

地震 ジャーナル

54

2012年12月

- エッセイ 地震調査研究の今後の展開 ● 本蔵義守
- 地質から東北地方太平洋沖地震を考える ● 岡村行信 —— 1
- 最近の地震報道に見た問題点 ● 松村正三 —— 13
- 地震時・地震後の表層地盤の変状 ● 浅岡 顕 —— 28
- 東日本大震災からの復興についてのメモ ● 室崎益輝 —— 40
- 書評 —— 52
- 新刊紹介 —— 52
- ADEP 情報 —— 54

囲み記事 ナノで見た日本列島の重力変化／地球潮汐が地震の引き金に／
南海トラフ地震災害予測のショック

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

地震調査研究の今後の展開 本蔵義守

東北沖地震が発生してから2年近くになる。地震直後の活発な地震・地殻活動も徐々におさまりつつあり、当初心配された周辺域での誘発巨大地震も発生していない。このまま終息することを期待したいが、我々が経験したことのない超巨大地震後の推移は誰も予測できず、今後の地震・地殻活動状況を注視していくほかはない。

我が国周辺の海溝型巨大地震の発生に関しては、長期予測の観点から地震防災・減災に貢献できると多くの地震研究者は思っていた。私自身もその一人であり、2003年十勝沖地震(M8.0)は、地震調査研究推進本部(地震本部)が公表していた予測に沿った形で発生したことから、その思いを強くした。しかし今回の東北沖地震の発生により、そのような長期予測すら大きな限界をはらんでいたことを思い知らされたのである。

東北沖地震による未曾有の大災害は、インドネシアやフィリピンなど諸外国の地震防災関係者にとっても、大きな衝撃であった。“日本のような地震研究が進んだ国、我々が地震研究のお手本にしようとしてきた国でなぜこんなことが起きるのか”といった率直な意見もいただいた。国際協力機構(JICA)と科学技術振興機構(JST)の共同事業による海外地震防災関連研究プロジェクトをJSTの研究主幹として推進してきた筆者は、そのような衝撃を共有しつつも、GPS-音響結合海底地殻変動観測技術開発などの我が国の先端的調査研究の一端を紹介しつつ、地震調査研究をより一層進めようではないかと呼びかけるのが精一杯であった。

我が国においても今後の地震調査研究の進め方についていろいろ議論されている。地震本部においても、新たな総合的かつ基本的な施策(平成21年)の見直しに取り組み、改訂版を公表してきたところである。海溝型巨大地震の長期予測の高度化に必要な海底地殻変動観測の拡充に加えて、海底ケーブル観測網を拡充して地震動即時予測、津波即時予測を高度化することなどが盛り込まれている。さらに、理学的研究から工学的研究さらに社会科学的研究との連携の強化も謳われている。地震・津波発生予測などの理学的研究も具体的防災・減災に繋がってはじめて社会に貢献できるという防災研究の原点を思い起こせば、連携強化は当然ではあろうが、形式的連携に留まっているのは大きな効果は期待できない。今や地震本部という枠を超え、我が国の地震防災・減災のグランドデザインを真剣に考える時期にあるのではないだろうか。現状のままでは東北沖地震による災害をはるかに超えることが危惧される南海トラフ巨大地震の発生を見据えると、今すぐにも取り組むべき大きな課題である。



本蔵義守

[ほんくら よしもり]

現職 東京工業大学特任教授・名誉教授、科学技術振興機構研究主幹

略歴 東京大学大学院地球物理学専攻博士課程修了、東京大学地震研究所助手、東京工業大学大学院理工学研究科教授、東京工業大学理学部長、文部科学省研究開発局科学官、東京工業大学理事・副学長を経て現職

研究分野 固体地球物理学

著書 地球内部ダイナミクス(共著)、Solid Earth Geomagnetism(共著)、日本列島の地震(共著)

地質から東北地方太平洋沖地震を考える

岡村行信

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震に関する震源及び津波波源や発生メカニズムの研究が盛んに進められている（たとえば Kanamori and Yamaguchi, eds., 2011）。一連の研究によって東北地方太平洋沖地震の理解は進むが、他の海域で将来発生する地震の予測に貢献できるとは限らない。最近地震が発生していない場所で将来の地震を予測するためには、それぞれの地域における過去の地震に関する情報が最も重要であることに変わりはないであろう。

東北地方太平洋沖地震で注目されたのは、歴史記録や津波堆積物の重要性である。地震計の記録は過去100年間程度しか存在しないが、歴史記録は古いもので1,300年程度前まで記録がある。ただし、記録が残っていても過去の地震規模を再現するために必要な質と量が確保できる期間はもっと短く、多くの場合江戸時代以降である。津波堆積物や海成段丘は海溝型地震に関する過去3,000～6,000年間の情報を記録しているが、その信頼性や情報量も考慮して活用すると、その期間の巨大地震をすべて再現できるとは限らない。また、7,000年以上前になると、海水準が現在より低かったため、津波堆積物や海成段丘は残っていない。従って、さらに長い期間での海溝型地震の発生履歴や地震規模の推定はほぼ不可能である。

しかしながら、地震の繰り返しによって地形や地質構造が形成されていく。震源域の地質構造は個々の地震の記録ではないが、地震時及び地震間の地殻変動の累積であるから、地震発生様式を解明するための手がかりが得られる可能性がある。本報告では、あまり注目されていない日本海溝及び南海トラフに面する前弧斜面の地質構造から長

期的な変動を検討するとともに、2つの沈み込み帯の地質構造を比較する。その後、日本海溝沿いの津波堆積物研究について紹介しつつ、現状と課題について議論する。

2. 東北日本前弧斜面

東北地方太平洋沖の大陸斜面は海岸から日本海溝まで約200kmの幅がある。水深約3,000mまでは傾斜が緩やかで起伏がほとんど無い深海平坦面（deep sea terrace）が広がり、その海側で急傾斜の海溝陸側斜面となる（図1）。深海平坦面は幅約150kmで、平均傾斜は1°前後、傾斜が大きいくところでも3°程度である。ただ、海溝側に開いた馬蹄形の等深線で表現される緩やかな凹地が数多く発達する。一方、海溝陸側斜面は幅約50kmで、水深7,000～8,000mの日本海溝まで深くなる。水深5,000m前後に傾斜が緩やかになるテラス状の地形があり、mid-slope terrace と呼ばれている。4,000m以深の傾斜は5～10°である。大陸斜面全体の幅は、日本海溝の南部で狭くなるため、斜面の傾斜も南部でやや大きくなる。

海底下の地質構造は比較的単純である。大陸斜面の大部分を占める深海平坦面は、中期中新世以降の堆積物に広く覆われる。前期中新世以前は、海岸に近い部分で古第三紀や前期中新世の堆積盆地が発達したが、海溝寄りの深海平坦面下では、白亜紀の地層からなる浸食面が広域的発達することから陸域が広がっていたと推定されている（von Huene et al., 1982）。その浸食面が沈降を開始したのは古第三紀の末（約2,500万年前）である。それ以降継続的に沈降し続け、現在までに5,000m以上沈降し、海溝軸も50km以上陸側に後退したと推定されている（von Huene and Lallemand, 1990）。東北日本弧の前弧ウェッジは

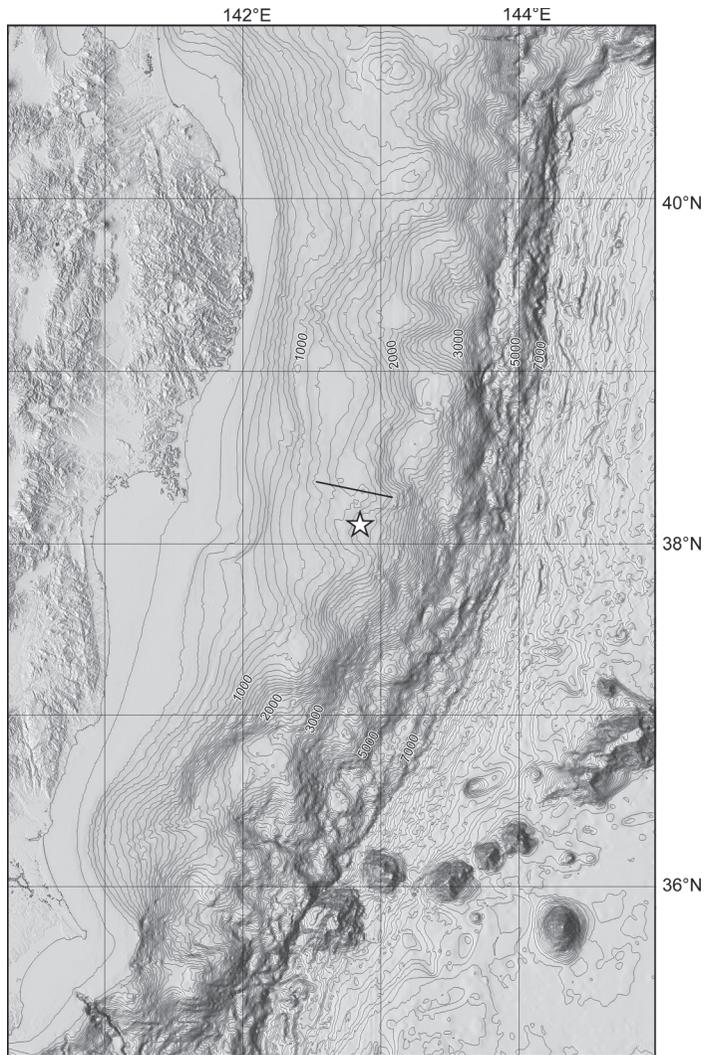


図 1 東北日本太平洋沖の海底地形

陸域は NASA が公開している Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) を使用。海域は海洋データセンターが提供する 500 m メッシュ水深データ jegg-500 (http://www.jodc.go.jp/data_set/jodc/jegg_intro_j.html) を用いた。牡鹿半島東方沖の実線は図 2 の反射断面位置を、星印は 2011 年東北地方太平洋沖地震の震央を示す。

長期にわたって体積が減少し、沈降し続けてきた。東北地方太平洋沖地震の発生時には広域的に隆起して津波を発生させた海底は、長期的な時間スケールで見ると沈降域である。

海溝海側斜面は幅の狭い平坦面 (mid-slope terrace) を境に、下部と上部に区分できる。上部は深海平坦面と同じく白亜紀の浸食面とそれを覆う中新世以降の地層からなる。浸食面は海溝側

へ傾斜するため水深が大きくなるが、地質構造は連続的で、顕著な断層や褶曲は少ない (Tsuru et al., 2000, 2002)。斜面下部には小規模な付加体 (frontal prism) が形成されている。日本海溝には南海トラフのようなタービダイトはほとんど分布しないが、太平洋プレート上の遠洋性堆積物と陸側斜面からの崩壊物が付加体を構成すると考えられる。付加体の内部には明瞭な構造が認められ

ないうえ、海底地形にも逆断層の活動を示すような連続的なリッジは見当たらないことから、付加体内部での変形は活動的ではないと推定される。付加体の陸側には明瞭な西側に傾斜した反射面が認められ、陸側の固結した領域 (backstop, 主に白亜紀の付加体?) との境界であると考えられている (Tsuru et al., 2000, 2002)。この反射面は逆断層のように見えるが、上盤側に明瞭な背斜構造を伴わないことから、最近の逆断層としての活動は考えにくい。

前弧斜面の沈降の原因として考えられているのが、前弧ウェッジの底面浸食 (subduction erosion) である (Murauchi and Ludwig, 1980)。沈み込む太平洋プレートが上盤の底面を削り取ることによって、薄くなってきたと説明されている。上盤から削り取られた物質は沈み込むプレートとともに、地下深部に運搬されることによって前弧ウェッジの体積が減少する。過去約 2,000 万年間で縮小した前弧ウェッジの体積を、年間約 10 cm の太平洋プレートの沈み込み速度で深部に運搬していくためには、太平洋プレートと上盤プレートとの間に厚さ約 550 m 程度の破碎物質が挟まっている必要があると推定された (von Huene and Lallemand, 1990)。von Huene et al. (1994) は、実際にプレート境界面に沿って厚さ 1 km 程度のプレート間物質が存在することを報告しているが、Tsuru et al. (2002) は、プレート間物質の厚さが場所によってかなり変化するし、地下深部では不明瞭になって確認できないとしている。いずれにしても、前弧斜面が沈降し続けるためには、プレート境界面で上盤プレートの底面が破碎され、同時にそれらが沈み込まなければならない。そのためには、破碎物質と上盤の間に滑り面があり、そこで上盤がさらに破碎されていることになる。このような底面浸食は、流体が上盤の割れ目に貫入して破壊する (hydro-fracturing) ことによって生じると提案されている (von Huene et al., 2004)。

沈み込む直前の太平洋プレートには正断層の変位によって海溝におおよそ平行な凹凸が発達するが、これが上盤プレート底面を削っているという

考えがある (Hilde, 1983)。また、鶴 (2004) はホルスト・グラーベンが沈み込んでからも成長してグラーベンの容積が増すことによって、底面浸食を促進する役割を果たしていると推定している。しかしながら、太平洋プレート上のグラーベンは海溝に達したところで斜面崩壊物にほとんど埋め立てられ、底面浸食に果たす役割は限定的であると考えられている (たとえば von Huene et al., 2004)。

海山の沈み込みも底面浸食を促進する現象と指摘されている。日本海溝東側の太平洋プレートを見ると、福島県南部から南側の沖には多くの海山が分布するのに対して、その北側には海山はほとんど見られない。それに対応するように、日本海溝南部では大陸斜面の幅が北部よりやや狭く、斜面下部には海山の沈み込みによって形成されたと考えられる凹地が複数発達するが、日本海溝の北部から中部の海溝斜面には同じような凹地は認められない (図 1; Yamazaki and Okamura, 1989)。このような対応から、海山の沈み込みは大陸斜面の構造に影響を与えていることは間違いないと考えられる。

以上のように、東北地方太平洋沖の前弧斜面は全体として沈降しているが、内部変形は顕著でないことが特徴である。3,000 m 以浅の深海平坦面の音波探査断面には、圧縮変形を示す明瞭な断層・褶曲はほとんど認められない。逆に、小規模な正断層が多数認められる (図 2)。また、馬蹄形の凹地は活断層には関係なく、局所的な沈降運動によって形成されている。海溝に沿って認められる小規模な付加体も成長していない。また、前弧斜面全体を見ても、海底地形や地質構造には明瞭なセグメント境界を示す構造は認められない。

このように斜面全体に圧縮変形がほとんど認められないことや、プレート境界沿いに堆積物や破碎物質などの強度が低い物質が分布していると推定されることから、日本海溝はカップリングが弱いプレート境界という考えも出されていた (たとえば、von Huene et al., 1994)。しかしながら、東北地方太平洋沖地震は前弧域全体が 1 枚板として振る舞っており、広い震源域が一度に破壊する

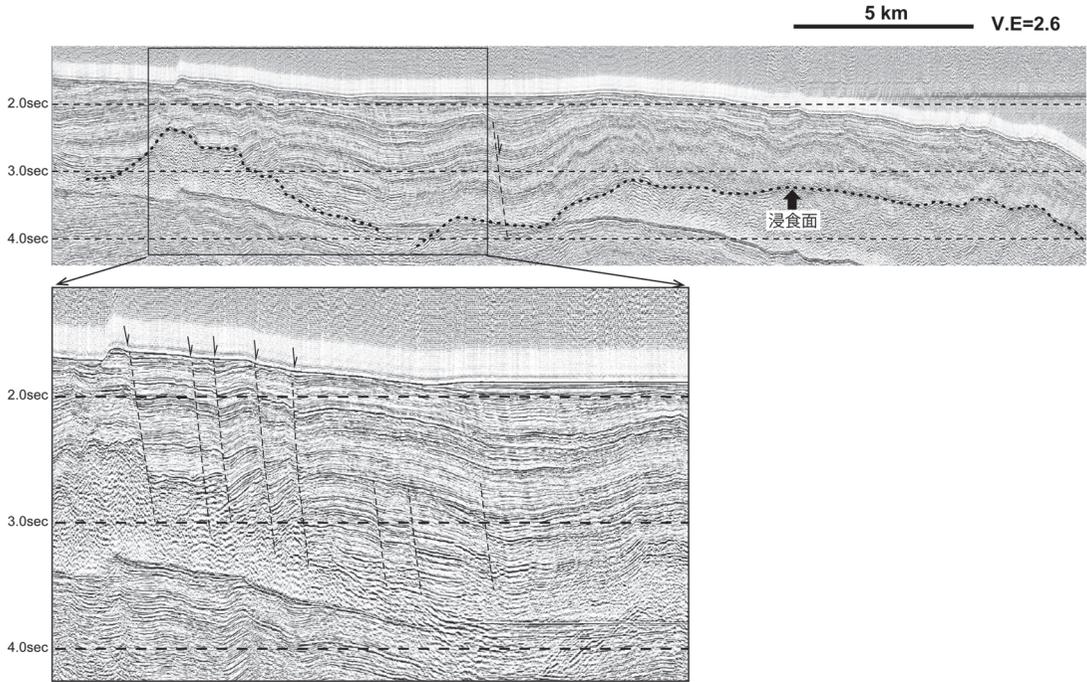


図2 東北日本前弧斜面の反射断面
 牡鹿半島沖の深海平坦面の反射断面。点線で示した浸食面は白亜紀層の上面で、深海平坦面に広く分布する。浸食面を覆う中新世以降の地層は緩やかな起伏を示し、多くの正断層が発達する。

ことを示した。

圧縮変形がほとんど認められない前弧ウェッジの地質構造は、プレート間の滑りのほとんどがプレート境界で生じ、変形が累積していないことを示している。前弧ウェッジでは、地震サイクルの中でほぼ弾性的な伸び縮みが繰り返しているだけであると解釈される。最近、Kodaira et al. (2012) は2011年東北地方太平洋沖地震の滑りが海溝まで達したことを報告したが、上記の推定を支持する結果である。

前弧斜面の地形的特徴から活断層の存在を指摘する研究もあるが (Nakata et al., 2012), それらは反射断面に認められている海底下の地質構造や、東北地方太平洋沖地震の変動については全く考慮していない。

3. 南海トラフ

南海トラフ沿いの前弧斜面の地質構造は、日本

海溝のそれとは大きく異なる。大陸斜面の幅は100-150 kmで日本海溝よりは狭い。斜面上部には明瞭な前弧海盆があり、その外縁に沿って顕著な隆起帯が発達する (図3)。伊勢湾沖の東側では前弧海盆が狭く、外縁隆起帯の幅が広い。その西側では前弧海盆が発達するが、南北方向の隆起帯によって熊野トラフ、室戸トラフ、土佐海盆、日向海盆に分かれる。海岸から外縁隆起帯までの幅は35~60 kmで、平均傾斜は2°前後であるが、外縁隆起帯と南海トラフの間の平均傾斜は5°前後となる。

大規模な付加体が形成されていることが南海トラフの最大の特徴である。この付加体は、沈み込むフィリピン海プレートを覆う遠洋性堆積物と南海トラフのタービダイトが陸側プレートにはぎ取られることによって成長してきた。プレート境界の滑り面は間隙水圧の高いほぼ水平な地層面に沿って発達し、南海トラフに近づくと、より傾斜の大きい断層となって滑り面の上位の地層を切っ

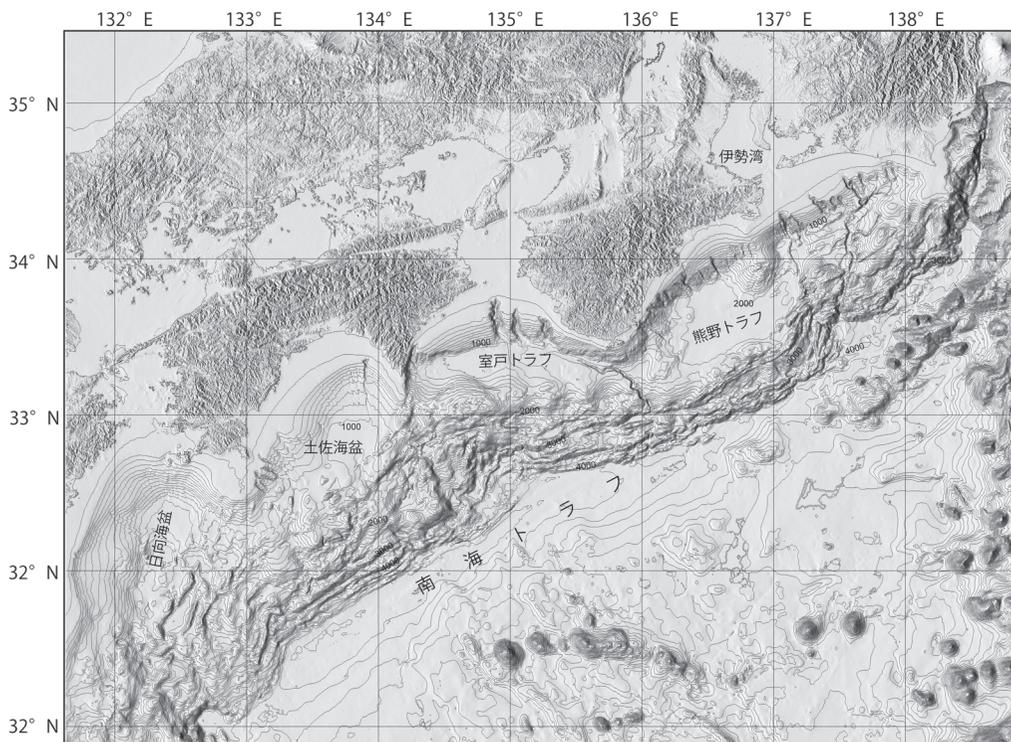


図3 西南日本太平洋沖の海底地形

陸域は NASA が公開している Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) を使用。海域は海洋データセンターの 500 m メッシュ水深データ jegg-500 の wgs84 版 (http://www.jodc.go.jp/index_j.html) を用いた。

て海底に達する (たとえば Moore et al., 1990)。断層面の傾斜が増す部分で上盤に背斜構造が発達する。その背斜構造が海底地形に明瞭に現れているリッジ群で、南海トラフにほぼ平行に 100 km 程度連続するものもある (図3)。このような構造や地形は日本海溝には存在しない。

付加体はフィリピン海プレートを覆う堆積物のはぎ取り作用によって成長していく。はぎ取り作用は南海トラフに近い部分だけでなくプレート境界の深い部分でも発生するし、形成された付加体の内部でもプレート境界から枝分かれした逆断層が活動することによって短縮変形が進行している (Nakanishi et al., 2008)。この結果、南海トラフから幅約 50 km の範囲が顕著に隆起している。この幅広い隆起帯は外縁隆起帯と呼ばれ、駿河湾から四国沖まではほぼ連続し、その内側に明瞭な盆地構造を形成する (茂木, 1975)。このような前

弧海盆は最近約 200 万年間に形成され、陸源碎屑物によって埋め立てられてきた。

南海トラフ沿いの前弧海盆は明らかに沈降している。外縁隆起帯に対して相対的に沈降しているのではなく、平均的な海水準に対して沈降していることが、大陸棚の地質構造から推定されている (Okamura and Blum, 1993)。このことは、前弧海盆下のプレート境界では日本海溝の前弧ウェッジと同じように底面浸食が起こっていることを強く示唆している。大規模な付加体の形成が南海トラフ沿いの前弧ウェッジの特徴であるが、プレート境界全体で同じことが起こっているのではなく、プレート境界の浅部では底面に堆積物が付加し、深部の前弧海盆下では底面が浸食されている。

前弧海盆が南海トラフの走向方向に構造的に分断されていることも大きな特徴である。東から見ると、東海沖では隆起帯が幅広く規模が大きいた

め、前弧海盆の幅が狭い。その西側には伊勢湾沖と潮岬との間に熊野トラフが、潮岬と室戸岬との間には室戸トラフが、室戸岬と足摺岬との間には土佐海盆、足摺岬の西側には日向海盆が発達する。これらの海盆の間の岬は陸上のほぼ南北方向の隆起帯が南に張り出している部分に相当する。

南海トラフ前弧ウェッジのこのような多様な構造は、フィリピン海プレートの斜め沈み込みと、その上にある海嶺や海山の沈み込みが大きな役割を果たしていると考えられる。前弧海盆を区分する南北方向の隆起帯はフィリピン海プレートの斜め沈み込みによる変形と説明された(杉山, 1990)。また、室戸トラフの外縁隆起帯西部を構成する土佐藩が異常に規模が大きいことから、海山の沈み込みによる変形であると説明され(Yamazaki and Okamura, 1989)、また東海沖で前弧海盆が不明瞭で外縁隆起帯の規模が大きくなるのは、銭州海嶺と同じような海嶺(古銭州海嶺)が沈み込んでいるためであると推定されている(Le Pichon et al., 1996; Kodaira et al., 2003)。さらに東海沖前弧海盆の陸側には横ずれ断層と推定されている東海断層が南海トラフとほぼ平行に伸びている(徳山ほか, 1998)。

