



東日本大震災後10年間の地震活動と新たな知見について

専門研究員 渡部 英洋

目次

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| 1. はじめに | 4. その他の地震活動の長期評価 |
| 2. 東北地方太平洋沖地震から10年間の地震活動の評価と今年地震 | 5. 全国地震動予測地図2020年版の概要 |
| 3. 南海トラフ地震の評価の現状 | 6. おわりに |

1. はじめに

今年に入ってから東北地方の沿岸域を震源とする地震が相次いでいる。

なかでも2月13日の福島県沖地震、3月20日の宮城県沖地震は最大震度5強～6強を記録し、2011年（平成23年）の東北地方太平洋沖地震の東日本大震災から10年が経過し、この地域周辺においては余震を繰り返しながら徐々に静穏期に向かいつつあるという世間一般の期待が時期尚早であることを印象付けるものとなった。

この10年間に於いて、一連の余震活動や前後の地殻変動に関して分析・研究が進められたが、その内容は、今後大規模被害が想定される南海トラフ地震や首都圏直下型地震、内陸の活断層型地震等のメカニズムや発生評価の面にも応用できる成果を生み出している。

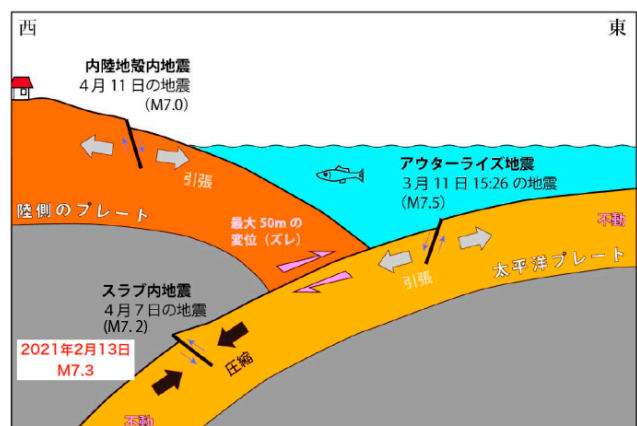
また、2011年以降、他にも2016年4月の熊本地震・2018年6月の大阪府北部地震・同年9月の北海道胆振東部地震などの活断層型の大規模地震が発生したが、これらの地震が示唆する点も含めて、この10年間を中心とした地震活動の総括や新たに得られた知見による今後の活動の評価の概要を以下に記すこととしたい。

2. 東北地方太平洋沖地震から10年間の地震活動の評価と今年地震

(1) 予測されていた今年地震

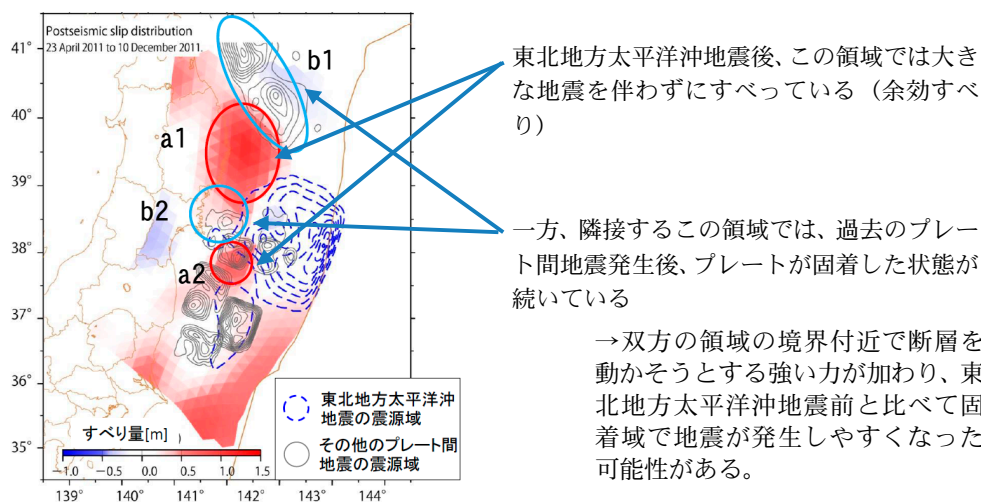
2011年の地震はその規模が巨大であったため、日本列島が最大で5メートル以上も海側に移動したことにより、発生前後で日本列島にかかる圧力の方向が正反対となった。発生前の太平洋プレートが陸側プレートの下に潜り込むことによる圧縮力が、地震後は東西に引っ張られる力に変わり、太平洋側地盤が最

