

冬期路面における ACC 利用時のドライバの危険感を考慮した 交通シミュレーションに関する基礎的研究

A Fundamental Study of the Traffic Simulation Lessening the Driver's Feeling of Risk in the ACC Use on Winter Road

北海道大学工学部 環境社会工学科 ○学生員 坪田 啓吾 (Keigo Tsubota)
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)
北海道大学大学院 工学院 学生員 和田 脩平 (Shuhei Wada)

1. はじめに

冬期交通での Adaptive Cruise Control(以降, ACC)の実用が進めば, 夏期に比べて大きくなるドライバの運転負荷の軽減や, 運転の安定性の向上が期待される。また, 冬期交通における ACC の車間時間の設定に関して議論が行われることも予想される。和田らが行った ACC 制御で走行した際のドライバの危険感評価では, 短い車間時間の設定はドライバが感じる危険感を高めることが示されている¹⁾。

冬期の路面状況を考慮すると, ドライバが安心して ACC 制御で走行するには, 現状よりも長い車間時間の設定が必要である。車間時間を長くすることから, 交通へ影響を与える懸念がある。そこで, 本研究では交通シミュレーションソフトの VISSIM(Version:2021.00-05)を用いて交通シミュレーションを行い, 冬期路面における ACC 利用時のドライバの危険感を考慮した走行が冬期交通に与える影響を分析する。ACC 車両の最大車間時間が 2.3 秒程度であることを考慮すると, 実車を用いた分析は困難であり, 交通シミュレーションを用いて車間時間および速度が交通に与える影響を分析した。

2. ACC VISSIM Model

2.1 VISSIM

VISSIM とは, PTV 社が提供する交通シミュレーションソフトである。VISSIM では車両や道路などを設定し, 交通シミュレーションを行う。交通シミュレーションによって計測される旅行時間や遅れ時間などから, 設定した車両や道路が, 交通に与える影響を分析することが可能である²⁾。

交通シミュレーションに用いる車両は, VISSIM に標準搭載されている Internal Driver Model か, 追従や車線変更に関するアルゴリズムが記載されたプログラムファイルを指す External Driver Model によって制御される。

2.2 Internal Driver Model (IDM)

IDM には psycho-physical perception model に基づく Driver Model である Widemaan74 と Widemaan99 の二種類が存在する。各モデルには車両の追従や加速度に関するパラメータが定義されており, 使用者はパラメータを変更することが可能である。Widemaan74 は都市交通, Widemaan99 は高速道路に適したモデルとなっている³⁾。

2.3 External Driver Model (EDM)

EDM は, VISSIM に実装されている External Driver Model DLL Interface を用いて車両を制御する。交通シミュレーションを開始すると VISSIM はタイムステップ毎に車両の速度や加速度を EDM に渡す。EDM は記載されたアルゴリズムを基に車両の加減速度を計算し, その値を VISSIM に返す。VISSIM は EDM により計算された加減速度を使って追従モデルを動作させる⁴⁾。

2.4 ACC VISSIM Model の作成

VISSIM は 4 種類の自動運転モデルを持っている。自動運転モデルには車間距離を最小限とするモデルなどが定義されている。車間時間を変えることができるモデルは与えられていない。そこで, ACC の車間時間を自由に変更できるモデルを EDM を用いて VISSIM で実現することを考えた。このモデルを本研究では, ACC VISSIM Model と呼ぶこととした。

Li らは⁵⁾⁶⁾ACC 制御に関する簡単なモデルを示した。先行車の速度に合わせ, 追従車の目標車間距離, 加減速度, 速度を算出するモデルが定式化されている。これらのモデルを使って, ACC の車間時間を変えることが可能な EDM, ACC VISSIM Model を開発した。

