

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04600

研究課題名（和文）定量的画像解析を応用した吹きだまりの簡易移動観測と動的ハザード情報の構築

研究課題名（英文）Construction of dynamic hazard information for snowdrift with quantitative image analysis from simplified mobile observation

研究代表者

根本 征樹（Nemoto, Masaki）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究部門・主任研究員

研究者番号：30425516

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：暴風雪時における吹きだまり発生状況を効率的に把握するために、ドライブレコーダー等から得られる画像や位置情報などの簡易な計測結果と定量的画像解析に基づき高解像度の吹きだまり発生域データを得る手法を開発した。カメラ等を活用して取得された画像情報に基づき、路肩の堆雪や吹きだまりの状況についてリアルタイム計測も可能となるほか、実地形上における吹きだまり発生個所の抽出、さらにはそれらの災害危険度情報に基づくハザードマップの作成も効率的に実施可能となる。また、これらの手法を試験対象地域に適用し、吹きだまりの発生箇所や吹きだまり量も考慮した吹きだまりハザードマップ作成に応用するための手法も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

吹雪は地球科学、防災科学の分野において、国内外を問わず重要な課題である。微地形に着目した上で地域スケールでの吹きだまり発生箇所を効率的に計測する本研究の手法は例が無く、吹雪災害において特に危険度の高い吹きだまり災害対策の高度化に大きく寄与する。また本研究の成果はハザード情報作成といった応用面にとどまらず、これまで不足していた吹きだまり数値モデルの詳細な検証を可能とする実測データの取得にも資する。現象解明を目的とした吹雪素過程の物理モデル構築は国内外で盛んであるが、十分な検証データが得られておらず、確立された吹きだまりモデルは未だ存在しない。本研究の成果はこうした課題の解決にも寄与する。

研究成果の概要（英文）：To efficiently assess the occurrence of snowdrifts during blowing snow, a method has been developed to obtain high-resolution data on the occurrence of snowdrifts based on simple observation such as images and positional information obtained from drive recorders, etc. and quantitative image analysis. Based on the image information obtained using cameras, etc., real-time measurement of blowing snow and snowdrifts on the road shoulder is possible, as well as the extraction of snowdrift locations on the actual terrain and the efficient creation of hazard maps based on the information on their disaster risk level. A method has also been developed to apply these methods to a test area and to create a hazard map for snowdrifts.

研究分野：雪氷学

キーワード：雪氷学 吹雪 吹きだまり 雪氷災害

1. 研究開始当初の背景

積雪地域において発生する吹雪・吹きだまりは、交通インフラを著しく阻害するほか、車両スタックによる死亡事故の要因となるなど、経済的・人的損失の危険性が極めて高い現象である。例えば北海道の道東地方では、近年顕著な気象の激甚化も相まって、暴風雪により度々危険な状態になるなど（2013年3月には北海道全体で9名の犠牲者、2014/15年冬期は暴風雪が頻発）、現地住民の冬期における日常生活は過酷かつ危険な状態である。一般に、吹きだまり発生危険箇所は地形等によりある程度定まっており、そうした地域を示すハザードマップは吹きだまり災害防止に有効である。しかしながら、本来、吹雪・吹きだまりは、地形の凹凸や防雪柵、樹林帯の有無など、小スケール（1m以下のオーダー）の微地形の影響により極端に変化する。そのため、ある程度広域を対象とした数値シミュレーションにより微地形スケールでの実際の吹きだまりまでを予測情報として得ることなどは現状では極めて困難である。実測に基づく経験的な知見から吹きだまり範囲を推定する場合においても、広域を対象として、局所的な吹きだまり発生箇所の定量的なデータを効率的に観測する手法は確立しておらず、困難な状況である。特に吹きだまりの発生範囲や地物との位置関係などは、例えば路肩の高さなど1m以下のスケールの微地形の影響により複雑に変化することから、吹きだまり発生域の評価は従来はかなり定性的な議論に終始してしまうといった限界があった。そのため微地形と吹きだまり形成プロセスの詳細に関わる定量的な理解はほとんど得られていないのが現状であり、吹雪研究のボトルネックとなっている状況である。

