

新潟中越地震による経済被害の計量化の枠組み*

A Framework of Measuring Economic Losses from the Niigata-Chuetsu Earthquake*

土屋 哲**, 多々納裕一***, 岡田 憲夫****

By Satoshi TSUCHIYA**, Hirokazu TATANO*** and Norio OKADA****

1. はじめに

(1) 背景

2004年10月23日夕刻に新潟中越地方を震源に発生した巨大地震は、その後頻発した余震と合わせて同地域を中心に周辺地域へ甚大な被害を及ぼし、仮設住宅での暮らしを余儀なく強いられている人、企業の被害、また越冬後に事態の深刻さが改めて浮き彫りになった田畑への影響など、現在もなお影響が継続している。

新潟中越地震発生後には、新潟県が中心となって同地震による経済被害をおよそ3兆円と推計した。また、これまでに我が国では、迫り来る巨大地震による被害想定なるものがいくつか公表されている(例えば1)。これらの被害予測は、災害発生後であれば復旧・復興のための予算の策定や復旧戦略を講じる上での目安となるであろうし、平常時においては防災投資施策に有用な情報として役立てることができるであろう。

巨大地震による災害の地域経済レベルでの主要な問題は、地震による人的・物的被害(生産資本や社会基盤への被害)とそれらがもたらす経済被害であり、被害額が全体でどれくらいの大きさになるのかという点、講じうる軽減策の実施によりどれくらいの被害軽減が達成されるのかという点が重要な情報となるであろう。さらに、直接的な被害をこうむるのはごく一部の地域であるにもかかわらず、地域の経済活動が産業間・地域間で連関性を有するために、経済的な被害は周辺地域、あるいは全国へと波及する。その結果、地震発生後の社会では、海外も含めて地域間の交易パターンが変化し、被災地域の産業の復

興に負の影響を及ぼすケースも考えられる。交易パターンの変化は、主に被災地域の生産資本の損傷や、地域間交通ネットワークを中心とする社会基盤の崩壊が引き金となっている。したがって、これらの要因・メカニズムが考慮されなければ、地域経済の観点から災害による経済的影響を評価したとは言い難い。

(2) 評価手法と先行研究

近年、災害による経済的影響に関する研究が蓄積されつつある。産業連関分析や応用一般均衡分析に代表される間接被害計量化手法の確立は、その原因となる直接被害の推計とも結びついて大規模災害の発生直後に当該地域の経済被害を大まかに把握することに適用可能なばかりでなく、取りうる事前対策・事後復旧策の効果を定量的に検討可能とするものでもある。

萩原²⁾は、神戸市内・市外の2地域CGEモデルの構築により地域が被る間接被害評価の枠組みを示し、阪神・淡路大震災の影響について分析を行っている。そして、震災のもたらした供給側のショックの影響を大きく受けた産業(電気・ガス・水道)と復興投資による需要側のショックの影響を大きく受けた産業(建設)に関する知見などを得ている。

また、Roseらにおいても、CGEの枠組みによる分析が数多く蓄積されている。例えば、Rose *et al.*³⁾では、生産関数パラメータを種々の生産者側の非常時の適応行動に結び付けて考えることで、水供給の途絶による影響をCGEで分析しながら個別企業および地域マクロ経済のレジリエンシーについて考察できるような枠組みを示している。

以上の分析では、多地域からなる経済社会を明示的に扱ってはいないので、災害に伴う被害の波及や地域間経済活動の変化について知ることは容易ではない。多地域の枠組みで地域間の産業連関性をとらえて被害の地域別帰着を計測する手法として、空間的応用一般均衡モデル(SCGEモデル)の利用はひとつの有力な方法である。この手法を援用すること

*キーワード: 防災計画

**学生員, 工修, 京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel 0774-38-4037, E-mail: tsuchiya@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp)

***正員, 工博, 京都大学防災研究所

****正員, 工博, 京都大学防災研究所

(〒611-0011 宇治市五ヶ庄, Fax 0774-38-4044)

で、災害により直接被害を受けた地域から周辺地域への被害の波及が、地域間・産業間の経済的な構造を通じて把握することが可能となる 例え ば 4)。

(3) 研究の目的

地震被害の影響や防災投資の効果を評価するに当たっては、整合的な計量化のフレームワークを確立することが重要である。それに向けて本研究では、SCGE モデルを用いて経済被害の評価を行う枠組みを提示し、新潟中越地震を事例として被害の推計を行う。その際、交通インフラの損傷や交易パターンの変化は地域間の交通量の変化と密接に関係するので、SCGE を中心とする被害予測モデルには、災害時の広域交通ネットワークにおける貨物・旅客流動が記述できる構造を備えていることが求められる。そこで第一には、貨物・旅客流動を内生化するモデルを採用する。第二に、モデルへの反映の観点で災害の捉えかたについて一考する。すなわち、モデル内での災害時の（均衡社会の）表現を工夫するとともに、モデルの入力となる災害時の生産資本の損傷シナリオの考え方や交通条件の変化について整理する。

