

APIR Discussion Paper Series No.28

2012/8

自然災害による被害と経済・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

一般財団法人アジア太平洋研究所 研究員

本稿の内容は全て執筆者の責任により執筆されたものであり、(財)アジア太平洋研究所の公式見解を示すものではない。

# **自然災害による被害と経済・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<sup>1</sup>

一般財団法人アジア太平洋研究所 研究員

## **【要旨】**

近年、災害研究の領域では、経済・社会的要因と自然災害被害の関係についての国際比較分析が蓄積されてきた。本稿の目的は、一連の実証分析の手法を応用し、日本における被害の軽減に有効な経済・社会的要因を発見することである。そのためわれわれは、経済・社会的に脆弱な地域ほど、自然災害による被害が大きくなっているという仮説を立て、その検証を行った。

分析にあたって、UDNP(2004)による被害分析モデルを提示する。そのモデルに基づき、1995年から2007年までの都道府県別パネルデータを使用して、被害推定を行った。

災害多発国の中でも、日本の自然災害被害は人的被害よりも経済被害に顕著に現れる。そのため、本稿では直接経済被害を対象にした分析を行った。直接経済被害は消防庁『消防白書』に掲載されている「被害総額」で都道府県別に確認することができる。しかし、この「被害総額」には、民間の建築物被害が含まれておらず、自然災害による直接被害の実態を過小に評価している。そこで、「建築物滅失統計調査」を参照し、自然災害による建築物の損害見積額を加えて、数値の修正を行った。

被害推定モデルに基づき、固定効果推定法、二段階最小二乗法により、推定を行った結果、われわれは以下の事実を確認することができた。1) 災害の規模が大きいくほど、自然災害による直接経済被害は大きくなっている。2) 民間企業資本や社会資本の蓄積、若年層の人口比率、過去の行政投資における災害復旧費用比率が高い都道府県ほど、自然災害による直接経済被害が軽減されている。3) 特に、直接経済被害に対しては、民間企業資本や社会資本の蓄積、若年層の人口比率の弾力性が大きい。4) 国際比較分析で確認されていたように、都道府県の一人当たり総生産が、直接経済被害を軽減している事実は確認することができなかった。

これらの結果から、防災・減災政策を考える上で、資本の蓄積や、若年層の流入により、地域社会を経済的、社会的に持続的に発展させていくための視点が必要であることが明らかになった。

JEL Classification Number : H54, H84, Z18

Key Words : 自然災害、社会的脆弱性、直接経済被害、都道府県別パネルデータ

---

<sup>1</sup> e-mail : mampei@hayashiland.com

## 1. はじめに

近年、EM-DAT<sup>2</sup>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、1970年代以降、世界全体の自然災害の発生件数は急激に増加してきている。1970年には年間で81件の自然災害が報告されていたが、2010年にはそれが427件にも上る。さらに、災害多発地域であるアジア・環太平洋地域<sup>3</sup>では、90年代以降でも、台湾大地震、スマトラ島沖地震、ハリケーン「カトリーナ」、四川大地震、チリ大地震等、多くの巨大自然災害が発生している。日本も、1995年の阪神・淡路大震災や2011年の東日本大震災を始め、多くの大規模自然災害を経験している。自然災害による被害の高まりを受けて、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り、そこから導かれる減災・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。災害を受ける側である社会の脆弱性に着目した研究は少なく<sup>4</sup>、あっても定性的な考察や事例研究に止まっていた。

しかし、UNDP(2004)が提示した被害分析モデルをきっかけに、近年、各国の経済・社会的要因と自然災害被害に関する国際比較分析が進展してきた。Kahn(2005)らの一連の実証研究からは、所得水準や教育水準、民主主義の採用や社会の諸制度の質といった要因が、自然災害による被害の軽減に対して有効であることが明らかになってきた。社会や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証拠が発見されてきている。

国際比較研究に進展が見られる一方で、国内の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災害被害の関係を推定しているが、経済・社会的要因が自然災害被害に与える影響については、まだ明らかにされていない。

そこで、本稿においてわれわれは、Kahnらの手法により、都道府県別パネルデータを用いて、経済・社会的要因と自然災害被害との関連性について実証分析を行う。われわれの目的は、経済・社会的に脆弱な地域ほど、自然災害による被害が大きくなっている、という仮説を検証することである。

社会的脆弱性(Vulnerability)の定義をめぐっては、研究者間で一定の合意があるわけではない。どのような経済・社会的要因が被害を拡大させ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民主主義の採用といった要因は、都道府

---

<sup>2</sup> 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の基準では、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、のいずれかに該当する事象は全て「災害」として登録される。

<sup>3</sup> 70年代以降、アジア・環太平洋地域で発生した自然災害の発生割合は、世界全体の実に55%に上る。

<sup>4</sup> ただし、工学的災害分析の分野においても災害時の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。」と指摘している。P.11

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、一人当たり総生産、民間企業資本ストック額及び社会資本ストック額、15歳未満人口比率及び45歳未満人口比率、過去の行政投資に占める災害復旧費用比率を採用する。われわれは、これらが自然災害被害に与える影響を推定し、被害の軽減に有効な社会・経済的要因を探求することとする。

なお、災害多発国の中でも、日本では自然災害による被害が人的被害よりも経済被害に顕著に現れる<sup>5</sup>。そのため、本稿では直接経済被害を対象にした分析を行う。

結論を先取りすれば、以下の事実が確認される。1) 災害の規模が大きいほど、自然災害による直接経済被害は大きくなっている。2) 民間企業資本や社会資本の蓄積、若年層の人口比率、過去の行政投資における災害復旧費用比率が高い都道府県ほど、自然災害による直接経済被害が軽減されている。3) 特に、直接経済被害に対しては、民間企業資本や社会資本の蓄積、若年層の人口比率の弾力性が大きい。4) 都道府県の一人当たり総生産が直接経済被害の軽減に有効である事実は確認できない。

本稿の構成は以下の通りである。次章では、各国の自然災害による人的被害と経済被害の傾向を観察する。第3章では、先行研究を紹介する。第4章では、UNDPによる被害分析モデルを示し、第5章でデータの説明を行う。第6章で実証分析を行い、第7章で結果についてまとめる。第8章は本稿の総括を行う。

## 2. 人的被害と経済被害

自然災害による被害は、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・社会的要因が人的被害に与える影響について分析している。これは、同じような自然災害を経験している国の中でも、相対的に所得水準の低い国において死者数が非常に多いことに関心が集まっているためである。

図1は、1960年から2010年までの累計自然災害発生件数が最も多い国々における経済被害額と死者数のグラフを示している。国名は、左から一人当たり国内総生産が高い順に並べた。インド、インドネシアなど、一人当たり国内総生産の低い国においては、他国よりも人的被害が非常に大きいことが分かる。

しかし、アメリカや日本など、一人当たり国内総生産が高い国における被害を見ると、他国よりも人的被害は小さいが、経済被害が非常に大きいことが分かる。日本は、図中のアジア諸国と比較して、人的被害は小さいが、経済被害は突出して大きい<sup>6</sup>。

