

# 重力と威厳：国境パズルへの解決策

資料作成：田中鮎夢

2025-10-03

## Contents

要旨	1
1. はじめに	1
I. McCallum の重力方程式	3
II. 重力モデル	4
III. 推定	8
A. 二国モデル	9
B. 多国モデル	10
IV. 結果	10
A. パラメータ推定値	10
B. 国境が二国間貿易に与える影響	11
C. 国内貿易対国際貿易	14

## 要旨

重力方程式は、様々な制度的協定 (institutional arrangements) が貿易フローに与える影響を推定するために広く用いられてきた。我々は、推定された重力方程式には理論的基盤がないことを示す。これは、推定が除外変数バイアスに苦しんでいることと、比較静学分析に根拠がないことの両方を意味する。我々は、(i) 理論的重力方程式を一致性をもって効率的に推定し、(ii) 貿易摩擦の比較静学を正しく計算する手法を開発する。我々はこの手法を、有名なマッカラムの国境パズルを解決するために適用する。我々の手法を適用した結果、国境は先進国間の貿易を 20~50 パーセント程度の適度な量だけ減少させることがわかった。

Anderson, J. E., & Van Wincoop, E. (2003). Gravity with gravitas: A solution to the border puzzle. *American Economic Review*, 93(1), 170-192.

## 1. はじめに

重力方程式は、経済学において最も実証的に成功している方程式の一つである。これは二国間貿易フローを GDP、距離、および貿易障壁に影響を与えるその他の要因と関連付けるものである。関税同盟、為替相場メカニズム、民族的つながり、言語的アイデンティティ、国際国境といった制度が貿易フローに与える影響を推定するために広く用いられてきた。しばしば述べられていることとは反対に、実証的重力方程式には理論的基盤がない。Anderson (1979) によって最初に開発された理論は、規模をコントロールした後、二つの地域間の貿易は、両地域がすべてのパートナーと貿易する際の平均的な障壁に対する相対的な二国間貿易障壁において減少することを示している。直感的に言えば、ある地域が他のすべての地域との貿易に対してより抵抗的であるほど、特定の二国間パートナーとの貿易により押し進められることになる。我々は、理論的に適切な平均貿易障壁を「多国間抵抗」と呼ぶ。実証的重力文献は、分析に多国間抵抗のいかなる形式も含めていないか、あるいはすべての二国間パートナーへの距離に関連した非理論的な「遠隔性」変数を含めている。遠隔性指数は、分析の焦点である他の貿易障壁のいずれも捉えていない。さらに、距離が唯一の二国間障壁であったとしても、遠隔性指数におけるその関数形式は理論と矛盾している。

実証的重力方程式の理論的基盤の欠如には、二つの重要な含意がある。第一に、推定結果は除外変数により偏りが生じている。第二に、そしておそらくさらに重要なことは、比較静学演習を行うことができないということである。これは一般的に重力方程式を推定する目的であるにもかかわらずである。特定の貿易障壁を除去した場合の効果を問うような比較静学演習を行うためには、貿易障壁の除去前と除去後の一般均衡モデルを解くことができなければならない。本論文では、(i) 理論的重力方程式を一致性をもって効率的に推定する方法を開発し、(ii) 推定された一般均衡重力モデルを用いて貿易障壁が貿易フローに与える影響の比較静学演習を行い、(iii) 理論的重力モデルを「国境パズル」の解決に適用する。

重力文献から導かれた最も有名な推論の一つは、John McCallum (1995) による、米加国境が 1988 年のカナダ州間貿易を、US 州とカナダ州間の貿易の 22 倍 (2,200 パーセント) にしたという発見である。Maurice Obstfeld と Kenneth Rogoff (2001) は、これを開放経済マクロ経済学の 6 つのパズルの一つとして提示している。John F. Helliwell と McCallum (1995) は、これが経済学者の事前信念に反することを記録している。Gene Grossman (1998) は、これは Daniel Treffer (1995) の「失われた貿易のミステリー」よりもさらに驚くべき予想外の結果だと述べている。貿易国境効果を測定し理解することを目的とした文献が急速に増加している。しかし、これまでのところ、その後の研究のいずれも McCallum の発見を説明していない。我々は本論文において、推定と国境の一般均衡比較静学の両方に重力方程式の理論を真剣に適用することで、国境パズルを解決する。

国境パズルを解決する第一段階は、理論に基づいて重力方程式を正しく推定することである。その際、我々は McCallum (1995) の重力方程式にできる限り近づくことを目指す。この方程式では、二つの地域間の二国間貿易フローは、両地域の産出、それらの二国間距離、および国境によって隔てられているかどうかに依存する。理論は、多国間抵抗変数を追加することによってのみ McCallum の方程式を修正する。国境パズルを解決する第二段階は、国境が貿易フローに与える影響を決定するために、米加国境障壁を除去する一般均衡比較静学演習を実施することである。政策立案者とマクロ経済分析者の主要な関心事は、国境が国際貿易に与える影響である。McCallum の回帰モデル (および彼に続く後続の文献) は、そのような国境効果を推定するために有効に使用することはできない。対照的に、我々の理論的に根拠のあるアプローチは、国内貿易 (国内) と国際貿易の両方に対する国境の影響を計算するために使用できる。我々のアプローチを 1993 年のデータに適用すると、国境は米国とカナダ間の貿易を 44 パーセント削減し、他の先進国間の貿易を 29 パーセント削減することがわかる。無視できないものではあるが、我々はこれらを国境が国際貿易に与えるもっともらしい程度の穏健な影響と考える。

McCallum のカナダ州間貿易 (interprovincial trade) に対する US 州・カナダ州間貿易 (province-state trade) のセテリス・パリブス比率 (ceteris paribus ratio) を非常に大きくする要因は二つある。第一に、彼の推定値は、除外変数、すなわち多国間抵抗項を含む回帰に基づいている。1993 年のデータについて McCallum の回帰を推定すると、我々は 16.4 という比率を見出すが、漸近的に不偏な構造推定と国境除去の計算された一般均衡比較静学に基づく我々の計算は、10.7 という比率を示唆している。第二に、両方の比率の大きさは主にカナダ経済の小規模性を反映している。米国のデータで McCallum の回帰を推定すると、US 州間の貿易 (trade between states) は US 州とカナダ州間の貿易 (trade between states and provinces) のわずか 1.5 倍にすぎないことがわかる。モデルの文脈では直感は単純である。カナダと世界の他の地域との間の適度な障壁でさえ、州の多国間抵抗に大きな影響を与える。なぜなら、カナダは世界の他の地域 (特に米国) と多くの貿易を行う小規模開放経済だからである。これは我々の推定モデルに基づく、州内貿易を 6 倍も大幅に増加させる。対照的に、US 州の多国間抵抗は国境障壁による影響をはるかに少なく受ける。なぜなら、それは US 州と米国の大規模経済の残りの部分との間の障壁に影響を与えないからである。したがって、US 州間の貿易は国境障壁によってあまり増加しない。

本論文の貢献は大部分が方法論的なものである。我々の定式化は、暗黙的貿易障壁の様々な側面が焦点となる多くの異なる文脈で適用できる。McCallum のものと類似した重力方程式が、貿易同盟、通貨同盟、異なる言語、隣接性、および他の様々な要因の影響を決定するために推定されてきた。これらすべては我々の方法によって改善できる。著者たちは、McCallum と同様に、しばしば推定値から比較静学的推論を導くことを躊躇してきた。我々の方法を使えば、それが可能になる。重力方程式はまた、移住フロー、株式フロー、および海外直接投資フローにも適用されてきた。ここでは、一貫して適用するかどうかにかかわらず、適用すべき確立された理論は存在しないが、我々の結果は理論的基礎の有用性を示唆している。

