

信号切替情報の獲得によるジレンマ・ゾーンの回避に関する研究*

Avoidance from the dilemma zone by acquiring the information of the timing of the signal change*

鈴木理**・浜岡秀勝***

By Tadashi SUZUKI**・Hidekatsu HAMAOKA***

1. はじめに

交通事故の中でも毎年その6割近くが交差点、または交差点付近で発生している。交差点での交通事故の中でも、約6割が追突・出合頭事故である。交差点、または交差点付近における事故防止として、信号機による交通制御が挙げられる。しかし、信号交差点においても、信号切替時に前方車が停止しようと減速したことに対し、後続車が通過しようと加速することによる追突事故、また信号切替に対応できず交差点に進入することによる交差車両との出合頭事故などの危険も含んでいる。

信号交差点での危険性を示す一つとして、ジレンマ・ゾーン（車両信号赤切替時までに停止線を通過することも、停止線で安全に停止することもできない範囲）、オプション・ゾーン（車両信号赤切替時までに停止線を通過することも、停止線で安全に停止することもできる範囲）が挙げられる。両ゾーンともドライバー個々の判断により、通過/停止が行われるため危険なゾーンと考えられる。しかし、ゾーン内に存在する全ドライバーが同判断を行った場合、オプション・ゾーンの危険性はなくなるが、ジレンマ・ゾーンの危険性はなくなる。よって、ジレンマ・ゾーンを回避することが、信号交差点での危険性を軽減することに繋がると考えられる。

ジレンマ・ゾーンを回避するためには、ドライバーが歩行者信号の青点滅・赤表示などを確認することで、車両信号黄切替を前もって判断することが重要と考える。そこで、本研究では、中村の研究¹⁾を受け、信号切替情報を事前に取得することで、車両信号黄切替前に通過/停止の判断をすることができれば、必然的にジレンマ・ゾーンを回避し、迷いから生じる判断の混在も減少し、安全な通過/停止が行われるのではないかと仮定する。この仮定をもとに、ジレンマ・ゾーン回避のモデル式を作成し、安全なジレンマ・ゾーン回避に必要な時間、距離を検証することを目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

本章では、従来の関連研究をレビューし、本研究の位置づけを明らかにする。

信号切替時における交差点部での交通事故減少に着目した研究として、片岡ら²⁾の研究があるが、これはジレンマ・ゾーン及びオプション・ゾーンに焦点をおいた研究であり、歩行者信号の影響までは考慮されていない。

また、中村ら³⁾は交差点形状別歩行者信号有無別による車両挙動の違いの比較検証を目的とした研究を実施している。この研究により、ドライバーは交差点走行時に歩行者信号を頼りにすることが明らかになった。

以上のことを踏まえ、本研究では、歩行者信号により車両信号切替の前判断を行うことで、通過/停止判断を迫られる黄色信号切替時にジレンマ・ゾーンを回避するためのモデル式を作成し、安全なジレンマ・ゾーン回避を検証していく。

3. ジレンマ・ゾーン回避のモデル式

モデル式を作成するにあたり、車両信号切替時の停止線からの距離 L_0 と速度 V_0 はジレンマ・ゾーン内に存在する場合を考えた。また、信号現示と無関係に V_0 で定速走行する条件を加え、設定条件をもとに前判断を行ったと仮定し考える。図-1、2 に車両信号黄色切替前に判断（以下前判断とする）を行った場合の速度・時間、距離それぞれのイメージ図を示す。前判断では、車両信号黄切替の t 秒前に判断を条件としているため、 t 秒前の位置は L_0 から $V_0 t$ 前になる。また、図中の $\cdot \cdot \cdot$ は順に判断時・車両信号黄切替時・車両信号赤切替時を表しており、 Y は車両信号黄時間を表している。時間経過は $t=0$ とし、 t 秒後、 $Y+t$ 秒後とする。 L 間の距離は速さ (V_0) \times 時間 (t) で求めた。

前判断、後判断に関わらず、判断は必ず通過/停止のどちらかになる。そこで、(1) 通過を判断した場合、(2) 停止を判断した場合、に分けそれぞれモデル式を作成し、検証した。

