

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 八千代エンジニアリング株式会社 技術開発研究所
(〒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町村単位の表も整っておらず, 全市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、Kyriakidis¹¹⁾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 Quotient)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., Kronenberg¹⁴⁾)。

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：

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

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。

(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章2節a項を参照）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：

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

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、次のように求めることができる。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：

$$Y = \sum_{i=1}^N y_i \quad (3)$$

$$y_i = \mu + s_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

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

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (6)$$

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、「距離に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。

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

各説明変数の比例配分モデルにより予測された結果 $\hat{y}_{i,k}$ の重み w_k を決定する。そのための方法として、以下に示す 2 種類のアンサンブル学習に基づく方法を提案する。

ここで、使用するデータの空間単位には基準表単位と、基準表をいくつかグルーピングした単位 (グループ単位) の 2 種類を扱う。つまり、式 (1) の i に基準表単位のデータ、式 (2) の Y にグループ単位のデータを使用して重み w_k を決定する。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いう。

a) Product-of-Experts 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 (Cao¹⁵⁾)。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モデルの誤差分散 σ_k^2 は Leave-one-out CV により求める。式 (2) は被説明変数 $y_{i,k}$ と説明変数 $g_{i,k}$ に線形性を仮定するものであり、それらを用いた単回帰 (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。そこで式 (2) を用いた按分に関しては「基準表を 1 つ除いてモデルを推定し、除いた一つで予測誤差を評価する」という処理を全基準表について行うことで誤差分散を評価する。クリギングに関しては、単回帰ではなく式 (3)~(6) を仮定したうえで、同様に誤差分散を評

価する。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:

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

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、最良ケースを予測値として採用する。

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¹⁶⁾ 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:

$$w_k = \frac{\beta_k}{\sum_{k=1}^K \beta_k} \quad (8)$$

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、PoE 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、クロスバリデーションによって得られる β_k が負値となる場合は、0 とすることで非負条件を満たす。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

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	

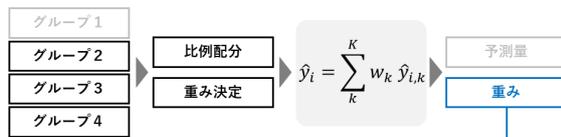
表-2 比較対象都市

	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

1 training data(グループ2, 3, 4)における重み決定



2 test data(グループ1)の予測量の決定

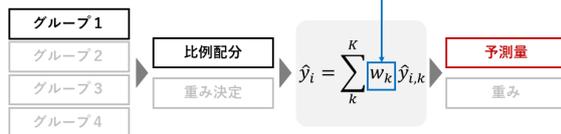


図-1 クロスバリデーション (例: グループ 1 の予測)

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、Product-of-Experts 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。

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。%RMSE は、式 (9) および式 (10) によって計算できる：

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

$$\%RMSE = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100 \quad (10)$$

ここで、 y_i は市町村 i の実績値、 n は比較対象市町村数、 \bar{y} は市町村平均実績値である (注 11)。

%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、石川ら²⁾によるノンサーベイ手法 (以下、従来手法という) 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。

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	-	○

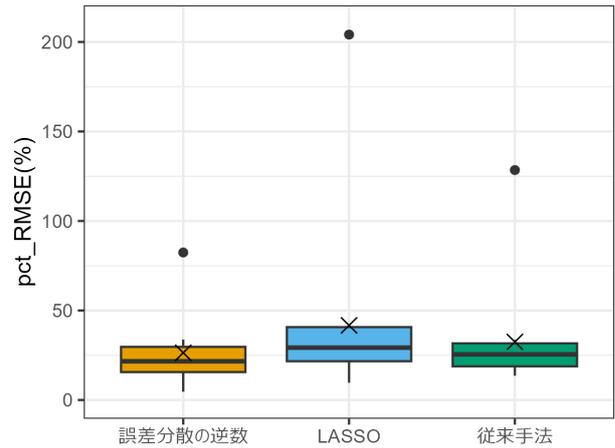


図-3 粗付加価値額の予測精度 (%RMSE)

