

需要内生型最適化モデルを用いた都市間交通ネットワーク形状の検討

東北大学 学生会員 ○細正隆

東北大学 正会員 奥村誠

1. はじめに

鉄道などの都市間の公共交通サービスは、サービス維持のために大きな固定費用がかかるが、リンクごとのサービスは複数の起終点間の旅客が同時に利用できるという特徴がある。本研究では複数区間に提供されたサービスの乗継ぎ利用を最適化する既往のLPモデル¹⁾を需要内生型に拡張して、利用者の全体的な利便性を最大化するように、ネットワーク上のサービス提供路線を選択する二次計画法モデルを構築する。さらに、このモデルを用いて、需要の量的な規模と路線維持のための予算に応じた効率的なネットワーク形状の変化を考察する。

2. モデルの設定

(1)変数, パラメータ

ゾーンの代表都市にノード $n \in N$ を置き、それらをつなぐ方向別のリンクをモード $m \in M$ 別に定義する。

内生変数として、各リンク $(i, j) \times m \in L$ のサービスの有無を表す0-1変数の Z_{mij} 、起終点 $(k, l) \in K \times K$ 別のリンク交通量の $X_{mij,kl}$ 、起終点 (k, l) 間の一般化費用の C_{kl} 、OD交通量の Q_{kl} を取り上げる。

次のパラメータに対して外生値を設定する。各リンクの所要時間を t_{mij} 、運賃を f_{mij} 、サービス設定のための固定費用を d_{mij} 、旅客容量を α_{mij} と表す。旅客の時間価値は一定と考え、 $v = 50$ (円/分)と設定する。

(2)逆需要関数の設定

各起終点 (k, l) 間のOD交通量を図1のような

$$C_{kl} = C_{kl}^{max} - \beta_{kl} Q_{kl} \quad (1)$$

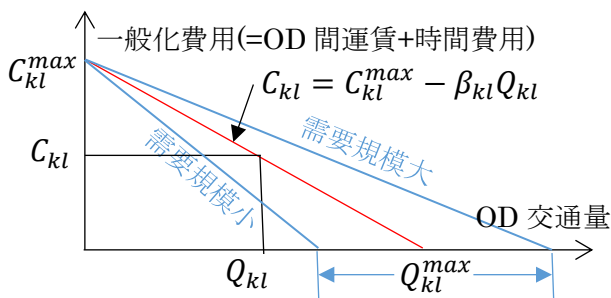


図1 起終点 (k, l) 間の逆需要関数

という線形の逆需要関数で与える。 C_{kl}^{max} はこのODの最大の支払意志額で、外生的に一定値を与える。

Q_{kl}^{max} はこのODの上限交通量であり外生的に与えるが、のちの分析では各ODの値を同時に比例的に伸縮させる。ODごとの利用者の利便性を式(2)で与えられる消費者余剰 CS_{kl} で評価する。

$$CS_{kl} = \frac{1}{2}(C_{kl}^{max} - C_{kl})Q_{kl} \quad (2)$$

OD間の一般化費用 C_{kl} は、各リンクにおける時間費用と運賃の和を考えて、式(3)を用いて利用者一人当たりの平均値を計算する。なお計算上は、左辺が右辺を下回らないという不等式を用いる。

$$C_{kl}Q_{kl} = \sum_{m \in M} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (f_{mij} + vt_{mij}) X_{mij,kl} \quad (3)$$

(3)目的関数と制約条件

本研究では、各リンクのサービス維持に必要な固定費用を政府が負担し、旅客1人当たりにかかる変動費用を旅客が運賃として支払うと仮定する。消費者余剰からサービス維持のための総固定費用を差し引いた純便益NBを目的関数として用いる。

$$\max_{Q, C, X, Z} NB = \sum_{k \in K} \sum_{l \in K} CS_{kl} - \sum_{m \in M} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{mij} Z_{mij} \quad (4)$$

このほかに式(5)~(10)の制約条件を考える。

$$Q_{kl} = \sum_{m \in M} \sum_{j \in N} X_{mkj,kl} \quad \forall (k, l) \in K \times K \quad (5)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in N} X_{min,kl} = \sum_{m \in M} \sum_{j \in N} X_{mnj,kl} \quad \forall n \in N, (k, l) \in K \times K, n \neq k, n \neq l \quad (6)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in N} X_{mil,kl} = Q_{kl} \quad \forall (k, l) \in K \times K \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in K} X_{mij,kl} \leq \alpha_{mij} Z_{mij} \quad \forall (i, j) \times m \in L \quad (8)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{mij} Z_{mij} \leq TB \quad (9)$$

$$Q_{kl} \geq 0, C_{kl} \geq 0, X_{mij,kl} \geq 0, Z_{mij} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

キーワード：都市間交通，需要内生化，マルチモーダルネットワーク

連絡先：〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 S-502 東北大学災害科学国際研究所 TEL:022-752-2160

式(5), (6), (7)はそれぞれ起点, 乗継ぎ, 終点ノードでの交通量の保存則である. 式(8)はリンクの容量に関する制約式で, 今回は容量を十分に大きい $\alpha_{mij} = 10$ 万(人/day)とにおいている. 式(9)は政府の予算額TBに関する制約である. 最後に式(10)で変数の定義域を与える.

