

日帰り交通圏の非対称性を考慮した都市間業務交通量・立地量の分析*

Analysis on Asymmetric Round-Trip-Area to Business Passenger Trips, and Office Accumulation*

塚井 誠人**・奥村 誠***

By Makoto TSUKAI**・Makoto OKUMURA***

1. はじめに

我が国では、航空ネットワークや新幹線ネットワーク整備の進展によって日帰り交通圏が拡大している¹⁾²⁾。日帰り交通圏の利便性は、経路経路の運航便の設定時刻に左右されるため、出発地と目的地を入れ替えると相互の最大滞在時間は異なってくる。日帰り交通圏の非対称性は、都市間交通ネットワークに埋め込まれた都市の階層性の指標とも理解できるため、全国都市で展開される業務活動に様々な影響を及ぼしている可能性がある。しかし、これまでのところ日帰り交通圏や目的地での最大滞在時間が地域間の業務交通量の増加や、業務拠点の集約化に及ぼす影響は明らかにされていない。

本研究は都市間の日帰り交通圏（滞在可能時間）を算出するとともに、日帰り交通圏と業務交通量、および都市の事業所立地量との関係を、実証的に分析する。

2. 分析方法

(1) 日帰り交通圏の算出手順

公共交通機関を利用した日帰り交通圏を算出するには、各運航便に対応するダイヤグラム情報を用意しなければならないが、そのデータベースは膨大で計算負荷も大きい。そこで本研究では、簡便法によって日帰り交通圏を算出する。計算手順の詳細は参考文献³⁾に譲り、概略を示す。この簡便法は、都市間公共交通ネットワークを有向グラフとみなして経路探索を行う方法であり、時間帯別運行頻度の情報を用いて、利用できないリンク（そのリンクを通過する時点で運航便が設定されていないリンク）を除きながら、利用可能なリンクのみを経由する経路を生成する方法である。

目的地 j が出発地 i の日帰り交通圏に含まれるか否かの判定は、出発地 i から目的地 j までの往路と、目的地

*キーワード：日帰り交通圏、非対称性、事業所集積

**正員，博（工），立命館大学理工学部

（滋賀県草津市野路東1-1-1

TEL077-561-5986, FAX077-561-5986）

***正員，博（工），東北大学東北アジア研究センター

（宮城県仙台市青葉区川内4-1

TEL022-795-7571, FAX022-795-7477）

j から出発地までの復路 i について、設定した出発時刻の下で、それぞれの利用経路と所要時間を求めることによって計算できる。以下、この手順を実際の設定条件に基づいて説明する。往路の出発時刻は午前6時から12時までの7時点と設定して、これらの出発時刻に対応する目的地到着時刻（出発時刻+経路所要時間）を、経路の待ち時間近似値を考慮しながら算出し、それらの中で最も早い目的地到着時刻を目的地到着時刻 \bar{A}_{ij} とする。復路の出発時刻は、午後2時から午後9時までの1時間毎8時点と設定して、往路と同様の手順で出発地到着時刻を算出する。その上で、午前0時までに出発地に帰着できる目的地出発時刻の中から、最も遅い時刻を目的地出発時刻 \bar{D}_{ji} とする。このとき都市 ij 間の目的地最大滞在時間の最大値 MST_{ij} は、式（4）から求められる。また出発地 i の日帰り交通圏 RTA_i は、 MST_{ij} が正となる目的地の集合であり、式（5）によって定義される。

$$MST_{ij} = \bar{D}_{ji} - \bar{A}_{ij} \quad (1)$$

$$RTA_i = \{j \mid MST_{ij} > 0\} \quad (2)$$

(2) 日帰り交通圏が業務旅客流動に及ぼす影響の検証

本節では、業務旅客純流動モデルから推計されるパラメータに基づいて、日帰り交通圏が業務旅客流動に及ぼす影響を統計的に検証する。

なお後述するように、本研究では全国194ゾーン間のトリップを分析対象としているため、集計OD表には0トリップが多く含まれる。OD表で0トリップと記録されている場合、対数線形型の重力モデルでは、内生変数の観測値が計算できない。この場合、微小値 δT_{ij} を観測データに加える、0トリップデータを除外する等の方法をとると、パラメータ推計にバイアスが生じる。また0トリップのODペアの多くは、目的地最大滞在時間が0と考えられるので、日帰り交通圏の影響を検証するには、0トリップデータを適切に扱う必要がある。