本論文の残りの部分は以下のように構成されている。第 I 節では、McCallum の重力方程式に基づくいくつかの結果を提供する。この節の主な新しい側面は、US 州間貿易と US 州・カナダ州間貿易を比較する、米国の視点からの結果も報告することである。第 II 節では理論的重力方程式を導出する。ここでの主な革新は、二国間貿易を規模、二国間貿易障壁、および多国間抵抗変数に関連付ける、単純な対称形式でそれを書き換えることである。第 III 節では、米国とカナダからなるモデルの二国版と、他のすべての先進国も含む多国版の両方について、理論的重力方程式を推定する手順を議論する。結果は第 IV 節で議論される。第 V 節では感度分析を行い、最終節で結論を述べる。

## I. McCallum の重力方程式

McCallum (1995) は以下の方程式を推定した：

$$\ln x_{ij} = \alpha_1 + \alpha_2 \ln y_i + \alpha_3 \ln y_j + \alpha_4 \ln d_{ij} + \alpha_5 \underbrace{\delta_{ij}}_{\text{国内貿易ダミー}} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

ここで  $x_{ij}$  は地域  $i$  から地域  $j$  への輸出、 $y_i$  と  $y_j$  は地域  $i$  と地域  $j$  の国内総生産、 $d_{ij}$  は地域  $i$  と地域  $j$  の間の距離、そして  $\delta_{ij}$  はカナダ州間貿易 (interprovincial trade) の場合は 1、US 州・カナダ州間貿易 (state-province trade) の場合は 0 となるダミー変数である。1988 年について、McCallum はこの方程式を、すべての 10 カナダ州 (provinces) と米加貿易の 90 パーセントを占める 30 州 (states) のデータを用いて推定した。本節では、方程式 (1) を米国の視点から推定した場合の結果も報告する。その場合、ダミー変数は US 州間貿易 (interstate trade) で 1、US 州・カナダ州間貿易 (state-province trade) で 0 となる。また、すべてのデータをプールした場合の結果も報告する。その場合、二つのダミー変数がある。最初のダミー変数はカナダ州間貿易 (interprovincial trade) で 1、それ以外で 0 であり、二番目のダミー変数は US 州間貿易 (interstate trade) で 1、それ以外で 0 である。

データについては付録 A で議論されている。ここで詳細には立ち入らないが、いくつかのコメントが有用である。カナダ州間貿易および US 州・カナダ州間貿易のデータはカナダ統計局の異なる部門から得られており、一方で US 州間貿易のデータは国勢調査局が実施した商品流通調査 (Commodity Flow Survey) から得られている。我々は McCallum に従い、データをできる限り密接に比較可能にするために、元のデータに調整係数を適用する。以下で報告されるすべての結果は、US 州間データが利用可能な 1993 年のものである。我々は McCallum および他の研究者に従い、30 の US 州のみのデータを使用する。

(1) 式を推定した結果は表 1 に報告されている。最初の 3 列は、それぞれ、(i)US 州・カナダ州間貿易およびカナダ州間貿易、(ii)US 州・カナダ州間貿易および US 州間貿易、(iii)US 州・カナダ州間貿易、カナダ州間貿易、および US 州間貿易の結果を報告している。後者の場合、米国内貿易とカナダ内貿易について別々の国境ダミーがある。最後の 3 列は、GDP 変数に単位係数を課した後の同じ結果を報告している。これは我々の理論に基づく重力方程式の結果との比較を容易にする。なぜなら、理論は単位係数を課すからである。

TABLE 1—MCCALLUM REGRESSIONS

Data	McCallum regressions			Unitary income elasticities		
	(i) CA-CA CA-US	(ii) US-US CA-US	(iii) US-US CA-CA CA-US	(iv) CA-CA CA-US	(v) US-US CA-US	(vi) US-US CA-CA CA-US
<b>Independent variable</b>						
$\ln y_i$	1.22 (0.04)	1.13 (0.03)	1.13 (0.03)	1	1	1
$\ln y_j$	0.98 (0.03)	0.98 (0.02)	0.97 (0.02)	1	1	1
$\ln d_{ij}$	-1.35 (0.07)	-1.08 (0.04)	-1.11 (0.04)	-1.35 (0.07)	-1.09 (0.04)	-1.12 (0.03)
<i>Dummy-Canada</i>	2.80 (0.12)		2.75 (0.12)	2.63 (0.11)		2.66 (0.12)
<i>Dummy-U.S.</i>		0.41 (0.05)	0.40 (0.05)		0.49 (0.06)	0.48 (0.06)
<i>Border-Canada</i>	16.4 (2.0)		15.7 (1.9)	13.8 (1.6)		14.2 (1.6)
<i>Border-U.S.</i>		1.50 (0.08)	1.49 (0.08)		1.63 (0.09)	1.62 (0.09)
$\bar{R}^2$	0.76	0.85	0.85	0.53	0.47	0.55
<b>Remoteness variables added</b>						
<i>Border-Canada</i>	16.3 (2.0)		15.6 (1.9)	14.7 (1.7)		15.0 (1.8)
<i>Border-U.S.</i>		1.38 (0.07)	1.38 (0.07)		1.42 (0.08)	1.42 (0.08)
$\bar{R}^2$	0.77	0.86	0.86	0.55	0.50	0.57

注：この表は、30のUS州と10のカナダ州について1993年のMcCallumの重力方程式を推定した結果を報告している。すべての回帰において、従属変数は地域*i*から地域*j*への輸出の対数である。独立変数は以下のように定義される： $y_i$ と $y_j$ は地域*i*と地域*j*の国内総生産； $d_{ij}$ は地域*i*と地域*j*の間の距離；*Dummy-Canada*と*Dummy-U.S.*は、両地域がそれぞれカナダと米国に位置する場合に1、それ以外の場合に0となるダミー変数である。最初の3列は非単位所得弾力性に基づく結果を報告し（元のMcCallum回帰と同様）、最後の3列は単位所得弾力性を仮定している。結果は3つの異なるデータセットについて報告されている：(i)US州・カナダ州間貿易およびカナダ州間貿易、(ii)US州・カナダ州間貿易およびUS州間貿易、(iii)US州・カナダ州間貿易、カナダ州間貿易、およびUS州間貿易。国境係数*Border-U.S.*と*Border-Canada*は、それぞれのダミー変数の係数の指数である。最後の3行は、遠隔性指数(3)が追加された場合の国境係数と $\bar{R}^2$ を報告している。頑健標準誤差は括弧内に示されている。

*Border-Canada*はカナダのダミー変数係数 $\alpha_5$ の指数であり、距離と規模をコントロールした後のカナダ州間貿易対US州・カナダ州間貿易の比率に対する国境の効果を示している。同様に、*Border-U.S.*は米国ダミー変数の係数の指数であり、距離と規模をコントロールした後のUS州間貿易対US州・カナダ州間貿易の比率に対する国境の効果を示している。

表から4つの結論を導くことができる。第一に、我々はカナダについて非常に大きな国境係数を確認する。最初の列は、距離と規模をコントロールした後、カナダ州間貿易がUS州・カナダ州間貿易の16.4倍であることを示している。これは、McCallumが1988年のデータに基づいて推定した国境効果22よりもやや低いだけである。第二に、米国の国境係数はかなり小さい。2列目は、距離と規模をコントロールした後、US州間貿易がUS州・カナダ州間貿易の1.50倍であることを示している。我々は以下で、カナダと米国の国境係数のこの大きな差が、まさに理論が予測するものであることを示す。第三に、これらの国境係数は、すべてのデータをプールした場合でも非常に類似している。最後に、国境係数は、単位所得係数が課された場合も同様である。プールされたデータと単位所得係数（最終列）では、カナダの国境係数は14.2、米国の国境係数は1.62である。

表の下部は、遠隔性変数が追加された場合の結果を報告している。我々は、McCallumの論文に続く文献で一般的に使用されてきた遠隔性の定義を使用する。回帰は次のようになる

$$\ln x_{ij} = \alpha_1 + \alpha_2 \ln y_i + \alpha_3 \ln y_j + \alpha_4 \ln d_{ij} + \underbrace{\alpha_5 \ln REM_i + \alpha_6 \ln REM_j}_{\text{遠隔性変数}} + \underbrace{\alpha_7 \delta_{ij}}_{\text{カナダ州間貿易ダミー}} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

