

平成28(2016)年5月26日

積雪地帯の山地流域における 極端気象時の融雪特性に関する研究

一般財団法人河川情報センター
研究助成(平26, 第2号)報告

研究代表者
京都大学防災研究所・松浦純生

1

背景と目的

背景

積雪地帯では、急激な気温上昇や降雨、さらに強風などによって急激に雪が融け、
◎融雪洪水などの水象災害
◎地すべりなどの土砂災害
◎雪崩などの雪氷災害が発生

気温上昇による融雪
→観測方法が簡単で観測密度も高いことから、融雪の予測は比較的容易

降雨時の融雪
→降雨を伴う融雪は、無積雪期に降雨による洪水災害などが多いため、災害発生に対する注意を喚起しやすい

水象災害



土砂災害



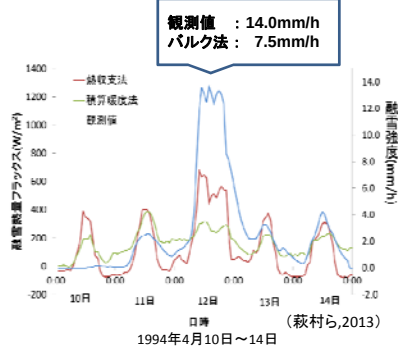
雪氷災害



背景と目的

課題

しかし・・・
フェーンなどによる強風時の融雪については、降雨と比較して発生頻度が低い上に、風で急激に雪が融けるといったことが、必ずしも流域内の住民に共有されていない。
→災害発生に対する警戒心が薄くなる。



融雪地すべり(国川地すべり)
平成24(2012)年3月発生

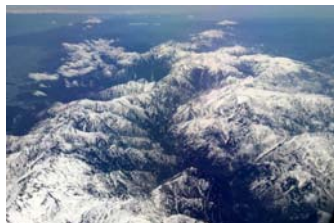
現場の観測によって、
強風時には従来の予測よりも、2～3倍
もの雪が融ける場合があることが明らかになった。
→災害の発生危険度が高まっている
にもかかわらず、見過ごしてしまう
可能性が高くなる。

3

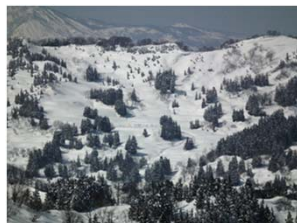
背景と目的

強風時における観測融雪水量と計算による
推定融雪水量の大きな乖離は、山地斜面の
粗度が原因？

推定される要因	水平方向		鉛直方向	
a)地形特性	マイクロ α	0.2～2km	境界層	<1km
b)森林等の植生	マイクロ β	0.02～0.2km	接地層	<0.05km
c)積雪面状態	マイクロ γ	0.002～0.02km	接地層最下部	<0.005km



a)地形特性



b)森林等の植生



c)積雪面の凹凸

4

背景と目的

目的

本研究では、積雪地帯における適切な流域管理に資するため、以下を目的とする。

- 1) 融雪に大きな影響を与えと考えられる山地斜面の粗度に注目し、既往の観測データの解析や現地観測、さらに風洞を用いた融雪実験などを行い、強風時の融雪特性を解明。
- 2) 極端に強い風が吹いた場合でも正確に融雪水量を予測できるモデルを開発することで、積雪地帯における流域保全技術を高度化。

現地観測



現地試験

室内実験



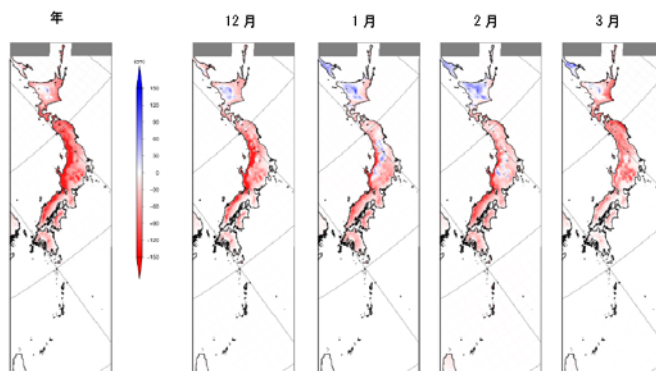
(国研)防災科学技術研究所および防災研究所の風洞実験

最大積雪水量時における積雪調査

積雪環境現地観測(国研)森林総合研究所試験地)

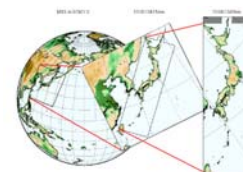
期待される成果

◆降雪量の変化予測



年及び月降雪量の変化

(気象庁、2013)



(気象庁、2013)

- 日本は世界でも有数の多雪国
- 暖温帯多雪地帯は、温暖化の影響を鋭敏に受ける
- 本成果は、温暖化適応策として活用が期待される。

降雪量は北海道を除く地域で減少する。特に日本海側での減少が大きく、多いところで年間400mm(水換算)程度の減少が予測されている。この理由として、東北以南では温暖化に伴って雪ではなく雨として降る場合が増えることによる。一方、北海道の内陸では温暖化しても雪が降るには十分に寒冷なため、温暖化による大気中の水蒸気量の増加により、降雪量が増加するものと考えられる。

熱収支式とバルク法

熱収支式 - 積雪層が受け取るエネルギーを全て書き下す: 物理学的手法

$$Q(\text{W/m}^2) = Q_L + Q_R + \underbrace{Q_H}_{\text{顕熱}} + \underbrace{Q_E}_{\text{潜熱}} + Q_r + Q_G + Q_O$$

融雪熱量 長波放射 短波放射 雨量 地中熱 積雪層内の伝導熱

強風時に融雪量を過小評価
→ 顕熱・潜熱フラックスの過小評価が原因?

