

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01448

研究課題名（和文）交通・物流システム効率化のための市場型マッチング・システムの設計・評価法構築

研究課題名（英文）Mechanism Design of Market-based Matching Systems for Improving the Efficiency of Transport and Logistics Systems

研究代表者

赤松 隆（Akamatsu, Takashi）

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：90262964

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、大都市の交通システムにおける混雑を解消する/運用効率を高めるマッチング・システムの導入を提案し、その市場メカニズムの設計法及びシステム評価法を開発した。より具体的には、(A)公共交通、(B)道路交通、(C)クラウド型物流システムに対して、まず、時空間を指定した交通サービスの利用権を取引できる市場の創設を提案し、交通サービス利用権を効率的に配分する市場メカニズム及び実装法（市場構造・取引ルール・計算法）を開発した。また、提案市場の有無に応じた各種状態（社会的最適・均衡状態）を表現するモデルの解析によって状態間の理論的關係を明らかにし、市場導入効果を定量的に評価する理論的枠組を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した市場メカニズムは、従来理論に基づくマッチング・メカニズム（e.g., VCGメカニズム）では扱うことができなかった大規模な交通システムにも適用可能である。また、(A)～(C)の異なる交通システムに対して、共通の理論的枠組を提供しており、scalabilityが要求される一般的（交通以外の）大規模市場の実装法としても広い範囲の応用・拡張が期待できる。また、本研究で開発したシステム評価法は、市場導入前の（渋滞が発生した）均衡状態が、市場導入後の（渋滞が解消した）社会的最適状態から計算可能であることを明らかにしており、動的交通配分理論の体系化・一般化にも大きく貢献する意義がある。

研究成果の概要（英文）：This study proposed the introduction of a novel matching system to reduce congestion/increase operational efficiency in metropolitan transport systems, and developed a market mechanism design and system evaluation methodology. More specifically, for (a) public transport, (b) road transport and (c) crowdsourced delivery systems, we first proposed the introduction of a market where the right to use mobility services differentiated by time and space can be traded, and developed a market mechanism and implementation method (market structure, trading rules and algorithms) to achieve efficient allocation of mobility services. By analyzing mathematical models expressing various states with/without the proposed market (e.g., social optimum and equilibrium), we clarified theoretical relationships between the states, and provided a theoretical framework to quantitatively evaluate the effects of the proposed market systems.

研究分野：交通計画・交通工学

キーワード：交通システム 物流システム 市場メカニズム マッチング オークション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

道路の渋滞や鉄道の混雑は、我国のみならず世界中の大都市で、今なお解決の待たれる問題である。この問題に対して、従来、混雑料金 (CP) 制に代表される交通需要管理 (TDM) 方策が提案されてきた。しかし、その基礎を与える CP 理論は、その現実的な有効性を阻む以下のような未解決課題を抱えている：(i) 効率的な資源配分を達成する最適料金 (または、公平性を担保する適切な料金スキーム) を設定するためには、料金設定者が個々の利用者の選好を把握する必要がある。しかし、その様な私的情報の把握は困難である；(ii) 従来の標準的理論は、静学的均衡モデルを前提としている。そのため、動的現象である渋滞状況に対処できない；(iii) 現実の道路では最善状態を達成できない様々な制約条件がある。その様な次善制約がある場合には、最適料金の計算法は確立していない (*i.e.*, 均衡制約付き最適化問題としての定式化はできて、大域的最適解が確実に得られるアルゴリズムは開発されていない)。

この様な CP 理論の限界を克服する新たな TDM 方策として、本研究課題代表者らは、道路交通に対する通行権取引 (TNP) システムを提唱してきた。これは、発展著しい情報通信技術 (ICT) の活用を前提とした市場メカニズムに基づく TDM 方策である。理論的には、TNP は CP 理論の課題 (i) と (ii) を解消し、効率的な資源配分を達成しうることが明らかにされている。

