

信号交差点における右折車のギャップアクセプタンス特性のモデル化*

Modeling of Gap Acceptance Characteristics of Right-Turning Vehicles at Signalized Intersections *

森 健二**、本間正勝**、齋藤 威***

Kenji MORI **, Masakatsu HONMA ** and Takeshi SAITO ***

1. 研究の背景と目的

渋滞緩和策の中で信号制御による交差点の交通容量拡大策は効果が着実に見込まれることから重要な対策である。交差点での通行権の与え方で難しいものの一つに右折がある。右折車は対向直進車と交通流線が交わるために、専用現示や時差現示で処理されることが多い。最近では、右折需要に応じて専用現示の長さを変化させる右折感応制御が導入されている。今後は、さらに高度な右折処理方式が検討¹⁾され、交通流計測の新技术を含め、処理方式の選択の幅が広がることが考えられる。これらを適切に運用していくためには、制御効果を的確に把握し、制御パラメータの設定等の運用基準に結びつけていく必要がある。

一方、制御効果を知るための手段としてシミュレーションの活用は重要である。特に、きめ細かな制御パラメータの交通処理量に対する感度を調べる際には有効である。そのためには、ミクロな車両挙動の再現モデルが必要となる。右折車に関しては、青丸現示中と専用現示中で挙動が異なり、青丸表示中は一般に右折車は対向直進車の間隙を利用して右折する。この右折の可否を決める指標に臨界ギャップがあるが、右折感応制御のパラメータ評価等のミクロなシミュレーションには適用しがたい。そこで本研究では、右折挙動のきめ細かな再現を意図して、右折の可否をギャップサイズ以外の要因の影響も含めて確率的に説明するためのモデル構築を試みる。

*キーワード：交通流

**正員、工修、警察庁科学警察研究所交通部交通規制研究室
(〒102東京都千代田区三番町6番地、TEL 03-3261-9986、
FAX 03-3221-1245)

***正員、工博、警察庁科学警察研究所交通部交通規制研究室長
(〒102東京都千代田区三番町6番地、TEL 03-3261-9986、
FAX 03-3221-1245)

2. ギャップアクセプタンス特性に関する既存研究
と本研究の位置づけ

(1) 右折処理量の推定方式への適用例

ギャップアクセプタンス特性は右折挙動の他にも、歩行者の道路横断、無信号交差点での車両の横断や交差側への合流、さらには高速道路流入部での合流といった様々な場面で取り上げられる。これらは、交通の円滑性と安全性に影響する特性として古くから検討されている。

この特性を定量的に説明する試みとしては Miller と Gordon²⁾ によるシミュレーションがある。それによると、交差点において右折車の捌け流率が対向直進車の影響で低下する程度を反映した補正值 f は、表-1で示される。この値は、我が国の各種交通容量算出マニュアル³⁾で引用されている。

表-1 補正值 f ²⁾

対向直進交通流率 (台/時)	0	200	400	600	800
f	1.00	0.81	0.65	0.54	0.45

一方、この特性を定量的に示す代表的な指標に臨界ギャップがある。臨界ギャップとは、それ以上の大きさで右折が見送られたギャップの数と、それ以下の大きさで右折が行われたギャップの数が等しくなる大きさのギャップである。この指標はしばしば右折処理量の推定に用いられる。例えば Akcelik⁴⁾ は、臨界ギャップを用いて補正值 f を算出する方法として、(1)式を提案している。

$$f = \frac{e^{-\alpha \lambda}}{1 - e^{-\beta \lambda}} \cdot \beta \cdot \lambda \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 λ ：対向直進交通流率 (台/秒)
 α ：臨界ギャップ (秒)
 β ：右折車の飽和車頭時間 (秒)