ここで地域*i*の遠隔性は

$$REM_i = \sum_{m \neq j} d_{im} / y_m \quad (3)$$

この変数は、地域*i*の*j*以外のすべての貿易相手国からの平均距離を反映することを意図している。これらの遠隔性変数は文献で一般的に使用されているが、次節でそれらが理論と完全に切り離されていることを示す。表1は、両地域の遠隔性指数を追加しても国境係数の推定値はほとんど変化せず、調整済み $R^2$ に基づく追加的な説明力もほとんどないことを示している。

## II. 重力モデル

上記で引用された実証文献は、理論的正当化に対してリップサービス以上のものを払っていない。本節では、既存の重力理論を真剣に扱うことが、はるかに有用な解釈を伴う異なる推定モデルをどのように提供するかを示す。

Anderson (1979)は、代替の弾力性一定 (CES: constant elasticity of substitution) 選好と原産地域によって差別化された財に基づいて、重力モデルの理論的基礎を提示した。その後の拡張 (Bergstrand, 1989, 1990; Alan V. Deardoff, 1998)は、CES選好構造を保持し、特化を説明するために独占的競争またはヘクシャー＝オリーン構造を追加した。本論文の貢献は、エレガントに単純な形式を持つ操作可能な重力モデルを導出するために、CES支出システムを操作することである。これに基づいて、我々は貿易抵抗を3つの直感的な構成要素に分解する：(i) 地域*i*と地域*j*の間の二国間貿易障壁、(ii) すべての地域との貿易に対する*i*の抵抗、および(iii) すべての地域との貿易に対する*j*の抵抗。

重力モデルの最初の構成要素は、すべての財が原産地によって差別化されているということである。我々は、各地域が1つの財のみの生産に特化していると仮定する。各財の供給は固定されている。

第二の構成要素は、CES（代替の弾力性一定）効用関数によって近似される、同一で相同的（homothetic）な選好である。 $c_{ij}$  が地域  $j$  の消費者による地域  $i$  からの財の消費である場合、地域  $j$  の消費者は

$$\left( \sum_i \beta_i^{(1-\sigma)/\sigma} c_{ij}^{(\sigma-1)/\sigma} \right)^{\sigma/(\sigma-1)} \quad (4)$$

を予算制約

$$\sum_i p_{ij} c_{ij} = y_j \quad (5)$$

の下で最大化する。ここで  $\sigma$  はすべての財間の代替の弾力性、 $\beta_i$  は正の分配パラメータ、 $y_j$  は地域  $j$  の居住者の名目所得、そして  $p_{ij}$  は地域  $j$  の消費者にとっての地域  $i$  の財の価格である。価格は、直接観察できない貿易費用のために地域間で異なり、実証研究の主な目的はこれらの費用を識別することである。 $p_i$  を貿易費用を差し引いた輸出者の供給価格とし、 $t_{ij}$  を  $i$  と  $j$  の間の貿易費用要因とする。すると  $p_{ij} = p_i t_{ij}$  となる。

我々は、貿易費用は輸出者によって負担されると仮定する。我々は、輸送費用だけでなく、情報費用、設計費用、および様々な法的・規制的費用を想定している。企業の輸出行動に関する新しい実証文献（Mark Roberts と James Tybout, 1997; Andrew Bernard と Joachim Wagner, 2001）は、輸出者が直面する大きな費用を強調している。形式的には、 $i$  から  $j$  へ輸送される各財について、輸出者は国  $i$  の財の  $t_{ij} - 1$  に等しい輸出費用を負担すると仮定する。輸出者はこれらの貿易費用を輸入者に転嫁する。 $i$  から  $j$  への輸出の名目価値（ $j$  の  $i$  への支払い）は  $x_{ij} = p_{ij} c_{ij}$  であり、これは原産地での生産価値  $p_i c_{ij}$  と、輸出者が輸入者に転嫁する貿易費用  $(t_{ij} - 1) p_i c_{ij}$  の合計である。したがって、地域  $i$  の総所得は  $y_i = \sum_j x_{ij}$  である。

地域  $j$  の消費者による地域  $i$  の財への名目需要は、(5) の制約の下で (4) を最大化することにより、

$$x_{ij} = \left( \frac{\beta_i p_i t_{ij}}{P_j} \right)^{(1-\sigma)} y_j \quad (6)$$

となる。ここで  $P_j$  は  $j$  の消費者物価指数であり、次式で与えられる

$$P_j = \left[ \sum_i (\beta_i p_i t_{ij})^{1-\sigma} \right]^{1/(1-\sigma)} \quad (7)$$

モデルの一般均衡構造は市場清算を課し、これは以下を意味する：

$$y_i = \sum_j x_{ij} = \sum_j (\beta_i t_{ij} p_i / P_j)^{1-\sigma} y_j = (\beta_i p_i)^{1-\sigma} \sum_j (t_{ij} / P_j)^{1-\sigma} y_j. \quad (8)$$

重力方程式を導出するために、Deardorff (1998) は Anderson (1979) に従い、市場清算 (8) を用いて係数  $\{\beta_i\}$  を解き、すべての供給価格  $p_i$  が 1 に等しくなるような単位の選択を課し、それを輸入需要方程式に代入した。我々は価格の一般均衡決定と、これらに変化する比較静学に関心があるため、同じ技法を適用して市場清算条件 (8) からスケール化された価格  $\{\beta_i p_i\}$  を解き、それらを需要方程式 (6) に代入する。世界の名目所得を  $y^W \equiv \sum_j y_j$ 、所得シェアを  $\theta_j \equiv y_j / y^W$  と定義する。この技法は以下を生み出す

$$x_{ij} = \frac{y_i y_j}{y^W} \left( \frac{t_{ij}}{\Pi_i P_j} \right)^{1-\sigma} \quad (9)$$

ここで

$$\Pi_i \equiv \left( \sum_j (t_{ij}/P_j)^{1-\sigma} \theta_j \right)^{1/(1-\sigma)} \quad (10)$$

均衡スケール化価格を (7) に代入すると、次を得る

$$P_j = \left( \sum_i (t_{ij}/\Pi_i)^{1-\sigma} \theta_i \right)^{1/(1-\sigma)} \quad (11)$$

(10) と (11) を合わせると、所得シェア  $\{\theta_i\}$ 、二国間貿易障壁  $\{t_{ij}\}$  および  $\sigma$  の観点から、すべての  $\Pi_i$  と  $P_j$  を解くことができる。

我々は、貿易障壁が対称的である、すなわち  $t_{ij} = t_{ji}$  であると仮定することによって、非常に有用な簡略化を達成する。対称性の下では、(10) – (11) の解が  $\Pi_i = P_i$  であることは容易に確認でき、次式となる：

$$P_j^{1-\sigma} = \sum_i P_i^{\sigma-1} \theta_i t_{ij}^{1-\sigma} \forall j \quad (12)$$

これは、すべての二国間貿易障壁と所得シェアの関数としての価格指数への暗黙的解を提供する。重力方程式は次のようになる

$$x_{ij} = \frac{y_i y_j}{y^W} \left( \frac{t_{ij}}{P_i P_j} \right)^{1-\sigma} \quad (13)$$

我々の基本的な重力モデルは (12) を制約条件とする (13) である。式 (13) は Anderson (1979) と Deardorff (1998) によって導出された式を大幅に簡略化しており、一方、均衡価格指数を (12) で得るために市場清算制約を同時に使用することは、重力方程式を推定し、したがってそれを操作可能にすることを可能にする重要な革新である。

我々は価格指数  $\{P_i\}$  を「多国間抵抗」変数と呼ぶ。なぜなら、それらは  $i$  を直接含まないものを含む、すべての二国間抵抗  $\{t_{ij}\}$  に依存するからである。すべての貿易相手国との貿易障壁の上昇は、この指数を上昇させる。例えば、貿易障壁がない場合（すべての  $t_{ij} = 1$ ）、(12) からすべての価格指数が 1 に等しいことが直ちに導かれる。以下では、国家間貿易障壁の限界的な増加がすべての価格指数を 1 より上に引き上げることを示す。

