

信号交差点の右折交通現象および交通容量解析に関する研究

A Study on Flow Characteristics and the Capacity
of Right-Turn Lane at Signalized Intersection

石井憲一*， 斉藤和夫**

by Kennichi ISHII and Kazuo SAITO

The flow characteristics and the capacity of right-turn lane at signalized intersection are the important elements in the planning of urban traffic operation. However, these are not fully analyzed and a question arises as to whether the existing method for estimating capacity of right-turn lane provide proper estimates.

In this paper, it is attempted to analyze the flow characteristics of right-turn movement and the capacity of right-turn lane at signalized intersection, and to discuss the existing method for estimating capacity of right-turn lane based on the results of observation and simulation.

The results showed some findings on the flow rate of opposing lane, signal change interval and right-turn lane capacity, and suggested that the existing method provide an over-estimate of right-turn capacity.

1. はじめに

信号交差点の交通処理能力は、飽和交通流率（飽和交通流量）に基づいて定められる信号制御の方法に応じて算定されるものとされている^{1, 2)}。

この飽和交通流率は、「信号が青を表示している時間の間じゅう、車両の待ち行列が連続して存在しているほど需要が十分にある場合に、交差点流入部を通過し得る最大流量」と定義され¹⁾、単位はpcu/有効青1時間²⁾である。

わが国においてはオーストラリアと同じく交差点の交通容量を車線当たりで算定しており³⁾、基本値

は実測結果^{4, 5)}などに基づいて表-1のように定められている¹⁾。

表-1. 信号交差点の飽和交通流率の基本値

車線の種類	飽和交通流率(pcu/青1時間)
直進車線	2000
右折車線	1800
左折車線	1800

しかしながら、この基本飽和交通流率を信号交差点設計においてそのまま使用することには考慮すべきいくつかの要因がある。大都市と地方都市というような地域特性、交差点の大小による特性あるいは路面状態の変化特性などによる影響が考えられる。そして、冬期積雪地域における研究⁶⁾や最近では都市規模と車線運用を考慮した研究⁷⁾が報告されており、いずれも直進車線の基本値の見直しの必要性を提言している。すなわち、大都市圏を除いた実測データから飽和交通流率は1600-2000pcu/青1時間が

キーワード：右折交通流，交通容量，交差点

* 室蘭工業大学大学院博士後期課程 建設工学専攻

** 工博 室蘭工業大学工学部教授

(〒050 北海道室蘭市水元町27-1)

得られ、地方の都市域では直進車線の基本値を10%程度下方修正すべきであること、さらに冬期降雪期の路面状態では20%程度の容量の低下を考慮すべきであるとしている。

ところで、右折車線の基本飽和交通流率に関しては専用現示のある右折専用車線の実測データから、1720-1980pcu/青1時間⁵⁾や1260-2160pcu/青1時間⁷⁾が報告されているが、右折車の行動は対向交通流、横断歩行者、直進車との混用さらには運転者の特性などに影響されることから、地方の都市域に比較的多いと思われる専用現示のない右折専用車線については観測データも少くないのが現状である⁸⁾。

そこで本研究は、ここに視点を置いて、右折車の挙動を信号現示の変わり目における停止率すなわち、クリアランス利用確率と対向交通流の影響について直進車線との比較分析をしながら、専用現示のない右折専用車線の観測データの解析およびシミュレーションを行ない、右折車線の飽和交通流率の基本値について検討したものである。

2. 観測の方法とデータ

北海道の地方都市（室蘭・登別・千歳・旭川）の計5ヶ所の信号交差点において観測を行ったが、これらはいずれも右左折専用や時差制御のない2現示方式の信号交差点であり、最も基本的なデータの収集が可能と考えられた。

観測は、対象交差点付近の視野の良好な場所に設置したワゴン車後部からビデオ撮影で行った。タイミングは1/10秒ストップウォッチ表示装置をVHSビデオカメラに外挿して1/10秒を感度とした。

