

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02368

研究課題名（和文）ポスト・ビッグデータ時代に向けた次世代交通システムの動的マネジメント手法の構築

研究課題名（英文）Dynamic management of next-generation transportation system for post-big data era

研究代表者

井料 隆雅（Iryo, Takamasa）

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：10362758

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 21,500,000円

研究成果の概要（和文）：交通ビッグデータは、各種の知見を得るために活用されることは多いが、最終的には交通システムのよりよいマネジメントのために活用されるべきである。本研究では、ビッグデータによる動的データを前提とした動的将来予測手法の構築を行い、さらにそれを内包した動的マネジメント手法の構築を行うことを目的とした。動的将来予測手法については、既存研究で主流である均衡状態という概念をベースに、動的な拡張による構築を行なった。動的マネジメント手法については、ビッグデータの特性を考慮し、数量マネジメント、価格マネジメント、情報提供によるマネジメント手法を提案した。それらの特性を解析し提案手法の有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、交通工学分野でも普及しているビッグデータの活用方法をシステムティックに提案する。ビッグデータによる交通システムの現況理解はここ数年で多くの事例が出るようになったが、それをういた交通システムのマネジメントの方法論は学術的にも途上である。本研究の成果は、この課題に学術的な進展を加えたという点で学術的意義が大きいほか、実務におけるデータ活用の方策を提案するという点で社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：Transport big-data is often used to obtain various kinds of insights on transport systems and travel behaviour, but ultimately it should be used for a better management of a transport system. The purpose of this research is to construct dynamic future prediction methods based on the assumptions of dynamic data obtained by transport big-data, and to construct dynamic management methods that include them. The dynamic future prediction methods were constructed by dynamic extension based on the concept of equilibrium, which is the mainstream in existing research. As for the dynamic management methods, in consideration of the characteristics of transport big-data, we have proposed management methods by quantity management, price management, and information provision. We analysed their characteristics and confirmed the usefulness of the proposed methods.

研究分野：交通工学

キーワード：交通工学 交通ビッグデータ 交通マネジメント

1. 研究開始当初の背景

ビッグデータと呼ばれるデータ群は交通分野でも注目されている。特に注目されているのは、人や車の動きの常時観測データ、例えば、交通系 IC カードや高速道路の ETC (自動料金収受システム) の匿名化した利用状況データや、プローブデータと呼ばれる車や人の移動軌跡のデータなどである。これらのデータにより、人や車などの交通主体の動きに関する知見を得る多くの研究実績が蓄積されつつある。

交通ビッグデータは、単に「知見を得る」ためだけではなく、最終的には交通システムのよりよいマネジメントのために活用すべきであるが、そのような視点の研究は少ない。活用の方策について、研究代表者や分担者は、過去の自身の研究の経験から、「ビッグデータの利点は、高い時間精度でのパッシブな長期常時観測という点に集約」されるので「その結果得られるデータである動的データを活用するには、ある時点での施策の影響を迅速に取得し、それを基に次の時点の施策を調整するという『動学的マネジメント』が最も有効である」という着想に至った。アンケート等の既存調査手法で得られる静的データではこのような反復ができず、ある時点で施策を決め打ちするしかないが、そのような静的データによるワンショットの手法はモデルの誤り、データの誤差、社会状況の変化などの外乱に対して脆弱である。動学的マネジメントにより、トライ & エラー的なアプローチでこれらの問題を大きく改善することが期待できる。

効果的な動学的マネジメント手法の構築には「動学的安定性」の積極的な確保が欠かせない。これは、利用者の反応を考慮しない場当たり的な動学的マネジメントは往々にして意図しない不安定な動学的挙動を生み、結果として望ましくない状況を招きかねないからである。よく知られた簡単な例として、「バスの本数を直近の需要に追従して決めると『本数を増やすと利便性が上がり、需要が増えて本数が増え続ける』か『本数を減らすと利便性が下がり需要も減りやがて廃止となる』かの両極端の結果を生む」、というものがある。一般的に後者は交通システム全体の性能低下を招くため、このような挙動は適切とは言えない。結果の予見性も欠けている。

