

鉄道車両に生じる着雪量推定手法および 落雪推定手法の開発

防災技術研究部 気象防災研究室

研究員 辻 滉樹

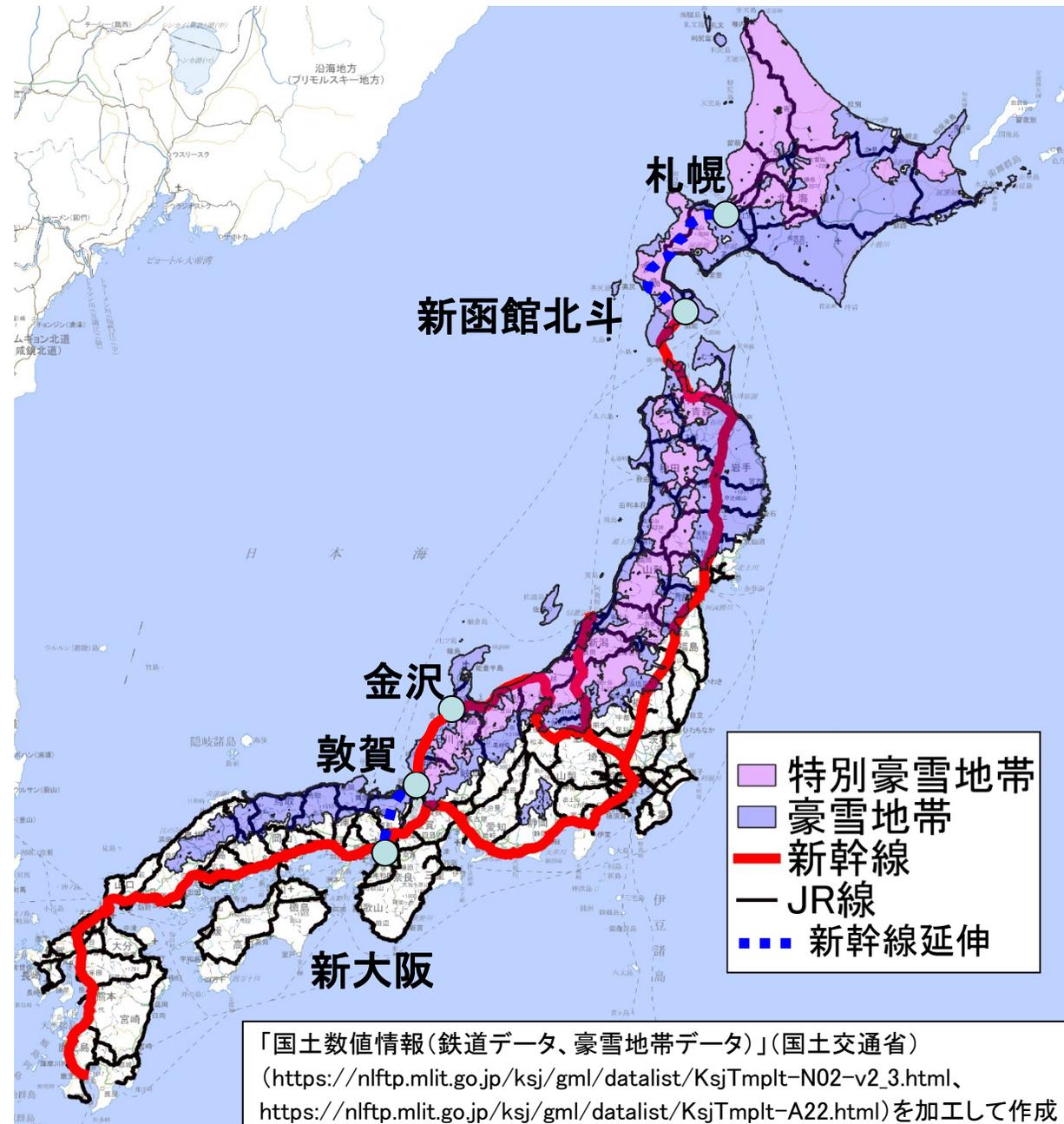


本日の発表

1. はじめに
2. 着雪量推定手法の開発
3. 落雪推定手法の開発
4. 車両着落雪推定手法の精度検証
5. まとめ
6. 成果の活用

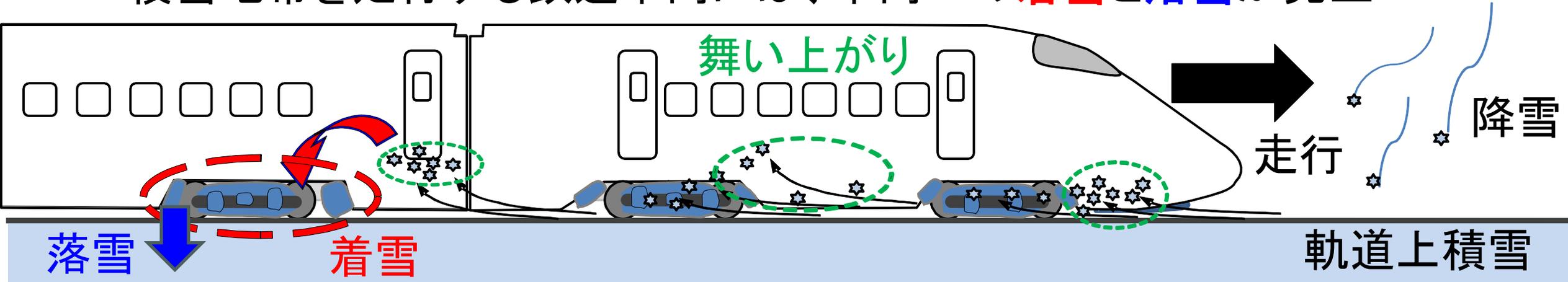
1. はじめに

- ✓ 日本の鉄道の約4割が特別豪雪地帯・豪雪地帯に敷設
- ✓ 2024年3月16日
北陸新幹線 金沢・敦賀開業
- ✓ 将来的に…
北陸新幹線 新大阪延伸
北海道新幹線 札幌延伸
→ **積雪地帯に新幹線が建設**