これらの観測交差点の中から、本研究の目的に対して次の条件を満たした表-2に示す道道鷺別交差点を解析対象とした⁹⁾。

【条件】

①観測時間帯には、直進車と右折車に十分な需要があること。

②通常は右折直進混用車線である第2車線（中央車線）が、観測時間帯において右折車だけの待ち行列となり、あたかも右折専用車線のように機能していること。

③観測時間帯において対向交通量が飽和状態とならず、しかも0-600台/実1時間程度で適当に変化していること。

④大型車の混入率が小さくかつ、横断歩行者の影響がなくて十分なサイクル数が得られること。

表-2. 解析対象交差点流入部の概要

交 差 点 の 位 置	流 入 部 の 形 態
道道室蘭環状線 登別市鷺別町1 (道道鷺別交差点)	室蘭方向の片側2車線、 幅員3.75m/車線。観測時 間帯で左折車なし、第2 車線は右折車のみ、横断 歩道あり、分離帯なし

観測の期間は1990年10月~11月を路面乾燥時、1990年12月~1991年2月を路面凍結時の対応とした。また、道道鷺別交差点の平日の通勤時間帯である7時~8時30分の間の観測流入部の交通流は、第1車線がほぼ直進乗用車の十分な待ち行列を形成しかつ、第2車線はほぼ右折乗用車の十分な待ち行列があり対向交通流も設定した条件に近いものであった（表-3）。

信号現示は1サイクル86秒と交差点のレベル2程度(中位)の設定で青38秒、スプリット0.44である。

表-3. データのまとめ

交差点の位置	解 析 サ イ ク ル 数	
道道鷺別 (鷺別) 86秒 青 38秒 黄 4秒 赤 2秒 赤 42秒	右折路面乾燥	102サイクル
	直進路面乾燥	57サイクル
	右折路面凍結	90サイクル
	直進路面凍結	55サイクル

3. 直進車線の飽和交通流率

解析対象とした交差点については1982年前後においても観測されており、直進車線の飽和交通流率についての結果を既に報告⁶⁾しているので、本節では今回の観測結果を用いて経年比較を行い、現状の直

進飽和交通流率の確認を行う。

(1) 飽和交通流率の算定方法

交通容量の基本となる飽和交通流率（pcu/秒）は交通工学研究会方式により、次の手順で求める¹⁾。

a) 信号サイクル毎の発進順位別の車頭時間の平均値を求め、発進順位による車頭時間の変動状況を図化する。

b) 図から車頭時間の安定区間を平均車頭時間±標準偏差で判定する。

c) 車頭時間を発進順位に対して累加した累加車頭時間と捌け台数の累加値との関係を図にする。

d) この図から安定区間内の直線回帰式を推定すると、飽和交通流率（pcu/秒）は傾きで与えられ発進損失は横軸との交点となる。

(2) 解析の結果

対象流入部は第1車線がほぼ直進車線となり十分な待ち行列を形成していた。

解析は手順に従い図-1(a)-(d)に示すように行ない、次式のような直線回帰式が得られた。

$$(\text{路面乾燥時: 回帰の範囲 } 3\sim 20\text{台}) \quad y = 0.483x - 0.865$$

$$(\text{路面凍結時: 回帰の範囲 } 3\sim 18\text{台}) \quad y = 0.428x - 0.445$$

a) 回帰式の傾きから飽和交通流量の基本値は夏期乾燥時1740pcu/青1欄と冬期凍結時1540pcu/青1欄が得られ、冬期凍結時には約12%の減少を示した。

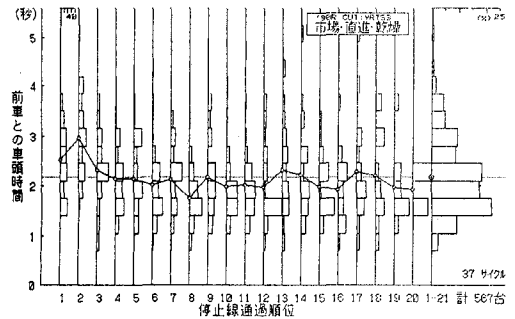
b) 本交差点における経年比較は表-4に示す通り、夏期乾燥時において基本値は約7%の減少を示し発進損失は約17%の減少であった。一方、冬期凍結時は基本値に変化はなく発進損失が約60%の減少を示したことから、直進車線の先頭から1～2台目の車両の発進挙動に変化のあることが示された。

