

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*

A Study of Right-turn Capacity from the Standpoint of
Right-turners' Behavior at Signalized Intersections

森 健二**、 斎藤 威***

By Kenji MORI, Takeshi SAITO

The purpose of the study is to find out the gap-acceptance characteristics of right-turning vehicles in microscopic fashion at signalized intersections so as to be able to apply in designing the signal phasing and even in examining safety.

The field data are taken at 10 intersections, which were different from each other in intersection configurations and the right-turning phases. The passing times of right-turning vehicles on the reference points set in advance were manually measured by stopwatches with printers.

In the data analyses, the focus was placed on the differences of critical gap sizes by intersection configurations, traffic flows, signal phasings and so on.

The main findings are summarized as follows; The sizes of critical gaps seem to become longer with the increase of opposing straight-through volumes. This may depend on the fact that right-turners waiting for a long time have more opportunities of turning at all-red phase or at the exclusive phase for turns. This tendency is more clear at the later period of the green phase or the locations with exclusive right-turning phases.

1. 研究の背景と目的

信号交差点の右折処理能力は、右折現示方法の設定や右折感應制御等の交通信号制御に際して用いられている。例えば、右折感應制御のパラメータ設定基準の一つには右折交通容量がある。

一般に右折の機会が青丸表示、青矢印そして信号表示の変わり目とに分けられる。このうち、青丸表示中の右折処理量の算出には「右折車が対向直進車の間隙を利用して右折する特性（以下、ギャップアクセプタンス特性と称す）」が支配的な要素となっている。この特性と右折処理方法との定量的な関係把握はまだまだ不十分といえる。そこで本研究では、これが交差点形状や交通状況、さらには信号制御状

態とどの様に關係しているかを明らかにすることを目的とする。

2. ギャップアクセプタンス特性に関する従来の研究と本研究の位置づけ

(1) 特性の定量化について

一般に、ギャップアクセプタンス特性は、右折の他に横断や合流でも取りあげられる。いずれについても、利用するか見送るかの判断が迷うようなギャップのサイズを定量的に表現する方法について、いくつかの考え方が提案されている。以下に代表的なものについて概説する。

①臨界ギャップ (critical gap)

臨界ギャップとは、それ以上の大きさに右折が見送られたギャップの数と、それ以下の大きさに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。信号交差点における右折車の臨界ギャップは、6秒程度といわれている¹⁾。

*キーワード: 信号交差点、ギャップアクセプタンス特性

**正会員 警察庁科学警察研究所交通規制研究室

*** 警察庁科学警察研究所交通規制研究室長
(〒102 千代田区三番町6)

②利用ギャップ (accepted gaps) の統計量

利用されたギャップの平均値や中央値を用いてギャップアクセプタンス特性を調べることも可能である。ただし、これらはギャップを構成する交通流状態にも依存する。そのため、この指標のみで処理効率や安全性を評価することは少ない。

③利用率50パーセントのギャップサイズ

利用と見送りの割合が半々になる大きさのギャップが、最も判断に迷うギャップと解釈することもできる。しかし、細かい桁数でこれを定めるには大量のデータが必要とされる。そこでこの値はギャップの利用率とサイズの関係から推定されることが多い。

Fitzpatrick²⁾ は臨界ギャップと利用率50パーセントのギャップサイズとの比較を行っている。その内容は、信号機のない交差点における車両の横断と右・左折による交差側道路への合流時のギャップアクセプタンス特性を5カ所の交差点毎に車種別に分析したものである。それによると、両指標の差は乗用車で最大0.58秒、トラックで最大0.75秒（いずれも横断時に観測された）であり、有意な差は明らかにされていない。

