

MCMCを活用した企業組織立地モデルによる地域格差分析*

MCMC for inter-regional disparity analysis using enterprise branch location model*

奥村 誠**・高田直樹***・大窪和明****

By Makoto OKUMURA**・Naoki TAKADA***・Kazuaki OKUBO

1. はじめに

地域格差の是正は、長らく国土計画上の重要な課題とされ、産業立地条件の改善のために高速道路や新幹線などの高速交通網の整備が進められてきた。しかし皮肉にも、そのような地方圏の交通条件の整備がサービス業や小売業の第3次産業、あるいは第2次産業の企業の中核管理部門の集約を可能としたため、「中抜き」もしくは「ストロー効果」と呼ばれる現象が発生した¹⁾。

各都市の産業活動にかかわる統計量を都市間交通のアクセシビリティ指標に回帰するという従来の標準的な地域モデル²⁾では、このような交通網改善に伴う立地の減少を表現できないことから、筆者らは代表的な企業の行動原理に基づく中抜き現象の解明に取り組んできた³⁾。すなわち、全国に分布する顧客に対して少数の支社を配置して効率的にサービスを提供しようとする代表的企業を考え、交通条件が改善される時、支社を集約する行動が起こる可能性があることを確認してきた。

このとき、社内組織間の交通の頻度や支社の固定費用などの企業特性が異なれば、同じ交通条件に対しても支社の最適配置パターンが異なる。実際の世界にはさまざまな特性を持つ企業が同時に存在しており、それらの集計結果としてのマクロな地域格差が統計的に得られるのみである。つまり、ミクロな行動に根拠をおく組織立地モデルの実用的な利用を考えようとするれば、マクロな集計情報である地域統計情報と照合せねばならないという問題が生じる。

本研究では、このミクロ～マクロ間の整合を図る方法として、ベイズ統計の分野で発展しているMCMC(マルコフ連鎖モンテカルロ)法に着目する。すなわち、情報の集約力や支社の固定費用に関して異なる特性を持つ企業のサンプルを多数発生させて分布を形作り、それらの各

企業が企業組織配置モデルに基づいて支社の配置と雇用の分布を決める結果、地域別の従業者数と平均賃金の分布が、マクロな地域統計データに整合するように調整する。

その上で、都市間の交通条件を外生的に変化させてサンプルごとに企業組織配置モデルを再計算し、それを再集計することで、都市間の交通網整備が雇用と賃金の格差に及ぼす影響のシミュレートが可能となる。

2. 一企業の組織立地モデル

(1) 一企業の組織立地行動

塚井・奥村は、ORの分野で研究蓄積の豊富な容量制約なし施設配置問題を用いて支社配置のモデル化を行った⁴⁾。そこでは支社を置くことによって追加的な立地コストが発生するが、本社と顧客の間の業務交流量が集約されるために交通コストの減少をもたらすというメカニズムを仮定し、企業が費用最小化行動を通して、本社・支社からなる2階層の企業組織を形成すると考えた。

本研究では、この支社による情報交流量の集約というアイデアを踏襲し、既に置かれている支社と本社の間さらに上位の支社を挿入して情報交流を集約することを認めて、最適な階層数の支社と、各都市の雇用者および総賃金を算出する多階層組織立地モデルを提案する。このとき、同一の地域に異なる階層の支社機能を同時に配置することを認めるが、上層の機能の雇用者にはその階層に見合った高賃金を支払う必要があると考える。同時に、本社が顧客を直接管轄することも許す。

モデルの定式化に当たり、本研究では全国の顧客を相手に業務を展開している大企業を念頭に置き、以下のような6つの仮定を置く。

1. 全地域 ($i = 1, \dots, I$) の顧客に対してサービスを提供する。
2. 1つの本社 ($k = 0$) と多階層複数の支社 ($j = 1, \dots, J$) を持ち、支社はより下層の支社及び顧客を管轄する。本社は支社を管轄するが、顧客を直接管轄することもできる。
3. 支社は下層からの業務情報量を集約する役割を果たす。つまり、下層からの業務の中に一定の割合

*キーワード：MCMC、ベイズ手法、国土計画

**正会員、博(工)、東北大学東北アジア研究センター

(仙台市青葉区川内41、TEL:022-795-7571、

E-mail:mokmr@m.tohoku.ac.jp)

