

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01679

研究課題名（和文）レジリエンス投資のマクロ計量経済モデルシステムの構築と具体的強靱化方針の提案

研究課題名（英文）A development of macroeconomic model system for the simulation of resilience investment and a practical proposal for building national resilience

研究代表者

藤井 聡 (Fujii, Satoshi)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：80252469

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、南海トラフ地震をはじめとする将来の巨大災害に対し合理的な対策を講ずるため、災害が引き起こす、間接的なものも含めた経済被害の推計を可能にするマクロ経済モデルシステムの構築を試みた。東日本大震災時の交通データや、阪神淡路大震災時の資本ストック毀損データなどを利用して、巨大災害が発生した後の一定期間（例えば20年間）の経済状態の変化についてシミュレーションが可能となった。また、橋梁耐震化や電柱地中化などのレジリエンス対策を実施した際の被害軽減についても、試算を行った。これらのモデル構築及び試算の内容については、数編の査読付き論文として公表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

災害の被害予測はこれまでも様々な形で行われてきたが、資本ストックの毀損や人命の損失など、災害直後に生じる直接的な破壊に焦点を当てたものが多い。しかし巨大災害はインフラの破壊等を通じて社会経済的活動全般を低迷させ、その回復に相当期間を要することから、生産や消費の減退という意味での経済的被害は、災害発生からしばらくの間、累積的に生じるものと考えらるべきである。本研究ではそのような被害を、災害後20年間のGDP損失額等として算出することを目指し、モデル構築を一定程度実現した。モデル精度の向上は今後も必要であるが、政策実践の基礎となり得る定量分析の枠組みを構築したことの意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have attempted to develop a macroeconomic model system that can estimate direct and indirect economic damages caused by disasters, in order to prepare effective countermeasures against future major disasters including the Nankai Trough Earthquake. Using various data such as road traffic records from the Great East Japan Earthquake and the loss of capital stock by the Great Hanshin-Awaji Earthquake, we have developed a method of simulating the changes in economic conditions over 20 years after major disasters. We also estimated the mitigation of damages by resilience investment such as seismic retrofitting of bridges and undergrounding of utility poles. We have published peer-reviewed papers on the model development and estimations.

研究分野：土木計画学

キーワード：南海トラフ地震 経済被害 マクロ経済モデル シミュレーション 国土強靱化 レジリエンス

## 1. 研究開始当初の背景

南海トラフ地震を始め、我が国は近い将来に巨大な自然災害により大きな被害を被ることが予想されている。しかしその被害の具体的な規模については、十分な予測が行われてきたとは言えない。

震災がもたらす直接的な資本ストックの損傷や人命被害については、たびたび論じられてきた。しかし大震災は、インフラの破壊等を通じて国民の社会経済活動全体を停滞させ、それに起因する消費や生産の縮小は連鎖的に生じていくので、間接的な被害を十分に考慮する必要がある。また、減退した消費や生産の回復には相当程度の期間を要することが考えられるため、震災発生後ある程度の期間の累積被害を見積もる必要がある。

## 2. 研究の目的

南海トラフ地震や首都直下地震がもたらす経済被害を予測するため、本研究では、大規模地震発生時の道路リンクの破断確率を、地震の規模や道路の種類、耐震化推進状況等の関数として表現するモデルの推定を行うとともに、橋梁耐震化や電線類地中化等の強靱化施策の効果を分析する。また、当該モデルから予測されるストック被害としての道路リンク破断状態を、道路ネットワークの性能低下として評価してマクロ経済モデルに投入することで、フロー効果としての経済的損失の予測を試みる（あわせて生産資本の毀損量を被害シミュレーションに組み入れる）。これらの作業を通じ、官民が実施すべき強靱化政策の妥当性や緊急性の判断に資するような、定量的・客観的知見を供することが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

### (1) 道路破断モデル

まず、東日本大震災時の被災状況等のデータをもとに道路リンクの破断確率モデルを構築する。分析対象エリアは東北地方（青森県・岩手県・宮城県・秋田県・山形県・福島県）における震度5弱以上の地域である。このエリア内に存在する計101,019本の道路リンクを対象に、分析を行うため、道路リンクの特性を表現する多様な変数データ（リンク長さ、隣接リンク数、耐震化・電柱地中化実施状況、土地利用種別等）を用意した。

