地上撮影画像上の山岳地形による影の影響を考慮した 積雪領域判別手法の検討

Study on snow coverage area distinction methodology considering the effect of the mountainous terrain shadow on the terrestrial photography images

坂田 健太*・力丸 厚*・阿部翔太郎*

Kenta SAKATA, Atsushi RIKIMARU and Shoutarou ABE

Abstract: This study proposes the methodology of distinguishing the snow coverage area on mountains using terrestrial photography images. The pixel value of snow on the mountains in the image changes due to the effect of the slope condition. In the mountain slope condition, pixel value is lower by the effect of shadow. This paper, how to distinguish snow coverage for every slope conditions is considered, and it examined the distinction methodology of not being subject to the effect of shadow conditions. Snow coverage area distinguish accuracy in the terrestrial photography image is improved by the proposing methodology as compared to conventional methodology.

1. はじめに

山岳地帯における積雪水は流出され、その流域内で灌漑、生活用水などの公共用水の主要な供給源となる。このため融雪水の有効活用には、最大積雪時期以降の融雪時期における山岳の積雪領域の変化を捉えるための積雪領域の時系列的な把握が重要である。従来は人工衛星観測データを用いて積雪領域を把握する研究がなされている¹⁾。しかし、光学センサによる観測では、連続的かつ広範囲に観測は実施されるが、融雪時期は観測対象領域の雲域障害で、雪面の観測が困難な場合が多い。また、レーダによる衛星観測も考えられるが、地形の起伏の多い山岳地帯では、地形による影響が後方散乱に大きく影響し、積雪の把握は容易ではない。一方、地上撮影による方法では対象領域を側面から観測することにより、雲域障害が少なく雪面把握の可能性が高い。また森田（2008）は、光線追跡法を応用したアルゴリズムを用いて、地上撮影された画像をオルソ補正し、積算暖度法を用いて積雪水量の把握について提案している。自動定点観測は高頻度撮影が可能で

あり、融雪時期の積雪領域の変化把握が期待される。しかし、実際に地上観測された画像は、山岳の尾根などの地形による影の影響によって、雪面の判定条件が画像内の局所ごとに異なっており、この課題の解決が必要となる。

2. 研究の目的

本研究は、長期インターバル撮影が可能なデジタルカメラを用いて地上定点撮影した山岳地の画像データから、太陽位置と地形の傾斜形状の関係によって影が生じることで、画像内で画素値が異なることを考慮して、融雪期において安定的に積雪領域を判別できる手法を提案し、その可能性を検討することを目的とした。本研究で用いた撮影仕様を表1に示す。

表1. インターバル撮影仕様

デジタルカメラ	RICOH Caplio 500SE
撮影期間	2008年12月19日～2009年7月15日 (171日間)
撮影間隔	2時間
焦点距離	17mm
撮影素子寸法	7.2×5.3mm
画素数	3264×2448pixel

*長岡技術科学大学
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 53, NO.1, 2014

3. 本研究における積雪領域の取り扱い

本研究で取り扱う積雪領域は、地上撮影した画像に雪面が表出されている領域に限定し、樹木の影や地形の影響で見えない部分は対象外とした。本研究ではこの条件付の積雪領域を一般の積雪領域と区別して記述する。

4. 山岳傾斜の雪面反射特性を考慮した積雪領域判別手法の提案

地上観測画像には山岳傾斜の影響によって反射の強い日向領域と反射の弱い日影領域が混在している。図1に示すように、9時に撮影すると反対斜面を照射し

a) 9時撮影

b) 12時撮影

c) 15時撮影

図1. 同一日の撮影時刻による雪面陰影状態の変化
(2009年1月25日撮影)

ているため観測画像全体が日影領域となる。また山岳斜面に太陽光が照らすようになる12時や山岳斜面と太陽が直行する15時に撮影しても日影領域が生じる。図1のように1日を通して定点観測したデータでは太陽の位置によっても山岳斜面の影の影響が確認でき、積雪判別には日影領域の影響を考慮する必要がある。図2に15時に撮影した日影の雪面分布を示す。日影領域では画素値が低くなり、図3のモデル図に示すように画像全体を同じ閾値で処理する固定閾値で積雪領域を判別すると、日影の積雪領域が無雪領域と判別される。図4に一般的に活用される固定閾値により判別された状態を示す。区画で示した日影にある積雪領域が無雪領域に判別されている。

