

自己免疫病の何らかのサインを見逃さないように、十分なチェックを怠らなければ、大事に至らずに、がんの治療と自己免疫の治療を並行させることは不可能ではありません。

自己免疫症状が現れる人とそうではない人、また現れる臓器の違いについても、個人差の問題になります。免疫系の活性化されやすさや、いわゆる抗原認識多様性の違い、それに加えて、炎症反応を引き起こすサイトカインの産生量など、免疫系にかかわる遺伝子の数だけでも数百は優に数えられます。人はそれぞれ、同じ遺伝子をもつとは言っても、その遺伝子の多型性(配列のバリエーション)の組み合わせから、その遺伝子の発現量によって、非常に異なる反応が引き起こされます。あまりにもつよい反応が起きるときには、特定の臓器への攻撃が重症化し、自己免疫病が発症してしまうわけです。

したがって、もともと明らかな自己免疫病をもつ人が、がんを患った場合には、現時点では、この治療法は医師としては勧めにくいと考えられていますが、やがてそういう患者でも、自己免疫病を予防しながら治療する道は開けていくものと期待しています。

最大クラスではない 日本海「最大クラス」の津波

—過ちを糾さないままでは「想定外」の災害が再生産される

島崎邦彦

しまざき くにひこ
東京大学名誉教授

国が各県の統一モデルとして定めた日本海「最大クラス」の津波は、過小に評価されている。津波の対策がこのまま進めば、再び「想定外」の被害を生ずるのではないだろうか。2002年の津波地震の予測を中央防災会議や東京電力が無視し、「想定外」の災害を起こしたことを忘れてはならない。「最大クラス」の津波の高さが不十分なのは、国土交通省の委員会が震源の大きさを過小に評価したためである。この過小評価を既成事実化すれば、「想定外」の地震動によって再び原発事故が起こりかねない。

「想定外」をもたらした闇

津波リスクを無視したことが、東日本大震災の深刻な被害を生み、東京電力福島第一原子力発電所の重大事故を起こした。5年が経つ今も、奪われた暮らしは戻らない。このようなことを二度と起こさないためには、津波リスクがどのような検討によって無視されたのかを明らかにしなければならない。しかし、震災の教訓に学ぶはずの中央防災会議の委員会(東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会)では、単に「今後はこれまでと異なる手法をとるとしてだけで終了した」。なぜ誤った結論に至ったのか、それがどのように導かれたのか、責任を負うべきは地震学の専門家なのか、行政担当者なのかなどの議論は皆無であった。経緯を点検して欲しいという、委員の一人である筆者の発言は無視されている。誤った行政判断の背景は闇に閉ざされたまま、変わらぬ体制がそのまま残った。

東京電力は、政府から2002年7月に公表された日本海溝沿いの津波地震の予測を長期間無視し、2008年3月に至って初めて予測に基づく津波の挙動を計算したと伝えられる¹。計算の結果、福島第一原子力発電所の敷地南部では15.7mの高さの津波となることが判明した。敷地高さ10mをはるかに超える津波に対し東京電力は何ら対策をとらないまま、2011年3月11日、15.5mの高さの津波を迎えた。これが「想定外」の津波である。しかし新聞報道によれば、東京電力や電気事業連合会は、神戸地裁などの訴訟で裁判所が促している津波の試算や津波に対する脆弱性の試算について、文書の提出を拒否している²。誤った判断の背景は、ここでも闇に閉ざされたままである。

中央防災会議の委員会(日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会)は、政府の別組織である地震調査委員会が2002年に公表した日本海溝沿いの津波地震(すなわち、上述の東電が無視した津波地震と同一)を対策から除外し、可能性の低い明治三陸津波の再来に備えることとした。多くの委員の反対意見を無視し、強引に会議を運営した結果である³。明治三陸津波の再来による死者数は最大で2700人と、この委員会は想定した⁴。これに対し、東日本大震災の死者・行方不明者は1万8000余人である。全犠牲者の8割近くは、明治三陸津波の2倍以上の高さの津波に襲われた地域で、犠牲となった⁵。想定外の誤りによる犠牲はあまりにも大きい。

過ちが放置されれば、再び過ちが起こる。今度

いのちとは何か

—幸福・ゲノム・病

本庶 佑 著

四六判 166頁 本体1900円+税
2009年12月17日発行

永遠の問いに現代の生命科学はどのように答えるのか。環境との相互作用の中で生まれ進化してきた生命は、〈偶然〉と〈必然〉の狭間を歩んでいる。いのちのダイナミズムと人の幸福を世界的に知られる免疫学研究の第一人者が語る。雑誌「科学」連載の単行本化。

