

不確実な需要を考慮した 国際航空旅客市場のモデル化

向井 尋明¹・竹林 幹雄²

¹学生員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail:101 t 138 t @stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 工博 神戸大学大学院 海事科学研究科教授 (〒658-0022兵庫県神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail:takebaya@kobe-u.ac.jp

本稿では時系列分析に基づき、国間および都市間レベルでの国際航空旅客需要の推計モデルの構築を行う。具体的には、需要構造分析にベイズ統計学に基づく分析手法を取り入れ、**Marcov Chain Monte Carlo Simulation/MCMC** に基づく需要予測手法の開発を行う。最初に日本発着の旅客需要に関して inbound, outbound それぞれに対してモデル化を試みた。その結果、outbound 需要に関しては自国の GDP ならびに相手国との為替レートの変動が主要な要素であることがわかった。

Key Words : ベイズ統計学, 国際航空旅客市場, MCMC法, 需要分析

1. はじめに

(1)背景

わが国には開港準備中の空港も含めて 99 の空港が商用利用されている。しかし、2009 年秋のリーマンショック以降の世界的な航空不況、ならびに欧州を中心に広がりつつある空港民営化のトレンドの中で、日本全国に多数存在するわが国の空港経営、中でも地方空港の存在意義が問われている。

空港経営の中で最も重要な要素としては貨客需要があり、この推計の精緻化が過去の空港整備・運営計画の中でも重要とされてきた。現在まで、時系列データによる回帰分析、ならびに重力モデルに立脚したモデルの提案などが行われ、成果を上げてきている。

しかし、本稿で対象とする国際航空旅客市場は、社会経済動向、テロ・疫病など様々な外的要因の影響を受けやすく、需要変動の大きな市場である。なかでも地方空港関連の路線では、利用者の数も大都市間をつなぐ基幹路線と比較すると小さく、外的要因による変動が大きい、予測の難しい市場である。

前述の既存の研究では、大都市拠点空港関連の基幹路線を対象とした市場モデルの構築や分析は数多くなされているが、地方空港関連の路線を対象とした分析はほとんどなされていない。しかし、包括的な議論を行う上で地方空港レベルでの推計も可能な手法を提案

することが急務であると考えられるものである。特に、需要の変動要因、およびその変動特性をモデル内に取り込み、かつ将来予測を行うことができるモデルの開発が必要である。

本稿は以上のような問題意識に基づき、時系列分析に基づきつつ、需要変動の構造分析にベイズ統計学の考え方を導入し、変動の大きな国際航空旅客輸送市場での需要予測に耐えうる方法論の開発を目指すものである。その第一歩として、本稿ではマクロレベルでの需要構造を**Marcov Chain Monte Carlo Simulation/MCMC**を用いて考察することを試みる。

なお、本稿では後述するようにわが国発着の国際旅客流動、すなわちマクロレベルでの旅客流動特性の分析を述べることとする。

(2)既往研究

航空旅客需要に関する研究として、Groscheら¹⁾は重力モデルを用いて都市間の旅客需要を定式化し、需要予測に用いている。その結果、航空需要には主に地理経済指標が影響を与えていることを明らかにした。また国土技術政策総合研究所²⁾では、全国発生モデル、国内地域別発生モデル、航空経路選択モデル、空港アクセス予測モデルから構成される国際旅客需要予測モデルにより、国際航空旅客需要の特徴を可能な限り反映できるモデルを発表している。しかしこれらの分析対

象は特定の地域や空港・路線を対象としたものではなく、日本発着の全ての国際線の旅客需要を対象としたモデルである。そこで本稿では、マクロ的な旅客流動のみならず、都市間レベル、さらにはわが国の地方空港路線を含んだ変動の大きな国際航空旅客市場をも精度よく分析するための方法として、ベイズ統計学の方法論の導入を試み、需要予測モデルの構築を目指すものである。

2. ベイズ統計を用いた分析について

(1) ベイズ推計とMCMC法について

ベイズ統計学を用いた分析では、従来の方法と比べて次のような弾力性がある。一つはモデリングにおける弾力性で、データを生成する真のプロセスにできるだけ近いような分析が可能になり、モデリングの過程で操作上のために置かれる制約を考慮する必要がなくなった。二つには推測法に縛られない弾力性である。最尤法とは異なりMCMCで推定される目的分布は正規分布のような特定の分布に限るといような制限はない。³⁾ MCMCは多変量の事後分布を用いてパラメータの推論をおこなう際に必要な多重積分を、シミュレーションによって解く方法である。これらのベイズ的手法を用いることにより、本稿では需要変動の大きな国際航空旅客市場のモデル化に取り組む。