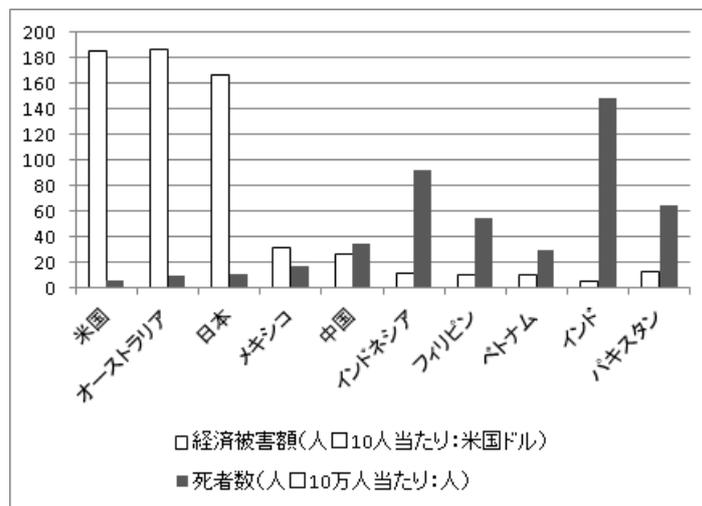
---

<sup>5</sup> 図1を参照のこと。

<sup>6</sup> 近年、日本で発生した自然災害のうち最も大きな被害が発生したものは、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、警察庁発表では、2012年2月24日時点で、犠牲者数が15,853名、行方不明者が3,282名であり、内閣府(2011)によれば、直接経済被害額は約16兆9,000億円と推定されている。

このように、経済成長を遂げてきた国々では、発展に伴って災害による死者数が減少している一方で、それと反比例するように経済被害が大きな問題となってきている。従って、本稿では、国内の自然災害被害の分析を行うにあたって、直接経済被害をその対象とする。

図1 災害大国10カ国の人的被害と経済被害(1960-2010)



データ：EM-DAT

### 3. 先行研究

経済・社会的要因と自然災害被害に関する国際比較分析は、UNDP(2004)による社会的脆弱性に着目した被害分析モデルをきっかけに進展してきた。UNDPは、自然災害による被害が、災害の規模と社会的脆弱性の積により決定されるというモデルを提示している。

Kahn(2005)はこのモデルを用いて、EM-DATの自然災害被害のデータにより、所得水準と社会制度の質に着目した災害被害の国際比較分析を行なっている。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、開かれた政治への参加、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を発見している。

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死者数と経済被害に与える影響を分析している。その結果、一人当たり国内総生産や教育水準が高く、小さな政府であり、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、自然災害による被害が抑えられていることを発見している。

Kellenberg and Mobarak(2008)は、Kahn(2005)の結果に対して、経済発展の水準と自然災害の被害との間には、非線形の関係があることを指摘している。災害別に各国の災害被害を比較分析した結果、一人当たり国内総生産が一定水準に達するまでは、自然災害による死

者数は一人当たり国内総生産の上昇に伴って増加するが、一定水準以上の国では自然災害による死者数が減少することを発見している。

Padli and Habibullah (2009)は、アジア各国のデータを使用した比較分析の結果、一人当たり国内総生産と教育水準の向上が、災害による死者数の増加を防ぐ上で有効であることを明らかにしている。

これらの国際比較分析から、一人当たり国内総生産が低い経済的に脆弱な国や、教育水準が低く制度も未熟な社会的に脆弱な国ほど、自然災害による死者数が多いことが分かってきた。

ただし、これらの研究の多くは人的被害を対象とした分析であり、経済被害を対象とした分析の蓄積はまだ少ない。さらに、社会的脆弱性を示す変数は研究者によって様々である。今後、災害被害の軽減に有効な経済・社会的要因についての研究の蓄積が待たれる。

国内では、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<sup>7</sup>。外谷は、都道府県パネルデータを使用して、防災政策投資による自然災害被害の軽減効果を推定している。災害復旧行政投資、治水行政投資、土木費、消防費が人的被害と経済被害に与える影響を分析した結果、災害復旧行政投資が被害軽減に有効であることを発見している。これは自然災害により被害を受けた都道府県が、災害復旧により公共インフラ等を更新することで、将来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る。しかし、どのような経済・社会的状態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、国内の自然災害被害の研究では、社会的脆弱性に着目した実証分析はまだ少ないのが現状である<sup>8</sup>。

次章では、本稿の仮説検証に用いる UNDP による被害分析のモデルを示す。

#### 4. 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 による被害分析モデルを示す。以下の式を出発点とする。

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

---

<sup>7</sup>国内の主な自然災害被害の経済分析としては、高橋・安藤・文 (1996)、豊田 (1996, 1997)、高島・林 (1999)、萩原 (1998)、芦屋・地主 (2001)、土屋・多々納・岡田 (2008) らによる、阪神・淡路大震災や新潟県中越地震における直接又は間接の経済被害の推定が挙げられる。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政策変数の探求を目的としたものではない。

<sup>8</sup>社会的脆弱性に着目した災害研究としては、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、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、住民の経済的階層も低かったことを発見している。

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、災害の規模と被災地域の社会的脆弱性により決定されることを示している<sup>9</sup>。

さらに、両辺を対数変換すると以下の式が得られる。

$$\ln(R) = \ln(H) + \ln(V)$$

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。推定は、最小二乗推定法、固定効果推定法、二段階最小二乗法により行う。

次章では、推定に使用するデータについて吟味する。

## 5. データ

### 5. 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。

国内の自然災害被害の状況は、消防庁『消防白書』により都道府県別に観察することができる。直接経済被害は「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」で確認できる。なお、消防白書に掲載されている都道府県別の被害状況は、自然災害別に確認することができない。そこでわれわれは、全ての自然災害により生じた直接経済被害を対象とする分析を行う。

消防庁『消防白書』の「被害総額」に算入される項目は、消防庁の「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、これらの合計が「被害総額」<sup>10</sup>として報告されている。

ところで、「被害総額」のデータには、重要な被害項目が含まれていない。「被害総額」には、住宅を含めた民間の建築物被害が含まれていないのである。阪神・淡路大震災や東日本大震災のような巨大自然災害では、直接被害額の約半分程度は住宅被害によるものであるこ

---

<sup>9</sup>われわれは、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。

<sup>10</sup>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にしており、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、農林水産省の「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て、逸失額を算出している。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。

とが知られている<sup>11</sup>。住宅等の民間の建築物被害額が含まれていない「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。

そこでわれわれは、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」の結果を用いて、民間の建築物被害を含んだ「直接経済被害額」のデータを作成した。「建築物滅失統計調査」には、風水災、震災等により失われた住宅を含む建築物の「損害見積額」<sup>12</sup>が掲載されており、都道府県別に観察することができる。われわれは、消防白書の「被害総額」に、この「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。