なお道路リンクの破断有無は、震災前後でのプローブデータ（カーナビにより記録・収集された走行履歴データ）の有無によって判断する。

道路リンクの破断確率モデルは、次のような4つの道路種別に区別して推定する。なお、道路種別によって利用できる変数に多少の違いがある。

- ① 高速道路
- ② 直轄国道
- ③ 都道府県管理道路
- ④ 市町村管理道路

それぞれの道路種別について、道路リンク単位で、破断有無を目的変数とし、他の変数を説明変数とするロジスティック回帰分析を行う。その際、説明変数はステップワイズ法により選択しており、破断確率の説明に寄与しない変数は取り除くこととする。

### (2) マクロ計量モデル

災害による被害には、建物、機械、インフラなどのストックの価値の減損を指す直接被害と、復興によって元の水準に戻るまでの間に生ずる経済活動の落ち込み、すなわちフローの被害を指す間接被害がある。言い換えれば、地震・津波による道路網や生産施設の毀損によって生じる被害が直接被害であるが、こうした直接被害によって、生産活動や消費活動が低迷することで生じるGDP（地域の場合はGRP）の損失が間接被害である。本研究では、南海トラフ巨大地震及び首都直下地震がもたらす間接被害の推計を試みる。

本研究における「20年経済被害」の定義式は以下の通りである。

$$\begin{aligned} D_{TA} &= f(\text{GDP}^{(B)}, \text{GDP}^{(D)}, \text{GDP}^{(A)}, \text{TD1}, \text{TD2}, \text{TA}) \\ &= \sum_n (\text{GDP}^{(B)} - \text{GDP}^{(D, \text{TDn})}) \times \text{TDn} \\ &\quad + (\text{GDP}^{(B)} - \text{GDP}^{(A)}) \times (\text{TA} - \sum_n \text{TDn}) \end{aligned}$$

$D_{TA}$  : 20年経済被害

TA : 評価対象期間（20年）

- TD1：復興期間1の期間長（2年）
- TD2：復興期間2の期間長（8年）
- GDP<sup>(B)</sup>：災害前のGDP水準
- GDP<sup>(A)</sup>：復興後のGDP水準
- GDP<sup>(D\_TDn)</sup>：災害後・復興前(復興期間n)のGDP水準

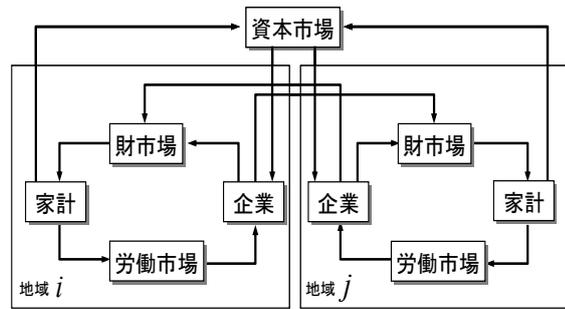


図-1 SCGEモデルの概要

本研究では、図-1に示した因果プロセスを想定した空間的応用一般均衡モデル（SCGEモデル）を活用して、GDP(B)、GDP(D\_TD1)を推計することで、20年間のGDP毀損額を測定する。このSCGEモデルでは、複数の地域（国土交通省が定義する207生活圏を使用）に分割された社会経済を想定し、企業や家計の最適化行動、地域間の交易、需給の均衡を考慮して、南海トラフ地震及び首都直下地震後のGDPを算出する。この際、道路網の毀損によって輸送コストが上昇し生産及び消費が停滞する効果と、生産施設（資本）の毀損によって生産が停滞する効果が考慮されることになる。

南海トラフ地震及び首都直下地震後のGDPを算出する。この際、道路網の毀損によって輸送コストが上昇し生産及び消費が停滞する効果と、生産施設（資本）の毀損によって生産が停滞する効果が考慮されることになる。

#### 4. 研究成果

概ね以下のようなことが明らかとなった。

##### (1) 道路破断モデル

###### a) パラメータ推定結果

道路種別によって、選択された説明変数や推定されたパラメータ（回帰係数）の大きさは異なるが、要約して言えば次のようなことが明らかになった。

道路リンク長は統計的に有意な説明力を持たない一方で、隣接道路リンク数は破断確率に有意な影響を及ぼす。これは多数の道路リンクに接続されている道路のほうが、隣接リンクの破断によって利用不可になるケースが少ないためである。またその他に、津波の浸水域であるか否か、道路に隣接する土地の土地利用種別、発災から経過した時間等が、道路リンクの破断確率に有意な影響を与えていることがわかった。

