

災害リスクの構造と工学的制御の方法^{*1}

北海道大学大学院工学研究院 建築都市空間デザイン部門
都市防災学研究室 岡田成幸

Structure of Disaster Risk, and Engineering Technology for Protection

Okada Shigeyuki
Faculty of Engineering, Hokkaido University

Abstract

This paper discusses the essential characteristics of seismic disaster. The characteristics are summarized by K. Takahashi, who is one of famous meteorologists, as follows: Natural disaster is characterized by “abnormality” with regard to the magnitude of the disaster, “accidentality and concentration” with respect to the occurrence time of the disaster, “localities and multiple occurrences” about the place of disaster occurrence, and “recurrence and immunity” about the frequency of disaster repetition. In addition, I point out “inequality” in disasters and will assert sharing equal risks to the people as a goal of anti-disaster policy.

1. はじめに

地震を主とした自然災害について、稿を起す。我々は災害から逃れるべく対策を種々講じてきている。いにしえにおいては、災害のメカニズムが計り知れなく、天に祈る儀式が唯一の対策の方途の時代もあった。時が過ぎ、経験を積み、我々も次第に合理的な対策手法を身につけてきた。しかし、災害が持つその本質的性質により未だ災害を克服できたと言えるレベルには達していない。災害の何が対策を難しくしているのだろうか。そもそも災害は我々に克服できる代物なのであるだろうか。仮に、近未来的に克服が難しいのなら、何を目標において我々は対策を講じるべきなのであるだろうか。

わが国は2004年7月に防災戦略の地域目標を各自治体で想定するよう閣議決定した。翌年の防災白書¹⁾には、それを承け成果重視の行政運営の考え方をより明確かつ積極的に防災分野に取り入れるべく、「今後10年以内に、地震による死者数及び経済被害額を半減する事を減災目標におき、対策を具体的に設定する。」よう関係地方公共団体に対し要請している。しかしここで一つの疑問が発生する。内閣府が示した「死者数半減」や「経済被害額半減」は目標の設定の仕方として正しいのであろうか。原則論から言えば目標なのだから半減などと言わず、被害ゼロ（災害をなくすこと、すなわち絶対的「防災」を意味する）を究極の目標値に設定すべきという意見が至極尤ものように思われる。しかし、人が社会生活を営むところに災害は進化し必ず潜む。人の活動自体が災害を生む構造となっているので、人がいる限り災害をなくすことは原理的に不可能である。被害ゼロ社会は理想ではあるが、現実的に不可能なことは目標値にはなり得ない。では、内閣府が示したような被害半減（災害を減らすこと、すなわち「減災」と

^{*1} 本稿は、2017年2月28日開催の自然災害研究協議会北海道地区部会総会において行った特別講演を要約した同センター報告 Vol.31(2018)「災害リスクの構造」に工学的制御に関する内容を追加したものである。

か「縮災」*1 は目標値として正しいのであろうか。

図1は2017年1月16日付け朝日新聞掲載²⁾の都道府県別住宅耐震化進捗状況である。内閣府の要請を受け、2006～2007年度に47都道府県が「2015年度を期限とし死者半減のために、住宅耐震化率を90%に引き上げる」目標を掲げた結果である。これによれば目標達成の都道府県は皆無である。目標値の設定が厳しすぎたためであろうか。そうではない。国土交通省³⁾は2006年に改正耐震改修促進法を制定し、住宅及び特定建築物の耐震化目標90%を打ち出し、住宅改修のための個人財政支援を続けている。当初計画では、これにより耐震改修率が2～3倍増加し、自然建替と合わせて10年で90%耐震化は実現可能と踏んでいた。では何が問題であったのであろうか。理由の一つは、その後の我が国の経済状況の悪化による建築需要の停滞が上げられている。しかし筆者は目標値設定の考え方自体により深い問題が隠されているように思っている。そもそも災害対策の目標はどのように考えるべきなのであろうか。私見としての解は本稿最終章(8章)で述べるが、そのための助走として災害リスクとその制御(対策)について次章から7章までを使って整理しておこう。

2. リスクの定義

災害対策とは災害リスクを制御することである。我々はリスクという言葉が普段の生活の中でよく使うが、日常語化しているため、専門用語としてのリスク(Risk)すら混同して用いている専門家も多い。まずは、用語を整理しておく。日常語としてのリスクは辞書をひもとくと以下のように説明されている。

リスク【*risk*】危険。ある行動に伴って(あるいは行動しないことによって)、危険にあう可能性や損をする可能性を意味する概念。

日常語としてのリスクは、①危険の可能性、②危険の原因、③危険の大きさの3つの意味で使われることが多いが、手元の辞書では可能性についてのみ説明されており、曖昧さが払拭されない。専門用語としてのリスクは明確に定義されている。日本リスク研究学会の定義では、リスク(*Risk*)とは、単位時間あたりの予兆された被害量を言い、次式(1)で記載される。

$$Risk = Probability \times DamageImpact \quad (1)$$

この定義を基に筆者が以下に展開する。リスクは予兆であり、すなわちまだ発生していない事態を議論するので、発生確率(*Probability*: 単位時間あたりの事象発生数)がリスクの大きさを決める一つの

各都道府県が掲げた耐震化率目標と推計値

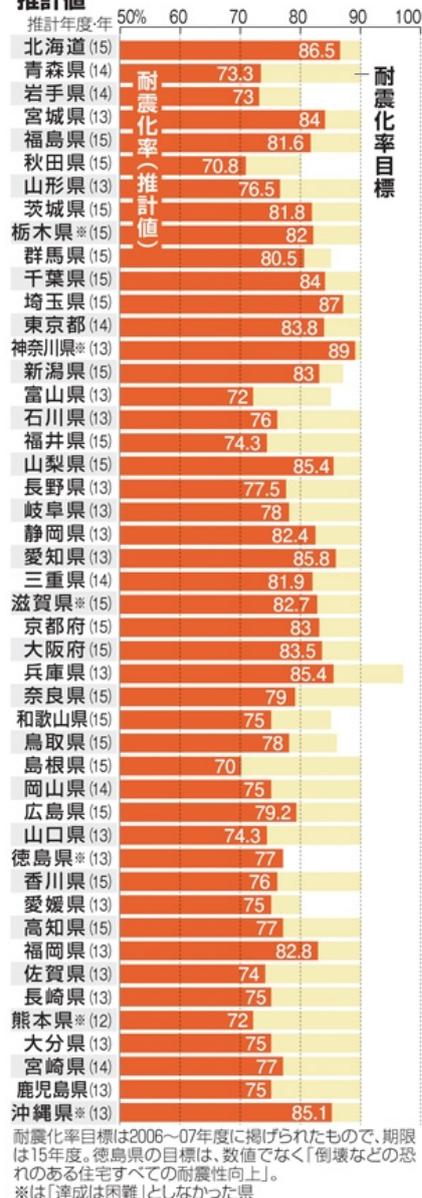


図1 都道府県別住宅耐震化進捗状況(2017年1月16日朝日新聞より)

*1 「縮災」という語は、近年、河田恵昭関西大学教授が使い始めたキーワードであり、被害を押さえることで早期回復させようという「復旧」に力点を置いた考え方であるが、元より対策は時間軸で見ると「事前(防災)」～「事後(復旧・復興)」までを包括する概念であるので(4章(1)項「時間軸から見た対策」にて後述する)、特別に新しい考え方というわけではない。

要因となる。その結果として発生したものを被害 (*Damage*) や災害 (*Disaster*) と言い、その大きさを *Damage Impact* (被害衝撃力: 1 事象あたりの被害量) で定義する。被害あるいは災害を因果関係で表現すると、それを引き起こす直接的要因としての災害誘因 (*Hazard*: 災害入力とも言い、たとえば台風や津波の自然現象の大きさであり、地震動被害の場合は震度や最大地震加速度に代表される地面の揺れの大きさで表現する) と災害の受け手が持つ脆弱性要因としての災害素因 (*Vulnerability*: たとえば建造物の地震動に対する脆弱性や都市の火災に対する燃えやすさなどに代表されるが、目に見えない情報ネットワークや組織、システム、人間など社会に存在する全てが災害の対象となる) で決定する。地域を単位で考える場合は、その地域内に存在する被災対象の地域内分布 (*Population*: 数と分布状態を意味し、 $\Sigma Population$ と記述する) も問題となる。以上を数式記載すると、式 (2) のようになる。

$$DamageImpact = Hazard \times \sum_{Population} Vulnerability \quad (2)$$

一般に災害誘因 (*Hazard*) は自然現象であり制御できない。よって工学は制御可能な素因 (*Vulnerability*) を研究対象とする。なお、自然現象としての *Hazard* は制御と言うよりも、現象の理解という観点から理学が扱う現象である。

さて、リスクは混同しやすい用語であると既述した。日本で特に誤用が多い。それは日本が世界的に見るとホモジニアス社会^{*1} という特異な環境に由来する。地震災害についても、日本は木造家屋社会であるので、地震脆弱性 (*Vulnerability*) は日本各地ほぼ同一とみなされ、上式 (2) において *Vulnerability* は一定定数として扱われるため無視され災害誘因 (*Hazard*: ここでは地震動の強さ) が被害を決定づけるという図式がまかり通ってきた。すなわち「*Damage* (災害)」=「*Hazard* (自然現象)」=「天災」として受け止め、制御を諦めたリスク (許容せざるを得ないリスク) あるいは許容できるリスク (*Acceptable Risk*) として容受してきた歴史がある。災害誘因 (*Hazard*) を被害 (*Damage*) と混同する例は枚挙にいとまがない。たとえば地震発生の際に気象庁から発表される震度は *Hazard* の尺度であり、「震度 5 強の揺れ」という使い方をするものであるが、時々「震度 5 強の被害」というような被害尺度として使われるのは、その混同の最たるものであろう。

混同を許さない定義が如何に重要かは、以下の三段論法で理解できるであろう。

- ① 明確な定義ができれば、定量化が可能となる。
- ② 定量化ができれば、モデル化が可能となる。
- ③ モデル化ができれば、制御が可能となる。

以上が、工学的手法の神髄であり、全ては定義から始まる。

3. 工学的リスク制御の方法

以上定義されたリスクを如何に制御していくかを考えるのが災害対策である。工学的制御方法を中心に以下に整理する。災害低減のための対策の基本は多重対策であることを筆者は主張する。一つの対策が仮に破られても、多重で防御することで災害は回避できる可能性が高くなるからである。筆者は時間-因果-主導レベルの 3 軸の多重対策を提案する。図 2 に示す。以下、地震動災害を中心に議論する。

(1) 時間軸から見た対策

災害対策を時間軸で見た場合、その一般型は災害事象の発生前後で「事前対策」と「事後対応」に分類される (図 2 の時間軸参照)。同図は時計回りで時間が流れている。事前対策の対象はまだ発生してい

^{*1} 日本は木造家屋の占める割合の高いことに象徴されるようにハード的に一様であり、かつては社会構造的にも多くの日本人が中間層としての意識が高く、日本総中流階級という均一性が特徴であった。しかしその後大きな変化が訪れる。これについては、6 章 (8) 項「リスクの時代格差」において補足する。