4. 日本海溝と南海トラフとの比較

上記のように南海トラフ沿いの前弧ウェッジには顕著な断層が複数発達し、構造的にセグメント化されている。これは日本海溝には認められない構造である。このようにセグメント化した上盤の構造と過去の東海・東南海・南海地震の震源域とは無関係ではないように見える。一方、南海トラフの付加体に発達するリッジは走向方向によく連続しており、連続的な断層や褶曲が認められない日本海溝の海溝斜面とは大きく異なる。南海トラフに沿った連続的なリッジの存在は、累積変位量がそれほど変わらない逆断層が連続していることを示している。このような構造は、地震時の付加体での滑りは局所的に大きくなるよりは、かなりの幅で一様に滑る傾向があることを示唆しているように見える。それに対して日本海溝の海溝斜面

では連続的な構造が不明瞭である。さらに、海溝陸側斜面の傾斜は日本海溝の方が大きい。このような海溝斜面の構造の違いは、地震発生様式の違いを反映している可能性がある。

海溝型地震の震源域が構造的な沈降域にほぼ一致するという考えがある。Wells et al. (2003)によると、環太平洋の沈み込み帯で発生したM7.5以上の海溝型地震の震源域と重力の低異常域を比較すると、約70%が一致するという。重力異常だけで正確に沈降域を推定できるかどうかは疑問であるが、震源域の多くが沈降域であることは共通している。千島海溝沿いの十勝沖地震や根室期地震の震源域と沈降域もほぼ一致するように見えるし(Okamura et al., 2008)、南海トラフ沿いの東南海・南海地震も同じ傾向は認められる。日本海溝は先に述べたようにほぼ全域が沈降域に相当するため、東北地方太平洋沖地震の震源域も沈降域に含まれる。このことは、上盤プレートの底面浸食と巨大地震の発生に何らかの関係があることを示唆している。一方で、想定東海地震の震源域は隆起域が広く含むが、フィリピン海プレート上の海嶺が隆起に関係している可能性も考えられる。

長期的な変動によって形成された地質構造だけから地震規模や発生様式を予測することは危険ではあるが、地質構造の違いが生じた原因を解明することは、2つの沈み込み帯の地震発生様式を理解し、南海トラフの巨大地震を予測することにつながる期待される。

5. 過去の巨大地震の記録

以上述べたような地質構造の構造比較だけで、地震予測はできないことは明らかである。今後発生する地震規模を推定するためには、過去に発生した地震の履歴と規模を明らかにすることが必要で、それを推定するための直接の証拠が歴史記録や津波堆積物である。

地震や津波は巨大であるほど様々な記録を残していると考えられる。江戸時代以前でも地震が科学的に理解されていないが、社会に大きな衝撃を与えるはずであるから、何らかの記録は残ってい

る可能性が高い。しかしながら、歴史記録が残される時期は場所によって異なり、また時代によっても変化する。信頼できる歴史記録が多く存在する場合には、地震の規模を精度よく推定できるだけでなく、地震が発生しなかった時期を特定できる。一方、歴史記録が乏しい場所や時期であれば、地震が発生したこともわかりにくいし、地震が発生しなかったという判断も難しい。また信頼できる地震の記録が残されていても、その数が少なければ、規模を正確に復元することができない。

歴史資料の有無にかかわらず、巨大な地震や津波は地層や地形に記録を残す。この場合も信頼できる地質記録が複数の地域に残されていれば、地震や津波の発生を確実にとらえることができるし、その規模も一定の信頼性を持って復元できる。しかしながら、そのような地震時の記録が残されやすい地形や地質条件が沿岸域のどこでもそろっているわけではない。当然のことながら、地層に残された地震や津波の記録が少ない場合や、それぞれの記録の信頼性に疑問がある場合には、過去の地震を正確に復元することは難しい。2011年東北地方太平洋沖地震によって、歴史資料や津波堆積物の重要性が証明され、注目されるようになったが、過去の巨大地震や津波を復元するためには、それぞれの記録の信頼性を十分に確認することが重要である点は変わらない。

6. 東北地方北部太平洋沿岸域の歴史地震

江戸時代以降については、東北地方北部の太平洋沿岸を襲った津波に関する歴史記録は信頼性が高く、ある程度被害が大きかった津波や地震はほぼ完全に記録が残っていると考えられる(都司・上田, 1995)。その中で特に規模が大きかったのは1611年慶長三陸津波、1896年明治三陸津波、1933年昭和三陸津波と言われている。それ以外にも、被害を伴った津波は三陸海岸で4回知られており、100年に2回程度の頻度で発生してきた。一方、江戸時代より前で、信頼性の高い資料に記述された大地震として知られているのは869年の貞観地震のみである。江戸時代以前に津波発生頻

度が小さかったとは考えにくいので、地震や津波はあったが記録が残っていないと考えるのが妥当である。最近になって、西暦1454年(享徳3年)の地震・津波が貞観地震によく似た地震であった可能性が指摘されている(保立, 2012; 行谷・矢田, 2012)。この享徳地震と東北地方太平洋沖地震が貞観地震の再来であるとする、地震発生間隔は585年及び557年となり、ほぼ等間隔で発生していることになる。

869年貞観地震の記述は、当時の朝廷で作成された正史である『日本三代実録』に残されている。それによると、陸奥国で大きな地震があり、人が立ってられないほど揺れ、建物が数多く倒壊した。さらに、津波が怒濤のように城下に押し寄せ、辺りがすべて海となり、多くの人が亡くなり、家屋などほとんどが流されたことが記述されている。これは、当時の陸奥国府が置かれていた多賀城周辺で起こったことと考えられているが、記述は数行の簡潔な内容である。残念ながら、この資料には巨大津波の被害があった範囲や、津波規模について具体的な情報が無い。また、これ以外の貞観地震に関する資料も知られていない。

筆者が知る限り、その内容に初めて注目し、筆笛を鳴らしたのは吉田(1906)である。吉田は歴史地理に発表した論文の中で、津波の範囲や、末の松山の考察を行っている。また、渡辺(2001)は貞観の津波に関する伝承が残っている地域を調べ、北は気仙沼から、南は茨城県まで残っているとしている。しかしながら、上記の考察や調査については検証が難しいこともあり、それを使った津波規模の復元は行われていなかった。

7. 津波堆積物調査と津波再現

津波に関する歴史記録の情報の不足を補うために、仙台平野とその周辺で津波堆積物の調査が行われてきた。最初に貞観地震に対応する津波堆積物は1990年頃に報告され、仙台平野の海岸から3km以上内陸まで津波堆積物が分布することが明らかになった(阿部ほか, 1990; Minoura and Nakaya, 1991)。産業技術総合研究所が仙台平野

で津波堆積物の研究を開始したのは2004年である。2005年からは文部科学省予算による「宮城県沖地震の重点調査観測」が5年計画で始まり、産業技術総合研究所も津波堆積物調査を分担して実施した。そして、約5年の間に、宮城県の石巻周辺から福島県北部の太平洋沿岸に発達する平野において300以上の地点で掘削を行い、津波堆積物の分布域を明らかにするとともに、貞観地震の震源モデルを構築した。この内容は、Sawai et al. (2012)、澤井ほか(2006)や宍倉ほか(2010)などに報告されているので、詳しくはそちらを参照されたい。ここでは、概略を簡単にまとめる。

仙台平野と石巻平野は、過去約6,000年間に広がってきた平野である(図4)。現在の海岸に沿って平野よりわずかに標高が高い砂丘が発達する。平野が狭かった時期にも海岸に沿って同じような砂丘が発達していた。その砂丘の海側に新たな砂丘が形成されることによって平野が広がってきた。新しい砂丘が形成されると、その内陸側の古い砂丘との間は低地となる。この低地は両側に砂丘に挟まれるため、河川の流入がなく穏やかな湿地となり、植物遺体を主体とする泥炭層が堆積する。ところが巨大津波は海岸の砂丘を越えて、湿地を含む平野に広く流入し、その際に海岸の砂浜や砂丘を浸食して砂を運搬してくる。この時に形成される砂の層が津波堆積物である。暗色の泥炭層中に、明色の砂の層が形成されることから、その存在を見つけやすい(図4)。

現在の仙台平野は水田地帯に改変されているが、地形図を見ると集落が海岸線に平行に伸びて形成されていることが多い。このような集落は、平野の中でもわずかに標高が高く、また地盤も安定している過去の砂丘位置を示している。それらの線状に伸びる集落の列の間に水田が広がっているが、それがかつての堤間湿地である。津波堆積物調査は、かつての湿地を地形から特定した上で、地下の地層をハンドコアラヤーやジオスライサーといった道具を用いて抜き取る。調査は海岸に直行する測線を設定し、津波堆積物が海岸から内陸のどこまで分布するかを明らかにして行く。調査の結果、多くの測線で海岸から2-5kmの距

離までの範囲に複数枚の津波堆積物が分布することが明らかになった。また同時に、貞観地震が発生した時期の海岸線は、現在より約1km内陸側に位置していたことも明らかになった。

津波の発生間隔や履歴を解明するため、泥炭層に含まれる植物片を選び出して放射性炭素同位体の測定を行い、津波の発生年代を推定した。その結果、海岸から数km以上内陸まで津波堆積物を運搬するような津波は、500-800年程度の間隔で発生していたと推定した。

このように、沿岸域の地質学的な調査によって、貞観地震の発生間隔や津波の浸水域を明らかにすることができた。日本三代実録に書かれた貞観地震に伴う津波に関する情報量を大幅に増やし、信頼性を上げることができたのである。しかしながら、東北地方太平洋沖地震が発生する前に調査を実施していたのは、仙台湾に面した宮城県から福島県北部の平野で、津波堆積物分布域の北限と南限は確定していなかった。南限を決めるため、福島県南部から茨城県北部の調査は開始していたが(澤井, 2010)、三陸海岸については未着手であった。

津波は、適当な場所に震源断層モデルを仮定することによって、沿岸平野への浸水域や高さを数値計算できる。貞観地震の震源断層は、大きな揺れがあったという『日本三代実録』の記述と、宮城県の石巻から福島県北部の海岸で数km内陸まで津波が浸水したことを示す津波堆積物調査の結果から、宮城県沖を中心とするプレート境界の巨大地震であると推定した。その海域で、震源断層の位置・形状を変えつつ津波浸水域を計算し、宮城県から福島県沖で少なくとも100km×200kmの広がりを持つ震源断層(マグニチュード8.4以上)の破壊によって、石巻平野から福島県北部の平野で津波堆積物を確認した位置まで津波が浸水することを数値計算によって推定した(佐竹ほか, 2008, 行谷ほか, 2010)。一方で、先に述べたように津波堆積物分布の南限及び北限が確定していなかったため、震源域がさらに北側と南側に広がる可能性は残されていた(宍倉ほか, 2010)。

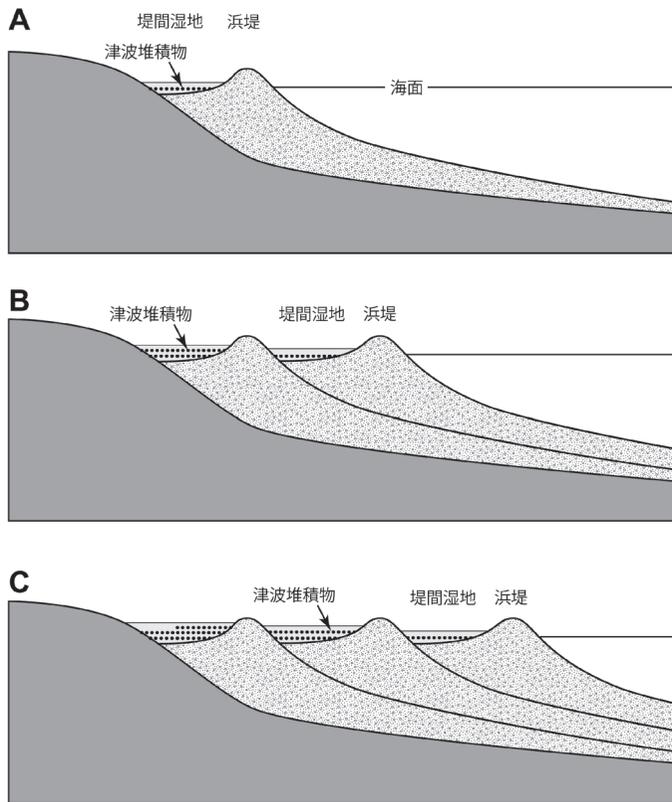


図 4 平野の拡大と堤間湿地の形成を示す模式図

新しい砂丘（浜堤）の形成によって平野が拡大すると、砂丘間に堤間湿地が形成され、そこに泥炭層がたまる。巨大津波は浜堤を乗り越えて浸水するため、泥炭層中に津波堆積物を形成する。内陸側の堤間湿地の方が古いため、多くの津波堆積物が残されるが、海岸からの距離も大きくなるため、新しい津波堆積物は不明瞭になることもある。

8. 2011年東北地方太平洋沖地震

2011年東北地方太平洋沖地震は、その発生前に津波堆積物に基づいた過去の巨大地震研究があり、それらの研究を検証する初めての機会となった。宮城県沖を震源とする2011年東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9に達する巨大地震となった。この地震によって破壊した領域は長さ（南北）400-500km、幅（東西）200kmに達し、産総研が提出していた貞観地震のモデルより、面積で約4倍、エネルギーで約8倍の規模であった。このため、発生した津波の規模も、同モデルから推定される津波より相当大きかった。

一方で、仙台平野ではモデルから計算した浸水

限界と東北地方太平洋沖地震によって発生した津波の浸水限界を比較すると、ほぼ同じであった（宍倉，2011）。大きく規模が異なる地震でも浸水限界がほぼ同じになった原因は大きく2つあると考えられる。1つは貞観地震発生時の海岸線は現在より約1km陸側にあったことから、現在より狭い平野を仮定して津波の浸水域を計算していたことである。もう1つは、仙台平野には海岸から数kmにわたって、標高の低い低地が広がりその陸側で急に標高が高くなるという地形的な特徴を持っているため、一旦津波が平野に浸水すると、標高の低い範囲全体に浸水しやすく、それ以上は浸水しにくいという特徴がある。このため、津波規模が異なっても浸水限界には差が出にくい。貞観地震のモデルは2011年東北地方太平洋

沖地震の津波高の予測としては不完全ではあったが、仙台及び石巻平野で浸水する可能性がある範囲についてはほぼ正しく推定していた。そのことを広く周知されていれば多くの命は救えた可能性があった。いずれにしても、津波堆積物の分布域は、巨大津波の浸水域を警告していたのである。

2011年東北地方太平洋沖地震によって発生した津波によって新しい津波堆積物が形成され、その調査によって津波堆積物と津波浸水域の関係が明らかになった。東北地方太平洋沖地震によって形成された津波堆積物は、海岸付近で最も厚く、内陸に向かって薄くなりやがて消滅するが、砂層が消滅した場所よりも津波は1~2km以上内陸まで浸水していた。津波堆積物の分布域より津波浸水域が広いことは認識されていたが、その差が具体的に初めて明らかになった (Goto et al., 2011; 宍倉, 2011)。貞観地震の津波規模を推定する際には、津波堆積物の分布域を浸水域と同じとして津波規模を推定したことが、貞観地震の規模を過小評価した主要な原因であることを示している。この知見は、今後津波堆積物から津波規模を推定する際に、過小評価とならないための重要な情報として活用されることになるだろう。

9. 今後の課題

東北地方太平洋沖地震の発生後、津波堆積物が大きく注目され、巨大津波の予測という大きな期待を背負うこととなった。近い将来に巨大地震の発生が予測されている南海トラフ沿いでも津波堆積物が見つかるが、東北地方太平洋側沿岸に比較すると津波堆積物に関する情報は不十分で、津波波源モデルを構築するレベルには達していない。一方で、内閣府によって公表された南海トラフで発生する可能性のある最大規模の地震 (内閣府, 2012) は、津波堆積物の分布から推定できる規模を超える。このような巨大な津波が発生したことは、津波堆積物研究からは確認されていない。さらに、津波堆積物調査・研究も発展途上にあり、過去の津波規模や発生年代の推定にはまだまだ解決すべき点が多い (澤井, 2012)。巨

大津波に対する社会の不安が高まり、津波規模の想定の見直しが急いで行われているが、このような時期にこそ精度の高い津波堆積物調査を実施し、信頼性の高い情報を提供していくことが重要であると考えられる。

同時に、沈み込み帯のテクトニクスについては、地質学的な時間スケールの現象も考慮して、そのメカニズムを考察していくことも必要であろう。地震及び測地観測に基づいた地球物理学、津波堆積物など完新世の地質学に基づいた古地震研究、地質構造に基づいた長期的な地質学的研究は、それぞれ対象とする時間スケールが異なることもあり、それぞれの知見を貼り合わせてつじつまの合うイメージを作っているだけで、すべての観察事実を合理的に説明できるメカニズム解明がされているわけではないし、全体として統合したモデルになっていない。将来発生する可能性のある地震の規模や時期を予測するためには、様々な時間スケールの中で観察されている現象を統合的に説明できる研究を推進する必要があるだろう。

参考文献

- 阿部 壽・菅野喜貞・千釜 章, 1990, 仙台平野における貞観11年(869年)三陸津波の痕跡高の推定, 地震, 43, 513-525.
- Goto, K., Goff, C.C., Fujino, S., Goff, J., Jaffe, B., Nishimura, Y., Richmond, B., Sugawara, D., Szczuciński, W., Tappin, D.R., Witter, R., and Yulianto, E., 2011, New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event, *Marine Geol.*, doi:10.1016/j.margeo.2011.10.004.
- Hilde, T.W.C., 1983, Sediment subduction versus accretion around the Pacific, *Tectonophysics*, 99, 381-397.
- 保立道久, 2012, 歴史の中の大地動乱. 岩波新書, 1381.
- Kanamori, H. and Yomogida, K. eds., 2011, First Results of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *EPS*, 63, no. 7.
- Kodaira, S., No, T., Nakamura, Y., Fujiwara, T., Kaiho, Y., Miura, S., 2012, Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nature Geoscience*, DOI:10.1038/NNGEO1547.
- Kodaira, S., Nakanishi, A., Park, J.-O., Ito, A., Tsuru, T., and Kaneda, Y., 2003, Cyclic subduction at the inter-

- plate locked zone off central Japan, GRL, doi:10.1029/2002GL016595.
- Le Pichon, X., Lallemand, S., Tokuyama, H., Thoué, F., Huchon, P., and Henry, P., 1996, Structure and evolution of the backstop in the eastern Nankai Trough area (Japan) : Implication for the soon-to-come Tokai earthquake, *Island Arc*, 5, 440-454.
- Minoura, K. and Nakaya, S., 1991, Trances of tsunامي preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits : some examples from northeast Japan, *Journal of Geology*, 99, 265-287.
- 茂木昭夫, 1975, フィリピン海北縁部の海底地形—Outer Ridge について—, *海洋科学*, 7, 8, 27-32.
- Moore, G.F., Shipley, T.H., Stoffa, P.J., Karig, D.E., Taira, A., Kuramoto, S., Tokuyama, H., and Suehiro, K., 1990, Structure of the Nankai Trough accretionary zone from multichannel seismic reflection data, *JGR*, 95, 8753-8765.
- Murauchi, S., and Ludwig, W.J., 1980, Crustal structure of the Japan Trench : The effect of subduction of ocean crust, in *Initial Repts od DSDP, 56/57*, Washington DC, 463-470.
- 内閣府, 2012, 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告), http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html.
- Nakanishi, A., Kodaira, S., Miura, S., Ito, A., Sato, T., Park, J.-O., Kido, Y., and Kaneda, Y., 2008, Detailed structural image around splay-fault branching in the Nankai subduction seismogenic zone : Results from a high-density ocean bottom seismic survey, *JGR*, 113, doi:10.1029/2007JB004974.
- 行谷佑一・佐竹健治・山木 滋, 2010, 宮城県石巻・仙台平野および福島県請戸川河口低地における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*, 10, 1-21.
- 行谷佑一・矢田俊文, 2012, 享徳三年, 1454年に奥州を襲った津波, *歴史地震研究会講演要旨集*, p. 33.
- Nakata, T., Goto, H., Watanabe, M., Suzuki, Y., Nishizawa, A., Izumi, N., Horiuchi, D., and Kido, Y., 2012, Active faults along Japan Trench and source faults of large earthquakes, *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, <http://www.jaee.gr.jp/event/seminar2012/eqsympo/pdf/papers/34.pdf>.
- Okamura, Y. and Blum, P., 1993, Seismic stratigraphy of Quaternary stacked progradational sequences in the southwest Japan forearc: an example of fourth-order sequences in an active margin, in *Sequence Stratigraphy and Facies Associations*. International Association of Sedimentologists, Special Publication No. 18, 213-232.
- Okamura, Y., Tsujino, T., Arai, K., Sasaki, T., Satake, K., and Joshima, M., 2008, Fore arc structure and plate boundary earthquake sources along the southwestern Kuril subduction zone, *JGR*, 113, doi:10.1029/2007JB005246.
- 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*, 8, 71-89.
- 澤井祐紀, 2010, 福島県富岡町仏浜周辺の海岸低地における掘削調査, *活断層古地震報告*, no. 10, 23-29.
- 澤井祐紀, 2012, 地層中に存在する古津波堆積物の調査, *地質学雑誌*, 118, 535-558.
- 澤井祐紀・岡村行信・穴倉正展・松浦旅人・Than Tin Aung・小松原純子・藤井雄士郎, 2006, 仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波—1611年慶長三陸津波と869年貞観津波の浸水域—, *地質ニュース*, 624, 36-41.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K., and Shishikura, M., 2012, Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology, *GRL*, 39, doi:10.1029/2012GL053692, 2012.
- 穴倉正展・澤井祐紀・行谷佑一・岡村行信, 2010, 平安の人々が見た巨大津波を再現する—西暦869年貞観津波—, *AFERC ニュース*, No. 16, no. 8 (http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/katsudo/aferc_news/index2010.html).
- 穴倉正展, 2011, 津波堆積物からみた869年貞観地震と2011年東北地方太平洋沖地震について, *日本地震学会ニュースレター*, vol. 23, no. 3.
- 杉山雄一, 1990, 駿河湾～遠州灘地域のサイスマテクトニクス, *地震*, 43, 439-442.
- 徳山英一・平 朝彦・倉本真一・山本富士夫, 1998, 東海沖海底の変動地形, *科学*, 68, 56-57, 岩波書店.
- 都司嘉宣・上田和枝, 1995, 慶長16年(1611), 延宝5年(1677), 宝暦12年(1763), 寛政5年(1793), および安政3年(1856)の各三陸地震津波の検証, *歴史地震*, 11, 75-106.
- 鶴 哲郎, 2004, 日本海溝域におけるテクトニックエロージョンの新展開, *月刊地球*, 26, 672-679.
- Tsuru, T., Park, J.-O., Takahashi, N., Kodaira, S., Kido, Y., Kaneda, Y., and Kono, Y., 2000, Tectonic features of the Japan Trench convergent margin off Sanriku,

- northeastern Japan revealed by multi-channel seismic reflection data, *J. Geophys. Res.*, 105, 16,403-16,413.
- Tsuru, T., Park, Jin-Oh, Miura, S., Kodaira, S., Kido, Y., and Hayashi, T., 2002, Along-arc structural variation of the plate boundary at the Japan Trench margin: Implication of interplate coupling, *JGR*, 107, doi:10.1029/2001JB001664, 2002
- von Huene, R. and Lallemand, S., 1990, Tectonic erosion along the Japan and Peru convergent margins, *GSA Bull.*, 102, 704-720.
- von Huene, R., Klaeschen, D., and Cropp, B., 1994, Tectonic structure across the accretionary and erosional parts of the Japan Trench margin, *JGR*, 99, 22,349-22,361.
- von Huene, R., Langseth, M., Nasu, N., and Okada, H., 1982, A summary of Cenozoic tectonic history along the IPOD Japan Trench transect, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 93, 829-846.
- von Huene, R., Ranero, C.R., and Vannucchi, P., 2004, Generic model of subduction erosion, *Geology*, 32, 913-916, doi:10.1130/G20563.1.
- 渡辺偉夫, 2001, 伝承から地震・津波の実態をどこまで解明できるか—貞観十一年(689年)の地震・津波を例として—, *歴史地震*, 17, 130-145.
- Wells, R.E., Blakely, R.J., Sugiyama, Y., Scholl, D.W., and Dinterman, P.A., 2003, Basin-centered asperities in great subduction zone earthquakes: A link between slip, subsidence, and subduction erosion? *JGR*, 108, doi:10.1029/2002JB002072, 2003.
- Yamazaki, T. and Okamura, Y., 1989, Subducting seamounts and deformation of overriding forearc wedges around Japan, *Tectonophysics*, 160, 1/4, 207-229.
- 吉田東伍, 1906, 貞観11年陸奥府城の震動洪溢, *歴史地理*, 8, 12, 1033-1104.

岡村 行信

[おかむら ゆきのぶ]

現職 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター長
理学博士

略歴 名古屋大学理学部卒業, 名古屋大学理学研究科修士課程修了, 通商産業省地質調査所を経て, 現職.

