

VISSIM を用いた自動運転車が冬期交通に与える影響に関する研究

A Study on Evaluating the Impact of Automated Vehicles on Winter Traffic Using VISSIM

北海道大学工学部 環境社会工学科 ○学生員 小島 怜 (Kojima Rei)
北海道大学工学院 工学研究院 正 員 萩原 亨 (Toru Hagiwara)
北海道大学大学院 工学研究院 正 員 高橋 翔 (Sho Takahashi)
室蘭工業大学大学院 工学研究科 正 員 有村幹治 (Kanji Arimura)
北海道大学大学院 工学院 学生員 和田脩平 (Shuhei Wada)

1. 背景と目的

近年、世界中で冬期交通の自動運転車の（以後、AVと表記）実用化へ向けた取り組みが進められている。¹⁾
²⁾実用化が叶えば、運転者の負担の軽減や強靱な交通ネットワークの提供が期待されている。一方、冬期走行の危険性や AV が普及段階であることから、実地での走行実験は行うことが難しい。そのため、実地でなくても測定を行うことが可能な、シミュレーションの活用的重要性が近年高まっている。

本研究ではシミュレーションソフト VISSIM (Version n:11.00-14) を用いて AV が冬期交通に与える影響を評価する。規制速度、交通量、自動運転車とドライバによる運転 (Vehicle Type) の 3 条件によってシナリオを決定し、道央自動車道、札幌 JCT から旭川鷹栖 IC 間を走行する車両の平均旅行時間を算出する。AV が冬期に走行できる環境となる遅い速度と低い加減速度を考慮した中で、AV が冬期交通に与える影響を考察する。

2. Vehicle Type の設定

2.1. VISSIM について

本研究では、シミュレーションソフト VISSIM を用いて AV が冬期交通に与える影響を調査する。VISSIM はドイツ PTV 社の交通シミュレーションソフトである。VISSIM は、車や道路といった要素の自由な設定から全体の交通に与える影響を調査が可能である。VISSIM では、内蔵されている Internal Model によって車の運転を制御している。Internal Model には、都市交通に適用される Wiedemaan74 と高速道路に適用する Wiedemaan99 の 2 種類がある。本研究では Wiedemaan99 を使用する。準備として、走行車両として用いる 4 種類の Vehicle Type の定義と夏期・冬期交通を再現するための減速度・加速度の設定を行った。

2.1. Vehicle Type

Wiedemaan99 にはいくつかのパラメータが定義されており、それによって運転を制御している。走行する車種を表す Vehicle Type を Wiedemaan99 のパラメータから定義する。Vehicle Type は従来車（以後、Conventional）と安全志向の運転や車間を詰めたアグレッシブな走行など、走行状態によって分類した 3 種類の AV (Cautious、Normal、All-Knowing) の計 4 種類がある。Vehicle Type の特徴や定義について説明する。

2.1.1. Conventional

ドライバが運転する車両を Conventional と呼ぶ。Wiedemaan99 のパラメータを一切変更しない Default の状態を Conventional とした。

2.1.2. AV（自動運転車）

AV の設定は、自動運転の普及を目的に欧州で活動しているプロジェクトである CoExist の提案に基づいて実施した。CoExist は欧州各地域の組織が連携して活動しており、その一つに VISSIM を活用したものがある。その中で、安全志向や一般的、アグレッシブなど走行状態によって 3 種類の AV を定義し、それぞれに対応した Wiedemaan99 のパラメータを表 1 に示す³⁾。

2.1.3. 3 種類の自動運転車 (Cautious・Normal・All-Knowing)

自動運転の状況によって分類された 3 種類の AV の Vehicle Type の特徴を以下に示す。

・Cautious

車両は常に道路交通法を守り、安全な運転を順守する。また車間距離を大きく開けて運転することが特徴である。車間距離を決定する CC0(Standstill Distance)や CC1(Spacing Time)はそれぞれ 1.5(m)、1.5(sec)と、ほかの AV と比較して大きい。加速度に関連する CC8(Standstill Acceleration)や CC9(Acceleration at 80 km/h)は他と比べて小さい設定となっている。