2.5 目標車間距離

ACC 制御の走行では, 目標車間距離を維持して走行する。目標車間距離 d_{safe}^t は

$$d_{safe}^t = time_gap^t \times V_f^t \quad (1)$$

で与えられる。ここで, t はシミュレーション時間(sec), d_{safe}^t は目標車間距離(m), $time_gap^t$ は車間時間(sec), V_f^t は追従車の速度(m/sec)を表す。

車間時間は自車の速度で前方車の位置に何秒後に到達するかを示す時間である。

2.6 加減速度

加減速度は, d_{safe}^t を維持するために車間距離に応じて決定される。車間距離が d_{safe}^t よりも長いとき, d_{safe}^t に近づくように加速する。この時 a_a^t と a_c^t の絶対値の小さい方を a^t とする。車間距離が d_{safe}^t よりも短いとき, d_{safe}^t に近づくように減速する。この時 a_c^t を

a^t とする。加減速度 a^t は

$$a_a^t = 0.5 \times (V_{set} - Vf^t) \quad (2)$$

$$a_c^t = 0.4 \times (Vp^t - Vf^t) - 0.2 \times (d_{safe}^t - d^t) \quad (3)$$

$$a^t = \begin{cases} \min(|a_a^t|, |a_c^t|) & (d_{safe}^t < d^t) \\ a_c^t & (d_{safe}^t > d^t) \end{cases} \quad (4)$$

で与えられる。ここで、 t はシミュレーション時間(sec), a_a^t, a_c^t は決定前の追従車の加減速度(m/sec²), a^t は追従車の加減速度(m/sec²), V_{set} は設定速度(m/sec), Vf^t は追従車の速度(m/sec), Vp^t は先行車の速度(m/sec), d_{safe}^t は目標車間距離(m), d^t は車間距離(m)を表す。

2.7 追従車の速度

a^t の決定により求められる追従車の速度 Vf^t は

$$Vf^t = Vf^{t-ts} + \frac{(a^t + a^{t-ts})}{2} \times \left(1 - e^{-\frac{ts}{\tau}}\right) \quad (5)$$

で与えられる。ここで、 t はシミュレーション時間(sec), ts はタイムステップ(sec), Vf^t は追従車の速度(m/sec), a^t は追従車の加減速度(m/sec²), τ は時定数(sec)を表す。

なお、式(5)には一次遅れの伝達関数が含まれているため、使用する際には時定数の決定が必要である。

2.8 時定数の決定

雪氷路面における時定数を求めるため 2021 年 1 月に雪氷路面における実車走行実験を行った。実車走行実験より得られた TTC と、MATLAB(Classical ACC)⁷⁾の走行シミュレーションより得られた TTC を比較した。MATLAB(Classical ACC)の走行シミュレーションは、実車走行実験の結果の出力が 8.0(Hz)であったことから、タイムステップを 0.125(sec)で行った。時定数を 0.4(sec)にすると、走行シミュレーションと実測値の TTC の差が最小になった。この走行実験の結果を参考に、VISSIM の交通シミュレーションで用いる ACC 制御のタイムステップを 0.125(sec), 時定数を 0.4(sec)とした。

3. 実車走行実験と ACC VISSIM Model を用いたシミュレーション結果の比較

3.1 走行条件

2021 年 1 月に雪氷路面における先行車減速時の ACC 車両の速度変化を計測する実車走行実験を行った。この実車走行実験で計測した ACC 車両の速度変化の結果と ACC VISSIM Model を用いて VISSIM で同様のシミュレーションを行ったときの速度変化の結果を比較した。

ACC VISSIM Model との比較には、表 1 に示す走行条件で行われた実車走行実験の速度変化の値を用いた。VISSIM でのシミュレーション時間は先行車の減速を含む 12(sec)とし、先行車の再現は、実車走行実験で得られた先行車の減速度を入力した EDM を作成することで再現した。