研究分野 構造地質学, 海洋地質学

著書 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス(東大出版会, 分担執筆)など



最近の地震報道に見た問題点

—地震研究におけるアウトリーチ活動の課題—

松村正三

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震（Mw 9.0、以下では、東北沖地震）の勃発以来一年余りを経て震災の余燼が漸く落ち着きつつある中、次に襲ってくるであろう新たな大地震対策への検討が始められている。内閣府が提出した平成24年版防災白書「防災に関して行った措置の概況、平成24年度の防災に関する計画」（平成24年6月19日）では、南海トラフ巨大地震と首都直下地震の2地震を明記して取り上げており、これらが我が国の地震防災においてきわめて重要な課題であるとの認識を示している。

そうした折り、最近、首都直下地震の発生確率が際立って増加したとの新聞報道がなされた。東北沖地震のせいで関東地方の地震発生環境が変わってしまったことを警告する報道である。また、東北沖地震の発生を受け、東日本太平洋側の地震発生予測を見直す政府発表も報道された。M9という想像を絶した地震の余韻がまだ収まり切っていないことは、2004年に起きたスマトラ地震のその後を見ても明らかであり、こうした状況下で地震の警戒報道が頻出するのは、当然とも言える。しかしながら筆者には、これらの報道にある種の語弊が含まれており、読者には本来の趣旨が伝わっていないと感じられた。マスコミ報道は、時として誇張した表現を弄する性向を持つが、今回のケースはそれとは異なって単純な誤りではない代わりに、読者に一種の錯誤を催させるものであった。筆者が懸念するのは、このような錯誤の積み重ねは、結果的に地震研究への不信にまで結びつきかねないということである。

1995年の阪神・淡路大震災以来、政府には地震調査研究推進本部（以下では、地震本部）が設けられ、国民への地震情報提供の体制が整えられた。また、地震学会に広報担当の委員会が組織され、各研究機関にも専門のアウトリーチ部門や窓口が配されるなど、地震関連組織において社会との接点を強化しようという動きが加速した。このような窓口を介しての広報が活発化する一方で、研究者への直接取材を通じての報道は、今もなおマスコミ報道の主流となっている。学界の最先端に位置する個々の研究者の研究テーマが話題性を追及するマスコミ報道にとって格好の取材対象だからである。「もの」や「技」を産み出す工学研究などと違い「知識の創出」を成果の全てとする地震学では、社会へ果たすべき責任の基本は情報のアウトリーチ活動に在る。従って、最終成果として報道される情報が受け手側の錯誤を催すようなものであるとすれば、それは研究者にとっても大きな不幸と言わなければならない。

冒頭に取り上げたケースで結果として生じた問題点の所在は、報道側の姿勢よりもむしろ、情報を提供する研究者の側にあるのではないかと思われた。本論では、これらの報道についての具体的な内容とその問題点を指摘し、問題の所以を考察するとともに、研究者が認識し、自覚すべきアウトリーチ活動の課題についての議論を試みる。

2. 報道内容

2012年2月11日付け朝日新聞朝刊の耕論欄に、「4年で70%の衝撃」と題した評論記事が掲載された。そこに紹介されたのは、最近報道された大地震発生の予測記事を取り上げて、それを行

政や国民一人一人がどう受け留めるべきかについての識者の意見である。対象となった地震は、①「M7級首都直下型地震」、及び、②「三陸から房総沖にかけてのM9級津波地震」である。これらの報道が取り上げられ、あらためて評論記事が組まれたのは、地震規模の大きさ、首都を含む対象地域、また4年で70%という確率の高さなど、これまでとは一線を画すその驚くべき内容と同時に、情報の出所の確かさ、信頼性の高さから、読者の動揺を懸念する判断があったからではないかと推測される。当該欄における識者の評は、情報内容への疑問や報道の仕方への意見ではなく、これを受けての防災対応への提言に留まっていた。しかし、筆者には、これらの報道内容そのものが、まずもって検証されるべきではないかと感じられた。記事の見出し表現がいかにも舌足らずであり、その内容の重大さ、驚くべき深刻さにもかかわらず、正しい理解のための情報が不足しているという印象を抱いたからである。新聞報道は、マスコミ情報全般の中でも際立って信頼度が高く、必然的に、社会的影響、とりわけ行政への影響度がきわめて強い。その故もあろう、実際の報道に単純な誤記を見ることはめったにない。それだけに、今回のケースには、強い違和感を感じさせられたのである。

以下の節では、上記ふたつの地震報道について、その内容を検証するとともに、情報発信の仕方に存在する問題点について具体的に検討する。

3. M7級首都直下型地震

3-1. 報道の経緯

この報道は、2012年1月23日読売新聞紙上の「首都直下型4年内70%」と題された記事が発端である。きわめてセンセーショナルな報道であったため、他の新聞も間髪を置かず追随した。情報の出所は、2011年9月16日東京大学地震研究所（以下では、地震研）の談話会において平田直教授らのグループが発表した講演であり（酒井慎一ほか、2011）、その内容の一部が取材を介して報道されたものである。記事の趣旨は、M7級首都

直下型地震が4年以内に70%の確率で発生するという警告であるが、場所、期間、確率値の全てが衝撃的なものであったため、これに関連して読者の不安を煽るマスコミ報道が日本中を駆け巡ることとなった。その後、2月1日付けの朝日新聞は、京都大学防災研究所遠田晋次准教授による再計算に基づいて、「首都直下M7地震の発生確率は5年以内に28%である」との改訂報道を発表した。値はやや下がったものの、近未来の大地震発生確率としては、やはり異常に高い数値と言える。この見出しから、読者は、首都すなわち周辺市街地を含めた東京都区部の直下で、指呼の間にM7地震が起きる、と受け留めたのではないだろうか。記事中では「首都」が「首都圏」に言い換えられていたが、しかしその場合も、報道に接した首都圏の住民は、きわめて高い確率で近々、自らの生活が脅かされる地震が起きる、との不安を感じたことであろう。筆者に言わせれば、それは錯覚である。

報道がもたらした波紋の大きさ故であろう、地震研はホームページ上において、確率計算の道筋を概説するとともに、結果としての数値の不確定さを強調した。もっとも、結果に至るまでの手続きは単純であり、結論そのものに明確な誤謬があったわけではない。筆者が問題とするのは別の観点であるが、それを明らかにする前に、ここでなされた分析の手続きを辿ってみよう。

3-2. 地震発生確率値の求め方

地震研グループは、東京都東部を中心に、千葉・茨城・埼玉・東京・神奈川を含む東西・南北それぞれ1.5度の範囲（35.0N~36.5N, 139.3E~140.8E, 東西136km×南北167kmの長方形）を囲む領域を取り上げ、その中のM3以上の地震を抽出して個数を数えた。そしてその結果、小中規模の地震活動度が東北沖地震の発生後半年間でそれ以前の7.3倍に増加していることを発見した。これは、東北沖地震の断層運動の結果、非震源域である関東地方直下の載荷応力が増加したためであると解釈される。Dieterich (1994) は、摩擦構成則から成る微分方程式を用い、応力変化が地震活動に及ぼす影響を定量的に評価する方法

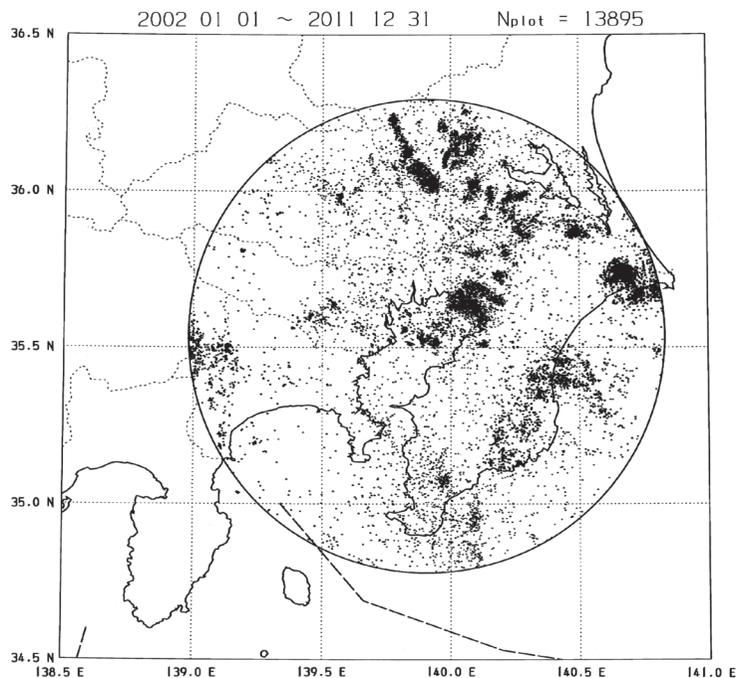


図 1 首都圏の地震分布 (2002/1/1-2011/12/31, M 1.5 以上, 100 km 以内)

を提案した。それによると、応力载荷によって一時的に増加した地震活動は、その後、大森公式に従って漸減し、やがて元の活動度に落ち着くものと推測される。この仮説に基づいて地震研グループは、2011年3月11日から9月10日まで半年間の地震活動をベースに、マグニチュード頻度分布を示すグーテンベルク・リヒター式と改良大森公式の組み合わせ（以下に注）から、以降4年間に発生するM 6.7以上の地震の平均個数を算出し、その発生確率70%を導き出したのである。こうした手続き自体に特段の疑問はない。では、報道内容のどこに問題があるのだろうか。

(注) 地震発生率のマグニチュード依存性を示すグーテンベルク・リヒター式は、 $A \cdot \exp(-bM)$ で表され、マグニチュード M の係数パラメーターを b 値と呼ぶ。通常、 b 値は1.0前後である。大森公式は、余震発生率の本震からの時間経過 t による変化を表す式を言う。改良大森公式は、 $B/(t+c)^p$ で表され、大森公式では、 $c=0.0$ 、 $p=1.0$ となる。

3-3. 問題点の在り処

ここでは、前節の手法に倣って「M 7級首都直

下型地震」の4年内発生確率を求めてみる。図1は、東京都東部を中心に直径168km、深さ100kmの円柱領域を取り、2002年から2011年末まで10年間のM 1.5以上の地震を抜き出したものである。この領域は、地震研グループのものと完全ではないが、ほぼ一致する。図2には、同地震データの月別の地震発生個数変化を示した。東北沖地震の直後に急増したことが分かる。急増後2011年末まで約10ヶ月間の平均発生率は、それ以前の約4倍となる。図3は、この10ヶ月間のデータに対してのマグニチュード頻度分布図を示す。分布に対しての直線フィッティングから b 値は0.85と決まり、グーテンベルク・リヒター式から東北沖地震後10ヶ月間のM 6.7以上の地震の推定発生個数は、0.26個と評価できる。また、東北沖地震後に増加した分の活動については大森公式を使っただけの概算から、2012年から2015年末までの4年間の積算発生個数が、前記10ヶ月間の増加分とほぼ等しくなることが分かる。結果的に、4年分のトータル発生個数の推定値 (λ) は0.51個と評価され、発生確率 (P) に換算すると、

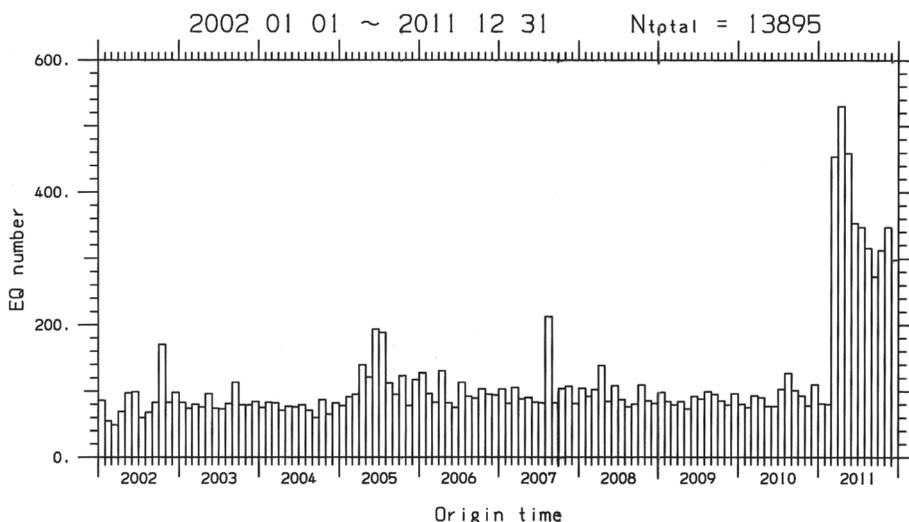


図 2 首都圏地震活動 (図 1) の月別個数変化

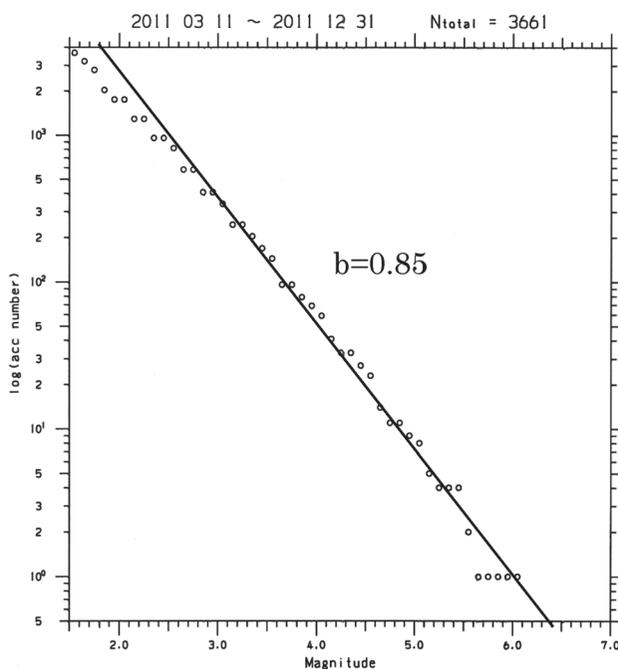


図 3 首都圏地震活動の規模分布 (各マグニチュード以上の積算個数, 2011/3/11-2011/12/31)

$P=1-\exp(-\lambda)$ から、「4年以内に約40%」となる。この結果は、前出の京都大遠田准教授による「5年以内に28%」と、地震研グループによる「4年以内に70%」とのほぼ中間に位置する。それぞれの値が異なるのは、データ抽出の期間と式中で使われたパラメーター値の違いによる。

データ抽出の仕方によって結果の確率値がこの程度揺れ動くものであることは分かったが、そうだとすると、この確率が異様に高い値であることに変わりはない。

さてここで筆者が問題とするのは、領域の取り方である。首都圏という呼称そのものにも多少の

曖昧さがあるものの、図1の領域をそう呼ぶことに異存はない。問題はその広がりがあるM7級という対象地震の規模と釣り合っていないことである。地震の専門家でない大抵の人は、マグニチュードが意味する地震の脅威に対してのイメージは持っているが、その空間スケールに対して具体的な認識を持ち合わせていない。そのため、「首都直下M7地震が4年以内に70%の確率で起こる」と知らされた住民は、それが自分の足下で起きるもの、ないしは、多少離れて起きたとしても自分の生活に甚大な影響を及ぼすものと捉えたのではないだろうか。仮に、対象がM8級であるならば、その地震は首都圏全体に影響を及ぼすだろう故に、領域の広がりとの釣り合いはとれている。しかし松田式によれば、M7地震の断層長はせいぜい20kmでしかない。例えば、首都圏M7級地震のひとつである1987年に起きた千葉県東方沖地震(M6.7)は、現地で2名の死者を出したものの、東京都ではたかだか震度4の揺れを

感じさせたに過ぎず、首都圏全体に関わる地震であったとは言い難い。また、図1では深さ50kmを超えるやや深発地震が多く含まれているが、このような深さで起きるM7地震による地表地震動は概ね震度6弱未満であり、甚大な被害をもたらすとは考え難い。つまり、この新聞の見出しには、確かに言葉としての明確な誤謬は含まれないものの、それから醸される雰囲気と内容は語弊の多い、きわめてトリッキーなものと言わざるを得ない。

図1から、地表に大きな被害を及ぼす可能性のある地殻内地震、すなわち、本来の意味の直下型地震を抜き出すため、深度30km以浅のものを取り出した結果が図4である。同図から、主な地震活動は、相模湾から東京湾にかけての楕円領域(図の波線楕円)の外縁を取り囲み、また、それらはM7級に匹敵する数個の「地震の巣」に分かれていることが分かる。この楕円領域は、1923年関東地震の震源域と重なっており、次回関東地

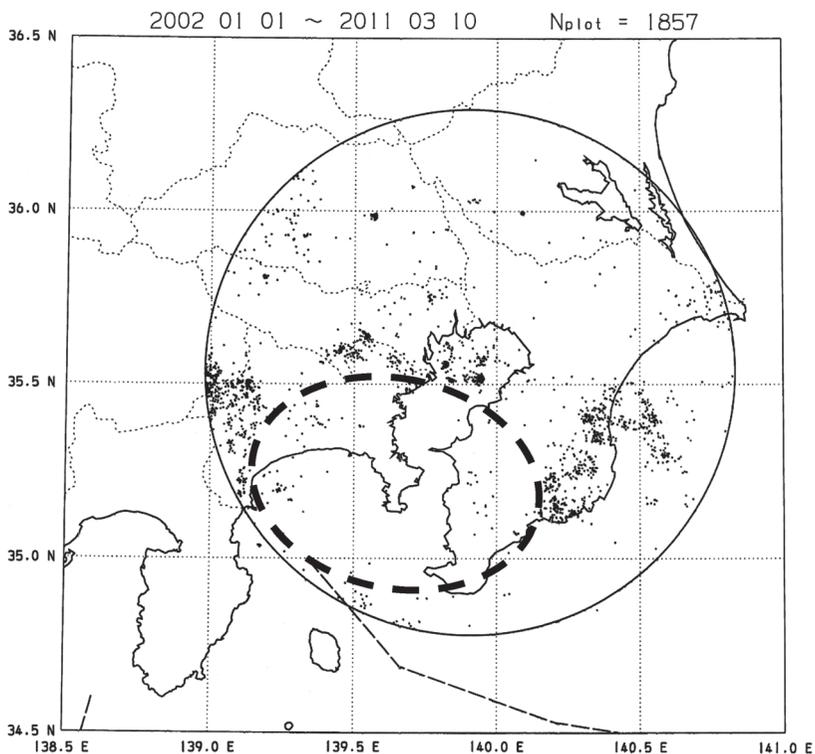


図4 首都圏の地殻内地震分布(2002/1/1-2011/3/10, M1.5以上, 30km以浅)

震の震源域を指し示すと考えられる。すなわち、首都に本当に深刻な被害をもたらすであろう直下型地震は、将来の関東地震の震源域を囲む応力集中帯に発生する可能性が高い。2012年4月19日に報道された東京都の被害想定では、次回M8級関東地震を筆頭にしてこのほかに、東京湾北部地震(M7.3)、立川断層帯地震(M7.4)、多摩直下地震(M7.3)の3通りのM7級地震が取り上げられている。これらが、まさに上記の「地震の巣」に対応したものである。

3-4. 東京湾北部地震

ここで、首都直下M7地震の代表として、実際に発生すれば東京都のみならず我が国に深刻なダメージをもたらすであろう東京湾北部地震の発生確率をもとめてみる。東京湾北部地震に対応する「地震の巣」として直径40kmの円で囲んだ領域の地震を取り出したものが図5である。これは、東北沖地震発生以前の9年と2ヶ月間の活動図であるが、図1の首都圏全体との割合で言え

ば、地震発生数はその28%にしか過ぎない。これから単純に比例で割り出すと、今後4年間のM6.7以上地震の推定発生個数は0.014個となり、発生確率に換算して1.4%ということになる。つまりこのくらいの値が、本来懸念すべき「首都直下型M7級地震の4年内発生確率」なのである。また、報道では解説されなかったことであるが、この確率値は東北沖地震が大きく影響している現時点での値であり、仮に当初の4年間の無事に経過してしまえば、その後の発生確率は格段に低くなる。ただし、その状態でも30年内発生確率は6.3%であって、地震本部が仕分けた活断層地震発生の30年確率値としては「高い」範疇に入り、油断ならない状況であることに違いはない。

東京湾北部以外の他の「地震の巣」についても同様、個別の確率が示されるべきであり、それぞれは、「4年以内に70%」ではなく、「4年以内に1%程度」の値にとどまると推定される。このように被害範囲に応じた個別のM7級首都直下型

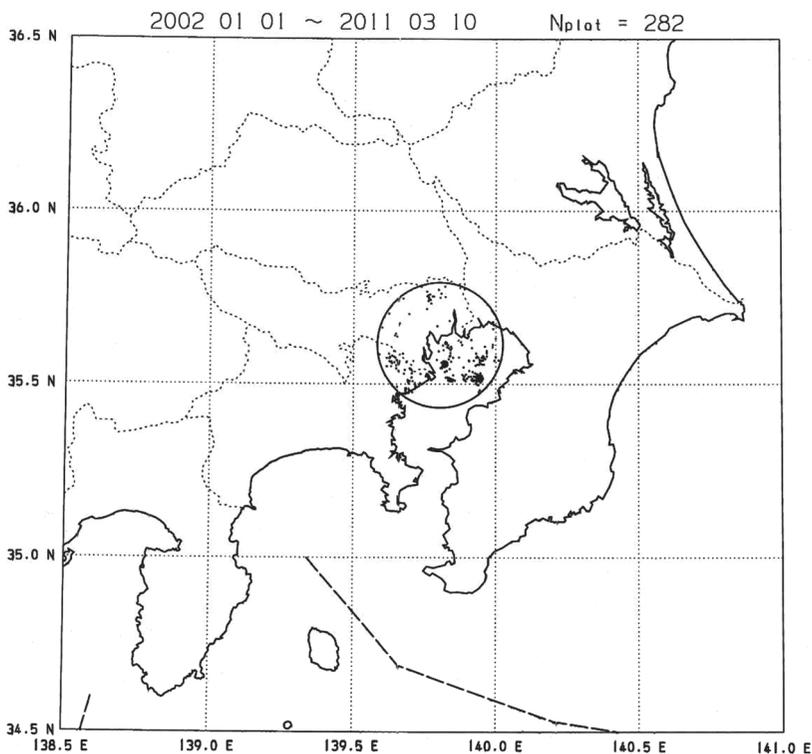


図5 東京湾北部の地震分布 (2002/1/1-2011/3/10, M 1.5以上, 30km以浅)

地震の発生確率が報道されていたならば、今回のような騒動に近い報道合戦は起きなかったであろう。たとえ話題性に欠けるとしても現実味のある報道をすることは、情報への信頼感を高めることにつながり、それが結果的に、それぞれの場に住む地域住民に対し、より確かな危機意識を醸成することになると考えられる。

4. 三陸から房総沖にかけての M 9 級津波地震

4-1. 報道の経緯

2011年11月25日付け朝日新聞に、「M 9 級、30年以内に30%—三陸から房総沖」との見出しの記事が掲載された。これは、同じ日の地震本部の発表に基づいて報道されたものである。地震本部では、以前から全国の地震活動長期予測のひと

つとして「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価」を公表していたが（地震調査研究推進本部、2009）、今回の東北沖地震の発生を受け、評価の改訂作業を実施した（地震調査研究推進本部、2011）。東日本の太平洋側は、図6に示したとおり8個の領域に分割され、それぞれに特徴的な地震の発生予測が行われてきたが、上記報道の対象となったのは、その中の「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」のプレート間地震（津波地震）である。今回ここでは、東北沖地震を含め約400年間に4回の津波地震が発生したとみなされ、その結果、報道されたような発生確率の値が算出されたわけである。この数値自体は改定前のものと大きくは変わっていない。この際、東北沖地震震源域の滑り残し部分が海溝沿いに存在すると見て、その残存危険度を加味する考え方、あるいは

逆に、近世に滑ったため、まだ当分は滑らないとする考え方も有り得たが、前述の確率値はそうした考えは考慮に入れず、ランダムな地震発生を想定した結果である。

改訂版で意図的に変えられたのは、想定マグニチュードである。地震本部は、この領域の地震を固有地震としては扱わなかったが、1896年明治三陸地震を有り得る地震タイプのひとつとみなした。後述するように、阿部勝征（2003）では、1896年地震の津波マグニチュードがMt 8.6~9.0と再評価されており、これに従って地震本部は、改定前の評価値、Mt 8.2前後をMt 8.6~9.0へと格上げした。そこにはまた、東北沖地震で津波が甚大な被害をもたらしたことを重要視し、特に津波災害に重点を置いた対策を促したいという配慮が込められていた。結果的に、取り上げられた12個の想定地震の中でこの地震のみ、その規模が津波マグニチュードMtで代

