

雪氷域・海水域判別アルゴリズムの組み込みによる雲量格子点情報の改良

**Improvement of Satellite Cloud Grid Information using  
a Distinction Algorithm for Snow and Sea Ice Areas**

毛利 浩樹\*、寺坂 義幸\*

MOURI Kouki and TERASAKA Yoshiyuki

**Abstract**

Satellite Cloud Grid Information Data (SCGID) has been developed and put to use in the Meteorological Satellite Center (MSC), Japan Meteorological Agency (JMA) since 1997 (except for a term for back-up operations by GOES9 from May 2003 to June 2005). The SCGID was a product that calculates total amount of clouds, type of clouds, amount of upper layer clouds, amount of convective clouds (Cumulus Nimbus), and altitude of the top of clouds in lattices within 20km using IR1, IR2, IR3, and VIS data provided by GMS-5. During the daytime, SCGID distinguishes between low level clouds and the land or sea surface by using the reflectance from the VIS data. In this product, if the observed reflectance of a pixel is bigger than the threshold, the observed pixel is cloud. Conversely, if the observed reflectance of a pixel is smaller than the threshold, the observed pixel is clear. The threshold of pixels is decided based on the reflectance data of the past 10 days and the threshold is corrected by solar zenith angle. SCGID had a problem in which it calculated the wrong amount of clouds near sea ice areas or snow areas that had values of reflectance equal to low level clouds in spite of clear skies in the winter season. MSC began to operate the geostationary meteorological satellite (MTSAT-1R) on July 2005 and provide 3.8\_μm band channel (IR4) data besides the original four channel data (IR1, IR2, IR3, VIS). We adopted a method in which low level clouds and ice areas are classified by recognizing a pixel that has high reflectance, and a small difference of brightness temperature between IR4 and IR1 ( $IR4-IR1$ ) is corresponding to sea ice or snow and tested. In the results, the amount of incorrect cloud calculations is reduced and we obtained amounts close to surface observation or the images from satellites.

**要 旨**

気象衛星センターでは、1997年に雲量格子点情報を開発し運用を行ってきた（2003年5月～2005年6月のGOES9によるバックアップ期間を除く）。この雲量格子点情報はGMS5の提供する赤外1（IR1）、赤外2（IR2）、水蒸気（IR3）、可視（VIS）データから20km格子内における全雲量、雲型、上層雲量、対流（積乱雲）雲量、雲頂高度を算出するプロダクトであった。このプロダクトでは日中の下層雲の判別は主にVIS反射率データを用いて行っており、過去10日分のデータから設定されたしきい値を太陽天頂角補正し、観測された反射率が太陽天頂角補正されたしきい値より大きければ雲であると判別し、

---

\* 気象衛星センターデータ処理部解析課  
(2007年10月5日受領、2008年2月1日受理)

しきい値以下であれば晴天であると判別する。冬季の雪氷域や海水域は下層雲と同程度の反射率があるため、実際は晴天となっても雲量格子点情報では雲ありという判断がなされ誤った雲量が算出されるという問題があった。2005年7月からは静止気象衛星（MTSAT-1R）の運用が始まり、これまでの4チャンネルのデータに加え3.8 $\mu$ m帯（IR4）データが利用可能になったことを受けてこの問題の解消を図った。日中におけるIR4-IR1輝度温度差を利用し、高いVIS反射率と小さなIR4-IR1輝度温度差を持つ画素を海水や雪氷の観測であるとして、下層雲とは区別して取り扱う方法を取り入れテストを行った。その結果、雪氷域や海水域による誤った雲量算出は抑えられ、地上実況値あるいは雲画像から見た実況値に近い結果を得ることが出来た。

## 1. はじめに

気象衛星センターでは、1997年からひまわり5号（GMS-5）の画像データを用いた雲量格子点情報の開発を行ってきた。雲量格子点情報は天気予報の支援資料である天気ガイダンスの入力データとしての利用が模索され（山田、1999,2000）、2000年にはその要素である全雲量、雲型、雲頂高度、対流（積乱雲）雲量、上層雲量の地方気象官署への試験配信が始まった。ただし、2003年5月から2005年6月まではGOES9の運用により雲量格子点情報の作成と配信を中断している。2005年7月からひまわり6号（MTSAT-1R）が運用を開始し、雲量格子点情報もこれにあわせ2005年10月から配信を再開した。

雲量格子点情報は、表1に示されるチャンネルを用いて雲判別を行っているが、夜間はIR1、IR2、IR3、IR4の4つの赤外チャンネルのデータを用い、日中はIR1、IR2、IR3、VISチャンネルを用いている。この

日中における下層雲の検出にはVISの反射率を用いており、観測されたVIS反射率が、設定されたしきい値よりも大きければ下層雲に判別される。しきい値は過去10日分の反射率をヒストグラムにし、最低値の反射率をしきい値として採用している。基本的には、雪氷域や海水域は一度積雪したりあるいは結氷したりすれば日中は毎日同じ反射率を持ち続け、このような過去の観測データからしきい値を求める方法で十分と考えられるが、実際には雪氷や海水は気象条件により占める領域を変化させ、反射率も変動するため過去10日分の最低反射率から求められるしきい値は観測値よりも小さく設定されることが多かった。このことが、実際には晴天となっても雪氷・海水による高い反射率のため雲量格子点情報では雲があると誤判別される原因となっていた。

ひまわり6号では新たに3.8 $\mu$ m帯（以下 IR4と呼ぶ）チャンネルが搭載された。IR4チャンネルは短波放射である太陽放射と長波放射である地球からの黒

表1 2007年5月30日06UTCにルーチンに導入した衛星風改良項目の一覧

チャンネル名	波長( $\mu$ m)	衛星直下点分解能(km)	階調
VIS	0.55~0.90	1	1024
IR1	10.3~11.3	4	1024
IR2	11.5~12.5	4	1024
IR3	6.5~7.0	4	1024
IR4	3.5~4.0	4	1024

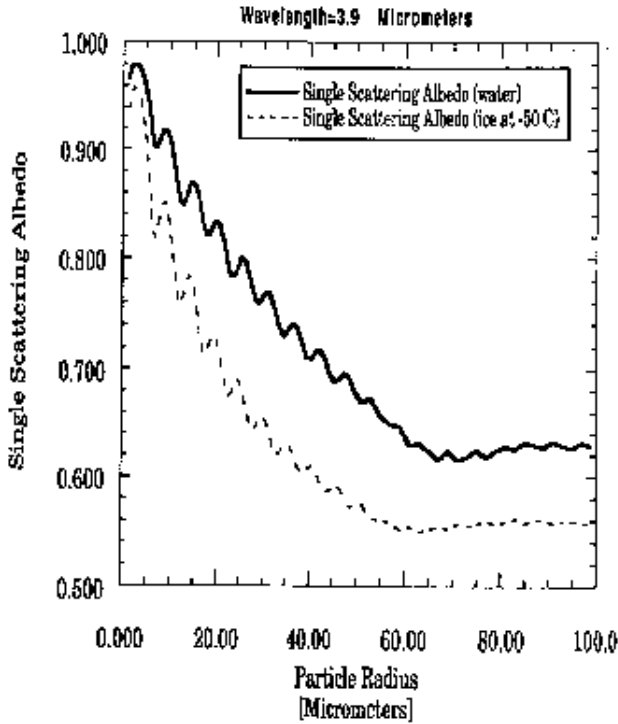


図1 3.9  $\mu\text{m}$ 帯での水雲と氷晶雲の散乱特性。  
 横軸：粒子半径( $\mu\text{m}$ )、縦軸：反射率。  
 (NOAA/NESDIS GOES3.9  $\mu\text{m}$  Channel Tutorial  
<http://rammb.cira.colostate.edu/wmovl/VRL/Tutorials/GOES39/emissiv4.htm>より引用)

体放射の両方のエネルギーを受ける波長帯である(Allen et al. 1990)。このため、日中においてIR4チャンネルは雲や陸面あるいは海面からの放射を観測すると同時に、雲や陸面などによる太陽光の散乱も観測する。これら放射と散乱の2つの成分が合計されたエネルギーが輝度温度に変換されるため、一般的に黒体の温度を表す放射成分のみの輝度温度より高い輝度温度を観測する。ただし、図1に示されるようにIR4チャンネルの散乱特性は相の状態(水相、氷相)によって変化し、雲であれば雲粒の粒径によっても変化する。また、氷晶の反射率は水滴による反射率と比較すると小さくなる(NOAA/NESDIS)。今回の改良で対象としている雪氷や海水は氷から成るが、定性的には氷晶と同じで、雪氷などによる太陽光の散乱は水滴から成る雲による散乱に比べ小さくなる(Kidder and Wu、1984)。つまり、下層雲と雪氷域・海水域の判別においては、仮に水雲と雪氷域の温度

