

交差点信号切り替わり時の交通制御に関する実証的分析手法の検討*

Proposal for Practical Analysis on Traffic Control at the Signal Change Interval *

大口 敬**・城所貴之***・片倉正彦***・鹿田成則**

By Takashi OGUCHI**, Takayuki KIDOKORO***, Masahiko KATAKURA**, and Shigenori SHIKATA**

1. はじめに

交差点信号切り替わり時(Signal Change Interval, または Inter-Green Period, 以降略してSCI)には, 交通の交錯を避けるために黄色表示(Yellow, Y)・全赤表示(All Red, AR)の時間が挿入されるが, わが国では赤信号進入(Red Light Running)の取締りが必ずしも徹底されず, 危険なタイミングでの交差点進入が多いのではないかと危惧される.

本稿では, 交差点信号切り替わり時(SCI)に着目し, 車両の実際の走行軌跡(加減速・動線)特性について実証的な調査を行う方法を提案する. また, 安全性と交差点交通量の観点から, SCIを評価する新たな分析手法を検討する. まず, SCIに関する海外における検討事例, 取組みと考え方の変遷を整理する. 次に, 既存検討手法における技術的課題にもとづいて, GPS時刻同期信号を用いた複数カメラによる車両軌跡計測システムの応用方法を提案する. さらに, これまで1地点の通過時刻記録にもとづく, 一定速走行仮定にもとづく分析手法の問題点を指摘した上で, 実測車両軌跡にもとづく損失時間, クリアランス時間等に関する新たな分析手法を提案する.

2. 信号切り替わり時に関する先進国の取組み

信号切り替わり時(SCI)に関する主な文献を参考文献1)~12)に挙げる. ここで, SCIとは, Y時間とAR時間の和を表す.

*キーワード: 交通制御, 交通管理, 交通安全, 交通容量

**正員, 博(工), 東京都立大学大学院工学研究科助教授

(〒192-0397・oguchi-takashi@c.metro-u.ac.jp)

***学生員, 東京都立大学大学院工学研究科修士課程

****正員, 工修, 東京都立大学大学院工学研究科助手

*****フェロー, 工博, 東京都立大学名誉教授

Y時間の法的解釈として, 日本などでは 交差点にまだ入っていない車両は進入禁止, とされるが,

交差点内の車両は交差点内を撤退すること(Clearance), という意味も含んでいるものと考えられる. また, 文献⁹⁾に「黄色表示の間は, 車両は合法的に交差点に進入できる」との記述があるように, は非現実的であるとして の解釈を強調している国も既に存在する^{5), 9), 12)}.

SCIの理論的設定法に関して, Y時間については, ジレンマゾーン(後述)をなくし, オプションゾーン(後述)をできるだけ小さくするように設定される. Y時間の設定については, 反応時間Tは米国で1.0秒, 豪州で1.5秒(わが国における道路構造令¹³⁾においては2.5秒), 減速度 は $0.3g (= 3.0m/s^2)$ が一般的に用いられ, 接近速度 V_H は85%マイル速度または規制速度を用いられる. AR時間については, Y時間終了時の交差点進入車両が最遠の衝突点を通過のできる条件によって導出される.

しかし必要なパラメータ(車両接近速度 V_H , 反応時間, 受容可能な減速度, Y時間終了時進入車両の15%マイル速度 V_L など)の実態が運転者の判断状況によって大きく変動し得ることから, 実際のSCI時間の設計に理論的な設定法を用いるのは困難がある. むしろ運転者の判断, 挙動, 習慣性, 順応の観点からは, Y時間は交差点によらず一定にするのが適当とする見解が一般的である^{7), 8), 12)}. Y時間設定の実態としては, オランダ⁸⁾, 豪州¹⁰⁾, 英国¹¹⁾の報告によれば, Y時間は3秒では赤信号進入(Red Light Running)を防ぐのは困難との判断が大勢であり, また長すぎるY時間も不適切とされ, 4秒が適当とされている. なおAR時間長の設定については, 「その場所の条件に応じてできる限り短く調整されるべき⁸⁾」とされ, また文献¹⁰⁾では $d/14(60km/h$ の区間), $d/21(80km/h$ の区間)との値が示されている.

