

雲のパターンを予測する装置の開発

Development of Equipment for Forecast of Cloud Pattern

藤野充平*

Michihira FUJINO

隅田勲*

Isao SUMIDA

ABSTRACT

It is necessary to reduce thermal shock of the heat collecting pipe due to extinction of solar ray at a solar thermal power plant. A sky condition monitor was developed for this purpose. The cloud pattern in the future and the time when the sun is behind the cloud are foreseen from the cloud motion in the past by using this developed monitor. If the time of sudden change of solar radiation is foreseen previously, thermal shock of the heat collecting pipe can be avoided by changing flow rate or direction of flat plate mirrors before solar radiation changes. The sky condition monitor consists of an ITV camera, a mini-computer and an equipment for data display. From the experimental results, followings are shown.

- (1) The cloud pattern can be foreseen about 20 minutes before in the cases of slow transfer velocity, v_t , of cloud, and small change rate, ds/dt , of area of cloud patterns.
- (2) Accuracy for foreseeing cloud patterns increases with an decrease in v_t and ds/dt .

1. 緒 言

日射量が断続的に変化した場合に、太陽熱発電プラント¹⁾²⁾³⁾⁴⁾において生じる問題としては、

- (1) プラント制御系の特性から安定な運転が難しくなる。
- (2) 集熱管にかかる温度の過度変化が大きく、構造強度上の問題を生じる可能性がある。

等がある。(1)については、日射量が断続的に変化すると蒸気、温度、圧力、流量が急速に変化してプラントの安定な運転が困難になることが計算結果から予想されている⁴⁾。また、(2)については、蒸気温度が繰返し急激に変化すると、熱疲労で集熱管の寿命が短くなる。このような日射量の急激な変化に対して、プラントを安全にかつ安定に運転するためには、日射量が急変する時刻を予知することが望ましい。もし、日射量が変化する時刻を予知できれば、事前に流量、平面鏡の角度などを調節してプラントを安定に運転することができるからである。このため、雲が日射を遮る時刻および太陽が雲から出る時刻を予測するために、過去の雲の移動から将来の雲のパターンを予測できる装置（以下天空監視装置と呼ぶ）を開発した。本装置は天空の状況を ITV カメラで観測し、これを小

型計算機で画像処理して、予測された雲のパターンを表示するものである。本報告では、この装置の基本的な特性測定結果について述べる。

本研究報告は、工業技術院サンシャイン計画委託研究による成果である。

2. 天空監視装置の構成

本装置の構成をハードウェアとソフトウェアに分けて述べる。

2. 1 ハードウェア

ハードウェアとしては次の4種類の装置で構成される。

- (1) 天空観測装置
- (2) 画像処理装置
- (3) データ処理装置
- (4) データ処理装置

これらの構成を図1に示す。以下これらの装置について説明する。

(1) 天空観測装置

天空観測装置は ITV カメラとその前面に取付けた

* 株式会社日立製作所エネルギー研究所
Energy Research Laboratory HitachiLtd

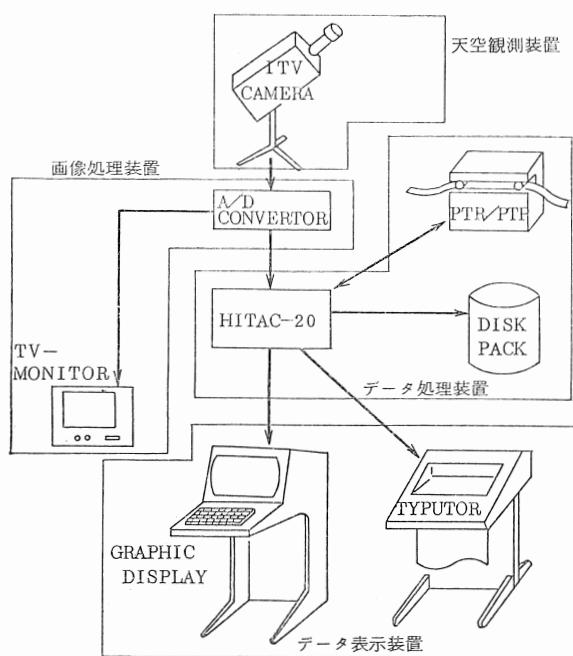


図1 天空監視装置の構成

光学系と、これらを載せる赤道儀から成る。カメラ前面には天空を広角で観測できるように、焦点距離24mmのレンズをつけた。カメラを赤道儀に載せモニタテレビの所定の場所に太陽像が映るようにして、太陽を追尾させる。

