

報 告

晴曇自動判別アルゴリズムの開発

泉川 安志*・木下 宣幸**・土井 元久***

要 旨

特別地域気象観測所において、晴曇を自動判別して漁業気象通報等に利用するために、晴曇自動判別アルゴリズムを開発した。日中は衛星データ（気象衛星センターが開発した雲量格子点情報）と日照時間を組み合わせて判定し、夜間は衛星データ（雲量格子点情報）のみを利用して判定することで、目視観測結果と84%の一致率が得られた。このアルゴリズムは2007年10月から業務に利用されている。

1. はじめに

特別地域気象観測所に設置されている現象判別付視程計には晴と曇を判別する機能がない。一方で、漁業気象通報において天気を通報する対象地点である宮古、相川、浜田、清水（漁業気象通報では足摺岬）の各観測所が2007年10月1日に測候所から特別地域気象観測所に移行した際に、晴と曇を自動判別して漁業気象通報等における「天気」の通報を続ける必要があった。さらに、上記の4か所に限らずすべての特別地域気象観測所の日表の天気欄に晴曇を記録することが望ましく、晴曇自動判別方法の開発が求められていた。

晴曇の自動判別を試みた「地方気象台における気象の実況監視機能等の強化に向けた業務実験について（2003年観測部）」は、三島測候所の午前9時の天気について、10分間日照率を用いて日照率0.2以上を晴と判別した場合に、目視観測と晴曇の一致率は93%と報告している。また、平成16年度（2004）観測技術開発推進課題「簡潔

な分類による天気判別手法の開発（観測課）」は、雲量格子点情報の全雲量9割を閾値として晴曇判別を行うと気象官署62か所の平均で76%の一致率が得られると報告している。これらの報告は、日照時間と雲量格子点情報を用いた晴曇自動判別の可能性を示している。

これらの成果に基づき、晴曇を日照時間と雲量格子点情報を用いて自動判別する手法を検討した。その結果、雲量格子点情報の全雲量と前1時間日照率を組み合わせた判別を行えば、通年で見て目視観測と84%の一致率が得られることが分かった。

2. データと方法

2.1 データ

MTSAT-IRには下層雲の判別に効果があるとされる3.8 μ m 赤外センサー（以下、IR4）が搭載された。雲量格子点情報の算出アルゴリズムは何度か変わっているため、データの均一性を確保す

* 観測部観測課（現 気象衛星センター）

** 気象大学校

*** 仙台管区気象台

るためには最新のアルゴリズムで再計算する必要がある。赤外センサーの校正が済んでからの2006年6月から2007年5月のデータを再計算して用いることにした。したがって、統計期間はこの期間に限られることになる。対象とした観測点は、第1表に示した39測候所と8地方気象台である。これらの地点は、当該期間の目視観測データを得られる全測候所を中心とし、地方気象台は、内陸の観測点の少なさを補うために含めた。この47地点での2006年6月から2007年5月の期間における目視観測による天気(時刻は第1表参照)

を晴曇判別の真値とし、同47地点の目視観測時の日照時間と雲量格子点情報(東西0.25度、南北0.20度の格子情報)を判別のための変数として用いた。目視観測には「薄曇」という天気があるが、漁業気象通報には「薄曇」の天気区分はなく、「曇」として報じることになっている(気象法規予報・通報編第1章ラジオ漁業気象及び速報天気図用の天気換算表)ので、ここでも晴曇判別真値としての目視観測「薄曇」は「曇」として扱うことにした。

第1表 対象観測点, 国際地点番号と目視観測時刻

測候所(※)	地点番号	目視観測時刻(JST)	測候所	地点番号	目視観測時刻(JST)
寿都	47421	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	松本	47618	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
留萌	47406	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	軽井沢	47622	9, 15, 21
浦河	47426	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	御前崎	47655	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
帯広	47417	3, 9, 15, 21	尾鷲	47663	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
根室	47420	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	豊岡	47747	9, 15, 21
紋別	47435	9, 15, 21	潮岬	47778	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
江差	47428	3, 9, 15, 21	米子	47744	9, 15, 21
八戸	47581	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	浜田	47755	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
宮古	47585	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	西郷	47740	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
酒田	47587	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	室戸岬	47899	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
若松	47570	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	清水	47898	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
小名浜	47598	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	山口	47784	9, 15, 21
大島	47675	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	福江	47843	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
三宅島	47677	3, 9, 15, 21	巖原	47800	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
八丈島	47678	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	屋久島	47836	9, 15, 21
千葉	47682	9, 15, 21	種子島	47837	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
勝浦	47674	9, 15, 21	名瀬	47909	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
高田	47612	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	沖永良部	47942	9, 15, 21
相川	47602	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	与那国島	47912	9, 15, 21
輪島	47600	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21			
地方気象台					
盛岡	47584	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21	前橋	47624	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
山形	47588	3, 9, 15, 21	熊谷	47626	9, 15, 21
福島	47595	3, 9, 15, 21	甲府	47638	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21
宇都宮	47615	3, 9, 15, 21	長野	47610	3, 9, 15, 21

※平成19年9月時点

2.2 方法

雲量格子点情報と日照時間の特性を晴曇との対応という観点から調べる。次に、日照時間と雲量格子点情報を組み合わせた判別を考え、判別天気と目視天気との一致率から、最適な閾値を設定する。

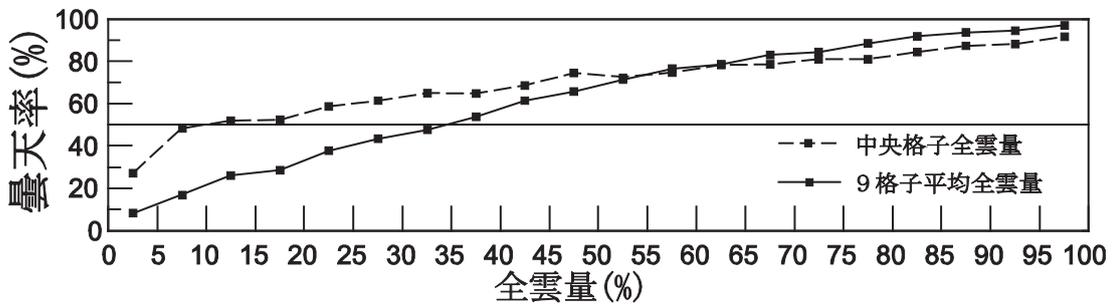
3. 雲量格子点情報と晴曇との対応

雲量格子点情報はおよそ20km四方の格子内の雲量に関する情報である。目視観測では晴曇を全雲量により決めていることから、ここでも雲量格子点情報に含まれる全雲量を使うことにした。雲量格子点情報から、対象地点を含む格子の全雲量を読み出して、「中央格子全雲量」とした。また、この格子の周辺格子を含めた9格子の全雲量の平均値を、「9格子平均全雲量」とした。

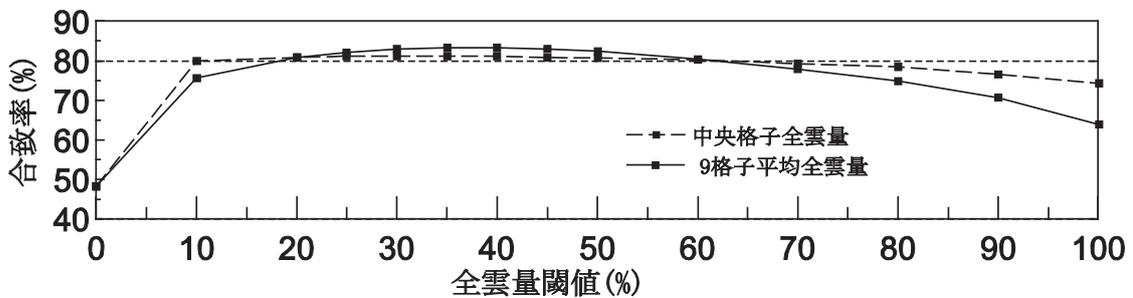
全雲量と全対象地点での晴曇の対応を調べたのが第1図である。この図は全雲量を5%幅の階級に分け、その階級内での曇天の出現率（曇天率）を示している。曇天率は目視観測による現在天気が晴、曇及び薄曇の場合における曇及び薄曇の出

現率である。全雲量は、9格子平均全雲量と中央格子全雲量の2種類について比較した。中央格子全雲量が10%を超えると曇天率が50%を超える。9格子平均全雲量は35%を超えると曇天率が50%を超える。中央格子全雲量は、全雲量の増大に対する曇天率の増大傾向が一樣ではなく、9格子平均全雲量に比べて晴曇との対応が良くないことを示している。