この式の意味は次の通りである。

- ①右折車は、臨界ギャップより大きいギャップが生じたときは必ず右折する。逆に、臨界ギャップより小さいギャップでは右折できない。
- ②ギャップが、臨界ギャップよりさらに右折車頭時間 β だけ大きくなるに従い、そのギャップを利用して右折車がさらに1台捌ける。
- ③ギャップの出現頻度はポアソン分布に従う。

そして、パラメータ α と β は実測して得るべきものとしている。

(2) ギャップアクセプタンス特性に影響する要因

右折車のギャップ利用の可否は、主としてギャップサイズに依存する。それ以外の要因の影響に関する主な研究例を表-2に整理する^{5)~10)}。これらは、右折の判断が微妙となるギャップサイズでのギャップ利用に特に影響すると考えられる。そのため、影響を示す指標として、臨界ギャップの他に、ギャップサイズ別のギャップ利用率といったきめ細かな指標も用いられている。

表-2 ギャップ利用特性に影響する要因と影響の仕方

要 因		評価指標	ギャップ利用傾向
			利用 ←→ 棄却
道路の条件	右折所要時間 ⁵⁾	利用率	短 ←→ 長
	右折車の視界 ⁶⁾	臨界ギャップ	良 ←→ 悪
交通流の条件	右折待ち時間 ⁶⁾	臨界ギャップ	短 ←→ 長
	ギャップ棄却数 ⁷⁾	臨界ギャップ	多 ←→ 少
	対向交通流量 ⁸⁾	臨界ギャップ	低 ←→ 高
	右折車種 ^{6)・8)・9)}	臨界ギャップ ^{6)・8)} 利用率 ⁹⁾	二輪 ・ 大型
	対向直進車種 ⁸⁾	利用率	— ・ 前が大型
	対向直進車速度 ¹⁰⁾	利用率	速 ←→ 遅
	対向左折車 ⁸⁾	利用率 ギャップ中央値	なし ・ あり
信号制御状況	右折矢印の有無 ⁸⁾	臨界ギャップ	なし ・ あり
	信号現示 ^{8)・9)}	利用率	青丸 ・ 黄
その他	運転者の性別 ⁸⁾	利用率	男性 ・ 女性

(3) モデル化の考え方

ミクロな交通流シミュレーション上で、ばらつきのある交通現象を表現する際には、一般に車両1台1台に対して乱数を与えて処理をする。この特徴を生かすという観点では、臨界ギャップという閾値で右折の可否を決定する一義的な再現方法は望ましくないといえる。そこで、モデルとしてはギャップ利用の可否を確率的に表現できる構造とする。さらに、

ミクロな交通流シミュレーションでは、一般に車両1台毎の速度や交差点での進行方向が得られる。そこで、モデルではこれらの影響を反映できるものとする。これによって、右折の可否判断が微妙となるギャップサイズにおける右折の可否の実現象を再現できることが期待される。

そして、右折車は直面するギャップに対して、ギャップサイズをはじめとするいくつかの要因の影響を受け、そのギャップを利用して右折する・しないという2つの選択肢から1つを選択する。そこで、この現象を二項選択モデルを用いて説明する。モデルには、分析上の簡便性や、過去に高速道路流入部での合流挙動への適用実績¹¹⁾のある二項ロジットモデルを用いる。

3. ギャップアクセプタンス特性のモデル化

(1) モデルの概要

二項ロジットモデルによる各選択肢の選択確率は次式で与えられる。

$$P_{1n} = \frac{1}{1 + \exp\{-(U_{1n} - U_{2n})\}} \quad \dots\dots (2)$$

$$P_{2n} = 1 - P_{1n} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

P_{1n} : 個人 n が選択肢 i を選択する確率

U_{1n} : 個人 n が選択肢 i から受ける効用の確定

項 i : 選択肢 (1 = 利用、2 = 棄却)

