

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

融雪災害予測のための山地斜面の全天日射量の評価

研究代表者氏名 宇野 史睦¹

研究分担者氏名 河島 克久²

1) 海洋研究開発機構 シームレス環境予測研究分野 2) 新潟大学災害復興科学研究所

研究要旨

本研究は、日射量データとして一般的に観測されている水平面全天日射量から斜面日射量を推定する手法の精度評価のため、大白川観測サイトにおける斜面日射量の直接観測と比較を行った。その結果、推定誤差のRMSEは128.8Wm⁻²であり、この誤差の多くは地点の周辺環境の違いによるものと考えられる。また、地形形状（傾斜角・方位等）の違いによる斜面日射量への影響を比較したところ、斜面の方位角の違いが斜面日射量の差を生じされる主要因であることがわかった。これらの地形形状による差に比べて北・東・西斜面においては斜面日射量の推定誤差は小さく、無視できる程度であるが、南斜面においては無視できないことがわかった。最後に、これらの地形形状の違いによる斜面日射量の差が融雪量を評価する上で重要であるかを見るための感度実験を行った結果、北・東・西斜面では大きく影響するが南斜面においてはその影響は0.1mm程度であった。

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（e.g., Garvelmann et al 2014）。山岳域の融雪を考える場合、太陽軌道を算出し、数値標高モデル（Digital Elevation Model:DEM）の地形形状（傾斜・方位・天空率等）から水平面全天日射量から斜面日射量を推定されることが多い（e.g., 大槻ほか1995）。しかし、斜面全天日射量を直接観測した事例は少ないため、既存の推定手法が持つ誤差について、詳細に議論する必要がある。また、近年、地形データは数百から数十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きた。データの高分解像度化に伴い、推定値が持ちうるばらつきも合わせて評価することができるが、計算負荷の増加が考えられるため、目的に合わせた時間・空間分解能を選択することが重要である。

そこで、本研究では1：斜面日射量の直接観測と既存の推定手法による推定量より推定誤差を評

価し、その誤差が地形形状の違いによる地域差と比べて無視できる程度であるか評価した。また、これらの斜面日射量差が融雪量に与える影響についても評価した。

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点のデータを利用した。観測サイトで常時観測している要素である全天日射計（PCM-03E）と直達日射計（CHP-1）を使用した。本観測の前に一定期間、測器を同じ条件で並べ器差補正を行っ



Fig. 1 斜面に設置した斜面日射量の直接

ている。

201年2月より平地の観測点の近傍の斜面（水平距離で約200m程度）に斜面の傾斜と水平に全天日射計（PMP-03）を設置し、斜面日射量の直接観測を行った（Fig. 1）。斜面の傾斜角は32度、方位角は115度（東南東）である。合わせてセンサー部への着雪の有無を評価するため、平野・斜面の全天日射計近傍に10分間隔で撮影するインターバルカメラを設置した。また、散乱日射量の入射量を評価するために魚眼レンズをマウントしたカメラを用いて放射計の法線方向を撮影し、各放射計に対する全天画像を撮影し、画像解析により天空率を求めた。日射量の解析は10分平均値を使用し、解析期間は連続してセンサー部に着氷が無い2014/3/27 - 2014/4/4の9日間とした。

また、実地形における日射量分布を推定するために、航空機測量による1mのDEM。本データはJR東日本防災研究所から提供頂いた。

B-2 斜面全天日射量の推定手法

水平面全天日射量を用いた斜面日射量の推定手法は、農業気象分野で用いられている日射量分布推定手法を採用した。この手法では、全天日射量のデータを入力値として、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。今回は2分間隔で太陽軌道の計算を行った。使用した日射量データは天候を考慮するために大白川における観測データを使用した。また、快晴日における影響を評価するために、つくば市館野(36° 3.5', 140° 7.5')における1980~2009年の30年間の観測データより各日の

