

地震 ジャーナル

53

2012年6月

エッセイ 「想定外」の津波と避難 ●河田恵昭

東北沖地震は何故予測できなかったか ●長谷川 昭——1

2009年駿河湾の地震がプレート間地震の発生に及ぼす影響 ●浅野陽一／青井 真／

エネスク ボグダン／

鈴木 亘／小原一成／

功刀 卓／汐見勝彦——12

巨大地震直前に増える電離圏の電子 ●日置幸介——19

社会と地震学コミュニティとの信頼の構築 ●大木聖子——26

●新刊紹介——37

●ADEP情報——38

囲み記事 首都直下の地震は切迫しているか？／天災は忘れないだけでは防げない

—寺田寅彦「天災と国防」／帰宅困難と一極集中のこわさ

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

「想定外」の津波と避難

河田恵昭

2012年3月31日の午後、内閣府は東海・東南海・南海地震と津波に対する新しいモデルに基づく想定結果を発表した。新しい震源モデルは、モーメント・マグニチュードMが9.0、波源を考慮すれば9.1となる巨大地震である。そして、震度7に見舞われる自治体の数も多くなり、津波も30mを超える地域が出現する結果となった。しかも、震源モデルが拡大した結果、津波の第一波が数分以内に来襲する地域が出現するだけでなく、津波はん濫で水没することが心配な大阪市街地では、第一波の到達時間が従来のM8.4のときの約2時間が半減する場合さえ出ている。

このような結果の発表直後から、メディア各社からの取材依頼が殺到した。とくに記者諸氏の関心は、地震後すぐに来襲する巨大津波からどのようにしていのちを守ればよいのか、ということである。でも残念ながら妙案がすぐにあるわけではない。だから、従来想定していた津波についての対策を継続して実施することが大切なのである。しかも、津波の高さが二倍になったからといって死者数が二倍になるわけではなく、津波の高さが4mを超えると、死亡率の上限値はほぼ一定となっている。

東日本大震災では、来襲した津波のはん濫水深が約4mで、地震時に居たと推定される住民の58%が死亡した地区が存在する。しかも、犠牲者93人中、屋内で87人も亡くなっている。最大の犠牲は80歳台の高齢者で、36人にも及び、70歳台、60歳台と続く。この震災では、いろいろな機関が被災者の避難に関する調査をしているが、いずれの結果も住民の約40%はすぐに避難しなかったことがわかっている。これだけ避難しないのであれば、死亡率の大きさは、津波高さに依存せず、4mを超えれば、それ以上高くなっても死亡率はあまり変わらないだろう。

それほどに高齢者を中心として人びとは避難しないのである。彼らを説得しているうちに犠牲になった消防団員や民生児童委員も多数居たと推察されるが、なぜ住民は逃げないのだろうか。逃げない理由は、津波警報の精度や避難勧告の発令時間が大きな問題ではない。むしろ、高齢になればなるほど家を離れたくないという意思が強く働くようである。それに打ち克って避難行動に移るには、「命の尊さ」や「生きることの大切さ」をまず日ごろからの行動規範にしておくことが重要であろう。そして、それを行動規範とするためには、仮に一緒に住んでいなくても、電話や手紙などを通しての子供や孫からの日ごろからの暖かい言葉で示される親子の情の深さや、世間話を交わす近所の住民間の暖かい連帯感も必要であろう。情報とは「情に報いる」からこそ効果を発揮するのだ。こころのこもった親子、親せき、友人、近所の人、職場の人間関係こそが「絆」の原資であり、東日本大震災はその大切さを教えてくれた。



河田恵昭

[かわた よしあき]
関西大学社会安全学部長・教授。工博。専門は防災・減災。現在は防災・減災。現在、阪神・淡路大震災記念人と防災未来センター長(兼務)のほか、京大防災研所長を歴任。京大名誉教授。2007年国連SASAKAWA防災賞、09年防災功労者内閣総理大臣表彰、10年兵庫県社会賞および土木学会出版文化賞、11年和歌山県知事表彰。東日本大震災復興構想会議委員、災害対策推進検討会議委員。現在、日本災害情報学会長。

東北沖地震は何故予測できなかったか

長谷川 昭

1. はじめに

2011年3月11日14時46分、我が国観測史上最大となるマグニチュード(M)9.0の東北沖地震が発生した。地震はおよそ3分間継続し、プレート境界に沿って長さ約500km、幅約200kmにも及ぶ広大な領域を破壊した。東北日本弧東方沖のプレート境界のうち、おおよそ2/3に当たる広い領域が破壊したことになる。この地震の発生により、日本列島全域が強い揺れに見舞われ、さらに数十分後には、この地震が引き起こした巨大な津波が東日本の太平洋沿岸各地に押し寄せ、未曾有の大災害をもたらした。地震調査研究推進本部の長期評価では、このような超巨大地震の発生は予測されていなかった。従って、何故このような超巨大地震が、この地域のプレート境界で発生したかを理解することは、地震災害軽減の上でとりわけ重要である。しかしながら、地震発生から1年が経過した現時点においても、その原因が特定されたわけではない。本稿では、この超巨大地震が何故発生したか、そして何故予測できなかったかについて、できる範囲で解説を試みる。

2. どう予測されていたか？

地震調査研究推進本部は、過去の地震発生履歴のデータを基に、全国を対象として地震発生の長期予測を行ってきた。図1に、地震調査研究推進本部による長期予測の結果を示す。2011年1月1日時点において、今後30年間の地震発生確率を示したもので、東北日本弧東方沖の領域では、三陸沖北部でM8.0程度の地震が0.5-10%、宮城県沖でM7.5程度の地震が99%、その海溝側の宮城県はるか沖（三陸沖南部海溝寄り）でM7.7程度

の地震が80-90%、これら2つの想定震源域が連動して破壊した場合はM8.0程度、福島県沖でM7.4程度の地震が7%程度以下、茨城県沖でM6.7-M7.2程度の地震が90%程度以上、三陸沖から房総沖の海溝寄りでM8.2程度の地震が20%程度と予測していた。

宮城県沖では、1793年M8.2程度、1835年M7.3程度、1861年M7.4程度、1897年M7.4、1936年

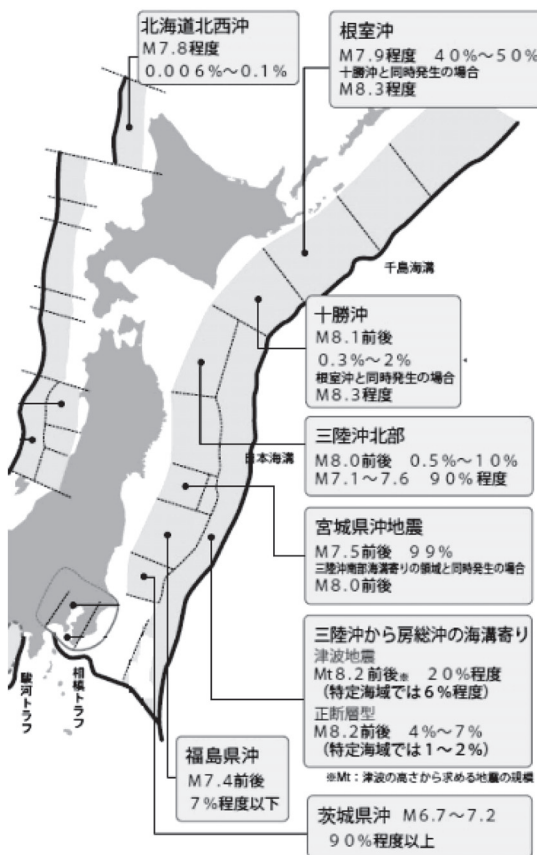


図1 東日本の主な海溝型地震の長期評価結果（地震調査研究推進本部, <http://www.jishin.go.jp/main/index-e.html>）。今後30年以内に発生する確率を示す。

M7.5, 1978年M7.4と、おおよそ37年間隔でM7.5程度の地震が繰り返して発生してきたので、今後30年間の発生確率が99%と極めて高い値となる。また上記の地震のうちで、1793年の地震は、宮城県沖とその海溝側の宮城県はるか沖が連動して発生したと解釈して、これら2つの想定震源域が連動して破壊した場合、M8.0程度の地震となると評価した。このように、宮城県沖および宮城県はるか沖の震源域で発生する地震の確率が極めて高いと予測され、地震調査研究推進本部でも、宮城県沖地震の重点的調査研究を推進してきたところである。

予測された地震の規模については、宮城県沖および宮城県はるか沖の想定震源域が連動した場合でM8.0程度、三陸沖から房総沖の海溝寄りの想定震源域では、プレート境界の津波地震でM8.2前後、アウターライズの正断層型地震でM8.2前後と、大きくてもせいぜいM8.2前後であり、M9の地震の発生は予測されていなかった。

なお、2003年5月26日に、北海道南方沖のプレート境界でM8.0の十勝沖地震が発生したが、地震調査研究推進本部では、この地震発生の直前に長期予測を公表していた。それによると、M8程度の地震の発生が予測され、30年確率で60%と非常に高い値であった。そして予測通りに、M8.0の2003年十勝沖地震が発生した。この地震は、1952年十勝沖地震(M8.1)の震源域で再び発生したもので、すべり量の大きな領域は、これら2つの地震でほぼ重なっており(Yamanaka and Kikuchi, 2003)、アスぺリティモデルを支持する観測事実としても、しばしば取り上げられてきた。

3. 予測とどう違っていたか？

そのような中で、東北沖地震が発生した。震源、すなわち破壊の開始点は、高い確率で発生が予測されていた宮城県はるか沖(三陸沖南部海溝寄り)であったものの、破壊はそこだけに止まらず、長さ約500km、幅約200kmの広い領域に及んだ。図2に、本震と余震の震央分布を示す。図か

ら、余震域は、岩手県沖、宮城県沖、宮城県はるか沖(三陸沖南部海溝寄り)、福島県沖、茨城県沖、三陸沖から房総沖の海溝寄りの6つの想定震源域に及んでいることがわかる。

東北沖地震については、多くの研究者により、遠地広帯域地震波形、近地強震波形、測地データ、あるいは津波データのインバージョン解析や、それらの同時インバージョン解析が行われてきた。その結果、多数のすべりモデルが提案されている。(なお、本誌52号に、八木(2011)によってそれらが詳しく紹介されているので、詳細はそちらを参照されたい。)

得られたすべりモデルは、すべりの空間分布の特徴から、本震すなわち破壊開始点付近に最大すべりがあるものと、海溝軸付近のプレート境界浅部に最大すべりが分布するものとの2つに大別される。ただし、宮城県沖の海溝軸付近に設置されていた海底地殻変動観測点のデータは、東南東方向に24mあるいは31mと極めて大きな変位を示す(Sato *et al.*, 2011; Kido *et al.*, 2011)。これは、海溝軸付近のプレート境界浅部に大きなすべりがあったことを示している。さらに、東北沖地震に伴って上盤プレート内の応力場が変化し、地震後は海溝軸に近い領域でも、プレートの収束方向(東南東-西北西方向)に最小主応力(σ_3)軸が向く応力場になったことが、中小地震のメカニズム解を用いた応力テンソル解析から明らかになった(Hasegawa *et al.*, 2012)。この観測事実も、海溝軸付近のプレート境界浅部に最大すべりがあるモデルを支持する。

図3には、陸上のGPSデータと海底地殻変動データの両方を用いて推定されたすべり分布を示す(Iinuma *et al.*, 2012)。このモデルでは、宮城県沖の海溝軸付近のプレート境界浅部で最大すべりがあり、その最大値は80mにも達する。最大値が本当に80mに達するかどうかはまだ検討の余地はあるものの、既に述べたように海底地殻変動データや応力場の変化からも最大すべりは海溝軸に近い浅いプレート境界で生じたと考えられ、そのすべり量が少なくとも50mは超える大きなすべりであったと推定される。また、すべり域の

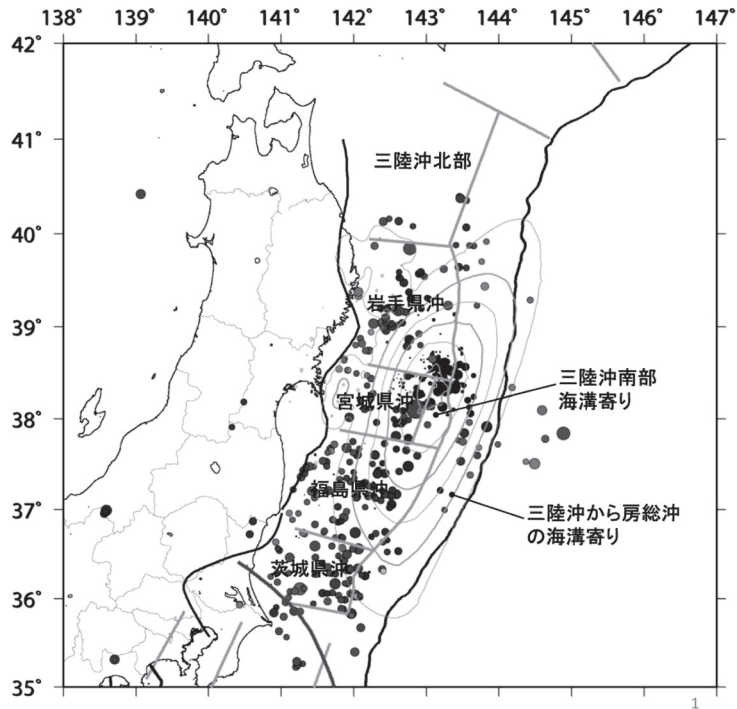


図2 東北沖地震の前震・本震・余震の震央分布。本震を大きい丸で示す。地震調査研究推進本部の長期評価による想定震源域(図1)を薄い実線で囲んで示す。太平洋沿岸付近を通る実線はプレート境界地震の深さの下限を、茨城県沖から千葉県沖を通る実線は太平洋プレートと接するフィリピン海プレートの北東縁を(Uchida *et al.*, 2009), それぞれ示す。

拡がり、すべり量が5m以上の領域だけでも450km×200kmの広範囲に及び、余震域の拡がりからもみられたように(図2)、東北沖地震は、岩手県沖、宮城県沖、宮城県はるか沖(三陸沖南部海溝寄り)、福島県沖、茨城県沖、三陸沖から房総沖の海溝寄りの6つの想定震源域が連動して破壊した地震であることがわかる。すなわち、高い発生確率で予測されていた宮城県沖、宮城県はるか沖(三陸沖南部海溝寄り)が予測通りにすべったものの、破壊はそれだけに止まらず、予測をはるかに超えた広い領域に及び、かつ、固着しているとは予測していなかった海溝軸付近のプレート境界浅部で極めて大きな最大すべりが生じ、結果としてM9.0の超巨大地震となった。

4. 何故M9になったか？

これは、東北沖地震の発生から1年が経過した

現在に至っても、依然としてわかっているわけではない。ただし、少なくとも言えることは、図3にもみられるように、東北沖地震では、普段安定すべりを起こしていると考えられていたアスペリティの外側の領域(非アスペリティ領域)でも、大きな動的すべり(地震すべり)が生じたということである。

2つの物質が接触していると、接触面に沿って摩擦力が働く。接触面に沿ってすべり始めると、摩擦係数は静止摩擦係数から動摩擦係数に変わる。近年の室内実験に基づく研究により、摩擦係数はすべり速度と過去のすべり履歴に依存することが明らかになってきた。そして、すべり速度とすべり履歴に依存した速度-状態依存摩擦構成則が提案され、それに基づいて、地震現象を断層面に沿う摩擦すべりとして表現することが試みられるようになった(Dieterich, 1979; Ruina, 1983)。

図4に、摩擦係数がすべり速度に依存する様子

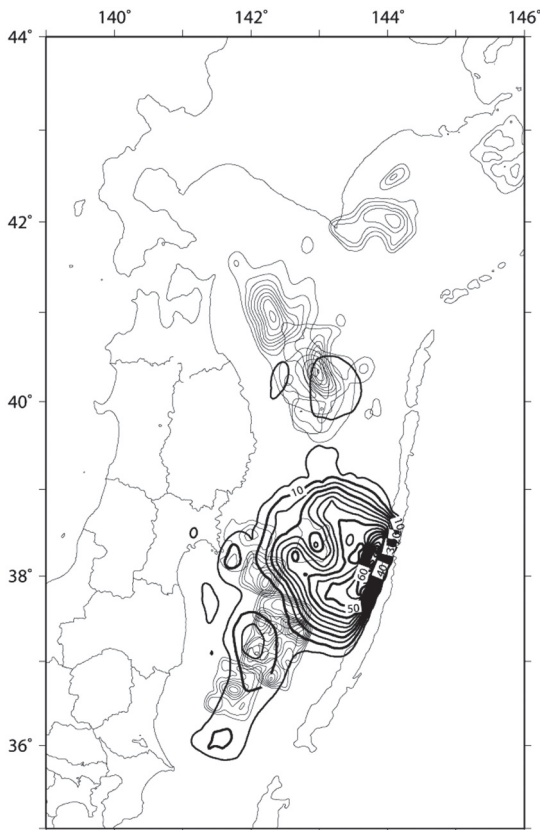


図3 東北沖地震によるすべり量分布と過去の大地震のすべり量分布. 東北沖地震のすべり量分布 (Inuma *et al.*, 2012) を濃い実線で, 過去の大地震のすべり量分布 (Yamanaka and Kikuchi, 2004; 室谷・他, 2003) を薄い実線で示す.

