日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌
Transactions of the Operations Research
Society of Japan
2006 年 49 巻 89-105

都市間最短旅行時間に基づく国内新規空港の利用者数予測分析

三浦 英俊
明海大学

(受理 2006 年 1 月 24 日; 再受理 2006 年 9 月 5 日)

和文概要　本研究は，都市間の最短旅行時間に基づく利用者予測人数を指標として，我が国の主要 4 島 (北海道，本州，四国, 九州) 内の移動に対して新しい空港の立地の効果を予測する．

はじめに沖縄を除く 46 都道府県の県庁所在地最寄駅を都道府県の代表点として，全ての代表地点間の待ち時間を含む最短旅行時間データをソフトウェア「駅すぱあと」を用いて計測する．次に，島嶼地域を除く全国市＋東京都特別区代表点を出発・到着ノードとする交通ネットワークモデルを作成する．モデルはノードとして空港，新幹線駅を加えて，リンクは航空路，新幹線，在来線によって構成される．交通ネットワークモデル作成の目的は対象地域の待ち時間を含む最短旅行時間をシミュレートすることにある．このモデルに“ もらいうけ ”システムと名付けた航空便設定方法を用いて新空港および航空便を追加し，利用者数を見積もる．

既存空港間の航空便利用者数をもとに，300km を超える地域間旅行者数が人口の積におおよそ比例することを利用して新空港の利用者数の推定を行う．さらに 1 便あたりの平均乗客数から立地候補点の評価を試みる．

キーワード: 交通，空港，交通ネットワークモデル，旅行時間

1. はじめに

我が国では近年いくつかの空港が新しく建設あるいは計画されている．新幹線の利用が難しい地域では，新規空港の開設による移動利便性の向上に大きな期待が寄せられている．空港が地域住民の移動利便のみならず，来訪者数の増加やそれに伴う経済活動活性化に果たす役割は大きい．

本研究は，都市間の最短旅行時間を指標として，我が国の主要 4 島 (北海道，本州，四国, 九州) 内の移動に対して新しい空港の立地の効果を予測する．沖縄をはじめとする島嶼を端点とする移動では航空が絶対的に優位な輸送手段であるから，ほかの交通手段は旅行時間の比較において問題にならないので，本研究では島嶼地域は分析対象から除外する．

国内旅行に関して，航空は常に新幹線との厳しい旅客獲得競争を強いられている．競争を考慮して空港の立地を考察するには，待ち時間等を含む最短旅行時間を指標とすることが現実的である．このため最短旅行時間は，待ち時間，乗換時間も考慮したうえで，航空利用または新幹線を含む鉄道利用のどちらかのうち最も短い旅行時間とする．

本研究で使用するモデル，および出力の構成を図 1 に図示し，論文構成について概説する．はじめに，第 2 節では空港の地理分布と空港間の航空利用移動時間について述べ，空港間距離と飛行時間の回帰式を導く．次に第 3 節では沖縄県を除く全国市＋東京都特別区代表点を出発・到着ノードとする交通ネットワークモデルを作成する．モデルは空港，新幹線駅をノードに加えて，リンクは航空路，新幹線，在来線によって構成される．交通ネットワークモデル作成の目的は対象地域の待ち時間を含む最短旅行時間をシミュレートすることにある．このモデルに任意の候補地点に新空港を追加し，新空港の利用者数を見積もる．新空

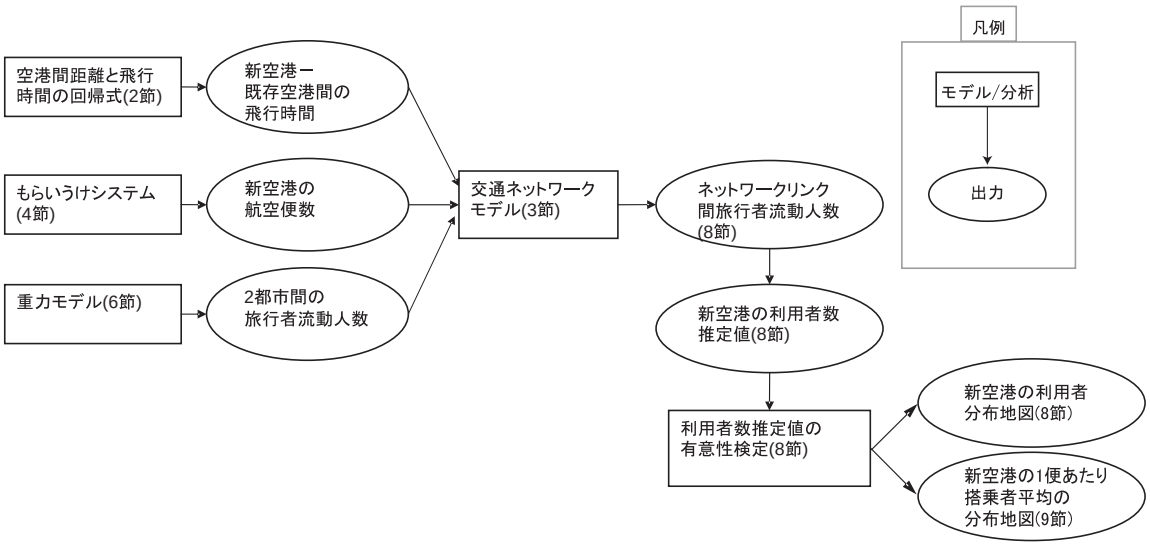

図 1: 本研究で使用するモデルの構成

港の発着便は，立地地点の違いによる旅行時間短縮効果を正しく比較できるように設定されなければならない．便の設定に当たって公平性と現実性のどちらを重視するかは悩ましい問題である．もし全ての候補地点を公平に比較するならば，どの空港にも一律同じ航空便を与えることが考えられる．現実性を重視するならば，新空港周辺の既存空港の設定便数を参考にする必要がある．これらを両立させた評価を行うことは困難であるため，第 4 節では現実性を優先して新空港の便数を設定する“ もらいうけ ”システムと称する方法を提案する．これらのモデルに，683ヶ所の代表点間の旅行者流動人数を推定するための重力モデル (第 6 節)，および第 2 節で導く新空港から既存空港への飛行時間推定式を加えて，第 8 節では新空港の利用者数推定値を算出する．最後に第 8 節から第 9 節にかけて有意性検定によって得られた推定値を吟味する．

空港の整備が周辺地域に与える効果を分析した研究はこれまで数多くの蓄積がある．ロジットモデルを用いて利用者の空港選択を記述した研究 [2]，[6] は，空港までのアクセシビリティの向上が重要であることを指摘している．特定の地域に焦点を当てた研究は数多くあるが，ここでは比較的新しい研究として，関西国際空港を取り巻く近畿地域，北海道西部地域，岡山地域を対象とした研究について紹介する．社会経済影響分析モデルを用いた鈴木胖らの研究 [5] は，近畿地域における関西国際空港の影響を分析し，地域の人口増加ならびに雇用の増加の予測を行っている．坂野 他 [3] はハフモデルを用いて北海道西部地域の来訪者の増加を予測した．阿部 他 [1] は運行ダイヤに焦点を当てて，国土交通省の旅客地域流動調査・いくつかの航空統計・事業所アンケート調査を用いて岡山－東京間の航空移動の利便性評価を行っている．轟，中村 [8] では旅行者が利用する航空サービス (これには航空便数も含まれる) の水準に応じた空港の整備指標を提案した．