さらに、消防白書の「被害総額」のデータを観察すると、2004年に発生した新潟県中越地震、2007年に発生した新潟県中越沖地震による被害額が含まれていないことが分かる。当該年の新潟県の「被害総額」の数値は、新潟県が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、公式に発表されている両震災による被害額を、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。

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

## 5. 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必要がある。自然災害の規模は、自然災害の強度と自然災害の頻度の積により表現されると考える。自然災害の強度を表す変数として、1) 自然災害による死者・行方不明者数、2) 自然災害による建物被害数（全壊）、を採用する。発生した自然災害の強度が強いほど、死者や行方不明者、建築物の被害数は増加すると考えられる。さらに、自然災害の頻度を表す変数として、3) 都道府県内において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。自然災害により被害が発生する場合、当該市区町村では災害対策本部が設置されるからである。

災害別の分析を行う場合には、自然災害の強度を示す客観的な数値として、地震のマグニチュードや震度、台風の気圧や風速などを使うことができる。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、相対的に大きな自然災害の発生頻度を、災害の規模を説明する変数として採用している。しかし、この基準に満たない自然災害によって被害が発生する場合もある。さらに、自然災害は、地震や台風

---

<sup>11</sup>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、民間を含む建築物被害が約5兆8千億円にも上る。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。

<sup>12</sup>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。

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。これらの災害全てに関して、都道府県別にその発生状況を観察できるデータは存在しない。そこで、全ての自然災害による被害を対象とする本分析では、自然災害の発生頻度は災害対策本部設置団体数で捉えることとした。さらに、災害の強度は、死者・行方不明者数や、建物被害数（全壊）で捉えることとし、これらを使用して災害の規模を説明する変数とした。

1)、2)、3)を **Hazard** 変数として扱うにあたって、都道府県の規模を調整する必要がある。そこで、1) 死者・行方不明者数は都道府県人口、2) 建物被害数（全壊）は都道府県の住宅総数、3) 災害対策本部設置団体数は都道府県内の市区町村数、で除したものを説明変数として使用する。1)、2)、3)は消防白書から得ることができる。人口は国勢調査からの推計値を参照し、住宅総数は住宅・土地統計調査を参照した。ただし、住宅・土地統計調査は5年に1回のため、調査が為されていない4年間に関しては、直前の調査データを代入した。

### 5. 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国際的に研究者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、潜在的な災害による損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、自然災害の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。

**Preparedness** を示す変数として、まず、都道府県の一人当たり総生産（名目）を採用する。**Kahn (2005)**を始めとする先行研究から、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、都道府県別一人当たり総生産が自然災害による被害に与える影響について観察する。

さらに、15歳未満人口比率および45歳未満人口比率を採用する。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。そこで、本分析では、15歳未満人口比率が自然災害による被害に与え

る影響を推定する。確認のため、15歳未満人口の親が多く含まれると考えられる45歳未満人口比率を採用した推定も合わせて行う<sup>13</sup>。

**Prevention** を示す変数としては、一人当たり民間企業資本ストック額、一人当たり社会資本ストック額、及びこれらの合計を採用する。内閣府は、都道府県別に民間企業資本ストック額と社会資本ストック額の推計値を公表している。

民間企業資本ストック額とは、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。一人当たり民間企業資本ストック額が小さい都道府県では、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、自然災害に対して脆弱であると考えられる。他方、社会資本ストック額とは、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。これらは公共インフラの整備や防災対策の水準を示し、一人当たり社会資本ストック額が小さい都道府県は、自然災害に対して脆弱であると考えられる。

**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を採用する。自然災害による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。本分析では、災害が発生する前の5年間の災害復旧費用比率を導入して推定を行う。過去に発生した自然災害による被害に対して行った災害復旧投資が、将来の自然災害被害にどのような影響を与えているのか観察する。また、過去5年間の平均災害復旧費用比率を採用した推定も行う。平均的な災害復旧投資比率の違いが災害被害に与える効果を見たいからである。

#### 5. 4 記述統計

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。総サンプル数は611である。

UNDP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、値がゼロのサンプルは対数化できないため、使用するサンプルから脱落してしまう。そのため、変数の作成にあたって、最初に、**Risk** 変数である直接経済被害額と、**Hazard** 変数である死者・行方不明者数、建物被害数（全壊）、災害対策本部設置団体数について、記述統計により詳細を確認しておく。表1-1は、都道府県の規模で除す前の各変数の記述統計を掲載している。

直接経済被害額は値がゼロのサンプルは存在しなかった。死者・行方不明者数がゼロのサンプル数は291、建物被害数（全壊）がゼロのサンプル数は347、災害対策本部設置団体数の値がゼロのサンプル数は107であった。対数化にあたってこれらのサンプルの脱落を防ぐた

---

<sup>13</sup> 単身世帯の多い地域では地域活動が活発に行われず、社会関係資本が蓄積されない可能性がある。都市部に多く見られる単身世帯が含まれる45歳未満人口比率が高い地域において、その地域の防災力が高いか低いかが実証的な問題と言える。

め、死者・行方不明者数、建物被害数（全壊）、災害対策本部設置団体数の値がゼロのサンプルには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に、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。

表1-2には、推定で使用する変数の対数化前の記述統計と各変数の定義を掲げておいた。

次章では、UNDP被害分析モデルに基づいた、最小二乗推定法、固定効果推定法、二段階最小二乗法による推定モデルを提示する。

表1-1 記述統計

単位	直接経済被害額 (千円)	死者・行方不明者数 (人)	建物被害数(全壊) (棟)	災害対策本部設置団体数 (市区町村)
平均値	38,634,342	12.812	183.91	32.462
標準偏差	432,923,515	254.092	4018.331	78.575
最小値	3025	0	0	0
最大値	9,930,097,278	6281	99261	818
最大値のサンプル	兵庫県(1995年)	兵庫県(1995年)	兵庫県(1995年)	三重県(2004年)
値が0のサンプル数	0	291	347	107
全サンプル数	611	611	611	611

表1-2 記述統計

要因	変数名	概要	サンプル数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
Risk	Edmge	直接経済被害額(千円) / 都道府県内総生産(名目:百万円)	611	4.193594	26.435140	0.000114	480.897500
	DH	(死者・行方不明者数(人) × 災害対策本部設置団体数) / (都道府県内人口(人) × 都道府県内市区町村数)	611	0.000002	0.000015	0.000000	0.000326
	BH	(建物被害数(全壊:棟) × 災害対策本部設置団体数) / (住宅総数(住宅) × 都道府県内市区町村数)	611	0.000045	0.000586	0.000000	0.013764
	D	死者・行方不明者数 / 都道府県内人口 (%)	611	0.000003	0.000047	0.000000	0.001163
Hazard	HQ	災害対策本部設置団体数 / 都道府県内市区町村数	611	0.500831	1.204952	0.000000	12.393940
	U15	15歳未満人口比率 (%)	611	0.148708	0.013778	0.113279	0.220899
	U45	45歳未満人口比率 (%)	611	0.525524	0.037180	0.424069	0.664859
	GDP	一人当たり都道府県内総生産(名目:百万円)	611	3.666233	0.706532	2.568693	7.460175
Vulnerability	Stck	一人当たり民間企業資本・社会資本ストック額(百万円)	611	13.337420	2.542930	6.514807	21.214240
	Pstck	一人当たり民間企業資本ストック額(百万円)	611	8.015223	1.796587	3.904036	13.189150
	Sstck	一人当たり社会資本ストック額(百万円)	611	5.322200	1.731125	1.971579	10.782720
	Rec	災害復旧費用 / 行政投資総額 (%)	611	0.020037	0.022280	0.000089	0.173107
	Arec	過去5年間の平均災害復旧費用比率 (%)	611	0.019200	0.014905	0.000203	0.088185
IV	S56	昭和56年以前建築住宅数 / 住宅総数 (%)	611	0.372299	0.073350	0.249803	0.542254