岩波書店



は、日本海の津波リスクが過小に評価されている。2014年9月に国土交通省の委員会(日本海における大規模地震に関する調査検討会:座長:阿部勝征東京大学名誉教授,公益財団法人地震予知総合研究振興会会長)から発表された報告書は、日本海の「最大クラス」の津波断層モデルを推定し、各地の津波高さを示した⁷。しかし日本海西部、詳しく言えば能登半島以西の津波が過小評価されている。推定された津波の高さが「最大」規模ではなく、場合によっては並の規模より小さくなっている⁸。このような誤った設定で対策を進めれば、「想定外」の津波災害が起これるのは何ら不思議ではないだろう。

この小論では、まず日本海の「最大クラス」の津波が最大クラスではない例を示し、次にその原因が震源の大きさを推定する入倉・三宅(2001)⁹の式(以下、入倉・三宅式)にあることを明らかにする。また、過去に提案された他の式と比較し、実際よりはるかに小さい値を予測する式となっていることを示す。さらに、2016年4月16日の熊本地震を例として、垂直な断層や垂直に近い断層に入倉・三宅式を適用すべきではないと結論する。最後に入倉・三宅式の使用が既成事実化することの恐ろしさに言及する。

過小評価された日本海津波の実態

過小評価されているのは、日本海西部の津波である。詳しく言えば能登半島以西の海岸であり、その理由は後に述べる。津波の高さが低くなっているのは震源の大きさが正しく推定されていないからである。そのために、推定された津波の高さが「最大」規模ではなく、場合によっては並の規模より小さくなっている。これらの津波のほとんどが、地下の垂直な断層、あるいは垂直に近い断層を震源として発生する。これらの震源の大きさが、不適当な式を用いたため過小評価されており、その結果、津波が過小評価されているのである。

ここでは一例をあげて、「最大クラス」とされている津波を検討する。他の例でも同様である。例にあげるのは丹後半島沖の垂直な断層で、津波

断層モデルの報告書ではF54断層と称される。これは陸上の活断層、郷村断層の延長部に当たる。報告書によれば、兵庫県日本海岸、すなわち豊岡市、香美町、新温泉町に、最も高い津波をもたらす断層である。断層の長さは58 km、幅14 kmで、断層面積は799 km²と記載されている。

地震の揺れの源(震源)は地下の岩盤がずれることによって起こる。すなわち、断層がつくられる。断層の形は長方形に近い。そこで断層の面積は、通常、断層の長さ(長方形の長辺の長さ)と幅(短辺の長さ)から求められる。この断層の面積と「震源の大きさ」(学術用語をもちいれば、地震モーメント)との間には簡単な関係式が提案されている。「震源の大きさ」を断層の長さに関係づける式もあり、以下に紹介する。

日本海津波の報告書では、入倉・三宅式を使っている。その式を変形してわかりやすくすると次の(1)式となる。ここでS(km²)は断層面積、M₀(Nm)は「震源の大きさ」である。

$$M_0 = 5.562 \times 10^{13} \times S^2 \quad (1)$$

また、断層のずれの量u(m;厳密に言えば、ずれを断層面全体で平均した値、すなわちずれの量の平均値)は同様に次の(2)式により求めることができる。

$$u = 1.622 \times 10^{-3} \times S \quad (2)$$

これら及び以降の式は単に数値を計算するための式であり、一般の方々にはわかりやすい形にした。

丹後半島沖の海底断層F54の断層面積から(2)式を用いて断層のずれの量を求めると、1.30 mとの答えが得られる。日本海の津波断層モデルの報告書では、ずれの量が地震によってばらつくので、そのばらつきを考慮して1.5 mを加えることになっている。最大クラスの津波を推定するための工夫として評価できる。これを加えれば、ずれの量は2.80 mとなり、報告書の表6に3桁で記載されている数値に等しい。日本海津波断層モデルでは、ずれ量の平均値の2倍となる「大すべり域」を設定している。これは現実に近い設定として用いられており、最大クラスにふさわしい考慮である。さらに、横ずれの断層と考えられる場合には、縦ずれ成分を加えて津波が高くなるように