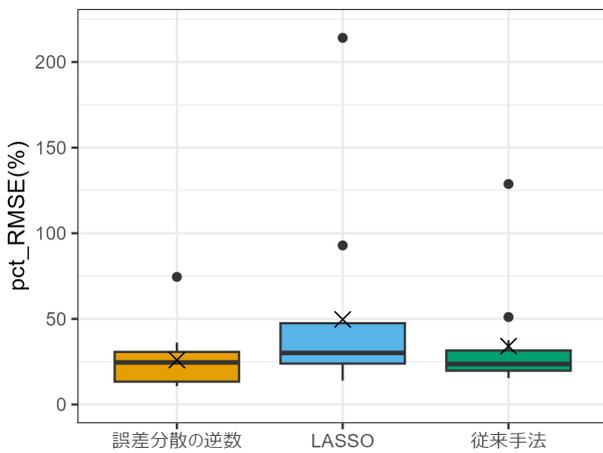


図-2 生産額の予測精度 (%RMSE)

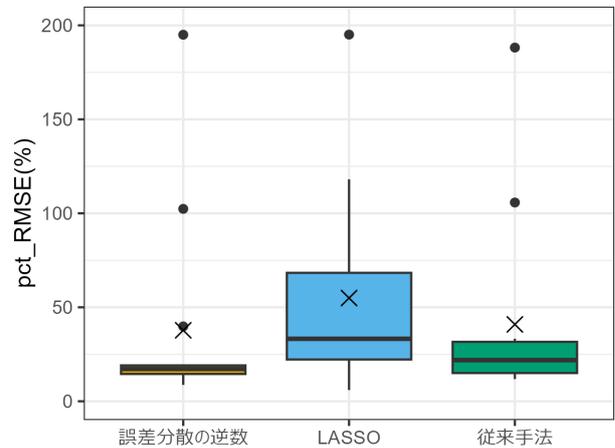


図-4 最終需要額の予測精度 (%RMSE)

(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12)}。

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、事業所数、付加価値額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13)}。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14)}。

(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2～5は、各項目の産業別・比較対象都市別の予

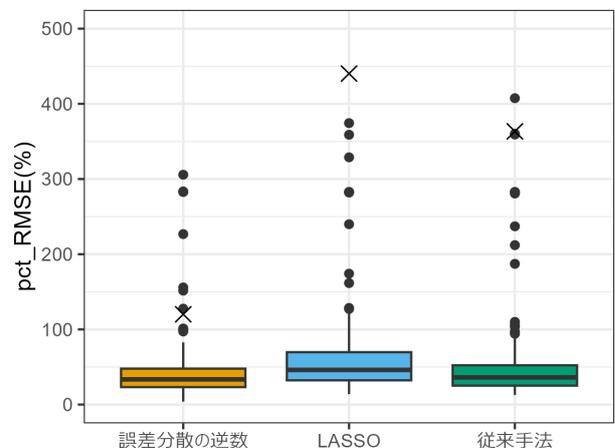


図-5 中間投入額の予測精度 (%RMSE)

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 (Q_1)、上端は第3四分位数 (Q_3)、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 $1.5 \times (Q_3 - Q_1)$ 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。

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3~5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。

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 の範囲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

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	47.5	17.1
02 鉱業	74.5	214.1	128.7
03 製造業	10.7	92.9	51.1
04 建設	13.3	15.5	16.7
05 電力・ガス・水道	36.1	47.8	37.5
06 商業	12.2	30.1	26.6
07 金融・保険	25.9	23.9	31.5
08 不動産	11.3	13.9	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	46.5	19.7
12 サービス	19.3	23.3	21.3
13 分類不明	27.9	29.4	22.6

