流通科学大学論集―経済・情報・政策編―第 20 巻第 2 号，79-90（2012）

狭幅員道路における交通シミュレーションの検証

Verification of Traffic Simulation on Narrow Road

森津　秀夫*
Hideo Moritsu

交通シミュレーションの新たな適用候補である狭幅員道路には特有の交通現象がある。本研究は、狭幅員道路における交通現象を取り扱う基礎となる区間速度制限、減速を必要とする対向車両との擦れ違いを取り上げるものである。これらを表現する機能を交通シミュレータ VISITOK に組み込み検証を行った。その結果、シミュレーションにおいて意図した動作が確認され、狭幅員道路の交通現象を再現できる可能性が示された。

キーワード：交通シミュレーション、狭幅員道路、擦れ違い、VISITOK

Ⅰ．はじめに

交通シミュレーションが一般化するにしたがい、より広範な交通問題へ適用したいというニーズが高まっている。狭幅員道路、すなわち幅員が狭く、双方向の車両が互いに干渉することなく走行できないような道路を含むネットワークへの適用もそのひとつである。これに対し、狭幅員道路に特有な交通現象を考察し、減速を要する対向車との擦れ違いにおける加速度の計算手順と待避を要する擦れ違いにおける通行権を付与する処理手順を提案した [1)]。これらは交通シミュレーションへの適用を前提にモデル化を行ったものであるが、実際にシミュレーションを実施するには至っていない。そこで、ここでは減速擦れ違いを実現する機能をシミュレータに組み込み、モデル化の妥当性を検証することを目的とする。また減速擦れ違いと対比させるため、狭幅員道路に多く見られる区間速度制限に関する検証も行う。

極めて多数の交通シミュレータが開発されているが、それらが実際の使用に耐え得るものかは開発者以外にはわかりにくい。そこで研究者のグループによって交通シミュレーションの標準検証プロセスが提唱され [2)]、交通シミュレーションモデルの開発者に検証の実施を勧めている。公開されている検証マニュアルは交通シミュレーションの基本的な機能を対象にしており、減速擦れ違いのような拡張的な機能に対する検証手順は含まれていない。したがって狭幅員道路の交通シミュレーションの検証に際しては、この標準検証プロセスの考え方に沿った検証方法を新たに

*流通科学大学総合政策学部、〒651-2188　神戸市西区学園西町 3-1

（2011 年 9 月 6 日受理）
©2012 UMDS Research Association

設定するものとする。

ここで行う検証は基本検証あるいは Verification と呼ばれるものであり、交通現象のモデル化に際して意図したことがシミュレーションで再現されているかを明らかにするものである [3)]。実際に観測された交通状況の再現性を問うものではない。しかし、交通現象を表現するモデルの妥当性は交通シミュレーションの必要条件に過ぎず、これだけでシミュレーションモデルを評価することはできない。そこで、道路条件や交通条件を変化させたシミュレーションを繰り返し、現実の交通現象を再現する能力を備えていることを明らかにすることも検証の一環として行う。

以下、Ⅱでは狭幅員道路における交通シミュレーションを概説し、機能の拡張を行う交通シミュレータ VISITOK について述べる。Ⅲでは区間速度制限に関し、VISITOK での実現方法と検証方法について述べ、速度制限区間における速度変化を検証し、制限速度および速度制限区間長と旅行時間、交通容量との関係を考察する。Ⅳでは減速擦れ違い関し、VISITOK での実現方法と検証方法について述べ、対向車との擦れ違い時の速度変化を検証し、擦れ違い速度および対向交通量と旅行時間、交通容量との関係を考察する。

Ⅱ．狭幅員道路における交通シミュレーション

幅員の狭い道路に特有の交通現象には、減速あるいは待避を要する対向車との擦れ違い、駐停車車両の回避、減速を伴う歩行者・二輪車の追い抜きがある。このうち減速あるいは待避を要する擦れ違いに関して交通シミュレーションへの適用を前提としたモデル化について考察した [1)]。これらの擦れ違いのモデルでは対向車と相互に影響し合う交通流を取り扱うことが、通常の交通シミュレーションモデルと比べたときの特徴であった。

