

被災時に生じうる事象の多様さに着目した途上国災害対策の評価

(株)電通 非会員 古田 英之
東京大学 正会員 本田 利器

1. はじめに

近年世界各地で大規模な災害が生じ、国内外でますます防災の重要性が高まっている。自然災害は直接的な被害だけでなく、その被害が波及していく構造を有している。また、その波及構造は複雑かつ不確実なメカニズムである。特に途上国においては不確実性が大きく、確実な被害想定に基づいて防災対策の効果を定量的に評価することは容易ではない。本件では、災害時に起こりうる事象を社会が対応可能なものとすることで深刻化を防ぐという防災の役割に着目して、途上国の災害対策を評価する手法について提案する。

2. 手法

途上国において、災害時に全く問題が生じない対策を施すことは不可能である。一方、災害発生時の事象が予測可能な事態であれば、被害として甚大であっても社会として対処が可能である。この観点から災害対策を評価するために、被災時に生じうる現象の多様性をどれだけ低減したかを計量することを試みる。

(1) 波及構造を考慮した被災事象のモデル化

被災時には様々な事態が絡み合い予期せぬ事が多数生じることを考慮し、災害時の現象を様々な分岐をもつ複雑な被害波及構造と捉える。例えば、災害時に重要な住民の「共助」行動には、住民の意識が重要となるが、住民の防災意識が高くとも、人的被害や構造物被害が膨大であれば、共助行動の有効性やその機能も変わってくる。このような被災時に重要となる要素の因果関係構造を考える。この因果関係は、本質的に不確実性なものであり、「厳密」な関係づけや「精緻」な定量化はできないことを考慮して以下のように構築する。

それぞれの要素は一つの値として表すのではなく、観察可能な複数の指標(変数)を用いて表すことを原則とする。例えば、構造物被害は、インフラの被害程度や住宅の被害程度等を用いて表す。これは、それぞれの要素が、多面的な性質を有することが多く、それが、他の要素との因果関係の記述において重要となるからである。また、事象の不確実性を考慮すると、それぞれの指標の具体的な値を考えることは、本質的ではない。例えば、復旧時の防災活動に支障が生じる構造物の損壊率の値は状況ごとに異なるものであり、事象の不確実性を考慮すると、本質的に有意な値を示すことはできない。本研究では、構築する因果関係を記述するに足る離散化として、「好ましい状態」から「好ましくない状態」までの5段階評価を用いる。

また、要素間の因果関係性も確定的なものではない。例えば、インフラ被害が大きい場合に住民の共助機能がどのくらい機能するかも、状況によって様々に変わりうるため不確実性がある。一方、様々な状況を鑑みれば、ある程度の想定は可能である。このような事を考慮して、波及構造の関係性は確率的なものとする。これにより、要素となる状態は「どういった状態がどれほど起こりやすいか」という情報を状態量の確率密度関数として与えるものとなる。

このように各要素が確率的に様々な値をとりうるため、波及構造の全体は確率的に膨大なシナリオを内包するものとなる。本研究ではこのような膨大な数の状態が起こりうる状況を、防災計画の対象として考慮すべきであると考ええる。

(2) 波及構造の状態の評価

被災時の状況への対応の難しさは、上記で得られる膨大な数のシナリオを有する確率的な状態のもつ多様さにもとづき評価する。生じうる事象が想定しうる単純なものであれば、対応できる可能性は高いと考えられるからである。ここでは、確率的な事象の複雑さ(Complexity)を情報エントロピーを用いて評価する。

キーワード：防災、評価、情報エントロピー

連絡先：〒332-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

全ての状態変数の多様性を評価することも可能であるが、より有用な情報を得るため、被災状況の様々な側面を評価するための指標を導入する。例えば、被災時に生じる様々な問題のうち、災害直後の死傷者数や長期化した場合の死傷者数などに着目した指標として「人的被害」という指標を設定する。この指標は、上述したフローによって求められるため、住宅の耐震性等、間接的な要因の影響も考慮した上での評価となっていることは注意されたい。同様な指標として「構造物被害」や「環境」等の指標を設定することができる。

