

国内自然災害被害の確率分布に関する一考察*

東北大学災害科学国際研究所 奥村 誠

1. 本研究の目的

自然災害からの社会の損失は、直接被害に伴う社会経済活動の一時的な落ち込み（インパクト）を起点として、徐々に復旧して被災前の水準に戻るまでを時間積分したレジリエンスの三角形によって評価でき、通常、自然災害統計が計量しているのは当初のインパクトに相当し、ハザード強度×曝露×脆弱性によって説明できる。社会的に自然災害のインパクトを小さくするには、(1)曝露を下げる戦略と (2)脆弱性を下げる戦略があり、今後の対策立案のためには、これまでの対策の効果を定量的に把握することが望まれる。

しかし、個々の自然災害イベントは、異なる場所、時間、状況の中で発生するものであり、過去の一つのイベントの被害量に対して特定の施策が軽減効果を発揮したとしても、今後別の時間、場所、状況の中で発生する自然災害イベントに対して同等の軽減効果が期待できるとは限らない。それゆえ、本研究では一定期間における同種のイベントによる被害量の分布に着目し、各種の政策がこの被害量の分布に与える影響を、順位規模曲線を用いて概念的に考察する。ついで、都道府県別自然災害被害統計の最近13年間のデータを非負値行列因子分解(NMF)により少数の因子得点に集約した上で順位規模曲線を描き、各種の防災対策の影響の考察を試みる。

2. 政策要因が被害量に与える影響の順位規模曲線を用いた概念的検討

地震の対数規模と対数発生確率の間に見られる直線的関係は Gutenberg-Richter 則と呼ばれ、他の多くの自然現象や社会現象にも、両対数表示の順位規模曲線が直線で示されるという「べき乗則」が観察されている。本研究では自然災害ハザードの観測単位不変性（スケール・フリー性）を考慮して係数が1の順位規模直線に従うと仮定した上で、各種の政策効果によって、そのハザードに沿って発生する被害（インパクト）の順位規模曲線の形がどのように変化するかを考察する。

まず図1は後述する都道府県別災害被害統計の主要な6項目に関する両対数表示の順位規模曲線で、各曲線の傾きは0.5~0.9程度から始まり、右方に映るとともに傾きが1.2~2.5程度に増加している。このような右上に凸な形状が現れる原因を考える。

まず曝露の影響を考える。地表面での自然ハザードの発生率は一様でなく偏在して分

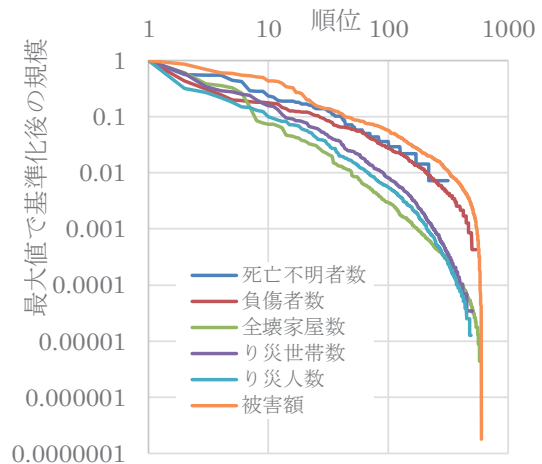


図1 主な被害項目値の順位規模曲線

* Discussion on the probabilistic distribution of Japanese disaster damage statistics by Makoto Okumura

布する。火山地域に都市を作らないというように、ハザードが高い地域ほど曝露量の存在密度が低ければ、被害の順位規模曲線はハザードの曲線に比べて傾きが緩くなる。逆に、大河川の氾濫原上に多くの都市が形成されてきたことから、水害被害の順位規模曲線はハザードの曲線に比べて急な傾きとなる可能性がある。

