

Head and Mayer (2014) 重力方程式

Workhorse, Toolkit, and Cookbook

資料作成: 田中鮎夢

2026-03-27

1. イントロダクション (INTRODUCTION)

1. イントロダクション

- ▶ 重力方程式 (Gravity Equations) は、サイズと距離の効果が乗法的に作用する二国間相互作用のモデルである。
- ▶ Tinbergen (1962) 以来、50 年間にわたり二国間貿易フローを分析する主要な手法 (Workhorse) として使われてきた。
- ▶ 近年、理論的裏付けが整備され、単なる「物理学の類推」から経済学の確固たる理論へと進化した。
- ▶ 本章では、二国間貿易の重力方程式の推定と解釈に焦点。

1.1 貿易データの重力特性 (1)

- ▶ **経済規模への比例:** 輸出入は相手国の経済規模に比例して増加する。
- ▶ **図 3.1:** 日本の EU 向け輸出 (a) と EU からの輸入 (b) (2006 年)。
 - ▶ GDP 弾力性はほぼ 1 (1.00 および 1.03) であり、サイズと貿易の関係は極めて正確である。

経済規模と貿易 (Fig 3.1)

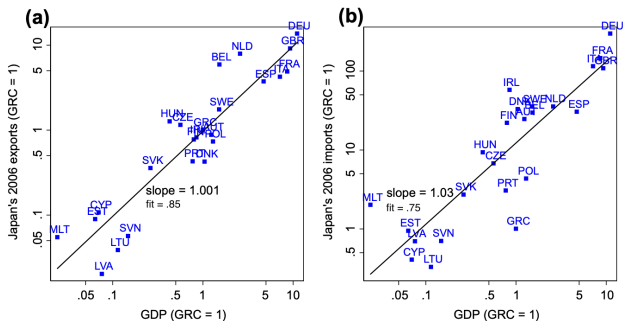


Figure 3.1 Trade is Proportional to Size; (a) Japan's Exports to EU, 2006; (b) Japan's Imports from EU, 2006. GRC: Greece

Figure 1: 日本と EU の貿易と GDP の関係

1.1 貿易データの重力特性 (2)

- ▶ **距離への反比例:** 物理的な距離は貿易に対して強い負の影響を与える。
- ▶ **図 3.2:** フランスの輸出 (a) と輸入 (b) (2006 年)。
 - ▶ 距離が増えるほど、GDP 比の貿易額は減少する。
 - ▶ 共通言語、植民地関係、EU/ユーロ圏加盟などの要因が偏差として現れる。

距離と貿易 (Fig 3.2)

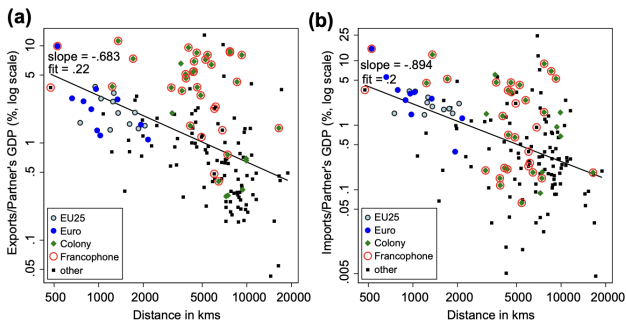


Figure 3.2 Trade is Inversely Proportional to Distance; (a) France's Exports (2006); (b) France's Imports (2006)

Figure 2: フランスの貿易と距離の関係

1.2 貿易における重力の歴史

1. 容認期 (**Admission: 1995 年**):

- ▶ Trefler (1995) の「ミッシング・トレード」問題。
- ▶ McCallum (1995) の国境効果の発見。

2. MR/固定効果革命 (**2002-2004 年**):

- ▶ Eaton and Kortum (2002), Anderson and van Wincoop (2003)。
- ▶ 多国間抵抗 (Multilateral Resistance: MR) 項の重要性が認識された。

