

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

太陽光予測情報を用いた融雪災害予測のための日射量の評価

研究代表者氏名 宇野史睦¹⁾

研究分担者氏名 河島克久²⁾ 伊豫部勉³⁾

1) 産業技術総合研究所 2) 新潟大学災害復興科学研究所 3) 京都大学

研究要旨

本研究は、太陽光発電予測や雪氷災害などで利用される傾斜面日射量の推定手法の誤差要因について検討を行った。本研究は、1)直接観測が難しい反射日射量を設置高度の異なる2つの日射計から評価できる可能性を示唆し、2)地形データ(DEM)の解像度依存性の評価を行った。その結果、天空率・雪面率を用いることで雪面からの反射日射量を推定誤差は 10Wm^{-2} 程度で評価できる可能性を示唆した。DEMの解像度による日射量差の評価では、低解像度では谷部などの低日射域は再現できなかった。また、谷部の急峻な地形が雪により平滑化することで、低日射量域が減少することが確認できDEMのデータセットの違いの重要性を示した。これらの結果から谷部を除けば10m程度のDEMから日射量分布を評価可能である。今後は、太陽光発電予測などで利用している衛星推定日射量や気象庁メソモデルなどを利用し予測・準リアルタイムに日射量分布を評価するシステムの構築を進める。

A. 研究目的

日本における融雪期の雪面熱収支を構成する要素の中で、短波放射を主とした放射収支が大きな割合を占め、融雪に大きく寄与することが知られている。傾斜面日射量は、太陽軌道を算出し、数値標高モデル(Digital Elevation Model:DEM)から傾斜・方位・SVF(Sky View Factor)などの地形形状情報と直達・水平面全天日射量を用いて推定が行われている。近年、DEMは数百から数十mの解像度のデータセットが全球で公開されており、より詳細な日射量分布を評価することが可能となっている。しかし、データセットの違い(例えば、観測手法や解像度)によって地形形状が大きく変化することがWang and Wang (2015)によって報告されている。

前年度までは、傾斜面日射量の推定誤差の直比較を実施しており、その誤差の主要因は既存の手法では考慮していない雪面からの反射日射量に起因すると考えられた。そこで反射日射量を簡易的に推定する手法として、SVF・SAF(Snow Area Factor)をパラメーターとして評価する手法を提案する。また、前年度の研究に加えて傾斜面日射量推定誤差の評価のため、新たにDEMの水平解

像度の違いやデータセットの違いによる日射量の不均一性についても評価を行った。

B. 研究方法

B-1 観測点概要と観測要素

新潟県魚沼市大白川(37°20.6', 139° 7.7')において研究分担者が実施している観測サイトで常時観測している水平面全天日射量と直達日射量を使用した。またアルベドは放射収支計より求めた。

天空率・雪面率の違いによる傾斜面日射量の違いを直接観測するために2016年2月より北側斜面に向けた日射計を2高度に25度傾けて設置し

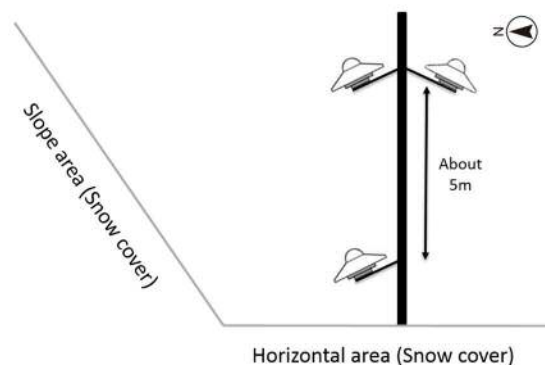


Fig. 1 日射計設置概念図

た (Fig.1) . 同様に南向きにも 1 つ日射系を設置した. 本研究では主に北側 2 高度の日射計の比較を行う. この北側の上部日射計の日射量を SR_{top} , 下部を SR_{bot} とする. この 2 つの日射計は観測サイト北側の傾斜面からの反射日射量を測定することを目的として設置した. 設置高度を変えることで SVF や SAF を変化させ, これらの影響を評価する. SVF, SAF は日射計の法線方向の天空画像より評価した. 観測の実施前に一定期間, 追加した 3 つの日射計を同じ条件で並べ器差補正を行った.