(図表1) 東北地方太平洋沖地震直後の余震と2021年2月13日の福島沖地震のイメージ



(出典) 東北大学災害科学国際研究所「令和3年(2021年)2月福島県沖の地震 速報会」(2021年2月16日(火))における公開資料(遠田晋次「断層メカニズム」)より。

(図表 2) 東北地方太平洋沖地震の余効すべりによる地殻変動



(出典) 地震調査研究推進本部「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」(平成31年2月26日) 抜粋に筆者加筆

大1メートル以上沈降したことも観測され、この張力によって引き起こされる地震が多く発生することとなった。

一方で、10年前の巨大地震の前に押しえ込まれていた太平洋プレートの潜り込む動きが、地震後の開放によって再び強まることとなったため、プレート内(スラブ内)では圧縮力が強まり、逆断層型地震が引き続き多く発生している(図表1)。本年2月13日の最大深度6強を観測した福島県沖地震(M7.3)は、この典型である¹。

余震域内で、M7.0以上を観測した地震は、2016年11月22日の福島県沖の地震(M7.4、最大震度5弱)以来であり、最大震度6強以上を観測した地震は、2011年4月7日の宮城県沖の地震(M7.2、最大震度6強)以来という大きな揺れとなった。

また、本年3月20日の宮城県沖地震(M6.9、最大震度5強)は別の要因による。2011年の

本震の後に、周辺部(図表2のa1・a2)で遅れてゆっくりと動く動き(余効すべり)が続いていたのに対し、宮城県沖には固着域が存在し(図表2のb2)、周辺の余効すべり部分との間で断層を動かそうとする強い力が加わったために、固着域が剥がれたことによって生じた。

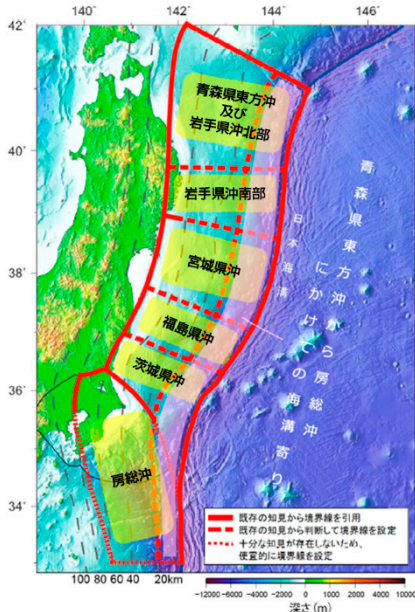
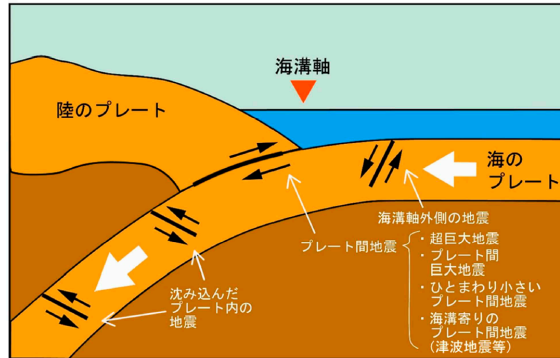
このように2011年の巨大地震によって周辺の地盤にかかる圧力が大きく変化したことに加え、その後の10年間に余効変動²で大きく変動した域(最大で1.5メートル)と変動していない固着域が存在することによって生じる複雑な歪みが余震を引き起こし続ける要因となっている。

巨大地震後の以上のような動き・余震動向を踏まえ、2019年(平成31年)2月26日に地震調査研究推進本部は「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」を公表し(図表3に抜粋)、本年(2021年)3月9日には『平成23年(2011

1 地震調査研究推進本部「2021年2月13日福島県沖の地震の評価」(令和3年3月9日)