1. はじめに

- ✓ 積雪地帯を走行する鉄道車両には、車両への**着雪**と**落雪**が発生



- ✓ 落雪による設備被害
例: バラスト飛散
分岐器不転換
地上機器破損など

- ✓ 鉄道事業者は対策を実施
例: 軌道の散水消雪
軌道上積雪の濡れ雪化
雪落とし作業
→ 高コスト

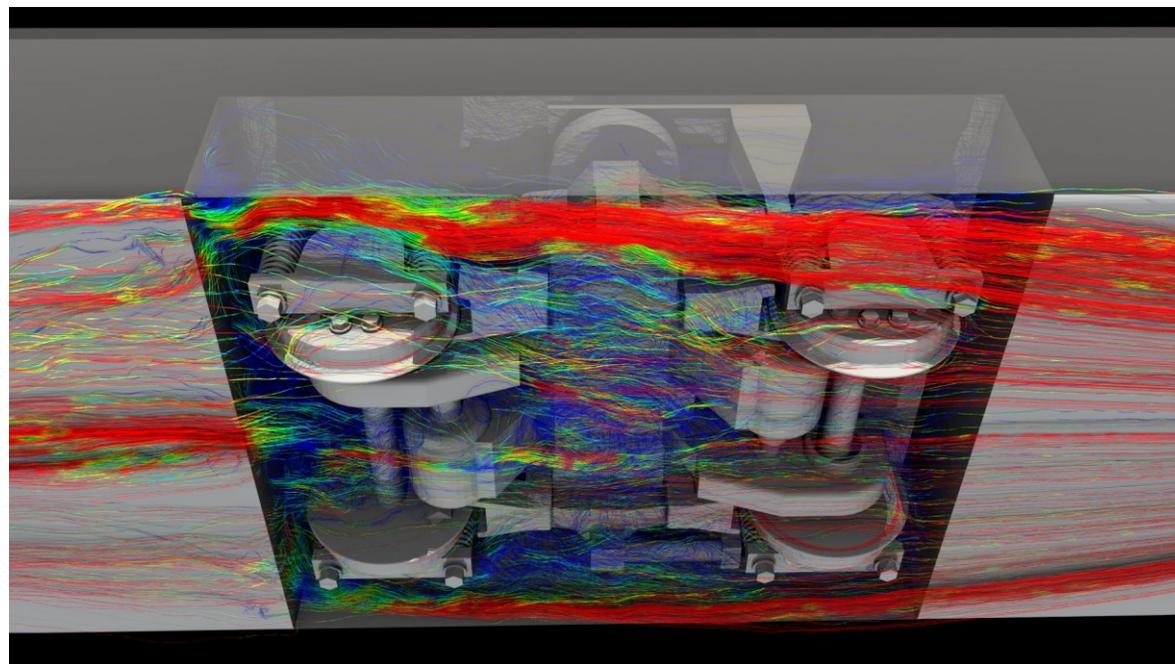


牧山ら(2015)より

1. はじめに

✓ 鉄道総研では対策の効率化を目指して研究開発を実施

- ・着雪シミュレータ
- ・車両着雪対策の検討
- ・車両着落雪推定手法



✓ 車両着落雪推定手法の根底となる**着雪量推定手法**・**落雪推定手法**の開発について本日発表

2. 着雪量計測手法

- ・直接計測

重量、着雪面積、着雪長さの測定

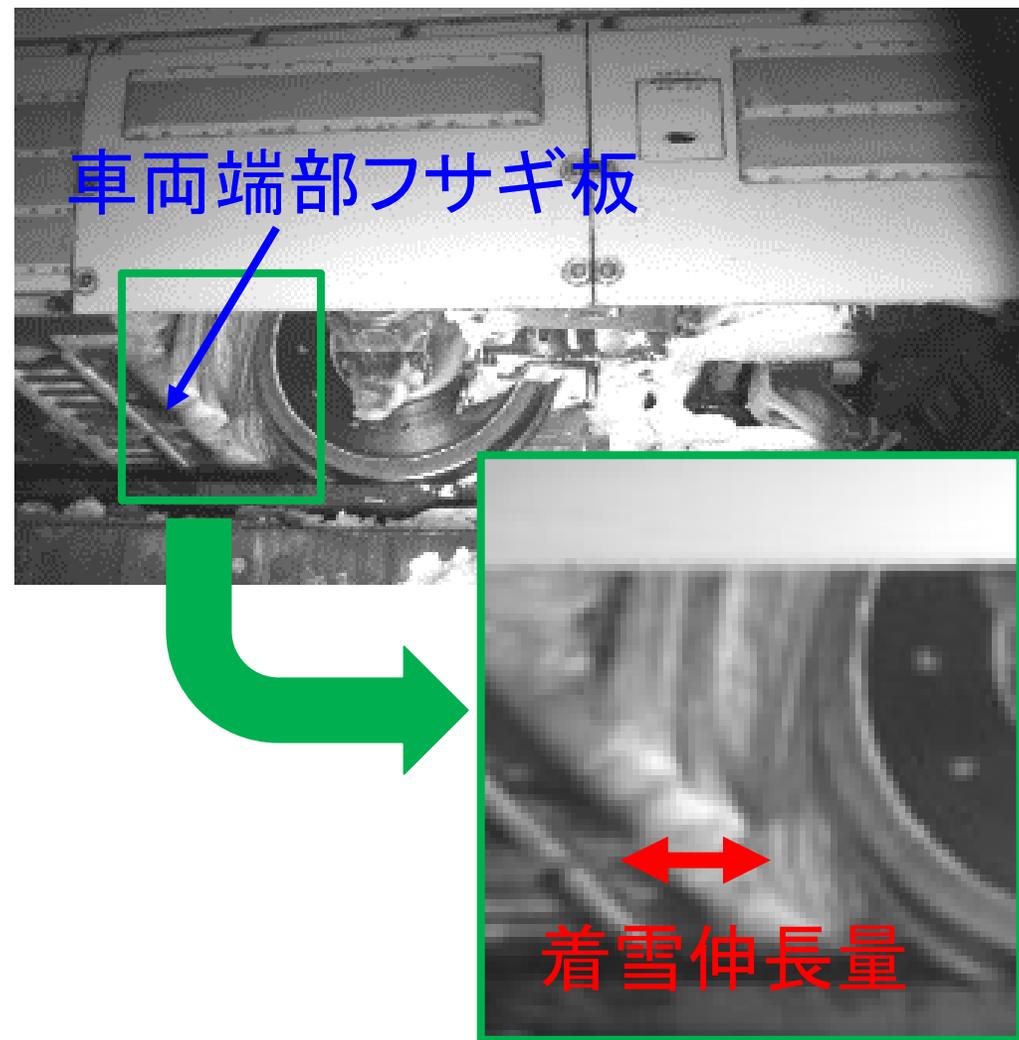
→ **営業線では困難**

- ・間接計測

光切断法、カメラによる画像解析

→ **設置箇所のみで計測可能**

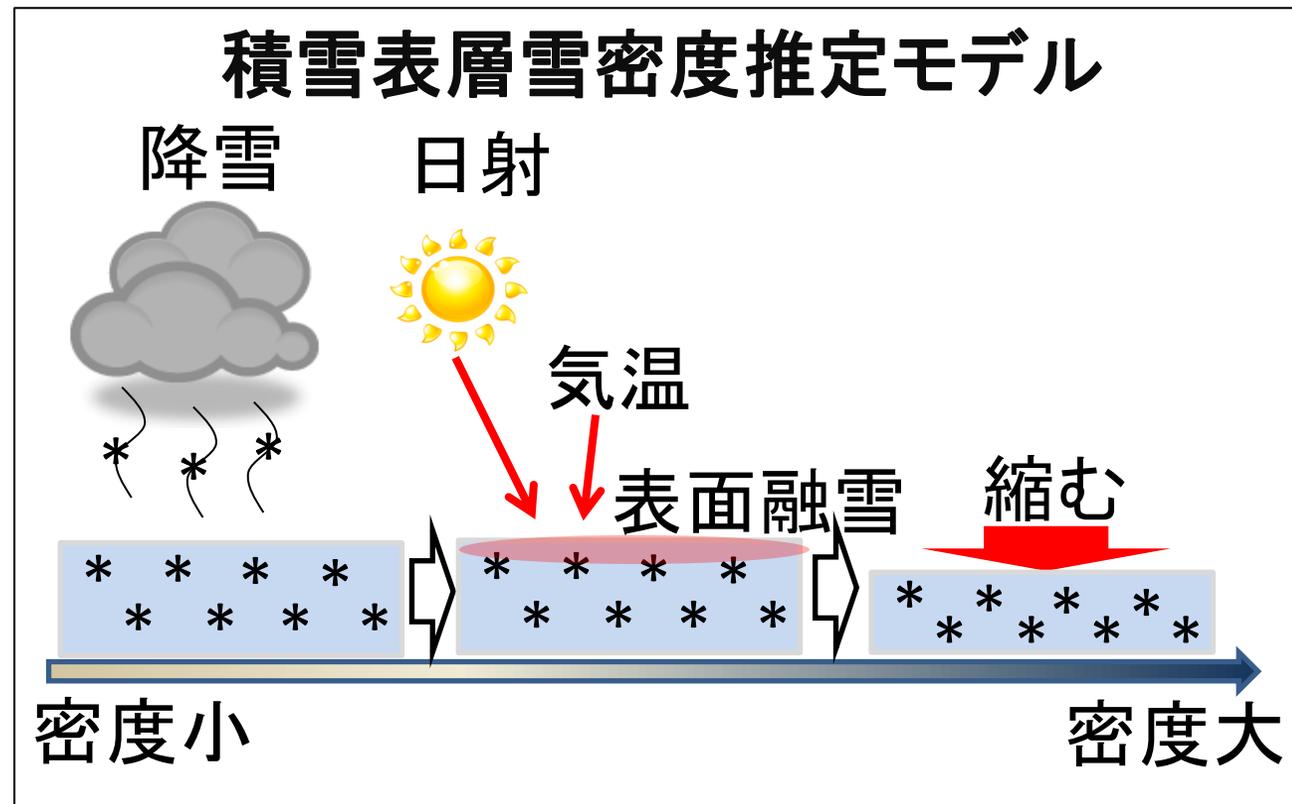
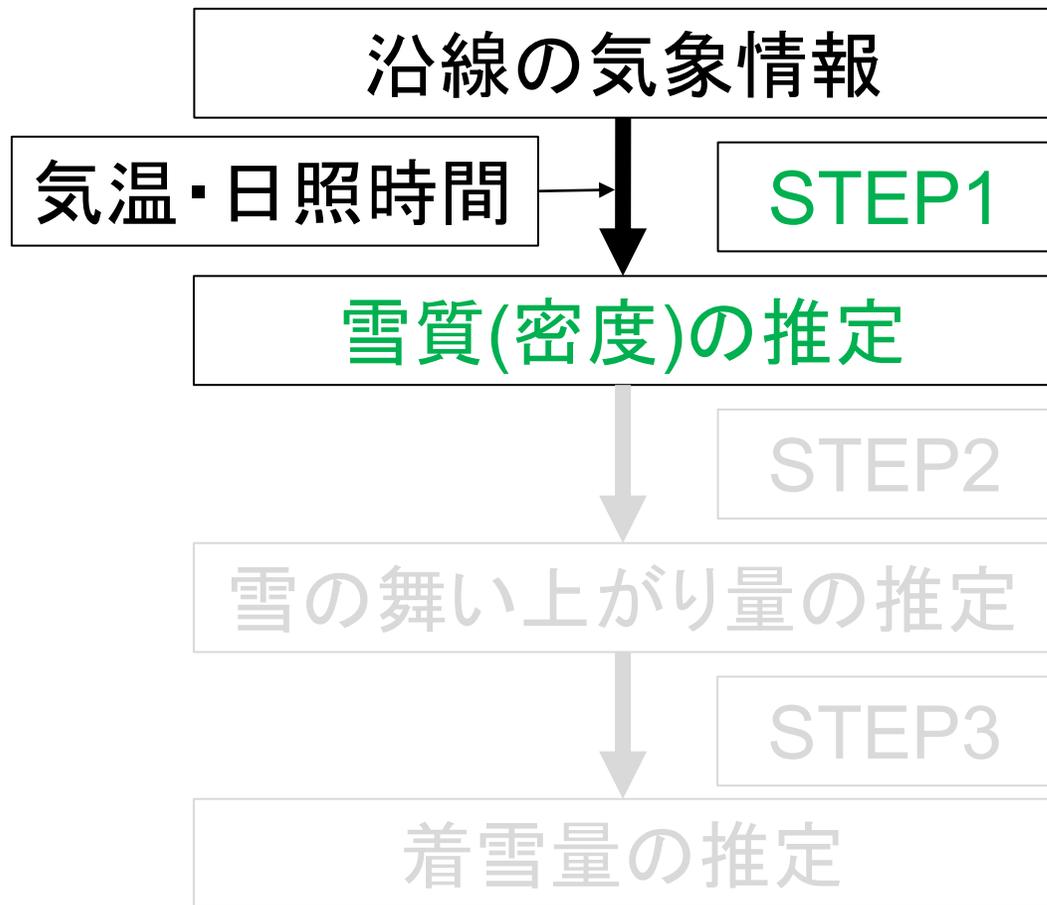
✓ **沿線全域に適用可能な着雪量推定手法の開発が必要**



