

マクロ交通流シミュレーション

数学的基礎理論とPythonによる実装

瀬尾 亨 [著]

コロナ社

ま え が き

今日の社会にとって最も普遍的な交通システムは、ネットワーク上を多数の乗りものが行き交うというものであり、これは今後も当面は変わらないであろう。そのようなシステムでは、多数の乗りもの間の相互作用により興味深い現象が生じるほか、乗りものの時間的・空間的集中によって混雑が生じるため、移動の効率性維持のために適切なマネジメントが欠かせない。マクロ交通流シミュレーションとは、まさにそのようなシステムの現象を定量的に再現し、またマネジメントに活かすための方法である。具体的には、これは道路ネットワーク上を流れる多数の自動車により時々刻々変化する交通状況を計算するものであり、交通現象の理解を深めるための実験装置や、実際の問題解決のための道具などとして用いられる。

本書の狙いは、マクロ交通流シミュレーションの基礎から応用までを体系的に解説することである。シミュレーションを動かしたいだけであれば、適当な既存ソフトウェア（本書で実装するシミュレータもインターネット上で公開する）を使えばそれなりの仕事ができるだろう。しかし、これは交通工学分野を中心として1935年から積み上げられた研究成果の集大成であり、その裏には確固たる原理に基づく興味深い数学的理論が存在している。本書は、そのような原理原則、数学的理論、それらの実装法を一貫して記述する。これらに関する深い理解を得られれば、つぎつぎ登場する新たな技術により激変し続ける交通流を、今後も既存ソフトウェアの枠組みにとらわれずに分析できるようになるだろう。それと同時に、抽象的な数学的理論をコンピュータプログラムとして具現化し、実社会の問題解決に役立てる面白さを学んでもらえれば幸いである。

本書で体系的に解説するにあたっては、演繹的な（大げさにいえば公理的な）論理展開を心掛けた。すなわち、観測的事実に基づき少数の第一原理を立て、

それに基づいて交通流の数値モデルから数値計算方法までを一貫して導出した。そして最終的に、ブラックボックスのまったくない明解なシミュレータの実装を示した。これにより、物理現象のモデルとしてのマクロ交通流シミュレーションが理解しやすくなると期待する。ただし、本書は数学や理論物理学の教科書ではないので、数学的厳密性は追求していない。原著論文への言及を多めに付けておいたので、証明などに興味がある読者はそちらを参照されたい。

また、本書では最新の研究成果を踏まえた解説とした。マクロ交通流について、基礎理論からシミュレーションまでを体系的に解説している日本語文献は著者の知る限り存在しない。そのため、これまではマクロ交通流を勉強するためには英語の論文を個別に読むのがおもしろいやり方であったが、本書を使えば最新知識を一貫した視点で学べるものと期待する。また、従来の日本語の交通工学の教科書の多くでは、交通流に関する話題は古典的なものが断片的に記されているのみであり、その意義や有用性を十分に想像しづらいものが多かったと思われる。本書では、古典的な概念と最新の成果の関連性を明確に記述し、生きた知識となるように意図した。

本書は大まかに基礎編、理論編、実装編の3編から構成される。基礎編は1, 2章であり、マクロ交通流シミュレーションとは何かを解説したのち、マクロ交通流の基本要素を定義した。動的な交通流を数学的に表現するために必要不可欠な、車両軌跡や交通状態といった重要な概念を説明する。

理論編は3, 4章であり、マクロ交通流の理論とシミュレーション法を数学的に解説し、その定性的性質を述べる。マクロ交通流の理論として、あるリンク上の交通流のダイナミクスを記述するリンクモデル、ネットワーク内で隣接するリンク間の交通流のやり取りを記述するノードモデル、ネットワーク上の旅行者のより大局的な意思決定を記述する需要と経路選択のモデルを説明する。そして、シミュレーション法として、差分法に基づくもの、変分法に基づくもの、等価なマイクロモデル（エージェントベースモデル）に変換するもの、等価なセルオートマトンに変換するものについて述べる。