***非会員、修(工)、群馬県西部県民局藤岡土木事務所

****正会員、博(工)、東北大学東北アジア研究センター

で含まれる難しい業務だけを上層に送って業務を遂行する。この業務情報の集約率は企業に固有の定数であり、情報集約係数 r と呼ぶ。

4. 業務情報量に応じて階層間に交通が必要となる、1単位の業務情報量に対して上層側の雇員 1 人が 1 回の交流を行う必要がある。そのため業務情報量に応じた交流コストがかかる。
5. 本社・支社を配置する際には、それぞれ扱う業務情報量に応じて雇員を確保する必要がある。賃金として、その階層に見合った水準の賃金を支払う必要がある。また組織のセットアップのために雇員の規模と関係なしに一定の固定費用 f が必要である。
6. 企業はその時点の顧客の分布、交通の条件を所与として、既存の業務組織と関係なしに静的な意味で最適な業務組織を作る。他の企業との競争やそれに関連する戦略的な行動は考えない。

(2) 第 n 階層支社配置問題の定式化

このモデルでは、第1階層の支社配置から始めて順々に上層の支社配置を決定していく。いま、第 $n-1$ 階層以下の支社配置が決まっており、地域 i の下層支社から本社への業務情報量 λ_i^n が与えられているとき、本社と第 $n-1$ 階層の支社との間に新たに第 n 階層の支社を挿入することが費用の節約につながるかどうか、という問題は、以下のように本社の立地コスト C_0^n 、支社の立地コスト C_1^n 、上下支社間交流コスト C_2^n 、本社-上層支社間交流コスト C_3^n 、本社-下層支社間交流コスト C_4^n の総和を最小化する混合整数計画問題として定式化することができる。

$$\min_{X_j^n, Y_{ij}^n, Z_{i0}^n} C_T^n = C_0^n + C_1^n + C_2^n + C_3^n + C_4^n \quad (1a)$$

$$= (w_0^n + p_0) s_0^n + \sum_{j=1}^J \{ f X_j^n + (w_j^n + p_j) s_j^n \}$$

$$+ \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \lambda_i^n d_{ij} Y_{ij}^n + r \sum_{j=1}^J s_j^n d_{j0} + \sum_{i=1}^I \lambda_i^n d_{i0} Z_{i0}^n \quad (1b)$$

$$s.t. X_j^n \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (1b)$$

$$0 \leq Y_{ij}^n \leq X_j^n \quad \forall i, j \quad (1c)$$

$$0 \leq Z_{i0}^n \leq 1 \quad \forall i \quad (1d)$$

$$\sum_{j=1}^J (Y_{ij}^n + Z_{i0}^n) \geq 1 \quad \forall i \quad (1e)$$

$$s_j^n = \sum_{i=1}^I \lambda_i^n Y_{ij}^n \quad \forall i, j \quad (1f)$$

$$s_0^n = \sum_{i=1}^I \lambda_i^n Z_{i0}^n + r \sum_{j=1}^J s_j^n \quad \forall i, j \quad (1g)$$

ただし、 w_0^n : 本社雇員一人当たり賃金、 w_j^n : 上層支社 j の雇員一人当たり賃金、 p_0 : 本社雇員一人当

たり賃貸料、 p_j : 上層支社 j の雇員一人当たり賃貸料、 f : 上層支社固定費用、 d_{ij} : 雇員一人当たり上下支社間交流コスト、 d_{j0} : 雇員一人当たり本社 - 上層支社間交流コスト、 d_{i0} : 雇員一人当たり本社 - 下層支社間交流コストまでは、外生的に設定される。主要な操作変数は、 X_j^n : 上層支社を配置する場合に 1、それ以外で 0 を表す 0-1 変数、 Y_{ij}^n : 地域 i の下層支社から上層支社 j への業務発注割合の変数、 Z_{i0}^n : 下層支社 i から本社への発注割合を表す変数であり、それらに応じて、 s_0^n : 本社雇員数および s_j^n : 上層支社 j の雇員数を定めることとなる。

ここで式(1c)は上層支社 j の配置がなければ業務の分担ができないことを示し、式(1e)は下層支社に関する業務情報が、必ず上層支社か本社のどちらかで処理されるという制約条件である。式(1f)は地域 j の上層支社雇員数 s_j^n が仮想支社からの業務情報量に比例して必要であることを示し、式(1g)は、本社雇員数 s_0^n が下層支社からの直接的な業務情報量と上層支社からの業務情報量の総和に対応して必要であることを表している。