次に、雲量格子点情報の全雲量に閾値を設け、閾値以上を曇、閾値未満を晴として判別を行うことを考える。中央格子全雲量から晴曇を判別した場合の目視観測との一致率の閾値による変化を、9格子平均全雲量から判別した場合と比較したのが第2図である。9格子平均全雲量では、閾値35～40%で一致率が最大（83.3%）となる山型分布を示しているのに対し、中央格子全雲量では、10～70%でほとんど平坦な分布を示している。中央格子全雲量は、9格子平均全雲量を判別に用いた場合に比べ最大の一致率が低い結果となった。このことから、晴曇判別には中央格子の全雲量より9格子で平均した全雲量を用いる方が



第1図 雲量格子点情報による全雲量階級別曇天出現率（調査期間：2006年6月～2007年5月，対象地点：全47地点，対象時刻：目視観測による天気が晴，曇及び薄曇の全時刻）



第2図 中央格子全雲量による判別と9格子平均全雲量による判別の一致率比較（調査期間：2006年6月～2007年5月，対象地点：全47地点，対象時刻：目視観測による天気が晴，曇及び薄曇の全時刻）

良いことが分かる。以上のことから、「9格子平均全雲量」を使い、閾値を35～40%とすることで、83.3%の一致率で晴曇を判別できることが分かった。

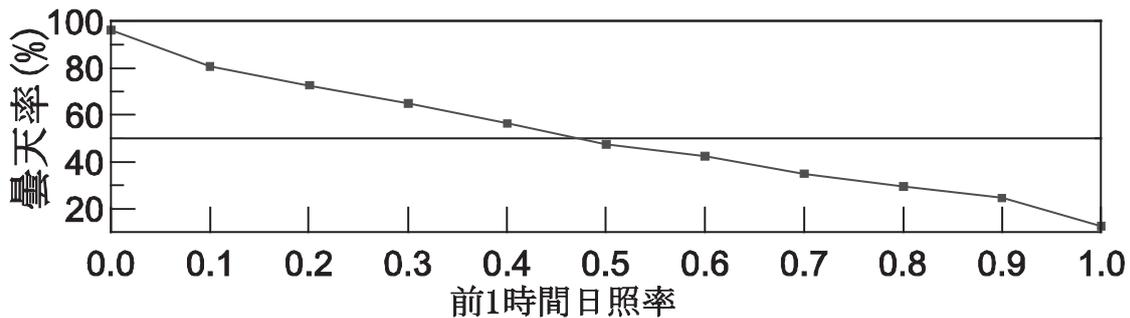
9格子平均全雲量を用いた方が良いのは、地上から空を見上げる場合でも視程が良いとかなり広い範囲を見ていることや、観測点が格子の端に位置していることがあることに起因すると考えられる。目視観測では全雲量9割以上を曇とするのに比べ、雲量格子点情報の全雲量閾値がそれより低い40%で良い結果を示すのは、目視では斜めに見上げるため、上から大きな角度で見下ろす衛星に比べて雲のすき間が見えなくなることに起因すると考えられる。

4. 日照率と晴曇との対応

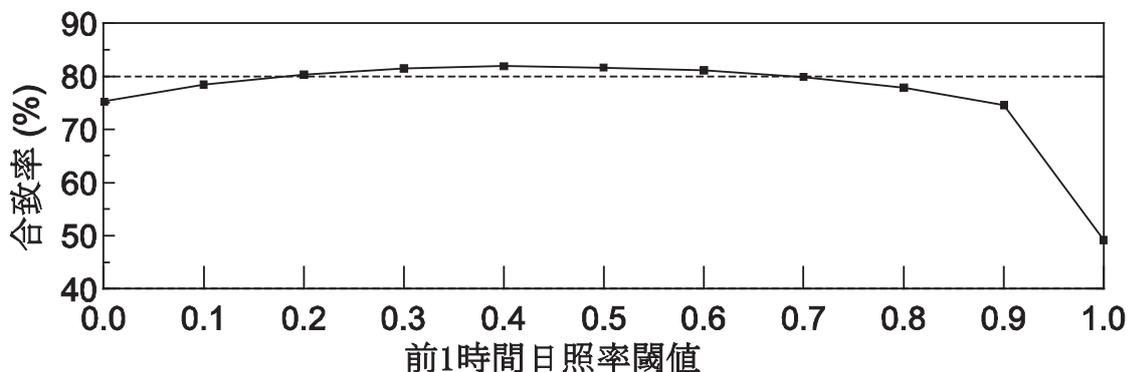
雲量格子点情報と同様に前1時間日照率と曇天率との関係を示したのが第3図である。前1時間日照時間の最小単位が0.1時間であるため、前1時間日照率は0.1ごとの値となる。前1時間日照率0.4以下で曇天率が50%を超える。ある値から急に曇天率が増えるという傾向はなく、日照率と曇天率はほぼ線型な関係にある。これは9格子平均全雲量と曇天率の関係によく似ている。

前1時間日照率に閾値を設け、閾値以下を曇、閾値より大きい場合を晴と判別することを考える。判別結果と目視観測による晴曇との一致率の閾値による変化を第4図に示した。一致率の最大は閾値が0.4のときに得られ81.9%である。

前1時間日照率で晴曇を判別することは、前1時間で天気の評価していることを意味する。目視



第3図 前1時間日照率と曇天出現率との関係 (調査期間:2006年6月～2007年5月, 対象地点:全47地点, 対象時刻:目視観測による天気が晴, 曇及び薄曇の観測時刻のうち前1時間の可照時間が1時間ある時刻)



第4図 前1時間日照率による判別結果の目視観測との一致率 (調査期間:2006年6月～2007年5月, 対象地点:全47地点, 対象時刻:目視観測による天気が晴, 曇及び薄曇の観測時刻のうち前1時間の可照時間が1時間ある時刻)

観測に比べ評価時間が長いので、より短い時間の日照率から晴曇を判別する場合について検討した。第5図は、宮古、相川、浜田、清水の4地点に対して前10分間日照率から前60分間日照率まで10分刻みで評価時間を変えて行った晴曇判別の4地点平均通年一致率の閾値による変化を示している。前30分間日照率による判別で閾値を0.4にした場合に、一致率は最大の82.7%となっている。前1時間日照率も閾値0.5ではほぼ同じ最大一致率を示したが、閾値0.5以上での変化が小さい。前30分間日照率の方が、晴曇に敏感であることを示している。しかし、技術開発時点では特別地域気象観測所の日照時間は1時間ごとに1時間値を集配信する状態であったので、前30分間日照率をリアルタイムでの判別に使用できなかった。そこで、本開発には前1時間日照率を用いることとした。前1時間日照率を用いた場合は、閾値を0.4とすることで、最大の一致率81.9%が得られる。

5. 雲量格子点情報と前1時間日照率を組み合わせた判別（ハイブリッド方式）

5.1 ハイブリッド方式の概念

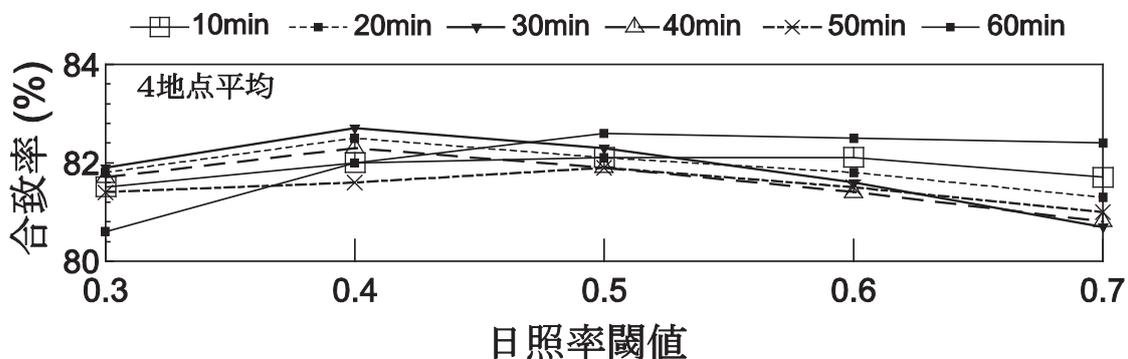
雲量格子点情報の全雲量と前1時間日照率を組み合わせた判別により、日中の一致率を向上させることを検討した。様々な組合せが存在するが、ここでは判別方式の実用性の観点から、簡潔さと理解のしやすさを考慮して決めた。

9格子平均全雲量の変化に対して曇天率がクリ

ティカルに増大又は減少することはないが、例えば10%以下の場合には曇が少なく、90%以上であれば曇が多いことが第1図から分かる。また、日照率の変化に対しても同様に、例えば0.1以下の場合には曇であることが多く、0.8以上の場合には晴であることが多くことが第3図から分かる。これらを利用して、9格子平均全雲量と関係なく日照率のある値（TSL）以下を曇、ある値（TSH）以上を晴とし、日照率がTSLからTSHの間ときは、9格子平均全雲量に閾値（TCA）を設けて判別する方式（ハイブリッドA）が考えられる。一方、日照率に関係なく9格子平均全雲量のある値（TCL）以下を晴、ある値（TCH）以上を曇とし、9格子平均全雲量がTCLからTCHの間ときは、日照率に閾値（TSS）を設けて判別する方式（ハイブリッドB）が考えられる。これら2方式の概念を第6図に示した。

