

北海道地方部の 2 + 1 車線道路を対象とした交通流シミュレーションの構築

Study on Establishment for Traffic Simulation on 2+1 Highways in Rural Hokkaido

(独)土木研究所寒地土木研究所。正員 宗広 一徳 (Kazunori Munehiro)

北海道開発局道路計画課 正員 瀬能 博之 (Hiroyuki Seno)

(独)土木研究所寒地土木研究所。正員 高橋 尚人 (Naoto Takahashi)

(独)土木研究所寒地土木研究所 正員 浅野 基樹 (Motoki Asano)

1. まえがき

近年、北海道外部の一般国道では、道路利用者へのサービス水準を向上させるために、既存の2車線道路に付加車線を設置する施策が検討されるようになっている。すでに、欧州などの諸外国では、付加車線を連続的に設置し、2+1車線道路として整備が促進されていることは広く知られる通りです。しかしながら、我が国においては、地方部における2+1車線道路の交通特性が十分に明らかにされていないことから、交通特性の把握及び道路構造評価の観点から、適切な交通流シミュレーションの構築が求められている。

当研究所では、1996 年に、主として単路部と交差点部を対象とし、道路交通状況の適正な現況再現及び予測評価を行うために、交通流マイクロシミュレーションプログラム「SIM-R」の初版を開発した。既往の研究^{1), 2)}によれば、車線選択モデルや地方部道路の車両挙動再現に関する様々なアプローチが試みられているが、地方部における 2 + 1 車線道路の交通流マイクロシミュレーションとしては十分なものではない。筆者等は、2005 年より、一般国道 38 号白糠町の付加車線区間を対象とし、分流、避讓、追越、合流等の車両挙動実測調査の分析に取り組んでいる。同区間は、避讓形式の付加車線を有する 2 + 1 車線道路である。同実測調査結果を踏まえ、2 + 1 車線道路の交通流を再現するため、同区間での車両挙動再現のモデル化に着手した。同モデルを組み込んだシミュレーションプログラム「SIM-R」により、2 + 1 車線道路の交通流の再現並びに評価を行うことを目指している。

本稿では、上記経緯を踏まえ、一般国道38号白糠町の2+1車線道路の車両挙動実測調査結果、車線変更挙動（避讓挙動）の再現方法及びシミュレーションの試行結果について報告する。

2. 調査方法

2.1 本研究の目的

本研究の目的は、以下の3点である。

(1) 一般国道38号白糠町の付加車線区間(2+1車線道路)
における夏期の車両挙動実測結果

(2) シミュレーションプログラム「SIM-R」による車線変更挙動の再現プロセス

(3) シミュレーションによる現況再現の試行

2.2 一般国道38号白糠における車両挙動実測調査

一般国道38号は、北海道を東西に結ぶ主要幹線国道である。北海道白糠町は、釧路市の西隣に位置している。調査対象区間は一般国道38号白糠町の付加車線区間（ $L = 1.605\text{km}$ ）である。付加車線の形態は、避譲方式である。実測調査は、2005年8月12日（金）午前7時から8月21日（日）午前7時までの10日間実施した。簡易トラフィック・カウンター（3M社製：STC-2100P）を設置し、走行車線区間及び避譲車線区間の走行速度、走行位置、通過台数（小型車、大型車別の交通量）等に関する実測調査を実施した。簡易トラフィック・カウンターは



