

筑波大学農林工学系 ○西田顕郎・今泉文寿・眞板秀二・宮本邦明

1 はじめに

山地では、斜面表層の水の凍結膨張によって、土壌粒子が分離・破壊されるので、凍結と融解の繰り返しは、不安定土砂の生産につながり、土砂災害やダム堆砂問題の原因になる。しかし、凍結融解は地形・気候条件のほか、植生や積雪による抑制などが関係するため、発生場所と頻度の特定は難しい。本研究では、赤石山脈（南アルプス）を対象に、Landsat NDVI より植生率、MODIS より積雪分布図を求め、地形と気象データと組み合わせて、凍結融解の頻度分布の推定を試みた。なお、ソフトウェアは、以下の無料公開されているもののみを使った。GIS: GRASS6.1; 地図描画: GMT4.0; グラフ描画: GNUPLLOT4.0; OS: Fedora Core 4.0 および Ubuntu Linux 6.10

2 データ

2.1 気象データ

当地は山岳地帯であるため、近傍には公的な気象観測所は少なく、当地の気象を推定するための基礎資料は乏しい。本研究では、筑波大学井川演習林（静岡県静岡市田代字東河内 1246-1; 東経 138 度 13.9 分; 北緯 35 度 19.7 分; 標高 1,175m）で 2000 年から 2005 年に観測された、通年の気象データ（1 時間おき）の中から、気温データを抜き出して使用した。井川演習林は赤石山脈南部に位置し、流域の源頭部に近い。従って、源頭部の気象を推定するには甲府などの市街地の気象データよりも適していると考えられる。また、井川演習林では、過去約 30 年間にわたって気象観測を続けており、本研究ではまだ行っていないが、長期的な解析をすることもできる。

2.2 植生データ

凍結融解は、植生の薄い斜面でおきやすい。そのため、裸地面の分布情報が必要である。本研究では、米国のランドサット衛星の画像を利用した。メリーランド大学による、世界各地のランドサット衛星画像の無料データベースから、以下の 2 枚の画像を取得した：

p108r035_7t19991012_z54: 1999 年 10 月 12 日撮影,
Landsat-7 ETM+, path 108, row 035

p108r036_7t19991012_z54: 1999 年 11 月 13 日撮影,
Landsat-7 ETM+, path 108, row 036

これらはそれぞれ、対象領域の北部と南部をカバーす

る。これら 2 枚の画像が重複する領域について各画像・各バンド内の平均輝度を求め、それをもとに、11 月 13 日の画像の平均輝度を 10 月 12 日の画像に合うように調整した。さらに、後述する地形データから斜面方位を求め、各バンドで 15 度きざみの斜面方位クラスごとに平均輝度を求め、バンド内の全斜面方位平均輝度に各クラスの平均輝度が等しくなるように調整した（竹島, 2005）。

その後、正規化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)を求めた。NDVI は -1 から 1 の値をとるが、たいていは 0.1 から 0.8 程度であり、植生の被覆量に関しておおむね直線的な指標である（Nishida et al., 2003, J. Geophys. Res., 108(D9)）。

2.3 地形データ

地形データは、国土地理院の数値地図 50m メッシュ（標高）であり、平成 9 年 7 月 1 日発行（3 刷）の CD-ROM データを用いた。この版のデータは日本測地系に準拠していたため、GRASS-GIS によって、世界測地系に変換した。

2.4 積雪データ

積雪の下は温度が安定するので融解凍結は起きない。積雪は時空間的に変動が激しいので、高頻度の積雪分布図が必要である。本研究では、Terra 衛星搭載 MODIS センサーのバンド 1 (波長 620nm-670nm; 250m 分解能) の、雲除去コンポジットデータ（8 日おき。8 日間の毎日の画像から、雲に覆われていない最も品質の良いピクセルを抽出して合成したデータ）を用いた。

まず、各画像において、反射率が 0.25 以上のピクセルを積雪域の候補とした。ここから雲の影響を取り除くために、直前の時期と直後の時期のどちらかに同じ場所に積雪域候補がある場合を積雪域とした。雲は積雪域と同様に高い反射率を持つが、8 日前や 8 日後に同じ場所が曇っている可能性は低い。一方、積雪は、前後の各 8 日の間に消えてしまうような一過性のケースは少なく、除去しても大きな影響は無いと考えた。

以上の条件では、まだ雲を積雪と誤判別する可能性があるが、当地は積雪期に晴天日が多く、8 日コンポジットと上記の条件の組合せによって、雲はおおむね除去できるとみなした。夏（特に梅雨）は悪天日が続くこともあるが、そのような季節はもともと気温は高く、凍結融解はあまり起きないので影響は少ないとみなした。なお、MODIS には積雪分布に関するプロダク