そこで、0トリップデータは、サンプリング誤差や拡大係数の誤差等によって、観測限界以下の流動が起こっていると考える。観測の打ち切りをTobitモデルによって表現すると、式（3）に示す対数線形型の重力モデル

について、式(4)の観測打ち切りを仮定すると、そのパラメータは、式(5)に示す対数尤度関数の最大化によって得られる。

$$Y_{ij} = f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\beta}) + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

$$\begin{cases} Y_{ij} = \log T_{ij} & \text{if } \log T_{ij} > 0 \ (\delta_{ij} = 1) \\ Y_{ij} \text{ is missing} & \text{if } \log T_{ij} \leq 0 \ (\delta_{ij} = 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$\log L = \sum_{i,j} \delta_{ij} \left[\phi\left(\frac{\varepsilon_{ij}}{\sigma}\right) - \log \sigma \right] + \sum_{i,j} (1 - \delta_{ij}) \Phi\left(\frac{-f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\beta})}{\sigma}\right) \quad (5)$$

ここで、 T_{ij} は旅行者の居住地～目的地間の純流動であり、式(4)に示すように、 $T_{ij} = 0$ の場合は観測されていないと考える (δ_{ij} は $T_{ij} > 1$ のとき1、 $T_{ij} = 0$ のとき0をとるダミー変数)。構造方程式 $f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\beta})$ は、対数線形型の重力モデルであり、説明変数として都市 i の就業人口 (X_i)、都市 j の従業人口 (X_j)、都市 ij 間の交通サービス水準 (t_{ij}, c_{ij}) と、目的地滞在時間のダミー変数 ($dMST_{ij}^k$) を設定する。 $\boldsymbol{\beta}$ はパラメータベクトルであり、 $\phi(\cdot)$ 、 $\Phi(\cdot)$ はそれぞれ、標準正規分布の確率密度関数と、確率分布関数を表す。式(5)の尤度関数の第2項が示すように、Tobitモデルでは $Y_{ij} = 0$ の観測値に対しても、構造方程式の影響を考慮している。

(3) 日帰り交通圏が事業所立地量に関する分析

企業は、事業所の立地都市を比較的長期の意志決定に基づいて決定する。したがって、ある時点の事業所の立地都市は、必ずしもその時点で最適な立地点とはなっておらず、過去の時点で最適であった立地点からの移転が進まない可能性がある。このような立地量の不均衡問題に対して、Wilsonはローリーモデルを発展させて定式化した動学的立地モデルを示した。このモデルでは、立地変化量は現時点の立地ポテンシャルと、過去時点の立地量との差に応じて決定されると考える。式(6)に以下の分析で用いる立地モデルを示す。

$$\Delta E_j^t = \gamma_0 + \gamma_1 P_j^t + \gamma_2 \left(\alpha \sum_j^{j \neq i} L_j^t p_{ji} - E_j^{t-1} \right) + \gamma_3 \sum_i^{i \neq j} L_i^t p_{ij} + u_j \quad (6)$$

ここで ΔE_j は都市 j の立地変化量 ($E_j^t - E_j^{t-1}$)、 P_j は都市 j の人口、 L_i, L_j は都市 i の発生交通量、 p_{ij}, p_{ji} は都市 i/j から発生する交通量の目的地 j/i 選択確率、 $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \alpha$ はパラメータである。

右辺第2項に現れる P_j は、地域に立地する事業所がサービスを提供する自地域内の潜在的な顧客を表している。さらに右辺第3項のかっこ内、および右辺第4項に現れる $\sum_j^{j \neq i} L_j p_{ji}$ 、 $\sum_j^{j \neq i} L_j p_{ij}$ は、都市 j の集中交通量と発

生交通量を表す。これらの交通量は、式(3)の重力モデルに基づいて推計する。

3. 分析結果

(1) データセット

幹線交通ネットワークは、幹線旅客純流動調査において設定されている全国207生活圏のうち、沖縄と離島を除く194生活圏に対応するように、既往研究⁵⁾において設定したネットワークを用いる(240ノード、501リンク)。リンクのサービス水準データは、運賃、所要時間、および運行頻度の情報を1990年と2000年の時刻表に基づいて入力している。運行頻度は、午前6時から深夜0時までの間を3時間毎に6つの時間帯に分けて、方向別にカウントした。有向グラフ上の経路探索は、加藤ら⁶⁾の無向グラフ上の第 k 経路探索法を有向グラフに拡張したアルゴリズムを用いた。日帰り交通圏は、都市内々を除く194都市相互について計算を行った。

