

広域交通流シミュレーションのためのラウンドアバウト モデルの実装と適用

花房 比佐友*¹ 飯島 護久*¹ 堀口 良太*¹
株式会社アイ・トランスポート・ラボ*¹

論文概要

本研究は、ラウンドアバウトが広域にわたって整備された際の交通流への影響を評価できる広域交通流シミュレーションモデル向けラウンドアバウトモデルを開発することを目的とする。広域交通流シミュレーションにおいては、交通容量をパラメータとして流動性の制約条件を置くことが多いため、本研究ではラウンドアバウトマニュアル 2021 で示されている式を適用して実装を行った。また神奈川県エリアを対象とした交通流モデルを作成し、実装したラウンドアバウトモデルの適用例を示し、広域整備に際する留意点について整理した。

Implementation and Application of Roundabout Model for Wide-Area Traffic Simulation Model

Hisatomo Hanabusa*¹ Morihisa Iijima*¹ Ryota Horiguchi*¹
i-Transport Lab. Co., Ltd.*¹

Abstract

This study aims to develop a roundabout model for a wide-area traffic flow simulation model that can evaluate the impact on traffic flow when roundabouts are constructed over a wide area. In wide-area traffic flow simulations, traffic capacity is often used as a parameter to constrain traffic flow. Therefore, the equation given in the Roundabout Manual 2021 was applied in this study. As a demonstration, a traffic flow model was developed for the Kanagawa Prefecture, and examples of the application of the implemented roundabout model were presented.

Keywords: Roundabout, Traffic Simulation, Wide Area Traffic Flow

1. はじめに

本研究は、ラウンドアバウトが広域にわたって整備された際の交通流への影響を評価できる広域交通流シミュレーションモデル向けラウンドアバウトモ

デルの開発を目的とする。

ラウンドアバウトマニュアル 2021^[1]によると、我が国にけるラウンドアバウトの導入は、2014年に道路交通法が改正されて環状交差点が規定されて以来、

2021年3月末時点において全国40都道府県の計126箇所が指定されている。また「日本のラウンドアバウトデータベース」^[4]によると、2024年10月31日閲覧時点において、環状交差点指定外も含めて全国で166箇所が登録されている。このように、泉ら^[5]の報告をはじめ、全国各地での社会実験、実運用と共に多くの事例が蓄積されつつあり、国内における導入方法やドライバーの認知度も向上したことで、今後も益々各所で導入が進められていくと考えられる。

国内におけるラウンドアバウトに関する研究としては、すでに安全性や円滑性等、様々な視点から行われており、社会実装と普及促進に関する研究も整理^[4]され、各研究成果が各所へのラウンドアバウト導入に大きな貢献をしている。本研究における着目は、「広域にわたる交通流への影響」にあるが、ラウンドアバウトの性能という点においても中村ら^[6]をはじめ多くの研究成果があり、たとえば後藤ら^{[6][7]}はクリティカルギャップの推定手法や大型車の乗用車換算係数の推定手法を示し、神戸ら^[8]は幾何構造考慮した流入交通容量の推定モデルを提案している。また、よりミクロな視点としては、吉岡ら^[9]が導入から一定期間が経過した後走行挙動について分析を行っており、長期間運用された際の走行挙動の経年変化も、処理能力および交通流への影響という点では考慮すべき現象であろう。以上より、交通流への影響評価は研究や設計段階で十分に行われていると考えられるが、いままでの研究においては、単体のラウンドアバウトに着目したものであり、ラウンドアバウトが比較的近い距離で複数設置された場合など、設置箇所数が増加するにしたがって、どの程度道路ネットワーク全体の流動性に影響するかを評価できる仕組みが必要であると考えられる。

よって本研究は、広域道路網交通流シミュレーションに適用可能なラウンドアバウトモデルの構築を目的とする。本稿では、動的交通流を再現するmesoscopicな交通流シミュレーションモデルを想定し、環道への流入容量制約による交通流制御を行う手法を提案する。その後、提案した手法の動作検証(Verification)を行った結果を示し、適用例として、神奈川県全域モデルを利用した際の結果を紹介する。

2. 適用対象の交通流シミュレーションモデル

ラウンドアバウトモデルの実装にあたっては、広域の道路網を対象とした交通流を再現できるシミュ

レーションモデルの特性を踏まえて実装を検討していく必要がある。以下、モデルの要件を整理し、本研究で適用する交通流シミュレーションモデルを示す。

2-1. モデルの要件

広域道路網の交通流を再現する交通流シミュレーションモデルを一概に定義はできないが、赤羽ら^[10]が提示した利用目的に対する3つ視点、①空間的な規模、②車両交通への着目点、③経路選択行動、からある程度要件を整理することができる。本研究の目的を基に検討すると、以下の要件があげられる。

