雲監視装置による全雲量算出方法とその結果

高野 松美*

Method for Total Cloud Amount Measurement by Fish-eye Sky Camera and the Results

Matsumi TAKANO

要旨

雲監視装置 PSV-2000 を導入したことにより,連続的な天空状況の把握が可能となった.そこで,この装置で得られる全天空画像から雲の有無を判別し,全雲量の算出を試みた.

全天空画像の雲の有無を判別する閾値 S_{TH}を決定するため、画像内の 8×8(計 64)ピクセルについて平均 彩度 S_{AVG}を算出し、肉眼で判別した同領域の雲の有無との関係を調査した.その結果、閾値 S_{TH}は、「厚い 雲」の S_{AVG}に対する相対度数の累積和(小さい方から)が 0.97 となった時に決定され、0.05 が適切な値である ことを確認した.この閾値 S_{TH}により全天空画像の全雲量 N_Cを算出し、目視全雲量 N₀との雲量差 \triangle N(目 視全雲量 N₀-全雲量 N_C)を比較したところ、 \triangle N=±2以内で両者の一致する割合は、全データの 80.3%と なり、また ZA<80°の範囲でほぼ 80%以上を示した.このことから、本稿での閾値の算出方法が有効であ ると判断した.今後、精度をより向上させるためには、大気混濁係数や上層雲の種類を考慮した閾値を検 討する必要がある.

1. はじめに

気象庁では、2005 年より紫外線データの即時的な品質 管理のため、雲監視装置 PSV-2000(以下,雲監視装置とい う)を導入した.これにより、連続的な天空状況の把握が 可能となったが、この装置で得られた天空の画像(以下, 全天空画像という)から雲の有無を判断するのには個人差 があるため主観的な要素が多く、情報の客観的なデータ 化が望まれていた.このことから、全天空画像の情報を コンピューターで処理することにより雲の有無を判別し、 客観的なデータとしての全雲量を算出する方法に着目し た.

全天空画像からの雲の有無の判別について,吉本(2003) は彩度 S の利用が有効であると報告した.また,古賀ほ か(1997)は,色彩輝度計を利用して全雲量を算出しその精 度を評価した.しかし,天空状況の連続観測や長期間の データによる精度の評価は行われていない.そこで本稿 では,これらの方法を引用し,つくばにおける 8 ヶ月間 の全天空画像の解析から,「雲の有無を判別する閾値」を 決定し,全雲量の算出を試みた. 2. 雲監視装置 PSV-2000

雲監視装置は図 1 のとおり,全天カメラユニット,雲 画像制御・処理装置及び通信・制御用ケーブル(LAN ケー ブル, RS-232C ケーブル)で構成されている.全天カメラ ユニットの制御は, RS-232C ケーブルで接続された雲画像 制御・処理装置から行うが,初期設定を実施した後は自 動で動作する(プリード:2004).また,撮影された全天空 画像は LAN ケーブルで雲画像制御・処理装置に自動収録 され,毎正時に気象庁オゾン層情報センターへ自動送信 される.以下に装置各部について説明する.

(1) 全天カメラユニット

全天カメラユニットは、「撮影装置」と「太陽方位遮蔽装 置」から構成されている.

(a)「撮影装置」

全天空画像は,撮影装置内の画角180°,最大600万 画素のCCDカメラにより5分間隔で撮影される.撮影 された全天空画像はLANケーブルで雲画像制御・処 理装置へ自動送信され,外付けハードディスクに JPEG形式で保存される.これらの仕様を表1に示す.

*高層気象台 観測第三課



図1 雲監視装置 PSV-2000の概略図

表1 撮影装置の仕様

カメラ

撮影素子	1/1.7インチカラ-	-CCD
画像記録方式	JPEG	
シャッター速度	開放~1/2000秒	自動調整

魚眼レンズ

黒喰レノへ		
射影方式	等距離射影	
焦点距離f	1.43mm	
開放F値	1.8	
画角	180°	
フォーカス	固定(手動設定)	
絞り	固定(手動設定)	

(b)「太陽方位遮蔽装置」

当装置は,太陽方位を追尾する部分と,太陽直射 光を遮るための遮蔽板からなる.太陽方位の追尾等 に必要な動作設定は雲画像制御・処理装置で行う.