(2) 画像処理装置

画像処理装置はカメラで撮影した画像を記憶させるスキャンコンバータとモニタテレビから成る。テレビカメラで撮影した画面をデータ処理装置に入力し、雲のパターンをできるだけ詳細に調べるために、画面をできるだけ細い画素に分割することが望ましい。細い画素に分割する方法としては、データ処理装置前段に高速A-D変換器を用いる方法と、画像を一時蓄積させた後に、時間をかけてA-D変換する方法が考えられる。このうち任意の画素に分割できること、制御が容易であること、信頼性が高いこと、画像の再生が容易であることなどの理由から後者の方法を採用した。スキャンコンバータに蓄積された画像は、データ処理装置から画面上の位置を指定されたデータをA-D変換し、データ処理装置に取込むことができる。

(3) データ処理装置

データ処理装置は小型計算機(HITAC-20)と磁気ディスクから構成される。小型計算機から画像処理信号とモニタテレビ上の座標を指定する信号をスキャンコンバータに出力すれば、画像信号が磁気ディスクに読み込まれる。モニタテレビの画素数はITVカメラの解像度(水平方向550、垂直方向350)によって決るが、計算機に取り込む画素数としては記憶容量の

制限から 25×25 分割した。

(4) データ表示位置

データ表示装置としては、データタイプライタとグラフィックディスプレーの2種類がある。このうちデータタイプライタは計算結果を印字し、グラフィックディスプレーは雲のパターンを表示する。

2.2 ソフトウェア

(1) 計算モデル

計算機に入力した雲のパターン(雲でない場合；0、雲の場合；1)に同一の雲に対して同一の番号をつけ、各々の雲についての重心座標を画面上の所定の点を原点として求め、面積を計算する。測定時間間隔を ΔT とし、時刻 $t(N-1)$ の雲の重心座標を $R(N-1)$ 、時刻 $t(N)$ の重心座標を $R(N)$ とすると、この雲の重心移動速度 v は $t(N)-t(N-1)=\Delta T$ を用いて、

$$v = \frac{R(N) - R(N-1)}{\Delta T} \quad (1)$$

となる。また、時刻 $t(N-1)$ の雲の面積を $S(N-1)$ 、時刻 $t(N)$ の雲の面積を $S(N)$ とすれば、この雲の面積変化率 $\frac{1}{S} \frac{ds}{dt}$ は次式で表わされる。

$$\frac{1}{S} \frac{ds}{dt} = \frac{S(N) - S(N-1)}{S(N-1)\Delta T} \quad (2)$$

以上の計算結果から将来の雲のパターンを予想する。すなわち、時刻 $t(N)$ から ΔT だけ時間が経過した時刻 $t(N+1)$ ($t(N+1)=t(N)+\Delta T'$)における雲の重心座標 $R(N+1)$ を、

$$R(N+1) = R(N) + \Delta T' \times v \quad (3)$$

と表わす。また、時刻 $t(N+1)$ における雲の面積 $S(N+1)$ を次式で表わす。

$$S(N+1) = S(N) \left(\frac{1}{S} \frac{ds}{dt} \times \Delta T' + 1 \right) \dots (4)$$

すなわち、雲は重心の周囲に全方向に一様に膨張または収縮するものと仮定した。これまで単一の雲の面積が変化することを考えた。しかし、実際には各々の雲が離合集散するため、このような簡単な動きをしない、したがって、次に雲の生成、消滅を考慮して雲のパターンの予想をする。

図2に雲の生成例を示す。このうちの時刻 $t(N)$ の第1の雲に着目すると、この雲は時刻 $t(N-1)$ の第1の雲 $S_A(N-1)$ のみから生じる。しかし時刻 $t(N)$ の第2の雲 $S_2(N)$ は、時刻 $t(N-1)$ の第2の雲 $S_B(N-1)$ と、第3の雲 $S_C(N-1)$ から生じたものである。また、時刻 $t(N)$ の $S_3(N)$ と $S_4(N)$ は、時刻 $t(N-1)$ の $S_C(N-1)$ から分離したものである。時刻 $t(N-1)$ と $t(N)$ における各々の雲の移動方向