- 1) 空間的な規模：交差点単位など局所的な交通流よりも道路ネットワークの面的な交通流を扱えること。
- 2) 車両交通への着目点：交通流への影響を面的に評価することから、加減速を再現するような詳細な挙動は必要とせず、集積結果としての交通流の状態を評価できること。
- 3) 経路選択行動：渋滞など道路の交通状況に応じた動的な経路選択行動による交通流の再現と評価ができること。

上記を満たす交通流モデルは、車両1台1台を扱う離散的なモデルであっても、一般に追従式のようなミクロな挙動を必要とせず、交通容量など道路の性能を設定するパラメータによって交通流を表現するものが多い。一方で、ラウンドアバウトマニュアル2021^[11]においても、交通処理能力は流入交通容量を基に評価していることから、交通容量値を調整する形で交通流を再現するモデルであると、理解のし易さや扱い易さの観点でも望ましいと考えられる。

2-2. 適用する交通流シミュレーションモデル

前節の要件を満たす交通流シミュレーションモデルとして、本研究においては、関東圏レベルの範囲でシミュレーションが可能な交通流シミュレーションモデルSOUND^[12]への適用を念頭に構築を行う。

SOUNDは、交通流率と密度の関係を直線近似されたFundamental Diagram(以下、FD)を道路パラメータとして、Simplified Kinematic Wave理論^{[13][14][15]}に従って1台1台の車両の移動、待ち行列をFIFO条件下で管理しながら交通流を再現する交通流シミュレーションモデルである。FDおよびリンク下流の流出容量パラメータを基にボトルネック

部を表現し、待ち行列を再現している。交差点部においては、本線車線のほか右左折専用車線を設定することができ、車線長分の Queue を持つことで、右左折専用車線への流入および滞留を表現できる。したがって右左折専用車線の長さを超える滞留がある場合は、直進車の通行が阻害される仕組みとなっている。また、最短経路選択モデルや確率的経路選択モデルを内包し、一定時間間隔で距離や現在の交通状況における旅行時間、通行料金などに重みづけした一般化費用関数に基づいてリンクコストが計算され、各車両は最短経路探索アルゴリズムによる経路、またはロジットモデル(SOUND では Dial のアルゴリズム^[15])を適用)に基づいて確率的に経路が選択される。SOUND においては、交通流を表現するパラメータとして FD や流出容量が用意されているため、ラウンドアバウトモデルの構築にあたっては、この流出容量を逐次制御することによってラウンドアバウトにおける流動性を再現する。

3. ラウンドアバウトモデルの構築

本章では、構築したラウンドアバウトモデルについて説明する。ラウンドアバウトモデルにおいては、交通流シミュレーションの入力データとして一般に利用されている道路地図データの構成を前提に構築を行う。図 1 に想定される道路形状タイプを示す。道路ネットワークは基本的に交差点を示すノード、交差点間の道路区間を示すリンクで構成されている。本研究では、まず単一ノード型での実装について述べる。

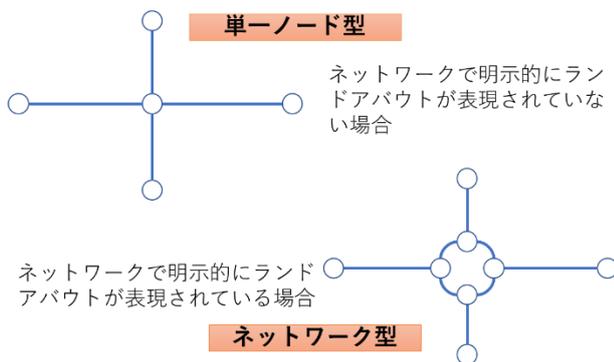


図 1 想定される交差点形状

3-1.単一ノード型の仕様

ラウンドアバウトマニュアル 2021^[1]によると、ラウンドアバウトにおいては、環道へ流入する設計交通量を基に、交通処理が可能な仕様を検討し、設計

を行う。このことから、ラウンドアバウトの導入検討時に適用される流入部の交通容量算出式^[1]を適用し、交差点への流入リンクの流出容量を制御する方式でモデル化を行う。以下に流入部の交通容量の推計式を示す。

$$c_i = \frac{3600}{t_f} \left(1 - \tau \cdot \frac{Q_{ci}}{3600}\right) \cdot \exp \left\{ -\frac{Q_{ci}}{3600} \cdot \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau\right) \right\} \dots$$

(式 1)

c_i : 流入部の交通容量[台/時],

Q_{ci} : 流入部正面右側直近断面の環道交通量[台/時],

t_c : 臨界流入ギャップ[秒],

t_f : 流入車両の追従車頭時間[秒], τ : 環道交通流の最小車間時間[秒].