本研究では DEM を 1, 10, 90m の 3 種類使用した. 1 m DEM は航空機測量によって独自に取得したものであり, JR 東日本防災研究所から提供頂いた. このデータは 5 月の無冠雪時と最大積雪深を観測する 2 月でそれぞれ取得している. 10m DEM は現地測量を元とした国土地理院より取得し, 90m DEM はスペースシャトル観測による SRTM を利用した.

B-2 傾斜面全天日射量の推定手法

水平面全天日射量・直達日射量を用いた傾斜面日射量の推定手法は, 任意の時間間隔で太陽軌道に対する方位・傾斜における日射量を評価する. 散乱日射量は, 水平面全天日射量と直達日射量の差と SVF により求めた. 本研究では太陽軌道計算を 2 分毎とした. 本来は使用する DEM の解像度によって計算間隔を決定すべきであるが, この違いによる新たな推定誤差が生じないように計算

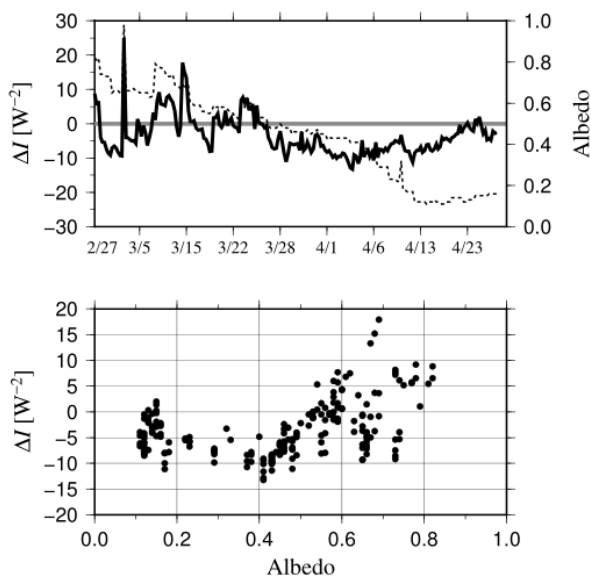


Fig. 2 融雪期における 2 高度日射量差 (ΔI) とアルベドの時系列変化 (上) と散布図 (下)

間隔は統一した. 日射量分布を評価に 1 点の観測値を使用することは, 観測地点と他地点で同様の天候であることを仮定しているため, 広域への適用は誤差も大きくなることが考えられる (Uno et al 2014) .

C. 観測日射量解析

C-1, 各日射計の天空画像解析

本研究では天空画像解析の全ピクセルに占める空のピクセル数の割合を SVF とし, 同様に雪面が占める割合を SAF とした. ここで, $SAF \neq SVF - 1$ である. これは, 建物や冠雪していない木々を除去しているためである. 2 高度の SVF は上部が 0.66, 下部は 0.56 であり, SAF はそれぞれ 0.33, 0.25 であった. また, 水平面全天日射計における天空率は 0.82 であった. 下部日射計に対して上部日射計との天空率差 (ΔSVF)・雪面率差 (ΔSAF) はそれぞれ -0.10 と 0.08 であった.