(2) ギャップアクセプタンス特性に影響する要因について

従来から、ギャップアクセプタンス特性は交通状況と関連があることが示されている。例えば、BlumenfeldとWeiss³⁾ は、信号機のない交差点における従道路の遅れ時間と交通容量を推定する試みの中で、従道路の車両が主道路側の交通流の間隙を利用して横断する挙動に着目し、その時の臨界ギャップが遅れ時間と交通容量に関係していることを見だしている。また、Wenne⁴⁾ とCooper⁴⁾ は、交差側道路への合流挙動と、対向直進交通流の間隙を利用する右折挙動を分析しており、その際に当該車両の車種、ドライバーの性別、右折所要時間がギャップアクセプタンス特性に影響することを示している。それによると、利用されたギャップの中央値は、大型の車種ほど大きい傾向にある。また、ドライバーが女性の場合は男性と比べてギャップの大きさは合流では0.21~0.32秒、右折では0.01~0.33秒大きい結果となっている。さらに、右折所要時間が大きいと利用されるギャップも大きい傾向にあり、その中央値と右折所要時間とはほぼ線形の関係であることを

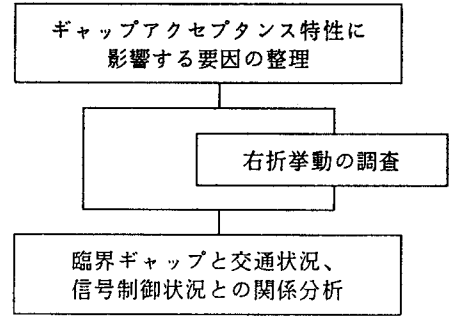


図-1 研究のフロー

示している。

以上のように、ギャップアクセプタンス特性は様々な交通条件によって異なることが知られている。しかし、信号制御方式との関係を分析した例は少ない。そして、これらの点は右折交通容量の算出にも反映されていない。そこで本研究では、信号制御方式を含めた交通状況とギャップアクセプタンス特性の関係について、主として臨界ギャップを用いて定量的な検討を行うものである。

(3) 研究の構成

図-1に研究のフローを示す。まず、臨界ギャップに影響する要因について整理する。その際、既存の研究結果を参考とし、交通制御に結びつけるという観点から実用的な要因を中心に整理する。次に、右折時の交通状況や車両挙動に関する調査を実施する。そして、それらのデータを用いて臨界ギャップに影響する要因の分析を行う。

3. 臨界ギャップに影響する要因の整理と実地調査

(1) 検討する要因の整理

今回、検討対象として取りあげた要因を表-1に示す。交通状況については過去の研究結果を検証することも意図して要因を取りあげる。信号制御状況に関しては、信号ステップと右折矢印の有無を検討する。交通の安全性との関係については、臨界ギャップがそれ自体安全性を示す指標であるが、それを検証するために、あえて今回は安全性を明示的に示す事故件数との関係を調べる。

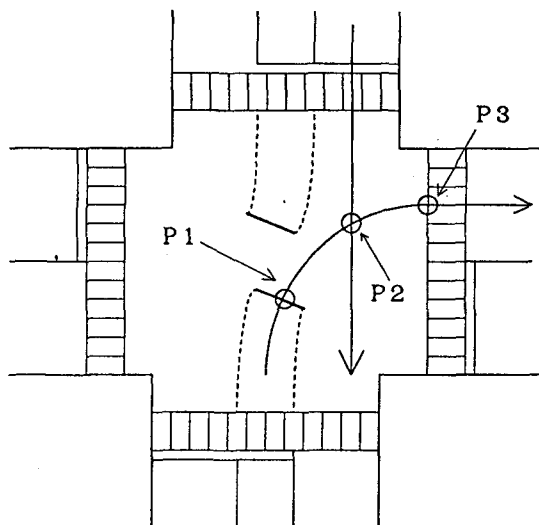
(2) 右折挙動に関する調査⁵⁾

a) 調査方法

表-1の要因が分析できるように調査対象交差点を選定し、調査方法を検討する。まず、右折・対向

表－１ ギャップアクセプタンス特性に影響すると
考えた要因

交差点形状	右折車線数 対向直進車線数 交差点の大きさ
交通流の状況	右折所要時間 右折待ち時間 対向直進交通量レベル 右折車の視界
信号制御状況	信号ステップ 右折現示方式
安全性	流線別にみた事故件数の多寡



