

地震 ジャーナル

52

2011年12月

エッセイ 超巨大地震と地球の営み ●伊藤和明

東北地方太平洋沖地震の諸モデル ●八木勇治——1

東北地方太平洋沖地震による東京湾岸の液状化(速報) ●安田 進——15

東日本大震災におけるDMATの活動と課題 ●小井土雄一／近藤久禎

市原正行——22

プラントと地震 ●柴田 碧——36

国宝文化財建造物の地震対策の現状と課題 ●二神葉子／隈元 崇——42

●書評——57

●新刊紹介——57

●ADEP情報——58

囲み記事 地震が起こりやすくなった活断層：3.11東北地方太平洋沖地震の余波／
津波を避けて高台に移転；技術論への試論／原子力発電所の想定津波
高さは何故3倍ではないのか？

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

超巨大地震と地球の営み

伊藤和明

東日本大震災を契機に、869年（貞観11年）に発生した「貞観地震津波」が、にわかには脚光を浴びている。『日本三代実録』に記された地震や津波の状況とともに、仙台平野での貞観津波の堆積物、さらには新たに発見された気仙沼での堆積物などによって、貞観の大津波が、まさに東北地方太平洋沖地震による巨大津波と酷似していることが明らかになった。

今回の大震災より前、仙台平野での詳しい発掘調査から、過去には同規模の津波が、800～1000年ほどの間隔で平野を洗っていたものと推定されていた。貞観の津波からすでに1100年以上も経過していたため、巨大津波が近く襲来するのではないかととして、警告を発していた研究者もあったという。それがまさに現実になってしまったのである。「過去は未来を推しはかる鍵」といわれるが、過去の教訓が現代に活かされないまま、大災害に見舞われたのだといえよう。

M9.0という超巨大地震は、よく“想定外”だったといわれている。しかし、“想定”とは、人間が自然現象に対して、勝手に“枠”をはめたものであり、自然は往々にして、その“枠”をこえる猛威を發揮するのである。

M9.0は、たしかにわが国で近代的な地震観測が始まってからは、最大規模であったし、日本の歴史上も最大であった可能性が高い。しかし、地球規模でみれば、1960年チリ沖地震（M9.5）、1964年アラスカ地震（M9.2）、2004年スマトラ島沖地震（M9.1）など、東北地方太平洋沖地震を凌ぐ超巨大地震は、しばしば発生しているのである。つまり、地球の営みとしては、M9クラスの超巨大地震の発生は、ごくあたり前のことだったととらえねばならない。

自然の辿ってきた長大な時間に対して、人間が経験してきた時間はあまりにも短い。ましてや、近代科学が地震現象の解析を進めてきた時間は、ほんの一瞬にすぎないのである。その“一瞬”のあいだに、地球の科学は多くの成果を挙げ、防災上の貢献も著しかったのだが、時間的にも空間的にもより大規模な自然現象を測りそこねていたということができよう。

私たち人類は、地球の自然がもたらすさまざまな恵みを享受しつつ、この地球上で生きつづけている。しかし地球上では、しばしば激しい自然現象が、大きな脅威となって、私たちの頭上に降りかかっている。これら自然現象も、やはり地球が生きている証拠なのである。

その意味でも東日本大震災は、将来にわたって私たちが、“地球の自然”といかに共存していくかを問いかけるものであった。それとともに、私たちはやはり地球時間の一断面に生きているにすぎない、という思いを新たにさせるものでもあった。



伊藤和明

【いとう かずあき】

現職 (NPO法人) 防災情報機構会長

略歴 東京大学理学部卒業、教養学部助手、NHK科学番組ディレクター、解説委員などを経て現職、中央公害対策審議会委員、中央防災会議専門委員（内閣府）などを歴任

著書 「日本の地震災害」（岩波新書）、「地震と噴火の日本史」（岩波新書）ほか多数

東北地方太平洋沖地震の諸モデル

八木勇治

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖を震源とするM9クラスの巨大地震が発生した。同地域の最大規模の地震として想定されていたのはM8クラスであり、M9クラスの巨大地震が発生するとは考えられてこなかった。一方で、GPS記録から宮城県沖の広い範囲で歪みが蓄積していたことが分かっていた（例えば、Nishimura *et al.*, 2004）。また、地質学的な時間スケールと測地学的な時間スケールで歪み速度に大きなギャップが存在することから、M9クラスの巨大地震が発生する可能性が指摘されていた地域でもあった（池田, 1996）。地震学者として、当事者意識がかけられていたことを反省せざるを得ない。

さて、気象庁によって「平成23年東北地方太平洋沖地震」と命名されたこの巨大地震は、世界に類を見ない密度多チャンネルの日本の観測網によって観測された初めての巨大地震でもある。得られた震源モデルは、研究者によって異なることが分かっているが、これらの観測データから明らかになりつつある震源像は、今までの地震学の常識とはやや異なる様相を呈しており、我々が巨大地震について良く理解していなかったということが明らかになりつつある。ここでは、発表された震源モデルについて紹介した後に、本地震について考察する。

2. 震源モデル

地震が発生すると、地殻やマントルに蓄積された歪みが、瞬時に解放される。地球内部は不均質であるが故に、地震時の歪みの解放履歴は複雑になる。地震時に震源で発生する現象を一つのプロ

セスとしてとらえたものを震源過程という。

震源過程を理解する鍵は、地震によって引き起こされた地震波形記録や地殻変動記録にある。観測された波形や地殻変動には、震源過程の情報と、地下構造の情報が含まれている。適切に地下構造の影響を取り除くことによって、震源過程の情報を抽出することができる。

高精度のデータセットから震源モデルを推定するためには、モデルを構築したときに生じる誤差（モデリング誤差）の効果を適切に評価しないと、シグナルを誤差と、誤差をシグナルとして震源過程を求めることになる。結果として、モデリング誤差を適切に評価しないと、得られる震源モデルは大きく歪められてしまう（Yagi and Fukahata, 2011a）。しかし、モデリング誤差についての議論は始まったばかりであり、発展途上でもある。言い換えると、現時点で質の良いデータセットを適切に解析する手法というのは確立されていない。さらに、八木（2009）で議論されているように、データの情報量の評価方法、震源断層モデルの設定によっても得られる震源モデルは大きく変化する。以上の理由によって、研究者によって得られる震源モデルは一致せず、巨大地震の震源過程の議論を難しくしている。

本論文では、主に査読付きの論文で発表されたモデルを中心に、データ、断層モデル、結果とすべり量分布の特徴について、できるだけ多くの解析結果を紹介することにつとめる。簡潔に結果を紹介するために、図1のように震源領域を領域A~Fに分けてして説明を行う。

2.1 遠地データを用いた震源過程解析

Yagi and Fukahata (2011b) では、遠地実体波P波51成分を用いて、震源過程を求めている。解析手法は、グリーン関数の不確定性を考慮したYagi and Fukahata (2011a) の手法を用いている。

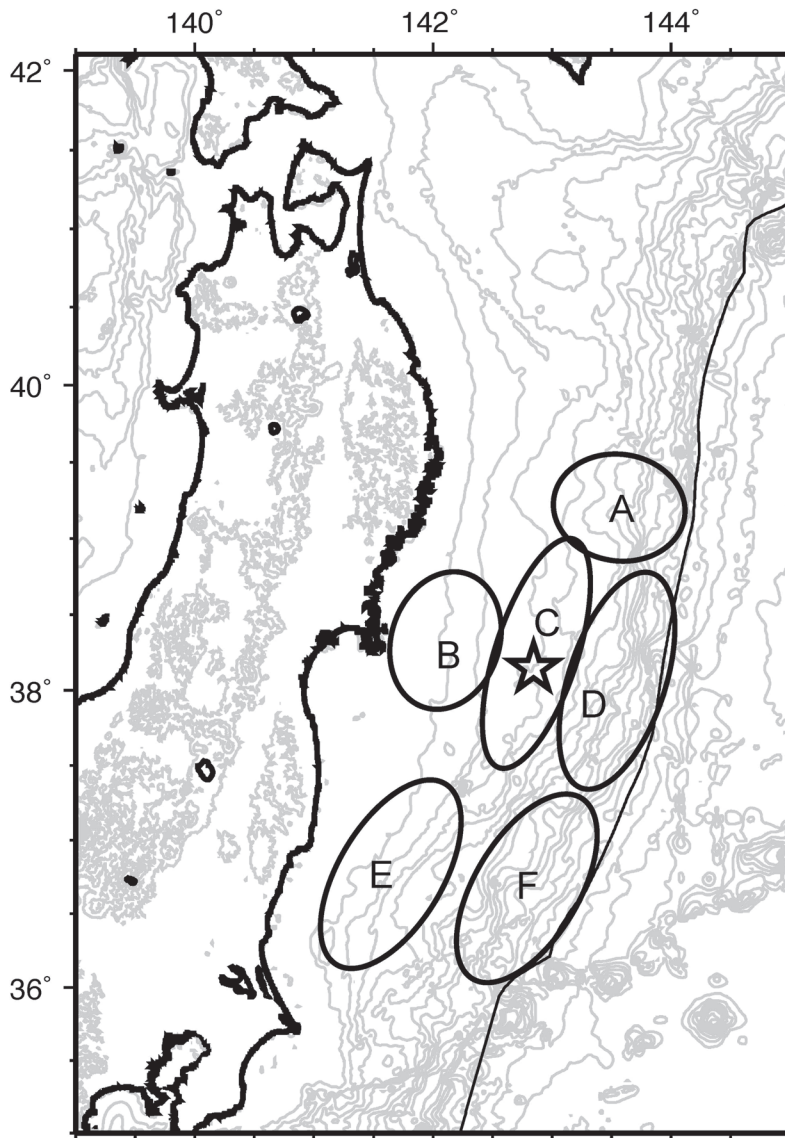


図 1 本研究で説明のために分割した領域 A~F を地図上に示したもの。星印は本震の震源である。

得られた地震モーメントは 5.7×10^{22} Nm で、 M_w は 9.1 となる。破壊は主に領域 A, B, C, D, E に集中している。最大すべりは領域 D に位置しており、その値は 50m である。スナップショットを見ると、地震開始後 20 秒間は、領域 C と D で破壊が成長している。この領域での断層すべりは 100 秒近くも継続しており、結果として 50m もの大きな断層すべりが得られている。20 秒後から 40 秒後にかけて、破壊は領域 B にも伝播し、

1978 年から領域 B に蓄積した歪みを解放する。領域 B では、その後緩やかに再加速しながらすべり続ける。領域 D のすべり速度は約 50 秒後にピークを迎え、その後緩やかに減速する。80 秒後には、領域 A, E に破壊が伝播していく。

Shao *et al.* (2011) では、遠地実体波 P 波 27 成分・SH 波 18 成分と表面波 53 成分を使用して、震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 5.8×10^{22} Nm で、 M_w は 9.1 となる。破壊は主

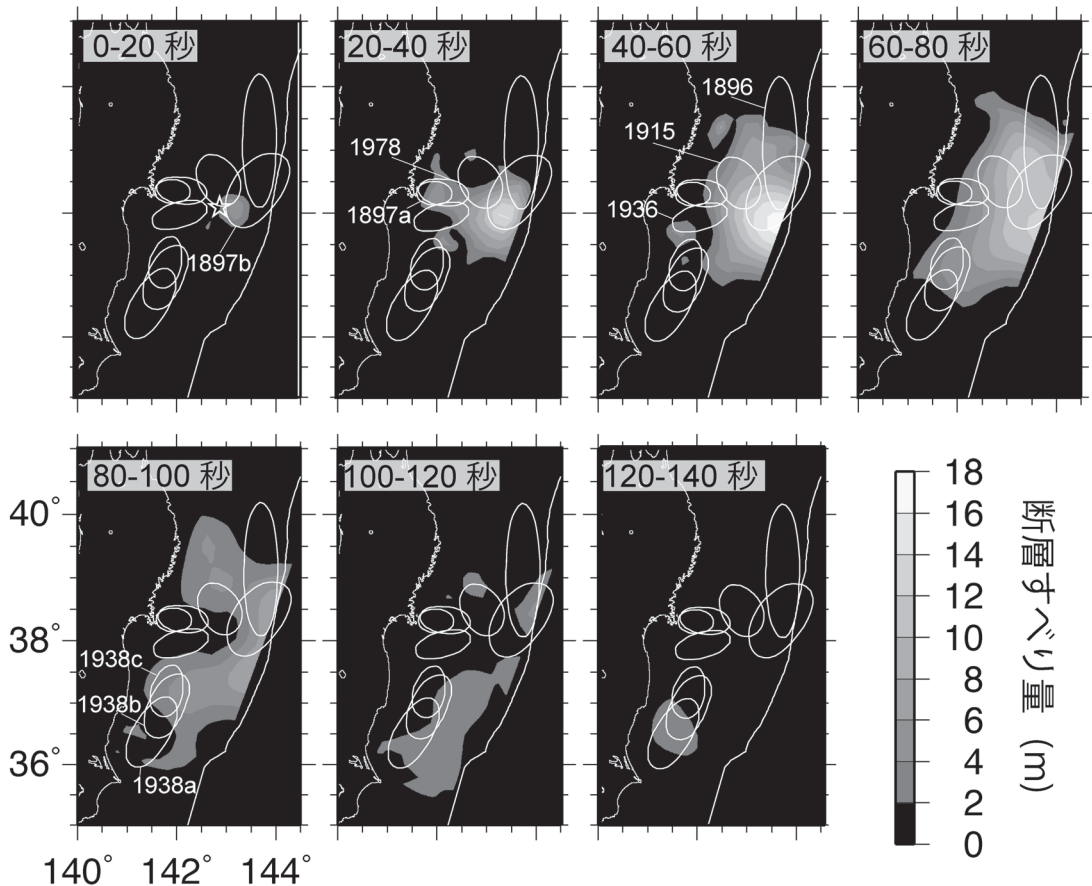


図 2 Yagi and Fukahata (2011b) によって求められた、各時間ウインドウの積算すべり量分布。白線で囲ってある領域は過去に発生した地震の津波の波源域（地震調査推進本部）を示している。

に領域 A, B, C, D, F に集中しており、領域 E でのすべり量は小さい。最大すべりは領域 D に位置しており、その値は 56m である。また、50m 近くの大きなすべり領域は海溝に沿って分布している。スナップショットを見ると、破壊は、地震開始後に領域 C で加速し、45 秒後には領域 D にも破壊が伝播している。75 秒後には、領域 B, C, D で大規模な断層すべりが発生しており、90 秒後には領域 A, F に破壊が伝播している。

Ide *et al.* (2011) では、遠地実体波 P 波 50 成分を使用して震源過程を求めている。他の遠地実体波解析とは異なり、深さを決定する pP・sP 波の走時を無視する解析手法を採用している。破壊は主に領域 A, B, C, D, F に集中しており、領域 E では南端部の一部が大きくすべっている。最大

すべりは領域 D に位置しておりその値は 30m である。また、20m 近くの大きなすべり領域は海溝近傍の領域 A, D, F と領域 B の西側に分布している。スナップショットを見ると、地震開始後、顕著な破壊が震源から領域 B に向けて進行しており、40 秒後には領域 B の西側で大きな断層すべりが求まっている。その後海溝側に向かって進行しており、60 秒後には領域 A, D, F で大きな断層すべりが求まる。90 秒後には領域 B で再度破壊している。このように破壊が傾斜方向にバウンドするように伝播する震源モデルを提示している。

Hayes (2011) では、遠地実体波 P 波 40 成分・SH 波 20 成分と表面波 60 成分を用いて震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 4.9×10^{22} Nm で、 M_w は 9.1 となる。破壊は領域 A, B, C,

Dの領域に集中しており、領域F、Eでのすべり量は小さい。最大すべりは、領域Dに位置しており32mと求まっている。

Yoshida, Y. et al. (2011) では、遠地実体波P波41成分を使用して震源過程を求めている。得られた地震モーメントは、 4.3×10^{22} Nmで、 M_w は9.0となる。破壊は、領域A, B, C, D, E, Fの広い範囲で発生している。最大すべりは領域Dで観測され、28mと求まっている。

Lay et al. (2011) では、遠地実体波P波38成分を使用して震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 4.0×10^{22} Nmで、 M_w は9.0となる。破壊は領域B, C, D, Fに集中しており、他の領域でのすべり量は小さい。最大すべりは、領域Dに位置しており60m以上と求まっている。

山中 (2011, Web-site) では、遠地実体波を用いてすべりの時空間分布を求めている。破壊は主に領域A, C, Fに集中しており、他の領域でのすべり量は小さい。

2.2 近地データを用いた震源過程解析

Yoshida, Y. et al. (2011) では、気象庁の強震動観測網と防災科学技術研究所K-NETとKiK-NETで観測された計23点の強震動記録を使用して震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 3.4×10^{22} Nmで、 M_w は9.0となる。破壊は主に領域A, C, D, Fに集中しており、領域BとEでのすべり量は小さい。最大すべりは領域Dに位置しており、その値は38mである。大きなすべり領域は海溝に沿って分布している。スナップショットを見ると、破壊は地震開始後に領域Cで加速し、40秒後に領域Dで加速する。60秒後には領域C, D, Aで顕著な断層すべりが発生しており、90秒後には、破壊は領域F, Eに伝播している。

Suzuki et al. (2011) では、防災科学技術研究所K-NET 10点とKiK-NET 36点で観測された強震動記録を用いて震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 4.4×10^{22} Nmで、 M_w は9.0となる。破壊は主に領域A, B, C, D, Fに集中しており、領域Eでのすべり量は小さい。最大すべりは領域Dに位置しておりその値は48mであ

る。大きなすべり領域は海溝に沿って分布している。破壊は、地震開始後に領域Cで加速し、20秒後に領域Dに伝播し、その後領域Bにも伝播する。60秒後には領域A, D, Fで顕著な断層すべりが求まる。90秒後に領域E, Fに伝播している。

Yoshida, K. et al. (2011) では、防災科学技術研究所F-NETとKiK-NETから37観測点、北海道大学の1観測点で観測された近地強震動記録を使用して、震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 4.3×10^{22} Nmで、 M_w は9.0となる。破壊は主に領域A, C, D, Fに集中しており、他の領域でのすべり量は小さい。ただし、領域Bと領域Eの北端ですべり速度が大きな領域が存在することを指摘している。最大すべりは領域Aと領域Dの中間あたりに位置しておりその値は47mである。大きなすべり領域は海溝に沿って分布している。スナップショットを見ると、破壊は、領域Cで加速した後、45秒後に領域A, C, Dで加速し、その後、断層面全体に伝播している。

2.3 遠地データと近地データを用いた震源過程解析

Koketsu et al. (2011) は、遠地実体波P波45成分、20観測点のK-NETとKiK-NETの近地強震動記録、16点の国土地理院のGPS記録を用いて震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 3.8×10^{22} Nmで、 M_w は9.0となる。破壊は主に領域A, B, C, D, Eに集中している。最大すべりは領域Cに位置しておりその値は36mである。スナップショットを見ると、地震開始後40秒間は領域B, Cで破壊はゆっくりと進行し、50秒後に領域A, C, Dで大きな断層すべりが得られる。領域A, C, Dでの断層すべりは約50秒間継続する。70秒後に破壊はBに伝播し、90秒後に領域Eに破壊が伝播している。

Ammon et al. (2011) では、遠地実体波P波39成分、表面波の解析から得られた31点の震源時間関数、16点の国土地理院のGPS高サンプリング変位記録を用いて震源過程を求めている。得られた地震モーメントは 3.6×10^{22} Nmで、 M_w は9.0となる。破壊は、主に領域B, C, Eで発生している。最大すべりは領域Cで観測され、40m

に達している。

2.4 測地データから得られたすべり量分布

Ozawa et al. (2011) は、国土地理院の 377 点の GPS 記録を用いてすべり量分布を推定している。得られた地震モーメントは 3.4×10^{22} Nm で M_w は 9.0 となる。破壊は主に領域 B, C, D, F に集中している。最大すべりは領域 C に位置しておりその値は 27 m である。

Linuma et al. (2011) は、東北大学の 38 点の GPS 記録、国土地理院の 345 点の GPS 記録を用いてすべり量分布を推定している。得られた地震モーメントは 4.0×10^{22} Nm で M_w は 9.0 となる。破壊は領域 A, B, C, D, E, F と広い領域に分布している。最大すべりは領域 C に位置しておりその値は 35 m である。

Miyazaki et al. (2011) は、国土地理院の 254 点の GPS 記録を用いてすべり量分布を推定している。破壊は領域 C を中心として広い領域に分布している。最大すべりは領域 C に位置しておりその値は 35 m である。

Ito et al. (2011) は、国土地理院の GPS 記録、海上保安庁の GPS/音響測距結合方式によって得られた海底地殻変動記録を用いてすべり量分布を推定している。得られた地震モーメントは、 4.1×10^{22} Nm で M_w は 9.0 となる。破壊は主に領域 C, D, F に集中しており、他の領域でのすべり量は小さい。最大すべりは領域 D と F の中間に位置しておりその値は 60 m である。

国土地理院 (2011) は、国土地理院の GPS 記録、海上保安庁の GPS/音響測距結合方式によって得られた海底地殻変動記録を用いてすべり量分布を推定している。得られた M_w は 9.0 となる。破壊は主に領域 A, B, C, D, F に集中しており、他の領域でのすべり量は小さい。最大すべりは領域 D に位置しておりその値は 56 m である。

2.5 津波波形から得られたすべり量分布

Fujii et al. (2011) では、日本の海岸線とその近傍や太平洋沖の津波波形を波形インバージョンすることによって、すべり量分布を求めている。得られた地震モーメントは、 3.8×10^{22} Nm で M_w は 9.0 となる。破壊は主に領域 B, C, D, E に集中

しており、他の領域でのすべり量は小さい。最大すべりは領域 D に位置しておりその値は 48 m である。

Maeda et al. (2011) では、釜石沖の津波波形を用いて、すべり量分布を求めている。破壊は主に領域 B, C, D に集中しており、他の領域でのすべり量は小さい。断層すべりは、ほとんど宮城県沖のみ発生しており、海溝付近で最大すべり 57 m と求まっている。

2.6 津波波形と測地データから得られたすべり量分布

Simons et al. (2011) では、国土地理院の GPS 記録と津波波形の同時インバージョンですべり量分布を求めている。破壊は主に領域 B, C, D に集中している。最大すべりは領域 C に位置し、その値は約 51 m となっている。

谷岡 (2011, Web) では、日本の海岸線とその近傍の津波波形と GPS データの同時インバージョンを行っている。得られた地震モーメントは、 3.3×10^{22} Nm で M_w は 9.0 となる。破壊は主に領域 A, B, C, D, F に集中しており、領域 E でのすべり量は小さい。最大すべりは領域 D に位置しておりその値は約 40 m である。

3. 震源モデルの特徴

遠地データ解析で得られた震源過程の結果をまとめたものを表 1 に、近地データ解析、近地データと遠地データ解析で得られた震源過程の結果をまとめたものを表 2 に示す。測地学データ解析・津波データと測地データ解析から得られたすべり量分布の結果をまとめたものを、表 3 に示す。

地震モーメントの値は、 $3.4 \sim 5.8 \times 10^{22}$ Nm となっており、 M_w に換算すると 9.0~9.1 となる。すべり量分布について、多くの解析結果で共通しているのは、宮城県沖（領域 B, C, D）で大きな断層すべりが求まっている点である。この領域は、GPS 観測から判明したすべり遅れが蓄積している領域とほぼ一致する（図 3）。また、各研究者によって解は異なるものの、図 3 の例のように、遠地データ解析と津波データ解析の結果と一致す

表 1 遠地データを用いた震源過程解析の解析結果

	Yagi and Fukahata (2011)	Shao <i>et al.</i> (2011)	Ide <i>et al.</i> (2011)	Hayes (2011)	Yoshida, Y. <i>et al.</i> (2011)	Lay <i>et al.</i> (2011)	山中 (2011)
解析に使用したデータ	P*	P, SH**, SW***	P	P, SH, SW	P	P	P, SH
地震モーメント (Nm)	5.7×10^{22}	5.8×10^{22}	n/a	4.9×10^{22}	4.3×10^{22}	4.0×10^{22}	n/a
最大すべり量 (m) と位置	50, D	56, D	30, D	32, D	28, D	60, D	n/a
主な破壊エリア	ABCDE	ABCDF	ABCDF	ABCD	ABCDEF	ABCDF	A, C, F
破壊のパターン	CD→BCD →ABCD →AE	C→CD→ BCD→AF	C→B→ ADF→B	n/a	n/a	n/a	n/a

