

## 地震による主要なペリルとエクスポージャに着目したリスク指標の提案

## Seismic Risk Index Based on Main Perils and Exposures

土肥 裕史<sup>1</sup>, 中村 洋光<sup>1</sup>, 藤原 広行<sup>1</sup>, 清水 智<sup>2</sup>, 時実 良典<sup>2</sup>Yuji DOHI<sup>1</sup>, Hiromitsu NAKAMURA<sup>1</sup>, Hiroyuki FUJIWARA<sup>1</sup>,  
Satoshi SHIMIZU<sup>2</sup>, and Yoshinori TOKIZANE<sup>2</sup><sup>1</sup> 国立研究開発法人防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

<sup>2</sup> 応用アール・エム・エス株式会社

OYO RMS Corporation

The objective of this paper is to propose seismic risk indexes for clarifying seismic risks in each city, district, town, and village in Japan and to contribute to effective managements in disaster resilience. It is crucial to take effective disaster countermeasures based on seismic risks in each region against megathrust earthquakes. The seismic risk indexes proposed in this paper are based on five perils and five exposures, comparing all cities, districts, towns, and villages in Japan. Based on these indexes, we could (1) identify methods for calculating losses in each peril and exposure, (2) create seismic risk maps by calculations, and (3) draw radar charts for seismic risk focusing on two cities and two districts.

**Keywords:** seismic risk, risk index, peril, exposure, seismic risk maps for Japan, radar chart

## 1. はじめに

近い将来の発生が確実視される南海トラフ巨大地震に対して、中央防災会議（2019）は最大で死者23万人、全壊および焼失棟数209万棟の被害（堤防・水門が正常に機能した場合）を想定している<sup>1)</sup>。こうした状況において、各々の地域が有するリスクを把握し、それに応じた防災投資を行うことは喫緊の課題である。より効果的な防災投資に向けて、科学的知見に基づくハザード情報や地域ごとの曝露データ（例えば建物データ、人口データなど）に基づくリスク情報の重要性は論を俟たない。

わが国における地震ハザードを対象とした調査・研究成果として、地震調査研究推進本部は「全国地震動予測地図」を公開している<sup>2)</sup>。このうち、「確率論的地震動予測地図」では、地震の発生確率と強震動それぞれにおいて様々な不確定性を考慮した評価を実施し、各地域における評価結果を地図上で公開している。防災科学技術研究所は「地震ハザードステーション J-SHIS」を公開しており、全国地震動予測地図における詳細なデータや関連情報を提供している<sup>3)</sup>。

わが国における確率論的な地震リスクを対象とした調査・研究成果として、能島ら（2018）は上述の地震ハザード評価におけるデータ<sup>3)</sup>を用いて、震度別の曝露人口に基づく地震リスク評価を実施し、その応用としてライフラインの途絶リスクを評価している<sup>4)</sup>。藤原ら（2018）は上述の地震ハザード評価におけるデータ<sup>3)</sup>を用いて、全国を対象とした地震リスク評価を実施し、さらに、人口・建物棟数の推移を考慮した将来（2025年、2040年）

の地震リスクを評価している<sup>5)</sup>。これらの研究では、リスク評価に利用したハザード情報は「地震動」に限定されたものであり、地震の発生に起因する地震動以外の要因（以下、地震動も含めたこれらの要因の総称を「ペリル」と呼ぶ）は、リスク評価に考慮されていない。また、ハザードに曝露する対象物（以下、曝露対象物の総称を「エクスポージャ」と呼ぶ）も、人口・建物に限定されており、ライフライン、交通インフラなどは含まれておらず、地震リスクの一部を評価したに過ぎない。このため、地震リスクに影響を与える自然的・社会的な地域特性を把握した上で、地震リスク全体を捉え定量的に評価することは、防災投資を含む効果的な地震リスクマネジメントを考える上で重要な課題である。

以上の問題意識に基づき、本研究では、効果的な地震リスクマネジメントに資するリスク指標作成の第一歩として、市区町村ごとに潜在する地震リスクを対象に、確率論的ハザード情報を用いて定量的に明示したリスク指標を試作・提案する。具体的には、科学的知見に基づくハザード情報や地域ごとの曝露データに基づく、地震による主要なペリルとエクスポージャに着目したリスク指標を提案する。第2章では、リスク指標の構造を検討する。第3章では、リスク指標の算出方法を説明する。第4章では、リスク指標の試算結果として、リスク指標の市区町村ごとの分布を示し、その特徴を分析する。第5章では、市区町村ごとに算出したリスク指標をレーダーチャートで示し、その地域が有するリスクについて分析する。

## 2. リスク指標の構造

本研究で作成するリスク指標は、地震全体のリスクを定量評価するとともに、最終的には効果的なマネジメントに資することを目的としている。そこで、主として災害を対象とした既存の指標や過去の地震被害状況、国から公表された被害想定を調べ、どのような項目が被害やリスク要因として扱われているかを整理した上で、本研究で作成するリスク指標で表現すべき項目と指標の構造について検討した。

### (1) リスク指標として表現すべき項目

#### a) 既往のリスク指標

国連大学環境・安全の安全保障研究所 (UNU-EHS) は地震、台風、洪水、干ばつ、海面上昇の5つのハザードについて、171か国を対象としたリスク指標 "World Risk Index" を公開している<sup>6)</sup>。指標は各ハザードのポテンシャルと各国の社会・経済状況を組み合わせて作成され、「自然災害に対する曝露量」「影響度」「対処能力」「適応能力」の4つの指標から構成される。

地盤工学会関東支部「地盤リスクと法訴訟等の社会システムに関する研究委員会」は地震、津波、高潮、土砂災害、火山噴火の5つのハザードについて、各都道府県を対象としたリスク指標 "GNS" を公開している<sup>7)</sup>。指標は「危険事象」「曝露」「脆弱性」から構成される。脆弱性はハード対策（住宅・公共施設、ライフライン、インフラストラクチャー、情報・通信の4つから構成）とソフト対策（物資・備蓄、医療サービス、経済と人口構成、保険、条例・自治の5つから構成）から評価している。

#### b) 過去の地震の被害状況

鹿島SEEHM研究会 (1992, 1995)<sup>8),9)</sup>は地震に伴う直接的被害の波及要因を検討し、過去の被害地震における被害連関図を用いて表現している。被害連関図<sup>8),9)</sup>では、地震によって様々な被害が生じているが、最初に生じる事象は「建造物の被害(揺れ)」「火災」「液状化」「土砂災害」「津波」であった。これらは被害の波及を決める要因となっており、リスクの要因として重要な指標といえる。また、同連関図<sup>8),9)</sup>では、被害が発生する対象物の種別によって、被害の様相が異なることも確認できる。

#### c) 南海トラフ巨大地震を対象とした被害想定

中央防災会議 (2012, 2013)<sup>10),11)</sup>は南海トラフ巨大地震の被害想定として、第一次報告<sup>10)</sup>では建物被害・人的被害などの推計結果、第二次報告<sup>11)</sup>では施設の被害や経済的な被害などの推計結果を公開している。一例として、建物被害では「揺れ」「液状化」「津波」「急傾斜地崩壊」「地震火災」「津波火災」の6項目を評価している。

#### d) 本研究で表現するリスク指標

以上を踏まえ、本研究では、①どのような要因で被害が生じるのか(ペリル)、②どのような対象物が被害を受けるのか(エクスポージャ)といった、2つの観点から地震リスクを評価することとした。ペリルに着目した指標は、上述の文献における分類を参考に、地震動、液状化、火災、土砂災害、津波の5項目とした。エクスポージャに着目した指標は、上述の文献を参考に、かつ着目する5つのペリルと対応させることを考慮し、建物被害、人的被害、ライフライン被害、交通インフラ被害、産業被害の5項目とした。

### (2) リスク指標の構造

上述の5項目のペリル、5項目のエクスポージャのリスクに着目し、各市区町村に潜在する地震リスクを明示す

る。本研究では、各市区町村において、どのような要因が地震リスクに影響を与えているかを示すため、レーダーチャートにより市区町村ごとのペリル、エクスポージャの各項目のリスクを示す。各項目のリスクは以下の式で表現する<sup>1)</sup>。

$$R = D/E^\alpha \quad [1]$$

ここで $R$ はリスク、 $D$ は損失額、 $E$ はエクスポージャの賦存量(金額)、 $\alpha$ はパラメータ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )を示す。

ペリルごとの損失額 $D$ は、設定したハザードレベルにおける各エクスポージャの損失額の和として算出した。具体的には、「土砂災害」というペリルにおける損失額 $D$ は土砂災害による建物被害、人的被害、ライフライン被害、交通インフラ被害、産業被害の損失額の総和とし、エクスポージャの賦存量 $E$ は建物、人口、ライフライン、交通インフラ、産業の資本ストックを金額換算した総和とした。リスク $R$ は損失額 $D$ と賦存量 $E$ から算出した。また、 $\alpha = 0$ のとき $R$ は損失額を、 $\alpha = 1$ のとき $R$ は損失率を示す。これは、リスク指標の利用者が損失額の大きさを重視するか、損失率の大きさを重視するかといった、利用目的に応じてを選択できるようにするため設定したものである。