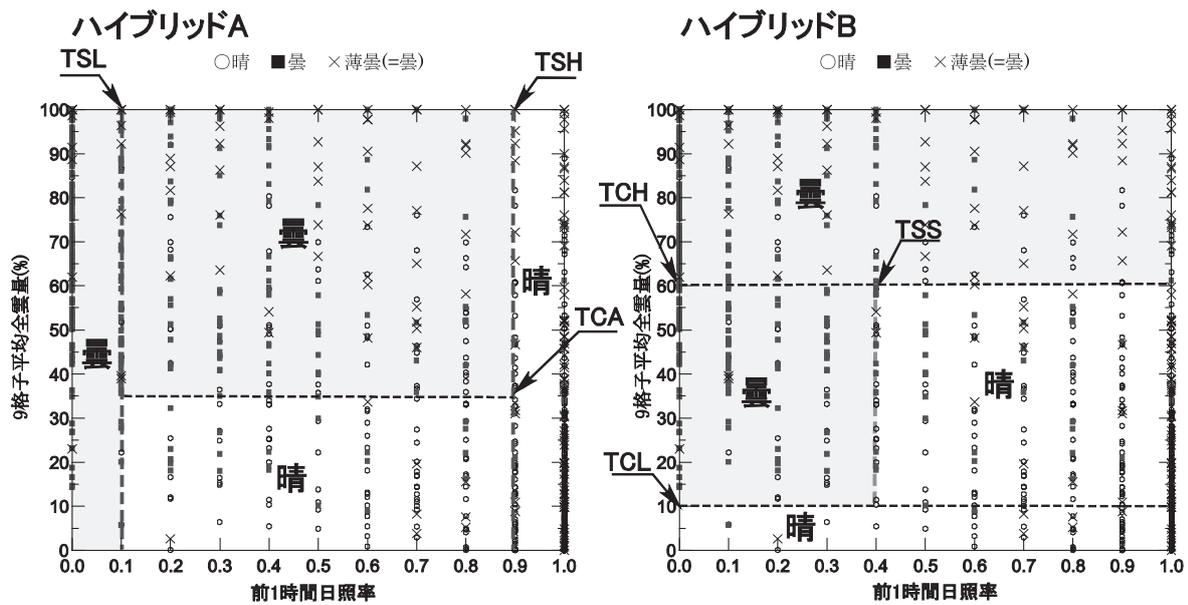
この図には、宮古、相川、浜田、清水の4地点での12時における前1時間日照率と9格子平均全雲量を天気別に記号を変えてプロットしてある。薄曇は日照率1.0のところにも多く見られ、しかも9格子平均全雲量に関係のない分布を示している。このため、薄曇を曇として扱う限り、目視観測との違いがAの方式のこの部分で生じることが避けられない。

日照時間が使える時間帯（可照時間帯）はこのハイブリッド方式で判別し、それ以外の時間帯は9格子平均全雲量に閾値（TCN）を設けて判別する。



第5図 日照率による晴曇判別の通年一致率の評価時間による違い

対象地点は宮古、相川、浜田、清水の4地点。統計期間は2006年1～12月。4地点平均の通年一致率を示した。



第6図 ハイブリッド方式の概念図

TSLとTSH, TSSは前1時間日照率の閾値, TCA, TCLとTCHは9格子平均全雲量の閾値である. 図には宮古, 相川, 浜田, 清水の12時における前1時間日照率と9格子平均全雲量を天気別に記号を変えてプロットした.

5.2 ハイブリッドAとBの選択

ハイブリッドAとBの違いは, 快晴や全曇量といった明りょうな天気区分を最初に簡便に判定するための変数として, 前1時間日照率を用いるか(A), 9格子平均全雲量を用いるか(B)にある. どちらが適しているか判断するために, 目視雲量別の前1時間日照率の出現頻度と9格子平均全雲量の出現頻度を調べ, それぞれ第7図と第8図に示した.

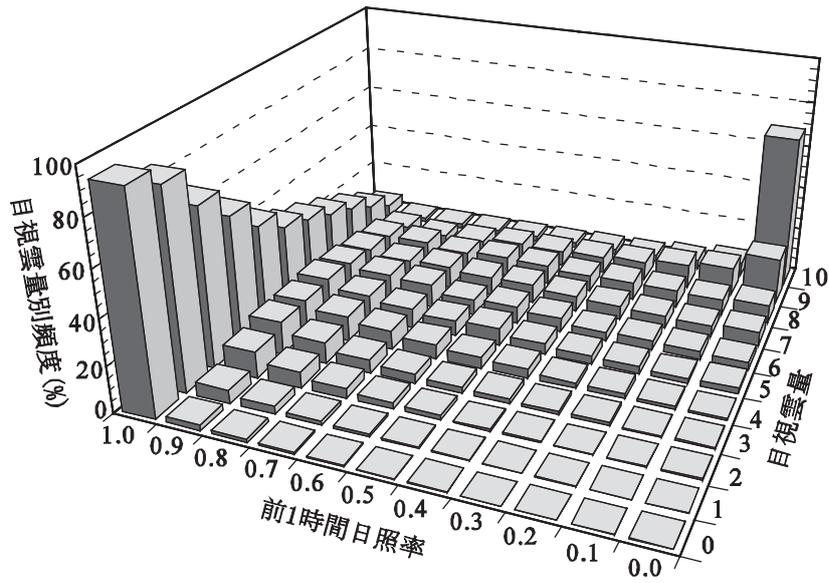
目視雲量が8以下の場合の前1時間日照率1.0の出現率は他の値の出現率に比べて最大であり, 目視雲量が9以上の場合は前1時間日照率0.0の出現率が最大である. 目視雲量が10のときの前1時間日照率0.0の出現率は, 約70%である. 一方, 9格子平均全雲量は, 0から9の目視雲量に対して10%以下の出現率が最大となっている. また, 目視雲量が10のときは9格子平均全雲量90%以上の出現率が最大の30%となるが, 前1時間日照率0.0の出現率に比べると半分以下にすぎない. 9格子平均全雲量だけでは曇の抽出が難しいことを示している.

以上の点から, 最初の簡便な判定には前1時間日照率を用いる方が有効であると判断できるので, ハイブリッドAを採用することにした.

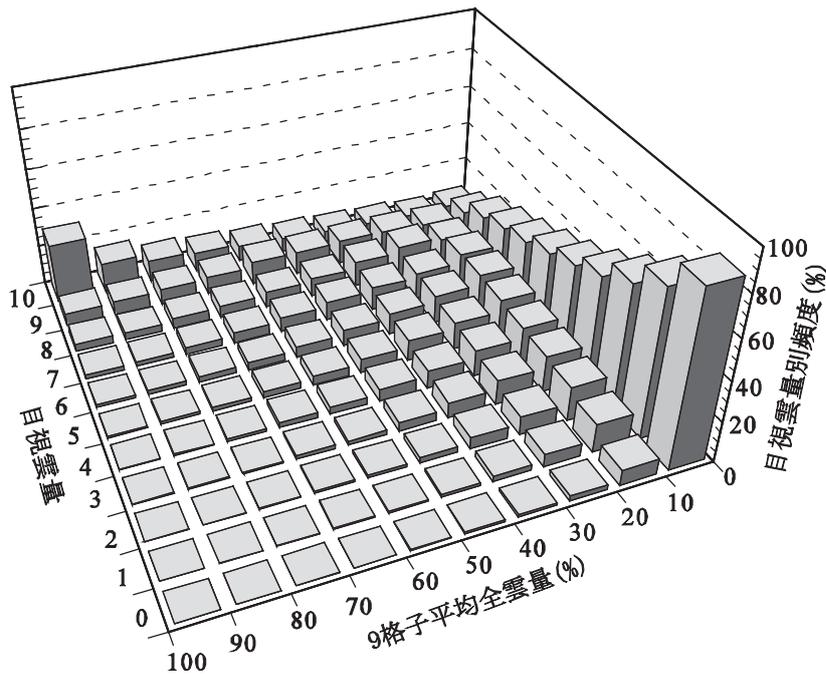
5.3 全国一律で年間一定の閾値を用いたハイブリッドAによる結果

最適閾値を設定するため, 第1表の47地点を対象にTSL=0.0, 0.1, 0.2, 0.3, TSH=0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0のすべての組合せに対してTCAを0%から100%まで5%刻みで変化させ, 通年の日中の一致率を調べた. 通年の日中一致率が最大となるのはTSL=0.2, TSH=0.9, TCA=50%のときで84.9%であった. 夜間は9格子平均全雲量のみから判別する. 閾値TCNを5%刻みで変化させて通年の夜間一致率を調べた結果は, TCN=35%のとき最大の一致率83.7%が得られることを示した.