*P: 遠地実体波 P 波, **SH: 遠地実体波 SH 波, ***SW: 表面波

表 2 近地データ, 複数のデータを用いた震源過程解析の結果

	Yoshida, Y. <i>et al.</i> (2011)	Suzuki <i>et al.</i> (2011)	Yoshida, K. <i>et al.</i> (2011)	Koketsu <i>et al.</i> (2011)	Ammon <i>et al.</i> (2011)
解析に使用したデータ	N*	N	N	P**, N, G****	P, SW****, N
地震モーメント (Nm)	3.4×10^{22}	4.4×10^{22}	4.3×10^{22}	3.8×10^{22}	3.6×10^{22}
最大すべり量 (m) と位置	38, D	48, D	47, A-D	36, C	40, C
主な破壊エリア	ACDF	ABCDF	ACDF	ABCDE	BCDE
破壊のパターン	C→D→ CDA→EF	C→CD→ BA→ADF→ AF→EF	C→ACD →ABEF	C→BC→ ACD→ ABCD→E	n/a

*N: 近地地震波形, **P: 遠地実体波 P 波, ***G: 測地データ, ****SW: 表面波

表 3 測地データや津波データを用いたすべり量分布解析の結果

	Ozawa <i>et al.</i> (2011)	Iinuma <i>et al.</i> (2011)	Miyazaki <i>et al.</i> (2011)	Ito <i>et al.</i> (2011)	国土地理院 (2011)	Fujii <i>et al.</i> (2011)	Maeda <i>et al.</i> (2011)	Simons <i>et al.</i> (2011)	谷岡 (2011)
解析に使用したデータ	G*	G	G	G	G, SG**	T***	T	G, T	G, SG, T
地震モーメント (Nm)	3.4×10^{22}	4.0×10^{22}	n/a	4.1×10^{22}	n/a	3.8×10^{22}	n/a	n/a	3.3×10^{22}
最大すべり量 (m) と位置	27, C	35, C	35, C	60, D-F	56, D	48, D	57, D	51, C	40, D
主な破壊エリア	BCDF	ABCDEF	ABCDEF	CDF	ABCEF	BCDE	BCD	BCD	ABCDF

*G: 測地データ, **SG: 海底 GPS データ, ***T: 津波波形

地震発生前のすべり遅れ分布

遠地データ解析から得られたすべり量分布

津波データ解析から得られたすべり量分布

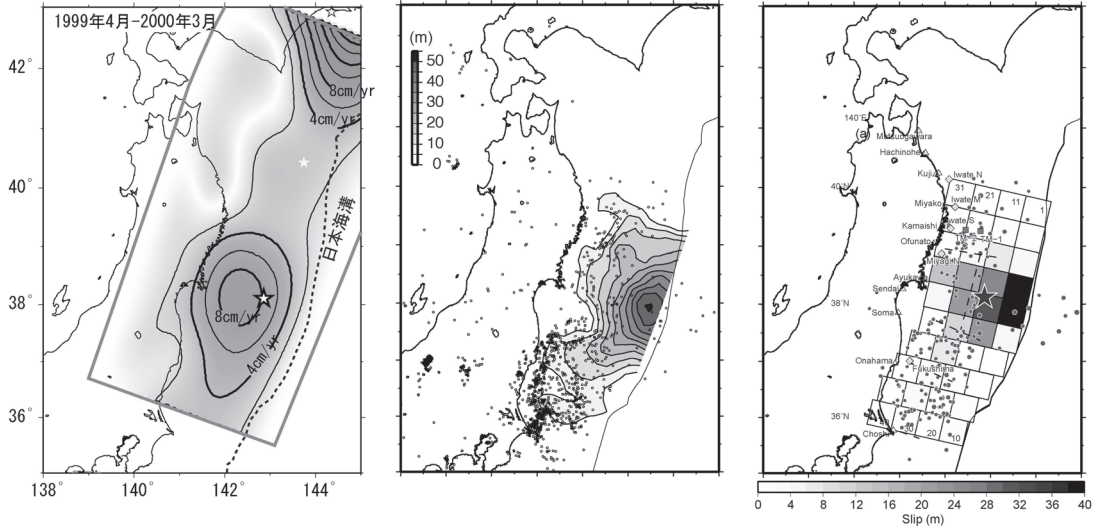


図 3 地震前のすべり遅れの分布 (Nishimura *et al.*, 2004) と遠地データ解析によって得られたすべり量分布 (Yagi and Fukahata, 2011b) と津波データ (Fujii *et al.*, 2011) から得られたすべり量分布との比較。

る例もある。

最大すべり量は、この値を左右する超パラメターの値を客観的に決定している Yagi and Fukahata (2011b) と Shao *et al.* (2011) はともに 50 m 以上となっている。また、海底 GPS を用いて、かつ、超パラメターを適切に決定している国土地理院 (2011) でも 50 m クラスとなっており、海溝付近で 50 m 以上の断層すべりが発生した可能性が高いことを示唆する。

次に破壊伝播パターンを見る。地震開始後に領域 C 周辺で断層すべりが加速、約 50~70 秒後に領域 C, D で大きな断層すべりが発生、その周辺で断層すべりが継続し、約 90 秒後に断層全体に破壊が伝播するといった点で概ね一致する。破壊伝播で重要な点は、50 秒~70 秒の間に領域 D もしくは C で発生した大きな断層すべりである。この断層すべりは海溝付近で発生したのにも関わらず、強震動の波源となっている可能性がある [Yoshida, Y. *et al.* (2011), Yagi and Fukahata (2011)].

図 2 に示されている、モデリング誤差を考慮している Yagi and Fukahata (2011) によって求められた各時間帯のすべり量分布からは、海溝付近

で大きな断層すべりが継続することによって、周辺に破壊が伝播し、結果として M9 クラスの地震に発展したことが示唆される。

Ide *et al.* (2011) は、この大きな断層すべりを自由表面に破壊が達しオーバーシュートしたためと解釈している。Yagi and Fukahata (2011) では、領域 D ですべりが長時間継続していることから、摩擦熱等による間隙水圧の上昇など極端な強度弱化 [例えば、Wibberley and Shimamoto (2005)] が発生し、系の弾性歪みがほぼ解放されたと主張している。系の弾性歪みがほぼ解放されたことについては、震源メカニズムの変化からも明らかになっている [Hasegawa *et al.* (2011)].

さて、上記の二つのモデルのどちらが正しいか判断するためには、破壊伝播のパターンを正確に求める必要がある。東北地方の観測点は南北に細長く分布しているために、東西方向の分解能が低い。このため、これらの観測データを説明するモデルが複数あることが問題となっている。この問題は、首都直下地震観測網 (MeSO-net) のアレー解析することで解決することができる。Honda *et al.* (2011) は、アレー解析の結果より、地震開始後 20 秒から 40 秒にかけて領域 D と領

域Bが同時に破壊していること、特に領域Dで顕著な地震波が放出されていることを示した。この結果は、Yagi and Fukahata (2011b) で得られた結果とほぼ一致する。つまり、地震開始後から海溝側と日本列島側に向かって破壊が伝播した後に、海溝側で大きな断層すべりが発生し、地震の規模が大きくなったと解釈するのが妥当に見える。今後は海溝側の大きな断層すべりが何故発生したのかを理解することが、東北地方で発生する巨大地震を議論する上で重要となる。

参考文献

- Ammon, C.J., T. Lay, J. Charles, H. Kanamori and M. Cleveland, 2011, A rupture model of the great 2011 Tohoku earthquake, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Fujii, Y., K. Satake, S. Sakai, M. Shinohara and T. Kanazawa, 2011, Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku, *Japan Earthquake, Earth, Planets and Space*, in press.
- Hasegawa, A., K. Yoshida and T. Okada, 2011, Nearly complete stress drop in the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, in press.
- Hayes, G. P., 2011, Rapid source characterization of the 03-11-2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Honda, R., Y. Yukutake, H. Ito, M. Harada, T. Aketagawa, A. Yoshida, S. Sakai, S. Nakagawa, N. Hirata, K. Obara and H. Kimura, 2011, A complex rupture image of the giant earthquake which struck east Japan revealed by a dense seismograph network, *MeSO-net*, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Ide, S., A. Baltay and G.C. Beroza, 2011, Shallow dynamic overshoot and energetic deep rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 332, 1426-1429, doi : 10.1126/science.1207020.
- Iinuma, T., M. Ohzono, Y. Ohta and S. Miura, 2011, Co-seismic slip distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M 9.0) estimated based on GPS data — Was the asperity in Miyagi-oki ruptured?, *Earth, Planets and Space*, in press.
- 池田安隆, 1996, 活断層研究と日本列島の現在のテクトニクス, *活断層研究*, 15, 93-99.
- Ito, T., K. Ozawa, T. Watanabe and T. Sagiya, 2011, Slip distribution of the 2011 Tohoku Earthquake inferred from geodetic data, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Koketsu, K., Y. Yokota, N. Nishimura, Y. Yagi, S. Miyazaki, K. Satake, Y. Fujii, H. Miyake, S. Sakai, Y. Yamanaka and T. Okada, 2011, A unified source model for the 2011 Tohoku earthquake, *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 310, 480-487.
- 国土地理院, 2011, 東北地方太平洋沖地震の陸域及び海域の地殻変動と滑り分布モデル, <<http://www.gsi.go.jp/cais/topic110520-index.html>>.
- Lay, T., C.J. Ammon, H. Kanamori, L. Xue and M. J. Kim, 2011, Possible large near-trench slip during the great 2011 Tohoku (Mw 9.0) earthquake, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Maeda, T., T. Furumura, S. Sakai and M. Shinohara, 2011, Significant tsunami observed at the ocean-bottom pressure gauges at 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Miyazaki, S., J.J. McGuire and P. Segall, 2011, Seismic and aseismic fault slip before and during the 2011 Tohoku Earthquake, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Nishimura, T., T. Hirasawa, S. Miyazaki, T. Sagiya, T. Tada, S. Miura and K. Tanaka, 2004, Temporal change of interplate coupling in northeastern Japan during 1995-2002 estimated from continuous GPS observations, *Geophys. J. Int.*, 157, 901-916.
- Ozawa, S., T. Nishimura, H. Suito, T. Kobayashi, M. Tobita and T. Imakiire, 2011, Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake, *Nature*, 475, 373-376, doi : 10.1038/nature10227.
- Shao G., X. Li, C. Ji and T. Maeda, 2011, Focal mechanism and slip history of 2011 Mw 9.1 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, constrained with teleseismic body and surface waves, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Simons, M. *et al.*, 2011, The 2011 magnitude 9.0 Tohoku-Oki Earthquake : Mosaicking the megathrust from seconds to centuries, *Science*, 332, 1421-1425, DOI : 10.1126/science.1206731.
- Suzuki, W., S. Aoi, H. Sekiguchi and T. Kumagai, 2011, Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki megathrust earthquake (M9.0) inverted from strong-mo-

tion data, Geophys. Res. Lett., in press.

谷岡勇一郎, 2011, 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震 (M9.0) について, <<http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/ev-news-flash/#a-04>>.

Wibberley, C.A.J. and T. Shimamoto, 2005, Earthquake slip weakening and asperities explained by thermal pressurization, Nature, 436, 689-692.

八木勇治, 2009, 震源過程解析手法の開発, 地震2, 61, S297-S307.

Yagi, Y. and Y. Fukahata, 2011a, Introduction of uncertainty of Green's function into waveform inversion for seismic source processes, Geophys. J. Int., 186, 711-720, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2011.05043.x.

Yagi, Y. and Y. Fukahata, 2011b, Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, Geophys. Res. Lett., 38, L19307, doi: 10.1029/2011GL048701.

山中佳子, 2011, NGY 地震学ノート, No. 36 改訂版, <http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2011/NGY36n.html>.

Yoshida, K., K. Miyakoshi and K. Irikura, 2011, Source

process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake inferred from waveform inversion with long-period strong-motion records, Earth, Planets and Space, in press.

Yoshida, Y., H. Ueno, D. Muto and S. Aoki, 2011, Source process of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake with the combination of teleseismic and strong motion data, Earth, Planets and Space, in press.

八木勇治

[やぎ ゆうじ]

現職 筑波大学生命環境系准教授
博士 (理学)

略歴 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修了, 独立研究所建築研究所研究員, 筑波大学生命環境科学研究科助教授をへて現職

研究分野 巨大地震の震源過程, 深発地震の発生メカニズム, 逆解析理論



地震が起こりやすくなった活断層：

3.11 東北地方太平洋沖地震の余波

双葉断層は、福島第一原発から約30kmの位置にある福島県の活断層です。政府の地震本部（地震調査研究推進本部：事務局は文部科学省）によれば、今年3月11日の巨大地震後、地震が起こりやすくなった活断層の一つとされています。この他、東京都西部から埼玉県南部へと続く立川断層、神奈川県三浦半島断層群、長野県の牛伏寺（ごふくじ）断層、岐阜県の萩原断層も、地震が起こりやすくなったとされています。すなわち、これら五つの活断層帯については、これまで公表されていた長期的な地震発生確率が、さらに高くなった可能性があるとのことです。これはどういうことなのでしょう？ この小文では、その説明を試みます。3.11地震がこれまでの地震とは桁違いに大きかったので、これまで経験したことのないような状況となっていることに注意してください。

説明のためにまず、地震の震源での動きからお話しましょう。地震の揺れは、地下の岩盤の中で突然発生する波（地震波）が原因です。この波が地中を伝わって足下に届き、揺れを起こすのです。岩盤中にひび割れのような弱い個所を想像して下さい。ここに次第に力を加えて行くと、或る段階で弱い個所は破壊し、この場所を境にして岩盤がズレて、地震の波が発生します。もともと一つに続いてきたものが、断ち切られてズレるのです。もし一つの地層があれば、これが断ち切られてズレ、断層ができます。もともと弱かった個所は、複雑な形をしているのかもしれませんが、簡単に言えば、一つの面と考えて良いでしょう。この面を断層面と呼びます。地震の原因は、断層面が破壊してズレることです。

地震を起こさないようにするには、この断層面を両側から押さえて、摩擦の力を大きくし、動かないようにすれば良いのです。逆に起こし

やすくするには、断層面を押さえる力を緩めて、摩擦力を小さくすればよいのです。この力の変化が、今回の「地震が起こりやすくなった」主な原因です。以下では、このことを説明します。ただし一般的には、もともとの「地震を起こす力」が強くなれば、当然、地震は起こりやすくなります。

地震を起こしやすくするというお話は、全部、頭で考えた、想像上のことと思われるかもしれませんが、一体どうやって、地下の岩盤に働く力を変えることができるのかと、思われることでしょう。人間の力に比べれば、自然の力は偉大です。しかし小さな地震であれば、人間の力でも起こしやすくできることは、もう何十年も前からわかっていました。

おそらく最初に報告された例が、アメリカ合衆国最大の人造湖、ミード湖の地震です。ネバダ州とアリゾナ州にまたがるこの湖は、1929年の世界大恐慌後のニューディール政策によりコロラド川にフーバーダムを建設することでつくられました。貯水を始めた時点では地震は全く発生していませんでしたが、貯水が進み、ダムの水位が250mを超えた1938年から急に付近で地震が発生し始め、1939年の6月には450個の地震が記録される事態に至りました。これは地下に水がしみ込んでいき、断層面を押さえつける力を弱めた結果です。断層面がズレやすくなり、地震が発生しました。

自然の力そのものが、地震を起こしやすくする例も良く知られています。それは“地震”そのものです。大地震が発生することによって、地下の力の掛かり方が変わります。その結果、地震が起こりやすくなるのです。3.11地震は、地下の力の掛かり方を大きく変えました。そして、3.11地震以前と比べると、いくつかの活断層では、地震が起こりやすくなったのです（図

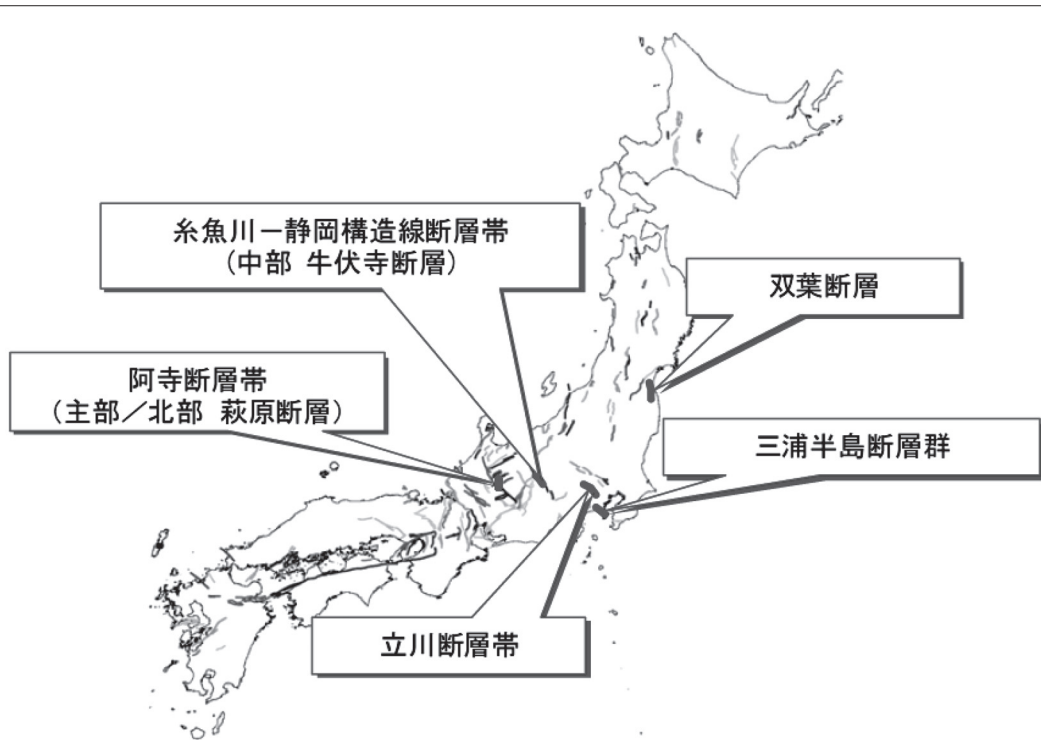


図 1 地震発生の可能性が高まった活断層（地震本部 HP より）
 (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11sep_chouki/chouki.pdf)

1).

これは地震本部のホームページの図です。1995年の阪神・淡路大震災後に地震本部がつくられ、日本のどこで、どのような地震が起りやすいか調査がされました。そして、主な100の活断層の調査結果が公表されています。これらの活断層のうち、3.11地震によって、地震が起りやすくなった断層が図1に示されているのです。活断層は、この主な100の他にもあります。それらについては、後で述べることにします。

図2もまた、地震本部のホームページの図です。断層を抑えつける力が弱まったため、地震が起りやすくなることを説明しています。

図3は3.11地震で、大地がどのように引き伸ばされ、押し縮められたかを示す図です。外向きの矢印が両端につけられた直線は、その方向に大地が引き伸ばされたことを示していま

す。これに直交する直線は、押し縮められた方向を示します。線の長さは、引き伸ばされた量、或いは押し縮められた量を表しています。東北地方では、非常に大きく東西方向に引き伸ばされたことが示されています（これに比べるとわずかに、南北方向に押し縮められました）。この結果、東西方向に押していた力が弱まりました。この方向（東西）に垂直な断層面、すなわち南北に延びる鉛直な断層面では、断層を抑えつける力が弱くなったと考えられます。双葉断層では、このため地震が起りやすくなっていると説明されているのです。東北地方には、このほかにも南北に延びる断層が多いのですが、それらは鉛直ではなく、傾いた断層なので、引き伸ばされる方向と垂直ではありません。また、これらの断層では、東西方向に押されて地震が起るので、3.11地震によって、地震を起すもとの力が弱くなったのではないかと、考

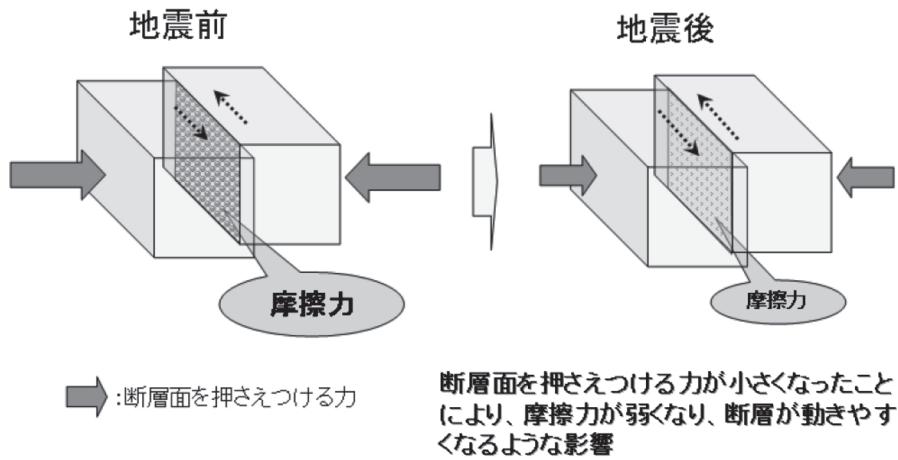


図 2 地震が起こりやすくなる仕組み（地震本部 HP より）
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11sep_chouki/chouki.pdf

・ 2011年3月11日に発生した
 東北地方太平洋沖地震の影響
 による歪みが見られる。

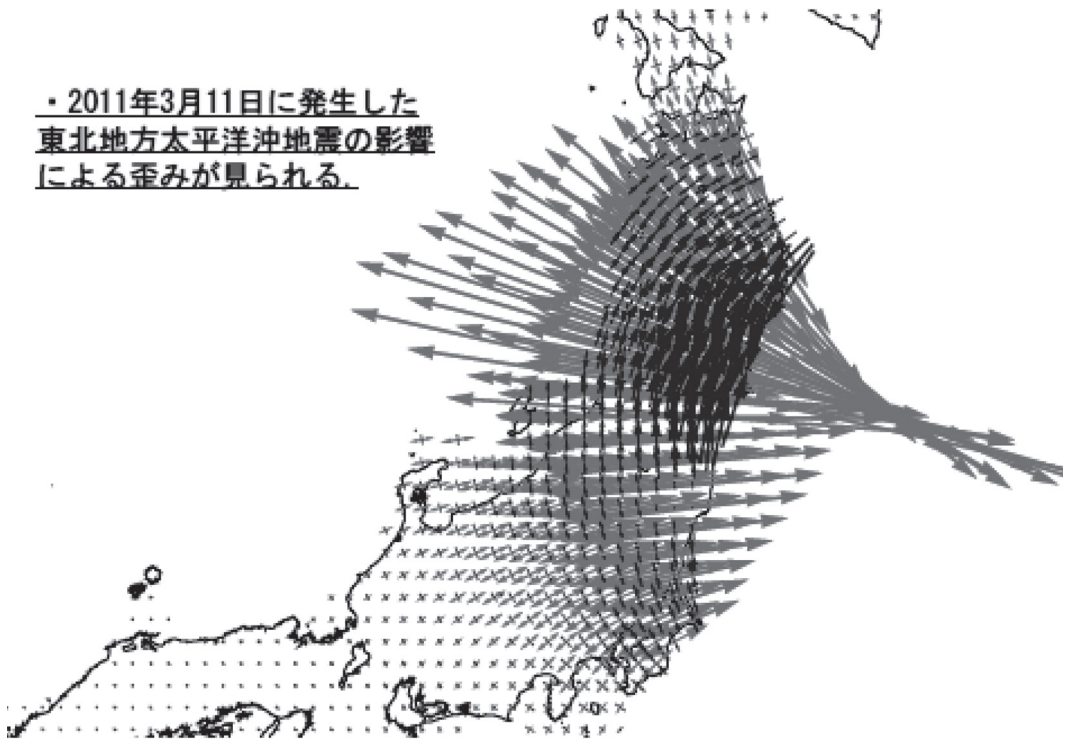


図 3 大地の伸びと縮み 主に 3.11 地震による（第 191 回地震予知連絡会，国土地理院資料）
<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/191/image191/002.pdf>