写真-1 一般国道38号白糠町の避讓車線区間

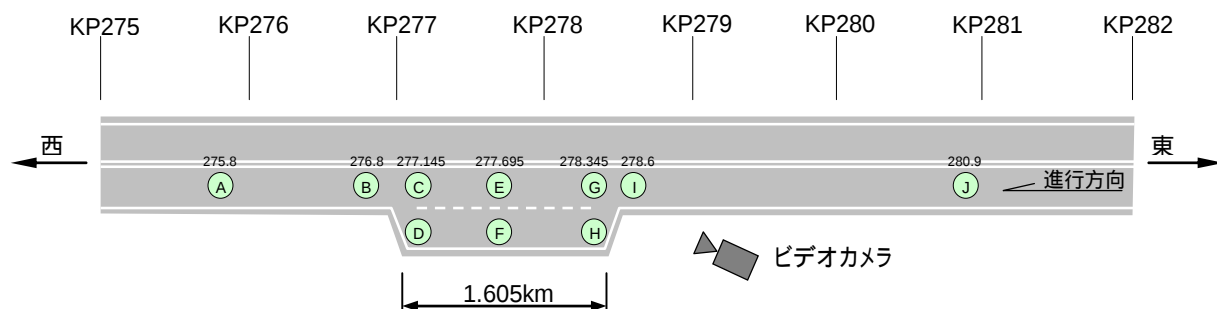


図-1 簡易トラフィック・カウンター(TC)の設置位置
(一般国道38号白糠町の2+1車線道路・遊歩車線区間)

図 - 1 に示すように、A～J の 10 箇所に設置した。また、定点にビデオカメラを設置し、付加車線区間における分流、避譲、追越、合流などの車線変更時の挙動をビデオ観測した。

2.3 交通流マイクロシミュレーションの実施

(1) シミュレーション条件の検討

上記の 2.1 の一般国道 38 号白糠町での車両挙動実測調査の結果を踏まえ、シミュレーション条件について検討した。同条件は、主として以下の 3 つである。

車線別の車種別交通量（小型車、大型車の別）

簡易トラフィック・カウンターにより実測した車種別交通量（小型車、大型車）とする。本データは、シミュレーション対象時間帯の設定、モデル構築時の発生交通量、大型車混入率へ利用する。

車線別の走行速度分布

簡易トラフィック・カウンターにより実測した車両速度データとする。計測された全車両、及び自由単独走行車両を対象とした場合、2 種類のデータに分けて利用する。

追従走行している車両比率

追従走行しているか否かの判断は、以下の式により求めるものとする。

前車との時間差（秒）×自車の速度（m/秒）

< 自車の制動停止距離（m）式 2.1

上記式に従うものを追従走行、同制動停止距離を超えるものを自由走行としている。なお、制動停止距離の算出は、文献 3 を参考とした。

(2) 車線変更挙動のモデル化

2 + 1 車線区間における車両挙動（避譲、追越）に関してモデル化を試行した。

(3) シミュレーションの実行

上述の車線変更挙動モデルを組み込んだシミュレーションプログラム「SIM-R」により、一般国道 38 号白糠町の 2 + 1 車線（付加車線：避譲形式）の現況交通の再現を行い、上記 2.1 により取得の実測調査結果との比較による検証作業を試行した。

3. 一般国道 38 号白糠での実測調査結果

3.1 走行速度分布

2005 年 8 月 12 日～21 日までの 10 日間、一般国道 38 号白糠の付加車線区間（2 + 1 車線道路）を対象とし、簡易トラフィック・カウンターによる実測調査（全車両を対象）を実施した。対象期間中の路面状態は、基本的に乾燥であった。対象期間中の観測車線の日交通量は、平均で 10,130 台 / 24h（平日）、11,815 台 / 24h（休日）であった。1 日当りの大型車混入率は、平均 13% であった。観測期間中の時間交通量を図 - 2 に示しているが、昼間（7～17 時）で約 600～800 台 / 時であるが、8 月 13 日のピーク時間帯では 1,100 台 / 時を超えている。

他方、走行車線及び避譲車線の各観測地点（A～J）における通過車両の平均速度を図 - 3 に示した。1 車線区間である J 地点、2 車線区間の中間部に位置する E 地点（走行車線）及び F 地点（避譲車線）における大型車及び小型車両別の走行速度分布を図 - 4 に示した。これらより得られた傾向は以下の通りである。