これら既往研究を基礎として，本研究は我が国において航空が絶対的に優位な輸送手段となる島嶼地域を除いて主要 4 島における空港立地候補地点を探索することをテーマとする．空港が地域に与えるインパクトを旅行時間の短縮という評価基準から計測し，利用者が多数見込める空港立地地点を見つけたい．

ただし最短旅行時間の変化からみた単純な分析であるから，実際に空港立地を検討するためには，用地取得や建設費をはじめとする費用の分析，土木技術的な分析，あるいは経済効

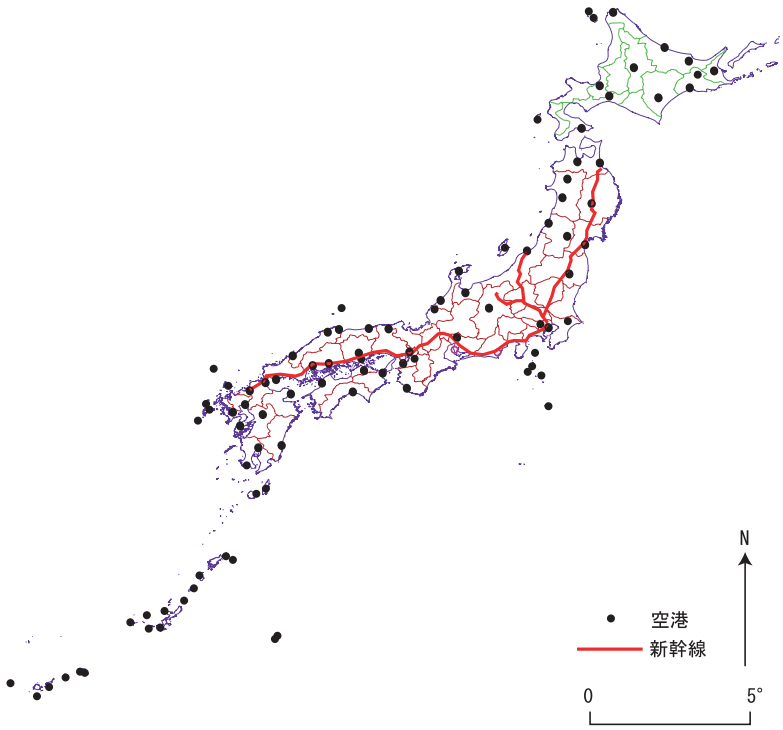

図 2: 全国の空港の地理分布

果予測を含む交通需要予測も加えなければならないことは当然である．

2. 我が国の空港の地理分布と航空利用移動時間

空港の地理分布と空港間の航空利用移動時間について概説する．我が国には空港整備法によって設置された空港がおよそ 100 ある (図 1)．ほとんど全国偏りなく分布しているが，関東甲信越地域は少ない．東京を発着する航空便は新幹線と競合すること，空港用地の確保が難しいこと，騒音被害を受ける人口が多いことなどが理由であると考えられる．これらのうち 4 島内の空港間を発着する定期便は 2003 年 10 月現在約 1600 便／日である．既存空港 1 つあたりの対象地域内航空便に関する便数平均は約 30[往復]，利用者数は平均値 311[万人/年]，中央値 95[万人/年] である．

時刻表データをもとにして飛行時間 [分] を縦軸に取り，横軸に発着空港間の直線距離 [km] をとって散布図を描いた (図 3)．往路と復路では所要時間に違いがある場合は往復の平均を用いた． この散布図の回帰直線を求めたところ，

$$\text{空港間飛行時間 [分]} = 0.0727 \times \text{空港間直線距離 } [km] + 33.9 \tag{2.1}$$

であった．回帰式の傾きは対象全路線の平均飛行速度が 825[km/h](=60 × 1/0.0727) であることを示す．切片は，空港の離陸と着陸に要する時間の合計がおよそ 33.9[分] であることを表している．この回帰式は，後で新規空港における仮想設定便の飛行時間の設定に利用する．

3. 都市間最短旅行時間を与える交通ネットワークモデル

新しい空港による都市間の最短旅行時間の変化を計測するためには，現状の最短旅行時間データが必要である．しかし対象とする地域の代表点数は，後述するように 683 地点を予定

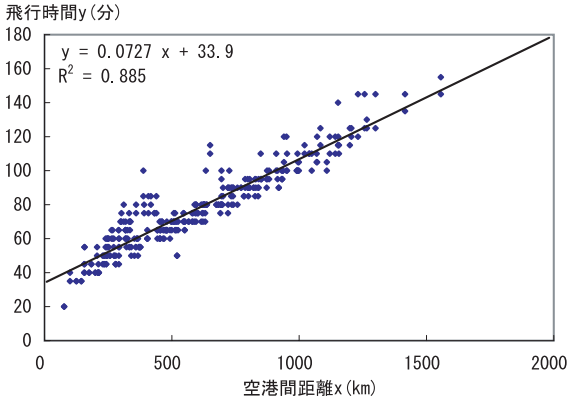

図 3: 空港間距離と飛行時間の散布図

しているので，2 地点ペア数は 40 万を上回る．このため全ての 2 地域間旅行時間の実データを得ることは難しい．そこで主要 4 島内の航空・新幹線・在来線・アクセス路線を単純化した交通ネットワークモデルを作成し，ネットワーク上で得られる最短経路旅行時間を都市間の最短旅行時間推定値として用いる．

交通ネットワークモデルにおける速度ならびに待ち時間を設定するために，都道府県庁所在地を代表点として，これらの都市間の最短旅行時間の実データを使用する．沖縄を除く 46 都道府県の県庁所在地の代表駅を出発地として，ソフトウェア「駅すぱあと」を用いて 45 都市への最短旅行時間実データを計測した ($46 \times 45 = 2070$ データ)．旅行時間はバス・在来線鉄道・新幹線・航空の利用を可能とし，乗換ならびに搭乗手続きに必要な待ち時間も含む．ただしいずれの都市からも出発時刻は午前 7 時から午後 1 時に限り，この出発時間帯で最も短い旅行時間を選ぶ．待ち時間を含む最短旅行時間を使用することによって，在来線鉄道・新幹線・航空の組み合わせ利用の旅行時間を現実に即して公平に扱うことができる．仮に純粋に移動する時間だけを旅行時間として使用したならば，航空による移動が鉄道に対して相当に優位になるため，空港の立地評価を行う際に空港の効果を実際よりも大きく見積もってしまう可能性がある．