3. 異質的企業モデルとの収束 (**2008 年**):

- ▶ Chaney (2008), Helpman et al. (2008), Melitz and Ottaviano (2008)。
- ▶ 異質的企業モデルと重力方程式が統合された。

2. 重力方程式の理論的基礎 (MICRO-FOUNDATIONS)

変数の定義

- ▶ X_{ni} : 国 i から国 n への輸出額（二国間貿易額）
- ▶ G : 重力定数（国ペアに依存しない定数）
- ▶ S_i : 輸出国の供給能力（Exporter capabilities）
- ▶ M_n : 輸入国の需要特性（Importer characteristics）
- ▶ ϕ_{ni} : 二国間のアクセシビリティ（ $0 \leq \phi_{ni} \leq 1$ 、貿易コストの逆数）
- ▶ Y_i : 輸出国の総生産額
- ▶ X_n : 輸入国の総支出額
- ▶ Ω_i, Φ_n : 多国間抵抗（Multilateral Resistance）項

2.1 一般的重力 (General Gravity)

$$X_{ni} = GS_i M_n \phi_{ni}$$

▶ 変数の定義:

- ▶ X_{ni} : 国 i から国 n への二国間貿易額
- ▶ G : 国ペアに依存しない定数 (重力定数)
- ▶ S_i : 輸出国の供給能力 (Exporter capabilities)
- ▶ M_n : 輸入国の需要特性 (Importer characteristics)
- ▶ ϕ_{ni} : 二国間の貿易コストの逆数 (Accessibility)

▶ **特徴:** 各項が「掛け算 (乗法)」の形式で作用するモデルの総称。

▶ **制約:** 第三国の効果は S_i や M_n を通じてのみ、二国間貿易に影響を与える。

2.1 構造的重力 (Structural Gravity)

$$X_{ni} = \frac{Y_i}{\Omega_i} \frac{X_n}{\Phi_n} \phi_{ni}$$

▶ 変数の定義:

- ▶ Y_i : 輸出国の総生産額、 X_n : 輸入国の総支出額
- ▶ Ω_i : 輸出国の多国間抵抗 (市場アクセス)
- ▶ Φ_n : 輸入国の多国間抵抗 (市場の競争度)
- ▶ ϕ_{ni} : 二国間の貿易コストの逆数

▶ **特徴:** 一般的重力の中で、 S_i と M_n が理論に基づいて具体的な数式として定義されるモデル。

▶ **利点:** 貿易政策の変化が他国を経由して与える影響 (一般均衡効果) を計算できる。

2.1 単純な重力 (Naive Gravity)

$$X_{ni} = GY_i^a Y_n^b \phi_{ni}$$

- ▶ **変数の定義:**
 - ▶ Y_i : 輸出国の GDP、 Y_n : 輸入国の GDP
 - ▶ G, a, b : 推定される定数・パラメータ
 - ▶ ϕ_{ni} : 二国間の距離や障壁に基づく変数
- ▶ **特徴:** 輸出入国の経済規模 (GDP) を直接用いる単純な形式。
- ▶ **問題点:** 理論が示唆する多国間抵抗 (MR) 項が無視されているため、推定結果にバイアスが生じる可能性がある (“Gold Medal Mistake”)。

3. 理論と整合的な推定 (THEORY-CONSISTENT ESTIMATION)

3.1 多国間抵抗のプロキシ

- ▶ 構造的重力を正しく推定するには、多国間抵抗（MR）項を適切に処理する必要がある。
- ▶ 歴史的には「Remoteness（隔絶性）」などのプロキシ変数が使われたが、現代では以下の手法が主流。

3.2 反復的構造推定 (SILS: Structurally Iterated Least Squares)

- ▶ Anderson and van Wincoop (2003) の手法。
- ▶ Ω_i と Φ_n の非線形な関係を収束計算 (Contraction Mapping) によって解く。
- ▶ 理論構造を厳格に反映できるが、計算コストが高く、自国間貿易データが必要。