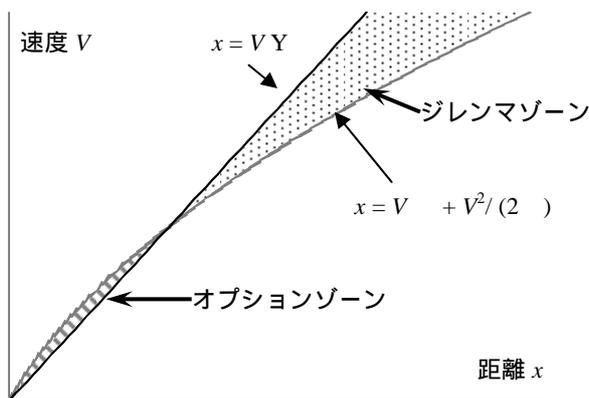


図 - 1 ジレンマゾーンとオプションゾーン

赤信号進入の防止に関しては、交通量が少なく速度が高い場所で、速度に応じてY時間を延長することが効果的である^{10), 11)}ことが認められている点にはわが国と同様¹⁴⁾である。ただし、一般的に黄色を長くしたからといって赤信号進入が減るわけではない。

赤信号進入取締りカメラの設置は、赤信号進入による交通事故発生場所において特に効果的であるが、一般的に運転者の法遵守の効果は期待できないとされる。ただし社会的な態度の変容が長期的効果で重要と考えられており、法的取締りを受ける機会の存在が赤信号進入の抑止効果を持つこと、しかしながら罰金を高くしたからといって抑止効果が見られるわけではないこと、が示されている¹⁰⁾。

3. 信号切り替わり時の実証解析手法

(1) 一般的な分析手法と問題点

これまで信号切り替り時の安全性評価に用いられてきたジレンマゾーン・オプションゾーンを図-1に示す。また、エスケープゾーン・コンフリクトゾーンを図-2に示す。これら4つの領域を総称して「問題領域」と呼ぶことにする。

「問題領域」は、いずれも距離(交差点流入部停止線を原点に上流方向距離) - 速度(一定速走行仮定)平面上の領域を表す。Y開始時にジレンマゾーンにある車両はY終了までに一定速のままでは停止線通過をすることもできない(赤信号進入になる)し停止線手前で停止することもできない。Y開始時にオプションゾーンにある車両はY終了前に一定速のまま停止線通過可能であると同時に停止線手前で停止も可能である。また、Y開始時にエスケープゾ

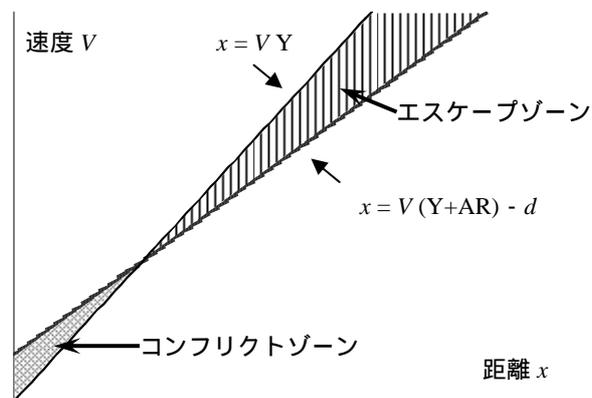


図 - 2 エスケープゾーンとコンフリクトゾーン

ーンにある車両はY終了までに一定速のままでは停止線通過ができない(赤信号進入になる)にも関わらず、AR終了までには交差点を流出できる。Y開始時にコンフリクトゾーンにある車両はY終了までには一定速のままでは停止線通過をすることも関わらず、AR終了までに一定速のまま交差点を流出できない。

これらの理論的検討においては、一定の系統速度を仮定して速度変動を無視するなど、かなり強い仮定のもとで理論構築がされてきたものである。しかし、一般に走行車両速度の一定速仮定は成立しないし、特にY開始時に交差点に進入できるかどうかを判断する場合、「通過」を意思決定する車両は増速傾向にあるのが一般的であろう。さらに、一般に任意時刻における車両位置の正確な計測は観測技術的に困難であり、観測上の問題点も指摘される。

交差点進入する各車両が問題領域にあるかどうかを判断する場合、停止線通過時刻と停止線通過時速度を用いて、一定速走行の仮定にもとづきY開始時の車両位置を推定することが一般的であろう。ただしY開始時刻と各車両の停止線通過時刻を十分に正確に観測するには信号灯器と停止線とを同じビデオで撮影するなどの工夫が必要である。そのうえ、停止線通過時の瞬間速度の計測も困難であり、通常は停止線(S_S)よりある程度上流地点に仮想的な参照断面(S_R)を設け、各車両の S_R と S_S の通過時刻差から $S_R - S_S$ 間の平均速度を計測するのが一般的である。