エクスポージャごとの損失額 $D$ は、設定したハザードレベルにおける各ペリルの損失額の和として算出した。具体的には、「建物被害」というエクスポージャにおける損失額 $D$ は地震動、液状化、火災、土砂災害、津波による建物被害の損失額の総和とし、エクスポージャの賦存量 $E$ は建物を金額換算した総和とした。リスク $R$ は損失額 $D$ と賦存量 $E$ から算出した。

損失額 $D$ を算出するためにはペリルごとのハザードレベルの設定が必要となる。地震動は全国地震動予測地図(2015年版)のカテゴリー別ハザードカーブ<sup>3)</sup>を用いて設定した。具体的には、地震調査研究推進本部のランク設定<sup>12),13)</sup>を参考に、活断層タイプ(カテゴリーIII)はAランク(やや高い:30年以内の地震発生確率が0.1~3%未満)の下限値である0.1%、海溝型(カテゴリーI・II)はIIランク(やや高い:30年以内の地震発生確率が3~26%未満)の下限値である3%における地震動のうち、より大きな方を入力地震動とした<sup>2)</sup>。設定した地震動分布(計測震度分布)を図1に示す。液状化、火災、土砂災害は地震動に起因する損失を算出対象とし、設定した地震動によって発生するそれぞれの事象がもたらす損失を算出した。津波は地震動と同様に、海溝型(カテゴリーI・II)のIIランクの下限値である3%における海岸の津波高さを

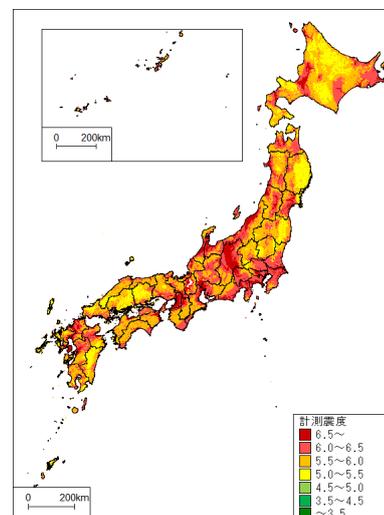


図1 リスク指標の算出に用いる計測震度分布

用いることが望ましい。しかしながら、検討時点において全国的に整備された確率論的津波ハザード情報は公開されていない。そこで、本研究では南海トラフ沿い、相模トラフ沿い、日本海溝沿いの津波を対象とした既往調査・研究による浸水深の値を暫定的に代用することとした。具体的には、南海トラフに関しては齊藤ら（2017）<sup>14)</sup>によるM9クラスの地震に伴う津波の浸水深分布を、相模トラフに関しては首都直下地震モデル検討会（2013）<sup>15)</sup>の1923年大正関東地震、1703年元禄関東地震、1677年延宝房総沖地震および房総半島南東沖で想定される地震に伴う津波の浸水深分布を、日本海溝に関しては国土交通省都市局「復興支援調査アーカイブ」<sup>16)</sup>の東北地方太平洋沖地震による津波の浸水深分布を利用した。なお、複数の津波の浸水深が存在するメッシュでは、最も大きい浸水深を利用した。

リスク指標の算出において、液状化や土砂災害などは地震被害の地域特性を示す重要なペリルではあるが、その被害量は地震動や津波による被害量と比較すると相対的に小さくなる。そのため、レーダーチャートにおいてリスク  $R$  を被害量で表現すると、注目する市区町村の地域性を適切に評価できない可能性がある。そこで、本研究ではリスク  $R$  を偏差値で表現することで、各ペリル・エクスポージャのリスクを相対的に表現することとした。また、ハザードの設定および損失額の算出は250mメッシュ単位で行い、これらを市区町村ごとに集計した値を損失額  $D$  とし、式[1]を用いてリスク  $R$  を算出した。

### 3. リスク指標の算出方法

本章では、リスク指標の算出方法として、エクスポージャごとにペリル別の被害を算出し、金額換算し統合する方法を説明する。なお、本研究では2015年時点での地震ハザードのデータを用いて算出した。

#### (1) 建物被害

建物被害について、地震動、液状化、火災、土砂災害、津波による全半壊棟数・全半壊率を算出した。

##### a) 地震動による被害

藤原ら（2018）<sup>5)</sup>と同様の手法で、計測震度分布に建物被害関数を乗じて全半壊棟数を算出した。建物データは2015年1月1日時点の250mメッシュ別構造別建築年代区分別建物棟数データを使用した。全半壊棟数は構造別の被害関数から算出された被害棟数の合算値とした。具体的には、木造と非木造に分類し、木造は中嶋・岡田（2008）<sup>17)</sup>による損傷度0.4以上の被害率と計測震度の関係を、非木造は東京都防災会議（2013）<sup>18)</sup>の非木造全半壊率と計測震度の関係を用いた。なお、木造建物は経年劣化を考慮している。

##### b) 液状化による被害

各メッシュの液状化発生確率と液状化が発生したメッシュの液状化面積率、液状化による建物全壊・半壊率を用いて、以下の式で算出した。

$$\begin{aligned} R_{liq} &= P_l \times R_{pa} \times R_{bl} \\ P_l &= \alpha \cdot \Delta I_s \\ \Delta I_{s1} &= (I - 4.74)/0.026 \\ \Delta I_{s2} &= (I - 4.85)/0.014 \\ \Delta I_s &= (\Delta I_{s1} + \Delta I_{s2})/2 \end{aligned} \quad [2]$$

ここで  $R_{liq}$  は液状化による建物被害率、 $P_l$  は液状化発生確率、 $R_{pa}$  は液状化が発生したメッシュの液状化面積率、 $R_{bl}$  は液状化が発生した場合の建物全壊率・半壊率、 $\alpha$  は回帰係数、 $\Delta I_s$  はリアルタイム震度  $\Delta I$  が閾値  $I_s$  を超えた

時間積分（閾値を計測震度4.5とした）、 $I$  は計測震度を示す。

液状化発生確率  $P_l$  は先名ら（2018）<sup>19)</sup>の  $\Delta I_s$  と全国250mメッシュ別微地形区分ごとの液状化発生確率の関係を用いた。また、液状化が発生しやすいメッシュに注目するため、松岡ら（2011）<sup>20)</sup>のグループ①～④に属する微地形区分を計算対象とした。液状化が発生したメッシュ内の液状化面積率  $R_{bl}$  は、1983年日本海中部地震や2004年新潟県中越地震の被害データに基づく山本ら（2009）<sup>21)</sup>の微地形区分ごとの液状化面積率を用いた。なお、三角州・海岸低地の液状化面積率は太平洋側の値を用いた。また、液状化が発生した場合の全壊率・半壊率は、山本ら（2009）<sup>21)</sup>に基づき、埋立地は全壊率5%、半壊率65%、それ以外の微地形区分では全壊率1%、半壊率30%とした。回帰係数は先名ら（2018）<sup>19)</sup>による液状化発生率の推定式における回帰係数を用いた。

##### c) 火災による被害

地震による火災被害の特徴は、地震後に出火することだけでなく、出火後に大きく延焼し被害が拡大することである。そこで、火災による被害は延焼被害に着目し、清水ら（2016）<sup>22)</sup>と同様の手法で出火後の延焼によって建物が全焼する割合を算出した。

##### d) 土砂災害による被害

清水ら（2016）<sup>22)</sup>の土砂災害による建物全壊率の算出方法をもとに、広島県（2013）<sup>23)</sup>の土砂災害による建物被害の震度別被害率（全壊率、半壊率）を用いて算出した。

##### e) 津波による被害

中央防災会議（2012）<sup>10)</sup>と同様の手法で、人口集中地区（DID地区）か否かに応じて設定された浸水深と建物被害率（全半壊）を用いて算出した。

#### (2) 人的被害

人的被害について、地震動、火災、土砂災害、津波による死者数・死者率を算出した。なお、液状化による人的被害は他の4つのペリルと比較して極めて小さいと考え、算出の対象外とした。

##### a) 地震動による被害

藤原ら（2018）<sup>5)</sup>と同様の手法で算出した。

##### b) 火災による被害

中央防災会議（2012）<sup>10)</sup>と同様の手法で算出した。ただし、同手法における延焼拡大時の逃げまどいによる死者数は考慮していない。倒壊建物棟数は木造建物のみを対象とし、中嶋・岡田（2008）<sup>17)</sup>の損傷度0.8以上の計測震度と被害の関係から算出した。

##### c) 土砂災害による被害

中央防災会議（2012）<sup>10)</sup>の「急傾斜地崩壊による被害」と同様の手法で算出した。

##### d) 津波による被害

中央防災会議（2006）<sup>24)</sup>の被害予測方法をもとに、東日本大震災時の避難率・避難未完了率を用いて算出した。

#### (3) ライフライン被害

ライフライン被害について、地震動、液状化、火災、土砂災害、津波を対象に、停電・断水の影響を受ける建物棟数とその割合を算出した。その後、ペリルごとに算出した停電棟数、断水棟数の和をライフラインの被害棟数とした（ただし、市区町村内に存在する建物棟数を超えないものとした）。

