

雪面照明条件を考慮した地上撮影画像上の積雪領域判別手法の検討

環境リモートセンシング研究室 阿部翔太郎

指導教員 力丸厚、高橋一義、坂田健太

1.背景・目的

これまでのリモートセンシングを用いた積雪領域に関する研究は、衛星観測と地上観測画像を用いた積雪領域推定や融雪特性の把握を主体として行われてきた。地上観測の場合、対象を側面から見ているため、地形や樹木、そして照明条件による影響を受けやすくなる。図1に示すように、同じ日に撮影した画像であっても時間帯により照明条件は変化することになり、日陰の積雪領域は画像上では画素値が大きく低下するため判別が困難になる。積雪領域を正確に把握するには、照明条件が異なる画像でも照明条件が一定な場合と同様の判別結果を得られるようにする必要がある。

そこで本研究は、雪面の照明条件を考慮した積雪領域判別手法を検討し、積雪領域抽出精度の向上を図ることを目的とする。

2.研究の流れ

本研究の全体的な流れを図2に示す。本研究は照明条件を考慮した積雪領域判別手法を提案し、撮影した地上観測画像を用いて積雪領域の判別を実施する。その後、高分解能観測画像および照明条件変動画像を用いて既往の判別手法との比較を行い、提案する積雪領域判別手法の有用性を検証する。

3.本研究における積雪領域の定義

積雪領域とは降雪によって地表面に雪が積もっている領域のことである。地上観測の場合、対象を側面から見ているため、図3に示すように衛星観測では見えている地形や樹木などに隠れた積雪領域が判別できない。そのため本研究では、観測位置から見えている積雪領域を雪視領域せつしりょういきと定義し、この雪視領域を判別する

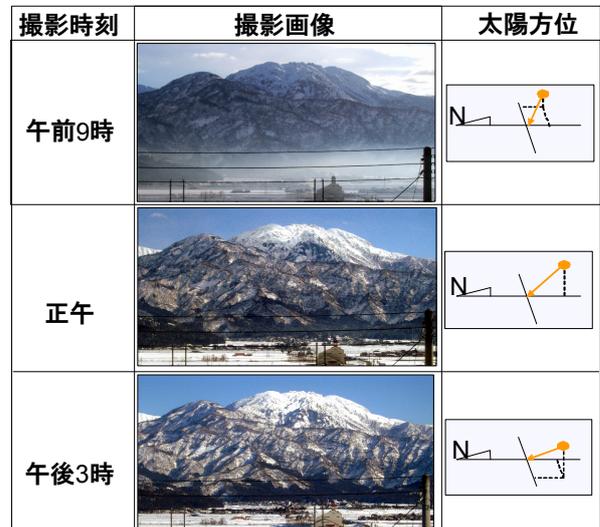


図1 撮影時刻による照明条件の違い
(2009年1月25日撮影)

