

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

環境社会基盤工学専攻
都市交通研究室
修士2年 井岡龍星

1. はじめに

令和2年(2020年)12月16日(水)から18日(金)の3日間にかけてE17 関越自動車道の月夜野IC~小出ICにおいて豪雪により複数箇所で大規模な車両滞留が発生した。大規模な車両滞留に至った原因として、塩沢石打IC付近での大型トラックのスタックにより、2車線ともに塞ぐ形で動けなくなったため、上り線が通行不能となったことが挙げられる。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時間に渡った。今後、こうした車両滞留の発生を防ぐために、気象条件や路面状況によって変動する車両挙動ならびに交通流を定量的に分析することで、豪雪時の道路交通確保に向けた対策に役立つと考える。

2. 既往研究

冬期における車両挙動は積雪による路面状況の悪化により、大きな影響を受ける。さらに、事故やスタックが発生した時に通行止めなど道路規制が実施されることで夏期平常時に比べ、経路選択が変化すると推測される。これより、冬期の交通流を表現するためには、気象条件や交通規制による車両挙動の変動特性を考慮したシミュレーションモデルが必要となる。しかし、冬期の車両挙動に関する既往研究は、信号交差点や特定区間などの狭域において、晴天時と降雪時を比較する分析が多く、交通シミュレーションを用いて降積雪の影響を考慮した研究はない。また、各種施策の動的な評価を行うための様々な交通シミュレーションは開発されてきたが、積雪による路面状態の悪化や除雪車などの要因を考慮した冬期における総合的な評価をすることができる交通シミュレーションは開発されていない。

3. 研究概要・目的

本研究では、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がどのように変化するかを定量的に分析することのできる交通シミュレーションの作成を目的とする。しかし、冬期の交通流に影響を与える要因の中には、路肩堆雪による走行可能車線数の減少や降雪による視距の低下、降雪時運転経験の有無による車両挙動のバラつきなど、観測値が容易に得られない指標も多い。よって、現状で得ることが出来るデータ(降雪量、ETC2.0プローブデータ、観測リンク交通量など)を用いて、プロトタイプのシミュレーションモデルを検討する。

4. 対象ネットワークについて

立ち往生が発生した区間でODパターンを作成するために関越自動車道は月夜野IC~小出IC間を対象区間とし、その迂回経路になりうる幹線道路は国道17号と国道291号を中心とする最小限のネットワークを対象として以降の分析を進める。

5. ゾーニングの設定

本研究で対象としている道路ネットワークではとても限定的な対象区間であるため、Bゾーン(道路交通センサスOD調査の最小ゾーン単位)を基準に区分してしまうと各ゾーンの位置やサイズに偏りが生じてしまうため、調整することが難しい。そこで、ETC2.0プローブデータの様式1-2の2次メッシュ(10km×10kmメッシュ)を4等分に分割して、5km×5kmメッシュを作成し、大まかなODパターンの作成を行う。なお、ODパターンの比較はメッシュ数が多いためゾーンを9つに集約した。

