

3 「最大クラス」の地震

3.1 はじめに

2012年8月末、内閣府は南海トラフで発生する地震に関し、科学的に想定しうる最大クラスの地震による津波と揺れの想定を発表しました。内閣府が2003年に発表した東海・東南海・南海地震によるゆれや津波の想定に比べ非常に大きくなっているため、各方面に大変なショックを与えました。これだけ大きな地震の想定をすることになったきっかけは、言うまでも無く、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波でした。東北地方沿岸、特に三陸南部から宮城県福島県沿岸に想定を上回る津波が襲来したため、逃げ遅れた多くの方が亡くなったり行方不明になりました。このことから、南海トラフにおいても、従来の想定を大きく越えた地震や津波を考慮した想定を行うことになりました。

東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震や津波対策を議論するため内閣府は専門調査会を設け、2011年6月26日に「今後の津波防災対策の基本的考え方について」として、専門調査会の中間取りまとめに伴う提言を発表しました。提言は想定と対策に分けられます。想定としては、科学的知見をベースにあらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討すべきとしています。また対策としては、最大クラスの津波に対しては設備（ハード）だけで完全に対策を取ることは不可能なので、避難等の対策を組み合わせる総合的な対策を立てるべきとしています。つまり、堤防などの設備によって災害を防止するという我々が従来考えていた常識が通用せず、場合によってはお金をかけた設備も役に立たない津波が襲来する可能性が有り、命だけでも助かるように対策を考えなければならないということなのです。

この提言を受け、内閣府が最初に取りかかったのが、南海トラフの巨大地震についての想定です。南海トラフにおいて、従来想定されていたものとは別に、頻度は低くても科学的に想定できる最大クラスの地震を想定することになりました。ここでは、このような科学的知見にもとづく最大クラスの地震・津波を我々ほどのように捉えたら良いかについて考えてみたいと思います。

3.2 地震発生頻度

最大クラスという考え方を科学的側面から理解するために、まず地震の規模による頻度の違いを理解しましょう。地震の規模はマグニチュードという尺度で表現されます。マグニチュードとは、もともと異なった場所で発生する地震の大きさを比較するために考案されました。基準となる地震計で震源から100km離れた場所における振幅をもとにマグニチュードを計算する手法が開発されました。つまり同じ地震計で、かつ同じ距離で振幅を比較することにより地震の規模を推定しようというものです。もともと、ちょうど100km離れた場所にあ

あらかじめ地震計を置いておくことはできないので、換算式を用います。地震は非常に大規模なものから小さなものであるため、対数を用いて簡単な数字で表現できるように工夫されています。そのようにして考案されたマグニチュードは、後の研究によりエネルギーとして表現できることがわかってきました。マグニチュードが1増加するとエネルギーは約31倍、マグニチュードが2増加するとエネルギーが1,000倍になります。更に新しい考え方では、マグニチュードが地震時にずれる断層の面積と平均のずれ量の積（かけ算）で表現できることがわかってきました。断層面積とずれの積はマグニチュードが1ふえるごとに約31倍になることが分かっており、ちょうどエネルギーに比例する量になっています。また、平均的なずれの量は断層の長さ（面積の平方根）におおむね比例する関係にありますので、マグニチュードは断層面積でほぼ決まると考えて良いのです。なお、この最新のマグニチュードはモーメントマグニチュードと呼ばれています。