3軸による
地震防災対策整理

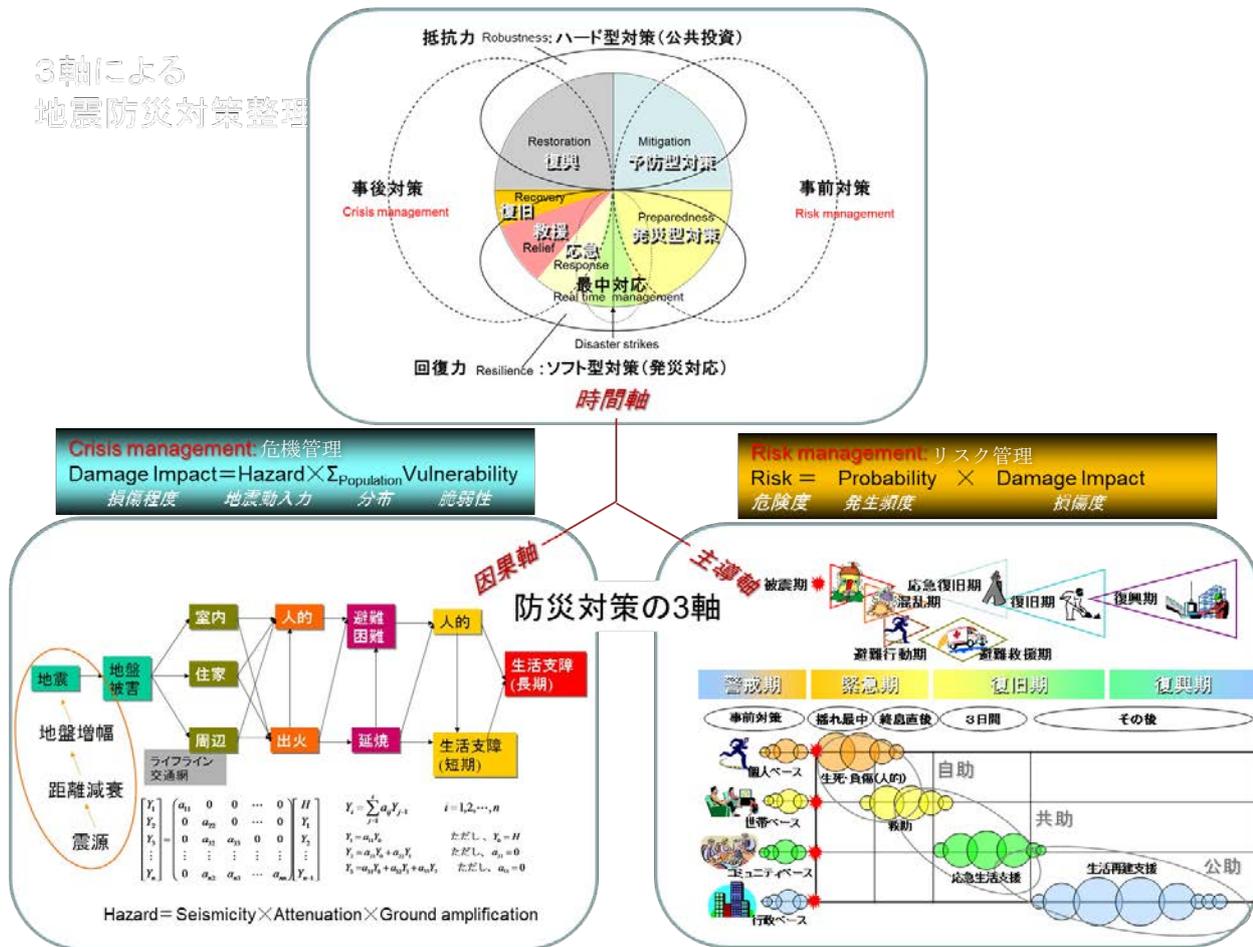


図2 3軸による地震防災対策整理

ない災害であり予兆としてのリスクである。その対策をリスク管理 (Risk Management) と言う。災害を地震に限定した場合、事前対策とは当該地域への想定地震に対する準備型のものであり、災害の発生そのものを都市機能整備や耐震化等によりハード的に押さえ込む予防型対策 (Mitigation) と災害の発生をある程度許容しつつ被害を拡大させない減災型対策あるいは発災対応型対策 (Preparedness) に分類される。

事後対応とは前記した発災対応型対策を実践するものであり、その対策を危機管理 (Crisis Management) と言い、消火活動や医療対応等の応急対応 (Response) と避難所物資供給等の救援 (Relief)、さらに復旧 (元の状態に戻すこと: Recovery) あるいは復興 (よりよい状態に改善すること: Restoration) を目的とした対応を言う。リスク管理と危機管理は同意的に混同使用される場面によく遭遇するが、本来、時間軸で見ると全く異なるものであることに注意が必要である。

事前対策と事後対応の二つの時間帯の狭間にある「揺れている最中」に関しては、かつては「揺れている最中の行動規範作り」が事前に行える最中対策の唯一のものであった。しかし、2007年10

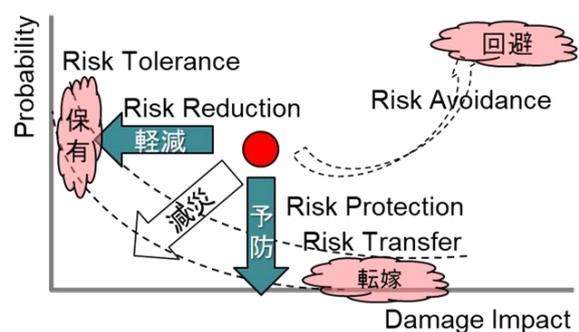


図3 リスク管理の概念図

月 1 日より気象庁が緊急地震速報の一般配信を開始したことにより、新たなアクティブな対策が現実味を帯びてきた。すなわち「最中防災（リアルタイム防災：Real-time Management）」が対策として市民権を得た。地震発生を確認した後に揺れが襲ってくるまでの遠地における余裕時間を利用するものと言う場合や正に揺れている中での対策を意味するなど、リアルタイムが持つ意味には多少の幅はあるが、前者の意味での最中防災で実用化されているものは、高速軌道（JR 新幹線）向けに開発された UrEDAS（ユレダス）と呼ばれている早期地震検知警報システムがある。気象庁の緊急地震速報も導入の大きな目的は同じであり、地震発生直後の初期微動を震源近傍で捉え、遠地に対して主要動が到達する前に、揺れの大きさと到達時間を予測し警報するシステムである。当研究室⁴⁾でも、室内における負傷回避にこのシステムを利用した避難誘導システムを開発している。

図 2 の時間軸には事前と事後という時間分類の他に、ハードとソフトという対策の質的分類がなされている。ハード型対策は現状をより耐震的な抵抗力（Robustness）を高める公共的対策を言い、時間軸上では復興～予防型対策が相当する。またソフト型対策は元の状態への回復力（Resilience）を高める対策を言い、時間軸上では発災型対策～復旧までが相当する。

事前対策（Risk Management）は予兆としてのリスクを下げる対策であり、式（1）によればリスクは発生確率（Probability）と被害衝撃力（Damage Impact）の 2 軸で表現できる。図 3 はリスクと事前対策との関係、すなわちリスク管理の概念図である。発生確率が高く、被害衝撃力も大きな HPHC（High Probability - High Consequences）型災害についてはその場所から回避（Risk Avoidance）するしかない。リスクをゼロに近づける減災には 2 方向の方法があり、耐震化対策などによる災害発生確率を押さえるリスク予防（Risk Protection）と避難計画などに代表される発災対応による事前準備で損傷程度を下げるリスク軽減（Risk Reduction）の方法がある。損傷程度が十分に小さな災害に対しては、事後対応のみで対応可能と判断できれば事前復旧計画や災害準備金積み立てなどのリスク保有（Risk Tolerance）が有効となる。一番の難題は低頻度高被害の LPHC（Low Probability - High Consequences）型災害であり、この場合は保険による金銭補償、いわゆるリスク転嫁（Risk Transfer）も対策の選択肢として考えておく必要がある。

事後対応（Crisis Management）の対象は起こった後の災害対応なので、式（1）において発生確率（Probability=100%）= 1.0 を代入すると、式（2）の被害衝撃力（Damage Impact）が事後対応の対象となることが分かる。式（2）が示唆するとおり、被害衝撃力は誘因（Hazard）と素因（Vulnerability）の積集合として表現されているので、その対策は因果律で概観するのがわかりやすい。

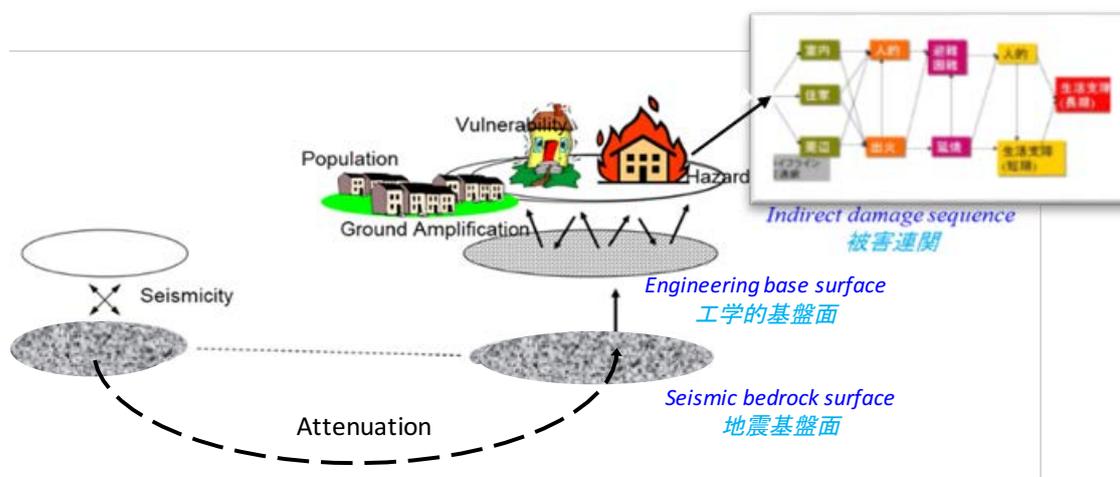


図 4 地震災害の因果軸

(2) 因果軸から見た対策

図 4 は図 2 左下 (因果軸) を詳細化したものであり地震災害を因果の連鎖モデルで記載してある。式 (2) はさらに分解でき、誘因の Hazard は地震動災害においては地面の揺れ (地震動) に相当し、以下で表現できる。

$$\text{地震動 (Hazard)} = \text{地震活動度 (Seismicity)} \times \text{距離減衰 (Attenuation)} \times \text{地盤増幅 (Ground Amplification)} \tag{3}$$

素因については間接被害までを含めると、以下で数式表現できる (太田,1982)⁵⁾。

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_{n-1} \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} Y_i &= \sum_{j=1}^i a_{ij} Y_{j-1} && i=1,2,\dots,n \\ Y_1 &= a_{11} Y_0 && \text{ただし、} Y_0 = H \\ Y_2 &= a_{21} Y_0 + a_{22} Y_1 && \text{ただし、} a_{21} = 0 \\ Y_3 &= a_{31} Y_0 + a_{32} Y_1 + a_{33} Y_2 && \text{ただし、} a_{31} = 0 \end{aligned} \tag{4}$$

ここに、H は Hazard、 a_{ij} は素因特性 (Vulnerability)、 Y_i は被害 (Damage Impact) である。低次の被害が高次の被害を誘導する下三角行列モデルとなっている。因果軸から見た対策は、式 (2) ~ (4) における各要素を小さくすることであり、また各要素間のつながりを断ち切ることである。各要素で工学的に制御可能なものは式 (3) 中の Ground Amplification と式 (2) 及び (4) 中の Vulnerability 並びに式 (2) 中の Population である。Ground Amplification の制御は基礎や地盤改良等の対策に相当し建築・土木工学が担当している。Vulnerability の制御の代表例は建造物の震動対策であり、建築工学では耐震・免震・制振技術がある。Population は地域分布を制御する対策であり、土地区画整理事業や地域地区指定等の法制度による人口移動誘導を主とする都市計画対策がある。一方、制御不能な式 (3) 中の要素 Seismicity や Attenuation は地域襲来の強震動の事前評価や緊急地震速報に寄与する直前予測などにより情報提供という形で防災的応用がなされている。以上の因果律から見た地震災害要素の制御方法を表 1 にまとめる。因果軸で災害を理解することにより、合理的な対策技術の発見につながる。

(3) 対策主導軸から見た対策

図 2 右下 (主導軸) は対策の主導レベルと時間軸 (災害の局面) との関係を図示したものである。揺

表 1 因果律から見た地震災害要素の制御方法

基本式	被害衝撃力 $DamageImpact = Hazard \times \sum_{Population} Vulnerability \dots(2)$		
	地震動 $Hazard = Seismicity \times Attenuation \times GroundAmplification\dots(3)$		
活用方法	災害要素	担当分野	具体策例
制御可能	Ground Amplification	建築工学	基礎 (支持杭、摩擦杭、ベタ基礎)
		地盤工学	液状化対策
		土木工学	地盤改良
制御可能	Vulnerability	建築構造	耐震 免震 制振
制御可能	Population	都市計画	土地区画整理事業、地域地区指定、地域誘導、遷都
制御不能	Seismicity	地震学	地震想定
事前評価	Hazard	地震 (工) 学	Hazard Map (強震動予測) Risk Map (被害評価)
事前予測	Attenuation	地震学	緊急地震速報
		地震工学	避難誘導システム

れている最中は自分や家族の生命を守る対策であり、個人で対応せざるを得ない部分である。揺れが止まった直後は家族全員の安全を確保する行動が求められる。室内散乱や住家倒壊などで閉じ込められた場合、家族の協力の下で脱出避難が必要となろう。これら自分自身及び個人世帯での対策行動を一般に自助と呼ぶ。災害が大きい場合、行政の地域支援が十分には届かない。この場合は、地域住民の助け合いが重要となる。行政の地域支援が安定するのに阪神淡路大震災の時には3日間、東日本大震災の時には約1週間を要したという。この間の地域活動を一般に共助と呼ぶ。公助と呼ばれる行政支援が最も必要とされるのは地域復旧復興の時点である。このように対策には対策を主導するレベルごとに役割分担があり、地域の防災力はこれら自助×共助×公助の積集合として評価される。すなわち、一つでも十分に機能しなければ、対策は零になってしまうことを意識しなければならない。

