

近年の都市間経路集合の変化とサービスレベルの比較

○ [土] 木村 裕介 (東北大学大学院) [土] 石山 翔 (東北大学)

[土] 奥村 誠 (東北大学) [土] 塚井 誠人 (広島大学大学院)

The change of available sets of inter-city travel routes and their level of service

○Yusuke Kimura, (Graduate School of Tohoku University)

Sho Ishiyama, Makoto Okumura, (Tohoku University)

Makoto Tsukai, (Graduate School of Hiroshima University)

Several travel routes have become available for inter-city trip because of the recent openings of new airports and Shinkansen lines. On the other hand, severe reductions of direct flights between local cities are expected to worsen the convenience of such trips. Because of this, multi-modal routes which use both air and inter-city railway on middle-distance access to the local hub airports would increase importance from now on. In this paper, we investigate the change of available sets of inter-city travel routes from 1995 to 2005. Considering the expansion of Tohoku Sinkansen in 2002, we analyze change of available route sets and service level of air, multi-modal, and rail routes from Hachinohe city to cities in the Western Japan.

キーワード：交通ネットワーク計画，マルチモーダル経路，都市間経路集合

Key Words：transport network planning, multi-modal route, set of inter-city routes

1. はじめに

航空ネットワークや新幹線網の整備により，国内都市間の移動に複数の経路が利用できる状況になっている。しかし地方都市間では，近年の航空会社による赤字路線の廃止・減便により，航空のみで移動する経路（以下，航空経路）の頻度が減少し，利便性の低下がみられる。今後は，都市間鉄道による地域の拠点空港までの中長距離アクセスと航空を組み合わせたマルチモーダル経路の重要性が増すと思われる。

本研究では，国内 9 地域相互の都市間経路集合の 1995 年と 2005 年の間の変化を分析する。また，2002 年に東北新幹線が開業した「八戸」ゾーンに着目し，「八戸」と西日本の各都市間について，新幹線開業前後における，経路集合，航空・マルチモーダル・鉄道経路のサービスレベルの比較を行う。

2. 都市間経路集合の変化

2.1 都市間経路集合の定義

都市間経路集合は，都市間ネットワークデータに第 k 番

目経路探索¹⁾を適用して算出した。本研究で使用する都市間ネットワークは，全国幹線旅客純流動調査²⁾の 207 生活圏のうち離島を除く 194 ゾーンを対象として，各ゾーンの代表都市と 52 の空港をノードとし，それらの間の航空・鉄道サービスをリンクとして表現したものであり，246 ノード，217 航空リンク，291 幹線鉄道リンク，及び 52 空港アクセスリンクにより構成されている。

本研究では，1995 年と 2005 年の 2 時点について，194 都市ノード相互の全ての OD について，最短経路所要時間の 1.5 倍以内，及び最短経路から第 40 番目までの経路を条件に第 k 番目経路探索を行い，都市間経路集合を算出した。ただし，1 つの経路には 4 路線以上の航空路線は含まないものとし，同じ航空路線を利用してアクセス・鉄道部分のみが異なる経路が複数ある場合にはそのうち最短のもののみを考えることとした。

2.2 都市間経路集合の変化

北海道・東北・関東・東海・北陸・近畿・中国・四国・九州の各 9 地域相互の都市間経路集合を求めた。1995 年と 2005 年の経路集合に含まれる 1OD あたりの経路数，及びその変化を表 1 に示す。

