

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、信号機による交通管制が挙げられる。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・ゾーン回避策の一つとしてジレンマ感応制御¹⁾がある。ジレンマ感応制御とは交通開散時において、黄信号直後の追突事故、全赤信号で交差点に進入する車両によって生じる出合頭事故を減少させる目的で設置されている。具体的には、黄信号切替時に車両速度及び走行位置を検知し、当該車両の状況により黄信号の時間長を変更するシステムである。しかし、交通開散時以外での適応が難しいなどの問題も含んでいる。また、ジレンマ感応制御の対象領域と実際の危険領域が必ずしも一致しないという問題もあり、研究が進められている。

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、中村らの研究²⁾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. 安全性の定義

ドライバーなら一度は経験していると思われるが、車両信号黄時において、通過/停止の判断に迷うことがある。この迷いが追突事故などの誘因といわれる。この領域をジレンマ・ゾーンという。本研究では、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考える。

黄色信号切替前に切替情報を取得した場合は、早めに通過/停止判断を行えることから、通過/停止に伴う加減速度は緩やかになると考えられる。早めに通過判断を行う場合の考えを図に示したものが図-1である。なお、図中のAは車両信号青時の走行速度・位置、Bは前判断（車両信号切替前に判断）を行わず等速走行した場合の車両信号黄色切替時走行速度・位置、C_pは前判断を行い加速走行した場合の黄色信号切替時走行速度・位置を表している。また、図中の破線は、通過直線及び停止曲線であり、通過直線は、車両信号黄切替時に直線上であれば車両信号赤切替時にちょうど通過できることを、停止曲線は、車両信号黄切替時に曲線上であれば、車両信号赤切替時にちょうど停止できることを示している。つまり、通過の場合、車両信号黄切替時に直線より上側（左側）であれば車両信号赤切替時までに通過でき、下側（右側）であれば通過できないことを示している。同様に、停止の場合、車両信号黄切替時に曲線より下側（右

* キーワーズ：信号切替，車両挙動

** 修(工) (株)長大 社会・環境計画部

(大阪市西区新町 2-20-6、Tel:06-6541-5700

e-mail: suzuki-td@chodai.co.jp)

*** 博(工) 秋田大学土木環境工学科

側)であれば停止でき、上側(左側)であれば停止できないことを示している。なお、通過直線は、3秒の車両信号黄時間に走行する距離から求めており、停止曲線は、停止に要する距離(速度と距離に関する関係式)に加え、信号切替への反応に要する1秒間に走行する距離を用いて求めている。図-1より、信号切替情報を取得しない場合は、Aから等速走行するためBでジレンマ・ゾーン(通過直線と停止曲線により形成される図中網掛け部)に進入する。しかし、信号切替情報を取得し通過を判断した場合は、Aから加速するため、黄色信号切替時 C_p にはBより高速度で、黄色信号切替までに進む距離も長くなり、ジレンマ・ゾーンを回避することになる。

同様に早めに停止判断を行う場合の考えを図に示したものが図-2である。なお、図中のAは車両信号青時の走行速度・位置、Bは前判断を行わず等速走行した場合の車両信号黄色切替時走行速度・位置、 C_s は前判断を行い減速走行した場合の黄色信号切替時走行速度・位置を表している。また、図-1同様に通過直線及び停止曲線も示している。この図より、信号切替情報を取得しない場合は、Aから等速走行するためBでジレンマ・ゾーン(通過直線と停止曲線により形成される図中網掛け部)に進入する。しかし、信号切替情報を取得し通過を判断した場合は、Aから減速するため、黄色信号切替時 C_s にはBより低速度で、黄色信号切替までに進む距離も短くなり、ジレンマ・ゾーンを回避することになる。

