

衛星リモートセンシングを用いたアジアの被雲率分布特性の解析

Investigation of cloud coverage over Asia with satellite remote sensing

竹内 渉・安岡善文

東京大学生産技術研究所

E-mail:wataru@iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract: An operational scheme for masking cloud-contaminated pixels in Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) daytime data was developed, evaluated and presented. Dynamic thresholding was used with channel 1, 2 and 3 to automatically create a cloud mask for a single image. Then the 10-day cloud coverage imagery was generated over the whole Asian region along with cloud-free composite imagery. Finally the monthly based compiling was conducted based on the derived cloud coverage imagery in terms of land cover and country. As a result, it was found that 20-day is required to acquire the cloud free data over the whole asia using NOAA AVHRR. The 10-day cloud coverage and cloud-free composite imagery derived in this research is available via the website <http://webpanda.iis.u-tokyo.ac.jp/CloudCover/>.

Keywords: NOAA AVHRR, SWIR, snow and ice

1 はじめに

1.1 本研究の背景

可視赤外の衛星リモートセンシングを用いて地表面や海表面を観測する際は、特にアジアのようにモンスーン地域に属している地域では、雲の存在が大きな制約条件となる。被雲率の計測とその分布特性の解析は、地表面の二方向反射特性のパラメータ推定や、雲なし合成画像の作成に際し、最低限必要となる観測日数を地域ごとに算定するための重要な指標となる。衛星による雲観測は多く行われており、それらは主に、1) 雲の種類を判別する手法 (Simpson *et al.*, 1996), 2) 雲を検知する手法 (Tag *et al.*, 2000), の2つに分けられる。雲の種類判別においては、国際衛星雲気候学プロジェクト (ISCCP) を中心とした国際的な取り組みによって既に十分な情報提供がなされている (Rossow *et al.*, 1993)。雲の検知においては、多くの研究事例が存在するが、地域ごとに閾値の設定が異なるため、大陸規模での適用が困難であったり、雪氷域の処理に問題があることが指摘されている (Chen *et al.*, 2002)。アジアは、熱帯、乾燥帯、温帯、寒冷帯といった多岐にわたる気候区分を有し、森林、農耕地、湿地、砂漠、都市域、雪氷域など多様な土地被覆が混在しているため、閾値の設定と雪氷域の処理の問題を解決する必要がある。

一方で、雲検知を長期的な衛星観測データに適用し、被雲率の分布特性を定量的に評価した研究例は少ない。秋山ほか (2003) は、農林業分野における観測の観点から Landsat 画像のメタデータに付属する被雲率を用いて日本付近における晴天画像の取得率を評価した。これによると晴天画像の取得率は、全国平均でおよそ 10% であり、同一地点を観測する晴天画像は、年平均に換算すると高々 2,3 枚程度であったと報告している。Jorgensen (2000) は、およそ 5500 シーンの Landsat MSS/TM と 1600 シーンの NOAA AVHRR データを用いて、デンマークにおける 20 年間の被雲率を算出した。その結果、年間の被雲率は 60-77% であり、平均値はおよそ 66% であったと報告している。このように、国レベルでの雲分布特性の解析を行った例は存在するものの、アジアにおいて大陸レベルで被雲率の計測を行いその分布特性を解析した例は報告されていない。

1.2 本研究の目的

本研究では、NOAA AVHRR データを用いてアジアにおける被雲率の計測手法の改良とその分布特性の解析を行うことを目的とする。まず、従来の可視、近赤外に加えて NOAA16 号から新たに利用可能となった短波長赤外のデータを用い、雲判別を行うための新たな手法を提示する。次に、提示した手法を AVHRR データに適用し、アジアの 10 日間被雲率分布図データセットを作成する。次に、目視による判別をもとに作成した雲判別手法の妥当性を検討する。最後に、作成した被雲率画像データセットをもとに、土地被覆および国ごとに年間の被雲率変動および分布特性の解析を行う。

2 解析手法

2.1 衛星データの前処理

解析に使用した衛星データは、2001年5月から2004年3月のおよそ3年間に東京大学生産技術研究所とバンコクのアジア工科大学院で受信された4061シーンのNOAA16号AVHRR画像である。これらの画像は、現地時間で午前11時から午後2時にかけて取得された昼間観測のデータである。まず、AVHRRデータ処理ソフトウェアPaNDAを用いて放射量補正を行いチャンネル1, 2, 3は大気上端反射率(%)に、チャンネル4, 5は輝度温度値(K)に変換を行った(PaNDA委員会, 1998)。次に、幾何補正を行いGCPとの誤差が1画素以内に収まっている画像3356シーンを選定し、北緯60度から南緯10度、東経70度から150度の範囲(9600×8400画素に相当)を切り出した。最後に、後述する手法を用いて雲判別を行い10日間被雲率画像を作成し、NDVIならびに温度制約付き最小走査角法を用いて10日間雲なし合成画像を作成した(雷ほか, 2001)。

2.2 雲の判別実験

2.2.1 目視による雲と雪氷との判別

雪氷と雲との判別は、従来のNOAA14号までに搭載されていたAVHRRでは判別が困難であった(Chen *et al.*, 2002)。それは次のような理由によるものである: 1) 氷に覆われた海域や雪に覆われた陸地は、可視域において雲との区別が付きにくい、2) 熱赤外域での温度を用いれば雲検出ができそうであるが、高緯度地方では地表面の温度も低下するので、温度だけで雲と地表の識別は難しい。このような場合、可視より長い波長である近赤外や短波長赤外のチャンネルが有効になる。NOAA15号以降に搭載されているAVHRRのチャンネル3は、昼間観測モードでは $1.6\mu\text{m}$ の短波長赤外を観測するため雪氷と雲との判別に有効であると考えられる(Goodrum *et al.*, 1999)。

そこで、放射量補正、幾何補正、切り出し処理をAVHRR画像に適用し、チャンネル3, 2, 1にそれぞれR, G, Bを割り当てた(以下RGB=321と記す)フォールスカラー合成画像から目視により雲と雪氷との判別を行った。代表的な例として、2002年2月1日に撮影されたAVHRR反射率画像を図1に示した。図1は、北緯43度から45度、東経140度から145度の領域を示しており、北海道からオホーツク海にかけての陸海の雪氷および数種類の雲を含んでいる。RGB=321の順にチャンネルを割り振って可視化しているため、厚い雲は白く、薄い雲は赤く、雪氷は水色に見える。雲と雪氷の視認性の違いに着目し、図中に示すように、薄い雲(thin clouds)、厚い雲(thick clouds)、高層雲(optical cirrus)、海氷(sea ice)、地表の雪氷(land ice)の5種類を目視判読により選定し、AVHRRの観測波長ごとにどのようなスペクトル特性を持つのかを調べた。

