アンサンブル学習に基づく小地域産業連関表の作成手法の提案

杉本　達哉[1]・菊池　悠斗[2]・高山　雄貴[3]・村上　大輔[4]

[1]正会員　八千代エンジニヤリング株式会社　技術創発研究所
（〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー）
E-mail: tt-sugimoto@yachiyo-eng.co.jp (Corresponding Author)
[2]非会員　株式会社ドーコン　交通事業本部　交通部　都心交通企画室
（〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央 1 条 5 丁目 4 番 1 号）
E-mail: yk2042@docon.jp
[3]正会員　東京科学大学　環境・社会理工学院（〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 W6-9）
E-mail: takayama.y.cc65@m.isct.ac.jp
[4]正会員　統計数理研究所　統計基盤数理研究系（〒190-8562 東京都立川市緑町）
E-mail: dmuraka@ism.ac.jp

空間解像度の細かな産業連関表（e.g., 市区町村産業連関表）は，地域経済活性化のための施策を検討するうえで今後益々重要なデータとなる．それにも関わらず，基礎自治体のほとんどは人的資源や予算の関係上，産業連関表を整備できていない．そこで，低コストで産業連関表を作成できるノンサーベイ手法の利用が期待されるものの，予測精度が課題となっている．本研究では，低コストかつ高精度で，細かな空間解像度の地域産業連関表を作成できる手法を提案した．そのために，アンサンブル学習に基づいて生産額等を予測する手法を提示した．そして，都道府県データから市区町村の生産額等を予測し，従来手法と比較して，本手法が高精度で予測できることを示した．さらに，作成した市区町村産業連関表の特徴を確認した．

Key Words: *input-output table, areal interpolation, pycnophylactic property*

1. はじめに

(1) 背景・目的

産業連関表は，地域経済活性化のための施策を検討するうえで有用なデータである．これは，産業連関表が経済構造の把握や経済波及効果（e.g., 生産波及構造）の分析に利用できるためである[注1)]．近年，日常生活の基盤となる圏域（通勤・通学圏）の維持・強化が課題[注2)]となっていることを踏まえると，都道府県よりも細かな圏域を対象とした産業連関表が今後益々重要になってくると言える．

それにも関わらず，行政機関が作成する産業連関表は市区町村単位の表も整っておらず，全市区町村のうちごく一部に限られる[注3)]．この理由として，産業連関表を特別調査に基づいて精緻に作成（i.e., サーベイ手法[1)]）するには多大な労力を必要とし，基礎自治体の人的資源や予算の状況を踏まえると整備が困難であることが挙げられる[注4)]．

これに対する解決策の一つとして，ノンサーベイ手法[1)]により産業連関表を作成する方法がある．ノンサーベイ手法とは特別調査を実施せずに産業連関表を作成する方法であり，サーベイ手法よりも低コストで産業連関表を作成できる[注5)]．このため，人的資源や予算の余力が乏しい基礎自治体では，ノンサーベイ手法によって産業連関表を作成することが有用と言える．

しかし，ノンサーベイ手法の研究では，特に産業連関表のうち生産額・中間投入額・粗付加価値額・最終需要額（以下，生産額等という）に関する予測方法について十分に議論が進んでいない．例えば，石川ら[2)]は 1 種類の統計データ（e.g., 就業者数）で按分することで生産額を予測する方法を提示している．この方法は，簡便で低コストな方法である一方で，1 種類の説明変数しか扱わないため，各産業の特徴を捉えて予測することが困難な方法と言える．加えて，これまで生産額等の予測精度の検証はほとんどされておらず，予測手法の優劣を議論することが困難な状況となっている．

そこで本研究では，低コストかつ高精度で，細かな空間解像度の地域産業連関表を作成できる手法を提案することを目的とする．そのために，複数の説明変数を反映可能かつ予測精度向上が期待できる，アンサンブル学習[3]に基づく按分法を提案する（以下，提案手法という）．そして，提案手法によって，都道府県データから市区町村の生産額等を予測し，従来手法と比較することで，本手法が高精度で生産額等を予測できることを示す．さらに，提案手法に基づき作成した市区町村産業連関表について，その特徴を確認する．

本稿の構成は以下のとおりである．第 2 章では，本研究で提案する予測手法（i.e., 提案手法）について説明する．第 3 章では，提案手法の予測精度を検証する．第 4 章では，提案手法に基づく小地域産業連関表の作成手順を提示し，全国 1,741 市区町村の産業連関表を作成する．そして，作成した小地域産業連関表の特徴を第 5 章に示す．最後に，第 6 章において本論文の結論を述べる．

(2) 関連研究と本研究の位置づけ

本節では，本研究に関連する研究を整理したうえで，本研究の位置づけを明らかにする．

a) 関連する研究

ノンサーベイ手法により小地域（e.g., 市区町村）の産業連関表を作成する場合，その小地域を包含する空間解像度の粗い単位（e.g., 都道府県）の産業連関表に基づいて作成することとなる[4),注6)]．より具体的には，基礎となる産業連関表はサーベイ手法により作成されたものを使用し（以下，基準表という），表を構成する各項目（i.e., 生産額・中間投入額・粗付加価値額・最終需要額・移輸出入額）を予測する．

小地域産業連関表の作成では，総和制約を満たすことが重要となる．これは，基準表から小地域産業連関表を作成するには按分が基本となり，総和制約を満たさないと按分前後の数値の整合がとれず，数値の妥当性が損なわれるためである．実際，データ按分において総和制約は満足すべき最も基本的な性質として位置づけられ[5),注7)]，それを前提とした按分法に関する研究が蓄積されている[6)]．

予測対象のうち，生産額・中間投入額・粗付加価値額・最終需要額（i.e., 生産額等）について，先行研究[例えば2),4),7)]は 1 種類のデータによって基準表の数値を単純に按分して予測することに留まっている．具体的には，生産額は就業者数もしくは総生産[注8)]による按分で，最終需要額は人口もしくは市町村決算額等による按分[注9)]で予測される．中間投入額・粗付加価値額は，按分で予測された生産額に基準表のシェア（i..e, 投入係数，粗付加価値係数）を乗じて予測される．このように 1 種類のデータによって予測することは，各産業の特徴を捉えた予測を困難にさせ，産業毎の予測精度のばらつきが懸念される．

生産額等の予測が先行研究のように 1 種類のデータに基づいた按分によって行われる場合，総和制約は満たされる．しかし，予測精度向上を期待して，複数のデータを用いて生産額等を予測をしようとする場合，総和制約を満たしたうえで精度良く予測できる方法は整っていない．

多様なデータを取り込んで，予測精度を向上させる手法に機械学習手法がある．なかでも，アンサンブル学習は複数の学習モデルを複合的に学習させることにより予測精度向上を図っている[3)]．本研究のように何らかの数値を予測する場合，学習モデルとして回帰モデルを用意することが考えられる．代表的な回帰モデルには LASSO 回帰[8)]がある．近年では，LASSO 回帰よりも予測精度の期待できる，誤差分散の逆数を用いた手法[9)]も提示されている．しかし，アンサンブル学習にこれらの回帰モデルを素朴に適用するだけでは，複数の変数を取り入れることはできるものの，総和制約を満たす保証はない．

また，生産額等を予測するには空間データを扱うことになるため，空間相関への配慮も必要となる．空間相関とは「空間的に近接する地域で類似する傾向を持つ」といった空間データが持ちうる性質である[10)]．実際，Kyriakidis[11)]と村上・堤[12)]は，クリギングを用いた按分法を提案し，空間相関と総和制約を考慮することで，実用性の高いデータの空間詳細化を実現している．しかし，この方法による小地域単位の按分では，予測量が平滑化されて局所的な空間依存を考慮することができないことが示唆[12)]されている．

産業連関表を構成する項目のうち移輸出入額に関しては，生産額等と異なり，予測手法に関する多くの研究が蓄積されている．具体的には，代表的な手法である LQ（Location Quontient）法[13)]をはじめとして，その他いくつもの地域間交易の予測手法が提案されている (e.g., Kronenberg[14)]).

b) 本研究の位置づけ

本研究は，機械学習・計量地理学・空間統計学の知見を応用して，ノンサーベイ手法により精度よく小地域産業連関表を作成する方法を明らかにしている点に特長がある．そのために，小地域産業連関表の生産額等の予測に，総和制約を成立させて，かつ，複数の変数を取り入れられる手法として，按分による予測（i.e., 比例配分モデル）とアンサンブル学習を組み合わせた手法を提示している．加えて，変数の

一つにクリギングに基づく小地域予測量を設定しており，空間相関への配慮も可能としている．さらに，提示した手法によって実際に市区町村の生産額等の予測を行い，従来手法との比較から，本手法の高い予測精度を示している．

なお，本研究では移輸入額の予測に関しては既存研究の手法を活用している[注10]．つまり，生産額等を予測する提案手法と既存手法を組み合わせることで小地域産業連関表を作成する方法を提案している．

2. 予測手法

本研究で提案する予測手法（以下，提案手法という）は，複数の比例配分モデルのアンサンブル平均によって，空間解像度の粗い産業連関表（e.g., 都道府県産業連関表）から小地域産業連関表を予測する手法である．より具体的には，サーベイ手法によって作表された小地域を包含する既存の産業連関表（ie., 基準表）に基づいて，次の手順で小地域予測量を出力する:

1. 被説明変数と説明変数を設定
2. 説明変数毎の比例配分モデルを作成（説明変数毎に，比例配分により被説明変数を細分化）
3. 比例配分モデルのアンサンブル平均により小地域予測量を決定

上記の手順 1 で設定した被説明変数と説明変数に基づいて，手順 2 で求める比例配分結果 $\hat{y}_{i,k}$ を用いたアンサンブル平均により，小地域予測量 $\hat{y}_i$ を式 (1) のとおり計算する:

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^{K} w_k \hat{y}_{i,k} \tag{1}$$

ここで，i は小地域，k は説明変数，w_k はアンサンブル平均の重み，K は説明変数の数を表す．

本研究では，産業連関表の各項目（生産額・中間投入額・粗付加価値額・最終需要額）を産業別に予測するため，式 (1) の小地域予測量 $\hat{y}_i$ は項目別・産業別となる．したがって，w_k や $\hat{y}_{i,k}$ も項目別・産業別となり，以降の式 (2)〜式 (10) の変数・パラメータも項目別・産業別となる．本来これらは項目別・産業別の添え字が必要となるが，記号が煩雑になるのを避けるため，以降では項目別・産業別の添え字を省略して表記する．

(1) 被説明変数と説明変数の設定

本節では，被説明変数と説明変数を設定する．説明変数には各種統計調査のデータとクリギングに基づく小地域予測量の 2 種類を扱う．

a) 被説明変数

被説明変数には，基準表（e.g., 都道府県産業連関表）の実績値を設定する．具体的には，表のうち生産額，粗付加価値額，最終需要額，中間投入額（i.e., 生産額等）を扱う．

b) 説明変数

各種統計調査から複数の説明変数を設定する．これにより，各産業の発達や集積に関する複数の要因を考慮することが可能となり，産業毎の予測精度のばらつきを抑えることが期待できる．例えば，各種統計調査から設定する説明変数には，就業者数（国勢調査），事業所数（経済センサス），製造品出荷額等（工業統計調査）が挙げられる．

加えて，説明変数の一つにクリギングに基づく小地域予測量を設定する．これにより，空間相関（1. (2) a) を参照）を考慮することが可能となるため，前述の各統計調査によって捉える局所的な空間構造のほか，近接する地域との類似性も取り入れることができる．

(2) 比例配分モデル

提案手法では，式 (2) に示す比例配分モデルによって，被説明変数 Y（e.g., 都道府県産業連関表の生産額等）から説明変数毎の小地域予測量 $\hat{y}_{i,k}$ を予測する:

$$\hat{y}_{i,k} = \frac{g_{i,k}}{\sum_{i=1}^{N} g_{i,k}} Y \tag{2}$$

ここで，N は基準表内の小地域の数，$g_{i,k}$ は小地域 i における説明変数 k の値を示している．

各種統計調査のデータ，クリギングに基づく小地域予測量の各々について，$g_{i,k}$ の設定方法を次に示す．

a) 各種統計調査のデータ

各種統計調査のデータに基づいて計上した小地域 i における説明変数 k の値を $g_{i,k}$ として設定する．

b) クリギングに基づく小地域予測量

クリギングに基づく小地域予測量は，先行研究に従い[15]，次のように求めることができる[注11]．まず，基準表の生産額等の実績値 Y と小地域毎の未知の生産額等の値である y_i の関係に式 (3) 〜 (6) を仮定する:

$$Y = \sum_{i=1}^{N} y_i \tag{3}$$

$$y_i = \mu + s_i + \varepsilon_i \tag{4}$$

$$s_i \sim N(0, \tau^2 c(d_{i,j}; r)) \tag{5}$$

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \tag{6}$$

ここで，μ は平均パラメータ，s_i は空間相関パターン，ε_i はノイズ，τ^2, σ^2 は分散パラメータ，$d_{i,j}$ は小地域の重心点間の直線距離，r は空間相関の及ぶ距離を調整するパラメータである．また，$c(d_{i,j}; r)$ は指数減衰関数であり $\exp(-d_{i,j}/r)$ で与える．