しかし、その TNP の理論においても、大規模な道路網での実装法や次善制約がある場合の適切な市場設計法 (*i.e.*, CP 理論の課題 (iii) に対応する問題) は、未だ解明されていない。また、従来研究における TNP の適用対象は道路交通や駐車場に限定されており、クラウド型物流 (Crowd-sourced Delivery (CSD)) や公共交通といった ICT 活用の進展が著しい (*i.e.*, 高次 MaaS によるサービス高度化が期待される) 交通システムを対象とした理論も確立していない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記の様な CP や TNP が抱える上記課題・限界を克服する TDM 方策として、以下の条件を満たす市場メカニズムのデザインおよびシステム評価の方法論を開発することである：(a) 交通サービス利用者の選好を (できる限り正確に) 反映した効率的 (*i.e.*, 社会的余剰を最大化する) 資源配分を達成できる、(b) 大規模な交通システムにも適用可能な (*i.e.*, scalability のある) 実装法を提供できる、(c) 適切に定義された部分的システムの最適化が全体システム最適化と整合的である、(d) 様々な交通システムの個別 / 特殊性に過度に依存せず、共通性・汎用性の高い枠組を与える。

より具体的には、大都市における (A) 公共交通、(B) 道路交通、(C) クラウド型物流 (CSD) システムに対して、まず、時間・空間を指定された交通サービスを利用/提供する権利 (*e.g.*, (A) では指定された列車を特定の OD ペア間で利用する権利、(B) では指定されたボトルネック道路区間を特定時刻に通過する権利、(C) では特定 OD ペア間の配送サービスを提供する (配送タスクを請け負う) 権利) を取引できる市場の創設を提案する。

その上で、システム (A) ~ (C) の各々に対して、1) 交通サービスの利用/提供権を効率的に配分 (*i.e.*, 与えられた施設容量・取引可能サービス等に関する制約下で、個々の交通サービス利用/供給者の選好情報を反映した社会的余剰を最大化) する市場取引ルール (*i.e.*, 取引サービスの価格と需給マッチングを決定するルール) およびその実装法 (*i.e.*, 現実的な大規模問題での効率的アルゴリズム) を明らかにする。また、2) 提案市場の有無に応じた各種状態 (*i.e.*, 最善/次善/市場なし均衡) を表現するモデルの解析によって状態間の理論的關係を明らかにし、市場導入効果を定量的に評価するための理論的枠組を提示する。

3. 研究の方法

本研究では、(A)~(C) の各交通システムに対して、まず、「基本モデル」に対する理論を（基本的枠組は(A)~(C)で共通の）以下の手順で構築する：*Step 1*. 市場メカニズム及びその実装法を開発；*Step 2*. 市場システム導入効果の評価法を構築。次に、状況設定をより一般化した「一般モデル」に対して、上記 *Steps 1 & 2* と同様の手順で理論を拡張した（以下、これを *Steps 3 & 4* と呼ぶ）。さらに、各システムに対して構築された基本理論を基に、対象を交通・物流の統合システムに拡張した場合について、上と同様の手順で理論を構築する。

上記の *Step 1* および *Step 3* は、より具体的には、以下の（*Steps 1 & 3* に共通な）手順に分解できる：a) 社会的最適状態モデル SO を構築；b) システム (A)~(C) の構造的特徴に応じた適切な「階層分解法」を検討し、マスター問題 MP と子問題 SP を導出；c) 問題 MP の効率的解法を開発；d) 大規模数値実験によってアルゴリズムの性能、及び、問題 MP の近似精度やメカニズム全体の効率を評価。また、*Step 2* および *Step 4* は、より具体的には、以下の（*Steps 2 & 4* に共通な）手順に分解できる：a) 市場導入後の（渋滞 / 待ち行列が解消した）社会的最適状態（問題 MP の解）の特性を理論的に解析；b) 市場導入前の（渋滞 / 待ち行列が発生する）均衡状態のモデルを構築；c) 数値実験及び理論的な考察によって社会的最適状態と均衡状態の間に成立する規則性を探索し、両者の理論的關係を解明。

