

最適業務配置モデルを用いた 雇用分布と業務交通量の逆解析

石川 拓武¹・奥村 誠²

¹学生会員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1 S502)

E-mail: takumu.ishikawa.q5@dc.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1 S502)

E-mail:mokmr@tohoku.ac.jp (Corresponding Author)

各地域が魅力ある雇用機会を創出することが重要な課題となっており、新幹線などの交通条件や、近年のIT化の進展による企業の業務方法の変化が日本全体での雇用分布や業務交通分布に与える影響を把握することが望まれる。本研究は、企業がみずからの業務方法と交通条件を前提に、経済的な合理性に基づいて業務配置を決定していると仮定し、その結果を集計したのとして日本全体での雇用分布や業務交通分布を把握する。このとき、多様な企業特性を持つ全国企業の業務配置を最適化モデルにより計算しておき、観測されている雇用分布と業務交通量をうまく説明するように、直接的に観測できない企業特性の分布を逆推定する。これにより、将来の状況の変化に対する企業の反応と、その結果として起こる国内の雇用分布・業務交通分布を予測する方法を提案する。

Key Words : *Optimal work location model , employment distribution , business travels*

1. はじめに

(1) 本研究の背景と目的

多くの地域が人口減少期に入らる中で、各地域が魅力ある雇用機会を創出することが重要な課題となっている。しかし、高度な知識や経験を必要とする業務が東京をはじめとする大都市圏に集中しているのは、企業にとって、そのような業務配置の方が費用が少ないなどの経済的な合理性が存在していることの結果であり、むやみに大都市圏から地方への業務の分散を進めることは、国内企業の競争力を弱める恐れがある。

これまで、新幹線整備や航空路線の拡充などの交通ネットワークの整備は、地方における企業活動の合理化につながり、雇用機会の増大と東京一極集中への歯止めにつながると期待されてきた。一方、近年のIT化の進展が企業の業務方法、すなわち企業がどのような内容の業務を持ち、それらをどのように従業員に分担、遂行させるのかを大きく変化させている可能性もある。

本研究では、企業がみずからの業務方法と交通条件を前提に、経済的な合理性に基づいて業務配置を決定していると仮定し、その結果を集計したのとして日本全体での雇用分布や業務交通分布を把握する。ここで雇用分布とは、全国各県の従業員と彼ら雇用するためにかかる総賃金の分布を指し、業務交通

分布とは業務目的の県間流動量を意味している。

この時、業務方法が異なる企業は、同じ交通条件に対して異なる業務配置を選択する可能性がある。そのため業務方法ごとの企業の存在比率を把握することが必要となるが、その存在比率は調査、観測されているわけではない。

そこで本研究では、業務方法といった企業特性は多様に分布していると考えて、多くの企業特性値の組み合わせを仮定して最適業務配置モデルにより当該企業の合理的な雇用分布と業務交通量を作成しておく。ついで、日本全体の雇用分布と業務交通量をうまく説明するように、企業特性の分布を逆推定するというアプローチを試みる。

一旦、企業特性の分布が求めれば、将来の交通条件などを最適化モデルに与えて最適業務配置を計算しなおすことで、将来の状況の変化に対する企業の反応と、その結果として起こる国内の雇用分布・業務交通分布が予想でき、国土計画上重要な知見を得ることが可能となる。

(2) 全国企業と地域企業

本研究では国内の企業を、全国企業と地域企業に分割して扱い、特に全国企業の業務配置の重要性に着目する。

本研究の全国企業とは、日本全国に分布する顧客に対して業務を行う企業であり、地域間移動費用や

固定費用の違いを考慮しながら、効率的な業務配置をとると仮定する。全国企業は各地における現場レベルの業務のほかに、各現場からの情報を収集したり、各現場で起こった困難な問題を処理するなどの、間接的であるが高度な業務を行う必要がある。現場の業務に比べてこのような高度な業務は量的に少なく、専門性が必要であることや定常的に類似の業務を扱うことの習熟効果などを考えれば、全ての地域で個別に行うよりも少数の交通条件の良い地域でまとめて実施する方が効率的である。高度な業務を行うためには、専門性や経験が必要であるため、従業者には高い賃金が払われる。さらに、こうした高度な従業者が問題が発生した下位の現場に出向いたり、逆に下位の従業者が相談のために彼らのところに出向くという地域間の移動が行われる。

なお、以上のような下位の業務と、それを統括する上位の高度な業務との関係は 1 階層にとどまらず、多階層に繰り返される可能性がある。例えば市町村レベルでの営業所の上に都道府県別の支店、地方別の支社、そして全国を統括する本社を置く例が考えられる。このとき、一つの企業で全国に業務を展開していなくても、同様の業務を各地方ごとに展開する複数の企業が連携して業務を行ったり、全国的な組織がこれらの地方企業の情報を集約・共有しているような場合には、これらの複数の企業全体をあたかも一つの全国企業とみなすこともできる。例えば地方ごとに分社を持つ企業や、地方の団体とそれらをまとめる全国的な連合団体を合わせたもの等は、このような全国企業とみなせる例である。

一方地域企業は、狭い地域の顧客を対象に業務を展開する企業であり、顧客分布に比例した従業者を雇用し、業務内容に質的な差異は存在しないと仮定する。県外との連携は近距離のものに限られるため、日本全体の地域企業をまとめて見ると、ほぼ顧客分布に比例した配置をとると考えられる。

(3) 雇用の質に関する既往研究

ここでは雇用の質や、それらが地域活性化に与える影響についての既往研究を概観しておく。

濱地・渡辺¹⁾は労働の質を従業者の賃金と捉えて、その質の変化を 1985 年から 2003 年にかけて産業ごとに分析した。賃金を労働の質、それを行う従業者の質として捉える点は本研究と共通する。その結果労働の質は製造業では 1998 年までは上昇したもののそれ以降は低下、サービス業では 1990 年代後半までは緩やかに上昇するもののそれ以降は停滞、卸売・小売業では上昇の一途を辿っていることが分かっている。

地方ごとの大学進学・就職を扱ったものとして、田澤・梅崎²⁾がある。ここでは、大学生を対象に高校所在地、大学所在地、希望勤務地についてアンケート調査を行い、その地域間移動パターンについて地方ごとに分析を行っている。その結果として、東北・甲信越・四国地方では、別の地方の地元からその地方の大学に進学した場合でも、大学所在地地方と

も出身地方とも異なる別の地方に就職を希望する学生が多いこと、大学進学に伴い別の地方から来た学生が大学所在地地方への就職を希望するのは関東のみであることが明らかになっている。これは関東以外の地方では、全国企業の質の高い業務が用意されることが少なく、就職の魅力度が低いことを表しており、本研究の問題意識と一致している。