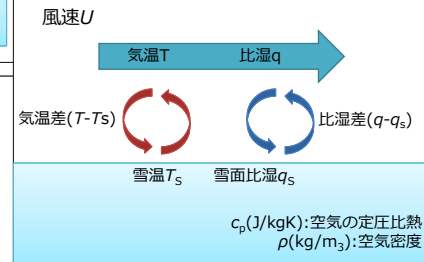
バルク法

$$Q_H = c_p \rho C_H U (T - T_s)$$

$$Q_E = l \rho C_E U (q - q_s)$$

顕熱バルク係数 C_H 、潜熱バルク係数 C_E

$$C_H = \frac{k^2}{\ln \frac{z}{z_0} \ln \frac{z}{z_T}}, \quad C_E = \frac{k^2}{\ln \frac{z}{z_0} \ln \frac{z}{z_q}}$$



C_p : 定圧比熱、 l : 気化熱、 ρ : 空気の密度
 k (=0.4): カルマン定数、 z (m): 測定高度
 z_0, z_T, z_q (m): 風速、気温、比湿の粗度長

- 鉛直分布から決定、雪面や地物の状態により変動
- z_0 は森林植生に影響を受ける (近藤, 2000)

地形特性に関する室内実験

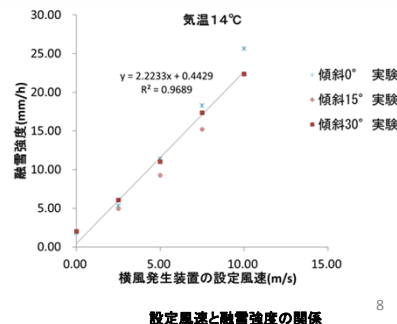
a) 地形特性

地形効果による融雪特性を明らかにするため、融雪実験装置を3基製作し、それぞれ 0°、15°、30° に傾斜させ、(国研) 防災科学技術研究所新庄雪氷実験所の雪氷防災実験棟で融雪実験を実施。

気温や風速が同じ条件であれば、傾斜した積雪層別に融雪強度が大きく異なることはなかった。今回の実験結果からは、融雪に与える地形傾斜の影響は大きくないと考えられる。ただし、谷が入り込むような複雑な地形の場合は不明である。

実験条件

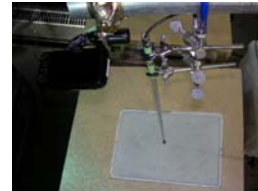
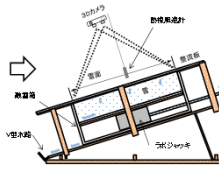
風速 (m/s) \ 気温 (°C)	7.0	10.5	14.0	17.5
2.5	×	×	○	×
5.0	×	×	○	×
7.5	×	×	○	×
10.0	○	○	○	○



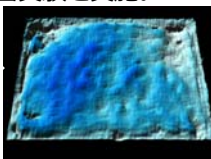
積雪面の凹凸に関する室内実験

c) 積雪面の凹凸

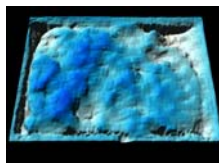
実験装置は、融雪箱と融雪箱を傾斜させる台座からなる。この装置を室温14℃、湿度60%に維持した(国研)防災科学技術研究所の新庄雪氷実験所内に設置し、横風発生装置を用いて融雪実験を実施。