2. 研究の目的

本研究は、実測ベースの、新規的かつ簡便な手法で上述した学術的課題をクリアすることを目的とする。具体的には、1) ドライブレコーダー等により得られる画像および位置情報などを活用し、道路周辺の吹きだまり発生域に関する情報を簡便な移動観測にて収集するとともに、2) 定量的画像解析により吹きだまり発生位置を1mスケール以下で取得するシステムを新たに開発する。さらに3) これらの成果を実証実験により検証するほか、試験対象地域での吹きだまりハザードマップ作成手法の開発に応用する。

吹きだまりなど積雪深の面的分布を計測する際、レーザースキャナー等を用いた移動観測や航空測量などの技術もあるものの、それらの実施は大変高額（測量機器自体が高額、また航空測量の際には多額の経費が必要）であり、頻繁に起きる吹雪の発生後に毎回観測するのはほとんど不可能な状況である。しかしながら、吹きだまり災害に対して有効な対策として、細かい空間分解能で、面的に、吹きだまりの発生箇所について定量的なデータを得ることが必須であり、対策についての理想と現実に大きなギャップがあった。本研究の手法は、そうした従来の手法と比較してかなり安価となるドライブレコーダー等の機器を用いた移動観測により容易に吹きだまり発生箇所を抽出するものであり、将来的な広域化などの成果展開も容易である。本研究で提示する手法が確立することにより、吹きだまり発生箇所についてこれまでの「大まかな地形状況による定性的な評価」が、「微地形状況に見合った定量的な評価」に発展し、自治体の防災担当者にとって有効な、正確かつ実用的なハザードマップの作成に資する。また高度な数値モデルの検証として高解像度かつ高精度のデータを提供出来るなど、基礎・応用面で当該分野の進展にも寄与する内容である。なお吹きだまり計測について、近年進展が目覚ましいドローン（UAV）を用いた空撮・画像解析は極めて有効であるが、暴風雪時など強風時の撮影が困難、航続時間が短い、道路上への落下の危険性など安全確保の課題もあり、決して万能では無い。本課題はこうした問題をクリアしつつ、より広域での移動観測を簡便に実施可能とする画期的な手法と考える。

近年、多くの自治体で、除雪車にドライブレコーダーを設置しており、吹きだまり状況と緯度経度との関係が記録されている。こうしたデータも活用することで、吹きだまり発生域のビックデータ取得とそれに基づく効果的・効率的な吹きだまりハザードマップ作成にも資する。

3. 研究の方法

ドライブレコーダー等を用いて道路の路肩に沿って発生する吹きだまりの画像と位置情報を移動観測により同時に記録するとともに、画像解析により吹きだまり発生位置を地理情報システム（GIS）化する手法を開発する。また観測対象地の地理データも活用し、吹きだまり発生位置と微地形・地物との関係を明らかにする。その他、防災科学技術研究所で開発した、スマートフォンによって得られるカメラ画像を活用し道路路面上の雪氷状態を自動的にかつリアルタイムで行うAI路面判定システムを用い、路面雪氷状況等の情報収集を行う。これらの手法により得られた情報をGISに統合するとともに、風向や吹きだまり発達状況に応じて時空間的に変化する危険度を把握可能な動的な吹きだまりハザードマップ作成にも資する情報を創出する。吹雪、暴風雪時には、風上側路肩の段差部分に吹きだまりが形成されるケースや、防雪柵の隙間に局所的に吹きだまるケースなど、道路周辺の微地形の僅かな差異により吹雪・吹きだまりの状況は様々である。本研究ではこうした僅かな地形の違いと吹きだまり発生箇所およびその量・形状との関係を、簡易的な移動観測により1mオーダー以下で抽出することを目的とする。観測対象

地として、吹雪・吹きだまりの発現頻度が極めて高い北海道標津郡中標津町および標津町、さらに吹雪発生頻度は北海道と比較してやや少ないものの、研究担当者のアクセスが容易である山形県内とした。

吹きだまり画像データ取得はドライブレコーダーおよび4K解像度ビデオカメラを利用するほか、位置情報取得にはGPSも用いる。また近年進展が著しい小型LiDAR (Light Detection And Ranging) も活用する。これらの機器は車載カメラ固定用治具により乗用車に固定し、研究対象地の地形・積雪状況のデータを取得した。得られた画像・位置データは画像測量ソフト(Photoscan等)により解析し、1 m 以下の高解像度の地形データ (DEM) を得る。