また、賃金は同一階層の支社内では地域によらず一定であるが、階層が上がるにつれて一定の割合で上昇するとして、

$$w_j^n = w^1 \times n \quad (2)$$

と仮定する。ここで、 w^1 は第 1 階層賃金を表し、本研究では $w^1 = 300$ (万円/年/人) と設定する。また、第 n 階層の支社配置問題を解く際、本社は第 n 階層支社より 1 階層だけ上層に位置することになっているから、本社賃金を

$$w_0^n = w^1 \times (n+1) \quad (3)$$

と仮定する。

上層支社配置の固定費用は企業によって必要な機能が異なるため、企業ごとに異なる値をとると考える。以下での計算の都合上、 $0 < \rho < 1$ の間の値を持つパラメータ ρ を用いて固定費用を次のように定義する。

$$f = \frac{\rho}{1-\rho} f^* \quad (4)$$

f^* は基本の固定費用を表し、本研究では $f^* = 500$ (万円/年) と設定する。

(3) 計算アルゴリズム

本研究で提案する最適企業組織配置モデルでは、最下層の支社配置から順次決定していく。その計算アルゴリズムは次のようにすればよい。

Step 1. 1 回目の計算では下層支社として顧客の分布を与え、第 n 階層支社配置問題を解く。

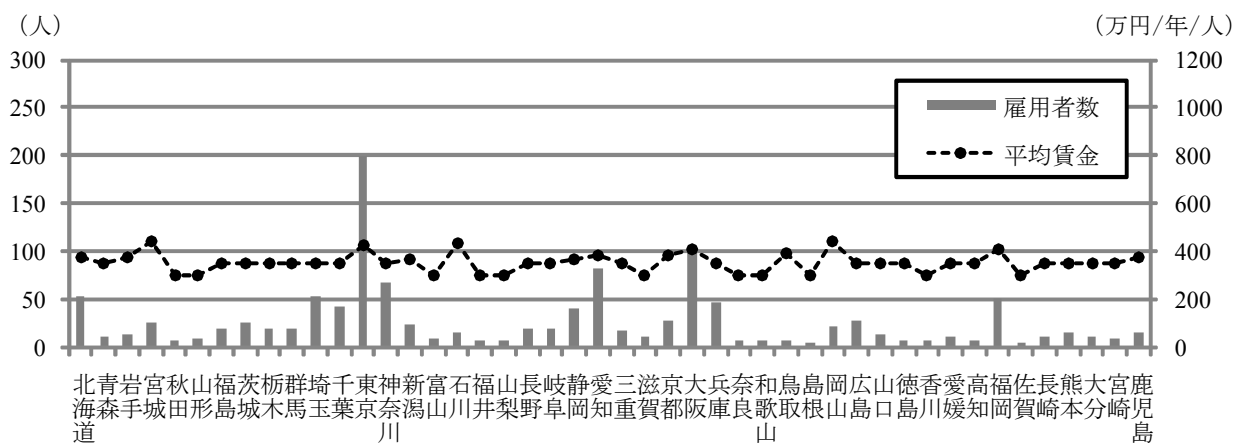


図-1 2005年における一企業の雇用者数・平均賃金分布の計算結果

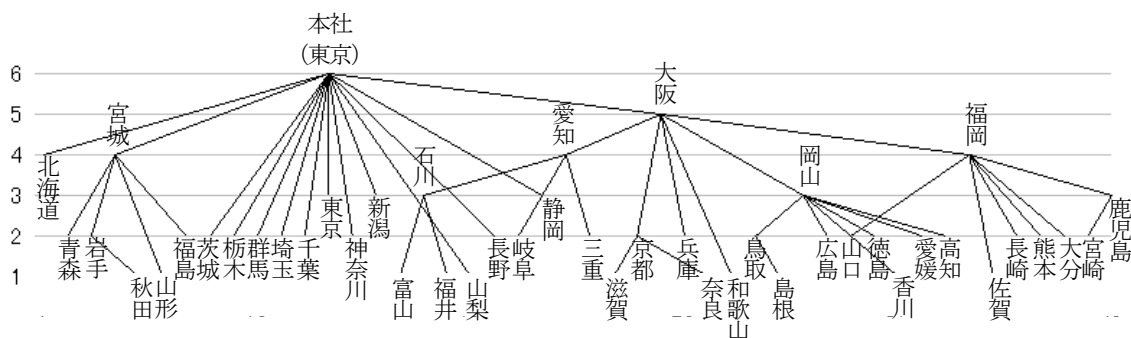


図-2 2005年における一企業の組織構造の計算結果

Step 2. $n - 1$ 回目の計算で求めた上層支社を n 回目の下層支社と考える。このとき、業務情報量は r 倍に集約されている。 $n - 1$ 回目の計算で本社に直接管轄されていた下層支社（および顧客）は、そのまま n 回目の下層支社（ダミー）と考え、業務情報量はそのままの値を与える。

