

右折ギャップアクセプタンス挙動の要因分析とモデル構築

都市交通研究室
22320184
大峯光悦

1. 研究背景

交差点では多くの車両や歩行者が行き交うため、交通流の円滑化が都市交通の効率性向上において重要となる。その中でも右折は非優先進行のため、右折をする際には対向車の通過の合間（ギャップ）を見て進行する（ギャップアクセプタンス挙動）必要があり、対向車の交通状況に大きく左右される特殊な挙動である。

交通円滑化を図るためには、まず交差点の交通容量を把握したうえで、信号制御の改善や交差点設計の見直しを進める必要がある。右折交通に着目すると、右折ギャップアクセプタンス挙動の理解が不可欠であるが、ギャップの長さや運転者の心理状態に加え、交差点構造や交通状況など、さまざまな要因によって影響を受けると考えられる。よって、これらの要因がどの程度右折判断に影響を与えているのかを定量的に把握することが重要である。

また、新潟県長岡市では冬季の降雪が交通に大きな影響を及ぼしており、降雪時には通常時と比較して車両挙動や運転者の判断に変化が生じる可能性がある。さらに、朝・昼・夜といった時間帯の違いによっても交通量や視界条件、周辺環境が変化することから、右折判断や右折処理能力にも差異が生じることが想定される。

このように、気象条件・時間帯・交差点構造などの要因は、右折ギャップアクセプタンス挙動や右折処理能力に影響を及ぼす可能性があり、それらの関係性を把握することが交差点における交通流の理解を深めるうえで重要である。

2. 既往研究の整理と研究目的

2.1. 既往研究の整理

本研究に関連する既往研究を整理すると、以下の通りである。

森らの研究¹⁾では、同じギャップであっても、車両間の距離感の違いが右折判断に影響を及ぼす可能性があるとして、対向車の速度と右折車のギャップ利用に関する関係性を検討している。その結果、同一のギャップでも、後続車両が前方車両より速い場合には右折が行われやすくなること、ギャップを形成する前後車両の速度差が小さい場合、対向車の速度が遅いと右折しにくい傾向があることが示された。これらは、対

向車速度の違いにより同じギャップでも車間距離に差が生じることに起因すると考えられる。

渡部らの研究²⁾では、ギャップを形成する対向直進車の走行位置に着目し、ギャップアクセプタンス判断を二項ロジットモデルにより表現している。その結果、ギャップアクセプタンス判断にはギャップや対向直進車速度に加え、ギャップ形成車両の車線走行位置も影響を与えることが示された。また、ギャップ形成車両の配列によってクリティカルギャップが増減する可能性が示唆された。

Yan らの研究³⁾では、左折ギャップアクセプタンス挙動について、速度および運転者の年齢・性別が与える影響をドライビングシミュレータ実験により分析している。その結果、速度が速いほど衝突リスクが増加することが示され、年齢および性別がギャップ受容判断に有意な影響を及ぼすことが明らかとなった。特に高齢ドライバーは保守的な傾向を示し、特に高齢女性でその傾向が顕著であることが示唆された。

Hesham Rakha らの研究⁴⁾では、左折ギャップアクセプタンス挙動について、天候および道路表面条件の影響を明らかにしている。ロジットモデルを用いてギャップ受容確率を推定した結果、雪や雨などの悪天候では慎重な判断になり、濡れた路面では大きなギャップが必要となる一方、乾燥路面では最小のギャップで十分であることが明らかとなった。また、コンフリクトポイントまでの距離が長くなるほど必要なギャップは増加し、悪天候や対向車線数が左折の飽和流率に影響することも確認された。

右折に関する研究はギャップアクセプタンス挙動だけではなく、右折交通容量などに着目したものもある。萩田の研究⁵⁾では、交差点における右折交通容量の算出方法の妥当性を検討している。従来の算出方法では対向直進車の到着をポアソン分布と仮定し、車線数の影響を考慮していないが、実際には一車線・二車線ともに右折確率が既存式より高くなることが確認された。これは、都市部では車両が車群を形成して到着するためであり、ポアソン分布では実態を反映できないことを示している。また、大型車混入や上流信号制御、左折車混入なども右折交通容量に影響することが指摘されている。

岩澤らの研究⁶⁾では、信号交差点の構造や運用の違いによる右折車の通過確率と飽和交通流率を算出し、右折交通容量に与える影響について分析した。その結果、飽和交通流率が右折交通容量に大きく影響することが確認され、現場観測では従来の値を下回ることが確認された。よって、右折交通容量を適切に評価するためには、飽和交通流率を含めたパラメータの見直しが必要であることが明らかとなった。

このように、右折に関する研究は多様な観点から実施されてきた。モデル構築に当たっては二項ロジットモデルを用いて右折の可否に焦点が置かれてきたが、実際の交差点では1つのギャップに対して2台目や3台目の右折が生じることもあり、単純な二値モデルではこうした逐次的な判断を捉えることができない。また、従来の右折交通容量算出方法では、交差点における実際の右折可能台数を十分に反映できない問題や、国内において降雪と右折ギャップアクセプタンス挙動の関係についての研究が十分に進められていないことなどの課題が挙げられる。したがって、降雪を含むさまざまな要因が右折挙動に与える影響を定量的に評価するとともに、1つのギャップにおける逐次的な右折判断まで考慮した分析を進め、交差点における実際の右折可能台数まで推定することが重要である。

