

圏域間と圏域内の関係性に着目した航空ネットワークの持続可能性に関する研究

交通・地域計画研究室 白石 勇人

指導教員 平田 輝満 准教授

【目次】

第1章 序論	第4章 経路選択肢集合に航空乗継を含む経路選択モデルの構築
1-1 研究の背景	4-1 4章の目的と枠組み
1-2 研究の目的	4-2 分析対象とする旅客行動の選定
1-3 研究の流れ	4-3 航空経路選択モデルの構築
第2章 既存研究の整理	4-4 代表ODの定義と代表OD間を移動する旅客流動
2-1 既存研究の整理	4-5 LOSデータの整備
2-2 国土形成計画について	4-6 説明変数の検討
2-3 圏域の考え方と対象とする旅客流動	4-7 パラメータ推定
2-4 仮説の構築	4-7-1 モデルの分類
2-5 研究の位置づけ	4-7-2 パラメータ推定の結果
第3章 圏域間・圏域内に着目した国内航空ネットワーク構造の時系列分析	4-8 モデルの再現性
3-1 3章の目的及び枠組み	4-9 4章のまとめ
3-2 2000年以降の幹線交通網整備の実態把握	第5章 国内航空ネットワークの持続可能性に関する分析
3-3 使用データの概要	5-1 5章の目的と分析の枠組み
3-4 旅客流動データの分類および抽出	5-2 将来の人口減少が引き起こす航空路線の趨勢分析
3-5 国内航空路線の経路別旅客数の変化	5-3 圏域内・地方圏域間の需要創出に関する政策提案
3-5-1 交通機関別の旅客流動の集計	5-3-1 人口減少が引き起こす旅客需要の減少
3-5-2 圏域間・圏域内ごとの全交通機関の旅客流動量の集計	5-3-2 交通政策導入による航空路線の持続可能性評価
3-5-3 航空乗継経路の集計	5-3-3 複合的な交通政策の効果とまとめ
3-6 航空乗継経路の分類および、経路別旅客流動量	第6章 結論
3-7 各航空路線の旅客需要と競合需要の集計	6-1 結論
3-8 航空ネットワークのまとめと政策課題の抽出	6-2 今後の課題

1. 研究の背景

我が国の国内航空ネットワークは、2000年までの航空規制緩和により、航空会社の判断によって航空路線の参入・撤退が自由に行われるようになり、運賃設定を各社基準で決めることが可能になった。その結果、羽田空港を発着する幹線への参入が増え、運賃や便数等のサービスレベル（以下、LOS）の競争が行われた。その一方で、原油価格の高騰や航空会社の破たんなども影響し、競合の少ない地方間を結ぶ路線は利益が見込めず、減便や休廃止も相次いだり。以上の動向より、首都圏一極集中型の航空ネットワークがより一層進行していると考えられる。これにより、地方圏域間のつながりが弱まり、地方の拠点性低下にもつながることが懸念される。一方で、2012年以降の航空市場に新しく格安航空会社（以下、LCC）が参入し始めた。LCCの参入は近年減少傾向だった国内航空需要を増加させるほどインパクトを持つこと²⁾から、今後の航空ネットワークの維持・形成を検討する上で、LCCの動向にも注視する必要がある。

航空ネットワーク以外にも我が国の人口や経済等ほとんどが首都圏一極化している。その現況を是正するため、国は2008年に国土形成計画³⁾を策定した。本計画は複数都道府県で連携した広域交通体系を目標づけており、その中でも各地方と地方拠点の結びつきを強化し、最終的には各拠点とアジアが直接結ばれる程度の国際交通体系の構築を目標づけている。以上のように複数都道府県でまとまった単位を本研究は「圏域」とし、圏域内と圏域間の交通ネットワークの関係性を明らかにすることは交通政策の相互補完や相乗効果を生み出すことに結びつくことが予想される。以上のように、将来計画で位置づけられている圏域という視点から交通体系を見直すことは、今後の交通政策の意思決定に十分役立つといえる。

また、我が国の人口は、2004年をピークにそれ以降は人口減少に転じた。それと同時に少子高齢化など新たな問題に直面している。人口増加から減少の転換期を迎えた現代の社会において、交通需要も低下することが予想される。需要の全体的な低下に伴い、近い将来すべての地域間のLOSを維持し続けることは困難であると議論されている。中でも採算性や効率性の議論が多く、特定地域への補助金投資に

