

豪雪時の通行止め方策評価のためのマイクロ交通シミュレーションの開発

長岡技術科学大学 大学院工学研究科 環境社会基盤工学分野 非会員 ○鷲津晃平
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

1.はじめに

近年、我が国では降雪量の増加に伴い、豪雪による交通障害の発生が増加している。2020年12月には、16日から18日の3日間にかけてE17関越自動車道の月夜野IC～小出IC区間で、記録的な集中降雪による複数箇所での大型車のスタックを起因とし、2車線ともに通行不能となり、大規模な車両の長期滞留が発生した。3日間を通して最大約2100台の車両が滞留し、全体を通して立ち往生が完全に解除されるまで約52時間かかった。長期滞留発生を抑制する対策として、集中除雪のための予防通行止めが挙げられる。効果的な交通規制を行うためには、交通シミュレーションを用いた施策検討・評価が有効的である。そこで、本研究では、豪雪時の通行止め施策評価への活用を目的とし、降雪・積雪といった冬期の気象条件を考慮したマイクロ交通シミュレーションを開発する。

2.既往研究と本研究の位置付け

冬期における交通状況は、降雪による路面状態の悪化に影響されやすい。伊藤ら¹⁾はETC2.0プローブデータを用いて、冬期道路交通状況への雪の影響と要因を分析している。分析結果から、降積雪は旅行速度へ影響を及ぼしていると明らかにしている。旅行速度への影響を道路の種類や信号交差点密度等の道路構造の観点からみると、路面状態の悪化は高速道路や一般道路の立体区間といった高速度域の道路と信号交差点密度の高い区間で大きく影響が出ると考察している。また、この知見を基に、費用便益分析を通して、降積雪地域における道路整備評価手法を検討している。具体的には、路面状態悪化による損失をSP調査から推定した冬期時間価値と、信号交差点の総遅れ時間から算出し、除雪方法による便益を評価している。しかし、信号交差点の遅れ時間の算出はWebsterの式を用いているため、過飽和状態を考慮できていない。改善案として、交通シミュレーションを適応することで分析可能になると報告している。

大島ら²⁾は路面状態が交差点における車両の発進、停止及び走行に与える影響を調査している。走行・発進時の車頭時間や発進損失時間、飽和交通流率、交通容量といった信号交差点の交通状況に関する項目を夏期と冬期で比較している。冬期は夏季より、飽和交通流率と交通容量は低下し、車頭時間や発進損失時間は増加している。路面状態の悪化に伴って、遅れ時間が増加することや交差点機能が低下することを詳細に明らかにしている。

宗広ら³⁾は冬期交通状況の実態把握と予測手法の確立を目的とし、航空写真や車両追従実験から冬期

車両追従モデルを作成し、マイクロ交通シミュレーションによる冬期道路交通流の現況再現を行っている。冬期路面状態で行った追従実験の結果を用いて、冬期の車両挙動を再現している。対象地域は札幌市都市圏とし、信号現示や車線、速度規制、右左折規制といった道路構造を考慮したシミュレーションとなっている。夏期と冬期で異なる車両追従モデルを用いることで、平均旅行速度の変化を表現している。シミュレーション結果と観測値を比較すると、概ね実際の車両挙動を再現できているものの、車両追従実験結果と現況の路面状況が乖離していると、シミュレーション精度が低下してしまうことが今後の課題であると報告している。

井岡ら⁴⁾は関越自動車道の月夜野IC～小出ICとそれに並行し、迂回経路となりうる国道17号の広域なネットワークを対象とし、冬期における交通流の変化を定量的に分析することのできるマイクロ交通シミュレーションを開発した。対象ネットワークを任意の交差点をノードとした複数のリンクに分割することで、降積雪の地域差を考慮している。さらに、ピリオディック・スキャン方式でシミュレーションを行うことで、降積雪を考慮した逐次的に変化する冬期車両挙動を再現している。豪雪時の通行止め施策評価を目的としているため、シミュレーションの出力結果はリンク毎の所要時間となっている。目的今後の課題として、構築したシミュレーションは、ボトルネック箇所や路面状況の変化に伴う交通流が再現されておらず、効率的な精度の改善が必要であると報告している。

