

雲画像を用いた日射予測の検討

谷口 浩成 (M1)

1. はじめに

太陽光発電 (PV) システムの出力は天候への依存性が高く、電力系統側から見て制御が困難である。従ってPVシステムが大規模に普及した場合、電力系統に与える影響が問題になると考えられている。そこで本研究では、気象衛星「ひまわり」(GMS)の雲画像を利用して日射量を予測する手法を検討した。今回は日射予測の基礎研究として衛星雲画像の輝度値の予測を行った。

2. 衛星衛星「ひまわり」の雲画像

2.1 雲画像の定義

観測画像 $h_t(x,y)$ 、過去画像 $h_{t-n}(x,y)$ 、未来画像 $h_{t+n}(x,y)$ とし、過去画像 $h_{t-n}(x,y)$ は観測画像 $h_t(x,y)$ より時間前の画像、また未来画像 $h_{t+n}(x,y)$ は観測画像 $h_t(x,y)$ より時間後の画像とする。また雲画像の座標軸は、X軸は右方向にプラス、Y軸は下方向にプラスをとる。

2.2 処理に用いた雲画像

本論文では雲画像の処理に赤外画像を利用した。赤外画像は24時間受信可能、天頂角補正の必要がなくそのまま使用可能、などの特徴があるためである。しかし、今までの日射量予測は可視画像を使用していることや地上に到達する日射は可視であることなどを考慮すると、可視画像を用いた雲移動ベクトルの算出も検討しなければならない。

3. 雲移動ベクトルによる輝度値予測

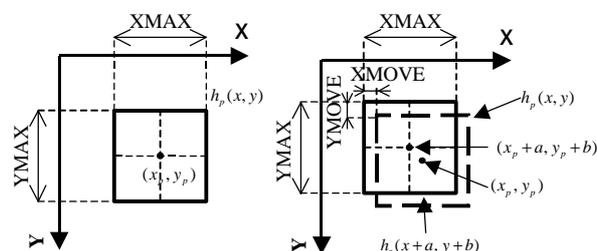
3.1 相互相関法による雲移動ベクトルの算出手法

過去画像 $h_{t-n}(x,y)$ 上の任意の座標 (x_p, y_p) を中心に、相関サイズを $XMAX \times YMAX$ とした場合の画像を対象画像 $h_p(x,y)$ とする。また観測画像 $h_t(x,y)$ 上の座標 (x_{p+a}, y_{p+b}) を中心とする画像を参照画像 $h_r(x+a,y+b)$ とし、相関サイズは対象画像と同じとする(図1)。参照画像の中心座標が移動する範囲は、

$$-XMOVE \leq a \leq XMOVE \dots\dots\dots (1)$$

$$-YMOVE \leq b \leq YMOVE$$

で表わされる。



(a) 対象画像 $h_p(x,y)$ (b) 参照画像 $h_r(x+a,y+b)$

図1 対象画像と参照画像の範囲

次に対象画像 $h_p(x,y)$ と参照画像 $h_r(x+a,y+b)$ の相関関数 $g(a,b)$ を求める。

$$g(a,b) = \sum_{x=0}^{XMAX} \sum_{y=0}^{YMAX} h_p(x,y) \cdot h_r(x+a,y+b)$$

$$(r=1,2,\dots,(XMOVE \times 2) \times (YMOVE \times 2)) \dots\dots (2)$$

ただし、 $h_p(x,y)$ 、 $h_r(x+a,y+b)$ はあらかじめ各画素における値の2乗和で、

$$\sum_{x=0}^{XMAX} \sum_{y=0}^{YMAX} h_p(x,y) = \sum_{x=0}^{XMAX} \sum_{y=0}^{YMAX} h_r(x+a,y+b) = 1$$

$$(r=1,2,\dots,(XMOVE \times 2) \times (YMOVE \times 2)) \dots\dots (3)$$

と規格化しておく。相関関数 $g(a,b)$ が最大となる参照画像 $h_r(x+a,y+b)$ の中心座標を $(x+a_{max}, y+b_{max})$ とすると、算出する時間後の雲移動ベクトル C は

$$C = (x_p - a_{max})x + (y_p - b_{max})y$$

$$x,y; \text{単位ベクトル} \dots\dots\dots (4)$$

で決定する。

3.2 輝度値の予測手法

未来画像 $h_{t+n}(x,y)$ の座標 (x_f, y_f) の輝度値を予測する場合を説明する。まず過去画像 $h_{t-n}(x,y)$ と観測画像 $h_t(x,y)$ を用いて雲移動ベクトル $C=(C_x, C_y)$ を算出する。この時、過去画像 $h_{t-n}(x,y)$ の座標 (x_p, y_p) は未来画像 $h_{t+n}(x,y)$ の座標 (x_f, y_f) と等しいものとする。次に雲移動ベクトルを未来画像 $h_{t+n}(x,y)$ の座標 (x_f, y_f) と等しい観測画像 $h_t(x,y)$ の座標 (x_o, y_o) を始点とし方向を逆にして適用する。そして観測画像 $h_t(x,y)$ の座標 (x'_o, y'_o) を求める。すなわち、この座標 (x'_o, y'_o) が未来画像 $h_{t+n}(x,y)$ の輝度値を予測する座標 (x_f, y_f) に移動すると仮定する。そして、座標 (x'_o, y'_o) の