ここでは減速擦れ違いのシミュレーションを行い、そのモデル化の妥当性を検証するが、それに先立ち、道路区間の一部に速度を制限する区間が存在する場合のシミュレーションの検証も行う。狭幅員道路に特有の交通現象では、そのすべての場合で減速や停止を強いられる。対向車に合わせて減速する地点が変化するのが減速擦れ違いであり、減速地点が固定されているのが区間速度制限である。したがって、減速擦れ違いのシミュレーション結果を区間速度制限のシミュレーション結果と比較することが有意義であると考えられるからである。

ここでシミュレーションに用いる VISITOK （Visual Simulator for Transportation System Originated in Kobe）は交通ネットワークフローの再現を目的に著者らが開発したミクロ交通シミュレータである [4)]。車線単位で設けたセクションと呼ぶ道路区間を接続したネットワーク上に車両を走行させるシミュレーションモデルを用いている。車両は走行中のセクションごとに管理され、追従走行を基本とする車両走行モデルが適用される。シミュレーションにおいてシステムの状態を更新するスキャン間隔は 0.1 秒が標準値として用いられており、この更新時に車両加速度の計算が行われる。なかには速度を決定変数とするシミュレーションモデルも存在するが、

VISITOK では追従理論[5)] に忠実に加速度を決定変数としている。

最高速度や区間長などの道路条件はセクションの属性値として定義されるが、VISITOK には車両走行を規定する条件を柔軟に変更するための仕組みが備えられている。すなわちセクションごとに以下に示す種類のコマンドが準備されており、車両加速度の決定時あるいはセクションの流出入時に条件や処理の付加が可能である。狭幅員道路における車両走行を表現するには、適切な種類のコマンドとして区間速度制限や減速擦れ違いを実現するものを新たに付け加えればよい。

① 流入条件

② 流入時処理

③ 走行条件

④ 流出条件

⑤ 流出時処理

Ⅲ．区間速度制限の検証

１．VISITOK における区間速度制限の実現

VISITOK で区間速度制限を行う最も簡単な方法は、速度制限を課する区間を前後の道路区間と区別したセクションを設け、その最高速度を低くすることである。恒常的な速度制限を表現するときにはこの方法でよいが、交通状況に応じてダイナミックに区間速度制限を行う場合には適さない。そこで、Ⅱで示した車両加速度の決定時に用いられる走行条件を用いて区間速度制限を実現させることにする。

区間速度制限を課すときには、当該区間の開始地点および終了地点の位置、車種ごとの制限速度を走行条件として与えるものとする。ただし、制限速度はその区間が属するセクションにおける最高速度よりも低い値でなければ意味をなさない。車両は前方に速度制限区間を見つけると、その開始地点で制限速度になるように減速することを加速度決定時の条件に加えることになる。速度制限区間を通過中は制限速度との差を縮めることを加速度決定時の条件に付加する。そして車両が速度制限区間を完全に通過すれば、速度制限の効果は及ばなくなるものとする。

２．区間速度制限の検証方法

区間速度制限を設ける目的は、指定した区間内を走行する車両の速度が制限速度以下になるようにすることである。したがって、シミュレーションの検証は速度制限区間を走行する車両の速度を確認することである。そのため、図 1 に示す道路区間においてシミュレーションを実施する。すなわち、全長が 500m、最高速度が 40km/h の道路区間を設置し、その中央部に速度制限区間を設ける。シミュレーション結果から車両の速度変化を調べ、速度制限区間に至るまでに減速が行われ、通過後に再加速していることが確認されればモデル化の妥当性を実証できたことになる。

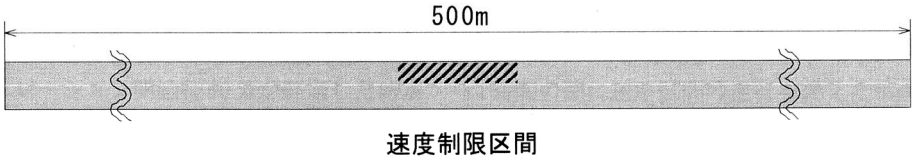

図１　区間速度制限を検証するための道路区間

区間速度制限の適用可能性を明らかにするためには、制限速度および速度制限区間長を変化させたときの旅行時間と交通容量を調べるものとする。すなわち、図 1 における速度制限区間の開始地点を道路区間の起点から 200m とし、制限速度と速度制限区間長を変えてシミュレーションを行い、その結果を分析するものとする。なお、これらのシミュレーションを行うに当たり、車両走行に関わる各種のパラメータは VISITOK で用意されている標準値を使用するものとする。