交通容量を入力する環道交通流については、各方面の流出方向のうち、流入部前を通過する流出方向の交通量のみを選定して算出した。図 2 に環道交通量の集計対象を示す。環道交通量においては、シミュレーション結果から逐次求める必要があるが、流入交通容量は 1 時間単位であるため、環道交通量の集計時間単位から 1 時間当たりの交通流率に換算する必要がある。本研究においては、60 秒程度の集計単位であれば、後述する理論値に近い交通容量値で概ね制御できることを確認している。また、集計単位が数秒など短くした場合、環道交通量の推計値が安定しないため注意が必要である。

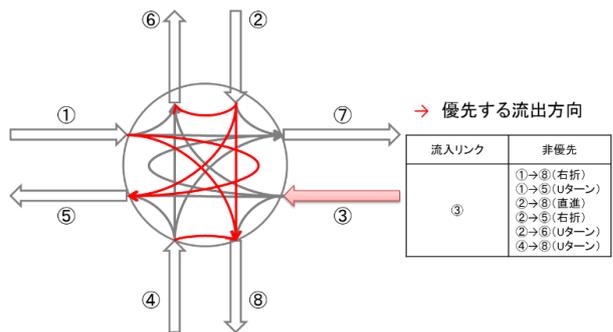


図 2 環道交通量の集計対象

3-2.ネットワーク型の実装

また、ネットワーク型対応のラウンドアバウトモデルについても、環道交通量を直接計測した上で流入路の交通容量を制御する方式で実装を行ったが、交通量が増加した際にグリッドロック現象が確認された。これは、本研究で提案するモデルの特性(流入リンクの流出容量で制御をおこなう)から起こる

ものであると考えられる。

本モデルでは、一定期間の交通量の計測が行われた上で流入容量を制御する方式としていることから、一時的ではあるが、通常流入することができない交通密度であっても、(やがて流出容量は低下するが)環道に流入してしまうことがある。その状況下で交差点への流入交通量が次第に増加すると、流入した地点での急激な流率低下に伴い、そのショックウェーブが環道内で伝播することで、やがて同時多発的な流率低下に陥り、ラウンドアバウトからの流出が阻害されてしまうことによってグリッドロックが起これると考えられる。そのため、米澤^[6]らの手法を参考に、環道内の集計交通密度状態を監視して、臨界状態になる直前の制御交通流率を上回らないように流入部の交通容量を制御したところ、グリッドロックは回避される状態となった。ただし、式1で算出される理論値よりも低い流入部の交通容量で制御されてしまうため、本研究で前提としている広域交通流シミュレーションモデルへの適用においては、ネットワーク型の場合は単一ノードに集約して扱うなど、現状では単一ノード型での適用が望ましいと考えられる。

3-1.モデルの妥当性検証

モデルの妥当性検証(Verification)として、構築したラウンドアバウトモデルを単一ノード型の十字交差点に適用し、理論値とシミュレーション結果が合致しているかを確認した。検証においては、交差点へ流入する需要が増加していくシナリオケースを作成し、シミュレーション結果から交差点流入部の交通流率を求め、式1に示す計算式で計算された理論値と比較した。図3に検証結果を示す。

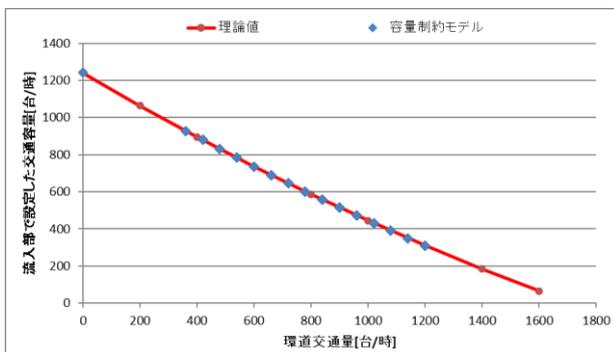


図3 モデル検証結果

検証の結果、理論値とシミュレーション値が一致していることを確認し、構築したラウンドアバウト

モデルが想定通りの動作をしていることを確認した。

4. 広域交通流モデルの構築

4-1.モデル概要

本研究では、神奈川県全域を対象とした道路ネットワークシミュレーションモデル(以下、神奈川モデル)をSOUNDで構築した。表1に神奈川モデルの概要を示す。

表1 神奈川モデル概要

| | |
|----------|---|
| 対象エリア | 神奈川県全域 |
| 対象道路 | 同幅員5.5m以上の道路 (DRM基本道路相当) |
| ノード数 | 40569 |
| リンク数 | 93456 |
| 信号交差点数 | 34028 |
| 発生集中ゾーン数 | 267 |
| 対象時間 | AM4:00~翌AM4:00(24時間) |
| OD交通量 | 車種構成:小型、大型、集計 時間単位:1時間 総トリップ数: 小型:5488747 大型:910322 |