表-4. 直進車線の飽和交通流率の経年比較

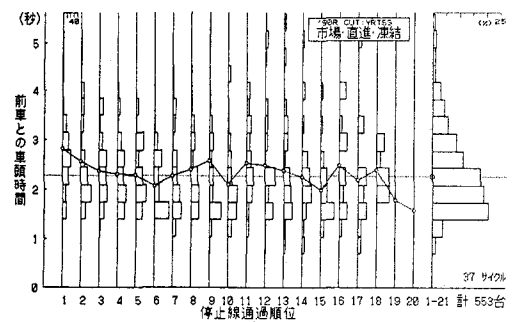
路面	観測年度	飽和交通流率 (pcu/青1欄)	発進損失 (秒)	平均車頭時間(秒)
乾燥	1990	1740	1.79	2.08
	1982	1870	2.16	1.88
凍結	1990	1540	1.04	2.33
	1982	1520	2.89	2.27

4. 黄・全赤・赤現示における停止率

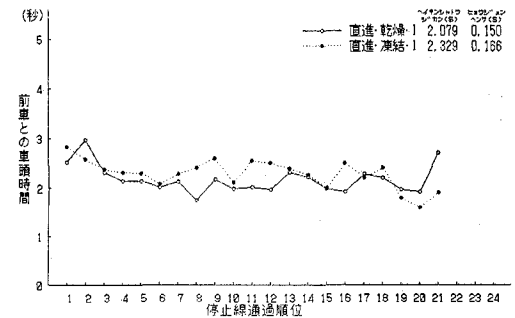
本節では、信号現示の変わり目である黄・全赤そ



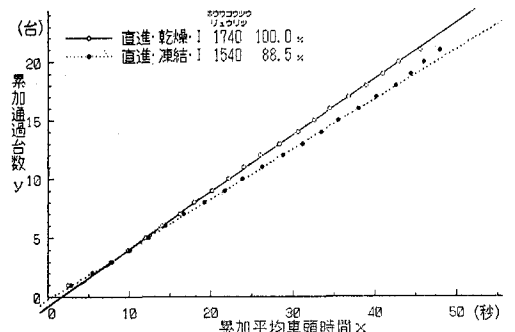
(a). 発進順位別の車頭時間の度数分布，路面乾燥



(b). 発進順位別の車頭時間の度数分布，路面凍結



(c). 路面別発進順位別の平均車頭時間の比較



(d). 路面別累加車頭時間と累加捌け台数

図-1. 直進飽和交通流率の算定，観測地点，1990

して赤現示時の走行挙動が交差点交通容量特に右折交通流の交通容量に影響を与えと考え、このクリアランス時間の停止率を解析する。

(1) 停止率の算定方法

直進あるいは右折車の黄・全赤・赤現示時における停止率を次式によって求める。ただし、経過時間間隔は0.35秒きざみ（運転者の制動反応時間0.7秒の1/2）で集計する。

$$P_{stop}(\%) = (1 - I_{pass}/T_{pass}) \times 100 \quad \cdots(1)$$

ここで、 P_{stop} ：停止率（％）

I_{pass} ：各経過時間間隔内で停止線を通過した台数（＝そのサイクル数）

T_{pass} ：通過した全台数（＝全サイクル数）

(2) 解析の結果

式(1)によって計算された信号現示変わり目における停止率を直進・右折車線それぞれについて路面状態別の結果を図-2-(a)-(b)に示す。

a) 黄現示時での停止率は直進車線の路面状態による違いは見られないが、右折車線においては明らかに異なっており路面乾燥時はほぼ0％を示した。

b) 右折車線の路面乾燥時では黄現示後0.7秒付近すなわち、平均的な運転者の制動反応時間経過後においても停止率の増加する傾向が示されず、他のカテゴリーとの違いが明らかに示された。