旅行時間の計測では先行車の影響を受けないように 30 秒間隔で車両を走行させ、それぞれが 500m の道路区間を走行するのに要する時間を計測する。30 分間のシミュレーションを行い、旅行時間に差がないことを確認する。

交通容量の算定では道路区間上流において、この道路区間の交通容量を上回る 2000 台/時の交通量をランダムに発生させる。車両は先詰まりにより先行車の影響を受けるため、シミュレーション開始後 30 分が経過した時点から 2 時間の間に道路区間の走行を終えた車両数を数え、交通容量を求めるものとする。

３．区間速度制限による速度変化の確認

図 1 に示す道路区間に速度制限区間を設けて車両を走行させるシミュレーションの結果は、図 2 のようになった。図 2 における横軸は道路区間の起点（図 1 の左端）からの距離を表し、縦軸

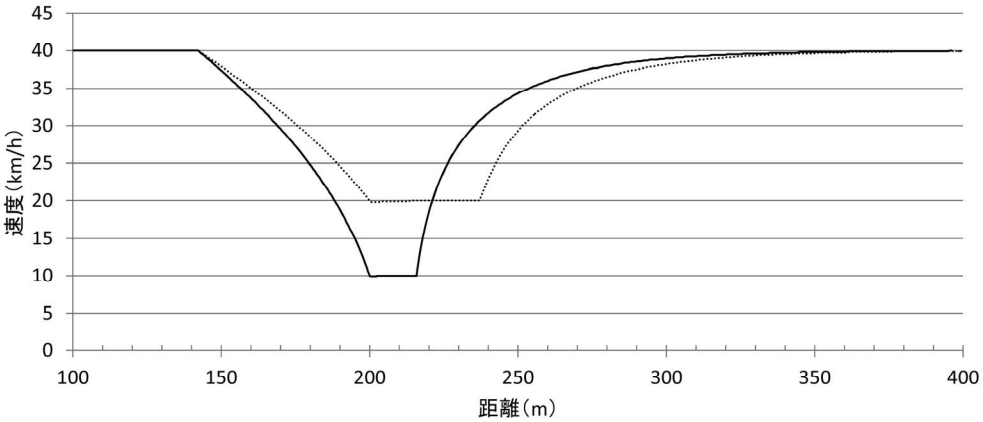

図２　速度制限区間における速度変化

はその地点の通過速度を表している。実線は距離 200～210m の位置に制限速度 10km/h の速度制限区間を設けた場合であり、点線は距離 200～230m の位置に制限速度 20km/h の速度制限区間を設けた場合の結果を示している。

この図から速度制限区間の開始地点までに車両は制限速度以下となるように減速し、速度制限区間を完全に通過した後に加速していることが明らかである。したがって、意図したシミュレーション結果が得られており、モデル化は妥当であると言える。

４．速度制限区間長と旅行時間

速度制限区間の長さと制限速度を変えたとき、500m の道路区間を通過するのに要する旅行時間は表 1 および図 3 に示すようになった。速度制限区間がなければ最高速度の 40km/h で走行することができ、この場合の旅行時間は 45 秒である。5m の速度制限区間であっても制限速度が 5km/h では 14.7 秒、20km/h でも 4.4 秒の旅行時間の増加をもたらしている。図 3 は区間長に対して旅行時間が直線的に増加していることを示しており、区間長の増加に対する旅行時間の増加の比率は

表 1　速度制限区間長と旅行時間

区間長(m)	区間制限速度			
	5km/h	10km/h	15km/h	20km/h
5	59.7	53.2	50.9	49.4
10	63.5	54.4	51.7	49.8
15	67.3	55.7	52.4	50.3
20	71.3	57.0	53.2	50.7
25	75.1	58.3	53.9	51.3
30	78.9	59.6	54.6	51.7
35	82.8	60.9	55.4	52.2
40	86.7	62.1	56.1	52.6
45	90.6	63.4	56.8	53.0
50	94.4	64.7	57.6	53.5