2.2. 研究の目的

本研究は、交差点における右折ギャップアクセプタンス挙動に着目して分析し、その特性を把握することで、交通円滑化につながる基礎的な知見を得ることを目的とする。

具体的には、気象条件や時間帯、交差点構造の違いをはじめとするさまざまな要因が右折判断に与える影響について、クリティカルギャップを指標として定量的に評価し、右折ギャップアクセプタンス挙動の特性を明らかにする。さらに、右折可否に関するモデルを構築するとともに、1つのギャップに対して複数台の右折が生じる実際の右折挙動を考慮するため、逐次ロジットモデルを用いて逐次的な右折判断の過程を分析する。これらの分析結果を基に青現示中における右折可能台数を推定し、各種条件下における右折処理能力の変動を把握する。

本研究の新規性としては、第一に、複数台右折を逐次的な意思決定過程として表現する逐次ロジットモデルを構築した点が挙げられる。第二に、右折ギャップアクセプタンス挙動を考慮し、右折処理能力の変動を定量的に評価する手法を提案した点である。

3. クリティカルギャップを用いた定量分析

3.1. 分析方法と使用データ

右折ギャップアクセプタンス挙動に対する各要因の影響を評価する指標として、クリティカルギャップを用いている。右折に利用したギャップの数と棄却したギャップの数が等しくなる点がクリティカルギャップであり、ギャップアクセプタンス挙動の特性を表すパラメータとなっている⁷⁾。

右折車はギャップ（対向車の車頭時間）に対し、右折を実施するかしないか、すなわちギャップを利用するかしないか、右折可否を判断する。図3-1に示すように、ギャップが増加すると利用ギャップも増加し、棄却ギャップは減少する。これは、右折実施には一定の時間的余裕が必要であることに起因するものである。クリティカルギャップが長くなることは、右折を実施するために必要な時間が長くなっていることを意味している。本研究では、時間帯・交差点構造・対向車の走行車線・対向車の車種・降雪・降雨といった各種条件ごとにクリティカルギャップを算出し、その特性について分析した。

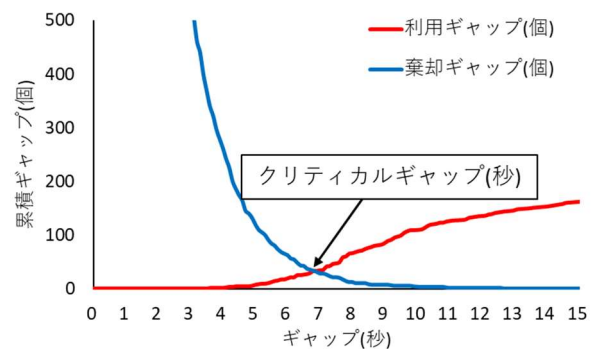


図 3-1 クリティカルギャップの算出方法

本研究で分析した交差点は、いずれも新潟県長岡市の国道8号に位置する堺西・寺島・蓮瀧の3交差点である。使用データとしては、表3-1の通り、3交差点において晴天8時間のデータを使用している。堺西においてのみ、降雪8時間・降雨4時間のデータも用いて、気象条件が右折ギャップアクセプタンス挙動に与える影響についても分析をしている。また、右折データを十分に得るため、各時間帯は2時間単位でクリティカルギャップを算出している。

そして、堺西では右折専用車線が2車線設けられている点が大きな特徴である。第一右折レーンと第二右折レーンが並列して配置されており、第二右折レーンは交差点内側に位置する構造となっているため、右折車線の違いが右折挙動に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

本研究では、右折待ち線に直交する線と、右折流出先とのなす角度を右折角度と定義した。寺島と蓮濁ではそれぞれ 82° 、 86° と比較的大きな角度で右折を行う必要があるのに対し、堺西では第一右折レーン、第二右折レーンともに 56° と小さい角度となっている。右折角度が大きい場合には旋回動作が急になりやすく、右折動作における運転負荷が高まる可能性がある。一方で、堺西のように右折角度が小さい場合には、旋回が比較的緩やかとなり、右折動作がスムーズに行われる可能性が考えられる。

続いて、右折待ち線中央点を起点とし、対向車線の最外側と右折流出先中心線との交点を終点とした両点間の直線距離を右折横断距離と定義した。寺島と蓮濁ではそれぞれ 13.9 m、12.1 m と比較的短い距離で右折が可能であるのに対し、堺西では第一右折レーンで 24.6 m、第二右折レーンで 20.4 m と長い横断距離を要する。堺西では対向車線が 4 車線であるのに対し、寺島と蓮濁では対向車線が 3 車線となっており、交差点規模の違いによって右折横断距離に差が生じていることが原因である。また、堺西においては右折車線の違いによって右折横断距離に 4.2m の差があり、右折車線によって右折に必要な時間が異なることが示唆される。これらの右折横断距離の差は、右折ギャップアクセプタンス挙動に影響を与える要因の一つであると考えられる。

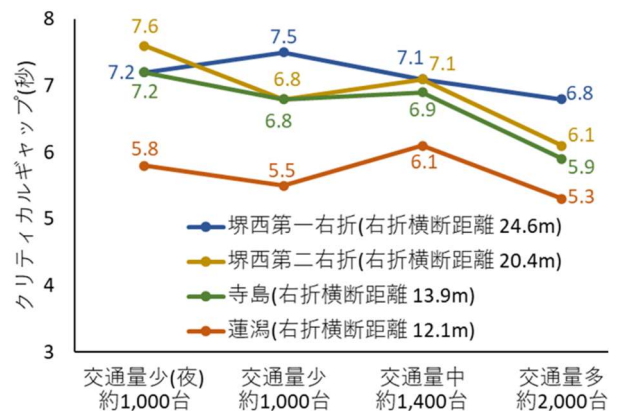
表 3-2 データ概要

項目	堺西		寺島	蓮濁
	第一右折	第二右折		
使用データ	晴(8h), 雪(8h), 雨(4h)		晴(8h)	晴(8h)
右折専用車線	2		1	1
対向車線	4		3	3
右折角度($^\circ$)	56		82	86
右折横断距離(m)	24.6	20.4	13.9	12.1

