ノンサーベイ法の精度向上のための都道府県産業連関表の移出入に関する相関分析

Correlation analysis of inflows and outflows in prefectural input-output tables to improve the accuracy of non-survey methods

内田　瑞生（八千代エンジニヤリング株式会社　mz-uchida@yachiyo-eng.co.jp）

1.　はじめに

地域産業連関表は，地域経済の持続可能性を把握するための重要なツールである．近年，国の進める地方創生やエビデンスに基づく政策立案（EBPM）の推進に伴い，地域産業連関表の活用ニーズが高まっている．一方で，地域産業連関表を作成する市町村は限られる（兵法・菊池（2021））．

地域産業連関表の推計方法として，投入調査や移出入調査といった特別調査に基づくサーベイ法，既存の統計データのみを用いるノンサーベイ法，さらに，これらの中間にあたるセミサーベイ法（ハイブリッド法）が知られている．このうち，サーベイ法は，他の方法と比べて高い精度が期待できる一方で多大な費用を要するという課題がある．一方で，ノンサーベイ法は，特別調査に基づかないため精度の確保が難しいが，サーベイ法と比べて産業連関表の作成費用を抑えることができるため，市町村産業連関表の作成でよく用いられている（たとえば本田・中澤（2000），朝日（2004），日吉・河上・土井（2004））．また，ノンサーベイ法では多地域を対象とした推計が可能となるため，近年，菅・井手・居城・渡部・猪田・須原（2023）など，全国市町村産業連関表を推計する取組みが進められている．最後に，セミサーベイ法は，ノンサーベイ法の推計結果を土台として一部に特別調査を用いる方法であり，サーベイ法の精度の高さとノンサーベイ法の作成費用の低さの両立を図るが，土台となるノンサーベイ法の精度の影響を受ける点が課題となる．

したがって，市町村などを対象とした地域産業連関表の推計では，ノンサーベイ法の精度向上が重要であるといえる．特に，地域産業連関表の推計では，経済波及効果の“漏れ”の原因となる移輸入額の推計に主眼が置かれることが多い．代表的なノンサーベイ法である LQ（location quotient，特化係数）法では，移輸入係数が，特化係数や地域の規模と相関するという仮定のもとで推計される．一方で，これらの相関関係に関する統計学的な知見は十分に蓄積されていない．また，LQ 法では，本来，非競争移輸入型表への適用が想定される一方で，ノンサーベイ法の一種である CB（commodity balance，商品バランス）法は，日本で一般的な競争移輸入型表に適した手法であるとされている（Kronenberg（2012））．現在，国内の CB 法の適用事例は限られているため，今後，適用可能性を検討する必要があると考えられる．

そこで本研究では，2015 年付近の都道府県産業連関表を使用して，LQ 法に属する SLQ 法・CILQ 法・RLQ 法・FLQ 法・SFLQ 法による移輸入係数の推計値に対する精度検証を行う．また，FLQ 法や SFLQ 法が仮定する地域の規模と移輸入係数間の相関関係を確認し，これらの手法の課題を明らかにする．さらに，LQ 法と CB 法の精度比較を行い，日本の地域産業連関表の推計における CB 法の利点を明らかにする．

2.　ノンサーベイ法の概要と課題

2.1.　一般的な推計フロー

ノンサーベイ法では，通常，推計対象地域を含む地域の産業連関表を基準に地域産業連関表を推計する．たとえば，市町村産業連関表を推計する場合，当該市町村が存在する都道府県や国の産業連関表が基準となる．

基準地域に複数の地域が含まれる場合，地域別の生産額の合計は，基準地域の生産額と一致するはずである．そのため，従業者数などを重みとした按分処理により生産額を推計することができる．同様に，中間投入額・粗付加価値額・最終需要額・基準地域外との移輸出入額についても何らかの按分処理により推計することができる．一方で，基準地域内の地域間交易に伴う移出入額については按分処理により推計することはできない．地域間交易に伴う移入は，経済波及効果の“漏れ”の原因となるため，これらの精度向上がノンサーベイ法の最重要課題の一つであるといえる．そのため，ノンサーベイ法では，通常，生産額を按分処理により推計したのちに，按分処理を利用できない基準地域内での移出入額を推計する．具体的には，表 1 の推計フローが用いられることが多い（たとえば土井・浅利・中野（2019））．ただし，以下では，単に“輸出入”および“移出入”と呼ぶ場合，それぞれ基準地域外との移輸出入および基準地域内での移出入を指すこととする．

こうした推計フローの問題点として，ステップ⑤の移出入額の精度が，ステップ①～④の精度に影響を受ける点がある．具体的には，ステップ①～④では，産業連関表の行方向の金額に対するバランス式が定められ，移出額または移入額のいずれかを推計すれば，他方の金額が決定されるという関係をもつ．これは，ステップ①～④の精度が移出額や移入額の精度に影響を及ぼすことを意味する．

表 1　ノンサーベイ法の推計フロー（競争移輸入型表）

需要 / 供給		中間需要			域内最終需要			輸出	移出	輸入	移入	生産額
		1	…	s	1	…	t					
中間投入	1	x_{11}	…	x_{1s}	f_{11}	…	f_{1t}	e_1	u_1	$-m_1$	$-n_1$	x_1
	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	s	x_{s1}	…	x_{ss}	f_{s1}	…	f_{st}	e_s	u_s	$-m_s$	$-n_s$	x_s
粗付加価値		v_1	…	v_s	②		③	④	⑤	④	⑤	①
生産額		x_1	…	x_s	f_1	…	f_t	①				

ステップ①：生産額の按分

ステップ②：中間投入額・粗付加価値額の按分

ステップ③：域内最終需要額の按分

ステップ④：（基準地域外との）移輸出入額の按分

ステップ⑤：（基準地域内での）移出入額の推計

一方で，基準地域の産業連関表により合計額が既定されるステップ①～④と比べて，ステップ⑤の移出入額の推計では，移出入調査などの特別調査なしでは合計額の把握すら難しいのが現状である．そのため，既存の統計データのみを用いるノンサーベイ法では，表 2 に示す推計フローは一定の妥当性を有していると考えられる．

ステップ①～④で得られる産業連関表の行方向の金額に対するバランス式は，商品バランス（commodity balance）と呼ばれ，式(1)で表される（Kronenberg（2009））．LQ 法では，移入額を推計したのちに商品バランスに基づき移出額が算出されるが，本来，負になりえない移出額が負になる可能性があるため，しばしばバランス調整が行われる（Miller & Blair（2009））．一方で，CB 法では，商品バランスに整合するように移出入額が推計されるため，こうしたバランス調整が不要であるという利点がある．ただし，移輸出入額がゼロとなる公務などの部門に対しては，いずれの手法においても移出入額をゼロとするバランス調整が必要となる．

$$
\begin{aligned}
b_i &= u_i - n_i = (x_i - e_i) - (d_i - m_i) \\
d_i &= \sum_{j=1}^{s} x_{ij} + \sum_{k=1}^{t} f_{ik} : \text{域内需要額}
\end{aligned}
\tag{1}
$$

以上のように，ノンサーベイ法による地域産業連関表の推計フローは複数のステップで構成されており，精度検証においては，どのステップで推計誤差が生じたかを明らかにすることが重要であると考えられる．また，代表的なノンサーベイ法である LQ 法および CB 法は，いずれもステップ⑤の移出入額の推計を対象とした手法であるため，これらの手法の精度検証では，まずステップ⑤を中心とした検証を進める必要があると考えられる．

2.2.　LQ 法の概要

LQ（location quotient，特化係数）法は，ノンサーベイ法のなかで最も一般的な手法であり，国内の地域産業連関表の推計事例も多い手法である．一方で，LQ 法は，表 2 のような非競争移輸入型表への適用が想定されており，日本で一般的な競争移輸入型表と輸入の計上方法が異なる．

表 2　非競争移輸入型表

供給＼需要		中間需要			域内最終需要			輸出	生産額
		1	…	s	1	…	t		
中間投入	1	x_{11}^r	…	x_{1s}^r	f_{11}^r	…	f_{1t}^r	e_1	x_1
	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋮
	s	x_{s1}^r	…	x_{ss}^r	f_{s1}^r	…	f_{st}^r	e_s	x_s
輸入	1	x_{11}^m	…	x_{1s}^m	f_{11}^m	…	f_{1t}^m		
	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋱	⋮		
	s	x_{s1}^m	…	x_{ss}^m	f_{s1}^m	…	f_{st}^m		
粗付加価値		v_1	…	v_s					
生産額		x_1	…	x_s	f_1	…	f_t		

競争移輸入型表のまま LQ 法を適用する場合，“輸入で賄った域内需要の一部を移入で賄う”という移輸入の二重計上が生じる可能性があるため，本研究では，LQ 法の適用に先立って，競争移輸入型表を非競争移輸入型表に変換した．具体的には，基準地域外との移輸入額から算出した移輸入係数$\widehat{M}_i$を用いて，表 2 の非競争移輸入型表の中間需要額x_{ij}^rおよび最終需要額f_{ik}^rを，式(2)により算出した．

$$\begin{cases} x_{ij}^r = \left(1-\widehat{M}_i\right)x_{ij} \\ f_{ik}^r = \left(1-\widehat{M}_i\right)f_{ik} \end{cases} \tag{2}$$

LQ 法は，産業集積度を表す特化係数LQ_{ij}を用いて，域内供給で賄われる中間需要額x_{ij}^{rr}および最終需要額f_{ik}^{rr}が式(3)で推計される（Miller & Blair（2009））．式(3)は，産業集積度が高いほど移輸入依存度が下がるという傾向を表している．ここで，$\widehat{m}_{ij} = 1-\min\left(1, LQ_{ij}\right)\left(1-\widehat{M}_i\right)$とおけば，行部門・列部門別の移輸入額は，式(4)となる．そのため，基準地域内での移入を含む移輸入係数$\widehat{m}_i$は，式(5)で表される．

$$\begin{cases} x_{ij}^{rr} = \min\left(1, LQ_{ij}\right)x_{ij}^r = \min\left(1, LQ_{ij}\right)\left(1-\widehat{M}_i\right)x_{ij} \\ f_{ik}^{rr} = \min(1, LQ_{ik})f_{ik}^r = \min(1, LQ_{ik})\left(1-\widehat{M}_i\right)f_{ik} \end{cases} \tag{3}$$

$$\begin{cases} x_{ij} - x_{ij}^{rr} = \widehat{m}_{ij}x_{ij} \\ f_{ik} - f_{ik}^{rr} = \widehat{m}_{ik}f_{ik} \end{cases} \tag{4}$$

$$\widehat{m}_i = \frac{\sum_{j=1}^{s}\widehat{m}_{ij}x_{ij} + \sum_{k=1}^{t}\widehat{m}_{ik}f_{ik}}{\sum_{j=1}^{s}x_{ij} + \sum_{k=1}^{t}f_{ik}} \tag{5}$$

