

衛星データを用いた北岳周辺の積雪分布抽出

杉田 幹夫¹

(¹山梨県環境科学研究所)

要約 ランドサット7号衛星データを用いて、北岳および鳳凰三山（薬師岳、観音岳、地藏ヶ岳）を含む領域の積雪分布域の抽出を行った。積雪域と無積雪域を判別するための指標として、正規化積雪指標NDSIと積雪指標S3の利用を比較検討し、より安定して積雪域を抽出できたNDSIを採用した。可視域緑色と短波長赤外域のバンドの反射率から計算されるNDSIで積雪状況を評価し、積雪分布を地図化した。得られた積雪分布図は、高山植生の変化やニホンジカの生息域の解析への応用が可能である。

Snow-covered area extraction around Mount Kita using satellite data.

Mikio Sugita¹

(¹Yamanashi Institute of Environmental Sciences)

Abstract Remotely sensed satellite data was used to extract snow-covered region in the study area including Mt. Kita and Three mountains of Hoo (Mt. Jizougatake, Mt. Kannongatake and Mt. Yakushigatake). Snow-covered area extraction was investigated using two methods: (1) normalized difference snow index (NDSI) which uses visible green and shortwave infrared reflectances, and (2) snow index S3. NDSI could discriminate snow-covered areas more stable and more accurate than S3 in this study. Applying NDSI method to Landsat 7 ETM+ satellite data, snow-covered map of the study area was created. The obtained snow coverage map is applicable for analysis such as distribution change of alpine vegetation, or the habitation region of sika deer (*Cervus nippon*).

1. 緒言

既報¹⁾において、北岳周辺におけるニホンジカの生息域の標高帯の対応関係を調べた結果、季節ごとの分布域の特徴から積雪域との関連性が明らかとなり、雪の無い時期には2500mを越す高標高の場所にも高頻度でニホンジカが存在することが示唆された。このため積雪分布の把握とその経年変動を把握することは、高山植物等への影響が懸念されているニホンジカ対策においても重要な課題になると考えられる。

広域かつ均一に積雪分布を把握するには、衛星データを用いたりモートセンシング解析が有効である²⁾。本研究で使用したランドサット衛星データは、我が国では原則として有償配布されている。しかし、米国地質調査所 (United States Geological Survey : USGS) は、全てのランドサットアーカイブデータを無償で配布することを2008年4月に発表しており、USGSをはじめ幾つかの検索サイトから無償ダウンロードすることが可能になっている。

一方、積雪の光学特性は高アルベドに象徴される。積雪分布を光学センサによって求める場合、積雪面は他の地表面に比べ、可視域でアルベドが高いため、もし雲がなければ適当な閾値により積雪の存在を見分けるとこと

ができる²⁾。既往研究では、正規化積雪指数 (Normalized Difference Snow Index : NDSI)^{3) 4)} など積雪の光学特性を良く反映した積雪指数が提案されているほか、積雪面と植生などが混在した場合に、積雪の特性をよく表すための積雪指数S3⁵⁾なども提案されている。

こうした背景を踏まえ、本研究ではランドサット7号衛星データを用いて、北岳および鳳凰三山（薬師岳、観音岳、地藏ヶ岳）を含む領域の積雪分布域の抽出を行った。

2. 解析方法

2-1 使用した衛星データ

2009年から2011年にかけて、3月から8月の期間に観測されたランドサット7号衛星データを用いて北岳周辺の積雪分布を求めた。解析の対象は、北岳および鳳凰三山を含む東西約13km、南北約19kmの範囲であり、その中心緯経度は北緯35°40'35"、東経138°15'11"である(図1)。

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)は、ランドサット7号に搭載された光学センサで、空間分解能30m、刈り幅180kmの熱赤外を含む7つの観測波長帯 (バンド) を有する。表1に示した観測日のランドサット7

号衛星ETM+データ (Path 108, Row 35) を米国地質調査所 (USGS) のサイトから無償ダウンロードして用いた。カラー合成画像の目視による簡易的な雲量評価を行うことにより、雲の影響の大きい観測日 (表1に括弧付きで表記) は解析から除外した。ETM+データは、記録されているデジタル値 (DN) から反射率に変換して使用した。

