

地域特性を考慮した多時期 MODIS 画像による融雪期の積雪分布推定手法の研究

環境リモートセンシング研究室 安藤圭祐

1. はじめに

積雪を防災管理あるいは水資源として有効利用するためには積雪分布状況を時間的・空間的に把握することが重要であり、そのためには広域を連続的に観測できる人工衛星リモートセンシング技術の利用が有効であると考えられている。しかし、光学センサでは地表面が雲で覆われると地表の情報を得ることが出来ない。このため、悪天候が続く冬期では高頻度で広域の積雪平面分布状況を把握することは困難である。

過去の衛星画像から作成した積雪頻度画像を用いて、雲域下の積雪分布推定手法が開発されてきた¹⁾が、年次や空間的な場所の違いによる融雪状況の違いを考慮していなかった。年次によって降雪量は大きく変化を見せており、地域によっても融雪の速度は違いを見せている²⁾。そこで本論文では、融雪の地域特性を考慮した雲域下の積雪分布推定手法を検討することでより高精度での推定を実現することを目的とした。

2. 対象領域

本論文では新潟県全域と近隣の山岳部が収まるような範囲を対象領域に設定した(図1)。対象領域の具体的な緯度経度は図1の左上が北緯 39° 23' 00" , 東経 136° 58' 00" . 右下が北緯 35° 54' 00" , 東経 141° 35' 00" である。

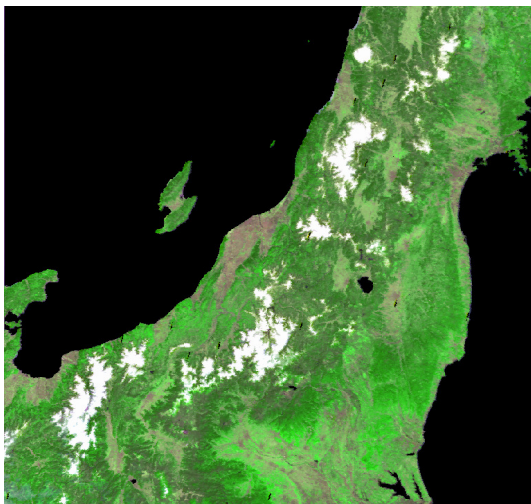


図1 対象領域

3. アルゴリズム概要

図2に地域特性を考慮した積雪分布推定アルゴリズム概要を示す。前処理として積雪頻度画像作成, 地域特性類似領域の特定を行う。そこから得られたデータを用いて雲域下の積雪分布推定を行う。その際雪線手法と融雪領域手法の2通りの手法を本論文では用いる。

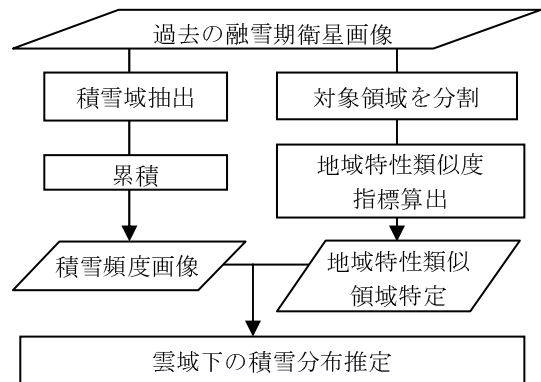


図2 本研究アルゴリズム概要

3. 積雪頻度画像作成

過去の MODIS-8日間コンポジット画像から積雪域を抽出し、累積することで積雪頻度画像を作成した。

積雪域の抽出には、D. K. Hall ら³⁾の手法を参考に NDSI(Normalized Difference Snow Index) 指標を用いて以下の条件で判別を行った