特化係数には様々な算出方法が提案されており，それらの特化係数の名を冠した LQ 法が知られている．最も基礎的な LQ 法である SLQ（simple LQ）法では，推計対象地域の産業別生産額の構成比を基準地域の構成比で除することにより，式(6)により特化係数が算出される．SLQ 法では，ある行部門の特化係数は列部門によらず一定であるため，式(5)の移輸入係数$\widehat{m}_i$が式(7)のように単純な式で表される．しかし，SLQ 法では，移輸入額が過小評価されるという課題が指摘されている．

$$SLQ_i = \frac{x_i/\sum_{i=1}^{s}x_i}{X_i/\sum_{i=1}^{s}X_i} \tag{6}$$

X_i: 基準地域の生産額

$$\widehat{m}_i = 1-\min(1, SLQ_i)\left(1-\widehat{M}_i\right) \tag{7}$$

こうした課題は，交差輸送（cross-hauling）すなわち移出入の同時発生の過小評価に起因している．交差輸送は，同一の産業に分類される財であっても，生産地などによって異質性が存在することに起因するとされており，実際の産業連関表においても交差輸送が生じていることが多い．しかし，SLQ 法では，$SLQ_i \geq 1$において$\widehat{m}_i = \widehat{M}_i$が成り立つため，産業集積度の高い産業で移入額がゼロとなり移出のみが存在するという推計結果が得られる．これは交差輸送が存在しないことを意味するため，SLQ 法は交差輸送を過小評価する傾向があることがわかる．

これらの課題を緩和しうる LQ 法として，CILQ（cross-industry LQ）法・RLQ（Round's semi-logarithmic LQ）法・FLQ（Flegg's LQ）法が提案されている．これらの手法では，行部門・列部門ごとに特化係数が設定されるため，SLQ 法と異なり$\hat{m}_i > \hat{M}_i$となる状況が生じやすく，SLQ 法よりも適切に交差輸送を扱えるようになっている．CILQ 法・RLQ 法・FLQ 法における特化係数は，SLQ_iを用いて，それぞれ式(8)・式(9)・式(10)で与えられる．

$$CILQ_{ij} = \begin{cases} SLQ_i, & \text{if } i = j \\ \dfrac{SLQ_i}{SLQ_j}, & \text{if } i \neq j \end{cases} \tag{8}$$

$$RLQ_{ij} = \frac{SLQ_i}{\log_2\left(1 + SLQ_j\right)} \tag{9}$$

$$\begin{gathered} FLQ_{ij} = [\log_2(1+\sigma)]^{\delta} CILQ_{ij} \\ \sigma = \frac{\sum_{i=1}^{s} x_i}{\sum_{i=1}^{s} X_i} : \text{地域の規模} \\ 0 \leq \delta < 1 : \text{パラメータ} \end{gathered} \tag{10}$$

このうち，FLQ 法は，LQ 法のなかでも特に高精度な手法であるとされており，地域の規模と移輸入依存傾向間の関係を組み込んだ手法である．地域の規模としては，式(10)のように，推計対象地域の合計生産額の基準地域に占める割合などが用いられる．また，式(10)のパラメータδは，地域の規模と移輸入依存傾向間の関係性の強さに関するハイパーパラメータであるとされる．フィンランドの 20 地域を対象とした Flegg & Tohmo（2013）による適用事例では，$\delta = 0.25 \pm 0.05$で精度が高くなる傾向がみられた．図 1 は，FLQ 法のパラメータδと係数$\lambda = [\log_2(1+\sigma)]^{\delta}$の関係を地域の規模$\sigma$別に示したものである．図 1 より，地域の規模$\sigma$が小さいほど，パラメータ$\delta$の増加に伴う係数$\lambda$の減少幅が大きいことがわかる．そのため，FLQ 法のパラメータδは地域の規模が小さいほど移輸入依存的であるという関係の強さを表していることがわかる．

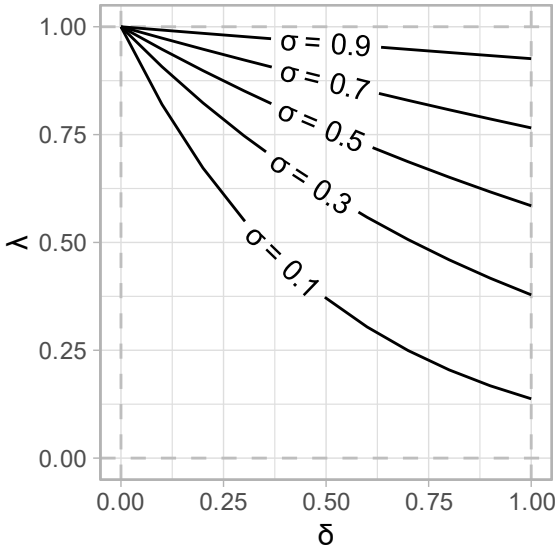

図 1　FLQ 法のパラメータδと係数λの関係（地域の規模σ別）

一方で，地域の規模σは，通常，$0 < \sigma < 1$を満たすため，地域の規模によらずパラメータδの増加に伴って係数λは減少し，移輸入係数$\hat{m}_i$の増加につながる．したがって，FLQ 法のパラメータδの増加により，地域の規模によらず交差輸送が増加することがわかる．このように，FLQ 法のパラメータδは，地域の規模と移輸入依存傾向の強さの関係性に加えて，交差輸送の調整パラメータにもなっており，一義的な解釈を与えることは困難であると考えられる．

また，地域の規模と移輸入依存傾向の関係性は産業によって異なると考えられるが，FLQ 法では，こうした産業間の違いを考慮することができない．そのため，産業別にハイパーパラメータを設定する SFLQ（industry-specific FLQ）法が提案されており，特化係数が式(11)で与えられる（Kowalewski（2015））．式(11)は，式(10)の FLQ 法の特化係数とほぼ同じ式で与えられるが，SFLQ 法ではパラメータδ_iが行部門別に設定される点が FLQ 法と異なる．

$$
\begin{gathered}
SFLQ_{ij} = [\log_2(1+\sigma)]^{\delta_i} CILQ_{ij} \\
\sigma = \frac{\sum_{i=1}^{s} x_i}{\sum_{i=1}^{s} X_i} : \text{地域の規模} \\
0 \leq \delta_i < 1 : \text{パラメータ}
\end{gathered}
\tag{11}
$$

2.3.　CB 法の概要

ノンサーベイ法の一種である CB（commodity balance，商品バランス）法は，文字通り，式(1)に示した商品バランスに基づき移出入を推計する手法である．CB 法は，日本で一般的な競争移輸入型表に適した手法であるとされており，LQ 法のような非競争移輸入型表への変換が必要ないことが利点であると考えられる．また，前述したように，公務などの一部の部門を除いてバランス調整が不要であるという利点も挙げられる．

最も単純な CB 法として，式(12)のように，商品バランスが正のときには移出のみが存在するとみなし，負のときには移入のみが存在するとみなすというものがある．しかし，こうした手法では，常に，移出額または移入額のいずれかがゼロとなるため，SLQ 法と同様に，交差輸送が過小評価されるという課題がある．

$$
\begin{cases}
u_i = \max(0, b_r) \quad = \dfrac{|b_i| + b_i}{2} \\
n_i = \max(0, -b_r) = \dfrac{|b_i| - b_i}{2}
\end{cases}
\tag{12}
$$

こうした課題を解決する CB 法として，Kronenberg（2009）は，CHARM（cross-hauling adjusted regionalization method）を提案した．CHARM では，交差輸送が，式(13)により定式化される．式(13)より，移出額$u_i = 0$または移入額$n_i = 0$のいずれかが成り立つとき交差輸送$q_i = 0$となることがわかる．さらに，移出入額が，式(14)により算出される．

$$
q_i = 2\min(u_i, n_i) = u_i + n_i - |b_i| \tag{13}
$$

$$
\begin{cases}
u_i = \dfrac{q_i + |b_i| + b_i}{2} \\
n_i = \dfrac{q_i + |b_i| - b_i}{2}
\end{cases}
\tag{14}
$$

Kronenberg（2009）の提案した CHARM の課題として，通常，産業連関表には計上されない再輸出（re-export）が発生すること挙げられる．そのため，Többen & Kronenberg（2015）は，再輸出が発生しないよう CHARM を修正した．Többen ら（2015）の修正 CHARM では，産業連関表に再輸出の非発生条件を満たすために，移出入額および交差輸送に対して上限値が設定される．具体的には，移出額が推計対象地域の生産額（輸出額を除く）および基準地域内の他地域の域内需要額（輸入額を除く）を超えず，移入額が推計対象地域の域内需要額（輸入額を除く）および基準地域内の他地域の生産額（輸出額を除く）を超えないという条件が課される．ここで，基準地域の生産額X_i・域内需要額D_i・輸出額E_i・輸入額M_iのもとで$T = X_i - E_i = D_i - M_i$とおくと，移出額の上限値$\bar{u}_i$および移入額の上限値$\bar{n}_i$は式(15)で表され，交差輸送の上限値$\bar{q}_i$は式(16)となる．

$$\begin{cases} \bar{u}_i = \min[x_i - e_i, T - (d_i - m_i)] \\ \bar{n}_i = \min[d_i - m_i, T - (x_i - e_i)] \end{cases} \tag{15}$$

$$\bar{q}_i = 2\min(\bar{u}_i, \bar{n}_i) \tag{16}$$

修正 CHARM では，式(17)のように，交差輸送の上限値に占める割合$\hat{q}_i$が設定され，式(17)の$\hat{q}_i$を推定することにより，商品バランスおよび再輸出の非発生条件をともに満たす移出入額が推計できる．LQ 法ではこれらの条件の確保は困難であるため，地域産業連関表の推計における修正 CHARM の使用は合理性を有していると考えられる．本研究では，$\hat{q}_i$を“交差輸送率”と呼ぶ．

$$q_i = \hat{q}_i \bar{q}_i \tag{17}$$

3.　ノンサーベイ法の精度検証方法

3.1.　精度検証の内容

本研究では，表 1 に示した推計フローのうち，LQ 法や CB 法が推計対象とするステップ⑤を中心に精度検証を行った．具体的には，2015 年付近の都道府県産業連関表をテストデータとして，ノンサーベイ法による移輸入係数の推計値に対する精度検証を行った．ただし，ステップ①～④については精度検証の対象とはせず，都道府県産業連関表の実績を用いた．また，一部の移輸入係数については，0 以上 1 以下になるよう補正を行った．