実装編は5, 6章であり、プログラミング言語 Python を用いたシミュレータ

の実装と分析例を解説する (Python コードは <https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339052794/>, <https://toruseo.jp/uxsim/> からダウンロード可能)。ここでは、任意のネットワークで経路選択を考慮したシミュレーション手法を実装する。Python は必ずしも計算効率は高くないが、本書ではその平易さと普及度から採用した。教育用・学術的研究用のシミュレータとしては有用であると考えている。なお、基礎編と理論編の内容はプログラミング言語に依存せず、かつ実装に必要な情報を含むように書かれている。そのため、基本的なプログラミング技術を持つ読者であれば、基礎編と理論編を読んだ段階で好きなプログラミング言語を用いて自らのシミュレータを実装できるだろう。

著者は、交通流理論やシミュレーションの第一人者というわけではまったくない。むしろ、それらのほかの問題への応用を専門に研究している者である。だからこそ、利用者の立場ならでは説明ができると考えているし、そうなっていることを願う。

本書で扱う内容を著者が勉強するにあたっては、交通流理論勉強会の面々 (和田健太郎先生、中西航先生、佐津川功季先生、柳原正実先生、日下部貴彦先生) に大変お世話になった。また、限られた紙面では列挙できないが、いろいろな機会でのさまざまな方との議論も大変勉強になった。ここに御礼申し上げる。

最後に本書の執筆経緯を記す。執筆開始は 2019 年 3 月頃である。2019 年 6 月には全体構成と 1, 2 章がほぼ完成したが、その後 COVID-19 と著者の異動・多忙を言い訳として大幅な遅延が生じた。間を置いて 2022 年 11 月に 4 章までほぼ完成し、2023 年 3 月に初稿が完成した。コロナ社の方々には大変なご迷惑をおかけした。また、コロナ社の方々の丁寧な編集作業により、初期の原稿にあった数多くの問題 (重大な論理的誤りからわかりにくい表現まで) が大きく改善された。ここに深く謝意を表す。

2023 年 8 月

瀬尾 亨

本書に掲載する URL は、すべて 2023 年 8 月現在である。

目 次

1. マクロ交通流シミュレーションとは何か

1.1 背景：自動車交通と渋滞	1
1.2 マクロ交通流シミュレーション	2
1.3 本書の内容	5

2. 交通流の基本要素

2.1 道路利用者と交通流	7
2.2 道路ネットワーク	9
2.3 車両軌跡と時空間図	11
2.4 マクロな交通流の表現	14
2.4.1 交通状態	14
2.4.2 累積台数	19
2.5 交通システムの全体的な性能評価指標	24
2.6 実際の交通流	26
2.7 マクロ交通流シミュレーションの構成	30

3. マクロ交通流モデルの理論

3.1 交通流保存則	33
3.2 交通流基本図 (FD)	35

3.2.1	車両運転挙動と交通流	35
3.2.2	流率密度関係	38
3.2.3	FD の 性 質	39
3.2.4	FD の 実 際	42
3.3	KW モデル：基礎	44
3.3.1	密度に基づく定式化	45
3.3.2	特性曲線法による古典的解法	47
3.3.3	三角形 FD に基づく KW モデルの幾何学的解法	55
	コーヒブレイク：KW モデルと現実の交通流の比較	59
3.4	KW モデル：累積台数に基づく表現	60
3.4.1	定 式 化	60
3.4.2	Newell の単純 KW 理論	61
3.4.3	交通流の変分理論	65
3.5	KW モデル：追従モデルとしての表現	68
3.5.1	KW モデルと交通流の 3 次元的表現	68
3.5.2	KW モデルと等価な車両挙動モデル	71
3.5.3	Newell の単純追従モデル	75
3.6	KW モデル：まとめ	79
3.7	ノードモデル	81
3.7.1	基礎的な定義	82
3.7.2	分岐ノード	85
3.7.3	合流ノード	89
3.7.4	一般ノード	95
3.7.5	ダミーノード	97
3.7.6	出発地・目的地ノード	97
3.8	需要と経路選択	99
3.8.1	需 要	99
3.8.2	経 路 選 択	100

