

平成22年 5月31日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760343
 研究課題名（和文） 産業内の垂直的連関性を考慮した地震経済被害計量モデル
 研究課題名（英文） A Framework for Estimating Economic Loss due to Earthquake with Consideration of Vertical Interaction within Sectors
 研究代表者
 土屋 哲（TSUCHIYA SATOSHI）
 長岡技術科学大学・工学部・助教
 研究者番号：70422623

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、大規模地震が地域経済に及ぼす影響を評価する目的で、空間的応用一般均衡モデルを用いた間接被害推計の枠組み構築に取り組んだ。特に、電力・水道・ガスなどのライフライン途絶へのフォーカスと途絶に対するレジリエンシー指標について検討した点、地域間交易について、基準データへの当てはまりの良さを見ながら定式化を検討した点、企業の垂直的連関性を扱うことについて検討した点などを特徴とする。その結果、レジリエンシーと地域間交易については防災施策上、あるいはモデル分析上の知見を得ることができたと言える。

研究成果の概要（英文）：A catastrophic disaster damages to lifeline facilities such as electric power, water and gas services, and it causes enormous effect on community life and business activity. However, building economic resilience can reduce the potential losses. In this project, I firstly considered industrial resiliency to investigate measurement of economic impacts due to lifeline disruption. Using survey data from the Niigata-Chuetsu earthquake in 2004, the resiliency factor was estimated so that it could take adaptive responses of industrial sectors into account. Secondly, with the estimated resiliency factor reflected on substitution parameters of production function, economic impacts of the earthquake were analyzed by a computable general equilibrium model. Lastly, I focused on inter-regional commodity trade model in the spatial CGE model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：土木計画・防災計画

科研費の分科・細目：土木計画学・交通工学

キーワード：地震経済被害推計，応用一般均衡モデル

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、内閣府をはじめ、国の機関や地方自治体において、地震や洪水等の災害に対する被害想定が行われている。特に最近では、人的・物的な直接被害にとどまらず、営業機会損失等を含む二次的な被害も被害想定の中に取り込もうという流れができつつある。

(2) ある外的ショックによる社会経済への影響を空間的に把握可能なモデルとして、地域・産業間での波及メカニズムを内包する空間的応用一般均衡モデルがあり、地震災害の経済被害推計にも適用されている。しかし、災害が地域経済に及ぼす影響について、必ずしも十分に考慮されたモデルとなっているとはいえない。

2. 研究の目的

本研究課題では、大規模地震が地域経済に及ぼす影響を定量的に評価するための一手法である応用一般均衡モデルについて、災害時のライフライン途絶や地域間交易（平常時・災害時）、また同一産業内の垂直連関性に着目しながらモデルのブラッシュ・アップをはかり、政策志向的な被害評価モデルの確立をめざした。具体的には、

- (1) 電力・水道・ガスなどの供給系ライフラインの機能損傷が地域経済に及ぼす影響を、一般均衡モデルの中で明示的に表現するとともに、生産部門の途絶に対する耐性（レジリエンシー）について検討すること
 - (2) 空間的応用一般均衡モデル（SCGE モデル）に内包される地域間交易について、通常よく用いられるいくつかの定式化の長所・問題点を整理し、代替案について検討すること
 - (3) 垂直方向の連関性や同種異質財の扱いを考慮した地域経済モデルへの展開について検討すること
- という、3項目についての検討である。

3. 研究の方法

(1) 2008 年度：災害による経済被害の計量化のための応用一般均衡モデルのブラッシュアップとして、おもにライフライン途絶に対する生産レジリエンシー（システム途絶への耐性）について基礎的な検討を行った。具体的には、レジリエンシーをあらゆる指標として企業の生産関数における投入要素間の代替弾力性に着目し、2004 年の中越地震後に行われた事業所被災調査データを産業レベルに集計して用いることで、代替弾力性を推定した。また、これをふまえて経済被害の試算を行った。