この考えをもとに、ジレンマ・ゾーン回避による安全性を、モデル式を作成することにより評価する。

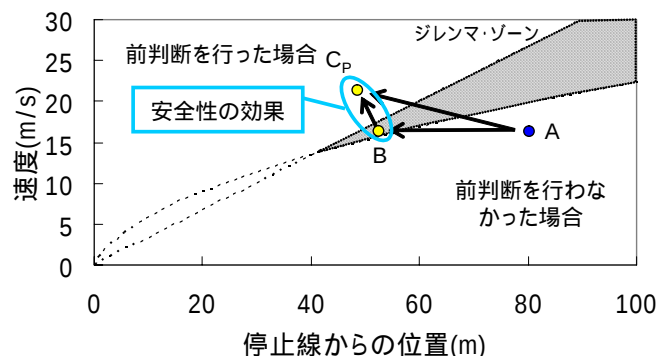


図-1 切替前通過判断による安全性の効果

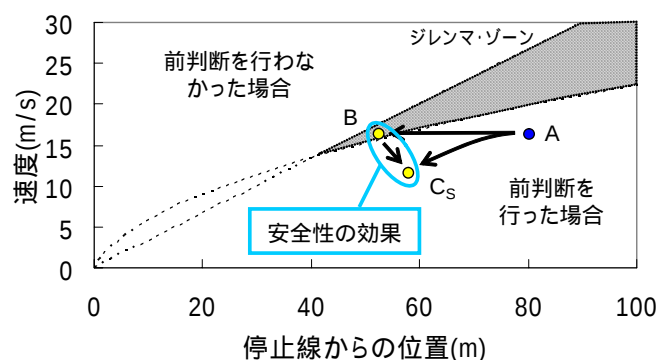


図-2 切替前停止判断による安全性の効果

3. 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。

交差点に接近する車両挙動から交差点の安全性を検討した研究として、林ら³⁾は追突・出合頭事故多発交差点において交差点の安全性を検討するとともに、事故防止に有効な交通制御として、ジレンマ抑止制御に着目し、ジレンマ抑止制御の導入効果の予測を実施している。その結果、対象交差点の停止間距離を平均速度で走行した場合、交差点に進入した車両は交差点の全赤終了後も交差点内に存在していることとなり、出合頭事故を引き起こす可能性が高いと述べている。また、ジレンマ感知器のある地点とジレンマ領域のほぼ中央と考えられる2地点で速度を測定した結果、2地点での速度変化は大きく異なり、測定地点の速度が正確な黄色開始時の速度とはいえないことを明らかにしたが、ジレンマ・ゾーン回避にまでは言及されていない。

また、モデル式を用いた交通流の安定性・安全性に関する研究として、宇野⁴⁾はファジィ追従モデルを利用して、車両の反応時間が短縮された場合を簡単なシミュレーションを通して考察している。その結果、車両の反応時間の削減が交通流の安定性及び安全性の向上に寄与する可能性が高いことを明らかにした。これは渋滞の発生・解消に焦点を当てた研究であり、当然ながら、ジレンマ・ゾーン回避は対象にされていない。

こうした状況のもと、歩行者信号に着目した交差点の安全性に関する研究として中村ら⁵⁾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、歩行者信号有無による通過/停止判断の車両挙動の違いを速度・加速度の視点から分析により、歩行者信号を頼った車両が存在すること、また歩行者信号を頼ることで信号切替予測の助けになり、通過・停止判断に余裕が生まれることで安全が向上することを明らかにした。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・ゾーン回避を検証する。

4. ジレンマ・ゾーン回避のモデル式

現在行われているジレンマ・ゾーンの回避策の代表例としては、1章でも述べたようにジレンマ感応制御¹⁾が挙げられる。それ以外の回避策は、いまだ実道路に適用

されていない。本研究では、回避策の一つとして、歩行者信号を利用することで、信号切替情報事前取得を行った場合を考える。この回避策は、すべての歩行者信号あり交差点を対象にしており、現示方式の変更や、新たな設備を必要とせず、現存の道路構造物を最大限に利用した回避策である。

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（通過直線と停止曲線により形成される図中網掛け部）に存在する場合を考えた（図-3）。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する。図-4、5 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。

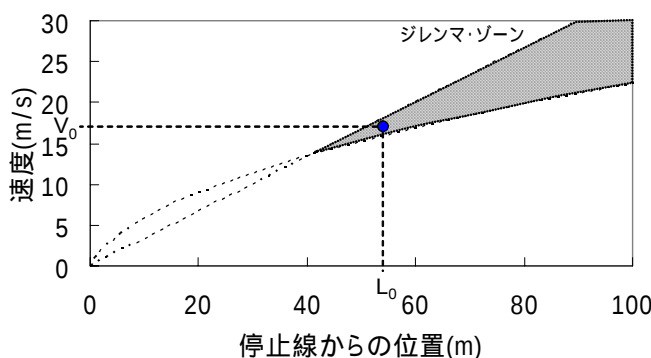


図-3 前提条件(ジレンマ・ゾーン内に存在)

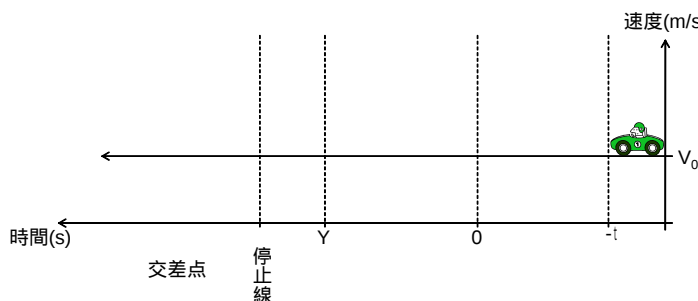


図-4 前判断例(速度・時間)