3.3 固定効果推定 (LSDV: Least Squares Dummy Variables)

- ▶ 現代の標準的な手法 (“Gold Medal” 推定法)。
- ▶ 輸出国ダミー (Exporter FE) と輸入国ダミー (Importer FE) を用いる。
- ▶ メリット:
 - ▶ 多国間抵抗 (MR) 項を含む、全ての monadic (単一国レベル) な要因を吸収できる。
 - ▶ 特定の理論モデルの仮定に依存せず、一般的重力の形式であれば一致性のある推定が可能。

3.4 比率を用いた推定 (Ratio-Type Estimation)

▶ Head-Ries Index (HRI):

$$\hat{\phi}_{ni} = \sqrt{\frac{X_{ni}X_{in}}{X_{ii}X_{nn}}}$$

- ▶ 自国間貿易データ (X_{ii} 等) を用いて S_i や M_n を相殺し、二国間の自由度 ϕ_{ni} を直接算出。

▶ Tetrads (4国比較法):

- ▶ 参照国となるエクスポーター l とインポーター k を用い、4つの貿易フローの比率 (比率の比率) をとる手法。

$$\frac{X_{ni}/X_{nk}}{X_{li}/X_{lk}} = \frac{\phi_{ni}/\phi_{nk}}{\phi_{li}/\phi_{lk}}$$

- ▶ メリット: S_i, M_n (GDP や多国間抵抗) を完全に相殺できる。
- ▶ 最大の特徴: 自国間貿易データ (X_{ii}) が不要 (自国間データは欠損や信頼性の低さが問題になりやすいため、実務上非常に有用)。

6.1 モンテカルロ・シミュレーションの結果 (Table 3.3)

- ▶ Head and Mayer (2014) は様々な推定量を比較。
- ▶ **OLS (Naive)**: 構造的重力の下では大きなバイアスが生じる。
- ▶ **SILS / LSDV (固定効果法)**: データに欠損がない場合、良好な結果を示す。
- ▶ **結論**: Importer/Exporter 固定効果 (FE) を用いる手法が、最も堅牢で推奨される。

3.7 国固有の効果の識別

- ▶ 固定効果を用いると、GDP や制度の質といった monadic な変数の効果がダミー変数に吸収され、直接推定できなくなる。
- ▶ **対策:**
 1. monadic な変数を dyadic (二国間) な変数に変換して組み込む。
 2. 二段階推定 (Two-step estimation) :
 - ▶ 第 1 段階: 固定効果モデルで FE の推定値を算出。
 - ▶ 第 2 段階: 推定された FE を monadic な変数で回帰する。

4. 政策効果の重力推定 (GRAVITY ESTIMATES OF POLICY IMPACTS)

4.1 政策ダミーのメタ分析 (Table 3.4)

- ▶ Disdier and Head (2008) 等の既存研究に加え、159 の論文から 2500 以上の推定値を集計。
- ▶ **典型的な推定値 (平均・中央値) :**
 - ▶ 距離弾力性: 約 -0.9 。MR 項を制御しないとバイアスが生じる。
 - ▶ RTA/FTA 効果: 平均で 0.59 (貿易を約 80%増加させる)。
 - ▶ 共通通貨効果: 平均で 0.79 (貿易を約 120%増加させる)。
- ▶ **注意点:** RTA や共通通貨の効果は、推定方法や対象国によって大きくばらつく。

4.2 貿易コスト弾力性 (ϵ) の推定

- ▶ 貿易コストの変化が貿易量に与える影響を測る重要なパラメータ。
- ▶ 32の論文から集計したメタ分析 (Table 3.5) :
 - ▶ **中央値:** -3.19 、**平均:** -4.51 。
 - ▶ 関税や運賃に基づく推定ではより大きな値 ($-5 \sim -7$) が出る傾向がある。
- ▶ **意義:** ϵ は貿易の厚生利得を算出する際の「十分統計量」として機能する。