$P_i$  はモデルにおいて消費者物価指数であるが、より一般的には、これらの指数のそのような解釈は適切ではないであろう。貿易費用が非金銭的である場合でも、まったく同じ重力方程式と  $P_i$  の解を導出することができる。例は選好におけるホームバイアスであり、この場合、効用関数における  $c_{ij}$  が  $c_{ij}/t_{ij}$  に置き換えられる。その場合、 $P_i$  はもはや消費者物価指数を表さず、国境障壁はホームバイアスを含む。

重力方程式は、規模をコントロールした後、二国間貿易が  $i$  と  $j$  の間の二国間貿易障壁に依存し、それは彼らの多国間抵抗指数の積に対する相対的なものであることを示している。輸入国  $j$  のより高い多国間抵抗が  $i$  との貿易を増加させる理由は容易にわかる。 $i$  と  $j$  の間の所与の二国間障壁に対して、 $j$  とその他の貿易相手国との間のより高い障壁は、 $i$  からの財の相対価格を低下させ、 $i$  からの輸入を増加させる。輸出国  $i$  のより高い多国間抵抗もまた貿易を増加させる。輸出者が直面するより高い貿易障壁は、その財への需要を低下させ、したがってその供給価格  $p_i$  を低下させる。 $i$  と  $j$  の間の所与の二国間障壁に対して、これは両者間の貿易水準を引き上げる。

(12) を制約条件とする重力モデル (13) は、二国間貿易が貿易費用において零次同次であることを意味し、これらには地域内輸送費用  $t_{ii}$  が含まれる。これは、均衡多国間抵抗  $P_i$  が貿易費用において 1/2 次同次であるために成り立つ。この形式的結果の背後にある経済学は、実質生産物の一定のベクトルが、より高い貿易費用にもかかわらず分配されなければならないということである。貿易費用の上昇は、同じ量の輸送を達成するために必要な供給価格の低下（(7) と均衡多国間抵抗の同次性に基づいて、それらは貿易費用においてマイナス 1/2 次同次である）によって相殺される。貿易費用の一律な減少に対する貿易の不変性は、通常重力モデル推定が時間の経過とともに貿易が距離に対して感度が低下していることを見出していない理由 (Barry Eichengreen と Douglas A. Irwin, 1998) への手がかりを提供するかもしれない。

理論的重力方程式の重要な含意は、地域間の貿易は相対的な貿易障壁によって決定されるということである。二つの地域間の貿易は、両地域がすべての貿易相手国と直面する平均的な貿易障壁に対する相対的な、両者間の二国間障壁に依存する。この洞察は、貿易障壁が貿易フローに与える影響について多くの含意を持つ。ここでは、第 IV 節の発見を解釈する上で有用であるため、国の規模に関連する一連の重要な含意に焦点を当てる。すべての国間の国境障壁の様な上昇という単純な思考実験を考えよう。簡単化のため、各地域  $i$  は摩擦のない国であると仮定する。以下に列挙される、この実験の 3 つの一般均衡比較静学的含意について議論する。

**含意 1:** 貿易障壁は、小国間 (between small countries) よりも大国間 (between large countries) の規模調整済み貿易をより削減する。

**含意 2:** 貿易障壁は、大国内 (within large countries) よりも小国内 (within small countries) の規模調整済み貿易をより増加させる。

**含意 3:** 貿易障壁は、国 1 と国 2 の間の規模調整済み貿易に対する国 1 内の規模調整済み貿易の比率を、国 1 が小さいほど、また国 2 が大きいほど、より引き上げる。

この実験は、すべての国にわたる貿易障壁の限界的な増加に相当するため、 $dt_{ij} = dt, i \neq j; dt_{ii} = 0$  となる。摩擦のない初期均衡は  $t_{ij} = 1 \quad \forall i, j \Rightarrow P_i = 1$  を意味する。 $t_{ij} = 1, \forall i, j$  において (12) を微分すると、次が得られる

$$dP_i = \left( \frac{1}{2} - \theta_i + \frac{1}{2} \sum_k \theta_k^2 \right) dt \quad (14)$$

したがって、貿易障壁の様な増加は、大国よりも小国の多国間抵抗をより引き上げる。二国の例において、小国の所得が全体の 10 パーセントである場合、20 パーセントの貿易障壁は大国の価格指数を 0.2 パーセント引き上げる一方で、小国の価格指数を 16 パーセント引き上げる。これは、後でモデルが適用される米加の例と似ている。非常に大きな国の場合、増加した貿易障壁は国内貿易には適用されないため、多国間抵抗はあまり影響を受けない。小国の場合、貿易はより重要であり、したがって貿易障壁は多国間抵抗により大きな影響を与える。

式 (14) は、規模をコントロールした後の、国  $i$  と国  $j$  の間の貿易水準が次のように変化することを意味する

$$d \left( x_{ij} \frac{y^W}{y_i y_j} \right) = -(\sigma - 1) \left[ \theta_i + \theta_j - \sum_k \theta_k^2 \right] dt \quad (15)$$

これは、大国間の貿易が小国間の貿易よりも多く減少することを意味する (含意 1)。二つの小国はより大きな二国間貿易障壁に直面するが、ほぼ全世界との貿易障壁の同じ増加に直面する。二国間貿易は相対的な貿易抵抗  $t_{ij}/P_i P_j$  に依存する。多国間貿易抵抗は大国よりも小国でより多く上昇するため、相対的な貿易抵抗は小国ではより少なく上昇し、したがって彼らの二国間貿易はより少なく減少する。

式 (14) はまた、規模をコントロールした後の、国  $i$  内の貿易が次のように増加することを意味する

$$d \left( x_{ii} \frac{y^W}{y_i y_i} \right) = (\sigma - 1) \left[ 1 - 2\theta_i + \sum_k \theta_k^2 \right] dt \quad (16)$$

したがって、小国内の貿易は大国内の貿易よりも多く増加する (含意 2)。多国間抵抗の上昇は、国内貿易の相対的抵抗  $t_{ii}/P_i P_i$  の低下を意味する。より大きな多国間抵抗の増加に直面する小国では、低下はより大きい。

含意 3 は前の二つから導かれる。規模をコントロールした後、国  $i$  と国  $j$  の間の貿易に対する国  $i$  内の貿易は、次のように上昇する

$$d \left( \frac{x_{ii}/y_i y_i}{x_{ij}/y_i y_j} \right) = (\sigma - 1) [1 - \theta_i + \theta_j] dt \quad (17)$$

増加は、 $i$ が小さく $j$ が大きいほど、より大きい。我々は含意2から、国内貿易が小国で最も上昇することを既に知っていた。含意1からも、所与の小国について、国際貿易は大国との間で最も減少することを知っている。

規模に関連する含意は、モデルの詳細が示唆するよりもはるかに一般的である。重力方程式や多国間抵抗変数に言及することなく、以下の例を考えてみよう。2つの地域を持つ小規模経済と100の地域を持つ大規模経済が国際貿易に従事している。すべての地域は同じGDPを持っている。ここで重要なのは地域の数ではなく、総GDPによって測定される二つの経済の相対的規模である。我々がこの例で地域を導入するのは、実証分析の焦点である米国の州とカナダ州の文脈で説明的であるからにすぎない。国境のない貿易の下では、すべての地域は102のすべての地域（自分自身を含む）に1単位の1つの財を販売する。ここで小国と大国の間に障壁を課し、両国間の貿易を20パーセント削減する。小国の地域1は、その大国への輸出を20削減する。それは自分自身にさらに10の財を販売し、小国の地域2にさらに10の財を販売する。小国の2つの地域間の貿易は11倍に上昇するが、大国の2つの地域間の貿易はわずか1.004倍にしか上昇しない（上記の含意2の例示）。これは、国際貿易のわずかな減少でさえ、小国内の貿易の非常に大きな増加につながる可能性があることを示している。小国の2つの地域間の貿易は、両国の地域間の貿易の13.75倍になり、一方で大国の2つの地域間の貿易は、両国間の地域間の貿易のわずか1.255倍である（含意3の例示）。