まず，LQ 法の精度検証として，式(5)で算出される移輸入係数を対象に，SLQ 法・CILQ 法・RLQ 法・FLQ 法・SFLQ 法の精度評価を行った．ただし，特化係数のうち，$CILQ_{ij}$・RLQ_{ij}・FLQ_{ij}・$SFLQ_{ij}$は最終需要部門に対しては設定されないため，CILQ 法・RLQ 法・FLQ 法・SFLQ 法では，最終需要部門の特化係数としてSLQ_iを用いることとする．また，移出額の非負条件などに基づくバランス調整は行わないこととした．

FLQ 法および SFLQ 法については，0.05 刻みで 0 から 0.95 までの範囲についてパラメータの最適化を行った．また，前述のように，FLQ 法や SFLQ 法のパラメータδは，地域の規模と移輸入依存傾向の関係を決定するだけでなく，交差輸送の大きさを調整するパラメータでもあると考えられる．そこで，地域の規模を考慮することによる精度向上効果を明らかにするため，事前に，地域の規模と移輸入係数の相関関係を確認した．さらに，FLQ 法および SFLQ 法の地域の規模σがすべての地域で一定，すなわち地域数rのとき$\sigma = r^{-1}$とする手法についても精度検証を行った．これらの手法を，それぞれ“FLQ 法（規模一定）”および“SFLQ 法（規模一定）”と呼ぶ．

次に, CB 法の精度検証では, 交差輸送を考慮しない“CB 法（交差輸送なし）”に加えて, Többen ら（2015）の修正 CHARM を対象として，移出入額の推計値から算出した移輸入係数に対する精度評価を行った.

修正 CHARM の交差輸送率の推定方法として，基準地域の産業連関表から交差輸送率を推定する方法が提案されているが，こうした推定方法の有効性は十分に確認されていない．また，FLQ 法および SFLQ 法ではテストデータに対してパラメータ最適化が行われる．そこで，精度検証の条件を合わせるため，修正 CHARM についても，FLQ 法・SFLQ 法と同様にテストデータに基づくパラメータ推定を行うこととする．具体的には，交差輸送率を全産業で共通とする“CHARM（共通）”および交差輸送率を産業別に与える“CHARM（産業別）”の精度評価を行った.

“CHARM（共通）”では，全産業に共通の交差輸送率$\hat{q}$を式(18)で与えた．このように交差輸送率がすべての産業で等しいと仮定することは，各産業間の財の異質性の違いを無視しているが, ハイパーパラメータ数が 1 つの FLQ 法に対応する手法として精度検証の対象とした. また，“CHARM（産業別）”では，式(17)により交差輸送率$\hat{q}_i$を与えた．この手法では，産業別にパラメータが推定されるため，ハイパーパラメータ数は SFLQ 法と同等である.

$$\hat{q} = \frac{\sum_{i=1}^{s} q_i}{\sum_{i=1}^{s} \bar{q}_i} \tag{18}$$

3.2.　テストデータの概要

本研究でテストデータとして使用した都道府県産業連関表の概要を表 3 にまとめる.

表 3　使用した都道府県産業連関表の概要

都道府県		年	部門分類（相当）	移輸出入分離	都道府県		年	部門分類（相当）	移輸出入分離
1	北海道	2015	統合中分類	✓	25	滋賀県	2015	統合中分類	✓
2	青森県	2015	統合中分類	✓	26	京都府	2015	統合中分類	✓
3	岩手県	2015	統合小分類	✓	27	大阪府	2015	統合小分類	✓
4	宮城県	2015	統合中分類		28	兵庫県	2015	統合小分類	✓
5	秋田県	2015	統合中分類		29	奈良県	2011	統合中分類	✓
6	山形県	2015	統合中分類		30	和歌山県	2015	統合小分類	
7	福島県	2015	統合中分類	✓	31	鳥取県	2015	統合中分類	
8	茨城県	2015	統合中分類	✓	32	島根県	2015	統合中分類	
9	栃木県	2015	統合中分類	✓	33	岡山県	2015	統合小分類	
10	群馬県	2015	統合中分類	✓	34	広島県	2015	統合中分類	
11	埼玉県	2015	統合小分類	✓	35	山口県	2015	統合中分類	✓
12	千葉県	2015	統合小分類	✓	36	徳島県	2015	統合中分類	✓
13	東京都	2015	統合小分類	✓	37	香川県	2015	統合中分類	
14	神奈川県	2015	統合小分類	✓	38	愛媛県	2015	統合小分類	✓
15	新潟県	2015	統合小分類	✓	39	高知県	2015	統合中分類	✓
16	富山県	2015	統合小分類		40	福岡県	2015	統合中分類	
17	石川県	2015	統合小分類		41	佐賀県	2015	統合中分類	
18	福井県	2015	統合中分類		42	長崎県	2015	統合中分類	✓
19	山梨県	2015	統合小分類	✓	43	熊本県	2015	統合中分類	✓
20	長野県	2015	統合小分類	✓	44	大分県	2015	統合中分類	
21	岐阜県	2015	統合小分類	✓	45	宮崎県	2015	統合中分類	
22	静岡県	2015	統合小分類	✓	46	鹿児島県	2015	統合中分類	✓
23	愛知県	2015	統合小分類	✓	47	沖縄県	2015	基本分類	✓
24	三重県	2015	統合小分類	✓					

現在，全ての都道府県において，統合中分類相当かさらに詳細な部門分類の産業連関表が公開されているため，各都道府県が公開する最も詳細な部門分類の産業連関表を収集した．ただし，都道府県によって，部門分類が異なるため，適宜，集計・按分処理を実施し，国の統合小分類に一致させる処理を行った．また，表 3 に示す通り，一部の県では，移出入と輸出入の部門が分離されておらず，“移輸出”または“移輸入”といった合計額のみが計上されているため，これらの県については，国の 2015 年産業連関表から算出した輸入率および輸出率を用いて，移出入と輸出入に分離する処理を行った．以上の処理を行った都道府県産業連関表を統合中分類（107 部門）・統合大分類（37 部門）・ひな形分類（13 部門）に集計して，テストデータとして使用した．

3.3.　使用する評価指標

Lehtonen & Tykkyläinen（2014）は，ノンサーベイ法の精度の優劣が，使用する評価指標によって左右されることを指摘したうえで，先行研究で使用されている 12 の評価指標を対象とした相関分析により，冗長性が低く総合評価に適した 4 つの評価指標を選定した．Lehtonen ら（2014）の選定した評価指標は，STPE・MWAE・U^M・U^Sの 4 つであり，いずれの評価指標も小さいほど精度が高いと評価される．これらの評価指標を移輸入係数の推計値$\widetilde{m}_i$と実績値$\widehat{m}_i$に適用すると，式(19)のようになる．ただし，$mean[\cdot]$および$sd[\cdot]$は，それぞれ平均および標準偏差を算出する関数である．また，w_iは，産業の重要性を考慮するための重みであり，各産業の占める雇用者数の割合が用いられる．すなわち，$\sum_{i=1}^{s} w_i = 1$が成り立つ．本研究では，国の 2015 年雇用表を用いて重みw_iを設定した．

$$\begin{cases} STPE = \dfrac{\sum_{i=1}^{s}|\widetilde{m}_i - \widehat{m}_i|}{\sum_{i=1}^{s}\widehat{m}_i} \\ MWAE = mean[w_i|\widetilde{m}_i - \widehat{m}_i|] \\ U^M = \dfrac{(mean[\widetilde{m}_i] - mean[\widehat{m}_i])^2}{mean[(\widetilde{m}_i - \widehat{m}_i)^2]} \\ U^S = \dfrac{(sd[\widetilde{m}_i] - sd[\widehat{m}_i])^2}{mean[(\widetilde{m}_i - \widehat{m}_i)^2]} \end{cases} \tag{19}$$

これらの評価指標のうち，STPE では絶対値誤差の割合により精度が評価され，MWAE では雇用者数に基づく重みw_iによる絶対値誤差の加重平均により精度が評価される．また，U^MおよびU^Sでは，それぞれ推計値と実績値の平均値および標準偏差の偏りにより精度が評価される．

Lehtonen ら（2014）は，これらの評価指標により投入係数および産出乗数の精度を評価しているが，移輸入係数の精度検証においても，これらの評価指標に基づく総合評価は有用であると考えられる．そこで，本研究では，式(19)に示した STPE・MWAE・U^M・U^Sにより精度検証を行うこととする．また，Lehtonen ら（2014）では，複数の評価指標に基づく総合評価を行うために，4 つの評価指標に基づく平均順位を算出し，平均順位が低いほど総合評価が高いとみなした．ただし，本研究では，最高順位を 0 として平均順位に基づく総合評価を行った．

4.　ノンサーベイ法の精度検証結果

4.1.　FLQ 法および SFLQ 法のパラメータ最適化・LQ 法の精度検証

LQ 法の精度検証に先立って，まず，FLQ 法や SFLQ 法で利用される地域の規模と移輸入係数の関係を明らかにする．具体的には，ひな形分類を対象に式(20)の回帰式を推定した．ただし，$\mathrm{logit}\, x = \ln x - \ln(1-x)$である．また，公務部門は推定対象外とした．

$$\mathrm{logit}\, \hat{m}_i = \beta_0 + \beta_1 \,\mathrm{logit}\, \sigma \tag{20}$$

式(20)の回帰式は，線形回帰によって推定することも可能であるが，目的変数の対数変換やロジット変換を行っている場合には，線形回帰を行うと推定結果にバイアスが生じることが知られている（Silva & Tenreyro（2006））．こうした課題を解決する手段として，疑似二項分布による一般化線形モデル（GLM）を用いることが考えられる．疑似二項分布による回帰は割合データの分析に適しており，域内需要額のうち域内供給の占める割合である RPC（regional purchase coefficients）を推定した Lahr & Ferreira & Többen（2020）などで用いられている．また，目的変数に割合データを使用可能なモデルとして二項分布による GLM も存在するが，このモデルでは重みとして試行回数を与える必要があり，金額などの回数データ以外を重みとして用いることは適切ではない．

そこで，本研究では，疑似二項分布（リンク関数 : logit）による一般化線形モデル（GLM）により，式(20)の回帰式を推定した．推定結果を図 2 に示す．FLQ 法や SFLQ 法では，地域の規模が小さいほど移輸入依存傾向が高いという関係が想定されているが，図 2 より，地域の規模の偏回帰係数が負かつ P 値が 0.05 未満となったのは，12 部門中，商業と情報通信の 2 部門のみであった．そのため，都道府県では，FLQ 法や SFLQ 法が想定する地域の規模と移輸入依存傾向の関係はみられないことがわかった．