* キーワーズ：信号切替，車両挙動，

** 非会員 株式会社 長大 大阪支社
(大阪市西区新町 2-20-6、Tel:06-6541-5700
e-mail: suzuki-td@chodai.co.jp)

*** 正会員 博(工) 秋田大学土木環境工学科

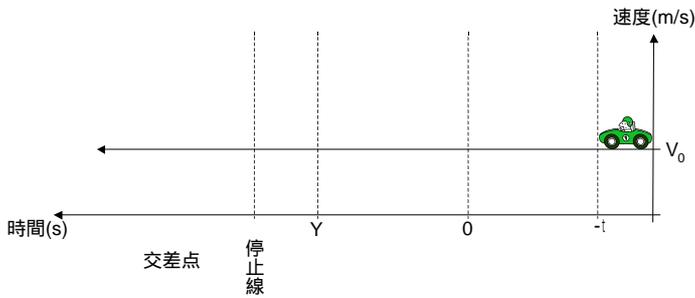


図-1 前判断例(速度・時間)

なる。また、同じ判断時間であれば速度が大きいほど進む距離も大きくなる。つまり、停止線からの距離である L は、 L_0 より小さくなる。以上をふまえ、計算し作成された $L-V$ 式は以下の通りである。

$$V = V_0 + \frac{2(L - L_0) + 2\sqrt{(L - L_0)(V_0 Y - L_0 - W)}}{Y}$$

(2) 停止を判断した場合

ここでは、停止を判断した場合の車両信号黄切替時の停止線からの距離 L と速度 V の関係をモデル化する。停止を判断した場合の前提条件は、車両信号赤切替時に停止線で停止、完全に停止するまで一定減速度で減速を続ける、である。図-5、6 に停止判断を行った場合の速度・時間、距離それぞれのイメージ図を示す。

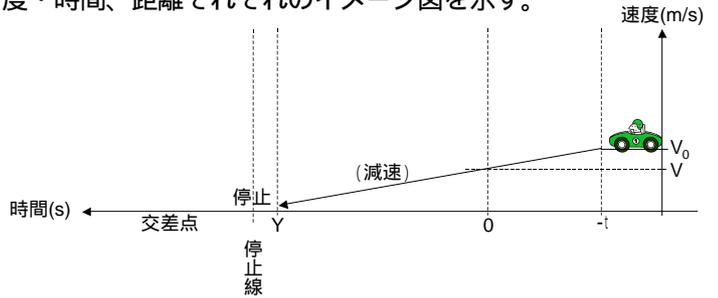


図-5 停止判断(速度・時間)

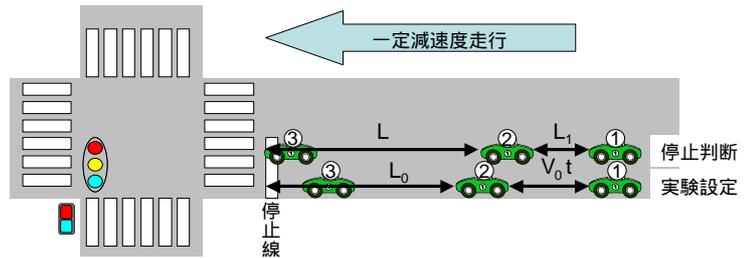


図-6 停止判断(速度・距離)

(1) 通過を判断した場合

ここでは、通過を判断した場合の車両信号黄切替時の停止線からの距離 L と速度 V の関係をモデル化する。通過を判断した場合の前提条件は、車両信号赤切替時に交差点を通過、通過し終わるまで一定加速度で加速を続ける、である。図-3、4 に通過判断を行った場合の速度・時間、距離それぞれのイメージ図を示す。

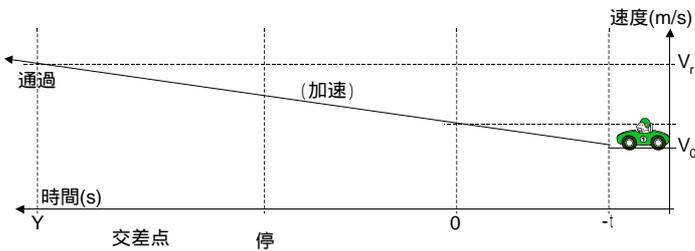


図-3 通過判断(速度・時間)

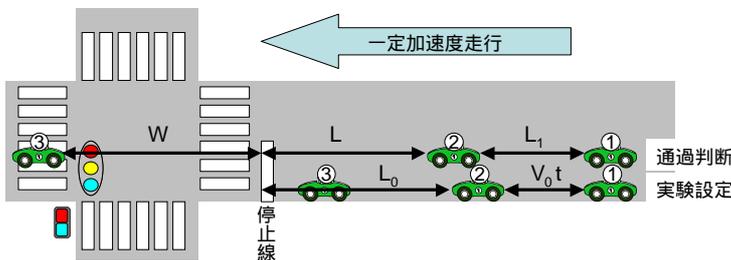


図-4 通過判断(速度・距離)