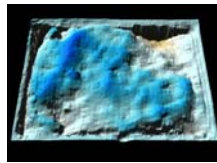
実験前



31分後

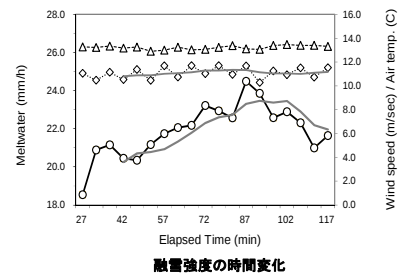


60分後



89分後

積雪表面の変化



融雪強度の時間変化

積雪表層の比高等と融雪強度の関係について解析を行ったところ、積雪表層の凹凸の変化が融雪強度に与える影響は、植生と比較して小さいと考えられる。

9

森林等の植生に関する室内実験

b) 森林等の植生



単木配置 ↑ 大群落配置

← 中群落配置

風洞の幅は2.5m、風向方向の樹木
模型設置範囲は2.0m

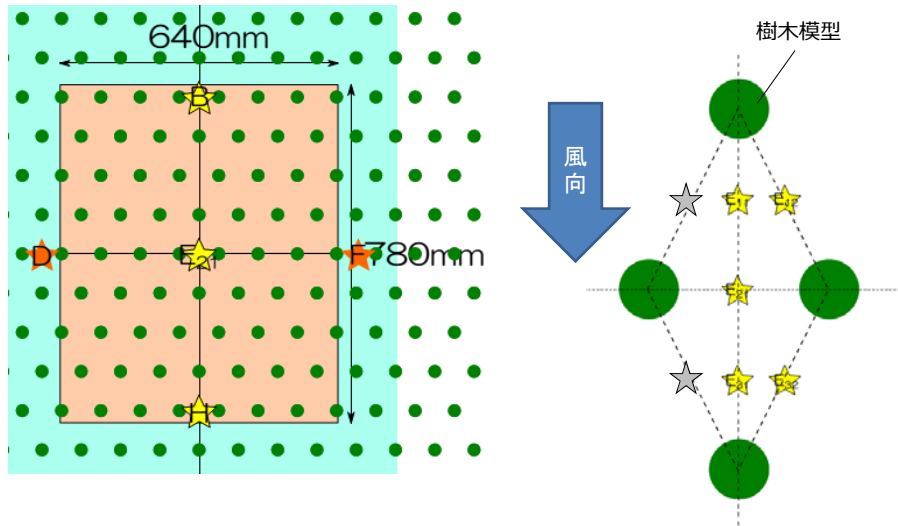
実験方法

予備実験として、京都大学防災研究所耐風構造研究分野の風洞内に樹木模型を配置し、群落配置による風環境の変化を測定した。

10

森林等の植生に関する室内実験

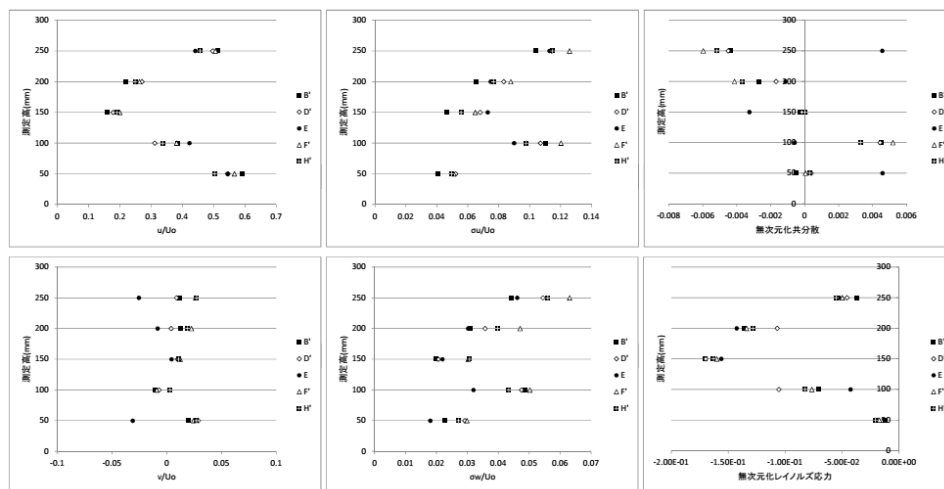
単木配置



11

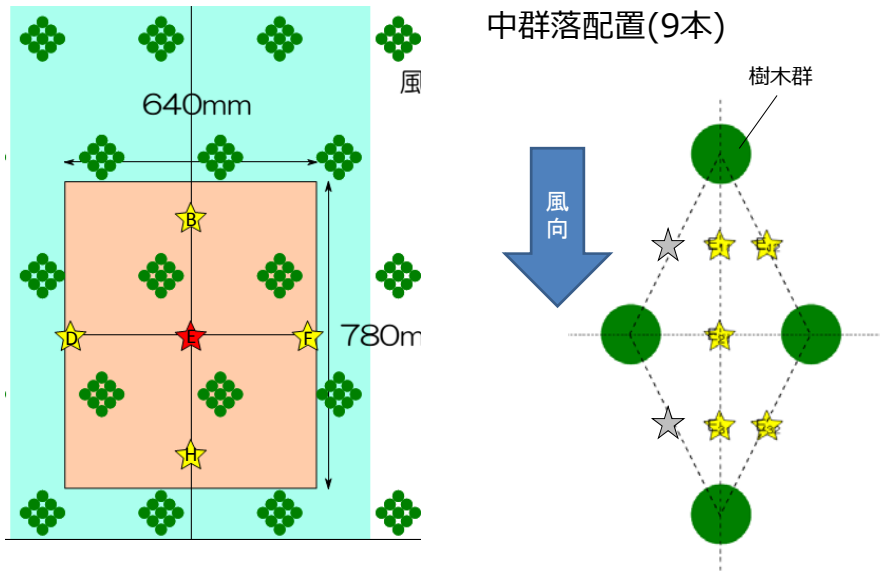
森林等の植生に関する室内実験