安田ら(2008)は、この日影領域を考慮し、固定閾値により判別した積雪領域と動的閾値により判別した積雪領域を合成した固定および動的閾値合成法によって積雪領域を判別しているが、その判別精度は十分でない。そこで本研究では山岳傾斜の陰影特性を考慮した判別手法として局所空間フィルタ処理を用いて判別する手法を提案する。この手法は、対象画素を中心にした $n \times n$ の局所範囲を設定する。その局所範囲での

図2. 元画像上での日影の雪面分布

図3. 固定閾値による積雪領域判別のモデル図

図 4．固定閾値による積雪領域判別状態

図 5．局所判別法を用いた積雪領域判別のモデル図

図 6．局所判別法を用いた積雪領域判別状態

最小値と最大値から中間値を算出し、その値を対象画素の閾値とした。図 5 にモデル図を示す。この手法により山岳雪面の反射特性により変動する画素の変化に対応することができる。この閾値を用いて積雪領域を判別することで、日影にある積雪領域を判別する手法である。本研究ではこの手法を局所判別法とする。図 6 に日影領域が最も少ない 15 時撮影の画像を用いて局所判別法で積雪領域を判別した結果を示す。図 4 と図 6 にあるポリゴン区画領域は、図 2 で示した日影にあ

る積雪領域と同じ領域を示している。この日影にある積雪領域（36,018画素）内において積雪判別領域を比較すると、固定閾値では14,349画素（約40％）、局所判別法では30,508画素（約84％）が積雪領域に判別された。

5．対象領域の選定と地上観測画像取得

新潟県の八海山西側斜面を観測対象領域とし、表 1 に示した定点デジタルカメラを設置して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シーン撮影した。市販のデジタルカメラより撮影した地上観測画像の中で、約一週間間隔で対象領域が雲や霧がない画像26シーンを選定し、解析に用いた。解析画像は、2008年12月19日15時を幾何的な基準画像とし、他の25シーンの画像は山岳の稜線や構造物から対応点を取り基準画像に重ね合わせた。

6．局所範囲の設定

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局所空間フィルタ処理の設定範囲（以下、局所範囲と表記）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、抽出に適切な局所範囲を選定することが重要になる。局所範囲を10×10画素（分解能0.68 m/pixel）から200×200画素まで設定して積雪領域を判別し、判別した積雪領域の積雪領域率を比較した。積雪領域率は対象画像中に占める積雪領域の割合で、式(1)により算出した。

$$S_r = \frac{S_r}{N_p + S_r} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

図 7．局所範囲ごとの積雪領域率

S_r : 積雪領域率 [%]

S_p : 積雪領域の画素数 [pixel]

N_p : 無雪領域の画素数 [pixel]

取得画像全域について局所判別ごとに算出した積雪領域率を図 7 に示す。算出結果から局所範囲 80×80 画素以下では 64% から 73% となった。 100×100 画素以上では 63% 程度でほぼ一定となったため、局所範囲は 100×100 画素と設定した。

7. 高分解能観測画像を用いた局所判別法の検証

定点デジタルカメラによる地上観測画像の現地検証を目的として、望遠レンズによって、空間分解能を高くした画像撮影を部分的に実施した。高分解能撮影に用いたカメラの仕様を表 2 に示す。

表 2. 高分解能撮影用カメラ仕様

デジタルカメラ	Canon EOS kiss Digital X
望遠レンズ	TAMRON A17
焦点距離	300mm
撮影素子寸法	$22.2 \times 14.8\text{mm}$
画素数	$3888 \times 2592\text{pixel}$

