

データが乏しい諸国における簡便な洪水リスク指標の提案

: タイを事例として

Proposal of simple flood risk indicator in data-poor countries

: A case study of Thailand

都市人間環境学専攻 津田妃奈子

Hinako TSUDA

Key Words : flood risk assessment, vulnerability, hazard, global data, Thailand

1. はじめに

タイでは毎年のように洪水が発生しており、これまで多くの財産や人命が失われている。特に、2011年大洪水の被害は大きく、タイに進出していた日系企業も少なくとも550社が被害を受けた¹⁾。このような洪水リスクを回避するために、国や自治体独自の地理気候、経済、社会状況に応じたリスク指標の開発、周知は有効である²⁾。例えば、タイにおいては、Tanavud et al. (2004)³⁾によりタイ南部ハットヤイ市を対象とした洪水リスクが評価されたり、Udnoon et al. (2022)⁴⁾がファジー集合論を適用した洪水脆弱性評価指標を開発したりしている。しかし、タイを始めとした中進国や開発途上国においては、国全土を対象とした独自のリスク指標というものは存在しないことが多く、指標開発のためのデータも乏しい。そこで、本研究ではそのような諸国において、洪水対策や都市計画に活用させるだけでなく、保険市場や海外から進出した企業等の裨益となることを目的として、まずはタイを対象に、オープンデータを用いた簡便な洪水リスク指標を開発した。

2. 洪水リスク指標

本研究における洪水リスク(R)は、ISDR (International Strategy for Disaster Reduction)の定義⁵⁾を参考に、式(1)のように、洪水ハザード(H)と洪水脆弱性(V)を用いて算出した。

$$R = H \times V \quad (1)$$

ここで、ハザード(H)は洪水という危険源の発生頻度を表し、脆弱性(V)は曝露(洪水への遭遇度合い)と感受性(被害対象の洪水に対する弱さ)が含まれる。そして、算出されたリスク(R)は、ある社会における潜在的な洪水による損失の確率を表している。

3. 分析方法

図-1に、本研究における洪水リスク算出までのプロセスを示す。

まず、タイ全土をカバーしており、かつ入手可能なオープンデータである、浸水域、人口、河川、降水量、標高、土地利用、水文観測所数、GPPデータを収集した。表-1に、使用した全データの詳細を示す。このとき、データは2019年が最新とし、2019年のデータが存在しない場合は、2019年に最も近い年のデータを

収集した。

次に、タイ全土にかかる1 kmメッシュポリゴンに、それぞれのデータを分割することで、各メッシュにおいてデータを階層化した。以下(1)(2)に、各データの詳細及び分析方法、1 kmメッシュへの分割方法を説明する。

(1) 洪水ハザード(H)項目の分析方法

a) 浸水域データ

浸水域データには、タイ地理情報宇宙技術機構(GISTDA: Geo-Informatics and Space Technology development Agency)が提供している Thailand Flood Monitoring System の2005~2019年までのデータを用いて、15年分の浸水域を

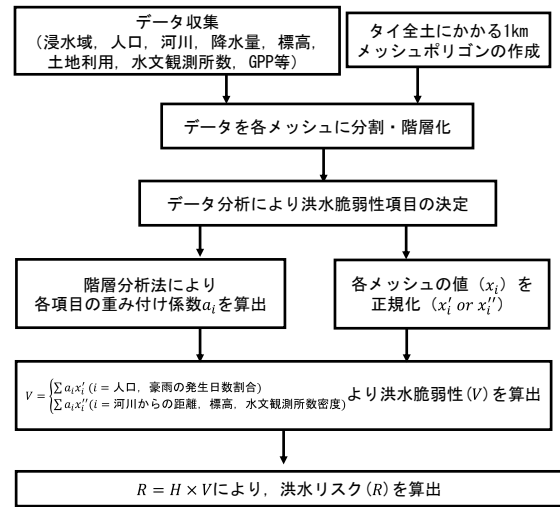


図-1 洪水リスクの算出プロセス

表-1 使用した全データの詳細

Data	Data name	Organization	Period	Format (resolution)
Inundation area data	Thailand Flood Monitoring System	Geo-Informatics and Space Technology Development Agency	2005-2020	Polygon data
Population data	LandScan Global	Oak Ridge National Laboratory	2019	Raster data (30 arc sec)
Daily precipitation data	Automatic Weather System	Thai Meteorological Department	2009-2019	Excel data
Elevation data	MERIT DEM	Yamazaki Lab, University of Tokyo		Raster data (5 arc sec)
Urbanization	Land use in Thailand	The Provincial Land Development Department, Thailand	2010-2013, 2015-2016	Polygon data
Hydrological observatory data	Agrometeorological Station or Weather Observing Station	Thai Meteorological Department and Royal Irrigation Department		Point data
GPP data	Gross Regional and Provincial Product, Chain Volume Measures	Office of the National Economic and Social Development Council	2019	Excel data (Province)