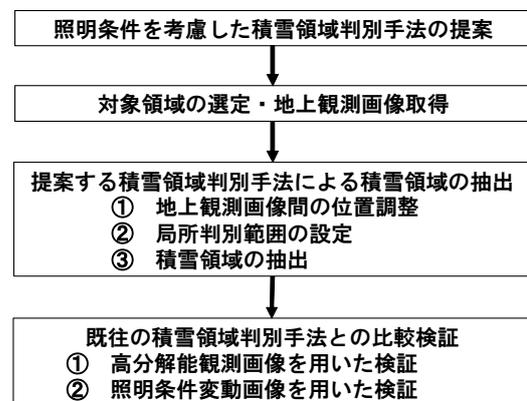


図2 研究の流れ

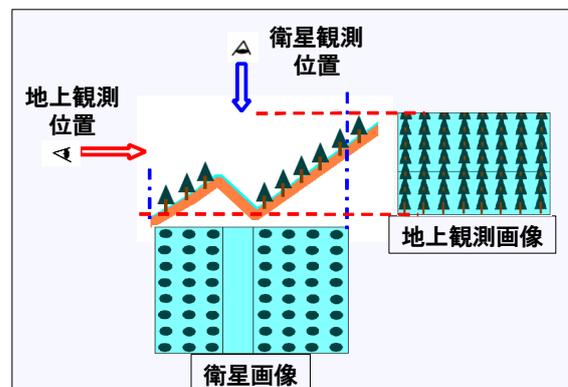


図3 観測視点の違いによる積雪・雪視領域

手法を検討する。以降の文中の積雪領域とは雪視領域を示している。

4. 照明条件を考慮した積雪領域判別手法の提案

地上観測画像には日向と日陰が混在しており、日陰になった部分は画素値が大きく低下する。このような場合、図4のモデル図に示すように一定の固定閾値で積雪領域判別を実施すると、日陰の積雪領域が無雪領域と推定されてしまう。実際に固定閾値による判別手法で積雪領域を抽出した図5を見ると、赤枠で示した日陰積雪領域が無雪領域に判別されていることが分かる。

そこで本研究では雪面の照明条件を考慮した判別手法として局所判別法を提案する。局所判別法とは、図6のモデル図に示すように積雪領域を探索した近傍最大値画像と無雪領域を探索した近傍最小値画像を作成し、両者の中間値を算出することで、照明条件により変動する動的閾値を設定する。この動的閾値を用いて積雪領域を判別することで、固定閾値では抽出できなかった日陰積雪領域が抽出できるようになるという手法である。実際に局所判別法で積雪領域を判別した図7を見ると、赤枠で示した日陰積雪領域が局所判別法では積雪領域と判別できていることが分かる。

5. 対象領域の選定と地上観測画像取得

新潟県南魚沼市の八海山を観測対象領域とし、定点カメラを設置して2008年12月19日から2009年7月15日までの期間で地上観測画像を1792枚取得した。取得した地上観測画像のうち、対象領域が雲や霧に覆われていないものを約一週間間隔で計26枚選定し、解析に用いた。