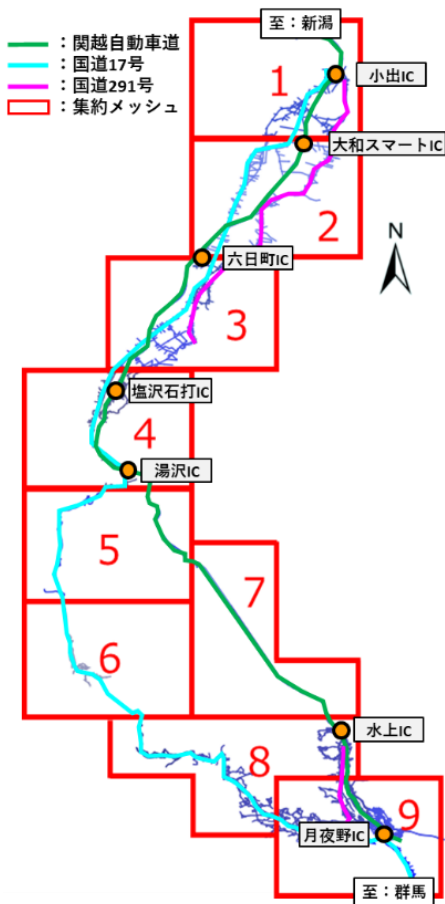


図 1 道路ネットワークとゾーン

4. OD パターンの比較

4.1 無降雪日と降雪日の比較

小型車のトリップ数は約 20%減少しているが大型車は大きな変化がみられなかった。

大型車のトリップは小型車とは異なり、トリップの増減数が小さいことから降雪による影響を受けづらいことが明らかとなった。

表 1 小型車(降雪-無降雪)

		目的								
		1	2	3	4	5	7	8	9	合計
発生	1	-14	-6	-5	-1	-1	0	0	-17	-44
	2	-10	-22	2	-3	0	0	1	-3	-35
	3	1	-7	-27	-6	0	-1	0	-4	-44
	4	-2	-1	-1	-33	0	1	0	-6	-42
	5	0	0	-2	0	-1	0	2	-3	-3
	7	0	0	1	-1	0	2	0	11	13
	8	0	0	0	0	0	-2	20	1	19
	9	-14	1	-14	-43	-10	-19	-54	-42	-195
	合計	-39	-35	-46	-86	-12	-20	-31	-62	-329

表 2 大型車(降雪日-無降雪日)

		目的								
		1	2	3	4	5	7	8	9	合計
発生	1	-16	-4	0	5	6	6	-2	208	203
	2	-9	-6	-4	1	1	0	-1	-6	-24
	3	5	0	-24	-10	1	-4	-1	-17	-50
	4	-10	0	-5	-5	1	0	-5	-4	-29
	5	-12	0	-5	-3	1	2	2	5	-10
	7	-2	0	1	3	-1	2	-2	9	10
	8	-8	0	0	1	5	1	5	8	12
	9	2	7	-70	-54	12	1	8	-13	-107
	合計	-54	-3	-107	-62	26	8	5	191	3

4.2 無降雪日と通行止め日の比較

通行止め日は小型車で約 17%、大型車で約 65%減少している。また、谷川岳 PA か～水上 IC の区間で滞留していた車両のデータを確認することが出来た。

表 3 小型車(通行止め日-無降雪日)

		目的								
		1	2	3	4	5	7	8	9	合計
発生	1	-1	0	-2	0	-1	0	1	-16	-18
	2	12	-17	-9	-1	0	0	0	1	-14
	3	8	-13	-21	-6	1	-1	0	7	-20
	4	-2	-1	0	-39	1	0	0	-8	-49
	5	0	0	-2	0	-1	0	1	0	-2
	7	-1	0	0	0	0	-1	-3	-3	-6
	8	0	0	0	2	0	-3	5	0	4
	9	-28	-2	-17	-28	0	11	-48	-88	-191
	合計	-12	-33	-51	-72	1	5	-43	-106	-292

表 4 大型車(通行止め日-無降雪日)

		目的								
		1	2	3	4	5	7	8	9	合計
発生	1	-19	3	-9	-2	-6	-2	-10	-218	-263
	2	22	-6	3	0	0	-1	-1	-14	3
	3	55	2	15	-13	-2	-6	-7	-65	-21
	4	-11	1	-4	-7	0	-1	-7	-40	-69
	5	0	0	-6	-4	-2	0	-1	-16	-29
	7	-13	1	-3	0	-6	-2	-1	40	16
	8	-18	1	-5	-1	-2	-1	-1	-33	-60
	9	-390	-18	-143	-108	-13	-46	-61	-590	-1367
	合計	-378	-16	-152	-135	-31	-59	-89	-936	-1794

5. OD 交通量の推定

5.1 ETC2.0 の搭載率から拡大

都道府県ごとに ETC2.0 の搭載率が違うため各都道府県で登録されている車両台数と ETC2.0 セットアップ数から各トリップの ETC2.0 搭載率を求め、拡大を