##### a) 地震動による被害

停電棟数、断水棟数ともに能島ら（2003）<sup>25)</sup>に基づき、

各メッシュの計測震度に応じて算出した。

#### b) 液状化による被害

東日本大震災時の浦安市における被害事例<sup>26),27)</sup>に基づき、停電率と断水率を設定した。東日本大震災時の浦安市の電柱被災率は9.5%であり<sup>26)</sup>、東京電力管内における電柱被災率(1.1%)の8.6倍となっている。これを踏まえ、液状化地域の停電被害率を非液状化地域の8.6倍として、以下の式で算出することとした。

$$R_{eliq} = P_l \times R_{pa} \times R_{ebi} \times 8.6 \quad [3]$$

ここで  $R_{eliq}$  は液状化による停電率、 $P_l$  は液状化発生確率、 $R_{pa}$  は液状化が発生したメッシュの液状化面積率、 $R_{ebi}$  は地震動による停電被害率を示す。なお、 $P_l$ 、 $R_{pa}$  は建物被害(3.1.b項)と同様に、先名ら(2018)<sup>19)</sup>および山本ら(2009)<sup>21)</sup>に基づき算出した。

断水について、東日本大震災の浦安市における液状化地域では全世界帯が断水した<sup>26)</sup>ことから、液状化が発生した地域全域で断水することとし、以下の式で算出した。

$$R_{wliq} = P_l \times R_{pa} \quad [4]$$

ここで  $R_{wliq}$  は液状化による断水率を示す。

#### c) 火災による被害

火災による延焼地域全域で停電・断水が発生すると考え、以下の式で算出した。

$$R_{lf} = N_{bf} \times R_f \quad [5]$$

ここで  $R_{lf}$  は火災による停電率・断水率、 $N_{bf}$  は炎上出火件数、 $R_f$  は焼失率を示す。なお、焼失率は建物被害(3.1.c項)で算出した木防建蔽率から算出した焼失率を用いた。

#### d) 土砂災害による被害

土砂災害が発生した地域全域で停電・断水が発生すると考え、以下の式で算出した。土砂災害の対象はWakamatsu and Matsuoka(2013)<sup>28)</sup>の微地形区分の山地・山麓地・丘陵・火山地・火山山麓地・火山性丘陵とした。

$$R_{ls} = P_{ls} \quad [6]$$

ここで  $R_{ls}$  は土砂災害による停電率・断水率、 $P_{ls}$  は崩壊確率を示す。

#### e) 津波による被害

停電について、中央防災会議(2013)<sup>11)</sup>を参考に、津波浸水による建物全壊率を津波による停電率とした。停電棟数は停電率に建物棟数を乗じて算出した。

断水について、中央防災会議(2013)<sup>11)</sup>では津波による管路被害は考慮せず、浄水場における浸水を考慮している。この考え方にに基づき、本研究では、市区町村別に30cm以上浸水した浄水場箇所数を算出し、その割合を津波による断水とした。なお、浄水場のデータは国土数値情報<sup>29)</sup>のデータを用いた。

#### (4) 交通インフラ被害

交通インフラ被害について、地震動、液状化、土砂災害、津波を対象に、被害箇所数・被害箇所率を算出した。被害の対象は全国的に分布している道路のみとした。道路は火災による延焼を食い止める役割があることから、火災による被害は算出しないこととした。

道路データは、1km単位のメッシュデータとして整備・公開された国土数値情報<sup>29)</sup>の「道路密度・道路延長メッシュデータ」をもとに、250mメッシュに細分化したデータを作成し用いた。具体的には、Wakamatsu and Matsuoka(2013)<sup>28)</sup>の微地形区分データのうち、磯・岩礁、河道、湖沼を除くメッシュには道路が存在すると仮定し、1kmメッシュに含まれる微地形(磯・岩礁、河道、湖沼を除く)を250mメッシュに等分に配分した。また、幅員区分は国土数値情報<sup>29)</sup>のデータを用いた。

#### a) 地震動による被害

中央防災会議(2013)<sup>11)</sup>と同様の手法で算出した。

#### b) 液状化による被害

東日本大震災時の浦安市における被害事例<sup>26),27)</sup>に基づき算出した。同市では、市内の道路のうち80kmが被災しており、被害施設数は28、被害額は29,640百万円であった。被害算出単位を地震動による被害(3.4.a項)と揃えるため、液状化発生地域における被害率は、被害施設数(28施設)を被災した道路距離(80km)で除した0.35施設/kmとして、以下の式で算出することとした。

$$R_{liq} = P_l \times R_{pa} \times 0.35 \quad [7]$$

ここで  $R_{liq}$  は液状化による道路被害箇所数、 $P_l$  は液状化発生確率、 $R_{pa}$  は液状化が発生したメッシュの液状化面積率を示す。なお、 $P_l$ 、 $R_{pa}$  は建物被害(3.1.b項)と同様に、先名ら(2018)<sup>19)</sup>および山本ら(2009)<sup>21)</sup>に基づき算出した。

#### c) 土砂災害による被害

ライフライン被害(3.3.d項)と同様の考え方をを用いて、以下の式で算出した。

$$R_{lds} = P_{ls} \quad [8]$$

ここで  $R_{lds}$  は土砂災害による道路被害箇所数、 $P_{ls}$  は崩壊確率を示す。

#### d) 津波による被害

中央防災会議(2013)<sup>11)</sup>と同様の手法で算出した。

#### (5) 産業被害

産業被害について、地震動、液状化、火災、土砂災害、津波を対象に、生産活動に利用される資本ストックの毀損(損失額・損失率)を算出した。

資本ストックデータは、製造業・非製造業の資本ストック額を都道府県単位でまとめた、2009年度の都道府県別民間資本ストックデータ<sup>30)</sup>をもとに、250mメッシュ別資本ストック額のデータを作成し用いた。具体的には、製造業について、2010年工業統計メッシュ<sup>31)</sup>(1kmメッシュ)から作成した産業別製品出荷額のデータを建物の延床面積の重みを用いて、市区町村単位かつ250mメッシュ単位に配分したデータを作成した。各メッシュにおける都道府県別集計値に対する比率で都道府県別民間企業資本ストックを配分し、製造業の250mメッシュ別資本ストックのデータを作成した。また、非製造業について、藤原ら(2018)<sup>5)</sup>の2015年時点の250mメッシュ別建物延床面積データを用いて、都道府県全体の建物の延床面積に対する各メッシュの重みを考慮した非製造業の250mメッシュ別資本ストックのデータを作成した。

#### a) 地震動による被害

地震動による資本ストックの毀損は建物被害関数を用いて算出した。ただし、資本ストックの毀損は金額で表されること、生産拠点は非木造建物が多く建築年代も比較的新しいことが考えられる。本研究では、中央防災会議(2012)<sup>10)</sup>による非木造の1981年以降築の全壊率・全半壊率関数、藤原ら(2018)<sup>5)</sup>による全壊被害の損失率75%、半壊被害の損失率35%を仮定して作成された損失率関数を用いて算出した。

#### b) 液状化による被害

地震動による被害(3.5.a項)と同様の考え方で算出した。具体的には、建物被害(3.1.b項)で用いた手法に、全壊被害の損失率75%、半壊被害の損失率35%を仮定して、液状化による損失率を設定し資本ストックの損失額を算出した。

#### c) 火災による被害

火災による延焼地域は全損(損失率100%)と考え、ラ

ライフライン被害（3.3.c項）と同様に、式[5]から算出した。ただし、 $R_{lf}$  は火災による損失率とした。

#### d) 土砂災害による被害

土砂災害が発生した地域では全損（損失率100%）と考え、ライフライン被害（3.3.d項）と同様に、式[6]から算出した。ただし、 $R_{ls}$  は土砂災害による損失率とした。

#### e) 津波による被害

中央防災会議（2012）<sup>10</sup>の津波による非木造建物の全壊率関数、全半壊率関数に、復興支援調査アーカイブ<sup>16</sup>のデータをもとに推定した、東北地方太平洋沖地震による建物全壊・半壊時の損失率を適用して作成した建物損失率関数を用いた。

### (6) 算出結果の統合

3.1節～3.5節で算出した値について、ペリル別・エクスポージャ別に損失額として金額換算し、統合した。本節では、統合に用いる単価について説明する。なお、産業被害は3.5節で既に損失額・損失率を算出したため、単価を設定せず統合した。

#### a) 建物被害の単価

建物被害の単価について、建物1棟あたりの再調達価格を算出した。具体的には、固定資産の価格等の概要調査（平成27年度）<sup>32</sup>における建物延床面積と建物棟数、建築着工統計<sup>33</sup>における1m<sup>2</sup>あたりの施工単価を利用して、1棟あたりの単価を28.2百万円/棟と算出した。全半壊被害は全壊（損失率50～100%）および半壊被害（損失率20～50%）の双方を含んでいることから、ここでは簡便のため損失率を一律50%、全半壊棟数1棟あたりの単価を14.1百万円/棟と設定した。