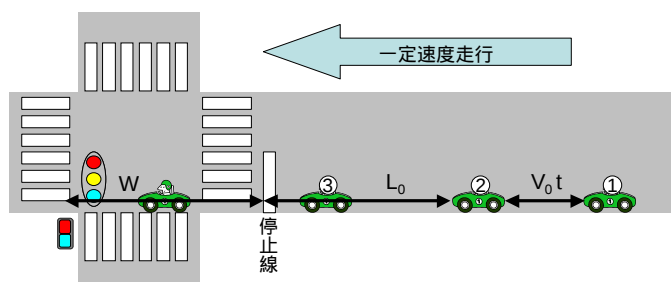


図-5 前判断例(速度・距離)

前判断では、車両信号黄切替の t 秒前の判断を条件としているため、での位置は L_0 から $V_0 t$ 前になる。また、図中の $\cdot \cdot$ 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、 W は交差点の大きさを表している。時間経過は 0 とし、は t 秒前 ($-t$)、は Y 秒後 (Y) とする。 $\sim$ 間

の距離は速さ (V_0) $\times$ 時間 (t) で求めた。

前判断、後判断（車両信号切替後に判断）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。

（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-6、7 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。なお、図中の $\cdot \cdot$ 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。

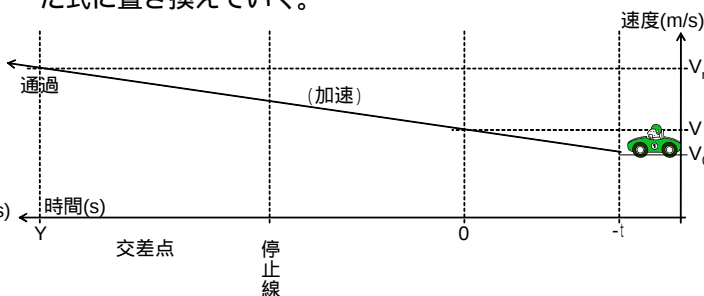


図-6 通過判断(速度・時間)

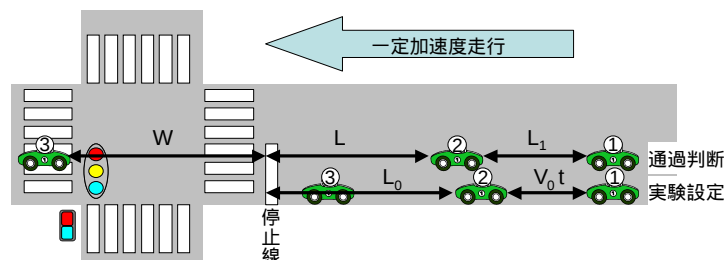


図-7 通過判断(速度・距離)

a) 車両信号黄切替時速度 V

図-6 からわかるように V は、判断時速度（初速）と加速度によって決定する。ここで、速度と距離に関する関係式より、加速度 a は目標車速（車両信号赤切替時速度） V_r 、判断時速度（初速） V_0 、距離（判断位置から交差点通過位置まで） $V_0 t + L_0 + W$ を用い、以下の計算式で求めることができる。

$$a = \frac{V_r^2 - V_0^2}{2 \times (V_0 t + L_0 + W)} \quad \cdot \cdot \cdot \quad (\text{式 1-1})$$

よって、加速度 a を求めるためには、目標車速（車両信号赤切替時速度） V_r が必要となる。そこで、 t 秒前に

判断し、a で加速しながら走行したときの車両信号赤切替時速度 V_r は、以下の式 1-2 となる。

$$V_r = V_0 + \int_0^{Y+t} a dt \\ = V_0 + a(Y+t) \quad \dots \dots (式 1-2)$$

よって、t 秒前に判断し、車両信号赤切替時に交差点を通り抜けるのに必要な加速度 a は、以下の式 1-3 となる。

$$a = \frac{V_r^2 - V_0^2}{2(V_0 t + L_0 + W)} = \frac{\{V_0 + a(Y+t)\}^2 - V_0^2}{2(L_0 + V_0 t + W)} \\ = \frac{2(L_0 - V_0 Y + W)}{(Y+t)^2} \quad \dots \dots (式 1-3)$$

また、t 秒前に判断し、a で加速しながら走行したときの車両信号黄切替時速度 V は、以下の式 1-4 となる。

$$V = V_0 + \int_0^t a dt \\ = V_0 + at \quad \dots \dots (式 1-4)$$

ここで、式 1-4 に式 1-3 を代入すると、以下の式 1-5 となる。

$$V = V_0 + \frac{2(L_0 - V_0 Y + W)}{(Y+t)^2} t \quad \dots \dots V-t 式 (式 1-5)$$

b) 車両信号黄切替時の停止線からの距離 L

図-7 からわかるように L は、 L_1 によって決定し、 $L+L_1=L_0+V_0 t$ が成り立つ。なお、t 秒前に判断し、車両信号黄切替時までに進んだ距離 L_1 は、以下の式 1-6 となる。

$$L_1 = \int_0^t (V_0 + at) dt \\ = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \dots \dots (式 1-6)$$

よって、 $L+L_1=L_0+V_0 t$ より、t 秒前に判断した時、車両信号黄切替時の停止線からの距離 L は、以下の式 1-7 となる。

$$L = (L_0 + V_0 t) - L_1 \\ = L_0 - \frac{1}{2} at^2 \quad \dots \dots (式 1-7)$$