4. マクロ交通流モデルのシミュレーション法

4.1	シミュレーションの流れ	104
4.2	シミュレーション特有の概念	106
4.2.1	座標系の離散化	106
4.2.2	シングルコモディティとマルチコモディティ	110
4.3	リンクモデル：シングルコモディティの場合	112
4.3.1	CTM	112
4.3.2	Newell の単純 KW 理論, VT, LTM	124
4.3.3	Newell の単純追従モデルとセルオートマトン	132
4.4	リンクモデル：マルチコモディティの場合	138
4.4.1	CTM, VT, LTM	138
4.4.2	Newell の単純追従モデルとセルオートマトン	142
4.5	ノードモデル	142
4.5.1	CTM, VT, LTM	142
4.5.2	Newell の単純追従モデルとセルオートマトン	146
4.6	経路選択モデル	147
4.7	ま と め	148
	コーヒーブレイク：マクロ交通流理論小史	151
	コーヒーブレイク：渋滞はなぜ起きるのか？	152

5. シミュレータの実装

5.1	プログラミング環境と表記法	153
5.2	単一リンクシミュレータ	155
5.2.1	CTM	155
5.2.2	VT	157

5.3 ネットワークシミュレータ	159
5.3.1 シミュレータの構造と計算の流れ	160
5.3.2 インポートおよび汎用関数	163
5.3.3 メインループ	163
5.3.4 ノードクラス	168
5.3.5 リンククラス	170
5.3.6 車両クラス	173
5.3.7 経路選択クラス	177
5.3.8 結果分析クラス	179
5.3.9 まとめとテスト	184

6. シミュレーションの計算例

6.1 高速道路単路部のボトルネック渋滞	189
6.2 道路ネットワークのグリッドロックと MFD	193
6.3 より現実的なネットワーク	201
6.4 おわりに	201

引用・参考文献 203

索引 210

1



マクロ交通流シミュレーションとは何か

本章では、本書の導入として、マクロ交通流シミュレーションの背景、目的、位置付けを概観する。

1.1 背景：自動車交通と渋滞

自動車交通は今日の社会にとってきわめて重要な役割を果たしている。自動車はヒトやモノを柔軟に、高速に、大量に、安価に輸送できるためである。例えば、2010年代の公的な統計調査によれば、日本全国におけるヒトの交通手段のうち45%¹⁾†1、貨物輸送量（トン km 単位）のうち51%²⁾を自動車交通が占めている。

しかし、今日の自動車交通はいろいろな問題を抱えている。最も重要な問題は渋滞^{†2}であり、社会に以下のようなさまざまな悪影響を及ぼしている。まず、渋滞が発生すると旅行時間が長くなり自動車交通の効率が低下し、社会全体で考えると非常に大きな損失になる。例えば、2012年度の日本全国で渋滞によって無為に失われた時間は約50億時間であったと推計されている³⁾。これは総旅行時間のうち4割に相当し、標準的な時間価値に基づき金銭価値に換算すれば約12兆円と見積もられる。

加えて、渋滞は交通安全や地球環境の問題の悪化も助長している。まず、交通

^{†1} 肩付き数字は章末の引用・参考文献の番号を表す。

^{†2} 「渋滞」という語は文脈によって異なる意味を持つ。本章と2章では日常的な広い意味を指すものとして用いる。3章以降では後述する厳密な定義を用いる。

事故による人命等の損失は交通が抱える重要な問題の一つだが、渋滞は交通事故の発生リスクを大きく増大させると指摘されている。例えば、高速道路上の渋滞時の事故発生率は、それ以外のときの数倍以上になる場合がある^{4),5)}。また、渋滞が起きると旅行時間が増加することに加え、低速走行や加減速の繰り返しを強いられるため消費エネルギーが増加する。2019年度の日本の総二酸化炭素排出量のうち、自動車交通からのものが18.4%⁶⁾を占めることを考えると、渋滞が地球環境に与える影響は大きいといえる。