4. 研究成果

(1) 公共交通(鉄道)システム (A) に対して、駅での待ち行列を解消するための TDM スキームを提案し、その評価基盤を開発した。具体的には、まず、待ち行列を解消するための市場型予約システムとして、課金方法の複雑さに違いがある2つの TDM スキーム（駅間別料金と乗車別料金）を提案した。そして、両者が達成する最適状態を表す数理モデルを基に、スキーム間の理論的關係を明らかにした。次に、スキーム導入前の記述的状态（時空間ネットワーク上の確率的利用者均衡配分として表現された駅での待ち行列人数と列車乗客数の均衡状態）及びスキーム導入後の規範的状态（待ち行列が解消されたリンク容量制約付きシステム最適配分）を表現する2種の動的交通量配分モデルを開発し、その数理的特性（均衡解の存在・一意性・大域的安定性、および両モデルの解の關係）を明らかにした。さらに、上記の均衡モデルおよび規範的モデルの両者に対して、超大規模ネットワークに適用可能かつ均衡解への収束が保証された数値解法を開発し、その計算効率性を数値実験によって実証した [学会発表：松村・大山・福田 (2022)；論文：Oyama, Hara, Akamatsu (2022), Akamatsu, Satsukawa, Oyama (2023), Zhang, Wada, Oguchi (2023)]。

(2-1) 道路交通(人流)システム (B) に対し、シェア型自動運転車 (SAV: Shared Autonomous Vehicle) の配車サービスが普及した社会において、交通渋滞を解消し配車サービスの需給マッチングを効率化する市場型交通システムを提案し、その実装メカニズムを開発した（研究目的の1) 及び、研究方法の *Step 1 & 3*）。

このシステムは、道路のボトルネック容量を SAV 事業者に分配する通行権 (TNP: Tradable Network Permit) を取引する TNP 市場及び SAV 事業者によるモビリティ・サービス (MS: Mobility Service) 供給と利用者需要をマッチングする MS 市場から構成される。

ここでは、提案システムの市場均衡状態において道路容量及びサービスが最適配分されることを明らかにし、その均衡状態を達成するための取引メカニズムを提案した。このメカニズムでは、提案システムを通行権市場及びサービス市場に分解し、それぞれの市場での日々の取引結果に基づき、day-to-day dynamics によってシステム全体を均衡状態へと収束させる。このメカニズムを数理モデルとして表現し、ポテンシャル・ゲーム理論を活用することによって、均

均衡解 (= 社会的最適配分) への収束が保証された 2 種類の実装スキーム (数量調整型メカニズムと価格調整型メカニズム) を開発した。数値実験により、現実的な規模の道路網において、提案メカニズムが数十回 (*i.e.*, 1 ヶ月) 程度の繰返し計算によって均衡に十分近い状態に収束することが示された [学会発表: 和田・渡邊・周・赤松 (2021), 周・和田 (2022), 武田・赤松・渡邊 (2022), 武田・赤松 (2022), 周・和田 (2023); 論文: 周・和田 (2024)]。

(2-2) 道路交通(人流)システム (B) に対して提案市場システム導入効果の評価法を構築する (研究目的の 2) 及び、研究方法の *Step 2 & 4* のために、通勤交通における出発時刻選択に関する動的交通量配分を対象として、提案システム導入前の (渋滞が発生している) 動的均衡 (DUE) 状態と導入後の動的システム最適 (DSO) 状態間の関係を理論的に明らかにした。

まず、異質な通勤者に対する単一ボトルネック出発時間選択均衡 (DUE-DTC) 問題を分析するための体系的なアプローチを提示した。このアプローチは、DUE-DTC が等価的に特殊な構造を持つ線形計画問題として表現されるという事実に基づいており、最適輸送の理論を分解技術と組み合わせることによって、DUE-DTC の解析解を得ることができる。提案アプローチを異質な通勤者に対する幾つかのタイプのモデルに適用することにより、(i) 従来研究で知られている均衡状態における “*sorting pattern*” が現れるための本質的条件は、スケジュール費用関数が「モンジュ性」を持つこと、(ii) モンジュ性を持つ DUE-DTC 問題は解析的に解くことができること、(iii) 提案するアプローチは 2 種類以上の異質性を持つより一般的な問題にも適用できること等が明らかにされた。