2-2 積雪指数による積雪判別

ETM+による積雪域の同定には、可視域の観測バンドの合成画像 (R:バンド3, G:バンド2, B:バンド1) と、赤外域バンドの合成画像 (R:バンド4, G:バンド5, B:バンド7) が利用されてきた⁶⁾。積雪は、地表に存在する植物被覆に比べ、可視域、近赤外域で輝度が高く、中間赤外域は輝度が低い。このため、積雪域は可視域の合成画像では白く、赤外域の合成画像では赤く表示され、目視による積雪域の同定が可能である。計算機上では、適当な閾値処理により積雪域を判別することが可能である。しかし、この方法では一般に観測シーンごとに閾値が変化するため、多時期のデータを用いた積雪モニタリングには適さない。

一方、適切な指標を用いることで、観測時期に依らず一定の値による閾値処理を可能とすることができる。本

研究では、可視域から短波長赤外域の観測バンドの反射率を用いて計算される積雪指標として、NDSI^{3) 4)} と積雪指数S3⁵⁾ で積雪状況を評価し、積雪分布の地図化を行った。ここで、雲域が積雪域と誤判定されることを避けるために、一戸らの方法⁶⁾ を参考に、ETM+バンド5およびバンド6を用いた閾値処理を行って、雲域をあらかじめ積雪解析から除外した。

表1 解析に使用したランドサット7号衛星データ

月\年	2009年	2010年	2011年	計
3月	29日	(16日)	3日、 (19日)	2(2)
4月	30日		4日、 (20日)	2(1)
5月		3日	6日、 (22日)	2(1)
6月	(1日)、 17日	4日	(7日)、 (23日)	2(3)
7月	(3日)、 (19日)	(6日)、 (22日)	(9日)、 (25日)	0(6)
8月	4日	7日、 (23日)	10日、 (26日)	3(2)
計	4(3)	3(4)	4(8)	11(15)

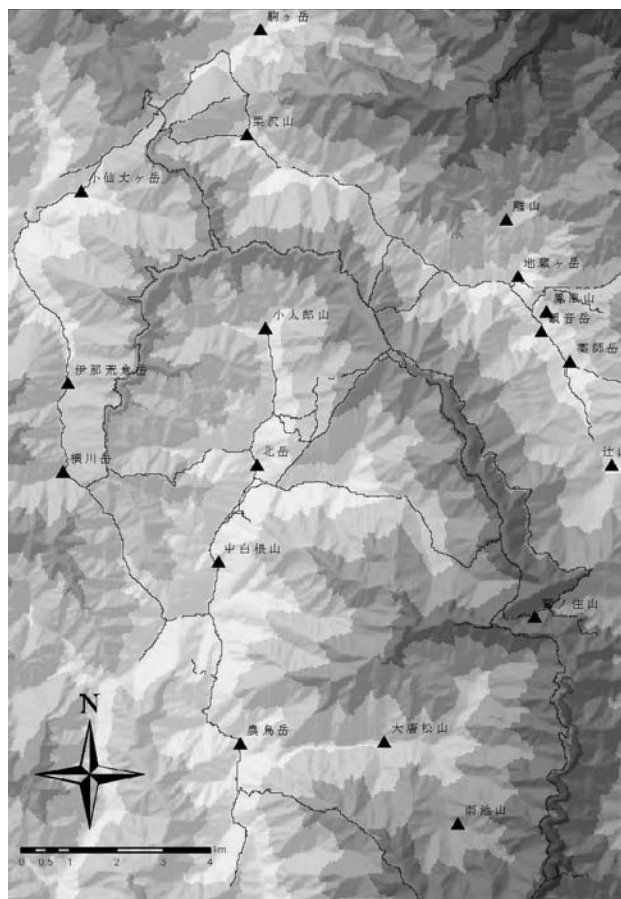


図1 積雪分布解析範囲

2-2-1 正規化積雪指数NDSI

衛星データを利用して積雪分布域をモニターする手法が多く提案されているなかでも、NDSIを基準とした積雪域判別が国際的にも広く用いられている。

積雪指数NDSIは次式で定義される³⁾。

$$NDSI = (\text{green} - \text{SWIR}) / (\text{green} + \text{SWIR}) \cdots (1)$$