図2は、5種類の雲と雪氷(薄い雲、厚い雲、高層雲、海氷、地表の雪氷)の可視から熱赤外におけるスペクトル特性を比較したものである。熱赤外チャンネルは、本研究では使用しなかったが参考のために列挙した。これによると、可視のチャンネル1および近赤外のチャンネル2においては、大気上端反射率が高い方から、厚い雲、地表の雪氷、海氷、薄い雲、高層雲の順に並んでおり、1つの閾値を設定することにより雲と雪氷とを識別することは困難である。また、熱赤外のチャンネル4においては、輝度温度値が高い方から、高層雲、地表の雪氷、薄い雲、海氷、厚い雲の順に並んでおり、チャンネル1および2の場合と同様に、雲と雪氷との境界を1つに定めることは難しい。一方、短波長のチャンネル3においては、大気上端反射率が高い方から、厚い雲、薄い雲、高層雲、地表の雪氷、海氷の順に並んでいるため、雲と雪氷との境界に対して1つの閾値を設定することが可能である。これは、3種類ある雲の大気上端反射率は、チャンネル1および2と比較してチャンネル3において上昇もしくは高い値を維持しているのに対し、2種類ある雪氷の大気上端反射率は、チャンネル1および2と比較してチャンネル3において大きく低下することによるものであると考えられる。従って、雲と雪氷とを判別するためには、短波長赤外チャンネルを利用する必要があることが確認された。

2.2.2 頻度分布による雲の判別

次に、晴天域と雲域におけるAVHRRのチャンネル1から3の頻度分布が、画像全体ではどのような特性を持つのかを調べた。図3は、AVHRRの各チャンネルの頻度分布図であり、実線で囲まれた部分が晴天域、点線で囲まれた部分が雲域をそれぞれ表している。図3-(a)から(c)に示されるように、チャンネル1, 2, 3をそれぞれ単独で用いた頻度分布図においては、反射率の値が、チャンネル1では15%、チャンネル2では17%、

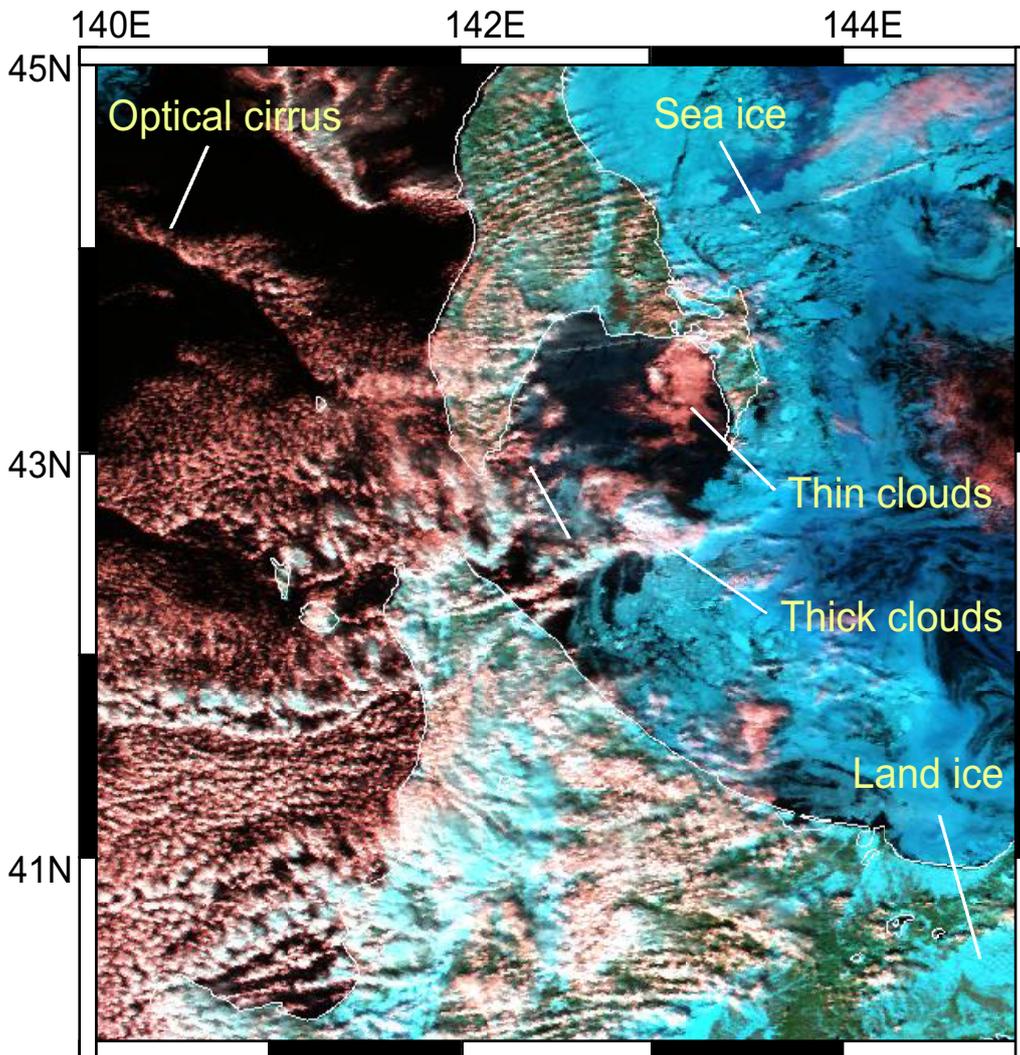


図 1 2002 年 2 月 1 日の AVHRR フォールスカラー合成画像 (RGB=321) . 北緯 43 度から 45 度 , 東経 140 度から 145 度の領域を示しており , 陸海の雪氷域を含んでいる .

チャンネル 3 では 25% を超えた付近に晴天域と雲域の境界が見られた . また , 図 3-(d) に示されたチャンネル 2/チャンネル 1 においては , 値が 1 の付近に雲域の画素が集中して現れた . どの評価基準の頻度分布図においても , 晴天域と雲域との間に重複領域が存在しており , この原因としては , 雲と陸域および海域との境界における混合画素が存在することや , 雲の影の影響等が挙げられる .

2.2.3 雲判別の最適閾値探索法

以上の考察から , チャンネル 1 , チャンネル 2 , 雪氷と雲との判別のためにチャンネル 3 , 薄い雲と陸域との判別のためにチャンネル 2 とチャンネル 1 の比 , の 4 つが雲判別の評価基準として適当であることが確認された . しかし , 各評価基準における閾値は , 地域ならびに季節などに起因して変動するものと考えられるため , 固定した閾値を与えるだけでは , 晴天域と雲域との判別を正しく行うことができないと考えられる . そこで , 本研究では , 閾値の最適化を行うこととし , Vittorio *et al.* (2002) に習い , 頻度分布図から自動的に閾値を探索する方法を用いた .