表1 経路集合に含まれる10Dあたりの経路数

	北海道	東北	関東	東海	北陸	近畿	中国	四国	九州
北海道		10.7 11.3	13.5 15.1	16.0 17.3	9.7 9.1	14.6 14.6	10.8 12.3	7.4 7.5	8.7 9.6
東北	0.6 5.5%		8.0 7.4	8.5 9.1	12.6 10.7	9.7 10.3	13.8 15.5	14.3 13.5	12.0 14.2
関東	1.6 12.2%	-0.7 -8.3%		6.0 7.8	5.8 4.9	9.8 8.5	11.7 11.5	10.9 9.5	13.6 14.9
東海	1.3 8.3%	0.5 6.2%	1.8 30.3%		3.6 5.3	2.6 2.1	7.3 6.1	6.3 6.0	13.0 13.2
北陸	-0.6 -6.1%	-2.0 -15.5%	-0.9 -16.2%	1.8 49.2%		5.3 6.6	9.2 9.2	9.3 9.0	8.6 9.1
近畿	0.0 0.0%	0.6 6.5%	-1.3 -13.4%	-0.5 -19.8%	1.3 24.4%		6.5 5.3	5.8 5.8	13.0 11.4
中国	1.5 13.5%	1.7 12.7%	-0.2 -1.5%	-1.1 -15.4%	-0.1 -1.0%	-1.1 -17.5%		7.9 7.4	8.5 8.3
四国	0.1 1.4%	-0.8 -5.8%	-1.4 -13.0%	-0.3 -5.2%	-0.3 -3.2%	0.0 0.0%	-0.5 -6.3%		8.7 8.7
九州	0.9 9.7%	2.2 18.7%	1.3 9.5%	0.2 1.5%	0.5 6.0%	-1.6 -12.3%	-0.2 -2.6%	0.0 -0.2%	

※上三角行列の上段が1995年の経路数、下段が2005年の経路数

※下三角行列の上段が1995年から2005年までの経路数の変化、下段が変化率

四国と各地域（北海道を除く）間の経路数が減少し、特に、東北・関東・中国との減少率が高い。これは、1995年から2005年にかけて、伊丹ー徳島・高松、関空ー高知・高松、名古屋（小牧）ー高松の各便が廃止され、航空の乗り継ぎにより四国に到達できる経路が減少したことが原因である。特に、関空では2005年にかけて四国地域の便のほか、東北・中国・九州地域の便も多く廃止されており、国内ハブとしての機能は大幅に低下している。

また、北陸と、東海・九州を除く各地域を結ぶ経路でも経路数の減少がみられる。これは、2003年の能登空港開港により、「穴水」（能登）と各地域間の最短経路が小松空港利用から能登空港利用に変化し所要時間が短縮されたため、経路探索の条件である最短経路の1.5倍の所要時間に入る経路数が減少したことによる。逆に、北陸と東海の間では名古屋（小牧）ー富山便が廃止され、最短経路の所要時間が伸びたため、経路集合に入る経路数が増加している。

北海道と各地域（北陸を除く）を結ぶ経路では、経路数が増加している。これは、1995年から2005年にかけて函館路線を中心に道内路線が8路線増加し、道内での乗り継ぎを行い各地域に向かう経路が増加したためである。

また、各地域内の新幹線開業の影響をみると、東北新幹線が開業した「八戸」では仙台空港利用経路が、長野新幹線が開業した「上田」「長野」では羽田空港利用経路が経路集合に多く入るようになり、経路数の増加がみられる。同様に、九州新幹線が開業した「鹿児島」「川内」では熊本・福岡の両空港利用経路が、「熊本」では鹿児島空港利用経路が増加している。このように、新幹線が開業したゾーンでは、空港までのアクセス時間が長く経路集合に入らなかった近隣空港（各ゾーンを発着する航空旅客が最も多く利用する空港）以外の空港を利用する経路も経路集合に入るよ

うになったこと、また、近隣空港よりも路線の多い地域の拠点空港までの所要時間が短縮され、拠点空港を利用する経路が増加したことにより、10Dあたりの経路数も増加している。特に、東北地域の拠点空港である仙台空港までのアクセス時間が159分から120分に短縮された「八戸」では、その効果が大きい（次章参照）。

3. 「八戸」と西日本の都市間の経路集合とサービスレベル

3.1 サービスレベルの算出方法

「八戸」と西日本（近畿・中国・四国・九州）の各都市間の経路について、以下の方法により距離・所要時間・運賃・頻度・滞在可能時間を算出した。

① 距離・所要時間

通過するリンクの距離・所要時間の和とした。

② 運賃

航空、空港アクセスのリンクの運賃は通過するリンクの運賃の和とした。また、鉄道の運賃は距離により逓減するため、時刻表より回帰した以下の近似式³⁾を用い算出した。（鉄道運賃）

$$F = F_c + \delta^1 F_{ex}^1 + \delta^2 F_{ex}^2 + \delta^3 F_{ex}^3 \quad (1)$$

