

人工衛星と確率密度関数を用いた日本全域の積雪期間の評価*

日本大学工学部土木工学科 齋藤 翼
日本大学工学部土木工学科 朝岡 良浩

1. はじめに

積雪は農業用水や工業用水など水資源として多く利用され、また冷熱源や観光資源としても利用されている。しかし利点だけではなく、災害を引き起こす側面も持ち合わせており、交通障害や家屋倒壊、落雪による事故も毎年多発している。また豪雪による被害や、小雪による代掻き期の流量減少など問題点も多い。日本は国土の約 50%が豪雪地帯に指定されており、その中でも約 20%が特別豪雪地帯指定を受けている¹⁾。これらの地域でも同様に融解水を重要な水資源として扱っている。このように日本は雪と深い関係があり、豪雪域における積雪の多寡について適切な対策を講じるために、多雪年・小雪年といった極端な積雪年における積雪期間を把握することが重要である。本研究は、第1に積雪期間の極値の推定に適した確率密度関数について検討する。第2に日本全域の積雪期間を確率密度関数を用いて推定し、多雪年と小雪年における消雪旬の極値マップの作成を目的とする。

2. 対象地域

本研究では AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)観測点の積雪深データを用いて消雪日の確率密度関数を構築し、極値の再現性について検討した。確率密度関数を作成した観測点は、一定以上の観測年数が必要であることから、30年以上の積雪深を観測している AMeDAS とし、観測点は 99 である(図 1)。また、衛星データと AMeDAS で時間分解能が異なるため AMeDAS の積雪深データを旬単位とするデータに変換して確率密度関数を構築した。

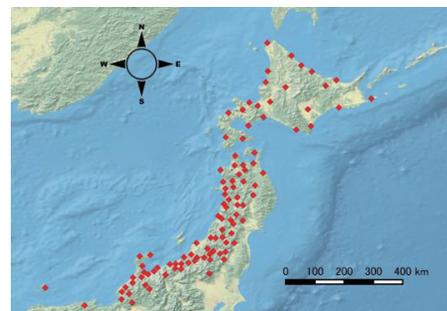


図 1 使用した AMeDAS 地点の分布 (N=99)

3. 衛星データ

衛星データによる日本全域の積雪期間の再現には SPOT4(Satellite Pour l' Observation de la Terre)を用いた。観測期間は 1999 年~2013 年、空間解像度は約 1km である。他の人工衛星と比較して観測幅が広く回帰日数が 1 日であることから日本全域の積雪期間の推定に適している。また、雲の影響を最小限に抑えるために 10 日を 1 旬とするコンポジットデータを使用した。本研究では SPOT4 の VEGETATION センサーが観測している赤(0.61~0.68 μ m)の反射率、近赤外

*Evaluation of snow cover duration over Japan derived from satellite remote sensing and probability density function by Tsubasa Saito and Yoshihiro Asaoka

(0.78~0.89 μm)の反射率, 中間赤外(1.58~1.75 μm)の反射率を使用した。水平分解能は約 1km である。

4. 研究手法

4.1 確率密度関数の推定方法

本研究で積雪期間極値の推定について検討した確率密度関数は正規分布とグンベル分布である。再現性の評価には SLSC(Standard Least Squares Criterion)を用い, 以下の式(1), (2)で表せる。SLSC は値が 0 に近いほど適合度が高いといえる。

$$\text{SLSC} = \frac{\sqrt{\sum_i \varepsilon(i)^2/n}}{|y_{0.9} - y_{0.1}|} \quad (1)$$

$$\varepsilon(i)^2 = (y(i) - y(i)^*)^2 \quad (2)$$

ここで y は reduced variate であり, 多くの確率分布に対して次式(3)で表せる。

$$y(i) = \frac{x(i)-c}{a} \quad (3)$$

ここで a , c はそれぞれ尺度母数, 位置母数である。なお式(1)中の y_T のように y にサフィックスが付いている場合, T は非超過確率を意味する。

本研究では全 99 地点の AMeDAS に対して式(1)をそれぞれ当てはめ, 正規分布とグンベル分布の SLSC を比較し, 最適な確率密度関数を推定した。正規分布は式(4), グンベル分布は式(5)でそれぞれ表せる。

$$f(x) = \frac{1}{a\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{a}\right)^2\right\} \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp\left\{-\frac{x-c}{a} - \exp\left(-\frac{x-c}{a}\right)\right\} \quad (5)$$

4.2 積雪判別指標

衛星データを用いた積雪判別に, 斉藤・山崎(1999)にならい積雪判別指標 S_3 を用いた²⁾。 S_3 は以下の式(6)で表される。

$$S_3 = \frac{\text{band3}(\text{band2}-\text{band4})}{(\text{band3}+\text{band2})(\text{band3}+\text{band4})} \quad (6)$$

