

査読付き論文

自然災害による直接経済被害と経済・社会的要因との関連性

——都道府県別パネルデータを用いた実証分析——

林 万 平*

I はじめに

近年、EM-DAT¹⁾により世界各国の災害データが整備されてきた。それによると、世界全体の自然災害の発生回数は長期的に大きく増加してきている。例えば、1970年に世界で発生した自然災害の回数は81回であったが、2011年にはそれが352回にもなっている。さらに地域別に見ると、その多くがアジア地域で発生していることが分かる。1970年から2011年にかけて同地域で発生した自然災害の頻度は、世界全体の実に約38.8%に上り、これはアメリカ地域の約24.2%やアフリカ地域の約19.4%よりも大きい。また、同地域では、台湾大地震、スマトラ島沖地震、四川大地震等、多くの大規模自然災害が発生している。日本も阪神・淡路大震災や東日本大震災を始め、多くの地震・津波災害を経験している。このような自然災害の発生の高まりを受けて、各国で災害政策への関心が高まっている。

従来、災害研究の領域では工学的な研究が主

流であった。導かれる減災・防災政策も、「いかに自然災害に対して物理的に安全な状況を用意するか。」という視点が中心であった。このため、災害により被害を受ける社会の脆弱性に着目した研究は少なく²⁾、あっても定性的な考察や事例研究、被害状況のシミュレーション研究への応用に止まっていた³⁾。

しかし、UNDP [2004] が提示した被害分析モデルをきっかけに、自然災害による被害と各国の経済・社会的要因との関連性に関する国際比較分析が広く行われるようになってきた。Kahn [2005] らの一連の実証研究から、所得水準や教育水準、社会制度の質といった要因が、被害の軽減において重要であることが明らかになってきた。社会・経済の状態を改善し、社会的脆弱性を減じていくことが、防災・減災政策を考える上で重要であるという分析結果が示されたのである。

2) ただし、工学的災害分析の分野においても災害に対する社会的脆弱性の重要性は認識されていた。河田 [1997] は、「重要なことは、社会の発展と共に災害が進化し、被災形態が変化するという歴史的事実である。このことは、自然災害の被害規模を決定するのは外力の大きさだけでなく、それを受ける側の抵抗力、すなわち被害を受ける社会の災害脆弱性にも依存していることを意味している。」(p. 11) と指摘している。

3) Schmidtlein, et al. [2011] は、サウスカロライナ州チャールストン市を対象に、社会的脆弱性に着目した地震被害のシミュレーションを行っている。その結果、社会的に脆弱な地域ほど、大きな被害を受けることを明らかにしている。

受付日 2013年1月30日，受理日 2014年2月13日

* 一般財団法人アジア太平洋研究所研究員

1) ベルギーのルヴァン・カトリック大学は、1988年に世界保健機関と連携して「災害疫学研究センター(CRED)」を設置し、自然災害を含む世界各国で発生した災害データベース(EM-DAT)を運営している。EM-DATでは、1) 死者が10人以上、2) 被災者が100人以上、3) 緊急事態宣言の発令、4) 国際救援の要請、のいずれかが該当した事象は全て「災害」として登録される。

国際比較研究に進展が見られる一方で、この分野の国内における実証研究は進んでいない。わずかに外谷〔2009〕が都道府県の防災政策投資と被害の関係を推定しているが、経済・社会的要因が果たす役割については明らかにされていない。

そこで本稿では、Kahnらの手法により、都道府県別パネルデータを用いて、自然災害による被害と経済・社会的要因との関連性について実証分析を行う。経済・社会的に脆弱な地域ほど被害が大きくなっているという仮説を検証し、被害の軽減に有効な経済・社会的要因を発見することが本分析の目的である。

社会的脆弱性（Social Vulnerability）の定義をめぐることは、研究者の間で合意があるわけではない（Weichselgartner〔2001〕）。どのような経済・社会的要因により被害が拡大しているのかは実証的な問題と言える。しかし、国際比較分析に用いられている教育水準や社会制度の質といった要因は、都道府県間で大きな差があるとは考えにくい。そこで本稿では、社会的脆弱性を表す変数の候補として、一人当たり県内総生産、一人当たり資本ストック（民間企業資本、社会資本）、年少人口比率、災害復旧や治山治水への行政投資比率を採用し、これらが災害被害に与える影響を推定する。

自然災害による被害の特徴は国毎に異なる。自然災害が多発する国々の中でも、日本のような経済規模の大きな国では、人的被害だけでなく、経済被害も大きな問題となっている⁴⁾。しかし、経済被害と経済・社会的要因の関連性に関する先行研究は少ない。

そこで本稿では、国内分析にあたって自然災害による経済被害を対象とする。経済被害は直接経済被害と間接経済被害に分けられる。直接経済被害とは、災害により滅失した社会インフラや民間資本、住宅や動産等といったストック

の価値を指す。これに対して、間接経済被害とは、災害が生産や消費等の経済活動に与える影響のことをいう。このうち、日本の統計では、都道府県別に直接経済被害の状況について知ることができるため、本分析では直接経済被害を扱うことにする⁵⁾。

結論を先取りすれば、以下の事実が確認された。1) 発生した自然災害の規模を示す変数である市区町村数に占める災害対策本部設置団体数の値が大きいほど、被害が有意に大きくなっている。2) 年少人口比率、一人当たり資本ストック（民間企業資本、社会資本）、一人当たり県内総生産、災害復旧や治山治水への行政投資比率、といった経済・社会的要因が、被害を有意に軽減している。3) 特に、年少人口比率、一人当たり資本ストック、一人当たり県内総生産の弾力性が大きい。