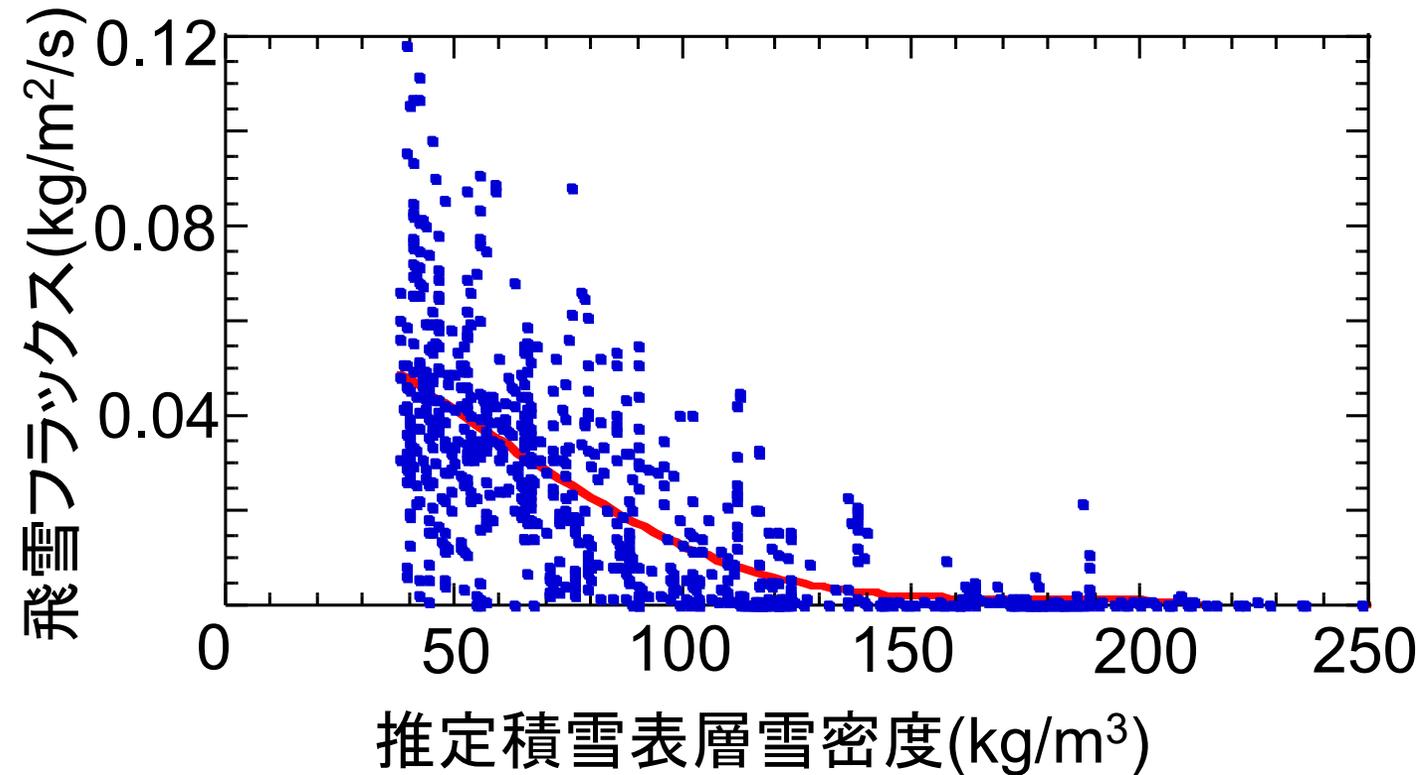
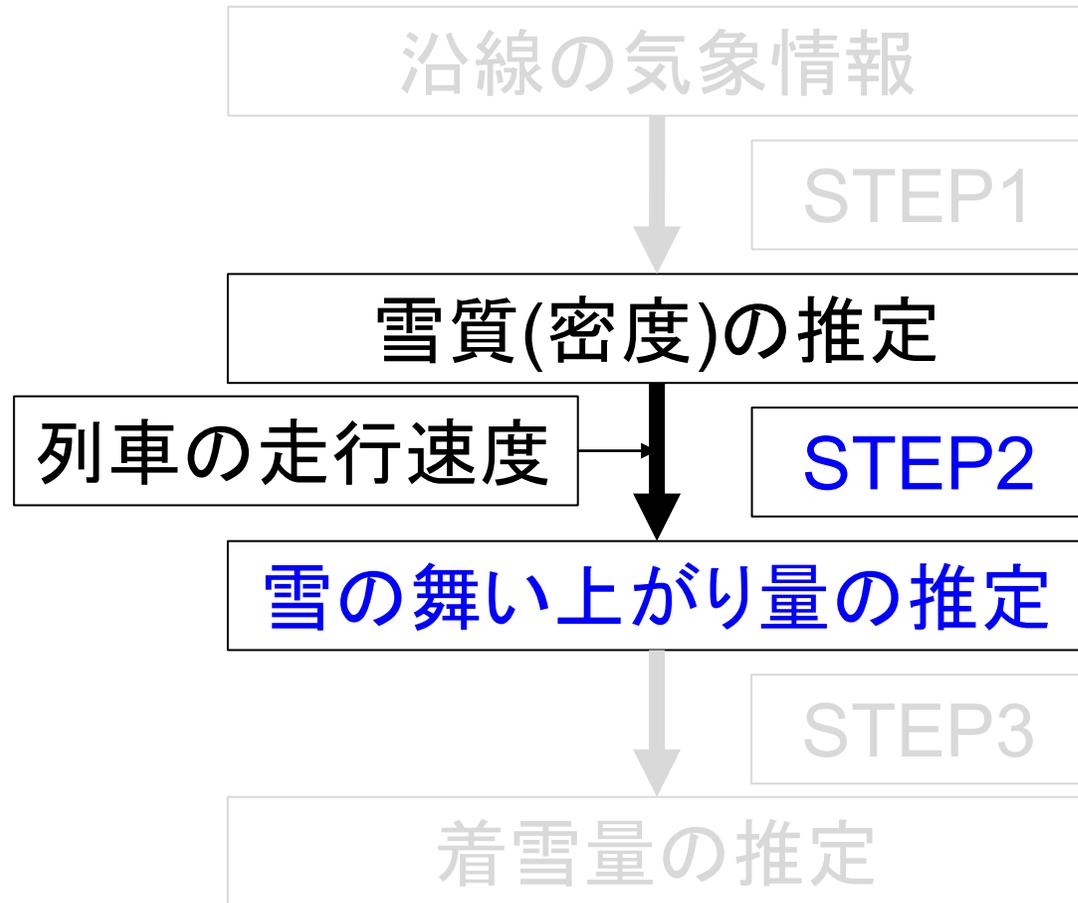
2. 着雪量推定手法のフロー(全体像)