が同じとすると、水雲はIR4チャンネルでは輝度温度が高く、雪氷や海水は輝度温度が低く観測され、双方の識別が可能である。

以上のように、IR4チャンネルの特性を用いると、VISチャンネルで高い反射率を観測し、IR4チャンネルでは雲より低い輝度温度を持つ物体は雪氷域あるいは海水域であるという判定が可能になり、雲量格子点情報での雪氷域・海水域による誤った下層雲の算出を抑えることが出来ると期待される。本稿では、このIR4チャンネルを用いた雪氷域・海水域判別処理を雲量格子点情報に組み込んだ結果について報告する。

## 2. 雪氷域・海水域におけるIR4-IR1輝度温度差分値の調査

IR4チャンネルにおいて、雪氷域・海水域における太陽光の散乱による輝度温度の上昇分を見積もるため、IR1の輝度温度を雪氷域・海水域の黒体としての温度と位置づけ、IR4-IR1輝度温度差分値(以降、IR4-IR1差分値)が最大でどの程度の値を取るのかを観測された画像から調査する。次に得られた値を用いて雲量格子点情報で実際に処理を行い、雪氷域・海水域が雲域として誤判別されなくなる最大値をしきい値として採用する方法をとった。また、調査にあたっては、対象領域を海洋と陸上に分けることにした。陸上についても大陸と日本では地理的な特性の違いから地表面の温度分布状況が異なる可能性があるため分けて調査した。雲量格子点情報ではもともと、海洋、大陸、日本の3つのカテゴリに分けて様々なしきい値設定行っていることも理由の一つである。

### 2.1 雪氷域・海水域によるIR4-IR1差分値の調査

海洋、日本、大陸のそれぞれの領域において、晴天となっていて海水、雪氷域がよく見えるサンプルを1つずつ取り出し、雪氷域・海水域のIR4-IR1差分値を推定した。

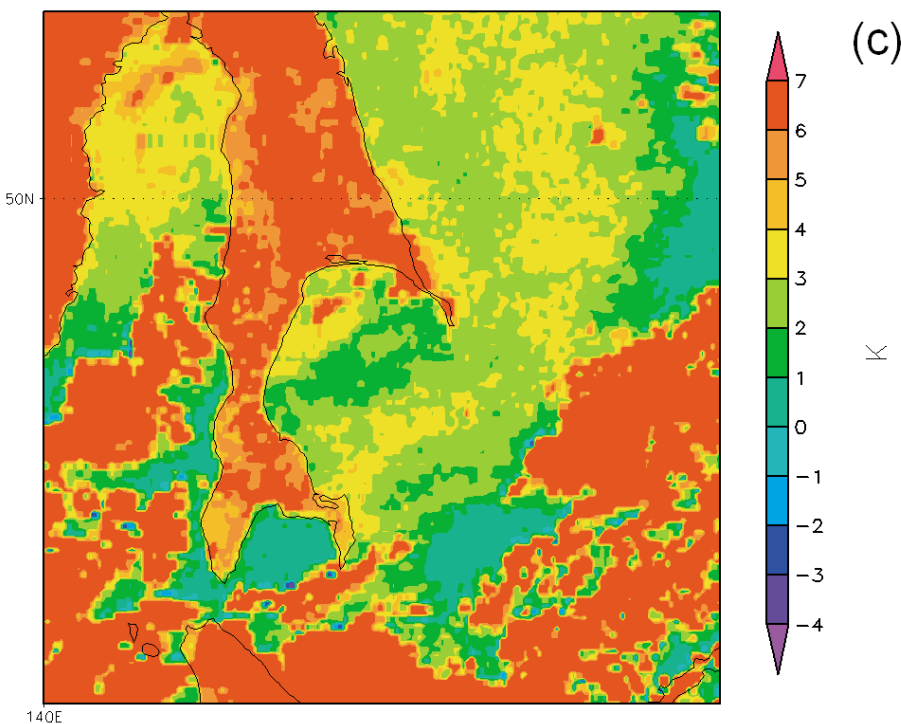
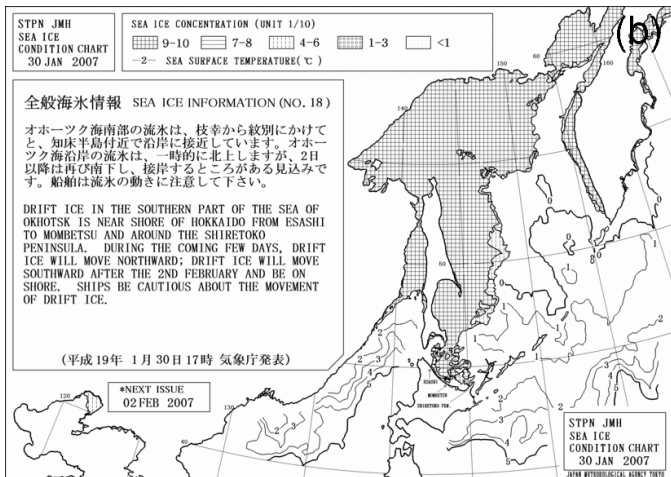
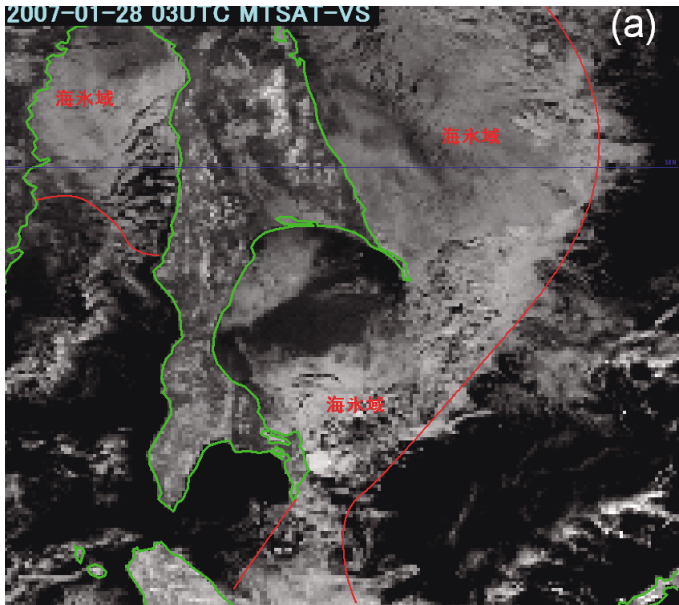


図2 海水の事例。2007年1月28日03UTC。  
 (a) VIS画像。サハリン付近のオホーツク海と間宮海峡に広がる海水域。(赤線で囲まれた部分が海水域)  
 (b) 全般海水情報。2007年1月30日。  
 (c) IR4-IR1差分値分布図(K)。図2-aの海水域と照らし合わせると4K以下が海水域に相当している。



(a) 海洋

事例は2007年1月28日03UTCである。図2-(a)はVIS画像、図2-(b)は2007年1月30日の全般海水情報である。図2-(b)で示される海水域を参考にして図2-(a)中に海水域を赤線で示した。海水域のIR4-IR1差分値分布図を図2-(c)に示す。海水域のIR4-IR1差分値は高い値で5K以下である。サハリンの東に広がる海水域は太陽天頂角68度前後であった。

(b) 日本

事例は2007年2月26日03UTCである。図3-(a)にVIS画像を示す。北海道と東北地方の山脈に沿うように雪氷域が見られる。地上観測については、例えば旭川で快晴であるが、VIS画像では反射率が高く雪氷域と見られる。IR4-IR1差分値分布図を図3-(b)に示す。VIS画像で明瞭な雪氷域は7K以下である。太陽天頂角は59度前後であった。

(c) 大陸

事例は、2007年3月5日03UTCである。図4-(a)にVIS画像を示す。赤線で囲まれた部分が雪氷域と見られる。赤点線は、IR画像において雲があるもののVIS画像では雲を透かして地上の雪氷域が確認できる部分を示した。IR4-IR1差分値分布図を図4-(b)に示す。図4-(a)に対応する雪氷域は18K以下と見られる。太陽天頂角は58度前後であった。