(2) 本研究の取組み

実際の信号切り替り時における車両の交差点進入挙動には、増速・減速、あるいはその組合せ、さらには右左折挙動の場合には走行軌跡の変化、など

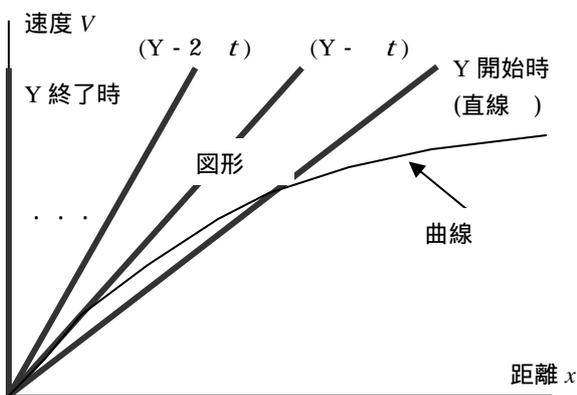


図 - 3 停止線通過条件の時空間変動

運転者の心理的な認知・判断に伴う挙動が存在するものと思われる。こうした点も踏まえて、SCIの信号制御手法を検討するためには、車両の時空間軌跡を正確に計測する必要がある。また、安全上の観点からは、車両の時空間軌跡上で信号切り替わり時刻を正確に知る必要があることや、SCI前後の現示で認められる各進入車両動線同士の衝突点の通過時刻を計測することも重要である。さらに、円滑性の観点からは、SCI前後の現示の各車両の車頭時間や飽和交通流率、発進遅れなどの実態値を計測し、SCIにおける損失時間の実態把握を行う必要がある。

本研究では、赤羽らが開発した「複数のビデオカメラによる車両軌跡の連続観測システム」^{15), 16)}を応用して、「GPS同期信号装置」から同期信号とタイムコードを業務用デジタルビデオ規格のDVCAMデッキに入力することで複数ビデオを正確に同期させることで、信号灯器を撮影するVTRにより信号切替り時刻を記録しながら車両の走行の時空間軌跡を観測する。

4. 問題領域の時空間変化

(1) 問題領域境界線概念の拡張

図 - 1, 図 - 2 の4つの問題領域は、図中の , , の3つの曲線・直線で囲まれる領域として定義されている。ここで車両の速度が一定でない場合に拡張するために、時間 - 距離図 (Time-Space Diagram) とこれらの図を組合せて、問題領域の時空間変化について考察する。

直線 は、Y開始時刻において意味を持ち、上の速度・位置関係を満たすものが、その速度で一定

速走行した場合に停止線通過可能かどうかの境界線となることを意味する。ここで、直線 を各時間断面における停止線通過の境界条件を現すものとして概念の拡張を行い、これを「図形」とする。Y開始時刻から t だけ時間が経過後における通過条件境界線を考えると、次式のようなになる。

$$x = V(Y - t), \text{ただし } t \leq Y$$

すなわち各時刻断面における図形 は、時刻によらず $V-x$ 平面上の原点を通る直線であり、その V 軸からの傾きは、Y開始時刻で Y 、時刻 $(Y - t)$ では $(Y - t)$ となり、Y終了時刻においては傾きゼロ、すなわち V 軸に一致する直線となる図 - 3 は各時刻断面における図形 の直線(等高線)の概念図である。

直線 については、直線 と全く同様の概念拡張が可能である。すなわち、時間によらず通る点は x 軸上の $(-d)$ 点となり、 $t \leq (Y+AR)$ の範囲で V 軸からの傾きが小さくなり、AR終了時に V 軸と平行な直線となる。各時刻断面における境界線がこれらの直線となる図形を図形 とする。

一方曲線 については、反応時間、平均減速度の仮定のもとで、停止線で丁度停止できる速度と位置の関係を表す曲線であり、「何時停止できるか」どうか、という時間軸の概念は含まれていない。すなわち、時刻によらず曲線 は同じ意味を持ったまま変化しない概念であることがわかる。

(2) 問題領域の時間変動

ジレンマゾーンはY開始以降、時間の経過と共に増大し、図形 の各時刻における境界直線と曲線が接する時刻(時刻)までジレンマゾーンの下限の速度・位置の値が小さくなり、それ以降はすべての速度帯においてジレンマゾーンとなる位置が生じてしまい、その範囲がY終了時まで増大しつづける。一方オプションゾーンはY開始から時刻 まで範囲は減少し、時刻 以降は存在しなくなる。

直線 と の2つの境界直線の交点は、時間の経過と共に、停止線からの位置は原点に近づき速度は増大する傾向を持つ。すなわちエスケープゾーン・コンフリクトゾーン共に、時間経過と共に停止線に近づき、高速の速度域へと広がる傾向があることがわかる。

(2) 車両走行時空間軌跡の評価

図 - 1 ~ 図 - 3 を $V-x$ 平面の2次元空間から, 時刻 t を加えた3次元 $V-x-t$ 空間に拡張して考えると, 3次元空間上に時々刻々と各車両の状態変化を記述すれば, 各車両の軌跡は3次元空間上の曲線となる. これを $x-t$ 平面に射影すると時間 - 距離図となる.

