

個人の自然災害リスク評価指標に関する一考察

三浦瑞貴¹・上坂大輔²

¹ 非会員 株式会社 KDDI 総合研究所 (〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原二丁目 1 番 15 号)
E-mail: xnz-miura@kddi.com (Corresponding Author)

² 非会員 株式会社 KDDI 総合研究所 (〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原二丁目 1 番 15 号)
E-mail: da-kamisaka@kddi.com

災害時に一人ひとりが災害リスクを正しく理解し、行動する上では、自然災害リスクの評価が重要である。自然災害リスクは国連防災機関をはじめとして、各国で指標化が進められてきた。しかしながら、これらの取り組みは、国や都道府県・市町村を対象としており、個人を対象としたものではない。また、従来指標を単純に個人に置き換えればよいというものでもない。そこで、本研究では、自然災害リスク評価の中でも、個人に係る部分の大きい脆弱性評価指標に焦点を絞り、既存研究の評価項目を整理した上で、既存指標内には内包されない要素を特定した。具体的には、2000年～2022年までの23年間の自然災害の指標に関する論文にトピックモデルを適用して、トピックを定量的に抽出した。抽出されたトピックから、今後、個人における自然災害リスク評価指標を検討する上では、個人の環境だけでなく心理面も考慮した指標化を検討する必要があることが明らかとなった。

Key Words: national disaster risk, individual, risk assessment, vulnerability, topic model

1. はじめに

災害時に迅速かつ適切に行動し被害を最小限にするためには、平時からの一人ひとりの防災意識が重要である。内閣官房国土強靱化推進本部^{注1)}が定める「国土強靱化基本計画」の中では、6つの目標の一つ「あらゆる自然災害に対し、直接死を最大限防ぐ」(目標1)において、公的な救助・支援が到達するまでの間、一人ひとりが災害リスクを正しく理解し、行動することの重要性が示されている^{注2)}。また、2015年に開催された第3回国連防災世界会議における仙台防災枠組2015-2030^{注3)}においても、公的機関だけでなく個人も防災に責任を負うべきであることが明確に示されている。さらに、災害に対する曝露(exposure)及び脆弱性(vulnerability)を低減させ、応急対応及び復旧への備えを強化し、強靱性を確保するという目標を達成するためには、広範かつ人間中心の予防的アプローチを取るべきであることが示されている。

しかしながら、日本では毎年何らかの自然災害が発生しているにも関わらず、個人の防災対策は十分であるとは言えない^{注4)}。令和3年版国土交通白書^{注4)}によれば、直近2～3年に行っている自然災害への対策について、何もしていないと回答した人は全体の39.5%で、そのうち、被災経験の無い人に限ると、その率は44.4%となると報告されている。

個人が自主的に災害に対する備えを行い、平時から防災意識を醸成していくためには、自然災害リス

クを適切に評価するための指標が重要である。自然災害リスクは、国連防災機関(UNDRR; United Nations Office for Disaster Risk Reduction)^{注5)}などによって、各国の要素を取り入れながら、指標化が進められてきた^{注2)}。日本国内では、自然災害に対するリスク指標 Gross National Safety for Natural Disasters (GNS)^{注3)}による47都道府県の自然災害リスクの指標化が試みられている^{注4)}。また、海外の指標としては World Risk Index (WRI)^{注6)}や National Risk Index (NRI)^{注7)}がある。これらの取り組みは、防災意識の醸成に重要な役割を果たす一方、国や州を対象としており、個人における自然災害のリスクを対象としたものではない。実際には、同じ地域に住んでいても、移動や滞在の場所は様々であり、ユーザーごとに災害リスクは異なると考えられる^{注5)}。また、これらの従来指標を単純に個人に置き換えられるかという点、そう簡単なものではない。

本研究では、既存研究の中でも脆弱性に関する指標に焦点を絞って複数指標を整理し、さらに、既存指標には含まれない要素をより広範なデータから探索することで、個人における自然災害リスク評価指標を検討する。具体的には、2000年～2022年までの約23年間の自然災害の指標に関する論文にトピックモデルを適用して、トピックを定量的に抽出、分析する。

以下、第2章では関連研究を整理する。第3章では自然災害の指標に関する論文データに対して、トピックモデルを適用した分析手法について説明する。

第 4 章ではデータセットを示した上で、抽出されたトピックから既存指標には含まれない要素を特定する。第 5 章で考察を述べ、第 6 章で本研究の結論と今後の課題を述べる。

2. 関連研究

(1) 自然災害リスクの指標化における関連研究

自然災害において「リスク」という言葉は、貴重なものを失う可能性、生命への損害、怪我、およびその他の否定的な可能性の脅威を表すものとして定義されている²⁾。「リスク指標」としての概念については、1979年に UNDRR の前身である国連救援機関(UNDRO)と国連教育科学文化機関(UNESCO)によって提案されたが^{注 8)}、その後も様々な指標が提案され続けており、未だ統一的なものは存在しない。例えば、Cardona は UNDRO が作成したリスク指標の概念を一般化し、リスクを災害の結果として損失が発生する確率として定式化した⁶⁾。Birkmann は、リスクを自然現象と脆弱な状態の相互作用による損失を引き起こす壊滅的な出来事の可能性として定義し⁷⁾、自然災害リスクを文化的、環境的、社会的、経済的側面に悪影響を与えるものとして、脆弱性を加味した指標を提案した⁸⁾。これらの考え方が、現在における UNDRR Report (Technical guidance), World Risk Index (WRI), Natural Risk Index (NRI)などの指標に反映されている。