前節における考察から , 晴天域の画素は , 頻度分布曲線の裾野の部分に雲域との重複領域を有していることが示された . 本研究では , 晴天域と雲域との重複領域に最適閾値が存在するものとし , 頻度分布曲線の変曲点

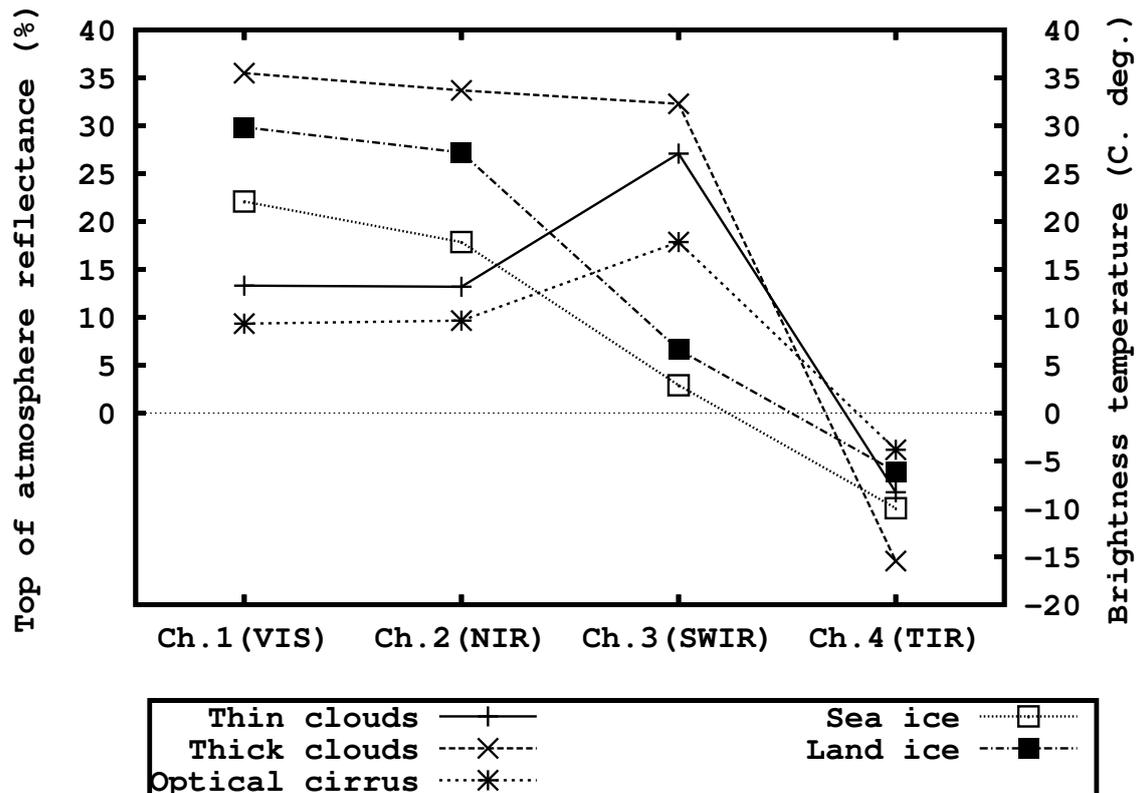


図 2 5 種類の雲と雪氷 (薄い雲, 厚い雲, 高層雲, 海氷, 地表の雪氷) の可視から熱赤外におけるスペクトル特性の比較.

(2 次微分) をもってこれを定義した. 図 4 は, チャンネル 1 における晴天域と雲域の頻度分布曲線とその 2 次微分曲線から求めた変曲点との関係を表している. 図中の Threshold で示される値がこの頻度分布曲線における変曲点 (最適閾値) を表している. 最適閾値の探索は次に示すように行った.

1. 晴天域における頻度分布曲線の 2 次微分曲線を求める
2. 初期値を中心とした近傍における 2 次微分値の最大値を探索する
3. 探索した値が所定の値に収まっている場合はこれを最適閾値とする
4. 探索した値が所定の値に収まっていない場合は初期値をもって最適閾値とする

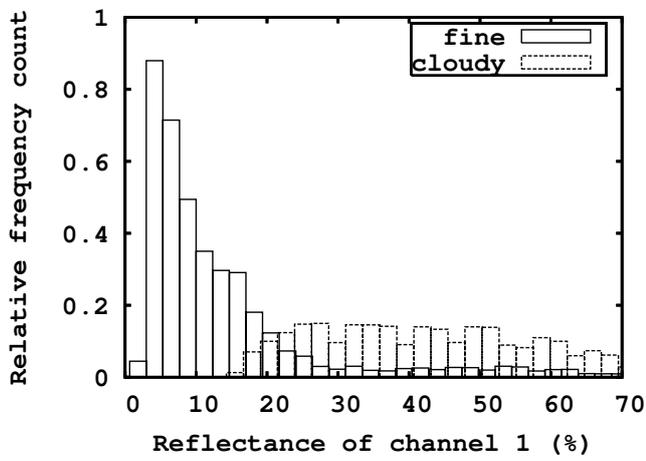
雲判別に用いた評価基準は, 式 (1) から (4) に示した条件式および初期値で与えられる. 各条件式について, 上に示した探索方法を用いて変曲点を探索し, 最適閾値を順次求めた. なお, 各評価基準に与える初期値は, 幾つかの典型的なシーンから RGB=321 で示した反射率画像より目視で判読した値を使用した. なお, チャンネル 1 から 3 の値はいずれも大気上端反射率 (%) に変換されているものとする. 式 (1) から (4) の 4 つの条件を同時に満たす場合に限りその画素を雲域と判定し, それ以外の場合は晴天域と定義した. なお, 本研究においては, 陸域観測の可能性判別を目的としているため, 雲の種類分類は行わなかった.

$$\text{最適閾値 (初期値 12.0(\%))} < \text{チャンネル 1} \quad (1)$$

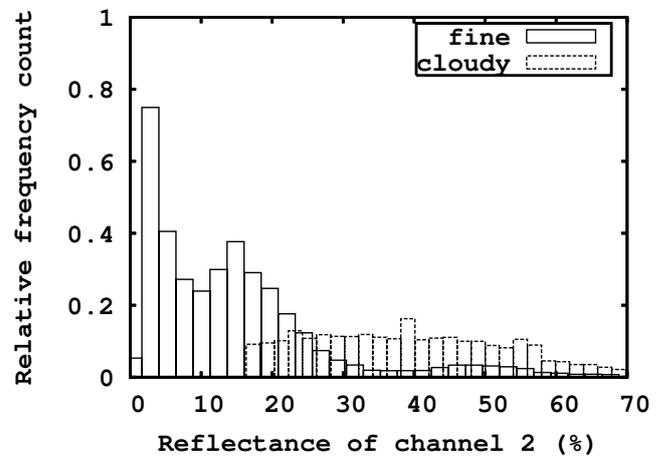
$$\text{最適閾値 (初期値 17.0(\%))} < \text{チャンネル 2} \quad (2)$$