行った。しかし、小型車は約0.5~1.5倍、大型車は約9.0~13倍と車両種別によって、大きく異なる結果となった。対象区間において大型車のサンプルが非常に多く、搭載率に偏りが生じているため、過大な拡大になったと考えられる。よって、搭載率での拡大からOD交通量を推計することは難しい。

5.2 残差平方和モデル

各路線の利用率を活用してOD交通量を推計する手法である残差平方和モデルを検討する。リンク交通量の推定値を実績値に近接するように補正を行うことが出来る。残差平方和モデルは次式により求めた。

$$\sum_a (\sum_i \sum_j X_i h_{ij} P_{ij}^a - V_a)^2 + \sum_i (X f_i - X_i)^2 \Rightarrow \text{Min}$$

X : 総トリップ数

X_i : ゾーン*i*の発生交通量

f_i : ゾーン*i*の発生交通量比

V_a : リンク*a*の観測交通量

P_{ij}^a : OD交通量*ij*のリンク*a*の利用率

h_{ij} : ゾーン*i*からゾーン*j*への目的地選択確率

6. シミュレーションモデル

本シミュレーションモデルは、Pythonを用いて作成を行う。スキャン単位時間を1秒として、スキャン毎に各車両の状態を更新していく処理を行う。

6.1 入力データ

道路構造データや主要な交差点の信号制御データに加え、冬期交通流を表現する上で、重要である降雪量や除雪車設定などを入力する。また、交通需要データにOD交通量を用いるが、観測値が存在しなため、ETC2.0データからODパターンを作成し、残差平方和の統合モデルを用いて、OD交通量の推定をした。

6.2 対象ネットワークの構造

シミュレーションに必要なデータである道路構造データ(ノード位置、リンク長、ネットワーク構成)を図-2に示す。各ノードの位置設定は、対象区間内のあるICと国道17号に位置かつICから直近の交差点のみとする。また、各リンクの延長は「全国デジタル道路地図データベース 標準データ」を用いて算出した。