3.2. 交差点・時間帯の影響

晴天時のデータを用いて算出したクリティカルギャップを図 3-2 に示す。クリティカルギャップの長い順に、堺西第一右折・堺西第二右折・寺島・蓮濁となっている。この結果は、右折横断距離が長い順と一致している。よって、交差点構造によって右折実施に必要な時間が最大で 2.0 秒異なることが示された。また、堺西ではより小回りで右折が可能である第二右折のクリティカルギャップが短くなっており、右折車線の走行位置が影響を与えることが示された。

続いて、時間帯が右折挙動に与える影響については、平日夜のデータを交通量少(夜)、休日朝のデータを交通量少、平日昼のデータを交通量中、平日朝のデータを交通量多、対向車交通量を基に 4 区分に分類した。その結果、4 地点いずれも交通量多でクリティカルギャップが最短となった。交通量が多い状況では待機時間が長くなりやすく、右折車運転者が比較的高い判断を選択する可能性があることに加え、交通量が多いと長いギャップが発生しにくいいため、短いギャップで右折せざるを得ない状況に置かれることが要因として考えられる。また、交通量少と比較して交通量少(夜)はクリティカルギャップが増加する傾向となっている。これは、夜間の視界不良により右折判断が慎重になり、右折実施のためにはより長いギャップを必要とするためであると考えられる。



3.3. 対向車条件の影響

本研究で分析対象とする 3 交差点は、いずれも直進車線が 2 車線で構成されている。走行位置については、左側から順に第一走行車線、第二走行車線と定義する。

本研究では、ギャップを形成する前方車両と後方車両に着目して分析をした。図 3-3 の場合、対向車である A 車両と B 車両、B 車両と C 車両によってギャップが形成され、右折車はそのギャップを利用して右折するか否かについて判断をする。A 車両と B 車両が形成するギャップにおいて、前方車両は A 車両、後方車両は B 車両となる。また、B 車両と C 車両が形成するギャップにおいては、前方車両が B 車両、後方車両が C 車両となる。本節では、ギャップ前方車両と後方車両の車線走行位置別・車種別にクリティカルギャップを算出し、対向車条件が右折ギャップアクセプタンス挙動に与える影響の把握をすることを目的としている。

本分析において、堺西は晴天時 8 時間のデータのみを分析対象とし、降雪時と降雨時は除外している。これは、降雪や降雨によって視界条件の変化や路面状態の悪化が生じる可能性があり、それらが右折挙動に影響を及ぼすことが考えられるためである。その結果を表 3-2 に示す。

まず、対向車の走行車線が右折挙動に与える影響に着目する。蓮瀉における前方車両結果を除き、前方車両が第二走行車線を走行する場合にクリティカルギャップが増加し、後方車両が第二走行車線を走行する場合にクリティカルギャップが減少する傾向が確認された。

前方車が第一走行車線を走行している場合、右折車は交差点内側に進入した状態で前方車両の通過を待つことができるため、短いギャップでも右折可能となる傾向が確認されたと考えられる。すなわち、前方車両が第一走行車線を走行している場合にはギャップが発生する前に右折動作を開始することができると示唆され、この傾向はビデオ映像からも確認された。

後方車両については、右折車が対向車の第二走行車線・第一走行車線の順に横断することが影響していると考えられる。後方車両が第二走行車線を走行している場合、右折車が第二走行車線を通過する時間があれば衝突を回避できる。一方、後方車両が第一走行車線を走行している場合、右折車は第二走行車線と第一走行車線の両方を通過する時間が必要となるため、より長いギャップが求められる。

続いて、対向車の車種が右折挙動に与える影響に着目すると、前方車両が大型車である場合には普通車に比べて長いギャップが必要となる傾向が確認された。ギャップは対向車の車頭時間を指しているが、実際には、右折車は前方車両の後端から後方車両の前端までの間隙（車間距離）を通過する必要がある。同じギャップの長さであっても、前方車両が大型車である場合には実際の車間距離は短くなり、右折可能な間隙が狭まる。したがって、前方車両の車種によってクリティカルギャップに差異が生じたと考えられる。

一方、後方車両については、後方車両が大型車である場合には普通車の場合よりクリティカルギャップが短くなる傾向となった。これは、大型車は車体が大きく視界内で位置変化が小さく見えるため、右折車が接近速度を過小評価しやすいことや、視認性が高く確認しやすいことにより、右折に必要なギャップが短くなっていると考えられる。

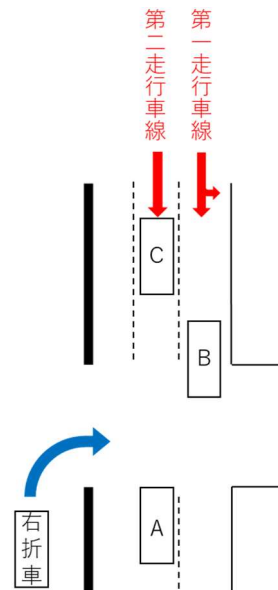


図 3-3 ギャップ発生イメージ

表 3-2 対向車条件別クリティカルギャップ(秒)

区分		堺西 第一	堺西 第二	寺島	蓮瀉
車線	前：第一走行	6.7	6.7	6.7	5.8
	前：第二走行	7.6	7.1	7.1	5.6
	後：第一走行	7.6	7.2	6.8	5.9
	後：第二走行	6.2	6.3	6.6	5.5
車種	前：普通車	7.0	6.8	—	—
	前：大型車	7.7	7.4	—	—
	後：普通車	7.2	6.9	—	—
	後：大型車	6.9	6.5	—	—