## 6. 実証分析

### 6.1 最小二乗モデル

推定の出発点として、最初に最小二乗推定を行う。以下の(1)式を考える。

$$\ln(Edmge_{it}) = \alpha_1 \ln(DH_{it}) + \alpha_2 \ln(U15_{it}) + \alpha_3 \ln(Stck_{it}) + \alpha_4 \ln(GDP_{it})$$

$$+ \sum_{l=1}^5 \beta_l \ln(Rec_{it-l}) + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

被説明変数には、Risk 変数である、都道府県内総生産に占める「直接経済被害額」の割合 (*Edmge*)を採用する。説明変数には、Hazard 変数である、死者・行方不明者比率と市区町村数に占める災害対策本部設置団体数の割合の積(*DH*)を採用する。さらに、Vulnerability 変数である、15歳未満人口比率(*U15*)、一人当たり民間企業資本・社会資本ストック額(*Stck*)、一人当たり都道府県内総生産 (*GDP*)、災害復旧費用比率(*Rec*)の1年前から5年前ラグを採用する。さらに、年ダミー変数を導入し、災害が多発した場合や大規模な災害が発生した場合など、年毎の自然災害の傾向が *Edmge* に与える影響( $\theta_t$ )を除去する<sup>14</sup>。 $\varepsilon_{it}$ は誤差項を示す。なお、自然災害により発生する被害の多くは局所的なものであり、隣接する複数の都道府県にわたって同時に被害が発生するような大規模な自然災害は非常に稀であるため、都道府県間での誤差項の相関は考慮しない。

災害の規模が大きければ、自然災害による直接経済被害は拡大すると考えられる。したがって *DH* の係数は正と予想される。加えて、発生した自然災害の規模を一定とすれば、直接経済被害は都道府県が経済的、社会的に脆弱であるほど大きくなると考えられる。従って、Vulnerability 変数である、*U15*、*Stck*、*GDP*、*Rec* の係数はすべて負であると予想される。

## 6. 2 固定効果モデル

最小二乗モデルは、各都道府県に固有の要因が直接経済被害に与える影響を考慮していない。中山間地や沿岸部、都市部や過疎地域等、都道府県の地理や環境は多様であり、自然災害による被害のあり方も異なる。このような経年変化しない各都道府県の固有要因が Hazard 変数や Vulnerability 変数と相関するならば、最小二乗モデルの係数にはバイアスが存在する可能性がある。

そこで、固定効果モデルでは、都道府県の固定効果を導入した推定を行う。固定効果を導入することで、経年変化しない都道府県の固有の要因が *Edmge* に与える影響を除去し、係数のバイアスを修正する。以下の(2)式を考える。 $u_i$ は都道府県に固有の固定効果を示している。 $\omega_{it}$ は誤差項を表す。

$$\ln(Edmge_{it}) = \alpha_1 \ln(DH_{it}) + \alpha_2 \ln(U15_{it}) + \alpha_3 \ln(Stck_{it}) + \alpha_4 \ln(GDP_{it}) + \sum_{l=1}^5 \beta_l \ln(Rec_{it-l}) + u_i + \theta_t + \omega_{it} \quad (2)$$

固定効果モデルでは、(2)式に導入した説明変数を変更した推定も行う。(2)式から *GDP* を除いたモデルの他、Hazard 変数に、建物被害(全壊)比率と市区町村数に占める災害対策本

<sup>14</sup> 1995年から2007年の間に、技術革新に伴い自然災害に強い建築物やインフラが社会に実装されたとは考えにくいので、ここではトレンド項ではなく年ダミー変数でコントロールする。

部設置団体数の割合の積(BH)、死者・行方不明者比率(D)、市区町村数に占める災害対策本部設置団体数の割合(HQ)を採用したモデル、Vulnerability 変数に、45 歳未満人口比率(U45)、一人当たり民間企業ストック額(Pstck)、一人当たり社会資本ストック額(Sstck)、過去 5 年間の平均災害復旧費用比率(Arec)を採用したモデルにより推定を行う。これらの推定結果を比較することで、Hazard 変数や Vulnerability 変数の推定結果が頑健かどうかを確認する。

### 6.3 .二段階最小二乗モデル

自然災害により被害が発生すれば、建築物やインフラ等の損壊による直接経済被害だけでなく、死者や行方不明者といった人的被害も発生する場合がある。そのため最小二乗モデルや固定効果モデルの推定では、被説明変数  $Edmge$  と説明変数  $DH$  の間に内生性の問題が疑われる。

そこで、同時決定によるバイアスを修正するために、二段階最小二乗法による推定を行う。まず、第一段階の推定として以下の(3)式を推定する。得られた推定値を(2)式に代入し、第二段階の推定を行う。 $\mu_i$ は都道府県に固有の固定効果を、 $\pi_t$ は年に固有の固定効果を示している。 $\epsilon_{it}$ は誤差項である。

$$\ln(DH_{it}) = \gamma_1 \ln(S56)_{it} + \gamma_2 \ln(U15_{it}) + \gamma_3 \ln(Stck_{it}) + \gamma_4 \ln(GDP_{it}) + \sum_{l=1}^5 \delta_l \ln(Rec_{it-l}) + \mu_i + \pi_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

(3)式に導入する操作変数には、住宅総数に占める昭和 56 年以前建築住宅数の比率(S56)を採用する。昭和 56 年に建築基準法が改正され新耐震基準が採用されたことで、それ以降に建設された建築物の耐震性は大きく向上している。つまり、昭和 56 年以前に建築された住宅の比率が高い地域ほど、地震を始めとする災害に対して脆弱な住宅が多いため、災害発生時に住宅の倒壊が増える可能性がある。住宅の倒壊は人的被害を伴いやすいことが知られている。したがって係数 $\gamma_1$ は正と予想される。データは住宅・土地統計調査を参照し、住宅総数と同様に、調査が行われていない年に関しては、直前の調査年のデータを代入している。