本稿の構成は以下の通りである。次節では、自然災害多発国における被害状況を観察する。第Ⅲ節では、先行研究を紹介する。第Ⅳ節では、UNDPによる被害分析モデルを示し、第Ⅴ節でデータの説明を行う。第Ⅵ節で推定モデルについて説明し、第Ⅶ節で実証分析の結果を示す。最後の第Ⅷ節では実証分析から得られた含意についてまとめる。

Ⅱ 自然災害多発国における被害状況

自然災害による被害は、主に人的被害と経済被害に分けられる。国際比較分析の多くは経済・社会的要因と人的被害との関連性について分析している。これは、同じように自然災害を

4) 図1を参照のこと。

5) 自然災害による間接経済被害を推定した国内研究は多くある。うち、高橋・安藤・文〔1997〕、高島・林〔1999〕、萩原〔1998〕、芦屋・地主〔2001〕、土屋・多々納・岡田〔2008〕の研究は、阪神・淡路大震災や新潟県中越地震における間接経済被害の推定を行っている。

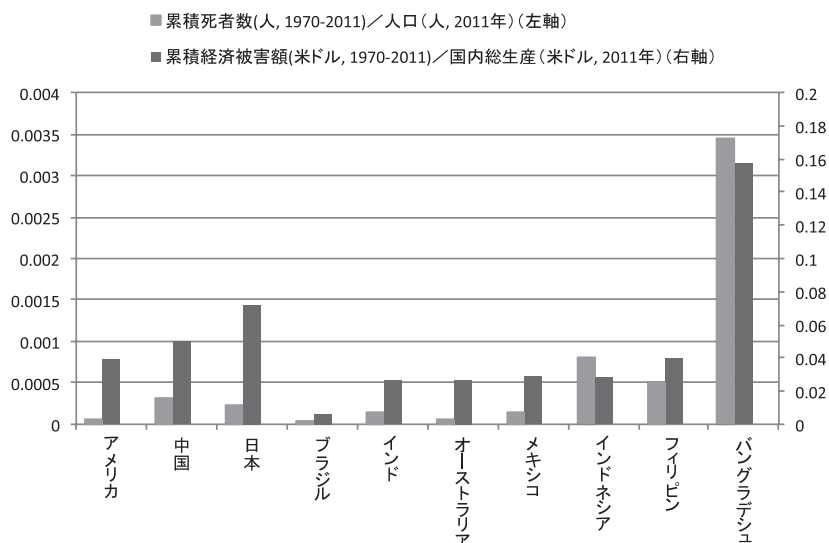


図1 自然災害多発国における被害状況

データ出所：EM-DAT, World Bank

経験している国々の中でも、途上国を中心に災害による死者数が多いことに関心が集まっているためである。

図1は、1970年から2011年にかけて世界で最も多く自然災害を経験した10カ国の「人口に占める累積死者数」と「国内総生産に占める累積経済被害額」を示したものである。これらの値は、1970年から2011年の間に生じた各国の人的・経済的被害の累積値を、2011年時点の人口や国内総生産で除したものである。国名は、左から2011年時点の国内総生産が大きい順に並べてある。

図を見ると、インドネシア、フィリピン、バングラデシュといった国内総生産が小さな国々では、人的被害指標（「人口に占める累積死者数」）の水準が他の7カ国よりも高くなっている。これに対して、アメリカ、中国、日本といった国内総生産が大きな国々では、経済被害指標（「国内総生産に占める累積経済被害額」）の水準が、バングラデシュを除いた他の6カ国よりも高くなっている。さらに日本について見ると、経済被害指標は10カ国中2番目に高い水準となっている⁶⁾。

このように、日本をはじめとする経済規模が大きな国々では、自然災害による人的被害だけでなく、経済被害も大きな問題となっている⁷⁾。次節では、自然災害による被害と経済・社会的要因との関連性について分析した先行研究を紹介する。

Ⅲ 先行研究

自然災害による被害と経済・社会的要因との関連性に関する国際比較分析は、UNDP [2004]による被害分析モデルをきっかけに広く行われるようになってきた。UNDPは、自然災害による被害の大きさは災害自体の規模だけでなく、

6) 1970年から2011年の間に、日本で突出した被害をもたらした自然災害は、阪神・淡路大震災と東日本大震災である。1995年の阪神・淡路大震災の死者数は6,434名であり、直接経済被害額は約9兆9,268億円とされている。東日本大震災の被害は、2013年10月10日時点で、死者数が15,883名、行方不明者が2,652名であり、内閣府 [2011] による直接経済被害額の推定値は約16兆9,000億円とされている。

被害を受ける社会の脆弱性によっても決定されるというモデルを提示している。

Kahn [2005] はこのモデルに基づき、EM-DAT による自然災害被害のデータを使用して、所得水準と社会制度の質に着目した国際比較分析を行った。Kahn は、地震、洪水、異常気温、地すべり、暴風などの災害別に分析を行い、災害の発生頻度や地理的な要因を考慮しても、一人当たり国内総生産が大きい国ほど災害による死者が少ないことを発見した。さらに、私有財産の保護、民主主義の採用、規制の質、政治への参加、思想信条・表現の自由、法による支配、汚職への対処といった、社会制度の質が高い国ほど、自然災害による死者が少ないことも明らかにした。

さらに、Toya and Skidmore [2007] は、各国の経済システムや経済・社会的状況が自然災害による被害に与える影響を分析した。その結果、一人当たり国内総生産や教育水準が高く、小さな政府を持ち、金融システムの整備が進んでおり、経済の国際開放度が高い国ほど、人的・経済的被害が小さいことを発見している。

Kellenberg and Mobarak [2008] は、Kahn の結果に対して、経済発展の水準と自然災害被

害との間には、非線形の関係があることを指摘した。災害別に各国の被害を比較分析した結果、所得水準がある程度高ければ一人当たり国内総生産の増加に伴い死者数は減少するが、所得水準が低い場合には、一人当たり国内総生産の上昇に伴って死者数が増加することを明らかにした。