$NDIS \geq 0.3$ かつ バンド2(近赤外)反射率 $\geq 15\%$

積雪域を抽出した画像で積雪域を1, 無雪域を0とし、すべての画像を累積することで積雪頻度画像を作成した(図3)。

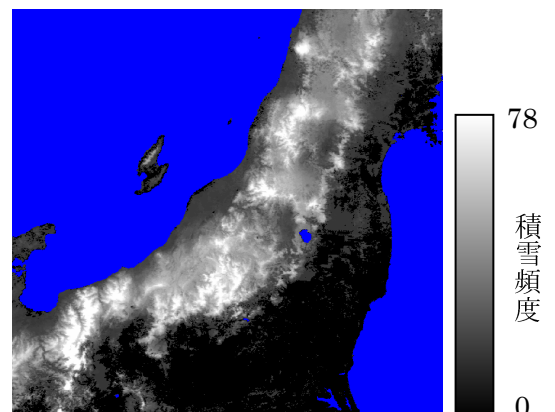


図3 積雪頻度画像

2001年～2006年の6融雪期、78シーンの8日間コンポジット画像から積雪頻度画像を作成した(最大頻度78)。積雪頻度画像において積雪頻度が高い場所は融雪しにくく、頻度が低い場所は融雪しやすい場所と考えることができる。

4. 地域特性類似領域の特定

地域特性を考慮するため、対象領域をいくつかの小領域に分割し、各領域間の地域特性の類似度を表す指標を算出した。その指標値に閾値を設定することで、領域間の地域特性が類似しているかを判断した。

地域特性の類似度を表す地域特性類似度指標(以下S)の算出手順を図4に示す。

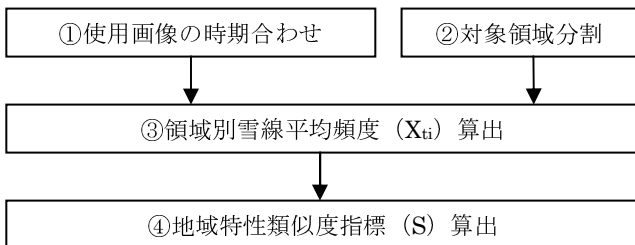


図4 地域特性類似度指標算出手順

図4の詳細を項目ごとに説明する。

①使用画像の時期合わせ

過去のMODIS-8日間コンポジット画像から、画像の陸域に対する積雪域の占有率を算出し、各年次で占有率が約30%～1%になる時期の画像をS算出に使用した。積雪占有率の算出結果を表1に示す。表1において塗りつぶされている画像54シーンを使用した。また、積雪占有率の算出には式1を用いた。

表1 各時期の積雪占有率(%)

期間	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
2/26～3/5		36.6	41.6	40.4		44.6
3/6～3/13	55.3	31.5	46.3	43.8	55.8	39.1
3/14～3/21	41.1	29.7	37.1	31.9	43.1	39.7
3/22～3/29	33.8		35.4	23.2	41.6	31.6
3/30～4/6	31.0	16.2	27.7	20.6	34.4	31.4
4/7～4/14	24.4	9.4	22.0	13.0	25.0	
4/15～4/22	14.2	6.1	11.4	8.2	20.6	19.0
4/23～4/30	8.0	3.6	6.8	5.8	10.7	14.6
5/1～5/8	5.9	2.8	4.8	4.0	6.9	10.4
5/9～5/16	3.0	1.2	3.3	1.7	4.0	5.7
5/17～5/24	2.4	0.9	1.4		2.8	3.1
5/25～6/1	0.8	0.5	1.1	0.7	1.3	2.1
6/2～6/9	0.5	0.4	0.5	0.2	0.9	1.4
6/10～6/17				0.0	0.5	
6/18～6/25			0.7	0.1	0.2	

$$\text{積雪占有率} = \frac{\text{画像内の積雪域ピクセル数}}{\text{画像内の陸域ピクセル数}} \times 100 \dots (1)$$

