二車線道路における追越車線設置効果に関する基礎的研究

北海道大学　内田　賢悦

北海道大学　加賀屋誠一

1．はじめに

　日本では，財源の問題から2車線の高規格道路が多く存在する．2車線道路においては，対向車線を利用できる場合，低速車両を追越しすることは可能であるが，対向車両の影響を受けるため，その機会は限られている．そのため，ドライバーは混雑とは関係なく，自己が快適と感じる速度で走行することが制限される場合が多い．こうした状況を改善するため，追越車線が設置される場合がある．追越車線が設置されると，局所的には，ドライバーは自己が快適と感じる速度での走行が可能となるため，ドライバーのストレスが解消されるだけではなく，その区間での平均走行速度の向上効果もある．こうした効果を便益として定量的に計測することができれば，追越車線設置による効果の比較・検討が可能となるため，実務において，こうした便益計測法のニーズは高いと考えられる．

付加車線設置による影響については，さまざまな視点からの研究が行われてきた．それらには，渋滞削減効果を計測するもの1)，交通容量の観点から分析を行うもの2)，付加車線上の交通流特性を分析するもの3)，付加車線利用率の是正効果を検証するもの4)，ミクロ交通シミュレーションモデルを適用し，時間短縮効果を検討するもの5)，追越車線設置による便益計測モデルを提案するもの6)，追越視距の観点から分析を行うもの7)等が含まれる．本研究では，2車線道路における追越車線の設置効果計測法の提案を行う．その点では，既存研究5)，6)と同様な目的を有しているが，追越車線設置後の走行速度の確率分布のみを与えることができれば，その効果を理論的に計測可能である点で，これらの研究とは異なる．さらに，道路ネットワークを対象とした費用便益分析を念頭に置き，交通量配分を適用した効果計測法も提案する．

本研究の構成は，以下に示す通りである．第2章では，2車線道路に追越車線を設置した場合の一時的な効果の推計法を示す．ここで，一時的な効果とは，追越車線を設置した場合の効果は，徐々に減衰すると考えられるため，減衰する前の効果の最大値を意味している．第3章では，第2章で示した一時的な効果およびその減衰も考慮し，ある道路区間を想定した場合の効果推計法を示す．第4章では，交通量配分を適用し，ドライバーの経路選択行動を内生化したネットワークレベルでの追越車線設置効果の推計法を示す．第5章では，簡単なネットワークを対象とした計算例を示し，第6章では，研究のまとめを行う．

2．追越車線設置による一時的な効果推計

(1) 2車線道路における平均速度の推計

2車線道路の追越車線設置効果を推計するに当たり，以下に示す仮定を設けた．

* 道路区間の平均速度は，そこを通過する車群の平均速度として表現される．
* 4車線以上の道路における車群の走行速度は，理論的確率分布に従う．
* 2車線道路において，車群の先頭車両の速度が与えられた場合，それより速い自動車の速度は，先頭車両の速度に抑えられるが，それより遅い自動車の速度は，影響を受けない．
* 2車線道路において，対向車線を利用した追越はない．

上記の仮定で用いた車群とは，車頭時間がある値の範囲内で走行している車両の集団を意味し，この集団は，前方車両を追従走行している状況にある．こうした状況下では，もし前方車両が低速走行している場合，追越車線があれば，低速車両を追い越しできることを意味する．以上の仮定の下，追越車線の設置効果の推計を行うことにする．はじめに，4車線以上の道路における速度の確率密度関数を，その分布関数をと表現することにする．ここでは，混雑が少なく，追越車線を利用した低速車両の追い越しが可能な状況下において，車両が交通状況に応じた速度（）で走行する場合の確率（密度）を表わしている．2車線道路において，先頭車両の速度がであるとき，それより速い後続車の速度は，に抑えられるため，その場合の車群の平均速度は，式(1)で与えられる．