い結果となった^{注15)}。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。

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

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	0.087	0.650	0.262	0	0	0	0.001	0	0
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	0.188	0	0	0.043	0.530	0	0.202	0	0.038
04 建設	0.920	0	0.073	0	0	0	0	0	0.007
05 電力・ガス・水道	0.004	0.996	0	5E-05	2E-06	0	0	0	7E-06
06 商業	0.248	0.692	0.054	0	0	0.005	0	0	0
07 金融・保険	0.763	0.221	0.015	7E-05	4E-05	0	0	0	0.001
08 不動産	0.794	0.188	0	0.017	0	0	0	0	0.001
09 運輸・郵便	0.002	0.993	0.004	0.001	0	2E-06	0	0	0
10 情報通信	0.073	0.927	3E-04	1E-05	0	0	0	0	0
11 公務	0.167	0.830	-	0	0	2E-04	0.001	4.00E-05	0.001
12 サービス	0.460	0.418	0.122	0	4E-04	2E-08	0	0	0
13 分類不明	0	-	-	0.932	0.030	0.038	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	42.0	13.5
02 鉱業	82.4	204.1	128.4
03 製造業	4.6	9.6	31.6
04 建設	13.5	14.2	15.1
05 電力・ガス・水道	31.5	42.2	33.6
06 商業	15.6	34.2	29.7
07 金融・保険	28.9	21.7	32.5
08 不動産	12.4	16.6	18.5
09 運輸・郵便	21.3	29.2	29.7
10 情報通信	33.8	33.9	22.8
11 公務	18.8	40.7	18.8
12 サービス	21.6	24.4	21.6
13 分類不明	28.7	28.7	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	68.3	15.0
02 鉱業	195.0	195.1	188.2
03 製造業	16.4	33.2	21.9
04 建設	16.5	17.9	11.8
05 電力・ガス・水道	17.9	32.6	19.8
06 商業	12.0	78.7	14.2
07 金融・保険	18.3	29.3	31.6
08 不動産	13.2	22.2	15.9
09 運輸・郵便	17.2	22.1	29.2
10 情報通信	39.9	43.1	30.2
11 公務	19.1	47.4	33.3
12 サービス	8.7	6.0	14.8
13 分類不明	102.4	118.1	105.8

(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16)}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ふことで予測精度に違いが生じることも確認できた。

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を示し、本作表方法により全国の1741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17)}。

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	93.2	42369.1	88.5	115.8	282.8	110.6	-	123.3	161.6	-	80.8	41.5	282.8
02 鉱業	239.9	13642.3	100.0	122.4	77.7	34.2	109.1	78.2	62.1	-	77.7	124.4	127.2
03 製造業	57.8	42.0	30.2	15.4	57.6	47.7	22.9	43.7	33.7	40.4	47.8	17.9	43.0
04 建設	56.8	282.0	62.7	43.6	43.9	87.7	23.8	22.6	42.2	53.8	57.6	32.2	328.9
05 電力・ガス・水道	38.2	374.4	128.5	62.6	64.3	58.2	57.8	40.8	31.1	34.2	77.4	14.0	87.6
06 商業	44.1	20.0	30.7	25.3	38.2	51.7	31.1	48.1	50.8	34.5	63.3	19.7	46.2
07 金融・保険	31.5	29.9	66.6	58.3	49.7	38.3	40.4	75.1	44.1	30.1	57.7	14.6	28.7
08 不動産	64.5	174.1	19.0	40.7	49.6	42.2	33.1	37.0	61.1	27.2	70.1	46.1	47.9
09 運輸・郵便	63.1	812.0	107.3	41.1	36.3	49.9	30.6	43.3	46.0	53.3	58.8	24.4	29.6
10 情報通信	21.2	1004.5	73.2	40.2	78.1	46.2	18.5	31.4	36.3	38.7	38.3	29.5	40.2
11 公務	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65.2
12 サービス	51.2	69.7	59.2	21.2	109.5	34.4	26.7	22.0	28.7	33.0	58.9	31.3	46.7
13 分類不明	40.7	358.9	16.1	31.1	101.7	26.0	16.8	51.0	34.5	31.4	41.8	19.9	-

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	-

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。
2. で算出した生産額と 1. で予測した中間投入額・最終需要額を用いて、LQ 法により移輸出入額を予測し、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、3 章の検証で得られた最良ケースの RANK を採用する。

本作表方法では、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 6）、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。

3. で用いる LQ 法とは小地域産業連関表の移輸出入額を予測する代表的な手法であり、次の特化係数を用いて予測される：

$$LQ_l = \frac{x_l / \sum_{l=1} x_l}{X_l / \sum_{l=1} X_l} \quad (11)$$

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、特化係数を用いて藤本¹⁷⁾の方法によって移輸出入額を求める。これは、この方法が他の方法に比べて予測精度が良いことが先行研究で確認¹⁸⁾されているためである。そして、行方向のバランスが成立するように、予測した移輸出入額を補正して