えられています。

図3に示されるように、震源から離れるに連れて大地の動きは小さくなります。また、関東地方では、引き伸ばされる方向が、北東-南西の方向に、また中部地方では、東北東-西南西の方向に変化しています。この引き伸ばされる方向に垂直な断層面を持つ活断層では地震が起こりやすくなります。三浦半島断層群、立川断層、牛伏寺断層と、萩原断層です。

以上は、日本の主な100の活断層のなかで、地震が起こりやすくなった断層です。この100以外の断層については、地震本部から何も情報が出ていません。実際には、図1に示されている以外の活断層でも、地震が起こりやすくなっている活断層があるのではないかと、疑問が出ることでしょう。

既に4月11日に、福島県浜通りの地震（マグニチュード7.0）が、湯ノ岳断層と井戸沢断層（どちらも、主な100以外の活断層）で発生しました。土砂崩れなどで4人の方が亡くなられ、10名の方が負傷されました。福島第一原発では、外部電源が途絶し、注水が中断しました。このように、主な100以外の活断層でも、地震が起こりやすくなった断層があると考えられます。

次に「地震が起こりにくくなった断層はないのか？」という疑問について、少しややこしい事情を説明しましょう。起こりにくくなった断層については、地震本部から何も発表がありません。これは、現在の調査研究の段階では、「起こりにくくなった」と断言できる状況にはないからです。

一つには、3.11地震後、どの活断層でも地震が起こりやすくなった可能性が考えられます。地震の激しい揺れによって、小さい地震が起こりやすくなる現象は、火山地帯などで知られています。激しい揺れは、シェーカーのように地下の流体を揺すぶり、閉じ込められていたガスが発泡して圧力が増えるなど、地下の力の掛かり方が変わることが考えられます。

二つ目の理由は、地下の断層の詳しい形がわからないことです。断層の動きや地表での断層の形から、地下の形が推定されているに過ぎません。断層面の向きや傾きが変われば、断層面に加わる力も変わります。複雑な断層の形を考えてみましょう。断層の多くの部分では地震が起こりにくくなっているとしても、そのうちのどこかに地震が起こりやすくなる部分があり、ここから破壊してズレが起こり、ついには全体に及んで大地震となる可能性があります。ですから、地震が起こりにくくなったとは言えないのです。少し話がややこしくなりました。

地震が起こりやすくなった活断層では、今後本当に地震が起こるのでしょうか？ これは難しい質問です。それぞれの活断層が、どの程度地震を起こす状況に近づいているかが、わからないからです。藁の一本の重みが加わっただけで地震が発生するほどの限界状況にあるのかどうか？ 実際には、それほど切迫状況ではないのかもしれませんが、地震が起こらない方が有り難いのですが、しかし万一ということも、やはり考えておいた方が良いでしょう。これが3.11地震の教訓の一つでしょう。

これまでの研究では、力の大きさが一定程度を超えると、実際に地震が起こりやすくなる傾向があることがわかっています。正確に言えば、力ではなく、単位面積あたりの力ですが、およそ0.1気圧程度を超えると地震が起こりやすくなる傾向が見えます。図1の活断層では精度の問題なども考慮して、確実に影響がある範囲として0.5気圧を超えた場合が示されています。この値未満の、いわば灰色の活断層もあることにご注意下さい。現在の調査研究の段階では、はっきり、これは安全、これは危険と区別することはできていないのです。ちなみに3.11地震による力の掛かり方の変化だけでなく、その後の地下の動きの影響も加味されています。

図1の5個の活断層のうち、3.11地震以前に、他の断層よりも地震発生の可能性が高いとされた活断層は、牛伏寺断層、萩原断層、三浦半島

断層群です。可能性がやや高いとされたのは、立川断層です。これらの断層は、ほぼ満期状態、すなわち最後の地震が起こってから、現在までに十分時間が経っており、次の地震がそろそろ起こる状態かもしれない、という状況です。ただし、地震の発生間隔は千年から万年と長いので、今日かもしれないけれど、数十年、百年後かもしれない、という程度の状況です。あまり適当なたとえではありませんが、一週間の命のカゲロウと、一万年も長生きする亀（本当はもっと短命ですが）とを比べてみましょう。生まれてから一週間後のカゲロウと、生まれてから一万年目の亀を飼っているとします。カゲロウは今日か、明日で寿命が尽きるでしょうが、亀は今日死んでも、まだ百年生きていてもおかしくないでしょう。

なお、双葉断層は3.11地震発生前、満期に程遠く、地震発生可能性は低いと考えられてい

ました。しかし震源に近く、力の掛かり方の変化量が大きいので、安心だとは言えないと思います。

このように、活断層で起こる地震について、確実なことは、なかなか言えません。しかし、万一発生すると大変なことになる。これは確実です。万一に備えること、これが重要ではないでしょうか。万一地震が起こっても、これだけは守りたい。個人でも、家族でも、組織でも、どうしても守りたいものがあるはずです。それを守るにはどうしたら良いか、知恵をしましょ。それが、万一への備えにつながるはずです。万一のことなど、忘れてしまえ。こう考えると、本当に万一が起こった時には、何も守れないという状況に陥ります。財産は駄目でも命だけは守りたい。あなたはそう思われませんか？

（島崎邦彦：東京大学名誉教授）

東北地方太平洋沖地震による東京湾岸の液状化 (速報)

安田 進

とさせていただきます。

1. はじめに

地震時の地盤の液状化は1948年福井地震で発生した被害を契機に最上らによって研究が開始され、1964年に発生した新潟地震とアラスカ地震によって生じた被害によって広く認識されるに至った。以後、液状化に関する研究、技術開発は数多く行われてきており、現在では殆どの構造物の耐震設計で液状化は考慮され、必要な対策も施されるようになってきている。それなのに、今回の東北地方太平洋沖地震では、いまさらながら液状化による被害が大きな社会問題となっている。このように社会的な問題になってきたのは、液状化した面積が非常に広く、また、約26,000軒の戸建て住宅が被害を受けたからに他ならない。例えば、1964年新潟地震以降に我が国では24回の地震で液状化が発生してきているが、これほどまで広範囲で液状化した地震はかつてない。

一方、海外においても本年は驚くべき広範囲に液状化をもたらした地震が発生した。それは2月22日にニュージーランドのクライストチャーチで発生した地震である。筆者はこの地震の調査に行って液状化した範囲の広さや、噴砂量の多さに驚いた。それから1ヶ月も経たないあいだに今度は東京湾岸でさらに広い範囲で液状化し、また噴砂の量もクライストチャーチに少し及ばないまでも多量に発生して、再び驚かされた。そこで、ここでは東北地方太平洋沖地震による東京湾岸の液状化を中心に、クライストチャーチでの被害とも対比しながら特徴を述べてみたい。ただし、今回の東京湾岸の液状化に関しては特異な現象や被害が生じたまだ解明途中であるので、速報の扱い

2. 東北地方太平洋沖地震による液状化 発生地点の分布と被害の概要

東北地方太平洋沖地震では東北から関東にかけて非常に広い範囲で液状化が発生した。地震の規模が大きくなると当然液状化が発生する範囲も広がる。今回液状化した地点で最も震央距離が長いのは南房総市池之内で、若松によるとその震央距離は440kmとのことである。

発生した液状化を地形や構造物によって大まかに分類すると表1のようになる。海岸の埋立地の液状化は東京湾岸を始め、茨城県などの太平洋沿岸の多くの地区で発生した。ただし、太平洋沿岸では津波のために液状化の痕跡が分からなくなって、液状化が発生したか否か判断できない地区が多い。例えば名取市閑上では、津波来襲前に液状化が発生している写真が撮影されているが、津波でかき消されてしまった。

川、池などの埋立地の液状化は利根川沿いなど

表1 発生した液状化の分類と地区

分類	主に発生した地区
海岸の埋立地	東京湾岸、太平洋岸
平野の川、池などの埋立地	関東や東北の河川沿い
丘陵の造成宅地における池などの盛土地	宮城・福島・茨城県内の造成地
河川堤防の基礎地盤や堤体	関東や東北の河川堤防
埋設管の埋戻し土	福島県など
砂鉄を採取するために掘削し埋め戻した土	旭市

の平野部で多く発生した。例えば香取市で広く液状化した区域は利根川の一部を埋め立てたところであり、潮来市で液状化により甚大な被害を受けた日の出地区は内浪逆浦を埋めた所である。

仙台や須賀川、白河などの丘陵地の造成宅地では盛土がすべったり沈下して住宅に深刻な被害を与えている。仙台市で被災宅地危険度判が行われた結果によると、5月19日現在で調査宅地された3,880宅地のうち危険宅地は868宅地、要注意宅地は1,210宅地であった。盛土の変状原因は地震力によるすべり破壊が多いと思われるが、中には噴水・噴砂も発生し明らかに盛土材の液状化による被害も発生している。

東北地方では江合川・鳴瀬川・吉田川、関東地方では利根川・小貝川・那珂川など、今回の地震では非常に広範囲に河川堤防が沈下や陥没といった被害を受けた。国土交通省関東地方整備局によると関東では939箇所（9月13日現在）の堤防等河川管理施設が被災した。堤防が大規模に被災した54箇所について詳しく調査されたところ、51箇所は液状化による被害であることが明らかにされた。このうち、基礎地盤の液状化による被災箇所が約7割、堤体の液状化による被災箇所が約1割、基礎地盤・堤体の複合液状化による被災箇所が約2割であった。

その他、下水管を埋設する際に掘削後に埋め戻した土が液状化して管渠やマンホールが浮き上がった被害も須賀川市などで発生した。また、千葉県旭市では砂鉄採取のために掘削して埋め戻した土が液状化し、住宅などに被害を与えた。

3. 東京湾岸での液状化発生地区および被害概況

東京湾沿いには多くの埋立地が造成されてきている。そのうち、横浜市から川崎市、東京都、浦安市、市川市、船橋市、習志野市、千葉市にかけて広い範囲で液状化が発生した。特に、東京の新木場から千葉市にかけての埋立地では非常に広い範囲で、しかも一面に液状化が発生した。

筆者は地震当日には帰宅出来なかったので、翌日まず浦安市の調査に出かけた。これは1987年

千葉県東方沖地震の際に浦安の一部も液状化したためである。行ってみると予想とおり液状化していたが、浦安市内を回ってみると広い範囲で液状化し、被害も甚大であることに驚かされた。翌日千葉市でも液状化で被害が出ているとの連絡があり、急遽千葉市へ向かった。さらに、千葉県東方沖地震の経験から木更津方面でさらに液状化しているのではないかと考え、五井、姉ヶ崎と調査してまわった。これらをもとに、液状化したのは東京から千葉市の間ではないかと考えた。そして地震の3日後からは東京のお台場から千葉市まで、学生とともに地区を割り当てて調査をすることを計画した。ただし、ガソリン不足で車が使えず、電車も計画停電で止まったり、となかなか思うようにいかなかったが、とにかく約10日間徒歩で調査して回った。このように複数の人数で広範囲にわたって調査するので、調査者によって差が無くまた迅速に広範囲に調査する方法を決めなければならない。そこで、①道路や宅地に噴砂が見られて激しい液状化を生じていた場合に赤の実線、②噴砂は見られるが液状化の被害は軽い場合に赤の破線、③噴砂が見られず液状化の被害を受けていない場合には青の実線、と記入する方法をとってみた。

その結果をもとに3月末の時点で液状化したと判断される地区を大まかに推定した¹⁾。その後国土交通省関東地方整備局と地盤工学会における検討により8月にその範囲が少し修正された²⁾結果が図1である。図1を見ると内陸部では液状化が発生せず、今回の地震で液状化したのは海岸の埋立地であることが分かる。

これらの地区のうち、最も広く液状化し被害も甚大であったのは浦安市である。浦安市の面積は16.98km²であり、そのうち3/4以上が昭和40年以降に埋め立てられた所である。その多くの地区が液状化した。そしてこれらの多くは住宅地として利用されていたため、戸建て住宅やライフラインに膨大かつ甚大な被害が発生した。特に今川、入船、弁天、舞浜地区で多くの戸建て住宅が沈下・傾斜した。写真1に沈下および傾斜した戸建て住宅の例を示す。ここには4軒が建っていた



図 1 東京湾岸においてお台場から千葉にかけて液状化が発生した地区



写真 1 沈下・傾斜した家屋（浦安市）



写真 2 道路の被災例（浦安市）

が、その中心に向かって4軒とも沈下しながら傾いた。手前の家は40/1000ほども傾いたとのことである。一方、中層のアパートやホテル、高架橋の沈下は見られなかった。これは、これらが杭基礎で支持され、また地震動の振幅も大きくなかったためではないかと思われる。ただし、液状化による地盤の沈下が広い範囲で発生したため、構造物は被災していなくても50cm程度にも及ぶ大きな段差や杭の抜け上がりが発生した。このためライフラインも被害を受け、結局マンション自体は無被災でも、そこで生活できない状態に陥った。道路も写真2に示すように液状化によって激しい変状を生じた。液状化に伴って地中埋設管やマンホールも甚大な被害を受けた。なお、この他、

船橋に広く広がる工場や倉庫地帯でも液状化による被害があったはずであるが、公表されないのが不明である。

3. 東京湾岸の液状化発生状況の特徴

新木場～千葉にかけて発生した液状化の特徴として以下のようなものが上げられる。

① 地表最大加速度は150～200 cm/s²程度とそんなに大きくなかったが、広い範囲で一面に液状化が発生した。これには継続時間が長く、繰返しせん断力が加わった回数が多かったことが影響していると考えられるが、さらに、29分後に襲った余震の影響もあると考えられる。例えば、千葉



写真 3 幹線道路の歩道で発生した突き上げ現象（浦安市）



写真 5 厚くたまった噴砂（浦安市）



写真 4 旧護岸そばの生活道路で発生した突き上げ現象（浦安市）



写真 6 地盤の沈下状況（浦安市）

市の住民の方から聞いた話によると、本震で噴水が生じた地区の隣で本震の時に噴水は生じていなく余震の時に噴水が初めて生じた地区もあった。また、浦安市や新木場では本震でジワーと水が噴き出していたところに余震が襲って噴水の勢いが激しくなった箇所もあった。現在住民の方々にヒアリングを行っているが、このように今回の液状化の解釈には29分後に襲った余震の影響も考慮する必要がある。

② 歩道などで路面が突き上げられたように盛り上がっている箇所があちこちで発生した。写真3は浦安市の幹線道路の歩道、写真4は旧護岸沿いの生活道路で盛り上がった状況を示している。浦安市だけでなく市川市などでも見られた。このような特異な変状が生じた原因としては、本

震で液状化しドロドロの状態で揺すられ、さらに液状化が続いていたところに余震でも揺すられ、旧護岸といった硬い部分との境界で水平方向に押されて座屈したように突き上げられたのではないかとと思われる。ただし、今後の検討が必要である。

③ 噴水がひいた後に残った噴砂の量は非常に多く、また、地盤の沈下量も大きかった。写真5は筆者が見た最大の厚さの噴砂でありここでは30cmほど堆積していた。また、写真6は新浦安駅のエレベーターホールの抜け上がり状態を示すが、ここでは約50cmも地盤が沈下していた。筆者は1978年伊豆大島近海地震以降に国内で発生



写真 7 クライストチャーチにおいて3回の地震で噴き上がった砂

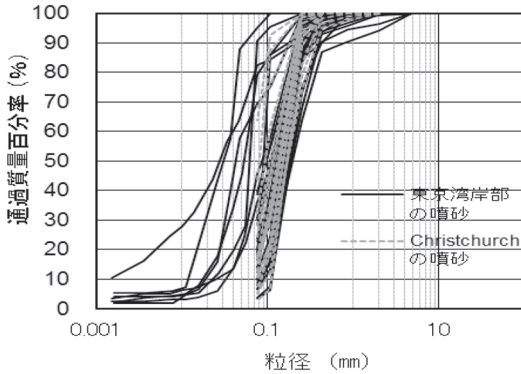


図 2 東京湾岸とクライストチャーチで発生した噴砂の粒径の比較

した液状化のほとんどを調査してきたが、このように噴砂量や地盤の沈下量が多いのは初めてである。ただし、昨年から今年にかけて地震が頻発しているニュージーランドのクライストチャーチでも同様の現象が発生してきている。写真7に同じ箇所昨年9月と今年2月、6月の地震で生じた噴砂を示すが、東京湾岸以上に噴砂が厚く、しかも2月の再液状化の方が初回より厚いといった驚くべきことが発生していた。そこで両地区の噴砂の共通点を探ってみると、図2に示すように両者とも非常に細かいシルト～シルト質砂であることが分かった。液状化した砂が細粒分を多く含んでいると透水係数が小さく、過剰間隙水圧が消散し難く長時間噴水が続き、さらに土粒子の非表面積が小さいので噴水によって土粒子が運ばれ易いことにより、多量の噴砂が発生したのではないかと考えられる。また、その噴砂を取り除いたため、地表面の沈下量も大きくなったと考えられる。

4. 液状化による戸建て住宅と埋設管の被害の特徴

写真1のように家が傾くことは過去の地震で多く発生してきたが、その実態はなかなか明らかにされてきていなかった。それに対し、2000年鳥取県西部地震の後で米子市の安倍彦名団地では住民の方々が詳細な調査をされ、図3に示すような傾斜をしていたこと³⁾と、大きく傾くと目眩や吐き気をもよおすため10/1000程度以上傾くと水平化工事をせざるを得ないことが明らかにされた。今回の地震では東京湾岸だけでも1万を超す戸建て住宅が液状化によって被害を受けたこともあり、液状化による戸建て住宅の被害はこのように傾斜角が特に問題であることが認識され、5月2日に内閣府から表2に示す沈下に関する被害認定の新判断基準と補助金額が発表された。これにより、地震直後に判定された半壊などの戸数が大幅に変わった。例えば浦安市の発表によると、従来の基準による建物被災度認定方法では全壊8戸、半壊33戸、一部損壊7930戸、被害なし1028戸であったのに対し、新基準では全壊18戸、大規模半壊1541戸、半壊2121戸、一部損壊5096戸、被害なし1105戸となり、全壊、大規模半壊、半壊の戸数が大幅に増えた。なお、日本損害保険協会でも保険の基準を緩和し、傾きで1度・沈下量で30cmを超える場合に全損、傾きで0.5度～1度・沈下量で15～30cmの場合は半損扱いになるようになった。

さて、上記浦安市のデータをもとに、傾斜角の分布をおおまかに推定してみると図4となる。50/

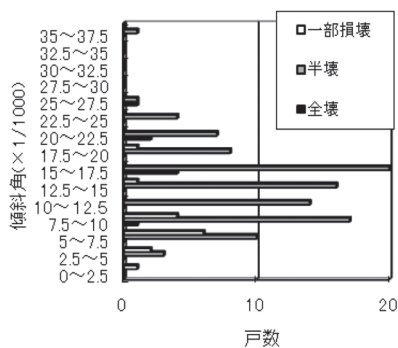


図 3 安倍彦名団地における家屋の傾斜角³⁾

表 2 沈下に関する被害認定の新判断基準 (内閣府, 5月2日)

分類	判定基準
全壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が 20 分の 1 以上
	床上 1m まで沈下 (雨天時に床上 1m 浸水)
大規模半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が 60 分の 1 以上で 20 分の 1 未満
	床まで沈下 (雨天時に床上浸水)
半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が 100 分の 1 以上で 60 分の 1 未満
	基礎の天端 25cm まで沈下 (雨天時に床下浸水)

1000 以上も傾いた家屋もあり、また、16.7/1000~50/1000 の家屋も多くあり、浦安市における今回の地震での傾斜角の方が、鳥取県西部地震にける安倍彦名団地の傾斜角より全体に大きかったことが分かる。また、傾斜の方向としては図 5 に模式的に示したように、2 棟が近接している場合に内向きに、また 4 棟の場合は中心に向かって傾く傾向が多々見られた。これらは安倍彦名団地などの事例と一致しており、傾斜角は隣接する建物の影響をかなり受けていると考えられる。なお、上述したように今回の地震では歩道部などが突き上げるような現象もおき、そのために傾いたのではないかとと思われるケースもあった。

上下水道、ガス導管も液状化によって甚大な被害を受けた。液状化が激しく発生した地区では下

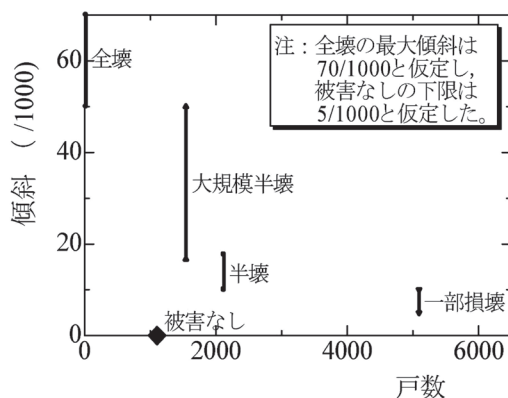


図 4 浦安市の公表データから大まかに推定した傾斜角と戸数の関係

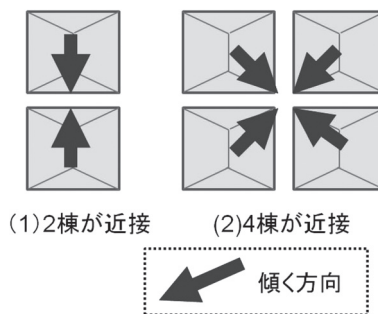


図 5 隣接する家屋が傾斜するパターン

水道管やガス導管はまだ仮復旧がされている段階であり、本復旧時にならないと本当の被害の実態が分からないが、下水道管の被害に関しては特異な被害が発生しているようである。まず、マンホールが浮き上がった率は新潟県中越地震による小千谷や長岡の被害に比べて少ない。その代わりに、マンホールの躯体ズレが多く発生し、また、砂が多くはいていた。管渠には蛇行やたるみが生じ、継手がはずれたものが多く発生した。また、本管から宅地内に入る箇所まで被害が多く発生しているようである。これらの特異な現象をどのように解釈すれば良いか今後の分析を待たないといけないが、マンホールの躯体ズレが発生したことや管渠の継手がはずれたのは、写真 3、4 に示したように、液状化した地盤がさらに大きく揺すられたためかもしれない。また、道路も沈下したがさ

らに家も大きくめり込み沈下したため、本管から宅地内にはいる箇所では被害が多く発生したのであろう。

5. あとがき

以上、東京湾岸で今回発生した液状化に関してこれまでに分かっていることを述べた。今回は液状化しただけでなく、さらに大きく揺すられたり、また、50cmにも及ぶ地盤の沈下が発生したりと、尋常でない地盤の変状が発生し、また、1万戸を越す戸建て住宅が大きく沈下や傾斜し甚大な被害が発生した。このため、まだ家屋や道路や埋設管の本復旧もこれから始まる段階であり、被災の実態やメカニズムもこれから分かってくるであろう。

被害が甚大であったため、復旧方法も複雑で検討が続いている。今後の地震で再液状化が発生する可能性を秘めているため、単なる原型復旧ではなく液状化対策を施した復旧をする必要がある。この場合、家屋の被害に関しては、個々の家屋で対策をとって復旧するか、あるいは地域全体で対策をとるかといった選択をしなければならない。また、それぞれの場合において既存の住宅地での対策は容易でなくこれまであまり行われていないため、適用できる技術を急遽開発する必要がある。一方、道路や下水道管渠においてもどこまで

対策に費用をかけられるか問題である。このようなことで、現在、復旧方法に関して種々の検討が行われている段階である。

参考文献

- 1) 安田 進・原田健二, 2011, 東京湾岸における液状化被害, 地盤工学会誌, Vol. 59, No. 7, pp. 38-41.
- 2) 国土交通省関東地方整備局, 2011, 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態調査結果について, <http://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000061.html>
- 3) 安田 進・橋本隆雄, 2002, 鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, III-515, pp. 1029-1030.