これらの既往研究を踏まえ、本研究では、井岡らが開発したマイクロ交通シミュレーション(以下、井岡モデル)をベースとし、冬期交通状況に大きく影響を及ぼす信号交差点といったシミュレーション出力結果をより効率的に改善するモデルを導入し、新たなマイクロ交通シミュレーションを開発する。旅行時間の算出に特化したシミュレーションに改善することで、精度の向上に加え、逐次的に変化する交通流を再現でき、より効果的な豪雪時の通行止め施策評価への活用が出来る点で新規性・有用性があると考えられる。

3.シミュレーションモデルの概要

3.1.シミュレーションのスキャン方法

シミュレーション内の時計の進め方は、大きく分けて2種類ある。一つは、一定の周期でスキャンし車両の走行状態を更新するピリオディック・スキャン方式で、もう一つは、対象とする事象の処理を実行する度にスキャンを行うイベント・スキャン方式

式である。本研究では、降積雪によって逐次的に変化する車両挙動を表現するため、ピリオディック・スキャン方式を採用する。スキャンの実行は1秒毎に行い、1秒ごとに車両の位置を記録し、各リンク終点に到達した際には、所要時間も記録する。一定周期でスキャンを実行することで、事故やスタックによる通行止めといった交通状況に応じて不定期に発生する事象に対しても処理をすることが可能になる。

3.2.対象ネットワーク

シミュレーションを行うネットワークは、2020年に長期滞留が発生した区間である関越自動車道の月夜野IC～小出IC区間と通行止めをした際に迂回経路となりうる国道17号、国道291号を対象とした。図-1に示すように、シミュレーションの処理時間を考慮して上記以外の道路を削除し、ノードの位置は、対象区間内にあるICと国道17号に位置する交差点、ICと国道繋ぐ交差点のみとした最低限のネットワークを構築した。

3.3.入力データ

本研究では、将来的な豪雪時の通行止め施策評価への活用を目的としているので、気象データ、交通需要データの対象期間は、長期滞留が発生する以前の2020年12月15日とした。車両の速度推定に必要な気象データは、東日本高速道路株式会社新潟支社より提供して頂いたものを使用した。気象データはIC毎で10分毎に測定されているため、1秒単位に変換し、リンク毎で適切な気象データを参照した。

交通需要データは、気象データと同様に東日本高速道路株式会社新潟支社より提供して頂いたETC2.0プローブデータから推計したOD交通量を用いた。本研究では、信号制御など新たに導入したモデルの処理が適切に実行されているかを確認するため、交通需要データはOD交通量を基に任意で変化させた。

各リンクの道路構造データについて、リンク延長は、「全国デジタル道路地図データベース標準デー

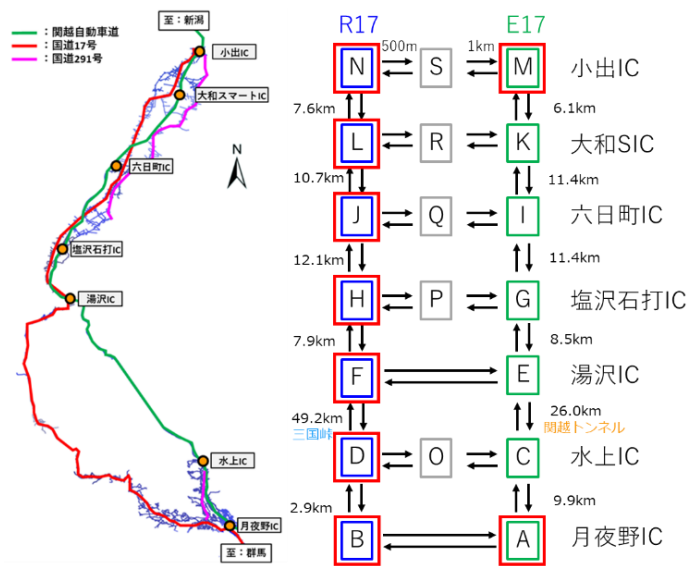


図-1 対象ネットワーク

タ」を参照した。速度規制は、Google Mapのストリートビューで規制速度標識を目視で確認し、標識のない場合は法定速度で設定した。交通容量はリンクを一般道山地部、一般道平地部、高速道路、ランプ部といった道路構造別に分類し設定した。