## 7. 推定結果

### 7. 1 推定結果 (1)

はじめに、表 2-1 の推定結果を観察する。表 2-1 は全てのサンプルを使用した推定結果を示している。

最初に、最小二乗モデルによる推定結果(1)を観察する。被説明変数  $Edmge$  に対して、Hazard 変数である  $DH$  は有意水準 1% で正に有意であった。したがって、自然災害の規模が大きいほど、直接経済被害が拡大していることが確認された。Vulnerability 変数を観察すると、 $GDP$  の係数は有意水準 1% で負に有意であり、事前の予想と整合的であった。しかし、事前の予

想に反して、*Stck* の係数は有意水準 1% で正に有意であり、*Rec* の 1 年前ラグの係数は有意水準 10% で正に有意であった。*U15* の係数は有意水準 10% でも有意ではなかった。

次に、固定効果モデルによる推定結果(2)を観察する。**Hazard** 変数である *DH* は、推定結果(1)と同様、有意水準 1% で正に有意であった。**Vulnerability** 変数を観察すると、*U15* は有意水準 1% で負に有意であった。係数は他の変数と比べて最も大きく、*U15* が 1% 増加すると、*Edmge* が約 13.6% 低下している事が確認される。*Stck* は次いで係数が大きく、有意水準 10% で負に有意であり、*Stck* が 1% 増加すれば、*Edmge* が約 6.2% 低下していることが確認された。*Rec* は 1 年前ラグが有意水準 10% で負に有意、5 年前ラグが有意水準 1% で負に有意であった。このように都道府県の固定効果を考慮した推定結果では、事前の予想と整合的な結果が得られた。他方、*GDP* の係数は有意水準 10% でも有意ではなかった。推定結果(3)では、推定結果(2)から *GDP* 除いて推定を行ったが、推定結果(2)と同様の結果が再現された。

推定結果(4)、(5)、(6)では、**Hazard** 変数を変更して推定を行った。*DH* の代わりに、*D*、*HQ*、*BH* を導入した。推定結果(4)では、*D*、*HQ* は共に有意水準 1% で正に有意であった。推定結果(5)では、*BH* は有意水準 1% で正に有意であった。推定結果(6)では、*HQ* の係数は有意水準 1% で正に有意であった。推定結果(2)と同様に、**Hazard** 変数は直接経済被害に対して正の影響を与えている事が確認された。**Vulnerability** 変数の推定結果を観察すると、推定結果(2)と(4)では、同様の結果が得られた。推定結果(5)、(6)では、*Stck* が有意水準 10% でも有意とはならなかった。*GDP* は(4)、(5)、(6)を通じて有意水準 10% でも有意ではなかった。

推定結果(7)では、*U15* の代わりに *U45* を導入した推定を行った。*U45* は有意水準 1% で負に有意であり、推定結果(2)の *U15* よりも係数の絶対値は大きい。*U45* が 1% 増加すれば、*Edmge* が約 15.5% 低下している事が確認される。その他の変数では、推定結果(2)と同様の結果が得られた。これによって若年層の比率が高い都道府県ほど、直接経済被害が有意に軽減されている事が改めて確認された。

推定結果(8)では、*Stck* の代わりに、*Pstck*、*Sstck* を採用した推定を行った。推定結果(8)を観察すると、*Sstck* の係数は有意水準 10% で負に有意であり、*Sstck* が 1% 増加すると、*Edmge* が約 5.4% 減少する事が確認された。民間企業ストックは有意水準 10% でも有意ではなかった。ここでは社会資本ストックの蓄積が災害被害の軽減に有効であることが確認された。

推定結果(9)では、*Rec* の代わりに、*Arec* を導入した推定を行った。*Arec* の係数は有意水準 1% で負に有意であり、*Rec* と同様の効果が確認された。他の説明変数は、推定結果(2)と同様に、*U15* は有意水準 1% で負に有意であり、*Stck* は有意水準 10% で負に有意であった。*GDP* は有意水準 10% でも有意ではなかった。

推定結果(10)、(11)は、二段階最小二乗法による推定結果を示している。なお、表には第一段階の推定結果のうち操作変数である *S56* の推定結果と第二段階の各変数の推定結果を掲載している。最初に、(10)の推定結果を観察する。第一段階の推定結果を見ると、*S56* の係数は

有意水準 1% で正に有意であった。First stage F statistics は 10.1 であった<sup>15</sup>。次に、第二段階の推定結果を観察すると、Hazard 変数である *DH* の係数は有意水準 1% で正に有意であった。係数は約 0.35 となっており、他の推定結果よりも大きい。したがって最小二乗モデルや固定効果モデルの推定結果では、*DH* の係数に下方バイアスが存在することが確認された。*Edmge* が大きい地域では、人口に占める自然災害による死者・行方不明者比率が小さくなっていることが示唆される。これは、一人当たり総生産が高い地域では、経済被害は大きいが人的被害は抑えられているという、人的被害と経済被害の国際比較で見た傾向と整合的である。

さらに結果(10)を観察する。Vulnerability 変数の係数は、*U15* が有意水準 1% で負に有意であった。*Stck*、*Rec* の 5 年前ラグは有意水準 5% で負に有意であり、*Rec* の 1 年前ラグは有意水準 10% で負に有意な結果となった。中でも *U15*、*Stck* の弾力性が大きく、*Edmge* は、*U15* が 1% 増加すれば約 18.6%、*Stck* が 1% 増加すれば約 12.4% 減少することが確認された。*GDP* の係数は、有意水準 10% でも有意ではなかった。

推定結果(11)では、*Stck* の代わりに、*Pstck* と *Sstck* の両方を採用した推定を行った。第一段階の推定結果を見ると、操作変数である *S56* の係数は有意水準 1% で正に有意であり、First stage F statistics は 9.4 であった。第二段階の推定結果を観察すると、Hazard 変数である *DH* の係数は有意水準 1% で正に有意であった。Vulnerability 変数の係数は、*U15* が有意水準 1% で負に有意であった。*Sstck*、*Rec* の 5 年前ラグは有意水準 5% で負に有意であり、*Rec* の 1 年前ラグは有意水準 10% で負に有意な結果となった。*Edmge* は、*U15* が 1% 増加すれば約 20.6%、*Sstck* が 1% 増加すれば約 11.5% 減少することが確認された。*GDP*、*Pstck* は有意水準 10% でも有意ではなかった。

表 2-1 の結果は、全体を通じて、Hazard 変数の係数は正に有意であること、すなわち災害の規模が大きい方が、自然災害による直接経済被害が大きくなっていることを示している。Vulnerability 変数の推定結果は、*U15*、*U45*、*Stck*、*Sstck*、*Rec*、*Arec* が、固定効果モデルと二段階最小二乗モデルにおいて負に有意な結果となった。特に、*U15*、*Stck*、*Sstck* の弾力性が大きく、これら経済・社会的な要因が脆弱である都道府県では、自然災害による直接経済被害が大きくなっている事が確認された。また、外谷(2009)と同様に、過去の災害復旧投資が将来の災害被害を軽減している効果が確認された。しかし、*GDP* は最小二乗モデルでは負に有意であったが、固定効果モデル、二段階最小二乗モデルでは有意性が消失した。先行研究で示されたような災害被害の軽減効果は確認することができなかった。