次に、単一ボトルネックでの理論をコリドー型ネットワークに拡張し、DSO 問題と DUE 問題を解くための解析的手法を開発した: (i) DSO 解を導出するために、ボトルネックに関する分解特性 (DSO 問題は複数の単一ボトルネック問題に分解できること) を明らかにし、分解された各問題に最適輸送の理論を適用して解析解を求め、DSO 状態を達成するための最適な混雑価格を導出した。(ii) DUE 解を導出するために、最適混雑価格が各ボトルネックにおける DUE 状態での待ち行列遅延に等しいという「待ち行列置換原理」が成立することを証明した。この原理により、DSO 解に基づく DUE の解析解を導出することができ、さらに、(iii) 様々な政策 (ランプ・メータリング、ランプ・プライシング及びその部分的実施等) の下での均衡解が解析的に得られること、及び、これらの均衡状態と DSO 状態での厚生レベルの関係を明らかにした [学会発表: Sakai, Akamatsu, Satsukawa (2023); 論文: Akamatsu, Wada, Iryo, Hayashi (2021), Fu, Akamatsu, Satsukawa, Wada (2022), Sakai, Akamatsu, Satsukawa (2023)]。

最後に、解析的理論の構築が困難な一般ネットワークにおけるシステム導入効果の評価法を構築するために、DUE 配分の効率的な数値解法を開発した。より具体的には、まず、経路選択に関する DUE 配分の解法を開発した。そのために、均衡条件がリンク・ノード変数のみを用いた線形相補性問題及びそれと等価な二次計画問題に帰着できることを明らかにした。そして、その等価最適化問題に対し、ラグランジュ座標系による時刻別分解を活用することによって、大規模問題でも適用可能なアルゴリズムを構築した。数値実験を通して、提案解法は既存研究における数値計算例を大幅に上回る規模の巨大ネットワークに対しても、従来解法の 100 ~ 1000 倍以上の計算効率を誇り、かつ、高精度な均衡解が計算できることが示された。次に、経路選択と出発時刻選択を同時に考慮した動的利用者均衡 (DUE-R&DTC) 配分の解法を開発した。そのために、RD-DUE と等価な最適化問題 (EOP) を構成できることを明らかにし、その EOP を階層的に分解することによって、均衡解へ収束するアルゴリズムを構築できることを理論的に証明した。数値実験により、大規模ネットワークにおいても提案解法が効率的かつ高精度に均衡解に収束することが示された [学会発表: 涌井・酒井・赤松 (2021, 2022), 涌井・長江・酒井・赤松 (2023); 論文: 涌井・酒井・赤松 (2023)]。

(3) CSD(物流)システム(C)に対して、配送タスクとドライバーの社会的最適マッチングを実現する新しい市場メカニズムを提案した。より具体的には、最適マッチングにおける 2 つの主要な課題、すなわち、1) 大規模な組合せ最適化問題、2) CSD ドライバーの観測不可能な異質な選好(私的情報)の捕捉、に対処するために、問題をグループレベルでのタスク分割(「流体モデル」によるマスター問題)と個人レベルでのタスクとドライバーのマッチング(「粒子モデル」によるサブ問題)に階層分解するアプローチを開発した。

各サブ問題は、truth-telling 性と効率性を持つオークションメカニズム(e.g., VCG メカニズム)によって解決されるように設計されており、これにより私的情報問題が解決される。サブ問題と「摂動効用理論」との理論的つながりを見出すことによって、サブ問題の最適値関数を解析的関数として表現することに成功し、これによりマスター問題を滑らかな凸最適化問題に還元することができた。数値実験により、提案アプローチが、最適解の精度を犠牲にすることなく大規模マッチング問題の計算コストを劇的に削減することが実証された[学会発表：武田・赤松(2021)；論文：渡邊・赤松(2021)，武田・赤松(2022)，Akamatsu, Oyama(2023)]。

