

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13948

研究課題名(和文)多世代共創社会を支えるシェアリング配送システムの構築

研究課題名(英文)Building a sharing delivery system to support a multi-generational co-creation society

研究代表者

新井 崇俊 (ARAI, Takatoshi)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：10726574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：地域の小売店等の減少により、過疎地域のみならず都市部においても、住民が食品の購入や飲食に際し日常的に不便を感じる食品アクセス問題が社会問題となっている。この問題は、外出が困難な状況下においてより顕在化される。このような状況下で、デリバリ・プロバイダによる買い物代行サービスは、需要者にも供給者にもメリットが大きいと注目されている。本研究では、水平タスクシェア型配送システムに着目することで、顧客(需要者)からの要求数に関わらず発注・受注の紐づきを無視しながら、買い物代行サービスを集荷・配送タスクに部分問題化できるというアイデアに基づく近似解法を構築しその有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

構築した水平タスクシェア型配送モデルの有効性を検証するとともに、要求数やエージェント数の変化に対する移動コストの変化、水平タスクシェアという観点から望ましい目的関数値間の関係を明らかにし、要求一つに対し複数の集荷地点があるという状況においても、高効率なサービスが提供できることを示した。また、タスクシェアを前提とした集配送計画問題の発展的な問題、例えば、乗り換えや積み替えを許した、乗り合いタクシー問題、貨客混載を前提とした集配送計画問題等は、近年注目される新たな問題であるが、本研究は、このような研究課題にも接続できる。

研究成果の概要(英文)：Shopping and delivery problem (SDP) is to define a set of routes that satisfy shopping requirements between multiple pickup points (i.e. shops) and delivery points (i.e. customers). In this paper, we focus on a variant of SDP where agents can share the task of shopping and delivery, and conduct an empirical study on the usefulness of "transshipment points" in SDP. Solving this variant of SDP involves new modeling and algorithmic difficulties. Based on the idea that the SDP can be split into a shopping and a delivery task by going through a temporary depot (TD) where agents can transship items, we propose a heuristic to solve these problems while optimizing the location of the TD. We incorporated these heuristics into Tabu Search, and evaluated them on generated and real-life instances. The results validated the effectiveness of our method and revealed fundamental properties (e.g. trends of spatial distribution of TDs and trade-offs between objective functions) of SDPT

研究分野：都市解析

キーワード：集配送計画問題 買い物代行サービス 食品アクセス問題 積み替え タブーサーチ

1. 研究開始当初の背景

地域の小売店や総合スーパー、飲食店等(以下、店舗)の減少により、過疎地域のみならず都市部においても、住民が食料品の購入や飲食に際し日常的に不便を感じる食料品アクセス問題が社会問題となっている。この問題は、食生活を通じた健康問題としての側面があるとともに、地域社会における生活基盤のあり方が問われる問題であり、施設配置問題、配送計画問題等の都市計画的な側面からも取り組むべき課題と言える。

最近では、オンラインのデリバリ・プロバイダによって店舗から直接顧客にアイテムを届けるサービスが提供されている。当該サービスの特徴は、一つの物流拠点にアイテムを集約することなく、配送員であるエージェントが店舗からアイテムを受け取り、各顧客に直接届けるシステム(以下、 $N \times M$ 型配送システム)にあり、このサービスは消費者に代わって買い物を行うサービスと言える。このような買い物代行サービスにおける $N \times M$ 型配送システムは、消費者にとっては外出が困難な状況下においても地域の様々なアイテムを購入することができる、また店舗にとっては広範囲の商圈を獲得することできるため注目を集めているが、先行研究が少なく、効率的な配送システムを導く十分な知見が得られていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、一般的な集配送計画問題で考慮される「集荷地点(店舗)と配送地点(顧客)は同一のエージェントによって訪問される」という制約を緩和し、任意の要求に対し、複数のエージェントが分担してアイテムを集荷し、その後、任意の地点に配置可能なアイテムの積み替えを行う仮設拠点(Temporary depot: TD)に立ち寄りアイテムを積み替え、各顧客へアイテムを配送するという水平タスクシェア型買い物代行巡回回路問題(Shopping and delivery problem with transshipment: SDPT)について考え、この水平タスクシェアの有効性を検証するとともに、要求数やエージェント数の変化に対する移動コストの変化、水平タスクシェアという観点から望ましい目的関数を設定し、その目的関数値間の関係を明らかにすることである。

