

衛星雲画像の空間周波数分析を用いた日射予測

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

Irradiation Forecast by Using Spatial Frequency Analysis on GMS Images

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

1. はじめに

将来、太陽光発電システムが電力系統に多数台連系された場合には、天候による太陽電池の出力変動が生じて電力供給運用に大きな影響を与えることが想定される。そこで著者らはこれらの問題の軽減を目的として、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として、時間差のある2枚の衛星雲画像から算出できる雲移動ベクトルを用いた予測法⁽¹⁾や、衛星雲画像の空間周波数を算出してフーリエ位相相関法を用いた予測法⁽²⁾について検討を行ってきた。本報告ではこれらの予測法のうち空間周波数を利用した方法について、更に検討を行なう。

2. 空間周波数分析を利用した雲アルベド予測法

雲アルベドの予測には、気象衛星『ひまわり』5号(GMS-5)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。『ひまわり』は日本周辺の広域エリアの雲を計測しているが、今回はより詳細な予測をするために、予測したいエリアの大きさや形状を考慮した最適な画像の範囲(以下データサイズ)を衛星雲画像から抽出する必要がある。また、本手法では空間周波数の算出に高速フーリエ変換(以下FFT)を利用している関係上、データサイズは $2^n \text{pixel} \times 2^n \text{pixel}$ (n : 整数) に設定している。 n の値は、上記の条件に依存する。

(1) 予測の前処理

予測を行なうためには、衛星雲画像から日本列島などの地形データを取り除かねばならない。よって衛星雲画像から地形データを算出⁽¹⁾して画像から取り除き、地形情報を排除した雲アルベド画像を作成して、予測の準備をする。

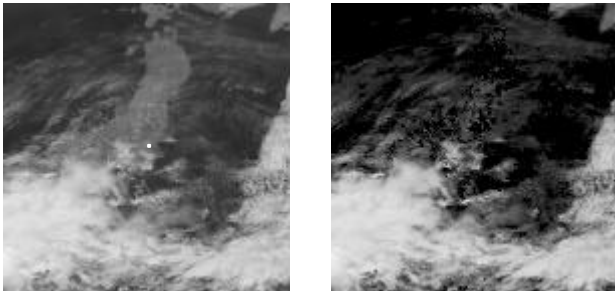


図1 (左) 衛星雲画像の例 (右) 雲アルベド画像の例
Fig.1 (Left) GMS image (Light) Cloud albedo image

(2) 空間周波数の算出

空間周波数の計算にはFFTを利用した。FFTは、フーリエ変換後のデータを $X(k)$ 、画像の入力データを $x(n)$ 、データ数(整数)を N とすると、以下の式(1)が成り立つ。出力データとなる $X(k)$ は、 a, b (共に整数)を使って複素数で表される(式(2)参照)。更に、この複素数を構成する実数部データを Re 、虚数部データを Im としてこれらを用いることで、振幅データ(A)と位相データ(f)を計算することが可能である(式(3)参照)。

$$X(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W^{kn} \quad (1)$$

ただし $k = 0, 1, 2, \dots, N-1,$

$$W^{kn} = e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} = \cos\left(\frac{2\pi}{N}kn\right) - j\sin\left(\frac{2\pi}{N}kn\right)$$

$$X(k) = a + j b = Re + Im \quad (2)$$

$$A = \sqrt{Re^2 + Im^2}, \quad f = \tan^{-1} \frac{Im}{Re} \quad (3)$$

(3) 予測方法

時間差を持つ2枚の雲アルベド画像を用いて予測する方法について述べる。使用する2枚の画像は、古い時間の画像を過去画像、新しい時間の画像を現在画像と呼ぶことにする。予測には、(2)で算出した空間周波数データを利用する。

過去画像の位相を現在画像の位相へ動かす

空間周波数の位相は、画像を構成する周波数の位置情報を表している。よって位相の変化は、周波数の動きを表している。もし過去・現在画像の同じ波数を持つ周波数の位相が異なれば、その周波数に対応している画像のある部分が、過去から現在に移る間に位相の変化分だけ移動しているとみなせる。

過去画像に描かれている雲は位相変化を経て現在画像の雲になるので、過去画像の位相を現在画像の位相に置き換え、画像の輝度変化を計算しやすいようにする。

実数部・虚数部の変化を算出する

空間周波数の振幅は、画像の輝度情報を表している。よって振幅の変化は、画像の輝度変化を表している。もし過去・現在画像の同じ波数を持つ周波数の振幅が異なれば、

その周波数に対応している画像のある部分が、過去から現在に移る間に振幅の変化分だけ輝度が変化しているとみなせる。また振幅は式(3)で示したように複素数の実数部と虚数部で表せるため、実・虚数部の変化が輝度変化に影響を与えていると考えられる。

