

冬期高速道路におけるスタック発生リスクに関する研究 ー降雪の規模、持続性、強度に関する基礎的分析ー

長岡技術科学大学大学院	環境社会基盤工学分野	非会員	○森優斗
長岡技術科学大学	環境社会基盤系	正会員	佐野可寸志
長岡技術科学大学	環境社会基盤系	正会員	加藤哲平
長岡技術科学大学大学院	工学研究科	学生会員	原山哲郎

1.はじめに

国民生活や企業活動は道路交通に大きく依存しており、特に高速道路網はその基幹をなしている。しかし、降雪地帯においては、大雪が引き起こす大規模な車両滞留や、深刻な社会的・経済的損失をもたらす喫緊の課題となっている。記憶に新しい2020年12月の関越自動車道における大規模な交通障害では、2100台以上の車両が長時間にわたり滞留し¹⁾、その影響は甚大である。こうした背景から、大規模な車両滞留を未然に防ぐための効率的な除雪戦略の重要性が増している。本研究の最終目的は、概要に示した通り、様々な降雪シナリオに基づきスタック発生リスクを定量的に評価することである。

上記目的を達成する上で、どのような降雪をリスク評価のシナリオとして想定するべきかという点が、最初の重要な課題となる。スタック発生という交通現象のリスクは、一つの降雪における総降雪量だけで決まるわけではなく、継続時間や時間あたりの降雪量といった複数の降雪特性が複雑に関係していると考えられる。そこで本研究は、スタックリスク評価の第一歩として、過去の気象データを分析し、今後の評価の基礎となるこれらの主要な降雪特性を明らかにすることを目的とする。

2.既往研究

佐藤ら²⁾は、暴風雪の厳しさを評価する指標として、降雪量だけでなく風速を組み合わせた新しい指標を提案している。この研究では、風速と降雪量をそれぞれランク分けし、その合計値から暴風雪厳しさ指数 (SSI) を算出することで、これまで定量化が難しかった暴風雪のリスクを客観的に評価しようと試みている。このアプローチは、主に吹雪による視程障害のリスクに着目したものであるが、複数の気象特性を組み合わせるリスクを評価するという考え方は、本研究においても重要である。スタック発生リスクを評価する上でも、総降雪量という単一の指標だけでなく、継続時間といった複数の降雪特性を考慮す

る必要があることを、この先行研究は示唆している。

また、片岡ら³⁾はコネクティドカーから得られるデータを活用し、交通現象からスタックリスクを評価するモデルを提案している。このアプローチは交通状況の悪化を捉える上で有効であるが、その根本原因である降雪の特性については、さらなる分析の余地が残されている。そこで本研究では、交通現象に着目した先行研究とは異なる視点から、リスクの根源である降雪そのものの時間的な特性分析に焦点を当てる。具体的には、過去の気象データから抽出した主要な降雪イベントについて、総降雪量や、継続時間といった複数の降雪特性を明らかにすることで、リスク評価の新たな基盤を構築することを目指す。

3.研究内容

本研究では、冬期高速道路におけるスタック発生リスクの評価基盤を構築するという最終目的に向け、その第一歩として、リスク評価の前提となる主要な降雪特性を明らかにすることを目的とする。そのための分析を本章で示す。

3.1.分析データ

本分析では、気象庁が提供するアメダス (地域気象観測システム) の観測データ⁴⁾を用いた。分析対象地点は、関越自動車道が通過し、過去に大規模な交通障害の発生地点に近い新潟県湯沢町とした。これにより、観測された降雪と実際の交通への影響との関連を考察する上での地理的な整合性を確保した。使用するデータは、1982年12月から2025年3月までの約44冬期にわたる1時間ごとの降雪量である。この長期間のデータを用いることで、年ごとの気象の変動を含んだ、湯沢における降雪の全体的な傾向を捉えることが可能となる。