（単位:秒）

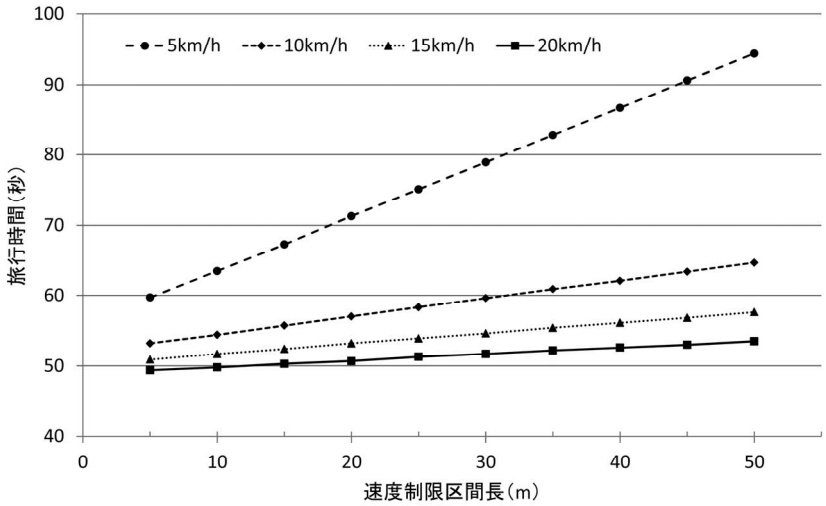

図 3　速度制限区間長と旅行時間

一定であると考えられる。速度制限区間の前後における車両の減速、加速は区間長によって変化せず、区間長に対する最高速度と制限速度の差による旅行時間の増加が図 3 の直線の傾きを構成しているのである。

これらの結果は十分に説明され得るものであり、定性的には現実の交通現象と違わないものである。

５．速度制限区間長と交通容量

速度制限区間の長さと制限速度を変えたとき、交通容量の算定結果は表 2 および図 4 のようになった。制限速度が 5km/h の場合は、区間長 5～50m に対して交通容量はほとんど変わらなかった。制限速度 15km/h および 20km/h の場合は区間長が短いときに交通容量が大きくなる傾向が見られたが、差は小さかった。使用したパラメータでは速度制限区間を設けないときの交通容量は 1881 台/時であり、20km/h の区間速度制限の影響は比較的軽微である。一方、制限速度 10km/h の場合はこれらと異なり区間長による変化が大きい。

表 2　速度制限区間長と交通容量

区間長（m）	区間制限速度			
	5km/h	10km/h	15km/h	20km/h
5	164	836	1323	1523
10	164	865	1309	1527
15	164	567	1303	1523
20	164	669	1294	1516
25	164	573	1291	1527
30	164	497	1290	1515
35	164	534	1290	1515
40	163	528	1290	1515
45	164	526	1290	1515
50	164	485	1291	1513

（単位：台/時）

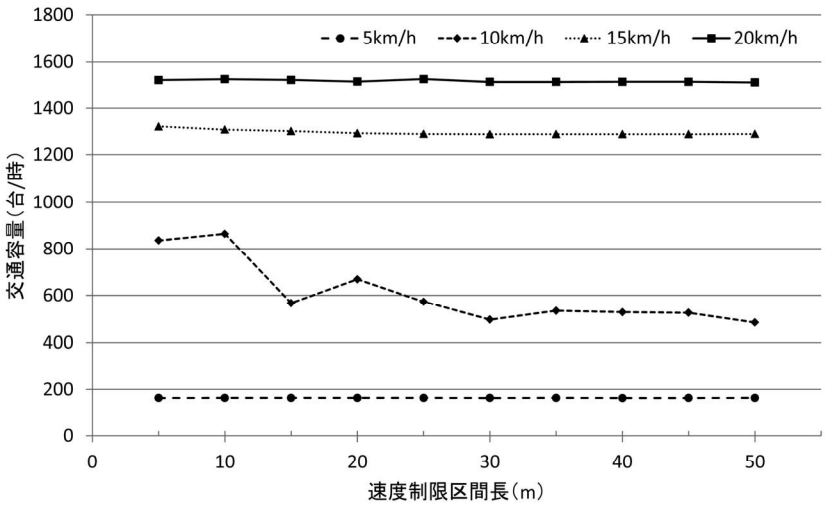

図 4　速度制限区間長と交通容量

これらの結果は区間速度制限を行うことにより道路の交通容量が低下することを示している。制限速度が低いほど交通容量は低下している。また速度制限区間の長さに敏感に反応し、区間長とともに交通容量が大きく低下する制限速度域が存在することをうかがわせるものである。これらは速度制限区間がボトルネック箇所になることを裏付ける結果であり、現実の交通現象と比較して不都合な点はないと考えられる。

