「低頻度・巨大損失事象」に係わるリスク学（分析）の課題—巨大複合災害（大地震動＋巨大津波＋福島原子炉溶融事故）としての東日本大震災から学ぶ

池 田 三 郎

Methodological Issues of Risk Analysis in Responding to Low-Probability and High-Consequence Risks: Lessons Learned from the 2011 East Japan Earthquake, Tsunami and Fukushima Accident of Nuclear Meltdown

Saburo IKEDA

The chain of catastrophic events (the 2011 disaster) raised a number of critical questions associated with the methodological issues of “risk analysis” in managing the emergent characteristics of low-frequency and high-consequence risks. In this paper, salient methodological issues in responding to such a surprise and complex risk event are explored in terms of “limit of scientific risk assessment”, “deficit in risk governance” and “insufficient risk communication” taking account of the lessons learned from the 2011 disaster.

Key words: LPHC Risk, 2011 East Japan Earthquake, Fukushima-Nuclear-Accident, Risk-Triplets, Risk-Overlap

キーワード：低頻度高損失リスク，2011 東日本大震災，福島原発事故，リスク 3 重項，リスク・オーバーラップ

1. は じ め に

低頻度・巨大複合リスク事象に対する「リスク学（分析）」からのアプローチは，1980 年代から，化学コンビナート・燃料基地の大規模爆発やチェルノブイリとスリーマイル島原発事故に触発されて，「リスク事象」の特性の解明と対応等，数々の分析枠組みが発展してきた。とりわけ，21 世紀に入って，2001 年 9 月 11 日のマンハッタンのテロ事件以降，英国での BSE から始まる国際的な食品安全リスク，国境をまたがる大規模洪水やハリケーン Katrina，SARS や鳥インフルエンザという新しい感染症の出現に対して，国際的なレベルでの連携を含めた協働という新しい形態でのリスク・

ガバナンスへの取り組みが始まっていた。欧州では，OECD によるシステミック・リスクのプロジェクト (OECD, 2003) や IRGC (International Risk Governance Council) によるリスク・ガバナンス・プロジェクト (Renn, 2008)，ドイツにおける極限事象 (Extreme events) の研究 (Albeverio et al., 2006) 等がある。米国 SRA では，その学会誌である Risk Analysis に 2002-2004 年にかけて，歴代の会長による一連のエッセイを掲載して，伝統的なリスクマネジメントでは対応できないような極低頻度・巨大複合リスクを「サプライズ・リスク (surprise)」あるいは「極限リスク (extreme)」として，客観科学 (formal mode) と経験科学 (experiential mode) の両面から迫る学際的なアプローチをより現実に適応できる方向への展開を示唆してきた (Anderson, 2002)。

一方，我が国では，1995 年の阪神淡路大震災，サリン・テロ事件以来，安全，健康，防災に係わる個別のリ

筑波大学名誉教授
(Emeritus Professor, University of Tsukuba)
連絡先：〒305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1
E-mail: QZX00464@nifty.com

スク事象に対しては、それぞれの専門学会・産業部門が「低頻度・巨大損失」の可能性のあるリスク事象への取り組みを高めてきた。例えば、自然災害分野では、「防災から減災」という災害からの損失を削減する、あるいは適応する戦略へと転換が図られてはきたが、著者が関わっていた日本リスク研究学会も含めて、巨大化、広域化、複合化していくリスク事象への対処の展開（日本リスク研究学会、2006）は未成熟であったと言わざるを得ないであろう。

2011年3月15日、宮城県沖130kmの日本海溝で始まった地震動は、岩手県沖から茨城県沖までの南北500km、東西200kmに及ぶ範囲が震源域となり、その放出された巨大なエネルギー（M9.0）は、東日本大震災という複合災害（巨大地震+大津波+原発事故：福島原子力発電所の3基の原子炉のメルトダウンと放射性物質の大量放出による30km圏内の住民避難と国土の汚染）という2015年の現在まで、4年以上も引き続く悲惨な事態をもたらした。

この低頻度・巨大複合リスク事象への「リスク対応の不適切さ」が、具体的な事実として明らかになるにつれて、「何故、このM9.0という巨大地震と津波のエネルギーの破壊力や原子力発電所における全電源喪失から帰結する過酷事象を、いわゆる“想定外”として規制行政や安全操業・技術〔多重の安全設計と操業指針〕のリスク対応で見過ごしてきたのか？」という問いかけは、防災や原子力分野の専門家に問われるのと同様に、1980年代から展開してきた伝統的な「技術・環境リスク学の枠組み」に対しても投げかけられている（池田、2011）。そこでは、多様な利害関係者の参加を得て、リスク・シナリオ形成のための最初の段階からリスク対応策の選択という意味決定の段階まで、「客観的分析と熟慮ある論議（analytic deliberation process）で対応する（NRC, 1996）」というリスク・コミュニケーションの望ましい形態と手続きは、この分野の多数の専門家やNPOの関係者の方々の真摯な努力にもかかわらず、複合化・長期化した現実の場において空中分解したといっても過言でない状況ではなかったかと思われる（吉川、2012）。

このような問題意識を軸にして、現代のリスク学（分析）が背負ってきた課題の中で、本稿に係わる幾つかのテーマを提示して、東日本大震災で学んだ事例を踏まえて議論する。

2. 「低頻度・巨大損失事象」のリスク分析に係わる前提

2.1. リスク概念とリスク学（分析）の性格に関する論争——高度技術社会におけるリスク概念の拡張とその分析枠組み——

1980年に米国で発足したリスク分析学会（Society for Risk Analysis）の初代会長 Robert B. Comming氏は、その学会誌（Risk Analysis）創刊号の巻頭言（Editorial）で、“Is Risk Assessment A Science?”という問いを投げかけて、伝統的な科学とは異なるリスク学（分析）の性格を論じている。その答えは、「“Yes and No”：リスク事象を調査・評価する枠組み（framework）や手続き（procedures）は科学に依存するが、しかし、不確実性の下での意思決定を支援する方法であり、解の完全性や唯一性がない世界であり、学会や学会誌の存在意義は“Better Communication and Quality Control”にある。」（Comming, 1981）としている。このSRAに呼応して6年後に設立された日本リスク研究学会の初代会長、末石富太郎氏も、その学会誌の創刊号で、「リスク事象の主要研究対象は不確実性であり、常に解明不能な部分が残るし、その時代の科学政策や社会・文化の外的な枠組みから逃れ得ないので、リスク研究者（達）は、自己の能力の範囲（要素還元主義の科学）の課題と方法を超えてリスク・コミュニケーションを活発化させて情報公開・意志決定支援の立場に徹した職能集団たるべし」（末石、1989）と論じている。これらの先達の言説が如実に語るように、リスク学（Risk Analysis）は、図1に示されているように「fact and evidence-based assessment」の客観科学と「value-based decision」の主観科学という両者の性格を併せ持った「knowledge & value-based」なものとして、人の健康・安全・環境に関する「リスクの分析枠組み」米国科学アカデミーによって確立された（US NRC, 1996）。