表 1 Vehicle Type 別の Wiedemaan99 のパラメータ

Parameter	Conventional	Cautious	Normal	All-knowing
CC0-Standstill Distance (m)	1.5	1.5	1.5	1
CC1-Spacing Time (sec)	0.9	1.5	0.9	0.6
CC2-Following Variation (m)	4	0	0	0
CC3-Threshold for entering "following" (sec)	-8	-10	-8	-6
CC4-Negative "following" threshold (m/sec)	-0.35	-0.1	-0.1	-0.1
CC5-Positive "following" threshold (m/sec)	0.35	0.1	0.1	0.1
CC6-Speed dependency of oscillation (10 ⁻⁴ rad/sec)	11.44	0	0	0
CC7-Oscillation Acceleration (m/sec ²)	0.25	0.1	0.1	0.1
CC8-Standstill Acceleration (m/sec ²)	3.5	3	3.5	4
CC9-Acceleration at 80km/h (m/sec ²)	1.5	1.2	1.5	2

・ Normal

周辺の車両との距離や速度を感知し、ドライバに近い運転を想定している。車間距離や加速度に関するパラメータは Cautious と All-knowing の中間であり、Conventional と一致する。

・ All-Knowing

周辺環境や並走する車両に対する高い認知や予測をして運転する。また車間距離が小さいことが特徴である。車間距離に関わる CC0 や CC1 はそれぞれ 1(m)、0.6(sec)と小さく、加速度に関わる CC8 や CC9 は 4(sec)、2(sec)と大きく設定されている。

これら3種類の AV の中で、Cautious が最も車間距離が長く、安全運転となっている。一方、All-knowing は車間距離が最も短く、アグレッシブな運転と位置づけられる。Normal は2つの中間の運転である。

3. 冬期交通の設定

冬期交通では、路面の圧雪や凍結といった運転環境の変化が原因で走行中の減速度・加速度が減少する。このことから、冬期交通を再現するために、夏期と比べて減速度・加速度に関するパラメータを低く設定した。本節では減速度・加速度に関するパラメータの説明と設定が車両の追従に与える影響を調査した結果について示す。

3.1. 減速度

減速度の設定は、速度規制区間の減速度の設定から行った。VISSIM では、道路に速度規制区間の作成が可能であり、区間内での減速度を設定できる。

3.2. 加速度

VISSIM では希望加速度 (Desired Acceleration) (図1) によって車両の加速度を設定する。図1は Desired Acceleration の設定画面である。

横軸が速度(km/h)、縦軸が加速度(m/sec²)を表す。赤丸は各速度に対応する加速度である。図3では速度 0.0 (km/h)のとき、赤丸が加速度 3.0(m/sec²)の位置にプロットされている。一方、速度が 30(km/h)のとき、加速度は 2.0(m/sec²)となっている。速度が高くなると加速度が減少する設定となっている。今後 0(km/h)の時に加速度が 3.0(m/sec²)となるグラフを「3.0-0(km/h)」のように表現する。

3.3. 減速度・加速度と追従に関する測定

3.3.1. 測定方法

冬期の路面を考慮するため、低い減速度・加速度が車両の追従に与える影響を2台の車両を用いて検証した。VISSIM で1車線、1,000 (m) の走行コースと速度の設定をした(図2)⁴⁾。この走行コースに、先行車と追従車両の2台を用意する。追従車は先行車の挙動に合わせて追従する。測定開始時、先行車は追従車と 25(m)離れた位置にいる。開始と同時に2台とも 60(km/h) まで加速する。先行車は 400(m)地点で時速 30(km/h)に減速する。追従車はそれに追従する。その後、先行車は 700 (m)地点で再び 60(km/h)まで加速する。30(km/h)の速度