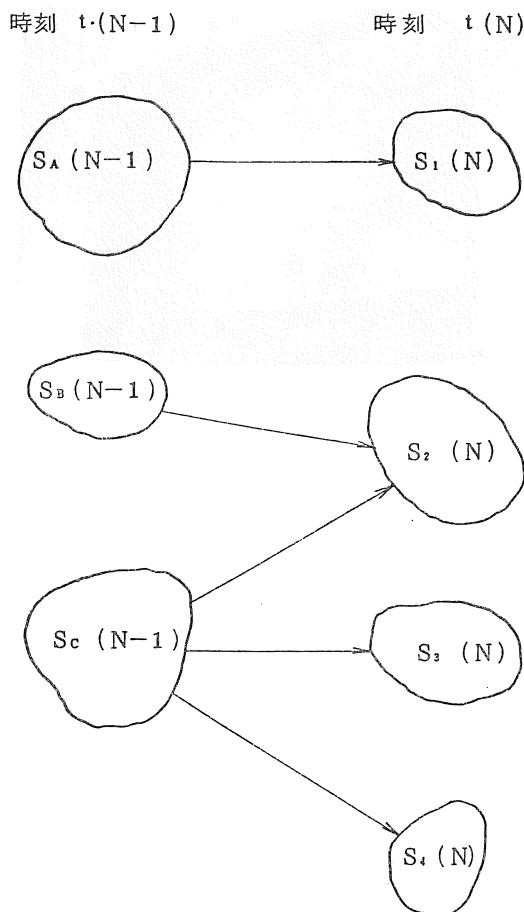


図2 雲の移動の説明図

表1 時刻 \$t(N-1)\$ と \$t(N)\$ の雲の対応表
(図2の場合)

		\$t(N)\$ の雲ナンバー			
		1	2	3	4
\$t(N-1)\$ の	A	1	0	0	0
	B	0	1	0	0
雲ナンバー	C	0	1	1	1

から雲の対応表を作成する。例として図2に示した雲の生成例の場合の対応表を表1に示す。この対応表では、\$t(N-1)\$ の雲と \$t(N)\$ の雲とに対応がある場合に1で表わし、対応がない場合0とした。時刻 \$t(N)\$ の雲が時刻 \$t(N-1)\$ のいくつかの雲が生じたと考えられる場合、その雲の重心移動速度 \$v_i\$ は式(1)の代りに

$$v_i = \frac{\mathbf{R}_i(N) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbf{R}_j(N-1)}{\Delta T} \quad \dots \dots \dots (5)$$

\$j\$: 対応表で時刻 \$t(N)\$ の \$i\$ 番号欄を縦方向に見て、1がある時刻 \$t(N-1)\$ の雲の番号を用いる。

面積変化率は次式で計算する。

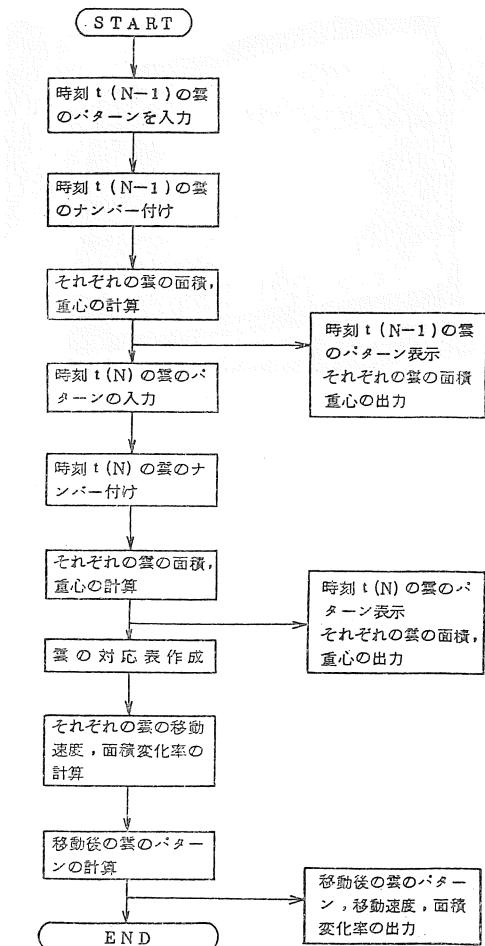


図3 計算概略フローチャート

$$\frac{1}{S_i} \frac{dS_i}{dt} = \frac{A_i(N) - A_i(N-1)}{A_i(N-1)\Delta T} \quad \dots \dots \dots (6)$$