波及構造のモデルに取り込める範囲は限られているため、そこに表れる値だけにもとづいて評価することは必ずしも適切でない。モデルに含まれた状態量から波及する効果が積み重なり、とりまく状況との関係の中で最終的な事象の複雑さが生じるからである。いま、モデルに含まれた状態量（複数）を X として、そのとりうる値の組み合わせを x_i ($i \in I$) と表し、最終的に生じる事象を Z で表すと、 X と Z を含む最終的な事象の情報エントロピー $H(Z, X)$ は次式で与えられる。

$$H(Z, X) = H(X) + \sum_{i \in I} P(x_i) H(Z|x_i) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $H(X)$ は X の情報エントロピー、 $P(x_i)$ は X が x_i をとる確率、 $H(Z|x_i)$ は $X = x_i$ の状態から展開する最終的な事象 Z の条件付き情報エントロピーである。 $H(Z|x_i)$ は、状態 x_i がもたらしうる事態の複雑さを表すものであるため、一般に、 x_i が困難な事態に相当する場合には大きい値をとり、 x_i が対応が容易な状態に相当する場合は小さい値をとる。この値の評価は用意ではなく、今後の課題である。後述の計算例では仮の値を設定した。情報エントロピーの評価に必要となる X の確率密度関数は、上で構築した確率的な波及構造を用いたモンテカルロシミュレーションにより算出する。

3. 途上国における地震対策評価の例

表-1 対策を変化させた場合の評価指標の情報エントロピー

途上国を対象としてハードウェアやソフトウェアの援助の程度レベルや組み合わせを変化させた場合に、施策の効果がどのように評価されるかを検討した。

Case	O	HH	H	HS	S	SS
人的被害	33.9	32.6	33.7	28.5	27.8	29.6
構造物被害	52.2	15.0	41.4	35.8	44.5	47.0

ハードウェアの防災対策を実施したケース（H）とそれを強化したケース（HH）、ソフトウェアの面からの充足を図ったケース（S）とそれを強化したケース（SS）、ハードウェアとソフトウェアの両面の充足を図ったケース（HS）、何も行わなかったケース（O）を想定した。

それぞれのケースにおいて人的被害、構造物被害という2つの指標についての結果を表-1に示す。これは様々な要因による影響を考慮した評価値となっている。例えば「人的被害」の指標では、ハードウェアによる対策をとったケースHの場合、災害直後の構造物やライフラインの損傷が軽減され、それによる混乱・対応の遅れ・二次災害が低減が期待できる、という波及効果により、生じる事象の多様性が減少するというメカニズムが反映されている。ここで、エントロピーの値が小さい場合、災害時に起る事象の多様性が小さく、対応できる可能性が高いと考えられる。ただし、異なる指標のエントロピーの値は比較できるものではなく、その値の解釈については今後の検討が必要である。

ハードウェアを強化した場合（H）では、「構造物被害」の値は低減する一方、「人的被害」の値はハードとソフトの両面の対策を施した場合（HS）に比較してエントロピーの低減幅が小さくなっており、ハードとソフトの両者の施策を組み合わせることで効果が大きくなるという事実が評価できている。また、ケースHHとHでは、「構造物被害」は大きな差が見られるが、「人的被害」の差は小さく、ハードウェアだけを強化してもその成果は限定的であることも示せている。なお、「人的被害」は、どのケースにおいてもエントロピーの値の低減、すなわち、事象の多様性の縮減が見られている。

4. おわりに

災害対策の評価を、被災時に生じる事象の不確定性縮減に着目して行う手法を提案した。災害対策の波及的な副次効果もふまえた評価が可能であるため、従来定量的な評価が難しかったコミュニティ育成等の有効性の評価等にも適用可能であると考えられる。今後はケーススタディなどを増やしていきたい。

謝辞 適用例の想定の際にはパシフィックコンサルタンツの小林一郎様にご意見をいただきました。