重力方程式の理論的展開の最終段階は、観察不可能な貿易費用要因 $t_{ij}$ をモデル化することである。我々は他の著者に従い、 $t_{ij}$ が観察可能なもの、すなわち二国間距離 $d_{ij}$ 、および $i$ と $j$ の間に国際国境があるかどうかの対数線形関数であると仮定する：

$$t_{ij} = b_{ij}d_{ij}^p. \quad (18)$$

地域 $i$ と $j$ が同じ国に位置する場合、 $b_{ij} = 1$ である。それ以外の場合、 $b_{ij}$ は、地域が位置する国々との国境障壁の関税相当額に1を加えたものに等しい。他の研究者は、隣接性や言語的アイデンティティなど、貿易障壁に関連する他の要因を追加している。我々は、McCallum (1995)の方程式にできる限り近づくために貿易費用の定式化(18)を選択した。これにより、McCallumの分析には存在しない多国間抵抗指数に焦点を当て続けることができる。

我々は今、理論的重力方程式と実証文献で推定されたものを比較することができる。理論は次を意味する

$$\ln x_{ij} = k + \ln y_i + \ln y_j + (1 - \sigma)\rho \ln d_{ij} + (1 - \sigma) \ln b_{ij} - (1 - \sigma) \ln P_i - (1 - \sigma) \ln P_j \quad (19)$$

ここで $k$ は定数である。(20)とMcCallumによって推定された式(1)の主な違いは、2つの価格指数項である。除外された多国間抵抗変数は、(12)を通じてすべての二国間貿易障壁 $t_{ij}$ の関数であり、それは貿易費用方程式(18)を通じて $d_{ij}$ と $b_{ij}$ の関数である。したがって、多国間抵抗項は $d_{ij}$ と $b_{ij}$ と相関しているため、距離変数と国境変数の係数が $(1 - \sigma)\rho$ および $(1 - \sigma) \ln b_{ij}$ として解釈されるとき、除外変数バイアスを生み出す。我々の多国間抵抗変数は、McCallumの論文以降の重力方程式推定に含まれている(3)のような「遠隔性」指数といくらか類似している。しかし、後者は国境障壁を含まず、国境障壁がなくても、関数形式は理論と完全に切り離されている。最後に、均衡構造としての我々の多国間抵抗変数は、(12)の解におけるすべての二国間抵抗の関数である。

理論と実証文献の間の小さな違いは、理論的重力方程式が単位所得弾力性を課すことである。Anderson (1979)は、非単位所得弾力性を推定する以前の（およびその後の）実証的重力研究に対する根拠を提供した。彼は非貿易財を考慮し、総所得の関数として貿易財に向けられる支出シェアの誘導形関数を仮定した。我々は既に第I節で、単位所得弾力性を課すことがMcCallumの国境推定値にほとんど影響を与えないことを見出した。したがって、我々は分析の大部分において単位所得弾力性を課し、非単位弾力性への拡張は感度分析に残す。

### III. 推定

我々は、米国とカナダからなる二国モデルと、他の先進国も含む多国モデルの両方の文脈で理論を実装する。後者のアプローチは、米国とカナダが他の国とも貿易することを考慮に入れるため、明らかに現実的である。それには、他の先進国間の貿易に対する国境障壁の影響の推定値を提供するという追加的な利点がある。我々はまず二国モデルを議論し、次に多国モデルを議論する。

## A. 二国モデル

二国モデルでは、McCallum (1995) と同じ 30 の US 州と 10 カナダ州の間の貿易フローについて重力方程式を推定する。我々は、米国 GDP の約 15 パーセントを占める他の 21 地域（20 州とコロンビア特別区）と、US 州またはカナダ州の内部貿易フローをサンプルに含めない。しかし、サンプル内の地域の多国間抵抗変数を計算するためには、他の 21 地域に関連する規模と距離の情報を使用する必要があり、また地域内の距離に関する情報も使用する必要がある。我々は、他の 21 地域を 1 つの地域に集約することで簡略化し、この地域とサンプル内の地域  $i$  の間の距離を、 $i$  と新しい地域を構成する 21 地域のそれぞれとの間の距離の GDP 加重平均として定義する。地域内部の距離を計算する明白な方法はない。幸いなことに、第 V 節で示すように、我々の結果は内部距離に関する仮定にあまり敏感ではない。我々は Wei (1996) によって開発された代理変数を使用する。これは、地域の首都から別の地域の最も近い首都までの距離の 4 分の 1 である。

二国モデルでは  $b_{ij} = b^{1-\delta_{ij}}$  であり、ここで  $b-1$  は関税相当の米加国境障壁を表し、 $\delta_{ij}$  は第 I 節と同じダミー変数で、 $i$  と  $j$  が同じ国にある場合は 1、それ以外の場合は 0 である。

我々は (13) の確率的形式を推定する：

$$\ln z_{ij} \equiv \ln \left( \frac{x_{ij}}{y_i y_j} \right) = k + a_1 \ln d_{ij} + a_2 (1 - \delta_{ij}) - \ln P_i^{1-\sigma} - \ln P_j^{1-\sigma} + \varepsilon_{ij} \quad (20)$$

ここで  $a_1 = (1 - \sigma)\rho$  および  $a_2 = (1 - \sigma) \ln b$  である。

McCallum (1995) の回帰にできる限り近づけるために、我々は重力方程式の対数形式に単に誤差項を追加した。これは貿易における測定誤差を反映していると考えられる。単位所得弾力性を別にすれば、McCallum (1995) との唯一の違いは、2 つの多国間抵抗項の存在である。

多国間抵抗項は観察可能なものではない。上述したように、価格指数は一般的に消費者物価水準として解釈することはできない。我々のモデルにおける観察可能なものは、距離、国境、および所得シェアである。41 の財市場均衡条件 (12) と貿易費用関数 (18) を用いて、我々は観察可能なものとモデルパラメータ  $a_1$  と  $a_2$  の暗黙的関数として  $P_i^{1-\sigma}$  のベクトルを解くことができる：

$$P_j^{1-\sigma} = \sum_i P_i^{\sigma-1} \theta_i e^{a_1 \ln d_{ij} + a_2 (1 - \delta_{ij})} \quad j = 1, \dots, 41 \quad (21)$$

(21) における  $P_i^{1-\sigma}$  の暗黙的解を代入した後、推定すべき重力方程式は次のようになる：

$$\ln \mathbf{z} = h(\mathbf{d}, \delta, \theta; k, a_1, a_2) + \varepsilon \quad (22)$$

ここで  $\mathbf{z}, \mathbf{d}, \delta, \theta$ 、および  $\varepsilon$  は、添え字を持つ対応する変数のすべての要素を含むベクトルであり、 $h(\cdot)$  は均衡  $P_i^{1-\sigma}$  と  $P_j^{1-\sigma}$  を代入した後の (20) の右辺である。

右辺は今や観察可能なものの関数として明示的に書かれている。我々是非線形最小二乗法で (22) を推定し、二乗誤差の和を最小化する。任意のパラメータのセットに対して、回帰の誤差項は、まず 41 の方程式 (21) を解いた後のみ計算できる。推定されるパラメータは  $k, a_1$ 、および  $a_2$  である。代替の弾力性  $\sigma$  は、 $a_1$  と  $a_2$  において貿易費用パラメータ  $\rho$  と  $\ln b$  と乗法形式で入るため、別個に推定することはできない。