#### b) 人的被害の単価

人的被害の単価について、交通事故による逸失利益算定基準<sup>34</sup>による年収500万円の30歳男性の逸失利益額を参考に、1人あたりの単価を4,000万円と設定した。

#### c) ライフライン被害の単価

ライフライン被害の単価について、東日本大震災時の停電戸数と復旧費用および断水戸数と被害額から、停電・断水の1棟あたりの復旧単価を算出した。停電について、福島第一原子力発電所の影響を除くため、東北電力管内のみを対象とし、復旧費用は東北電力の災害特別損失（平成23年3月期～平成25年3月期の合計額）<sup>35</sup>を用いた。断水について、復旧費用が把握できなかったため、被害額を復旧額とみなし、内閣府が推定した水道の被害額と断水戸数（会計検査院の資料から引用）<sup>36</sup>を用いた。これらの値に停電率・断水率を乗じることで、停電被害額・断水被害額を算出した。これらの合計値をライフライン被害による損失額とした。

#### d) 交通インフラ被害の単価

交通インフラの単価について、社会資本ストック推計（2014年度）<sup>37</sup>における道路の資本ストック額と、交通インフラ被害の算出（3.4節）に用いた道路データの道路延長から道路延長1kmあたりの単価を設定した。具体的には、道路幅員から面積を算出し、この面積比で資本ストックを案分してそれぞれの幅員の道路延長1kmあたりの単価を設定した。また、被害箇所あたりの被害額は過去の被害地震（2000年鳥取県西部地震<sup>38</sup>、2004年新潟県中越地震<sup>39</sup>、2007年新潟県中越沖地震<sup>40</sup>、2011年東北地方太平洋沖地震<sup>41</sup>）における被害箇所数と被害額の関係から、1箇所あたり2,400万円と設定した。

## 4. リスク指標の試算結果－全国的な概況－

算出したリスク指標の市区町村ごとの偏差値分布を図2～図5に示す。図2はペリルごとの損失額、図3はペリルごとの損失率、図4はエクスポージャごとの損失額、図5はエクスポージャごとの損失率の偏差値分布である。偏差値が高いほど、潜在する地震リスクが高いことを示している。参考として、ペリルごとのヒストグラムを図6に、エクスポージャごとのヒストグラムを図7に示す。

以下、5つのペリル、5つのエクスポージャごとに、損失額と損失率の比較、偏差値が高い地域、三大都市圏の特徴などをまとめる。

### (1) ペリルごとの偏差値分布

#### a) 地震動による被害

損失額（図2(a)）と損失率（図3(a)）を比較すると、分布の傾向が異なっているが、ともに偏差値の高い地域が点在している。これは他のペリルとは異なる特徴で、地盤条件によって地震動の大小はあるものの、地震動による被害は、皆無とならないためである。損失額の偏差値は三大都市圏において高い地域が多い。損失率の偏差値は近畿圏で高い地域が多いが、首都圏・中京圏では損失額の偏差値分布と比較すると全体的に低くなっている。

ここで、損失率は市区町村が有する総資産に対する損失額の割合を示しており、損失率が高い場合は総資産の大部分を失うことを示している。近畿圏のように、損失額・損失率の偏差値がともに高い場合、注目した市区町村における総資産の大部分が被害を受け、かつその額（損失額）も大きく、甚大な被害となるリスクを有しているといえる。一方で、首都圏・中京圏のように、損失率の偏差値と比較して損失額の偏差値が高い場合、被害を受ける資産の割合は大きくないものの、その額（損失額）が大きいという特徴を有しているといえよう。

#### b) 液状化による被害

損失額（図2(b)）と損失率（図3(b)）を比較すると、分布の傾向が似ているといえる。損失額・損失率の偏差値ともに、三大都市圏に加え、瀬戸内海沿岸地域、新潟県沿岸地域において高くなっている。この要因の一つとしては、地震動とは異なり液状化が大規模に発生しうる市区町村は埋立地・旧河道などを含む、ある程度限定される地域となるためと考えられる。

#### c) 火災による被害

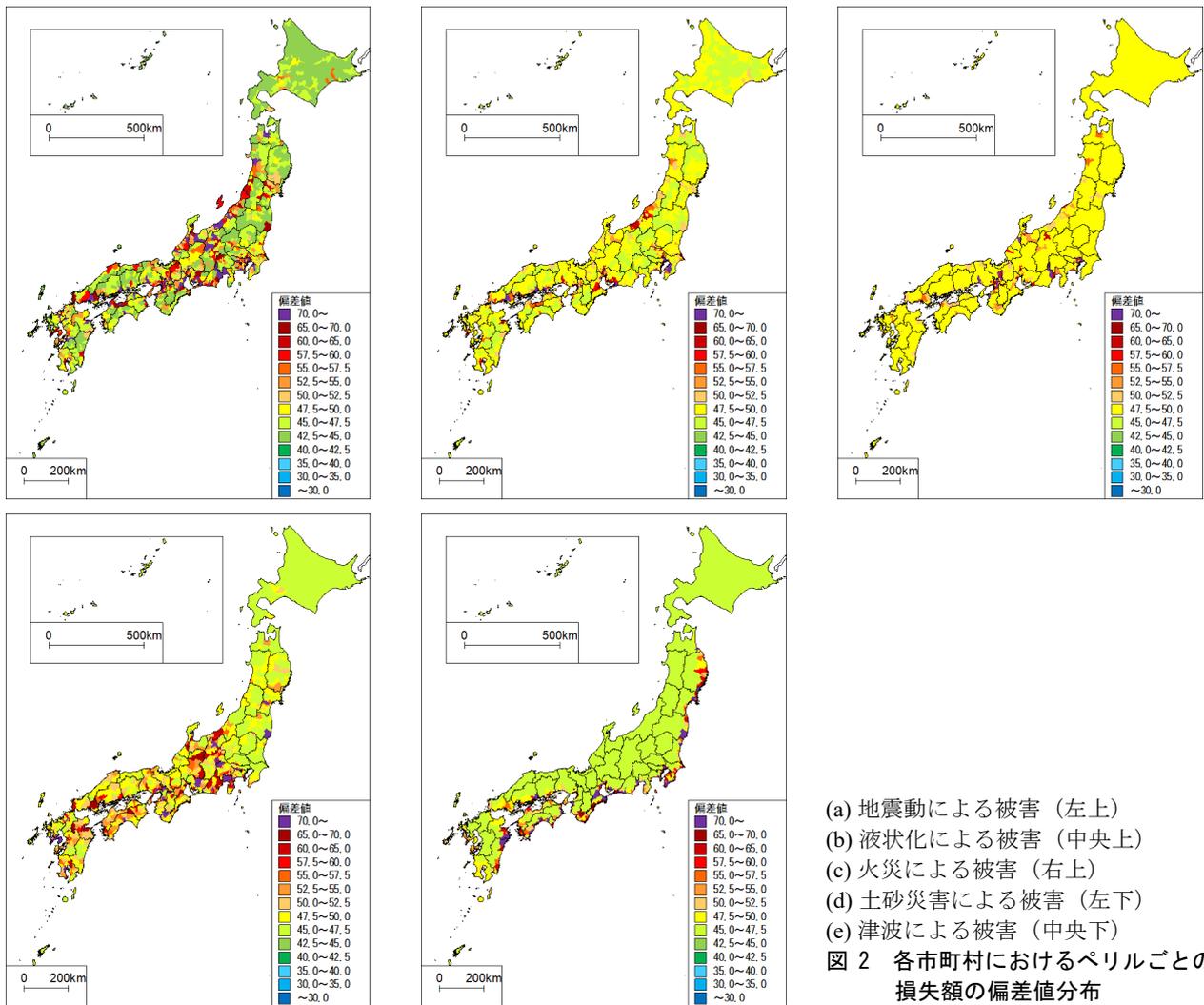
損失額（図2(c)）と損失率（図3(c)）を比較すると、分布の傾向が似ているといえる。損失額・損失率の偏差値ともに、近畿圏で顕著に高くなっており、当該市町村にとっては甚大な被害となるリスクを有しているといえる。また、東京23区や静岡市、金沢市などでは損失率の偏差値と比較して損失額の偏差値が高く、被害を受ける割合は低いものの、その額は大きいといえる。これらの地域は都市部かつその一部では木造建物の密集地が存在しており、その結果として損失額が大きくなったものと考えられる。中京圏では、これらの地域と比較すると、損失額・損失率の偏差値ともに低くなっている。

#### d) 土砂災害による被害

損失額（図2(d)）・損失率（図3(d)）ともに、甲信越以西で偏差値の高い地域が点在している。特に、阿蘇山・九重山周辺、四国南部、近畿南部、静岡県、山梨県、長野県などに損失率の高い地域が集中している。三大都市圏では損失額・損失率の偏差値ともに低い地域が多い。