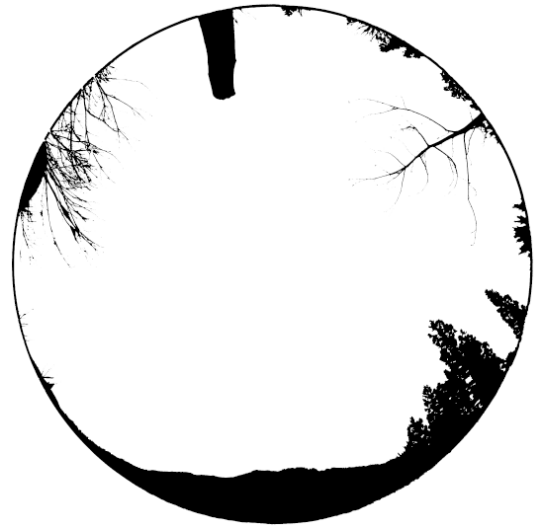


Fig. 2 斜面に設置した日射計の天空マスク画像

30年間の最大日射量を快晴日の日射量として使用した。ただし、日射量分布を評価する場合に、観測地点と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。散乱日射量は、平野の水平面全天日射量と直達日射量の差と観測地点における天空率により求め、天空率は観測点で撮影した全天写真の画像解析より求めた。

C. 研究結果

C-1, 観測データの解析結果

画像解析より求めた斜面の天空率は0.84であった。また、反射日射量の入射割合を決定する対面の山地斜面の割合（陸面率）は0.05であり、反射日射量の割合は限定的である。（Fig. 2）。ま