式(1)の1行目，右辺第1項は，4車線道路での走行速度が以下の車両群を対象とした確率密度に関する加重平均速度である．同，右辺第2項は，4車線道路での走行速度が以上の車両群を対象とした加重平均速度であり，2車線道路でのそうした車両の速度は，その構成比率はとして計算される．それらの和によって，2車線道路における当該車群の平均速度が計算されることを示している．式(1)では，車群の先頭車両より後方の車両群は，（正確には，速度が以上の車両群の順番は影響しないが，）速度の降順に整列して走行していると仮定し，平均速度を計算していることになる．そのため，先頭車両の速度のみが車群の平均速度に影響する構造となっている．しかし実際には，先頭車両後方の車群では，低速車両の後に高速車両が走行することが考えられ，こうした状況を表現した結果と比較した場合，明らかに車群の平均速度は過大となっていることになる．したがって，式(1)から推計される車群の平均速度は，可能性のある速度の上限と捉えることができる．第3章あるいは第4章で示すように，この平均速度を用いて追越車線の設置効果を推計する場合，その効果は，可能性のある効果の下限と捉えるべきであろう．したがって，式(1)に基づいて推計される効果を費用便益分析に適用する場合，過大評価とはならない安全側の便益が推計されることになり，それを用いた評価を行う意義は大きいと考えられる．次に，先頭車両の速度分布も考慮した2車線道路における車群の平均速度を考えると，式(2)で与えられる．

ここで，4車線以上の道路における車群の速度分布に極値分布（ガンベル型）を仮定した場合，確率密度関数，分布関数は，それぞれ式(3)，(4)で与えられる．

また，この場合の速度の平均と分散は，それぞれ式(5)，(6)で与えられる．

ここでは， オイラー・マスケローニ定数であり，約0.577となる．速度分布にガンベル分布を仮定した場合，式(2)右辺第2項の最後の積分は，式(7)で与えられる．

where

式(10)は，積分指数関数を表わしている8)．この結果を用いると，式(2)の右辺第2項は，式(11)で与えられる．

where

式(11)においても式(8)，(9)に示した変数変換を適用している．以上の関係から，式(2)に示したは，結局，式(15)で与えられる．

以上の結果から，2車線道路に追越車線を設置した場合，一時的に式(16)に示す速度の向上効果があることになる．

(2) 未知パラメータ値の推計

ここでは，交通量配分から得られた結果を用いた未知パラメータの推計法を示す．その準備段階として，4車線以上の道路における車群速度の平均と標準偏差には一定の関係が成立することを仮定する．具体的には，速度の変動係数をとして，この関係を式(17)で表わすことにする．

これをについて解くと，式(18)が得られる．

where

三輪ら9)は，プローブカーデータから の値を推計しており，4車線道路の場合，となることを示している．しかしながら，この値は，道路区間ごとに異なると考えられる．

これまでの議論を踏まえると，未知パラメータは，とと想定して問題ない．ただし，は計測可能であると仮定し，以下では，の推計法を考えることにする．はじめに，ある2車線道路区間の平均速度は，その交通容量を反映した交通量配分から得られる速度として推計できることを仮定する．ただし，以下で行う議論において，2車線道路の平均速度の実測値が得られた場合，交通量配分を行わずに，これを用いてを推計することも可能である．また，ここで適用する交通量配分は，日配分ではなく，時間配分を想定する．いま，2車線道路の1車線あたりの交通容量をとして交通量配分を行い，2車線道路区間の平均速度を求めたとする．この速度は，配分交通量をとして，形式的にと表現する．このとき，式(20)に示す関係が成立する．

式(20)に式(18)を代入すると，式(21)に示す関係が得られる．

これをについて解くと，式(22)が得られる．

式(22)では，解を2つ持つ可能性がある．はの関数として表現されるが，式(22)では，が実数解を持つの範囲を考え，その範囲で得られる解のうち，大きい方を，小さい方をと表現している．また，，を用いて式(5)より計算されるをそれぞれ，，と表わすことにする．式(15)により計算されるに関しても同様に，，と表わすことにする．図-1は，を50 (km/h) と仮定し，が実数解を持つ範囲での値を変化させたときのとの関係を示したものである．図-2は，同様に，との関係を示している．いずれの図においても，が重根となるでは，となっている．図-1　と，の関係



図-2　と，の関係

ここで，式(5)，(15)，(17)に示した関係を考えると，とには式(23)に示す関係が成立しなければならない．

この関係が成立するのは，図-2に示した場合のみであり，さらに，この事実はの値には関係しない．そこで，この条件を満たすをと表現すると，結局，式(24)で表わされることになり，式(21)に示した方程式は唯一の解を持つことがわかる．

次に，式(22)において，重解を持つ条件，すなわち，式(25)が成立する場合も考えてみる．

式(25)は，はの関数となるため，に関する2次方程式となっている．しかしながら，式(25)を満たすは，となる条件を考えれば，一意的に決定することができる．これをと表わすと，式(26)で与えられる．