(1)式より、選択確率 P_{1n} は、両選択肢の効用の差によって表される。そこで、

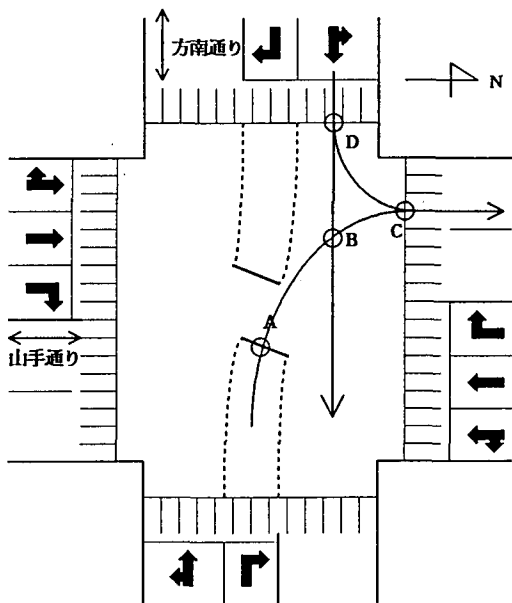
$$U_1 - U_2 = \theta_0 + \sum_{j=1}^J \theta_j X_j \quad \dots\dots\dots (4)$$

とし、説明力のある変数 X と、そのパラメータ θ を見出すことにより、個々の右折車が目前のギャップを利用して右折する確率を求める。

(2) 使用データ⁸⁾

モデル構築のため、信号交差点において右折挙動の調査を行った。調査場所は東京渋谷の清水橋交差点方南通り西行き流入路とした。対象流入部の車線構成を図-1に示す。交差側の山手通りは片側2車線で、両方向ともに右折車線が設置されている。

図-1には、右折車と対向直進車の通過タイミン



図－1 対象流入部の車線構成と車両挙動測定ポイント

表－3 各ポイントでの測定内容

車両 ポイント	右折車		対向直進車
	右折待ち（直進車の見送り）		直進車
	あり	なし	
A：右折誘導停止線 付近	・ 右折待ち開始時刻 ・ 発進時刻 ・ 発進位置	・ 通過時刻 ・ 通過位置	
B：右折と直進車 との交錯点付近	・ 通過時刻 ・ 通過位置		
C：屈折先横断歩道 前端	・ 通過時刻、通過位置 (歩行者の横断待ち等で減速した 場合には加速した時刻と位置)		
D：対向流入部横断 歩道後端			

グを読みとるポイントを併せて示している。各ポイントでの測定内容を表－3に整理する。右折車の状態で、右折待ちの有無は、対向直進車の見送りの有無によって判定した。そして、右折待ち開始時刻の定義を、右折車が誘導停止線の上流2m程度に到達した時点からとした。その際には、車両が完全に停止しなくても右折待ち状態になったものとした。また、前方の右折車が、右折先の横断歩道前端（C点）に達していないうちは右折待ちを開始していないものとした。

時刻の記録にはビデオの1コマに対応するタイムコードを用いた。そのため時間の粗さは1/30秒となった。また、各ポイントでの車両の通過位置につい

ても、あらかじめ設定した座標系から読みとることとした。これは、速度の計測に必要な諸量である。同じポイントでも車両によって流線が異なるために1台毎にポイント通過時の車両の前端の位置を読みとることとした。そして、対向直進車の接近速度はD点とB点の通過位置と時刻から求めた。

ビデオ撮影は6日間実施した。撮影時間帯は昼間のオフピークを対象とし、1日あたり3～5時間程度、合計22時間行った。今回はそのうち雨天時を除く12時間、316サイクルの車両挙動を解析対象とした。得られたサンプルは利用ギャップが347、棄却ギャップが3,587となった。

（3）モデルの構築

観測データには棄却ギャップが多く含まれている。しかしパラメータ推定の際には、サンプルに利用・棄却で偏りが無いことが望ましい。そこで今回は、右折車1台から複数の棄却ギャップを得た際には、

