

ラウンドアバウトの流出車両挙動が流入判断に与える影響分析

日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻 学生会員 ○渡瀬 貴明
 日本大学理工学部交通システム工学科 正会員 下川 澄雄
 日本大学理工学部交通システム工学科 正会員 吉岡 慶祐
 日本大学理工学部交通システム工学科 フェロー会員 森田 綽之

1. はじめに

ラウンドアバウトは、平成 25 年 6 月の改正道路交通法により、「環状交差点」として正式に位置づけがなされ、全国各地で導入が進められている。

ラウンドアバウトの導入に際しては、交通容量の確認が必要不可欠であるが、我が国ではドイツの推定方法を用いることが一般的となっている。これに対し、大型車・自転車・歩行者による交通容量への影響について研究報告例がある一方、流出交通の影響については指摘されているものの、その実態は十分に把握されていない¹⁾。

そこで本研究では、流出交通による交通容量への影響について着目し、流出車両の指示器表示などの挙動が流入判断に与える影響を、実道での走行実験から実証的に説明し、その影響を定量的に評価することを目的とする。

2. 既往文献にみる流入交通と流出交通の関わり

2. 1 容量算定式にみる流出交通の扱い

ラウンドアバウトの交通容量とは、流入部における単位時間あたりの最大流入可能交通量と定義され、流入部単位で算出される。

我が国のラウンドアバウトの交通容量の推定方法として、「ラウンドアバウトマニュアル²⁾」では、式(1)のギャップ理論に基づく推定式が用いられている。これは、ドイツの推定式に大型車・自転車・歩行者の影響を考慮して設定された安全率(0.8)を乗じたものである。ギャップパラメータについては、我が国での観測結果を踏まえた上で、ドイツと同様の数値を使用している。

$$C = S \cdot \frac{3600}{t_f} \left(1 - \tau \frac{q_c}{3600} \right) \exp \left\{ -\frac{q_c}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 C ：流入部交通容量[台/h]、 q_c ：環道交通量[台/h]、 S ：安全率(0.8)、 t_c ：クリティカルギャップ(4.1s)、 t_f ：流入部でのフォローアップタイム(2.9s)、 τ ：最小環道車頭時間(2.1s)である。

式(1)に示すギャップ理論に基づく推定式は、環道交通

流のギャップに対する流入可能量を便宜的に算出するものであり、流入判断プロセスを考慮できるものではない。例えば、流入車両は環道を走行する車両の位置を認知した上で環道への流入可否を判断すると考えられるが、ギャップ理論による推定式では、流出交通の影響は含まれない。

2. 2 流入交通と流出交通の関係に関する既往研究

流出車両が交通容量に与える影響に関して、塩見らの研究³⁾では、飯田市東和町ラウンドアバウトの調査に基づき、指示器の表示の有無が 1.44 秒のラグに相当する効用があることを示している。また、この結果に基づく交通容量への影響について試算している。

しかし、流出車両による流入判断への影響は、指示器の表示の有無のみならず、その表示を行うタイミングや流出車両の挙動（走行位置や車両の向き）によっても異なると考えられる。本研究は、このような観点から、流出車両の指示器表示タイミングや走行軌跡などの車両挙動が流入車両の判断に与える影響について、その実態を走行実験から明らかにするものである。

3. 流入車両の流入判断と流出車両の関係(仮説)

流入車両は、環道内を走行する車両の走行位置や挙動特性によって流入または停止の判断を行うものと考えられる。この際、直前の流出部において流出する車両に対しても、停止・流入の判断を伴うことが考えられる。ここで、流出車両挙動が流入判断に与える影響について、以下の仮説を考える。

- ①流出車両が指示器の表示を行うことにより流入判断位置(図-1における「流入判断位置」)が異なり、その位置は指示器の表示タイミングによっても変化する。
- ②流出車両の走行挙動(横断面に対する走行位置や進行方向など)によって、流出車両の流出意思をくみ取ることができ、流入判断がしやすくなる。

キーワード ラウンドアバウト、流入交通容量、流出車両、方向指示器

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 道路マネジメント研究室 TEL 047-469-5503