Padli and Habibullah [2009] は、アジアの国々を対象に比較分析を行った。その結果、一人当たり国内総生産と教育水準の高い国々では、災害による死者数が少なくなっていることを示した。

これらの国際比較分析から、所得水準、教育水準、社会制度や経済システムといった経済・社会的要因が脆弱な国ほど、災害被害が大きくなっていることが分かってきた。ただし繰り返すが、これらの国際比較研究の多くは人的被害を対象としており、経済被害を対象とした分析は Toya and Skidmore を除いてまだ少ない。

また、この分野の国内における実証研究の蓄積も多くない。同様の手法を用いた分析は、外谷 [2009] を除いてほとんど存在しない⁸⁾。外谷は都道府県別パネルデータを使用して、行政投資による自然災害被害の軽減効果を推定している。災害復旧費用、治山治水投資、土木費、消防費が人的・経済的被害に与える影響を分析した結果、災害復旧費用が有意に被害を軽減していることを発見した。これは、被害を受けた地域において、災害復旧により公共インフラ等が更新されることで、その後の自然災害による被害が軽減される効果があることを意味してい

7) 自然災害により大きな直接経済被害が発生した場合、少なくとも災害前の状態に戻すためには、被害額と同程度の再建費用が必要となることが知られている。林 [2005] は、1995 年に発災した阪神・淡路大震災の復旧・復興のために要した公的支出の規模について調査している。そこでは、1994 年度から 2004 年度にかけて国と兵庫県予算から合計で 9.49 兆円が支出されたことを確認している。これは阪神・淡路大震災の直接経済被害額である約 9.9 兆円に近い数値となっている。これらの費用は主に、避難所や応急仮設住宅の設置を含む緊急・応急対応、瓦礫の処理、交通基盤施設・ライフライン施設の復旧、生活再建や経済復興、安全な地域づくり等の対策、被災者向け公営住宅家賃低減対策、交通・情報インフラの整備、産業復興支援、都市公園の整備等に支出されている。

8) 国内の自然災害による被害の経済分析としては、高橋・安藤・文 [1997]、豊田 ([1996][1997])、高島・林 [1999]、萩原 [1998]、芦屋・地主 [2001]、土屋・多々納・岡田 [2008] らの研究が挙げられる。しかし、これらの研究は、巨大自然災害の経済被害の計算や、発災後の経済変数間の相互関係に主たる関心が向けられており、災害被害の軽減に有効な経済・社会的要因の探求を目的としたものではない。

る。しかし、どのような経済・社会的状況が自然災害に対して脆弱であるかは示されていない。

このように、国内研究では社会的脆弱性に着目した実証分析の蓄積が少なく⁹⁾、国際比較分析においても社会的脆弱性と経済被害の関係に着目した研究は少ないのが現状である。次節では、本稿の仮説検証に用いる UNDP による被害分析のモデルを説明する。

Ⅳ UNDP 被害分析モデル

自然災害による直接経済被害の推定を行うにあたって、ここでは Kahn らの実証分析の基礎となっている UNDP [2004] による被害分析モデルを示す¹⁰⁾。以下の式を出発点とする。

$$[R]=[H]*[V]$$

R は Risk を表し、自然災害により発生した被害を表す変数が含まれる。H は Hazard を表し、発生した自然災害の規模を表す変数が含まれる。V は Vulnerability を表し、自然災害に対する地域の社会的脆弱性を表す変数が含まれる。この式は、災害による被害が、災害の規模だけでなく、被災地域の社会的脆弱性によって決定されることを示している。

9) 社会的脆弱性に着目した国内の災害研究としては、高坂・石田 [2005]、宮原・森 [1998] を挙げることができる。高坂・石田は、災害は社会の潜在的な脆弱性を表面化させるため、同じような災害に直面しても被害や復興の程度に違いが生じるとしており、自然災害による被害を理解する上で脆弱性という概念が必要であると主張している。宮原・森は、阪神・淡路大震災の災害被害の事例研究を行っており、芦屋市内の被害を観察した結果、最も人的被害が大きかった地域では他の地域に比べて耐震性能が脆弱な住宅が多かっただけでなく、住民の経済的階層が低かったことを発見している。

10) ここでは両辺を都道府県の規模で除した変数を用いることで、Risk は Hazard と Vulnerability の積と考えることとした。

われわれはこの式に基づき、自然災害による直接経済被害を推定する。国内分析にあたって、都道府県別パネルデータを使用する。推定は対数変換された変数を用いて固定効果推定法により行う。次節では、使用するデータについて吟味する。

V データ

1 Risk 変数

Risk 変数には、自然災害により発生した被害を表す変数が含まれる。われわれは、都道府県の自然災害による「直接経済被害額」を Risk 変数として扱う。

直接経済被害額のデータは、消防庁『消防白書』の付属資料にある「自然災害による都道府県別被害状況」に掲載されている「被害総額」で確認することができる。毎年、『消防白書』では都道府県別に自然災害による被害状況を報告している。「被害総額」に算入される項目は、消防庁「災害報告取扱要領」に従うことになっている。その項目とは、公立文教施設、農林水産業施設、公共土木施設、その他の公共施設、農産被害、林産被害、畜産被害、水産被害、商工被害、その他の経済被害額であり¹¹⁾、これらの合計が「被害総額」として報告されている。しかし、この「被害総額」を、直接経済被害を示

11) 農林水産業施設、公共土木施設の被害額とは、それぞれ「農林水産業施設災害復旧事業国庫補助の暫定措置に関する法律」(昭和 25 年法律第 169 号)、「公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法」(昭和 26 年法律第 97 号)に基づく国庫負担の対象となる施設を対象としており、補修費用をベースにしたものである。農産被害、林産被害、畜産被害、水産被害は在庫被害を扱ったものであり、農林水産省「作物統計」における被害調査に報告されているように、生産物の減収量と過去数年の平均価格を乗じることによって、逸失額が算出されている。商工被害は、民間資本の生産設備や在庫等、動産の被害額を扱っている。