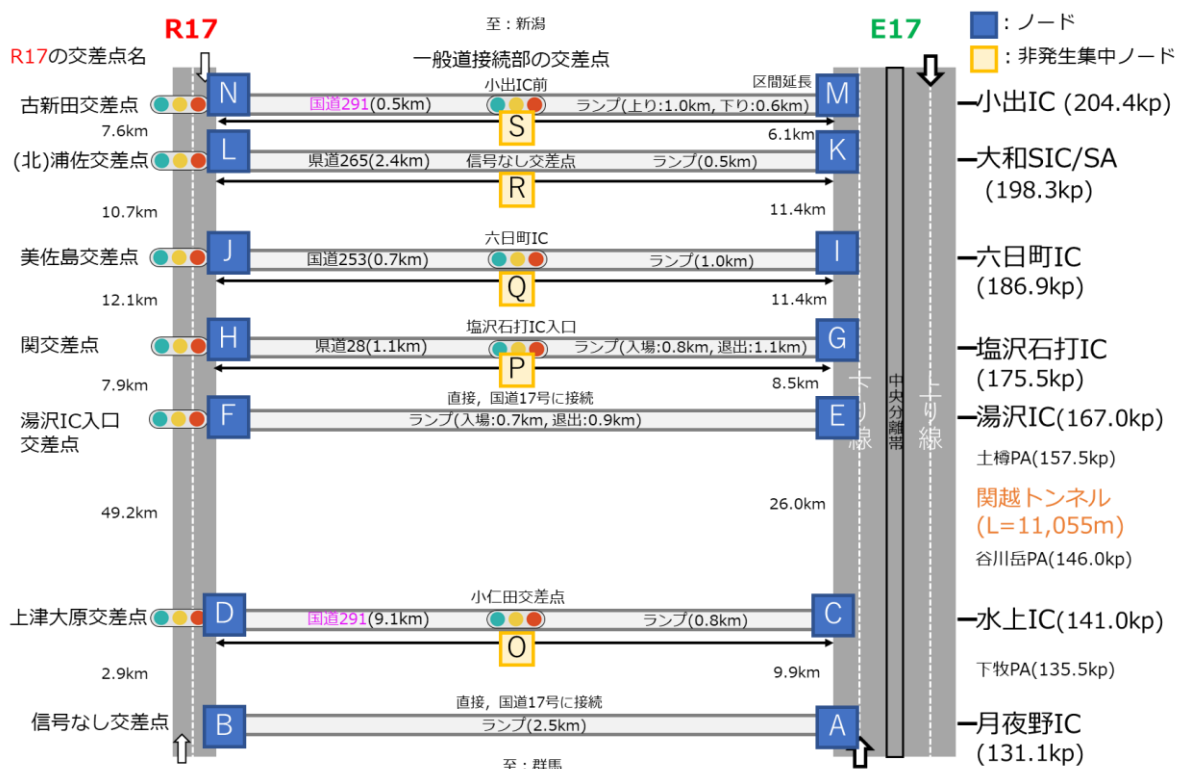


図 2 簡易ネットワーク

6.3 交通量配分

ネットワークレベルで施策を評価する上で、特定の時間間隔に発生する車両がどの経路を通るかをモデル化する必要がある。配分交通量推計手法の1つである分割配分法を用いる。各OD間で一度に交通量を配分するのではなく、これをn回に分割して、各回でリンクパフォーマンス関数を用いて、リンクコストを更新し、最短経路探索を行い配分する。リンク交通量の増大に伴い、リンク所要時間も長くなるため、混雑リンクを迂回する行動を再現できる。

6.4 車両速度推定モデル

冬期の車両速度は、道路構造や交通量、大型車混入率に加え、路面上に積もる雪が大きく影響する。よって、降雪データによる積雪量の増加分と除排雪作業による減少分から路面積雪量を推定し、モデルに組み込むことで路面積雪量の影響を考慮した速度推定モデルの構築を行うことが出来る。車両速度推定モデルを用いることでスキャン毎、リンク毎に更新される路面積雪量の影響を考慮した逐次的に変化する車両挙動の再現が可能となる。

6.5 除雪車の設定

除雪車の出動は、現場の気温や路面状況、気象予報などから判断されているがシミュレーション内の除雪車の設定は、リンクの路面積雪量に閾値を決め、出動させる。また、当該区間において2台梯団除雪体制が多く締めているため、除雪中は一般車が除雪車を追い越し禁止とし、必ず追従させるように設定する。

7. シナリオ

本研究の最終目的である冬期交通流の再現に向けて、核の部分である「逐次的路面状況の変化」に対応した交通流の表現が出来ているかを検証する必要がある。そのため、降雪量や除雪車の影響がリンク単位で、一般車(普通車+大型車)がどの程度の遅れているのかを検証するために、入力する交通需要を同一としたときに、降雪や除雪車の条件など冬期要因を

入力したものとそうでないものの2ケースでシミュレーションを行った。以下、各項目の設定を示す。シミュレーション時間は、計3時間で2020年12月15日0時~3時の時間帯に該当するOD交通量を入力した。理由として、無降雪日と比べ、交通量があまり変わらず、かつ集中降雪の降り始めの時間帯であるため、より雪が車両挙動に与える影響が強いと判断したため、この時間帯を選択した。また、除雪車の走行速度に関しては、除雪車の履歴データから平均速度を求めたところ、約30km/hで走行していることが明らかとなったため、本研究では30km/hで設定した。

表5 シナリオ設定

時間設定		
シミュレーション時間	3	[h]
車両情報の初期値		
大型車混入率	45.6	[%]
小型車速度	101.2	[km]
小型車標準偏差	13.8	[km]
大型車速度	82.9	[km]
大型車標準偏差	8.12	[km]
除雪車	30	[km]