(2) 雲画像制御·処理装置

雲画像制御・処理装置には、全天カメラユニット制御 用のソフトウエア(以下、「Jpegtest」という)と、雲画像処理 用のソフトウエア(以下、「Sky View 2000」という)がインス トールされている.

(a) [Jpegtest]

Jpegtestは,撮影装置と太陽方位遮蔽装置の動作(撮 影開始・終了時刻,撮影時間の間隔,地点の緯度・ 経度等)を設定する.

(b) **Sky View 2000**

Sky View 2000 は、収録された全天空画像を画面に

表示させ,表示開始・終了時刻,表示更新間隔及び 撮影装置の時刻等の設定を行う.

3. 全雲量N_Cの算出

3.1 概要

一般にコンピューターのモニターに表示される画像は, 画像の最小単位の1ピクセルが0~255の輝度を持った「赤 R,緑G,青B」の3原色の組合せ(約1677万色)で構成されて いる.しかし,モニターで表示されている色を分析する 場合,「色相H,彩度S,明度V」を利用した分析方法の方 が「赤R,緑G,青B」の3原色の組合せよりも良いと考えら れている(高木・下田:2004).以下に,これら色相H,彩 度S及び明度Vの概要を示す.

・色相 H(Hue): 色の種類

Hは0~360°の値で示され,赤色が0°(360°),黄色が60°,緑色が120°,水色が180°,青色が240°,紫 色が300°となる.

・彩度 S (Saturation): 鮮やかさ

Sは0~1の値で示され, S=0が無彩色(淡)で, 1 に近づくにつれて彩度が高く(濃)なり, S=1で最大 彩度となる.

・明度 V (Value):明るさ

Vは0~1の値で示され、V=0が黒(暗)で、1に近 づくにつれて黒みが薄く(明)なり、V=1が白となる.

一方, 吉本(2003)は彩度Sの違いを解析することで雲の 判別を行った.これは雲の彩度Sが天空光の彩度Sよりも 小さくなる性質を利用したものである.そこで本稿でも 同様に彩度Sを利用した.この彩度Sによる全雲量推定の 方法は,



図2 全雲量推定方法

1) 彩度Sの算出

2) 肉眼による雲の有無判別閾値S_{TH}の決定

3) 2)の閾値による全雲量N_Cの算出

である.この手順を図2に示す.

3.2 彩度Sの算出

彩度Sは,高木・下田(2004)の次式(1)~(4)により「赤R, 緑G,青B」の値から求めた.なお,赤R,緑G,青Bは輝度, I はR',G',B'の中の最大値,iはR',G',B'の中の最小 値を示す.

R'= 赤 R /255		
G '= 緑 G /255	<pre>}</pre>	(1)
B'= 青 B/255		
I = max $\{R', G', B'\}$ i = min $\{R', G', B'\}$	}	(2)
(i) I=0のとき S=0		(3)

(ii) I
$$\neq$$
 0のとき S=(I-i)/I (4)



図3 全天空画像上の対象領域 (上図)対象領域の拡大図. (下図)対象領域の位置.図中の数値は太陽天頂角 ZA を示す.

この結果,1つの全天空画像において940800ピクセルの 彩度Sを求めることができる.

3.3 雲の有無を判別する閾値S_{TH}の決定

雲の有無による彩度Sの違いを調査するため、肉眼で全 天空画像の雲の有無を判別し、それぞれの場合の彩度Sを 求めて比較した.しかし、全天空画像の全ピクセルにつ いて雲の有無を判別することは非効率なので、便宜的に8 ×8(計64)ピクセルの正方形領域(以下、対象領域という) をサンプルとして調査した.このとき、彩度Sについては、 1) コンピューターのモニターの種類に関係なく、2)全天 空画像の全領域において一様である、と仮定した.対象 領域は、年間を通じて太陽及び遮蔽板の影響を受けない 全天空画像の中心から方位0°(北)、天頂角45°付近(仰角幅 約2°)の64ピクセルとした.その位置とその拡大図を図3 に示す.

