

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18921

研究課題名（和文）混雑の緩和を実現する経路推薦アルゴリズムの開発

研究課題名（英文）Route recommendation algorithms to mitigate traffic congestion

研究代表者

梅谷 俊治（Umetani, Shunji）

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80367820

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：スマートフォンの乗換案内や経路案内で道路や路線の混雑状況を知ることが容易になったにも関わらず交通網の混雑を解消することはいまだに困難である。従来の乗換案内や経路案内は、個別の利用者に最短経路問題を解いて得られた経路を推薦するため、しばしば同一の道路や路線に利用者が集中し混雑が生じる。

本研究では、時間軸方向に拡張されたネットワーク上において、混雑のピークを最小化するような全ての利用者の経路を同時に求める最適化問題を整数計画問題に定式化した。国内主要都市の朝の通勤時における鉄道利用者を対象とするシミュレーションにより、出発・到着時刻に10分前後の幅を持たせれば混雑のピークを低減できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、都市圏における交通網の混雑緩和に限らず、移動体の誘導に関わる多くの現実問題に適用可能である。例えば、大規模なイベントやテーマパークにおける観客の誘導、大規模災害時における避難住民の誘導、将来の自動運転車の普及にともなう交通車両の誘導など、多くの重要な現実問題において貢献を果たすことが期待できる。その際に、現実世界から収集された大規模データに基づく最適化問題を現実的な計算時間で解く効率的なアルゴリズムが必要であり、本研究を通じて開発したアルゴリズムはその基盤技術となる。

研究成果の概要（英文）：Although it has become easier to know the congestion status of routes from route guidance services on mobile phones, it is still hard to mitigate the congestion in the transportation network. The conventional route guidance services recommend individual users to routes obtained by solving a variant of the shortest path problems, which often leads to congestion of users at the same place.

We accordingly consider an integer programming problem to simultaneously find routes for all users that minimizes the peak congestion on the transfer network extended in the time horizon. Based on our numerical experiments for railroad users (during their morning commute) in major cities in Japan, we observed that it is possible to reduce the peak congestion by dispersing users' departure and arrival times by about 10 minutes.

研究分野：数理最適化

キーワード：組合せ最適化 モビリティ

### 1. 研究開始当初の背景

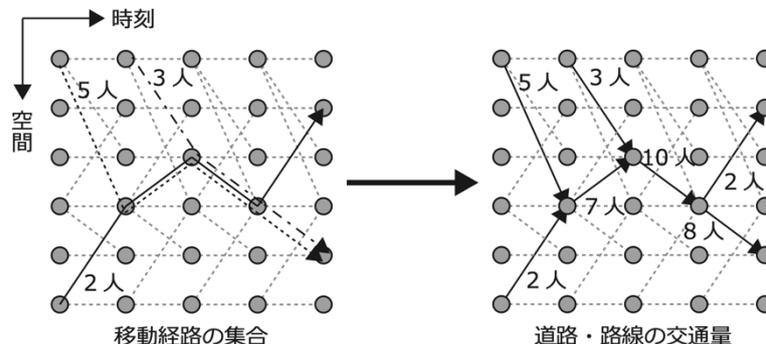
近年、スマートフォンを通じて乗換や経路の案内または道路や路線の混雑状況を提示するなど多様なサービスが現れるようになった。しかし、多くの利用者がこれらの利便性の高いサービスを手軽に利用できるようになったにも関わらず、通勤ラッシュや年末年始の帰省ラッシュなど交通網の混雑をいまだに解消できていないのが現状である。多くの乗換案内や経路案内のサービスは、個別の利用者の問い合わせに対して独立に最短経路を計算する（個別最適化）。その結果、多くの利用者から同一の（出発地と目的地が同じ）問い合わせが集中すると、同じ経路が推薦されて混雑が起こることが少なくない。交通網の混雑を緩和するためには、全ての利用者の問い合わせを把握した上で、推薦する経路が特定の道路や路線に集中しないように上手く振り分ける必要がある（全体最適化）。ここで、各時刻における道路や路線の混雑状況だけを頼りに、適応的に利用者を混雑の少ない道路や路線に誘導する方法では、別の道路や路線で新たな混雑を引き起こすだけで全体最適化を実現することは困難である。

### 2. 研究の目的

現実世界から収集される大規模データに基づく最適化問題に対する効率的なアルゴリズムは、スマートフォンを通じた多様なサービスあるいは問題解決を支える重要な基盤技術となる。本研究では、スマートフォンを通じた乗換案内や経路案内のサービスが都市圏における交通網の混雑に大きな影響を及ぼし得る点に着目し、個別の利用者の問い合わせに対して独立に経路を求めるのではなく、混雑のピークを最小化するように全ての利用者の経路を同時に求める全体最適化を実現するモデルとアルゴリズムの提案を目的とする。