を模式的に示す. 図4 (a) に示すように断層面に沿うすべり速度が V_1 から V_2 に上昇すると, 図4 (b), (c) に示すように摩擦係数も一旦上昇する. その後, 減少し, 図4 (c) に示すように, 最終的に前よりも大きな値になる (すべり速度強化) 場合は, 動的なすべりに移行せずじずるとすべる安定すべりが生じる. 一方, 図4 (b) のように, 最終的に前よりも小さな値になる (すべり速度弱化) 場合, すべり速度が速くなればなるほど摩擦係数が小さくなるということであり, 動的なすべり, すなわち地震すべりが生じることになる. つまり, 摩擦パラメーターが図4 (b) のような値 ($a-b$ が負) を持つ接触面では地震性

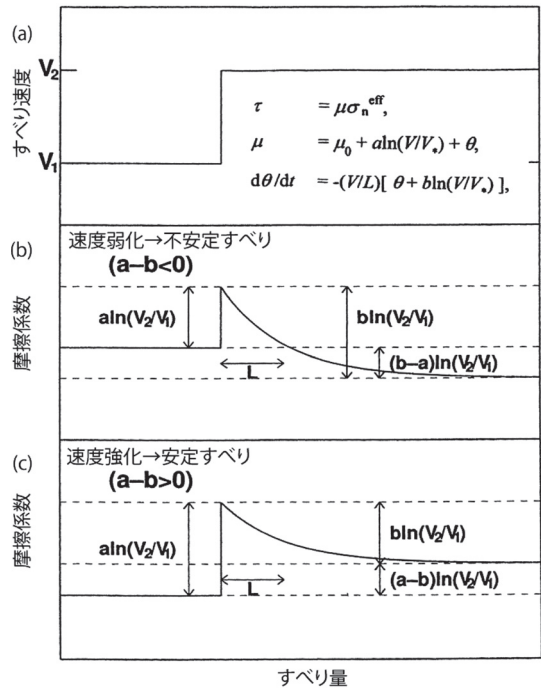


図4 速度-状態依存摩擦構成則の例とすべり速度変化に対する摩擦の振る舞い (平澤, 1999).

すべり (不安定すべり) が生じ, 摩擦パラメーターが図4 (c) のような値 ($a-b$ が正) を持つ接触面では安定すべりが生じる. 普段は固着して地震時に動的にすべるアスぺリティは $a-b$ が負 (すべり速度弱化) の領域であり, 一方, 安定すべりを起こす非アスぺリティ領域は $a-b$ が正 (すべり速度強化) の領域ということになる. アスぺリティモデルはもともと金森ら (Kanamori, 1981; Lay and Kanamori, 1981) によって提唱されたものであるが, 後に Scholz (1990) や Boatwright and Cocco (1996) により, この速度-状態依存摩擦構成則を用いて上記のような解釈が与えられた. なお, 動的すべりに移行するのに必要なすべり量 (図4で L) は臨界すべり量と呼ばれ, 以下にみるように, これも断層面に沿う摩擦すべりの振る舞いを規定する重要なパラメーターの1つである.

東北沖地震の発生後, 何人かの研究者が, 室内実験で得られたこの速度-状態依存摩擦構成則を用いた数値シミュレーションにより, 東北沖地震

のような超巨大地震の再現を試みた。例えば、Kato and Yoshida (2011) は、プレート境界浅部では、その中に含まれる流体が深部に較べて地表(海底)に抜け易く間隙流体圧が相対的に低いと想定される、従って有効法線応力が高く、結果として固着が強くなることが期待されると考えた。このような考え方に基づいて構築された、海溝軸付近のプレート境界浅部に強いアスペリティが存在する彼らのモデルは、浅部の強いアスペリティが深部の弱いアスペリティと連動して数百年に一度発生する超巨大地震、すなわち東北沖地震を再現することができる。

Hori and Miyazaki (2011) は、東北沖地震の震源域全体がすべり速度弱化域であり、その中に臨界すべり量が小さい領域が、臨界すべり量の非常に大きな領域に囲まれてパッチ状に存在するような階層アスペリティモデルを提案した。このモデルでは、短い時間スケールでは臨界すべり量が小さい領域だけが地震としてすべり、すなわちアスペリティとして振る舞い、一方、長い時間スケールでは周囲の臨界すべり量の非常に大きな領域をも巻き込んで全体がすべる、すなわち東北沖地震のような超巨大地震の発生である。このモデルによれば、非アスペリティ領域と推定していた領域も実はすべり速度弱化域であり、我々は、単に短い時間スケールで臨界すべり量の小さい領域の振る舞いのみに注目していたことになる。

地震時のすべりによって摩擦熱が発生するので、プレート境界層中に流体が含まれていれば、それが膨張して間隙流体圧が上昇し、結果として摩擦強度が低下する。Mitsui and Iio (2011) は、東北沖地震では、この効果 (thermal pressurization) によりプレート境界で極端な摩擦強度の低下が起こり、結果として大きなすべりを生じさせたとした。実際、Yagi and Fukahata (2011) が指摘しているように、海溝軸近傍のプレート境界浅部ですべりが長時間継続すれば、摩擦強度の極端な低下が起こると期待され、その結果、大きなすべりが生じると推定される。

Shibazaki *et al.* (2011) は、すべり速度が低速のうちですべり速度強化の性質を示していても、

すべり速度がある critical な値を超えると thermal pressurization などにより一転してすべり速度弱化に変わるという、最近の摩擦構成則の研究結果に基づいて、3次元のプレート境界モデルを構築し、東北沖地震の再現に成功した。用いたモデルでは、図5 (a) に示すように、低-中すべり速度ですべり速度弱化を起こすアスペリティが、同じく低-中すべり速度ですべり速度強化を起こす非アスペリティ領域に囲まれて存在する。ただし、図5 (b) に示すように、高すべり速度では、どちらの領域もすべり速度弱化の性質を持つ。シミュレーションの結果は、図5 (c), (d) にみられるように、アスペリティ領域が数十年に一度の割合ですべり、M7-8 程度の地震を発生させるが、ひずみはそれだけでは完全には解放されず、やがて、すべり速度がある critical な値を超えて極端なすべり速度弱化を起こし、アスペリティ領域も非アスペリティ領域も連動して、結果として広域にわたって大きな地震すべりを生じさせる。それにより溜っていたひずみはほぼ完全に解放される。図5 (c), (d) にみられるおよそ900年に一度の超巨大地震の発生である。東北沖地震の発生により、ひずみ(応力)が殆ど解放されたことは、本震前後の地震のメカニズム解を用いた応力解析からも明らかになっている (Hasegawa *et al.*, 2011)。

以上のように、東北沖地震でみられた非アスペリティ領域での大きな動的すべりの発生は、室内実験で得られた速度-状態依存摩擦構成則を用いて再現することが、どうやら可能なようである。その意味で、東北沖地震のような超巨大地震も含めて、地震は、摩擦構成則に則して振る舞う、断層面に沿う摩擦すべりであると言えよう。ただし、現実のプレート境界で摩擦パラメーターがどのような値なのか、私達は情報を持っていないので、上記のうち、どのモデルが妥当であるか、あるいは他に妥当なモデルが存在するのか、現時点では決着はつけられない。いずれにしても、この地域では、数十~百数十年程度の間隔で繰り返すM7-M8程度の地震だけでは、プレート境界のすべり遅れを全て解消することができず、500年~

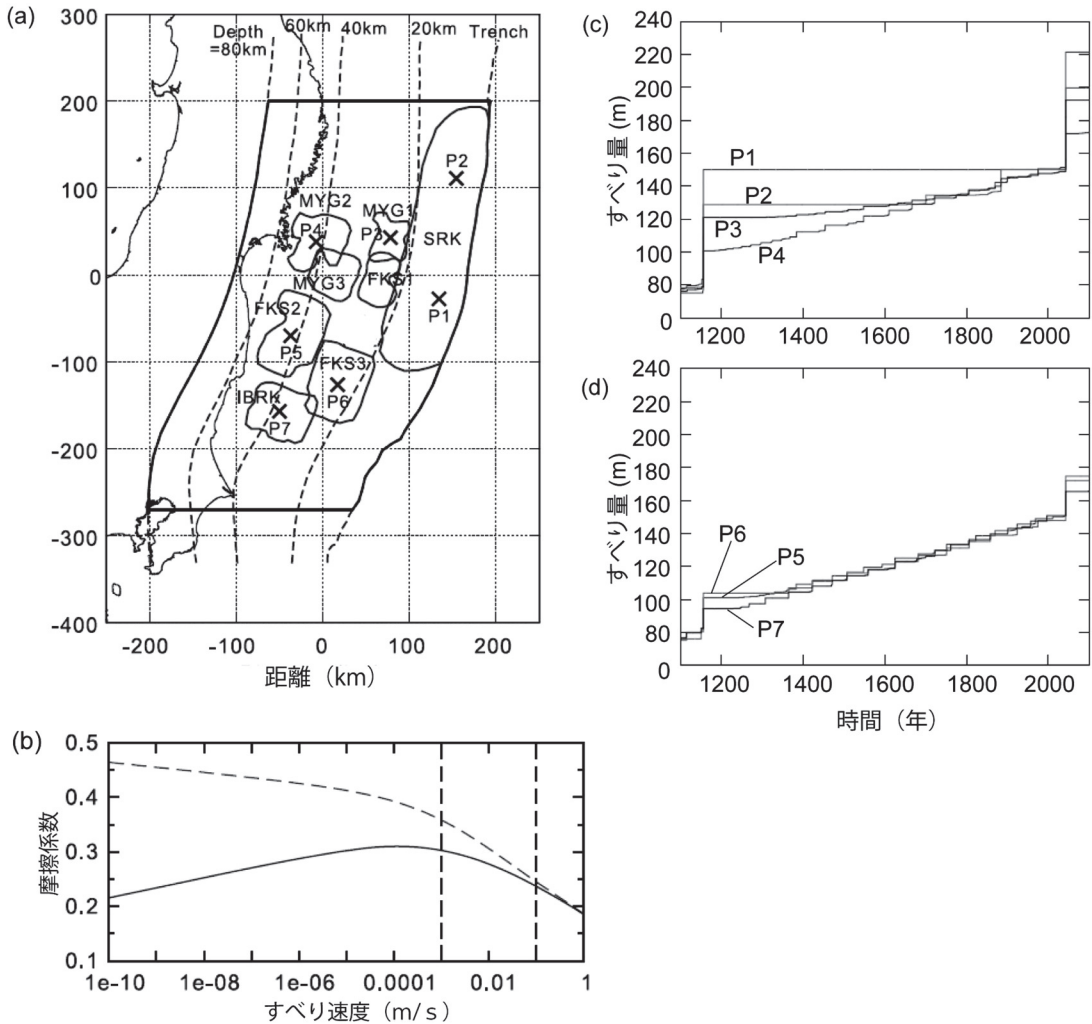


図 5 3D モデルを用いた摩擦構成則に基づく東北沖地震のシミュレーション (Shibazaki *et al.*, 2011). (a) プレート境界に沿うアスペリティの分布. アスペリティを実線で囲んで示す. 破線のコンターはプレートの深さ分布を示す. (b) 用いたすべり速度に依存する摩擦係数. 低-中すべり速度では, アスペリティ (破線) はすべり速度弱화를, 周囲の非アスペリティ領域 (実線) はすべり速度強化特性を持つが, 高すべり速度では, どちらの領域もすべり速度弱化的特性を持つ. (c) 図(a)に示したP1, P2, P3, P4の位置におけるすべりの時間発展. (d) 図(a)に示したP5, P6, P7の位置におけるすべりの時間発展.

1000 年程度の間隔で東北沖地震のような超巨大地震が発生することによって, それを解消すると考えられる.

5. 何故予測できなかったか?

残念ながら, それが現在の地震学の実力であると言えよう. その直接の原因として, 第一に, 現

在の長期予測が, 高々過去 100 年~200 年程度という, 地震発生サイクルからみたら余りにも短い期間の地震発生履歴データに基づいていることが, まずあげられる. 計器観測はおよそ 100 年間程度であり, 今回の東北沖地震のような超巨大地震が 500 年~1000 年程度に 1 回の割合で発生するのであれば, 基にしている地震発生履歴データがあまりにも不完全であったと言わざるを得な

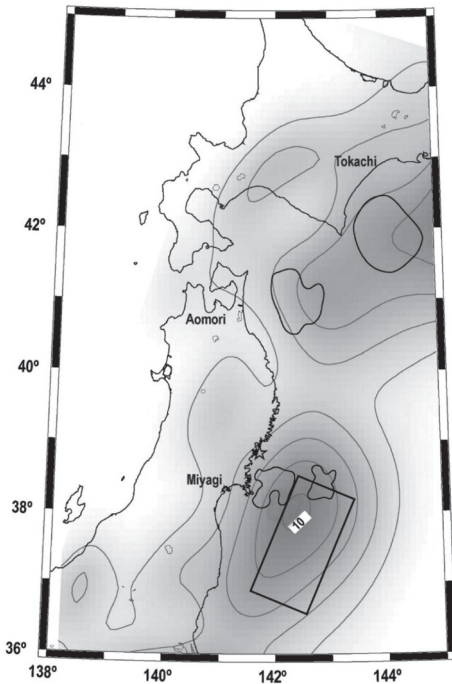


図 6 プレート境界の固着の分布と 869 年貞観地震の震源モデル. GPS データ (1997 年-2002 年) から推定されたバックスリップの分布 (Suwa *et al.*, 2006) をコンター (2cm 間隔) と白黒の濃淡で示す. 津波堆積物の分布と津波シミュレーションとの比較から推定された 869 年貞観地震の震源モデル (佐竹・他, 2008) を四角で示す. 実線で囲んだ領域は, 2002 年時点で未破壊のアスぺリティ.

い. 第二に, 海域での観測データ, 特に地殻変動観測データが決定的に不足していたことがあげられる. 既に述べたように, 今回の東北沖地震では, 海溝軸近傍のプレート境界浅部で極めて大きなすべりが生じたが, そこでのプレート間カップリングの状況は, 陸上の GPS データからだけでは全く検出できない. プレート境界浅部は, 陸からは遠過ぎて固着状況推定の解像度がないからである.

海底地殻変動データの重要性, 地震発生履歴データの期間を格段に伸ばすことの重要性を, 私達は, 東北沖地震発生前に十分に認識していた. 地震調査研究推進本部では, 海底地殻変動観測手法の開発, 津波堆積物調査のための研究プロジェクトを早い段階で立ち上げて研究の推進を図ってきた. その成果が得られ始めた (例えば, 澤井・

他, 2007; 穴倉・他, 2007; 佐竹・他, 2008; 佐藤・他, 2008) ばかりの段階で今回の東北沖地震が発生し, 結果として間に合わず, M9 の推定までには至らなかった. 東北沖地震の発生までに, もう少し時間的猶予があったならば, と誠に残念な思いである.

ただし, 東北沖地震前に何のヒントもなかったわけではない. 図 6 に示すように, GPS データのバックスリップインバージョンにより, プレート間カップリングの大きい領域が宮城県沖から福島県沖にかけて広く分布することが明らかになっていた (例えば, Suwa *et al.*, 2006). 宮城県沖地震重点的調査研究のプロジェクトで系統的に行われてきた津波堆積物調査により, 869 年貞観地震の震源断層モデルも構築されるまでに至った (佐竹・他, 2008). 図 6 の四角で囲んだ領域が, 津波シミュレーションとの比較から推定された, プレート境界に沿う震源断層であり, マグニチュードも 8.4 と見積もられた. GPS から推定されたプレート間カップリングの大きい領域と見事に一致することがわかる. この結果が得られたことから, 私達は, この程度の規模の地震が宮城県沖から福島県沖のプレート境界で発生することはあるだろうと思うようになった. 東北沖地震発生直前になって, ここまでたどり着いたと言えよう. しかし, M9 に届くほどの超巨大地震の発生までは想定できなかった.

その理由として, 古いプレートの沈み込み帯では超巨大地震は起こらないという 1970 年代に提唱されたモデル (Uyeda and Kanamori, 1979; Ruff and Kanamori, 1980) が定説化し, そのように思い込んでしまったということもあろう. 言わば, 一種の思考停止状態であった. 実は, M9.2 の 2004 年スマトラ沖地震の発生後, それまでのデータは必ずしもこのモデルを支持しないという研究結果が出されていた (Stein and Okal, 2007; McCaffrey, 2007) のにである. Kanamori *et al.* (2006) は, 宮城県沖から福島県沖のすべり遅れを解消するため, いずれはゆっくりすべりイベントか, あるいは大地震が発生する可能性を指摘していた. 私達は, 上記の津波堆積物調査の結果が

得られてからは、後者の可能性として、貞観地震の再来を念頭に置いてはいた。しかし、その発生が切迫していると、それほど深刻には考えていなかった。今思うと、もう少し慎重に検討しておくべきであったと反省している。そもそも地震学では、推定に使える情報が不完全・不十分なのは、ある意味で宿命的なことであり、不完全・不十分な情報をつなぎ合わせ、想像力を駆使して如何に適切に推定していくかは常に心すべきことであるから。

ただし、如何に慎重に検討していたとしても、今回の東北沖地震の発生前に、この地域にM9の超巨大地震が近い将来に発生することを、的確に予測できただろうとまでは思わない。そこまで達するには、まだ情報量も足りず、また私達の理解の程度も不足していたからである。情報量を格段に増やし、理解を格段に深めることが、今求められている。

参考文献

- Boatwright, J. and M. Cocco, 1996, Frictional constraints on crustal faulting. *Journal of Geophysical Research*, 101, 13895-13909.
- Dieterich, J.H., 1979, Modeling of rock friction 1. Experimental results and constitutive equations, *J. Geophys. Res.*, 84 (B5), 2161-2168, doi:10.1029/JB084iB05p02161.
- 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*, 63, 703-707, doi:10.5047/eps.2011.06.007.
- Hasegawa, A., K. Yoshida, Y. Asano, T. Okada, T. Iinuma and Y. Ito, 2012, Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, submitted to *Earth Planet. Sci. Lett.*
- 平澤朋郎, 1999, 地震予知の新たな展開, 地球観の新しい奔流 —測地学審議会創基100年を記念して— (平澤威男編), 49-71.
- Hori, T. and S. Miyazaki, 2011, A possible mechanism of M9 earthquake generation cycles in the area of repeating M7~8 earthquakes surrounded by aseismic sliding, *Earth Planets Space*, 63, 773-777.
- Iinuma, T., R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto and S. Miura, 2012, Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data, *J. Geophys. Res.*, in review.
- Kanamori, H., 1981, The nature of seismicity patterns before large earthquakes, in "Earthquake prediction : an international review", ed. by D.W. Simpson and P.G. Richards, Maurice Ewing Ser., 4, AGU, Washington D.C., 1-19.
- Kanamori H., M. Miyazawa and J. Mori, 2006, Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms, *Earth Planets Space*, 58, 1533-1541.
- Kato, N. and S. Yoshida, 2011, A shallow strong patch model for the 2011 great Tohoku-oki earthquake : A numerical simulation, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G04, doi:10.1029/2011GL048565.
- Kido, M., Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino and Y. Ito, 2011, Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38 (L24303), doi:10.1029/2011GL050057.
- Lay, T. and H. Kanamori, 1981, An asperity model of large earthquake sequences, in "Earthquake prediction : an international review", ed. by D.W. Simpson and P.G. Richards, Maurice Ewing Ser., 4, AGU, Washington D.C., 579-592.
- 室谷智子・菊地正幸・山中佳子, 2003, 1938年に起きた複数の福島県東方沖地震の破壊過程, 地球惑星科学関連学会2003年合同大会, S052-0003.
- McCaffrey, R., 2007, Geophysics : The next great earthquake, *Science*, 315, 1675-1676.
- Mitsui, Y. and Y. Iio, 2011, How did the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake start and grow? The role of a conditionally stable area, *Earth Planets Space*, 63, 755-759.
- Ruff, L. and H. Kanamori, 1980, Seismicity and the subduction process, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 23, 240-252.
- Ruina, A., 1983, Slip instability and state variable friction laws, *J. Geophys. Res.*, 88 (B12), 10,359-10,370, doi:10.1029/JB088iB12p10359.
- 佐竹健治・行谷佑一・山木滋, 2008, 石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, No.8, 71-89.
- Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita,

