

北海道の2+1車線型国道を対象とした交通流シミュレーションの構築

Traffic Simulation of Rural 2+1 Highway in Hokkaido, Japan

宗広 一徳* 秋元 清寿** 浅野 基樹***

Kazunori MUNEHIRO, Seijyu AKIMOTO and Motoki ASANO

近年、北海道郊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つつある。本経緯から、地方部における2+1車線道路の構造評価のために、適切な交通流シミュレーションモデルの構築が求められている。当研究所では、1996年に、道路交通状況の適正な現況再現及び予測評価を行うことを目的とし、交通流ミ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。「SIM-R」は、主として単路部と交差点部を対象として交通流ミクロシミュレーションを行うと共に、夏期と冬期の道路交通状況を予測評価することが特徴である。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、避譲、追越、合流等の車両挙動実測結果の分析を開始した。同区間は、避譲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、付加車線区間(2+1車線道路)の交通流を再現するため、同プログラム「SIM-R」の改良に着手した。改良された「SIM-R」により、付加車線区間(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、以下について報告する。

- (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の実測調査結果
- (2) 交通流ミクロシミュレーションプログラム「SIM-R」による車線変更挙動(避譲挙動)の再現
- (3) シミュレーションの実行及び検証結果

《キーワード：2+1車線道路；交通流ミクロシミュレーション；車線変更挙動》

In recent years, road managers have been examining service level improvement by the development of "2+1 highway," in which some sections of existing two-lane highways are installed with an auxiliary lane. Such improvement has been considered for national highways in rural Hokkaido. Under these circumstances, an appropriate traffic simulation program for rural 2+1 highways has been called for. To accurately reproduce traffic conditions and evaluate future road conditions, in 1996 the authors developed a traffic micro-simulation called SIM-R. SIM-R is capable of simulating traffic flow for uninterrupted sections and for signalized sections, and of forecasting and evaluating summer and winter road traffic conditions. Since 2005, the authors have been observing the behaviors of vehicles moving from the main lane to a left-hand auxiliary lane and back to allow following vehicles to overtake on a section of Nat'l Highway 38 in Shiranuka. The authors have worked to improve the SIM-R traffic micro-simulation program based on the observation results, toward reproducing and evaluating traffic flow on a 2+1 highway section.

This paper discusses:

- (1) the summer survey results of vehicle behaviors on an experimental auxiliary-lane section(2+1 highway section)of Nat'l Highway 38 in Shiranuka;
- (2) lane-changing behaviors(giving way)reproduced by the SIM-R traffic micro-simulation program;
- (3) examination of the simulation results.

《 Keywords : 2+1 lane highway ; traffic micro-simulation ; lane change behavior 》

近年、北海道郊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ている。しかし、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ため、交通特性の把握及び道路構造評価の観点から、適切な交通流マイクロシミュレーションの構築が求められている。

本稿では、上記経緯を踏まえ、一般国道38号白糠町の付加車線区間(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。

2.1 本報文の目的

既設の付加車線区間における交通実測データを基に、交通シミュレーションを行った結果について、中間とりまとめを報告することである。

- (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調査結果
- (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(避讓挙動)の再現プロセス
- (3) シミュレーションの実行及び検証結果

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。調査対象区間は、一般国道38号白糠町の付加車線区間(L=1.605km)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



写真-1 一般国道38号白糖町の付加車線区間

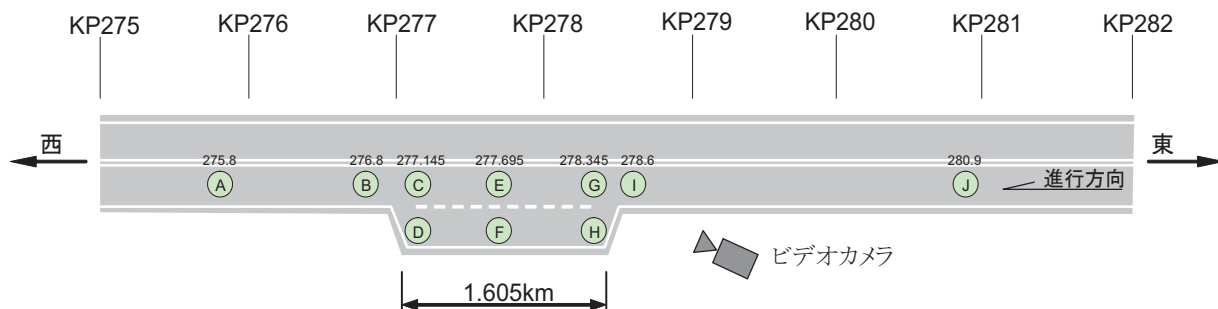


図-1 簡易トラフィック・カウンター(TC)の設置位置
(一般国道38号白糠町の2+1車線道路：避讓車線区間)

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、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 交通流ミ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2.2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⁵⁾について検討した。同条件は、主として以下の3つである。

①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。

②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。

③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⁶⁾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