$$\text{最適閾値 (初期値 27.0(\%))} < \text{チャンネル 3} \quad (3)$$

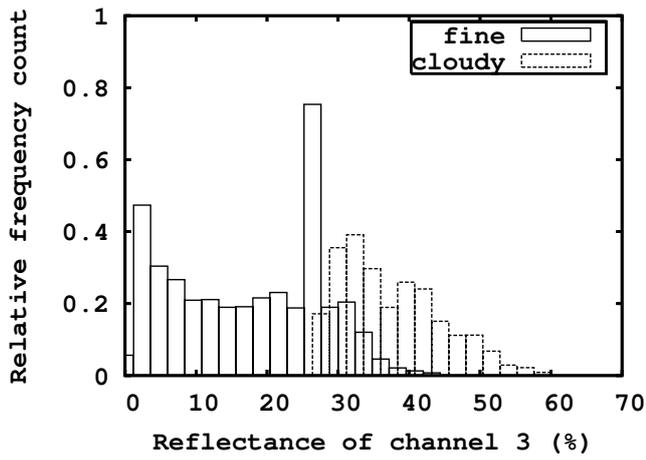
$$\text{最適閾値 (初期値 0.7)} < \text{チャンネル 2} / \text{チャンネル 1} < \text{最適閾値 (初期値 1.2)} \quad (4)$$



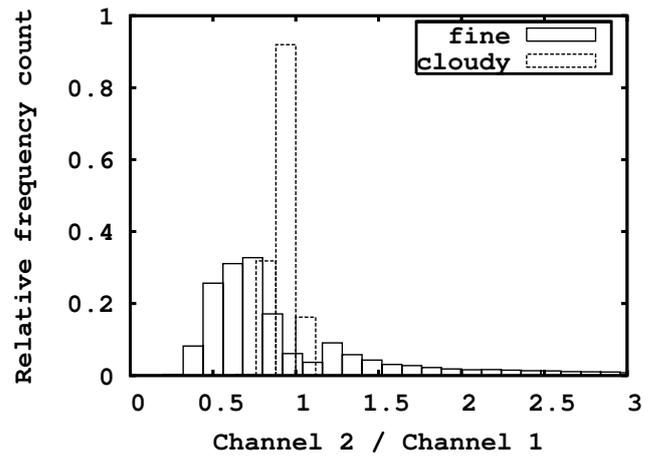
(a) チャンネル 1



(b) チャンネル 2



(c) チャンネル 3



(d) チャンネル 2/チャンネル 1

図 3 AVHRR 画像における晴天域と雲域の各チャンネルの頻度分布図

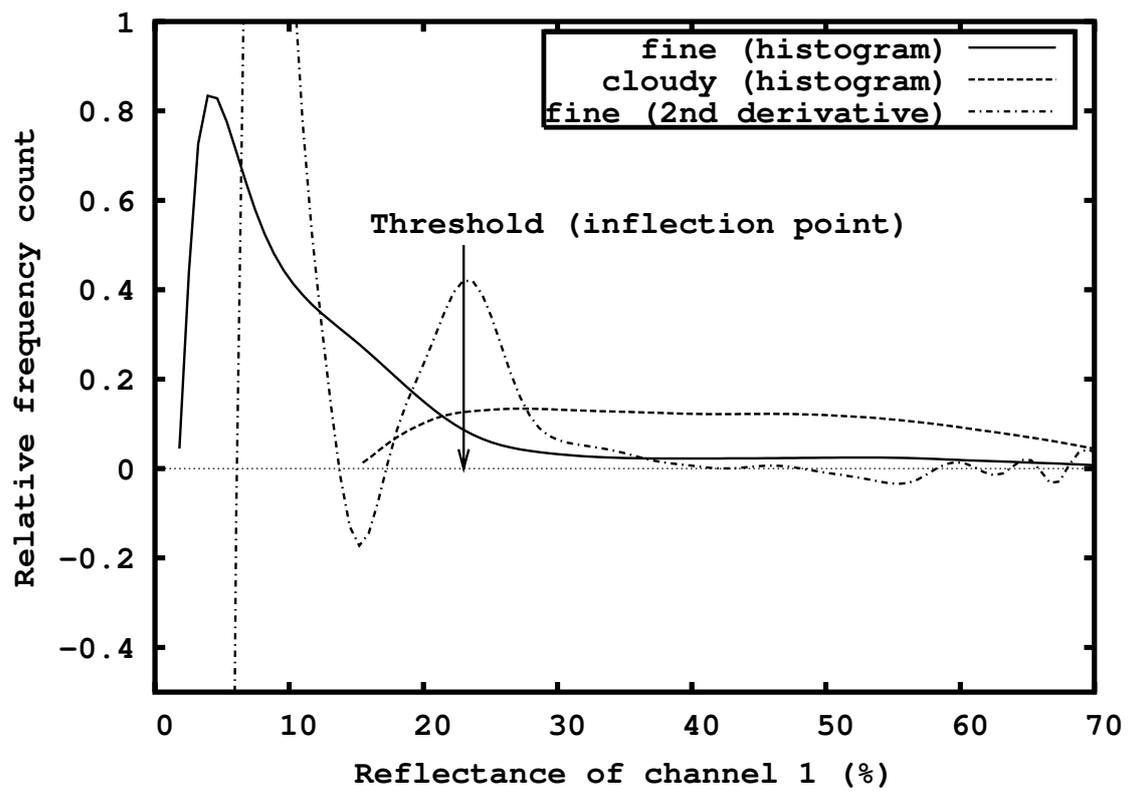


図 4 晴天域と雲域の頻度分布曲線とその 2 次微分曲線から求めた変曲点との関係 .

3 解析結果

3.1 雲域判別方法の妥当性の検証

日々の観測画像から作成した雲域判別画像を用いて、各画素ごとに被雲率の情報を10日間毎に集計し、10日間被雲率合成画像を作成した。判別結果の妥当性を検討するために、年間の変動を考慮して、3、6、9、12月の代表的な画像について目視で求めた閾値を用いて「正解雲画像」を作成した。次に、本研究で提案する「最適化閾値探索法」で求めた閾値を用いて雲画像を作成し、正解雲画像に対する誤差を論理演算として求め、この割合を誤差として評価した。

表 1 提案する最適化閾値探索法で求めた雲画像の目視で求めた正解雲画像に対する誤差

3月			6月		
過小評価	正解	過大評価	過小評価	正解	過大評価
2.7 (%)	95.1 (%)	2.2 (%)	6.9 (%)	92.1 (%)	1.0 (%)
9月			12月		
過小評価	正解	過大評価	過小評価	正解	過大評価
4.7 (%)	94.6 (%)	0.7 (%)	2.9 (%)	97.0 (%)	0.1 (%)

表1は、「最適化閾値探索法」を用いて作成した雲画像を、目視で求めた「正解雲画像」との比較によって評価した結果を示している。過大評価とは、正解雲画像において雲でないのに最適化閾値探索法において雲であると評価していることを意味する。一方で、過小評価とは、正解雲画像において雲であるのに最適化閾値探索法において雲でないであると評価していることを意味する。