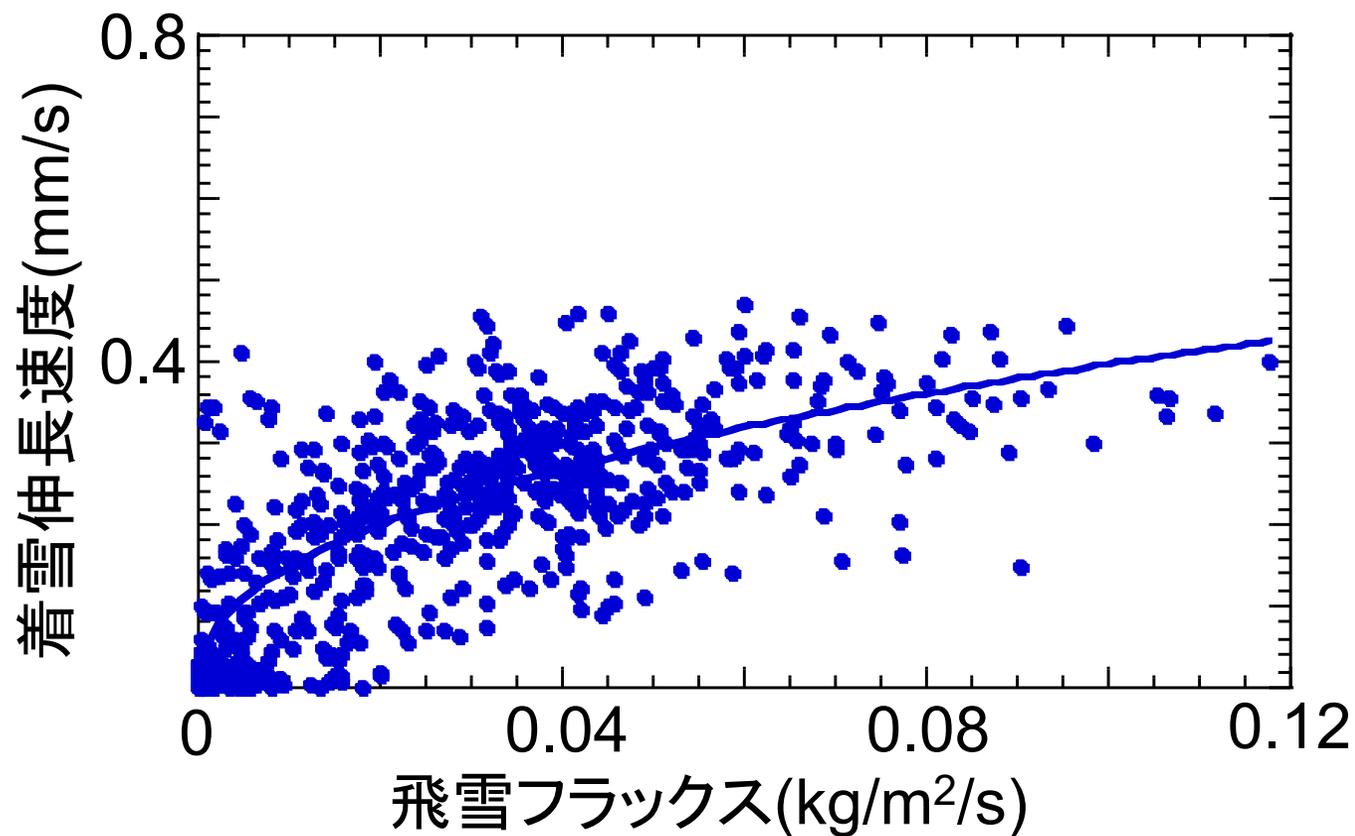
2. 日射と気温による 積雪表層雪密度推定モデルの構築



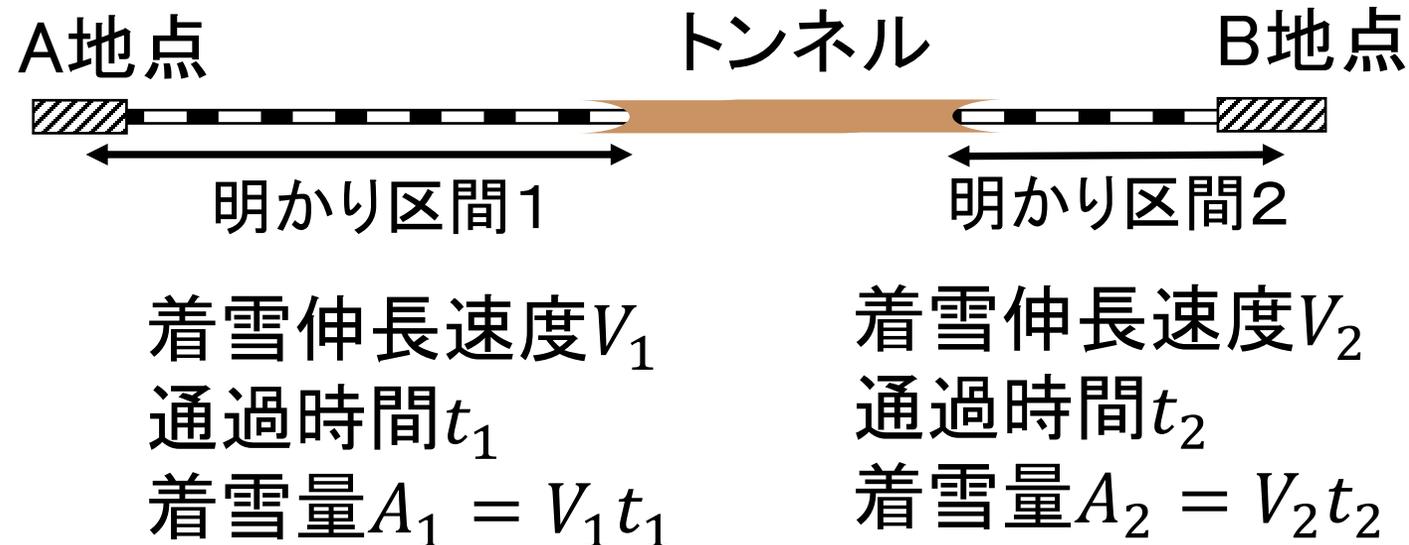
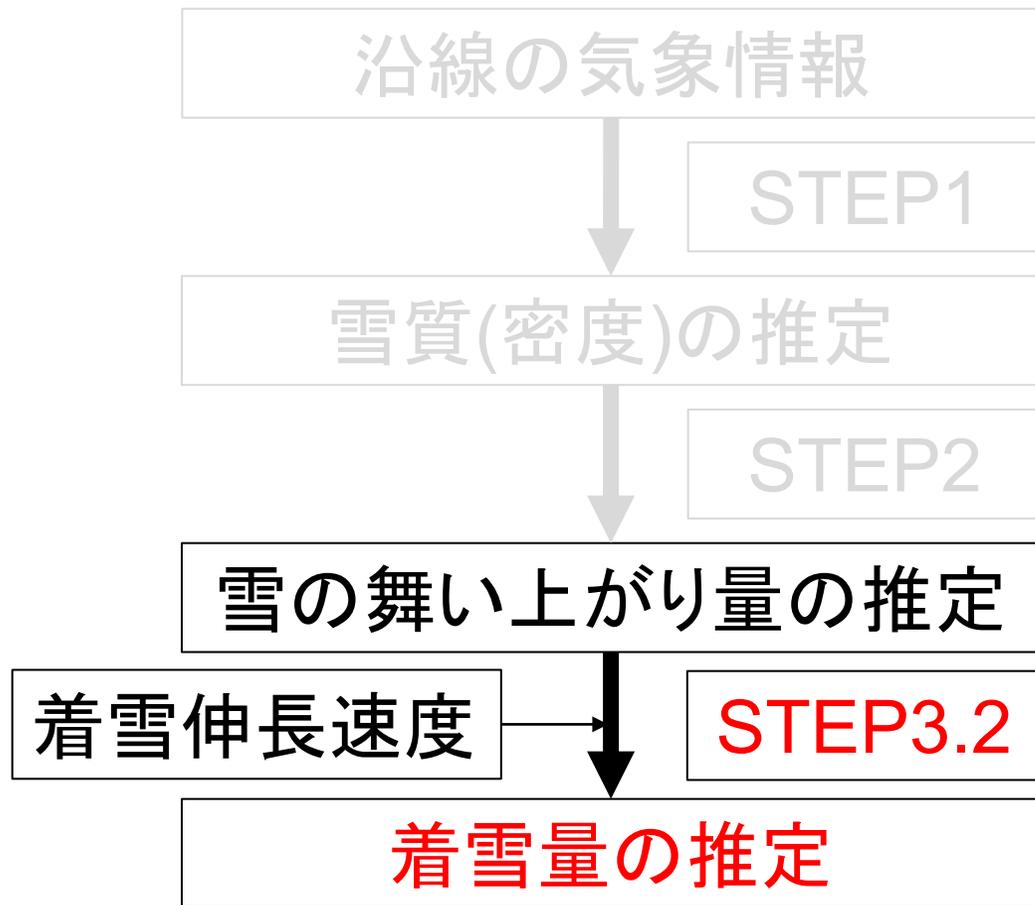
2. 積雪表層雪密度と雪の舞い上がり量 (飛雪フラックス)の関係