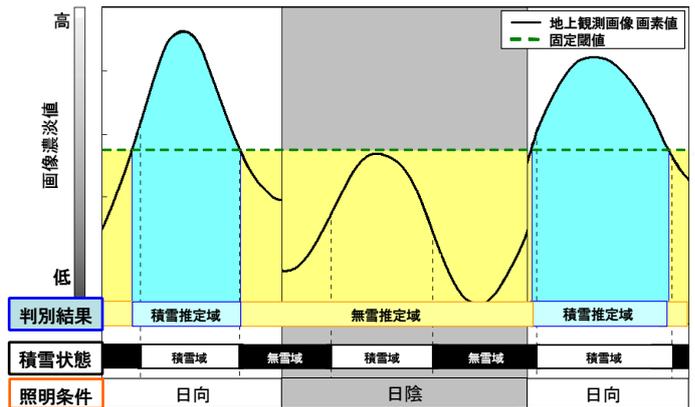


図4 固定閾値法による積雪領域判別のモデル図

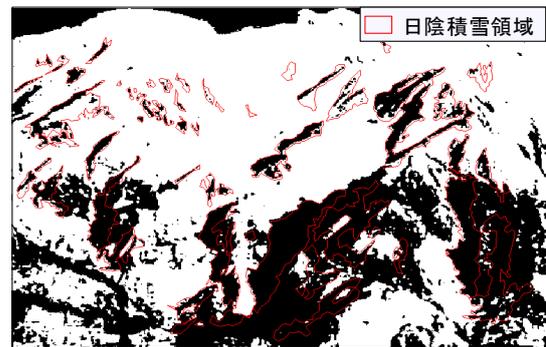


図5 固定閾値による積雪領域抽出例

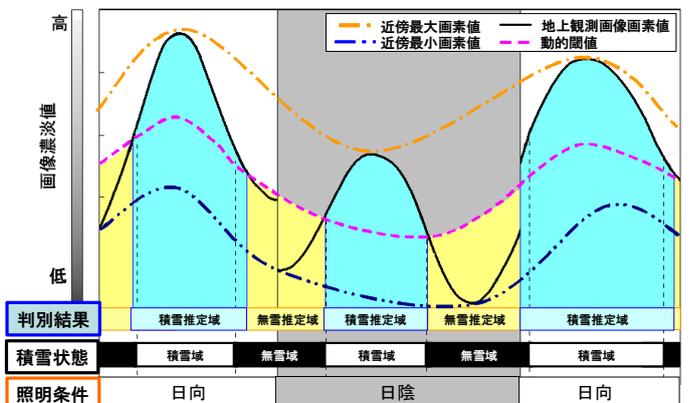


図6 局所判別法を用いた積雪領域判別のモデル図

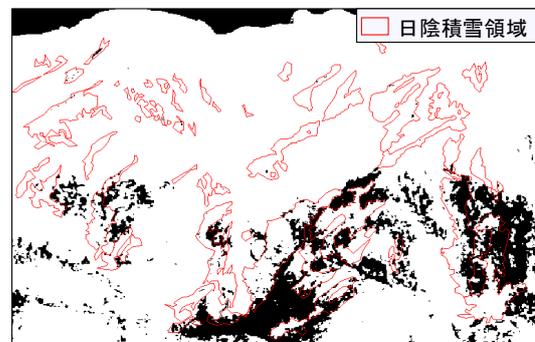


図7 局所判別法による積雪領域抽出例

6.提案する判別手法による積雪領域の抽出

①地上観測画像間の位置調整

地上定点観測を実施した8ヶ月の間にカメラアングルが若干動いたため、撮影した地上観測画像にズレが生じた。そのため、地上観測画像の位置合わせを実施した。位置合わせは撮影開始日である2008年12月19日撮影の地上観測画像を基準とし、基準画像以外の25枚に対して実施した。

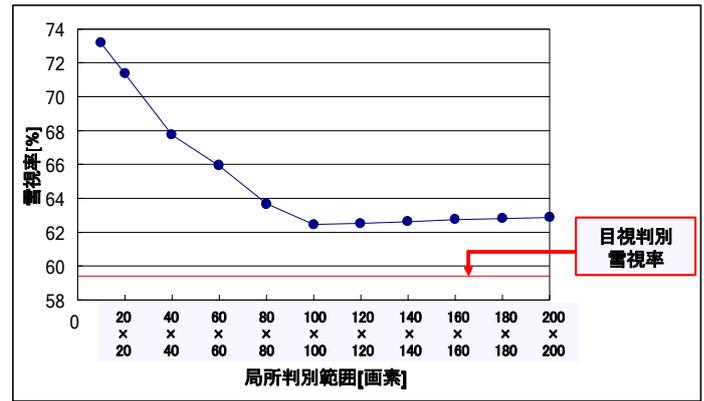


図8 各局所判別範囲と目視判別による雪視率

②局所判別範囲の設定

局所判別法は近傍最大・最小値画像を作成する際に使用する、フィルタリング処理の設定範囲（以下、局所判別範囲と表記）を変動させることで抽出される積雪領域が変化するため、抽出に適切な局所判別範囲を選定することが重要になる。そのため、局所判別範囲を10×10画素から200×200画素まで変化させて積雪領域判別を実施し、判別した積雪領域の雪視率と目視判別による積雪領域判別画像の雪視率を比較した。雪視率とは対象画像中に占める積雪領域の割合のことで、式(1)により算出した。

$$Sr = \frac{Sp}{Np + Sp} \times 100 \quad \dots (1)$$

Sr : 雪視率 [%]

Sp : 積雪領域の画素数 [pixel]

Np : 無雪領域の画素数 [pixel]

各局所判別範囲と目視判別による雪視率を図8に示す。図8を見ると、目視判別による雪視率が約59%となったのに対し、80×80画素以下では5~14%ほど目視判別の雪視率より高くなった。100×100画素以上では63%程度のほぼ一定値で、中でも100×100画素での雪視率が目視判別の値に最も近くなったため、地上観測画像の局所判別範囲は100×100画素として積雪領域判別を実施した。



図9 積雪領域抽出画像例(2009年2月24日)