8. シミュレーション結果

各リンクの所要時間と冬期要因の影響による所要時間の増大比率に下の図に示した。また、降雪によるリンク交通容量の低下で大きく配分が変わることがなかったため、同じリンク交通量を需要としてシミュレートした。これは通行止めを行わないと経路選択が変動しづらいといえる。降雪日と無降雪日の所要時間比から、全リンクを通して、降雪による路面環境の悪化や除雪車への追従により、各リンクの所要時間が約2~4倍に増加している。また、水上ICへ入場するリンクと湯沢ICから退出するリンクの遅れ時間が増加しているため、三国峠(国道17号)を迂回する行動が確認できた。

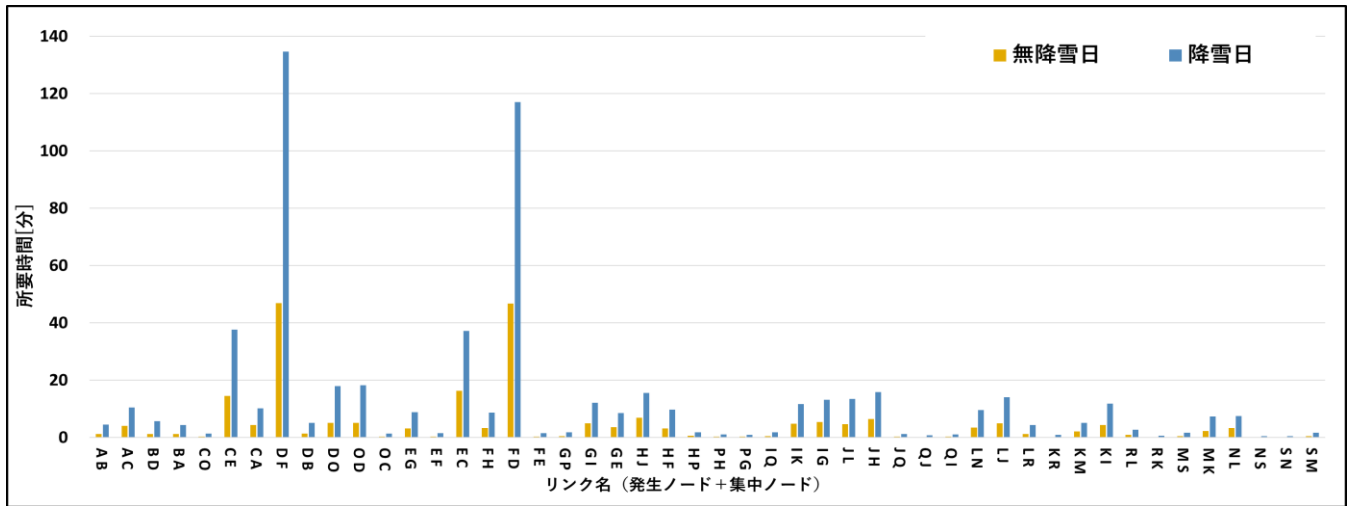


図3 リンクごとの所要時間

無降雪時に対する降雪時の平均旅行時間の倍率

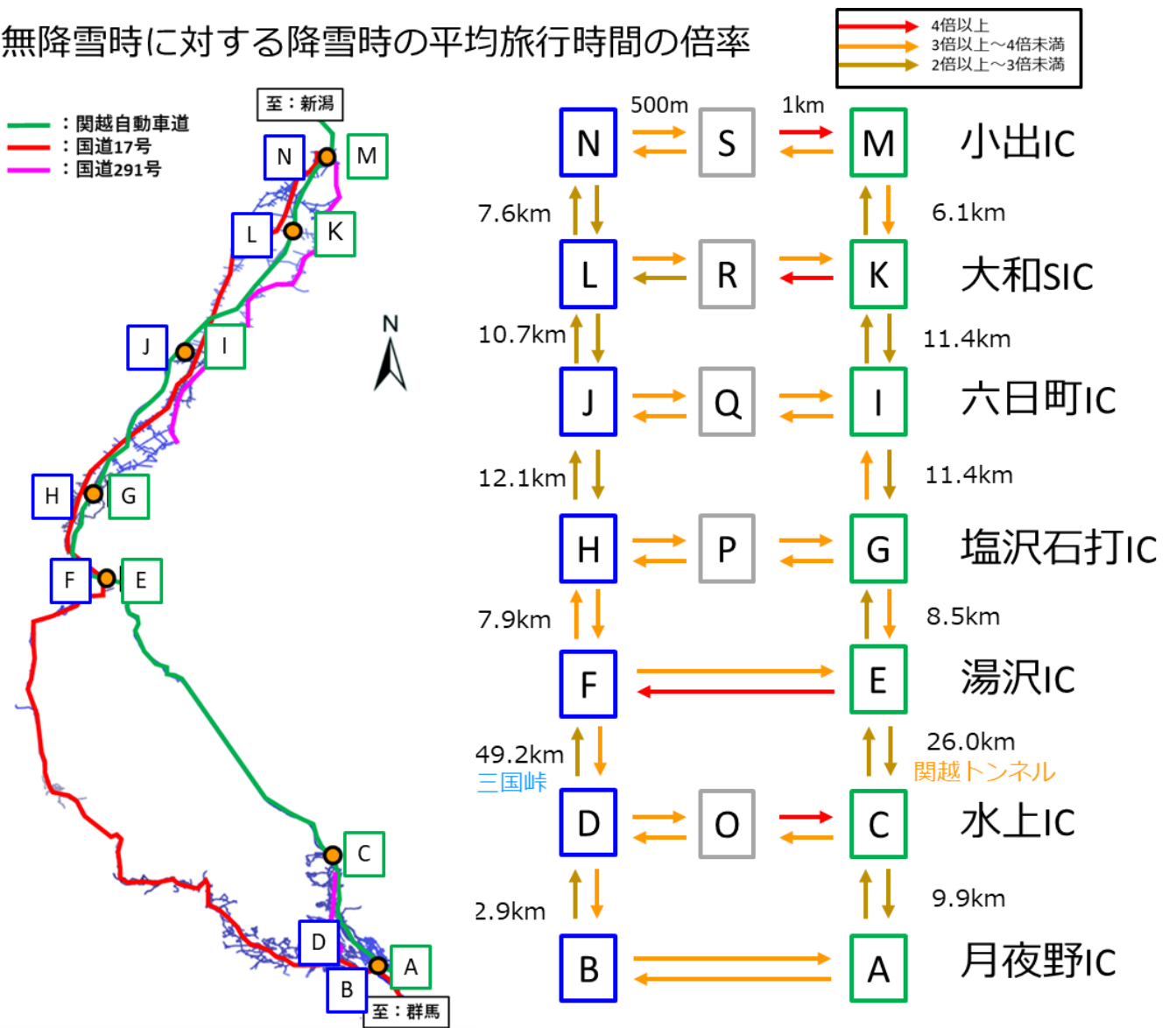


図4 各リンクの降雪による遅れ時間

9. 観測値とシミュレーション値の比較

9.1 リンク交通量

分割配分法(静的な経路選択モデル)で得ることが出来る各リンク交通量の観測値を集計し、観測値との比較をした結果を示す。

高速道路道路において、北部と南部のリンクにおいて交通量が増加する傾向にあり、中間のリンクでは1000台ほど利用者が減ることが分かった。一方、シミュレーション値は、リンク交通量は逆の傾向を示しており、観測値のリンク交通量との差は約3000~400台少ない結果となった。

国道17号の三国峠にあたる浅貝・八木沢では、観測値の2倍ほど交通量が多く配分されている結果となった。また、六日町では、対象区間の中で一番ネットワークが細かい箇所に位置しているリンクであるため、実際の交通傾向として短いトリップ(同じノード間の内々トリップ)が多いが、本モデルは任意で決めたのノード間のトリップしか考慮できていないため、シミュレーション値が観測値に対して大きく乖離していると考えられる。