安田 進

[やすだ すすむ]

現職 東京電機大学理工学部教授
工学博士, 技術士(総合技術監理部門,
建設部門)

略歴 九州工業大学卒業, 東京大学大学院工学系研究科博士課程土木工学専攻修了, 基礎地盤コンサルタンツ(株) 技師, 九州工業大学工学部助教授を経て現職

研究分野 地盤工学, 地震工学

著書 『液状化の調査から対策工まで』(鹿島出版会)



東日本大震災における DMAT の活動と課題





小井土雄一・近藤久禎・市原正行

はじめに

現在の日本における災害医療体制は、阪神・淡路大震災の教訓に基づき構築された。阪神・淡路大震災の以前は、本邦には災害医療体制はほとんどなかったと言っても過言ではない。日本は古来多くの災害を経験し、災害に関する法律が制定され、地震学、地質学、建築学、気象学等多方面においてその対策を練り上げられてきたが、医療という側面ではその対策が全く遅れていたということが阪神・淡路大震災で露呈された。阪神・淡路大震災においては、6,433人が亡くなられたが、その内、500人は防ぎえた災害死（Preventable Disaster Death：PDD）であったと報告されている。その原因を医療面に特化すると4つあったと言われている。すなわち、被災現場で急性期に活動する医療チームがなかったこと、被災地で中心的な役割を担う災害医療に長けた病院がなかったこと、重症患者の後方搬送、被災地外への搬送が行われなかったこと、病院間あるいは病院と行政を結ぶ情報システムがなかったことである。この4つの反省点に対して、国は超急性期に活動する

表 1

阪神・淡路の教訓

- 急性期の現場における医療が欠落していた。
→DMAT 
- 災害医療を担う病院がなかった。
→災害拠点病院 
- 重症患者の広域搬送が行われなかった。
→広域医療搬送計画 
- 医療情報が全く伝達されなかった。
→広域災害救急医療情報システム(EMIS) 

医療チーム DMAT (Disaster Medical Assistance Team) を作り、災害を専門的に担う災害拠点病院を指定整備し、後方搬送がなかったことに対して広域医療搬送計画を策定し、情報システムとして広域災害救急医療情報システム (EMIS) を作り上げた (表 1)。今回の東日本大震災は、16年かけて作り上げてきたこの災害医療体制が試される結果ともなった。本稿では、東日本大震災においてこれらのシステムが如何に機能したか DMAT の活動を中心に述べ、今後の課題について述べる。

災害医療の観点からみた本震災の特徴

本震災の概要については周知のことでありここでは省くが、災害医療の観点からみた本震災の特徴について述べる。

1) 被災地が甚大広域

被災地域が三陸沖から房総沖まで 400 キロ以上に渡り甚大広域であったということが、医療の展開を困難にした。今回の震災は海溝型であり、被災地がある程度限られた直下地震の阪神・淡路大震災とは全く違った対応を迫られた。被災地が甚大広域であることが医療支援を行き渡らせることを困難にした。沿岸部の病院では通信インフラの破壊も重なり、情報がまったく入らないというブラックボックス化し、医療支援が入るのに時間を要した。場所によっては被害状況が把握されるのに数日を要した。また、沿岸部の道路が遮断され、陸路でのアクセスが困難であった。

2) 人的被害の特徴

今回の震災では急性期に救命治療を必要とする傷病者はほとんどいなかった。阪神・淡路大震災の際は、死者 6,433 人に対して、傷病者は 43,800 人であり、6.8 人の負傷者に対して 1 人死亡 (Mobility/Mortality ratio=6.8) であった。先進

表 2

	(a) 傷病者	(b) 死者・行方不明者	(c)=(a)/(b) 傷病者数/死者数比
阪神・淡路大震災	43,800	6,433	6.8
東日本大震災	5,942 [*]	19,582 [*]	0.30

※平成 23 年 10 月 24 日警察庁発表資料より

国の災害医療であれば M/M ratio は 10~15 であるとされ、日本の災害医療の遅れを指摘された所以であった。一方、今回の震災では死者・行方不明者 19,582 人に対して傷病者は 5,942 人であった (M/M ratio=0.3)。津波災害の人的被害の特徴は、all or nothing (無傷か死か) と言われてきた訳であるが、ここまで傷病者が少ないことは予想外であった (表 2)。

3) 医療ニーズの特徴

今回の医療ニーズの特徴は、数からみると初日に予想外に少なく、3 日以降に急激に増加した。初日、被災地の医療施設においては病院入口にトリアージポストを設置するなど、大量傷病者の受け入れに備えたが、どこも予想外に患者数が少なかった。初日に搬送が少なかった理由は、搬送手段が失われたことによる。例えば石巻では救急車 17 台中 12 台が津波で失われた。疾病構造に関しては、初日こそ外因性疾患が 5 割を占めたが、3 日以降急激に増加した患者は 8 割以上が内因性疾患であった。初日の外因性疾患も純粋な外傷は少なく、低体温症、津波肺 (海水による誤嚥性肺炎) などの外因性疾患が多くを占めた。トリアージの色でいくと、初日においても、トリアージ赤は 10~20% であったと報告されている。震災後 3-4 日してから、様々な医療ニーズが高まった。多くの病院が発災数日後に備蓄が底をつき、診療継続不能に陥った。避難所では低体温症、慢性疾患の増悪、感染症の発生。医療ニーズは一気に高まった。機能不全に陥り孤立した病院では、入院患者の救出移送が必要となった。また東京電力福島原発事故による放射能漏れは、30 キロ圏内の入院患者の移送を必要とし新たな医療ニーズを生んだ。地震・津波+原発事故という複合災害の中で、阪神・淡路大震災においては認められなかつ



写真 1 DMAT 本部で活動する筆者 (手前から二人目)

た様々な医療ニーズが急激な勢いで生じた。

DMAT の初動

厚労省 DMAT 事務局は、震災後 4 分後 14:50 に国立病院機構災害医療センター内に DMAT 本部を立ち上げた (写真 1)。15:05 災害調査ヘリを調達、15:10 に全 DMAT 隊員へ待機要請を EMIS (広域災害救急医療情報システム) を通して発信した。16:00 に宮城県は仙台医療センター、福島県は福島県立医科大学を参集拠点に指定して派遣要請を発信、17:15 に岩手県は岩手医科大学、茨城県は筑波メディカルセンターを参集拠点に指定し派遣要請を発信した。派遣要請に対して DMAT は、47 都道府県全てから、約 380 チーム、約 1,800 人が出動した。DMAT の中で空路参集したのは、千歳空港から花巻空港へ 1 便 5 チーム 24 名、伊丹空港から花巻空港へ 4 便 49 チーム 251 名、福岡空港から百里基地へ 3 便 24 チーム 119 名、計 82 チーム 384 名が空路で被災地入りした (図 1・写真 2)。活動場所としては、岩手県、宮城県、福島県、茨城県の被災 4 県であ

DMAT活動概要

活動チーム：全国から約380隊、1,800人
活動期間：3/11～3/22（12日間）

活動内容：

病院支援、域内搬送、広域医療搬送、
病院入院患者避難搬送

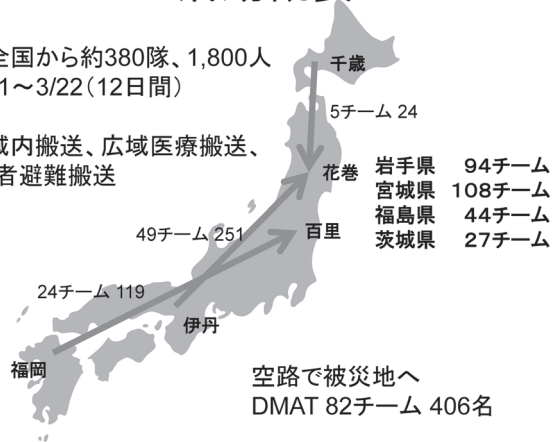


図 1



写真 2 3月12日未明 C-130 に乗り込む関西 DMAT

り、活動期間は、発災（3月11日）から3月22日までの12日間であった。活動内容としては、DMATの本来業務である現場における救命医療、病院支援、域内搬送、広域医療搬送の4つを行った。現場における救命医療のニーズは高くなかったが、本来業務以外の病院入院患者避難搬送も行った。

県の対策本部支援

今回の震災においては、発災直後から被災県4県の県災害対策本部に統括DMATが入り、DMAT調整本部を立ち上げた。この統括DMATとは統括DMAT研修（DMATのリーダー研修）を修了した者であり、県によって予め対策本部入

DMATの活動分布

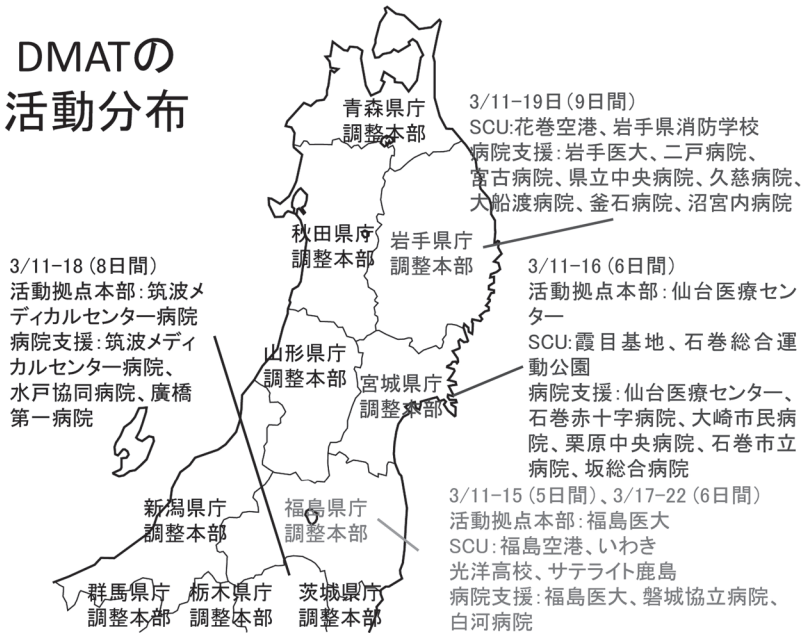


図 2

りすることが決められたメンバーである。DMAT調整本部は、県の医療対策を支援し、DMAT本部との連絡調整、活動拠点本部（参集拠点病院）、SCU本部を支援した。また、被災県だけでなく周辺の被災者受け入れ側に回った県（青森、秋田、山形、新潟、群馬、栃木）の県庁にも統括DMATが入り調整本部を立ち上げた（図2）。

本邦初めての広域医療搬送

今回の震災では、前述したように重症外傷患者が極めて少なかったが、その中でも本邦初めての広域医療搬送が行われた。被災地内の広域医療搬送拠点として、岩手県は花巻空港、宮城県は霞目基地、福島県は福島空港に選定し、SCU（staging care unit、広域搬送拠点臨時医療施設）を立ち上げた。3月12日の花巻空港から新千歳空港を皮切りに計5便で19名の患者の広域医療搬送を行った（図3）。

花巻空港においては、格納庫を利用して16床のSCU（staging care unit、広域搬送拠点臨時医療施設）を立ち上げた。花巻SCUに運ばれた患

者数は4日間で136名であり、主に岩手県沿岸部からヘリコプターで搬送された。136名中、前述したように16名が広域搬送された訳であるが、残りの120名は中等症（トリアージ黄色）であり広域搬送の適応はなかったため、救急車にて盛岡周辺の災害拠点病院へ搬送された（写真3）。

ドクターヘリによる域内搬送・隣県搬送

DMAT本部は11日夜、全国のドクターヘリ（以下、ドクヘリ）を持つ施設へ被災地への出動を依頼した。その結果、全国のドクヘリの半分以上の16機のドクヘリが被災地へ出動した。活動拠点を花巻空港と福島県立医大付属病院に定め、それぞれ11機（含む調査ヘリ4機）、8機のドクヘリを運用し、140名以上の患者およびDMATを搬送した（図4）。ドクヘリは域内搬送、隣県搬送に大活躍した。ドクヘリはニーズに対して臨機応変に迅速に適応でき、非常に効果的であった。しかしながら、災害時におけるドクヘリ出動に関しては、未整備な部分が多く、今後法的整備も含めて災害時におけるドクヘリの活用システム



図 3 広域医療搬送

C-1 計 5 機により 19 名の搬送実施

- 3/12: 花巻空港→新千歳空港: C-1 (4 名搬送)
- 3/12: 福島空港→羽田空港: C-1 (3 名搬送)
- 3/13: 花巻空港→羽田空港: C-1 (6 名搬送)
- 3/14: 花巻空港→秋田空港: C-1 (3 名搬送)
- 3/15: 花巻空港→秋田空港: C-1 (3 名搬送)

を構築する必要がある。

病院支援

今回の震災では、通信インフラが予想以上に被災・機能しなかったこともあり、沿岸部の病院の被災状況が把握できず、被災地がブラックボックス化した。被災の状況が 24 時間経っても被災状況が判らなかつたケースも多々あった。そのような状況の中で、県対策本部の情報と広域災害救急医療情報システム (EMIS) の情報を基に病院支援を行った。病院支援をおこなった病院は、岩手県が 8 病院、宮城県が 6 病院、福島県が 3 病院、茨城県が 3 病院であった (図 2)。支援病院には主に陸路で入ったが、花巻空港の活動拠点本部か

らは、DMAT18 チームをヘリで岩手県沿岸部の 3 病院へ病院支援のため搬送した。病院支援に入った DMAT は支援病院および周辺地域の状況を災害対策本部へ調査報告するとともに、実際の診療支援および域内搬送の支援を行った。

入院患者避難搬送

今回の震災において、DMAT は本来業務の 4 つ以外の活動も行った。孤立した病院の入院患者の移送である。石巻市立病院においては 3 月 14 日 100 名以上の入院患者を石巻運動公園へ搬送し、そこからヘリコプターで霞目基地に搬送し、仙台周辺の医療施設へ搬送した。昼間はドクヘリが中心となり搬送し、日没後は陸上自衛隊ヘリで

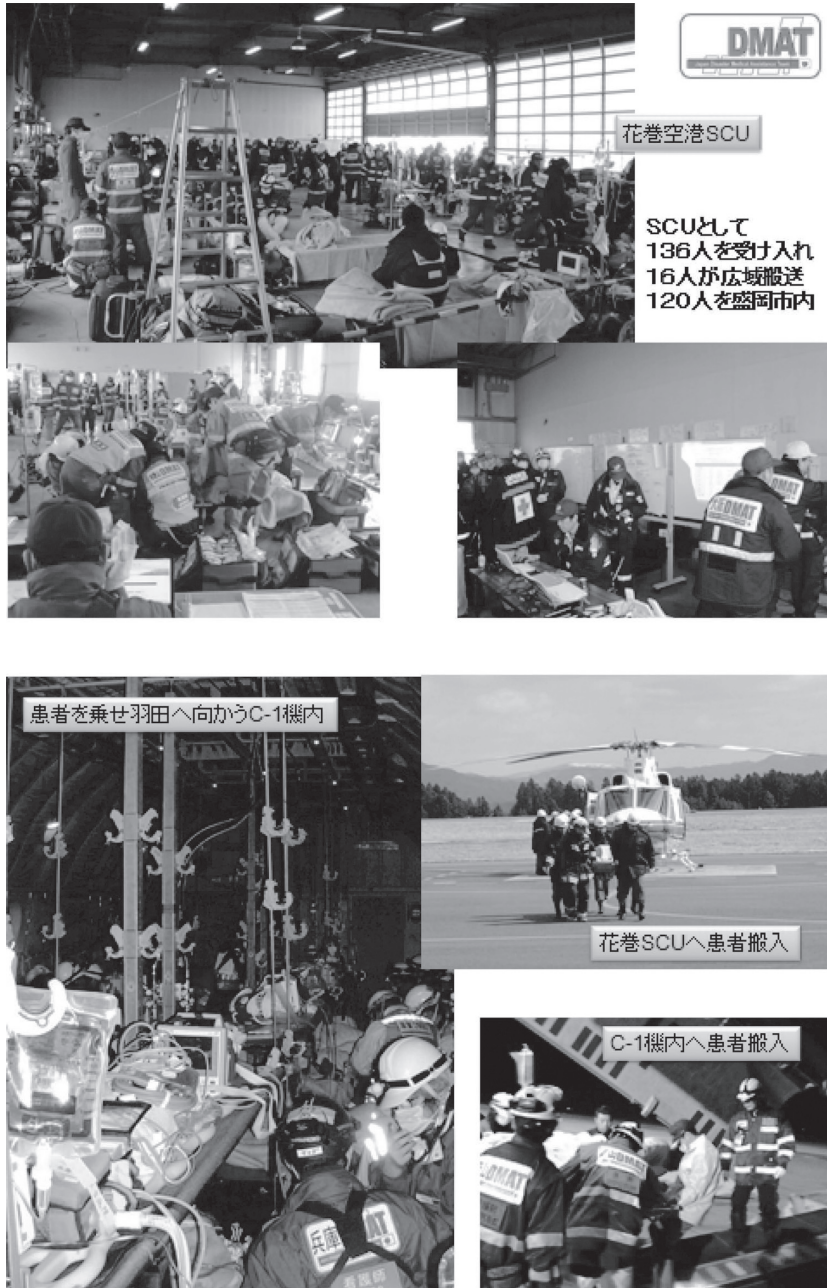


写真 3

搬送した。搬送が終了したのは午後 11 時であった。DMAT は石巻市立病院から石巻運動公園までの搬送を支援し、石巻運動公園に SCU を立ち上げ、患者を安全に移送させることに貢献した(図 5)。

東京電力福島原発事故の 30 キロ圏内入院患者移送に関しても DMAT が貢献した。14 日 10 キロ圏内退避命令により、沿岸部の病院から患者を移送した際に、医療の継続性が断たれ 40 名以上の患者が移送により死亡した。これを受け、その

後の移送には、DMAT が医療支援を行った。30 キロポイントのサーバイポイントにて、メディカルチェックを行い、移送に耐えうるか評価した。問題のある患者には応急処置、そして高度医療機関への搬送を行い、300 名以上の入院患者の搬送を安全に行った (図 6)。

活動のまとめ

今回の震災では、DMAT 隊員 1800 人を超える

人員が迅速に参集し活動した。指揮命令系統においては、国、県庁、現場まで統括 DMAT が入り指揮を執った。急性期の情報システムも機能し、DMAT の初動はほぼ計画通り実施されたと言ってよい。津波災害の特徴で救命医療を要する外傷患者の医療ニーズは少なかったが、本邦初めての広域医療搬送が行われたことも意義があった。また急性期の医療ニーズが少なかった一方で、発災後 3~7 日に病院入院患者の避難等様々な医療ニーズがあったが、このような医療ニーズに対しても DMAT は柔軟に対応し貢献した。

ドクターヘリの活動

- ドクターヘリの出動: 計 16 機
- 140 名以上の患者搬送を実施
- DMATヘリ拠点
 - 福島県内ヘリ拠点: 福島医大 (統括: 千葉北総)、ドクターヘリ 8 機の運用
 - 岩手県内ヘリ拠点: 花巻空港 (統括: 前橋赤十字、愛知医大)、ドクターヘリ 7 機、調査ヘリ 4 機の運用
 - 域外拠点 (千歳空港) で活動: 1 機



図 4

今後の課題

今回の震災においては、多くの課題がでたが、ここでは 3 つ上げておきたい。

1 つは新たな PDD (Preventable Disaster Death 防ぎえた災害死) に関することである。阪神・淡路大震災では、500 人の PDD が生じたと報告されており、DMAT は PDD をゼロにすべく、地震災害で生じる重症外傷を如何に救命するかに関心を注いできた。しかし、今回の震災においては

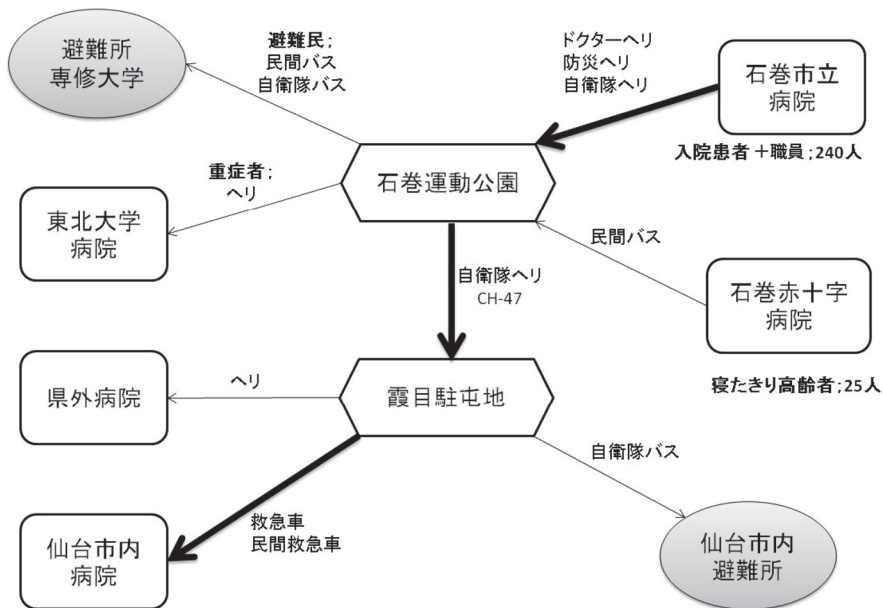


図 5 石巻地域病院避難

屋内退避エリア病院退避オペレーション

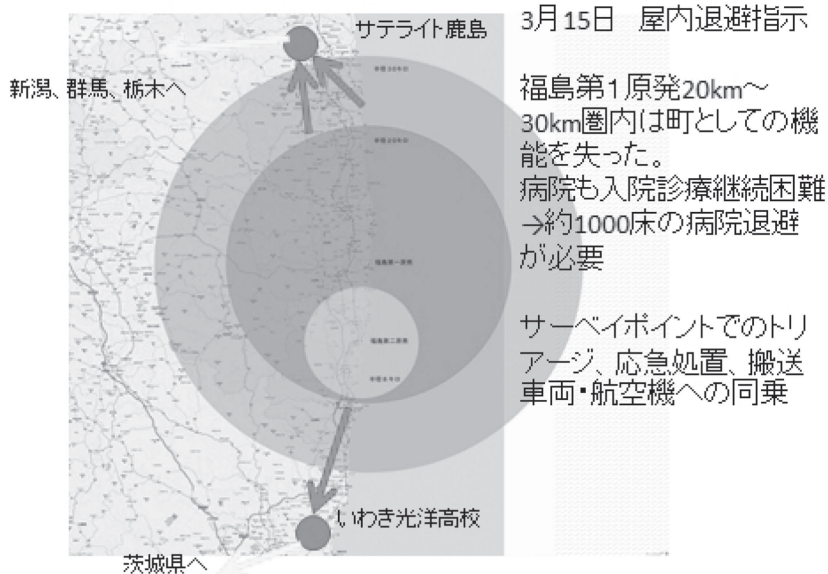


図 6

重症外傷患者そのものがほとんど存在せず、医療ニーズは超急性期を過ぎた3～4日目から増大し、孤立した病院で人・物が足りず死亡したケース、移送中に医療が行き渡らず死亡したケース等があり、二次災害により死亡するという新たなPDDが生じた。これまでの計画では、DMATは超急性期に活動し、48～72時間で医療救護班へ引き継ぐという計画であったが、本震災ではあまりにも被災地が広範で医療救護班が足りなかったこと、アクセスがなく支援できなかったこと、情報がなく適材適所に医療救護班を配備できなかった等の理由により、DMATから医療救護班への引継ぎで、医療需要と供給のギャップ(医療の空白)が生じた。東海・東南海・南海地震を想定した場合は、同様の医療ニーズが生じると考えられ、如何にシームレスな医療支援を展開するかが課題である。1つの解決方法としてDMATの活動期間を、1～2週間前後の活動期間として、医療救護班と十分にオーバーラップさせる方法が考えられる。この方法を考えるのであれば、DMAT全体としてのロジスティックサポートの強化をする必要がある。災害拠点病院の備蓄の充実、ロジ要員

