

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

塩見 康博¹・今仲 弘人²

¹正会員 立命館大学講師 理工学部環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)
E-mail:shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

²非会員 立命館大学 理工学部環境システム工学科 (2014年3月卒業)

ラウンドアバウトの環道流入交通容量は、流入部を通過する環道交通量とその車頭時間分布、および車頭時間当たりの流入可能台数との関係で規定される。しかし、当該アプローチから流出する車両が存在する場合、それとの入れ違いで環道への流入しやすくなるなど、多様な要因が交通容量に影響を及ぼすことが予想される。本研究は、ラウンドアバウトの交通容量を正確に評価する手法を構築する前段として、環道への流入挙動をビデオ画像から抽出した走行軌跡データに基づき、二項選択ロジットモデルを援用した環道流入挙動モデルを構築した。その結果、流出車両が存在しても環道流入挙動には有意な影響を及ぼさないものの、当該の流出車両が方向指示器を出して流出する際には有意に環道への流入がしやすくなり、交通容量の増大に繋がることが示された。

Key Words : roundabout, traffic capacity, gap acceptance, turn signal

1. はじめに

ラウンドアバウトは信号交差点との比較でピーク時などの交通処理能力は一般に信号交差点より劣るものの、
i) 信号を使用しないため震災時などの停電時にも交通制御可能、ii) 赤信号による無駄な停車の必要がなくなる他、信号機などの電気を使用しないため環境負荷量が少ない、iii) 右左折車両とのコンフリクトポイントがなくなるため、交通安全性が高まる、iv) ラウンドアバウト流入部では減速を余儀なくされるため、交通の静音化が図れる、などのメリット¹⁾があり、我が国でも導入に向けた検討が進められている。平面交差の制御方式は周辺の交通・土地利用状況を適切に勘案し、最も適した方式が採用されるべきである。そのためには、各制御方式の性能についても詳細かつ適切に把握することが必要不可欠である。通常、ラウンドアバウトの環道流入交通容量 C は下式により表される²⁾。

$$C = q_c \int_0^{\infty} h(t)E(t)dt \quad (1)$$

ここで、 q_c は対象とする流入部を通過する環道交通量[veh/h]、 $h(t)$ は環道交通流のギャップ出現頻度関数、 $E(t)$ は流入交通流に対して1つの t [sec]の環道ギャップに進入可能な車両台数をそれぞれ表す。通常、ギャップ出現頻度関数 $h(t)$ としては、環道交通量の逆数をパラメータを持つ指数分布、あるいは車群形成状況を加味した

CowanのM3モデルが適用されている。また、歩行者交通量が流入交通量の低下に及ぼす影響についても研究が進められている³⁾。その一方で、当該のアプローチから流出する車両がいる場合、それとの入れ違いで流入しやすくなるなど、流入時における車両間の相互作用があると考えられるが、これらについての実証的・理論的な研究はなされていない。もし、流出車両と流入車両との相互作用が、流入挙動に何らかの影響を及ぼすのであれば、環道交通量だけでなく、流出交通量も当該流入部の交通容量に影響を及ぼすことが考えられる。すなわち、環道流入交通容量を適切に評価するためには、ミクロな視点から流入部における環道流入挙動を把握し、交通容量への影響を定量化することが求められる。

そこで本研究では、ビデオ画像から抽出した車両走行軌跡データに基づき、ラウンドアバウトの環道への車両流入挙動を分析する。具体的には、ギャップアクセプタンスモデルを援用し、車両が流入アプローチの停止線付近に到着した時点の環道中の車両存在位置に基づき、当該ラグへの流入、見送りの意思決定をすると仮定する。その上で、ラグの長さ、当該アプローチへ流出する車両の有無、流出車両がある場合には流出意思を示す左折指示器の有無などを説明変数として、流入/見送りの選択確率を推定するモデルを構築する。その結果より、交通容量増加のための方策について考察を行う。