Step 3. 第 n 階層支社配置問題を解く。

Step 4. Step 2, Step 3 を繰り返して、業務情報量の集約によるコスト減少分が上層支社の立地コストを下回り、新しく上層支社が配置されなくなった時点（ $n = N$ ）で計算を終了する。

$n = N$ 回の繰り返し計算で求まる最終的な各地域の支社の総雇用者数と本社の雇用者数 S_j, S_0 は、それぞれ式 (5), (6) となる。

$$S_j = \sum_{n=1}^N s_j^n \quad \forall j \quad (5)$$

$$S_0 = s_0^N \quad (6)$$

同様に、各地域の支社と本社の雇用者に支払われる賃金 W_j, W_0 は、それぞれ式 (7), (8) となる。

$$W_j = \sum_{n=1}^N w_j^n s_j^n \quad \forall j \quad (7)$$

$$W_0 = w_0^N s_0^N \quad (8)$$

(4) 一企業の組織の計算例

以上の最適企業組織配置モデルの計算例として、2005年の交通条件と2006年の顧客分布を与えて沖縄を除く46都道府県を対象として計算を行った結果を示す。

地域間の交流コストとして、雇用者 1 人が都道府県庁所在都市間を往復する際の一般化費用を与える。所要時間と運賃のデータは、全国幹線旅客純流動調査（2005年）を基に、鉄道と航空両方を組み合わせた経路の中から、所要時間が最短になる手段を選んで作成した。時間価値は上層側の雇用者賃金を総労働時間で割ったものを用いる。総労働時間は営業日数を 260（日/年）、営業時間を 8（時間/日）として $260 \times 8 = 2,080$ 時間と設定した。全国から 1 日に 1,000 人分の業務情報量を受け取ると仮定し、その分布は事業所・企業統計調査（2006年）の全産業従業者数に比例して与える。簡単化のために、本研究では本社を東京にあるものとして固定し、モデルを定式化する際に目的関数に含めた賃賃料は考慮しない。

企業特性パラメータ r, ρ をそれぞれ 0.2, 0.5 として、最適企業組織配置モデルを計算した結果を図-1, 図-2に示す。図-1の横軸には46都道府県を並べて表示し、縦軸の第1軸に雇用者数、第2軸に平均賃金をとっている。また、図-2はこの時の企業組織構造を示しており、横軸に46都

道府県，縦軸に各都道府県の支社が配置される階層数をとっている．これらから，東京，大阪，愛知の3大都市を有する都道府県や，札幌，仙台，福岡などの地方中枢都市を有する道県の雇用者数が大きく，階層が高い点で，一般のイメージに近い形の企業組織構造が計算できていることがわかる．

3. 地域マクロデータに基づく分析

(1) ミクロ～マクロ結合の必要性

本モデルでは，階層ごとの雇用者の質の違いが賃金水準にもたらす影響を考慮している．しかし，実際に個別の企業に対するミクロ調査によってその1企業が各地域に配置している雇用者数や賃金支払いの状況を調査することは難しい．利用可能なのは，各地域における総雇用者数と平均賃金という，多様な特性を持つ複数企業の企業組織配置結果を集計したマクロな統計データである．

そこで本研究では，個別の企業は異なるパラメータ値を持つものの，すべての企業が最適企業組織配置モデルに従って行動するものと仮定し，それらの集計結果が観測可能なマクロな地域ごとの総雇用者数と平均賃金に合うように，日本経済を構成する企業の特性を表すパラメータ値の分布を求める．

一旦パラメータ値の分布がわかれば，各パラメータにおける最適企業組織配置モデルの計算結果に対して，そのパラメータを持つ企業数で重みづけした相加平均を求めることで，マクロな統計データに対応する再現値を計算できる．また，交通条件や顧客分布の変化に対する企業ごとの異なる反応を前提にして，影響をシミュレートすることが可能となる．