ここで, band2 : 赤の反射率, band3 : 近赤外の反射率, band4 : 中間赤外の反射率である。

本研究では Shimamura et al., 1999 に倣い³⁾, S_3 の値が 0.05 以上なら積雪, 0.05 未満なら無積雪と判別した。

4.3 積雪期間の抽出

1999 年~2013 年の 10 日を 1 旬としたコンポジットデータを用いて, 各グリッドに式(4)を当てはめ積雪の有無を判別した。各年 1 月 1 日から 8 月 31 日までの計 36 旬の積雪判別を行い, 各グリッドにおいて積雪から無積雪になる旬を抽出した。日本全域 1920 \times 1680 グリッドを対象として計 15 年分の積雪期間マップを作成した。

5. 結果

5.1 確率密度関数

全 99 地点の AMeDAS 観測点に式(1)を代入して各確率密度関数に対する SLSC を求め、適合度を評価した。図 3 は AMeDAS の日単位の観測値を確率密度関数に当てはめた SLSC である。また SPOT のデータは 10 日を 1 旬とするコンポジットデータのため、AMeDAS の日データを旬データに変換して SLSC を求めた(図 4)。日単位・旬単位の SLSC の平均をそれぞれ表 1 に示す。双方の SLSC で正規分布がグンベル分布より値が小さくなったため、正規分布の適合度が高いといえる。また日単位から旬単位に変換しても結果に大きな差は現れず、正規分布の適合度が高いことより、積雪期間の極値を推定する確率密度関数として、正規分布が適していると判断した。

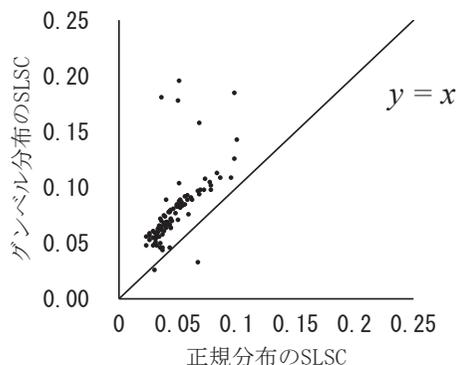


図 3 正規分布・グンベル分布の SLSC の比較 (日単位)

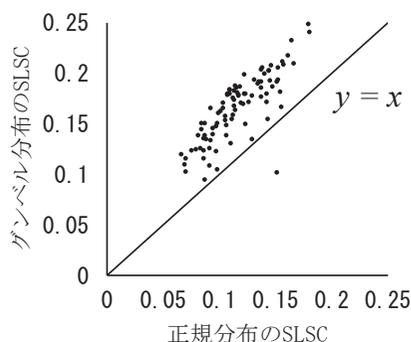


図 4 正規分布・グンベル分布の SLSC の比較 (旬単位)

表 1 AMeDAS 観測点の SLSC の平均

確率密度関数	日単位	旬単位
正規分布	0.05	0.12
グンベル分布	0.08	0.17

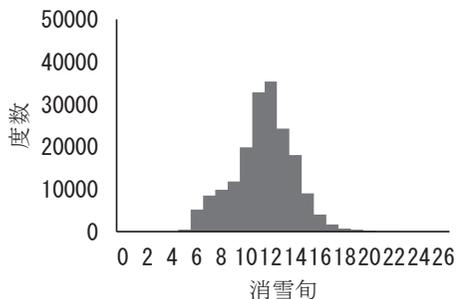


図 5 消雪旬の平均値の度数分布

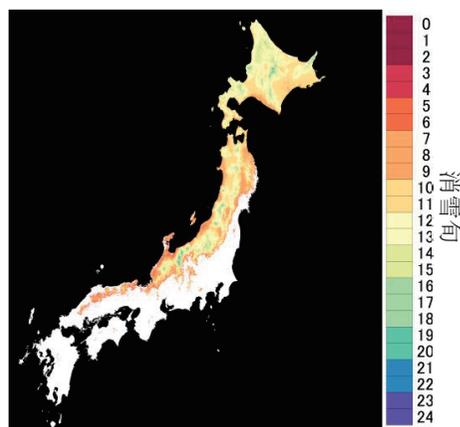


図 6 消雪旬の平均値 (1999~2013 年)