設定しており、これも妥当なやり方と思われる。これらの工夫から、一見「最大クラス」だと専門家ですえ思い込みがちである。

報告書では入倉・三宅式が使われているが、原発の基準津波の審査では、武村(1998)¹⁰式を用いて「震源の大きさ」を推定するのが普通である。その式を変形してわかりやすくすると次の(3)式となる。ここでL(km)は断層の長さである。

$$M_0 = 4.365 \times 10^{16} \times L^2 \quad (3)$$

また、断層のずれの量u(m)は同様に次の(4)式により求めることができる。

$$u = 1.273 \times L/W \quad (4)$$

ここでW(km)は断層の幅を示す。海底断層F54では長さL=58 km、幅W=13.9 kmなので、ずれの量は5.3 mと求まる。これにばらつきを加えると6.8 mとなる。入倉・三宅式を用いた場合の2.8 mの倍以上である。ばらつき1.5 mを加えなくとも倍に近い。山中・島崎(1990)¹¹式からも同様に「震源の大きさ」とずれの量が次のように求められる。

$$M_0 = 3.802 \times 10^{16} \times L^2 \quad (5)$$

$$u = 1.108 \times L/W \quad (6)$$

上式からは、ずれの量が4.6 mと計算され、ばらつきを加えて6.1 mとなる。入倉・三宅式を用い

コラム

地震モーメント

地震モーメントM₀(この小文では「震源の大きさ」)は断層面積S、ずれの量uと剛性率μの三者の積に等しい¹²。すなわち、次のように表すことができる。

$$M_0 = \mu \times u \times S$$

ここで剛性率は、岩石のある種の固さを示す。断層をずらすように加えた力に対する、岩石の変形しにくさを、剛性率は示している。日本海の津波断層モデルの報告書では、剛性率を3.43×10¹⁰ Nmとしていたので、この小文でもその値を用いる。

ずれの量を表す(2)式は、上式と(1)式から、(4)式は上式と(3)式から、(6)式は上式と(5)式から導かれる。

場合よりはるかに大きい。他の例も同様である。

報告書によれば、兵庫県海岸におけるF54断層の津波の高さは、高いところで3~5 m程度とされている。しかし武村式や山中・島崎式が適切な場合には、津波の高さは高いところで少なくとも6~10 m程度となるのではないだろうか。想定外の2倍以上の高さの津波に襲われた地域での犠牲者が、全体の8割を占めた東日本大震災を忘れてはなるまい。

入倉・三宅式を他の式と比べる

なぜ、式によってこのような違いが生じるのか。日本海津波断層モデルの委員会委員横田他(2016)¹³が式の検討を始めたが、もととなったデータの違いによると思われる。入倉・三宅式では世界のデータが扱われており、他の式では日本のデータのみが扱われている。

この小文で問題としているのは、日本海西部、詳しく言えば能登半島以西の津波である。これらの津波は垂直な断層、あるいは垂直に近い断層によって発生する。これらの断層の動きは主に横ずれである。逆に日本海東部のほとんどの断層は斜めに傾いており、縦ずれの動きが大きい。日本海のみならず、日本列島とその近海で発生する地震にはこのような特徴がある。

入倉・三宅式が問題となるのは、断層が垂直、あるいは垂直に近い場合である。西日本の多くの断層が該当する。一方、断層が斜めに傾いている場合は問題にはならない。日本海東部の津波がこの小文の対象から除かれているのは、このためである。次に、なぜ断層が垂直、あるいは垂直に近い場合が問題なのかを説明しよう。

津波を起こす地震は浅い地震である。日本列島およびその近海(日本海を含む)で起こる浅い地震の断層の下端は、深さ15 km程度とほぼ一定である。上記で例としてあげたF54断層は垂直で、断層下端の深さが15.0 km、上端の深さが1.1 kmで、幅は13.9 kmである。なぜ、断層下端の深さが一定なのか? 地震は、地震発生層と呼ばれる層(原

さ15 km程度)内で起こり、それより深いところでは起こらない。断層が成長して大きくなると、断層が地震発生層の外へは出られないため、地震発生層の底が断層の下端となる。よって、断層の幅に制限が加わる¹⁴。垂直な断層の場合、その幅は14 km程度となる。断層の上端が0 kmでないのは、地表付近が比較的柔らかい岩石からできていて、地震を発生する能力がないと考えられているためである。