4. 走行実験

4. 1 走行実験の手順とデータの取得

3. に示した仮説を実証するため、各判断位置を実道による走行実験より取得する。計測の手順を以下に示す。
- I) 被験者（流入車両）を流入位置で停止させる。実験車両は、環道上流から走行させる。
- II) 被験者は実験車両（流出車両）を確認し、流入ができないと判断したタイミングで「停止」を発声し、ここを停止判断位置とする。
- III) 被験者は実験車両の流出を判断できたタイミングで「流入」を発声し、ここを流入判断位置とする。このため、発信遅れは含まれない。

その際、被験者側の車内に設置した車載カメラによって各判断のタイミングを音声として計測する。また、上空に設置した外部観測カメラにより、環道走行車両の走行挙動などの状況を撮影する。以上の2台のデータを時刻により同期させることで、流入車両の各判断位置とそれの際の環道走行車両の走行挙動を0.1秒ごとに取得する。

ここで、上流から走行させる実験車両に対しては、表-1に示す走行シナリオを用意した。その際、流入車両の判断が容易にならないよう、流出をしない直進走行車両についても走行シナリオに加えている。

実験箇所は、幾何構造の異なる船橋日大前駅ロータリー（以下、船日 ROT）、山梨県富士川町ラウンドアバウト（以下、富士川 RAB）とした（図-2）。表-2に示すように、外径および分離島幅員に差があり、船日 ROT は一般的なラウンドアバウトの構造よりも大きな形状となっている。

4. 2 走行実験の結果

(1) 流出車両に対する流入判断モデル

流出車両の挙動特性が流入判断に与える影響を定量的に把握するため、流出車両に対する流入判断モデルの定式化を行う。ここで、流入車両が流入または停止を選択する確率は式(2)、(3)により与えられる。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\exp(V_{in}) + \exp(V_{re})} = \frac{1}{1 + \exp(V_{re} - V_{in})}$$
 (2)

$$P_{re} = 1 - P_{in}$$
 (3)

ここで、 P_{in} : 流入車両が流入 (in) する確率、 P_{re} : 流入車両が停止 (reject) する確率、 V_{in} : 流入することによる効用の確定項、 V_{re} : 停止することによる効用の確定項である。

式(2)より、選択肢 in と選択肢 re の選択確率の比は、そ

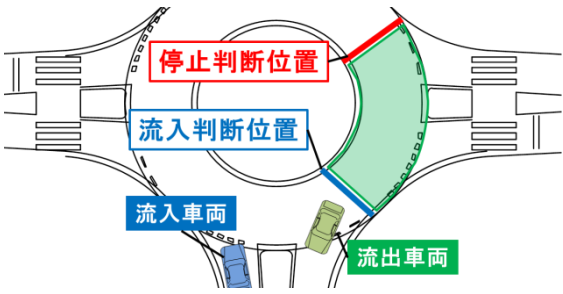


図-1 流入停止判断位置の簡略図



図-2 走行実験箇所(左：船日 ROT, 右：富士川 RAB)

表-1 各走行シナリオ

シナリオ	指示器の表示	走行位置, 進行方向
①	表示あり	標準的な走行
②	表示あり(直前)	標準的な走行
③	表示なし	標準的な走行
④	表示なし	内側走行
⑤(船日 ROT のみ)	表示なし	外側走行
⑥	環道直進走行(非流出車両)	

表-2 各実験箇所の構造条件

	[m]	船日 ROT	富士川 RAB
外径		37.6	27.0
中央島径		23.5	12.0
エプロン幅員(路肩含む)	3.7~1.8		2.1
環道幅員	4.3		4.4
当該流出部の分離島幅員	8.5		2.6
直近上流流出部までの距離	57.4		17.0

の関数に係わる確定項の差のみの関数になる。そこで便宜上、流入車両が停止する場合の効用の確定項を0とし、選択肢 in の効用関数を式(4)で表す。

$$V_{in}(t) = a_0 + a_1L + a_2V + a_3W_1 + a_4W_2 + a_5\alpha + a_6C$$
 (4)

ここで、 L : 対象流入部分離島端から流出車両までの距離[m], V : 流出車両の速度[km/h], W_1 : 流出車両の指示器表示の有無ダミー, W_2 : 流出車両の指示器事前表示ダミー, α : 進行方向に関するパラメータ[°/10⁻¹s], C : 走行位置のパラメータ[m], a_0 : 定数項, $a_1 \sim a_9$: 推定されるパラメータである。進行方向に関するパラメータは、環道の内側から外側への進行方向角の変化量であり、走行位置のパラメータは、流出車両の横断面に対する走行位置として表している。これらの説明変数を模式的に示したものが図-3である。