の育成などが必要である。

2つ目は連携に関することである。DMATはより一層の他組織との連携が必要である。特に急性期における自衛隊との連携が重要であると考えられる。今回の震災では、被災地の情報、避難所の状況などの情報を多く持っていたのは自衛隊であった。情報を共有する伝達手段等があればDMATは更に効果的な活動ができた可能性がある。また、ヘリに関しても、本震災においては自衛隊ヘリが大活躍したわけであるが、ドクターヘリと合同運航管理ができれば、重症はドクヘリが運び、軽症は一度に自衛隊が運ぶ、あるいは自衛隊がDMATを搬送するなど様々な活動ができると考える。

3つ目は本震災では、予想以上に通信インフラが機能しなかった。DMATにとりEMISの情報は生命線であり、災害拠点病院におけるより一層の通信インフラの整備が望まれる。パソコンに繋ぐことができる衛星電話の整備を最低限の条件として、防災無線、MCA無線など複数の連絡手段を用意しておく必要がある。本震災において被災病院が情報を早く発信できていれば、もっと早く

救援できたというケースが多々あった。

日本の災害医療は阪神・淡路大震災の教訓を基に大きく変わった。本震災においても行われた災害医療を十分に検証し、次につながる変革を行わなければならない。

小井土雄一

[こいど ゆういち]

現職 独立行政法人国立病院機構 災害医療センター 臨床研究部長・救命救急センター部長、厚生労働省医政局 災害対策室 DMAT 事務局局長

略歴 埼玉医科大学入学卒業，日本医科大学救急医学教室入局，日本医科大学講師，川口市立医療センター救命救急センター部長を経て，独立行政法人国立病院機構 災害医療センター 臨床研究部長

研究分野 災害医療，外傷外科，集中治療



津波を避けて高台に移転；技術論への試論

その時、私は自宅の二階にいた。所沢の私の家でも格別の揺れ方であった。木造の家が揺るようだった。東北地方太平洋沖地震であった。青森県沖から岩手、宮城沖を経て茨城県沖まで、長さ500kmにおよぶ断層が一気にずれ動いた。マグニチュード9.0の地震の発生である。マグニチュード9といえ、チリやスマトラ島沖の話にはあっても、まさか目の前で起こるとは思ってもみなかった。それは巨大な津波を引き起こし、沿岸の集落を押し流した。「津波とはこういうものだったのか」と、テレビで初めてその実像を知った。津波による激甚災害に加えて、原発の破損による放射能災害という重大事態をむかえ、日本の前途に容易ならざるものを感じさせることになった。

かつてない広域の災害のために、救援活動も困難を極めた。死者・行方不明者は2万人を超えた。被災者は仕事、住まいのすべてを失い、人間関係を損なわれた。被災から半年、いまなお避難所に過ごす人も残っている。仮設住宅への入居などにより、被災者が落ち着ける環境を整える段階に入っている。さらには住宅の再建、生業の確保など、本格的な復興の時期に進むであろう。

今回の災害は津波の破壊力の恐ろしさをあらためて見せ付けた。しかし東北地方の太平洋沿岸にはかつて、幾度も津波が押し寄せて被害をもたらした。津波への備えは重要な課題であった。押し寄せる津波を防ぐために防潮堤が設置された。

岩手県宮古市田老地区の津波防潮堤は全国最大の規模である。昭和三陸津波襲来の翌年(1934年)に整備がはじまり、1978年に完成、総工事費は約50億円(1980年の貨幣価値に換算)であった。海寄りと内寄りの二重構造で、高さは約10m、上辺の幅約3m、総延長2.4km、世界にも類例のない津波防御壁であった。1960

年のチリ地震津波のときにも、田老地区には犠牲者はいなかった。しかし、今回の津波はこの防潮堤を簡単に乗り越え、海寄りの堤は約500mにわたって倒壊した。多数の犠牲者がでた。地元の漁師らによると、当時の田老村では高所移転か、防潮堤建設かを検討し、結局、海に近いところに住みたいとの村民の要望や代替地の不足から防潮堤建設を決断し、当初は村単独で整備をはじめたのであった(朝日新聞2011年3月20日28面)。

宮城県の海岸にも秒速10mを超える強力な破壊力をもって津波が押し寄せたことが、今村文彦教授(東北大学)らの現地調査で分かった。東松島市野蒜地区では、築10年余りで、高さ約3m、幅十数mのコンクリート製の防潮堤が数百mにわたり破壊されている(朝日新聞2011年3月20日28面)。

田老地区にしても野蒜地区にしても、堅牢そのものの構造物がいとも簡単に破壊されてしまう。この威力にまかせて津波が三陸沿岸の集落を壊滅させた。構造物で津波の浸入を防ぐことは不可能である。かつて田老村の村民が考えたように、今回も高所移転が検討の対象になるのはむしろ自然と言える。岩手県大船渡市の市長は、津波で甚大な被害があった低地の木造住宅の高台への移転に国の支援を求めた。菅政権の復興構想会議の提言には、住居や都市機能の高台移転を目標に掲げた。しかしその後、7月に示された復興基本方針には「高台移転」の言葉が消えた。法的な制約や財源措置などハードルが高いという(朝日新聞2011年3月27日30面、7月30日37面)。

明治三陸地震津波、昭和三陸津波を契機にして、三陸沿岸では高所移転に踏み切った人々が少なくはなかった。集団で移転した集落もあり、また分散して行ったものもある(防災科学技術研究所)。大船渡市綾里白浜では、明治三

陸大津波で国内観測史上最高の38.2mの津波を記録した。今回の震災でも津波は25m前後まで到達していたとみられる。防潮堤は破壊され、陸地に飛ばされた。だが、約60世帯が住む綾里白浜地区は家屋の浸水さえなく、人的被害もなかった。昭和三陸津波のあと、住民は津波の到達点よりも高いところに住宅を再建した(河北新報2011年3月27日15面)。

福島第一原発は地震発生とともに制御棒が作動して運転を停止した。だが外部電源が停電したうえ、津波で非常用発電機などの施設が水没したために、原子炉を冷却できない状態になった。高温になった核燃料が溶け出して、深刻な放射能漏れを引き起こした。周辺住民に避難指示が出された。地震には耐えて住宅は住める状態であっても、遠く県外の避難所にまで移ることを余儀なくされた。収束のメドのたない原発災害になった。地震・津波による被害も、原発災害も、どちらか一方だけでも対応にあまるのに、二正面作戦になったのである。

女川原発は、福島第一原発から北に約120km、牡鹿半島の付け根にある。今度の地震の震源に対峙する位置である。地震とともに女川原発は安全に停止し、重要施設には津波は及ばなかった。福島第一原発で想定した津波は最高約5.7m。沖合にそれよりも高い防潮堤を設置し、1~4号機は海面から10m、5、6号機は13mの高さに敷地を設けた。しかし実際にやってきた津波は高さ14mにおよび、海面寄りに設置した施設が押し流された。それに対して女川原発では、津波の高さの最高を9.1mと想定、海面から14.8mの高さに敷地を設けた。原発から約7km離れた女川町中心部を襲った津波は、原発の敷地と同じく高さ14.8mだった。両原発の明暗を分けたのは、設計時に想定した津波の高さの違いであった。女川原発は周辺の被災者の避難場所となり、東北電力が食事も提供しているという(岩手日報2011年3月28日3頁)。

このように述べたからといって、筆者は原発

を容認するものではない。これはあくまで、津波対策に高所移転が有効であることを示すためである。しかし実際には、高所移転はなかなか進まないことも事実である。災害で打ちひしがれた人々は何よりもまず、かつての日常を取り戻したいと願う。

1993年7月12日、北海道南西沖地震(M7.8)が起きた。奥尻島は高さ30.5mの津波に襲われた。島の北側の震源から立ち上がった津波は南側から青苗地区を襲った。地震後5分、津波警報が発令になったが、そのとき既に津波が到着していた。奥尻島の島民は、日本海中部地震(1983年5月26日、M7.7)の際の津波の記憶から、地震と同時に高台へと逃げた。しかし間に合わずに198人が犠牲になった。青苗の集落をどう復興するか、人々は会合を重ね、最終的には428戸のうち180戸は、もとの土地を4mかさ上げた被災地にのこった。他の人々は高さ約30mの高台に移り住んだ。被災地にのこった人は「海が見えねば漁師は商売にならない」、「先祖代々住みなれた土地を離れたくない」という。高台に移った人は「10年の間に大津波が2回もあるのでは、もう低地には住めない」という(朝日新聞1997年8月26日30面)。津波対策の高所移転には、いろいろな事情がからまりあい、一人一人の決断を左右している。

津波対策に絞れば、高所移転の有効性は明らかである。しかしそれとは別の方策を思い浮かべる向きもあろう。船も車も、家屋さえも、玩具のように押し流されて、見渡す限り瓦礫となったなかに、鉄筋コンクリートの建物だけがのこっている。もちろん扉も窓も打ち抜かれて、内部は跡形もない。しかし骨組みはのこっていて、屋上に避難すれば助かる。「これからは、鉄筋コンクリートの建物を適宜配置して津波に備えるくらいしかないのか」と、識者がテレビで発言していた。これも一つの方策ではあろう。

同じく津波対策といっても、高所移転と、防

潮堤や鉄筋コンクリート建築では、技術としては質的な違いがある。そもそも技術は、人間の欲求を満たすことを目指して自然に順応し、あるいはその運動をコントロールする術である。その歴史は人類の発祥の時に遡る。ある種の動物の仕種にもその萌芽を見ることができる。現代の技術は、その発動のプロセスや結果を前もって数理的な計算で見定めるようになった。その計算のための理論は科学が与える。技術は Science-based technology になった。科学は自然の運動を支配する普遍的法則の認識である。人類の長い歴史のなかで、科学はほんの最近の所産にすぎない。それが技術の裏づけになった時から、技術は自然に命令する度合いを極度に強めた。現代の技術を駆使して人間は、生産設備、輸送手段、開発と建設、エネルギー消費、情報通信手段などを際限もなく大規模化し高度化した。その結果は災害の進化と激甚化である。人間は防潮堤のような質の技術でそれに対抗し、人間にとって都合の悪い挙動を慎むように自然に命令するようになった。だが自然は人間の命令に服従するとは限らない。

高所移転は、もっぱら自然に順応する単純な技術である。津波災害を免れるという目標に限れば、確かに有効な技術である。しかし人々はいろいろな社会的束縛のもとにあり、もっぱらそれに解決を求めるわけにはいかない。多数の人々が高所に移転した奥尻島青苗地区にも、延々 14km、200 億円をかけて高さ 11m の防潮堤が造られた。人々はこれを「万里の長城」と呼ぶ。せっかくの海は見えなくなってしまった。これも犠牲にされた価値の一つである（朝日新聞 1997 年 8 月 26 日 30 面）。

「東海道の在来線は、地盤の良いところを注意深く選びながら建設されていますが、東海道新幹線は、地盤の良し悪しよりも人間が通したい処にレールを設置しています」（寺島 敦，2004）。今から 100 年以上もの昔、日本の近代化に向けて鉄道の建設に取り組んだときに、そのルートの選定にあたり、このように地盤に考慮をはらったのには驚嘆する他はない。戦後の復興の象徴として新幹線をつくったときには、もはやこうした思慮はなかった。そしていまリニア新幹線の計画では、スピードを唯一の尺度とする効率と地域の利害以外にはなくなった。

人間はいまさら、Science-based technology 抜きでは存在できないであろう。だがそれが自然に命令する機能を抑制し、自然に順応する技術への回帰を成し遂げるべき時を迎えている。それは幾世紀にもわたる長い歴史的過程にならざるを得ないであろう。何よりも重要なのは、その必要を人間が自覚することである。様々な質の技術が混在しながら、自然への順応の比重を高める方向付けが重要である。今回の災害への対応が、その過程に一つのマイルストーンを記すものとなったときに、歴史への責任を果たしたと言えるであろう。

引用文献

寺島 敦（2004），地震からのサバイバル，勝島製作所
防災科学技術研究所：防災基礎講座「基礎知識編」
（http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/manabou/index.html）

（水野浩雄：元香川大学教授）

原子力発電所の想定津波高さは何故3倍ではないのか？

東京電力福島第一原子力発電所と柏崎・刈羽原子力発電所の違い

これまで、原子力発電所は地震の洗礼を受けてこなかったわけではない。

新潟県中越沖地震（2007.7.16 M6.8）で東京電力柏崎・刈羽原子力発電所が地震の直撃を受け、想定加速度の2倍以上の地震動により、変圧器火災などの3000件近い不具合を生じながらも無事自動停止し、その後100℃以下に冷却し、大量の放射能を外部に放出することなく安定したことは、記憶に新しいところである。

今回の福島第一原子力発電所の被害とは、天国と地獄ほどの違いがあるが、何が違っていたのであろうか。福島第一では、地震発生時に外部電源からの電力供給が停止し、非常用のディーゼル発電機に切り替わったが、津波により約1時間後に非常用ディーゼル発電機がとまり、電源は非常用のバッテリーだけになり、それも8時間後には電気切れで冷却系が全て停止してしまった。

このように、福島第一と柏崎・刈羽とは、地震を検知し制御棒を挿入し自動停止したところまでは、両者同じで、明暗を分けたのは、福島第一は外部電源が地震による送電鉄塔の倒壊があり、その後非常用ディーゼル発電機に切り替わって原子炉の冷却を行っていたが、大津波によって1時間程後に停止してしまい、再びバッテリーに切り替わったがこれも8時間しかもたず冷却系が完全にストップしてしまい、原子炉内を100℃以下にまで下げることが出来ず大変な事故となってしまったのである。

一方、柏崎・刈羽は地震後も外部電源が生きていたので何もなかったのである。このように大津波さえ来なければ、福島第一も非常用ディーゼル発電機が動いて無事冷温停止になったはずである。

では、福島第一ではどれくらいの高さの津波

を想定していたのであろうか。5.7mである。実際に来たのは14m以上である。まさに想定外の大津波である。

福島第一原子力発電所は、1967年に1号機が着工されて1973年に6号機とその建設が古く、1978年に原発の国の耐震指針が出来る前に着工されている。このように原子力発電所建設の初期のものである。

東京電力福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所の違い

福島第二原子力発電所は、福島第一原子力発電所の約10km南にあり、その名称からもわかるように福島第一よりもかなり後に建設された。今回の津波では、こちらも想定5.2mに対して、14m以上の津波が来たが、非常用ディーゼル発電機は、通常のビルの3倍以上の強さと気密性になっている原子炉建屋の地下室に設置されていたため、津波の浸水もさほどなく動き続けたのである。一方、福島第一原発では、非常用ディーゼル発電機は通常のビルの1.5倍の強さと気密性になっているタービン建屋の地下室に設置されていたため、津波が浸水してしまい、動作しなくなってしまったのである。

原子炉建屋は、内部の原子炉が何らかの原因で大量の放射能を排出したとき、その放射能を外部に放出しないように、地震の揺れにも普通のビルの3倍も強く、ガラスが弱いのでガラス窓も無いように気密にしてあるのである。

この気密性が今回は、内から外へ放射能を出さないという作用ではなく、外から津波を内に入れないという作用として働き、無事であったのである。ところが、福島第一では、非常用ディーゼル発電機が壊れても直接放射能を出さないという理由からであろうが、同じく放射能を出さないタービンと同じ建屋にあったため、気密性が悪く津波が浸水被災したのである。お

そらく当時の設計者は非常用電源がなくなると、私もそうであるが、水素爆発が起こるなど想像もできなかったのではなかろうか。

それから、原子炉を冷やすためには、海から冷たい海水をポンプで取り入れて熱交換し、冷却水を循環させるのであるが、福島第一では海水を取り入れるポンプがなんの防護装置もなかったため、津波により全部が使用不能となり、福島第二では、簡単な防護壁を付けていたため、ほとんどのポンプは津波にやられたが、1基だけは使用可能だったため命拾いしたのである。

そもそも、このように福島第一と第二の違いは、設計思想の違いから来ているように思われる。福島第一は1号機がGE製であることからわかるように、1960年代の日本は世界最先端の原発とかコンピュータなどの機械は1号機は外国からそのまま輸入して、2号機以降は徐々に国産化していくというのが国の方針であった。ただ、原発は地震、津波などの災害のほとんど無い米国からの輸入のため、地震、津波よりトルネード対策の方に重きを置いているということもあり、非常用電源なども地下室に置かれているのである。地震、津波に対する対策がほとんど考えられていないのは困るということで、日本で改めて原発の耐震を考える委員会が出来、内々の耐震基準みたいなものを作り上げたのである。

しかし、その当時はスリーマイル島事故もチェルノブイリ事故も起こっておらず、電源喪失した場合、今回のようなことが起こるなどとは全く想定外のことであったのであろう。その

後、度々の地震、津波の経験から徐々にその教訓が取り入れられてきてはいるが、建設年代の古いものほど古い設計が残っているのである。

地震の揺れに対する安全余裕と津波に対する安全余裕

地震より津波の起こる頻度が少ないためもあるのか、地震の揺れに対する安全余裕は大きくとっているのに、津波に対しては安全余裕の考え方そのものがはっきりしないものであった。

想定津波高さも地震の揺れに対すると同じように3倍にしておけば

原子力発電所の耐震設計の基本は、大量の放射能を外に出さないことを目的としており、壊れたら放射能を出す可能性のある施設については、特に大きな地震力を考えるように、一般ビルなどの3倍以上の地震力を考えて設計するような規準になっている。

ところが、津波に対しては個々の施設に異なった津波高さを想定するなど無意味であり、発電所全体に対して、一つの津波高さを想定するしか方法はない。科学的に過去に起こった最高の津波高さとして認定されるものに、多少大きめの値を安全のため取るのである。

結果論ではあるが、想定外の津波が来たら、今回のように、国家全体に影響するような大災害が起こるということを考えると、津波高さを地震外力と同じように想定外として3倍以上としておけば、今回の場合でも、 $5.7 \times 3 = 17.1$ m となって、非常事態は防げたであろう。

(伯野元彦：東京大学名誉教授)

プラントと地震

やや長周期地震動，新潟地震 1964 年からの 47 年

柴田 碧

1. はじめに

昨年末，また今朝（1月12日）のNHK・TVのニュースで，長周期地震動の問題が紹介されていた。昨年の内容は，地震調査委員会の「今回公表した「長周期地震動予測地図」試作版は，海溝型地震が連動した場合なども含めた将来の様々な想定地震の長周期地震動を予測していくための第一歩として位置づけられ…」と述べたことに関連することであり，今朝のは，長周期地震動の建物への影響評価である。これは，国交省が行っている建築基準法改定のパブリック・コメントを受けての報道と思われる。

小生にとっては，新潟地震で，初めて社会的問題としてクローズアップされた，石油タンクのスロッシング破壊に関連して，多くの思い出があり，社会で一般常識となるまでの，この46年+16年の思い出となった。

2. 福井地震

なぜ，+16年か，それは1948年の初夏の夕刻になる。夏時間で未だ明るい17時すぎ，父が勤めから帰宅し，駅前（板橋区・常盤台）の防火水槽（約10m角）の水があふれている。どこかで大きな地震があったに違いない。これを聞いて，中学生だった小生は，直ぐに自転車で駆け付けた。確かに，縁から，2~30cmの水があふれて，周辺の土を濡らし，なお，10cm以上の振幅で揺れていた。自宅に戻って，ラジオをかけたら，福井地震の発生を報せていた。その日は深夜まで，特別放送が続き，ずっと聴いて居るように記憶す

る。なぜ，「大きな地震がどこかで」の父の言葉があったのかは，後で記す。

3. 新潟地震と直前の2地震， Alaska 地震と男鹿半島沖地震

それから，16年。6月のある日の，昼食後，そこから，研究室の自室に戻って，机の前にすわった時，ゆったりとした揺れを感じた。窓の外を見ると，外塀の外のアパートの工事現場のコンクリートの打ち込み用の柱が大きく揺れている。これかと思い，ラジオを点けた。新潟地方に発生したらしい地震のことを告げている。その後，暫くして，新潟上空にいた毎日新聞社機からの連絡で，太い黒煙が2条，挙っているとのことであった。これが，その後1週間以上続くタンク火災である。

既に，原子力発電所の耐震設計の問題を重要課題としていた。東大工学部機械の藤井澄二教授とその系列の助教授，3名，日本原子力発電の秋野金次氏の5名は，新潟市街が液状化と津波で広域に浸水しているとの情報に基づいて，ディーゼルのワゴン車をいすゞ自動車から出して貰うこととなった。パンなど食糧とポリタンクに水を詰めて，国道16号で，清水峠を越えて，新潟市街地へ入った。道中の余り細かいことは，記憶していないが，新潟のかなり手前に，上越線の仮駅が出来ていて，電車が着いたところで，建築系の知人であったような記憶があるが，これは，約1月後の，生産研の調査団のようである。

2泊3日間滞在したかと記憶する。液状化などの被害も印象に残るが，これは省略する。貯槽の被害も，液状化で地中に沈下したのも，幾つか

みられた。また、新潟火力の水貯槽で、揺動による天井の三角状の引き込みも思いかけないものであった。有名な貯槽火災は、なお、炎上中で約1kmの地点でも、黒煙の間から炎が見えると、熱気を感じた。これで、地震による、液面動揺の怖さを知った。

この3月前には、いわゆる、Great Alaskan Earthquakeと言われる、アラスカ地震が起きた¹⁾。この地震でも、貯槽の被害は大きかったが、津波による方が当時はクローズアップされた。後ほどの報告書では、空港の貯槽の揺動による被害が詳細に報告されている。

また、前月の男鹿半島沖地震では、工事中であった、八郎潟の干拓堤防が、液状化でコンクリートの外被を残して、消失していたのを、調査に行き、quick-sandの呼び名で現地の技術者から説明を受けた。当時、これらの状況は、アラスカ地震の小漁村の石油タンクの被害とともに、新聞などで簡単に報道されたに止まって、その後、直ぐに、大きな災害に直面するとは、誰も思わず、注意を払わなかった。

あとの北海道、苫小牧の例もそうであるが、それまで、想像もしなかった事例についての写真、

3葉を載せる。写真1, 2は、文献(1)より、写す。また、写真3は、文献(2)の為、日本経済新聞社より購入したものである。

4. 貯槽スロッシング、地震被害と長周期地震動

1963年、ほぼ1年間、UC Berkeley に滞在した。機械工学の研究室の近くに、地球物理の教室があり、変位計が置かれていて、朝、覗くと、長く続く長周期振動が記録されつつあったことがある。後ほど、ニューギニアを震源とする地震と記されていた。

1968年の十勝沖地震では、貯槽の被害で印象に残るのは、青森付近の漁港の中型貯槽の横滑りである。これはずっと後年に成って、横浜国立大学で実験をして、揺動に起因する、底盤下へ入った空気による浮上によるものとわかった。このようにして、貯槽内の液の揺動の怖さを知った。この現象を、スロッシングと名付けたのは、有名なG.W. Housnerであり、1963年に出た文献に書かれている。本来、この語の意味は、液体ロケットの貯槽内で、液が飛ぶ事(toss-up)を指していたのを、流用したものである。

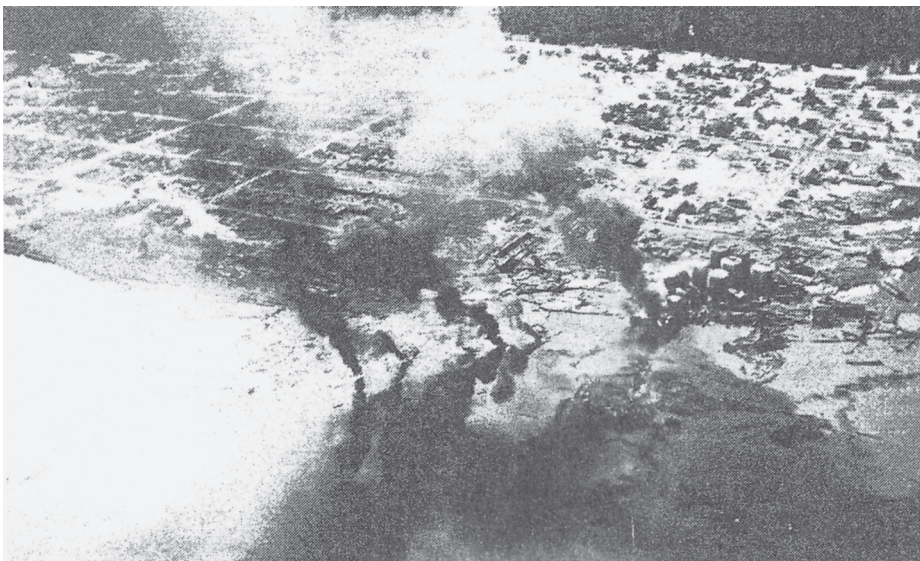


写真1 津波によるタンクの移動・水没・燃焼けの状況 [文献(1)]