図－２ 計時ポイント

直進車線数の違いを分析するために様々な車線構成の交差点を選定する必要がある。同様に右折現示方式については、右折矢印の有無の違いが分析できるように調査対象交差点を選定する。事故件数の多寡については、事故の多い右折流線と事故の少ない右折流線が明確な交差点を選び、それぞれの流線で調査を行う。

車両挙動は人手により調査する。図－２の様に交差点内に３つのポイントを設定し、車両が各ポイントを通過する毎に時刻を計時する。計時にはプリント付きストップウォッチを使用する。図２でP1は右折誘導停止線である。P1で右折車が停止した場合は、停止時刻と発進時刻を計時する。P2は右折流線と対向直進流線との交錯点で、右折車・対向直進車それぞれについて記録する。P3は右折先の横断歩道の交差点側前端である。この方法により、対向直進車のギャップと右折車のギャップ利用状況はP2の計時記録によって得られる。右折所要時間は右折車がP1を通過してからP3に到達するまでに要する時間となる。そして右折待ち時間はP1の停止から発進までの時間となる。また、右折誘導停止線での視界の良悪については今回は対向右折待ち車両の台数の影響を検討する。そこで対向右折待ち車線における車両の停止・発進時刻を計時する。さらに信号ステップの変わり目を計時する。これによって観測された各車両挙動がどの信号ステップで生じたかが判定できる。

ｂ) 調査対象交差点の抽出と調査の実施

調査対象交差点は以下の様に選定した。まず、昭和63年から平成2年中までで、東京都内で右折事故多発交差点としてリストアップされた40交差点を候補とした。そして、各交差点の事故多発側と寡発側を特定した。次にその両者が対称となり、かつその差が大きい交差点を抽出した。さらに、車線構成、右折矢印の有無別に分析が行えるよう考慮し、最終的に11カ所の交差点を抽出した。

調査は1時間を1単位として、各交差点について多発側・寡発側を交互に2時間ずつ行った。調査時間帯は概ね午前10時から午後3時とした。

なお、この調査はギャップアクセプタンス特性の他にも様々な分析に用いるために実施された。そのため調査場所には青矢印以外では右折できない交差点も含まれている。そのような場所では右折車の間隙を利用する挙動が生じないので、ここでの分析対象とならない。最終的に本研究では表－２に示す10交差点が分析対象となった。

(3) 調査結果の概要

調査中、右折車が存在しない時に生じたギャップは、利用・棄却の意志決定の対象とならないため分析対象から除外した。その結果、得られたギャップの数は表－３のようになった。そして、それらを用いて臨界ギャップを求めたところ、図－４に示すように5.89秒となった。さらに利用ギャップの平均サイズは9.95秒、棄却ギャップのそれは1.20秒となった。

表-2 調査対象交差点とその概要

交差点名	右折矢印	多発側			寡発側			調査日
		事故件数 ＊	車線数		事故件数 ＊	車線数		
			右折	対向直進		右折	対向直進	
春日町	有	17	2	2	2	1	2	8/19
善福寺	無	16	0	1	1	0	1	8/21
江戸川	無	15	1	2	0	1	2	8/22
熊野町	有	13	2	3	1	1	2	8/23
溜池	有	7	2	3	3	2	3	8/24
新宿４丁目	有	19	1	1	2	1	2	8/26
南砂４丁目	有	9	1	2	**	**	**	8/27
日比谷	有	11	1	3	6	2	4	9/24
新宿５丁目東	有	13	1	2	1	2	3	9/25
北千住	無	7	1	1	0	1	1	9/26

*昭和63～平成2年に発生した事故件数

**青矢以外の表示では右折不可能なため分析対象外

表3 観測ギャップ数

交差点名	Accepted Gaps		Rejected Gaps	
	多発側	寡発側	多発側	寡発側
春日町	13	6	1043	804
善福寺	58	32	26	11
江戸川	24	11	127	112
熊野町	8	23	2466	1644
溜池	65	53	1033	1217
新宿4丁目	18	19	814	570
南砂4丁目	5	—	872	—
日比谷	1	1	2286	3406
新宿5丁目東	34	3	2259	852
北千住	40	44	115	66
合 計	266	192	11041	8682
	458		19723	

