

東北公益文科大学 総合研究論集

17

無信号交差点における自動車運転者の自転車に対する
ラグアクセプタンスに関する実験的検討

神 田 直 弥

無信号交差点における自動車運転者の自転車に対する ラグアクセプタンスに関する実験的検討

神田 直弥

要 約

無信号交差点において非優先側進入口に停止する自動車より、優先側道路を走行する自転車を観察させ、自車が先に安全に横断できると考える最小ラグの判断を求めた。その結果、自転車の走行速度の増加に伴い棄却する距離ラグは増大し、自転車がより遠方に位置する段階で通過待ちに判断を切り替えていた。しかし、時間に換算すると不十分であり、安全余裕度は自転車の速度の増加に対応して直線的に減少していた。自転車の速度が約25km/hの場合に受容する時間ラグは2.29秒であり、自転車運転者が優先意識を有している場合にはコンフリクトを招く危険性があることを述べた。

1. はじめに

自転車は運転免許が不要であり、気軽に利用することができる移動の手段であることから、幼児から高齢者まで幅広い年齢層で利用されている。健康志向の高まりや脱温暖化の機運を追い風に、自転車利用者は今後ますます増加していくものと考えられる。事実、自転車保有台数は着実に増加を続けており、平成17年時点では約8,700万台に達している。しかし、こうした状況下において、自転車が関与する事故が問題視されるようになってきていることも事実である。

平成20年における交通事故の総発生件数は766,147件であり、10年前の平成10年に比べ0.95倍と減少傾向を示している。しかし、自転車関連事故については10年前の1.14倍の162,525件発生しており、いまだに高い水準にある。自転車関連事故の発生件数が交通事故全体に占める割合も漸増傾向にあり、17.8%であった平成10年から3.3ポイント増加し、平成20年では21.1%となっている（警察庁交通局, 2009）。

自転車関連事故のうち、近年、特に問題視されているのは対歩行者事故である。自転車利用者が増加する中で発生件数も増加しており、10年前の4.45倍に達している。事故の増加の背景には、歩行者と自転車の通行空間が分離されていないことに加えて、自転車運転者の危険走行やルール不遵守の問題がある。従来、自転車は交通弱者としての側面を有していたが、対歩行者においては加害者になりうるということで、自転車の歩道通行要件を規定した改正道路交通法が平成19年6月20日に公布されたことを皮切りに、自転車走行空間の整備、悪質な違反に対する取締りの強化、自転車が守るべきルールの周知徹底等、種々の対策が推進されている。

ただし、平成20年における対歩行者事故の発生件数は増加をしたといっても2,942件であり、自転車関連事故全体に占める割合はそれほど高くない。自転車が遭遇する事故を相手当事者別に見た場合、最も多数を占めるのは対自動車事故であり、134,345件発生している（警察庁交通局, 2009）。この件数は、10年前と比べても1.04倍とほぼ横ばいの状況であり、交通事故全体が減少傾向にあることを踏まえると、対歩行者事故と同様に対策の策定が急務であるといえる。なお、対自動車事故といっても様々な事故類型があることから、本稿では、最も発生件数が多く、平成20年の発生件数が自転車関連事故全体の38.4%（62,354件）を占める事故類型である無信号交差点における出会い頭事故に着目する。

無信号交差点は標識や幅員等により優先関係が定められており、非優先側道路を走行する車両は、優先側車両の進行を妨げてはならないと規定されている。優先側車両が接近しつつある状況で、非優先側運転者が交差点に進入した場合に発生するのが出会い頭事故である。非優先側運転者が交差点に進入する理由は様々であるが、交差車両発見後に衝突をした場合では、不適切なギャップ受容の影響が大きいことが指摘されている（神田・石田, 2001）。

非優先側道路より無信号交差点へ進入する場面において、優先側道路の交通量が多い場合には、運転者は連続する車両の間隔を時間的・空間的に評価し、後続車両が交差点に到達する前に横断や右左折が可能であると判断をした時点で進入を行うことになる。この間隔をギャップ（gap）という。通常、短いギャップは棄却（reject）して通過待ちを行い、長いギャップが受容（accept）