- M. Mochizuki and A. Asada, 2011, Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, 332, 1395.
- 佐藤まりこ・木戸元之・田所敬一, 2008, GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測～観測成果と新たな取り組み～, *測地学会誌*, 第54巻, 第3号, 113-125.
- 澤井祐紀・穴倉正展・岡村行信・高田圭太・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎・藤原治・佐竹健治・鎌滝孝信・佐藤伸枝, 2007, ハンデジオスライサーを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査, *活断層・古地震研究報告*, No. 7, 47-80.
- Scholz, C.H., 1990, *The mechanics of earthquakes and faulting*, Cambridge University Press, 439.
- Shibazaki, B., T. Matsuzawa, A. Tsutsumi, K. Ujiie, A. Hasegawa and Y. Ito, 2011, 3D modeling of the cycle of a great Tohoku-oki earthquake, considering frictional behavior at low to high slip velocities, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L21305, doi:10.1029/2011GL049308.
- 穴倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than Tin Aung・石山達也・藤原治・藤野滋弘, 2007, 石巻平野における津波堆積物の分布と年代, *活断層・古地震研究報告*, No. 7, 31-46.
- Stein, S. and E.A. Okal, 2007, Ultralong period seismic study of the December 2004 Indian Ocean Earthquake and implications for regional tectonics and the subduction process, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97, S279-S295.
- Suwa, Y., S. Miura, A. Hasegawa, T. Sato and K. Tachibana, 2006, Interplate coupling beneath NE Japan inferred from three dimensional displacement fields, *J. Geophys. Res.*, 111, B04402, doi:10.1029/2004JB003203.
- Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa and T. Matsuzawa, 2009, What controls interplate coupling? : Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 283, 111-121.
- Uyeda, S. and H. Kanamori, 1979, Back-arc opening and the mode of subduction, *J. Geophys. Res.*, 84, 1049-1061.
- Yagi, Y. and Y. Fukahata, 2011, Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L19307, doi:10.1029/2011GL048701.
- 八木勇治, 2011, 東北地方太平洋沖地震の諸モデル, *地震ジャーナル*, 52, 1-9.
- Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, 2003, Source process of the recurrent Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves, *Earth Planets Space*, 55, e21-e24.
- Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, 2004, Asperity map along the subduction zones in northeastern Japan inferred from regional seismic data, *Journal of Geophysical Research*, 109, B07307. doi:10.1029/2003JB002683.

長谷川 昭

[はせがわ あきら]

現職 東北大学名誉教授
理学博士

略歴 東北大学理学部卒業。東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程修了。東北大学理学部助手、助教授、教授を経て、現職

研究分野 地震学, 特にプレート沈み込み帯の地震の発生機構。

著書 *Magmatic Systems* (Academic Press, 分担執筆) など。



首都直下の地震は切迫しているか？

首都圏の直下には2つのプレートが沈み込み、複雑な地震活動を起こしている(図1)。これらのうちで最大規模の地震は、1923年関東地震や1703年元禄地震に代表される、相模湾を震源とするM8級の海溝型地震だが、この型の地震は200~400年の周期で繰り返すとされ、関東地震から90年弱しか経っていない現時点では、さほど差し迫っていないと考えられている。

一方、首都圏を襲う地震には、ひとまわり小さいM7級だが甚大な被害をもたらすタイプがある。もっとも有名な例は1万名近い死者を出したと言われる1855年(安政)江戸地震であり、このようなM7級地震の発生にはある程度の切迫性があるとされている。

人々の高い関心を集め、その発生が恐れられている「首都直下の地震」に関しては、2つの政府発表がなされている。ひとつは中央防災会議がまとめた「首都直下の地震による被害想定」であり、もうひとつは地震調査研究推進本部が公表した「南関東で発生するM7程度の地震の発生確率」である。この2つの内容は似て非なるところがあるのだが、混同されて解釈されるケースがあまりに多い。

(1) 東京湾北部地震

中央防災会議(2005)は、首都直下地震対策専門調査会において、首都直下で発生する様々なM7級地震を対象に被害想定を行った。

検討された地震モデルは、図2に示すように、M7.3のプレート境界型3例、M7級の活断層型5例、および首都圏のどこでも発生し得

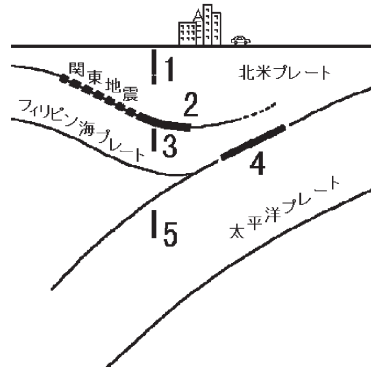


図1 首都直下の地震の発生様式(岡田, 1992)

るM6.9の浅発直下型10例の、計18例である。プレート境界型の3例は図1のタイプ2に相当し、関東地震の深部延長部を震源としているが、その他のモデルは図1のタイプ1である。

これらの内、もっとも大きな被害が予想されるためにマスコミでよく取り上げられるのが、プレート境界型の「東京湾北部地震」である。

風が強い冬の夕方という最悪条件下でこの地震が発生した場合、死者1万1千人、負傷者21万人、家屋全壊85万棟、経済損失112兆円という被害が予想されており、また650万人もの帰宅困難者が生じるといふ。まさに、安政江戸地震の再来といえよう。

(2) 30年以内に70%

一方、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004)は、南関東地域で発生するM7級地震の発生可能性を評価し、公表している。

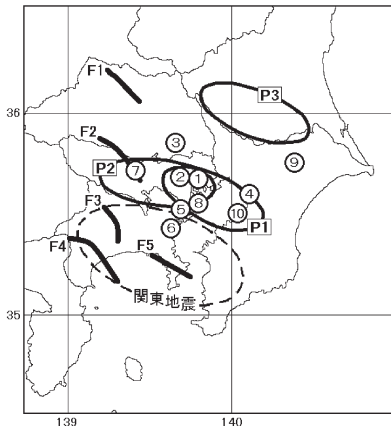


図2 首都直下で発生するM7級地震のモデル(中央防災会議, 2005)

(a) M7.3のプレート境界型地震

P1: 東京湾北部, P2: 多摩, P3: 茨城県南部

(b) M7級の活断層型地震

F1: 関東平野北西縁断層帯 (M7.2)

F2: 立川断層帯 (M7.3)

F3: 伊勢原断層帯 (M7.0)

F4: 神縄・国府津-松田断層帯 (M7.5)

F5: 三浦半島断層群 (M7.2)

(c) 深さ5km, M6.9の直下型地震

①都心東部, ②都心西部, ③さいたま市,

④千葉市, ⑤川崎市, ⑥横浜市, ⑦立川市,

⑧羽田空港, ⑨成田空港, ⑩市原コンビナート

ここでいう「南関東地域のM7級地震」とは、図3の破線領域内の深さ30~80kmで発生するM6.7以上の地震と定義されている。震源の深さが信頼できる1885年以降2004年までの地震データで見ると、以下の5件が該当する。

1894/ 6/20 M7.0 東京湾（明治東京地震）	死者 31
1895/ 1/18 M7.2 茨城県南部（霞ヶ浦）	死者 9
1921/12/ 8 M7.0 茨城県南部（龍ヶ崎）	小被害
1922/ 4/26 M6.8 浦賀水道	死者 2
1987/12/27 M6.7 千葉県東方沖	死者 2

120年間に5つの地震が発生しているの、その平均発生間隔は24年となる。ちなみに、九十九里浜の直下で発生した1987年千葉県東方沖地震から数えると今年には25年目である。

この型の地震は平均発生間隔24年でランダムに発生していると仮定してポアソン・モデルを適用すると、このような地震が30年以内に発生する確率は70%という数字が出てくる。

ただ、上記リストにある通り、「30年以内に70%」の根拠となった5つの地震の被害はいずれも中程度であり、決して安政江戸地震や東京湾北部地震のような巨大被害地震ではない。また、5例の地震はいずれも沈み込んだプレート内で発生しており（図1のタイプ3又は5）、プレート境界型（タイプ2）の東京湾北部地震とはメカニズムが異なる。さらに、最初の4例は1923年関東地震発生前の30年間に集中しており、ランダム発生というには無理がある。

それでも世の中では、中央防災会議の被害想定結果と地震調査委員会の長期評価結果を安易に結びつけ、「東京湾北部地震が今後30年以内に70%の確率で発生する」と受け取れるような誤ったメッセージが発信され続けており、必要以上に恐怖感を与えているように思われる。

東京湾北部地震のイメージに近い事例は、最近400年間の中で安政江戸地震の1例しかない。数百年に1度しか起きない地震と、24年ほどの短周期で繰り返される地震を同列に扱うことはおかしいが、それでも最悪の場合を考えれば、次に起きる24年目の地震がたまたま数百年ぶりの地震に合致するという確率はゼロではない。

ただ、次にくる直下の地震は、上の5例と同様の中被害地震にとどまるという可能性の方が、はるかに大きいだろう。

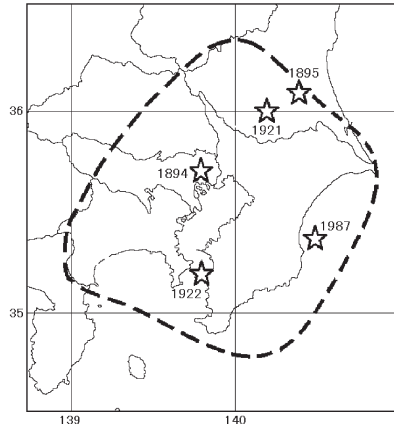


図3 1885~2004年に南関東地域の深さ30~80kmで発生したM6.7以上の地震（地震調査研究推進本部, 2004）

(3) 4年以内に70%

東北地方太平洋沖地震のもたらした大きな地殻変動による歪変化で、南関東地域で発生する中小地震の数は従来よりも数倍に高まったことが、東大地震研のグループより発表された。

地震学の基礎的な統計則であるグーテンベルグ・リヒター式によれば、小さな地震の発生数が増えれば、大きな地震も同じ割合で増加する。これに余震数の減衰法則を組み合わせた「余震の確率評価手法」を適用し、同グループは「首都圏でM7級の誘発地震が発生する確率は今後30年で98%、4年で70%」との見解を示した。

乱暴に言えば、24年に1度というM6.7以上の地震の発生頻度が、一時的に4~5年に1度に高まったということである。いずれにせよ、首都直下の地震は遅かれ早かれやってくるであろう。しかし、前節で述べたとおり、次の直下地震が巨大な被害地震となる可能性は、それほど高くないのではないか。

（岡田義光：防災科学技術研究所理事長）

参考文献

- 岡田義光（1992）：首都圏直下に発生する地震のタイプ分け，地震学会講演予稿集，No. 2，A69.
- 中央防災会議（2005）：首都直下地震対策専門調査会報告，92pp.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004）：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価について，58pp.

2009年駿河湾の地震がプレート間地震の発生に及ぼす影響

浅野陽一・青井 真・エネスク ボグダン・鈴木 亘・
小原一成・功刀 卓・汐見勝彦

1. はじめに

大きい地震（本震）が起きた後には、それに引き続いて余震とよばれる地震が多数発生することが知られている。こうした地震の中には、本震の震源断層に沿って発生するもの（狭義の余震）ばかりではなく、震源断層から離れた場所で発生するもの（広義の余震）もあることが知られているが [例えば、宇津 (1999)], “余震” についての広く共通な、かつ厳密な定義があるわけではない。このような広義の余震は研究者以外には馴染み薄いものであった。しかしながら、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生後には震源断層から遠く離れた場所も含めた各地で様々なタイプの地震が多数発生し [たとえば、岡田 (2011)], しかも被害が伴うような規模の地震も複数あったことは皆様の記憶にも新しいであろう。

このような広義の余震は、本震の発生による地下における力のバランスの変化（応力変化）によって誘発された地震と考えられている。既にすべる直前の状態にあった断層が、僅かな応力変化による最後の一押しを受けて地震発生時期を早めたという考え方である。このような考え方は、巨大地震が中小規模の地震を誘発する場合にのみに当てはまるものではなく、その逆も考えられる。我々は、2009年8月に駿河湾でマグニチュード (M) 6.5の地震が発生した後に、この地震が想定東海地震のようなプレート間地震の発生にどのような影響を及ぼすかを評価した。ここでは、2010年7月に *Nature Geoscience* 誌に掲載されたこの研究成果 [Aoi *et al.* (2010)] について述べる。

2. 2009年駿河湾の地震

2009年8月11日5時7分に駿河湾を震源とするマグニチュード (M) 6.5の地震が発生し、最大震度6弱の強い揺れが観測された。また、同じ駿河湾では2011年8月1日にも M 6.1の地震が発生した。2009年の駿河湾の地震（以下、単に駿河湾の地震）については、1名の死者と300人を超える負傷者が出たのをはじめ [消防庁 (2010)], 東名高速道路の盛土部分が崩落するなどの被害を生じた [国土交通省 (2009)], この大きな被害もさることながら、この地震は、想定されてきた東海地震（以下、想定東海地震）との関連についても注目された。

駿河湾から四国沖にかけての太平洋側では、100~200年間隔で M 8級の巨大地震が繰り返し発生し [図1] [例えば、Ando (1975)], 大きな被害をもたらしてきたことが知られている。この領域では、フィリピン海プレートとよばれる海側の岩盤が日本列島に向かって進行し、南海-駿河トラフから陸側のプレートの下に沈み込んでいく。これらのプレートどうしの境界（以下、プレート境界）は、普段は部分的に固着して（くっついて）いるものの、沈み込みの進行にともなうプレート境界面にかかる力が徐々に蓄積し、やがてある強度を超えた時点でプレート間地震として急激にすべることによってその力を解放する。近年では、1944年には紀伊半島沖から渥美半島沖を震源域とする東南海地震が、1946年には紀伊半島から足摺岬沖を震源域とする南海地震が発生してきたが、遠州灘から駿河湾にかけてはすべりが生じておらず、力が蓄積したままであると考

えられている。この場所でいつ発生してもおかしくないと懸念されてきたのが想定東海地震である。平成13年(2001年)には、中央防災会議の専門調査会において想定していた震源域についての見直しが行われ、そこでの議論の結果、ナスのような形をした領域[図1]を震源域と考えるのが妥当であると判断されている[中央防災会議(2001)]。駿河湾の地震は、このような状況の中で発生した。この地震が想定東海地震の震源域内で発生したことから、地震防災対策強化地域判定会委員打ち合わせ会が臨時に開催されて想定東海地震との関連が検討されるとともに、東海地震観測情報が発表された(情報名称等は現在では変更されている)[気象庁(2009a, b, c)]。この情報の第3報の中で気象庁は、 $M 6.5$ の地震はフィリピン海プレート内で発生した地震(プレート間地震である想定東海地震とはタイプが異なる地震であり、スラブ内地震ともよばれる)であり、それに伴う地殻変動なども含めて想定東海地震の発生に直接結びつくものではないとの判断を発表した。

規模の大きな地震が発生した場合には、その地震がどのような断層運動によって生じたのかを明らかにするために、その地震の震源および発震機構解や直後の余震分布をまず調べるのが定石である。発震機構解とは、断層面とそれに直交する2つの面やそれらに働く食い違い力の向きなどを規定する基本情報のことであり、各観測点で記録された地動の初動極性(最初に地面が上がったか下がったか)から推定される初動解と、点震源を仮定して長周期帯の記録波形を説明するように推定されるモーメントテンソル(MT)解などがある。駿河湾の地震については、防災科学技術研究所(以下、防災科研)の高感度地震観測網(Hi-net)による初動解は、東南東-西北西方向に張力軸、北北東-南南西方向に圧縮軸を持つ横ずれ型であった。広帯域地震観測網(F-net)データに基づくMT解についても、やや逆断層成分を含むものの、圧縮軸はやはり北北東-西南西方向であり、初動解と調和的であった。高角(急傾斜)の断層面を示唆するこれらの発震機構解は、低角(緩傾斜)で沈み込むフィリピン海プレートと陸

側のプレートとの境界で発生するプレート間地震のそれとは大きく異なる。また、Hi-netによる震源の深さは約21km、F-netによるセントロイド(長周期帯の記録波形を説明する点震源の位置)の深さは20kmであった。この場所でのプレート境界の深さは約10km程度とされていることから、破壊の開始も主破壊もそれより深い場所で起こったことがわかる。これらのことから、駿河湾の地震は、想定東海地震とはまったくタイプの異なる沈み込むプレート内で発生した地震と考えられる。この点において、この $M 6.5$ のプレート内地震は想定東海地震とは直接は関係のない地震とも言える。一方で冒頭にも述べたように、地震の発生による応力変化が異なるタイプの地震を誘発することも当然ながら考えられる。そこで本研究では、プレート内地震である駿河湾の地震が近接するプレート境界にどのような応力変化をもたらし、想定東海地震のようなプレート間地震の発生にどのような影響を及ぼすのかを評価することを試みた。

3. 駿河湾の地震の震源断層モデル

まず初めに我々は、駿河湾の地震の断層面の詳細な形状を調べた。規模の大きな地震(本震)に引き続いて発生する余震には、本震の震源断層に沿って発生するものも多いため、その分布を詳細に調べることで震源断層の形状が分かる場合がある。ここでは、防災科研Hi-net、気象庁、および東京大学地震研究所の観測点の中から震央距離が概ね100km以内となる28点を選び、ダブル・ディファレンス法[Waldhauser and Ellsworth(2000)]とよばれる精密震源決定法によって解析した。この方法は、通常の震源決定法で用いられるP波およびS波到達時刻の観測値データのみならず、波形相関解析による位相差から得られる精度の高い到達時刻差データをも使用することができるため、相対位置としては高精度の震源決定が可能である。解析の結果、2009年8月20日までの約10日間に発生した余震のうち、864個の震源を精度良く決定することができた[図2]。