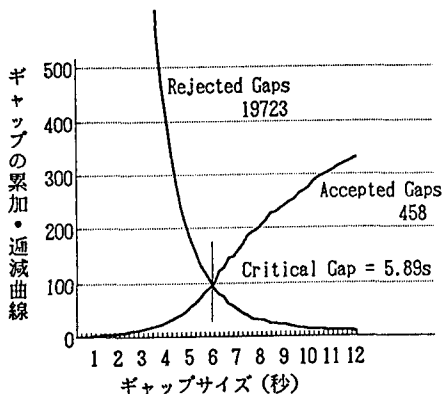


図-3 臨界ギャップとギャップ数（全データ）

4. 各種交通状況と臨界ギャップとの関係考察

(1) 交差点形状について

交差点形状と臨界ギャップの関係を表-4に示す。なお、表には利用・棄却ギャップの数も記している。これは臨界ギャップの値の信頼性を示すことを意図している。しかし観測ギャップ数と臨界ギャップの有意性の検定は行っていない。そのため、ここでは各種交通状況と臨界ギャップとの関係は傾向として分析する。

表-4をみると右折・対向直進ともに車線数によって臨界ギャップが異なる。しかしその違いは車線数によってランダムであり、車線数が臨界ギャップに影響しているとは考えられない。

次に、交差点の大きさを右折・対向直進の車線数の組み合わせで3分類にした上で、それぞれの臨界ギャップを調べた結果を同表に示す。これをみると交差点の大きさそのものが臨界ギャップに影響するとは考えにくい。

表-4 交差点形状別にみた臨界ギャップ

項目		臨界ギャップ（秒）	
		（平均値：利用／棄却）	
右折車線数	1	6.25	(315/ 9706)
		<1> 5.69	(251/ 2713)
<対向側の右折車線数の別>	2	7.03	(64/ 6993)
		<2> 4.91	(118/ 2250)
対向直進車線数	1	5.68	(192/ 1032)
	2	6.55	(135/ 7431)
	3	5.30	(131/ 11260)
交差点の大きさ	大	5.78	(188/ 15163)
	中	6.19	(96/ 4342)
	小	5.65	(174/ 218)

(2) 交通流の状況について

(a) 右折所要時間

右折に多くの時間を要する流線では右折するために大きいギャップが必要と推察される。そこで、右折誘導停止線から右折先の横断歩道までに要する時間を右折所要時間と定義して検証を試みた。その結果を図-4に示す。図には調査流線毎の右折所要時間の平均値と臨界ギャップとの関係を示している。ここで、所要時間を求める際には対向直進車の信

号表示が黄と赤のみの状況で集計した。これは、右折後の横断歩道上の歩行者により所要時間が異なると、右折前にドライバーが考えていた所要時間が分析できないためである。また、利用ギャップのサンプル数が5個未満の流線は除外した。これをみると、所要時間が大きいと臨界ギャップが大きくなる傾向にある。すなわち、ドライバーは利用・見送りの選択時に右折に要する時間を考慮している可能性がある。