長さが同じ断層でも、斜めに傾いていれば断層の幅は大きくなり、断層面積も大きくなる。断層が垂直の場合に断層の幅が最も小さくなり、断層面積も最小となる。入倉・三宅式によると、(1)式に示すように、断層面積が小さいほど「震源の大きさ」が小さくなる。同じ長さの断層でも、垂直の場合に入倉・三宅式は最小の「震源の大きさ」を与え、断層の傾きが水平に近くなるほど大きな「震源の大きさ」を与える。傾きが水平に近いと、結果的に武村式などに近い値が得られるようになる。このため、問題があるのは断層が垂直な場合、あるいは垂直に近い場合なのである。よって、日本海西部の津波が問題となる。

そこで簡単な例として、幅 W 14 km の場合を考えよう。ずれの量を示す(2)式、(4)式、(6)式は、それぞれ次のように(7)式、(8)式、(9)式と、皆同じ形に書き換えられる。「地震の大きさ」の式も同様である。

$$u = 2.27 \times 10^{-2} \times L \quad \text{[入倉・三宅式]} \quad (7)$$

$$u = 9.04 \times 10^{-2} \times L \quad \text{[武村式]} \quad (8)$$

$$u = 7.91 \times 10^{-2} \times L \quad \text{[山中・鳥崎式]} \quad (9)$$

標準的な垂直の断層、すなわち幅 W が14 kmの断層では、入倉・三宅式によるずれの量は、他の式の1/3.5~1/4程度となる。これは断層の長さ L にはよらない。

入倉・三宅式による過小評価 (垂直断層、あるいは垂直に近い断層の場合)

他の式と比べると、入倉・三宅式による場合、結果が小さくなることを示した。しかし、どの提

案式が最もよいかは、実際の値と比べなければわからない。過去に起こった国内の地震で、断層面積や断層の長さとともに「震源の大きさ」が知られている地震を調べ、どの式が最も合うのかを比べればよいだろう。

実はここで、もう一つの問題があることを述べねばならない。それは、事前情報の問題である。すなわち地震発生前には、断層面積や断層の長さが正確には推定できない。このことによって「震源の大きさ」の推定が不正確になる恐れがある。これまで提案されている式は、地震発生後に得られた情報に基づいている。断層面積と「震源の大きさ」の関係式、あるいは断層の長さ「震源の大きさ」の関係式を求めるのに用いられたデータは、地震発生後に得られた情報であり、地震発生前に知られていた情報ではない。すなわち、過小評価の問題は二つに分けられる¹⁵。

[1]断層の面積や長さは、地震発生後に確定する。その値は、事前に推定できる値と等しいとは限らない。実際には、事前の推定値より大きくなる可能性がある。2016年4月16日の熊本地震(マグニチュード7.3)の場合には、事前に推定された活断層の東端より7 km 東まで断層がひろがった¹⁶。

[2]垂直な断層や垂直に近い断層の場合、入倉・三宅式から得られる「震源の大きさ」は、武村式や山中・鳥崎式によって計算される大きさより、はるかに小さい。次に示すように、実際の「震源の大きさ」の1/3.5程度である。

この小文では上記[2]を問題としている。上記[1]の影響が大きいとする意見については、後で反論する。

事前に推定された、あるいは、されたであろう、断層の長さを用いて、実際に日本で発生した地震の「震源の大きさ」を推定してみると、入倉・三宅式に基づく推定が過小評価となる結果が得られた。上述の「事前に推定されたであろう断層の長さ」については、どうしても主観が入る可能性がある。最も客観的な結果と思われる三例を示すと表1のようになる。

濃尾地震では、「新編 日本の活断層」¹⁷の図を

表1—各提案式から推定される「震源の大きさ」(地震モーメント)と実現値(単位: 10^{19} Nm)

	実現値	(1)式 [入倉・三宅]	(3)式 [武村]	(5)式 [山中・鳥崎]
1891年濃尾地震	18	5.2	21	18
1930年北伊豆地震	2.7	0.79	3.2	2.8
2011年福島県浜通り地震	1.1	0.55	1.7	1.4

用い、温見断層の北端から三田洞断層の東端までの距離69 kmを断層の長さとした。「震源の大きさ」の実現値としては福山ら(2007)¹⁸が東京の地震計記録から推定した値を用いた。北伊豆地震も『新編 日本の活断層』の図を用い、北伊豆断層系bの北端から佐野断層南端までの距離27 kmを断層の長さとした。実現値は阿部(1978)¹⁹が測量結果を用いて推定した値とした。東日本大震災の1ヵ月後に発生した福島県浜通りの地震では、東京電力が井戸沢断層の長さとして事前に19.5 kmと推定していた値²⁰を用いた。実現値は引間(2012)²¹が強震動の記録から求めた値である。