ここで、green, SWIRはそれぞれ、可視域緑色 (ETM+バンド2: 0.525-0.605 μm)、短波長赤外域 (ETM+バンド5: 1.55-1.75 μm) の反射率である。NDSIは-1から1までの範囲の値をとる。積雪の有無を判別する閾値としてはNDSI ≥ 0.4 が用いられ、これにgreen > 0.10 , NIR > 0.11 の条件を加えて積雪判定を行う。ここで、NIRは近赤外域 (ETM+バンド4: 0.75-0.90 μm) の反射率である。

NDSIの閾値0.40は、カリフォルニア州シエラネバダを対象地として、ランドサットTMデータを用いた解析により、積雪面積率50%に対応するNDSI値として決定された⁸⁾。NIRの閾値0.11は、水域が積雪と判定されることを避ける目的で設けられた。greenの閾値0.10は、可視域で低い反射を示す対象物 (常緑針葉樹など) が積雪と判定されることを避けるために用いられる⁹⁾。本研究では、上記のパラメータを用いてNDSIによる積雪判

定を行った。

2-2-2 積雪指数S3

積雪指数S3は、林床の積雪であっても植生の影響を軽減して、積雪の有無を判別することが可能な量として開発された⁵⁾。

積雪指標S3は次式で定義される。

$$S3 = \frac{SWIR (red-SWIR)}{(NIR+red)} \div \frac{(NIR+SWIR)}{\dots} \quad (2)$$

ここで、redは可視域赤色 (ETM+バンド3 : 0.603-0.690 μ m) の反射率であり、NIR, SWIRは前述と同じく、近赤外域および短波長赤外域の反射率である。Shimamura et al.は、 $S3 > 0.18$ の画素を積雪域と判別し、 $0.05 < S3 < 0.18$ の値をとる画素を林床の積雪や植生と混合した積雪域と判定することを提案している¹⁰⁾。本研究では、上記のパラメータを用いてS3による積雪判定を行った。

2-3 積雪分布の年間変動

2009年から2011年の期間のデータ解析により、積雪分布の抽出に利用する積雪指数を決定した後、あらためて1999年から2012年までのランドサット7号衛星データを用いて解析を行い、積雪域を評価できたシーンについて、1月1日からの年間通算日と積雪面積、年間通算日と積雪標高の関係を調べた。積雪標高は、積雪と判定された地点の標高分布の第1四分位によって評価した。

3. 結果

3-1 積雪指数による積雪判別

2種の積雪指数、NDSIとS3を判別基準とした積雪域抽出結果を目視比較した結果、NDSIの方が良好で安定した抽出結果であった。積雪指数S3を用いた積雪域抽出の場合、積雪域 ($S3 > 0.18$) はNDSIによる結果と比較し、日向斜面と日陰斜面で抽出される傾向が異なる場合もあった。また積雪指数S3の特長となっている林床の積雪に対応する領域 ($0.05 < S3 < 0.18$) は、積雪域の周囲の針葉樹等森林の範囲に広がり、的確に把握されていると考えられるシーンもあったが、一部のシーンでは誤抽出が多いなど、安定した積雪抽出ができなかった。このため、本研究では積雪分布の抽出に積雪指数NDSIを利用することとした。

表1に示した雲の影響の少ない観測日の衛星データ、計11シーンを用いて、NDSIを基準とした積雪判別によって求めた積雪分布図を図2に示す。7月および8月については、積雪域が抽出できないか、表示するには小規模であるため、割愛した。図の中に左上から右下の斜め方