単木配置> ユニット内での比較



12

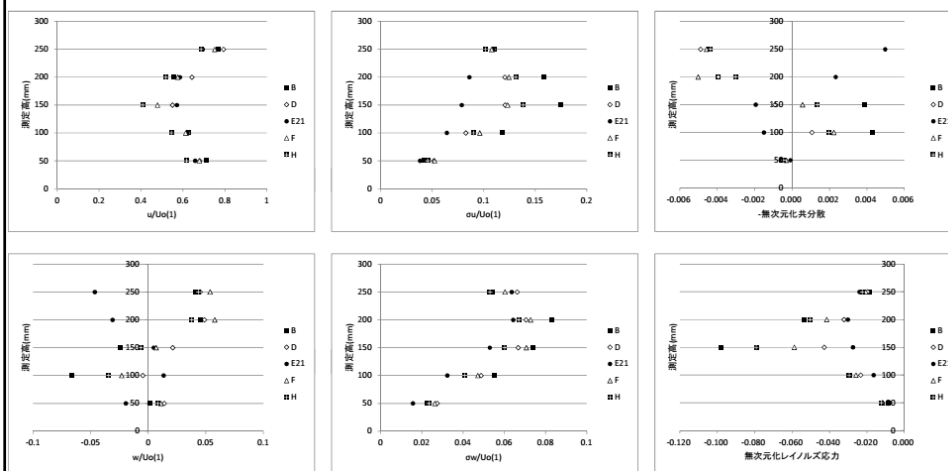
森林等の植生に関する室内実験



13

森林等の植生に関する室内実験

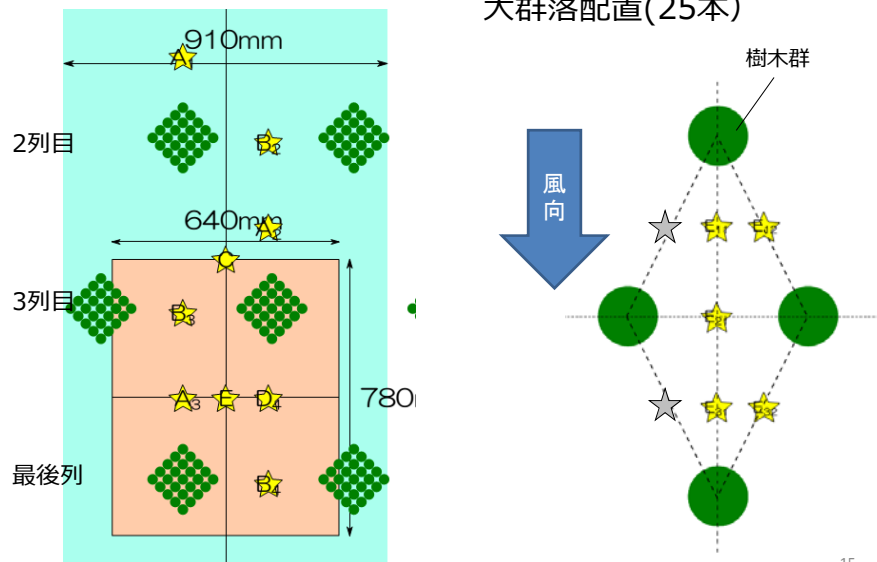
中群落配置> ユニット内での比較



14

森林等の植生に関する室内実験

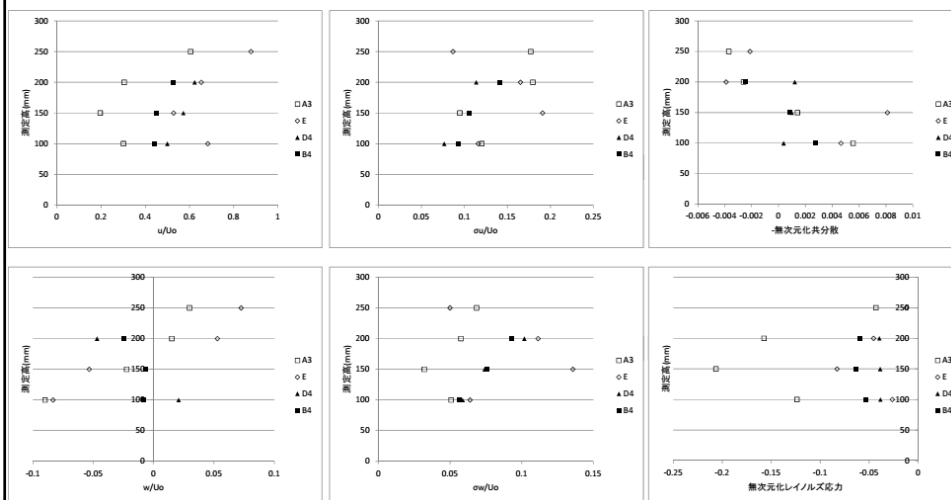
大群落配置(25本)



15

森林等の植生に関する室内実験

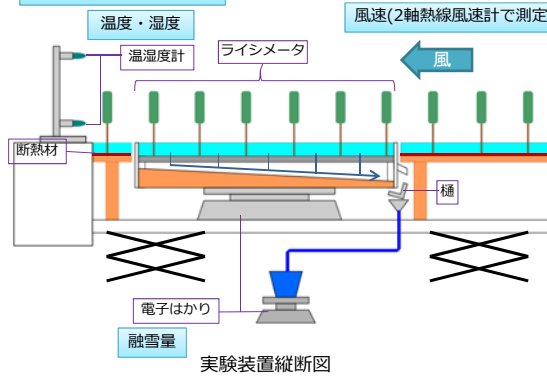
大群落配置＞ユニット内の相対位置による比較



16

森林等の植生に関する室内融雪実験

b) 森林等の植生

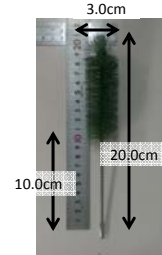


実験方法

- ・ 国立研究法人防災科学技術研究所雪氷防災センター新庄支所の風洞(14.0m(L)×1.0m(W)×1.0m(H))内に樹木模型を配置し、下流5.0mに雪を敷き詰める
 - 風速・融雪強度・気温・湿度を測定
 - 0m/sでの対照実験により長波放射量・伝導熱量を推定