都市間業務旅客流動は、1990年、1995年、2000年に行われた過去3回の幹線旅客純流動調査の結果が、インターネット上で公開されている⁴⁾。調査結果は、都道府県単位、または207生活圏単位のOD表として集計されているが、都道府県内々、および3大都市圏内々の交通量は、調査対象外とされている。これらのOD表は、交通機関、移動目的のほか、トリップの最初の出発地～最終の目的地、あるいは旅行者の居住地～旅行の最終目的地などの属性別に集計されている。このうち、居住地～最終目的地間の旅客数は、主に出発都市の居住者数と目的都市の目的地規模に依存するため、そのOD表は非対称となる。以下の分析では、この非対称性に目的地最大滞在時間の違いが影響している可能性を検証する。

すなわち、居住地～旅行の最終目的地間(207生活圏単位、全交通機関、業務目的)のOD表について重力モデルを推定する。

(2) 日帰り交通圏と業務旅客・立地量の変化

表1に、2000年における札幌、仙台、東京、富山、名古屋、大阪、広島、高知、福岡の9都市相互の、日帰り交通圏の算出結果を示す。新幹線で結ばれている東京、名古屋、大阪の3大都市圏間の滞在可能時間はほぼ等しい一方で、仙台や富山などの、航空便利用がなされる都市間では、非対称な目的地滞在時間が現われている(表中にマーキングを行なっている)。

図1に1990年と2000年間の(2000年/1990年)、東京からの目的地最大滞在時間比と、業務旅客数の比を示す。図5に東京からの目的地最大滞在時間比と、業務旅客数の比を示す。目的地最大滞在時間は、福島県西部と新潟では減少しているが、その他の都市ではあまり変

表1 2000年の目的地最大滞在時間（9都市相互）

0	札幌	仙台	東京	富山	名古	大阪	広島	高知	福岡
札幌	0	423	625	339	472	415	295	296	397
仙台	477	0	592	261	349	472	315	316	473
東京	632	588	0	540	662	594	548	459	652
富山	317	295	570	0	649	636	406	330	398
名古	484	470	658	508	0	822	652	456	575
大阪	476	572	599	495	817	0	780	530	663
広島	312	375	539	325	652	781	0	484	722
高知	245	341	545	293	465	588	551	0	443
福岡	335	443	588	432	536	558	783	496	0