2. 雪の舞い上がり量(飛雪フラックス)と着雪伸長速度の関係

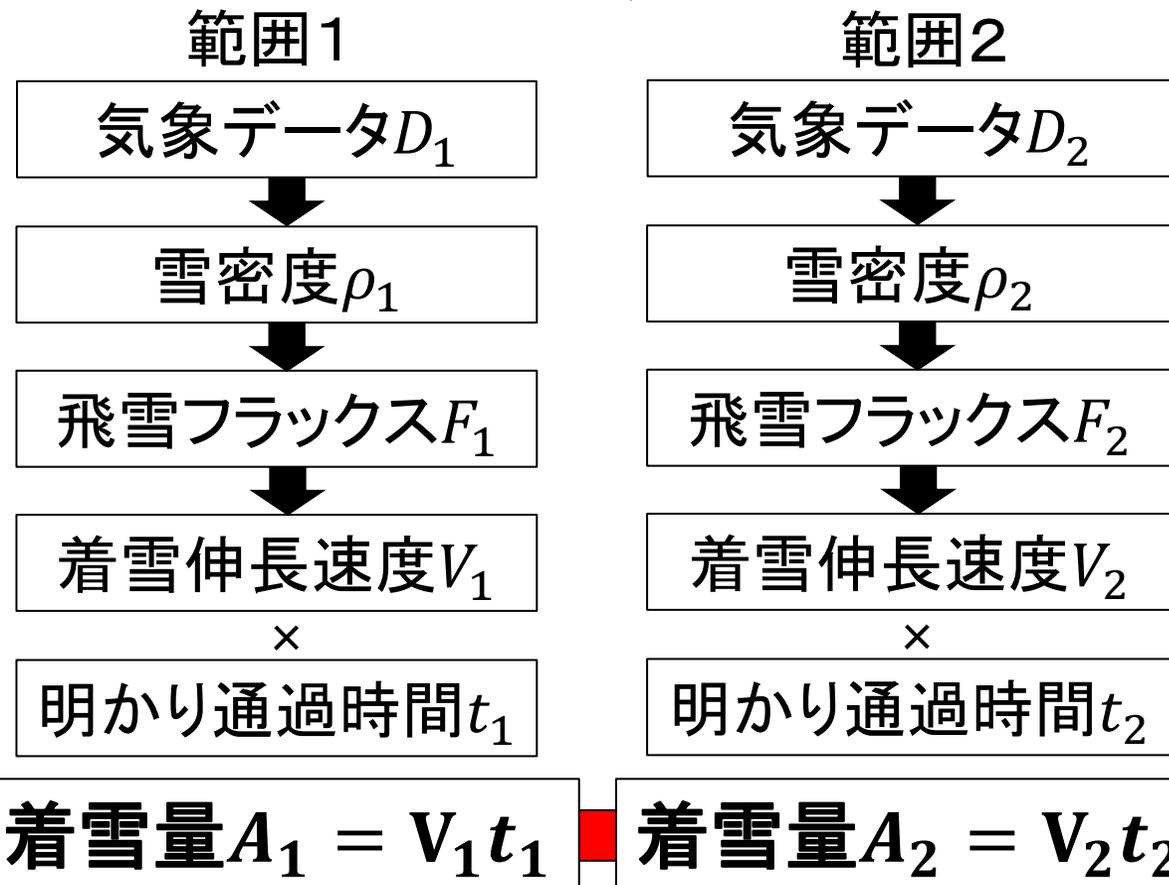


2. 着雪伸長速度と着雪量の関係

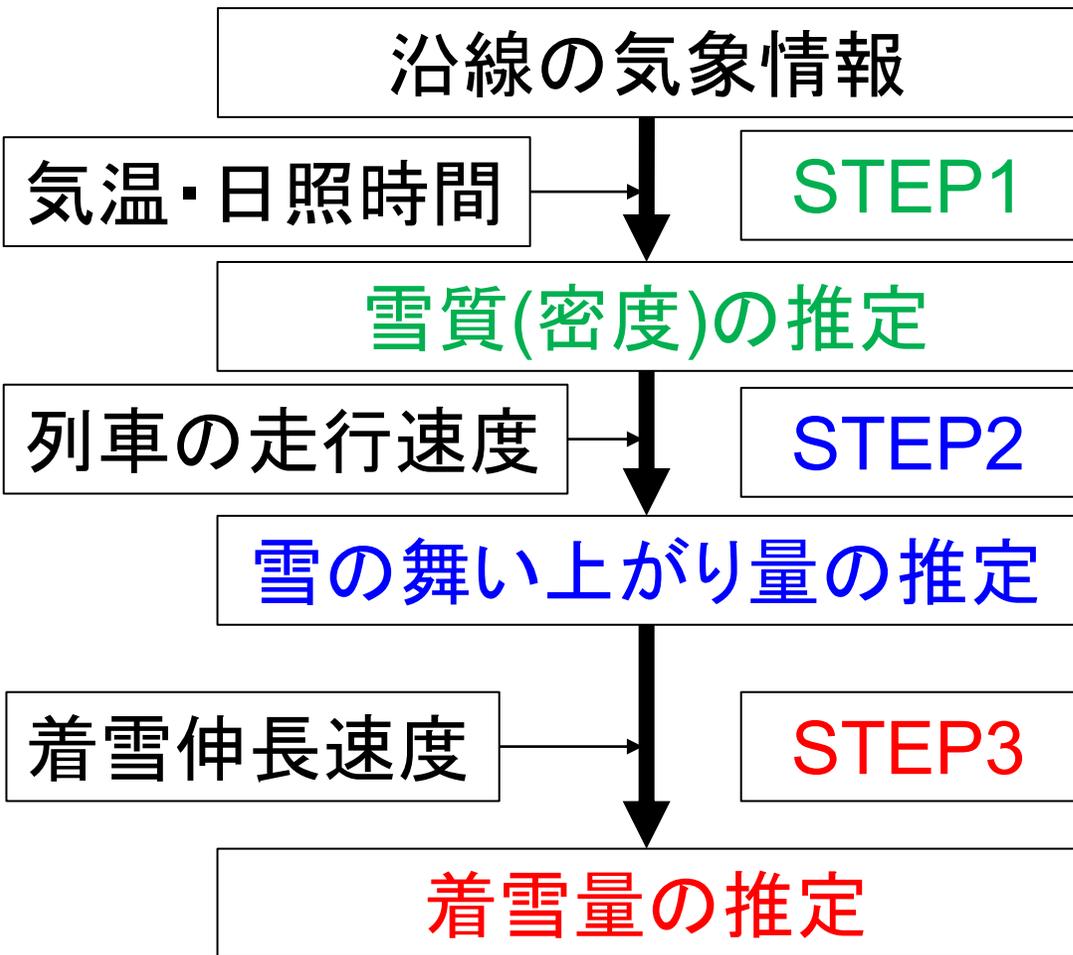


- ✓ A地点からB地点までの着雪量 = $A_1 + A_2$
- ※ 今回の着雪量は長さで評価

2. 着雪量推定手法の適用



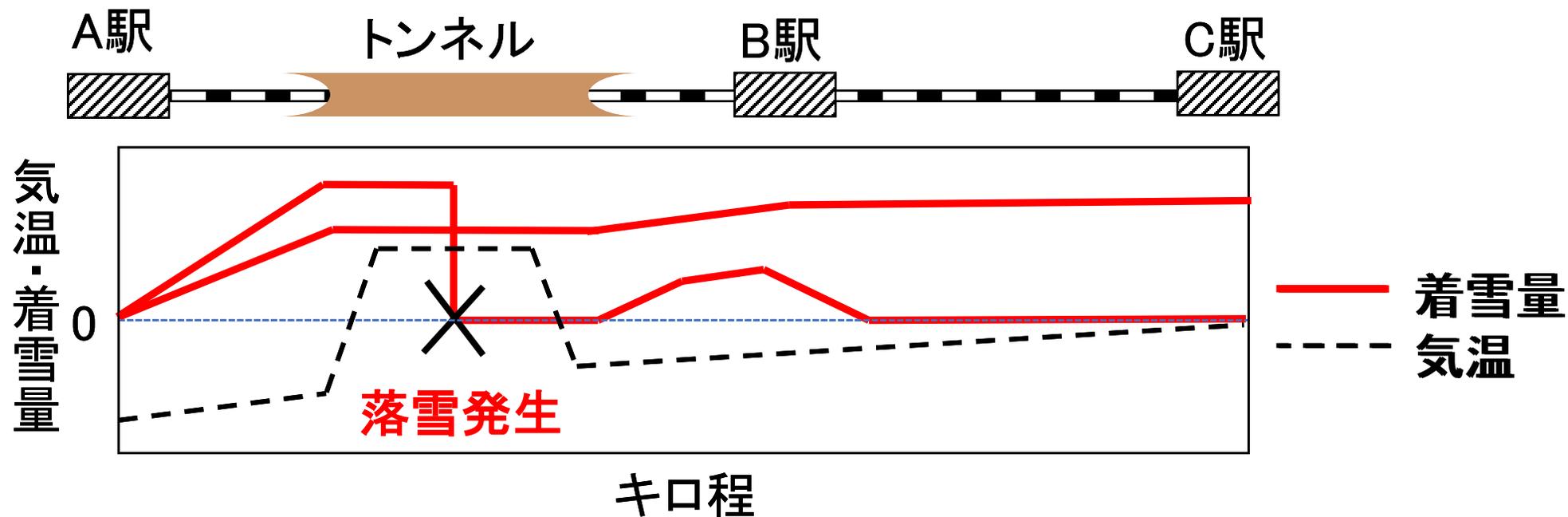
積算することで着雪量を推定



3. 着雪量推定手法の課題

✓ 着雪の融解や落下を考慮していない

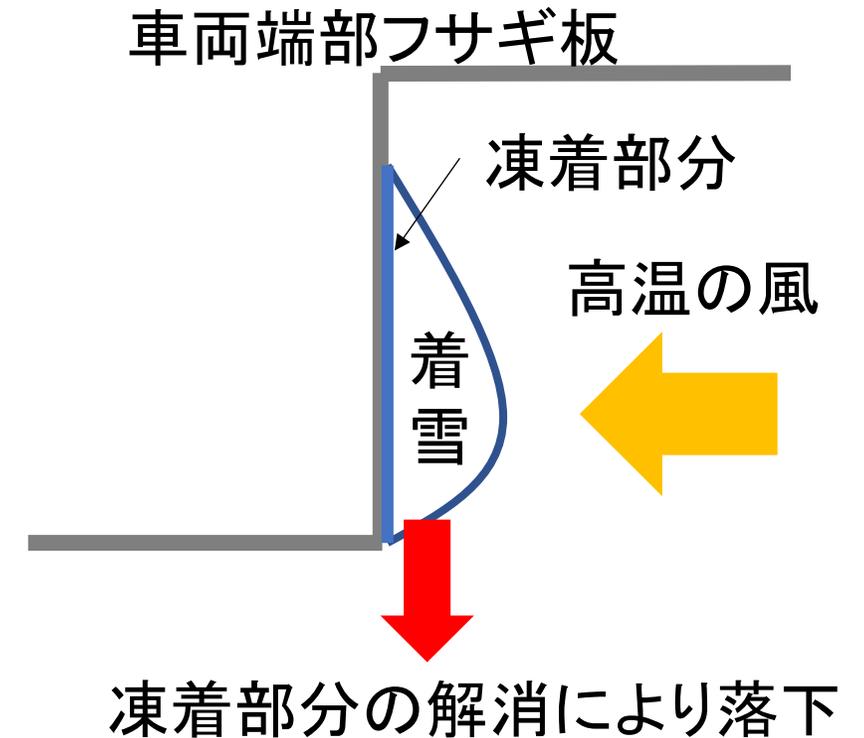
例：モデル線区（積雪地帯：A-B駅、無積雪地帯：B-C駅）を走行する列車



✓ 落雪発生を推定する手法を開発する必要がある

3. 落雪推定手法のターゲット

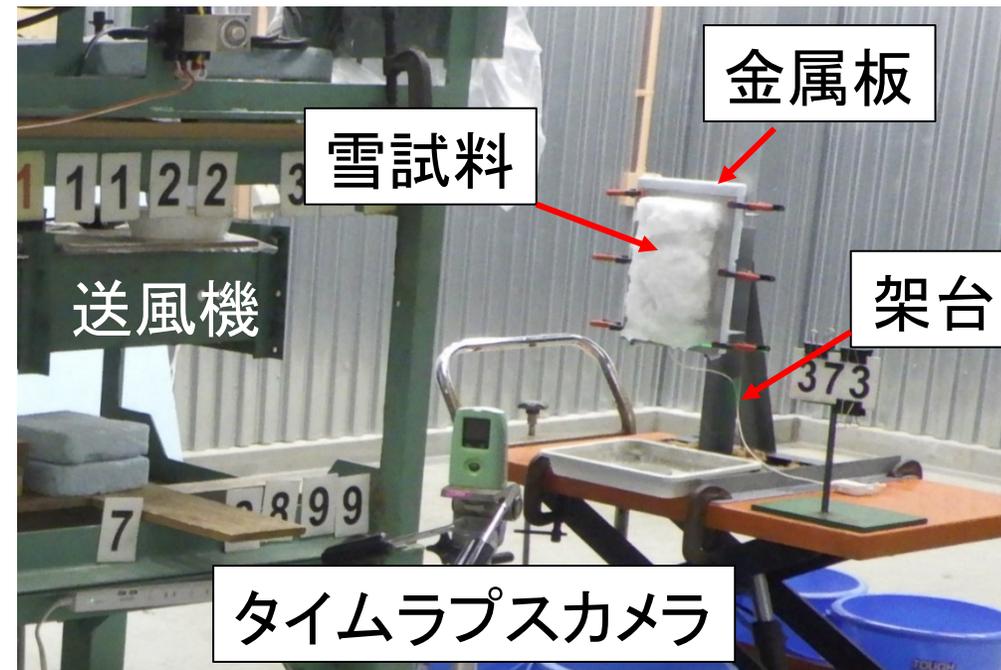