学生の地元就職と賃金の関連について触れたものとして小磯³⁾が挙げられる。学生の地域定着を通じた地方創生に活かす提案を考察している。その中で取り上げている青森県では、県外流出人口が最も活発なのは 20 代の若者であり、彼らの流出を阻止することや U ターン就職を促進することが地方創生のための課題だと述べ、学生の地元就職を阻害する要因として地域企業の求人内容が良くないこと、学生が内定を辞退する機会が多いことの 3 つを挙げている。

これらの研究から賃金を用いて労働の質の違いを把握することができ、全国企業の支社・支店を誘致して高い賃金を支払う雇用を増やすことで、質の高い人材の流出防止と流入の促進をはかり、地方創生につなげられる可能性があることが分かる。このような観点から、本研究では全国企業の業務配置に着目することとする。

2. 本研究のアプローチ

(1) 全国企業の業務配置決定要因

本研究では日本全体の雇用分布を、各企業の業務配置の結果を集計したものとする。すなわち、国内の各産業においては多くの企業が存在し、それぞれが事業を展開するために、複数の場所に従業者を確保し、賃金を配分している。本研究ではその従業者や賃金の配分を「業務配置」と呼ぶ。

ここで、全国企業の業務配置決定に影響を持つ条件や要素を考える。まず 1 つ目に交通条件である。鉄道や高速道路が開通すれば、その地域は利便性が向上して、企業が配置する従業者数が増え、当該交通量も増えるという影響が考えられる。2 つ目には顧客分布が挙げられる。企業は各地域の顧客に対応できるように従業者を配置する必要があるため、顧客の分布が影響するはずである。3 つ目に地域ごとの最低賃金が挙げられる。最低賃金は、特に現場レベルの作業を行う従業者の賃金に大きく関わってくるため、企業全体の費用構造に影響を及ぼし業務配置に影響を与える。4 つ目は企業特性である。支社を置くために多くの固定費用が掛かる企業では、少数の場所に従業者を集めて配置することが有利となる。また現場レベルで処理できない業務が多い企業では近隣県へのアクセスが良い地域に優秀な従業者が配置しその間の交通量が多いと予想される。

以上の要因の中で、交通条件、顧客分布、最低賃金は、都道府県ごとの統計などから値を想定することが可能である一方、企業特性ごとの全国企業の存

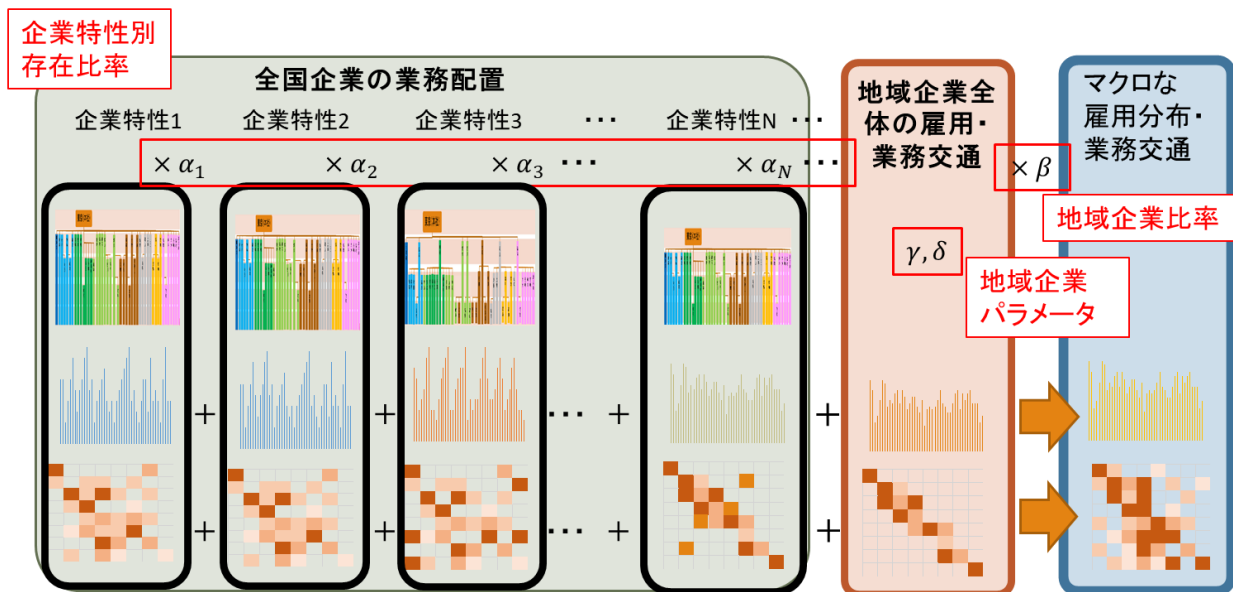


図-1 雇用分布に関する比率・パラメータの逆解析の考え方

在比率は観測できない。

(2) 雇用分布の逆解析の考え方

本研究では、全国企業について、各特性を持つ企業の効率的な業務配置の決定を記述する最適化モデルを構築した上で、企業特性に関する複数の仮想的な条件と交通条件、顧客分布、最低賃金を与えてそれぞれの業務配置を導出する。また地域企業についても、先述した考え方に基づいて業務配置をモデル化し、導出する。

これらの企業特性ごとの全国企業の業務配置ならびに地域企業の業務配置から得られる従業員数・総賃金・業務交通分布を用い、日本全体の従業員数・総賃金・業務交通分布の観測値を説明するように、企業特性格別存在比率と地域企業のパラメータ・比率を逆推定する。この時、雇用分布の量的な側面だけでなく質的な側面を反映させるために総賃金を考慮しているところに特徴がある。その模式図を図-1に示す。

このようにして、一旦企業特性格別存在比率と地域企業比率が求めれば、交通条件、顧客分布、最低賃金を最適業務配置モデルに入力して、将来の全国企業の業務配置および日本全体の雇用分布・業務交通分布を順方向に予測することが可能となる。

(3) 企業の業務配置に関する既往研究

ここでは全国企業の業務配置に関する既往研究を概観する。これらの研究では本研究の業務配置に該当するものをそれぞれ支社配置、施設配置、企業組織配置などと呼んでいることに注意する。

日野⁴⁾は企業の支社配置について、人口に基づく顧客量と移動距離等に関する営業効率からモデル化し、実証分析を行っている。それに対して須田⁵⁾は日野モデルが比較的狭い地域に限定したものであること、本社と支社のやり取りを考慮していないことを問題として、全国的な企業を考えた「拡張日野モ

デル」を提案している。しかしこのモデルが示した支社配置は、現実にそぐわないものになったと結論づけている。

塚井・奥村⁶⁾は容量制約なし施設配置問題を用いて全国企業の支社配置をモデル化し、本社・支社の立地と業務交通量との関係の分析を行っている。このモデルは本社・支社からなる2階層の企業を想定し交通費用と立地費用の和を最小化するような、支社の数・配置・管轄域を内生的に求めているが、多階層の構造は扱っていない。