47地点に対して決定した全国一律で年間一定の閾値を用いたハイブリッドA(A1とする)の通年一致率は, 寿都の79.5%と若松の79.0%を除いて80%以上の一致率を示し, 全47地点平均



第7図 目視雲量別前1時間日照率の相対出現頻度 (%)
全47地点の日中の目視観測全時刻を対象とした。

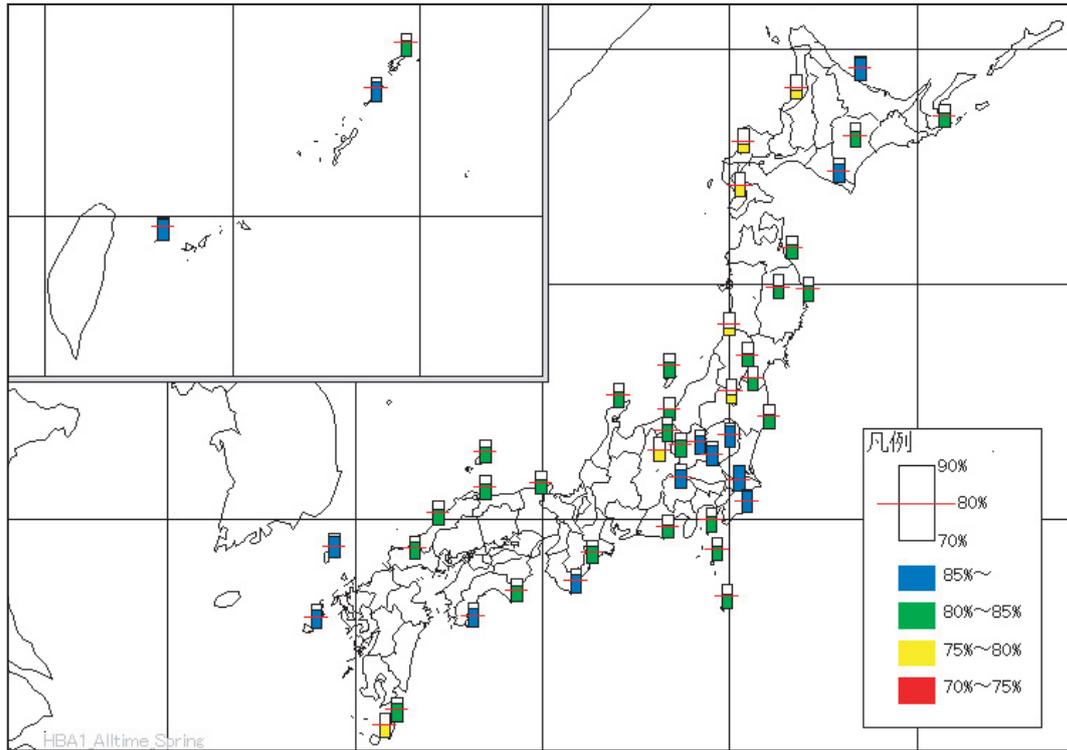


第8図 目視雲量別9格子平均全雲量の相対出現頻度 (%)
全47地点の日中の目視観測全時刻を対象とした。

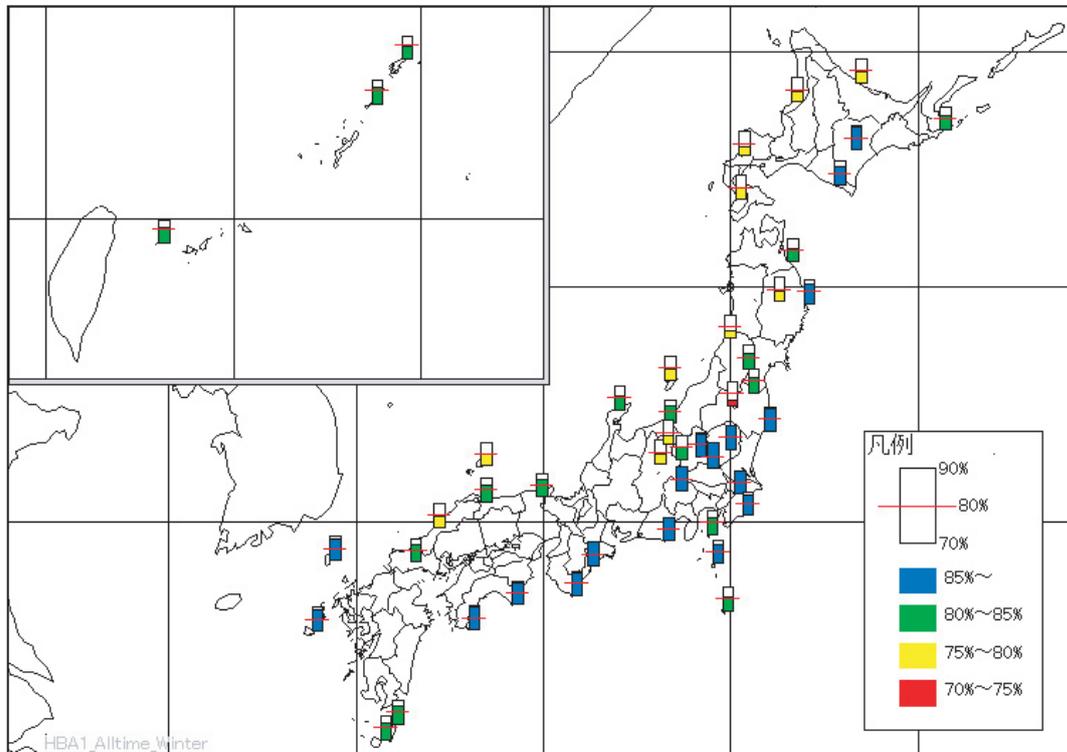
では84.3%の一致率となった。しかし、季節別に見ると一致率が全国的に高く全47地点平均で85.6%であった秋を除くと、一致率が80%未満となる地点が春は7か所あった(第9図参照)。

冬は90%を超える地点(宇都宮, 熊谷, 甲府, 尾鷲)がある一方で、日本海側と内陸では一致率

が低く12地点で80%未満となり(第10図参照)、地域的に大きな違いが見られた。地域と季節別に閾値を定めることで、一致率が向上する可能性がある。



第9図 ハイブリッドA1による一致率(春:2007年3月~5月)



第10図 ハイブリッドA1による一致率(冬:2006年12月~2007年2月)

5.4 地域・季節別閾値を用いたハイブリッド A による結果

前節で示された地域・季節別閾値の必要性から、第1表の47地点を第2表に示すように日本海側、内陸、その他の3地域に分け、地域・季節別に最適な閾値を設定する。内陸地域には、第5.3節で一致率が低かった6地点を選んだ。これらの地点に共通する特徴は、内陸で寒冷である点である。最適な設定値は第5.3節で行ったと同じ方法で地域・季節別に定めた。ハイブリッド A に対する各地域の最適な閾値をそれぞれ第3表に掲げた。

第3表の地域・季節別の閾値を用いたハイブリッド A (A2 とする) により全対象地点の晴曇を判別した結果の目視観測天気との通年一致率は、若松の79.9%を除いて80%以上の一致率を

示しており、全47地点平均では84.5%の一致率となり、A1での結果に対して0.2%の向上があった。若松でも0.9%の向上が見られた。第11図に各地点の冬の一致率を示した。冬は80%未満の地点数がA1での12から5へと半減した。日本海側に限れば、西郷以外の地点の一致率が80%以上になっており大きく改善されている。しかし、春は依然として地点はA1のときと異なるものの7か所で80%未満であった(図略)。