3つの領域における雪氷域・海水域のIR4-IR1差分値は、雪氷域・海水域が取り得るある一つの太陽天頂角での最大値であり、雪氷域・海水域と下層雲を分けるしきい値として用いることが出来ると考えられる。ところで、これらのしきい値をいろいろな太陽天頂角で利用可能なように次の太陽天頂角補正の式を考える。

$$T_{th} = T_0 \cos \theta_{ZE}$$

$T_{th}$ はIR4-IR1差分しきい値温度、 $T_0$ は $T_{th}$ 軸の切片、 $\theta_{ZE}$ は太陽天頂角である。例えば、海洋を例にとると、 $T_{th}=5K$   $\theta_{ZE}=68$ 度なので、 $T_0=13.3K$ である。同様に、日本については $T_0=13.6K$ 、大陸については

$T_0=34.0K$ と求まる。

次節ではこれらの値を用いて実際に雲量格子点情報にてシミュレーションを行い、雪氷域・海水域が雲域として判別されないようにしきい値の調整を行った。

2.2 雲量格子点情報によるシミュレーション

2.1節で得られたIR4-IR1差分しきい値温度 $T_{th}$ で雪氷域・海水域の影響を取り除くことが出来るかどうか実際に雲量格子点情報のプログラムに組み込みテストした。VIS画像によって雲判別された画素を対象に、2.1節で得られた $T_{th}$ をしきい値として、 $T_{th}$ より小さいものは雪氷あるいは海水によるものと判断した。日時は全て2.1節の事例と同じである。

(a) 海洋

雲量格子点情報による全雲量について、IR4-IR1差分値による海水域判別処理の組み込み前と組み込み後を図5-(a)、図5-(b)に示す。組み込み前には、海水域は全雲量100%近く算出されていたが組み込み後は晴天域に変更され、衛星画像から見た実況に沿う解析となった。このため、2.1節で求めた $T_0=13.3K$ を採用した。

(b) 日本

図6-(a)と図6-(b)はIR4-IR1差分値による雪氷域判別処理の組み込み前と組み込み後の全雲量である。組み込み後の雲量を見ると、北海道の雪氷域が雲域に誤判別されている。この解決策としては2.1節で見積もったしきい値を変更することで、より正確に雪氷域雲域判別を行うことができる。しきい値を設定するため、雲量格子点情報のプログラムの中でしきい値となるIR4-IR1差分値を増加させながら雲量を算出し、雪氷域によって算出される雲量の変化を調べた。

図6-(c)は $T_0=19.0K$ における処理結果である。雪氷域によって算出されていた雲量はほぼ解消しているため、この $T_0=19.0K$ を採用する。

(c) 大陸

図7-(a)と図7-(b)はIR4-IR1差分値による雪氷域判別処理の組み込み前と組み込み後である。組み込み

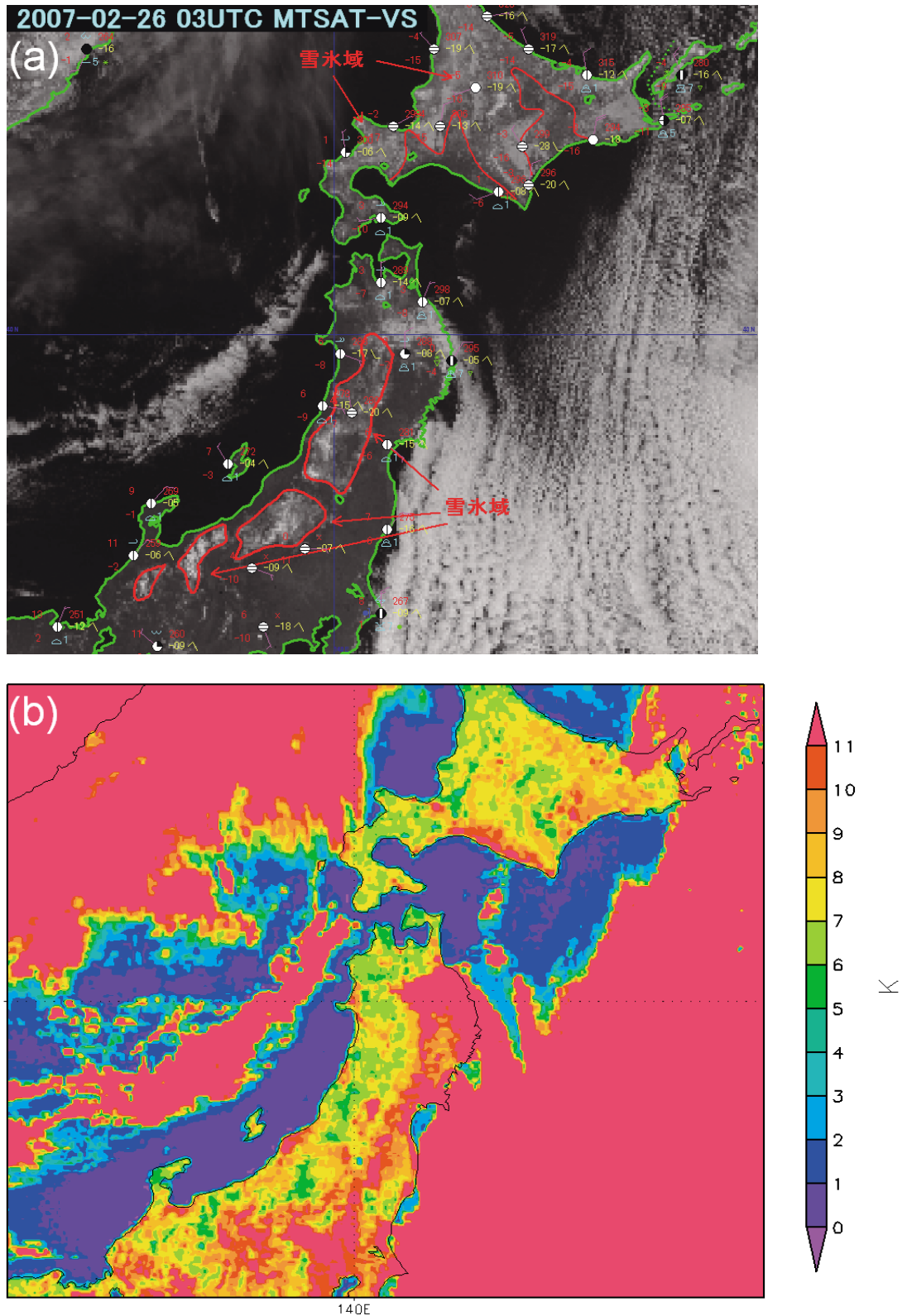


図3 日本における雪氷域事例。2007年2月26日03UTC。  
 (a) VIS画像。赤線で囲んだ部分に雪氷域が見られる。  
 (b) IR4-IR1差分値分布図(K)。図3-aの雪氷域と照らし合わせると主な雪氷域は7K以下に相当すると見られる。

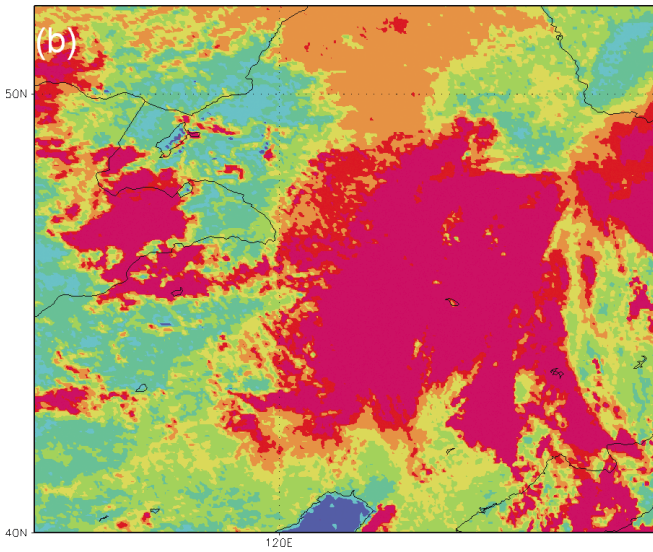
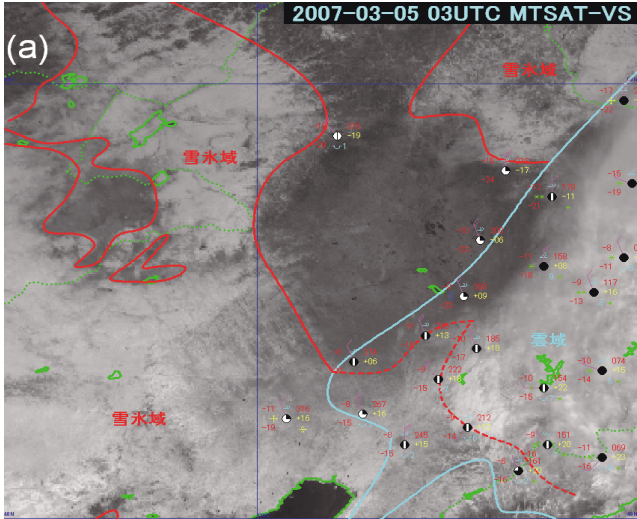