災害対策は3軸間での多重性 (*Multiple Axis*) に加え、各軸内での深層性 (*Defense in Depth*) にも配慮するのが基本である。以下、各軸内での多重性についてまとめておく。

1. 時間軸での深層性

「事前対策 (予防型+発災対応型) ~リアルタイム対応~事後対応」

2. 因果軸での深層性

「地震学 (震源モデル) ~地震工学 (強震動評価) ~地盤工学 (地盤対策) ~建築工学 (構造物対策) ~都市計画 (地域分布) ~社会学 (間接災害) ~…」

3. 主導軸での深層性

「自助×共助×公助」

4. 自然災害の本質

リスクの制御方法 (対策) について整理されたので、次ぎにその目標とすべきところを議論する。対策目標は災害の本質を理解し、そこに踏み込むところから始まる。災害の本質についてここで少し論じてみたい。対策の主眼に置くべきことを理解するためである。少し古い記述となるが、気象学者高橋浩一郎⁶⁾の著作から災害の本質を列挙してみると以下ようになる。災害のもつ特性とは、

- 1) 異常性と意外性
- 2) 偶然性と集中性
- 3) 局地性と多発性
- 4) 歴史性と免疫性

で記述される。まずこれらについて概略説明し、本章最後で本稿のテーマでもある災害の不平等性が災害の本質であり、これを理解し克服することの意義について触れていく。

(1) 異常性と意外性

高橋は異常性と意外性を同一の意味で用いており、「災害は原則的にまれに起こる現象であるといえる。そして、被害の少ない災害は頻度が多いが、まれではあるが異常に被害の大きな災害が起こり、それが長い目で見ると、全被害の中で大きな割合を占める。」と著作の中で総括している。図5は高橋のデータに基づき、筆者が図化したものである。横軸は一つの地震で発生した死者数を示し、それだ

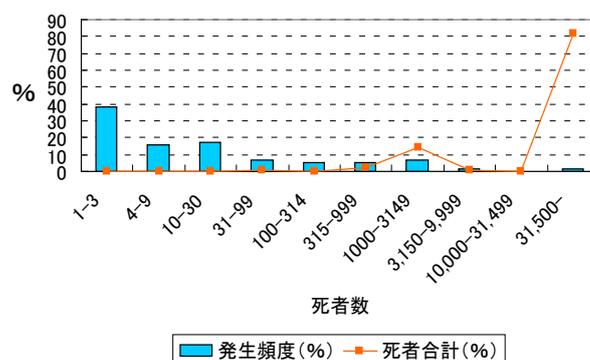


図5 死者数による震災規模 (日本) [高橋浩一郎 (1977) に基づき作成]

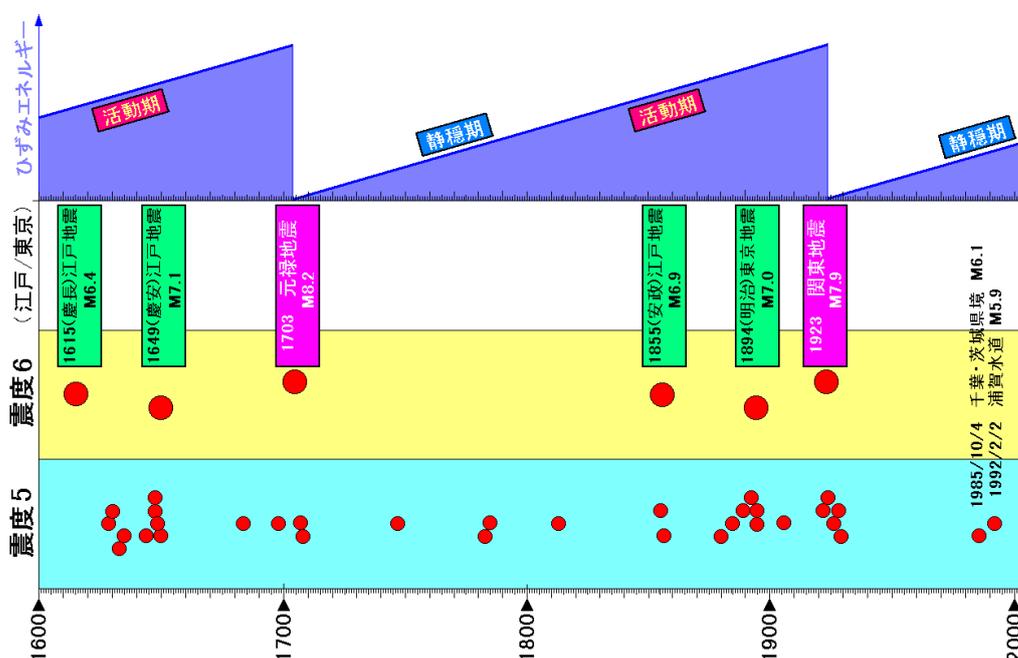


図6 東京で観測した震度時系列 [岡田義光 (2001)⁷⁾

けの死者を伴う地震の発生頻度を棒グラフで、そのクラスの死者数合計を折れ線グラフで示してある。グラフから、死者数が多くなる地震ほど発生頻度は減っていく傾向が読み取れる一方で、死者数合計は31,500人以上の死者が発生した一つの地震(1923年関東大震災)で死者合計の80%以上に達していることが示されている。災害の異常性と意外性を端的に示すグラフであり、滅多に起こらないが起こると大惨事を引き起こすのが災害の本質であると高橋は言っている。最近の言葉で言うならば、低頻度高被害(LPHC: Low Probability - High Consequences)型災害が対策の最重要ターゲットと言うことである。

(2) 偶然性と集中性

高橋は偶然性と集中性を災害の本質の2番目に取り上げている。「災害は偶然的にまれに発生する現象であるが、異常な災害は時期的に集中して起こることも経験的に知っている。」と著作の中で述べている。偶然性については、まれに起こる現象であることに、より留意すべきである意味を込めて、寺田寅彦の言より「災害は忘れた頃にやってくる」を高橋は引用しているが、集中性については「災害は忘れないうちにやってくる」ことも同時に指摘した災害の特質とも言えようか。偶然性と集中性の地質学的説明は、図6の地震の歪みエネルギー解放の静穏期と活動期により理解できる。同図は東京で観測された震度6と5の地震の発生時系列である。

地震エネルギーは多発する小さな地震では十分に解放されず、低頻度ではあるが関東に震度6相当の揺れをもたらす大きな地震発生により解放され、その後しばらくは地震エネルギーの蓄積が進み(地震静穏期)、ある程度の歪みが溜まった頃に再び大きな地震が発生し始め(地震活動期)、この静穏期と活動期が交互に繰り返すことになる。静穏期は事象発生「偶然性」に相当し、活動期は事象発生「集中性」と特徴付けられる。歪みエネルギーの蓄積と解放が一定のリズムを持つ原因は、日本列島下にプレートが一定速度(たとえば、太平洋プレートは約10cm/年)で潜り込む現象に依っている。

偶然性と集中性は地震発生現象として重要な性質であり、確率統計学的にはポアソン分布で表されることが多い。発生確率が p となるある現象を考える。 n 回中 x 回について発生する事象は2値(「有る」か「無い」か)のみをとるランダム現象の時、その密度関数(PMF: Probability Mass Function)は以

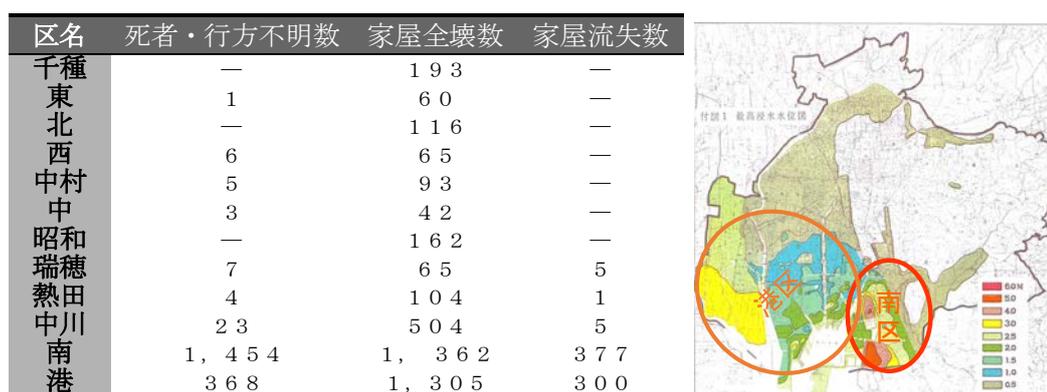


図7 伊勢湾台風による名古屋市の被害状況一覧と最高浸水水位図（名古屋市：伊勢湾台風災害史（復刻）より）

下で表され、二項分布と呼ばれる。

$$PMF \equiv P(X = x) = {}_n C_x \cdot p^x \cdot (1 - p)^{n-x} \quad (5)$$

この二項分布において、 $\lambda = pn$ とおき、 $n \rightarrow$ 大、 $p \rightarrow$ 小としたとき（すなわち、回数 n を大きくし、発生確率 p を小さくしたときであり、まれに発生するランダム現象を考えることに相当する）、二項分布は以下のポアソン分布となる。

$$PMF \equiv P(X_t = x) = (\lambda^x / x!) e^{-\lambda} \quad (6)$$

ここに確率変数 X_t は時間間隔を意味する。高橋も著書において、ポアソン分布を用いたコンピュータシミュレーションを行い、事象発生 of 偶然性と集中性を解説している。この確率分布は地震の発生現象に良く用いられるが、地震現象は発生間隔についてランダムではなく図6に示したように一定の再帰時間（繰り返し時間）があるので、正確な意味でのポアソン分布ではない。最近では *BPT* (Brownian Passage Time) 分布^{*1} が用いられる。

(3) 局地性と多発性

前項は時間的集中性を災害の特質と解釈したものであるが、空間的集中性を高橋は局地性と多発性（災害は局地に多発する）というキーワードで説明している。空間的に被害が集中し、災害が多発する地域が必ずある。前項(1)と(2)が災害誘因（災害を直接引き起こす入力に関する要因のこと）に関する特性であったが、本項の局地性と多発性は災害素因（災害を受ける被災対象が持つ災害拡大要因のこと）に関するものであり、災害脆弱地域として合理的説明が比較的容易に可能である。高橋は例として津波を挙げ、地域特有のリアス式海岸が津波高を高上げする理由と述べている。また、災害対策基本法成立の動因となった1959年伊勢湾台風による名古屋市内の被害状況を表として掲げている（図7）。港区と南区の名古屋市沿岸で死者数が異常に多く発生している。いわゆる海拔ゼロメートル地域であり、最高水位が高くなる地域である。また沿岸地域は台風による強風域に一致し建物が倒壊しやすくなる一方、内陸域では地面抵抗により風速は弱められ家屋被害が少なくなった。災害は脆弱地域を狙い撃ちする。

(4) 歴史性と免疫性

災害素因のもう一つの特性がこの歴史性と免疫性である。災害の受け手（人々が集住する集団（まち）

*1 統計学分野では「逆ガウス分布」と呼ばれている。

を意味する) が時代と共に変化し耐災害性能を獲得して災害免疫性を保有する(災害を認識し効果的対策が完了した地域を言う) 反面、まだ災害として認識されず対策が講じられていない災害に対しては殆ど無防備状態で災害を繰り返している(高橋はこのことを災害の歴史性と呼称した)。高橋は著作の中で、荒川英俊の災害の歴史(1964)を引用し、その年代別災害数について言及している(図8)。

表は歴史と共に増加している災害(風水害、噴火災害)、減少している災害(干魃、疾病)、増減変化の激しい災害(霖雨、飢饉、火災)、よく分からない災害(地震災害)があることを示しており、それぞれの災害発生数を時間変化から説明している。人間集団の住み方(まちの発展の様相)が時代と共に大きく変化し、それに呼応し災害も時代と共に進化する。その受け手側の特質から河田恵昭は都市の集中のパターンにより災害を都市化災害・都市型災害・都市災害の3種に類型化している(図9)。3種とも似たような意味を持つキーワードであるが、集住都市に発生する被害として、被災地住民及び

国土全体に与える影響の大きさの違いを、都市化しつつある発展途上の集住地域が被災する災害を都市化災害と定義し、都市として成熟した集住地域が被災する災害を都市型災害と定義し、人口1000万人を超えるメガシティが被災する災害を都市災害と定義し、その災害の脅威を段階化している。