さて、地震の発生頻度をマグニチュードという尺度で整理をするとどのようになるでしょう。図1と図2は、2001年から2010年までの10年間に発生した地震のデータを整理したものです。まず図1には気象庁が震源を決めたこの期間の地震を全てプロットしたものを示します。色の違いは深さの違いです。日本列島が震源のマークで全く隠されてしまっています。日本にはこのくらい地震が多く発生しているのです。図2には図1にプロットした全ての地震についてマグニチュードごとの頻度を表したものです。具体的には、横軸にマグニチュード、縦軸にはそのマグニチュードよりも大きな地震の数を対数で表現してあります。このようなグラフに整理するとマグニチュードが増加するに従い地震頻度がほぼ一直線に減少していることがわかります。このような関係は世界中の地震で一般的に認められるもので、グーテンベルク・リヒターの法則と呼んでいます。我が国でも同様の法則が発表され石本・飯田の式と呼ばれています。ただ、石本・飯田の式は記録紙上の振幅の頻度分布との関係をしめし、マグニチュードという概念を取り入れていないことから、現在の地震学ではグーテンベルク・リヒターの法則が用いられています。

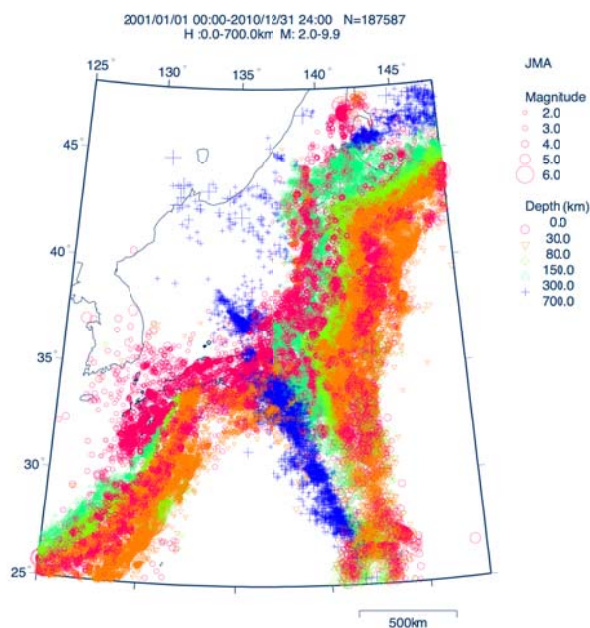


図1 2001年1月1日から2010年12月31日までの10年間に発生したマグニチュード2を超える地震のうち気象庁が震源を決定した地震の震源分布。深さごとに色を変えてある。東京大学地震研究所のTSEIS webを利用した。

ところで、このグーテンベルク・リヒターの法則とは、マグニチュードの増加と地震数の減少の割合が比例関係にあるという法則です。減少の割合は地域によって若干異なりますが、平均するとマグニチュードが1増加すると頻度は1/10になるという関係があります。わが国で震源が計算される地震数は、図2をみるとマグニチュード4を超える地震として10年間で10,000個ほどあります。先ほどの割合で地震数が減少するとすれば、マグニチュード5を超える地震は10年間1,000個、6を

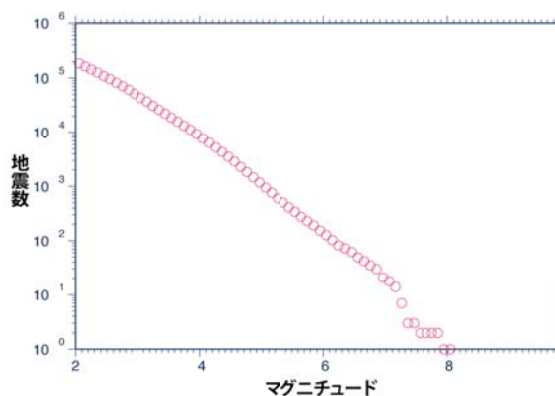


図2 図1に示した地震の発生頻度とマグニチュードとの関係。各プロットは対応するマグニチュードを超える地震の総数を表している。縦軸は対数目盛り（長い目盛りごとに10倍になるようになっている）。東京大学地震研究所のTSEIS webを利用した。

を超える地震は100個、7を超える地震は10個というように減少していきます。8を超える地震は10年で1個となります。この割合で減っていくとマグニチュード9を超える地震は10年で0.1個（100年に1個）発生することになります。マグニチュード9を超える地震の頻度は、実際に私たちが知っている日本周辺の地震の頻度よりは少し大きめになってしまいます。これは、地震のマグニチュードには、上限があることを示しているのでしょうか。先に説明したように、地震のマグニチュードは地震時にずれる断層の面積で決まります。ずれることのできる断層の大きさには上限があるためマグニチュードにも上限があるのです。