(2) パラメータの推定結果

実験で観測したデータをもとに、最尤推定法によりパラメータを推定した結果を表-3に示す。

まず、各説明変数に着目すると、流入部分離島端から

の距離、指示器・表示の有無ダミーについては両箇所とも有意となった。また、船日 ROT では指示器・事前表示ダミー、富士川 RAB では進行方向のパラメータについて有意となった。その要因として、外径や分離島の大きさによって流出車両の指示器や挙動の認識のしやすさが異なるためであると考えられる。続いて推定されたパラメータをみると、流出車両が流出部に近づくほど流入判断をしやすく、また、流出車両が指示器を表示している方が流入判断をしやすくなることを示している。

ここで、有意な説明変数のみを用いてパラメータを再推定した結果を表-4に示す。流入部分離島端からの距離 a_1 と各パラメータとの比 ($-a_2/a_1$, $-a_3/a_1$, $-a_4/a_1$) は、流出車両が指示器を表示することや、進行方向角に変化をつけることによって流入しやすくなる効用と等価な距離の大きさを表す。この値に環道走行速度 20km/h を仮定し除算すると表-5のとおりとなる。この結果は、塩見らの示した指示器の表示に相当する効用 1.44 秒のラグと比較すると小さい値となっている。これは、観測方法の違いに加えて、塩見らの対象箇所では分離島が設置されていないことにより、指示器による効用が大きく表現されるためと考えられる。

表-4のパラメータを用いて、各変数別の流入確率を図-4に示す。これより、構造条件が異なる箇所において、分離島端からの距離が同じであっても、指示器の表示の有無のみならず、表示タイミングや進行方向によっても流入判断のしやすさが異なることが示された。

5. 流入交通容量への影響分析

5. 1 流出車両を考慮した流入交通容量の算出方法

前章までの結果を用いて、流入交通容量と流出車両との関係を分析する。その際、交通容量の算定においては、流出車両の影響を加味した式(5)および式(6)を使用する。これは、既往のギャップ理論による推定式(1)に対して、流出車両の存在により棄却されるラグの総和 $q_{out} \cdot t_{out}$ を、単位時間(3600s)から減算したものである。

$$C = \frac{3600 - t_{out} \cdot q_{out}}{t_f} \left(1 - \tau \frac{q_c}{3600 - t_{out} \cdot q_{out}} \right) \exp \left\{ - \frac{q_c}{3600 - t_{out} \cdot q_{out}} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau \right) \right\} \quad (5)$$

$$t_{out} = t_{re} - (\Delta t_1 \cdot P_1 + \Delta t_2 \cdot P_2 P_1 + \Delta t_3) \quad (6)$$

ただし、 q_{out} ：流出車両台数[台/h]、 t_{out} ：流出車両挙動を考慮した流出車両による棄却ラグ[s]、 t_{re} ：流出車両に

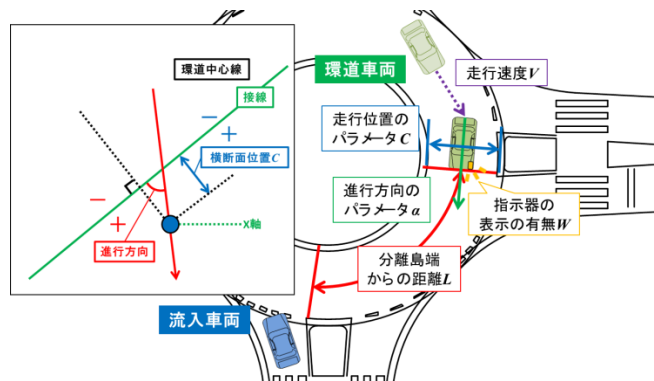


図-3 各説明変数の模式図

表-3 パラメータの推定結果（全説明変数）

説明変数	船日 ROT		富士川 RAB	
	推定値	t 値	推定値	t 値
定数項	1.89	4.36	-0.24	-0.54
流入部分離島端からの距離[m]	-0.42	-3.96	-0.61	-4.21
流出車両速度[km/h]	0.02	0.17	0.08	0.81
指示器・表示の有無ダミー	1.50	3.46	1.27	2.79
指示器・事前表示ダミー	1.54	3.55	-0.60	-1.31
進行方向に関するパラメータ[°/10 ⁻¹ s]	1.49	0.17	0.90	3.40
走行位置のパラメータ[m]	0.99	1.90	-0.01	-0.01
サンプル数	43 回	518	33 回	682
L(0)		-359.05		-472.73
LL		-95.70		-78.55
adj-p ²		0.73		0.83