交通ネットワークモデルは，沖縄を除く 46 都道府県の市＋東京 23 区からなる 683 代表点，新幹線駅 (山形・秋田新幹線は速度がフル規格新幹線よりも遅いことから除く)，空港の 3 種類のノードを持つ．ノード間を結ぶリンクは航空路，新幹線，空港および新幹線駅へのアクセス経路，都市間在来線の 4 種類を用意する．リンク上の旅行時間は，表 1 のように移動時間と待ち時間からなる．航空路の移動時間は時刻表掲載データを使用する．同じく新幹線も時刻表掲載データを使用する．新幹線駅・空港へのアクセスリンクは全都市とあらゆる空港・新幹線駅を直線距離で結び，速度 v_1 で移動する (実際の交通網におけるバス路線，在来線鉄道の一部，モノレールなどに対応する)．都市間在来線リンクは，全ての都市間を直線距離で結び，速度 v_2 で移動する (特急が運転されているような在来線鉄道路線に対応する)．新幹線駅・空港アクセスリンクと都市間在来線リンクは，ノード間を直線距離で結ばずに実際の在来線鉄道網およびバス路線網を使用したほうが実データに近い最短旅行時間が得られるに違いない．しかし本研究では，交通ネットワークモデルをなるべく単純な構成にすることを優先し，直線距離で都市・空港・新幹線駅をすべてつなぐことにした．

航空路リンク以外の待ち時間は全て 1 リンクあたり定数 w_1 を与える．航空路リンクの待ち時間は 2 つの待ち時間 $w_0 + w_2$ からなる．w_0 は出発空港と到着空港で搭乗手続きや手荷

表 1: リンクの速度・移動時間と待ち時間

リンク	移動時間／速度	待ち時間
新幹線	時刻表データ	w_1
航空路	時刻表データ	$w_0 + w_2$
新幹線駅・空港へのアクセス	v_1	w_1
都市間在来線	v_2	w_1

表 2: パラメータの値

パラメータ	値	使用目的
v_1	50(km/h)	アクセス速度
v_2	41(km/h)	都市間在来線速度
w_0	66(min)	空港待ち時間
w_1	10(min)	その他待ち時間
T	112(min)	便数に依存する待ち時間 w_2 に使用

物の受け取りなどに要する時間に相当する定数とする．w_0 は路線によらず一定時間とするが，w_2 は航空便の便数に依存する待ち時間とし，路線ごとに異なる数値を与える．1 日あたりの運行便数が多い路線ほど利用しやすいことを考慮し，路線間・交通機関間の競争を考慮した最短旅行時間を得るために定数 T を用いて以下のように w_2 を設定した：

$$w_2 = \frac{T}{\text{路線ごとの 1 日当たり便数}}. \tag{3.1}$$

交通ネットワークモデルのパラメータ v_1，v_2，w_0，w_1，T を以下のようにして決定する．i 都市から j 都市への最短旅行時間として,「駅すぱあと」によって得た県庁所在地 46 都市間の最短旅行時間実データを r_{ij} とする．交通ネットワークモデルにおける同じ起終点 i, j 間の旅行時間を $\tilde{r}_{ij}$ とする．r_{ij} と $\tilde{r}_{ij}$ の差の二乗和 $\sum_{i \neq j}(r_{ij} - \tilde{r}_{ij})^2$ を最小とする v_1，v_2，w_0，w_1，T を自作プログラムの数値計算によって求めた．計算結果を表 2 に示す．アクセス速度 v_1 よりも都市間在来線速度 v_2 のほうが遅い．これは，モデルにおける都市間在来線リンクが直線となっており，現実の路線長よりも短くなっていることに原因があると思われる．図 4 は r_{ij} と表 2 のパラメータ値を用いた $\tilde{r}_{ij}$ の散布図である．決定係数は 0.881 であった．このときのネットワークモデル上の経路の主たる交通機関 (航空，新幹線，在来線のいずれか) を調べたところ，その 86 %が駅すぱあとの交通機関と一致した．うち駅すぱあとで航空を使用する路線は 95 %が一致した．このことから交通ネットワークモデルは，旅行時間だけでなく経路もある程度再現できており，以降の空港利用者数予測に使用可能であろうという確認ができた．

4. 新空港発着便の設定 —“ もらいうけ ”システム—

交通ネットワークモデルに新しい空港ノードとアクセス経路リンクを布置し，発着する航空便を設定すれば新空港開設後の都市間最短旅行時間を求めることができる．新空港の発着便は，立地地点の違いによる旅行時間短縮効果を正しく比較できるように設定しなければならない．もし立地候補点間の比較を公平に比較するならば，立地地点にかかわらず割り当て航空便数および行先を一律に定める，というのが一つのやり方であろう．しかしそれには

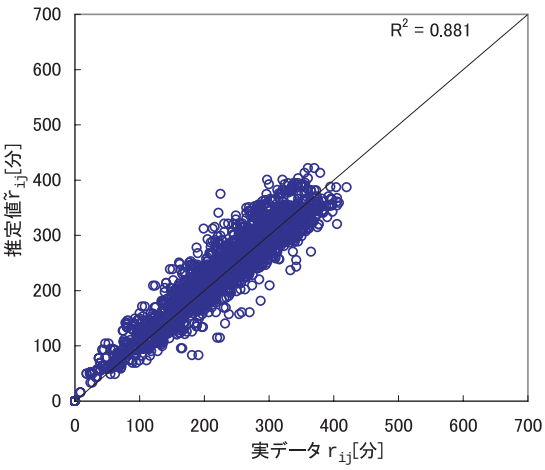

図 4: 最短旅行時間の実データと推定値の散布図

立地地点にかかわらず公平な便数設定はどのようなものか，という議論から始めなければならないうえに，一律な便の割り当ては地域ごとの航空需要を反映しないので，必ずしも妥当で現実的な便数割り当てとは言い難い．そこで本研究では公平な航空便の設定を捨てて，周辺既存空港の設定便数を手がかりとした新空港の現実的な便数の設定を行う．

本研究で新空港に仮想的に割り当てる発着便設定の方法を“もらいうけ”システムと呼ぶことにする．もらいうけシステムでは，次の手順で便数割り当てを行う．

1. 全国の市区町村の役所所在地に各市町村人口が全て居住していることを仮定する．既存空港を母点とするボロノイ図を描き，ボロノイ領域に含まれる市町村の人口を既存空港に割り当てる．
2. 立地候補点に新空港を設置し，既存空港と新空港を母点とするボロノイ領域を描く．新空港のボロノイ領域に含まれた市町村の人口は既存空港から新空港に割り当て直す．
3. 既存空港のうち新空港に人口を奪われた空港は，減少した人口比率に比例して発着する航空便を新空港に譲り渡す．このとき譲り渡す便数は必ずしも整数とは限らないが，整数に丸めない．
4. 新空港は既存空港から奪いとった人口に比例して航空便をもらいうける．これらの合計便数が新空港の設定便数である．

もらいうけシステムは，新空港に設定される発着便数が周辺既存空港と大きく異なることはないであろう，という推測に基づく．新空港が既存空港からの距離と人口分布に応じて発着便をもらいうけられるように，ボロノイ図と割り当て人口を利用する．もらいうけシステムでは新空港が設置されても1日あたりの全国の便数は一定で変化しない．これには2つの理由がある．第1に，もし既存空港の発着便数を変化させずに新空港の発着便を増やすならば，新空港を離陸した飛行機は，もとの場所以外降りることができなくなる．このような無意味な航空便を作ることなく，空港開設による既存空港の便の設定変化を最小限にとどめれば，新空港の立地効果計測が容易になる．第2に，もし新空港開設とともに新しい航空便を追加したならば，新空港が地域住民に与える影響は，**立地によるアクセス利便性向上効果**と**便数増加による飛行時間短縮効果**を合わせたものになる．両者を厳密に分離して前者の効果だけを正しく計測するためには，立地効果分析において増便を与えるべきではない．