研究代表者・分担者は、このような需要側の行動変化による交通システムの挙動について、不安定性の解析やオークションによる需要管理手法の提案など多くの研究を実施しており、動学的マネジメントの安定性問題の解析法や対応策に関する知見を蓄積してきた。ビッグデータ技術が成熟する「ポスト・ビッグデータ時代」の到来を考えれば、データの裏にあるシステムの挙動のメカニズムをこれらの成果を発展させて見直し、次世代交通システムのためのビッグデータを活用した動学的マネジメント手法を構築することが急務といえよう。

2. 研究の目的

本研究では、ビッグデータによる動的データを前提とした「動学的将来予測手法の構築」を行い、さらにそれを内包した「動学的マネジメント手法の構築」を行うことを目的とする。「動学的将来予測手法」は、ビッグデータによる動的データを用いた将来の交通状況の予測とその逐次更新による精度向上のための手法を意味する。「動学的マネジメント手法」は、動学的将来予測手法の結果を入力値とし、需要と供給を安定的にマネジメントする手法を意味する。

3. 研究の方法

動学的将来予測手法の構築においては、交通現象の動学的特性を考慮した動学モデルの構築が基軸となる。このモデルは、利用者が過去の経験や情報等を参考に将来の行動をどのように決めるかを記述することにより構築する。動学的マネジメント手法の構築においては、この動学モデルを基本とした、トライ & エラー的なアプローチによるマネジメント手法の構築が基軸となる。これらの構築において交通ビッグデータの活用方法を模索するために、現行の交通ビッグデータの特性の把握のほか、交通ビッグデータによる将来予測の可能性についての検討を行う。

以下の各節で「動学的将来予測手法」「動学的マネジメント手法」「交通ビッグデータ」についてそれぞれ説明する。なお、これらの相互関係の都合上「交通ビッグデータ」を一番目に説明する(これは4. 研究の成果についても同様である)。

(1) 交通ビッグデータモデルの構築

交通ビッグデータモデルは、どのような交通ビッグデータが使用可能かを記述するものである。本研究は交通ビッグデータそのものに関する研究ではない(実際、実データの直接的解析は当初より研究計画に含んではいない)。本研究ではまずは Extreme Life Logger という個人の行動を完全に記録できる仮想データ収集装置を想定する。あわせて、交通ビッグデータの特性の把握を、実社会で使用可能な各種交通ビッグデータの特性や動向を把握する。これらを考慮しつつデータモデルの作成を行う。このとき、交通ビッグデータによる将来予測の可能性の検討も行う。

(2) 動学的将来予測手法の構築

本研究では交通現象として主に道路交通をあつかっており、動学的将来予測手法は道路交通の特性に依存するものとなる。道路における交通流の数理的モデリングについては多くの知見が蓄積されており、本研究でもそれらの活用を基本とする。交通流の数理的モデリングにはいく

つかの方向性がある。本研究では、Vickrey^[1]により提案され、多くの既存研究で用いられているボトルネックモデルを基本とする。ボトルネックモデルは交通システムの性能にもっとも影響を与える容量制約を正確かつ数学的に比較的取り扱いやすい形で表現することが可能である。一方、このモデルは、特に道路密度の高い道路網において発生しやすい渋滞の先詰まり現象（上流側に延伸した待ち行列が、他の方向に移動する交通流を阻害する現象）を表現することはできない。このことは道路上の交通混雑の表現としては問題ではあるが、本研究では、数学的な取り扱いの簡便さを優先し、先詰まり現象については場合を限って考慮するのみとしている。一方、ボトルネックモデルによっても数理的な難解さがこの場合においては、より簡便なリンク旅行時間関数によるモデル（交通量と旅行時間の間に、単純な単調増加関係が成立するとするもの）も併用することがある。

利用者の将来行動の決定方法の記述においては、既存の進化ゲーム理論の知見を応用する。進化ゲーム理論は、ゲームにおいて多数かつ匿名のプレイヤーが相互作用するシステムにおけるプレイヤーの意思決定の調整過程の動学を記述するのに適しているとされる^[2]。進化ゲーム理論ではプレイヤーの意思決定は近視眼的（Myopic）になされると考える。ここで、近視眼的とは「将来予測をしない」という程度の意味で使われる。すなわち、将来の交通システムの状態やプレイヤーの行動に関する予測を行うことなく、現在の状況のみに基づいて各プレイヤーが自身の行動を決定するという意味である。本研究ではプレイヤーを交通システムの利用者とし、進化ゲーム理論の既存の理論を援用し、必要に応じて拡張を行う。

