

財政制約を考慮した鉄道ネットワーク 維持のための運賃補助額決定モデルの開発

佐藤 佑樹¹・峪 龍一²・内田 賢悦³

¹ 学生会員 北海道大学大学院 工学院北方圏環境政策工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8)
E-mail: yuki-sugar@eis.hokudai.ac.jp

² 正会員 北海道大学大学院助教 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8)
E-mail: r-tani@eng.hokudai.ac.jp

³ 正会員 北海道大学大学院教授 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8)
E-mail: uchida@eng.hokudai.ac.jp

鉄道利用者の減少が進む、北海道のような地域では、財政上の問題により公的な支援が難しいことから、不採算区間の廃止が検討されている。本研究では、政府が鉄道利用者の運賃を補助する政策を通じて、利用者を増加させて、鉄道会社の収入を確保するために、補助額を決定するモデルを提案する。廃止検討区間に運賃の補助を行ったとしても、利用者の増加が不十分な場合には、その区間を廃止することを考慮に入れた上で、区間に対する運賃補助率を決定する。利用者の行動は、鉄道・航空・バス・自家用車が存在するマルチモーダルネットワーク上でネスティッドロジットモデルにより計算される。運賃補助率は財政制約下で政府による運賃補助の総額を最小化するように決定する。テストネットワークにおいて数値計算を行い、提案するモデルの妥当性を検証した。

Key Words: *Fare subsidy, Railway, Multi-modal network, Nested logit model*

1. はじめに

鉄道やバスなどの交通ネットワークが大幅な営業赤字により維持が困難となっている地域では、ネットワークの一部廃止などが議論になっている。JR 北海道は、2016 年に「当社単独では維持することが困難な線区について」¹⁾を公表し、保有路線長の半分以上の線区において単独での維持が困難であるとした。また、2020 年における COVID-19 の流行による交通事業者の大幅減収は、この廃線議論をより切迫した問題にしている。

鉄道ネットワークを存続させるための政策では、上下分離方式や、鉄道会社の赤字の一部を補填するなどの支援策が存在する。上下分離方式は、鉄道の運行を担当する会社と、線路などの設備を管理する会社に分割する政策である。国内の実施例としては岐阜県と三重県を通る養老鉄道などがある。鉄道会社の赤字補填の実施例は、福井県と沿線市町からの補助を受ける、えちぜん鉄道がある。

都市間交通において鉄道に対する運賃補助を行う先行研究として、Feamley et al. (2004)²⁾や Jiang (2021)³⁾が行われている。Feamley et al. はノルウェーの都市間鉄道において、

サービス頻度や提供座席数などのサービス水準に基づいた補助金を事業者に支払うことで、道路の混雑緩和などの社会最適を達成するスキームを提案している。Jiang は、航空税を高速鉄道の補助金として扱う場合の交通量の変化について考察している。

しかし、これらの先行研究ではネットワーク全体への効果については考慮されていない。JR 北海道などの大規模なネットワークについて補助を行う際には、ネットワーク効果を考慮に入れる必要がある。

交通をネットワークとして考えた場合、乗り換え行動及び待ち時間について考慮する必要がある。Chiqui and Robillard (1975)⁴⁾は、コモンラインの概念を提案している。コモンラインとは、ある 2 ノード間を移動する際に使われる路線の選択肢を意味する。例えば 2 ノード間を移動する際、利用者は待ち時間と乗車時間の和である総移動時間を短くできる場合、必ずしも初めに来た路線に乗車するとは限らない。ある 2 ノード間のコモンラインの集合とは、その 2 ノード間の期待総移動時間が最小化される路線の集合である。

コモンラインに基づいたネットワークデザイン問題の例として Uchida et al. (2005)⁵⁾では、バス・地下鉄・自家用

車の存在する都市内交通のネットワークにおいて、サービス頻度の増加が運賃の増加になる場合に最適なサービス頻度を決定する最適化問題を定式化している。本研究では、Uchida et al. のコモンラインを利用した定式化を基礎にしつつ、鉄道の運賃補助額を最適化する定式化を行う。

