

スマトラ沖地震の経済被害評価*

Economic Damage Assessment of the Great Sumatra Earthquake*

小池淳司**・大田垣聡***

By Atsushi KOIKE** and Akira OTAGAKI***

1. はじめに

2004(平成16)年12月26日に発生したスマトラ沖地震では地震による被害に加えて津波による甚大な被害が報告されている。これらの被害には、直接的な人的被害に加え長期的な経済的被害による被害の拡大が懸念されている。特に経済的被害は、被災国経済だけに留まらず、広く世界各地に拡大していると考えられる。しかしながら、その経済的被害を直接的に計測することは困難である。そこで、本研究では空間的応用一般均衡分析を用いてスマトラ沖地震の経済被害を評価する手法の提案と実証分析を実施することを目的としている。

空間的応用一般均衡モデルを用いて経済的被害を定量化するためには、どのようなフレームのモデルを用いるか、被害状況を表現する変数をどのように設定するか、どのようなデータセットを用いるのか、被害の想定シナリオをどのように設定するのかといった課題がある。その後、実証分析を通じて経済被害額を定量的に評価することとなる。本研究では、各国の経済が内生的交易量を通じて繋がっている空間的応用一般均衡モデルを用い、被害状況は被災国の経済に対して、物的被害による生産効率性の低下および資本初期保有量の減少、人的被害による労働初期保有量の減少をモデル化する。さらに上記の物的被害を仮想的に想定した条件下での実証分析およびその感度分析をおこない、インドネシアでの物的被害がどの程度他国に波及するかを計測する。なお、実証分析にあたっては、アジア経済研究所作成の1995年アジア国際産業連関表をもちいた。

2. 空間的応用一般均衡モデルの概要

2-1 モデルの仮定

社会経済モデルの構築に際し、以下の仮定を設ける。

*キーワード：スマトラ沖地震，経済被害評価

**学生会員，鳥取大学大学院，工学研究科

***正員，博士，鳥取大学工学部社会開発システム工学科

(〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

email:koike@sse.tottori-u.ac.jp

- (1) I国から構成される経済空間を考える。
- (2) 各国にはJ個のアクティビティベースの企業と代表的家計が存在する。
- (3) 財市場は地域に開放されているのに対し、生産要素市場は地域内で閉じている。
- (4) 各財はArmington仮説を前提としている。
- (5) 社会経済は完全競争下の長期的均衡状態にある

2-2 企業の行動モデル

i 国に立地し j 財を生産する企業は、自地域と他地域で生産された中間投入財を労働、資本により構成される生産要素を用い、ネスティッドCES型の生産構造の生産技術を用いて財を生産するとする。以下に、 j 財を生産する企業の行動を定式化する。まず、第1段階においては、生産関数を以下のようにLeontief型で定式化する。

$$Q_j^i = \min \left(\frac{VA_j^i(l_j^i, k_j^i)}{a_{0j}^i}, \frac{x_{1j}^i}{a_{1j}^i}, \dots, \frac{x_{j-1,j}^i}{a_{j-1,j}^i}, \dots, \frac{x_{Jj}^i}{a_{Jj}^i} \right) \quad (1)$$

ただし、 Q_j^i ：生産量、 VA_j^i ：付加価値、 $x_{j-1,j}^i$ ：中間投入合成財、 $a_{j-1,j}^i$ ：投入係数、 a_{0j}^i ：付加価値比率

次に、第2段階における付加価値にかんする最適化問題は以下のように生産技術制約下での費用最小化行動として定式化する。ここで、付加価値関数は労働と資本の規模に関して収穫一定を仮定したコブダグラス型を仮定している。

$$\begin{aligned} \min & w^i l_j^i + r^i k_j^i \\ \text{s.t.} & VA_j^i = \eta_j^i l_j^{\alpha_{1j}^i} k_j^{\alpha_{2j}^i} = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 w^i ：労働賃金率、 r^i ：資本レント、 l_j^i ：労働投入量、 k_j^i ：資本投入量、 η_j^i ：効率パラメータ、 α_{1j}^i ：生産要素(労働)の分配パラメータ、 α_{2j}^i ：生産要素(資本)の分配パラメータ($\alpha_{1j}^i + \alpha_{2j}^i = 1$)