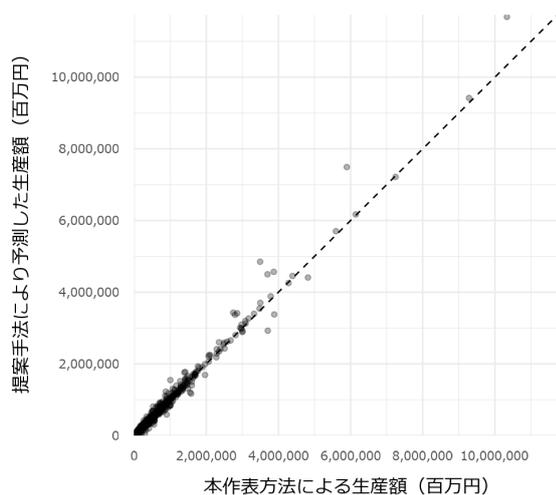


図-6 生産額の比較：本作表手順の算出値と提案手法の予測値

最終的な移輸出入額を決定する^{注18)}。移輸出入額の補正方法の詳細は内田ら¹⁸⁾を参照されたい。

5. 作成した産業連関表の特徴

本章では、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、結果の妥当性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7、図8に示す。

図7より、東京23区、大阪市、名古屋市を中心とした三大都市圏で生産額が高く、直観に合った結果を得られた。また、図7と図8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を図9に示す。図より、大都市は0.9より小さく、地方は1.1より大きい傾向にあることが確認できる。実際、生産額の比が1.1以上もしくは0.9以下の市区町村のうち、人口20万人以上といった人口規模の大きい市区を見ると、1.1以上は8市、0.9以下は31市区であった。また同様に、人口1万人未満といった人口規模の小さい町村を見ると、1.1以上は287町村、0.9以下は49町村であった。これは本作表方法が、就業者数といった人口規模と相関の高

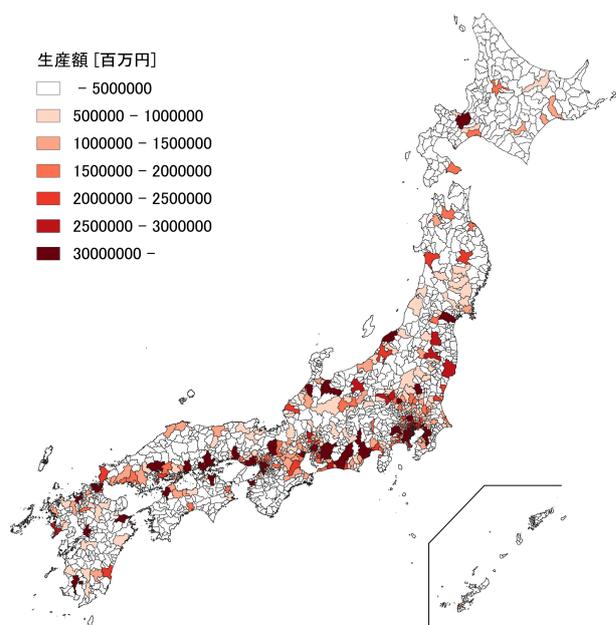


図-7 全国の作表結果の生産額

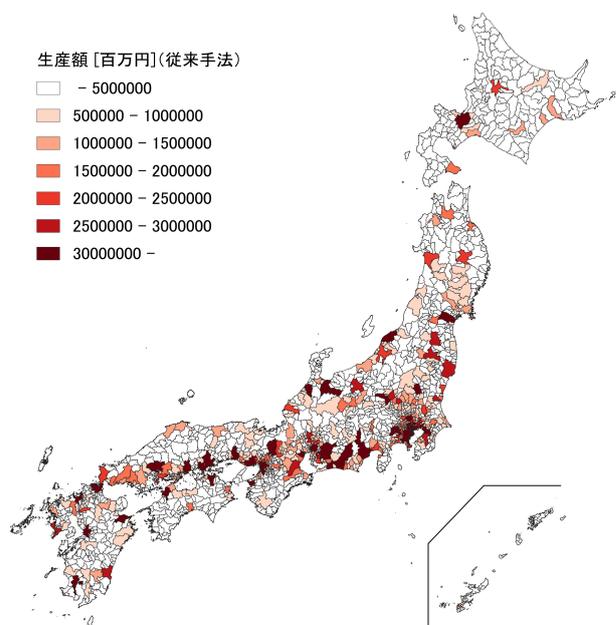


図-8 全国の従来手法による生産額

い説明変数だけでなく、複数の説明変数を扱っていることにより、人口規模の小さい市町村の経済的な特徴を反映した生産額を設定できているためと考えられる。以上より、本作表方法による生産額は従来手法と比べて、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