4.3 部分均衡・一般均衡効果

- ▶ 政策変化（RTA の締結など）の影響は3段階で評価される。
 1. **Partial Trade Impact (PTI):**
 - ▶ 多国間抵抗（MR）や所得の変化を無視した二国間のみの効果。
 2. **Modular Trade Impact (MTI):**
 - ▶ 所得は一定としつつ、MR 項の変化（他国への波及）を考慮した効果。
 3. **General Equilibrium Trade Impact (GETI):**
 - ▶ 所得（GDP や賃金）の変化まで含めた、経済全体の波及効果。
- ▶ **厚生 (Welfare)** : GETI から算出される実質所得の変化。

5. 重力研究の最前線 (FRONTIERS OF GRAVITY RESEARCH)

5.1 重力方程式の誤差項 (Gravity's Errors)

- ▶ **不均一分散 (Heteroskedasticity):** 対数変換後の OLS ではバイアスが生じる可能性がある。
- ▶ **Poisson PML (PPML):**
 - ▶ Santos Silva and Tenreyro (2006) が提唱。
 - ▶ レベル形式で推定するため、不均一分散に対して頑健。
- ▶ **選択基準:** MaMu テスト等を用いて、データの分散構造に適した推定法 (Poisson vs Gamma PML) を選択する。

5.2 ゼロ貿易の要因と帰結 (Causes and Consequences of Zeros)

- ▶ **ゼロの扱い:** 対数 OLS ではゼロを扱えないが、実データには多くのゼロが含まれる。
- ▶ **主な推定手法:**
 - ▶ **ET Tobit:** ゼロを小さな値で置き換える (理論的根拠に乏しい)。
 - ▶ **EK Tobit:** Eaton and Kortum (2001) による、最小貿易閾値を考慮した手法。
 - ▶ **Heckman 推定:** 輸出の決定 (Selection) と貿易額の決定を分ける。
 - ▶ **Poisson PML:** ゼロをそのまま含めて一致性のある推定が可能。

5.3 企業レベルの重力とマージン (Firm-Level Gravity)

- ▶ **外延的 vs 内延的マージン:**
 - ▶ 貿易額の変化を「企業数 (Extensive)」と「一社あたり貿易額 (Intensive)」に分解。
- ▶ **3段階分解 (Chaney 2008):**
 - ▶ 貿易コストの変化が、既存企業の輸出額、参入・退出、および企業構成 (Composition) に与える影響を分析。
- ▶ **結論:** 理論モデル (Pareto 分布等) の仮定によって、これらのマージンの相対的な重要性が決まる。

6. 今後の研究方向 (DIRECTIONS FOR FUTURE RESEARCH)

6. 今後の課題

1. **貿易コストの決定要因:** 距離、国境、言語、通貨などの影響の背後にある、より深い障壁の理解。
2. **貿易の動学 (Dynamics):**
 - ▶ 静学的モデルから、参入コスト、学習効果、供給能力の変化などを考慮した動学的モデルへの拡張。
3. **関数形と異質性の仮定:**
 - ▶ CES、Fréchet、Pareto 分布、および連続体仮定 (Continuum) などの扱いやすいが制約の強い仮定の見直し。

7. 結論 (CONCLUSION)

7. 結論

- ▶ 重力方程式は、二国間貿易パターンの理解において、経験的正則性と理論開発を橋渡しする役割を果たしてきた。
- ▶ **可視化:** 距離と経済規模の系統的な効果を実証的に示した。
- ▶ **理論:** 「構造的重力」という枠組みにより、定型化された事実と理論を統合的に結びつけた。
- ▶ **応用:** 政策変化（RTA、共通通貨）の貿易・厚生への影響を定量的に評価することを可能にした。
- ▶ 重力研究の最前線には、依然として多くの魅力的な課題が残されている。