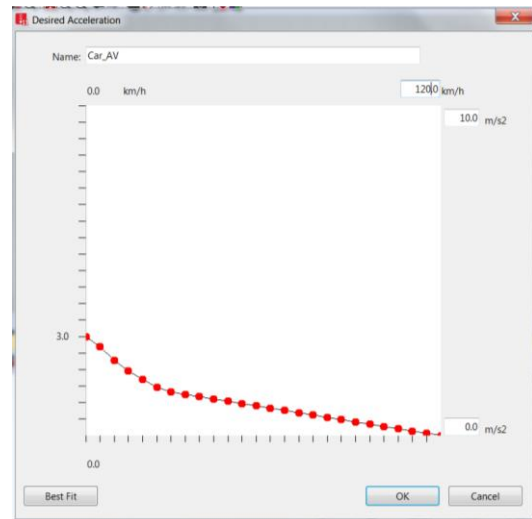


図1 Desired Acceleration の設定画面

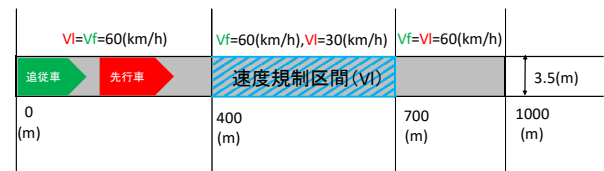


図2 走行コース

で走行する区間を青色で示す。シミュレーションは、さまざまな減速度・加速度を組み合わせで実施した。4種類それぞれの Vehicle Type における先行車と追従車の関係とそれぞれの速度(km/h)と車間距離(m)を求めた。

3.3.2. 減速度に関する測定と結果

減速度が追従に与える影響を調べた。減速度として 0.5、1.0、1.5、2.0(m/sec²)の4種類を想定し、先行車の速度、追従車の速度、車間距離を求めた。

図3は、Conventional の先行車の位置と速度の関係を表している。先行車は速度規制区間である 400(m)から 700(m)の区間で 30(km/h)となるように減速することがわかる。そのため、減速度が小さいほど減速のタイミングが早くなる。また、3つの自動運転による Vehicle Type の場合も Conventional と同様の結果となった。

図4は、Conventional の追従車の位置と車間距離の関係を表している。追従車は先行車の減速に合わせて減速し、速度に合わせて車間距離も減少した。車間距離が短くなるタイミングは減速度が小さいほど早くなった。自動運転時における先行車と追従車の車間距離は Vehicle Type によって異なり、AV の車間距離は Cautious > Normal > All-knowing の順となった。AV は減速前、独自の車間距離をとる。それから減速し、車間距離が短くなる追従となった。

3.3.3. 加速度に関する測定と結果

加速度は Desired Acceleration(m/sec²)として 3.0-0(km/h)、2.5-0(km/h)、2.0-0(km/h)、1.7-0(km/h)の4つを作成した。3.0-0(km/h)に近いほど全体的な加速度が大きくなり、1.7-0(km/h)に近いほど小さくなる。加速度ごとに、

4

つの Vehicle Type で先行車の速度、追従車の速度、車間距離を求めた。

図5は、Conventional の先行車の位置と速度の関係を表している。先行車は速度規制が終了する 700(m)の地点で 30(km/h)から 60(km/h)に加速する。その際、加速度が大ききほど 60(km/h)に戻る時間が最も短くなった。その中で、最も遅い 1.7-0(km/h)加速度のとき、1,000(m)付近に進んでも追従車の速度は 60(km/h)まで回復できない結果となった。AV の3つの Vehicle Type の場合も Conventional と同様であった。

図6は、Conventional の追従車の位置と車間距離の関係を表している。700(m)の加速開始地点から車両の車間距離が長くなった。加速度が大ききほど車間距離が長くなる時間が短くなった。その中で、最も遅い 1.7-0(km/h)加速度のとき、1,000(m)付近に進んでも先行車と追従車の車間距離は 15(m)程度となり、スタート直後の 20(m)より短くなった。先行車の速度が 60(km/h)にならないことが影響していると言えた。また、AV の車間距離の大小は Cautious>Normal>All-knowing の順となった。30(km/h)となる区間での車間距離の変動は生じなかった。