また、SDPTにおいては、目的関数に応じた最適な巡回路を求めると同時に、最適なTD配置を求めることが肝要となるが、運搬経路問題がNP-hardであることから、SDPTについても効率的な近似アルゴリズムが必要となり、解の導出は容易ではない。本研究のもう一つの目的は、この近似解法を提案するとともに、大局的な概算の一助となるTD最適配置の空間的な分布傾向を明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) 既存モデルとの比較を通じた提案モデルの検証

いくつかの例題を設定して数値実験を行った。実験はMitrovic-Minic and Laporte¹⁾(以下、MML(2006))、Masson et al.²⁾(以下、MLP(2011))で採用されたUniform, Random(6×6), Border(20×20)と呼ばれる3つのノード分布を用いて行った(図1)。既存モデルとの比較検証では、実験の前提条件を整理した上で、SDPTとTDを経由しない代表的な解法であるクラスタ先/ルート後法に基づく手法、アイテムの積み替えを考慮した既存手法であるMML(2006)の手法、MLP(2011)の手法の移動コストを比較することで提案するSDPTの有効性を検証した。

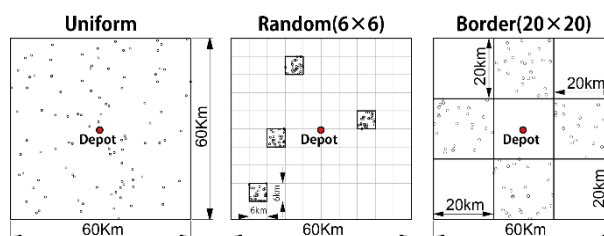


図1. 実験のノード分布. 左から Uniform, Random, Border

既存手法であるMML(2006)の手法、MLP(2011)の手法の移動コストを比較することで提案するSDPTの有効性を検証した。

(2) 訪問先のノード数を固定した分析

要求に紐づくアイテムの集荷地点が複数あることはSDPTの特徴の一つである。この特徴が移動コストに与える影響を把握するために、前節と同一のノード分布を用い、総ノード数を240に固定した要求数1: R1(120_120), 2: R2(80_160), 3: R3(60_180)クラスに対する移動コストの変化を考察した。また、実験から導出されるTD最適配置の空間的な分布傾向について分析を行った。加えて、提案した3つの問題型における各目的関数値の関係について考察した。

(3) 実空間データを用いた分析

東京都あきる野市における店舗、顧客の分布及び道路ネットワークを用いたいくつかの例題を設定し、ネットワーク空間におけるSDPTの求解例を示すと同時に、エージェント数と移動コストの関係について考察した。また、ネットワーク空間におけるTD最適配置の空間的な分布傾向を分析した。

4. 研究成果

本研究では、食料品アクセス問題に対し集配送計画問題からアプローチを試み、供給者にも需要者にもメリットがある水平タスクシェア型集配送計画問題(SDPT)のモデル化とその近似解

表 1. 既存モデルとの比較

Node Distribution	Class	MML(2006) v.s. CFRS			MLP(2011) v.s. CFRS			SDPT v.s. CFRS		
		minsum	minmax	minsummax	minsum	minmax	minsummax	minsum	minmax	minsummax
Uniform	40_40	18.35%	29.58%	21.51%	17.70%	27.65%	19.91%	19.38%	33.56%	23.63%
	40_80	27.99%	35.47%	27.61%	27.71%	34.07%	26.88%	29.18%	39.49%	30.15%
	40_120	31.37%	36.83%	29.52%	31.55%	36.37%	29.11%	32.66%	41.18%	31.90%
	100_100	25.60%	32.12%	23.78%	25.54%	30.85%	23.32%	26.82%	36.67%	26.46%
	100_200	32.72%	37.60%	30.01%	33.06%	37.67%	30.26%	34.10%	42.79%	32.14%
Random(6×6)	40_40	22.34%	22.56%	10.61%	23.27%	20.32%	12.09%	23.47%	29.19%	16.59%
	40_80	29.93%	26.82%	16.05%	30.95%	25.54%	17.00%	31.06%	32.77%	21.48%
	40_120	31.70%	28.46%	18.44%	32.90%	27.18%	19.62%	33.04%	34.24%	23.70%
	100_100	28.58%	25.89%	15.99%	29.94%	24.64%	17.25%	30.08%	31.86%	21.18%
	100_200	31.32%	28.62%	19.66%	32.79%	28.04%	21.07%	32.97%	34.31%	24.36%
Border(20×20)	40_40	22.61%	28.59%	25.60%	22.74%	28.70%	25.83%	23.54%	30.89%	26.54%
	40_80	30.50%	34.17%	31.45%	30.84%	34.66%	31.80%	31.51%	36.10%	32.08%
	40_120	34.29%	37.43%	34.93%	35.00%	37.76%	35.96%	35.72%	39.44%	35.83%
	100_100	28.48%	31.45%	29.65%	29.26%	32.24%	30.50%	30.07%	33.81%	29.83%
	100_200	33.01%	35.26%	33.57%	34.07%	36.44%	34.94%	34.86%	37.72%	34.51%
100_300	36.05%	38.29%	36.63%	37.15%	39.36%	38.19%	37.88%	40.24%	37.40%	

