

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 24 日現在

機関番号：34416

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12495

研究課題名（和文）国土再編に資するマルチハザード型災害リスク指数の開発

研究課題名（英文）Development of a disaster risk index for contributing to restructuring national land use.

研究代表者

永松 伸吾（Nagamatsu, Shingo）

関西大学・社会安全学部・教授

研究者番号：90335331

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）： 国土再編に資するためのマルチハザード型の災害リスク指数を行った。当初は、文部科学省が作成している地震動予測地図や国土交通省による河川整備に関する情報を統合することを試みたが、それぞれの確立評価の考え方の違いにより接続が困難であった。このため、先行研究のサーベイから得た知見に基づき、災害実被害のデータから帰納的にリスクを評価する手法へとアプローチを試みた。現時点で、まだその完全な結果は得られていないが、おおよそ理論と整合的な結果が得られるものと見込まれる。

研究成果の概要（英文）： This study tried to develop a multi-hazards disaster risk index in order for promoting restructuring national land use. Our initial plan was to integrate seismic hazard risk information developed and distributed by Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology (MEXT), and flood risk information by Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). These two hazard risks, however, are hard to integrate because of the difference between the concept of probability of occurrence. Thus we tried an alternative approach, inducing risk index by inductive (empirical) analysis using the actual disaster damage data. Although we have not obtained a final outcome, it is anticipated to gain an plausible outcome along with existing risk theories.

研究分野： 減災政策

キーワード： 災害 リスク評価 脆弱性 レジリエンス 国土利用

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災をもたらした東北地方太平洋沖地震は、その規模から数百年から千年に一度のハザードであったといわれている。このような低頻度かつ高被害の災害にどう備えるかは、極めて重要な課題である。我が国はすでに人口減少の局面に突入し、他方で巨額の財政赤字を抱えるようになった。こうした文脈から考えると、現在の人口分布や社会経済構造を前提として、すべての地域に防災対策を充実させていくことは合理的でなく、持続可能でもない。

2. 研究の目的

低頻度であるということは、言い換えれば次の発生まで時間的な余裕がある可能性が高いということでもある。その時間を積極的に活用し、災害リスクの相対的に低い地域に人口や経済活動、重要インフラがシフトして、社会全体として災害リスクを軽減する方向に国民を誘導していくといった発想が不可欠である。本研究は、こうした国土利用の再編を促すために、全国における災害リスクを定量的かつ総合的に評価するためのリスク指数を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

異なるハザードを同一のリスク指標として評価すること、グローバルな気候変動の影響をリスク指標に取り込むこと、人口変動の予測を指標に取り込むこと、の以上三点を可能にする方法論の開発である。これらの正当性を検証するために指標の試作は行うものの、実用可能となる指標の開発には、主要な政府機関やハザードの研究機関の協力が不可欠であり、本研究はそこにこぎつけるための予備的な研究と位置づけている。

4. 研究成果

(1)文献調査

災害リスクを評価するための方法には大きく分けて帰納的 (deductive) アプローチと、演繹的 (inductive) アプローチが存在する (Cardona 2003, Eidsvig et al. 2014)。それぞれについて以下紹介する。

帰納的アプローチとは、実際に発生した災害の履歴や被害データを元に、災害リスクを評価しようとするアプローチである。この方法は、実証的根拠があるために説得力が高く、また具体的な将来の被害の予測につなげやすいというメリットがある。このアプローチの代表としては、例えば UNEP により作成された Disaster Risk Index (DRI) がある (Peduzzi et al. 2009)。DRI では、ハザード毎に各国の災害被害を、ハザード (外力の発生頻度) 暴露 (人口) そして脆弱性を構成すると考えられる 32 の社会経済指標らを説明変数として回帰分析を行う。その結果、脆弱性のパラメータとして購買力平価 GDP、耕地面積割合、都市の成長率、森林面積率とい