もらいうけシステムによって既存空港の発着便数は移譲分だけ減少する．その結果既存空

港利用者は待ち時間 w_2 が従前よりも長くなり，これは旅行時間の増加あるいは空港利用者の減少をもたらす可能性がある．地域によっては住民が新空港開設による不利益を被ることがあることは念頭に置いておかねばならない．

なお，もらいうけシステムは人口分布だけに基づいた便数推定方法であるから，当然ながら現実には採算，地域の特性，航空用地の確保，滑走路数，騒音問題などを考慮する必要がある．実際には慎重に判断したうえで設定便数を定めるべきことは言うまでもない．

ただしもらいうけシステムはまったく空想的な便数設定方法とも言えない．既存空港から新空港に航空便が移動する実例として，1998 年 7 月に開港した秋田県の大館能代空港と以前からある秋田空港の，それぞれ羽田と結ぶ便数の変化を紹介する．「航空輸送統計調査」[9] によれば，秋田空港の羽田便は大館能代開港前年 1997 年に 4372 往復，開港年 1998 年に 3964 往復，翌 1999 年は 3646 往復であった．大館能代空港は，1998 年が 331 往復，1999 年が 835 往復であった．秋田空港・大館能代空港をあわせた羽田便の推移は 4372 往復 (1997 年) → 4295 往復 (1998 年) → 4481 往復 (1999 年) であるから，大館能代空港は秋田空港の減少分をほぼもらいうけたことになる．

5. もらいうけシステムによる便数設定の数値例

岩手県盛岡市 (東経 141.2 °，北緯 39.6 °) に新空港を置いた場合を例に取り，もらいうけシステムの数値例を示す (図 5，表 3，4)．新空港周辺には，青森空港，三沢空港，大館能代空港，秋田空港，花巻空港がある．表 3 の空港別の割り当て人口は，平成 12 年国勢調査人口データに基づいて求めた．行先と便数は 2003 年 10 月の時刻表データを使用した．盛岡に新空港をおいたときの利用者数ともらいうけシステムによる便数を表 4 に示す．秋田空港は 833735 人から 12899 人減って 820836 人になるから，減少比率 12899/833735=0.015 によって新千歳行き 0.03 便，羽田行き 0.12 便，名古屋行き 0.05 便，大阪国際行き 0.02 便，関西国際行き 0.02 便を新空港に譲る．そのほか 4 空港も同様に譲り渡して，それら合計が新空港の発着便数として示されている．新空港は最も近い花巻空港から最も多くの利用者と便数をもらいうける．したがって新空港は花巻空港とよく似た発着便構成比となる．

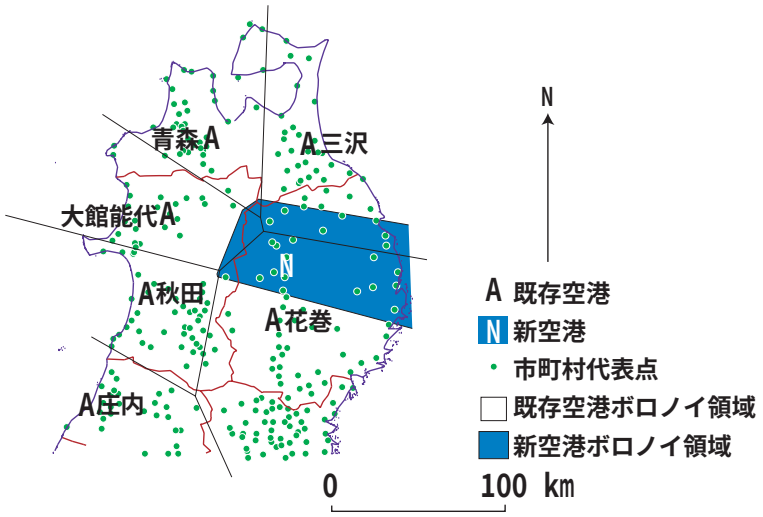

図 5: 盛岡周辺空港配置地図

表 3: 既存空港の新空港開設前利用者数ならびに航空便数

周辺空港名	割り当て人口	新千歳	行羽田	先名古屋	空大阪国際	港関西国際	福岡
秋田空港	833735	2	8	3	1	1	0
青森空港	833948	2	8	2	2	2	1
大館能代空港	328855	0	2	0	1	0	0
花巻空港	1397970	2	0	2	3	0	1
三沢空港	697755	1	3	0	1	0	0
合計	4092263	7	21	7	8	3	2

表 4: 新空港既存空港の新空港開設後利用者数ならびに航空便数

周辺空港名	割り当て人口	新千歳	行羽田	先名古屋	空大阪国際	港関西国際	福岡
秋田空港	820836	1.97	7.88	2.95	0.98	0.98	0
青森空港	833948	2	8	2	2	2	1
大館能代空港	322465	0	1.96	0	0.98	0	0
花巻空港	790573	1.13	0	1.13	1.70	0	0.57
三沢空港	694172	0.99	2.98	0	0.99	0	0
新空港	630272	0.91	0.18	0.92	1.34	0.02	0.43
合計	4092266	7	21	7	8	3	2

6. 都市間旅行者流動推定モデル

立地候補点に空港を開設したときの設定便数をもらいうけシステムによって与えて利用者数の予測を行う．予測利用者数は，空港経営の観点ならびに周辺住民の移動利便性の向上を計測するために有用な指標である．

予測を行うために旅行者の地域間流動量を見積もらなければならない．ここでは重力モデルを用いて 2 地域間の年間旅行者数を記述する．モデルで使用するパラメータは,「航空輸送統計調査」の 2003 年データから，国内 4 島内で発着する航空路線 (170 路線) の空港間の年間旅客輸送人数の実データを使用して推定する．2 地域 i，j 間の往復合計の年間旅行者数 Q_{ij}[人/年] が重力モデルによって記述できると仮定し，c と α をパラメータ，P_i および P_j を地域人口 [人]，d_{ij} を 2 地域代表点間の直線距離 [km] として

$$Q_{ij} = c\frac{P_i P_j}{{d_{ij}}^{\alpha}} \tag{6.1}$$

と表わす．第 3 節で作成した交通ネットワークモデルによって得られる i，j 間の経路上を Q_{ij}[人/年] が移動するとして得られる既存空港間の利用者数と,「航空輸送統計調査」の空港間往復利用者数実データと比較し，最小二乗法を用いてパラメータ c，α を推定する．すなわち国内 4 島内の航空 170 路線の集合を L，路線 $l(l \in L)$ の「航空輸送統計調査」による年間往復乗客数データを R_l，交通ネットワークモデルにおける路線 l の年間往復乗客数を $\tilde{R}_l$ とし，R_l と $\tilde{R}_l$ の差の二乗和 $\sum_{l \in L}(R_l - \tilde{R}_L)^2$ を最小とする c，α を求める．