4. 研究成果

(1) ドライブレコーダー等から得られる画像解析

ドライブレコーダーの画像データに基づく路肩の堆雪、吹きだまり状況の解析の実現性について、北海道において取得された既存の画像データを用いて検討した(図1)。図1において、a)は92万画素、b)は200万画素の画像データとなる。ドライブレコーダーによる取得データの様な、水平方向からの撮影画像について画像測量ソフトを適用することにより、道路路肩や防雪柵の隙間における堆雪状況の推定は十分可能であった。ただし解析により十分な空間解像度を有するデータを取得する場合、200万画素程度以下の解像度の画像データでは画素補間が必要となり、精度も低下する。

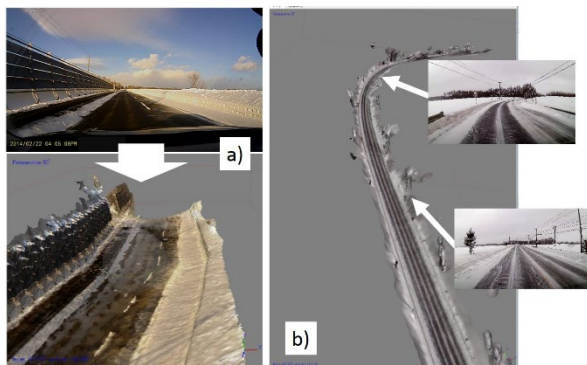


図1 ドライブレコーダー画像の解析例。画像測量ソフト(Photoscan)を利用。a): 92万画素、b): 200万画素。道路路肩や防雪柵の隙間における堆雪状況の推定が可能。ただし200万画素程度以下の解像度の場合、画素補間が必要となり、精度も低下する。

次に、近年進展が著しい小型LiDARを活用した例を示す。小型LiDAR (Livox, Horizon) がフェンス周辺の吹きだまり状況の計測に利用されており、良好な結果が得られている研究例があることも踏まえ、本研究では同じ機種種のLiDARを車両上部に搭載し、マッピング用のSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) によるリアルタイム3次元マッピングを試みた。図2に、山形県の国道347号(鍋越峠周辺)を対象とした移動観測において、道路周辺の地物の状況や路肩の堆雪状況に関する3次元の点群データが高解像度かつ効率的に取得可能である。なおLiDAR SLAMによる手法については、UAV空撮からSfM (Structure from Motion) によって作成した数値表層モデル(DSM)との比較検討を実施した。その結果、LiDAR SLAM計測において、対象地域のGCP (標定点: Ground Control Point) について、正確な位置情報を有する地点を目標物として設定できない場合、位置情報について数メートル程度のずれが生じるなどの課題も確認された。さらに移動観測時の速度(車速)はデータ解像度に影響するなど、位置情報の高精度化は様々な課題も伴う。

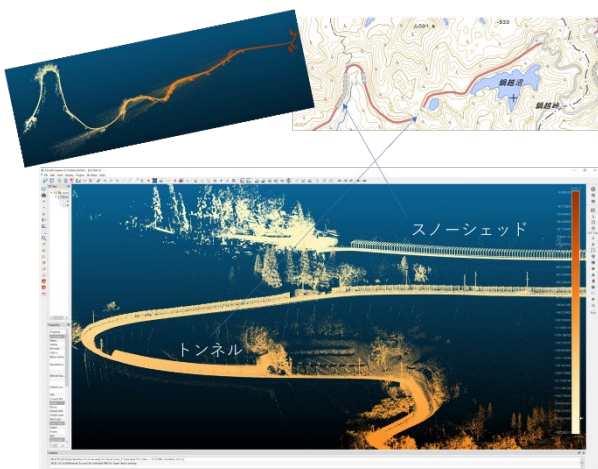


図2 LiDAR SLAMにより計測された道路周辺の地物および堆雪状況(国道347号鍋越峠付近)。

(2) AI スマホ路面判定システムの活用

近年、防災科学技術研究所で開発されたスマートフォンAI路面判定システムは、スマートフォンによって得られるカメラ画像を活用し、道路路面上の雪氷状態の判定を自動的にリアルタイムで行うものである。測定において、車両のダッシュボードやフロントガラスで、運転者の視界を妨げない部分に、専用ソフトウェアを搭載したスマートフォンを設置する。スマートフォンアプリで撮影された車両前方の静止画像はクラウドサーバーに送信され、そのクラウド上で画像のAI処理がなされ、Webサーバーに路面雪氷状態の判定結果等が保存される。ユーザー側はこのサーバー上のWebサイトから路面判定結果情報を地図情報と合わせて確認できる。画像は1枚/秒の間隔で撮影され、それがリアルタイムでサーバーにアップデート・AI処理され、路面雪氷状況などが判定・表示されるものである。最新のものでは路面雪氷状態のほか、道路脇の雪堤高さや有効幅員に関わる要素をAIで検知する機能など、道路路肩の堆雪状況の把握に資