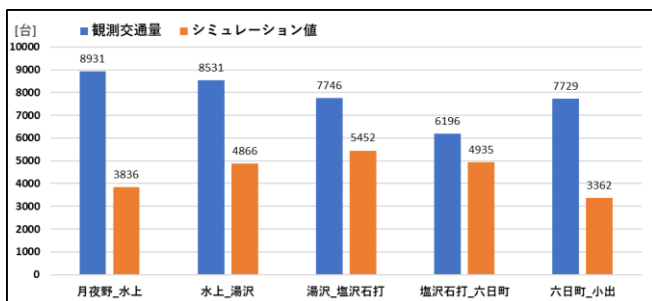


図5 関越道の観測値とシミュレーション値

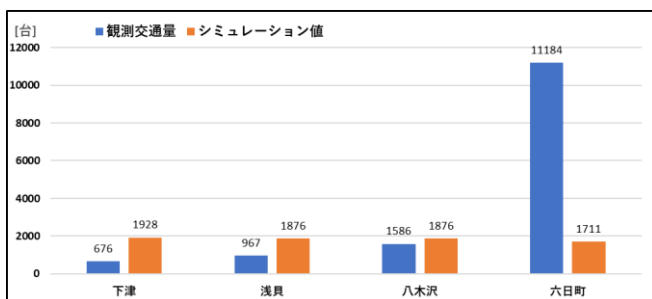


図6 国道17号の観測値とシミュレーション値

9.2 平均速度

ミクロな車両挙動モデルで取ることが出来る各リンクの平均速度を観測値と比較し、下の図に示す。全体的な傾向として、上下線別で平均速度に大きな差はなく、シミュレーション値も同様に上下別の速度差は少なかった。

高速道路において、湯沢より北に位置するリンクにおいて、速度差が6km/h以下と対象区間内のシミュレート結果の中では、一番精度が良かった。一方、湯沢より南に位置するリンクにおいては、観測値に対して約25km/hほど低い値を示した。

国道17号では、高速道路に比べて精度の良い速度とはならなかった。この結果に対する一番の要因は道路環境のばらつきを考慮しきれていない事が挙げられる。特に、湯沢を境に、南北でネットワークの規模や道路構造(道路線形, 車道幅員)など道路環境に差があるため、道路環境の設定をより細かく組み込む必要がある。

以上のことから、高速道路の一部リンクにおいて、精度が良いと言えるが、全体的に観測値との速度の差が生じている。これは、高速道路の入退出レーンや交差点接続部など大きな加減速を伴う車両挙動を考慮できていないため、観測値と乖離していると考えられる。

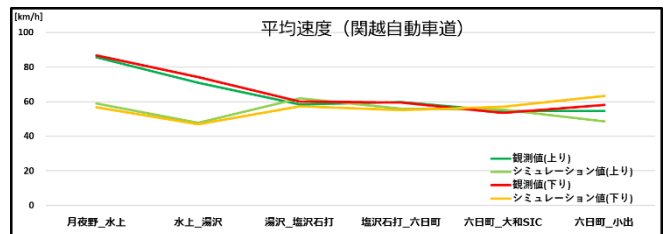


図7 関越道のリンク別平均速度

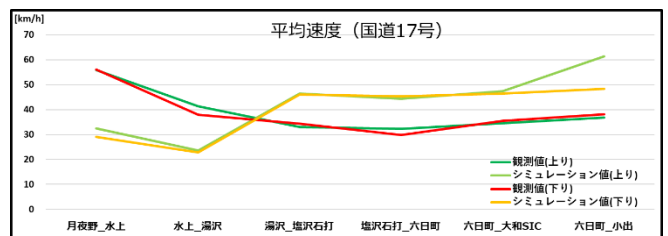


図8 関越道のリンク別平均速度

10. まとめ

ETC2.0 を活用したODパターンの比較により、対

象区間の内の交通特性が明らかとなった。降雪日において、小型車が約20%減少するのに対して、大型車のトリップ数に変化が見られなかった。高速道路の通行止め日では、車種問わずトリップを中止する行動変容が見られた。また、ETC2.0プローブデータは、長時間の滞留によりやむを得ずエンジン停止をしている車両に対してもトリップが途切れたり欠損するしたりすることなくデータを取得できることが明らかとなった。このことにより、将来的にETC2.0プローブデータがリアルタイム化されたときに「降雪による突発的な立ち往生」のような把握しにくい情報を迅速に取得できるようになり、道路確保に貢献できると考える。