これによると、3月においては、提案する手法で作成した雲画像のおよそ95(%)の画素が正解であると判断されたが、2.7(%)が過小評価および2.2(%)が過大評価であると判断された。6月および9月においては、正解率が92.1および94.6(%)であり、本来は雲であるのに雲でないと過小評価されている地域が4.7-6.9(%)見られた。これらの地域は、タクラマカン砂漠、ヒマラヤ山脈、華北平原、北東アジア森林地域に多く見られた。12月の画像においては、過大評価が生じた画素の数が最も少なく、2.9(%)が過小評価であると判定された。12月の画像では、提案する最適化閾値探索法を用いた場合だと、高緯度地域における暗い雲が晴天域であると過小評価されたり、雲域が雪氷域と誤認識されたりした箇所が見られるなどして、雲識別が十分に行われなかったものと考えられる。

3.2 被雲率画像の作成結果

作成した10日間の合成画像をもとに、1ヶ月間の平均被雲率および分散を算出した。作成したアジア地域の被雲率画像の例として、2003年の月別平均被雲率画像を図5に示した。被雲率の空間的分布パターンは解析範囲全体に渡って高い非均一性を有しており、季節によって大きく変動することがわかる。そこで、土地被覆と国ごとに情報を集計することにより、被雲率の時系列特性を調べた。

3.2.1 被雲率と土地被覆との関係

まず、被雲率と土地被覆との関係を調べた。土地被覆データとしては、米国ボストン大学がMODISデータを用いて作成している全球の土地被覆分類図(MOD12)を使用した(Strahler *et al.*, 1999)。これは全球の陸域を16クラスに分類しており、それらは、常緑針葉樹、常緑広葉樹、落葉針葉樹、落葉広葉樹、混合林、密な低木、粗な低木、森林性サバンナ、サバンナ、草地、湿地、耕作地、都市、耕作地と自然植生の混合、雪氷、裸地から構成されている。土地被覆分類図を用いてクラスごとに情報を集計し、月別の平均被雲率の平均値および標準偏差を解析範囲全体に渡って算出した。図6は、アジアにおける月別被雲率と土地被覆との関係を表しており、プロットの中心が平均値を、誤差幅が標準偏差をそれぞれ表している。

まず着目すべき点は、常緑広葉樹以外は多くが北半球に分布しているため、夏期に相当する6月から8月にかけては被雲率が高く、冬期に相当する11月から2月にかけては比較的被雲率が小さいことである。これは、モンスーンの影響を受けることと大きく関係しているものと考えられる。また、雪氷域では2月から4月にかけての被雲率が50%を超える。常緑広葉樹は、赤道を中心とした熱帯地域に多く分布しているため、年間を通じて被雲率が25%から45%となり、他と比較して高い被雲率を有している。裸地における被雲率が4月から8月にかけて非常に高くなっているが、1) 土地被覆特性から考えて降雨が少ないため、雲が頻繁に発生することは考えにくい、2) 被雲率画像と同時に作成した雲なし合成画像と比較した結果、裸地においては雲のない鮮明な画像が得られたことを目視によって確認した、という2つの事実から、雲を誤検知していると考えられる。モンゴルや中国東部のタクラマカン砂漠付近に多くの裸地が分布しており、特にこの地域の裸地において誤検知が起こった理由としては、今回使用したAVHRRデータの受信局と対象地域の位置関係棟から、1) 多くの部分が衛星観測範囲の端に存在するために、データの取得頻度が低い、2) 受信に起因するノイズが多く存在する、3) 観測角が大きいために衛星での見かけ上の観測値が実際より大きくなる、といったことが考えられる。異常値がみられた裸地を除いた土地被覆の情報を総合的に判断すると、月平均被雲率の最大値は、1月から12月までの順に、41, 61, 55, 54, 40, 41, 39, 34, 32, 27, 33(単位はいずれも%)となった。従って、アジア地域において各土地被覆を網羅するようにNOAA AVHRRを用いて雲なしの合成画像を作成するためには、1ヶ月の61%に相当するおよそ20日間程度の合成日数で雲なし画像が作成できる可能性が高い。また、各土地被覆ごとの月平均被雲率の年間での最大値は、常緑針葉樹、常緑広葉樹、落葉針葉樹、落葉広葉樹、混合林、密な低木、粗な低木、森林性サバンナ、サバンナ、草地、湿地、耕作地、都市、耕作地と自然植生の混合、雪氷、裸地の順に、23, 45, 42, 30, 38, 43, 42, 52, 38, 37, 54, 40, 36, 40, 41, 62, 74(単位はいずれも%)となった。例えば、高い観測頻度が要求される土地被覆の代表例として耕作地に着目すると、1ヶ月の36%に相当するおよそ10日間程度の合成日数で雲なし画像が作成できる可能性が高い。また、人間が生活する都市の観測においては、1ヶ月の40%に相当するおよそ12日間程度の合成日数で雲なし画像が作成できる可能性が高い。

3.2.2 国別の被雲率特性

次に、被雲率の情報を国別に集計し時系列特性を調べた。解析範囲に含まれる国は、ほぼ北から順に、ロシア、モンゴル、中国、北朝鮮、韓国、日本、台湾、フィリピン、ヴェトナム、ラオス、タイ、マレーシア、インドネシア、ブルネイ、ミャンマー、バングラデシュ、ブータン、インド、ネパールであり、月別の平均被雲率の平均値および標準偏差を国別に算出した。図7は、アジア各国における月別被雲率の時系列変動を表しており、プロットの中心が平均値を、誤差幅が標準偏差をそれぞれ表している。

