

# 降雪時の多車線道路におけるマイクロ交通シミュレーション

都市交通研究室 伊田遼

指導教員 加藤哲平

## 1.背景と目的

地球温暖化に伴い、暖冬の影響で全国的に積雪量は減少傾向にある。特に平野部や西日本では、降雪量の減少が顕著であり、今後も同様の傾向が続くことが予測されている。しかし、厳冬期には海水温の上昇が大気中に供給される水蒸気量を増加させ、降雪が強化される可能性が高いとされている。この現象により、特に北海道や日本海側の山沿いでは局地的な極端な降雪のリスクが増すことが懸念されている。温暖化が進行しても、これらの地域では強い冬型の気圧配置が維持され、大気中の水蒸気が雪として降り積もる可能性が高く、過去より強度の大きい降雪が発生することが予想されている。(1)

近年、上記で示した背景から記録的な豪雪に伴う交通障害が多発している。例えば、2020年12月中旬に起きた新潟県中越から群馬県北部にかけての大雪では、群馬県みなかみ町藤原では48時間降雪量が199cmを観測し、観測史上1位の記録を更新し、関越自動車道が通行止めになっている。最長で立ち往生は、52時間が記録されている。(1) こうした車両滞留の抑制に向けて、スタック発生メカニズムの特定や、スタック・事故発生リスクの評価といった研究が行われている。具体的には、大雪時のスタック発生メカニズムの解明を目的に、大雪による車両滞留時の路面圧雪調査および圧雪路面での停車試験などが実施されている。(2) これらの研究で明らかにされている通り、天候や路面状況の悪化がスタック・事故の発生確率を高めるという点については、疑う余地はないと考えられる。

一方で、特に多車線道路において車両滞留が発生するためには、同一地点のすべての車線で、あるいは車線をまたがってスタックや事故車両が停止している必要がある。例えば東日本高速道路上で発生した車両滞留事例は、図-1に示すような複数台のスタックが原因であるとされている。(3) このように、車両滞留事例は、単一車両のスタックや事故が後続車両のスタックを誘発することによって、全車線が閉塞するという経緯をたどる。従来の研究は、主に単一車両の走行不能リスクを評価するものであり、多車線道路において車両滞留が生じるメカニズムについては十分に注目されていない状況にある。

本研究の目的は、降雪時における多車線道路のマイクロ交通シミュレーションを開発し、降雪時特有の車両挙動が車両滞留に与える影響を明らかにすることである。特に、走行車線における単一車両のスタックや事故が、後続車両による車線変更や追越車線の路面状態にどのように影響し、車両滞留を引き起こすかというメカニズムを解析することを目的としている。

走行車線において単一車両のスタック・事故が生じた際に、後続車両は追越車線に進路を変更する。この際の後続車両のスタック誘発において重要な点は①車線変更に伴う速度の変化と②追越車線の路面状態であると考えられる。また、豪雪時において多車線道路を走行する際に、交通密度が低いにも関わらず走行車線側に小さな車群が形成されることがある。これは、走行車線は車両によって浅い轍の形成や自然除雪が起きる一方で、追越車線は積雪が続くため、追越行動を躊躇するためであると考えられる。このような状態において、単一車両のスタックが生じた場合を考える。車群形成時は前方車両との車頭間隔が短くなるため、前方車両の急な停車に伴って後方車両も急速に減速し、車線変更を行う必要がある。さらに、追越車線は走行車線に比べて路面への積雪の蓄積が多くなる。このような降雪時特有の車両挙動は、先述した①と②の双方に対して負の影響を及ぼし、車両滞留の発生リスクを高める可能性が考えられる。本研究では、降雪時の多車線道路におけるマイクロ交通シミュレーションを開発し、このような現象の発生要因や定性的な性質を明らかにし、車両滞留の抑制に向けた方策について検討する。

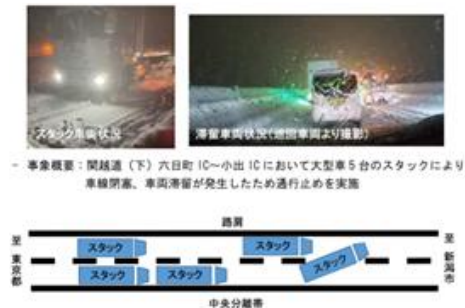


図-1 車両滞留発生時の状況<sup>3)</sup>

## 2.シミュレーションモデル

### 2.1 シミュレーション選択の背景

本研究では、車両間の相互作用、車線上の積雪量による車両挙動の変化および車両の通過による車線の自然除雪といった相互作用を考慮するために、マルチエージェントシミュレーションにより、降雪時の多車線道路における車両挙動を再現する。まず、降雪時の交通挙動に関する実環境でのデータ収集には多くの制約が存在している。路面状況や気象条件が変化中、車両滞留やスタックが発生する状況をタイミングよく観測することは極めて困難である。そのため、こうした現象を再現することができるシミュレーションは、効率的かつ安全に必要なデータを取得する手段として非常に有用である。