次に，FLQ 法および SFLQ 法のパラメータ最適化を行った．図 3 に，FLQ 法のパラメータδ別の移輸入係数の精度を示す．図 3 の箱ひげ図は，都道府県別の精度のばらつきを表したものである．図 3 より，STPE・MWAE・U^Mについては，どの部門分類においても，パラメータδがおおよそ$0 \leq \delta \leq 0.35$の範囲において精度が高くなる傾向があることがわかる．一方で，U^Sについては，STPE・MWAE・U^Mと異なる傾向がみられ，統合大分類およびひな形分類では，$\delta = 0.95$で精度が高くなることがわかった．また，本研究で使用した 4 つの評価指標のうち，STPE および MWAE は推計値と実績値が一致する場合のみゼロとなるが，U^MおよびU^Sは，推計値と実績値が一致しない場合でもゼロとなる可能性がある．実際に，図 3 より，パラメータδによっては，U^MおよびU^Sがほぼゼロと等しくなっていることがわかる．そのため，U^MやU^Sのみで精度比較を行うことは困難であることが示唆される．

さらに，図 3 の精度評価に基づきパラメータδ別に平均順位による総合評価を行った結果を，図 4 に示す．図 4 より，統合中分類では$\delta = 0.15$，統合大分類では$\delta = 0.35$，ひな形分類では$\delta = 0.25$が最適となった．3 つの部門分類のうち，Flegg ら（2013）で精度が高いとされた$\delta = 0.25 \pm 0.05$に含まれるのは，ひな形分類のみであったが，おおよそ$\delta = 0.25$前後で精度が高くなる傾向がみられた．

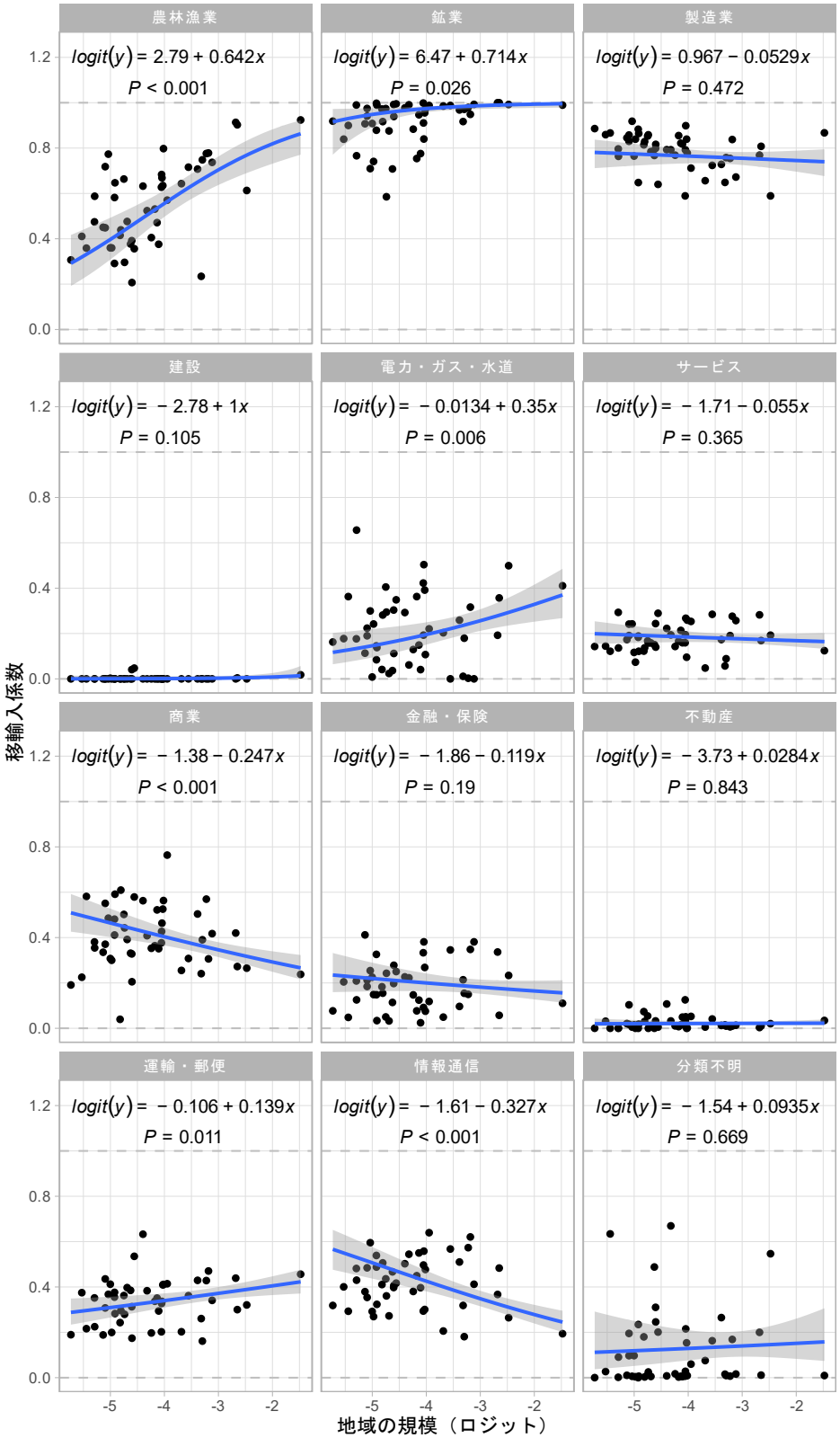

図 2　地域の規模と移輸入係数の関係に関する回帰分析

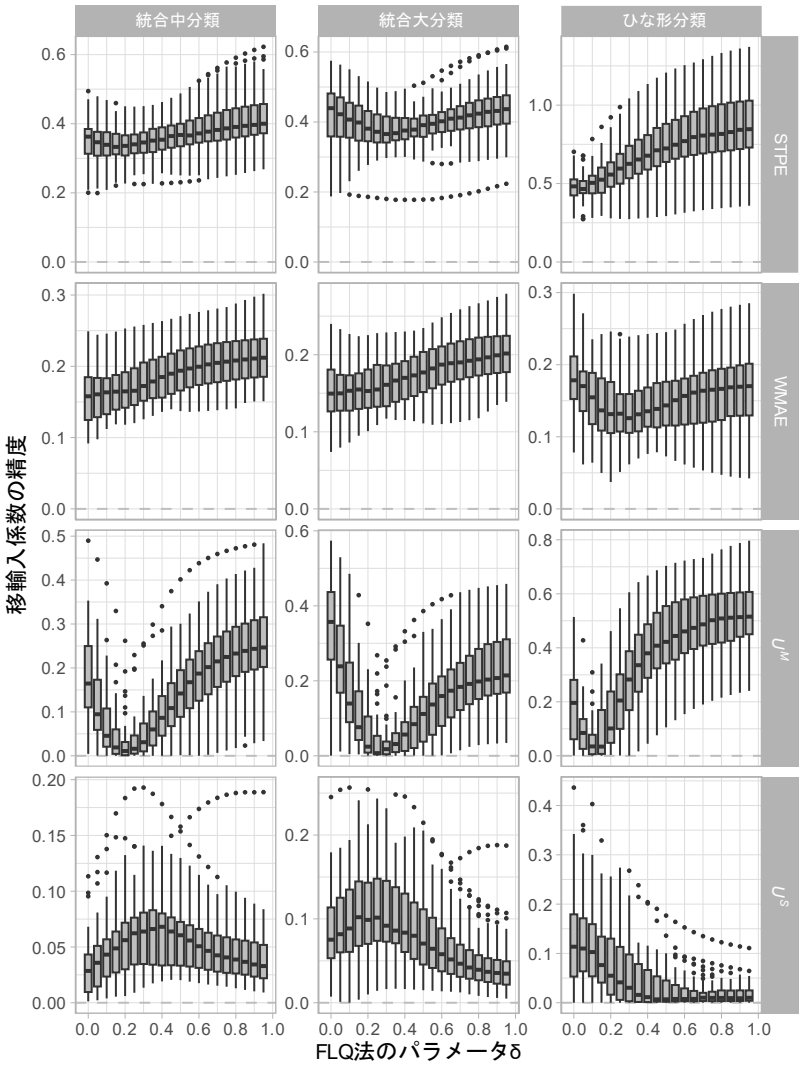

図 3　FLQ 法のパラメータδ別の精度評価の結果

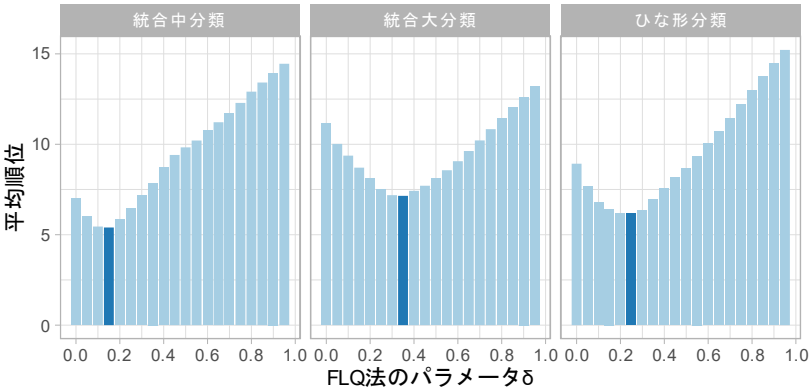

図 4　FLQ 法のパラメータδ別の総合評価の結果

SFLQ 法についても FLQ 法と同様に，4 つの評価指標の平均順位によりパラメータ最適化を行った．ただし，FLQ 法では都道府県別の精度に基づいてパラメータδを最適化したのに対して，SFLQ 法では，統合中分類・統合大分類・ひな形分類の産業別の精度に基づいて，産業別にパラメータδ_iを推定した．図 5 に，統合中分類別の SFLQ 法の最適パラメータδ_iをひな形分類別に整理したものを示す．ただし，図 5 の赤線はひな形分類別の最適パラメータδ_iを表したものである．図 5 より，製造業に属する産業で最適パラメータδ_iが大きい傾向があるなど，同じひな形分類に属する産業間で最適パラメータδ_iが類似する傾向がみられた．一方で，統合中分類別の最適パラメータδ_iは，当該産業の属するひな形分類別の最適パラメータδ_iと大きく異なる場合があるためパラメータの移転可能性は低いことが示唆される．