図中の \dots は前述したとおりであり、 \sim 間の距離を計算の便宜上 L_1 と仮定した。 $Y \cdot W$ は交差点により決定する値、 $L_0 \cdot V_0$ は設定値、 $L \cdot V \cdot t \cdot L_1$ が変数である。ここで、最終目的である $L-V$ 式に使用できる文字は、 $Y \cdot W \cdot L_0 \cdot V_0 \cdot L \cdot V$ であり、 $t \cdot L_1$ は使用できないため、計算上使用した場合は、適宜 $Y \cdot W \cdot L_0 \cdot V_0 \cdot L \cdot V$ を使用した式に置き換えていく。

ここで、通過判断時は加速により、 V が V_0 より大きく

図中の \dots は前述したとおりである。 \sim 間の距離は、通過判断時と同じく計算の便宜上 L_1 と仮定した。 Y は交差点により決定する値、 $L_0 \cdot V_0$ は設定値、 $L \cdot V \cdot t \cdot L_1$ が変数である。ここで、最終目的である $L-V$ 式に使用できる文字は、 $Y \cdot L_0 \cdot V_0 \cdot L \cdot V$ であり、 $t \cdot L_1$ は使用できないので、計算上使用した場合は、適宜 $Y \cdot L_0 \cdot V_0 \cdot L \cdot V$ を使用した式に置き換える。

ここで、停止判断時は減速することにより、 V が V_0 より小さくなる。また、同じ判断時間であれば速度が小さいほど進む距離も小さくなる。つまり、停止線からの距離である L は、 L_0 より大きくなる。以上をふまえ、計算し作成された $L-V$ 式は以下の通りである。

$$V = \frac{L - \sqrt{L(L - L_0)}}{L_0} V_0$$

(3) モデル式からの検証

通過/停止それぞれで作成したモデル式を用い、ジレンマ・ゾーン回避について考察する。ここで、前判断により、車両信号黄切替時の反応時間はなくなることから、

ジレンマ・ゾーンを形成する停止曲線は反応時間を除いた式とした。図-7 に通過/停止モデル式のグラフを示す。なお、図中の通過/停止曲線は、それぞれ前判断通過/停止を行う場合、車両信号黄切替時にどの位置をどのくらいの速度で走行することになるかを表している。

モデル式作成の前提条件より、車両信号赤切替時には通過/停止とも可能である。しかし、車両信号赤切替時には通過/停止が可能としても、一定加減速度走行のため、車両信号黄切替時にはジレンマ・ゾーン内に存在する可能性がある。また、ジレンマ・ゾーンを回避できたとしても、限界加減速度を上回る場合があり、ジレンマ・ゾーン回避が必ずしも安全な通過/停止でないことがわかった。車両信号切替を予測できなければ、前判断は不可能だが、モデル式では、前判断時間 t の範囲を無視して作成した。そこで、どのくらい前から判断できるか、 t の範囲を考慮する必要がある。これらのことを踏まえ、車両信号黄切替時に安全にジレンマ・ゾーンを回避するため必要な時間を t の範囲を限定した上で検証する。

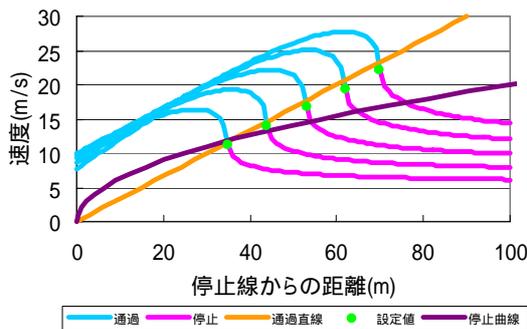


図-7 通過/停止関数

4. モデル式を用いた安全なジレンマ・ゾーン回避

ここでは、限界加減速度を用いるとともに t の範囲を限定し、安全にジレンマ・ゾーンを回避するため必要な時間を検証する。検証の際に用いる交差点の条件は、交差点幅 30m、車両信号黄色時間 3 秒であり、前判断が可能となる歩行者信号青点滅開始は、車両信号黄色切替 6 秒前である。