上式はそれぞれ，式 (3) はクリギングによる小地域の生産額等の和が基準表の実績値に一致すること，式 (4) は小地域の値 y_i が空間相関パターン s_i とノイズ ε_i の和で説明されること，式 (5) と式 (6) は空間相関パターン s_i とノイズ ε_i の各要因の影響の強さが分散パラメータ (τ^2, σ^2) で調整されることを示している．また，「距離が近いほど観測値が類似する」という空間相関を捉えるために，s_i の共分散は小地域の重心点間の直線距離 $d_{i,j}$ の指数減衰関数で与えている[注12)]．

次に，分散パラメータ (τ^2, σ^2) は式 (3)〜(6) から得られる尤度関数を最大化することで推定する．そして，推定された分散パラメータ (τ^2, σ^2) によって小地域予測量 $\hat{y}_i$ を式 (3)〜(6) が与えられた下での期待二乗誤差 $E[(y_i - \hat{y}_i)]$ を最小化することで求める．この方法によって求められる小地域予測量 $\hat{y}_i$ は式 (3) の制約条件があるために，総和制約を必ず満たす．

(3) アンサンブル平均による重みの決定

小地域予測量 $\hat{y}_i$ を計算するために，各説明変数の比例配分モデルによる予測値 $\hat{y}_{i,k}$ に対応する重み w_k を決定する必要がある．そのための方法として，以降に示す 2 種類のアンサンブル学習に基づく方法を提案する．本研究ではこの方法により定まる w_k をアンサンブル平均の重みと呼ぶ．なお，重みの設定には基準表単位のデータを用いる．そして，設定した重み w_k と小地域単位の説明変数 $g_{i,k}$ および基準表の被説明変数 Y を用いて小地域予測量 $\hat{y}_i$ を求める．

a) 誤差分散の逆数に基づく方法

1 つ目の方法は，重み w_k に “誤差分散の逆数” を用いる方法である．これは，Product-of-Experts（PoE）と呼ばれるアンサンブル学習の一種である（Cohen et al.[9] 参照）．PoE は積をとることで予測分布を合成する方法であり，合成された予測分布は真の分布との距離（Kullback-Libler ダイバージェンス）を最小にする意味で最良である（Cao[16]）．また，ガウス分布に従う予測モデルの場合，その予測値は単に（予測）誤差分散の逆数に基づく個別予測値の加重平均で与えられることになり，計算が容易であることから，本方法は実用上も便利である．

重みの評価に必要な各比例配分モデルの誤差分散 σ_k^2 は Leave-one-out CV により求める．具体的には，予測対象の基準表 m の観測値 Y_m を用いずに予測値 $\hat{Y}_{m,k}^{(-m)}$ を計算し，Y_m と $\hat{Y}_{m,k}^{(-m)}$ との誤差で評価する処理を，取り扱う全ての基準表について行うことで誤差分散を評価する．ここで，比例配分モデルのうち各種統計調査のデータに関しては，基準表単位の各種統計調査データ $G_{m,k}$ を用いた単回帰（定数項なし）により予測値 $\hat{Y}_{m,k}^{(-m)}$ を計算する．これは，式 (2) が被説明変数 $y_{i,k}$ と説明変数 $g_{i,k}$ に線形性を仮定するものであり，$g_{i,k}$ による $y_{i,k}$ への単回帰（定数項なし）の精度が高い場合に同式による按分の精度も高まるためである．そして，比例配分モデルのうちクリギングに基づく基準表単位の予測量に関しては，式 (3)〜(6) に基づき，予測対象を除いた観測値 Y_{-m} により $\hat{Y}_{m,k}^{(-m)}$ を計算する．ここで，パラメータ (τ^2, σ^2, r) は，観測値を 1 つ外すことによる誤差評価に焦点を当てる観点から，取り扱う全ての基準表を用いて推定したものを固定して使用する[注13)]．そして，式 (7) のとおり，誤差分散 σ_k^2（誤差偏差の 2 乗）を用いて重み w_k を決定する:

$$w_k = \frac{1/\sigma_k^2}{\sum_{k=1}^{K} 1/\sigma_k^2} \tag{7}$$

加えて，本方法では，不要な説明変数への対処として “RANK” という基準を設定する．RANK とは，各説明変数の誤差分散の逆数を計算して，その値に基づき降順リストを作成し，設定した数だけ上位から説明変数を選択して，選択した説明変数の誤差分散の逆数のみを用いて式 (7) を計算する方法である．本方法では，1 から説明変数の数 K まで RANK を設定し，評価指標で判断する予測精度が最良のケースを予測値として採用する．なお，本稿では後述のとおり %RMSE を評価指標とする．

b) LASSO 回帰に基づく方法

2 つ目の方法は，重み w_k に “LASSO 回帰” を用いる方法である．具体的には，統計解析ソフト R の cv.glmnet 関数[17] を使用し，10 回のクロスバリデーションにより，交差検証誤差が最小となるときのハイパーパラメータ λ を決定する．そのときに各説明変数に与えられたパラメータ β_k を用いて，式 (8) のとおり重み w_k を決定する:

$$w_k = \frac{\beta_k}{\sum_{k=1}^{K} \beta_k} \tag{8}$$

ここで，説明変数のうちクリギングによる基準表単位の予測量は，誤差分散の逆数に基づく方法と同様，式 (3)〜(6) を仮定したうえで Leave-one-out CV により求める．なお，本方法により予測する数値は非負であるため，非負条件付き LASSO 回帰により予測する．具体的には，推定するパラメータの下限をゼロとして cv.glmnet 関数により上述のとおり予測する．

これにより，非負条件を満たした推定値を得ることができる．また，全ての説明変数の w_k がゼロとして与えられた場合，小地域予測量を求めることが不能となるため，全ての説明変数に対して均等となるように，$w_k = 1/K$ とする．

3. 提案手法の予測精度検証

本章では提案手法を用いて，都道府県産業連関表から市区町村産業連関表の生産額等を予測し，その予測精度を検証する．そのために，検証方法を提示したうえで予測に必要なデータ整理する．そして，検証した結果，既存の手法よりも提案手法の方が予測精度が高いことを明らかにする．

(1) 検証方法

a) クロスバリデーションによる予測方法

生産額等は，クロスバリデーションを用いて予測する．具体的には，47 都道府県を 4 グループに分割（**表-1**）し，training data と test data を区別する．そして，提案手法によって training data に対する誤差最小化によりモデルを学習し，得られたアンサンブル平均の重み w_k を用いて test data の予測値を決定する．例えば，test data がグループ 1，training data がグループ 2，3，4 の場合，最初に training data（グループ 2，3，4）でモデルを学習し，このとき得られた重み w_k を test data（グループ 1）に適用して予測値を決定する．同様の手順を繰り返して，全てのグループの予測を実施する（**図-1**）．

予測は前述したとおり，誤差分散の逆数に基づく方法（以下，提案手法（誤差分散の逆数）という）と LASSO 回帰に基づく方法（以下，提案手法（LASSO）という）の両方で実施する．

表-1 都道府県のグループ

グループ 1	グループ 2	グループ 3	グループ 4
北海道	東京都	滋賀県	香川県
青森県	神奈川県	京都府	愛媛県
岩手県	新潟県	大阪府	高知県
宮城県	富山県	兵庫県	福岡県
秋田県	石川県	奈良県	佐賀県
山形県	福井県	和歌山県	長崎県
福島県	山梨県	鳥取県	熊本県
茨城県	長野県	島根県	大分県
栃木県	岐阜県	岡山県	宮崎県
群馬県	静岡県	広島県	鹿児島県
埼玉県	愛知県	山口県	沖縄県
千葉県	三重県	徳島県	

b) 比較対象都市

予測精度は，**表-2** に示す 8 市を対象として検証する．いずれも移出入調査等の特別調査を実施して産業連関表を作成している市である．ただし，神戸市では一部産業区分が異なっているため，鉱業の予測精度検証では，神戸市を除く 7 市を用いる（産業分類は**表-3** 参照）．

c) 評価指標

予測精度は，比較対象都市の実績値と提案手法による予測値との二乗平均平方根誤差 RMSE を百分率表記にした %RMSE によって評価する[注 14)]．%RMSE は，式 (9) および式 (10) によって計算できる：

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \tag{9}$$

$$\%\mathrm{RMSE} = \frac{\mathrm{RMSE}}{\bar{y}} \times 100 \tag{10}$$

ここで，y_i は市区町村 i の実績値，n は比較対象市区町村数，$\bar{y}$ は市区町村平均実績値である[注 15)]．

%RMSE の値が小さいほど，予測精度が高いと判断できる．しかしながら，予測精度の良し悪しを判断する明確な基準がないため，先行研究[2),4),19)] によるノンサーベイ手法（以下，従来手法という）[注 16)]による予測結果を基準として，提案手法による予測精度を評価する．

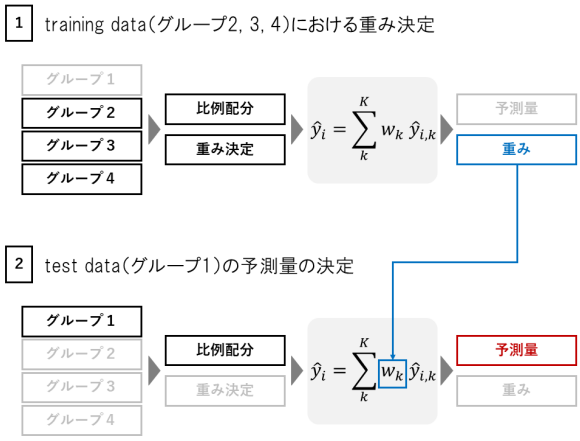


図-1 クロスバリデーション（例：グループ 1 の予測）

表-2 比較対象都市

	都道府県	市町村	県庁所在地	政令市
1	埼玉県	さいたま市	○	○
2	神奈川県	横浜市	○	○
3	神奈川県	川崎市	×	○
4	神奈川県	相模原市	×	○
5	岐阜県	郡上市	×	×
6	兵庫県	神戸市	○	○
7	福岡県	福岡市	○	○
8	沖縄県	那覇市	○	×

表-3　13 産業部門分類

産業区分		国勢調査大分類
01	農林漁業	A 農業, 林業，B 漁業
02	鉱業	C 鉱業, 採石業, 砂利採取業
03	製造業	E 製造業
04	建設	D 建設業
05	電力・ガス・水道	F 電力・ガス・熱供給・水道業
06	商業	I 卸売業，小売業
07	金融・保険	J 金融業，保険業
08	不動産	K 不動産業，物品賃貸業
09	運輸・郵便	H 運輸業，郵便業
10	情報通信	G 情報通信業
11	公務	S 公務 (他に分類されるものを除く)
12	サービス	L 学術研究, 専門・技術サービス業，M 宿泊業, 飲食サービス業, N 生活関連サービス業, 娯楽業, O 教育, 学習支援業，P 医療, 福祉, Q 複合サービス事業，R サービス業 (他に分類されないもの)
13	分類不明	T 分類不能の産業

表-4　説明変数

No	説明変数	出典	産業別データ
1	就業者数	国勢調査（2015）	○
2	事業所数	経済センサス-基礎調査（2014）	○
3	付加価値額	経済センサス-活動調査（2016）	○
4	総人口	国勢調査（2015）	−
5	製造品出荷額等	工業統計調査（2015）	−
6	年間商品販売額	経済センサス-活動調査（2016）	−
7	鉱区面積	国土数値情報（1984）	−
8	発電最大出力	国土数値情報（2013）	−
9	クリギング	−	○

(2)　使用するデータ

a)　被説明変数

被説明変数には，2015 年に作成された**表-3** に示す 13 部門分類の都道府県産業連関表を使用する[注17)]．

b)　説明変数

説明変数には，**表-4** のとおりクリギングを含む 9 種類の説明変数を設定する．このうち，就業者数[注18)]，事業所数，付加価値額[注19)]は産業別のデータが公表されているため，各産業に対応したデータを用いる[注20)]．一方，製造品出荷額等，年間商品販売額，鉱区面積，発電最大出力は，予測精度向上を意図して，それぞれ，製造業，商業，鉱業，電力・ガス・水道に特化した説明変数として設定する[注21)]．