対象領域の彩度Sは、上述した64ピクセル分の彩度Sの 平均値とした(以下S_{AVG}という).対象期間は2006年1月1日 ~8月31日とし、太陽天頂角(Zenith Angle:以下,ZAとい



図4 「厚い雲」、「薄い雲」及び「雲なし」のS_{AVG}の相対度数と相対度数の累積和 棒グラフはS_{AVG}の相対度数を、折れ線グラフは相対度数の累積和を示す。

う)90°以下の毎正時のデータを使用した.なお,これら のデータ総数は2962事例である.

一方,肉眼による対象領域の雲の有無の判別では,中・ 下層雲の場合を「厚い雲」,上層雲の場合を「薄い雲」,雲 の無い場合を「雲なし」として3種類に区分した.また,対 象領域において雲の占有率が半分より少ない場合(全く無 い場合を含む)を「雲なし」とした.

以上の作業により、「厚い雲」、「薄い雲」及び「雲なし」 の場合の各 S_{AVG} に対する相対度数(relative frequency)を求 めた.結果を図4に示す.図の通り、「厚い雲」の場合は S_{AVG} =0.02で最大となり、 S_{AVG} が増大すると急激に減少する. 「薄い雲」の場合は同様の傾向が認められたが、その減少 の程度は小さい.「雲なし」の場合はほぼ一様である.

古賀ほか(1997)は、階級値(本稿では S_{AVG})の小さい方から相対度数の累積和 0.97 を雲の有無を判別する閾値とした.そこで本稿でも同様、 S_{AVG} の相対度数の累積和が 0.97となる閾値 S_{TH} (以下、 S_{TH} という)を算出した.その結果、「厚い雲」では S_{TH} =0.05、「薄い雲」で S_{TH} =0.12、「雲なし」で S_{TH} =0.14となった.

3.4 閾値S_{TH}による全雲量N_Cの算出

3.3で決定したS_{TH}により,各ピクセルの雲の有無を判別し,全天空画像全体の雲占有率(全雲量N_C)を次式(5)より算出した. 閾値S_{TH}=0.05の場合の判別例を図5に示す. 水蒸気等で視程の悪い場合,太陽周辺領域SC(Sun Circle: 図5の赤い円の内側)と太陽方向の地面付近領域HA(Horizon Area: 図5の緑枠の内側)は白く撮影され,判別不能となる. そのため, SCとHAは遮蔽板の影SA(Shaded Area: 図5の黒 い帯状領域)と同様に障害物として扱った(Long *et al.*:2001).







- 図5 全天空画像からの雲判別例(閾値S_{TH}=0.05の場合)
- (上図) 全天空画像(2006年8月15日12時(JST)). 図下の囲み枠内に 観測者による目視観測の天気, 雲形及び雲量を示す.
- (下図)判別結果.図の白い部分は雲Cloud,赤い円の内側は太陽 周辺領域SC,緑枠の内側は太陽方向の地面付近領域HA, 及び黒い帯状領域は遮蔽板の影SAを示す.



○:全雲量 $N_C(S_{TH}=0.05)$, △:全雲量 $N_C(S_{TH}=0.12)$, ×:目視全雲量 N_0

図6 全雲量N_Cと目視全雲量N_O (上図) 2006年4月30日の日変化. (中図) 各日平均値の1週間の変化(2006年4月27日~5月3日). (下図) 月平均値の変化(2006年1~8月).

この障害物は全天空画像(Total)の15~17%に相当する.

$$N_{C} = \left(\frac{Cloud}{Total - (SA + SC + HA)}\right) \times 10.0$$
 (5)

N_c:全雲量(全天空画像の雲占有率) Cloud:雲のピクセル数 Total:全天空画像のピクセル数 SA (Shaded Area):遮蔽板の影のピクセル数 SC (Sun Circle):太陽周辺領域のピクセル数(注:ZAが大

きくなると円の下部が領域外になるので,

ピクセル数は減少する.)