次に、マルチエージェントシミュレーションでは、車両同士の追従挙動や車線変更の判断、路面の積雪量の変化、車両通行による自然除雪効果といった複数の相互作用を考慮している。具体的には、車両は前方車両との距離や速度差に基づいて追従挙動を調整し、追越車線や隣接車線の積雪量や交通密度を考慮して車線変更を判断するように設計されている。さらに、車両の通行が路面の積雪を軽減する効果を再現している。一方で、積雪は、車両の走行性を低下させることで速度が低下するように設定されている。

このように、車両の通行が積雪量を減少させる影響と、積雪が車両の挙動や交通流に与える影響を双方向に考慮することで、マルチエージェントシミュレーションは降雪時の交通挙動を詳細に再現している。このアプローチにより、車両間の追従挙動や車線変更、積雪量の変化が交通流全体にどのように波及するかを解析し、統計モデルでは表現が困難な複雑なメカニズムを再現することが可能となる。

さらに、シミュレーションの大きな利点として、自由なシナリオを設定して実験を行える点が挙げられる。積雪量や交通量の変動、除雪作業のタイミングや範囲など、現実では制御が難しい条件を仮定し、それらの影響を検証することが可能になる。また、現実では実施が困難な極端な条件を想定した実験も可能であり、現場で得られない知見の提供が可能にする。

降雪時における交通挙動を効率的かつ定量的に解析するために、本研究ではシミュレーションを主要な手法として採用する。この手法によって得られる知見は、実環境での対策や政策立案の基礎資料として活用できることが期待される。

### 2.2 シミュレーション

本研究では、図-2 に示すような途中に出入りのない2車線道路区間上の車両挙動のシミュレーションを構築する。本研究で構築するシミュレーション

のフローチャートを図-3 に示す。

シミュレーションモデルの開発では、図-2 に示されるフローチャートに基づいて設計を進める。まず、各車両に対して希望する走行速度および安全と判断される車間距離を設定する。これにより、車両ごとの挙動の多様性を再現する。その後、希望走行速度や車間距離に基づいて、追越の必要性を判定している。追越が必要と判断された場合には、追越に要する時間や外部環境の状況を考慮して、追越を実行するかどうかを決定している。このプロセスでは、積雪量が多い場合には路面の状態が悪化し、追越に要する時間が長くなるように設定されている。この調整により、積雪の影響で車両の走行速度が低下し、スタックが発生する可能性が高まる状況を再現している。車両が追越を選択した場合には、車線変更が実行される。一方、追越の必要性がない場合や、追越が実行不可能と判断された場合には、追従挙動に移行する。この際、走行車両は前方車両との十分な車間距離を保ちながら走行を続ける。追従していない場合には、車両は希望走行速度で走行するよう設定されており、これにより追越が行われていない場面での交通挙動が適切に再現される。そして、最後に車両の状態を更新することで、シミュレーションが連続的に進行する。

本章では、以降の節でフローチャートに含まれる「エージェントの特性値および初期値」、「車両速度・車両位置の更新」、「路面積雪による車両への影響」、「車両の通過による路面積雪量への影響」、「追従・判定および走行車線への復帰判定」について説明する。