2. 分析対象データの概要

本研究では、長野県飯田市東和町のラウンドアバウトで収集されたビデオ画像データを用いて環道流入挙動の分析を行う。以下、対象交差点、および用いるデータの概要、および対象時間帯の交通概況について整理する。

(1) 東和町交差点

当該のラウンドアバウト⁵⁾は JR 飯田駅の東約 300m の中心市街地にあり、周辺にはショッピングセンター、郵便局、マンション、公園等の施設が立地している。図-1 に示す通り、5 流入出路で構成された 5 枝交差点のラウンドアバウトとして平成 25 年 2 月 5 日に供用が開始された。全流入部とも一時停止運用がなされている。

(2) ビデオ観測調査の概要

本研究では、飯田市東和町交差点調査に常設された CCTV 画像に加えて、公益財団法人国際交通安全学会の調査で取得されたビデオ画像データを用いる。信号交差点とラウンドアバウトの比較検証のためのデータ収集を目的に合計 4 回（信号交差点時、工事中（ラウンドアバウト運用直後）、ラウンドアバウト改良後 2 回）にかけて実施された調査のうち、供用後半年以上が経過した 2013 年 9 月 19 日（木）に撮影されたビデオ画像データを用いる。本研究では帰宅ラッシュと重なり比較的多くの車両が観測されていると考えられる 17:00~18:00 の 1 時間を分析対象とした。

(3) 分析対象時間帯の交通概況

対象時間帯の方向別交通量を表-1 に、各流入部における環道交通量を表-2 に示す。

まず、方向別交通量に着目すると、東アプローチ (E)、南アプローチ (S) で高い流入交通量が観測されており、西アプローチ (W)、南アプローチ (S) で高い流出交通量が観測されていることが分かる。OD パターンでみると、E→W、S→N、W→E、N→S の順に高い交通量があることが読み取れる。これより、E、S、W のアプローチで高い流入交通量が観測されることが分かる。次に、環道交通量 (表-2) に着目すると、NW アプローチ、S アプローチの環道断面においてそれぞれ高い交通量が観測されていることが分かる。

車両の環道への流入挙動を分析するにあたっては、流入車両が多く、かつ環道上での交通量が多く、多様なギャップやラグが観測されることが望ましい。以上の点を勘案し、本研究では南アプローチ (S) から環道への流入挙動を分析対象とする。

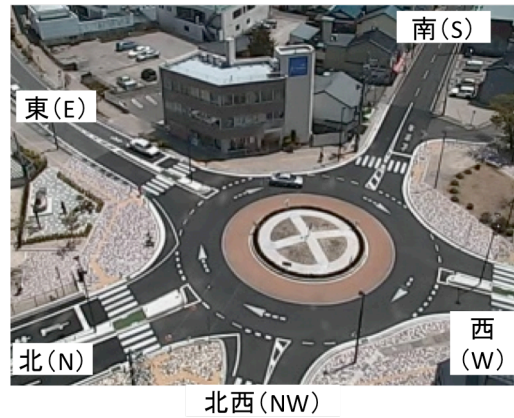


図-1 東和町ラウンドアバウト

表-1 方向別交通量 (台/時)

		流入					合計
		E	S	W	NW	N	
流出	E	1	17	89	14	11	132
	S	16	0	41	37	86	180
	W	159	27	1	25	60	272
	NW	12	45	17	5	1	80
	N	25	101	39	2	0	167
合計		213	190	187	83	158	831

表-2 流入部における環道交通量 (台/時)

E	S	W	NW	N
256	289	207	314	230

(4) 車両走行軌跡データの抽出

車両の走行軌跡データの取得には、鈴木ら⁶⁾が開発したビデオ画像処理システム「Traffic Analyzer」を用いる。これは画面上でクリックした位置を記録する機能を有しており、静止画像上の各車両の右前輪をクリックすることで画像上の座標を、車種、車両 ID、時刻等の情報と併せて記録するものである。取得された画像上の座標を射影変換することにより、現地座標系における車両存在位置のデータを取得でき、これを同一の車両に関して時系列に整理することで、車両走行軌跡のデータを得ることができる。