HA (Horizon Area):太陽方向の地面付近領域のピクセル数

3.5 全雲量N_Cの算出結果

3.4で算出した全雲量 N_c (「厚い雲」の閾値 S_{TH} =0.05と 「薄い雲」の閾値 S_{TH} =0.12の場合)の変化を図6に示す.図6 上図は2006年4月30日における全雲量 N_c の毎時値の日変 化,図6中図は同年4月27日~5月3日における日平均値の1 週間の変化,図6下図は2007年1~8月における全雲量 N_c の 月平均値の変化を示す.また,比較のために観測第三課 で3時間毎(06,09,12,15,18h)に行っている目視観測の 全雲量(以下,目視全雲量 N_o という)のデータを付け加えた.

図6上図の4月30日の全雲量 N_c は, 閾値 S_{TH} =0.05の場合, 目視全雲量 N_o に対し6時と9時で若干少なめとなったが, それら以外はほぼ一致した.一方, 閾値 S_{TH} =0.12の場合, 全雲量 N_c は目視全雲量 N_o に対し6時と12時で非常に多く, 9時で若干多めとなり,午後はほぼ一致した.

図6中図の日平均値の変化については、閾値 S_{TH} =0.05の 場合、全雲量 N_c は目視全雲量 N_0 に対し4月28日で少なめ、 5月1日で非常に多く(差が9.4)、5月3日で若干多めとなり、 それら以外はほぼ一致した.一方、閾値 S_{TH} =0.12の場合、 全雲量 N_c は目視全雲量 N_0 に対し4月28日、30日及び5月3 日で多め、5月1日は閾値 S_{TH} =0.05の場合と同様に非常に 多くなり、それら以外はほぼ一致した.なお、差が非常 に多かった5月1日は快晴であったものの、天空は白っぽ くもやがかかったような状態であり、近隣の水戸地方気 象台では15時20分~17時30分まで黄砂を、熊谷地方気象 台では7時30分~17時まで煙霧を観測していた.

図6下図の月平均値の変化については、閾値 S_{TH} =0.05の 場合、全雲量 N_c は目視全雲量 N_0 に対し1月でやや少なめ、 6月でやや多めとなり、それら以外はほぼ一致した.一方、 閾値 S_{TH} =0.12の場合、全雲量 N_c は目視全雲量 N_0 に対し1、 2、7月でほぼ一致、6月でやや多めとなり、それら以外の 月も多めに推移した.

以上により、閾値 S_{TH} =0.05の場合、日変化では全雲量 N_c と目視全雲量 N_o は概ね一致したが、日平均値の変化で は、晴または快晴時に誤差の生じることが判明した.ま た、月平均値の変化では、1月と6月にやや差があったも のの、それら以外は概ね一致した.

一方, 閾値 S_{TH} =0.12の場合,日変化と日平均値の変化 では全雲量 N_c を目視全雲量 N_o より多めに算出する傾向が 見られた.月平均値の変化では,7月を除く3月以降で多 く算出し,目視全雲量 N_o との差も多くなった.このよう



図7 雲量差⊿Nの割合

x軸の数値は $\angle N$ の範囲を示す.例: $0 \rightarrow \angle N = 0, 1 \rightarrow 0 < \angle N \le 1$.



図8 太陽天頂角ZAに対する雲量差∠N=±2以内の割合

な差については、差の生じた時期が一般的に水蒸気や黄 砂等のエーロゾルの多くなる季節と一致し、もやまたは 煙霧等が多く観測されることから、水蒸気やエーロゾル が多い場合、全雲量Ncは目視全雲量Noより多めに算出さ れることがあると推測される.