表－4 パラメータ推定に用いたサンプル数

	利用 Gap	棄却 Gap
パラメータ推定に使用したサンプル	347	496
最初のGapで右折したため利用Gapのみ得たケース	79	—
利用・棄却Gapともに1つずつ得たケース	268	268
青丸中に右折できずに棄却Gapのみ得たケース	—	228
パラメータ推定には使用しなかったサンプル	0	3,091

表－5 ギャップ利用確率推定モデル

		モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5
パラメータ	ギャップサイズ (秒)	0.878 (13.54)	0.906 (13.43)	0.936 (13.40)	0.921 (13.38)	0.885 (12.92)
	左折混入台数 (台/秒)		-2.04 (-2.26)	-2.63 (-2.78)	-1.75 (-1.91)	-1.75 (-1.91)
	ギャップ前車速度 (km/h)		0.0383 (2.76)		0.0309 (2.17)	0.0343 (2.32)
	ギャップ後車速度 (km/h)			0.0310 (2.39)		
	右折待ち時間 (秒)					0.0304 (3.43)
精度	青開始後の経過時間 (秒)				0.0170 (2.38)	
	定数項	-5.29 (-14.67)	-6.21 (-11.51)	-6.10 (-11.25)	-6.60 (-11.39)	-6.47 (-11.35)
	尤度比	0.468	0.480	0.478	0.484	0.485
	的中率	利用 254/ 347 73.2%	252/ 347 72.6%	257/ 347 73.9%	251/ 347 72.3%	231/ 322 71.7%
		棄却 447/ 496 90.1%	450/ 496 90.7%	450/ 496 90.7%	449/ 496 90.5%	454/ 496 91.5%
	合計	701/ 843 83.2	702/ 843 83.3%	707/ 843 83.7%	700/ 843 83.0%	685/ 818 83.7%

最も大きい棄却ギャップをパラメータ推定に用いた。これは、ギャップ利用の判断が微妙となるギャップサイズにおいて、他の要因の影響を効果的に分析できると考えたからである。その結果、パラメータ推定に用いたサンプルは表-4の通りとなった。なお、1ギャップで2台以上右折した場合は、1台目の右折車の可否判断のみを分析対象とした。

表-5にパラメータ推定の結果を示す。これを見ると、ギャップサイズのみを変数としたモデル1でも尤度比が0.4を越えており、この影響が大きいことがわかる。次に、ギャップに左折車が混入する影響を調べた。ここで、左折車の混入台数は明らかにギャップサイズと相関があるため、ギャップ1秒あたりに混入する左折車の台数(左折車混入台数÷ギャップサイズ)を変数として設定した。その結果、各モデルの符号条件から、対向左折車の混入は右折車が捌けない方へ寄与することがわかる。また、直進車の速度の影響をギャップを構成する前車と後車の速度で検討した。その結果、速度が速くなるとギャップは利用される傾向がみられる。モデル2と3で比較すると、前車速度の方が影響が大きいことがわかる。さらに、モデル4と5をみると、右折待ち時間や青開始からの経過時刻が大きいことは、ギャップを利用する方へ寄与することがわかる。しかしこれらは、利用ギャップが時間的に棄却ギャップの後で観測されるというデータの偏りのためとも考えられる。さらに、青開始からの経過時刻については、青開始直後是对向車が飽和流を形成し右折しにくい一方で、青終了間際には無理に右折しない傾向にあることも指摘されている⁸⁾。そこで、これらについては両者を区別した変数を取り入れて詳細に分析する必要があると思われる。

(4) モデルの現象再現性の検討

表-5のモデル2を用いて、モデルの現象再現性を数え上げ法により検討した。すなわち、モデルから個々のギャップの利用確率を求め、それらを各変数値の層別に平均した値を推定値とした。そして、実際の利用率、すなわち実績値との比較を試みた。その際は、パラメータ推定に用いなかった3,091の棄却ギャップも比較対象として加えた。