また、図-2から各現示の変わり目の停止率をまとめた表-5より次のことが示された。

a) 黄現示時のときは、路面凍結時の右折車の停止率は直進車とほぼ同じ結果を示している。

b) 赤現示時のときは、路面状態に関係なく右折車の停止率は直進車に比べて20ポイント程度減少する。

c) 右折車の100%停止率については路面状態に差がなく、全赤現示後6秒位のずれ込みが示された。

ここで、一般に停止率のような上・下限をもったS字形の曲線はロジスティック曲線が分布式として考えられることから¹¹⁾、最小二乗法を用いて路面状態別の右折車線の停止率推定式を検討したところ次のような推定式が得られた。

a) 路面乾燥時の右折車の停止率曲線

$$P_{stop} = 100 / (1 + 1.66 \cdot \exp(-0.28 \cdot T))$$

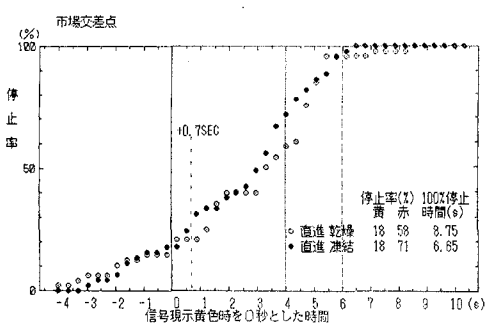


図-2-(a). 直進車線の路面状態別の停止率

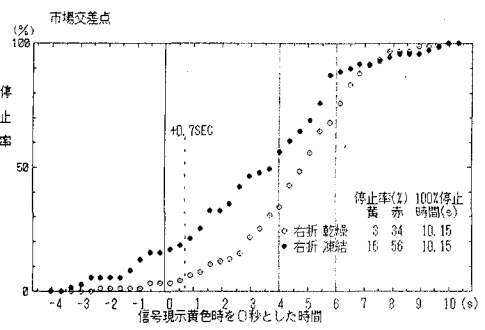


図-2-(b). 右折車線の路面状態別の停止率

表-5. 黄・赤現示時の停止率(％)，観測地点

車線別	直進車線		右折車線	
	乾燥	凍結	乾燥	凍結
黄現示	18%	18%	3%	16%
赤現示	58%	71%	34%	56%
100%停止時の黄現示からの経過(秒)	8.75	6.65	10.15	10.15
サイクル数	48	45	91	71

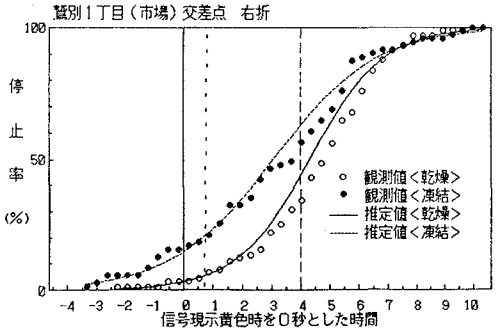


図-3. 右折車線の路面状態別停止率曲線の観測値と推定値の比較

b) 路面凍結時の右折車の停止率曲線

$$P_{STOP} = 100 / (1 + 0.95 \cdot \exp(-0.10 \cdot T))$$

ここで、 P_{STOP} ：停止率の推定値

T ：停止率0%からの順位（時間間隔）

観測値と推定値の比較を図-3に示す。ロジスティック曲線の特性として下限0%と上限100%付近の推定値は不安定であるが、いずれもよく適合しており、カイニ乗検定を行なところ危険率 $\alpha=5\%$ で有意な結果を示した。

5. 専用現示のない右折専用車線の交通容量

(1) 右折車線の交通容量の算定方法

交通工学研究会方式によれば、右折専用現示のない交差点では右折行動は対向直進交通流のギャップを利用することになることから、捌ける右折交通量はランダム到着する対向直進交通量のギャップを利用して流れる右折車の平均捌け台数（台/時）と信号現示の変わり目（切り替え）に捌ける右折交通量（台/時）の合計とし、次式で求めている^{1), 2), 9)}。

$$S_R = S_{R0} \cdot f \cdot (S \cdot G - q \cdot C) / (S - q) / C + 3600 \cdot K / C \quad (\text{台/1時間}) \quad \cdots (2)$$

ここで、 S_R ：右折専用車線の交通容量（台/1時間）

S_{R0} ：右折車線の飽和交通流率の基本値

C, G ：サイクル長および青時間（秒）

S, q ：対向流入部の飽和交通流率（pcu/1時間）および対向直進交通量（台/時）

K ：信号現示が変わるときに捌ける右折車の台数（片側2車線では2台）

f ：対向直進交通量が q のとき、右折車が通過できる確率

q (台/時)	0	200	400	600	800	1000
f	1.00	0.81	0.65	0.54	0.45	0.37

(2) 観測データの整理と統計処理

道道駕別交差点は2節で示したように、観測時間帯において第2車線が右折専用車線と見做しうることから、本解析のデータとして十分使用できると思われる。得られたサイクル数は表-3に示したが、対向交通量毎のサイクル数が3未満のデータやビデオ再生画面により右折の追従行動に問題のあると思