なお、二段階最小二乗推定にあたり、有効な操作変数の探索を行ったが、*S56* 以外に有効な操作変数を見つけることができなかった<sup>16</sup>。そのため、過剰識別制約の検定は行っていない。

---

<sup>15</sup> Staiger and Stock(1997)は、First stage F statistics が 10 を下回れば、Weak Instruments によるバイアスの問題が発生するとしている。

<sup>16</sup> 操作変数の有効性を判断する上で、Stock and Yogo(2005)を参照した。Stock and Yogo は、内生変数が 1 個かつ識別変数が複数の場合、Weak Instruments の問題が疑われる First stage F statistics の臨界値を示している。

表2-1 推定結果 (全サンプル)

年: 1995-2007

被説明変数 : ln(Edmge)

推定方法 説明変数	最小二乗		固定効果							二段階最小二乗		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
ln(DH)	0.1542 *** (0.0159)	0.1681 *** (0.0154)	0.1681 *** (0.0153)					0.1644 *** (0.0155)	0.1689 *** (0.0155)	0.1686 *** (0.0153)	0.3499 *** (0.1167)	0.3795 *** (0.1229)
ln(D)				0.1452 *** (0.0197)								
ln(BH)					0.1777 *** (0.0149)							
ln(HQ)				0.1923 *** (0.0238)		0.2171 *** (0.0258)						
ln(U15)	-0.1180 (0.8131)	-13.5922 *** (3.7081)	-13.5436 *** (3.6525)	-13.4104 *** (3.7091)	-7.9356 ** (3.1804)	-11.0444 *** (3.9787)			-14.5893 *** (4.2373)	-13.3748 *** (3.7595)	-18.5714 *** (5.8193)	-20.5873 *** (6.0626)
ln(U45)							-15.4776 ** (6.2867)					
ln(Stck)	3.3028 *** (0.5411)	-6.1910 * (3.2512)	-6.3150 * (3.5190)	-6.2607 * (3.3271)	-3.7556 (3.1954)	-4.3859 (3.6035)	-4.2198 (3.5206)			-5.9041 * (3.1493)	-12.3877 ** (5.3480)	
ln(Pstck)								-3.4293 (2.5028)				-5.22899 (3.4956)
ln(Sstck)								-5.4093 * (3.1679)				-11.4985 ** (4.8808)
ln(GDP)	-5.3325 *** (0.5937)	-0.6766 (3.4847)		-0.5853 (3.4767)	0.1621 (2.7928)	-0.2651 (3.7813)	-0.1923 (3.4295)	-0.3917 (3.4824)	-0.4900 (3.4738)		-0.6483 (2.7049)	-6.9509 (7.7173)
ln(Rec)	1年前 0.1764 * (0.1001)	-0.1811 * (0.0979)	-0.1830 * (0.1004)	-0.1757 * (0.0980)	-0.2037 ** (0.0883)	-0.1552 (0.1026)	-0.1770 * (0.0921)	-0.1836 * (0.0982)			-0.1835 * (0.1071)	-0.1851 * (0.1108)
	2年前 0.1017 (0.1354)	0.1119 (0.1200)	0.1129 (0.1222)	0.0965 (0.1162)	0.1266 (0.0945)	0.0252 (0.1202)	0.1020 (0.1206)	0.1085 (0.1198)			0.1574 (0.1268)	0.1577 (0.1310)
	3年前 0.0106 (0.1347)	-0.2079 (0.1312)	-0.2065 (0.1291)	-0.1965 (0.1273)	-0.1777 (0.1142)	-0.1591 (0.1286)	-0.2140 (0.1354)	-0.2104 (0.1317)			-0.1967 (0.1316)	-0.1983 (0.1364)
	4年前 0.2185 (0.1375)	0.1154 (0.1283)	0.1149 (0.1289)	0.0958 (0.1257)	0.1377 (0.1019)	0.0104 (0.1209)	0.1102 (0.1324)	0.1106 (0.1279)			0.1579 (0.1378)	0.1539 (0.1430)
	5年前 0.1525 (0.1070)	-0.2824 *** (0.0831)	-0.2808 *** (0.0838)	-0.2762 *** (0.0831)	-0.3049 *** (0.0745)	-0.2679 *** (0.0893)	-0.2679 *** (0.0841)	-0.2897 *** (0.0825)			-0.2416 ** (0.1106)	-0.2451 ** (-2.1300)
ln(Arec)									-0.3511 *** (0.0943)			
First Stage estimation 被説明変数 : (ln(DH)) ln(S56)											24.0643 *** (7.5712)	23.5244 *** (7.6747)
First stage F statistics											10.1000	9.4000
サンプル数	611	611	611	611	611	611	611	611	611	611	611	611
決定係数	0.6421											
決定係数 (within)		0.4011	0.401	0.4037	0.4936	0.344	0.3934	0.4034	0.3947			
決定係数 (centered)										0.1835	0.1112	
都道府県固定効果	NO	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年ダミー	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
不均一分散(Prob>chi2)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0801	0.3930

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

※First stage estimationは、S56の係数と標準誤差、及びFirst stage F statisticsのみ掲載。

※最小二乗モデルではBreusch-Pagan検定、固定効果モデルではWald検定、二段階最小二乗モデルではPagan-Hall検定により、不均一分散の検定を行なっている。

※( )内は標準誤差を示す。(1)-(12)の推定結果ではWhiteによる頑健標準誤差を採用。

※年ダミーの推定結果は省略。

## 7. 2 推定結果 (2)

次に、表 2-2 の推定結果を観察する。「直接経済被害額」が非常に大きなサンプルを含んだ推定では、推定結果が歪められているかもしれない。特に、阪神・淡路大震災、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震の被害が反映された 1995 年の兵庫県、2004 年、2007 年の新潟県の直接経済被害額は突出しており、いずれも 1 兆円を超えている。そこで、表 2-2 では、全サンプルから、1) 1995 年の兵庫県、2004 年、2007 年の新潟県を除外した推定結果を掲載している。さらに、2) 推定結果の頑健性の確認のため、1) に加えて、死者・行方不明者数、建物被害数 (全壊)、災害対策本部設置団体数がゼロのサンプルを除外した推定結果も掲載している。1) のサンプル数は 608 で、2) のサンプル数は 275 である。

推定結果(1)を観察する。Hazard 変数の *DH* は有意水準 1% で正に有意であった。Vulnerability 変数の結果を観察すると、*U15* は有意水準 1% で負に有意、*Stck* は有意水準 5% で負に有意であった。*U15* が 1% 増加すれば、*Edmge* は約 12.5% 減少し、*Stck* が約 1% 増加すれば、*Edmge* は約 6.8% 減少することが確認された。*Rec* の 1 年前ラグは有意水準 5% で負に有意、3 年前ラグは有意水準 10% で負に有意、5 年前ラグは有意水準 1% で負に有意であった。*GDP* は有意水準 10% でも有意ではなかった。このように大災害による被害を受けたサンプルを除いた推定において、表 2-1 の推定結果(2)とほぼ同じ結果が再現された。