C-2, 2 高度の日射量とアルベドの変化

北側 2 高度の日射量差 ($\Delta I = SR_{bot} - SR_{top}$) と平地における放射収支計より求めたアルベドの時系列 (Fig.2 上図) を示す. アルベドは日変化が大きいため, ここでは 12 時における値のみを示す. 三月中旬までは正の値になることが多いが, 3 月から 4 月上旬にかけて日射量差が連続的に変化していき, 2 高度間の日射量差が 3 月 27 日に逆転した. これは SR_{bot} がアルベドの低下とともに減少することで, SR_{top} より小さくなったことが考えられる. 4 月 3 日が最も差が大きくなり, -13.2 Wm^{-2} であった. ただし, 4 月 4 日以降の急激なアルベドの低下と 2 高度の日射量差の減少のタイミングは一致していない. これはアルベドを測定している平地よりも観測サイト北側にある南斜面であるため融雪が早かったことが原因であると考えられる. また, アルベドと日射量差の関係を見ると (Fig. 2 下図) アルベドが 0.4 以上の時期においてアルベドと日射量差に正の相関がみられた. これは 2 高度に設置した日射計を比較することで反射日射量の影響を評価できる可能性が高いことを示唆する. 融雪期後期の低アルベド時に日射量差と相関がみられない要因は上述の南斜面の融雪がアルベドを測定している平地よりも早かったことが原因であると考えられる.

2 高度の日射量差は SVF と SAF によって決定

されることが考えられる。そこで、他の観測要素から算出される2高度の日射量差 (ΔI_e) について評価した。 ΔI_e は以下に式による。

$$\Delta I_e = I_{diff} \cdot \Delta SVF + I_{direc} \cdot \Delta SAF \quad (1)$$

ここで、 I_{diff} は散乱日射量、 I_{direc} は直達日射量、 Δ は下部日射計と上部日射計の差を示す。その結果、2月27日～4月13日の9時から15時における2高度の日射量を用いた ΔI と ΔI_e の違いは約 10.1 Wm^2 であり、2高度の日射量差は ΔSVF と ΔSAF によって評価可能であることが考えられる。

D. 実地形での斜面日射量分布推定

D-1, 大白川観測サイトへの適用

各解像度におけるDEMから求めた標高・傾斜角・方位角・SVF (Fig.3) とそのDEMを用いた傾斜面日射量分布の推定値 (Fig.4) を示す。日射量分布は融雪期にあたる3～4月の一か月平均値である。これを見ると、1m,10m DEMでは細かな凹凸を再現しているにもかかわらず、90m DEMではほとんどこの地域の地形形状を再現できていない。例えば、解析領域の中心に位置する南北斜面を持つ起伏が解像されていない。その結果、日射量分布をみても解像度が粗くなるほど地域的な不均一性は小さくなる。特に谷部における低日射域は90m DEMでは見られなくなっている。

次に、日射量のヒストグラムを解像度別に評価した (Fig. 5)。評価地域はFig.3のArea 1, Area 2の東西南北4方位を含む山地のみに限定した。その結果、1m, 10m DEMで推定した日射量にほと

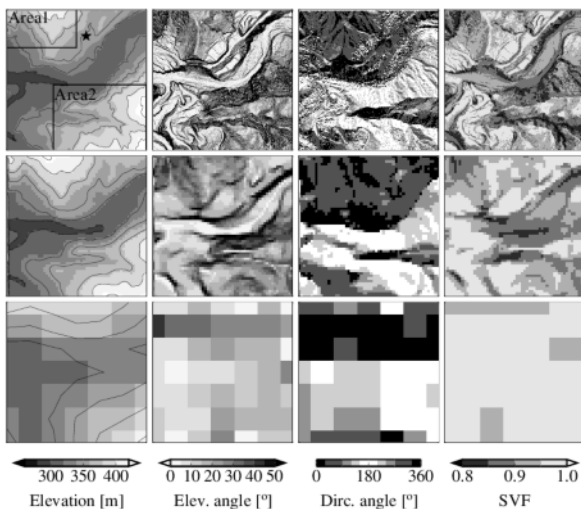
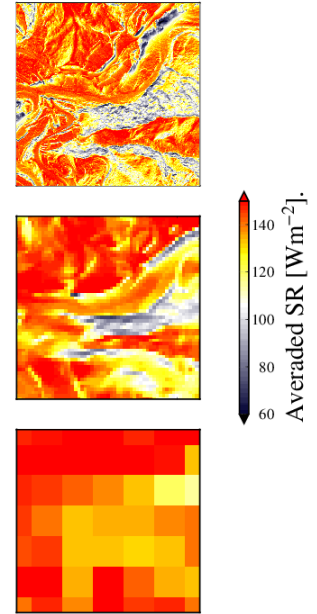


