地域産業連関表における交差輸送の発生メカニズムに関する研究

Study on the mechanism of cross-hauling in regional input-output tables

内田 瑞生[1]
中澤 純治[2]

1. はじめに

地方創生や EBPM（evidence-based policy making，証拠に基づく政策立案）を実現する上で，客観的データに基づく地域経済分析の重要性が高まっている．なかでも，地域産業連関表は，地域の経済構造を俯瞰するとともに，地域施策の経済効果を定量的に分析するための有効なツールとなる．一方で，産業連関表を継続的に作成する基礎自治体は限られており，作表の負担軽減に取り組む必要がある（兵法・菊池（2021））．

大規模調査に基づくサーベイ法は，作表に多大なコストを要するため，市区町村を対象とした地域産業連関表の作成には適していない．そのため，既存統計のみを用いることで作表コストの軽減を図るノンサーベイ法が提案された．ノンサーベイ法には様々な手法が提案されているが，多くの手法が経済波及効果の大きさを左右する地域間交易の推計精度向上に主眼を置いている．

ノンサーベイ法における代表的な地域間交易の推計手法として，LQ（location quotient）法および CB（commodity balance）法の 2 種類が存在する．このうち，CB 法は，日本で一般的な競争移輸入型産業連関表に適した手法であるとされる（Kronenberg（2012））ことに加えて，Kronenberg（2009）や Többen & Kronenberg（2015）で提案された CHARM（cross-hauling adjusted regionalization method）および修正 CHARM により，従来手法では扱えなかった交差輸送（cross-hauling，同一の財・サービスにおける移出入の同時発生）の考慮が可能となった．しかし，これらの手法は，交差輸送が製品の異質性のみによって発生すると仮定しており，輸送費用による影響は考慮されない．そのため，従来手法では，異質性の高い製品であっても輸送費用が高額であれば交差輸送が抑制されるといった現象を説明できない．

そこで，本研究では，新貿易理論の基盤である独占的競争モデルを導入し，代替の弾力性や輸送費用が交差輸送の発生要因になりうることを理論的に示す．さらに，これらの要因と関連する複数の指標を用いた実証分析により，理論モデルの妥当性を確かめるとともに，交差輸送の推計精度を高める上で重要となる指標を特定する．

本稿の構成は以下の通りである．第 2 章では，既存のノンサーベイ法，特に CHARM と修正 CHARM を概観し，交差輸送の扱いに理論的な課題が残されていることを示す．第 3 章では，新貿易理論の独占的競争モデルを援用して交差輸送の発生メカニズムを理論的に分析し，その決定要因となりうる指標を導出する．第 4 章では，実際の産業連関表データを用いた実証分析を行い，理論モデルの妥当性を検証する．最後に，第 5 章で，研究の貢献と今後の課題を述べる．

[1] 八千代エンジニヤリング株式会社（mz-uchida@yachiyo-eng.co.jp）
[2] 高知大学教育研究部総合科学系地域協働教育学部門 教授（nakazawa@kochi-u.ac.jp）

2. 先行研究

2.1. 産業連関表の作成方法

産業連関表の作成手法は，サーベイ法，ノンサーベイ法，および両者の中間にあたるセミサーベイ法（ハイブリッド法）の 3 種類に大別される．このうち，サーベイ法は，投入調査や移出入調査といった大規模な特別調査に基づく手法であり，主に，高い精度が求められる国の産業連関表の作成に用いられる．しかし，サーベイ法は作表に多大な費用や労力を要するため，市区町村を対象とする地域産業連関表の作成には適していない．

サーベイ法の課題を解決する手法として，特別調査の全部または一部を既存統計で代替するノンサーベイ法およびセミサーベイ法が提案されている．このうち，ノンサーベイ法は，文字通り特別調査を一切行わないため，大幅なコスト削減が可能である一方，推計精度の低さが課題とされてきた．また，セミサーベイ法は，部分的に特別調査を実施することで精度の確保とコスト削減の両立を図る手法であり，地域産業連関表の作成においてしばしば推奨される．しかし，本手法は，ノンサーベイ法を土台とする手法であり，その精度は基礎となるノンサーベイ法に依存する（Lahr（1993））．そのため，セミサーベイ法を用いる場合においても，依然としてノンサーベイ法の精度確保は重要であるといえる．

2.2. ノンサーベイ法・セミサーベイ法における“地域化”

ノンサーベイ法やセミサーベイ法では，限られたデータのもとで対象地域における産業間取引等を推計する必要があり，その際，最も重要な基礎データとなるのが対象地域を含む基準地域の産業連関表（以下，基準表）である．たとえば，市区町村産業連関表を作成する場合には，当該地域の属する都道府県や国の産業連関表に基づき，地域の詳細化が行われる．そのため，こうした推計過程は“産業連関表の地域化”と表現される．

一方で，経済波及効果分析を目的とする場合には，必ずしも産業連関表そのものを作成する必要はなく，逆行列係数やその基礎となる地域内投入係数（regional input coefficients）[3]を推定できれば十分である．そのため，基準表の投入係数から地域内投入係数を直接，推定することで作表自体を回避する方法も存在し，こうした推計は“投入係数の地域化”と表現される．

これらの地域化の大きな違いは，最終需要部門の推計およびコントロールトータルズ（CT）に基づくバランス調整の有無である．バランス調整は，しばしば移出入額の過小評価等の把握に役立つ[4]．しかし，最終需要部門の推計精度が低い場合には，却って他の部門の精度を悪化させる可能性があるため，“投入係数の地域化”が有効な選択肢になりうる．一方で，最終需要部門を高い精度で推計できる場合には，“産業連関表の地域化”が有効と考えられる．

[3] 地域内投入係数とは，ある産業が一単位の生産を行うにあたり，地域内から調達した各財・サービスの投入額の割合を示す係数であり，非競争移輸入型産業連関表の投入係数の地域版にあたる．競争移輸入型産業連関表の投入係数と地域内投入係数を対応付けるには，既存の投入係数から移輸入分を分離する必要がある（内田（2024））．

[4] 地域産業連関表の作成では，通常，最終工程で移出入額が推計され，しばしば産業連関表の行方向のバランス式の残差として推計される．たとえば，LQ 法による地域産業連関表の作成では，移入額を推計したのちにバランス式の残差として移出額が推計されるのが一般的である．しかし，LQ 法では，しばしば移出額が負になる問題が生じる．これは，移入額の過小評価により，地域の供給に対して域内需要が過大となってしまうことに起因する（内田（2024））．

また，地域産業連関表やそれに基づく地域間産業連関表は，社会会計行列（SAM）や地域間 SAM の構成要素となる．これらのデータに基づく応用一般均衡（CGE）モデルや土木分野で用いられる空間的応用一般均衡（SCGE）モデルは，税率や輸送費用の変化による便益評価等を可能とする．したがって，“産業連関表の地域化”は，これらの発展的モデルに基礎データを提供する上でも重要な意義をもつ．そこで，以下では，“産業連関表の地域化”に主眼を置いて議論を進める．

2.3. ノンサーベイ法の代表的手法

ノンサーベイ法の代表的手法として，LQ（location quotient）法と CB（commodity balance）法が存在する．両手法は，いずれも基準地域内の地域間交易やそれに伴う移入額の推計に主眼を置いている．これは，移輸入額の精度が経済波及効果の精度を左右するため，地域産業連関表の作成において，地域間交易の精度確保が重要な課題とされる（石川（2016））ことに起因する．一方で，両手法の“地域化”のアプローチは異なっている．

このうち，LQ 法は“投入係数の地域化”に対応した手法であり，特化係数（location quotient）が高いほど移入依存度が低くなるという仮定[5]に基づき，地域内投入係数を推計する．本手法は，海外で一般的な非競争移輸入型産業連関表への適用を想定した手法であり，日本で一般的な競争移輸入型産業連関表に適用する際には，事前に非競争移輸入型産業連関表への変換が推奨される[6]．しかし，こうした処理は，推計過程を複雑化させると同時に，精度検証や改善検討を難しくする一因になっている[7]．

また，CB 法は，“産業連関表の地域化”に対応した手法であり，各産業の純移出額にあたる商品バランス（commodity balance）に着目して，純移出額を移出額および移入額に分離する．本手法は，日本で一般的な競争移輸入型産業連関表の推計に適しているとされる（Kronenberg（2012））．これは，移輸入額が列部門に計上される競争移輸入型産業連関表において，行方向のバランス式の算出が容易であることに起因する．

また，本手法は，LQ 法のような経験則に基づく手法と異なり，あくまで移出入額に対してバランス制約を課しているに過ぎない．そのため，LQ 法等の他のノンサーベイ法で移出入額のいずれかを推計したのちに，残差として他方を推計する方法は，広義には CB 法の一種とも捉えられる．そこで，以下では“産業連関表の地域化”の代表的手法として，CB 法について説明する．

---

[5] 特化係数は，ある地域の産業別の生産額や従業者数の構成比を基準地域の構成比で割った値であり，特に，輸出額に関する特化係数は顕示比較優位（RCA）指数としても知られる．比較優位は，伝統的貿易理論の基本概念であり，LQ 法が広く受け入れられた理由には，こうした理論的背景も関係しているものと考えられる．

[6] LQ 法では，基準表の投入係数から基準地域内における地域間交易に伴う移入分を分離することで，地域内投入係数が推定される．しかし，競争移輸入型産業連関表の投入係数には，基準地域外からの移輸入分が含まれているため，LQ 法を直接適用すると移輸入が二重計上される可能性がある．この二重計上は，移輸入額の総額が域内需要額を上回るといった理論的な齟齬を生じさせる恐れがある．こうした問題は，事前に非競争移輸入型産業連関表へ変換し，基準地域外からの移輸入分をあらかじめ分離しておくことで回避できる（内田（2024））．

[7] 競争移輸入型産業連関表では，地域内投入係数の正解データが得られない．そのため，LQ 法の精度検証では，移輸入係数や産出乗数（逆行列係数の列和）といった集計指標に頼らざるを得ない．こうした方法は，各行に一定の特化係数を設定する SLQ（simple LQ）法等の検証には有効であると考えられるが，FLQ（Flegg’s LQ）法のようにセルごとに特化係数が異なる手法の場合，集計指標のみをもって各セルの特化係数の妥当性を評価するのには限界がある．

2.4. CB 法の推計手順

CB 法の一般的な推計手順を，**表-1** に示す．推計手順は，ステップ①～⑤の 5 段階に分かれており，ステップ①～④では，基準表の金額が基準地域内の地域の合計と一致することが要求される域内生産額等に対して，就業者数等の指標に基づく按分処理が行われる．