ここで、式 1-7 に式 1-3 を代入すると、以下の式 1-8 となる。

$$L = L_0 - \frac{(L_0 - V_0 Y + W)}{(Y+t)^2} t^2 \quad \dots \dots L-t 式 (式 1-8)$$

c) 式 1-5 と式 1-8 の連立による V-L 式

$$\begin{cases} V = V_0 + \frac{2(L_0 - V_0 Y + W)}{(Y+t)^2} t \quad \dots \dots 式 1-5 \\ L = L_0 - \frac{(L_0 - V_0 Y + W)}{(Y+t)^2} t^2 \quad \dots \dots 式 1-8 \end{cases}$$

式 1-5 を t について解くと、以下の式 1-9 となる。

$$t = \frac{(L_0 + W - VY) \pm \sqrt{(L_0 + W - 2VY + V_0 Y)(L_0 + W - V_0 Y)}}{V - V_0} \quad (式 1-9)$$

式 1-9 を式 1-8 に代入すると、以下の式 1-10 となる。

$$L = L_0 - \frac{(L_0 + W - VY) \pm \sqrt{(L_0 + W - 2VY + V_0 Y)(L_0 + W - V_0 Y)}}{2} \quad (式 1-10)$$

今求めた、式 1-10 をもとに V-L 式を作成する。式 1-10 を V について解くと、以下の式 1-11 となる。

$$V = V_0 + \frac{2(L - L_0) \pm 2\sqrt{(L - L_0)(V_0 Y - L_0 - W)}}{Y} \quad (式 1-11)$$

ここで、通過判断時は加速により、V が V_0 より大きくなり、加速度 a は正となる。このことから、 $L_0 - V_0 Y + W$ は正、 $V_0 Y - L_0 - W$ は負となる。ゆえに、ルート内の値は必ず正値をとる。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 式は以下の式 1-12 である。

$$V = V_0 + \frac{2(L - L_0) + 2\sqrt{(L - L_0)(V_0 Y - L_0 - W)}}{Y} \quad (式 1-12)$$

(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-8、9 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。なお、図中の $\dots$ は前述したとおりである。～ 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。

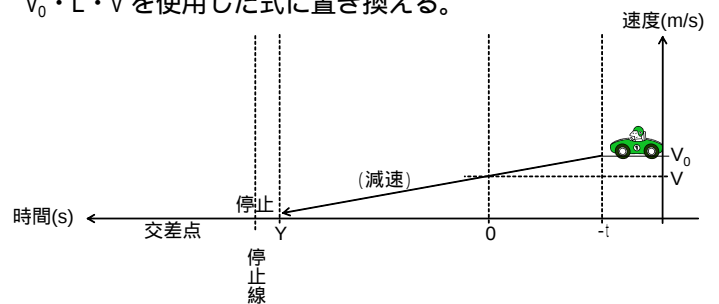


図-8 停止判断(速度・時間)

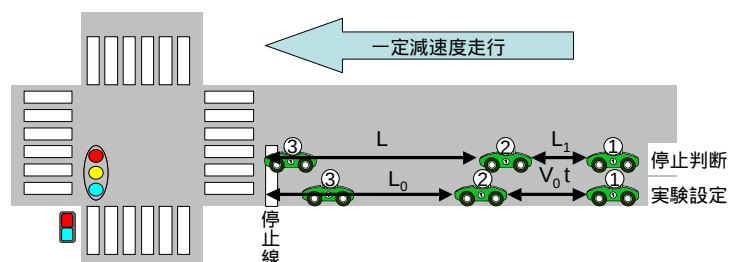


図-9 停止判断(速度・距離)

a) 車両信号黄切替時速度 V

図-8 からわかるように V は、判断時速度（初速） V_0 と減速度 a によって決定する。ここで、減速度 a は、通過判断時と同様に求めることができる。また、停止時は目標車速（車両信号赤切替時速度）は 0 になる。よって、 t 秒前に判断し、車両信号赤切替時に停止線で停止するのに必要な加速度 a は、以下の式 2-1 となる。

$$a = \frac{V_r^2 - V_0^2}{2(L_0 + V_0 t)} = \frac{-V_0^2}{2(L_0 + V_0 t)} \quad \dots \dots (式 2-1)$$

また、 t 秒前に判断し、 a で加速しながら走行したときの車両信号黄切替時速度 V は、以下の式 2-2 となる。

$$V = V_0 + \int_0^t a dt = V_0 + at \quad \dots \dots (式 2-2)$$

ここで、式 2-2 に式 2-1 を代入すると、以下の式 2-3 となる。

$$V = V_0 - \frac{V_0^2}{2(L_0 + V_0 t)} t \quad \dots \dots V-t \text{ 式 (式 2-3)}$$

b) 車両信号黄切替時の停止線からの距離 L

図-9 からわかるように L は、 L_1 によって決定し、 $L + L_1 = L_0 + V_0 t$ が成り立つ。なお、 t 秒前に判断し、車両信号黄切替時までに進んだ距離 L_1 は、以下の式 2-4 となる。

$$L_1 = \int_0^t (V_0 + at) dt = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \dots \dots (式 2-4)$$