（乗車運賃）

$$F_c = -0.0043d^2 + 16.49d + 58.47 \quad (R^2 = 0.997) \quad (2)$$

（特急料金）

$$F_{ex}^1 = 3.46d + 972.37 \quad (\delta^1 = 1: v \leq 120) \quad (R^2 = 0.735) \quad (3)$$

$$F_{ex}^2 = 5.70d + 1971.0 \quad (\delta^2 = 1: 120 < v \leq 170) \quad (R^2 = 0.886) \quad (4)$$

$$F_{ex}^3 = 6.49d + 2528.5 \quad (\delta^3 = 1: 170 < v) \quad (R^2 = 0.993) \quad (5)$$

F：鉄道運賃（円）

F_c：乗車運賃（円）

F_{ex} : 特急料金 (円) d : 距離 (km)

t : 鉄道所要時間 (min) $v=d/t \times 60$: 平均速度 (km/h)

③ 頻度

頻度は、経路の通過するリンクの1時間ごとの頻度に基づいて、6時～23時の毎時00分に出発する場合の目的地までの到達可能回数を求めて、その回数を経路の頻度として用いる。具体的には、出発ノードの出発時刻を「毎時00分」とであると仮定する。次いで、各ノードの出発時刻に「平均待ち時間 ((60分/リンクの対象時刻の頻度)/2)」を加え、順次リンクの所要時間を加えて経路をたどり、次のノードに向かう。ただし、1つ前のリンクと同一の列車が利用できないノードを乗り継ぎノードとして設定し、その到着時刻に次のリンクの便・列車が運行されていない場合には、「次の運行がある時間帯の00分+平均待ち時間」まで待つものとする。このようにして、24時までには目的地にたどりつける回数を算出した。ただし、あとの時刻に出発した場合と同じ時刻にしか到着できないケースは除き、往復で

表2 「八戸」と西日本の各地域間の100あたりの経路数

	近畿	中国	四国	九州
1995年	8.6	10.6	10.6	7.8
2005年	13.5	19.6	16.6	16.1
2005年-1995年	4.8	8.9	6.0	8.3

頻度が異なる場合は、その平均値を用いた。なお本指標では、高頻度で運行されているリンクのみを利用する経路については、頻度が過小評価になっている可能性がある。

④ 滞在可能時間

上記の頻度の計算と同じ方法で、出発地から目的地への「最早到着時刻」、及び目的地から出発地への「最遅出発時刻」を算出し、「最遅出発時刻-最早到着時刻」を滞在可能時間として算出した。ただし、滞在ができないODは0として扱い、往復方向で滞在可能時間が異なる場合は、その平均値を用いた。