階層数を内生化したモデルとしては Kijmanawat and Ieda⁷⁾の多階層施設配置モデルがある。ただし、このモデルは物流を念頭におき、起点となる各ノードの財を上層ハブに集約してからまとめて終点側のハブへ輸送し、そこから各終点ノードへ輸送する状況をモデル化しており、本研究で想定する全国企業の1つの本社を持つツリー型の業務構造は説明できない。

そこで奥村・高田・大窪⁸⁾は1つの本社を持つツリー型の企業組織構造を想定した、多階層の最適企業組織配置モデルを提案し、最適な支社の階層数と配置を内生的に求める方法を開発した。そこでは本社位置と顧客の分布を所与として、中間階層の支社の配置を求める費用最小化問題を考え、これを繰り返すことで全体の支社配置を決定している。ただし繰り返し計算後の上層の配置に対して、途中で決めた下層の配置の最適性が保証できないという問題があった。本研究では、奥村・高田・大窪の考えた問題を1つの費用最小化線形計画問題として解く方法を提案する。また、全国に分布する顧客に対処することの他に、本社を介した国の機関や他企業の本社などとのやりとりを含めることとする。

これらの研究では、様々な状況での最適業務配置や企業特性格別存在比率の導出については行われてきたものの、日本全体の雇用分布の分析を行っているわけではない。本研究は、全国企業の階層的業務配

置を通じて、日本全体の雇用分布および業務交通の分布を理解しようとしてところに新規性がある。

3. 企業の最適業務配置モデル

本章では、企業の業務配置を求めるためのモデルの詳細を説明する。なお、本研究では沖縄県を除く46都道府県を単位として、2005年および2015年の2時点のデータを用いる。交通条件として、各地域間の所要時間と運賃から雇用者の賃金水準を反映した一般化費用を算出する。所要時間と運賃は全国幹線旅客純流動調査(2005年, 2015年)¹⁰⁾の交通機関ごとのデータを実際の利用者数に応じて平均した値を用いる。顧客分布は、対象企業が一般的な業務サービス業であると想定し、各県の全産業従業者数に比例するように1日あたり1000人の顧客を配分して与える。全産業従業者数の実績値は、2006年の事業所・企業統計調査¹¹⁾と2014年経済センサス¹²⁾の値を用いる。最低賃金については厚生労働省発表の2005年、2015年における地域別最低賃金改定状況¹³⁾を用いている。

(1) 全国企業の最適業務配置モデルの定式化

ある企業特性を持つ全国企業の合理的な業務配置を導出するための最適化モデルを説明する。このモデルは全国企業が1つの本社と複数階層の地方支社からなるツリー型の業務構造のうちで、総費用を最小化するような業務配置を求めるものである。企業はまず各地域の顧客に対応するための現場部門をそれぞれの地域に配置する。そのうえで、下の階層が処理にあたる業務の中に、一定の割合で判断が難しいものが含まれ、上層の従業者の判断を仰ぐ必要があると仮定する。こうした上層の従業者は、少数の地域にまとめて支社として配置されることになる。また、全国企業の本社は、大都市圏に立地する他企業や公的機関に向いて業務を行う必要があると仮定する。

ここで企業ごとに異なる特性として、下の階層が処理にあたる業務のうち上層従業者の対処が必要なものの割合、支社を置く際にかかる費用における従業者数に依らない固定費用の大きさ、業務における企業外とのやり取りの必要性、階層間の賃金格差の大きさを考える。以下では、業務構造のあり方を左右する可能性を持つこれらの特性を「企業特性パラメータ」と呼ぶ。

本モデルでは、本支社立地費 C_1 、社内管轄交通費 C_2 、社外交通費 C_3 、社外対応本社経費 C_4 の総和を最小化する。

本支社立地費 C_1 として、雇用者数に応じたオフィスの賃貸料や払う賃金、人件費以外にかかる固定費用を考えて以下のように表す。

$$C_1 = \sum_{n \in M} \sum_{j \in I} (l \cdot f \cdot X_j^n + (w_j^n + o_j) \cdot S_j^n) \quad (1)$$

ここで、 w_j^n ：地域 j の n 階層雇用者1人あたり賃金、

o_j ：地域 j の雇用者1人あたり賃貸料、 S_j^n ：地域 j の n 階層雇用者数、 X_j^n ：地域 j の n 階層支社配置の0-1変数、 r ：業務集約係数($0 < r < 0.5$)、 f ：支社1つ当りの基準総賃金、 l ：基準総賃金に対する固定費用比率($0 < l < 1$)である。

社内管轄交通費 C_2 は、顧客または下層支社の業務情報量1単位に対して管轄関係にある上層の支社雇用者1人が地域間を移動すると仮定して以下のように表す。

$$C_2 = \sum_{n \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} c_{i,j}^n \cdot Y_{i,j}^n \quad (2)$$

ここで、 $c_{i,j}^n$ ：階層別の雇用者1人あたり地域間移動費用(交通条件を反映した外生値)、 $Y_{i,j}^n$ ：地域 j の第 n 階層支社が管轄する地域 i の第 $n-1$ 階層支社関係業務量である。

社外交通費 C_3 は、本社が大都市圏に立地する他企業や公的機関に向いて業務を行う状況を仮定して以下のように表す。

$$C_3 = \sum_{n \in M} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} b \cdot \mu_i \cdot c_{i,j}^n \cdot X_j^n \cdot H^n \quad (3)$$

ここで、 b ：社外対応業務量比率、 μ_i ：本社が行う地域 i の社外業務量、 H^n ：第 n 階層に本社が設置されていることを意味する0-1変数である。

社外対応本社経費 C_4 は、社外業務のための本社の雇用者数に応じたオフィスの賃貸料や払う賃金を意味しており、以下のように表す。

$$C_4 = \sum_{n \in M} \sum_{j \in I} b \cdot (w_j^n + o_j) \cdot X_j^n \cdot H^n \quad (4)$$

以上の費用の総和を最小化するにあたり設定する制約条件を以下に示す。

まず、各県の顧客にその県の第1階層雇用者が対処する必要があり、雇用者を配置する地域には支社を設置しなければならないという条件を以下のように表す。

$$S_j^1 \geq \lambda_j, \quad \forall j \in I \quad (5)$$

$$S_j^n \leq \lambda \cdot X_j^n, \quad \forall n \in M, \forall j \in I \quad (6)$$

ここで、 λ_j ：地域 j の顧客数、 λ ：全国の顧客数の総和である。

次に各階層において設置する支社数が地域数を超えることがないという条件、階層が高いほど支社数は減少する(増加することはない)という条件を以下のように表す。

$$\sum_{j \in I} X_j^n \leq 46 \cdot L^n, \quad \forall n \in M \quad (7)$$

$$\sum_{j \in I} X_j^{n+1} \leq \sum_{j \in I} X_j^n, \quad \forall n \in M \quad (8)$$