3.4. 気象の影響

堺西にて、気象条件別に算出したクリティカルギャップを表 3-3 に示す。尚、降雪および降雨の結果については、それぞれ交通量が近い晴天の結果と比較して評価した。

まず、降雪が右折挙動に与える影響について検討する。降雪(1cm/h)のケースが 2 件あり、それぞれ晴天(交通量少)および晴天(交通量多)と比較可能であるが、クリティカルギャップに顕著な差は見られなかった。一方、降雪(2.5cm/h)および降雪(3.5cm/h)のケースはいずれも交通量が約 1000 台であり、晴天(交通量少)と比較可能である。その結果、第一右折および第二右折のいずれも降雪時にクリティカルギャップが大幅に増加している。特に、晴天(交通量少)と降雪(2.5cm/h)の第二右折ではクリティカルギャップに 1.3 秒の差が生じている。よって、降雪時は視界不良に加え、路面のスリップといった運転上のリスクが増加することから、右折判断が慎重になっていると考えられる。

しかし、降雪(2.5cm/h)と降雪(3.5cm/h)の結果を比較すると、第一右折では両者の差は 0.1 秒とほとんど見られなく、第二右折では降雪(2.5cm/h)のクリティカルギャップが 0.7 秒長い結果となった。このことから、右折挙動への影響は単純に降雪量のみで決まるものではない可能性が示唆される。

そこで、本研究では降雪時の路面状態に着目した。図 3-4 に路面状態を示す。降雪(2.5cm/h)では路面が湿雪状態となっている。一方で、降雪(3.5cm/h)では路面がシャーベット状となっている。湿雪状態ではタイヤと路面の摩擦が不安定になりやすく、加減速時の挙動に対する不確実性が高まるため、運転者がより慎重な右折判断を行った可能性がある。以上より、降雪時の右折挙動には降雪量だけでなく、路面状態の違いも影響していると考えられる。

続いて、降雨が右折挙動に与える影響について検討する。降雨の 2 ケースはいずれも交通量が約 1500 台であるため、晴天(交通量中)と比較をした。その結果、第一右折ではクリティカルギャップが増加した一方、第二右折ではクリティカルギャップが減少した。特に、降雨(6.5mm/h)の第二右折ではクリティカルギャップが 6.0 秒となっており、晴天(交通量中)の第二右折より 1.1 秒短い結果となっている。以上のことから、本研究の分析では降雨が右折挙動に与える明確な影響は確認されなかった。

表 3-3 気象別クリティカルギャップ

気象	クリティカルギャップ (秒)		対向車交通量 (台)
	第一右折	第二右折	
晴天(交通量少)	7.5	6.8	1,024
晴天(交通量中)	7.1	7.1	1,375
晴天(交通量多)	6.8	6.1	2,032
降雪(1cm/h)	7.2	6.8	906
降雪(1cm/h)	6.8	6.4	1,953
降雪(2.5cm/h)	8.2	8.1	1,072
降雪(3.5cm/h)	8.3	7.4	1,055
降雨(2.0mm/h)	7.6	7.0	1,508
降雨(6.5mm/h)	7.3	6.0	1,432



図 3-4 降雪時の路面状態

3.5. 逐次クリティカルギャップ

クリティカルギャップは、ギャップに対する右折可否を示す指標である。しかし実際の交差点においては、1つのギャップに対して複数台の車両が連続して右折を実施するケースもある。

そこで本研究では、従来のクリティカルギャップに加え、右折 2 台および右折 3 台のクリティカルギャップを定義し、観測データに基づいてそれらを算出した。尚、複数台の右折が実施される場合においても、1つのギャップに対して全右折待ち車両が同時に右折可否を判断するわけではない。よって、図 3-5 に示すように、右折車両ごとの逐次的な右折可否判断が行われる過程として捉えている。

結果を表 3-4 に示す。右折 1 台から右折 2 台への移行時にはギャップが 2.0~3.4 秒増加している。また、右折 2 台から右折 3 台への移行時にはギャップが 1.1~3.0 秒増加している。ややばらつきはあるものの、概ねギャップが約 2 秒増加することで右折実施台数が 1 台増加する傾向が示された。この結果は、走行時に前方車両との間隔を 2 秒程度確保することが一般的に推奨されていることとも整合している。すなわち、右折車両も前方の右折車両との間隔を約 2 秒確保して走行することを前提とすれば、ギャップが約 2 秒増加することで右折実施台数が 1 台増加することは合理的な結果であると考えられる。

例. 右折待ちが3台

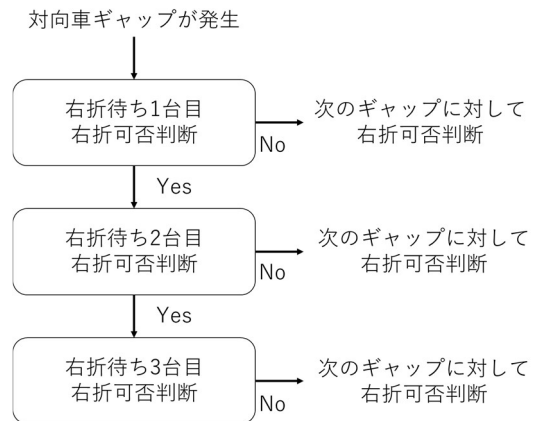


図 3-5 右折の逐次的判断

表 3-4 逐次クリティカルギャップ(秒)

交差点(気象)	右折 1 台	右折 2 台	右折 3 台
堺西第一(降雪)	7.6	9.6 (+2.0)	12.5 (+2.9)
堺西第二(降雪)	7.1	10.5 (+3.4)	11.6 (+1.1)
堺西第一(晴天)	7.1	9.1 (+2.0)	12.1 (+3.0)
堺西第二(晴天)	6.8	9.1 (+2.3)	11.0 (+1.9)
寺島	6.8	9.2 (+2.4)	10.6 (+1.4)
蓮潟	5.7	8.4 (+2.7)	10.4 (+2.0)