よるLOSの向上やネットワークの集約化に関する政策に目が向けられている。しかしながら国土全体のネットワークからこの課題にどう対処していくか検討する必要があるだろう。将来の人口減少を想定し、どのような政策を行うことがネットワークの持続性を向上し得るか明らかにする必要がある。

2. 既存研究の整理と本研究の目的

本研究は交通LOSが旅客の経路選択に与える影響と持続可能な都市間交通に着目して既存研究のレビューを行った。日野らの研究⁴⁾は北海道を対象とし、旅客の出発地・目的地(OD)が同一で直行経路と乗継経路を選択できる状況下において、所要時間の短く手間のかからない直行経路が選択されることを明らかにしている。乗継経路を選択する層は、他に選択できる経路がないことや所要の時間に間に合わせるなど、やむを得ず乗継経路を選択するという意識が得られている。一方で、圏域内と地方-首都圏間に限定した旅客流動に着目した研究であり、地方圏域間のODを対象とした分析はされていない。

山口ら⁵⁾は、都市間交通の集約・効率化に向けた施策の検討に「LOS弾力性」の推計方法を提案し、LOS弾力性を踏まえた都市間交通施策を示している。これより、羽田空港と地方空港を結ぶ路線の同LOSでもゾーンごとに流動への影響は異なることが示された。この見地から、各リンクのLOSが変化することにより地域間流動量も変化すると考えることができる。しかし対象のほとんどが地方-首都圏間の流動であるため、必ずしも圏域内のLOS維持の施策に結びついているとはいえない。したがって本研究のように圏域内や圏域間の関係性から旅客流動を明らかにする必要がある。以下に本研究の目的を示す。

- ① 圏域間・圏域内という視点に着目した国内航空ネットワークの時系列変化の実態を把握し、交通利便性が需要バランスに与える影響と関連する政策課題を明らかにする。
- ② 航空ネットワークにおける直行便と乗継便の旅客行動を表現できる経路選択モデルを構築する。
- ③ 今後の人口減少を考慮し、特に地方圏域内・地方圏域間の航空ネットワークの持続可能性について、LCCの参入・機材変化の面から定量的に明らかにする。

3. 圏域の考え方と対象とする旅客流動

圏域とは国内を広域ブロックで捉えた単位であり、複数都道府県で圏域を形成している。国土形成計画上の圏域は全国を10区分としている。しかし航空ネットワークの構造を捉えるにあたり、10分類は各圏域が小さいことから、拡張化を試み、全国を6区分にした圏域を定義した。圏域の基準は各圏域内に1つ以上の地方拠点空港を有することにし、各圏域の拠点空港を表-1に示した。また、沖縄県は圏域の規模が他圏域と比べて非常に小さいことと、観光の旅客流動が大半を占めているため、本研究の対象から除いた。図-1において色付きで区分した圏域は国土形成計画上で、点線で囲んだ区分は本研究で定義した圏域である。圏域間・圏域内移動3分類し、その概念図を図-2に示した。



図-1 圏域の分類

表-1 各圏域における拠点空港

圏域	拠点空港
北海道	新千歳空港
東北	仙台空港
関東	羽田空港
中部	中部空港（名古屋空港）
関西	伊丹・関西空港
九州	福岡空港

対象とする旅客流動は2000年、2005年、2010年の全国幹線旅客純流動調査データ⁶⁾とし、離島および国際流動を含まないトリップを対象とする。使用したデータの種類は、平日・休日両方の調査を加味して年間拡大処理をした流動量データを扱い、都道府県間を総量とした旅客流動量を扱う。

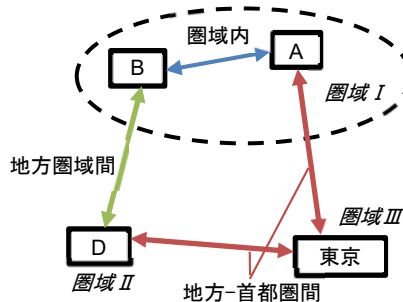


図-2 圏域間・圏域内の移動に関する概念図

4. 圏域間・圏域内に着目した国内航空ネットワーク構造の時系列分析

(1) 地方-首都圏間と地方圏域間を就航する航空路線の推移

国内航空ネットワークにおいて首都圏一極化が話題に挙がるが、どの地域間でも当てはまるか旅客需要および供給力の面から把握する必要がある。また、競争の少ない地方間航空路線がどのような変化を遂げてきたか把握することで航空ネットワーク全体の変遷を捉えることができる。図-3、図-4に航空旅客全体の流動量および頻度の推移を示す。2000年から2010年にかけて全体的な旅客需要は減っているものの、羽田空港路線は運航頻度およびそのシェアが増加しつづけていることが図-4でわかる。実際にほとんどの地方-羽田路線は多頻度化されており、特に九州圏、次いで関西圏が増加していた（図-5）。