我々は技術革新が進むことによる都市集積の魅力とその脆弱化に、より敏感になるべきであろう。図10は集積することによる魅力と脆弱性についてまとめたものである。このあと筆者は格差問題を扱うが、集積による経済成長の魅力が国土の一極集中化を助長し、我が国における暮らしやすさに関する地域格差を広げる一因となるが、同時に地理学的にかつ都市計画学的に、さらに経済学的にも極めて災害に脆い構造を作り出していると言わざるを得ない。後述する村上春樹⁹⁾が懸念している1995年問題がこのことにも起因しているのであろう。

(5) 不平等性

以上の4つの災害の本質のうち、筆者は第2と第3の集中性に着目したい。高橋は「時間的集中性」と「空間的集中性としての局地性」を指摘しているが、集中性はなにも時間と空間のみではない。災害は弱者ばかりに集中する。このことを称して、「災害の不平等性」と筆者は呼んでいる。対策の視点として、

増加 変動 減少 変動 減少 増加 不明 変動

年代	風水害	霖雨	干ばつ	飢饉	疾病	噴火	地震	火災
651 700	0	7	24	24	15	10	10	10
701 800	3	5	20	36	22	6	6	3
801 900	5	12	18	28	13	8	7	9
901 1000	7	16	29	8	18	4	3	16
1001 1100	4	4	23	8	19	4	6	32
1101 1200	9	11	19	9	24	6	5	18
1201 1300	6	11	21	9	19	7	9	18
1301 1400	9	8	21	10	25	10	10	6
1401 1500	7	5	21	17	20	8	14	8
1501 1600	7	4	16	21	13	17	13	8
1601 1700	19	7	19	12	6	14	14	9
1701 1800	18	10	19	16	8	12	11	7
1801 1900	15	10	19	11	9	15	13	7
1901 1950	23	4	9	4	11	25	10	14
1951 1964	29	4	4	6	0	25	16	16

図8 年代別災害数(日本) [高橋浩一郎(1977)に基づき作成]

都市パターン	人口密度	都市基盤整備	被災種類	被災過程
都市化災害	経年的に増加中	整備途上	古典的	単一
都市型災害	国平均の数倍~10倍程度	一応整備完了	物的被害に集中	既知
都市災害	国平均の20倍程度	不均衡	人的・物的・巨大被害	未知

図9 都市の集中と災害の進化(河田恵昭氏の定義)



図10 左) 集積都市の魅力と脆弱性 右) メガシティと都市化の進展

災害の不平等性を解消すべくリスクの平等化があるのではないかと思うからである。そして、災害の本質はリスク格差に隠されていると思うからである。以下、私見を交え少しだけ、リスク格差について解説してみたい。

簡単な数値実験をしてみよう。災害でやられた人を犠牲者と呼ぶ。災害にやられやすい人を災害弱者と呼ぶ。そして非災害弱者を健常者と呼ぶ。災害発生時における健常者の被災率を仮に 0.5% ($P(\text{犠牲者} | \text{健常者}) = 0.005$) としよう。そして災害弱者の被災率は、健常者の被災率の 10 倍のリスク不平等性を課し 5% ($P(\text{犠牲者} | \text{弱者}) = 0.05$) としよう。また、ある地域における健常者と弱者の存在割合を 8:2 ($P(\text{健常者}) = 0.8, P(\text{弱者}) = 0.2$) としたとき、顕在化した犠牲者の内、災害弱者はどの程度を占めるだろうか。これは条件付き確率で表現される問題なので、ベイズの定理(式(7))により解くことが出来る。

$$P(\text{弱者} | \text{犠牲者}) = P(\text{犠牲者} | \text{弱者}) \times P(\text{弱者}) / P(\text{犠牲者}) \tag{7}$$

上式中、犠牲者の発生確率 $P(\text{犠牲者})$ は式(8)で与えられるので、

$$P(\text{犠牲者}) = P(\text{犠牲者} | \text{弱者}) \times P(\text{弱者}) + P(\text{犠牲者} | \text{健常者}) \times P(\text{健常者}) = 0.014 \tag{8}$$

$$\therefore P(\text{弱者} | \text{犠牲者}) = 0.71 \tag{9}$$

すなわち、顕在化した犠牲者中の約 70% は災害弱者ということになる。災害の発生確率がランダムであったなら、健常者と弱者の存在割合の比が発生確率になるはずである。すなわち弱者の被害発生率は 20% に留まるはずが、災害脆弱性という不平等性により発生現象は確率的バイアス発生となり、災害弱者に集中し 70% の被害発生率となって顕在化する。そしてその顕在化の前段として災害弱者はリスクの格差で生まれる。このリスク格差を解消する努力こそ、防災対策の目標とすべき視点なのではないだろうか。

5. リスクを決定づける環境

以上、災害の本質を分析し災害弱者にリスクが集中することを指摘した。3章で整理概観した工学的制御の方法を活用し災害対策を進めるための目標はどのように設定すべきなのであろうか。本稿の主題に戻ろう。

冒頭に示したリスク定義式(1)(2)から何が読み取れるであろうか。リスクを定義する理由は、そこに関わる要因とそれを左右する環境を理解し

リスクを正しく制御するためである。視点をグローバルに移動しよう。定義より明らかなのは、リスクはある地域またはある時代のもつ種々の環境のリスク耐性（リスクを制御する力）で決まると言うことである。それを地域あるいは時代のリスク耐性環境と名付けるならば図11のような図式が描けよう。

同図は被害の大きさ（Damage Impact）は誘因（Hazard）と素因（Vulnerability）で決まると同時に、環境の格差で決まるという構造を描いている。Hazard環境は文字通り、Hazardの受け易さを言うものであり、Hazardを決定づける環境は、地震や台風などの自然現象としての災害誘因の発生確率が関与するリスク環境格差であり、この環境格差は人為的に制御ができない不随意要因である。日本は地震の発生源である4枚のプレート境界が接する場所に位置しており、地震襲来を避け得ない。

式(2)の災害素因（Vulnerability）に関わる耐性環境は風土と社会（あるいは生活）の環境である。風土とは一般に気候や地形などの自然環境を言うが、ここではその地域や時代の背景を作る住まい方や文化などの人為的環境を規定するもの、あるいは自然環境と人為環境を含めて風土と言う。

地震で地域の住まいが破壊され、その瓦礫の下敷きになり人は傷つく。瓦礫の下で生存できる時間長さのことを災害医療分野で「黄金時間（Golden Time）」と言っている。その時間内に助け出さなければ、生存可能性は殆ど無いというcritical limitである。国や地域により異なり、中東では12時間（組積造の素材である粗石やアドベの瓦礫下における生存時間）、日本では24～48時間（木造の瓦礫下における生存時間）、メキシコでは数日間（RC造の瓦礫下における生存時間）と言われている。凶器と化す建物瓦礫の材料やサイズ・粉塵量などはその地域の住宅形式に大きく依存する。このように災害発生時の凶器（専門用語で成傷器と言う）は地域を形成する住文化により決まる要素が大きい。風土環境は基本的に人為制御が可能であるが、長い年月をかけて培ってきた住文化に関わるので、一朝一夕に変えられるものでもない。よって、半不随意要因と位置づけられる。風土の東西問題（地理的位置が決定する気候帯の違い）に関わるリスク環境格差である。

Vulnerabilityに関与するもう一つの環境として社会（生活）環境がある。大きく言ってしまえば、その国の技術力・社会末端までの教育力であり、国民の情報リテラシー（文化度）を言う。社会を防災化する技術的・経済的余裕度そしてその重要性の社会的認識度を言う。社会生活環境は人為的に変化させることは可能であり随意要因であるが、根本に大きな慣性力をもつ生活の南北問題（国家間の貧富格差問題）が横たわっており、急激な変革は政治的・経済的・文化的に難しい面がある。なお、災害時に脆弱なモノ（Vulnerability）が地域内あるいは地域間でどのような分布性状（Population）を有しているかも、その地域における被害の大きさ（Damage Impact）には影響する。Vulnerability同様に、風土環境や社会生活環境がその分布格差を左右する。

以上よりリスクが定義され、それを決定づける環境が明確となった。避け得ない環境とそれに立ち向かう環境が拮抗し、その地域や時代のリスク耐性を決定づける。その結果として、リスクの格差が発生

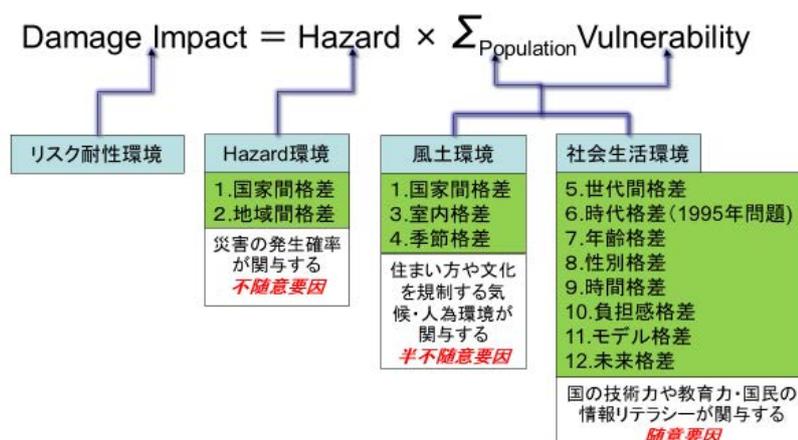


図11 リスクを決める環境

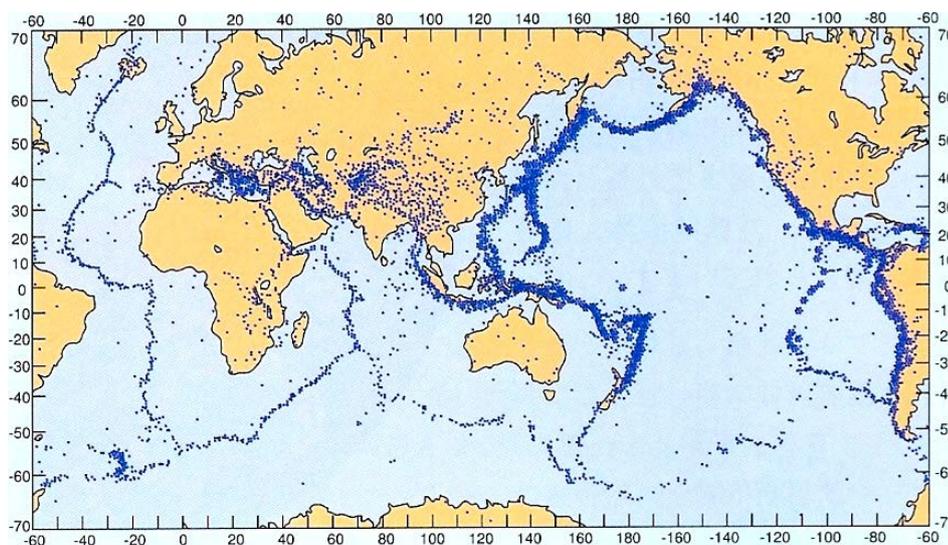


図 12 大地震の震央分布

するが、その格差を減じる方向性を理解することが重要である。その一步が、すなわちリスク認識であり、それがリスクに対する制御力向上に繋がる。リスクの格付けが固定化しないためにも重要である。4章において災害の本質として不平等性をあげた。リスク格差が災害弱者を生み、災害は弱者に集中する。我々はリスク格差により無意識的に誰もが災害弱者になり得る（すでになっている）ことに気がついてもらいたい。

6. リスクの格差

以上のように、リスクはその地域やその時代の環境が持つ特性で決まってくる。そうすると当然、地域差や時代差が生まれる。リスクは不平等性を特徴とするものであり、弱点を巧みに突いてくる。災害弱者は必ず存在するものである。まずはそのことを理解し、防災をもう一度考え直してもらいたい。まずはリスクにはどのような格差があるのか、地震災害を例に図 11 を具体的に解説する。