Ⅳ．減速擦れ違いの検証

１．VISITOK における減速擦れ違いの実現

減速して対向車と擦れ違う現象のモデルは、すでにその考え方を示している。すなわち、通常の走行挙動に加えて対向車と擦れ違うために、対向車の発見、減速、通常走行への復帰という行動を考慮するものである。これらの付加的な行動に対する拡張を行い、図 5 に示す加速度計算手順を提唱するものである。ここではこれを VISITOK に組み込むことにする。

VISITOK における減速擦れ違いの導入には区間速度制限と同様に走行条件を用いる。減速擦れ違いを適用する区間の開始地点、終了地点、擦れ違う車種の組み合わせに対する擦れ違い速度を指定するのである。これをもとに、車両加速度の計算時には対向車と擦れ違う地点で擦れ違い速度に減速するように加速度を決定させ、擦れ違い中には擦れ違い速度との差を縮めるように加速度を決定する条件を付加する。

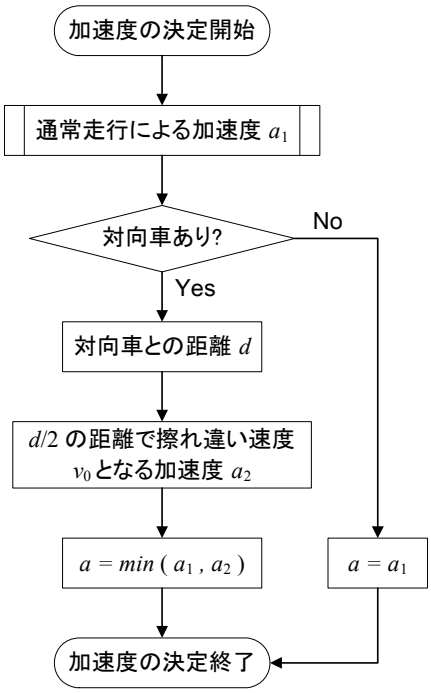

図 5　減速擦れ違いのための加速度計算手順 [1)]

２．減速擦れ違いの検証方法

減速擦れ違いが実現されているかを調べるには、指定した区間内を走行する車両が対向車と擦れ違うときに速度が擦れ違い速度以下になっているかを確認すればよい。ここでは図 6 に示す道路区間においてシミュレーションを実施する。全長が 500m、最高速度が 40km/h の道路区間を設置し、道路区間の起点から 200～300m の区間を減速擦れ違い区間とする。反対方向についても同じ位置に減速擦れ違い区間を設ける。シミュレーション結果から車両の速度変化を調べ、減速擦れ違い区間内で対向車と擦れ違うまでに減速が行われ、擦れ違い後に再加速していることが確認

されればモデル化の妥当性を実証できたことになる。

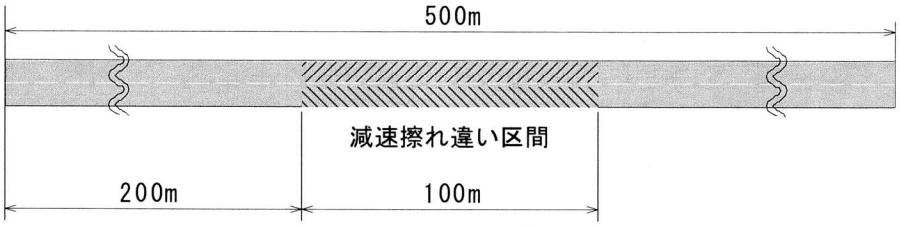

図 6　減速擦れ違いを検証するための道路区間

減速擦れ違いに関しても、これを適用したときに生じる交通現象が実際に観測される一般的な交通流特性に合致するものであることを確認する。すなわち、擦れ違い速度と対向交通量を変えたとき、旅行時間や交通容量がどのように変化するかを調べるものとする。旅行時間の計測では先行車の影響を受けないように 30 秒間隔で車両を走行させ、それぞれが 500m の道路区間を走行するのに要する時間を計測する。このとき、対向車は指定した交通量でランダムに発生させる。シミュレーション開始後30分が経過した時点から1時間の間に道路区間の走行を終えた車両の旅行時間の平均値を求めることにする。なお、対向車の擦れ違い速度は観測する方向と同じ値とする。

交通容量の算定では道路区間上流において、この道路区間の交通容量を上回る 2000 台/時の交通量をランダムに発生させ、対向車は指定した交通量でランダムに発生させる。シミュレーション開始後 30 分が経過した時点から 2 時間の間に道路区間の走行を終えた車両数を数え、交通容量を求めるものとする。この場合においても対向車の擦れ違い速度は観測する方向と同じ値とする。