3.3 災害頻度と防災対策

私たちは、頻繁に発生する災害については対策を施して災害を防止しています。たとえば、わが国では毎年梅雨や台風の時期に大雨が降り、河川の水位が上昇します。毎年起きる河川の増水の度に水害が発生して大きな被害を受けていたのでは安心して生活ができませんから、堤防や排水ポンプの設置によって被害を防止しています。しかし、滅多に発生しないような大雨では河川が想定以上に増水し、おおきな被害を伴う洪水になってしまいます。

同様に、地震についても、比較的頻繁に発生する地震で被害が出ないようにする対策が取られています。マグニチュード6を超える地震は年間10個程度発生していますが、この程度の頻度の地震でおおきな被害が出ているようでは安心して生活が送れないので、マグニチュード6程度（直下で発生した場合の最大震度で5強から6弱）では建築基準を設けるなどにより、あまり被害が出ないように対策がとられています。しかし、マグニチュード7の地震は日本全体でも年間1個程度ですから、ある特定の場所がこのような地震に直接見舞われることは滅多にありません。1995年に発生した兵庫県南部地震はマグニチュード7.3でした。

最大震度は7であり、神戸市を中心に大きな被害を発生させました。当時関西で大きな地震は起きないと一般には信じられていたようですが、これもその地域でマグニチュード7クラスの地震が長いこと発生していなかったことを示しています。そのような低頻度ではあるが大きな地震が発生すると被害が大きくなります。

2011年に発生した東北地震太平洋沖地震（マグニチュード9.0）は、その後の調査により東北地方の沖合では約500年に一度発生していることがわかってきました。500年という長さは世代としては20世代にもなります。地震や津波の経験が親から子供に伝わったとしても、20世代ものうちに、社会や政治の体制も大きく変わり、その中で忘れ去られてしまいます。低頻度の地震災害を経験として子孫に伝えるのは非常に困難であることがわかります。日本における近代的な地震研究は1880年の地震学会設立に始まり、1891年の濃尾地震による震災予防調査会によって本格的な研究が開始されました。その調査会の重要な課題の一つに文書として残されている過去の地震履歴の調査があります。日本の長い歴史の中でも、最近120年の系統的な研究によってやっと地震の歴史が明らかになり、低頻度の大地震についても次第に明らかになりつつあるのです。なお、火山噴火についても低頻度ではあるものの巨大災害が過去に発生したことが地質学的調査で明らかになっています。南九州では壊滅的な巨大噴火が平均すると約1万年に1回発生しています。この噴火による火砕流は九州の南半分を覆っています。日本の歴史よりも長い間隔で発生している巨大噴火であるため、仮に近い将来発生した場合の被害については全く想定されていないのが現状です。

3.4 経験した地震にもとづく従来の想定と最大クラスの想定

経験した地震にもとづく想定

明治にはじまる日本の地震研究の中で、災害防止の対策もなされてきました。しかし、明治以降の日本の近代化の中で経済や社会基盤の変化も非常に急激であったことから、過去の地震発生履歴が生かされず、多くの場合、実際に地震災害を経験した後に、その災害を教訓とした対策が立てられてきました。

たとえば、建物の耐震に関する法律については、1920年に建物の基準を定めた市街地建築物法が制定されていたものの、1923年の関東大地震の後に初めて耐震の考えが導入され、市街地建築物法施行規則が改正されました。その後1944年と46年に南海トラフでの巨大地震が相次ぎましたが、終戦の直前と直後であったため耐震基準には反映されませんでした。1950年に建築基準法が定められましたが、この法律も1968年の十勝沖地震（マグニチュード7.9）の建物被害をうけて1971年に施行令が改正されました。さらに1978年に発生した宮城県沖地震（マグニチュード7.4）の建物被害から1981年に再改正がなされています。この1981年の基準が新耐震基準と呼ばれているものです。1995年の兵庫県南部地震はこの基準ができて初めて日本が経験する大地震でした。兵庫県南部地震の被害は、1981年以前に建てられた建物とそれ以降に建てた建物で、被害におおきな違いがありました。1981年以前の建物の無