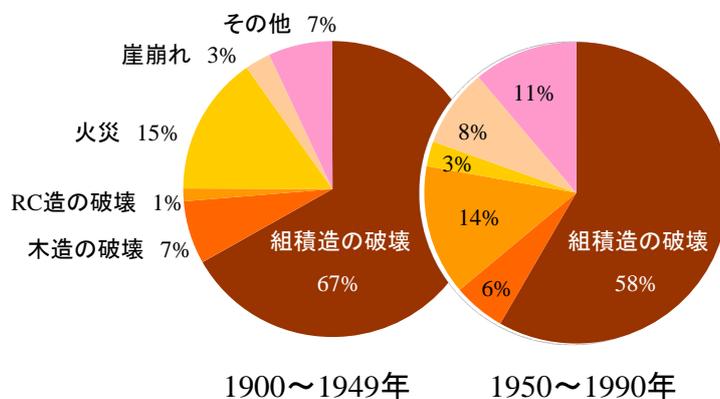


図 13 世界における地震災害による死因 [Coburn & Spence(1992)⁹に基づき作成

(1) 国家間格差

災害発生確率の大きな地域ほど災害リスクは大きいことを、式 (1) で見てきた。地震を例にするならば、地震発生確率の地域間の差は図 12 に端的に表されている。Hazard環境の国家間格差と言うべきものであろう。地震プレート境界に位置する国が大地震襲来の危険性が高い国と言える。図 13 は地震災害による死亡者の原因割合を示したものである。年代にかかわらず、組積造の破壊による死者が多い。住宅材

料に荒石や煉瓦等を採用する国は亜熱帯砂漠気候に位置する中近東から中央アジアであり、断熱効果が高く安価で大量に入手可能な素材であり、それを使った構法（組積造構法）が住宅形式を決定づけている。組積造構法は鉛直荷重には耐えるが横方向荷重には脆く、その素材は重く、成傷器としての殺傷力は高い。一方、日本は北海道を除き温帯落葉樹林気候に属しており、木材を使った風通しの良いフレーム構造が主である。木材や屋根材としての瓦もある程度の重量を有しており成傷器としては組構造に似て危険な素材であることが図 13 より理解できる。タイ・インドネシア・フィリピン等の東南アジアも住家の主材料は木材である。日本とは違い、湿潤な亜熱帯気候に属するため軽量木材による開放性の高い構法が採用されている。地震に加え、津波にも弱い構法の多い地域である。このように住宅素材（成傷器）とその破壊の容易さ（構法）は風土の東西問題（気候帯）により決定する。住家構造の脆弱性及び住家瓦礫の殺傷危険性に関わっており、*Vulnerability* を決定づける風土環境に関する国家間格差と言うべきものであろう。

図 14 は自然災害による死亡率とその国の平均寿命の関係を示した興味深い図である。平均寿命の長い国ほど自然災害で死ぬ確率が低いことを示している。

国の平均寿命は国民の富と情報量に大きく影響されるとの指摘がある¹¹⁾。国の技術力とその技術力の浸透力（末端までの教育程度）が結局は自然災害に対する防御力を育てていることが分かる。筆者はこの社会生活環境の違いを生活の南北問題（国家間の貧富格差問題）と呼んでいる。

Vulnerability に関与する風土環境と社会生活環境の総合を見たのが図 15 である。同図は 20 世紀に発生した地震災害による国別の死者数と被害額の関係を示したものである。国毎に特徴的に固まっているのがよく分かる。経済的被害（被害額）は少ないのに死者が多いのは中近東～中国であり、米国及び南欧は死者数はそれほどでもないが被害額が大きい。東南アジアはその中間に位置している。日本は死者も経済被害も共に大きい最悪な地域となっている。この地域ブロック分けは、以上のハザード環境と風土環境及び社会生活環境の違いがもたらすものであり、国家間のリスク格差は大きいと言えよう。

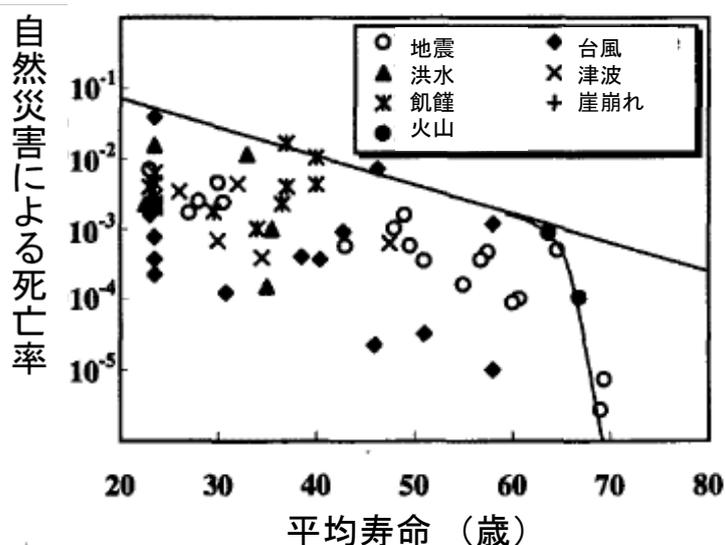


図 14 国別でみた自然災害による死亡率と平均寿命の関係 [河田・他 (1998)¹⁰⁾]

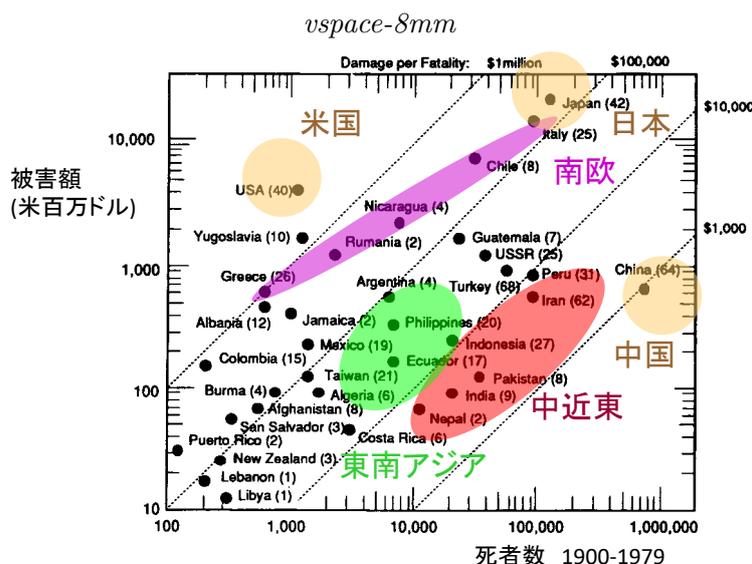


図 15 国別でみた地震による死者数と被災額の関係 [Ohta et al., 1986)¹²⁾ に加筆]

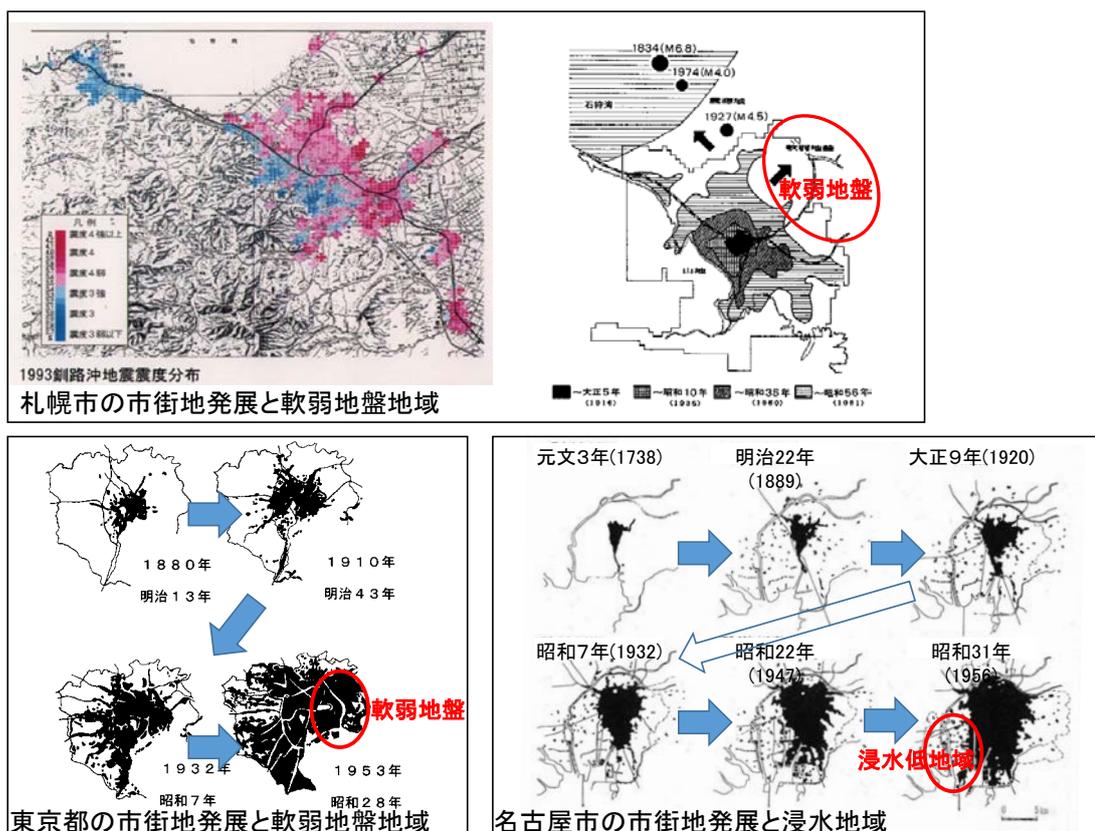


図 16 街区の発展軸と災害脆弱地域の関係

(2) 地域間格差

Hazard 環境に関しては国家間格差に加え、同一国内においても地域間格差とも言うべきリスク格差が存在している。図 16 は 1993 年釧路沖地震の時の札幌市内の震度分布図である¹³⁾。明らかに JR 函館線を境に揺れやすい地域と揺れにくい地域が存在しており、他の地震でもこの現象は再現されている。軟弱地盤と安定地盤の地盤条件の違いがもたらす自然現象であり、前章の高橋の局地性（空間的集中性）に相当するが、実は都市の市街地形成プロセスがこの自然現象のリスク格差に地価を持ち込み、社会現象として地域間リスク格差を固定化している。この現象は東京や名古屋の大都市圏でも確認されており¹⁴⁾（図 16 参照）、街区の発展軸が Hazard 環境の良好地区から劣悪地区へと伸びていく、すなわち高級住宅街は Hazard 環境が良好であり、地価の安価な新興住宅街は Hazard 環境が劣悪な市街地形成を辿っているケースが多い。そしてその地域の災害の歴史（災害文化）に不案内な余所者（災害情報弱者）が新参者であるが故に、地価の安い Hazard 環境の劣悪な土地を選択しがちである。大都市圏はこのように、まちの発展軸による地質学的地域間格差の発生とその危険な地域に災害情報弱者が定住する危険性という二重に危険な社会構造を作り出していると言えよう。

(3) 世代間格差

指摘の殆ど無いことであるが、Vulnerability や Population に関わる社会生活環境には世代間格差のリスクも存在している。地震時の室内散乱に伴う負傷危険度は床面積あたりの家具の転倒面積比（家具転倒領域率）で計算される。当研究室が調査した道内の世代間比較を図 17 に示す。世帯主の年代比較であるが、年齢と共に世帯保有の家具数が増え負傷危険度が上昇し、30～40 歳代が危険度のピークを迎えて

いる。50 歳代以降も家具数は増えるが収入増に伴う生活環境向上への意欲が鼓舞され住み替えや自宅の新築増改築が実現し世代平均の居住床面積も広くなり、負傷危険度は低下する傾向にある。しかし、子供が独立し家を離れても、家具はそのまま実家に残置し、新居を構えるケースが多い。すなわち、親元は子供世代の家具の倉庫となっており、必要以上の家具数により危険度は然程低下していない。室内危険度は世代により異なっており、20 歳代をスタートに、働き盛りで子供がまだ養育期にある 30～40 歳代の世代が最も危険な室内住環境にあると言える。

図 18 は 1995 年阪神淡路大震災の年齢別死亡者数の分布である。実数として 50 歳代以上の中高年層の死者が多かったのは多く指摘されているところであるが、それに加えて 20 歳代前半の若者も多く犠牲者となっていた。これは神戸市内に下宿する他地域からの大学生の存在が大きい。比較的低家賃の下宿生活を求め既存不適格住宅に居住し、かつ周辺地域との希薄な近所づきあいにより犠牲となる確率が高かった世代が顕在化したと言えよう。同一人のライフサイクルにおいて、生活環境が危険に暴露されやすい年代、いわゆる世代間格差が存在している。

(4) 年齢格差

前項で指摘した世代の持つ社会的背景による格差ではなく、年齢による体力差に起因するリスク格差もある。

図 19 は 2004 年新潟県中越地震による死因別でみた年齢による死亡者数である。外的要因（外因死）による場合は、一般に年齢による体力差が死亡率を決定づける。嬰兒・幼児及び高齢者は災害回避能力が低く負傷しやすい。また、負傷程度が同じでも青年期に比較すると死亡に至る確率は高い。なお、嬰兒・幼児は親による保護の対象となって死亡率が低い場合もある¹⁵⁾。