そこでこの性質を利用して、の画像(過去画像の位相データを現在画像の位相データに置き換えた画像)と現在画像の実・虚数部の変化を求める。ここで位相を同値にして実・虚数部を変化させることは、雲の状態の情報のみを変化させることに相当するので、単純に雲の状態変化のみを比較することが可能になる。そして過去から現在へ移るとき雲の状態変化が、現在から同じ時間間隔を経た未来へ移行する際も保たれると仮定し、現在の実・虚数部データにその変換分を加える。

と の変化を踏まえて予測画像を作成する

最後に、過去から現在の位置変化も、と同様に過去の変化を未来も保持すると仮定し、で作成された、実・虚数部データの変化分を加えた画像に、過去から現在画像の位相データの変化分も加える。この画像が予測画像となる。

(4) 予測の後処理

上の過程を経た予測画像は時間的な輝度の変化を考慮している関係上、雲アルベド画像が本来持っている64階調よりも輝度の範囲が広がってしまう。そこで現在画像の輝度ヒストグラムを参考にして、予測画像の輝度が64階調に収まるように輝度の割り当てを決める。

また、画像にフィルタ処理を施し、突発的な輝度の変化を抑える。

3. 結果と考察

(1) 予測方法の妥当性の検証

上記の予測法を用いて、実際に予測画像を作成した例を以下に示す。

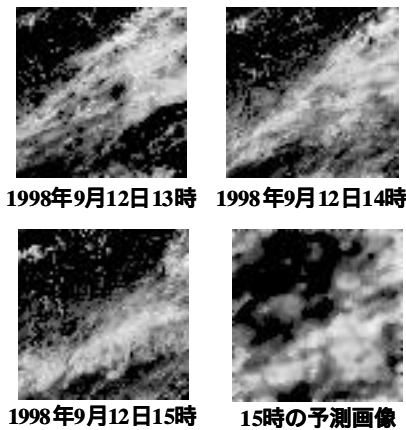


図2 実測雲画像と予測雲画像の例

Fig.2 An example of GMS images and forecast image

図2より、過去画像(13時の画像)と現在画像(14時の画像)から雲の動きを確認することができ、1時間後には現在画像の雲が1時間で動いたものと同間隔・方向に動くと同様と予想できる。実測画像(15時の画像)を見ると、この予測と同様の動きをしている。

この予測法で作成した予測画像を見ると、雲が過去の動

きとほぼ同じように動いており、人間が視覚的に予測できる動きと同等であることが分かる。よってこの予測方法は、このような雲の動きを正しく予測することが可能であり、予測法の妥当性が検証できた。

(2) 予測精度の検証

本予測法を用いて、1998年5月の12~15時までの日射反射率(衛星雲画像の輝度データをGMSの観測値から得られる日射の反射率に変換したものを)を予測した結果を以下に示す。予測に用いた画像サイズは64×64ピクセルで、位置は東京都全域を含むように指定した。画像全体を正方形の面とみなし、その面内の各ピクセル値をそれぞれ比較し、日射反射率の予測誤差を以下の式から算出した。

$$\text{予測誤差}(\%) = \frac{|\text{予測値} - \text{実測値}|}{\text{実測値}} \times 100 \quad (4)$$

図3より、日射反射率の予測誤差が10%未満のものは全体の55.1%になり、誤差10~20%のものも合わせると約76%の予測がほぼ適中していると言える。

また、誤差の割合が大きいものの原因として、突発的な雲の発生、消滅が挙げられる。過去・現在の画像からある程度予測のできる雲の発生・消滅ならば、それを考慮した周波数分析も可能であるが、その画像中からは全く情報を読み取ることができない場合には、この手法では対応できない。よってこの問題を解決するには、別手法を加える必要がある。

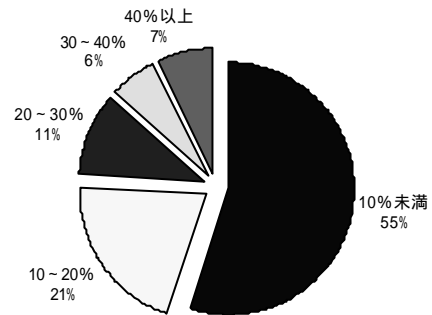


図3 日射反射率における予測誤差の割合
Fig.3 Ratio of forecast error on reflection of irradiation

4. まとめ

衛星雲画像を用いた日射予測法として、画像の空間周波数に着目した分析方法について述べた。これらの分析から得られたデータを用いることで、予測雲画像を作成することができ、その妥当性を示した。また、この予測雲画像を利用して日射反射率の評価を行なった結果、約55%の適中率を得た。今後は予測精度向上のために、複数枚の画像を用いた時系列的な予測も検討する必要がある。

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解析」平成12年電気学会電力・エネルギー部門 P229~P234
- (2) 高橋, 谷口, 大谷, 黒川: 「衛星雲画像の空間周波数を用いた日射量予測法の研究」平成14年電気学会全国大会 エネルギー変換・輸送 P91~P92