輝度値 B'_0 が予測する座標 (x_f, y_f) の輝度値 B_f とする。

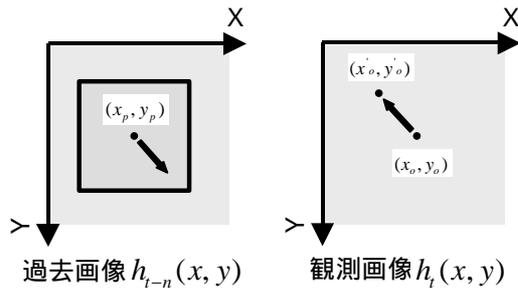


図2 輝度値の推定手法

4. 結果

4.1 雲移動ベクトルの算出結果

1997年1月3日から3月10日の午前9時と午前10時の画像データを用いて雲移動ベクトルを算出した。また相関サイズを 10×10 ピクセルから 50×50 ピクセルまでの5種類を設定した。各特徴抽出処理画像を用いて算出した雲移動ベクトルの相関係数の結果を表1に示す。

表1 各特徴抽出画像を用いた雲移動ベクトルの相関係数

Corr size	Correlation coefficient						
	Marking	Class	Laplacian 4	Laplacian 8	Xsobel	Ysobel	Border
10 × 10	0.997	0.99	0.33	0.344	0.656	0.749	-
20 × 20	0.993	0.98	0.185	0.206	0.547	0.563	0.414
30 × 30	0.989	0.974	0.231	0.257	0.521	0.48	0.253
40 × 40	0.986	0.969	0.31	0.323	0.529	0.465	0.241
50 × 50	0.985	0.971	0.419	0.425	0.585	0.496	0.263
Average	0.99	0.977	0.295	0.311	0.568	0.551	0.293

ここで、

Corr size : 相関サイズ

Marking : マーキング情報除去処理画像

Class : 4 値化処理画像

Laplacian4 : 4 近傍ラプラシアン・フィルタ処理画像

Laplacian8 : 8 近傍ラプラシアン・フィルタ処理画像

Xsobel : 水平方向強調ソーベル・フィルタ処理画像

Ysobel : 垂直方向強調ソーベル・フィルタ処理画像

Border : 輪郭線抽出処理画像

を表す。マーキング情報除去処理画像と4値化処理画像の相関係数の平均値は0.97以上と高いが、輪郭線抽出処理画像においては0.293と低い値を示している。

4.2 輝度値予測の結果

輝度値の予測は、1997年1月3日から3月10日のデータを用いて4地点で相関サイズを5種類に設定し、1時間毎に1時間後から5時間後の予測をRMSE(2

乗平均誤差)により評価した。輝度値の予測に用いた特徴抽出画像は、雲移動ベクトルの算出でもっとも相関係数の値が高かったマーキング情報除去処理画像である。図3に予測誤差の結果例を示す。予測誤差は

$$\text{予測誤差} = \text{モデル誤差} + \text{雲移動予測誤差}$$

で表わされる。ここでモデル誤差は予測手法(モデル)による誤差である。したがって、雲移動予測誤差を求めるには予測誤差からモデル誤差を引かなければならない。今回の予測ではモデル誤差のRMSEの平均値は2.95、1時間後のRMSEの平均値は3.08であった。これは1時間での雲移動が小さかったため、予測誤差はモデル誤差とほとんど同じであったと考えられる。2時間後から5時間後のRMSEの平均値は、順に3.97、5.47、5.92、6.04であった。この結果から予測時間が未来になるほど、予測精度が低下すると言える。

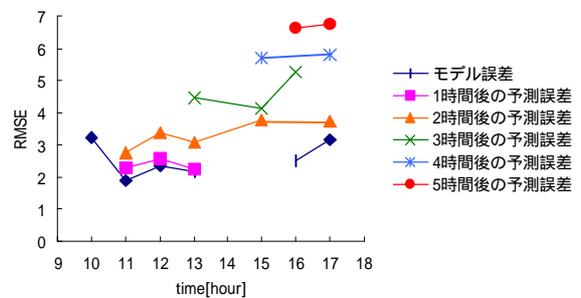


図3 相関サイズ 30×30 、(485, 335) 地点の予測精度の結果

5. むすび

本論文は雲移動ベクトルを用いて衛星雲画像の輝度値を予測する手法について検討したものである。その結果、1時間後の予測誤差はモデル誤差とほとんど変わらない値を得ることができた。また、5時間後の予測誤差もRMSE値で6.04を算出した。これらのことから、数時間後の予測も可能であると言える。今回算出した予測誤差は2ヶ月の予測データを平均して求めたものであるから、天候が急激に変化する場合などは正しい予測ができるとは限らない。今後は天候が急激に変化する場合の予測と、実際に日射量予測が可能であるか検討して行かなければならないと考えている。

文献

(1) 河田聡・南茂夫：「科学計測のための画像データ処理」, CQ出版社, 1994年