その分布は単純な平面状ではなく、南東側に位置する南南東傾斜の面と北西側に位置する北東傾斜の面のほぼ直角に接する二枚の面によって近似できることが分かった。

次に、これらの二面からなる震源断層のどの場所がどれだけすべったかを詳細に推定するために、防災科研の強震観測網 (K-NET) の6点と基盤強震観測網 (KiK-net) の7点によって観測された近地強震波形データをマルチタイムウィンドウ法 [Hartzell and Heaton (1983)] によって解析した。具体的には、余震分布から仮定した二面の断層を小断層に分割し、それぞれにおける震源時間関数 (すべりの時間発展を表す関数) のパラメータをS波部分13秒間の記録を説明するように推定した。その結果、すべり量が大きい領域はすべりが始まった点の西側に位置し、二面にまたがるように広がっていることが明らかとなった [図3]。

4. 期待される応力変化と地震発生率の変化

前章までの解析によって、駿河湾の地震の断層すべりの分布が明らかになった。この断層モデルと媒質の弾性定数を仮定すれば、この地震の前後で地下の媒質にはたらく力 (応力) がどのように変化したか (応力変化) を評価することができる [例えば、Okada (1992)]。応力は、直交する3面のそれぞれに働く、直交する3成分それぞれの方向の単位面積あたりの力として表現される。ここでは特に、プレート境界面における想定東海地震時のすべり方向に沿った剪断応力の変化、法線応力の変化、および見かけ摩擦係数 (0.4を仮定) から、駿河湾の地震の前後でプレート境界がすべりやすくなったかどうかを表すクーロン破壊応力変化 [例えば、遠田 (2002)] とよばれる指標を評価した [図4a]。図中のカラースケールは、ナスの形をした想定東海地震震源域のプレート境界面に沿ったクーロン破壊応力変化を表し、赤色はすべりを促進するような力の増加を、青色は減少を意味する。緑色丸印は、駿河湾の地震発生後から同月末までの20日間に発生した地震のうち、

仮定したプレート境界モデルから深さ3km以内で発生したイベントの震央を示す。この範囲は、発震機構解などからプレート間地震であると識別された地震の深さ分布を考慮して決めた。ただし、駿河湾の地震による応力変化によってトリガーされたプレート間地震の活動を調べるという観点から、駿河湾の地震の震源断層から2km以内で発生した地震は除いた。震源断層に近接した場所では、応力変化が仮定した震源断層モデルに強く依存する。そのため、モデルに不確定性があってもその影響の小さい、震源断層から一定距離以上離れた場所で発生する地震と応力変化とを比較すべきである。また、震源断層に近接したプレート内では (プレート間地震ではない) 余震が多数発生しており、このような地震の混入も防ぐべきである。このような観点から震源断層近傍の地震を除去した。このようにして選ばれたプレート間地震である可能性が高いとみなされた地震の多くは、クーロン破壊応力変化の増加域 (赤い領域) に分布することが分かった。特に図4aに破線で示した楕円領域では、期間内に発生したほぼ全ての地震が0.02から0.08MPaの増加域に分布する (Paは単位面積あたりの力、すなわち圧力を表す単位であり、1気圧=101,325Pa≒0.1MPa)。

0.1MPaにも満たない応力変化は、数十MPaともいわれる地震にともなう応力降下よりもかなり小さい。このような僅かな応力変化によって影響を受ける余震活動やトリガリング (誘発) を定量的に説明するために、Stein *et al.* (1997) や Toda *et al.* (1998) は、応力変化にともなう地震発生率の評価にすべり速度状態依存摩擦構成則 [Dieterich (1994)] の考え方を導入した。この考え方の中では“地震”は限界応力に達して突然発生するすべりではなく、ゆっくりとしたすべり (静的・準静的すべり) の急加速 (不安定すべり) とみなされる。地震サイクルの中で初期ではすべり速度は遅く、これが“地震”の発生に向けて加速する。そして、“地震”として急加速するとともに、“地震”の直後には再びすべり速度が遅い状態へと戻る。このようなモデルにおいて外的な応力増加があった場合には、地震サイクルの初期

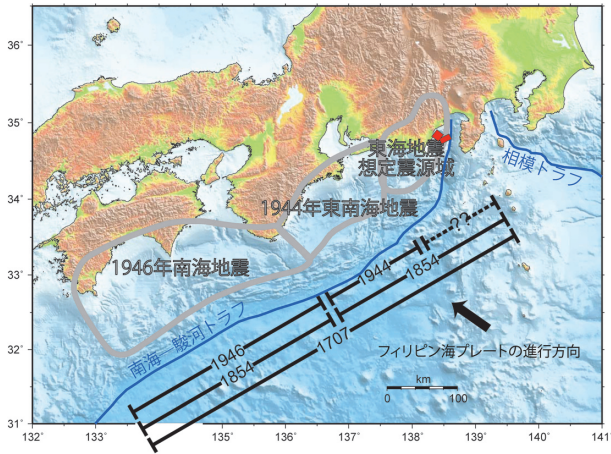


図1 駿河湾から四国沖にかけての領域における大地震発生域。1944年東南海地震、1946年南海地震、および想定東海地震の震源域を灰色太線で示す。1707年には宝永地震により、1854年には安政東南海地震と安政南海地震によりこの領域全域がすべったと考えられている。その後、1944年東南海地震、1946年南海地震が発生したが、駿河湾の領域は未だすべらずに力が蓄積していると考えられている。赤色矩形領域は2009年駿河湾の地震の震源断層を示す。

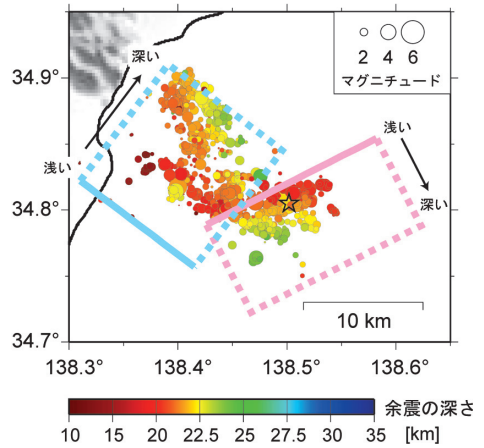


図2 駿河湾の地震の余震分布。2009年8月11日から20日までに発生した余震の震源を丸印で示す。大きさはマグニチュードを、色は震源の深さをそれぞれ示す。余震の分布を近似するのに適当な二枚の断層面を、水色およびピンク色の矩形でそれぞれ示す。

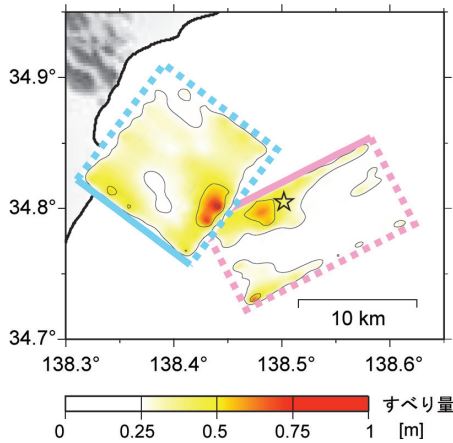


図3 駿河湾の地震のすべり分布。地震時のすべり量を0.25 m 間隔のコンターとカラースケールで示す。星印はすべりが始まった点(破壊開始点=震源)を表す。

図4 (a) 駿河湾の地震によるクーロン破壊応力変化。太実線で示すナス型の想定東海地震震源域内のプレート境界面に沿って評価したクーロン破壊応力変化をカラースケールで示す。黒破線による矩形および星印は、駿河湾の地震の震源断層および震源をそれぞれ表す。緑色丸印および灰色矩形は、地震発生後約20日間にプレート境界近傍で発生した地震の震央および松村・他(2008)による固着域を表す。(b) 図における累積地震数の評価対象領域を楕円で併せて示す。(b) 駿河湾の地震前後における累積地震数の時間変化。累積地震数の時間変化を青線で、地震後の活動推移をフィットした曲線を赤線でそれぞれ示す。

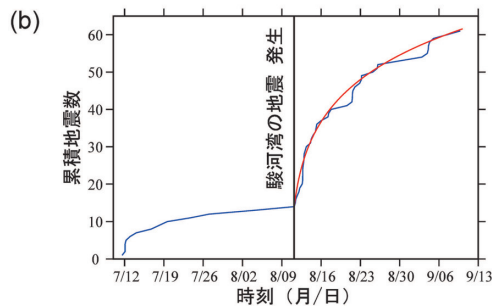
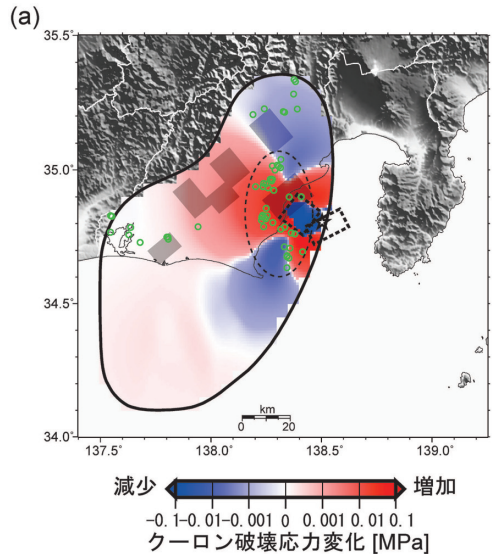


図4

にある断層ほど次の“地震”までの時間短縮量が大きくなる。このような振る舞いによって、彼らのモデルにおいてステップ状の応力変化（応力ステップ）を仮定した場合に評価される地震発生率の時間変化は、余震活動が経過時間とともに減衰する様子を再現することができるという〔例えば、遠田（2002）〕。以下では、このモデルが今回のケースについても成り立っているかどうかを検討する。

ここではまず、期待される応力変化が比較的大きな値を示した楯岡領域内において、プレート間地震とみられる地震の活動がどのように時間変化したのかを調べた。図4bに累積地震数の時間変化（駿河湾の地震発生以前の7月中旬から地震後の9月上旬までの期間）を示す。この図からは、駿河湾の地震発生直後に地震活動が非常に活発になり、その活動は経過時間とともに減衰していったことが分かる。次に、この領域の地震発生率を定量的に調べたところ、地震発生前1年間では平均して約0.2個/日であったのが、駿河湾の地震発生後には急増し、1ヵ月が経過しても約2.4倍の地震発生率であったことが明らかとなった。すべり速度状態依存摩擦構成則を考慮した地震発生率の評価式において、過去の研究を参考にパラメータ（摩擦構成則における構成パラメータと法線応力との積 $A\sigma=0.04\text{ MPa}$ 、固有緩和時間 $t_0=10.2\text{ 年}$ ）を仮定すると、0.02から0.08 MPaのクーロン破壊応力変化に対する地震発生後1ヵ月における地震発生率は、地震以前の約1.6から7.0倍と評価される。これは、観測による約2.4倍を比較的良く説明する。このように、駿河湾の地震によるプレート間地震の活動への影響は、上述のモデルとパラメータによって概ね説明可能であることが分かった。

5. 想定東海地震震源域内の固着域における地震発生率の変化

駿河湾の地震による応力変化が、プレート境界近傍で発生する微小地震の発生率を増加させたことが前章までの解析で明らかになった。このよう

な地震発生率の増加は小さい地震のみならず、想定東海地震のような大きな地震についても成り立つ可能性がある。地震には、規模が小さな地震ほど多数発生するという規模別頻度分布が成り立っており、この規模別頻度分布が時間変化しないとするならば、小さい地震の地震発生率の増加は、そのまま大きい地震の地震発生率の増加を意味する。そこで我々は、想定東海地震の固着域〔例えば、松村・他（2008）〕におけるクーロン破壊応力変化を調べた。この固着域とは、地震活動や地殻変動記録などから推察される想定震源内でも特に固着が強い領域とされており、また想定東海地震の時にここが大きくなると思われる。解析結果を示す図4aからは、松村・他（2008）による固着域（灰色矩形領域）の大半がクーロン破壊応力変化の増加域（0.03から0.1 MPa）に位置することが分かる。必ずしもナス型の想定震源域の全体が増加域となっているわけではなく、また、想定震源域の破壊が固着域の近傍から始まるのかも明らかではないが、想定震源域にかかる力の多くを支持していると推察される固着域におけるクーロン破壊応力変化の増加は、想定東海地震の発生を定性的には促進すると考えるのが自然であろう。前章における微小地震の場合と同様の評価式がここでも適用可能と仮定すると、0.03から0.1 MPaのクーロン破壊応力変化に対する地震発生率は、地震発生後3ヶ月では地震以前の約2.0から9.4倍と評価された。この“3ヶ月”は、本研究に関するAoi *et al.*（2010）の原稿投稿のタイミングから選ばれたパラメータである。その後、約3年が経過した。すべり速度状態依存摩擦構成則を考慮した地震発生率の評価では、応力変化が生じた時刻（駿河湾の地震の震源時）からの経過時間とともに地震発生率は減衰する。本稿の投稿にあたり、駿河湾の地震の発生から約3年後における地震発生率を同式によって評価したところ、地震以前の約1.3から2.7倍と評価された。このように、一定の仮定の上ではあるが、駿河湾の地震による応力変化は想定東海地震の発生を促進するように働き、固着域における地震発生率は今なお地震前よりも高い状態にあることが分

かった。なお、2011年3月11日に日本の観測史上最大となる $M 9.0$ の東北地方太平洋沖地震が発生したことに加え、2011年8月1日には駿河湾で $M 6.1$ の地震が発生しているが、前述の値はこれらの地震の影響を考慮していない。エネスク・他 (2011) によると、東北地方太平洋沖地震の影響は想定震源域の大半の領域についてわずかにクーロン破壊応力を増加させた程度 (最大 0.009 MPa) であったとされており、2009年の駿河湾の地震によるそれと比べてかなり小さい。また、 $M 6.1$ の地震の影響も、規模が小さいことなどから $M 6.5$ であった2009年の地震の数分の1程度とみられる。太平洋プレート、フィリピン海プレート、および陸側のプレートという3枚のプレートがひしめき合うこの地域における巨大地震の影響を、均質構造下の静的な応力変化に基づいて評価することがどの程度妥当かは難しい問題である。しかしながら、少なくとも単純な仮定に基づく上述の結果からは、2009年の駿河湾の地震よりも後に発生した地震の影響はそれほど大きくないものとみられる。

6. ま と め

本研究では、2009年8月に駿河湾で発生した $M 6.5$ の地震がプレート間地震の地震発生率におよぼす影響を検討した。まず、詳細な余震分布や強震記録の波形解析に基づいて、沈み込むフィリピン海プレート内に位置する二枚の断層の位置関係や破壊伝播の様子を明らかにするとともに、その詳細な断層モデルから期待されるプレート境界面上での応力変化を調べた。ここでは特に、想定東海地震時のすべり方向を考慮したクーロン破壊応力変化を評価し、その増加域においてプレート間地震の活動が活発化したことを明らかにした。また、この地震発生率の増加がすべり速度状態依存摩擦構成則を考慮したモデルによって説明可能であることも併せて示した。一方、想定東海地震時に大きくすべるとされている固着域もまた、その多くがクーロン破壊応力変化の増加域に位置していることが分かった。前述のモデルが同様に成

り立つとすれば、この固着域における地震発生率も増加したものと考えられる。

参 考 文 献

- Ando, M., 1975, Source mechanisms and tectonic significance of historic earthquakes along the Nankai trough, Japan, *Tectonophysics*, 27, 119-140.
- Aoi, S., B. Enescu, W. Suzuki, Y. Asano, K. Obara, T. Kunugi, and K. Shiomi, 2010, Stress transfer in the Tokai subduction zone from the 2009 Suruga Bay earthquake in Japan, *Nature Geoscience*, 3, 496-500.
- 中央防災会議, 2001, 東海地震に関する専門調査会報告, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/20011218/siryou2-2.pdf>, 17pp.
- Dieterich, J., 1994, A constitutive law for rate of earthquake production and its application to earthquake clustering, *J. Geophys. Res.*, 99, 2601-2618.
- エネスク・ボグダン, 青井 真, 鈴木 亘, 汐見勝彦, 武田哲也, 遠田晋次, 小原一成, 2011, 2011年東北地方太平洋沖地震による東海地震想定震源域におけるクーロン応力変化, *地震予知連絡会会報*, 86, 156-158.
- Hartzell, S.H. and T.H. Heaton, 1983, Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 73, 1553-1583.
- 気象庁, 2009, 東海地震に関する情報 (第1号), http://www.jma.go.jp/jma/press/0908/11b/toukai20090811_0715_2.pdf.
- 気象庁, 2009, 東海地震に関する情報 (第2号), http://www.jma.go.jp/jma/press/0908/11c/toukai20090811_0910_2.pdf.
- 気象庁, 2009, 東海地震に関する情報 (第3号), http://www.jma.go.jp/jma/press/0908/11d/toukai20090811_1120_2.pdf.
- 国土交通省, 2009, 駿河湾を震源とする地震による道路被害状況等について, http://www.mlit.go.jp/road/bosai/sokuhou/2009_08_17_15_00_jisin.pdf.
- 松村正三・里村幹夫・内海さや香, 2008, 東海地震のアスペリティの推定 (東海地域の地震活動変化と地殻変動: その5), *地震*, 2, 60, 267-277.
- Okada, Y., 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 82, 1018-1040.

岡田義光, 2011, 東北地方太平洋沖地震(速報), 地震ジャーナル, 51, 2-10.

消防庁, 2010, 駿河湾を震源とする地震(第23報), <http://www.fdma.go.jp/bn/data/011002121514107977.pdf>.

Stein, R.S., A.A. Barka, and J.H. Dieterich, 1997, Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, Geophys. J. Int., 128, 594-604.

遠田晋次, 2002, 応力ステップ・応力速度変化に伴う地震発生率の変化—地震発生確率予測の高度化に向けて—, 地学雑誌, 111, 233-247.