よって、 $L + L_1 = L_0 + V_0 t$ より、 t 秒前に判断した時、車両信号黄切替時の停止線からの距離 L は、以下の式 2-5 となる。

$$L = (L_0 + V_0 t) - L_1 = L_0 - \frac{1}{2} at^2 \quad \dots \dots (式 2-5)$$

ここで、式 2-5 に式 2-1 を代入すると、以下の式 2-6 となる。

$$L = L_0 + \frac{V_0^2}{4(L_0 + V_0 t)} t^2 \quad \dots \dots L-t \text{ 式 (式 2-6)}$$

c) 式 2-3 と式 2-6 の連立による $V-L$ 式

$$\begin{cases} V = V_0 - \frac{V_0^2}{2(L_0 + V_0 t)} t \quad \dots \dots \text{式 2-3} \\ L = L_0 + \frac{V_0^2}{4(L_0 + V_0 t)} t^2 \quad \dots \dots \text{式 2-6} \end{cases}$$

式 2-3 を t について解くと、以下の式 2-7 となる。

$$t = \frac{2L_0(V_0 - V)}{V_0(2V - V_0)} \quad \dots \dots (式 2-7)$$

式 2-7 を式 2-6 に代入すると、以下の式 2-8 となる。

$$L = L_0 + \frac{L_0(V_0 - V)^2}{V_0(2V - V_0)} \quad \dots \dots (式 2-8)$$

今求めた、式 2-8 をもとに $V-L$ 式を作成する。式 2-8 を V について解くと、以下の式 2-9 となる。

$$V = \frac{L \pm \sqrt{L(L - L_0)}}{L_0} V_0 = \left\{ \frac{L}{L_0} \pm \frac{\sqrt{L(L - L_0)}}{L_0} \right\} V_0 \quad \dots \dots (式 2-9)$$

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 $L-V$ 式は以下の式 2-10 である。

$$V = \frac{L - \sqrt{L(L - L_0)}}{L_0} V_0 \quad \dots \dots (式 2-10)$$

(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。図-10 に通過/停止モデル式のグラフを示す。なお、図の理解を助けるため、ジレンマ・ゾーンに存在する様々な車両の一つを設定値として用いている。ここで、前判断により、停止の際に伴う反応も車両信号黄切替時より前になることから、車両信号黄切替時の反応時間は 0 となる。つまり、ジレンマ・ゾーン（図中網掛け部）を形成する停止曲線は反応時間を考慮しない式となる。よって、この場合の停止曲線は、停止に要する距離（速度と距離に関する関係式）から求めている。なお、通過直線は前述の通りである。また、図中の通過は、前判断により通過を行う場合、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おり、停止は、前判断により停止を行う場合、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/停止ともに可能である。しかし、車両信号赤切替時に通過/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場合がある。また、ジレンマ・ゾーンを回避できたとしても、急な加減速度を必要とする場合があり（以降この加減速度を限界加減速度と称す）、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、前判断は不可能であるが、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。