4. 右折可否判断モデルの構築

4.1. 二項ロジットモデルの構築

対向車のギャップに対する右折の可否を予測する手法として、式(1)に示す二項ロジットモデルを用いて右折可否判断モデルを構築した。

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b))} \quad (1)$$

ここで、

- p : 右折実施確率
- n : 選定した説明変数の数
- a_n : 偏回帰係数
- x_n : 説明変数
- b : 切片

説明変数の候補は表 4-1 に示す通りである。説明変数の選定にあたっては、AIC に基づく後退法を採用した。まず、説明変数の候補を全て含むモデルを初期モデルとし、次に各説明変数を一つずつ除外したモデルを推定し、それぞれの AIC を算出し、AIC が改善する限りこの操作を繰り返した。この方法により、モデルの適合度を考慮しつつ、右折ギャップアクセプタンス挙動の説明に寄与する説明変数を選定した。さらに、最終的に選定された説明変数について VIF を算出し、多重共線性の問題がないことを確認した。

本研究では、推定したモデルの妥当性および判別性能を評価するため、AIC、L(0)、LL、McFadden's R²、的中率、混同行列に基づく指標 (TP, FN, FP, TN) を用いる。

a) AIC

モデルの適合度を評価する指標であり、値が小さいほど優れたモデルであると解釈される。

b) L(0), LL, McFadden's R²

L(0)は定数項のみからなるモデルの対数尤度を表し、LL は説明変数を含む推定モデルの対数尤度を表す。McFadden's R²は、L(0)と LL を用いて算出される擬似決定係数であり、モデルの説明力を示す指標となる。一般に 0.4 以上で優れたモデルとされ、値が大きいほど説明変数が被説明変数を説明できていることを意味する。

c) 的中率, TP, FN, FP, TN

的中率は、全観測のうち正しく判別された割合を示す。的中率の内訳を明確にするため、混同行列に基づく指標として、TP (真陽性)、FN (偽陰性)、FP (偽陽性)、TN (真陰性) を併せて示す。

表 4-1 説明変数の候補

説明変数	気象条件考慮モデル	交差点統合モデル
	堺西 (晴, 雪, 雨)	堺西(晴), 寺島, 蓮湯
ギャップ(s)	○	○
前方車両第二走行ダミー	○	○
後方車両第二走行ダミー	○	○
前方車両速度(m/s)	○	○
後方車両速度(m/s)	○	○
前方車両大型車ダミー	○	○
後方車両大型車ダミー	○	○
右折車両大型車ダミー	○	○
右折車後続車両ダミー	○	○
夜間ダミー	○	○
対向車交通量(台/h)	○	○
第二右折レーンダミー	○	—
右折横断距離(m)	—	○
降雪(cm/h)	○	—
降雨(mm/h)	○	—

4.2. 気象条件考慮モデル

堺西において、晴天・降雪・降雨のデータを混合した気象条件考慮モデルの推定結果を表 4-2 に示す。

モデル全体としては、McFadden's R²や的中率の値から高い説明力を有するモデルが構築できているといえる。また、混同行列においても誤判定は限定的であり、実際の右折ギャップアクセプタンス挙動を良好に再現できていることが確認された。

各説明変数の推定結果を見ると、ギャップは有意な正の係数を示しており、オッズ比も最大値となっていることから、右折可否判断において最も支配的な要因であることが示された。ギャップが長いほど右折が選択されやすくなるという結果は、運転者が対向車との時間的余裕を重視して右折可否を判断していることを示唆している。また、右折車両大型車ダミーが採択され、負の係数を示した。右折車自身が大型車である場合には、車両の加速や旋回の制約により、右折を実施しにくくなる傾向を反映した結果と考えられる。

降雪については、降雪量を二値化した降雪ダミー変数を設定した。複数の閾値を試行した結果、降雪量が 2cm/h 以上の場合を 1、それ未満を 0 とする降雪ダミーを用いた場合に、モデルの適合度が最も高くなった。推定結果より、降雪ダミーは有意な負の係数を示しており、降雪量が一定以上となる状況では、右折判断がより慎重になることが確認された。

表 4-2 気象条件考慮モデル推定結果

変数	係数	オッズ比	p 値	VIF
切片	-6.198	0.002	<0.001	—
ギャップ(秒)	3.307	27.299	<0.001	1.142
前方車両第二走行*	-1.235	0.291	<0.001	1.268
後方車両第二走行*	0.654	1.922	<0.001	1.282
前方車両速度(m/s)	0.130	1.138	0.128	2.568
後方車両速度(m/s)	0.578	1.782	<0.001	2.698
前方車両大型車*	-0.804	0.448	0.006	1.008
右折車両大型車*	-0.717	0.488	0.136	1.014
第二右折レーン*	0.477	1.610	<0.001	1.010
降雪*	-0.4633	0.629	0.033	1.146
AIC	1,591.362			
L(0)	-3,704.966			
LL	-785.681			
McFadden's R ²	0.788			
的中率	0.982			
TP	747			
FN	203			
FP	113			
TN	16,679			

*ダミー変数

表 4-3 交差点統合モデル推定結果

変数	係数	オッズ比	p 値	VIF
切片	-6.918	0.001	<0.001	—
ギャップ(秒)	3.086	21.893	<0.001	1.149
前方車両第二走行*	-0.828	0.437	<0.001	1.070
後方車両第二走行*	0.363	1.438	0.055	1.160
後方車両速度(m/s)	1.0244	2.786	<0.001	1.269
前方車両大型車*	-0.822	0.439	0.038	1.007
後方車両大型車*	0.855	2.350	0.006	1.007
右折車後続車両*	0.435	1.545	0.019	1.014
右折横断距離(m)	-0.475	0.622	<0.001	1.069
AIC	1,062.831			
L(0)	-2,571.432			
LL	-522.415			
McFadden's R ²	0.797			
的中率	0.986			
TP	489			
FN	135			
FP	70			
TN	13,763			