推定結果(2)を観察する。Hazard 変数である *DH* は、有意水準 1% で正に有意であった。Vulnerability 変数の結果を観察すると、推定結果(1)と比較して、*Stck* の弾力性が大きくなっている。*Stck* は有意水準 1% で負に有意であり、*Stck* が約 1% 増加すれば *Edmge* は約 10.2% 減少することが分かった。*U15* は有意水準 10% で負に有意であり、*U15* が 1% 増加すれば、*Edmge* は約 10.8% 減少することが分かった。*Rec* は 5 年前ラグが有意水準 5% で負に有意であった。*GDP* は有意水準 10% でも有意ではなかった。災害により被害が発生していないサンプルを除いた推定においても、災害の規模が大きくなれば直接経済被害が増加しており、*U15*、*Stck*、*Rec* といった Vulnerability 変数は負に有意であることが改めて確認された。

推定結果(3)では、*U45* を導入した推定を行った。*U45* は有意水準 5% で負に有意であった。*U45* が 1% 増加すれば、*Edmge* が約 15.4% 低下していることが確認される。*Rec* の 1 年前ラグ、3 年前ラグ、5 年前ラグは負に有意な結果となったが、*Stck*、*GDP* は有意水準 10% でも有意ではなかった。表 2-1 の推定結果(7)と同様の結果が再現された。

推定結果(4)、(5)では、*Pstck* と *Sstck* を導入した推定を行なっている。推定結果(4)、(5)共に *Pstck* が有意水準 5% で負に有意であった。大災害により被害を受けたサンプル、災害による被害が発生しなかったサンプルを除いた推定結果では、*Pstck* が有意な結果となった。推定結果(4)では、*Pstck* が 1% 増加すれば *Edmge* は約 4.75% 減少することが分かった。推定結果(5)では、*Pstck* が 1% 増加すれば *Edmge* は約 6.65% 減少することが分かった。他の説明変数の推定結果は、表 2-1 の推定結果(8)と同様に、*DH*、*U15*、*Rec* が負で有意な結果となった。推定結果(4)では、*U15* が有意水準 1% で負に有意、*Rec* の 1 年前ラグが有意水準 5% で負に有意、*Rec* の 3 年前ラグが有意水準 10% で負に有意、*Rec* の 5 年前ラグが有意水準 1% で負に有意と

なっている。推定結果(5)では、*U15* が有意水準 10%で負に有意、*Rec* の 5 年前ラグが有意水準 5%で負に有意となっている。

推定結果(6)、(7)は、*Arec* を導入した推定を示している。両方の推定結果で、*Arec* は有意水準 1%で負に有意であった。他の説明変数は、推定結果(1)、(2)に近い結果が得られた。

推定結果(8)、(9)では、Hazard 変数に *HQ* を採用した推定を行なっている。*HQ* はいずれも有意水準 1%で正に有意であった。他の説明変数の推定結果を見ると、*U15* は、推定結果(8)では有意水準 5%、推定結果(9)では有意水準 10%で負に有意であった。*Stck* は、推定結果(8)では有意水準 10%でも有意ではなかったが、推定結果(9)では有意水準 5%で負に有意であった。推定結果(8)では、*Rec* の 1 年前ラグは有意水準 5%で負に有意であり、*Rec* の 5 年前ラグは有意水準 1%で負に有意であった。推定結果(9)では *Rec* の 5 年前ラグは有意水準 5%で負に有意であった。

推定結果(10)、(11)は、二段階最小二乗モデルの結果を掲載している。第一段階の推定結果を観察すると、*S56* の係数は有意水準 1%で正に有意であった。First stage F statistics は推定結果(10)では 8.12、(11)では 7.158 であった。他に First stage F statistics を増加させるような操作変数は見つけることができなかった。推定結果(10)の第二段階の推定結果を見ると、Hazard 変数の *DH* は有意水準 1%で正に有意であった。推定結果(1)と比較すると、*DH* には下方バイアスの存在が確認された。Vulnerability 変数は、*U15* は有意水準 1%で負に有意であり、*Stck* は有意水準 5%で負に有意であった。*Edmge* は、*U15* が 1%増加すれば約 16.2%、*Stck* が 1%増加すれば約 11.2%減少することが確認された。*Rec* の 1 年前ラグは有意水準 5%で負に有意、*Rec* の 3 年前ラグは有意水準 10%で負に有意、*Rec* の 5 年前ラグは有意水準 1%で負に有意であった。

推定結果(11)では、*Stck* の代わりに、*Pstck*、*Sstck* を採用した推定を行った。*Pstck* は有意水準 10%で負に有意、*Sstck* は有意水準 5%で負に有意であり、係数の絶対値は *Sstck* の方が大きかった。*Pstck* が 1%増加すれば *Edmge* は約 5.76%減少し、*Sstck* が 1%増加すれば *Edmge* は約 9.49%減少することが分かった。表 2-1 の推定結果(11)では、*Sstck* が負に有意な結果となったが、表 2-2 の推定結果(11)では *Pstck*、*Sstck* 共に負に有意な結果となった。

表 2-2 の推定結果を総括すると、表 2-1 と同様に、Hazard 変数の係数は全体を通じて正で有意であった。Vulnerability 要因は、事前の予想通り、*U15*、*U45*、*Stck*、*Pstck*、*Sstck*、*Rec*、*Arec* が負に有意な結果となった。そのうち特に、*U15*、*U45*、*Stck*、*Pstck*、*Sstck* の弾力性が大きいことが確認された。これら経済・社会的な要因が脆弱である都道府県では、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改めて確認された。過去の災害復旧投資が将来の災害被害を軽減している効果も改めて確認された。一方で、*GDP* の係数は有意水準 10%でも有意ではなかった。

表 2-2 推計結果 (一部サンプルを除く)

年: 1995-2007

被説明変数 : ln(Edmge)