図-2 シミュレーションの道路条件

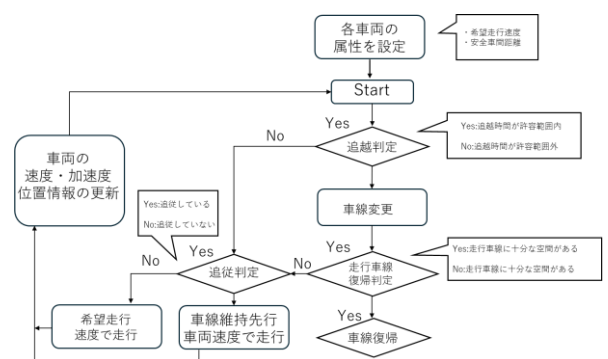


図-3 シミュレーションフロー

#### 2.2.1 エージェントの特性値及び初期値

本研究で構築するシミュレーションでは、車両と路面の2種のエージェントが存在する。

車両エージェントは、シミュレーションにおける

個々の車両を表している。車両は、希望走行速度という特性値を与えられて路面上を移動し、希望走行速度を維持出来ない場合では、追越を用いて速度を維持しながら路面を移動する。希望走行速度は、以下の(1)式と(2)式に基づいて決定される。走行車線では、以下の(1)式により指定された速度範囲内で一様分布から選択される。 $v_{desired\_inner}$ は走行車線の希望走行速度(m/sec)で $v_{min}$ の最低希望走行速度(m/sec)と $v_{max}$ の最高希望走行速度(m/sec)の範囲の中から設定される。一方、追越車線では、(2)式により、 $v_{desired\_outer}$ が追越車線の希望走行速度(m/sec)で走行車線の希望速度の1.2倍の速度を設定することで、追越時の加速を再現している。

$$v_{desired\_inner} = (v_{min}, v_{max}) \quad (1)$$

$$v_{desired\_outer} = 1.2v_{desired\_inner} \quad (2)$$

路面エージェントは、車両エージェントと異なり、路面上の同じ位置から移動しない。道路区間上は連続的な空間であるが、特定の区間で区切った離散的な道路区間の走行車線・追い越し車線にそれぞれ一つのエージェントが存在していると仮定する。したがって、例えば100mの道路区間上を5mで区切った場合、走行車線・追い越し車線にそれぞれ20個、計40個のエージェントが存在することになる。各エージェントは、そのエージェントが走行車線・追い越し車線のいずれに位置するか、道路区間の始点から何区分離れているか、という特性値を有する。なお、これらの特性値は不変である。また、各エージェントは、該当する道路区分の積雪量という特性値を持つ。路面積雪量の初期値は0cmであると仮定する。後述するが、路面積雪量は時間当たりの降雪量および当該区分を通過した車両の数によって更新される。時間当たりの降雪量は、すべての路面エージェントに共通で、3.0cm/secであると仮定する。

## 2.2.2 車両速度の更新

車両エージェントは、追従や追越を行っていない場合、希望走行速度で走行する。追従中は前方車両と同じ速度で移動し、追越中は追越車線での希望走行速度で走行する。動的な速度調整は考慮せず、瞬時に希望走行速度に到達するものと仮定する。また、車両の希望走行速度は路面の降雪量に影響される。(追越を行うか否かの判定については、2.2.5節で示す。)

## 2.2.3 路面積雪による車両への影響

路面状態の悪化は降雪の影響によるものであり、(3)式に基づき降雪の影響を評価する。ここで、 $E_{snow}$ は降雪による速度低下係数(0~0.5)、 $D_{snow}$ は現在の積雪量(cm)、 $M$ は積雪量による速度低下率(2.5)である。この降雪による速度

低下係数を用い、(4)式によって積雪の影響を受けた走行速度を以下のように表現する。 $v$ が走行速度(m/sec)で $v_{desired}$ が希望走行速度(m/sec)である。

$$E_{snow} = 1 - D_{snow} * M \quad (3)$$

$$v = v_{desired} * E_{snow} \quad (4)$$

## 2.2.4 車両の通過による路面積雪量への影響

今回のシミュレーションは、車両の走行により自然除雪が行われると判断する。(5)式に基づき自然除雪の影響を受けた路面積雪量を計算する。 $D_{update}$ は自然除雪後の積雪量(cm)、 $C_{snow}$ は走行による自然除雪量(5cm)である。

$$D_{update} = D_{snow} - C_{snow} \quad (5)$$

## 2.2.5 追従・追越判定および走行車線への復帰判定

追越挙動は、先行車との車間距離や相対速度を考慮して判断される。まず、 $D_{front}$ の車間距離(m)は、以下の式(6)に基づき、 $P_{self}$ 自車位置(m)と $P_{front}$ 先行車位置(m)の差として計算される。ここで、前方に車両が存在しない場合は、車間距離を無限として扱う。これは、追越を検討する必要がない状態を明確に区別し、誤った判断を防ぐためである。次に、車間距離が $D_{min}$ 最小安全距離(m)を下回る場合に追越を検討する。この条件は以下の式(7)で表される。追越が不可能であると判断した場合、(8)式により自車両は先行車に追従する。このとき、 $v_{self}$ 自車速度(m/sec)は、 $v_{front}$ 先行車速度(m/sec)に一致させることで、安全な車間距離を保ちながら運転を継続する。追従時の速度設定は以下のように表される。この操作により、無理な追越を避けつつ、前方車両に適応した挙動を再現している。