Toda, S., R.S. Stein, P.A. Reasenberg, P.A. Dieterich, and J.H. Yoshida, 1998, A Stress transferred by the 1995 MwD6:9 Kobe, Japan, shock: Effect on aftershocks and future earthquake probabilities, J. Geophys. Res., 103, 24543-24565.

宇津徳治, 1999, 地震活動総説, 財団法人東京大学出版会, 876pp.

Waldhauser, F. and W.L. Ellsworth, 2000, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward fault, California, Bull. Seismol. Soc. Am., 90, 1353-1368.

浅野陽一

[あさの よういち]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット 主任研究員

略歴 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士後期3年の課程修了, 独立行政法人防災科学技術研究所固体地球研究部門特別研究員, 同研究員を経て現職.

研究分野 地震学



青井 真

[あおい しん]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット 主任研究員, 地震・火山観測データセンター長

エネスク ボグダン

[えねすく ほくだん]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット 契約研究員

鈴木 亘

[すずき わたる]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット 研究員

小原一成

[おばら かずしげ]

現職 国立大学法人東京大学地震研究所 教授

功刀 卓

[くぬぎ たかし]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット 主任研究員, 地震・火山観測データセンター 強震観測管理室長

汐見勝彦

[しおみ かつひこ]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット 主任研究員, 地震・火山観測データセンター 高感度地震観測管理室長

巨大地震直前に増える電離圏の電子

日置幸介

1. はじめに

1855年の安政江戸地震の直前に永久磁石が磁力を失った話を聞いて、幕末の賢者佐久間象山は地震予知器を作ったそうだ(榎本, 2002)。トリブッチ(1985)は、大気中の帯電エアロゾルによって同じ極性に帯電した物体間の静電的な反発でこの現象が説明できるとした。米国では1989年のロマプリータ地震直前にULF帯の電磁波放射があったことが報告されている(Fraser-Smith *et al.*, 1990)。このように地震が電磁気的な前兆を伴った事例は多く知られている。

今日の電磁気的な地震前兆の探求は、地電流(Uyeda and Kamogawa, 2008)や、VLF帯(Molchanov and Hayakawa, 1998)やVHF帯(Moriya *et al.*, 2010)の電波伝搬異常が中心となっている。それらは限られた数の特定の観測点で特殊な目的のために設置された観測装置によるものであり、一般的に地震との空間的な相関を立証することは容易でない。フランスのDEMETER衛星(e.g. Němec *et al.*, 2008)は、これを乗り越えるために打ち上げられたものだが、衛星が震源域上空を通過する頻度は限られる。こんどは時間的な相関の立証に問題が生じるのだ。

2011年3月11日の05:46UTに発生した東北地方太平洋沖地震は、太平洋プレートが東北日本の下に沈み込む日本海溝のプレート境界を、長さ約450km、幅約200kmにわたって破壊した。国土地理院が運用するGEONET(GPS Earth Observation Network)は、日本列島に敷き詰められた千局を超える全地球測位システム(GPS)の連続観測点から成り、1990年代半ばの観測開始以来日本列島の地殻変動を観測してきた(e.g. Heki, 2007)。GEONETは日本列島の大地の動き

をほぼ二次元的にとらえられるが、東北沖地震に伴う地殻変動もOzawa *et al.* (2011)を始めすでに多く報告されている。

超高層大気である電離圏には太陽からの放射によって中性大気から弾き出された電子が多く漂っており、日本上空では高度300km付近で最も電子が濃い。高度約2万kmのGPS衛星から送信されたマイクロ波は電離圏通過時に電子によるわずかな遅延を受ける。遅延はマイクロ波の周波数の自乗に反比例する。それを利用して、異なる周波数のマイクロ波の遅延を比べれば、衛星と受信機を結ぶ線上にある電子の総数(Total Electron Content, TEC)がわかる。ここでは、GPS網によって見出された、巨大地震に先だって生じる電離圏のTEC異常(Heki, 2011)について紹介する。

2. 2011年東北沖地震とTECの変動

TECを用いた研究の対象のひとつに、固体地球における現象に起因する電離圏の擾乱がある。地震時電離圏擾乱(Coseismic Ionospheric Disturbance, CID)はその一つであり、GPSを用いた最初の研究(Calais and Minster, 1995)以来、筆者を始め複数の研究グループが取り組んでいる。その実体は震源域における地面や海面の上下運動や表面波(この場合はレーリー波)によって励起された音波(Heki *et al.*, 2006; Rolland *et al.*, 2011)、あるいは内部重力波(Occhipinti *et al.*, 2008)が電離圏高度まで伝搬して作った電子の濃淡である。

ウェブ(terras.gsi.go.jp)で公開されている全国約千二百点の国土地理院GPS連続観測網のデータを用いて、2011年東北沖地震前後のTEC変化を調べてみた。図1Aは地震前後のTECの変動をそのまま描いたものである。なおGPS位

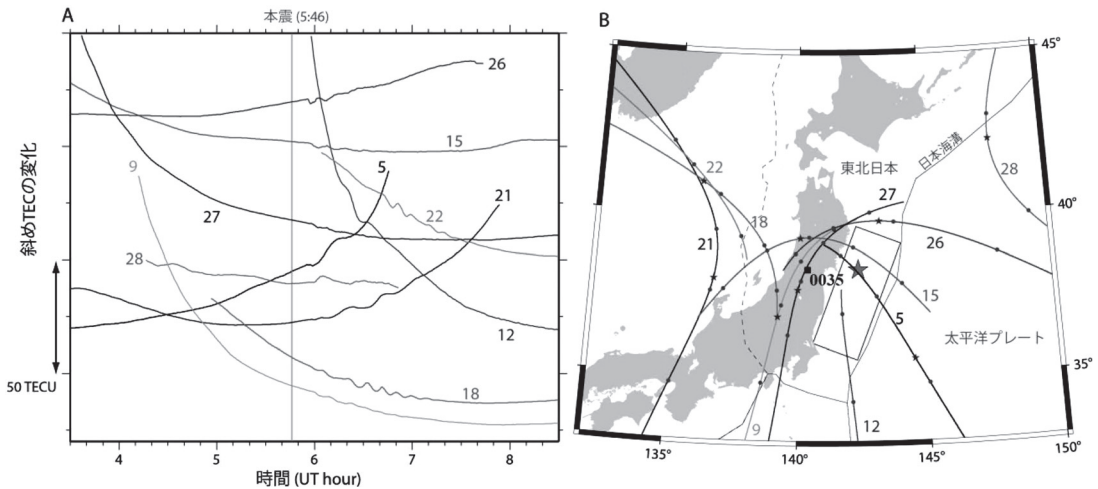


図 1 (A) 0035 局から 10 個の GPS を用いて観測された、2011 年 3 月 11 日、3.5-8.5UT の斜め TEC 変化。衛星ごとの下駄ばきがあるので、時間変化にのみ注目してほしい。地震の 10 分後頃からいくつかの衛星で乱れが見られる。その間の GPS 衛星の SIP の軌跡を (B) に示す。軌跡上には 1 時間ごとの区切りと地震発生時刻を示す赤い小さな星を示す。四角形はおおよその断層の形で、赤い星は震源を示す。

相データには整数値バイアスがあり、時間変化のみが意味を持つ（絶対値に意味がない）。仰角が低い（地平線に近い）衛星では電波が電離圏を斜めに貫くため、遅延が見かけ上大きくなる。そのため昇っては沈む GPS 衛星の動きに応じて、TEC は U 字型のゆっくりとした変化を示す。地震発生時（5:46UT）には八個の GPS 衛星が観測可能であったが、音波による CID は 5, 15, 26, 27, 28 の各衛星で、地震約 8 分後に始まる不規則な乱れとして見える（Astafyeva *et al.*, 2011）。また衛星 18, 22 で地震の 40-80 分後に生じたきれいな振動は内部重力波によるもので、地図上に描くと震源を中心としたきれいな同心円状となる（Tsugawa *et al.*, 2011）。電離圏を高度 300 km の薄い層で近似して、その層を視線が貫く点の地図上への射影を SIP（Sub-ionospheric point）と呼ぶ。その軌跡を図 1B に示す。

次に地震直前の非振動的な TEC 変化を取り出して眺めてみよう。図 2A は東北から関東にかけた五つの GPS 局から 15 番衛星を通して見た東北地方上空の TEC の時間変化である。斜め方向の TEC なので見かけの U 字型変化が見える。地震 10 分後の CID に加えて、地震の 60 分前から 40

分前あたりから顕著な正の異常が始まっていることがわかる（電子数の絶対値の増加というより周囲に対する相対的な増加）。異常は東北の局で大きく、震源域から離れるに従って小さくなる。TEC 異常は、CID による電離圏の揺れが治まった頃には消えている。ここでは Ozeki and Heki (2010) に倣い、鉛直方向の TEC が時間の三次多項式に従うと仮定して最小二乗法を用いてモデルを推定した（なめらかな曲線）。推定の際には、地震に伴う異常部分（UT5.2-6.0）を除いている。

モデルからの差に天頂角の余弦をかけて鉛直方向に射影したものを「異常」と定義し、地震の 1 時間前、20 分前、1 分前におけるそれらの分布を色で図 3 に示す。1 時間前にはなかった正の異常が 20 分前には現れており、地震に向けて大きくなっている。異常の大きさは鉛直方向で最大で約 2.3 TECU（1 TECU は 1m^2 あたり 10^{16} 個の電子があることを示す）で、この時刻の全電子数の一割弱に相当する。TEC が正異常を示す地域は震源域とはほぼ重なる。同時に震源域から遠く離れた西南日本では負の異常が現れており、異常が電子の「純増」ではなく「移動」によるものであることを示唆する。

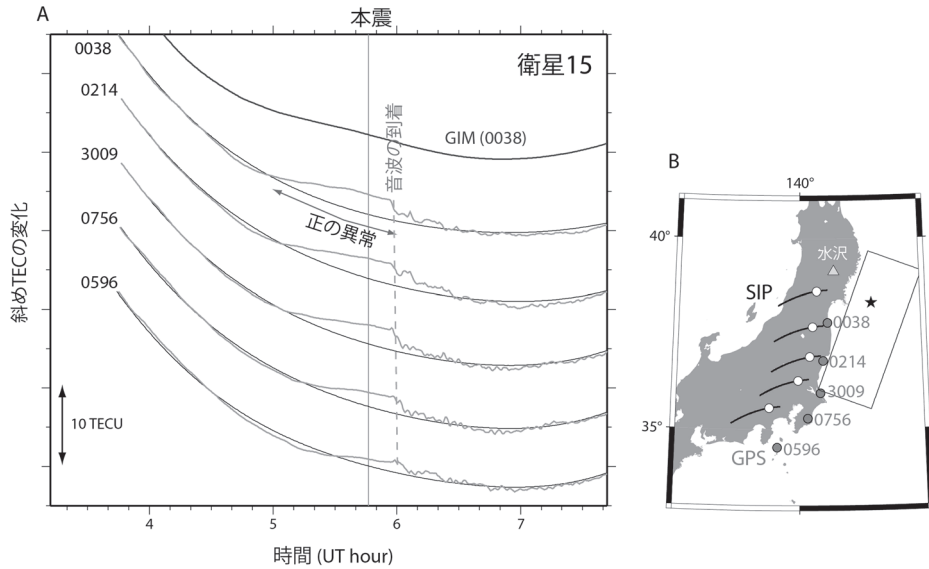


図 2 (A) 地震前後に 15 番の GPS 衛星を観測して得られた電離圏全電子数の時系列。地震約の 1 時間程前から正の異常（黒い滑らかな曲線で示すモデルからのずれ）が見える。正の異常は音波の到来（地震約 10 分後）とともに消え始める。全球電離圏モデル（GIM）に基づく 0038 局における TEC 変化の計算値を青い曲線で示す。(B) GPS 局（灰色の丸）と 5-6UT 間の SIP の軌跡（黒曲線）。白丸は地震発生時刻の SIP 位置。

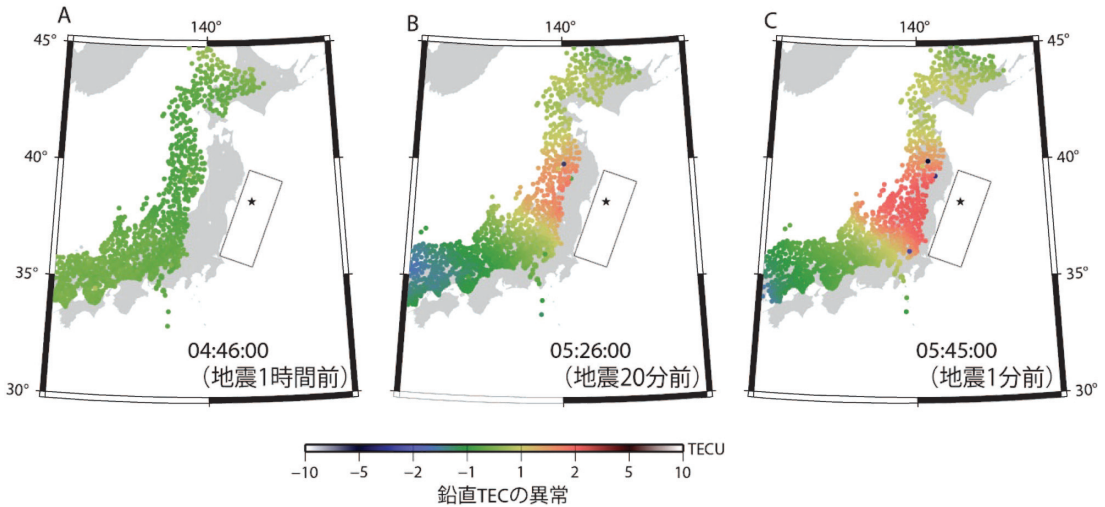


図 3 15 番の GPS 衛星を観測して得られた電離圏全電子数の、地震 1 時間前 (A)、20 分前 (B)、1 分前 (C) の異常を鉛直 TEC に換算して、色で地図上にその時刻の SIP の位置にプロットしたもの。

図 2 や図 3 と同様の図は 15 番衛星以外に 9, 26, 27 番の諸衛星を用いても描くことができるが、それらは Heki (2011) のオンライン付属資料を参照されたい。正の異常が現れる領域は衛星に

よって微妙に異なるが、それは本来三次元的な分布を持つ電子密度を高度 300km の面に二次元的に投影したことからくるものである。

全球電離圏地図 (Global Ionospheric Map, GIM)

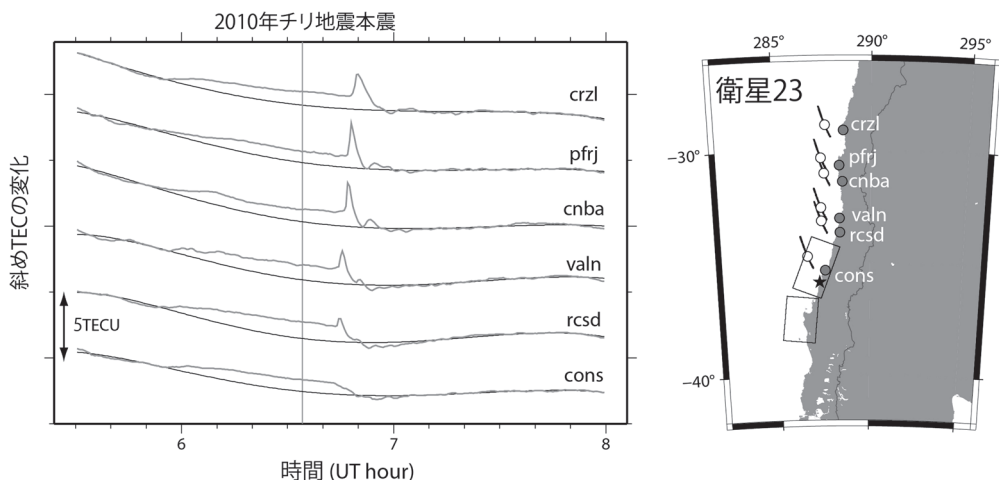


図 4 2010年2月のチリ地震前後に23番のGPS衛星を観測して得られた電離圏全電子数の時系列。地震の約40-50分前から東北沖地震と同様な正の異常が見える。局の位置とSIPの軌跡を右の地図に示す。

は世界中のGPS局を用いて（ただし日本からは数局のみ）日々作成されている。図2左には、スイス・ベルン大学のデータセンター（ftp.unibe.ch）からダウンロードしたGIMを用いて、0038局と15番衛星を仮定して計算したこの時刻の斜めTECの変化も描いてある。GIMの空間分解能の目安は緯度が2.5度、経度が5度程度（Mannucci *et al.*, 1998）と低いため、細部は失われているが、本研究で求めた地震前のTEC正異常と同様な正異常が見られる。これはGIMの導出に岩手県水沢局（図2B）のデータが用いられているためであろう。

3. 他の大地震との比較

TECは地震がなくても宇宙天気の影響でしばしば上昇する。たとえば太陽フレアに伴って紫外線の放射が増えれば電離が促進されて電子が増える。ただしこの場合昼半球全体で電子が増え、震源上空のTECだけが増えることはない。またオーロラ帯から巨大な波が南下してくることもある（大規模移動性電離圏擾乱）。2011年東北沖地震はたまたま磁気嵐の最中に発生しており、地震と関係ない擾乱が多く発生していた可能性がある。

図2や図3で見られたような地震前TEC異常

が東北沖地震の前兆であるかどうかを判断するには、他の巨大地震の前にも類似の現象がみられるかどうかを調べるのが早い。そこで、2010年2月に発生したチリ地震（ M_w 8.8）（Moreno *et al.*, 2010）、2004年12月のスマトラ・アンダマン地震（ M_w 9.2）（Banerjee *et al.*, 2005）、2007年9月のスマトラ・ブンクル地震（ M_w 8.6）（Gusman *et al.*, 2010）の前後のTEC変化を、入手可能なGPSデータを使って東北沖地震の時と同様な解析を行ってみた。特に、2010年チリ地震と2007年ブンクル地震は、地磁気活動が静穏な時期に発生しており、地震前に同様なTEC異常が生じたかを見ることは重要だ。

その結果、チリ地震では17, 20, 23の三つのGPS衛星で、東北地方太平洋沖地震の半分程度の大きさの正のTEC異常が地震の40-50分前に始まり、電離圏が揺れ始めるまで継続していたことが確認された（図4）。同様なTEC異常は2007年ブンクル地震でも8, 25, 27の衛星で見いだされた。2004年スマトラ・アンダマン地震の発生時は地磁気活動がやや活発であったが、どの地震よりも大きな5 TECUに達する地震前のTEC正異常が、もっとも地震モーメント解放の大きかった断層セグメントの上空で見られた。図5はこれらのM9クラス地震から代表的なTEC変化デー