すデータとして扱うためには、以下の三点に留意する必要がある。

第一に、「被害総額」には住宅を含めた民間の建築物における被害額が含まれていない。阪神・淡路大震災や東日本大震災では、直接被害額の大半が住宅被害によるものであったことが分かっている¹²⁾。つまり、「被害総額」のデータでは、自然災害による直接経済被害がその実態と比べて過小に評価されている。真の直接経済被害額のデータを得るには、先ほどの「被害総額」に、住宅を含む民間の建築物の被害額を加える必要がある。

そこで、国土交通省『建築統計年報』に収録されている「建築物滅失統計調査」を参照し、「被害総額」の修正を行った。「建築物滅失統計調査」には、風水災、震災等により被害を受けた、住宅を含む建築物の「損害見積額」¹³⁾が掲載されており、都道府県別に観察することができる。そこで、ここでは「被害総額」に「建築物滅失統計調査」にある「風水災、震災等による損害見積額」を加えて、「直接経済被害額」を算出した。本稿では、この「直接経済被害額」を自然災害による直接経済被害を表すデータとして扱うことにする。

第二に、「被害総額」のデータには、2004年の新潟県中越地震、2007年の新潟県中越沖地震といった大規模自然災害による被害額が含まれていない。消防白書に掲載されている2004、2007年の新潟県の「被害総額」の数値は、新潟県が独自に公表している両震災の直接経済被害額よりも小さい。そこで、新潟県が公式に発表して

いる両震災における経済被害額を、先ほどの「直接経済被害額」に加えることで数値の修正を行った。2004年の新潟県の「直接経済被害額」には3兆円、2007年の新潟県の「直接経済被害額」には1.5兆円を加えた。

第三に、消防白書に掲載されている自然災害による被害状況は、災害の種類別に確認することができない。そのため本分析では、自然災害全般により生じた被害を対象に分析を行う。

なお、推定にあたっては都道府県の規模を調整するため、「直接経済被害額」を県内総生産(名目)で除したものを被説明変数として採用する。

2 Hazard 変数

Hazard 変数には、発生した自然災害の規模を表す変数を採用する。自然災害の規模は、経験した災害の強度や頻度により表現されると考えられる。ここではそれを示す変数として、都道府県内で災害対策本部を設置した団体数(市区町村単位)を採用する。

災害対策本部は、地域が自然災害により被害を受けた場合に設置される。そのため、広範囲にわたって被害が発生するような大きな自然災害が発生した場合や、年によって自然災害が多発したような場合、それだけ多くの災害対策本部が設置されることになる。災害対策本部設置団体数は、その地域が経験した自然災害の強度や頻度に比例すると考えられる。

先行研究では、自然災害の強度を示す客観的な基準として、発生した地震の震度や台風の風速を利用した例もある。外谷[2009]では、震度5弱以上の地震が起きた頻度や、風速17.2m/s以上の台風が通過した数といった、発生した中でも比較的規模の大きな自然災害の発生頻度を災害の規模を表す変数として採用している。しかし、自然災害には、地震や台風に限らず、豪雪、豪雨、土砂災害、洪水、津波等、他にも多くの種類が存在する。これら全ての自然災害に関して、その種類や強度別に、都道府

12) 阪神・淡路大震災では、直接被害総額約9兆9,268億円のうち、民間のものを含む建築物被害が約5兆8,000億円にも上る。東日本大震災では、内閣府発表による被害額約16.9兆円のうち、約10.4兆円が建築物等の被害と推定されている。

13) 損害見積額は、災害前の状態に戻すために必要な費用を算定しているため、再取得価格がベースになっている。

県内の発生状況を観察できるデータは国内には存在しない。

これに対して、災害対策本部は、自然災害の種類に関わらず、被害が発生すれば設置される。Riskを示す変数である「直接経済被害額」が自然災害全般による被害を示すことから、災害対策本部設置団体数は自然災害の規模を説明する上で適していると考えられる。

なお、都道府県の規模を調整するため、災害対策本部設置団体数を市区町村数で除したものを説明変数として使用する。災害対策本部設置団体数は消防庁『消防白書』から得ることができる。市区町村数については、総務省「社会・人口統計体系」に掲載されている市区数と町村数を参照している¹⁴⁾。

3 Vulnerability 変数

Vulnerability 変数には、自然災害に対する地域の社会的脆弱性を表す変数が含まれる。Weichselgartner [2001] は、脆弱性の定義について、研究者の間で合意があるわけではないとしつつも、大別すれば、災害が発生する以前から存在する状態と、災害が発生した後に発揮される対応力の両方が含まれると主張している。そして、自然災害による予想被害を計算する上では、Preparedness, Prevention, Response という三つの要素について考慮することが適切である指摘している。

どのような経済・社会的要因が災害に対する社会的脆弱性を表すのかは、実証的な問題と言える。本稿の目的もその探索にある。そこで、直接経済被害額の推定結果を観察し、災害被害を拡大させる経済・社会的要因は何か、個別に

判断していくことにする。以下では、社会的脆弱性変数の候補を、Preparedness, Prevention, Response の三つに分けて検討する。

第一に、Weichselgartner によれば、Preparedness を示す変数には、自然災害に対する予防策に関する取組みが含まれる。例として、防災対策、災害危険に関する情報交換、防災訓練の実施等が挙げられている。本分析では、15歳未満人口比率を Preparedness を示す変数として採用する。子供を含む若い家族世帯が多い地域では、しばしば町内会活動や祭りを始めとする行事など地域活動が活発となる傾向が見られる。このように住民の結びつきが強い地域では防災力が高いと考えられている。なぜなら地域活動を通じた市民間の情報交換や近隣の付き合い、緊急時の役割分担や連絡網の整備などを通じて社会関係資本が蓄積され、災害発生時に防災力を発揮することが知られているからである¹⁵⁾。データは総務省による国勢調査を基にした人口推計値を参照している。