する情報も得られるようになったため、このシステムの吹雪・吹きだまりへの応用も検討した。ここで、雪堤高さについて、道路管理において管理基準等は現状では明確化されていないが、試行的に雪堤高さ 1.5 m を基準として、「雪堤なし」、「低い (0.5 m 未満)」、「やや高い (0.5 m ~ 1.5 m 未満)」、「高い (1.5 m 以上)」の 4 段階に分類し、AI で画像判定される。有効車幅に関する情報としては、基本交通容量に減少補正が生じる側方余裕幅に着目した、幅 0.75 m を基準として、「広い (0.75 m 以上)」、「やや狭い (0.75 m 程度)」、「狭い (0 m)」の 3 段階の分類となっている。

まとまった積雪があった 2024 年 1 月 16 日に山形県の最上地域およびその周辺地域でスマートフォン AI 路面判定システムによる移動観測を実施した結果を以下に示す。この日は降雪に加えて風も強く、一部の地域では吹雪の発生も確認された。図 3 に側方余裕幅の結果を示す。降積雪、吹雪による吹きだまりの影響を反映し、移動箇所のおよそ 80% の部分での測定結果が「狭い」に分類された。ただし実際には図 3①のような路肩堆雪で狭まった部分だけでなく、図 3②の様にさほど堆雪の影響が見られない部分でも「狭い」と分類されていることから、本システムで側方余裕幅について有用な情報が得られるには至っていない。なお図 3 において、トンネルの区間は「広い」、「判定対象外」に分類されていたが、これは判定の方向性としては正しい。次に、路肩側の雪堤の判定結果について図 4 に示す。AI による判定結果は「やや高い」と「低い」が大半を占めたが、目視観測に基づく定性的な判別と比較しても大きな矛盾は無い結果であった。ただし測定日はこの地域において例年より少雪傾向にあり、観測において高い雪堤 (1.5 m 以上) の発生個所がほとんど見られなかったため、精度に関しては継続的な評価検証が不可欠である。