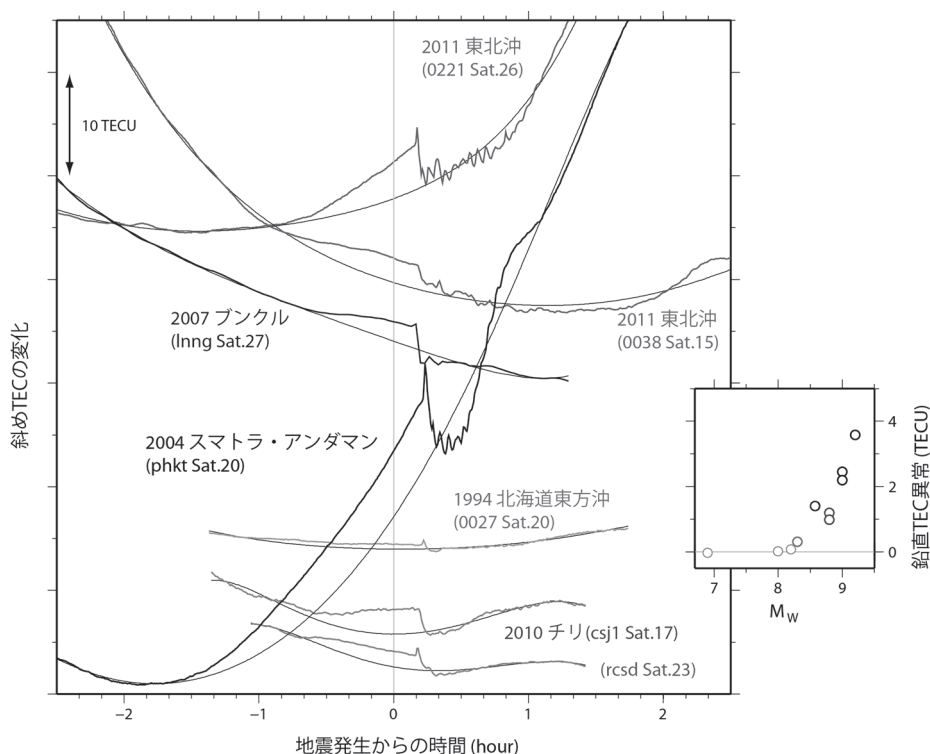


図 5 様々な地震の前後に観測された斜め TEC の時系列を，同一のスケールかつ地震発生時刻を共通にとって比較したもの。地震直前の異常を鉛直 TEC に換算したものを，モーメントマグニチュード M_w と比較した図を右に示す（異常が観測されなかった 2003 年十勝沖地震等も含まれる）。

タを取り上げて比較したものである。ちなみに 2005 年ニアス地震 (M_w 8.7) についても地震前後の TEC を調べたが，その時間帯はプラズマバブルの活動による TEC の乱高下が激しく，意味のあるデータが得られなかった。

次に M8 クラスの地震に目を転じる。1994 年北海道東方沖地震 (M_w 8.3) (Tsuji *et al.*, 1995) は，東北沖地震が発生するまでは，GPS 連続観測網が整備されて以来最大の地震であった。この地震の前には弱い TEC 正異常が見つかった (図 5)。一方 2006 年千島地震 (M_w 8.2) や 2003 年十勝沖地震 (M_w 8.0) では，地震時の CID は綺麗にみえるものの，地震前の TEC 異常は確認できなかった。本現象は M8 台でも大き目の地震でようやく見える前兆なのだろう。

Heki (2011) のオンライン付属資料では，図 2 に示された曲線の一つについて，同一の局と衛星

の組み合わせでの TEC 変化を地震前後 4 か月にわたって調べたものを掲載している。最大の異常は本研究で示した地震直前のものだったが，それ以外にもある程度大きな TEC 上昇が数回みられた。それらはすべて秒速数百メートルで極域から南下してくる大規模移動性電離圏擾乱だった。

4. モデル

地震直前になぜ上空で TEC の正異常が生じるかの本当の理由はわからない。しかし地表近傍に正電荷が溜まることで説明できる可能性はあると思う。正電荷を供給するメカニズムとしては，圧縮された火成岩から正孔が拡散してくる現象が室内実験で知られる (Freund, 2001 ; Takeuchi *et al.*, 2006) が，実際の地震前にそのような現象が生じたことを野外で直接観測した例はない。

Kuo *et al.* (2011) は、地表の電荷によって大気中に上向きの電流が流れ、電離圏に達して地磁気の磁力線に沿った領域の電位を上げることを数値計算で示した。電位の高い領域から放射状に生じる電場が磁場と相互作用することによって、西側では電離圏電子が下降、東側では上昇する。その結果、本研究で見いだされた程度の TEC 変化もつくれるらしい。いずれ原因を特定するには、電磁気的なセンサーを備えた観測局を GPS と同じくらい密に展開する必要があるのかも知れない。

5. おわりに

これまでの地震前兆報告の多くは普遍性に乏しく追試が容易でなかった。しかし GPS データの入手は簡単で、それを用いた TEC の解析も難しい。筆者のホームページでは RINEX 形式の GPS 生データから衛星ごとの TEC 時系列の情報を抽出する簡単なプログラムを公開している（日置他, 2011）ので、興味を持った読者各位は自ら試してほしい。

地震直前の TEC 異常の物理的過程が解明され、直前予知に有用であるという合意が得られれば、TEC の分布と変化がリアルタイムで監視される時代が来るかも知れない。データ収集には技術的問題はないが、ゆっくりと始まる TEC 異常を宇宙天気の影響と区別するソフトウェア的な課題は残るだろう。かつては盛んだった地震直前予知研究は、我が国では兵庫県南部地震以来久しく沈滞している（上田, 2011）。本件を機会に実用化に向けた研究の活性化を期待したい。

参考文献

Astafyeva, E.L., P. Lognonné, and L.M. Rolland (2011), First ionospheric images of the seismic fault slip on the example of the Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, L22104, doi:10.1029/2011GL049623.

Banerjee, P., F.F. Pollitz, and R. Bürgmann (2005), The size and duration of the Sumatra-Andaman earthquake from far-field static offsets, *Science*, 308, 1769–1772.

Calais, E., and J.B. Minster (1995), GPS detection of ionospheric perturbations following the January 17, 1994, Northridge earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1045–1048.

榎本祐嗣 (2002), 大地表面の異常帯電 : 大地震の前兆 —江戸のエレキテルと地震窮理の光芒—, *表面科学*, 23, 56–61.

Fraser-Smith, A.C., A. Bernardi, P.R. McGill, M.E. Ladd, R.A. Helliwell and O.G. Villard, Jr. (1990), Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 1465–1468.

Freund, F. (2000), Time-resolved study of charge generation and propagation in igneous rocks, *J. Geophys. Res.*, 105, 11001–11019.

Geller, R.J., D.D. Jackson, Y.Y. Kagan, and F. Mulargia (1997), Earthquakes cannot be predicted, *Science*, 275, 1616–1617.

Gusman, A.R., Y. Tanioka, T. Kobayashi, H. Latief, and W. Pandoe (2010), Slip distribution of the 2007 Bengkulu earthquake inferred from tsunami waveforms and InSAR data, *J. Geophys. Res.*, 115, B12316, doi:10.1029/2010JB007565.

Heki, K. (2011), Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.* 38, L17312, doi:10.1029/2011GL047908.

Heki, K. (2007), Secular, transient and seasonal crustal movements in Japan from a dense GPS array : Implication for plate dynamics in convergent boundaries, in *The Seismogenic Zone of Subduction Thrust Faults*, edited by T. Dixon and C. Moore, pp. 512–539, Columbia Univ. Press, New York.

Heki, K., and J.-S. Ping (2005), Directivity and apparent velocity of the coseismic ionospheric disturbances observed with a dense GPS array, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 236, 845–855.

Heki, K., Y. Otsuka, N. Choosakul, N. Hemmakorn, T. Komolmis, and T. Maruyama (2006), Detection of ruptures of Andaman fault segments in the 2004 Great Sumatra Earthquake with coseismic ionospheric disturbances, *J. Geophys. Res.*, 111, B09313, doi:10.1029/2005JB004202.

日置幸介・他 (2011), GPS-TEC 法による地球物理学, *測地学会誌*, 56, 125–134.

Kuo, C.L., J.D. Huba, G. Joyce, and L.C. Lee (2011), Ionosphere plasma bubbles and density variations induced by pre-earthquake rock currents and associat-

- ed surface charges, *J. Geophys. Res.*, 116, A10317, doi:10.1029/2011JA016628.
- Mannucci, A.J., B.D. Wilson, D.N. Yuan, C.H. Ho, U.J. Lindqwister, and T.F. Runge (1998), A global mapping technique for GPS-derived ionospheric total electron content measurements, *Radio Sci.*, 33, 565-582.
- Molchanov, O.A., and M. Hayakawa (1998), VLF signal perturbations possibly related to earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 103, 17,489-17,504.
- Moreno, M., M. Bosenau, and O. Oncken (2010), 2010 Maule earthquake slip correlates with pre-seismic locking of Andean subduction zone, *Nature*, 467, 198-202.
- Moriya, T., T. Mogi, and M. Takada (2010), Anomalous pre-seismic transmission of VHF-band radio waves resulting from large earthquakes, and its statistical relationship to magnitude of impending earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 180, 858-870.
- Némeç, F., O. Santolík, M. Parrot, and J.J. Berthelier (2008), Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L05109, doi:10.1029/2007GL032517.
- Occhipinti, G., E.A. Kherani, and P. Lognonné (2008), Geomagnetic dependence of ionospheric disturbances induced by tsunamigenic internal gravity waves, *Geophys. J. Int.*, 173, 753-765.
- 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.
- Ozeki, M., and K. Heki (2010), Ionospheric holes made by ballistic missiles from North Korea detected with a Japanese dense GPS array, *J. Geophys. Res.*, 115, A09314, doi:10.1029/2010JA015531.
- Pulinets, S., and D. Ouzonov (2011), Lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling (LAIC) model — A unified concept for earthquake precursor validation, *J. Asian Earth Sci.*, 41, 371-382.
- Rikitake, T. (1976), *Earthquake Prediction*, Elsevier, Amsterdam.
- Rolland, L.M., P. Lognonné, and H. Munekane (2011), Detection and modeling of Rayleigh wave induced patterns in ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 116, A05320, doi:10.1029/2010JA016060.
- Takeuchi, A., B.W.S. Lau, and F. Freund (2006), Current and surface potential induced by stress-activated positive holes in igneous rocks, *Phys. Chem. Earth*, 31, 240-247.
- H. トリブッチ (渡辺正訳) (1985), 動物は地震を予知する, 朝日選書 277, 朝日新聞社.
- Tsugawa, T. *et al.* (2011), Ionospheric disturbances detected by GPS total electron content observation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 875-879.
- Tsuji, H., Y. Hatanaka, T. Sagiya, and M. Hashimoto (1995), Coseismic crustal deformation from the 1994 Hokkaido-Toho-Oki earthquake monitored by a nationwide continuous GPS array in Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1669-1672.
- Uyeda, S., and M. Kamogawa (2008), The prediction on two large earthquakes in Greece, *Eos Trans. AGU*, 89 (39).
- 上田誠也 (2011), どうする! 日本の地震予知, 中央公論四月号, 196.

日置幸介

[へき こうすけ]



現職 北海道大学理学研究院自然史科学部門教授

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業, 同大学院修士課程, 博士課程修了, 郵政省電波研究所, グラム大学, 国立天文台等を経て現職

研究分野 宇宙測地学, 地球惑星ダイナミクス

著書 「地球が丸いってほんとうですか?」(共著, 朝日選書)

社会と地震学コミュニティとの信頼の構築

大木聖子

1. はじめに

東日本大震災の甚大な被害は、地震学コミュニティに対して、社会の中での地震学の位置づけをあらためてつきつけた。死者行方不明者約2万人、全半壊家屋38万戸（警察庁による）、経済被害は20兆円を超えるとも言われている（内閣府による）。10mを越える津波は原子力発電所の事故を引き起こし、震災から1年が経過した今でも、多くの住民が自宅を失い、職を失ったままである。こうした国家的危機を引き起こしたのが、想定外のM9.0の地震であり、地震の科学に携わる我々が、これまでどう社会と向き合ってきたのか、これからどう向き合っていくべきなのかは、今までにもまして重大な問題となっている。

研究で得られた知見をコミュニティ内にとどめず、研究者自身がひろく一般へと伝えていく営みは、アウトリーチ活動と呼ばれており、さまざまな分野で展開されている。日本では、景気の悪化や産業の空洞化が進んでのち、2006年度からの第3期科学技術基本計画で本格的に導入された。同計画の「社会・国民に支持される科学技術」と題された章では、「科学技術に関する説明責任と情報発信の強化」と「国民の科学技術への主体的な参加の促進」が明文化され、いくつかの大学や科学館において、実践的なアウトリーチ活動やアウトリーチを行う人の育成が始まった。

本稿では、災害科学のアウトリーチはどうあるべきかを、21世紀の科学の責務やアウトリーチが生まれた歴史などを紹介しながら記述する。

2. 21世紀の科学の責務

1999年、ハンガリーの首都ブダペストで世界

科学会議が開かれた。UNESCO（国連教育科学文化機関）およびICSU（国際科学会議）が共催し、ブダペスト会議と呼ばれている。この会議では、“Science for the Twenty-First Century — A new Commitment”がテーマに掲げられ、研究機関や教育機関、政府機関や非政府機関、マスコミ一般市民などを含む約2000名が参加した。日本からは学術会議の代表団らが参画している。

ブダペスト会議の成果のひとつ、「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」（UNESCO, 1999）の前文では、科学が我々にもたらした恩恵の大きさに触れると同時に、自然科学が招来する恐れのある負の効果や、社会に対する影響、社会との関係を理解する必要性について述べられている。そして科学者コミュニティと政策決定者は、科学に対する一般社会の信頼と支援をさらに強化することを目指さなければならない、と表明した上で、21世紀の科学の責務として以下の4つの概念を打ち出した。

1. 知識のための科学（進歩のための知識）
2. 平和のための科学
3. 開発のための科学
4. 社会における科学、社会のための科学

災害科学は主に、上記の1と4に関わってくるだろう。そして災害科学のアウトリーチは、災害科学に対する一般社会の信頼と支援を得ていくための活動と位置付けられよう。20世紀の科学の世界では、上記の1だけが「真の科学」と言われてきたのではないだろうか。今も、1以外の科学に対して、そのレベルや質を低く見る傾向があるように感じられる。しかしその考え方は古いものとなったことを、ブダペスト会議では科学者自らが打ち出した点に価値がある。

3. アウトリーチが生まれた背景

アウトリーチのあり方を述べる前に、そういった概念の必要性が迫れることとなった背景を記しておく。直接的な事例として挙げられるのが、1980年代に発覚した牛海綿状脳症（BSE、狂牛病）である。1986年、最初のBSE感染牛がイギリスで確認されると、イギリス政府はBSEがヒトや動物の健康にどのような影響を与えるか検討することを目的として、専門家からなる委員会を招集した。委員長の名前を取って、サウスウッド委員会と呼ばれている。

当時、伝達性海綿状脳症に関する科学的知見にはかなりの不確実性があった。原因については90年代には諸説あり、特定されたのは90年代に入ってからである（この業績は、1997年にノーベル医学・生理学賞として称えられた）。当時の不確実な知見に頼りながらもサウスウッド委員会は、肉骨粉を反芻動物に供与することの禁止や特定危険部位のベビーフードへの使用禁止などの有用な提言を行い、政府はそれに基づいて規制勧告を実施している。一方で、既に知られていたヒツジの伝達性海綿状脳症は種を越えて伝染しないというのが定説だったこともあり、BSEのヒトへの感染について、“the risk of transmission of BSE to humans appears remote”，すなわち「人間への感染の危険性はありそうにない」と報告した。これを受けてイギリス政府は牛肉安全宣言を行い、報告書で書かれている以上に安全を強調するキャンペーンをさまざまに展開した（小林，2007）。

ところが1996年にはBSEのヒトへの伝達を示す変形型クロイツフェルト・ヤコブ病が確認され、BSEはヒトに感染するということが明らかになった。発病すれば半年以内で自発運動がほとんどできなくなり、1～2年で全身衰弱・呼吸麻痺・肺炎などで死亡する（難病情報センター，2011）。厚生労働省によると、2008年7月までにイギリスで167例、フランスで23例など、世界で208例の感染者が認められている（厚生労働省，2010）。

サウスウッド委員会の報告書には、「（ヒトに感染しないだろうという）我々の公算の評価が誤っていれば、結果は大変深刻なものとなるであろう」と記されていた。しかし、「人間への感染の危険性はありそうにない」と報告したことによって出された安全宣言が、結果的に人の命を奪ってしまったため、科学者や政府への人々の信頼は大きく失墜した。未解明の、しかも既に事態が進行している現象に対して、大きな不確実性を伴う知見しかない中、国民のために尽力した科学者たちは、最終的には国民から非難を浴びることとなったのである。

こういった事態を受けて、国民の科学者への信頼回復、社会の科学への信頼構築のために、科学者の側からも国民の側からも求められた双方向の活動、それが科学コミュニケーションであり、研究者が研究の現場を出て（out）、人々に届く（reach）活動を行うことがアウトリーチである。先述のとおり、日本では2006年度からの第3期科学技術基本計画で本格的に導入された。

アウトリーチの概念を理解するうえで重要な出来事を、もうひとつ挙げておきたい。アウトリーチが、国民と科学者との信頼構築のための活動となる前、1980年代半ばにイギリスで展開された、科学理解増進のための活動である。王立協会の特別委員会（ボドマー委員会）によって「公衆の科学理解のために、科学者は一般市民とコミュニケーションをとることを学びなさい、そうすることを喜び、そうすることを専門家としての義務と思いなさい」と報告され（The Royal Society, 1985）、非専門家に科学を理解してもらうための活動や、その手法の改善を目指す研究が推進され、一定の効果をおさめた（Bodmer, 2010）。80年代の先進諸国は、日本だけがまさに“Japan as No. 1”であり、イギリスを含む多くの国が経済的な息詰まりに陥っていた。若者の科学離れも進む中、打ち出されたのがボドマー・レポートである。