赤字：p<0.01(2.576)

表-4 パラメータの推定結果（有意変数のみ）

説明変数	船日 ROT		富士川 RAB	
	推定値	t 値	推定値	t 値
定数項 a_0	11.85	27.56	0.18	0.39
流入部分離島端からの距離[m] a_1	-0.83	-7.96	-0.53	-3.68
指示器・表示の有無ダミー a_2	1.25	2.91	0.85	1.87
指示器・事前表示ダミー a_3	1.77	4.12		
進行方向に関するパラメータ[°/10 ⁻¹ s] a_4			1.09	4.10
サンプル数	43 回	518	33 回	682
L(0)		-359.05		-472.73
LL		-98.28		-79.19
adj-p ²		0.73		0.83

p<0.10(1.645)

表-5 流入しやすくなる効用と等価な距離（ラグ）

	船日 ROT	富士川 RAB
指示器を表示することによって流入しやすくなる効用と等価な距離[m]（ラグ[s]） $-a_2/a_1$	1.5m(0.27s)	1.6m(0.29s)
指示器を事前に表示することによって流入しやすくなる効用と等価な距離[m]（ラグ[s]） $-a_3/a_1$	2.1m(0.38s)	
進行方向角が変化することによって流入しやすくなる効用と等価な距離[m]（ラグ[s]） $-a_4/a_1$		2.1m(0.38s)

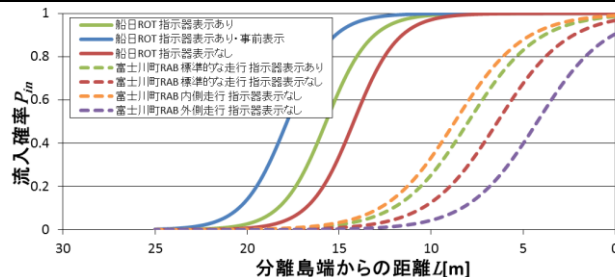


図-4 各説明変数による感度比較

による棄却ラグ[s]、 Δt_1 ：指示器を表示することによるみかけのラグ増加分[s]、 Δt_2 ：指示器を事前に表示することによるみかけのラグ増加分[s]、 Δt_3 ：進行方向に関するパラメータによるみかけのラグ増加分[s]、 P_1 ：指示器の表示率（指示器を表示した台数／流出車両台数）、 P_2 ：指示器

を事前に表示した割合（指示器を事前に表示した台数／指示器を表示した台数）である。

ここで、 t_{re} の値は、停止判断位置から流入判断位置までの距離の差を流出走行速度 20km/h で除算した値であり、箇所ごとに船日 ROT では 1.21[s]、富士川 RAB では 1.91[s]である。また、 $\Delta t_1 \sim \Delta t_3$ には、表－5における効用値を使用する。

5. 2 流入交通容量の感度分析

流出車両による交通容量への影響を分析するため、環道交通量と流出車両台数の割合（ q_{out}/q_c ）を 0～0.5 まで変化させたときの交通容量を比較したものが図－5 である。ここで、流出車両のみの影響を考慮するため、流出車両挙動による補正值（ $\Delta t_1 \sim \Delta t_3$ ）は全てのケースで 0 と設定した。これより、環道交通量が同じであっても当該流出部を流出する車両の割合が高くなるにつれて、交通容量が低下していることがわかる。例えば、環道交通量 600[台/h]に着目すると、交通容量の低減は 20%程度であり、その影響は小さい。また、船日 ROT と比較し、富士川 RAB の方が交通容量の低下が大きい。これは、分離島構造の違いが影響しており、分離島幅員が大きいほど流出車両の交通容量への影響は小さくなると考えられる。