った変数が有意であることが示されている。DRI が採用した方法は、実際の被害を説明する社会経済的変数を統計的に示しているという点で、実証的根拠に優れたアプローチであると言えよう。しかしながら、次に述べるような欠点が先行研究で指摘されている。

まず、国や地域によっては、災害による被害のデータが得られにくい、あるいはデータの信頼性が低いといった問題がある。何よりもこの方法の本質的な問題は、過去の災害に評価が依存するため、災害が低頻度な地域では評価が難しいという点がある (Cardona 2003, Pelling 2006)。この問題を克服するためには、一定の災害頻度を確保するために、一国全体など物理的に広い範囲を評価単位としたり、あるいは長期時系列で評価する必要がある。しかしそのことは、逆に一つ一つの災害の激甚さが平均化されてしまうことで、脆弱性の過小評価につながる (Birkmann 2007)。また、DRI は災害被害を表す被説明変数として死亡率を用いているが、それだけで脆弱性を評価して良いのかという根本的な批判もある (Birkmann 2007)。災害リスクは人命だけではなく、経済的被害や環境への影響なども含める立場からは、この批判は当然であろう。

なお、DRI 以外の帰納的アプローチの研究としては、包絡分析法を用いて中国国内の脆弱性を評価した研究 (Wei et al. 2004) や、インドのアッサム州を対象として脆弱性を評価した研究 (Joseph 2013) がある。

上記のような脆弱性評価のアプローチとは別に、脆弱性の構成要素を理論から演繹的に推論し、合成指標を作成して評価する研究が盛んに行われている。例えば、その草分け的な研究であるカッターらの 2003 年の論文では、既存の脆弱性に関する社会学的な分析やフィールドワークから、脆弱性を構成すると思われる様々な社会経済的屬性 (例えば所得、ジェンダー、人種構成、産業の発展度合い、雇用、住宅、職業、インフラの状況など) についてを表す 250 の統計的指標を米国の全カウンティについて収集し、それらを主成分分析にかけることによって 11 の因子に集約する。そしてこれらの主成分得点の合計を社会的脆弱性指標 (SoVI) と定義している (Cutter, Boruff, and Shirley 2003)。

この論文を皮切りに、カッターらは米国の都市を対象とした脆弱性評価研究 (Borden et al. 2007)、コミュニティ単位での SoVI の計測 (Wood, Burton, and Cutter 2010) などを発表し、同様の研究は中国でも盛んに行われている (Yang et al. 2015, Zhou et al. 2015)。近年では、レジリエンスの評価においても同様のアプローチが採用されており (Cutter et al. 2008, Cutter, Burton, and Emrich 2010, Orenco and Fujii 2013)、有力な指標作成手法となっている。

演繹的アプローチの利点は、災害の被害や履歴に関わらず脆弱性を定義できるという

点がある。しかも、様々な要素指標を組み合わせることによって、社会科学的な脆弱性の理論や定義に比較的忠実に指標を作成することができるのである。

そもそも脆弱性の概念は極めて幅が広い。被害に直結する内的なリスク要因だけを脆弱性と捉える狭い見方から、対応力や適応力まで含める考え方、さらには社会経済的、制度的な要因まで含める考え方までである (Birkmann 2006)。帰納的アプローチでは、どうしても被害に直結するリスク要因の把握にとどまってしまうがちであるが、潜在的なリスクも含めた指標を作成できることはこのアプローチの大きな利点である。

また、帰納的アプローチによって脆弱性を明らかにしようとするれば、実被害からハザードの影響を取り除く必要があるため、その評価はどうしても個別ハザード毎に行われることとなる (Eidsvig et al. 2014)。しかしながら、SoVI をはじめ演繹的に作成された多くの脆弱性指標においてはそうしたハザードに依存した脆弱性ではなく、その社会固有の (generic)、いかなる災害においても被害を拡大させる要因となりうる共通の脆弱性を評価している。マルチハザードで災害リスク評価を行うためには、こうした脆弱性の捉え方が必要不可欠となる。