表3 「八戸」と西日本の各地域間の経路のサービスレベルの比較

		近畿				中国			
		航空	マルチ	鉄道	航空-マルチ	航空	マルチ	鉄道	航空-マルチ
1995年	距離 (km)	1076	1089	1206	-13	1330	1360	1596	-31
	所要時間 (分)	222	283	407	-60	249	283	524	-34
	運賃 (円)	34893	37756	23670	-2863	46930	48443	27842	-1513
	頻度 (回)	1.3	2.3	3.1	-1.0	1.7	1.9	1.9	-0.2
	滞在可能時間 (分)	25	71	99	-46	13	15	7	-2
2005年	距離 (km)	1062	1043	1206	19	1329	1365	1586	-36
	所要時間 (分)	220	265	365	-45	254	296	473	-42
	運賃 (円)	38612	41074	23895	-2462	55481	57398	28155	-1918
	頻度 (回)	1.3	7.1	8.3	-5.9	1.7	3.3	5.7	-1.6
	滞在可能時間 (分)	31	364	231	-333	27	119	50	-92
2005年 - 1995年	距離 (km)	-13	-45	1		0	5	-10	
	所要時間 (分)	-3	-18	-43		5	13	-52	
	運賃 (円)	3719	3318	225		8550	8955	313	
	頻度 (回)	0.0	4.8	5.3		-0.1	1.4	3.8	
	滞在可能時間 (分)	5	292	132		14	104	44	
		四国				九州			
		航空	マルチ	鉄道	航空-マルチ	航空	マルチ	鉄道	航空-マルチ
1995年	距離 (km)	1216	1262	1548	-47	1507	1584	1964	-77
	所要時間 (分)	242	316	553	-74	276	329	664	-53
	運賃 (円)	42143	46212	26667	-4069	48206	51268	30471	-3062
	頻度 (回)	1.0	2.3	1.9	-1.3	0.9	1.9	1.5	-1.0
	滞在可能時間 (分)	0	23	1	-23	0	29	0	-29
2005年	距離 (km)	1239	1237	1548	2	1520	1490	1963	30
	所要時間 (分)	254	298	510	-44	288	320	597	-32
	運賃 (円)	50569	53217	27566	-2648	55868	57065	30888	-1197
	頻度 (回)	1.3	4.8	5.8	-3.5	1.0	4.2	4.8	-3.3
	滞在可能時間 (分)	7	204	16	-197	3	201	4	-197
2005年 - 1995年	距離 (km)	23	-25	0		13	-94	0	
	所要時間 (分)	13	-18	-43		12	-9	-67	
	運賃 (円)	8426	7005	899		7663	5798	417	
	頻度 (回)	0.3	2.5	3.9		0.1	2.3	3.3	
	滞在可能時間 (分)	7	181	15		3	172	4	

※ マルチはマルチモーダル経路

※ 「航空-マルチ」の列は、航空が有意な指標を斜字、マルチモーダルが有意な指標を太字で示す。

※ 「2005年-1995年」の行は、サービスレベルが向上した指標を太字、悪化した指標を斜字で表す。

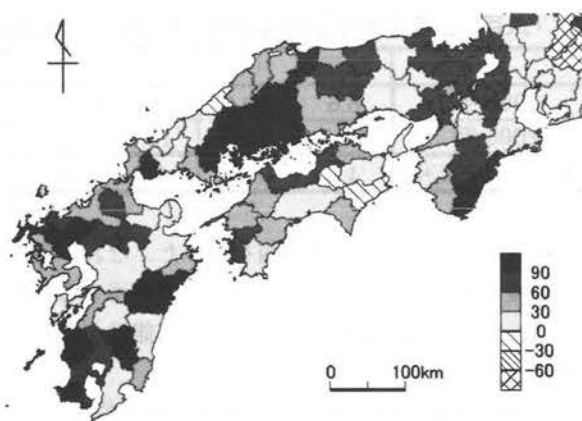


図1 マルチモーダル経路の滞在時間の変化
(2005年-1995年)

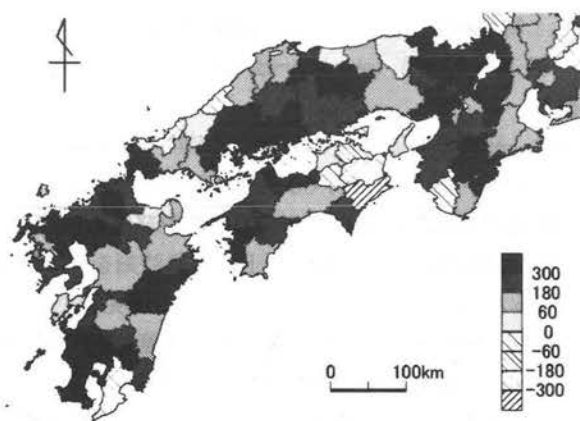


図2 マルチモーダル経路の滞在時間の優位性の変化
(「マルチモーダル経路-航空経路」の「2005年-1995年」)