次に，SLQ 法・CILQ 法・RLQ 法と最適パラメータを使用した FLQ 法および SFLQ 法の精度比較を行った．図 6 に，これらの手法で推計された移輸入係数と実績移輸入係数の関係を示す．図 6 より，SLQ 法・CILQ 法・RLQ 法では，推計移輸入係数が実績移輸入係数を下回る傾向があることがわかる．これは，これらの手法において交差輸送が過小評価されていることを示している．一方で，FLQ 法および SFLQ 法では，交差輸送の過小評価が緩和されており，特に，SFLQ 法では実績移輸入係数と推計移輸入係数の乖離が少ないことがわかる．

また，図 7 に，これらの LQ 法の都道府県別の精度結果を箱ひげ図で表したものを示し，図 8 に，これらの LQ 法に対して，平均順位に基づく総合評価を行ったものを示す．図 7 より，SFLQ 法は，U^Sを除く評価指標において，他の LQ 法よりも高精度となった．また，図 8 より，いずれの部門分類においても SFLQ 法の総合評価は他の LQ 法を上回った．一方で，FLQ 法の総合評価は CILQ 法と同程度であった．これは，FLQ 法がパラメータ$\delta = 0$のときに CILQ 法と一致することを踏まえれば不自然な結果ともいえるが，こうした現象は，評価指標の多寡ではなく順位を用いていることに起因すると考えられる．たとえば，平均移輸入係数のバイアスを示すU^Mでは，FLQ 法は CILQ 法の精度を大きく上回っているものの手法間の順位は大きく変動しないと考えられる．一方で，図 3 より，FLQ 法のパラメータ最適化ではU^Mの差が順位に大きく影響を及ぼすため，評価指標の多寡が順位に与える影響は状況によって大きく異なると考えられる．

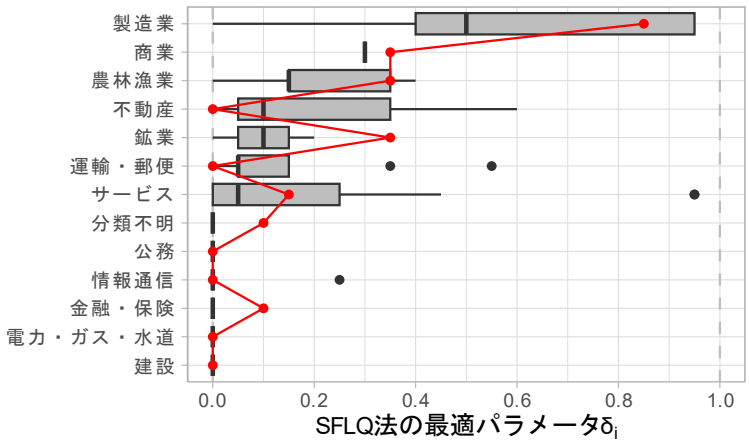

図 5　統合中分類別の最適パラメータδ_i（赤線：ひな形分類別の最適パラメータδ_i）

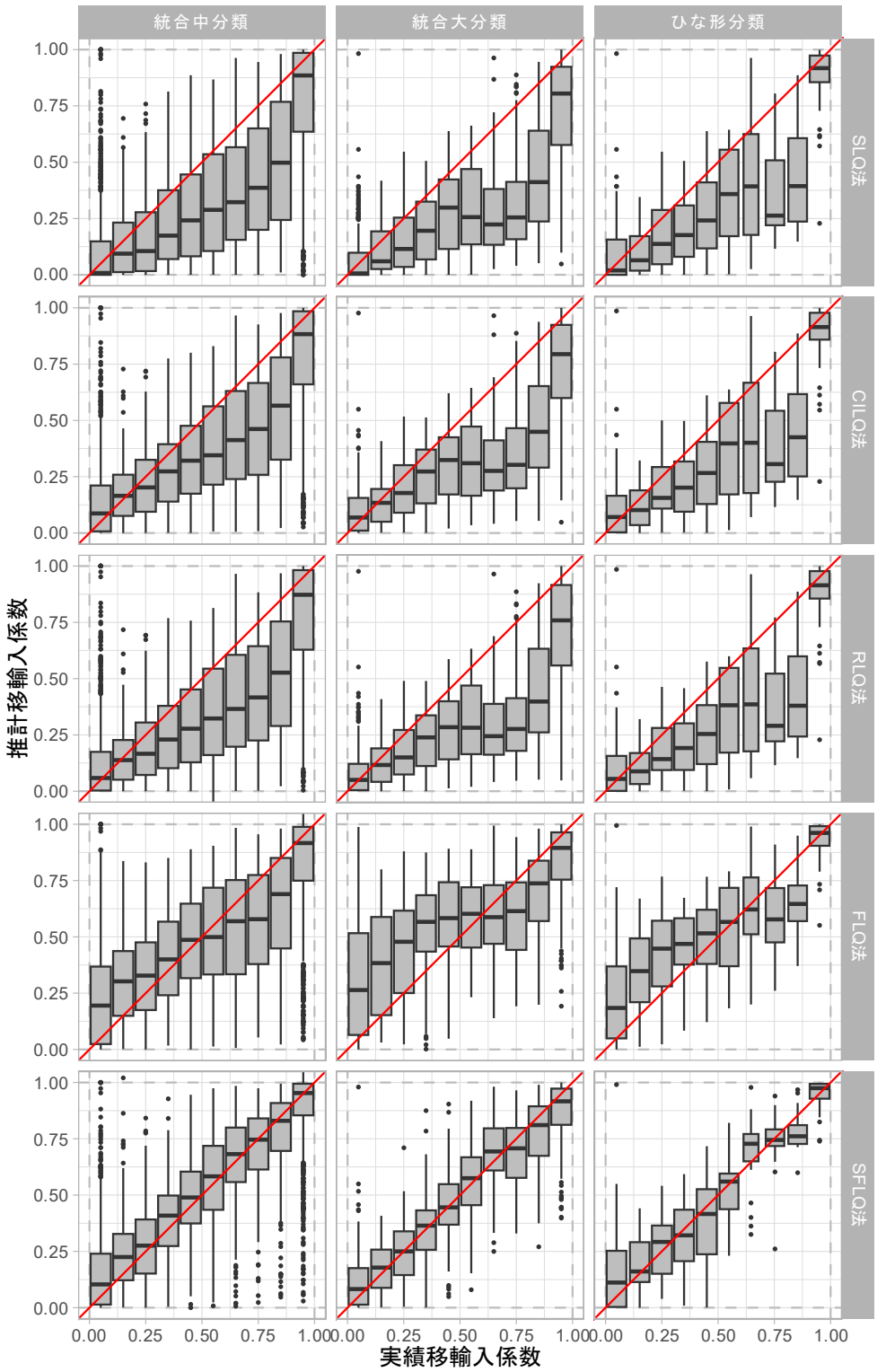

図 6　LQ 法による推計移輸入係数と実績移輸入係数の関係

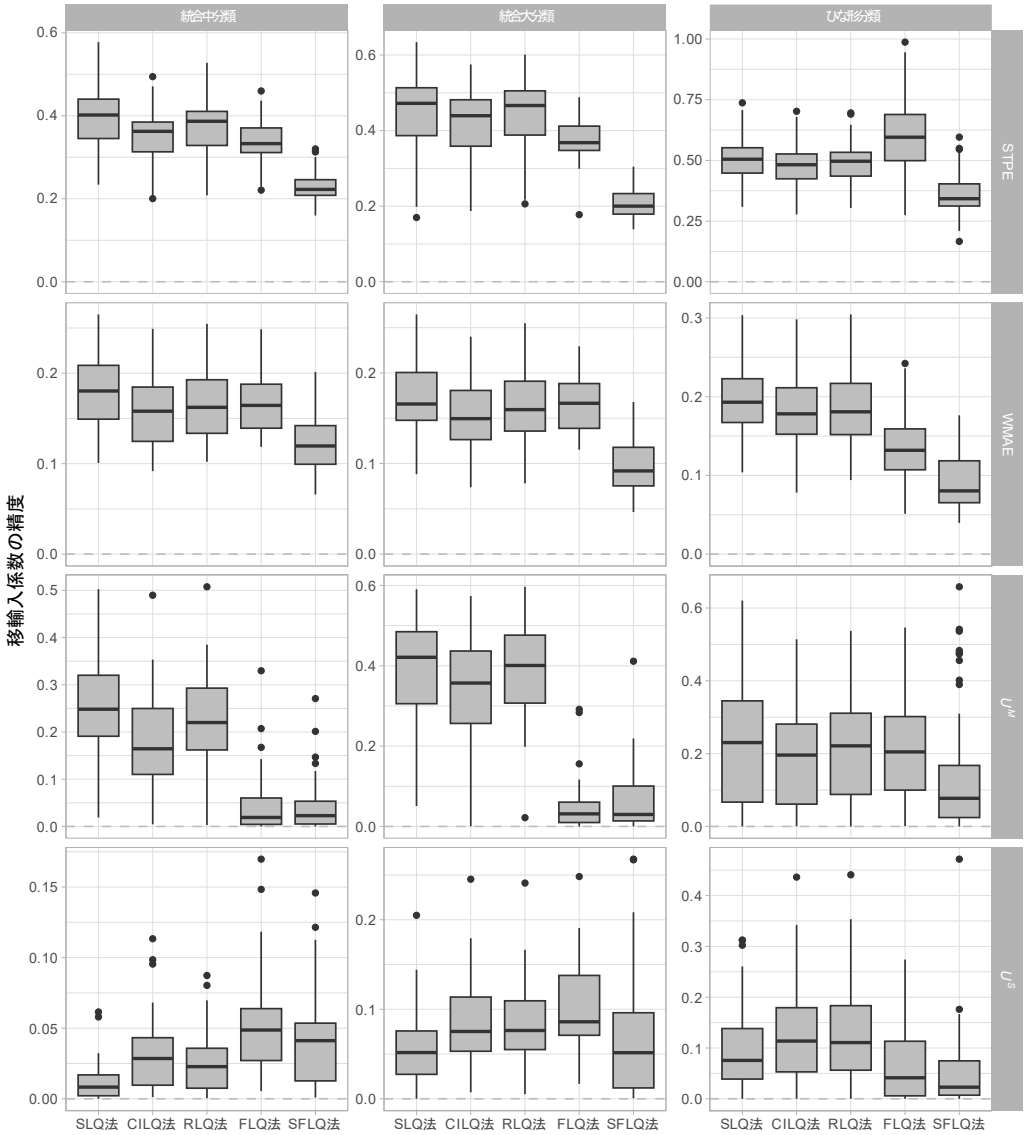

図 7　LQ 法の精度評価の結果

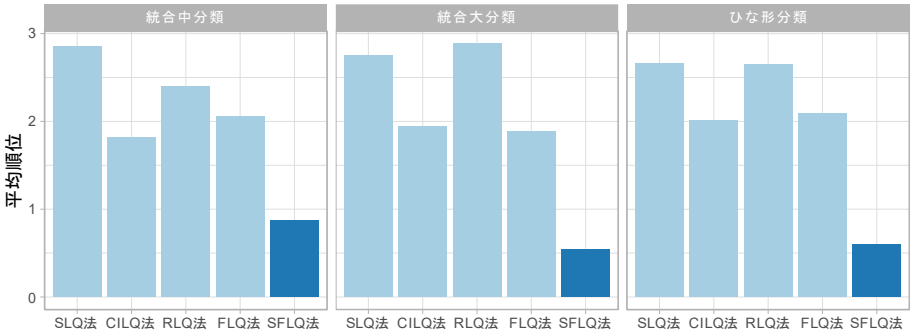

図 8　LQ 法の総合評価の結果

次に，FLQ 法および SFLQ 法において，地域の規模を考慮することによる精度向上効果を確認するため，全ての地域の規模を一定とみなす FLQ 法（規模一定）および SFLQ 法（規模一定）との精度比較を行った．比較結果を，図 9 および図 10 に示す．