ところがボドマー・レポートに基づいたさまざまなアウトリーチ活動があったにもかかわらず、90年代に入ると、遺伝子組み換え農作物をめぐる激しい論争や、先述のBSE事件が起き、政府

や科学者への信頼は崩壊し、社会と科学との関係はかえって悪化した。国民の科学理解増進のための活動の、いったい何がいけなかったのか。端的には、科学者による上から目線の態度に対する市民の反発と言えるだろう。たとえば、遺伝子組換え技術や原子力発電所などに反対意見を示す人は、正確な科学知識が不足している人々であり、そうした人々に対する処方箋は正しい科学知識の注入・普及であり、これが実現すれば人々の不安や反対は解消される、という理屈である。非専門家の科学理解を空のバケツに例え、そこに科学の事実を注ぎ込めばよいという考え方、すなわち、一般市民を「正確な科学知識の欠如した状態」にあると捉える考え方に基づいた、このような活動は、「欠如モデル」あるいは「トップダウンモデル」と呼ばれている（小林，2007；磯崎，2007）。つまり、国民の科学理解の増進には、専門家と非専門家の知識量の差を埋める活動だけでは不十分であることが示されたのである。

アウトリーチ活動は、社会と科学、あるいは国民と科学者との信頼関係を構築するための活動であって、専門家が非専門家へ知識を流し込むことで完成されるものではない。このような観点を踏まえながら、次節ではブダペスト会議で示された「4. 社会の中の科学，社会のための科学」と、アウトリーチ活動の役割を述べていく。

4. 社会の中の災害科学，社会のための災害科学

社会の中での災害科学，特に地震学の位置づけがあらためて問われたのは、1995年の阪神・淡路大震災以降だろう。地震の発生予測に関する研究については、それまでの地震予知計画体制から地震調査研究推進本部を中心とする体制へと変わった。したがって、1995年以降の地震学の社会の中での位置づけは、第一義的には地震調査研究推進本部を通して見えてくるはずである。地震調査研究推進本部では、被害の軽減に資する地震調査研究の推進のため、地震発生の長期評価やそれを基にした地震動予測地図の継続的な作成など

が行われてきた。このほかにも、個々の研究者が、地震学コミュニティの一員として、地方自治体の防災計画の策定やハザードマップの作成、あるいは中央防災会議などの委員として地震被害の想定に尽力することで社会の中に位置づけられたということもあるだろう。また、緊急地震速報や津波警報などのリアルタイム情報の研究に取り組んでいる研究者もいる。社会の中で災害科学は、防災や減災に資する努力をしてきたし、一定の成果も確かにあげてきた。

一方で、「社会のため」を考えるならば、社会からの需要にはどういったものがあるのか把握する必要がある。上述のような国や自治体からの需要ではなく、より一般的な、国民ひとりひとりのレベルの意見を反映しているものとして、筆者が共同研究者のひとりとして実施した社会調査の結果を紹介する。インターネットでの調査会社に登録しているモニタ1049名を対象として、2009年3月に、地震に関するアンケート調査を行った。設問のひとつ、「あなたが地震の研究者に最も期待することは何ですか」という問に対しては、「地震発生の予測（地震予知）」が52.5%、「住んでいる地域の揺れ・被害の予測」が20.8%、「被害の軽減方法の開発」が20.3%、「地震に関する基礎研究」が5.2%との結果を得た（上記4択のほか、その他1.1%）。地震予知研究は、被害予測や被害の軽減方法の開発よりもはるかに期待されていることがわかる。

さらに、中谷内・島田（2010）が調査した日本人のハザードへの不安をみてみよう。この研究では、多種多様な51種類のハザード（例：地球温暖化、ガン、新たな伝染病、交通事故、年金問題、異常気象、脳・心臓疾患、食品表示偽装、薬の副作用、原発事故、テロ、アスベスト、たばこ、紫外線、外国のミサイル、エイズ、自殺など）の中で、日本人にとってどれが一番大きな不安かを調査しており、最も大きいのは地震であるという結果を得ている。地震学が、国民のもっとも大きなリスク認知に携わる学問であることを踏まえれば、地震予知への期待が大きくなることは容易に理解できる。

地震予知研究を含む現在の地震研究は、基礎研究の段階であることは多くの地震学者が認めるところであり、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」にもそのように記されている（科学技術・学術審議会，2008）が、先述のインターネット調査によると、基礎研究そのものへの期待はわずかに5.2%である。いや、調査対象者の過半数が期待する地震予知のために基礎研究を行っているのだから、この営みはすでに地震予知研究だ、という説明もあろうし、実際に地震学コミュニティは長くこうした説明を行ってきた。

ここで、国民と地震学との信頼関係を長期的に築いていくためのコミュニケーションについても一度考えたい。国民からの期待が特に大きく、その実現性については過剰な期待が抱かれている地震予知研究に対して、地震学コミュニティが用意すべき答えは「基礎研究もまた、地震予知研究である」で十分と言えるだろうか。あるいは、「長期予測もまた予知である」で国民を説得することができるだろうか。地震学と社会との信頼関係を築いていく上で、われわれ専門家がまずすべきことは、等身大の地震学を示すことだ。想定には大きな不確実性が含まれていることや、わかっていることがまだ多く存在すること、今の地震学の抱える限界、こういったことを示すことは、結果的に被害の軽減にもつながるだろう。

特に地震予知研究については、国民からの過剰な期待をそのままにせず、地震予知研究の現状を理解してもらうための活動が必要である。逆に言えば、過剰な期待を抱かせるような情報発信や、誤解を与えるような行為は、コミュニティ全体に対する社会からの信頼を損なわせるものであり、社会からの不信感を後輩たちへのツケとして残していく行為である。

5. 社会からの信頼を構築する方策

社会からの地震学への期待が、地震学の等身大からかけ離れている場合、等身大を伝えるという行為は、社会のその時点での期待に応えられない

と表明することでもある。たとえば、日時を高精度で予測することは困難だと伝えたとしよう。自分が生きている間に高精度な地震予知を実現することは期待できないのかとショックだろうし、期待を裏切られたと反発を覚えるだろう。

これは一見、社会との信頼を構築すべく行っているアウトリーチ活動そのものが、地震学のネガティブキャンペーンとなっているかのようである。現に筆者はそのような指摘や非難を、コミュニティ内から受けている。同様のことは、生活習慣を改善することで薬の投与量を軽減できることを伝えるヘルス・コミュニケーション活動においても見られている。その活動の担当者は、一部の薬学分野や製薬会社から非難を浴びるようになったという（Ford, 2012）。しかし研究者が最終的に目指すべきものが国民の健康であるならば、ヘルス・コミュニケーション活動は評価されるべきものはずだ。

さらに、たばここと肺がんの因果関係について、アメリカで見られた現象を紹介したい。今では多くの人が、副流煙は主流煙よりも多くの有害物質を含んでおり、副流煙を浴びていれば喫煙者ではなくても発がんのリスクが高まることを知っている。1970年代にこれが明らかにされた時、たばこ産業界は知名度の高い生物統計学者をコンサルタントとして雇って反論を行わせ、「非喫煙者の発がんリスクについて科学者が反論」という状況をまず作った。そして「一般の人たちの間でも科学者の議論の場でも、たばこの煙についての論争を維持すること」（Keep Discussing）を第一の目標と掲げて、議論されている間は産業が維持されるという巧妙な手段を実行した（Oreskes and Conway, 2011）。似たような現象は、同国の地球温暖化への懐疑論でも展開されている（Oreskes, 2004）。“global climate change”をキーワードに挙げる928本の科学論文のすべてがIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change、気候変動に関する政府間パネル）の掲げる地球温暖化と矛盾しない内容であるにもかかわらず、政治や経済の場から人間活動によるかどうかは定かではないといった報告書を提出することで懐疑論へと持

ち込み、議論を継続させる。その間、国民には今は何も行動する必要はなく、今後の問題はテクノロジーが解決してくれると説き、政府は研究を助成する以外、何もする必要がないと思込ませたのである (Oreskes and Conway, 2011)。

話を地震学に戻そう。今の地震学の実力では、国民の期待する地震予知には応えられない。ところが、地震予知の可能性については、阪神・淡路大震災以降 20 年近くも議論が続いている (橋本, 2012)。このまさに Keep Discussing の状況を、東日本大震災を経てもなお続けていることは、果たして本当に「社会のため」であろうか。さらに時が経って結果が誰の目にも明白になったとき、社会からの信頼を失った地震学コミュニティは、立ち直れないような事態に至らないだろうか。あるいは、すべての人に明白になる前に、コミュニティ外の第三者によって実態が明瞭に示された場合も、致命的な事態にならないであろうか。もしかしたら、2011 年 3 月 11 日以降すでに、信頼は失われ始めているのかもしれない。一度失った信頼を取り戻すのは容易なことではなく、若い人々に負の遺産を抱えている研究分野だと見なされれば、優秀な人材が集まらなくなっていくことも考えられよう。地震学が安定的に存続するためには、より長期的な視点での信頼関係を優先するべきであり、そのためにまずは、地震学の等身大を伝えることである。特に国民からの期待の大きい地震予知に対しては、その過剰な期待を解消する活動を、コミュニティとして行わなければならない。そしてこれは、冒頭に書いたように、ブダペスト会議で採択された 21 世紀の科学の責務である。

最後に、社会からの需要と地震学との実力が見合っているケースを紹介したい。上述したインターネット調査では、地震学への期待をいくつかの方法でたずねている。たとえば、「大地震の直後に、地震の専門家のコメントがテレビや新聞に出ることがあります。どのようにお感じですか」という設問に対しては、複数回答を許しているが、 「一般的な話が多くあまり役に立たないことがある」と回答したのは 34.3%、「被災した方々

への配慮が必要である」は 24.5% であり、「余震や津波などの防災上の注意喚起は役立つ」が 55.3%、「地震の素性についての解説を聞くと安心できる」が 25.0% と得られている (上記の他に、「時間や紙面の制約から必要な情報が得られないことがある」 21.1%、その他 2.9%)。この調査から、地震学は、起きた地震について人々が期待する程度の精度をもって解説できている学問であり、その解説をすることで人々を安心させる一定の効果があること、さらに、余震や津波などの情報については有用であることが示唆される。社会からの需要と地震学の実力とが見合っているケースは、このように既に存在している。地震予知だけが期待されているわけではないこと、予知ができなかった被害地震の解説であっても、一定の評価が得られていることは、社会の中での災害科学、社会のための災害科学としての役割を果たしている事例と言えよう。こういったものに目を向け、等身大の情報発信を積み重ねていくことこそが、社会との信頼関係を強くしていくはずである。

6. ま と め

本稿では、個別のアウトリーチ活動の事例紹介や、具体的な活動報告などについては触れていない。今では、個人や研究組織、政府組織、教育機関、非政府組織などさまざまなレベルで活発なアウトリーチ活動が展開されており、それらは例年の地震学会秋季大会や地球惑星科学連合大会のアウトリーチセッションの中で多数紹介されている。

アウトリーチ活動に従事していると、なぜアウトリーチが必要なのか、という問いをしばしば受ける。その答えは、社会とコミュニティとの信頼関係を構築し、維持することで、研究分野を安定的に存続させるためであり、これによって社会への寄与を安定的に継続するためである。これについては、ブダペスト会議での「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」や、科学への信頼が失墜した他国の事例などを挙げて述べた。

また、社会の中での地震学の位置づけを再確認し、社会からの期待の大きさを挙げて、地震学の

持つ実力との乖離をあらためて示した。この乖離、特に社会からの地震予知に対する過剰な期待をそのままにせずに地震学の等身大を理解してもらう活動は、社会とコミュニティとの長期的な信頼関係の構築には不可欠であり、何よりも、被害の軽減に資するコミュニケーションとなる。

歴史を振り返れば、世の中が良い方向に変革したのは、一部あるいは全部の構成員が少しずつの我慢を甘受したときである。東日本大震災を踏まえて地震学が真に変革するためには、我々は自省に基づいて短期的にはこれまでよりも我慢をし、長期的には等身大の地震学そのもので社会との信頼関係を構築するという方策を取るべきである。

参考文献

- 矢崎良明, 2012, 学校の地震防災指導・防災管理の現状と課題, 地震学会意見論文集, p. 34-37.
- 大木聖子, 2011, 災害科学と科学コミュニケーション, Japan Geoscience Letters, Vol.7, No.3, p. 5-6.
- 谷原和憲, 2012, 理科の地震学 社会科の地震情報, 地震学会意見論文集, p. 38-41.
- UNESCO, 1999, World Conference on Science, DECLARATION ON SCIENCE AND THE USE OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE, Science for the Twenty-First Century —A new Commitment. http://www.unesco.org/science/wcs/eng/declaration_e.htm
- 小林傳司, 2007, トランス・サイエンスの時代, NTT出版ライブラリーレゾナント.
- 難病情報センター, 2011, プリオン病クロイツフェルト・ヤコブ病 (CJD), <http://www.nanbyou.or.jp/entry/80>
- 厚生労働省, 2010, 変異型クロイツフェルト・ヤコブ病に関する Q & A, <http://www.mhlw.go.jp/qa/kenkou/vcjd/>
- The Royal Society, 1985, The Public Understanding of Science, The Royal Society.
- Bodmer, 2010, Public Understanding of Science, The BA, the Royal Society and COPUS, Notes & Records of The Royal Society, doi:10.1098/rsnr.2010.0035.
- 磯崎哲夫, 2007, イギリスにおける科学的リテラシーに関する歴史と現状, Science Literacy for all Japanese.
- 科学技術振興機構, 2006, 技術予測調査, <http://jvsc.jst.go.jp/shiryo/yosoku/>
- 中谷内一也・島田貴仁, 2010, 日本人のハザードへの不安とその低減, 日本リスク研究学会誌, 20 (2), 125-133.
- 科学技術・学術審議会, 2008, 地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について, http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/07/08071504/002.htm
- Judy Ford, 2012, Personal Communication.
- Oreskes N. and Conway E.M., 2011, 世界をだまし続ける科学者たち (下), 楽工社.
- Oreskes N., 2004, The Scientific Consensus on Climate Change, Science, 306, 10.1126/science.1103618
- 橋本 学, 2012, 地震科学の目標・目的と説明責任, 地震学会意見論文集, p. 73-75.

大木聖子

[おおき さとこ]

現職 東京大学地震研究所助教。
博士 (理学)。

略歴 北海道大学理学部地球惑星科学科卒業, 東京大学大学院理学系研究科修了。日本学術振興会海外特別研究員としてカリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋学研究所に派遣。2008年4月より現職。

著書 『超巨大地震に迫る—日本列島で何が起きているのか』(共著, NHK 出版新書), 『地球の声に耳をすませて』(くもん出版)。



天災は忘れないだけでは防げない

—寺田寅彦著「天災と国防」(講談社学術文庫)/
講談社 2011年6月発行 解説:畑村洋太郎—

昨年3月11日の東北地方太平洋沖地震は、死者・行方不明者約1万9千人という巨大津波災害に原発災害が加わって、戦後最悪の国難ともいべき事態をもたらした。それから3ヶ月後の6月に本書が、翌月には、角川ソフィア文庫「天災と日本人」と中公文庫「地震雑感/津浪と人間」という寺田寅彦随筆集が相次いで刊行された。

科学者であり随筆家であった寺田寅彦は1935年の年末に逝去した。その3年後の1938年11月に刊行が始まった岩波新書の1冊として本書と同じ「天災と国防」と題する寺田寅彦の随筆集が出版された。これに収録された13篇の随筆を選んだ矢島祐利(科学史家)は同書の後書で、この随筆集出版の意義を大変分かりやすく説明している。同じ題名で6編^(*)が共通に選ばれている本書にもそのまま当てはまると思われるので、すこし長文になるが次に引用する。(※:「天災と国防」,「火事教育」,「災難雑考」,「函館の大火について」,「流言蜚語」,「津波と人間」)

「これは寺田先生の文章のうちから或る特色を持っていると思われるものを集めた撰集である。或る特色というのは、単に感懐を述べ追憶を語るという風のものでなく、何か人の注意を喚起し警告を与えるという種類のものである。もっとはっきり言えば憂国の至情を以て筆を執られたと思われる文章と言ってよいかも知れない。寺田先生は天災とか国防とかまた学問とかいうことについて全く憂国の熱意を持っていられたのである。そういう問題について言われるときでも先生は声を大きくして叫ぶという風なことはされなかった。あれは随筆だから、と言われて謙遜しながら書かれるのであるが、それだけにまた奥

ゆかしさとそうして中に却って熾烈なものをわれわれは感ずるのである。

先生は地震や津浪や火事などについて、人が若し冷静に科学的にこれに処したならばどんなにその惨禍を軽く出来るかについて屢々書かれた。また国防ということについてもいろいろ憂えて居られた。

学問についてもその健全な発達を希求して居られたことは人一倍であったと思う。そういう精神はほかの文章にも現われていることは現われているに相違ない。併し、それが積極的に物語られているのは此処に集めたようなものではないかと思われる。」

これらの随筆のほとんどは、義務教育段階から国防の重要性が教え込まれていた時代に書かれたものである。防災は国防と同じように重要であり、戦時下に、安政地震のような大地震が発生した場合には、国防上にも重大な影響を与える可能性があるというような考察を含むこのような書名と内容のものを出版するのは、もう数年経ったら難しかったかもしれない。しかし、寅彦の危惧したとおり、1944年12月7日に東南海地震が、翌年1月13日には三河地震が発生し、軍用機製造の拠点となっていた中京地区の軍需工場を壊滅させ、敗戦を早めた。一方、戦後、特に占領下では、「国防」というタイトルはタブーに触れる感じがあって出版できなかったのではないかと思われる。いずれにしても、この警世の書が岩波書店からその後再刊されることなく60年近くが過ぎ去り、昨年の大震災を迎えてしまった。そして、にわかに別の3つの出版社から新書と同趣旨の選集が文庫版で刊行されたのである。もし、岩波新書の「天災と国防」が戦後早期に再刊され、ひろく読まれていたならば、防災意識の教育・啓発

にどれだけ貢献しただろうかと考えると大変残念である。もう後追いの感はあるが、文庫版の刊行によって寅彦の卓見が、多くの人々に読まれ、将来に活かされることになれば有意義であろうと思われる。

