

|       | 雲移動ベクトル | 予測反射率 | 実測反射率 |
|-------|---------|-------|-------|
| 位相相関法 | (0, 0)  | 0.57  | 0.57  |
| 相互相関法 | (-4, 1) | 0.12  | 0.57  |

#### (3) 雲移動ベクトルを用いた方法での予測傾向の検証

表 2 位相相関法で 13 時を予測したときの年間カテゴリスコア

|       |      | 実測反射率 |      |      |      |      |      |      |      | 合計 (%) |      |
|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|
|       |      | 0~    | 0.1~ | 0.2~ | 0.3~ | 0.4~ | 0.5~ | 0.6~ | 0.7~ |        |      |
| 予測    | 0~   | 107   | 6    | 1    | 4    | 1    | 0    | 0    | 0    | 119    | 52.4 |
|       | 0.1~ | 11    | 3    | 1    | 0    | 2    | 1    | 1    | 0    | 19     | 8.4  |
|       | 0.2~ | 3     | 1    | 3    | 0    | 2    | 0    | 2    | 0    | 11     | 4.8  |
|       | 0.3~ | 0     | 1    | 3    | 0    | 2    | 3    | 0    | 2    | 11     | 4.8  |
|       | 0.4~ | 2     | 0    | 1    | 2    | 1    | 3    | 3    | 2    | 14     | 6.2  |
|       | 0.5~ | 1     | 1    | 2    | 1    | 2    | 6    | 4    | 2    | 19     | 8.4  |
|       | 0.6~ | 0     | 1    | 0    | 1    | 0    | 3    | 10   | 8    | 23     | 10.2 |
| 反射率   | 0.7~ | 0     | 1    | 0    | 0    | 0    | 3    | 7    | 11   | 4.8    |      |
|       | 合計   | 124   | 14   | 11   | 8    | 10   | 16   | 23   | 21   | 227    | 100  |
| 率 (%) |      | 54.6  | 6.2  | 4.8  | 3.5  | 4.4  | 7    | 10.2 | 9.3  | 100    |      |

出現回数の多い反射率  $0 \sim 0.1$  (雲がほとんどないとき)、 $0.6$  以上(厚い雲がかかっているとき)では、比較的適中率が高いが、他の反射率では適中率が低い。雲の変化が激しい場合には予測が困難であることが読み取れる。これは表 2 に限らず、位相相関法での 11, 12 時の予測や相互相関法(11, 12, 13 時予測)でも同様の傾向が見られた。よって位相相関法、相互相関法共に、雲移動ベクトルを用いた予測法は、安定した天気での適中率が高いが、他の反射率で比較的多く見られる雲の急激な変化(発生、消滅等)には対応できない場合が多いことが分かった。これについては別手法を検討する必要がある。

#### 4. まとめ

衛星雲画像を用いた日射量予測法のひとつとして、画像の空間周波数を利用した予測法について述べた。その結果、従来法に比べて精度向上が見られた。適中率に飛躍的な変化は見られなかったが、全体的に大きく予測をはずす割合が減っており、今後の予測に繋がると考えている。今後は、雲画像の周波数解析を中心に研究を進めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- (1) 谷口, 大谷, 黒川: 「衛星雲画像を利用した雲アルベドの動的分析」平成 12 年電気学会電力・エネルギー部門 P229 ~ P234
- (2) 河田聡, 南茂夫編著: 「科学計測のための画像データ処理」