重ね合わせ、浸水回数を算出した。浸水回数を 1 km メッシュに割り振る際は、脆弱性評価の観点からそのメッシュにかかる最大浸水回数域の浸水回数をそのメッシュの浸水回数と評価した。そして、ハザード(H)の項目である洪水発生確率の算出には、この浸水回数を割合にして使用した。途上国においては、氾濫解析や洪水発生確率算出に使用できる長期的なデータがなかったり、存在したとしても精度が良くなかったりするため、限られたデータから確率を算出するよりも実現象を基にしたデータを使用することで、より現実に沿った洪水リスク評価が可能であると考えたためである。

(2) 洪水脆弱性(V)項目の分析方法

a) 人口データ

人口データには、2019年の Oak Ridge National Laboratory の Land Scan データを用いた。このデータは約 1 km の空間分解能で全球をカバーした人口分布データだが、この 1 年毎のデータは人々の居住地ではなく、1 日を通して人々がどこにいる可能性が高いかを表している。データをポイントデータに変換し、各メッシュに含まれる人口の合計をそのメッシュの人口と評価した。

b) 降水量データ

日降水量データには、Thai Meteorological Department (TMD)が提供している Automatic Weather System (AWS)の地点雨量データを用いた。洪水を発生させる可能性がある短期的な豪雨の影響を評価に含めるために「豪雨(>100 mm/d)の発生日数割合(2009~2019年)」を降水量の項目として定義した。そして、データをティーセン分割し、各ティーセンポリゴンに含まれる 1 km メッシュ全てにそれぞれの「豪雨の発生日数割合」を適用した。

c) 標高データ

標高データには、東京大学の山崎研究室が提供している MERIT DEM を使用した。約 90 m 解像度の標高データを 1 km メッシュ化する際は、標高データをポイントデータに変換し、脆弱性評価の観点からそのメッシュにかかる最小の標高をそのメッシュの標高とした。

d) 土地利用データ

タイ土地開発局(LDD: The Provincial Land Development Department)の 2010~2013年と 2015~2016年の土地利用データから、それぞれ都市域を抽出した。各 1 km メッシュにかかる都市域の面積を算出し、変化率をそのメッシュの都市化の値とした。

e) 水文観測所数データ

タイの王立灌漑局(RID: Royal Irrigation Department)の水位観測所と、TMD の雨量観測所のポイントデータを統合して、水文観測所とした。流域ごとに流域面積に対する水文観測所数の割合を算出し、流域内のメッシュ全てにその値を適用した。

水文観測所数が少ないと治水対策や緊急時に使用する

表-2 本研究における洪水リスク評価項目と重み付け係数

		項目	要因	重み付け係数 a_i
H		洪水発生確率	環境	
V	曝露	人口	社会	0.364
		河川からの距離	物理	0.057
		標高	物理	0.419
		豪雨の発生日数割合	環境	0.089
	感受性	水文観測所数の密度	社会	0.071

る水文データの整備が不十分であることが考えられ、社会として災害への備えや早期警報ができていない可能性が考えられる。つまり、水文観測所数は社会の洪水に対する対処能力の程度を示している。

f) GPP データ

GPP は、タイの国家経済社会開発会議事務局が提供している 2019 年のデータを用いた。タイの県地図のシェープファイルと GPP データを連携させ、県内のメッシュ全てに各県の GPP を適用した。このとき、GPP の値が大きいほど、洪水対策に投資する金額も大きいと仮定し、洪水が起きた時の感受性が低いとした。

g) 河川からの距離

タイ全土にかかる 1 km メッシュそれぞれにおいて、河川との最近接距離を算出した。使用した河川網データは RID から提供を受けたデータであり、なお本研究においては本川のみを対象としている。