被害が 34%であったのに対し、1981 年以降の建物は 75%が無被害でした。このような事実を受けて、現在 1981 年以前の建物については耐震診断を受けて、必要に応じた耐震改修が求められているのです。しかし、この耐震基準にしても、やはり直接の経験に基づく基準です。

道路の耐震基準も、建物の耐震基準と同様に地震を経験しつつ改定されてきました。関東大地震のあと 1926 年にはじめて地震による揺れを考慮した規準が作られました。戦後も 1964 年新潟地震で液状化や橋桁の落下が見られたため、1971 年に対策のための指針が制定されています。1995 年の兵庫県南部地震の時には阪神高速道路の高架の橋脚が根元から折れて倒壊しました。これをうけて全国の高架道路ではコンクリート製の橋脚に鉄板を巻くといった耐震対策が採られるようになりました。

このように様々な耐震の規準は過去の地震の経験をもとにより良いものに改善されてきた歴史があります。しかし、明治以降の日本の歴史も 100 年あまりであり、さきに述べたグーテンベルグ・リヒターの法則からわかるように従来経験したことの無い大きな地震が来る可能性は否定できません。従って、経験以外の方法も用いてもっと大きな地震の想定をしておく必要があります。一方で大きな地震の頻度は低いため、そのような地震による災害を防止するための対策はコストの割にはその対策が役立つような場面は非常に少なくなります。それでも対策を検討するために、我々が過去に経験したことのないような大きな地震について想定しておくことが必要になります。

最大クラスの地震の想定

地震のマグニチュードには上限があります。先に説明したように、地震の際にずれる断層の大きさ（幅または長さ）はマグニチュードが 1 増えるごとに約 3.1 倍になっていきます。面積はマグニチュードが 1 増えると 10 倍になります。マグニチュード 8 の地震の断層の大きさは約 100km ですから、マグニチュード 9 は 300km、マグニチュード 10 は 1,000km、マグニチュード 11 は 3,000km、マグニチュード 12 は 10,000km というように増えていきます。地球の直径は約 13,000km ですのでマグニチュード 12 の地震が起きたら地球は半分に分れてしまいます。さすがに地球が半分になってしまうことはあり得ませんので、地球上で実際に発生する地震のマグニチュードは 12 よりも小さいはずですが、それでは本当の上限はどのくらいなのでしょう？そのためには、もう少し具体的に検討する必要があります。

プレートが沈み込む場所では、沈み込むプレートと陸側（上盤側）のプレートとの間で固着しているところが突然滑って地震を発生させます。その固着している領域の幅は、場所によって異なりますがせいぜい 200km 程度です。一方、一つのプレートがつながって沈み込む長さは、もっとも大きな太平洋プレートの場合、アラスカからマリアナまでで約 9,000km です。そうすると普段固着していて地震を起こす可能性のある場所の面積は $200 \times 9,000 = 1,800,000 \text{ km}^2$ となります。これはマグニチュード 10 の地震でずれる領域の面積に匹敵します。したがって、現実的にはマグニチュード 10 程度が上限なのでしょう。

この議論で重要なことは、地震でずれる断層の幅は長さの上限に比べてかなり小さいことです。プレートが沈み込んでいく場合、地下深部に潜り込むにしたがって温度が上昇してい