ODパターンから逆推計するOD交通量については、対象地域の特殊さと、冬期の不確定要素を含むため、「搭載率による拡大」と「残差平方和の最小化モデル」の2軸で検討を行った。搭載率による拡大では、路線ごとに普及率に偏りが生じており、特に大型車の普及率が高かったため、過大な拡大となってしまった。一方、残差平方和の最小化モデルでは、OD交通量や全トリップ数などの現況値の取得が困難なことから、現時点で細かな精度を検証する方法はないが、観測リンク交通量を基に量的変数を推定し、発生交通量比や目的地選択確率など料亭変数でないものはETC2.0プローブデータから取得し、モデルに必要な変数の算出を行った。対象地域のように、交通に関する情報がすくなくとも推計可能であるといえる。

将来的に冬期交通流の再現を踏まえた冬期交通シミュレーションの作成では、交通量配分に静的配分である分割配分法を採用した。降雪による交通容量の低下など、冬期の指標を組み込みやすかったため採用した。車両挙動モデルは、逐次的に変化する路面状態を考慮するためにマイクロモデルで作成した。追従モデルへの除雪車の導入や降雪量の変数を加えた速度推定モデルなど、冬期の指標が車両挙動に与える指標が組み込むことが出来た。

11. 今後の課題

シミュレーションに内蔵する経路選択モデルは、現在採用している静的モデルを拡張する場合、交通

容量のブラッシュアップや、ボトルネックとなりうる箇所(交差点や料金所など)を導入することで、より現実に近づいた配分をすることが出来るため、それらを中心にモデルの修正を進めていく。しかし、分割配分法以外のモデルで「逐次的に変化する外生的な要因を考慮できる動的モデル」や「利用者の不確実性を考慮した確率的な経路選択モデル」など、何に重点を置かか今後のアプローチの仕方が変わるため、引き続き検討する必要がある。

ミクロな車両挙動モデルで考慮する逐次的な道路環境の変化は、不確定な要素が多く、かつタスクが多いため、優先度の高い順から拡張を進めていき、1つ1つの影響要因をクリアにしていくことが重要である。

したがって、本研究では冬期交通流の再現に向けたプロトタイプ交通シミュレーションを作成したが、現段階では、当該地域のような交通実態の調査が難しい場所での適用や、観測では容易に得ることが出来ない指標を組み込むことが出来ていないため、今後、どのような指標が必要なかを吟味し、工学的に許容できる範囲内でパラメータのキャリブレーションを行うことで精度向上に努める必要がある。

また、地域的に観測値が少ないことから、信頼性のある情報が少ないため、現時点でモデルの精度を評価できる指標が少ない。よって、今後のデータ取得技術の発展と共に、拡張速度の向上が期待できる。

参考文献

- 1) 國分恒彰・倉内文孝・嶋本寛・飯田恭敬・船本洋司・栄徳洋平:ETC2.0を用いたOD交通量逆推定, 第53回土木計画学研究発表会・講演集
- 2) 立石亮裕:観測交通量を用いたOD交通量推計手法の実務適用に関する研究 2014.3
- 3) 土木学会編「交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—」社団法人土木学会、pp241-263、1998
- 4) 田辺啓輔:除雪車の行動を考慮した一般車両の走行速度推定, 2021 土木計画学研究・講演集
- 5) 青山恵里:信号交差点における飽和交通流率の変化とその要因に関する研究, 2020 日本大学大学院理工学研究科博士後期課程