(2) マルコフ連鎖モンテカルロ法

本研究では，マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)によるパラメータのサンプリング手法を導入することで，企業の特性を表すパラメータ(r, ρ)の分布を推定する．

すなわち，初めにパラメータの候補となる値を乱数で発生させた後，それがマクロな観測データにどの程度一致するかを回帰分析から求め，その結果からパラメータの候補を採択するかどうかを決める．そして，次のパラメータ候補をランダムウォークによって発生させることでマルコフ連鎖を生みだし，この計算を繰り返すことでパラメータの確率分布とそれを満たす標本の生成を行う．

なお，ベイズ推定の枠組みでは，所与の事後パラメータ分布に適合するサンプルを発生させるためにベイズの定理から採択条件を定めてMCMCを用いる⁵⁾が，本研究ではパラメータについての事後分布は未知である．

ただし，その企業ごとのパラメータ値の下で期待される企業の組織配置結果の集計値についての情報が与えられており，その分布に従うようなサンプルを間接的に推定するためにMCMCを用いており，考え方が異なる．

サンプリング手順の詳細は以下のとおりである．

- Step 1. 第一番目の標本 r の初期値 $r^{(0)}$ を決め，最適企業組織配置モデルによって，各地域の総雇用者数 $\mathbf{s}^{(0)} = (s_1^{(0)}, \dots, s_i^{(0)}, \dots, s_I^{(0)})$ と平均賃金 $\mathbf{w}^{(0)} = (w_1^{(0)}, \dots, w_i^{(0)}, \dots, w_I^{(0)})$ を計算する．
- Step 2. 現在の標本のパラメータ値が $r^{(t-1)}$ であるとき，次の標本 $r^{(t)}$ の候補値 r' をランダムウォーク
- $$r' = r^{(t-1)} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \tau^2) \quad (9)$$
- により発生させる．
- Step 3. 標本候補 r' に対して最適企業組織配置モデルを計算し，各地域の総雇用者数 \mathbf{s}' ，平均賃金 \mathbf{w}' を求める．
- Step 4. $t - 1$ 組の総雇用者数の標本 $\mathbf{x}_s^{(t-1)}$ ，平均賃金の標本 $\mathbf{x}_w^{(t-1)}$ に最後の $t - 1$ 番目の総雇用者数の標本 $\mathbf{s}^{(t-1)}$ ，平均賃金の標本 $\mathbf{w}^{(t-1)}$ を加えた地域別の平均値をそれぞれ非更新平均値 $\bar{\mathbf{x}}_s^{(t)}$ ， $\bar{\mathbf{x}}_w^{(t)}$ とする．また， $t - 1$ 組の総雇用者数の標本 $\mathbf{x}_s^{(t-1)}$ ，平均賃金の標本 $\mathbf{x}_w^{(t-1)}$ に Step 3 で生成した総雇用者数 \mathbf{s}' と平均賃金 \mathbf{w}' を加えた地域別の平均値をそれぞれ更新時平均値 \mathbf{x}'_s ， \mathbf{x}'_w とする．総雇用者数，平均賃金の地域別の観測値を，上記の2つの平均値を用いて回帰する．

$$\mathbf{y}_s = \beta_s \bar{\mathbf{x}}_s^{(t-1)} + \beta'_s \mathbf{x}'_s \quad (10a)$$

$$\mathbf{y}_w = \beta_w \bar{\mathbf{x}}_w^{(t-1)} + \beta'_w \mathbf{x}'_w \quad (10b)$$

標本候補を加えた更新時平均値の重み β'_s が非更新平均値の重み β_s よりも大きくなるかどうかを考える．例えば，総雇用者数については $\beta'_s > \beta_s$ であれば候補 r' を採択し， $\beta'_s \leq \beta_s$ の時には採択確率が β'_s / β_s となるように

$$\alpha_s = \min \left[\frac{\beta'_s}{\beta_s}, 1 \right] \quad (11a)$$

と定義する．平均賃金についても同様に

$$\alpha_w = \min \left[\frac{\beta'_w}{\beta_w}, 1 \right] \quad (11b)$$

と定義する．さらに最終的な採択確率を決めるために，総雇用者数，平均賃金それぞれについて観測値を $t - 1$ 組の標本の平均値 $\bar{\mathbf{x}}_s^{(t-1)}$ ， $\bar{\mathbf{x}}_w^{(t-1)}$ で回帰分析し，それぞれの決定係数 R_s^2 ， R_w^2 を求める．

$$\mathbf{y}_s = \beta_s \bar{\mathbf{x}}_s^{(t-1)} + \varepsilon_s \quad (12a)$$

$$\mathbf{y}_w = \beta_w \bar{\mathbf{x}}_w^{(t-1)} + \varepsilon_w \quad (12b)$$