表-6. 1サイクル当たりの右折車の平均捌け台数と変動係数
観測地点：1990

(a) 夏期・路面乾燥時—サイクル数の合計=70													
対向交通量	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14		
サイクル数	5	5	4	9	5	10	9	13	3	4	3		
平均捌け台数	14.8	14.4	12.8	13.3	12.6	11.9	11.7	10.7	10.7	10.0	9.3		
変動係数(%)	18.7	10.5	11.8	19.9	12.1	18.3	19.6	17.7	19.5	21.6	16.4		
(b) 冬期・路面凍結時—サイクル数の合計=72													
対向交通量	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
サイクル数	5	9	6	7	8	12	8	3	5	5	4		
平均捌け台数	14.2	12.8	11.2	12.0	12.4	10.7	9.8	8.7	9.8	9.2	9.3		
変動係数(%)	17.5	20.3	15.4	20.4	15.5	18.9	9.1	13.3	11.2	14.1	16.5		

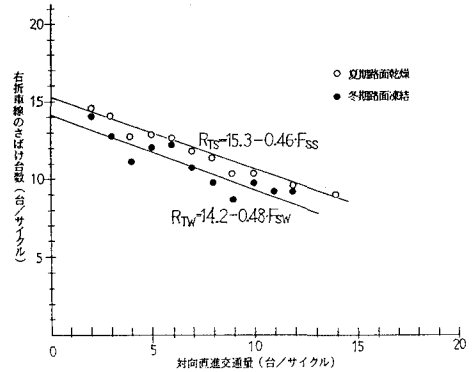


図-4. 対向交通量と右折車の捌け台数

われるサイクルを除外した、路面乾燥時70サイクルと路面凍結時72サイクルを解析に用いた。対向交通量（台/サイクル）別の統計データを表-6に示す。

(3) 直線回帰による飽和交通流量の推定

路面状態別に得られた対向交通量（台/サイクル）と右折捌け台数の平均値（台/サイクル）の関係は図-4に示すように直線関係が見られたので最小二乗法によって回帰分析を行ったところ、凍結時のデータに多少のバラツキが見られるがいずれも高い相関係数を示した。

a) 夏期・路面乾燥時

$$R_{TS} = 15.3 - 0.46 \cdot F_{SS} \quad \cdots (3)$$

$$\text{相関係数 } r = -0.98$$

b) 冬期・路面凍結時

$$R_{TW} = 14.2 - 0.48 \cdot F_{SW} \quad \cdots (4)$$

$$\text{相関係数 } r = -0.90$$

ここで、 R_{TS} 、 R_{TW} ：それぞれ夏期と冬期の右折捌け台数の平均値の推定値（台/サイクル）

F_{SS} 、 F_{SW} ：それぞれ夏期と冬期の対向交通量（台/サイクル）

式(3)の F_{SS} と(4)の F_{SW} に0台/サイクルを代入して対向交通流のない時の右折捌け台数の平均値の推定値を求めると次のようになる。

a) 夏期・路面乾燥時

飽和交通流率に換算して

$$15.3(\text{台/サイクル})/38(\text{秒}) \cdot 3600(\text{秒}) = 1450(\text{pcu/青11閘})$$

b) 冬期・路面凍結時

飽和交通流率に換算して

$$14.2(\text{台/サイクル})/38(\text{秒}) \cdot 3600(\text{秒}) = 1350(\text{pcu/青11閘})$$

(4) 右折専用車線の交通容量算定式との比較

我が国においては、直進車線と右折車線の飽和交通流率の基本値はそれぞれ2000pcu/青11閘と1800pcu/青11閘が使用されているので、次の値を算定式(2)に代入して観測交差点の右折交通容量を対向交通量の変動に対してシミュレーションすると図-5のようになる。