図4 大陸における雪氷域事例。2007年3月5日03UTC。

(a) VIS画像。華北からモンゴルにかけて雪氷域(赤線と赤点線で囲まれた部分)が広がっている。赤点線については、IR画像では上空に雲が認められるが、VIS画像で雲を透かして雪氷域が確認できる場所を示した。

(b) IR4-IR1差分値分布図(K)。図4-aの雪氷域と照らし合わせると、18K以下の部分が雪氷域に相当すると見られる。

後においても日本の場合と同じように雪氷域によって誤って計算された雲量が見られる。これも日本の場合と同様に  $T_0$  を増加させ  $T_0 = 50.0K$  で雪氷域による誤った雲量を大幅に減少させることが出来た(図7-(c))。よって、この  $T_0 = 50.0K$  を採用した。

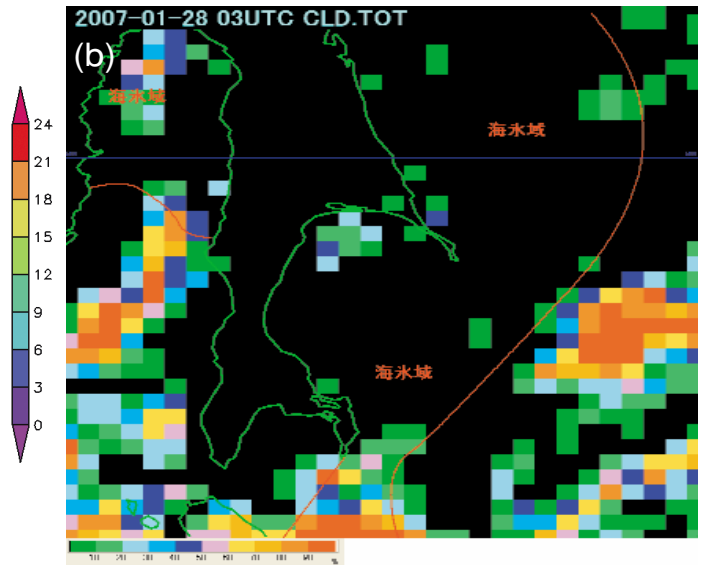
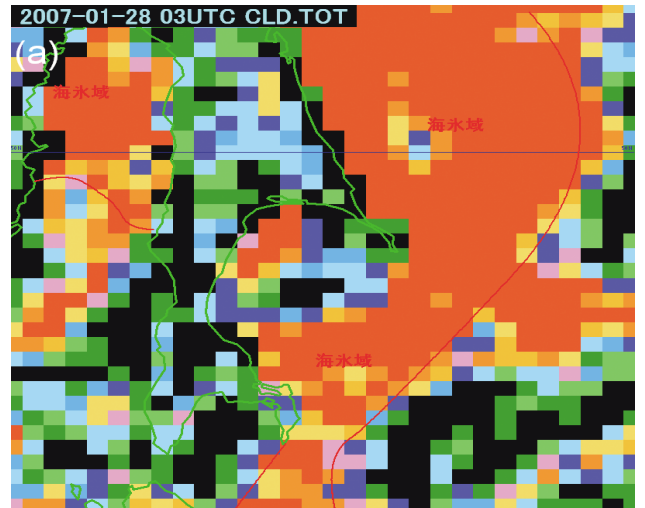


図5 雲量格子点情報全雲量。2007年1月28日03UTC。

(a) IR4-IR1差分値による海水判別処理が組み込まれていない場合の処理結果。図2-aで海水域と示されたところは全雲量90%以上で計算されている。衛星画像上からは間宮海峡の一部を除いて海水域はほぼ晴天域となっている。

(b) IR4-IR1差分値による海水判別処理を組み込んだ場合の処理結果。図2-aの海水域と示された部分はほぼ0%となり、良好な結果を得た。間宮海峡に計算された雲量は、実際に下層雲がある。

以上の結果から海洋では  $T_0 = 13.3K$ 、日本では  $T_0 = 19.0K$ 、大陸では  $T_0 = 50.0K$  が雪氷域によって誤判別された雲域を晴天域に変更するために必要であり、図8に示すような太陽天頂角に対する  $T_{th}$  のグラフを



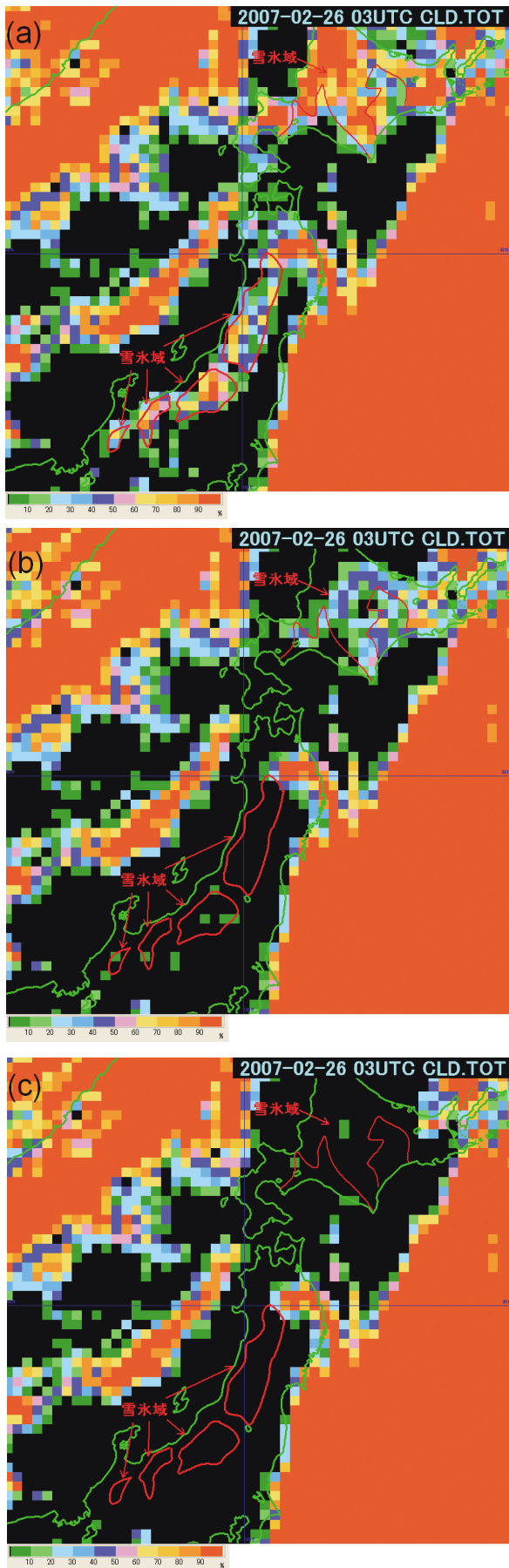


図6 雲量格子点情報全雲量。2007年2月26日03UTC。

(a) IR4-IR1差分値による海水判別処理が組み込まれていない場合の処理結果。図3-aで雪氷域として示した部分対応して、雲量が計算されている。実際は、ほとんど晴天域である。

(b) IR4-IR1差分値による雪氷域判別処理を組み込んだ場合の処理結果。東北地方についてはほぼ晴天域となったが、北海道については依然として雪氷域による誤った雲量が計算されている。

(c) 差分値切片 =19.0Kとした時の処理結果。図6-bで計算されていた雲量がほぼ0%となり、この図では雪氷域上の晴天を表現できている。

得た。実際のプログラムでも図8で求められるIR4-IR1差分値をしきい値として用いた。

### 3. 検証

2.2節で求めた値  $T_0$  を用いて、2章とは異なる日付のデータによる雲量格子点情報の結果を示す。処理内容は、2章の場合と同じくVIS画像で雲判別された画素に対し、IR4-IR1差分値が  $T_{th}$  より小さい場合は雪氷あるいは海水によるものと判断し、雲判別を晴天判別へと変更した。

#### (a) 海洋

2007年3月24日03UTCのデータによる計算結果を示す。図9-(a)はVIS画像、図9-(b)は2007年3月23日の全般海水情報である。図9-(a)では全般海水情報を参考にして海水域を赤線で囲んである。図9-(c)はIR4-IR1差分値を用いた処理を組み込んだ結果である。オホーツク海の海水域は晴天域と判別され、海水による誤った雲域は解消した。