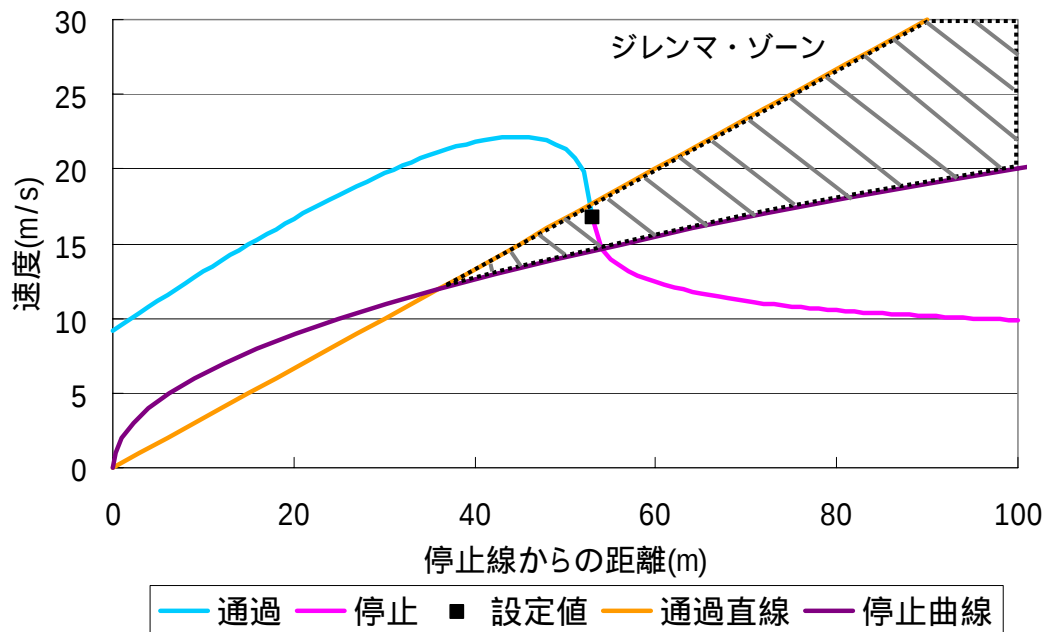


図-10 通過/停止関数

5. モデル式を用いた安全なジレンマ・ゾーン回避

ここでは、限界加減速度を設定するとともに 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 $W=30\text{m}$ 、車両信号黄色時間 $Y=3$ 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、加減速度をより無理のない限界値（道路構造令の解説と運用⁶⁾を参考に、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。なお、加速度を限界値で一定にした場合のモデル式は、式 1-4、式 1-7 に $a=3$ を代入し、連立することで求めた（式 3-1）。また、減速度を限界値で一定にした場合のモデル式は、式 2-2、式 2-5 に $a=-2$ を代入し、連立することで求めた（式 3-2）。

$$V = V_0 + \sqrt{6(L - L_0)} \cdots \text{式 3-1}$$

$$V = V_0 - 2\sqrt{(L - L_0)} \cdots \text{式 3-2}$$

ジレンマ・ゾーンに存在する車両の一つとして、 $V_0=16.7$ (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-11 に示す。なお、図には作成したモデル式（式 1-12 及び式 2-10）、ジレンマ・ゾーン（通過直線と停止曲線により形成される図中網掛け部）も加えてある。ここで、図中の限界加速度通過曲線は、通過可能・不可能は無視して、加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、限界減速度停止曲線は、停止可能・不可能は無視して、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。なお、通過曲線及び停止曲線は、前述したとおりである。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。

表と図より、通過の場合は、0～1.30 秒前であるとジレンマ・ゾーン回避不可能、もしくは回避可能であっ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 秒前であるとジレンマ・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 1.30 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。

表-1 図-11 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

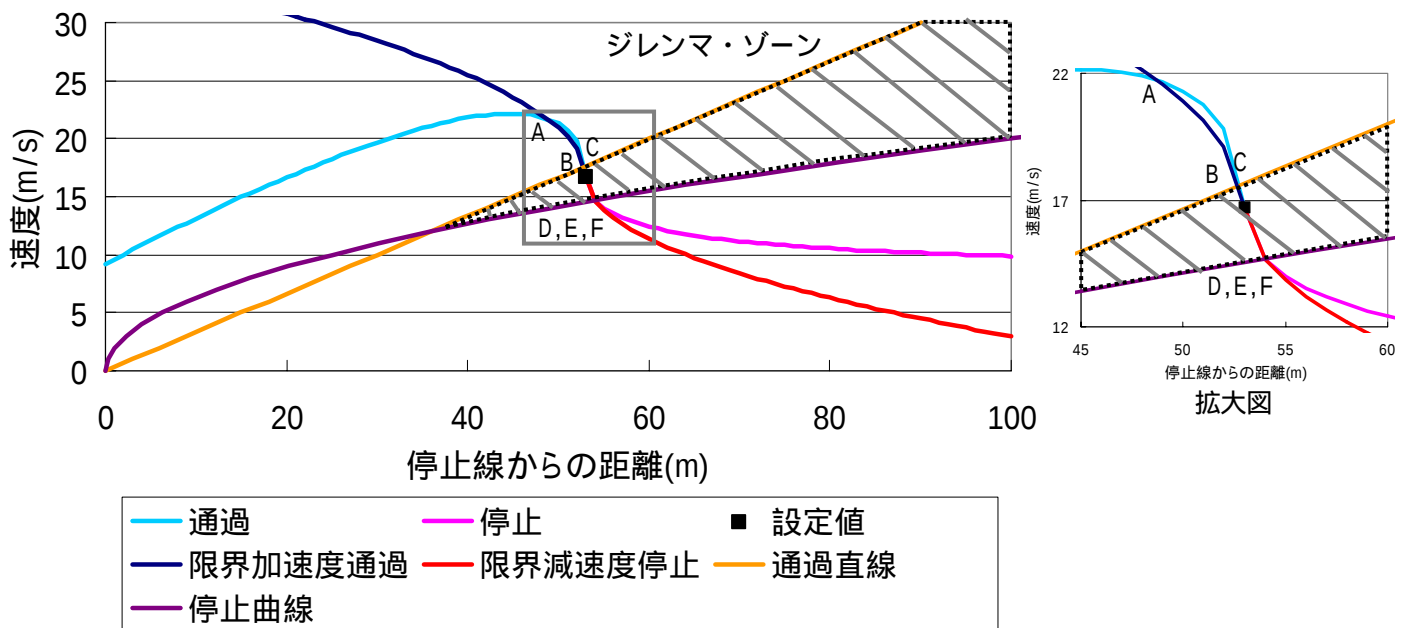


図-11 限界加減速度通過/停止

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。なお、判断時間を限界値で一定にした場合のモデル式は、通過/停止ともに同式となり、式1-4（式2-2）、式1-7（式2-5）に $a=3$ を代入し、連立することで求めた（式4-1）。