ある対象地域の自然災害に対するリスクは、式 1 のような多変数関数で評価されていることが多い²⁾。

$$Risk = \sum (Hazard \times Exposure) \times \sum (Vulnerability) \quad (1)$$

主要指標は、自然災害リスク(Hazard)、自然災害に晒されている度合である曝露量(Exposure)、自然災害に対する脆弱性(Vulnerability)で構成される。自然災害リスクは災害そのもののリスクの大小を示し、例えば GNS³⁾では、対象とする災害が将来発生する確率をポアソン分布等に基づき市町村単位で数値化したものである。曝露量は、対象地域の全人口に対して災害に晒される地域に居住する人口がどれくらいいるのかで定義されている。脆弱性とは、同じ自然災害に遭った場合でも人によって高リスクまたは低リスクになる要因を定義しており、世帯年収、家屋の堅牢性、地域におけるインフラ整備率などが含まれる⁹⁾。

しかしながら、これらは個人における自然災害リスクを指標化したものではない。また、曝露量は、対応する災害種類と地域の粒度に差こそあれ、同じ対象地域に居住する個人は等しく曝露する。しかし、脆弱性については、本来、個人の属性(年齢・性別・家族構成・経済的社会的立場等)によって大きく異なると考えられる。また、既存指標においても指標内の評価項目(副指標)の選定に独自性が現れやすい。そこで、自然災害リスク評価の中でも、個人に係る部分の大きい脆弱性評価に焦点を絞り、関連研究を整理する。

(2) 脆弱性評価の指標化における関連研究

脆弱性の指標は、各研究がそれぞれ独自の用語を適用するなどし、時間とともに進化してきた¹⁰⁾。Impacts, Adaptation and Vulnerability (IPCC) Assessment Reports^{注 9)}の最初の報告書によると、脆弱性の概念は、主に健康、安全、食料安全保障によって決定され、人間の社会経済的幸福に対する脅威を評価するために使用されていた¹¹⁾。その後、第 3 回の IPCC Assessment Report で、自然災害の脆弱性を含むよう範囲を拡大した¹²⁾。第 5 回の IPCC Assessment Report では、脆弱性は「危害に対する感受性(susceptibility)、適応能力の欠如(lack of capacity)など、さまざまな概念や要素が含まれ、富、社会的地位、性別などの幅広い要因がリスクへの曝露を決定する」と定義されるようになり¹³⁾、現在の脆弱性の定義には、様々な要素が含まれることとなった。例えば、Costa and Kropp¹⁴⁾をはじめとするハザードリスクの研究者は、脆弱性を外部ストレス、脅威、気候変動からのショックによる曝露という観点から定義し¹⁵⁾、Birkmann¹⁶⁾をはじめとする気候変動の研究者は、脆弱性における災害の影響予測、対処、影響から回復する能力を強調しており¹⁴⁾、一元的な指標がある訳ではない。

脆弱性の指標化にあたり、個人の属性が無視されているかといえば、そのようなことは無い。脆弱性について、Cutter and Finch は、「自然災害に対する人口の感受性と、災害の影響に対応して回復する能力の両方の尺度である」と提案しており¹⁷⁾、Fußsel は「個人、グループまたはコミュニティが、生計と幸福にかかる外的ストレスに対処し、適応する能力の欠如」と定義している¹⁸⁾。さらに、Schellhuber et al. は、differential social vulnerability という新たな指標を提案しており、「1 つの場所にいるさまざまな個人や社会集団が晒されている気候ストレスから被る可能性のあるさまざまな程度の悪影響」と定義している¹⁹⁾。これは内的(個人固有)および外的要因に沿って区別することができ、内的なものとしては、人種と民族性、性別、年齢、宗教、障害および健康状態を挙げており、外的なものには、社会経済階級、住宅種類、資産、社会的ネットワークへのアクセス、教育、文化的知識、政治権力も含まれる²⁰⁾。しかしながら、これらの個人属性は各国や州の統計的な数値に基づくものであり、その結果を各個人に反映させることは難しい。

(3) 脆弱性評価項目の比較整理

現在、自然災害リスクを定量評価する試みは各国で行われており、脆弱性評価においても多数の評価アプローチが開発されている。その中でも代表的な指標である WRI と NRI は、関連研究の定義および思想をよく反映している。WRI は、Ruhr University Bochum (Institute for International Law of Peace and Armed Conflict (IFHV))を中心とした欧州