R_s^2, R_w^2 を用いて、決定係数が低い方の標本の採択確率を重視するために

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_s, & R_s^2 \leq R_w^2 \text{のとき} \\ \alpha_w, & R_s^2 > R_w^2 \text{のとき} \end{cases} \quad (13)$$

を採択確率とする。

Step 5. (0,1)上の一様乱数 u を発生させて、

$$r^{(t)} = \begin{cases} r', & u \leq \alpha \text{のとき} \\ r^{(t-1)}, & u > \alpha \text{のとき} \end{cases} \quad (14a)$$

$$s^{(t)} = \begin{cases} s', & u \leq \alpha \text{のとき} \\ s^{(t-1)}, & u > \alpha \text{のとき} \end{cases} \quad (14b)$$

$$w^{(t)} = \begin{cases} w', & u \leq \alpha \text{のとき} \\ w^{(t-1)}, & u > \alpha \text{のとき} \end{cases} \quad (14c)$$

とする。

Step 6. t を $t+1$ として Step 2 に戻る。

以上のStep 2 - Step 6を繰り返し計算することで、標本 $r^{(t)}$ をサンプリングする。それによって標本 $r^{(t)}$ の分布を得ることができる。

(3) MCMCの計算結果

以上の方法を用いて、1995年 (case1) 及び2005年 (case2) の日本の都道府県別の第3次産業従業者の分布と賃金の分布を再現する。ターゲットとなる観測データ (マクロな統計データ) として、雇用者数に事業所・企業統計調査の第3次産業従業者全てを集計した値、平均賃金に賃金構造基本統計調査から作成した値を用いた。ただしCase 1には入手可能な1999年の値を用いる。また、賃金構造基本統計調査では都道府県ごとに調査対象の産業が異なるため、全都道府県において調査されている「卸売・小売業」、「金融・保険業」、「サービス業 (他に分類されないもの)」のみを対象とした。

MCMC の計算には統計ソフト R を使用した。最適企業組織配置モデルの計算には、R 上でフリーの線形計画問題ソルバーGLPK (GNU Linear Programming Kit) version 4.8 を作動できる glpk パッケージを使用した。これによって、最適企業組織配置モデルの計算とサンプリングとを一つのプログラムで処理することができる。

MCMC による計算は、ランダムウォークの誤差項の分散を r, ρ ともに 1.0 として 11,000 回標本を生成し、最初の 1,000 回を移動検査期間と考えて棄却した。図-3 に Case1 と Case2 のパラメータ r, ρ の密度分布を重ねたものを示す。この図から、密度が高くなる r の位置はおおよそ同じものの、Case 1 (1995) では明らかに $r = 0.2$ 近傍の密度が高く、Case 2 (2005) では $r = 0.1, 0.3$ 付近の密度がやや高い。パラメータ ρ の分布は 2 時点で大きな差は見られない。