なお、本概要は、おもにモデルの定式化と分析のプロセスについての記述である。

2. モデルの概要

以下に紹介するモデルでは、地域ごとに家計と M 種の企業という経済主体を想定しており、基本的には文献⁵⁾と同じアイデアで定式化を行っている。その中で本稿では、特に災害時の均衡の考え方について丁寧な説明する。

(1) 家計の消費行動

地域 k には代表的な家計が存在し、自地域の財を消費すると仮定する。その効用関数の構造を次の式で表現する。

$$U^k = \max_d \left\{ \sum_i (\gamma_i^k)^{\frac{1}{\sigma}} (d_i^k)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right\}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i q_i^k d_i^k \leq y^k = w^k L^k + r^k K^k \quad (2)$$

ただし、 U^k ：地域 k に居住する家計の間接効用関数、 γ_i^k ：家計の消費に関する効率パラメータ、 σ ：財消費に関する代替パラメータ、 d_i^k ：財 i の消費量、 q_i^k ：財 i の消費地価格、 w^k ：賃金率、 L^k ：労働供給量、 r^k ：資本レント、 K^k ：資本供給量、 y^k ：所得、である。

式 (1)、(2) より消費財の需要関数が得られる。

$$d_i^k(q^k) = \frac{\gamma_i^k (q_i^k)^{1-\sigma}}{\sum_j \gamma_j^k (q_j^k)^{1-\sigma}} \frac{y^k}{q_i^k} \quad (3)$$

(2) 企業の生産行動

地域 k には、産業ごとに 1 つの企業が立地し操業している。企業 i は、地域 l で生産され自地域に輸送されてきた財 j を中間財として、また労働、資本と、業務トリップを経て獲得する知識を生産要素として投入し、規模に関して収穫一定となる一次同次の技術を用いてただ 1 種類の財 i を生産する。企業の利潤最大化行動を階層的に考え、以下のように定式化する。

$$\pi_i^k = \max_{Q, X, V} p_i^k Q_i^k - \sum_j q_j^k X_{ji}^k - c_{vi}^k V_i^k \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad Q_i^k = \min \left\{ \frac{X_{1i}^k}{a_{1i}^k}, \dots, \frac{X_{Mi}^k}{a_{Mi}^k}, \frac{V_i^k}{a_{vi}^k} \right\} \quad (5)$$

$$c_{vi}^k V_i^k = \min_{L, K, \kappa} w_i^k L_i^k + r_i^k K_i^k + c_{Ti}^k \kappa_i^k \quad (6)$$

$$\text{s.t.} \quad V_i^k = \left\{ (L_i^k)^{\delta_i^k} (K_i^k)^{1-\delta_i^k} \right\}^{1-\beta_i^k} (\kappa_i^k)^{\beta_i^k} \quad (7)$$

$$c_{Ti}^k \kappa_i^k = \min_n \sum_l \tau^{kl} n_i^{kl} \quad (8)$$

$$\text{s.t.} \quad \kappa_i^k = \prod_l (n_i^{kl})^{\delta_n^{kl}} \quad (9)$$

ただし、 π_i^k ：企業 i の利潤、 p_i^k ：財 i の生産者価格、 Q_i^k ：企業 i の生産量、 X_{ji}^k ：企業 i が中間財として投入する j の量、 V_i^k ：付加価値を構成する合成生産要素、 c_{vi}^k ： V_i^k の単位費用関数、 a_{ji}^k ： Q_i^k に対する中間財 j の投入比率、 a_{vi}^k ： Q_i^k に対する合成生産要素の投入比率、 $L_i^k \cdot K_i^k$ ：労働・資本供給量、 δ_i^k ：企業 i の労働に関するシェアパラメータ、 β_i^k ：本質的合成生産要素と知識の代替に関するパラメータ、 κ_i^k ：フェイス・トゥ・フェイス・コミュニケーションにより獲得する知識、 $c_{Ti}^k \kappa_i^k$ ： κ_i^k の単位費用関数、 τ^{kl} ：地域 k から l への業務トリップに関する旅客交通費用、 n_i^{kl} ：企業 i に関して地域 k から l への業務トリップ数、 δ_n^{kl} ：業務トリップの目的地選択に関するパラメータ、である。