一方、高度産業技術社会における不確実性の取り扱い、健康・安全・環境から社会システムに至るまでの多様性と複合性が深まる一方なので、何を、何処まで、リスク学（分析）が取り扱う対象として把握（同定）するのが問われ、保険や経済学で数理的に取り扱われてきた古典的なリスク概念である期待値や期待効用値：

$$\text{RISK} = \text{期待値あるいは期待効用値} \\ \{ \text{「発生頻度・確率」} \times \text{「結果の大きさ」} \}$$

[Modified from the source (US National Research Council 1996)]

図 1. Is “Risk Analysis” A Science?: Interdisciplinary Framework of Risk Analysis

からの脱皮と拡張が必要になってきた。そこで，SRA や日本リスク研究学会では

「ある技術の採用とそれに付随する人間の行為や活動によって，人の生命の安全や健康，資産ならびにその環境に望ましくない結果をもたらす可能性」（池田，盛岡，1993）という広義の概念定義を提唱してきた。

この拡張によって，小標本（サンプル数が極少の場合）やある条件の下で発生した事象を仮想的な状況で思考実験をするという，仮想現実（virtual-reality）としてリスク事象，また，利害関係者（stakeholders）の価値観への脅威（テロ，異質の食文化等）も，リスク事象として把握し，リスク学（分析）が取り扱うことが可能となった。しかしながら，この広義の概念定義には，明らかに，次のような 2 つの重要な曖昧な事項（不確実性の源泉）が含まれていることに注目しなければならない。

- 1) 「ある結果をもたらす可能性」を表現する測度
- 2) 「望ましくない」という価値基準

図 1 のリスク分析の枠組みでは，1) の事項は “fact and evidence-based” のプロセスで，2) の事項は 主として “value-based decision” プロセスで議論され，リスク評価の専門家が活躍すべき “knowledge & value-based”

プロセスにおいて，両者を統合的に評価することが想定されていると解釈できるであろう。

2.2. リスク事象の多様性・複合性をどのように表現するか—Risk Triplets (S, P, D) におけるリスク・シナリオの役割—

多様なリスク事象を統一的に取り扱うために拡張された広義リスク概念に対応するリスク表現として，Kaplan & Garrick (1981) によって提案されたリスク 3 重項 (Risk Triplets) がある。彼等は，“リスクとは何か？”という問いに対して，次の 3 つの質問に答えることによる表現，「リスクの 3 重項 (S, P, D)」を提案した (Kaplan and Garrick 1981)：

$$\text{Risk} = \{ \langle S_i, P_i, D_i \rangle \}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

ここに，

- 1) S_i ：どのような性格の望ましくない出来事が起こりうるのか，
- 2) P_i ：起こりうる見込みはどの程度か，
- 3) D_i ：起こった場合の結果はどの程度か，

図 2 はこのリスク 3 重項の要素の相互関係を示したものである。これまでの伝統的な科学技術におけるリ

$$R = \{ \langle S_i, P_i, D_i \rangle, \\ (i = 1, 2, 3, \dots, n) \}$$

- S_i : Scenario: What can be happen?
- P_i : Probability: How likely is it that that will happen?
- D_i : Damage: If it does happen, what are the consequences?

図 2. Triplet expression of “risk” in the large sense (Kaplan & Garrik 1981)

リスク概念として用いられてきた $\{P_i, D_i\}$ の組み合わせの考察に専門家や当事者間で暗黙のうちに処理されてきた出来事（事象）の「可能性」の測度や「望ましくなさ」の価値基準にかかわる不確実さを、リスク・シナリオ S_i として、明示的に記述したところにその特徴がある。一般に、リスク研究者・評価者を含めて、「可能性」や「望ましくなさ」の程度の判定は、個人、集団、社会の文化や価値観に関係し、社会的に構成されるので、当該のリスク事象を同定する際に、暗黙のうちの、例えば、次のような多様で、複合的な要素が入り込まざるを得ないであろう：

- 集団（統計的，マクロ）と個人に係わるリスク（認知心理的，ミクロ），
- 意図的（voluntary）と非意図的（involuntary/induced）リスク
- 受容できるリスクと受容できないリスク（分布，費用と便益，比較リスク等）
- 地域間，世代間，生物間のリスク移転と負担（文化と倫理），等々。

リスク・シナリオ S_i では、図 2 の枠内で示されているように、「望ましくない事象」が最終的に発現する先は何処なのか、どのグループ・個人なのか、評価する対象（End points）が受ける損失がどのような性質（致命的，世代間，倫理性など）を持っているのか、その社会的な外部効果（移転性，代替性，非自発性等）は何であるのか等を、シナリオという形式で明示的な構成要素とすることが必要になったわけである。同様に、

「事象の可能性」の測度に関しても、例えば、過去の出来事の標本数やそのデータの信頼性に応じた多様な統計量や推定法の「適切さ」がシナリオ形成において論議できることになる。

2.3. Risk Triplets 形成における科学的知見の不確実さの類型

Kaplan & Garrick が、すでに指摘しているように、「不確実性を内在するリスク事象」である限り、リスク 3 重項 (S_i, P_i, D_i) の各項それぞれに「不確実性」が存在することになり、リスク学（分析）の課題は、それらを S_i として明示するか、少なくとも、分析の前提・境界条件とする必要がでてくる。

これまで、伝統的な科学技術分野のリスク分析で用いられてきた期待値 $\{P \cdot D\}$ という科学的客観性を追及する世界においても、英国のリスク・科学社会学分野の Brian Wynne (2003) が指摘するように、 P, D に含まれる不確実さの程度を、仮に、科学的知見として「分かる／分からない」で 2 分した場合、その組み合わせにより、実は、次のような異なった 4 つの場合：