3.2.降雪イベントの定義

連続した降雪を一つのまとまりとして扱うため、本研究では降雪イベントを定義した。これは、スタッ

ク発生リスクを評価する上で、個々の時間降雪量だけでなく、一連の降雪がどのくらいの規模で、どのくらいの時間続いたかを把握することが重要であるという考えに基づいている。具体的な定義として、まず1時間降雪量が1cm以上観測された時点をイベントの開始とする。その後、降雪が一時的に止む場合もあるが、無降雪の状態が4時間以上継続した場合に、一連の降雪イベントが終了したと見なす。この4時間という閾値は、2020年12月に発生した関越自動車道での大規模な車両滞留を引き起こした一連の降雪を、分断することなく単一のイベントとして抽出できるように設定したものである。この定義を適用することで、過去の大規模な交通障害事例との比較分析が可能となり、分析の妥当性を高めている。この定義に基づき、降雪イベントを抽出した。

3.3.分析手法

本研究では、上記の手法で抽出した全降雪イベントを対象に、以下の2段階の分析を行った。第一に、全イベントの全体像を把握するため、各イベントの総降雪量、継続時間、最大時間降雪量を算出し、それぞれの分布を確率密度関数で可視化した。これにより、湯沢における降雪イベントがどのような規模や長さで発生することが多いのか、その全体的な傾向を明らかにする。第二に、スタックリスクとの関連が深いと考えられる主要な降雪イベントに着目し、その降雪の時間的な変化を詳細に分析する。本研究では、特に規模の大きいイベントとして、総降雪量で上位に位置するイベントを抽出し、その1時間ごとの降雪量の推移をグラフで示す。これにより、同じ総降雪量という指標でまとめられていても、その降り方が多様であることを明らかにする。

4.降雪イベントの降雪量分析

本章では、前章で定義した降雪イベントについて、その基本的な特性を明らかにする。まず、分析対象期間における全降雪イベントの総降雪量、継続時間、最大時間降雪量の全体像を把握するため、その分布を詳細に分析する。次に、特に規模の大きい主要な降雪イベントについて総降雪量を指標として抽出し、その降雪量の時間的な変化について、具体的な事例を挙げて詳細な分析を行う。

4.1.降雪イベントの全体像

分析対象期間に抽出された全4,509件の降雪イベントについて、その根本となる特性を明らかにするため、期間中合計降雪量、継続時間、および最大時間

降雪量に関する確率密度関数をそれぞれ図-1、図-2、図-3に示す。これら3つの特性は、降雪イベントの規模、持続性、そして時間の集中度をそれぞれ代表する指標である。確率密度関数は、各特性の値がどの程度の発生しやすさを持つかを示したものであり、これらのグラフから降雪イベントの全体像を様々な側面から把握することができる。

図-1は、各降雪イベントの総降雪量の分布を確率密度として示したものである。この図からは、総降雪量が20cm未満のイベントの確率密度が非常に高く、これが最も発生しやすいイベント群であることがわかる。特に、10cmにも満たないようなごく小規模な降雪イベントの発生確率密度が極めて顕著なピークを形成しており、これが湯沢における降雪の最もありふれた姿であることを示している。一方で、総降雪量が増加するにつれて確率密度は指数関数のように減少し、社会インフラに大きな影響を与えうる100cmを超えるような大規模なイベントは、その発生確率密度が極めて低い、非常に稀な事象であることが確認できる。この分布の形状は、降雪イベントのリスクを考える上で、大多数を占める小規模なイベントと、稀ではあるが発生しうる大規模なイベントとを区別する必要があると考える。

図-2は、各イベントの継続時間の分布を示しており、総降雪量と同様の傾向が見られる。継続時間が10時間未満で終了するイベントの確率密度が最も高く、これが最もよく見られるイベントの持続時間であることがわかる。継続時間が24時間を超えるイベントは少数となり、48時間を超えるような長時間のイベントは極めて稀である。このことは、ほとんどの降雪が比較的短時間で終了する一方で、長期にわたる除雪作業を強いるような持続性の高いイベントも稀に存在することを示している。道路管理の観点からは、このような持続性の高いイベントが除雪体制のリソースをいかに消耗させるかを考慮することが重要となる。

