

季節変動を有する都市間交通の最適なネットワーク計画の分析

東北大学大学院 学生会員 ○吉田 智貴
東北大学 正会員 奥村 誠

1. はじめに

観光や帰省などの都市間交通需要は季節間で大きく変動する。他方、鉄道を代表として、固定的なインフラ設備や車両・人員等のローリングストックの量は季節ごとに調整が難しい。そのため、施設の使用率の低下によるコスト高、または遊休を避けるための多客期の供給の手控えが、利便性の低下を招く恐れがある。

本研究は、季節間の車両融通という供給調整施策と、運賃の季節別設定という需要調整施策が、上述した需要の季節変動に起因する利便性の低下を抑制できることを確かめる。そこで先行研究の吉田・奥村^aで開発した期待総消費者余剰最大化モデル（付表-1 に定式化を示す）を用いて、以下の表-1 に示す 4 つのケースの最適解を求め、比較を行う。

表-1 4 つの計算ケースの設定

		季節間の車両融通	
		融通不可	融通可能
OD 別	通年同一	(i)	(ii)
運賃	季節別設定	(iii)	(iv)

2. 仮想ネットワークの設定

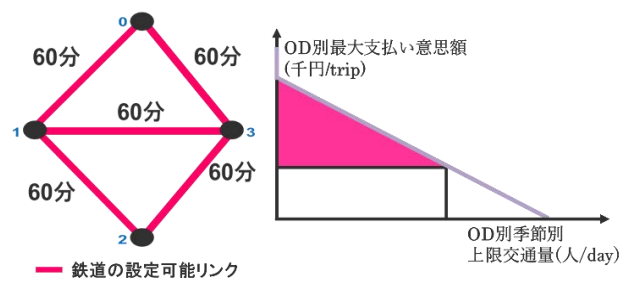


図-1 仮想ネットワークと需要関数の設定

表-2 OD 別季節別の上限交通量(人/day)

OD	0	1	2	3
0		2000,2000	1000,1000	500,500
1	2000,2000		500,500	2500,500
2	1000,1000	500,500		500,2500
3	500,500	2500,500	500,2500	

図-1 に示す 4 都市に 5 リンクを設定可能な仮想ネットワークにおいて、長さが同等の 2 つの季節に対する OD 別の上限交通量を表-1 のように与える。また、OD 別最大支払い意思額は季節によらず、0-2 間で 60 千円/trip、他の OD 間で 30 千円/trip と仮定する。

3. 計算結果と考察

4 つのケースの最適解における NW 構造・期待総消費者余剰（目的関数）を表-3 に示す。

表-3 各計算ケースの最適解の比較

計算ケース	NW 構造	期待総消費者余剰
(i)車両：融通不可 運賃：通年同一		25078
(ii)車両：融通可能 運賃：通年同一		34218
(iii)車両：融通不可 運賃：季節別設定		29375
(iv)車両：融通可能 運賃：季節別設定		35049

表-3 から、基準となるケース(i)では 2 リンクの NW が実現しノード 3 は孤立する。これに対し、他の 3 ケースでは 3 リンクの NW が実現してノードの孤立は回避され、利便性を表す期待総消費者余剰の増加に現れている。ただし、その増分を見ると、車両融通を行った(ii)、(iv)に比べて、季節別運賃のみを導入した(iii)の増分が小さい。この原因を考察するため、各 4 ケースにおける OD 交通量と運賃を確認する。表-4 から表-7 では対称性を活用して、右上に交通量、左下に運賃を示している。

これらより、車両融通を行った(ii)、(iv)では全 OD ペアで交通が発生しているのに対し、(iii)では季節により 0-1 間の交通が発生していない。同一の NW 構造を可能とする施策でも、交通が可能となる OD の数によって、目的関数の改善効果が大きく異なることが分かる。

表-4 ケース(i)季節別交通量(人/day)と運賃(千円/trip)

OD	0	1	2	3
0		745, 745	455, 455	0, 0
1	15.8,15.8		269, 269	0, 0
2	26.7,26.7	10.9,10.9		0, 0
3	-	-	-	

表-5 ケース(ii)季節別交通量(人/day)と運賃(千円/trip)

OD	0	1	2	3
0		741, 741	443, 443	17, 17
1	15.9,15.9		257, 257	1083, 217
2	27.4,27.4	11.6,11.6		100, 500
3	23.0,23.0	14.0,14.0	18.0,18.0	

表-6 ケース(iii)季節別交通量(人/day)と運賃(千円/trip)