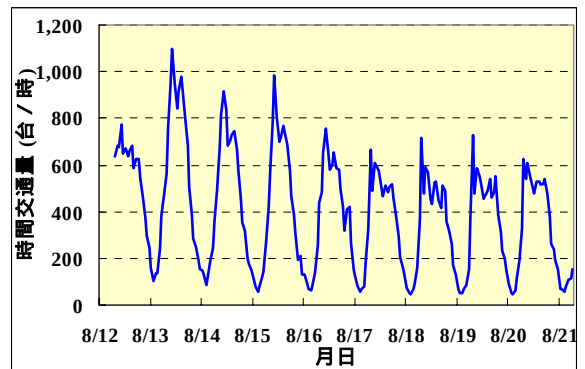


図 - 2 交通量時間変動図(R38白糠 J地点)

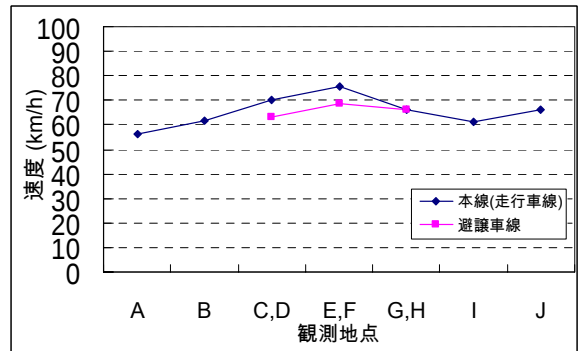


図 - 3 各観測地点における平均速度
(2005年8月12日～8月21日)

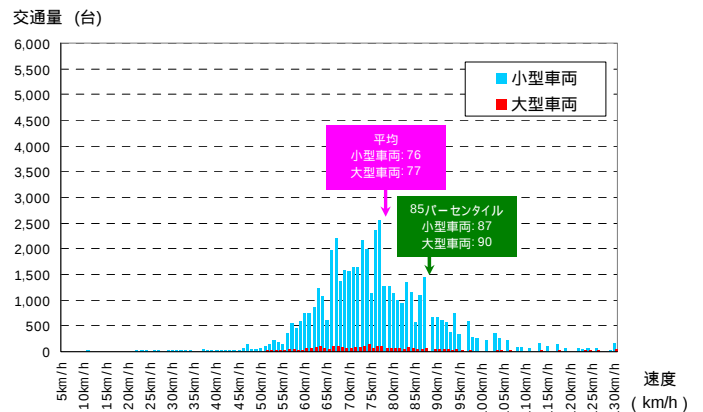


図 - 4 各観測地点の平均速度(E地点)

1 車線区間から 2 車線区間に入って間もない観測地点 G（走行車線）と観測地点 H（避譲車線）における全車両の平均速度は、ともに約 66 km/h であり、ほとんど差が見られない。

2 車線区間の中間部に位置する観測地点 E（走行車線）と観測地点 F（避譲車線）を比較したとき、平均速度は、10 km 程度、走行車線側が高い。

観測地点 E（走行車線）を対象とし、走行速度（実勢速度）分布を示したところ、例えば、小型車両の場合、平均速度が 76 km/h、85 パーセンタイル速度が 87 km/h となった。これにより、ドライバーにより、幅広い希望速度ニーズがあることが確認された。

3.2 避譲車線の利用状況

定点カメラにより取得したビデオ映像をもとに、付加車線区間の車線利用状況を分析した。分析対象は、2005 年 8 月 18

日(木)10時～12時の通過車両約1,000台(うち小型車両80%、大型車両20%)とした。避譲車線利用状況の分析結果は、以下ようになった。

避譲車線利用車両:全車両49%(うち、単独走行:11%、車群走行の先頭:22%、車群走行の追従走行:12%、左側追越:4%)となった。

利用しない車両(走行車線を利用):全車両51%

なお、車種別にみると、

小型車両:避譲車線利用38%、走行車線利用62%、

大型車両:避譲車線利用94%、走行車線利用6%となった。

よって、大型車両の避譲車線利用率が高いことが明らかになった。

4. 交通シミュレーションプログラム「SIM-R」の改良

4.1 基本の車両挙動モデル

(1) 追従走行モデル

追従走行のモデルとしては、代表的なものに Hermann のモデルがあり、以下の式で表現されている。本シミュレーションプログラム「SIM-R」では、この追従方程式に因っている。