右折車線の飽和交通流率の基本値： $S_{RO} = 1800(\text{pcu/青11閘})$

対向直進車線の飽和交通流率の基本値： $S = 2000 \times 2(\text{車線}) = 4000(\text{pcu/青11閘})$

現示変わり目の右折さばけ台数： $K = 2(\text{台})$

観測交差点の信号サイクルと青11閘： $C = 86(\text{秒})$ ， $G = 38(\text{秒})$

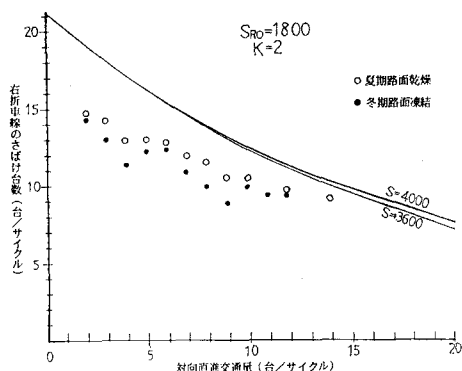


図-5. 右折交通容量の算定式による計算値

と実測データの関係、通観観交点、1990

一方、解析交差点の直進車線の飽和交通流率の基本値は3節の解析で1800pcu/青11閘が確認されたので、対向流の交通流率3600pcu/青11閘についても検討することとした。

ここで、図-5は横軸に信号サイクルごとの対向車線の交通量(台)をとり、縦軸には同じく信号サイクルごとの右折車のさばけ台数をとって示して実測データと突き合わせてある。したがって、実1時間当たりの交通量換算は次のようになる。

台/青11閘	0	200	400	600	800	1000
台/サイクル	0	4.8	9.6	14.3	19.1	23.9

a) 直進飽和交通流率の影響について 実測で得

られた1800pcu/青11閘を用いると、対向交通量が5台/サイクル(200台/青11閘)までは2000pcu/青11閘の計算値とほぼ等しいが、この交通量より大きくなると下回る傾向を示した。しかしながら、右折専用現示のないこの信号交差点の対向交通量は800台/青11閘(20台/サイクル)程度が上限であり、この点を考慮すると図-5から最大310台/青11閘と290台/青11閘との違いであることがわかる。この減少割合は5%程度にすぎないので、以下の解析では1800台/青11閘を採用する。

b) 実測データと算定式による計算値の比較

図-5から、路面状態と対向交通量の大小に拘わらず、計算値は明らかに過大な右折交通容量を与えていることが示された。

(5) 算定式における右折車線の飽和交通流率の基本値と信号現示変わり目の右折捌け台数の検討

実測データと算定式による計算値が明らかに異なっていることについて算定式(2)の構造を考えてみると、第1項目の $(S \cdot G - q \cdot C) / C(S - q)$ は「右折車が流れる可能性のある時間の比率」を示すもので、すなわち対向直進交通流の中に確率fで生ずる間隙をぬって流れる右折車の実1時間当たりの平均捌け台数、第2項目は現示の変わり目に捌けられる台数を示すものと説明されている¹⁰⁾。

この説明は右折交通流の現象を合理的に捉えていると思われるので、ここでは示された計算値と実測値の明らかな違いについて、算定式では既定値として運用されている右折車線の飽和交通流率の基本値 S_{RO} (pcu/青11閘)と信号現示変わり目の捌け台数 K (台)を変量として扱い検討した結果を示す。

a) 基本値 S_{RO} と捌け台数 K による右折交通容量算定のシミュレーションについて

① S_{RO} は1800pcu/青11閘と設定されているが、実測による推定値は1400-1600pcu/青11閘程度を与えているので(5-3節の図)1800, 1700, 1600, 1500, 1400の5段階に設定した。

② K については解析したような中位の交差点では2台を適当としているが、実測データの解析結果から図-6に示すように、平均値は乾燥時1.5台そして凍結時1.1台と差のあることが分かったが、概ね1台以下であることから2台、1台、0台の3段階に設定した。