写真 2 外部から火炎を浴びたガソリン貯槽（非着火）〔文献（1）〕

5. 海外などでの貯槽被害

1965年1月に南米、ChileのSan Tiagoで開かれた3WCEEで、新潟地震の報告をした。初日のSessionであったが、東京からの便が遅れて、会場に着いた時は丁度、終わったところであった。この発表は、J. Penzienが自分のSessionに引き取って下さって発表出来た。この中で、地動50cm、3波共振の考えを提案した。3波共振は、電力機器の加速度入力に対する応答の計算手法を流用したものである。

その後、1971年のSan Fernando地震での調査で、Los Angeles空港の貯槽や、少し離れた地区のもので、4.5sec程度のものについて、被害が大きいことが知れた。これについては、地震研、嶋悦三教授（当時）から、ロサンジェルス・ベイソンの層厚、数キロの地層の1次モードであるとのコメントを戴いた。

6. 変わった現象、液面揺動以外による損傷

この後、宮城県沖、日本海中部地震での秋田港近くでリム火災など小規模な被害が、そして新潟東港の貯槽での浮き屋根の損傷があったが、その際の屋根が傾いた液面を滑り下りて、側壁に衝突する音を入力した。Coalinga, Cal.で、砂漠のなかの油井に付属した貯槽で、このタイプの被害を見つけた。また、またこの地震では、マイロ（すべすべした小粒の穀物）貯槽でも、スロッシングで貯槽被害を惹き起こすことがわかった。

ArgentineのSan Jan, Livermore Cal.などで、それぞれ、ワイン・タンクの特徴ある被害を観測した。その間、東京大学生産技術研究所、千葉実験場で長周期地震動の連続観測を行い、平行して、60tonタンクで、応答観測を行っていたら、千葉県東方沖地震で座屈を生じた。これら、中型以下の貯槽（多くはワイン・タンク）の被害は揺動によるものではないこと、また、条件によってはワイン・タンク損傷が、周辺に与える影響も、



写真 3 地震後、数日後の固化した消火剤泡と壁間の雷よう放電による油火災の写真と思われる(苫小牧) ©日経新聞社

少なくないことを知った。水貯槽損傷とともに意外に生活に影響があるのは、とくに、南米の被害、ワインの流失は、街中をワインの腐敗臭が長期にわたり襲い、大変であったとのことである。

7. 高圧ガスの耐震告示、第二設計地震動

高圧ガスの耐震告示を作る作業が、1970年度の後半に行われた。高圧ガスには、プロパン、天然ガスなどの液化ガスが含まれる。このスロッシングは、大きな災害を起こす可能性があるが、何故か、そのような立地で長周期地震動の被害が出

たことはない。当時の通商産業省の担当技官との打合せで、消防法とのギャップが問題となった。

とにかく、設計にあたっては、長周期地震動を考慮する必要がある、との結論になった。消防法関係の他、長周期構造物(超高層ビル、長大橋など)については、当面、触れないで、第2設計地震動とのカテゴリを作ることにした。これが、通商産業省耐震告示、515号である。この告示での地震動の振幅については、地震学者の大澤胖、土木川島一彦、建築太田時気晴の協力を得て、周期7.5sec以下では、速度50kine、以上では、変位(片振幅)60cmの基本入力と、3波共振法による、応答スペクトル値が採用された。地域係数などがあるものの、全国的にみると、過大であるとの批判も多く、改正案が作成されて、現在審議中であるが、全国で、応答が大きくなる可能性のある、新潟、苫小牧などと、東京地区、阪神地区などは、現行の告示での最大となる東京地区とほぼ同じ値となっている。

ここでの今後の改定(正)の話は、ここまでとするが、高圧ガスの耐震告示と他分野の間のギャップは大きく、これが決まった時点、1982年では、消防法の石油貯槽関連、超高層ビル、長大橋などと、大きな開きが出来た。しかし、当時は、分野ごとの方針で、そのまま最近まで続いて来ている。高圧ガスに関しては、その後、更に、日本海中部地震の際の新潟東港の石油貯槽の損傷、そして苫小牧の貯槽火災の発生などを考慮して、深部地下構造のデータなどを考慮した全国マップの見直しなどを行い、より理論的な改正案を作成した。これについては2009年末より、審議中である。これは、他分野(国交省関連のパブ・コメなど)と関連があると思われる。

8. 関東地震での長周期地震動

なぜ、父が、福井の地震の時に、防火水槽の水の揺れているのを見て、地震の話をしたのか、その後、何十年もして、はっきりした。父が80歳近くなったとき、母から、関東地震の横浜の状況を、改めて聴き取っていたとき、次のような話を

した。

当時、父は神戸に居たが、関東地震の発生時刻には、大阪の北浜を歩いていた。人だかりのしているところを覗くと、雨上がりの水たまりの水面が揺れている。が、地震の体感は無かった。そのあと、所用のあった証券市場ビルに入り、エレベーター（当時は珍しかった）に乗ったら、エレベーター・ガールが、さっきは、籠が揺れて恐ろしかったと話をしていた。大阪でも、かなりの地動があった証拠である（大阪、震度IV）。話は札幌へ飛ぶ。祖母の従妹が、やはり、その時刻に家の天井裏に渡してあった、竹竿が落ちて、祖母（横浜で被災、祖父はパラベットの落下の下敷きで死亡）に悪いことがあったのではないかと、心配した、との話がある。札幌は無感であったが、長周期動はかなりの振幅があったのではないかと思う。

関東地震での、貯槽の被害については、“水交”（海軍軍人の親睦会誌）と言う雑誌に、横須賀の海軍工廠の重油貯槽の火災について、かなり詳しい記述がある。また、横浜港付近でライジング・サン社の貯槽火災のことも、新聞などに幾つかの記載がある。

那須信治によるユーイングの地震計記録（東京・本郷）の復元の研究によると、本震は13secが卓越している。しかし、翌、1月の相模灘の余震では、8secが卓越とのことである。その後、川崎市の防災会議の地震部会で、小林啓美は今後の相模トラフ地震では、8sec程度の卓越地動に気を付ける必要があると主張していた。なお、小林啓美は、“長周期地震動”は、地震学で、20sec以上の領域を意味するので、10sec内外の領域では“やや長周期”とよぶべきと言われていた。最近は、煩雑なので、「やや」の接頭語は次第に使われなくなりつつある。

9. 苫小牧の火災と国交省のパブ・コメ

最初に記した、NHKの報道の「国交省の超高層建築物における長周期地震動への——（平成22年12月21日）」の内容は、上述の高圧ガスの

改正案に比べると、“想定東海、東南海、宮城県沖”の3地震の長周期地震動を考慮した設計用地震動による構造計算、となっていて、ここで、議論してきたような地震については、参考情報となっている。

苫小牧の火災は地震と共に発生した、リム火災と共に、2日後に起きた自然発火での全面火災によって、世の中に知られた。消火用の泡が火災の原因になったと推測されている。地震災害などは、恒に、思いかけない展開を見せるものである。しかし、振幅はともあれ、秒単位の周期の地震動が工学的に認知されるのに、50年ほどの年月を必要とした訳である。

10. ま と め

機械工学の専門家として、貯槽の耐震安全化は重要なポイントの一つである。新潟地震後、高圧ガスの告示が出来て、漸く（やや）長周期地震動のことが理解されるようになった。当初は、軟地盤について、表層の10~20m程度のことと、誤解されたりした。石油貯槽の最近の展開は消防関係者の努力による面が多いが、当初は川崎市の防災会議で、久保慶三郎、小林啓美のお2人の努力が大きかった。小生としては、地震調査委員会・試作版、高圧ガス・耐震告示の改正案、国交省のパブ・コメなどで、進展があり、報道により社会的に認知される段階となりほっとした気持ちになっている。

この間の詳細について、文献を引用すると、膨大なものとなる。中に写真を載せたアラスカの2枚の出所の原本、“The Great Alaska Earthquake of 1964”と、アメリカ機械学会、PVT部門誌に載せた、日本の地震と機械工学の関連の論文を、<とここまで書いたとき、揺れ出した。前の三陸沖地震（3月7日）の揺れ方と同じなので、余震かな、と思っているうちに、どンドン、強くなつて行く。際限のない感じで、前がM7代だったことから、M8を越すかと考え、ワンセグのスイッチを入れると、大津波警報のニュースが飛び込んで来た。15時ちょうどころである。その後

もまだ強くなり、脇のロッカーが倒れるかなと思
うくらい揺れている。漸く、収まった、と思った
のは、15時15分も大分過ぎたころであった。何
故か、椅子に座ったままであった。居た位置は、
家具の倒れて来る心配は無かった>引用するに留
める。

11. 終わりに

G.W. Housner が、Reactor and Earthquake (ア
メリカ政府刊行物 TID7024) として、貯槽の地
震時荷重の計算モデルを提案して、47年、新潟
地震から46年が過ぎた。この問題を取り上げる
ことに、抵抗の大きかった時代から、長周期地震
動の存在が、社会の常識である時代へと成りつつ
ある。機械工学の専門家として、貯槽の耐震安全
化は重要な仕事・ポイントの一つである。新潟地
震後、18年を経て、1982年に高压ガスの告示が
出来て、漸く(やや)長周期地震動のことが理解
されるようになった。当初は、軟地盤について、
表層の10~20m程度のことと、誤解されたりし
た。石油貯槽の耐震設計問題についての最近の展
開は、消防関係者の努力による面が多いが、当初
は川崎市の防災会議で、久保慶三郎、小林啓美の
お2人の努力が大きかった。小生としては、地震
調査委員会・試作版、高压ガス・耐震告示の改正
案、国交省のパブ・コメなどで、ほっとした気持
ちになっている。

また、ADEP 理事長 高木章雄先生には、東
北電力、女川原子力発電所の耐震委員会で、この
問題の原子力の分野への導入について、ご指導い
ただいた。今回、地震ジャーナル誌に本文を書く
に当たって、改めて、永年のご指導に感謝する。

本稿は、Alaska 地震のような、M9に近い地
震を念頭に置いて、記して来たが、結びに、東北
地方太平洋沖地震(東日本大震災)が来てしまっ
た。その折に、この2枚のAlaska地震の写真を
載せるのは適切かどうか、であるが、起きる前
には、想定不能の事象の例なので、載せること
にした。

参考文献

- 1) Comm. on the Alaska Earthquake of The Div. of
Earth Sciences, National Research Council, 1973,
The Great Alaska Earthquake of 1964, *Engineer-
ing*, National Academy of Sciences, USA, 1190pp.
- 2) Heki Shibata (2006) : Modeling of Earthquake
Motions for Seismic Design of Critical Facilities :
Revision of Licensing Criteria of NPP, *J. of PVP*,
ASME, Vol. 128, p. 486-501.

柴田 碧

[しばた へき]

経歴概要 1931年5月6日生まれ、東
大・機械工学、1953年卒 1958年大学
院修了、東大生産研・助教授・装置工
学担当となり、同年6月より日本原電
(株)の東海発電所の耐震委員会委員と
して、機械工学の立場からの耐震問題に従事し、その
後、JPDR、福島第1、敦賀のBWR原子力発電所の耐
震設計に協力。また、IBM704を使用して、配管の固有
値解析プログラムを作成、1963年、文部省在外研究員
として、カリホルニア大学バークレイ校で research
associate。その間、アメリカ各地の大学、原子力研究
施設、発電所を訪問。帰国直後1964年新潟地震調査、
1968年十勝沖地震調査などで、プラント・石油貯槽の
耐震・防災 1971年サンフェルナド地震調査で都市防災
の研究、東京都防災会議・地震部会委員などとなった。
1967年に国際原子力機関 (IAEA) の第1回耐震シン
ポジウム (G.W. Housner 主査) の幹事として、東京
で開催に尽力した。1970年発行の最初の日本電気協会
の原子力発電所の耐震設計指針 (JEAG 4601) の機器・
配管部の起案・作成など、また、石油コンビナートそ
の他施設の耐震基準作成に寄与。また、その間、大型
の油圧振動台の開発に関与して、貯槽のスロッシングそ
の他の損傷発生にも成功した。筑波・防災科研の500
ton、多度津の原子力用1000ton、2D、そして、三木の
E-defense (防災科技研1200ton 3Dの振動台(2005年
3月完成)である。1992年東大定年退官、名誉教授、
1997年横浜国大退官、2007年まで防災科技研客員研究
員、日大教授。学会関係として、日本機械学会・名誉員、
法とコンピューター学会・フェロー、アメリカ機械学
会・終身会員ほかなど、同学会のPVP部門に名を冠し
た耐震に関するセッション賞; PVP Dr. Heki Shibata Out-
standing International Technical Sessionがある。現職:
地震予知総合研究振興会参与・国際原子力機関 (IAEA)
国際耐震安全センタ (ISSC) 科学委員会委員。



国宝文化財建造物の地震対策の現状と課題

—地震動予測地図との連携の可能性—

二神葉子・隈元 崇

1. はじめに

過去の人々の営為の所産である文化財は、長期間にわたり現在まで守り伝えられてきてはいるものの、時間の経過により次第に劣化していくことは避けられない。しかし、このような経年劣化以外にも、災害によって大きな損失を被る例も少なからず知られている。災害の中で、戦争や失火による火災などの人災の範疇のものは、人々の不断の努力により避けることも可能であろう。また、自然災害でも大雨や台風などといった気象に関する災害は、短期的な予報に基づいてある程度まで事前に備えることもできる。一方、地震のような低頻度大規模自然災害は、その発生を短期的に予知することが非常に困難と考えられており（地震調査研究推進本部：2008）、また十分な地震対策が施されていない文化財が大きな揺れに見舞われたとすると、その被害はたいへん大きなものになりうる。

日本で国による文化財保護の枠組みができて以降の地震被害には、まず1923年の関東大地震（M7.9）によるものを挙げることができる。このときは、鎌倉に所在する旧国宝に指定されていた建造物5件が全壊し、鎌倉大仏が前傾・移動するなどの被害が発生している（芸術新潮編集部：1995）。鎌倉大仏は、創建時には桁行145尺（約44m）、梁行140尺（約42.5m）もの規模の大仏殿を有していたが、大仏殿は明応の大地震（1498年）による津波で失われている（2011年8月、鎌倉大仏を有する高德院で伺った話）。

また、現在の文化財保護施策に大きな影響を与えた地震として、1995年に発生した兵庫県南部

地震（M7.3）が挙げられる。その当時、国は国指定文化財（国宝を含む重要文化財）建造物以外の文化財建造物に関する情報を把握しておらず、未指定の、いわば「潜在的文化財」である建造物が修理されることなく取り壊されるという、文化財保護行政のうえで新たな問題が生じた。そこで、より多くの文化財建造物の情報を国が把握することを目的として、1996年に「登録有形文化財」の制度が導入された。この制度では、指定に比べ現状変更の制限を緩やかにして建造物を活用しやすくすることなどにより、所有者に対して国の文化財登録原簿への登録を促した。2011年9月1日現在、国指定文化財建造物は2381件であるのに対し、登録有形文化財（建造物）は8525件であることから、より多くの文化財の情報を国が把握できるようになった効果が認められる。ただし、いったん地震が発生して被害が生じた場合、修理費用に対する国庫補助の割合は、国指定文化財が最大85%である（文化庁：1979）のに比べ50%と低い（文化庁：1997）。また、東北地方太平洋沖地震の際の日本基督教団福島教会（福島市）のように、損傷が大きく修理費がかさむこと、および周囲の安全確保のために取り壊された登録有形文化財もあった（福島民報：2011）ことから、今回の地震のようなきわめて大規模な災害の場合には限界もあると言わざるを得ない。

国による文化財建造物の地震対策としては、文化庁は、1999年4月に「重要文化財（建造物）耐震診断指針」を定め（文化庁：1999）、文化財の管理・保護の責任者が重要文化財（建造物）の耐震診断を行う際に推奨される標準的な手順と方法、及び留意すべき事項を示した。2005年からは国庫補助事業「重要文化財（建造物）耐震診断

事業」の実施が始まった（文化庁：2005）。また、文化財建造物の修理の際には地震の発生を考慮して、レトロフィットとよばれる耐震補強・免震基礎の設置などの対策が行われるようになっていく。たとえば、東京・上野の国立西洋美術館本館（重要文化財、世界遺産暫定一覧表記載）は日本での免震レトロフィットの最初期の例である。特に大規模な修理事業の場合には、その文化財が所在する場所で発生が予想される地震動も考慮に入れた地震対策が行われはじめている。

このように最近では、文化財の地震による被害を防ぐためのさまざまな対策が採られるようになっていく。しかしいずれも、個別の文化財に対する対策にとどまっておき、国レベルでの文化財に対する広域での防災や救援のためのシステムの構築はまだ十分とはいえない。

兵庫県南部地震の際、筆者のひとり（二神）の所属する東京文化財研究所（当時は東京国立文化財研究所、以下「東文研」とする）は文化財レスキュー活動の事務局として被災地に滞在し、被災文化財の所在調査や、被災現場からの文化財の運び出しなどを実施した。しかしその際、文化財の所在状況を一目で知る資料の作成・閲覧ができなかった。また、被災して運び出した文化財の移送先や仮置き場を決めることができなかったなどの問題が生じ、文化財と所在地情報とを連携させて表示するシステムの必要性が所内で議論された。その後筆者らは、国指定文化財のGISデータベースを構築し、これを内陸活断層データベース（Kumamoto：1999）と重ね合わせて、国宝文化財の所在地が内陸直下型地震により今後30年間に震度5強以上の地震動を被る確率を算出した。このようにして個々の国宝建造物および動産の国宝文化財の地震危険度評価を行ったところ、糸魚川-静岡構造線系松本盆地東縁断層に近接する松本城など主に長野県の国宝所在地や、想定東海地震と富士川河口断層帯が影響を及ぼしている静岡や山梨の文化財収蔵施設、および内陸活断層と国宝文化財ともに密集している近畿4件で期待される震度・確率が他に比べ高かった（二神・隈元：2002）。その後、地震調査研究推進本部から、全

国地震動予測地図が2002年～2004年に試作版、2005年に正式版が公開され（地震調査研究推進本部：2005）、地震危険度評価に関する情報が入手できる環境が整備された。しかし、文化財保護の分野では、地震危険度に関する情報の普及はあまり進まなかった。

たとえば、能登半島地震（M 6.9）、新潟県中越沖地震（M 6.8）、岩手・宮城内陸地震（M 7.2）など、2007年から2008年にかけて発生した地震でも、重要文化財を含む文化財に被害が生じたため、東文研では文化財の被害状況、およびそれ以前にとられていた地震対策と被害との関連についての現地調査を行った。現地の文化財関係者への聞き取り調査では、地震調査研究推進本部が公開している地震に関する情報を見聞きしたとの意見はほとんど聞かれず、地元で発生する可能性のある揺れの大きさや地震発生の確率に関する知識の普及は不十分であった。大きな揺れの発生を考慮した免震装置などの地震対策が十分でないために、展示物の落下・損壊や、展示棚の移動・倒壊といった事例が多く見られた。現地の地方公共団体や美術館・博物館等の文化財保護の担当者からは、想定される揺れの情報とそれに応じた文化財に対する適切な対策に関する情報が文化庁など適切なルートで提供されていれば、より有効な地震対策を取れたかもしれないし、ぜひそのような情報を提供してほしいとの意見も寄せられた。

これらを受けて本稿では、地震調査研究推進本部が公開しており、マスコミなどでも取り上げられることの多い確率論的地震動予測地図の文化財地震防災への活用を目的として、文化財所有者および管理責任者へのアンケート結果とそこから読み取れる改善のための方策について考察する。

2. 国宝文化財建造物所有者・管理責任者へのアンケート

筆者らはこれまでに、国宝・重要文化財の建造物および動産文化財の収蔵施設を対象として、前述のような地震危険度評価を行った。しかし、2007年の能登半島地震や新潟県中越沖地震の際

の聞き取り調査から、文化財の位置する場所で想定される揺れについての研究成果が文化財の所有者や管理責任者の間で知られている割合はそれほど高くないことを知った。また、文化財の地震防災を考える上で、文化財への地震対策が現在のどの程度進んでいるか、対策を立てるにあたって障害になっているのは何か、さらにどのような情報が必要とされているのかを知る必要があると考えた。そこで、国の地震危険度評価を実際の文化財保護へ活用する可能性を検討する手立てのひとつとして、国宝文化財建造物の地震対策に関するアンケート調査を実施した。

今回は手始めとして、国宝に指定されている建造物の所有者、もしくはそのような文化財建造物の管理責任者とされている地方自治体の文化財保護部門 138 か所に対して、付図のような内容のアンケートを送付した。アンケートを発送したのは 2011 年 5 月 6 日で、回答の締切を 6 月 30 日に設定した。回答数は 65 件で、回答率は 48.1% であった（送付先が重複した 2 例を除く）。以下に、アンケート項目の趣旨と回答を列挙する。

問 1 は、所有（管理）する国宝文化財建造物の構造に関する問いである。国宝建造物の所有者（管理責任者）から回答があった。建造物の構造の内訳を表 1 に示す。複数の種類の建造物を所有している場合には、種類ごとに 1 件と数えたため、この数字の合計は回答数とは一致しない。さらに、国宝の所有者が国宝以外の建造物も所有している場合、国宝とそれ以外とを区別せずに併記している場合もあると考えられたので、それらを区別して重要文化財や県指定と記している場合も含めて計数している。

回答があった建造物のうち、93% が木造、5% が石造、2% が煉瓦造で、石造 4 件のうち 1 件は石塔、1 件は石橋であった。なお、国宝に指定されている建造物 264 棟（2011 年 9 月 1 日現在）のうち、木造以外のものは旧東宮御所（迎賓館赤坂離宮）の 1 棟のみである。

問 2 は、文化財建造物に対する地震対策の有無を問うものである。この問は、国宝文化財建造物に対する地震対策の普及の程度を知ることを目的

として設定した。

地震対策を「行っている」という回答は 10 件（15%）、「行っていない」と回答したのは 55 件（85%）であった。この数値は、国指定文化財と同様に文部科学省所管の、公立の小中学校の耐震化率 73.3%（平成 22 年 4 月 1 日現在）（文部科学省：2010）に比べ著しく低い。国宝文化財建造物と、多数の児童・生徒が長時間利用する学校のような公共性の高い建物とを一概に比較することはできない。しかし、いったん失われてしまえば再生が不可能な文化財建造物の唯一性という価値からみれば、やはり低いと言わざるを得ない。

問 3 は、問 2 で地震対策を行っていると答えた回答者を対象とした問いである。問 3.1 は具体的な地震対策の手法について尋ねている。問 3.2 は文化財の位置で想定される地震や揺れの強さについての知識の有無、問 3.3 は知識を得た情報源である。これらの設問の回答は、身近に起こり得る地震への関心の度合いを表していると考えている。問 3.4 は文化財建造物へ適用する地震対策を決める際に、将来想定される地震を参考にしたかどうか、問 3.5 は参考にした場合の数値の種類、問 3.6 は将来想定される地震を参考にしなかった場合で、それ以外に参考にした値についてであった。

地震対策を行っていると答えた 10 件について、具体的な地震対策の手法について尋ねたところ、耐震補強が 9 件、その他として具体的な手法を示していなかった回答が 1 件であった（表 2）。本アンケートの回答には、免震装置を用いた地震対策の事例はなかった。実際、国宝以外の重要文化財での国指定文化財建造物に対しても、免震基礎の設置は煉瓦造やコンクリート造では施工例があるが、木造への施工例はきわめて少ない。一般に、滑り支承や積層ゴムのダンパーといった免震基礎を設置すると、基礎の高さが創建時と変わるおそれがある。また、基礎の部分には礎石や、地下に遺構があるなどの理由で、それらを壊すような大規模な基礎工事を行えない場合もある。所有者、管理責任者には、免震装置は基礎の部分に設置する必要があり、大規模な全解体修理でない限り実