(2) 2009 年度：引き続き、モデルのブラッシ

ュアップとして、SCGE モデルにおける地域間交易の定式化に焦点を当て、基準データの再現性の観点からいくつかの形を比較し、代替案の検討を行った。また、垂直方向の連関性をモデル内で表現する点についても検討した。

4. 研究成果

(1) 災害時の供給系ライフライン途絶に対する企業生産レジリエンシーの評価手法の検討

我々の今日の社会生活は、電力、水道、ガスなどのライフラインに大きく依存している。このため、大規模な地震によりライフラインが損傷した場合に社会がこうむる被害は甚大なものとなる可能性がある。ライフラインの機能損傷がもたらす二次的被害を軽減するためには、施設そのものの強化やバックアップ機能の強化など効果的な施策を実施していくことが重要である。一方で、災害時に一部のライフラインが途絶状況下にあっても、自家発電の利用や投入エネルギーの代替・節約、他地域での代替生産といった様々な対応策をとることにより、企業の操業水準は完全に停止状態になってしまうわけではない。これは、事前の備えも含め、企業が予期せぬ災害に対して適応的に行動するためである。災害が社会経済に与える影響を評価する場合には、このような要因（災害発生後の適応行動や発生前の対策）を考慮して社会経済的な評価ができることが望ましい。本研究では、企業生産活動における災害時のライフライン途絶への耐性（レジリエンシー）に着目し、製造業、非製造業のレジリエンシー特性を定量的に評価する方法について整理・検討を行った。

上述のレジリエンシーを、階層型 CES 生産関数における供給系ライフライン（電力、水道、ガス）投入要素間の代替弾力性で評価した。具体的には、生産関数から導かれる式

$$a_{WGE} r^{\rho_1} = a_W (r_w)^{\rho_1} + a_{GE} \left\{ a_G (r_G)^{\rho_2} + a_E (r_E)^{\rho_2} \right\}^{\frac{1-\rho_1}{\rho_2}}$$

と、2004 年新潟県中越地震後に梶谷らによって調査された被災事業所データ（被災後のいくつかの時点におけるライフライン機能状況と操業水準が含まれている）とを用いてパラメータ ρ_1, ρ_2 を推定し、代替弾力性を求めた。ただし、式中の a_{\cdot} は一般に整備されている社会経済統計から作成できる係数、 r_{\cdot} は被災後の企業データから作成する変数である。

結果を表 1 に示す。結果から、製造業の方

が非製造業よりも小さな値をとった。これは、ライフラインの途絶が起こった場合に、製造業の方がより大きな影響を受けることを意味している。逆に言えば、非製造業の方が高い代替弾力性を持っており、ライフライン途絶に対して製造業ほど致命的な影響は受けないものと考えられる。しかし、いずれの部門も弾力性はほぼ0に近い値であり、総じて代替の程度は小さいと考えられる。

表1：代替弾力性の推定結果

代替弾力性値	製造業	非製造業
水道=電力・ガス 合成財間の代替	0.086	0.121
電力=ガス間の 代替	0.052	0.117

(2) 災害時の供給系ライフライン途絶が及ぼす経済被害の計量化

(1) のレジリエンシーの考え方を組み込んだ応用一般均衡モデルを構築し、中越地震を対象にライフラインのみの被災・復旧状況を仮想シナリオとして経済被害の評価を行った。結果を図1に示す。

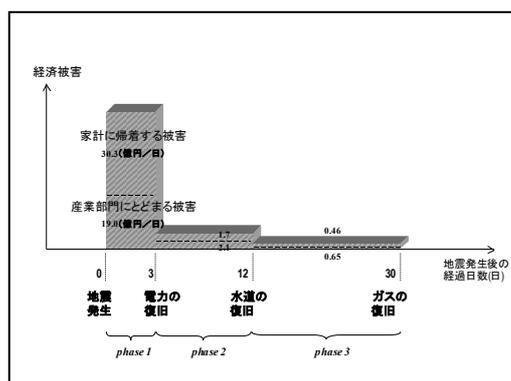


図1：家計・産業部門の経済被害

被害は、計算出力から年単位で出力された数字を単純に365等分して日単位に換算している。また、各種ライフラインの途絶期間を一つのフェーズと捉え、あるフェーズから次のフェーズへの移行に際しては、損傷したライフライン機能の復旧のために発生する費用は考慮せず、モデルの入力条件のみを変化させて被害の評価を行っている。

