IV－９

信号交差点におけるディレンマゾーンの解析

仙台市　道路部　○正　員　渡辺　惣一
東北大学工学部　学生員　岩見　忠輝
東北大学工学部　正　員　福田　正

１．　はじめに

平面交差点は、交通の分流、合流あるいは交差があり、複雑な交通現象が発生し、交通の円滑な流れを妨げ、交通事故が発生しやすい箇所である。したがって交通需要が大きい交差点では、交通流の相互に通行権を与えるため信号制御が必要である。この場合、信号制御におけるスプリットとその制御パラメータは、運転者の判断の誤りを発生させてはいけない。本研究は、黄信号に直面した運転者が制動又は通過の判断を迷わせる区間（ディレンマゾーン）の存在について Gazis式[1]を用いることによって（主）仙台泉線の交差点を事例にあげ、解析と検討を行ったものである。

２．　ディレンマゾーン解析

ディレンマゾーンについては、次の３つの式が基本式である。

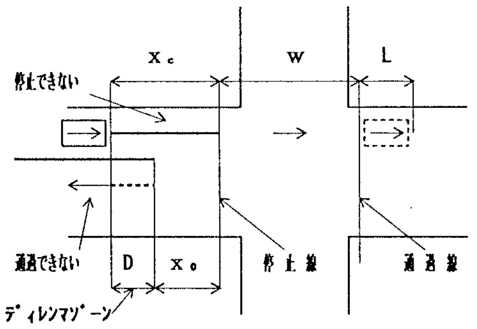
$$\cdot\ x_c = v_0\delta + \frac{v_0^2}{2a} \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\cdot\ x_0 = v_0\tau - (w+L) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\cdot\ \tau_{min} = \delta + \frac{v_0}{2a} + \frac{w+L}{v_0} \quad \cdots\cdots (3)$$

- v_0　：走行速度（m/s）
- τ_{min}：黄信号の継続時間（s）
- δ　：知覚反応時間（s）
- a　：快適な減速度（m/s²）（=3.0m/s²）
- L　：車長（s）（4.7mとした）
- w　：交差点の幅（m）

x_c　：車が快適に止まれる最小限度の距離（これより短いと安全に止まれることができない）
x_0　：車が加速することなく、交差点を通過することができる最大の距離
τ_{min}：黄信号の最小継続時間



図－１　ディレンマゾーン

x_c、x_0はいずれも交差点直前の停止線から車頭までの距離である。ディレンマゾーンは$x_c > x_0$の時に存在し、図－１に示すようにその長さ D は

$$\cdot\ D = x_c - x_0 = (\delta - \tau)\, v_0 + \frac{v_0^2}{2a} + w + L \qquad (4)$$

ここでは（主）仙台泉線の交差点を事例に説明する。w、τについては、表－１の数値によるものとする。

交差点名	w(m)	τ(s)
交差点①	24	3
交差点②	17	4
交差点③	11	4

表－１交差点のwとτ

以上により、定数としてτ、a、w、Lの値が定まるので、変数としてv_0、δを選び、どちらか一方を固定してディレンマゾーンの存在と変化について解析した。まず（１）、（２）式において知覚反応時間を一定としてx_c、x_0について図示する。ここで変数としての知覚反応時間は、ＡＡＳＨＴＯの基準で知覚時間を1.5s、反応時間を1.0sとして知覚反応時間は合計値の2.5sとしており、我が国の道路構造令もこれに準じていることから2.5sを目安とし、1.5sと対比して表してみた。また、快適な減速度 a についてはバスの乗客が座っている場合で2.4～3.0(m/s²)付近とされており、この上限を採用して 3.0(m/s²)とした。この場合のディレンマゾーン式は、以下のとおりである。

$$\cdot\ 交差点①\quad D = (\delta - 3)\, v_0 + \frac{v_0^2}{2a} + 28.7 \qquad (v_0 \geqq 34.4) \quad (5)$$

$$\cdot\ 交差点②\quad D = (\delta - 4)\, v_0 + \frac{v_0^2}{2a} + 21.7 \qquad (v_0 \geqq 19.5) \quad (6)$$

$$\cdot\ 交差点③\quad D = (\delta - 4)\, v_0 + \frac{v_0^2}{2a} + 15.7 \qquad (v_0 \geqq 14.1) \quad (7)$$

（３）式より知覚反応時間を一定にし、速度を変化させてx_c、x_o、D を解析し、図－２、３に示した。δは前述と同様に1.5s 、2.5sに設定し、結果は図－４に示した。図中の τ_{min}の最小値は次のように算出したものである。

$$\frac{d\tau_{min}}{dv_0}=\frac{1}{2a}-\frac{w+L}{v_0^2}$$

$d\tau_{min}/dv_0 = 0$とすると、

・$v_0=\sqrt{2a(w+L)}$　(m/s²)　(８)