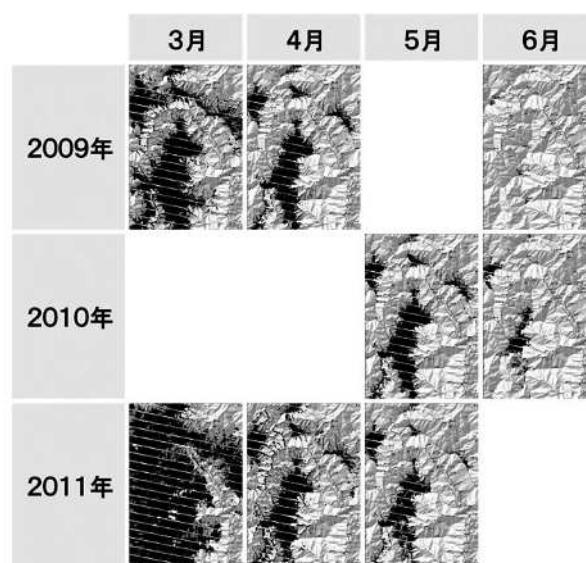


図2 積雪分布図

各画像は図1と同じ範囲を表示。黒色の範囲が積雪域を表す。

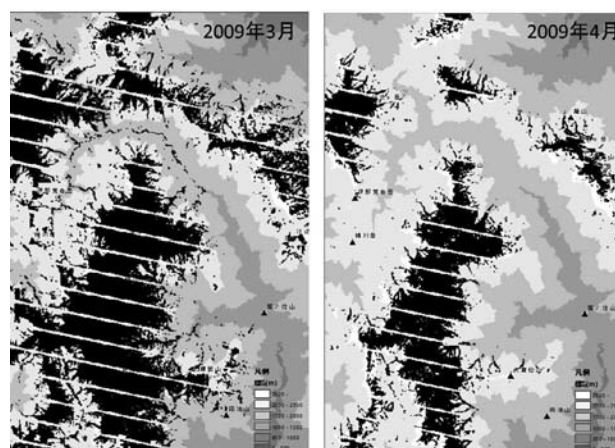


図3 積雪域と標高の関係

黒色の範囲が積雪域を表す。

向に走る平行縞状の構造が認められるが、これは、ランドサット7号の観測装置の一部故障に起因するデータ欠損域の影響である。

図3に積雪域と標高の関係を示す。積雪域は、標高2000m~2500mよりも高い標高に多く分布している。この標高帯は、既報¹⁾において積雪時期にニホンジカの集中分布がほとんど認められなかった領域とよく合致していることがわかった。

3-2 積雪分布の年間変動

1999年から2012年まですべての月のランドサット7号衛星データを、前述と同じく米国地質調査所 (USGS) のサイトからダウンロードして用いた。入手したシーンの総数は168シーンであり、そのうち、雲の影響の少なく、かつNDSIを用いた積雪域抽出により積雪が認められたシーンは62シーンであった。

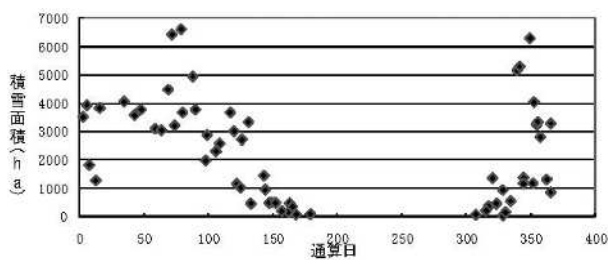


図4 年間通算日と積雪面積の関係

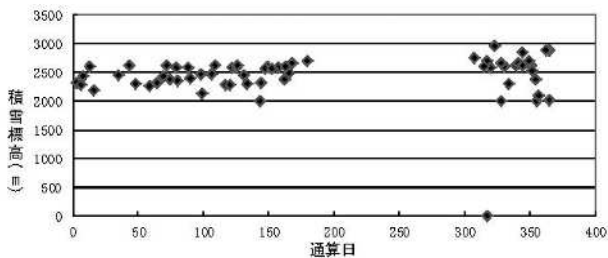


図5 年間通算日と積雪標高の関係

積雪標高は、積雪と判定された地点の標高分布の第1四分位によって評価

図4に年間通算日と積雪面積の関係を示し、図5に年間通算日と積雪標高の関係を示す。

積雪期間は通算日300日頃（10月下旬）から翌年170日頃（6月下旬）までに及んでいた。気象庁の1981年～2010年の平年値データでは、甲斐駒ヶ岳の初冠雪が10月27日となっており、妥当な結果であると考えられる。また、12月から5月までの期間では、おおむね2500mより高い標高は積雪状態であることがわかった。