相似則・実験環境

- ・ 幾何学的相似則(縮尺): 1/100
樹木模型: 200mm(→20m)
積雪深: 50mm(→5m)



- ・ 風速: 7.0m/s
臨界レイノルズ数を越えた($>10^5$)ことを確認
→ 実験環境の7m/sとほぼ同様の風速・乱流構造を想定
- ・ 樹木模型樹高の約2倍まで、乱流境界層が形成されていることを確認
- ・ 気温: 14℃、湿度: 60%前後
→ フェーン現象時を想定

17

森林等の植生に関する室内融雪実験



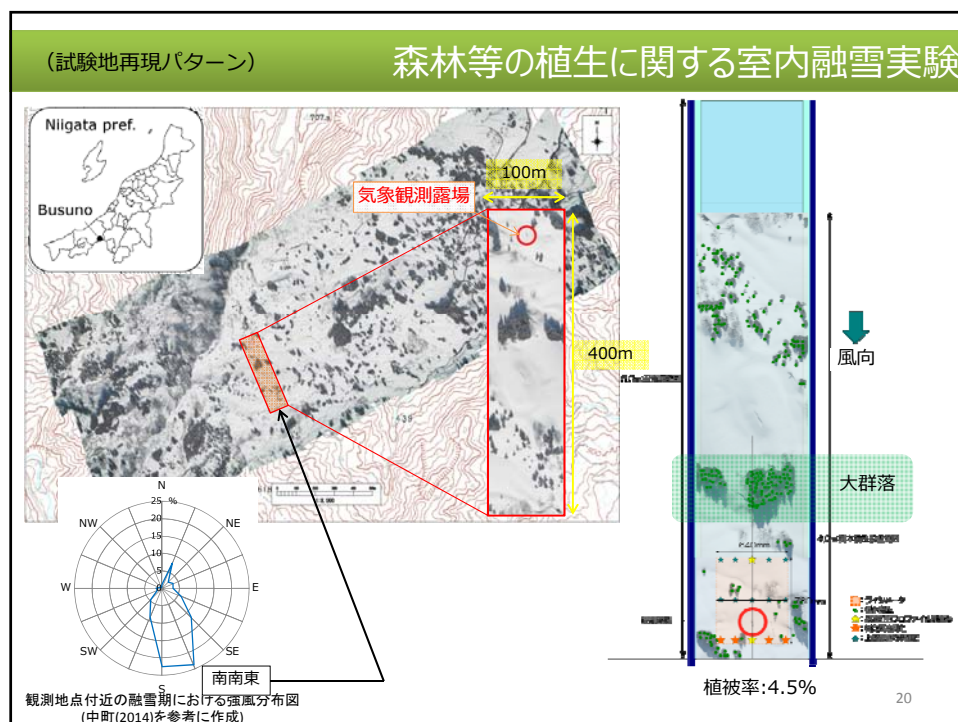
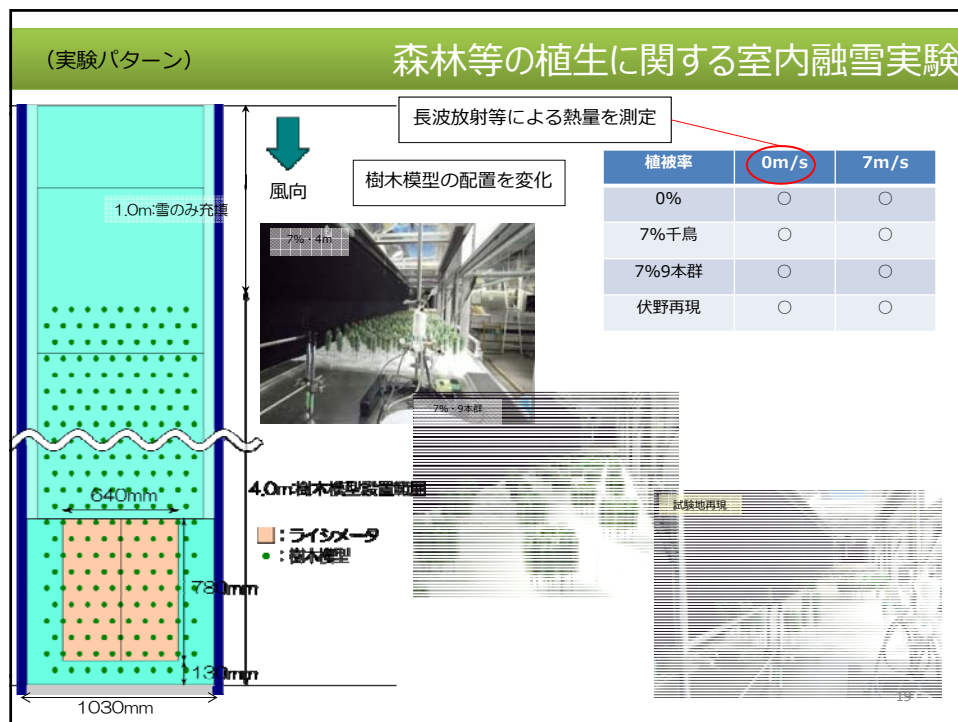
林間内部の風速計測
X型プローブの熱線風速計により、風の主流方向(u成分)と鉛直方向(w成分)の2成分をサンプリング周波数500Hzで同時測定