され、先に進入する。なお、非優先側車両が交差点に到達した直後に限定すると、優先側車両の交差点からの時間的・空間的間隔が進入可否判断に影響する。車間をあらわすギャップに対し、交差点から車両までの間隔をラグ (lag) という。つまり、運転者は接近車両の状況に応じてラグやギャップの受入可否判断を行っていることになる。これらの受入可否判断をギャップアクセプタンス (gap acceptance) やラグアクセプタンス (lag acceptance) と呼ぶ。

交差車両を発見した際のギャップやラグの受入判断が適切でない場合、先に進入をしたが思ったよりも早く相手が接近してくることになり、回避がうまくできなければ出会い頭事故が発生する。それゆえ、運転者のギャップアクセプタンスやラグアクセプタンスの特性理解は、出会い頭事故の理解や対策の策定を進める上での基本的な資料となる。

自動車運転者の自動車に対するギャップアクセプタンスについては、交差車両の走行速度の影響 (Bottom & Ashworth, 1978) や、道路照明の有無別に見た昼夜比較 (Darzentas & McDowell, 1981; Darzentas, et al., 1980)、交差点制御方式の影響 (Polus, 1985)、通過待ちや後続車両の存在によるフラストレーションの影響 (Ebbesen & Haney, 1973)、年齢の影響 (Keskinen, et al., 1998) など、様々な研究が行われており、多くの知見が蓄積されている。このうち交差車両の走行速度については、速度の増加に伴い受容する距離ギャップは長くなるが、時間ギャップは短くなるという結果が得られている。

一方、自転車に着目すると、信号交差点において自転車運転者の自動車に対するギャップ受容状況を計測したLing & Wu (2004) の研究や、ラウンドアバウトにおいて自動車運転者の自転車に対するギャップアクセプタンス行動を調べ、自転車が単独で優先側道路を走行する場合には短いギャップが受容されることを指摘したHerslund & Jørgensen (2003) の研究があるが、自動車同士の研究と比べると研究数はごくわずかである。

自転車は自動車と比べて面積が小さく、走行速度も低いため、自動車に対するギャップやラグアクセプタンスの特性がそのまま適用できるとは言い切れない。それゆえ、自転車に関わる出会い頭事故の発生メカニズムを理解するためには、自転車を対象としたデータの収集を別途行う必要があると考えられる。そこで本研究では、優先側道路より自転車が接近する際の自動車運転者のラグ

受容の特性について実験的に検討することを目的とする。現時点において十分なデータの蓄積が進んでおらず、複雑な実験条件を設定しても結果の解釈が困難になることから、今回は走行する自転車は一台に限定し、当該車両の走行速度を実験条件として、その影響を検討する。

2. 方法

2.1 実験システム

実際の交差点を使用した場合の事故の危険性や他の交通への影響に配慮し、駐車場を利用して実験を行った。広い駐車場に白線を模した白色のビニールテープを貼り、模擬十字交差点を作成した。交差点の交差角は90度とし、車線数はいずれも往復2車線、幅員は3m×2車線の6mとした (Fig. 1)。実験車両には普通乗用車 (トヨタPASSO) を用い、停止線より2m前方、車両先端部が交差点内に入内した位置に配置した。これは一時停止後、左右の安全を確認するために少し前進した状況を模擬している。自転車は指定速度への加速が容易にできるよう電動付自転車 (Panasonic Lithium Vivi20) を使用した。自転車には速度計 (CAT EYE VELO5 CC-VL110) を取り付け、走行速度が確認できるようにした。また、交差点全体を見渡すことができる位置にデジタルビデオカメラ (Victor GZ-MC100) を三脚に取り付けて設置した。このカメラで実験状況を記録し、映像をコンピュータに取り込み分析に利用した。