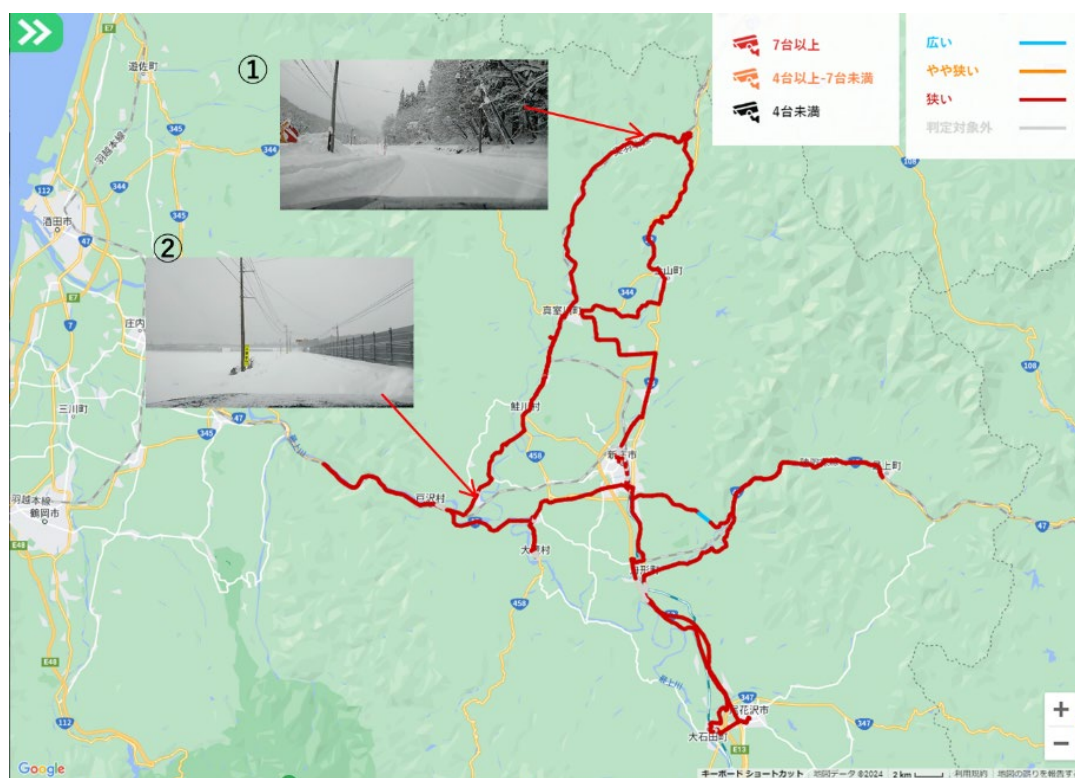


図 3 AI 路面判定システムによる側方余裕幅の観測結果 (2024 年 1 月 16 日)。

図 5 は路面雪氷状態の結果である。画像に基づき、乾雪 (①、②)、湿雪 (③)、凍結 (④)、圧雪 (⑤) の状態のほか、積雪深も得られる。積雪深が正しく得られることで、吹雪時の吹きだまり量の評価も可能となる。ただしシステムにより乾雪 10cm 以上と判定された部分 (①) について、実際の積雪状況では 5cm 程度とそこまで多量の雪が無い状況も散見されたほか、地吹雪が発生していた地域 (②) においても実際の積雪量を過大に評価している傾向があった。地吹雪時は視程低下も生じることから、地吹雪時において積雪深や吹きだまり量を画像解析から正しく判定するのは困難な可能性がある。一方でこの視程低下を AI で判定させることが出来れば、地吹雪発生地域や視程障害の程度の評価も可能となる。なお観測当日は上述の通り比較的風が強く、図 5 の①から②にわたる区間、および⑤の周辺区間では地吹雪が発生しており、瞬間的に著しく視程が低下する場合もあった。これらの地域では道路周辺は平坦な雪原が広がっており、そうした地形的特性からも地吹雪の危険度が高い地域であると見なされる。現状では、路面雪氷状態の判定結果のみからはこうした地域特性は把握できていない。しかしながら、取得された画像データでは吹雪発生およびそれによる視程低下は明確であるため、画像解析アルゴリズム改良による吹雪発生地域のリアルタイム推定、更にはリアルタイムハザード情報表示といったシステム拡張も可能である。