本研究では、記録する車両の走行軌跡は、車両が画面に現れてから流出路の横断歩道を通るまでと設定した。そして各車両の存在位置を 0.2 秒間隔で取得する。得られた座標データは手動で座標位置を特定しているため、観測誤差を含んでいる可能性がある。そこで、カルマンスムージングによる平滑化を適用し、最終的な走行軌跡データを得る。併せて、S アプローチへ流出する車両については、方向指示器の有無についても記録した。図-2 に、取得した全車両の走行軌跡を図示する。なお、S アプローチから流出する車両の内、方向指示器を出し

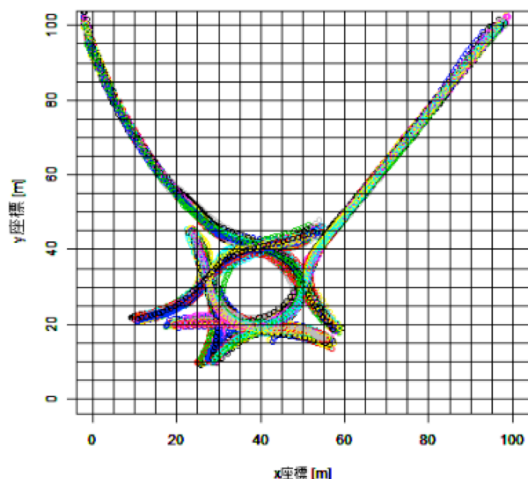


図-2 収集した走行軌跡データ

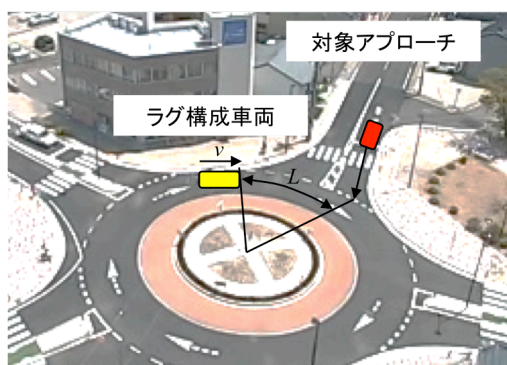


図-3 ラグの定義

た車両は 190 台中 55 台 (29%) であった。また、当該アプローチから流入する車両と入れ違いで流出する車両に限っては全 45 台中、26 台 (58%) であった。

3. 環道流入挙動モデルの構築

本章では、ギャップアクセプタンスモデルを援用した、環道流入挙動モデルを構築する。

(1) ラグ・ギャップの定義

従来、ラウンドアバウトのラグ・ギャップは以下の通りに定義されている。

- ・ ラグ：交差点に車両が到着してから、環道内を走行する次の車両が流入部の目前に到着するまでの時間
- ・ ギャップ：環道内において、流入部の目前に到着する車両と同じ地点に到着する次の車両との到着時間差

この定義に基づくと、当該アプローチへ流出する車両が存在する場合、その車両はギャップ、あるいはラグを構成する車両とはなり得ない。しかしながら、環道に存在する車両が流出すると判断されるまでは、少なからず

流入車の挙動に影響を及ぼすものと考えられる。また、流入車の視点で考えると、流入部断面から環道上の車両までの距離とその車両の速度を認知した上で、環道への流入可否を判断するものと考えられる。すなわち、従来のラグ・ギャップの定義は分析上、簡便に扱うために定義された指標であり、必ずしも流入車両の認知・判断プロセスに見合った定義とはなっていない。そこで、本研究では以下の通り、ラグおよびギャップを定義する。