推定方法 説明変数	固定効果										二段階最小二乗	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
ln(DH)	0.1567 *** (0.0125)	0.4792 *** (0.0438)	0.1533 *** (0.0128)	0.1571 *** (0.0124)	0.4781 *** (0.0432)	0.1580 *** (0.0128)	0.4640 *** (0.0417)				0.2947 ** (0.1184)	0.3223 ** (0.1275)
ln(HQ)								0.2076 *** (0.0249)	0.6911 *** (0.0589)			
ln(U15)	-12.4755 *** (3.5549)	-10.7661 * (5.5555)		-12.9321 *** (4.0861)	-10.4787 * (5.9803)	-12.2594 *** (3.6550)	-10.2007 * (5.5726)	-10.2897 ** (3.8982)	-12.0439 * (6.9559)		-16.2319 *** (5.5503)	-17.7652 *** (5.8821)
ln(U45)			-15.3723 ** (6.3735)									
ln(Stck)	-6.7604 ** (3.0943)	-10.2122 *** (3.6177)	-5.3115 (3.3020)			-6.3125 ** (2.9601)	-9.4904 ** (3.5538)	-5.4236 (3.3685)	-10.9269 ** (4.5352)		-11.1837 ** (5.0109)	
ln(Pstck)				-4.7460 ** (2.2324)	-6.6467 ** (3.0296)							-5.7616 * (3.0624)
ln(Sstck)				-4.6610 (3.0706)	-3.7958 (2.9358)							-9.4948 ** (4.8244)
ln(GDP)	-1.6391 (2.7533)	-3.0326 (2.5079)	-1.1410 (2.7549)	-1.3852 (2.7463)	-3.3805 (2.4660)	-1.3630 (2.7457)	-2.6988 (2.4818)	-1.6151 (2.8338)	-0.0892 (0.1344)		-1.2257 (2.4875)	-0.7551 (2.5694)
ln(Rec)	1年前 -0.2220 ** (0.0861)	-0.1066 (0.1276)	-0.2185 ** (0.0809)	-0.2259 ** (0.0862)	-0.1013 (0.1254)			-0.2049 ** (0.0856)	-0.1386 (0.1342)		-0.2142 ** (0.0986)	-0.2149 ** (0.1013)
	2年前 0.1494 (0.1058)	-0.0107 (0.1294)	0.1401 (0.1061)	0.1467 (0.1053)	-0.0151 (0.1282)			0.0787 (0.0966)	-0.1723 (0.1468)		0.1715 (0.1167)	0.1697 (0.1194)
	3年前 -0.2412 * (0.1263)	-0.2105 (0.1520)	-0.2467 * (0.1304)	-0.2444 * (0.1261)	-0.2003 (0.1526)			-0.1990 (0.1233)	-0.0224 (0.1629)		-0.2261 * (0.1229)	-0.2265 * (0.1263)
	4年前 0.1256 (0.1254)	0.0488 (0.1454)	0.1208 (0.1295)	0.1229 (0.1249)	0.0350 (0.1429)			0.0254 (0.1186)	-0.2487 (0.1123)		0.1573 (0.1280)	0.1556 (0.1317)
	5年前 -0.3017 *** (0.0816)	-0.2763 ** (0.1226)	-0.2882 *** (0.0822)	-0.3093 *** (0.0806)	-0.2707 ** (0.1231)			-0.2879 *** (0.0889)	-3.1730 ** (2.6193)		-0.2684 *** (0.1012)	-0.2714 ** (0.1050)
ln(Arec)						-0.3592 *** (0.0988)	-0.5005 *** (0.1320)					
First Stage estimation 被説明変数 : ln(DH) ln(S56)											21.3128 *** (7.4816)	20.3686 *** (7.6129)
First stage F statistics											8.1200	7.1580
サンプル数	608	275	608	608	275	608	275	608	275		608	608
決定係数 (within)	0.3992	0.4756	0.3933	0.4015	0.4762	0.3876	0.4742	0.3546	0.4297			
決定係数 (centered)											0.2648	0.2091
都道府県固定効果	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES		YES	YES
年ダミー	YES	NO	YES	YES	NO	YES	NO	YES	NO		YES	YES
不均一分散(Prob>chi2)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		0.0055	0.0526

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

※First stage estimationは、S56の係数と標準誤差、及びFirst stage F statisticsのみ掲載。

※最小二乗モデルではBreusch-Pagan検定、固定効果モデルではWald検定、二段階最小二乗モデルではPagan-Hall検定により、不均一分散の検定を行なっている。

※( )内は標準誤差を示す。標準誤差はWhiteによる頑健標準誤差を採用。

※F検定により有意水準5%で帰無仮説を棄却できなかった場合は、年ダミーを導入していない。

※年ダミーの推定結果は省略。

## 8. 推定結果のまとめと結語

われわれの推定結果をまとめると以下の通りである。1) 死者・行方不明者数比率、建物被害比率（全壊）、市区町村数に占める災害対策本部設置団体数の割合が大きい程、直接経済被害も有意に大きくなっている。2) 15歳未満人口比率や45歳未満人口比率といった若年層の人口比率、一人当たり民間企業ストック額や一人当たり社会資本ストック額といった資本蓄積の水準、行政投資総額に占める災害復旧費用比率や平均災害復旧費用比率といった過去の災害被害に対する復旧投資比率は、直接経済被害を有意に減じている。3) 特に、直接経済被害に対しては、若年層の人口比率と一人当たり資本ストック額の弾力性が大きく、直接経済被害を軽減する上で重要な要因であることが明らかになった。さらに、社会資本ストック額の弾力性は民間企業ストック額の弾力性よりも大きいことが明らかになった。しかし、4) 国際比較分析で確認されていたように、都道府県の一人当たり総生産が、直接経済被害を有意に軽減している事実は確認することができなかった。

従来の防災・減災政策では、想定される被災範囲や予想被害に基づき、防災インフラを整備し、避難マニュアルを作成するといった、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、本稿の分析結果により、自然災害による被害は経済・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、子育て世代を中心とした若年層の人口比率や域内の一人当たり資本ストック額の弾力性が大きいことが分かった。子育て世代を中心とした若年層比率の引き上げや民間資本及び公的資本の蓄積を通じて、自然災害に対する社会的脆弱性を減じていくことが、自然災害による被害を軽減させる上で重要であることが示された。

本稿で残された課題として、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。地域における社会的信頼感と災害被害の関連性についての分析が重要となろう。第二に、住宅総数に占める昭和56年以前建築住宅数の比率以外に有効な操作変数を見つけることが挙げられる。第三に、市町村レベルや災害別の被害データを用いた分析を行うことが挙げられるが、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。

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), pp.79-97
- 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, pp.3-13
- 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, pp.167-182
- 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, pp.355-367
- 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, pp.149-156
- 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, pp.355-364
- 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), pp.1-11
- 豊田利久・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), pp.1-15
- 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, pp.67-89
- 内閣府「東日本大震災における被害額の推定について」2011, 6月24日,  
<http://www.bousai.go.jp/oshirase/h23/110624-1kisya.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), pp. 61-72
- 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), pp.2-20
- 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.

- Staiger, D., and J. H. Stock, "Instrumental Variables Regression with Weak instruments," *Econometrica*, 1997, 65, 557-586
- Stock, J. H. and M. Yogo, "Testing for Weak Instruments in Linear IV regression," in J.H. Stock and D. W. K. Andrews(eds), *Identification and Inference for Econometric Models: Essays in Honor of Thomas J. Rothenberg*, Cambridge University Press., 2005, CH.5
- Toya, H. and M. Skidmore, "Economic Development and the Impacts of Natural Disasters," *Economic Letters*, 2007, 94, 20-25.
- Weichselgartner, J., "Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited," *Disaster Prevention and Management*, 2001, Volume10, 85-94.
- United Nations Development Program, *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development*, 2004.