強靱化対策の実施状況に着目すると、直轄国道においては、橋梁耐震化率も電線類地中化率も道路リンクの破断確率に有意な影響を及ぼさないが、高速道路においては橋梁耐震化率が道路破断確率に負の影響を及ぼすことが分かった。また、都道府県管理道路については、橋梁耐震化率と電線類地中化の両方がいずれも道路破断確率に負の影響を及ぼしており、特に電線類地中化の効果が大きいことが分かった。なお、市町村管理道路に関しては、強靱化対策の実施状況データが存在しない。

表-1 「都道府県管理道路」の強靱化対策効果

対策前	全リンク 平均破断確率	橋梁リンク 平均破断確率	市街地リンク 平均破断確率
直後	45.666%	38.970%	41.738%
半年後	14.489%	10.916%	11.853%
1年半後	4.715%	3.383%	3.671%
<b>10%対策後</b>			
直後	45.648%	38.469%	37.778%
半年後	14.481%	10.691%	10.065%
1年半後	4.712%	3.303%	3.045%
<b>10%差分</b>			
直後	0.017%	0.501%	3.961%
半年後	0.008%	0.225%	1.788%
1年半後	0.003%	0.080%	0.626%
<b>20%対策後</b>			
直後	45.635%	38.076%	33.937%
半年後	14.475%	10.521%	半年後
1年半後	4.710%	3.243%	2.520%
<b>20%差分</b>			
直後	0.031%	0.894%	7.801%
半年後	0.014%	0.395%	3.345%
1年半後	0.005%	0.140%	1.150%

※差分の単位は%ポイント

###### b) 強靱化対策効果の推定

強靱化対策実施状況が有効な説明変数となっている、高速道路及び都道府県管理道路のそれぞれについて、強靱化対策効果を分析した。

まず高速道路についてであるが、構築した破断率予測モデルを用いて、橋梁リンクにおける「橋梁耐震化率」を10%及び20%上昇させた場合の破断率をそれぞれ求め、それらと元の「橋梁耐震化率」の場合に推定される破断率との差分を取ることで、橋梁の耐震化による対策効果を分析した。

「橋梁耐震化率」を10%上昇させた場合、平均破断確率が元の橋梁リンクに比べ、約0.05%から0.34%ポイント低下すること、また20%上昇させた場合は、約0.11%から0.69%ポイント低下することが分かり、橋梁耐震化に効果があることが示された。ただし、この効果の規模は大きなものとは言えない（高速道路における橋梁の強靱化率

が、すでに全国平均で 73.3%と高い水準にあるためと考えられる)。

また都道府県管理道路については、「橋梁耐震化率」に加え「電線類地中化率」についても、10%及び 20%上昇させた場合の平均破断確率をそれぞれ求め、上昇前の破断確率との差分を取ることで、強靱施策による対策効果を分析した。表-1 にその具体的な結果を示す。「橋梁耐震化率」(橋梁リンク)については、都道府県管理道路においても高速道路と同様に、道路の破断率を有意に低下させることが示唆された。また、「電線類地中化率」(市街地リンク)についても、道路の破断率低下に貢献することが示唆された。総じて「電線類地中化率」のほうが「橋梁耐震化率」よりも効果が大きく、特に「電線類地中化率」を 20%上昇させた場合の発災直後の道路破断率低減効果は約 7.8ポイントにも及ぶ。電線類の地中化率は全国平均で約 19%と低く、今後の対策推進によって大きな破断率低減効果をもたらすであろうことが期待される。

## (2) マクロ計量モデルによる地震被害推計

### a) 南海トラフ巨大地震

南海トラフ巨大地震については、GDP が被災前の 522 兆円 (GDP<sup>(B)</sup>) から、地震直後の 2 年間において 386 兆円 (GDP<sup>(D-TD1)</sup>) に減少し、「20 年経済被害」は 1,048 兆円と推計された。この 1,048 兆円という経済被害は、日本国内の全経済主体の合計所得の損失額であるが、激甚被災地エリアにおいて、とりわけ被害が大きい。

図-3 は、激甚被災地エリアに含まれる政令指定都市を抜粋し、納税者一人当たりの損失所得額を示したものである。20 年間累計で、納税者一人当たり、平均 800 万円前後から 2,000 万円以上の所得が失われてしまうことが推定された。これはつまり、大阪や名古屋において、20 年間累計所得が 25%以上縮小することを意味する。神戸における被害を阪神淡路大震災と比較すると、南海トラフ巨大地震のほうが損失所得額は 15%程度大きいという結果となった。

### b) 首都直下型地震

首都直下型地震については、GDP が被災前の 522 兆円 (GDP<sup>(B)</sup>) から、地震直後 2 年間において 433 兆円 (GDP<sup>(D-TD1)</sup>) に減少し、20 年経済被害は 678 兆円と推計された。