の複数の研究機関によって開発されたリスク評価指標であり、自然災害の他にも地域紛争、飢餓や貧困といった社会問題に対しても扱っている広範な指標である。対象は国単位となっており、脆弱性を外部脅威のショックによる曝露という観点から定義しており、リスクは式 1 と類似した形で単純に曝露量(Exposure)と脆弱性(Vulnerability)によって評価される(式 2)。ここでの脆弱性は、感受性(Susceptibility)、対処能力の欠如(Lack of Coping Capacity)、適応能力の欠如(Lack of Adaptive Capacity)で構成されている²¹⁾。曝露量(Exposure)と脆弱性(Vulnerability)は幾何平均(相乗平均)となっており、算術平均(相加平均)に比べて、次元が異なる要素を組み合わせることに適したものとなっている。

$$Risk = \sqrt{Exposure \times Vulnerability} \quad (2)$$

一方、NRI は、米国の Federal Emergency Management Agency (FEMA) によって開発されたリスク評価指標であり、自然災害のみを扱っている。対象は米国のみであり、各州・郡および国勢調査などからデータを集積し、リスクを算出している。NRI では、自然災害に対するリスクを式 3 のように定義している²²⁾。Expected Annual Loss (EAL) は、自然災害による毎年の平均経済損失(ドル単位)を指す。EAL は災害の種類ごとに計算され、関連する結果の種類の損失のみを計上するようになっている。また、WRI とは異なり、脆弱性とともに対となる回復性(Resilience)を採用していることを特徴とする。これは、Cutter and Finch¹⁶⁾と同様、社会的脆弱性を自然災害に対する感受性と回復という両方の尺度から捉えているためである。

$$Risk = \frac{ExpectedAnnualLoss \times SocialVulnerability}{CommunityResilience} \quad (3)$$

Social Vulnerability と Community Resilience については、University of South Carolina's Hazards and Vulnerability Research Institute (HVRI) がデータを提供する Social Vulnerability Index (SoVI)¹⁰⁾ と Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC)¹¹⁾を用いている。なお、SoVI は社会の脆弱性を測る指標として単独でも機能し、近年では新型コロナウイルス禍の脆弱性評価としても用いられている²³⁾。

WRI と NRI は、類似する評価軸でも、使用するデータには、いくつかの違いがある²⁴⁾。例えば、Housing conditions だが、これは NRI の Infrastructural Resilience 内の Sturdier housing types とは異なり、スラムに住む人口割合から壊れやすい住宅の割合(耐震性)を推定している。また、Lack of adaptive capacity 内にある Ecosystem protection などは、水資源や森林管理が含まれており、これらは個人・地域単位での対応が難しいため、統計化された数値を用いている。

WRI と NRI のリスク指標は、国・州・郡を通して

の防災意識の醸成に重要な役割を果たす。一方で、個人ごとに自然災害リスクを定量評価する試みは、関連研究では未だ十分に行われていない。また、既存指標は、個人の範囲を超える副指標や、統計的な数値も用いていることから、個人における自然災害リスク評価指標を考える上では、従来指標を個人に置き換えるだけではなく、従来指標には無い要素も含め、漏れなく検討する必要がある。そこで本研究では、“disaster” “Index”に関する論文のタイトル・要旨・キーワードを用いて、直接引用ネットワークによるクラスタリングを行った上で、各クラスタの論文群に対してトピックモデルを適用し、既存指標と照らし合わせることで、既存の評価項目に不足する要素を特定し、個人の自然災害リスク評価指標について考察する。

3. 分析手法

本研究での分析手法は、(1)データ抽出、(2)論文間の直接引用ネットワークの構築、(3)クラスタリング、(4)トピックモデル構築、(5)既存指標との対応検証、の 5 ステップから構成される。以降でそれぞれのステップの詳細について説明する。

データ抽出では、18,000 以上のジャーナルと会議事録をカバーする書誌情報のデータベースである Web of Science¹²⁾から論文データを取得した。具体的には、“disaster* and index*”をクエリとして、2000 年～2022 年で該当する論文を検索した。これにより、論文のタイトル、要旨、キーワードのいずれかに“disaster” “Index”で始まる単語をいずれも含む論文を抽出することができる。ただし、これだけでは調査に直接関連しない論文も多く含まれるため、論文内(タイトル、要旨、キーワード)には問わないに“disaster” “Index”の両方が含まれる論文のみを再抽出した。

次に、抽出された論文群に含まれるトピック同士の関係性をより明確に示すため、各論文末尾の参考文献に着目し、論文同士の参照割合に基づいて引用ネットワークを構築した。具体的には、2 つの論文の一方が他の論文を参照している場合、2 つの論文間に直接的なつながりを確立する。これは、Intercitation または直接引用とよばれ、共引用²⁵⁾や書誌的結合²⁶⁾などの他のリンケージ手法と比較しても、より正確な表現を引き出すとされる²⁷⁾。直接引用ネットワークでは、最も密につながっている最大の連結成分を抽出する。

つづいて、トポロジカルアルゴリズムに基づくクラスタリングにより、密に接続された論文のクラスタを識別する。クラスタは式(4)のように定義される。

$$Q = \sum_{s=1}^N \left[\frac{l_s}{l} - \left(\frac{d_s}{2l} \right)^2 \right] \quad (4)$$

ここで、 N はクラスタの数、 l_s と d_s はそれぞれクラスタ s 内のリンクの数とノードの次数の合計である。

このアルゴリズムでは、クラスタ数 N は自動的に決定される。クラスタリング後、各クラスタには最も引用された論文のキーワードが暫定的にラベル付けされる。なお、クラスタは階層構造となっている。