よって、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4)を参考とした。

(2)シミュレーションプログラム「SIM-R」の車線変更挙動に関する改良

2+1車線区間における車両挙動(避譲、本線復帰)に関し、交通流ミクロシミュレーションプログラム「SIM-R」の適用を試行した。

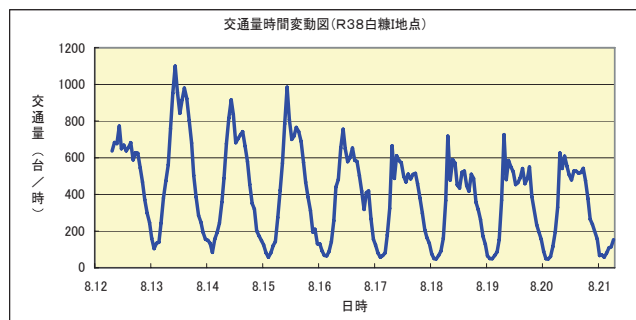


図-2 交通量時間変動図(R38白糠 I 地点)

(3)シミュレーションの実行

改良したプログラム「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2.2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⁷⁾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、本線(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(本線)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。

①1車線区間から2車線区間に入って間もない観測地点G(本線)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66km/hであり、ほとんど差が見られない。

②2車線区間の中間に位置する観測地点E(本線)と観測地点F(避譲車線)を比較したとき、平均速度の平均値が全体で10km/h、車種別にみると大型車両が約13km/h、小型車両が約6km/h、本線側が高い。

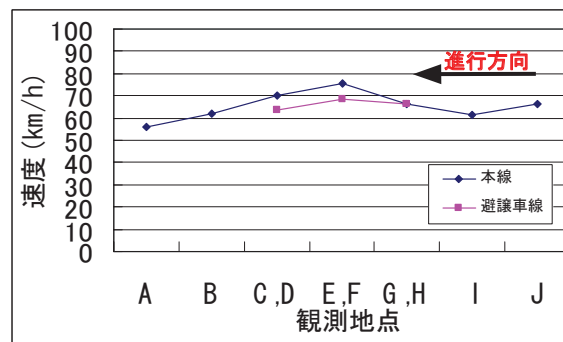
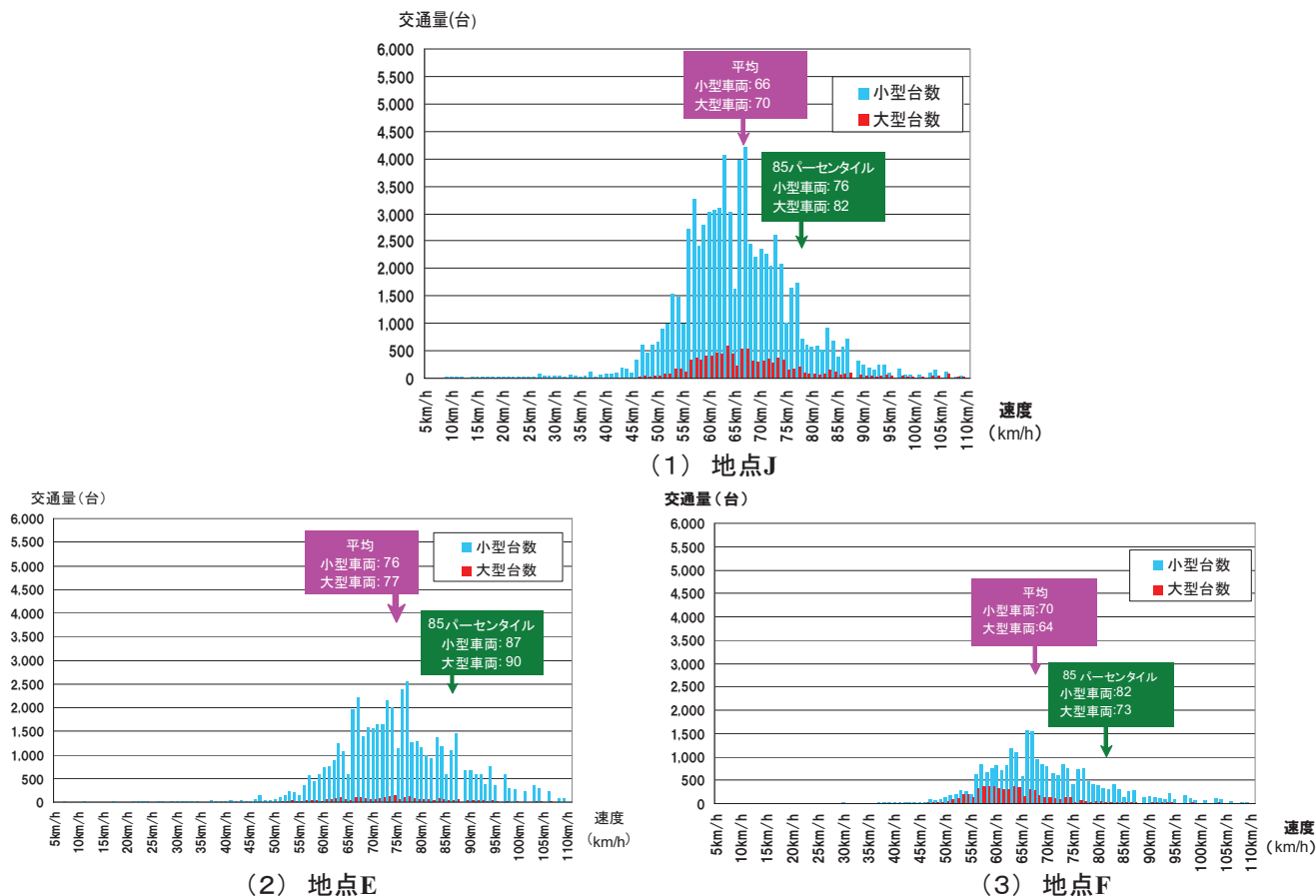