#### e) 津波による被害

損失額（図2(e)）・損失率（図3(e)）ともに、日本海



溝、相模トラフ、南海トラフに面する沿岸地域で偏差値が高くなっている。また、瀬戸内海沿岸地域においても、損失額の偏差値が高い地域が見られる。なお、本研究で用いた津波ハザード情報には千島海溝沿い、日本海などにおいて発生する津波が含まれていないことに留意されたい。これらの海域で発生する津波を考慮したリスク評価については、今後の課題としたい。

## (2) エクスポートごとの偏差値分布

### a) 建物被害

損失額 (図4 (a)) と損失率 (図5 (a)) を比較すると、分布の傾向が異なっているが、ともに偏差値の高い地域が点在している。損失額の偏差値は三大都市圏において高い地域が多い。損失率の偏差値は近畿圏で高い地域が多いが、首都圏・中京圏では損失額の偏差値分布と比較すると全体的に低くなっている。このため、近畿圏では総資産の大部分が被害を受け、かつ損失額も大きく、甚大な被害となるリスクを有しているといえる。首都圏・中京圏では、被害を受ける資産の割合は大きくないものの、損失額が大きいという特徴を有しているといえる。

### b) 人的被害

損失額 (図4 (b)) と損失率 (図5 (b)) を比較すると、分布の傾向が似ている。損失額・損失率の偏差値ともに、高知県南部、近畿圏、近畿南部、静岡県、長野県、千葉県南部、三陸沿岸などで高い地域が見られ、津波被害による影響が大きいと考えられる。損失額の偏差値が高い

地域では、多数の犠牲者が発生することが懸念される。

### c) ライフライン被害

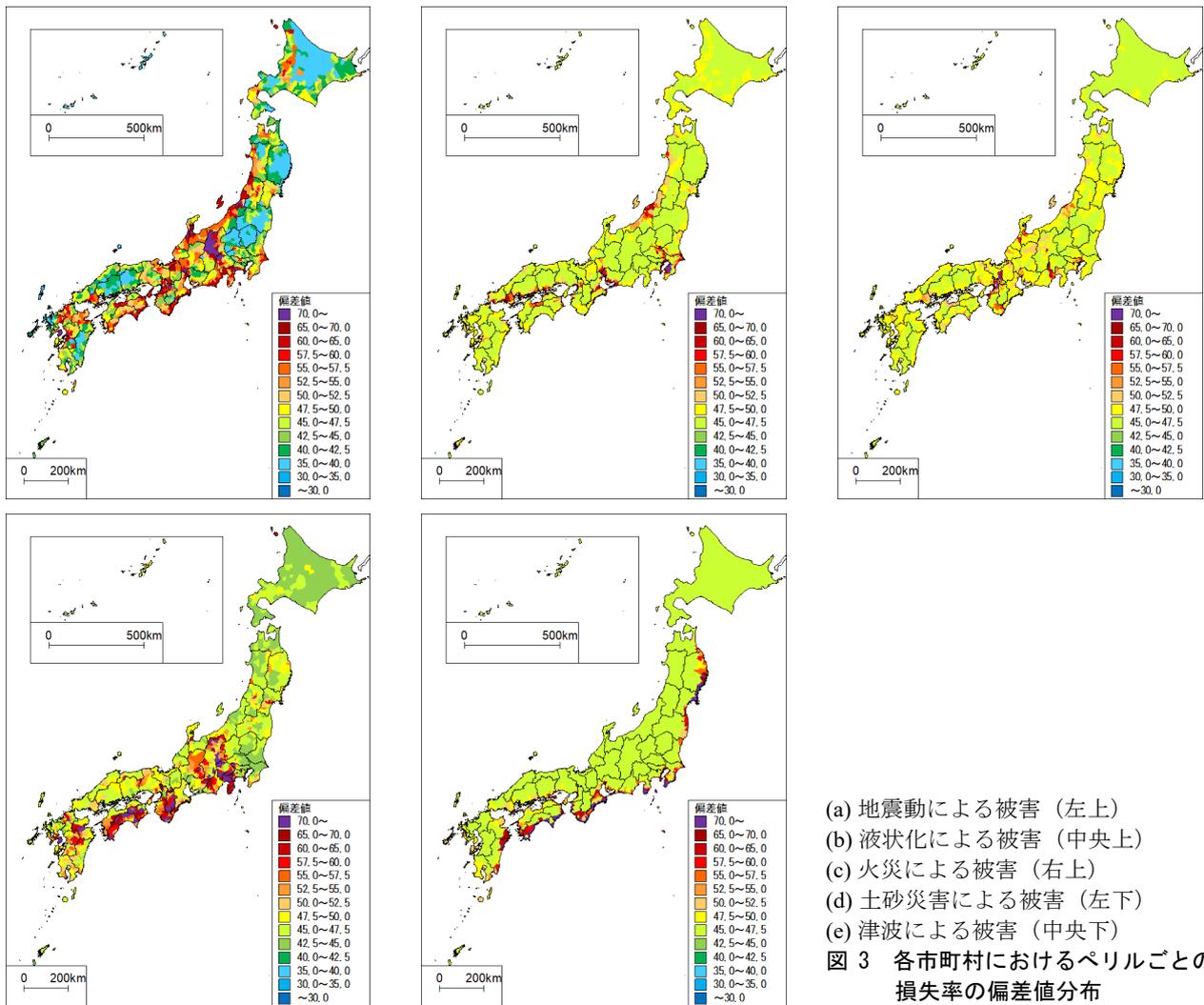
損失額 (図4 (c)) は市区町村ごとのエクスポージャの賦存量分布と一致し、損失率 (図5 (c)) はすべての市区町村の偏差値が50となった。これは、設定した地震動のハザードレベル (2.2節参照) が高く、すべての市区町村で停電および断水が発生したためである。本研究では停電と断水の損失額を加算して損失率を算出したが、実際には「停電のみ発生」「断水のみ発生」「停電・断水の両方発生」「被害なし」の4パターンに分類される。本研究では電力施設・水道管路施設などの固有の曝露データを利用して被害推定をしておらず、施設の耐震化なども反映されていない。これらの課題解決のためには、電力・水道の広域的なデータ整備が必要であり、この点については今後の課題としたい。

### d) 交通インフラ被害

損失額 (図4 (d)) と損失率 (図5 (d)) を比較すると、分布の傾向が異なっているが、ともに偏差値の高い地域が点在している。三大都市圏のうち、大阪府では損失率の偏差値が高い市区町村が多く、総資産の大部分が被害を受けるリスクを有しているといえる。

### e) 産業被害

損失額 (図4 (e)) と損失率 (図5 (e)) を比較すると、偏差値が50以上の地域の分布は似ているが、階級ごとの分布の傾向は異なっている。例えば、四国南部、近畿南部、三陸沿岸などでは、損失率の偏差値が高い地域が多



いが、損失額の偏差値は損失率の偏差値と比較して低くなっている。一方で、東京都、愛知県東三河地域から静岡県東部の沿岸では、損失額の偏差値の高い地域が多いが、損失率の偏差値は損失額の偏差値と比較して低くなっている。三大都市圏のうち、近畿圏では損失額・損失率の偏差値ともに高くなる傾向があり、甚大な被害となることが懸念される。

## 5. リスク指標の試算結果 —市区町村のリスク—

本章では、試算の結果得られたリスク指標のうち、いくつかの市区町村に注目し、その地域が有するリスクをレーダーチャートを用いて示す。ここでは、異なる特徴を有すると考えられる、以下の4地域に注目する。

- ・陸前高田市：海に面しており、東北地方太平洋沖地震では甚大な津波被害が発生した地域である。
- ・浦安市：海に面しており、東北地方太平洋沖地震では甚大な液状化被害が発生した地域である。
- ・東京都杉並区：内陸の密集住宅市街地である。
- ・静岡市清水区：海に面しており、南海トラフ巨大地震による被害が懸念される地域である。

なお、レーダーチャートの見やすさを考慮し、偏差値の最大値を70、最小値を30として表示した。ペリルごとの損失額・損失率の偏差値（以下、ペリル表示と呼ぶ）を図8上段に、エクスポージャごとの損失額・損失率の偏差