一方で、避難後に避難生活環境の変化による体調の乱れや持病の悪化により死に至るケースがある。これは震災関連死と言われ、同図に示すように、高齢者の死亡率が高い。被災後の避難所環境劣化に対して改善の自己主張をせず耐えようとする日本人高齢者特有の性格が禍いすることも多い。

これらは人間を被災対象とみた時の脆弱性（Vulnerability）であり、体力的格差は世界共通ではあるが、下宿学生に住環境や高齢者関連死は日本独自の社会生活環境における格差（年齢格差）とも言えよう。

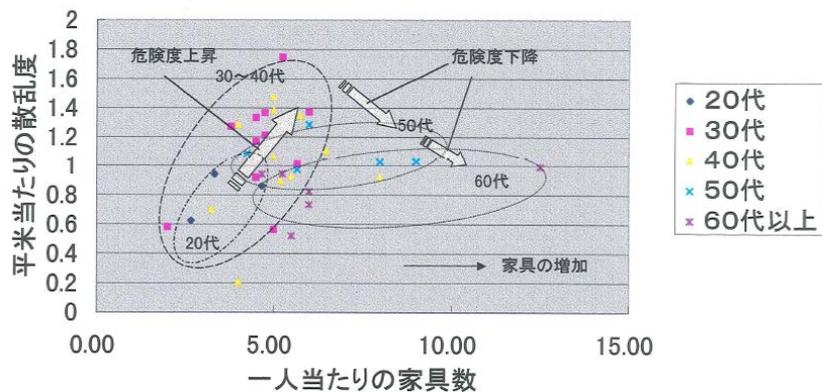


図 17 室内散乱危険度の世代変化

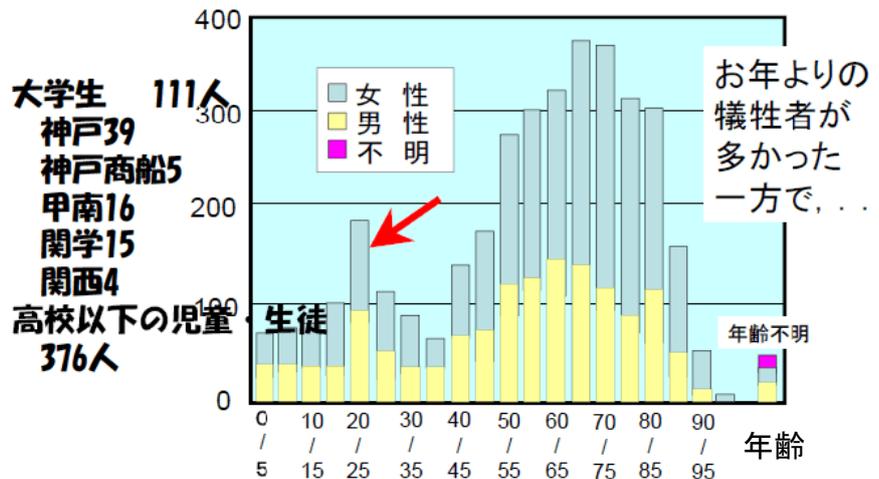


図 18 阪神淡路大震災の犠牲者の年齢別分布 (目黒公郎氏提供)

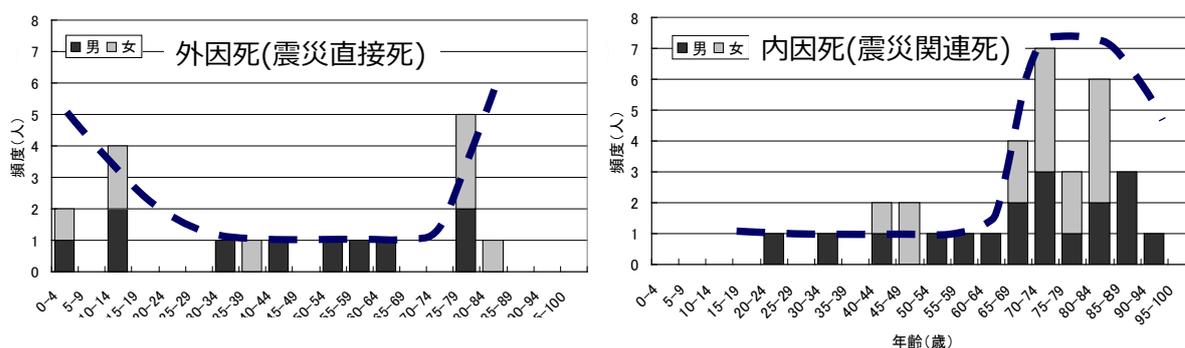


図 19 中越地震における犠牲者の死因別年齢分布 [西村 (2007) に加筆]

(5) 性別格差

図 20 は 2003 年十勝沖地震における浦河町の年齢別・性別負傷率を示している。この地震に依らず、一般に男女比で比較するなら、女性のほうが負傷率は高くなる。男女による体力差も一因ではあろうが、主たる原因は発災時における男女の役割差が大きいようである。災害発生時におけるヒアリング結果はそのことを端的に示しており、発災時の女性の行動の多さが負傷に直結している。調理熱器具の燃焼停止やガス器具の止栓・子供の保護・家具の転倒防止のための押さえなど、揺れている最中に移動し、多くの作業を行おうとする結果、自身の転倒や落下物により負傷している。日常生活における役割の多さが、災害発生時においても活発な行動に直結し、負傷している。平時の家庭内での役割や行動パターンが負傷のリスク格差を作り出していると言えよう。なお図 20 において 40 歳代の負傷率に男女逆転現象が見られるが、この地震は早朝の午前 4 時 50 分頃に発生しており、当研究室の実態調査により、就寝中の子供の様子を気遣う父親の移動行為が揺れている最中に多く見られた結果と推測される。暗い中での子供を気遣う父親の責任感（役割）が負傷原因となっている。

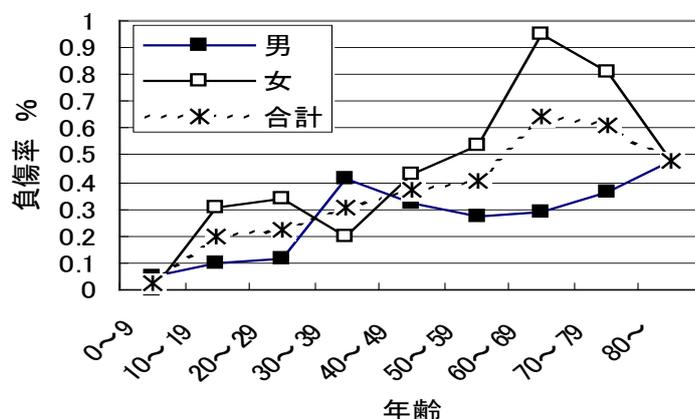


図 20 2003 年十勝沖地震における浦河町の性別・年齢別負傷率

(6) 時間格差

職場と自宅における負傷率を比較すると一般に、自宅での負傷率が高い。室内環境において、什器・火器等の危険物配置密度が高く雑多に存在するのが自宅であり、負傷危険性が高い。NHK の生活実態調査より、平時においては日中の時間帯 (8:00 ~ 18:00) の 10 時間は職場にいる確率が高く、残る 18:00 ~ 8:00 の 14 時間は自宅にいる確率が高い。これは時間格差であり、また就業率による男女世代間格差 (女性の方が危険度の高い自宅にいる確率が高いということ) でもある。

(7) 季節格差

季節による被害の差も大きい。図 21 は札幌市¹⁶⁾ が想定している 4 つの地震断層群に対する地震被害評価結果である。Hazard(最大震度及び震度分布 (は同じにもかかわらず被害評価に差があるのは、冬季における火災発生 (火気使用率や風速の違いによる延焼危険性の違い) による全壊 (全焼) 家屋数の増加と建物全壊に伴う酷寒の中での凍死者の推定が加わるからである。

(8) 時代格差 (1995 年格差)

時代格差とは、その時代背景が格差の原因となることをここでは言う。例えば、1970年代の高度経済成長期(世帯収入が増加し、耐久消費財の大量購入により家庭内における家具密度が上昇し、地震による負傷危険度が急上昇した時代背景(図22¹⁷⁾)や本稿で扱う1995年問題である。「4章自然災害の本質 (4) 歴史性と免疫性」の末尾で触れたが村上春樹は1995年を特別の節目として以下のような指摘をしている。「95年、日本という国は転換点を迎えました。(中略) それまでの日本人は楽観的でした。裕福になり幸福になっていましたから。でも、その頃から、何か致命的なミスをしたのではないかと日本人は自問自答するようになったのです。」1995年に何があったのか。地下鉄サリン事件と阪神淡路大震災である。しかし、それ以外にも以下のような重要な出来事があったと、(財)国土技術研究センター理事長・大石久和¹⁸⁾は著書で指摘している。

- 1) 生産年齢人口がピーク (人口減少・高齢化へ)
- 2) デフレ経済突入 (税収の落ち込み)
- 3) 金融機関の経営破綻 (銀行不倒神話崩壊)
- 4) 日米年次改革要望書に基づく構造改革 (米国流規制緩和)
- 5) 日経連による短期雇用制度要求 (非正規雇用開始)
- 6) 地方分権推進法成立 (国と地方との対立構造)

そして、内閣府が毎年行っている「今後の生活の見通し」に関する世論調査において、1995年を境に、「悪くなっている」と回答した日本人が「良くなっている」と回答した日本人を上回り、その後その差は大きくなるばかりで逆転する気配は未だに見せていない(図23)。

【夏】					
	最大震度	建物全壊数棟	建物半壊数棟	死者数人	重傷者数人
苫小牧沖	5強	427	1,176	0	13
野幌断層	6強	7,373	33,728	365	1,051
月寒断層	7	30,218	71,073	1,789	3,123
西札幌断層	7	18,377	49,044	1,048	1,910
【冬】					
	最大震度	建物全壊数棟	建物半壊数棟	死者数人	重傷者数人
苫小牧沖	5強	427	1,210	0	14
野幌断層	6強	8,026	37,366	543	1,192
月寒断層	7	33,611	78,850	2,617	3,536
西札幌断層	7	20,336	54,300	1,536	2,169

図 21 札幌市における想定被害の夏季と冬季の比較

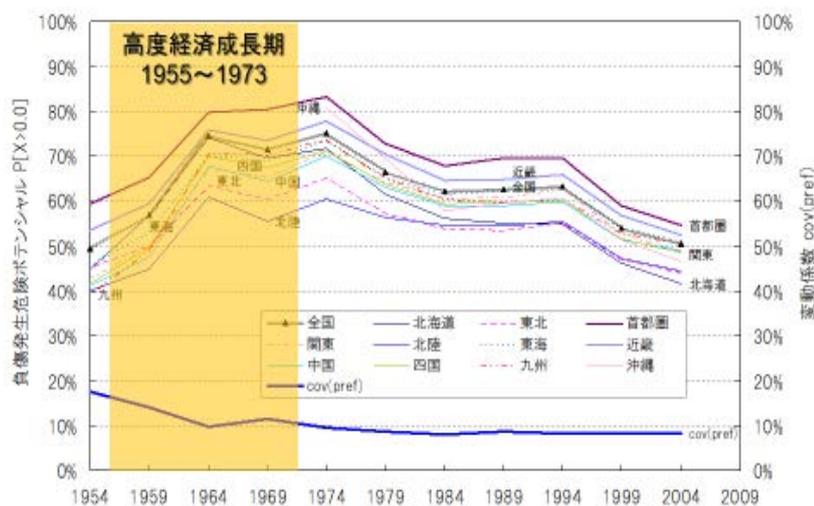


図 22 室内負傷発生危険度 (家具転倒領域率) の時代変遷

大石は著作の中で、1995年以降、日本における過去の経済成長・日本のシステムが全否定され、日本人に間違った価値観・人間観がすり込まれてしまったと分析している。それは、低経済成長が税減収とデフレをもたらした行政民間を問わず「削減」が合い言葉になり、人口減少と少子高齢化が東京一極集中を許容し「地方切り捨て」（＝「弱者切り捨て」）もやむなしという雰囲気が作り上げられ、新自由主義経済の台頭が日本社会に競争と短期評価（企業における四半期財務諸表報告の法制度化等）のシステムを導入させ行政民間問わず「短期的視点で改革」せねばならないという固定意識を植え付けてしまったようだと分析は続く。

筆者が属する建築界においても 1995 年は大きなうねりの始まりであったように思われる。それ以前は、たとえば 1948 年福井地震が建築基準法制定に繋がり、1959 年伊勢湾台風が災害対策基本法を制定させ、1968 年十勝沖地震が新耐震設計法の導入に繋がるなど、災害発生がその災害を克服しようという正なる動きに繋がっていた。しかし、1995 年を境に、耐震偽装事件や建築構造設計の基礎データ捏造が発覚したり、グローバル化の名の下にリスク軽視で経済効率優先の建築法制度（木材の耐火性能の規制緩和、仕様設計から性能設計への転換等々）が導入されたり、被災地復興後回しの首都圏優先まちづくりが提唱されるなど、災害発生と不穏な動きが連動し活発化しているように思われる。