リンクパラメータ(容量、速度、ジャム密度等)は、道路種別に応じて地図データ収録の規制速度や容量値を設定した。ボトルネック部については、首都圏渋滞ボトルネック対策協議会が公表している対策検討箇所を参考に、実態に合うように容量値を調整した。信号制御設定については、国土地理院の数値地図(国土基本情報)データ収録されている信号位置情報を基に、サイクル長140秒、道路種別の優先方向や通過交通量に応じて各方向の青時間の割り当てを設定、調整(全赤時間10秒)した。また、OD交通量は平成27年度全国道路・街路交通情勢調査^[7](以下、道路交通センサス)通過交通量に合うように調整した。

1-1 現況再現性の検証

現況再現性の検証においては、平成27年度道路交通センサスの断面交通量データを利用し、2068箇所の通過交通量について、シミュレーション値と比較を行った。図4に検証結果を示す。比較の結果、相関係数は0.89、RMSEは5666台/日を得た。

また、神奈川モデルの都市間高速道路および都市内

高速道路を除いたエリアの平均速度推移を図5に示す。図中では、神奈川県における主要エリアごと、また神奈川県全域でのエリア平均速度の推移を示している。時系列でみると、午前8時~10時あたりをピークとして平均速度が25km/h程度近くまで低下し、その後18時以降から速度が回復している傾向となっている。道路交通センサスの箇所別基本表にある混雑時旅行速度、中間非混雑時旅行速度を基に集計した結果（観測データがあり、かつ都市間高速道路および都市内高速道路を除いた調査路線を対象に調和平均で計算）においては、混雑時は18.4km/h、非混雑時は21.5km/hであった。シミュレーション結果においては、都市部混雑による速度低下は確認できているが、実態に比べて平均速度が全体的に高い傾向であることが確認された。今後、ボトルネック箇所のパラメータ調整等、精度向上の取り組みが課題である。

5. まとめ

本稿では、広域道路網交通流シミュレーション向けラウンドアバウトモデルを提案し、妥当性検証を行った。また、実装したラウンドアバウトモデルの適用に向けて、神奈川モデルを構築し、現況再現性の検証を行った結果を報告した。今後は、神奈川モデルの再現性向上に取り組むとともに、神奈川モデルを利用したラウンドアバウトモデルの適用評価実験を行いながら、広域での影響評価手法の構築に取り組んでいく予定である。

また、本モデルで再現した状況を仮想空間（メタバース）上へ展開し、効果・影響への理解を深める可視化手法についても研究しており、今後実証実験を通じて有効性を評価していく予定である。図6に本研究で構築した神奈川モデルにおける交通流を3D空間内に可視化する3D空間内モデルを示す。建物の3Dモデルは国土交通省のPLATEAU^[18]が提供する3D都市モデルを利用した。構築した3D空間は、ブラウザ上で閲覧可能で、上空からの俯瞰やある1台をピックアップしてドライバー視点で見ることが可能な仕組みとした。今後は交差点をラウンドアバウトに差し替えた場合の可視化など、道路構造を変更した場合の影響や可視化をより簡易に行える仕組みを検討していく。