2. モデルの構成

鉄道会社への補助政策として、上下分離方式や赤字を一部補填する方式では、政策により直接的に需要は増加しないため、人口減少下では利用者が減少し、鉄道会社の赤字が膨らんだり、赤字の補填額が増加していくことになる。また、全ての鉄道利用のトリップに対し一律の金額による補助を行う場合、補助前の時点で需要が多いルートへの補助額が多くなり、需要が少ない地域への効果的な補助にならないことが予想される。

そこで本研究では、政府が鉄道利用者の運賃を補助する政策を通じて、利用者を増加させることで、鉄道の区間廃止を回避することを目標とする。政府の財政制約により全ての区間に十分な補助ができない場合、廃止する区間に優先順位を付けて次善の運賃補助パターンを求める。ここで政府とは、交通ネットワーク内の交通機関を所管し、利用者に対して補助金を出しうる主体として定義する。

(1) ネットワークの表現

既設のマルチモーダルネットワークを物理ネットワーク $G(N, A)$ と表現する。ここで、 N はノードの集合、 A はリンクの集合である。鉄道については、各駅をノード、駅間線路をリンクとする。このネットワーク上を路線 l が通る。リンク集合 A は、交通モード m のリンクの集合 A_m 及び交通モードの集合 M を使って次のように表される。

$$A = \bigcup_{m \in M} A_m$$

鉄道のリンクの集合 A_r は、運賃補助を実施するリンクである廃止検討リンクの集合 (\hat{A}_r) と、運賃補助を実施しないリンクである維持確定リンクの集合 ($A_r \setminus \hat{A}_r$) から成る。廃止検討リンク $a \in \hat{A}_r$ には、リンクごとに異なる補助率 ω_a が設定され、そのリンクを通る利用者は政府により運賃が補助される。なお、本研究において運賃の補助は鉄道のみに行われるものとする。

物理ネットワーク $G(N, A)$ 上で移動する人の行動を考える。Uchida et al. に基づき、乗継行動や交通機関のサービスの待ち時間を明示的に考慮できるように、 $G(N, A)$ をリンクの代わりにルートセクションを用いた拡張ネッ

トワーク $\hat{G}(N, S)$ に変換する。 S はルートセクションの集合である。乗換をせずに移動可能な 2 ノード間を結ぶリンクをルートセクションと呼び、その 2 ノード間を移動可能な単一の交通モードの路線をコモンラインと呼ぶ。ルートセクション上での移動を組み合わせることにより、利用者はネットワーク上を移動し、OD 間を移動するルート形成する。

以下では、ルートセクション $s \in S$ における期待移動時間 \hat{t}_s と、期待運賃 \hat{p}_s について定式化する。

$$\hat{t}_s = \frac{1 + \sum_{l \in C_s} \sum_{a \in A} f_l t_a^l \phi_s^a}{\sum_{l \in C_s} f_l} \quad (1)$$

ここで、 f_l は路線 l のサービス頻度、 t_a^l は路線 l を利用してリンク a を移動する際の乗車時間、 C_s はルートセクション s を構成するコモンラインの集合である。 ϕ_s^a はルートセクション s がリンク $a \in A$ 上を通過すれば 1、そうでなければ 0 とする変数である。式(1)の分子の第 1 項は、列車の車頭時間が指数分布に従い、利用者が駅に到着するタイミングが一様分布に従うとそれぞれ仮定した際の、利用者が駅で待つ時間の期待値に対応する。第 2 項は期待乗車時間に対応する。自家用車のルートセクションはサービス頻度を ∞ とすることにより、一般性を失わずに表現できる。同様に、ルートセクション s を移動する際の期待運賃は式(2)で表される。

$$\hat{p}_s(\omega) = \frac{\sum_{l \in C_s} \sum_{a \in A} f_l \hat{p}_a^l(\omega_a) \phi_s^a}{\sum_{l \in C_s} f_l} \quad (2)$$

where

$$\hat{p}_a^l = \begin{cases} p_a^l & \forall a \in A \setminus \hat{A}_r \\ p_a^l(1 - \omega_a), 0 \leq \omega_a \leq 1 & \forall a \in \hat{A}_r \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 p_a^l は路線 l を利用してリンク a を移動する際の鉄道会社に支払われる運賃である。 \hat{p}_a^l は路線 l を利用してリンク a を移動する際に利用者の支払う運賃を意味する。維持確定リンクでは運賃補助が行われなため p_a^l に等しくなり、廃止検討リンクでは利用者が政府から運賃補助を受けるため、利用者の支払う運賃は鉄道会社に支払われる運賃から運賃補助を引いた金額になる。