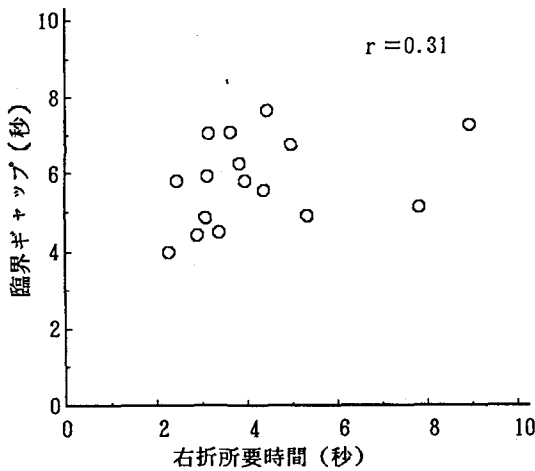


図-4 右折所要時間と臨界ギャップの関係

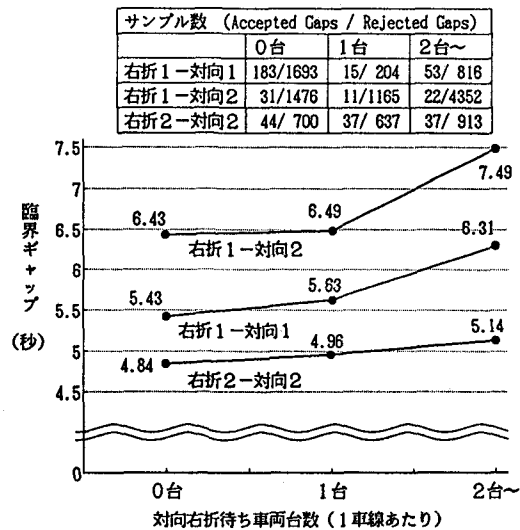


図-5 対向右折待ち車両数と臨界ギャップの関係

(b) 対向右折車両による視界の悪化

対向直進車の状況が把握しやすいか否かによって、

右折挙動も異なると思われる。そこで、対向右折待ち車両の存在によって当該右折車の視界がさえぎられることが、臨界ギャップにどの様に影響するかを調べた。視界の良悪は右折・対向右折の車線構成に依存すると考えられる。そのため、この検討は車線構成別に行った。視界の良悪の程度として、対向右折待ち車両の台数を考えた。その結果を図-5に示す。いずれのケースも、右折待ち台数が多いと臨界ギャップが大きくなっている。特に、対向右折待ち台数が1台のみの時より、2台以上の時にこの傾向は顕著となる。これは明らかに対向右折待ち車両の存在により、当該右折車の処理効率が低下することを意味している。

(c) 対向直進交通量と右折待ち時間について

交差点によって青+黄の表示時間が異なるため、対向直進交通量レベルは、サイクル毎の交通量をその時間で除して、1秒あたりのフローレートとして分類した。図-6にそのレベル別の臨界ギャップを示す。これを見ると、対向直進交通量が多い状況では臨界ギャップは大きく、右折処理効率が低下していることがわかる。

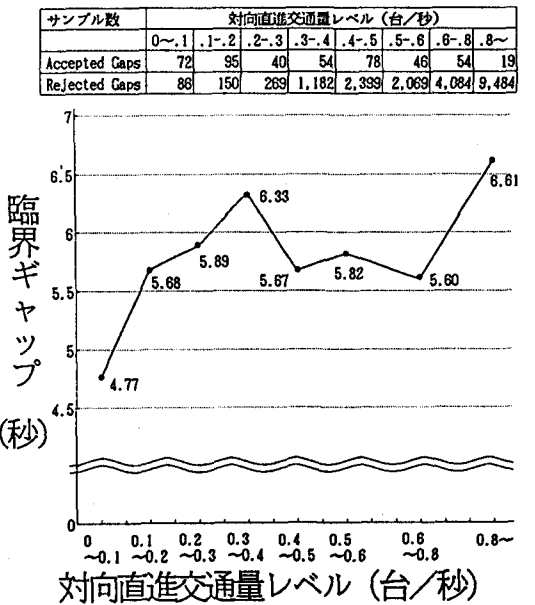


図-6 対向直進交通量と臨界ギャップの関係

右折待ち時間については、右折誘導停止線での待ち時間ではなく、右折レーンでの待ち時間を含めた一般的な指標がよいと考えた。そこで (1) 式の様に

サイクル別の右折待ち時間を定義し、そのレベル毎に臨界ギャップを求めた。その結果を図-7に示す。

図-7をみると、右折待ち時間が長いと臨界ギャ

$$Ti = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{Ni} \cdot \sum_{k=1}^{Ni} tk \dots\dots(1)$$

ここで

Ti : サイクルiの右折待ち時間(秒)

R : 当該右折車線数

Ni : サイクルiにおける全右折車線の右折車両台数(台)

tk : サイクルiの右折車両kの右折誘導停止線における右折待ち時間(秒)