$$V = V_0 + \frac{2(L_0 - L)}{5} \dots \text{式4-1}$$

図-12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（式1-12及び式2-10）、ジレンマ・ゾーン（通過直線と停止曲線により形成される図中網掛け部）も加えてある。ここで、図中の判断時間直線は、5秒前に判断した場合、車両信号黄切替時にある位置を走行するにはどのくらいの速度が必要かを表しており、通過する場合、黄信号切替時は、判断時間直線の上側（右側）に存在することを意味している。逆に、停止する場合、黄信号切替時は、判断時間直線の下側（左側）に存在することを示す。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秒前であるとジレンマ・ゾーンを回避できず、また5秒以上前である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。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。

表-2 図-12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-13に限界加減速度と判断時間による通過・停止を示す。

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。安全な加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。

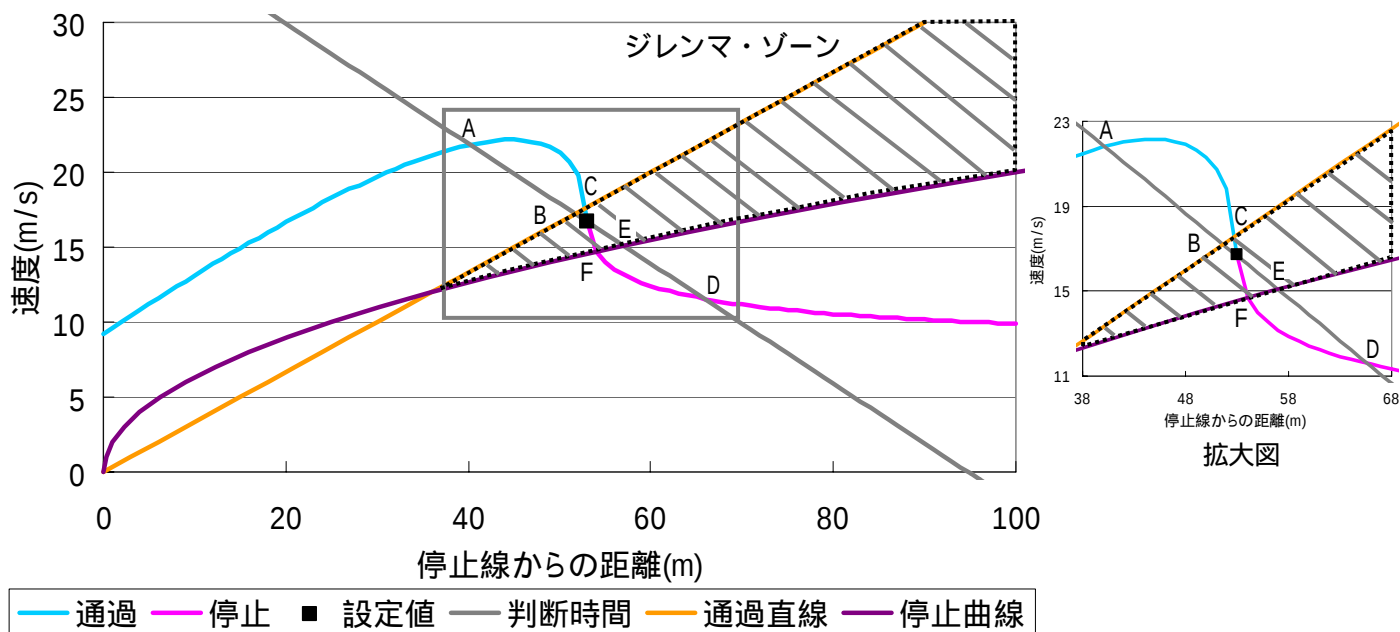


図-12 判断時間通過/停止

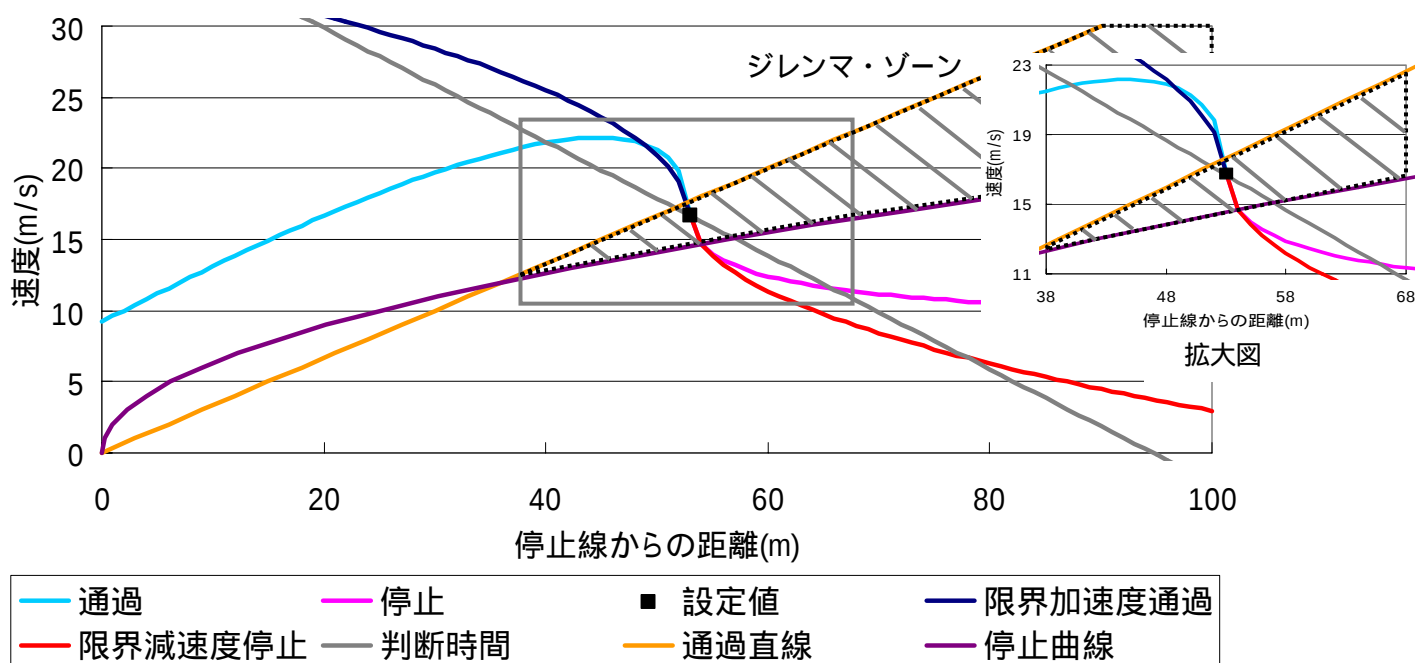


図-13 限界加減速度・判断時間通過/停止

6. 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、黄色時間、車両速度、交差点延長、歩行者信号青点滅時間等を様々なパターンを考えた場合でも、ジレンマ・ゾーン回避を検証できる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関わらず、前判断を行うモデル式となった。

この問題を解決するため、「幅30m、車両信号黄色時間3秒の交差点から53mの地点を60km/hで走行」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り、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。本研究により、ある設定条件におけるジレンマ・ゾーン回避に必要な値（見通し距離、黄色時間など）は明らかになった。しかし、高速度での通過によるジレンマ・ゾーンの回避等、必ずしも安全な回避とは言い難い場合も考えられる。今後は設定条件を変化させることにより、ふさわしい安全値を決定することが重要である。また、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。これら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) 斉藤威：ジレンマゾーンの回避を意図した信号制御方式とその効果、交通工学，Vol.29，No.6，pp11-22，1994