- 1) P, D の双方が分かる：「狭義のリスク (risk)」,
- 2) D は分かるが、 P は分からない：「不確定 (uncertainty)」,
- 3) P は分かるが、 D がわからない：「無明 (ignorance)」,
- 4) P, D のすべてが開放系，条件付き：「不定 (indeterminacy)」,

で考察しなければ状況が出てくることになる。ここで、1)「狭義のリスク」は保険、金融、経済学等で数理的な取り扱いが可能な領域、2)「不確定」は、多くの災害科学、安全・交通工学、毒性学・疫学等で取り扱うリスク事象が相当する世界で、制約条件や仮説モデルに依って内挿・外挿が可能であるとして、「狭義のリスク」への転化ができる領域、3)「無明 (ignorance)」の解釈は難しいが、天文学・天体物理学における小惑星・巨大隕石の地球への衝突リスク、未知のウイルス等によるパンデミックが相当し、4)「不定 (indeterminacy)」としては、地球全球の気候変動に係わるカオスの気象現象（自己組織臨界現象等）で、極低頻度ではあるが、巨大被害をもたらす異常気象（heavy-tail distribution）等が例示できよう。

つまり、 $\{P_i, D_i\}$ の組み合わせに内在するさまざまなレベルでの不確実性に関して、専門分化した科学技術の各研究分野での取り扱いにおける暗黙の含意のために、リスク専門家においてすら混乱が出てくることになる。「広義のリスク」を構成するシナリオ S は、これらの P と D を定義するときに含まれる不確実さの性格の違い（価値）やその程度の大きさ（測度）を、異なったカテゴリーのシナリオとして提示することにより、まさにこのような混乱を避ける意味合いを持つことになる。

2.4. リスク・シナリオ形成の不確実性：残余リスクのシナリオ化 (S_{n+1}) の課題

リスク・シナリオ S_i それ自体の「不確実性」に関しては、全ての事象を網羅するという完全性はあり得ないので Kaplan & Garrick がいみじくも指摘しているように、提示されたリスク・シナリオ $S_i (i = 1, 2, \dots, n)$ で「取り上げられなかったリスク事象」を、 S_{n+1} として、すなわち、残余リスク (residual risk) として考察すべきであることも示唆している。ここに、「低頻度・巨大損失事象」を取り扱うリスク学（分析）における、いわゆる「想定外リスク」の課題が深く関係してくる。

ある特定の専門家集団が、科学的知見の不足や欠如を理由として、極く稀にしか発生しない事象、特定の限られた個人・集団でのみ認知・経験されている少数の事象、等々を評価すべきリスク・シナリオのリストから外すことは、規制行政や産業界のリスク・マネジメントではしばしば見かける。「残余リスクのシナリオ化」とは、まさに、ここで考慮外とされた「facts and evidences」を、リスク学（分析）はどのようにに取り扱

うかという課題である。これらの科学的知見に基づく「不確実性」の程度の判断は、確かに、図 1 のリスク分析の枠組みでは「fact and evidence-based」のプロセスとして位置づけられているのであるが、当該の伝統的な専門家集団が依って立つところの科学的知見の「判断パラダイム」において、工学・技術システムの安全に関して、2 つタイプの判断の過誤：

1) Black-swans 型、

2) Perfect-storms 型、

が発生することが指摘されてきた (Pate-Cornell, 2012)。

「Black-swans」型とは、17 世紀に豪州で発見されるまで、その存在が考えられなかったし、信じられていなかった“黒色の白鳥”という比喻を用いて、当該の専門家集団において、全く認識されていないし、また、これからも認識が困難である事象を象徴するメタファーである。仮に、ある事象の分布が、統計学でいう「ガウス分布」をするという科学的知見で権威づけられると、その分布から大きく逸れた稀な事象の知見は、いわば、外れ値 (outlier) として考慮の対象外となるであろう。「Perfect-storms」型は、洋上で発生する海洋気象の個々の事象の性質は既知ではあるが、複数の事象が多様な形態で、不規則に重なり、予知できない破滅的な事象（遭難）を誘起することの比喻で、特に、事象の重なりが、予測不能な「ランダムネス：randomness」の場合に使われる。

一方、社会システムに係る「判断パラダイム」における過誤の問題では、特に、「低頻度・巨大損失事象」の性格に関連した、「risk-overlap」というリスク事象の複合性に関する判断の見誤りがある (Smith and Ezzati, 2005)。産業技術社会が生み出した健康・安全・環境に係わるリスクは、社会システムの発展段階に応じて、多様な性格のリスク事象を生み出してきた。図 3 の各曲線が示すように、家庭や集落における大気汚染・水質汚濁等の古典的なリスクは富の増加と共に、相対的に減衰していくが、都市・産業活動に係わる多様な技術リスクは環境経済学で言うところの“環境クズネッツ曲線”の様相を示す。しかし、地域・国の境界を越える越境汚染、地球の気候変動と連動した異常気象等々のグローバル・リスクは、まだ、その影響範囲を広げ、増加傾向を規制できていない。これらの 3 の異なったカテゴリーのリスク事象が図 3 の灰色領域では、複合・相乗して、社会的な増幅・減衰 (social amplification) を得て、「極低頻度・巨大複合災害」という新しいタイ

Risk Genesis: new types of risks created.

Risk Transfer: attempts to control one type can make other types worse.

Risk Synergism: risk of one type changes sensitive to other risk.

[Modified from the source (Smith & Ezzati 2005)]

図 3. Nature of “Risk-overlap” in the world of “risk transition”

プのリスクを生み出すことが懸念される (Pidgeon et al., 2003).

いずれのタイプの判断の過誤も、客観科学として確立した要素還元主義と仲間内の審査 (peer-reviews) を基本とする専門家集団が陥りやすく、東日本大震災という複合災害では、その収拾と復興の対応に関係する専門家集団 (規制, 業界, 学会等) が「想定外」, あるいは、「想定できてはいたが、その対応は無視あるいは引き延ばされていた」というリスク問題の源泉となった。

3. 低頻度巨大複合リスク事象としての東日本大震災

東日本大震災に関しては、これまでに、数多くの識者・組織からの調査報告書が刊行されている。とりわけ、福島原発事故に関しては、1年半後の2012年8月頃に出そろった、政府、国会、東京電力、民間 (独立NPO) の下記の報告書 (2012)：

- 1) 政府事故・検証委員会 (委員長：畑村洋太郎・東大名誉教授)
- 2) 国会事故調査委員会 (委員長：黒川清・元日本学術会議会長)
- 3) 東京電力事故調査委員会 (委員長：山崎雅男・代表取締役副社長)
- 4) 福島原発事故独立検証委員会 (委員長：北澤浩一・前科学技術振興機構理事長)

と、幾つかの国際機関 (IAEA, 2015) や米国研究機関 (USA NAS, 2015) の報告書が本稿の考察に有益であった。上記の4つの報告書は、規制行政、立法府、事業者、独立NPOのそれぞれ立場から事故の検証と政策や対策への提言を行っているが、本稿の論点である「過酷事故のリスク対応 (低頻度・巨大損失事象としてのリスク・アセスメント, 住民の緊急・長期避難を含めたリスク・コミュニケーション等) はどうして機能しなかったのか？」というリスク学 (分析) の課題に何処まで検証の手が届いたのであろうか。

国会事故調査委員会の黒川報告書ではその結論部分で、「日本の原子力法規制は、その改定において、実際に発生した事故のみを踏まえた、対症療法的、パッチワーク的対応が重ねられ、諸外国における事故や安全への取り組み等を真摯に受け止めて法規制を見直す姿勢にも欠けていた。その結果、予測可能なリスクであっても、過去に顕在化していなければ対策が講じられず、常に想定外のリスクにさらされることとなった。」と、決して「Black-swans 型」や「Perfect-storms 型」の科学的判断の過誤ではなく、規制組織と事業者による「人災」であったことを、明確に指摘している。

また、政府事故・検証委員会の畑村報告書では、その総括部分で、「今回のような極めて深刻かつ大規模な事故となった背景には、事前の事故防止策・防災対策、事故発生後の発電所における現場対処、発電所外にお

図 4. Issues to be examined in the risk-landscape of the 2011 disaster

ける被害拡大防止策について様々な問題点が複合的に存在したことが明らかになった。例えば、事前の事故防止策・防災対策においては、東京電力や原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）等の津波対策・シビアアクシデント対策が不十分であり、大規模な複合災害への備えにも不備があり、格納容器が破損して大量の放射性物質が発電所外に放出されることを想定した防災対策もとられていなかった。」と述べている。

これらの2つの報告書の言明は、あたかも、原発の技術リスク対策の中核となる「多重防護」が破綻した場合の「残余リスクのシナリオの欠如」を指摘しているようにも見える。しかし、今回の複合大震災の地震の「震源域と津波の規模」の推定や原子炉の「過酷事故リスク」に対する前提・境界条件等が万一破綻した時の技術的リスク対応の範囲をどこまで残余リスクとして考慮していたのか、その適切さが問われなければならない。例えば、長期にわたる国土汚染と地域社会・集落の崩壊という社会的リスクのシナリオとそのリスク対応の不備と限界がどこにあったのかを追及し、その根源にまで迫る検証は見あたらない。また、その後の新事実の判明や追加に伴う継続した検証手続きの必要性の提言はされているが、そのスキームの実現への展望等は見当たらなかった。一方、東電報告書は、事故の当事者だけによる検証の限界を露呈して、過酷事故のリスク・シナリオやその対策について「スリーマ

イル島原発事故（1979年）やチェルノブイリ原発事故（1986年）以降、東電が、国と連携して、設備と運用の両面からシビアアクシデント対策を整備してきた」とし、今回の事故は「地震動と津波の規模等」に対する“想定”を大幅に上回るものであり、これまでの取り組み（原子力安全委員会・保安院の規制ガイドライン等を遵守した対策）だけでは事故の拡大を防止できなかったとしている（国会図書館, 2012）。

NPO 独立委員会の北澤報告書では、委員長メッセージとして「日本の原発の安全性維持の仕組みが制度的に形骸化し、張子のトラ状態になっていることが明らかになりました。その象徴が“安全神話”です。」と指摘し、この醸成された“安全神話”と論理的に矛盾する過酷事故のリスクのアセスメントや危機対応時のコミュニケーション等に係わる利害関係者間の情報共有が失われ、現実には、「事態が悪化すると、住民避難区域は半径 200 km 以上にもおよび、首都圏を含む 3000 万人の避難が必要になる“最悪シナリオ”や SPEEDI による放射能汚染地域予測データ」が公開されなかった」というリスク・コミュニケーション上の課題を強調している。

リスク・シナリオ形成に係わるリスク学（分析）の課題は多岐にわたるのであるが、これらの事故調査報告書・新聞報道資料等を参考にして、本稿では、低頻度・巨大損失事象に対するリスク学（リスク・アセス

メント、リスク・マネジメント、リスク・コミュニケーション)の課題を、以下の3点に絞って議論する。それらは：

- 1) 専門家集団(自然災害等)による地震動のリスク評価とその科学的判断,
- 2) 規制・事業者(原子力関連産業)によるリスク・シナリオと残余リスクへの対応,
- 3) 地域住民(原発立地自治体, コミュニティ, 住民等)による低頻度・巨大複合災害事象のリスク認知とリスク・コミュニケーションへの対応,

である。

図4は、M9.0の地震動、巨大津波、福島原発メルトダウンに至る巨大複合災害事象の中で、リスク評価、リスク・マネジメント、リスク・コミュニケーションの各段階で、上記の当事者が、どのような異なったタイプの「不確実性」に直面してきたか、2.4節で議論した3つのタイプの「不確実性の判断」の課題と共に図示したものである。

4. 討論：低頻度巨大複合事象のリスク・シナリオ化の課題

4.1. リスク・アセスメントにおける「Black-swans型」への対応

—専門家集団による地震動ハザードマップの事例—

東日本大震災が発生する1年前の2010年に、政府の地震調査研究推進本部による「全国地震動予測地図」が公開され、長期予測の一環として、宮城県沖にM8.0クラスの地震の発生も「想定」されていた。図5は、今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の程度を地図上に表現したものである。翌年の2011年3月11日のM9.0の超巨大地震(岩手県沖から茨城県沖まで500kmに及ぶ海底の沈み込み)は、彼等が予測の根拠とした科学的知見のモデル(海洋・大陸プレート理論とアスベリティ・モデル)や確認された歴史的データから見ると、全くの「想定外」であった(大木・綾瀬, 2011)。また、図中に表示されているように、1995年の阪神淡路大地震以後に発生したM6.8以上の地震は、予測された高い確率よりも低い確率の地域で発生していることにも留意すると、地震学の専門家集団による長期予測としてのリスク・シナリオが抱えていた課題が浮かび上がってくると思われる。

このM9.0というエネルギーの大きさ、地震動と津

波の破壊力が「想定」が出来なかったことに関して、震災の直後に行われた「自然災害・防災科学」の重鎮である専門家の座談会では、彼等の基本的な「思考の枠組み」が一気にひっくり返るような事象が出現したと率直に語られている(日本経済新聞, 2011)。ある意味で、「存在すること自体に気づかなかった」という「Black-swans」型の典型的な例と思えるかもしれない。しかしながら、一方で、災害科学(地震学)の他分野、例えば、歴史地質学等の専門領域で、「AD869年のM8.4と推定される貞観地震」に関する部分的な知見が少なからずあったのも事実である。何故、それらの少数の知見が、政府によって権威付けられた地震動長期予測委員会で取り上げられなかったのか、あるいはその検証が後回しとされてきたのか(震災後にその後付の説明が行われているが)、その判断の内容が問われる。

リスク学(分析)で言うところのRisk Triplets {S, P, D} から見れば、リスク・シナリオSとしての地震動の理論モデルの多様性(仮説)の取り込みや、P(頻度)やD(震度)それぞれの不確実さに内在する「状況設定や仮説」の組み合わせの適切さの評価に、「Perfect-storms」型の判断の過誤の可能性も考えられる。これらの評価では、先の地震学の予知分野での言説の例のように、場合によっては、地震動の理論研究(仮説モデル)の「基本的な枠組み(paradigm)」の転換が必要とされるであろう。このことは、当該学問領域内での論理による展開のみでは、精彩で厳密であればある程、異質の知見の取り入れは排除されることになるので、当該学問領域における専門家の判断(peer reviews)を超えた学際的なメタ評価軸(meta-peer reviews)が必要であり、専門分化の虜(peer-reviews capture)を脱する仕組みの必要性を示唆している(Ikeda, 2008, 2014)。

4.2. 残余リスク・シナリオ形成における「Perfect-Storm型」への対応

—「過酷事故」のリスク・マネジメント：規制・操業の裁量と説明責任の事例

1971年に営業運転を開始した福島第一原発は、米国GE社の沸騰水型軽水炉という技術を直輸入したもので、その安全性の評価枠組みは、IAEA(国際原子力機関)が定義するところのDBE(Design Based Events)が基礎となっている。DBE(設計設定事象：独立検証委員会北澤報告, 2012)とは、原子炉システムの設計・施工・操業において、工学システムとしての安全機能

National seismic hazard map based on probability distribution estimated from past recorded & authorized earthquakes in terms of occurrence percentage within 30 years.

図 5. A formalized and conventional style of “risk scenario/assessment” within experts’ academic circles

図 6. The 2011 disaster called for “residents & local communities” to pay specific attention:
 1) to understand the nature of LPHC risk events with a proper sense of “risk (scenario, probability, damage)” exposed to the residents & communities.
 2) to foster local coping capacity to respond to complex and uncertain risks by themselves.

(人の健康と安全の確保) が失われないようにするために想定される事象である。その想定事象には、装置の構造や製作上の瑕疵、外的要因による疲労や故障等の

一連の組み合わせを含むのであるが、原子力産業の先進国である米国の専門家集団の経験や裁量に基づく、いわば、決定論的な安全評価であった。工学系の安全

性に関する設計や規制基準の設定の場合の「DBE」では、その組み合わせの場合の数は、無限の可能性がある。そこで、ある前提・限界条件を設定して、その組み合わせの中から特定の DBE の組み合わせを選択することが、工学・産業界の設計・操業の基礎となっている。そこでは、事故が起こって初めて、その組み合わせの可否が問われる構造である。ここに、「低頻度・巨大損失事象」の場合では、「Perfect-storms」型の判断の過誤の課題、すなわち、規制・事業者の裁量によって排除された「Beyond“DBE”：想定されなかった設計設定事象」が問題となってくる。

1980 年代前後に発生したチェルノブイリとスリーマイル島原発事故という 2 つ重大な「過酷事故」を経て、この「Beyond DBE」をベースにしたリスク評価枠組みは、その事象に含まれる「不確実性」の評価に確率や頻度という測度を導入したリスク分析、すなわち、確率的リスク評価 (PRA: Probabilistic Risk Analysis: 日本では、PSA: 「確率的安全評価」と読み替えている) へと展開して行った (US NAS Symposium Report, 2014)。しかし、「安全神話」という妖怪を育成してきた日本の規制行政や操業の現場では、1990 年代からの IAEA や米国の PRA を軸とする新しいリスク分析の動向には注目・追尾するに留まり、「多重防護の技術」が崩壊する可能性の存在を、残余リスク・シナリオ (S_{n+1}) として、市民・住民に公開して対話するという対応、すなわち、「客観的分析と熟慮ある論議 (analytic deliberation process)」というリスク・コミュニケーションに生かすことが出来なかった。

今回の福島原発事故後の規制や事業者の記者会見、国会の委員会の答弁等では、原子力安全に係わる国の規制組織 (複数) の責任者が「炉心溶融の可能性は、論理上ありうるが、そういうことはあり得ないまでの安全設計をしている」、あるいは、「外部電源・非常用電源がすべて喪失するリスク事象を「想定外」とするのは、「割り切りである」と言明している」と報じられている (朝日新聞, 2011)。「Beyond DBE」問題として、これらの言説を敷衍すれば、何らかのリスク・費用便益分析的な安全管理上のトレード・オフが行われた結果として、全電源喪失というリスク・シナリオとそのリスク対応を、「Beyond DBE」として切り捨てる、あるいは、先送りにする「割り切り」の意思決定であったと推測される。しかし、この重大な意思決定がどのような論理と評価要素の重みづけによるトレード・オフで行われたのか、また、想定された「DBE」の組み

合わせの選択に「Perfect-storms」型の判断の過誤はなかったのか等々、リスク学 (分析) としての疑問が残り、規制・事業者としての説明責任は残されたままである。

この疑問に対して、国会事故調査委員会の黒川報告書は次のように結論づけている:「今回の事故は、これまで何回も対策を打つ機会があったにもかかわらず、歴代の規制当局及び東電経営陣が、それぞれ意図的な先送り、不作為、あるいは自己の組織に都合の良い判断を行うことによって、安全対策が取られないまま 3.11 を迎えたことで発生したものであった。」

実は、設計や規制政策における当事者のこのようなリスク・マネジメントにおける裁量の背後には、「何処までの前提・境界条件による想定ならば社会的に許容されるのか?」という科学技術の倫理や社会・文化的側面による判断が隠されていることに留意する必要がある (木下, 2011)。この場合では、低頻度・巨大災害型リスク事象に対する歴史的・地理的な特殊性 (アジアモンスーンの影響下にある気候変動や地震・火山活動等) や、巨大複合技術としての原子力エネルギーに対する倫理的リスクへの関心の低さ等が挙げられる。例えば、i) 資源開発、エネルギーの取出しから、超長期にわたる放射性廃棄物処理までの放射線被曝の世代間リスク、ii) 極低頻度の「過酷事故」と地域コミュニティからグローバル生態系までの壊滅的な損失の比較考量という生物間の不可逆性リスク、予防原則等々に係わる多元的な課題への考察が、“専門細分化した専門家集団”では、軽視されてきたことは否めない。このことは、同時に、当該の特定分野の専門家集団に暗黙の内に全てを「お任せ」して、その説明責任を追求してこなかったという日本社会の産官学を含む様々な科学・技術ネットワークにも、黒川報告書で指摘された「規制の虜 (regulatory capture)」に類する傾向があり、その責任の一端があったとも思える。

4.3. リスク・コミュニケーションにおける「Risk-Overlap」型事象への対応

—「低頻度・巨大複合災害事象」のリスク認知とリスク対応行動の事例

東日本大震災では、住民、集落、自治体、地域産業等々の多様な被災者・関係者が、「地震動、津波、原発事故」という一連の災害のプロセスで、次のような異なった性格のリスク事象 (図 3 を参照):

- 1) 古典的なリスク (急性・致死性): 津波による溺

死・行方不明、負傷

- 2) 近代技術リスク（慢性・社会性）：長期避難，災害ゴミ，PTSD（心的外傷後ストレス），家族離散，集落・コミュニティの崩壊，就業機会の逸失，放射線汚染の風評
- 3) グローバル・リスク（遅延性：世代間）：長期の低レベル暴露による健康不安，里山生態系や海洋生態系の変容，

に遭遇するか，あるいは遭遇する可能性があった。これらの性格の異なるリスク事象は，個々の当事者が抱えている状況や条件によって，重なりあって，社会的な増幅と減衰という動的なプロセスを経た複合災害事象となる。その全体像は，個々の集約されたマクロな被害の統計量（津波による死者の数 19,335 名，行方不明 2,600 名，震災関連死 3,300 名，全壊・半壊家屋数 399,767 戸，災害廃棄物 2018 万トン等々）から受けるイメージを超えた“Risk-overlap”という“リスク景観（risk-landscape）”を形成する。例えば，2,000 万トンに及ぶ災害廃棄物は，原発からの放射性物質の汚染を直接受けた場合はもちろんのこと，当該リスクの低い地域の災害ゴミも含めて，それらの廃棄物処理を巡っては，NIMBY（Not in my backyard）問題という紛争リスク・風評リスクを作り出した。34 万人を超える避難者は，全国規模で散らばり，家族離散，故郷のコミュニティの崩壊等のリスクを抱え込んでいる。2015 年の現在で，4 年以上に及ぶ長期避難者数は，福島原発事故関連だけでも，15 万人に達している。長期避難者の個人的・社会生活に関連する諸々のリスク事象では，被災地域の放射線物質の除去作業（除染）が何時収束するのが見えてこない中で，長期の低レベル放射線被曝による次世代の健康リスク，生活圏の里山の生態系の健全性にまで心配しなければならない。

しかも，被災者としての「住民」は，乳幼児，子供，就学児童を持つ世帯，病人・被介護者を持つ家庭，ペットと共に暮らす家庭，等々，「住民一般」として一括りにできない内容の多様な“ストーリー”を持っている。従って，地域社会や個々の住民は，それらの“ストーリー”に対応する多様な「複合リスク事象」に遭遇する可能性を認知して，それぞれの“ストーリー”に「弾力性のあるリスク対応」が，津波被災，PTSD，関連死等を避けるためにも必要であったことも明らかになった（広瀬，2012；外岡，2012）。

1995 年の関西淡路大震災では，「阪神地区で震度 7 に近い大地震はありえない」という言説が流布し，防

災の専門家が関与した神戸市の災害防止計画においても「想定」されていなかった（神戸新聞，2001）。この教訓を受けて，「防災から減災」という自然災害リスクを考慮した政策転換が始まったのは，まだ記憶に新しいところである。それ以後，我が国は高度情報技術社会として，全国津々浦々，ハード的な防災専門システム（貯水施設，堤防，防潮堤，救急救命医療施設等々）とソフト的な防災システム（ハザードマップ，警報・注意報の伝達や消防団・防災組織の避難誘導や救助等）等の両面の整備が曲がりながらも進んでいった。

しかし，ここで，「災害情報の逆説」が始まる。公的防災サービスが充実すればするほど，特に，極く稀にしか発生しない事象では，住民が日常的に防災に関与する必要性と関心が薄れてくる。さらに，高齢化と過疎の進行という社会構造の変化が加わり，ひとたび，「低頻度・巨大複合災害事象」という非日常的な状況が発生した時には，防災専門システムへの高度の依存のために，非日常的なリスクへの行動選択に対しては，「情報待ち・判断停止」となってしまう傾向がある（矢守，2013）。また，放射線被曝・汚染に関連した災害ゴミ・除染廃棄物処理のような「Risk-overlap」型の場合には，住民・地域社会が抱えている個々の“ストーリー”に，マクロで一元的な公的な支援サービスでは対応できないというにリスク・コミュニケーション上の課題が新しく発生する。

前者の「情報待ち・判断停止」の場合では，岩手県宮古市田老町の巨大防潮堤の事例がある。1933 年の昭和三陸津波で大きな被害を受けた町は，その後，多大な年月と費用（44 年間，約 50 億円（1980 年換算））を費やして高さ 10m，総延長 2.4km に及ぶ大防潮堤を構築した。第 1 期工事（1934–1958）完成後の 1960 年のチリ沖津波から町民をまもったが，第 2 期（1973–1980）工事で，楔形の二重構造にした防潮堤間に居住地が次第に開発されてきたために，今回の 15m を超える津波のエネルギーからその地域の住民達を守ることができず，4,400 名の地区で，230 人をこえる犠牲者を出した。この地区では，早期の避難行動を促す防災訓練にも熱心に取り組んでいたが，防潮堤に囲まれて長期にわたり居住していた多くの住民の防災施設への信頼は高く，避難行動への情報待ちによる遅れを招き，犠牲者を増やしたと報道されている（岩手日報，2011）。

後者の「Risk-overlap」型の複合リスク事象の課題は，福島県飯館村の事例に見られる。阿武隈山系南東の 500m の高地にある 6,000 人の，「日本で最も美し

い村」連合に加盟していた村は、東日本大地震の震度 6 弱の地震動には軽微な損傷で耐えた。しかし、その 4 日後の 3 月 15 日に、福島第一原発の炉心溶融の進行で大量放出された“目に見えない放射性物質”のブルームは、内陸部への風向きの変化で、30 km 以上離れたこの村を汚染することになった。当初、原発の立地点から 20 km の避難計画区域から外れて、原発立地地域から避難民を受け入れ、炊き出しまで行っていたこの美しい山村は、放射性物質による汚染の深刻さを示す測定データが、次々に、かつ小出しに明らかになるにつれて、避難すべき区域は、村の一部から全村の計画的避難と後追的に拡大し、住民は長期避難生活から派生する「Risk-overlap」型の諸々のリスク事象の「social amplification process」の荒波に翻弄されることになった（千葉・松野, 2012）。

一般に、規制当局や事業者が提供する集約されたマクロ・リスク情報は、特に、“低頻度・巨大複合事象”の場合では、「サービスの安定的供給と事業継続」という要素が彼等の意志決定の重要な要件の一つになるために、サービスを受ける側の市民・消費者が受ける「リスク情報」は限定されることになる。従って、必ずしも、消費者・市民にとってそれぞれのリスク回避行動に必要な情報が含まれているとは限らない。福島原発事故後の放射線被曝のリスク対応の場合で言えば、被災者、一般住民、地域社会が、政府の規制機関やマスコミから提供されるマクロな「リスク情報」を個々の地域社会の気象・地理的条件、汚染状況（多様なタイプの土壌・水・里山）にあわせて解釈し、“複合リスク事象”に対応する自分達の必要性に合わせて再編成するという弾力性のあるリスク対応、すなわち、地域社会によるリスク・ガバナンス（Ikeda & Nagasaka, 2011）が必要となる（図 6 参照）。

実際に、福島県いわき市のある住民グループは、NPO 法人「いわき放射能市民測定室たらちね」を立ち上げて、国や県の公的な放射線曝露測定サービスが提供出来ないような住民の要望（任意の甲状腺検査・内部被曝検査等）に応えようとする活動を、全国的なネットワークの支援を受けて行っている事例、空間放射線量について、公的なマクロな情報に不満な除染対象地域の住民が、彼等が知りたい地点・区域の残留放射線量を測定して、WEB 上に提供している市民ボランティア・グループ（Safecast project, 2013）の事例等が報告されている（朝日新聞, 2015）。このような地域の要求に根ざした事例が広がり、地域・コミュニティーの住民・

住民組織が、「低頻度・巨大複合事象」という非日常的な災害リスクに対して、「情報待ち・判断停止」とならない適切なタイミングで各々の「ストーリー」に合わせたリスク対応行動が可能になるように支援する「リスク・コミュニケーション」論の展開が期待される。

5. お わ り に

本稿は、「何故、この M9.0 という巨大地震と津波のエネルギーの破壊力、原子力発電所における全電源喪失から帰結する過酷事象を、いわゆる“想定外”として規制行政や安全操業・技術（多重防護の安全設計と操業指針）のリスク対応で見過ごしてきたのか？」という設問に応える形式で、「低頻度・巨大損失事象」のリスク学（分析）の課題を議論してきた。議論を進める上で、最初に、産業技術社会における多様な性格のリスク事象を学際的な立場から論議し、他分野の知見を交換する場として設立されたリスク研究学会（Society for Risk Analysis）で展開されてきた議論を、「低頻度・巨大損失事象」のリスク分析に係わる次の 4 つの前提として提示した：

- i) リスク概念とリスク学（リスク分析）の性格に関する論争—高度技術社会におけるリスク概念の拡張とその分析枠組み—
- ii) リスク事象の多様性・複合性をどのように表現するか—Risk Triplets (S, P, D) におけるリスク・シナリオの役割—
- iii) Risk Triplets 形成における科学的知見の不確かさの類型
- iv) リスク・シナリオ形成の不確か性：残余リスクのシナリオ化 (S_{n+1}) の課題

次に、「低頻度・巨大損失事象」である東日本大震災の事例を取り上げて、専門家集団（自然災害）、規制・事業者（福島原発）、地域住民（被災者）が、「低頻度・巨大複合災害事象」を、どのように認知、評価、対応したのか、その時の判断の過誤は、何処から派生したのか、あるいは、内在していたのか等々を、議論した。

専門家集団（自然災害等）による「地震動のリスク評価とその科学的判断」に関して言えば、思いもよらなかったという「Black-swans」型の過誤というよりも、極低頻度・巨大損失事象を特徴付ける不確か性の高い事象が発する“facts and evidences”を柔軟に取り扱う学際的なメタ評価軸（meta-peer review）の開発が必要であろう。規制・事業者（福島原発）の「過

酷事故」への非適切なリスク・マネジメントに関しては、IAEA も含めて多くの事故調査報告書が指摘しているように、彼等が当初主張していた「想定外」は、「Perfect-storms」型の過誤でもなく、「過酷事故」という「残余リスクのシナリオ」を明確にするという意志決定の裁量と説明責任の欠如が、リスク・マネジメントの課題として浮かび上がってくる。最後に、被災住民の「低頻度・巨大複合災害事象」のリスク認知とリスク対応行動に関しては、「risk-overlap」という概念を使って、多様な状況（ストーリー）にある被災者のリスク認知と緊急時の対応行動に対するリスク・コミュニケーションの課題を、岩手県田老町、福島県飯館村の事例を取り上げて議論した。

未曾有の巨大災害と言われた東日本大震災は、発災から4年半を経過して、本州の南端では原発が再稼働して、巨大複合災害の爪痕の記憶は風化し始めているようにも見える。しかし、被災地域における復興プロセスでは、未だに見通せない多くの難題、とりわけ、多様な“ストーリー”を持つ長期避難者の問題、国土の除染作業から出てくる放射性廃棄物処理という複合リスク問題、半世紀以上に及ぶと思われる福島原発の廃炉プロセスに付随するリスク問題等を抱えている。自然災害も含めて、多様化する「低頻度・巨大複合災害事象」に遭遇する可能性を避けることが出来ない時代の「リスク学（分析）の専門家集団」の役割を自問しながら本稿を終えたい。

参 考 文 献

- OECD (2003). *Emerging Systemic Risks in the 21st Century*, OECD Paris.
- Renn, O. et al. (2008). *Global Risk Governance*, Springer, Berlin.
- Albeverio, S. et al. (2006). *Extreme Events in Nature and Society* Springer, Berlin.
- Anderson, E. (2002). Assessing the risk of terrorism: special collection of perspective articles by former presidents of the SRA, *Risk Analysis*, 22(3) 401–402.
- US NRC (1996). *Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society*, National Academy Press, Washington, D.C.
- 池田三郎 (2011). リスク学から見る「想定外」問題：低頻度・巨大複合災害のアセスメントとガバナンスの再考, 日本リスク研究学会誌, 21(4), 231–236.
- 吉川肇子 (2012). リスク・コミュニケーションのあり方, 科学, 82(1), 48–55.
- 日本リスク研究学会（編）(2006). 近年のリスク学の動向：新規に浮上してきたリスク問題に対応するリスク学の構築に向けて, リスク学事典（改訂増補版）, 350–353, 阪急コミュニケーションズ.
- Comings, R. B. (1981). Is Risk Assessment A Science?, *Risk Analysis*, 1(1), 1–3.
- 末石富太郎 (1989). 政策科学としてのリスク研究の展望, 日本リスク研究学会誌, 1(1), 1–6.
- 池田三郎, 盛岡通 (1993). リスクの学際的定義, 日本リスク研究学会誌, 9(1), 14–17.
- Kaplan, S. and Garrick, B. (1981). On the Quantitative Definition of Risk, *Risk Analysis*, 1(1), 11–27.
- Wynne, B. (2003). *Public understanding and public participation in techno-democracy*, RISTEX International Workshop, Tokyo Dec 18th–19th 2003.
- Pate-Cornell, E. (2012). On “Black Swans” and “Perfect Storms”: Risk Analysis and Management When Statistics Are Not Enough, *Risk Analysis*, 32(11), 1823–1833.
- Smith, K.R. and Ezzati, M. (2005). How environmental health risk change with development: The epidemiological and environmental risk transition revisited, *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 291–333.
- Pidgeon, N., Kasperson, R. & Slovic, P. (2003). *The Social Amplification of Risk*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- 政府事故・検証委員会 (2012). 最終報告書（委員長：畑村洋太郎）<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/SaisyuGaiyou.pdf>
- 国会事故調査委員会 (2012). 東京電力福島原子力発電所事故調査報告書（委員長：黒川清）<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naic.go.jp/en/index.html>
- 東京電力事故調査委員会 (2012). 福島原子力事故調査報告（委員長：山崎雅男）<http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12-j/images/120620j0303.pdf>
- 福島原発事故独立検証委員会 (2012). 調査・検証報告書（委員長：北澤宏一）, Discover 21.
- IAEA (2015). The Fukushima Daiichi Accident: Report by the Director General <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>
- US NRC (2014). *Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accidents for Improving Safety of U.S., Nuclear Plants*, National Academies Press.
- 国会図書館 (2012). 「福島第一原発事故と4つの事故調査委員会」ISSUE BRIEF No.756. http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_3526040_po_0756.pdf?contentNo=1
- 大木聖子, 綾瀬一起 (2011). 超巨大地震に迫る, NHK出版新書 352.
- 日本経済新聞 (2011). 記事：「想定外を乗り越えて」2011年3月28日.
- Ikeda, S. and Uchiyama, I. (2008). Scientific Peer-Review Processes in Setting Environmental Quality Standards in Japan, *Risk Analysis*, Vol.26, 21–23.

- Ikeda, S. (2014). Interdisciplinary Framework of Risk Communication as An Integral Part of Environmental Risk Analysis in Postindustrial Risk Society, *Journal of Disaster Research*, 9, No.sp, 2014, 628–637.
- 神戸新聞 (2001). 「震災を語る」: 2011 年 11 月 17 日.
- 朝日新聞 (2011). 記事: 「電源喪失想定できぬ」 2011 年 3 月 26 日.
- 木下富雄 (2011). 「想定」を再考する—福島の実験をもとに, 日本リスク研究学会誌, 21(4), 237–247.
- 広瀬弘忠 (2012). 複合災害の時代に欠くことの出来ない災害対策と災害弾力性, 科学, 82(1), 93–99.
- 外岡秀俊 (2012). 3.11 複合被災, 岩波新書 1355.
- 矢守克也 (2013). 巨大災害のリスク・コミュニケーション, ミネルヴァ書房.
- 岩手日報 (2011). 記事: 「住民主役の知恵忘れ 巨大防潮堤の矛盾」 2011 年 5 月 5 日.
- 千葉悦子, 松野光伸 (2012). 飯館村は負けない, 岩波新書 1357.
- Ikeda S. and T. Nagasaka (2011). An emergent framework of disaster risk governance towards innovating coping capacity for reducing disaster risks in local communities, *Int. J. of Disaster Risk Science*, 2(2), 1–9.
- MEXT (文部科学省) (2011). Press Announcement (新聞発表) 2011 年 8 月 30 日.
- NIED (防災科学技術研究所) (2010). <http://www.jshis.bosai.go.jp/>
- Safecast Project (2013). <http://blog.safecast.org/about/>
- 朝日新聞 (2015). 記事: 「たらちねの母」, 2015 年 5 月 5 日—6 月 3 日, 記事: 「弁当ガイギー」, 2015 年 1 月 31 日—2 月 19 日.
- (2015 年 10 月 27 日受付, 2015 年 12 月 21 日最終修正)