#### (b) 日本

2007年2月22日03UTCの結果を示す。図10-(a)はVIS画像である。赤線で囲まれた部分が雪氷域である。図10-(b)はIR4-IR1差分値を用いた処理を組み込んだ結果である。雪氷域はほぼ晴天域と判別された。

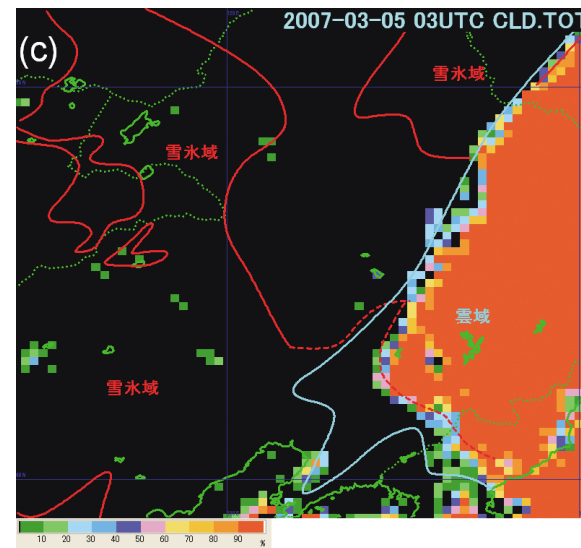
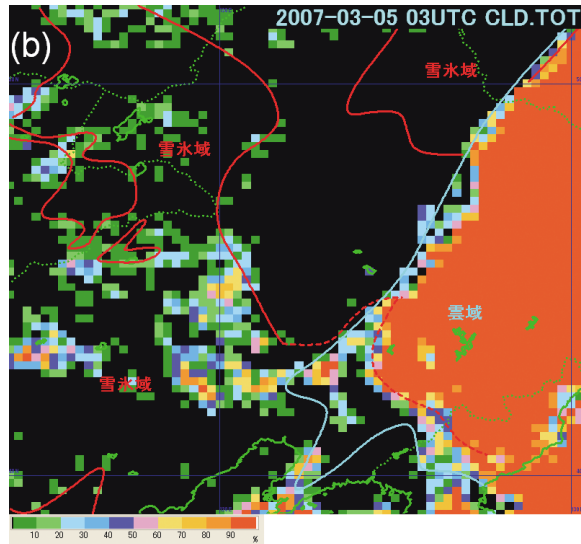
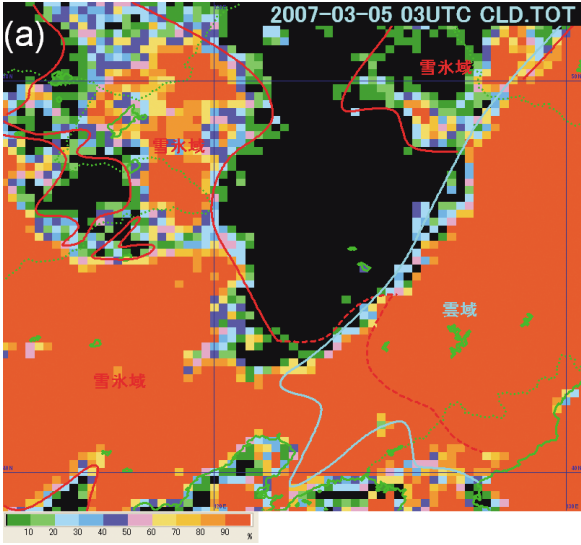


図 7 雲量格子点情報全雲量。2007年3月5日 03UTC。

(a) IR4-IR1差分値による雪氷域判別処理が組み込まれていない場合の処理結果。図4-aで示した雪氷域上で90%以上の雲量が計算されている。実際の雪氷域上は衛星画像からはおおむね晴天域となっている。

(b) IR4-IR1差分値による雪氷域判別処理を組み込んだ場合の処理結果。図7-aと比較すると誤判別された雲量は減少したが、まだ雪氷域による誤った雲域が残っている。

(c) IR4-IR1差分値切片を50.0Kに変更した時の処理結果。雪氷域による誤判別はほぼ無くなっている。

(c) 大陸

2007年2月14日03UTCの結果を示す。図11-(a)はVIS画像である。赤線で囲まれた部分が雪氷域である。図11-(b)はIR4-IR1差分値を用いた処理が組み込まれた結果、大部分の雪氷域は晴天域と判別された。

4. 問題点

2章の大陸カテゴリで用いた2007年3月5日03UTCの中国の遼東半島付近の画像である。図12-(a)はIR1画像で半島上に雲がある。図12-(b)のVIS画像では明瞭ではないが、地上観測ではIR1画像で半島から北東に広がる雲域のなかでScあるいはCiを観測している。図12-(c)はIR4画像であるが、輝度温度の違いから雲の相の違いが明瞭である。輝度温度288K~305Kで黒く見える雲は水雲と考えられ、輝度温度266K~282Kのやや白く見える雲は氷晶雲と考えられる。このときの雲量格子点情報の判別結果は図12-(d)であり、水雲は雲として判別されているが氷晶雲域は晴天域として表現され誤判別となっていることがわかる。

今回の方法では、下層の氷晶雲を雲として正しく判別するのは原理的に困難である。

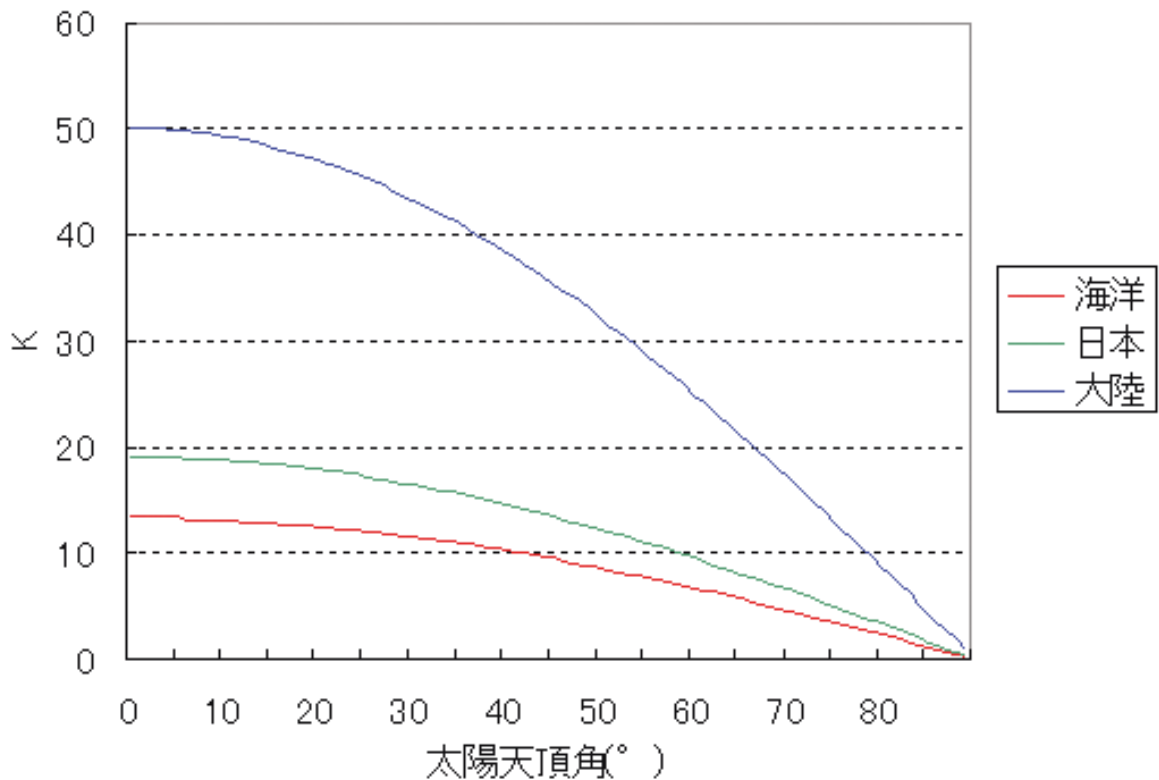


図8 雲量格子点情報によるシミュレーションの結果得られた太陽天頂角と海水・雪氷域によるIR4-IR1差分値曲線。実際の海氷雪氷域処理では、このシミュレーションの結果得られた曲線によって求められるIR4-IR1差分値をしきい値として使用することで良好な結果が得られると考えられる。