- 2) 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
- 3) 林一郎，安井一彦：追突事故多発地点における車両挙動に関する研究，第25回交通工学研究発表会論文報告集，No.20，2005
- 4) 宇野伸宏：道路交通流の分析アプローチと整流化の試み，数理解析研究所講義録，1271巻，pp181-190，2002
- 5) 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
- 6) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，2004
- 7) 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
- 8) 宮田健治，吉井稔雄：信号現示切り替り時における車両加減速挙動の分析，第24回土木計画学研究発表会講演集，CD-ROM，2001
- 9) 大口敬，小沼良一：勾配影響を考慮した追従モデルの比較分析，第34回土木計画学研究発表会講演集，CD-ROM，2006

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

鈴木理・浜岡秀勝

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、必然的にジレンマ・ゾーンを回避し、安全な通過/停止が行われるのではないかとこの仮定のもと、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、距離を検証した。その結果、前提条件を設定した上ではあるが、前判断を行うことでジレンマ・ゾーンの縮小、回避が可能であることが明らかとなった。前判断による安全な通過/停止が可能であることが明らかになったことにより、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が必要と考えられる。

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

By Tadashi SUZUKI・Hidekatsu HAMAOKA

Intersection of the road is one of the accident-prone locations for the traffic. To avoid accidents in the vicinity of intersections, it is considered to be important that vehicle could avoid entering the dilemma zone. In this paper, model formula that represents the vehicle movement at the signalized intersection was made to understand the safety by the earlier decision before signal change to yellow. Utilizing this formula, it could be clearly shown that the earlier decision could bring the safety circumstances at the signalized intersection by avoiding entering the dilemma zone.