②対象領域分割

DEM画像へ分水界法を用いることで領域分割を行った。本論文では対象領域を200の小領域に分割した。図5に領域分割結果を示す

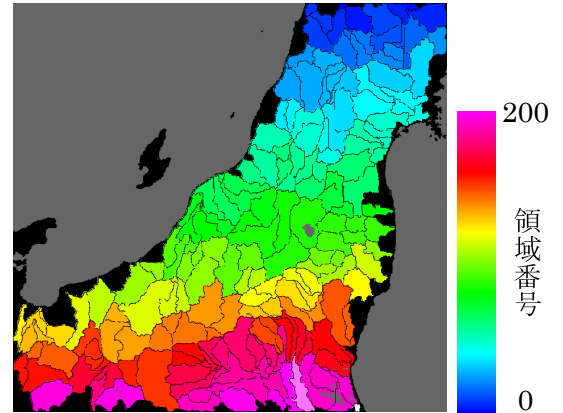


図5 領域分割結果

③領域別雪線平均頻度(Xti)算出

①で選定した観測日tの画像から積雪域と無雪域の境界である雪線を抽出する。領域i内で雪線に対応する積雪頻度値の平均をXtiとした。これをすべての画像から算出する。各領域に、ある画像におけるXt1～Xt200の値を入れたX画像を図6に示す。

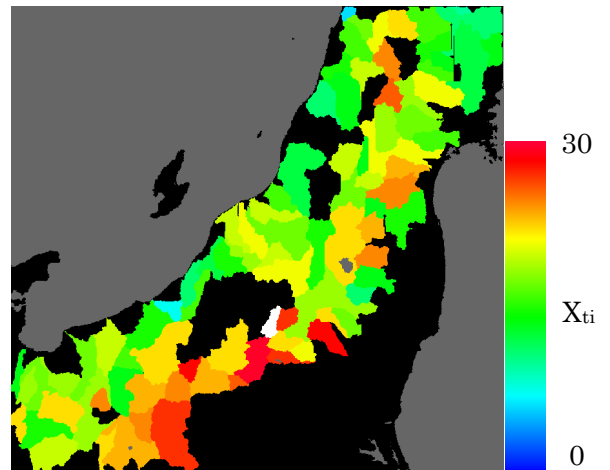
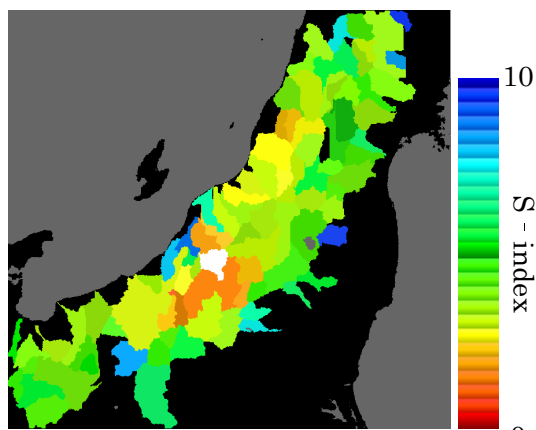


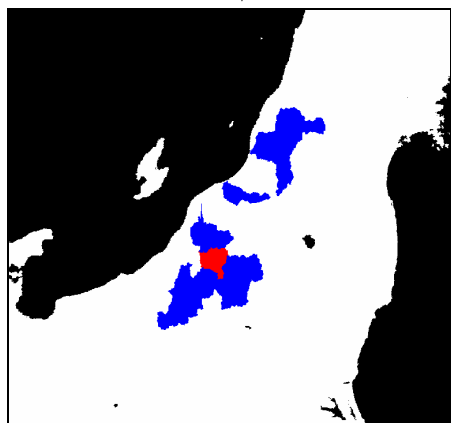
図6 X画像

④地域特性類似度指標(S)算出

③で算出したXtiを用いてSの算出を行った。分割した領域iと領域j間のSを計算する場合、式(2)により算出した。領域間のSの値が3.0以下であれば地域特性が類似しているとした。例として、領域aに対するS画像から地域特性類似領域を特定したものを図7に示す。



(a) 領域 a に対する S 画像



(b) 領域 a に対する地域特性類似領域
赤色：領域 a 青色：地域特性類似領域

図 7 地域特性類似領域特定の例

$$Index_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^N |x_{ti} - x_{tj}|}{N} \quad \dots(2)$$

$Index_{ij}$: 領域 i と領域 j 間の地域特性類似度指標
 x_{ti} : 観測日 t の領域 i の領域別雪線平均頻度
 N : 指標計算用画像枚数