図-4 には r と ρ それぞれの標本平均値の時系列的な変化を示している。 r, ρ ともに 2,000 回以降安定的に一

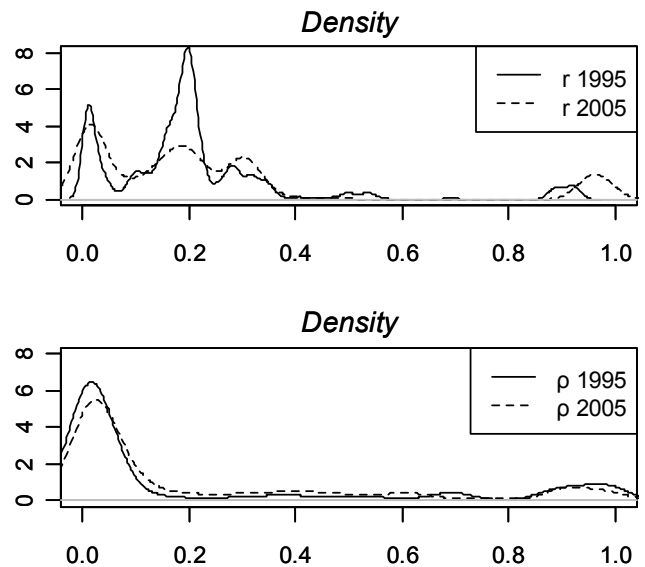


図-3 パラメータの分布

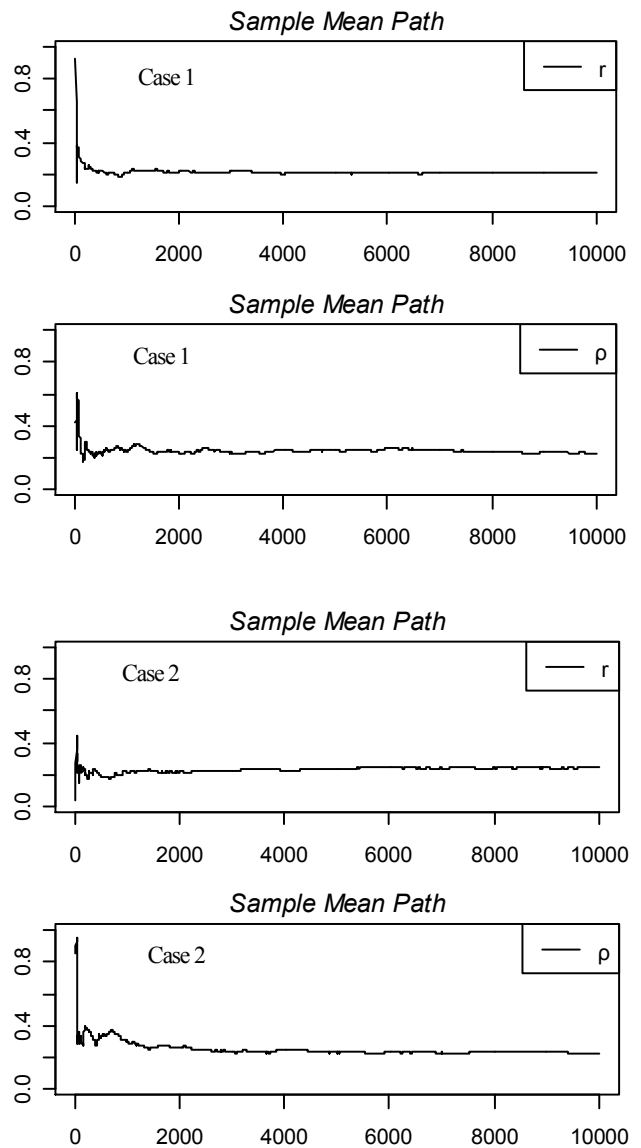


図-4 MCMCの収束状況

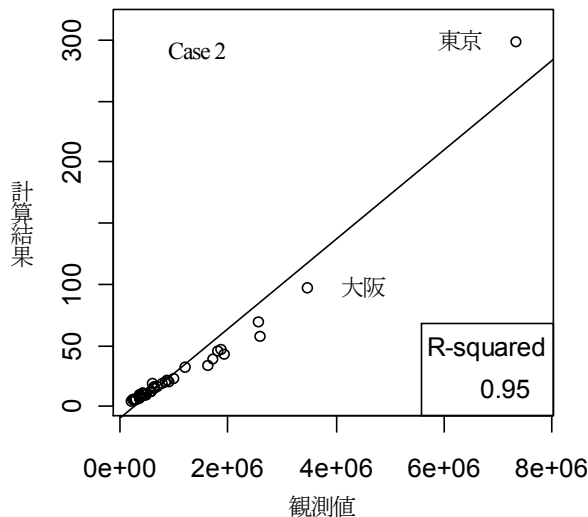
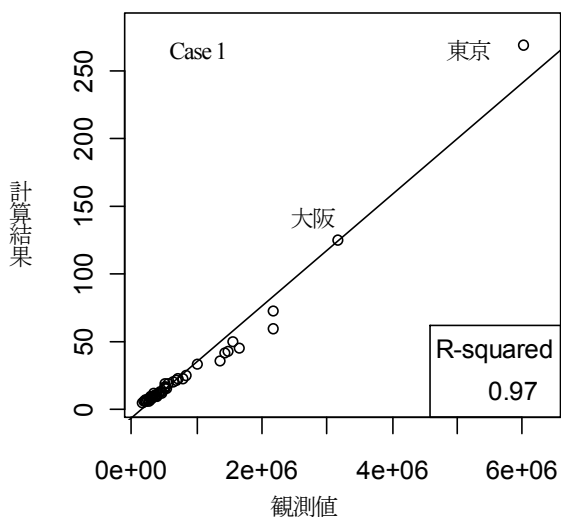