３．減速擦れ違いによる速度変化の確認

減速擦れ違い区間を設けた図 6 に示す道路区間に車両を走行させるシミュレーションの結果は図 7 のようになった。図 7 における横軸は道路区間の起点（図 6 の左端）からの距離を表し、縦軸はその地点の通過速度を表している。実線は起点側から走行する車両の速度を表し、擦れ違い速度は 5km/h である。点線は対向車両の速度を表し、図での重なりを避けるために擦れ違い速度を 10km/h としている。図 8 は連続する 2 台の対向車両との擦れ違いのシミュレーション結果を示したもので、擦れ違い速度は両方向ともに 10km/h である。

これらの図から多少の誤差が生じるが、対向車と擦れ違うまでに車両は擦れ違い速度以下となるように減速し、擦れ違った後に加速していることがわかる。また対向車が連続する場合でも適切に減速と加速を行っていることがわかる。区間速度制限の場合と異なり、シミュレーション時の車両速度が擦れ違い速度と差を生じているのは、双方の車両が動的に加速度・速度を変化させ

るため、擦れ違い地点を正確に予測できていないからであると考えられる。しかしながら、その差は小さく、意図したシミュレーション結果が得られており、モデル化は妥当であると言える。

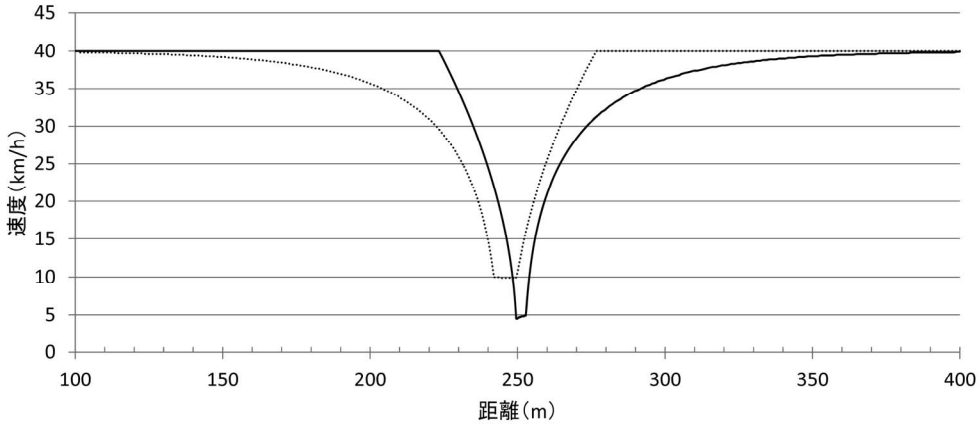

図 7　減速擦れ違いにおける速度変化

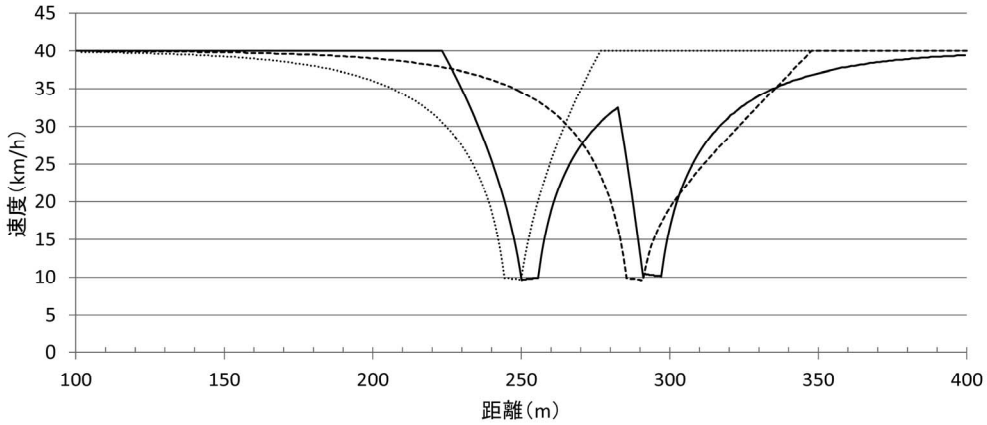

図 8　2 台の車両との減速擦れ違いにおける速度変化

４．対向交通量と旅行時間

対向交通量と擦れ違い速度を変えたとき、500m の道路区間を通過するのに要する旅行時間は表 3 および図 9 に示すとおりとなった。擦れ違いのために減速することがなければ旅行時間は 45 秒である。対向交通量が増加するほど旅行時間が長くなる傾向が読み取れるが、擦れ違い速度が 5km/h の場合は対向交通量が 400 台/時以上ではほとんど変わらない結果である。これは対向側が飽和状態になっており、車列が連続する状態になっているからであると考えられる。

