

出発時刻選択を考慮した最適エリア課金混雑税のためのシミュレーションベース最適化

都市システム科学研究室
金沢大学 理工学域 地球社会基盤学類

金沢大学 勝野 貴仁

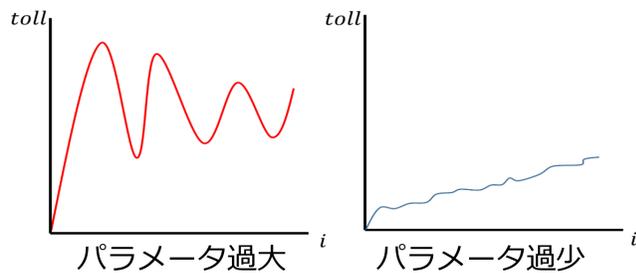
1. 研究背景と目的

交通渋滞は世界中で発生している交通問題の一つであり、日本における一人当たりの年間渋滞損失時間は40時間にも上り、経済損失額は約12兆円に及びます。交通渋滞対策として交通需要マネジメント(TDM)が存在しています。TDMの一つとして混雑税があり、これは対象の道路に追加で課税するという政策でほかの道路や時間帯に需要を変化させることで交通需要のピーク時からオフピーク時への転換を促し需要の集中を防ぐものとします。

本研究では混雑税を導入した際に発生する利用者の出発時刻選択も考慮したうえで交通渋滞を緩和する最適課金額導出を行います。

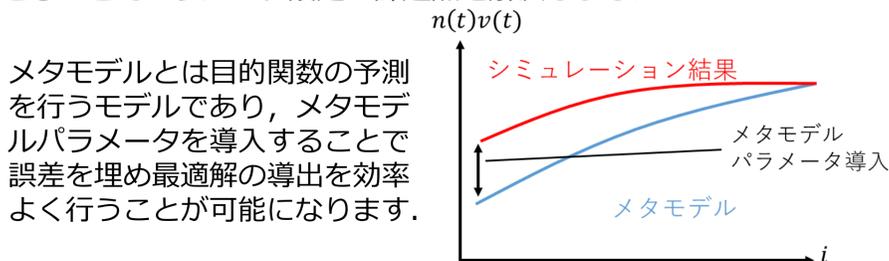
2. モデルの設定

交通シミュレーションソフト(Aimsun)を用いて仮定のCBDが存在する単一中心都市を作成しシミュレーションを行います。Gu et al.(2018)¹⁾ではシミュレーションベースでの課金額の最適化を行っており、導出は可能だがパラメータ設定に難があり計算コストが大きいという結果でした。

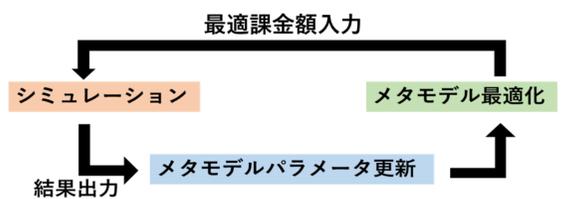


パラメータが課題の場合変化率が大きく収束に時間を要し、過少の場合は変化率が小さく同様に収束に時間を要するという課題点が存在していました。

ここで本研究ではDantsuji et al.(2022)²⁾のメタモデル最適化の手法を用いて計算効率の上昇を図りました。メタモデル最適化の手法をとることでパラメータ設定の課題点を解決しました。



メタモデルとは目的関数の予測を行うモデルであり、メタモデルパラメータを導入することで誤差を埋め最適解の導出を効率よく行うことが可能になります。



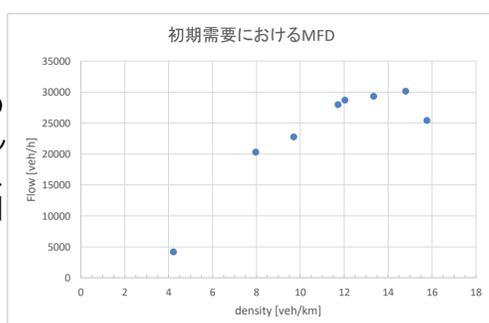
研究の流れは上記の図の通りであり収束判定するまで何度も繰り返し計算を行う枠組みとなっています。ここで目的関数はエリア内の交通流率の最大化とし、この時の課金額を最適課金額と設定します。

$$\max_{toll} \sum_{t=1}^T \beta_{i,t}^k n_i(t) v_i(t)$$

n_i : 車両存在台数
 v_i : 車両速度
 $\beta_{i,t}^k$: メタモデルパラメータ

交通渋滞の発生はシミュレーション結果からMFDを描くことで判定することができます。MFDの特徴として上に凸の二次関数を描き、頂点から右側の点が存在する場合渋滞発生と判定されます。