一方で，ステップ⑤の基準地域内の移出入額は，基準表上で域内取引として扱われるため，按分処理により推計することができない．この課題に対して，CB 法では，商品バランス（commodity balance）に着目して移出入額を推計する．商品バランスとは，基準地域内の純移出額を指し，産業iの商品バランスb_iが式(1)で定義される．なお，域内需要額d_iは，式(2)で定義される．商品バランスは，域内供給額$x_i - e_i$と域内需要額$d_i - m_i$の差に等しくなるため，ステップ①～④の時点で既に決定されており，ステップ⑤では，式(1)を満たすように移出額u_iと移入額n_iを推計すれば，産業連関表の行方向のバランス式が自動的に満たされる[8]．

$$b_i \equiv u_i - n_i = (x_i - e_i) - (d_i - m_i)$$

u_i: 基準地域内への移出額
n_i: 基準地域内からの移入額
x_i: 域内生産額 (1)
d_i: 域内需要額
e_i: 基準地域外への移輸出額
m_i: 基準地域外からの移輸入額

$$d_i \equiv \sum_{j=1}^{s} x_{ij} + \sum_{k=1}^{t} f_{ik} \quad (2)$$

表-1　一般的な CB 法の推計の流れ（競争移輸入型産業連関表の場合）

供給＼需要		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
域内生産額		x_1	…	x_s	←①							

① 域内生産額（CT）の按分
② 中間投入額・粗付加価値額の按分
③ 域内最終需要額の按分
④ 基準地域外での移輸出入額の按分
⑤ 基準地域内での移出入額の分離

[8] なお，産業連関表の定義上，建設や公務といった一部の産業は移輸出入が計上されない．しかし，CB 法をはじめとするノンサーベイ法では，これらの産業の移出入額がゼロとならず，事後的なバランス調整が必要となる場合が多い．こうした問題は，移出入額を推計するステップ⑤の課題ではなく，前段階にあたるステップ①～④において，本来ゼロとなるべき商品バランスがゼロとなっていないことに起因する．

そのため，CB 法では，既知の商品バランス（純移出額）を満たすように移出入額を分離することに主眼が置かれる．この商品バランスに関する制約は，産業連関表の行バランス式そのものであり，地域産業連関表が必ず満たすべき恒等式である．そのため，LQ 法のような経験則に基づくモデルとは理論的背景が異なるが，移出入額の分離方法については，LQ 法と同様，様々な仮定に基づく派生手法が存在する．

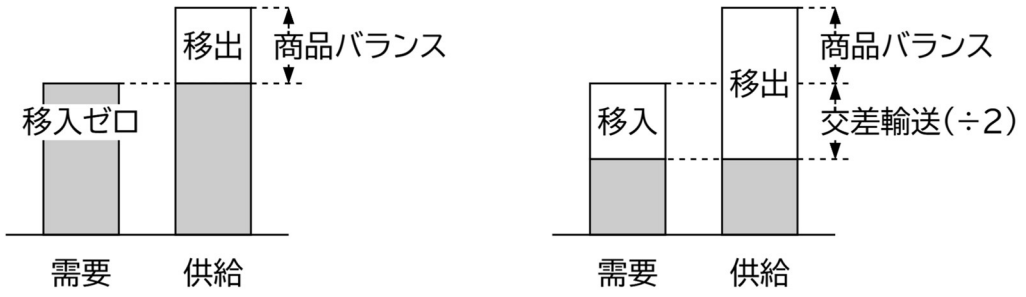
古典的な移出入額の分離方法として，Schaffer & Chu（1969）では，式(3a)および式(3b)が用いられた[9]．これらの式では，図-1(a)に示すように，商品バランスb_iが正であれば移出のみ，負であれば移入のみが生じていると仮定することで移出入額を推計する．しかし，こうした移出入額の分離方法には，交差輸送（cross-hauling）が無視されるという問題が指摘されている（Kronenberg（2009））．

$$u_i = \max(0, b_i) = \frac{|b_i| + b_i}{2} = \begin{cases} 0, & \text{if } b_i \le 0 \\ b_i, & \text{if } b_i > 0 \end{cases} \tag{3a}$$

$$n_i = \max(0, -b_i) = \frac{|b_i| - b_i}{2} = \begin{cases} -b_i, & \text{if } b_i \le 0 \\ 0, & \text{if } b_i > 0 \end{cases} \tag{3b}$$

交差輸送とは，同一財において移出入が同時発生する現象を指し，実際の産業連関表でも多くの産業で確認することができる．交差輸送の無視による移輸入額の過小評価は，経済波及効果の過大評価の原因となるため，交差輸送の考慮は CB 法における重要な課題といえる．

これらの課題を踏まえて，Kronenberg（2009）および Többen & Kronenberg（2015）は，それぞれ CHARM（cross-hauling adjusted regionalization method）および修正 CHARM（modified CHARM）と呼ばれる交差輸送の推計枠組みを提案した．以下では，これらの推計枠組みについて概説する．



（a）交差輸送を無視　　（b）交差輸送を考慮

図-1　CB 法における移出入額の分離方法

[9] 以下では，Kronenberg（2009）や Többen & Kronenberg（2015）の議論と整合させるため，適宜，max(·)関数および min(·)関数を絶対値を用いた等価な式に変換している．変換には，以下の式を使用した．

$$\max(x, y) = \frac{x + y + |x - y|}{2}$$
$$\min(x, y) = \frac{x + y - |x - y|}{2}$$

2.5. CHARM・修正 CHARM の推計枠組み

1) 交差輸送の定義

移出入額，商品バランスおよび交差輸送が，**図-1(b)**のような関係性をもつことを踏まえて，Többen & Kronenberg（2015）は，交差輸送q_iを式(4)で定義した．この関係性に基づき，既知の商品バランスb_iと未知の交差輸送q_iを用いて，移出額u_iおよび移入額n_iが，それぞれ式$(5a)$および式(5b)で推計可能となる．したがって，移出入額の分離は，交差輸送の推計問題に帰着する．

$$q_i \equiv 2\min(u_i, n_i) = u_i + n_i - |b_i| \tag{4}$$

$$u_i = \frac{q_i}{2} + \max(0, b_i) = \frac{q_i + |b_i| + b_i}{2} \tag{5a}$$

$$n_i = \frac{q_i}{2} + \max(0, -b_i) = \frac{q_i + |b_i| - b_i}{2} \tag{5b}$$

なお，Kronenberg（2009）では，基準地域内外の交易を区別せずに，移輸出額$\tilde{u}_i$および移輸入額$\tilde{n}_i$が，それぞれ式$(6a)$および式(6b)で定義された．これに伴い，商品バランス$\tilde{b}_i$および交差輸送$\tilde{q}_i$についても，Többen & Kronenberg（2015）による定義と異なる式(7)および式(8)の定義式が用いられた．これらの定義は，後述する問題を引き起こしたため，Többen & Kronenberg（2015）によって上記の定義式に修正された経緯がある．

$$\tilde{u}_i \equiv u_i + e_i \tag{6a}$$

$$\tilde{n}_i \equiv n_i + m_i \tag{6b}$$

$$\tilde{b}_i \equiv (u_i + e_i) - (n_i + m_i) = x_i - d_i \tag{7}$$

$$\tilde{q}_i \equiv 2\min(\tilde{u}_i, \tilde{n}_i) = \tilde{u}_i + \tilde{n}_i - |\tilde{b}_i| \tag{8}$$

2) CHARM の概要・課題

交差輸送の推計にあたり，Kronenberg（2009）は，完全に同質な製品では移輸出入が同時に発生し得ないことを理由に，製品の異質性が交差輸送の主な発生要因であると主張した．そこで，新たに産業i別の製品の異質性を測る指標$h_i \geq 0$を導入した上で，交差輸送が満たすべき 4 つの要件を挙げた．これらの要件を数学的に表現すると以下のようになる．

1. 製品の異質性が存在しない（$h_i = 0$）場合，交差輸送$\tilde{q}_i = 0$となる．
2. 生産額x_iと域内消費額d_iを同時にa倍すると，交差輸送$\tilde{q}_i$もa倍になる．
3. 域内消費額d_iが一定のもとで生産額x_iをa倍（$a > 1$）すると，交差輸送$\tilde{q}_i$がa'倍（$1 < a' < a$）になる（比例関係より低い倍率で増加する）．
4. 生産額x_iが一定のもとで域内消費額d_iをa倍（$a > 1$）すると，交差輸送$\tilde{q}_i$がa''倍（$1 < a'' < a$）になる（比例関係より低い倍率で増加する）．

これらの要件を満たすため，CHARM では，式(9)に示す交差輸送q_iの算出式が導入された．さらに，Kronenberg（2009）は，製品の異質性が地理的位置に依存しない製品固有の特性であると主張し，基準地域内外で製品の異質性h_iは一定であると仮定した．この仮定に基づき，本手法では，製品の異質性h_iが式(10)で推定される．これにより，既知のデータのみを用いて交差輸送q_iを推計することが可能となる．

$$\tilde{q}_i = h_i(x_i + d_i) \tag{9}$$

$$h_i = \frac{Q_i}{X_i + D_i} = \frac{2\min(E_i, M_i)}{X_i + D_i}$$
$$Q_i\text{: 基準地域の交差輸送}$$
$$X_i\text{: 基準地域の域内生産額}$$
$$D_i\text{: 基準地域の域内需要額}$$
$$E_i\text{: 基準地域の移輸出額}$$
$$M_i\text{: 基準地域の移輸入額} \tag{10}$$

なお，Kronenberg（2009）の示した交差輸送の要件のうち，要件 2 は分析単位地区の空間スケールの変化に対するモデルの挙動を規定するものと解釈できる．たとえば，同質なR個の地区が集計されると，域内生産額や域内需要額は，いずれも元の地区のR倍となる．さらに，CHARM では，交差輸送についても域内生産額等と同様に空間スケールに比例する変数として扱われた．これは，以下のように，基準地域内の各地域rの交差輸送q_i^rの合計が基準表の交差輸送Q_iに等しくなることからも明らかである[10]．

$$\sum_{r=1}^{R} \tilde{q}_i^r = h_i \sum_{r=1}^{R} (x_i^r + d_i^r) = h_i(X_i + D_i) = Q_i \tag{11}$$
$$R\text{: 地域数}$$

しかし，基準地域内の地域間交易が基準表の移出入に計上されないことを踏まえると，Többen & Kronenberg（2015）が指摘するように，CHARM は，基準表における交差輸送を各地域の経済規模に応じて按分しているに過ぎず，基準地域内の地域間交易に伴う交差輸送が無視されるという重大な欠陥をもつ．