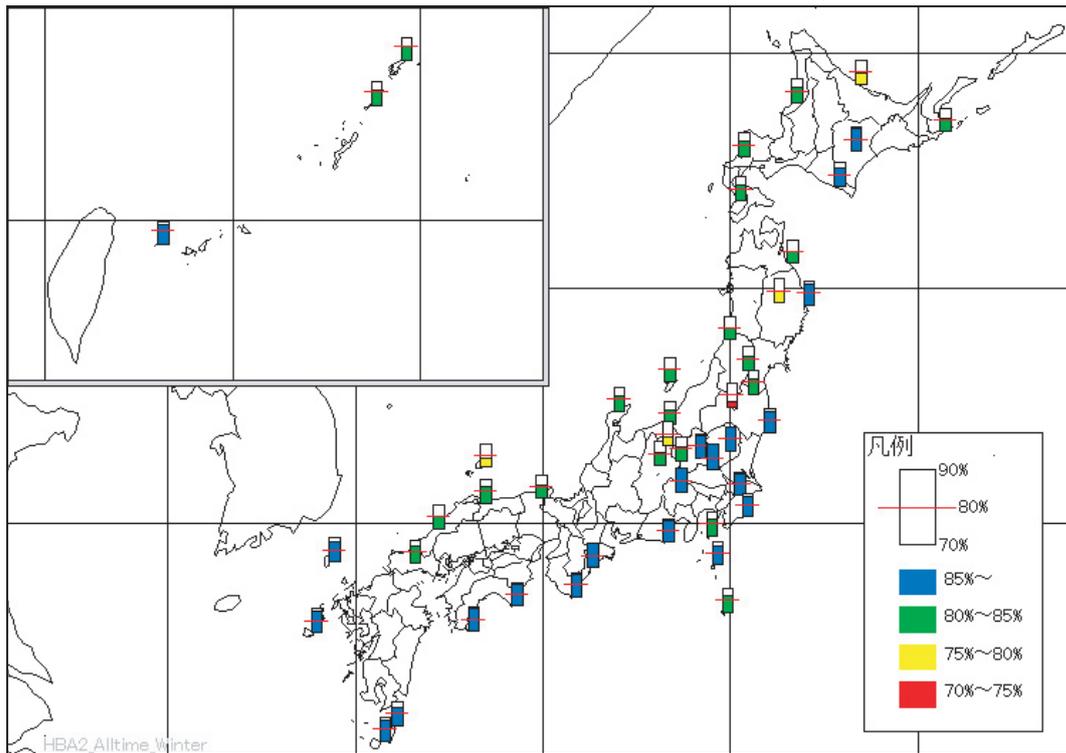
第4表で地域別の一致率をA1での結果と比較した。冬季日本海側での一致率の向上は大きいですが、他の季節や他地域の全季節での向上は小さい。冬季内陸での一致率は依然80%未満であった。地域別・季節別に閾値を設定しても、冬季日本海側以外では大きな改善はなかったことになる。

第2表 地域分類

地域	地点
内陸	若松, 松本, 軽井沢, 盛岡, 山形, 長野の6地点
日本海側	寿都, 留萌, 江差, 酒田, 高田, 相川, 輪島, 豊岡, 米子, 浜田, 西郷の11地点
その他	浦河, 帯広, 根室, 紋別, 八戸, 宮古, 小名浜, 大島, 三宅島, 八丈島, 千葉, 勝浦, 御前崎, 尾鷲, 潮岬, 室戸岬, 清水, 山口, 福江, 巖原, 屋久島, 種子島, 名瀬, 沖永良部, 与那国島, 福島, 宇都宮, 前橋, 熊谷, 甲府の30地点

第3表 ハイブリッド A に対する地域・季節別最適閾値

地域		ハイブリッド閾値 (日中)				夜間全雲量閾値(TCN)			
		春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
内陸	TSL	0.0	0.3	0.2	0.2				
	TSH	0.9	0.9	0.9	0.7	30%	40%	35%	30%
	TCA	55%	60%	45%	40%				
日本海側	TSL	0.3	0.3	0.2	0.2				
	TSH	0.9	0.9	0.9	0.9	20%	25%	35%	20%
	TCA	45%	45%	50%	45%				
その他	TSL	0.0	0.2	0.1	0.1				
	TSH	0.9	0.9	0.9	0.9	30%	45%	35%	35%
	TCA	40%	45%	55%	60%				



第11図 ハイブリッドA2による一致率(冬:2006年12月~2007年2月)

第4表 地域・季節別一致率の比較

地域	季節	ハイブリッドA1	ハイブリッドA2
内陸	通年	81.2	81.5(+0.3)
	春	80.2	80.6(+0.4)
	夏	81.3	81.5(+0.2)
	秋	84.8	84.9(+0.1)
	冬	78.3	79.0(+0.7)
日本海側	通年	82.7	83.3(+0.6)
	春	80.7	81.2(+0.5)
	夏	84.1	84.6(+0.5)
	秋	85.7	85.7(+0.0)
	冬	79.9	81.3(+1.4)
その他	通年	85.4	85.6(+0.2)
	春	84.4	84.6(+0.2)
	夏	85.0	85.2(+0.2)
	秋	85.6	85.7(+0.1)
	冬	86.6	86.7(+0.1)

()内の数値は一致率のA2とA1との差

5.5 ハイブリッド方式による判別スキルの確認

以上のようにハイブリッド方式による晴曇判別は目視観測天気に対して通年全国平均で84%以上の一致率を持つことが確認できたが、この方式の判別スキルを確認する意味で、すべて晴又はすべて曇と判別した場合との差を有意性検定により確認した。その結果、同期間・同地点のデータに対し、通年全国平均で、すべて晴と判別した場合は54%、すべて曇と判別した場合は46%となり、いずれの場合もハイブリッド方式の方が有意に優れていることが確認できた。また、全国平均ではなく官署ごとの結果においても、ハイブリッド方式と全晴/全曇との一致率の差が最も小さくなった酒田において、ハイブリッド方式が80.9%、全曇判定が61.7%とその差が20%以下ではあったが、この場合でもハイブリッド方式の方が有意に優れていた。以上によりハイブリッド方式による判別の基礎的なスキルを確認した。

6. 衛星又は日照の観測が欠測となった場合の晴曇判別方法

衛星が欠測の場合は、可照時間帯については日照率のみにより判別する。可照時間帯で日照が欠測の場合は9格子平均全雲量のみにより判別する。日照率だけで判別した地域・季節別一致率の閾値に対する変化及び可照時間帯について9格子平均全雲量だけで判別した地域・季節別一致率の閾値に対する変化から、判別閾値を第5表のように決めた。

同じような方法で定めた全国一律・年間一定の閾値を使うA1に対しての同様な欠測時の閾値も第5表の全47地点の欄に掲載した。

7. 目視観測と判別天気に違いが生じる原因に関する考察

目視観測による晴曇は、地上から全天を目視で観測した雲量により決めている。したがって、観測者の真上にある雲の視野角は大きくなり、仰角の低い雲に比べて多めの雲量があるように観測される。つまり、真上に雲があれば、それに重みがかかる。また、積乱雲のように下層から上層にまでひろがる雲を見た場合には、雲の側面も雲量に含まれるといった特徴がある。一方、衛星から見下ろして観測した雲量は、雲の側面はあまり見えないので最上面の面積だけから算出される。また、どこかに重みが付くようなことはない。また、日本上空をスキャンする時刻と目視観測が行われる時刻が一致しているわけではない。さらに、後で述べるように下層雲の判別が難しい場合がある。

日照時間は常に太陽の方向を向いた日照計により観測しているため、太陽方向の雲の有無に依存し、他の方向の雲には影響されない。つまり、全天の雲を反映するものではない。したがって、前1時間日照率を天気判別に用いる場合、評価した空の範囲は、雲の分布と移動速度・方向に依存することになる。こうした観測方法の違いや日照時間観測の特徴から、目視観測による晴曇と自動判別した晴曇が常に完全に一致することはあり得ず、ある程度の不一致が生じることは避けられない。しかし、現象判別付視程計では分からない晴・曇の情報を特別地域気象観測所でも付加することが可能になることは、サービスの向上になる。

判別天気の精度向上のため、不一致の原因を探ることは必要である。判別天気と目視観測とが不一致を示した原因を調べるため、A1によるカテゴリ別の一一致率と判別件数(N)を示したのが、

第5表 衛星又は日照が欠測の場合の判別閾値

地域	衛星が欠測の場合の日照率閾値	日照が欠測の場合の9格子平均全雲量閾値
内陸	春～秋：0.6 冬：0.3	春：50% 夏：45% 秋～冬：40%
日本海側	春：0.4 夏：0.6 秋～冬：0.3	春：25% 夏：35% 秋：40% 冬：20%
その他	0.4	夏：35% その他：40%
全47地点	0.4	40%

第12図である。第12図のカテゴリー別の一致率は、判別結果の信頼性を表しているとも言える。例えば、天気が曇と判別された場合でも、(1)や(5)のカテゴリーに入って判別された場合には、高い信頼性があるとみることができるので、どのカテゴリーかを判別天気の高品質情報として利用できる。