また、休廃止する航空路線の増加に伴い、航空乗継旅客は小規模ながら需要増加していることがわかる。航空路線の休廃止が増加する社会において航空乗継の重要性が期待される。

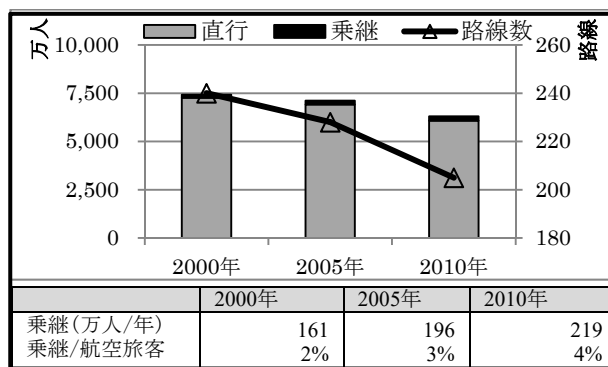


図-3 直行便と乗継便の需要変化および航空路線数推移

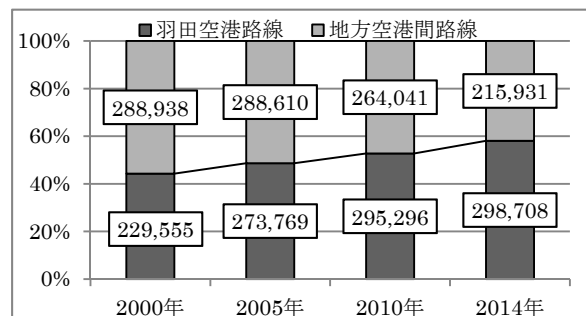


図-4 地方空港間路線と羽田空港路線の運航頻度シェア

（2）乗継旅客の流動変化

前述より、航空路線の休廃止が増加することにより航空乗継の流動が多くなると言われている¹⁾。したがって、現状はどの乗継経路で移動しているか正確に分析する必要がある。ラインホールを乗継空港（羽田、圏域内拠点、異なる圏域）・OD（地方、拠点、羽田）の分類別に集計した旅客流動を図-5に示す。羽田乗継経路のシェアがほとんどであることと、その流動量増加が顕著であることが分かった。特に地方-羽田-拠点の流動量が増加しており、圏域内乗継と羽田空港乗継間で競合する需要のほとんどが羽田空港に偏っている現状であった。一方で、小規模ながらも羽田空港へ移動するときに圏域内を乗り継ぐ流動が増加しており、圏域内の拠点性を向上する一例が確認できた。

（3）政策課題の抽出

以上より、羽田空港への一極化を直行便、乗継便においても確認することができた。乗継経路および一部の直行便は圏域内を乗り継ぐ選択肢があるにも関わらず、羽田空港乗継や直行便を選択する層が多い。本研究は圏域内・地方圏域間路線を維持するために地方の拠点性を向上する視点が重要であると考えた。したがって、羽田空港に偏っている旅客流動を一定量転換させるような政策を行うことの効果を定量的に明らかにする必要があると考えた。

5. 経路選択肢集合に航空乗継を含む経路選択モデルの構築

（1）モデル分析の対象とする旅客行動

モデルの目標は、羽田空港路線へ偏っている旅客流動を政策により一定量の圏域内乗継に転換させる可能性を示すことである。したがって、同一ODで乗継経路に競合する需要を含むような行動モデルを構築する。対象とする旅客行動は3. で定義したトリップからさらにスクリーニングをし、表-2に示す3分類の旅客行動を対象とした。

（2）モデル構造

本研究では圏域間と圏域内を移動する旅客の経路選択実態から集計ロジットモデルを用いて分析し、モデルで得られた説明要因を政策分析につなげる。一般的に、個々の意思決定者が離散的な選択肢の集合から選択を行う行動は、ロジットモデルが用いら