- ・冬期に温暖なトンネル内部における落雪
 - ・原因は着雪の凍着部分の融解
 - ・車両端部フサギ板を対象
-
- ✓ 本手法の対象外
 - ・トンネル坑口での圧力変動に由来する落雪
 - ・列車振動による落雪



- ✓ **落雪現象の把握が困難なため、実験を用いて落雪推定手法を開発**
→ **落雪が生じる時間を推定する落雪モデルを構築**

3. 落雪モデルの構築に向けた落雪実験

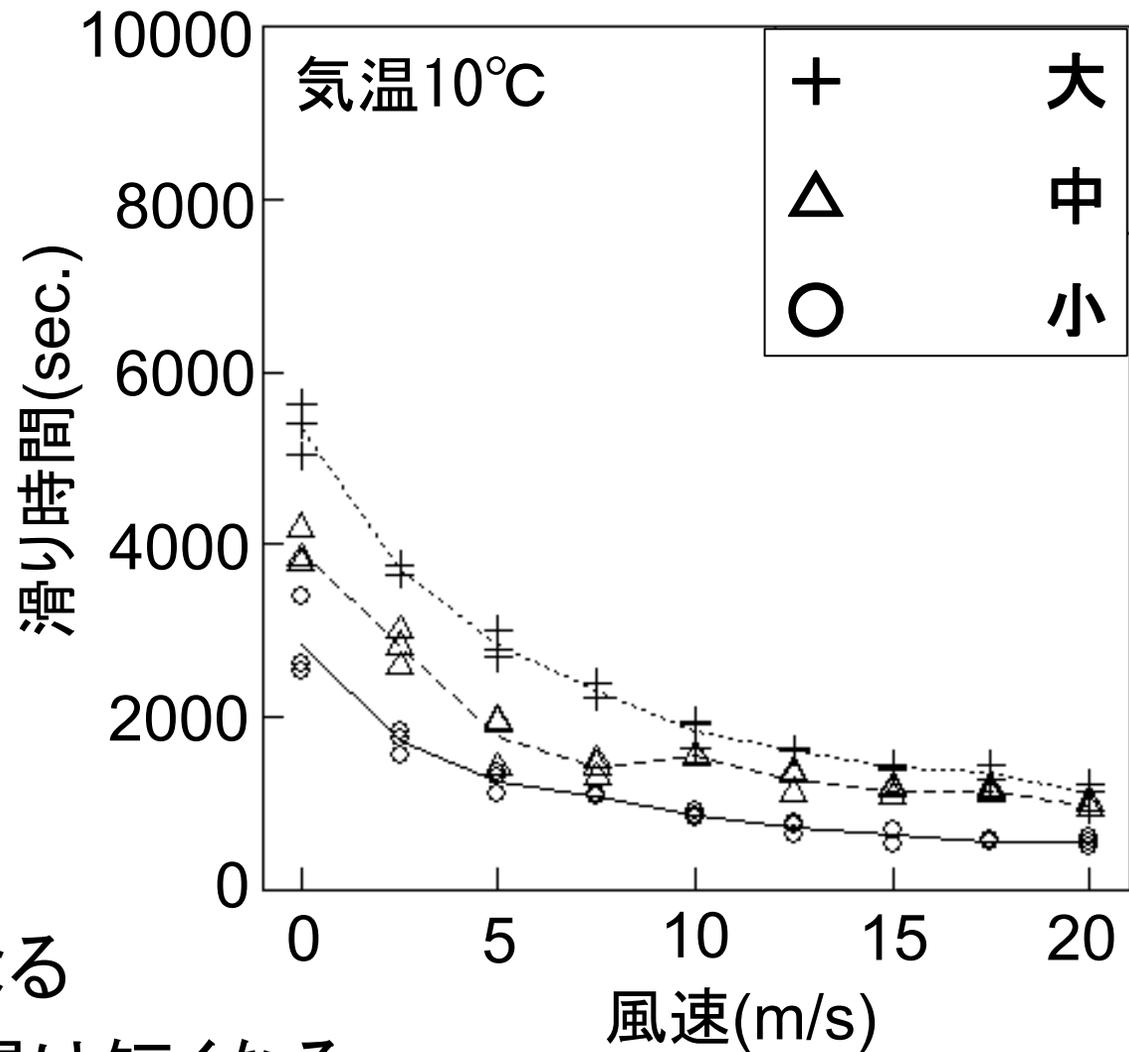
- ・雪試料を架台にセットし、送風
→列車走行時の着雪を再現
- ・実験の様子はタイムラプスカメラで撮影し、
滑り時間(着雪が滑り始めた時間)を記録



✓ 実験パラメータ

気温(=実験室温度)	5、10、15°C
風速(=送風機風速)	0~20 m/sまで2.5 m/sごとに9段階
付着雪面積(=雪試料面積)	大(50400mm ²)、中(22100mm ²)、 小(10000mm ²)