きます。温度が高くなると、固着することができず、少しの力でずるずると滑ってしまいます。そのような場所では地震を発生させることができません。このようにプレートが沈み込んでいく場合、地震を発生することができる範囲は、沈み込み口（海溝やトラフ）からせいぜい固着できなくなる深さまでです。内閣府が2012年に発表した南海トラフにおける最大クラスの地震の想定は、この考え方に基づいて行われました。フィリピン海プレートが沈み込むトラフ軸から短期的スロースリップが発生する深さまでが固着できる場所としています。トラフに沿った長さについては、東端は駿河湾の奥で西端は日向灘としていますが、日向灘まで一緒にずれる、または日向灘から先の南西諸島海溝にまでずれがひろがらないかどうかについては、さほど強い根拠があるわけではありません。ただし、東海地方にとっては、西端の位置が異なっても発生する揺れや津波にはおおきな違いはないと考えられます。

想定される「想定の変化」

地震に限らず、自然災害の想定は、その時点の科学的知見に基づいて行われます。従来知られていたよりも大きな地震が発生したり、過去に大きな地震が発生していたことがわかったりした場合には、経験した自身に基づく想定は、見直されます。その場合、想定が大きくなる場合が多く、経験に基づいた想定には常に過小評価の心配がついて回ります。

一方、科学的知見に基づく想定は、地震の規模を決定するさまざまなパラメータ（数値）を科学的に見積もって想定する地震の規模を決めます。しかし、そのパラメータについて良くわかっている場合もあれば、あまり良くわかっていない場合もあります。わかっていないパラメータについては、念のため地震の規模が大きめなるように設定することが普通ですから、科学的な最大クラスは過大評価になりがちです。それでも過小評価に基づく防災対策よりは、過大評価に基づく対策のほうが災害軽減効果が大きいので、過大評価を容認することが多いのです。したがって、「科学的に想定しうる最大クラス」の地震は、過大評価になっている可能性が高いと思われます。今後、様々な研究が進んで、地震の規模の見積もりの精度が良くなってくれば、「科学的に想定しうる最大クラス」の地震の規模は小さめに想定し直されることもあるでしょう。

防災・減災のためには、地震の規模と頻度との関連を頭に入れつつ、現実的な対策を取ることが大事だと思います。巨大な堤防を作れば最大クラスの津波にも耐えられるかも知れません。しかし、膨大な税金が必要となり、その分、福祉や社会保障などを含めた他の施策に回す予算も少なくなってしまう。防災対策にばかり予算を使うわけにはいかず、どこかで折り合いをつける必要があり、そのための意思決定が必要となります。今後、南海トラフで発生する「最大クラスの巨大地震」の頻度についても検討が進むはずですので、それらの結果を踏まえて対策を施すレベルを我々自身で決めていく必要があるのです。（山岡耕春）

Ⅱ 震度観測資料

1 はじめに

ここでは、気象庁の地震・火山月報（防災編）より日本、世界、そして愛知県とその周辺で平成 24 年（2012 年）に発生した地震の概要、観測した震度、被害状況について示します。

まず、愛知県で観測された過去の有感地震の数を調べてみましょう。最近でこそたくさんの場所で震度が発表されるようになりましたが、愛知県のなかで、長期間にわたって震度観測がなされているのは、名古屋地方気象台のある名古屋市千種区です。図 1 のグラフは気象庁の資料による、1975 年以降の名古屋地方気象台で観測された有感地震数の変化をグラフです。平均すると年間 8.8 回の有感地震が観測されています。2011 年は東北地方太平洋沖地震とその余震や誘発地震により有感地震は多かったのですが、2012 年は一転して少なくなっています。1975 年以降に観測した最大震度は 4 であり、この地方は最近は強い揺れを経験していないことがわかります。