すべてが、経済優先の弱者切り捨て・リスク格差の受容であり、増長の動きである。我が国の防災総合力が、1995 年を契機に低下の道を歩み始めたのかもしれない^{*1}。

(9) 復旧費用の負担感格差

被災者が感じる被害の重さを経済被害の観点から測るなら以下で計量できるであろう¹⁹⁾。

$$\text{被害の重さ} = \text{個人が負担する被害額 } D / \text{被災者の経済事情 (個人年収、保有資産) } M \quad (10)$$

被害は、個人においてはその保有資産によって、また地域自治体にあつてはその財政事情により、負担となる重さは異なるはずである。しかし公的な財政支援はその重さに斟酌することなく、被害の大きさ等により“公正”に支給される。式(10)の観点からするなら被災した側の経済事情に配慮することこそ、血の通った“公正”な政策と言えるのではないだろうか。被害の重さを上式で計量するなら、住家被害に限定した場合個人が負担する被害額 D は以下のとおりとなる。

$$D = L - R - S - M \quad (11)$$

*1 かつての日本は中間層主体のホモジニアス社会であったと 2 章「リスクの定義」脚注で既述した。しかし現在、社会構造が経済的に二極化しつつあり、そのことがリスク格差にもつながってきている。日本社会の二極化の原因については原丈人もその著作（「公益」資本主義，文春新書，2017）の中で、金融資本主義経済（ものづくりをサポートする事業資金提供を本来の役割とするはずの金融業がマネー自体を投機的役割とする仕組み作りを走り、何もつくり出さずにパイを奪い合うだけのゼロサムゲーム化する社会のこと）の限界・破滅性であると指摘しており、日本社会の脆弱性が経済的にも問題視されている。

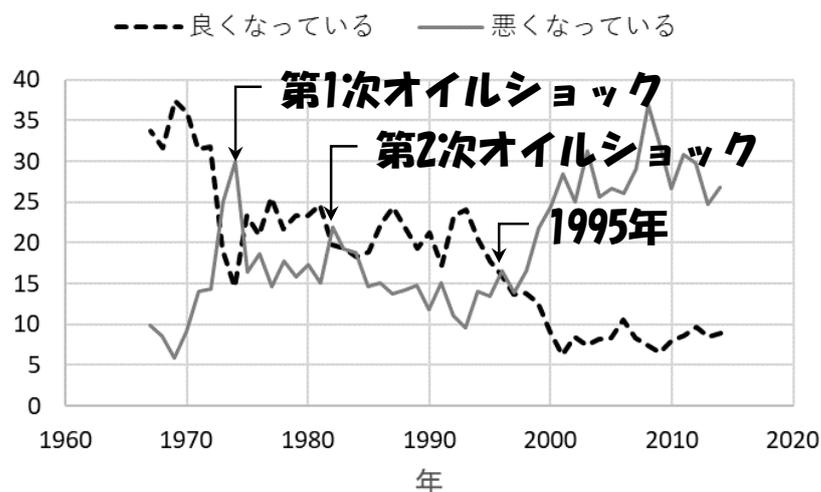


図 23 今後の生活の見通しに関する世論調査 (内閣府)

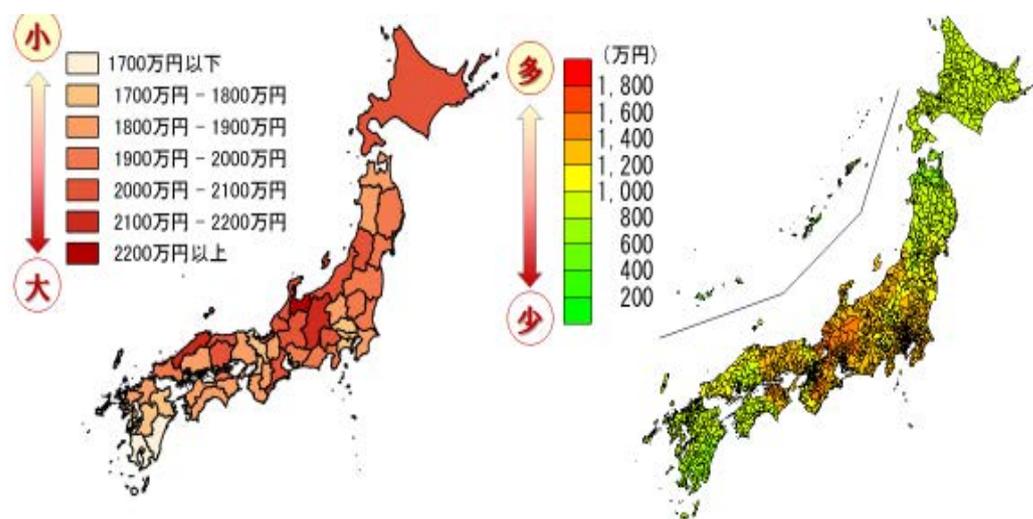


図 24 左) 都道府県別住家建設コスト (個人負債基本額) 右) 都道府県別世帯あたり平均貯蓄額

ここに、 L は住家被害額 ($L = H \times V \times C[\text{¥}]$)、 H は地震発生確率、 V は地域建築耐震性能、 C は住家建設費用である。 R は自治体からの被災者生活再建支援金[¥]、 S は自治体独自の被災者支援金、 M は個人資産であるが主として世帯貯蓄額を考える。このうち、 R 以外は地域性(被災者が居住する地域により受ける損益の違い)を持ち、大きな地域間格差として被災者に掛かってく

る。既述したとおり、 H は Hazard 環境に関する地域間格差を、また V は Vulnerability に関する地域間格差を与える。 C は住家の建設コストであり、住宅面積に加え建物の工法・建築材料調達費・建設人件費が関与し地域により大きく異なる。また M は年収や雇用機会の影響を受け、地域による格差が大きな社会問題となっている。都道府県別に算出した式(10)の分子(被災した時の住家再建コスト D)と分母(世帯あたり平均貯蓄高 M)を図 24 に示す。

地震の発生確率を考慮し各地域において 50 年 10% の超過確率を与える地表面最大速度を防災科学技術研究所 (NIED) の地震ハザードステーション (J-SHIS) より求め、これを入力とした時の被害の重さを式(10)で計算し、結果を図 25 (白棒グラフ) に示す。政令指定都市間の比較を行ったものであるが各都市の平均個人資産に対する被害額(個人の平均負債額)は地域差が大きく、首都圏～東海圏～阪神圏において負担割合が大きいことが分かる。ほぼ世帯貯蓄額内で被害負担可能との結論ではある。しかし、発生確率を無視し、予兆ではなく住家全壊被害が発生したとしたときの各世帯の被害の重さを赤棒グラフに示し、比較する。実際の負担額は各世帯の貯蓄額を大きく超え、しかも発生確率を考慮した負担感の小さな地域ほど、実際の被害の負担は大きい結果となっている。平均貯蓄額が少なく災害準備に余裕のない地域ほど、皮肉にも建築コストが大きく被災時には大きな復旧負担を背負い込むことにな

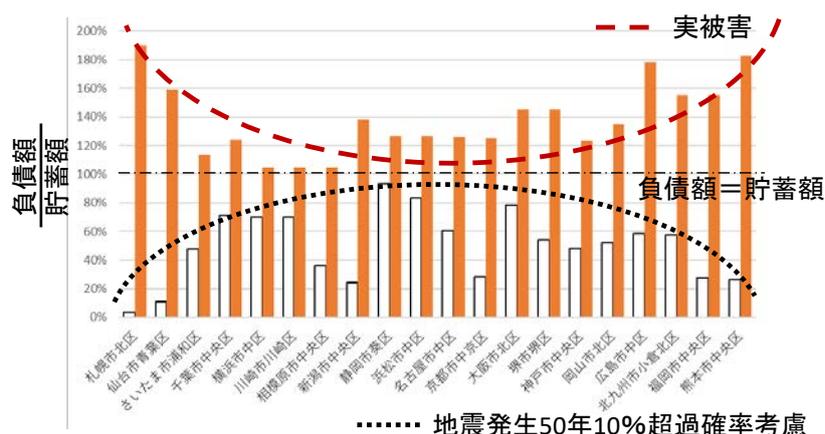


図 25 地域別の被害の重さ比較

る。災害弱者救済の立場に立つならば、このような地域格差に配慮した支援 (式 (10) の R と S) を考えることも、対策のあり方として必要かもしれない。

(10) モデル格差

上記に示してきた各種のリスク格差は、研究的にもその分析や解析において無意識に組み込み、格差受容の動きに与してしまう危険性があることに、防災に携わる研究者は留意すべきである。一例を示す。住宅の耐震性能は耐震評点で代表されることが多い。図 26 は日本木造住宅耐震補強事業者協同組合 (木耐協と略す) が調査した全国の耐震評点の分布を示している。図から分かることは、耐震評点は正規分布はしておらず、耐震評点の小さな危険側に多く偏ったべき乗型の分布をしているということである。弱者に偏った分布と言うことが言え、この分布から地域の耐震性能を評価することが多い。一般には地域の調査数が少ないため、対数正規分布を当てはめその形から耐震評点の小さな危険住宅の棟数等を推測している。同図下は北海道における 2009 年現在の木造住家の耐震評点調査結果である。調査数が少ないため、きれいなべき乗型の分布とはなっていないため、どのような確率分布を当てはめるかにより、地域の耐震性能の評価が大きく変わる。一般には、通常全国で当てはめる対数正規分布で代表させると思うが、防災の立場に立つならば、耐震評点の小さな住家を見落とすべきではない。対数正規分布は元データの中央値を再現するようにパラメータが決められるので、耐震評点の小さな危険な住家は過小評価する恐れがある。すなわち、対数正規分布は縦軸 y 切片が 0 となる漸近曲線であるので、横軸の耐震評点が小さな脆弱な住家は頻度が過小となる社会モデルである。当該地域を出来るだけ防災的に改修しようとの立場を取るならば、多少過大評価になるかもしれないが、 y 切片が 0 とならない離散ワイブル分布等で元データを代表させるか、対数正規分布を採用するなら負方向にシフトさせるなど評点の小さな棟数を見落とすことのないような研究スタンスが重要となろう。モデル化により無意識に格差を持ち込まないことも防災実務の立場からは大切な考え方と言えよう。

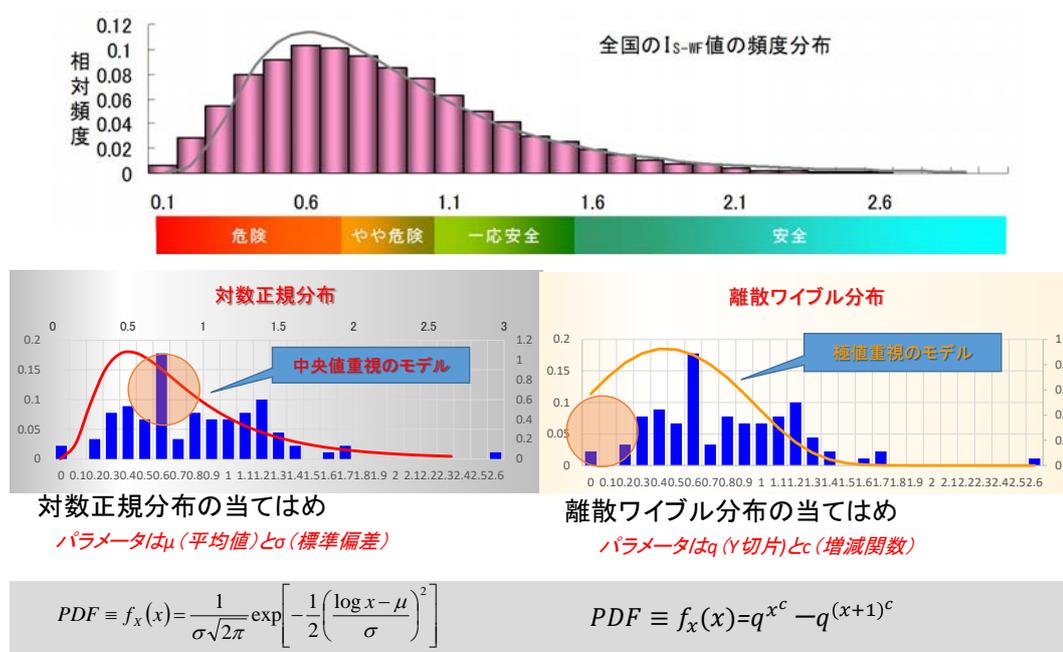


図 26 木造住宅の耐震評点の分布と北海道データの関数モデルの当てはめ

7. リスク認識の重要性 ～PCAG ステップの勧め～

最後に対策について触れておく。リスク格差により、危険なエリアに住まわざるを得ない者（不随意要因としての *Hazard* 環境の格差）、危険な住宅に住まわざるを得ない者（半不随意の要因としての風土環境の格差）、リスクを十分に認知できない者（社会生活環境の格差）、彼らは災害弱者と呼ばれる。*Hazard* と風土に関しては、人為的に制御できない側面もあり、これら主たる要因に経済格差が加わり不本意ながら自分では制御できないリスク環境に置かれている者は特に構造的弱者と言われる。彼らには国策としてのセーフティネットが用意されなければ解決の糸口はない。これについては終章で触れることとし、ここでは 3 つめの社会生活環境格差について指摘しておきたい。これはすなわちリスク非認知弱者でありリスク情報を持たない者であり、リスク情報を理解できない者たちである。すなわち、我々誰もがリスク非認知弱者になり得る。しかし彼らは自らの努力により克服可能であり、構造的弱者ではない。身のまわりのリスクを認知 (*Perception*) し、その実体を理解 (*Comprehension*) し、自らの防御力と比較評価 (*Assessment*) することである。それによって初めて具体的な対策 (*Governance*) が見えてくる。この *PCAG* ステップが対策の基本である。中でも、リスク認識については 5 章末尾でもリスクの格付けを固定化させないためにリスク格差の認識の重要性について触れたが、認識のステップが全ての始まりである。