その結果、まずギャップサイズ別に推定値と実績

値を比較したものを図-2に示す。これを見ると、推定値と実績値とで大きな相違はないが、ギャップサイズの小さな領域で利用率が過大推定されている。実績値ではギャップサイズ4秒未満でのギャップ利用はほとんど観測されていないことから、この領域では本モデルは適用しがたいといえる。

次に、図-3に左折車混入率別に推定値と実績値を比較した結果を示す。これを見ると、概ね傾向が再現されている。

さらに、対向直進車の速度別に推定値と実績値を比較した。左折車混入のない場合を図-4に、ある場合を図-5に示す。これを見ると、まず図-4では、速度の違いによるギャップ利用率の違いが再現

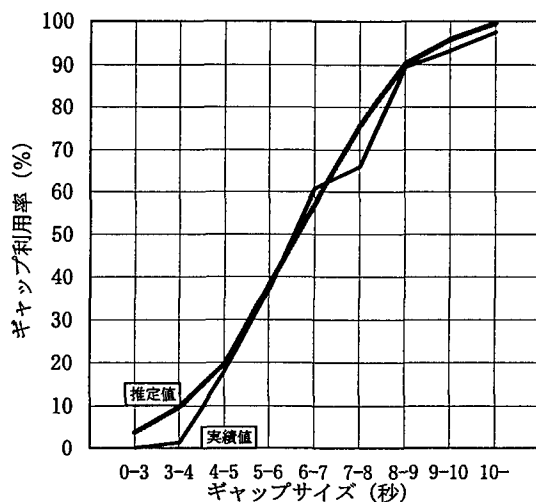


図-2 推定値と実績値の比較

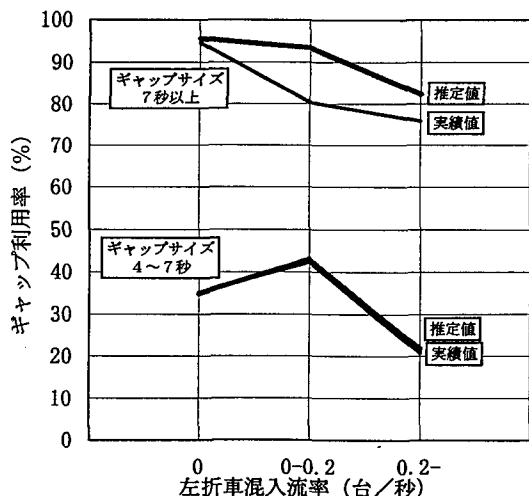
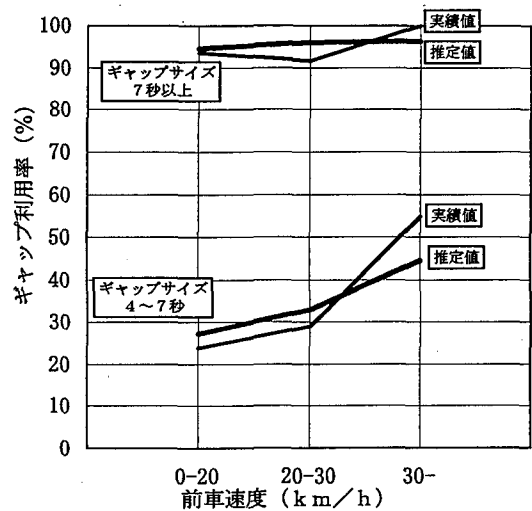