「震源の大きさ」を地震発生前に正確に予測することは難しいことがわかる。しかし他の式に比べ、入倉・三宅式に基づく推定は、明らかに過小評価となっている。山中・鳥崎式を妥当とすれば、妥当な値の1/3.5程度である。

日本海の津波断層モデルが過小評価されていることを講演した際に(2015年12月、東京大学地震研究所金曜セミナー)、日本海における大規模地震に関する調査検討会の委員から反論があった。津波断層モデルは断層の長さをデータとして用いず、海底地震探査の結果から推定される震源断層の面積に基づいているので信頼できるとの主張である。これは上記[1]と[2]のうち、[1]の事前推定が問題であるとの指摘に他ならない。熊本地震で実例が示されているように、活断層から推定された断層の長さより、実際の断層の方が長いことがある。布田川断層の東端は阿蘇外輪山の山麓とされていたが、熊本地震では、それより東の阿蘇カルデラ内まで断層が及んだ²²。そのようなこともあろうが、主な原因は入倉・三宅式による過小評価である。実際に発生した地震(次の例)で、地震後に得られたデータと入倉・三宅式を用いて「震源の大きさ」や断層のずれを計算すると、実際の値よりはるかに

小さい。事前推定の問題があろうとなかろうと、入倉・三宅式の過小評価は変わらず存在する。

一例をあげよう。表1にあげた北伊豆地震は垂直な断層(伊豆断層)で発生した。阿部(1978)は、断層の長さが22 km、幅は12 kmで、ずれの量は3 mと推定している。この推定は実際の測量結果をよく説明する。一方、入倉・三宅式に基づく(2)式で断層面積 S を $22 \times 12 \text{ km}^2$ とすれば、ずれの量は0.43 mと求まる。ばらつきの1.5 mを加えても1.9 mに過ぎず、阿部(1978)が推定したずれの量3 mには達しない。一方(4)式ではずれの量は2.3 m、(6)式で2.0 mとなる。これらは、「最大クラス」の津波断層モデルの設定法によるずれの量1.9 m(入倉・三宅式に基づくずれの量にばらつきを加えて得られるずれの量)より、大きい。「最大クラス」の津波は最大クラスではなく、平均にも達しないことがあると言えるのではないか。

北伊豆地震とはほぼ同じサイズの断層は、日本海でも設定されている。石川県南部沖のF50断層である。長さ23.7 km、幅11.8 kmで60度傾斜している。ずれの量は1.95 mで、これはばらつきの1.5 mを加えた結果である。一方(4)式、(6)式からはずれの量が2.5 m、2.2 mとそれぞれ得られる。これらは、ばらつきの1.5 mを加えていないが、「最大クラス」の1.95 mより大きい。ばらつきの1.5 mを加えれば、それぞれ4.0 m、3.7 mで、2倍程度になる。

2016年4月16日熊本地震(マグニチュード7.3)と入倉・三宅式

布田川・日奈久断層帯で発生したこの地震について、入倉・三宅式を適用してみよう。九州のGNSS(全球測位衛星システム)観測点は、この地震による大きな地殻の変形を示している。北西に傾斜

する断層が右横ずれを起こして発生した地震である。暫定的に断層面の傾斜角は60度、長さは27.1 kmで幅12.3 kmと国土地理院により推定された(暫定解1)。断層面積は、333 km²である。その後、断層面は三面からなるとされ、総断層面積は416 km²となった(暫定解2)²⁹。これらの値を(1)式に代入して得られる‘震源の大きさ’はそれぞれ0.62×10¹⁹ Nm、0.96×10¹⁹ Nm(前者は暫定解1による結果、後者は暫定解2による結果。次も同様)となる。また、ずれの量は(2)式から、それぞれ54 cm、67 cmと求まる。入倉・三宅式に基づくこれらの値は、単一断層モデル(暫定解1)のずれの量3 m、三断層それぞれのずれ4.1 m、3.8 m、2.7 m(暫定解2: ずれの量の平均値は3.6 m)のいずれと比べてもはるかに小さい。