一般的に業務マネジメントは *PDCA* (*Plan* (計画) -*Do* (実行) -*Check* (評価) -*Action* (改善)) サイクルのことを言うが、認識 (*Perception*) 及び理解 (*Comprehension*) ができているのが前提の改善サイクルである。災害対策は評価 (*Assessment*) と実践 (*Governance*) が *PDCA* のサイクルに相当する。その前段として認識と理解のステップが重要である (図 27 参照)。

8. おわりに ～格差対策のあり方私見～

リスク格差について解説してきた。リスク格差は様々な要因でもたらされるが、人間の社会生活の営みの結果であり、それが災害の本質であることが理解できたことと思う。人間は地域毎に様々な暮らしぶりを見せている。だから災害は地域毎に異なった様相を見せる。式 (2) がそのことを端的に示してい

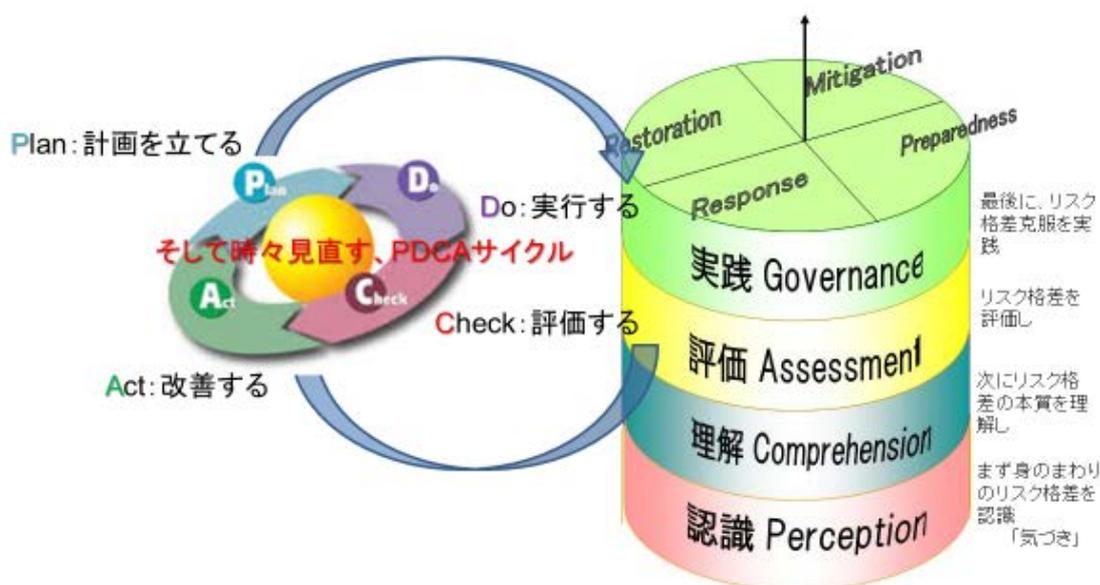


図 27 対策の *PCAG* ステップと管理の *PDCA* サイクル

る。このことから一つの疑問が発生する。世の中 の動きはグローバル化が叫ばれて久しいが、地域性を特徴とする防災には世界標準 (global standard) はあるのか、ということである。私の結論は図 29 である。具体的な対策は地域依存 (de fact standard) で行うのが正解であろう。しかし、防災が目指すべき大局観 (perspective) は世界標準 (global standard) がある。それは、リスクをなくすことではなく、リスクの機会均等化にあると思う。人間が社会生活を営む以上、ゼロリスク社会は不可能であり、また社会学者 Starr の指摘のとおりリスクの受容限度 (Acceptable Risk の閾値) は絶対的なものではなく置かれた環境により変動することを考えると、リスクの絶対値、すなわちリスクを目標値で論じることは然程意味が無い。許容リスク値を基準値として確定することは、むしろ受容リスクをその社会が固定化してしまうことに繋がる恐れが発生する。リスクの機会均等化を目標にすることは哲学者ジョン・ロールズの大著「正義論 (紀伊國屋書店)」に記された「機会公正の均等原理 (自由競争を、スタート時点での公正性を条件に許容する原理)」と軌を一にする考え方である。

ここで 1 章の疑問に戻ろう。内閣府が提示した被害半減の目標設定は正しいのであろうか。ここまで述べてきたとおり、ただ単に、被害数を半減では、残る被害は弱者に集中するのみである。弱者は災害に対する回避能力が低い。それは個人の責任に依らない部分も多い。社会全体でのセーフティネットが必要である。リスク格差をなくすための努力を減災の目標とするのが、数の半減よりもより根源的な対策として存在しなくてはならないと考える。弱者救済を問題に挙げると、必ず、新自由主義経済学的考え方を持ち出す人がいる。弱者は自己責任であるとの立場である。新自由主義経済学者の主張はこうである。「過剰な支援は個人の事前対策のインセンティブを阻害し対策が進まなくなる。個人の経済活動の自由が最上位にあるべきであり、リスク軽減はその自由の中で個々人の判断と責任で行うべきである。これが自己責任論であり、社会全体での功利を考えるなら、弱者救済は悪平等がのび広がる。」合理的と思える主張ではあるが、弱者に未来のない考え方である。ここで一つの考え方が参考になる。ノーベル経済学賞を受賞したアマルティア・センの提唱する人間の安全保障の考え方である。市場原理主義という価値観を捨て、弱者救済ではなく災害により生活の安全が脅かされる誰もが負うリスク (個々人の人生設計の大きな変更を余儀なくさせること) を社会的に積極的に排除する発想への転換が必要な時であらう。

世界保健機関 (WHO) が健康の定義を行っている。健康とは身体的・精神的かつ社会的に全てが充たされた状態で、単に病気ではないことを意味するのではなく、人間としての尊厳及び生活の質が十分に確保された状態これを Well-being の状態という。筆者が考える Well-being とは、この WHO の定義に国連開発計画 (UNDP) の安全の定義^{*1}を加えたい。すなわち、身体的・精神的かつ社会的に全てが充たされた状態で、人間個人としての

防災に世界標準 Global standard はあるのか？

地震災害は地域性により特徴づけられるから…

- 対策は地域依存 de facto standard で！
 - 風土の東西問題が住環境の違い(被害の違い)を生む。
 - 生活の南北問題が対応の巧拙を生む。
 - 生活の南北問題が情報リテラシー(情報へのアクセス能力・理解力・判断力・対応力)の違いを生む。
- 安全／安心の大局観 perspective は世界標準で！
 - 災害をなくすこと？ … ×
 - 災害を減らすこと？ … △
 - 危険【理不尽さ】を平等化すること？ … ○

図 28 筆者の結論

*1 国連開発計画 (UNDP) が定義する安全とは「人間の安全保障」を言う。人間個人が生きていく上での基本的権利が「自由 (欠乏や恐怖からの自由を含む) の保障」と「可能性の尊重」であり、それが守られている状態を安全という。

尊厳・基本的権利（自由「すなわち安全と安心」と可能性「すなわち未来の可能性」）及び生活の質が十分に確保された状態を言う。筆者が考える防災とは、「被害を防ぐ」という位置づけで考えるのではなく、災害時を特別視しない「普段からの *Well-being*」を実現するためのツールと捉えたい。リスクを減らすという一辺倒の考え方に立つのではなく、災害を弱者のみならず誰もが負う生活の安全を脅かすリスクと捉え社会的に公平に排除する（人間の安全を公正に保障する）ことを防災の原点に考えるなら、リスク軽減も自動的にかつ公平に達成されよう。実現は難しくとも、少なくとも目標として設定するに値する考え方であると思うが、いかがであろうか。

リスク格差公平化への対策提言については前章 (9)(10) 項で若干触れたが、3 章で概説した工学的制御の方法を活用したより詳細な具体的提言については別に稿を起すこととし、ここで一旦筆を置く。

参考文献

1. 内閣府：平成 17 年版防災白書，国立印刷局，2005 年 7 月。
2. 赤井陽介：『進まぬ住宅耐震化 期限で達成、41 都道府県が「困難」』，2017 年 1 月 16 日 05 時 02 分朝日新聞デジタル。
3. 国土交通省住宅局建築指導課：平成 18 年 1 月 26 日施行 改正 建築物の耐震改修の促進に関する法律・同施行令等の解説，ぎょうせい，2006 年 6 月。
4. 岡田成幸・中嶋唯貴・小山真紀・松下孝星：コンピュータビジョンによるリアルタイム音声誘導システムの開発～地震時室内負傷低減のための多重対策の一環として～，地域安全学会論文集，13，213-221，2010。
5. 太田 裕：地域統計資料に基づく行政区別耐震性評価の試み-都道府県の場合-，自然災害資料解析，9，1-14，1982。
6. 高橋浩一郎：災害論 ～天災から人災へ～，東京堂出版，1977。
7. 岡田義光：東京の震度時系列，地震予知会報，66，2001。
8. 村上春樹：クーリエ・ジャポン，講談社，2010 年 11 月号。
9. Coburn A. and R. Spence：Earthquake Protection, John Wiley & Sons Ltd., pp. 355, 1992.
10. 河田恵昭・朴基顕・柄谷友香：社会の防災力の評価に関する一考察 —巨大災害による総被害額評価方法への適用—，京都大学防災研究所年報，No.41，B-2，77-87，1998。
11. 古川俊之：寿命の数理，朝倉書店，pp.242，1996。
12. Ohta Y., H. Ohashi, and H. Kagami: A Semi-Empirical Equation for Estimating Occupant Casualty in an Earthquake, Proc. Of Eighth European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Vol.2.3, p.81-88, 1986.
13. 岡田成幸・太田 裕：都市圏居住域の時間拡大性を考慮した地震危険性の長期評価—札幌圏を例として—，日本建築学会構造系論文報告集，389，10-20，1988。
14. 建設省建築研究所：伊勢湾台風による名古屋市市の市街地および建築物の被害調査と防災計画，建築研究報告 No.33，pp.152，1960。
15. 太田裕・小山真紀：2011 年東日本大震災に伴う人間被害の激甚性 —既往地震群との対比でみる死者発生 の年令等依存性—，日本地震工学会論文集 (Web) 15(2) 11-24，2015 年 5 月。
16. 札幌市防災会議：第 3 次地震被害想定について，2008 年 9 月 18 日。
17. 岡田成幸：地震時の室内変容に伴う人的被害危険度評価に関する研究 —その 1 居住空間危険度マイクロゾーニングの提案—，日本建築学会構造系論文集，454，p.39-49，1993。
18. 大石久和：国土が日本人の謎を解く，産経新聞出版，pp.232，2015。
19. 岡田成幸・中嶋唯貴：震後復旧費用個人負担の地域格差，日本地震学会 2016 年度秋季大会 (名古屋)，S15-18，2016 年 10 月 5 日。
20. Starr C.: Benefit-Cost Studies in Sociotechnical Systems, Perspectives on Benefit-Risk Decision Making, The National Academy of Engineering, p.17-42, 1972.
21. ジョン・ロールズ：正義論 改訂版，pp.813，紀伊國屋書店，2010。