ここで、

$$A_i(N) = S_i(N) + \sum_{i'} S_{i'}(N) \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$A_i(N-1) = \sum_j S_j(N-1) \quad \dots \dots \dots (8)$$

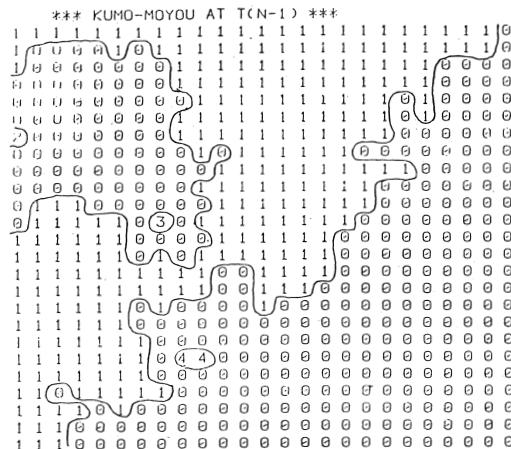
\$i'\$: 対応表での \$i\$ 番号の欄を横方向に見て、\$i\$ 以外の場所に1がある時刻 \$t(N)\$ の雲の番号。
したがって、\$i'\$ は時刻 \$t(N-1)\$ の雲番号から生じた雲の番号を表わす。

\$j\$: 対応表で時刻 \$t(N)\$ の \$i\$ 番号欄を縦方向に見て、1がある時刻 \$t(N-1)\$ の雲の番号。

雲のパターンを予測して、雲の重心座標、雲の面積を計算する場合には、式(5)、(6)を式(3)、(4)に代入する。雲が離合集散する場合でも、各々の雲のパターンは重心のまわりに全方向に一様な割合で変化するものと仮定した。以上述べた計算のフローチャートを図3に示す。



図 4.1 雲のパターンの観測例 (14時25分)



1, 2, 3, 4 は雲有り, 0 は雲なし

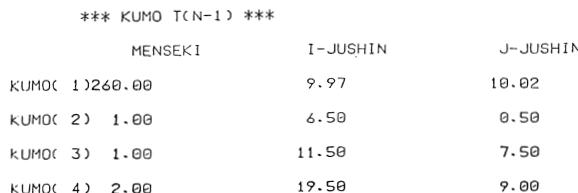


図 4.2 雲のパターンのタイプライタ出力例 (14時25分)

3. 測定結果および検討

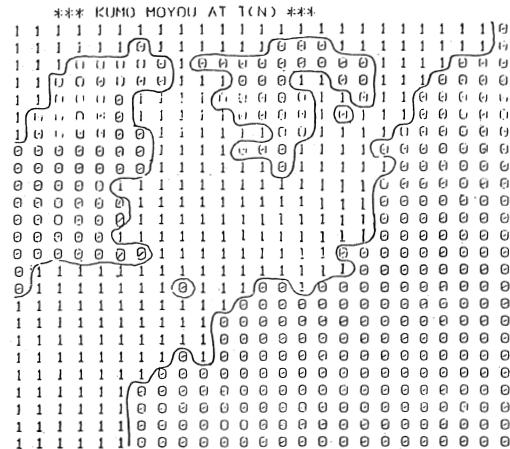
3. 1 予測結果

図4.1 に雲のパターンの観測図、図4.2 にこのパターンのタイプライタ出力例を示す。この場合には太陽像を雲パターンの左上隅外部にくるようにしたものである。この場合の測定時刻は14時25分である。パターン上に4種類の雲が現われており、また、各々の雲の面積、重心座標が示されている。座標はラインプリンターに出力されたパターンの左上隅の点を原点として、数字の間隔を目盛り単位としている。