(2) 利用者の行動

OD ペア $\pi \in \Pi$ 間のルート $k \in K_\pi$ の効用 U_π^k を式(4)で定義する。

$$U_\pi^k = \hat{u}_\pi^k(\omega) + \varepsilon_\pi^k \quad (4)$$

where

$$\hat{u}_\pi^k(\omega) = -\alpha_1 \sum_{s \in S} \hat{t}_s \delta_{\pi,k}^s - \alpha_2 \sum_{s \in S} \hat{p}_s(\omega) \delta_{\pi,k}^s - \sum_{m \in M} \alpha_3^m \zeta_{\pi,k}^m \quad (5)$$

ここで、 \hat{u}_π^k 、 ε_π^k はそれぞれ、ルート $k \in K_\pi$ の効用の確定項と誤差項である。 $\delta_{\pi,k}^s$ はルート k が、ルートセクション s を含めば 1、そうでなければ 0 とする変数、 $\zeta_{\pi,k}^m$ はルート k が、交通モード $m \in M$ を含めば 1、そうでな

れば 0 をとる変数である. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3^m$ はパラメータである. また, 誤差項 ε_n^k の分布関数は式(6)で表される.

$$f(\varepsilon_n^k) = \exp\left(-\sum_{n \in \{1,2\}} \left(\sum_{k \in K_\pi} \exp\left(-\frac{\varepsilon_n^k}{\theta_n}\right)^{\theta_n}\right)\right) \quad (6)$$

θ_1, θ_2 は $\theta_2 > \theta_1 > 0$ をとるパラメータである.

OD ペア π 間のルート k の交通量 q_π^k は, 図-1 に示す Nested Logit Model により, 式(7)で与えられる.

$$q_\pi^k(\omega) = P(k)_\pi \cdot \bar{q}_\pi \quad (7)$$

where

$$P(k)_\pi = \frac{1}{1 + \exp(\theta_2(\hat{u}_\pi - S_\pi)) \cdot \frac{\exp(\theta_1 \hat{u}_\pi^k)}{\sum_{k \in K_\pi} \exp(\theta_1 \hat{u}_\pi^k)}} \quad (8)$$

$$S_\pi(\omega) = \frac{1}{\theta_1} \ln \sum_{k \in K_\pi} \exp(\theta_1 \hat{u}_\pi^k(\omega)) \quad (9)$$

ここで, \bar{q}_π は OD ペア π 間の最大交通需要, \hat{u}_π は OD ペア π 間において移動しないときの効用である.

ルートセクション s とリンク a の交通量はそれぞれ式(10), 式(11)で与えられる.

$$w_s(\omega) = \sum_{\pi \in \Pi} \sum_{k \in K_\pi} q_\pi^k(\omega) \delta_{\pi,s}^k \quad (10)$$

$$v_a(\omega) = \sum_{s \in S} w_s(\omega) \phi_s^a \quad (11)$$

(3) 政府が負担する運賃の補助費用

廃止検討リンクへの運賃補助により, 維持確定リンクでの乗客増加の波及効果が発生する. 本研究では, 政府の負担を軽減するため, この波及効果分の運賃収入を政府が回収することとする. この時, 交通ネットワークに対し行われる運賃補助による, 政府が負担する補助費用 Z は, 式(12)で表される.

$$Z(\omega) = \sum_{s \in S} (\hat{p}_s(\mathbf{0}) - \hat{p}_s(\omega)) w_s(\omega) - \sum_{s \in S} \sum_{a \in \hat{A}_r \setminus \hat{A}_r} \frac{\sum_{l \in C_s} f_l p_a^l}{\sum_{l \in C_s} f_l} \phi_s^a (w_s(\omega) - w_s(\mathbf{0})) \quad (12)$$

$\hat{p}_s(\mathbf{0}), w_s(\mathbf{0})$ はそれぞれ, すべての廃止検討リンクでの補助率が 0 である, すなわち運賃補助をしない場合の利用者が支払う運賃とルートセクションの利用者数を表す. 式(12)第一項は政府が行う運賃補助の総額, 第二項は波及効果分の運賃収入である.