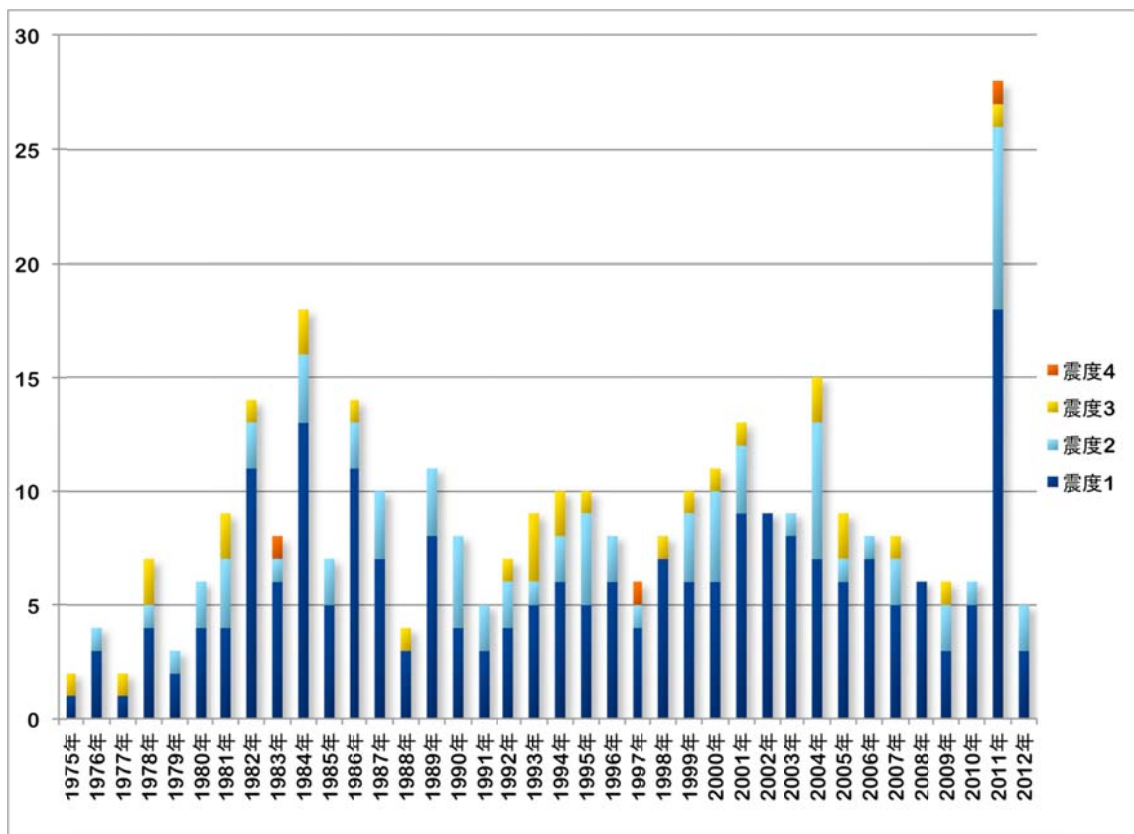


図 1 名古屋地方気象台（名古屋市千種区）で観測された有感地震数の変遷（気象庁資料より）