3.3.2. 冬期における減速度と加速度

先行車と追従車の2台を用いた減速と加速のシミュレーション結果から、冬期を想定した低い減速度・加速度で4種類の vehicle-type と追従している状況を再現したことが分かった。そこで、札幌旭川間での減速度の設定は夏期 2.0(m/sec²)、冬期 0.5(m/sec²)とした。また、札幌旭川間での加速度の設定では夏期 3.0-0(km/h)、冬期 1.7-0(km/h)とした（これらの加速度の範囲は、図1に示すように、加速するときの速度によって異なることを意味している）。

4. 道央自動車道・札幌旭川間の測定

4.1. 走行シナリオ

道央自動車道の札幌 JCT から旭川鷹栖 IC の間を対象とし、冬期における自動運転車の交通状況を計測した。自動運転車が冬期の交通に与える影響について分析するために用いたシナリオは、以下の規制速度・交通量・Vehicle-type の3つとした。

・規制速度

夏期：札幌～深川間 100(km/h)、深川～旭川間 80(km/h)

冬期：札幌～旭川間 80(km/h)、60(km/h)、50(km/h)

・減速度

夏期：2.0(km/h)、冬期：0.5(km/h)

・加速度

夏期：3.0-0(m/sec²)、冬期：1.7-0(m/sec²)

・時間方向別交通量：500、700、1,000(veh/h)

・Vehicle Type :

Conventional、Cautious、Normal、All-knowing の4種類シナリオごとのシミュレーション時間は4時間(14,400(sec))とした。札幌から旭川に到着した車両に関する走行データ(固有の ID、旅行時間(sec)、Simulation Time(測定開始からかかった時間)(sec))を出力した。

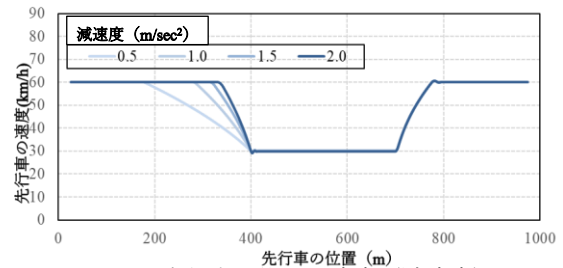


図3 先行車の位置と速度(減速度)

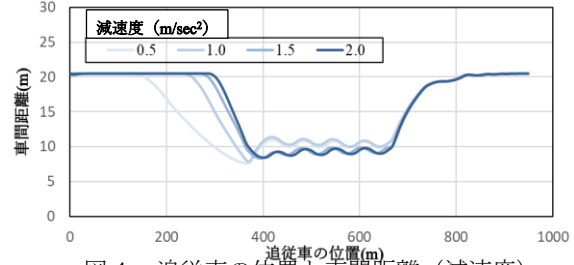


図4 追従車の位置と車間距離(減速度)

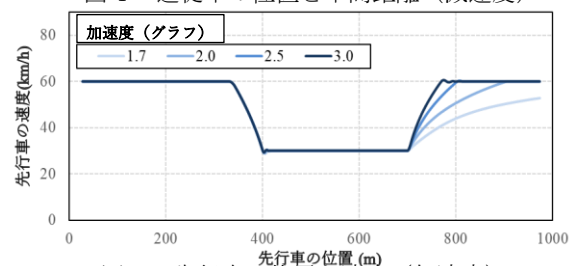


図5 先行車の位置と速度(加速度)