ここで、 L^n ：第 n 階層に1つ以上の本社または支社が設置されていることを意味する0-1変数である。

次に、本社は最上位に設置される階層であることを意味する条件を以下のように置く。

$$H^n = L^n - L^{n+1}, \quad \forall n \in M \quad (9)$$

そして上層への業務量、下層からの業務量の制約条件を以下のように置く。

$$\sum_{j \in I} Y_{i,j}^{n+1} + \sum_{m \in M > n} Z_i^{n,m} \geq r \cdot S_i^n, \quad \text{if } L^{n+1} = 1, \forall n \in M, \forall i \in I \quad (10)$$

$$S_j^n \geq \sum_{i \in I} Y_{i,j}^{n-1} + \sum_{m \in M < n} Z_j^{m,n}, \quad \forall n \in M, \forall j \in I \quad (11)$$

ここで、 $Z_j^{m,n}$ ：地域 j の第 n 階層支社が管轄する同地域の第 m 階層支社関係業務量である。また、本社階層までは支社が存在し、それより上の階層では支社が配置されないという条件を以下のように表す。

$$\sum_{i \in I} X_i^n \geq 1, \quad \forall n \in M \leq h \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} X_i^n = 0, \quad \forall n \in M > h \quad (13)$$

ここで、 $h: H^h = 1$ となる本社階層である。

そして配置された支社にのみ業務が管轄される、ということを表す2本の制約式を示す。

$$Y_{i,j}^n \leq \lambda \cdot X_j^n, \quad \forall n \in M, \forall i, j \in I \quad (14)$$

$$Z_j^{m,n} \leq \lambda \cdot X_j^n, \quad \forall n > m \in M, \forall j \in I \quad (15)$$

最後に地域 j の n 階層雇用者1人あたり賃金を表す w_j^n を以下のように置く。

$$w_j^n = w' \left(\frac{1}{r} \right)^{a(n-1)} + v_j \quad (16)$$

ここで、 w' ：最低賃金の全国平均をもとにした基準賃金、 a ：階層間の賃金差に関わるパラメータ、 v_j ：地域 j における地域手当である。ここでは業務集約係数が小さい、つまり一人で多くの仕事を取りまとめられる雇用者ほど高い賃金を受け取る、同じ仕事に対して地方部と都心部では受け取る賃金が異なるという状況を表すために、このような設定にしている。

各地域間移動費用には、移動する雇用者の賃金を総労働時間で割って時間価値とし、それを地域間の往復にかかる時間にかけたものと運賃の和である一般化費用を用いる。このため移動する雇用者の階層が異なれば、移動費用は異なる値をとる。ここで総労働時間は営業日数260(日/年)、営業時間8(時間/日)として $260 \times 8 = 2080$ (時間)と設定した。

以上のモデルは、 X_j^n, H^n, L^n という0-1変数を含む混合整数線形計画問題として定式化される。

(2) 全国企業の企業特性の絞り込み

本研究では、幅広い範囲でパラメータ値を設定して上記のモデルを適用し、実際に起こりうる業務配置を列挙する。したがって非現実的と考えられるパラメータ値は考える必要がない。

まず、パラメータ r は、下の階層の業務のうちで上層の従業者の対処が必要なものの割合である。各階層において1人あたりが対処できる業務量を1と考えているので、 r の逆数は1人の上層従業者が管理できる下位の従業者の人数に相当する。ここで1人の上司が複数人の部下を管理できないとは考えにくいので、 $0 < r \leq 0.5$ と仮定することができる。次にパラメータ l は、支社1つあたりの基準総賃金に対する固定費用の比率である。支社の設置にかかる広告費等の固定費用が、その支社の従業者の賃金総額

を上回るとは非現実的であるため、 $0 < l \leq 1.0$ と仮定することができる。さらに、値を変化させても業務配置の変化に大きな影響を与えなかったパラメータ b は値を $b = 0.05$ に固定した。さらに刻み幅を小さくしても新しい配置が得られなかった a については、 $a = 0.2, 0.4, 0.6$ という3つの値を設定する。

以上の $0 < r \leq 0.5$ (0.025刻みの20通り)、 $0 < l \leq 1.0$ (0.1刻みの10通り)、 $a = 0.2, 0.4, 0.6$ の3通りを組み合わせた合計600のパラメータ設定値について計算を行う。そこで得られた配置における各県の階層ごとの雇用者数と県をまたいだ業務量と、各県・各階層の賃金から配置ごとの従業者数・総賃金・業務交通分布が導出できる。

計算の結果現れる業務配置の一例として、2005年の顧客分布と交通条件に対して、特性パラメータが $r = 0.35, l = 0.6, a = 0.2$ である全国企業の最適配置を図-2に示す。最高の階層は本社を示し、この例では神奈川県に置かれる。本社以外と管轄関係を持たない地域を赤色、本社以外との管轄関係を持つ地域を他の色で示した。各色で表された地域は、基本的にその色で表された一番高い階層をとる地域に管轄されるが、地域間を結ぶ線がある場合にはその地域に管轄されることを表している。ここで特性パラメータのうち支社1つ当たりの固定費用の大きさを表す l の値のみを減少させ、0.4に変更すると図-3のような配置が現れる。支社1つ当たりの固定費用が小さくなったことで、第2階層の支社がより多くの地域に置かれる。

このように、パラメータの組み合わせごとに、各地域に置かれる支社の階層や管轄関係の異なる構造が出現する。600の組み合わせについて計算を行ったところ、2005年では342種類、2015年では325種類の業務配置が得られた。各年の業務配置にそれぞれ番号を付け、2015年について各パラメータの組み合わせを持つ企業がどの配置をとるかを表-1に示す。これより、 a が大きい値の場合には決まった配置が有利になり、加えて l の値が大きいとその傾向はさらに強まる。これらの2つのパラメータが大きいと、追加的に支社を置く際にかかる費用が大きくなるため、異なる配置の間の総費用の差異がつきやすくなる。そのため同じ構造が最適解になりやすいことを反映した結果と考えられる。

次に、最適解の業務配置における総費用と、事前の業務配置が与える総費用の差が微小である場合を考える。例えば、ある企業特性パラメータの値が経年的に変化したことにより元々の業務配置が最適でなくなったとする。このとき、配置を変えることで節約できる総費用の差分が、移転コストなどの配置変更のための費用を上回らなければ、その企業が業務配置を変更することは考えにくい。実際にモデルで列挙された業務配置を見ると企業の総費用の違いが微小であることは多く、その配置の違いも地方部に1階層上の支社が置かれるなどといった微小なものであった。そのような違いは日本全体の雇用分布にも大きくは影響しないため、本研究では総費用