信号制御に必要な信号現示データは、新潟県警察から提供して頂いた信号現示表を基に、信号交差点であるノード毎に作成した。

3.4.シミュレーションのフロー

図-2はシミュレーションの大まかなフローチャートである。最初に入力データを読み込み、次に、割配分法を用いてOD交通量を最短経路に配分し、車両処理を行う。井岡モデルは、リンクのループの中に時間のループを内包していたため、それぞれのリンクでシミュレーションが独立し、交通流の時間変化を再現できていなかった。そこで、時間のループの中にリンクのループを内包し、加えて、車両毎にIDを持たせ、車両情報を通過リンクに渡し、随時更新していくことで交通流の時間変化を再現した。車両情報の詳細は以下に示す。

ID…どのノードから発生したのかとノード毎で発生した順番が識別

OD…入力データを参照

車両種別 No…大型車・小型車・除雪車を識別

大型車混入率 45.6%

希望速度…速度分布は自由走行と仮定し、車種毎に平均値、分散を指定した正規分布で設定

大型車:平均値 101.2[km/h], 標準偏差 13.2

小型車:平均値 82.9[km/h], 標準偏差 8.12

通過経路…経路選択モデル参照

発生時刻…初期時刻は試験的にシミュレーション時間の幅の一樣分布で発生、次のリンクに移動する際に更新

到着時刻…リンク到着時に更新

整理番号…スキャン時にリンク上の車両位置関係を記録・更新

ここで、大型車混入率はOD交通量から、希望速度の平均値、標準偏差はETC2.0プローブデータから算出した。

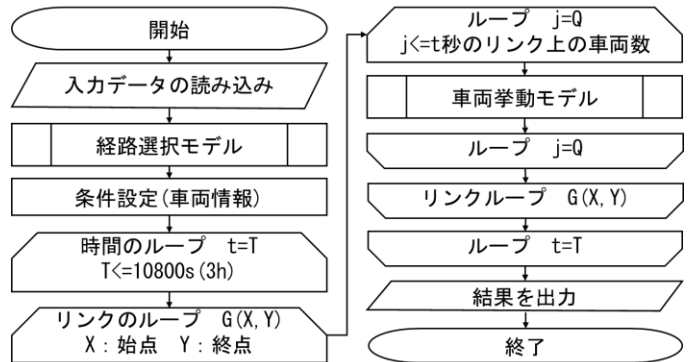


図-2 シミュレーションフロー

3.5.経路選択モデル

交通量配分の推計手法として、分割配分法、転換率法、分割・転換率併用配分法、均衡配分がある。その中でも分割配分法は OD 分割ごとに最短経路へ配分する手法で、降積雪による路面状況の悪化に伴う交通混雑を再現するのに適しており、広域ネットワークでの処理が可能なることから利用している。

分割配分法は複数回に分割をして各回のリンク所要時間を更新することで最短経路の探索を行う。リンクの所要時間更新に用いるリンクパフォーマンス関数について次式に示す。

BPR 関数：

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\}$$

ここで、 t_a ：リンク a の所要時間

t_{a0} ：リンク a の自由旅行時間

x_a ：リンク a の交通量

C_a ：リンク a の交通容量

α, β ：パラメータ

α と β のパラメータは、日本の道路規格と似ているオランダで開発された修正 BPR 関数のパラメータ値 ($\alpha=2.62, \beta=5.0$) を用いる。

3.6.車両挙動モデル

3.6.1.速度推定モデル

冬期の交通流を表現する上で、車両挙動は路面状況に応じて逐次的に変化するため、また、対象ネットワーク・期間が同じであることから井岡モデルと同様のリンク毎、スキャン毎に更新されるミクロ的な速度推定モデルを用いた。速度推定モデルと各パラメータについて以下に示す。

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$$

ここで、 y ：車両速度[km/h]

a_0 ：希望速度[km/h]

x_1 ：降雪量[cm/h]

x_2 ：積雪深[cm]

x_3 ：気温[°C]