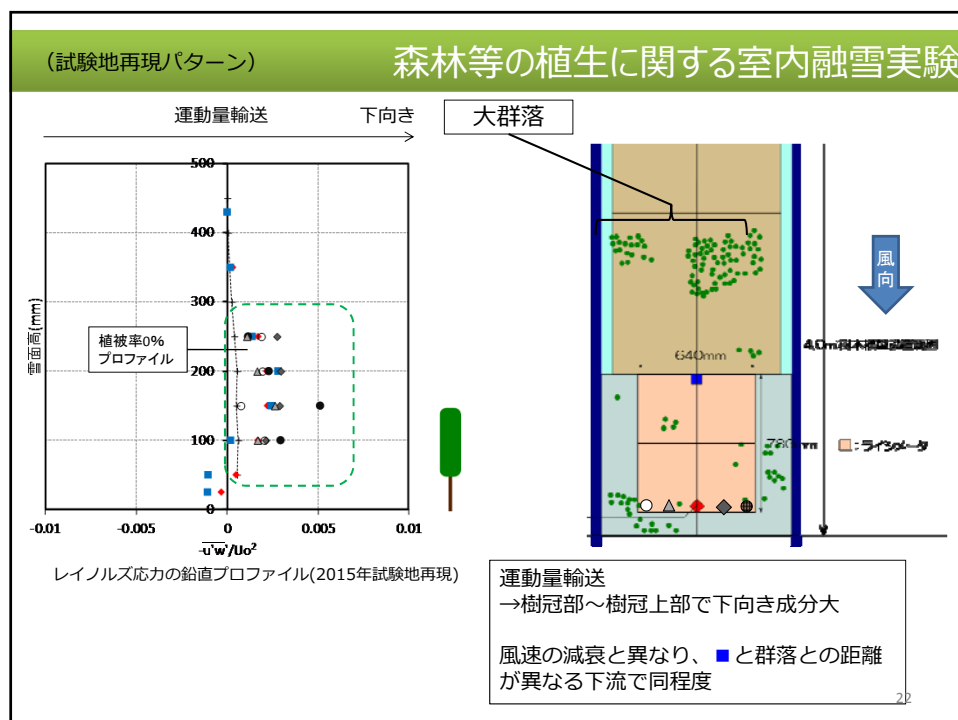
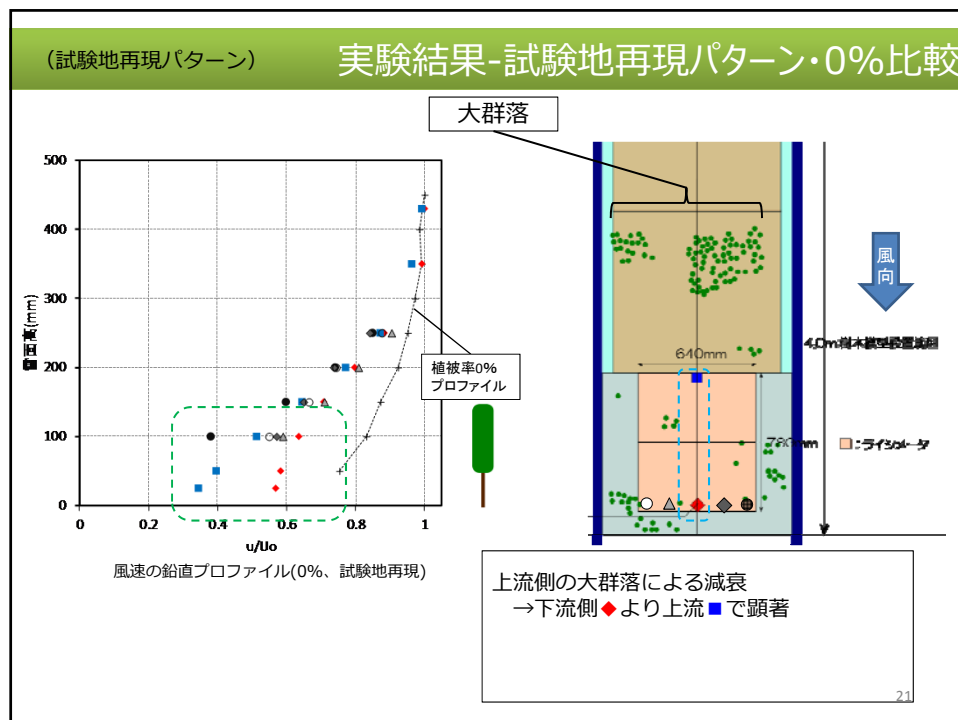