③積雪領域の抽出

②で決定した100×100画素の局所判別範囲を用いて、局所判別法による積雪領域抽出を実施した。判別の際、手前の山腹部分と八海山山頂部分は距離差・標高差から照明条件・土地被覆などに違いがあると考え、別々に積雪領域抽出を実施した後、作成した画像を合成することとした。また、作成した積雪領域判別画像は本来無雪領域である部分を積雪領域と誤判別している箇所があったため、誤判別を除外する処理を実施した。局所判別法による積雪領域判別画像の一例を図9に示す。

7.既往の積雪領域判別手法との比較検証

安田ら¹⁾による既往の積雪領域抽出は、固定・動的閾値合成法が用いられてきた。この手法は固定閾値のみでは判別が困難である日陰積雪領域を、平均値フィルタリング処理による動的

閾値法を用いて抽出し、両者を合成するというものである。この固定・動的閾値合成法と局所判別法による積雪領域抽出画像を比較し、局所判別法の有用性を検証した。

①高分解能観測画像を用いた検証

本研究では定点カメラによる地上観測画像の取得の他に、望遠カメラによる高分解能観測画像の撮影を合計14回実施した。この高分解能観測画像は図10に示すように、地上観測画像よりも高い分解能で八海山を撮影しているため、積雪領域と樹木や無雪域などがひとつの画素の中に混在し判別が困難になる、ミクセル状態になることが少なくなり、より正確に積雪領域を判別することができる。

高分解能観測画像の積雪領域を基準として、地上観測画像を固定・動的閾値法、局所判別法のそれぞれで積雪領域抽出を行い、各判別法が高分解能観測画像の積雪領域とどれだけ同じ積雪領域を抽出できるか検証した。高分解能観測画像と各判別法による積雪領域抽出画像の重ね合わせ画像の一例を図11および図12に示す。

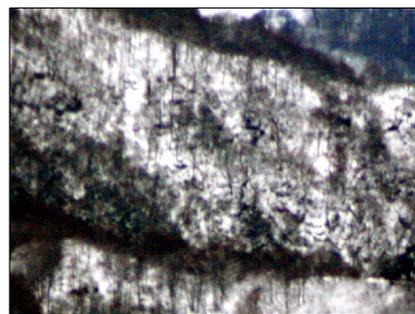
ここで、高分解能観測画像の積雪領域に対して、各判別法による積雪領域がどれだけ同じく抽出できているかを調べるため、合致率による比較を実施した。合致率は式(2)により算出した。

$$\text{合致率}[\%] = \frac{A}{A+B} \times 100 \quad \dots(2)$$

式(2)に示すAおよびBは、図11の上を示したカラーチャートのAおよびBの領域の画素数であり、検証用画像で積雪領域となっている白色領域Aと水色領域Bの画素値の合計に対する、検証用・各判別法画像ともに積雪領域である白色領域Aの画素値の割合を合致率とした。各判別法による高分解能観測画像との合致率の比較分布を図13に示す。



