

## 第IV部門

## 地域間相互作用を考慮した災害被害軽減力の動学モデリング：より良い水害警報の探求

京都大学工学部地球工学科

学生員 ○小川 航

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

正会員 小谷 仁務

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

正会員 松島 格也

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

正会員 須崎 純一

## 1. はじめに

気候変動に伴う水害の激甚化によって警報システムの重要性が増しており、気象庁等はリードタイムの長い危険度情報の提供を検討している。数値予報の精度は向上しているが、自然現象の発生を正しく予測するだけでは不十分であり、その現象が社会に与える影響まで考慮した予報によって人々に適切な行動を促す「Impact-based forecasting」が推奨されている。

警報が適切に発令されれば、個人や企業はそれに反応して災害に対する準備行動をとり、被害を軽減することができる。このように社会が警報に反応してリスクを軽減または回避するためにとる行動を「災害被害軽減力」と呼ぶ。実際に災害被害の軽減に貢献するような警報システムを設計するために、災害被害軽減力のダイナミクスを表現するモデルの開発が求められる。

警報システムと社会の相互作用に関する研究は盛んに行われている。Girons et al.[1]は、過去に受けた災害によって警報発令時の準備行動が定まると仮定し、災害被害の軽減における「災害直接経験」の働きを表現した。Sawada et al.[2]は、[1]のモデルに「警報への信頼度」を導入し、警報の的中、空振り、見逃しに応じて信頼度が変化すると定式化した。これにより「オオカミ少年効果」が表現され、警報への信頼度の重要性が示唆された。

一方 Wachinger et al.[3]は、準備行動の動機として、「災害直接経験」や「警報への信頼度」に加え、メディアの報道等によって他地域の災害に関する情報を得る「災害間接経験」の3つの要素が重要であると指摘している。

したがって、本研究の目的は、「災害直接経験」と「災害間接経験」、「警報への信頼度」の3要素を考慮して災害被害軽減力の動的な形成過程を表現するモデルを構築すること、及びそのモデルを用いた分析によって洪水警報システムの運用方法を検討することである。

## 2. モデル

本研究では、災害間接経験を考慮するにあたり、Sawada et al.の災害被害軽減力モデルをネットワークモデルに拡張し、複数の地域で構成される社会を表現した。このネットワークでは、各地域をノード、地域間の交流をリンクによって表す。

また本研究は、災害経験と同様に、他の地域に発令された警報の結果も信頼度に影響を与えると仮定した。本研究では、このような他地域との交流によって災害被害軽減力を構成する災害経験や信頼度が形成される効果を「地域間相互作用」として扱う。地域間相互作用はネットワーク上の経路を介して行われ、他の地域から受ける影響はネットワーク上での経路長に応じて小さくなるよう定式化した。

本研究では、異なる流域に存在する5つの地域で構成される社会を想定し、各地域を環状に配置した次数2の正則グラフ(図2(f))を分析の対象とした。

本モデルで扱う警報発令基準とは、流出量の確率予報分布における堤防超過確率が、この値に達した場合に警報を発令するという基準である。警報発令を安易に行うと、準備行動に伴うコストが生じる他、空振りの増加により信頼度が低下する。しかし、警報発令を抑制しすぎると、準備行動による被害の軽減ができず、見逃しの増加により信頼度が低下する。

以降の分析では警報発令基準をランダムに設定し、モンテカルロ法により社会的損失を最小化する警報発令基準を求める。

## 3. 結果

まず、全ての地域のインフラの整備水準が等しく、洪水の再現期間が25年の場合を想定してシミュレーションを行い、地域間相互作用の効果を分析した。

図1の縦軸は5つの地域全体の相対損失とスレットスコアを表し、横軸は警報発令基準を表す。相対損失は、警報システムを運用した場合としない場合の社会的損失の比であり、低い方が望ましい。スレットスコアは警報の精度を評価する指標で、高いほど精度が良いことを意味する。図中の各点は、500回行った各回のモンテカルロ計算の結果を表す。曲線はそれらをもとにガウス過程回帰によって相対損失を推定したものである。赤線、黒線はそれぞれ、地域間相互作用を考慮した本研究のモデル、相互作用を考慮しないモデルの相対損失を表し、紫線はスレットスコアを表す。

本モデルでは他地域の警報結果も信頼度に影響すると仮定したことで、地域間相互作用を考慮しないモデルと比較して、発令基準の変化に対して相対損失が大きく変化している(オオカミ少年効果が顕著に発現)。全ての地域で同様の結果が得られ、スレットスコアが高くなる発令基準において相対損失が低くなった。