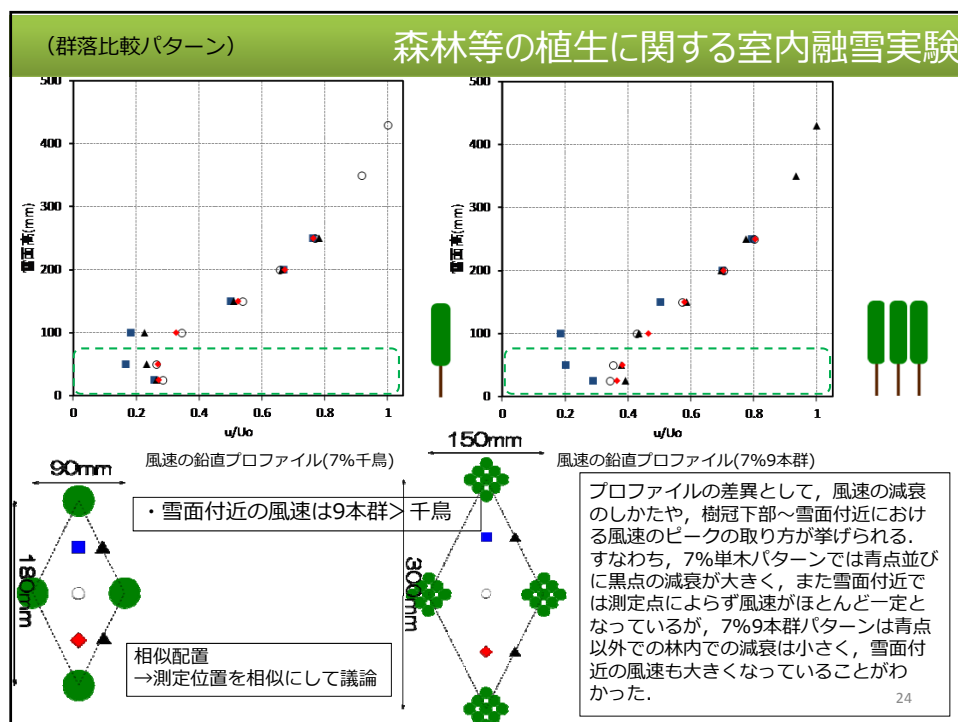
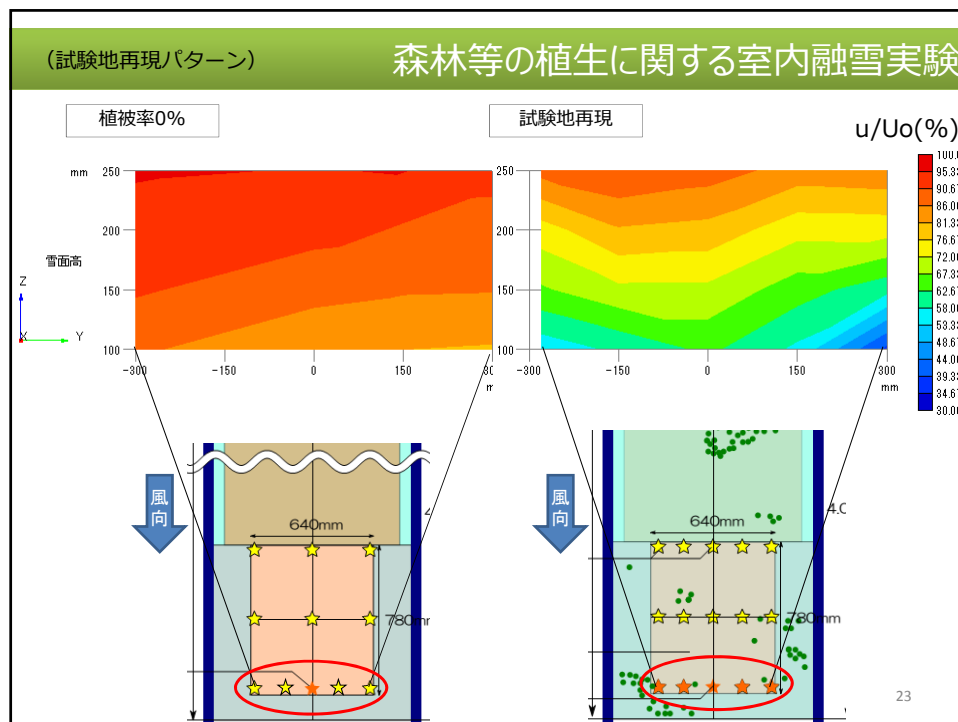
ライシメータ (78cm(L)×64cm(W))
樹木模型の設置が可能。ライシメータと集水バケツの水量を電子はかりで測定することにより、積雪重量の変動と融雪水量の2つの要素から融雪強度を算出。