[10] 以下では，基準地域内の特定の地域を示す必要がある場合，変数に上付き添字rを付して表記する．

さらに，Többen & Kronenberg（2015）は，CHARM が，会計上の不整合，特に再移輸出（re-exports，移輸入した財・サービスの移輸出）を発生させるという問題を指摘した．産業連関表では，通常，移輸出額は域内生産額を，移輸入額は域内需要額をそれぞれ超えることはない（$\tilde{u}_i \leq x_i \wedge \tilde{n}_i \leq d_i$）．しかし，CHARM では，式(8)および式(9)より，域内生産額または域内需要額のいずれかのみがゼロかつ製品の異質性が存在する場合に，以下のように，産業連関表の制約に矛盾する結果をもたらす．

$$x_i = 0 \wedge d_i > 0 \wedge h_i > 0 \Rightarrow \tilde{u}_i \geq \frac{1}{2}\tilde{q}_i = h_i(0 + d_i) > 0 = x_i \tag{12a}$$

$$x_i > 0 \wedge d_i = 0 \wedge h_i > 0 \Rightarrow \tilde{n}_i \geq \frac{1}{2}\tilde{q}_i = h_i(x_i + 0) > 0 = d_i \tag{12b}$$

また，**図-2** に示すように，移輸出額が域内生産額を，移輸入額が域内需要額をそれぞれ上回る場合に，その超過分は再移輸出と解釈される．こうした再移輸出は，同質な財・サービスの取引であるにもかかわらず，CHARM では交差輸送と同様に扱われるが，これは，製品の異質性が交差輸送の発生要因であるとする本手法の仮定と矛盾している．こうした理論的齟齬を解消するためには，再移輸出の根本原因となる交差輸送の過大評価を抑制する必要がある．

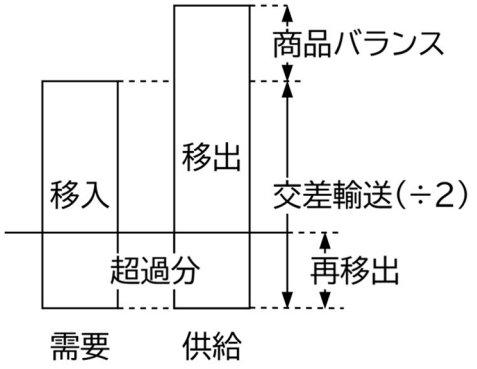


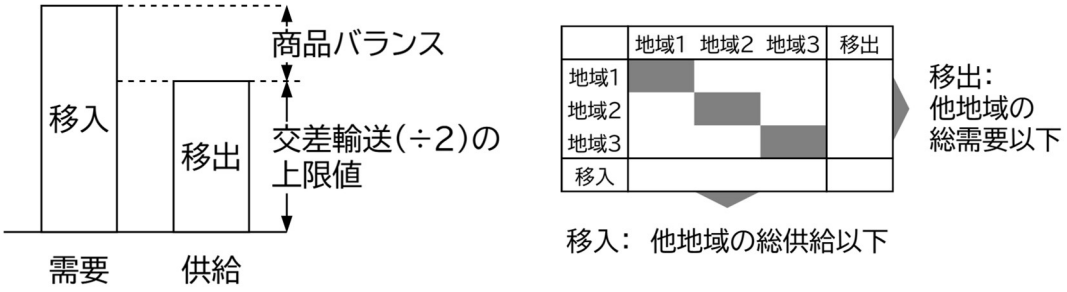
図-2　CB 法における再移出の発生

3) 修正 CHARM の概要・課題

これらの CHARM の課題を踏まえて，Többen & Kronenberg（2015）は修正 CHARM を提案した．本手法の従来手法に対する改善点は，主に以下の 2 点である．

1 点目は，基準地域内での交易のみを対象とする交差輸送q_iを用いた点である．これにより，製品の異質性が存在（$h_i > 0$）すれば，基準地域内における交差輸送の発生（$q_i > 0$）が保証される[11]．さらに，基準地域内外の交易を区別することで，事前に按分された基準地域外の移輸出入額の合計値との整合性を確保しやすいという利点もある．こうした特徴は，基準表と整合的な地域間産業連関表を作成する上でも役立つ．

2 点目は，交差輸送の上限値を考慮した算出式を用いた点である．修正 CHARM では，**図-3** に示すように，移出入額に対する制約が課される．まず，地域内の制約として，**図-3(a)**のように，移出額は域内生産額を，移入額は域内需要額をそれぞれ超えてはならない．さらに，地域間の制約として，**図-3(b)**のように，移出額は，基準地域内の他の地域（以下，その他地域）の域内需要額を，移入額はその他地域の域内生産額の総額をそれぞれ超えてはならない[12]．なお，本手法の交差輸送は，基準地域内での交易のみを対象とするため，あらかじめ域内生産額および域内需要額より基準地域外との交易に伴う移輸出入額を除外する必要がある．



（a）地域内の制約　　（b）地域間の制約

図-3　CB 法における再移出の非発生条件

[11] 後述する交差輸送の上限値がゼロの場合に限り，製品の異質性が存在（$h_i > 0$）しても交差輸送はゼロとなる．
[12] 対象地域の移出入額は，それぞれその他地域における移入額および移出額に等しくなる．したがって，ここで示した“地域間の制約”は，その他地域にとっての“地域内の制約”とも解釈できる．

これらの制約より，基準地域内への移出額の上限値（以下，上限移出額）$\bar{u}_i^r$および移入額の上限値（以下，上限移入額）$\bar{n}_i^r$は，それぞれ式(13a)および式(13b)で表される．したがって，交差輸送の上限値（以下，上限交差輸送）$\bar{q}_i^r$は，式(14)で表すことができ，この値を超えないように交差輸送q_i^rを定めることで再移出の非発生が保証される．

$$\bar{u}_i^r \equiv \min\left(x_i^r - e_i^r, \sum_{s=1}^{R}(d_i^s - m_i^s) - (d_i^r - m_i^r)\right) \tag{13a}$$

$$\bar{n}_i^r \equiv \min\left(d_i^r - m_i^r, \sum_{s=1}^{R}(x_i^s - e_i^s) - (x_i^r - e_i^r)\right) \tag{13b}$$

$$\bar{q}_i^r \equiv 2\min(\bar{u}_i^r, \bar{n}_i^r) \tag{14}$$

これを踏まえて，Többen & Kronenberg（2015）は，交差輸送q_i^rの算出式として式(15)を提案した．なお，$\hat{q}_i^r$は，$0 \le \hat{q}_i^r \le 1$を満たすパラメータであり，本研究では，交差輸送率と呼ぶ[13]．また，修正 CHARM では，CHARM と同様に，基準地域内外で交差輸送の発生度合いが同等であると仮定され，交差輸送率$\hat{q}_i^r$が式(16)で推定される．

$$q_i^r = \hat{q}_i^r \bar{q}_i^r \tag{15}$$

$$\hat{q}_i^r = \frac{Q_i}{\bar{Q}_i} = \frac{2\min(E_i, M_i)}{2\min(X_i, D_i)} \tag{16}$$

修正 CHARM は，CHARM に対して，いくつかの相違点はあるものの，実質的に製品の異質性のみが交差輸送の発生要因であると仮定する点では共通している．そのため，交差輸送率が地理的位置に依存せず，基準地域内外で一定であると仮定されるが，こうした仮定に対する理論的根拠は十分に示されていない．特に，基準地域内外で取引される製品の種類や輸送費用が異なる場合には，交差輸送率も変化すると考えられる．

[13] パラメータ$\hat{q}_i^r$にあたる変数は，Többen & Kronenberg（2015）では，交差輸送シェア（cross-hauling shares）あるいは製品の異質性の度合い（degree of product heterogeneity）と表現されている．しかし，本研究では，2 つの理由から，このパラメータ$\hat{q}_i^r$を“交差輸送率”と呼ぶこととした．1 つ目は，$\hat{q}_i^r$は，交差輸送の理論的な上限値に対する実際の交差輸送の比を示しており，シェア（占有率）と呼ぶのは適切でないと考えられるためである．2 つ目は，製品の異質性が交差輸送の主な発生要因であるという考え方は，あくまで CHARM や修正 CHARM における仮定に過ぎないためである．後述するように，輸送費用等の他の要因が影響している可能性についても考慮が必要であると考えられる．

2.6. 先行研究の課題

以上のように，CB 法を基礎とする CHARM とその改良版である修正 CHARM は，交差輸送を定量化する枠組みを示した点で新規性を有する．しかし，Kronenberg（2009）の提案した CHARM には，基準地域内の地域間交易に伴う交差輸送が無視されることに加えて，会計上の不整合，具体的には再移輸出が発生するといった課題があった．これらの課題は Többen & Kronenberg（2015）の修正 CHARM によって解決され，会計上の整合性を確保しつつ交差輸送を推計することが可能となった．

一方で，修正 CHARM にも理論的な課題が残されている．特に，本手法は，交差輸送の発生要因を製品の異質性のみに限定しており，交差輸送率が地理的位置によらないことを仮定している．しかし，輸送費用が高いほど交差輸送は生じにくいと考えられ，本手法は，こうした輸送費用による影響を無視している．

そこで，次章では，新貿易理論の基盤である独占的競争モデルを用いて，製品の異質性に加えて輸送費用が交差輸送に与える影響を理論的に分析する．

3. 理論分析

3.1. 新貿易理論の概要

交差輸送は，同一産業に属する財が地域間で相互に移出入される現象であり，国際貿易で議論されてきた産業内貿易（同一産業における輸出入の同時発生）と類似する．また，産業内貿易に対しては，Krugman（1980）を嚆矢とする独占的競争モデルが理論的な説明を与えている．

そこで，本研究では，このモデルを援用することで，CHARM や修正 CHARM が仮定してきた製品の異質性に加えて，輸送費用が交差輸送に与える影響を理論的に導出し，交差輸送の発生メカニズムを実証的に検証可能なモデルとして定式化することを目的とする．

国際貿易，特に，先進国間の貿易は，類似の生産技術をもつ工業国間で類似の工業品が互いに取引される産業内貿易に特徴がある．しかし，生産技術や生産要素の賦存量における比較優位を貿易の原因とする伝統的貿易理論では，産業間貿易（異なる産業における輸出入の同時発生）を説明できる一方で，類似の先進国間における産業内貿易を説明することは困難であった（田中（2015)）．

これに対して，Krugman（1980）を嚆矢とする新貿易理論は，全ての企業が均質であっても，生産における規模の経済および消費における多様性選好（love of variety）を仮定すれば，産業内貿易が生じうることを示した．本理論は，Dixit & Stiglitz（1977）によって提案された独占的競争モデルを応用したものであり，これにより，企業は差別化された製品に対する価格支配力を有しながら，自由な参入・退出により長期的に利潤がゼロになるという，完全競争市場や独占市場よりも現実的な経済活動を再現することが可能となる．