式 (4)～(9) より、以下の需要関数が得られる。

$$n_i^{kl} = \delta_n^{kl} \beta_i^k c_{vi}^k V_i^k / \tau^{kl} \quad (10)$$

$$L_i^k = \delta_i^k (1 - \beta_i^k) \frac{c_{vi}^k V_i^k}{w^k} \quad (11)$$

$$K_i^k = (1 - \delta_i^k) (1 - \beta_i^k) \frac{c_{vi}^k V_i^k}{r^k} \quad (12)$$

$$X_{ji}^k = a_{ji}^k Q_i^k \quad (13)$$

$$V_i^k = a_{vi}^k Q_i^k \quad (14)$$

ただし,

$$cv_i^k = \left\{ \frac{\prod_l (\tau^{kl})^{\delta_n^{kl}}}{\beta_i^k} \right\}^{\beta_i^k} \left\{ \frac{(w^k)^{\delta_i^k} (r^k)^{1-\delta_i^k}}{1 - \beta_i^k} \right\}^{1-\beta_i^k} \quad (15)$$

である.

(3) 地域間交易

地域間交易については, 交易係数 s_i^{kl} を, 地域 l の企業が生産地 k を財 i の購入先を選ぶ確率と考え,

$$s_i^{kl} = \frac{Q_i^k \exp \left\{ -\lambda_i p_i^k (1 + \phi_i^{kl}) \right\}}{\sum_m Q_i^m \exp \left\{ -\lambda_i p_i^m (1 + \phi_i^{ml}) \right\}} \quad (16)$$

で与える. ここに, λ_i : パラメータ, ϕ_i^{kl} : 輸送費用率である. このような設定により, 同一財について双方向の交易が同時に行われることを表現できる.

(4) 均衡条件 (平時)

平時の均衡は, 通常の (S)CGE モデルに見られるように, 全ての内生変数が特別な制約無く可変であるとして達する均衡を想定する. 本モデルでは, 均衡条件として (a) 財市場, (b) 生産要素市場, がそれぞれ以下のように示される.

(a) 財市場

$$Q_i^k = \sum_l s_i^{kl} \{a_i^l + \sum_j a_{ij}^l Q_j^l\} (1 + \phi_i^{kl}) \quad (17)$$

地域 k の産業 i に関して, 左辺は供給側から, 右辺は需要側から財の量を表現したものである (輸出入は考慮していない).

(b) 生産要素市場

$$\sum_i L_i^k = L^k \quad (18)$$

$$\sum_k \sum_i K_i^k = K \quad (19)$$

式 (18), (19) より, 平時に労働市場は地域で, 資本市場は国土全体で, それぞれ閉じている. よって, 平時の均衡では, 賃金率は地域内では共通であり ($w_i^k = w^k$), 資本レントは地域間・産業間で等しくなっている ($r_i^k = r$).

次に, 空間的な価格形成の関係式を

$$q_i^l = \sum_k s_i^{kl} p_i^k (1 + \phi_i^{kl}) \quad (20)$$

で与える. 一方, 企業のゼロ利潤条件より, 式 (4), (5) から次式を得る.

$$p_i^k = \sum_j q_j^k a_{ji}^k + cv_i^k a_{vi}^k \quad (21)$$

平常時の均衡状態を決定するのに用いる式は, 式 (1)~(3), (7)~(21) とまとめられる.

(5) 災害時の均衡に関する仮定

(S)CGE モデルは基本的に静学的な分析の枠組みであるから, 災害や社会基盤整備といった事象の後には, 経済社会が十分に (事前とは別の) 均衡状態に達するものとみなされる. しかしながら, 災害の経済的影響を計量化する場合, 社会の動きが非常にダイナミックな被災施設復旧期間はその対象となるであろうし, また, 対象期間が比較的短期 (例: 1~2 年) で, 経済社会を均衡状態と捉えることが必ずしも容易ではない.

このような問題点を抱える一方, 既述したように利点も多い. SCGE モデルの災害の文脈への適用は, 問題点と利点のうち後者に着眼において, 災害時に達すると想定する社会の均衡状態に関して短期均衡の条件や経済主体の応答・行動に付加的な仮定を設けることで, 特にモデルの入力-出力関係について, より現実を踏まえた表現をして, 被害の計量化を行おうとするものであると言える.

本研究での想定は, 次のようである.

『災害時には, 労働と資本及びそれら生産要素の価格については平常時の状態に固定され, 平常時 (災害前) における企業の資本ストック保有量は, 災害時のストックの損傷によってのみ変化 (減少) する (*).』

(*) には, 実際であれば災害により企業が被る損失は企業内にとどまり, 家計の所得の低下に反映されるのは末期であるとの想定がある. よって, 災害時の企業の利潤は, 式 (4) で 'max' を外した式 (または式 (6) で 'min' を外した式) となる. このとき利潤は負となりうるが, 現実的には企業は一時的な負債を抱えてもすぐに廃業するわけではないので, 災害時にも市場に留まり続けるものとする. このための条件は, 生産財の単位費用が価格に等しいという式 (21) で表される. その他, 式 (1)~(3), (7)~(10), (13)~(17), (20) は災害時の均衡でも考慮する式である (ただし, 被災状況を表現する一部の外生変数が変更されうる).