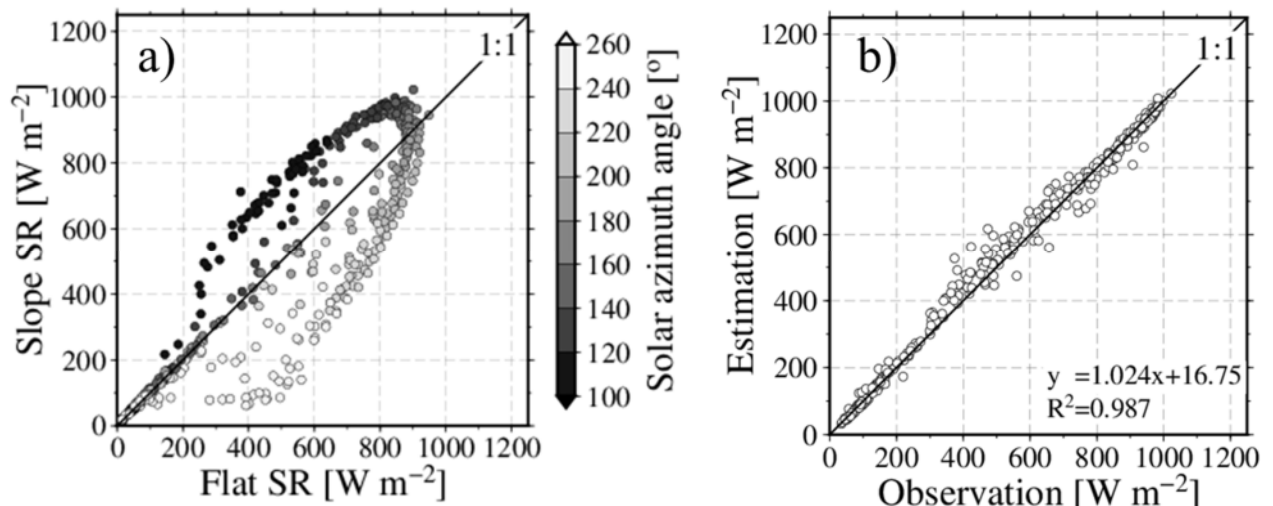


Fig. 3 水平面・斜面における日射量の比較。(a) 平地と斜面の直接比較 (b) 平地の日射量から推定した斜面日射量と直接観測の斜面日射量。

た、平地における天空率は 0.82, 陸面率は 0.11 であり、平地と斜面において大きさは無い。

次に、平地の水平面全天日射量と斜面全天日射量の観測値を比較した (Fig. 3a)。その結果、斜面全天日射量の最大値は方位角が 146 度、平野は 180 度に現れた。また、太陽の方位が東側の時に斜面全天日射量が平地の全天日射量より大きく、西側で小さい。これらの結果は主に太陽方位角と斜面方位角の違いによって生じる。平野と斜面の日射量の差が小さいものが見られるが、これは曇天日もしくは雨天日に対応していると考えられる。例えば、 200 Wm^{-2} 以下では、雲によって直達日射量が遮られるため、平地と斜面の日射量の差が小さくなる。次に、直接観測した斜面全天日射量と平野の水平面全天日射量より推定した斜面全天日射量を比較した (Fig. 3b)。その結果、RMSE は 128.8 Wm^{-2} であり決定係数 (R^2) は 0.986 であった。バイアスがあるものの、回帰係数は 1.025 とよく再現している。また誤差の多くは $300 \sim 700 \text{ Wm}^{-2}$ に集中しており、Fig. 3a で示している太陽方位角が 220 度以上の時に推定誤差が大きくなる傾向が見られた。

観測結果より観測値の持つ推定誤差を評価できたため、次に四角錐状の仮想地形を用いて、地形形状の異なる場合の推定日射量の違いが、融雪量にどの程度影響を与えるかを調査した。計算設定は、東西南北の 4 方位に対してそれぞれ斜面傾斜角を $10 \sim 60^\circ$ まで 20 度毎に変化させ、平地と比べてどの程度融雪量が異なるか評価した。各傾斜角・方位角毎の平地との差を Table 1 に示す。南斜面では傾斜角 30 度にピークが出現した。これは、この地域の冬季の太陽高度が 30 度程度であるため、斜面日射量が大きくなる。その他の 3 斜面は傾斜角が大きいほど平地との差が大きくなった。これは、斜面が急になるほど一日のうちに直達日射量を遮る時間が長くなるためである。

このような斜面毎の日射量の差が融雪量にどの程度影響を及ぼすか評価した (Fig. 4)。平地における推定融雪量を横軸にとり、縦軸は斜面における推定融雪量を示す。斜面の推定融雪量は平地における融雪量の推定式の全天日射量を上述の 4 方位の条件下の推定値に変更し、推定した融雪量である。つまり、全天日射量以外の要

Table 1 仮想地形により評価した斜面形状の違いによる平地との日射量比。

	10°	20°	30°	40°	50°	60°
South	1.04	1.06	1.05	1.03	0.99	0.95
North	0.93	0.85	0.75	0.63	0.53	0.47
West	0.98	0.94	0.89	0.83	0.77	0.73
East	0.99	0.97	0.92	0.86	0.81	0.76

素 (例えば気温・風速等) は平地・斜面で同じであることを仮定している。実際には全天日射と気温には正の相関があるため、北・東・西斜面においては過小評価傾向であることが考えられる。

各斜面における融雪量を比較すると、南斜面においては若干融雪量が多くなる傾向にあるが、北斜面においては大きく融雪量が減少した。特に傾斜角が急になるほど平地との差が大きくなった。また、東・西斜面においては差が均等にばらついている。これは、東 (西) 斜面において午前 (午後) に平地と比べてより多くの日射量が入るため、午前と午後では平地との融雪量の差が生じるためである。