第二に、Prevention を示す変数には、自然災害からの被害を軽減するための防災・減災体制に関する項目が含まれる。例として、防災インフラや災害に対して頑健な建築物の構築、国土保全への取組み等が挙げられている。それらを示す変数として、ここではまず、民間企業資本ストックと社会資本ストックを採用する。内閣府は都道府県別にこれらの推計値を発表している。

民間企業資本ストックとは、産業部門のストックの合計価値であり、都道府県内の投資の蓄積や生産設備等の集積の水準を示す。民間企業資本ストックの蓄積が進んでいない都道府県では、高度に産業が集積している地域のように先進的な防災対応力を備えておらず、自然災害

14) 本分析では1995年から2007年までの期間を対象に推定を行う。この時期に「平成の大合併」に伴い市町村数は大きく減少した。そのため、分母に使用する市区町村数には各年のデータを使用し、合併に伴う自治体数の減少を反映することとした。

15) Aldrich [2012] は、大規模自然災害からの復興において、社会関係資本が果たす役割について実証分析を行っている。

に対して脆弱であると考えられる。これに対して、社会資本ストックとは、道路、港湾、空港、住宅、都市公園、下水、治水、治山、海岸、学校等、公共領域における資本ストックの合計価値である。これは公共インフラの整備状況や防災対策の水準を示し、社会資本ストックの蓄積が進んでいない都道府県は、自然災害に対して脆弱であると考えられる。なお、推定では、両資本ストックの合計（以下、総資本ストック）、または各資本ストックを人口で除したものを説明変数として使用する。

これに加えて、国土保全に関する行政の取り組みを示す変数として、治山治水への行政投資比率を採用する。なお、行政投資に関する支出額は、国費、都道府県費、市町村費を合計した総投資額を使用する。データは総務省「社会・人口統計体系」を参照した。また、平均的な国土保全への行政投資比率の違いが将来の災害被害にどのような影響を与えているのか観察するため、本分析では治山治水への行政投資比率の過去10年間の平均値を説明変数として使用する。

さらに、一人当たり県内総生産（名目）を説明変数に採用する。データは県民経済計算を参照した。Kahn[2005]らの一連の実証研究から、一人当たり国内総生産が低い国ほど自然災害による被害が拡大していることが明らかになっている。本分析でも、一人当たり県内総生産が災害被害に与える影響について観察する。

第三に、Responseを示す変数には、災害対応に関する項目が含まれる。例として、災害後の様々な緊急対応や復旧の取り組み等が挙げられている。本分析ではResponseを示す変数として災害復旧への行政投資比率を採用する。推定にあたっては、治山治水への行政投資比率と同様に、過去10年間の平均比率を用いる。災害被害に対して十分な復旧投資を行い、公共インフラ等を防災効果の高いものに更新することによって、自然災害による被害が軽減されることが考えられる。データは総務省「社会・人口統計体

系」から得ることができる。

4 記述統計

表1には、推定で使用する変数の記述統計と各変数の定義を掲げておいた。なお、本分析では、47都道府県の1995年から2007年までの13年分のデータを使用する。これは、1995年の阪神・淡路大震災の発生以降、全国的に防災対策の見直しが進んでいるためである。サンプルサイズは611である。

UNDPの被害分析モデルに基づいた推定では、各変数を対数化した変数を使用する。しかし、値がゼロの観測値は対数化できない。そのため、変数の作成にあたって、Risk変数である「直接経済被害額」とHazard変数である災害対策本部設置団体数の値に0.01を加えて修正を行うこととした。これらの値を修正した後、各変数を都道府県の規模で除したものを対数化し、推定に用いることにした。次節では、UNDPの被害分析モデルに基づいた固定効果推定法による推定モデルを提示する。

VI 実証分析

推定の基礎モデルとして以下の三式を考える。なお、 i は当該府県を表し、 t は時点を示す。まず以下の(A)式について説明する。

$$\begin{aligned} \ln(Economic_Damage_{it}) = & \alpha_1 \ln(HQ_{it}) \\ & + \beta_1 \ln(Under15_{it}) + \beta_2 \ln(GRP_{it}) \\ & + \beta_3 \ln(Recovery_{it}) + u_i + trend_t + \varepsilon_{it} \quad (A) \end{aligned}$$

本分析では固定効果推定を行う。各都道府県の地理や環境の違いといった経年変化しない各都道府県の固有要因による影響を除去した推定を行うためである。

被説明変数には、Riskを示す変数である県内総生産に占める「直接経済被害額」の割合

表 1 記述統計

Factors	Variables	Description	Mean	Std. dev	Min	Max
Risk	Economic_Damage	(直接経済被害額(千円) + 0.01) / 県内総生産(名目: 百万円)	4.194	26.435	0.000	480.897
Hazard	HQ	(災害対策本部設置団体数 + 0.01) / 市区町村数	0.501	1.205	0.000	12.394
Vulnerability	GRP	一人当たり県内総生産(名目: 百万円)	3.666	0.707	2.569	7.460
	Stck	一人当たり総資本ストック(百万円)	13.337	2.543	6.515	21.214
	Pstck	一人当たり民間企業資本ストック(百万円)	8.015	1.797	3.904	13.189
	Sstck	一人当たり社会資本ストック(百万円)	5.322	1.731	1.972	10.783
	Under 15	15歳未満人口比率(%)	0.149	0.014	0.113	0.221
	Recovery	行政投資総額に占める災害復旧費用比率(%)の過去10年間の平均値	0.022	0.015	0.001	0.076
	Nature	行政投資総額に占める治山治水投資比率(%)の過去10年間の平均値	0.100	0.030	0.018	0.180
trend	trend	トレンド項	7	3.745	1	13