作成したモデル式をもとに、加減速度を限界値（加速の場合 3.0m/s^2 、減速の場合 -2.0m/s^2 ）で一定にした場合、それぞれの式の交点を求め、信号情報事前取得に必要な時間・距離を検証する。 $V_0=16.7$ (60km/h)、 $L_0=53$ を例とし、加減速度を限界値で一定にした場合を図-8 に示す。なお、図には作成したモデル式、ジレンマ・ゾーンも加えてある。ここで、図中の限界通過曲線は、加減速度を限界値で固定した場合、車両信号黄切替時にどの位置をどのくらいの速度で走行することになるのかを表しており、曲線の上側（右側）であれば限界以上の加速度が必要であることを意味している。また、限界停止曲

線は、減速度を限界値で固定した場合、車両信号黄切替時にどの位置をどのくらいの速度で走行することになるのかを表しており、曲線の下側（左側）であれば限界以上の減速度が必要であることを意味している。また、各交点を求め、その値をもとに算出した前判断時間と判断時の停止線からの距離を表-1 に示す。なお、表中の記号は図中の記号と対応している。

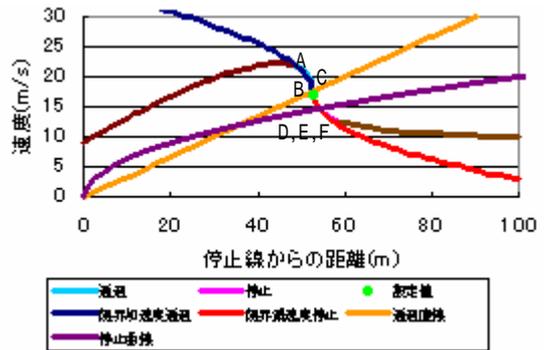


図-8 限界加減速度通過/停止 (60km/h)

表-1 図-8 の各交点の前判断時間と判断時距離

	時間(秒)	距離(m)
A 通過と限界加速度通過	1.30	74.6
B 通過直線と限界加速度通過	0.22	56.6
C 通過直線と通過	0.15	55.4
D 停止と限界減速度停止	0.99	69.4
E 停止曲線と限界減速度停止	0.99	69.4
F 停止曲線と停止	0.99	69.4

表と図より、通過の場合は、0~1.30 秒前だとジレンマ・ゾーン回避不可能、もしくは回避可能だとしても限界以上の加速度が必要であることがわかる。各交点が一致する停止の場合は、0~0.99 秒前だとジレンマ・ゾーン回避不可能であることがわかる。よって、車両信号黄切替時に安全な加速度で通過する場合は、車両信号黄切替 1.23 秒前までに判断する必要があると言える。また、安全な減速度で停止を行う場合は、0.99 秒前までに判断する必要があると言える。なお、車両信号切替予測の情報を得てからの反応時間を考慮すると、さらに 1 秒さかのぼった（通過時：2.30 秒、停止判断時：1.99 秒）前までには情報を得る必要があると言える。

次に、判断時間を限界値（歩行者信号を利用し、反応時間を 1 秒として、車両信号黄切替 5 秒前、つまり歩行者信号青点滅開始 1 秒後）で一定にした場合、それぞれの式の交点を求めることで、信号情報事前取得に必要な時間・距離を検証していく。図-9 に 60km/h を例とし、判断時間を限界値で一定にした場合を示す。なお、図には、作成したモデル式、ジレンマ・ゾーンも加えてある。図中の設定値より速度が高い場合は、判断時間直線の下側では前判断が行えないことを示し、設定値より速度が低い場合は、判断時間直線の上側では前判断が行えないことを示す。また、各交点を求め、その値をもとに算出

した前判断時間と判断時の停止線からの距離を表-2 に示す。なお、表中の記号は図中の記号と対応している。

表と図より、ジレンマ・ゾーンを回避できてかなり早い段階で前判断を行う必要がある場合が確認できる。前判断による通過の場合は、0~0.15 秒前だとジレンマ・ゾーンを回避できず、また 5 秒以上前だと車両信号切替の情報を取得できないことがわかる。停止の場合は、0~0.99 秒前だとジレンマ・ゾーンを回避できず、また 5 秒以上前だと車両信号切替の情報を取得できないことがわかる。よって、前判断によりジレンマ・ゾーンを回避した通過を行う場合は、0.99~5.00 秒前の間に判断を行う必要があると言える。停止の場合は、0.15~5.00 秒前の間に判断を行う必要があると言える。

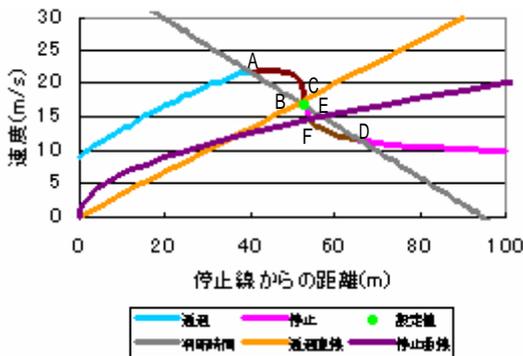


図-9 判断時間通過/停止(60km/h)