上式より、付加価値1単位あたりの条件付生産要素需要 cl_j^i, ck_j^i が得られる。同様に、第2段階における中間投入合成財にかんする最適化問題は以下のように中間投入

合成財投入制約下の費用最小化行動として定式化する．

$$\begin{aligned} \min \sum_{i \in I} P_j^i x_{j,j}^{ii} \\ \text{s.t. } x_{j,j}^i = \phi_{j,j}^i \left(\sum_{i \in I} \delta_{j,j}^{ii} \frac{1}{\sigma} x_{j,j}^{ii \sigma-1} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 P_j^i ：生産財価格、 $x_{j,j}^{ii}$ ：中間投入財、 $\phi_{j,j}^i$ ：効率パラメータ、 $\delta_{j,j}^{ii}$ ：分配パラメータ、 σ ：代替弾力性パラメータ

上式より、中間投入財 1 単位あたりの中間投入需要 $cx_{j,j}^{ii}$ が得られる．さらに、企業の生産関数が規模に関して収穫一定であるため、企業の利潤はゼロになり、かつ、企業の提供する生産財の価格は単位生産量あたりの費用（平均費用）に等しい水準になる．すなわち、以下の式が成立する．

$$\begin{aligned} P_j^i = a_{0,j}^i (w^i cl_j^i + rck_j^i) + \\ \sum_{j \in J} a_{j,j}^i (\phi)^{-1} \left(\sum_{i \in I} \delta_{j,j}^{ii \sigma} P_j^{i 1-\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \end{aligned} \quad (4)$$

2 - 3 家計の行動モデル

i 国には代表的な家計が存在し、自国と他国の j 財を消費すると仮定し、第 1 段階においては各合成消費財の代替関係を CES 型で表現し、第 2 段階においては合成消費財の自国製品と他国製品の代替関係を CES 型で表現する．なお、家計は労働と資本を価格に対して非弾力的に供給しているとする．以下に、家計の行動を所得制約条件下での効用最大化行動として定式化する．まず、第 1 段階における最適化行動は以下のように定式化する．

$$\begin{aligned} V^i = \max \left(\sum_{j \in J} \gamma_j^i \frac{1}{\rho^1} q_j^i \frac{\rho^1-1}{\rho^1} \right)^{\frac{\rho^1}{\rho^1-1}} \\ \text{s.t. } \sum_{j \in J} p_j^i q_j^i = w^i L^i + r^i K^i \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 V^i ：間接効用関数、 q_j^i ：合成財消費量、 L^i ：労働供給量、 K^i ：資本供給量、 γ_j^i ：消費の分配パラメータ、 ρ^1 ：消費財の代替弾力性パラメータ、 p_j^i ：合成消費財の価格

上式より、合成消費財の需要関数 q_j^i が得られる．次に、

第 2 段階では、合成消費財需要関数から各国の需要を求めるため、以下のように合成消費財消費制約下でのサブ効用最大化行動を定式化する．これにより、地域ごとの合成消費財の需要量 q_j^{ii} が得られる．

$$\begin{aligned} V^i = \max \left(\sum_{i \in I} \gamma_j^i \frac{1}{\rho^2} q_j^i \frac{\rho^2-1}{\rho^2} \right)^{\frac{\rho^2}{\rho^2-1}} \\ \text{s.t. } p_j^i q_j^i = \sum_{i \in I} P_j^i q_j^i \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 V^i ：国 i 産業 j の間接効用関数、 q_j^{ii} ：国 i から国 i への産業 j の合成財消費量、 γ_j^i ：国 i から国 i 産業 j の消費の分配パラメータ、 ρ^2 ：消費地域の代替弾力性パラメータ