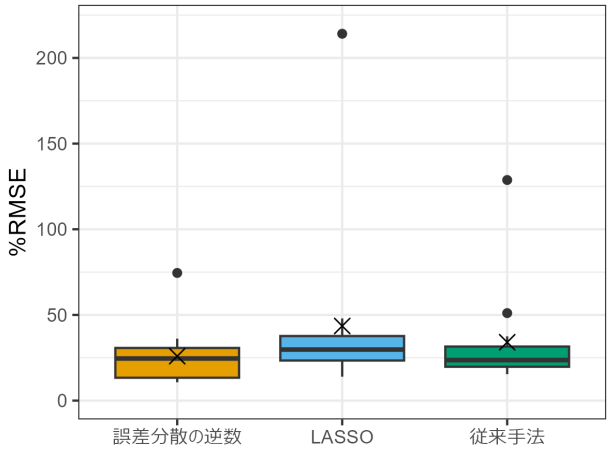


図-2　生産額の予測精度（%RMSE）

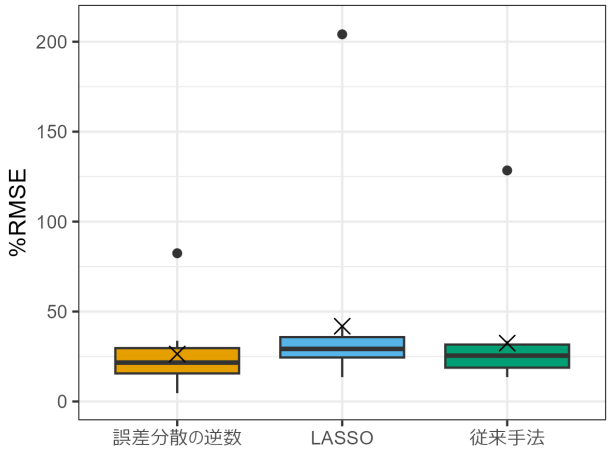


図-3　粗付加価値額の予測精度（%RMSE）

(3)　検証結果

本研究では，産業連関表の項目のうち，生産額，粗付加価値額，最終需要額，中間投入額を予測した．

a)　予測精度

図-2～**図-5** は，各項目の産業別・比較対象都市別の予測における %RMSE を箱ひげ図で示したものである．ここで，×印は平均値，箱中の太い横線は中央値，箱の下端は第 1 四分位数（$Q1$），上端は第 3 四分位数（$Q3$），ひげは外れ値とならないデータの最大値・最小値，ひげの外側の点は外れ値である．なお，外れ値の判定基準値は $1.5 \times (Q3 - Q1)$ としている．

生産額の予測精度に関して，**図-2** の結果，平均値は提案手法（誤差分散の逆数）が最も低く，次いで，従来手法，提案手法（LASSO）の順となった．中央値は提案手法（誤差分散の逆数）と従来手法は同程度となり，提案手法（LASSO）が最も高くなった．また，ばらつきに関しては当初の懸念に反して，従来手法の箱の長さが最も短く，ばらつきが小さい結果となった．

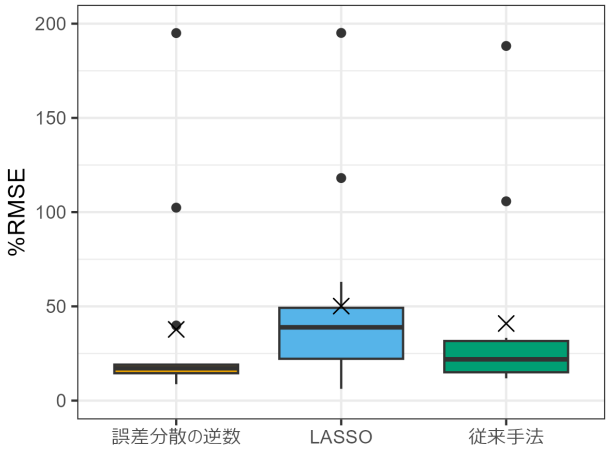


図-4　最終需要額の予測精度（%RMSE）

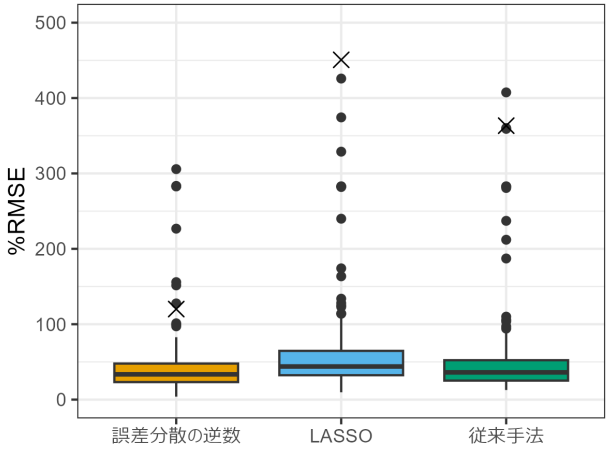


図-5　中間投入額の予測精度（%RMSE）

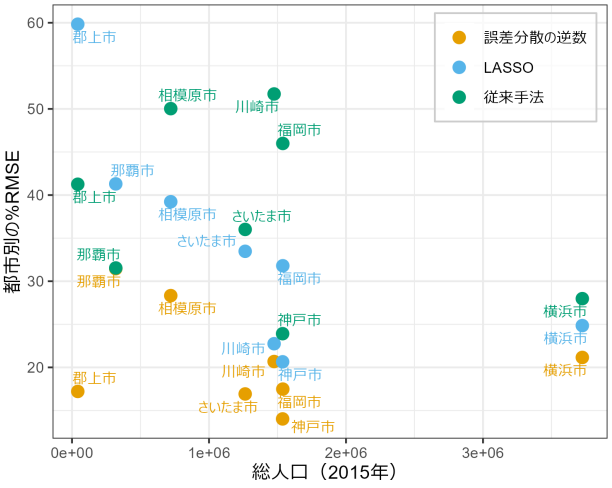


図-6　生産額の都市別の予測精度（%RMSE）

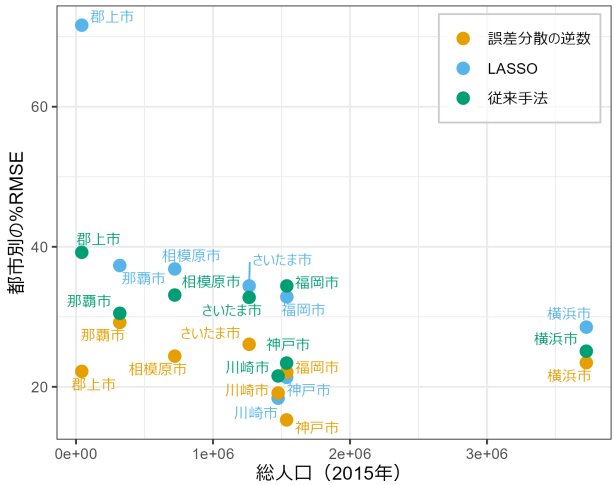


図-7　粗付加価値額の都市別の予測精度（%RMSE）

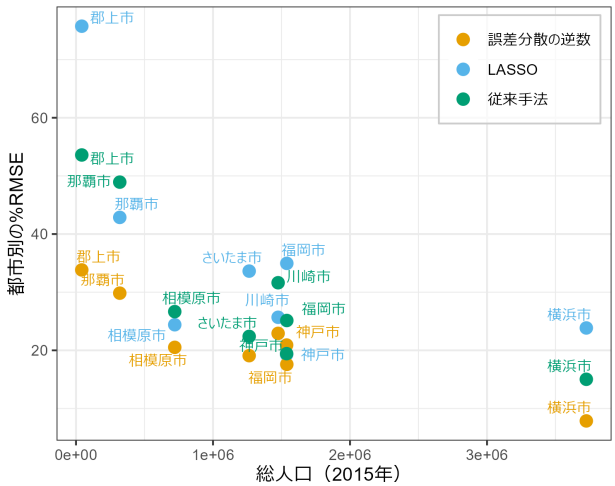


図-8　最終需要額の都市別の予測精度（%RMSE）

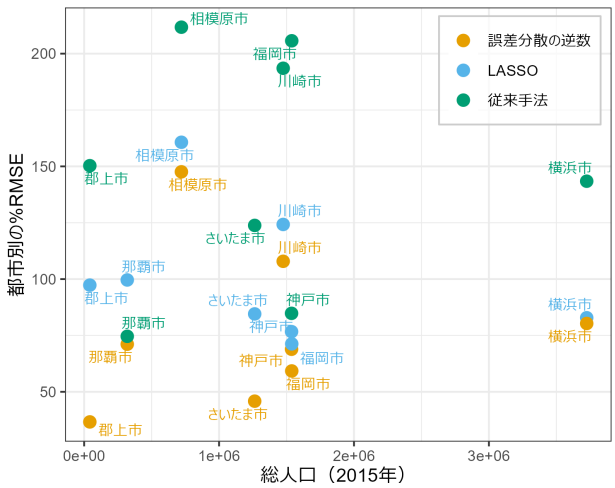


図-9　中間投入額の都市別の予測精度（%RMSE）

粗付加価値額・最終需要額・中間投入額の予測精度に関してもほぼ同様の傾向で，**図-3**～**図-5** より，いずれも，平均値・中央値は提案手法（誤差分散の逆数）が最も低く，次いで，従来手法，提案手法（LASSO）の順となった．ばらつきに関しても，粗付加価値額・中間投入額の予測精度は従来手法と提案手法（誤差分散の逆数）は同程度となり，従来手法で懸念されたほどのばらつきは生じないことが明らかとなった．ただし，最終需要額の予測精度では，提案手法（誤差分散の逆数）と比較すると，ばらつきが生じる結果となった．

次に，提案手法（誤差分散の逆数）の予測精度が比較対象都市の都市規模によってどの程度変わりうるかを把握するために，各項目での総人口（2015 年）と予測精度の散布図を**図-6**～**図-9** に示す．図より，生産額・粗付加価値額・中間投入額に関しては，総人口との明確な相関は見られず，提案手法（誤差分散の逆数）による予測が中小都市においても大都市と同程度の予測精度を確保できることが示唆される．最終需要額に関しては，総人口との負の相関が見受けられるものの，従来手法よりはその傾向は抑えられていることを確認した．

以上より，生産額・粗付加価値額・最終需要額・中間投入額のいずれの項目においても，提案手法（誤差分散の逆数）の予測精度が従来手法よりも高いことが明らかとなった．加えて，提案手法（LASSO）による予測精度が従来手法よりも悪化したことから，単純に機械学習の手法を適用するだけでは予測精度の向上に寄与しないことも明らかとなった．

b) 提案手法（誤差分散の逆数）で予測精度が高くなる要因

前述のとおり提案手法（誤差分散の逆数）で高い予測精度となった要因を把握するために，各手法の生産額の産業別の予測精度を**表-5** に示す．ここで，表中の網かけの色は %RMSE の違いを示しており，橙色は 25 %未満，黄色は 25 %以上 50 %未満，黄緑色は 50 %以上 75 %未満，青色は 75 %以上 100 %未満，灰色は 100 %以上を示している（以降に示す，**表-8**，**表-9**，**表-11**，**表-12**，**表-13** も同様）．

表-5 より，同一産業毎に提案手法（誤差分散の逆数）と従来手法を比較すると，13 部門中 10 部門で提案手法（誤差分散の逆数）の精度が高い結果となった．なかでも，鉱業，製造業，商業では提案手法（誤差分散の逆数）の方が従来手法よりも %RMSE が 10 ポイント以上低く，他産業より予測精度が顕著に高い結果となった[注22)]．一方で，農林漁業は提案手法（誤差分散の逆数）の方が従来手法よりも %RMSE が 10 ポイント以上高く，予測精度が低い結果となった．

表-5　生産額の産業別の予測精度

（単位：%）

産業	提案手法		従来手法
	誤差分散の逆数	LASSO	
01 農林漁業	30.7	47.9	17.1
02 鉱業	74.5	214.1	128.7
03 製造業	10.7	15.3	51.1
04 建設	13.3	15.0	16.7
05 電力・ガス・水道	36.1	47.8	37.5
06 商業	12.2	31.9	26.6
07 金融・保険	25.9	28.8	31.5
08 不動産	11.3	14.0	15.4
09 運輸・郵便	24.6	29.8	30.6
10 情報通信	31.7	31.1	23.6
11 公務	18.7	37.7	19.7
12 サービス	19.3	23.4	21.3
13 分類不明	27.9	29.2	22.6