寅彦は、災害を注意深く観察し、自然現象による要因と人間の考えや行動による要因の両面から科学的に分析して、多くの示唆に富む言葉を残している。

「天災と国防」には、「文明が進むに従って人間は次第に自然を征服しようとする野心を生じた。そうして重力に逆らい、風圧水力に抗するようないろいろの造営物を作った。そうしてあっぱれ自然の暴威を封じ込めたつもりになっていると、どうかした拍子に檻を破った猛獣の大群のように、自然が暴れだして高楼を倒壊せしめ堤防を崩壊させて人命を危くし財産を減ぼす。」、「文明の進歩のために……国家あるいは国民と称する物の有機的結合が進化し、その内部機構の分化が著しく進展して来たために、その有機系のある一部の損害が系全体に対して甚だしく有害な影響を及ぼす可能性が多くなり、時には一小部分の傷害が全系統の致命的となりうる恐れがあるようになったということである。」と記している。これらの予見的確さは、高い防潮堤を乗り越え、街並みを海に変える津波の猛威の生々しい映像を見、電源喪失という一部の損害に基因する今回の原発災害の深刻さを実感して、思い知らされたことである。

「天災は忘れた頃にやってくる」という寅彦の警句は、大災害があるたびに、引用される。この警句は、寅彦が書いたものにはないが、たとえば、「津波と人間」には、明治三陸津波から昭和三陸津波に至る間に次第に災害の記憶が薄れ、備えがおろそかになって災害に至る経過が考察されている。今回も当時に似た事情で災害が発生した事例が報告されている。しかし、確かに災害の記憶、教訓を忘れず伝えることは重要であるが、時には過去の経験や言い伝えにとらわれて、命を失うこともすくなくないこと

は、今回の災害でも示された。自然要因も様々である上、被災する側の状況も変わってゆくから、一度の体験や言い伝えを忘れないだけで対応できるほど、ことは単純ではない。

南海地震の再来を予測し、その地震予知と防災啓蒙に尽力した今村明恒の努力は、戦争の激化と戦後の混乱の中で、東南海地震と南海地震が発生してしまい、水泡に帰した。「稲むらの火」の実話の舞台である和歌山県広村（現・広川町）でも、今村の具体的な助言にもかかわらず、適切な対応がとられなかったため、南海地震津波で22人の死者を出してしまった。それを慨嘆した今村は、村人たちにあてた手紙を書き送った。それは、次のような言葉で結ばれている。

「天災は忘れたころに来ると言われている。しかし、忘れないだけで天災は防げるものでなく、避けられるものでもない。要は、これを防備することにある。」

私には、今村の言葉の方がより本質についているように思われる。今回の震災についていえば、「天災を忘れていたため」というよりは、「天災は忘れていなかったのに」という思いが特に防災関係者に大きいのではなからうか。「これだけ備えているのだから、大災害にはならないだろう」という思い込みが打ち砕かれたのである。

1989年の米国ロマ・プリータ地震の際、現地視察した日本の地震工学者が、高速道路の被害をみて、「日本ではこのようなことにはならない」といった数年後に、阪神・淡路大震災が発生し、高速道路が横倒しになったことがあった。2004年のスマトラ沖地震津波では23万人もの犠牲者が出たが、日本の防災関係者は、津波警報システムもあり、防災施設も整備され、津波浸水予測図も作られ、防災意識も高い日本では、このような災害にはならないと、無意識に思いこんでしまったように思われる。

そのような危険性については、寅彦は「函館の大火について」につきのように書いている。

「東京でもどこでも今回の函館以上の大火を生ずることは決して不可能ではないのである。そういう場合、いかに常時の小火災に対して消防施設が完成していても何の役に立つはずはない。それどころか5分10分以内で消し止める設備が完成すればするほど、万一の異常の条件によって生じた大火に対する研究はかえって忘れられる傾向がある。火事に限らず、これで安心と思うときにすべての禍の種が生まれるのである。」

本書には、畑村洋太郎による38頁にわたる長文の「解説」が付されている。「案内者」という寅彦の随筆には、旅行に際して、あらかじめ詳しい案内書を読んだり、案内者に頼ったりすると、それらにとらわれて、説明にはない絶景を見過ごしてしまう恐れがあるという記述がある。読者はまず本文を通読して、自分で寅彦の名文を味わってから解説を読んだ方がよいのではないかと思われる。

寺田寅彦の随筆等のうち287編もが、インターネットの青空文庫 (<http://www.aozora.gr.jp>) で自由に読める。この中には、岩波新書版の13編全てが含まれており、昨年出版の文庫版所載の多くも含まれている。地震予知研究の

ような難題に取り組もうとする若者には、新書版にあって文庫版にない「科学者とあたま」という随筆を一読することをすすめたい。ちなみに、これは、評者が中学生のころに読み感銘を受けて、科学者を志すきっかけとなった文章である。また、青空文庫で読める「自然現象の予報」は、今から90年以上も前の1916年に書かれたものであるが、地震予知の難しさと可能性についての考察は、「地震雑感」の中の「地震の予報」よりも現在にも通ずるものがあり、興味深い。

寺田寅彦のこのような示唆に富む随筆が、今回の文庫版出版を契機に、政治家、行政官を含む社会人にひろく読まれるようになれば、特に、教育関係者に読んでもらって、寅彦のものごとを見、考えることの大切さを次の世代に伝えてもらえれば、わが国の防災力を長期的に高める効果が期待されよう。

(津村建四朗：元気象庁地震火山部長)

編集部：本記事は当初書評として寄稿されたものであるが、多くの読者に読んで頂きたい内容を含むので、とくに「囲み記事」とした。

帰宅困難と一極集中のこわさ

帰宅困難者

2011年3月11日の東日本大震災では、首都圏でもかなりの地震動を感じ、筆者も都心の地震報告会に出席していたが、緊急地震速報がなり、少ししてから大きな揺れが来て、報告会は中止となった。歩いて10分ほどの小田急線の駅に行ったが電車は動いておらず、いつ動き出すかわからないと言われた。

さて、郊外の自宅は直線距離でも20km以上あるし、帰宅困難者になったかと思ひながら、いろいろ考えると、長男の家がほんの数kmのところにあるのに気がついた。付近の道路には普段でも車がいっぱいであるが、その時は気のせいか、いつもより車が多いように思われた。

付近の交番で道をたずねてから歩きだした。最初はそうでもなかったが、同じ方向に歩く人が多くなってきて、車はノロノロというより我々の歩くより遅くなった。ただ、あと1年足らずで満80歳という身では若い人よりどうしても遅くなる。ヨボヨボ歩いているのが気の毒になったのか若い女性に近所のコンビニで買ったおにぎりをこれを食べると元気になりますよと1個恵んでもらった。食べ物を恵んでもらったのははじめての経験だったが本当に感謝の気持が湧いてきた。

そう言えば、あたりが暗くなって気温も低くなり、トイレが恋しくなり、コンビニに入ってトイレの行列に加わり20分ほど待たなければならなかった。いざというときコンビニにこのような公衆トイレの機能があるとは知らなかった。コンビニも食品などはとうに売り切れてしまっていて、人の気配はトイレの行列だけという感じであった。そんなこんなで、辺りが暗くなってからは、歩く人も増えてたまには肩が触れ合うほどになっていた。

あとの調査によれば、首都圏で帰宅困難者は352万人にのぼったと言われている。

100万人というのは大変な数字である。いま、道に2列に並んで前の人との間隔を1mとして歩いたとしよう。列の長さは50万mすなわち500km、東京～大阪間の距離である。首都圏の道の長さは、全部合わせて何kmあるのかわからないが、352万人という人の行列は、首都圏のほとんどの道を占領してしまったのではなかろうか。

私のように適当なところに転がり込めたものはよいが、多くの人が適当な場所を提供してもらって毛布や水も配って戴いたと聞く。ただこれは心配なことでもある。

直下地震と一極集中

その提供していただいた場所も、水も、まもなく来るであろう首都圏直下地震の避難者のためのものなのである。首都圏直下地震の場合、今回とほぼ同数の帰宅困難者が発生すると同時に、それに加えて強い地震動で被害を受けた避難者も最悪の場合700万人と予想されている(内閣府2005)。ただしこの数値は、東日本大震災以前に予想されたもので、その時の震度は6強とされている。東日本大震災以降は震度は7と見直されそうなので、この人数はより多くなるかもしれない。それらの人のための避難所は全部合わせて460万人分しかない。水や食料などの備えもそれしかないのである。

被害を受けた避難者も、250万人分は面倒を見きれないので疎開をお願いすることになっている。これらの人も地震が起きてすぐ、交通手段もないのに疎開というわけにもいかないであろう。また、700万人のうち誰が疎開するかを選別するのも大変で、多分、避難所に入りきれなかった人たちが、疎開することになるのだろうが、この経過も心配である。帰宅困難者350万人にこれら疎開する避難者250万人、合わせて600万人が首都圏をさまようことになるかもしれない。

直下地震の場合には、東日本大震災の場合とは異なり、火災が心配である。山手線外側ドーナツ状に火災が発生すると予想されている。帰宅困難者はどうしても、郊外の自宅に帰るためにはその危険な火災地域を通らなければならないので、なるべく当日は帰宅を諦めるべきである。被害からの避難者も避難所までの道路が火災で通れなくなる恐れもある。また、こういう事態にはならないとは思うけれど（東日本大震災では、まさかこういうことは起こらないだろうと思っていて、想定外のことが起こってしまった。）東京のゼロメートル地帯を流れている河川の堤防1箇所でも液状化を起し沈下すると、川の水が溢れてゼロメートル地帯に浸水するのではないか。同時に津波が来た場合には、その可能性は高まる。その水が地下鉄に浸水すると、東京の地下鉄はほぼ全部つながっているのだから、大変なことになるのではないか。これは単に杞憂に過ぎないのなら、結構なのであるが、チェックをしておくだけでも、しておく必要がある。（阪神大震災の時、淀川河口付近の堤防が液状化により3mも沈下し、あと数10cmを残すだけだったのが、頭の片隅から離れない。また、2006年のスマトラ島大津波の時、スーパーマーケットの地下売場で100人以上が犠牲になったのも頭から離れない。福島第一も非常用電源を地下室に設置していたため、あれだけの災害になったことを考えると、地下は水に弱いと言える。）

以上のように数百万人単位の人々の安全を確保するのは大変なことなのであるが、この原因は、首都圏一極集中の結果なのである。

東日本大震災以後は

とここまで原稿を書いた時点で、文部科学省のプロジェクトチームの研究による、東日本大震災をふまえた新しい首都圏の直下地震による震度分布図が示された。これによると、やはり首都圏の一部では震度7となり、震度6弱以上の地域の住民は2500万人にも上るとい

6弱以上の震度を経験した人々は、その日に自宅で被害が無くても余震が続くなか自宅にとどまるわけにはいかず、避難したくなるのではなからうか。ということは、避難民の数は、以前の推定の700万人の3倍以上にもなり、現在の460万人分の避難場所では全く不足してしまう。

隣接県からの救援も、道路、鉄道の被災がひどく、陸上だけではなく、ヘリをつかっての食料、水の投下とか、船を使うことも考えなければならず、かなり計画の変更が必要となろう。

また、このあと東京都は都の防災会議が今回見直した被害想定を公表した。それによると、前回の想定以降建物の耐震性が向上したためもあって、発生する避難民は339万人と推定されている。ただ、この値は、隣接県などの値を含んでおらず前回の値とは直接の比較はできないが、避難民の数は減少した感じはする。また、帰宅困難者は、517万人で、そのうちかなりの人は勤務先とか学校で面倒をみて、路上をさまよう人は約163万人としている。これらの人々への支援はどうするかも決まっておらず、今後対策を考えなければならない。以上、今回の直下地震に関する被害推定でも、それを行う機関によって多少の違いはあるものの、いずれの場合でも一極集中の結果による数百万人という人々への対応の困難さである。

ただ、これらの被害想定は二度と想定外の被害とならないように、最悪の条件を重ねて推定したものであって、推定を行う条件によって結果が大きく異なることもある。たとえば、帰宅困難者の数も地震が真夜中に起こればほぼゼロとなる。現在のところは地震後の被災者救援もどのように行われるかも不明なのであるが、今後の研究にまたなければならない。

これだけ人数が多くなると、公助から自助に比重を移さなければならないかもしれない。何れにせよ、一極集中のこわさを一層感じざるを得ない。

（伯野元彦：東京大学名誉教授）

●新刊紹介

大木聖子, 額瀨一起 著

超巨大地震に迫る—日本列島で何が起きているか

NHK 出版, 2011年6月, 新書判, 205頁, 777円(税込み)

外川 淳 著

天災と復興の日本史

東洋経済新報社, 2011年7月, B6判, 222頁, 1,575円(税込み)

鎌田浩毅 著

火山と地震の国に暮らす

岩波書店, 2011年7月, B6判, 183頁, 1,995円(税込み)

ロバート・ゲラー 著

日本人は知らない「地震予知」の正体

双葉社, 2011年8月, B6判, 185頁, 1,260円(税込み)

穴倉正展 著

次の巨大地震はどこか！

宮帯出版社, 2011年9月, B6判, 205頁, 1,260円(税込み)

尾池和夫 著

日本列島の巨大地震 岩波科学ライブラリー

岩波書店, 2011年10月, B6判, 102頁, 1,260円(税込み)

木股文昭 著

三連動地震迫る 東海・東南海・南海

中日新聞社, 2011年10月, A5判, 257頁, 1,500円(税込み)

寒川 旭 著

日本人はどんな大地震を経験してきたのか—地震考古学入門

平凡社, 2011年11月, 新書判, 259頁, 840円(税込み)

神沼克伊 著

次の超巨大地震はどこか？

ソフトバンククリエイティブ, 2011年11月, 新書判, 222頁, 999円(税込み)

平田 直ほか 著

巨大地震・巨大津波 東日本大震災の検証

朝倉書店, 2011年11月, A5判, 200頁, 2,730円(税込み)

塚原弘昭 編著

長野県の地震入門

しなのき書房, 2011年12月, B5判, 155頁, 1,575円(税込み)

伊藤和明 著

日本の津波災害 岩波ジュニア新書

岩波書店, 2011年12月, 新書判, 200頁, 861円(税込み)

中条唯七郎 著, 中村美美子 訳, 青木美智男 校註

善光寺大地震を生き抜く—現代語訳『弘化四年善光寺大変録』

日本経済評論社, 2011年12月, A5判, 366頁, 5,040円(税込み)

大木聖子 著

地球の声に耳をすませて—地震の正体を知り、命を守る

くもん出版, 2011年12月, A5判, 143頁, 1,470円(税込み)

岡田義光 著

日本の地震地図 (東日本大震災後版)

東京書籍, 2012年1月, A5判, 223頁, 1,785円(税込み)

林 博通, 釜井俊孝 著

地震で沈んだ湖底の村—琵琶湖湖底遺跡を科学する

サンライズ出版, 2012年2月, A5判, 137頁, 2,940円(税込み)

笠原 稔, 鏡味洋史ほか 編著

北海道の地震と津波

北海道新聞社, 2012年2月, A5判, 245頁, 1,995円(税込み)

早川正士 監修

地震予知研究の最前線 地震予知学・耐震工学・地震学の融和をめざして

日本専門図書出版, 2012年2月, A4判, 794頁, 30,000円(税込み)

横山裕道 著

3.11 学—地震と原発そして温暖化

古今書院, 2012年3月, A5判, 224頁, 2,100円(税込み)

ADEP情報

新制度の公益法人への移行について

当法人は、平成24年4月1日に新制度の公益法人に移行しました。また、移行に伴い名称を「公益財団法人地震予知総合研究振興会」に変更しました。

組織名称の変更について

平成24年4月に「研究業務支持機構」を「つくば観測技術センター」に名称変更しました。

事務所の移転について

平成24年5月から「地震調査研究センター」事務所が従来の千代田ビル5階から同ビルの8階（本部事務所の向い側）に移転しました。

公益財団法人 地震予知総合研究振興会（ADEP）の人事異動について

採用

笠原 敬司	本部 地震防災調査研究部 副首席主任研究員	24. 4. 1
増井 由春	本部 地震防災調査研究部 参事（非常勤）	24. 4. 1
田力 正好	地震調査研究センター 解析部 主任研究員	24. 4. 1
草壁 和秀	地震調査研究センター 事業推進管理部長（兼）本部 事務局	24. 4. 1
木股 文昭	東濃地震科学研究所 副首席主任研究員（非常勤）	24. 4. 1
本多 亮	東濃地震科学研究所 副主任研究員	24. 4. 1

退職

阿部 信太郎	本部 地震防災調査研究部 主任研究員	24. 3. 31
阿部 正男	地震調査研究センター 事業推進管理部長	24. 3. 31
鈴木 貞臣	東濃地震科学研究所 副首席主任研究員・副所長（非常勤）	24. 3. 31
太田 裕	東濃地震科学研究所 副首席主任研究員（非常勤）	24. 3. 31
中島 唯貴	東濃地震科学研究所 研究員	24. 3. 31
鹿熊 英昭	研究業務支持機構 副首席主任研究員（非常勤）	24. 3. 31
池田 保	本部 事務局 参事	24. 4. 30

編集後記

東北日本太平洋沿岸を襲った巨大地震・津波に「想定外」という用語がしばしば使われてきた。それは学者・研究者の自己批判であり、大自然の営みの前に己の知識の不足を嘆く謙虚な表現でもある。しかし一般住民の側からすれば、責任放棄と受け取られ、学者・研究者に対する不信感をかき立てる結果を生む。

もちろん地震関連科学者に対する不信感だけではない。地球温暖化が国際的な問題となっている最中に、今度は太陽活動の異変から寒冷化が地球を襲うという。原発の安全対策や食品の安全性などとともに、一般住民は結局のところ何を信じ、どういう行動をとっていいのかかわらな

い。

多くの生命を災害から救った「津波でんでんこ」の考えは、「自分の命は自分で守れ」、言い換えると「他人のことは考えるな」ともとれる。極限の状況では本能的にこの教訓が活かされることは致し方ないが、平常時になると利己主義的な発想としての反省も現れる。

「想定外」も「でんでんこ」も不信という点で共通している。大災害を予測できなかった自己批判を忘れるべきではないが、これを弾みとして観測・研究を一段と進め、大自然の営みに関する更なる知見を得るのは急務とも云える。「想定外」の用語を早く我々の世界から消したいものである。（Y.H.）

地震ジャーナル 第53号

平成24年6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
公益財団法人
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/一般財団法人学会誌刊行センター