(*Economic_Damage*)を採用する。説明変数には Hazard 変数である市区町村数に占める災害対策本部設置団体数 (*HQ*)、さらに Vulnerability 変数には、preparedness を示す変数として 15 歳未満人口比率 (*Under15*)、prevention を示す変数として一人当たり県内総生産 (*GRP*)、response を示す変数として行政投資総額に占める災害復旧費用比率 (*Recovery*) を使用する。 u_i は都道府県の固定効果を表す。また、トレンド項 (*trend*) を導入し、各都道府県の防災力の向上に関するトレンドを除去する。 ε_{it} は誤差項を示す。

災害の規模が大きくなれば、自然災害による被害は拡大すると考えられる。したがって *HQ* の係数は正と予想される。さらに発生した自然災害の規模を一定とすれば、都道府県が経済・社会的に脆弱であるほど被害が大きくなると考えられる。*Under15*, *GRP*, *Recovery* の係数

は全て負であると予想される。

次に、以下の (B) 式は、(A) 式に Prevention を示す変数である一人当たり総資本ストック (*Stck*) と行政投資総額に占める治山治水投資比率 (*Nature*) を加えた推定式である。*Stck*, *Nature* の係数も負になると予想される。

$$\begin{aligned}
 \ln(Economic_Damage_{it}) = & \alpha_2 \ln(HQ_{it}) \\
 & + \gamma_1 \ln(Under15_{it}) + \gamma_2 \ln(GRP_{it}) \\
 & + \gamma_3 \ln(Stck_{it}) + \gamma_4 \ln(Recovery_{it}) \\
 & + \gamma_5 \ln(Nature_{it}) + \mu_i + trend_i + \varepsilon_{it} \quad (B)
 \end{aligned}$$

民間資本ストックと社会資本ストックを区別した推定も行う。以下の (C) 式では、*Stck* に代えて、一人当たり民間企業資本ストック (*Pstck*) と一人当たり社会資本ストック (*Sstck*) を採用する。いずれの係数も負となることが予想される。

$$\begin{aligned} \ln(Economic_Damage_{it}) = & \alpha_3 \ln(HQ_{it}) \\ & + \delta_1 \ln(Under15_{it}) + \delta_2 \ln(GRP_{it}) \\ & + \delta_3 \ln(Pstck_{it}) + \delta_4 \ln(Sstck_{it}) \\ & + \delta_5 \ln(Recovery_{it}) + \delta_6 \ln(Nature_{it}) \\ & + \pi_i + trend_t + \tau_{it} \end{aligned} \quad (C)$$

なお、1995年から2007年の間に、兵庫県と新潟県は阪神・淡路大震災や中越地震、中越沖地震といった大規模自然災害を経験している。いずれの災害でも1兆円をゆうに超える被害が発生しており、そのような観測値を含むデータを使用した推定では結果が歪められている可能性がある。そこで分析にあたっては、兵庫県、新潟県のデータを除外した推定も行うこととする。次節では、これらのモデルに基づいて得られた推定結果を観察する。

VII 推定結果

表2には(A)–(C)式のモデルに基づく一連の固定効果推定による推定結果を掲載している。以下では、まず結果(1)–(4)について観察した後に、結果(5)–(7)について見ていくことにする。

(1)–(4)の推定では、1995年から2007年までの47都道府県のデータを使用した。まず、(A)式に基づいて推定を行った結果(1)について観察する。

Hazard変数であるHQの係数は有意水準1%で正に有意であった。発生した自然災害の規模が大きいほど、被害が大きくなっていることが確認された。次に、Vulnerability変数について見ると、Under15の係数は有意水準10%で負に有意であった。年少人口比率が高い地域では、被害が有意に小さくなっていることが示された。さらに、その弾力性はVulnerability変数の中で最も大きかった。Under15が1%ポイント増加するとEconomic_Damageが約5.7%低下することが確認された。GRPの係

数も有意水準10%で負に有意であった。弾力性はUnder15に次いで大きく、GRPが1%増加すると、Economic_Damageが約3.7%低下する結果が示された。国際比較研究と同様に、所得水準が高い地域ほど被害が抑えられていることが確認された。Recoveryの係数は有意水準1%で負に有意であった。災害復旧への行政投資比率が高い地域では、その後の被害が軽減されていることが明らかになった。

(2)、(3)では、(B)式に基づき、(A)式の説明変数にstck, natureを加えた推定を行った。結果(2)を見ると、Hazard変数であるHQの係数は有意水準1%で正に有意であり、Vulnerability変数はUnder15, Stck, Recoveryの係数が有意水準1%で負に有意であった。災害の規模の違いを考慮した上で、年少人口比率や災害復旧への行政投資比率が高い地域に加えて、一人当たり総資本ストックが大きい地域でも、被害が有意に小さくなっていることが示された。Under15, Stckの弾力性が大きいことも分かった。Under15が1%ポイント増加するとEconomic_Damageは約11.6%低下し、Stckが1%増加するとEconomic_Damageは約7.3%低下することが確認された。結果(3)においても、HQの係数は有意水準1%で正に有意であり、Under15, Stck, Recoveryの係数は有意水準1%で負に有意であった。これらVulnerability変数の弾力性も結果(2)と同様の値が得られた。

(C)式に基づき、Stckの代わりにPstck, Sstckを用いた推定が(4)である。結果を観察すると、結果(1)–(3)と同様に、HQ, Under15, Recoveryの係数が有意であった。さらに、Pstck, Sstckの係数がそれぞれ有意水準10%と5%で負に有意となる結果が得られた。Pstckが1%増加すると、Economic_Damageが約4.4%低下し、Sstckが1%増加すると、Economic_Damageが約6.3%低下することが確認された。防災上、社会資本ストックと民間企業