2 - 4 市場均衡条件

企業に対して、規模に関して収穫一定の仮定をおいているため、生産財市場は常に、需要量に応じて供給量が生産される(式(8))．そこで、市場均衡条件としては生産要素市場である労働市場(式(7.a))と資本市場(式(7.b))を考慮すればよい．生産要素市場の需給均衡は、家計の生産要素供給量と企業の生産要素需要量が等しくなるとし以下ようになる．なお、これらの生産要素価格のうちで 1 つをニューメレール財とすることで、全ての価格が相対価格として求めることが可能となる．

$$\sum_{j \in J} a_{1,j}^i \frac{a_{0,j}^i Q_j^i}{w^i} = L^i \quad (7.a)$$

$$\sum_{j \in J} a_{2,j}^i \frac{a_{0,j}^i Q_j^i}{r^i} = K^i \quad (7.b)$$

$$Q_j^i = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{j,j}^{ii} + \sum_{i \in I} cq_j^{ii} q_j^i \quad (8)$$

2 - 5 災害変数設定

災害の被災状況を表現するための変数を以下のように定義する．

災害国の生産効率性の低下
被災国の付加価値関数のパラメータを災害状況に応じて低下させる変数を導入する．

$$\eta_j^i = d \eta_j^i \eta_j^i \quad (9)$$

$d \eta_j^i$ ：被害の生産効率への影響を表現するパラメータ

$$(0 \leq d\eta_j^i \leq 1)$$

被災国の資本初期保有量の低下
被災国の資本初期保有量を災害状況に応じて減少させる変数を導入する。

$$K^i = dK^i K^i \quad (10)$$

dK^i : 被害の生産効率への影響を表現するパラメータ
($0 \leq dK^i \leq 1$)

被災国の労働初期保有量の低下
被災国の労働初期保有量を災害状況に応じて減少させる変数を導入する。

$$L^i = dL^i L^i \quad (11)$$

dL^i : 被害の生産効率への影響を表現するパラメータ
($0 \leq dL^i \leq 1$)

これら3つの被害変数 $d\eta_j^i$, dK^i , dL^i を組み合わせることにより、スマトラ沖地震の経済被害をシミュレーションすることが可能である。しかしながら現時点でどのような組合せが妥当かの判断は難しいため、それぞれの被害変数を感度分析的に組み合わせて定量分析を実施する。

3 実証分析

上記のモデルの実証分析を試みる。実証分析にあたり、1995年アジア国際産業連関表(アジア経済研究所)を基本データとして分析を行った。そのため地域分割は、アジア国際産業連関表で想定されている10地域(インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、中国、台湾、韓国、アメリカ)を対象地域とした。また、産業分類は集計された7部門(1農林水産、2鉱業、3製造業、4電気・ガス・水道、5建設業、6運輸、7サービス)を対象産業とした。さらに、現実のスマトラ島沖地震の物的被害が詳細には把握できない現状において、代替的手法として、実証分析に際して、本研究ではスマトラ島沖地震の被災国のうち、最も被害を被ったインドネシアの物的被害のみに焦点をあて分析を行った。つまり、インドネシアへの3種類の物的被害想定を行い、先ほど定義した災害変数設定を用いて、定量的分析に反映させ、各国への経済的被害を計測する表-1にインドネシアへの物的被害の各シナリオケースを示す。

表-1 物的被害想定

被害規模想定	
シナリオ1	労働初期保有量が減少
シナリオ2	資本初期保有量が減少
シナリオ3	生産効率性が低下

表-2 シナリオ別経済的被害(等価の変差)