(3) データ分析による洪水脆弱性項目の決定

(2)のように各メッシュにデータを分割・階層化した後は、これらの各データと(1a)で算出した浸水回数との相関分析を行い、浸水回数との相関が高いデータを抽出した。|相関係数| < 0.01 または p 値 > 0.05 のデータを除外した結果、残りの「人口」「河川からの距離」「標高」「豪雨の発生日数割合」「水文観測所数の密度」を本研究における洪水脆弱性項目とした。

(4) 階層分析法による重み付け係数 a_i の算出

(3)で決定した各脆弱性項目の重み付け係数の算出には、階層分析法(AHP: The Analytical Hierarchy Process)を用いた。AHPは、半定量的な意思決定手法であり、これまでも洪水リスク評価の重み付け係数の算出に使用されてきた⁶⁹⁾。本研究では、Goepel (2013)⁸⁾による AHP Excel Template Version 2018-09-15 を使用して、各項目の相対的な重要度を割り当てた後、Consistency Ratio (CR) が 0.01、つまり 0.1 以下であり整合性があることを確認した。このように算出した重み付け係数 a_i と(3)で決定した項目を表-2 にまとめた。

(5) 洪水リスク(R)の算出方法

次に、(2a)~g)で算出した脆弱性に関する値を次式(2)のように最小値 0~最大値 1 にスケールし、指標化し

た。元々の値を x_i 、正規化した値を x'_i とする。

$$x'_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (2)$$

このとき、「標高」「河川からの距離」「水文観測所数の密度」の項目は、次式(3)のように正規化した値を1から減算した。正規化した値を x'_i 、計算結果を x''_i とする。

$$x''_i = 1 - x'_i \quad (3)$$

このように、正規化した値を1から減算することで、全ての項目において指標化した値は、値が大きいほど脆弱性が高いことを示すように設定した。

そして、指標化した値に各重み付け係数 a_i を掛け合わせ、次式(4)のように足し合わせることで、各メッシュにおける洪水脆弱性(V)を評価した。

$$V = \begin{cases} \sum a_i x'_i & (i = \text{人口, 豪雨の発生日数割合}) \\ \sum a_i x''_i & (i = \text{河川からの距離, 標高, 水文観測所数の密度}) \end{cases} \quad (4)$$

指標化と重み付けをした各脆弱性項目($a_i x'_i$ or $a_i x''_i$)のタイ全土における分布を図-2に示す。

最後に、式(1)で示したように、式(4)で算出した洪水脆弱性(V)に浸水域データから算出した15年間の洪水発生確率(H)を掛け合わせることで、洪水リスク(R)を算出した。なお、過去15年間浸水が発生しなかった地域においては、洪水発生確率が0ではなく、微小な洪水発生確率であると仮定し、洪水ハザード(H)は次式(5)のように定義した。

$$H = \frac{(\text{浸水回数} + 0.1)}{15} \quad (5)$$

4. 結果と考察

(1) 算出した洪水ハザード、脆弱性、リスクについて

図-3は、タイ全土における洪水ハザード(図-3(a))、洪水脆弱性(図-3(b))、洪水リスク(図-3(c))の分布である。図-3(d)は、洪水リスク評価の中で「微小なリスク値 $\leq 1\%$ ($\approx \frac{0.1}{15} \times 100$)」を定義した時の、微小なリスク値のみ(図-3(c)白色部分)を描画した分布である。図-3で示すように、洪水ハザード、洪水脆弱性ともにチャオプラヤー川流域や、タイ東北部に位置するムン、チー