表 1 所有（管理）する国宝建造物の構造

木造						石造	煉瓦造
瓦葺	桧皮葺	こけら葺	銅板葺	とち葺	茅葺		
34	25	8	7	5	3	4	2

表 2 地震対策の具体的な内容

手法	件数	具体的な内容（件数）※複数回答
耐震補強	9	筋交い（3）、耐力枠（2）、耐震小口ダンパー（1）、柱折損防止鉄板（1）、鉄骨枯木（1）、組壁パネル（1）、基礎工事でのコンクリートパイルの打ち込み（1） 手法不明（2）
免震	0	
その他	1	根本（半解体）修理の実施

施不可能であるとの認識があると思われるため、壁の補強のような対策に比べて適用しにくい事情もあると考えられる。

所有（管理）する国宝文化財建造物の所在する場所で想定される地震や揺れの強さについて、知っているとの回答は8件、知らないという回答は2件であった。その情報源（複数回答）は、テレビ、新聞、雑誌・書籍がそれぞれ3件、ウェブが2件、その他が5件である（その他のうち1件は、具体的な情報源のみ回答している1件を含む）。その他のうち3件では、建造物の修理の実施時に、検討のための資料として情報を得ており、修理の実施が地震や揺れの強さについて知識を有する直接の理由となっている。

所有（管理）する国宝文化財建造物の所在地で将来想定される地震や揺れの強さを修理の際に参考にしたかどうかの問いに対しては、参考にしたとの回答は6件、しなかったとの回答は2件、無回答が2件であった（次の問3.6で参考にしなかった理由を回答した1件を「しなかった」に算入）。参考にした数値（複数回答）は、マグニチュードが5件、揺れの大きさが3件、発生確率が2件、その他が1件であった。その他として挙げられていたのは日本建築センター模擬波 BCJ-L2で、建設省建築研究所と一般財団法人日本建築センターとの共同研究により、設計用入力地震

動研究委員会がとりまとめたものである（建設省建築研究所・財団法人日本建築センター：1992）。

一方、地震対策を行う際に、将来想定される地震の情報を参考にしなかった理由を尋ねた問3.6では、過去に発生した地震を参考にしたとする回答が2件で、それ以外の答えはなかった。具体的には、関東大地震と兵庫県南部地震が同一回答者から1件、濃尾地震が1件であった。

問4は、問2で地震対策を行っていないと答えた回答者を対象とした質問である。問4.1は地震対策を実施しなかった理由で、文化財の地震対策の普及を妨げる要因分析のために設定している。問4.2および問4.3はそれぞれ問3.2、問3.3と同じ質問である。

地震対策を行わなかった理由（複数回答）は、「その他」とした具体的な回答内容のうち、分類可能なものについては分類して示した（図1「構造上困難」以降）。しかし、選択肢として示していたわけではないので、その答えを選択できなかった回答者がいる可能性もある。そこで、それらは「その他」の細分類とし、当初の設問に選択肢として示されていた解答とは区別している。

図1にあるように、地震対策を行っていない理由としては、費用の問題を挙げる回答が23件と最も多かった。次いで多かったのは、相談先がわからないとする回答で15件である。五重塔など

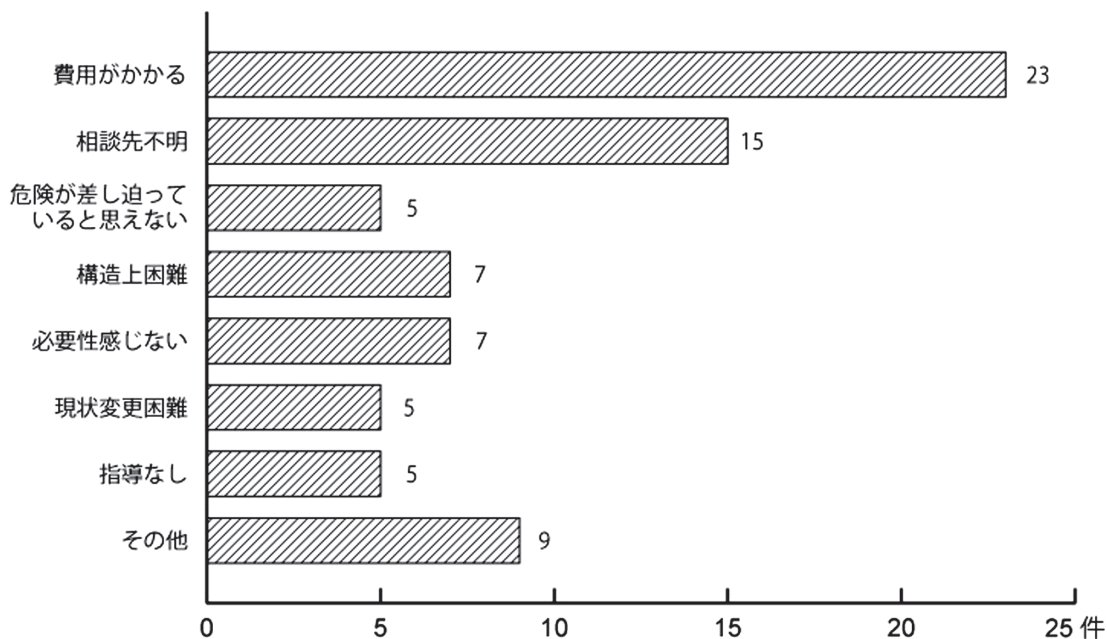


図1 文化財建造物に地震対策を行わなかった理由（複数回答）

耐震性があると思われる建造物であるために必要性を感じないとする回答、文化財の管理について所有者に指導・助言を行う立場である県の文化財保護課などからの指示がないことを理由に挙げる回答がいずれも7件でそれに次ぎ、国宝のため現状変更が厳しく制限されている、特殊な構造であるため地震対策を施すのが無理、地震発生の危険が差し迫っているとは思えない、との回答はそれぞれ5件であった。

文化財としての価値を保つうえで地震対策を行うためには、個々の建造物の現状や性能に応じて内容を検討する必要がある。このとき、現代の建物とは全く異なる特殊な構造のため、現代建築の工法をそのまま適用するのは難しいので、地震対策の検討にも、修復の実施にも時間や費用がかかることはやむを得ない。国や地方自治体からは、修理のための費用が助成されるものの、このような予算の大幅な増額は困難である。また、多くの回答者が述べているように、国宝を含む重要文化財の現状変更には厳しい制限が設けられている。文化財建造物にとって適切な工法を決められないために、修復事業を実施できない場合もある

と考えられる。

ところで、文化庁は前述のように、1999年4月に「重要文化財（建造物）耐震診断指針」を定め、平成17年からは国庫補助事業「重要文化財（建造物）耐震診断事業」を実施している。この事業では「重要文化財（建造物）基礎診断実施要領」に基づいて「基礎診断書」および「耐震性能の向上措置に係る提案書」の作成費用を補助対象経費としている。このように、文化財の所有者が、専門家による文化財建造物の耐震性能診断を受けやすくするような制度が設けられている。しかし、今回の回答者の中では、専門家による耐震診断を受けた結果、所有（管理）する文化財の耐震性が十分であることを理由として地震対策は不要とした回答は2件のみであった。これ以外に関連する記述として、県などからの指示がない、相談先がわからないといった回答があり、関係機関からの情報提供不足という課題はまだ残っている。

文化財建造物の位置で将来想定される地震や揺れの強さについての知識の有無を尋ねた問4.4では、知っているという回答は18件、知らないとの回答は27件であった。地震対策を行っている

回答者の88%が「知っている」と答えたのに対して、行っていない場合には「知っている」と答えた回答者は40%である。このことについて、地震対策を行ったと答えた回答者が、地震に対する関心がより高いとの解釈も可能である。しかし、先に述べたように、地震対策の実施を契機としてその場所での地震について情報を得ていることも、知っていると答えた割合が高い理由となっていることが考えられる。

地震や揺れに関する情報源（複数回答）は、テレビ10件、新聞6件、雑誌・書籍3件、ウェブ2件、その他4件である。回答数自体が少ないものの、地震対策を行っている場合にはテレビ、新聞、雑誌・書籍の差がなかったのに対して、テレビが最も多く、新聞がそれに次ぎ、ウェブは最も少ないという結果となった。

問5~7は確率論的地震動予測地図に関する質問である。質問にあたっては、確率論的地震動予測地図の例（確率論的地震動予測地図：確率の分布 今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率（平均ケース・全地震）（基準日：2010年1月1日））を添付して示している。

問5.1は確率論的地震動予測地図についての認識の有無、問5.2は認識している場合の情報源である。この問は、文化財を守る立場にあり一般より地震への関心が高いと思われる文化財所有者や管理責任者の確率論的地震動予測地図の認知度を知るとともに、それ以外の問と確率論的地震動予測地図についての知識の有無との相関を知るために用いている。

確率論的地震動予測地図を「知っている」という回答は11件、知らないとの回答は53件、無回答1件で、知っていたのは全体の17%にとどまり、81%が知らないという結果であった。

この問いについて、文化財建造物への地震対策の有無で分けたところ、地震対策を行っている回答者では「知っている」と答えたのが3件（30%）だったのに対し、地震対策を行っていない回答者では8件（15%）と半分の割合にとどまった（表3）。しかし、その場所での揺れに関する知識に比べると差は小さく、確率論的地震動予測地図は文

表3 確率論的地震動予測地図を知っていたか

	知っていた	知らなかった
地震対策あり	3	7
地震対策なし	8	46

化財所有（管理責任）者の間では普及が十分ではないと言わざるを得ない。本年3月11日の東北地方太平洋沖地震の後は、確率論的地震動予測地図をテレビで目にする機会が増えた印象があり、ニュース解説などで地震の発生確率について言及するのを見る機会も増えたように思われる。しかし、その割には、アンケートに示された認知度は低いのではないだろうか。報道されている地図が国として文部科学省が作成した確率論的地震動予測地図であることが強調されていなかった、とも考えられる。

次に、確率論的地震動予測地図について知っていると答えた回答者に情報源を尋ねたところ、雑誌・書籍、ウェブサイトがそれぞれ3件、テレビ、新聞がそれぞれ2件であった。その他として、保存修理を実施した際の検討会や、全国国宝重要文化財所有者連盟（全文連）における講演指導が挙げられている。全文連は、国宝・重要文化財の所有者を中心に構成され、文化財保護への支援の要望を関係機関へ働きかけるとともに、普及啓発や修理の相互扶助などを行う団体である。この2件だけではあるが、このことは、文化財関係者が確率論的地震動予測地図を文化財建造物の修理に役立つ情報とみなしていることを示している。

問6は確率論的地震動予測地図の表現についての印象と、危険であると感じる具体的な数値、および、よりわかりやすい表現の具体例をきくことで、確率論的地震動予測地図を文化財防災に活用するうえでの課題を明らかにすることを試みている。

問6.1では、確率論的地震動予測地図の表現についての印象を、「天気予報のようでわかりやすい」、「その値が危険なのかどうかわかりにくい」、「地震が起きるかどうかがはっきりしない」などいくつかの例を挙げたうえで、自由記述により回

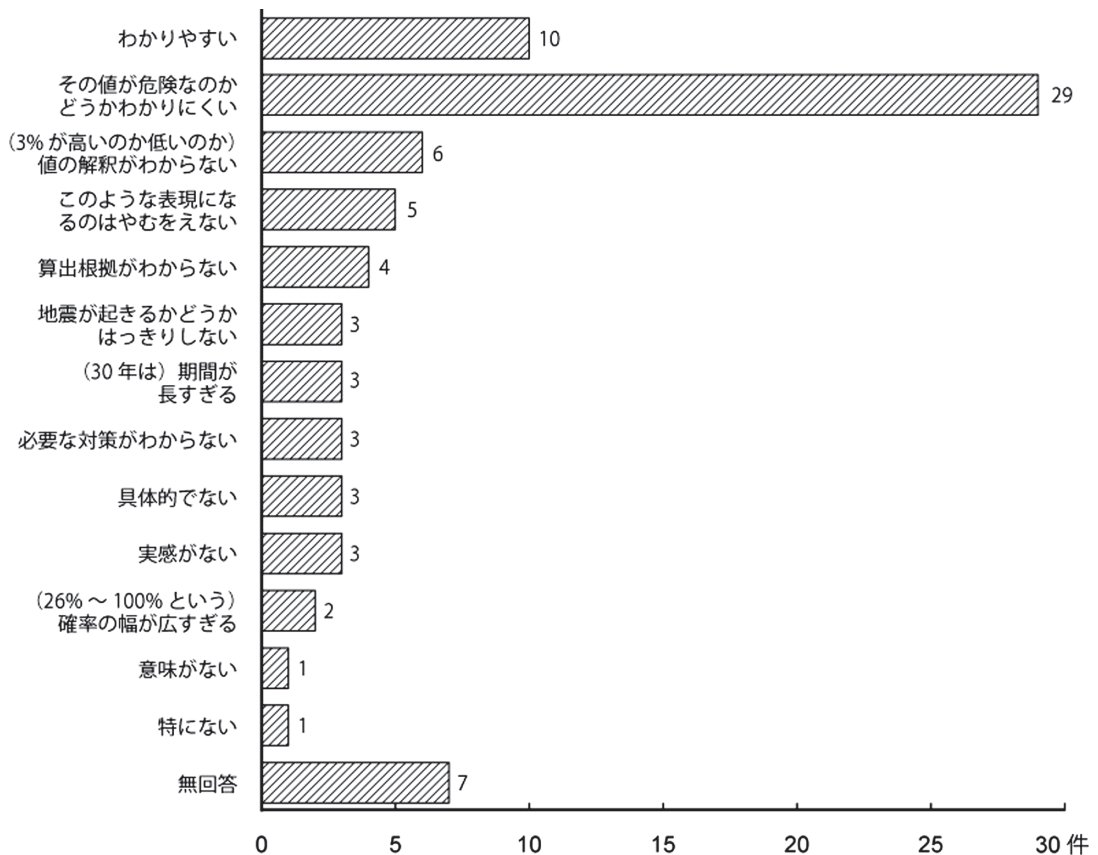


図 2 確率論的地震動予測地図の表現についての感想

答を得た(図2)。回答を分類すると、「わかりやすい」という文言を含む回答が10件であったのに対して、「危険かどうかかわかりにくい」は29件と3倍近くに達した。そのほか「地震が起きるかどうかがはっきりしない」「(発生確率に対する)必要な対策がわからない」「実感がわかない」「具体的でない」などの意見があり、回答者の大勢は否定的な意見を持っていた。一定期間における発生確率という表現は、現在得られている知見を正確に表したものではある。しかし、文化財の所有者(管理責任)者にとっては、情報の解釈の仕方がわからないとの不満のほうが大きく、せっかくの情報が役立っているとは言い難い。さらに、確率論的地震動予測地図の考え方の普及が進んでいないため、発生確率の値の区切り方に粗密がある、あるいは26%~100%という区切り方は粗すぎる、という意見も寄せられている。なお、算出根

拠がわからない、活断層の位置がわからないという意見もあったが、これは今回のアンケートに添付したのが確率論的地震動予測地図のみで、関連資料を示していないことも原因であると思われる。この点は、確率論的地震動予測地図だけでなく、関連の情報をあわせて示すことで解消可能である。

問6.2では、震度6弱の地震が発生する確率が何%以上であれば「高い」と感じ、地震対策を講じる必要があると思うかをきいた。30%という値を判断の基準とする場合が16件(25%)と最も多く、次いで50%が9件(14%)、20%台が7件(11%)、60%台、70%台、80%台、および10%台が5件(8%)で、100%で地震対策をするとの回答も1件あり、10%未満でも地震対策を講じる必要があると答えたのは2件(3%)であった(表4)。

表 4 震度 6 弱の地震の発生確率で地震対策を講じる必要があると考える値

%	>10	10	20	25	26	30	40	50	60	70	75	80	85	100	無回答
件数	2	5	4	1	2	16	1	9	6	4	1	4	1	1	9

表 5 震度 6 弱の地震の発生確率（再来周期）で地震対策を講じる必要があると考える値

発生確率（再来周期）	件数
3%~6%（1000年~500年）	1
6%~26%（500年~100年）	11
26%以上（100年~）	44
無回答	9

またこの結果を、確率論的地震動予測地図に示される確率の値を閾値として区切ると、表5のようになる。ところで、天気予報の降水確率が何%であれば傘を持って行くかを尋ねた調査（（株）マクロミル：2010）によれば、降水確率が50%を基準とする人が最も多く27%であった。文化財建造物の所有者が、地震対策を行う必要の有無を判断する確率として考えている値はこれよりは低く、国宝文化財建造物の地震対策は、当然ではあるが、傘を持って行くかどうかよりは深刻な問題との認識があることが示唆される。しかし、確率論的地震動予測地図で最も濃い赤に対応する30%でようやく地震対策の必要性を感じるという状態は、地震調査研究推進本部の報告などで専門家が危険と感じる地震動の確率評価の値からは大きく乖離している。確率論的地震動予測地図の数値による表現はデータとモデルに基づく正しい情報ではあるが、ふだんの生活で身近な降水確率からの類推で、大きな確率でないかぎり危険であるという感覚を持つことができないおそれもある。

この課題の解決には、たとえば、全国地震動予測地図（地震調査研究推進本部：2005）の中で、現在は活断層による内陸地殻内地震について公表が行われている想定地震地図のような決定論的な地震動予測も組み合わせ、専門外でも地震への関心は高い文化財の所有（管理責任）者に対して、ハザードだけでなくリスクとして危険性が伝わる

表 6 地震動予測地図のよりわかりやすい表現

表現	件数
○年以内に*の地震が必ず起きる	16
○年までに*の地震が起きる確率は**%	11
○年までに*の地震が起きると考えられる	7
○年に*の地震が起きる確率は**%	7

ような情報提供をわかりやすく説明することが、文化財建造物の地震対策をより奨励するために役立つと考えられる。

確率論的地震動予測地図について、よりわかりやすい表現についての意見を「2040年ごろまでに震度6強の地震が起きると考えられる」、「2015年にマグニチュード8.3の地震が起きる確率は20%」「1年以内にはマグニチュード5.0の地震が必ず起きる」という例を示したうえで自由記述により得た（複数回答、表6）。その結果、「2040年ごろまでに震度6強の地震が起きる」という表現と、「2015年にマグニチュード8.3の地震が起きる確率は20%」という表現がそれぞれ7件であり、「○年までに震度/マグニチュード*の地震が起きると考えられる確率は**%」という現在の確率論的地震動予測地図の表現をわかりやすいと感じる回答が11件であった。しかし、最も多かった回答は、「ある期間の範囲で地震が必ず起きる」という表現で16件であった。さらにその期間として挙げられたのは、現在の確率論的地震動予測地図で用いられている30年よりも短い10年や1年といった値が多かった。この回答には、短期的でかつ確実な情報を知りたいという文化財建造物の所有（管理責任）者の要望が表れている。しかし、これは地震危険度評価ではなく短期予知の研究に分類されるものであり、地震本部で進めている地震動予測地図を実際の地震対策に生かすため

には、地震に対する現在の学問の限界や地震の不確実性の議論など、計算結果だけではない地震の基礎知識に関する普及啓蒙活動もますます重要であると思われる。

問7では、確率論的な地震危険度評価が有効と思うかどうか、またそう考える理由を記述していただいた。問6と同様、確率論的地震動予測地図の普及にあたり、その表現について留意すべき点を明らかにするために設定している。有効だと思うと答えたのは47件(72%)、思わないとの答えが11件(17%)、その他が7件(11%)であった。確率的な表現に対しては、わかりにくいなどの問題を指摘する答えが多かったにもかかわらず、地震危険度評価は有効であると考えた回答者が7割を超えている。このことから、文化財の地震対策のための地震情報への期待が大きいことが示唆される。

問8は、文化財の地震対策を進めるにあたって文化財の所有者が必要と考える情報である。これも問4と同様に、地震対策の進展を妨げる要因を知るとともに、所有者が必要としている情報を提供するための手掛かりとなる。

その回答を表7でみると、文化財の地震対策の

具体的な手法について知りたいという意見が最も多く50件、次に文化財の位置する場所の地盤の状態の41件、文化財に被害を与えるような揺れが発生する確率、文化財の位置で発生しうる地震の最大の震度、文化財に最も近い活断層・プレート境界で発生しうる地震の規模、文化財の地震対策を行う業者、の順序であった。

現在さまざまな事情で地震対策を行っていない所有者も、地震対策の手法に対しては強い関心を持っていることがわかる。また、その他として「揺れの大きさと被害状況との関係」という回答があることから、東北地方太平洋沖地震の際の液状化現象の発生など、地盤の状況によって被害状況が大きく異なることが注目されていることも指摘できる。このことは、地震対策の具体的な手法に次いで、地盤の状態が知りたいと考えている回答が多かったことから理解される。さらに、地震そのものに関する関心として、最大震度が29件であったことに対し、文化財に被害を与えるような揺れの発生確率を挙げる方が34件と最も多かった。このことは問6の結果とは一見矛盾するが、回答者がもともと地震対策に関心が高いというバイアスがかかっており、理解の程度によらず

表7 文化財の地震対策を進めるにあたって得たい情報 ※複数回答

得たい情報	件数
文化財の地震対策の具体的な手法	50
文化財の地震対策を行う業者	16
文化財の位置で発生しうる地震の最大の震度	29
文化財に被害を与えるような揺れが発生する確率	34
文化財に最も近い活断層・プレート境界で発生しうる地震の規模(マグニチュード)	27
文化財の位置する場所の地盤の状態	41
その他	13
地震対策の補助事業、補助金等の施策	4
木造建造物の耐震に関する研究成果	2
文化財が担保すべき耐震震度	
揺れの大きさと文化財の被害との関係	
各震源から到達する地震波(解析用)	
文化財の所在地での災害の履歴	
地震発生時の文化財への到達経路	
文化財行政における震災対策の現状	

回答者は必然的に地震動予測地図への期待が相対的に高いことが理由であろう。問 6.1 にあるように、確率論的地震動予測地図の表現について「わかりにくい」との回答数が「わかりやすい」の3倍以上であったにもかかわらず、わずか5件の違いではあるが、最大震度よりも発生確率に対する関心が高いことは、やはり確率のような未来につながる指標を知りたいという考えがあることを示唆する。

問 9 は、文化財に被害が及ぶような大地震が発生した際に、文化財の所有者や管理責任者が、文化庁などの関係機関からとってほしいと考えるアプローチとそのタイミングについてである。人命救助やインフラ復旧などに優先すべき事項がある中で被災文化財への対応は常に課題となっている。2011年3月の東北地方太平洋沖地震の際も、地方自治体からの被害状況に関する情報収集を除けば、文化庁や東文研が被災文化財への本格的な対応を開始したのは、発生から1カ月以上経ってからであった。その主な理由は、被災地の地方自治体では、平常時には文化財保護を担当する職員も災害対応にあたらなければならないため、現地調査の実施や受入が困難であることや、文化財よりも生活再建が優先と考えるであろう被災者を考慮してのことである。しかし、当事者である文化財の所有（管理責任）者が実際にどのような対応を希望しているかに関する調査の事例はほとんどなかったため、このような設問を用意した。

このアンケートを行うまで、東文研では、地震発生の際には文化財の所有者・管理責任者に対するいかなるアプローチも、時間において状況が落ち着いてから行うほうがよいと考えていた。しかし表 8 をみると、被害状況の問い合わせはライフライン復旧後が望ましいとする意見も 11 件（17%）あったが、ただちに行ってほしいとする意見が 35 件（54%）と最も多く、実際には、地震発生直後に連絡がほしいと考えている所有者が多いことがわかった。しかし、11 件という数字も無視できるほど小さくはなく、地震発生直後にも気兼ねなく連絡をとれるような、所有者と文化財保

表 8 地震被害を受けた場合の文化庁や専門機関からの対応時期

対応	時期 問合せ	応急措置 助言	現地調査
地震発生直後	35	23	9
翌日	4	3	0
3日後	1	2	0
1週間後	2	2	5
10日後	0	0	1
2週間後	0	1	2
3週間後	0	0	1
ライフライン 復旧後	11	14	11
交通機関復旧後	0	5	18
落ち着いてから	3	0	2
ケースバイ ケース	2	3	4
必要だが時期 不明	0	2	1
要請があったら	1	1	1
避難所閉鎖後	0	0	0
無回答	6	9	10