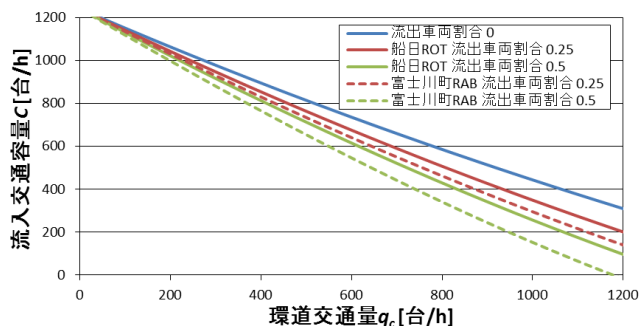
次に、指示器による影響を分析するため、指示器の表示率（ P_1 ）別に交通容量を比較したものを図－6 に示す。これより、流出車両割合が同じであっても、指示器を表示している割合が多くなるほど交通容量は増加していることがわかる。ここで、環道交通量 600[台/h]に着目すると、交通容量の変化は 5%程度であり、指示器を表示することによる交通容量への影響は極めて小さい。

また、船日 ROT において、指示器の表示タイミングによる影響を見るため、 P_1 を 1.0 に固定し、 P_2 を 0～1.0 まで変化させたときの交通容量を比較したものが図－7 である。これより、指示器の表示タイミングが遅い場合に交通容量は低下する傾向にある。ここで、環道交通量 600[台/h]に着目すると、交通容量の変化は 5%程度であり、指示器の表示タイミングによる容量への影響は極めて小さい。同様に、流出車両の走行軌跡による影響についても感度分析を行ったが、交通容量への影響は小さいものであることを確認している。

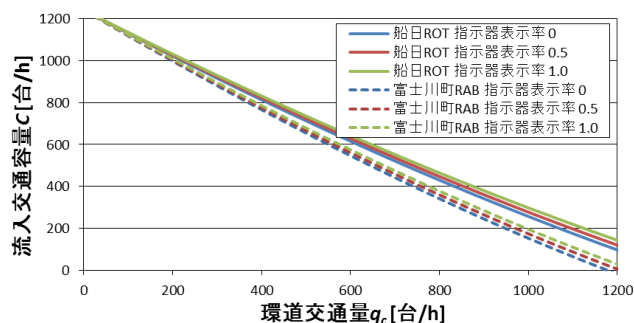
6. おわりに

本研究の実道実験から、流出車両の挙動が流入判断並びに、交通容量への影響として以下の内容が示された。

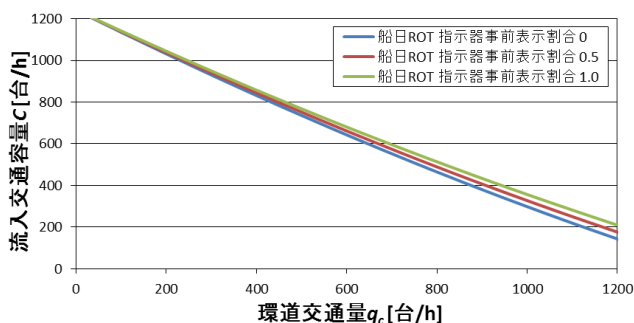
①流出車両の割合が高いほど容量は低下するが、その影



図－5 流出車両と流入交通容量の関係



図－6 指示器の表示率と流入交通容量の関係



図－7 指示器の表示タイミングと流入交通容量の関係
響は小さい。

- ②指示器を表示するほど、また表示タイミングが早いほど流入判断をしやすいが、交通容量への影響は小さい。
- ③流出車両の走行軌跡が環道の内側を通るほど流入判断をしやす。

本研究の結果より、流出車両の影響はさほどないと考えられるが、今後ともより多くの実験データを取得し、引き続き検証を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 渡瀬貴明, 下川澄雄, 吉岡慶祐, 森田緯之: ラウンドアバウトの交通容量推定式の海外比較からみる我が国での検討課題, 土木計画学研究・講演集 No.53, 2016.
- 2) (一社)交通工学研究会: ラウンドアバウトマニュアル, pp.24-26, 2016.4.
- 3) 塩見康博, 今仲弘人: 車両走行軌跡データに基づくラウンドアバウト環道流入挙動の分析, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, 2015.