法を示した。研究より得られた知見として以下が挙げられる。

(1) 既存モデルとの比較を通じた提案モデルの検証

アイテムの積み替えを行わない代表的なモデルであるクラスタ先/ルート後法との比較実験では、設定したいずれの問題型においても、移動コスト削減という観点からアイテムの積み替え効果が大きいことを確認し、アイテムの積み替えを陽に考慮した既存モデルとの比較では、提案手法である SDPT の優位性を検証した (表 1)。ただし、訪問先のノード数が多い場合、minsummax 型において、各エージェントに割り当てるノード数のバラつきを小さくするクラスタリング手法が必要であることがわかった。また、minisum 型においては、MML(2006)が示した通り、訪問先ノード数が増加するほど TD を経由する効果が大きくなるのは、要求数と同じクラスか、顧客数が同じ場合のみに言える傾向であること、具体的には、要求数と同じであるクラスの比較では、訪問先ノード数多いクラスが TD の経由効果は大きい、例えば、40_120 vs 100_100 の比較では、訪問先ノード数が多い 100_100 クラスが TD の経由効果は小さくなっていることがわかった。また、この傾向は、minmax 型、minsummax 型においても同様であった。このことは、配送元と配送先が一对一に対応した minsum 型の PDPT を扱った先行研究からはわからないことである。

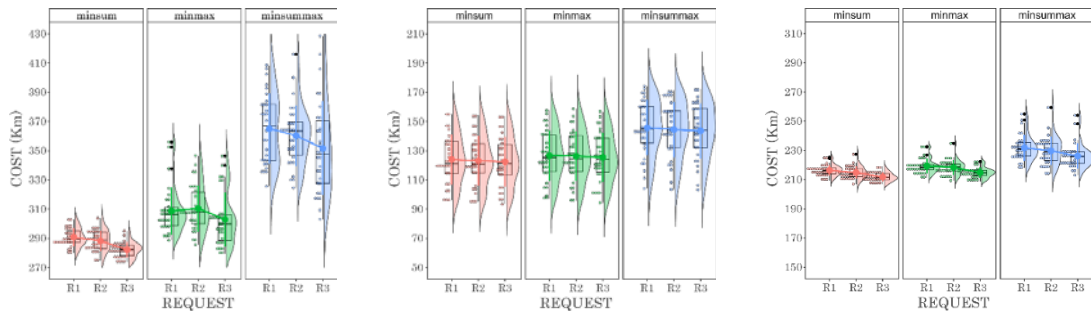


図 2. 要求数と各問題型のコスト。左から Uniform, Random (6×6), Border (20×20)。各 Boxplot 上の太丸は平均値、縦太線は平均値の 95%信頼区間を示している。