(4) 現在の MS 提供システムは以下の 4 つの課題により、効率性が損なわれたシステムとなっている：課題 1) MS 車両によって渋滞が発生しうる。課題 2) 交通(人流)・物流分野が別々にサービスを展開している。課題 3) 最適マッチング問題は大规模整数計画問題であるため厳密解の計算は困難である。課題 4) テム管理者は最適マッチングの決定に必要な利用者の認知費用(i.e., 私的情報)を把握できない。

本研究では、(2)、(3) で開発した MS 及び CSD に対する基本理論を活用することにより、交通・物流統合(MS + CSD + TNP)システムに対して、これらの課題 1)~4) を同時に解決するメカニズムを開発した。まず、課題 1, 2 をシステムの枠組み上で解決する。具体的には、通行権(TNP)取引制度と、交通・物流を統合した MS プラットフォームを導入した MS システムを提案する。通行権取引制度は渋滞を確実に解消できる優れた TDM 施策であるため、この制度を導入した MS システムでは課題 1 が解決される。さらに、複数タイプの MS 提供車両と MS の利用者が存在する状況を想定し、それらを統括してマッチングする MS プラットフォームを導入する。このシステムでは、運ぶ対象が人であるか物であるかの違いを MS 利用者のタイプの違いとして表現することができ、交通・物流統合型システムを時空間・状態ネットワーク上で一般的に扱うことができ、課題 2 が解決される。このシステム上で課題 3, 4 を解決するためには、TNP と車両、車両と MS 利用者の 2 種類のマッチングを同時に最適化する大規模マッチング問題を解かなければならない。この問題の計算困難性を解決するために、本研究では、車両と利用者を複数の属性別集合へ分割し、最適マッチング問題を各集合への TNP 配分/MS 配分を決定する問題(i.e., 流体問題)と集合別に個別のマッチングを決定する問題(i.e., 粒子問題)へと階層分解した。この分解における下位の粒子問題は小規模な割当問題であり、VCG オークションで解くことにより、各主体の認知費用情報を入札額として観測でき、課題 4 が解決される。上位の流体問題の目的関数は、下位問題の最適値関数を用いて表現されるため、直接的な評価計算は困難である。しかし、(3)と同様、摂動効用理論・ランダム効用理論の活用によって下位問題の最適値関数を解析的関数として表現することができ、その結果、マスター問題は滑らかな凸計画問題に帰着可能であることを明らかにした。さらに、この凸計画問題を(2)の考え方を一般化した day-to-day dynamics で解くことにより、計算量が少ないメカニズムを構築し、課題 3 を解決した。数値実験の結果、提案アプローチが、最適解の精度を犠牲にすることなく大規模マッチングの計算コストを劇的に削減でき、優れた収束性能を持つことが示された[学会発表：武田・赤松(2023)；論文：Akamatsu, Oyama(投稿中)]。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 SAKAI Takara, AKAMATSU Takashi, SATSUKAWA Koki	4. 巻 77
2. 論文標題 スケジュールコストの異質性を考慮したタンデムボトルネック出発時刻選択問題	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)	6. 最初と最後の頁 330 ~ 345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.77.4_330	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 WATANABE Taiki, AKAMATSU Takashi	4. 巻 77
2. 論文標題 DECOMPOSITION STRATEGIES FOR SOLVING CROWDSOURCED-DELIVERY MATCHING PROBLEMS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)	6. 最初と最後の頁 83 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.77.2_83	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 Haoran Fu, Takashi Akamatsu, Koki Satsukawa, Kentaro Wada	4. 巻 2102
2. 論文標題 Dynamic Traffic Assignment in a Corridor Network: Optimum vs. Equilibrium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1899
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2102.01899	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 該当する
1. 著者名 Yuki Oyama, Yusuke Hara, Takashi Akamatsu	4. 巻 2009
2. 論文標題 Markovian Traffic Equilibrium Assignment based on Network Generalized Extreme Value Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 2033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2009.02033	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 Akamatsu Takashi, Wada Kentaro, Iryo Takamasa, Hayashi Shunsuke	4. 巻 148
2. 論文標題 A new look at departure time choice equilibrium models with heterogeneous users	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 152 ~ 182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trb.2021.04.003	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 Oyama Yuki, Hara Yusuke, Akamatsu Takashi	4. 巻 155
2. 論文標題 Markovian traffic equilibrium assignment based on network generalized extreme value model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 135 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trb.2021.10.013	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 Fu Haoran, Akamatsu Takashi, Satsukawa Koki, Wada Kentaro	4. 巻 161