次に、地域間でインフラ整備水準に格差がある場合を想定し、先程の設定からノード0と3の再現期間をそれぞれ2.5年、100年に変更した。図2は、各ノードの相対損失、スレットスコアと発令基準の関係である。

この場合、ノードによって地域間相互作用の効果(赤線と黒線の差)の大きさや、相対損失を最小化する発令基準に違いが見られた。また、ノード0, 1, 4では、スレットスコアを最大化する発令基準と本モデルの相対損失を最小化する発令基準に差があった。さらにノード1, 4では、地域間相互作用の有無によって相対損失を最小化する発令基準が異なっていた。

#### 4. 結論

地域間相互作用のもとではオオカミ少年効果が顕著に発現した(図1)。そのため、地域間相互作用を考慮することで、損失を最小化する警報発令基準をより精緻に求められる可能性がある。また、損失を最小化する発令基準は、その地域のインフラ水準やネットワーク上での位置に応じて異なり、スレットスコアを最大化する基準と一致しない場合もあることが分かった(図2)。したがって、警報精度の向上のみを目的として設定した発令基準では損失の軽減に貢献しない可能性があり、水害警報システムの設計に際して周辺地域の災害発生リスクや交流関係を考慮することの必要性が示唆される。

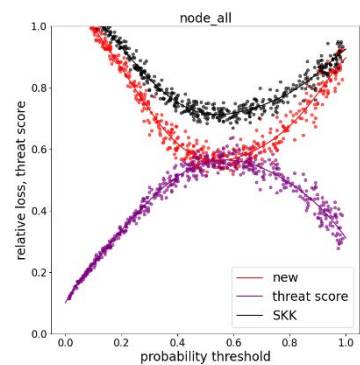


図1：警報発令基準と相対損失・スレットスコア

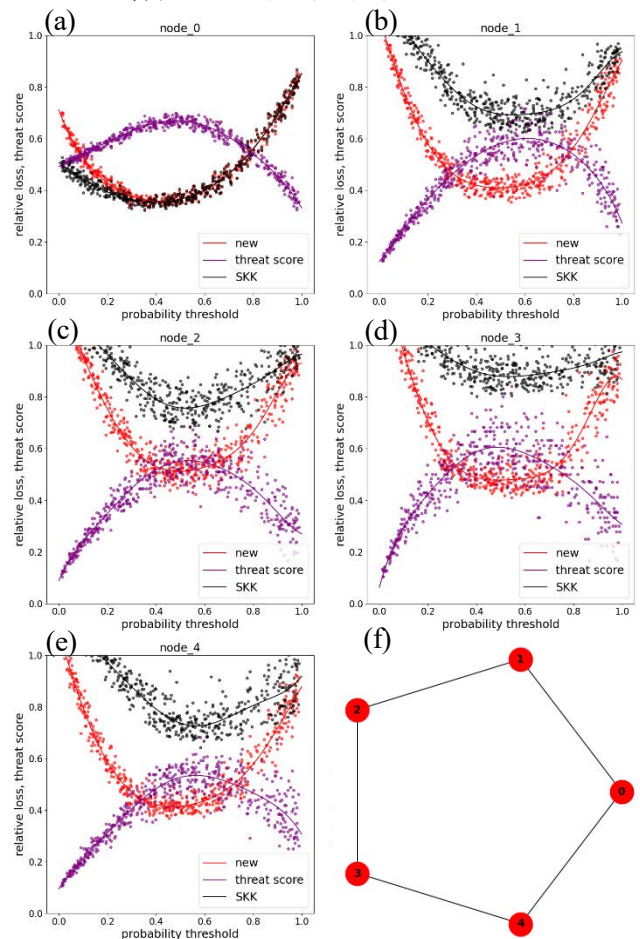


図2：各ノードの発令基準と相対損失・スレットスコア

#### 5. 参考文献

- [1] Giron Lopez, M., Di Baldassarre, G., & Seibert, J. (2017). Impact of social preparedness on flood early warning systems. *Water Resources Research*, 53, 522–534.
- [2] Sawada, Y., Kanai, R., & Kotani, H. (2021). Socio-meteorology: flood prediction, social preparedness, and cry wolf effects. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1-42.
- [3] Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., & Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox-implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Analysis*, 33(6), 1049–1065.