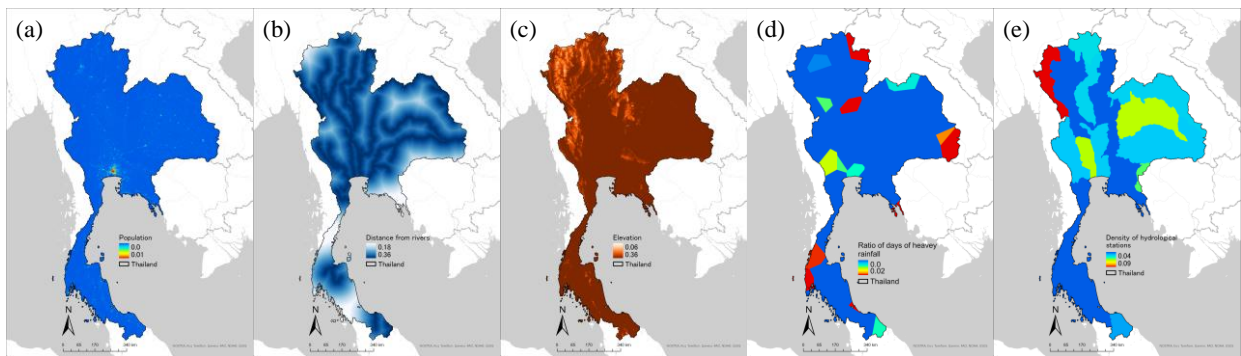


図-2 指標化と重み付けをした各脆弱性項目のタイ全土における分布
(a)人口, (b)河川からの距離, (c)標高, (d)豪雨の発生日数割合, (e)水文観測所数の密度

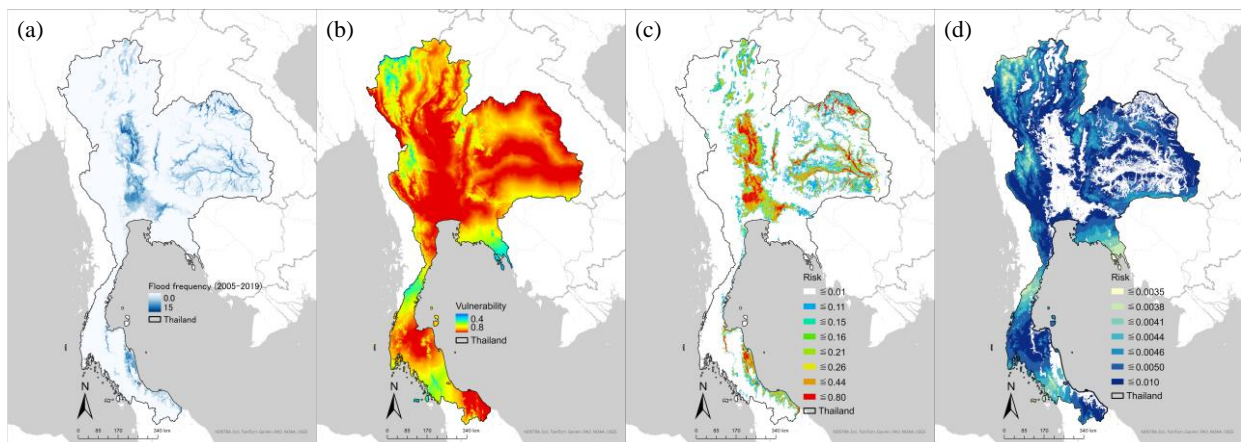


図-3 タイ全土における(a)洪水ハザード, (b)洪水脆弱性, (c)洪水リスク, (d)1%以下のリスク値部分の拡大

川流域における値が高くなっている。また、洪水リスクはタイ中部のチャオプラヤー川上流域やタイ東部のラオスとの国境付近に位置するメコン川流域において最も高い値を示している。さらに、1%以下のリスク値のみに着目した結果、過去15年間で浸水が発生しなかった地域の中でも、リスク値が高い地域の周辺地域や、脆弱性が高いバンコク付近やタイ南部で比較的值が高い傾向にある。つまり、これまで浸水が発生しなかった地域の中でも、今後も洪水リスクが0に近い地域と、微小ではあるがある程度のリスクが存在する地域に分かれている。

一方で、各分布を比較すると、本研究における洪水リスク評価は洪水ハザードの値が与える影響が大きいことが明らかである。例えば、人口が多く、河川からの距離も近いことから脆弱性評価においては高い値を示したバンコク中心部が、洪水リスクにおいては微小な値を示している。これは、キングスダイク等の盛土や堤防道路が、重要な施設や文化財が多く存在するバンコク中心部を洪水から守っており、浸水経験が少ないためであると考えられる。このように、特にデータ整備が十分でない諸国において、実現象を基にしたデータから算出した洪水ハザードを使用することで、詳細かつ指標化が困難な要素を洪水リスク評価に組み込むことができ、実現性の高い評価が可能である。