値（以下、エクスポージャ表示と呼ぶ）を図8下段に示す。偏差値が高いほど、潜在する地震リスクが高いことを示している。以下、各地域におけるリスクの特徴をまとめる。

### (1) 陸前高田市

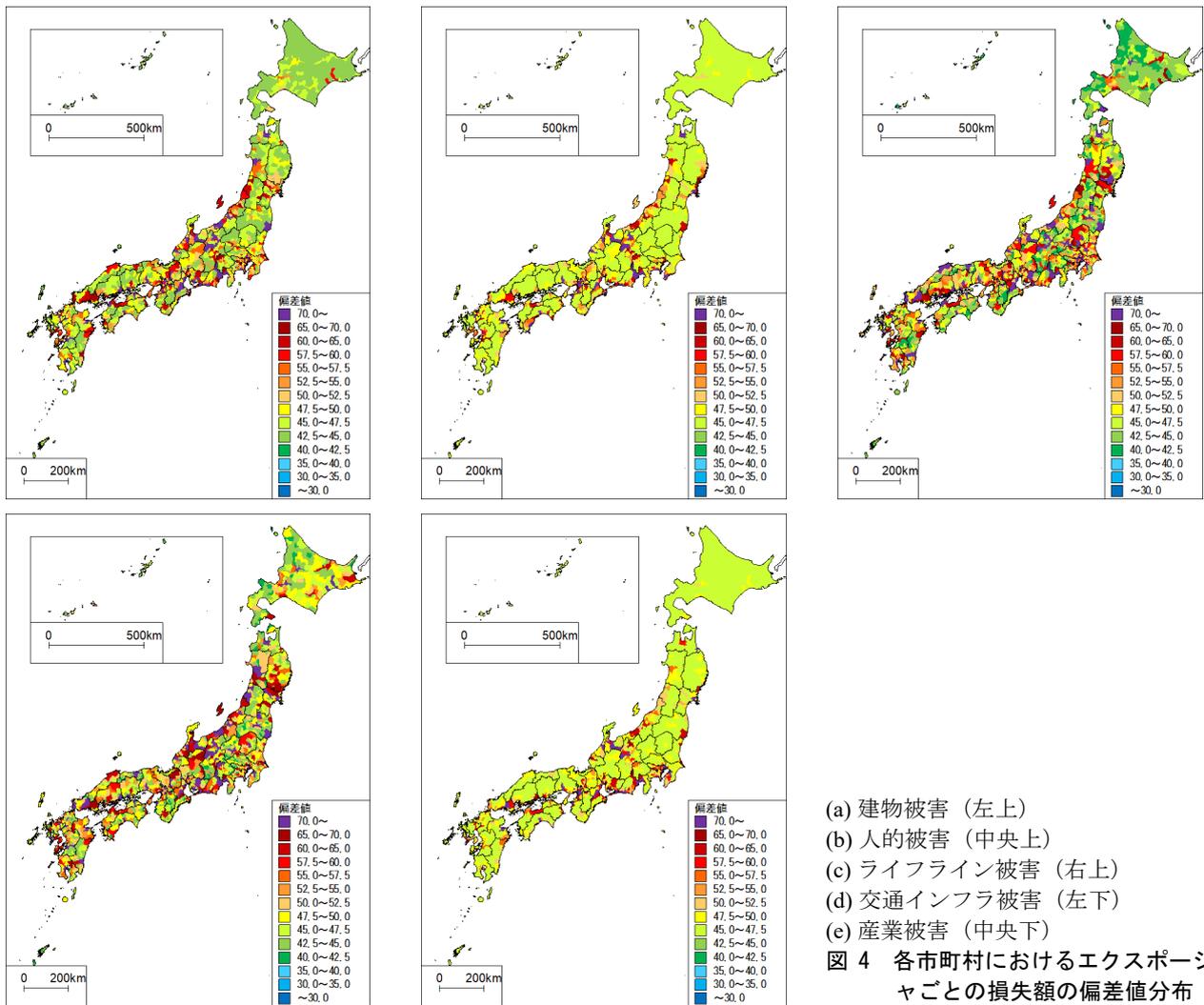
ペリル表示（図8 (a) 上段）において、津波による損失率の偏差値（76）が高く、津波のリスクが高いといえる。

エクスポージャ表示（図8 (a) 下段）において、人的被害による損失額・損失率の偏差値（それぞれ 69, 98）が高く、人的被害のリスクが高いといえる。また、交通インフラ被害・産業被害による損失率の偏差値（それぞれ 84, 62）も高いことから、これらのリスクも高い地域といえる。この要因として、これらのエクスポージャが海岸付近に分布していることなどが考えられる。

### (2) 浦安市

ペリル表示（図8 (b) 上段）において、液状化による損失額・損失率の偏差値（それぞれ95, 106）が極めて高い。液状化のリスクが極めて高く、甚大な被害となるリスクを有しているといえる。また、津波による損失額の偏差値（65）も高く、津波のリスクも高いといえる。

エクスポージャ表示（図8 (b) 下段）において、交通インフラ被害による損失率の偏差値（72）が高く、建物被害・産業被害による損失率の偏差値（それぞれ 62, 59）も高いことから、これらのリスクが高い地域といえる。



浦安市は陸前高田市と同様に沿岸の市区町村であり、津波のリスク、交通インフラ被害、産業被害によるリスクが高いといった特徴が共通している。そのため、これらのリスクは沿岸地域に共通するリスクであることが推察される。一方で、陸前高田市では人的被害のリスクが高く、浦安市では液状化のリスクが高いといった違いも見られる。これらは、沿岸地域という地理的特徴にとどまらない、その市区町村が独自に有する潜在的なリスクであると考えられることができる。

### (3) 東京都杉並区

ペリル表示 (図8 (c) 上段) において、地震動および火災による損失額の偏差値 (それぞれ67, 80) が高く、地震動、火災のリスクが高いといえる。また、損失率の偏差値 (それぞれ44, 59) と比較して高いことから、被害を受ける資産の割合は大きくないものの、損失額が大きいという特徴を有しているといえる。

エクスポージャ表示 (図8 (c) 下段) において、建物被害、ライフライン被害、産業被害の損失額の偏差値 (それぞれ68, 82, 66) が高く、これらのリスクが高いといえる。また、地震動と火災のペリルと同様に、損失率の偏差値 (それぞれ47, 51, 48) と比較して高いことから、被害を受ける資産の割合は大きくないものの、損失額が大きいという特徴を有しているといえる。

杉並区と同様に、内陸の密集住宅市街地の一例として大阪市生野区においても、地震動、火災のリスク、また、

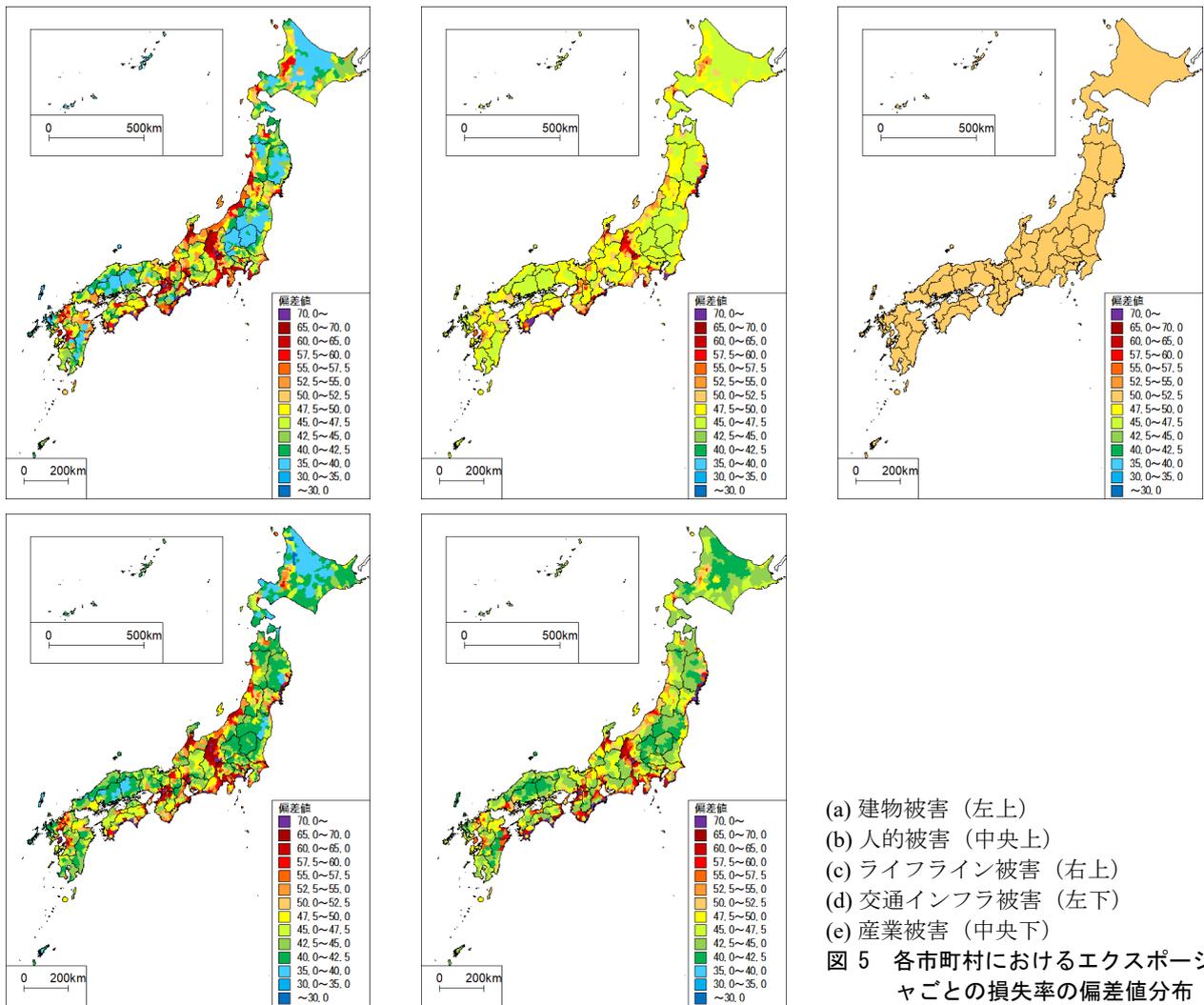
建物被害、産業被害のリスクが高い特徴が見られた。そのため、これらのリスクは内陸の密集住宅市街地に共通するリスクであることが推察される。これらのリスクについて、杉並区では損失額の偏差値が損失率の偏差値と比較して高くなったが、生野区では損失額・損失率の偏差値ともに高い特徴が見られた。これらは、内陸の密集住宅市街地という特徴にとどまらない、その市区町村が独自に有する潜在的なリスクの特徴であると考えられることができる。