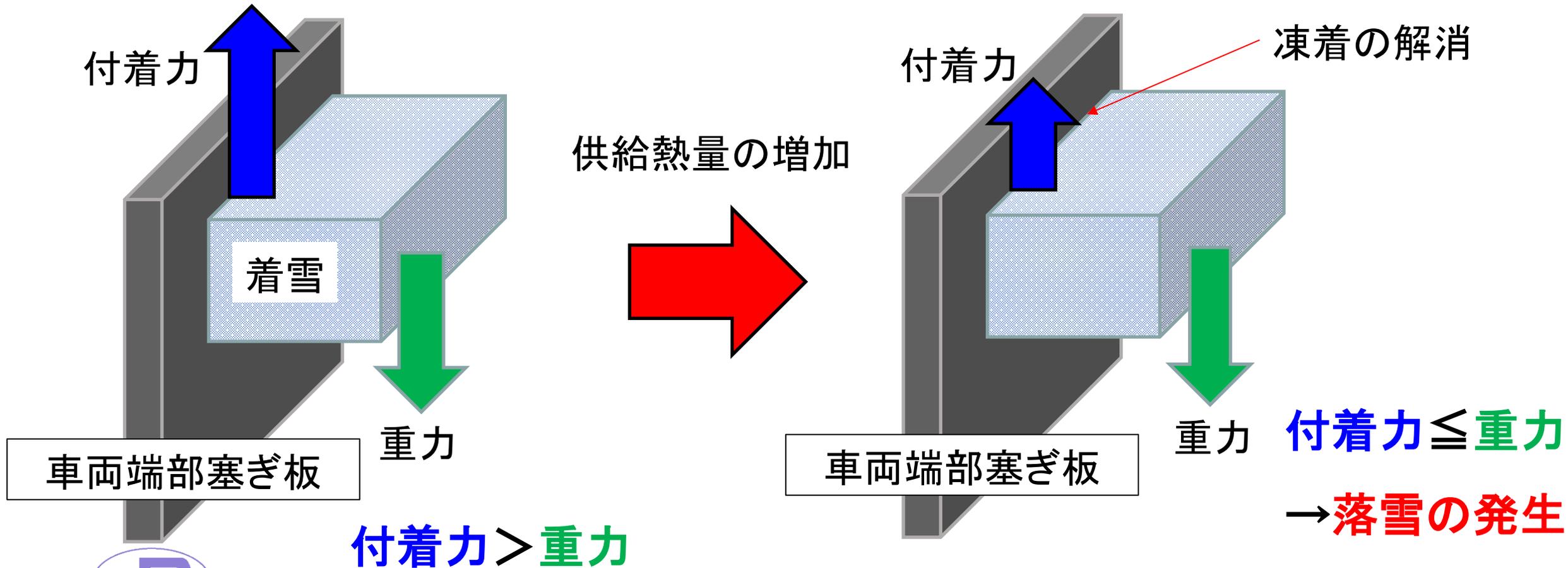
3. 実験結果



- ・気温が高くなるほど、滑り時間は短くなる
- ・付着雪面積が小さくなるほど、滑り時間は短くなる
- ・風速が大きくなるほど、滑り時間は短くなる

3. 落雪モデルの構築

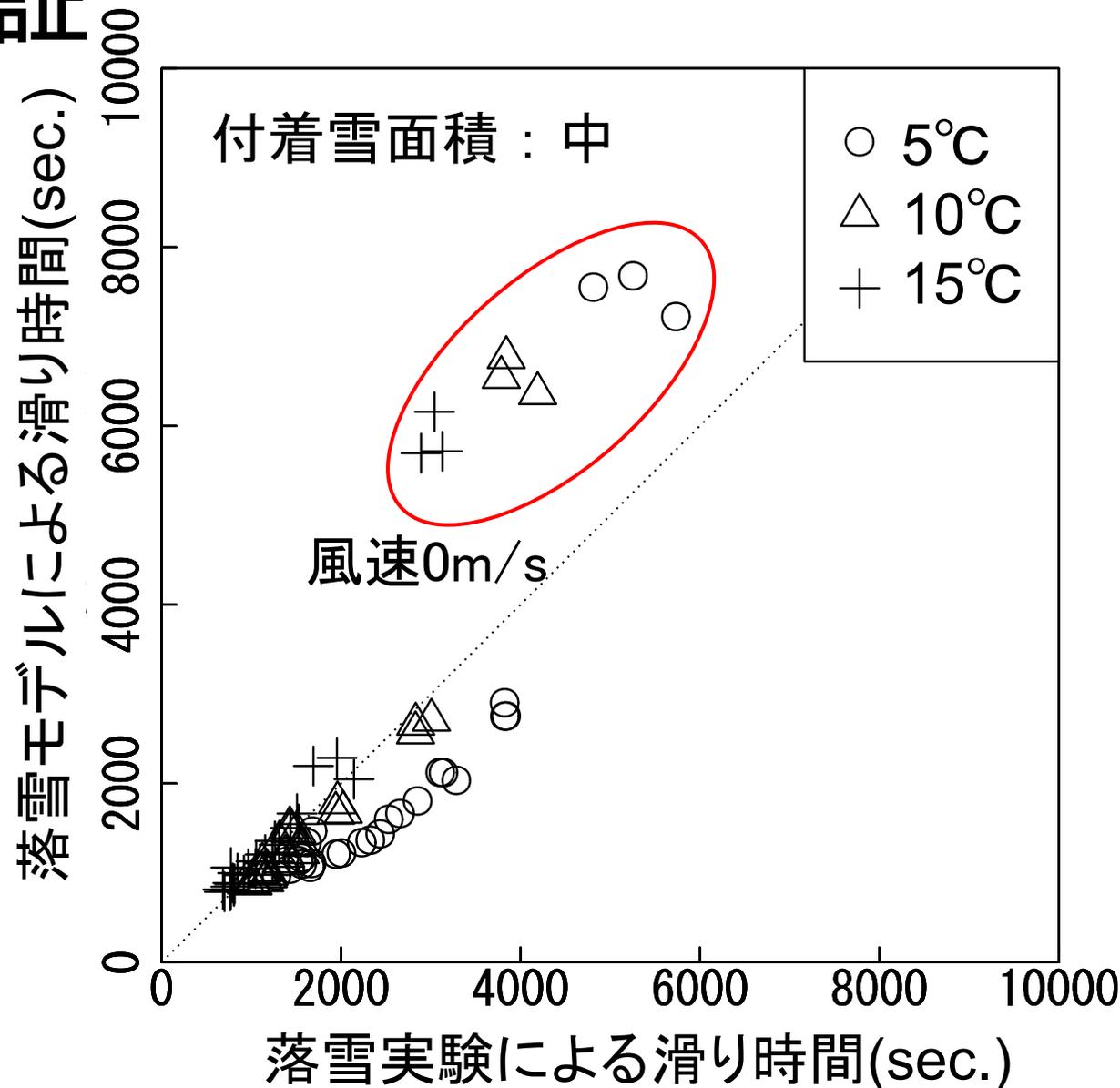
- ✓ 落雪モデル: 供給熱量が概ね一定を超えると、凍着部分が融解し、付着力が減少して、着雪が落下する



3. 落雪モデルの精度検証

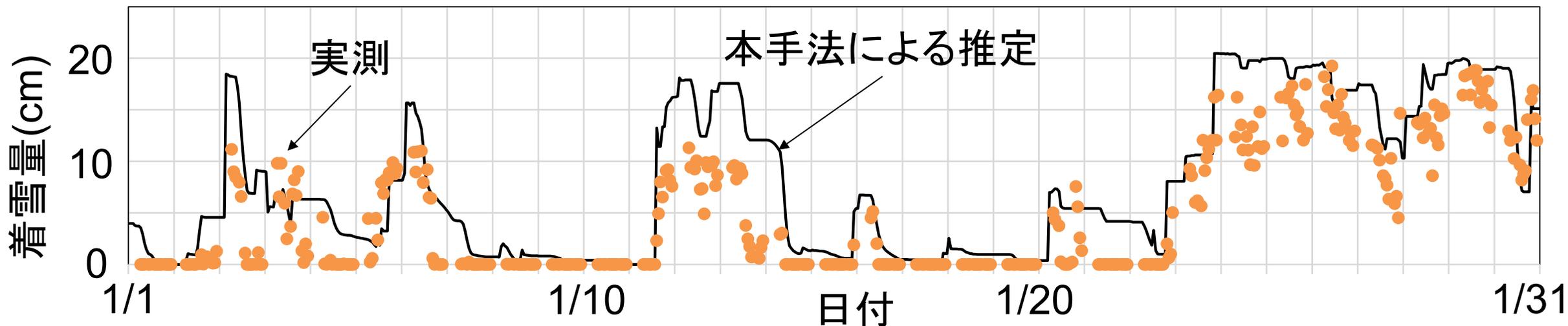
- ・落雪実験による滑り時間と落雪モデルにて計算された滑り時間を比較
- 風速0m/sの実験結果を除くと概ね精度よく実験を再現可能

※風速0m/sは走行中には生じない



4. 車両着落雪推定手法の精度検証

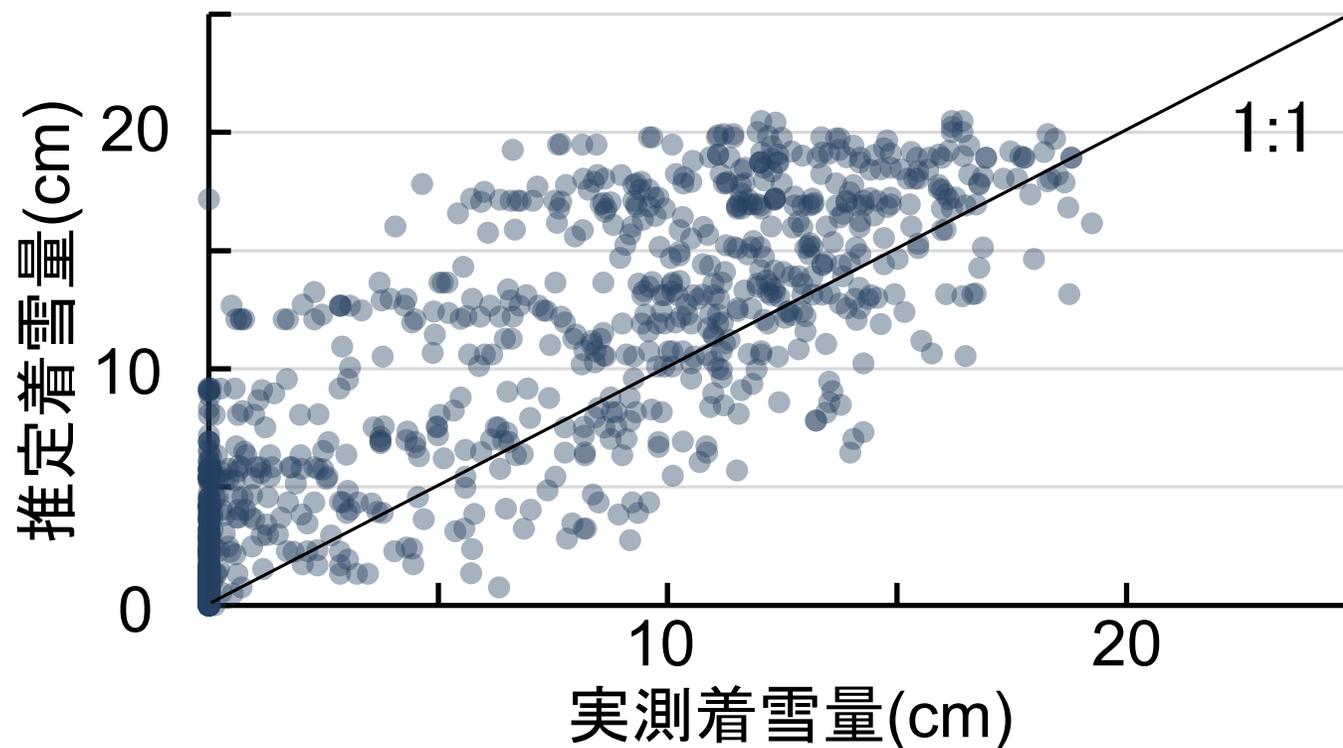
- ✓ 着雪量推定手法＋落雪推定手法→車両着落雪推定手法
- ✓ 着雪量についての精度検証
- ・営業線において、車両端部フサギ板に生じる着雪量(着雪伸長量)をカメラで撮影した結果 (=実測)と、本手法による推定着雪量を比較