本研究は主にドライバーが意思決定者となる道路交通を考えているが、道路交通においては、旅客輸送だけでなく物流を担う貨物輸送も実務的には重要な地位を占めている。物流は研究対象としては非常に大きくそれ全体を扱うことは本研究の目的にはそぐわない。しかし、特に、災害時に被災者へ必要な物資を輸送する物流を扱う Humanitarian Logistics (HL) の分野において、本研究が対象とする動学的マネジメントに関する問題が実務的に重要となる局面があることを発見した。このため HL に関するモデルの構築も Logistics の既存研究をベースとして行なっている。

(3) 動学的マネジメント手法の構築

動学的マネジメント手法はトライ & エラー的なアプローチにより構築する。これは、(2)で述べた利用者の将来行動の決定方法における「調整過程の動学」と同様に、交通システムを運営する側の運用方法の調整過程の動学とみなすことができる（もちろん、交通システム側は単に近視眼的に行動するとは限らない）。構築の際はいくつかの考慮すべき点がある。まず、交通システムを運営する側が交通システム（利用者行動を含む）に関してどのようなことを知りうるかということ（これについては、(1)のビッグデータモデルに関連する）が重要である。また、マネジメント手法としてどのようなものが使用可能であることを特定することも必要となる。本研究においては、これらについて(1)(2)の結果に基づき複数のものを提案し、それらを前提とした動学的マネジメント手法の提案を行なう。

4. 研究成果

(1) 交通ビッグデータモデルに関する研究成果

本研究の期間（2016～2019年度）においては、実社会における交通ビッグデータの利用可能性の進展が著しく、少なくとも量的な面における充実度が大きく向上した。特に進展が見られたのは移動体による観測（ラグランジュ型の観測）である。道路交通においては国土交通省によるETC2.0と呼ばれるシステムの機能の一部として収集される車両走行軌跡データ^[3]が、道路の交通状況を空間的にも時間的にも網羅的に把握することを可能にしつつある。人流においても、携帯電話のアプリが取得するGPS（Global Positioning System）による位置情報や、基地局との通信履歴に基づき基地局の設置密度に依存した空間精度で把握された位置情報をもとにした、一定のエリア内に滞在する人口の推定値の把握などがすでになされている（例えばモバイル空間統計など^[4]）。一方で、固定観測（オイラー型）の観測については、特に社会実装という面において目立った進展はなかった。以上より、交通ビッグデータモデルとしてはラグランジュ型の観測を主に想定するべきであることがわかった。

ラグランジュ型の観測で問題となるのはサンプル率である。サンプル率が低いことよりも、そもそもサンプル率が把握できないことが問題となる。このことは交通量のような量的な情報の直接的な把握が交通ビッグデータからは難しいことを示唆する。ただ、最近になって、サンプルが不明であっても、交通工学的手法により量的な情報の把握を可能とする方法論の提案が出てきている^[5,6]。観測可能な移動体の普及率の向上も期待できよう。

以上の結果をもとに、交通ビッグデータモデルとしては「旅行時間のようなサンプル率によらない情報のみを把握するモデル」と「断面交通量や経路交通量のような集計量を把握するモデル」の2つを提案した。これらのモデルは、Extreme Life Loggerにおいて、特にサンプル率が理想的な状況とかけ離れていることを想定したモデルであるといえる。

交通ビッグデータによる将来予測については、既存研究のレビューを含めその可能性について検討を行った。航空券の販売戦略で用いられるYield Management (YM)や、ウェブの検索による将来の交通需要予測^[7]が既存の方法論として見られた（YMは交通需要の予測というよりは、