そこで、渋滞を解消し効率的な自動車交通を実現するため、都市・道路・交通計画に基づくインフラ整備といったスケールの大きなものから、信号制御といった精緻なものまで、多種多様な施策が提案・実施されている。さらに、近年は自動運転やオンデマンドなライドシェアリングといった、抜本的に新しい形態の自動車利用法も注目されている。

これらの施策は一般に工学的な最適化が可能である。そのため、ある施策を実施した際の効果を科学的な根拠に基づいて定量化する必要がある。しかし、これらの施策は一般に大規模であり、しかも社会全体に大きな不可逆的影響を与えうるため、実地で試すのは困難である。また、施策の最適解を解析的に導出するのも困難である。そのため、施策の効果を数値シミュレーションによって事前評価する必要がある。

1.2 マクロ交通流シミュレーション

道路ネットワークを走り回る多数の自動車を、ネットワーク上を流れる流体のように捉えてみよう。このように捉えた自動車の流れを交通流 (traffic flow) と呼ぶ。

マクロ交通流シミュレーション (macroscopic traffic flow simulation) とは、交通流の時間的・空間的变化を再現するシミュレーションである。例えば、交通渋滞がいつ・どこで発生し、どのように伝播するのか、その結果として渋滞損失時間はどれくらいになるのか、といった問題に答えるものである。「マクロ」

という語句は、本シミュレーションが車両1台1台の個別の状態（例：位置、瞬間速度）にはあまり着目せず、複数の車両を集計して得られる状態（例：1分ごとの交通量、平均速度、渋滞長）の再現に重きを置くことを意味している。

マクロ交通流シミュレーションの内容は、より専門的には以下のようにいかえられる。まず、実際の交通流を、マクロな交通の状態の時空間ダイナミクスを記述する偏微分方程式系として抽象化したものを考える。マクロ交通流シミュレーションとは、この偏微分方程式系をある初期条件 (initial condition)、例えば初期時刻の交通の分布と、境界条件 (boundary condition)、例えばある地点から時刻ごとに出発する車両の量、のもとで数値的に解くことを意味する。この偏微分方程式系および数値解法のことをマクロ交通流モデル (macroscopic traffic flow model)、数値解法のことを特にシミュレーション手法 (simulation method)、これらの理論体系を総称してマクロ交通流理論 (macroscopic traffic flow theory) と呼ぶ。図 1.1 にこれらの間の関係を図示する。

マクロ交通流シミュレーションは、前節で述べたような帰納的な問題解決の道具として有用である。同時に、自動車交通に関する演繹的な理解を得るための理論的枠組み、あるいは実験装置としても活用できる。交通工学と電子コンピュータはほぼ同時期の第二次世界大戦前後に誕生したといえるが、マクロ交通流シミュレーションは両者の黎明期から大いに活用されてきた。例えば、1958年に Webster⁷⁾によって提案され、その後標準的な手法として広く用いられるようになった交通信号の最適化手法は、計算機科学の創始者 Alan Turing によって初期設計がなされたコンピュータ “Pilot ACE” 上の交通流シミュレーションを活用して開発された。

このように、自動車交通と渋滞に関する科学的な研究と実務への応用は、交通工学の分野で長年に渡り（嚆矢となった重要な研究例は1935年、本格化したのは1950年代から）盛んになされている。今日の交通工学でも、マクロ交通流シミュレーションは学術的にも実務的にも多大な役割を果たしている。

ところで、交通流を再現する方法として、車両1台1台の挙動を精密に再現するミクロ交通流シミュレーション (microscopic traffic flow simulation) も