(4) 最適化問題

各廃止検討リンク $a \in \hat{A}_r$ には, 目標交通量 \hat{v}_a が設定される. 目標交通量は, 鉄道会社が採算性を確保するために, そのリンクが維持されるために必要な最低の乗客通過量と定義する. すなわち, 運賃の補助により各廃止検討リンクが目標交通量を上回れば, そのリンクは維持され, さもなければ廃止される.

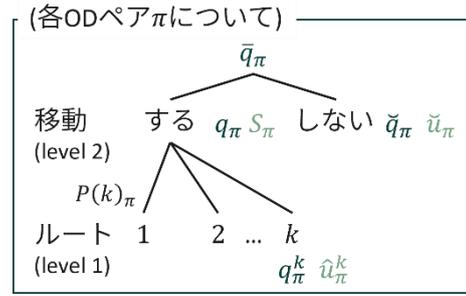


図-1 Nested logit model の構造

a) 運賃補助に関わらず廃止されるリンク

廃止検討リンクのうち, 全ての廃止検討リンクの運賃の補助率 ω_a を最大にしても目標交通量を満たせないリンクが存在する場合, そのリンクは廃止される.

b) 財政制約付き運賃補助費用の最小化

前項の操作により, 残った全ての廃止検討リンクは運賃補助により, 財政制約が無い中では目標交通量を満たすことが可能である. 各自治体に財政制約がある中で政府の運賃補助費用の最小化は, 次のように表される.

$$\min \sum_{s \in S} (\hat{p}_s(\mathbf{0}) - \hat{p}_s(\omega)) w_s(\omega) \quad (13)$$

$$\text{w.r.t.} \quad \omega_a \quad \forall a \in \hat{A}_r \quad (14)$$

$$\text{s.t.} \quad \text{式(7)-(11)}$$

$$\hat{v}_a \leq v_a(\omega) \quad \forall a \in \hat{A}_r \quad (15)$$

$$Z(\omega) \leq Z^c \quad (16)$$

ここで, Z^c は政府の財政制約額である. 式(13)は, 式(12)の第 1 項に等しく, 廃止検討リンクへの運賃補助の総額である.

c) 財政制約下で実行可能解が存在しない場合

式(13)の最適化問題において, 財政制約額が小さいと, 実行可能解が存在しない場合が発生することがある. 財政制約額が小さく, 補助率をを低く設定せざるを得ない場合, 廃止検討リンクの一部で目標交通量を満たせないためである. 実行可能な問題とするために, 財政制約下で目標交通量を満たす見込みのないリンクを廃止する必要がある. 廃止するリンクを選択する優先順位を以下に定義する規則に基づいて決定する.

選択規則: 式(17)–(19)で示される最適化問題を解いた解を使った時, $\hat{v}_a - v_a$ が最も大きいリンク.

$$\max \sum_{a \in \hat{A}_r} \frac{\kappa}{1 + \exp[\lambda(\hat{v}_a - v_a(\omega))]} \quad (17)$$

$$\text{w.r.t.} \quad \omega_a \quad \forall a \in \hat{A}_r \quad (18)$$

$$\text{s.t.} \quad \text{式(7)-(11)}$$

$$Z(\omega) \leq Z^c \quad (19)$$

ここで, κ, λ は正の適当なパラメータである. 式(17)は, ある廃止検討リンクに対して 0 から κ の値をとり, $\hat{v}_a - v_a$ が大きいリンクに対しては 0 に近い値を取る. 式(17)の目的関数を最大化することは, 運賃補助に対して $\hat{v}_a - v_a$ が小さくなりやすく採算性の低いリンクの交通

量を抑え、他の廃止検討リンクの交通量を最大化することに対応する。したがって選択規則は、財政制約下で運賃補助を行った際に、目標交通量に届く見込みが最も少ないリンクを廃止することを意味する。

以上のプロセスにより決定したリンクを廃止した交通ネットワーク上で、再度 a)及び b)を行う。b)で実行可能解が存在するまでリンクの廃止を繰り返して b)の最適化問題を計算する。