世界中で観測されたこの地震の様々な波を解析した結果や震源に近い場所の強い揺れの記録等に基づいて得られた‘震源の大きさ’は、次のとおり(単位は10¹⁹ Nm): 4.06²⁴、4.46²⁵、4.66²⁶、4.67²⁷、5.3²⁸。地理院の断層モデルの断層面積と入倉・三宅式とを用いて既に推定された値、0.62、0.96より、はるかに大きい。以下では、これらの値の中央値、すなわち米国地質調査所によって得られた4.66×10¹⁹ Nmを用いる。

地理院のモデルは、ずれの量が一定の仮定によって、実際の断層面積はこれより大きい可能性がある。地表地震断層の分布はよく調べられており、その結果から推定される断層の長さは31 km²⁹で、断層が60度程度傾斜していることから幅を16 kmとすると、断層面積は496 km²となる。これと入倉・三宅式とを用いて‘震源の大きさ’を求めると、(1)式から1.37×10¹⁹ Nmが得られる。実際の値は、推定値の3.4倍であり、入倉・三宅式が過小推定となっていることは明らかである。また、入倉・三宅式に基づいて(2)式から計算されるずれの量は80 cmで、実際より小さい。

震源近傍での強い揺れは、断層のずれの挙動(位置による違い、時間による変化)が反映されるので、その予測には詳細な解析を必要とする。しかし、原

子力発電所の基準地震動に関連する短周期レベルは、‘震源の大きさ’(地震モーメント)の1/3乗に比例するという式が提案されている(壇ほか、2001)³⁰。上記のように実際の‘震源の大きさ’が、入倉・三宅式による推定値の3.4倍であれば、実際の短周期レベルは、入倉・三宅式による推定の50%程度増となる。基準津波の策定には武村式が用いられるが、基準地震動の策定には入倉・三宅式が用いられることが多い。入倉・三宅式にもとづく地震動の推定は見直す必要がある。

既に述べた1930年北伊豆地震の他に、1927年丹後地震、1943年鳥取地震についても同様に断層面積から入倉・三宅式によって‘震源の大きさ’を算出すると、観測された値より著しく小さいことがわかった³¹。また、(2)式から求めた断層のずれは、測量結果から推定される値よりかなり小さい。測量から示される変形のほとんどは地震発生時に起こり、地震によるものであると推定されるが、これら昭和時代の地震については直接の証拠がなかった。地震前の変形や地震後の変形が当時の測量結果に含まれる可能性があるため、入倉・三宅式が過小であることを確定的に示すには、時間分解能のある測量結果を必要としていた。

熊本地震についてはGNSSの連続観測が行われており、変形がいつ発生したかがわかる。観測結果によれば、地震前にも地震後にも大きな変形は発生していない³²。よって、断層面積と入倉・三宅式とを用いて推定される地震時のずれの量は、上述のように実際のずれより顕著に小さいと結論することができる。

用いられた断層面積が過小となっているのではないかと、そのために入倉・三宅式から推定される地震モーメントが小さいのではないかと、との議論があるかもしれない。しかし、地震による変形の範囲はSAR(だいち2号)の観測から明らかである。地震波の観測から推定された‘震源の大きさ’4.7×10¹⁹ Nmと断層の幅16 kmとを用いて、入倉・三宅式に適合する断層の長さを求めると、断層の長さは57 kmと求まる。国土地理院のSAR観測による干渉画像³³をみると、断層の東端は東経

131.05度より西にあると思われる。断層の長さが57 kmよりはるかに短いことは明白である。

なお断層の長さL=31 kmを用いると、武村式、山中・島崎式により(3)式、(5)式から、それぞれ‘震源の大きさ’の推定値(単位: 10¹⁹ Nm)4.2、3.7を得る。これらは実際の値、4.7より小さいが、その誤差は30%より小さく、測定誤差の範囲内と言えよう。

結論

日本海「最大クラス」の津波は、日本海西部では最大クラスではない。各県の統一モデルとされているが、これに従って津波対策を進めれば「想定外」の災害をもたらすであろう。その原因は垂直、あるいは垂直に近い断層に対し入倉・三宅式を用いたことにある。‘震源の大きさ’(地震モーメント)が1/3.5程度の大きさに過小評価されている。日本列島の垂直、あるいは垂直に近い断層で発生する大地震の‘震源の大きさ’(地震モーメント)の推定には、入倉・三宅式を用いてはならない。