対向交通量を一定とすると、擦れ違い速度の低下により旅行時間が増加することになる。擦れ違いのための減速幅が小さければ減速による影響は小さいが、極端な減速を強いられることになれば旅行時間の増加はきわめて大きくなるという結果である。

これらの結果は十分に納得できるものであり、定性的には現実の交通流特性に適合するものである。

表 3　対向交通量と旅行時間

対向交通量（台/時）	擦れ違い速度			
	5km/h	10km/h	15km/h	20km/h
100	49.4	46.9	46.5	46.1
200	68.7	51.1	48.9	47.8
300	94.0	55.9	50.8	48.8
400	106.5	60.7	53.4	50.3
500	103.7	68.3	56.8	51.9
600	108.2	71.3	58.2	53.0
700	105.7	73.9	59.5	53.8
800	105.7	75.2	60.8	54.7
900	105.7	76.1	61.5	55.3
1000	104.5	77.0	62.3	55.9

（単位：秒）

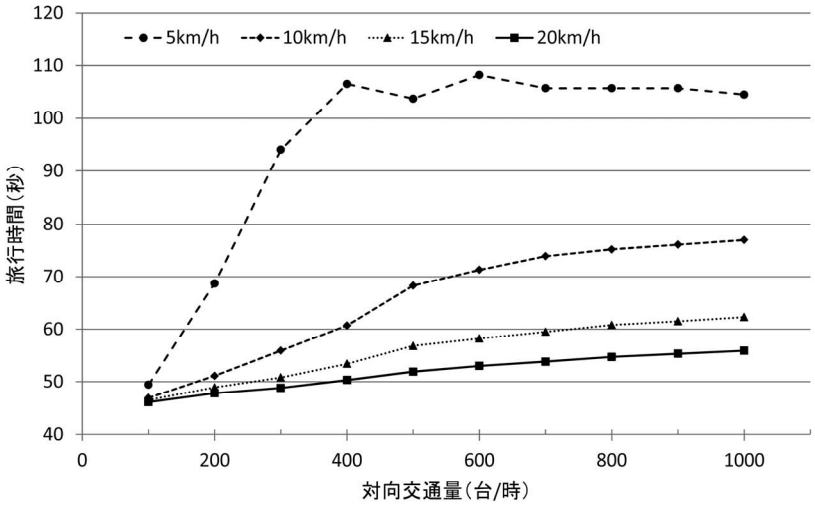

図 9　対向交通量と旅行時間

５．対向交通量と交通容量

対向交通量と擦れ違い速度を変えたとき、交通容量の算定結果は表 4 および図 10 のとおりとなった。まず擦れ違い速度が低いほど交通容量が小さいことが明確に現れている。また擦れ違い速度が低いほど対向交通量の増加による交通容量の低下量が大きくなっている。擦れ違い速度が 20km/h の場合には、対向交通量による交通容量の変化はほとんど見られなかった。

これにより、対向車との擦れ違うために減速することは交通容量を低下させることが示された。擦れ違い速度が低いほど影響は急激に増大するという結果から、たとえば高齢者や不慣れな運転者の存在が渋滞の原因となることも考えられる。逆に道路幅員に余裕がない状態を緩和し、擦れ

違い速度を向上させることができれば、渋滞の解消につながる可能性があることも推測される結果である。

対向交通量が多く飽和状態にある場合、対向車が短い車頭間隔で連続することになる。この状態は減速擦れ違い区間を擦れ違い速度が制限速度である区間速度制限の場合に近いと考えられる。Ⅲで調べたのは区間長が 50m までであったが、ここでの減速擦れ違い区間の長さは 100m である。対向交通量が多い場合はここでの条件の方が厳しいと考えられるが、表 4 に示す交通容量は表 2 を上回っている。これが何に起因するものかを考えると、制限速度あるいは擦れ違い速度に至るまで減速するときの減速度（加速度）の違いが浮かび上がる。図 2 と図 7 を比較すると、明らかに擦れ違う場合に減速度が大きい。この急激な減速が車頭間隔を縮める原因であることが推測される。区間速度制限や減速擦れ違いに際して減速を開始するタイミングは、実際の交通流を観測して調整を行う必要があることが示されていると言える。