予測結果のうち，鉱業，製造業，商業で提案手法（誤差分散の逆数）の精度が高くなった要因として，特定の産業に特化した説明変数が機能したことが挙げられる．**表-6** は，提案手法（誤差分散の逆数）での重み w_k のグループ平均値を示している．このうち，鉱業，製造業，商業の重みを見ると，鉱業では鉱区面積，製造業では製造品出荷額等，商業では年間商品販売額に重みが計上されている．これらの産業と説明変数の対応は，想定していた産業で特化した説明変数が採用されていることを意味しており，予測精度の向上に特化した説明変数が影響していることが示唆される．

一方で，**表-6** より，特定の産業に特化した説明変数は必ずしも意図した産業に採用されておらず，特定の産業に特化した説明変数を扱うだけでは予測精度向上には不十分であることも明らかとなった．具体的には，説明変数のうち発電最大出力は電力・ガス・水道に特化したものにもかかわらず，当該産業での重み w_k はゼロであった．また，先に挙げた商業の年間商品販売額は，想定どおりの対応であるものの，重み w_k は 0.026 と小さい結果となった．このことから，提案手法（誤差分散の逆数）のように，特定の産業に特化した説明変数を候補と挙げたうえで重みを適切に調整することが必要であり，本手法の有用性が示された．

次に，提案手法（LASSO）では，**表-5** を見ると，多くの産業において予測精度が従来手法から改善していないことが分かる．ここで，**表-7** より，提案手法（誤差分散の逆数）と比べると，重み w_k が就業者数や事業所数に集中しており，採用される説明変数の

表-6　提案手法（誤差分散の逆数）での生産額の w_k（平均値）および RANK

産業	RANK	就業者数	事業所数	付加価値額	総人口	製造品出荷額等	年間商品販売額	鉱区面積	発電最大出力	クリギング
01 農林漁業	6	0.109	0.348	0.419	0.009	0.007	0	0.023	0.013	0.071
02 鉱業	3	0.265	0.334	0.027	0	0	0	0.333	0.041	0
03 製造業	1	0	0	0	0	1.000	0	0	0	0
04 建設	5	0.314	0.152	0.299	0.180	0.015	0	0	0	0.040
05 電力・ガス・水道	3	0.237	0.148	0.071	0.399	0.074	0	0	0	0.071
06 商業	2	0.202	0	0.772	0	0	0.026	0	0	0
07 金融・保険	9	0.463	0.038	0.091	0.039	0.016	0.321	0.009	0.009	0.013
08 不動産	2	0.281	0.517	0	0.202	0	0	0	0	0
09 運輸・郵便	4	0.284	0.278	0.264	0.174	0	0	0	0	0
10 情報通信	9	0.730	0.175	0.009	0.007	0.004	0.065	0.003	0.003	0.003
11 公務	2	0.699	0	–	0.192	0	0.109	0	0	0
12 サービス	2	0.383	0.023	0.594	0	0	0	0	0	0
13 分類不明	4	0.365	–	–	0.416	0.088	0.044	0	0	0.087

表-7　提案手法（LASSO）での生産額の w_k（平均値）

産業	就業者数	事業所数	付加価値額	総人口	製造品出荷額等	年間商品販売額	鉱区面積	発電最大出力	クリギング
01 農林漁業	0.083	0.645	0.269	0	0	0	0.003	0	2E-06
02 鉱業	0.333	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
03 製造業	0.272	0	0	0.030	0.664	0	0	0	0.034
04 建設	0.878	0	0.102	0	0	0	1E-02	0	0.009
05 電力・ガス・水道	0.003	0.997	0	2E-05	2E-07	0	0	0	6E-08
06 商業	0.126	0.825	0.047	0	0	0.002	0	0	0
07 金融・保険	0.893	0.080	0.024	4E-04	2E-04	0	0	3E-05	0.002
08 不動産	0.797	0.187	0	0.015	3E-05	0	0	0	0.001
09 運輸・郵便	0.002	0.993	0.004	0.002	0	1E-06	0	0	0
10 情報通信	0.072	0.928	3E-04	2E-05	0	0	0	0	0
11 公務	0.543	0.457	–	0	0	3E-04	0	0	2E-04
12 サービス	0.461	0.422	0.117	0	4E-04	0	0	0	0
13 分類不明	0	–	–	0.917	0.033	0.050	0	0	0

表-8　粗付加価値額の産業別の予測精度

（単位：%）

産業	提案手法		従来手法
	誤差分散の逆数	LASSO	
01 農林漁業	29.7	42.5	13.5
02 鉱業	82.4	204.1	128.4
03 製造業	4.6	13.5	31.6
04 建設	13.5	13.9	15.1
05 電力・ガス・水道	31.5	42.3	33.6
06 商業	15.6	34.7	29.7
07 金融・保険	28.9	24.5	32.5
08 不動産	12.4	16.8	18.5
09 運輸・郵便	21.3	29.2	29.7
10 情報通信	33.8	33.8	22.8
11 公務	18.8	35.8	18.8
12 サービス	21.6	24.5	21.6
13 分類不明	28.7	28.3	25.5

表-9　最終需要額の産業別の予測精度

（単位：%）

産業	提案手法		従来手法
	誤差分散の逆数	LASSO	
01 農林漁業	14.5	63.0	15.0
02 鉱業	195.0	195.1	188.2
03 製造業	16.4	49.2	21.9
04 建設	16.5	17.0	11.8
05 電力・ガス・水道	17.9	38.9	19.8
06 商業	12.0	11.5	14.2
07 金融・保険	18.3	29.2	31.6
08 不動産	13.2	22.2	15.9
09 運輸・郵便	17.2	22.2	29.2
10 情報通信	39.9	39.3	30.2
11 公務	19.1	39.7	33.3
12 サービス	8.7	6.2	14.8
13 分類不明	102.4	118.1	105.8

数が少ないことが分かる．このことから，提案手法（LASSO）では，適切な説明変数の選択ができていないために予測精度が改善されなかったと推察される．

表-8 より，粗付加価値額の予測精度を同一産業毎に比べた場合も生産額の予測精度と同様のことが確認できた．具体的には，同一産業毎に提案手法（誤差分散の逆数）と従来手法を比較すると，13 部門中 8 部門で提案手法（誤差分散の逆数）の精度が高い結果となった．また，鉱業，製造業，商業において提案手法（誤差分散の逆数）の方が従来手法よりも %RMSE が 10 ポイント以上低く，他産業より予測精度が顕著に高い結果となった．

表-10　提案手法（誤差分散の逆数）での最終需要額の w_k（平均値）および RANK

産業	RANK	就業者数	事業所数	付加価値額	総人口	製造品出荷額等	年間商品販売額	鉱区面積	発電最大出力	クリギング
01 農林漁業	1	0	0	0	1.000	0	0	0	0	0
02 鉱業	1	0.250	0.500	0	0	0	0	0	0.250	0
03 製造業	1	0	0	0	1.000	0	0	0	0	0
04 建設	6	0.271	0.141	0.344	0.157	0.029	0.006	0	0	0.052
05 電力・ガス・水道	6	0.196	0.064	0.043	0.572	0.040	0.023	0	0	0.062
06 商業	6	0.475	0.219	0.038	0.226	0.018	0.009	0	0	0.015
07 金融・保険	4	0.239	0.355	0.024	0.301	0	0.022	0	0	0.059
08 不動産	4	0.128	0.454	0	0.344	0.017	0	0	0	0.057
09 運輸・郵便	3	0.315	0.201	0.409	0.075	0	0	0	0	0
10 情報通信	1	0	0	0	1.000	0	0	0	0	0
11 公務	3	0.574	0.079	–	0.215	0	0.133	0	0	0
12 サービス	6	0.293	0.234	0.031	0.407	0.015	0	0	0	0.020
13 分類不明	2	0.355	–	–	0.520	0.124	0	0	0	0

表-11　中間投入の産業別の予測精度：提案手法（誤差分散の逆数）

（単位：%）

	01 農林漁業	02 鉱業	03 製造業	04 建設	05 電力・ガス・水道	06 商業	07 金融・保険	08 不動産	09 運輸・郵便	10 情報通信	11 公務	12 サービス	13 分類不明
01 農林漁業	48.5	2497.5	82.7	99.1	282.8	56.1	–	50.6	155.8	–	56.3	21.4	282.8
02 鉱業	226.7	8164.2	99.8	67.8	46.6	30.1	97.2	61.6	31.5	–	73.2	30.4	36.5
03 製造業	46.2	66.2	32.2	13.0	46.8	42.2	24.6	22.5	27.1	29.7	41.2	12.7	31.0
04 建設	35.9	305.7	64.0	40.2	30.9	48.5	23.2	9.9	23.0	26.4	39.0	20.4	283.5
05 電力・ガス・水道	31.2	127.6	47.8	19.4	54.2	15.2	10.8	42.1	21.1	44.2	52.9	12.8	69.7
06 商業	30.7	66.5	13.9	13.8	40.1	44.7	39.3	21.9	53.1	24.2	36.5	8.5	39.8
07 金融・保険	22.3	74.7	11.7	17.2	41.4	22.4	44.1	11.0	39.4	32.8	42.7	8.4	26.4
08 不動産	29.5	79.8	7.9	35.3	32.8	38.6	24.3	24.3	49.0	22.0	52.8	37.3	39.0
09 運輸・郵便	41.5	843.0	4.0	20.9	33.7	49.1	26.1	37.6	38.8	52.3	39.2	22.6	27.3
10 情報通信	14.0	101.2	18.7	17.0	30.6	27.2	24.7	31.6	24.6	34.8	39.2	10.2	30.0
11 公務	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	31.3
12 サービス	36.1	72.2	22.7	17.6	35.2	30.1	30.1	22.0	26.7	31.5	33.5	30.1	31.0
13 分類不明	36.0	151.5	19.9	13.7	34.9	23.5	16.2	36.0	33.2	35.4	30.4	16.5	–

表-9 より，最終需要額の予測精度においても，13 部門中 10 部門で提案手法（誤差分散の逆数）の精度が高い結果となった．一方で，生産額や粗付加価値額とは異なり，鉱業，製造業，商業での大きな改善は見られなかった．これは，これらの産業に対応する特化した説明変数が財の需要側に与える影響が限定的であることが原因と考えられる．実際，**表-10** より，最終需要額の提案手法（誤差分散の逆数）の想定した産業での特化した説明変数の重み（i.e., 鉱業の鉱区面積，製造業の製造品出荷額等，商業の年間商品販売額）が小さいことが確認できる．

表-11，**表-12**，**表-13** より，中間投入額の予測精度においても，産業毎の優劣は全体の約 63 %[注23)]が提案手法（誤差分散の逆数）の方が従来手法よりも予測精度が高い結果となった．このうち，生産額・粗付加価値額と同様に，鉱業，製造業で顕著な改善が見られた．

以上のことから，提案手法（誤差分散の逆数）が産業毎の誤差を抑えて高精度の予測を可能としていることを確認できた．また，提案手法（LASSO）との比較から，同一の説明変数を候補としても，重みの決定方法が違うことで予測精度に違いが生じることも確認できた．

c)　クリギングに基づく小地域予測量の影響把握

説明変数の一つである，クリギングに基づく小地域予測量の影響を明らかにするために，提案手法（誤差分散の逆数）による予測結果を対象に，クリギングに基づく小地域予測量の重みを確認する．

まず，各項目でのクリギングに基づく小地域予測量の重み w_i のグループ平均値を**図-10** のとおり箱ひげ図で示す（箱ひげ図の表記は**図-2** と同様）．これにより，クリギングに基づく小地域予測量の重み自体はそれほど高くないものの，相対的に中間投入額では一部高い値を示していることが分かる．さらに，各項目で設定された重みのうち，クリギングに基づく小地域予測量の重みが最も大きい重みとなる割合