予約行動の予測手法と見るべきものである)。これらの既存研究を考慮し検討をした結果、将来予測についてはあくまでも短期的なものについてのみ可能であって、長期的なものについての予測は、平均値的なもの(これは交通工学における伝統的な需要予測と質的には同一であり、動学的なマネジメントとはみなせない)を別にすれば不可能であると考えべきことがわかった。この検討をもとに、交通ビッグデータモデルにおいて、必要な場合にはごく短期的な将来予測が可能であると想定することは可能とするものの、長期的な予測については動学マネジメントの文脈では不可能であるとしている。

(2) 動学的将来予測手法に関する研究成果

動学的将来予測手法については、既存研究による知見を多く用いているものの、本研究においてもいくつか新しい成果を出している。それらのうち主要なものについてここで述べる。

動学的将来予測において基本となる手法は、動学が最終的に到達する状態を予測する手法である。この状態は一般に均衡状態と呼ばれる。交通工学においては均衡状態に関する研究成果は膨大な数のものが存在するが、この研究で主要な交通流のモデルとして採用しているボトルネックモデルを前提とした知見は実のところかなり限られている。そのうち特に重要な知見としては「均衡状態の一意性」がある。均衡状態が複数あれば、将来どの状態が実現するかは当然のことながらわからないため、この方法を予測手法として使うことが難しくなる。この一意性の数理的な証明を、交通ネットワークに一方方向性(unidirectional)と呼ばれる性質を導入することにより示すことに成功した^[8]。この研究では、一方方向性が成立しないときの一意性の不成立についても議論しており、均衡状態の手法が万能でないこともあわせて示している。

均衡状態の重要な性質としては、一意性のほかに安定性と呼ばれるものもある。これは利用者の意思決定の調整の動学が、常に交通システムを均衡状態に導く性質を示すものである。安定性がない場合は、均衡状態が一意であってもそれを将来予測として採用することはできない。これについては、交通システムの特性によって、安定性が成立する場合としない場合について数理的な解析を通じ明らかにすることを行った。

一方方向性を持つ交通ネットワークについては、既述した一意性に加えて安定性が成立することについても示した^[9]。この研究においては、利用者行動の調整過程については Better response とよばれる、人間行動の原理として一般性の高いものを採用している。これによりよりロバストな形で安定性の証明を示すことができています。

一方で、出発時刻選択問題と呼ばれるカテゴリーの問題において、Replicator Dynamics とよばれるよく知られた調整過程を前提とした上で、均衡状態が安定ではないことも数理的に示した^[10]。安定でないことは動学的将来予測において均衡状態を使えないという問題ももちろんあるが、それ以上に利用者側から見て交通システムの信頼性が大きく低下することも意味する。この問題については、特に(3)の動学的マネジメントにおいて直接の解決の対象ともしている。

(3) 動学的マネジメント手法に関する研究成果

(2)で述べたビッグデータモデルを前提とした動学的マネジメント手法を複数提案しその特性を解析した。ビッグデータモデルとしては集計量を把握できるものを基本としているが、それができない(平均旅行時間しかわからない)ことを前提としたものの検討も行なっている。マネジメント手法としては、数量マネジメント(容量調整)、価格マネジメント(混雑料金)、情報提供によるマネジメントについて検討を行なっている。

混雑料金による動学的マネジメントの提案の一つは、セカンドベスト(次善)プライシングにおいて、できるだけ少ない混雑料金の改訂によってより適正な混雑料金の価格を決定する方法論である^[11]。これまで、最適にせよ次善にせよ、適正な混雑料金の決定には、交通需要と交通ネットワークの性能を正しく把握して Bi-level 問題を定式化して解くワンショットの計画的アプローチと、混雑料金を頻回更新することによる探索的手法の2つが知られていた。後者は動学的マネジメントの一種である。しかし、料金の頻繁な改定は実務的には好ましいことではないし、システムの不安定性の原因にもなりうる。提案手法は、リンク交通量のみが把握可能という前提のもと、指定されたリンクにかかる混雑料金を少ない回数だけ改定することにより総走行時間をできるだけ減少させることを目指す。提案手法では、ある混雑料金下(0円でもよい)において観測リンク交通量を再現する任意の OD 交通量パターンを前提として Bi-level 問題を解けば、OD 交通量パターンを正確に解かなくても最適な混雑料金を得られる可能性があることを用いている。複数の混雑料金でリンク交通量が観測できればこの可能性はより高まるが、必ずしも頻回更新する必要はない。数値計算例では2回の更新により最適な混雑料金が多くの場合で得られることを示している。提案手法は、できるだけ実態に近い OD 交通量パターンを多数生成することによりその精度は高くなる。完璧に正確な OD 交通量が把握できれば当然ながら話は早いですが、そうでなくても、低いサンプル率や不安定なサンプル率による現況 OD であっても、それがあれば精度向上には有用である。多数パターン生成には大規模計算も重要である。実際、数値計算例では684万パターンの生成を行なっている。