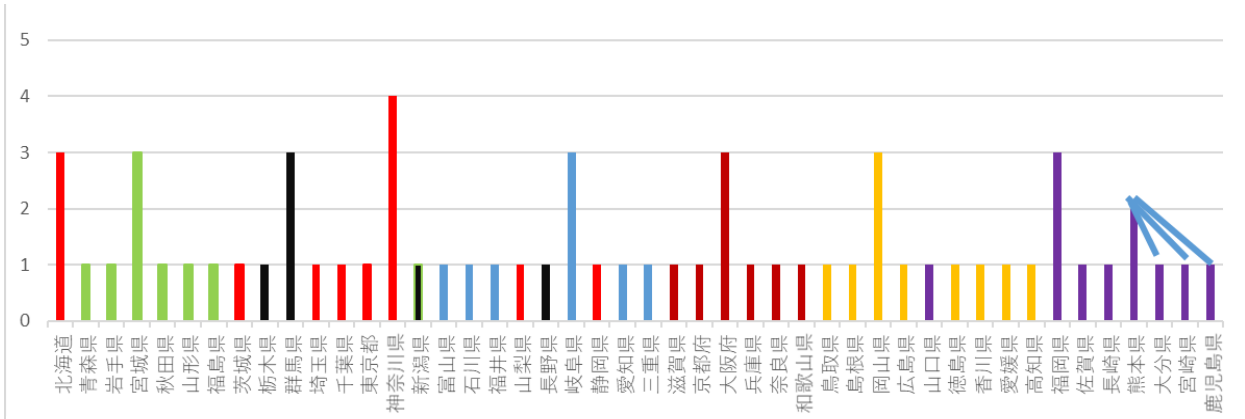


図-2 業務配置の例 1

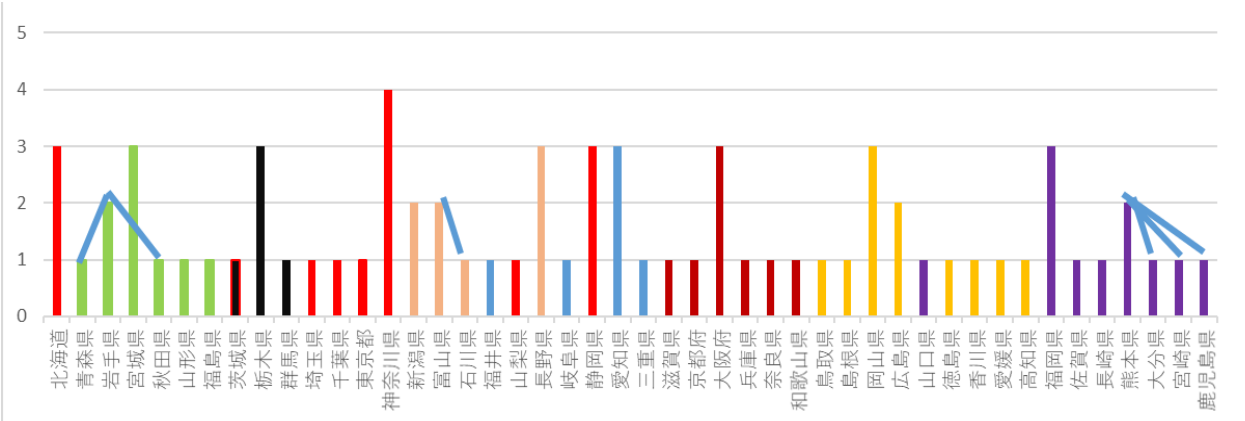


図-3 業務配置の例 2

表-1 パラメータ値に対応した全国企業の取りうる業務構造

業務集約係数 τ		固定費用比率 l									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.025	a=0.2	0	1	2	2	2	2	2	0	2	2
0.050		3	4	5	6	7	8	9	10	10	11
0.075		12	13	14	1	15	16	17	18	19	19
0.100		20	21	22	23	24	25	25	24	26	26
0.125		27	28	29	30	31	32	24	24	24	24
0.150		33	34	35	36	37	38	39	40	24	41
0.175		42	43	44	45	36	37	46	39	47	39
0.200		48	49	50	51	52	53	54	55	56	56
0.225		57	58	59	60	61	62	63	55	55	56
0.250		64	65	66	67	68	69	70	71	71	72
0.275		73	74	75	76	77	78	79	80	71	71
0.300		81	82	83	84	77	85	86	87	88	71
0.325		89	90	91	92	93	94	95	96	96	97
0.350		98	99	100	101	102	94	103	104	105	105
0.375		106	107	108	109	110	111	112	105	113	114
0.400		115	116	117	118	110	119	119	120	121	122
0.425		123	124	125	126	127	128	129	130	120	121
0.450		131	132	125	133	134	135	119	130	136	136
0.475		137	138	139	140	134	141	142	143	144	144
0.500		145	146	147	148	149	150	142	143	151	152

業務集約係数 τ		固定費用比率 l									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.025	a=0.4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.050		153	154	154	0	0	0	0	0	0	0
0.075		155	156	157	158	159	160	161	162	163	164
0.100		165	166	167	168	158	158	158	158	169	158
0.125		165	170	171	172	173	174	175	175	175	24
0.150		165	176	177	178	172	173	40	40	40	40
0.175		179	180	181	178	172	173	182	182	40	40
0.200		183	184	185	186	187	188	188	189	190	191
0.225		192	193	194	195	196	187	197	189	189	198
0.250		199	200	194	201	202	203	197	197	189	198
0.275		204	200	205	206	207	208	209	189	189	210
0.300		211	212	213	214	215	216	217	218	218	189
0.325		219	220	221	222	223	224	225	226	226	71
0.350		227	228	229	230	231	232	233	234	235	236
0.375		237	238	239	240	241	242	243	244	246	245
0.400		246	247	248	222	249	249	250	225	244	251
0.425		252	253	254	255	256	257	258	250	244	251
0.450		259	260	261	255	256	257	262	244	244	245
0.475		263	264	265	255	256	256	266	244	244	244
0.500		267	268	265	269	256	256	270	244	244	244

業務集約係数 τ		固定費用比率 l									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.025	a=0.6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.050		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.075		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.100		165	271	2	2	2	2	2	2	2	2
0.125		272	273	274	0	0	0	0	0	0	0
0.150		165	275	276	277	278	0	0	0	0	0
0.175		165	279	280	281	282	173	283	0	0	0
0.200		165	284	285	286	287	278	288	289	289	0
0.225		165	290	285	286	287	209	288	288	289	291
0.250		165	290	292	286	293	209	294	288	289	289
0.275		165	290	292	286	295	287	209	288	296	296
0.300		297	298	299	286	295	287	217	218	218	296
0.325		297	300	301	302	303	304	217	305	218	0
0.350		297	306	307	286	286	308	304	217	309	0
0.375		310	311	307	255	312	308	304	217	0	0
0.400		313	314	315	255	249	316	317	0	0	0
0.425		318	318	319	320	255	316	0	0	0	0
0.450		318	318	315	255	255	256	0	0	0	0
0.475		321	321	322	323	255	0	0	0	0	0
0.500		321	324	322	323	0	0	0	0	0	0