3.3 経路選択肢集合の変化

表2に「八戸」と近畿・中国・四国・九州の各地を結ぶ経路の1 OD あたりの経路数を示す。

表2より、各地域とも経路数が増加している。1995年時点では、「八戸」側利用空港の多くは三沢空港・青森空港・花巻空港であったのに対し、新幹線の開業により仙台空港利用経路が増加(35経路→227経路)し、福島空港・羽田空港利用経路も経路集合に入るようになった(福島空港: 0経路→65経路, 羽田空港: 0経路→47経路)ためである。

3.4 経路別のサービスレベルの分析

表3に「八戸」と近畿・中国・四国・九州の各地域を結ぶ航空・マルチモーダル・鉄道経路の1995年と2005年の距離・所要時間・運賃・頻度・滞在可能時間を示す。ここで、航空経路とは発着ゾーンの近隣空港間を航空のみで移動する経路のうち所要時間が最短の経路、マルチモーダル経路とは発着ゾーンの片側のみで近隣空港を利用する経路のうち頻度が最大の経路、鉄道経路とは鉄道のみで移動する経路のうち所要時間が最短の経路を指している。

1995年から2005年にかけて、航空・マルチモーダル経路の運賃が増加している。これは、航空運賃が1路線あたり3000円から5000円程度上昇した結果である。また、マルチモーダル経路では頻度・滞在可能時間が増加している。これは、東北新幹線の開業による仙台空港までの所要時間の短縮効果により、仙台-伊丹便(7→13便/日)・仙台-福岡便(2→5便/日)を利用できるODが増加するとともに、これらの路線の頻度が増加したことによる。

航空経路とマルチモーダル経路との比較では、各年次、各地域とも所要時間・運賃では航空経路が優位であるものの、頻度・滞在可能時間ではマルチモーダル経路が優位であり、旅客のスケジュール利便性が高いことがわかる。特に、九州・四国地域に対する滞在可能時間は航空路線ではほぼ0であるが、マルチモーダル経路を用いることによって2005年では3時間以上(200分)確保できる。この航空経路とマルチモーダル経路の差は新幹線開業後の2005年の方が大きく、仙台空港を利用できる経路が増えたこと

の影響が現われている。

また、鉄道経路でも各地域で頻度・滞在可能時間の増加がみられ、新幹線開業による所要時間短縮の効果が確認できる。

4. まとめ

本研究では、1995年と2005年の2時点において、国内9地域相互の都市間の経路集合の変化を分析した。また、2002年に東北新幹線が開業した「八戸」と西日本の都市間について、新幹線開業前後の経路集合、航空・マルチモーダル・鉄道経路のサービスレベルの分析をした。

その結果、新幹線の開業は各ゾーンから地域の拠点空港までの所要時間を短縮させ、経路集合に入る経路数を増加させること、航空経路に比べてマルチモーダル経路はスケジュール面での利便性(頻度・滞在可能時間)が高いことがわかった。現在、地方空港の路線が廃止・減便される一方で、地域の拠点空港間の路線は便数が維持・増便される傾向にある。今後とも旅客のスケジュール利便性を保つためには、各ゾーンから地域の拠点空港までの鉄道によるアクセス性の向上が重要であると考えられる。

4. 今後の課題

今後の研究課題として、マルチモーダル経路を含めどの程度のサービスレベルの経路が旅客に実際に使われているかを分析し、航空と鉄道の連携のあり方を検討していく必要がある。また、航空と鉄道の時刻的な連携(乗り継ぎ時間の短縮)や旅客のスケジュール調整のためのコストが、都市間旅客の経路選択へ及ぼす影響の分析を行うことが望まれる。

参考文献

- 1) 加藤直樹, 茨木俊秀, 三根久: 無向グラフの第K最短単純経路を求める $O(Kn^2)$ アルゴリズム, 電子通信学会論文誌, Vol. J61-A, No.12, pp.1199-1206, 1978.
- 2) 国土交通省: 全国幹線旅客純流動調査(1995, 2005).
- 3) 柗元淳平: 都道府県間純流動データに基づく純流動量の推定方法, 広島大学修士論文, 2003.