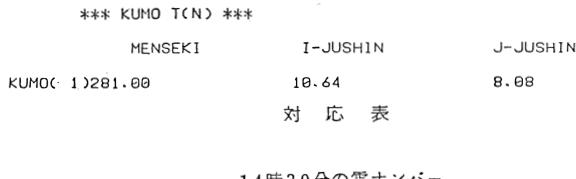
雲の重心座標は、タイプライタに表示された雲パターンの重心座標を求めたもので、重心の x 座標, x_G , および y 座標, y_G は次式で表わされる。



図 5.1 雲のパターンの観測例 (14時30分)



1は雲有り、0は雲なし



14時30分の電ナンバー

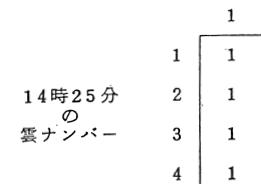


図 5.2 雲のパターンのタイプライタ出力例 (14時30分)

$$x_G = \sum_i \frac{S_i x_i}{S}, \quad y_G = \sum_i \frac{S_i y_i}{S} \dots \dots \dots (9)$$

ここで S_i : パターン上における各部 i での面積

x_i, y_i : i における重心座標

S : 雲パターン全体の面積

図5.1 に5分後の雲のパターンの観測結果、図5.2 にタイプライタ出力結果を示す。14時25分の時の4種類の雲が14時30分には1種類の雲に減少している。図5.2 の下部に雲の対応表を示す。対応の有無は $t(N-1)$ における雲のパターンが重なり合う場合を1、他の場

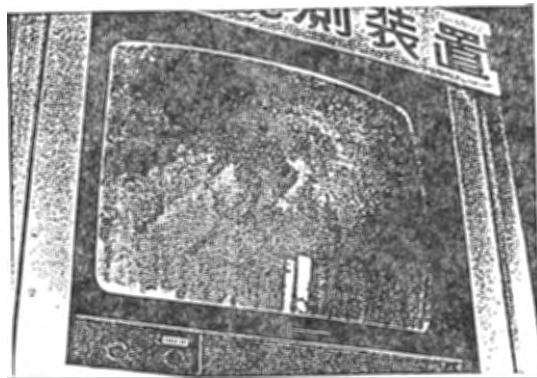
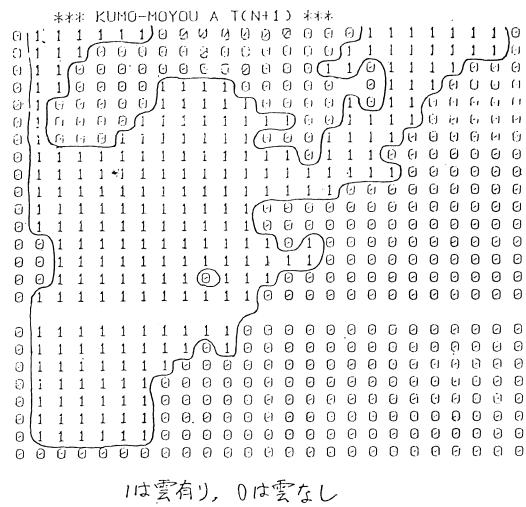


図 6.1 雲のパターンの観測例 (14時35分)



**** KUMO NO HAYASA-MENSEKI. HENKA ****
 HAYASA-I HAYASA-J MENSEKI
 KUMOC 1) -1.23 1.32 0.06

図 6.2 雲の予測パターンタイプライト出力例 (14時35分)

合を 0 とした。縦軸は14時25分の雲番号、横軸は14時30分の雲番号を示しており、この対応表から14時25分の番号 1 の雲面積が変化して、番号 3, 4 の雲が 5 分後には番号 1 の雲に含まれていることが判る。図 6.1 に14時35分の雲のパターンの観測結果を示し、図 6.2 に14時35分の予測パターンのタイプライト出力を示す。番号 1 の雲面積がさらに変化しているが、14時25分、14時30分の雲のパターンの測定結果から得られた予測パターンは、同時刻におけるモニタテレビ上のパターンとかなり良く一致している。図 6.2 にこの場合の雲の重心移動速度、面積変化率の計算結果が示されている。重心移動速度についてはタイプライトに出力されたパターンの重心の実際の移動速度を示した。