しかしながら、演繹的アプローチにも問題がないわけではない。一つは、脆弱性の構成要素の確からしさは、理論によってしか担保されないという点である。言い換えれば、ある指標で脆弱性が高いと評価されたとしても、それが本当に災害リスクを拡大させる要因となるのかどうかは、理論がそうだからそうである、という以上の回答を持たないのである。

例えば、カッター自身もその論文の中で、SoVI の正当性を実証しようと、SoVI と災害事態宣言 (Declaration of disaster) の回数との相関を調べているが、必ずしも予想の通りの結果が出ておらず、指標の改善の必要性を述べている (Cutter, Boruff, and Shirley 2003)。

従って、必然的に脆弱性の捉え方も研究者コミュニティによって異なる。例えば気候変動による適応策を研究するグループは、脆弱性を IPCC の定義に従い、暴露、感受性 (susceptibility)、適応力 (adaptation) の関数であると捉えており、災害研究者らの見方とは異なっている (Birkmann et al. 2013, Mwale, Adeloje, and Beevers 2015)。こうしたことから、作成者らの立場によって指標の中身は大きく異なることが予想されるうえに、それらのどれがより望ましい指標化を判断する基準は存在しないと言えよう。

また、ある指標が他の地域でも正当性を持つとは限らない。例えば一般的には人口密度が高ければリスクは高いと考えられるが、地方で人口密度が極端に低い地域ではむしろ災害脆弱性が高まる可能性もある。こうしたこ

とから、演繹的に作成される脆弱性指標については単純に他所では利用できず、その地域の文脈に沿った修正 (Contextualization) が必要であるとも指摘される (Birkmann 2007)。

また、演繹的アプローチは脆弱性に関する包括的な指標の作成が可能であるという一方で、そのために要素指標を多数組み合わせようとするれば、指標の複雑さを増し、わかりやすさや透明性が失われるというデメリットも指摘されている (Pelling 2006)。

最後に、演繹的アプローチの問題として、要素指標間のウエイト付けをどうするかという点がある。すでにみたように主成分分析を用いる方法の他に、単純平均を用いる方法、専門家を対象としてアンケート調査を行い、階層化意思決定法 (AHP) を用いてウエイトを決定する研究も少なくない (Orencio and Fujii 2013, Xu, Sun, and Guo 2015)。また、コミュニティレベルでの指標作成においては、コミュニティ構成員に対して、どの項目がより大きなリスクを構成すると考えるか、直接的にアンケートで尋ねる方法も採用されている (Mwale, Adeloje, and Beevers 2015, Novelo-Casanova and Suárez 2015)。

(2) マルチハザードの評価に関する検討

本研究では、ハザードを同一のリスク指標として評価する点についての検討を行なった。

岸本 (2008) は、複数の異なる化学物質のリスクを比較可能とするために、人の質調整生存年数 (QALY: Quality Adjusted Life-Year) に与える影響として基準化することを提案した。しかしながら、自然災害リスクの場合は次のような問題がある。

第一に災害のリスクは人命だけに留まらず、物的・経済的被害にも及ぶ。どの指標で基準化するかは必ずしも自明ではない。

第二に仮に人的被害をベースに基準化したとしても、人的被害の発生過程には、ハザードだけではなく、暴露や脆弱性にも影響を受けるため、この影響を取り除く必要がある。

第三に、しかしながら、暴露や脆弱性は必ずしも直接観測することはできない。

以上のような点を踏まえ、本研究では全く異なるアプローチを採用することを検討した。まず、開発しようとするリスク指標 (DRIJ) を以下のようなモデルで表現する。

$$DRIJ_i(N) = \sum_j E_{ij}(H_{ij}(N)) \cdot V_{ij} \cdot (1 - R_i)$$

但し、 $H(N)$ は再現期間 N 年のハザード強度、 $E(H)$ は強度 H のハザードに対する暴露価値額 (人口、物理的資産)、 V は物理的脆弱性すなわち耐震性能などハザードに依存するもの、 R は地域のレジリエンス指数である。また i は地域を表すインデックス、 j はハザードを表すインデックスである。