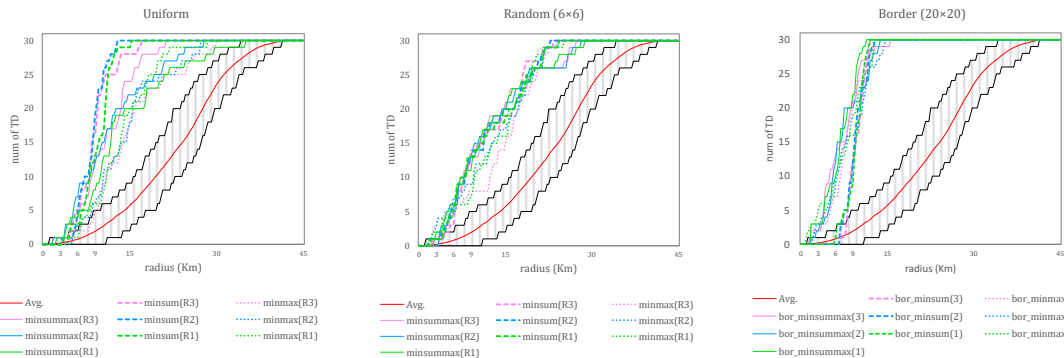


図 3. デポに対する TD の分布。左から Uniform, Random (6×6), Border (20×20)。棄却域は 10%の両側検定による。

(2) 訪問先のノード数を固定した分析

訪問先のノード数を固定しながら要求数を変化させた実験からは、大域的には、要求数の増加にともなって移動コストが減少するという傾向はあるものの（図 2）、迂回コストが要求数に関係なく一定であることから、単純な移動コストの見積もりは、要求数の増加に対する移動コストの減少を大きく見積もることがわかった。他方、総ノード数が一定の場合、移動コストは、クラスタ内巡回路長の概算値と迂回コストからある範囲の精度で見積もることができることがわかった。また、各ノード分布、問題型における TD 最適配置の空間的分布の凝集・分散傾向には類似性と差異性があることを示した（図 3）。

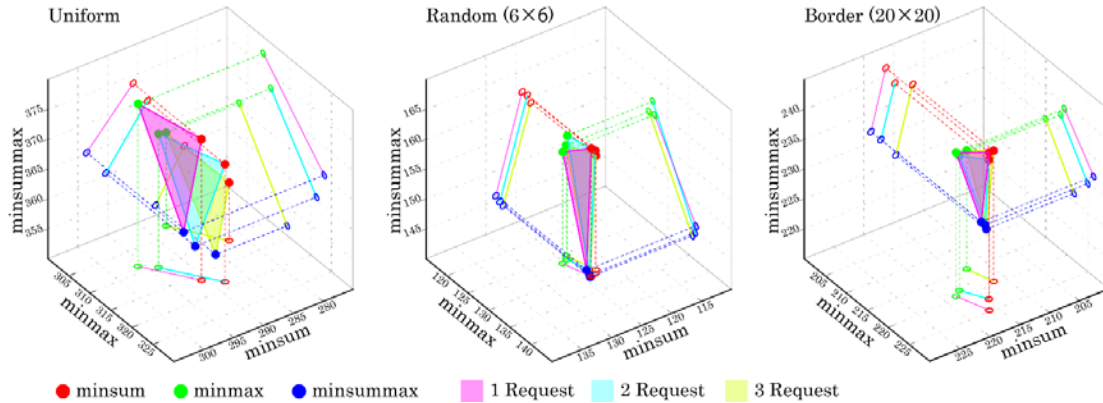


図 4. 要求数と各問題型における移動コストの関係. 赤丸（minsum 型）、緑丸（minmax 型）、青丸（minsummax 型）は各問題型における目的関数値とその問題型における他の 2 つの目的関数値の平均値を示す。左から Uniform, Random (6×6), Border (20×20)。

加えて、本研究で扱った 3 つの目的関数値においては、どの 2 つにもトレードオフ傾向があることを明らかにした（図 4）。従って、SDPT の意思決定者は、3 つの目的関数を並立させることの困難さを把握した上で、どの目的関数値を最小化すべきか決定する、或いは、多目的最適化のフレームを用い、希求水準に最も近いパレート解を選択することが重要となることがわかった。

(3) 実空間データを用いた分析

東京都あきる野市を対象とした実験では、ネットワーク空間において提案手法を実装し、エージェント数の変化に対する移動コストの変化を明らかにすることで、投入リソースが効率的に使用されている状況を定量的に評価し、提案手法が意思決定を支援できることを示した（図 5）。具体的には、いずれの問題型においてもエージェント数を 5 とした場合、エージェント数 2 の場合の移動コストの約 50% となり、それ以上エージェントを増加させても移動コストの減少が緩やかになることから、エージェント数を 6 以上に増加させる効果は小さいと言える。上記の関係は R1 と R2 でほぼ共通していた。提案した SDPT は、任意のネットワーク上の店舗及び顧客に対し、図 5 のようなパレートフロンティア形状を導くことができるため、投入リソースの決定に際して有用性が高いと言える。