ここで (6.1) 式における P_i，P_j は平成 12 年国勢調査による市町村人口を与える．ただし対象地域の市町村全てを旅行者の出発／到着代表点として計算すると計算時間が膨大とな

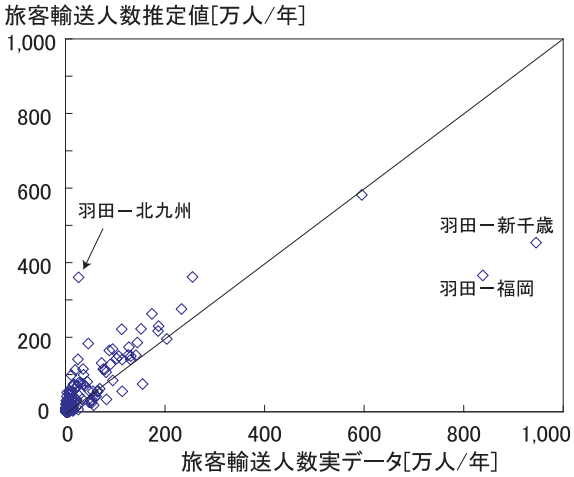

図 6: 路線ごとの往復利用者数散布図 (2003 年)

るため，代表点は全国市町村＋東京 23 区から町村を除く 683 地点とする．除いた町村人口は属する都道府県ごとに県庁所在都市に上乗せして，町村人口は全て都道府県庁所在地から出発するものとする．

距離による旅行者数の減衰を表わす α は非負の範囲では値が小さいほど誤差二乗和が小さく $\alpha = 0$ のとき最小となった．都市間旅行人数に距離は関係せず，人口の積にほぼ比例すると言ってよい．このとき $c = 2.631 \times 10^{-8}$ である．図 6 に横軸に空港間旅客輸送人数実データ，縦軸に $\alpha = 0$，$c = 2.631 \times 10^{-8}$ を (6.1) 式に代入した推定値をとった散布図を示す．両データの相関係数は 0.806 である．この結果は，空港間の航空利用旅行者数などの長距離流動量を推定する場合には，2 都市間の旅行者流動量は，距離に関わらず両都市の人口の積の定数倍で推定することが妥当であることを示している．ただし羽田を端点とした路線に当てはまりが悪いものが見られる．例えば，羽田ー福岡の旅客人数実データは羽田ー北九州に比べて圧倒的に多いのに，推定値では同じくらいの旅客人数を予測している．なお α は，負の範囲まで調べると $\alpha = -0.02$ のときに誤差二乗和が最小になる．しかし $\alpha < 0$ は距離が遠いほど旅行人数が増大することを意味するので，旅行者の地域選択を正しく表しているとは考えにくいうえ，0 からわずかに小さいだけであるから，$\alpha = 0$ を使用することにした．

地域間の旅行者数が人口の積に比例するとした推定の枠組みが，航空利用に限らず国内旅行全体にとって有用なのかどうか，幹線旅客純流動調査 (平成 12 年度) と (6.1) 式を比較して検証した．幹線旅客純流動調査とは，全国の航空，新幹線等の鉄道，自動車，幹線バス，幹線旅客船の幹線交通機関を利用して日常生活圏をこえる旅客流動を調査したものであり，平日 1 日の調査を統合処理して年間の旅行者数が得られる．幹線旅客純流動調査における都道府県間の旅行者人数と，(6.1) 式に $\alpha = 0$，$c = 2.631 \times 10^{-8}$ ならびに都道府県人口を代入した旅行者数推定人数の相関係数を計算したところ 0.209 であった (沖縄県を除く 46 都道府県間データ 2116 ペア)．これらのうちから直線距離が 300km 以上の都道府県ペア (1348 ペア) を抽出したところ，相関係数は 0.852 に上昇した．300km を上回る長距離の都市間旅行者流動量は都市の人口の積のみに比例するといってよい．

7. もらいうけシステムによる立地候補点の設定便数分布

図7は2003年10月当時の全国の空港発着便数を示す．対象地域主要4島を発着する航空便のみ表示する．成田空港の国内線は国際線への乗り継ぎを目的としたものであるから除外した．図7で示した便数データと平成12年国勢調査による市町村人口データをもとに，もらいうけシステムによって新空港の便数設定を行った (図8)．緯度，経度ともに0.2度 (約20km) 間隔の格子点を新空港候補点とする．ただしどの市町村代表点からも50km以上離れた候補点は除外する (北海道と東北地方にいくつかある)．関東地方から東海道を経て近畿地方までの候補点は，羽田をはじめとする既存空港からかなりの便数をもらいうけるため，多数の便が設定される．

8. 新空港の利用者数予測

図8の設定便数を用いて新空港の利用者数の予測を行う．新空港の航空便の飛行時間は (2.1) 式で与える．地域間の旅行者流動量は第6節で用いたデータ，重力モデル，パラメータによって与える．

結果を吟味する前に，得られた新空港の利用者数の推定が妥当なものであるかどうか，既存空港の便数と利用者数の関係を使用して検討する．図9は，第i既存空港の1日あたり発着便数データx_i[往復] と年間利用者数実データy_i[万人/年] の散布図である．横軸をx[往復]，縦軸をy[万人/年] としたときの原点を通る回帰直線は

$$y = 13.1x(\text{決定係数}\,0.959) \tag{8.1}$$

となった．決定係数は0.959であり，便数と利用者数には強い相関があることが分かる．新空港の便数xと利用者数yが回帰式 (8.1) に従う関係があると仮定して，信頼度95 %の信頼区間

$$13.1x \pm t_{n-2}\sqrt{1+\frac{1}{n}+\frac{(x-\bar{x})^2}{\sum_n (x_i-\bar{x})^2}}\cdot s_e \tag{8.2}$$

を用いて有意性検定を行う．ただしt_{n-2}は既存空港数51をnとしたときの自由度49のt分布の上側2.5 %点である2.01，x_iは第i番目の既存空港の便数，$\bar{x}$は既存空港の便数平均値30.06，s_eは既存空港の利用者数y_iと (8.1) 式との残差の標準偏差1668502である．図10は新空港候補地点ごとのもらいうけ設定便数と利用者数予測および (8.1) 式とその95 %信頼区間である．信頼区間の外にある立地候補点は全体の19.9 %であった．

信頼区間の下側にはずれた候補点を×，上側になる候補点を△と表示し図11に示す．信頼区間内部に入った候補点は利用者数推定値を図12に表示する．×となった候補点は，(1) 新空港の周辺人口が既存空港よりも相対的に少ないためもらいうけによる設定便数と比例した利用者数を“もらいうける”ことができなかった，(2) または新幹線との競争に勝てない，の2つの理由により信頼区間外側にはずれたものと考えられる．△候補10地点は根室，仙台，東京，広島，熊本の中心市街地に位置する．これらの地点は，(1) 最寄りの既存空港が比較的遠い場所にあるうえ，(2) 利用者にとって利便性が非常に高い，という共通点があり，非常に高い需要が見込める候補地点である．それゆえ信頼区間外にあるという理由で立地候補点から除外することは適当でないかもしれないが，有意性検定の目的の観点から除外することにした．