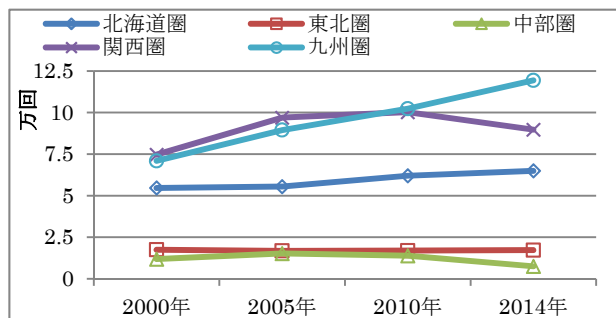


図-5 地方空港と羽田空港路線の運航回数変化

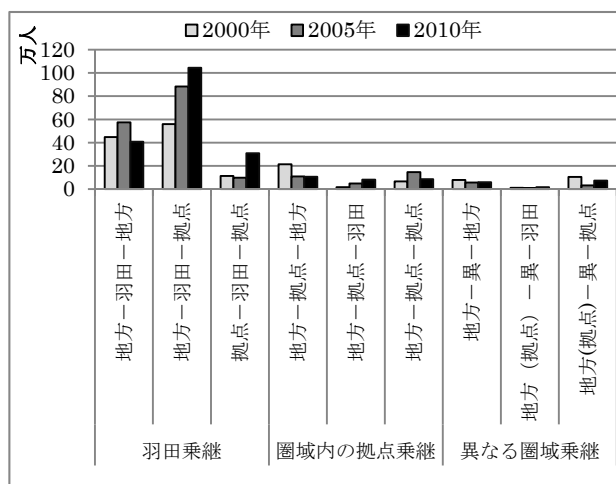


図-6 乗継経路の分類別の流動量変化

表-2 モデル分析の対象OD

ODの分類	選択肢集合に直行便を含む
直行便および圏域内乗継	○
圏域内乗継および羽田空港乗継	×
直行便および羽田乗継	○

れ、個人 n が j 個の選択肢の集合の中から選択肢 i を選ぶ確率を次式で表すことができる。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(V_j)} \quad (1)$$

$$V_i = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ik} \quad (2)$$

P_i : 経路 i の選択確率 (分担率)

V_i : 経路 i の確定効用 (効用関数)

β_k : 説明変数 k に対するパラメータ

X_{ik} : 経路 i の説明変数 k

本来は個々人の旅客行動データから推定を行う非集計型で推定されるケースを望まれるが、推定に用いる集計ロジットモデルは推定が比較的容易であることと、実際の流動量のシェアから推定を行うことができるため経路選択の要因を視覚的に把握しやすい点が挙げられる。パラメータは特定の選択肢をベースとした選択確率比を目的変数として最小二乗法で推定した。

（3）LOSデータの整備

次に、経路ごとのLOSデータ（所要時間、運賃、頻度）を表-3に整備した。なお、集計作業を単純化のためLOSは各ODの年間旅客数が最も多いODを「代表OD」として、2010年の「代表OD」における経路毎のLOSデータのみを整備した。この内、乗り継ぎ経路の有効頻度については、乗り継ぐ前後の便のうち少ない方の便の便数のことで、かつ同一航空会社間で乗継が可能な便（最低時間は30分）のみをカウントした。ただし、乗継割引のある経路は割引運賃のある頻度とした。乗継便の待ち時間は乗継割引の有る経路は30分とし、無い経路は60分とした。

端末交通のLOSは国土交通省が開発・提供しているNITAS⁷⁾という総合交通分析システムを用いた。抽出条件は各空港と207ゾーン間の一般化費用が最小になる経路のサービス水準を整備した。

（4）パラメータ推定

推定結果を表-4に示す。モデルを二つに分離することで比較的良好な結果を得ることができた。

一つ目は、経路選択肢集合に直行便を含むモデルである。これは、圏域内乗継-直行便と羽田乗継-直行便の行動を対象としたモデルであり、モデルの説明力(補正済みR²)は0.82と強かった。しかし直行便と乗継便の選択を表現するモデル1は直行便の選択シェアが非常に大きいことから、直行便である効用の説明力が最も大きく、近隣空港の定数項、総費用、総所要時間の順で説明力が高かった。