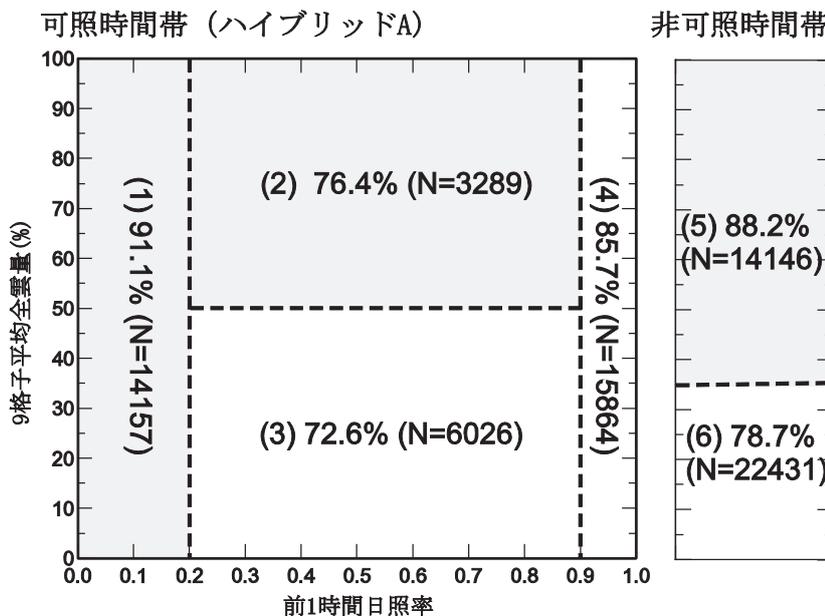
7.1 雲量格子点情報が目視観測と整合しない場合

第12図で、最も一致率が低いカテゴリーは(3)である。冬季日本海側では(3)と(6)の一致率がそれぞれ68.2%、64.7%と著しく低くなっていた。以下は、雲量格子点情報が目視観測と整合しない場合の典型的事例である。

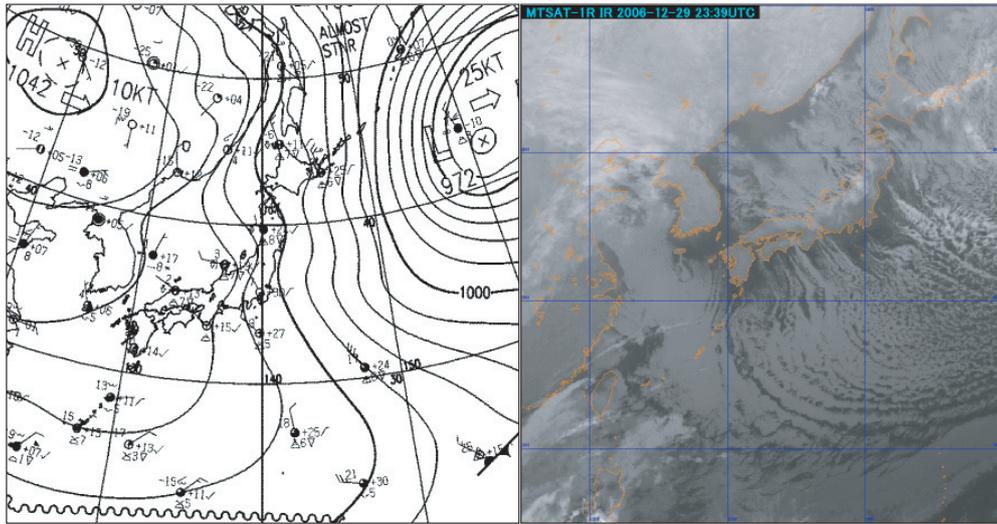
7.1.1 対流雲のスケールが格子スケールより小さいことに起因する例

典型的な事例として2006年12月30日09JSTの酒田での観測事例を挙げることができる。このとき、酒田では9割のCuを観測して「曇」であったが、雲量格子点情報の9格子平均全雲量は10.2%であった。このときの天気図と赤外面像を

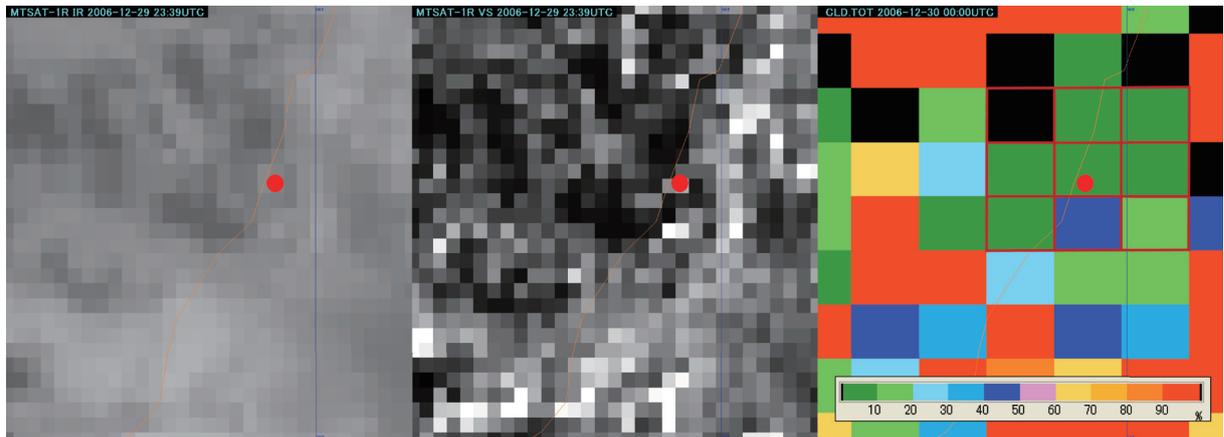
第13図に示す。典型的な冬型の気圧配置で、日本海には広範囲に筋状雲が発生していることが分かるが、第13図右の赤外面像をよく見ると東北南部の日本海側では一部すき間の空いている部分を確認することができる。このときの酒田周辺を拡大した衛星画像(赤外、可視、雲量格子点情報)を第14図a, b, cに示す。第14図a, bから酒田の直上に数kmのスケールの下層雲が存在し、また、その周囲には雲のないエリアが取り巻いている様子が伺われる。第14図cでは1格子が約20kmのグリッド情報に置き換えられるため、酒田直上の格子では0~10%の雲量に計算されている。隣接する格子を見ても、南隣の格子で40~50%の数値を示しているものの、その他の格子が低い値のため9格子平均が大きくなることが理解できる。しかし、目視観測では下層雲が真上に来た場合、視野角が大きくなり、全天に占める割合が大きく観測される。このように雲のスケールが格子のスケールに比べて小さい場合、計算結果に食い違いが生じてくることが理解できる。冬季に典型的な寒気移流場の筋状雲では、このような事例が発生しやすくなると考えられる。



第12図 A1による判別結果のカテゴリー別一致率と判別件数(N)



第13図 2006年12月30日09JSTの地上天気図(左)と衛星赤外(IR1)画像(右)