D. 実地形での斜面日射量分布推定

大臼川観測サイトへの適用

1m の DEM による地形と日射量分布を推定した

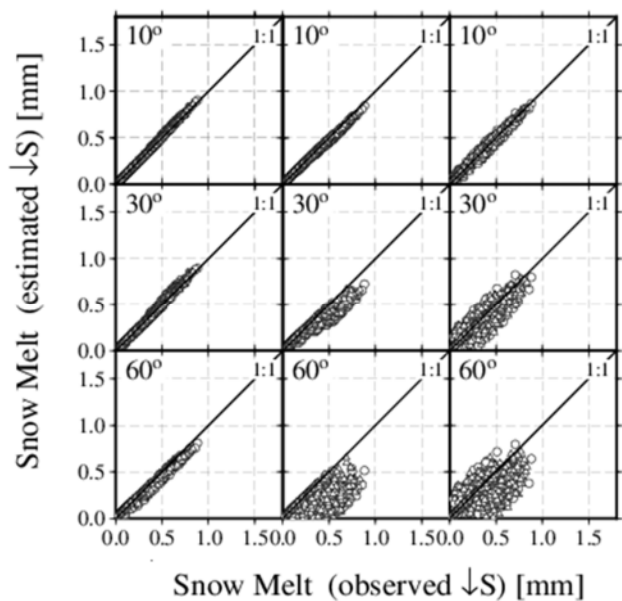


Fig. 4 傾斜角・方位角の違いによる斜面日射量差が融雪量に及ぼす影響。それぞれ、南 (左)・北 (中)・西 (右) 斜面の結果を示し、各グラフの左上の数値は斜面の傾斜角を示す。横軸は熱収支法によって評価した融雪量、縦軸は熱収支法の全天日射量を傾斜角・方位角毎の推定値に置き換えたときの推定値を示す。

結果をFig.5に示す. これを見ると, 北斜面において日射量が少ないことがわかり, 細かな凹凸によっても日射量に差が生じていることが分かる. 一方, 南斜面においては平地と比べて日射量が増加している. しかし, その差は北斜面による減少量と比べて小さい. これは南斜面では直達日射量の斜面への鉛直成分が平地と比べて南斜面の方が多くなるためである. 一方, 北斜面では太陽高度が低い時間帯では直達日射量が周辺地形によって遮られるため, 直達日射が入射しない時間があるためである. 東西斜面において, 東斜面では午前中に直達日射量が入射するが午後は西斜面によって遮られ入射しない. 西斜面はその逆である. そのため, 快晴日であれば傾斜角が同じ東西斜面では日射量差は生じないが, 午前と午後で天候が異なるような天候の場合は差が生じる.

E. 結論

今回の研究ではこれまであまり行われてこなかった斜面日射量の直接観測を行い, その推定誤差を評価した. また地形形状の異なる条件下における斜面日射量の違いについて仮想地形や実地形を用いて評価し, 斜面の方位による斜面日射量差が, 融雪量に及ぼす影響についても評価した. その結果, 北・東・西斜面における斜面日射量の推定誤差は十分に小さいため無視できるが, 南斜面にはおいては無視できないことがわかった.

今後は, 実用化に向けてより簡便な手法で斜面日射量分布を評価する手法を考案し, 雪崩予測等に資する評価システムを構築したい.

F. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

雪氷研究大会・2014年9月・八戸

Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)

2014・2014年8月, 札幌

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

特になし.

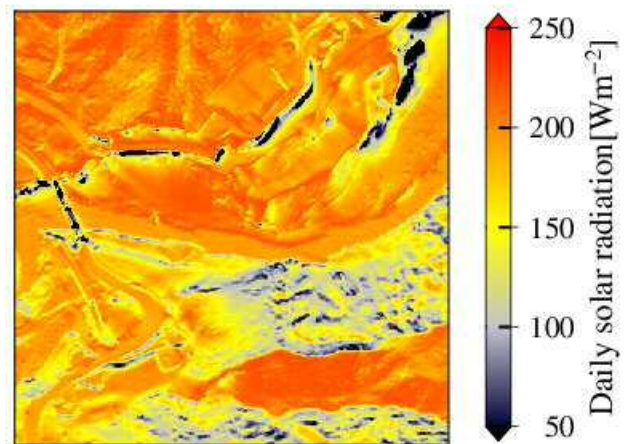


Fig. 5 2014年2~3月における大白川観測サイト周辺の日平均日射量分布.