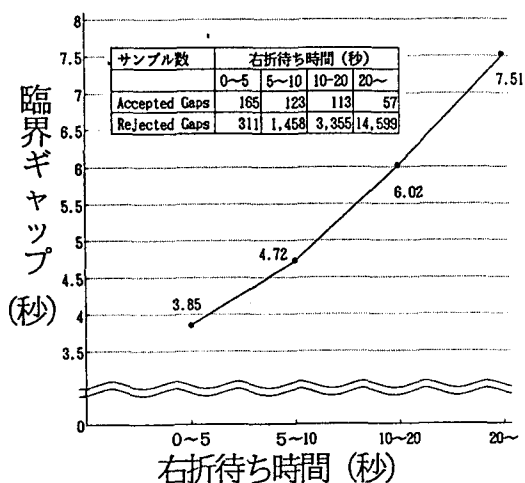


図-7 右折待ち時間と臨界ギャップの関係

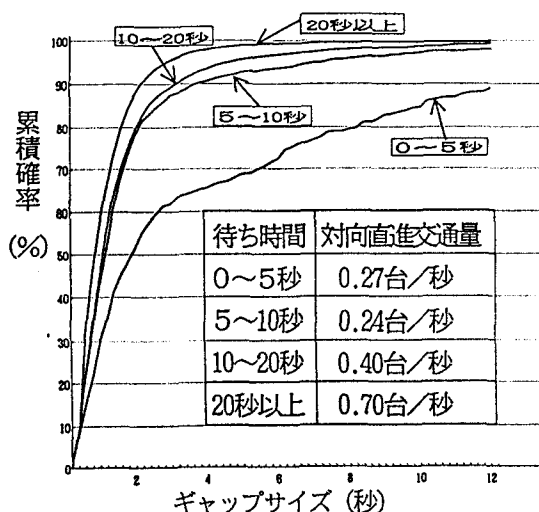


図-8 対向直進交通量とギャップサイズの確率分布の関係(右折待ち時間別)

ップは大きくなる傾向にある。この傾向は対向直進交通量が多くなる場合と同様である。これは、右折待ち時間と対向直進交通量とが関係しているためと考えられる。図-8は右折待ち時間別にギャップの累積度数確率と対向直進交通量レベルの関係を示したものである。これをみると、待ち時間が長いほど短いギャップが占める割合が大きく、対向直進交通量が多い傾向にあることがわかる。

そこで、対向直進交通量別かつ右折待ち時間別に臨界ギャップを求めた結果を図-9に示す。これを見ると、両指標には関連があるものの、対向直進交通量が多いことと右折待ち時間が長いことは、それぞれ臨界ギャップを大きくする要因となることがわかる。

過去の研究⁶⁾では無信号交差点においては、待ち時間が長いとドライバーは無理して間隙を利用する傾向にあり、臨界ギャップも小さくなるという報告がある。しかし本研究では信号交差点を対象としているため、逆の結果になったと考えられる。なぜなら、信号交差点では全赤で対向直進車が途絶えたり、右折青矢印で安全に右折する機会が与えられるため、右折車はあえて無理をしないためと推察される。いはいかえればドライバーが漫然と右折を見送るため臨界ギャップが大きくなる傾向が表れたと思われる。