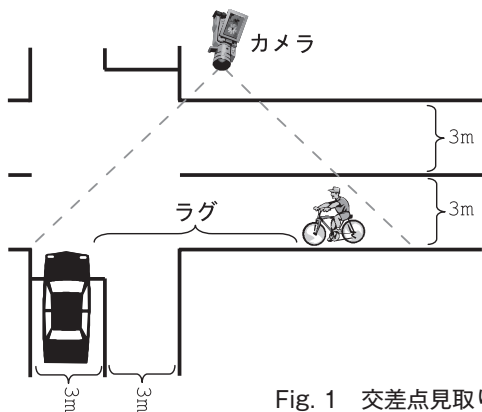


Fig. 1 交差点見取り図

2.2 手続き

被験者は実験車両の運転席に座した上で、交差点に到達後一時停止を行い、これから直進横断をしようとしている状況であるという教示を受けた。その上で右方より接近する自転車を観察し、自転車がこれ以上接近をしたら、自分が先に安全に横断できないと判断をした時点で前照灯を点灯するよう求めた。横断を断念するという意味ではブレーキペダル踏下の方が自然な反応であるが、ブレーキランプの面積は小さく、デジタルビデオカメラに記録することが困難であったため、前照灯の点灯による反応とした。

自転車は交差点右方50m地点から走行を開始し、20m以内に指定速度に加速をした。運転をしているのは実験者であり、指定速度への加速後は一定の速度で走行するよう努めた。なお、立ちこぎや上体を揺らすなどの勢いをつけるための運転動作を行うと、その動作により被験者に速度が出ていることが伝わってしまうことから、実験者はできる限り姿勢変化を行わず平然と運転をするよう心がけた。自転車の走行速度は10、15、20、25、30km/hの5水準であり、各5回で計25試行をランダムな順番で実施した。自転車の走行ポジションは、実験車両の先端部より1m前方を横切る位置とした。

なお、実験前には自動車右端より30m位置にカラーコーンを設置して映像に記録し、距離算出時のキャリブレーションに使用した。

2.3 被験者・日時

被験者は普通運転免許を所持する19～22歳の10名であり、週5回以上運転していることを条件とした。免許取得後経過年数の内訳は、1年以内が4名、3年以上が6名であった。

実験は11月下旬から12月上旬の午前11時～午後4時半に行った。いずれも晴天時または曇天時の乾燥路面条件とした。

3. 結果

3.1 クリティカルラグの算出

クリティカルラグは受容と棄却の閾値となるラグ、すなわち進入と通過待ち

の確率が50%となるラグを指し、本研究では被験者による前照灯点灯時のラグに相当する。クリティカルラグは空間的、時間的な表現が可能であるが、ここではそれぞれ距離ラグ、時間ラグと表記する。クリティカルラグの算出にあたり、ビデオ映像をコンピュータに取り込みフレーム解析を行った。ビデオ映像は1秒あたり30フレーム（30コマ）で記録されており、コマ送りをしながら行う解析をフレーム解析と呼ぶ。まず、車両先端からカラーコーンまでの距離をピクセル単位で計測し、これを30mとした。次に、各試行について、前照灯が点灯したタイミングをコマ送りにより特定し、その際の車両右端から自転車の前輪先端部までの距離をピクセル単位で求め、比率計算により実際の距離を算出し距離ラグとした。また、前照灯点灯後、自転車先端部が車両右端に到達するまでのフレーム数により所要時間を調べ時間ラグとした。

3.2 走行速度について

走行速度は5水準であったが、各試行では実験者が速度計を確認しながら走行をしていたため、指定通りの速度で走行できているか確認した。加速後の安定走行時のビデオ映像より、車両右端に到達するまでの距離と時間を調べ、そこから平均走行速度を算出した。Table 1は各条件における速度の平均値であるが、いずれも指定速度より低速であった。自転車に設置した速度計は、タイヤ径を登録し、回転数に応じて速度を計算している。タイヤの直径を登録する際の小数点以下の値や、空気圧によるタイヤ径の変化が表示速度に影響したと考えられる。そこで、以後の分析では指定速度ではなく、Table 1の実速度を用いた。これらを便宜上、速度1～速度5と呼ぶことにする。