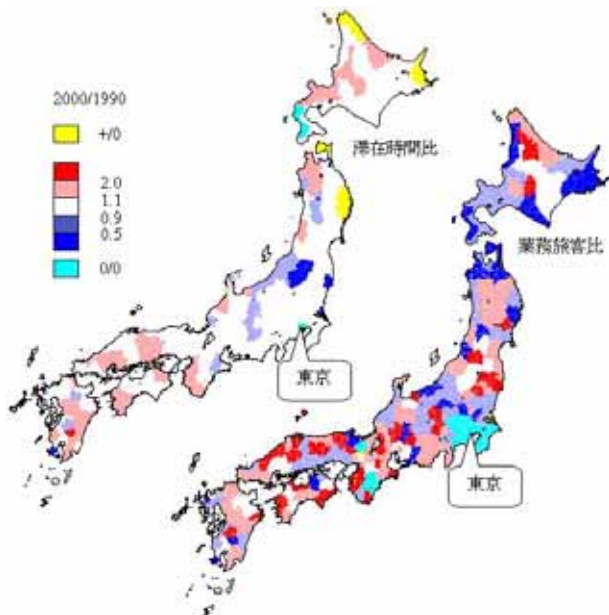


図1 最大滞在時間・業務旅客の変化（東京発）

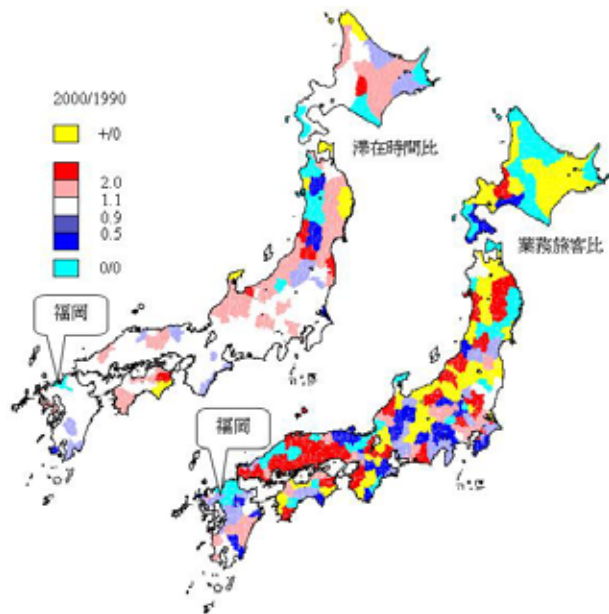


図2 最大滞在時間・業務旅客の変化（福岡発）

化では比較的人口集積の少ない地方都市でのトリップの増加が目立つのに対して、北関東や長野、新潟、青森県の都市に対しては減少している。図2に福岡からの目的地最大滞在時間比と、業務旅客数の比を示す。目的地最

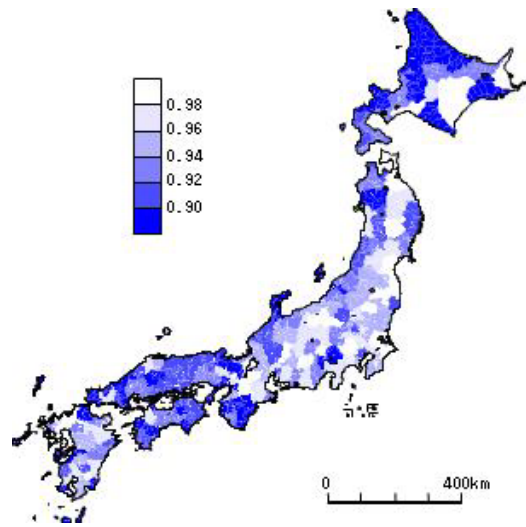


図3 2001年/1990年の事業所立地量の比

表2 業務旅客モデルの推定結果

説明変数	対数tobitモデル		重力モデル	
	推定値	t値	推定値	t値
定数	-36.168	-55.97	-10.015	-50.70
発地人口	1.830	92.82	0.582	105.42
着地従業人口	1.506	84.79	0.458	89.99
所要時間	-0.898	-10.89	-0.238	-8.33
運賃	-0.233	-3.22	-0.108	-4.96
MST2時間以下ダミー	-0.154	-2.95	0.202	13.98
MST9時間以上ダミー	0.218	3.42	0.651	27.28
航空ダミー	0.514	5.03	0.213	6.72
分散	2.148	121.17	-	-
サンプル数	36364			
正の観測値の割合	0.250			
決定係数（対数軸）	0.432		0.451	
決定係数（実軸）	0.675		0.419	
194都市圏 到着交通量の決定係	0.945		0.580	

大滞在時間は、道東や道北、青森、秋田、山形の一部を除く東北地方から新潟、北陸の日本海側沿岸の都市に対して著しく増加している。業務旅客数は、目的地最大滞在時間が増加した北陸以東の都市でほぼ増加しており、中国地方の瀬戸内側、および松江や米子では増加する一方で、3大都市圏では減少する傾向が見られた。

図3に、2000年に対する1990年の民営事業所立地量の比を示す。東京などの数都市を除いて、ほぼ全ての都市において民営事業所数は減少する傾向にある。特に北海道、関西、中四国地方の減少が著しい傾向が見られた。

（3）日帰り交通圏が業務旅客流動に及ぼす影響

表2に2000年の業務旅客モデルの推定結果を示す。中央2列は対数tobitモデル、右側2列は比較のために推定した重力モデル（全サンプルに0.1を加算して対数化）の推定結果である。対数tobitモデルの、全サンプルに対する自由度調整済み決定係数は0.432と低い。これは0トリップサンプルに対して、対数tobitモデルによる推定値が負となるためである。都道府県、および3都市圏内々を除いて、推定に用いたサンプル数は36364、