図-3 左折車混入率別の推定値と実績値の比較

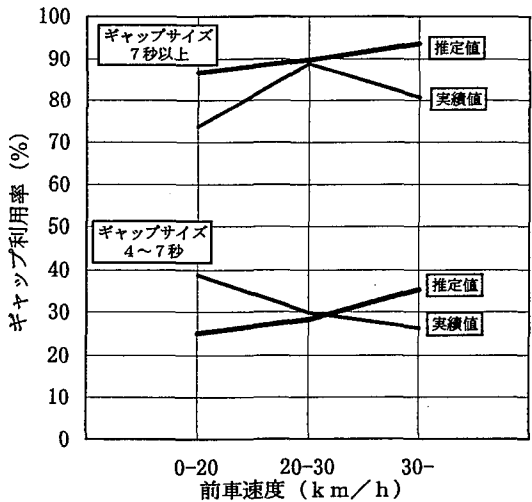
されている。しかし、図－5では、傾向に相違がみられる。これについては、左折車混入時の右折挙動が複雑であることから、その実態について詳細な分析を行った上でモデル化することが必要と考える。

4. モデルの感度分析によるギャップアクセプタンスメカニズムの検討

同じモデルを用いて、各変数の感度分析を行った結果を図－6に示す。縦軸のギャップ利用率は、前章の推定値と同様に、個々のデータからギャップ利用確率を求め、ギャップサイズ別に平均した値である。図中、基準値は変数の変化がない場合である。



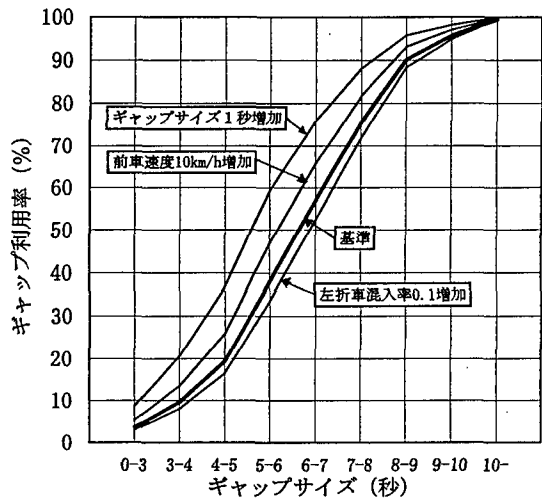
図－4 前車速度別の推定値と実績値の比較 (左折混入なし)



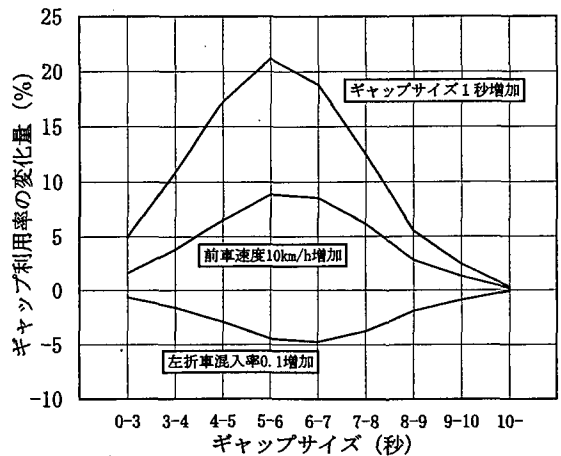
図－5 前車速度別の推定値と実績値の比較 (左折混入あり)

そして、ギャップサイズが1秒、直進車の速度が10 km/h、左折車混入率が0.1台/秒、増加した時のそれぞれのギャップ利用率を示している。

さらに、各変数の感度をギャップ利用率の変化量で表した結果を図－7に示す。これを見ると、利用率の変化量はギャップ利用の判断が微妙となるギャップサイズで大きくなっている。この領域では、右折挙動はギャップサイズ以外の要因にも影響を受けるといえる。各要因の影響を比較すると、対向直進車の速度10km/hの増加がギャップサイズ 0.4秒の増加に、左折車混入率 0.1の増加がギャップサイズ 0.3秒の減少に匹敵している。



図－6 各変数の感度



図－7 ギャップ利用率の変化量でみた変数の感度

5. おわりに

本研究では、右折車が対向直進車の間隙を利用して右折する行動を、ギャップの利用・棄却の選択行動と見なし、二項ロジットモデルによりモデル化した。そして、ギャップ利用の判断が微妙となる領域では、ギャップサイズ以外の要因も右折の判断に影響することを示した。