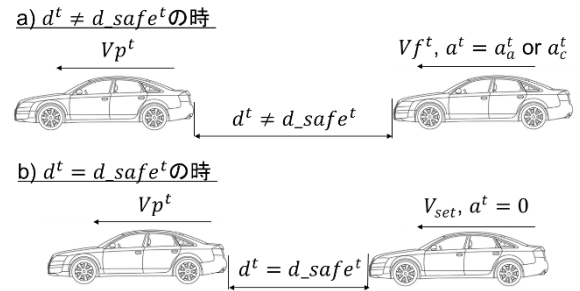


図 1 ACC 制御モデル

表 1 ACC VISSIM Model との比較に用いる走行条件

減速度	0.1g(m/sec ²)
速度	45(km/h)
車間時間	2.3, 1.8, 1.3(sec)

3.2 実車とシミュレーションの比較

図 2 は車間時間が 2.3(sec)の時、図 3 は車間時間が 1.8(sec)の時、図 4 は車間時間が 1.3(sec)の時の先行車と追従車の速度変化を示している。

先行車の速度変化について説明する。図 2 に示す車間時間が 2.3(sec)の時、図 3 に示す車間時間が 1.8(sec)の時、図 4 に示す車間時間が 1.3(sec)の時、先行車用 EDM と先行車の実測値の速度変化に差はなかった。これより実車走行実験の先行車の速度変化を VISSIM で再現したことが示された。

追従車の速度変化について説明する。図 2 に示す車間時間が 2.3(sec)の時の追従車の速度変化は、シミュレーションを通して実測値と差がなかった。図 3 に示す車間時間が 1.8(sec)の時の追従車の速度変化は、減速を開始するタイミングは実測値と一致しているが、ACC VISSIM Model に比べて実測値の減速が大きくなった。図 4 に示す車間時間が 1.3(sec)の時の追従車の速度変化は、車間時間が 1.8(sec)の時と同様に減速を開始するタイミングは実測値と一致しているが、ACC VISSIM Model に比べて実測値の減速が大きくなった。また、車間時間が 1.8(sec)の時よりも速度変化の差が大きく、最大で約 0.8(m/s)の差が生じた。

次に、車間時間が 1.8(sec)及び 1.3(sec)の時、速度変化に差が生じた原因を考察する。車間時間が 2.3(sec)の時は追従車の速度変化に差が生じなかったが、車間時間が 1.8(sec)になると差が生じ、車間時間が 1.3(sec)の時には差がさらに大きくなった。これは実車のブレーキゲインによる影響が考えられる。ACC VISSIM Model ではブレーキゲインによる影響を考慮していないため、結果として速度変化の差につながったと考えられる。

4. ACC VISSIM Model による交通シミュレーション

4.1 交通シミュレーションの設定

交通シミュレーションを行うには VISSIM で道路設定を行う必要があるが、その際、カーブや坂道を忠実に再現することは難しい。したがって、比較的直線で坂が少ない、道央自動車道の岩見沢~江別東間の冬期交通を想定して交通シミュレーションを行う。結果より得られる

平均遅れ時間から、ドライバの危険感を抑えた ACC 制御での走行が冬期交通に与える影響を分析する。

交通シミュレーションを行うための道路の設定を表 2 に示す。また、交通シミュレーションは表 3 に示す車間時間、速度、交通量を組み合わせた 6 パターンとした。

道路の設定は、道央自動車道の岩見沢～江別東間を想定し設定した。交通量、速度の設定は、冬期における道央自動車道の岩見沢～江別東間を想定し設定した。

車間時間の設定は、2021 年に雪氷路面で実施した実車実験によるドライバの危険感評価を基に設定した。ドライバが感じる危険感は車間時間の短縮と、先行車の減速度の増加に伴って上昇する結果を得た。また、ドライバは危険感が高まると衝突を恐れ ACC を解除した。これは ACC を使用するメリットを減少させる。

これらの結果をベースに、冬期の ACC 車間時間設定として車間時間を 3.0(sec)以上とした。なお、シミュレーション時間は 3600(sec)とし、分析に用いる遅れ時間は、交通流が安定する 1500~3000(sec)の間に走行を終了した車両の平均を用いた。