OD	0	1	2	3
0		727, 755	473, 325	0, 120
1	16.1,15.7		291, 136	765, 341
2	25.6,34.5	9.5,18.8		35, 339
3	- ,16.8	17.8, 6.6	21.9,19.9	

表-7 ケース(iv)季節別交通量(人/day)と運賃(千円/trip)

OD	0	1	2	3
0		743, 732	451, 435	6, 34
1	15.8,16.0		265, 252	1109, 252
2	27.0,27.9	11.1,11.9		85, 514
3	23.6,22.0	13.7,11.8	18.9,17.8	

4. おわりに

以上の分析から、需要の季節変動がもたらす問題に対して、季節間の車両融通と季節別運賃がともに効果を持つこと、その大きさは、どの範囲の OD の途絶を回避できるかによって異なることが分かった。今後はどの OD の範囲に効果を持つか注意して対象とする NW において、施策を組み合わせることが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 吉田智貴・奥村誠：季節変動を有する都市間旅客交通の遊休回避のための最適化モデルアプローチ，2021.12.5，土木計画学研究・講演集 Vol.64(CD-ROM)

付表-1 期待総消費者余剰最大化モデルの定式化

定式化
需要関数 $C_{ks} = c_{ks}^{max} - \beta_{ks} \cdot Q_{ks} \quad \forall k \in K, s \in S$
消費者余剰 $CS_{ks} = \frac{1}{2}(c_{ks}^{max} - C_{ks}) \cdot Q_{ks} \quad \forall k \in K, s \in S$
目的関数 $\max_{X, F, Q, C, CS, P} \sum_{s \in S} \theta_s \sum_{k \in K} CS_{ks}$
出発地保存則 $Q_{ks} = \sum_{l \in Lo(o_k)} X_l^{ks} \quad \forall k \in K, s \in S$
経由地保存則 $\sum_{l \in Li(n)} X_l^{ks} = \sum_{l \in Lo(n)} X_l^{ks}$ $\forall k \in K, n \in N - \{o_k, d_k\}, s \in S$
目的地保存則 $Q_{ks} = \sum_{l \in Li(d_k)} X_l^{ks} \quad \forall k \in K, s \in S$
リンク設定の対称性 $Z_l = Z_{rl} \quad \forall l \in L$
リンク頻度の上限 $F_l^s \leq g_l \cdot Z_l \quad \forall l \in L, s \in S$
座席数の制約 $\sum_{k \in K} X_l^{ks} \leq h_l \cdot F_l^s \quad \forall l \in L, s \in S$
一般化費用総額の制約 $C_{ks} \cdot Q_{ks} \geq P^{ks} + \varphi \cdot \sum_{l \in L} t_l \cdot X_l^{ks} \quad \forall k \in K, s \in S$
通年運賃の制約 $C_{ks} = \bar{C}_k \quad \forall k \in K, s \in S$
リンク別車両必要数 $R_l \geq r_l \cdot F_l^s \quad \forall l \in L, s \in S$
融通不能時車両費用 $V \geq \sum_{l \in L} v_l \cdot R_l$
融通可能時車両必要数 $\bar{R} \geq \sum_{l \in L} r_l \cdot F_l^s \quad \forall s \in S$
融通可能時の車両費用 $V \geq v \cdot \bar{R}$
インフラ費用 $U \geq \sum_{l \in L} u_l \cdot Z_l$
運行費用 $W \geq \sum_{s \in S} \theta_s \sum_{l \in L} w_l \cdot F_l^s$
総予算制約 $\sum_{s \in S} \theta_s \sum_{k \in K} P^{ks} \geq U + V + W$
添字の定義
$k \in K$: OD ペア, $l \in L$: リンク, $s \in S$: 季節, $n \in N$: ノード
内生変数
Q_{ks} : OD 交通量, C_{ks} : 平均一般化費用 (年間値は $\bar{C}_k$), CS_{ks} : 消費者余剰, X_l^{ks} : OD 別リンク交通量, Z_{ij} : リンクの有無, F_l^s : 運行頻度, P^{ks} : 運賃総額, $\bar{R}$: 車両調達数, R_l : リンク別調達数, U : 固定費用, V : 車両調達費用, W : 運行費用
パラメータ
q_{ks}^{max} : 上限交通量, c_{ks}^{max} : 最大支払意思額, β_{ks} : 需要関数の傾き, θ_s : 季節の構成比率, g_l : 設定頻度上限, h_l : 一便あたりの座席数, t_l : 所要時間, r_l : 車両拘束時間, φ : 時間価値, u_l : 固定費用単価, w_l : 運行費用単価, v_l : リンク別車両調達単価, v : 車両調達単価