### 3. 研究の方法

時間軸方向に拡張されたネットワークは時間拡大ネットワーク (time expanded network) と呼ばれ、各利用者の移動経路は時間拡大ネットワーク上の路で、各時刻における道路や路線の交通量は時間拡大ネットワーク上の各枝の流量で表される（下図）。本研究では、時間拡大ネットワーク上で、数百万人の利用者の出発地と目的地が与えられた際に、交通量のピーク値（最大値）を最小化するような全ての利用者の経路を同時に求める最適化問題とそれを効率的に解くアルゴリズムを提案する。



現実世界から収集される大規模データでは、新規の入力データが一度だけ与えられるのではなく、多くの共通部分を持つ入力データが繰返し与えられる場合が多い。これまで、研究代表者は、東京大学空間情報科学センターが作成した研究機関向けの人の流れデータを用いて、出発地と目的地の各組に対して実際に利用された経路の種類を集計し、ごく限られた種類の経路のみが高い頻度で利用されることを確かめた。本研究では、国内の主要都市における鉄道網を対象に混雑を緩和する旅客の乗車経路を求める。出発地と目的地の各組に対して、可能な全ての経路候補ではなく、利用確率の高い経路候補のみを考慮した最適化問題を考える。この問題は下記の整数計画問題に定式化できる。

#### 【集合】

K: 出発地と目的地の組からなる集合

E: 時間拡大ネットワークの枝集合（単位時間で移動可能な地点の組からなる集合）

P: 全ての経路候補からなる集合

$P[k] (\subseteq N)$ : 出発地と目的地の組  $k \in K$  を持つ経路候補からなる集合

#### 【入力】

$b[k]$ : 出発地と目的地の組  $k \in K$  の旅客人数

$a[p, e]$ : 経路  $p \in P$  が枝  $e \in E$  を含むなら 1, そうでなければ 0

#### 【変数】

$x[p]$ : 経路  $p \in P$  の旅客人数

$z[e]$ : 枝  $e \in E$  を通過する旅客人数

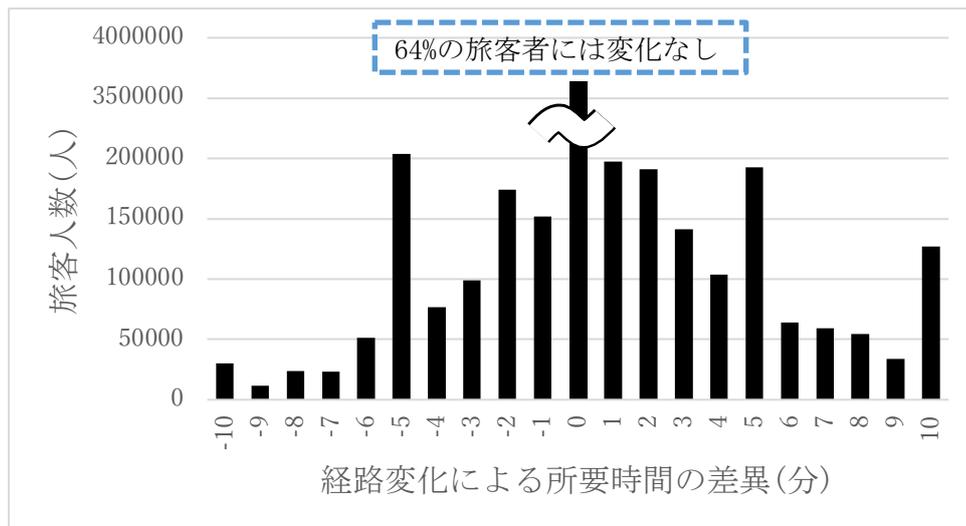
$$\begin{aligned} \min. \quad & \max_{e \in E} z_e \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{p \in P_k} x_p = b_k, \quad k \in K, \\ & \sum_{p \in P} a_{pe} x_p = z_e, \quad e \in E, \\ & x_p \in \mathbb{Z}_+, \quad p \in P. \end{aligned}$$

この定式化では、出発地と目的地の各組に対して多くの旅客が利用する経路候補を絞り込む必要がある。本研究では、旅客は主に最短経路すなわち所要時間が短い経路を優先するという仮定の下で、鉄道網の出発地と目的地の各組に対して  $k$ -最短路を求めてこれらを経路候補とした。ただし、折返しを含む経路や最短所要時間から 20 分以上超過する経路は候補から除外した。また、 $k$ -最短路から類似する経路を除外した。