の値が大きく異なるような最適業務配置のみを抽出して分析することを考える。

そのために、以下の操作を行う。

- ① 企業特性パラメータ r, l, a の 600 の組み合わせについて最適な業務配置を計算し、最適解となるパラメータの組み合わせの数が多い順に業務配置を順位付けする。
- ② 1 番目の業務配置について、他の特性パラメータの組み合わせを持つ企業がその業務配置のもとで業務を行う費用を算出する。同様に、2 番目の業務配置について、他の特性パラメータの組み合わせを持つ企業の費用を算出しておく。
- ③ あるパラメータの組み合わせを持つ企業について、2 番目に計算した費用が 1 番目に計算した費用の 99% を下回る場合に限り、企業が元の 1 番目の業務配置から 2 番目の業務配置に変更するメリットを持つと考え、その企業の業務配置として 2 番目の配置を採用する。
- ④ 3 番目以降の業務配置についても同様の操作を行い、採用されたものをその特性パラメータを持つ企業の業務配置とみなす。この計算を列挙した全ての業務配置について繰り返す。

このようにして絞り込みを行うと、2005年では21種類、2015年では22種類の業務配置が得られた。

(3) 地域企業の業務配置モデル

地域企業は、顧客相手に現場対応する業務をおこなうため、顧客数に比例した従業員が必要になるが、業務内容の質的な差異は少なく、全国企業で想定したような企業内での高次な業務を必要としない。その結果従業員数は各地域の顧客数に比例すると仮定できる。この時各県の顧客数は、全産業従業員人口を用いて与える。総賃金は、各県の最低賃金をもとに算出した年収に各県の従業員数を乗じたものを用いる。

一方、顧客への対応のための従業員の移動は近距離に限られていることから、県間の業務交通量は2県の全産業従業員数の積と県間の移動にかかる一般化費用を用いた重力モデルで表現できると考える。具体的には、矢野が最も一般化された重力モデルとして示した式(17)に変更を加えたものを用いる。

$$T_{ij} = \kappa U_i^{\beta_1} V_j^{\beta_2} d_{ij}^{\beta_3} \quad (17)$$

ここで T_{ij} : 発地区 i から着地区 j への流動量, U_i : 発地区 i の規模, V_j : 着地区 j の規模, d_{ij} : 地区 i, j 間の距離, $\kappa, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: 重力モデル内の係数である。このように矢野では各県の規模と距離を用いて重力モデルを定義している。一方、本研究では業務流動を想定しており、各県の従業員人口が多いほど多くの業務量が発生すると考えられるので、各県の規模として再び全産業従業員人口を用いる。発着県の区別をせずに全産業従業員人口積を用いるとともに、2県間の交通コストを距離ではなく一般化費用で表現することとして、本研究では地域企業による県間業務交通量を式 (18) で表す。

$$T_{ij} = \kappa \text{pop}_{ij}^{\alpha_1} \cos_{ij}^{\alpha_2} \quad (18)$$

ここで pop_{ij} : 地区 i, j の全産業従業員人口積, \cos_{ij} : 地区 i, j 間の移動にかかる一般化費用, $\kappa, \alpha_1, \alpha_2$: 重力モデル内の係数である。

4. 企業特性格存在比率の逆推定

本章では、雇用分布・業務交通分布のデータから、地域企業比率、企業特性格存在比率を逆推定するための手順を説明する。

(1) 地域企業比率、業務配置ごとの比率の導出

前章の手順で全国企業の企業特性パラメータ値ごとの業務配置、地域企業を全国でまとめて見たときの業務配置が導出できた。他方、日本全体の従業員数・総賃金・業務交通分布は、各業務配置の存在比率を重みとして企業の従業員数、総賃金、業務交通量を集計したものである。

そこでそれらの配置から得られた雇用分布・業務交通分布と、観測されている日本全体のそれらの分布を用いた最小二乗法によって、業務配置ごとの存在比率と地域企業の存在比率、そして重力モデル内の係数を逆推定する。さらにこのとき全国企業比率は(1-地方企業の比率)で求める。具体的には全国企業について P 個の配置があるとした場合、以下の式を満たすような $g_1 \sim g_P, g_L, \alpha_1, \alpha_2$ を求める。

$$\min \sum_{j=1}^J (\varepsilon_{1j}^2 + \varepsilon_{2j}^2) + \sum_{k=1}^K \varepsilon_{3k}^2 \quad (19)$$

s. t.

$$\varepsilon_{1j} = x_{j,obs} - (g_1 x_{j,1} + g_2 x_{j,2} + \dots + g_P x_{j,P} + g_L x_{j,L}) \quad \forall j$$

$$\varepsilon_{2j} = w_{j,obs} - (g_1 y_{j,1} + g_2 y_{j,2} + \dots + g_P y_{j,P} + g_L y_{j,L}) \quad \forall j$$

$$\varepsilon_{3k} = fl_{k,obs} - (g_1 fl_{k,1} + g_2 fl_{k,2} + \dots + g_P fl_{k,P} + g_L \text{pop}_k^{\alpha_1} \cos_k^{\alpha_2}) \quad \forall k$$

$$g_p, g_L \geq 0 \quad \forall p$$

ここで g_p : p 番目の配置をとる全国企業の存在比率, g_L : 地域企業の存在比率, K : 沖縄県と他県間、または同大都市圏内を除く2県の組み合わせの集合, $x_{j,p}$: 地域 j における p 番目の配置の従業員数, $y_{j,p}$: 地域 j における p 番目の配置の総賃金, $fl_{k,p}$: k 番目の2県間の組み合わせにおける p 番目の配置での流動量, $x_{j,obs}, w_{j,obs}, fl_{k,obs}$: それぞれの県、県間における従業員数、総賃金、業務目的流動量の観測値である。

ここで従業員数と総賃金は第3次産業の従業員と賃金の分布に関するデータの中で最も各年に近い2009年、2015年の労働統計年報¹⁴⁾のデータを、業務目的流動量は2005年、2015年の全国幹線旅客純流動調査のデータを用いている。

(2) 企業特性格存在比率の導出

全国企業について、このようにして求めた業務配

置ごとの存在比率から、企業特性格別存在比率を求めたい。しかし現実的には、企業は必ずしも最小費用を与える業務配置のみをとっているわけではない。全国企業の業務配置において業務の処理にかかる総費用を最小化することを考えているが、ある企業特性を持つ企業が最適業務配置をとったときにかかる費用と、別の最適業務配置をとったときにかかる費用に大きな差がなければ、後者を採用する可能性がある。そこで業務配置ごとの存在比率と、各企業特性パラメータを持つ企業が複数の代表的業務配置をとったときの総費用を用いて以下の操作を行い、別の配置を取る可能性も加味した企業特性格別存在比率を求める。