脆弱性は、ハザードに対する抵抗力に相当する。高頻度で起こる軽微な外力には十分な抵抗力を持ち被害は発生しないが、規模が大きい外力では被害に結びつく可能性が高くなる。この機能的フラジリティは、S字状のロジスティック曲線で表現されることが多い。この効果により、小規模なハザードに対する被害は小さくなるから、順位規模曲線の傾きは右方において急になる。さらに外力規模が日常の変動幅以下になれば被害は観測されなくなり、曲線がある順位で途切れる。逆に、極端に大きなハザードは広域に影響を及ぼすが、被害は地域単位ごとに計測されるため、左方における曲線の傾きは小さくなる可能性がある。

以上のことを確認するため、直線的なハザードの順位規模曲線を仮定し、脆弱性をロジスティック型の機能的フラジリティ関数で与えて被害の順位規模曲線の形状を計算したものを図2に示す。機能的フラジリティ曲線のパラメータ値に依存するが、被害の順位規模曲線の傾きはハザードよりも急になり右上に凸な形状となることが確認できた。この図ではさらに、曝露量が異なる空間分布に比べて、安全側に偏在する場合と危険側に偏在する場合も表示しており、ハザードエリアの土地利用強度を下げる施策を打つと、大規模被害の頻度が減少し順位規模曲線の左側が下がって傾きが緩くなるという影響が想定できる。他方、抵抗力の強化により脆弱性を下げる政策は小規模被害の軽減に効果が大きいため、順位規模曲線の右側を下げて勾配を球にするという影響が想定できる。

3. 都道府県別被害統計の非負値行列因子分解(NMF)手法による集約

日本における災害被害分布の経年変化を分析する。ここでは、消防庁が集約し消防白書の付表に掲載された都道府県別年間被害統計の2007年から2019年までの13年間のデータを用いる。被害に関する項目から経年的な金銭価値の変化を受ける総被害額を除き、以下に示す21項目の数値を整理した。すなわち、a)死亡・不明者数、b)負傷者数、c)全壊・流失家屋数、d)半壊家屋数、e)一部破損家屋数、f)床上浸水家屋数、g)床下浸水家屋数、h)非住家建物被害件数、i)水田の流失・埋没面積、j)水田の冠水面積、k)畑の流失・埋没面積、l)畑の冠水面積、m)道路損壊件数、n)橋梁破損数、o)河川損壊件数、p)山(崖)くずれ件数、q)鉄軌道被害件数、r)通信施設被害件数、s)船舶被害件数、t)罹災世帯数、u)罹災者数である。報告時期までに調査が終了しな