こうした新貿易理論の基礎となる製品差別化の仮定は，CHARM や修正 CHARM において交差輸送の発生要因とされる製品の異質性と整合的であると考えられる．一方で，輸送費用も新貿易理論において重要な概念となるが，これまで輸送費用による影響は考慮されてこなかった．

3.2. 使用する独占的競争モデル

本研究では，交差輸送の理論分析を行うため，Helpman & Krugman（1985）の示した新貿易理論の基本モデルを簡素化した 2 地域の独占的競争モデルを用いる[14]．なお，本モデルでは，単純化のため，複数産業間の中間投入を考慮した産業連関表と異なり，産業は 1 部門のみが存在し，生産要素は労働のみであると仮定する．

1) 家計による需要

各地域に 1 つの代表的家計存在すると仮定し，地域sの家計の効用U_s（合成財の消費量Q_s）を式(17)に示す CES 型効用関数で定義する．この関数において，財が代替財，すなわち$0 < \rho < 1$を満たすと仮定すると，代替の弾力性σについて式(18)が成り立ち，代替の弾力性σが高いほど製品の同質性が高い状態となる．これにより，家計が多様な財を消費することを好む多様性選好が再現される．

$$U_s \equiv Q_s \equiv \left(\sum_{r=1}^{2} \int_0^{N_r} q_{rs}(\omega)^{\rho} d\omega \right)^{\frac{1}{\rho}} \tag{17}$$

N_r: 差別化された財のバラエティの数
$q_{rs}(\omega)$: バラエティωの財の消費量

$$\sigma = \frac{1}{1-\rho} > 1 \tag{18}$$

ここで，地域sの家計の所得をT_sとする．この予算制約下での効用最大化問題を解くと，合成財価格にあたる価格指数P_sが，式(19)のように導出される．さらに，地域sの家計の地域rのバラエティωの財に対する需要量$q_{rs}(\omega)$は式(20)となり，支出額$t_{rs}(\omega)$は式(21)となる．

$$P_s \equiv \frac{T_s}{Q_s} = \left(\sum_{r=1}^{2} \int_0^{N_r} p_{rs}(\omega)^{1-\sigma} d\omega \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \tag{19}$$

$$q_{rs}(\omega) = \left(\frac{p_{rs}(\omega)}{P_s} \right)^{-\sigma} Q_s \tag{20}$$

$$t_{rs}(\omega) \equiv p_{rs}(\omega) q_{rs}(\omega) = \left(\frac{p_{rs}(\omega)}{P_s} \right)^{1-\sigma} T_s \tag{21}$$

[14] 導出は，佐藤ら（2011）を参考にし，使用する記号や数式は，Melitz（2003）に倣った．

2) 企業による生産

企業が財を生産するためには，固定的な労働投入量$f > 0$および 1 単位ごとに労働投入量$c > 0$が必要であると仮定する．そのため，地域rの企業の労働投入量$l_r(\omega)$が以下のように定義される．これにより，生産量を増やすほど平均労働投入量が逓減する規模の経済が再現される．

$$l_r(\omega) \equiv f + c\big(q_{rr}(\omega) + \tau q_{rs}(\omega)\big) \tag{22}$$

ここで，氷塊型（iceberg）輸送費用を仮定する．すなわち，他の地域に財を 1 単位届けるためにτ単位（$\tau > 1$）を出荷しなくてはならない．これは，τが大きいほど輸送費用が高いことを意味し，$\tau \to \infty$のとき各地域は閉鎖経済となる．なお，域内では，輸送費用は掛からないものとする．したがって，労働者の賃金率を 1 に基準化すると，地域rの企業の利潤$\pi_r(\omega)$は，式(23)と表される．これらの条件のもとで利潤最大化問題を解くと，域内販売価格$p_{rr}(\omega)$および輸出価格$p_{rs}(\omega)$がそれぞれ式$(24a)$および式(24b)となる．

$$\begin{aligned}\pi_r(\omega) &\equiv t_{rr}(\omega) + t_{rs}(\omega) - l_r(\omega) \\ &= \frac{t_{rr}(\omega) + t_{rs}(\omega)}{\sigma} - f, \qquad r \neq s\end{aligned} \tag{23}$$

$$p_{rr}(\omega) = p \equiv \frac{\sigma}{\sigma - 1} c \tag{24a}$$

$$p_{rs}(\omega) = \tau p, \qquad r \neq s \tag{24b}$$

ここで，輸送自由度ϕを式(25)とおく．輸送自由度ϕは，$0 < \phi < 1$の範囲をとり，$\phi \to 0$のとき輸送費用が無限大の閉鎖経済，$\phi \to 1$のとき輸送費用がゼロの状態を表す．これにより，式(19)の価格指数P_sが，式(26)のように表せる．

$$\phi \equiv \tau^{1-\sigma} \tag{25}$$

$$P_s = p(N_s + \phi N_r)^{\frac{1}{1-\sigma}}, \qquad r \neq s \tag{26}$$

したがって，式(21)の$t_{rs}(\omega)$は，以下のように表せる．

$$t_{rr}(\omega) = \frac{1}{N_r + \phi N_s} T_r \tag{27a}$$

$$t_{rs}(\omega) = \frac{\phi}{\phi N_r + N_s} T_s, \qquad r \neq s \tag{27b}$$

3) 長期均衡

独占的競争モデルでは，市場への参入・退出が自由であると仮定するため，長期的に企業の利潤はゼロとなる．そのため，地域rの企業の利潤$\pi_r(\omega)$より，各地域に対して以下の式が成り立つ．

$$\frac{1}{N_r+\phi N_s}T_r+\frac{\phi}{\phi N_r+N_s}T_s=\sigma f,\qquad r\neq s \tag{28}$$

各地域に対する連立方程式(28)を解くことで，財のバラエティの数N_rは以下となる．

$$N_r=\frac{T_r-\phi T_s}{(1-\phi)\sigma f},\qquad r\neq s \tag{29}$$

したがって，地域sの家計の地域rの財に対する総支出額T_{rs}は，以下のように表される．

$$T_{rr}\equiv\int_0^{N_r}t_{rr}(\omega)d\omega=\frac{T_r-\phi T_s}{1-\phi^2} \tag{30a}$$

$$T_{rs}\equiv\int_0^{N_r}t_{rs}(\omega)d\omega=\frac{\phi(T_r-\phi T_s)}{1-\phi^2},\qquad r\neq s \tag{30b}$$

3.3. 修正 CHARM の理論分析

1) 交差輸送率の導出

前節で示した 2 地域 1 部門の独占的競争モデルの総支出額と CB 法の商品バランスを構成する各金額は，以下のように対応させることができる．これらの式では，基準地域外の輸出入額が除外されるため，地域rとその他地域sの 2 地域のみが存在し，それ以外の地域が存在しない状況を仮定している．また，産業は 1 部門しか存在しないため，本項では，産業を表す添字iを省略して表記する．

$$x^r-e^r=T_{rr}+T_{rs}=\frac{T_r-\phi T_s}{1-\phi} \tag{31a}$$

$$d^r-m^r=T_{rr}+T_{sr}=T_r \tag{31b}$$

$$u^r=T_{rs}=\frac{\phi(T_r-\phi T_s)}{1-\phi^2} \tag{31c}$$

$$n^r=T_{sr}=\frac{\phi(T_s-\phi T_r)}{1-\phi^2} \tag{31d}$$

したがって，交差輸送q^rは，以下の式で表せる．

$$\begin{aligned} q^r &= 2\min(u_r, n_r) \\ &= \frac{2\phi}{1-\phi^2}\min(T_r - \phi T_s, T_s - \phi T_r) \\ &= \begin{cases} \dfrac{2\phi(T_r - \phi T_s)}{1-\phi^2}, & T_r \le T_s \\ \dfrac{2\phi(T_s - \phi T_r)}{1-\phi^2}, & T_r > T_s \end{cases} \end{aligned} \tag{32}$$

さらに，上限移出額$\bar{u}^r$および上限移入額$\bar{n}^r$は，以下の式で表せる．

$$\begin{aligned} \bar{u}^r &= \min(x_r - e_r, d_s - m_s) \\ &= \min\left(\frac{T_r - \phi T_s}{1-\phi}, T_s\right) \\ &= \begin{cases} \dfrac{T_r - \phi T_s}{1-\phi}, & T_r \le T_s \\ T_s, & T_r > T_s \end{cases} \end{aligned} \tag{33a}$$

$$\begin{aligned} \bar{n}_r &= \min(d_r - m_r, x_s - e_s) \\ &= \min\left(T_r, \frac{T_s - \phi T_r}{1-\phi}\right) \\ &= \begin{cases} T_r, & T_r \le T_s \\ \dfrac{T_s - \phi T_r}{1-\phi}, & T_r > T_s \end{cases} \end{aligned} \tag{33b}$$

よって，交差輸送の上限値$\bar{q}^r$は，以下の式のようになる．

$$\begin{aligned} \bar{q}^r &= 2\min(\bar{u}^r, \bar{n}^r) \\ &= \begin{cases} 2\min\left(\dfrac{T_r - \phi T_s}{1-\phi}, T_r\right), & T_r \le T_s \\ 2\min\left(T_s, \dfrac{T_s - \phi T_r}{1-\phi}\right), & T_r > T_s \end{cases} \\ &= \begin{cases} \dfrac{2(T_r - \phi T_s)}{1-\phi}, & T_r \le T_s \\ \dfrac{2(T_s - \phi T_r)}{1-\phi}, & T_r > T_s \end{cases} \end{aligned} \tag{34}$$

したがって，交差輸送率$\hat{q}^r$と輸送自由度ϕについて，式(35)の関係が成り立つ[15]．さらに，この式をロジット変換することで式(36)が得られる[16]．そのため，代替の弾力性が低い，すなわち，製品の異質性が高いほど交差輸送率が高くなるという関係が示唆される．さらに，$1-\sigma<0$より，τが大きい，すなわち輸送費用が高いほど交差輸送率が低くなる関係が得られる．

$$\begin{aligned}\hat{q}^r &= \frac{q^r}{\bar{q}^r} \\ &= \begin{cases} \dfrac{2\phi(T_r-\phi T_s)}{1-\phi^2}\dfrac{1-\phi}{2(T_r-\phi T_s)}, & T_r \le T_s \\ \dfrac{2\phi(T_s-\phi T_r)}{1-\phi^2}\dfrac{1-\phi}{2(T_s-\phi T_r)}, & T_r > T_s \end{cases} \\ &= \frac{\phi}{1+\phi}\end{aligned} \tag{35}$$

$$\operatorname{logit}\hat{q}^r = \ln\phi = (1-\sigma)\ln\tau \tag{36}$$

また，$0<\phi<1$より，基本的な 2 地域 1 部門の独占的競争モデルでは，交差輸送率およびそのロジットの取りうる範囲が以下の式で与えられる．

$$0 < \hat{q}_r < \frac{1}{2} \tag{37}$$

$$\operatorname{logit}\hat{q}_r < 0 \tag{38}$$

2) 商品バランスと交差輸送率の関係

通常，既存統計より輸送自由度を直接的に算出することは困難であると考えられる．そこで，本項では，商品バランスと輸送自由度の関係を用いて間接的に交差輸送率を推定する方法を検討する．