4.2 交通シミュレーションの結果

図 5 に交通量を 100~1000 (veh/h)まで変化させたときの平均遅れ時間の推移を示した。平均遅れ時間の長さは、交通量、車間時間の増大に伴い長くなり、交通量が 1000(veh/h)になったときの平均遅れ時間の長さはパターン VI>V>IV>III>II>I の順になった。一番平均遅れ時間が長くなったパターン VI でも 1.19(sec)であった。

車間時間が同様であるパターン I と II の平均遅れ時間を比較する。この時、速度が 50(km/h)の時よりも 80(km/h)の方が平均遅れ時間が長くなった。同様にパターン III と IV を比較する。この時も 80(km/h)の方が平均遅れ時間が長くなった。また同様にパターン V と VI を比較する。この時も 80(km/h)の方が平均遅れ時間が長くなった。速度が 50(km/h)の時よりも 80(km/h)の時の方が車間距離は長くなる。式(3)の性質上、設定速度に到達するまでの速度の増加が 50(km/h)の時よりも緩やかになるため、80(km/h)の方が平均遅れ時間が長くなったと考えられる。

5. まとめ

本研究では VISSIM を用いて交通シミュレーションを行い、冬期路面における ACC 利用時のドライバの危険感を考慮した走行が冬期交通に与える影響を分析した。シミュレーションの結果から、平均遅れ時間は交通量と車間時間の増大により長くなることが示された。しかし、最も平均遅れ時間が長くなった、車間時間 4.0(sec)、速度 80(km/h)、交通量 1000(veh/h)の条件で 1.19(sec)であった。これは、交通量が 1000(veh/h)程度であれば、車間時間を 4.0(sec)にしても、自由流であることを示している。そのため、現状の道央自動車道の岩見沢～江別東間の冬期交通量であれば、ドライバの危険感を考慮した長い車間時間を設定しても、交通に与える影響は小さいと考えられる。