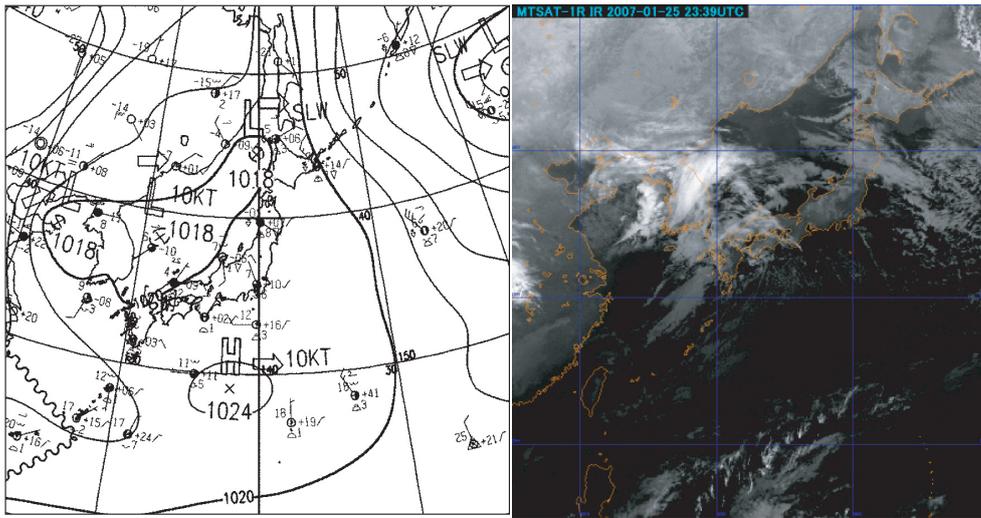


第14図 2006/12/30/09JST衛星画像(左からa:赤外IR1, b:可視, c:雲量格子点情報)
赤丸は酒田の位置を示す。

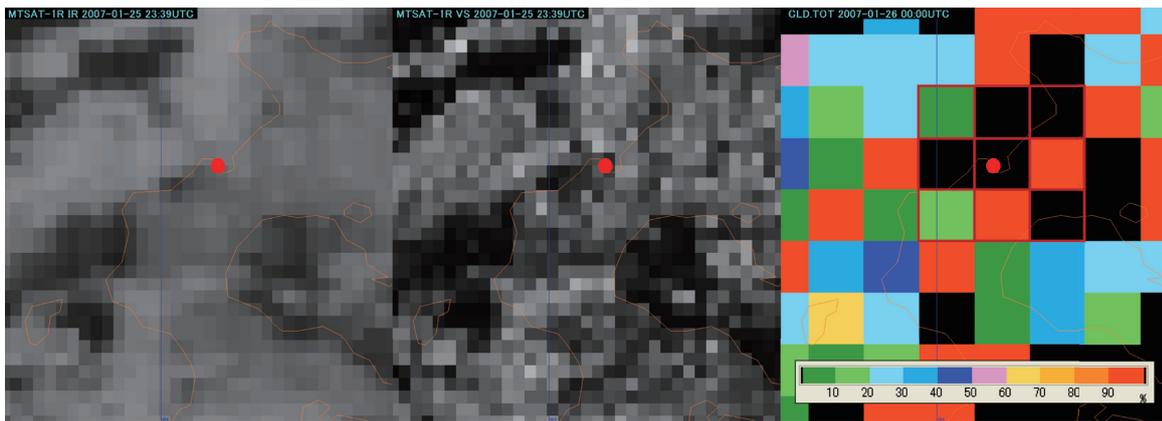
7.1.2 衛星の観測時刻と目視観測時刻の違いに起因する例

2007年1月26日09JSTの寿都では8割のCbと2割のAcで全雲量9割の「曇」と観測されたが、雲量格子点情報の9格子平均全雲量は1.7%であった。このときの天気図と赤外画像を第15図に示す。天気図から北海道の西岸に東進する低気圧があり、赤外画像からは低気圧の中心付近から南西に伸びる収束した下層雲の存在を認めることができる。このときの寿都周辺を拡大した09JSTの衛星画像(赤外, 可視, 雲量格子点情報)を第16図a, b, cに, 10JSTの衛星画像を第17図a, b, cに示す。

第16, 17図を見比べると, 東進する収束した下層雲は, 09JSTの段階ではかなり海岸線に接近しているもののまだ寿都の直上に来ていないが, 10JSTでは直上にかかっていることが分かる。09JSTの衛星画像は09JSTちょうどの状態ではなく, 実際は09JST以前に30分間ほどのスキャンタイムでスキャンされた結果である。この事例での寿都付近のスキャン時刻は08:35JSTころであり, 目視観測は08:50JST~09:00JSTころであるために, わずかな時間差で目視観測のころに, 頭上へ下層雲が移動してきて視野角の大きい下層雲の雲量が大きく評価された結果, 生じた相違と考えられる。このような衛星観測時刻と目視観測時



第15図 2007年1月26日09JSTの地上天気図(左)と衛星赤外(IR1)画像(右)



第16図 2007/01/26/09JST衛星画像(左からa:赤外IR1, b:可視, c:雲量格子点情報)
赤丸は寿都の位置を示す。



第17図 2007/01/26/10JST衛星画像(左からa:赤外IR1, b:可視, c:雲量格子点情報)
赤丸は寿都の位置を示す。

刻のわずかな差による天気の違いという事例は、冬季日本海側に限って起きるものではないが、境界のはっきりした中下層雲域が比較的早い速度で移動しているときに起こりやすいと考えられる。上空の風速が大きいと雲の移動速度は大きくなるが、季節平均場として最も気圧傾度が大きくなる冬季ほどそのような事例が多くなる。また、中下層雲域は背りょう山脈でせき止められ、太平洋側には移動しにくいことから、結果的に冬季日本海側でそのような事例の件数が多くなっていると考えられる。

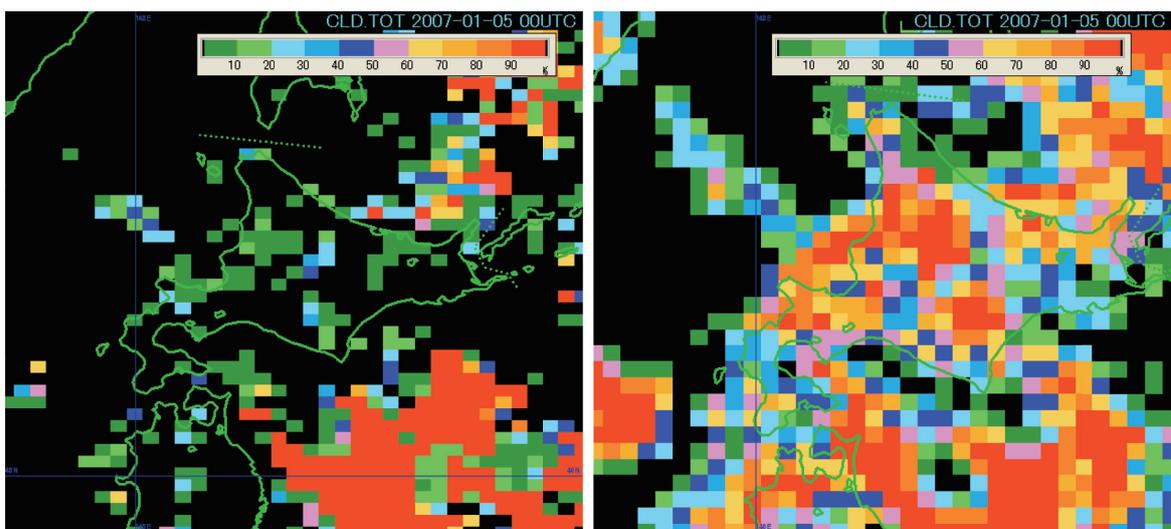
7.1.3 日没前後において低下する下層雲判別精度に起因する例

その他、いくつかの事例では、日の出・日の入りの前後の時刻で下層雲の判別精度が悪くなり、目視で下層雲による曇を観測しているのに対して、雲量格子点情報の9格子平均全雲量はほとんど下層雲を評価できていない状況が確認できた。これはMTSATから搭載された赤外IR4センサーの効果で、それ以前より下層雲の判別精度が大幅に向上したが、IR4センサーが太陽光の反射の影響を受けるため夜間のみしか利用できないことと、日中利用できる可視画像については、太陽光高度が低いときは雲や地面からの反射が弱くなるという2点の理由から、日の出・日の入りころは

雲量算出の精度が低下することに起因している。この原因についても冬季日本海側に限ったものではないが、下層雲の判別精度に関することなので、下層雲のみが存在することが多くなる冬季日本海側で結果的にその影響が大きくなると考えられる。

しかし、この点については気象衛星センターにおいて下層雲判定のアルゴリズム改良の努力が続けられており、今回の評価計算以降に気象衛星センターで適用された新しい雲量格子点情報算出アルゴリズムではかなり改良されている。第18図に2007年1月5日09JSTにおける、新アルゴリズムの適用前（今回の評価対象データ）と適用後の結果をそれぞれ示す。陸地における下層雲の評価が大幅に変わっている様子が分かる。このときの目視観測結果は留萌：曇(9Cu)、旭川：曇(10Sc)、網走：曇(10Sc)、青森：晴(7Sc)などとなっており、いずれも旧アルゴリズムでは大きく食い違いが新アルゴリズムでは大変良い一致を見せていることが分かる。

以上のように、目視観測と雲量格子点情報が整合しない3つの原因が考えられるが、最後に示した衛星センターでの雲量格子点情報算出アルゴリズムの改良により、晴曇自動判別の精度は今回の評価計算より向上していくことが期待される。



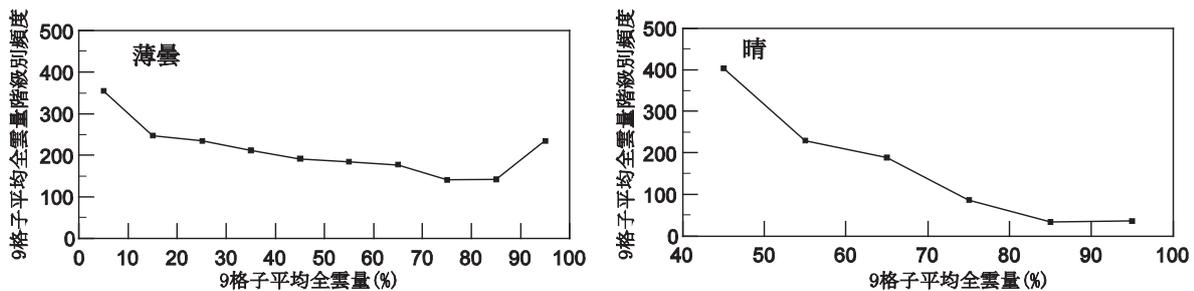
第18図 新旧アルゴリズムによる2007/01/05/09JST全雲量の比較(左:旧アルゴリズム 右:新アルゴリズム)