5.2 積雪期間

5.2.1 衛星データによる積雪期間の抽出

図5に1999～2013年の15年分の消雪旬の平均値の度数分布図を示す。また図6に15年間の消雪旬の平均値を示す。これらの図では消雪旬を1月1日からの旬数で示している。図5より対象メッシュ内の平均値は11旬であり、61%は消雪旬が10～13旬となった。東北および北海道ではほとんどのグリッドで9旬以上の積雪が確認できた。また17旬以上のグリッドが4%ほど存在し、これらは石狩山地などの山岳域に分布していた。

5.2.2 確率密度関数の適用

衛星データから抽出した各年の消雪旬が3旬以下はデータ無しとし、15年分のデータのうち13年以上のデータがあるグリッドを対象とした。確率密度関数を作成するにあたり式(4)の尺度母数 a 、位置母数 c を各グリッドで求めた。

$$f(x) = \frac{1}{100} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) \quad (5)$$

式(5)より超過確率・非超過確率が0.1となる x の値をそれぞれ求めた。 x は標準正規分布の値であるため、式(6)を用いて一般正規分布の変数 x' に変換した。

$$x' = ax + c \quad (6)$$

超過確率が0.1となる x' の値を再現確率10年の多雪年の消雪旬、同様に非超過確率が0.1となる x' の値を再現確率10年の小雪年の消雪旬とした。それぞれの度数分布を図7、図8に示す。また図9に推定値から作成したマップを示す。再現期間10年の多雪年の対象メッシュ内の平均値は13旬、72%は消雪旬が12～15旬となった。また17旬以上のグリッドが9%ほど存在した。消雪旬の平均値と比較すると5%増加している。再現期間10年の小雪日の対象メッシュ内の平均値は9旬、64%は消雪旬が9～12旬となった。また4旬以下のグリッドが10%ほど存在した。これらは北緯37度以下に多く分布した。消雪旬の平均値では4旬以下が確認できなかったため10%増加した。再現期間10年の多雪年と小雪年、消雪旬の平均をそれぞれ比較すると平均値は約3旬の差が生じた。

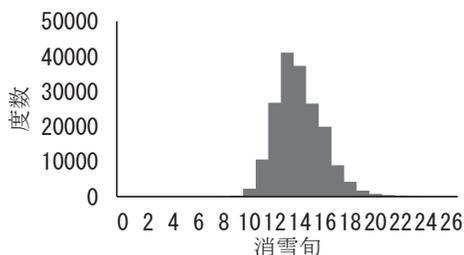


図7 多雪年の消雪旬の度数分布
(再現期間10年)

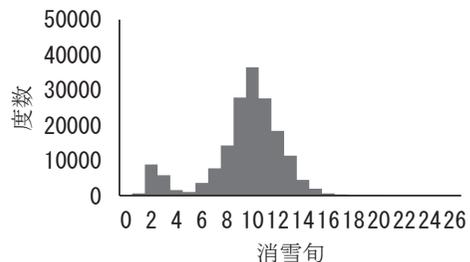


図8 小雪年の消雪旬の度数分布
(再現期間10年)

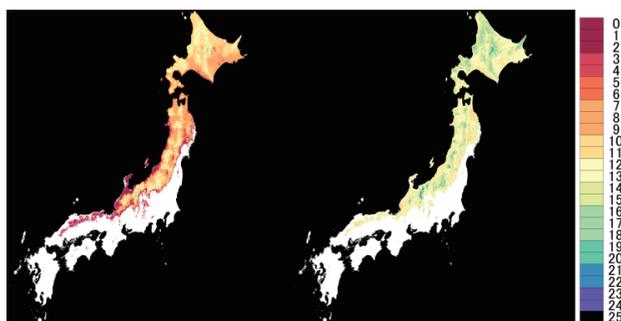


図9 確率密度関数から推定した消雪旬

左：再現期間 10年(小雪年) ，右：再現期間 10年(多雪年)

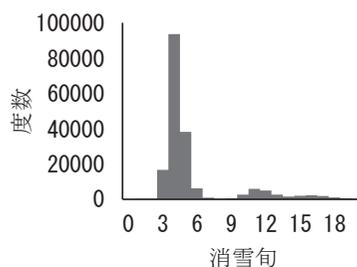


図10 多雪・小雪の差の度数分布

5.3 再現期間 10年の消雪旬

5.3.1 多雪年・小雪年における消雪旬の差と緯度の関係

本研究で求めた 10 年に 1 回の多雪年・小雪年の消雪旬の差を対象地域全域で求めた。度数分布を図 10 に示す。差の頻度に度数のピークが 2 つあることが確認できる。本研究では頻度が多く集まる差が 9 旬以下を対象にして差のマップを作成した(図 11)。北緯 40 度以上の地域の約 90%は差が 4 旬以下である。また 7 旬以上のメッシュのうち約 70%が北緯 37 度以下に集中している。図 12 に多雪年・小雪年の差と緯度の関係を示した。図中のプロットは各差の緯度の平均を表し、標準偏差をエラーバーで表した。図 12 より差が大きくなるにつれて緯度の平均が下がっていることが分かる。図 11, 図 12 より緯度が下がるにつれて差が大きくなる傾向にあるといえる。