①企業特性パラメータの組み合わせ e_a について、代表的業務配置 p を取ったときにかかる費用 $\gamma(p, e_a)$ を求め、以下のロジットモデルを用いて、企業特性パラメータの組み合わせごとに各業務配置を取る確率 $Q(p|e_a)$ を求める。ここで e_a はパラメータの任意の組み合わせ（全 600 通り）、 p は任意の業務配置（全 P 通り）、 λ はパラメータであり外生的に値を設定する。

$$Q(p|e_a) = \frac{\exp(-\lambda\gamma(p, e_a))}{\sum_{n=1}^N \exp(-\lambda\gamma(p, e_a))} \quad (20)$$

②ある業務配置 p を取ったときに企業特性パラメータの組み合わせが e となる確率 $Q(e_a|p)$ を、ベイズの定理を用いて以下のように導出する。ここで企業特性格別存在比率 $Q(e_a)$ には特段の事前情報がないため、一様分布を仮定する。

$$Q(e_a|p) = \frac{Q(p|e_a)Q(e_a)}{\sum_{a=1}^{600} Q(p|e_a)Q(e_a)} = \frac{Q(p|e_a)}{\sum_{a=1}^{600} Q(p|e_a)} \quad (21)$$

③業務配置ごとの存在比率 g_p と②で求めた $Q(e|p)$ を用いて、企業特性格別存在比率 $\pi(e)$ を以下の式でベイズ更新する。

$$\pi(e_a) = \sum_{p=1}^P Q(e_a|p) \cdot g_p \quad (22)$$

(3) 導出した存在比率の考察

(1)で求めた配置別存在比率から導出した各年の企業特性格別存在比率を図-4に示す。各点の大きさは、比率や変化幅の大きさを示している。2005年にはいろいろな特性の企業が比較的まんべんなく存在していたが、2015年には $0.2 \leq r, l \leq 0.5, a \leq 0.4$ をとる企業の比率が大きくなった。本モデルでは、階層間の賃金差を r の逆数に a を乗じたもので表しているの、 a が小さく r が大きいときに階層間の賃金差が小さくなる。このことは2005年から2015年にかけて世帯所得がおよそ400万円以下の世帯が増え、それ以上の所得の世帯が減ったという賃金格差の縮小を反映している。また l の大きい企業が減ったという結果は、技術の発展によって、各支社に配置されていたネットワーク機器が本社の1つのもので済むようになったなどの理由で支社1つ当りの設備費が減ったことを表していると考えられる。

続いて地域企業比率の推定値を考察する。分析の

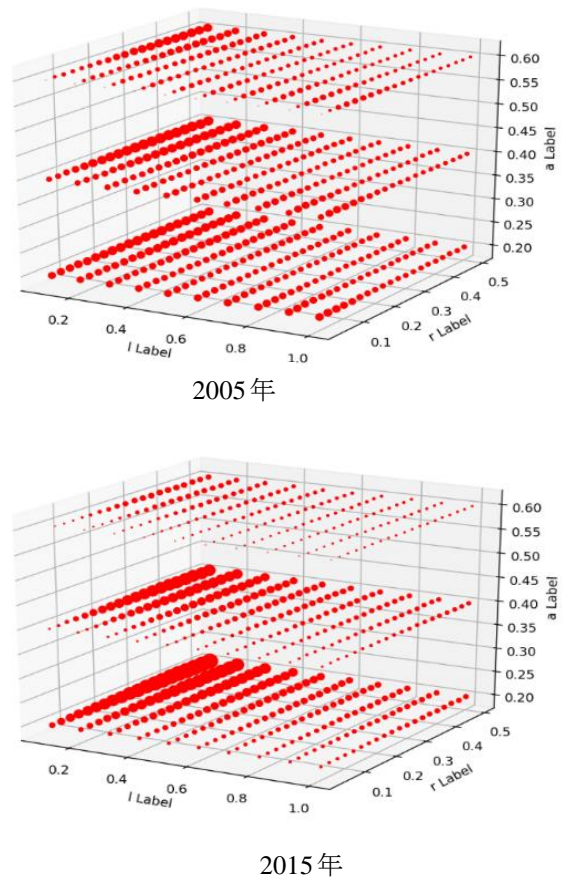


図-4 各年の企業特性格別存在比率

結果、地域企業の比率は2005年には53.3%、2015年には67.2%となった。この値と代表的業務配置、特性格別企業存在比率から全体の従業者に対する各年の地域企業の従業者の比率を計算すると、2005年には45.0%、2015年には58.3%となった。このように2015年に地域企業比率、従業者数とともに高まっていることは、以下の2つの動きの結果として説明できると考える。まず1つ目は、医療・福祉業の割合の増加である。この業種では需要量に現場で対応できるように従業者を需要の分布に合わせて配置しており、さらに全体において現場で働く従業者が占める割合が大きいため、各地域の従業者数が需要量とほとんど一致すると考えられる。また医師会や社会福祉協議会等の上層の組織が存在するものの、必ず都道府県単位で置かれるものであるため、全国企業のようにその配置を管理の効率化を考えて決めているわけではなく、全体で合わせてみれば地域企業の配置に近いと判断されたようである。2つ目には情報技術の発達により、全国に業務を展開する企業においても、従業者の移動を伴わない各地の管理が可能になったことが挙げられる。そのため、他地域とのアクセスよりも顧客の分布を重視した配置を行う企業が誕生した、つまり配置においては地域企業の考え方を持つ全国企業が一部で誕生したことが、地域企業の従業者比率の値が高くなった原因であると推測できる。

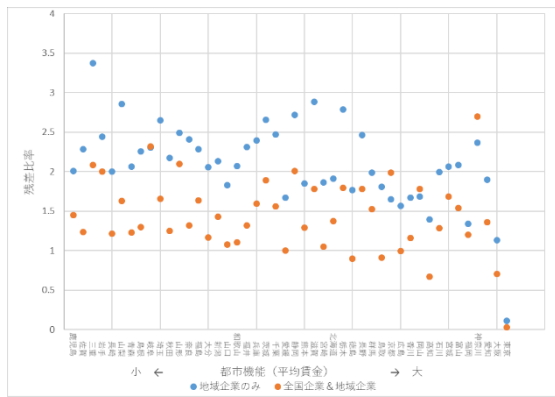


図-5 都道府県別従業者数の残差率に対する全国企業考慮の影響

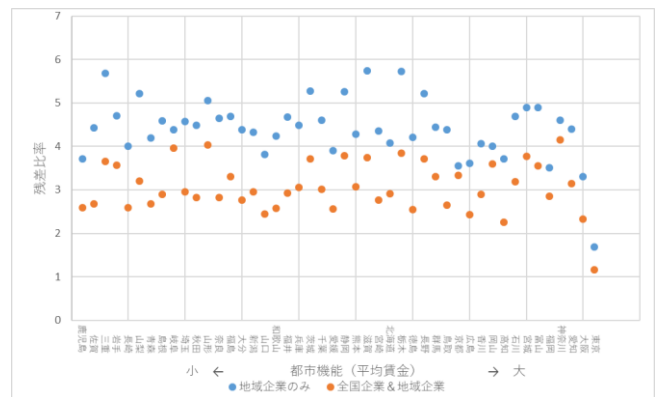


図-6 都道府県別総賃金の残差率に対する全国企業考慮の影響

(4) 全国企業の業務配置を考慮した有効性の確認

最後に、全国企業に着目することにより、日本の雇用分布をよりよく説明できることを示す。まず2015年の雇用分布と業務交通分布を、地域企業における業務配置のモデルのみで表現しようとした場合と、全国企業のモデルも加えて表した場合を比較する。

