

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04715

研究課題名（和文）空間的Waiting-Lineオークションモデルの開発と土木計画分野への応用

研究課題名（英文）Development of Spatial Waiting-Line Auction Model and Its Application to Infrastructure Planning

研究代表者

福本 潤也（Fukumoto, Junya）

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：30323447

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：消費者が財・サービスの配布地点で列に並び、早く並んだ順番に財・サービスを受け取るWaiting-Lineオークション・メカニズムに着目した。先行研究では捨象されていた空間要素を明示的に考慮した空間的WLオークション・モデルを取り上げ、均衡解を数値的に求解する方法を開発するとともに、情報提供戦略が消費者の選択行動と社会厚生に与える影響について分析した。開発したモデルを、容量制約を考慮した避難行動と技術提案をともなう建設入札行動にも適用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大規模災害の発生直後やコロナワクチンの接種開始直後にサービスを求めて待ち行列ができる。待ち行列の発生メカニズムをモデル化するとともに、消費者の出発時刻選択行動を数値的に計算する方法を開発した本研究の分析結果を適用することで、配布地点や配布数量の最適化、サービス提供者による情報提供のあり方などを分析することができる。また、航空券の早割チケットなどの価格メカニズムと組み合わせたレベニュー・マネジメント戦略などの分析も可能になる。

研究成果の概要（英文）：We focus on a waiting-line auction mechanism in which consumers queue up at the distribution point and receive them following FIFO principle. We developed a method to numerically solve the equilibrium and analyzed the effect of information provision strategies on consumers choice behavior and social welfare. The developed model is applied to evacuation behavior with facility capacity constraints and construction bidding behavior for tenders with technical proposals.

研究分野：土木計画学

キーワード：Waiting-Line オークション 待ち行列 出発時刻選択 情報提供 避難選択行動 建設入札

1. 研究開始当初の背景

災害時の給水やガソリン販売、繁忙期のレジャー施設における駐車場割当など、供給量の数量制約があり、かつ公平に分配する必要がある財・サービスの配分方法として早い者勝ちメカニズムが広く用いられている。そうした早い者勝ちメカニズムの中でも消費者が財やサービスの配布地点において列に並び、先に並んだ人から順番に財を受け取るメカニズムは Waiting-Line オークション (WL オークション) として定式化される。

消費者は早い時刻に並べば財・サービスを受け取れる確率が高くなるが、列に長い時間並ぶ必要がある。消費者はそうしたトレードオフを考慮して自身が列に並ぶ時間を決定するが、財・サービスを受け取れる確率が自身より早い時刻に並ぶ他の消費者の人数にも依存するため、消費者集団の相互依存関係も同時に考慮する必要がある。WL オークションの先行研究では、消費者の出発時刻選択と消費者間に働く相互作用に着目してきたが、現実には、消費者が空間上の異なる地点に立地したり、財・サービスが複数の地点で配布されるのが一般的であり、そうした空間要素の影響も無視すべきではない。先行研究で捨象されてきた空間要素を取り入れた空間的 WL オークション・モデルを開発することで、消費者の待ち時間損失の最小化や財・サービスの配分効率性の改善に資する配布地点・配布数量の決定ルールを求めたり、消費者に対する効率的な情報提供政策のあり方について分析することが可能になる。より効率的な早い者勝ちメカニズムの検討に加えて、数量限定の航空券の早割チケット販売やカーシェアリングの予約といった価格メカニズムと組み合わせた供給者のレベニュー・マネジメント戦略などに適用することも可能になる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、空間要素を取り入れた空間的 WL オークション・モデルを開発することである。空間的 WL オークション・モデルの均衡解の数値解法を開発し、土木計画学分野における応用事例に適用する。

3. 研究の方法

離散的な消費者を全員区別した上で時空間上の選択行動を混合戦略として表現すると、空間的 WL オークション・モデルの均衡問題は非線形相補性問題として定式化される。しかしながら、消費者タイプ・時間・空間という三つの軸で区別した変数を定義する必要があり、消費者の立地地点が複数存在する場合には財の受取確率の定式化が複雑化するばかりか、問題の規模が大きくなると組み合わせ爆発が生じて求解自体が困難になる。本研究では混合戦略均衡を近似的に求解するアルゴリズムを最初に開発する。二項分布として表現される財の受取確率の正規近似や消費者の選択行動の逐次近似を用いて計算可能な手法を確立する。消費者が 1 箇所に立地して財が複数地点で配布される One-to-Many モデルと消費者が複数地点に立地して財は 1 箇所で配布される Many-to-One モデルの数値解法を開発し、それを拡張して消費者の立地地点と財の配布箇所がそれぞれ複数地点ある Many-to-Many モデルの数値解法を開発する。財・サービス供給者による情報提供戦略が消費者の選択行動と社会厚生に与える影響を分析するため、列に並ぶ人数や財の配布個数を観測可能な場合における消費者の学習過程を取り入れたモデルも開発する。

開発したモデルの有用性を示すため、応用事例として 1) 災害時の最適避難施設配置問題 (Many-to-Many 問題) と 2) 技術提案を取り入れた建設入札方式の設計問題 (Many-to-One 問題) を取り上げる。前者では、台風などの避難予定時刻をあらかじめ予測できる避難行動について、避難施設の容量が制約されている場合における施設利用者の選択行動をモデル化する。その上で、避難施設の容量、建設地点、避難計画 (各避難者に対する避難時刻や避難施設の指示) が避難者の避難行動を通じて避難リスクと社会厚生に与える影響について分析する。後者では、建設入札の参加者が事前に投資活動を行って技術提案を行う入札方式を取り上げる。技術提案を伴う建設入札方式 (具体的には総合評価型入札方式と技術提案交渉方式) の導入が建設工事の技術水準・費用効率性・社会厚生に与える影響について分析する。