さらに，このを式(22)に代入して得られるを再度と表わすことにする．ここで，はの関数となるため，これをと表現すると，は式(27)で与えられる．

また，を式(15)に代入して得られる速度をとすると，となることが容易に確かめられる．さらに，この場合，常に式(28)に示す関係が成立することも容易に確認することができる．

　以上で示した方法では，との値を得ることができれば，式(16)より，追越車線の設置効果を推計することができる．一方，計測されたの値（）がに対して大きい場合，推計されるが実根をもたない場合も考えられる．この場合，と表現すると，式(29)で与えることが考えられる．

すなわち，この場合，が重根をもつ場合と等価となり，式(28)に示した関係が成立する．

3. 追越車線設置効果の推計

　第2章で示した追越車線設置による効果は，追越車線がある程度長い場合，一時的に得られるものと想定できる．しかし，一般には，その効果は，追越車線長によって決定され，さらに，追越車線が終了すると，下流側の2車線道路の延長に沿って減衰し，最終的には，消滅するものと考えられる．図-3は，この様子を表わしたものであり，追越車線長とその後の2車線の延長によって，その区間の平均速度が決定される様子を表わしている（参考文献6)を参考に著者が作成）．図-3では，追越車線長を，その後の2車線道路延長をと表現しており，追越車線が設置されると，平均速度がからまで，の加速度で上昇し，追越車線が終了すると，平均速度がからまでの加速度で下降している．一般的に，2車線に追越車線が設置された地点の平均速度をとすると，そこからの距離がとなる地点の平均速度は式(30)で表わされる．

ここでは，上流側の2車線道路延長が十分に長い場合，となり，上流側の2車線道路延長が短い場合には，となる．一方，追越車線終了地点からの距離がとなる地点の平均速度は式(31)で表わされる．

式(30)，(31)に示した関係から，この区間（図-3では，）での平均速度は，式(32)で与えられる．

以上の結果を用いると，この区間での追越車線設置による速度向上効果は，式(33)で与えられる．

ここで示した考え方は，一般性を失うことなく，2車線道路に複数の追越車線を設置した場合の速度向上効果を推計する場合にも適用可能である．

図-3　追越車線設置による速度向上効果

4．ドライバーの経路選択行動を考慮した効果

　一般的に，2車線道路に追越車線を設置した場合，速度の向上効果があるため，ドライバーの経路選択行動を考えると，そこを利用する交通量が増える可能性がある．したがって，こうした効果は，その道路区間だけではなく，ネットワークとしての評価を行う必要がある．ここでは，交通量配分を用いた追越車線の設置効果の推計方法を考えることにする．交通量配分では，交通量と移動時間の関係は，リンクパフォーマンス関数を用いて表現する．本研究では，リンクパフォーマンス関数として，BPR関数を用いた確定的利用者均衡配分を適用することにする．第2章で示したように，2車線道路の交通容量，交通量配分より得られる配分交通量をそれぞれ，，と表現すると，その平均移動時間は，式(34)に示すBPR関数で表現することができる．

2車線道路の延長．

自由走行速度．

パラメータ．

この関係を用いると，第2章で示した2車線道路上の平均速度は，式(35)で与えられる．

一方，2車線道路区間に追越車線が設置された場合の平均速度の向上は，BPR関数において，パラメータは変化せずに，交通容量のみが変化した結果生じると仮定する．このときの交通容量をとすると，式(36)に示す関係が成立する．

式(36)をについて解くことにより，2車線道路に追越車線を設置した場合に実現する交通容量を推計することができる．すなわち，ここで示した推計法では，交通容量がの2車線道路に追越車線を設置した場合の効果は，その区間の交通容量をからに増強した場合の効果と等しいと仮定していることになる．ここで得られたを用いて再度交通量配分を行うことにより，追越車線設置による効果を推計することができる．