(5) 各自治体が得る便益

補助金を支給する政府が複数の自治体から構成されており、運賃補助施策の実施前後で得られる便益が最終的に自治体に帰着することを考える。ネットワーク内にノードを持つ自治体 g （集合を G とする）が運賃補助施策の実施前後で得られる便益 B_g は、運賃補助による自治体 g を出発地とするトリップの期待最小費用の減少分であり、式(20)で表すことができる。

$$B_g(\omega) = b_g(\omega) - b_g(0) \quad \forall g \in G \quad (20)$$

where

$$b_g(\omega) = \sum_{\pi \in \Pi_g} \frac{\bar{q}_\pi}{2\alpha_2\theta_2} \ln[\exp(\theta_2 S_\pi(\omega)) + \exp(\theta_2 \bar{u}_\pi)] \quad (21)$$

ここで Π_g は、自治体 g 内の駅を起点とする OD ペアの集合を表す。

(6) 効用関数内の定数のカリブレーション

式(5)に示す効用関数における α_3^m は、各交通モードごとに異なる定数である。車は移動時間と運賃だけで不効用が決まるのに対して、鉄道は移動時間と運賃に加えて、サービス頻度など公共交通機関に特有の要素によって不効用が決まるため、このままでは鉄道の不効用は車と比べて大きくなる。しかし、鉄道には定時性といった、固有の効用（不効用）があることから、各モードに固有な効用（不効用）を表現するために、実データからのカリブレーションによって得られる、外生的な定数を導入している。

3. テストネットワークを用いた数値計算

前章で構築したモデルの挙動を検証するため、テストネットワークにおいて数値計算を行った。

(1) テストネットワークにおける仮定

a) 全般的な仮定

テストネットワークでは簡単のため、以下の仮定を置く。

- ・アクセス・イグレス交通を考慮しない。

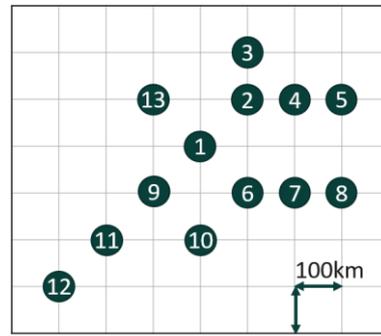


図-2 ノードの配置. 格子の一边を 100km とする。

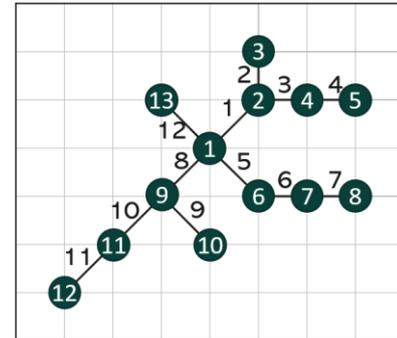


図-3 高速道路ネットワーク又は鉄道の物理ネットワーク. リンク横の数字はリンクの番号。

- ・鉄道以外の交通モードについては、OD間を直接結ぶリンクを想定する。
- ・運賃補助前に顕在化している交通量が OD 間最大交通需要 \bar{q}_π の 70% になるように、移動しない効用 \bar{u}_π を定める。
- ・財政制約額 Z^c は 50 万円に設定する。

b) ノードの配置と OD 間最大交通需要

図-2 に示すように 13 ノードを設定し、それらを起終点とする 78 の OD ペアが存在する。

OD 間最大交通需要 \bar{q}_π は、各ノードに人口を設定し、式(22)で計算する。

$$\bar{q}_{ij} = 20 \cdot POP_i \cdot POP_j \cdot (dis_{ij})^{-0.5} \quad (22)$$

ここで、 POP_i はノード i の人口、 dis_{ij} はノード i, j 間の直線距離を表す。各ノードの人口は、ノード 1 が 200、ノード 2・12 が 30、ノード 4・7・8 が 10、その他を 3 に設定する。計算された OD 間交通量は表-1 に示す。

c) 各交通モードのネットワーク

交通モードは、飛行機(a)、バス(b)、自家用車(c)、鉄道(r)を設定する。自家用車は高速道路ネットワークのみを利用するモード(cf)と、下道ネットワークのみを利用するモード(cs)の2つを設定する。高速道路ネットワークは、鉄道の物理ネットワークと同じ形状とし、図-3 に示す。下道ネットワークは、全てのノード間を直線で結ぶリンクによって構成されるものとする。

表-1 OD 交通量, 小数点以下四捨五入.