表-2 図-9の各交点

	時間(秒)	位置(m)
A 通過と判断時間	5.00	136
B 通過直線と判断時間	0.77	65.8
C 通過直線と通過	0.15	55.4
D 停止と判断時間	5.00	136
E 停止曲線と判断時間	2.269	90.8
F 停止曲線と停止	0.987	69.4

これまでに求めた限界加減速度通過/停止と判断時間を重ね合わせることで、前判断を行える範囲での安全な通過/停止について検証する。図-10 に限界加減速度と判断時間による通過・停止を示す。

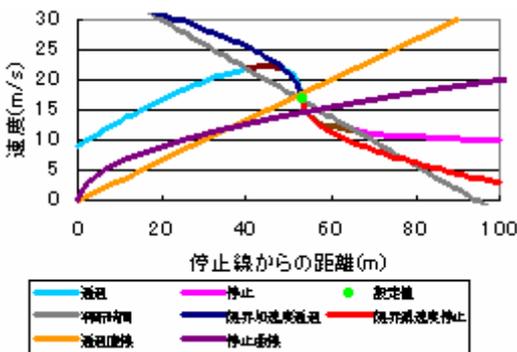


図-10 限界加減速度・判断時間通過/停止(60km/h)

図より、前判断によるジレンマ・ゾーンの回避は、前判断が可能な範囲(車両信号黄切替 0~5 秒前)で、か

つ、限界以下の加減速度になるよう通過/停止判断を行う必要があると言える。安全な加減速度で車両信号黄切替時にジレンマ・ゾーンを回避した通過を行う場合、1.30~5.00 秒の間に判断する必要がある。安全な減速度で停止を行う場合、0.99~5.00 秒の間に判断する必要がある。なお、車両信号切替予測の情報を得てから反応時間を考慮すると、さらに最低 1 秒さかのぼった(通過時: 2.30~6.00 秒、停止判断時: 1.99~6.00 秒)間に情報を得る必要があると言える。

5. まとめ

本研究では、信号切替情報を歩行者信号により事前に取得したと仮定し、ジレンマ・ゾーンを回避するためのモデル式を作成した。モデル式を考える上で、信号切替時の車両挙動を限定するため、車両信号赤切替時の通過/停止、一定加減速度走行など前提条件を与えた。前提条件より車両信号赤切替時に通過/停止はできるが、一定加減速度走行のため車両信号黄切替時には、ジレンマ・ゾーンを回避できていない状況も見られた。さらに、ジレンマ・ゾーンを回避できたとしても限界以上の加減速度を必要とする場合があった。また、判断時間の範囲を考慮しなかったため、車両信号切替の情報を取得していないにも関わらず、前判断を行うモデル式となった。

これらの問題を解決するため、60km/hを例として、判断時間の範囲を限定したうえで、限界加減速度を一定にし、ジレンマ・ゾーンの回避を検証した。その結果、限界以下の加減速度で車両信号黄切替時にジレンマ・ゾーンを回避するためには、1.30~5.00秒の間に判断する必要がある。限界以下の減速度で車両信号黄切替時にジレンマ・ゾーンを回避するためには、0.99~5.00秒の間に判断する必要があると考えられた。

しかし、この結果は、設定位置をもとに算出したものであり、実交通に対応した結果にはなっていない。本研究では、モデル式を作成する際に前提条件を設定したが、実交通では、車両信号赤切替前に停止を行う場合や一瞬の加減速を行った後の定速走行など様々な傾向がみられる。様々なパターンの条件を設定し、実交通にも対応できるモデル式を作成することなどが今後の課題である。

参考文献

- 1) 中村良枝, 浜岡秀勝: 信号切替時情報取得時のドライバー判断からみる安全性の評価, 平成 18 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, CD-ROM, -21, 2007
- 2) 片岡源宗, 橋本幸雄, 熊谷靖彦, 吉井稔雄: 地域差を考慮した信号切り替わり時における停止判断挙動分析, 第 31 回土木計画学研究発表会講演集, CD-ROM, 2005
- 3) 中村良枝, 高橋勇喜, 浜岡秀勝, 清水浩志郎: 歩行者信号が信号切替時の車両挙動に及ぼす影響, 第 31 回土木計画学研究発表会講演集, CD-ROM, 講演番号 229, 2005 年