## 5. まとめ

晴天時に海氷域、雪氷域によって誤った雲量が算出されてしまう問題に対し、IR4-IR1差分値によって雪氷域・海氷域を判断し、雪氷域・海氷域であれば算出された雲量を0にする、つまり晴天域にするアルゴリズムを取り入れた。この結果、誤った下層雲検出を抑えることが出来るようになった。しかし、下層に氷晶から成る雲があると、IR4-IR1差分値が雪氷域・海氷域と同程度であるため晴天域に誤判別される現象が生じる。今回使用したIR4-IR1差分値を使う方法を用いる限り、氷晶雲判別については根本的な解決は難しい。

## 謝辞

本技術報告の作成にあたり、有意義な助言を賜りました気象衛星センター解析課徳野正己課長にお礼申し上げます。また、本報告の内容について、的確な指摘および教示を頂きました査読者の方々にお礼申し上げます。

## 参考文献

Allen, Robert C., Philip A. Durkee and Carlyle H. Wash, 1990: Snow/Cloud Discrimination with Multispectral

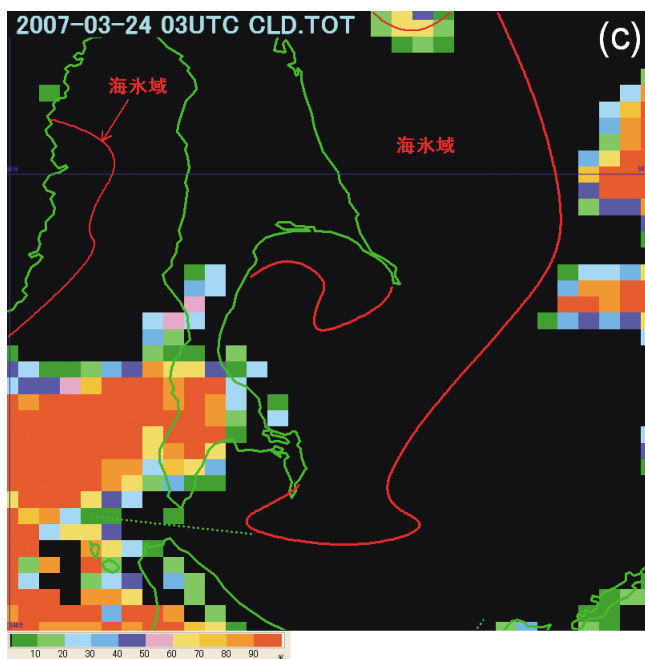
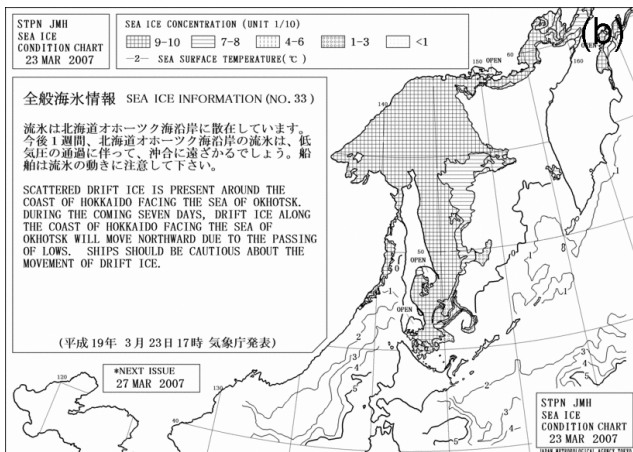
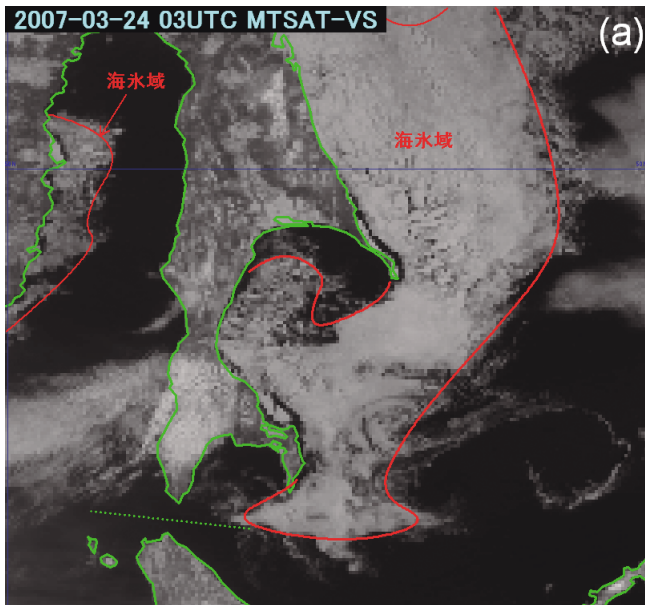


図 9 海洋における検証結果。2007年3月24日03UTC。  
 (a) VIS画像。赤線で囲まれた部分が海水域である。オホーツク海と間宮海峡の一部に海水域が見られる。海水域の上空は晴天となっている。  
 (b) 全般海水情報。2007年3月23日。  
 (c) 雲量格子点情報全雲量。IR4-IR1差分値による海水判別処理を組み込んだ場合の処理結果。オホーツク海と間宮海峡に見られた海水域によって計算された雲量は無く、正しく晴天判別されている。