まず着目すべき点は、中国や台湾では2月から4月にかけての被雲率が高いことである。雲南省から台湾にかけての北回帰線に沿った地方では、被雲率が非常に高く月平均値が70%を超えている。フィリピンやヴェトナムの北部もこれらの地域に属しているため同様の傾向が見られた。モンゴルにおいて4月の月平均被雲率が60%となっているのは、土地被覆の節で考察したように、裸地に属する砂漠地域での雲の誤検知が原因であると考えられる。また、日本、韓国、北朝鮮といった極東地域では、6月から8月にかけての被雲率が高く、梅雨の影響で雲の動きが活発になっていることを反映しているものと考えられる。また、中国の雲南地方をはじめとした標高の高い地域では、雲が局在して分布する傾向にあり、年間を通じて被雲率が高かった。タイ、ミャンマー、バングラデシュといった北半球の東南アジアの国々では、11月から2月の乾期の時期には被雲率が低く、6月から9月の被雲率が比較的高い傾向が見られる。しかし、被雲率が最大になる時期でも高々40%程度であり、東アジアの国に見られるような50%を超える高い数字は確認できなかった。この理由としては、雨期に起こるスコールは、午前中の早い時間帯か夕方にかけて短時間に集中し、その後はすっきり晴れ渡ることも多いからである。従って、衛星による観測が行われる午前11時から午後13時にかけては、雨期といえども比較的良好なデータを取得できるものと考えられる。一方で、マレーシア、インドネシア、ブルネイといった南半球の東南アジア諸国では、1月から4月の雨期にかけて被雲率が高く、北半球の東南アジア諸国とは雨期と乾期が逆転していることが推測される。また、雨期の被雲率は、60%近くに達することから、衛星観測時刻であるお昼近くの時間帯にも雲が存在し、北半球の東南アジア諸国とは日中の降雨特性が異なると考えられる。また、各国ごとの月平均被雲率の年間での最大値は、ロシア、モンゴル、中国、北朝鮮、韓国、日本、台湾、フィリピン、ヴェトナム、ラオス、タイ、マレーシア、インドネシア、ブルネイ、ミャンマー、バングラデシュ、ブータン、インド、ネパールの順に、34, 63, 58, 40, 52, 45, 70, 47, 51, 40, 40, 53, 56, 47, 37, 44, 70, 40, 36(単位はいずれも%)となった。例えば、極東3国である北朝鮮、韓国、日本を含む雲なし合成画像を作成するためには、1ヶ月の52%に相当するおよそ15日間程度の合成日数で雲なし画像が作成できる可能性が高い。最も

被雲率の高い台湾では、1ヶ月の70%に相当するおよそ20日間程度の合成日数で雲なし画像が作成できる可能性が高い。一方で、タイやミャンマーといった降雨が多い熱帯の国であっても、月平均被雲率の年間最大値は40%程度であり、温帯に属する極東3国より小さいことは注目に値する。以上は、確率的に雲のない良好なデータを1回取得できる日数を算出した結果であるが、観測角の依存性などは考慮されていない。従って、二方向性反射特性などのように複数の観測データが必要となる場合には、さらに長い合成日数を必要とする。また、NOAA AVHRRの場合は、軌道情報が不完全であるため幾何補正に難があり、本報告でも4061シーン中実際に解析に使用したデータはおよそ80%に相当する3356シーンであった。NOAA17号のデータを併用したり、Terra/Aqua MODISのように、幾何補正精度が高いデータを用いれば、使用できるデータの数を増やすことができ、雲のない良好なデータを取得できる頻度はより高くなるものと考えられる。

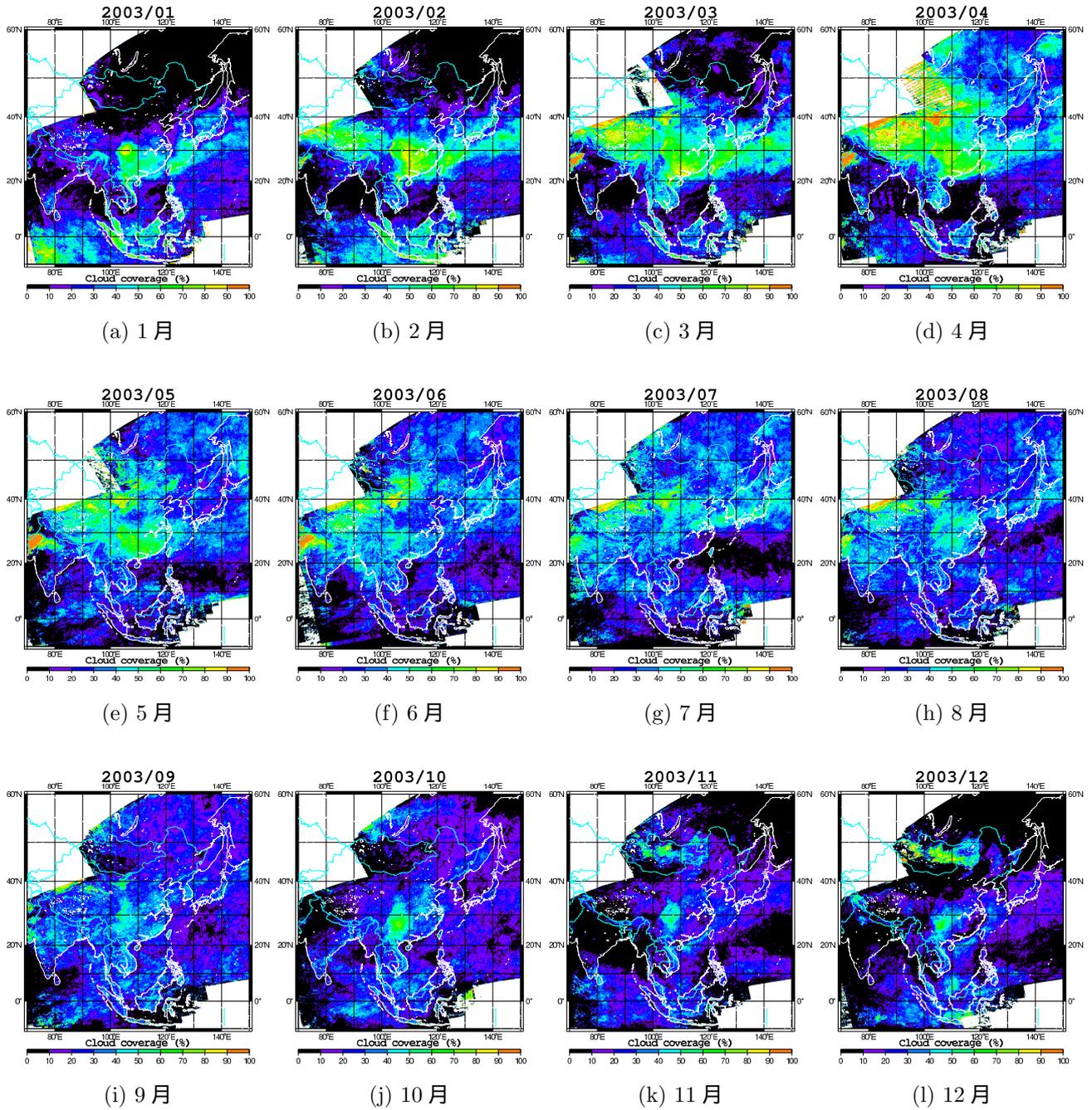


図 5 2003 年の AVHRR 画像から作成したアジア地域における月別平均被雲率画像 .