図1より、電力・水道・ガスのすべてのライフラインが途絶した状況 (phase 1) では、家計も産業も大きな被害をこうむる。その被害額は、新潟県と県外を含めた家計が30.3 (億円/日)、全産業部門が19.0 (億円/日) となった。いったん電力が回復すると (phase 2)、多くの産業業種で生産性が大きく回復す

るため、電力回復後の2つのフェーズにおける被害額は、電力が途絶していたときに比べてかなり小さく、ガス・水道が途絶しているときの全経済被害は約3.8 (億円/日)、水道が復旧してガスのみが途絶している状況では約1.1 (億円/日) である。このことから、電力の早期復旧が被害軽減の鍵であることが分かる。

なお、図1で、途絶期間も考慮に入れて各フェーズで推定された被害を1か月にわたって合計すると、ライフライン途絶の総損失は203億円となった。新潟県の粗付加価値生産額 (一年間で約10兆円) から中越地域の分を大まかに計算すると、1ヶ月で2,000億円くらいになる。特に、電力をはじめとしてガス・水道供給すべてが途絶下にある災害直後のフェーズの場合、本モデルで推計される被害が約50億円 (日) であるのに対し、新潟県の粗付加価値生産額を按分して得られる中越地域の域内総生産は約70億円 (日) となり、中越地域の経済活動に甚大なダメージであることが判る。

また、地域全体で見た場合には、明らかに電力の早期復旧により被害が大きく軽減されうる。ただし、産業別に見た場合には、電力のみの復旧では生産性を十分に回復しえない業種もあり、どのライフラインがどの産業の生産活動に大きな影響を及ぼしているのかについては、別途 (例えばライフライン途絶抵抗係数などを) 見ていく必要がある。

経済的な影響は、被災地域外への波及の把握も重要である。最終的に家計に帰着する被害のうちどのくらいが被災地域外へ波及するかは、財の地域間取引の形に依存する。本分析での設定では、家計に帰着する被害の約8割が新潟県に、約2割は新潟県外の家計に帰着する結果となった。

最後に、本研究の示唆として、ライフライン途絶に対する企業生産レジリエンシーの向上による被害軽減があげられる。ただし、企業が講じ得る具体的な減災行動と途絶抵抗係数向上との定量的な関係を本研究内で論じることは容易ではないため、今後の課題としたい。

(3) SCGEモデルにおける地域間取引の定式化に関する基礎的研究

CGEモデル (応用一般均衡モデル) を多地域に展開したSCGEモデルでは、必然的に地域間の財の流動やそれに係る意思決定がモデルに内包される。このときのモデル化の典型的なものとして、次の二種類がある。

- Armington 仮定に基づき、移入後の財 (合成財) が購入先地域間についてCES型関数で定式化されるもの。
- 「交易係数」とよばれる財の購入先地域に係る選択確率を用いて地域間流動を表現

し、同係数がロジット型のモデルで定式化されるもの。

後者のモデルは、通常 SCGE モデルで用いる地域間産業連関表が整備されていないゾーニングでの分析でよく用いられている。その一方で、このモデルを備えた SCGE モデルは単位財・価格のとりかたによって全体のパフォーマンスに影響が及ぶ可能性がある。そのうえ、地域間取引に関する基準データの再現性が必ずしも良好とは言えない点も問題である。

このような背景の下、SCGE モデルにおける地域間取引について考え、特に交易係数を用いる後者の式について代替案を検討した。

まず、後者の代表として、Harker に提案されたモデル

$$s_i^{kl} = \frac{Q_i^k \exp\{-p_i^k (\lambda_{0i}^l + \lambda_{1i}^l T^{kl})\}}{\sum_{k'} Q_i^{k'} \exp\{-p_i^{k'} (\lambda_{0i}^l + \lambda_{1i}^l T^{k'l})\}}$$