図 9 は，FLQ 法および FLQ 法（規模一定）による全都道府県を対象とした移輸入係数の精度をパラメータδ別に示したものである．図 9 より，FLQ 法および FLQ 法（規模一定）の精度は類似しているため，地域の規模を考慮することによる精度向上効果は小さいと考えられる．

また，図 10 は，パラメータ最適化を行った FLQ 法・FLQ 法（規模一定）・SFLQ 法・SFLQ 法（規模一定）による移輸入係数の精度を比較したものである．図 10 より，FLQ 法と FLQ 法（規模一定），SFLQ 法と SFLQ 法（規模一定）の精度はそれぞれ類似していることがわかる．

以上の都道府県を対象とした精度検証により，FLQ 法および SFLQ 法のパラメータδ・δ_iの調整による精度向上効果は地域の規模の考慮によるものではなく，地域の規模によらない交差輸送の調整によるものである可能性が示唆される結果が得られた．

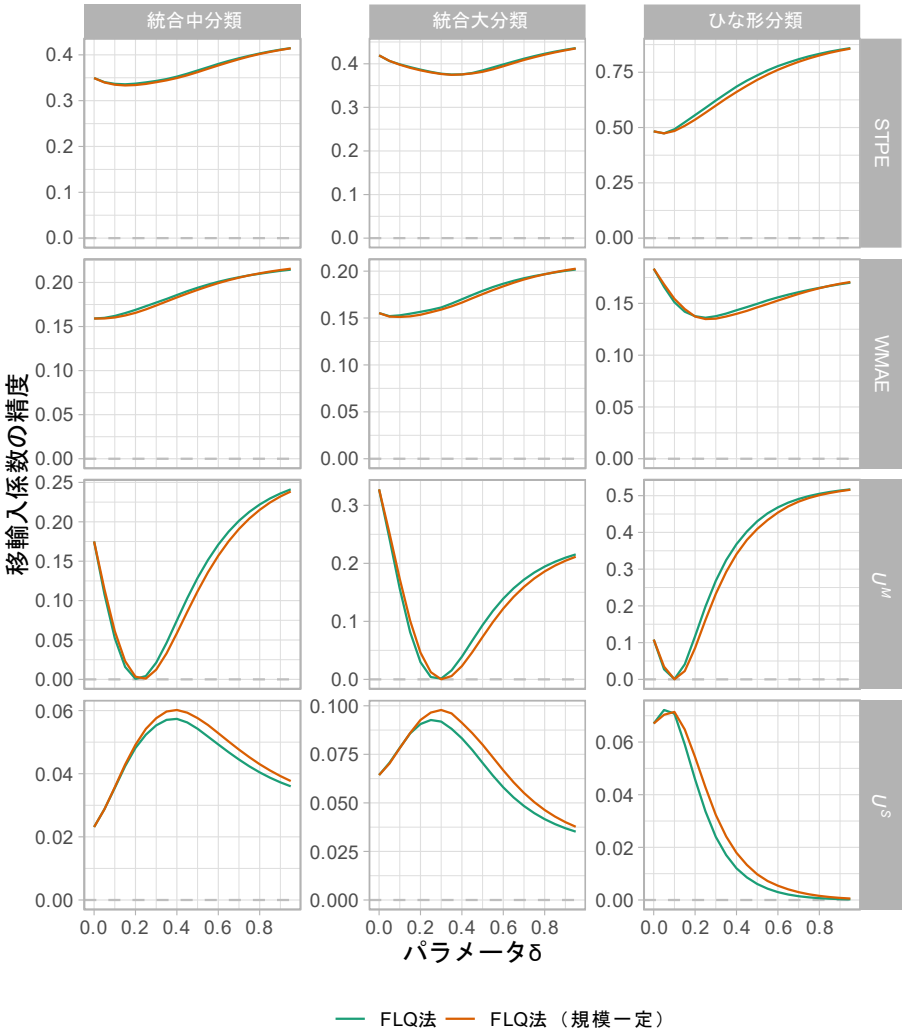

図 9　FLQ 法と FLQ 法（規模一定）のパラメータδ別の精度評価の比較

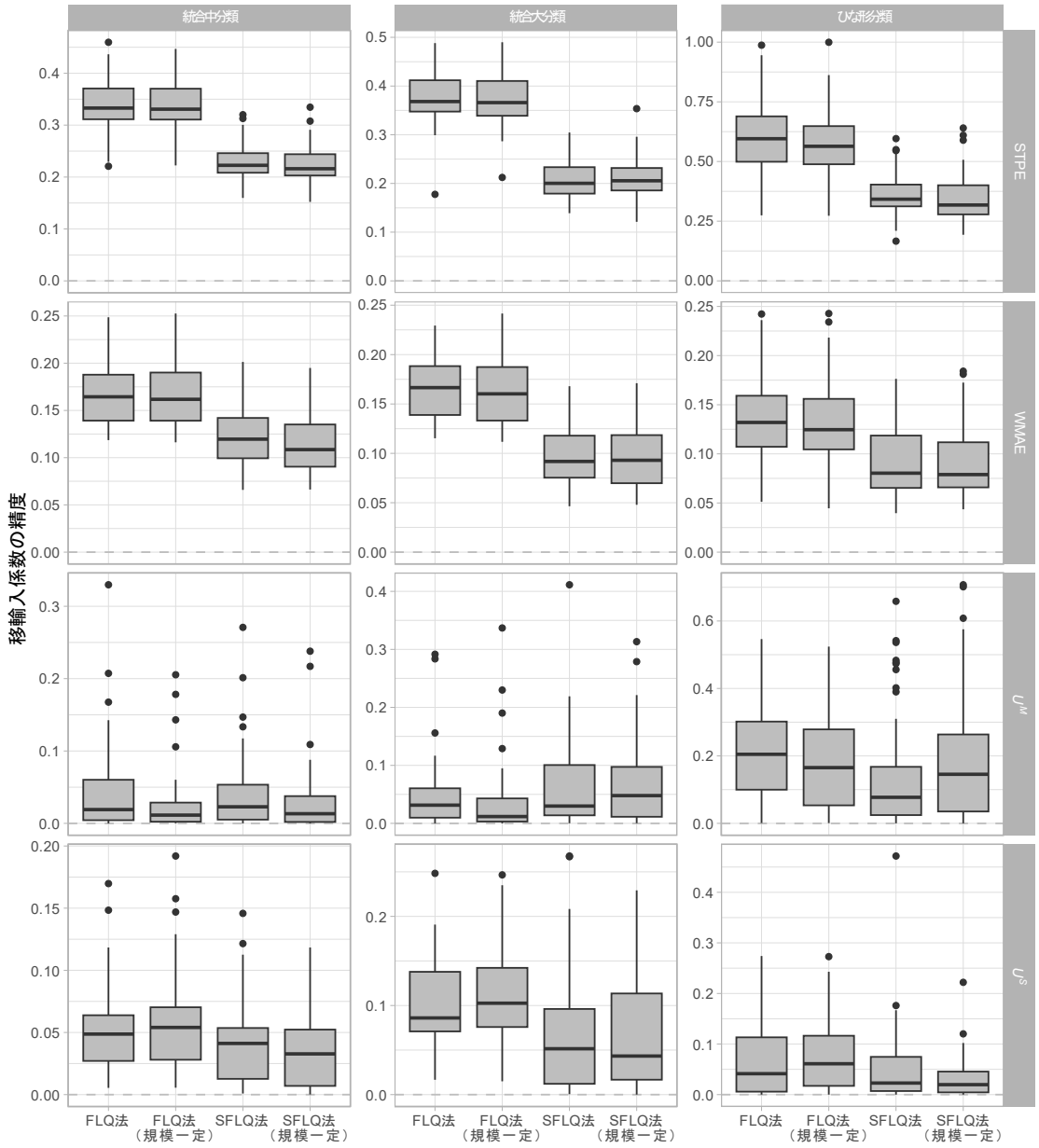

図 10　FLQ 法・FLQ 法（規模一定）・SFLQ 法・SFLQ 法（規模一定）の精度評価の結果

4.2.　CB 法の精度検証・LQ 法との精度比較

次に，CB 法（交差輸送なし）・CHARM（共通）・CHARM（産業別）を対象に，移輸入係数の精度検証を行った．検証結果を，図 11，図 12 および図 13 に示す．

図 11 は，CB 法による推計移輸入係数と実績移輸入係数の関係を表したものである．図 11 より，CB 法（交差輸送なし）では，交差輸送が過小評価されることに伴い移輸入係数でも過小評価が生じていることがわかる．また，CHARM（共通）では，移輸入係数の過小評価は緩和されたが，全産業に共通の交差輸送率を設定するため，移輸入係数の実績値の小さい産業では移輸入係数が過大評価される傾向がみられる．一方で，CHARM（産業別）では，やや推計移輸入係数のばらつきはみられるものの，他の CB 法と比べて推計値と実績値の乖離が少ないことがわかる．

また，図 12 および図 13 は，それぞれ CB 法による移輸入係数の精度比較および平均順位に基づく総合評価を行ったものである．図 12 より，U^Sを除く評価指標では，CHARM（産業別）の精度が他の CB 法よりも高いことがわかる．また，U^Sでは，CHARM（共通）が他の手法よりも極端に大きい傾向がみられた．さらに，図 13 より，総合評価では，CB 法のなかで CHARM（産業別）の精度が最も高く，CHARM（共通）の精度は CB 法（交差輸送なし）と同等程度であるという結果が得られた．これは，CHARM（共通）では交差輸送率が一律で与えられるため，産業による財の異質性の違いを考慮できないことに起因すると考えられる．