4. 研究成果

(1) 均衡戦略の求法の開発

消費者が異質である不完備情報下における空間的 WL オークション・モデルについて、One-to-Many, Many-to-One, Many-to-Many のそれぞれについてベイジアン・ナッシュ均衡を数値的に求解するアルゴリズムを提案して実装した。均衡条件を非線形相補性問題もしくは変分不等式問題として記述し、メリット関数を加速勾配法を用いて最小化する手法を実装した。数値実験を行ったところ、消費者の相互作用と混合戦略の特性により収束性能がよくなかったことから、問題が複雑になる Many-to-Many のケースについては、以下の2つの工夫を加えた近似手法を提案して実装した：1) 複数の二項分布の畳み込みにより表現される財の割当確率を正規分布の畳み込みで近似する、2) 均衡状態をメリット関数の最適化ではなくロジット・ダイナミクスまたは Smith ダイナミクスで求解する。数値実験の結果、大規模な問題でも実用可能な計算時間で均衡状態を求められることを確認した。

(2) 情報提供戦略の分析

消費者が待ち行列の長さ(財の残り配布個数)をリアルタイムで観測可能な場合に、観測情報から他の消費者の財・サービスに対する価値評価を学習して自身の選択行動を随時調整する学習過程を組み入れた空間的 WL オークション・モデルを開発した。モデル分析の結果から、1) 配布地点が複数ある場合に配布個数に偏りがあると財配分の効率性が低下すること、2) 各消費者が他の消費者が財の価値を高く評価していると予想している場合には財の供給者が財の残り配布可能個数の情報を提供するとパニックバイ的な行動が通じて消費者が列に集中して社会厚生が低下すること、3) 逆に財の価値を低く評価していると予想している場合には情報提供が総待ち時間の減少を通じて社会厚生を改善することを明らかにした。

財の供給者が配布可能数量(財の初期配布個数)に関する情報を提供するケースについても同様の分析を行い、分析結果として、消費者が財の配布可能数量について抱く予想の分散が大きいほど、待ち行列の長さと一緒に情報提供を行うと待ち行列の延伸を抑えることが可能であり、結果として社会厚生を改善につながることを明らかにした。

(3) 避難施設の容量制約がある場合の避難行動の分析

台風のような危険事象の発生時刻を事前にある程度予想可能な災害を想定し、避難開始時刻選択問題を Many-to-Many の空間的 WL オークション・モデルとして定式化した。財・サービスに対する評価の異質性を避難者の災害リスク認知の異質性と読み替えた上で、避難施設の空間配置と容量制約が災害避難行動に与える影響について分析した。分析結果として、小数の大規模避難施設を設置する場合よりも(総容量が等しい)複数の小規模避難施設を分散設置した方が、避難開始時刻は全体的に遅くなるものの、より多くの住民が避難行動をとるようになるため、地域全体の被災者数などを低下させることが可能になる。しかしながら、一部の避難施設に避難者が集中しやすく避難施設容量が効率的に利用されなくなる可能性があることを明らかにした。

上記の問題に対処するための方策として事前の避難計画策定の効果についても分析した。分析結果として、避難計画の周知が徹底している場合には避難施設容量が最大限に活用される一方で避難開始時刻が全体的に早くなるため、地域全体の災害リスクは小さくなるものの避難者がより長い時間施設に滞在することになり、社会厚生が逆に低下しやすいことを明らかにした。

(4) 技術開発をとまなう建設入札方式の比較分析

入札参加者が技術提案と価格提案を行い、発注者が2種類の提案を総合的に評価して落札者を決定する建設入札方式について空間的 WL オークション・モデルを用いて分析した。入札者は技術提案を行うための費用を負担するが落札できなかった場合には費用を回収できないため、技術提案のための事前投資水準を WL オークション・モデルにおける待ち時間と読み替え、事前投資と建設施工工事の費用異質性を同モデルにおける財・サービスに対する価値の異質性と読み替えた。実務で用いられている総合評価落札方式と技術提案交渉方式という2つの技術提案型入札方式を取り上げ、2種類の異質性が相関している場合と独立している場合のそれぞれについて、入札者の均衡入札戦略と社会的効率性について分析した。

分析結果として、技術提案のための事前投資と受注後に発生する建設施工の費用効率性が独立している場合には技術提案交渉方式がより質の高い建設工事を実現して社会厚生を高める一方で、相関している場合には総合評価型入札方式がより質の高い建設工事と社会厚生を実現することを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Equilibrium evacuation behavior analysis with the facility capacity constraints
3. 学会等名 27th Pacific Regional Science of the Regional Science Association International (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Equilibrium evacuation model with the facility capacity constrains
3. 学会等名 69th North America Meetings of the Regional Science Association International (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chihiro Sakayori
2. 発表標題 Development of Spatial Waiting-Line Auction Model
3. 学会等名 Pacific Regional Science Conference Organization Summer Institute 17th (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒寄千展
2. 発表標題 空間的 WL オークションモデルの開発
3. 学会等名 日本地域学会 第58回(2021年) 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒寄千展, 福本潤也
2. 発表標題 空間的Waiting-Lineオークションモデルの数値解析
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
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
---------	---------