### (4) 静岡市清水区

ペリル表示 (図8 (d) 上段) において、地震動、火災、土砂災害、津波による損失額の偏差値 (それぞれ91, 61, 65, 78) が高く、地震による様々なペリルに対するリスクが高いといえる。この要因として、清水区は南海トラフに面した海岸線を有すること、山間部の面積が大きいことなどが考えられる。

エクスポージャ表示 (図8 (d) 下段) において、5つの指標すべての損失額の偏差値が70を上回っており (建物被害は90, 人的被害は95, ライフライン被害は74, 交通インフラ被害は93, 産業被害は84), いずれのエクスポージャにおいてもリスクが極めて高い地域といえる。

清水区では陸前高田市や浦安市と同様に、沿岸地域に共通すると推察される、津波のリスク、交通インフラ被害、産業被害のリスクが高い特徴を有している。一方で、地震動、火災、土砂災害のリスク、建物被害、人的被害、



ライフライン被害のリスクも高く、清水区特有の潜在的なリスクを見出すことができる。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、市区町村ごとの地震リスクを明示し、最終的には効果的な地震リスクマネジメントに資することを目的として、地震による主要なペリルとエクスポージャに着目したリスク指標を提案した。さらに、提案したリスク指標を用いて、全国的な概況、4つの市区町村の事例を示した。主たる成果を以下に記す。

- 1) ペリルとエクスポージャの観点から地震リスクを評価するリスク指標を提案した。既往の調査・研究成果に基づき、ペリルは地震動、液状化、火災、土砂災害、津波の5項目、エクスポージャは建物被害、人的被害、ライフライン被害、交通インフラ被害、産業被害の5項目を指標とした。各指標は、主に全国地震動予測地図による確率論的な地震ハザード情報をもとに設定したハザードレベルにおいて算出される。ペリルの各項目はそのペリルによって被害を受けたエクスポージャ5項目の損失額(率)、エクスポージャの各項目はそのエクスポージャがペリル5項目により受けた損失額(率)として算出される。
- 2) 提案手法はペリル、エクスポージャごとの損失額(率)を偏差値表示することで、市区町村ごとの地震リスクを明示できるとともに、地域間で比較する

ことができる。限られたリソースを有効に配分することに資するツールとして、効果的な地震リスクマネジメントの一助となることが期待される。

- 3) リスク指標の試算結果として、各市区町村のペリルごとの損失額(率)の偏差値分布、エクスポージャごとの損失額(率)の偏差値分布を示し、全国的な概況を分析した。例として、近畿圏では地震動、液状化、火災によるペリル、5つすべてのエクスポージャにおいて、高いリスクを有することが確認された。
- 4) 市区町村から見た視点として、陸前高田市、浦安市、東京都杉並区、静岡市清水区を対象に、ペリル表示とエクスポージャ表示による2つのレーダーチャートを示し、その地域が有するリスクの分析例を示した。沿岸地域では津波のリスク、交通インフラ被害、産業被害のリスクが高い特徴が見られ、内陸の密集住宅市街地では地震動、火災のリスク、建物被害、産業被害のリスクが高い特徴が見られた。

今後の研究の発展に向けた主たる課題を以下に記す。

- 1) リスク評価において、適切な曝露データの使用が望まれる。本研究では、建物・人口・道路の曝露データは藤原ら(2018)<sup>5)</sup>および国土数値情報<sup>29)</sup>のメッシュ別データを使用した。しかし、ライフラインに関しては電力・水道の曝露データを利用しておらず、建物棟数データを利用してリスクを算出している。また、産業被害に関しては東日本大震災前の都道府県単位の資本ストックデータを工業統計や建物データでメッシュに配分し利用しており、その空間分布

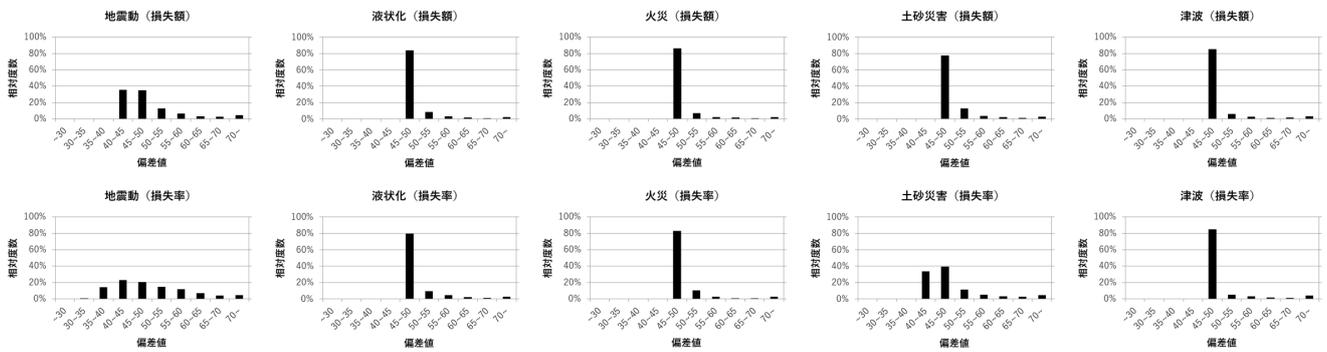


図6 ペリルごとの市区町村のヒストグラム (上段：損失額, 下段：損失率)

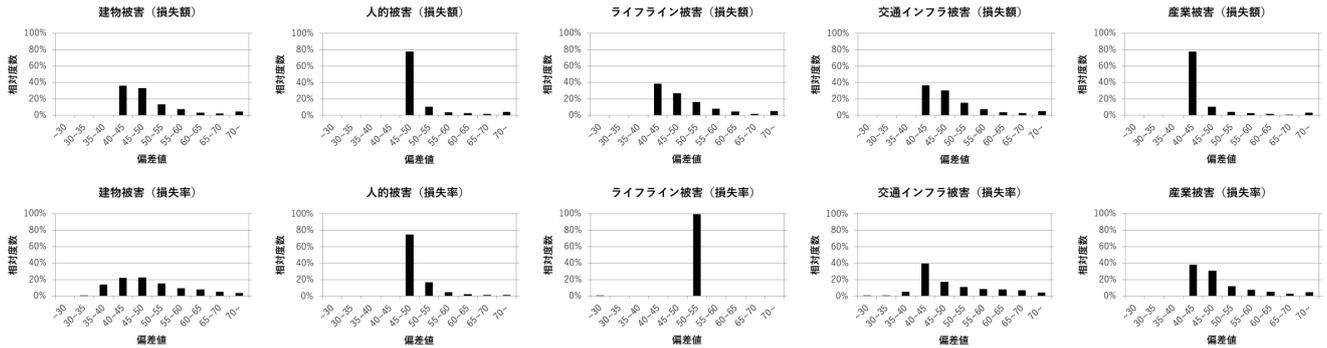


図7 エクスポージャごとの市区町村のヒストグラム (上段：損失額, 下段：損失率)

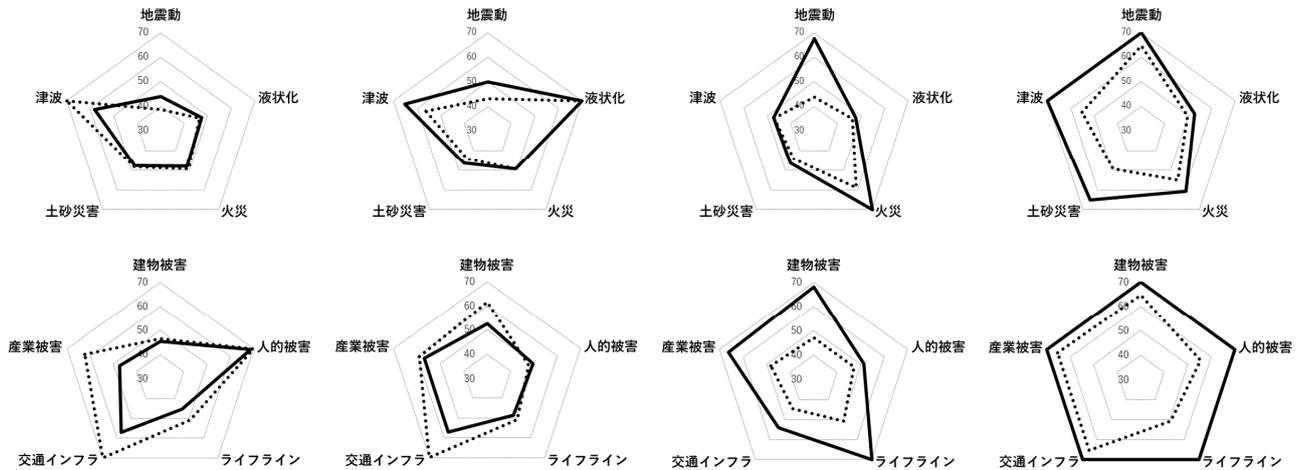


図8 ペリル表示 (上段) およびエクスポージャ表示 (下段) のリスク指標 (実線：損失額, 破線：損失率)