その後、トピックモデルの構築を行った。まず、各クラスタの論文群に含まれるタイトル、要旨、キーワードに対して形態素解析を行い、名詞のみを抽出した。トピックモデルの構築には、既存研究に倣い、KHCoderを用いる²⁸⁾。論文には専門用語を多く含むため、標準辞書を適用すると必要以上に単語が区切られることから、単語の接続頻度に基づいて複合語を検出する機能を用いて複合語リストを作成し、接続頻度の高い単語を再結合した。例えば、“Social Vulnerability Index (SoVI)”は、標準辞書では“Social”、“Vulnerability”、“Index”と、単独での頻度となるため、これらは複合語リストを作成して再結合している。トピックモデルでは、トピックが単語の集合で表現され、それぞれの単語は複数のトピックの構成要素となる。また、文書は複数のトピックを有する。単語行列を M とすると、その各行 M_k は、トピック k の構成単語のカウント情報からなる特徴ベクトルを表す。トピック k と k' の類似度は、 M_k と $M_{k'}$ の成す角度から得られ、式(5)のように示される。

$$\cos\theta_{kk'} = \frac{M_k \cdot M_{k'}}{|M_k||M_{k'}|} \quad (5)$$

トピックモデルの推定時に設定するトピック数は、既存研究³¹⁾³²⁾に倣い、モデルの尤度を基準として、最大値を与えるトピック数を探索した。抽出した各トピックは、単語別の出現数を単位とする重みを持つ。本研究では、暫定的にラベル付けされたものを、重み付けされた最頻出の単語順に置き代えている。なお、トピックモデルを用いて膨大な論文データから研究トレンドを整理・抽出する分析手法は、関連学会でもよく用いられており、都市計画学会論文集²⁹⁾、Transportation Researchの研究論文データ²⁹⁾³⁰⁾、土木計画学の研究トピックの変遷³¹⁾³²⁾に事例がある。

最後に、類似度が高いクラスタ群ごとにひとまとめになった分類（上位の階層のクラスタ）に対して、既存指標の自然災害リスク (*Hazard*)、曝露量 (*Exposure*)、脆弱性 (*Vulnerability*) と回復性 (*Resilience*) の単語を含むかを判定し、ラベリングを行った。

4. 分析結果

(1) トピックモデルの構築結果

3章の手順により、論文 4,378 件が抽出され、直接引用ネットワークのクラスタリングの結果、28 クラスタ（ノード 1,832、エッジ 3,643）が得られた。クラスタリングが完了した論文群への形態素解析により取得された、25,087 単語（ユニーク語）、1,991,132 語についてトピックモデルを適用した結果、840 トピックを得た。抽出されたトピ

ックを表 1 に示す。曝露量と脆弱性に関する指標が混在していることがわかる。

(2) 既存指標との照合結果

既存指標内では分類が困難なトピックを特定するため、抽出された 28 クラスタを既存指標と照合しつつ、A, B, C, D, E の 5 つに分類した。

具体的には、クラスタ内のトピックが、自然災害リスク (*Hazard*)、曝露量 (*Exposure*) を含むかを判定する。WRI (“Earthquake”, “Tsunami”, “Cyclone”, “Coastal Flooding”, “Riverine Flooding”, “Drought”, “Sea-levelrise”), NRI (“Avalanche”, “Coastal Flooding”, “Cold Wave”, “Hail”, “Heat Wave”, “Hurricane”, “Ice Storm”, “Landslide”, “Lightning”, “Riverine Flooding”, “Strong Wind”, “Tornado”, “Tsunami”, “Volcanic Activity”, “Wildfire”, “Winter Weather”) の自然災害で構成されている。含んでいた場合は、分類 A (*Hazard*, *Exposure*) とラベリングする。

次に、WRI と NRI の副指標カテゴリに関する語を含んでいた場合、分類 B (*Vulnerability*, *Resilience*) とラベリングする。個々の副指標で判定を行わなかったのは、副指標には“Older”, “English”のように、指標とは限らない単語を含む場合があるためである。（付録）

表-1 クラスタごとに抽出されたトピック

クラスタ	トピック
1	SVI (SOVI), Social Vulnerability Index
2	SPI (SPEI), Standardized Precipitation Index
3	FSM, Flood Susceptibility Map
4	Resilience index, Disaster Resilience Index
5	Psychology, Ptsd
6	LVI, Livelihood Vulnerability Index
7	LSM, Landslide Susceptibility Map
8	VCI, Vegetation Condition index
9	Economic resilience, Tourism
10	BMI, Body Mass Index
11	SWI, Soil Water Index
12	Animal husbandry, Drought
13	CVI, Coastal Vulnerability Index
14	SRI, Seismic Resilience Index
15	HIS, Hospital Safety Index
16	Flood mapping, Inundation
17	Robustness index, Infrastructure
18	CEV, Coastal Erosion Vulnerability
19	EPI, Extreme Precipitation Index
20	Weather index, Insurance
21	Psychological preparedness, Self efficacy
22	Recovery index, Armed conflict
23	Recognition, Emergency information
24	Bursting liability, Water inrush
25	multidimensional poverty index, Manmade disaster
26	Drought index, Drought Susceptibility
27	Decision, Multi hazard risk prioritization
28	Psychopathology, Mental

A, B 以外のクラスタ群 C, D, E は、クラスタで再頻出のトピックだけを見ると類似度が高いように見えるが、クラスタ群は互いに近くに配置はされなかった。これは、引用されている論文もしくは学術分野が異なる可能性を示す。