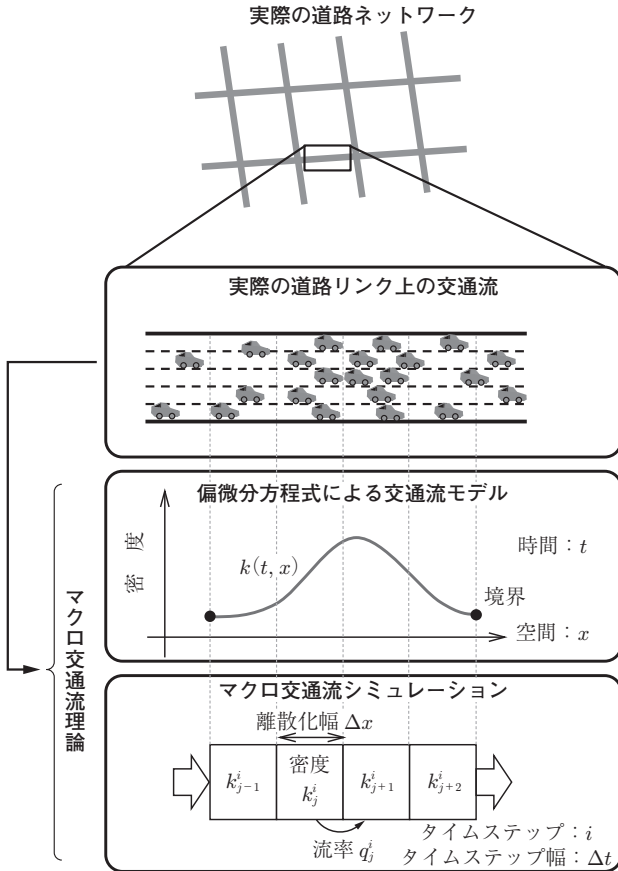


図 1.1 実際の交通流，交通流モデル，マクロ交通流シミュレーション手法の関係（文献⁸）の図を一部改変

広く用いられている。マクロとミクロの両シミュレーションはたがいに異なる目的に用いられる。マクロ交通流シミュレーションはミクロ交通流シミュレーションの代替を目指すものではなく、むしろ相互に補完しあうものといえる。例えば、マクロ交通流シミュレーションはミクロ交通流シミュレーションの得意な交通安全の直接的評価は行えない。一方で、マクロ交通流シミュレーションは計算コストの小ささやパラメータ設定の容易さなどから大規模な交通流を対象とした計算が得意である。また、ミクロ交通流シミュレーションは必ずし

も交通のマクロな状態の再現を目指してはいない。そのため、ミクロ交通流シミュレーションにより代表的な交通状況ごとの安全性を評価し、その結果をマクロ交通流シミュレーションに反映して大規模な交通流における交通安全を間接的に評価する、といった相互補完的な分析が可能である。

1.3 本書の内容

本書では、最も代表的なマクロ交通流モデルである Kinematic Wave (KW) モデル (Kinematic Wave Model) に焦点を絞り、モデルそのものとそのシミュレーション手法の理論と実装を解説する。KW モデルは単純な仮定に基づくモデルであるため、構造が簡単で扱いが容易であり、以下のような理論上・実用上の長所を持っている。まず、モデルの入力と出力の間の因果関係が明確であり、理解や意味解釈の困難なブラックボックスがない。これは実データに基づくモデルパラメータの推定が容易であることにもつながる。また、KW モデルにはミクロ的基礎付けがある、すなわち KW モデルはある合理的な仮定に基づくミクロ追従モデルと等価である。これはミクロな相互作用 (追従挙動) に基づきマクロな現象 (渋滞) の創発を記述しているということであり、物理現象のモデルとして合理的といえる。さらに、計算効率のよいシミュレーション手法が開発されており、大規模な問題を扱うのが容易である。そして、実現象を精度よく再現できることが知られている。

本書は、基礎編 (1, 2 章), 理論編 (3, 4 章), 実装編 (5, 6 章) から構成される。2 章では、本書で用いる交通流の基礎的な要素を定義し、マクロ交通流シミュレーションの構成を概観する。3 章では、KW モデルの理論を数学的に解説する。4 章では、KW モデルのシミュレーション手法の理論を数学的に解説し、計算例を交えながらその定性的・定量的性質を説明する。5 章では、プログラミング言語 Python を用いた、KW モデルに基づくマクロ交通流シミュレータの実装例を述べる。6 章では、実装したシミュレータの適用例を紹介する。