さらに、図-3は、各イベントの最大時間降雪量の分布を示している。この指標は降雪の強度を表しており、スタック発生の直接の引き金となりうる降雪特性を理解する上で極めて重要なグラフである。この図からも、最大時間降雪量が2.5cm/h以下のイベントが大多数を占め、時間あたり5cm/hを超えるような高強度な降雪を伴うイベントは稀であることがわかる。特に、除雪能力に大きな負荷をかけると考えられる10cm/hを超えるような極めて強い降雪は、統計の上で見てもほとんど発生しないことが示されている。

る。このことは、スタック発生のリスクが、単に雪が降り続けているという事実だけでなく、その時間の集中度がいかにか高いかにか強く依存する可能性があると考えらる。

これら 3 つの図は、降雪イベントを特徴づける総降雪量、継続時間、最大時間降雪量が、いずれも値の小さい領域に確率が集中する右に裾の長い分布という共通の性質を持つことを示している。この事実は、交通に深刻な影響を与えうる大規模、長時間、そして高強度な降雪が、いずれも統計の上では稀な現象であることを裏付けている。よって、スタック発生リスクを評価する上で、稀にしか発生しないイベントの特性を理解することが、重要となる。

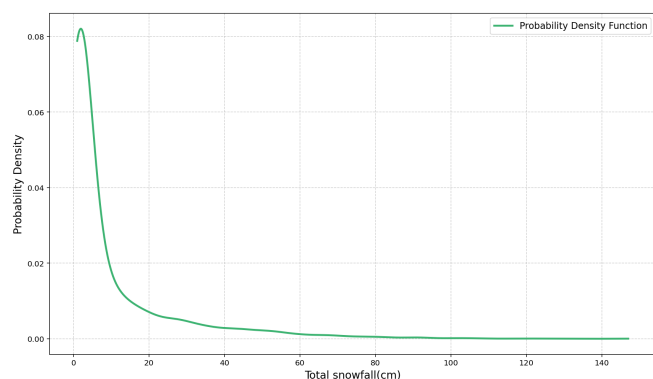


図-1 総降雪量の確率密度関数

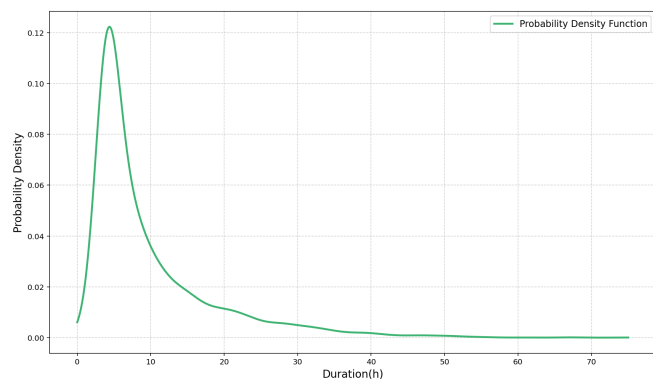


図-2 継続時間の確率密度関数

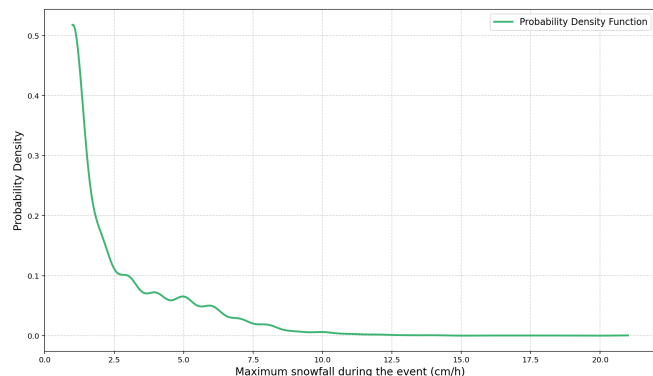


図-3 最大時間降雪量の確率密度関数

4.2.主要な降雪イベントの降雪量分析

本分析では、総降雪量で上位に位置するイベントの中から、2014 年と 2017 年の事例を選び出し、1 時間ごとの降雪量の変化を図-4 および図-5 に示した。