5. 雲域下の積雪分布推定

3, 4 で生成された積雪頻度画像と地域特性類似領域データを用いて、画像内における雲域下の積雪分布推定を行った。その際の手法として本論文では雪線を用いる雪線手法と融雪領域を用いる融雪領域手法の 2 種類の手法を用いた。それぞれの推定手法の流れを図 8 に示す。

図 8 の③と④をすべての領域に繰り返すことで画像全体の積雪分布推定を行った。

②において融雪領域は、推定したい画像観測日を含まない最も近い過去の 8 日間コンポジット画像と積雪域を比較し、抽出した。この時、推定画像内の雲域は融雪領域に含めないようにした。

閾値の設定には、雪線手法は雪線に対応する積雪頻度の平均値、融雪領域手法は雪線に対応する積雪頻度の平均値 + σ とした。

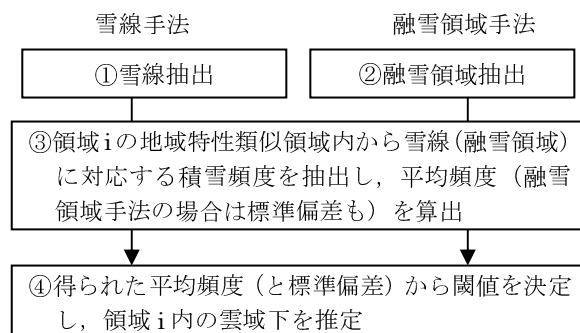


図 8 積雪分布推定手法

6. 推定手法の比較検証

雲がまったくない検証用画像 6 シーン (i ~ vi) それぞれに仮想雲域を 5 パターン (A ~ E) 設定し、全 30 通りの画像における雲域下の積雪分布推定を行った。その際の手法は、地域特性を考慮した雪線手法、融雪領域手法、地域特性を考慮しない雪線手法、融雪領域手法の 4 つの手法を用いた。推定結果の例を図 9 に示す。

地域特性を考慮しない場合の推定手法は推定時の閾値を決める際に、雪線や融雪領域に対応する平均頻度の算出範囲を地域特性類似領域に限定せずに全体から抽出し、閾値を決定して積雪分布推定を行うものとした。そのため、閾値は 1 つだけで画像全体の雲域下の積雪分布推定を行った。推定結果と実際の積雪域を比較し、合致率を算出した結果を表 2 に示す。

表 2 において地域特性を考慮することで合致率が上昇したものは青色で塗りつぶしてある。また、全 30 通りの合致率の手法別平均を表 3 に示す。雪線手法、融雪領域手法ともに地域特性を考慮することで、30 パターン中 13 パターンで合致率が上昇した。平均を見ると地域特性を考慮すると雪線手法では合致率が下がり、融雪領域手法では向上するという結果となった。

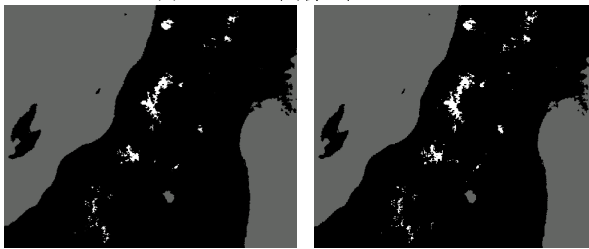
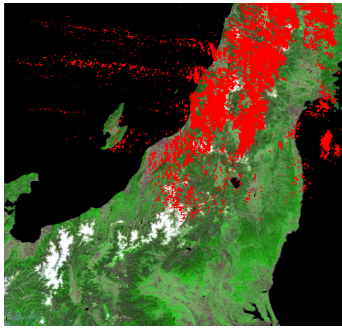


図9 推定結果の例(検証用画像-v, 雲域パターン-E)

表2 合致率一覧 [%]