2. 論文標題 Dynamic traffic assignment in a corridor network: Optimum versus equilibrium	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 218 ~ 246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trb.2022.04.007	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 TAKEDA Tsubasa, AKAMATSU Takashi	4. 巻 78
2. 論文標題 AN EFFICIENT MATCHING MECHANISM FOR LARGE-SCALE CROWDSOURCED DELIVERY SYSTEMS: A GENERALIZED MODEL WITH PRICE ELASTICITY OF SUPPLY AND DEMAND	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)	6. 最初と最後の頁 190 ~ 209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.78.4_190	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 松村健太, 大山雄己	4. 巻 57
2. 論文標題 決済方式の違いに着目した容量制約付きMaaSの効率性分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 666 ~ 673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11361/journalcpj.57.666	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 Takara Sakai, Koki Satsukawa, Takashi Akamatsu	4. 巻 2205
2. 論文標題 Non-existence of queues for system optimal departure patterns in tree networks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 6015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2205.06015	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 Takara Sakai, Takashi Akamatsu, Koki Satsukawa	4. 巻 2210
2. 論文標題 Queue replacement principle for corridor problems with heterogeneous commuters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 3357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2210.03357	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 WAKUI Masanao, SAKAI Takara, AKAMATSU Takashi	4. 巻 79
2. 論文標題 大規模ネットワークにおける動的利用者均衡配分の効率的解法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 ID:22-00301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-00301	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 SAKAI Takara, WAKUI Masanao, AKAMATSU Takashi	4. 巻 79
2. 論文標題 超大規模離散空間におけるFujita-Ogawaモデルの効率的解法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 ID:22-00341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-00341	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 Zhang Jiahua, Wada Kentaro, Oguchi Takashi	4. 巻 11
2. 論文標題 Morning commute in congested urban rail transit system: a macroscopic model for equilibrium distribution of passenger arrivals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Transportmetrica B: Transport Dynamics	6. 最初と最後の頁 1256 ~ 1280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21680566.2023.2195582	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 Yuki Oyama	4. 巻 2312
2. 論文標題 A Fluid-Particle Decomposition Approach to Matching Market Design for Crowdsourced Delivery Systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2312.01641	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 Takashi Akamatsu, Koki Satsukawa, and Yuki Oyama,	4. 巻 2304
2. 論文標題 Global Stability of Day-to-Day Dynamics for Schedule-based Markovian Transit Assignment with Boarding Queues	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 2194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2304.02194	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 周 毅愷, 和田 健太郎	4. 巻 21
2. 論文標題 シェア型自動運転時代のマーケット型交通渋滞マネジメント法	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 第21回ITSシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 3-A-07
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 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 該当する