3. 最適ネットワーク形状の計算

(1)計算ケースの状況設定

図2のような4ノード, 4モード, 18リンクからなる仮想ネットワークを考える. 飛行機, 新幹線, 在来線, バスの各モードのリンクごとの固定費用はそれぞれ, 200 万, 1000 万, 500 万, 10 万(円/day)と設定した. これより, 新幹線と在来線は固定費用が大きい, 変動費用は小さい. バスは固定費用も変動費用も小さいが, 時間費用が大きい. 飛行機の固定費用は鉄道より小さいが, 変動費用が鉄道やバスよりも大きい.

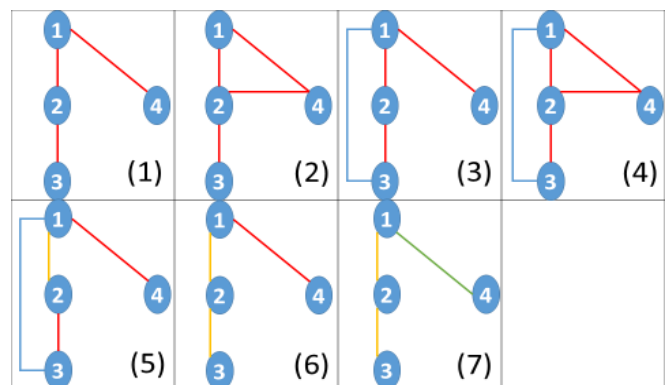
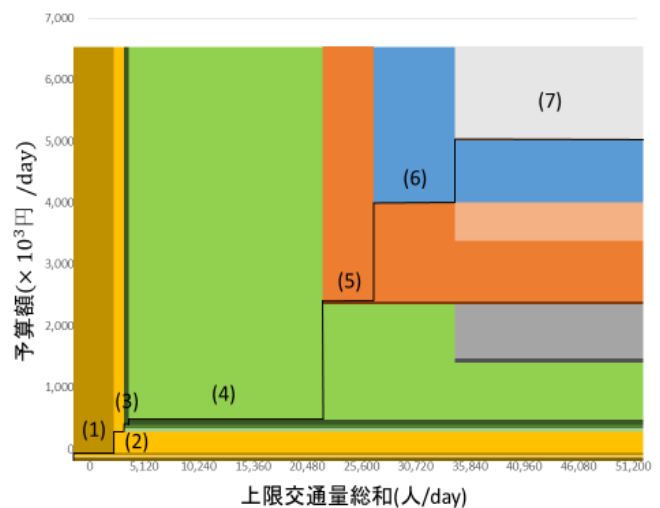
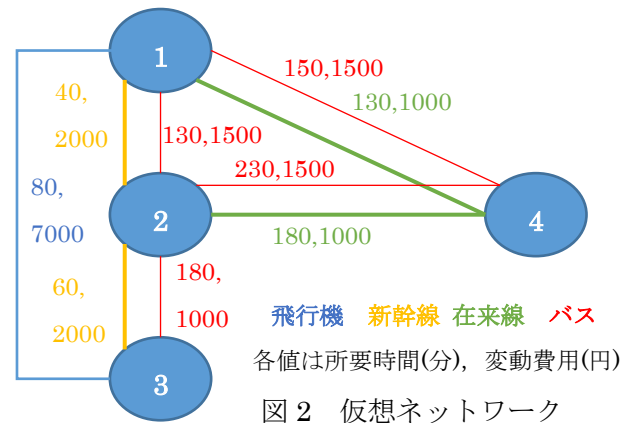
以下では, 交通需要の全体的な規模と, 路線維持予算の規模TBが与える影響を分析する. 前者を表現するため, 式(1)における C_{kl}^{max} をODごとに固定しつつ, すべてのODの上限交通量 Q_{kl}^{max} の値を比例的に大きく設定する. すなわち図1の需要曲線が横方向に伸縮する状況を考える.

(2)計算結果と考察

上限交通量の総和の値を横軸に, 予算額の上限を縦軸にとり, それらの制約下で最適なネットワーク構造を色分けしたものを図3に示す. また, 予算が十分に用意され, その制限を受けない場合には需要規模の増加に伴い図3中の黒線を辿って図4に示す(1)~(7)のネットワークが順番に現れる. 需要規模が小さい段階にはバスのみ, あるいは飛行機を加えた総固定費用の小さなネットワークが現れ, 需要規模が大きくなると新幹線や在来線が含まれてくる. また, $1 \Leftrightarrow 2$ に新幹線が存在すると, $2 \Leftrightarrow 4$ を直接結ぶリンクは現れない. これは, $2-1-4$ の経路を用いれば $2 \Leftrightarrow 4$ のリンクよりも小さな一般化費用で $2 \Leftrightarrow 4$ 間を移動できるためである.

4. おわりに

以上のようにネットワーク全体での純便益を考えた場合, 起終点を直接結ぶ交通サービスが不必要で,



乗継ぎを前提とした経路の方が効率的となる場合が存在した. このことを考えると, 交通サービスの必要性はODごとではなくネットワーク全体を考慮して評価する必要がある, それには本研究で提案したモデルが役立つと考えられる.

参考文献

- 1) Huseyin TIRTOM, 山口裕通, 奥村誠, 金進英: 低炭素化政策が都市間旅客交通ネットワークの構造に与える影響, 土木学会論文集D3, Vol.70, No.5, pp.819-827, 2014