O\D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	10091	802	2675	675	1009	2675	2249	1009	849	714	5826	1009
2	0	0	180	600	127	127	401	357	107	101	87	757	127
3	0	0	0	50	12	10	34	32	9	9	8	71	12
4	0	0	0	0	60	40	141	134	32	32	27	237	35
5	0	0	0	0	0	11	40	42	9	9	7	67	9
6	0	0	0	0	0	0	60	42	13	15	10	85	11
7	0	0	0	0	0	0	0	200	35	40	30	259	32
8	0	0	0	0	0	0	0	0	30	34	27	239	28
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	107	13
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	101	10
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151	10
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-2 各交通モードのサービス頻度・乗車時間・運賃.

	飛行機	バス	自家用車(高速)	自家用車(下道)	鉄道
サービス頻度 (日)	6	$(\bar{q}_\pi/20)^{0.5}$	∞	∞	$(\bar{q}_\pi/20)^{0.5}$
乗車時間 (分)	60	$\min\left(\frac{d_\pi^{cf}}{60}, \frac{d_\pi^{cs}}{50}\right)$	$\frac{d_\pi^{cf}}{70}$	$\frac{d_\pi^{cs}}{50}$	$\frac{d_\pi^r}{80}$
運賃	¥15,000	(乗車時間)× ¥20/分	$d_\pi^{cf} \times$ ¥28.667/km	$d_\pi^{cs} \times$ ¥8.667/km	$d_\pi^r \times ¥35/km$

表-3 数値計算による, リンクの交通量と補助率.

リンク	補助前 交通量	a)の結果			財政 制約	財政制約下 補助後交通量	補助率
		1回目		2回目			
1	3491.6	3826.1	→	3976.4	→	3654.1	
2	242.5	533.9	→	545.0	→	500.0	0.891
3	43.6	158.0	廃止				
4	13.8	80.1	廃止				
5	1342.8	1896.1	→	1914.4	→	1355.3	
6	1015.6	1580.9	→	1593.5	→	1030.7	
7	477.0	1105.8	→	1106.0	→	500.0	0.047
8	1102.7	1124.3	→	2169.4	→	1104.7	
9	10.0	31.9	廃止				
10	585.1	608.0	→	1696.1	→	582.6	
11	462.3	480.2	→	1630.7	→	460.7	
12	241.9	710.3	→	720.2	廃止		

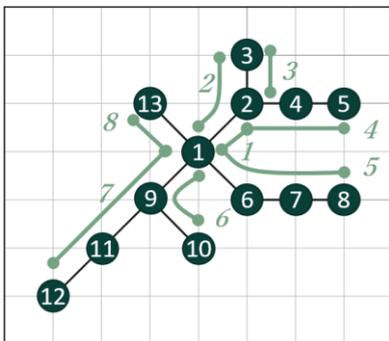


図-4 鉄道の路線図. 路線の横の数字は路線の番号.

飛行機の路線は, ノード 1・4・8・12 をそれぞれ結ぶ

6 路線を設定する. バスの路線は \bar{q}_π が 300 を超える OD ペアに対して設定する. 鉄道の路線は図-4 のように 8 路線設定し, 路線内の任意のノードで上下車することを許す.

各交通モードの路線の数, サービス頻度, 乗車時間, 運賃は表-2 に示す. OD ペア π 間を交通モード m で移動する際の移動距離を d_π^m とする.

d) 廃止検討リンクと目標交通量の設定

廃止検討リンクはリンク 2・3・4・7・9・12 とし, 目標交通量は全ての廃止検討リンクで 500 とする.