*ダミー変数

4.3. 交差点統合モデル

堺西(晴天)・寺島・蓮瀉の 3 交差点データを混合した交差点統合モデルの推定結果を表 4-3 に示す。本モデルは、特定の交差点に限定されない一般性を有するモデル構築を試みたものである。交差点構造の違いを反映するため、新たに右折横断距離を説明変数として導入した。

その結果、McFadden's R² や的中率はいずれも高い値を示し、3 交差点を混合したデータに対しても右折可否判断を良好に説明できることが確認された。また、右折横断距離は有意な負の係数を示しており、クリティカルギャップ算出時と同様の傾向が得られた。

その他の説明変数については、気象条件考慮モデルと同様、ギャップが右折判断において最も重要な要因であることが確認された。さらに、対向車の走行車線や車両速度、車種といった変数は引き続き採択さ、これらの要因が右折判断に一定の影響を及ぼしていることが示された。

また、新たに右折車後続車両ダミーが説明変数として採択され、有意な正の係数を示した。これは右折待ち車両が 1 台か 2 台以上かを示すダミー変数であり、右折待ち車両が 1 台のみの場合と比較して、後続車両が存在する場合には右折が選択されやすくなる傾向を示している。後続車に配慮して早期に右折を完了させようとする心理的影響が働き、通常より短いギャップでも右折する可能性が高まると考えられる。

5. 右折実施台数予測モデルの構築

5.1. 逐次ロジットモデルの構築

4 章の右折可否判断モデルでは、右折先頭車両の右折可否判断を対象としているよって、1 つのギャップに対して複数台が右折するケースは考慮できていない。そこで、1 つのギャップに対する右折実施台数を予測する手法として、式(2)に示す逐次ロジットモデルを用いた。

$$p_n = \frac{1}{1 + \exp(-(a_1^{(n)}x_1 + a_2^{(n)}x_2 + \dots + a_k^{(n)}x_k + b^{(n)})} \quad (2)$$

ここで、

p_n : 右折待ちが n 台以上で、 $n-1$ 台が右折を実施したときの n 台目の右折実施確率

n : 逐次段階

k : 選定した説明変数の数

$a_k^{(n)}$: 偏回帰係数

x_k : 説明変数

$b^{(n)}$: 切片

変数の選定には、AIC の合計を最小化する後退法を用いた。各逐次段階別モデルを同時に推定し、各モデルの AIC を合計した値を指標として、変数を 1 つずつ削除することで最適な説明変数を採択した。また、モデル間の比較と解釈の一貫性を確保するため、全逐次段階において説明変数を共通化している。

5.2. 交差点統合モデル

気象条件考慮モデルは、降雪データの影響により推定結果が不安定となった。表 5-1 に、右折 3 台までを対象とした交差点統合モデルの推定結果を示す。全モデルで VIF は 1.15 以下となり、多重共線性の問題は確認されなかった。全モデルで McFadden's R² が 0.4 以上となっており、的中率も高い値を示していることから、本モデルは複数台右折を説明するうえで十分な適合度を有していると評価できる。

また、モデル推定結果を活用し、ギャップに対する右折確率を算出した結果が図 5-1 の通りである。ギャップ以外の変数には各モデルの平均値を代入している。その結果、右折確率が 0.5 となるギャップは、右折 2 台から 3 台への移行時では 1.7~2.5 秒増加した。クリティカルギャップの算出結果と同様の傾向が確認されたため、右折実施台数が 1 台増加するためには約 2 秒のギャップ増加が必要であると考えられる。

表 5-1 交差点統合モデル推定結果

変数	右折 1 台		右折 2 台		右折 3 台	
	係数	p 値	係数	p 値	係数	p 値
切片	-6.350	< 0.001	-4.994	< 0.001	-6.956	< 0.001
ギャップ	3.0188	< 0.001	1.746	< 0.001	1.759	< 0.001
前方車両 第二走行*	-0.765	< 0.001	-0.845	0.014	-0.270	0.726
後方車両速度	1.041	< 0.001	0.381	0.047	0.972	0.025
夜間*	-0.159	0.450	-0.284	0.443	-1.920	0.016
右折横断距離	-0.845	< 0.001	-0.096	0.536	-0.537	0.089
AIC	1,076.254		294.012		80.842	
L(0)	-2,571.432		-271.387		-76.363	
LL	-532.127		-141.006		-34.421	
McFadden's R ²	0.793		0.480		0.549	
的中率	0.986		0.804		0.867	
TP	491		158		59	
FN	133		46		8	
FP	71		31		7	
TN	13,762		157		39	

*ダミー変数

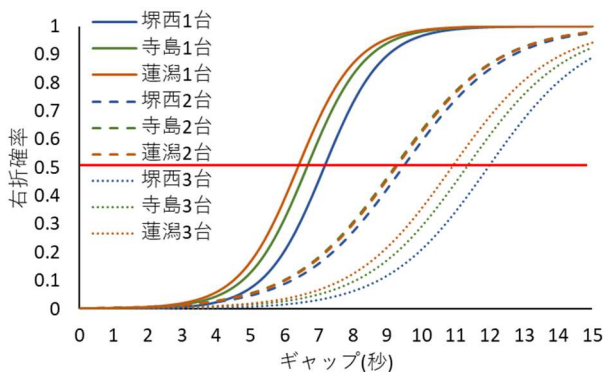


図 5-1 交差点別右折確率

5.3. 対向車速度の影響

4 章と 5 章で構築した全モデルにおいて、ギャップと後方車両速度が有意な説明変数として採択された。ギャップは直感的にも理解しやすいが、後方車両速度についても同様に影響を及ぼしていることが明らかとなった。そこで、実際に右折が実施されたケースについて、対向車速度 10 m/s を基準として速度の影響を分析した。