震源近傍での強い揺れの程度(短周期レベル)について、その大きさが‘震源の大きさ’(地震モーメント)の1/3乗に比例するという式が提案されている。これに従えば、入倉・三宅式を使用した結果に対し、実際の強い揺れの程度は50%増となる。

西日本の断層の多くは垂直、あるいは垂直に近い断層であり、原発の地震動評価では、入倉・三宅式が多く使われている。実際の強い揺れの程度(短周期レベル)が設定された値の50%増であれば、「想定外」の事故が起こっても不思議ではない。

日本海「最大クラス」の津波断層モデルで入倉・三宅式が使われ、最大クラスではない津波が日本海西部、すなわち能登半島以西で「最大クラス」として設定された。新聞報道によれば、複数の県で既にこのモデルが採用されているとのことである³⁴。これをそのまま放置すれば、入倉・三宅式を垂直、あるいは垂直に近い断層に用いることが、既成事実化してしまうだろう。この式を津波や強い揺れの推定に用いれば、「想定外」の災

害や事故が繰り返される恐れがある。二度と同じ過ちを犯してはならない。

付記

中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」では、中部圏・近畿圏の内陸地震をも取り扱った³⁵。その際、事務局による、活断層で発生する地震の断層モデルの作成に、筆者は委員として協力した。中央防災会議が採用した式を、この小文と同様な形で示すと、次のようになる。

$$M_0 = 1.950 \times 10^{16} \times L^{2.2}$$

断層の長さL=31 kmを用いると、上式から熊本地震の‘震源の大きさ’は、3.7×10¹⁹ Nm(山中・島崎式に基づく値と同じ)となる。この事務局の担当者は、日本海津波断層モデルを推進した委員であり、なぜ入倉・三宅式を採用したのか疑問である。

文献

- 1—中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会: 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告, 2011年9月28日, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokuyokuyoku/pdf/houkoku.pdf>
- 2—東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会: 中間報告, 2011年12月26日, <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/post-1.html>
- 3—例えば、神戸新聞2016年4月7日「電事連、津波脆弱性試算の提出拒否」; 神戸新聞2015年9月17日「津波試算の提出拒否、東電」
- 4—島崎邦彦: 科学, 81, 1002(2011); 添田孝史: 原発と大津波警告を踏った人々, 岩波新書(2014)
- 5—中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会, 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告, 2008年1月25日, http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/nihonkaiko_chisimajishin/pdf/houkoku2.pdf
- 6—島崎邦彦: 地震, 第2輯, 65, 123(2012)
- 7—日本海における大規模地震に関する調査検討会: 日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, 2014年9月, http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibo/jshinchousa/houkoku/Report.pdf
- 8—島崎邦彦: 日本活断層学会2015年度秋季学術大会講演予稿集, 0-13(2015)
- 9—入倉孝次郎・三宅弘恵: 地学雑誌, 110, 849(2001)
- 10—武村雅之: 地震, 第2輯, 51, 211(1998)
- 11—Yamanaka Y., and K. Shimazaki: J. Phys. Earth, 38, 305(1990)
- 12—例えば Aki, K., and P. Richards: Quantitative seismology,

WH Freeman(1980)

13—横田崇・根本信・後藤真希枝・高田幸司・池田雅也: 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SSS31-08(2016)

14—Shimazaki, K.: Earthquake Source Mechanics, 209, American Geophysical Union(1986)

15—島崎邦彦: 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SSS28-07(2015)

16—熊原康博: 2016 年熊本地震の地表地殻断層の分布とその特徴, 第 211 回地震予知連絡会資料(2016)

17—活断層研究会: 新編 日本の活断層, 東京大学出版会(1991)

18—Fukuyama, E., I. Muramatsu, and T. Mikumo: Earth Planets Space, 59, 553(2007)

19—Abe, K.: J. Phys. Earth, 26, 253(1978)

20—東京電力株式会社, 福島第一原子力発電所福島第二原子力発電所新耐震指針に照らした耐震安全性評価(中間報告の概要), 2008 年 4 月 14 日

21—引間和人: 地震, 第 2 輯, 64, 243(2012)

22—16 参照

23—国土地理院: 第 211 回地震予知連絡会重点検討課題平成 28 年(2016 年)熊本地震, 2016 年 5 月 18 日

24—気象庁: CMT 解(詳細), <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/>

/data/mech/cml/flg/cmt20160416012505.html

25—The Global CMT project: The CMT catalog, <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>