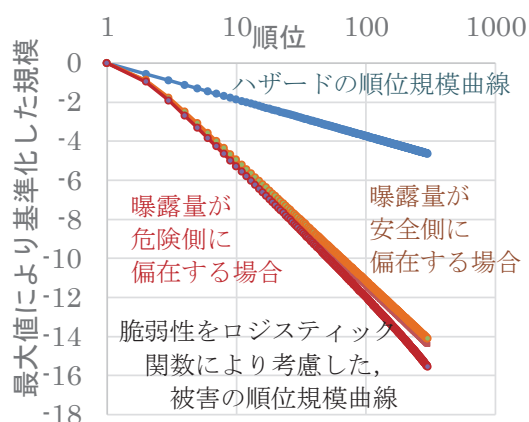


図2 仮想的な被害の順位規模曲線

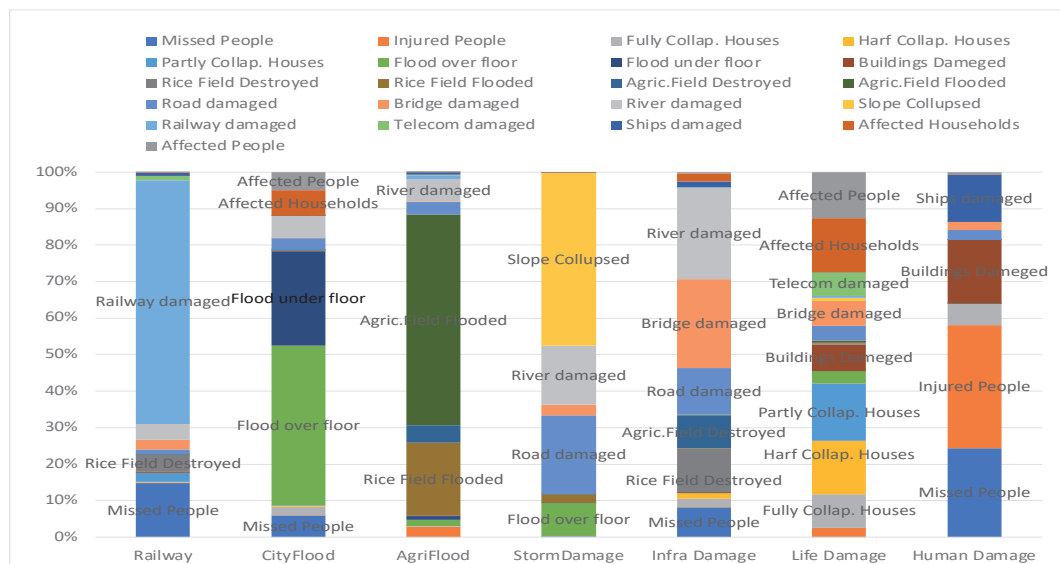


図3 非負値行列因子分解による7つの因子の因子負荷量の構成

った被害分が計上されないため、2011年と12年の岩手・宮城・福島、2016年の岩手・熊本、2019年の宮城・福島のデータを取り除き、 $47 \times 13 - 10 = 188$ サンプルを対象とした。先に示した図1には、これらの中のa)死亡・不明者数、b)負傷者数、c)全壊・流失家屋数、t)罹災世帯数、u)罹災者数の順位規模曲線を示している。

これらの数値は、暦年ごとに発生した複数の自然災害イベントによる被害量を都道府県ごとに集計した数値である。また、複数の項目の被害が同一の自然災害イベントにより同時に引き起こされた場合を多く含んでいるため、項目ごとの数値を相互に独立なものとして扱うのではなく、因子分析による情報集約を行った。このとき、これらの被害項目の数値は基本的に正の値しかとり得ないことに着目し、確率分布の形状を歪めない非負値行列因子分解（NMF; Non-negative Matrix Factorization）法を用い、ベイズ統計に基礎を置く数値的推定法を適用した。計算時間とAICを参考に因子数を7個と定めた。

図3に示す因子負荷量から7つの因子の内容を確認すると、(1)鉄道被害のほか死亡・不明者や水田の流失を引き起こす因子(Railway)、(2)河川の損壊、住宅の床上、床上浸水が人的被害と罹災世帯や罹災者を発生させる都市域水害の因子(City Flood)、(3)河川の損壊が畑や水田の冠水をもたらす農地水害の因子(Agri Flood)、(4)土砂崩れによる道路、河川の損壊と住宅の床上浸水を起こす水害因子(Storm Damage)、(5)河川・道路・橋梁および農用地の損壊と死亡・不明者につながる物理的破壊の因子(Infra Damage)、(6)家屋、非住居建物、通信施設、橋梁の破壊と罹災世帯、罹災者を発生をもたらす生活基盤の機能損失因子(Life Damage)、および(7)非住居建物や船舶の破壊と多数の死傷者を生み出す人的被害の因子(Human Damage)である。

4. 集約された被害因子得点の順位規模曲線とその経年比較

13年を1年ずつ重複する3期間（2007-2011年、2011-2015年、2015-2019年）に分け、都道府

県別の7つの因子得点の順位規模曲線を作成した。図4は2つの因子得点毎に順位規模曲線をプロットした。これより、どの因子得点も右上に凸な形状の曲線を持ち、経年的な変化は小さい。左上方の傾きは0.5程度であり、大規模の災害の被害が都道府県の範囲に収まらないことが影響している。一方、中位での傾きは1.5から2.5程度と急であり、脆弱性を下げる政策の影響が示唆される。なかでも(6)Life Damageの曲線は左側から急な傾きを持つのと対比的に、(7)Human Damageの曲線は傾きの変化が緩やかで、効果的な防災対策の困難さが懸念される。同一の因子得点の時期による違いを確認すると、曲線の左下方へのシフトが明瞭な因子は見当たらず、防災施策の効果が着実に現れているとは言えないことがわかった。