護行政関係者や専門家との関係づくりが日ごろから必要であろう。

一方、現地調査など所有者側の負担がより大きいアクションについては、被害状況の問い合わせに比べると遅い時期が望ましいとの回答であり、このことは従来の考えと大きく矛盾しない。地震直後の個別の文化財への外部からの助力は、行う側も受け入れる側も容易ではないということは、地震発生時に被害が大きくなるような文化財の防災対策が不可欠であることに通じるといえる。

3. ま と め

本稿では、マスコミでも取り上げられることの多い確率論的地震動予測地図の文化財地震防災への活用について検討するために、国宝文化財建造物の所有者や管理責任者に対して、地震対策の現

状と問題点、および確率論的地震動予測地図に関するアンケート調査を行い、その結果についてまとめた。地震対策は、回答を得た65件のうちでは15%の国宝文化財建造物でしか行われておらず、経済的要因が実施を妨げる最大のものであった。地震対策の手法や地震そのものに関する情報不足も、費用に次ぐ主要な原因となっている。いずれも、現在の建造物とは異なる工法や材料が用いられており、またその価値を減ずることなく地震対策を講じなければならない文化財建造物の特殊性により、個々の文化財に応じた、いわばオーダーメイドの地震対策が必要であるためであると考えられる。

所有する文化財建造物のある場所で想定される揺れについての知識の有無については、地震対策をすでに施している所有者では「ある」と答えた割合が高く、行っていない所有者では低かった。これは、地震対策を講じる際に地震についての知識を得たことも原因であると考えられる。一方、確率論的地震動予測地図の存在については、地震対策を行っている回答者のほうが行っていない回答者よりも知っている割合は高いものの、揺れについての知識の有無に比べて「知っている」と答えた件数は少なく、全体に認知度が低いことがわかった。さらに、確率での表現はわかりづらいなどの問題を指摘する回答が多く、また大きいと感じる確率は、確率論的地震動予測地図の色分けで最も高い26%以上を挙げる回答が多数であり、確率論的地震動予測地図で現在行われている表現方法では、文化財建造物の所有者に地震発生の危険が伝わらない恐れがあると考えられた。しかし、確率論的地震動予測地図などの地震と地震動に関する情報は、文化財の地震防災に対しては有効であると考えられる回答者が多数であること、また、文化財の地震対策を行うにあたって地震の発生確率を知りたいと考える回答が多かったこととあわせて、今後課題は残るものの、確率論的地震動予測地図に対する期待が文化財所有者にあることが示唆された。

文化財の地震対策を行うにあたり所有（管理責任）者が最も知りたいと答えたのは、地震対策の

手法に関する情報であった。地震が発生した後はそのメカニズムなどに関する報道は多岐にわたるが、地震発生前のふだんの情報提供は、特に行政からはまだ十分ではないとの不満があると考えられる。また、地震発生後のアプローチのタイミングとして、被害状況の問い合わせを地震直後にしてほしいとの意見が最も多かったことにも関連するが、所有（管理責任）者は、指導・助言を行う国や地方行政組織からの今以上に緊密な働きかけを求めていると考えられる。

文化財の地震対策について、たとえば日本と同じ地震国であるイタリアでも、「文化財危険地図（Carta del Rischio del Patrimonio Culturale）」が作成され、その作成過程で、文化財の劣化状態や危険度を定量化・標準化し、全国の文化財の危険度を一律の基準で評価することや問題の解決に応用することが試みられている。イタリアの文化財保護行政を統括する文化財・文化活動省では、この地図を文化財の管理や修理費用の見積りなどの客観的指標として用いることで、文化財の状態に応じた適切な予算配分に活用されることを期待している（二神・大竹：2010）ように、確率論的地震動予測地図が行政により利用され始めている。また、2009年4月6日に発生したラクイラでの地震（M 6.3）（USGS：2009）の際には、文化財危険地図に記載の建造物内での美術品の位置情報から、防衛隊など文化財の専門家でない人員による文化財レスキューにも活用されるなど、地震後に、被災した文化財の救援にも役立っている。（二神・西村：2011）。

日本の文化財行政では、確率論的地震動予測地図の解釈の困難さの中で、客観的指標として施策に応用する段階にまで至っているとは言い難い。今後も、確率論的な地震動予測地図と特定の地震が発生したという条件での地震動を示す想定地震地図を適切に組み合わせた地震ハザードの説明と、未来に残すべき文化財の想定される被害といった地震リスクの予測を合わせて所有（管理責任）者に説明するという、適切な情報提供と対策の指導を行えるような体制の構築が重要である。大地震のような低頻度の災害の場合、発生確率の

値は小さく、また日本の、特に木造の文化財建造物は一棟ごとの指定である場合も多いため、人命損失や個別評価額と関連させて算出するリスクは相対的に小さいかもしれない。しかし、文化財は古来より受け継いできた唯一無二の存在であり、さらに将来へ引き継ぐ遺産であると見ればその文化的価値は計り知れず、きわめて低頻度の災害であっても損壊・倒壊しないための事前の十分な対策が必要である。そこで、今後は、文化庁や東文研などの機関が、文化財 GIS と確率論や決定論に基づく地震動予測地図とを連携させて、文化財の地震危険度についての情報を所有者や地方自治体の文化財担当者などの関係者に積極的に提供し、地震対策を推奨することが望ましい。今回のアンケートの結果にも、確率論的地震動予測地図は役に立つと感じる所有（管理責任）者もいる一方で、解釈や活用の方法が示されていないかったり、表現がわかりづらかったりするために活用が難しいと考えていることが示された。文化財所有者、文化財行政の関係者、地震動予測地図を作製している専門家の三者間のふだんからの緊密な関係の構築を基にした連携が、文化財の地震防災にとって有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 文化庁 (1979) : 重要文化財 (建造物・美術工芸品) 修理, 防災事業費国庫補助要項. 昭和 54 年 5 月 1 日文化庁長官裁定, 平成 23 年 4 月 1 日最終改正, http://www.bunka.go.jp/bunkazai/hojo/pdf/juuyou_kenzoubutsu-bijutsukougei_ver02.pdf
- 2) 文化庁 (1997) : 登録有形文化財建造物修理事業費国庫補助要項. 平成 9 年 7 月 11 日文化庁長官裁定, 平成 20 年 4 月 1 日最終改正, http://www.bunka.go.jp/bunkazai/hojo/pdf/touroukuyushi_kenzoubutsu.pdf
- 3) 文化庁 (1999) : 重要文化財 (建造物) 耐震診断指針. http://www.bunka.go.jp/lhogo/pdf/kokko_hojyo_taisin11.pdf
- 4) 文化庁 (2005) : 重要文化財 (建造物) 耐震診断事業 取り扱い要領. 平成 17 年 4 月 1 日付文化庁文化財部参事官 (建造物担当) 整備活用部門, http://www.bunka.go.jp/bunkazai/bosai/pdf/kokko_hojyo_taisin1.pdf
- 5) 福島民報 (2011) : きょうにも取り壊し開始 国文化財の福島教会. 福島民報 2011 年 3 月 26 日付記事, http://www.minpo.jp/pub/topics/jishin2011/2011/03/post_217.html
- 6) 二神葉子・隈元 崇 (2002) : 活断層に起因する国宝文化財の地震危険度評価—国宝文化財所在地データベースの構築と活断層データベースとの連携. 考古学と自然科学, 44, pp. 45-75.
- 7) 二神葉子・大竹秀実 (2010) : 文化財危険地図 (Carta del Rischio del Patrimonio Culturale), 京都歴史災害研究, 8, pp. 1-5.
- 8) 二神葉子・西村明子 (2011) : イタリア. 被災文化財復旧に係る調査報告書 支援実施国編, 文化遺産国際協力コンソーシアム編, pp. 21-48.
- 9) 芸術新潮編集部 (1995) : 関東大震災—その日、鎌倉は壊滅した. 芸術新潮 1995 年 5 月号 特集 : 天災と闘った美術, pp. 53-78.
- 10) 地震調査研究推進本部 (2005) : 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 11) 地震調査研究推進本部 (2008) : 地震の将来予測への取組 地震調査研究の成果を防災に活かすために. <http://www.jishin.go.jp/main/pamphlet/shoraiyosoku/shoraiyosoku.pdf>
- 12) 建設省建築研究所・財団法人日本建築センター (1992) : 設計用入力地震動研究委員会 平成 3 年度成果報告書 設計用入力地震動作成手法技術指針 (案) 本文解説編, http://www.bcj.or.jp/src/download/wave_guide.pdf
- 13) Kumamoto, T. (1999) : Seismic Hazard Maps of Japan and Computational Differences in Models and Parameters. Geographical Review of Japan, Ser. B, 72, pp. 135-161.
- 14) 株式会社マクロミル (2010) : 梅雨に関する調査, http://www.macromill.com/r_data/20100610rain/20100610rain.pdf
- 15) 文部科学省 (2010) : 公立学校施設の耐震改修状況調査の結果について, 平成 22 年 7 月 21 日付報道発表資料, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyosei/taishin/index.htm
- 16) U.S. Geological Survey (USGS) (2009) : Magnitude 6.3 — Central Italy. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2009/us2009fcaf/>

付図 文部科学省地震調査研究推進本部が作成した確率論的地震動予測地図およびそれを用いた文化財建造物の耐震対策に関するアンケート（2011年5月～6月実施）

文部科学省地震調査研究推進本部が作成した確率論的地震動予測地図およびそれを用いた文化財建造物の耐震対策に関するアンケート

各問のa, b, c, …の選択肢から、当てはまるものを選びOをおつけください。また、下線の部分に可能な範囲でご意見を記入ください。

問1. 管理または所有されている国指定文化財建造物はどのような構造ですか。

(例：木造瓦葺、煉瓦造など)

⇒ 問2へお進みください

問2. 管理または所有されている国指定文化財建造物に対して、すでに地震対策を行っていますか。

a. 行っている → 問3.1へ

b. とくに行っていません → 問4.1へ

問3.1 [2]で「a」と答えられた方は、具体的などのような地震対策を行っているか、ご存知の範囲でお書きください。

a. 耐震補強 (例：筋交い、ブレース)、耐力壁など

b. 免震装置 (例：オイルダンパー、ゴムアイソレータなど)

c. その他

⇒ 問3.2へお進みください

問3.2 [2]で「a」と答えられた方は、国指定文化財建造物の位置で将来想定される地震や揺れの強さについてご存知でしたか。

a. 知っていた → 問3.3へ

b. 知らなかった → 問5へ

問3.3 [3,2]で「a」と答えられた方は、将来想定される地震についてお知りになった情報源は何でしたか。

a. テレビ

b. 新聞 (電子版含む)

c. 雑誌・書籍

d. ウェブサイト (例：防災科研 (SHIS)、地震調査研究推進本部など)

e. その他

⇒ 問3.4へお進みください

問3.4 [3,2]で「a」と答えられた方は、地震対策を行うにあたって、想定想定される地震の情報を参照しましたか。

a. 将来想定される地震を参照した → 問2.5へ

b. 参照しなかった → 問2.6へ

問3.5 [3,4]で「a」と答えられた方は、参照にしたのは具体的にどのような数値ですか。

a. 近くで発生する地震のマグニチュード

b. その場所で想定される揺れの大きさ

c. ある大きさの地震動が生じる発生確率

d. その他

⇒ 問5.1へお進みください

問3.6 [3,4]で「b」と答えられた方は、想定想定される地震や揺れの情報を参照しなかった理由はどのようなものですか。

a. 詳細想定される地震や揺れの強さと、具体的な対策をどう関連するかわかりにくかった

b. 過去の大地震の情報を参照した (例：関東大地震、兵庫県南部地震、鳥取県西部地震、新潟県中越沖地震など)

c. 周辺の文化財対策を参考にした

d. 業者から莫大の費用がある耐震・免震対策を紹介された

e. その他

⇒ 問5.1へお進みください

問4.1 [2]で「b」と答えられた方は、地震対策を行わなかった理由はどのようなものですか。いくつでもお選びください。

a. 費用がかかる

b. 地震対策の相談先がわからない

c. 地震発生の危険が差し迫っているとは思えない

d. その他

⇒ 問4.2へお進みください

問4.2 [2]で「b」と答えられた方は、国指定文化財建造物の位置で将来想定される地震や揺れの強さについてご存知でしたか。

a. 知っていた → 問4.3へ

b. 知らなかった → 問5.1へ

裏面にも質問がございます

問 4.3 [4.2] [a] と答えた方] 想定される地震についてお知りになった情報源は何でしたか。

- a. テレビ
- b. 新聞 (電子版含む)
- c. 雑誌・書籍
- d. ウェブサイト (例：防災科研 (J-SHIS)、地震調査研究推進本部など)

e. その他 _____
⇒ 問 5.1 へお進みください

問 5.1 [全ての方] 別紙 1 のような、文部科学省地震調査研究推進本部がまとめた「全国地震動予測地図」についてご存知ですか。

- a. 知っていた → 問 5.2 へ
- b. 知らなかった → 問 6.1 へ

問 5.2 [5.1 で「a」に答えた方] 「全国地震動予測地図」はどのようにお知りになりましたか。

- a. テレビ
- b. 新聞 (電子版含む)
- c. 雑誌・書籍
- d. ウェブサイト (例：防災科研 (J-SHIS)、地震調査研究推進本部など)

e. その他 _____
⇒ 問 6.1 へお進みください

問 6.1 [全ての方] 別紙 1 の全国地震動予測地図では「今後 30 年間に震度 6 弱以上の揺れに暴露される確率が 39%」 というような確率論的な表現をしています。このような表現についてどのように感じられますか。(例：「実数予測のようでわかりやすい」、「その値が危険なのかどうかわかりにくい」、「地震が起きるかどうかはつきりしない」など)

⇒ 問 6.2 以降の質問に全てお答えください

問 6.2 [全ての方] 震度 6 弱の地震が起きる確率が何%くらいならば「高い」と感じ、地震対策を講じる必要があると思いますか。具体的な数値をお書きください。 _____ %

問 6.3 [全ての方] 地震動予測地図について、よりわかりやすい表現はどのようなものかと思われませんか。

(例：「2040 年ごろまでに震度 6 強の地震が起きると考えられる」、「2015 年にマグニチュード 6.3 の地震が起きる確率は 20%」、「1 年以内にはマグニチュード 5.0 の地震が必ず起きる」など)

問 7. [全ての方] 文化財の新規対策を検討する上で、今回添付した別紙 1 のような地震動予測地図のような確率論的な地震危険度評価は有効だと思いますか。

- a. 有効だと思う 理由 _____
- b. 有効だとは思わない 理由 _____
- c. その他 _____

問 8. [全ての方] 文化財の地震対策を進めるにあたって、今後どのような情報を知りたいですか。いくつかもお選びください。

- a. 文化財の地震対策の具体的な手法
- b. 文化財の地震対策を行う業者
- c. 文化財の位置で発生しうる地震の最大の震度
- d. 文化財に被害を与えるような揺れが発生する確率
- e. 文化財に最も近い活断層・プレート境界で発生しうる地震の規模 (マグニチュード)
- f. 文化財の位置する場所の地震の状況
- g. その他 _____

問 9. [全ての方] 今年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、地震と津波被害に関して、文化財リスクのあり方が議論となりました。もし地震による被害を受けた場合、文化庁や専門機関からどのようなアプローチをいつ頃してほしいですか。

(例：地震発生直後、ライフライン復旧後、交通機関復旧後、避難所開設後)

- a. 被災状況の問い合わせ 時期： _____ 頃
- b. 応急措置の助言 時期： _____ 頃
- c. 現地調査 時期： _____ 頃
- d. その他 内容： _____ 時期： _____ 頃

ご協力まことにありがとうございます。お手数ですが 6 月 30 日ごろまでにご返速いただければ幸いです。アンケートの結果は統計的に処理し、所有者の方や特定の文化財と関連付けて公表することはありません。

付図 文部科学省地震調査研究推進本部が作成した確率論的地震動予測地図およびそれを用いた文化財建造物の耐震対策に関するアンケート (2011 年 5 月～6 月実施)

二神葉子

[ふたがみ ようこ]

現職 独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所企画情報部情報システム研究室長

略歴 東京大学文学部考古学専修課程卒業，東京芸術大学大学院美術研究科芸術学専攻保存科学修士課程修了，同博士課程退学，東京国立文化財研究所国際文化財保存修復協力センター研究員，東京文化財研究所文化遺産国際協力センター主任研究員を経て現職

研究分野 文化財科学

著書 『文化財科学の事典』（共著，朝倉書店），『文化財と科学技術—東京文化財研究所のしごと』（共著，至文堂）



隈元 崇

[くまもと たかし]

現職 岡山大学理学部地球科学科助教授理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科地理学専攻博士課程中途退学，ネバダ州立大学リノ校地球物理学専攻博士課程中途退学，東京都立大学理学部助手を経て現職

研究分野 サイスマテクトニクス

著書 『地理情報入門』（共著，東京大学出版会）



■ 書 評 ■

● 液状化は繰り返す

若松加寿江 著

日本の液状化履歴マップ745-2008

評者 安田 進

本年3月に発生した東日本大震災では、東京湾岸の埋立地で広く液状化が発生し、人々を驚かせている。ところがこの地域の液状化発生は今回が初めてではない。千葉県や浦安市などでは今回液状化した地区の一部で、すでに1987年千葉県東方沖地震の際に液状化していた。逆に、東京低地を見てみると、1923年関東地震で液状化した古隅田川沿いでは今回液状化していない。

このような過去の地震時における液状化発生地点との対比が一瞬にして、しかも国内全域でできるのが本書である。工学的にはこのように過去の液状化地点を知ることが非常に大切である。一度液状化した箇所は次の同程度の揺れの地震で再び液状化し易い性質を有しているからである。例えば将来の地震に対する液状化のハザードマップを作成する場合、過去の液状化発生箇所は再び液状化し易いと判断してマップを作成することが大切である。一度液状化すると噴水が出て地盤は密になり再び液状化し難いと考えるのは間違いで、事実は再液状化し易い。最新の事例としては、昨年から本年にかけてニュージーランドのクライストチャーチで液状化が繰り返し発生して被害を甚大にしている。

さて、筆者が若松先生のご研究発表を初めてお聞きしたのは約30年前である。その当時、建設省土木研究所に勤務されていた龍岡文夫先生（現、東京理科大学教授）が過去の液状化発生履歴地点を調べられておられたが、若松先生も同様の調査をされ、さらに微地形と液状化発生箇所の関係などを研究されていた。その後も数多くの古文書を紐解いて過去の液状化発生箇所を調べられ、また、地震が発生するたびに国内のみならず世界各地に調査に行かれて液状化発生地点を調べてこられた。これらを集大成して、1991年に東海大学出版会から「日本の地盤液状化履歴図」を出版された。筆者はこれをいろいろと活用させていただいてきた。

一方、液状化発生地点は微地形に関係することから、全国の微地形分布の調査もされてきている。その成果は

例えば、東京大学出版会から「日本の地形・地盤デジタルマップ」としてまとめられている。

このような液状化の発生および微地形に関する研究成果をまとめて、さらにGIS上での利用もできるようにDVD版で出されたのが本書である。液状化履歴地点が分かるだけでなく、液状化が起きやすい土地の特徴なども詳しく解説しており、これまで液状化に関してあまり関係なかった方にも大変参考になる。上述したように、実務的にはハザードマップ作成への利用が出来るし、土木・建築構造物を建てる時の参考になる。研究においても液状化の発生と地盤特性の関係を調べる場合の必読書である。是非本書のご購入・利用をお勧めしたい。

<東京大学出版会、2011年3月、B5判、71頁+DVD、21,000円（税込み）>

● 新刊紹介

島村英紀 著

巨大地震はなぜ起きる

花伝社、2011年4月、A6判、303頁、1,785円（税込み）

山谷茉樹 著

大地震！ とっさの行動マニュアル

廣済堂出版、2011年5月、B6判、159頁、1,155円（税込み）

都司嘉宣 著

千年震災一繰り返し地震と津波の歴史に学ぶ

ダイヤモンド社、2011年5月、B6判、276頁、1,680円（税込み）

島村英紀 著

日本人が知りたい巨大地震の疑問50

ソフトバンククリエイティブ、2011年6月、新書判、214頁、999円（税込み）

佃 為成 著

東北地方太平洋沖地震は“予知”できなかったのか？

ソフトバンククリエイティブ、2011年6月、新書判、222頁、999円（税込み）

ADEP情報

財団法人 地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動について

役員退任

仲嶺 信英 専務理事・地震調査研究センター副所長、
研究業務支持機構長 23. 6.27
太田 吉克 理事・本部事務局長 23. 6.27
注) 役員任期の満了に合わせて理事2名を減員し、現役員(任期は平成23年6月28日から)数は、理事8名(うち、常勤3名)、
監事2名としています。

採用

須田 登 本部 事務局長 23. 6.28
仲嶺 信英 地震調査研究センター副所長 23. 6.28
(兼)研究業務支持機構長, 本部付

退職

田代 光男 研究業務支持機構 参事 23. 6.30
金沢 敏彦 本部 地震防災調査研究部
副首席主任研究員(非常勤) 23.10.31

編集後記

本誌51号より購読料を無料化した。(財)地震予知総合研究振興会の公益法人移行に伴っての措置である。

無料化する以上、地震関連の研究者・技術者のもとより、できる限り多くの人達の目に触れてもらいたい。そこで勢いインターネット上に全文を公開するに至ったのである。

公開するや否や、大学時代の教え子の一人からメールが届いた。「ツイッターが地震ジャーナルを探り上げた」と言うのである。驚いたことに公開から一週間も経たない内にアクセスが600件を超えた。51号には東北地方大震災の速報的記事を中心に掲載したが、今年120周年を迎えた濃尾地震の関連記事も併せて掲載した。この記事に関心を示す投稿も現れた。

「専門家でなくても読める」、「図や写真が多くて判りやすい」とツイッター諸子からは概ね好評を頂いた。なかには「3.11が予知できなかったのも、公開することで罪滅ぼしをしたのでは」と皮肉な投稿もあった。ともあれ多くの人々の目に止まり、関心を持ってもらった事は本誌刊行の理念に沿った事と言える。

ここで注目すべきは「専門家でなくても読める」という事の重要性である。本誌刊行の初期には、専門家でなくても読める事を重要視して編集されたように思える。それがいつの間にか専門家でなければ読めない論文集に変わってしまった。特に理系の論文にその傾向があり、分野の違う読者から「難しすぎる」とのご批評をしばしば頂いている。

後期高齢者である私は、時折老人会などで「やさしい地震の話」を依頼されることがある。今年は大震災の影響もあって、既に7件の依頼を引き受けた。その度に気付く事であるが、質問がはつきりと2極に分かれる。50人の聴衆がいるとすれば、質問は数人に限られる。その中の2人位は恐らく理工系の経歴の持ち主らしく、こちらで用意した「やさしい地震の話」では物足りない。しかしその他の質問をしない大勢にとっては「やさしい地震の話」でさえも難しく感じるようである。

地震ジャーナルが今後「専門家でも読める」事を重視して編集するに当たって、どのような読者層に焦点を当てるかを考える必要がある。編集者の一人として私個人の考えであるが、「やさしい地震の話」

では物足りない人達を主な読者の対象にすべきではなからうか。もしも本誌が「やさしい地震の話」でも難しく感じる人達を対象に含めるならば、恐らく焦点がボケた中途半端な雑誌になってしまうであろう。

本誌の重要な役目はあくまでも専門家と、地震とその関連災害に関心を持ち、しかもある程度理解できる非専門家との橋渡しにあるのではなからうか。(Y.H.)

地震ジャーナル 第52号

平成23年12月20日 発行

発行所 ☎101-0064
東京都千代田区猿樂町1-5-18
☎ 03-3295-1966
財団法人
地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

本誌に掲載の論説・記事の一部を引用される場合には、必ず出典を明記して下さい。また、長文にわたり引用される場合は、事前に当編集部へご連絡下さい。

●製作/ (財)学会誌刊行センター