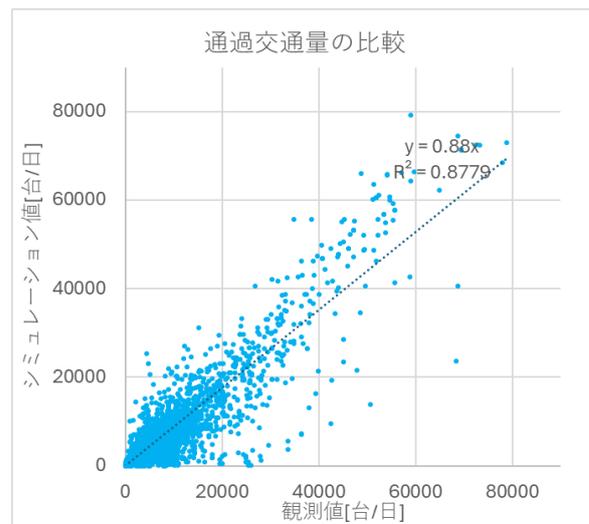


図4 通過交通量の検証結果

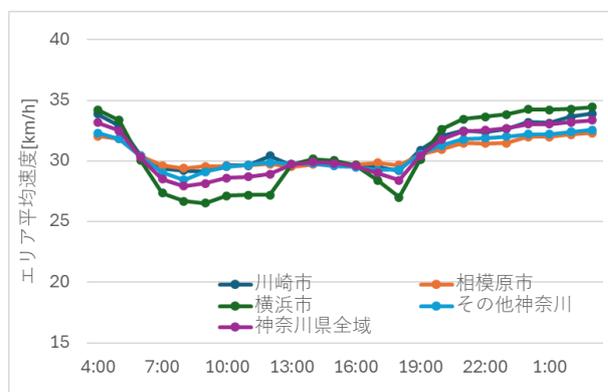


図5 エリア平均速度（シミュレーション結果）



図6 3D空間上での可視化例（プロトタイプ）

謝辞：

本研究は、本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究「[Beyond 5G 研究開発促進事業(一般型)]ShonanFutureVerse: 仮想都市未来像にもとづく超解像度バックキャストینگ CPS 基盤」(JPJ012368C08201)により得られたものである。関係者各位に深く謝意を示す。

参考文献：

- [1]ラウンドアバウト マニュアル 2021,交通工学研究会, 令和 3 年 8 月発行.
- [2]泉典宏,村松寿馬,樋上正晃,藤岡亮文,蔵下一幸：正十字交差点の標準ラウンドアバウト社会実験(焼津市・守山市),第 51 回土木計画学研究発表会,講演集,CD-ROM,2015.
- [3](公財)国際交通安全学会研究調査プロジェクト「データベース整備に基づいた日本のラウンドアバウトの実態と事例情報の発信」, <https://rabmap.trpt.cst.nihon-u.ac.jp/>, 2024 年 10 月 31 日閲覧.
- [4](公財)国際交通安全学会：ラウンドアバウトの社会実装と普及促進に関する研究(III) 報告書, 2015.
- [5]中村英樹,馬淵太樹：車両間交錯度を考慮したラウンドアバウトと信号交差点の性能比較分析,交通工学研究会 編 41 (5), 69-79, 2006.
- [6]後藤梓,中村英樹：ラウンドアバウトにおけるクリティカルギャップ推定手法に関する考察,土木学会論文集 D3 (土木計画学) Vol.73, No.5, I_1243-I_1250, 2017.
- [7]後藤梓,康楠,中村 英樹,真島君騎：ラウンドアバウト流入交通容量推定のための大型車の乗用車換算係数,交通工学論文集, 第 2 巻, 第 6 号, pp.11-19, 2016.
- [8]神戸信人,張馨,中村 英樹,尾高慎二：幾何構造要因を考慮したラウンドアバウト流入交通容量推定モデル,土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.5, I_1399-I_1409, 2018.
- [9]吉岡慶祐,下川澄雄：ラウンドアバウト導入後一定期間における走行挙動の比較分析,土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.77, No.5, I_1037-I_1043, 2022.
- [10]赤羽弘和,大口敬,吉井稔雄,堀口良太：交通シミュレーションモデルの実用化に向けての課題,土木計画学研究・講演集 No.20 (1)スペシャルセッション,1997.
- [11]大口敬,力石真,飯島護久,岡英紀,堀口良太,田名部淳,毛利雄一：首都圏 3 環状高速道路における交通マネジメント評価シミュレーションの開発,土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.5, I_1255-I_1263, 2018.
- [12]Newell, G. F.: A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, part I: General theory, Transportation Research Part B, Vol.27, No.4, pp.281-287, 1993.
- [13]Newell, G. F.: A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, part II: Queueing at freeway bottlenecks, Transportation Research Part B, Vol.27, No.4, pp.289-303, 1993.
- [14]Newell, G. F.: A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, part III: Multi-destination flows, Transportation Research Part B, Vol.27, No.4.
- [15]Dial, R. B.: A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration, Transportation Research, Vol.5, No.2, pp.83-111, 1971.
- [16]米澤悠二,吉井稔雄,北村隆一：集計 QK を用いたエリア流入制御の有効性に関する研究,土木計画学研究・講演集,Vol.39,pp.115,2009.
- [17]平成 27 年度 全国道路・街路交通情勢調査, <https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>.
- [18]都市デジタルツイン実現プロジェクト PLATEAU, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>