3. 2 予測の精度に与える測定間隔の影響

雲の移動から将来の雲のパターンを予測する場合には、測定間隔が予測の精度に影響を与える。本報告で

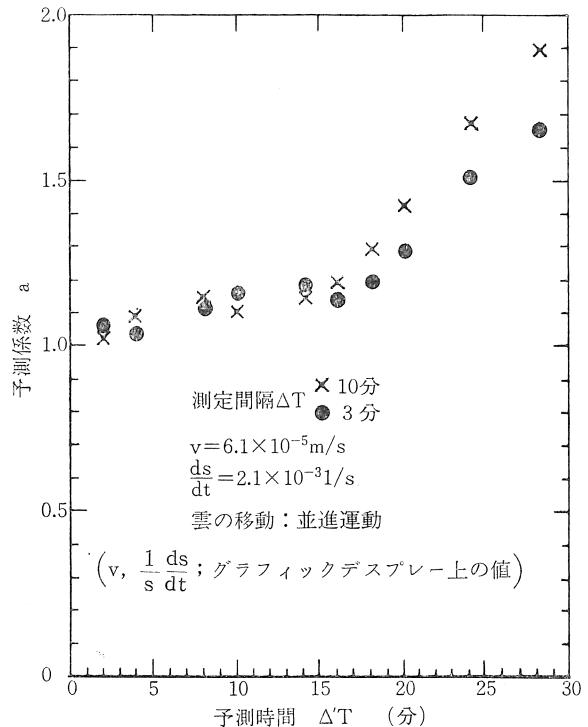


図 7 予測精度に与える測定間隔の影響

は雲が並進運動をしている場合について測定間隔を変化させ、以下に述べる予測係数を測定した結果を図 7 に示す。ここで、時刻 $t(N+1)$ で予測された j 番目の雲の面積を $S_j(N+1)$ 、時刻 $t(N+1)$ で実測された j 番目の雲の面積を、 $S_{jr}(N+1)$ として、予測係数を次のように定義した。

$$a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{S_j(N+1)}{S_{jr}(N+1)} \dots \dots \dots \quad (10)$$

ここで n は雲の数を示す。

図 7 では晴天、微風時に測定間隔 ΔT を 3 分、10分と 2 通り変化させたものである。予測時間が長くなるとともに予測の精度が悪くなり、 a の値が大きくなる。予測時間が 15 分以上になると、測定間隔が長い場合には a が急激に 1 よりも大きくなり、測定間隔が短い場合よりも予測の精度が悪くなる。したがって、今回の測定条件下では、測定間隔を短くする方が有利であることが判る。しかし、予測時間と測定間隔は雲の移動速度、雲の面積の変化率にも関係があり、一義的には決らない。

3. 3 雲のパターンに与えるしきい値の関係

ITV カメラで天空状況を監視する場合、雲のように輪郭が不鮮明であり、背景の空との明るさの差がかならずしも大きくないうな対象物は対して、雲の有無を 2 値化して計算機に読み込む場合には、2 値化するためのしきい値の決定が難しい問題となる。しきい値の決定方法としては、スキャンコンバータに雲のパ

ターンを書き込む時のモニタテレビの輝度を調整する方法と、画像処理プログラム内でしきい値を決め、この値を外部から変更する方法が考えられる。輝度調整すると、モニタテレビの雲のパターンと同様のパターンを計算機内に読み込むことが可能であることが判った。しかし、この場合にはスキャンコンバータの輝度調整は微調が困難であり、また、画像処理プログラム内のしきい値と輝度との関係が不明であるため、輝度調整をした後でもプログラム内のしきい値を条件に合うように適宜設定し直さなければならない。このしきい値の特性をみるために、本実験では輝度を一定にしてプログラム内のしきい値をタイプライタから任意に入力し、計算機に読み込まれたパターンとモニタテレビ上のパターンと比較した。しきい値は映像信号の白と黒の電圧幅±5Vに対して48段階に分けられる。しきい値の電圧レベルを低くして、-5V近くにすると雲せ天空も雲と判定してしまう。また、電圧レベルを高くして+5V近くにすると雲の信号として入力しなくなるため雲がない状態として判定される。電圧レベルが0~+1Vの範囲では、雲のパターンはテレビ上のパターンとほぼ一致し、雲の面積も変化しなくなつた。したがって、この測定条件ではしきい値の電圧レベルを、+0.5Vにしてパターンを出力することにした。しきい値のレベル設定法としては時刻 $t(N-1)$, $t(N)$ の雲のパターンとモニタテレビ上のパターンが一致するようにレベルを設定することが必要である。しかし、電圧レベルの最適設定値は天空の明るさ、また天空と雲の明るさの比によって変化するため、毎回使用前に調整しておく必要がある。