×△マークの立地候補点を考察対象から除外したために，静岡空港や中部国際空港の利用者数について考察できないことは残念である．立地候補点を信頼区間の内部に入れるためには，交通ネットワークモデルを改良し，経路選択を旅行時間だけでなく費用も考慮するモデルとすべきであるかもしれない．

利用者数予測の地理分布について述べる．北海道では有効な候補地域は見あたらない．東北地方では，宮城県南部から福島県北部における利用者数が最も多く 200〜300[万人/年] を見込むことができる．関東地方は信頼区間外の候補点と千葉県南部を除いて，ほぼ全域で利用者予測数の値が高く，500[万人/年] を超える利用者が期待できる地域もある．北陸・甲信越地方では，新潟県南部，石川県南部において 200[万人/年] 程度の利用者が予想される．東海地方はほとんどが信頼区域外となっている．近畿地方では，奈良および大阪南部から兵庫県までが 500[万人/年] を超える利用者を期待できる地域である．四国地方では愛媛・香川にまたがる地域において 200[万人/年] 程度の利用者を見込むことができる．九州地方では，福岡市周辺，大分県北部，熊本県北部，鹿児島県において 300[万人/年] 程度の利用者数を予測している地点がある．

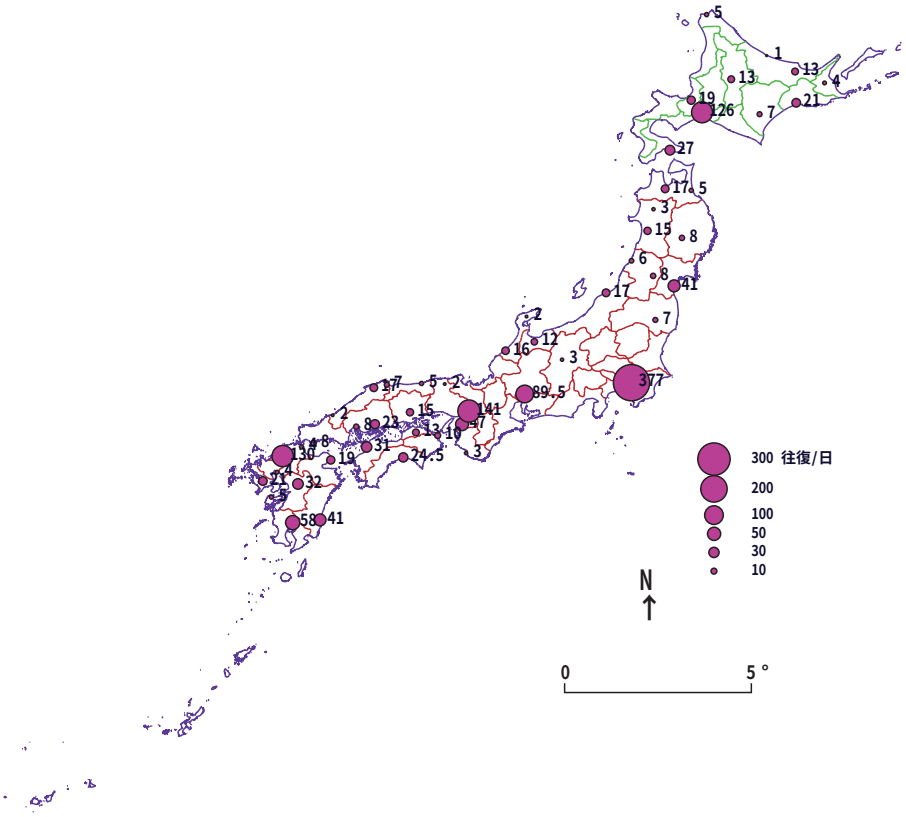

図 7: 既存空港便数 (2003 年 10 月)