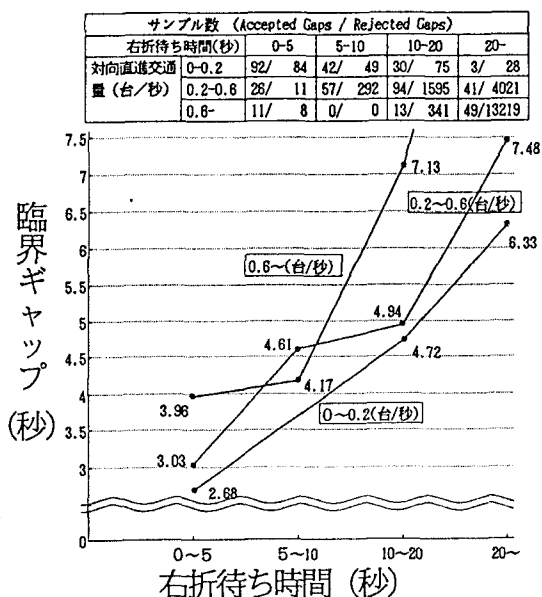


図-9 対向直進交通量・右折待ち時間と臨界ギャップの関係

(3) 右折現示方式と信号ステップについて

これまでの検討で、信号交差点のギャップアクセプタンス特性としては、右折車は全赤、右折青矢印時に対向直進車の影響を受けずに右折ができることから、無理して右折しないという傾向が明らかとなった。この点を含めてさらに検討するため、右折青矢印の有無別、信号ステップ別に臨界ギャップを調べた。信号ステップは、車両用と歩行者用灯器が青のステップ（以下、Gと称す。）と歩行者用灯器が青点滅のステップ（以下、PFと称す。）以降の2つに分けて検討した。その結果を表-5に示す。まず右折現示方式の違いについては、臨界ギャップは右折青矢印有りの方が大きい傾向にある。これは、待っていればいずれ右折の機会が得られる中でも、全赤よりも矢印の方が負担が少ないため、矢印がある場所ではドライバーはより右折を見送る傾向があるためと推察される。次に信号ステップの違いについては、臨界ギャップはPF以降の方が大きくなっている。これについては全赤、右折青矢印による右折の機会が近づくほど、無理してギャップを利用しないという傾向がより一層反映されたためと考えられる。

表-5 右折青矢印の有無・信号ステップ別にみた臨界ギャップ

右折矢 の有無	信号 ステップ	臨界ギャップ（秒） （利用/棄却）
有	G	5.89 (188/12655)
	PF～	6.16 (61/6611)
	全ステップ	5.99 (249/19266)
無	G	5.29 (195/383)
	PF～	6.29 (14/74)
	全ステップ	5.50 (209/457)

(4) 事故の多発・寡発について

最後に、臨界ギャップが交差点の右折車の安全性を診断する指標として妥当か否かを検討する。仮に臨界ギャップが小さい交差点で右直事故が多いならば、その様な場所では青丸表示中では右折が行えないような処理をする必要が生じる。

事故多発・寡発流線別に臨界ギャップを調べた結果を図-10に示す。これを見ると、まず全体的に

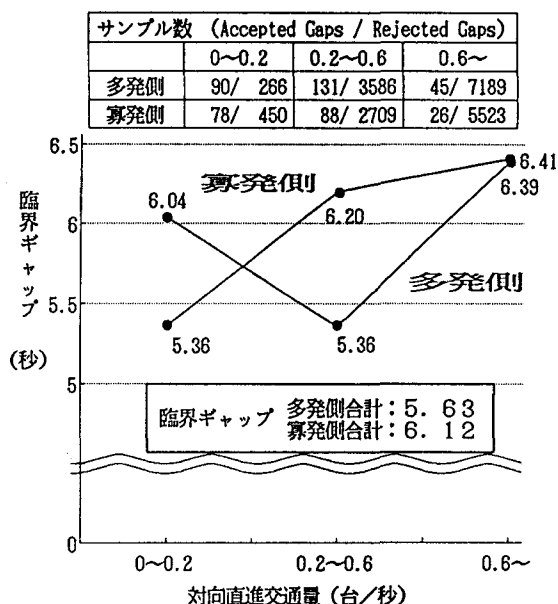


図-10 事故の多発・寡発と臨界ギャップの関係

は寡発側の臨界ギャップが6.19秒で多発側の5.63秒よりも大きくなっている。これは安全性と円滑性が相反するもので、これを見る限り臨界ギャップによって、それを相対的に評価できることを裏付ける結果となっている。しかし、例えばさらに対向直進交通量レベル別に検討を行うと、一定した傾向とはいえない。このことは、事故の多寡に対向直進交通量に対して比例関係にないためとも推察される。したがって、これらの点については今後より多くのデータを蓄積し検討する必要があると考える。