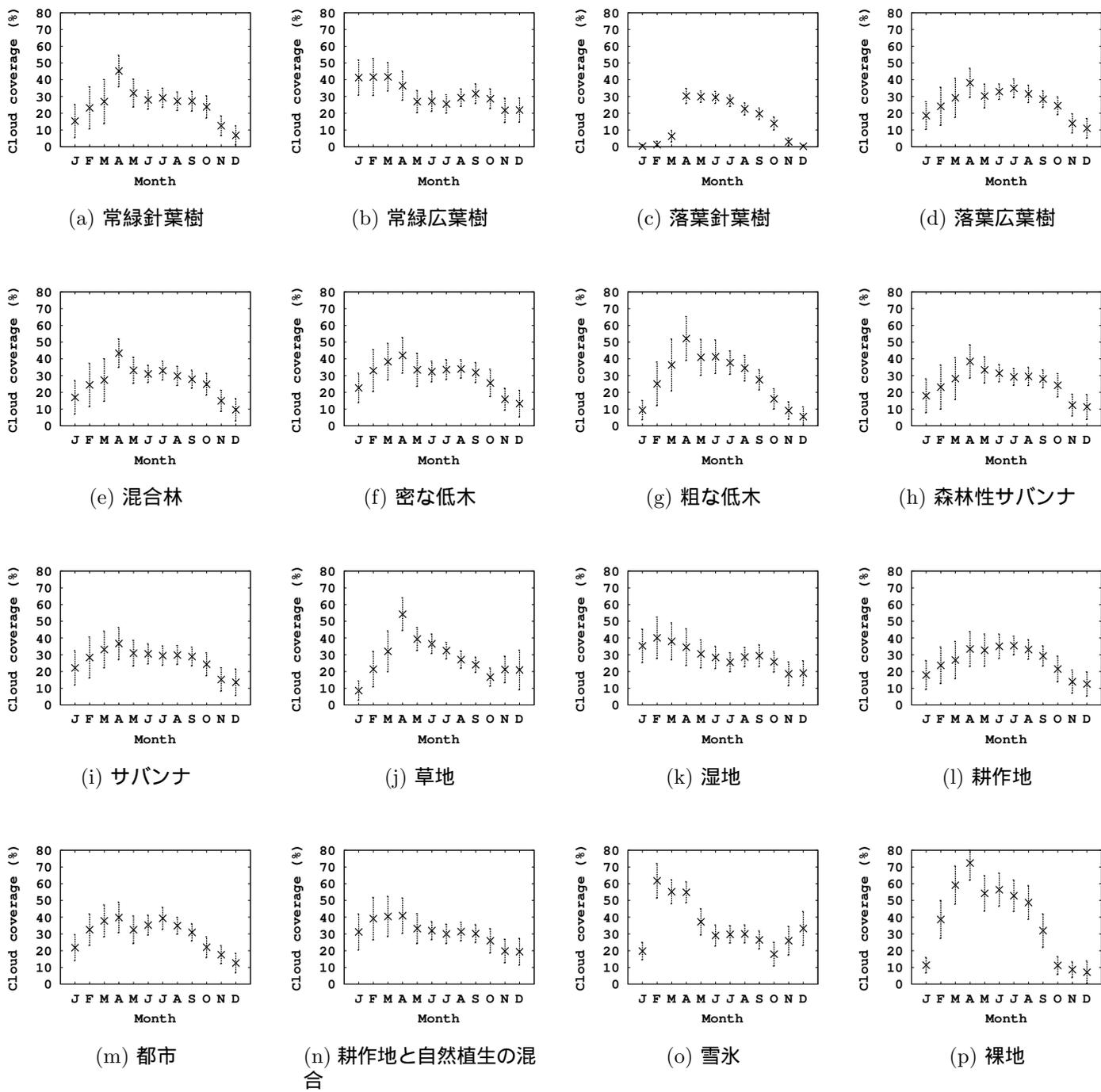
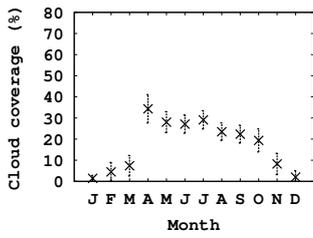
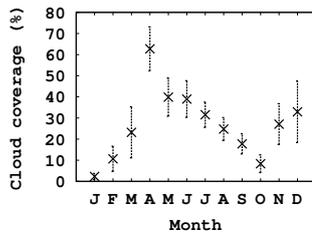