本稿ではまずベイズ推計を用いた国際航空旅客需要の分析・予測手法を提案するために、まず国間流動市場のようなマクロ流動市場を対象にして分析する。ここでモデルの安定性を確認することにより、より詳細な需要分析、すなわち都市間レベルの需要変動を推計する。ここには需要変動の大きい地方空港関連の路線を含んだ市場も分析対象となる。

3. ベイズ統計を用いた国際航空旅客市場モデル

(1) モデリング

需要モデルとして次式のような線形回帰モデルを考える。

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= X\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon} \sim \mathbb{N}(0, \sigma^2) \\ y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \cdots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \\ \mathbf{y} &= (y_1, \dots, y_i, \dots, y_n)^T \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$X = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_i \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{i1} & \cdots & x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{nk} \end{pmatrix}$$

$$\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \dots, \beta_k), \boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)^T$$

ここで n は標本数、 k は定数項を除く説明変数の数、誤差項 $\boldsymbol{\varepsilon}$ は、平均0、分散 σ^2 の正規分布に従う。

$\beta_1 \sim \beta_k$ は各説明変数のパラメータ値を示す。被説明変数は2国間の年間旅客数(百万人)、説明変数としては、日本のGDP(10億US\$)、相手国のGDP(10億US\$)、日本の人口(百万人)、相手国の人口(百万人)、為替レート(円相手国通貨)を候補とした。最終的なモデルの決定は、説明変数の候補から組み合わせ、複数のモデルのパラメータを推定し、再現性などを検討し決定した。なお、MCMCに関してはギブスサンプラーを用いたアプローチを採用し、収束に関しては1.05を閾値として採用している。

(2) 使用データ

2国間の年間旅客数は、昭和62年から平成21年の国際航空旅客動態調査(隔年)を集計し用いた。(平成11年はデータがなかったため平成9年と13年の平均値)各国GDP、各国人口、為替レートはIMFの「World Economic Outlook Database」⁴⁾を使用した。

(3) マクロ流動市場に関する分析結果

前節までに示したギブス・サンプラーのアルゴリズム(MCMC法)を用いて、日本との間の年間旅客数の比較的多い、米国、中国、韓国との年間航空旅客数(出入国別)に関して分析をおこなった。

a) アウトバウンド(出国日本人)

3章1節で示した5つの社会経済指標を変数の候補とし、異なる組み合わせで複数のモデルのパラメータを推定し、その符号条件、再現性を検討した結果韓国に関しては、日本のGDPと為替レートの2変数を用いたモデルが妥当であると考えられる。ここでは例として日本-韓国間の分析結果と収束判定結果、再現性を以下の表-1、表-2と図-1に示す。

表-1 モデルパラメータ推定結果 (日本-韓国)

変数	平均	標準誤差	区間推定値	
			2.50%	97.50%
定数項	2.15.E+00	8.01.E-01	5.51.E-01	3.74.E+00
gdp_japan.ts	2.49.E-04	1.08.E-04	3.62.E-05	4.67.E-04
exchange.ts	-1.25.E+01	4.24.E+00	-2.09.E+01	-4.00.E+00
誤差項	6.39.E-02	4.05.E-02	2.36.E-02	1.66.E-01

表-2 収束判定結果 (日本-韓国)

変数	R
定数項	1.01
gdp_japan.ts	1
exchange.ts	1.02
誤差項	1

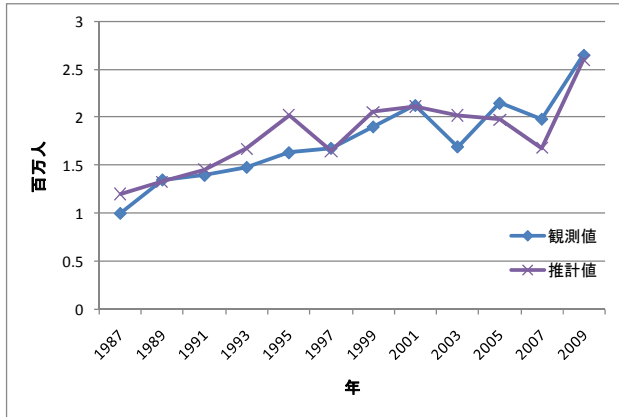


図-1 再現性 (日本-韓国)

表-1より日本のGDP (gdp_japan.ts) の事後平均値, 2.5%値, 97.5%値はいずれの値も正であり, 非常に高い確率で正の値をとるといえ, これは符号条件を満足する. また為替レート (exchange.ts) 事後平均値, 2.5%値, 97.5%値はいずれの値も負であり, 非常に高い確率で負の値をとるといえ, 符号条件を満足するものである.