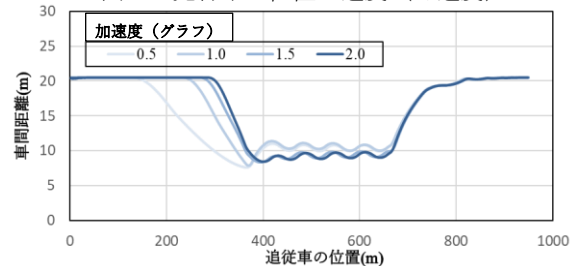


図6 追従車の位置と車間距離(加速度)

(A)夏期：700(veh/h), 100(km/h) (B)冬期：700(veh/h), 50(km/h)

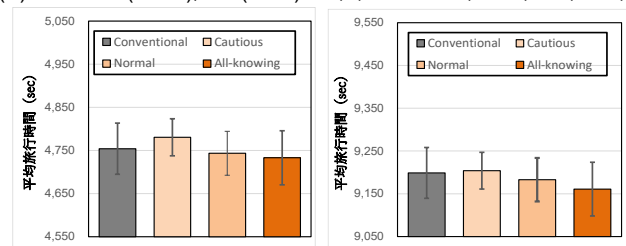


図7 Vehicle-type 別の平均旅行時間

(A) Conventional

(B) All-knowing

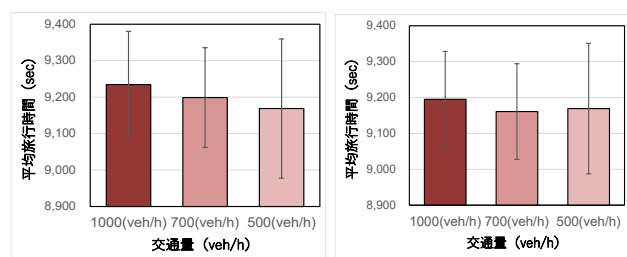


図8 冬期(50km/h)における車種別の平均旅行時間

分析には、交通流が安定していた状況で旭川に到着した車両の100台の出力を用いた。例えば、旭川に到達した車両が1,000台であった場合、到着した順番が451番目から550番目の車両とした。

4.2.平均旅行時間に関するシミュレーション結果

図7(A)は夏期・700(vch/h)、図7(B)は冬期(50km/h)・700(vch/h)の結果をVehicle Typeごとにそれぞれまとめたものである。図7(A)から、夏期、700(vch/h)では平均旅行時間の大きさがCautious>Conventional>Normal>All-knowingの順になる。また、標準偏差の大きさはAll-knowing>Normal>Conventional>Cautiousの順となった。

図7(B)から、冬期(50(km/h))・700(vch/h)では平均旅行時間の大きさが夏期と同様にCautious>Conventional>Normal>All-knowingの順になる。また、標準偏差の大きさはCautious>All-knowing>Conventional>Normalの順となった。

平均旅行時間は夏期がVehicle Typeごとに4,750(sec)以上あたりであるが冬期(80(km/h))では9,150(sec)以上である。このように平均旅行時間は夏期がもっとも短く、冬期は規制速度が小さくなるほど平均旅行時間が長くなった。AVのみに着目すると夏期と冬期(80km/h)どちらの運転環境下でもCautious>Normal>All-knowingの順で旅行時間が減少しており、これはどの規制速度でもいえた。平均旅行時間の標準偏差は、図7(A)では最小値がCautiousの18.9、最大値がConventionalの58.2である一方、図7(B)では最大値がCautiousの141.6、最小値がNormalの132.8と全体的に増加することがわかる。このように夏期と比較して、冬期の規制速度が遅くなるほど標準偏差が大きくなった。

交通量ごとに比較すると、交通量が1,000台のとき冬期(60,80(km/h))では、3種類のAVがConventionalと比較して旅行時間が短くなった。一方、夏期と冬期(50(km/h))では、ConventionalよりCautiousの旅行時間が長く、All-knowingが短くなった。交通量が700台のとき冬期(80(km/h))では、Conventionalの旅行時間が3種類と比較して最も短くなった。一方で夏期や冬期(60,50(km/h))では、ConventionalよりCautiousの旅行時間が長く、All-knowingの旅行時間は短くなった。交通量が500台のときの夏期と冬期(80,50(km/h))では、ConventionalがほかのAVと比べて最も旅行時間が短くなった。冬期(60(km/h))ではConventionalよりCautiousの旅行時間が長く、Normal, All-knowingで短くなった。