図-4 に示す 2014 年の事例は、総降雪量が 131cm、継続時間が 51 時間の大規模なイベントであり、その特徴は、期間中に短時間観測された 11cm/h という極めて高い最大時間降雪量である。このような短時間に降雪が極端に集中する現象は、路面状況を急速に悪化させ、除雪能力を超過させることで、突発的な車両のスタックを引き起こすリスクが高いと言える。

一方で、図-5 に示す 2017 年の事例は、総降雪量 108cm、継続時間 48 時間と、イベント全体の規模としては図-4 の事例と類似している。しかし、その降雪量の時間的な分布は全く異なり、最大時間降雪量は 8cm/h に留まるものの、5cm/h を超える強い降雪の波が複数回にわたって観測される多峰型の特性を示している。最初のピークに対応した後も次々と降雪が続くため、除雪体制のリソースを消耗させ、図-4 の事例とは質の異なるリスクがあると考えらる。

イベント全体の総降雪量や継続時間が同程度であっても、降雪量の分布は異なる。スタック発生リスクを評価する上では、総降雪量という指標だけでなく、降雪の時間的な特性を考慮することが不可欠である。

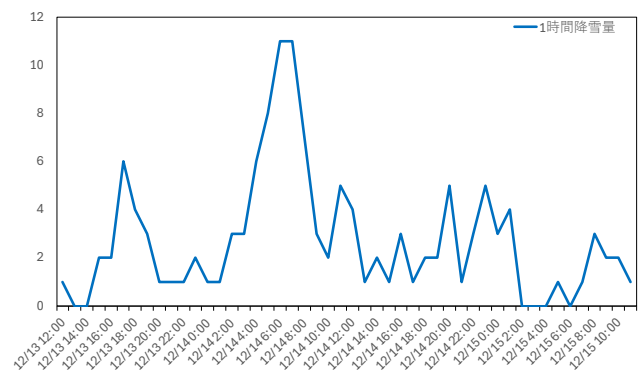


図-4 2014 年 12 月の降雪イベント

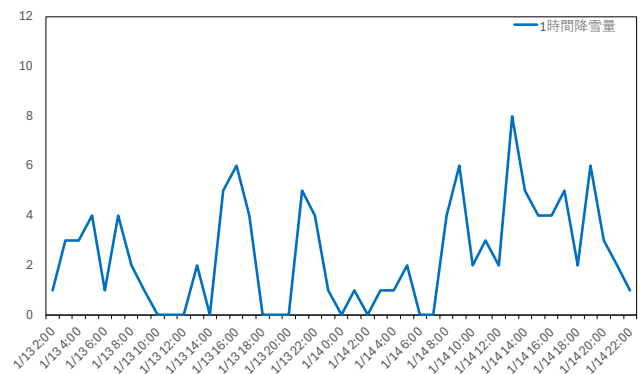


図-5 2017 年 1 月の降雪イベント

5. 考察と今後の課題

本研究では、冬期高速道路におけるスタック発生リスク評価の基盤を構築するという最終目的に向け、その第一歩として、主要な降雪イベントの特性を分析した。本章では、4章で得られた分析結果に基づき、スタックリスク評価において考慮すべき降雪特性について考察し、今後の研究課題を明らかにする。