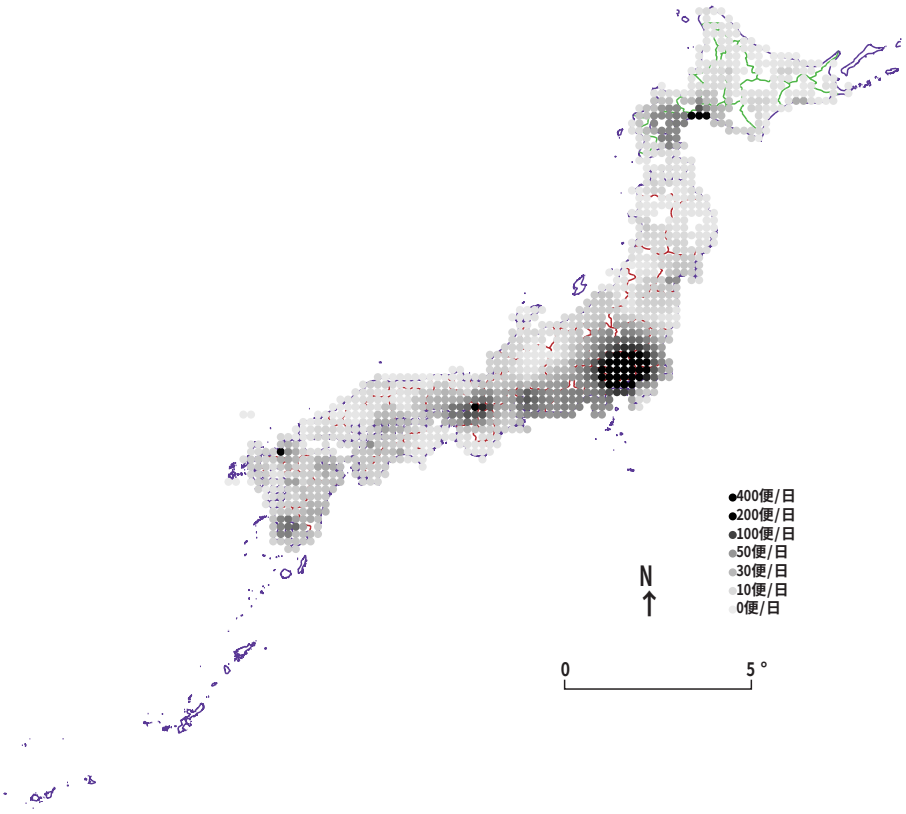

図 8: もらいうけによる新空港の設定便数

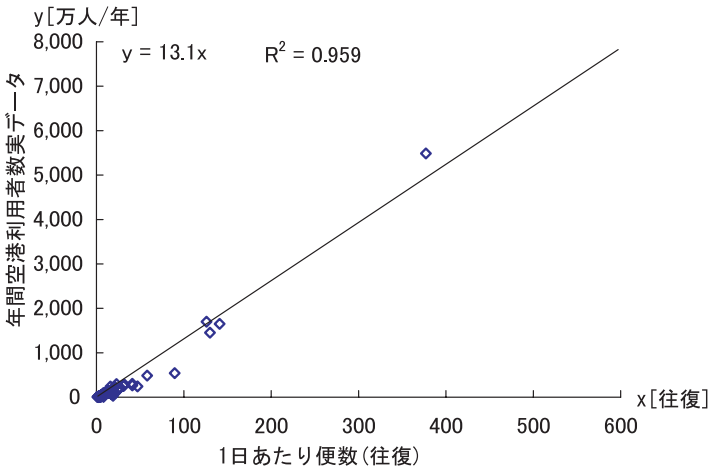

図 9: 既存空港の発着便数と年間利用者数

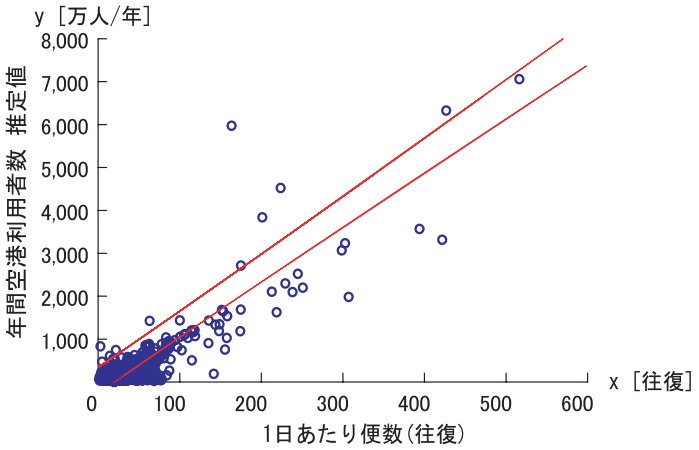

図 10: 立地候補点の年間利用者数推定値ならびに 95 %信頼区間

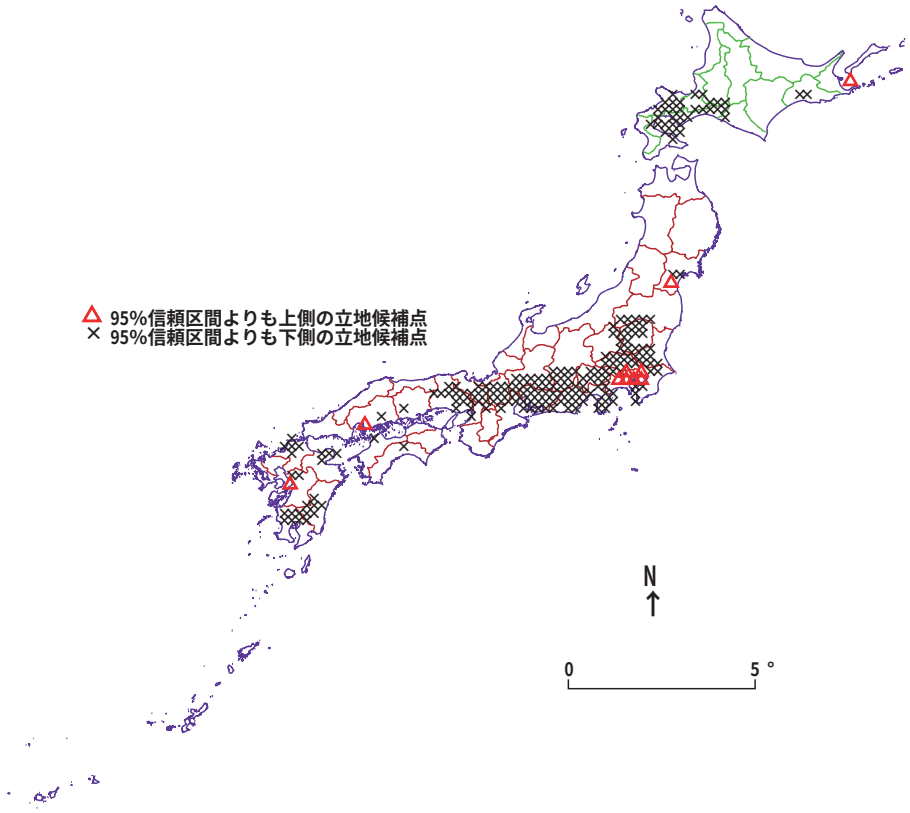

図 11: 95 %信頼区間外に分布した立地候補点

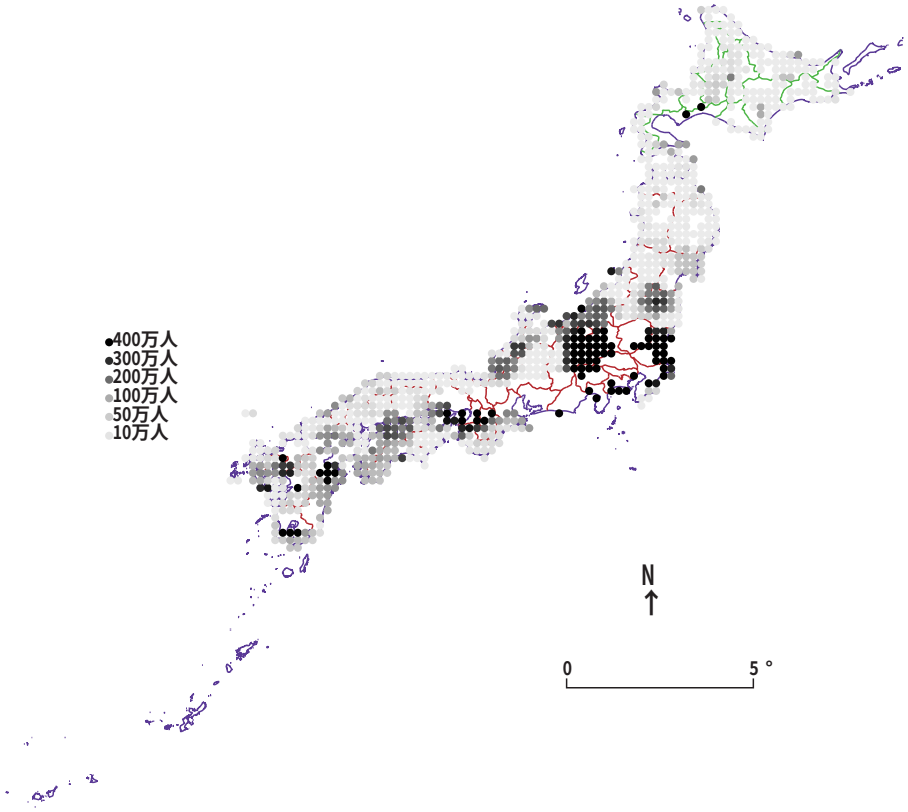

図 12: 新空港の利用者数分布

9. 新空港の 1 便あたりの乗客数分析

新空港立地候補点ごとに年間利用者数予測値 (図 12) をもらいうけ設定便数 (図 8) で割り，さらに 365 × 2 で割ると片道 1 便あたりの平均乗客数の推定値を得る．平均乗客数の多い立地候補点ほど航空会社にとって収益の見込める地点であると言える．その結果図 13 を見ると，