7.2 日照率が目視観測と整合しない場合

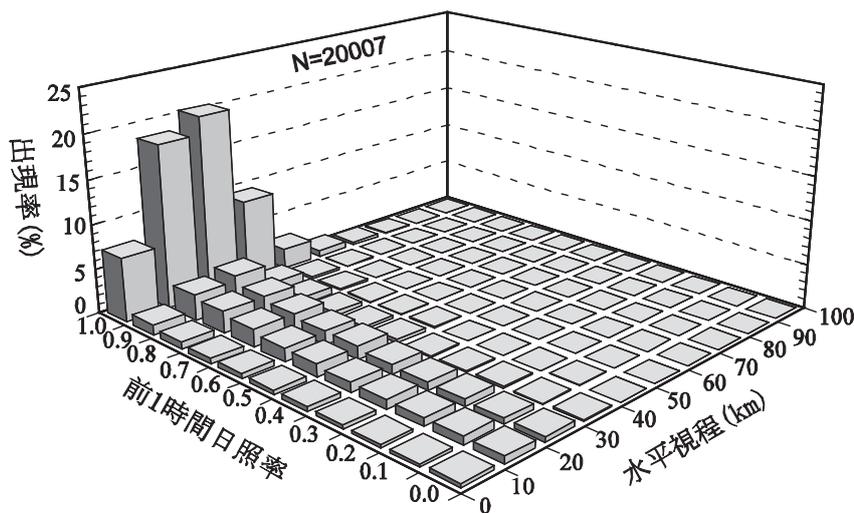
前1時間日照率だけで判別しているカテゴリは(1)と(4)であるが、(4)の場合の一致率の方が低い。調査対象期間中の全47地点で可照時間帯の目視観測で薄曇は4899回あったが、その内の2119回(43%)がこの領域に含まれていた。この領域の不一致件数は2270回であったので、薄曇による不一致の占める割合は93%である。したがって、薄曇を「曇」とすることが、この領域での不一致の主因であることが分かる。第19図は、前1時間日照率が0.9以上の場合での薄曇及び晴の9格子平均全雲量階級別頻度を示している。この領域で、9格子平均全雲量に閾値を設けて(例えば70%)、薄曇を除外し一致率を上げようとしても、ほぼ同数に近い数の晴を曇と判別

することになるので、ほとんど一致率が上がらないことが分かる。

(1)の不一致は、目視観測が晴であるのに前1時間日照率が低いために曇と判別することで発生する。第20図は前1時間日照率・水平視程階級別に見た目視観測が晴の相対発生頻度(%)である。天気が晴であっても、水平視程が30km未満の場合に前1時間日照率が0.2以下となることが、水平視程が30km以上の場合に比べて多くあることが分かる。前1時間日照率が0.2以下で水平視程が30km未満の領域の件数は884である。時刻別に見ると、目視天気晴のうち、06JSTでは20%、18JSTでは13%がこの領域に入っている。太陽高度が低く、かつ視程の小さい場合には、直達日射量が少なく観測されるため、日照率が低く



第19図 薄曇と晴の9格子平均全雲量階級別出現頻度
前1時間日照率が0.9以上の場合を示した。晴については9格子平均全雲量が40%以上の範囲で示した。



第20図 目視観測による晴(総数20007件)の前1時間日照率・水平視程階級別発生相対頻度(%)

なると考えられる。目視天気は晴でも前1時間日照率が0.2以下という現象は、対象47地点のすべてに現れていたことから、日照計のトラブルである可能性は低い。水平視程が30km未満の場合に、日照率を判別に用いず、9格子平均全雲量で判別することで、一致率を向上させることが考えられる。第21図は水平視程30km未満かつ前1時間日照率0.2以下のときで目視観測が晴又は曇の9格子平均全雲量階級別頻度を示している。仮に9格子平均全雲量30%以下を晴としても、倍以上の数の曇を逆に晴と判別することになり、逆効果でしかないことが分かる。

8. 結論と今後の課題

現状では、晴曇の自動判別に使える主なデータは日照時間と雲量格子点情報である。雲量格子点情報の全雲量を晴曇判別に用いる場合、対象地点が入る1格子の全雲量を用いるより、その格子とそれを囲む格子を合わせた9格子の全雲量平均値(9格子平均全雲量)を用いる方が適切である。

日中の晴曇については、前1時間日照率と9格子平均全雲量を組み合わせたハイブリッド方式を用いるとよいが、組み合わせ方としては、前1時間日照率がある閾値以下のときは曇、別の閾値以上のときは晴、これら閾値の間に前1時間日照率がある場合は、9格子平均全雲量により判別する方式(ハイブリッドA)が、有効である。

カテゴリーにより一致率は異なるので、判別天気は属するカテゴリーは、品質情報として意味が

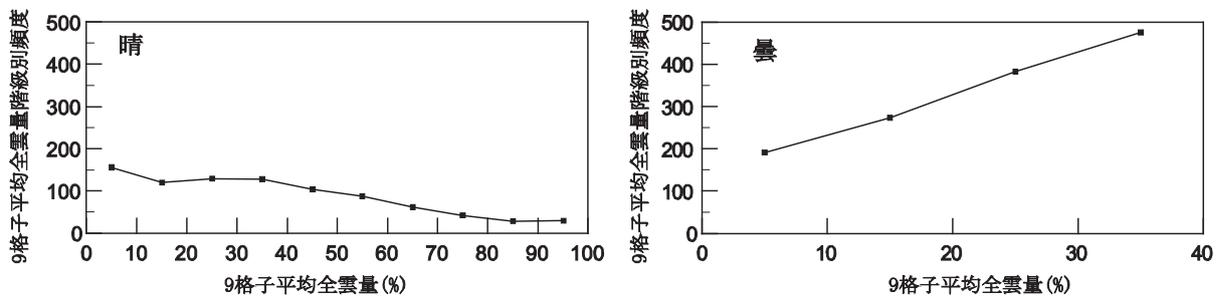
ある(第12図参照)。

全国一律年間一定の閾値で判別を行った場合は、一致率に地域・季節により高低が生じ、特に日本海側と内陸の冬季に一致率が低くなる傾向が見られる。閾値を地域・季節別に設定した方式(ハイブリッドA2)で改善を試みたが、冬季日本海側では改善が見られたが、その他の地域・季節では大きな改善はなかった。

目視観測と判別天気は、雲量の目視による観測と衛星による観測それぞれの特徴の違いや日照時間観測法の特徴から、ある程度の相違が生じることは避けられない。これ以外で、目視観測と判別天気に違いが生じる原因の主なものは5つある。

- 1) 雲のスケールが雲量格子点情報の格子に比べ小さいことがあること、
- 2) 衛星観測時刻が天気観測時刻と異なるため、その間に雲が移動した場合には雲量格子点情報が天気観測時刻の雲の状態を表すことができないこと、
- 3) 日出没ころに下層雲判別精度が低下すること、
- 4) 曇として扱う薄曇の半数近くが、前1時間日照率が0.9以上の領域に存在すること、
- 5) 太陽高度が低い時刻で視程が小さい場合は、晴れていても日照率が低いことがあること、である。4)と5)によって生じる判別天気と目視天気の違いは、視程や日照率、9格子平均全雲量に更に区分を行っても補正することはできないことが分かった。

閾値を地域・季節別に調整を行えば一致率を若干上げることができるが、1)～3)が主な原因であるので、物理的な意味をもつ補正ではなく、



第21図 水平視程30km未満かつ前1時間日照率0.2以下の晴と曇の9格子平均全雲量階級別頻度
曇は薄曇を含む。曇については9格子平均全雲量40%以下の範囲を示した。

確率的なものにすぎない。一方、3) に関しては、気象衛星センターが雲量格子点情報算出のアルゴリズムの改善を進めているので、同情報の精度向上に伴い判別一致率の向上を期待できる。1)と2)に関しては、次世代衛星（高分解能化、高頻度観測化）によって、ある程度の改善が期待できる。したがって、全国一律年間一定の閾値を採用したハイブリッド方式 A1 を用いることにした。この判別方式は地上気象観測指針に掲載されている。この方式による全国平均の通年の目視観測との一致率は 84% である。

この調査では前 1 時間日照率を用いた。正時の天気を前 1 時間の日照率で評価していることを意味するが、第 5 図が示すように、更に短い時間で評価する方が適切で、雲の移動といった現象に対応できる可能性がある。これは 2) に対する物理的な意味のある改善策となり得る。アメダスデータ等統合処理システムが運用を開始したことにより、前 10 分間、前 20 分間等の日照率をリアルタイムに使うことができるようになったので、日照率による最適評価時間を求める更なる調査を進める必要がある。

謝 辞

雲量格子点情報の技術的内容について、気象衛星センター徳野正巳解析課長（現予報部予報課太平洋台風センター予報官）から解説を頂いた。同情報の再計算を同センター解析課毛利浩樹技術専門官に行っていただいた。また、雲量格子点情報から推定される天気と目視観測天気が異なる場合の解釈について、同センター解析課寺坂義幸調査官からは貴重な助言と第 18 図を頂いた。深く感謝する。

参 考 文 献

- 気象庁 (2007) : 気象法規予報・通報編, 第 1 章ラジ
オ漁業気象及び速報天気図用の天気換算表。
気象庁 (2007) : 地上気象観測指針, 121-122 の 2。