5.1. 降雪特性の多様性とリスク評価への影響

4章の確率密度関数の分析から、交通に影響を与える大規模な降雪イベントは統計の上では稀な現象であることが示された。さらに、4章の事例分析からは、たとえ同じ稀な大規模イベントという範疇にあっても、その中には降雪の時間の集中度や継続時間といった、降雪特性が異なる多様なイベントが含まれていることが明らかになった。これは、スタック発生リスクを評価する上で、極めて重要であると考えられる。

例えば、同じ総降雪量 120cm のイベントであっても、最大時間降雪量が 10cm/h に達するような短時間に集中した降雪は、路面状況を急速に悪化させ、除雪車両の処理能力を一時的に超えさせることで、突発の車両スタックを引き起こす直接の引き金となりうる。一方で、最大時間降雪量が 5cm/h 程度で、降雪が長時間にわたって継続するイベントは、1 度 1 度の降雪強度はさほどではなくとも、長時間の除雪作業を強いることで、除雪体制の人員や資材を消耗させることで除雪車両の処理能力を超えることで、結果として道路ネットワーク全体の機能不全を招く可能性がある。

道路管理者は、これらの性質の異なるリスクに対し、それぞれ最適化された除雪戦略を準備する必要がある。例えば、高強度な降雪が予測される場合には降雪開始前からの予防的な通行止めによる集中除雪を実施することが有効である可能性が考えられる。また、長時間の降雪が予測される場合には作業員の交代計画や燃料の確保といった継続的に除雪が行えるような後方支援が重要となると考える。

このように、スタック発生に至るメカニズムは一樣ではなく、異なる降雪特性がそれぞれ異なる種類のリスク要因となりうる。このことから、リスク評価のための降雪シナリオを作成する上で、総降雪量という単一の指標だけでは不十分であり、本研究で示した降雪の時間の集中度、すなわち降雪強度や継続時間や時間最大降雪量を考慮することが不可欠であると考えられる。

5.2. 今後の課題

本研究では、湯沢の降雪イベントが持つ総降雪量、継続時間、最大時間降雪量の 3 つの降雪に関する特性の多様性を示し、総降雪量のみを指標とすることの限界を明らかにした。この発見に基づき、今後の研究課題として、より精緻なリスク評価指標の構築が挙げられる。スタック発生リスクをより正確に評価するためには、総降雪量、継続時間、そして最大時間降雪量といった、本研究で明らかになった複数の降雪特性を組み合わせた、多角的な指標を開発する必要がある。

例えば、総降雪量、継続時間、最大時間降雪量のそれぞれの特性に重み付けを行ったり、特定の組み合わせを持つイベントをリスクが高いと定義したりすることで、より現実の交通障害発生と相関の高い評価指標を構築できる可能性がある。したがって直近の課題はこれらの複数の降雪特性を用いて、実態に即した評価指標を構築することである。

その上で、構築した指標の妥当性を、実際の交通障害発生データと照合することで検証していく必要がある。この検証を通じて、単一の指標では捉えきれなかった多様な降雪リスクを客観的に評価することが可能となる。将来的には、この評価指標を用いて各降雪イベントのリスクを事前に特定し、より効果的な除雪戦略の判断に資することを目指す。

参考文献

- 1) 国土交通省：今冬発生した大規模な車両滞留等について
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanri/pdf05/01.pdf>
(閲覧年月日 2025 年 10 月 12 日)
- 2) 原田祐介, 大宮哲, 武知洋太, 高橋丞二：一回の極端な暴風雪の厳しさを評価する指標の検討ーその1：暴風雪事例を網羅的に解析するためのデータセットの作成ー, 雪氷研究大会
(2020・オンライン) 2020.11.16–11.18, 2020年
(閲覧年月日 2025 年 10 月 12 日)
- 3) 片岡慶人, 佐野可寸志, 加藤哲平, 原山哲郎, 上石勲：路面状況を考慮した冬期高速道路におけるスタック発生リスクの検討
(閲覧年月日 2025 年 10 月 12 日)
- 4) 気象庁：過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etnr/>
(閲覧年月日 2025 年 10 月 12 日)