既存指標との照合および分類結果を表 2 に示す。分類 A と B で全体のトピックの 89% を占めた。分類 B に関するトピックは、関連研究で示した指標以外にも、“Livelihood Vulnerability Index (LVI)”, “Multi-dimensional Poverty Index” といった、地域紛争をはじめとする人災にも関連するトピックが抽出された。

分類 C は、発災後に緊急搬送された病院内での安全性に関する“Hospital Safety Index (HSI)”や、地域紛争や感染症などから人々が回復する際の指標となる“Recovery Index”といった、病理・医療に関するトピックが抽出された。体格指数である“Body Mass Index (BMI)”は健康診断などでも馴染みのある指標であり、災害と一見無関係のように見えるが、これらのトピックを含む論文内では、発災後の被災者の心理的なストレスから、重度の肥満や睡眠障害による身体への悪影響が論じられていた。

BRIC の Social Resilience でも、Mental health support が副指標となっている。

同じように、発災後の病理対応について論じられているのが、分類 D である。両者とも医療に関する災害対応ではあるものの、分類 C は“physical”というトピックが上位 10 以内にある一方、分類 D は“Psychology”, “Psychopathology”が各クラスタで再頻出のトピックであることから、異なる病理対応であることがわかる。

最後に、分類 E であるが、これは分類 C や D とも異なる側面を持つ。クラスタ 21 は“disaster preparedness”（災害準備）に関するトピックであり、“consciousness”（意識）や“self efficacy”（自己効力感）について論じられている。クラスタ 23 は“recognition”（認識）に関するトピックであり、“emergency information”（緊急情報）, “Principal agent theory”（プリンシパルエージェント理論）について論じられている。クラスタ 27 は“decision making”（意思決定）に関するトピックであり、“policy proposal”（政策提案）や“prioritization”（優先順位付け）などが論じられている。

表-2 既存指標と照合した上でのトピック分類

分類	クラスタ No.	最頻出トピック	該当指標	ノード数
A	2, 8	Standardized Precipitation Index (SPI)	Hazard / Exposure	873
	2, 8, 12	Drought index		
	8	Vegetation Condition Index		
	11	Soil water Index		
	13, 18	Coastal Vulnerability Index (CVI)		
	19	Extreme Precipitation Index		
	20	Weather index		
	3, 16	Flood Susceptibility Map		
B	7	Landslide Susceptibility map	Vulnerability / Resilience	760
	1, 6, 13	Social Vulnerability Index (SVI)		
	4, 9, 14, 15	Resilience Index		
	6	Livelihood Vulnerability Index (LVI)		
	25	Multidimensional Poverty Index		
C	17	Robustness Index	該当なし	115
	15	Hospital Safety Index (HSI)		
	22	Recovery Index		
D	10	Body Mass Index (BMI)	該当なし	127
	5	Psychology (ptsd, posttraumatic, stress disorder, mental)		
E	28	Psychopathology (mental, ptsd, survivor)	該当なし	26
	21	psychological preparedness (consciousness, disaster response self efficacy)		
	23	Recognition (emergency information, principal agent theory)		
	27	Decision (multi hazard risk prioritization, risk decision making)		

5. 考察

既存指標内では分類が困難なクラスタ群の中でも、複数のトピックが混在する分類 E について、追加分析を行った。まず、分類 E を構成するクラスタ 21, 23, 27 に含まれるサブクラスタを確認した。その結果を表 3 に示す。

クラスタ 21 を更に細かく見ると、“fluctuating activity” (変動する活動)，“anxiety” (不安)，“education” (教育) といったトピックが出現する。BRIC の Community Capital Resilience にも、Citizen disaster preparedness and response skills (市民災害への備えと対応スキル) は存在し、1 万人あたりの赤十字研修会参加者数で評価される。クラスタ 23 を更に細かく見ると、“self-preservation” (自己保存)，“collaborative” (共同作業)，“synergy degree” (相乗効果の程度) といったトピックが出現する。Principal agent theory は経済学における理論のひとつで、エージェントがプリンシパルの利益に反してエージェント自身の利益を優先した行動をとってしまう問題に対して、回避・インセンティブを設計するものである。学術分野は異なるが、社会心理学の計画的行動理論や防護動機理論におけるコストとベネフィットの関係性と類似する。最後に、クラスタ

表-3 サブクラスタのトピック (分類 E)

クラスタ	サブクラスタ	トピック
21	21-1	disaster preparedness, preparedness, anxiety
	21-2	consciousness, scoping review
	21-3	self efficacy, disaster response, self efficacy
	21-4	fluctuating, fluctuating activity, disorder
	21-5	education, efficacy, competency
23	23-1	recognition, disaster awareness, defense line
	23-2	emergency information, information sharing
	23-3	principal agent theory, self-preservation
	23-4	disruption, reduction capacity, reaction
	23-5	collaborative, segment, synergy degree
27	27-1	decision, decision making, policy proposal
	27-2	multi hazard, prioritization, climate change
	27-3	cultural heritage, cultural heritage asset
	27-4	cultural landscape, UNESCO, world heritage
	27-5	tourism development, economic impact

27 を更に細かく見ると、“cultural heritage” (文化遺産)，“multi hazard” (複数の災害)，“economic impact” (経済効果) といったトピックが出現する。クラスタ 27 の対象は主に国家や UNESCO のような世界機関である。