まず、流入車の状態を i) ラウンドアバウトへ接近している状態 (接近)、ii) 環道流入へのスタンバイ状態 (スタンバイ)、iii) 環道流入を意思決定した状態 (流入)、3 段階に区分する。まず、「i) 接近」は当該アプローチの停止線に至るまでの状態として定義する。すなわち、車両が停止線を完全に通過した時点で、当該車両は「ii) スタンバイ」にシフトし、環道の状態を認知して流入・待機の意思決定を行うと仮定する。その後、当該車両が単調加速を開始して車両全体が譲れ線を通すに至った場合、加速を開始した時点で「iii) 流入」にシフトしたと判断する。なお、流入部において複数の車両が待ち行列を形成している場合、先頭の車両が譲れ線を通し、完全に環道に流入した時点で、後続の流入車が ii) スタンバイの状態になるとした。

その上で、ii) スタンバイ状態にシフトした時点で環道上に存在する車両の内、反時計回りに最も近接して存在する車両の車頭と、図-3 に示す断面との距離をラグ長 (L) と定義し、ラグを構成する車両の速度 (v) でラグ長を除した値 (L/v) をラグと定義する。流入車の状態が ii) スタンバイにある状態で、ラグを構成する車両が対象アプローチの流出部譲れ線を通した時点、あるいは流入部の断面を通した時点で、当該ラグへの流入は見送られたものと判断し、環道上に存在する後続車両とのラグ (あるいは、後者の場合にはギャップ) に対して流入/待機の判断を行うとした。また、ii) スタンバイにある状態で環道上に車両が存在しない場合は自由に流入することが可能であるため、分析対象外とした。加えて、歩行者により流入・流出が制限される状況についても分析対象から除外した。

以上の定義に基づくラグの大きさの出現頻度分布を図-4 に示す。これより、おおむね単調に減少する指数分布に近い形状になっていることが確認できる。また、平均が 7.94 秒となっているが、これはギャップを構成する車両として、従来の定義であるアプローチ S の環道交通量 289 台に加えて、アプローチ S から流出する車両 180 台分も計上されていることを表している。

(2) 環道流入挙動モデルの概要

流入車両におけるギャップ選択モデルの定式化を行う。ここで、流入車両が選択/待機という選択肢を選ぶ確率

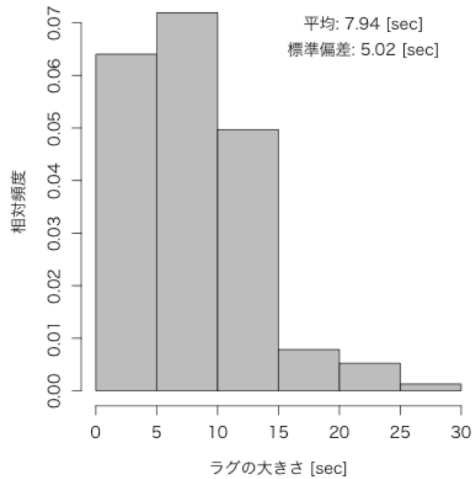


図4 ラグの出現頻度分布

表3 パラメータ推定結果 (全説明変数)

説明変数	推定値	t値
定数項	-4.61	-3.46 *
ラグの大きさ [sec]	1.39	4.00 *
流出車両・指示器なしD	9.51	0.15
流出車両・指示器ありD	3.28	2.85 *
2回目以上D	0.29	0.25
流出車両後方ラグD	9.45	0.11
サンプル数		132
L(0)		-106.05
LL		-18.55
adj- ρ^2		0.77

*p < 0.01

表4 パラメータ推定結果 (有意変数のみ)

説明変数	推定値	t値
a_0 : 定数項	-4.03	-3.65 *
a_1 : ラグの大きさ [sec]	1.34	4.31 *
a_2 : 流出車両・指示器ありD	2.79	2.69 *
サンプル数		132
L(0)		-106.05
LL		-21.12
adj- ρ^2		0.77

*p < 0.01

は式(2), (3)により与えられる.