TD を経由するメリットが大きくなるのは、多数のエージェントが同一の TD を経由する場合である。ネットワーク空間の場合、エージェントが通過できる経路はネットワーク上のエッジに

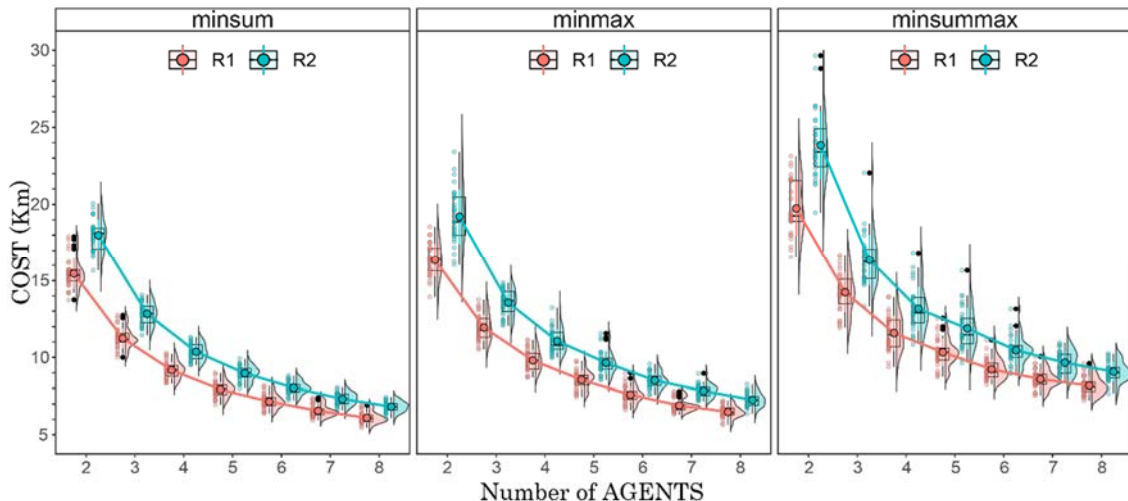


図 5. 要求数と各問題型のコスト. 左から Uniform, Random (6×6), Border (20×20). 各 Boxplot 上の丸は平均値、縦太線は平均値の 95% 信頼区間を示している

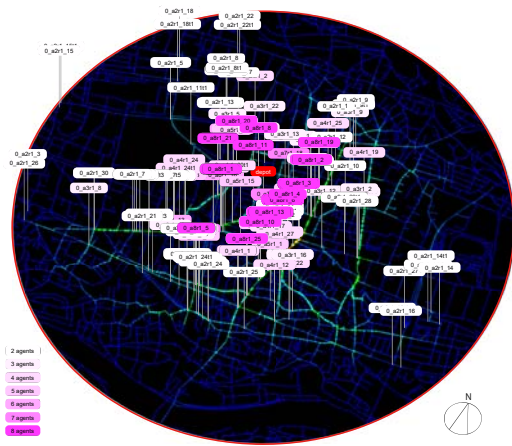


図 6. R1minsum 型における TD 最適配置 (40_40 クラス) と通過回数. 暖色のノード程通過回数が多く寒色ほど少ない. 限定されるため, TD 最適配置は, ノードが有するネットワークの特徴量と相関性があると考えられる (図 6. 7).

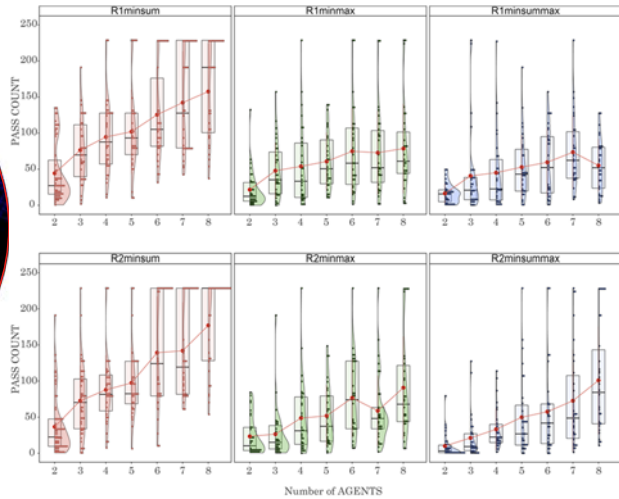


図 7. TD 最適配置の通過回数. 上段 : 要求数 1, 下段 : 要求数 2. 各図の縦軸は通過回数 (単位 : 千回), 横軸はエージェント数.