Fig. 3 新潟県大白川周辺におけるDEMの解像度毎の地形形状。上から1m,10m,90m DEMによる標高、傾斜角、方位角、SVF (左から) を示す。左上図の★は大白川観測サイトの位置を示す。

んど違いは見られず領域平均値にも差が見られなかった。一方、90m DEMでは出現頻度のピークは1m,10mと近い値を示しているが、低日射は見られなかった (Fig 5 上図)。加えて、1m DEMを平滑化した、10m, 90m DEM (それぞれ10m_s, 90m_sとする) を作成し、同様に日射量



の出現頻度を評価した (Fig. 5 下図)。その結果、10m_s では、同じ解像度でも低日射域の出現頻度が小さくなり、領域平均値も増加した。一方、90m_s では、ヒストグラムの形状に違いは見られるが、領域平均値・低日射域の出現頻度にはほとんど結果に違

Fig. 4 新潟県大白川における3・4月の傾斜面日射量分布。順番はFig. 3と同様。

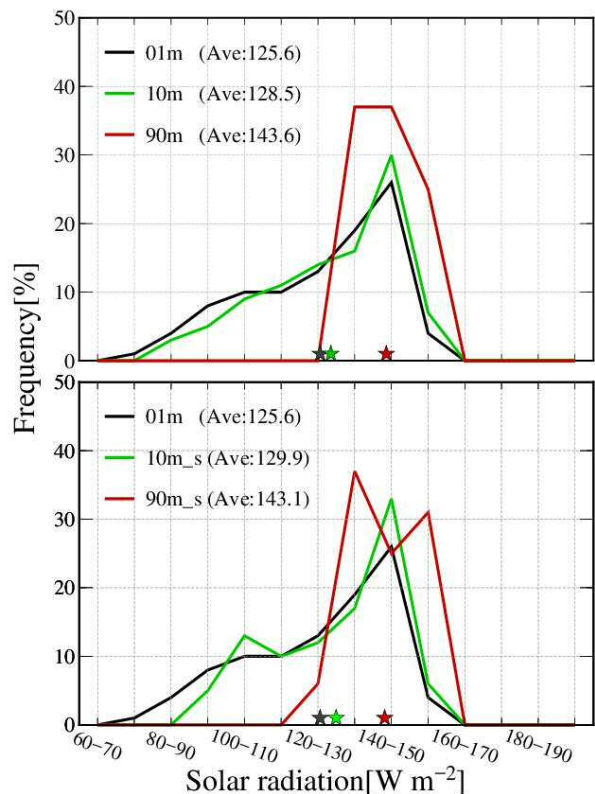


Fig. 5 DEM 解像度別の傾斜面日射量出現頻度。上図はオリジナルのDEM、下図は1mDEMを平滑化し10m, 90mしたDEMによる。また★は領域平均値を示す。

いは見られず、解像度が極端に異なる場合はデータセットの影響は小さいことが考えられる。

そこで、無冠雪期と冠雪期の 1m DEM による違いをみた (Fig. 6) . その結果, 低日射域の出現頻度が冠雪期の DEM の方が小さい特徴が見られた. これは積雪により谷部が平滑化され無冠雪期に作成した 1m DEM と比較して, 急峻な地形が滑らかになったことが要因と考えられる. 冠雪・無冠雪期の標高差を見ると, 道路付近に除雪による考えられる不自然な標高の変化があり, Fig. 5, 6 の日射量のヒストグラムは Area1, Area2 のみで評価している. この結果は, 航空機や衛星観測などによる DEM の作成時には, 積雪や氷河の季節変化の影響を受け, 特に谷部での傾斜面日射量に誤差を生じさせる可能性があることを示唆する.