は改善の余地が大きい。今後、これらの曝露データを整備し、リスク評価に反映させる必要がある。

- 津波のリスクを算出する上で、地震動による算出方法と同様に、確率論的な津波ハザード情報を用いることが望ましい。2019年4月現在、全国的に整備されたデータは公開されておらず、本研究では既往研究による浸水深分布を代用した。このため、提案したリスク指標において、津波はその他のペリルと異なる設定に基づいた評価となっている。今後、確率論的な津波ハザード情報が利用可能となり次第、そのデータに基づくリスク評価を行う必要がある。

なお、本研究で得られたリスク指標は、全国を俯瞰して、ペリル、エクスポージャごとの地震リスクの大小が市区町村単位で明示されるため、ある市区町村にお

いて、どのペリル、エクスポージャを対象とした地震リスクマネジメントが効果的であるのかを把握することが可能になると考えられる。加えて、対策後のフラジリティカーブ等を反映させることで、対策後のリスク指標を得ることも可能であることから、限られた予算を、どの地域の、どのペリル、エクスポージャに対する対策に利用するのが効果的であるのかについて、広域的な見地から判断する一助となることが期待される。

## 謝辞

本研究は国立研究開発法人防災科学技術研究所の「ハザード・リスク評価に関する研究」の一環として実施したものである。

## 補注

- (1) リスク  $R$  の算出 (式[1]) において, 損失額  $D$  は発生確率の要素を含んでいることに注意されたい。リスクに対する考え方は, 対象分野および学問分野によって多岐にわたる。多様な分野におけるリスクの概念, 定義, 特徴等については, 例えば「リスク学事典」(日本リスク研究学会編, 2019)<sup>42)</sup>を参照されたい。
- (2) 内陸活断層地震と海溝型地震の再現期間は一般的に大きく異なる。また, 再現期間が異なる地震について, 全国地震動予測地図や長期評価における BPT 分布を使用したモデルでは, 地震後経過率が同じであっても, 地震の発生確率が大きく異なる。これらを踏まえ, 本研究では, それぞれのタイプの地震について異なる確率レベルを設定した。また, 異なるタイプの地震に対する適切な確率の見方として, 長期評価で採用されているランクに基づき, 活断層・海溝型ともに「やや高い」と分類されている境界値を利用して設定した。

## 参考文献

- 1) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフ巨大地震の被害想定について(建物被害・人的被害), 2019.
- 2) 地震調査研究推進本部: 全国地震動予測地図, [https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic\\_hazard\\_map/shm\\_report/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/). (2019年8月3日閲覧)
- 3) 防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>. (2019年8月3日閲覧)
- 4) 能島暢呂・他: わが国の全地震活動モデルを用いた震度曝露人口による地震リスク評価, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.74, No.4, pp.1109-1119, 2018.
- 5) 藤原広行・他: 全国を対象とした地震リスク評価手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, Vol.415, 2018.
- 6) 国連大学: 世界リスク報告書 2015年版, <https://jp.unu.edu/news/announcements/international-launch-of-the-worldriskreport-2015.html>. (2019年8月4日閲覧)
- 7) 地盤工学会関東支部 地盤リスクと法訴訟等の社会システムに関する研究委員会: 自然災害に対するリスク指標 GNS[2015年版], <http://www.jgskantou.sakura.ne.jp/group/pdf/GNS2015.pdf>. (2019年8月4日閲覧)
- 8) 鹿島 SEEHM 研究会: ロングロード 第2号 -地震被害の低減を目指して(過去の地震に学ぶ) -, pp.2-7, 1992.
- 9) 鹿島 SEEHM 研究会: ロングロード 第5号 -地震被害の低減を目指して- 阪神大震災を考える -, pp.2-3, 1995.
- 10) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告), 2012.
- 11) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ: 南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告), 2013.
- 12) 地震調査研究推進本部: 長期評価, [https://www.jishin.go.jp/evaluation/long\\_term\\_evaluation/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/). (2019年8月4日閲覧)
- 13) 地震調査研究推進本部: 主な海溝型地震の評価結果(ランク), [https://www.jishin.go.jp/evaluation/evaluation\\_summary/#kaiko\\_rank](https://www.jishin.go.jp/evaluation/evaluation_summary/#kaiko_rank). (2019年8月4日閲覧)
- 14) 齊藤龍・他: 南海トラフ沿いを対象とした津波予測解析, 日本地震学会講演予稿集2017年度秋季大会, S17-P14, 2017.
- 15) 首都直下地震モデル検討会: 首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書, 2013.
- 16) 国土交通省都市局: 復興支援調査アーカイブ, <http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>. (2019年8月20日閲覧)
- 17) 中嶋唯貴・岡田幸幸: 時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定-東海・東南海連動型地震を対象とした東海4県への適用事例-, 日本建築学会構造系論文集, 第622号, pp.79-86, 2008.

- 18) 東京都防災会議: 南海トラフ巨大地震等による東京の被害想定報告書, 2013.
- 19) 先名重樹・他: 液状化発生率におよぼす強震動の継続時間と地域性の影響, 日本地震工学会論文集, 第18巻, 第2号, pp.82-94, 2018.
- 20) 松岡昌志・他: 地形・地盤分類 250m メッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法, 日本地震工学会論文集, 第11巻, 第2号, pp.20-39, 2011.
- 21) 山本明夫・他: 微地形区分データを用いた広域の液状化危険度と液状化による建物被害率の予測に関する研究, 地域安全学会論文集, 第11巻, pp.275-582, 2009.
- 22) 清水智・他: 地域における地震災害の類型化手法の検討, 日本地震工学会論文集, 第16巻, 第3号, pp.169-182, 2016.
- 23) 広島県: 広島県地震被害想定調査報告書(H25.10), 2013.
- 24) 中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会: 第16回 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について(案), 2006.
- 25) 能島暢呂・他: 震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能リスクの二段階評価モデル, 土木学会論文集, No.724, 1-62, pp. 225-238, 2003.
- 26) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会: 平成23年度 浦安市液状化対策技術検討調査報告書, 2012.
- 27) 浦安市都市環境部下水道課: 東日本大震災-浦安市の記録-, 2014.
- 28) Wakamatsu, K. and Matsuoka, M.: Nationwide 7.5-Arc-Second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map and Vs30 Zoning, Journal of Disaster Research, 8, pp.904-911, 2013.
- 29) 国土交通省国土政策局国土情報課: 国土数値情報ダウンロードサービス: <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>. (2019年8月10日閲覧)
- 30) 内閣府: 都道府県別民間資本ストック, [https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data\\_list/kenmin/files/contents/main\\_h21stock.html](https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kenmin/files/contents/main_h21stock.html). (2019年8月10日閲覧)
- 31) 経済産業省: 工業統計メッシュデータの解説, <http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/mesh/2008/kaisetsu.html>. (2019年8月10日閲覧)
- 32) 総務省: 固定資産の価格等の概要調書, [http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/jichi\\_zeisei/czaisei/czaisei\\_seido/ichiran08.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_zeisei/czaisei/czaisei_seido/ichiran08.html). (2019年8月10日閲覧)
- 33) 国土交通省: 建築着工統計調査, [http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku\\_list.html](http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html). (2019年8月10日閲覧)
- 34) 日弁連交通事故相談センター東京支部: 民事交通事故訴訟損害賠償額算定基準上巻(基準編), 2016.
- 35) 東北電力: <http://www.tohoku-epco.co.jp/>. (2019年8月10日閲覧)
- 36) 会計検査院: 東日本大震災からの復興等に対する事業の実施状況等に関する会計検査の結果について, 2015.
- 37) 内閣府: 社会資本ストック推計, <https://www5.cao.go.jp/keizai2/foj/index.html>. (2019年8月10日閲覧)
- 38) 鳥取県防災危機管理課: 平成12年鳥取県西部地震の記録, 2001.
- 39) 新潟県土木部監理課企画調整室: 新潟県中越地震の記録, 2007.
- 40) 新潟県: 新潟県中越沖地震の記録, <http://www.pref.niigata.lg.jp/dobokukanri/1255464221640.html>. (2019年8月10日閲覧)
- 41) 宮城県土木部: 東日本大震災の記録(暫定版), 2011.
- 42) 日本リスク研究学会編: リスク学事典, 丸善出版, 2019.

(原稿受付 2019.8.23)

(登載決定 2020.1.11)