図-3 各観測地点における平均速度
(2005年8月12日～8月21日)



図－４ 実測調査による走行速度分布
(2005年 8 月12日～ 8 月21日)

③観測地点 E(本線)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76km /h、85パーセントイル速度が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 避讓車線の利用状況

定点カメラにより取得したビデオ映像をもとに、付加車線区間内の車線利用状況⁸⁾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。避讓車線利用状況の分析結果は、以下のようになった。

- ①避讓車線利用車両：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。
- ②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：避讓車線利用38%、走行車線利用62%、
大型車両：避讓車線利用94%、走行車線利用6%となった。よって、大型車両の避讓車線利用率が高いこ

とが明らかになった。

4. 交通流シミュレーションプログラム「SIM-R」の適用

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、同追従方程式に従うものとしている。

$$\chi''_{n+1}(t+T) = \alpha \frac{[\chi'_n(t) - \chi'_{n+1}(t)]}{[\chi_n(t) - \chi_{n+1}(t)]}$$

…………… 式4. 1

ここに、

$\chi''_{n+1}(t+T)$	： 後車の T 秒後の加速度 (m/s^2)
$\chi'_n(t) - \chi'_{n+1}(t)$	： 前後車の速度差(m/s)
$\chi_n(t) - \chi_{n+1}(t)$	： 前後車の車頭距離(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)で実行速度を上げていくものとした。

4.2 車線変更挙動の改良

(1) 車線変更挙動の再現プロセス(避譲車線区間)

付加車線設置(避譲形式)のケースを想定し、同区間

内での車線変更挙動の再現プロセス⁹⁾について、以下の図-5に示す。

本線から避譲車線への車線変更条件、及び避譲車線から本線への車線変更条件をそれぞれ以下の2つの段階から検討した。

- ・意思発生条件
- ・可否判断条件

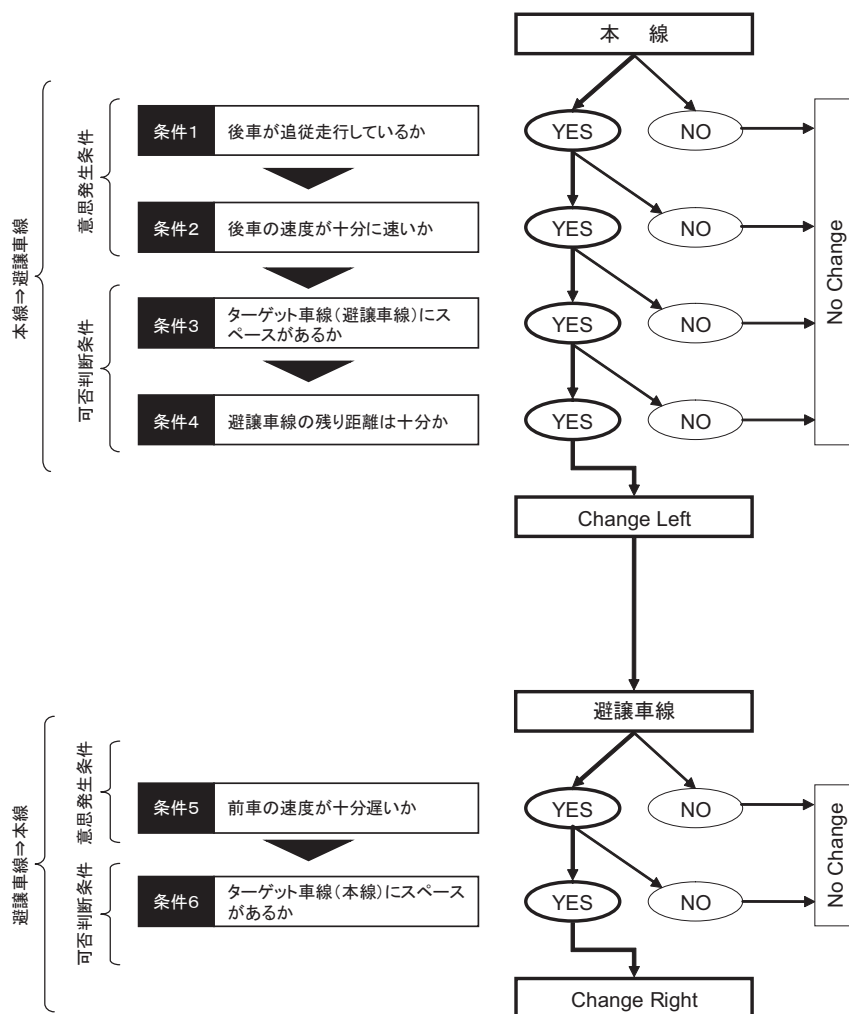


図-5 車線変更挙動の再現プロセス(避譲車線設置区間)