表2 推定結果

推定方法 説明変数	被説明変数：ln (Economic_Damage)						
	固定効果						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ln (HQ)	0.242 *** (0.027)	0.247 *** (0.027)	0.246 *** (0.027)	0.245 *** (0.027)	0.235 *** (0.028)	0.234 *** (0.028)	0.233 *** (0.027)
ln (Under 15)	-5.693 * (3.323)	-11.623 *** (4.033)	-11.957 *** (3.944)	-13.403 *** (4.308)	-9.989 ** (3.765)	-10.647 *** (3.641)	-11.264 *** (3.885)
ln (GRP)	-3.720 * (2.110)	-2.868 (2.201)	-3.184 (2.245)	-3.400 (2.233)	-3.980 * (2.155)	-4.532 ** (2.080)	-4.579 ** (2.092)
ln (Stck)		-7.258 *** (2.704)	-8.300 *** (2.666)		-6.433 ** (2.636)	-7.951 *** (2.635)	
ln (Pstck)				-4.421 * (2.356)			-4.769 ** (2.146)
ln (Sstck)				-6.264 ** (2.657)			-5.045 ** (2.466)
ln (Recovery)	-0.944 *** (0.261)	-1.028 *** (0.251)	-0.982 *** (0.270)	-1.021 *** (0.268)	-0.990 *** (0.213)	-0.902 *** (0.225)	-0.936 *** (0.224)
ln (Nature)			-1.286 (1.007)	-1.635 (0.989)		-1.953 ** (0.934)	-2.173 ** (0.946)
trend	-0.195 *** (0.049)	-0.103 * (0.054)	-0.082 (0.060)	-0.015 (0.065)	-0.096 * (0.053)	-0.067 (0.057)	-0.014 (0.062)
n	611	611	611	611	585	585	585
決定係数 (within)	0.27	0.28	0.28	0.29	0.27	0.28	0.28

※***：有意水準1%で有意，**：有意水準5%で有意，*：有意水準10%で有意。

※() 内は都道府県番号でクラスタリングした不均一分散に頑健な標準誤差を示す。

※定数項の結果は省略している。

資本ストックの両方が効果的であることが示された。

続いて、(5)-(7)の推定結果について観察する。ここでは、大規模自然災害を経験している兵庫県と新潟県のデータを除外して推定を行った。まず、(B)式に基づいて推定を行った(5)、(6)の結果について観察する

結果(5)を観察したところ、ここでもHQは有意水準1%で正に有意であった。さらに、推定に使用したVulnerability変数であるUnder15、GRP、Stck、Recoveryの係数が全て負で有意な結果となった。Under15とStckは有意水準5%で有意であり、Recoveryの係数は有意水準1%で負に有意であった。弾力性はUnder15、Stckが大きく、Under15が1%ポイント増加すると、Economic_Damageが約10.0%低下し、Stckが1%増加すると、Eco-

nomi_c_Damageが約6.4%低下することが確認された。年少人口比率や災害復旧への行政投資比率が高く、一人当たり総資本ストックが大きい地域では、被害が小さくなっていることがここでも明らかとなった。加えて、結果(2)とは異なり、GRPの係数が有意水準10%で負に有意となった。GRPが1%増加すると、Economic_Damageが約4.0%低下することが確認された。所得水準の向上が災害被害の抑止に有効であるという結果が示された。

結果(6)では、結果(3)と同様に、HQ、Under15、Stck、Recoveryの係数が有意であった。これらの他、GRP、Natureの係数も有意水準5%で負に有意であった。所得水準が高い地域ほど、災害被害が軽減されていることが改めて示された。さらに、国土保全のための行政投資がその後の災害被害を軽減していることが

確認された。

最後に、(C)式に基づいて推定を行った結果を(7)に掲載している。ここでも、*HQ*の係数は有意水準1%で正に有意であった。また、結果(4)とは異なり、*GRP*、*Nature*を含む全てのVulnerability変数の係数が負に有意な結果となった。うち、弾力性が大きい変数は、*Under15*、*GRP*、*Pstck*、*Sstck*であった。

以上の推定結果についてまとめると、Hazard変数である*HQ*の係数はいずれの推定においても正に有意水準1%で有意であった。Vulnerability変数については、結果(1)-(4)からは、*Under15*、*Stck*、*Sstck*、*Pstck*、*Recovery*の係数が負で有意であることが分かった。加えて、結果(1)では、*GRP*の係数も有意水準10%で負に有意であった。そして、兵庫県と新潟県のデータを除外して推定を行った(5)-(7)の結果からは、*Under15*、*GRP*、*Stck*、*Sstck*、*Pstck*、*Recovery*、*Nature*の係数が全て負で有意となる結果が得られた。

弾力性については、いずれの推定結果においても、*Under15*が最も大きかった。本分析の結果、自然災害による経済被害の軽減を考える上で、年少人口比率の重要性が明らかとなった。さらに、*Under15*に次いで弾力性が大きな変数は*Stck*、*Sstck*、*Pstck*であった。防災対策を行う上で社会資本だけでなく民間企業資本の集積も有効であることが分かった。また、*GRP*の弾力性が大きいことも分かった。国際比較研究で示された災害被害の軽減効果が、本分析からも確認されることとなった。そして、弾力性はそれほど大きくないものの、外谷[2009]の結果と同様に、*Recovery*が有意に災害被害を軽減していることが分かった。この他、*Nature*も防災政策としての効果を持っていることが明らかになった。災害復旧や治山治水への行政投資がその後の災害被害を減らす上で有効であることが示された。