物的被害シナリオ1, 2減少率

	0%		5%		10%		15%		20%	
	インドネシア	全地域計								
0%	-	-	-12,293	-12,513	-24,590	-25,049	-36,886	-37,631	-49,185	-50,223
5%	-12,292	-12,513	-23,973	-24,422	-35,656	-36,354	-47,339	-48,332	-59,026	-60,324
10%	-24,588	-25,050	-35,655	-36,355	-46,724	-47,703	-57,795	-59,060	-68,871	-70,454
15%	-36,885	-37,631	-47,339	-48,333	-57,795	-59,060	-68,255	-69,821	-78,720	-80,616
20%	-49,184	-50,224	-59,025	-60,324	-68,871	-70,455	-78,720	-80,616	-88,571	-90,813

(単位:百万\$/年)

表-2はシミュレーション分析の結果によるケースごとの厚生変化である。この値は、1年間シナリオ設定の被害が計測した場合の被害額を意味している。また、シナリオを感度分析的に設定し、その時の被災国(インドネシア)での被害額と対象地域全体の被害額を示している。当然ながら、被災国であるインドネシアへ経済的被害が、全地域計の経済的被害の大半を占めていることがわかる。また非被災国への経済的被害が他国へ空間的に波及していることが読み取れる。物的被害シナリオの規模が大きいほど、インドネシア及び全地域計の経済的被害も一様に大きくなる傾向がある。

次に、各国へ被害の波及状況を知るため、全ての物的被害シナリオを10%減少した場合の他国への被害の波及状況を図-1に示す。

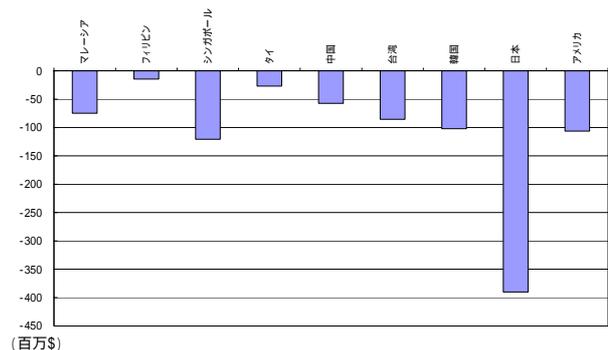


図-1 経済被害の空間的波及状況

非被災国の経済的被害は、全体で979百万\$であり、その内訳は日本(390百万\$)、シンガポール(121百万\$)、アメリカ(106百万\$)の順で大きくなっている。さらに、日本での経済的被害額は、非被災国の経済的被害総額の約40%以上を占めており、スマトラ島沖地震により大きな経済的被害を受けた可能性があることを示唆している。これは、日本とインドネシア間での貿易量が多く、特に、

インドネシアの最終需要にしろる日本の輸入額が大きいことに起因している。

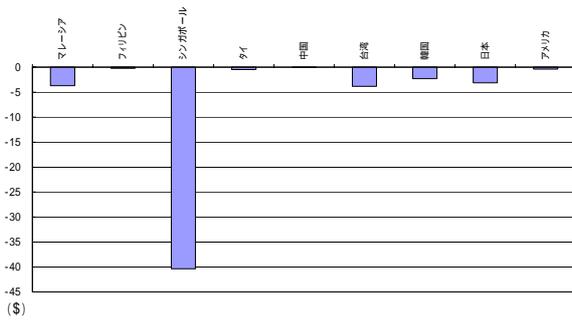


図 - 2 一人あたりの経済的被害

また、図 - 2 は一人あたりの被害額経済的被害額を示している。ここでは、人口規模の小さなシンガポールの被害額が大きく、一人あたり 40.37 ドルとなる。これは一年間の被害額としてはかなりの額になる。その他、生産要素財の価格である賃金率、資本レントの変化は図 - 3 および図 - 4 に示すとおりである。賃金率および資本レントも同様に各国でマイナスの影響を受けており、その影響は、人口が比較的小さい国に大きく影響している。なお、ここで、シミュレーション分析において、韓国の資本をニューメレールとしているため、その変化はゼロとなっている。