$$X''_{n+1}(t+T) = \alpha \frac{[X'_n(t) - X'_{n+1}(t)]}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]} \quad \text{..... 式4.1}$$

ここに、

$X''_{n+1}(t+T)$	: 後車の T 秒後の加速度(m/s^2)
$X'_n(t) - X'_{n+1}(t)$	: 前後車の速度差(m/s),
$X_n(t) - X_{n+1}(t)$	: 前後車の車間距離(m),
α	: 感度定数(m/s),
T	: 後車の反応遅れ(s),

(2) 自由走行モデル

自由走行においては、基本的な考え方として、各車両は希望速度に達するまで、一定の加速度(最大加速度)で走行速度を上げていくものとした。

4.2 車線変更挙動のモデル化

付加車線設置(避譲形式)を想定し、同区間内での車線変更挙動の再現プロセスのについて、図-5に示す。なお、本線から避譲車線への車線変更条件を以下に示す車線変更の意思発生条件及び可否判断条件の2つの段階から検討した。

意思発生条件

- ・ 自車と後車との距離 後車の制動停止距離
(後車が追従状態か否かの判断)
- ・ 後車の希望速度 - 自車の希望速度 B_1 (km/h)
なお、速度差 B_1 は、シミュレーション実行時のパラメータとする。

可否判断条件

- ・ 避譲車線に存在する前後車との車間距離 最低車間距離
- ・ 避譲車線終了までに、後車が自車を追い抜ける場合

$$D_1 \geq \frac{V_0^2}{2gf} + (V_0 - V_1) + L_0 \quad \text{かつ} \quad D_2 \geq \frac{V_2^2}{2gf} + (V_2 - V_0) + L_0 \quad \text{..... 式4.2}$$

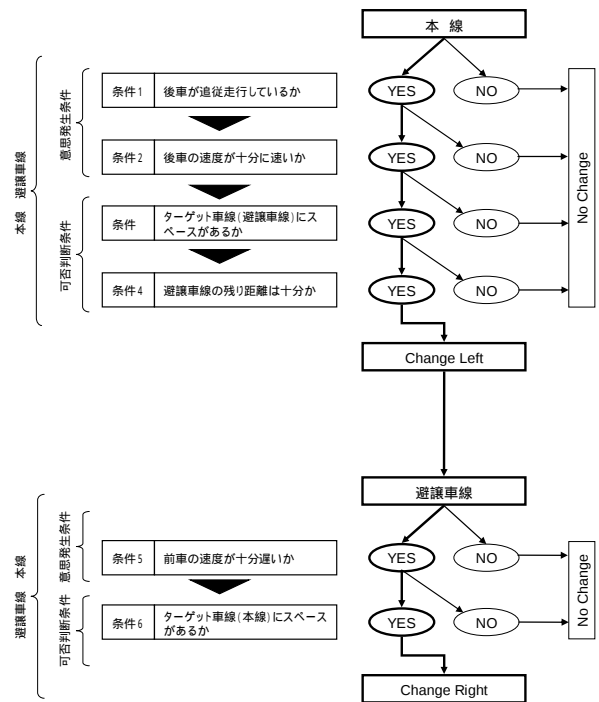


図-5 車線変更挙動プロセス (避譲車線設置区間)