もう一つの混雑料金による動学的マネジメントの提案は、できるだけ安い混雑料金による交通システムの安定性の確保である^[12]。(2)で言及したように、交通システムの将来予測として用

いられる均衡状態は、安定であることもあればそうでないこともある。安定でない場合は、利用者からみれば交通システムの信頼性が低いことを意味し、その社会的損失は決して無視できない。混雑料金によるマネジメントはこの解決に有用だが、混雑が激しいときにはそれを置換する高額な混雑料金が必要となり、どうしても社会的受容性が低くなる。提案手法は、均衡状態からの交通量のずれに対して混雑料金をかけようとするものである。これにより、交通システムの均衡状態は安定化し、かつ混雑料金は実質的に0になることを示した。この手法は均衡状態におけるリンク交通量（動的な交通流であれば経路交通量）が既知であることが前提だが、この前提は一般的には成り立たない。交通量の観測と混雑料金のアップデートを複数回繰り返すことにより、均衡状態が未知であっても提案手法による安定化が可能であることを、解析的手法と多数ケースによる数値計算の両方により示した。

数量マネジメントについては、信号交差点におけるスプリットの配分に関する動的なマネジメントを提案している。提案手法では、ノードに流入するリンク間で交通容量を移行できるという、現実の交通信号のシステムをデフォルメしたメカニズムを前提とし、各リンクで観測された交通混雑に応じて容量の融通を調整している。この手の制御では安定性の担保が重要であることが既存研究で研究されている^[13]。提案手法では、(a)各流入枝の総遅れ時間が等しくなる、(b)各流入枝の平均遅れ時間が等しくなる、ことを目指すように容量のアップデートの動学を設計している。(b)は(a)と比べて交通量が取得不能（あるいは推計不可能）でも実装可能であるが、ネットワーク全体の総遅れ時間を減らすにはおそらく不利である。約35万本のリンクと約28万パケットを持つ近畿圏の道路網を模した大規模ネットワークでのケーススタディにより、いずれの手法もネットワーク内の各リンクの総遅れ時間と総旅行時間の双方を現象させることに有効であり、かつ、(a)のほうがより減少幅が大きいことが示された。このことは、交通ビッグデータにおける交通量のような量的な情報の重要性を示す結果である。

情報提供によるマネジメントにおいては、特に情報伝播の遅延がもたらす悪影響について示している。まず、安定性が成立しない交通システムにおいて、その不安定性の度合い（どのくらい均衡状態から離れてしまうか）が、一般に情報伝播の遅延が大きければ大きい傾向があること、また、将来予測が可能であれば不安定性の度合いを下げられることを示した。一方、HLにおいては、情報伝播の遅延が激しいとき（発災後に頻繁に起こることである）にはフィードバックを伴わないシーケンス制御がむしろ有効であり、情報伝播の障害が解消されたいフィードバック制御に移行することが効率的であることを示した^[14]。以上の成果は、ビッグデータモデルにおける短期予想が有効な場合には、それを元にした安定化制御が一般に可能であることを示唆するものであると言える。