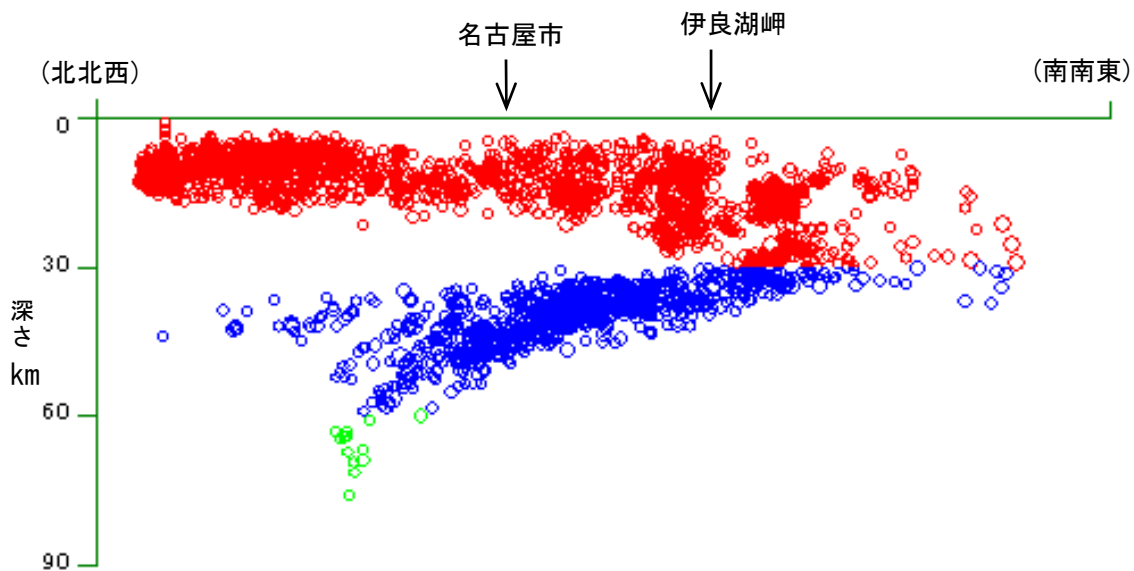
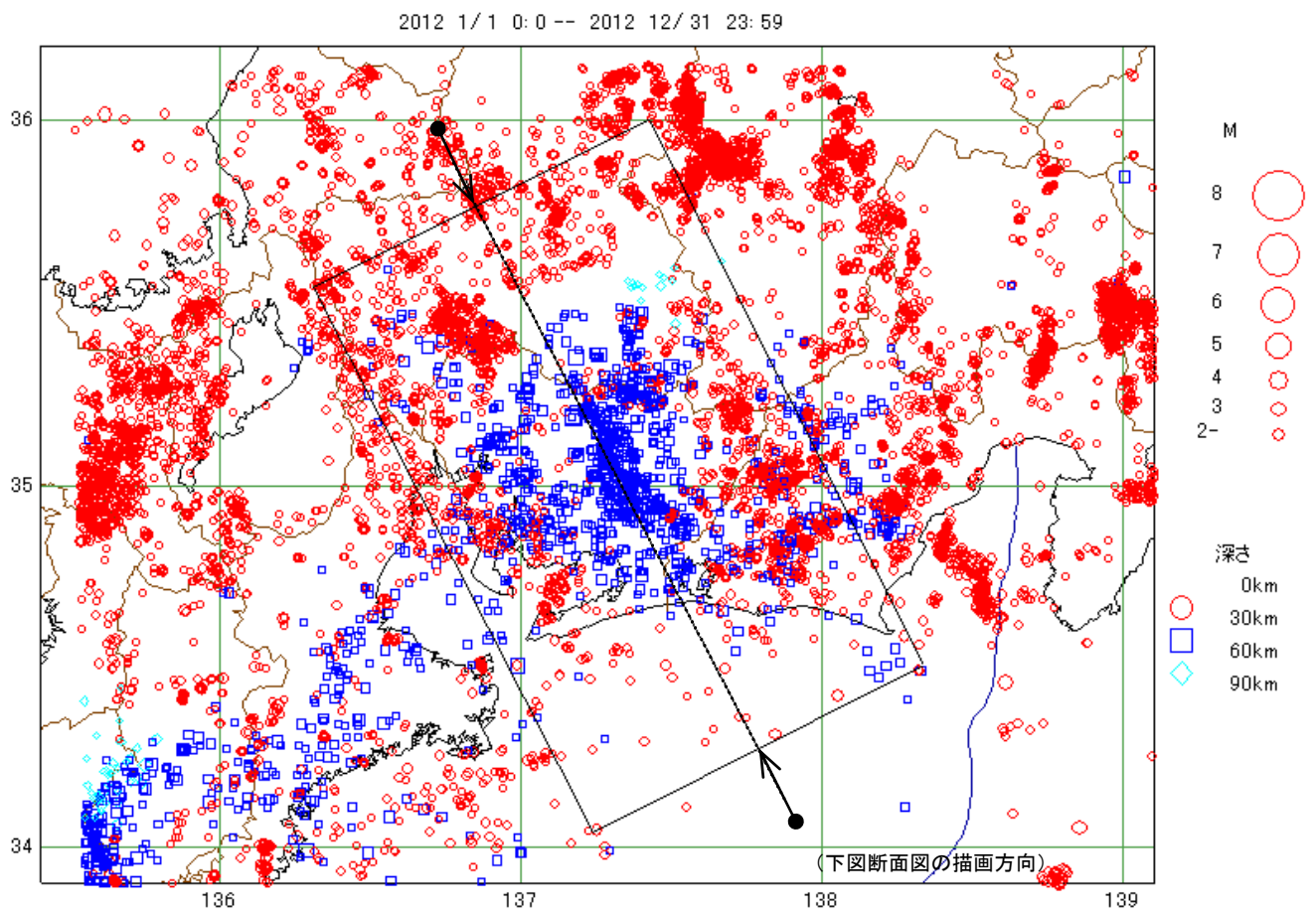
2 愛知県における地震