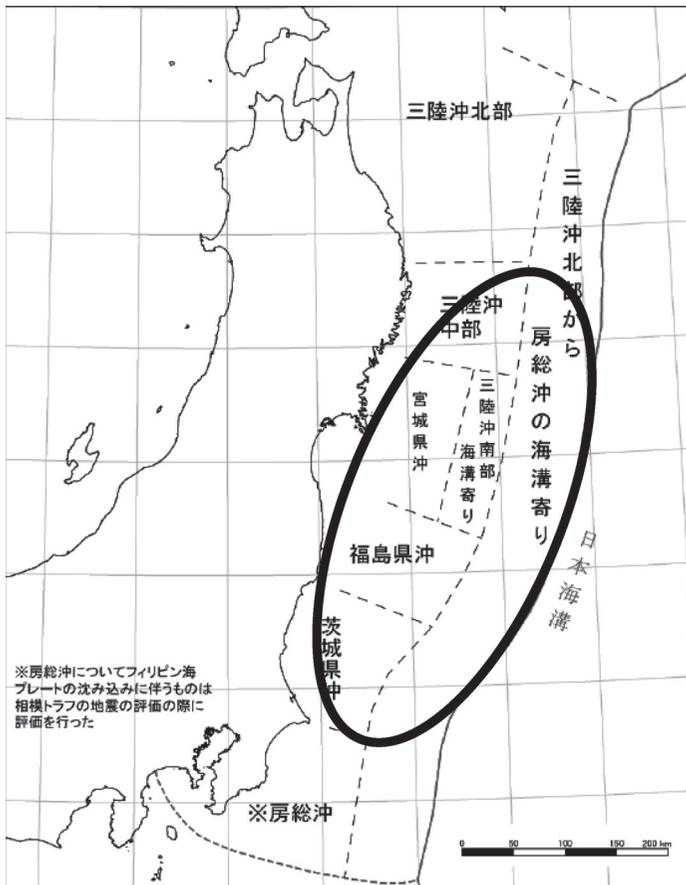


図6 地震本部による東北沖の地震領域区分

表されることとなった（他の地震は M (M_w) だけか、または M と M_t の併記となっている）。

朝日新聞の記事は、こうしたマグニチュード指標の区別を明記していない。地震本部が想定した地震は震源域長 200 km と、東北沖地震の 500 km と比較してずっと小さく、エネルギー比較で 1/16 相当程度のものである。しかし、見出しも含めてこの記事を読んだ読者は、「またぞろ、東北沖を M 9 地震が襲うのか」と受け留めたのではないだろうか。日本近海では、千島海溝や南海トラフに沿う M 9 地震の発生が懸念されているが、東北沖の日本海溝に再び M 9 地震が襲来するのは常識的に数百年先のことと考えられる。従って、前述のような錯誤を促したとするならば、それはそのまま地震学に対する不信感へと変貌しかねない。

4-2. 問題点の在り処

問題は、津波マグニチュードという独特の指標にある。地震には、断層面上に高速滑りを起こす通常のものとは別に、ゆっくりと滑ることによって大した地震動を起こさない代わりに、大規模な滑りによって大きな地殻変動、ひいては大津波を起こす地震がある。これを津波地震と呼ぶ。このような地震に対して通常のように地震動からマグニチュードを決めると、実際の規模に比して過小なマグニチュード評価となってしまう。そこで、阿部勝征（地震調査委員会委員長、地震防災対策強化地域判定会会長）は、こうした津波地震の規模を表す指標として、津波マグニチュード (M_t) を考案した。いく通りかの計算法を試した後、最終的に阿部（1999）が採用した方法は、遡上高の区間別対数平均値を求め、その中の最大値、すなわち最大区間平均高から M_t を算定する方法である。これは、過去の津波地震に対しても適用可能であることを重視し、事例の少ない津波地震間の相互比較を可能とした優れた方法と言える。しかし、地震動の大きさが地盤によってそれぞれ異なるのと同様に、津波遡上高は海岸地形によって大きく変わる。また、東北沖地震のような超巨大地震では、地震の規模の主体は主に震源域の広大さに関わってくるため、特定区間の最大遡上高だけ

では代表しきれないおそれがある。

地震のマグニチュードには、決め方の違いによるさまざまな種類が考案されており、同じ地震に対しても指標間にずれが存在する。また、周波数の違いにより、地震規模に依存して指標間に系統的な偏差の生じることがある。広帯域地震計による観測が発達した現在では、ゆっくり滑りの地震を含めたあらゆる地震の規模を示す物理指標として、地震によるモーメント解放量を代表する指標、モーメントマグニチュード (M_w) が提案されており、今ではこれが地震マグニチュードの国際標準とみなされるまでになった。遡上高から評価された 1896 年明治三陸地震の津波マグニチュードは M_t 8.6~9.0 とされているが、同時に、同地震のモーメントマグニチュードは M_w 8.4~8.5 と推定され、ここでは、 M_t が過大な数値となっている。一方、東北沖地震 M_w 9.0 の津波マグニチュードは M_t 9.4 と評価されるなど、やはり M_t は M_w を超えており、このマグニチュードレンジでは、系統的に M_t が過大評価となるように見える。仮に $\Delta M=0.5$ 程度のマグニチュード差でも、エネルギーあるいはモーメントに換算すると、その比で約 6 倍相当の違いに匹敵する。前述したように、 M 9 級と報道された想定地震の実際のエネルギー規模は東北沖地震の 1/10 以下と見るのが妥当であるが、ただし、その地震が現実起きた場合、局所的に最大遡上高 30 m を超える津波が発生する可能性がある（1896 年明治三陸地震の最大津波遡上高は 38.2 m）。地震本部はこうした災害を危惧して M_t での表示と津波地震であることを明記していたが、現実の報道では、そうした意図までは汲み取られなかったことになる。

朝日新聞が M_t という指標であることを注釈しないまま M 9 級と報道したことは、不正確との謗りを免れないだろう。しかし津波指標とはいえず、「マグニチュード」という言葉を冠する以上、一般には同一内容を指すものと解釈されてもやむを得ない。指標によってマグニチュード間にばらつきや偏差のあることが専門家社会での常識だとしても、そうした常識を一般社会に押し付けるわ

けにはいかない。一般社会への公表資料の中に微妙な指標の使い分けを持ち込むことは適切とは言いがたい。津波災害への注意喚起には、もっと明示的な記述が望まれる。

今後の防災対策では、巨大地震、あるいは巨大津波を対象とする機会が増えるものと予想される。津波地震の規模指標としてMtの存在を欠くことはできないが、M 8.5を超えるような超巨大地震のマグニチュードレンジでMw-Mt間に系統的な偏差が生じないように、その算定方法を見直す必要がある。最終的には、マグニチュードにダブルスタンダードがあるかのような情報発信の仕方を廃すことが、地震及び津波研究者に課せられた課題であると考えられる。

5. 考 察

本稿では、最近、新聞紙上に掲載された2個の地震報道の問題点を検証した。これらは、意図的に不正確な情報を提供したわけではないにも拘わらず、結果的に、読者を何らかの錯誤に誘導する危険性を秘めていた。地震研究情報のアウトリーチの重要性が叫ばれ始めて久しい中で、何故このような齟齬が生じたのだろうか。以下では、筆者が考えた3つの要因を掲げ、情報を提供する側として地震研究者が考慮すべきアウトリーチ活動の在り方についての考察を試みる。

5-1. 防災情報における過大表現への誘惑

災害に関する広報や報道では、ともすれば過大な表現の見られることが少なくない。もともと予測や想定という作業の中には何らかの不確実性や数値のばらつきが含まれていることが自然であり、この場合、情報を提供する側では、用心のためと称して推定値の中の最大危険値を採用しようとする傾向がある。しかし、こうしたやり方が適切かどうかは時と場合による。例えば、国や自治体の担当部署が防災対応を策定する場合は、可能性の中の最大限を想定することが妥当であろう。他方、一般住民が最大の危険に対応することが常に適切とは限らない。現実に対応可能な範囲に制約のあることがむしろ普通だからである。たとえ

低い確率でも最大の危険度を提示しようとする傾向には、そうした危険が実際に発現した場合の責任を予め回避しておきたいという情報提供者の心理が作用しており、また、マスコミには、嘘でさえなければ、できるだけセンセーショナルな報道をして注目を集めたいという心理が働くためではないかと思われる。

前述したように、このような心理や傾向を一概に否定することはできない。「首都M 7直下地震4年内70%」の報道は、結果的に首都圏の防災対応を前進させる効果をもたらしたと見ることもできる。しかし、研究者が情報提供する段階では、過大報告への誘惑に流されるべきでない。推定結果に幅がある場合は、もっとも確度の高いケースを代表値として掲げ、必要に応じてばらつきの幅を示すやり方が適切であると考えられる。危険度の高いケースだけを無闇に強調して提示することは、仮に一時的な防災効果をもたらすことはあっても、長い目で見たとき、研究への信頼感を傷つける結果となって、最終的に国民の安全を損なうことに結びつく。

5-2. 科学情報と生活情報

研究者が成果発表のために出す情報は、基本的に科学情報である。例えば、宇宙科学や素粒子物理学における最新成果の報道は、科学情報そのものであり、その意義は読者の科学への興味を満足させることに尽きる。ところが、地震研究の場合には、同じ研究成果報道が、生活情報としての意味を持つ場面がある。そしてその場合でも、研究者は必ずしも生活情報としての情報提供であることを自覚していないように感じさせられることが少なくない。首都圏M 7地震の例で言えば、研究グループにとっては、東北沖地震によって非震源域である関東の応力場までもが変化したことを紹介することが、本来の目的であったはずである。その時点では、M 7地震の脅威を住民に警告する意図を明確に持っていたとは思われない。しかし、新聞取材を介することによって、この情報は警報として生活情報の性格を持つこととなった。結果的に、話題性を追求するマスコミの欲求とも結びついて、過大とも思える報道になったも

のと考えられる。東北沖の M 9 地震報道の場合は、もともと警告を発することを目的とした発表であったが、津波マグニチュードという科学情報が生活情報としてはなじまなかったことが錯誤を産みだした原因であると解釈できる。どちらのケースでも、それが学界の内輪で議論されている限りは特に問題は発生しない。同じ情報が、生活情報としての側面で捉えられた時点で、研究者の意図しない部分が問題と化したのである。

筆者自身の経験でもあるが、研究者は、マスコミを通じて自らの研究成果の一端が社会に報道されることを、あくまでも科学情報の披瀝であると捉え、それが生活情報と転化し得ることを明確には自覚していない。そして、研究者が科学情報として提供したつもりの内容が、報道を介して生活情報に転化したとき、研究者はその結果には責任を持ちきれないと感じてしまう。確かに報道がもたらした結果責任は報道側に帰するものであって、研究者にそれを負わせることはできない。しかし、研究者の放つ情報に、あくまでも科学情報としての意味合いだけしかもたせない、といったあり方はおそらく許されない。研究者は、そもそも国民の負託を受けて研究活動を行なっているのであり、科学的成果の創出だけに義務を有しているわけではなく、また、学界だけに責を負っているわけでもない。地震学は、地球科学の一環であり、宇宙科学や素粒子物理学と同類項の一面を持つ。しかして同時に、それらとは異なる生活科学としての側面を持つことも事実である。研究者は、マスコミ報道を介して自己の研究成果を披瀝するに際し、それが科学情報としてのみならず、生活情報としての意味を持つということを常に意識する必要がある。

5-3. 地震研究の難しさ

これまでに示したとおり、多くのケースで、地震の発生確率予測は、地震活動を表現するいくつかの統計式を利用して算出され、地域ごとの特性は、用いるパラメーターの差として扱われる。これは、手続きとして単純で異論の出にくいものを採用した結果であるが、本来の地震活動評価のためには、地域ごとに異なるテクトニクスを考慮す

る必要がある。すなわち、その地域の応力場を支配するプレートの運動と固着状況を加味することである。それこそが、言わば地震研究の究極課題であるが、そこにはさまざまな見方と多くの疑問が内包される故に、誰からも異論の出ない統一見解にまで収束することはきわめて難しい。例えば、図6の宮城県沖では、M 7.4 程度の固有地震が約 40 年間隔で繰り返してきたことが知られており、それを基にして次の地震の発生確率が求められてきた。一方、その評価では、そうした固有地震の滑り量が太平洋プレートの収束速度と釣り合っていないことが謎となっていた。この謎は、結局、海溝側に巨大な東北沖地震を産む固着域のあったことで解けることになったわけであるが、当時の私たちの想像力は、そこまで及んでいなかった。地震に対する知見と認識は、日々改められ、進展していくが、同時にそれは、どこまでいっても目標点に到達し得ない永遠の道程を示唆しており、地震研究の本質的な難しさを物語るのである。

前節で、素粒子物理学や宇宙科学と対比して、地震研究の性格の違いを強調した。地震研究は、生活との関わりが強く、一部の専門用語を別にするれば、一般の人が理解し難い概念は出てこない。しかし、それは決して地震研究が単純で易しいということの意味するわけではない。素粒子物理学や宇宙科学では、一般人の常識を超越した不可思議な概念が登場し、マスコミ報道では、その概念の正確な説明よりもその不可思議さが強調して伝えられる。その結果、読者はそうした学問の難しさをむしろ素直に受け入れることができる。対して、なじみ身近な概念だけで説明される地震研究では、その真の難しさがかえって理解され難い。そうした認識のずれが、地震研究の実際がそのままでは社会に伝わらない一因ともなっている。東大地震研のアウトリーチ部門を担当する大木聖子助教は、アウトリーチ活動を介して「地震学の等身大」を示すことが重要であると主張した（大木聖子、2012）。一般の人々に既に定着した地震研究のイメージがあり、それが地震研究の実態とずれているとしても、「等身大」を見せることは、

実は、なかなか難しい仕事なのである。

6. おわりに

このほど日本学術会議がまとめた「原発事故において明らかになった学術の課題」に掲げられた5つの項目の中には、

- 社会が信頼するに足る科学者の行動—科学的成果が確実に使用されるよう、科学者自身が責任をもって行動する。
- 科学者の議論の透明性を徹底して確保し、その到達点及びリスクについては国民にわかりやすい形で示す。

の2項目が掲げられている。分野こそ違え、国民からの負託を受けて研究が進められる地震学においても、これは共通する課題と言える。阪神・淡路大震災、東日本大震災と打ち続いた地震災害を通して、地震研究に対しての社会の関心が高まり、地震研究者の社会的責任がますます意識されるようになった。マスコミを介しての地震報道が過熱気味の場面も多々見られ、研究者にとって取材を介しての情報提供は、必ずしも気の進み行為とは言えない。そのため、一般への広報はアウトリーチ部門という専門窓口を下駄を預けてしまいたいという雰囲気も生まれてこよう。しかし、報道する側から見たとき、最新情報をスクープするうえでも、第一線に立つ研究者への直接取材を欠かすことはできない。研究者の責任は、研究成果を学会に報告するだけで完了するものではないという意味からも、報道の向こうに在る一般社会を常に見据える必要がある。

大震災を経験した地震学会は、研究者の職責と社会的責任の在り方を巡る議論を続けており、その中で、前出の大木助教は、「東北沖地震で失墜したかもしれない地震研究に対する社会からの信頼をいかにして取り戻すかということがアウトリーチ活動の本質である」と説いている。社会への情報提供の責務は、アウトリーチ部門や地震本部だけにあるわけではない。研究者一人一人が、

国民の寄せる地震研究への期待を受け留めたいうえで、アウトリーチ活動の意義を理解し、自覚的にかつ意識的にそうした活動の場に臨むことが重要となる。

参考文献

- 阿部勝征, 1999, 週上高を用いた津波マグニチュード Mt の決定, 地震第2輯, 52, 369-377.
- 阿部勝征, 2003, 津波地震とは何か—総論—, 月刊地球, 25, 337-342.
- Dieterich, J., 1994, A constitutive law for rate of earthquake production and its application to earthquake clustering, J. Geophys. Res., 99, 2601-2618.
- 地震調査研究推進本部, 2009, 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の一部改訂について, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sanriku_boso_2.pdf
- 地震調査研究推進本部, 2011, 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sanriku_boso_4.pdf
- 大木聖子, 2012, 地震学のアウトリーチ—社会との信頼の構築—, 日本地震学会モノグラム, No. 1, 113-117.
- 酒井慎一・石辺岳男・楠城一嘉・中川茂樹・平田直, 2011, 首都圏地域における地震活動度の変化, 東京大学地震研究所第897回談話会。

松村正三

[まつむら しょうぞう]

現職 文部科学省科学技術政策研究所
客員研究官, 日科情報株式会社情報部
主席部員
理学博士

略歴 東京大学理学部物理学科卒業,
同理学系大学院地球物理学博士課程中退, 国立防災科学技術センター入所, 独立行政法人防災科学技術研究所固体地球研究部門長などを経て, 現職

研究分野 地震学



ナノで見た日本列島の重力変化—東北地方太平洋沖地震の影響

1. はじめに

地上の平均的な重力加速度 980 ガル (ガル = 1 cm/sec^2) を基準として、加速度を G (ジー) で表わすことがある。例えば、「スペースシャトルの打上げの時に、飛行士には 3G の加速度が加わる」などのように用いられる。さて、地上重力をナノ G、すなわち 10 億分の 1G というきわめて高い精度で測ると、地震や火山噴火などによって生じる微弱な重力変化をとらえることができる。たとえば、2000 年の三宅島噴火・伊豆諸島群発地震では、島内の重力が数十～数百ナノ G も変化し、マグマの移動がはっきりととらえられている (大久保 2001)。重力加速度は、高校物理の試験問題で仮定されるような、一定値では「なく」、時々刻々と変化している量なのである。

本稿では、2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) によって、日本列島の重力や、ジオイド面 (平均海面) がどれだけ変化したかについて、これまでに得られた知見を紹介する。

2. 地震による重力変動の観測と理論

2.1 なぜ、地震で重力が変わるのか？

地震前と地震後に、同一地点で重力を測定すると、計測値は普通は一致しない。両者の差が重力変化であり、主に二つの効果で説明できる。第一の効果は、測定点の地殻変動によって生じる、隆起・沈降効果である。隆起すれば、地球中心から遠ざかって無重力の宇宙空間に近づくことから、重力が減少する。逆に沈降すれば、重力は増加する。1cm の上下変動で 2 ナノ G の変化が生じることが分かっている。東北地震の際には、三陸海岸で 50cm~100cm の沈降が生じており、100-200 ナノ G の重力増加が期待される。第二の効果は、密度効果ともいふべきもので、断層を取り巻く広い領域で、岩盤が圧縮されて密度が増す領域と、逆に引き伸ばされて密度が減る領域とが生じることによる。密度増加域の周辺では重力が増し、密度減少域周辺では重力が減る効果が生じる。地震時や地震後の余効変動として生じる二つの効果

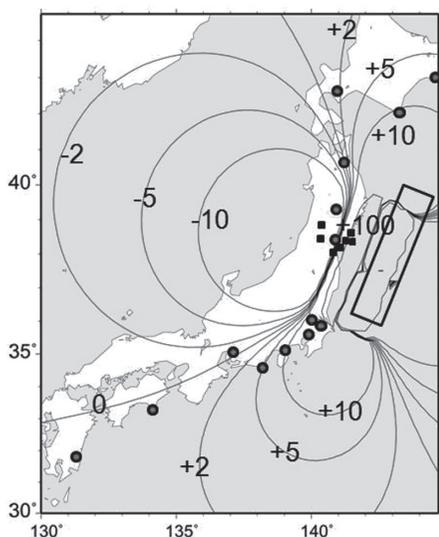


図 1 日本列島の広域的な重力変化 (地震前と地震後 3 か月以内の比較)

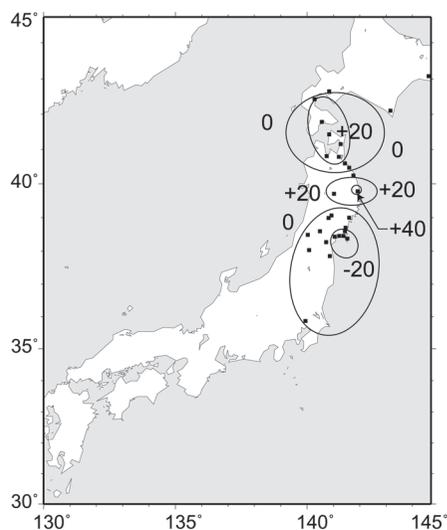


図 2 地震後の 2011 年 6 月から、2012 年 6 月までの東北・北海道の重力変化の等値線図。数字の単位はナノ G。■は重力観測点。

は、筆者のグループが世界に先駆けて定量的に理論化に成功している（大久保 2006）。

2.2 地震でどれくらい重力が変わったのか？

現在の最高水準の重力観測は、レーザーと原子時計を用いた絶対重力計を用いて行われる。筆者のグループでは FG5 絶対重力計を用いており、その公称精度は 1 ナノ G と、東北地震で生じた重力変動を捉えうる性能をもっている。絶対重力計は室内での観測が主であり、野外では精密なスプリングを用いた相対重力計が用いられる。熟練した観測者によれば、5 ナノ G の精度をだすことは可能である。

地震前後に生じた重力変動を図 1 に示す。牡鹿半島周辺では、数十ナノ～百ナノ G という顕著な重力増加が認められ、これは地盤沈下と符合している。また、東京で 10 ナノ G、北海道東部でも 5 ナノ G など、日本列島規模で数ナノ G 程度の重力変動が生じていることがわかる。

2.3 地震後も続く重力変化

測定誤差を有意に超える余効変動（プラスマイナス 20～40 ナノ G）が、北海道南西部～東北地方に見出される（図 2）。コサイスマックな変動（図 1）としては、震源域近傍の牡鹿半島～仙台に 100 ナノ G の変化が局在していたのに対し、余効変動は振幅は 30～40% と小さくなっているものの、20 ナノ G を超える陸上変動領域は、コサイスマックのそれよりも広範に広がっている。これは、地震断層の延長上でのアフタースリップの影響や、地球を構成する物質がもつ粘性によって、地震時に生じた変形が徐々に周囲に広がってくる効果（粘弾性変形）が見えている可能性がある。二つの効果を分離するには、まだデータ不足であるが、今後の時間変動を追跡すれば、その分離も可能となるであろう。

3. 実用的な重要性—高さの基準面の変化

水平面といえば重力と直交する面として定義されていることからわかるように、重力は高さの基準と密接に関連している。地震で重力が変わるのだから、この水平面も無傷であるわけにはいかず、地震で標高ゼロメートル基準面（ジオイド）も盛り上がったたり、へこんだりする。東北地震の断層モデルに基づいて理論計算を行ってみると、ジオイドは断層の直上の海域で 2 cm 上昇し、陸域の牡鹿半島で 1～2 cm 下降することがわかった。したがって、このような基準面の変化を無視して、測量で高さを決めていくと必ず 1～2 cm の系統誤差が生じる。これは、ミリメートルの精度が求められる堤防、道路、線路等の震災復旧工事のための測量には大きな誤差要因である。もちろん、海面の潮位を平均して、基準面として「平均海面」を求めることも可能ではあるが、それには十年以上の歳月が必要となり、緊急の復旧工事には間に合わない。そこで、前述のジオイド高の変動についての理論計算値は国土地理院に提供され、工事現場等での測量活動に活用されている。

4. ま と め

東北地方太平洋沖地震で、日本列島の重力も数ナノ～百ナノ G 変化した。地震時の変動のみならず東北～北海道では、余効変動が、今後も継続するだろう。その観測には、年間で 100 人・日以上の方力と、相当の費用を要するが、解析に堪えるデータを後世に残すことは、日本の科学者としての責務であると考えている。

（大久保修平：東京大学地震研究所）

参 考 文 献

- 大久保修平, 2001, ハイブリッド重力観測で追う, 地震・火山活動—2000 年三宅島火山活動と伊豆諸島群発地震活動, 地震ジャーナル, 31, 47-58.
大久保修平, 2006, 重力変動と地殻変動, 測地学会誌, 52, 4, 245-252.