次に収束判定結果をみると各項とも, R値が1.05以下でありマルコフ連鎖の標本経路が定常状態であるといえる. 図-1より推測値と観測値の乖離が小さいことがわかる. 上記の分析結果より, 為替レート, 日本のGDPが日本から韓国に出国する日本人に与える影響が大きいといえる.

一方, 米国, 中国に関しても同じく複数の場合をモデル化し, その符号条件, 再現性を検討した. 結果としてはいずれの場合においても符号条件が整合しなかった. 例えば, 日本-米国間の分析結果 (日本のGDPと為替レートの2変数を用いたモデル) と収束判定結果, 再現性を以下の表-3, 表-4と図-2に示されるようになる.

表-3 モデルパラメータ推定結果 (日本-米国)

変数	平均	標準誤差	区間推定値	
			2.50%	97.50%
定数項	-6.41.E+00	2.18.E+00	-1.07.E+01	-2.07.E+00
gdp_japan.ts	6.53.E-04	1.74.E-04	3.08.E-04	1.00.E-03
exchange.ts	5.86.E-02	1.65.E-02	2.57.E-02	9.15.E-02
誤差項	2.01.E-01	1.28.E-01	7.41.E-02	5.25.E-01

表-4 収束判定結果 (日本-米国)

変数	R
定数項	1.21
gdp_japan.ts	1.05
exchange.ts	1.18
誤差項	1

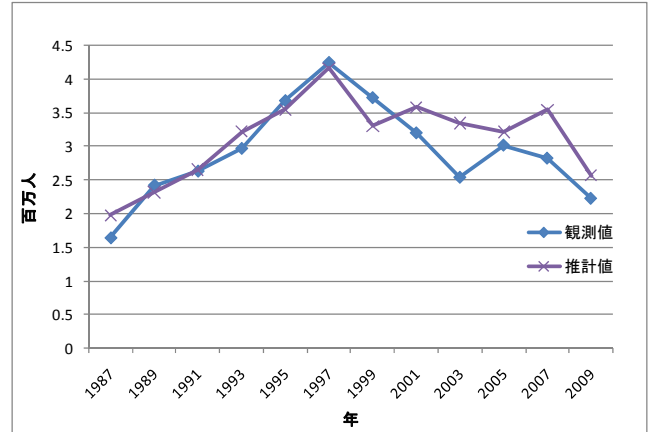


図-2 再現性 (日本-米国)

表-3より日本のGDP (gdp_japan.ts), 為替レート (exchange.ts)の事後平均値, 2.5%値, 97.5%値はいずれの値も正であり, 非常に高い確率で正であるといえる. しかし為替レートにパラメータ値が正であることは, 円の価値が下がれば下がるほど日本から米国への旅客需要が増加することとなり, 符号条件を満たさない.

また, 収束判定については定数項, 為替レート項に関してR値が1.05以上であり, マルコフ連鎖の標本経路が定常状態であるとは言い難く, 初期値の影響を受けている可能性が排除できない. 図-2を見ると1997年より後の観測値と推計値を比べると, 推計値が観測値の増減の傾向を捉えていない推移が散見され, 乖離の大きい年も見られる.

以上の分析結果より, 本稿で採用した5つの社会経済指標では, 日本から米国, 中国に出国する日本人に影響を与えている要因を抽出できていないことが考えられる. なお, 本稿の分析ではビジネス・観光におけるセグメンテーションは行っていない. しかし, 為替レートなどは旅客の分類によって与える影響が異なる可能性も考えられる. このため, より精度の高いモデル構築のためには航空旅客をさらに目的別に分類した分析も拡大しておくことも一つの方法であると言える.

b)インバウンド (入国外国人)

アウトバウンドと同じく分析した結果, 分析対象国のいずれに関しても相手国のGDPと為替レートの2変数を用いたモデルが妥当であると考えられる. 例として韓国-日本間の分析結果と収束判定結果, 再現性を以下の表-3, 表-4, 図-2に示す.