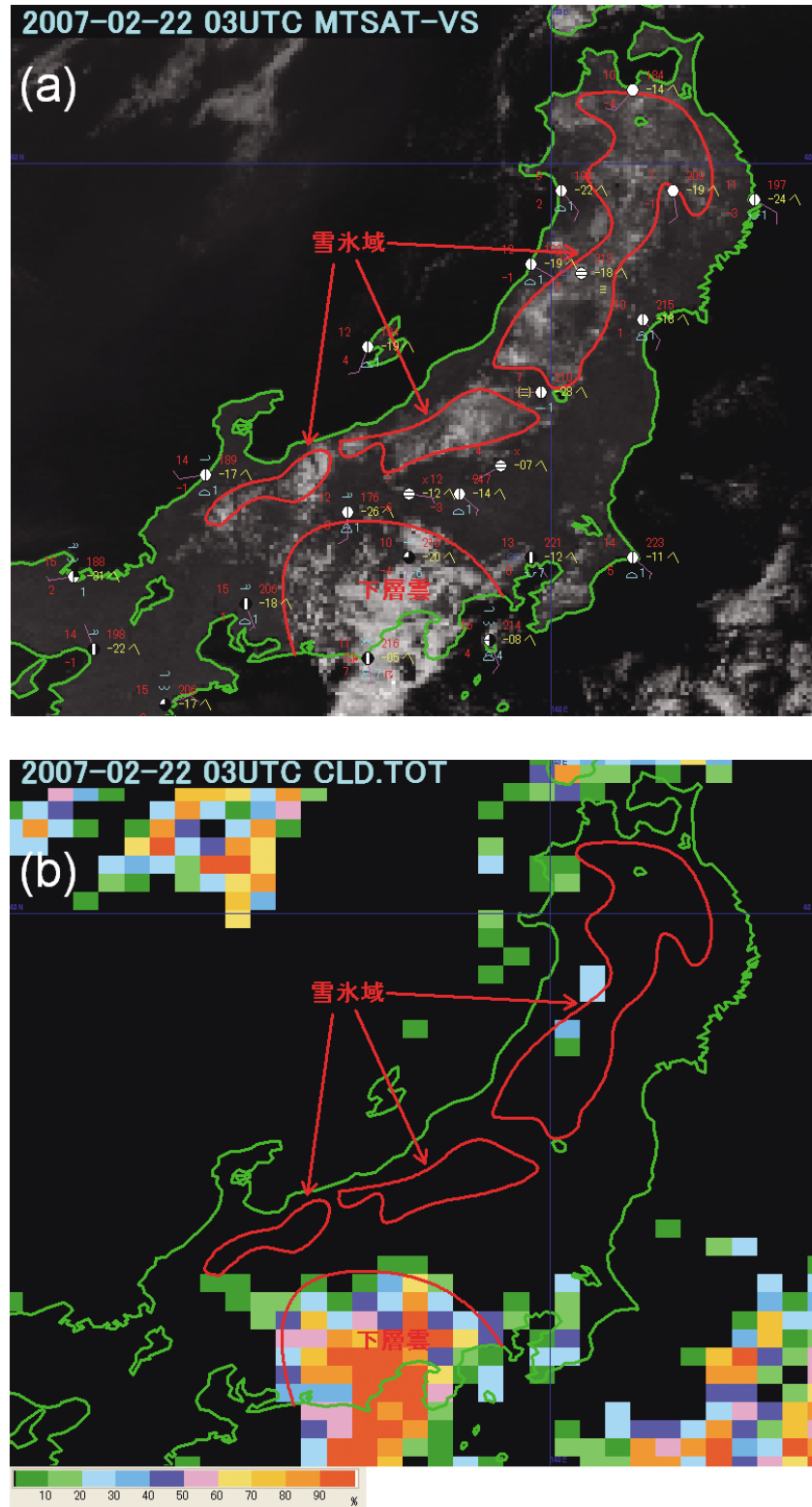


図10 日本における検証結果。2007年2月22日03UTC。

(a) VIS画像。赤線で囲まれた部分は雪氷域である。雪氷域の上空はおおむね晴天となっている。静岡から伊豆にかかる白い部分は雲である。

(b) 雲量格子点情報全雲量。IR4-IR1差分値による海水判別処理を組み込んだ場合の処理結果。雪氷域による誤判別はほとんど無く良好な結果を得た。

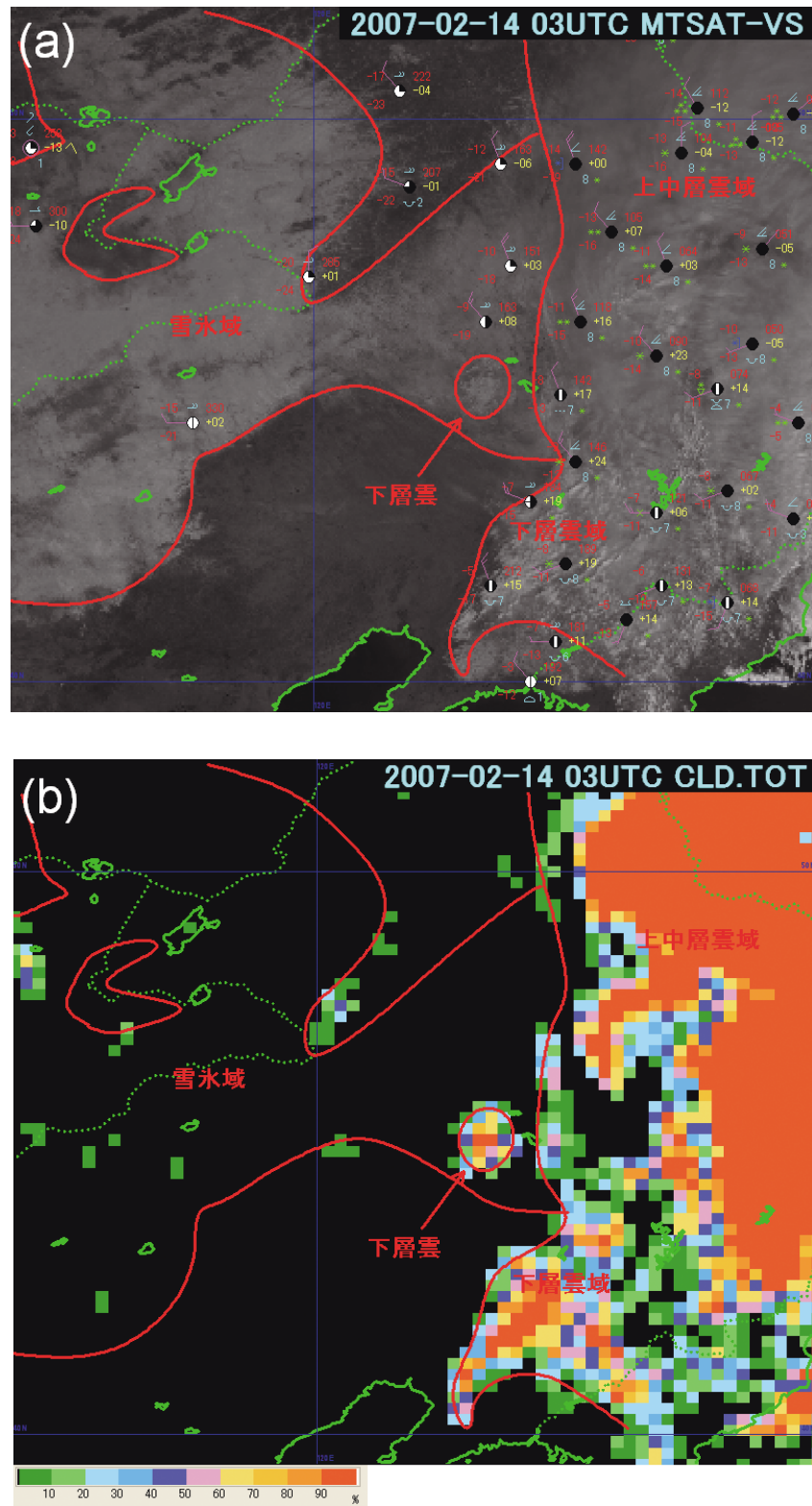
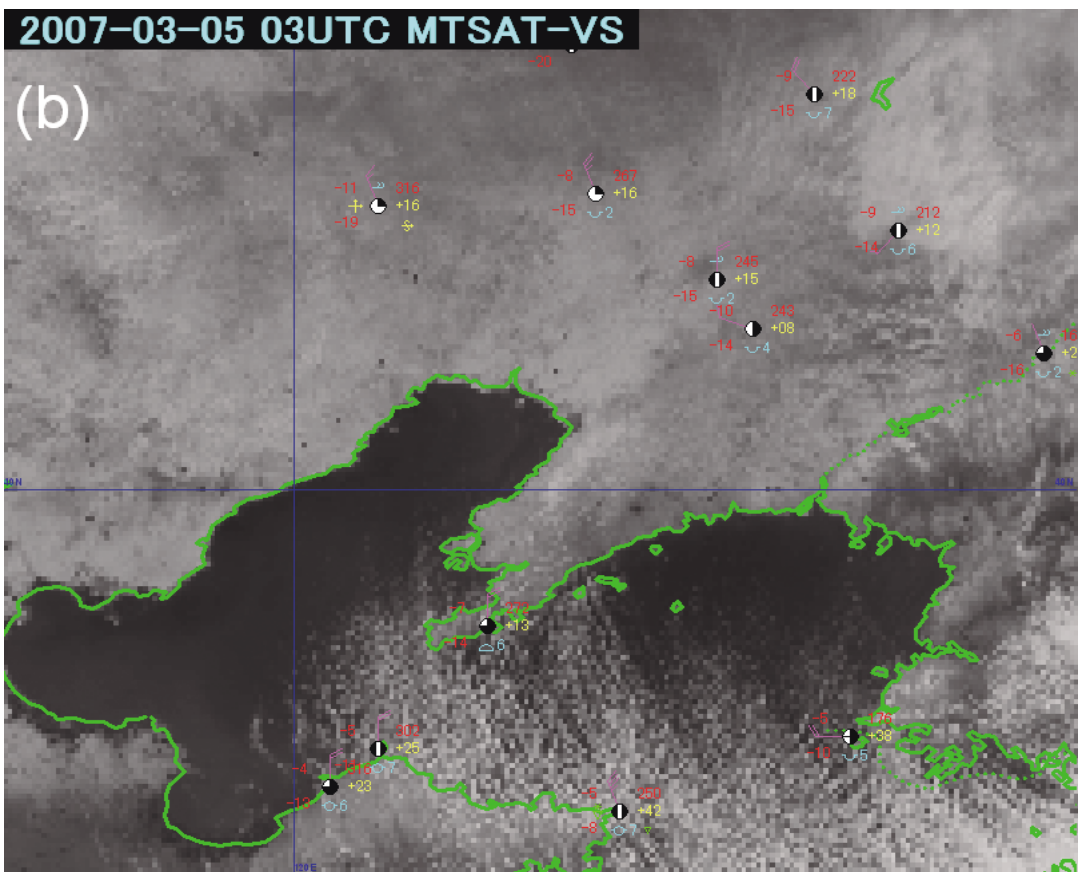
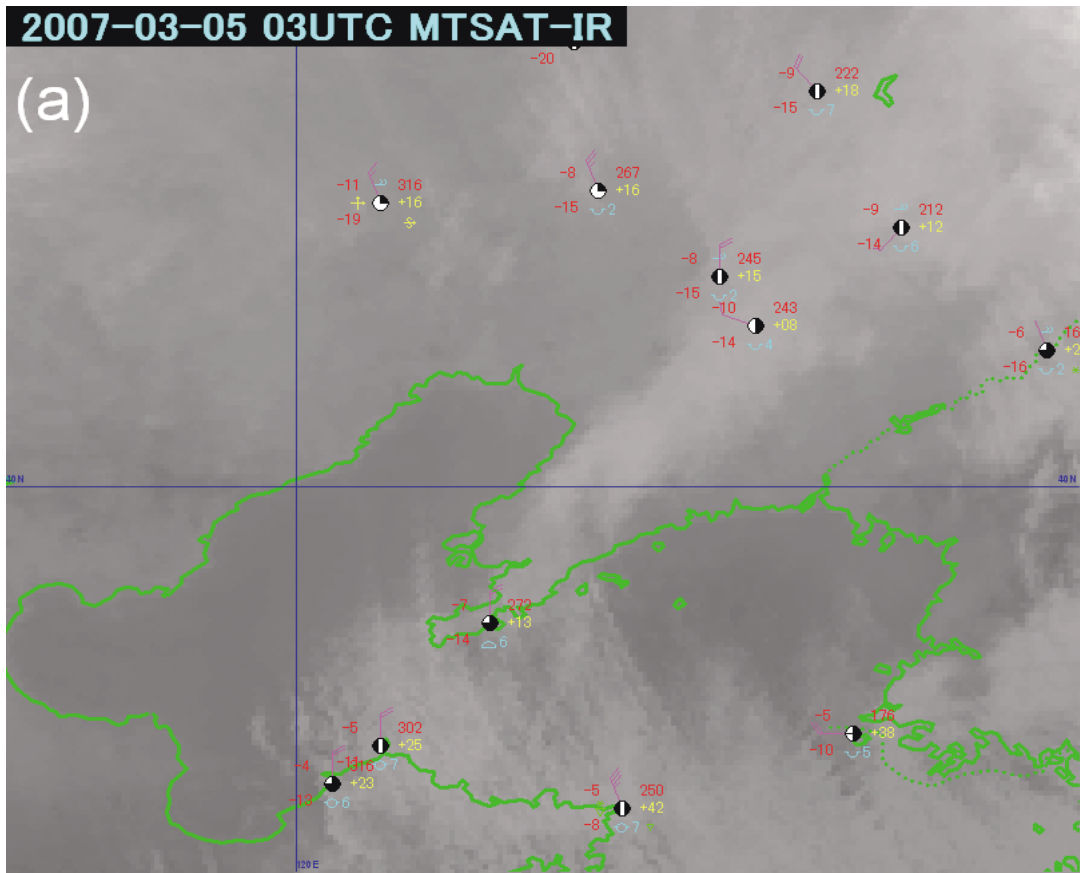