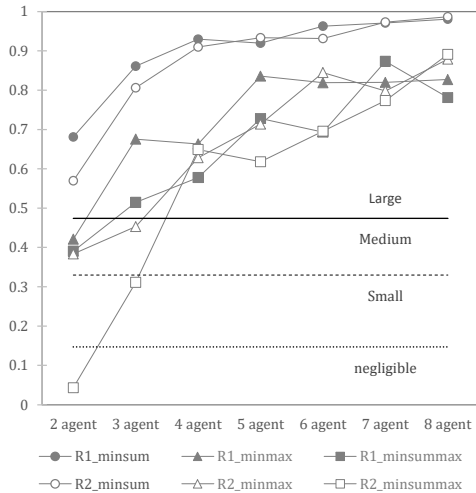


図 8. 効果量の比較.

やネットワーク空間における TD 最適配置の空間的分布傾向を把握したことは, TD 配置の目算を立てることのみならず, 高速化を目指して効果的に TD の探索範囲を限定するという, アルゴリズム改良の指針を与えると考えられる.

以上の知見は, 既存のデリバリ・プロバイダは応じていない, 要求一つに対し複数の集荷地点があるという状況においても, 高効率なサービスが提供できることを示すとともに, 買い物代行サービスにおける水平タスクシェア型配送システムの基礎的な性質や移動コストの概算手法を示す有用な知見と思われる. また, タスクシェアを前提とした集配送計画問題の発展的な問題として, いくつかの応用が考えられる. 例えば, 乗り換えや積み替えを許した, 乗り合いタクシー問題, 貨客混載を前提とした集配送計画問題等は, 近年注目される新たな問題であり, 本研究は, このような研究課題にも接続できると考えている.

[参考文献]

- 1) S. Mitrovic-Minic, G. Laporte (2006): The Pickup And Delivery Problem With Time Windows And Transshipment, Information Systems and Operational Research, Vol.44, No.3, pp.217-228.
- 2) R.Masson, F.Lehuédé, O.Péton (2011): An Adaptive Large Neighborhood Search for the Pickup and Delivery Problem with Transfers, Euro Conference for young OR researchers.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shota Tabata, Takatoshi Arai, Kentaro Honma & Kotaro Imai	4. 巻 -
2. 論文標題 Method for constructing cost-effective networks by mimicking human walking track superposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Architecture and Building Engineering	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） 10.1080/13467581.2022.2047056	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 Tran Thi To Uyen M.N, Arai Takatoshi, Honma Kentaro & Imai Kotaro	4. 巻 -
2. 論文標題 A Safety Level Evaluation Model Based on Network Analysis: Enhancing Accessibility & Evacuation Safety in Ho Chi Minh City's Alleyways	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Architecture and Building Engineering	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） 10.1080/13467581.2022.2050378	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 Shota Tabata, Takatoshi Arai, Kentaro Honma, Kotaro Imai	4. 巻 -
2. 論文標題 Method for Constructing Cost-Effective Networks by Mimicking Human Walking Track Superposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asian Architecture and Building Engineering	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） 10.1080/13467581.2022.2047056.	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 田端 祥太、新井 崇俊、本間 健太郎、今井 公太郎	4. 巻 55
2. 論文標題 ランダムドロネー網を用いた重み付きシュタイナー問題の発見的解法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 459 ~ 466
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11361/journalcpj.55.459	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 田端祥太, 新井崇俊, 本間健太郎, 今井 公太郎	4. 巻 A-2分冊
2. 論文標題 インフラ敷設費用の最小化問題の発見的解法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概	6. 最初と最後の頁 87
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4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 田端祥太
2. 発表標題 ランダムドロネー網を用いた重み付きシュタイナー問題の発見的解法 - 大型ドローン航空路網導入に伴う用地補償の最小化 -
3. 学会等名 都市計画学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田端祥太
2. 発表標題 インフラ敷設費用の最小化問題の発見的解法
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新井崇俊
2. 発表標題 来客者の移動手段を考慮した空き店舗の立地評価モデル
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田端祥太
2. 発表標題 Desire pathの発生メカニズムから着想したコストパフォーマンスの高いネットワークの構築手法
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------