地球潮汐が地震の引き金に

月や太陽の引力は、海の潮の干満を引き起こすだけでなく、地球そのものにも働き、地球全体を大きく変形させる。「地球潮汐」とよばれる現象で、地球表面は1日2回、20cm程度の上変位を繰り返している。地球潮汐による変形は地震が発生する地下深部にも影響し、断層には数十～数百ヘクトパスカルの力が加わる。巨大地震前のひずみが十分にたまっていた状態では、このわずかな力が地震の引き金になる可能性が高いことが明らかになってきた。

2011年東北地方太平洋沖地震前後の地震と地球潮汐の関係

2011年3月11日、東北地方の太平洋沖でモーメントマグニチュード(Mw)9.1の巨大地震が発生した。日本の観測史上最大となる地震を引き起こした断層の広がり、長さ500km、幅200kmにも及ぶと報告されている。この断層の周囲では、1976年から2011年までの36年間にMw5.0以上の地震が約500回発生している。これらの地震それぞれについて、地震発生時に地球潮汐によって断層にどのような力が加わっていたかを調べた。

図1は、地球潮汐と地震発生時刻の相関関係の時間推移を示したものである。相関関係の大小はpというパラメータで表され、Schusterの方法(Schuster, 1897; Tanaka, 2012)を用いて

得られる。pは0～100%の値をとり、小さい値ほど両者の相関関係が強いことを表す。1976年以降の約25年間、pは100%に近い値をとり、地球潮汐と各地震の発生タイミングとの間に相関関係は見られない。地震は地球潮汐とは無関係に発生していたのである。しかし、2000年頃からpは徐々に低下していき、この低下は太平洋沖地震の発生まで続く。太平洋沖地震の直前には、地球潮汐と周囲の地震の発生との間にきわめて密接な関係が存在していたことがわかる。地震は、地球潮汐による力が断層の動く方向に最大となる時刻前後に多く発生していた(図2)。地球潮汐が地震発生を引き金として働いた可能性を示していると考えられる。一方、太平洋沖地震の発生後には、pは再び大きくなり、無相関の状態に戻っている。

太平洋沖地震の発生が近づくと、地球潮汐の影響が強い時刻に地震が集中するという関係は、太平洋沖地震の破壊が始まった、震源断層北側部分で顕著であることも明らかになった。太平洋沖地震の直前3,000日分の地震データを用い、pの空間分布を調べたものが図3である。pの小さい場所は、領域北側の、太平洋沖地震の震央付近に限られている。

巨大地震の発生予測に

巨大地震の発生が近づくと、周囲の地震の発

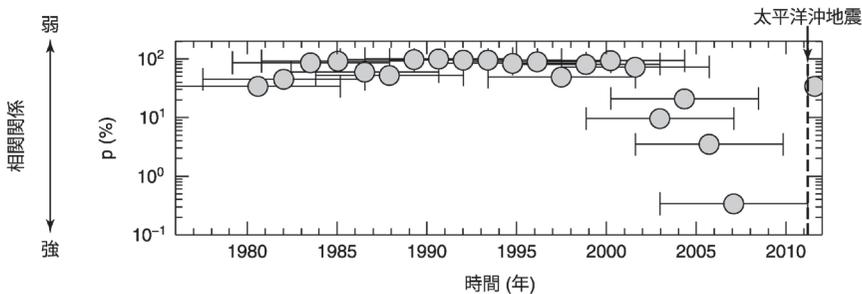


図1 pの時間推移。3,000日の時間ウィンドウ(横棒)を500日ずつ移動させながらpを求めた。

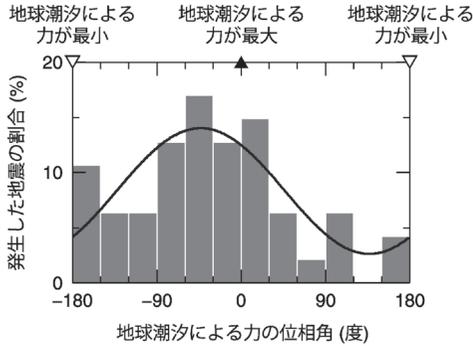


図 2 太平洋沖地震発生前の地球潮汐と地震発生時刻の関係。太平洋沖地震直前の3,000日分の地震データを用い、地球潮汐による力の位相角毎に発生頻度を調べた。位相角は、力の変化の一周期分を360度としたもので、一周期は約12時間。0度(黒三角)は地球潮汐による力が断層の動く方向に最も強く働く時刻、-180度及び+180度(白三角)は最も弱く働く時刻に対応する。曲線は傾向をならしたものの。

生に地球潮汐が関与するようになるという傾向は、2004年12月に甚大な津波被害をもたらしたスマトラ島沖地震(Mw 9.0)をはじめ、2005年(Mw 8.6)、2007年(Mw 8.5)にスマトラ島沖で発生したほかの2つの巨大地震でも確認されている(Tanaka, 2010)。地球潮汐の力は、地震を引き起こすひずみの1000分の1程度にすぎない。そのため、普段の地震の発生にはほとんど影響しない。しかし、巨大地震の発生が近づき、地球内部にひずみが十分たまった状態になると、地球潮汐のわずかな力が「最後の一押し」となり、地震が発生すると考えられる。

これらの結果は、巨大地震の発生予測にも役立つ可能性が期待される。普段起きている地震と地球潮汐の相関関係を追跡し、地震の頻度が地球潮汐の影響が強いときに多くなるような場合には、巨大地震の発生が迫っていることを知る手がかりになるかもしれない。事例研究を積み重ねるとともに、危険地域の摘出を目指し、モニターシステムの構築を進めていくことが重要である。

(田中佐千子：防災科学技術研究所研究員)

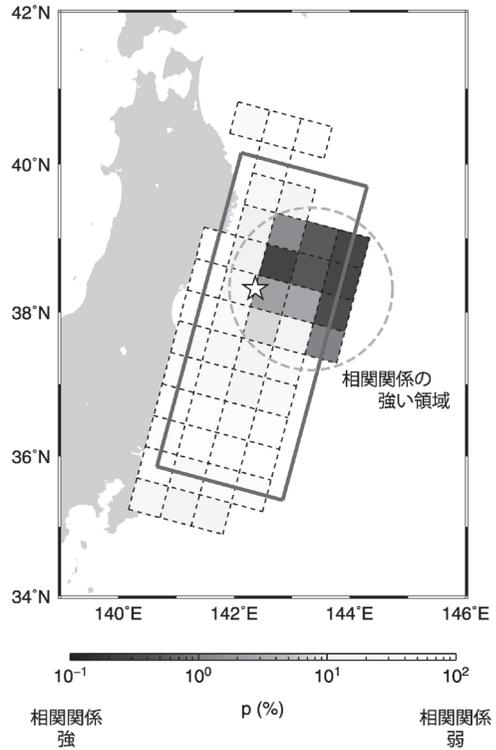


図 3 太平洋沖地震発生前の p の空間分布。太平洋沖地震直前の3,000日分の地震データを用い、200 km×200 kmの空間ウィンドウを50 kmずつ移動させながら p を求めた。20個以上の地震が含まれるウィンドウについて、各ウィンドウの中心に位置する50 km×50 kmの領域に p を白黒の濃淡で表示している。色が濃いほど p は小さい。星印は太平洋沖地震の震央(破壊の開始点)の位置、実線の矩形は太平洋沖地震の震源断層の広がりを示す。

参考文献

- Schuster, A., 1897, On lunar and solar periodicities of earthquakes, Proc. Roy. Soc. London, 61, 455-465.
- Tanaka, S., 2010, Tidal triggering of earthquakes precursory to the recent Sumatra megathrust earthquakes of 26 December 2004 (Mw 9.0), 28 March 2005 (Mw 8.6), and 12 September 2007 (Mw 8.5), Geophys. Res. Lett., 37, L02301, doi: 10.1029/2009GL041581.
- Tanaka, S., 2012, Tidal triggering of earthquakes prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.1), Geophys. Res. Lett., 39, L00G26, doi: 10.1029/2012GL051179.

地震時・地震後の表層地盤の変状

—土の弾塑性力学による再現と予測—

浅岡 顕

1. はじめに

土木工学とくに地盤力学/工学が、地震による表層地盤変状の解析と予測に、どれほど役に立つ段階に来ているのか、簡潔な概観を試みる。

地震による地盤変状を述べる3、4章が読み易くなるよう、地盤力学と土の弾塑性構成式の要諦を、先に1、2章で概説する。飽和土の力学しか述べないが、本稿はそれで十分である。

土は粘土でも砂でも、土粒子が多く集まって骨格構造を作っていて、その間隙を水が満たしている（飽和土）。土粒子自身も間隙水も、土木・建築で現れるくらいの力ではまったく圧縮しない。しかし土骨格は外力を受けて間隙の水を排出しながら容易に大圧縮するし、逆に間隙に水を吸い込みながら大膨張もする。このときの間隙水の移動はポテンシャル流れの **Darcy 則** に従うとすることから、飽和土の力学は元来、非局所的性質を持つ。

同じことの別の謂いだが、飽和土は土骨格の体積変化が非圧縮の間隙水によって束縛されている材料であり、間隙水が取る束縛力の反力は（過剰）**間隙水圧** となって現れる。数学で言う束縛条件と Lagrange 乗数の関係にあたる。飽和土の力学挙動は、土骨格と間隙水の2相混合の**連続体力学**によって記述される。このとき応力は、今述べた間隙水圧と、応力（**全応力**）からこの間隙水圧を差し引いた**有効応力**、の二つに分けて取り扱われる。そしてこの有効応力変化が、土骨格の変形状態の変化を引き起こす（**有効応力原理**）。

土の**体積変化**は間隙への水/空気などの出入りによるが、それはもちろん土骨格に作用する有効応力が変化したからである。今茶筒に上から砂を

降らして緩く堆積させる。これを圧縮させようとして、砂の上に円板を置いて重しを載せる人はいない。重しの力では砂はほとんど圧縮しない。しかし茶筒の側面をトントントンと軽く叩いて、ごく僅かの繰返しせん断を与えると緩い砂は簡単に大圧縮する。**締固め**と呼ぶが、締固めは平均有効応力 p' の増加はないのに、つまり力を増やしていないのに圧縮が起こるのが特徴である。同じ大きさのトントントンを茶筒の反対側からかけても、締固まった砂が逆に緩むことはないから、この圧縮は塑性圧縮である。今、間隙が空気ばかりの乾燥砂を考えたが、間隙が水で飽和しているとトントントンで砂にはまず液状化が起こり、そのあと水を排出しながら、砂の自重回復による大圧密沈下が続く。乾燥砂の締固め圧縮量と飽和砂の液状化後の圧縮量は、有効応力履歴の違いに起因して僅かに異なるが、その程度は概して小さい。だから締固めと液状化は、繰返しせん断中に体積変化を許すか許さないかだけの裏腹の現象と言ってよい。乾燥した緩い砂が締固まる様子を、次章で述べる弾塑性構成式の応答計算で示したものを図1¹⁾に掲げる。最初の数撃で大圧縮が起こっている。

つぎに茶筒に、水で飽和した羊羹のような粘土が入っているとしよう。粘土ではトントントンのような軽い刺激は無意味で、ポーラスな円板を上置いて、その上に大きな荷重をかけ、水が染み出てくるのを、時間をかけて待つ以外にない。このような圧縮は**圧密**と呼ばれる。圧密圧縮のためには、締固めと異なり平均有効応力 p' の増加が必須で、つまり時間はかかっても力をかけ続けていなければならない。

砂と粘土はこのように大いに異なる。では砂に圧密はなく、粘土に締固めはないのか？ 砂と粘

土の間に稠密に存在する中間の土では、締固めと圧密はどう考えればいいのか？

2. 砂と粘土はどう違うか？

—土の弾塑性構成式の最近の話題—

粘土のように、除荷しても変位が元に戻らず残留（塑性）変形を残すような材料、そして荷重をかけ続けて行くと、やがて力はもう増えていないのに、ある方向に変位の量が不定になってしまう材料の力学応答は、弾塑性力学で記述するのが普通である。そこでは応力増分とひずみ増分の線形関係（増分型構成則）が得られるが係数マトリックスは応力に依存する。したがって応力とひずみの関係は負荷経路によって様々に異なり、弾性体のような一意の関係は得られない。

砂と粘土を同じ枠組みの弾塑性力学で記述できれば、砂と粘土の間にある実際の多くの中間土の弾塑性挙動も、すべて一挙に記述できることになる。砂と粘土を別々に扱う必要がないのは、「**構造**^{2,3)}」と「**過圧密**」の両概念が**砂と粘土に共通して現れる**からだが、直感的であった構造概念の弾塑性力学による記述は、1997年になってはじめて成功した。ここでは先に、最新の土の弾塑性構成式、SYS Cam-Clay model^{1,4)}などを用いて構造と過圧密の概念を説明し、そのあと砂と粘土の違いを明らかにする。

図1の砂の締固めは、高位に発達した土骨格の**構造**が、繰返しせん断に伴う塑性変形によって、急激に破壊されたために起こっている（振幅が同じ繰返し載荷で塑性変形が出るのは奇妙だが、どう理解すればいいかはつぎの「過圧密」の項で説明する）。様子は異なるが、実は粘土にも構造はあって、それは図2に示す。構造の発達した自然堆積の粘土は、塑性変形の進展とともに構造が徐々に壊されて、やがて構造を喪失した繰返し状態の粘土の正規圧縮線に上から重なってゆく。これらはすべて図3のように、**正規降伏面**の外側に原点に関して形が相似な**上負荷面**^{1,4)}を導入して説明される。（図3で p' 、 q は平均有効応力、せん断応力で、これらは有効応力テンソル T' （引張が正）と偏差応力テンソル S によって $p' = -\text{tr}T'/3$ 、 $q = \sqrt{3/2}S \cdot S$ 、 $S = T' + p'I$ で定義

される。正規降伏面には修正 Cam-Clay model⁵⁾が用いられるが、本稿で異方性の話題は取り上げないので説明は省く。）塑性変形の進展による構造の破壊/劣化により、上負荷面は徐々に正規降伏面に上から重なってゆくから、上負荷面と正規降伏面の相似比 R^* ($0 < R^* \leq 1$) は、塑性変形の進展によってしだいに下から1に近づく。**構造**、つまり R^* の値は土骨格の高張りの程度を表していて、構造の破壊/劣化は高張りの喪失、つまり塑性圧縮をとまなう（図2）。「カードハウスが壊れて土は大圧縮する」と言われていたものに対応する。

つぎに「**過圧密**」とその解消を説明する。図1中の表では、締固めと共に過圧密比（OCR、すぐ下に述べる）が大きくなっているが、これは現応力レベルが同じまま、繰返し載荷時の再負荷のたびに砂が塑性圧縮し、これが上・正規の両負荷面を膨らませているからである。つまり締固め/繰返しせん断によって、砂は見掛け上、大変高い圧力から大きな除荷を受けたのと同じ状態になっている。さて今ここで述べた、一度除荷された土（過圧密土）が再負荷時に弾性応答でなく弾塑性応答を示すことは構造概念と並んで重要で、その内容を、粘土の圧縮曲線を使って図4に示した。除荷（過圧密状態）からの再負荷時に弾性応答しかなければ（図中の■が○と重なっていれば）、これは古い弾塑性理論の根幹ではあるが、繰返し載荷によって塑性変形は蓄積せず、それでは地震によって土には何も起こらないことになってしまう。だから再負荷時の土の弾塑性応答は重要で、それを表すのに、上負荷面の内側に再び形が原点に関して相似な**下負荷面**⁶⁾（図3）が導入される。現応力はいつも下負荷面上にある。除荷されて**過圧密**状態にある土は、再負荷時の塑性変形の進展によって過圧密状態が徐々に解消されて、下負荷面は上負荷面に下から重なってゆき**正規圧密**状態に近づく。このとき必ず塑性膨張を伴うが、それは図4に対応する図5に示した。「土粒子の強い噛み合わせが解除されるとき土は大膨張する」と言われていたものにあたる。過圧密の程度は、上負荷面と下負荷面の相似比 R ($0 < R < 1$ 、図3) で表わされる。 R の逆数が図1表中の過圧密比、

OCRである。

自然に堆積した土は粘土でも砂でも、構造が発達して、そして若干でも過圧密な状態にある。これらは**生きている土**と言ってよい。生きている土は塑性変形を受けて圧縮しつつ構造の破壊/劣化 ($R^* \rightarrow 1$) が進展し、膨張しつつ過圧密の解消 ($R \rightarrow 1$) が進む。では単位の塑性変形が出たとき、構造の劣化が速いか、過圧密の解消が速いか、これがつぎに素直な疑問として出てくる。砂と粘土の違いはこの点にある。

結論を先に言えば、砂は僅かの塑性変形で構造はたやすく破壊/喪失するが、過圧密の解消はすこぶる遅い。砂が正規圧密状態に至るためには、実際には不可能なほど大きな塑性変形が必要になる。ところが粘土は砂とまったく逆で、わずかの塑性変形で過圧密はすぐに解消し正規圧密状態になるが(図4で■が○と近い)、構造はなかなか壊れない。構造の喪失には実に大きな塑性変形が必要になる。この関係を図6に示した。もっとも、どちらが速いと言ってもそれは程度問題で、さらに言えば同じくらい速い土もあれば、同じくらい遅い土もある。典型的な砂と典型的な粘土の間には、稠密に様々な**本当の土**が存在するのである。図6のグラデーションはそれを表している。

図6で砂の液状化を考える。砂は先に構造が壊れるが、このときには大きな塑性体積圧縮が起きる。地震などの繰返しせん断で水の抜け出る時間のないときは、砂の構造破壊がほとんど非排水(等体積条件)で起こるから、構造喪失による塑性圧縮を補填するために大きな弾性膨張が必要になる。弾性膨張は平均有効応力 p' の減少のことだが、全応力(水圧+有効応力)は地震中ほぼ一定だから、間隙水圧がどんどん上昇し、これは有効応力 p' がゼロに近づくまで続く。すなわち砂の液状化。さて地震時の繰返しせん断によって過圧密が蓄積するのは図1の締固めと同じである。 $p' \approx 0$ の過圧密状態が、地震後自重を回復しながらもとの有効応力状態に戻るとき(正規圧密状態に近づくとき)は、砂では大きな塑性変形が必要である(図4で■が○と大きく離れている)。だから液状化後の砂の圧密沈下は、砂らしくないほ

ど大きい。こうして構造の劣化/喪失と過圧密の解消の二つの概念によって、砂の締固めはもちろん、飽和砂の液状化とその後の大圧密沈下も連続して理解できる。

つぎに図6の粘土を見る。粘土はわずかの塑性変形でまず正規圧密状態に近づき(図4で■が○と近い)、構造の劣化/喪失はそのあと大きな塑性変形を伴いつつ徐々に起こる。もちろん、構造の劣化は砂と同じく大圧縮を伴うが、透水係数が砂より10万分の1以上も小さい粘土では、この圧縮に長い時間がかかる。しかも構造の劣化による剛性の低下は圧縮の遅れに拍車をかける。これらは古くから「遅れ圧縮/2次圧密」と呼ばれていたものだが、「2次圧密」が過圧密から正規圧密を跨ぐ荷重付近で起こりやすく、しかも大沈下で時間もすこぶるかかるとは、過圧密の解消の速さと構造の劣化が緩慢であることを知って、はじめて全面的に理解できる⁷⁾。そして構造の劣化/喪失が共通という点では、**砂の締固め/液状化は粘土の遅れ圧縮/2次圧密と同じ現象**であったこともわかる。

砂地盤の締固めや液状化、粘土地盤のいつまでも続く遅れ圧縮/2次圧密、これらはすべて構造と過圧密を有する**まだ生きている土**でこそはじめて起こる現象である。それは正しい。しかし、生きている土を教える図6がもし、土は塑性変形の進展でやがて死ぬだけの一方通行しかないように伝わるならよくない。地震のような繰返し載荷で**過圧密が回復**することは既に述べた。構造についての砂と粘土の少し風変わりな挙動を、構成式の応答計算で示す。図7は砂の3軸試験機でのサイクリックモビリティと、自然堆積洪積粘土の高い延性を示している⁸⁾。これらはともに塑性膨張時の構造の高位化、つまり**構造の再生**なしには再現できない。

3. 地震時・地震後の地盤変状、その1 —土が塑性膨張するとき—

飽和地盤の力学応答は、土骨格の体積変化を妨げる間隙水の束縛が、Darcy 則によって時間と共に緩和されてゆくという、やや複雑な制約のもとに、土骨格の運動方程式の時間に沿う積分によって求められる。材

料非線形は増分型構成則で表されるから、運動方程式も増分形で書かれている必要がある。その増分形を求める時に、幾何変化に伴うあらゆる非線形性が考慮される⁹⁾。計算では空間離散化と時間離散化に有限要素法と差分法が用いられる。

3.1 いわゆるトランポリン効果

2008年岩手・宮城内陸地震の時、震央のほぼ真上 KiK-net 観測点 IWTH25（一関西）の地表で強震動（三成分合成で 4022 gal）が記録された。青井らは地表面加速度計が上下方向に明確な片ぶれを示し、上向き加速度は最大 4000 gal 近くまで達しているのに下向き加速度は 1g 止まりであることを見出し（図 8）、これをトランポリン効果と名づけた^{10),11)}。同じ地表でも水平方向には片ぶれはなく、また深度 260 m では、水平も鉛直も通常の対称な揺れを示し、片ぶれはない（図 9）。このため地表は地中に比べ 28 cm 余分に隆起し、地表で土層はかなり膨張した。

ここでは表層の段丘堆積層（気乾状態の凝灰質砂岩で、地震後の採取試料を見るとザクザクの礫混じり砂の状態）に着目し、この土層（厚さ 20 m 内外）が水平の繰返しせん断を受けて、その非線形応答が上下方向の膨張をもたらす様子を、弾塑性地盤力学によって再現する。

再現が難しくないことは、つぎの図 10 に示す砂の締固めとその後の「はぐれ (Loosening)」の要素レベルでの構成式応答からわかる。締固めでは最初の数撃で大圧縮するが、図 10 に見られるように、一度締固まった砂を前よりも大きな応力振幅の水平繰返し载荷で緩めるときは、今度は始めのうち土は粘ってあまり緩まない。しかし最後の数撃になって、どっと緩む。以上を予備知識に、土層を水平に取りだして、その下面に地下 260 m で観測された地震加速度の水平成分だけをそのまま入力する。地盤の材料定数や初期条件など解析条件と考察は文献¹²⁾に譲るが、解析結果と計測結果を比較した主なものを図 11 に示す。定量的な比較は十分でないが、地表面の上下方向加速度波形が示す「非対称性」は観測結果と解析結果は極めてよく似ている。下向き加速度が 1g を超えないのは、計算と計測で同じである。引張に耐えない土

では当然と言ってよいが、地盤が下向きには膨張できない境界条件を計算で与えているから当然なのである。上向き加速度の鉛直成分の大きさは計算で少し小さいが、地層下面での入力地震動に実測の鉛直成分も含ませればもう少し大きくなる。大事なことはしかし、水平地震動の入力だけで、地表にはこの入力地震動を上回る大きさの上下動が生まれることを見る点にある。ダイラタンシーは弾性体では絶対に見られない、また金属塑性にも現れない、弾塑性体としての土に特有の塑性変形である。なお、計算ではトランポリン効果は 10 ヘルツから 100 ヘルツ以上の高周波数領域での現象として現れるが、これは観測¹⁰⁾とも符合していることを付記する。

3.2 地震後に起こる斜面崩壊

トランポリン効果で見たような地震中の地盤の膨張現象は珍しいが、締め固められた土/盛土の、地震時の塑性膨張が原因の地盤変状は数多い。中越地震、能登半島地震、中越沖地震、駿河湾地震では、高速道路沿い等にある斜面上の盛土が多数崩壊した。これらの崩壊は地震中でなく、地震後数十分から数時間後に起こっていることが多い。阪神淡路のときの宝塚の沢埋め盛土は、地震の翌日になって滑った。ここでは 2007 年能登半島地震のとき能登有料道路で発生した斜面上盛土の遅れ破壊を計算で再現した事例を紹介する¹³⁾。斜面そのものは凝灰角礫岩からなり、地震時に変状はなかったが、盛土材料はこの凝灰岩の岩砕からなり、大きな被害を受けた。その再現計算の一部を図 12 に示す。地震の発生から約 10 秒後、主要動の直後における盛土内部でのせん断ひずみ分布では、斜面と盛土の間で少し滑りが見られるものの、盛土堤体に異常は見られない。しかし地震発生から十分に時間がたったあとの盛土堤体の滑り形状では、典型的な円弧滑りを示している。円弧滑りは鉛直方向に作用する土の自重による破壊形式で、水平慣性力があるところの破壊形状は示さないから、図 12 下図は、滑り破壊が地震終了後に生じたことを明確に示している。地震中は、斜面上での大きな繰返しせん断により、盛土材（締固まった砂礫）は塑性膨張している。しかし地震中の短い時間では、水や空気の間隙への補給は不

可能で、膨張は起こらず、このため地震中は大きな弾性圧縮が生じており、つまり土骨格への有効拘束圧が増加しているから、盛土は崩壊しない。だから地震後の吸気/吸水による膨張（有効応力の減少）を待って、ようやく盛土は崩壊することになる。3.11地震で東北大学の裏山の宅地盛土等では、地震後1年半の未だに「滑っては止まり、滑っては止まり」を繰り返している。表層土は不飽和土からなるが、このように遅れて起こる進行性破壊のメカニズムは、3.11後地盤工学会が総力を挙げて取り組んでいる研究課題の一つになっている¹⁴⁾。

4. 地震時・地震後の地盤変状、その2 —土が塑性圧縮するとき—

液状化による地盤変状と、沖積粘土の遅れ圧縮が原因の地盤変状の、ふたつの事例を紹介する。

4.1 浦安における液状化現象の予備的検討から

3.11地震では、東京湾岸の埋め立て地域を中心に、広範に液状化が起こった。表層の自然堆積沖積砂層だけでなく、その上の細粒分（粘土、シルト）を多く（20～60%）含む埋め土層も広範に液状化し、噴砂量も多かった¹⁵⁾。加速度は地表で100～200 gal未満だったが、地震の継続時間が長かったことがこの液状化につながった。戸建て住宅の被害が多かった浦安地区を対象に、この液状化現象の特異さについて予備的検討から分かってきたことを、ごく簡潔に報告する。

細粒分を多く含む埋め土は、構造の壊れやすいゆるい砂と比べると、構造の劣化/喪失にはより大きい塑性変形の蓄積が必要になる。だからこのような地層まで液状化したことは、この地層への①入力地震動が長周期化していて、②しかもその継続時間（繰り返し回数）も長かったはずである。一般にある地層が液状化してしまうと、剛性の著しい劣化によって、その地層の震動は長周期化するが、①の長周期化はこの意味ではない。細粒分の多いこの地層が液状化に到達するために、振動の1周期あたりの時間積分が大きくなるように、入力地震動が長周期化していることが必要のことを言っている。

図13は浦安市のある地層断面の概略であり、

液状化被害が軽微なA地点から、液状化被害が大きかったC地点に向かって、下部沖積粘土層厚が10m内外から50m内外まで厚くなってゆく。これを考慮に入れて図14のような1次元解析を実施したが、結果を図15に示す。（埋め土層、沖積砂層、沖積粘土層の土性はまだ仮のもので、図15は予備的なものである。）この図は沖積粘土層から上部液状化層に伝わる地震動で、粘土層が厚いほどより長周期成分の加速度が増幅されていることを示す。しかしつぎの図16のように、間隙水圧が地震発生後120～130秒でピークに達してはいるものの、A、B地点はなお液状化には至っていない。これは実際の液状化被害とは一致しない。