(a)雪線手法

仮想雲域パターン	地域特性考慮	検証用画像					
		i	ii	iii	iv	v	vi
A	あり	60.9	68.6	74.2	58.9	73.3	62.8
	なし	59.5	67.5	87.3	57.8	74.9	65.1
B	あり	65.0	56.4	53.3	69.1	54.4	56.0
	なし	66.8	56.2	53.2	69.2	50.9	55.6
C	あり	53.3	65.3	67.2	52.6	66.0	58.2
	なし	50.3	64.7	74.1	45.5	66.9	63.3
D	あり	73.7	69.5	74.3	69.3	75.0	72.4
	なし	76.3	72.8	76.4	68.8	77.5	74.7
E	あり	61.4	71.1	71.3	67.4	58.6	54.1
	なし	62.9	69.5	76.7	65.4	61.6	59.5

(b)融雪領域手法

仮想雲域パターン	地域特性考慮	検証用画像					
		i	ii	iii	iv	v	vi
A	あり	85.4	78.4	82.0	75.5	73.6	67.4
	なし	86.1	78.6	76.3	75.7	74.5	66.8
B	あり	80.9	76.6	53.2	71.7	72.9	67.7
	なし	79.8	77.6	42.8	71.9	65.2	61.6
C	あり	79.5	76.5	81.0	72.6	73.4	65.5
	なし	83.7	79.1	80.7	78.7	74.4	69.7
D	あり	80.9	81.2	75.4	76.0	73.1	69.5
	なし	84.1	80.2	70.0	74.9	76.0	72.6
E	あり	80.3	79.7	72.1	75.7	72.8	66.4
	なし	80.9	80.6	62.8	79.9	61.6	59.5

観測日 i : 2001/4/17 ii : 2002/4/29 iii : 2003/4/7
iv : 2005/4/30 v : 2007/4/30 vi : 2007/5/14

表3 手法別合致率平均 [%]

		地域特性を考慮	
		する	しない
推定手法	雪線手法	64.5	65.7
	融雪領域手法	74.6	73.5

7.考察

雪線手法で地域特性を考慮すると合致率が下がる要因としては、雪線を抽出する際に実際には積雪と無雪域の境界ではない部分を雪線として抽出してしまう問題

が大きく影響していると考えられる。

表2(b)を見ると、融雪領域手法を用いる場合、検証用画像 i・ii など地域特性を考慮しなくても合致率が80%と高い時は、地域特性を考慮してもそれほど向上しなかった。このような場合は、積雪頻度画像の方を改善することでより合致率が向上すると考えられる。地域特性を考慮しない場合の合致率が75%以下の場合に絞ると、地域特性を考慮することで平均3.5%合致率が上昇した。

融雪領域手法において個別に見ると地域特性を考慮することで合致率が大きく下がる場合もあった。その要因としては、本来はもっと広い融雪領域であるはずが、雲に隠れているため一部しか見えていないことが考えられる。融雪領域に対応する積雪頻度は、雪線に比べてばらつきが大きい。そのため、対応する積雪頻度が低いところの融雪領域が一部だけ見えていると、閾値も低下するため、実際よりも多く積雪を推定してしまい合致率が低下すると考えられる。

検証用画像 iiiと雲域パターンBの組み合わせは雪線手法、融雪領域手法共に合致率が他の結果に比べ低かった。推定がうまくいかなかった部分を見てみると、積雪頻度が0~3程度の領域に検証用画像観測時には積雪があり、その部分が推定できていなかった。このような場所は融雪が早いために積雪頻度が低いわけではなく、降雪がある年と無い年があるため積雪頻度が低いと考えられる。今回の手法では積雪頻度が低い部分は融雪が早く起こると考えているので、このような場所は精度よく推定することが出来ない。今後は気温などの物理的な要因を考慮した推定方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 渡邊映他:過去の衛星画像参照による地上画像観測時点での積雪域平面分布推定手法の検討,長岡技術科学大学大学院修士論文
- 2) 坂田健太他:MODIS 画像による流域間の年次融雪分布特性の比較検討,日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集, pp.77-78, 2007
- 3) D.K.Hall:Assessment of Snow-Cover Mapping Accuracy in a Variety of Vegetation-Cover Densities in Central Alaska, Remote Sensing of Environment, Volume 66, Issue2, pp.129-137, 1998