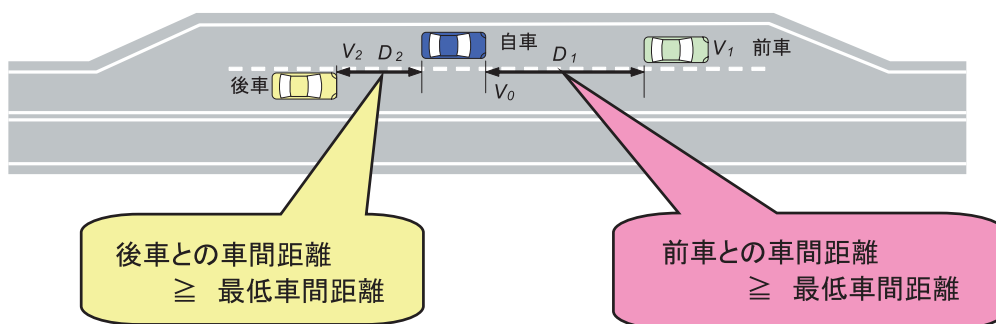


図-6 車線変更の可否判断(避譲車線部)

(2) 避讓車線部での車両挙動

(i) 本線から避讓車線への車線変更

(a) 避讓挙動の意思発生条件(第1段階)

本線から避讓車線への車線変更の意思発生条件(条件1及び2)について、以下のように設定した。

- ① 後車との距離 $\leq$ 後車の制動停止距離
【後車が追従状態】
- ② 後車の希望速度 - 自車の希望速度 $\geq B$
(km/h)

①車線変更意思は、後車が自由走行から追従走行へ移行する時点に発生する時点、すなわち車間距離が後車の制動停止距離を下回る時点に発生するものと設定した。

②の速度差は、後車の希望速度が高い場合(接近速度が速い等)、避讓意思が発生しやすい。他方、自車の希望速度が高い場合は、避讓しにくい。よって、希望速度の差を採用した。

なお、②における速度差 B は、現況再現において設定するパラメータとした。

(b) 避讓車線への車線変更の可否判断条件(第2段階)

避讓車線への車線変更の可否判断条件(条件3及び条件⁴⁾)は、以下のように設定した。

- ① 避讓車線に存在する前後車との車間距離 $\geq$ 最低車間距離
- ② 避讓車線終了までに、後車が自車を追い抜ける場合

①避讓車線に存在する前後車両との車間距離を計測し、車線変更に必要な最低車間距離が確保されていることを車線変更の可否判断条件とした。車線変更に必要な車線変更後の前車および後車との最低車間距離の算出方法は、以下のとおりとした(図-6参照)。

$$D_1 \geq V_0^2 / 2gf + (V_0 - V_1) t + L_0$$
$$\text{かつ } D_2 \geq V_2^2 / 2gf + (V_2 - V_1) t + L_0$$

…………… 式4.2

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(=9.8m/s²)

②避讓車線への車線変更では、避讓車線終了までに後車が自車を追い越せるかどうかを条件に追加した。避讓車線端直前で避讓意思が発生しても、実際には避讓しないという挙動を再現するための条件であり、下記式により判断するものとした。

〔自車が避讓車線に移り、自車の希望速度で走行し避讓車線端に達した際に、希望速度で走行すると仮定した元後車との車間距離〕 > 最低車間距離

(ii) 避讓車線から本線への車線変更

(a) 復歸挙動の意思発生条件(第1段階)

避讓車線から本線への車線変更の意思発生条件について、以下のように設定した。

- ① 避讓後は、基本的に避讓車線終了まで避讓車線を走行
- ② 避讓車線前方に低速車が存在する場合、本線へ復歸

避讓車線へ車線変更した車両は、基本的に避讓車線終了まで避讓車線を走行する。

また、自車が避讓車線を走行中、前方に低速車が存在する場合は、追越挙動が発生し、本線復歸の判断を行う。

(b) 復歸挙動の可否判断条件(第2段階)

本線への車線変更の可能条件は、以下のように設定した。

- ① 本線に存在する前後車との車間距離 $\geq$ 最低車間距離
- ② このとき、車群の途中に車線変更する場合、後車が速度を落とし、車線変更に必要な最低車間距離を確保する。

本線に存在する前後車との車間距離は、避讓車線への車線変更の場合と同様である。

また、本線へ車線変更する際、本線上に車群が存在し、その途中に車線変更しなければならない場合は、本線上の直近の後車が速度を落とし、車線変更に必要な最低車間距離を確保する設定とした(図-6参照)。