ここでは4.(1), (2)の手順によって再現された雇用分布・業務交通分布と、3.(3)の地域企業における配置のみでの最小二乗法で再現されたものについて、観測値との比較を行う。まず決定係数については、地域企業のモデルのみでは0.515だったものが、全国企業も考慮することで0.699まで上昇した。次に各モデルの特徴に着目して残差の分布の比較を行う。ここで全国企業を考慮した場合には、顧客数に応じた現場の従業者のみならず、それらを管理する上層の従業者数や賃金を再現しているため、都市内の機能の質的な差異をよりうまく表現できるはずである。一方地域企業のみ考慮した場合には、機能の良い都市での高階層従業者による積み上げがないため質的な差異が表現できず、都市機能の質的な差によって再現度に違いが出てきてしまうことが考えられる。そこで各再現方法で得られた各地域の従業者数・総賃金について、その観測値と比較したときの残差率を確認した。

観測された平均賃金の順序を都市機能の順序と考えて、各地域の残差率を並べたものが図-5、図-6である。これらから従業者数・総賃金ともに全国企業を考慮したことで残差が小さくなっていることがわかる。次に都市機能に対する残差率をみると、地域企業のみを考慮した場合には、グラフ横軸の都市機能の目盛り線で区画された5つの地域に分けて見ると、都市機能が1,3,5番目に高いグループでは残差比率が高めに、2,4番目に高いグループでは低めに出ていることが見て取れる。一方全国企業も考慮した場合には一部に突出した残差比率の値をとる地域はあるものの、都市機能グループによる差が少なく、全体的に同じような再現度が得られている。以上のことから、地域企業モデルでは表現できなかった都市機能の質的な違いがもたらす影響を、全国企業を考えることによってよりよく考慮できたこと

が確認できる。

5. おわりに

本研究では交通条件や顧客分布、最低賃金などの観測されたデータから、未知である企業特性別存在比率、地域企業比率を逆解析した。それぞれ日本の企業の現状を表すような妥当な結果が得られたと考えている。またそれらを用いることで、日本全体の雇用分布をよりよく説明できた。

しかし図-5、図-6に示したように、本モデルで再現された雇用分布を観測値と比較したときの残差比率は東京のみで小さく、その他の地域では大きい値をとっている。つまり提案手法の結果は、残差二乗和を小さくするために、従業者数と総賃金の絶対値が大きい東京の観測値に合うように再現されたものである可能性がある。日本国内で業務配置を行わない多国籍企業の日本支社があること、昔から本社が東京に置かれたまま業務に関わる諸条件の変わった現在も配置を変えていないことなど、東京に業務が多く存在する理由のうち本研究で考慮していない部分をモデルに組み込むことで、この問題はいくらか解決できると考えられる。その検討は今後の課題である。

参考文献

- 1) 濱地宏太, 渡辺千仞: 労働市場の格差拡大下における労働の質の変容の分析, 研究・技術計画学会年次大会講演要旨集 22, pp.1050-1053, 2007.
- 2) 田澤実, 梅崎修: 大学進学および就職時における若者の地域間移動, 生涯学習とキャリアデザイン, 14, pp.93-101, 2017.
- 3) 小磯重隆: 地方創生と学生の地元就職, 弘前大学教養教育開発実践ジャーナル, 1, pp.97-107, 2017.
- 4) 日野正輝: 都市発展と支社立地—都市の拠点性一, pp.131-195, 古今書院, 1996
- 5) 須田昌弥: 逐次型支社配置モデルの我が国への適用, 青山経済論集, Vol.50, No2, pp.31-48,

- 1998.
- 6) 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, No36, pp.349-354, 2001.
 - 7) Kijmanawat, K, Ieda, H: Multilevel hierarchical network design: Formulation and development of M-GATS algorithm, *Journal of Infrastructure Planning and Management*, No.751/IV-62, pp.139-150, 2004.
 - 8) 奥村誠・高田直樹・大窪和明: 多階層最適企業組織配置モデルに関する研究, 2011.10, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.4, pp.408-421.
 - 9) Inmaculada Rodríguez-Martín, Juan-José Salazar-González, Hande Yaman: branch-and-cut algorithm for the hub location and routing problem, *Computers & Operations Research*, Volume 50, pp161-174, 2014.
 - 10) 国土交通省: 全国幹線旅客純流動調査, http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000016.html. (参照 2022-03-06)
 - 11) 総務省統計局: 事業所・企業統計調査 <http://www.stat.go.jp/data/jigyoyou/2006/index2.html>. (参照 2022-03-06)
 - 12) 総務省統計局: 経済センサス <https://www.stat.go.jp/data/e-census/2014/kekka.html> (参照 2022-03-06)
 - 13) 厚生労働省: 地域別最低賃金改定状況 https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunit-suite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/minimumichiran/ (参照 2022-03-06)
 - 14) 厚生労働省: 労働統計年報 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/youran/index-roudou-nenpou.html> (参照 2022-03-06)
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/youran/index-roudou-nenpou2015.html> (参照 2022-03-06)
- (Received March 06, 2022)**
(Accepted March 06, 2022)

INVERSE ANALYSIS OF EMPLOYMENT DISTRIBUTION AND BUSINESS TRAVELS USING OPTIMAL WORK LOCATION MODEL

Takumu ISHIKAWA and Makoto OKUMURA

In recent years, attractive employment opportunities have been considered as an important factor for rural areas to revitalize their communities. In this connection, we would like to understand the impact of transportation networks and work styles on the distribution of employment. However, the distribution of employment in Japan as a whole cannot be simply explained by a single reason, such as the influence of transportation conditions or the uneven urban distribution of firms. Therefore, in this study, we examine the distribution of employment as an aggregate result of the location of work by each firm. We focus on national-scale firms that are considered important for regional revitalization, and use the optimal work location model and observed employment distribution and conditions to clarify the existence ratio of each characteristic of firms that cannot be observed. We then use these conditions and ratios to better explain the distribution of employment.