クラスタ 21 と 23 は自然災害への脆弱性指標を個人への適用を考える上で、類似するトピックがある可能性がある。そこで、サブクラスタ同士のコサイン類似度を算出した。具体的には、分類 E を構成するクラスタ 21, 23, 27 に含まれるサブクラスタ同士のコサイン類似度スコアを、それらに含まれるトピックに基づき計算した。類似度の算出には、テキストマイニングでドキュメントの類似度を判断するための一般的で効果的な方法である³⁴⁾ Term-frequency inverse document frequency (tf-idf)³³⁾を採用した。コサイン類似度の算出方法について式 6 に示す。

$$\text{cosinesimilarity}(t,s) = \frac{\bar{J}_t \cdot \bar{J}_s}{\sqrt{\sum_i j_t^i \cdot j_s^i}} \quad (6)$$

ここでの t と s はサブクラスタであり、 j_t と j_s は、それぞれ j と s の項ベクトルである。ベクトルは、各サブクラスタ内の単語から作成され、抽出したトピックは tf-idf³³⁾ によって重み付けされる。その結果を表 4 に示す。ここでの類似性は 0.000~1.000 の値をとり、1.000 はサブクラスタのペア間でトピックが完全に一致することを示す。

その結果、最も類似度が高いのは 21-5“education” と 23-1“recognition”の 0.855 であった。次に類似度が高かったのは 21-3“self efficacy”と 23-2“emergency information”の 0.721 であった。21-5“education”と 23-5“collaborative”についても 0.713 の高い類似性を示した。以上のことから、個人における自然災害リスク評価の指標化を目指す上では、従来の脆弱性 (Vulnerability) 評価のようなデモグラフィックに関するデータ以外にも、個人が災害をどのように捉えているかという認識、災害に対応できるという自己効力感、災害時における共同作業と教育などを定量的に計測可能な、複合的な指標としていく必要があるだろう。

表-4 サブクラスタ間の類似度

	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5
21-1	0.396	0.230	0.021	0.003	0.028
21-2	0.491	0.021	0.015	0.053	0.023
21-3	0.322	0.721	0.166	0.010	0.556
21-4	0.210	0.470	0.344	0.022	0.505
21-5	0.855	0.001	0.111	0.045	0.713

6. 結論

本研究では、自然災害に関するリスク評価において、既存評価項目に不足する要素を特定するため、“disaster” “Index”に関する論文の要旨に対してトピックモデルを適用し、既存指標と照合することで、以下の3点を明らかにした。

- ① 全体の89%は既存指標内に内包されるトピックであったが、残り11%は既存指標以外のトピックを検出した。
- ② 既存指標内での分類が難しいトピックは、心理学、精神病理学、社会心理学、経済学など複数の学術分野から、自然災害への対応を論じられたものであった。
- ③ 既存指標内での分類が難しいトピックを更に階層化した結果、“anxiety”（不安）や“self efficacy”（自己効力感）、“self-preservation”（自己保存）といった人間の心理に関するトピックを検出した。

以上のことから、今後、個人における自然災害リスク評価指標を検討する上では、個人の環境だけでなく心理面も考慮した指標化を検討する必要がある。

NOTES

- 注1) 内閣官房国土強靱化推進本部国土強靱化基本計画 https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kokudo_kyoujinka/index.html (参照 2023_02_15) .
- 注2) 内閣官房国土強靱化推進本部脆弱性評価の指針 https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/sisin_t_r50210.pdf (参照 2023_02_15) .
- 注3) 第3回国連防災世界会議仙台防災枠組 2015-2030 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000071588.pdf>
- 注4) 国土交通省 令和3年版 国土交通白書 <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r02/hakusho/r03/html/n1224000.html>
- 注5) Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) “Technical guidance on comprehensive risk assessment and planning in the context of climate change 2022” . <https://www.undrr.org/publication/technical-guidance-comprehensive-risk-assessment-and-planning-context-climate-change/>
- 注6) Bündnis Entwicklung Hilft. World Risk Report2022. https://weltrisikobericht.de/wp-content/uploads/2022/09/WorldRiskReport-2022_Online.pdf
- 注7) Federal Emergency Management Agency. National Risk Index Technical Documentation2021. https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_national-risk-index_technical-documentation.pdf
- 注8) UNDRO. Natural disasters and vulnerability analysis: report of Experts Group Meeting of 9 12, July 1979. <https://digitallibrary.un.org/record/95986>
- 注9) Impacts, Adaptation and Vulnerability(IPCC) Assessment Reports2022. https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- 注10) University of South Carolina's Hazards and Vulnerability Research Institute (HVRI), Social Vulnerability Index

(SoVI).

https://www.sc.edu/study/colleges_schools/artsand-sciences/centers_and_institutes/hvri/index.php/sovi-data

注11) University of South Carolina's Hazards and Vulnerability Research Institute (HVRI), Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC).

https://www.sc.edu/study/colleges_schools/artsand-sciences/centers_and_institutes/hvri/index.php/sovi-data