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(図-7)。なお、全車両及び自由単独走行車両の速度分布を参考として、図-8に示す。

(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。

その他の設定一覧を表-1、シミュレーション実行条件の設定は表-2に示すとおりである。

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。シミュレーションの結果を図-9及び10に示す。本結果より、以下のことが明らかになった。

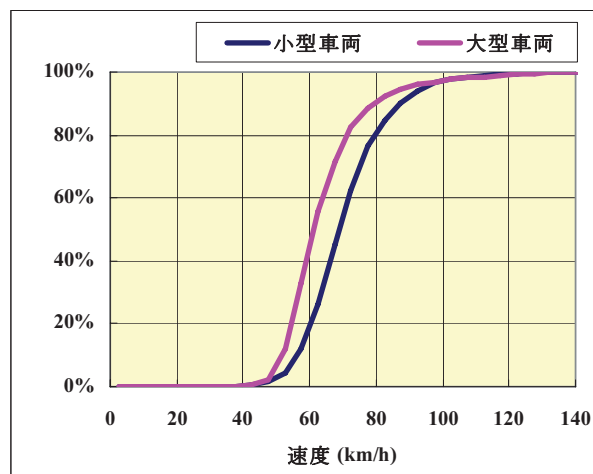


図-7 希望速度のパーセンタイル値(地点E+地点F)

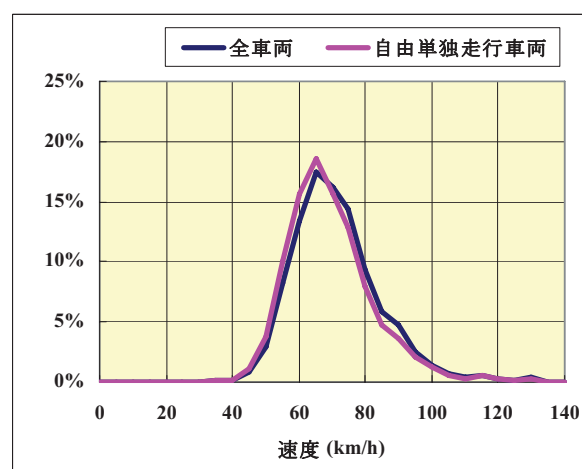


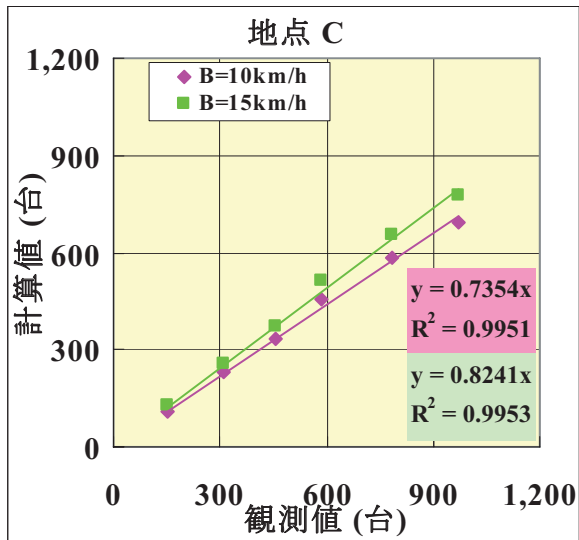
図-8 走行速度分布(地点E+地点F)

表-1 シミュレーション条件

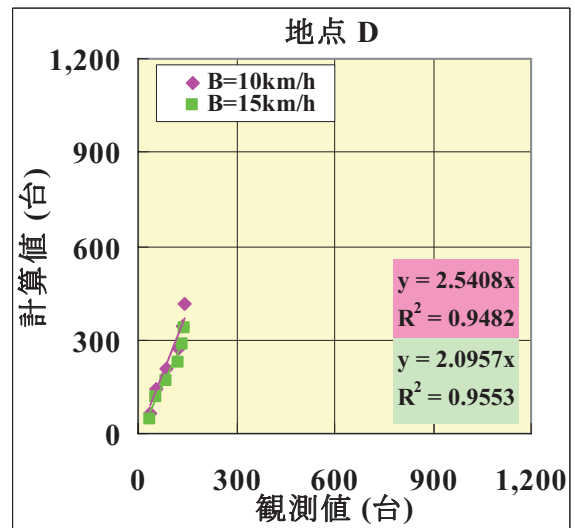
項 目		設 定 条 件	備 考
最大加速度	小型車	6 km/h/sec	
	大型車	4 km/h/sec	
最大減速度		-17.6 km/h/sec	小型車、大型車共通
車長	小型車	4.7m	
	大型車	12.0m	
最小車間距離		1.5 m	小型車、大型車共通
自由走行と追従走行の判断基準		車間距離<制動停止距離	
感度定数	加速時	8.2 m/sec	
	減速時	17.0 m/sec	
演算サイクルタイム		0.5 sec	