表-12　中間投入の産業別の予測精度：提案手法（LASSO）

（単位：%）

	01 農林漁業	02 鉱業	03 製造業	04 建設	05 電力・ガス・水道	06 商業	07 金融・保険	08 不動産	09 運輸・郵便	10 情報通信	11 公務	12 サービス	13 分類不明
01 農林漁業	93.1	42368.9	92.3	124.8	282.8	110.6	–	113.9	163.5	–	75.5	44.3	282.8
02 鉱業	239.9	15401.2	99.8	123.0	77.7	34.2	114.2	133.9	41.4	–	77.2	34.7	128.0
03 製造業	58.5	42.0	30.0	14.9	57.4	47.7	27.3	35.4	37.2	40.4	60.4	23.9	43.1
04 建設	56.9	282.0	62.7	43.8	43.9	56.8	23.6	25.1	45.7	54.3	57.7	32.2	328.9
05 電力・ガス・水道	32.3	374.4	110.9	63.0	64.8	36.2	66.2	40.6	29.5	41.7	77.1	14.6	87.6
06 商業	49.8	18.1	67.7	29.1	38.7	51.2	35.9	43.7	52.0	35.5	62.4	15.9	46.2
07 金融・保険	31.5	30.9	51.7	56.4	49.5	39.2	41.4	9.7	43.9	30.2	66.5	14.7	30.6
08 不動産	64.6	174.1	13.4	43.9	50.5	41.6	35.0	36.7	60.9	26.5	74.9	45.7	47.9
09 運輸・郵便	60.6	812.0	95.3	41.7	37.4	49.9	30.1	50.5	45.8	53.5	58.4	24.0	29.8
10 情報通信	21.5	1004.6	76.9	39.8	42.8	41.7	17.3	31.4	36.1	40.0	34.2	30.1	39.9
11 公務	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	50.1
12 サービス	31.3	69.7	59.0	24.2	45.5	34.0	31.1	22.0	28.4	33.8	58.9	31.4	53.2
13 分類不明	40.7	425.9	15.7	31.6	100.7	25.7	19.9	51.1	34.4	42.3	41.8	19.7	–

表-13　中間投入の産業別の予測精度：従来手法

（単位：%）

	01 農林漁業	02 鉱業	03 製造業	04 建設	05 電力・ガス・水道	06 商業	07 金融・保険	08 不動産	09 運輸・郵便	10 情報通信	11 公務	12 サービス	13 分類不明
01 農林漁業	54.1	33791.8	55.6	97.0	282.8	25.9	–	49.5	212.1	–	64.8	29.6	282.8
02 鉱業	237.1	12949.8	110.0	23.5	46.2	34.0	91.6	74.7	48.5	–	71.2	33.9	32.8
03 製造業	43.0	75.6	80.2	20.0	49.8	43.7	34.7	22.7	29.6	25.4	39.2	12.7	27.3
04 建設	57.1	359.1	86.4	34.5	36.7	32.1	23.7	19.7	44.7	67.0	60.3	15.5	407.5
05 電力・ガス・水道	29.0	187.2	81.6	25.0	52.3	15.5	14.5	33.0	51.6	61.8	56.7	13.5	65.8
06 商業	27.2	72.4	26.8	20.7	38.8	45.4	37.5	19.0	51.5	20.3	36.6	13.3	41.4
07 金融・保険	21.3	106.0	34.3	18.9	36.6	33.2	42.1	16.0	46.6	38.5	45.7	22.6	22.7
08 不動産	66.7	94.2	21.0	33.2	25.2	34.3	22.7	24.3	55.0	17.7	55.6	36.6	36.1
09 運輸・郵便	52.0	703.1	40.9	24.2	36.7	52.0	32.2	41.8	46.8	52.5	36.0	23.9	30.6
10 情報通信	13.3	280.7	43.7	17.7	31.1	24.1	28.7	19.1	32.4	42.8	29.5	44.3	22.7
11 公務	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30.1
12 サービス	35.7	103.7	48.9	19.2	29.9	27.9	32.7	20.8	26.5	25.5	36.6	34.2	31.0
13 分類不明	40.7	360.2	24.0	21.1	32.5	24.3	19.4	36.0	38.0	42.6	37.9	19.1	–

表-14　クリギングに基づく小地域予測量の重みが最大となる割合

項目	クリギングの重みが最大の重みとなる割合	n
生産額	0%	13
粗付加価値額	0%	13
最終需要額	0%	13
中間投入額	7.14%	154

を**表-14**[注24)]に示す．これを見ても，中間投入額では相対的に重みが大きいという傾向が把握できる．

次に，中間投入額を対象にして，クリギングに基づく小地域予測量を説明変数から除外して予測した結果との比較を**図-11**，**図-12** に示す．**図-11** は，**図-5** と同様に産業別・比較対象都市別の予測における %RMSE を箱ひげ図で示したものである．ここで，クリギングありは**図-5** の提案手法（誤差分散の逆数）の再掲である．**図-11** より，全体的にはクリギングの有無による大きな違いは確認できなかった．

図-12 は，クリギングに基づく小地域予測量を説明変数から除外した場合の予測の %RMSE から，除外する前の予測の %RMSE を差し引いたものである[注25)]．**図-12** より，農林漁業（中間需要）を中心にクリギングに基づく小地域予測量を除外した場合に予測精度が悪化する産業を確認した．これは，農林

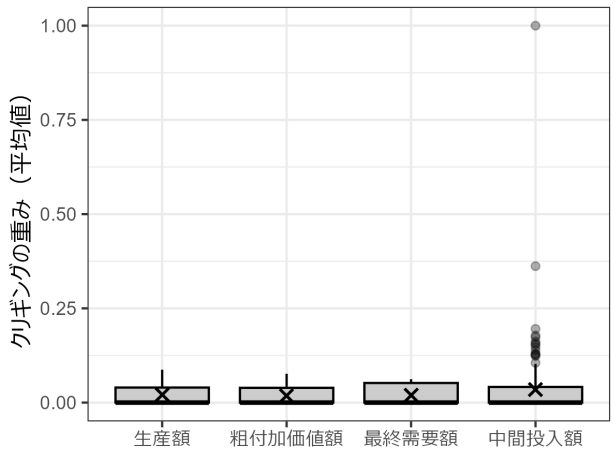


図-10　各項目のクリギングに基づく小地域予測量の重み

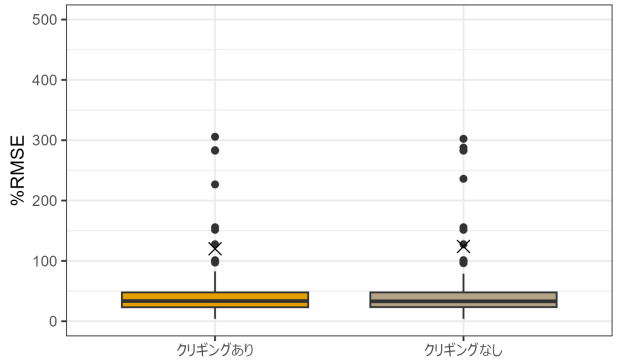


図-11　クリギングに基づく小地域予測量の有無ごとの予測結果

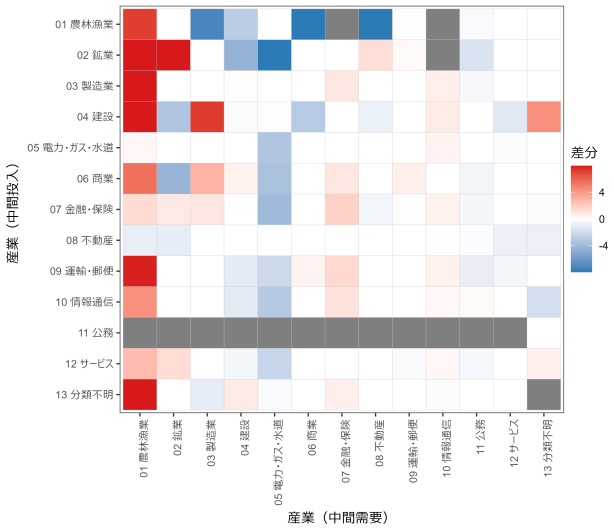


図-12　クリギングに基づく小地域予測量の有無ごとの産業別の予測結果

漁業の投入構造が，就業者数などの局所的な統計だけでは捉えにくい自然条件などの空間的に連続した要因に強く規定され，近隣市区町村間で類似しやすいために生じたと考えられる．

以上より，クリギングに基づく小地域予測量は，予測精度に大きな影響は無いものの，中間投入額の一部で予測精度の向上に寄与していることを確認した．

4.　提案手法に基づく小地域産業連関表の作成

本章では，提案手法に基づく小地域産業連関表の作成手順（以下，提案作表方法という）を示し，提案作表方法により全国の 1,741 市区町村の産業連関表を作成する．

産業連関表を作成するには，産業連関表の縦方向の総和（中間投入額と粗付加価値額の和）と横方向の総和（中間投入額，最終需要額，移輸出入額の和）がいずれも生産額に等しくなる必要がある[4]．そこで，本研究では次の手順で産業連関表を作成する．

1. 提案手法により，中間投入額，粗付加価値額，最終需要額を予測する[注26]．
2. 1. で予測した中間投入額と粗付加価値額の和により，生産額を算出する．
3. 基準表の移輸入係数を与件に LQ 法で移輸入係数を推計し，その移輸入係数から移輸入額を算出する．
4. 基準表の移輸出係数を与件として行方向をバランスさせるように移輸出額を決定し，産業連関表を完成させる．

中間投入額，粗付加価値額，最終需要額を予測する際，重み w_k は提案手法（誤差分散の逆数）によって全都道府県データを用いて決定する．このときの RANK は，第 3 章の検証で得られた最良ケースの RANK を採用する．

提案作表方法では，手順 2. によって算出した生産額が提案手法で予測した生産額と大きな差がないことを確認できたため（**図-13**），提案手法による生産額の予測結果を使用しないこととした[注27]．

手順 3. で用いる LQ 法とは次に示す特化係数を用いて地域間交易を推計する代表的なノンサーベイ手法である:

$$LQ_l = \frac{x_l / \sum_{l=1} x_l}{X_l / \sum_{l=1} X_l} \tag{11}$$

ここで，LQ は特化係数，l は産業，x は小地域産業連関表の生産額，X は基準表の生産額である．より具体的には，藤本[18] で用いられる方法および内田ら[19] に従い，基準表を非競争移輸入型の表として扱い，基準表の移輸入係数を考慮して LQ 法により移輸入係数を求める．これは，この方法が他の方法に比べて

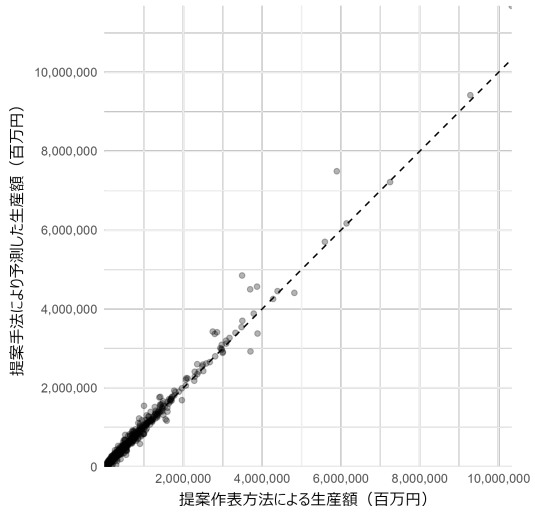


図-13　生産額の比較：提案作表方法の算出値と提案手法の予測値

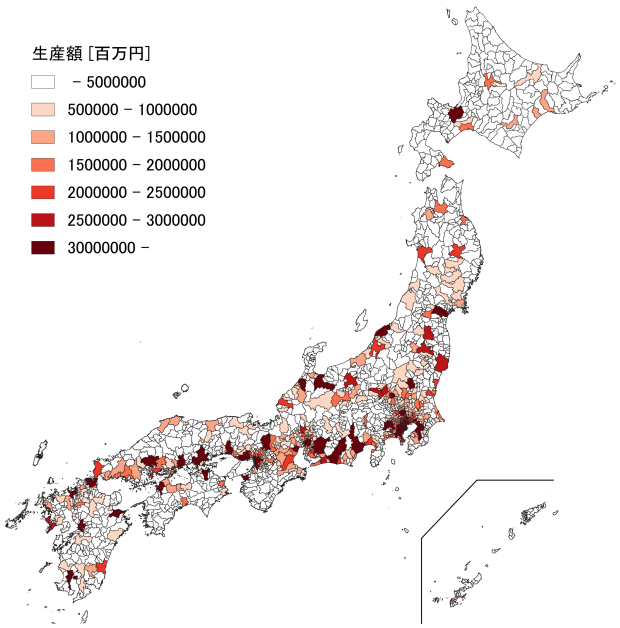


図-14　全国の作表結果の生産額

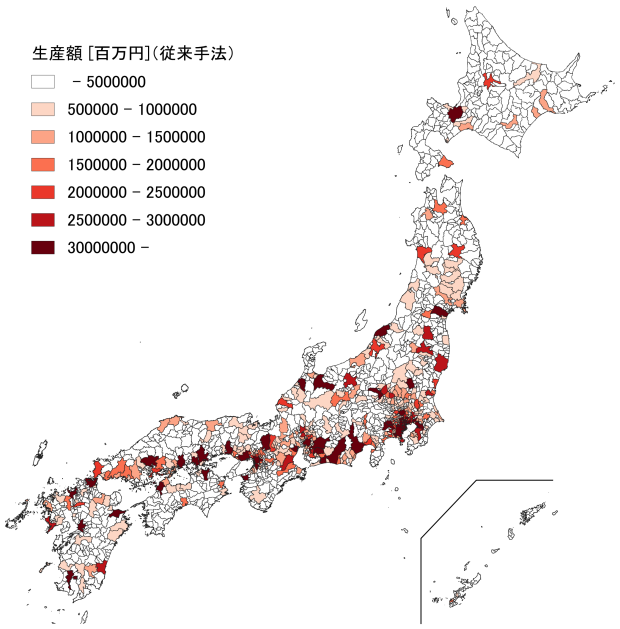


図-15　全国の従来手法による生産額

予測精度が良いことが先行研究で確認[19]されているためである．そのうえで，手順 1. で予測した中間投入額・最終需要額から域内需要を算出し，推計した移輸入係数を乗じて移輸入額を求める．さらに，基準表の移輸出係数を与件として，手順 2. で算出した生産額を用いて，行方向のバランスが成立するように移輸出額を決定する[注28]．補正方法のより詳細は説明は内田ら[19]を参照されたい．