この画像の画面中央付近の地上空間分解能は、約 0.1m/pixel 相当となっている。分解能が高いため、日陰の積雪域も目視で明瞭に確認でき、この画像から、目視と閾値処理の併用により、積雪判別の現地確認用の参照データを作成した。解析対象領域全体をこの空間分解能で撮影できる性能のカメラは、現状では入手できないが、ごく部分的に作成することは可能なので、この高分解能画像を、判別精度の検証に用いた。この画像を現地照合画像とした。そこで、この高分解能観測画像の積雪領域を基準として、地上観測画像を安田らが地上観測画像の積雪を判別した固定および動的閾値合成法と本研究提案の局所判別法のそれぞれで積雪領域抽出を行い、各判別手法が高分解能観測画像を用いて判別した積雪領域と比較検証した。高分解能観測画像と各判別手法による積雪領域抽出画像の重ね合わせた画像の一例を図 8 に示す。また判別結果の凡例を図 9 に示す。

図 8 (b)では、局所領域内で相対的に画素値が高い領域が積雪領域として判別されるため、局所領域全体の

図 8 (a). 固定および動的閾値合成法による判別結果

図 8 (b). 局所判別法による判別結果

		各判別法による積雪領域抽出	
		積雪領域	無雪領域
基準 高分解 能 画像	積雪領域	A	B
	無雪領域	C	D

図 9. 高分解能画像と各判別法による積雪判別との重ね合わせ画像の凡例

画素値が低くなる影領域においても、積雪領域は、局所領域内では相対的に画素値が高くなるため、積雪領域として判別されている。高分解能観測画像の積雪領域に対して、各判別手法による積雪領域を一致率である κ 係数によって比較した。 κ 係数は式(2)により算出した。

$$\kappa \text{ 係数} = \frac{A+D}{A+B+C+D} \dots\dots\dots (2)$$

A, B, C, D : 図 9 の各条件の適合領域の画素数
各判別法による高分解能観測画像と κ 係数との比

図10. 高分解能観測画像での κ 係数比較分布

較分布を図10に示す。固定および動的閾値合成法の κ 係数は平均で0.74、局所判別法の κ 係数は平均で0.78となり、高い κ 係数の結果となった。場合によっては固定および動的閾値合成法の κ 係数の方が高い場合も発生しているが、全体の平均値としては κ 係数0.04の向上となった。影領域が広い画像では、固定および動的閾値合成法の κ 係数が0.6に対して局所判別法では0.76と向上しており、本研究での局所判別法による効果が確認された。

8. ま と め

本研究で提案した局所判別法は、固定および動的閾値合成法と比較して、 κ 係数が向上することが、高分解能観測画像を用いた検証により確認された。また影の

領域が広い画像では、特に判別精度の改善が確認された。このことから、本研究による局所判別法を導入することで、積雪領域把握の精度向上が期待できる。本研究では、目視判別の積雪領域率と比較した上で、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を抽出した。今後、局所判別範囲をより機械的に設定する手法の開発が本手法の汎用性に繋がると考えられる。

(受付日2013.11.26, 受理日2014.1.9)

参考文献

- 1) 戸塚岳大, 風間 聡, 朝岡良浩, 沢本正樹: 積雪モデルと衛星積雪面情報を用いた東北地方の積雪分布と融雪係数の解析, 水文・水資源学会誌, pp493-502, 2004
- 2) 森田 圭: 定点カメラ画像による日々の積雪水量図の作成, 地形 第29巻第1号, pp3-16, 2008
- 3) 武田 要, 高橋 裕: LANDSAT 雪線情報と積算暖度法による流域最大積雪水量算定に関する研究, 土木学会論文報告集第311号, pp81-92, 1981
- 4) 安田俊夫, 力丸 厚, 高橋一義, 坂田健太: 時系列地上積雪観測画像による融雪特性の把握に関する研究, 日本写真測量学会平成20年度秋季学術講演会発表論文集, pp5-8, 2008
- 5) 阿部翔太郎, 力丸 厚, 高橋一義, 坂田健太: 地形と日照条件を考慮した地上撮影画像における積雪域の局所判別法の検討, 第27回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, pp132-135, 2009