我々の推定量は、 $\varepsilon$  が  $\mathbf{d}, \delta$ 、および  $\theta$  に関する  $\mathbf{h}$  の導関数と無相関であれば不偏である。我々が行ったように、 $\varepsilon_{ij}$  を単に二国間貿易に関連する測定誤差として解釈する場合、これは問題ではない。もちろん、誤差は他の多くの方法でモデルに入り込む可能性があり、理論はこれについてほとんど語らない。特に、貿易費用関数 (18) が、距離と国境以外の要因が重要であるという点で、または関数形式が正しくないという点で、誤って特定化されている可能性がある。これを捉えるために貿易費用関数に誤差項を追加することができる。この誤差項が  $\mathbf{d}$  または  $\delta$  と相関している場合、我々の推定値は偏る。しかし、これは多国間抵抗項の存在に特有ではない標準的な除外変数問題である。我々は McCallum (1995) の定式化にできる限り近づけるために貿易費用関数を選択した。貿易費用関数における誤差項が  $\mathbf{d}$  と  $\delta$  と無相関である場合でも、誤差項が均衡価格に影響を与え、したがって多国間抵抗項に影響を与える所得シェア  $\theta$  に影響を与えるという問題がある。しかし、実際にはこれから生じるバイアスは非常に小さい。以下で報告するように、米加国境を完全に除去するという劇的な措置を取ったとしても、 $P_i^{1-\sigma}$  の結果として生じる変化のほぼすべてが所得シェアの変化とは関連していない。

上述の推定方法に代わる方法は、多国間抵抗項を国別固定効果ダミーで置き換えることである。これはモデルパラメータの一貫した推定値につながる。Hummels (1999) は、細分化された米国輸入データを用いた重力方程式についてこれを行った。主な利点は、通常最小二乗法が使用できるため簡便であることである。もう一つの利点は、構造的多国間抵抗項を計算するために必要であり測定が困難な、US州とカナダ州の内部距離について何の仮定も行う必要がないことである。Rose and van Wincoop (2001) は、通貨同盟が貿易に与える影響を決定するために本論文の方法を適用する際に、この推定量を使用している。しかし、固定効果推定量は、モデルの完全な構造に関する情報を使用する上述の非線形最小二乗推定量よりも効率的ではないことを強調する必要がある。単純な固定効果推定量は、必ずしも定式化誤差に対してより頑健であるとは限らない。例えば、貿易費用関数が関数形式または変数のセットの点で誤って特定化されている場合、定式化誤差が距離または国境ダミーと相関している限りにおいて、両方の推定量は偏りを持つ。

米加国境の除去などの比較静学分析については、構造モデルはいずれの推定方法でも使用できる。我々は表6で報告される感度分析において固定効果推定量を使用し、類似した結果を得ている。

## B. 多国モデル

多国モデルでは、世界はすべての先進国、合計22カ国で構成される。その場合、我々の分析には61の地域がある：30のUS州、米国の残りの部分、10カナダ州、および20の他の国々である。我々は20の追加国をしばしばROW (rest of the world: その他の世界) と呼ぶ。この拡張された環境において、我々は国境障壁  $b_{ij}$  が米加貿易、米国-ROW貿易、カナダ-ROW貿易、およびROW-ROW貿易について異なる可能性があるかと仮定する。我々はこれらをそれぞれ  $b_{US,CA}$ 、 $b_{US,ROW}$ 、 $b_{CA,ROW}$ 、および  $b_{ROW,ROW}$  と定義する。

二国モデルにおける推定方法との整合性、および米加国境効果への我々の焦点を考慮して、我々は30のUS州と10カナダ州の二乗残差の和を最小化することによってパラメータを推定し続ける。しかし、US州とカナダ州の多国間抵抗変数に影響を与える3つの追加パラメータがある： $(1-\sigma) \ln b_{US,ROW}$ 、 $(1-\sigma) \ln b_{CA,ROW}$ 、および  $(1-\sigma) \ln b_{ROW,ROW}$  である。我々はこれらのパラメータの推定値を得るために3つの制約を課す。制約は、米国-ROW貿易、カナダ-ROW貿易、およびROW-ROW貿易の残差の平均をゼロに設定する。形式的には、

$$\begin{aligned} \sum_{j \in ROW} (\varepsilon_{US,j} + \varepsilon_{j,US}) &= 0 \\ \sum_{j \in ROW} (\varepsilon_{CA,j} + \varepsilon_{j,CA}) &= 0 \\ \sum_{i,j \in ROW, i \neq j} \varepsilon_{ij} &= 0. \end{aligned}$$

我々はROW諸国と米国全体との間の貿易データしか持っていないため、残差  $\varepsilon_{US,j}$  と  $\varepsilon_{j,US}$  は、米国と国  $j$  の間の二国間貿易の対数から予測貿易の対数を引いたものとして定義される。後者は、 $j$  とすべての米国地域との間のモデルの予測貿易を合計することによって得られる。カナダとROW諸国との間の貿易についても同じことが行われる。

## IV. 結果

本節における我々の目標は3つある。第一に、理論的重力方程式を推定した結果を報告する。第二に、推定された重力方程式を用いて、国境が貿易フローに与える影響を決定する。これは、国境障壁を除去した後の二国間貿易フローの変化を計算することによって行われる。最後に、推定された重力方程式を用いて、推定されたMcCallumの国境パラメータを説明する。この手順は、米国についてカナダよりもはるかに小さいMcCallumの国境パラメータを生成する際の多国間抵抗変数の役割、およびMcCallumの手順における除外変数バイアスの影響を例示する。

### A. パラメータ推定値

表2は二国間貿易抵抗パラメータの推定値を報告している。米加国境障壁の推定値は、二国モデルと多国モデルの両方で非常に類似している。多国モデルでは、国境障壁の推定値は国ペア間でも驚くほど類似している。米国とカナダの間の障壁は、他の20の先進国間の障壁よりもわずかに低いだけであり、その大部分は欧州連合諸国間の貿易である。他よりも少し高い唯一の国境障壁は、カナダとROW諸国の間のものである。

TABLE 2—ESTIMATION RESULTS

		Two-country model	Multicountry model
Parameters	$(1 - \sigma)\rho$	-0.79 (0.03)	-0.82 (0.03)
	$(1 - \sigma)\ln b_{US,CA}$	-1.65 (0.08)	-1.59 (0.08)
	$(1 - \sigma)\ln b_{US,ROW}$		-1.68 (0.07)
	$(1 - \sigma)\ln b_{CA,ROW}$		-2.31 (0.08)
	$(1 - \sigma)\ln b_{ROW,ROW}$		-1.66 (0.06)
Average error terms:	US-US	0.06	0.06
	CA-CA	-0.17	-0.02
	US-CA	-0.05	-0.04

注：この表は、二国モデルと多国モデルからのパラメータ推定値を報告している。頑健標準誤差は括弧内に示されている。表はまた、US州間貿易、カナダ州間貿易、およびUS州・カナダ州間貿易の平均誤差項も報告している。

上述したように、我々は $(1 - \sigma)\ln b$ のみを推定できる。国境障壁の従価税相当である $b - 1$ の推定値を得るためには、代替の弾力性 $\sigma$ について仮定を行う必要がある。もちろん、モデルは弾力性が1つしかないという点で高度に様式化されている。現実には、一部の財は完全代替財で無限の弾力性を持つ可能性があり、他の財は弱い代替財である。Hummels (1999)は産業内の代替の弾力性の推定値を得ている。結果は産業の細分化に依存する。平均弾力性は、1桁、2桁、および3桁の産業でそれぞれ4.8、5.6、および6.9である。さらなる細分化レベルでは、弾力性ははるかに高くなる可能性があり、一部の財は完全代替財に近い。したがって、適切な平均弾力性を導き出すことは困難である。しかし、数値の感覚を与えるために、多国モデルにおける $(1 - \sigma)\ln b_{US,CA}$ の推定値-1.58は、平均弾力性がそれぞれ5、10、および20の場合、関税相当がそれぞれ48、19、および9パーセントであることを意味する。

表2の最後の3行は、US州間貿易、カナダ州間貿易、およびUS州・カナダ州間貿易の平均誤差項を報告している。特に多国モデルでは、これらはゼロに近い。多国モデルにおける実際の貿易と予測貿易の平均パーセント差は、US州間貿易、カナダ州間貿易、およびUS州・カナダ州間貿易でそれぞれ6、2、および4パーセントである。二国モデルにおける最大の誤差項はカナダ州間貿易のもので、平均して実際の貿易は予測貿易よりも17パーセント低い。