5.　作成した産業連関表の特徴

本章では，第 4 章で作成した全国市区町村産業連関表の特徴を確認する．そのために，全国を対象にして作表した産業連関表の生産額と従来手法の生産額を比較する．加えて，結果をより詳しく調べるために，石川県内の市町の産業別の生産額を確認する．

(1)　全国の生産額

作表結果の生産額および従来手法による生産額を**図-14**，**図-15** に示す．

図-14 より，東京 23 区，大阪市，名古屋市を中心とした三大都市圏や，札幌市，仙台市，広島市，福岡市などといった地方の中核都市で生産額が高く，直観に合った結果を得られた．また，**図-14** と**図-15** の比較から，両手法による生産額の分布は大まかには同様の傾向であることが見受けられる．ここでより詳しく把握するために，従来手法による生産額に対する作表結果の生産額の比（以下，生産額の比という）を**図-16** に示す．図より大都市は 0.9 より小さく，地方は 1.1 より大きい傾向が確認できる．この傾向をより明確に確認するため，生産額の比と人口規模（2015 年総人口）の関係を**図-17** に示す．図中の赤線は回帰線である．図より，両者には負の相関が見られ，生産額の比が大きいほど人口規模が小さい傾向が確認できる（回帰係数：−0.060，t 値：−18.69）．ただし，この結果は単に小規模市区町村で一律に生産額の比が大きくなることを意味するものでなく，提案作表方法による生産額が人口規模だけでは捉えきれない地域の産業特性を反映している可能性を示唆するものである．すなわち，従来手法が就業者数のみに基づいて按分するのに対して，提案作表方法

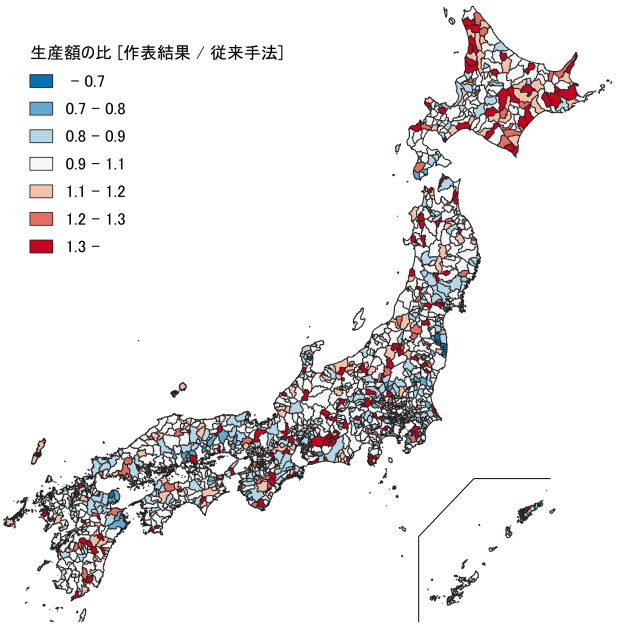


図-16　全国の生産額の比：作表結果 / 従来手法

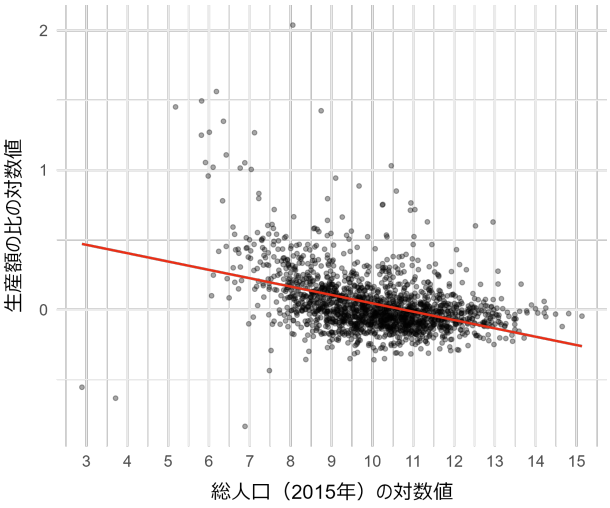
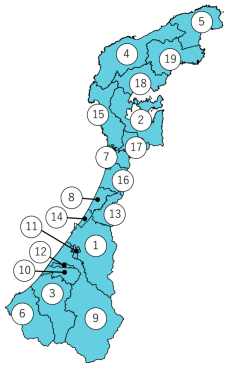


図-17　生産額の比と人口規模

は，就業者数といった人口規模と相関の高い変数に加え，産業特性を表す複数の説明変数を扱っていることにより，小規模であっても特定産業に特化した市区町村の経済的な特徴を生産額に反映できていると考えられる．実際，生産額の比が大きい上位市区町村には，香川県直島町や山口県和木町のように，人口規模に比べて製造業への特化が見られる地域が含まれる．第 3 章の検証では，製造業の予測において製造品出荷額等が説明変数として採用され，予測精度の改善も確認された．したがって，提案作表方法によって生産額の比が高くなった背景には，人口規模のみでは捉えにくい製造業特化のような産業特性が生産額に反映された可能性がある．

以上より，提案作表方法による生産額は従来手法



1	金沢市
2	七尾市
3	小松市
4	輪島市
5	珠洲市
6	加賀市
7	羽咋市
8	かほく市
9	白山市
10	能美市

11	野々市市
12	川北町
13	津幡町
14	内灘町
15	志賀町
16	宝達志水町
17	中能登町
18	穴水町
19	能登町

図-18　石川県市町

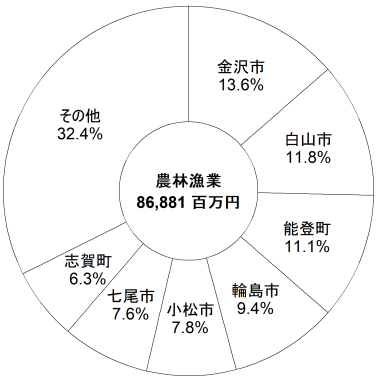


図-19　農林漁業の生産額

と比べて，大まかには同様の分布傾向であるものの，その比を見ると人口規模の小さい市区町村の生産額が大きくなる傾向があるといった違いを確認できた．

(2)　石川県内市町の産業別生産額

a)　産業別の生産額

第 4 章で作表した結果をより詳しく把握するために，**図-18** に示す石川県内市町を対象にして生産額を確認する．具体的には，13 部門のうち農林漁業，製造業，電力・ガス・水道，商業に着目して，県内額に占める割合を**図-19**，**図-20**，**図-21**，**図-22** に示す．また参考として，作表した産業連関表のうち，金沢市と輪島市の産業連関表を**付録**に示す．

農林漁業（**図-19**）は，金沢市での割合が最も高くなっているものの，金沢市のみに集中するのではなく，農林の発達した白山市，漁業が盛んである能登地方の能登町，輪島市，七尾市での割合が高くなった．製造業（**図-20**）は，白山市や小松市，金沢市，能美市での生産額の割合が高くなった．これらの市町はいずれも石川県南部の加賀地方に位置しており，高速道路や小松空港，鉄道網が整備されていることから原材料調達がしやすく製造業が発達しやすい地域に位置づけられる．電力・ガス・水道（**図-21**）は

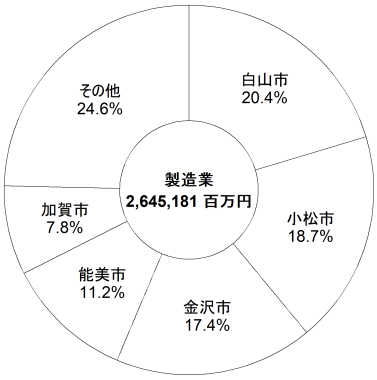


図-20　製造業の生産額

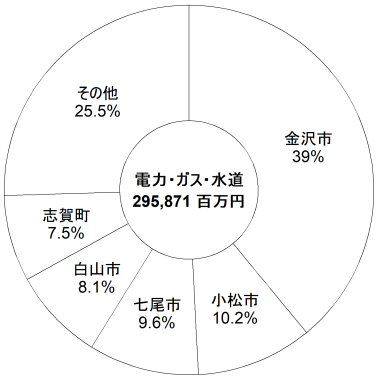


図-21　電力・ガス・水道の生産額

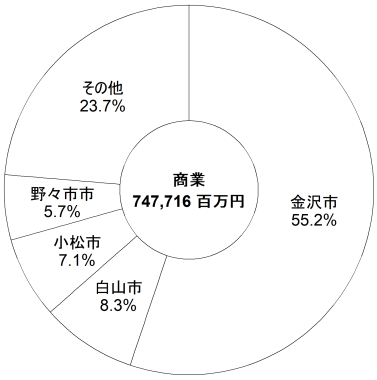


図-22　商業の生産額

金沢市に占める割合が高く，次いで小松市，七尾市となった．金沢市，小松市，七尾市には県内の主要な企業（e.g., 金沢市企業局，小松ガス，北陸電力 石川支店・小松支店・七尾支店）が立地している．また，七尾市，白山市，志賀町には県内の主要な発電所（七尾大田火力発電所，手取川第一発電所，志賀原子力発電所）が立地している．商業（**図-22**）では，金沢市が 50 %以上の割合を占めた[注29)]．金沢市は県庁所在地であり，金沢駅前や香林坊などに商業の集積

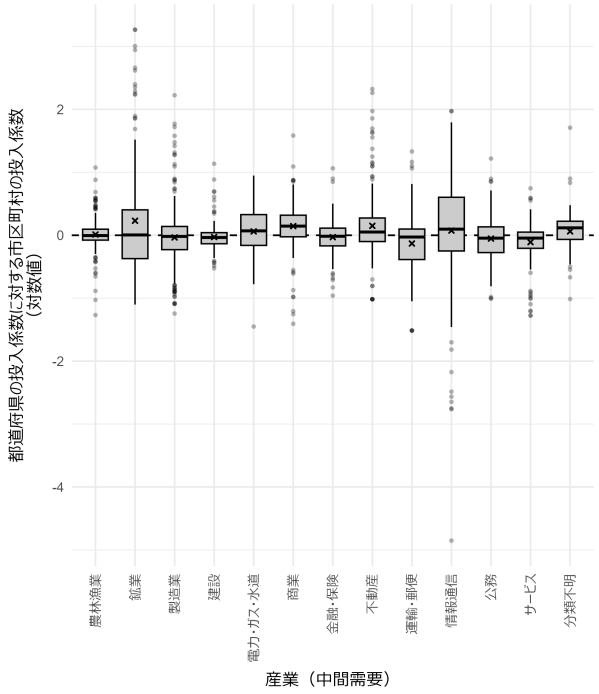


図-23　都道府県の投入係数に対する市区町村の投入係数

地が存在している．

以上より，提案作表方法により算出された石川県市町の生産額が直観と合うものであり妥当な結果であることを確認できた．

b)　産業別の投入係数

従来手法では，都道府県表の投入係数を用いて中間投入額を予測するため，小地域ごとの投入構造を捉えることが困難であった．一方，提案作表方法では，小地域の各中間投入額を個別に予測するため，小地域ごとの投入構造を捉えることが可能となる．この違いを把握するため石川県を対象として，従来手法で採用している都道府県表の投入係数と，提案作表方法により得られる市区町村表の投入係数を比較する．**図-23** は，都道府県表の投入係数に対する市区町村の投入係数の比（対数値）を算出し，中間需要側の産業別に箱ひげ図を示したものである（箱ひげ図の表記は**図-2** と同様）．図より，情報通信，鉱業，運輸・郵便といった産業において，都道府県表と比べて大きな違いがあることを確認した．

c)　生産波及構造

図-24 は，金沢市と輪島市を例に，作表結果の中間投入額・移輸入額から計算される逆行列係数の列和を示したものである．この値が大きいほど，その産業が地域内の各産業に与える影響が大きいと判断することができる．具体的には，次の式で表される逆行列係数 L の列和である:

$$\mathbf{L} = (\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \mathbf{M})\,\mathbf{A})^{-1} \tag{12}$$