参考文献

- [1] Vickrey, W.S., Congestion theory and transport investment, *The American Economic Review*, **59**(2), 251–260, 1969.
- [2] Sandholm, W.H., *Population Games and Evolutionary Dynamics*, MIT Press, Cambridge, 2010.
- [3] Sakai, K., Koyama, Y., Yasuda, S., and Iryo, T., Investigations of electronic toll collection (ETC) 2.0 system for validation of map matching algorithm and analysis of spatial deviation in observed data, *ISTS and IWTDCS 2018*, Matsuyama, Japan, 2018, 6.
- [4] NTT Docomo, モバイル空間統計, <https://mobaku.jp>
- [5] 福嶋一矢, 安田昌平, 井料隆雅, プローブカーデータを用いた信号交差点のパラメータ推定, 土木計画学研究発表会・講演集, **60**, 2019.
- [6] Wong, W., Shen, S., Zhao, Y. and Liu, H. X., On the estimation of connected vehicle penetration rate based on single-source connected vehicle data, *Transportation Research Part B*, **126**, 169–191, 2019.
- [7] 石村怜美, 太田恒平, 富井規雄, 経路検索サービスの実績データに基づく近未来の突発的移動需要の検出, 土木計画学研究発表会・講演集, **47**, 2013.
- [8] Iryo, T. and Smith, M. J., On the uniqueness of equilibrated dynamic traffic flow patterns in unidirectional networks, *Transportation Research Part B*, **117**, p. 757–773, 2018.
- [9] Satsukawa K., Wada, K., and Iryo, T., Stochastic stability of dynamic user equilibrium in unidirectional networks: Weakly acyclic game approach, *Transportation Research Part B*, **125**, 229–247, 2019.
- [10] Iryo, T., Instability of departure time choice problem: a case with replicator dynamics. *Transportation Research Part B*, **126**, 353–364, 2019.
- [11] 中野総士, 井料隆雅, 原祐輔, 日下部貴彦, 少数のトライアンドエラーによる交通ネットワーク制御の最適化, 土木計画学研究発表会・講演集, **57**, 2018.
- [12] Iryo, T. and Smith, M. J., and Watling, D., Stabilisation strategy for unstable transport systems under general evolutionary dynamics, *Transportation Research Part B*, **132**, 136–151, 2020.
- [13] Smith, M. J., Liu, R., and Mounce, R., Traffic control and route choice: capacity maximisation and stability, *Transportation Research Part B*, **81**(3), 863–885, 2015.
- [14] Kawase, R., Urata, J., and Iryo, T., Optimal control strategy for relief supply considering information and demand uncertainty after a major disaster, *IFAC-PapersOnLine*, **52**(6), 31–38, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Iryo Takamasa, Smith Michael J., Watling David	4. 巻 132
2. 論文標題 Stabilisation strategy for unstable transport systems under general evolutionary dynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 136 ~ 151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trb.2019.05.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Satsukawa Koki, Wada Kentaro, Iryo Takamasa	4. 巻 125
2. 論文標題 Stochastic stability of dynamic user equilibrium in unidirectional networks: Weakly acyclic game approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 229 ~ 247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trb.2019.05.015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 酒井 高良・赤松 隆	4. 巻 75
2. 論文標題 首都圏高速道路網における渋滞パターンと Macroscopic Fundamental Diagram の安定性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集 D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wada Kentaro, Satsukawa Koki, Smith Mike, Akamatsu Takashi	4. 巻
2. 論文標題 Network throughput under dynamic user equilibrium: Queue spillback, paradox and traffic control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.04.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Pengfei, Wada Kentaro, Akamatsu Takashi, Nagae Takeshi	4. 巻 95
2. 論文標題 Trading mechanisms for bottleneck permits with multiple purchase opportunities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transportation Research Part C: Emerging Technologies	6. 最初と最後の頁 414 ~ 430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Osawa Minoru, Fu Haoran, Akamatsu Takashi	4. 巻 117
2. 論文標題 First-best dynamic assignment of commuters with endogenous heterogeneities in a corridor network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 811 ~ 831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.09.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Phathinan THAITHATKUL, Toru SEO, Takahiko KUSAKABE, Yasuo ASAKURA	4. 巻 37
2. 論文標題 Adoption of Dynamic Ridesharing System Under Influence of Information on Social Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transportation Research Procedia	6. 最初と最後の頁 401-408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐津川 功季、和田 健太郎	4. 巻 71