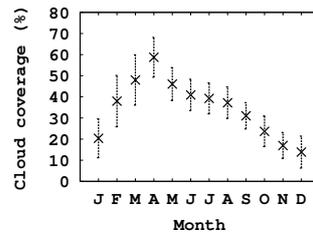
図 6 アジア地域における月別平均被雲率と土地被覆との関係。



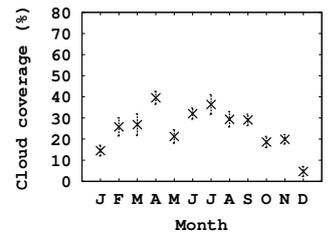
(a) ロシア



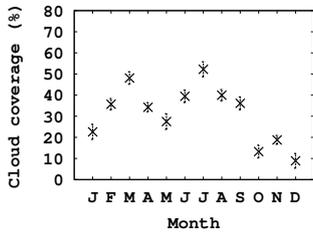
(b) モンゴル



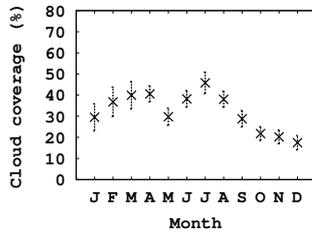
(c) 中国



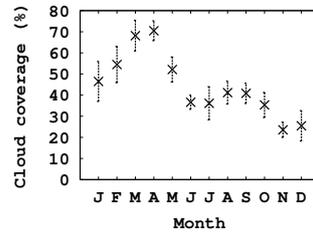
(d) 北朝鮮



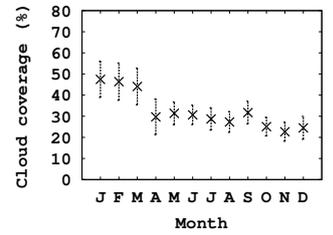
(e) 韓国



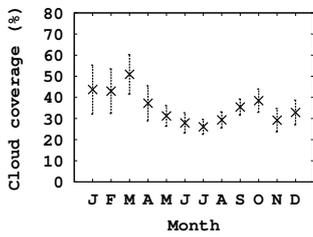
(f) 日本



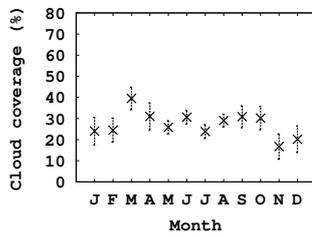
(g) 台湾



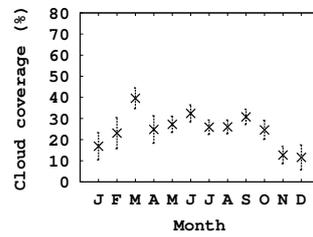
(h) フィリピン



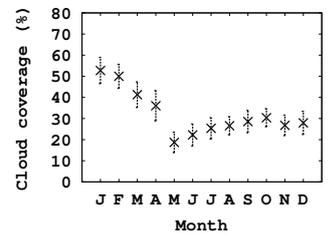
(i) ヴェトナム



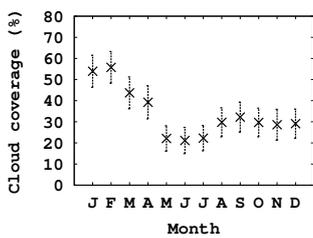
(j) ラオス



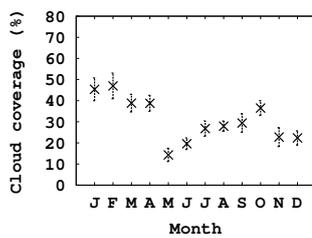
(k) タイ



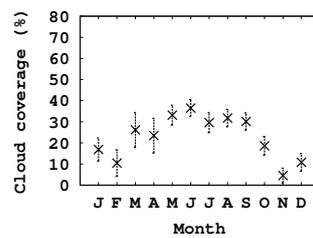
(l) マレーシア



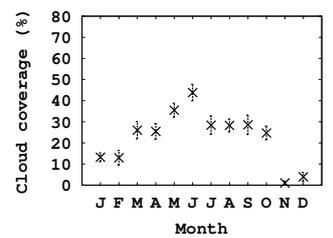
(m) インドネシア



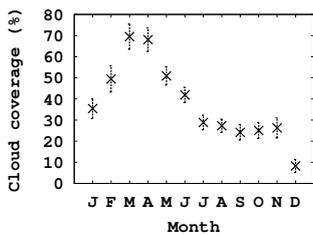
(n) ブルネイ



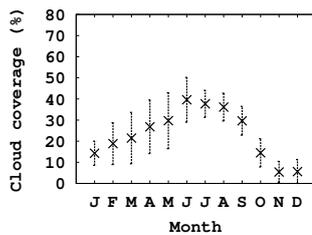
(o) ミャンマー



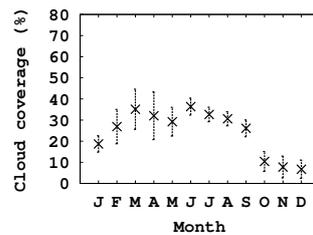
(p) バングラデシュ



(q) ブータン



(r) インド



(s) ネパール

図 7 アジア各国における月別平均被雲率の変動.

4 おわりに

本研究では、NOAA AVHRR データを用いてアジアにおける被雲率の計測手法の改良とその分布特性の解析を行った。NOAA16号から新たに利用可能となった短波長赤外のデータを用いることにより、雪氷と雲との判別を行うことができるようになった。また、閾値を自動決定することで広範囲かつ通年で使用することができることが確認された。次に、提示した手法を AVHRR データに適用し、アジア地域の 10 日間被雲率分布図データセットを作成し、土地被覆と国ごとに年間の被雲率変動について考察を行った。その結果、年間を通じてアジア地域を網羅するように NOAA AVHRR を用いて雲なしの良好なデータを取得するためには、1ヶ月の 61%に相当するおよそ 20 日以上が必要であることが明らかとなった。本報告の結果は、3 年間の解析から導いたものにすぎないため、経年変動の程度を確認することが必要である。今後は、AERONET などの地上観測データを併用することにより、本研究で開発した手法の妥当性を検証することを予定している。なお、本研究で開発した 10 日間被雲率合成画像および 10 日間雲なし合成画像のデータセットは <http://webpanda.iis.u-tokyo.ac.jp/CloudCover/> よりダウンロードして自由に使用することができる。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構 (JST) の「衛星観測・モデル統合によるアジア環境・災害評価システムの構築」プロジェクト (研究代表者 安岡善文) の一環として行われたものである。関係各位に感謝の意を表す。また、本研究で使用した AVHRR データの入手にあたってはアジア工科大学院の Vivarad Phonekeo 博士にご尽力を賜った。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 秋山侃, 川村健介, 2003. Landsat 5 号の快晴データ取得率に関する農林業分野からの一考察. 写真測量とリモートセンシング, 42(3), 29-34.
- Chen, P. Y., Srinivasan, R., Fedosejevs, G., and Narasimhan, B., 2002. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. *Int. J. Remote Sens.*, 23(15), 2939-2950.
- Goodrum, G. *et al.*, 1999. NOAA KLM User's Guide, NOAA.
- Jorgensen, P. V., 2000. Determination of cloud coverage over Denmark using Landsat MSS/TMM and NOAA-AVHRR. *Int. J. Remote Sens.*, 21(17), 3363-3368.
- 雷莉萍, 横山隆三, 2001. 全アジア地域 NOAA/AVHRR 10 日間モザイク画像の合成法 (II). 日本リモートセンシング学会誌, 21(2), 168-178.
- PaNDA 委員会 編, 1998. PaNDA (Package for NOAA Data Analysis) マニュアル, PaNDA 委員会.
- Rossow, W. B, and Garder, L. C., 1993. Cloud Detection Using Satellite Measurements of Infrared and Visible Radiances for ISCCP. *J. Climate*, 6(12), 2341-2369.
- Simpson, J. J., and Gobat, J. I., 1996. Improved cloud detection for daytime AVHRR scenes over land. *Remote Sens. Environ.*, 55, 21-49.
- Strahler, A. (eds.), 1999. MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.0 MODIS Land Cover and Land-Cover Change Principal Investigator.
- Tag, P. M., Bankert, R. L., and Brody, R., 2000. An AVHRR multiple cloud-type classification package. *J. Applied Meteorology*, 39, 125-134.
- Vittorio, A. V. Di, and Emery, W. J., 2002. An automated, dynamic threshold cloud-masking algorithm for daytime AVHRR images over land. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40(8), 1682-1694.

目次

1	はじめに	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の目的	1
2	解析手法	2
2.1	衛星データの前処理	2
2.2	雲の判別実験	2
2.2.1	目視による雲と雪氷との判別	2
2.2.2	頻度分布による雲の判別	2
2.2.3	雲判別の最適閾値探索法	3
3	解析結果	7
3.1	雲域判別方法の妥当性の検証	7
3.2	被雲率画像の作成結果	7
3.2.1	被雲率と土地被覆との関係	7
3.2.2	国別の被雲率特性	8
4	おわりに	13

目 次

1	2002年2月1日のAVHRR フォールスカラー合成画像 (RGB=321) . 北緯 43 度から 45 度, 東経 140 度から 145 度の領域を示しており, 陸海の雪氷域を含んでいる	3
2	5 種類の雲と雪氷 (薄い雲, 厚い雲, 高層雲, 海氷, 地表の雪氷) の可視から熱赤外におけるスペクトル特性の比較	4
3	AVHRR 画像における晴天域と雲域の各チャンネルの頻度分布図	5
4	晴天域と雲域の頻度分布曲線とその 2 次微分曲線から求めた変曲点との関係	6
5	2003 年の AVHRR 画像から作成したアジア地域における月別平均被雲率画像	10
6	アジア地域における月別平均被雲率と土地被覆との関係	11
7	アジア各国における月別平均被雲率の変動	12