3.4 雲の移動速度が予測の精度に与える影響

雲の移動速度が速くなれば雲のパターンの変化が激しくなり、予測が困難になると考えられるため、ここでは予測係数に与える雲の移動速度の影響を調べた。図8に雲の移動速度が異なる場合の予測係数の測定例を示す。雲の移動速度としては、グラフィックディスプレー上に出力される雲の重心移動速度を用いた。今回の測定では、グラフィックディスプレー上で雲がX軸方向に移動する並進運動の場合を測定した。グラフィックディスプレーにおける重心移動速度が比較的早く、 $6.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ の場合には予測時間が15分以上になると予測係数は急に大きくなるが、重心移動速度が、 $2.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ と小さくなると予測時間が20分近くまで予測係数が1に近い。なお、グラフィックディスプレー上の雲の移動速度 $6.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, $2.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ は雲の高さを500mとすれば、それぞれ 1.4 m/s

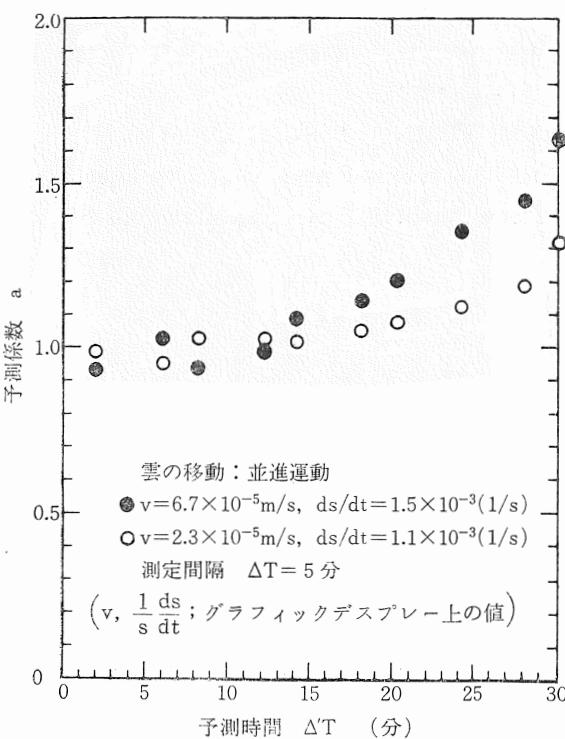


図8 予測精度に与える雲の移動速度の影響

および 0.5 m/s の移動速度に相当する。

4. 結 言

ITVカメラ、小型計算機、データ表示装置から成る天空監視装置の特性試験結果から次のことが判った。

- (1) 晴天で微風時の場合には20分程度の雲のパターンの予測が可能である。
- (2) 雲の移動速度および面積変化率が小さくなると雲のパターンの予測精度が高くなる。

謝 辞

実験に御協力していただいた東京原子力産業株式会社、鈴木好博氏およびソフトウェア開発に御協力していただいた日立電子エンジニアリング株式会社、大森元雄氏に感謝します。電源開発株式会社、豊口泰治氏はじめ関係者各位には有意義な討論をして頂きました。厚く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 野口哲男：「太陽エネルギー利用技術」 フジ・テクノシステム (1974)
- 2) M. W. EDENBURN : Performance of Focusing Cylindrical Parabolic Solar Energy Collector, Analysis and Computer Program, Sandia Laboratories Energy Report SLA-74-0031 (1974).

- 3) 稲垣清和, 隅田勲, 梶浦宗次, その他: 「平面線集光型コレクタの試作」応用物理 第46巻第10号 (1977).
- 4) M. FUJINO, I. SUMIDA, M. TSUKAMOTO, et al. : Research and Development of Plane-Parabola Type Concentrator for Solar

Thermal Power Generation System, Presented Paper in International Symposium on Solar Thermal Power and Energy Systems at Marseille (1980).

(昭和57年1月12日原稿受理)