二つ目は、圏域内乗継と羽田乗継行動を表現するモデル2は説明力が0.50でありモデル1に比べると低い。有効運航頻度の対数、総費用、アクセス・イグレス時間の順で説明力の高い要因が推定された。当モデルは航空経路選択行動においてよく検討される時間、費用、頻度に関して有意なパラメータが推定された。最後に全サンプルを統合したモデルの推定を行った。サンプル数の偏りからモデル1に牽引される結果になった。以上より限られたサンプルで経路選択構造が異なる2つのモデルを統計的に明らかにした。

6. 国内航空ネットワークの持続可能性に関する分析

（1）LCCの参入によるネットワークバランスの変化
LCC（格安航空会社）の参入したときに運賃低下

表-3 LOSデータ整備とデータの出典

LOSの種類	LOS項目	データ元	備考
頻度	有効頻度	JTB時刻表	直行便は便数そのもので、乗継便は乗り継げる便数(複数ある場合は最短(ただし最低乗継時間以上)で乗り継げる便のみ)を計上
所要時間	航空乗継便の乗継待ち時間	航空会社発行資料	乗継割引のある経路は30分、ない経路は60分
	フライト時間	JTB時刻表	JTB時刻表に記載されている到着時刻-出発時刻の差
	アクセス時間	NITAS	各ゾーンの中心都市を出発地として、鉄道、バス、車を使って空港までの一般化費用最小となる経路を選択
	イグレス時間	NITAS	同上
費用	アクセス費用	NITAS	同上
	イグレス費用	NITAS	同上
	航空運賃	JTB時刻表、航空会社発行資料	乗継割引、早割、普通運賃の内最も安い運賃を選択 乗り継ぎ割引の有無は航空会社のHPで確認

表-4 パラメータ推定結果

	モデル1		モデル2	
	β	t 値	β	t 値
総費用(円)	-4.5*10 ⁻⁶	-1.71	-1.7*10 ⁻⁵	-2.46
総所要時間(分)	-2.8*10 ⁻⁴	-1.66	—	—
アクイグ時間(分)	—	—	-0.0017	-1.87
ln 有効運航頻度(便/日)	—	—	0.37	5.27
直行ダミー(直行便=1,その他=0)	0.61	13.63	—	—
近隣ダミー(近隣空港路線=1,その他=0)	-0.11	-3.77	—	—
補正済み R ²	0.82		0.50	
有意水準	0.1		0.1	
時間価値(円/時)	3801		5918	
観測数	75		31	

が引き起こす旅客流動の変化に着目した。ここ数年、LCC参入で国内航空需要も減少から増加に転じた。LCCは需要創出、維持に大きなインパクトがあるが、最大の混雑空港である羽田空港では基本的にLCCの発着を制限している。今後、羽田発着枠をLCCにも配分するかは大きな政策課題であり、羽田空港にLCCが参入したことによる旅客流動の変化を明らかにすることで、羽田空港におけるLCC枠の開放を判断する材料になる。LCC参入区間は羽田空港路線に就航した場合と、圏域内路線の2ケースの分析を進め、圏域内路線にとって競合する需要をどの程度獲得または喪失するか分析した。具体的には大手航空会社とLCCのイールド比から算出された0.41を既存運賃に乗り賃変化による経路選択の実態変化を算出した。その結果、圏域内路線の持続可能性の観点から羽田空港路線に参入すると圏域内路線の流動量が減少し、圏域内路線にLCCを参入させると、持続可能

性向上に与える影響が大きいことが分かった。

(2) 地方航空路線の機材更新と多頻度化の影響分析

圏域内路線の機材更新に伴う多頻度化の關係に着目した。世界的に50席クラスの小型機材は生産停止しており、今後の機材更新は困難な状況である。圏域内を結ぶ航空路線の機材は30席クラスの小型機材から166席クラスの機材まで様々である。将来の地方路線維持に、MRJ (Mitsubishi Regional Jet) の投入が期待されており、70, 90席のMRJで地方路線が需要との關係でどの程度持続可能か整理する必要がある。北海道内の路線を対象に70席へ機材更新し、一日あたりの供給力(各機材の座席数×便数)を変えないとすると新千歳-釧路路線で2便、新千歳-女満別路線で1便の増便することが可能であった。多頻度化による旅客流動変化をパラメータから分析すると、新千歳-女満別路線、新千歳-釧路路線の順で有意な需要獲得があることが分かった。