表-1 車種別パラメータ

変数名	係数 (小型車)	係数 (大型車)
a_1	-1.787	-0.811
a_2	-0.133	-0.166
a_3	3.443	0.311

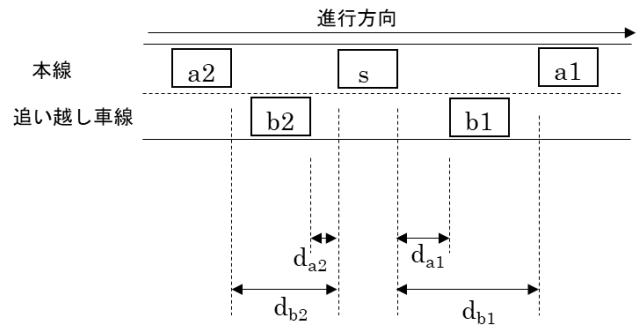


図-3 周辺車両の位置関係

3.6.2.車両挙動

井岡モデルは、1車線の道路で自由走行と追従挙動の二つの車両走行状態を再現している。だが、これだけでは、低速の車両が車群の先頭に位置している場合、所要時間が大幅に増加してしまう。対象ネットワークの閑越自動車道は2車線で低速車両の追い越しが考えられる。ゆえに、本研究では、高速道路リンクの場合、2車線に増設し、自由走行と追従挙動だけでなく、追い越し挙動を行うように改善した。追い越し挙動は塩嶋ら⁵⁾の車両挙動モデルを活用した。車両の走行状態は図-3に示すように、処理対象の車両とその前後を走行する周辺車両との位置関係によって判定する。同じ車線の前方に車両がない場合は自由走行とし、前方に車両が存在し、前方車両との車頭時間が2秒となった場合、追い越し判定を行う。追い越し判定は周辺車両との位置関係から安全に車線変更できると判断された場合、追い越し挙動を行う。車線変更できないと判断された場合は前方車両と同じ速度で追従挙動を行う。対象車両の追い越した後、追い越しから本線に復帰する際は、周辺車両との位置関係から安全に車線変更可能な場合、本線に復帰し、不可能ならばそのまま追い越し車線を走行する。

3.6.3.交差点交通制御

車両処理を行った後に信号制御処理を実行する。信号制御は、車両がスキャン時にリンク終点に到達する時のみ、つまり、先頭車のみ信号制御処理を行う。車群の先頭車両の速度が交通流に大きく影響するため、さらに、シミュレーションの処理速度も考慮した上で、先頭車両以外の信号制御処理は省略しても良いと判断した。信号処理は、国道17号と国道と高速道路を結ぶノードで信号制御処理を実行している。信号現示は、信号現示表から直進、左折、右折に加え、交差点進入方向別で設定しているため、右折専用現示といった特殊な現示パターンも再現できている。具体的な処理内容として、青・黄色信号の時は通過し、赤信号の時は停止する車両挙動になっている。黄色信号でも通行可能としたのは1秒ごとにスキャンを実行しており、信号処理を実行する際は、車両が安全に停止できないと判断したためである。車両は、車両情報にある通過経路に準じて、進行方向の信号現

示を選択する。

また、信号の有無に関わらず、車両が次のリンクに移動する際、次のリンクで先詰まりが起きている場合赤信号と同様に停止するようにした。

4. シミュレーション結果と考察

図-4、図-5 はリンク毎の車両軌跡をグラフ化したものである。シミュレーション時間は30分で交通量はOD交通量に基づいて、任意で設定した。車両軌跡は各リンクで記録されているので、全てのリンクでグラフを出力することが可能である。図-4 は一般道の2つのリンクの車両軌跡である。最初のリンクを走行している車両は0mから、途中のノードで発生した車両は8000m付近からグラフが描画されている。車両ID別でグラフの色を設定しているため、両方のリンクを走行している車両を識別することが出来き、車両情報の発生時刻に沿ったリンクの走行が適切に行われていると確認できる。一般道は1車線で低速車両が存在すると後続車は追従挙動になるため、低速車両が交通流に大きな影響を及ぼしていることが確認できる。また、リンクの終点は信号交差点になっているため、8000m付近と20000m付近でグラフがX軸と平行になり赤信号で停止していることが分かる。路面状況の悪化による速度低下で、交差点に交通量が集中し、渋滞が発生すると推定できる。