- ✓ **着雪量が増加・減少するタイミングやその量がおおむね再現**

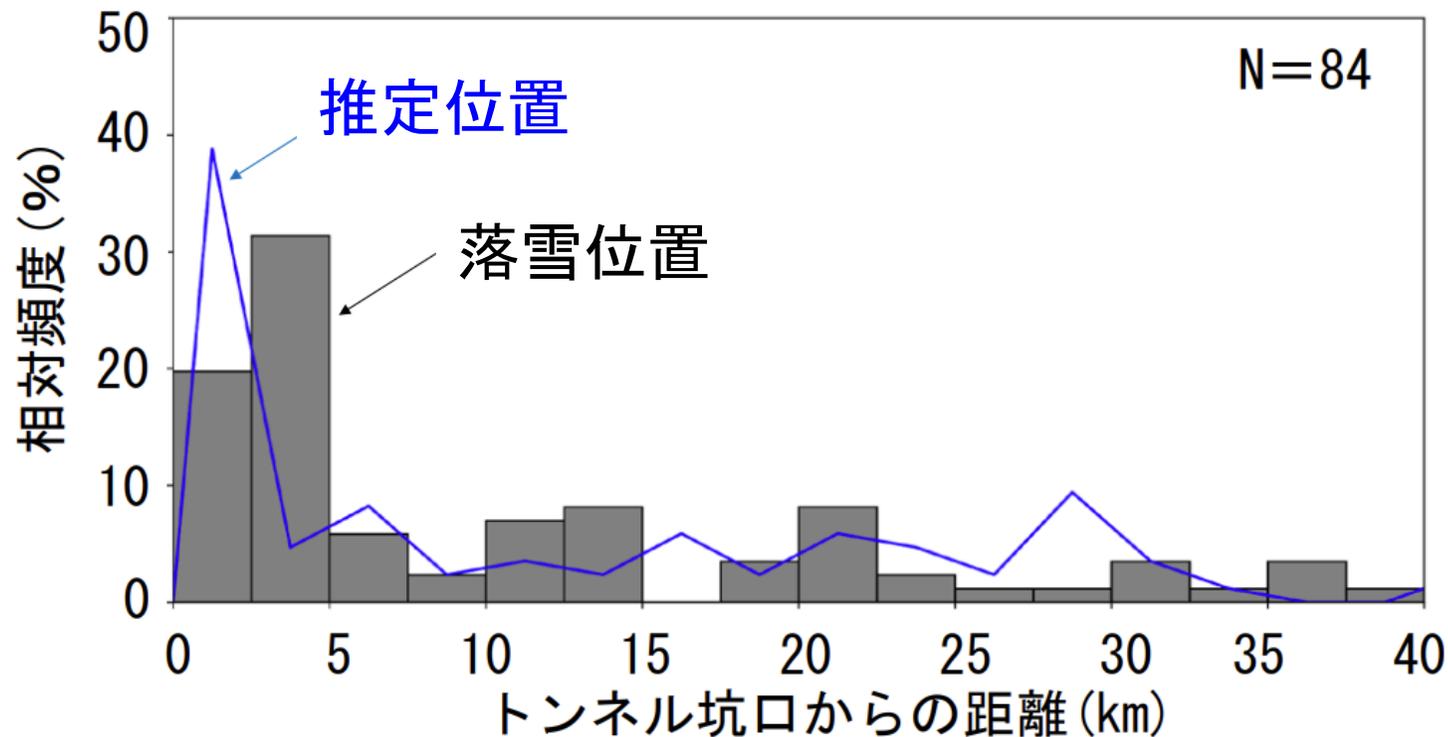
4. 着雪量についての精度検証

- ・一冬期を通して、計算を実施
- ・誤差(RMSE)は約3cm



4. 落雪位置についての精度検証

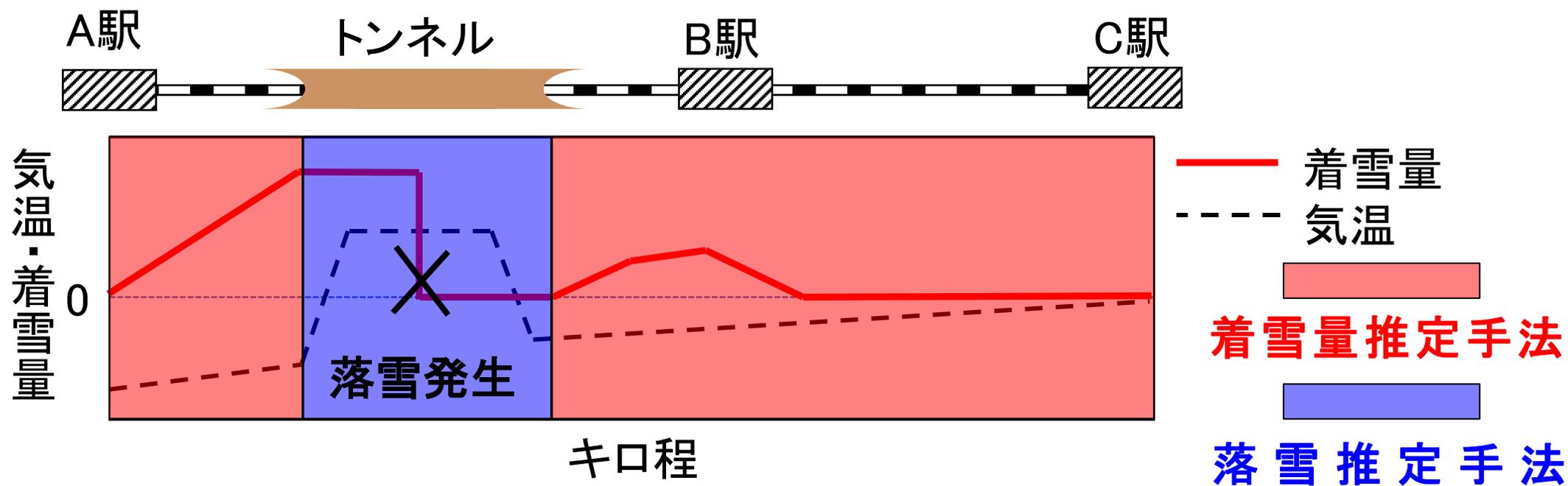
- ・落雪時間に列車速度を掛けることで、落雪の推定位置が得られる
- ・温度センサーを取り付けた実車両で測定した落雪位置と比較



- ✓ 入口付近で多く、奥では少ない傾向を再現
- ✓ 精度は約2km

5. まとめ

- ✓ **着雪量推定手法**および**落雪推定手法**を開発
- ✓ これらを組み合わせることで**車両着落雪推定手法**を構築
- ✓ **約3cmの精度で着雪量(長さ)を推定可能**
- ✓ **約2kmの精度で落雪位置を推定可能**



6. 成果の活用

✓ 車両着落雪推定手法は**着雪量の推定**と**落雪位置の推定**が可能

✓ **着雪量推定手法**

例：駅部での雪落とし作業の効率化（発動と解除条件）

散水消雪設備などの導入計画策定（どこに？何キロ？）

運転規制の検討（どれくらい減速するべき？、減速距離は？）

✓ **落雪推定手法**

例：落雪防護対策の設置位置の検討

参考文献

鎌田慈、高橋大介、栗原靖、横倉晃、飯倉茂弘：軌道上の雪質を考慮した車両台車部の着雪量予測手法、鉄道総研報告、Vol.29、No.1、pp.11-16、2015

鎌田慈、穴戸真也、佐藤亮太：沿線の気象情報を利用した新幹線台車の着雪量推定手法、鉄道総研報告、Vol.35、No.1、pp.11-16、2021

鎌田慈、辻滉樹、高橋大介：鉄道車両からの落雪現象を模擬した落雪実験とモデルの作成、鉄道総研報告、Vol.38、No.1、pp.9-15、2024

引用文献

牧山 重友・長谷川 武利・佐々木 養一・浅見 均：地域特性を考慮した北陸新幹線長野・金沢間雪害対策、第 52 回土木計画学研究発表会・講演集、ROMBUNNo.23、2015年 11月