$$D_{front} = P_{front} - P_{self} \quad (6)$$

$$D_{front} < D_{min} \quad (7)$$

$$v_{self} = v_{front} \quad (8)$$

追越の判定は、以下の条件に基づいて判断される。まず、(9)式に基づき $v_{relative}$ 相対速度(m/sec)の計算を行う。ここで、自車の追越時の速度は、追越車線の降雪による速度低下係数 $E_{snow\_outer}$ (0~0.5)を考慮したものであり、これから先行車の速度を差し引くことで相対速度が求められる。

追越に要する時間は、(10)式に基づいて車間距離を相対速度で割ることで計算される。追越必要時間 $T_{overtake}$ (sec)は以下の式で求められる。ただし、相対速度が0秒以下の場合、つまり自車の速度が先行車と同じか遅い場合には追越が不可能と判断され、追越時間は無限大としてい



る。この操作により、自車両が無理に追越を試みないように制御される。

車線変更では、車線変更可能なスペース  $S_{lanechange}$ (m)の確認も行われる。最小安全距離  $D_{min}$ (m)の1.5倍以上である必要がある。この条件は以下の(11)式で表される。

$$v_{relative} = v_{desired\_outer} * E_{snow\_outer} - v_{front} \quad (9)$$

$$T_{overtake} = \frac{D_{front}}{v_{relative}} \quad (10)$$

$$S_{lanechange} > 1.5 * D_{min} \quad (11)$$

追越は、上記の3つの条件(相対速度の計算、追越に必要な時間の計算、車線変更可能なスペースの確認)がすべて満たされた場合にのみ実行される。これにより、追越の安全性を確保しつつ、適切な運転行動を再現することができる。

### 3. シミュレーションの結果についての説明と考察

#### 3.1 シミュレーションの設定

今回のシミュレーションの基本設定は、以下の通りである。10001秒の間に、0.5秒ごとに車両の動きを更新する設定になっている。車両の発生間隔は、7秒ごとに新しい車両が生成される。車両の希望速度は約14~20m/sの範囲で決まり、追越車線では1.2倍の速度で追越を行っている。最小安全距離は10mで、これを下回ると追越を検討する。降雪速度は0.03m/sで、車両が通過すると0.05mの雪が除去される。降雪の影響で速度低下が発生し、最大で50%の速度低下が生じる可能性がある。車両は前方車両との距離が一定以下になると追越を検討し、追越車線に十分なスペースが存在して追越に要する時間が2秒以内であれば追越を実行する。追越後は、走行車線に戻る余裕があれば復帰する。

#### 3.2.1 走行速度の速度変化

速度のヒストグラムのシミュレーションの出力結果は、シミュレーションの経過時間が2500秒、5000秒、7500秒、10000秒とした図-4(2500秒)、図-5(5000秒)、図-6(7500秒)、図-7(10000秒)である。最初は図-4(2500秒)のように様々な速度の車両が一様に分布している。時間経過による次の図-5(5000秒)では、図-4(2500秒)に比べて一様な分布から最低速度と中央の速度の2つに集中し、偏った分布に遷移している。その後の図-6(7500秒)では全体的に低速域と高速域の2つのグループに分散していることが確認できる。最終的には、図-7(10000秒)のように、最も低い速度の車両が一番多く速度が上がるにつれて車両数が減少している事が確認出来る。