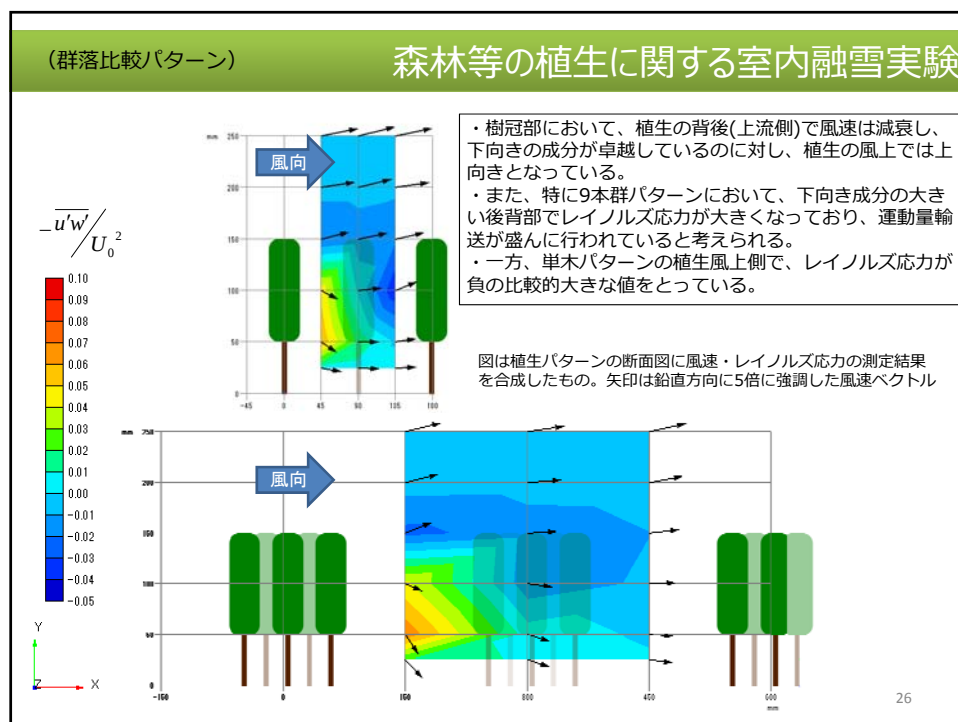
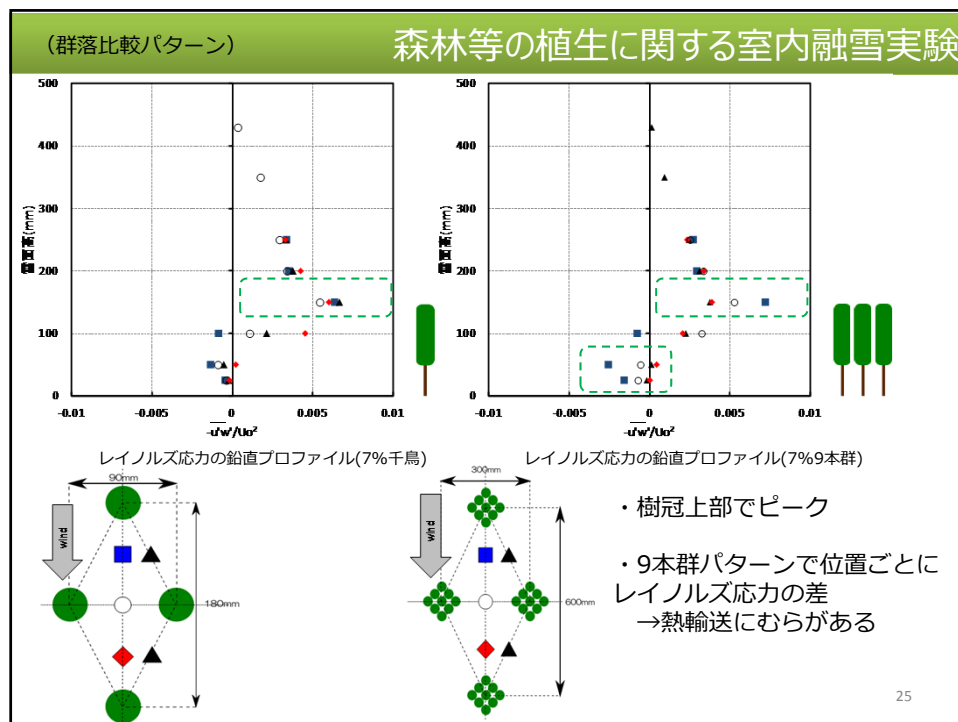
雪の充填
月山から比重0.5の積雪を採取し、風洞内に厚さ5cmになるように均質に充填。底面には断熱ボードを敷き、伝導熱による融雪を軽減した。











まとめ

- 気温や風速が同じ条件であれば、傾斜が一様で平坦な積雪斜面では融雪強度が大きく異なることはなかった。
- 積雪表層の比高等と融雪強度の関係について解析を行ったところ、凹凸の進行によって、やや融雪強度が強まるものの、その値は小さい。
- 植被率が同程度で、森林の配置分布を変化させた融雪実験を行った。その結果、強風時には群落配置の方が単木よりも融雪強度が大きくなることが明らかとなった。
- 植被率が同等な2パターンにおいて、運動量輸送量を表すレイノルズ応力を比較検討した。その結果、群落構造が大きいパターンで正負のピークが大きくなり、群落の大きさにより運動量輸送にむらが生じ、熱交換に影響を与える可能性が示された。
- 実際の中山間地のようなランダムな樹木植生パターンが存在する場合、下流側の広い領域で運動量輸送が強まる傾向が得られた。そのため、実際の融雪強度が大きくなると思われる。
- 森林植生の影響を考慮した「みかけの粗度」を用いることで、極端な強風が吹いたときの融雪強度を再現することが可能になると考えられる。これをアメダスの気象要素に組み込むことで、より正確な融雪予測が可能になると期待される。

27

お礼

本研究に助成いただき、誠にありがとうございました。



また、本研究を実施するにあたり、
国立研究法人防災科学技術研究所、国立研究法人森林総合研究所
京都大学防災研究所 耐風構造研究分野および暴風雨・気象環境研究分野の
皆様には多大なご協力をいただきました。

記して感謝申し上げます。

28