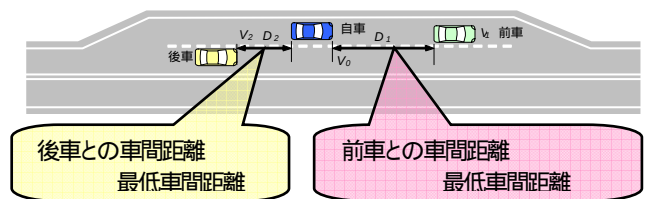


図-6 車線変更の可否判断 (避譲車線部)

ここで、

D_1 : 前車と自車の車間距離 (m),

D_2 : 自車と後車の車間距離 (m)

V_0 : 自車速度 (km/h)

V_1 : 前車速度 (km/h)

V_2 : 後車速度 (km/h)

f : 縦滑り摩擦係数

L_0 : 停止時の車間距離 (=1.5m)

t : 反応時間 (=2.5秒)

g : 重力加速度 (=9.8 m/s^2)

5. シミュレーションの実行

5.1 シミュレーション条件

(1) 交通データ

8月13日の午前10時台の交通データを対象とした。実測調査結果を踏まえ、発生交通量は1,100台/時、大型車混入率は7.7%とした。希望速度分布は、対象を自由単独走行車両のデータとし、同データを多く得られる避譲車線設置区間の中間に位置するE及びF地点の速度を利用した。

(2) その他の設定

制動停止距離の算定に用いる縦すべり摩擦係数は、乾燥路面: 0.60、湿潤路面: 0.31とした。本ケースでは、乾燥路面を条件としてシミュレーションを実行した。その他の設定項目は、以下を基本とした。

車両長さ：小型車 4.7m

大型車 12.0m

最小車間距離：1.5m

自由走行と追従走行の判断基準：車間距離 < 制動停止距離

演算サイクルタイム：0.5 秒

シミュレーション回数：5 回（平均値を算出）

5.2 シミュレーション結果

上記5.1の条件により、一般国道38号白糠の2+1車線道路区間の現況交通について、シミュレーションを実行した。付加車線の形式は避譲形式である。路面状態は乾燥である。シミュレーションによる交通量及び速度分布の計算値と実測値の比較結果について、地点E及び地点Fの例を図-7に示す。本結果より、以下のことが明らかになった

交通量は、避譲速度差（希望速度差）：Bに関わらず、地点E及びF共に、近似曲線の傾きが 1 ± 0.1 以内、相関係数が0.9以上となった。このことから、再現性が高いと判断できる。

速度のパーセンタイル値は、地点E及びFにおいて、シミュレーションによる計算値が観測値と比較して、大きくなる傾向が見られた。

避譲速度差（希望速度差）の違いによるシミュレーション結果の差は、交通量では見られなかった。しかし、速度分布において、避譲速度差10km/hの方が再現性は高くなった。

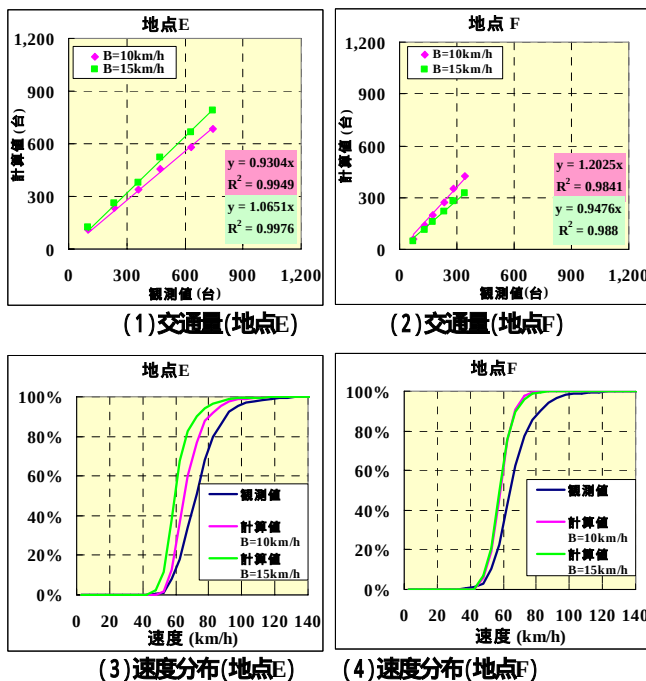


図-7 シミュレーションによる計算値と実測値の比較
(グラフ凡例中のBは、自車と後車の速度差パラメータ)