(3) 人口減少が引き起こす旅客需要減少による航空路線持続可能性

近い将来直面する人口減少を想定した航空路線需要の変化を分析する必要がある。2035年と2010年を対象年次として分析した。特に北海道圏域内のように人口減少幅の大きい地域間を結ぶ航空路線は需要の減少量も大きく、持続可能性が危ぶまれる。人口減少による旅客需要の減少量に対しLCCが参入および、多頻度化することによる旅客需要増加がどの程度現況維持に貢献するかを人口減少による需要減少とLCC/多頻度化による需要増加を比較することで分析した。LCC参入に比べ、多頻度化による効果が旅客需要獲得に影響していた。図-7は多頻度化およびLCCの参入を同時に実施した場合、人口減少に対して女満別-新千歳路線は約8割、稚内-新千歳路線は4割の補完することが可能であり、持続可能性に大きく貢献することが分かった。

7. 結論

本研究で得られた結果を以下に示す。

① 圏域間・圏域内の関係性から旅客流動量の変化に着目すると、羽田空港路線に需要が集中し、地方-首都圏間が多頻度化し続けてた。一方で、地方間の航空路線は減便・休廃止に至る事例が多く、航空乗

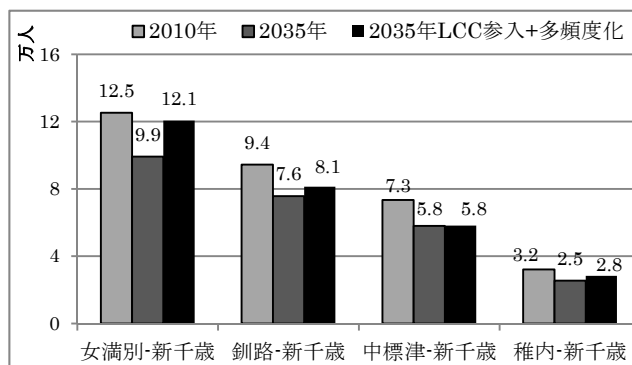


図-7 道内路線へのLCC参入と多頻度化による旅客需要の変化

継の重要性が高まっている。乗り継ぎの8割が羽田空港経由であり、一部で圏域内の拠点性を向上する事例があるものの、圏域内の拠点性は現状で低いことを明らかにした。

② 直行便と乗継便、圏域内乗継と羽田乗継が選択できる状況下の旅客経路選択行動をそれぞれ表現できるモデルを構築した。その結果、直行便を選択肢に含むモデルは直行便固有の効用が大きく、直行便選択層を乗継便に転換することは、困難であるといえる。直行便を含まないモデルは多頻度化・費用の低廉が需要獲得に効果があるなど、経路選択構造が異なる2つのモデルを統計的に明らかにした。

③ 羽田一極集中の旅客行動および将来需要を問題視し、航空ネットワークの持続可能性を向上することを目的に羽田空港に偏っている旅客流動を一定量転換させる政策を検討した。人口減少による需要減少に対しLCCの参入と多頻度化による需要増加がどの程度現況維持に貢献するか分析した結果、複合的に政策導入することで持続可能性に貢献することが明らかになった。以上より、本研究は国内航空ネットワークの維持や圏域内路線の利便性の確保に関する基礎的な情報を示すことができた。

【参考文献】

- 1) Yuto Shiraishi and Terumitsu Hirata: Analysis of the Impact of Abandoned Direct Air Routes on Inter-regional Passenger Travel Flows in Japan, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.11
- 2) 国土交通省国土交通政策研究所:LCCの参入効果分析に関する調査研究,2014
- 3) 国土交通省:国土形成計画(2015年7月改正)
http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudokeikaku_fr3_000003.html
- 4) 日野智, 岸邦宏, 相浦宣徳, 佐藤繁一:北海道におけるハブアンドスポーク航空路線の構築に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, No.4, 2001
- 5) 山口裕通, 奥村誠, Tirtom Huseyin, 金進英:都市間交通需要のLOS弾力性に関する研究, 土木学会論文集D3, Vol.69, No.5, 2013
- 6) 国土交通省:全国幹線旅客純流動調査 第1回~第5回
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000016.html
- 7) 国土交通省:NITASの紹介<http://www.mlit.go.jp/common/001079898.pdf>