図-4 に示すように、納税者一人当たりの損失所得額 (20 年間累計) は、平均約 900 万円から 2,100 万円以上に及ぶと推計された。なお、阪神淡路大震災当時の神戸の平均所得水準が今日の東京 23 区のそれと同程度であるという前提で比較すると、首都直下型地震における東京 23 区の損失額は、阪神淡路大震災を 40%以上も上回る水準と言える。

南海トラフ巨大地震にせよ、首都直下地震にせよ、直接的な人命に着目するのみならず、阪神淡路大震災を上回る巨大な「経済活動の停滞」が、20 年という規模で継続する。この考慮して、迅速に国土の強靱化対策が施されるべきであると言える。

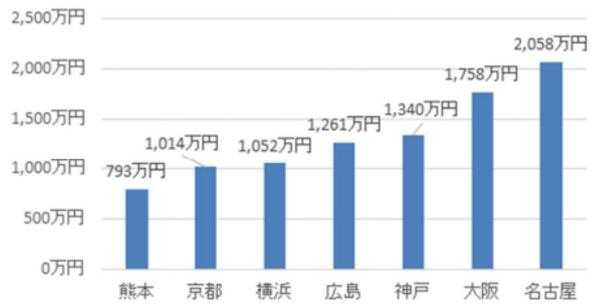


図-2 南海トラフ巨大地震によって失われる地域別所得総額

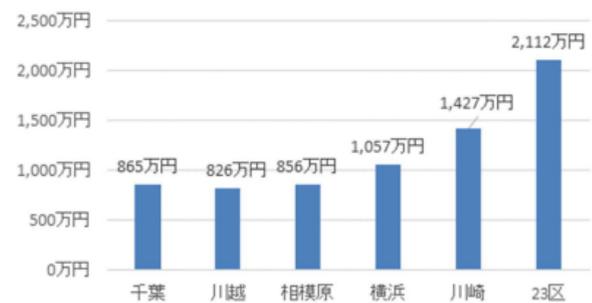


図-3 首都直下型地震によって失われる地域別所得総額

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鎌谷崇史, 中尾聡史, 樋野誠一, 毛利雄一, 片山慎太郎, 東徹, 川端祐一郎, 藤井聡	4. 巻 75(5)
2. 論文標題 大規模震災に対する各地域の道路ネットワークレジリエンス評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学) 特集号	6. 最初と最後の頁 I_353-I_363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.75.I_353	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中尾聡史, 小野寺哲也, 片山慎太郎, 東徹, 川端祐一郎, 藤井聡	4. 巻 75(5)
2. 論文標題 大規模震災がもたらす道路破断の予測モデルの構築に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学) 特集号	6. 最初と最後の頁 I_407-I_417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.75.I_407	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鎌谷崇史, 中尾聡史, 片山慎太郎, 東徹, 戸田祐嗣, 藤井聡	4. 巻 74(2)
2. 論文標題 SCGEモデルを用いた大規模洪水の経済被害推計	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集F4 (建設マネジメント)	6. 最初と最後の頁 I_192-I_201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejcm.74.I_192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 遠山航輝・川端祐一郎・藤井聡
2. 発表標題 東日本大震災の長期的なマクロ経済被害に関する研究
3. 学会等名 土木計画学研究発表大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鎌谷崇史・中尾聡史・樋野誠一・毛利雄一・片山慎太郎・東徹・田名部淳・川端祐一郎・藤井聡
2. 発表標題 南海トラフ地震における各地域の道路ネットワークレジリエンス評価
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺哲也・中尾聡・片山慎太郎・東徹・川端祐一郎・藤井聡
2. 発表標題 大規模震災がもたらす道路破断・走行速度低下の予測モデルの構築及び強靱化対策効果の分析
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾聡史・樋野誠一・毛利雄一・白水靖郎・片山慎太郎・東徹・藤井聡
2. 発表標題 南海トラフ巨大地震、首都直下型地震の長期的経済被害の推計
3. 学会等名 第58回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳川篤志・白水靖郎・藤井聡
2. 発表標題 阪神淡路大震災の長期的経済被害の推計
3. 学会等名 第58回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	田中 皓介  (Tanaka Kosuke)  (30793963)	東京理科大学・理工学部土木工学科・助教   (32660)	
研究 分担者	小池 淳司  (Koike Atsushi)  (60262747)	神戸大学・工学研究科・教授   (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------