図-5 雇用者数の標本平均と観測データとの相関関係

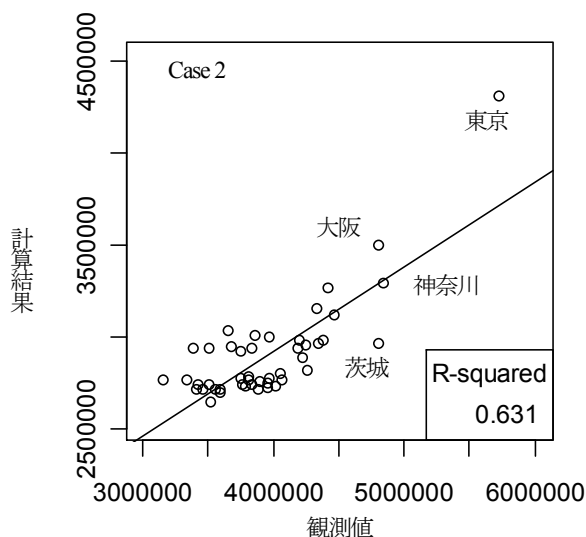
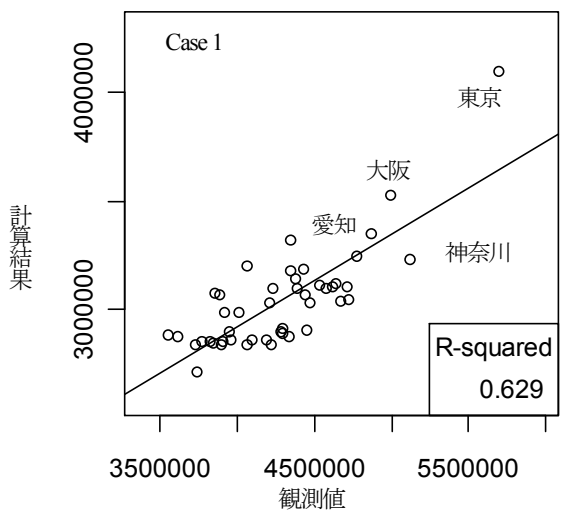


図-6 平均賃金の標本平均と観測データとの相関関係

定の値をプロットしていることから、収束していると判断できる。また、Geweke 統計量の値は Case 1 では r, ρ それぞれ-0.42, 0.38, Case 2 ではそれぞれ-0.75, 1.41 であり、 r, ρ ともに Geweke 統計量の絶対値が 1.96 より小さいため、有意水準 5%で収束していることが示唆される。

また、図-5、図-6は、雇用者数・平均賃金の標本平均と観測データとの相関関係を示している。決定係数は、雇用者数が Case 1, Case 2 でそれぞれ 0.970, 0.950 と高いのに対して、平均賃金はそれぞれ 0.629, 0.631 と若干小さい。図から、東京の標本平均値が高く突出する傾向にある。この理由として、本モデルでは常に本社を東京に置くという仮定を置いており、例えば東京に本社を持たない外資系の企業や、全国展開していない中小企業などの分だけ、東京の雇用者数や平均賃金が高く算出されている可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 小野政一, 浅野光行: 高速交通機関がもたらすストロー効果に関する研究—長野新幹線沿線を対象とした統計データによる検証, 土木計画学研究・講演集, Vol. 32, 2005.
- 2) 中川大・西村嘉浩・波床正敏: 鉄道整備が市町村人口の変遷に及ぼしてきた影響に関する実証的研究, 土木計画学研究・論文集, No. 11, pp. 57-64, 1993.
- 3) 高田直樹・奥村誠・塚井誠人: 支社配置モデルによる整備新幹線ストロー効果の検討, 日本機械学会第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp. 453-456, 2009.
- 4) 塚井誠人, 奥村誠: 本社支社配置の経年変化のモデル分析, 都市計画論文集, No. 36, pp. 349-354, 2001.
- 5) 和合肇編著: 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, 東洋経済新報社, pp. 39-99, 2005.