表-2 シミュレーション回数及び実行時間

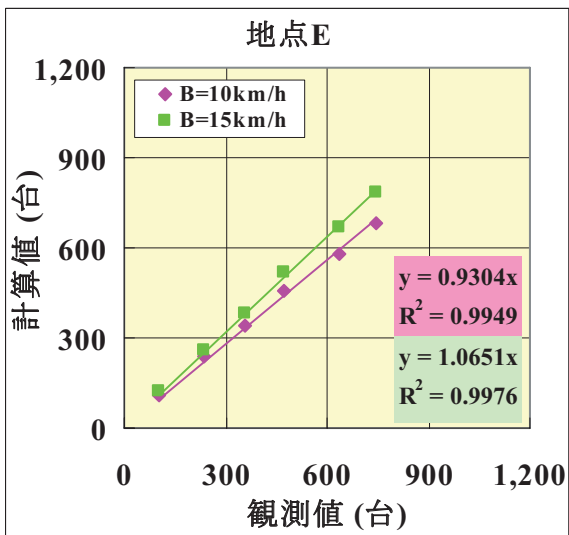
項 目	実行条件	
シミュレーション回数	5回(平均値を算出)	
計算除外時間(プレシミュレーション時間)	600 秒	10 分
シミュレーション実行時間	3,600 秒	60 分