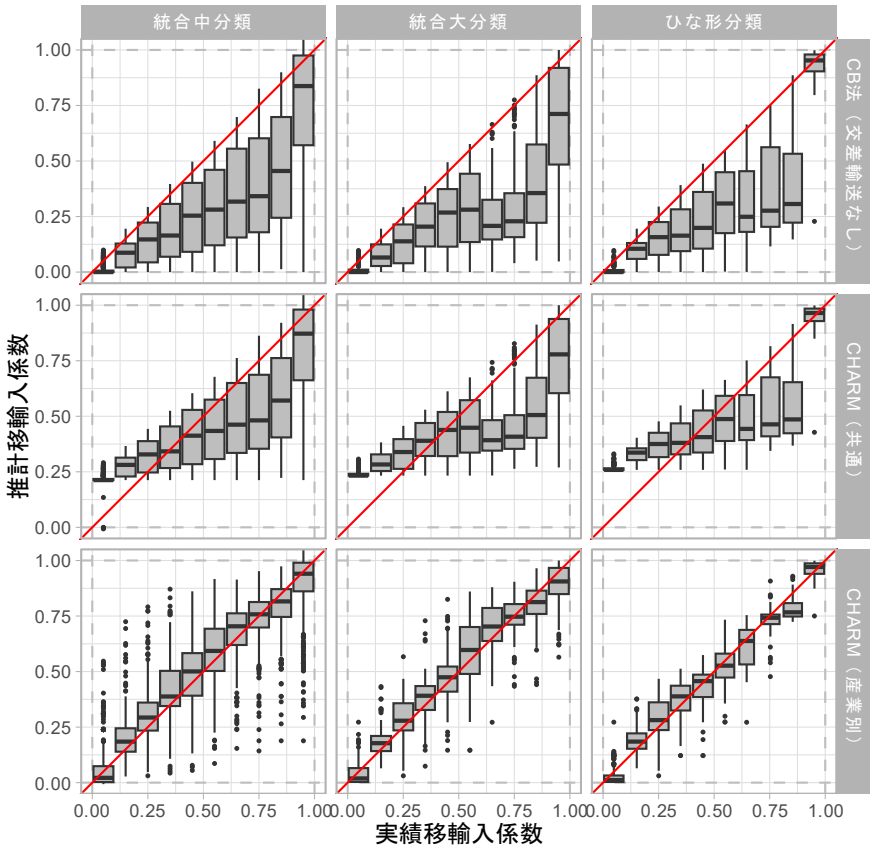

図 11　CB 法による推計移輸入係数と実績移輸入係数の関係

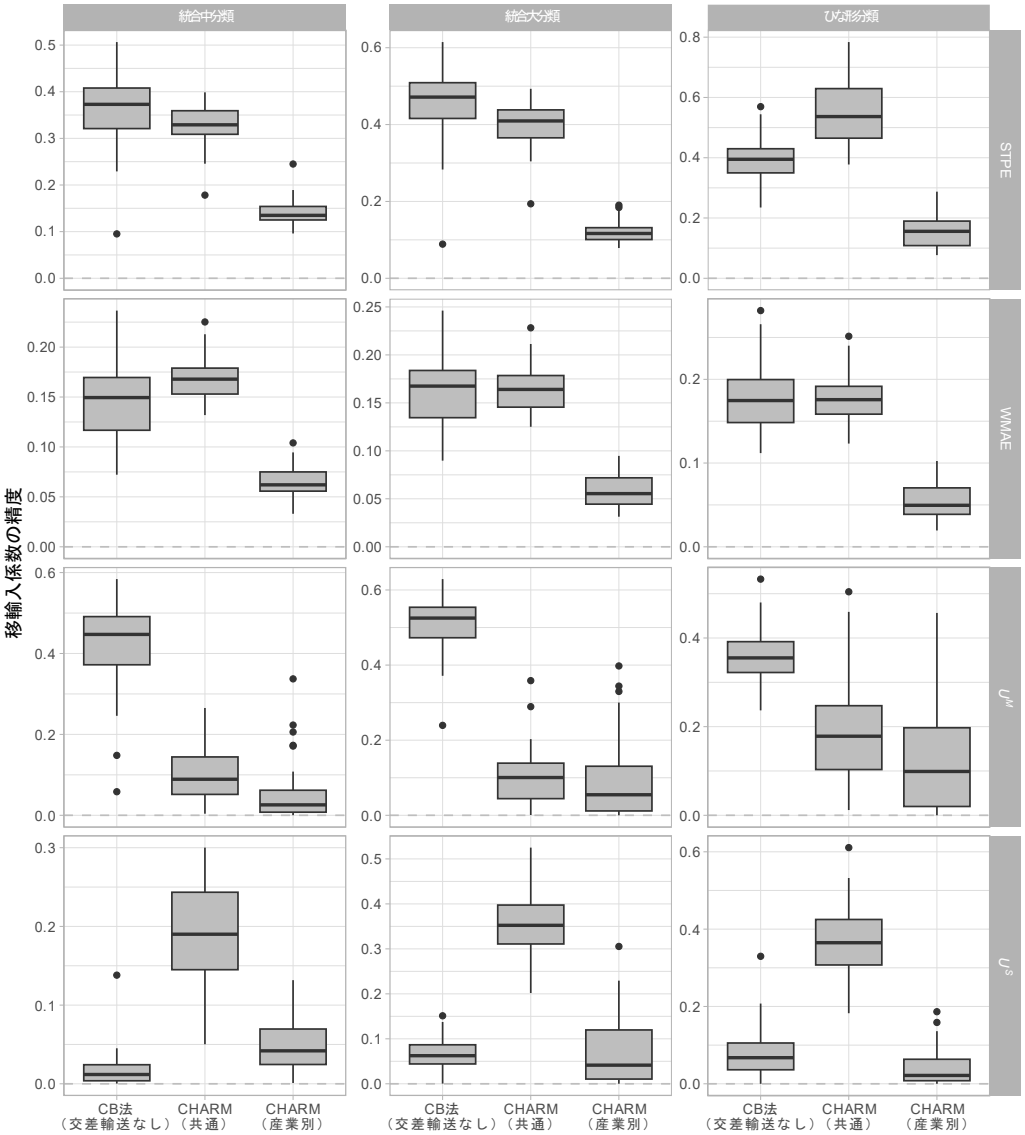

図 12　CB 法の精度評価の結果

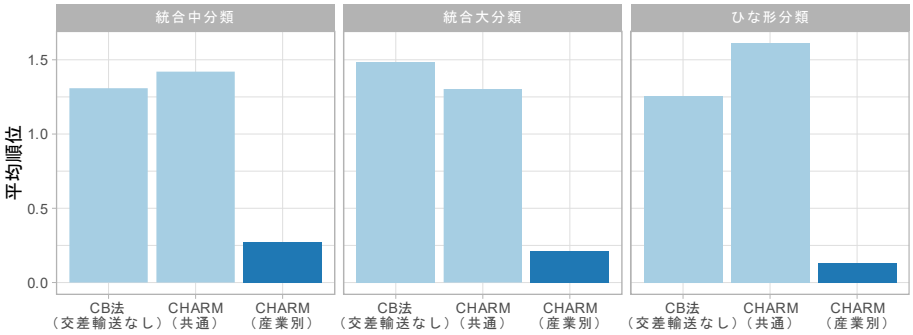

図 13　CB 法の総合評価の結果

次に，CHARM（産業別）で使用した統合中分類別の交差輸送率をひな形分類別に整理したものを図 14 に示す．図 14 より，同じひな形分類に属する産業間では交差輸送率が類似する傾向がみられ，鉱業などの一部の産業を除いて，ひな形分類別の交差輸送率は統合中分類別の交差輸送率の中央値とおおよそ一致した．こうした傾向は，図 5 に示した SFLQ 法の最適パラメータでみられたものとは異なる．

最後に，交差輸送を考慮した CB 法である CHARM（共通）と CHARM（産業別），および LQ 法のなかで特に精度が高いとされる FLQ 法と SFLQ 法との精度比較を行う．ただし，FLQ 法と CHARM（共通）は，いずれも 1 つパラメータを有しており，SFLQ 法と CHARM（産業別）は，いずれも産業数と同数のパラメータを有している．さらに，いずれの手法も，テストデータである 2015 年付近の都道府県産業連関表によるパラメータ推定を行ったものである．

精度比較の結果を，図 15 および図 16 に示す．図 15 の精度評価の結果より，STPE および WMAE では，CHARM（産業別）が最も精度が高くなった．また，U^MおよびU^Sでは，SFLQ 法と CHARM（産業別）の精度はおおよそ同等であった．さらに，図 16 の総合評価の結果より，CHARM（産業別）が最も精度が高いという結果が得られた．