2 余効変動とは、大きな地震のあとに長期間観測される、速度の遅い地殻変動の総称のこと。余効すべりも余効変動の一種。

(図表 3) 日本海溝沿いの地震の種類と発生確率



<将来発生する地震の場所・規模・確率>

評価対象地震	場所	規模	本評価 [#]	(参考) 第二版 [‡]	30年以内の発生確率 (2021年1月1日時点)
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部～茨城県沖	M9.0程度	I	I	ほぼ0%
プレート間巨大地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部	M7.9程度	III	III	8%～30%
	宮城県沖	M7.9程度	II ^{注1)}	I	20%以上
ひとまわり小さいプレート間地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部	M7.0～7.5程度	III	III	90%程度以上
	岩手県沖南部	M7.0～7.5程度	III	—	30%程度
	宮城県沖	M7.0～7.5程度	III ^{注1)}	—	90%程度
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	III	X	60%～70%
	福島県沖	M7.0～7.5程度	III	II	50%程度
海溝寄りのプレート間地震 (津波地震等)	茨城県沖	M7.0～7.5程度	III ^{注1)}	III	80%程度
沈み込んだプレート内の地震	青森県東方沖から房総沖にかけての海溝寄り	M ^{注2)} 8.6～9.0	III ^{注1)}	III	30%程度
沈み込んだプレート内の地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部～茨城県沖	M7.0～7.5程度	III ^{注1)}	—	60%～70%
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	II ^{注1)}	II	7%

注1) 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、厳密には第二版と対応しない
注2) Mtは津波マグニチュード

30年以内の地震発生確率 2019年1月1日時点
IIIランク：26%以上 IIランク：3～26%未満 Iランク：3%未満 Xランク：不明

(出典) 地震調査研究推進本部「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」(平成31年2月26日) 他

年) 東北地方太平洋沖地震」について～10年間の地震活動～」を公表している。

図表3右下の「本評価」の欄は2019年1月1日時点の30年以内の地震発生確率で、巨大地震直後の「(参考) 第二版」の欄の確率ランク (=2011年11月25日公表の「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)」におけるランク) よりも全体的に高いランクとなっており、また新たに地震発生確率が設けられた領域もある。

2月13日の福島県沖地震は「沈み込んだプレート内の地震」であり、3月20日の宮城県

沖地震は宮城県沖の「ひとまわり小さいプレート間地震」であり、いずれも巨大地震直後 (第二版) は未評価であったが、その後の分析により2019年時点で新たに評価対象の場所となっていた。

図表3には本年(2021年)1月1日時点での数値も右端に載せているが、この確率をみると、宮城県沖が高く、その他にも青森県東方沖および岩手県沖北部や茨城県沖においてM7.0レベルの発生確率が高い値となっており、警戒が必要な状況である。

(2) 今後も最低10年続く余震活動

前述の『平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震』について～10年間の地震活動～』によれば、2011年の本震以降、余震は徐々に減少、収束に向かいつつあるものの、本震発生9年後から約1年間(2020年3月11日～2021年3月6日)のM4.0以上を観測した地震の回数(208回)は、本震発生以前(2001～2010年)の年平均回数(138回)に比べると引き続き多い状態にあり、余震域内の一部領域で地震回数の多い状態が継続している。

図表4で、東北地方太平洋沖地震発生以前(2001年から2010年)の1年間に発生するM4.0以上の地震の標準的な回数(年平均値や年

中央値)と比較すると、本震震源域に相当するdの領域では減少しているのに対し、沿岸部を含む領域b, cと海溝軸付近及びその東側を含む領域eでは本震発生以前に比べて地震回数の多い状態が継続している。

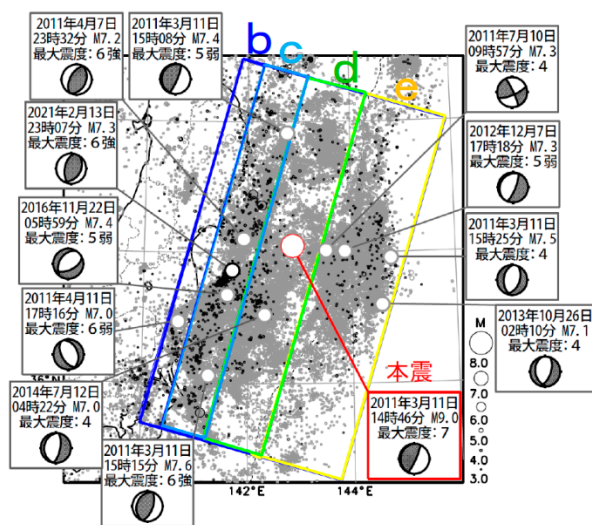
一般的に地震はある地域での歪みを解消しても別の場所に歪みを作り、全体の歪みを解消するために応力の再配分が行われ、収束に向かうが、これには約100年を要するとされる³。この過程で発生したのが2月13日、3月20日の地震ということになる。