4章で作表した結果が妥当なものかを把握するた

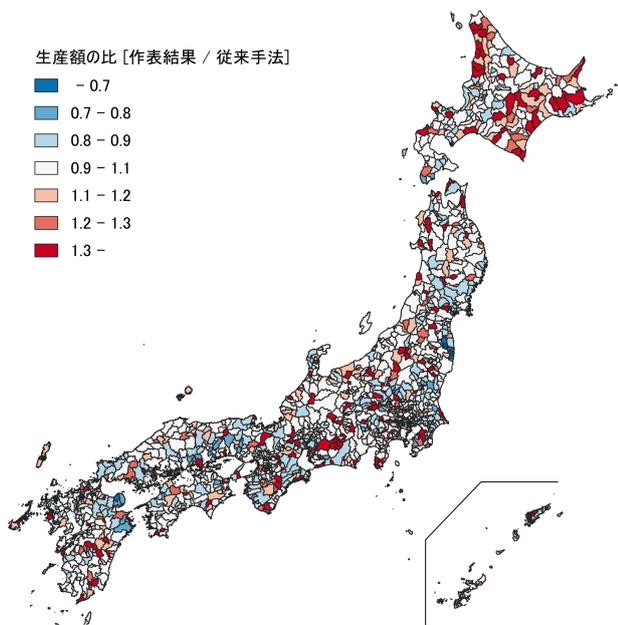


図-9 全国の生産額の比：作表結果 / 従来手法

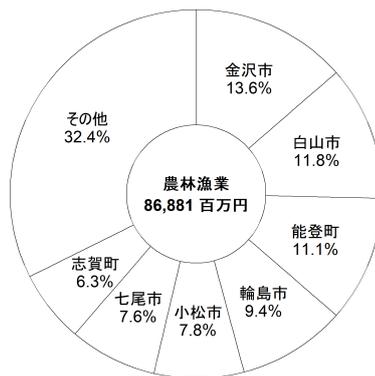
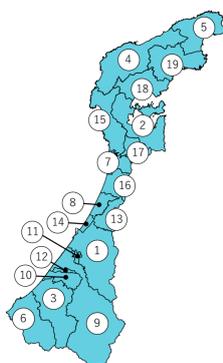


図-11 農林漁業の生産額



1	金沢市	11	野々市市
2	七尾市	12	川北町
3	小松市	13	津幡町
4	輪島市	14	内灘町
5	珠洲市	15	志賀町
6	加賀市	16	宝達志水町
7	羽咋市	17	中能登町
8	かほく市	18	穴水町
9	白山市	19	能登町
10	能美市		

図-10 石川県市町

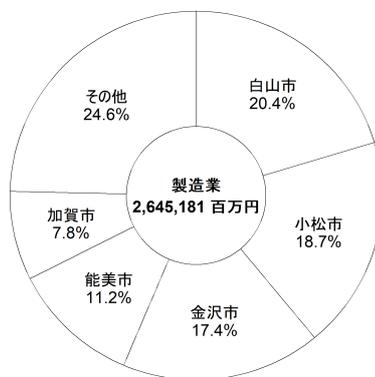


図-12 製造業の生産額

めに、図 10 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 11, 12, 13, 14 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 11）は、金沢市での割合が最も高くなっているものの、金沢市のみには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 12）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 13）は金沢市に占める割合が高くなった。金沢市は県内では他市町に比べて電力・ガス・水道の就業者数が多い