4. 全雲量N_Cの精度

4.1 全雲量N_Cと目視全雲量N₀との雲量差∠N

3.5で判明した全雲量 N_c と目視全雲量 N_o との差を詳 しく調査し、全雲量 N_c の算出精度を評価するために、全 雲量 N_c と目視全雲量 N_o との違い(以下、雲量差 Δ Nという) を、閾値 S_{TH} =0.05と閾値 S_{TH} =0.12の場合について次式(6) より求めた.使用したデータは**3.3**と同様、2006年1月1 日~8月31日とし、ZA \leq 90°の3時間毎(06,09,12,15, 18h)とした.また、目視全雲量 N_o の10⁻と0⁺については、 それぞれ雲量9.5と0.5として計算した.これらの全データ 数は1045事例である. 表2 判別を誤った事例数の割合 雲量差⊿N>2の()内の数字は目視全雲量 N₀の半分以上 が上層雲の場合の割合を示す.また,事例数の[]内の数 字は総事例数に対する割合を示す.

目視全雲量	判別を誤った	事例の割合(%)
No	雲量差⊿N<-2	雲量差⊿N>2
0	24.0) 快晴時	0.0 (0.0)
0 ⁺	19.2 } 合計	0.0 (0.0)
1	7.7 50.9%	0.0 (0.0)
2	18.3	0.0 (0.0)
3	9.6	6.9 (4.9)
4	6.7	6.9 (2.9)
5	1.0	2.9 (1.0)
6	2.9	7.8 (6.9)
7	10.6	5.9 (3.9)
8	0.0	12.7 (8.8)
9	0.0	6.9 (2.9)
10	0.0	31.4 (20.6)
10	0.0	18.6 (0.0)
合計	100.0	100.0 (51.9)
事例数	104例 [10.0%] 102例 [9.8%]	

雲量差∠N = 目視全雲量 N_0 - 全雲量 N_c (6)

図7に全データ数に対する各△Nのデータ数の割合を示 す. 閾値S_{TH}=0.05の場合は, △N=0で最大(37.1%)となり, その前後で急激に減少する.また,「△N=±2以内となる 割合の総数」は80.3%となった.古賀ほか(1997)は,その総 数が80%以上を有効としているので,本稿での判別方法も 有効と言える.

一方. 閾値 S_{TH} =0.12の場合は, 閾値 S_{TH} =0.05の場合と 同様の変化傾向を示すが, $\triangle N < -2$ の割合は増加し, $\lceil \triangle N = \pm 2$ 以内となる割合の総数」は78.5%となった.これは, 古賀ほか(1997)の基準の80%以上を満たさず, 閾値 S_{TH} = 0.12は有効でないと判断される.

4.2 雲量差⊿Nと太陽天頂角ZAとの関係

古賀ほか(1997)では、ZAを全雲量 N_c の算出精度に影響 を与える要素の1つとしていることから、4.1で算出し た $[\bigtriangleup N = \pm 2$ 以内となる割合の総数」とZAの関係を、閾値 $S_{TH} = 0.05$ の場合について調査した.その結果を図8に示す. 図に示す通り、その割合はZA < 40°で約90%を示し、ZA > 40°で減少する傾向となる.しかし、ZA < 80°の範囲で はほぼ80%以上を保っているので、全雲量 N_c の算出精度 はこの範囲で良好と考える.ただし、50° \leq ZA < 60°の場 合には、割合が80%以下となった.この理由については、 今のところ判明していないので、今後より詳細な解析を 行う予定である.



図9 全天空画像からの雲判別例(閾値S_{TH}=0.05の場合)

(上図) 全天空画像.図下の囲み枠内に観測者による目視観測の天気,雲形及び雲量を示す.(下図)判別結果.注記は図5と同様.
 (左図) △N<-2となった(目視全雲量N₀より多く判断した)場合の例(2006年5月1日12時(JST)).
 (右図) △N>2となった(目視全雲量N₀より少なく判断した)場合の例(2006年1月5日12時(JST)).