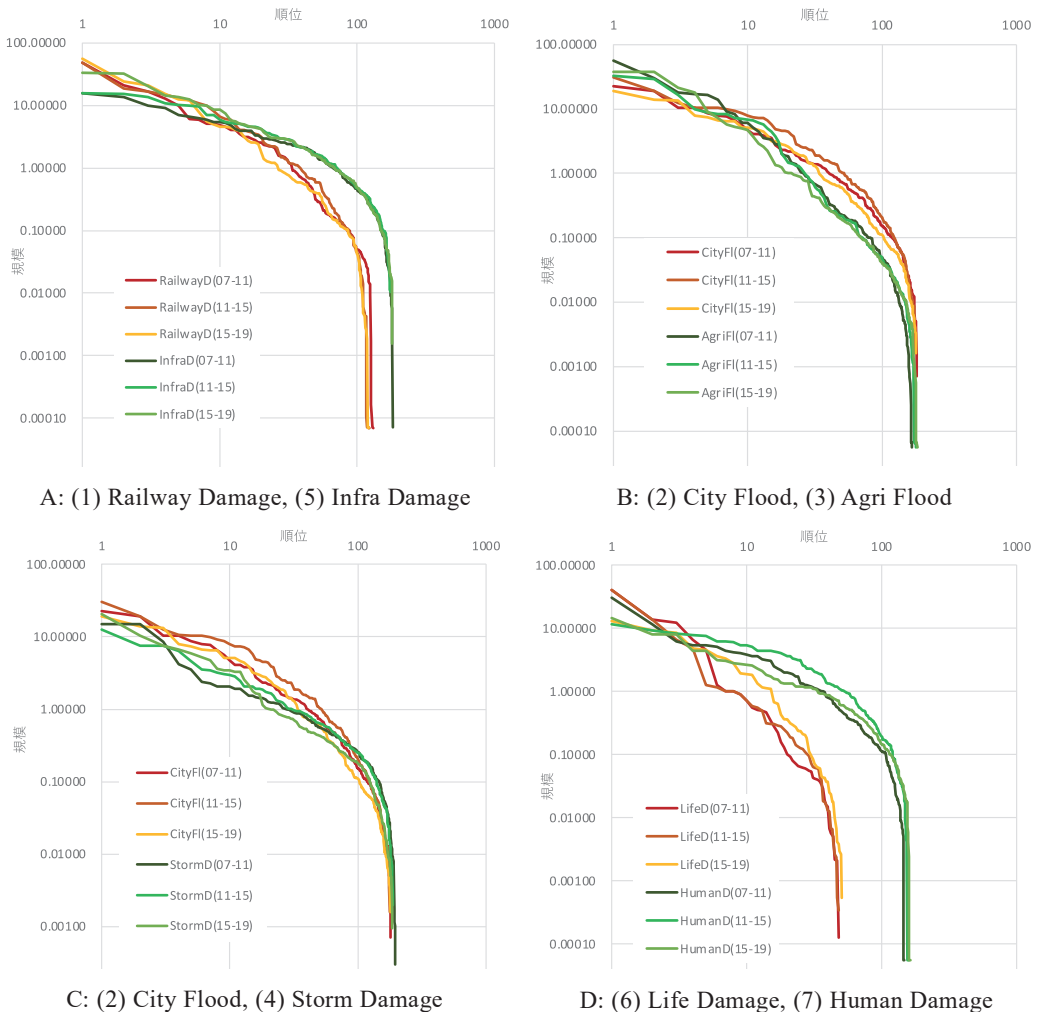


図4 7つの因子得点の3期間別の順位規模曲線

- 1) 亀岡弘和：非負値行列因子分解，計測と制御，第51巻第9号，pp.835-844，2012.
- 2) 元井初音・奥村誠・水谷大二郎：年齢構成の共通性に着目した地域社会の比較分析法，土木計画学研究・講演集，Vol.57，No.17-09，2018.
- 3) Mikkel N. Schmidt, Ole Winther, and Lars Kai Hansen: Bayesian Non-negative Matrix Factorization, ICA 2009, LNCS 5441, pp.540-547, 2009.