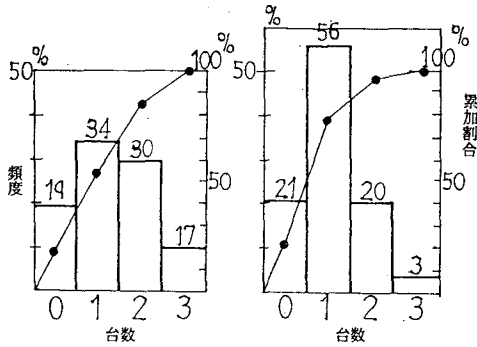


図-6. 現示変わり目の右折捌け台数
(左側：夏期乾燥，右側：冬期凍結)

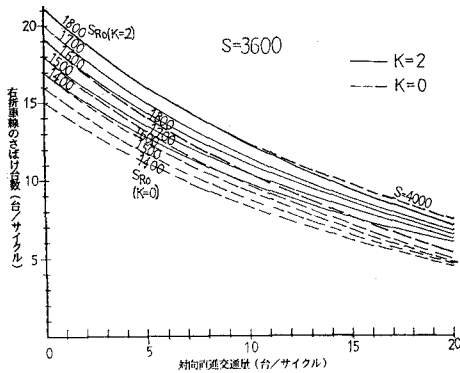


図-7. 右折交通容量算定のシミュレーション，
道道駕別交差点の例

S_{R0} のすべてと $K=0$ ，2台の組み合わせによるシミュレーション結果を図-7に示す。

b) 実測データによる検証 図-8と図-9によって実測データの適合性を検討したところ，つぎに示す基本値 S_{R0} と捌け台数 K の組み合わせが得られた。

① $K=2$ 台の時， $S_{R0}=1400$ pcu/飽和

② $K=0$ 台の時， $S_{R0}=1500-1600$ pcu/飽和

c) 米国，オーストラリアとの比較 日本の算定式は米国と同じ考え方が採用されているが対向交通量に対する補正方法が異なっている。また，オーストラリアは対向交通量による直進乗車換算係数が与えられており右折車の飽和交通流率が実質上低く与えられる。3か国の算定式を同じ方法でシミュレーションしたところ図-10に示すように，日本の値は米国とオーストラリアのほぼ中間を示した。解析データを同じ図に重ねて検討したところ，対向直進交通量が200-600台/1時間の範囲でオーストラリアの値とかな

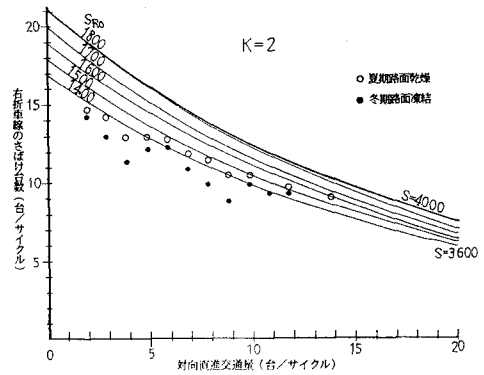


図-8. 実測データによる検証 ($K=2$ 台の場合)

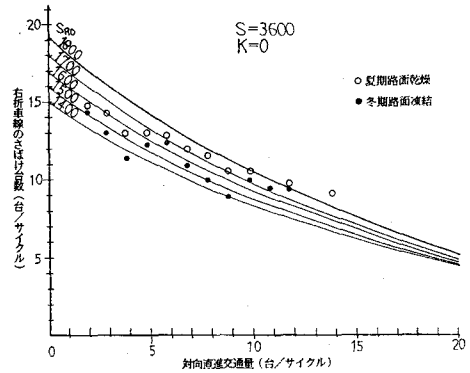


図-9. 実測データによる検証 ($K=0$ 台の場合)

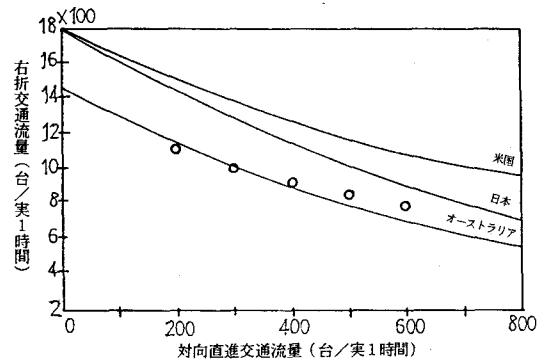


図-10. 3か国の右折交通容量算定式の比較
りよく合っていることがわかった。

6. まとめ

本研究は，信号交差点の交通容量の算定の基礎となる飽和交通流率について，地方の都市地域に比較的多いと思われる2現示4叉路信号交差点を対象に解析を行い，次のような結果が得られた。