2004年に発生したスマトラ島北部西方沖の地震(M9.1)では、約2年半後にM8.4、約5年半後にM7.8、約11年後に海溝軸の外側の領域でM7.8の地震が発生するなど、震源域及びその周辺で長期にわたり大きな地震が発生している。また、M5.0以上の地震の発生数は、2004年のM9.1の地震発生から16年経過した後も、地震発生前より多い状態である⁴。

巨大地震後にはこのような事例もあることを踏まえ、地震調査委員会は本年2月15日、東日本大震災の余震が「少なくともあと10年は続く」との見解を示し、今後も最大震度6強程度の揺れを伴う地震について注意を喚起している。

なお、気象庁はこれまで、当該域で発生する地震の多くを「余震」と表現してきたが、4月1日、本震から10年が経過し、徐々に地震回数が減少傾向にあって本震との関連性の判断が難しくなっていることや、上記のように依然として大きな揺れの地震が起きる可能性がある中で「余震」という表現が防災意識の低下を招きかねないとして、今後は当該域で生じた地震について「余震」という表現を使わないと発表している⁵。

(図表4) 領域別に分けた余震域内の地震活動推移



領域	2001年～2010年の年平均値・年中央値		2020年3月1日～2021年2月28日
	平均値	中央値	
b	15.9	13.5	27
c	60.3	59	142
d	50.8	39.5	25
e	13.5	12	20

(回数)

(出典) 地震調査委員会「『平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震』について～10年間の地震活動～」(令和3年3月9日)

3 東京大学地震研究所「【研究速報】2021年2月13日23時07分頃の福島県沖の地震」(2021年3月9日最終更新)
 4 地震調査研究推進本部「『平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震』以降の地震活動の評価」(令和3年3月9日)
 5 気象庁報道発表資料「東北地方太平洋沖地震の余震域で発生する規模の大きな地震の報道発表資料での表現の変更について」(令和3年4月1日)

3. 南海トラフ地震の評価の現状

(1) 前兆としての内陸地震

近い将来発生が想定される南海トラフ地震も2011年東北地方太平洋沖地震と同様、プレートが陸側プレートに沈み込み、固着域が一気に剥がれることによって生じる海溝型地震で、津波被害等、甚大な被害が懸念される。

南海トラフ地震の前兆として重視されているのが内陸で頻発する地震である。現時点ではフィリピン海プレートと陸側プレートが強く固着している状態であるが、その状態が継続すると陸側プレートが引きずり込まれ、圧縮力が強まることとなり、内陸地震が発生しやすくなる⁶。

東北地方でも、通常の平穏期であれば10年に一度くらいしか起こらないM7程度の内陸地震が、2011年の巨大地震の前には東北・北陸地方で2003年宮城県北部地震(M6.4)、2004年新潟県中越地震(M6.8)、2007年新潟県中越地震(M6.8)、2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)と立て続けに起きていた⁶。この特異な現象は、「固着域」が大きな圧縮力を受け続けていたため内陸地震が起きやすくなっていたことにより発生したものであることが、2011年の巨大地震発生後に明らかとなった。

南海トラフ地震についても、これまでの主なものを見ると、南海トラフ地震の発生前後には、沈み込まれている陸側のプレート内でM7クラスの地震が多く発生する傾向があることが歴史的にも分かっている。

直近の南海トラフ地震は、1944年(昭和19年)の昭和東南海地震(M7.9)と1946年(昭和21年)の昭和南海地震(M8.0)であるが、その前後には1943年(昭和18年)の鳥取地震