降雪の影響を受けた走行速度の判定は、2.2.3節「路面積雪による車両への影響」で示された式(4)に基づいて行われる。最初の図-4(2500秒)のように様々な速度の車両が一様に分布しているのは、経過時間が少ないため式(4)の $E_{snow}$ 降雪による速度低下率の影響が少ないため各車両の希望走行速度で走行できているためだと考えられる。時間経過によって図-5(5000秒)や図-6(7500秒)のように車両が低速度と中央速度の2つに集中したのは、降雪の影響による速度低下率が時間経過により降雪が蓄積され、影響を受けやすくなったことで希望走行速度の指定範囲内の低速度の車両は低速域へ集中し、高速度は降雪の影響による速度低下率の影響を受けても速度を維持できる低下率だったためだと考えられる。図-7(10000秒)では、十分な時間経過により降雪が蓄積され、降雪による速度低下率が大きく作用されることや、車両の最小安全距離の設定により前方車両に接近したことで速度を低下せざるを得なくなり追従性が強まるため、車両の集団走行の形成されやすくなる。また、車両間の速度差が縮まるため高速走行が難しくなり、速い車両が次第に減少しているためだと考えられる。走行速度の時間による変化を調べた理由は、降雪によって路面状態が悪化することで、車両の走行速度が低下することが予測される。そのため、どのタイミングで走行速度が低下し、車両間で速度差が縮小するかを分析することができる。また、走行速度の低下により、車両が前方車両に接近し、最小安全距離を維持しようとするため、車間距離にも変化が現れると考えられる。走行速度と車間距離は相互に影響を及ぼし合うため、走行速度の時間変化を把握することは、車間距離の時間変化を予測するためにも重要である。速度が低下することで車両が前方車両に接近し、結果として車間距離が短縮されると考えられるため、これらの変化を一緒に調べることによって、降雪の条件下での車両の挙動をより正確に理解することができる。

$$v = v_{desired} * E_{snow} \quad (4)$$

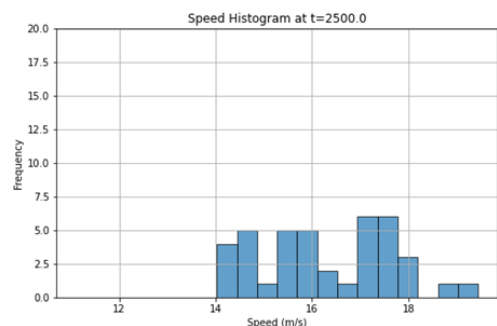


図-4 走行速度のヒストグラム (2500秒)

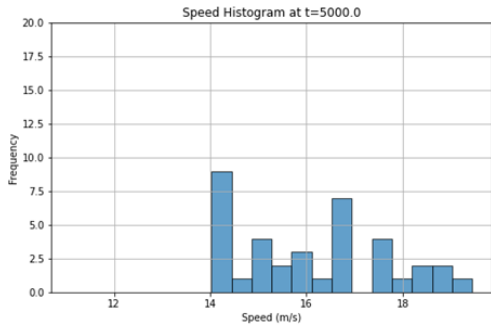


図-5 走行速度のヒストグラム (5000 秒)

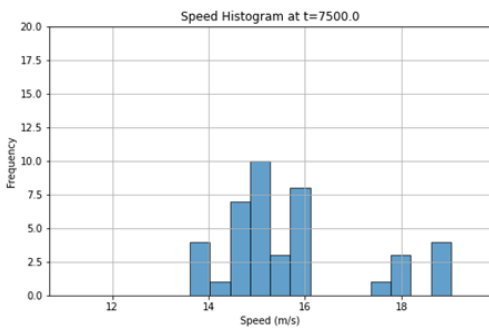


図-6 走行速度のヒストグラム (7500 秒)

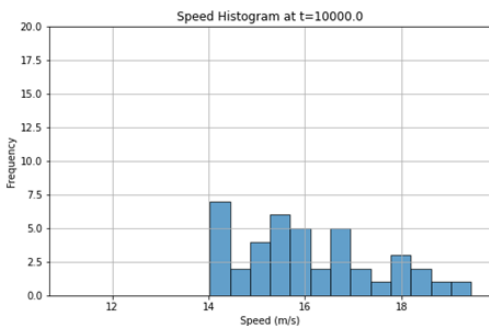


図-7 走行速度のヒストグラム (10000 秒)

### 3.2.2 車間距離の時間変化

車間距離のヒストグラムの結果は、経過時間ごとに図-8 (2500 秒)、図-9 (5000 秒)、図-10 (7500 秒)、図-11 (10000 秒) として示されている。最初の図-8 では、車間距離が 0m から 400m の範囲内に集中しており、特に 0m から 20m の最短車間距離に多くの車両が集まっている。図-9 では、400m 以上の車間距離を持つ車両も少数ながら確認でき、時間が経過するにつれて状況に変化が見られる図-10 では、400m 以上の車間距離の車両が減少し、再び 0m から 20m の最短車間距離の車両が増加している。最終的に図-11 では、全体的な分布に大きな変化はなく、車両は 0m から 20m の最短車間距離に集中が増している。