表-5 モデルパラメータ推定結果 (韓国-日本)

変数	平均	標準誤差	区間推定値	
			2.50%	97.50%
定数項	-2.93.E-01	4.52.E-01	-1.19.E+00	6.08.E-01
gdp_korea.ts	1.80.E-03	2.56.E-04	1.29.E-03	2.31.E-03
exchange.ts	4.68.E+00	3.31.E+00	-1.91.E+00	1.13.E+01
誤差項	4.34.E-02	2.76.E-02	1.60.E-02	1.13.E-01

表-6 収束判定結果 (韓国-日本)

変数	R
定数項	1.09
gdp_korea.ts	1.01
exchange.ts	1.1
誤差項	1

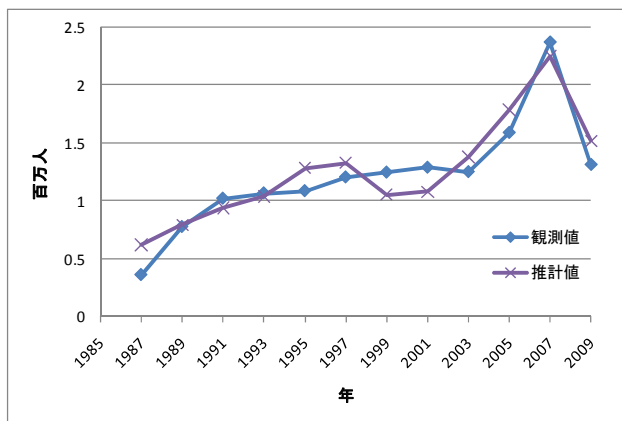


図-3 再現性 (韓国-日本)

表-5より韓国のGDP (gdp_korea.ts) の事後平均値, 2.5%値, 97.5%値はいずれの値も正であり, 非常に高い確率で正であるといえ, 符号条件を満たすものである. 為替レートに関しては, 事後平均値の値は正であり, 符号条件を満たす.

収束判定結果については定数項, 為替レート項に関しては, R値が1.05以上でありマルコフ連鎖の標本経路が定常状態であるとは言い難く, 初期値の影響を受けている可能性が排除できないが, 乖離の程度については図-3より推測値と観測値の再現性は比較的良好であると言える.

以上の分析結果より, 為替レート, 相手国GDPの2要因がインバウンドに関してより強い影響を持っているといえる. この傾向はアウトバウンド評価時にも一部みられた傾向であり, 本稿での分析からは, 自国GDPと為替

レートがアウトバウンド需要の主要決定要素であることが推察される.

既存の研究²⁾ではモデルに相手国GDPや人口など各社会指標もモデルに取り込んで説明されている. しかし本稿の分析結果よりアウトバウンド需要に関しては, 各国のGDP, 為替レートの2要因がより強い影響を持っているといえる. すなわち, 為替レートのレベルで相手国GDP (ないしは経済状態) の評価は反映されていると考えられる.

4. おわりに

本稿ではベイズ統計学の考え方をを用いた, 国際航空旅客市場のモデル化をおこなった. 本稿ではベイズ推計によるモデル化の手法を用いたマクロ流動市場を対象に分析をおこない, その流動特性について考察したが, 都市間流動などより詳細な分析結果は講演時に紹介することとする.

参考文献

- 1) Tobias Grosche, Franz Rothlauf, Armin Heinzl : Gravity models for airline passenger volume estimation, *Journal of Air Transport Management* 13, pp.175-183, 2007
- 2) 国土技術政策総合研究所空港計画研究室 : 航空需要予測について
<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kukou/keikaku/juyou1.html>
- 3) 和合肇 : ベイズ計量経済分析, マルコフ連鎖モンテカルロ法とその応用, 東洋経済新聞社, 2005.
- 4) IMF : Data and Statistics
<http://www.imf.org/external/data.htm>
- 5) 古谷知之 : ベイズ統計データ分析, R & WinBUGS, 2008.
- 6) 渡部 洋 : ベイズ統計学入門, 福村出版, 1999
- 7) Hugo Ferreira Braga Tadeu, David Gillen : Brazilian Airport Infrastructure:analysis using the Monte Carlo Simulation and Multiple Regressions, *Centre for Transportation Studies, Working Paper 2010*

(2011.8.5 受付)