今後は、本モデルにより推定される右折捌け量の評価を行うとともに、モデルの変数として、信号制御状態や流入部の車線数といった他の交通状態を取り入れ、より実態を反映したモデルへと改良することが必要である。さらに、1ギャップで2台以上の右折が生じる現象を説明するモデルを構築し、信号交差点における右折挙動の再現モデルの確立へと結びつける必要があると考える。

参考文献

- 1) 板倉誠司, 齋藤威, 安井一彦, 浅羽正和: ムーブメントに基づいた新しい信号制御方式の安全性、円滑性に関する評価, 第15回交通工学研究発表会論文集, pp. 93-96, 1995.
- 2) Gordon I.D. and Miller A.J.: Right turn movements at signalized intersections, Proc. 3rd Conf.A.R.R.B.,3:1,446,1966.
- 3) 例えば, (社)日本道路協会, 道路の交通容量, 1984.
- 4) R.Akcelik: Traffic Signals. Capacity and Timing Analysis, Australian Road Research Board, Research Report ARR No.123, p77, 1981
- 5) J.Wennell and D.F.Cooper: Vehicle and Driver Effects on Junction Gap Acceptance, Traffic Engineering and Control Vol.22 No.12, pp.628-632, 1981.
- 6) 森健二, 齋藤威: 信号交差点における右折挙動に基づいた右折処理能力に関する研究, 土木計画学研究講演集15(1), pp. 279-286, 1992.
- 7) H.Mahmassani and Y.Sheffi: Using Gap Sequences to Estimate Gap Acceptance Functions, Transportation Research, Vol.15-B, pp.143-148, 1981.
- 8) 森健二, 齋藤威: 信号交差点における右折交通容量算出方法に関する一考察, 土木計画学研究講演集16(1)2, pp. 987-992, 1993.
- 9) K.Fitzpatrick: Gaps Accepted at Stop-Controlled Intersections, Transportation Research Record 1303, pp.103-112, 1991.
- 10) 森健二, 齋藤威: 信号交差点における右折車のギャップ利用特性と対向直進車の速度との関係分析, 土木計画学研究講演集17, pp. 165-168, 1995.
- 11) 喜多秀行, 畠中康行: 高速道路流入部におけるギャップアクセプタンス挙動の解析, 第11回交通工学研究発表会論文集, pp. 9-12, 1991.

信号交差点における右折車のギャップアクセプタンス特性のモデル化

森 健二、本間正勝、齋藤 威

ミクロな交通流シミュレーションにより、信号交差点の右折処理量を再現することを意図して、右折車が対向直進車の間隙を利用して右折する行動のモデル化を行った。右折挙動をギャップの利用・棄却の選択行動と見なし、二項ロジットモデルにより定式化した。その結果、右折挙動が確率的に表現でき、ギャップサイズ以外の要因の影響を取り入れることが可能となり、これにより、きめ細かな右折処理量の推定が可能となった。構築したモデルの感度分析より、右折車のギャップ利用にはギャップサイズの影響が大きい、ギャップ利用の判断が微妙となる領域では、ギャップサイズ以外の要因も右折の判断に影響することがあきらかとなった。

Modeling of Gap Acceptance Characteristics of Right-Turning Vehicles at Signalized Intersections

Kenji MORI, Masakatsu HONMA and Takeshi SAITO

The purpose of this study is to develop a gap acceptance model of right-turning vehicles at signalized intersections, aiming at developing a simulation model to be able to reproduce the right-turning capacity in microscopic fashion. The modeling is done based on the assumption that the right-turn decision be done as the alternative judgment of right-turners, therefore the logit model is applied. The model developed can reproduce the right-turn behavior as the stochastic ones and can handle various factors on capacity. The result of the sensitivity test shows that the behavior mostly depend upon the gap sizes, but also depend upon the other factors especially when the gap sizes are around the critical ones.