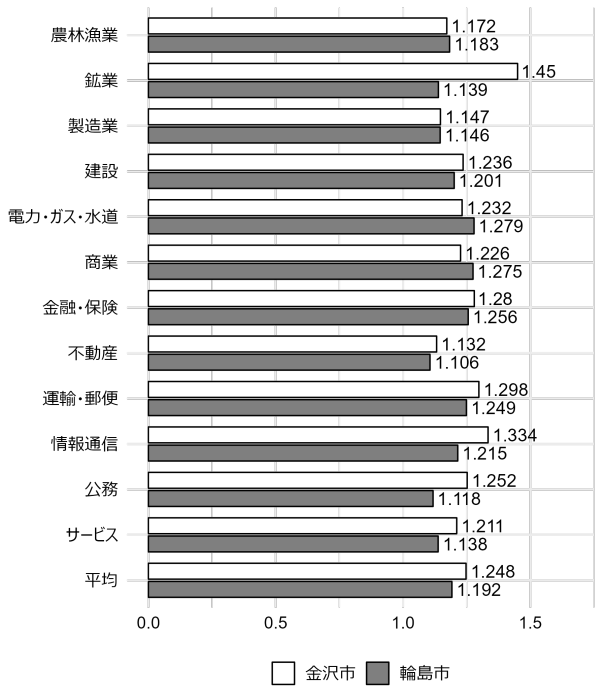


図-24　生産波及（金沢市と輪島市）

ここで，**I** は単位行列，**M** は移輸入係数を対角化した行列，**A** は投入係数行列である．**図-24** より，産業の平均値で見ると金沢市の方が生産波及の値が高い結果となった．一方で，農林漁業，電力・ガス・水道，商業では輪島市の方が生産波及の値が高い結果となった．これらの産業は，輪島市内の他産業に与える影響力が強く，地域産業が密接に関係していることを意味している．このように，提案作表方法で得られる小地域産業連関表では，各小地域の生産構造の特徴をより詳細に捉えることができることを確認した．

6. おわりに

本研究では，総和制約を満たしつつ複数の変数を反映できるようにすることで，低コストかつ高精度で細かな空間解像度の地域産業連関表を作成できる手法を提案した．具体的には，以下の手順のみで生産額等を予測できる手法を示した:

1. 基準表の値（e.g., 都道府県表の生産額）を被説明変数，各種統計調査やクリギングに基づいた複数のデータを説明変数に設定
2. 説明変数毎に比例配分により被説明変数を細分化
3. 細分化結果を用いたアンサンブル平均により小地域の値 (e.g., 市区町村表の生産額) を予測

そして，従来手法の予測結果との比較から，比例配分モデルと誤差分散の逆数を用いたアンサンブル平均を組み合わせることで，従来よりも高い精度で予測できることを示した．さらに，全国を対象に実際に細かな空間解像度の地域産業連関表 (i.e., 市区町村産業連関表) が作成できることを示した．

本手法をより発展させるために，課題を以下に挙げる．まず，移輸出入額の予測に課題がある．本稿では，LQ 法により地域間交易を推計することで，移輸入額を求めた．しかし，LQ 法では移輸入額が過小評価されるという指摘がある[20]．この課題の解決の方向性として，移輸出入の同時発生を表現できる地域間交易の予測手法[21] を活用することが考えられる．次に，提案手法で示したクリギングに基づく小地域予測量の算定では，分散パラメータの推定時に空間集計による情報消失が生じ，その結果として推定に偏りや不安定性が生じうることが先行研究[22] の人工データを用いた検証によって指摘されている．同様の影響が本稿で扱うデータで生じるかの検証やその対処については今後の課題である．また，提案手法では有用な説明変数を追加することは精度向上に寄与する可能性がある．このため，有用な説明変数の追加に伴う精度検証および検証に必要な比較都市のサンプル数の確保は課題である．最後に，小地域における産業構造・取引構造の地域特性をより適切に把握するための産業部門の細分化も課題である．

今後の展望として，本提案手法に基づき作成した全国市区町村産業連関表を公開[注30]することにより，産業連関表の活用を促進させることが挙げられる[注31]．これにより，人的資源や予算の余力が乏しい基礎自治体に対して有用な情報を提供できると考える．

さらに，提案手法は，説明変数となるデータが存在すれば，基礎自治体よりも空間解像度の細かい表を容易に作成することも可能である．このような細かな表ができれば，地域活性化のための施策検討に有用な情報となり得る．そのためには今後の空間データの拡充が望まれる．

付録　金沢市・輪島市の産業連関表

第 4 章で示す方法により作成した金沢市・輪島市の産業連関表は**表-15**, **表-16** のとおりである．

表-15 2015 年金沢市産業連関表

（単位：億円）

	01 農林漁業	02 鉱業	03 製造業	04 建設	05 電力・ガス・水道	06 商業	07 金融・保険	08 不動産	09 運輸・郵便	10 情報通信	11 公務	12 サービス	13 分類不明	域内最終需要計	移輸出額	移輸入額	域内生産額
01 農林漁業	9.1	0.0	89.0	3.8	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	84.9	0.0	149.3	80.5	-299.4	117.8
02 鉱業	0.0	0.0	16.9	13.9	287.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.8	-314.3	5.5
03 製造業	25.9	0.7	1660.4	904.2	44.0	140.3	53.5	6.7	347.2	146.9	115.7	1382.4	9.3	3643.0	4065.6	-7955.1	4590.7
04 建設	0.3	0.0	14.5	1.5	16.0	9.4	4.2	26.3	11.6	4.3	16.3	20.5	0.0	2869.8	46.6	0.0	3041.3
05 電力・ガス・水道	1.2	0.1	70.0	8.3	68.0	84.6	12.7	7.3	30.1	15.3	29.0	219.4	1.1	281.7	687.9	-362.1	1154.6
06 商業	6.6	0.1	214.8	163.5	17.3	39.7	11.5	2.9	69.3	25.5	21.3	398.0	1.9	2165.8	2561.7	-1575.5	4124.4
07 金融・保険	1.1	0.2	33.0	41.9	19.7	71.0	100.8	244.8	39.1	10.6	52.6	109.3	0.6	835.4	389.8	-78.0	1872.0
08 不動産	0.2	0.0	10.9	9.4	4.0	90.9	27.5	83.0	28.5	38.9	4.5	102.7	7.4	2802.3	607.9	-174.4	3643.9
09 運輸・郵便	6.6	2.1	104.5	127.0	38.8	203.2	69.6	5.2	170.4	52.9	73.8	264.0	19.2	703.3	899.8	-666.6	2073.7
10 情報通信	0.5	0.0	41.1	23.1	17.4	139.0	100.9	3.9	17.2	372.9	71.6	337.5	12.3	861.1	1163.3	-871.1	2290.9
11 公務	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	1913.2	29.8	0.0	1983.3
12 サービス	3.7	0.2	153.5	295.4	101.9	328.2	198.8	41.4	262.1	334.3	249.7	958.6	12.1	6961.2	2654.3	-1660.3	10895.1
13 分類不明	0.6	0.0	17.0	43.0	3.9	27.6	9.0	3.3	13.2	5.0	1.7	56.4	0.0	0.5	19.9	-2.3	198.9
粗付加価値額	62.0	2.1	2165.0	1406.4	536.6	2990.0	1283.4	3219.0	1084.9	1284.1	1347.0	6961.1	94.8				
域内生産額	117.8	5.5	4590.7	3041.3	1154.6	4124.4	1872.0	3643.9	2073.7	2290.9	1983.3	10895.1	198.9				

表-16 2015 年輪島市産業連関表

（単位：億円）

	01 農林漁業	02 鉱業	03 製造業	04 建設	05 電力・ガス・水道	06 商業	07 金融・保険	08 不動産	09 運輸・郵便	10 情報通信	11 公務	12 サービス	13 分類不明	域内最終需要計	移輸出額	移輸入額	域内生産額
01 農林漁業	7.8	0.0	35.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	8.7	63.6	-35.8	81.8
02 鉱業	0.0	0.0	1.0	1.2	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	-11.8	1.5
03 製造業	19.1	0.0	60.0	37.8	2.4	5.9	1.1	0.1	4.4	0.6	4.6	62.4	0.5	212.9	257.5	-371.8	297.5
04 建設	0.2	0.0	1.6	0.1	1.2	0.5	0.1	0.8	0.1	0.2	0.8	1.2	0.0	141.8	4.3	0.0	152.9
05 電力・ガス・水道	0.8	0.1	2.5	0.4	6.4	4.3	0.2	0.1	0.4	0.4	2.5	10.9	0.1	18.1	33.7	-19.1	61.9
06 商業	5.2	0.0	14.4	6.8	1.0	1.7	0.2	0.0	2.8	0.0	0.9	17.0	0.1	112.9	55.8	-109.3	109.5
07 金融・保険	0.6	0.1	2.8	2.0	1.4	1.4	1.5	2.9	1.3	0.2	1.6	2.9	0.0	27.7	4.2	-13.7	37.0
08 不動産	0.0	0.0	0.4	0.5	0.4	4.0	0.5	1.1	1.2	0.4	0.1	5.0	0.3	80.7	3.9	-53.1	45.3
09 運輸・郵便	4.6	0.0	3.8	7.2	1.4	9.8	1.7	0.1	3.9	0.5	3.8	10.8	0.6	17.3	30.6	-26.4	69.7
10 情報通信	0.3	0.0	1.4	1.2	1.2	5.5	2.6	0.0	0.5	3.0	2.5	4.1	0.7	50.3	4.9	-59.4	18.9
11 公務	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	123.4	17.8	0.0	143.6
12 サービス	2.3	0.0	5.5	14.7	7.9	12.9	6.0	0.5	11.5	2.0	9.2	25.1	0.6	395.8	75.0	-109.3	459.7
13 分類不明	0.5	0.0	1.6	1.7	0.2	1.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1	1.7	0.0	0.0	0.7	-0.1	7.9
粗付加価値額	40.4	1.3	167.5	79.2	28.6	62.4	23.0	39.6	43.5	11.3	117.5	316.3	2.6				
域内生産額	81.8	1.5	297.5	152.9	61.9	109.5	37.0	45.3	69.7	18.9	143.6	459.7	7.9				

NOTES

注 1) 環境省：地域経済循環分析，環境省ホームページ，https://chiikijunkan.env.go.jp/manabu/bunseki/ (閲覧日：2025 年 7 月 23 日).

注 2) 国土交通省：国土の長期展望専門委員会 (第 13 回) 配付資料 2-1 地域生活圏について，2021.