前節のモデルでは，商品バランスb_i^rが以下の式で表せる．この式は，$d_i^r - m_i^r > d_i^s - m_i^s$のとき，純移出額が正となることを示している．これは，域内需要額の大きい地域に，その市場規模の比率以上に企業が集積するという自国市場効果が存在することを意味する．さらに，同式は，輸送費用が低下するほど，こうした企業の集積が加速することを示唆する．

$$\begin{aligned}b_i^r &= (x_i^r - e_i^r) - (d_i^r - m_i^r) \\ &= \frac{\phi_i}{1-\phi_i}[(d_i^r - m_i^r) - (d_i^s - m_i^s)]\end{aligned} \tag{39}$$

[15] 基準地域外への移輸出額を除外した以下の移輸出率についても同様の関係が得られる．

$$\frac{u_r}{x_r - e_r} = \frac{\phi(T_r-\phi T_s)}{1-\phi^2}\frac{1-\phi}{T_r-\phi T_s} = \frac{\phi}{1+\phi}$$

[16] ロジット変換とは，以下に示す関数による変換を指す．

$$\operatorname{logit} x = \ln x - \ln(1-x)$$

現実では，地域間での生産技術等の違いが存在するため，域内需要額の大きさで商品バランスの符号が決まるという単純な関係は成り立たない．一方で，閉鎖経済では商品バランスがゼロとなることを踏まえれば，輸送自由度が商品バランスの絶対値に影響を与えるという関係性は，現実の地域間交易と整合的であると考えられる．そこで，本項では，輸送自由度が商品バランスのばらつきに与える影響を評価する．

商品バランスの分散について，式(40)が得られる．なお，この式では，域内需要額の大きさの影響を除去するため，式(39)の両辺を$d_i^r - m_i^r$で除した．さらに，同式を変形することで式(41)が得られる．

$$\mathrm{Var}\left(\frac{b_i^r}{d_i^r - m_i^r}\right) = \left(\frac{\phi_i}{1-\phi_i}\right)^2 \mathrm{Var}\left(\frac{d_i^s - m_i^s}{d_i^r - m_i^r}\right) \tag{40}$$

$$\mathrm{logit}\,\phi_i = \frac{1}{2}\ln \mathrm{Var}\left(\frac{b_i^r}{d_i^r - m_i^r}\right) - \frac{1}{2}\ln \mathrm{Var}\left(\frac{d_i^s - m_i^s}{d_i^r - m_i^r}\right) \tag{41}$$

また，**図-4** に示すように，$\phi_i \approx 0$の近傍において，$\ln \phi_i \approx \mathrm{logit}\,\phi_i$という近似式が成り立つため，以下の近似式が得られる．この式は，近似式に起因するバイアスを含むものの，右辺第 1 項の商品バランスのばらつきが交差輸送の有効な説明変数となりうることを示唆している．また，右辺第 2 項は域内需要額の不均一性を捉える指標と解釈でき，説明変数としての有効性については検証の余地がある．

$$\mathrm{logit}\,\hat{q}_i^r = \ln \phi_i \approx \frac{1}{2}\ln \mathrm{Var}\left(\frac{b_i^r}{d_i^r - m_i^r}\right) - \frac{1}{2}\ln \mathrm{Var}\left(\frac{d_i^s - m_i^s}{d_i^r - m_i^r}\right), \quad \text{if } \phi_i \approx 0 \tag{42}$$

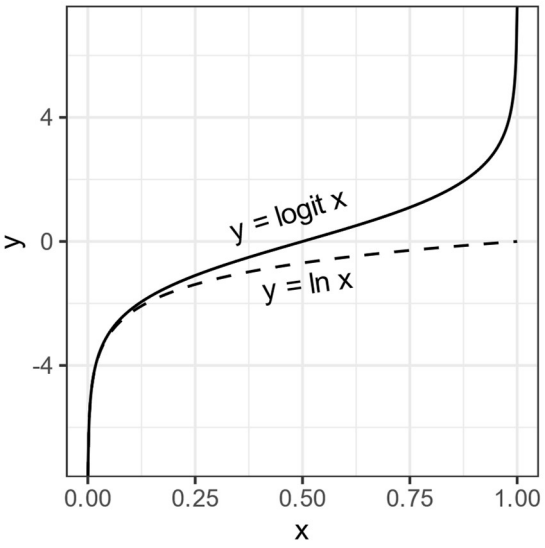


図-4　$0 < x < 1$における$\mathrm{logit}\,x$と$\log x$の比較

なお，内田ら（2022）は，需給バランス，具体的には上限移出額$\bar{u}_i^r$に対する上限移入額$\bar{n}_i^r$の比の対数に着目し，その分散の対数が交差輸送率のロジットと正の相関をもつことを，日本の地域間産業連関表等を対象にした分析で明らかにした．これは，$d^r - m^r < d^s - m^s$のときに以下の近似式が成り立ち，内田らの用いた需給バランスが，式(42)の右辺第 1 項とおおよそ一致するためであると考えられる．

$$\begin{aligned} \ln\frac{\bar{n}_i^r}{\bar{u}_i^r} &= -\ln\frac{\bar{u}_i^r}{\bar{n}_i^r} \\ &\approx -\frac{\bar{u}_i^r - \bar{n}_i^r}{\bar{n}_i^r} \\ &= -\frac{b_i^r}{d^r - m^r}, \qquad \text{if } d^r - m^r < d^s - m^s \end{aligned} \tag{43}$$

また，内田ら（2022）は，一部の産業連関表を除いて，需給バランスの回帰係数が 0.4 から 0.6 程度の値となることを示した．これは，式(42)の右辺第 1 項の係数 0.5 とおおよそ一致する．ただし，本項の結果は，あくまで 2 地域 1 部門のモデルに基づく結果であり，多地域を対象とした場合の回帰係数等への影響について議論の余地がある．

3.4. 理論分析のまとめ

本章では，交差輸送の発生メカニズムを理論的に説明するため，新貿易理論で用いられる独占的競争モデルを援用した．分析の結果，代替の弾力性と関連の強い製品の異質性に加え，輸送費用が交差輸送率に影響を与えることを示した．さらに，商品バランスのばらつきが交差輸送率の有効な説明変数となりうることを理論的に示し，内田ら（2022）の実証研究と整合的な結果を得た．

ただし，本章で得られたこれらの知見は，2 地域 1 部門という単純化されたモデルに基づくものである．そのため，次章では，この理論的知見の妥当性を実際の産業連関表を用いて検証するとともに，交差輸送率の推定に有用な説明変数の特定を目的とした実証分析を行う．

なお，今後のモデル拡張の方向性として，以下の 2 つが挙げられる．1 つ目は，地域間距離を考慮した多地域モデルへの拡張である．これにより，輸送自由度の不均一性に伴う交差輸送率の地域差を説明できることが期待される．2 つ目は，産業間の中間投入を扱う多部門モデルへの拡張である．これにより，特に，加工組立型産業などの複雑なサプライチェーンを持つ部門において，中間財取引に伴う交差輸送の発生メカニズムが明らかとなることが期待される．

4. 実証分析

4.1. 分析の目的と枠組み

前章では，独占的競争モデルを用いて交差輸送の発生メカニズムを理論的に分析し，その決定要因となりうる変数を導出した．そこで，本章では，この知見の妥当性を実際の産業連関表データを用いて実証的に検証する．

分析は，以下の 3 つの手順で進める．

1) 交差輸送率の実績値の分布および産業特性の分析
2) 既存の推計手法による交差輸送率の精度検証
3) 単回帰分析による交差輸送率の決定要因の特定

4.2. 使用データと分析方法

本章の分析では，経済産業省が 2005 年まで作成していた日本の 9 地方を対象とした地域間産業連関表を用いる．**表-2** に，使用データの一覧を示す[17]．

これらの表は，いずれも競争輸入・非競争移入型として作成されているため，集計により各地方および国（基準地域）の競争移輸入型表を容易に作成できる．そこで，これらの競争移輸入型表を用いて，交差輸送率の実績値およびその決定要因となりうる関連指標を算出する．なお，本分析では，交差輸送率を以下の式で産業別に算出した．

$$\hat{q}_i = \frac{\sum_{r=1}^{R} q_i^r}{\sum_{r=1}^{R} \bar{q}_i^r} \tag{44}$$

表-2 使用データ一覧

名称	年	部門数
地域間産業連関表	1970	43
地域間産業連関表	1975	43
地域間産業連関表	1980	43
地域間産業連関表	1985	45
地域間産業連関表	1990	46
地域間産業連関表	1995	46
地域間産業連関表	2005	12
地域間産業連関表	2005	29
地域間産業連関表	2005	53

[17] 対象地域は，1970 年表のみ，01_北海道，02_東北，03_関東，04_東海，05_北陸，06_近畿，07_中国，08_四国，09_九州であり，それ以外の表は，01_北海道，02_東北，03_関東，04_中部，05_近畿，06_中国，07_四国，08_九州，09_沖縄となっている．

本分析では，交差輸送率の関連指標として，3 つのグループに分類された計 6 つの指標を用いる．第 1 に理論モデルに基づく指標，第 2 に地域の産業構造を表す指標，そして第 3 に既存の推計モデルに基づく指標である．**表-3** に，本分析で用いる関連指標の一覧を示す．以下では，各グループの指標について順に説明する．

まず，理論モデルに基づく指標は，“商品バランスのばらつき”と“域内需要額のばらつき”の 2 つであり，式(42)右辺の第 1 項および第 2 項にそれぞれ対応する．

次に，産業構造を表す指標として，基準表の上流度指数および下流度指数を使用する．これらの指標は，ある産業のサプライチェーン上での位置づけを評価するのに用いられ，上流度指数はある産業から最終需要に至るまでの生産工程の数を，下流度指数は付加価値からある産業に至るまでの生産工程の数を示している（雨宮（2023））．