図 5-2 左に示す右折実施台数の割合を見ると、寺島では最も高い値を示したものの、それでも 5.8%にとどまっている。そして、蓮瀧では対向車速度が 10 m/s 未満の条件下で実施された右折は確認されなかった。

また、図 5-2 右には、観測されたギャップのうち、対向車速度が 10 m/s 未満および 10 m/s 以上の割合を示す。堺西の第一右折と第二右折において、26.7%と 26.0%であった。寺島では半数近くを占めており、蓮瀧では過半数に達している。このように、対向車速度が低いギャップの占める割合は交差点によって異なる。要因として、オフセットの影響が考えられる。車両が滞留しやすい交差点では、青現示に切り替わった直後に滞留車両が低速度で交差点を通過し続け、ギャップが多数発生する。しかし、そのようなギャップでの右折は期待しにくい。一方、車両が滞留しにくい交差点では、青現示開始直後に少数の車両が通過した後、自由速度に近い高速な車両がまばらに到来する。このようなギャップは、比較的右折しやすい可能性が高い。

以上より、発生するギャップの性質が交差点によって異なることが示唆される。また、対向車速度が 10 m/s 未満の条件下で実施された右折例が限定的であることも明らかとなった。よって、ギャップの長さは同じでも対向車速度の違い、すなわち到来状況の違いによって右折の実施可能性は大きく異なるため、対向車の通過形態が実際の交差点における右折可能台数に対して大きな影響を及ぼす要因であると考えられる。

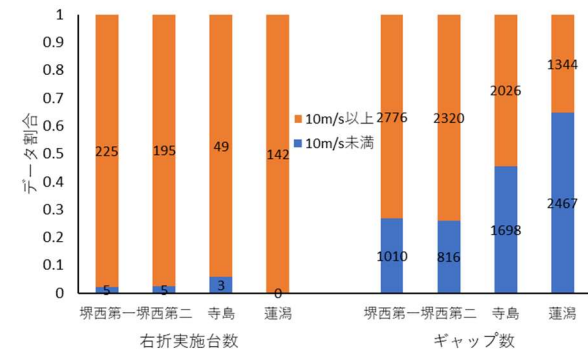


図 5-2 対向車速度の影響

6. 右折処理能力の変動把握

6.1. 右折可能台数の定義

逐次ロジットモデルは右折 3 台までを対象とした推定のため、3 台目以降についても考慮した右折実施台数の予測手法を検討する。

逐次ロジットモデルの推定結果および逐次クリティカルギャップの算出結果から、右折実施台数が 1 台増加するごとに必要となるギャップの増加量は、右折台数が増加しても概ね 2 秒程度である可能性が示唆されている。そこで、右折台数増加に伴う必要ギャップは今後も線形に増加するという仮定を置いた。よって、右折 3 台目まではモデルの推定結果を直接用いて、それ以降については右折 2 台目から 3 台目への遷移時と同程度のギャップ増加が繰り返されるものと定義した。以上の算出方法に基づき、図 6-1 のように右折実施台数の期待値を算出し、右折 3 台の上限を取り除いた右折実施台数予測を行った。

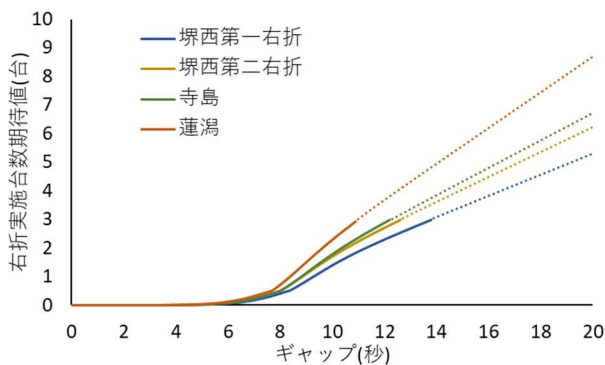


図 6-1 右折実施台数期待値

6.2. 青現示中の右折可能台数

本研究で定義した期待値算出法を実観測データに適用し、各ギャップに対する右折実施台数の期待値を算出した。そして、各交差点の各時間帯における全ギャップの期待値を合計し、これを青現示中の右折可能台数と定義した。交差点・時間帯別に算出した青現示中の右折可能台数を表 6-1 に示す。尚、本研究は対向車のギャップに対する右折挙動の把握を目的としているため、右折青矢印現示中における右折は分析対象に含めていない。

堺西においては右折専用二車線が設けられており、実際の右折可能台数は第一右折と第二右折の合計になる。その結果、寺島・蓮潟と比較して極めて高い値を示しており、右折専用車線を二車線設けることによって右折処理能力が大きく向上していることが確認された。

時間帯別に注目すると、交通量が少ないほど

右折可能台数は増加している。交通量が少ない場合、右折可能な長いギャップが発生しやすい状況になっていると考えられる。朝ピークに当たる交通量多の時間帯においては右折処理能力が最小となっており、寺島・蓮潟では 1 サイクル当たりの平均右折可能台数が 1 台未満となった。対向車交通量が多いだけでなく、右折需要も高い状況であると考えられるが、青現示中に右折を実施することは極めて困難な状況となっていることがわかる。交通量が多い時間帯ではクリティカルギャップが短くなる傾向が確認されている。しかし、クリティカルギャップが短くなることが右折可能台数の増加につながるわけではないことが明らかとなった。よって、クリティカルギャップの長短が右折処理能力に及ぼす影響は相対的に小さく、右折処理能力の変動には対向車交通流の状態がより支配的に作用していると考えられる。