3. 実証分析にむけて

(1) 産業・社会基盤の被害の反映

被災シナリオを設定するにあたり, 本モデルで操

作しうる部分は、(a) 企業の生産資本の損傷、(b) 基幹道路網の寸断、(c) 基幹高速鉄道の寸断、の3種類である。それぞれ、 K_i^k , ϕ^{kl} , τ^{kl} を外生的に操作する。このうち、(c) については値（旅客運賃）を実数で与えることとしている。(b) については、基準値は実際の何らかの数値で与えられているわけではないが、寸断の影響を地域間輸送時間の変化分として捉えているので、災害時の値は平常時のそれに輸送時間でみたマークアップ率を乗じていることとなる。(a) については、陳⁶⁾が行っているように、建築物被災度調査の結果を産業別の資本ストック被害の推計に利用する方法が考えられる。

(2) 計算のプロセス

図1に計算プロセスを示す。計算は(i) キャリブレーション、(ii) 平常時の均衡、(iii) 災害時の均衡の3つに大別される。(i) では、均衡計算に先立って設定しておくべきパラメータを求める。基準データを用いて、財の需給バランスが（数量で）成立する条件（式(17)）を考えることで、投入係数 a (数量ベース) や消費選好パラメータ γ を設定することができる。(ii) では、(i) で設定されたパラメータを用いて平常時の均衡を解く。これと基準データを比較することで、モデルの再現性をチェックする。(iii) では、(1) で述べたようにモデル内の変数を操作して災害時の状況を表現し、その状況下で達する均衡をみる。このとき、災害時の企業の生産活動で労働・資本の地域・産業間での移動は無いものとし、家計の所得も変化しないとしている点に注意する。最後に、被害を等価変分 EV を用いて測る。試算結果については講演時に譲る。

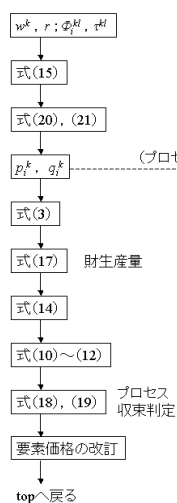


図 1: 計算プロセス

4. おわりに

本研究では、先の新潟中越地震による経済的影響を推計するための SCGE モデルを構築し、本稿ではその基礎的な枠組みについて述べるとともに、モデルを災害の文脈に適用する上で、災害時の社会の均衡についてひとつの考え方を示した。本モデルが主に扱うのは生産資本や社会基盤の損傷を入力としてそれらの影響を経済被害として出力する部分であり、家屋の直接的な損壊などは含まれていない。したがって、全体の被害を算出するには、経済被害のほかに直接的な被害についても調査が必要であることは言うまでもない（特に地方の災害では直接被害のウェイトがより高くなる）。

今後は、(i) 交通ネットワークとの統合、(ii) レジリエンスを考慮したライフラインシステムとの統合、を視野に入れながら、ゾーン分割や産業分類の詳細化を検討していきたい。また、モデルの細部についての吟味をさらに丁寧に行うとともに、それに合わせて必要なデータの整備も重要な課題である。

さらに、産業連関表をデータとして利用していることから明らかなように、分析結果は一種の社会会計を扱っているともいえる。このような特徴を活かして、リスクマネジメント施策により期待される被害軽減効果についての地域別・主体別情報が提供可能な被害推計システムに発展させていきたい。

参考文献

1. 内閣府：東京直下大地震 被害想定結果について（資料）、2005.
2. 萩原泰治：神戸 CGE モデルによる阪神・淡路大震災の影響に関する分析、国民経済雑誌 第183巻 第1号, pp.71-78, 2001.
3. Rose, A. and S. Liao : Modeling Regional Economic Resilience to Disasters: A Computable General Equilibrium Analysis of Water Service Disruptions, *Journal of Regional Science*, Vol.45, No.1, 2005, pp.75-112.
4. 小池淳司, 上田孝行, 秋吉盛司：社会資本ストック崩壊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－, 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), 2003.
5. 土屋 哲他：空間応用一般均衡アプローチによる東海地震の警戒宣言時の交通規制に伴う経済損失の評価, 地域安全学会論文集 No. 5, pp.319-325, 2003.
6. 陳 光輝：阪神大震災による神戸市の事業所推計：メッシュデータによる推計, 国民経済雑誌 第174巻 第4号, pp.89-96, 1996.