これらの指標の算出にあたり，上流度指数がゴーシュ逆行列の行和に，下流度指数がレオンチェフ逆行列の列和に一致することを示した Miller & Temurshoev（2015）の手法を参考にした．なお，本分析では開放経済を考慮し，開放型のレオンチェフ逆行列を用いるとともに，ゴーシュ逆行列についても Antràs ら（2012）が提案した修正方法を採用した[18]．

最後に，既存の推計手法から得られる指標として，修正 CHARM で用いられる基準地域外の交差輸送率に加え，小長谷・前川（2012）が提案した生産・需要シェア法[19]による交差輸送率を用いる．生産・需要シェア法では，基準表の投入係数・配分係数と対象地域の生産額から中間投入・中間需要を算出し，その差額を移出入とみなすことで交差輸送を推計する．本分析では，この推計結果を交差輸送率に変換して用いた．

表-3　交差輸送率の関連指標一覧

グループ	指標	算出方法
理論モデルに基づく指標	商品バランスのばらつき	$\ln \mathrm{Var}\left(\frac{b_i^r}{d_i^r - m_i^r}\right)$
	域内需要額のばらつき	$\ln \mathrm{Var}\left(\frac{d_i^s - m_i^s}{d_i^r - m_i^r}\right)$
産業構造を表す指標	基準表の上流度指数	本文参照
	基準表の下流度指数	本文参照
既存の推計手法に基づく指標	基準表の交差輸送率	$\frac{2\min(E_i, M_i)}{2\min(X_i, D_i)}$
	生産・需要シェア法による交差輸送率	本文参照

[18] ゴーシュ逆行列の算出に用いる配分係数を以下で置き換えることで，開放経済における修正が可能となる．

$$b'_{ij} = \frac{x_{ij}}{D_i}$$

[19] 武田（2019）によって生産・需要シェア法と名付けられた．

なお，本分析の主目的は，修正 CHARM の改善と前章で示したモデルの妥当性検証にあるため，交差輸送率の地域差を捨象した分析となっている．そのため，地域間で値が異なる輸送費用や地域・産業別に定まる特化係数といった指標は分析対象から除外した．

特に，輸送費用は，前章の理論モデルにおいて交差輸送を抑制する要因となることが示唆されている．本稿で扱えなかったこれらの地域差が交差輸送率に与える影響の定量的な分析は，モデルの拡張とあわせて今後の課題としたい．

4.3. 分析結果と考察

1)　交差輸送率の実績値の分布および産業特性の分析

図-5 に，9 地方および国（基準地域）の交差輸送率の分布を示す．**図-5** より，9 地方および国では，いずれも多くの産業で交差輸送率のロジットがゼロ未満，すなわち交差輸送率が 0.5 未満となり，前章のモデルとおおよそ整合的な結果が得られた．

また, 国の交差輸送率は, 9 地方と比較して全体的に小さい傾向がみられる. この原因として, 基準地域内外で製品の異質性や輸送費用に違いがあることが考えられる. 特に，貿易における輸送費用は国内取引よりも高くなるのが一般的であると考えられ，輸送費用による交差輸送の抑制効果が，地方よりも強く作用した結果であると解釈できる．

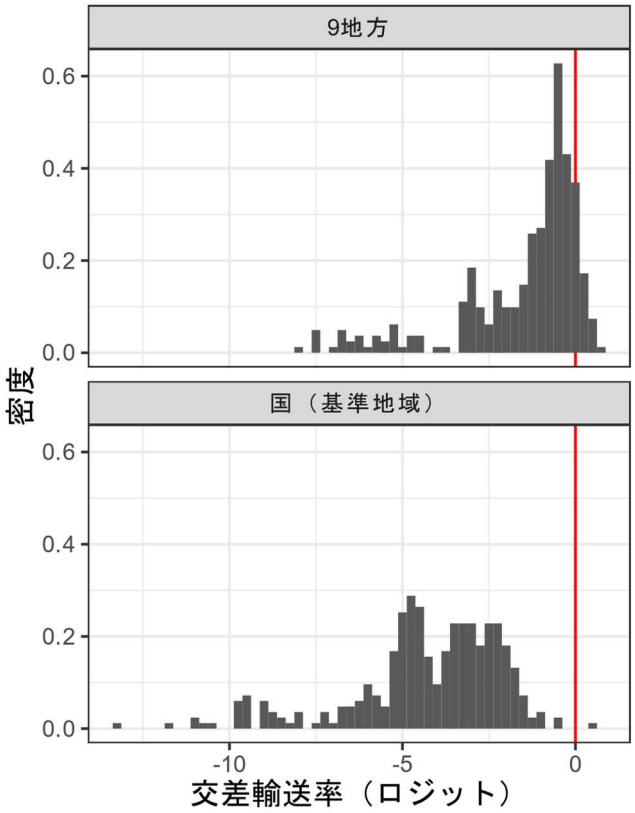


図-5　交差輸送率のロジットの分布

次に，2005 年地域間産業連関表（29 部門）の各産業の交差輸送率を，**表-4** に示す．**表-4** より，金融・保険・不動産やサービスで交差輸送率が低く，製造業で高いという傾向が確認された．また，製造業内でも，電気機械や一般機械等の加工組立型産業は，鉄鋼製品や石油・石炭製品等の素材型産業よりも交差輸送率が高い傾向がみられた．製造業，特に加工組立型産業は，多くの生産工程を経て製品が生産される．こうした複雑な生産過程が製品の異質性を高めたことにより，交差輸送率が大きくなった可能性がある．

表-4　2005 年地域間産業連関表（29 部門）の交差輸送率（昇順）

部門名	交差輸送率	部門名	交差輸送率
290_その他	0.00%	060_パルプ・紙・板紙・加工紙	34.25%
190_建設	0.06%	030_飲食料品	35.75%
260_医療・保健・社会保障・介護	0.16%	130_金属製品	37.35%
220_金融・保険・不動産	0.34%	180_その他の製造工業製品	38.36%
250_公務・教育・研究	2.46%	210_商業	38.50%
270_対事業所サービス	4.15%	160_輸送機械	39.75%
200_公益事業	4.28%	090_プラスチック製品	39.85%
240_情報通信	6.16%	050_製材・木製品・家具	40.07%
280_対個人サービス	9.02%	170_精密機械	46.81%
010_農林水産業	19.84%	120_非鉄金属製品	48.97%
020_鉱業	22.55%	070_化学製品	50.11%
110_鉄鋼製品	22.87%	140_一般機械	52.98%
080_石油・石炭製品	27.87%	040_繊維製品	55.21%
230_運輸	29.91%	150_電気機械	59.73%
100_窯業・土石製品	33.55%		

2)　既存の推計手法による交差輸送率の精度検証

図-6 に，実績交差輸送率と既存の推計手法による交差輸送率の比較結果を示す．

図-6 より，修正 CHARM で用いられる基準表の交差輸送率は，実績値と正の相関をもつものの，全体的に値を過小評価する傾向が確認された．これは，基準地域外との交易による輸送費用が基準地域内での交易よりも高く，交差輸送が発生しにくいためであると考えられる．一方で，実績値との間に正の相関がみられたことは，製品固有の異質性が交差輸送を引き起こすという CHARM・修正 CHARM の仮定を部分的に支持するものであると考えられる．

また，生産・需要シェア法による交差輸送率は，過大・過小評価の傾向はみられないものの，実績値とはほぼ無相関であった．本手法は，生産技術を表す投入係数と販路構成を表す配分係数が基準地域内外で等しいことを暗に仮定している．このうち，投入係数の安定性には一定の妥当性がある一方で，配分係数が安定的であるという仮定は理論的根拠に乏しい．こうした配分係数に関する非現実的な仮定が推計精度の低さに繋がった可能性がある．

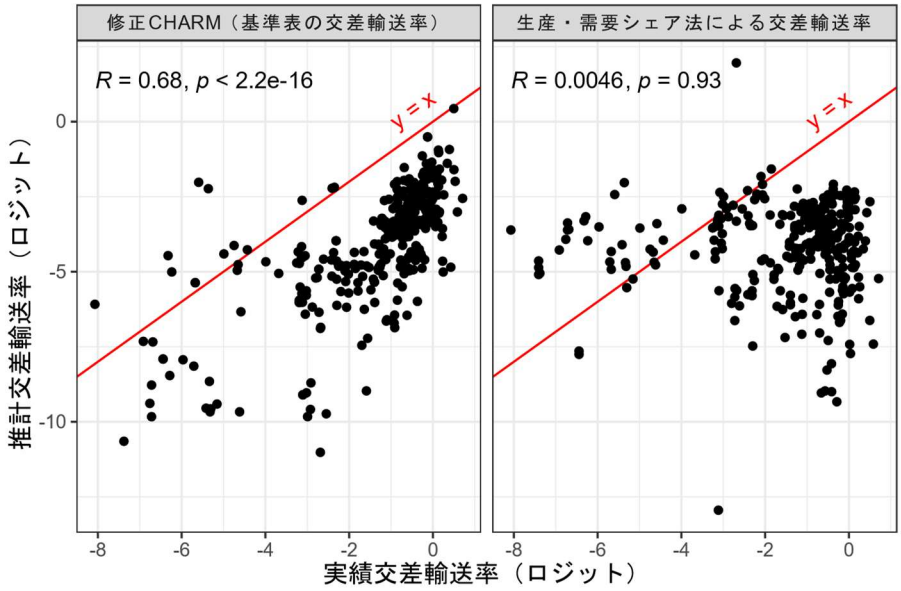


図-6　実績交差輸送率（ロジット）と推計交差輸送率（ロジット）の比較

3)　単回帰分析による交差輸送率の決定要因の特定

図-7 に，前節で示した交差輸送率の関連指標による実績交差輸送率に対する単回帰分析の結果を示す．**図-7** より，前章のモデルより導出された“商品バランスのばらつき”の自由度調整済み決定係数R^2_{adj}が最も高く，他の指標よりも高い説明力をもつことが明らかとなった．また，回帰係数は約 0.6 であり，前章のモデルで示された理論値 0.5 とおおよそ一致した．これらの結果は，前章のモデルの妥当性を示唆している．

次いで高い説明力をもつのは，修正 CHARM で用いられる基準表の交差輸送率であり，基準表のみを用いた指標のなかでは最も高い精度となった．前項より，直接的に交差輸送率の推計値として用いると過小評価の問題が生じるものの，基準表の交差輸送率は，製品固有の異質性を測る指標として一定の有効性をもつと考えられる．

3 番目に高い説明力をもつのは，下流度指数であった．これは，付加価値からの距離を表す本指標が生産過程の複雑性を反映しており，その結果，製品の異質性が高まりやすいことに起因する可能性がある．一方で，最終需要までの距離を表す上流度指数は，ほぼ無相関であった．