2. 論文標題 渋滞の空間分布に基づく道路ネットワークの交通性能の解析理論	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 生産研究	6. 最初と最後の頁 89 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11188/seisankenkyu.71.89	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Iryo, T.	4. 巻
2. 論文標題 Instability of Departure Time Choice Problem: A Case with Replicator Dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trb.2018.08.005.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Minoru Osawa, Haoran Fu, and Takashi Akamatsu	4. 巻 -
2. 論文標題 First-best dynamic assignment of commuters with endogenous heterogeneities in a corridor network	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.09.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takamasa Iryo and Mike Smith	4. 巻 -
2. 論文標題 On the Uniqueness of Equilibrated Dynamic Traffic Flow Patterns in Unidirectional Networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.09.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 福田和輝, 井料隆雅, 浦田淳司, 石原雅晃	4. 巻 73(5)
2. 論文標題 渋滞の延伸を考慮したマルコフ連鎖による動的利用者均衡配分	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木計画学研究・論文集	6. 最初と最後の頁 I_633-I_641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejpm.73.I_633	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Akamatsu and Kentaro Wada	4. 巻 Vol.79
2. 論文標題 Tradable Network Permits: A New Scheme for the Most Efficient Use of Network Capacity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transportation Research Part C	6. 最初と最後の頁 178-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trc.2017.03.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 王 鵬飛, 赤松 隆, 和田 健太郎, 杉田 正俊, 名古屋 利一, 鷲見 浩	4. 巻 Vol.2, No.5
2. 論文標題 長期間観測データを用いたMacroscopic Fundamental Diagram の特徴づけ: 仙台市および京都市におけるケース・スタディ	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 交通工学論文集	6. 最初と最後の頁 11-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14954/jste.2.5_11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 和田健太郎, 佐津川功季	4. 巻 Vol.73, No.1
2. 論文標題 動的配分理論による道路ネットワークの交通性能解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 56-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.73.56	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐津川功季, 和田健太郎	4. 巻 Vol.73, No.1
2. 論文標題 単一終点ネットワークにおける動的交通量配分問題のNash均衡解の解法について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 103-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.73.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 和田健太郎	4. 巻 Vol.55, No.4
2. 論文標題 交通ネットワーク流の安定性と制御	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 368-375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11499/sicejl.55.368	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Tianyang Han, Kentaro Wada and Takashi Oguchi
2. 発表標題 Large-scale traffic data imputation using matrix completion on graphs
3. 学会等名 The 22nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田健太郎
2. 発表標題 動的交通均衡配分理論の近年の進展
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawase, Riki., Urata, Jung., and Iryo, Takamasa
2. 発表標題 Optimal control strategy for relief supply considering information and demand uncertainty after a major disaster
3. 学会等名 Control of Transportation Systems - 1st WCTS 2019 (IFAC-PapersOnLine 52(6), pp.31-38) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Riki Kawase, Junji Urata, Takamasa Iryo
2. 発表標題 Performance Comparison of Post Disaster Humanitarian Logistics in the Aftermath of the Tohoku Disasters and the Kumamoto Earthquakes
3. 学会等名 The 10th conference of the international society for integrated disaster risk management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Riki Kawase, Junji Urata, Takamasa Iryo
2. 発表標題 Improving Post Disaster Humanitarian Logistics with Theoretical and Empirical Approaches
3. 学会等名 The 24th international conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawase, R., Urata, J., and Iryo, T.
2. 発表標題 Optimal inventory distribution strategy for relief supply considering information uncertainty after a major disaster
3. 学会等名 Informs annual meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Iryo, T.
2. 発表標題 Effect of information collection behaviour on stability of a simplified departure time choice problem
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河瀬理貴