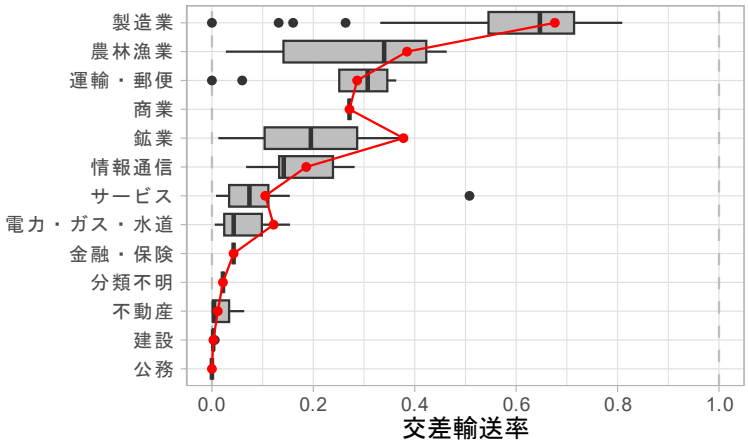

図 14　統合中分類別の交差輸送率（赤線：ひな形分類別の交差輸送率）

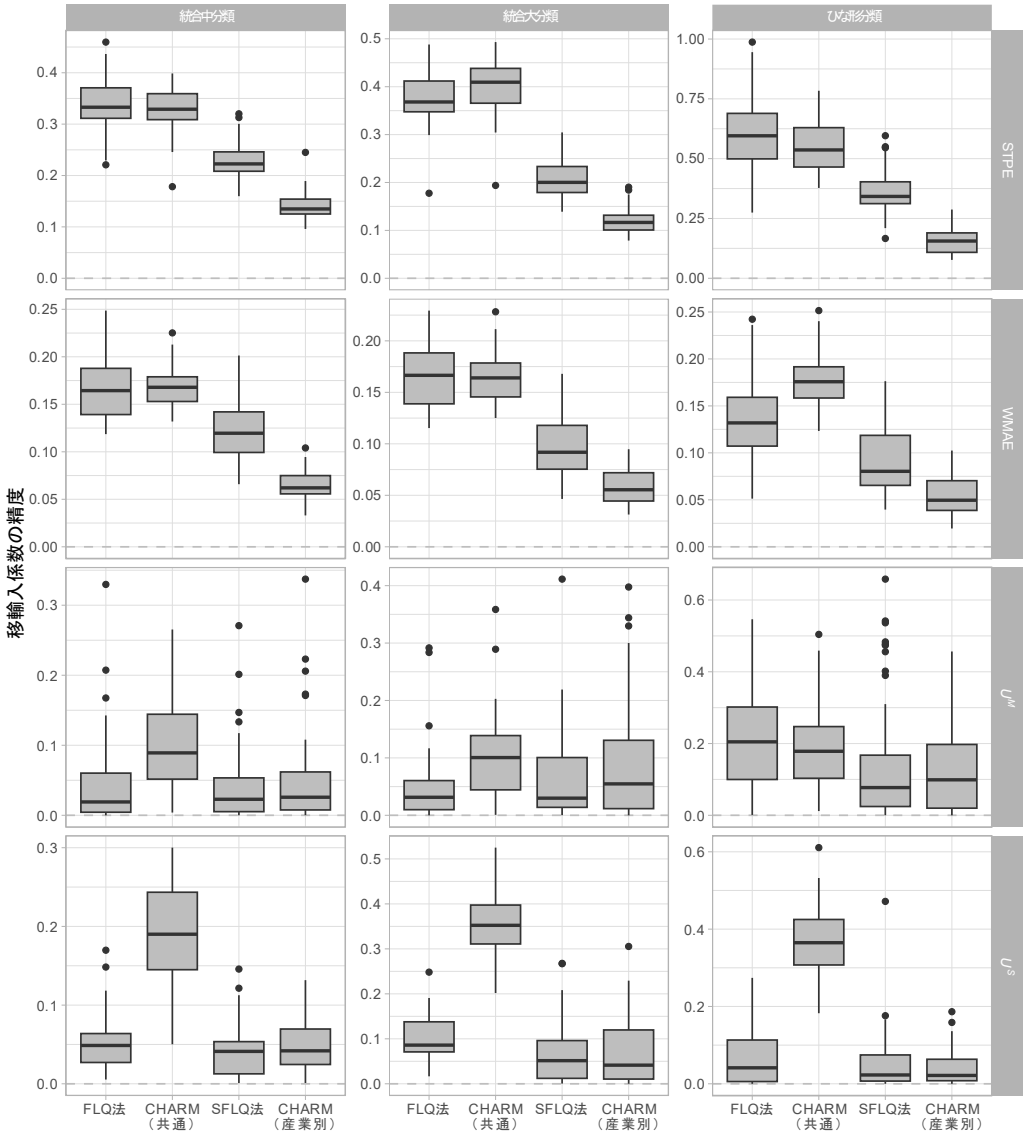

図 15　FLQ 法・CHARM（共通）・SFLQ 法・CHARM（産業別）の精度評価の結果

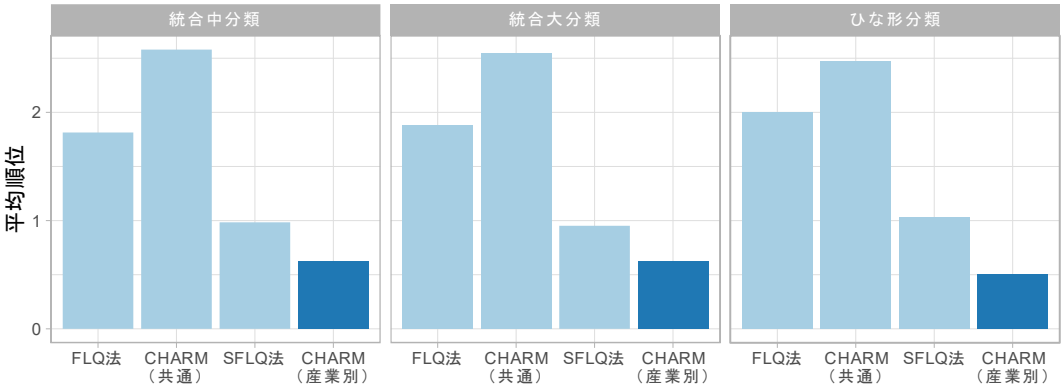

図 16　FLQ 法・CHARM（共通）・SFLQ 法・CHARM（産業別）の総合評価の結果

5.　まとめ・今後の課題

本研究では，ノンサーベイ法による地域産業連関表の推計フローのうち，移出入額の推計のみを対象に精度検証を行った．具体的には，2015 年付近の都道府県産業連関表をテストデータとして LQ 法および CB 法に対する精度検証を行い，交差輸送率を考慮した CB 法である CHARM を用いることで，LQ 法のなかで特に精度が高いとされる FLQ 法や SFLQ 法よりも精度が得られることがわかった．ただし，精度検証の条件を合わせるため，FLQ 法・SFLQ 法・CHARM ともにテストデータを用いたパラメータ推定を行った．

LQ 法の精度検証では，SLQ 法・CILQ 法・RLQ 法・FLQ 法・SFLQ 法を対象とした．検証の結果，SLQ 法などで交差輸送が過小評価されることに伴い，移輸入係数の過小評価が生じることがわかった一方で，FLQ 法および SFLQ 法では，交差輸送の過小評価が軽減され，SFLQ 法は LQ 法のなかで最も精度が高いことが明らかとなった．本研究では，FLQ 法および SFLQ 法が想定する地域の規模と移輸入依存傾向の関係についても検証を行った．検証の結果，多くの産業では FLQ 法および SFLQ 法の想定する関係は確認されず，地域の規模を一定とした場合でも精度がほぼ変わらないことがわかった．そのため，FLQ 法・SFLQ 法のパラメータδ・δ_iは，地域の規模と移輸入依存傾向の関係の強さを調整する効果よりも交差輸送を調整する効果のほうが強いことが示唆される．

CB 法の精度検証では，交差輸送を考慮しない CB 法に加えて，交差輸送率（交差輸送の上限額に占める割合を指す）を全産業に共通とする CHARM および産業別に設定する CHARM の 3 つの手法を対象とした．検証の結果，産業別交差輸送率を用いた CHARM は他の手法よりも精度が高くなり，LQ 法のなかで最も精度が高かった SFLQ 法よりも高い精度が得られた．こうした精度の高さは，CHARM が，商品バランスや再輸出の非発生条件といった LQ 法では満たすことの困難な条件を自然に満たすように設計されていることに起因すると考えられる．また，FLQ 法・SFLQ 法のパラメータδ・δ_iの推定には最適化計算などが必要とあり，推定結果の解釈が難しい一方で，CHARM で用いられる交差輸送率は，パラメータ推定や解釈が容易であることも FLQ 法・SFLQ 法に対する CHARM の利点であると考えられる．

一方で，FLQ 法や SFLQ 法と同様に，パラメータ推定に利用可能なデータの入手は難しいことが CHARM の課題であると考えられる．通常，CHARM では，基準地域の産業連関表を用いて交差輸送率が推定されるが，こうした手法では，基準地域内外での財の異質性の違いを考慮することはできず，その有効性も十分に検証されていない．そのため，今後，市町村などへの交差輸送率のパラメータ移転可能性や回帰分析による精度向上の可能性などについても検討を進める必要があると考えられる．

また，本研究は，あくまで移出入額の推計のみを対象としているため，生産額・中間投入額・粗付加価値額・最終需要額などの推計誤差が地域産業連関表の精度に与える影響は明らかになっていないが，LQ 法や CB 法などのノンサーベイ法では，中間投入額および最終需要額などに基づく商品バランスが移出入額の精度に大きく影響すると考えられる．そのため，今後，推計フロー全体でノンサーベイ法の精度向上に向けて検討を進める必要がある．

参考文献

朝日幸代（2004）「平成 7 年名古屋市産業連関表の作成の試み」『産業連関』第 12 巻第 1 号, pp.16-24.

菅幹雄・井手健太・居城琢・渡部凌斗・猪田尚希・須原菜摘（2023）「平成 27 年（2015 年）全市区町村産業連関表の推計」『研究所報』No.57，pp.1-26.

土井英二・浅利一郎・中野親徳（2019）「はじめよう地域産業連関分析［改訂版］基礎編 Excel で初歩から実践まで」，日本評論社.

日吉拓也・河上哲・土井正幸（2004）「ノンサーベイ・アプローチによるつくば市産業連関表の作成と応用」『産業連関』第 12 巻第 1 号，pp.3-15.

兵法彩・菊池康紀（2021）「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』，第 17 巻第 3 号，pp.174-192.

本田豊・中澤純治（2000）「市町村地域産業連関表の作成と応用」『立命館経済学』，第 49 巻第 4 号，pp.409-434.

Flegg, A. T. & Tohmo, T. (2013), “Regional Input–Output Tables and the FLQ Formula: A Case Study of Finland”, *Regional Studies*, Vol.47, No.5, pp.703-21.

Kowalewksi, J. (2015), “Regionalization of National Input–Output Tables: Empirical Evidence on the Use of the FLQ Formula”, *Regional Studies,* Vo.49, No.2, pp.240-50.

Kronenberg, T. (2009), “Construction of Regional Input-Output Tables Using Nonsurvey Methods: The Role of CrossHauling”, *International Regional Science Review*, Vol.32, No.1, pp.40–64.

Kronenberg, T. (2012), “Regional Input-Output Models and the Treatment of Imports in the European System of Accounts (ESA)”, *Jahrbuch Für Regionalwissenschaft*, Vol.32, No.2, pp.175-91.

Lahr, M. L. & Ferreira, J. P. & Többen, J. R. (2020), “Intraregional Trade Shares for Goods‐producing Industries: RPC Estimates Using EU Data”, Papers in Regional Science, Vol.99, No.6, pp.1583-1605.

Lehtonen, O. & Tykkyläinen, M. (2014), “Estimating Regional Input Coefficients and Multipliers: Is the Choice of a Non-Survey Technique a Gamble?”, *Regional Studies*, Vol.48, No.2, pp.382-99.

Miller, R. E. & Blair, P. D. (2009), “Input-Output Analysis: Foundations and Extensions”, *Cambridge University Press*.

Silva, J. M. C. S. & Tenreyro, S. (2006), “The Log of Gravity”, *The Review of Economics and Statistics*, Vol.88, No.4, pp.641-58.

Többen, J. & Kronenberg, T. (2015), “CONSTRUCTION OF MULTI-REGIONAL INPUT-OUTPUT TABLES USING THE CHARM METHOD”, *Economic Systems Research*, Vol.27, No.4, pp.487-507.