また，“域内需要額のばらつき”および生産・需要シェア法による交差輸送率についても実績交差輸送率とほぼ無相関であり，説明変数としての有効性は確認できなかった．このうち，“域内需要額のばらつき”に関する結果は，理論モデルが仮定する地域区分の条件，すなわち同一地域内で輸送費用が発生しないという条件が現実と乖離していることに起因する可能性がある．

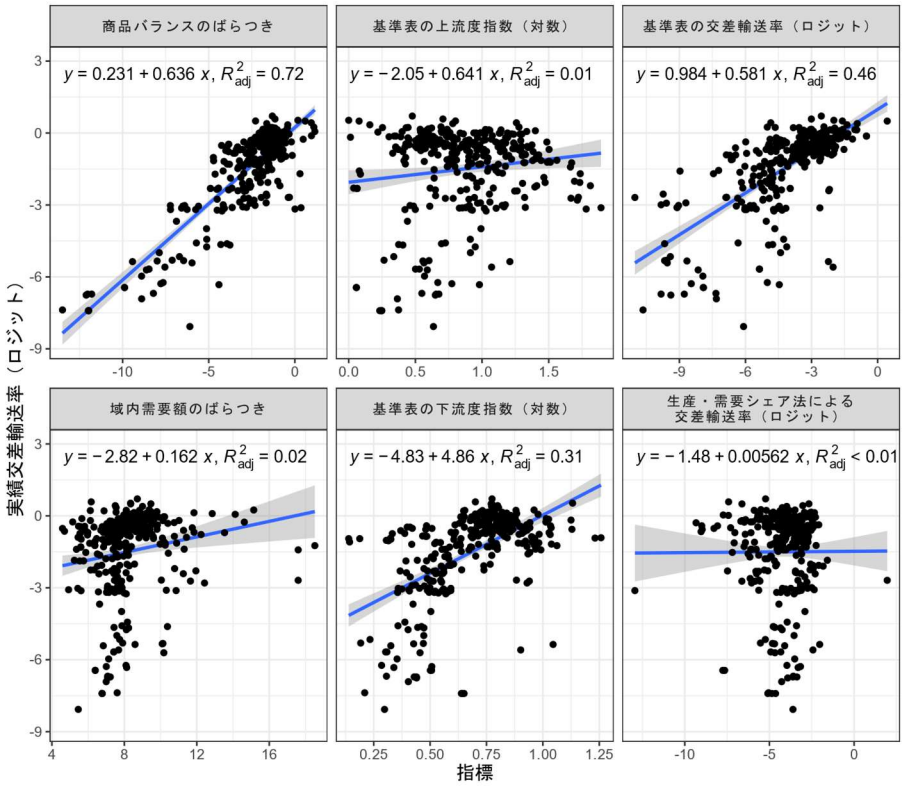


図-7　各指標と実績交差輸送率の関係

次に，最も説明力の高かった“商品バランスのばらつき”との関係について，異なる年や産業分類によらず安定的に成り立つかを確認した．

図-8 に，“商品バランスのばらつき”と実績交差輸送率の関係を，1970 年から 2005 年までの 9 つの地域間産業連関表ごとに示す．**図-8** より，対象期間や部門分類の細かさに関わらず，両者の間には，常に正の相関が認められ，回帰係数も 0.5 を上回る水準で安定していることが確認された．この結果は，“商品バランスのばらつき”が交差輸送率の産業間の差を捉える上で安定的かつ強力な指標となりうることを示唆している．なお，1970 年，1980 年や 1985 年の地域間産業連関表では，金融・保険関連の部門が回帰曲線からやや逸脱していることが確認された．

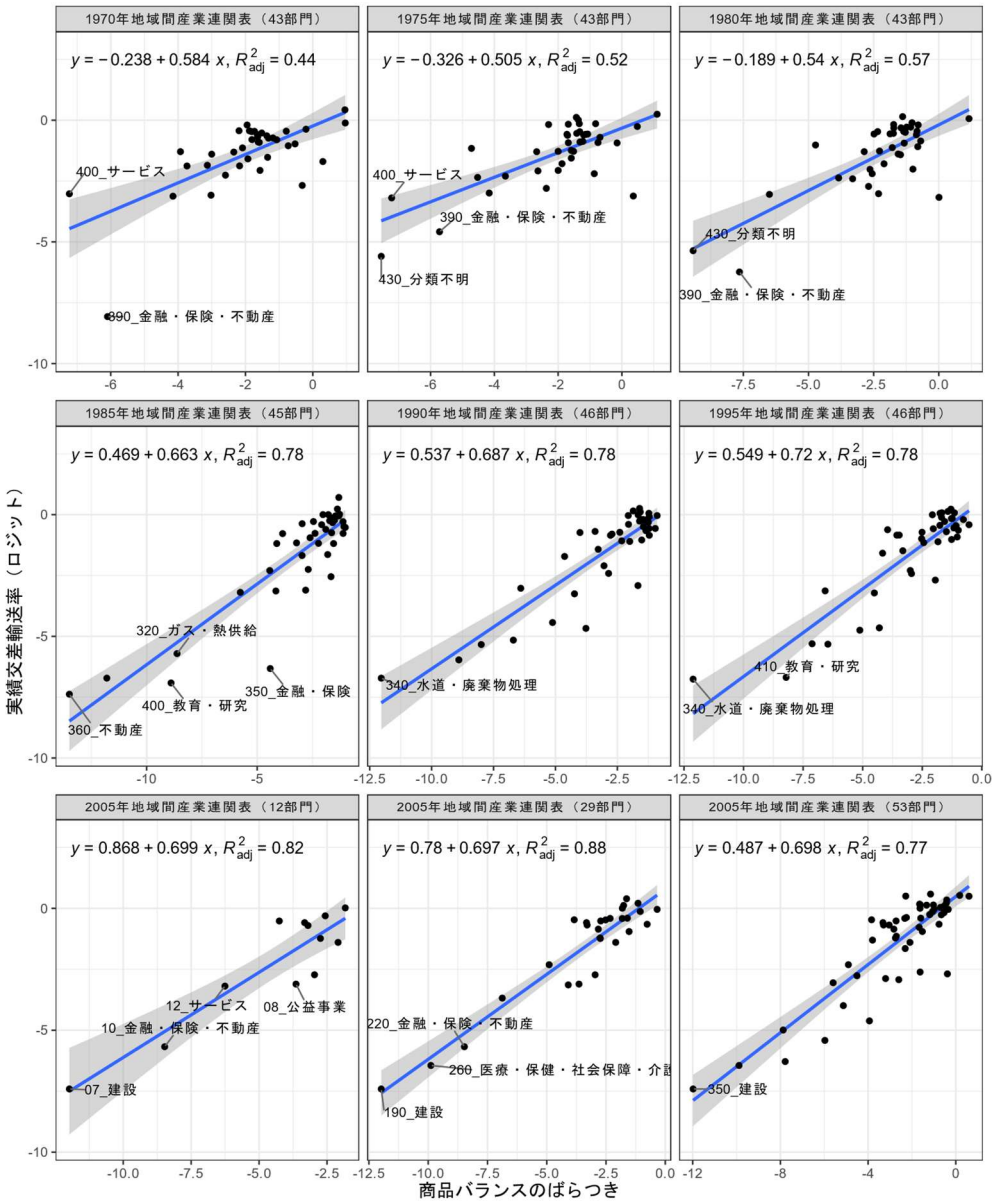


図-8　“商品バランスのばらつき”と実績交差輸送率の関係（年・部門分類別）

さらに，**図-9** に，基準表の下流度指数と実績交差輸送率の関係を年・部門分類別に示す．**図-9** より，多くの場合で正の相関が確認できるものの，一部の年・部門分類では説明力が低くなった．これは，金融・保険・不動産，水道・廃棄物処理，建設といった特定の部門が回帰直線から大きく逸脱していることに起因すると考えられる．

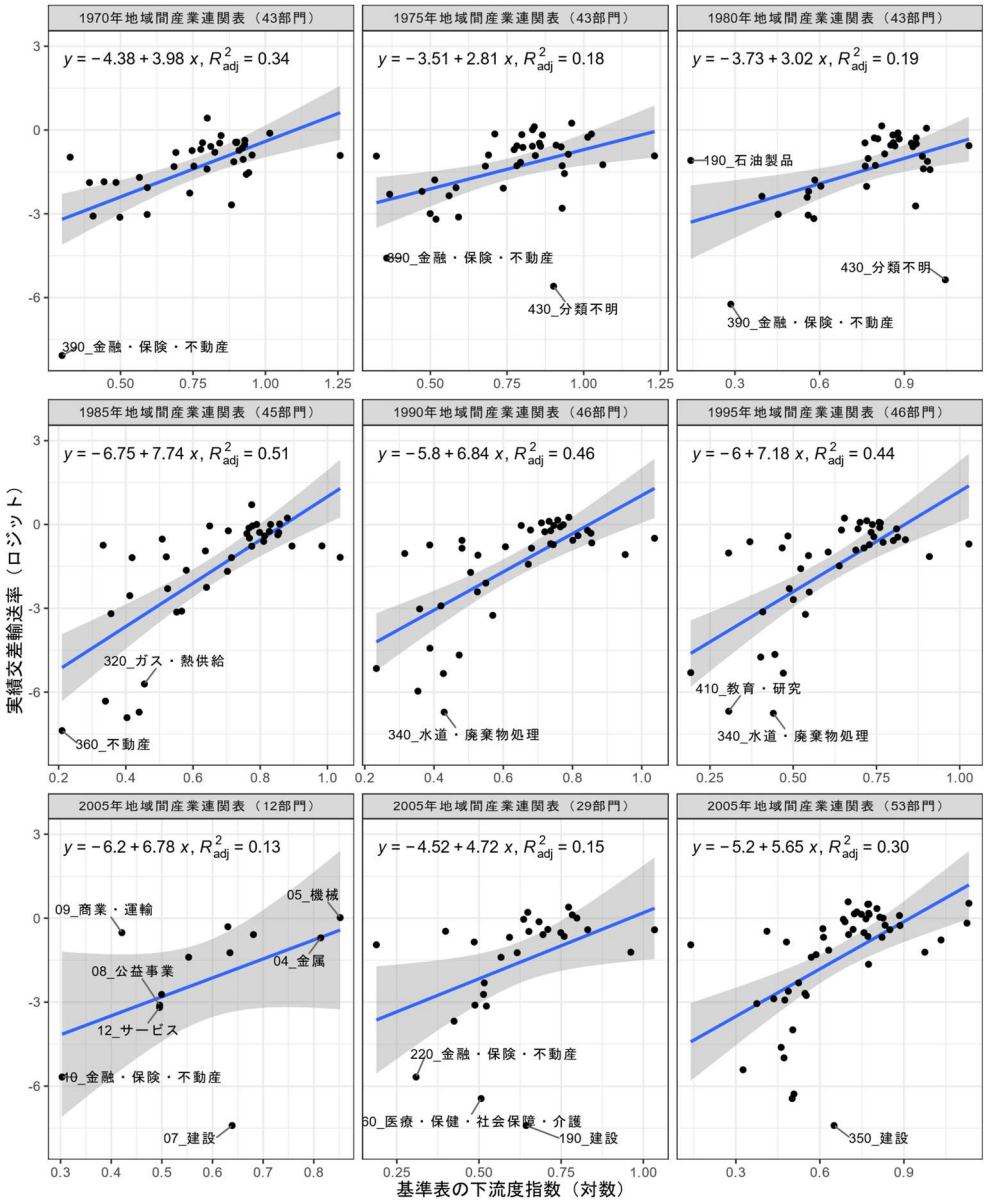


図-9　基準表の下流度指数と実績交差輸送率の関係（年・部門分類別）

最後に，**図-10** に修正 CHARM で用いられる基準表の交差輸送率と実績交差輸送率の関係を年・部門分類別に示す．**図-10** より，多くの場合で下流度指数よりも強い正の相関が確認できるものの，金融・保険・不動産等の一部の部門の交差輸送率が回帰直線から大きく逸脱した．特に，金融・保険・不動産は，他の指標でも回帰曲線から逸脱する傾向がみられたため，今後，交差輸送率が過大評価される原因を特定する必要がある．