それで地層構成の単純化は著しいものの、図17に示す条件で2次元解析を行った。ここでは、水平方向に沿って土性はあくまで均質と仮定し、沖積粘土層の厚さの変化だけが取り入れられている。結果は図18、19に示す。図18は地震発生後300秒のもので、A地点からC地点まで幅広く、沖積砂層だけでなくその上の埋め土層も液状化していることを示している。図19は、図14の入力地震動と比べると、液状化に達するまでの120秒までにこれら地層での長周期成分の増幅が4倍程度と顕著になっていたこともわかる。また地表面の速度応答を見るとA～C地点のどこでも、周期約20秒の波の上に周期約4秒の波が重畳して（図は省略）、YouTubeで見た船酔いしそうな揺れであったこともわかった。また計算では、液状化層の圧密沈下は、地震後2日～10日以内に、A地点では20cm前後、B、C地点では50～60cm程度でB地点が一番大きく、これらも観測と良い一致を示していた。

住宅の液状化被害の程度が水平方向に複雑に変化し、このため浦安では表層土の水平方向の不均質性が大いに問題にされている。もちろんそれは正しい。しかし液状化程度の非一様性には、図17のような僅かの地層傾斜さえ大きく影響することがこの解析で判明した。図18の地表変形は実にガタガタしているし、計算上で得られる地表加速度は、ほんの十数m違うだけで100～160 galと大きく変化していた。しかしそれよりも、図16と図18の比較から、1次元解析はもは

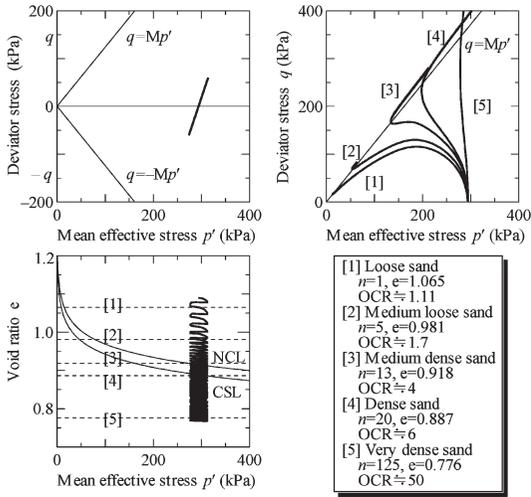


図 1 緩い砂の締固めと非排水せん断挙動

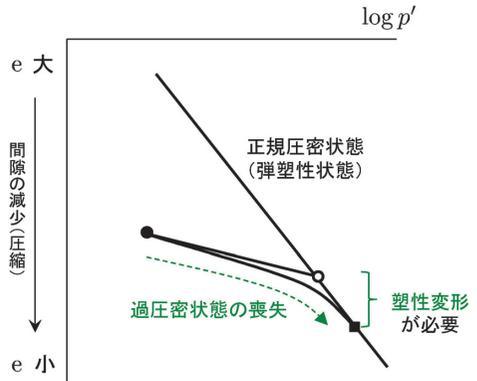


図 4 再負荷時に示す弾塑性挙動

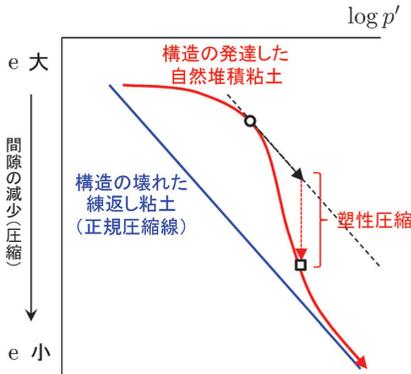


図 2 構造の発達した自然堆積粘土の圧縮挙動

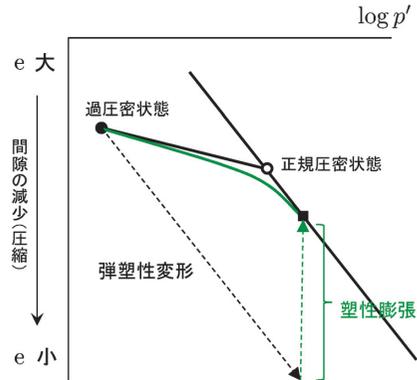


図 5 過圧密解消に伴う塑性膨張

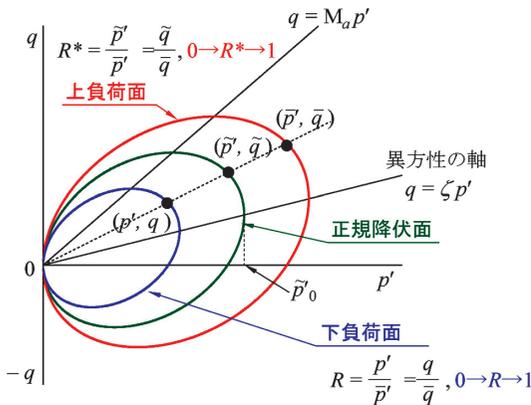


図 3 SYS カムクレイモデルの3つの降伏面

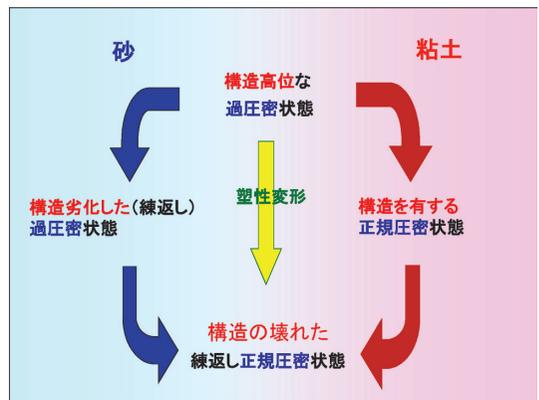
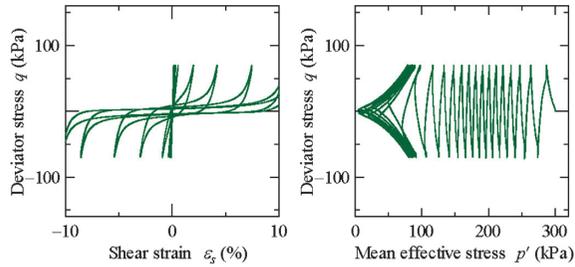
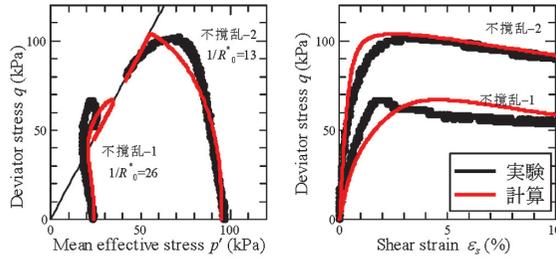


図 6 砂と粘土の違い



(a) 砂のCyclic mobility



(b) 粘土の高延性挙動

図 7 塑性膨張時の構造高位化

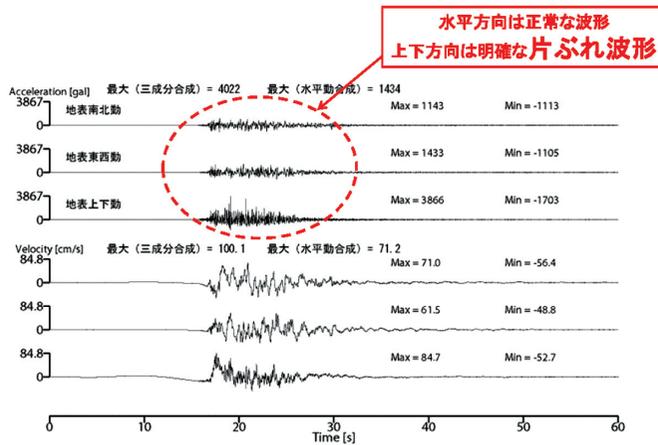


図 8 地表面で観測された上下方向の片ぶれ波形

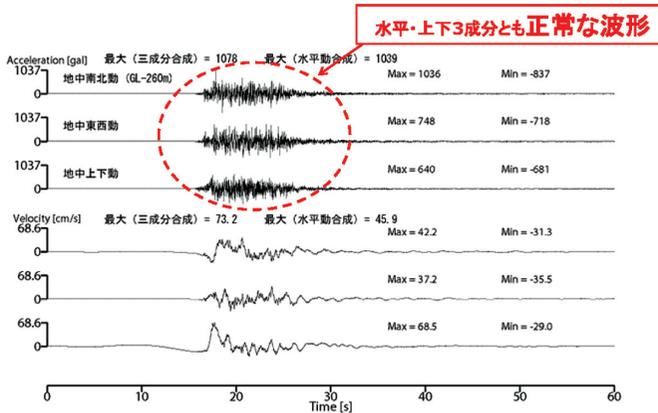


図 9 地中で観測された正常な波形

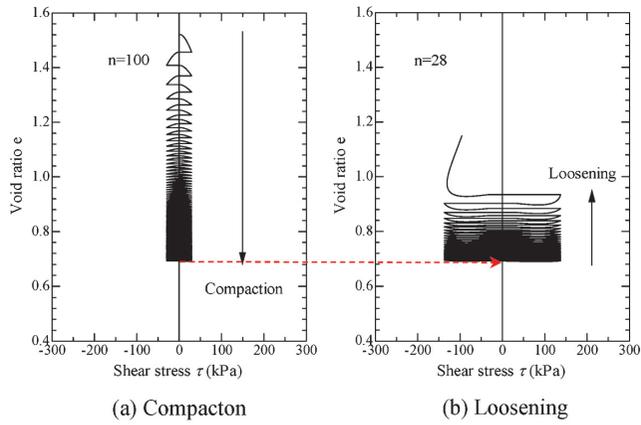


図 10 砂の締固めとその後のほぐれ

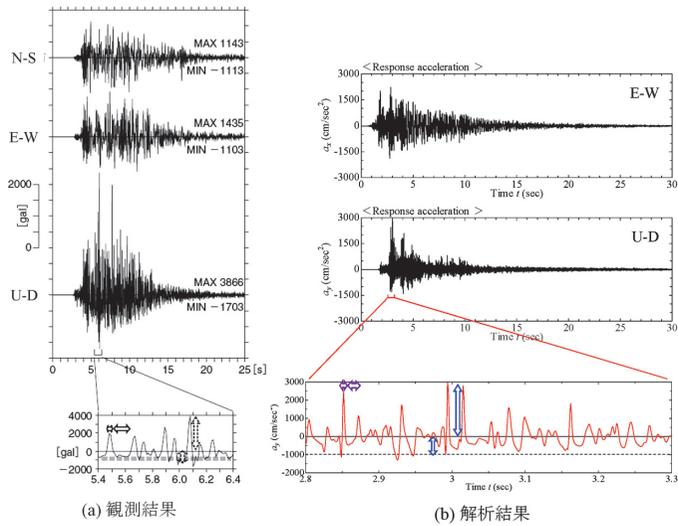


図 11 観測結果と解析結果の比較

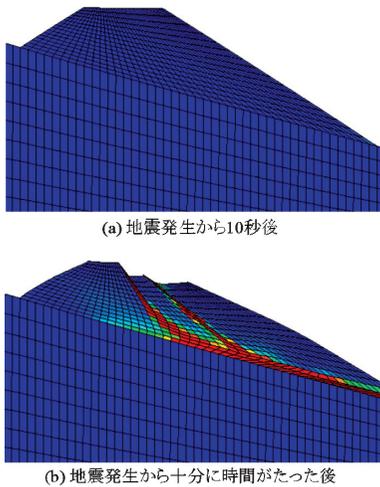


図 12 斜面盛土の遅れ破壊 (せん断ひずみ分布)

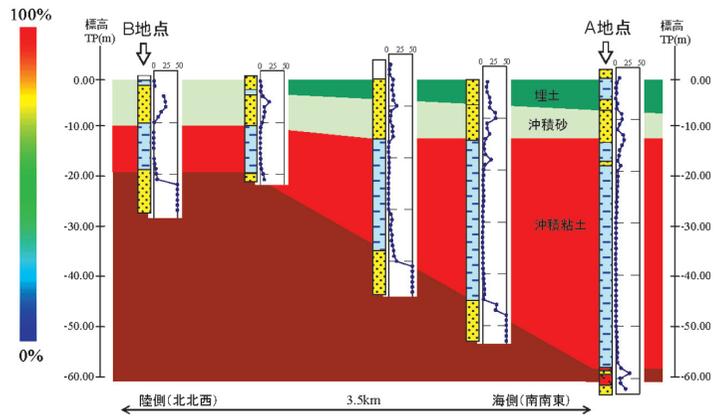


図 13 浦安市の地層断面図

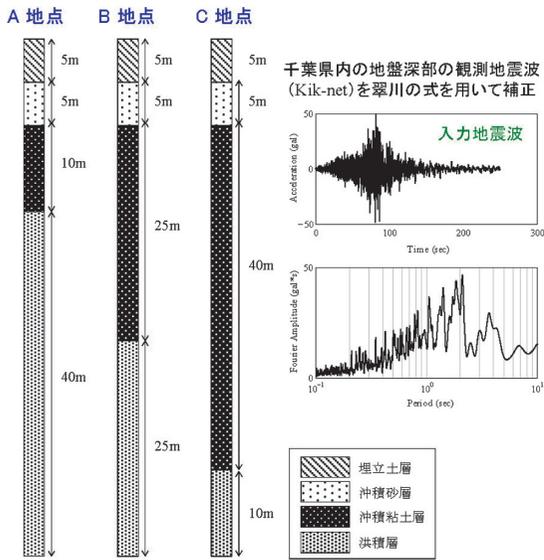


図 14 地層構成に応じた一次元地震応答解析

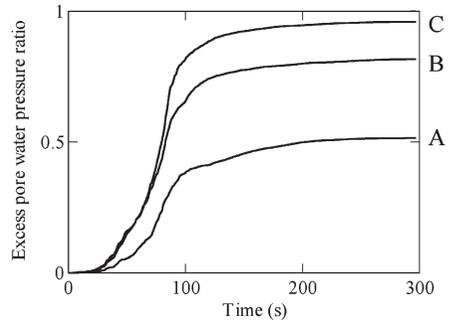


図 16 各地点における過剰間隙水圧比

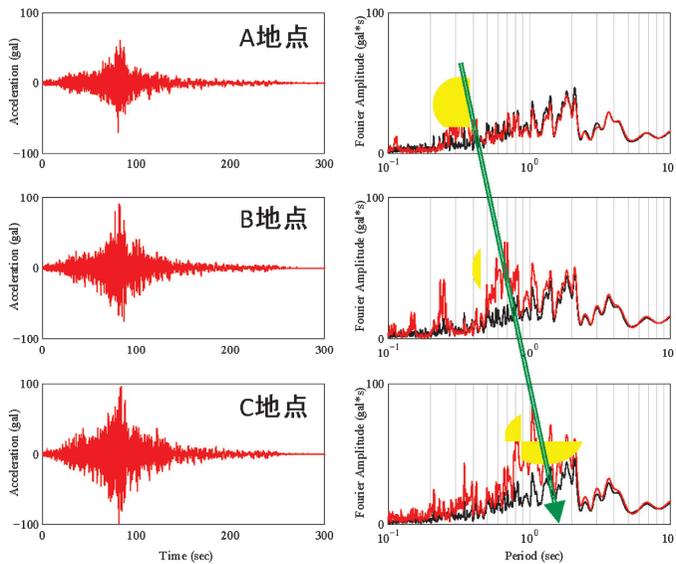


図 15 沖積粘土層通過後の水平加速度応答とフーリエ振幅スペクトル

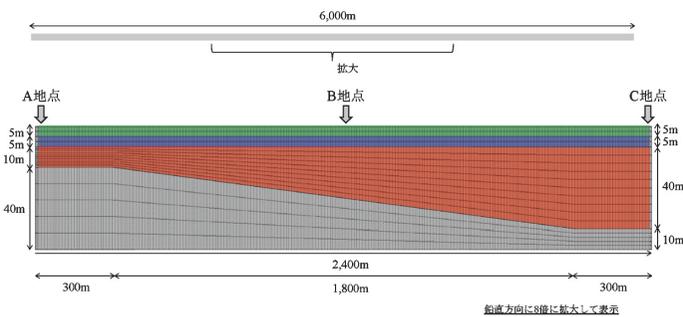


図 17 二次元での解析条件

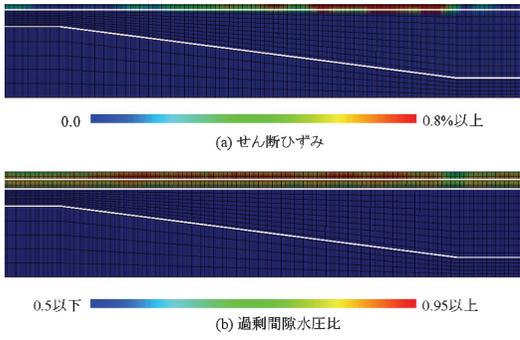


図 18 地震発生から 300 秒後のせん断ひずみと過剰間隙水圧比分布

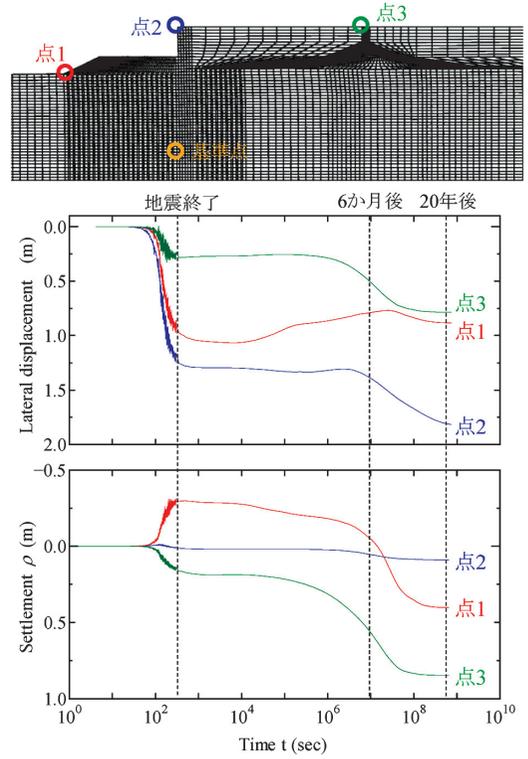


図 20 羽田 D 滑走路の将来地盤変状予測

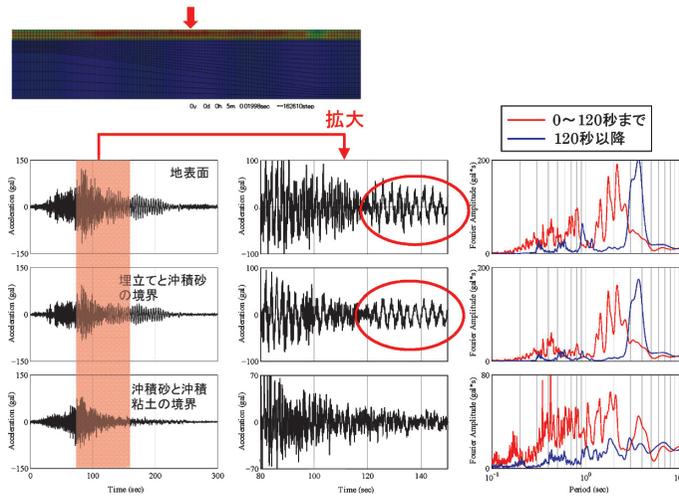


図 19 地層傾斜部の液状化発生個所における層境での加速度応答

や無意味などと早まって理解されると、土木/建築の実務では、「正確な液状化予測はもはや不可能」を言われるに等しい。解析が予備的であることを強調したのはこの理由による。余震には触れなかった。

4.2 沖積粘土の遅れ圧縮に起因する地盤変状

埋立て地盤上の羽田D滑走路は、完成後約1年で3.11地震に遭遇した。埋立地の下には層厚が約20mの自然堆積沖積粘土が存在し、この粘土層は埋立て荷重によって偏土圧を受けている。そこに地震による繰返しせん断が入ると、構造劣化が促進される可能性があった。構造劣化による粘土地盤の変状には時間がかかることは先に説明した。解析条件の詳細は省略するが、羽田D滑走路での将来の地盤変状を予測した結果を図20に示す。点2から左は栈橋形式の滑走路になり、点2が埋土部分の滑走路と栈橋式の滑走路との接続部分になる。点2の沈下は数cm未満ですでにほとんど収まっているが、水平変位は地震後1年半のこれから、さらに将来20年以内に50cm弱栈橋側に動く計算になっている。護岸はこのため今後20年で約1度栈橋側に傾斜する。埋め土の土性を危険側にとってから計算値は大きめに出ていると思われるが、しかしこの程度の変状は、将来の維持補修で容易に吸収できる範囲にある。浦安が対照的なのは辛い。D滑走路の3.11地震での被害は事実上なかったも同然と著者は考えている。

5. おわりに

地盤力学の紹介にページ数を費やしなが、構造と過圧密に終始し、異方性の発展則に触れなかったのは片手落ちである。再液状化問題は重要で、それには異方性も大きく関係する¹⁶⁾。表層地盤の地震時・地震後の地盤変状はごく最近になって、ようやく計算に載るようになってきた。しかし表層地盤は人と社会の日々の営みの場であり、その変状の実態とメカニズムの公表には、各種制約はあって当たり前かもしれない。研究にも高い技術者倫理が求められている。

参考文献

- 1) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002) : An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, 42 (5), pp. 47-57.
- 2) 三笠正人 (1962) : 土の力学における構造の概念の意義について, 昭和37年度土木学会年次講演会概要集, pp. 35-38.
- 3) 三笠正人 (1964) : 土の工学的性質の分類表とその意義, *土と基礎*, 12 (4), pp. 14-24.
- 4) Asaoka, A., Nakano, M. and Noda, T. (2000) : Super-loading yield surface concept for highly structured soil behavior, *Soils and Foundations*, 40 (2), pp. 99-110.
- 5) Roscoe, K. H., and Burland, J. B. (1968) : On the generalized stress-strain behavior of 'wet' clay, in J. Heyman and F. A. Leckie (eds.), *Engineering plasticity* (Cambridge: Cambridge University Press), pp. 535-609.
- 6) Hashiguchi, K. (1978) : Plastic constitutive equations of granular materials, *Proc. of US-Japan Seminar on Continuum Mechanics and Statistical Approaches in the Mechanics of Granular Materials* (Cowin, S.C. and Satake, M. eds.), Sendai, JSSMFE, pp. 321-329.
- 7) Noda, T., Asaoka, A., Nakano, M., Yamada, E. and Tashiro, M. (2005) : Progressive consolidation settlement of naturally deposited clayey soil under embankment loading, *Soils and Foundations*, 45 (5), pp. 39-51.
- 8) Noda, T., Asaoka, A., Nakai, K. and Tashiro, M. (2007) : Structural upgradation in clay and sand accompanying plastic swelling, *Proc. 13th Asian Reg. Conf. on Soil Mech. Geotech. Eng.*, pp.175-178.
- 9) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. (2008) : Soil skeleton-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, 48 (6), pp. 771-790.

- 10) Aoi, S., Kunugi, T. and Fujiwara, H. (2008) : Trampoline effect in extreme ground motion, Science, Vol. 322, pp. 727-730.
- 11) 青井 真 (2009) : 地震動の非対称性の発見とトランポリン効果, 科学, Vol. 79, No. 4, pp. 366-370.
- 12) Asaoka, A., Sawada, Y., Noda, T., Yamada, S. and Shimizu, R. (2012) : An attempt to replicate the so-called "trampoline effect" in computational geomechanics, Proc. of 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.
- 13) 酒井崇之, 中野正樹 (2012) : 地震後に発生した傾斜地盤上盛土の大崩壊に関する水～土連成有限変形解析による再現, 地盤工学ジャーナル, 7 (2), pp. 421-433.
- 14) 地盤工学会東日本大震災対応調査研究委員会, 地盤変状メカニズム研究委員会 (委員長: 浅岡 顕)
- 15) 安田 進, 原田健二, 石川敬祐 (2012) : 東北地方太平洋沖地震による千葉県の被害, 地盤工学ジャーナル, 7 (1), pp. 103-115.
- 16) Yamada, S., Takamori, T. and Sato, K. (2010) : Effects on reliquefaction resistance produced by changes in anisotropy during liquefaction, Soils and Foundations, 50 (1), pp. 9-25.