注 3) 環太平洋産業連関分析学会：学会ホームページ，https://www.gakkai.ne.jp/papaios/iotable-m.html (閲覧日：2025 年 7 月 23 日)

注 4) 兵法・菊池[23] は，基礎自治体単位の地域産業連関表の作成実績の状況と行政職員数から，地域産業連関表の作成負担率を算出している．これに基づき，9 割以上の基礎自治体は単独で作表することが困難であると指摘している．

注 5) 実際，ノンサーベイ手法により全国の市区町村産業連関表を作成している事例が存在する[24]．しかし，作表に関する精度検証は実施されていない．

注 6) このような，入手可能なデータの空間単位と着目したい空間単位が異なる問題は，change of support problem（COSP）と呼ばれており，空間統計学の中心的話題の一つとなっている[10]．また，その対処法として按分があり，空間統計学分野や計量地理学分野等では按分法は面補間法と呼ばれている．

注 7) 空間統計学分野や計量地理学分野等では総和制約は体積保存則と呼ばれている．

注 8) 産業によって按分指標を変えているもの（e.g., 発電量，総路線距離）も見られるが[7]，1 種類のデータで按分する点で変わりはない．

注 9) より具体的には，先行研究では最終需要額を構成する項目（e.g., 家計外消費支出，民間消費支出，一般政府消費支出）別に予測を行っている．

注 10) これは移輸出入額には総和制約が成立せず，本予測手法の適用範囲外であるためである．具体的には，空間解像度を細かくした場合，移輸出入額が新たに生じるため (e.g., 都道府県表から市区町村表を作成する場合，都道府県内の市区町村間の移出入額が新たに生じる)，移輸出入額には総和制約が成立しない．

注 11) 本稿で示すクリギングは，内部的に小地域単位の空間相関構造を集計したもので基準表毎の空間相関構造が与えられる方法である．小地域単位の空間構造の完全な復元は原理的に不可能であるものの，小地域単位の空間構造に対する最良線形不偏

予測量を与える（area-to-point）kriging を用いているという意味で最良の予測を行っていると言える．

注 12) ここでの重心点はポリゴンの幾何的重心であり，重心点間を平面直角座標に基づきユーグリッド距離で求める．

注 13) 標準的に用いたれる R パッケージの gstat でも仮定されているように，地球統計分野ではパラメータを固定して CV を実施することが多く，本研究でも同様に固定することとした．

注 14) 本評価指標は Normalized root-mean-square difference (NRMSD) とも呼ばれる．

注 15) ただし，本稿の予測対象のうち最終需要額は，産業によっては負の値をとりうるため，式 (10) の分母は $|\bar{y}|$ とする．

注 16) 本稿で扱う従来手法における各項目の予測方法は次のとおりである．生産額は各 13 部門に対応する従業地による就業者数で按分して市区町村の値を求める．粗付加価値額は求めた生産額に基準表の粗付加価値係数を乗じて求める．最終需要額は，項目（家計外消費支出・民間最終消費支出・一般政府消費支出・公的総固定資本形成・民間総固定資本形成）別に按分・コンバートした値を集計することで求める．このうち，家計外消費支出は粗付加価値部門の家計外消費支出の合計額を基準表の家計外消費支出構成比でコンバートする．民間最終消費支出は基準表の値を人口で按分する．一般政府消費支出は基準表の値を決算の合計歳出額で按分する．公的総固定資本形成は基準表の値を決算の投資的経費で按分する．民間総固定資本形成は基準表の値を産業別生産額で按分する．中間投入額は生産額の予測値に基準表の投入係数を乗じて求める．

注 17) **表-3** に示す部門分類の 13 部門表が都道府県の公表する表に存在しない場合，13 部門より詳細な部門分類（i.e., 国が公表する統合中分類相当（108 分類）の表）の表を 13 部門に部門統合して利用する．部門統合は国の部門対応表に基づいて実施する．

注 18) 本稿では従業地による就業者を使用する．

注 19) ここでの付加価値額は経済センサス-活動調査 (2016) の付加価値額を指す．このため，当該調査の定義のとおり，従業者数 29 人以下の場合は粗付加価値額を扱うこととなる．

注 20) 付加価値額は欠損値が多く存在するため，クリギングによりデータ補間したうえで利用する．なお，データ補間の有無により，第 3 章に示す予測精度は大きく変化しなかったことを確認している．

注 21) 鉱区面積は，鉱物や調査時点が不明なデータは除外して使用する．

注 22) なお，鉱業はいずれの手法においても，他の産業と比べると %RMSE が大きくなった．これは，鉱業が他の産業とは異なり，就業者数や人口が多い地域ではなく自然環境（e.g., 埋蔵鉱物）に大きく影響を受けるためであると考えられ，今回設定した変数では他産業のような高精度予測とならなかった．鉱業に影響を与える自然環境を反映するデータが現在ほとんど整備されていないため，鉱業の高精度予測は他の産業と比べて現時点では困難と言える．

注 23) 比較対象都市の数値がゼロといった，精度確認不能な 16 箇所を除いた 153 要素中 97 要素で提案手法（誤差分散の逆数）の方が従来手法よりも予測精度が高い結果となった．

注 24) 比較対象都市の数値がゼロといった予測対象外を除く．

注 25) 可視化のため，色の表示範囲は差分の絶対値の 95 パーセンタイルに制限し，これを超える値は端の色に飽和表示した．

注 26) 予測は**表-3** に示す 13 部門を対象とすることから，東京都産業連関表に存在する本社部門は除外して作表する．

注 27) 生産額の予測値を用いることもできるが，その場合は列方向の調整が必要となり作表手順が複雑化する．本稿では簡単化のために中間投入額の予測値と粗付加価値額の予測値の和を使用した．

注 28) このとき，13 部門すべて同様の方法で調整する．このため，産業連関表の定義上，移輸出額・移輸入額がゼロとなる建設部門，公務部門で移輸出額・移輸入額がゼロとならない市区町村が生じる．建設部門，公務部門の移輸出額・移輸入額をゼロとする調整は RAS 法などによって可能であるが，今回は簡単化のために実施しない．

注 29) 商業の他にも，不動産や運輸・郵便，情報通信などの第三次産業に含まれる産業では，金沢市の占める割合が高くなっている．

注 30) 次に示すリンク先で本手法により作表した全国市区町村産業連関表を公開している．`https://www.yachiyo-eng.co.jp/riips/request/IO_Analysis/`

注 31) 現状も全国市区町村産業連関表を作成している事例[24] は存在する．しかし，作表に用いた手法がどの程度の予測精度を持っているかが不明であり，表を利用するための判断材料が不足していると考える．それに対して，本研究では提案手法の予測精度を検証できている．

REFERENCES

1) 石川良文：日本の地域産業連関表作成の現状と課題, 産業連関, Vol. 23, No. 1-2, pp. 3-17, 2016. [Ishikawa, Y.: Current status and issues of the regional input-output tables in Japan, *Input-Output Analysis*, Vol. 23, No. 1-2, pp. 3-17, 2016.]
2) 石川良文，小池淳司，上田孝行：Non-Survey 手法による都市圏産業連関表の作成，土木学会第 56 回年次学術講演会，2001. [Ishikawa, Y., Koike, A. and Ueda, T.: Creation of a metropolitan area input-output table using the non-survey method, *Outline of Lectures of the Annual Academic Lecture of the Japan Society of Civil Engineers*, 2001.]
3) Zhou, Z.-H.: Ensemble learning, *Machine Learning*, pp. 101-128, 2008.
4) 土居英二, 浅利一郎, 中野親徳：はじめよう地域産業連関分析 Excel で初歩から実践まで [改訂版] 基礎編, 日本評論社, 2019. [Doi, E., Asari, I. and Nakano, C.: *Getting Started: Regional Input-Output Analysis from Elementary to Practical with Excel [Revised Edition] Fundamentals*, Nippon Hyoron Sya, 2019.]
5) 貞弘幸雄：空間集計データにおける面補間法の推定精度評価, 都市計画, Vol. 225, pp. 75-81, 2000. [Sadahiro,

Y.: Evaluation of the estimation accuracy of areal interpolation methods on spatially aggregated data, *City Planning Review*, Vol. 225, pp. 75-81, 2000.]

6) 堤盛人，瀬谷創：土木計画における応用空間統計学の可能性，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 68, No. 5，pp. 1-20，2012. [Tsutsumi, M. and Seya, H.: Perspective on applied spatial statistics: focusing on the application to infrastructure plan, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol. 68, No. 5, pp. 1-20, 2012.]
7) 朝日幸代：平成 7 年名古屋市産業連関表の作成の試み，産業連関，Vol. 12，No. 1，pp. 16-24，2004. [Asahi, S.: 1995 Input-output table of Nagoya city, *Input-Output Analysis*, Vol. 12, No. 1, pp. 16-24, 2004.]
8) Tibshirani, R.: Regression shrinkage and selection via the Lasso, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, pp. 267-288, 1996.
9) Cohen, S., Mduvha, R., Marwala, T. and Deisenroth, M. P.: Healing products of Gaussian processes, *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning*, No. 193, pp. 2068-2077, 2020.
10) 瀬谷創，堤盛人：空間統計学―自然科学から人文・社会科学まで―，朝倉書店，2014. [Seya, H. and Tsutsumi, M.: *Spatial Statistics: From the Natural Sciences to the Humanities and Social Sciences*, Asakura Shoten, 2014.]
11) Kyriakidis, P. C.: A geostatistical framework for area-to-point spatial interpolation, *Geographical Analysis,* Vol. 36, No. 3, pp. 259-289, 2004.
12) 村上大輔，堤盛人：Kriging を用いた実用的な面補間法, GIS-理論と応用，Vol. 19，No. 2，pp. 59-69，2011. [Murakami, D. and Tsutsumi, M.: A kriging based practical approach for areal interpolation, *Theory and Applications of GIS*, Vol. 19, No. 2, pp. 59-69, 2011.]
13) Miller, R. E. and Blair, P. D.: *Input-Output Analysis Foundations and Extensions,* Cambridge University Press, 2009.
14) Kronenberg, T.: Construction of regional input-output tables using nonsurvey methods: The role of cross-hauling, *International Regional Science Review*, Vol. 32, No. 1, pp. 44-64, 2009.
15) Gotway, C. A. and Young, L. J.: A geostatistical approach to linking geographically aggregated data from different sources, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, Vol. 16, No. 1, pp. 115-135, 2007.
16) Cao, Y.: *Scaling Gaussian Processes,* University of Toronto, 2007.
17) Friedman, J., Hastie, T., Tibshirani, R., Narasimhan, B., Tay, K., Simon, N., Qian, J. and Yang, J.: Lasso and elastic-net regularized generalized linear models, *The Comprehensive R Archive Network,* 2023, `https://cran.r-project.org/web/packages/glmnet/index.html` (2024/01/15)
18) 藤本高志：山村地域における観光の経済効果の計測，農林業問題研究，Vol. 36，No. 3，pp. 124-133，2000. [Fujimoto, T.: Evaluation of economic impacts of tourism in mountainous region, *Journal of Rural Problems*, Vol. 36, No. 3, pp. 124-133, 2000.]
19) 内田瑞生，杉本達哉，高森秀司：日本の地域内産業連関表推計に適した LQ 法による推計フローの確立，土木計画学研究・講演集（CD-ROM），Vol. 66，2022. [Uchida, M., Sugimoto, T. and Takamori, S.: Establishment of an estimation flow using the LQ method suitable for regional input-output table estimation in Japan, *Proceedings of Infrastructure Planning*, Vol. 66, 2022.]
20) Flegg, A. T., Lamonica, G. R., Chelli, F. M., Recchioni, M. C. and Tohmo, T.: A new approach to modelling the input-output structure of regional economies using nonSurvey methods, *Journal of Economic Structures*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-31, 2021.
21) 内田瑞生，杉本達哉，高森秀司：交差輸送推計に基づく Commodity Balance 法による産業連関表の推定精度向上，第 36 回応用地域学会研究発表大会，2022. [Uchida, M., Sugimoto, T. and Takamori, S.: Improved accuracy of estimation of input-output tables using the commodity balance method based on cross-transport estimation, *The 36th Applied Regional Science Conference Annual Meeting*, 2022.]
22) Nagle, N., Kyriakidis, P. C. and Sweeney, S.: A geostatistical linear regression model for small area data, *Geographical Analysis*, Vol. 43, No. 1, pp. 38-60, 2011.
23) 兵法彩，菊池康紀：市町村産業連関表の作成・応用実態に基づく作表フローの構築，日本 LCA 学会誌，Vol. 17，No. 3，pp. 174-192，2021. [Heiho, A. and Kikuchi, Y.: Creating a flow chart based on the historical record of the construction and application of the regional input-output tables in municipalities, *Journal of Life Cycle Assessment, Japan*, Vol. 17, No. 3, pp. 174-192, 2021.]
24) 法政大学日本統計研究所：全市区町村産業連関表 (平成 23 年表) の推計，研究所報，No. 51，pp. 1-30，2019. [Japan Statistics Research Institute: Estimates from the all municipal input-output tables (2011 tables), *Bulletin of Japan Statistics Research Institute*, No. 51, pp. 1-30, 2019.]

(Received July 29, 2025)
(Accepted June 29, 2026)

A METHOD FOR SPATIAL DOWN-SCALING OF INPUT-OUTPUT TABLES

Tatsuya SUGIMOTO, Yuto KIKUCHI, Yuki TAKAYAMA and Daisuke MURAKAMI

Input-output tables with fine spatial resolution (e.g., municipal input-output tables) are expected to become increasingly important data sources for designing policies aimed at revitalizing regional economies. However, due to constraints in human and financial resources, most basic municipalities have not yet developed such tables. Therefore, non-survey methods capable of generating input-output tables at low cost are gaining attention, although prediction accuracy remains a key challenge. In this study, we propose a method for constructing regional input-output tables with fine spatial resolution that is both cost-effective and highly accurate. To this end, we introduce an ensemble learning-based approach for predicting production values and other relevant metrics. By using prefectural-level data to predict municipal production values, we demonstrate that our method outperforms conventional approaches in terms of accuracy. Furthermore, we examine the characteristics of the municipal input-output tables generated using our proposed method.