地上観測画像（分解能0.68m/pixel）



高分解能観測画像（分解能0.10m/pixel）

図10 地上観測画像と高分解能観測画像

		各判別法による積雪領域画像	
		積雪領域	無雪領域
高分解能観測画像	積雪領域	A	B
	無雪領域	C	D

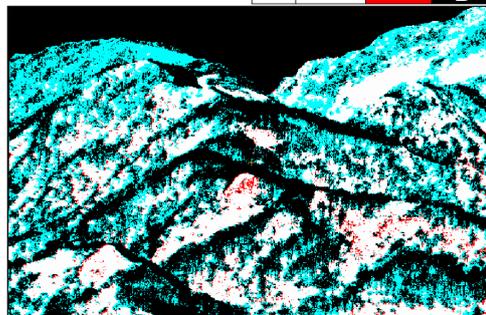


図11 高分解能観測画像と固定・動的閾値合成法の重ね合わせ画像例

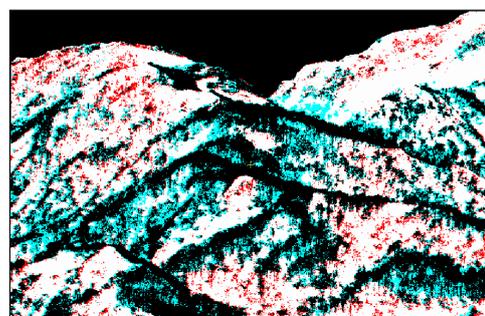


図12 高分解能観測画像と局所判別法の重ね合わせ画像例

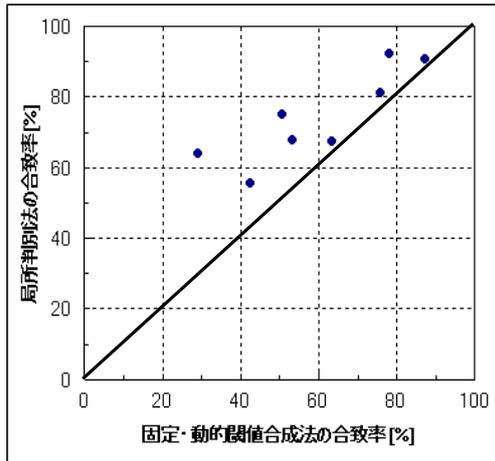


図 13 高分解能観測画像との合致率の比較分布

図 13 を見ると、固定・動的閾値合成法の合致率は平均 60%であり、画像によって違いはあるものの全体的に高分解能観測画像との合致率は低いということが分かる。一方局所判別法の合致率は平均 74%であり、全ての画像で局所判別法の方が合致率が高いという結果になった。積雪領域を明確に観測できる高分解能観測画像との合致率が高いということは、実際の積雪状態に近い精度で積雪領域を抽出できたということになるため、局所判別法は固定・動的閾値合成法よりも積雪領域の再現性が向上していると考えられる。

② 照明条件変動画像を用いた検証

局所判別法が照明条件の変動している画像でも安定した精度で積雪領域を抽出できるか検証するため、同日の 12 時、14 時、16 時に撮影された照明条件変動画像を用いて検証を実施した。照明条件変動画像はゆきぐにネット²⁾が撮影したライブカメラ画像を用いた。検証には、高い位置にある雲に空が覆われた高曇りの画像を、照明条件が一定であると仮定し基準画像として用いることとした。基準画像の積雪領域と各判別法による照明条件変動画像の積雪領域の重ねあわせ画像を図 14 に示す。