を採用し、このモデルに地域間取引データを当てはめてパラメータを求め、再現性の程度をみたものが図3である。なお、以下は地域区分が図2で与えられるものとした場合の結果である。式中の記号は、 s : 交易係数、 Q : 生産量、 p : 価格、 T : 輸送時間、であり、添字 i は財の種類(産業部門)を、 $k(k')$ は発地を、 l は着地を表す。

図より、推定されたパラメータは着地域間でおおむね同じオーダーであるものの、かなりの地域で再現性が悪く、相関係数が負になるケースすら見られる。相関係数の自乗が自由度による調整を施さない場合の決定係数であるが、この値が 0.5 を超える(=相関係数が 0.71 を超える)ケースは 6/27 しかない。こうしてみると問題の所在は明らかで、新たな地域間取引モデルの定式化を検討し再現性を改善させることで、分析の枠組みとしてより確立されたものを目指す必要がある。

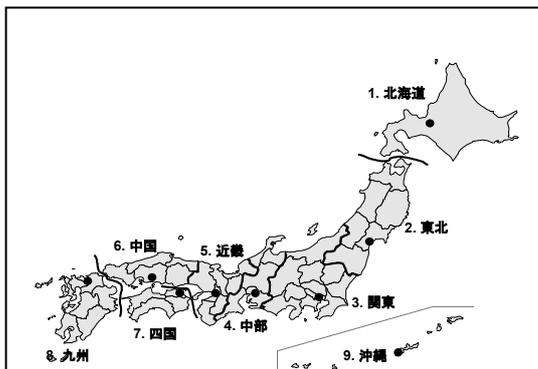


図2：地域区分

産地域	第一次産業			第二次産業			第三次産業		
	切片	距離指標	相関係数	切片	距離指標	相関係数	切片	距離指標	相関係数
1	3.148	8.130E-04	0.677	2.765	1.430E-03	0.574	3.813	1.739E-03	0.342
2	2.951	4.750E-04	0.459	2.286	2.279E-03	0.636	4.194	1.480E-03	0.127
3	2.367	3.780E-04	0.858	1.712	7.290E-04	0.962	3.160	4.680E-04	0.947
4	3.155	2.860E-04	0.161	2.374	1.156E-03	0.589	4.068	1.190E-03	0.181
5	2.574	4.050E-04	0.193	2.072	8.710E-04	0.605	3.820	7.930E-04	0.334
6	3.244	1.003E-03	0.061	2.853	9.200E-04	0.340	4.024	1.782E-03	0.044
7	3.681	1.095E-03	-0.042	3.372	1.137E-03	0.350	4.608	1.940E-03	-0.102
8	3.472	6.000E-04	0.692	2.726	9.960E-04	0.400	4.012	1.220E-03	0.214
9	1.993	1.959E-03	0.831	1.712	2.168E-03	0.837	2.046	2.679E-03	0.985

図3：Harker モデルのパラメータと再現性

次に、積乗型競合作用モデル (Multiplicative Competitive Interaction Model, MCI Model) とよばれる式より

$$s_i^{kl} = \frac{Q_i^k \{p_i^k (1 + \beta_i^l T^{kl})\}^{-n_i^l}}{\sum_{k'} Q_i^{k'} \{p_i^{k'} (1 + \beta_i^l T^{k'l})\}^{-n_i^l}}$$

を採用し、同様の作業を行う。この結果を図4に示す。なお、パラメータの添字を見れば判るように、Harker モデルと MCI モデルとはパラメータの数は同じであるから、再現性(図中では相関係数)を参考に両者の比較が可能である。