2. 発表標題 災害復旧期における情報と需要の不確実性を考慮した最適在庫配送計画
3. 学会等名 第16回ITSシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河瀬理貴, 浦田淳司, 井料隆雅
2. 発表標題 災害復旧期における情報の非同期性を考慮した在庫配送計画モデルの提案
3. 学会等名 日本経営工学会2019春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河瀬理貴, 浦田淳司, 井料隆雅
2. 発表標題 災害復旧期における情報の不確実性を考慮した在庫配送計画モデルの提案
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中野総士, 井料隆雅, 原祐輔, 日下部貴彦
2. 発表標題 少数のトライアンドエラーによる交通ネットワーク制御の最適化
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Han Gui and Takashi Akamatsu
2. 発表標題 Improving the Efficiency of Shared Mobility Service Markets using New Congestion Management Scheme
3. 学会等名 ITS symposium
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河向 隆志・赤松 隆
2. 発表標題 出発時刻・経路同時選択を内生化した動的利用者均衡配分の効率的アルゴリズム
3. 学会等名 第16回 ITS シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takara Sakai and Takashi Akamatsu
2. 発表標題 Spatio-temporal Regularities of Traffic Congestion Patterns in the Metropolitan Expressway Network
3. 学会等名 The 5th CWRU-Tohoku Joint Workshop
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒井 高良・赤松 隆
2. 発表標題 首都圏高速道路網における渋滞パターンの時空間規則性
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haoran Fu, Takashi Akamatsu and Kentaro Wada
2. 発表標題 Dynamic Traffic Assignment in a Corridor Network: Optimum vs. Equilibrium
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三谷卓摩, PhathinanTHAITHATKUL, 日下部貴彦
2. 発表標題 アクティビティベースシミュレータMATSIMの東京都市圏への適用とその応用
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐津川功季, 和田健太郎, 大口敬
2. 発表標題 渋滞パターンの縮約に基づく一般構造ネットワークの交通性能近似手法の考察
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐津川功季, 和田健太郎, 井料隆雅
2. 発表標題 ゲーム理論的アプローチによる動的利用者均衡の確率的安定性の解析
3. 学会等名 第58回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井料隆雅
2. 発表標題 不安定な動的利用者均衡に対する安定化制御
3. 学会等名 第55回土木計画学研究発表会（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 秋本 克哉・赤松 隆
2. 発表標題 二次元空間 Fujita and Ogawa モデルの効率的解法
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年秋季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐津川功季, 森部伸一, 和田健太郎, 大口敬
2. 発表標題 首都圏高速道路ネットワークの効率的利用のためのランプ制御
3. 学会等名 第55回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Wada
2. 発表標題 Tradable network permits scheme and its implementation mechanisms
3. 学会等名 SoCal-Japan Joint Workshop: Advanced Traffic Management and Control in the Era of Connected and Autonomous Driving (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中田雄大, 和田健太郎, 大口敬
2. 発表標題 多目的最適化アプローチによる交通混雑と道路損傷を考慮した動的システム最適配分の分析
3. 学会等名 第15回ITSシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuki Fukuda., Takamasa Iryo, Junji Urata, and Masaaki Ishihara
2. 発表標題 Fluctuations of Queuing Congestions by a Markov-chain Based Day-to-day Dynamical Model
3. 学会等名 7th International Symposium on Transportation Network Reliability (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Smith, M.J., Bliemer, M., Bell, M.G.H., and Iryo, T.
2. 発表標題 Doubly Dynamic Traffic Routeing and Control Models with Information Transmission: Stability and Convergence using Lyapunov Methods, and Instability
3. 学会等名 hEART 2016 - 5th Symposium of the European Association for Research in Transportation (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Iryo, T.
2. 発表標題 Instability of Departure Time Choice Problem: A Case with Replicator Dynamics
3. 学会等名 The Sixth International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kentaro Wada and Kouki Satsukawa
2. 発表標題 A theoretical analysis of Macroscopic Fundamental Diagram based on dynamic user equilibrium
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Takahiko KUSAKABE and Yasuo ASAKURA	4. 発行年 2016年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 (73-92)
3. 書名 Combination of Smart Card Data with Person Trip Survey Data. In: Fumitaka Kurauchi, Jan-Dirk Schmoecker (eds.)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	和田 健太郎 (Wada Kentaro) (20706957)	筑波大学・システム情報系・准教授 (12102)	
研究分担者	日下部 貴彦 (Kusakabe Takahiko) (80604610)	東京大学・空間情報科学研究センター・講師 (12601)	
研究分担者	赤松 隆 (Akamatsu Takashi) (90262964)	東北大学・情報科学研究科・教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	原 祐輔 (Hara Yusuke) (50647683)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教 (12601)	削除：2018年7月4日 (海外研究機関に転出)
研究 協力者	 (Watling David)	リーズ大学・Institute for Transport Studies・Professor	
研究 協力者	 (Smith Mike)	ヨーク大学・Professor emeritus	