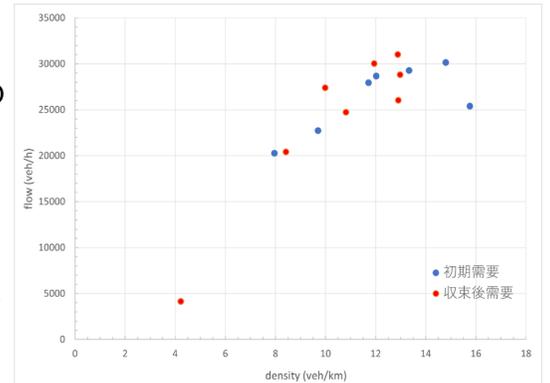
右の図が作成した初期需要でのMFDであり、交通渋滞が発生しています。ここに混雑税を導入することで交通渋滞の緩和を図ります。



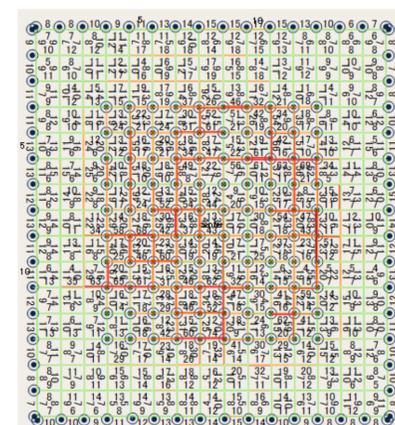
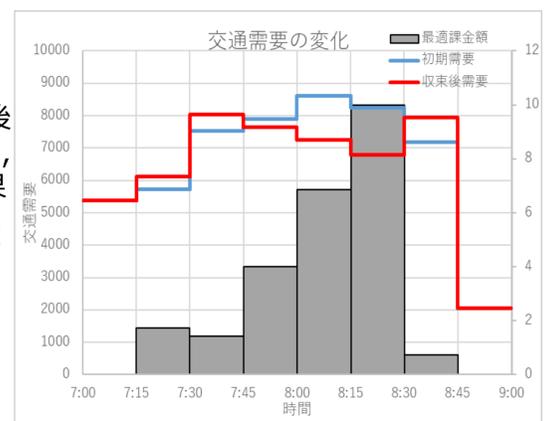
3. シミュレーション結果

結果として、シミュレーション回数6回で収束判定となりました。既存研究では20回以上でも収束しておらず10時間以上の計算効率上昇となりました。

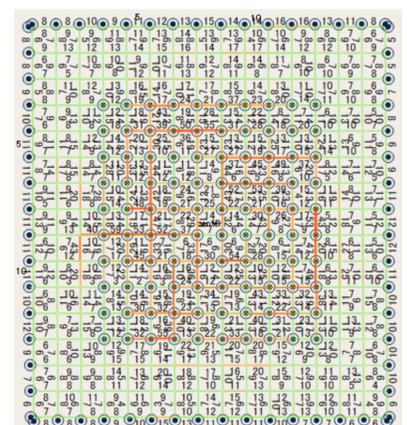
初期需要では渋滞領域に存在していた点が、収束後では自由流領域に移動しておりMFDから交通渋滞が緩和していることがわかります。また、交通流率の最大化も同時に行っており、渋滞領域の境界に点が集中しており交通流率の上昇も同時に発生しており道路が効率よく使用されていることが確認できます。



交通需要の変化では初期需要でのピークである8:00~8:30間の需要が収束後に他の時間帯に分散しており、TDMの需要を分散させる効果が本研究で用いた混雑税でも十分に発揮されていることがわかります。課金額は希望到着時刻に近づくにつれて大きくなる結果となりました。



初期需要での交通密度



収束後需要での交通密度

上記の図は道路の交通密度を可視化した図であり、交通密度が高いほど赤く表示されます。初期需要と収束後需要での交通密度を比較すると収束後需要では赤色が全体的に減少しておりこの図の比較からも交通渋滞の緩和が確認できます。また、一番濃い赤色が無くなっており深刻な交通渋滞が消滅していることも確認できました。

4. 今後の課題

本研究では、仮定のモデル都市と道路ネットワークを作成しシミュレーションベースで交通混雑を緩和する最適混雑税を導出可能であることを確認しました。本研究の手法で実際の都市やOD表などの実データを用いることで具体的な課金額の導出が可能になります。しかし、実データを用いる場合パラメータ調整が必要になることが予想され、また希望到着時刻を詳細に把握することは不可能であるため追加で手法を開発する必要があります。

混雑税は既に複数都市で導入されていますが、細かい時間による課金額の変化や出発時刻選択を考慮した混雑税の導入はありません。より交通混雑を効率的に解決するためにはこのような混雑税が適しているため、実用化に向けた混雑税の研究が必要になります。

参考文献

- 1) Gu, Z., Shafiei, S., Liu, Z., Saberi, M. (2018) Optimal distance- and time-dependent area-based pricing with the Network Fundamental Diagram. Transportation Research Part C, 95, 1-28
- 2) Dantsuji, T., Hoang, N. H., Zheng, N., Vu, H. L., (2022). A novel metamodel-based framework for large-scale dynamic origin-destination demand calibration. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 136, 103545.