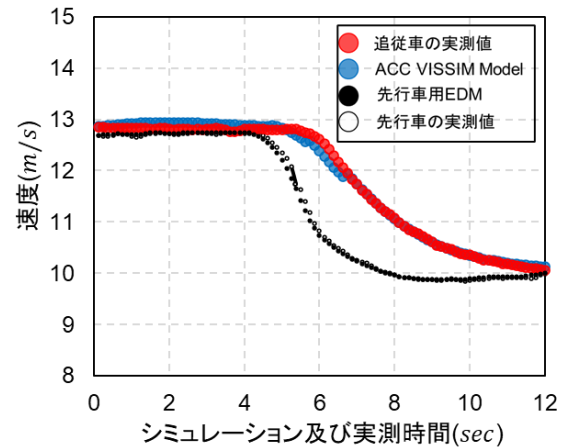


図 2 車間時間：2.3(sec)，先行車と追従車の速度変化

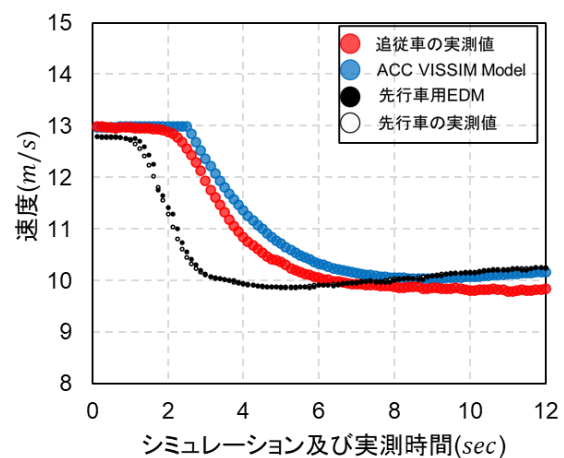


図 3 車間時間：1.8(sec)，先行車と追従車の速度変化

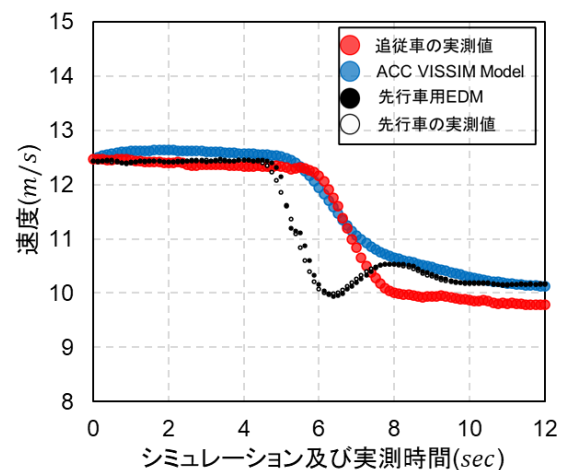


図 4 車間時間：1.3(sec)，先行車と追従車の速度変化

表 2 道路の設定

道路の長さ	15.7(km/h)
道路の幅員	3.5(m)
道路の車線数	片側二車線道路

表 3 交通シミュレーションのパターン

	車間時間	速度	交通量(片方向)
I	3.0(sec)	50(km/h)	100~1000(veh/h)
II	3.0(sec)	80(km/h)	100~1000(veh/h)
III	3.5(sec)	50(km/h)	100~1000(veh/h)
IV	3.5(sec)	80(km/h)	100~1000(veh/h)
V	4.0(sec)	50(km/h)	100~1000(veh/h)
VI	4.0(sec)	80(km/h)	100~1000(veh/h)

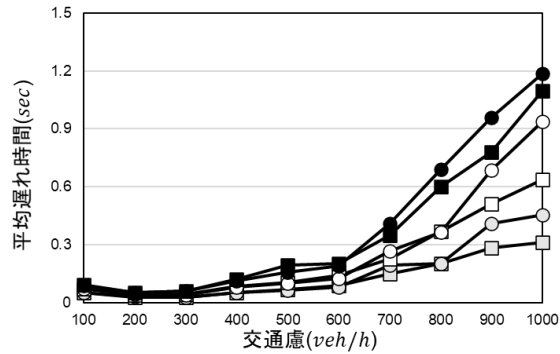


図 5 車間時間の設定別の交通量が平均遅れ時間に与える影響

今後は交通シミュレーションの結果より得られる、各車両の旅行時間や速度変化、車間距離の変化を用いて、より詳細な分析を行う。

参考文献

- 1) Shuhei, Wada, Sho Takahashi, Tomonori Ohiro, Kazunori Munehiro, Minoru Okada, Toru Hagiwara : Effects of Time-Gap Settings of Adaptive Cruise Control (ACC) on Driver's Risk Feeling Estimated by the Car-Following Situation, 2021.
- 2) PTV Planung Transport Verkehr AG : VISSIM 5.20 User Manual. Karlsruhe, 2009.
- 3) Olstam, Johan Janson, and Andreas Tapani : *Comparison of Car-following models*. Vol. 960. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute, 2004
- 4) PTV Planung Transport Verkehr AG : PTV VISSIM DRIVERMODEL DLL INTERFACE DOCUMENTATION, 2018.
- 5) Zhao, Li, and Jian Sun : Simulation framework for vehicle platooning and car-following behaviors under connected-vehicle environment, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 96, pp.914-924, 2013.
- 6) Van Arem, Bart, Cornelie JG Van Driel, and Ruben Visser : The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics, *IEEE Transactions on intelligent transportation systems* 7.4, pp.429-436, 2006.
- 7) Math Works ref. online1 : Adaptive Cruise Control with Sensor Fusion, <https://jp.mathworks.com/help/driving/ug/adaptive-cruise-control-with-sensor-fusion.html>, 2021 年 9 月 1 日.