最後に、マクロ交通流シミュレーションに関する日本語の参考図書を紹介し

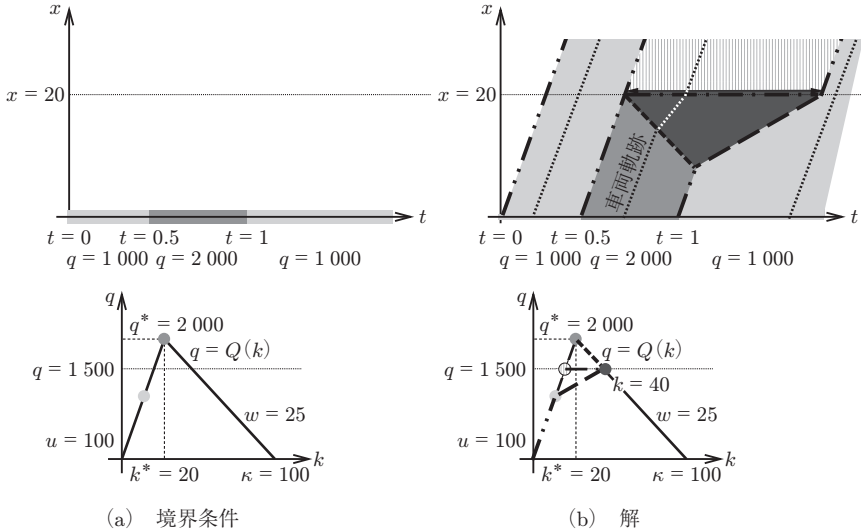


図 3.15 問題 3：ボトルネックのある高速道路

コーヒーブレイク：KWモデルと現実の交通流の比較

KWモデルで現実的な交通現象の解を求めたので、その妥当性を確認してみよう。信号のある街路は日常的になじみのある事例である。現実の交通流では、赤信号で待ち行列が形成されているとき、青信号になってもすべての車両が瞬時に前進できるわけではない。待ち行列中をあたかも波が後ろに向かって伝わるように車両が続々と発進していき、後ろの車両はその位置に応じて数秒～数十秒程度追加で待たなければならない。その波の伝播速度は、車種などの影響で多少は変化するものの、おおむね一定範囲の値に収まる。この現象は待ち行列を観察すればすぐに確認できる。

図 3.14 (b) の KW モデルの解を見ると、確かにそのような現象が再現されている。例えば、図中に記した車両軌跡を見ると、この車両は赤信号の待ち行列に並び、青信号になったのち少々追加で待ってから前進している。この「前進する車両の波」の伝播速度は後進波速度 w そのものであり、 w の値は個々の車両の反応時間 τ と大きさ δ によって定まる。つまり、車両が機敏に反応する (τ が小さい) 状況であれば、待ち行列の後ろの方の車両も青信号になり次第速やかに前進できる。妥当で現実的な性質といえるだろう。

索引

【い】			
異質性	112	交通容量	40
一般化旅行コスト	101	交通流	2
【え】		交通流基本図	38
エントロピー条件	53	交通流の変分理論	65
【お】		交通流保存則	33
オキュパンシ	15	交通量	15
遅れ時間	24	合流ノード	89
【か】		合流優先率	83
慣性 DUO	103	コモディティ	110
【き】		【さ】	
キュースピルオーバー	86	最短経路探索問題	100
キュースピルバック	86	サブライ	64
境界条件	3	差分法	117
均衡状態	36	三角形 FD	39
【く】		【し】	
空間離散化幅	106	時間帯別 OD 交通需要	8
クラス	112	時間離散化幅	106
グリッドロック	193	時空間図	13
【け】		実旅行時間	19
経路	7	シミュレーション手法	3
経路交通量	8	車間距離	15
経路選択モデル	8, 100	車間時間	15
【こ】		弱解	51
後進波速度	38	車群	108
交通状態	14	車群サイズ	108
		車群番号	109
		車線変更モデル	73
		車頭距離	14
		車頭時間	14
		車両	7, 109
		車両軌跡	11
		車両追従モデル	73
		車両番号	109
		渋滞	40
		渋滞状態	40
		渋滞密度	38
		自由流状態	40
		自由流速度	37
		出発時刻	7
		出発地	7
		出発地ノード	10
		瞬間旅行時間	19
		衝撃波	52
		初期条件	3
		シングルコモディティ	
		交通流	112
		【す】	
		数値拡散	120
		数値誤差	119
		数値的不安定性	121
		【せ】	
		セル	106
		セルオートマトン	134
		セルサイズ	106
		セル番号	107
		占有率	15
		【そ】	
		総遅れ時間	24
		相対容量	66
		相対流率	52
		総トリップ完了数	25
		総旅行時間	24
		速度	14