5．計算例

　ここでは，1つの起終点間に2本の経路がある場合の計算例を示す．起終点間の交通需要は，100 (veh/h) と仮定する．また，2本の経路のBPR関数に関するパラメータは等しく，と仮定する．経路1は2車線の高規格道路，経路2は多車線道路を想定している．その他の経路に関する設定値を表-1に示す．ここでは，交通容量を表わしている．以下では，経路1，経路2に関する変数には，それぞれ下付きの1，2を付けて表記することにする．たとえば，経路1，経路2の配分交通量は，それぞれと表記される．はじめに，以上の設定の下で利用者均衡配分を行うと，経路1と経路2の配分交通量は，共にとなり，それらの経路の移動時間は，式(34)に示したBPR関数から，共にと計算される．この場合，2車線道路（経路1）の平均速度は，式(35)に示した関係から，と推計される．次に，経路1が多車線道路となった場合を想定し，そこでの速度の変動係数が=0.07と推計された仮定しよう．この場合，経路1に追越車線を設置することにより，平均速度は，一時的にまで向上することになる（図-2）．いま，経路1の10 (km) 地点に追越車線を設置した場合を考える．ここでは，分析を簡単にするため，図-4に示す速度向上効果を仮定する．この場合，経路1の平均速度は，式(32)に示した関係から，と計算される．これと，式(36)に示した関係から，追越車線設置後の経路1の交通容量は，=55.6 (veh/h) と推計される．経路1において，ここで得られた交通容量を適用して，再度，利用者均衡配分を行うと，経路1と経路2の配分交通量は，それぞれ53.2 (veh), 46.8 (veh)となり，両経路の移動時間は，共に58.7 (min)と計算される．この場合，自動車1台あたり，1.3 (min)の移動時間短縮効果があることになり，ネットワーク全体では，130 (min•veh)の移動時間短縮効果となる．一方，ネットワーク上でのドライバーの経路選択行動を考えない場合，経路1，経路2の配分交通量は，ともに50 (veh)のままなので，経路1の移動時間のみが短縮されて57.0 (min) となり，ネットワーク全体では，150 (min•veh)の移動時間短縮効果と推計される．このように，ドライバーの経路選択行動の影響を考慮しない場合，20 (min•veh)の過大評価となることが示された．

6**．**まとめ

本研究では，2車線道路における追越車線設置効果の計測法を提案した．この計測法では，追越車線設置後の速度分布を推定することができれば，追越車線の設置効果を計測することができる．実際には，事前に追越車線設置後の速度分布を得ることは不可能であるが，追越車線が既に設置されており，対象道路と類似性の高い道路区間での速度分布を代用することが考えられる．

表-1　各経路の設定値

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | (km) | (km/h) | (veh/h) |
| 経路1 | 50 | 100 | 50 |
| 経路2 | 40 | 60 | 100 |



図-4　経路1の追越車線設置効果

参考文献

1. 吉川良一，長浜和実，寒河江克彦，吉井稔雄，北村隆一：暫定2車線区間のボトルネック上流の付加車線設置による渋滞軽減効果の検討，第30回土木計画学研究発表会・講演集．
2. 米川英雄，森康男，飯田克弘：高速道路単路部における交通容量影響要因の基礎的研究，土木計画学研究・論文集 Vol. 17 ，pp.915-926， 2000．
3. 藤本典也，田村洋一，辻幸英：付加車線設置区間の交通流特性について，土木学会年次学術講演会講演概要集第4部Vol. 49，pp.702-703，1994．
4. 渡辺享，山岸将人，安積淳一，大口敬：付加車線の車線利用率是正効果に関する実証的研究，土木計画学研究・論文集 Vol. 18，pp.927-934，2001．
5. 宗広一徳，武本東， 浅野基：「2＋1車線」道路の適用条件と導入効果，第51回（平成19年度）北海道開発局技術研究発表会講演集(<http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/giken/press/h19_pre_intra/aa.htm>)．
6. Glen Koorey, Fergus Tate: Road infrastructure assessment model -Incorporation of passing-lane sections, Vol. 26, No. 1/CIV, 1999.
7. 内田賢悦，岸邦宏，佐藤馨一，中岡良司：雪氷路面における追越行動に関する研究，土木計画学研究論文集17，pp.957-966, 2000．
8. p. 222 in THE ART OF SCIENTIFIC COMPUTING, Cambridge University Press.
9. 三輪富生，山本俊行，竹下知範，森川高行： プローブカーの速度情報を用いた動的OD交通量の推計可能性に関する研究，土木学学会論文集D, Vol. 63, No. 2, pp. 252-265, 2008.
10. <http://mathworld.wolfman.com/Euler-MascheroniIntegrals.html>.
11. たとえば，p.49，問8(5) in 概説解析学，東京教学社．