浅岡 顕

[あさおか あきら]

現職 (公財)地震予知総合研究振興会副首席主任研究員, 名古屋大学名誉教授

京都大学工学博士

略歴 昭和 45 年京都大学土木工学科卒業, 同 54 年名古屋大学助教授, 同 63 年同教授を経て現職

専門分野 信頼性理論 (確率理論, 数理統計学), 土工学 (計画理論), 地盤力学 (弾塑性力学, 連続体の力学)



東日本大震災からの復興についてのメモ

室崎益輝

1. 復興の原理について

復興の現状に触れる前に、私の40年余りの復興との関わりの中で体得した、復興の原理について述べておきたい。

(1) 復興の性格

広辞苑などの辞書を見ると、復興は「衰えていたものが、再び盛んになること」とある。ここでは、「衰えていたもの」とは何かが問われよう。それは、必ずしも生存基盤の衰退だけをいうのではない。生活や福祉の衰退もあるし、経済や文化の衰退もある。さらには、地球環境や生態系の衰退もある。それらの中で、何を回復すべき復興の対象と位置づけるかは、時代や社会の状況や要請によって変わってくる。何れにしても、文明論的な視点あるいは社会政策的な視点から、復興の対象を幅広く捉えることが欠かせない。

この復興を、災害復興に焦点をあて考えると、災害によって衰えたものの回復をはかるのか、それだけでなく災害以前から衰えていたものも含めて回復をはかるのかで、復興の意味づけや復興の目標が大きく変わってくる。比較的小規模の災害では、ただ単に災害で失われたものをもとに戻すという、原状回復的な復旧がはかられることが多い。私は、この原状回復的な復旧を「小さな復興」と呼んでいる。しかし、東日本大震災のような大規模な災害になると、現状に戻すだけでは駄目だという声が大きくなる。量的にも質的にも前よりも進んだ状態に押し上げることが目指されるのである。私は、この前よりも盛んにする復興を「大きな復興」と呼んでいる。

この大きな復興では、量よりも質が問われることになる。というのも、その災害によって、社会が従前から持っていた衰えとしての社会的矛盾が

顕在化し、その改善をはかることを余儀なくされるからである。表面的な衰えを克服するだけでなく、本質的な衰えを克服することが、復興の課題として突きつけられることになる。復興が軸ずらしてであり、世直しであり、レジスタンスであるといわれるのは、質の変化を伴う改革が大きな復興では欠かせないからである。リスボン地震がフランス革命につながり、安政江戸地震が明治維新につながった歴史を見れば、質の変化として復興を位置づけることが、いかに大切かを理解できよう。

(2) 復興の目標

上述の復興の性格を踏まえつつ、後述の復興のプロセスをも念頭に置いて、災害復興の目標を考えると、以下の3つに要約される。その第1は、何よりも被災によって受けた様々なダメージを克服し、被災者や被災地の暮らしを回復し、元氣や希望を取り戻すことである。ここでは、「生活、生業、生態」の3つの「生」と、「自由、自立、自治」の3つの「自」の回復が求められる。この中でも、自立の回復はとても大切である。自立は、復興の目標としてだけではなく、復興プロセスの要件としても欠かせない。復興の入り口では、何よりもまず被災者が自立できるよう、その力を引き出す支援が求められるのである。

第2の目標は、安全で安心できる地域社会をつくることである。二度と同じ悲劇を繰り返さないように、災害に弱い地域構造や社会体質の改善に努めることが、求められる。ところで、この改善にあたっては、被害をもたらした原因を正しく捉えることが欠かせない。原因の正しい把握が、復興の正しい改善につながるからである。ということでは、地震動や津波といった自然現象だけに原因を求めてはならず、社会の体質や市民の意識などにも厳しくメスを入れなければならない。

第3の目標は、災害によって顕在化した社会の

矛盾や欠陥に向き合って、その克服をはかって新しい社会への扉を開くことである。これは、上述の大きな復興を目指すということに通じる。私は、復興はReconstructionではなくRevitalizationでなければならない、と主張している。形だけの復興では駄目だ、もとに戻すだけでは駄目だ、新しい生命と精神の息吹を吹き込むものでなければならない、と思うからである。

再生と自立、減災と安心、改革と進歩という3つの目標の達成を、総合的にはかっていくことが、大きな復興あるいは真の復興には求められるのである。ここでは、安全化をはかることだけが復興の目標でないことを、確認しておきたい。

(3) 復興のプロセス

復興では、そのプロセスのあり方が厳しく問われる。それは、皆の思いを持ち寄って社会をデザインしてゆく運動であり、人々が希望を取り戻し立ち上がっていく過程であるからである。ということで、説得と納得、ビジョンの共有、まちづくりといったことが、復興では繰り返し強調されることになる。

この復興のプロセスに関わって、物語復興と段階復興という2つのキーワードを大切にしたい。物語復興は、物語を皆で作っていくように復興を進める、というものである。物語の脚本も皆で書き、物語の実演も皆で行うのである。ところで、復興に際して「被災者の声を聞く」と言いつつ、アンケートで安否を問うことがしばしば行われている。しかし、それは本当の意味で被災者の声を聞くことではない。被災者自身が復興への思いを語りあい、その思いを形にしてゆくプロセスこそ、被災者の声を反映させる道なのである。復興への思いを語り合える場をどう作るかが、ここでは問われる。

段階復興は、1976年の中国の唐山地震からの復興でも、1989年のアメリカのサンフランシスコ地震からの復興でも、強調されている。総論から各論へ、自立から展開へ、仮設から本格へ、力を溜める段階から力を発揮する段階へといった形で、その段階のプロセスは語られている。一気にゴールにたどり着こうとせず、戦略的に中間ス

テージを設定して復興をはかることが、求められるのである。ところで、この段階論を時間の問題と捉え、短期と長期といった形で論じる傾向がある。しかし、単なる時間の問題として捉えていては駄目である。中間ステージとして何を求めるかという、戦略の問題として捉えなければならない。

ということで、生活の安定をはかることやコミュニティの自治を回復することが、中間ステージでは必須の要件となる。産業基盤の回復や伝統文化の再生も、ここでは欠かせない目標である。さて、この中間段階を戦略的に捉えて追求することを、私は「復興の踊り場の設計」と呼んでいる。今回の設計ではこの踊り場が見えにくくなっている。踊り場が見えないことで、復興の進捗感も感じられにくくなり、路頭に迷う状況が生まれている。それだけに、仮設の市街地やセカンドシティといった形で、中間ステージとしての踊り場をデザインすることが、今回の震災復興では特に欠かせない。

(4) 復興の推進力

災害ユートピアの成立と崩壊という過程が、災害後の初期に現れることは良く知られている。その崩壊の後で、徐々に立ち上がっていく、被災回復と社会創造という過程が続く。この回復と創造の過程では、気概のバネ、自省のバネ、連帯のバネ、事業のバネといった復興のバネが働く。

気概のバネは、負けじ魂というか何くそという気持ちで、どん底から立ち上がろうとする力を言う。自省のバネは、災害を招いた社会的歪みに気付いて、それを正そうとする自浄的な力を言う。連帯のバネは、苦境の中で生まれた絆によって、共に前に進もうとする協働的な力を言う。事業のバネは、復興のための様々な資源の力を借りて、被災地の改変をはかっていこうとする力を言う。気概と自省は、先に述べた目標と密接に関わっており、連帯と事業は、先に述べたプロセスと密接に関わっている。正しい目標をたて、正しいプロセスを踏むことが、これらのバネを正しく発揮させることにつながる。

さて、これらのバネを発揮させるためには、復興のための「人、モノ、仕組み」さらにそれに加

えて「夢」といった資源が欠かせない。人は人材、モノは知恵や財源、仕組みは制度や体勢、夢はビジョンをいう。これらの資源をいかに提供しうかに運用するかが、復興のあり方や命運を大きく左右することになる。なお、ビジョン、制度、人材あるいは体勢、財源などについては、後で詳しく考察することにする。

2. 復興の現状について

東日本大震災の復興では、被災者と被災地の涙ぐましい努力によって、一筋の光明がみえつつある。その努力と成果については、肯定的に評価しなければならぬと思う。とはいうものの、被災者は先の見えない苦しい状況におかれたままである。膨大な人員と莫大な予算を投入しているにも拘らず、震災関連死や人口流出が後を絶たないなど、復興の進捗状況は芳しくない。

(1) 復興計画の策定

2012年8月末には、約400の被災地区で事業の基本方向がどうにか決定され、事業の設計や予算化等がはかられつつある。その約400の地区を事業手法別にみると、土地区画整理事業によるものが58地区、津波復興拠点整備事業によるものが19地区、防災集団移転促進事業によるものが276地区、漁業集落防災機能強化事業によるものが82地区である。その復興の基本方向を見ると、国のトップが早々と高台移転という方向をうちだしたことに加え、津波からの安全確保をはかりたいという被災者の強い思いもあって、高台への集団移転を目指す地区が、全体の7割と極めて高い比率になっている。この是非については後で詳しく論じよう。

(2) 住宅の再建

住宅の再建を必要とした世帯数については、残念なことに正確な統計がない。唯一その手掛かりとなるのが、生活再建支援法による支援金の支給状況である。全壊と大規模半壊さらには長期避難で住宅再建を余儀なくされる人には、生活再建支援法の基礎支援金が支給される。ここから、住宅再建や大規模修理の必要であった世帯を推定する

と、約18万世帯という数字が得られる。一方、基礎支援金を受け取った人の中で、住宅の購入あるいは再建に既に着手した人、さらには賃貸住宅に入居した人などには、加算支援金が支給される。この支給実績から、自力で再建に目途をつけた世帯を割り出すと、約4万世帯という数字が得られる。ということで、その差引から住宅再建できていない世帯を、約14万と見積もることができ

る。他方、現在の居住している住宅の現状からも、再建を必要としている世帯数の手がかりを得ることができる。復興庁の統計によると2012年8月末現在で、仮設住宅に入居している世帯が約5万、「みなし仮設」と言われる民間住宅に入居している世帯が約6万、公営住宅に入居している世帯が約2万である。それらを合計すると、約13万世帯が仮住まい状態にあるということになる。この数字は、生活再建支援金の支給状況から推計した再建できていない世帯数と、ほぼ一致する。

ただ、この13~14万世帯の中には、既に賃貸マンションなどに居住している人が含まれ、被災地での復興の見通しがつかない中で、再建をあきらめてそのまま住み続けようと思っている人も少なくない。そのため、この約13万世帯の全てを住宅再建必要世帯と見ることはできない。そこで、この再建あきらめ層を除くと、住宅再建の必要世帯は約10万から11万世帯ということになる。住宅再建の段階になると、「再建格差」というか、自力で再建を進めていける人と、行政の支援がないと再建できない人とに二分される。東日本大震災では、震災後1年半の時点で、既に再建が完了した世帯が4万近くある一方で、再建から取り残された世帯が10万もいるという構図が、浮かびあがってくる。

ここで問題になるのは、この10万という再建需要層が、いかなる形で再建をはかることができるかということである。これに関しては、「落ちこぼれ」と「長期化」という2つの危険の存在を指摘しておきたい。落ちこぼれというのは、公営住宅への入居や集団移転などのセーフティネットから落ちこぼれる世帯が、多数出てしまうとい

う問題である。私の見積もりでは、少なくとも3万世帯が落ちこぼれることになる。この「落ちこぼれ層」に対する支援が十分でない、その多くは被災地外での個別移転再建を強いられ、人口流出につながってしまう。

ところで、問題はそれだけではない。セーフティネットに引っかけた人でも、その再建完了が極めて遅くなってしまいう長期化の問題がある。例えば、公営住宅の建設を見ると、計画予定の27,456戸に対して、8月末の時点で着工の目途が立っているのが約8千戸、そのうち既に着工しているのは約500戸で、着工済みは建設予定の1.6%でしかない。なお、建設予定の全戸が完成するのは順調に行っても16年度末ということで、被災者によっては後3年以上も仮住まいを強いられることになる。

集団移転や区画整理と連動した形での住宅再建は、公営住宅による再建よりもさらに遅くなってしまふ。集落整備の中心をなす防災集団移転促進事業についてみると、工事着工に不可欠な用地の確保ができたところは10地区と極めて少なく、その殆どが着工にさえこぎつけていない。漁業集落事業や区画整理事業についても同様で、それによって建設の見通しがついた住宅は、今のところ極めて少ない。何れにしても、予算措置において今年度中の着工が見通される住宅は、公営住宅、区画整理住宅、集団移転住宅、漁業集落住宅全てで、約3万戸である。それは、住宅再建を必要としている10万世帯の約3割にしか過ぎない。

(3) 産業の再建

さて、被災地全体の産業復興の状況を概観すると、統計数字で見える限りにおいて、鉱工業や製造業はほぼ震災前の水準に戻っている。商業も、復興特需の影響とそれによる個人消費の増大もあって、震災前の水準に回復しつつある。それに対して、農業は震災前の4割程度、水産業は震災前の6割程度と、かなり遅れている。観光業の回復も、観光目的の宿泊者等でみると、震災前の7割程度と遅れている。

ところで、被災地のマクロな経済の状況を見ると、業種の差あるいは経営規模の差さらには地域

の差はあるが、未曾有の大規模な被災にもかかわらず、総じて回復の傾向にあると言えよう。それには、公共インフラの整備や被災事業所の経済支援などが、機能している。例えば、中小企業基盤整備機構の仮設店舗・工場等の整備事業については、約500カ所でそれが活用され、商工業の速やかな再開に貢献している。また、共同利用ということが前提にはなっているが、漁船や漁具の購入あるいは製氷施設などの整備に補助金が出され、そのことが漁業や水産業の速やかな再開に貢献している。とはいえ、この経済の回復には、カンフル剤的な経済支援や復興特需の影響が色濃く反映しており、地域経済が本格的に回復したかどうかの評価は難しい。例えば、商業の回復も、特需が支えているところが大きく、それが終わると人口減少の影響が強くなって、急激に落ち込むものと推察される。

事業再開の状況を見てみよう。浸水地域の商工業者の事業再開状況が、今年の初めというやや古いデータではあるが、東北経済産業局の調査によって明らかにされている。これによると、岩手県では約7割、宮城県では約9割が事業再開にこぎつけたという結果が示されている。しかし、それを細かく地域別にみると、山田は5割、大槌は6割、陸前高田は4割、南三陸は5割、女川は3割、石巻は7割ということで、大きな被害を受けた地域では、回復が著しく遅れている。再開できていない事業所を見ると、事業の中止や廃業に追い込まれた事業所が少なくない。例えば、南三陸町や女川町では、約2割が中止や廃業に追い込まれている。

さて、生業と一番関係の深い雇用について見てみよう。雇用についても、経済支援策の一定の効果が表れている。マクロというか被災3県全体で見た時には、求人が増大の傾向にあり、求職は減少の傾向にある。その結果、2012年5月には求人が求職を上回るまでになっている。しかし、今なお被災3県で、雇用保険の受給者が4万人おり、求職者あるいは失業者が約8万人いると推定されている。求人が増えているのに雇用が増えない、失業者が減らないという状況にある。とくに、

被害の大きかった沿岸部では、求職者あるいは失業者が一向に減らず、生活保護世帯も増加し続けている。

こうした求職と求人とのミスマッチは、建設業や警備業の求人は多いのに、製造業や小売業の求人は少ない、専門技術職の求人はあっても、一般事務職の求人はないということから、生み出されている。このことから、被災地の中で生計を支える中心的存在である主婦や中高齢者向けの仕事がなく、家庭の中での収入の確保につながらない。また、今までの経験や技能を生かせる、漁業や水産加工業さらには農業に関わる仕事がなく、地域の振興にもつながっていない。

先に述べた経済の再建と雇用の再建を重ね合わせてみると、生活再建の過程で家具や電化製品の購入が著しく増大し、一時的であっても小売業などの売り上げが増えている、しかし、その売上収益も大型物販店舗などに吸収されてしまい、被災地の地域社会に落ちない。そのために、地域内の小売業の雇用にはつながらない、という状況がある。また、増大する雇用は、地域外から仕事を求めてくる人々に流れて、これまた被災者の家計の改善になかなかつながらない。ということで、家具や電化製品を買うにしても、貯金を切り崩さざるを得ず、家計の赤字は増大する一方である。

確かに、海には収入の源となる魚介類が存在し、被災した漁業関係者が必死の努力を講じ、生産環境の改善をはかったところでは、雇用も収益も改善がはかられている。少し主観的な表現になるが、そのために奮闘している被災者の皆さんには、心からの敬意を払いたいと思う。とはいえ、被災者ひとり一人の生業や生計あるいは生きがいに着目して、現在の暮らしの再建の現状を見ると、再建までの道のりはまだまだ遠いという、残念な状態にある。

(4) コミュニティの再建

生活再建の指標として、コミュニティの再建は最も重要なものと考えている。コミュニティの再建は、復興の目的であり、復興の手段であるからである。人間が生きていくうえで、地域での人のつながりや仕事のつながり、さらには土地とのつ

ながりが欠かせないからである。土地とのつながりというのは、土地に根差した伝統文化や自然景観とのつながりを指している。

今回の復興では、好むと好まざるに関わらず、従前の土地から切り離される状況にあるので、コミュニティの再建は極めて厳しい状況におかれている。それだけに、コミュニティの再建に向けて、最大限の努力を払わないといけないが、国などの復興の施策ではあまり重視されておらず、その結果としてコミュニティがズタズタにされていく状況にある。

コミュニティの再建状況は、量的にはその空間的なまとまりや人口の回復から見る事ができる。質的には、その有機的なつながりや連帯感から見る事ができる。量的な側面からは、被災地外に避難を余儀なくされた人が膨大な数にのぼり、かつその避難が長期化していることが、まず問題になる。ご承知のように、公的な数字として把握されている県外避難者の数は約7万人である。そのうちの6万人は福島からの避難者で、宮城と岩手からの避難者は約1万人ということになる。

しかし、これは県境を越えた避難者の数で、県内の沿岸部から内陸部、あるいは集落部から都市部に避難した人は少なくない。浸水地域の人口増減を市町村の統計から見ると、岩手、宮城とも人口が2万人程度減少している。市町村単位のしかも住民票ベースで見ると、約4万人が被災地外に避難しているということになる。とりわけ被災の激しかった、大槌町や女川町などでは、人口の約2割が減少している。

それに加えて、宮古の田老から宮古の中心市街地に、石巻の雄勝から石巻の中心市街地にといった形で、同じ市町村の中での避難というか移転が、少なくない。それに加えて、住民票を移さずに移動している人も少なくない。この同一市町村内での移動や住民票を移していない人を考慮すると、宮城と岩手の両県では、少なくとも10万人から15万人が被災地から離れている、と考えられる。例えば、石巻の雄勝では、震災前の人口の4千人のうち、7割にあたる3千人が流出してい

ると言われている。

こうした人口の減少やコミュニティの弱体化は、何よりも復興まちづくりの遅れから来ている。どこに住めるかの展望がない中で、確実に住宅が得られる地域外へ人びとは流れていく。それに加えて、今回の震災では「みなし仮設」に代表されるように、コミュニティを崩す形での個別避難が推奨されたことも、被災地の人口減少を加速させている。さらには、被災地では仕事を得られないことも、被災地離れの要因となっている。この中で、将来を託すべき若者が、魅力のある仕事を求めて被災地外に流出する傾向が見られ、被災地再建に暗い影を落としている。何れにしても、住宅と雇用さらには学校や病院がなければ、人口が流出するのも仕方がないと言えよう。

質の問題では、復興や移転を巡って、コミュニティの中に対立関係が持ち込まれ、一体感が失われているという問題もある。移転するか否かという踏み絵的な選択肢が押し付けられて、コミュニティがまた裂き状態になっているのが、その代表例である。移転対象地域にある世帯の半数しか一緒に移転しないという状況は、コミュニティが一つになれない苦しい現実を反映している。被災者それぞれがおかれている状況が違うので、意見の違いや対立は避けられない。しかし、対立したままでは、コミュニティの崩壊を招く。コミュニティが一つにならないといけない時に、コミュニティがバラバラになってしまっている。

3. 復興の手順について

そこで、どうして復興が遅れているかという問題点について考察したい。これについてはいろいろ問題点があるが、最大の問題点は、復興の基本方針を決めるまでのプロセスにあると、私は考えている。そこで、プロセスというか手順に即して、問題点を考えてみることにする。今回の復興について「思いを先に形を後に」ということを、私は繰り返し主張してきた。私が「高台移転は間違いだ」というメッセージを震災直後に発信したのは、一方的に議論もなく「高台移転」や「職住分

離」という形を押し付けてはならない、という思いからであった。被災地や個々の被災者によっては、高台移転以外の選択肢があるということも、伝えたかったからである。

先に述べたように、復興では被災者の思いを形にするプロセスが大切で、それには被災者相互のそして行政や専門家を加えたコミュニケーションが欠かせないと、考えている。そして、そのプロセスは「急がば回れ」で、多少の時間がかかっても議論を尽くし、皆が納得できる道筋しかも未来につながる道筋を見出すように努めるべきだと、考えている。無論、時間をかけて合意形成に努めたからといって、正しい結論が引き出されるとは限らない。しかし、時間をかけなければ、皆が納得する正しい結論に行き着くことは難しい。

ところで、その復興の語り合いでは、以下の3つの方向性について順番を間違えないで議論しなければならない。ステップを踏んで復興への思いを形にしてゆくのである。第1ステップでは、地域の将来像を語り合う、第2ステップでは、居住の場所や形式を語り合う、第3ステップでは、その実現の手法や制度を語り合うのである。ここで留意して欲しいのは、制度という形は、最後に検討すべきだということである。

(1) 地域の将来像

復興の性格のところ、災害により顕在化した矛盾に正面から向き合い、そこにある地域の衰えを克服しようとするのが復興だと、述べた。ということで、いかなる矛盾を克服しようとするのか、いかなる社会を創造しようとするのか、いかなる地域を子孫に残そうとするのか、復興では厳しく問われることになる。

関東大震災の復興では、脆弱な都市基盤を克服し学校や公園などの公共施設の近代化をはかることが問われた。北但馬地震後の城崎の復興では、温泉を軸とした地域経済の活性化をはかることが目指された。世界大戦後の広島復興では、核のない平和な社会をつくるのが主要な課題と位置づけられた。それでは、今回の東日本大震災では、何が問われ何を目指さなければならないのか。これについての議論が、津波の危険性にかき消され

てしまっているのが、とても気にかかる。

何が問われているかといえば、地球環境問題もあるし過疎過密問題もある。サステナブルコミュニティという言葉があるが、持続可能な共生社会をどうつくるかが問われているといつてよい。ここでは、自然との共生をはかること、コミュニティの復活をはかること、車依存社会からの脱皮をはかること、第一次産業の再生をはかること、地域に根差した文化を継承することなどが、求められよう。その中で、被災地の東北地方が自立した地域社会として蘇っていく、このことが今回の復興の本質だといえる。

さて、防災だけでなく教育も福祉も考えなければならぬ。さらには、文化も経済も考えなければならぬ。暮らしの総体を考えなければならぬのである。その包括的な社会像の議論を踏まえて、その中で安全性を正しく位置づけること、そのうえでどこに住むべきかを論じることである。地域の未来像を曖昧にしたままで、安全性だけを論じることは、後世に悔いを残す結果を招きかねない。安全性は、地域の必要条件であっても十分条件でないからである。暮らしの総体という全体性あるいは日常性の中に、安全性という個性性あるいは非日常性をどう組み込むかという視点が、ここでは求められる。

(2) 場所の選択

災害後の復興では、災害によって被災地の危険性が強く認識されることから、より安全な場所への移転が目指される場合が多い。火山噴火や土砂災害などで壊滅的被害を受けたケースでは、とりわけそうである。また、地震で山腹崩壊や津波浸水が発生した場合にも、移転が行われている。火山噴火では、1988年の磐梯山の噴火の際の檜原村の例、土砂災害では、2009年の台湾豪雨による土砂災害の際の小林村の例、地震崩壊では、1970年のアンカシュ地震のユンガイの例などがある。地震津波では、すでにご承知の通り、1896年と1933年の三陸大津波の後の三陸沿岸集落の移転など、数多くの事例がある。

とはいえ、いつの場合でも移転が行われるかという決めてそうではない。2004年のスマトラ

の大津波後の、インドネシアのアチェが高台移転をせずに現地再建をはかったことは、よく知られている。日本でも、雲仙の噴火や奥尻の津波の被災地では、大半の地区が高台等への移転という選択をせずに現地での再建をはかっている。安全性をかさ上げや避難路整備という別の形で確保することができれば、移転以外の選択肢もありうるということ、これらの事例は教えている。

安全な場所に居住するということは、絶対に欠かすことのできない課題である。ところで、安全な場所を確保する方法としては、様々な選択肢がある。高台移転だけが答ではない。現住地を放棄して安全な他の場所に移り住む選択肢もあれば、危険な現住地を改造して安全な場所とし住み続けるという選択肢もある。さらに移転再建といつても、遠隔地移転もあれば近接地移転もある、集団移転もあれば個別移転もある。他方、現地再建といつても、元の場所での再建もあれば別の場所での再建もある。現地の中の安全な場所に集約化する再建もありうる。

つまり、再建といつても多様な選択肢があるのである。この場合に、それぞれのメリットとデメリットを正しく見極め、最適な選択をするようにしなければならない。安全性能面から見てどうなのか、建設費用面からみてどうなのか、建設期間面からみてどうなのか、コミュニティ面からみてどうなのか、雇用確保面からみてどうなのか、環境共生面からみてどうなのか、そして何よりも暮らしの継続という面からみてどうなのかを、よく考えなければならない。この場合、狭く安全だけを考えてはならない。

この安全を狭く考えてはならないという時に、多様なリスクを総合的に考えることがまず欠かせない。海に危険があるように山にも危険があることを忘れてはならない。自然災害だけでなく社会災害もあることを忘れてはならない。移転の進め方があまりにも強引で、コミュニティが崩壊してしまうと、支えあうことのできない社会が生まれてしまい、犯罪の激化などを招きかねない。私は、アメニティがあってコミュニティがあってこそセキュリティが保たれると考えているが、安全の要