トヤ、雲判別フラグも配布されているが、調査の結果、信頼性が低いとみなし、使わなかった。

3 解析手法

井川演習林の気象データから、各日の最高気温と最低気温を求めた。次に、井川演習林での最高最低気温を、気温の遞減率を0.6度/100mとして、0mから3200mまで100mきざみで各標高での最高最低気温に変換した。そして、各標高で、最高気温が0°Cより高く、最低気温が0°Cより低い日の数を、各年ごとに調べた。それを、各標高における凍結融解の頻度とした。

次に、各標高における凍結融解の頻度を、地形データとともにマッピングした。

さらに、植生の影響を勘案するため、各期間・各位置の凍結融解の頻度に、一定の裸地面積率をかけた。裸地面積率はLandsat画像のNDVIから以下のようにして求めた：

$$\text{裸地面積率} = (\text{NDVI}_{\text{max}} - \text{NDVI}) / (\text{NDVI}_{\text{max}} - \text{NDVI}_{\text{min}})$$

ここで NDVI_{max} と NDVI_{min} はそれぞれ密な植生と完全な裸地に対応するNDVIであり、画像から、 $\text{NDVI}_{\text{max}}=0.64$ 、 $\text{NDVI}_{\text{min}}=0.1$ とした。裸地面積率が負になったり1以上になる場合はそれぞれ0と1にした。

積雪の下は温度が安定するので、凍結融解はほとんど起きない。そこで、各期間の衛星から出した積雪分布図から、積雪のあるピクセルは凍結融解の回数をゼロとした。

このようにして出した凍結融解マップを、前年の9月1日から当年の8月31日まで積算し、当年の年間の凍結融解頻度マップとした。

4 結果と考察

2000年から2005年にかけての、平均的な年間凍結融解頻度の分布図では、鳳凰山、甲斐駒ヶ岳、赤石岳、七面山などの稜線付近と、各所に散在する崩壊裸地で高い値を示した。この地域で最も標高の高い、北岳を含むいわゆる白根三山は、他の稜線に比べて積雪が残りやすいため、高い標高の割には、凍結融解頻度はそれほど多くない。

凍結融解頻度と標高の関係では、標高が上がるとともに、ほぼ直線的に年間凍結融解頻度は上がる。赤石山脈の森林限界である標高約2400mよりも上では、標高に対する凍結融解頻度の増加が急になっている。これは、森林限界より高所の稜線付近に、裸地が多く存在するためと考えられる。

凍結融解頻度の分布は、各季節で特徴的な傾向が見られた。すなわち、秋はまだ気温が高いため、凍結融

解の気象条件（気温条件）は高地でしか発生しない。ところが真冬になると、気温が低くなるため、高地では恒常的に氷点下になり、融解が起きないため凍結融解の頻度は低くなり、むしろ山腹や低地で凍結融解の気象条件が実現される。加えて、高地では積雪域が広がっていくので、積雪による保護によって、高地での凍結融解はさらに抑制され、相対的に山腹・低地での凍結融解が起りやすい。春になると、再び気温が高くなり、凍結融解の気象条件は高地で発生する。しかし春は、秋にくらべて積雪（残雪）があるために高地での凍結融解は抑制されやすい。

2000年から2005年までの、各時期の凍結融解頻度の時系列変化では、凍結融解のほとんどは10月から4月の間に発生していることがわかった。また、真冬（1月頃）は一時的に凍結融解頻度が下がることもわかった。これは前述したように、真冬は高地で融解が起きず、さらに山腹や低地は植生が覆っているために、凍結融解が発生する条件が全域で小さいためと思われる。

5 まとめと今後の課題

本研究では、富士川上流域の赤石山脈で発生する、凍結融解の時空間分布を検討した。凍結融解の大部分は稜線付近の裸地と山腹の崩壊裸地で起きており、すぐに沢筋に土砂を供給して土石流化するものとは思われない。しかしながら、稜線付近の裸地の拡大は進行中であり、長期的には、主要な土砂生産源になるか、あるいは植生被覆を損壊することによって土砂生産の引き金になる可能性がある。

また、気候の変動と凍結融解の頻度の関係は、直接的に明らかなものではなかった。これは、冬季の温度だけでなく、積雪の様子が大きな要因であることによるものと考えられる。長期的に、温暖化などで凍結融解の場が変化すれば、このような状況もまた変わってくる可能性がある。

筑波大学井川演習林のデータを用いたが、近傍のアメダス観測所のデータを取り込んで、空間内挿を行った、分布気象データも存在する。これらを現地データで検証し、利用することで、精度を高めることができるだろう。

また、本研究では植生状態を表すためにLandsatのデータを用いたが、これらには雲のノイズが局所的に残っている。これらを取り除くために、より撮影条件の良い高分解能衛星画像を利用する必要があるだろう。

謝辞： 本研究は、砂防技術研究会共同研究「流出特性から見た崩壊・土石流の危険度判定に関する研究」および、国土交通省富士川砂防事務所からの受託研究の支援を受けて行った。