図-5 はある高速道路リンクの車両軌跡である。車両の中に低速車両の除雪車が混在しているが、高速道路は2車線で追い越し挙動を導入しているため、グラフの傾きからほとんど低速車両に追従せず、追い越しを行っていることが分かる。グラフの傾きを見ると、比較的自由走行を行っているとして取れる。これは、車両の走行状態が交通状況に左右されないことを意味していると考えられる。これは、車両の緩やかな加減速がなく、車頭間隔や前方車両が停止していた際の追い越し判断といった詳細な車両挙動が再現できていないことが要因として挙げられる。また、車両の速度分布・車両発生分布・交通量配分法が不適切で、路面状況の悪化が交通状況へ及ぼす影響を適切に表現できなかつたと考察する。

5. 結論

シミュレーション結果から新たに導入したモデルや改善した部分が適切に処理されていることが確認でき、精度の交通シミュレーションは上がったもののさらに詳細な車両挙動を考慮するべきであると考えられる。しかし、観測値との比較を行っていないため、出力結果を観測値と比較し、どの程度改善されたかシミュレーションの再現性を検証する必要がある。

加えて、車両速度推定モデルで用いた冬期条件では、逐次的に変化する路面状況を考慮するのに不十

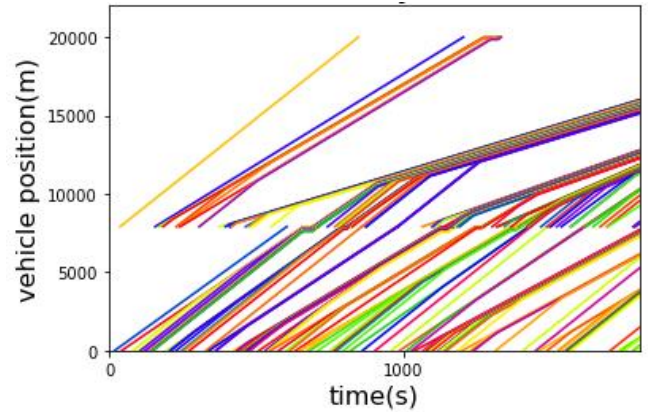


図-4 車両軌跡(一般道)

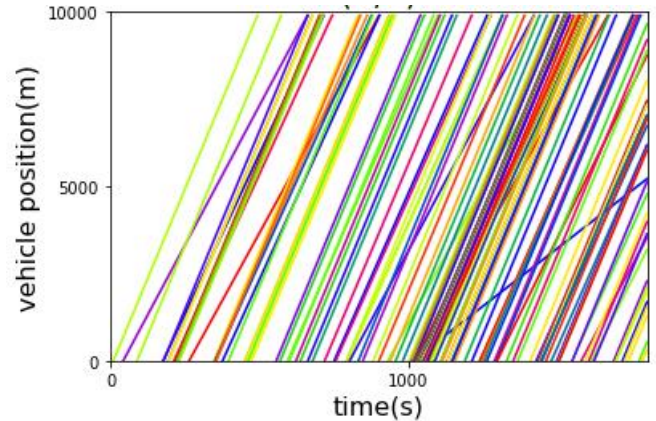


図-5 車両軌跡(高速道路)

分である。積雪量はIC毎のある地点で測定されたもので、路面積雪量とは異なる変数であると考えられる。路面積雪量だけでなく、圧雪、シャーベット、湿潤といった路面状態によっても車両挙動が異なると予想される。より詳細な路面状況の変数を導入することで、冬期の交通流の再現性が高まると考える。また、除雪車の走行も考慮してシミュレーションを実行したが、除雪車が走行した後の路面の回復は考慮できていない。除雪車が走行した後は、より自由走行に近い速度で走行できると考えられる。除雪効果をシミュレーションに反映することで、本研究の目的である集中除雪のための効果的な予防通行止めを検討に利用できるようになると考察する。

参考文献

- 1) 伊藤潤：降積雪地域における冬期交通現象に基づく道路整備評価のあり方に関する研究，2020
- 2) 大島亮：降積雪が信号交差点の交通容量へ及ぼす影響，長岡技術科学大学，2016 卒業論文
- 3) 宗広一徳，高橋尚人，浅野基樹，中辻隆：冬期追従挙動モデルによる札幌都市圏冬期交通流の再現，北海道開発土木研究所月報，No614号，2004
- 4) 井岡龍星：豪雪時の通行止め施策評価に向けた交通シミュレーションの検討，長岡技術科学大学大学院，2022，修士論文
- 5) 塩嶋耕平：暫定2車線高速道路の効果的な付加車線長および設置位置の検討，長岡技術科学大学，2016 卒業論文