そのうち正の観測値の割合（1日1トリップ以上）は25%であった。モデルの予測値と実測値を、対数軸上で比較した場合の決定係数は0.432と低いが、それらを実軸上に变换すると決定係数は0.675であり、比較的良好な再現精度が得られた。さらに都市間交通量を到着地の側で集計し、194都市圏の到着交通量に関する決定係数を求めたところ0.945となった。説明変数は全て1%以上の有意水準であり、全て符号条件を満足している。t値を比較すると、発地人口が着地従業人口よりも有意水準が高く、所要時間と運賃では、所要時間の有意水準が高い。目的地最大滞在時間に関するダミー変数は、2時間以下について負、9時間以上は正となり、妥当な推定結果を得た。航空ダミーは航空リンクを経由する00間のダミー変数であり、正の推定値が得られた。

一方重力モデルの推定結果は対数tobitモデルと類似しているが、目的地最大滞在時間2時間以下のダミー変数が符号条件を満たさない結果となった。重力モデルの決定係数を対数tobitモデルと比較すると、対数軸上の再現性には大差がないものの、実軸上の再現性は低く、194都市圏の到着交通量に関する決定係数も極めて低い。以上の結果より、対数tobitモデルの現況再現性の高さが明らかとなった。

（5）事業所立地量変化モデルの推定結果

表3に、2001年と1991年の事業所立地量の差を内生変数とした、事業所立地量変化モデルの推定結果を示す。なお幹線旅客純流動調査では調査されていない都市圏間の旅客流動については、対数tobitモデルを用いて補完して、発生・集中交通量を求めた。自由度調整済み決定係数は0.908であり、モデルの現況再現性は高い。残差の空間相関の指標として計算した、標準化Moran's I統計量は-1.327となり、空間相関は有意ではない。これは内生変数を前時点との差分としたため、各都市の固有効果が消去されたためと思われる。有意水準1%以上の説明変数は、自都市人口、2000年集中旅客交通量、91年事業所立地量であり、これらは式（6）の符号条件を満たしている。一方、現在の発生旅客交通量は有意ではなかった。以上より不均衡立地モデルの妥当性が確認され、立地ポテンシャルとして定義した現時点の集中交通量と、前時点の事業所立地量の差が正であれば、事業所立地量は増加することが明らかとなった。一方発生交通量は、発生側の事業所立地量に有意な影響を及ぼさないことがわかった。

4. おわりに

本研究では日帰り交通圏/目的地最大滞在時間が、都市間の業務旅客交通量や事業所立地量に及ぼす影響について実証分析を行った。対数tobitモデルに基づいて日

表3 事業所立地量変化モデルの推定結果

説明変数	推定値	t値
定数	9.125E+02	5.08
自都市人口	4.061E-02	10.20
現時点集中旅客交通(2001年)	8.748E-02	2.67
前時点事業所立地(1991年)	-1.207E-01	-18.13
現時点発生旅客交通(2001年)	1.789E-02	0.48
自由度調整済み決定係数	0.908	
サンプル数	194	
Moran's I	-1.327	

帰り交通圏の業務旅客交通量への影響を検証したところ、有意な影響が確認された。さらに、業務旅客交通量モデルを集計した発生/集中交通量を用いて不均衡立地モデルを推定したところ、事業所立地量の変化と、立地ポテンシャルの間には正の相関があり、また過去の立地量との間には負の相関があることが明らかとなった。

今後は、業種の違いによる立地ポテンシャル、および過去からの影響の違いに着目した分析を行うと共に、日帰り交通圏が変化した場合のシミュレーション分析を行う予定である。

参考文献

- 1) 森地, 『二層の広域圏』形成研究会: 人口減少時代の国土ビジョン, 新しい国のかたち『二層の広域圏』, 日本経済新聞社, 2005.
- 2) 佐藤, 戸谷: 二層の広域圏と幹線交通計画, 土木計画学研究・講演集, vol.31, CD-ROM, 2005.
- 3) <http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/download.html> (2006年5月現在)
- 4) 塚井, 奥村: 幹線交通網整備に伴う日帰り交通圏の変化, 土木計画学研究・講演集, vol.33, CD-ROM, 2006.
- 5) 杵元, 塚井, 奥村: 複数経路を考慮した都市間航空鉄道網の評価, 土木計画学研究・論文集, vol.20, pp.255-260, 2003.
- 6) 加藤, 茨木, 三根: 無向グラフの第k番目最短経路をO(kn)で探索するアルゴリズムの開発, 日本電気通信学会誌, vol.J-61A, pp.1199-1205, 1978.
- 7) Allen and Sanglier: A dynamic model of growth in a central place system, Geographical Analysis, vol.11, pp.256-272, 1979.