(2) 数値計算の結果

数値計算の結果を表-3 に示す. 補助前交通量の列は,

運賃補助が行われない状態でのリンク交通量を示す。a)の結果の 1 回目の列では、2.(4)a)で述べた、補助率を最大にした際のリンク交通量を示しており、目標交通量を満たせない廃止検討リンクを廃止している。リンク 3・4・9 が目標交通量を満たせないために廃止された。それら以外の廃止検討リンクでは目標交通量を満たせることが 2 回目の列で示している。リンク 3・4・9 を廃止したネットワーク上で 2.(4)b)で述べた最適化問題を解いたが、実行可能解が存在しなかったため、2.(4)c)で述べたように廃止するリンクに優先順位を付けると、リンク 12 を廃止することとなった。よって、リンク 3・4・9・12 が廃止されたネットワークにおいて 2.(4)b)の最適化を行い、その解が財政制約下補助後交通量と補助率の列に示されている。

結果として、リンク 2・7 が運賃を補助するリンクとなり、リンク 3・4・9・12 が廃止リンクとなった。なお、リンク 11 は維持確定リンクのため、リンク交通量が目標交通量を下回っているが運賃補助は行われず、廃止もされない。

政府負担総額 Z は財政制約の通り 50 万円である。政府の負担総額のうち、廃止検討リンクへの運賃補助（式(12)の第 1 項）が 164 万円、回収された波及効果（式(12)の第 2 項）が 119 万円であった。

出発ノード別の交通ネットワークにおいて生じる利用者便益の増加額は図-5 のようになった。発生便益の 47% がノード 3、34% がノード 1 を出発する移動者が得ている。

(3) 考察

出発ノード別の利用者便益の発生額のうち、廃止検討リンクであるリンク 2・7 が隣接していないノード 1 が 34% を占めている。これは、多くのノードにとって人口の多いノード 1 と行き来する交通量の占める割合が大きいためである。廃止検討リンクに隣接する自治体だけではなく、人口の大きい自治体においても運賃補助により便益が発生していることを表している。

4. まとめ

本研究では、廃止検討リンクに対して運賃補助を行うというスキームを仮定し、ネットワーク規模で交通量及びモードの選択確率の変化を推計することを試みた。仮定したスキームにおいて財政制約を考慮し、政府が支出

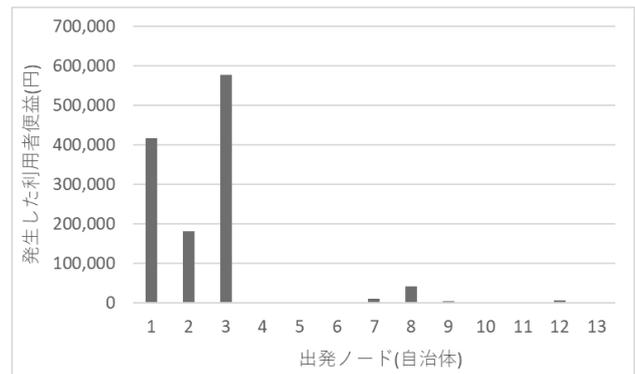


図-5 出発ノード別の利用者便益の増加額

する運賃補助の費用を最小化するように各リンクの補助率を決定するモデルを構築した。なお、運賃補助の施策を実施しても、旅客が増加しないリンクは廃止するという枠組みを設定した。テストネットワークにおける数値計算によって、運賃補助による乗客の増加と、目標交通量を満たせないことによるリンクの廃止、政府の補助費用の負担が最小化される挙動を確認できた。

今後はモデルの深化のために、複数の地方自治体が費用負担者となる場合の費用負担配分方法の検討、あるいはより現実的なモデルを目指して、運賃の非加法性を導入することなどを行いたい。

参考文献

- 1) JR 北海道: 当社単独では維持することが困難な線区について, 2016, <https://www.jrhokkaido.co.jp/pdf/161215-5.pdf> (閲覧日 2020.12.14) .
- 2) N., Fearnley, J., Bekken, and B., Norheim: Optimal performance-based subsidies in Norwegian intercity rail transport, *International Journal of Transport Management*, Vol. 2, Issue 1, pp.29-38, 2004.
- 3) C., Jiang: Aviation tax and railway subsidy: An integrated policy, *Transportation Research Part B*, Vol. 146, pp.1-13, 2021.
- 4) Chiriqui, C., and P., Robillard: Common Bus Lines, *Transportation Science*, Vol. 9, pp.115-121, 1975.
- 5) K., Uchida, A., Sumalee, D. Watling, and R. Connors: Study on Optimal Frequency Design Problem for Multimodal Network Using Probit-Based User Equilibrium Assignment, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.1923, pp.236-245, 2005.

(2021.?.? 受付)