注12) Clarivate Web of science

<https://clarivate.com/>

REFERENCES

- 1) Onuma, H., Shin, K. J., and Managi, S. Household preparedness for natural disasters: Impact of disaster experience and implications for future disaster risks in Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, pp.148–158, 2017.
- 2) M W A Ramli, N E Alias, Z Yusop, and S M Taib. Disaster Risk Index: A Review of Local Scale Concept and Methodologies. *The 7th AUN/SEED-Net Regional Conference on Natural Disaster (RCND 2019)*, 2019.
- 3) 菊本統, 下野勘智, 伊藤和也, 大里重人, 稲垣秀輝, 日下部治. 我が国の自然災害に対する統合的リスク指標. *土木学会論文集 F6 (安全問題)*, Vol.73, No.1, pp.43-57, 2017.
- 4) 下野勘智, 菊本統, 伊藤和也, 大里重人, 稲垣秀輝, 日下部治. 自然災害に対する全国 47 都道府県のリスク指標の試算と考察. *土木学会論文集 F6 (安全問題)*, Vol.72, No.1, pp.1-10, 2016.
- 5) 三浦瑞貴, 上坂大輔, 小林亮博. スマートフォン位置情報を用いた個人における自然災害の曝露量推定. 第 106 回モバイルコンピューティングと新社会システム (MBL) 研究発表会.
- 6) Cardona O D. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo En A. Maskrey Los Desastr. no son Nat. 51–74, 1993.
- 7) Birkmann J and Wisner B. Measuring the un-measurable: The Challenge of Vulnerability vol 5, 2006.
- 8) Birkmann J. Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies : Conceptual frameworks and definitions *Meas. Vulnerability to Nat. Hazards; Towar. Disaster Resilient Soc.* 01 9 54, 2006.
- 9) P. Peduzzi. The Disaster Risk Index: Overview of a quantitative approach Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies pp 171–81, 2006.
- 10) Ilona M. Otto, Diana Reckien, Christopher P.O. Reyer, Rachel Marcus, Virginie Le Masson, Lindsey Jones, Andrew Norton, Olivia Serdeczny. Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence. *Regional Environmental Change* Vol.17, pp.1651–1662, 2017.
- 11) Tegat WJM, Sheldon GW, Griffiths DC (eds). *Climate change: The IPCC impact assessment. Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group II, Australian Government Publishing Service, Canberra*, 1990.
- 12) McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS. *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge*, 2001.

- 13) Oppenheimer M, Campos M, Warren R, Birkmann J, Luber G, O'Neil B, Takahashi K, Berkhout F, Dube P, Foden W, Greiving S, Hsiang S, Johnston M, Keller K, Kleypas J, Kopp R, Licker R, Peres C, Price J, Robock A, Schlenker W, Stepp JR, Tol R, van Vurren D. Emergent risks and key vulnerabilities. In: Field CB, Barros, VR, Dokken DJ et al. (eds) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UK, and New York, 2014.
- 14) Costa L, Kropp JP. Linking components of vulnerability in theoretic frameworks and case studies. *Sustain Sci* Vol.8(1): pp.1–9, 2013.
- 15) Fu'ssel HM, Klein RT. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Clim Chang* Vol.75, pp.301–329, 2006.
- 16) Birkmann J. Measuring vulnerability to natural hazards. United Nations University Press, Japan, 2006.
- 17) Cutter SL, Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *PNAS* Vol.7(No.105) pp.2301–2306, 2008.
- 18) Fu'ssel HM. Vulnerability to climate change and poverty. In: Edenhofer O, Wallacher J, Lotze-Campen H, Reder M, Knopf B, Müller J (eds) Climate change, justice and sustainability. Springer, Dordrecht, 2012.
- 19) Schellnhuber HJ, Serdeczny OM, Adams S, Köhler CF, Otto IM, Schleussner CF. The challenge of a 4 C World by 2100. In: Brauch HG (ed) Hexagon series on human environmental security and peace. Springer, 2016.
- 20) Cardona OD, van Aalst MK, Birkmann J, Fordham M, McGregor G, Mechler R. Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Cambridge University Press, Cambridge, 2012.
- 21) T. Welle, J. Birkmann, D. Krause, D.C. Suarez, N.J. Setiadi, J. Wolfertz. The World Risk Index: a concept for the assessment of risk and vulnerability at global national scales, in: J. Birkmann (Ed.), Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies, United Nations University Press Tokyo, 2013, pp. 219–250.
- 22) Casey Zuzak, Matthew Mowrer, Emily Goodenough, Jordan Burns, Nicholas Ranalli, Jesse Rozelle. The national risk index: establishing a nationwide baseline. *Natural Hazards*, Vol.114, pp.2331–2355, 2022.
- 23) Ibraheem M. Karaye, Jennifer A. Horney. The Impact of Social Vulnerability on COVID-19 in the U.S.: An Analysis of Spatially Varying Relationships. *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 59, Issue 3, September, pp. 317–325, 2020.
- 24) Matthias Garschagen, Deepal Doshi, Jonathan Reith and Michael Hagenlocher. Global patterns of disaster and climate risk—an analysis of the consistency of leading index-based assessments and their results. *Climatic Change*, Vol.169, Article number: 11, 2021.
- 25) Small, H. Co-citation in the Scientific Literature: A New Measure of the Relationship between Two Documents. *J. Am. Soc. Inf. Sci.* Vol.24, pp.265–269, 1973.
- 26) Kessler, M. An experimental study of bibliographic coupling between technical papers (Corresp.). *IEEE Trans. Inf. Theory* Vol.9, pp.49–51, 1963.
- 27) Klavans, R.; Boyack, K.W. Which Type of Citation Analysis Generates the Most Accurate Taxonomy of Scientific and Technical Knowledge? *J. Assoc. Inf. Sci. Technol.* Vol.68, pp.984–998, 2017.
- 28) 樋口耕一：計量テキスト分析およびKHCoderの利用状況と展望(特集号テキストマイニングをめぐる方法論とメタ方法論)，*社会学評論*，Vol.68, No.3, pp.334–350, 2017.
- 29) 都築早織，片山茜，谷口守：キーワードからみた都市計画研究の変遷，*都市計画学会論文集*，Vol. 52-3, pp. 329–335, 2017.
- 30) Sun L and Yin Y. Discovering themes and trends in transportation research using topic modeling, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 77, pp. 49–66, 2017.
- 31) 塚井誠人，椎野創介：討議録に対するトピックモデルの適用，*土木学会論文集 D3*, Vol. 72, No. 5 (土木計画学研究・論文集第 33 卷)，pp. I_341–I_352, 2016.
- 32) 塚井誠人，原 祐輔，山口 敬太，大西 正光. 土木計画学の研究トピックの変遷，*土木学会論文集 D3* (土木計画学)，Vol.74, No.5 (土木計画学研究・論文集第 35 卷)，I_349–I_358, 2018.
- 33) Salton, G.; Buckley, C. Term-weighting approaches in automatic text retrieval. *Inf. Process. Manag.* Vol.24, pp.513–523, 1988.
- 34) Singhal, A. Modern Information Retrieval: A Brief Overview. *Bull. IEEE Comput. Soc. Technol. Comm. Data Eng.* 2001.