このように、都道府県の固定効果を考慮した

推定結果から、事前の予想と整合的な結果が得られた。これら経済・社会的な要因が脆弱である地域では、自然災害による直接経済被害が大きくなっていることが確認された。

VIII 推定結果とその含意

本分析における推定結果をまとめると以下の通りである。1) 発生した自然災害の規模を示す変数である市区町村数に占める災害対策本部設置団体数の値が大きいほど、自然災害による直接経済被害も有意に大きくなっている。2) 年少人口比率、一人当たり県内総生産、一人当たり資本ストック(民間企業資本、社会資本)、災害復旧や治山治水への行政投資比率といった経済・社会的要因が、被害を有意に軽減している。3) 特に、年少人口比率、一人当たり資本ストック、一人当たり県内総生産の弾力性が大きい。

従来の防災・減災政策では、人的・経済的被害の抑止のために、予想被害に基づいた防災インフラの整備、頑健な建築物の構築、避難マニュアルの作成等といった、工学的な視点による安全政策が重要であると考えられてきた。しかし、本稿の分析結果より、経済・社会的要因と人的被害との関連性について先行研究で指摘されてきたように、直接経済被害は経済・社会的に脆弱な地域ほど大きくなっていることが明らかとなった。特に、年少人口比率、一人当たり資本ストック、一人当たり県内総生産の弾力性が大きい。子育て世代を含む若年人口の集積、民間企業資本や社会資本の蓄積、所得水準の向上を通じて自然災害に対する社会的脆弱性を減じていくことが、防災政策上、重要であることが示された。さらに、災害復旧や治山治水に関する行政投資が被害の軽減に有効であることも確認された。

本稿で残された課題は、第一に、社会関係資本と災害被害の関係について更なる分析を行う

ことが挙げられる。特に、若年人口が多い地域における災害被害の実態についての分析が重要となろう。また、人々の社会的信頼感と災害被害の関連についても研究する必要がある。第二に、災害別の被害分析や、より詳細な地域データを用いた分析が挙げられるが、そのためには災害別・市町村別の被害データが整備される必要がある。

謝辞

本稿の改訂にあたって、匿名のレフェリーから頂いたコメントは大変有益であった。また、本稿の作成において、外谷英樹教授（名古屋市立大学）、稲田義久教授（甲南大学）、Cheng Hsiao 教授（University of Southern California）、から詳細かつ有意義なコメントを頂いた。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 芦屋恒憲・地主敏樹「震災と被災地産業構造の変化：被災地域産業連関表の推定と応用」『国民経済雑誌』2001, 183(1), 79-97 ページ。
- 河田恵昭「大規模地震災害による人的被害の予測」『自然災害科学』1997, 16-1, 3-13 ページ。
- 高坂健二・石田淳「災害とヴァルネラビリティ」『災害復興—阪神・淡路大震災から10年』関西学院大学出版会, 2005, 167-182 ページ。
- 高島正典・林春男「電力消費量時系列データを利用した復旧・復興状況の定量的把握手法—阪神・淡路大震災への適用—」『自然災害科学』1999, 18-3, 355-367 ページ。
- 高橋顕博・安藤朝夫・文世一「阪神・淡路大震災による経済被害推計」『土木計画学研究・論文集』1997, No. 14, 149-156 ページ。
- 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』2008, No. 10, 355-364 ページ。
- 豊田利久「阪神大震災の経済的諸問題」『国民経済雑誌』1996, 173(5), 1-11 ページ。
- ・河内朗「阪神・淡路大震災による産業被害の推定」『国民経済雑誌』1997, 176(2), 1-15 ページ。
- 外谷英樹「防災政策による災害被害の軽減効果：都道府県別データを用いたパネル分析」『経済学的視点を導入した災害政策体系のあり方に関する研究』内閣府経済社会総合研究所, 2009, 67-89 ページ。
- 内閣府「東日本大震災における被害額の推定について」2011年6月24日。http://www.bousai.go.jp/oshirase/h23/110624-1kisyu.pdf
- 萩原泰治「阪神・淡路大震災の経済的損失と政策効果の評価のための神戸 CGE モデルの開発」『国民経済雑誌』1998, 177(3), 61-72 ページ。
- 林敏彦「検証テーマ『復興資金—復興財源の確保』」『関西学院大学復興制度研究所 DRI 復興経済研究会財務部会「阪神・淡路大震災からの復興財政について」』2005年8月16日。http://www.disasterpolicy.com/Project/recovery/No2_0816/fukkouzaigen.pdf
- 宮原浩二郎・森真一「震度7の社会空間—芦屋市の場合」『社会学評論』1998, 49(1), 2-20 ページ。
- Aldrich, P. D., *Building Resilience: Social Capital in Post-Disaster Recovery*, University of Chicago Press, 2012.
- Kahn, M. E., "The Death Toll from Natural Disasters: The Role of Income, Geography, and Institutions," *The Review of Economics and Statistics*, May 2005, 87 (2), 271-284.
- Kellenberg, D. K. and A. M. Mobarak, "Does Rising Income Increase or Decrease Damage Risk from Natural Disasters?" *Journal of Urban Economics*, May 2008, vol. 63, issue 3, 788-802.
- Padli, J. and M. S. Habibullah, "Natural Disaster Death and Socio-Economic Factors in Selected Countries: A Panel Analysis," *Asian Social Science*, April 2009, vol. 5, no. 4, 65-71.
- Schmidtlein, C. M., M. J. Shafer, M. Berry and L. S. Cutter, "Modeled Earthquake Losses and Social Vulnerability in Charleston, South Carolina," *Applied Geography*, 2011, 31, 269-281.
- Toya, H. and M. Skidmore, "Economic Development and the Impacts of Natural Disasters," *Economic Letters*, 2007, 94, 20-25.
- United Nations Development Program, *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development*, 2004.
- Weichselgartner, J., "Disaster Mitigation: The Concept of Vulnerability Revisited," *Disaster Prevention and Management*, 2001, Vol. 10, 85-94.