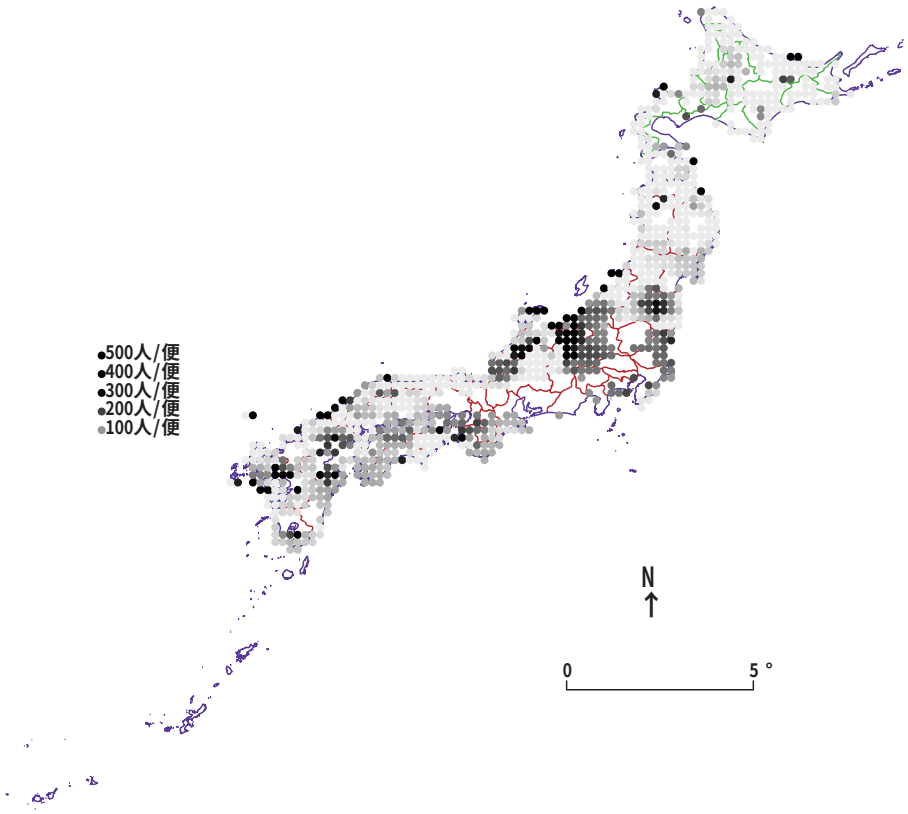

図 13: 1 便あたりの搭乗者平均人数

新幹線から距離のある地域では，1 便あたりの平均乗客数が多い．特に，福島県北部から茨城県，新潟県南部から長野県北部，石川県南部から福井県，大阪府南部から和歌山県北部，島根県沿岸部，山口県南部，大分県から長崎県にかけての地域を挙げることができる．これらの地域は，新幹線利用が不便で航空便のほうが有利であるか，または人口がある程度集積しているが空港までのアクセスが遠い，という共通点がある．一方で，北海道から東北地方にかけての地域は，新幹線との競争あるいは人口が少ないことから，大きな空港立地効果は見込めないようだ．

10. まとめと今後の展望

空港を母点とするボロノイ図を用いて新空港の最近隣人口を求めて，新空港の立地候補地点に対応した現実的な便数設定を行った．さらに，既存空港間の航空便利用者数をもとに，300km を超える地域間旅行者数が人口の積におおよそ比例することを利用して新空港の利用者数の推定を行った．また，1 便あたりの平均乗客数から立地候補点の評価を試みた．

その結果既存空港の利用者数の平均 311[万人/年]，中央値 95[万人/年] を超える利用者数が見込める地点がかなりあることを示すことができた．これらの地点は有力な新空港候補地点ではあるが，予測利用者数はもらいうけ設定便数に大きく依存しているから，設定する便

数を変化させれば全く異なる結果が得られることもあることは留意しなければならない．

今後の課題としては以下のものがある．第1に都市間旅行者数推定をもっと精度よく行う必要がある．第2に，本研究では利用者数を用いて立地候補点の評価を行ったが，加えて新空港立地による旅行時間の短縮の程度を計算して，空港の立地検討の材料としたい．第3に，旅行者の経路選択は旅行時間最小となる経路としたが，今後は旅行費用等も考慮した経路選択とすべきである．経路選択に旅行時間に加えて旅行費用も考慮すれば，より精度の高い空港利用者数予測ができるうえ，本研究で信頼区間外となった立地候補点を減らすことができるであろう．

謝辞

本研究は科学研究費・基盤研究 (A)「都市内・都市間交通網と公共施設配置に関する数理的ならびに実証的研究」の補助を受けた．ご助言を下さった南山大学の伏見正則先生をはじめとする皆様にお礼申し上げます．また，匿名の査読者の貴重なご助言に謝意を表します．どうもありがとうございました．

参考文献

[1] 阿部宏史, 谷口守, 中川拓哉: 地方空港・東京線の運行ダイヤ改善が空路利用促進に及ぼす効果. 土木計画学研究・論文集, **18** (2001), 653-659.

[2] 森地 茂, 屋井鉄雄, 兵藤哲朗: わが国の国際航空旅客の需要構造に関する研究. 土木学会論文集, **482** (1994), 27–36.

[3] 坂野匡弘, 岸邦宏, 佐藤馨一: ハフモデルを用いたニセコ・洞爺地域における空港立地計画に関する研究. 交通学研究, 2000 年研究年報 (2000), 41–50.

[4] 清水浩一郎, 吉川雅修, 片谷教孝: 国内航空旅客需要の社会経済要因との関連性の分析. 土木計画学研究・講演集, **16(1)-2** (1993), 731–736.

[5] 鈴木胖, 朴炳植, 金寛, 小林俊隆: 関西国際空港立地の社会経済的影響分析. 計画行政, **20** (1988), 69–75.

[6] 高田和幸, 屋井鉄雄: 国際空港における交通整備効果の分析. 土木計画学研究・講演集, **19(2)** (1996), 677–678.

[7] 竹林幹雄, 黒田勝彦, 鈴木秀彦, 宮内敏昌: 完全競争市場として見た国際航空旅客輸送市場のモデル分析. 土木学会論文集, **674 IV-51** (2001), 35–48.

[8] 轟 朝幸, 中村英夫: 航空サービスによる利便性を考慮した空港整備指標の検討. 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, **50** (1995), 766–767.

[9] 国土交通省: 航空輸送統計調査. http://toukei.mlit.go.jp/koukuu/koukuu.html.

三浦英俊
明海大学不動産学部
〒279-8550 千葉県浦安市明海8
E-mail: hmiura@meikai.ac.jp

ABSTRACT

FORECAST ANALYSIS OF USER NUMBER OF DOMESTIC NEW AIRPORT BASED ON THE SHORTEST TRAVEL TIME

Hidetoshi Miura
Meikai University

This research forecasts the effect of the location of a new airport to the movement in four main islands of Japan (Hokkaido, Mainland, Shikoku, and Kyushu). As for the effect, the number of user forecasts based on the shortest travel time between cities is judged as an index. We make a traffic network model to simulate the shortest travel time between cities including waiting time. A new airport is added to this model, and the number of users is estimated. Flight service of the new airport is set from the composition of the flight service of neighboring existing airports. The mechanism of the flight setting is called " flight transfer system ". By the data of user numbers of existing airports and flight transfer system, we estimate the user number of a new airport. Center area near from Tokyo may be difficult to catch enough users and be inadequate points of new airport, because Shinkansen, Japanese high speed train system, runs in the area and carries many travelers. It becomes clear that appropriate points for new airport are far from Shinkansen and Tokyo.