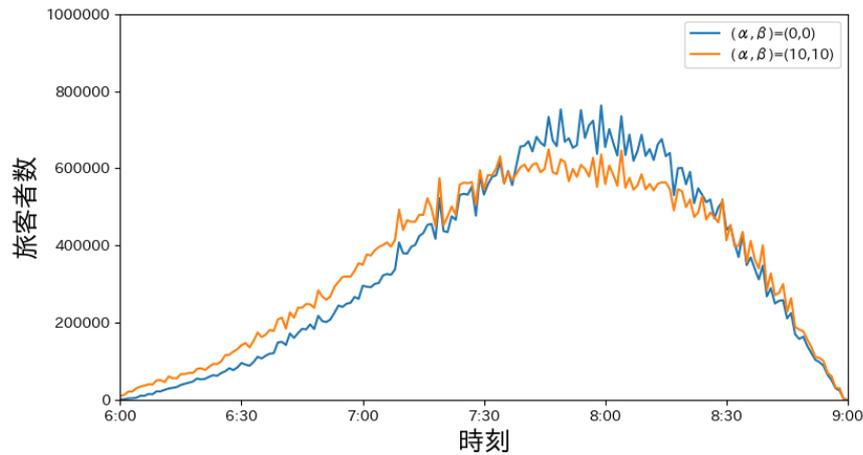
東京大学空間情報科学センターが作成した研究機関向けの人の流れデータから、東京都市圏（平成 20 年）、京阪神都市圏（平成 12 年）、中京都市圏（平成 13 年）、道央都市圏（平成 18 年）、仙台都市圏（平成 14 年）の鉄道利用者のデータを抽出し数値実験を実施した。通勤ラッシュ時における混雑緩和の効果を検討するため、午前 6 時から 9 時の時間帯を対象に数値実験を実施した。時間拡大ネットワークでは時刻を離散化するため単位時間を 5 分とした。各旅客は、出発地、目的地、出発時刻、到着時刻が与えられる。各旅客が与えられた出発時刻、到着時刻の通りに移動するケースと、それぞれ最大 10 分の変更を許容して移動するケースの 2 通りについて数値実験を実施した。数値実験に利用した各都市圏の人の流れデータおよび整数計画問題の概要を下表に示す。

	駅数	総旅客数	時刻変更なし		時刻変更あり (10 分)	
			制約	変数	制約	変数
仙台都市圏	69	111,721	8,061	6,921	8,431	22,722
道央都市圏	94	302,642	15,051	13,813	15,856	61,075
中京都市圏	588	914,729	45,408	31,633	56,108	202,404
京阪神都市圏	1066	2,828,695	111,274	83,280	135,735	512,648
東京都市圏	1410	5,718,676	281,468	318,339	349,579	2,107,482

整数計画問題の求解には汎用の整数計画ソルバー CPLEX12.6 を利用した。東京都市圏の人の流れデータについて、各旅客の出発・到着時刻の変更の有無による所要時間の差を下図に示す。この結果から、全体の旅客数約 570 万人に対して、約 350 万人（約 64%）の旅客に所要時間の変化が生じないことが確認できた。一方で、約 116 万人（約 20%）の旅客は所要時間が増加している。



次に、午前 6 時から 9 時の時間帯における旅客数を下図に示す。各旅客の出発・到着時刻の変更を許容することで、午前 7 時 45 分から 8 時 15 分の時間帯における旅客を早い時間帯にシフトすることで、全体の旅客数のピークを抑えられることが確認できた。



#### 4. 研究成果

本研究では、交通網において混雑のピークを最小化するように全ての利用者の経路を同時に求める全体最適化を実現するモデルとアルゴリズムを提案した。国内の主要都市圏の人の流れデータを用いた数値実験により、鉄道網における通勤ラッシュの混雑緩和の実現可能性を検討した。数値実験の結果より、旅客の出発・到着時刻に前後 10 分程度の変更を許容することで、混雑のピークを軽減できる可能性があることを確認した。また、中京都市圏と東京都市圏においてボトルネックとなる路線を発見した。これは、通勤時間帯をシフトしても混雑緩和の効果が薄く、現行の時刻表や鉄道網の構造を改善する必要があることを示唆している。

今度の課題として、各路線における混雑状況の定量的な評価が挙げられる。本研究では、各路線の旅客数を用いて混雑の度合いを評価した。しかし、実際には、各便の乗車定員に対する旅客数で混雑の度合いを評価した方がより現実的である。最後に、提案手法より得られた各旅客の経路を実際の通勤・通学に反映させるシステムの開発が必要である。スマートフォンなどのモバイル機器を通じて多くの旅客に経路を推薦するだけでなく、各旅客が推薦された経路の通りに移動するインセンティブを与える仕組みを構築する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 D.Tahara, S.Umetani, H.Morita
2. 発表標題 Tracking Passengers' Routes in Urban Railway Networks Using Integer Programming
3. 学会等名 INFORMS Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019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	蓮池 隆  (Hasuike Takashi)  (50557949)	早稲田大学・理工学術院・准教授    (32689)	

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