車間距離は、3.1.2 節「走行速度の時間変化」で

述べたように、各車両の走行速度の差による車両間の位置の違いにより決定される。そのため、最初の図-8 (2500 秒) では、0m から 400m の範囲のみで車間距離の車両が存在していたのは、経過時間が短いため降雪の影響が少なく、図-4 (2500 秒) の走行速度ヒストグラムからも分かるように、速度の分布のばらつきが少なく一様な分布であることから各車両は、追越を十分に行い希望する走行速度で走行したため、車間距離も一定の範囲に収束したと考えられる。時間が経過することで降雪の影響が強まり、図-5 (5000 秒) において速度低下が確認されている。この時の車間距離のヒストグラム図-9 (5000 秒) では、車両が最小安全距離に基づき前方車両に接近し、追従性が高くなり、0m から 20m の最も短い車間距離を取る車両が増加したと考えられます。また、降雪による速度低下により速度差が拡大することから、400m 以上の車間距離を持つ車両が少数発生している。さらに、図-6 (7500 秒) での走行速度の最頻値が中央付近に位置していましたが、図-7(10000 秒) では最頻値が最低走行速度になっており、追従行動をしている車両が増加していることが示唆される。この変化を裏付けるように、図-10(7500 秒) から図-11 (10000 秒) にかけて、0m から 20m の最も短い車間距離の車両が増加している。

車間距離の時間による変化を調べた理由は、降雪による走行環境の変化が走行速度の低下に伴い、車両間の距離が狭まり、追従走行性が高まることにより、渋滞や滞留現象の発生リスクを予測するためである。車間距離は追従走行性能に影響を与えるため、追越判断の回数に密接に関連しており、そのため追越回数の時間変化についても調べる必要がある。

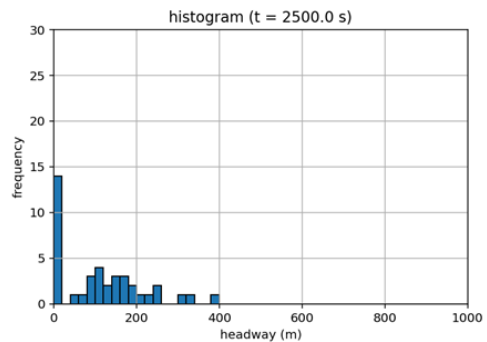


図-8 車間距離のヒストグラム (2500 秒)

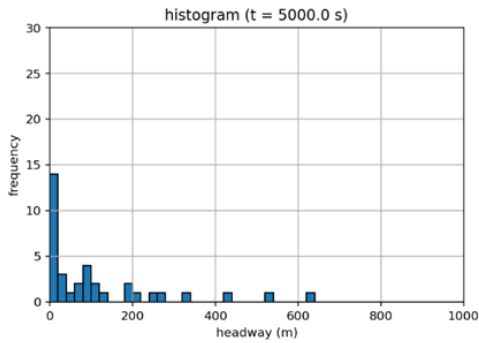


図-9 車間距離のヒストグラム (5000 秒)

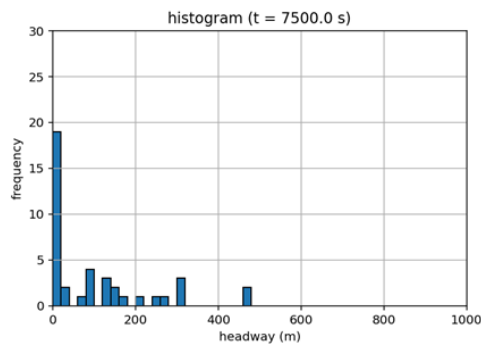


図-10 車間距離のヒストグラム (7500 秒)

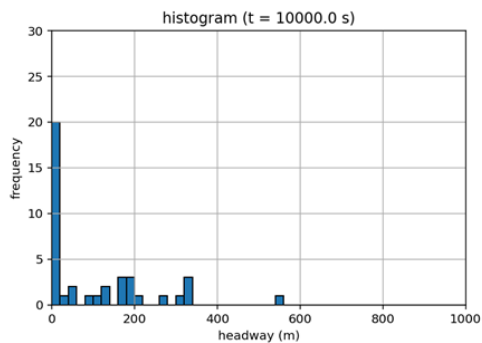


図-11 車間距離のヒストグラム (10000 秒)