		各判別法による積雪領域抽出画像	
		積雪領域	無雪領域
基準画像	積雪領域	A	B
	無雪領域	C	D

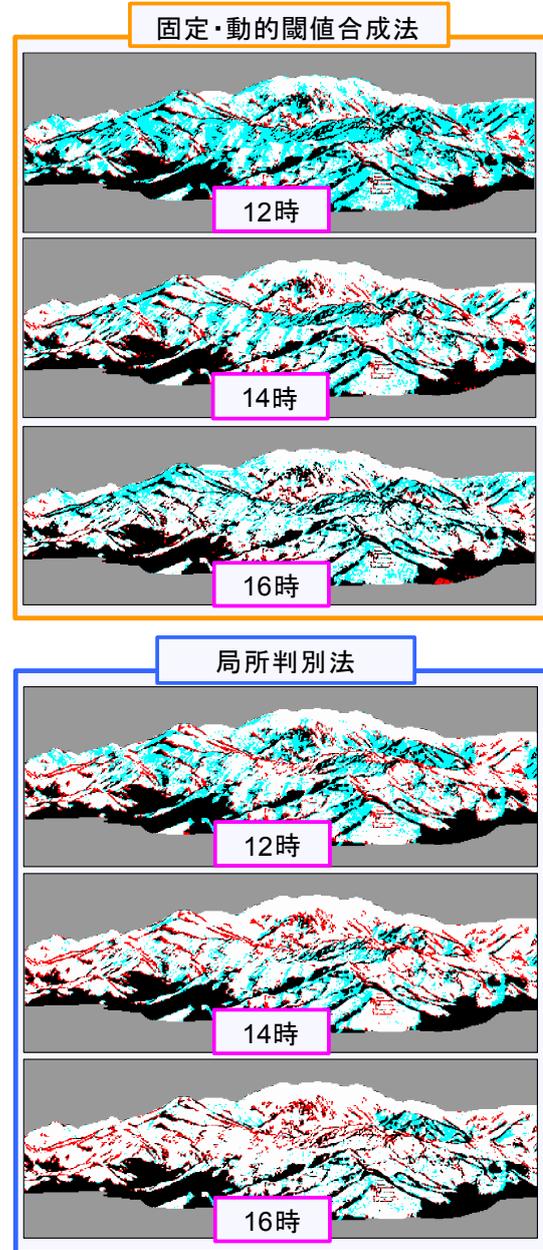


図 14 基準画像と各判別法の重ね合わせ画像
(画像提供：ゆきぐにネット)

照明条件変動画像についても、式(2)の合致率による比較を実施した。各判別法による基準画像との合致率の比較分布を図 15 に示す。

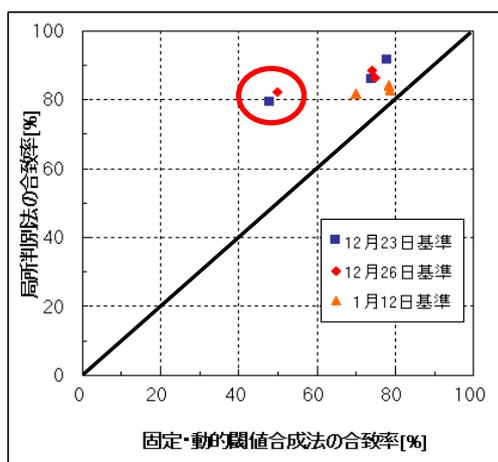


図 15 基準画像との合致率の比較分布

図 15 を見ると、特に赤丸で示した日陰の多い照明条件変動画像の合致率が、固定・動的閾値では 50%程度であるのに対して局所判別法では約 80%の高い合致率を維持している。その他の照明条件変動画像でも、局所判別法の方が固定・動的閾値合成法の合致率よりも 5~14%ほど高い値になっている。このことから、局所判別法は日陰領域における抽出精度が向上しており、照明条件の異なる画像でも安定した精度で積雪領域を判別できると考えられる。

8. まとめ

本研究で提案した局所判別法は、既往の積雪領域判別手法である固定・動的閾値合成法と比較して、実際の積雪領域の再現性が平均 14%向上することが、高分解能観測画像を用いた検証により確認された。また、照明条件変動画像を用いた検証により、日陰積雪領域の判別精度が約 30%向上し、照明条件の異なる画像でも約 80%以上の安定した精度で積雪領域を判別できることが確認された。以上のことから、局所判別法は地上観測画像を用いた積雪領域判別において、既往の判別手法よりも正確に積雪領域を判別することが可能であるといえる。

また、局所判別法を導入することで、これまで照明条件が良好でないとして積雪領域判別から除外していた画像が使用可能となるため、既往の研究よりも高い時間頻度で、より正確な積雪・融雪特性の把握が期待できる。

9. 今後の展望

本論文では目視判別の雪視率と比較した上で、地上観測画像の局所判別範囲を 100×100 画素と設定して積雪領域抽出を実施した。しかしこの方法で局所判別範囲を設定していると、画像の撮影条件が変化するたびに目視判別を実施し、適切な局所判別範囲を設定する必要があるため、積雪領域判別手法としては汎用性が低いという問題がある。この問題点の解決策として、局所判別範囲の基準値を定めることができれば、その基準値から空間分解能や積雪領域の範囲に対応した、適切な局所判別範囲を画像ごとに算出することが可能になり、汎用性の向上が期待できるのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 安田俊夫他：時系列地上積雪観測画像による融雪特性の把握，長岡技術科学大学大学院修士論文，2009
- 2) (有)インディーテクノロジー：“ゆきぐにネット八海山フォトギャラリー”
URL : <http://hakkaisan.livepix.jp/album/imageFolio.cgi> (accessed 3 Feb. 2010)