Table 1 指定速度と実速度 [単位：km/h]

	速度 1	速度 2	速度 3	速度 4	速度 5
指定速度	10	15	20	25	30
実速度	9.83	12.27	17.14	21.34	25.49

3.3 クリティカルラグの推移

Table 2、Table 3は自転車の速度別に見たクリティカルラグの平均値と標準偏差である。自転車の速度の増加に伴い距離ラグは増加傾向が見られるが、時間ラグには減少傾向が見られた。距離ラグ、時間ラグそれぞれについて自転車の走行速度を要因とした一要因分散分析を実施したところ、いずれも1%水準で有意であった(距離: $F(4/36) = 12.58$; 時間: $F(4/36) = 32.65$)。Bonferroni法による多重比較の結果、距離ラグは、速度1と速度2に比べ、速度3、速度4、速度5では有意に値が大きく、被験者は空間的により遠方で棄却判断をしていた(いずれも1%水準)。時間ラグについては、速度1に比べて速度4、速度5では有意に短いラグが受容されていた(いずれも1%水準)。なお、双方について直線回帰を実施したところ、距離については $y = 0.37x + 6.66$ ($R^2 = 0.99$)、時間については $y = -0.096x + 4.59$ ($R^2 = 0.91$) の式が得られた (Fig. 2、Fig. 3)。Table 4に自転車の走行速度が5、10、15、20、25km/hの場合の時間、距離双方のクリティカルラグについて、これらの式に当てはめて推定した結果を示す。

Table 2 クリティカルラグ (距離) [単位:m]

	速度 1	速度 2	速度 3	速度 4	速度 5
平均	10.41	11.23	12.65	14.83	16.08
SD	2.44	2.81	4.31	4.69	5.27

Table 3 クリティカルラグ (時間) [単位:秒]

	速度 1	速度 2	速度 3	速度 4	速度 5
平均	3.87	3.30	2.72	2.51	2.29
SD	0.98	0.77	0.81	0.60	0.48

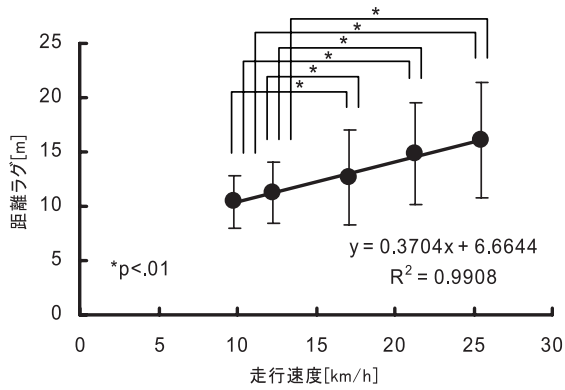


Fig. 2 クリティカルラグ（距離）

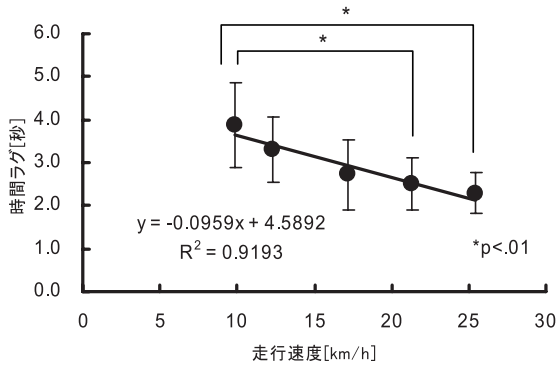


Fig. 3 クリティカルラグ（時間）

Table 4 クリティカルラグ推定結果

速度[km/h]	5	10	15	20	25
距離[m]	8.52	10.37	12.22	14.07	15.92
時間[秒]	4.11	3.63	3.15	2.67	2.19