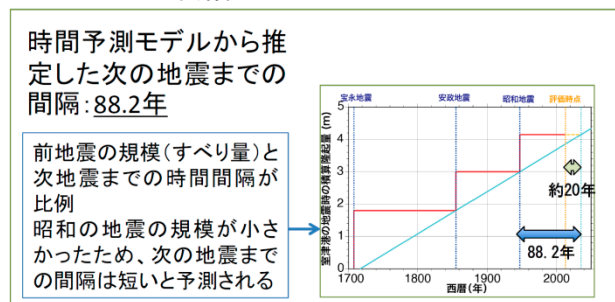
(M7.2)と1945年(昭和20年)の三河地震(M6.8)が発生している⁷。また、遡って1927年には北丹後地震(M7.3)が発生、さらに遡って1891年には濃尾地震(M8.0)が発生している。

(2) 過去の南海トラフ地震からの周期—平成から頻発化した西日本の地震の意味するもの

南海トラフ地震は発生形態に多様性があるとともに、間隔にばらつきはあるものの周期性が認められ、M8～9クラスでは100～200年間隔で大地震が発生している⁸。また、(1)で記したように、本震の発生する50年ほど前から西日本を中心に内陸での活動が始まる傾向があり、単発ではなく、長期で見ると一連の地震群として捉えることができる。

地震調査研究推進本部の資料⁸によれば、前回の昭和の地震の規模が小さかった(室津港の隆起量が小さかった)ため、昭和の地震から平均値で88.2年後に次の南海トラフ地震の発生が予測されるとしている(図表5)。昭和の地震から既に75年以上が経過しており、この予測によれば、あと10年余りで次の南海トラフ地震が発生することになる。

(図表5) 過去の地震から推定される次の地震までの間隔



(出典) 地震調査研究推進本部「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)」(平成25年5月)

6 佐藤比呂志「巨大地震はなぜ連鎖するのか」(NHK出版新書・2016年発行)

7 三河地震は昭和東南海地震の最大規模の余震とする説も同地震からの誘発地震とする説もある。これらの4地震は、1943年から1946年までの終戦前後に4年連続で1,000人を超える死者を出したが、終戦の混乱期に情報が錯綜した面がある。

8 地震調査研究推進本部「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)」(平成25年5月)

この仮説によれば、既に次の活動期に入っており、一連の活動の範疇とみることができるとしては1993年の能登半島沖地震（M6.6）を皮切りに、1995年兵庫県南部地震（M7.3）（阪神・淡路大震災）、2000年鳥取県西部地震（M7.3）、2005年福岡県西方沖地震（M7.0）、2007年能登半島地震（M6.9）、そして2016年の熊本地震（M7.3）、2018年の大阪府北部地震が挙げられる。

拙稿「平成期の自然災害を振り返る－保障のあり方概念をも激変－」（共済総研レポートNo.163（2019.6））にも記したが、1993年の能登半島沖地震より前においては、1946年の昭和南海地震以降、西日本では目立った地震災害はほとんど発生してこなかった。そのため昭和末期の頃は、地震損害を共済や保険で担保する仕組みが普及してきたにも拘らず、西日本を中心に地震損害担保は不要との意見が支配的であったほどである。

ところが平成に入って西日本各地でこれだけ大きな地震が発生するようになってきている。これは、明らかに南海トラフの巨大地震に向かっての長期間にわたる前兆現象として捉えることができると考えられる。

ここで注意すべきことは南海トラフ地震では海溝域での活動であることから津波の被害がより深刻化するのに対し、内陸での地震は直下型の活断層型地震であるために、地震エネルギーが大きくなっても真上では揺れによる甚大な被害が生じる点であり、どこで起き