## B. 国境が二国間貿易に与える影響

我々は今、推定された国境障壁が二国間貿易フローに与える一般均衡比較静学的含意に移る。我々は、モデル推定値が示唆する国境のない貿易に対する、国境障壁がある場合の貿易フローの比率を計算する。付録Bでは、距離摩擦を維持しながらすべての国境障壁を除去した後の均衡をどのように計算するかを議論している。自由貿易均衡を解くためには弾力性 $\sigma$ を知る必要があることがわかる。これは、新しい所得シェア $\theta_i$ が相対価格に依存し、相対価格が $\sigma$ に依存するためである。我々は $\sigma = 5$ と設定するが、感度分析のセクションで他の弾力性についても結果がほぼ同一であることを示す。弾力性 $\sigma$ は、均衡所得シェアに少し影響を与える以外には何の役割も果たさない。

以下では、貿易変数および多国間抵抗変数の（変換）の「平均」を、McCallum (1995)と整合的に、これらの変数の対数の平均の指数として定義する。

多国間抵抗変数は、国境障壁が二国間貿易に与える影響を理解し、McCallumの国境パラメータを説明するものを理解するために極めて重要である。米国、カナダ、およびROWにおける地域を3つの集合として定義し、表3はこれらの各集合における地域の多国間抵抗の変換 $P^{\sigma-1}$ の平均を報告している。結果は、推定された国境障壁がある場合と国境のない貿易の下の両方で示されている。第II節で議論したように、モデルに基づけば、国境障壁は大国よりも小国において多国間抵抗のより大きな増加をもたらすと予想される。これはまさに表3で見られるものである。 $P^{\sigma-1}$ は米国の州では12パーセント上昇するが、カナダ州では

2.44 倍上昇する。この数値は、その規模も中間的である ROW 諸国では中間的である。カナダの国境はカナダ州とその潜在的な貿易相手国の大部分との間に障壁を作り出すが、US 州は米国の大規模経済の残りの部分との間に国境障壁を持たない。したがって、多国間抵抗は US 州よりもカナダ州でより多く上昇する。

TABLE 3—AVERAGE OF  $P^{1-\sigma}$

	US	Canada	ROW
Two-country model			
With border barrier (BB)	0.77 (0.03)	2.45 (0.12)	
Borderless trade (NB)	0.75 (0.03)	1.18 (0.01)	
Ratio (BB/NB)	1.02 (0.00)	2.08 (0.08)	
Multicountry model			
With border barrier (BB)	1.55 (0.01)	4.67 (0.09)	2.97 (0.07)
Borderless trade (NB)	1.39 (0.00)	1.91 (0.04)	1.54 (0.01)
Ratio (BB/NB)	1.12 (0.01)	2.44 (0.09)	1.93 (0.06)

注：この表は  $P_i^{\sigma-1}$  の平均を報告しており、平均は対数の平均の指数として定義されている。米国については、サンプル内の 30 の US 州にわたる平均が取られ、カナダについては 10 カナダ州にわたり、ROW については他の 20 の先進国にわたって平均が取られている。

国境のない貿易の下でも、 $P_i^{1-\sigma}$  は US 州よりもカナダ州で実質的に高い。米国とカナダの間の距離は、それらの国内よりも平均的にやや大きい。これは、カナダ州の潜在的な貿易相手国の大部分が国外にあるため、US 州よりもカナダ州の多国間抵抗に影響を与える。一方、US 州の場合は国内にある。これは再び、カナダ経済の小規模性の結果である。

表 3 は、貿易水準に関係するため、多国間抵抗指数の変換  $P_i^{1-\sigma}$  を報告している。 $P_i$  自体、すなわち地域が直面する平均的な貿易障壁の尺度は、国境の結果としてはるかに少なく上昇することを指摘する価値がある。 $\sigma = 5$  の場合、 $P_i$  は US 州では平均 3 パーセント、カナダ州では 25 パーセント上昇する。より高い  $\sigma$  ではさらに小さくなる。

TABLE 4—IMPACT OF BORDER BARRIERS ON BILATERAL TRADE

	US-US	CA-CA	US-CA	US-ROW	CA-ROW	ROW-ROW
Two-country model						
Ratio BB/NB	1.05 (0.01)	4.31 (0.34)	0.41 (0.02)			
Due to bilateral resistance	1.0 (0.0)	1.0 (0.0)	0.19 (0.01)			
Due to multilateral resistance	1.05 (0.01)	4.31 (0.34)	2.13 (0.09)			
Multicountry model						
Ratio BB/NB	1.25 (0.02)	5.96 (0.42)	0.56 (0.03)	0.40 (0.01)	0.46 (0.01)	0.71 (0.02)
Due to bilateral resistance	1.0 (0.0)	1.0 (0.0)	0.20 (0.02)	0.19 (0.01)	0.10 (0.01)	0.19 (0.01)
Due to multilateral resistance	1.25 (0.02)	5.96 (0.42)	2.72 (0.12)	2.15 (0.09)	4.70 (0.31)	3.71 (0.25)

注：この表は、推定された国境障壁 (BB) がある場合の貿易と国境のない貿易 (NB) の下での貿易の比率を報告している。この比率は、二国間抵抗 ( $t_{ij}^{1-\sigma}$ ) を通じた国境障壁が貿易に与える影響と、多国間抵抗 ( $P_i^{1-\sigma} P_j^{1-\sigma}$ ) を通じた影響に分解されている。

表 4 は、3つの地域集合 (米国、カナダ、ROW) の間および各集合内での二国間貿易フローに対する国境障壁の影響を報告している。規模は、二国間貿易数値に  $y^W/(y_i y_j)$  を乗じることによってコントロールされている。チルダを国境のない貿易を表すものとする、集合  $h$  と  $k$  ( $h, k = US, CA, ROW$ ) の地域間の平均貿易の、国境障壁がある場合とない場合の比率は

$$b_{hk}^{1-\sigma} \left( \frac{P_h^{\sigma-1}}{\tilde{P}_h^{\sigma-1}} \right) \left( \frac{P_k^{\sigma-1}}{\tilde{P}_k^{\sigma-1}} \right) \quad (23)$$

である。ここで  $P_h^{\sigma-1}$  はその集合における地域の平均を指す。したがって、我々は国境障壁が貿易に与える影響を、二国間国境障壁の影響と、両集合の地域の多国間抵抗に対する国境障壁の影響に分解することができる。国境障壁が輸入国と輸出国が直面する平均的な貿易障壁 (多国間抵抗) を引き上げる限りにおいて、それは両国間の貿易に対する二国間国境障壁の負の影響を和らげる。以下では、より現実的な多国モデルの数値に焦点を当てる。

国家間貿易障壁が大国よりも小国において国内貿易をより引き上げるという理論の含意 2 は、表 4 において強く確認されている。表は、国境によりカナダ州間貿易が驚異的な 6 倍増加する一方で、US 州間貿易はわずか 25 パーセントしか上昇しないことを報告している。カナダ州の多国間抵抗のより大きな増加は、米国内よりもカナダ内の貿易の相対的な貿易抵抗  $t_{ii}/P_i P_i$  のより大きな低下につながり、カナダ州間貿易の大幅な増加を説明している。

表 4 はまた、国境が米国とカナダの間の貿易を国境のない貿易の 0.56 倍、すなわち 44 パーセント削減することを報告している。ROW 諸国間の貿易は 29 パーセント削減される。二国間国境障壁自体は US 州とカナダ州の間の貿易の 80 パーセントの減少を意味するが、特にカナダ州についての多国間抵抗の増加は、US 州・カナダ州間貿易を 2.72 倍引き上げる。国境障壁により米国の財はカナダにとってより高価になったが、カナダ州のほぼすべての貿易相手国の財もより高価になった。これは米加貿易への負の影響を大幅に和らげる。