速度車頭距離関係	36				
		【ふ】		【も】	
【た】		分岐ノード	85	目的地	7
タイムステップ	107	分岐率	11, 83	目的地ノード	10
タイムステップ幅	106			【よ】	
ダミーノード	10	【へ】		容 量	40
		平均旅行時間	25		
【て】		ペース	14	【り】	
停止時車頭距離	37	【ほ】		離散化	106
定常状態	18	膨張波	53	流出曲線	23
デマンド	64	ボトルネック	189	流出率	82
				流出リンク	11
【と】		【ま】		流入曲線	23
動的利用者最適	100	マクロ交通流		流入率	82
道路利用者	7	シミュレーション	2	流入リンク	11
特性曲線	48	マクロ交通流モデル	3	流 率	14
特性曲線法	48	マクロ交通流理論	3	流率密度関係	38
トリップ	8	待ち行列長	24	旅行時間	19
		待ち時間	24	旅行者	7
【ね】		マルチクラス交通流	112	臨界状態	40
ネットワーク平均速度	25	マルチコモディティ交通流	110	臨界密度	40
ネットワーク平均密度	25			リンク	9
ネットワーク平均流率	25	【み】		リンクコスト	100
		ミクロ交通流		リンクモデル	30
【の】		シミュレーション	3	【る】	
ノード	9	密 度	14	累積曲線	20
ノードモデル	30			累積曲面	21
		【め】		累積図	20
【は】		メソ交通流モデル	73	累積台数	20
反応時間	37			累積台数離散化幅	108

【C】		【E】		【F】	
CAX モデル	135	Edie の一般化交通状態		FD	39
Cell Transmission Model	112	の定義	17	first-in first-out 条件	12
Courant-Friedrichs-Lewy	121	Edie の定義	17	FIFO 条件	12
条件	121	Euler 座標系	74	【G】	
CFL 条件	121			Godunov 法	118

【H】		【M】		【P】	
Hamilton–Jacobi 方程式	65	Macroscopic Fundamental		passenger car unit	15
HJ 方程式	65	Diagram	194	PCU	15
【I】		【N】		【R】	
incremental node model	95	N モデル	60	Rankine–Hugoniot 条件	52
【K】		Nagel–Schreckenberg		Riemann 問題	55
Kinematic Wave モデル		モデル	136	【T】	
	5, 44	NaSch モデル	136	T モデル	74
【L】		Newell の単純追従モデル	75	【V】	
Lagrange 座標系	74	Newell の単純 KW 理論	61	vertical queue model	98
Link Transmission Model		【O】		VT	65
	128	OD	8	VT ネットワーク	124
LWR モデル	45	OD 交通需要	8	【X】	
		OD 表	11	X モデル	71

— 著者略歴 —

2011年 東京工業大学工学部土木・環境工学科卒業
2013年 東京工業大学大学院理工学研究科博士前期課程修了（土木工学専攻）
2015年 東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程修了（土木工学専攻）
博士（工学）
2016年 東京工業大学研究員
2017年 ミシガン大学研究員
2018年 東京大学助教
2021年 東京工業大学准教授
現在に至る

マクロ交通流シミュレーション

— 数学的基礎理論と Python による実装 —

Macroscopic Traffic Flow Simulation

— Fundamental Mathematical Theory and Python Implementation

© Toru Seo 2023

2023年10月20日 初版第1刷発行



検印省略

著者 瀬尾 亨^{せ お とおる}
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 三美印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-05279-4 C3051 Printed in Japan

(西村)



<出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつと事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088、FAX 03-5244-5089、e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。