以上より、右折処理能力は時間帯および交差点によって変動することが明らかとなった。対向車交通量の差に加え、信号制御が右折処理能力に与える影響は大きい。同程度の交通量であっても、上流交差点とのオフセット設定により対向車が連続的に流入する場合には、右折可能な長いギャップはほとんど発生しない。一方、オフセットの設定次第では交通量が多い状況でも対向車の到達が断続的となり、右折処理能力の向上が確認された。

表 6-1 交差点・時間帯別青現示中の右折可能台数

区分	項目(台)	堺西	寺島	蓮潟
交通量少(夜)	青現示中の右折可能台数	516.8	206.0	244.0
	1 サイクル平均右折可能台数	11.2	4.0	4.7
	対向車交通量	1,093	1,120	987
交通量少	青現示中の右折可能台数	473.8	340.7	304.2
	1 サイクル平均右折可能台数	9.1	6.3	5.7
	対向車交通量	1,024	923	847
交通量中	青現示中の右折可能台数	239.6	61.0	80.6
	1 サイクル平均右折可能台数	4.7	1.2	1.6
	対向車交通量	1,375	1,522	1,369
交通量多	青現示中の右折可能台数	100.1	34.0	31.5
	1 サイクル平均右折可能台数	2.2	0.7	0.7
	対向車交通量	2,032	2,074	2,159

7. 結論

7.1. まとめ

本研究では、右折ギャップアクセプタンス挙動の定量分析を通じて交通円滑化につながる知見を得るとともに、各交差点・各時間帯における右折処理能力の変動を把握することを目的として分析した。

その結果、右折ギャップアクセプタンス挙動はギャップの長さのみで決定されるものではなく、交差点構造・対向車状況・気象・心理的影響などを含めた総合的な判断であることが明らかとなり、各要因の影響を定量的に示すことができた。また、右折専用二車線の設置や信号制御条件の違いによる右折処理能力の向上を台数として示すことができ、交通円滑化施策の検討に向けた定量的な根拠を提示した。

7.2. 今後の課題

本研究においては、いくつかの課題も残されている。それらの課題について以下に示す。

■ 分析対象の拡張

分析に当たっては3交差点を対象とし、右折横断距離を交差点構造の指標として用いたが、交差点の構造や特徴はそれだけでは十分に表現できていないと考える。例えば、横断歩道を通行する歩行者数や自転車交通量、大型車混入率、さらには対向車線における左折車両の割合など、交差点ごとの交通特性の違いが右折挙動に影響を与える可能性がある。加えて、右折青矢印現示の有無や信号サイクル長といった信号制御も交差点ごとに異なり、これらは右折処理能力に直接的な影響を及ぼす重要な要因であると推測される。このように、多様な交差点構造および交通環境条件を考慮することで、より汎用性の高いモデル構築につながり、右折可能台数推定の精度向上にもつながる。そのためには、分析対象となる交差点を増やすとともに、説明変数のさらなる拡張を図ることが不可欠である。

■ 個人属性を考慮した分析

本研究では交差点における実観測データを基に分析をしたが、運転者の性別・年齢・運転経験年数といった個人属性に起因する右折判断傾向の違いについては考慮できていない。特に降雪時においては、雪道に慣れている運転者とそうでない運転者の間でリスク認知や運転挙動に明確な差が生じる可能性がある。よって、アンケート調査や走行履歴データ等を活用し、個人属性に着目した分析を進めることで、右折ギャップアクセプタンス挙動をより詳細に理解することが可能になると考えられる。

■ 右折交通容量の把握

本研究では、ギャップに対する右折挙動に焦点を当て、青現示中における右折可能台数を算出した。しかし、交差点における右折交通を完全に把握するためには、右折青矢印現示を含めた右折全体の交通容量を評価する必要がある。右折青矢印現示中においては、対向車との交錯が生じない状況が前提となり、横断歩行者や自転車の流入も制限されている。そのため、右折車は衝突リスクを考慮する必要がなく、ギャップに対する右折挙動は異なると推測される。よって、両者を明確に区別したうえで分析を行う必要がある。また、本研究で実施した右折台数予測においては、右折3台目までの挙動をモデルによって推定し、それ以降については線形増加するという仮定に基づいて補完した。一方で、実際には1つのギャップで4台以上の右折が観測される事例も確認されており、より正確な右折可能台数の算出を行うためには複数台右折に関するデータを増やしていく必要がある。特に、長期間にわたるデータ収集や多地点での同時観測を実施することで、モデル精度を向上させることが可能となる。

参考文献

- 1) 森健二, 斎藤威: 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, No.17, 1995
- 2) 渡部数樹, 中村英樹: 対向直進車の走行位置に着目した右折ギャップアクセプタンス挙動の分析, 交通工学論文集, 第2巻, 第2号, 2016
- 3) Yan, X., Radwan, E., Guo, D.: Effects of major-road-vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance, Accident Analysis & Prevention, Vol.39, No.4, pp.843-852, 2007
- 4) ITS Joint Program Office, U.S. Department of Transportation: Microscopic Analysis of Traffic Flow in Inclement Weather, Part 2, Final Report, FHWA-JPO-11-020, 2010
- 5) 萩田賢司: 片側二車線道路の信号交差点における右折容量に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, No.5, 2001
- 6) 岩澤和輝, 下川澄雄, 吉岡慶祐, 青山恵里: 青丸表示中の右折車線の捌け台数に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, 2021
- 7) 交通工学研究会: 道路交通技術必携 2018, pp.128-130