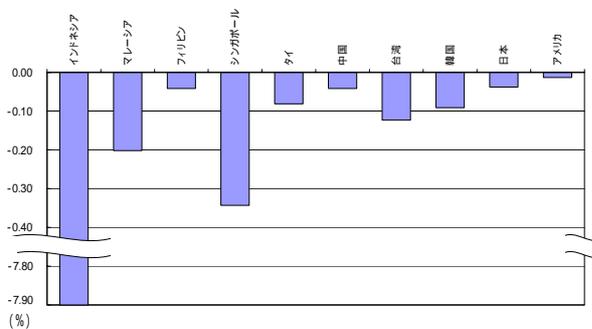


図 - 3 労働賃金率の変化率

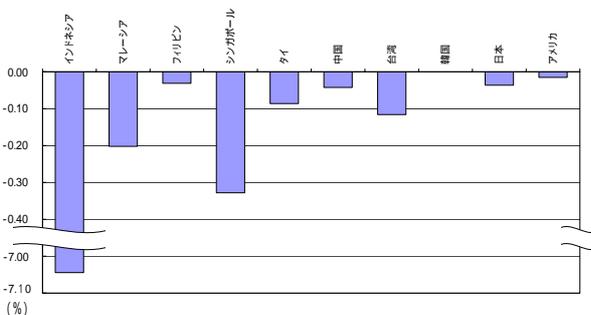


図 - 4 資本レントの変化率

また、表 - 3 は各国各財の生産財価格の変化を示しており、ここでは、インドネシアでの生産財価格が一樣に上昇していることがわかる。一方で、非被災国ではごくわずかながら生産財価格が減少している。つまり、非被災国では生産財価格の低下という効果以上に生産要素価格の減少に直面して、結果的に実質所得が減少し、厚生水準が低下していることがわかる。

表 - 3 生産財価格の変化率

	1部門	2部門	3部門	4部門	5部門	6部門	7部門
インドネシア	3.05%	3.09%	2.71%	2.94%	2.70%	2.95%	2.80%
マレーシア	-0.17%	-0.20%	-0.13%	-0.18%	-0.13%	-0.18%	-0.18%
フィリピン	-0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.03%	-0.02%	-0.03%	-0.03%
シンガポール	-0.20%	-0.22%	-0.13%	-0.24%	-0.20%	-0.26%	-0.25%
タイ	-0.08%	-0.08%	-0.06%	-0.08%	-0.07%	-0.08%	-0.08%
中国	-0.04%	-0.04%	-0.03%	-0.04%	-0.03%	-0.04%	-0.04%
台湾	-0.10%	-0.10%	-0.06%	-0.05%	-0.08%	-0.11%	-0.11%
韓国	-0.02%	-0.03%	-0.01%	0.16%	-0.04%	-0.04%	-0.05%
日本	-0.03%	-0.03%	-0.02%	0.01%	-0.03%	-0.04%	-0.03%
アメリカ	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.01%

4. おわりに

本研究では空間的応用一般均衡分析を災害の被害計測に応用するため、まず、被害変数をどのようにモデル化するかに関して考察した。そこでは、災害による物的被害を 生産効率性の低下および 資本初期保有量の減少、人的被害による 労働初期保有量の減少として捉え、そのモデル化の手法を提案した。また、スマトラ島沖地震を想定した数値シミュレーション分析を行い、災害による被害の空間的な波及状況を考察した。現実的には、スマトラ島沖地震の被災国での物的被害状況報告を待って、その結果を本研究でのモデルに導入することで、より正確な各国への被害の空間的な波及構造を知ることができると考えられる。一方、現状ではより多くの感度分析を行うことによって、物的被害の違いによる経済的被害の状況を分析することが可能である。紙面の都合上、詳細な感度分析結果は講演時にゆだねるものとする。

【謝辞】

本分析おけるアジア国際産業連関表は、アジア経済研究所に提供していただいた。ここに記して感謝する。

【参考文献】

小池淳司・上田孝行：大規模地震による経済的被害の空間的把握 - 空間的応用一般均衡モデルによる計量厚生分析 - , 防災の経済分析, 第 8 章, 劉草書房, 2005 .