ROW 諸国間の貿易が米国とカナダの間よりもやや少なく減少することは、特に表 2 の推定値がやや低い米加国境障壁を示唆しているため、やや驚くべきことに思えるかもしれない。しかし、これは、国境障壁が国の規模が大きいほど国家間貿易に大きな影響を与えるという理論の含意 1 の文脈で理解できる。同じ国境障壁に対して、米国がはるかに小さな国であれば、米加貿易ははるかに少なく減少していただろう。これはまた、米国と ROW 諸国の間の貿易が米国とカナダの間よりもやや多く減少する理由も説明している。カナダは平均的な ROW 諸国よりもさらに小さい。規模のみに基づけば、カナダと ROW 諸国の間の貿易はカナダと米国の間よりも少なく減少すると予想されるが、カナダと ROW 諸国の間のより高い貿易障壁の結果として、そうではない。

### C. 国内貿易対国際貿易

McCallum は、国境が国内貿易（カナダ国内）対国際貿易（米国とカナダの間）に与える影響を測定することを目指した。本小節では、カナダに関する大きな McCallum の国境パラメータが、(i) カナダ経済の相対的な小規模性と (ii) 除外変数バイアスの組み合わせによるものであることを示す。

国内貿易対国際貿易に対する国境障壁の影響は、表 4 から直ちに導かれ、表 5 の最初の行に報告されている。多国モデルは、国境がカナダ州間の貿易を US 州とカナダ州の間の貿易よりも 10.7 倍大きくすることを示唆している。対照的に、国境障壁は US 州間の貿易を US 州とカナダ州の間の貿易に対してわずか 2.24 倍引き上げるだけである。これは理論の含意 3 によってまさに予想された通りである。これは、カナダの相対的な小規模性の結果であり、カナダ州間の貿易を 6 倍増加させる。US 州間の貿易の小さな変化は、米国の国内貿易対国際貿易の対応してはるかに小さい増加につながる。

これは、カナダに関する大きな McCallum の国境パラメータの説明の一部に過ぎない。もう一つの部分は、推定と計算という 2 つの異なる意味における除外変数バイアスの結果である。推定バイアスとは、通常の計量経済学的な除外変数バイアスを意味する。計算バイアスとは、項を除外した誘導形計算から生じる誤った比較静学を意味する。除外変数バイアスを分析するために、理論的重力方程式を次のように書き換える

$$\ln x_{ij} = k + \ln y_i + \ln y_j + \rho(1 - \sigma) \ln d_{ij} + R_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (24)$$

ここで、

$$R_{ij} = (1 - \sigma) \ln b_{ij} - (1 - \sigma) \ln P_i - (1 - \sigma) \ln P_j.$$

$R_{ij}$  は、二国間距離項を除くすべての貿易抵抗項の合計を測定する。McCallum は (24) を推定したが、 $R_{ij}$  をカナダ州間貿易では 1、US 州・カナダ州間貿易では 0 となるダミー変数で置き換えた。多国間抵抗項がない場合、これは  $(1 - \sigma)\rho$  と  $(1 - \sigma) \ln b$  の不偏推定値を与えるだろう。しかし、除外された多国間抵抗項は距離と国境ダミーの両方と相関しているため、McCallum の回帰は  $(1 - \sigma)\rho$  または  $(1 - \sigma) \ln b$  のいずれの不偏推定値も与えない。

次に、計算バイアスを考える。McCallum が二国間距離を乗じるパラメータ  $(1 - \sigma)\rho$  を正しく推定していたと仮定する。その場合でも、McCallum の国境効果は、US 州・カナダ州間貿易に対するカナダ州間貿易の比率に対する国境の効果として解釈することはできない。理論の文脈では、カナダに関する McCallum の国境パラメータを、カナダ州間貿易における  $R_{ij}$  の平均から US 州・カナダ州間貿易における平均を引いたものの推定量として解釈でき、米国についても同様である。McCallum の見出し数値との比較のために指数を取ると、次が得られる（第 I 節の表記に従う）

$$Border_{Canada} = (b_{US,CA})^{\sigma-1} \frac{P_{CA}^{\sigma-1}}{P_{US}^{\sigma-1}} \quad (25)$$

同様に、米国については次が得られる

$$Border_{US} = (b_{US,CA})^{\sigma-1} \frac{P_{US}^{\sigma-1}}{P_{CA}^{\sigma-1}} \quad (26)$$

(25)-(26) によって示唆される理論的な McCallum の国境パラメータは、表 5 の 2 行目に報告されている。多国モデルでは、国境パラメータはカナダで 14.8、米国で 1.63 である。これは、単位所得係数で McCallum の回帰を推定した際の表 1 の最終列に報告された 14.2 と 1.62 のパラメータに密接に対応している。カナダの（変換された）多国間抵抗項  $P_{CA}^{\sigma-1}$  が米国の多国間抵抗項  $P_{US}^{\sigma-1}$  よりもはるかに高いことが、カナダの国境効果を膨らませ、一方で米国については同じ要因でそれを和らげている。

TABLE 5—IMPACT BORDER ON INTRANATIONAL TRADE RELATIVE TO INTERNATIONAL TRADE

	Two-country model		Multicountry model	
	Canada	US	Canada	US
Theoretically consistent estimate	10.5 (1.16)	2.56 (0.13)	10.7 (1.06)	2.24 (0.12)
McCallum parameter implied by theory	16.5 (1.63)	1.64 (0.09)	14.8 (1.32)	1.63 (0.10)

注：表の最初の行は、カナダと米国の両方について、国際貿易に対する国内貿易への国境障壁の影響に関する理論的に一貫した推定値を報告している。2行目は、モデルによって示唆される McCallum の国境パラメータを報告しており、これは国際貿易に対する国内貿易の比率への国境の影響の偏った推定値を提供する。

表5の1行目と2行目の比較は、McCallum のカナダに関する測定値が、国際貿易に対する国内貿易への国境の影響に関する我々の一貫した推定値を過大評価していることを示している。その理由は、国際貿易に対する国内貿易への国境の影響の正しい測定では、(25) と (26) における多国間抵抗項が、国境障壁がない場合に対する国境障壁がある場合の多国間抵抗の比率で置き換えられるためである。国境を取り除く比較静学実験は、多国間抵抗への影響を含めなければならない。距離のみによる US 州よりもカナダ州の高い多国間抵抗のため、McCallum の測定値は、国境障壁がない場合でもカナダについて1より大きい国境パラメータを示唆していただろう。

McCallum 型回帰に基づく文献もあり、しばしば非理論的な遠隔性変数を追加して、国際貿易データと各国の総国内貿易の推定値を組み合わせて使用し、他の幅広い OECD 諸国について、国際貿易に対する国内貿易への国境の影響を推定している。この文献からの発見は理論と比較することができる。推定された多国モデルに基づくと、ROW 諸国間の国際貿易は自由貿易の下での 0.71 倍に減少し、一方で国内貿易は平均して 3.8 倍上昇する。これは、国際貿易に対する国内貿易の 5.4 倍 (3.8/0.71) の増加を意味し、これは実証文献で報告されている約 2.5 から 10 の推定値の範囲内に収まる。例えば、Helliwell (1998) は、非理論的な遠隔性変数 (3) を含めて (3) を推定し、1992 年のデータについて 5.7 倍を報告している。我々の発見は、この文献で報告されている貿易ホームバイアスが主に国内貿易の大幅な増加の結果であることを示唆している。国際貿易は国境の結果としてわずか 29 パーセントしか減少しない。国内貿易が大幅に上昇するのは、カナダでカナダ州間貿易が大幅に上昇するのと同じ理由による。ほとんどの国は世界経済の一部として相対的に小規模である。

表5の2つの行の違いは、(25) と (26) を計算するために理論モデルからのパラメータ推定値を使用しているため、比較静学のみ起因する McCallum の結果における除外変数バイアスを示している。除外変数から生じるバイアスのほぼすべてが、距離係数  $(1 - \sigma)\rho$  の偏った推定値ではなく、比較静学に関連していることが判明した。理論的重力方程式の推定から得られた距離係数を課した後表1の最終列の McCallum の回帰を再推定すると、結果として得られる McCallum の国境係数は 14.2 から 14.7 へとわずかに変化するだけである。