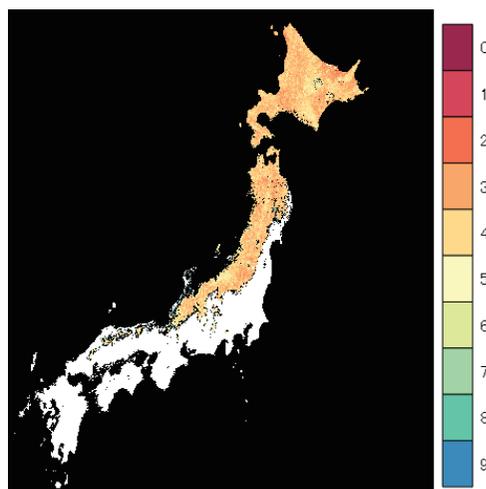


図11 多雪年の消雪旬と小雪年の消雪旬の差

5.3.2 多雪年・小雪年における消雪旬の差と標高の関係

5.3.1 で求めた多雪年・小雪年の消雪旬の差と消雪旬の平均の関係を図 13 に、多雪年・小雪年の消雪旬の差と標高の関係を図 14 に示す。いずれの図もプロットは平均を表し、エラーバーは標準偏差を表している。

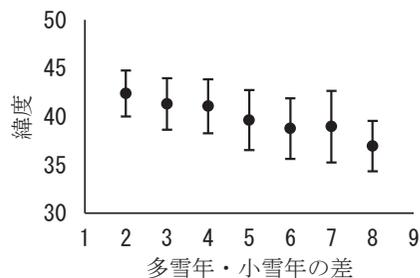


図12 多雪年と小雪年の消雪旬の差と緯度の関係

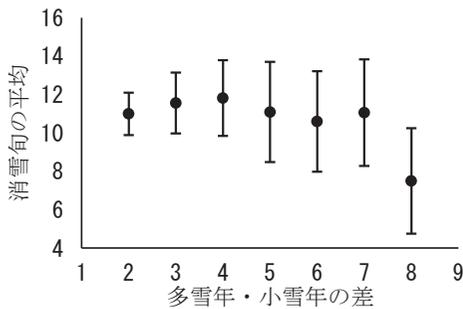


図 13 多雪年・小雪年の差と消雪旬の平均
(バーは標準偏差を示す)

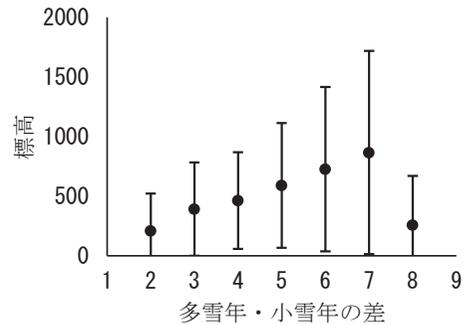


図 14 多雪年・小雪年の差と標高
(バーは標準偏差を示す)

図 13 より差が大きくなるにつれ消雪旬の平均の標準偏差が大きくなっていることが確認できる。これは低緯度の消雪旬の変動が大きいことが影響すると考えられる。図 14 より差が大きくなるにつれ平均と標準偏差のどちらも大きくなっていることが確認できる。これは差が大きいところが低緯度の標高が低いところと、山岳域などの標高が高いところに別れているために標準偏差が大きくなったと考えられる。

6. おわりに

本研究は人工衛星データと確率密度関数を用いて再現期間 10 年の消雪日マップを作成した。また再現期間 10 年の多雪年・小雪年における消雪旬の差と緯度、標高および消雪旬の平均との関係について検討した。本研究で得られた成果は、極端な積雪条件の対策に有益であると考えられる。今後の衛星データの蓄積に伴い、人工衛星データを用いた積雪期間の極値推定について検証することが課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省(2012): 豪雪地帯対策基本計画.
- 2) 斎藤篤思・山崎剛(1999): 積雪のある森林域における分光反射特性と植生・積雪指標, 水文・水資源学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 28-38.
- 3) Shimamura Y, Izumi T and Matsuyama H (2006): Evaluation of a useful method to identify snow-covered areas under vegetation – comparisons among a newly proposed snow index, normalized difference snow index, and visible reflectance, International Journal Remote Sensing, Vol. 27, No. 21, pp. 4867–4884.