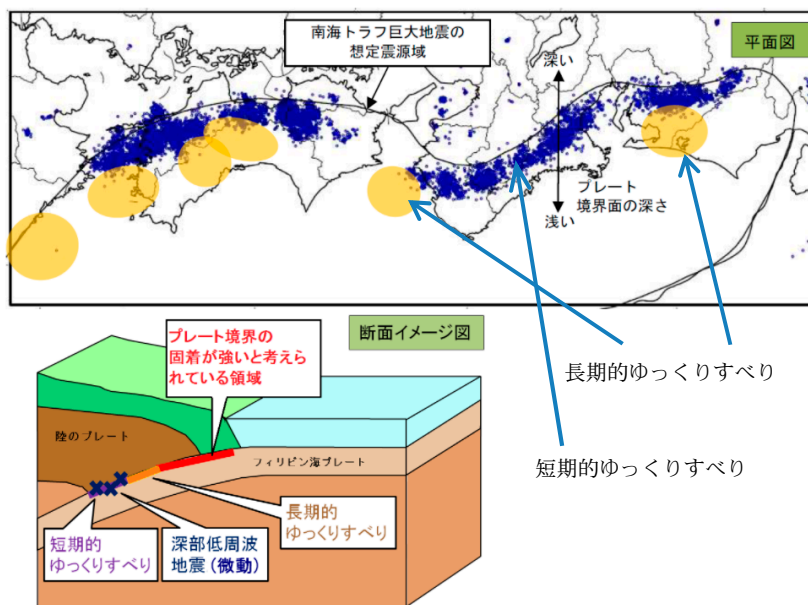
るか全く予想がつかないだけに今後も警戒が必要である。

(3) スロースリップ（ゆっくりすべり）

2011年の巨大地震以降、特に注目され、防災計画上も重視されるようになったのが、海溝型地震発生前の「スロースリップ（ゆっくりすべり）」現象であり、南海トラフ地震との関連性について研究が進められている。

スロースリップはプレート境界で固着度の弱い領域においてゆっくりと滑る現象であり、人間には感じない地震を起こしている（図表6）。2011年の東北地方太平洋沖地震の際は、1か月ほど前から本震の震源域に向かってスロースリップが生じていたことが分かっており⁹、固着が強い領域に力が集中していった結果、一気に固着が剥がれることにつなが

（図表6）南海トラフ巨大地震想定震源域におけるゆっくりすべりの発生状況



（出典）気象庁HP「南海トラフ地震について」（<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/nteqword.html>）に筆者加筆

9 東京大学地震研究所 加藤愛太郎研究室HP「2011年東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）の発生前に見られたゆっくりすべりの伝播」より（https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/akato/research_contents.html）。詳細は「2011年東北地方太平洋沖地震の特徴について」（地球化学46(2012)）。

った可能性があるとしてされている。

スロースリップには、数日～1週間程度かけてすべる短期的ゆっくりすべり（深部低周波地震と言われる微動を観測）や数ヶ月から数年間かけて継続的にゆっくりとすべる長期的ゆっくりすべりなどがあるが、図表6のように南海トラフ地震の想定震源域で頻発しており、想定震源域（固着の強い領域）の手前でスリップが止まるという現象なども観測されており、継続的に観測が行われている¹⁰。

このようなスロースリップに関する今後の研究成果も踏まえつつ、通常とは異なるスロースリップが発生した場合などに、気象庁が「南海トラフ地震臨時情報」を発表することとしている。

(4) 津波確率の試算

南海トラフ地震では津波の被害が甚大となる可能性が指摘されるが、南海・東南海・東海域が時間的にずれて滑るか同時に滑るかによっても地震の規模や津波の高さ等が異なってくる。地震調査委員会では、同時にずれたとされる宝永地震（1707年、M8.6）クラスを最大規模と想定し、様々な震源域の組み合わせ（176パターン）を想定して、今後30年以内に津波の高さが3m以上、5m以上、10m以上になる確率を計算し、「南海トラフ沿いで発生する大地震の確率論的津波評価」（2020年（令和2年）1月）として発表した。

詳細な分布図等は防災科学技術研究所の「津波ハザードステーション」に掲載されており、沿岸部においては防災上の知識として確認が必要であるが、海岸の津波高が3m以上になる確率を例にとると、南岸の広い範囲で26%以上となっている。

4. その他の地震活動の長期評価

(1) 切迫した千島海溝沿いの超巨大地震

千島海溝は、2011年の東北地方太平洋沖地震をもたらした日本海溝に沈み込むプレートと同一のプレート（太平洋プレート）が沈み込んでいることから、発生しうる超巨大地震を考慮するという前提で、長期評価がまとめられている（「千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版）（2017年（平成29年）12月）」）。