付録

WRI の脆弱性 (Vulnerability) 指標の整理

指標	副指標カテゴリ	副指標
Vulnerability Index	Susceptibility	Public infrastructure Housing conditions Nutrition Poverty and dependencies Economic capacity and income distribution
	Lack of coping capacity	Government and Authorities Disaster preparedness and early warning Medical services Social network Material coverage Social network Material coverage Education and research
	Lack of adaptive capacity	Gender equity Environment status/ Ecosystem protection Adaptation strategies Investment

NRI の脆弱性 (Vulnerability) 指標の整理

指標	副指標カテゴリ	副指標
Social Vulnerability Index (SoVI)	Socioeconomic Status	Below 150% Poverty Unemployed Housing Cost Burden No High School Diploma No Health Insurance
	Housing Type & Transportation	Multi-Unit Structures Mobile Homes Crowding No Vehicle Group Quarters
	Household Characteristics	Aged 65 & Older Aged 17 & Younger Civilian with a Disability Single-Parent Households English Language Proficiency
	Racial & Ethnic Minority Status	Hispanic or Latino (of any race); Black and African American, Not Hispanic or Latino; American Indian and Alaska Native, Not Hispanic or Latino; Asian, Not Hispanic or Latino; Native Hawaiian and Other Pacific Islander, Not Hispanic or Latino; Two or More Races, Not Hispanic or Latino; Other Races, Not Hispanic or Latino

NRI の回復性 (Resilience) 指標の整理

指標	副指標カテゴリ	副指標
Baseline Resilience Indicators for Communities (BRIC)	Social Resilience	Educational attainment equality Pre-retirement age Transportation access Communication capacity English language competency Non-special needs Health insurance Mental health support Food provisioning capacity Physician access
	Economic Resilience	Home ownership Employment rate Race/ethnicity income equality Non-dependence on primary/tourism sectors Gender income equality Business size Large retail-regional/national geographic distribution Federal employment
	Community Capital Resilience	Place attachment-not recent immigrants Place attachment-native born residents Political engagement Social capital-religious organizations Social capital-disaster volunteerism Citizen disaster preparedness and response skills
	Institutional Resilience	Mitigation spending Flood insurance coverage Performance regimes-state capital Performance regimes-nearest metro area Political and jurisdictional fragmentation Disaster aid experience Local disaster training Population stability Nuclear plant accident planning Crop insurance coverage
	Infrastructural Resilience	Sturdier housing types Temporary housing availability Medical care capacity Evacuation routes Housing stock construction quality Temporary shelter availability School restoration potential Industrial re-supply potential High speed internet infrastructure
	Environmental Resilience	Local food suppliers Natural flood buffers Efficient energy use Pervious surfaces Efficient water use

A STUDY OF INDIVIDUAL NATURAL DISASTER RISK ASSESSMENT INDEX

Miziki MIURA and Daisuke KAMISAKA

Evaluation of natural disaster risk is important for each person to correctly understand disaster risk and take action in the event of a disaster. Natural disaster risks have been indexed in various countries. However, these efforts are aimed at the government not individuals. Moreover, it is not enough to simply replace the conventional index with the individual. Therefore, in this study, we focused on the vulnerability assessment index, which has a large part related to individuals, among natural disaster risk assessments. After sorting out the evaluation items of existing research, we identified the elements that are not included in the existing index. Specifically, we applied the topic model to white papers on indices of natural disasters for 23 years from 2000 to 2022, and quantitatively extracted topics. From the extracted topics, it became clear that it is necessary to consider not only the individual's environment but also the psychological aspect when considering the natural disaster risk evaluation index for individuals in the future.