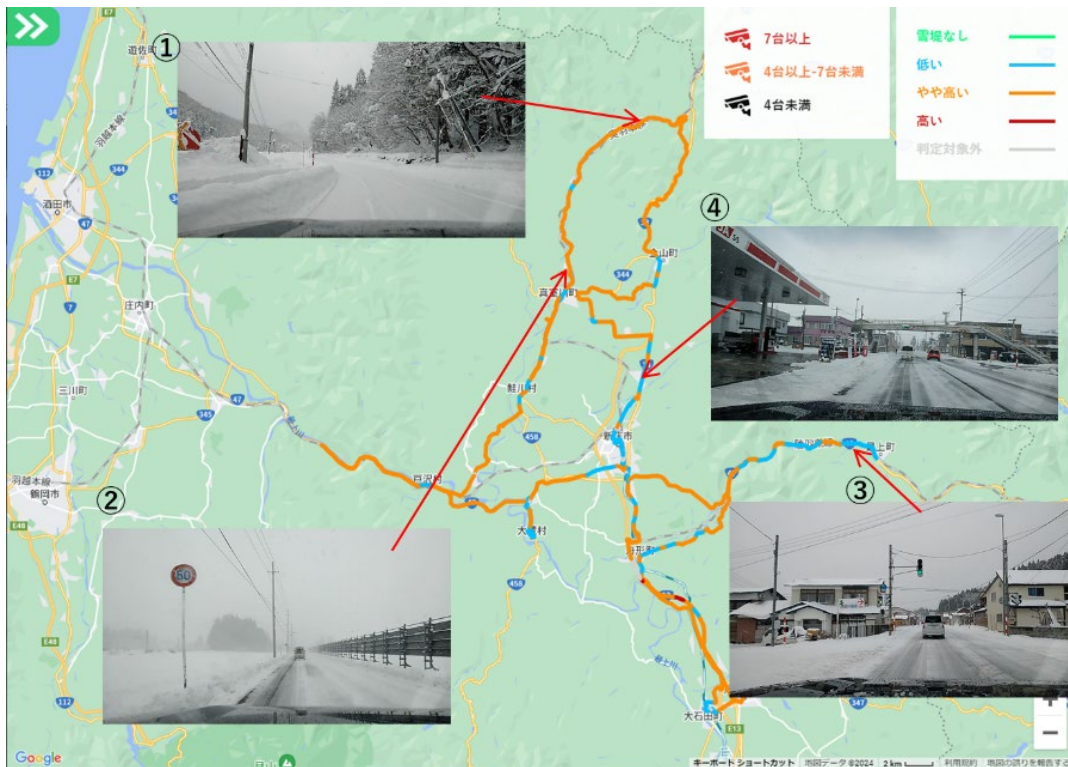


図4 AI路面判定システムによる雪堤の観測結果（路肩側）（2024年1月16日）。

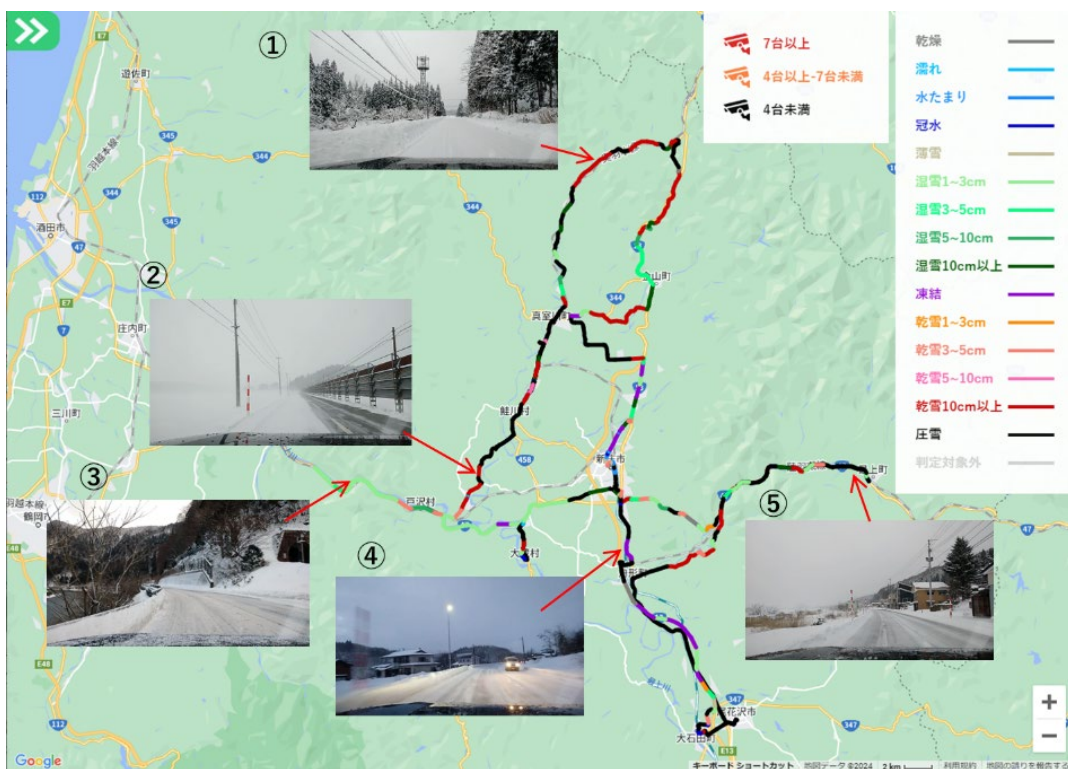


図5 AI路面判定システムによる路面雪氷状態（2024年1月16日）。

(3) その他

上述した観測において画像および地形データを得たほか、厳冬期における気象観測および画像データ取得も北海道（中標津町周辺）で実施した。複数個所での観測実施により、吹雪強度の地形依存性に関わる実測データが得られるなど、画像測量の検証および画像測量による吹きだまりハザードマップ作成に資するデータを取得した。これらは今後、上述した吹雪発生地域のリアルタイム推定やリアルタイムハザード情報といった発展に向けて活用される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 根本征樹、荒川逸人
2. 発表標題 小型LiDARを用いた吹きだまりや道路路肩の堆雪状況の簡易移動観測
3. 学会等名 雪氷研究大会（2023・郡山）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	荒川 逸人 (Arakawa Hayato) (00833774)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究部門・契約研究員 (82102)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中村 一樹 (Nakamura Kazuki)		
研究協力者	佐藤 研吾 (Sato Kengo)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------