これによれば、北海道東部太平洋側で、沿岸から1～4km内陸まで浸水するような津波が17世紀に発生したと推定され、津波堆積物調査によると、このようなM8.8程度以上と評価される超巨大地震が（ばらつきはあるものの）平均で約340～380年間隔で発生したと評価されている。17世紀の発生から400年程度経過しているため、超巨大地震の発生が切迫している可能性が高いとし、今後30年以内に7～40%の発生確率と高い値が算出されている。なお、超巨大地震より規模が小さいM7.8～8.5程度のプレート間巨大地震は根室沖で70%程度と算出されている。

この長期評価が公表された翌年の2018年（平成30年）9月には北海道胆振東部地震（M6.7）が発生した。3.（1）で述べたように、海溝型巨大地震が起きる前には陸側プレートにかかる圧力が増すことにより内陸の活断層型地震が頻発する傾向がある。この圧力によって隆起してできたのが日高山脈であるが、北海道東部ではひずみの蓄積ペースが速くなっている。

日高山脈周辺での活断層地震としては、1982年（昭和57年）の浦賀沖地震（M7.1）や2013年（平成25年）の十勝地方南部地震（M6.5）などが起きているが、さらに胆振東部地震が発生したことは、千島海溝の巨大地震に

10 国土地理院、防災科学技術研究所、気象庁や産業技術総合研究所において常時、地殻変動や地面の傾きなどを精密に測定・監視する体制がとられている。

向けて切迫した状況を示すものと理解することが妥当と思われる。

(2) 震源域の多様性が高い相模トラフ沿い地震の評価

首都圏に甚大な被害をもたらすことが懸念される相模トラフ沿いの地震についても「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版)(2014年(平成26年)4月)」として公表されている(図表7に抜粋)。

相模トラフ沿いで起こる地震は、その震源域に多様性があり、図表7の評価対象領域内のどこかで発生するものとして評価されている。

これによれば、1703年の元禄地震(M8.1)や1923年の大正地震(M7.9)(関東大震災)のようなM8クラスの地震については30年以内にはほぼ0~5%という評価であるが、図表7のとおり、M7程度の地震については、元

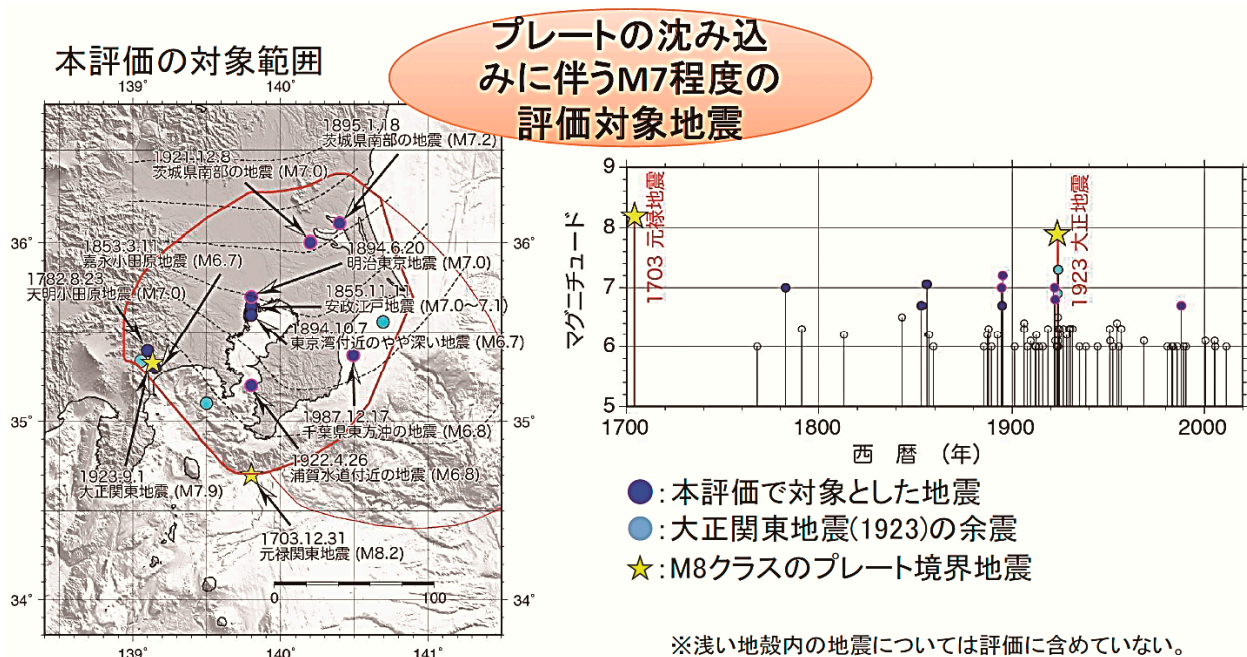
禄地震と大正地震の間に平均で27.5年の間隔で発生しており、この地域で30年以内に発生する確率は70%程度と評価されている。