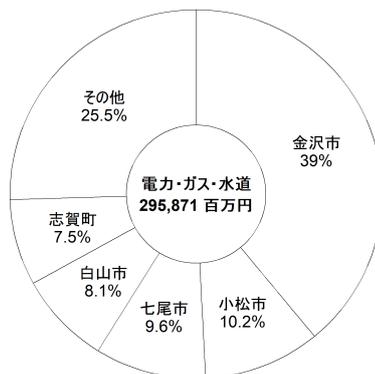


図-13 電力・ガス・水道の生産額

市町である。商業（図 14）では、県庁所在地である金沢市が 50 %以上の割合を占めた^{注19}。以上より、本作表方法により算出された石川県市町が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) 生産波及構造

従来手法では、都道府県表の投入係数を用いて中

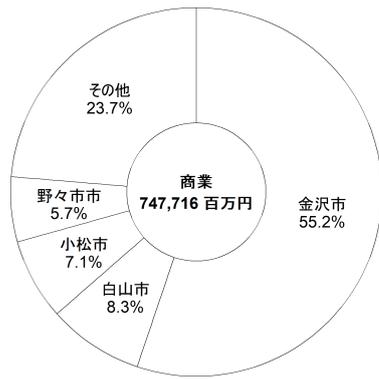


図-14 商業の生産額

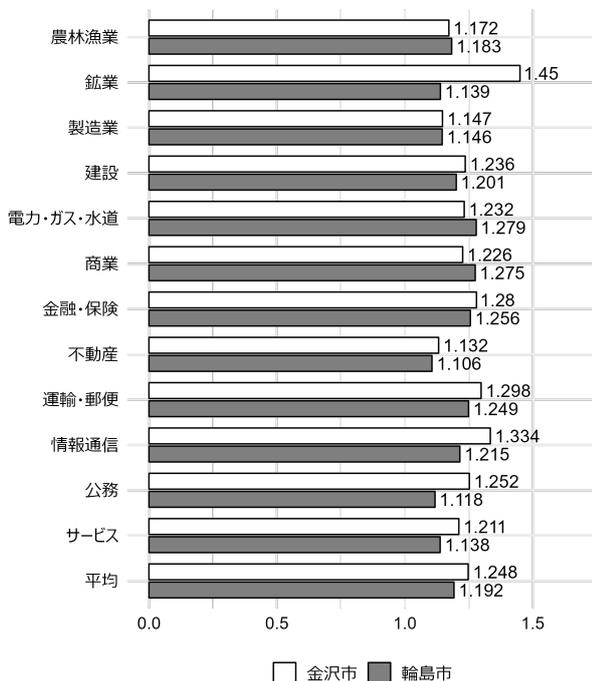


図-15 生産波及 (金沢市と輪島市)

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、本作表方法では、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。図15は、金沢市と輪島市を例に、作成結果の中間投入額・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：

$$L = (I - (I - M)A)^{-1} \quad (12)$$

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15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、本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。

提案手法によって、従来手法よりも高い精度で小地域産業連関表を作成できることを示したものの、移輸出入額の予測に課題がある。本稿では、移輸出入額の予測にLQ法を用いた。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¹⁹⁾。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取引の予測手法²⁰⁾を活用することが考えられる。

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20)}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21)}。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

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14, 15のとおりである。

NOTES

注1) 環境省：地域経済循環分析、環境省ホームページ、<http://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/papaaios/iotable-m.html> (閲覧日：2025年7月23日)

注4) 兵法・菊池²¹⁾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町村産業連関表を作成している事例が存在する²²⁾。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., 都道府県表から市町村表を作成する場合、都道府県内の市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) 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 $|g|$ とする。

注12) 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13) 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、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14) 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15) 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16) 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17) 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18) 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19) 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20) 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21) 現状も全国市町村産業連関表を作成している事例²²⁾は存在する。しかし、作表に用いた手法がど

表-14 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	0.2	0.0	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	40.3	0.0	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
租付加価値額	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-15 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
租付加価値額	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				

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られる。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 Execl 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 Execl [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.[Tsumumi, 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., 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.
 - 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) Cao, Y.: *Scaling Gaussian processes*, University of Toronto, 2007.
 - 16) 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).
 - 17) 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.]
 - 18) 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.]
 - 19) 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 Non-Survey Methods, *Journal of Economic Structures*, Vol.10, No.1, pp.1–31, 2021.
 - 20) 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.]
 - 21) 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.]
 - 22) 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 ??? ?? 202?)
(Accepted ??? ?? 202?)

A method for spatial downscaling 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.