4. 考 察

自転車の走行速度の増加に伴い、棄却するラグは空間的には増加したが、時間的には減少した。つまり、自転車の速度の増加に応じて被験者は自転車がより遠方にある段階で通過待ちに判断を切り替えたが、それでも時間に換算すると不十分であり、結果的に自転車が高速の場合は安全余裕度を低下させる判断を行っていた。自動車に対するギャップアクセプタンスの研究においても同様の結果が示されていることから (Bottom & Ashworth, 1978)、自動車運転者は自転車に対しても、自動車と同様な進入可否判断を行っているといえる。

今回の実験では、自転車の速度が最も高い条件は約25km/hであり、この条件下において被験者は自転車が交差点から約16mの地点に到達した段階で棄却判断に切り替えていたが、時間に換算すると2秒程度まで余裕が減少していた。自動車が自転車の進行を妨げずに横断をするためには、運転者はこの時間内に発進し、少なくとも自転車の走行ポジションを通過する必要がある。実験車両 (トヨタPASSO) の車長は3.6mであり、自転車の走行ポジションが車両前方1mであることから、最低限進行すべき距離は4.6mとなる。この距離の移動が2秒程度で出来るかどうかは、自動車の加速性能やアクセルの踏み込み方にも依存するが、アクセルへの踏みかえ時間を考慮に入れば、教示で求めたような「これ以上接近をしたら自分が先に安全に横断できないと判断をした」時点での反応とは言えず、安全余裕度がかなり低い状況であると言える。

ラグの受入可否判断は、交差車両が交差点に到達するまでの時間と、自車が横断に要する時間の予測に基づいて行われ、前者が後者よりも長いと判断をした場合に、そのラグを受容することになる。このうち、自車の横断所要時間の見積りについては過小評価の傾向があることが確認されており (篠原, 1996)、これが短いラグの受容に影響していると考えられる。

自動車が安全余裕度の低い状態で進入を開始した場合、自転車は減速または停止をする必要が生じる。停止距離は、ブレーキをかけるまでに進行する空走距離と、ブレーキがきき始めてから停止するまでの制動距離の和で求められる。自転車の制動距離に関する規模の大きなデータがなく、正確な制動距離を示すことは難しいことから、ここではブレーキ性能に関する安全基準値について確

認してみる。例えば、社団法人自転車協会が認定するBAAマークの基準では、変則ギヤがある場合には25km/h、ない場合には16km/hでの走行時に、前ブレーキのみで7m以内、後ブレーキのみで10m以内に安全に停止が出来ることが求められている。またJIS規定では、上述の基準で前後ブレーキをかけた際に5.5m以内で停止をすることが基準となる。これらの値に空走距離を加えた値が停止距離となる。自転車は自動車のようにペダルの踏みかえがないため、ブレーキに手をかけた状態であれば0.2～0.4秒程度の空走時間になると考えられる。それゆえ、今回の実験の中で最も高い走行速度であった速度5（約25km/h）の場合、停止距離は反応時間を0.4秒としても9.28～12.78mとなる。Table 2と照らし合わせれば、停止距離の方が小さく、自転車がブレーキ反応により停止をすることは理論上は可能である。

ただし、優先権を持つのが自転車であることを踏まえるともう少し慎重な解釈が必要になるかもしれない。無信号交差点における自動車対自動車の出会い頭事故の分析結果からは、優先側運転者の半数は交差車両を発見した上で、相手が自車の通過を待つと判断し、進行を継続していたことが確認されている（神田・石田，2002）。自転車運転者についても同様の傾向が見られるならば、空走時間は長くなることが予想される。また、上述の制動距離はあくまでも基準値であり、自動車の整備状況によっては長くなると考えられる。さらに、安全基準に適合しない自転車は制動距離が長い傾向がある。これらを踏まえると、自転車が高速で走行している場合には、クリティカルラグ付近での自動車の交差点進入は、衝突にはいたらないまでも急ブレーキが求められるなど、かなり危険性の高い状況を生み出していると推察される。