ここで重要なのは、ハザード強度を再現期

間 N の関数として定義し、再現期間、すなわち発生確率を統一することで、異なるハザード間での統合を可能にしようという考えに基づいており、池永・大原（2015）によって提案されたものである。

しかしながら、現実に存在するデータからはこうした方法による統合は困難であるということが明らかになった。地震の超過確率については、文部科学省による地震動予測地図が整備されているが、水害についてはそれぞれの河川堤防の計画整備高から算出しなければならない。これらの再現期間が必ずしも一致しないうえに、水害については河川ごとの再現期間は明らかであるが、すべての河川や内水氾濫の可能性まで考慮しているわけではなかった。すなわち、我が国における既存のハザード評価では、それらを統合する指標を作成することは困難であることが明らかになった。

(3) 帰納的アプローチによるマルチハザード型リスク評価の検討

以上の理由から、マルチハザード型の指標を構築するために、アプローチを転換して、実被害から帰納的に指標を作成することを試みた。災害被害を次のようなモデルで考える。

$$D = A \cdot H^\alpha \cdot E^\beta \cdot V^\gamma$$

ここで、D は災害の被害である。A、 α 、 β 、 γ はパラメータである。このモデルを対数変換し、実被害と災害リスク構成要素の関係を明らかにするために、次のようなモデルを推計する。

$$\log D_i = \log A_i + \alpha \log H_i + \beta \log E_i + \gamma \log V_i + u_i$$

ここで、u は誤差項で正規分布に従うものと仮定する。このとき、推計されたパラメータを \hat{A} をつけて表すものとする、

$$\log DRII_i = \log \hat{A}_i + \hat{\alpha} \log H_i + \hat{\beta} \log E_i + \hat{\gamma} \log V_i$$

によって、市町村 i の潜在的被害量（リスク量）を計算することができる。この方法であれば、ハザードの単位を揃える必要はないため、前述のようなハザードの計測基準に起因する問題を回避できる。

推計に使用するのは、2000 年から 2015 年の市町村パネルデータである。被説明変数には、市町村の災害救助費を用いる。ハザード (H) の変数としては、(1) 降雨量（時間最大、3 時間最大、24 時間最大）(2) 台風接近回数（衷心より 20 km 以内、50km 以内）(3) 最大震度を用いる。暴露 (E) の変数として、人口

密度、浸水危険区域面積率、土砂災害警戒区域数などを用いる。脆弱性の変数としては、65 歳人口率や一人当たり生活保護費などの変数を用いる。

現時点においてこの研究はまだ継続中であり、最終的な結果を示すことはできないが、おおよそ理論に整合的な分析結果が得られることが見込まれ、本手法のポテンシャルは高いことが確認されている。演繹的なリスク評価から、帰納的なリスク評価へとアプローチを変えたことで、本研究が目標とするマルチハザード型のリスク評価へとつながる可能性を見出したことが最大の成果であったと言えよう。

< 引用文献 >

Birkmann, Jörn. 2006. "Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual framework and definitions." In *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies*, edited by J. Birkmann. United Nations University New York.

Birkmann, J. 2007. "Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications." *Environmental Hazards* 7 (1):20-31.

Birkmann et al. 2013. "Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework." *Natural Hazards* 67 (2):193-211.

Borden et al. 2007. "Vulnerability of U.S. Cities to Environmental Hazards." *Journal of Homeland Security and Emergency Management* 4 (2).

Cardona, OD. 2003. *Indicators for risk management: methodological fundamentals, information and indicators program for disaster risk management*. IADB/ECLAC/IDEA.

Cutter, Boruff, and Shirley. 2003. "Social Vulnerability to Environmental Hazards." *Social Science Quarterly* 84 (2):242-261.

Eidsvig, et al. 2014. "Assessment of socioeconomic vulnerability to landslides using an indicator-based approach: methodology and case studies." *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 73 (2):307-324.