26—USGS Earthquake Hazards Program: M7.0-0km ENE of Kuramoto-shi, Japan, Moment Tensor, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005iis#moment-tensor?source=us&code=us_20005iis_mww

27—京都大学防災研究所地震災害研究部門: 第 211 回地震予知連絡会資料(2016)

28—防災科学技術研究所: 第 211 回地震予知連絡会資料(2016)

29—16 参照

30—壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透: 日本建築学会構造系論文集, 545, 51(2001)

31—島崎邦彦: 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, HDS19-12(2016)

32, 33—23 参照

34—例えば, 西日本新聞 2016 年 2 月 21 日 3 面「福岡, 佐賀は国基準使用」

35—中央防災会議「東南海, 南海地震等に関する専門調査会」: 中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告, 2008 年 12 月

3.11 以後の 科学リテラシー no.44

今月は、昨年 4 月号, 9 月号, 今年 2 月号で扱った、福島第一原発の凍土遮水壁の現状についてです。これらでは、試験凍結について、「うまくいっているのかどうかかわからない」という状態であったことを取り上げました。

うまくいっているのかどうかかわからない状態にもかかわらず、今年 3 月末から全体の凍結作業がはじまっています。当時からの報道をいくつか取り上げます。まず 3 月 31 日の毎日新聞です*1。

凍土遮水壁, 凍結作業を開始

東京電力は 31 日、福島第 1 原発 1~4 号機の原子炉建屋周辺の地下を凍結させて地下水の流入を抑える「凍土遮水壁」(全長 1.5 キロ)について、海側から順次凍結する作業を開始した。

今後 1 カ月程度かけて建屋海側(約 690 メートル)を先に凍結させ、山側については凍結させない 7 カ所(計約 45 メートル)を残す「段階凍結」を実施する。地下水の流入量は当初 1 日約 400 トンあったが、凍土遮水壁などの

牧野淳一郎 まきの じゅんいちろう

神戸大学大学院理学研究科凝縮系学専攻

福島第一原発の凍土遮水壁については、試験凍結がうまくいったのかどうか不明という、深刻な問題があることは繰り返し取り上げてきました。運用が開始された報告資料をみると、2 カ月後でも温度が 7.5 度を超えるところが残っており、そこに地下水の流れが集中しているため凍結できなくなっているようです。試験凍結の状況から失敗は予想されていたわけで、事故対応にはより機敏な方針転換が求められます。

効果によって数十トンまで減らせると試算している。

凍土遮水壁は、建屋周囲の地下に 1568 本の凍結管を打ち込み、氷点下 30 度の冷却液を循環させて、地下に深さ 30 メートルの「氷の壁」を築く。建設には国費約 345 億円が投入されている。【酒造唯】

1 カ月ほどたった 4 月 25 日には、東京電力が規制委員会の「特定原子力施設監視・評価検討会」に報告したとの報道がでています。以下電気新聞 4 月 26 日付記事です*2。

東京電力・福島第一、凍土遮水壁の温度低下傾向を確認

◆規制委検討会で報告

東京電力は 25 日、原子力規制委員会の「特定原子力施設監視・評価検討会」で、福島第一原子力発電所の汚染水対策として 3 月末に凍結を開始した凍土遮水壁について、凍結管近傍で全体的に温度が低下していると報告した。今後は温度状況を注視しつつ、凍

雑誌『思想』7月号(2016)目次より

特集=歴史における国際政治

【思想の言葉】

国家の歴史政治学——レヴァイアサン 2.0 を超えて

国際政治学の問題設定——駆け抜ける権力をどう捕捉するか

冷戦後の先進諸国における途上国認識・政策配置——介入と主権の相克

帝国をめぐる「文化外交」——伊英関係におけるマルタ言語問題

1970 年代朝鮮半島冷戦に関する試論的考察——グローバル冷戦のデタント化と韓国外交

現代中東と帝国——「危機の構図」再考

東京大学法学部における「国際政治史」の百年——神川彦松・横山信・高橋進・ディアドコイ

(名著再考)高橋進『国際政治史の理論』の射程

石田 憲

小川有美

小林 誠

増島 建

石田 憲

木宮正史

木村正俊

今野 元

網谷龍介

岩波書店

*1-<http://mainichi.jp/articles/20160331/k00/00e/040/238000c>

*2-http://www.shimbun.denki.or.jp/news/energy/20160426_02.html