### 3.2.3 追越回数の時間変化

図-12 より初期段階から追越が進行していたが、後半になるにつれて追越が緩やかになっている。そのため時間経過により追越の発生が少なくなっていることが確認出来る。

追越の判定は、2.2.5 節「追従・追越判定および走行車線への復帰判定」で示された式 (8) および式 (9) に基づいて行われる。追越時の速度は、降雪の影響を考慮したものであり、これを基にして先行車の速度を差し引くことで相対速度が求められる。相対速度は、次の式 (8) で表される。

$$v_{relative} = v_{desired\_outer} * E_{snow\_outer} - v_{front} \quad (8)$$

ここで、 $v_{desired\_outer}$  は自車の希望速度、 $E_{snow\_outer}$  は降雪の影響による速度低下係

数、そして  $v_{front}$  は先行車の速度を示している。この式により、降雪が進むにつれて相対速度が小さくなることが示される。シミュレーション時間が進行すると、追越車線の走行頻度が減少するため、自然除雪が行われにくくなり、降雪が蓄積されやすくなる。これにより、速度低下率である  $E_{snow\_outer}$  が増加し、追越の際に使用する相対速度が小さくなる。相対速度が小さくなると、追越に要する時間が増加し、追越が難しくなる。これについては、式 (9) を用いて追越にかかる時間が計算される。

$$T_{overtake} = \frac{D_{front}}{v_{relative}} \quad (9)$$

式 (9) では、 $D_{front}$  は自車と先行車の車間距離を示しており、相対速度が小さいほど追越に要する時間が長くなる。このため、追越が困難になるとともに、追越車線を走行する車の数が減少することになる。この影響により、追越車線での自然除雪が行われず、さらに積雪が蓄積されるという悪循環が生じる。結果として、後半になるにつれて累積追越回数が減少したと考えられる。

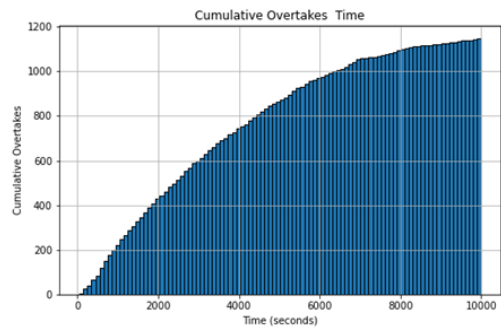


図-12 累積追越回数

### 3.3 まとめ

3.1.2 節「走行速度の時間変化」から一様な分布の走行速度で存在している車両が、経過時間により降雪の蓄積による速度低下の影響を受けやすくなるため走行速度の車両分布が低速域へと集中し、速度差が縮小するため車両間隔が狭くなる。そのため 3.1.3 節「車間距離の時間変化」で示されたように、走行速度が、経過時間により降雪の影響で低速域へと集中するため、0m から 20m の最も短い車間距離を取る車両が増加していくことが確認できるため追従性が高まることが分かる。3.1.3 節「追越回数の時間変化」では、経過時間の初期では追越が進行していたが、後半になるにつれて追越が緩やかになっている。時間経過により追越の発生が少なくなっていることが確認出来る。そのため経過時

間が後半になるにつれて追従性が高まるが追越判断回数は多くなるが追越発生回数は緩やかになっているため追越を躊躇していることが分かる。また追越の判断では、降雪が蓄積されることにより、速度低下率が増加し、追越の際に使用する相対速度が小さくなる。相対速度が小さくなると、式 (9) より追越に要する時間が増加し、追越が難しくなる。この影響により、追越車線での自然除雪が行われず、さらに積雪が蓄積されるという悪循環が生じていることが確認できる。

$$T_{\text{overtake}} = \frac{D_{\text{front}}}{v_{\text{relative}}} \quad (9)$$

滞留要因としては、走行速度のヒストグラムの図-5(5000秒)、図-6(7500秒)を比較することで、走行速度が低速域へと移行することが顕著に確認できる。この速度の低下により、車両の走行速度の分布が低速域に集中し、速度差が縮小する。さらに、車間距離のヒストグラム図-9(5000秒)、図-10(7500秒)を比較すると、速度差の縮小から車両間隔が狭まり、最短車間距離(0mから20m)の範囲に車両が集中していることから、追従性が高まっていることが確認できる。また、図-12から後半は追越が緩やかになっていることが分かる。そのため追従性が高まることで追越回数が減少し、自然除雪が少なくなり、さらに追越車線での降雪の蓄積が促進されることが分かる。そのため、経過時間が5000秒から7500秒にかけて、走行速度を低速域への移動を大きく促進する程の降雪の影響による速度低下率の閾値が存在していると考えられる。この速度低下率の閾値に達しなければ全体の速度低下に伴う車間距離の縮小が抑制されるため追従性が抑えられる。追越が進行されていた経過時間の前半の状況を保つことができるため滞留が抑えられると考えられる。