また、元禄地震と大正地震の間の220年間をみると前半は比較的静穏で後半に活発化しており、大正地震以降は静穏な期間が続いている(近年では1987年の千葉県東方沖地震(M6.7)が最後)ことから、今後、活動が活発化していく可能性がある。首都圏直下型等の可能性も十分考えられる状況で、今後の地震活動に留意する必要がある。

5. 全国地震動予測地図2020年版の概要

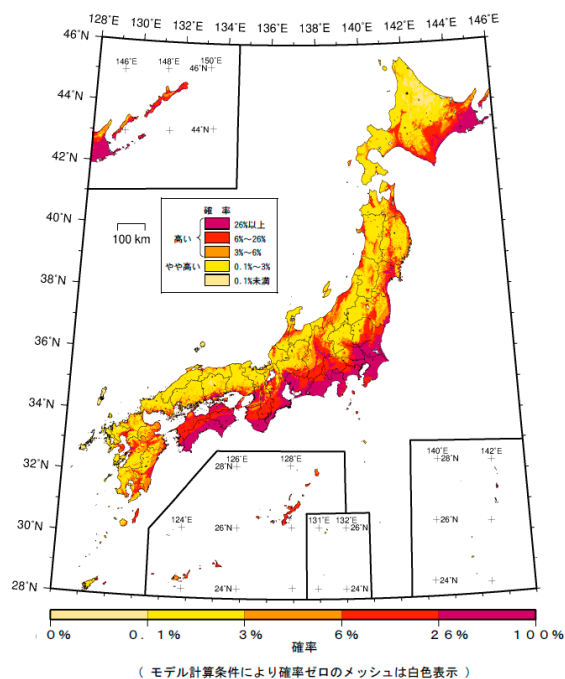
以上の評価なども踏まえたうえで、全国地震動予測地図2020年版が本年3月に公表された(確率の評価基準日は2020年1月1日)(図表8)。

(図表7) 相模トラフ沿いのM7程度の評価対象地震と発生時期



(出典) 地震調査研究推進本部「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版)」(2014年(平成26年)4月)
※ 「本評価」では1703年元禄地震以降を対象として長期評価を行っている。

(図表 8) 確率論的地震動予測地図(今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率)



(モデル計算条件により確率ゼロのメッシュは白色表示)

確率論的地震動予測地図：確率の分布
今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率

(出典) 全国地震動予測地図2020年版

全体的な傾向は従来と変わらないが、北海道南東部や仙台平野の一部、首都圏などが、2.～4.で記した長期評価に即して高い確率となっている。また、2018年版との比較では、東北地方太平洋沖地震後の地震活動を考慮したことによる確率の増加および震源域の多様性や地盤構造モデルの改良等を反映させたより精緻な見直しなどがなされている。

6. おわりに

東北地方太平洋沖地震から10年の間に、多様な地震活動が分析されてきたが、従来以上に明確になってきたのは、個々の地震が単独で起こるものではなく、内陸地震、海溝地震、活断層地震など、時間的にも空間的にも密接に関連している点である。全ての地震におい

て、プレートの動きとそれから生じる力のかかり方が誘因となって引き起こされているのである。

地震の周期が何十年・何百年、個々の活断層型に至っては何千年周期と言われるなかで、プレート理論が主唱されるようになってからまだ数十年程度しか経っていない。この10年間だけでも観測技術の高度化とともに新たな知見が見出される状況であり、今後の地震活動の評価手法や確率理論は確実に進展していくものと思われる。

このような状況を踏まえ、これからのリスク分析・防災対策への応用等の観点から、今後の地震評価研究の動向を注視していく必要がある。

(2021年7月1日 記)