Joseph, J. 2013. "Measuring vulnerability to natural hazards: a macro framework." *Disasters* 37 (2):185-200.

Mwale and Beever. 2015. "Quantifying vulnerability of rural communities to flooding in SSA: A contemporary disaster management perspective applied to the Lower Shire Valley, Malawi."

International Journal of Disaster Risk Reduction 12:172-187.

Novelo-Casanova and Suárez. 2015. "Estimation of the Risk Management Index (RMI) using statistical analysis." *Natural Hazards* 77 (3).

Orencio and Fujii. 2013. "A localized disaster resilience index to assess coastal communities based on an AHP.pdf." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 3 (2013).

Peduzzi et al. 2009. "Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index." *Natural Hazards and Earth System Science* 9 (4).

Pelling, Mark. 2006. "Review of global risk index projects: conclusion for subnational and local approaches." In *Measuring Vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies*, edited by John Birkmann, 151-170. United Nations University Press

Wei et al. 2004. "The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method." *Environmental Impact Assessment Review* 24 (4).

Wood, Burton, and Cutter. 2010. "Community variations in social vulnerability to Cascadia-related tsunamis in the US Pacific Northwest." *Natural Hazards* 52 (2):369-389.

Xu, Sun, and Guo. 2015. "A systemic analysis of typhoon risk across China." *Natural Hazards* 77 (1):461-477. doi: 10.1007/s11069-015-1586-0.

Yang et al. 2015. "Screening of social vulnerability to natural hazards in China." *Natural Hazards* 76 (1):1-18.

Zhou et al. 2015. "Integrated risk assessment of multi-hazards in China." *Natural Hazards* 78 (1):257-280.

池永知史・大原美穂. 2014 将来の人口減少を考慮した総合的な自然災害リスクの評価, 生産研究, 66(4), 397-402.

岸本充生. 2008. 異なる種類のリスク比較を可能にする評価戦略, *Synthesiology*, 1(1), 31-37.

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3件)

永松伸吾, 佐藤慶一, 田中陽三, 山本圭一, 災害に強い国土利用への中長期誘導方策の研究, 内閣府 / New ESRI Working Paper 経済社会総合研究所 H P http://www.esri.go.jp/jp/archive/new_wp

/menu.html, 共著, No.34, 2015

佐藤慶一・松浦広明・田中陽三・永松伸吾・大井昌弘・大原美保・廣井悠, 災害リスク情報と不動産市場のヘドニック分析, , ESRI Discussion Paper Series, No.327, 47p, 2016

直井道生・佐藤慶一・田中陽三・松浦広明・永松伸吾, 南海トラフ巨大地震の被害想定地域における社会移動: DID (差分の差分) 法による影響の検証, ESRI Discussion Paper Series, No.335, 2017.

[学会発表](計1件)

永松伸吾「復興事業は復興を阻害しているか 被災市町村によるパネル分析、日本災害復興学会, 2016年10月2日, 石巻専修大学

[図書](計1件)

Shingo Nagamatsu, Building back a better Tohoku from the March 2011 Tsunami - A contradicting evidence, In Vicente Santiago-Fandino et al. eds. *Reconstruction and Restoration after the 2011 Japan Earthquake and Tsunami*, Springer.

6. 研究組織

(1)研究代表者

永松 伸吾 (NAGAMATSU, Shingo)

関西大学・社会安全学部・教授

研究者番号: 90335331

(2)研究分担者

佐藤 慶一 (SATO, Keiichi)

専修大学・ネットワーク情報学部・准教授

研究者番号: 90424192

廣井 悠 (HIROI, Yu)

東京大学・大学院工学(系)研究科(研究院)

研究者番号: 50456141

(3)連携研究者

大井 昌弘 (OOI, Masahiro)

独立行政法人防災科学技術研究所・社会防災システム研究部門・主任研究員

研究者番号: 50414397

大原 美保 (OHARA, Miho)

独立行政法人土木研究所・水災害・リスクマネジメント国際センター・主任研究員

研究者番号: 70361649