1. 著者名 Takara Sakai, Takashi Akamatsu, Koki Satsukawa	4. 巻 58
2. 論文標題 A Paradox of Telecommuting and Staggered Work Hours in the Bottleneck Model	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Transportation Science	6. 最初と最後の頁 accepted
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 Takara Sakai, Takashi Akamatsu, Koki Satsukawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Queue Replacement Principle for Corridor Problems with Heterogeneous Commuters	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 accepted
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 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 酒井 高良・赤松 隆・佐津川 功季
2. 発表標題 スケジュールコストの異質性を考慮したタンデムボトルネック出発時刻選択問題
3. 学会等名 第63回土木計画学研究発表会・春大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井 高良・赤松 隆・佐津川 功季
2. 発表標題 利用者の異質性を考慮したコリドーネットワーク出発時刻選択問題
3. 学会等名 第35回ARSC研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 涌井 優尚・酒井 高良・赤松 隆
2. 発表標題 動的利用者均衡配分の効率的数値解法
3. 学会等名 第64回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場 静羽・井上 亮・酒井 高良・赤松 隆
2. 発表標題 テンソル分解を用いた首都圏高速道路網における交通渋滞の時空間特性の解析
3. 学会等名 第64回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田 健太郎・渡辺 大樹・周 毅愷・赤松 隆
2. 発表標題 シェア型自動運転車のための通行権取引制度の自律分散的なインプリメンテーション
3. 学会等名 第64回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 翼・赤松 隆
2. 発表標題 複数のサービスレベルを考慮したクラウドソース配送マッチングの効率的解法
3. 学会等名 第19回 ITSシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takara Sakai, Takashi Akamatsu, Koki Satsukawa
2. 発表標題 Departure time choice problems in a corridor network with heterogeneous value of schedule delay
3. 学会等名 The 25th HKSTS International Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 翼・赤松 隆
2. 発表標題 Ride-sharing システムにおける定常状態の安定性解析
3. 学会等名 第65回土木計画学研究発表会・春大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 涌井 優尚・酒井 高良・赤松 隆
2. 発表標題 大規模ネットワークにおける動的利用者均衡配分の効率的解法
3. 学会等名 第65回土木計画学研究発表会・春大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井 高良・赤松 隆・佐津川 功季
2. 発表標題 動的システム最適配分の大域的最適解：待ち行列は存在しうるか
3. 学会等名 第65回土木計画学研究発表会・春大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 涌井 優尚・酒井 高良・赤松 隆
2. 発表標題 超大規模離散空間における Fujita and Ogawa (1982) モデルの効率的解法
3. 学会等名 第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武田 翼・赤松 隆・渡邊 大樹
2. 発表標題 渋滞を解消するモビリティ・サービス市場のメカニズム・デザイン
3. 学会等名 第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松村 健太・大山 雄己・福田大輔
2. 発表標題 容量制約付きネットワークにおける経路予約型MaaSの課金方策の検討
3. 学会等名 第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 周毅愷, 和田健太郎
2. 発表標題 市場型混雑管理システム下における自動運転サービス車両の最適拠点配置
3. 学会等名 第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武田 翼・赤松 隆
2. 発表標題 交通・物流統合型モビリティ・サービスのメカニズム・デザイン
3. 学会等名 第67回土木計画学研究発表会・春大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 涌井 優尚・長江 剛志・酒井 高良・赤松 隆
2. 発表標題 経路・出発時刻同時選択型の動的均衡配分に対する収束的解法
3. 学会等名 第68回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 周 毅愷・和田 健太郎
2. 発表標題 シェア型自動運転時代のマーケット型交通渋滞マネジメント法
3. 学会等名 第21回ITSシンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takara Sakai, Takashi Akamatsu and Koki Satsukawa
2. 発表標題 Queue replacement principle for corridor problems with heterogeneous commuters
3. 学会等名 9th International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takara Sakai, Takashi Akamatsu and Koki Satsukawa
2. 発表標題 Welfare impacts of remote and flexible working policies in the bottleneck model
3. 学会等名 11th Symposium of the European Association for Research in Transportation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koki Satsukawa, Kentaro Wada and Takamasa Iryo
2. 発表標題 Stability analysis of a departure time choice problem with atomic vehicle models
3. 学会等名 The 25th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔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)	

6. 研究組織（つづき）

	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	大山 雄己 (Oyama yuki) (20868343)	芝浦工業大学・工学部・准教授 (32619)	
研究分担者	佐津川 功季 (Satsukawa Koki) (40867347)	金沢大学・融合科学系・講師 (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関