1) 直進車線の飽和交通流量の基本値は、現在運用されている2000pcu/青1欄に対して10% 下方修正した1800pcu/青1欄が得られ、路面状態が冬の凍結時にはさらに12%程度の減少が確認できた。

2) 信号現示変わり目における運転者の走行挙動は直進と右折で大きく異なり、特に夏期路面乾燥状態では右折車のほとんどは黄現示時の停止行動がないことがわかった。

3) 対向交通流に影響があると思われる赤現示時の停止率は、直進車線の路面凍結時でも70%程度でありまた、右折車線では直進車線に比べて20ポイントも減少しており各車線の交通容量にも影響していると思われる。

4) 右折車の信号現示変わり目の停止率は、いずれの路面状態においてもロジスティック曲線による推定が可能であることが示された。

5) 黄・全赤現示時に捌けられる右折車は、対向交通量と路面状態によって異なるものの50%以上が1台以下であった。

6) 専用現示のない右折専用車線の飽和交通流率の基本値について、対向直進車の交通量と右折捌け台数との回帰分析から1450pcu/青1欄が得られたが、これは設計の基本値1800pcu/青1欄を20%下方修正した値である。

7) 専用現示のない右折専用車線の交通容量算定式は実測データと大きく離れた値を示しており、式の構造に合理性があるとすれば飽和交通流率の基本値と現示変わり目における右折捌け台数を検討する必要がある。

8) 対象交差点についてこの算定式をシミュレーションして解析したところ、信号現示変わり目の右折捌け台数が交差点設計の既定値2台であるとする右折の飽和交通流率は20%程度の方修正した1400pcu/青1欄が妥当であり、右折捌け台数を全く考慮しなければ10-16%程度の方修正した1500-1600pcu/青1欄が妥当であると思われる。

7. 今後の課題

本研究において目的とした、地方の都市地域において多いと思われる2現示信号方式の4叉路交差点

の直進車線および専用現示のない右折専用車線の飽和交通流率の基本値 (pcu/青1欄) が、現行の値に比べていずれも10%程度下方修正すべきであろう結論が確認された。

しかしながら、右折車線については信号現示の変わり目における車両の停止挙動など未だ未解決の点も多いことから、さらに有用なデータが得られるような観測方法を含めて調査を進め、信号交差点の交通容量算定のための基礎的な資料を積み重ねて行くことが必要である。

〈参考文献〉

- 1) (社)交通工学研究会：「最新 平面交差の計画と設計」，1977.11
- 2) (社)日本道路協会：「道路の交通容量」，1984.9
- 3) 鹿田成則，柴田正雄，片倉正彦：「信号交差点の交通容量について—自主研究— 平面交差点の研究」報告その1—，交通工学Vol.11 No.5 1976
- 4) 鹿田成則，井上廣胤：「信号交差点における飽和交通量の観測方法について」，交通工学Vol.12 No.2 1977
- 5) 鹿田成則，井上廣胤，大蔵泉，森田綽之，岩崎征人：「信号交差点における飽和交通流量の観測結果について」，交通工学Vol.13 No.4 1978
- 6) 石井憲一，斉藤和夫：「冬期積雪時における信号交差点の交通容量解析に関する研究」，土木計画学研究 論文集No. 1 1984.1
- 7) 外井哲志，河野辰男，柴田正雄：「信号交差点の交通容量に関する研究—飽和交通流率の影響要因分析—」，交通工学Vol.24 No.2 1989
- 8) 石井憲一，斉藤和夫：「信号交差点の右折交通現象について」，交通工学研究発表会論文集Vol.11 1991
- 9) 石井憲一，斉藤和夫：「信号交差点の右折交通現象解析」，土木学会北海道支部論文報告集 第48号，1992.2
- 10) 平面交差研究委員会：「右左折車線の交通容量の考え方と計算方法」，交通工学Vol.15 No.4 1980
- 11) 大蔵泉，長谷川秀，依田育也：「信号現示変わり目における車両の挙動特性」，土木計画学研究 論文集No.7，1989.12