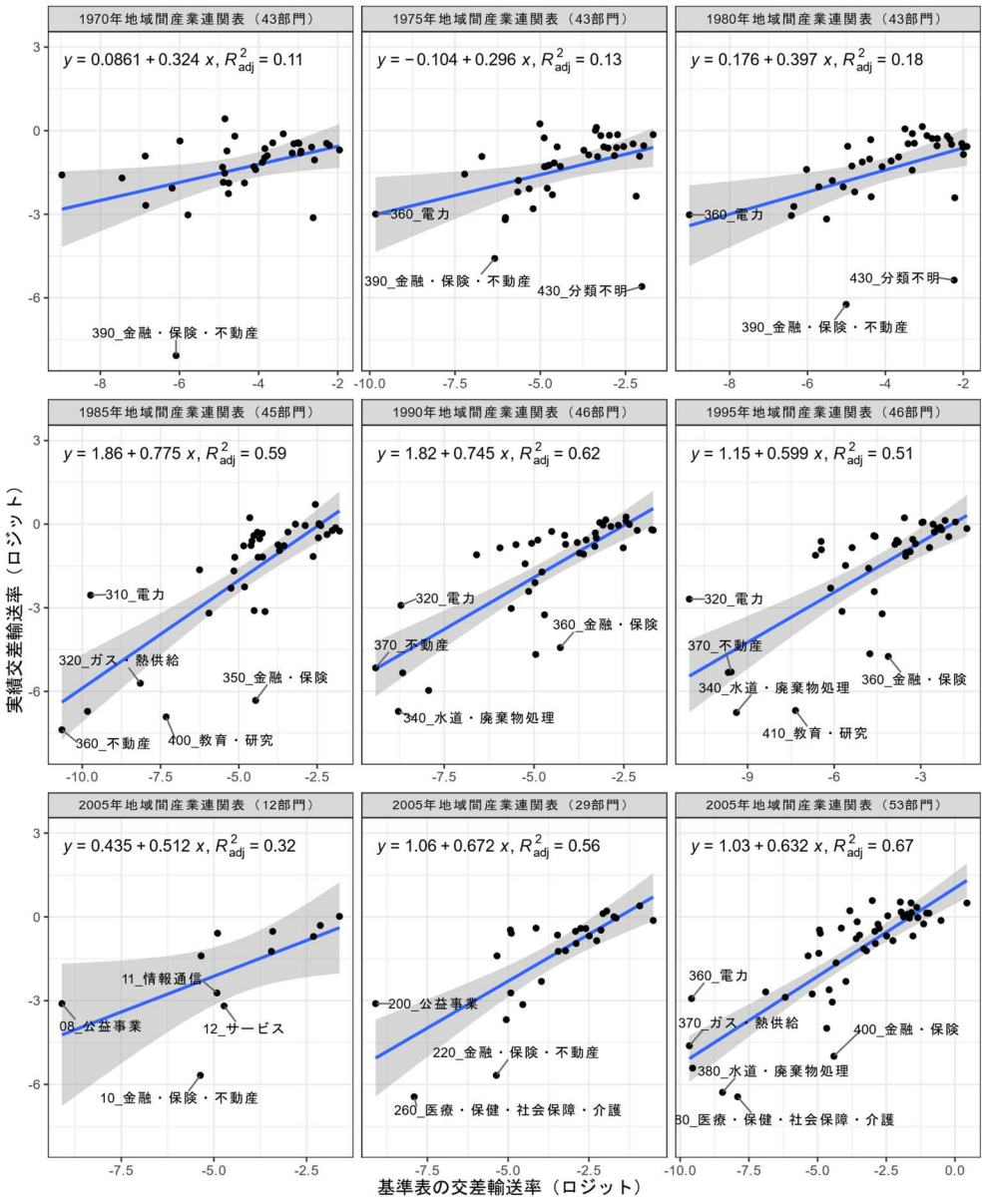


図-10　基準表の交差輸送率と実績交差輸送率の関係（年・部門分類別）

4.4. 実証分析のまとめ

本章では，前章で構築した理論モデルの妥当性を検証するため，地域間産業連関表を用いた実証分析を行った．

まず，交差輸送率の実績値に関する分析を行い，その発生度合いが産業特性によって大きく異なり，特に，製品の異質性が高いと考えられる加工組立型の製造業で交差輸送が大きい傾向があることを確認した．次に，既存の推計手法の精度を検証した結果，修正 CHARM で用いられる基準表の交差輸送率は，実績値と正の相関を持つものの過小評価傾向がみられた．また，生産・需要シェア法による交差輸送率は，実績値とほぼ無相関であるという課題が明らかとなった．

最後に，これらの課題に対し，前章の理論モデルより導出された“商品バランスのばらつき”を含む複数の指標を対象に単回帰分析を行った結果，“商品バランスのばらつき”が他の指標よりも高い説明力を持ち，年・産業分類によらず安定的であることが実証された．以上の結果は，前章で示した理論モデルの妥当性を示唆している．

5. おわりに

本稿では，地域産業連関表の作成における最重要課題の一つである，交差輸送の推計精度向上を目的とし，その発生メカニズムの理論的説明と有効な説明変数の特定を試みた．

本研究の主な貢献は以下の 3 点である．

1 点目は，新貿易理論で用いられる独占的競争モデルを援用し，交差輸送の発生メカニズムを理論的に説明した点である．これにより，CHARM や修正 CHARM が仮定してきた製品の異質性に加え，輸送費用が交差輸送の決定要因になりうることを理論的に説明した．

2 点目は，こうした理論モデルより，実証的に検証可能な指標として“商品バランスのばらつき”を導出し，交差輸送率の有効な説明変数となる可能性を理論的に示した点である．

3 点目は，実際の産業連関表を用いた実証分析により，本稿で示した理論モデルが一定の妥当性を持つことを示した点である．具体的には，理論モデルより導出された“商品バランスのばらつき”が，他の指標よりも各産業の交差輸送率を高精度に説明することを確認した．

ただし，本研究にはいくつかの限界も残されている．特に，本研究で用いた理論モデルは，2 地域 1 部門という単純化されたモデルであり，地域間の輸送費用の違いや中間投入が交差輸送に与える影響が考慮されていない．そのため，今後，多地域モデルや他産業モデルへの拡張が重要であると考えられる．

また，本研究では，“商品バランスのばらつき”を商品バランスの実績値より算出した．しかし，ノンサーベイ法では商品バランス自体が推計対象であるため，交差輸送率の精度を向上するためには，商品バランスを構成する中間投入や最終需要の推計精度を同時に改善することが必要となる．特に，中間投入におけるプロダクトミックスや最終需要における消費バスケットの地域差は，本来，取引のないセルに取引金額を生じさせるなど，商品バランスの推計誤差の要因になると考えられる．そのため，これらの誤差の抑制は，今後の重要な課題となる．

参考文献

雨宮健一郎（2023）「地域産業連関表からみた産業のサプライチェーンの特徴とその変化」『産業連関』第 31 巻第 1 号，pp.29–41.

石川良文（2016）「日本の地域産業連関表作成の現状と課題」『産業連関』第 23 巻第 1-2 号，pp.3–17.

内田瑞生・杉本達哉・高森秀司（2022）「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.

内田瑞生（2024）「ノン・サーベイ法の課題と今後の展開」環太平洋産業連関分析学会 2024 年度全国大会報告論文.

小長谷一之・前川知史（2012）「経済効果入門」日本評論社.

佐藤泰裕・田渕隆俊・山本和博（2011）「空間経済学」有斐閣.

武田健太（2019）「地域産業連関表の拡張に関する理 論と実証」熊本学園大学大学院経済学研究科博士論文.

田中鮎夢（2015）「新々貿易理論とは何か―企業の異質性と 21 世紀の国際経済―」ミネルヴァ書房.

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.

Antràs, P., Chor, D., Fally, T. & Hillberry, R. (2012), “Measuring the Upstreamness of Production and Trade Flows”, *American Economic Review*, Vol.102, No.3, pp.412–16.

Dixit, A. K. & Stiglitz, J. E. (1977), “Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity”, *The American Economic Review*, Vol.67, No.3, pp.297–308.

Helpman, E. & Krugman, P. (1985), *Market structure and foreign trade: increasing returns, imperfect competition, and the international economy*, MIT press.

Kronenberg, T. (2009), “Construction of Regional Input-Output Tables Using Nonsurvey Methods: The Role of Cross-Hauling”, *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.

Krugman, P. (1980), “Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade”, *The American Economic Review*, Vol.70, No.5, pp.950–59.

Lahr, M. L. (1993), “A Review of the Literature Supporting the Hybrid Approach to Constructing Regional Input–Output Models”, *Economic Systems Research*, Vol.5, No.3, pp.277–93.

Miller, R. E. & Temurshoev, U. (2015), “Output Upstreamness and Input Downstreamness of Industries/Countries in World Production”, *International Regional Science Review*, Vol.40, No.5, pp.443–75.

Schaffer, W. A. & Chu, K. (1969), “Nonsurvey Techniques for Constructing Regional Interindustry Models”, *Papers in Regional Science: The Journal of the Regional Science Association International*, Vol.23, No.1, pp.83–101.

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.