SCI前後に交差点流入部へ到着した車両が, 交差点を通過した場合は, $x-t$ 平面上で見て, Y終了時刻やAR終了時刻の x 座標を停止線, 最遠衝突点, 交差点流出点などと比較することで, 赤信号進入などが評価できる. これを通常の $V-x$ 平面上で評価するには, Y開始時の車両位置を x 座標とし, Y開始からY終了までの平均速度を V 座標とする点をプロットして問題領域にあるかどうかを評価すればよい. たとえば, V 座標をY開始時の瞬間速度とした場合と比較して V 座標が増大していれば, 増速しながら交差点を通過していることになる.

一方, SCI前後に交差点流入部へ到着した車両が, そのSCIでは交差点を通過せずに最終的に停止した場合は, $x-t$ 平面上で見た場合, 停止時の x 座標を停止線位置 ($x=0$) と比較して $x < 0$ であれば停止線手前で停止できたことがわかる.

5. おわりに

本研究で提案する観測手法を用いれば, 個別車両の時空間走行軌跡を得ることができ, これと信号切り替わり時刻との関係から, 赤信号進入の実態として, 増速などの速度調節挙動や通過か停止かの迷い, など安全上の実態を調べることができるものと考えられる. また, 交差点流入部停止線, 最遠衝突点, 交差点流出点などの通過時刻と交通量累積図の作成にもとづいて, 信号切り替わり時の損失時間の実際の長さ, およびY・ARの時間帯と実際の損失時間の生じる時間帯との関係も検討する予定である.

参考文献

- 1) D. C. Gazis, R. Herman and A. A. Marauidin: The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow, Traffic Engineering, Jul, 1960.
- 2) P. L. Olson and R. W. Rothery: Driver Response to the Amber Phase of Traffic Signals, Traffic

Engineering, Feb., 1962.

- 3) P. L. Olson and R. W. Rothery: Deceleration Levels and Clearance Times Associated with Amber Phase of Traffic Signals, Traffic Engineering, Apr., 1972.
- 4) W. A. Stimpson, P. L. Zador and P. J. Tarnoff: The Influence of the Time Duration of Yellow Traffic Signals on Driver Responses, ITE Journal, Nov., 1981.
- 5) H. H. Bosell and D. Warren: The Yellow Signal is NOT a Clearance Interval, ITE Journal, Feb., 1981.
- 6) J. M. Frantzeskakis: Signal Change Intervals and Intersection Geometry, Transportation Quarterly, Vol.38, No.1, Jan., 1984.
- 7) S. Jourdain: Intergreen Timings, Traffic Engineering and Control, Apr., 1986.
- 8) R. van der Horst and A. Wilink: Drivers' Decision Making at Signalised Intersections: an Optimisation of the Yellow Timing, Traffic Engineering and Control, Dec., 1986.
- 9) ITE Technical Council Committee 4A-16: Determining Vehicle Signal Change Intervals, ITE Journal, Jul., 1989.
- 10) F. R. Hulscher: The Problem of Stopping Drivers after the Termination of the Green Signal at Traffic Lights, Traffic Engineering and Control, Mar., 1984.
- 11) C. J. Baquley: "Running the Red" at Signals on High-speed Roads, Traffic Engineering and Control, Jul./Aug., 1988.
- 12) Manual of Uniform Traffic Control Devices (MUTCD), Institute of Transportation Engineers (ITE).
- 13) 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2004.
- 14) 斎藤威: ジレンマ・ゾーンの回避を意図した信号制御方法とその効果, 交通工学, Vol.29, No.6, pp.11-22, 1994.
- 15) 赤羽弘和: 複数の高精細度ビデオカメラによる車両軌跡の高精度連続観測システムの開発, 土木計画学シンポジウム論文集, No.37, pp.89-96, 2001.
- 16) 浅野信哉, 赤羽弘和: 複数のビデオカメラによる車両走行軌跡観測システムの開発, 土木計画学研究・講演集 No.24, pp.293-296, 2001.