このときのv_0においてτ_{min}は最小（minτ_{min}）となる。

３．　検討結果

３－１　知覚反応時間とディレンマゾーン

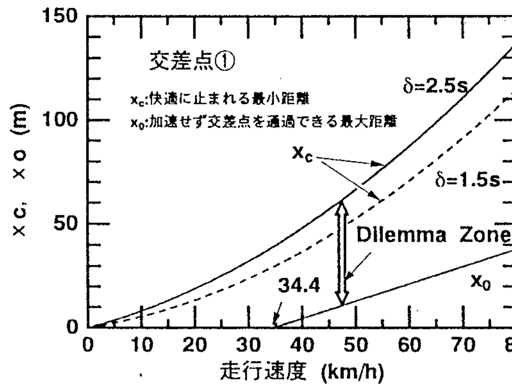
図－３からわかるように、ディレンマゾーン曲線はx_o = 0 となるv_o 切片を境として曲線が変化する。交差点①の場合、ディレンマゾーンは走行速度とともに増加する。34.4（km/h）以下で走行している車は、ディレンマゾーン内で快適な減速での停止は望めず、急ブレーキによる停止かまたは急加速による通過を選択する必要があり、危険な状態となる。交通渋滞により交通密度が高い場合は、急加速による通過は不可能で交差点内に立ち往生となり、交通渋滞に拍車をかけるという悪循環が生じる。34.4（km/h）以上で走行している車は、x_o 区間内であれば、一定速度で交差点を通過できるが、ディレンマゾーン内では、急ブレーキによる停止か急加速による通過の選択を余儀なくされる。実際、交差点①での交通量調査において車の平均速度は、通常で約55（km/h）であったので、対象となる速度v_o は、40～60（km/h）として解析すれば現実的である。

３－２　黄信号の最小継続時間

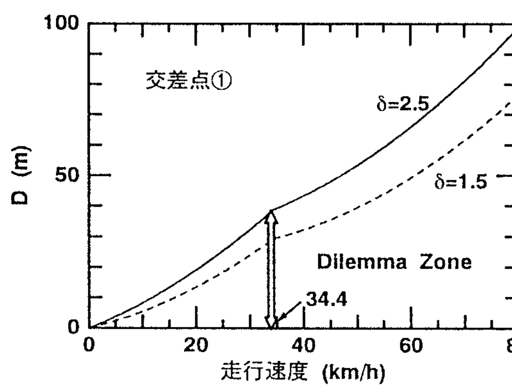
図－４と（３）式より曲線は走行速度が 0（km/h）に漸近するときは無限大になることがわかる。また、τ_{min} を最小にする走行速度が必ず存在することもわかる。τ_{min} を求める（３）式はディレンマゾーンを0（m）にするという仮定のもとに成立っている。つまり、（４）式においてD = 0 とおいたときのτを計算しているのである。黄信号の継続時間を1s増やすことにより制限速度である40（km/h）では約 11m、実質的な速度である50（km/h）では約 14mディレンマゾーンを減少させることができる。交差点①において τ_{min} は、 6～7sほど必要である。

４．　まとめ

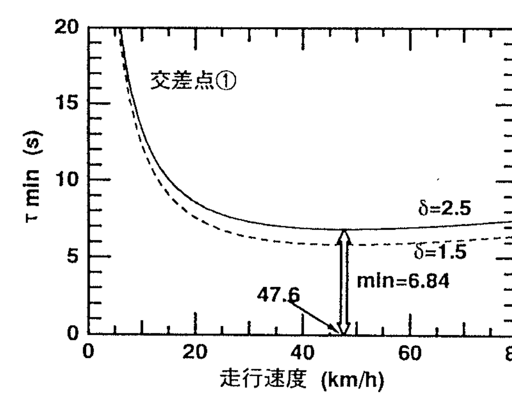
ディレンマゾーンは黄信号の継続時間でかなり変化する。交差点①において、交差点のwに対し、現行の黄信号の継続時間では短いことからディレンマゾーンが他の交差点と比べて長いことがわかった。現行よりも 2～3s増やせば、ディレンマゾーンは無くすことができるだろう。また、黄信号と青矢印の間に全赤を組み込んだり、信号が黄色に変わる数秒前において青信号に点滅を与え、運転者が安全にかつ早く認知、判断することにより、ディレンマゾーンを減少させることができるように思われる。



図－２　xc、xoの解析結果



図－３　Dの解析結果



図－４　τの解析結果

<参考文献>

1)Gazis,Denos,Robert Herman,and Alexei Maradudin, "The Problem of Amber Signal in Traffic Flow," Operations Research,8(1960):112-132.