表 4　対向交通量と交通容量

対向交通量（台/時）	擦れ違い速度			
	5km/h	10km/h	15km/h	20km/h
100	518	1178	1445	1726
200	348	1033	1398	1768
300	346	941	1374	1766
400	357	928	1362	1752
500	344	901	1350	1789
600	329	896	1343	1731
700	324	877	1336	1728
800	330	879	1330	1753
900	352	851	1327	1751
1000	343	865	1324	1753

（単位：台/時）

これらの結果、実際の交通流を再現しようとするときには観測値に適合させるためのパラメータ調整が必要ではあるが、モデルは減速擦れ違いに関する交通特性を適切に表現したものであると考えることができる。

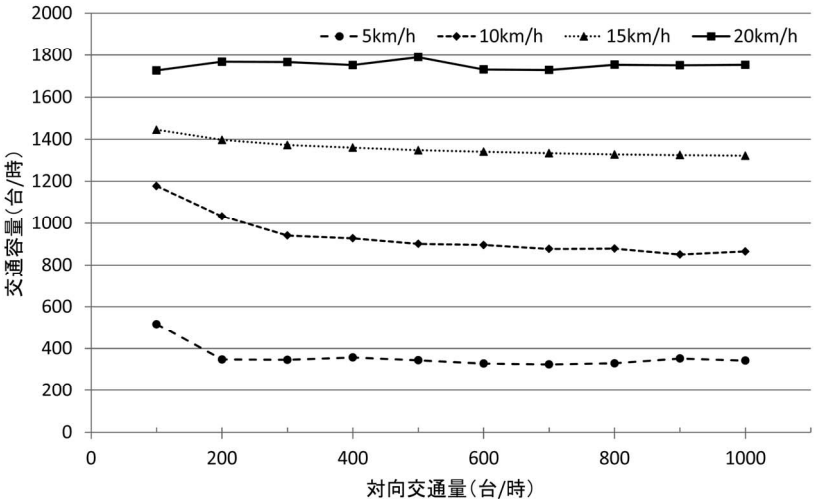

図 10　対向交通量と交通容量

Ⅴ．おわりに

ここでは狭幅員道路における交通を再現するために区間速度制限と減速擦れ違いを表現する機能を交通シミュレータ VISITOK に導入し、その検証を行った。速度制限区間とその前後、あるいは対向車との擦れ違い時の速度変化を調べた結果、シミュレーションでは意図した車両挙動が得られた。また制限速度や擦れ違い速度などを変えてシミュレーションを繰り返した結果、旅行時間や交通容量に関する特性は、現実の交通特性と定性的に違わなかった。実用検証、すなわち現実の道路ネットワークと交通需要の下で交通状況を正確に再現することができるかどうかを検証することが次の課題となる。さらに、残された待避を要する擦れ違いに関してもその機能を交通シミュレータに組み込み、検証を行うことが必要である。

区間速度制限と減速擦れ違いの表現は交通シミュレーションにおける基礎的技術のひとつとして扱うことができ、これらを組み合わせて用いることもできる。たとえば路上駐車車両が幅員を狭めているとき、そこに区間速度制限を課すとともに減速擦れ違いも同時に課せば、駐車車両を追い越すときには減速し、対向車があればさらに減速するという状況を表すことができる。このような応用に関する実用検証も今後の課題である。

この研究の検証に用いた道路ネットワークのシミュレーション用データは、株式会社交通まちづくり技術研究所が作成したものである。ここに記し、謝意を表したい。

参考文献

1） 森津秀夫：「交通シミュレーションのための狭幅員道路のモデル化」，『流通科学大学論集－経済・経営情報編－』18，No.2（2010），45-52.

2） 交通シミュレーション自主研究委員会：『交通流シミュレーションの標準検証プロセス　Verification マニュアル（案）』（交通工学研究会，2002）.

3） 交通工学研究会：『交通シミュレーション適用のススメ』（交通工学研究会，2004）.

4） 宇陀正志，森津秀夫：「小規模道路網を対象とした交通シミュレーションモデル」，『第 19 回交通工学研究発表会論文報告集』（1999），69-72.

5） 佐佐木綱 監修，飯田恭敬 編著：『交通工学』（国民科学社，1992）.