5. 結論と今後の課題

(1) 結論

本研究は、交差点形状、交通状況、信号制御状態とギャップアクセプタンス特性との関係を、主として臨界ギャップによって分析した。それを通じて得られた結果を以下にまとめる。

①交差点形状を示す指標の中で、右折車線数、対向直進車線数、交差点の大きさを取りあげたが、これらが臨界ギャップの大きさに影響しているとはいえない。一方、右折流線別の右折所要時間が長いほど臨界ギャップが大きくなることから、右折誘導停止線から右折先の横断歩道までの距離が長いような形状では右折処理効率が低下する可能性がある。

②右折車の視界が妨げられる状況として、対向右折待ち車両の有無について検討した。その結果対向右折待ち車両の存在によって右折効率が低下し、その台数が多いとこの傾向はより顕著となる。

③対向直進交通量が多いと臨界ギャップは大きくなる傾向がみられた。この解釈としては、信号交差点における右折車は待ち続ければ全赤・右折青矢印になるために、その時に右折できることから、無理して右折しないためと考えられる。このために右折待ち時間が長くなると臨界ギャップが大きくなる傾向が表れたものとみられる。なお、この傾向は青時間後半や右折青矢印のある交差点において顕著となる。

(2) 今後の課題

臨界ギャップは車両の処理効率を示す指標であることから、右折交通容量の基本値の算出にも用いられる。その際、この値は交通状況によらず一定とされている。しかし今回の検討結果からも明かな様に、実際は各種走行環境によって異なるため、その影響を考慮した右折交通容量算出方法の確立が必要と考えられる。また、右折交通容量は右折感應制御等の制御パラメータを設定する際に用いられている。このようなパラメータの設定は、本来交通状況等に応じてきめ細かく設定されるべきものであり、これが実現することにより効果的な信号制御の確立へと結びつくものと考えられる。

また、臨界ギャップの大きさは、右折車がどの程度の危険を犯して右折したかを示す指標とも考えられる。そこで今回は事故件数の多寡と臨界ギャップの関係を調べた。そして臨界ギャップにより交差点の右折の危険性が評価し得ることを示した。これに関して、安全性を考慮した右折処理方法の選択に役立てることを意図した検討も意義深いと思われる。例えば、右折専用現示を設けたときの右折車の処理を、右折矢印表示のみで行うのか否かを考えてみる。すると臨界ギャップが小さくて処理効率が良くても、危険性が大きければ青丸表示中には右折を行わせないという考え方によって処理方法を選択することが可能となる。この様に、交通流の円滑性のみならず、安全性をも考慮した右折処理方法についての検討は難しく、いまだにその手法として確立されているものはない。そのため、各交差点の特性に応じて現場

で蓄積された経験に基づいて運用されているのが現状であり、これを科学的な根拠をもって支援するための運用基準の確立が課題となっている。

最後に、本研究で右折挙動の現地調査を行うにあたり、(株)京三製作所の梅村成氏、(株)日本信号の江崎嘉孝氏には多大なるご助言・ご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

<参考文献>

- 1) 岡本博之、海老原浩一ほか：交通システム工学(2), P111.
- 2) K. Fitzpatrick : Gaps Accepted at Stop-Controlled Intersections, Transportation Research Record 1303, pp103-112, 1991
- 3) D. E. Blumenfeld and G. H. Weiss : The Effect of Gap Acceptance Criteria on Merging Delay and Capacity at an Uncontrolled Junction, Traffic Engineering and Control, Vol. 20, No. 1, pp16-20, 1979.
- 4) J. Wennell and D. F. Cooper : Vehicle and Driver Effects on Junction Gap Acceptance, Traffic Engineering and Control, Vol. 22, No. 12, pp628-632, 1981
- 5) 梅村成、江崎嘉孝：右折に伴う交通事故の危険性, 日本大学理工学部交通土木工学科卒業論文, 1992.
- 6) H. Mahmassani and Y. Sheffi : Using Gap Sequences to Estimate Gap Acceptance Functions, Transportation Research, Vol. 15-B, pp143-148, 1981.