そのためこの閾値に達しないように自然除雪を行うことで滞留を抑えることができる。これらのことからこの閾値に達する前に計画的な除雪が考えられる。具体的な方策としては、降雪量の予報などから積雪量を予測し走行車両数などから自然除雪量を予測し、自然除雪で足りない場合は除雪車を提案や別の道路への誘導を考える。

または、追越の躊躇による追越車線の降雪が蓄積されやすくなることを防ぐために全車線を走行車線とすることで自然除雪数を分配することで一方の降雪の促進を防ぐことなどが考えられる。

## 4.研究成果

### 4.1 研究成果

本研究では、降雪時の多車線道路における交通シミュレーションを開発し、降雪が車両挙動に与える影響を評価している。シミュレーションにより降雪が車両の速度低下を引き起こし、車両が前方車両と適切な距離を保つために速度を低下させることを確認している。そのため後続車両の追従性が高まることを確認している。このような状況では追越回数が減少するため追越車線は走行車線に比べて走行車数が少なくなるため自然除雪が行われにくいため、降雪が蓄積されやすくなり路面悪化が促進される。そのため追越車線の路面悪化を考慮した追越を躊躇させることを明らかにしている。

本研究の目的であった降雪時における多車線道路のマイクロ交通シミュレーションの開発は、後続車両のスタックを引き起こす重要な要因である①車線変更に伴う速度変化と②追越車線の路面状態の2つを考慮したシミュレーションを達成している。これにより、降雪時特有の車両挙動のメカニズムが明らかになり、車両滞留の発生リスクを高める要因を定量的に理解するための重要な知見を得ることができたと考えられる。具体的には、降雪が進行することで、車両が速度を低下させることで車間距離が縮小し、追越の頻度が減少し、追越車線の降雪の蓄積による路面悪化が引き起こされ、更に追越が減少する悪循環が確認される。

今回のシミュレーションから得られた知見から降雪の影響による速度低下の閾値を超えると全他の走行速度の低下と追従性が高まりが急に促進されやすい状態があり、これが追越の躊躇に関係していることが確認されている。そのため滞留の方策としては降雪による影響が一定の閾値に達する前に除雪を行うことで、滞留の発生を抑制できると考えられる。また全車線を走行車線にすることで走行車数を分配することで自然除雪の偏りを無くすことで降雪の影響による速度低下の閾値を超えること防ぐことなどが考えられる。

### 4.2 今後の展望

今回のシミュレーションでは、降雪速度や運転手が維持しようとする車間距離の設定である最小安全距離、大型車両や普通自動車などの車両サイズなど現実であれば考慮をすべきパラメータを一定の値にしているためこれらを再現するプログラムを作成する必要はある。

また今回のシミュレーションから得られた知見から得た方策の降雪による影響が一定の閾値に達する前に除雪を行うこと、全車線を走行車線にすることで走行車数を分配することで自然除雪の偏りを無くすことで降雪の影響による速度低下の閾値を超える

こと防ぐの有効性を見当する必要がある。特に降雪による影響が一定の閾値は存在していると考えられる範囲の推定のみであるため詳細な閾値を求めて計画的な除雪の提案をする必要がある。

#### 参考文献

- 1)川瀬宏明, 今田由紀子, 渡邊俊一, 本田明治, 山崎哲. 2020/21 冬季に発生した大雪に対する大気と海洋の温暖化の影響. 雪氷研究大会 (2021・千葉-オンライン) .2021
- 2)藤本明宏, 河島克久, 渡部 俊, 村田晴彦.大雪時のスタック車両発生メカニズムの解明.日本雪氷学会誌雪氷 83 卷 5 号.2021
- 3)NEXCO 東日本 令和 4 年 1月26日定例記者会見 令和 3 年度の雪氷対策状況について,  
[https://www.enexco.co.jp/assets/pdf/pressroom/data\\_room/regular\\_mtg/r04/0126/02.pdf](https://www.enexco.co.jp/assets/pdf/pressroom/data_room/regular_mtg/r04/0126/02.pdf)(最終閲覧日：2024/12/4)