5. まとめ

無信号交差点における自動車の自転車に対するラグアクセプタンスについて実験的に検討した。その結果、自転車の走行速度の増加に伴い受容する距離ラグは長くなったが、時間ラグは短くなり、安全余裕度が低下する結果となった。この結果は自動車に対するギャップ受容特性と同様であったが、クリティカルラグの絶対値は小さく、交差点付近でのコンフリクトを招いている可能性が示

唆された。

今回は、自転車が一台という単純な場面設定を行ったが、今回の結果を踏まえ、今後以下の点について検討する必要がある。まずは、交差道路上を複数の車両が走行している場合のギャップ受容特性である。Herslund & Jørgensen (2003) は、自転車が単独で接近する場合に比べ、自転車と自動車と同時に接近してくる場合の方がクリティカルギャップが大きくなることを示している。この点については運転者の視覚探索を踏まえた検討が必要になる。また、自動車運転者が自転車の走行速度の増加に伴い安全余裕度の低い判断を行ったが、自車の横断所要時間の見積もりにおける過小評価傾向のみで説明することは難しく、自転車の距離や速度の判断の妥当性に関するデータの蓄積も必要である。

近年では、自転車のマナーの悪さに対する社会的な批判が高まりつつあるが、自転車関連事故を理解する上では、自動車運転者の不適切なラグ受容の結果として自転車が事故に巻き込まれている可能性があることも考慮する必要がある。自転車に交通規則を遵守させる対策を講じていく一方で、他の道路利用者と安全に共存していく方法について、詳細な検討が必要になるといえよう。

6. 参考文献

- Bottom, C.G., and Ashworth, R.: Factors Affecting the Variability of Driver Gap-Acceptance Behaviour, *Ergonomics*, Vol.21, No.9, 721-734, 1978
- Darzentas, J. and McDowell, M. R. C.: Driver Behaviour at Unlit Non-Urban T-Junctions in Daylight and Darkness, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.32, No.8, 721-727, 1981
- Darzentas, J., McDowell, M. R. C., & Cooper, D. F.: Minimum Acceptable Gaps and Conflict Involvement in a Simple Crossing Manoeuvre, *Traffic Engineering and Control*, Vol.21, 58-61, 1980
- Ebbesen, E. B., & Haney, M.: Flirting with Death: Variables Affecting Risk Taking at Intersection, *Journal of Applied Social Psychology*, Vol.3, No.4, 303-324, 1973
- Herslund, M.-B., and Jørgensen, N.O.: Looked-but-Failed-to-See-Errors in

- Traffic, Accident Analysis and Prevention, Vol.35, 885-891, 2003
- 神田直弥・石田敏郎: 出合頭事故における非優先側運転者の交差点進入行動の検討, 日本交通科学協議会誌, Vol.1, 11-22, 2001
- 神田直弥・石田敏郎: 出合頭事故の分析による優先側運転者の無信号交差点進入行動の検討, 交通心理学研究, Vol.18, No.1, 7-18, 2002
- 警察庁交通局: 平成20年中の交通事故の発生状況、警察庁交通局, 2009
- Keskinen, E., Ota, H. & Katila, A.: Older Drivers Fail in Intersections: Speed Discrepancies between Older and Younger Male Drivers, Accident Analysis and Prevention, Vol.30, No.3, 323-330, 1998
- Ling, H., and Wu, J.: A Study on Cyclist Behavior at Signalized Intersections, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.5, No.4, 293-299, 2004
- Polus, A.: Driver Behaviour and Accidents Records at Unsignalized Urban Intersections, Accident Analysis and Prevention, Vol.17, No.1, 25-32, 1985
- 篠原一光: 運転における展望的時間評価, 交通科学, Vol.24, No.2, 53-60, 1996