E. 結論

本研究では, 傾斜面日射量の推定誤差要因の 1 つである反射日射量の簡易的な評価手法, DEM のデータセット, 解像度の違いによる傾斜面日射量推定誤差について議論した. その結果, 反射日射量は SVF, SAF を用いることで約 10Wm^{-2} の誤差で評価可能であることを示した. ただし, 反射日射量の簡易推定法は 1 点における評価のみであり, また比較的単純な地形条件下で評価しているため, 別地点での評価を重ねることが重要である.

谷部などの低日射域以外であれば DEM のデータセットによる違いは小さく, また 10m 程度の解像度で大白川のような複雑地形においても評価可能であることを示した. ただし, 同じ空間解像度の DEM においても冠雪時には谷部の急峻な地

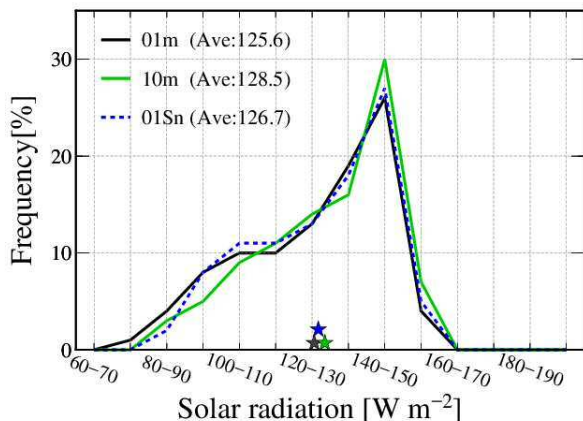


Fig. 6 冠雪(Sn)・無冠雪時における 1mDEM の傾斜面日射量出現頻度. 説明は Fig5 と同様. 参考に Fig 5 上図の 10mDEM も記載.

形が雪により平滑化するために, 無冠雪時の 1m DEM がもっとも低日射域の出現頻度が多く, 冠雪時の 1m DEM と 10m DEM では低日射域の出現率は同程度であった. このことから積雪地域や氷河の存在する地域では DEM の測定時期により地形形状が実際と異なる可能性がある. そのため, 積雪地域や氷河地域において DEM を利用した日射量分布の推定にはより大きな誤差が生じる可能性が高いことが考えられる.

本手法は全天日射と直達日射のデータが必要となるが実際は観測点が少なく広域への適用は困難である. 近年, 太陽光発電予測分野で利用されている日射量予測モデルやひまわり 8 号を用いた準リアルタイム推定の利用が進んでいる. 今後は, これらのデータを使用し, 実用的な斜面日射量分布を評価する手法 (Fig. 7) を考案し, 雪崩予測等に資する評価システムの構築を進めたい.

参考文献

- Uno, F., H. Kawase, N. N. Ishizaki, T. Yoshikane, M. Hara, F. Kimura, T. Iyobe, and K. Kawashima, (2014), SOLA, Vol. 10, 19–22, doi:10.2151/sola.2014-005
Wang, L., and K. Wang (2015), BAMS, DOI:10.1175/BAMS-D-13-00285.1.

F. 研究発表

1.論文発表

なし

2.学会発表

雪氷研究大会・2015年9月・松本

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

なし.

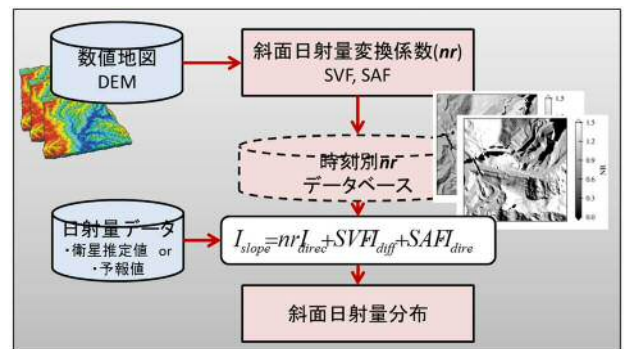


Fig. 7 傾斜面日射量の準リアルタイム推定手法案の概念図