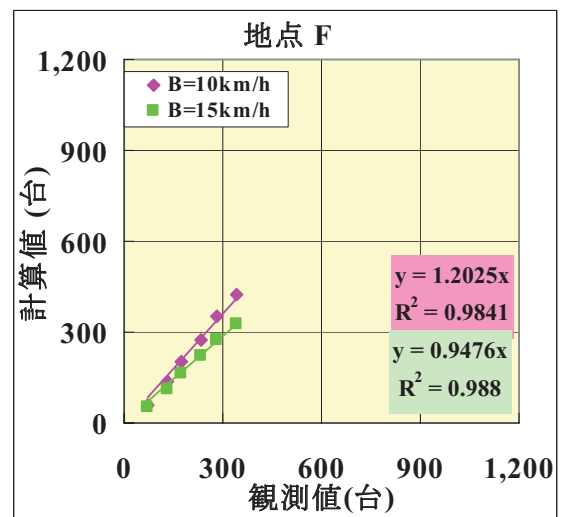
(1) 地点C



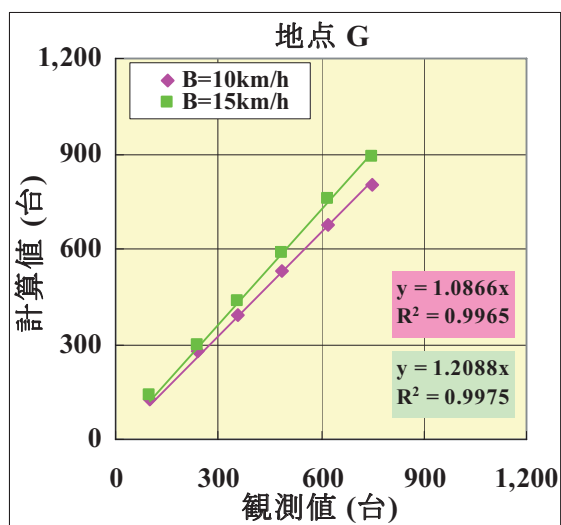
(2) 地点D



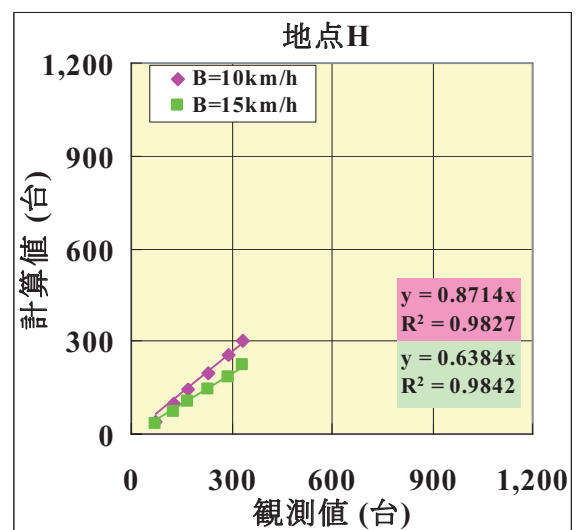
(3) 地点E



(4) 地点F



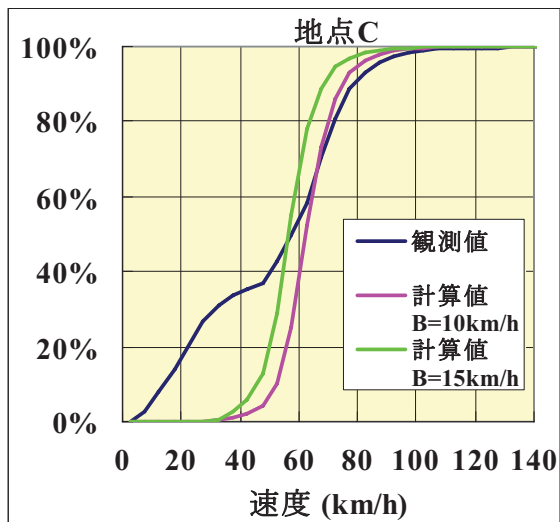
(5) 地点G



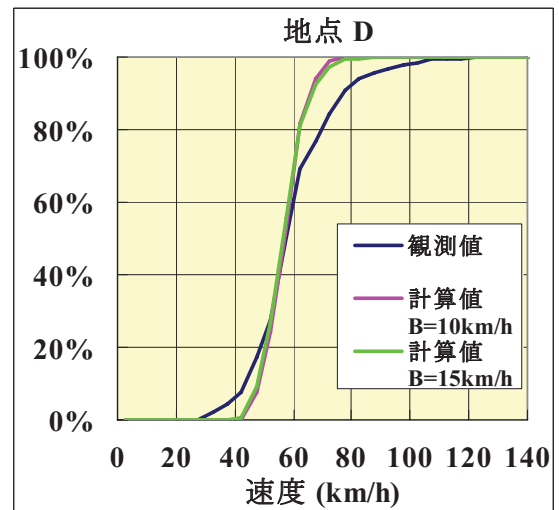
(6) 地点H

図-9 シミュレーション結果：各地点の交通量

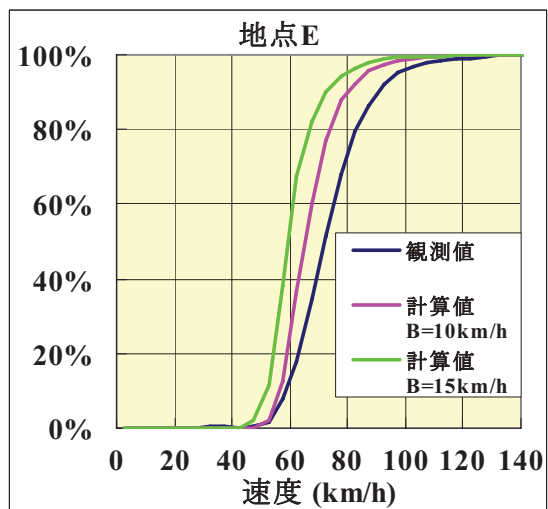
[観測値、計算値(避譲時の希望速度差 $B = 10\text{km/h}$)、計算値(避譲時の希望速度差 $B = 15\text{km/h}$)]



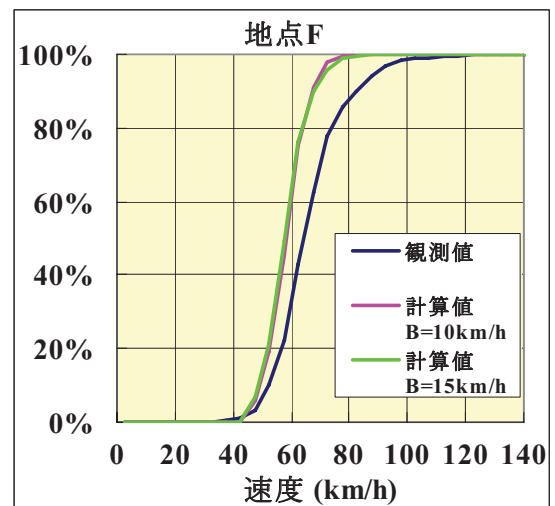
(1) 地点C



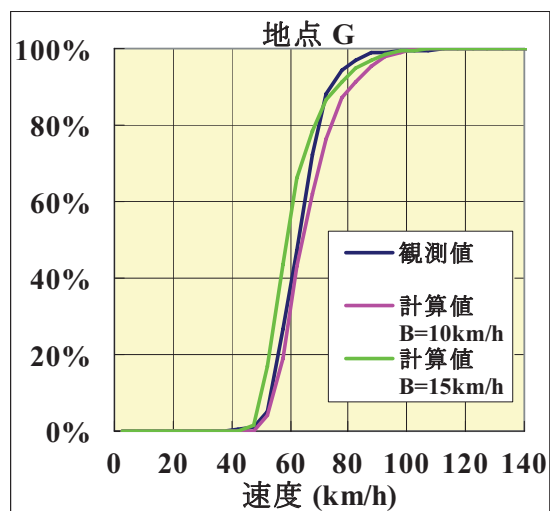
(2) 地点D



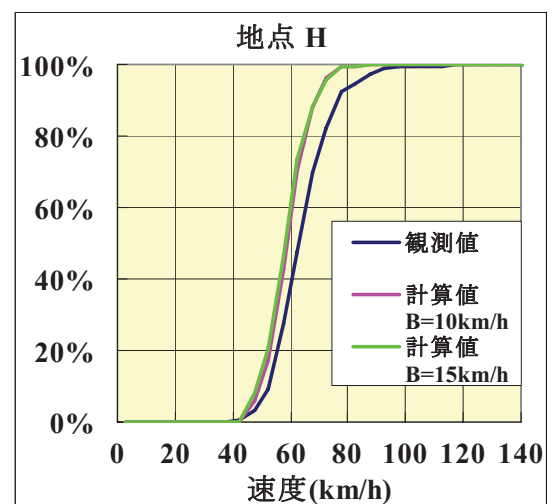
(3) 地点E



(4) 地点F



(5) 地点G



(6) 地点H

図-10 シミュレーション結果：各地点の走行速度分布のパーセンタイル値
[観測値、計算値(避讓時の希望速度差 $B = 10\text{km/h}$)、計算値(避讓時の希望速度差 $B = 15\text{km/h}$)]