図8(A)は冬期(50(km/h))・Conventional、図8(B)は冬期(50(km/h))・All-knowingの結果を交通量ごとにそれぞれまとめたものである。図8(A)から、冬期(50(km/h))、Conventionalでは平均旅行時間の大きさが交通量の大きいほど大きくなった。また標準偏差は500>1,000>700の順で大きくなった。図8(B)から、冬期(50(km/h))、All-knowingでは平均旅行時間の大きさは1,000>500>700の順となった。また標準偏差は500>1,000>700の順で大きくなった。

冬期(50(km/h))のとき、平均旅行時間の大きさは図8(A)のようにAll-knowingを除いた3種類のVehicle

Typeでは交通量の大きい順で増加した。一方、図8(B)のようにAll-knowingのみ1,000>500>700の順で増加する。標準偏差の大きさは図8に示すようにどのVehicle Typeであっても500>1,000>700の順で大きくなった。

速度規制ごとに比較すると、夏期のとき、交通量が減少するにつれてどのVehicle Typeでも旅行時間は短くなった。冬期(80(km/h))のとき、交通量が1,000台から700台に減少すると旅行時間もそれに伴って短くなった。しかし、700台から500台に減少すると再び旅行時間が長くなった。旅行時間は500台のときより1,000台のときのほうが長くなった。冬期(60(km/h))のとき、交通量が減少するとどのVehicle Typeでも旅行時間は短くなった。冬期(50(km/h))のとき、All-knowingのみ交通量が1,000台から700台に減少すると、旅行時間も短くなった。一方、700台から500台の間で旅行時間が増加する。その他では、交通量が減少するにつれて旅行時間が減少した。

5. まとめ

本研究では、AVの走行が冬期交通に与える影響をVISSIMのシミュレーションによって調査した。全体の結果として平均旅行時間は、夏期は札幌旭川間にかかる時間の方が冬期より短くなった。冬期の中でも規制速度が遅くなるほど旅行時間と標準偏差は増加した。またAVに注目するとCautious、Normal、All-knowingの順で旅行時間が短くなった。

また、交通量が500(vch/h)と700(vch/h)のときの冬期交通に注目する。このとき、All-knowingであればConventionalよりも早く旭川に到着し、Cautiousは遅く到着した。All-knowingは車間距離の短いアグレッシブな走行を行い、Cautiousは車間距離を長く安全な走行をする。これらの結果は、冬期の道路環境に応じて自動運転の方法を使い分けることで、AVでもドライバによる車両と同じような冬期交通が可能となることを示唆している。

今後、3種類の自動運転車に加え、新たに北海道の冬期状況に即した挙動を行うオリジナルの自動運転車を開発し、冬期における自動運転車の走行が冬期交通に与える影響をさらに探っていきたい。

参考文献

- 1) GARCIA, Vince, et al. *Connected Vehicle Pilot Deployment Program: Phase 2 Deployment Outreach Plan, Version 3-WYDOT*. United States. Dept. of Transportation. ITS Joint Program Office, 2018.
- 2) SUKENNIK, Peter. D2. 5 Micro-Simulation Guide for Automated Vehicles. 2018.
- 3) SUKENNIK, Peter, et al. Micro-Simulation guide for automated vehicles. *COEXIST (h2020-coexist. eu)*, 2018.
- 4) MITROI, I.; CIOBÎCĂ, Ana-Maria; POPA, Mihaela. Car-following models comparison between models used by VISSIM and AIMSUN. *UPB Sci. Bull., Series D*, 2016, 78.