4.3 誤った判別事例に対する天空状況

4.1で誤った判別結果となった雲量差 $\Delta N < -2 \Delta O T$ $\Delta N > 2 O$ 場合の天空状況を把握するため、目視全雲量 N_O 別に判別を誤った事例数の割合を、**4.2**と同様に閾値 S_{TH} =0.05の場合について比較した.この結果を表2に示す. また、閾値 S_{TH} =0.05における $\Delta N < -2$ の判別例を図9左図 に、 $\Delta N > 2$ の判別例を図9右図に示す.

 $\Delta N < -20$ 場合,そのデータ数に対する割合は目視全 雲量 $N_0 \leq 7$ で多く,特に目視全雲量 $N_0 = 0$,0⁺,1の快晴 時における割合の合計は50%を越えた.そこで,これら快 晴時の事例について調査したところ,これらの全天空画 像は図9左図の例のように全てもやがかったような状態 であり,そのときの大気混濁係数は月平均値より0.3~3.6 高い値を示した.このように大気混濁係数の高い快晴時 に判別し難いことが判明し,今後この大気混濁係数を考 慮した閾値を決めれば,判別の精度が向上するものと期

待される.

5. まとめ

本稿では、全天空画像から雲の有無を判別する閾値S_{TH}

を彩度Sにより決定し、全雲量 N_c を算出した.また、この 全雲量 N_c の精度評価のため、当観測第三課で観測してい る3時間毎(06,09,12,15,18h)の全雲量(目視全雲量 N_0) との雲量差//Nを解析し、その太陽天頂角ZA依存性や誤 差の原因について調査した.それらは以下のとおりであ る.

- (a) 全天空画像内の8×8(計64)ピクセルについて平均彩 度S_{AVG}を算出し,肉眼で判別した同領域の雲の有無との 関係から,雲の有無を判別する閾値S_{TH}を0.05とした.
- (b) (a)の閾値S_{TH}より雲の有無を判別し、全天空画像の全 雲量N_cを算出した(判別例は図5参照). 全雲量N_cと目視 全雲量N_oと比較したところ、両者はほぼ一致するが、 天空の状況によっては差が大きかった。
- (c) (b)の結果について、雲量差△N(目視全雲量N₀ 全 雲量N_c)を算出したところ、△N=±2以内の割合の総数 は全データの80.3%となり、古賀ほか(1997)の80%とほ ぼ等しく、本稿の算出方法の有効性が実証された.
- (d) 雲量差△N=±2以内となる割合は、ZA<80°の範囲でほぼ80%以上を示し、閾値S_{TH}=0.05がこの範囲での良好な判別基準(閾値)であることが確認された.
- (e) 雲量差△N<-2, △N>2の場合の差の大きい判別事
 例については、大気混濁係数の高い快晴の場合や、目
 視全雲量N₀の半分以上が上層雲だった場合であること
 が明らかとなった。

今後は精度をより向上させるために,長期データを解 析することにより,大気混濁係数や上層雲の種類を考慮 した閾値を検討する予定である.

謝 辞

本稿を草するに際し,観測第三課の廣瀬保雄課長,伊 藤真人主任研究官,及び中野辰美研究官には数々のご助 言を賜った.また,大気混濁係数のデータについては観 測第三課の居島 修研究官に御協力を頂いた.これらの 方々に厚くお礼申し上げます.

引用文献

- 古賀靖子・中村 洋・穴井 謙・後藤浩一・古城真也 (1997):天空光の色温度に基づく雲量の測定方法の開発 雲量の自動測定装置の開発に関する研究 その2.日本 建築学会計画系論文集,493,25-32.
- Long, C.N., D.W. Slater, and T. Tooman (2001) : Total sky imager model 880 status and testing result. *ARM Technical Report*, **ARM TR- 006**, 36pp.
- プリード(2004): 雲監視装置(PSV-2000)取扱説明書 PART1. 株式会社プリード, 7pp.
- 高木幹雄・下田陽久(2004):新編画像解析ハンドブック. 東京大学出版会, 1991pp.
- 吉本恵子(2003):景観画像生成のための大気状態を反映し た照明環境合成.奈良先端科学技術大学院大学修士論 文,52pp.