①避讓車線の始点に近い地点 G、H における交通量は、避讓時の希望速度差 B が10km /h の方が、15km /h と比較し、計算値と観測値の相関が高い傾向が見られた。他方、避讓車線の終点に近い地点 C 及び D 地点においては、計算値と観測値にやや差が見られた。

②走行速度分布についても、各地点において、避讓時の希望速度差 B が10km /h の方が、15m/h と比較し、計算値が観測値に近くなる傾向が見られた。なお、避讓車線の終点に近い地点 C 及び D においては、計算値と観測値にやや差が見られた。

6. シミュレーションによる構造評価

当交通流シミュレーションによる再現性については、国道38号及び他の地方部道路を対象とし、更なる検証作業を進める予定である。十分な検証作業を踏まえた上で、今後は、当交通流シミュレーションにより、北海道地方部の 2 + 1 車線道路を対象とした構造評価への適用を進める予定である。具体的には、夏期及び冬期の路面条件を考慮し、適切な付加車線延長や設置間隔、付加車線の形態(避讓及び追越)などの構造評価が想定される。当シミュレーションによる評価項目の例は、表－3 に示すとおりである。

表－3 シミュレーションによる評価項目の例

交通特性	・区間旅行速度 ・各地点(本線及び避讓車線)の速度 ・各地点(本線及び避讓車線)の交通量 ・追越車両の台数 ・追従比率 ・夏期及び冬期の路面条件別の交通特性
構造評価	・付加車線延長 ・付加車線の設置間隔 ・付加車線の形態(避讓及び追越) ・分合流の形態 ・夏期及び冬期条件を考慮した構造評価
総合評価	・走行時間短縮便益の算出 ・費用対効果の試算

7. まとめ

本報告により得られた事項をまとめると以下のとおりである。

(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・カウンタは、観測地点10箇所を設置した。付加車線区間の中間位置において、走行車線(本線)及び避讓車線ともに、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、避讓車線部よりも、走行速度の平均値が全体で10km /h、車種別に見ると小型車両が6 km /h、大型車両が13km /h 高くなった。また、定点ビデオカメラにより取得したビデオ映像(2時間分)をもとに、避讓車線利用状況を分析した。避讓車線利用車両が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%)、利用しない車両(走行車線を利用)が51%であった。大型車両については、94%が避讓車線を利用した。

(2)上記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)避讓車線部における車線変更挙動について詳細に検討した。避讓車線に存在する前車、自車、並びに後車間の車間距離の関係から、避讓挙動、避讓後の本線復帰挙動の可能性を判断させた。これらを踏まえ、車線変更挙動の再現についてプログラム改良した。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、交通流ミクロシミュレーションによる再現を実行した。その結果、断面交通量及び走行速度分布共に、避讓車線の始点に近い位置では再現性が高くなったが、避讓車線の終点に近い位置ではややばらつく結果となった。

(4)本車線変更挙動のプログラム改良に関し、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。それを踏まえ、平成18年度に、より詳細なプログラム改良を予定している。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ミクロシミュレーションの実行が必要とされる。今後、冬期条件時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。

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車線道路構造の評価への活用を目指している。

謝辞

本報告の実測調査データについては、北海道開発局釧路開発建設部よりデータ提供頂いた。シミュレーションデータのとりまとめに際し、パシフィックコンサルタンツ(株)の佐々木完氏他のご協力を頂いた。また、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。同研究北海道班の関係各位の皆様に対し、心より謝意を申し上げる。

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) Serge P. Hoogendoorn : Vehicle-Type and Lane-Specific Free Distributions on Motorways - A Novel Estimation Approach Using Censored Observations -, pp.148-156, Transportation Research Record No.1934, 2005
- 4) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、2004年2月
- 5) TRB : Highway Capacity Manual 2000、2005年7月
- 6) 船水正雄、今村光洋、藤村一雄：一般道路を対象とした交通流シミュレーションモデルの開発、第12回交通工学研究発表会論文集、1992年11月
- 7) 宗広一徳、秋元清寿、鶴東俊哉、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
- 8) 佐藤光、鶴東俊哉、清水哲夫、高橋清：避讓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
- 9) K.Munehiro, T.Kamiizumi, M.Sasaki, T.Uzuka, M.Asano: Traffic Simulation of a Rural 2+1 Highway in Hokkaido, Japan, Proceedings for International Symposium of Transport Simulation (ISTS2006), September 2006



宗広 一徳*

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地交通チーム
主任研究員
技術士(建設)



秋元 清寿**

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地交通チーム
研究員



浅野 基樹***

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地交通チーム
上席研究員
博士(工学)
技術士(建設・総合)