4. 考 察

積雪指数S3は林床の積雪情報を獲得できることが特長であるが、本研究の解析結果では、安定した積雪把握には適さないことがわかった。一部のシーンでは、日陰斜面に通常の積雪域、日向斜面に林床の積雪域が分布する結果が得られていることから、事前に衛星データの大地形効果補正が必要であるとも考えられる。また、林床積雪条件としてShimamura et al.が提案している $S3 = 0.05$ の閾値¹⁰⁾が妥当ではない可能性もある。林床の積雪はニホンジカの生息域、行動圏に少なからず影響する因子であることから、衛星データから林床の積雪情報が得られると期待される積雪指数S3をベースに、パラメータや解析処理手順を再検討する余地が十分あると考えられる。

抽出された積雪域の分布を詳細に観察したところ、針葉樹林以外で積雪があるところが抽出されていた。特に鳳凰三山周辺において、この傾向が見られた。一方で、白根御池から西への登山道周辺で森林限界以下では、少しの針葉樹林と多くのダケカンバ林で構成されているが、ここは積雪として抽出されたシーンも存在した。積

雪指標としてNDSIを採用しているため、針葉樹林等の林床の積雪を把握するには限界があると考えられるが、条件によっては、林床の積雪も抽出される可能性が示唆された。

特にダケカンバ林の林床でのニホンジカの活動が活発である¹¹⁾ので、ダケカンバ林および高茎草原での3月から7月頃の積雪の経年変化が明らかになれば、摂食との関連付けが可能になると考えられる。

5. 結 言

2009年から2011年に観測された3月から8月までのランドサット7号衛星データを用いて、2種の積雪指数による積雪分布抽出を検討し、より安定して良好な抽出結果を得た正規化植生指数NDSIを積雪抽出の基準指標に採用した。

積雪域は、標高2000m～2500mよりも高い標高に多く分布しており、この標高帯は既報¹⁾において、積雪時期にニホンジカの集中分布がほとんど認められなかった領域とよく合致していることがわかった。

1999年から2012年までの期間に観測された全ての月のランドサット7号衛星データ168シーンを用いて、NDSIにより積雪分布を評価し、積雪分布図を作成した。積雪域を捉えることが出来た62シーンの結果から、年間通算日と積雪面積および積雪標高との関係を調べた結果、積雪期間は10月下旬から翌年6月下旬までに及び、積雪の多い12月から5月までの期間では、おおむね2500mより高い標高は積雪状態であることがわかった。

本研究で得られた積雪分布図は、高山植生の変化やニホンジカの生息域解析へ応用が期待される。

参考文献

- 1) 杉田幹夫：山梨県総合理工学研究機構研究報告書 No.6, 65-67. (2011)
- 2) 青木輝夫：雪氷 69 (2), 155-167, (2007)
- 3) Dozier J. : Remote Sens. Environ., 28, 9-22. (1989)
- 4) Hall D. K., Riggs, G. A. and Salomonson, V. V. : Remote Sens. Environ. 54, 127-140. (1995)
- 5) 齊藤篤思, 山崎剛：水文・水資源学会誌, 12, 28-28, (1999)
- 6) Dozier J. and Marks D. : Annals of Glaciology, 9, 97-103. (1987)
- 7) 一戸慎也, 丹波純雄, 飯倉善和：日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, 38, 193-194. (2005)
- 8) Hall D. K., Riggs, G. A. and Salomonson, V. V. : Algorithm theoretical basis document (ATBD) for the MODIS snow and sea ice-mapping algorithms, NASA/Goddard Space Flight Center, 45p. (2001)

- 9) Klein, A. G., Hall, H. K., and Riggs, G. A. :
Hydrological Processes, 12, 1723-1744. (1998)
- 10) Shimamura Y, Izumi T, and Matsuyama H. : Int. J.
Remote Sens., 27, 4867-4884. (2006)
- 11) Nagaike T : Ecological Research, 27, 467-473.
(2012)