2) 本研究の洪水リスク評価手法の検証

本研究で提案した洪水リスク評価手法の確からしさを示すために、前述の通り2019年までのデータを使用して算出した当該洪水リスクと2020年の浸水域データを比較した。図-4は1 kmメッシュ化した2020年の浸水範囲と浸水範囲のリスク値（1%以下のリスクを除く）の頻度分布である。2020年は、主にバンコク東北部や南部において洪水が発生した。

この2020年の浸水域において、事前に算出された洪水リスクが1%以下のリスク値でなかったメッシュ数の割合は、89.1%であり、浸水域の約9割はある程度の洪水リスクが存在することが予測できていた。また、浸水範囲の中には、リスク値が0.7~0.8の高リスク地域も含まれており、本研究における洪水リスク評価はある程度の確からしさがあるといえる。

5. まとめ

本研究では、洪水対策や都市計画だけでなく保険市場や海外から進出した企業の裨益となることを目的として、タイ全土を対象に、データ整備が十分でない諸国においても適用可能なオープンデータを使用した洪水リスク指標の提案を行った。

その結果、洪水ハザード、脆弱性、リスク評価ともに、チャオプラヤー川上流域（ナコンサワン上流）における値が最も高い結果となった。また、本研究にお

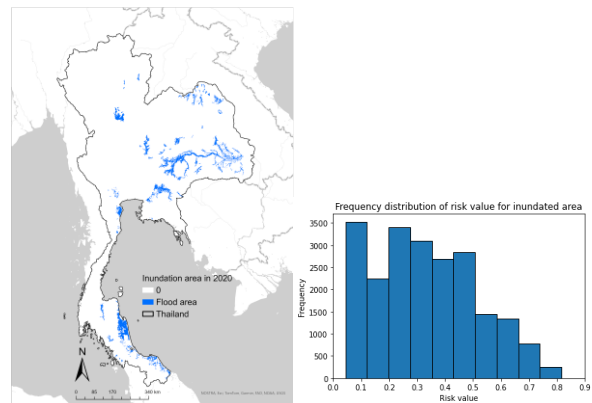


図-4 メッシュ化した2020年の浸水範囲（左）と浸水範囲のリスク値（1%以下のリスク値を除く）の頻度分布（右）

ける洪水リスク評価はハザードの影響を大きく受けるため、推定値ではなく実際の事象に基づいたデータをハザード算出に使用する重要性が示唆された。また、2020年の浸水範囲と2019年までのデータを使用して算出した洪水リスクを比較した結果、浸水域の89.1%はある程度の洪水リスクが存在することが予測できており、本提案の確からしさが示された。

参考文献

- 1) 玉田芳史, 星川圭介, 船津鶴代: タイ 2011 年大洪水——その記録と教訓——, pp. 73-96, 日本貿易振興機構アジア経済研究所, 2013.
- 2) UNISDR: Hyogo Framework for Action 2005-2015 Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, pp. 21-34, 2005.
- 3) Tanavud, C., Yongchalerchai, C., Bennui, A. and Densreeserekul, O.: Assessment of flood risk in Hat Yai Municipality, Southern Thailand, using GIS, *J. nat. disaster sci.*, Vol. 26, No. 1, 2004.
- 4) Udnoon, S., Pilailar, S. and Chittaladakorn, S.: Evaluation of Bangkok Flood Vulnerability Index Using Fuzzy Inference System, *KSCE J. Civ. Eng.*, Vol. 26, No. 2, 2022.
- 5) UNISDR: Terminology on Disaster Risk Reduction, 2009.
- 6) Shuaibu, A., Hounkpe, J., Bossa YA. and Kalin RM.: Flood Risk Assessment and Mapping in the Hadejia River Basin, Nigeria, Using Hydro-Geomorphologic Approach and Multi-Criterion Decision-Making Method, *Water*, Vol.14, 3709, 2022.
- 7) Ikirri, M., Faik, F., Echogdali, FZ., Antunes, I., Abioui, M., Abdelrahman, K., Fnais, MS., Wanaim, A., Id-Belqas, M., Boutaleb, S., Sajinkumar, KS. and Quesada-Roman, A.: Flood Hazard Index Application in Arid Catchments: Case of the Taguenit Wadi Watershed, Lakhssas, Morocco, *Land*, Vol. 11, 1178, 2022.
- 8) Goepel, KD.: Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making in Corporate Enterprise-A New AHP Excel Template with Multiple Inputs, *Proceeding of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kuala Lumpur*, 2013, DOI: <https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>.