図11 大陸における検証結果。2007年2月14日03UTC。

(a) VIS画像。モンゴルから中国東北区にかけて雪氷域が広がっている。ただし、図の東には上中層雲がある。また、遼東半島の北東側には下層雲があり、どちらも図に示した。これ以外の雪氷域の上空は、一部薄い上層雲が広がっているがおおむね晴天であると見られる。

(b) 雲量格子点情報全雲量。IR4-IR1差分値による海水判別処理を組み込んだ場合の処理結果。雪氷域による誤判別はほぼ無くなっている。遼東半島北東側の下層雲と図中東側に広がる中上層雲はきちんと計算されている。



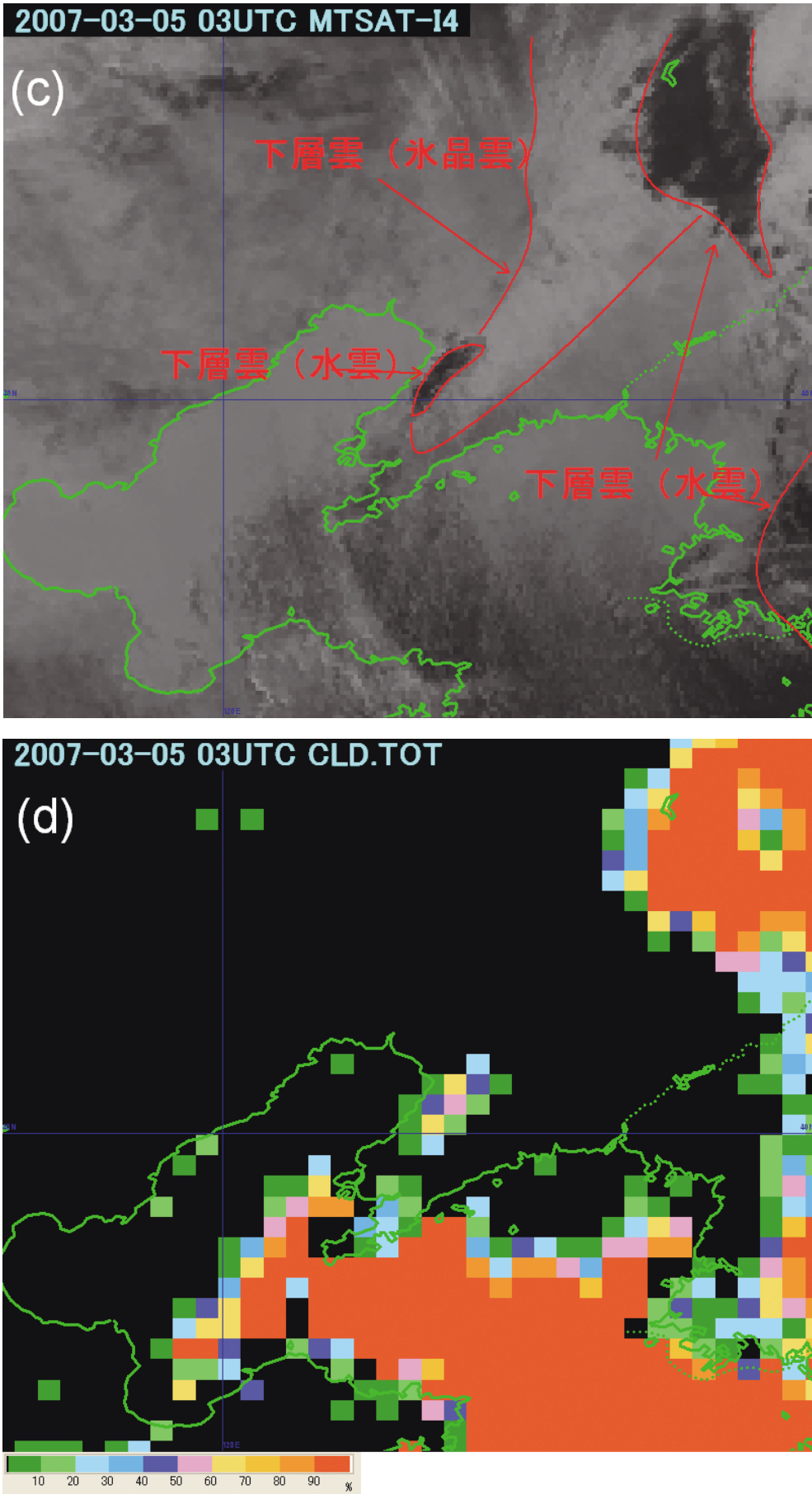


図12 今回の方法による問題点。2007年3月5日03UTC。

(a) IR1画像。遼東半島から北東方向へかかる雲域がある。明瞭である。

(b) VIS画像。IR1で明瞭だった雲は、この画像では存在しているかどうか分からないほどの不明瞭さである。ただし、注目する雲の北東にある観測地点でScあるいはScとCiの観測がある。

(c) IR4画像。輝度温度の違いとIR1画像VIS画像から判別できる下層雲を書き込んでいる。遼東半島の一部は水雲と見られ、それ以外は輝度温度が相対的に低いことから氷晶雲ではないかと考えられる。

(d) 雲量格子点情報全雲量。水雲を除いて、輝度温度の低い雲は晴天域に誤判別されている。

- Meteorology, 29, 994-1004.
- Ellrod, Gary P., 1995: Advance in the Detection and Analysis of Fog at Night Using GOES Multispectral Infrared Imagery, *Weather and forecasting*, 10, 606-619.
- Kidder, Stanley Q., and Huey-Tz' u Wu, 1984: Dramatic Contrast between Low Clouds and Snow Cover in Daytime 3.7  $\mu$  m Imagery, *Monthly Weather Review*, 112, 2345-2346.
- 山田真吾, 1999: 天気ガイダンスへの利用に向けての雲量格子点データの特性調査, 平成11年度量的予報
- 研修テキスト, 73-79.
- 山田真吾, 2000: 雲量格子点データの天気ガイダンスへの利用に向けて, 平成12年度量的予報研修テキスト, 79-82.

#### 参考URL

NOAA/NESDIS,CIRA : GOES3.9  $\mu$  m Channel Tutorial  
(<http://rammb.cira.colostate.edu/wmovl/VRL/Tutorials/GOES39/emissiv4.htm>).