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

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

ただし, P_{in} : 流入車両がラグを選択し環道に流入する確率, P_{re} : 流入車両がラグを見送り待機する確率, V_{in} : ラグを選択することによる効用の確定項, V_{re} : 当該ラグを見送ることによる効用の確定項, をそれぞれ表す. 式

(2)より選択肢 in と選択肢 re の選択確率の比は, そ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, 流入車がラグを見送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.

$$V_{in} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 \quad (4)$$

ただし, x_1 : ラグの大きさ [sec], x_2 : ラグを構成する車両が当該アプローチより指示器なしで流出することを表すダミー (流出車両・指示器なし D), x_3 : ラグを構成する車両が当該アプローチより指示器出した上で流出することを表すダミー (流出車両・指示器あり D), x_4 : スタンバイ状態になって最初のラグは見送った上での選択であることを表すダミー (2 回目以上 D), x_5 : 流出車両の直後方のラグであることを表すダミー (流出車両後方 D), a_0 : 定数項, a_1, a_2, a_3 : 推定されるパラメータ, をそれぞれ表している. ここで, 流出車両・指示器なし D, 流出車両・指示器あり D は, 流出車両の存在により流入可否判断に影響を及ぼし, かつ指示器の有無により流出車両の挙動の予測が容易となるため, その影響度が異なることを考慮して導入した変数である. 2 回目以上 D は, 流入部で待機する時間が長くなるほどアグレッシブに短いラグであっても流入する傾向を想定して導入した変数である. また, 流出車両後方ラグ D は, ラグを構成する車両が流出した後のラグが選択されやすくなる効果を想定したものである.

(3) パラメータ推定結果

表-3 に全ての説明変数を投入してパラメータ推定を行った結果を示す. まず, 自由度調整済み決定係数を見ると, 0.77 と高い値をとっており, 実観測結果を的確に推定していることが伺える. 次に, 各説明変数に着目すると, 定数項, ラグの大きさ, 流出車両・指示器あり D について 1%水準にて有意であることが分かる. これより, ラグが大きいほど, また, 流出の意思を指示器により明示している車両が存在している場合ほど, 流入の意思決定を下す確率が高くなることが読み取れる.

一方, 流出車両・指示器なし D, 2 回目以上 D, 流出車両後方ラグ D は非有意であると推定された. まず, 流出車両・指示器なし D については, 指示器を出しておらず, かつラグが小さい場合, 当該車両の挙動を先読みすることができず, 確実に流出するのを確認してから, 後続車両とのラグを対象に流出/待機の判断をしているものと考えられる. また, 2 回目以上 D に関しては, 本データでは, 環道への流入を見送る場合, 最大でも 3 つ目のラグでは流入しており, 流入挙動特性に影響を及ぼすほど待機を強いられる状況に無かったことが考えられる. 最後に, 流出車両後方ラグ D が非有意であることは, 車両が流出した後のラグに対しても同等にラグの大

きを判断して流入／待機の意味決定をしていることが示唆している。

これらの結果を踏まえると、流入車両は、流出車両も含めた環道交通に対して構成されるラグから、その大きさを判断して流入／待機の意味決定をしていること、そしてラグを構成する車両が指示器を表示している場合のみ、行動を先読みして小さいラグであっても流入しようとすることが示唆される。また、従来の流出車両を含まない環道交通に対してラグが構成される、とのアプローチでは、環道流入交通量が過大に推計される可能性があることも指摘される。

(4) パラメータ推定値の解釈

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。まず、定数項 (a_0) とラグの大きさ (a_1) のパラメータ値に着目すると、 $-a_0/a_1$ は流出車両・指示器あり D が 0 であることを想定した上で流入、あるいは待機の確率が 50%となるラグの大きさを表す。これは、表4に基づくと 3.01 秒と求まり、従来の推定結果⁷⁾と比較して、ほぼ同程度の値であるといえる。