産地域	第一次産業			第二次産業			第三次産業		
	指数	距離指標	相関係数	指数	距離指標	相関係数	指数	距離指標	相関係数
1	1.190	0.865	0.999	1.438	0.027	0.998	1.798	0.545	1.000
2	1.297	0.647	0.981	1.548	0.766	0.984	2.682	0.979	0.998
3	0.849	0.742	0.994	0.677	0.294	0.999	1.600	1.00	1.000
4	1.688	0.933	0.942	1.612	11.734	0.982	3.597	1.287	0.983
5	1.364	19.540	0.807	1.274	100	0.965	3.050	1.906	0.996
6	1.932	0.833	0.959	1.594	0.673	0.980	2.900	6.982	0.994
7	2.550	19.340	0.986	2.630	2.114	0.804	4.846	1.986	0.979
8	1.557	17.850	0.998	1.295	0.765	0.977	2.146	0.797	0.997
9	1.681	0.022	0.990	1.551	0.309	0.990	1.938	0.398	1.000

図4：MCI モデルのパラメータと再現性

MCI モデルでは、Harker モデルとは大きく異なり、全体の 9 割近いケースで相関係数が 0.95 以上となった。また、最も相関の低いケースでも 0.8 は超えており、再現性の点では劇的に改善されたと言える。

なお、MCI モデルは、Harker モデルを変形することで導出が可能である。すなわち、ここまでの分析及び考察から、MCI モデル(積乗型競合作用モデル)の利用により、「財の地域間流動量を備えた完全な地域間産業連関表を準備しなくても分析が可能」という Harker 型の長所を引き継ぎつつ、「現況再現性が良くない」という短所を克服できる可能性があることが明らかとなった。

(4) 垂直方向の連関性や同種異質財の扱いを考慮した経済モデルに関するモデリングの検討

同種異質財の扱いについては、通常の SCGE

モデルにおいて、『同じ種類の財でも産出地域によって異質であるとする「Armingtonの仮定」に基づき、移入後の財（合成財）が購入先地域間のCES型関数で定式化される形』の地域間交易モデルを採用することである程度は考慮できていることとなる。この点は、(3)で比較した内容に比較の対象が新たに加わるものとして考えていけば良い。なお、研究成果としてまとめられてはいないものの、本質的に上の『』内に記述したモデルと(3)で扱ったモデルとは、ある仮定のもとで式変形を通して同じであることを示すことができる。

また、本研究課題の中心の一つであった垂直方向の連関性についてであるが、通常の多地域応用一般均衡モデルを拡張してモデルを構築したが、残念ながら分析結果を取りまとめるまでには至っておらず、今後早急に対応すべき課題として残されている。交通や地域経済モデルのカバーする空間範囲が、問題に応じて様々に変化していることを踏まえれば、それと同様に産業部門のこうした考え方が重要になるケースも出てくると考えられ、今後も引き続いて取り組みたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 土屋 哲, 多々納裕一, 岡田憲夫: 地震災害時のライフライン途絶が及ぼす経済被害の計量化に関する研究, 地域安全学会論文集, 査読有, No.10, 2008, pp.355-364.

[学会発表] (計5件)

- ① Satoshi Tsuchiya and Hirokazu Tatano: SCGE Applied to Economic Loss Estimation of Great Earthquake, 56th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, 2009.11.19, The Grand Hyatt San Francisco.
- ② 土屋 哲, 多々納裕一: SCGEモデルにおける地域間交易の定式化に関する研究, 第39回土木計画学研究発表会(春大会), 2009.6.13, 徳島大学.
- ③ Satoshi Tsuchiya: A Study on Economic Resilience of Industrial Sector in Earthquake Disasters, 4th DPRI-IPM Joint Seminar on Disaster and Environmental Risk, 2008.12.20, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall.
- ④ Satoshi Tsuchiya, Hirokazu Tatano and Norio Okada: Estimating Production

Functions Using Input-output Data in the Aftermath of an Earthquake, 55th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, 2008.11.20, New York Marriott at Brooklyn Bridge.

- ⑤ 土屋 哲, 多々納裕一, 岡田憲夫: 災害時のライフライン途絶に対する企業生産レジリエンスの評価手法に関する研究, 第38回土木計画学研究発表会(秋大会), 2008.11.1, 和歌山大学.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土屋 哲 (TSUCHIYA SATOSHI)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号: 70422623

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: