

## 自然大規模災害に対する地球科学者の社会的・知的貢献 Social and Intelligent Contributions by Earth Scientists for Natural Disasters

三浦 保範<sup>1\*</sup>

Yasunori Miura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 客員 (国内外大学)

<sup>1</sup> Visiting (Universities)

### 1. はじめに

火山地震列島で災害の多い日本は、継続的な破壊の災害に対して迅速な生活改善のために世界的な科学技術立国に発展している。しかし長期的な地球活動を研究する地球科学者の視点から見た日常的な国民生活への対応は、十分に議論されていない。4年前イタリアのラクイラに発生した地震における政府委員会の安全宣言の見方について、グローバルな地球科学の立場から、今後の継続的なグローバルな社会的貢献のあり方を提案するのが目的である。

### 2. 地球科学者から見た地震と発生と日常生活

大きな自然災害は、いずれも高速の衝撃波発生する瞬時現象 (火山爆発・地震発生・隕石衝突) であり、地表の地形や環境を大きく変化させる。そのため、その地球上に住む人類生命体は、発生すると負傷死に及ぶ災害となるのはまず避けられないことを認識する。適切な情報収集と提供および住民各位の適切な状況判断が日常的に問われている。

### 3. 地震発生と生活対応の時間的情報の違いについて

地球惑星活動 46 億年は、その数千分の一の百万年単位で活動で表現されている。しかし地上の住民は、安心安全を一日単位時間で考え、その千分の一の秒時間で生活し、災害対策もその短さに対応する。ここで、地球百万年単位は人間生活時間はナノ秒時間に相当する。その時間の長さの違いにより、「地球科学の情報是不確実性で、迅速な反応や理論計算からみると、不明確で科学的でない」という印象を地球科学分野 (地震・地層など) に持たれている。地球の複雑活動系 (大気・水・岩石循環系) を広く長い空間時間系の地球活動で理解することがまず必要である。

### 4. 一般市民への地震安全対策へのお願い:

人間生活の年月活動で、地震 (発生) など災害を避ける安全な生活を日月単位で期待されている。しかし、大地震の発生頻度は、長い地球活動 (多媒体) に起因し、短い日常生活と基本的に違うため、日常から地震に対する防災対応が住民各自の立場で不可欠である。これまでの記録と実験理論解析からの予測が最新の科学的データ情報であることの理解が必要である (例: 恐竜が小惑星衝突絶滅した大昔の巨大津波跡がメキシコ湾沿岸に残存記録など)。そのために継続的で教育的活動の博物館・公園などの創設 (例: ハワイ島南部の巨大津波による廃墟公園村など) が必要である。そして、住民各自の日常的な状況対応の取り組みと一般メディアによる最新情報の提供の継続が必要である (例: 日本と同じ地震地帯の米国西部の空港では地震発生情報を公開でテレビ放映、そして住民各自で最新情報 (研究所や国提供) を収集し状況判断の行動をとる日常的なシステムの導入など)。

### 5. マスコミヤや裁判などへのお願い:

時間の単位の異なる住民生活と広い時間空間の地球活動の研究者の視点の違いをよく理解して、活動地球に平素から危機管理を持った報道・裁判などを期待する。これらの地震災害に対しての安全生活は、最終的に各自生命を自己防衛する迅速な状況対応に依存している。今回のイタリアの地震災害裁判は、日常の住民各自の対応を問題にしないで、情報提供した専門学者や役所の問題にし、災害の責任も情報を受けた住民各自の状況対応ではなく、情報発信元にその場的にすべての責務を求めている事例である。今後のグローバル世界に継続的な地震などの災害対策としては、あまり参考にはならない事例である。これからは如何に「市民の地震・災害に対する知的情報レベルを上げて対応できるか」が、今後の様々な継続的災害に対する最善の対応であることを、地球科学者の立場から強く要望する。なお、イタリアの地震災害において継続的な危機的対応をすべきであるのに誤解を招きやすい安全宣言的な報道には、その地域の事情が入りやすい時間単位の特異的事例であったと考えられる。

### 6. まとめ:

この地球上における様々な自然災害に対して、「長い広大な時空の多次元的地球活動」であることを大学・研究所・役所などで「広くグローバル的情報を収集解析して教育的にも対応」して、それをマスメディアを通して「日常的に住民各自で判断できる最新情報の積み重ねをする」のが、一般住民 (広く国民) に最も安全で犠牲を少なくする最善な状況対応であることを、活動的な地球惑星を対象にした一研究者からの考えとして、この機会に提言する。

キーワード: 自然大規模災害, 地球科学者, 社会的貢献, 知的貢献, 大地震, 大津波

Keywords: Natural disasters, Earth Scientists, Social contribution, Intelligent contribution, Huge earthquake, Huge Tsunami

## 被災者と仮設住宅 - 岩手県宮古市での現状 Victims Living at Temporary Housing - As of State in Miyako City, Iwate

岩船 昌起<sup>1\*</sup>  
Masaki Iwafune<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 志學館大学  
<sup>1</sup> Shigakukan University

【はじめに】東日本大震災から2年が経過したものの、被災地では課題が山積されたままで、「復興」への道のりは遙かに遠い。日本地理学会では「東日本大震災による被災地の再建にかかわる研究グループ」を2012年春に結成し、被災地に所縁のある研究者を中心に「復興公営住宅」、「津波被災地での商業機能のモニタリング」、「原発事故被災地での営農再建」等にかかわる共同研究に取り組んでいる。「復興公営住宅」共同研究では、岩手県宮古市を対象地域として、復興公営住宅への入居希望者が大半を占める「仮設住宅の住民」に注目し、応急仮設住宅の生活環境や住民の体力、心理的健康、日常生活での行動やその空間等の実態を明らかにする調査にも取り組んでいる。

オーガナイザーから演者への要請は、「被災地の現状」にかかわる発表内容であったので、この共同研究に基づき、岩手県宮古市における「仮設住宅とその住民」の実態を報告し、「地元からの要望」等もお伝えしたい。

【調査対象と調査項目】岩手県宮古市では、2011年3月11日の津波の襲来等によって、死者・行方不明者611人、全半壊等9,088棟（内、全壊5,968棟）の被害があり（2012年11月6日時点、宮古市資料）、最大で8,889人が避難所に避難した。被災5~7日後の避難所での聞き取りによる仮設住宅必要戸数の概数把握、用地の選定と敷地内インフラの整備、住宅の建設、入居希望の聞き取り等を経て、小中学校や公園等の小規模な敷地を中心に62団地2,010戸の応急仮設住宅が2011年6月頃完成し、全壊の被災者を中心に3,742人が1,667戸に入居した（2011年12月14日時点、宮古市資料）。

共同研究では、宮古市街地を中心とした「宮古地区」の8つの仮設団地で調査を実施してきた。調査項目は、1) 高橋らによる「仮設住宅室内における温湿度環境」、2) 白井らによる「仮設住民の日常生活における身体活動」、3) 松本らによる「仮設住民の心理的健康と個別的経験」、4) 関根らによる「仮設住民の行動と生活空間」、5) 岩動らによる「商業機能モニタリングと仮設住民の購買行動」であり、1)~5)の研究を岩船が取りまとめている。

【仮設住宅室内における温湿度環境】2012年3月18日から規格部会建設（プレハブ）の仮設住宅の室内（居間、寝室、台所、トイレ等）に高さ別（15cm, 150cm, 200cm）で温湿度計を設置し、30分間隔で観測を行っている。このデータから、冬季には暖房器具が設置されている居間とされていない寝室やトイレとの温度差が大きくなり、暖房を使用すればするほど室内の上部と下部との温度差も極めて大きくなることが明らかとなった。一方、入居から2012年9月30日までに8仮設団地で亡くなった方は、聞き取りから8名（男7, 女1）（心筋梗塞3, ガン3, 脳卒中2）であった。直接的な因果関係を明らかにできないが、この「部屋・高さ別での極端な温度差」は、そこでの生活者の食習慣、運動習慣、休養、喫煙等の生活習慣、ストレス等の心理的健康等と関連して、心疾患や脳血管疾患等の発症に少なからず影響を及ぼしていると推察され、高齢で潜在的に発症のリスクが高い住民に多大な身体的な負担を強いていると思われる。

【仮設住民の日常生活における身体活動】8仮設団地の住民は、高齢者が大半を占めている。これらの仮設団地で呼びかけに応じて集会所に集まった人々（女性中心）に、E-SAS（理学療法士協会のアセスメントセット）の実施および身体活動量計による計測等を行った。その結果、身体活動量等は、全体として非被災地でこれまで報告されている健常成人のそれらと大きな差はなかったが、一部に移動能力があるが生活空間が狭くて身体活動量が少ない人の存在が明らかとなった。彼らの中には「近くに買い物をする場所がなくなった」や「知人の家が遠くなった」等とコメントする人もおり、津波災害による都市機能の消滅・劣化や仮設住宅への転居等による人間関係の変化で「生活空間」が狭小化したことが示唆された。「集会所に集まった積極的な住民（高齢女性中心）」であっても「運動指導」等が必要な人がおり、かつ「家に閉じ籠り傾向の住民（高齢男性等）」が存在することを考えると、集会所を越えた個別対応の強化と「仮設団地周辺の環境や人間関係」の修復・構築を行う必要がある。

当日は、他の調査項目との関連も含めて「被災者と仮設住宅」を総合的に考察する。

なお、本研究は、公益財団法人トヨタ財団「2012年度研究助成プログラム東日本大震災対応『特定課題』政策提言助成」の対象プロジェクト「復興公営住宅の住まいづくりとそれを取り巻くまちづくりへの提言 - 被災者の体力や行動と被災地の再建過程に応じた地域性の反映（D12-EA-1017）」の一部である。

キーワード: 被災者, 仮設住宅, 健康, 生活環境, 東日本大震災, 宮古市

Keywords: victim, temporal housing, health, living environment, Great East Japan Earthquake, Miyako City

## 東日本大震災の災害・復興状況から防災を考える

## Reflecting on disaster management policy based on lessons learned during and after the GEJET

田中 茂信<sup>1\*</sup>Shigenobu Tanaka<sup>1\*</sup><sup>1</sup> (独) 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター<sup>1</sup> ICHARM/PWRI

わが国では、災害対策基本法などの法律により、国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護するための施策が講じられてきた。死者行方不明者 1000 人を超える風水害が 1900 年以降 1959 年の伊勢湾台風までに 10 回発生しているがそれ以降は発生していない。全国の気象官署 50 カ所の 1901 年からの日雨量 100mm を超える降雨の発生回数と比較すると 1950 年前後に比較的回数が多く、この時代に大規模な風水害が多かったことと一致している。しかしながら、近年も日雨量 100mm を超えるイベントは増えているが、大規模な風水害は発生していない。死者行方不明者 100 名を超える風水害は 1983 年のあとは 2011 年に 1 度発生しているのみである。治水施設の整備は、明治時代の欧米の技術導入以降、10 年から 20 年に一度発生する洪水規模、既往最大洪水規模さらには確率洪水へと対象規模を拡大し、流域レベルでソフト及びハードの整備を進めて来ており、今のところ治水投資の効果が災害発生状況に現れている。

一方、わが国は、地震国であり、かつチリ地震津波のように太平洋の向こう側で発生した津波が来襲することもありながら、規模の大きい津波被害の頻度は風水害に比べると小さい。三陸地域は津波常襲地域と考えられ、東日本大震災よりも前から来るべき津波に備えてハードおよびソフト対策が行われてきた。不幸にも東日本大震災では想定していた津波よりも大きな津波に襲われた場所がほとんどであり、その被害は甚大で、死者行方不明者 2 万人を超えた明治三陸地震津波以来の甚大な災害となった。災害後の国土技術政策総合研究所の調査で津波の最大浸水深が 2 階軒高さ以上となる場合、平屋もしくは 2 階建木造建築物で残存している例は少なかったと報告されている。海岸の防御施設の高さを 4m 以上超える津波が長時間越流すると、たとえ防御施設が壊れなくとも背後は壊滅的な被害を被ることになる。岩手県の田老海岸と普代海岸は今回の津波で対照的な被害となった。前者は明治三陸地震津波で 14.6m、昭和三陸地震津波で 10.1m の津波に襲われた経験がある中で、高さ 10m の津波堤防が設置されていた。一方、普代地区は中心部が一時、昭和三陸地震津波に対応する堤防で護られていたが、その後、明治三陸地震津波対応の高さ 15.5m の津波水門が建設され、より広い地域が護られてきた。両者ともに施設を越える津波を受け、前者は壊滅的な被害を被ったが、幸い後者は越流時間が短かったことや直背後に人家がなかったこと等により被害は軽微であった。三陸の他の海岸や宮城県では施設の高さを大幅に超える津波を受け、広範囲で大規模災害となった。一般に地域の被災割合が大きくなるほどその復旧・復興には時間がかかる。施設や財産の被害は被災時に決まるであろうが、生命や身体は被災時だけでなく、復旧・復興を通じて被災前と同様な生活ができるようになるまでの不自由な生活の中でも蝕まれていく可能性がある。特に、高齢者や乳幼児、病人などは脆弱であり、速やかな復旧・復興が大きな課題となっている。

内閣府より平成 24 年 8 月に発表された「南海トラフの巨大地震に関する津波高」は、既存の海岸保全施設の高さを遥かに超えるものが多い。これに備える避難確保が検討されているが、この津波は東北大震災の津波に比べ短時間で来襲するなど避難にとっても不利である。また、対象地域には東海地域のようにわが国の工業生産基地や物流の大動脈が位置しているところもある。例えば、浜名湖の海岸付近には国道 1 号や新幹線や位置し、これらが背後地とともに被害を受けた場合、地域の復旧・復興がままならないばかりでなく日本経済に与える影響も計り知れない。避難確保の検討は非常に重要であるが、たとえ十分に検討された避難確保計画が策定されたとしても計画通りには事は運ばない部分があるだろうし、仮に全員が無事避難できたとしても壊滅的な被害を受ければ、復旧・復興は簡単ではない。予算の確保は容易でないが、東日本大震災の経験を踏まえて少しでも高い堤防等により海岸を防護することが喫緊の課題である。

平成 24 年 6 月、浜松市の 17.5km の海岸に南海トラフの巨大地震の津波想定に基づいた静岡県第 4 次地震被害想定的前提となる津波高を上回る高さを確保する防潮堤を 3 年で建設するため、一民間企業が 300 億円の寄附を申し出ている。国が短期に十分な高さの堤防を建設する予算の確保が困難でも国民総出で壊滅的な被害もたらず災害への対策に取り組むことが求められている。津波は低頻度大災害である。着実に対策を進めることが肝要である。

キーワード: 東日本大震災, 津波, 避難, 堤防, 復興

Keywords: GEJET, tsunami, evacuation, seawall, recovery

## 低頻度大規模災害の定量的リスク評価・比較手法の一試案

### Proposal of a quantitative risk evaluation/comparison method for low-frequency megadisasters

小山 真人<sup>1\*</sup>

Masato Koyama<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学防災総合センター

<sup>1</sup> CIREN, Shizuoka University

低頻度大規模災害に関する情報に不確実性はつきものだが、たとえオーダー推定であっても可能な限り定量化し、他と比較してわかりやすく示すことが科学者の責務である。また、そうして示された情報は、災害対策の優先順位づけに役立てられるべきである。

小山(2003、月刊地球)は、各種自然災害の規模・頻度・進行速度間の関係を見積もった上で、1000年に1度程度以上の規模をもち、かつ発現から極大まで数年以内の災害を「破局災害」と定義した上で、そのリスク認知が学術の世界に閉じており、防災対策の「想定外」となっていることを指摘した。その後、3.11災害の発生によって、ようやく破局災害の一端が認知され、対策が検討され始めている。

中央防災会議(2012)「南海トラフ巨大地震対策について(中間報告)」は、南海トラフで生じる津波を2つのレベルに分類し、レベル1を「発生頻度は比較的高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」、レベル2を「発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」とした。内閣府(2012年8月29日報道発表資料)は、レベル2津波の「発生頻度は極めて低いものである」としながらも、「東日本大震災の教訓から、命を守ることを最優先として、この最大クラスの津波への対応を目指す必要がある」としている。

しかしながら、発生頻度が極めて低い災害には、小惑星衝突や近距離での超新星爆発なども含まれるから、その頻度を定量的に示さずに闇雲に対策を求めることは合理性・客観性を欠き、かつ防災情報の発信としても無責任である。

この問題を考えるにあたっては、定量的なリスク評価・比較をおこなった上で、「ここまでは対策するが、ここからは諦める」という整理が必須である。しかし、こうした試みは、ごく限られている。早川(2003、月刊地球)は、過去に起きた噴火がいま突発的に起きた場合の死者数を「破壊力」と定義した上で、発生頻度を考慮した巨大噴火災害のリスクを見積もった。ここでは、早川の手法を拡張・一般化したリスク定量・比較手法を提案する。

そもそもリスクには、以下の4つの定義がある(小山、2005、火山特別号)

1. 漠然とした(潜在的)危険(性)
2. 被害額とか犠牲者数などの具体的予測値
3. ハザード(加害要因・現象)の大きさ×社会の脆弱性(vulnerability)
4. ハザードの大きさ×生起確率

ここでは、発生頻度(生起確率)が明確に定義に含めている4を用いる。ただし、第一項についてはハザードそのものでなく、あるハザード(加害現象)に覆われる範囲の居住人口を「被災人口」として定義する。この数字は、その現象の致死率が100%であれば死者数と一致する。加害現象の発生頻度を表すパラメータとしては、その現象の平均的な発生間隔を用いる。そして、被災人口を発生間隔で割った数値、すなわち1年あたりの被災者数を「リスク」として定義する。

発生頻度・被災人口の対数をとった散布図を描くと、リスクの等値線は右上がりの直線(リスク=1000など)となる。この図によって各種災害の規模・発生頻度・リスクの3者を一覧・比較することができる。

いくつかの地震・火山災害の被災人口と発生間隔を試算して上図にプロットしたものを示す。たとえば、日本海溝で生じるレベル2地震は869年、1611年、2011年の繰り返しとみて、発生頻度を500年に1度とみる。津波浸水区域には60万人が居住していた(総務省統計局)ので、リスクは60万÷500年=1200となる。しかし、実際の死者行方不明者数は約2万人であり、事前の防災対策と避難によってリスクが1200から40(2万÷500年)まで低減できたことになる。

同様に、南海トラフのレベル1とレベル2の地震の発生頻度をそれぞれ100年に1度、1000年に1度とみる。被災人口は前者が数十万、後者が数百万人とみられるが、想定死者数は前者が1.8万人(中央防災会議、2003)、後者が32万人(中央防災会議、2012)であり、対策と避難を見込んだリスクがそれぞれ180(1.8万÷100)と320(32万÷100)に低減されていることになる。しかし、どちらのリスクもまだ高いので、さらなる低減方策を進めているのが現状ということになる。

以上のように、リスクの定量・比較によって被害軽減対象と目標の合理的設定が可能となる。「発生頻度は極めて低い」と言いながら「対応を目指す」とする情緒的で矛盾した考え方は不要となり、より突出したリスクを軽減することによる優先順位づけが可能となる。地震・津波災害は、さまざまな被害軽減策によってリスク100以下をめざす傾向にある。富士山の山体崩壊についても、予知できた場合の避難計画を策定し、リスク100以下をめざすべきだろう。

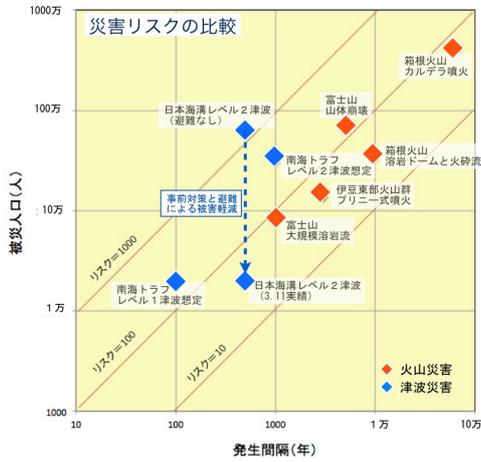
U06-04

会場:国際会議室

時間:5月24日 10:15-10:30

キーワード: リスク評価, リスク比較, 低頻度大規模災害, 地震, 津波, 火山噴火

Keywords: risk evaluation, risk comparison, low-frequency megadisaster, earthquake, tsunami, volcanic eruption



## 福島原発再臨界の危惧とその対策 地球科学からの提言

## Possibility of recriticality of the meltdown uranium nuclear fuel at the Fukushima nuclear power station

小嶋 稔<sup>1\*</sup>, 羽場麻希子<sup>1</sup>Minoru Ozima<sup>1\*</sup>, Makiko Haba<sup>1</sup><sup>1</sup> 東京大学理学研究科<sup>1</sup> University of Tokyo

地球科学的考察から、我々は福島第一原発1号炉のメルトダウンしたウラン核燃料(約35トン)が再臨界を起こし核分裂連鎖反応を起こすのでは、との危惧を払拭し切れない。加えて、原子力安全基盤機構(JNES)が公開した福島原子力第一発電所事故に係る資料には、たいへんショッキングな研究結果の報告書が含まれていた。この中でJNESは、3.11原発事故の直後にウランの核分裂連鎖反応の再臨界の可能性を調べ、計算結果から連鎖反応の可能性が高かったと推定していた。だが、大規模なウランの核分裂連鎖反応は起きなかった。然し此の幸運は、海水の注入により予想もしなかった中性子吸収効果(35Clによる)と言う全くの偶然に助けられた結果だったと述べている(1)。

1昨年11月、東電は福島原発2号炉内でキセノン133、135を検出した、と発表した。何れも核分裂反応で出来る希ガスである。しかしその量が極めて微量な事から超ウラン元素起源のもので、核分裂連鎖反応を起こすウラン235U起源のものではない、と結論した。しかしこの結論は検討の余地が残る。なぜなら、1昨年11月の時点ではメルトダウンしたデブリ(ウラン燃料の残骸)は冷却水の注入で表面近くでは100以下に保たれていたとすると、デブリからのキセノンの拡散は極めて遅く、キセノンの観測値が過小評価された可能性が高い故である。したがって観測されたキセノンの絶対量からだけでその起源が235Uではないと結論するのは早計であろう。

原子炉のメルトダウンについては多くの研究が発表されている(2)。然しさらに深刻な再臨界の議論は専門家の間ですら皆無に近い。1972年中央アフリカで発見された「オクロ天然原子炉」は、臨界は原子炉内に限らず自然界でも起きる事を証明した(3)。福島第一原発1号炉のメルトダウンしたウラン核燃料が現在どのような状態なのかよく分からない。しかし、メルトダウンしたウラン燃料は、通常の原子炉燃料より「オクロ天然原子炉」の“火元”になったオクロ・ウラン鉱床により近い可能性も否定出来ない。事実、高温になった原子炉内では、ステンレスに中性子吸収剤ホウ素(B4C)を包んだ制御棒が最初に溶融落下し、其の後に融点の高い燃料被覆管とウラン燃料が溶融落下し原子炉格納容器の底部に堆積した、と推定されている(4)。またウランは中性子反応の制御に使用しているホウ素に比べ一桁以上も比重が大きく、メルトダウン堆積物中でウランとホウ素の分離が起きた考えるのが自然であろう。従って中性子吸収剤ホウ素と濃縮ウランがコンパクトに配置されている正常の原子炉運転状態と異なり、ホウ素に依る中性子反応の制御が効き難くなる事態も考えられる。加えて、現在周りに多量の冷却用水が取り囲んでおり、メルトダウン堆積物の環境は「オクロ天然原子炉」により近くなっているとの推定も否定出来ない(5)。更にメルトダウン堆積物とコンクリート床面との化学反応が再臨界を起こす、と言う指摘もある(6)。

東電原発事故の対応は、現状では汚染除去等の緊急対策に重点が置かれているが、将来の再臨界の可能性の議論は、その結果の重要性から看過されてはならない。我々は核分裂連鎖反応のモニターとして現行のキセノンの定量測定に代え、より迅速で精度の高いヘリウム等の常時観測を提案したい(5)。さらに根本的な対策として、メルトダウン堆積物の物理・化学的状態の解明の早急な着手を訴える。この為には原子炉の専門家に加え、地球科学研究者の参加は重要である。一時3000Kを超えていた(4)と推定されるメルトダウン堆積物の物理・化学的状態はよく分かっていない。噴火の際のマグマ流出機構、さらには巨大隕石の衝突機構等、地球科学的研究の蓄積(鉱物科学、地球化学、地球物理、地質学、惑星科学等)は、こうした未知のメルトダウン堆積物の物理・化学的状態の解明に有用な手掛かりを与える事が期待される。

1. 原子力安全基盤機構、[http://www.jnes.go.jp/jyohou/kouhyo/kaiseki\\_published.html](http://www.jnes.go.jp/jyohou/kouhyo/kaiseki_published.html), 2011。2. Kataoka I., Jour. Nuclear Science and Technology, 50, 1, 2013。3. Kuroda P.K., J. Chem. Phys. 25, 781, 1956。4. 田辺文也、メルトダウン、2012、岩波書店。5. 羽場麻希子、小嶋稔、科学、12月号、2012、岩波書店。6. Izawa et al., J. Nuclear Science and Technology, 49, 1043, 2012。

キーワード: 福島原発, メルトダウン核燃料, 再臨界, オクロ天然原子炉, 臨界モニター

Keywords: Fukusima nuclear power station, meltdown nuclear fuel, re-criticality, Oklo natural reactor, re-criticality monitor

## 津波堆積物調査・研究から津波災害地形誌へ

## Toward the Physicalgeography of Tsunami Disaster based on Tsunami Sediments Research

平川 一臣<sup>1\*</sup>

Kazuomi Hirakawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Hokkaido University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、三陸地方だけでなく房総半島や北海道太平洋沿岸にいたる広範囲に巨大津波の浸水、遡上が及ぶことを示した。この事実は、たとえば千島海溝を波源とする過去の超巨大津波は北海道の沿岸だけでなく三陸沿岸にまで伝播してきたと考えるべきことを示す。このような超巨大津波は、過去数千年の履歴の中で考えるなら、どのように理解されるだろうか。2011, 3.11 超巨大津波を経験し、地形学的観点から津波堆積物を調査・研究してきた立場から、目下の津波堆積物に関わる諸問題・見解を述べる:

1. 3.11 津波の挙動(遡上・浸水高)は、地形条件(低地の広がりや標高分布すなわち勾配、谷や斜面の規模・勾配、工学的海岸地形改変をも含む)によって、狭い範囲内(たとえば、宮古市田老地区周辺)で著しい局所的な相違を示す。このような地形学的観点から3.11 津波の挙動を分析、解析すべきである。

2. 3.11 津波は、北海道太平洋沿岸でも、3?4 mの津波高(浸水高)になり、場所によっては5?6 m以上の高さまで遡上した。防潮堤がないところではかなり広範囲に浸水し、自然の地形条件下であれば、内陸にまで浸水して津波堆積物を残したであろう。

3. 広域(根室・釧路、十勝から日高沿岸、噴火湾周辺を含めて陸奥、陸中、陸前に至る千島海溝?日本海溝沿岸域)の古津波堆積物に基づく巨大津波の識別・認識をまとめると、記載場所の多様な地形的条件(標高や海岸からの距離、低湿地、段丘の地形や小谷の奥など)によって、200年程度から数百年、さらに1000年以上の再来間隔を示す超巨大津波が選別され、記録され得る。

4. 869年貞観津波は、三陸沿岸全域だけでなく十勝沿岸にまで達し、低湿地の一部にまで遡上し、津波堆積物を残していた。

1611年慶長三陸津波あるいは北海道太平洋沿岸の17世紀500年間隔津波は、超巨大津波であった。異なる津波とされてきたこれら二つの津波は、実は千島海溝を波源とする17世紀初頭の超巨大津波であった可能性が高い。

5. 以上のような超巨大津波は、津波堆積物に基づいて発生時期、再来間隔、浸水・遡上高、浸水域、地形と津波挙動の関係、これらの諸相の地域的な違いなどを過去6000年間について検討することが可能になる。

6. 3.11 津波によって、津波堆積物に関する調査・研究は大きく注目されることとなった。しかし自然地理学的、地形学的観点を考慮した研究が不足しているように思えてならない。私は、数百年?千年間隔の希有なイベントである超巨大津波は、必ず地層(堆積物)として記録を残してきたに違いない、その挙動を想像すれば、調査の地形的適地が必ずあることを北海道太平洋沿岸の津波堆積物調査を通じて主張してきた。津波堆積物の認定に困難をもたらす、河川や高潮の影響が及ぶような地形的位置は避け、超巨大津波の痕跡だけを残すような地形的条件を読み切って調査をすべきであろう。

津波堆積物の認定や解釈の難しさについて、調査・研究に関わる当事者によって強調されるようになっている。困難さを強調するより、津波以外には運搬・堆積は不可能な地形的位置と堆積相を可能な限り多くの地点で記載することのほうがはるかに重要である。そのためにも、3.11 津波の実態を詳細に記載し検討する作業を根気よく続けなければならないことを強く主張したい。すなわち、津波堆積物調査・研究に基づく津波災害地誌学(津波災害自然地理学あるいは津波災害地形学)の考えの重要性である。それを担うのは2011,3.11 津波を経験し日本の自然地理(地形)研究者の責務である。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震超巨大津波, 津波堆積物, 地形と津波挙動, 津波災害地誌学

Keywords: Physicalgeography of Tsunami Disaster

## 活断層研究と地震被害軽減 Active fault study for mitigating earthquake damage

渡辺 満久<sup>1\*</sup>

Mitsuhsa Watanabe<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東洋大学

<sup>1</sup>Toyo Univ.

### 1 はじめに

活断層の位置・形状は、地震時の被害を軽減する上で最も基礎的かつ重要な情報の1つである。以下では、このことを主に2つの事例をもとに述べたい。第1は、いわゆる地震被害を「揺れ」によるものと「ずれ」によるものに区別する必要性である。第2は、海底活断層と巨大地震・津波発生との関係についてである。

### 2 「揺れ」と「ずれ」

地震被害は、「揺れ」による被害と「ずれ」による被害に区別する必要がある。前者は軟弱地盤地域に集中することがよく知られており、発生しうる地震規模を適切に想定していれば、工学的にその被害を軽減することは可能であろう。ところが、活断層の近傍に集中する後者は、耐震性とは無関係に発生し、工学的に防ぎようがないと思われる。ただし、活断層の位置・形状を正確に知り場所を適切に選べば、「ずれ」による被害は比較的簡単に防ぐことができる。演者はこのような観点から、20年以上前から、公共建造物などは活断層近傍を避けるべきだと主張してきた。ところが、この考え方に対しては強硬な反対意見があった。かつて、その理屈を全く理解できなかったが、最近非常によく理解できるようになった。

日本の原子力施設周辺では、あるはずの活断層が無視され、無視できない場合にはできるだけ短く値切るという異常な安全審査が行われてきた。「311 福島」はその延長上にある。2012年の後半以降、「中立」な研究者が活断層評価を行うようになり、隠されてきた活断層が「出現」する事態となった。活断層近傍の土地利用に対する警鐘に対する批判は、かつての活断層評価に従事していた「専門家」から発せられていたのである。「大変困る事態」となることを知っておられたのであろう。現在もなお、「活断層の上で特に家屋が倒壊しているわけではなく、活断層が危ないというのは風評である」との主張が続いている1)。

### 3 海底活断層

最近、海底地形に関するデータが集積し、陸上と同じ手法によって海底活断層の位置・形状が詳細に検討できるようになった。その結果、歴史地震の震源域と海底活断層の位置との比較が可能となり、いわゆるプレート境界型の地震であっても、海底活断層が引き起こす固有地震と考えることが可能であると指摘されている。

たとえば、南海トラフのプレート境界ではいくつかの領域が認定され、それぞれが固有の地震を起こすとともに連動して大きな地震が発生すると考えられてきた。しかし、その領域に対応するような海底活断層は認定できない。歴史地震との対応を見た場合には、それぞれの別々の海底活断層が震源域に対応するよう見える2)。さらに、2011年の311地震(M9.0)は、その位置・形状から、日本海溝軸付近からやや陸側に認められる延長約500kmの長大な逆断層が引き越した可能性が高い3)。この海底活断層が形成した撓曲崖(断層崖)の比高は最大で3,000m近くに達しているため、同様の固有地震が繰り返されていると考えられる。また、この時に発生した津波の特徴も、変動地形学的に想定される断層面の形状を基に計算した方が観測事実に近い。このように、巨大地震の発生位置や津波の特徴なども、海底活断層との対応で検討すれば、よりリアリティに富む結果が得られ、地震被害の軽減に資することができるであろう。

### 4 まとめ

陸上に限らず海底においても、活断層の位置・形状が地震被害軽減に関する基礎的かつ重要な情報である。本来であれば、「311」による被害を軽減するために役立つべきだった情報であったはずであるが、間に合わなかった。「311」を2度と繰り返さないために、今後も活断層研究を進めてゆく必要がある。

【文献】1) <http://www.sankeibiz.jp/compliance/news/130129/cpb1301292211007-n2.htm>, 2) 渡辺ほか(2010)地震学会予稿集, 3) 渡辺ほか(2011)地理学会秋予稿集、中田ほか(2011)地震学会予稿集

キーワード: 活断層, 海底活断層, 地震, ずれ, 津波, 原子力施設

Keywords: active fault, marine active fault, earthquake, dislocation, tsunami, nuclear facility

## 福島第一原子力発電所の事故で発生した放射性廃棄物の処理・処分に内在する課題 Problematics in treatment and disposal of the radioactive waste produced by accident at Fukushima Daiichi NPP

佐藤 努<sup>1\*</sup>

Tsutomu Sato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北大 工学研究院

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Hokkaido University

The Fukushima Daiichi nuclear disaster is a series of equipment failures, nuclear fuel meltdowns, and releases of the fission products and feasible neutron activated nuclides to the environment at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (NPP), following the 9.0 magnitude east-Japan earthquake and the ensuing tsunami on 11 March 2011. As the result of radionuclide releases, the soils, water, foods, building wall and road in Fukushima were widely contaminated with the radionuclides, especially <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs. Although it is urgent to figure out how radioactive materials were spread not only in the area close to the nuclear reactors but also over surrounding, rather wide district, decontamination methods of the radionuclides should be considered to reduce the public health impact and to regain their daily life. While the public health impact appears to have been low, the economic and nearby environmental consequences are severe. There is no doubt that land restoration will take over a decade and perhaps much longer. However, we have to work on the decontamination of radioactive cesium without further delay to take back daily life to the inhabitants in Fukushima. For the efficient decontamination, we have to understand the followings concerning the radioactive cesium in the environment: 1) distribution by environmental monitoring, 2) state (water extractable, cation exchangeable, passive states, and so on). During the operation of decontamination, huge amount of the waste with radioactivity will be produced. Therefore, the method of decontamination should be connect with how to disposal of the waste.

On the contrary, in the site of Fukushima Daiichi NPP, there is also huge volume of radioactive waste such as cutting down trees, debris produced at hydrogen explosion, adsorbents used in the decontamination system for water using in "feed and bleed" cooling of the reactor core. For the cutting down trees and concrete debris, the reduction of their volume will be a required action. Development of technology therefore will be necessary for safety and reasonable combustion and surface decontamination. Various kinds of adsorbents such as synthetic zeolites and ferrocyanide compounds have been used in the Cs decontamination system for the cooling water. Multi-nuclide Removal Equipment (ALPS) will be operated so that the radioactivity of the 62 nuclides in the cooling water want to be reduced to below the limit specified by the reactor regulation. In the ALPS system, various kinds of adsorbents such as ferric hydroxides, carbonates, active carbon, titanate, and resin will be used. After using those materials, we have to hold huge volume of the waste contaminated with various kinds of radionuclides. These wastes are more complicated to treat and dispose than adsorbents from Cs decontamination system for the cooling water because more complicated radionuclides should be contained in the wastes. For the present, however, it is still ambiguous for the treatment and disposal because there is no information about the following; what radioactive nuclides are contained and how much their concentration are. Consequently, we have to go ahead for treatment and disposal of the waste without sufficient information about the contamination.

In this presentation, the present status of the actions and inherent issues in decontamination of the radionuclides and safety waste disposal during the decontamination would be informed and discussed.

キーワード: 福島, 原子力発電所, セシウム, 廃棄物, 処分

Keywords: Fukushima, Nuclear power plant, Cesium, Waste, Disposal

## 地震列島・日本の原子力発電所と地震科学 Nuclear power plants in the seismic Japanese Islands and earthquake science

石橋 克彦<sup>1\*</sup>

Katsuhiko Ishibashi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> なし

<sup>1</sup> none

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(M9.0)によって、東京電力福島第一原子力発電所が「原発震災」(石橋, 1997)を引き起こし、その深刻な被害はいつ収まるともされない。それを許してしまった責任は、私たち日本の地球科学界にもあるだろう。本講演では、地震科学を中心に、地震列島・日本の原子力発電所(以下、原発;核燃料施設も含む)に学界がどう関わってきたかを振り返り、今後どうすべきかを考える。

地球惑星科学(理学)としての地震科学は、その知見が安全性の基礎となっているものであっても、社会的な具体的課題(原子力発電所、大規模埋め立て施設、リニア新幹線など)にまで首を突っ込む必要はないという考え方が強いと思われる。しかし、災害科学としての側面を無視できないから、これらの施設(大きな震災要因でもある!)の地震・津波安全性についての国民的関心が高い場合には、問題の有無を検討し、学界内で原則的な問題意識を共有し(個別的には意見の相違がありうる)、必要があれば社会に説明するような活動をするべきだろう。原発の場合、「立地条件が安全確保の第一歩」だから、地震列島・日本の原発の安全性について地震科学が関心を寄せ、一般市民の疑問に答える責任があるのは当然だと考えられる。社会的問題は往々にして政治的色彩が強くなるので、中立を保つために関わらないほうがよいという感覚が強いかもしれないが、石橋(2000, 2012)が指摘したように、中立を守るといって沈黙をきめこむこと自体が一つの政治的效果をもたらすことに注意しなければならない(「原発と地震・津波」に関して地震学者が何も言わなければ、現状で安全だというに等しくなる)。

日本の商用発電炉の第1号は日本原子力発電の東海原発(59年設置許可, 66年運転開始, 98年運転終了)だが、無地震国イギリスの原子炉を導入したために耐震安全性が大きな問題となった。しかし、政官業学の挙国一致体制で建設する中に限られた地震学者が関わっただけで、地震学界の関心は薄かったようである(物理学者たちは熱心に議論した)。当時は日本列島の地震活動・強震動・津波に関する観測データと理論が著しく不十分だったから、地震科学の影が薄かった面もあるかもしれない。60年代後半から70年代にかけて確立・普及した震源断層模型論とプレートテクトニクスは、原発の耐震安全性向上のために積極的に普及されるべきだったと思われるが、地震科学界からの積極的な発信はなかったらしい。活断層に関しても同様だった。1995年阪神・淡路大震災と2007年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原発被災は、「原発と地震・活断層」問題の大きな節目だったが、地震科学界には特段の動きはなかった。

要するに、福島原発震災までの日本の地震科学は総体として、日本列島の地震・津波現象に関する最新知見を原子力の世界に伝達することにも、地震と原発に関する見取り図を社会に提供することにも、熱心ではなかった。さらに、一部の専門家が「原子カムラ」に取り込まれ、活断層・想定地震・基準地震動・津波を過小評価して原発の安全性を低めている状況に、関心を払わなかった。これらは本来、原発の是非とは無関係に、科学の社会的責任として取り組むべきことであっただろう。福島原発震災を経た現在でも、原子力関係者・政財界人・マスメディア・評論家をはじめとする日本社会は、原発の安全性の根底をなす地震・津波・火山・気象・地滑り等の自然現象を軽視し、よく理解していないから、学界として普及活動をおこなう必要があると考えられる。さらに、それ以前の課題として、例えば「活断層」に関する認識が地形、地質、地震研究者相互で相異なっているというような大きな問題があるから(原発に限ったことではないが)連合大会の場で(通常セッションとは別に)公開の討論会を開くなどの努力が必要だと思われる。

なお、原発の利用と不可分な根本的課題として使用済み核燃料の処分がある。いまの日本では再処理を実施し、生じた高レベル放射性廃棄物を地層処分することになっている。しかし、変動帯・日本で地層処分が可能(10万年オーダーで安全)と科学的に言えるかどうかは、地震科学の根本問題にも係わって未解決だろう。2012年9月には、日本学術会議が原子力委員会に地層処分政策の抜本的見直しを提言した。そもそも日本列島で地層処分の安全性が保証できるのかどうかに関して、あらゆる関連学協会による常設研究会のようなものを本連合のなかに設置してもよいのではないだろうか(連合大会で2000年から地層処分のセッションが続けられているが、基本的に実施を前提にしている)。

キーワード: 原子力発電所, 日本列島, 安全性, 地球科学, 地震, 地層処分

Keywords: nuclear power plant, Japanese Islands, safety, Earth science, earthquake, geological disposal

## 活断層と耐震安全性評価 活断層評価に係わった経験からのコメント Active fault and seismic safety evaluation: comments from experience of active fault assessment for nuclear power plants

杉山 雄一<sup>1\*</sup>

Yuichi Sugiyama<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 産総研活断層・地震研究センター

<sup>1</sup> Active Fault and Earthquake Research Center, AIST

講演者が原子力発電所の活断層評価に係わった2001年から2012年の間では、1) 敷地近傍の断層が活断層か否かの判断、2) 活断層が連動する範囲の評価(最大規模の地震の評価)が、活断層研究者に求められた最も重要な課題であった。原子力発電所の敷地内や重要構造物直下の断層が活断層である可能性の検討は、耐震設計審査指針の改訂(2006年9月)に伴うバックチェックや追加調査の報告書が提出された2008年3月以降、とりわけ2012年4月の敦賀発電所の現地調査以降、重要な論点になった。

敷地近傍の断層が活断層か否かの判断に関しては、現代の活断層学に基づき、誰が見ても活断層と判断できるような断層については、意見が割れることはなかったと思う。一方、地形、地質、地球物理の各データから常識的に推定される結論が矛盾する断層や、同じデータについて研究者によって異なる解釈・判断が示された断層もあった。このような“むずかしい断層”の中には、詳細な追加調査によって、その実像が明確になった例もある(例えば下北半島西岸の横浜断層)。このような経験から、“むずかしい断層”の評価に当たっては、可能な限り信頼性の高いデータの取得に努め、自身とは異なる意見も検討した上で判断を下すべきであると考えられる。

活断層の連動については、この問題に対する事業者の後向き姿勢が印象に残っている。一般防災を主目的とする地震本部の活断層評価では、松田(1990)の“5kmルール”を採用し、活断層帯から発生する最大規模の地震の評価に努めてきたと思う。これに対して、電力事業者による原子力発電所の耐震安全性評価のための活断層評価では、審査指針の改訂以前、セグメントの長さをできるだけ短くし、単独破壊のみ、もしくは極めて少ない数のセグメントの連動のみを想定したものが多かった。残念ながら、このような活断層評価は指針改定後にも見受けられた。

2011年東北地方太平洋沖地震は多くの震源域が連動した地震であったことから、安全審査の場においても敷地近傍・周辺活断層の連動が再検討された。その中で、連動範囲のサイト遠方への拡大による短周期地震動への寄与はあまり大きくなく、敷地近傍での不均質断層破壊と地震動の増幅の過小評価をなくすことの重要性を再認識させられた。最大規模の揺れについては、理論的な研究や観測を進めることと合わせて、歴史と地層中に残された過去の事例を更に掘り起こし、過小でなく且つ過大でもない評価を不断にさぐって行く必要があると感じる。

ある断層が活断層であるか否か、どのような性格・性状で、今、活動サイクルのどのあたりにいるのか(再活動の切迫性)などに関する“科学的な評価”は、真理であるとは限らない。むしろ、真理の周りをうろろうしており、時には大きくかけ離れていることもある。我々は常に真理に近づこうと努力しており、努力する義務を負っているが、それでもなお真理に到達しておらず、各自の経験やものの考え方に左右され、社会・文化・時代背景(地球科学的パラダイムを含む)に影響・制約されていることを自覚しなければならないと思う。また、自身の専門分野だけでなく、周辺他分野のデータを咀嚼し、公平・公正に吟味できる目を養う必要があると考える。特定のデータのみでは時に誤った結論に繋がる。

なお、原子力施設の安全性の評価は、上記のような“科学的な評価”に基づいて行う必要があることは論を待たないが、“科学的な評価”とは別の場でより広い視点から行うべきである。また、2006年の耐震設計審査指針の改訂は、事業者が断層に関する判断の変更を公表する機会を与えた側面があったと考える。今後の耐震安全性の審査指針等の改定についても、単なる厳格化に留まらず、事業者のより高い安全性確保への動機付けとなり、より高度な活断層評価に必要な科学的知見の拡大と技術の開発・革新(例えば信頼性の高いOSL年代測定法や断層破碎物質を用いた活動年代測定法の確立)を促進するものであることを期待する。

キーワード: 活断層, 原子力発電所, 連動, 耐震安全, 原子力安全, 審査指針

Keywords: active fault, nuclear power plant, multi-segment rupture, seismic safety, nuclear safety, regulatory guide

## 地球科学研究の原子力施設の耐震安全性へのかかわり

### Contribution of Earth scientists and engineers to seismic safety of nuclear power plants in Japan

入倉 孝次郎<sup>1\*</sup>

Kojiro Irikura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 愛知工業大学

<sup>1</sup> Aichi Institute of Technology

1. はじめに: 原発の耐震設計審査指針は、1978年に当時の地震学、地震工学の知見を結集して原子力委員会により策定された。その後若干の修正が行われたが、2006年9月の改訂まで、この耐震指針に基づいて基準地震動を評価し、原子力発電所の耐震設計の安全審査が行われてきた。この1978年の耐震指針は、建設予定の原発の敷地周辺域における活断層調査が義務付け、活断層の長さに基づいて将来発生する地震規模の評価、震源距離、地盤特性等を考慮して、設計用の基準地震動を策定する、など、当時としては、国際的にも先駆的な規定がなされていた。しかしながら、2005年の宮城沖地震、2007年能登半島地震などが原子力発電所の近傍で発生し、観測された地震動が経験的關係式のレベルを上回るなど、基準地震動の評価の上で問題があることが明らかになってきた。もう1つの問題は、津波の評価やそれに対する原子力発電所の施設や機器の耐震安全性の評価は明記されていなかった。1995年兵庫県南部地震以後、基盤的調査観測の整備により、活断層と地震活動の関係や断層運動による地震動評価の研究が急速に進んだ。原子力安全委員会は、2001年に耐震設計審査指針分科会を設置し「耐震設計審査指針」の改訂の検討を行った。分科会は、考慮すべき活断層の認定方法、確率論的評価手法の是非、過去の安全審査のあり方などの問題点をめぐって紛糾したが、5年にわたる議論の末、2006年9月ようやく改訂指針をまとめた。

#### 2. 耐震設計審査指針(2006年)改訂の主要点

基本方針として、「敷地周辺の地質・地質構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動」を策定、これによる地震力に対して、耐震設計上重要な施設が「その安全機能が損なわれないように設計」されなければならない、施設は、「地震により発生する可能性のある環境への放射線による影響の観点からなされる耐震設計上の区分ごとに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられるように設計」されなければならない、の3点が規定されている。解説において、地震学的見地からは、策定された地震動(基準地震動)を上回る強さの地震動が生起する可能性は否定できないとして、想定を超える地震力に対するリスク評価の必要性が定められている。したがって、施設の設計に当たっては、策定された地震動を上回る地震動が生起する可能性があること、それによるリスクを「残余のリスク」とし、「残余のリスク」を合理的に実行可能な限り小さくするための努力が払われるべきである、と規定されている。

#### 3. 地震・津波に対する安全設計審査指針の見直し

東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子力安全委員会は見直し案を2012年3月にまとめた。今回の地震に伴う津波の発生ならびにそれによる原発事故から得られた知見・教訓を踏まえて、津波の評価やその安全性確保の認識を高め、その重要性を強調するため、原子力発電所の津波に対する安全設計に関わる事項を明確に規定することとした。津波に関しては、地震随伴事象としてではなく、独立な章とを設けることとした。基準津波の策定方針として、「プレート形状、すべり欠損分布、断層形状、地形・地質並びに火山の位置等から考えられる適切な規模の津波波源を考慮すること。この場合、国内のみならず世界で起きた大規模な津波事例を踏まえ、津波の発生機構やテクトニクス背景の類似性を考慮した上で検討を行うこと。

#### 4. 原子力規制委員会の発足(2012年9月19日)

福島第一原発の事故の反省から、日本の原発の安全規制の見直しが行われ、2012年原子力規制委員会が発足した。地震学を専門とする島崎邦彦氏が原子力規制委員になったことで、原子力施設の地震や津波に対する安全性がより厳密に評価されることが期待される。原子力規制委員会の発足後、原発の新安全基準が検討され、耐震・耐津波についても骨子案がまとめられ、2013年2月7日-28日にパブコメが実施されている。

耐震・耐津波の骨子案は、旧原子力安全委員会の専門委員会が福島第一の事故を受けて審議された地震・津波に対する安全設計審査指針の見直し案を再検討し、安全評価の厳格化を意図したものになっている。基準津波の策定とそれに対応した防潮堤等津波防護施設の等の設置の要求、活断層の認定基準の明確化と副断層を含む活断層露頭に重要構造物の設置の禁止、より精密な基準地震動策定のための敷地近傍の三次元的地下構造の把握、などが規定されている。その他、既存原発の周辺の活断層の再評価が行われ、多くの地球科学研究者が原発の耐震安全性の強化に関わっている。

キーワード: 原子力発電所, 耐震設計審査指針, 基準地震動, 基準津波, 活断層

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



U06-11

会場:国際会議室

時間:5月24日 15:05-15:30

Keywords: nuclear power plant, regulatory guide, design basis ground motion, design basis tsunami, active fault

## 変動帯に立地する原子力関連施設の耐震安全性評価に関わる地質学的問題 Geological issues for evaluating the seismic durability of nuclear-energy facilities in tectonically active regions

池田 安隆<sup>1\*</sup>

Yasutaka Ikeda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Dept. Earth Planet. Sci., Univ. Tokyo

旧・原子力安全委員会が行った原子力関連施設の耐震安全性バックチェックに専門委員会委員として関わった経験から判断すれば、耐震安全性審査の最大の問題は地震動のリスクに関する科学的知見と工学的・経済的・社会的要請とが完全に分離されず、審査の過程において過度な妥協やつじつま合わせが行われてしまうことにある。同様な問題は、多くの地震学者が参画した国策としての地震防災プロジェクトにおいても起こった。本報告では、こうした様々な要請を一旦忘れ、純粋に科学的見地から変動帯に立地する原子力関連施設に関わる地震災害のリスクを検討する。

地震ハザードの原因となる断層は(重要度の順に)次の4つに分類できる:(1)沈み込み帯の巨大逆断層(2a)規模の大きい顕在活断層(2b)規模の大きい伏在活断層(3)小規模活断層(露頭スケール)。これらのうちで(1)沈み込み帯の巨大逆断層は最も注意を要する;これらは数十年から数百年に一度の高頻度で活動し、大振幅かつ継続時間の長い地震動を発生する(地震の規模は $M_w$  8~9)。巨大津波や斜面崩壊等の二次的ハザードの要因でもある(2a)(2b)に分類される比較的規模の大きい活断層が起こす地震は $M_w$  7級であるが、問題とする核施設の近傍にあれば強振動の要因となる。この種の活断層は、数千から数万年に一度の頻度で活動する。過去の造山運動に伴って成長した長大かつ成熟した断層は、現在の応力場に非調和な形状であっても低い頻度で活動している場合がある(たとえば、2008年 $M_w$  7.9 Wenchuan地震の震源となった龍門山断層)。この種の断層が一旦破壊を始めると、止めどなく破壊が伝播して大規模な地震を発生する可能性がある。日本列島では、顕在活断層(2a)はほぼもれなくマッピングされているが、伏在活断層(2b)の存在は十分に分かっていない(3)の小規模活断層は、多くの場合(2a)や(2b)に分類される主断層にともなう二次的な断層であり、活動頻度は極めて低く(数万年に1度以下)、ずれの量も小さい(数十cm/event以下)。この種の小断層が問題となるのは、それがずれることによって核関連施設に損傷が起こりうる場合のみである。

キーワード: 地質災害, 沈み込み帯, プレート境界断層, 伏在断層, 顕在断層, 地震再来間隔

Keywords: geologic hazard, subduction zone, plate-boundary fault, blind fault, emergent fault, earthquake recurrence interval

## ラクイラ裁判では何が争われたのか What was really accused in the L'Aquila trial

鈴木 真美<sup>1\*</sup>  
Shinbi Suzuki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 日本放送協会

<sup>1</sup> Japan Broadcasting Cooperation

NHKでは、2012年8月18日(土)午後10時から、ドキュメンタリー WAVE「訴えられた科学者たち?イタリア地震予知の波紋?」を放送した。

2009年4月、イタリア中部の都市ラクイラでマグニチュード6.3の地震が発生、309人が死亡、2万棟を超える建物が崩壊したことを巡り、科学者と行政官が『過失致死』容疑で震災被害者に刑事告訴されたことを、ていねいに取材したドキュメンタリー番組である。ラクイラでは地震の数か月前から400回を超す群発地震が頻発し、人々の間で「大きな地震が来るのでは?」という不安が広がっていた。しかし、パニックを恐れる市は、行政官と科学者で構成される「災害対策委員会」を開催、事実上の『安全宣言』を出した。その6日後に本震が起こり、甚大な被害が発生した。市民たちは、市が『安全宣言』を出さなければ、危険を回避できたと、刑事告発に踏み切った。これに対し、科学者からは不確実な未来を予見し、罪に問われれば、科学者は何も発言できないと、反発が広がっている。番組では、災害対策委員会が安全宣言を出すまでの議論をもとに、災害の予知情報をどう伝えるべきか検証した。

この番組の制作責任者の1人として、裁判で何がほんとうに問われたのか、科学者の社会的責任とは何かについて詳論する。

## 裁かれた科学者たち: ラクイラ地震裁判を読み解く Sentenced scientists: Figuring out the L'Aquila earthquake trial

纈纈 一起<sup>1\*</sup>, 大木 聖子<sup>1</sup>  
Kazuki Koketsu<sup>1\*</sup>, Satoko Oki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo

現地 2009 年 4 月 6 日未明にイタリア中部で M 6.3 の地震が発生し、震源地付近のラクイラ市を中心に大きな被害が出て 309 名の方が犠牲となった。このラクイラ地震の 6 日前に当地で、伊政府の大災害委員会が開かれていたが、それに召集されていた科学者 5 名と行政関係者 2 名を、犠牲者の遺族が集団過失致死罪で告訴し、昨年 10 月に有罪判決が全員に出されてしまった。

ラクイラはもともとイタリア国内でも地震活動度の高い地域であるが、2009 年 3 月までの半年間は群発地震と呼ばれる状況になっていた。そうした中で 3 月上旬には独自に地震予知情報を出す人が複数現れ、この地域は軽いパニック状態になっていた上に、3 月 30 日にひと回り大きい M 4 の地震が発生して住民の不安は一層高まった。そこで翌 31 日に伊政府の市民保護局は大災害委員会を招集してラクイラ市内の州庁で開催した。裁判に証拠として提出された市民保護局長官と州市民保護参事との 3 月 30 日の電話記録によると、この招集は「ただ人々を安心させたいだけ」の「メディア的な作戦」だったとのことである。

検察局に提出されたこの大災害委員会の議事録には、「市民保護局副長官がメディアに対して、科学者でないにも関わらず、頻繁に一連の地震が発生した場合、エネルギーが放出されるため大地震が起こらない可能性が高くなると表明したと、私は聞いた」という副委員長(科学者)の発言が書かれている。M 6 程度の大きな地震のエネルギーを解放するためには小地震が百万回も起きなければならないので、群発地震がエネルギーを解放したから大地震が起きにくくなっているという考え方は科学的に誤りである。副委員長の発言は、副長官が委員会前にメディアに科学的に誤った説明を行って、群発地震は大地震につながるという安心情報を住民に与えようとしたことへの懸念の表明と理解できる。こうした行政側の意図は、3 月 30 日電話記録の中の長官の発言からもわかる。この安心情報は委員会後の記者会見でも否定されず、その後の地元テレビ局のニュースでは「安全宣言が出されました」などと放送されてしまった。翌朝の地元紙の論調も同様であった。

安心情報が出された 6 日後の 4 月 6 日、安心情報に反して規模の大きいラクイラ地震が発生してしまい、309 名の方が犠牲になった。その多くは歴史的建造物など耐震性のない建物の下敷きになって亡くなっている。その中には、30 日以前は屋外に避難していたのに、副長官の安心情報によって建物の中に戻った方が少なからずいた。そうした方の遺族が中心となって告訴が行われたのである。委員会前のメディアへの表明も、委員会後の記者会見も行政関係者が主に対応したのであるから、それらの中で出た安心情報が犠牲者につながったとすれば、その責任の大半は行政関係者にある。一方、科学者は、副委員長の発言のように委員会の中で安心情報への懸念を示していたのだから、安心情報が出たことに科学者の過失があるとした判決は誤ったものである。

科学者たちは委員会の中で概ね、まったく大地震にならないとは言いきれないが、多くの群発地震が大地震につながらずに終わっているという一般論を述べている。たとえば、議事録によると、ある科学者委員は「多くの群発地震は大地震へつながっていない。当然ながら、ラクイラは地震地帯であるため、大地震にならないと断言することはできないが」と述べている。この一般論の中では「まったく大地震にならないとは言いきれない」が重要で、少なくとも委員会後の記者会見ではこの点を強調すべきであった。科学者の中から唯一、記者会見に出席していた副委員長がそれをしていれば、今回の悲劇は防げたかも知れない。記者会見の音声が残っていないので確認することはできないが、安心情報を委員会の安全宣言と書きたてる報道のされ方を見れば強調されなかった可能性が高い。また、ラクイラ地震まで 6 日間あったのだから、報道を見てから安全宣言などはあり得ないと科学者が記者会見しても遅くはなかったが、科学者たちはそこまではしなかった。

以上の経緯を見れば、大地震の危険性よりパニックの危険性を優先してしまったという過失が行政関係者にあり、直接的責任は彼らが負うべきで、特に今回起訴されなかった長官と州参事の責任は重大である。科学者はある意味で彼らに利用されただけということもできる。しかし、科学者にも行政関係者の過失をある程度カバーできる機会が委員会直後の記者会見にあったし、その後否定の記者会見を開くということもできた。なぜ、科学者がこれらの行動をとらなかったかについては今後、研究を進めていきたい。ひとつの可能性として、専門家といえども正常性バイアスが働いて、低確率の現象の危険性を看過してしまったのかも知れない。

キーワード: ラクイラ地震, 裁判, 科学者

Keywords: L'Aquila earthquake, trial, scientist

## ラクイラ地震裁判に対して公表された声明と，3項目の異なる視点からの提案 Statements against the L'Aquila trial and three proposals from a different standpoint

山科 健一郎<sup>1\*</sup>

Ken'ichiro Yamashina<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 元東京大学地震研究所

<sup>1</sup>formaly Earthquake Research Institute, University of Tokyo

2009年4月6日にイタリア中部のラクイラ付近で起きた地震では，多くの建物が倒壊して人命が失われた．この地震に先立つ対応を訴追された政府大規模災害検討委員会の2009年3月31日の会議出席者に対して，2012年10月に重罰を科した判決がラクイラ裁判所から示された．これに対して，被告2名を出したINGV（イタリア国立地球物理学火山学研究所）を初めとして，地震学に関連する国際機関や各国の学術団体が相次いで声明を公表した．裁判の最終的な結論は今後の上級審の判断に委ねられることになるが，一連の経過は，科学史の上でも記録に留められる事案になるに違いない．ここでは，日本地震学会を初め，国際地震工学会（IAEE），英国学士院と米国科学アカデミー，米国地震学会（SSA），日本地震工学会，日本地質学会，国際地震学地球内部物理学協会（IASPEI）など，各団体の声明を概観し，少なからず違和感を覚える筆者の考えを提示してみたい．

声明のいくつかは，科学者には研究や発言の自由があることを強調し，有罪の対象となることはなじまないとした．また，ほとんどは有罪の判断を下したイタリアの司法界に対する非難または呼びかけの形をとっているが，間接的に，類が自らに及ばないことを求めている面があると受け取られる．その中で，日本地震学会の声明は，直接的に日本の社会に対して防災行政に関与する科学者の免責を訴えるものであった．しかしいずれの場合も，内容の如何にかかわらず科学者が治外法権的な特権を享受することを要望しているとしたら，それが社会から受け容れられるものなのか，歴史的な批判に耐える内容なのか，疑問が大きい．また，矢面に立たされているINGVの発言はさておき，免責の特権が与えられなければ行政に協力する科学者はいない，と受け取られる，あるいは突き詰めるとそうなりかねない声明の文面は，各団体の構成員がその言葉通りであるとするのなら，寂しさを感じる．

科学者や防災担当者が今回の事例のような罪に問われる事態を招かない，あるいはもっと根源的には，回避可能な災害をそもそも生じさせないか少しでも被害を減らすためには，自ら免責の特権を主張することではなく，次の3点を自身と社会に呼びかけることが重要ではないか，と筆者は考えている．

（1）科学者は，科学的知見や科学的に下した判断を正確に伝えることにいっそう留意すること，特に，断定できない事項については，その旨を表明する必要があること（2）はっきりとは結論できない事項が少なくないことを社会も理解してほしいこと，願わくば，確率的な表現を受け入れる風土が広まってほしいこと（3）報道機関も，白か黒かの択一を必要以上に迫ることなく，また，当局や特定の見方のみを一方的に取り上げるのではなく，必要に応じて，異なる見解に配慮することにいっそう留意してほしいこと．

キーワード: ラクイラ地震, ラクイラ裁判所, 声明, 免責, 断定できない事項, 確率

Keywords: L'Aquila earthquake, L'Aquila court, statement, exemption from responsibility, subjects not to be judged conclusively, probability

## リスク評価が誤るリスクにどう備えるか：警告を可能にする社会的条件 How to prepare the risk of the mistake of scientific risk assessment: social condition for making precaution possible

平川 秀幸<sup>1\*</sup>

Hideyuki Hirakawa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学

<sup>1</sup>Osaka University

ラクイラ裁判の問題は、科学と政策決定および社会との関係についてさまざまな問題を提起している。本報告では、「リスク評価が誤るリスクにどう備えるか」「エビデンスが不十分な状態での警告はいかに可能か」という観点から、ラクイラ裁判問題およびリスク評価一般に関して、(1) リスクコミュニケーションとしての問題と、(2) リスクコミュニケーションを超えた政治的・社会的問題について論じる。

### (1) ラクイラ裁判が示すもの：リスクコミュニケーションとしての問題

ラクイラ裁判が示す最も重大なリスクコミュニケーション上の問題は、「不確実性に関する警告」のコミュニケーションの失敗である。大木(「イタリア・ラクイラ地震の有罪判決」、『科学』2012年12月号)が指摘するように、「大地震が起こらないとは断言できない」ということを政府の諮問委員会に召集された科学者たちは認めていたにもかかわらず、この留保は国民にも、またそれ以前の局面として政策決定者に対しても、十分に(あるいは全く)伝えられることはなかったという問題が挙げられる。地震予知に限らず、予測・評価に不確実性(誤謬可能性)はつきものであり、不確実性を率直に伝えることは、本来、リスクコミュニケーションの基本であるが、それが守られていなかった。

ただし不確実性には、純粋な可能性レベルのものから、ある程度のエビデンスに支えられた蓋然性の高いものまで幅がある。エビデンスの強さが問題になる場合にも、たとえば「大地震が起こる可能性」を肯定するエビデンスを要求するのか、否定するエビデンスを要求するのかといった举证責任の設定をどうするかということは、科学の世界だけの論理では決着がつかない問題になると同時に、「リスクについて何をいかに伝えるか」というコミュニケーションの問題圏を超えた問題となる。ラクイラ地震や、同ケースと似ている英国のBSE問題など、警告に関するコミュニケーションが十分に機能しなかったケースにおける問題の根は、実はコミュニケーションの範囲にはなく、政策決定(リスク管理)における施策や原則、対応の仕方の問題であることがわかる。

### (2) リスクコミュニケーションを超えた問題

この点でまず考えなければならないのは「科学者と政策決定者の責任区分」の問題である。一般に言われるように、科学者の役割は(不確実性も含めた)事実関係に関する分析や評価を行うことであり、価値判断や利害関係に関する判断を含むような政治的判断は、政策決定者の責任の範囲とすべきである。この点で英国BSE問題に関する当初(1989年当時)のリスク評価 このケースでも被害が生じる可能性に関する科学者たちの留保は政策決定者に無視され、かつ科学者達も積極的に公言しなかった。では、科学者たち自身が、英国畜産業に打撃が及ばないよう、消費者のパニックを抑えるべきという政策決定者の意図を半ば共有していたことが、後のBSE Inquiryによって明らかにされている。これに対しラクイラのケースでは、科学者たちが住民パニックを恐れて大地震の可能性に言及するのを控えた可能性については、とくに明らかになっていないようだ。

しかしながらこのことは、必ずしも科学者たちが政治的判断から距離を置いていたことを意味しないと考えられる。政策決定者や社会に対して危険の可能性を警告するかどうかの判断は、事実関係に関する科学的な判断だけでなく社会的な価値判断も含むからである。たとえば、危険性を示すエビデンスが弱い場合に「念のため」として危険の可能性に警告することは、警告が外れた場合の社会的影響に比して、当たった場合の損害を無視しない、場合によっては後者をより重大視する(損害回避の優先度を高くする)という価値判断を行うことだからである。

そして、このような価値判断への科学者の「踏み越え」(尾内隆之・本堂毅「御用学者がつくられる理由」、『科学』81巻9号)を可能にし、警告が為されやすくするためには、その価値判断自体を社会が肯定し、いわゆる事前警戒原則(予防原則)をリスク管理の原則として、政策決定者の責任において政策決定の場で公けに正当化しておく必要がある。警告が外れた場合の損害を最小化し、補償できるような法制度・経済・技術的な方策も必要となるだろう。

この点でラクイラやBSEで致命的だったのは、政策決定者がリスク管理の優先的目標を、国民の安全を守ることでなく、パニック抑制や畜産業界の経済的損失回避に置いてしまったことであった。もちろん、これらの管理目標も重要である。必要なのは、警告の当たり外れ両面で生じうるマルチな損害に備えるマルチなリスク管理と、その際の優先度の設定などの政策原則だといえるだろう。

その他、本報告では、危機発生時に適切な専門家や専門知の活用を可能にするための平時からの備えのあり方についても論じる。

## 火山噴火予知の不確実性を踏まえた情報発信 Information dissemination based on uncertainty of prediction of volcanic eruption

山里 平<sup>1\*</sup>

Hitoshi Yamasato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 気象庁

<sup>1</sup>Japan Meteorological Agency

火山噴火は、様々な前兆現象を伴うことが多く、内外で、過去に噴火の予測に成功した事例は多い。2000年の有珠山の噴火は、事前に噴火予知に成功し、一時1万5千人の人々が避難した中で発生した。しかし、噴火予知(時期、場所、規模、様式の予知)を厳密に行うことは現在では不可能である。2011年の新燃岳のマグマ噴火の直前には予測することはできず、気象庁は、噴火の拡大に応じて、噴火警報を発表して警戒が必要な範囲を拡大し、自治体も規制区域を拡大した。一方で、1998年の岩手山での噴火危機に見られるように、火山活動の高まりがあっても噴火しないケースもある。

火山災害を軽減する目的で、気象庁は噴火警戒レベルを発表している。これは、各火山で過去の噴火履歴などから想定される火山活動の推移(噴火シナリオ)と危険区域(火山ハザードマップ)をもとに、関係機関が、平常時から、災害の及ぶ範囲のイメージを共有して、避難や登山規制などの防災対応の開始時期を表す基準を共同で決定しておくことが前提となっている。この検討の場となるのは自治体、砂防部局、気象庁、火山学者からなる各火山の火山防災協議会(コアグループ)である。火山学の進展による各火山の噴火履歴や噴火メカニズムの解明、日頃からの防災訓練等の関係者の普段からの努力によって、防災対策も進化することになる。

一方で、我が国では、気象庁が事務局を務める火山噴火予知連絡会において、火山学者が火山活動の総合判断を行っている。連絡会は定期的開催されているが、異常時には臨時に開催することもある。社会的に重大な影響を与える火山活動の場合、その火山に特化した部会が開催されることもある。その検討結果は、気象庁から火山情報として発表されるしくみとなっており、国が活動評価の責任を負うことが明確化されている。

火山災害軽減のためには、異常時の対応を普段から関係者間で合意形成しておくこと、そして異常時には的確な活動評価とともに、火山活動の現状を、活動予測の不確実性も含めて、関係者間で意識共有することが大切である。

キーワード: 火山噴火予知, 警報, 噴火警戒レベル

Keywords: Prediction of volcanic eruption, Warning, Volcanic alert level

## 地震活動解析に基づく地震発生確率予測の現状 Current state of probabilistic forecast based on seismicity analysis

前田 憲二<sup>1\*</sup>  
Kenji Maeda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

### はじめに

2009年のイタリア L'Aquila における地震災害を受け、イタリア政府は地震の直前予知や予測に関する科学技術の現状を整理するとともに、大地震に先行する情報をどのように市民に提供してゆけばよいかについての提言を求め、主要国の地震研究者からなる国際委員会を組織した。同委員会によりまとめられた提言は、その後、国際地震学及び地球内部物理学協会 (IASPEI) の総会での承認を受け、現在の地震学界における国際的な共通認識となっている。その提言の中では、地震発生のプロセスは非常に複雑であるため、決定論的な予知は今のところ不可能であり、確率論的予測手法による情報の活用をすべきであるとされている。そして、長期確率モデルの開発の継続、短期確率モデルについては余震の確率モデルと地震活動の変化に基づく予測モデルの開発を支援すべきであると提言している。

では、現状ではどの程度の確率予測が可能なのであろうか。本発表では、国内における地震発生の確率予測、特に長期予測や地震活動解析に基づく代表的な確率予測について、実際に公表されている確率値の「相場」を示すことで確率予測の現状を紹介する。

### 長期確率

大地震が周期的に繰り返して発生する性質や、定常的な地震活動度の地域的な違いを統計的に評価し、数10年程度の期間の長期的な発生確率を評価したもので、政府の地震調査研究推進本部から主な活断層と海溝型地震についての長期確率が公表されている。2013年1月1日現在における確率値が比較的高いものの例として以下の活断層や海溝型地震がある。

- ・ 神縄・国府津 - 松田断層帯 M7.5 程度: 30年以内で最大 16%      3日以内で最大約 0.005%
- ・ 糸魚川-静岡構造線断層帯 (牛伏寺断層区間) M8 程度: 30年以内で 14%      3日以内で約 0.004%
- ・ 東南海地震 M8.1 前後: 30年以内で最大 80%      3日以内で最大約 0.02%
- ・ 南関東のM7程度の地震 M6.7~7.2 程度: 30年以内で 70%程度      3日以内で約 0.03%

ここでは他の確率値と比較しやすいように、公表されている値以外に、3日間における確率値も示した。

### 余震確率

大きな地震の発生後は地震が続発する性質があり、地震規模の分布則 (G-R 則) と時間減衰の性質 (大森・宇津則) を組み合わせて余震の発生確率を計算する。過去の統計的解析から、本震後3日以内に本震とのMの差が1以下の余震発生確率は、日本の陸域におけるM6程度の本震に対しては25%程度、海域におけるM7程度の本震では33%程度である。ふだんの地震の起き方に比べ、どのくらい地震が起きやすいかを示す比率を確率利得というが、陸域でM5.0以上の地震が3日以内に半径50km以内に起きる確率はふだん0.07%程度なので、余震の確率は確率利得で数100倍程度である。

### 前震による確率

地震が発生した後にさらに大きな地震が発生した場合、前者は前震と呼ばれる。本震が発生する前に前震を識別することは困難であるが、前震活動についての統計的性質から、例えば日本の内陸域で、M5.0以上の地震が発生した場合、それを上回るマグニチュードの地震が最大半径50km以内に30日以内に発生する確率、すなわちその地震が前震である確率は3%程度であり、そのほとんどは5日以内に発生している。これは、確率利得で表すと数10倍程度の起こりやすさとなる。ただし、地震の続発性の高い地域など、場合によっては数10%程度、確率利得で数100倍程度になる場合もある。

### 静穏化による確率

本震の前に地震活動の静穏化が見いだされたという報告は多いが、この現象を確率予測手法として活用できるほど十分には研究がなされていない。しかし、余震活動期間中に現れる静穏化現象について、統計的性質を明らかにした研究があり、それによればM6クラスの地震に伴う余震活動が3ヶ月以上静穏化した場合、余震域近傍で6年以内に本震と同規模以上の地震が起こる可能性は、確率利得で約10倍になるといえる。M6.0以上の地震が3日以内に半径50km以内に起きる確率は、ふだんは0.01%程度なので、余震活動に静穏化が現れた場合は3日間では0.1%程度の発生確率となる。

### その他の前兆的地震活動による確率

地震発生前に、いわゆる前兆と呼ばれる地震活動の何らかの変化 (例えば、活動の静穏化、活発化、地震の規模分布の変化、発生場所の移動、地球潮汐との相関の変化など) があったという報告は非常に多い。しかし、その現象を客観的に定義し、その現象が現れた後の本震の発生確率を定量的に求めたという研究は少なく、確率予測としてどの程度活用できるかはよくわかっていない。

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



U06-18

会場:国際会議室

時間:5月24日 17:45-18:00

キーワード: 確率予測, 地震予知, 長期確率, 余震確率, 確率利得

Keywords: probabilistic forecast, earthquake prediction, long-term probability, aftershock probability, probability gain

### 3.11 大津波が沿岸域の植生に与えた影響とその後の推移

## Impacts of the 2011 tsunami on vegetation in coastal areas of northeast Japan and subsequent recovery processes

原 慶太郎<sup>1\*</sup>  
Keitarou Hara<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>東京情報大学総合情報学部  
<sup>1</sup>Tokyo University of Information Sciences

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれによって引き起こされた大規模な津波は、東日本の太平洋沿岸部の広域的な範囲に甚大な被害を及ぼした。東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの現地調査などから、場所によっては最大遡上高が40mに達し、平野部では内陸数キロメートルまで、また河川によっては河口から50km上流まで遡上が及んだとされている。さらに地震直後に各所で地盤沈下がみられ、1m近く沈降したところもあり、津波が引いた後も浸水したままの地域も数多くみられた。

東北地方の太平洋側は、地形的に大きくとらえれば北上山地と阿武隈山地という二つの山域と、その間に仙台平野が広がる構造となっている。今回被災した沿岸地域は、北上山地が海に面する三陸海岸では、岩手県宮古市を境にその北側は隆起海岸で直線上の海岸が続き、宮古市以南はリアス海岸となり宮城県石巻市付近まで連なる。湾入部ではわずかな平野部に住宅地や耕作地がみられ、段丘部に小さな漁村が成立している。その南側は仙台平野から始まる砂浜海岸が続く。その間に松島湾があり、湾内には大小数多くの島嶼がみられる。仙台平野には北上川や阿武隈川などの大河川が流入し、その河口域は広大な湿地となり、蒲生干潟や井戸浦、松川浦などの潟湖がみられる。平野部は水田や畑地などの耕作地や住宅地となっている。この地域に、海崖、砂浜などの植生や、三陸海岸が北限域となっているタブノキなどの常緑樹からなる島嶼の森林、そして海岸林、後背湿地の植生などが成立していた。今回の震災による各植生タイプの影響の程度や質は、地域やその場所の微地形によって大きく異なる。

今回の大津波は、生態学的には歴史的な時間スケールで生じた大規模「攪乱」と位置づけられる。震災以前に当該地域に成立していた植生は、大津波による大規模かつ広域的にわたる物理的な破壊とともに、海水の飛散や浸入による化学的な影響を受けた。被災時期が3月という、当該地域では多くの植物の生育開始時期以前であったため、植物の生活形(木本(常緑樹、落葉樹)、草本(一年生、多年生)かなど)によって影響が大きく異なるかたちで表われた。リアス海岸域では、海崖には汀線から帯状に特有な植生が成立している。ここに生育する植物は、常時、波浪などによる攪乱と塩水の付着などを受けており、今回の地震や津波によって物理的な岩石の破碎や、岩のわずかな隙間に堆積した土壌の剝離などが起きた場所以外では、一年生植物や多年生植物のゾーンではそれほど大きな影響は受けなかった。一方、仙台平野の海岸では、浅海(外浜)から前浜、後浜、砂丘、後背湿地、そして農地などからなる陸域生態系が成立している。大津波は前浜では地面表層を攪乱するだけであったが、防潮堤における射流が後浜を洗掘し、さらに水田域まで土砂を流出させるなどの大きな攪乱を引き起こしたとされている。この過程で、クロマツやアカマツを主体とする海岸林は根返りや幹折れなどが生じ、壊滅的な被害を受けた。当該被災地では、より陸側及び微高地には農地や林地などが隣接している。水田では、海水が浸水したことによって休耕せざるをえない状況となったが、多くが水田雑草のイヌビエが優占する群落となり、冠水が長期に及んだところではイヌビエすらも生育しない状態であった。植林地では、浸水域に生育していたスギは葉が赤褐色に変化し地上部は枯死していた。

今回の大津波の被災地は、海から陸への推移帯(エコトーン)である。リアス海岸と仙台平野の海岸とでは、このエコトーンの構造も異なり、震災の影響も異なる。大津波の被災から2年が経過したが、被害が大きかった仙台平野部の沿岸地域のマツ林では、倒木で生じた空所に、ハリエンジュ(ニセアカシア)やヨウシュヤマゴボウなどの帰化植物が増加し、残存したマツ林の林床にクロマツやアカマツなどの実生が芽生えている。また、海岸の前浜でも海浜植生が再生しつつある。一方で、防潮堤や防潮林の復旧・復興事業によって、工事や造林が進められている。これらの影響は、大津波を乗り越えて生残し再生してきた植物にとっては、新たな危機となっている。大震災後の復興事業であり、防災や減災などが最優先されるのはいうまでもないが、2010年に名古屋で開催された第10回生物多様性条約締約国会議(COP10)後に、世界が初めて経験する大規模な災害であり、生物多様性に配慮した復興事業が強く求められる。

キーワード: 東日本大震災, 津波, 植生, 被害, 生物多様性