件としてのアメニティやコミュニティの大切さを見落としてはならないであろう。

この移転の是非を問う時に、故郷の持つ意味を考えることも忘れてはならない。土地と結びついた生活慣習、伝統文化などを軽んじることはできない。さらには、祖先への思いやりもあろう。多大な社会的犠牲を払っても、福島原発被災者の皆さんに「故郷に帰る選択肢」を確保しなければならないと思うのは、この故郷とのつながりは極めて重い意味を持っていると考えるからである。

(3) 再建の制度

将来像や再建の方向が決まれば、その方向を後押しするように、制度を考えなければならない。それは、人間の体に合わせてオーダーメイドの服をつくるようなものである。仮にオーダーメイドが難しくレディメイドで対応しなければならない時でも、可能な限り体型に合う服を探してフィットするように努めなければならないのである。ところが今回は、新たな制度をつくって被災者に合わせようとするどころか、最も適切な既存制度を探しだす努力もしないままに、防災集団移転促進事業といった制度を、それが全く合わない地域に対しても無理やり押し付けようとしている。

まず、オーダーメイドの必要性について論じておこう。巨大災害の発生は、極めて低頻度である。次の巨大災害の間に社会も地域の姿も大きく変わってしまう。となると、災害の形も、その防災の環境条件が大きく異なることから、前とは違ったものになる。ところが、災害に関する法制度は過去の経験に基づいて作られているので、新しい災害の実態に合わないことが多い。巨大災害を経験するたびに、災害関連法制度が細切れ的に修正されてきたが、それでも次の災害にはフィットしない。法制度が後追的になるという宿命を背負わされているのである。ということで、被災の現実に合わせて制度をつくって対応することが求められるのである。前例のないことが起きたのだから、前例のない措置で対応しなければならない、と思う。

次に、既存制度の適用についての配慮についても述べておこう。災害復興住宅について、ごく一

部ではあるが、戸建ての木造住宅での建設を認めるという方向が示されていることは、弾力的運用の好例として評価しておきたい。とはいえ、住宅地の移転や再生については、既成の事業にこだわるあまり、またその制度を杓子定規に運用するあまり、被災者や被災地の思いを封殺してしまう結果になっている。コミュニティを維持した形で移転したい、産業と生活との両立をはかる形で移転したい、地形や風土を継承する形で移転したい、従前の土地も可能な限り有効に活用したい、そして何よりも人口の減少を防ぎたいという被災者のニーズにこたえるには、いかなる制度が適切なのか、そのあり方が問われている。

ここでは紙面の関係もあるので、既存制度運用の問題として防災集団移転促進事業の適用問題に限って触れておこう。防災集団移転促進事業（以下、防集と呼ぶ）は、昭和47年の集中豪雨で山間部の数多くの集落が土石流や崖くずれで被災したことを受けて制定されている。それゆえに、そこで念頭にあったのは、瞬間的な土砂崩壊などで逃げる余裕のない地域、移転以外に安全化の手段がない地域、過疎化が進み日常的にも機能維持が難しい地域である。

防集で「全戸の合意」が必要となっているのは、その対象とする集落が小規模で合意形成が取りやすいこと、限界集落を拡大再生産しないためにコミュニティを維持して欲しいということからである。それゆえに、土砂災害や火山噴火さらには雪崩などの危険性の高い山間部の小規模集落にはスムーズに適用できても、それ以外の地域にはそう簡単に適用できない。

人口規模が大きく被災範囲が広い地域や他の安全化の道が残されている津波被災地などでは、防集が最適とは必ずしも言えないのである。先に述べたように、雲仙噴火災害の安中地区、北海道南西沖地震の奥尻地区の岬地区以外で、防集がうまくゆかなかったのはその防集の持つ限界ゆえのことである。この限界というか困難性を見極めて、防集を使うかどうか、使うにしてもいかに弾力化をはかるかどうか、事前の検討をしっかりとっておかなければならない。

何度も述べているが、復興の目的は防災だけではない、漁業や農業の再生も地域コミュニティの再建も、さらには医療過疎の解消などもある。こうした課題を総合的に達成するうえでどのような制度をどのように組み合わせればよいかを考えなければならない。漁港の整備などを同時にはかろうとすれば、漁業集落整備に係る事業制度をもっと積極的に活用すべきではなかったか。奥尻島の復興がスムーズにいった背景には、漁業集落整備事業を復興の中心に据えたことがあることを、強調しておきたい。

ところで、今回の震災で県や市町村が持つべき事業財源も国が肩代わりすることになったので、国庫補助のある既成の事業メニューにこだわる必要はない。補助があろうとなかろうと、結果的に国庫の持ち出しも自治体の負担も変わらない。だとすると、市町の単独事業として、新たな枠組みとしての津波被災地再建事業とか小規模区画整理事業とか被災地コミュニティ再生事業とかを採用して良いはずである。奥尻島の復興の初松前地区では、町単独の「まちづくり集落整備事業」をつくってかさ上げ現地再建を成功させている。被災の実態と地域の特性さらには被災者のニーズから、創造的に復興事業のあり方を考えなければならない。

4. 復興の展望について

以上の現状や課題の考察を踏まえて、これからの復興のあり方を考えてみたい。復興のビジョン、復興の人材、復興の財源のそれぞれについて、現在の問題点とその解決の方向を明らかにしておきたい。

(1) 生態を考慮したビジョン

復興の目標やその目標としての地域の将来像については、先に述べたとおりである。ここではその目標をどう捉えるかで、基本的な復興の構想も方針も違ってくる。さてここでは、今までに十分触れることができなかった「生態を考える」ことの必要性を、強調したい。今回の復興のもっとも重要なテーマの一つは、自然と人間がいかに向き

合い共生するかということである。共生といっても、海岸のすべてを公園にして自然の回復をはかるといった、単純なものではない。生態系として、海と山の関係、海岸線と海辺の暮らしとの関係をどうとらえるかが、問われている。自然の織りなす風土とそこで育まれてきた、東北の豊かな文化との関係も問われている。となると、簡単に山を削ってという発想や、海岸をコンクリートで固めてという発想には、行き着かない。人間と自然の関係を考えても、海と向き合うことはとても大切で、海に背中を向けて逃げ出す選択肢はあり得ない。この生態的あるいは共生的視点が、現在の復興の構想に欠落しているために、「海さえ見えれば高台でも」といった、被災者の腑に落ちない「あいまいな決着」を許すことになっている。もっと、自然と人間との関係性を論じなければならない。

(2) 知恵を活かせるプロセス

プロセスで十分に触れられなかった、人材の問題についても言及しておきたい。復興のプロセスでは、「復興の心技体」が欠かせない。心というのは、皆の気持ちが一つになることである。この心が一つになるということについては、物語復興のところで言及したので、ここでは繰り返さない。

次の技というのは、工夫や知恵が欠かせないということである。どうすれば安全にできるか、どうすれば合意形成ができるか、そのための専門的な支援が欠かせない。防災やまちづくりの専門家が求められる所以である。数百を超える被災集落は、それぞれに個性をもっており、個性に応じた答えを導き出すためには、それぞれの集落到専門的支援者が張り付かなければならないが、それができていない。財源がある行政の周りには、専門家が押しかけるが、財源のない集落には張り付かない。行政に知恵があって集落到知恵がなければ、行政のいいなりになってしまうし、集落の個性を活かすことができない。

体というのは、連携や協働の体勢が欠かせないということである。とりわけ、基礎自治体である行政とコミュニティ、あるいは行政職員と被災者が連携することが欠かせない。ところが、行政そ

のものが、職員の死亡や庁舎の流出で崩壊してしまい、被災者と向き合う余裕を失ってしまった。その結果として、不毛の対立というか疎遠さが持ち込まれ、協働や合意を困難にしている。これを解決するには、両者をつなぐ媒介者あるいは調整者としての、中間支援組織の存在が欠かせない。阪神・淡路大震災では被災者復興支援会議、中越地震では中越復興市民会議がつけられた、行政と被災者の中間に入って被災者の声を拾いあげ、それを政策提案の形で行政に届ける役割を果たした。行政と被災者の中間にあって、アウトリーチとアドボカシーをはかる組織体が欠かせないのである。これについては今からでも遅くなく、多くの識者に「復興支援国民会議」といった組織の結成と底への参画を呼び掛けたいと思う。

(3) ニーズに応えられる財源

今回の復興では、20兆近い巨額の財源が国から投じられている。全壊世帯数で割ると、1世帯1億円を軽く超える額である。阪神・淡路大震災の2倍もの国費が投じられている。しかし、それが正しく使われ、被災者の自立や復興に役立っているかという点、決してそうではない。被災者は、生業や生活の再建に必要な財源がなく、復興の目途がつかずに苦しんでいる。

予算が被災者に届かないのは、創造的復興という美名あるいは日本経済救済という大義のもとに、復興とは直接関係ない事業に膨大な財源が使われているからである。復興予算の全体フレームを見ても、集団移転などに使われる「復興交付金」が1兆8千億であるのに対して、被災者とはあまり関係のない「大震災関係経費」といわれるものが3兆6千億と倍に及んでいる。この関係経費の内訳をみると、企業立地補助金や節電エコ補助金あるいは核融合開発研究など、本来であれば復興予算と別枠で予算化すべきものが多数含まれている。この目的外使用については、国民的監視を強めなければならないし、被災者自身が怒りの声をあげなければならないであろう。

この財源の使い方について、「ゆっくりと時間をかけて使う」という視点も忘れてはならない。現状では、巨額のお金を3年という短期間に集中して使おうとしている。そのことは、単年度予算で年度末に余った予算を無理やり使うのと同じ問題を、引き起こしつつある。被災地にお金を循環させるためにも、無駄使いを避けるためにも時間が必要で、復興のペースに合わせて、組み換えや繰り越しを可能とする弾力的な予算執行のシステムにしなければならない。

予算については、もう一つ重要なことがある。縦割の予算配分をやめ、包括的に予算を運用できるようにしなければならない。というのも、制度のところで述べたように、災害も復興も進化していく。それに対して制度も予算システムも、既存のものでは対応できない。それだけに、柔軟な予算のシステムが必要となる。これについては、復興基金などのように自由にお金の使える財源が欠かせない。復興基金は、現行の2000億では全く足りないのだから、この拡充が急がれよう。

室崎益輝

[むろさき よしてる]

現職 関西学院大学災害復興制度研究所所長

略歴 1944年8月、尼崎市生まれ。1967年3月、京都大学工学部建築学科卒業。

神戸大学都市安全研究センター教授、

独立行政法人消防研究所理事長、消防庁消防研究センター所長を経て、2008年より現職。日本火災学会賞、日本建築学会賞、都市住宅学会賞などを受賞。京都大学防災研究所客員教授、日本火災学会会長、日本災害復興学会会長、中央防災会議専門委員、人と防災未来センター上級研究員、海外災害援助市民センター副代表、ひょうご震災記念21世紀研究機構副理事長、ひょうごボランティアプラザ所長などを歴任。

著書 「地域計画と防火」、「危険都市の証言」、「建築防災・安全」、「大震災以後」など。



南海トラフ地震災害予測のショック

死者の多さ

2012年8月に内閣府によって公表された南海トラフ地震による災害予測はショックなものであった。死者はその7割以上23万人強が津波によるものであるが、地震の揺れによる建物崩壊などをいれると全部で32万人にものぼる。2003年の旧基準による想定死者は2万5千人であったから、実に13倍にもなったのである。地震後10分以内に2割しか避難を開始しなかった場合には死者数23万であるが、10分以内に全員が避難した場合には約1/5、4万人強まで減少させることができるのである。

津波到達時間の短さ

地震が起こってから、それに巻き込まれたら全員死亡する高さ1mの津波が襲うまでの時間は、和歌山県串本町で2分、豊橋市で9分、下田市で13分、高知市で16分、宮崎市で18分などとなっている。これらの市町では、避難は全力で行っても、助かるかどうかという危険な状況である。東日本大震災では、地震直後に避難を開始すればほぼ全員が無事であったはずなのに、南海トラフ地震ではそうはいかないのは、津波が早く到達することと、より高い津波が来るためである。

津波は洪水である。たとえ1mの津波でも人が巻き込まれれば助からない。

津波は、映像などからわかるように通常の海の波などとは異なり、かなりの速度で流れている。深さ1mの津波でも秒速3~4mはある。大人でも深さ1m秒速3mの水の流れの中で立っていることはできない。

旧想定と新想定の違い

2003年の想定では2.5万人の死者で、2012年の想定では32万人と何故同じ時期に同じような場所で起こる地震に対してこのような差が出るのであろうか。それは、次のように、地震、津波の想定のもとになる考え方に違いがあるか

らである。

旧想定：過去数百年間の実際に起こった地震、津波の記録に基づいて想定する。

新想定：旧想定では、過去数百年間の実際に起こった地震、津波の記録に基づいて想定をするため、東日本大震災のような千年に一度というような地震、津波を想定できない。したがって、実際には起こった事実はなくても起こる可能性があると思われる地震、津波に基づいて想定した。そのため、震源となる断層が増えて、震源域は、陸地の地下にまで入り込み、津波の到達時間も早まり、津波の高さも34mというようなものまで現れたのである。このように新たな基準を設けることによって、千年に一度というような南海トラフ地震の被害予測を行うことができたのである。この場合には、東日本大震災と同じように、地震から10分以内に2割の人しか避難を開始しない場合には、23万人もの死者が出るのに、全員が10分以内に避難した場合には、1/5、4万6千人に減少させることができる。というように、津波に際しては、なるべく早く避難すれば助かるということを強調している。しかし、そのように最善のケースの場合でも、4万6千人という死者が出てしまうのである。その原因は津波の到達時間が早いことと、津波高さが高いためである。

津波が早く到達する町

深さ1mの津波が早く押し寄せて観光に影響する市町村は次のようである。

和歌山県串本町：1mの津波が到達する時間(2分)、最大津波高(18m)、観光資源：本州最南端、潮岬、キャンプ場

静岡県静岡市駿河区：(4分)、(13m)

三重県尾鷲市：(4分)、(17m)

静岡県御前崎市：(5分)、(19m) 浜岡原子力発電所

三重県志摩市：(6分)、(26m) 観光資源：賢

島, マリンランド水族館

静岡県下田市: (13分), (33m) 観光資源:
多くの海水浴場

高知県高知市: (16分), (16m) 観光資源:
桂浜

宮崎県宮崎市: (18分), (16m) 宮崎シーガイア

神奈川県鎌倉市: (34分), (10m) 観光資源:
鎌倉八幡宮, 大仏, ほか

観光客は土地勘がない

観光客は, その観光地に住んでいるわけではなく, 一生に一度でも見てみたいという人も居るくらいであるから, 土地勘がないといってもよい。したがって, いざという時, どこに避難してよいかもわからず, 混乱する可能性がある。1例を挙げると, 鎌倉がある。鎌倉は, 八幡宮あり, 建長寺あり, 大仏ありで大観光地である。観光客は, 1日約5万人であるが, 1mの津波到達時間は34分と比較的余裕があるように見える。しかし, 5万人もの, 避難場所がどこにあるかもよく知らない人々が, 34分間に安全に逃げおおせるのか心配になる。

鎌倉は世界遺産に申請するようであるが, このような地震津波の可能性のあることも開示しておくべきであろう。

観光産業の衰退

南海トラフ地震は間もなく起こると想定されている地震である。地震後短時間で津波が襲うこれらの都市に命がけで観光に来るであろうか。

人口流出

観光客はこれらの都市に来なければよいのだが, これらの都市の住民となるとそうはいかない。現在の住民にしても, これだけ津波に対して危険な地域であることは知らなかったに違いないので, 機会があれば他の地域に移る希望を持つであろう。仕事のある住民は残るより仕方がないが, 子供と家族は安全な地域に疎開するものが出てくるに違いない。

地価下落

このような人口流出に歯止めをかけようと, 企業誘致を行っても, すぐ津波にやられることが分かっているのに, 来る企業はいないと思われる。人口が減少すると, 住む家の価格が下落し, ひいては不動産価格, 地価が下落する。世の中には目先のきく人が多いらしくて, 2012年9月現在, 海沿いの地域では, もう地価の下落が始まっているそうである。

まとめ

千年に一度といわれるような東日本大震災をうけて, 間もなく起こるといわれる南海トラフ地震もその被害想定が科学的に可能性のある最悪の地震のケースについて行われた。その結果は, 2003年に過去数百年間の記録を基に想定された死者数2万5千人にたいして, 32万人以上という実に13倍もの死者数となった。今回のように, 激しい被害が想定される場合には, その可能性がどの程度のものなのかを, わかりやすい例(飛行機事故とか隕石の落下とか)とともに示しておくことも必要である。

(伯野元彦: 東京大学名誉教授)

■ 書 評 ■

● 温故知新の書

北原糸子ほか 編 日本歴史災害事典

評者 小屋口剛博

2011年3月、わが国は歴史に残る災害を経験した。本書「日本歴史災害事典」は、過去から現在までの災害を自然現象と社会現象の両側面から総合的に解説する事典である。2011年東日本大震災で、我々は、「時代を超え過去から学ぶこと」「分野を超え総合的に対応すること」の重要性を痛感した。本書は、それらを教訓とし、今後の災害科学の方向性を探るうえで必携の書となる。

本書は6つの章よりなる。最初の章では、2011年東日本大震災について災害の発生機構から社会科学的側面まで俯瞰した解説が、特集として組まれている。ここでは、地震・津波にともなって発生した福島原発事故、さらに、それらの災害や事故に対するメディアの対応と風評被害にも言及されており、本災害が理工学から社会科学にまたがる複合的問題を抱えていることが簡潔にまとめられている。次の章から2つの章（Ⅰ 災害、Ⅱ 災害と現代社会）では、そもそも災害と呼ばれるものにはどのような種類があるのか、さらに、それが現代社会に与える影響はどのようなものか、という点について概略が述べられている。現代における災害についての基礎的な知識を得た後、さらに2つの章（Ⅲ 災害の歴史、Ⅳ 歴史災害）で、過去に遡って、自然災害と人間社会との関わりについて、概観と事例集がまとめられている。最後の章（Ⅴ 災害基本用語）で、分野間の共通言語となるべき基本用語について簡潔な解説がなされている。

自然災害について過去から学ぶ時、自然現象として繰り返り起こりうる事象の性質を自然科学の観点から理解するだけではなく、その自然現象に対峙する人間社会が時代とともにどのように変遷してきたかという視点も重要になる。本書では、全編を通じて、自然現象と人間社会の関わりの中で、自然災害の性質がどのように変遷してきたのか、個々の事例における事実を積み重ねることによって説得力のある形で示されている。

自然災害については、様々な学術分野が、各々の論理を持ち、また過去に学んできた。しかし、各分野の研究

者は、必ずしも、隣の分野がどのような論理体系を持ち、どのような歴史を持つのかについて知らない。例えば、津波災害は、地震だけではなく海岸付近の火山の山体崩壊によっても発生する。地震学者の津波の描像と火山学者の津波の描像の間にはどのような違いがあるのだろうか。また、これらの現象を防災という社会現象に結び付けるとき、どのような共通点と相違点が生まれるのだろうか。本書は、「分野を超えた問題の洗い出しをする」という最初のステップを踏み出すうえで必要となる歴史事例を漏れなく、かつ整理した形で挙している。

東日本大震災を契機として、今後、人文社会科学と理工学を結集したプロジェクトが実行に移されるであろう。その時に、それぞれの分野の背後にある考え方、歴史事実を知る入口となるのが本書である。

<吉川弘文館、2012年6月、菊判、876+16頁、15,750円>

● 新刊紹介

中村八郎 著

地震・原発災害新たな防災政策への転換

新日本出版社、2012年5月、B6判、254頁、2,310円（税込み）

福田章一 著

巨大地震到来へ備えあれ

IN通信社、2012年6月、B6判、240頁、1,890円（税込み）

井田喜明 著

地震予知と噴火予知

筑摩書房、2012年6月、A6判、253頁、1,260円（税込み）

小林道正 著

デタラメにひそむ確率法則—地震発生確率87%の意味するもの

岩波書店、2012年7月、B6判、115頁、1,260円（税込み）

東京大学海洋アライアンス 著

地震に克つ日本—せまりくる大地震に東大の最先端頭脳（トップブレイン）が立ち向かう

小学館，2012年7月，B5判，112頁，1,260円（税込み）

保立道久 著

歴史の中の大地動乱—奈良・平安の地震と天皇

岩波書店，2012年8月，新書判，241頁，861円（税込み）

日外アソシエーツ 著

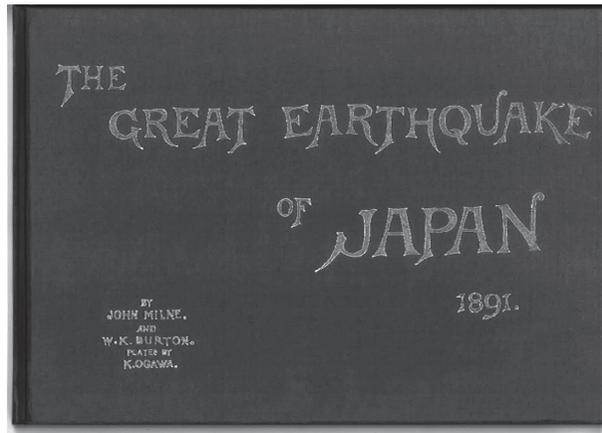
災害・防災の本全情報<2004-2012>新潟県中越地震から東日本大震災まで

日外アソシエーツ，2012年8月，A5判，75頁，29,925円（税込み）

巽 好幸 著

地震と噴火は必ず起こる—大変動列島に住むということ

新潮社，2012年8月，B6判，197頁，1,260円（税込み）



濃尾大震災の写真集の頒布について

東日本太平洋沖地震が発生した2011年は、濃尾地震発生（1891年）の120周年にもあたります。これを機に、当振興会では、日本地震学の基礎を作ったジョン・ミルンがお雇い外国人のウィリアム・K・バートンと共著で出版した「THE GREAT EARTHQUAKE OF JAPAN」（1892年）の復刻版を無償頒布することと致しました。ご希望の方は、お名前、発送先を明記の上、下記宛てにFaxまたはE-mailにてお申し込みください。なお、部数に限りがありますので、頒布は一名につき一部とし、無くなり次第、締め切らせていただきます。また、発送は「着払い宅急便」とさせていただきますので、ご了解のほど、よろしくお願い申し上げます。

申し込み先：（公財）地震予知総合研究振興会 野坂

Fax：03-3295-3136 E-mail：nosaka@8f.adep.or.jp

ADEP情報

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

高波 鐵夫	本部 地震防災調査研究部	
	副首席主任研究員 (非常勤)	24. 7. 1
安藤 正剛	東濃地震科学研究所 参事	24. 6. 1

退職

増尾 健二	東濃地震科学研究所 参事	24. 5. 31
-------	--------------	-----------

編集後記

「地震予知」はこのところ国の内外でご難つづきである。日本地震学会がこの度まとめた「行動計画2012」では、3.11地震災害の発生を契機に社会から多くの批判があった事を受けて、「地震予知」は現時点で非常に困難であり、その用語の使用は適当ではないとした。

確かに学会内部には予知に対して全く否定的な意見がある。「これまで観測網を強化してきたが、予知ができた事例はなく、今後も予知は期待できない」。これに対して「地震や地殻変動などの観測はメカニズムの解明に貢献した。今後も予知を目指すべきである」と、研究目標としての重要性を強調する声もある。

対立する議論に学会は妥協案をまとめた。地震予知とは、発生の時間、場所、規模を、例えば「いつ、どこで、どのくらいのマグニチュードの地震が起きる」のように具体的に示すことで、これは現時点では非常に困難である。これに対して、例えば「どの地域に、将来マグニチュードいくつ程度の地震が発生する確率は何パーセント程度」と場所と規模についての長期予測は可能であって、基礎研究として今後も継続する価値があるとした。

しかし予知を予測に変えると云う

用語の変更でさえも、ひとり地震学会だけの問題では済まされない。学会内の地震予知検討委員会の名称変更は可能でも、学会の外にある地震予知連絡会の名称変更を促すことは困難であろう。本誌の発行母体である地震予知総合研究振興会も、創業者萩原尊禮先生は地震予知連絡会の初代会長であった経緯もあり、先生の地震予知にかける信念を無視して迄も、敢えて本財団の名称を変更する事はできない。予知は研究の究極的な目標であることには創立当初も現在も変わりはない。

「地震予知は予算獲得の手段だけだ」などと乱暴な発言もある。地震・地殻変動の基盤観測網が全国的に整備され、日本列島地殻の動態が準リアルタイムで監視できるようになったのは、予算の後ろ盾があつてこそ可能になった。その成果はいずれ予知につながる可能性は決してゼロではない。

「地震予知」は確かに現時点では実現に至っていない。それは研究観測の究極的な目標として掲げるべきテーマであって、実現には程遠いが、着々と目標に向かって地震関連科学は進歩して来た事実は疑いない。その成果は我が国のみならず、人類全体に対する大きな貢献であると云っても過言ではなからう。

我が国の外でも「地震予知」は大幅に揺れた。2009年イタリア中部で発生した被害地震の直前に安全宣言を出した地震学者7名が禁固6年の実刑判決を受けた裁判である。この判決には多くの国の研究者から反論が出された。もし刑事責任を問われるならば、研究者は責任回避のため自由な発言を控え、科学的根拠に反する意見を表明することにもなりかねない。結果として科学的根拠に不十分な防災対策を生み、かえって社会的損失を拡大しないとも限らないからである。(Y.H.)

地震ジャーナル 第54号

平成24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

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