HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of efficient solution algorithms based on sensitivity analysis for network design problems with user equilibrium constraints [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	段, 開峰
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16345号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95028
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kaifeng_Duan_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　段　開峰

審査担当者　主　査　教　授　内田 賢悦
副　査　教　授　吉井 稔雄
副　査　教　授　岸 邦宏
副　査　准教授　古川 陽

学位論文題名

Development of efficient solution algorithms based on sensitivity analysis for network design problems with user equilibrium constraints
(利用者均衡制約付ネットワークデザイン問題に対する感度分析に基づく効率的解法の開発)

交通混雑の緩和あるいは交通利便性の向上などを目的として、交通ネットワークにおいて交通政策・施策が実施される。交通政策・施策の実施は交通ネットワーク上を移動する利用者の交通行動を変化させるため、その効果はネットワーク利用者の行動変化を踏まえて計測する必要がある。利用者のネットワーク上の交通行動はネットワークパラメータ、すなわち交通需要とネットワークを構成するリンクの特性値を所与として、利用者の経路選択に対して定義される利用者均衡状態を通じて推計される。ネットワークパラメータは交通政策・施策そのものであるか、あるいはそれによって変化するため、その効果推計問題は均衡制約付き最適化問題として定式化され、ネットワークデザイン問題と知られている。ネットワークパラメータが変化するとそれに対応する交通均衡状態が変化するため、ネットワークデザイン問題は交通研究の分野において、難解な問題の 1 つとして知られている。本研究では利用者均衡配分問題に対する感度分析を適用したネットワークデザイン問題に対する効率的なアルゴリズムを開発している。

本研究は全 5 章から構成される。第 1 章では、本研究の背景と目的、ならびに概要について述べている。

第 2 章では、利用者均衡配分問題とその感度分析の定式化を示している。利用者均衡配分問題に対する感度分析は、ネットワークパラメータが変化したときの均衡フローの変化を均衡点のまわりで一次近似する手法である。均衡時の移動時間を式として表せないという問題点が存在するため、感度分析では陰関数定理を適用することにより均衡移動時間のパラメータに関する一階微分を計算している。

第 3 章では、フローティングカーデータ (ETC2.0) を活用した道路ネットワークにおける交通状態 (経路/リンクのフロー/移動時間) 推計問題を定式化するとともに、感度分析に基づく効率的アルゴリズムを開発している。ここでは、ネットワーク内の交通需要が対数正規分布に従うと仮定し、不完全データ (ネットワークの全リンクでは観測できない遅れ時間) からネットワーク全体の交通状態を推計している。利用者の交通行動は、平均リンク移動時間から計算される経路移動時間に基づいた利用者均衡配分問題として表現している。交通状態推計問題は均衡制約付き完全情報最尤推定法として定式化され、この問題は、確率的交通需要をネットワークパラメータとするネットワークデザイン問題に分類される。旭川市の道路ネットワークを対象に ETC2.0 からのフローティング

データを活用して交通状態推計を行ったところ、比較的高い精度で交通状態を推計できることが示された。

第 4 章では人間が運転する自家用車と自動運転バスが混在する道路ネットワークを対象に、自動運転バスの運行経路・サービス頻度を最適化する問題を定式化するとともに、感度分析に基づく効率的アルゴリズムを開発している。自動運転バスは人間が運転する車よりも反応時間が短いため、自家用車と自動運転バスが混在するリンクでは、自動運転バスの構成比率が高まるにつれ交通容量が増加する。一方、バスのサービス頻度はバス利用者の待ち時間だけではなくネットワーク上の交通量に影響する。こうした影響を踏まえ、利用者は交通行動を決定するが、利用者が自家用車と自動運転バス両方を選択できるとする問題はシングルクラス利用者均衡配分モデルとなる。一方、どちらかしか利用できないとする問題はマルチクラス利用者均衡配分モデルとなる。こうした 2 つの問題に対して、自動運転バスの運行経路・サービス頻度の同時決定問題の定式化を行った。自動運転バスの運行経路設定問題は、一般的に組み合わせ最適化問題となり、膨大な数の経路の組み合わせの中から 1 つ選び、さらにそのサービス頻度を決定する問題を繰り返し解かなければならない。本研究では、運行経路設定問題を非線形な相補性条件として表現し、さらにそれを連続で微分可能な方程式系で表現することに成功した。これにより、問題をサービス頻度に関して連続な均衡制約付き総費用最小化問題として定式化している。この問題は、ネットワークを構成するリンクの特性値、すなわちリンクを通過する自動運転バスのサービス頻度をネットワークパラメータとするネットワークデザイン問題に分類される。Sioux Falls ネットワークを対象にした数値実験を行い、自動運転バスが交通容量に与える影響、シングル/マルチクラス問題の特性を踏まえて、自動運転バスの運行経路・サービス頻度を同時決定できることが示された。

第 5 章では、本研究の内容をまとめ、今後の研究の方向性について述べている。本研究で扱った 2 つのネットワークデザイン問題は、それぞれ交通需要およびネットワークを構成するリンクの特性値をネットワークパラメータとする問題であり、こうした問題に対する効率的なアルゴリズムが開発できれば、基本的にどのようなネットワークデザイン問題にも応用できることが示されている。

以上より、著者は交通ネットワークにおける政策・施策分析において解く必要のあるさまざまなネットワークデザイン問題に応用可能な効率的アルゴリズムの開発を行い、交通政策・施策分析に資する手法の発展に大きく貢献したと考えられる。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。