次に、ラグの大きさ (a_1) と流出車両・指示器有り D (a_2) との関係に着目する。 a_2/a_1 は流出車両が指示器を出すことによって流入しやすくなる効果と等価なラグの大きさを表す。この値は、1.44 秒と求まる。すなわち、当該アプローチから流出する車両が存在する場合、その車両が方向指示器を出すことにより、1.44 秒分だけラグが大きくなるのと同等の効果があり、流入交通容量の増大に寄与する可能性がうかがえる。

5 おわりに

本稿は、ラウンドアバウトにおける環道流入挙動を走行軌跡データに基づき分析したものである。環道流入挙動は、ラウンドアバウトの交通容量と密接に関連するものであり、正確な交通容量評価や交通容量改善方策を検討する上で、詳細に分析する意義は少なくない。本研究では、流入車が選択するラグ・ギャップを、従来の流入分断面通過時間で定義したものではなく、より流入時の意思決定プロセスに則していると考えられる、空間的な距離と環道上の車両の速度との関係で新たに定義した。その際、従来の定義では考慮されない、当該アプローチへの流出車両に対して構成されるラグも分析対象とした。

その結果、必ずしも流出車両が存在することによって流入がしやすくなる訳ではなく、流出車両が方向指示器を出す場合にのみ、当該車両の挙動を先読みし、流入しやすくなることが示された。また、この流入しやすくなる効果は、ラグの大きさにして1.44秒分に相当することが明らかとなった。すなわち、道路交通法にも規定され

ている通り、流出時には方向指示器を出すという行動規範を徹底するといった、ルールの徹底によりラウンドアバウトの交通容量は改善される可能性があることが示唆された。その一方、流入車両は、流入車両によって構成されるラグに対しても、環道走行車両と隔てなく流入／待機の意味決定をしている可能性も示された。この結果に基づくと、従来の環道交通量に基づいて交通容量を推計する手法では、過大推定になる可能性が指摘される。

今後は、本研究で提示した新たなラグ・ギャップの定義に基づく交通容量推計手法を確立し、従来手法との差異や観測される交通容量との関係性を明らかとしたい。また、分析対象データを増やし、ラウンドアバウトの幾何構造、あるいは流入部の据え付き角度による、環道流入挙動の差異を明確化し、交通容量との関係性を定量化することも求められる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、公益財団法人 国際交通安全学会からはデータ提供をいただくなど多大なる支援をいただいた。また、名古屋大学大学院中村英樹教授、同渡部数樹研究員、国土技術政策総合研究所鈴木一史研究官には、データ解析システムの提供の他、貴重なご意見を多数いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (社) 交通工学研究会：ラウンドアバウトの計画・設計ガイド(案) Ver.1.1, 2009.
- 2) 吉岡慶祐, 中村英樹：日本におけるラウンドアバウトの交通容量と遅れの推定方法に関する考察, 土木計画学研究・講演集 No.39, 2009.
- 3) 鈴木惇平, 桑原雅夫, 原祐輔：歩行者を考慮したラウンドアバウトの交通容量推定に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No.47, 2013.
- 4) 康楠, 中村英樹：横断歩行者を考慮したラウンドアバウト流入交通容量のシミュレーション分析, 国際交通安全学会誌 Vol. 39, No.1, pp. 56- 64, 2014.
- 5) 藤岡亮文, 泉典宏, 鋤柄寛, 井田光則, 中村英樹：日本初となる信号交差点から交通流を流しながらのラウンドアバウトへの切り替え施工, 土木計画学研究・講演集 No.47, 2013.
- 6) 鈴木一史・中村英樹：交通流解析のためのビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の開発と性能検証, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.3 pp.276-287, 2006.
- 7) 国際交通安全学会：安全でエコなラウンドアバウトの実用展開に関する研究報告書, 2010.

AN ANALYSIS ON ROUNDABOUT ENTRY BEHAVIORS BASED ON VEHICLE
TRAJECTORY DATA

Yasuhiro SHIOMI and Hiroto IMANAKA