6. まとめ

本報告により得られた事項をまとめると以下の通りである。

- (1) 2005年8月の10日間に亘り、一般国道38号白糠町の付加車線区間(2+1車線道路)での車両挙動の実測調査を実施した。簡易トラフィック・カウンターは、観測地点10箇所に設置した。付加車線区間の中間位置において、走行車線(本線)及び避譲車線ともに、観測車両の平均速度が最も高

くなった。このとき、本線部の方が、避譲車線部よりも、走行速度の平均値が全体で10km/h程度高くなった。

- (2) 既実測調査結果を踏まえ、交通流シミュレーションプログラム「SIM-R」への入力条件として、車線別の車種別交通量(小型車、大型車の別)、車線別の希望速度分布、追従走行している車両比率の3要素を主体として利用した。
- (3) 避譲車線部での車線変更挙動プロセスのモデル化を試行した。避譲車線に存在する前車、自車、並び後車間の車間距離の関係から、避譲挙動、避譲後の本線復帰挙動の可能性を判断させた。これらをモデル化し、シミュレーションプログラム「SIM-R」の改良に反映させた。改良プログラムにより、一般国道38号白糠町の付加車線区間(2+1車線)の現況(夏期、乾燥路面条件)を対象とし、交通流マイクロシミュレーションによる再現を実行した。その結果、断面交通量については、各地点共に相関係数0.9を超え、高い再現性が見られた。しかし、各地点の走行速度分布については、シミュレーションによる計算値と観測値を比較し、やや差が見られた。
- (4) なお、本車線変更挙動のモデル化については、夏期条件(乾燥路面)を対象とし、更なる検証作業を進めていると共に、具体的な改善点について整理・検討中のところである。また、北海道の気象特性を考慮したとき、冬期条件(圧雪あるいは凍結路面条件)時を対象とした交通流マイクロシミュレーションの実行が必要とされる。今後、冬期の車両挙動実測調査を進めると共に、冬期条件下の車線変更挙動のプログラム改良、シミュレーション実行を進める予定である。これにより、北海道における夏期条件及び冬期条件を考慮した2+1車線道路の交通特性及び構造評価への活用を目指している。

謝辞

本報告の実測データ取得は北海道開発局釧路開発建設部より、シミュレーション実施についてはパシフィックコンサルタンツの佐々木氏他のご協力を頂いた。併せて、本稿は、2005年度土木学会実践的ITS研究(A-3)の成果の一部についても活用させて頂き、取りまとめたものである。同研究北海道班の清水哲夫・東京大学大学院工学研究科助教受並びに高橋清・北見工業大学助教受をはじめ、関係各位の皆様に対し、謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) Tomer Toledo, Charisma F. Choudhury, and Moshe E. Ben Akiva : Lane-Changing Model with Explicit Target Lane Choice, pp.157-165, Transportation Research Record No.1934, 2005
- 2) Andreas Tapani : Versatile Model for Simulation of Rural Road Traffic, pp.169-178, Transportation Research Record No.1934, 2005
- 3) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、2004年2月
- 4) 宗広一徳、秋元清寿、鶴束俊哉、浅野基樹：北海道の地域特性を考慮した道路構造に関する研究、第33回土木計画学研究発表会論文集、2006年6月
- 5) 佐藤光、鶴束俊哉、清水哲夫、高橋清：避譲車線設置区間における車両挙動、第34回土木計画学研究発表会論文集、2006年12月