(1) 愛知県とその周辺の地震の震度分布

次のページの図2は、愛知県とその周辺で2012年に発生した地震の震央と断面です。図で赤い色のマークで示したのが30kmより浅い場所で発生した地震、青い色のマークで示したのが30kmから60kmまでの深さで発生した地震、水色（断面図では緑色）のマークで示したのが60kmよりも深い場所で発生した地震です。

愛知県では、地殻内の浅い場所と沈み込むフィリピンプレート内で地震が発生していることがわかります。地殻内の地震は、直下の比較的浅い場所で発生する地震で、深さは5~15km程度です。沈み込むプレート内の地震は、比較的深い場所で発生し、愛知県では深さ30~50km程度になります。プレート境界面で発生する地震は地殻内の地震とプレート内の地震の中間の深さで発生する地震です。近い将来発生が懸念されている東海地震や東南海地震などの南海トラフの巨大地震はこのタイプの地震です。これらの地震のうち、沈み込むプレート内で発生する地震はあまり大きな被害をもたらすことはありません。しかし、プレート境界面の地震や活断層に関する地殻内の地震は大きな被害をもたらすことがあるため、注意する必要があります。

図2 平成24年 愛知県周辺の震央分布図・断面図



(2) 愛知県内の有感地震

以下は、平成 24 年（2012 年）1 月 1 日から 12 月 31 日までの 1 年間における県内の有感地震の概況です。また、それぞれの地震の震央を図 3 に示します。（M はマグニチュード（地震の規模）の略です。）

○平成 24 年（2012 年）1 月

1 月に愛知県内で震度 1 以上を観測した地震は、8 回発生しました。その内 3 回は 1 月 28 日から 29 日の山梨県東部・富士五湖の地震でした。

(1) 1 日 14 時 27 分頃、鳥島近海の地震（M7.0、深さ 397km 図中 1）

愛知県内では名古屋市、豊橋市、半田市、春日井市などで震度 1 を観測しました。また、宮城県岩沼市、福島県白河市、茨城県水戸市、栃木県宇都宮市、群馬県邑楽町、埼玉県熊谷市、千葉県千葉市、東京都千代田区、神奈川県横浜市などで最大震度 4 を観測したほか北海道から中国地方にかけて震度 3 から震度 1 を観測しました。

(2) 9 日 00 時 37 分頃、和歌山県北部の地震（M4.7、深さ 56 km 図中 2）

愛知県内では豊橋市、豊川市、新城市、西尾市などで震度 1 を観測しました。また、三重県尾鷲市、奈良県五條市、和歌山県御坊市、田辺市、湯浅町、日高川町などで最大震度 3 を観測したほか近畿から東海地方にかけて震度 2 から震度 1 を観測しました。

この付近では昨年 8 月 10 日にも M4.7 の地震があり和歌山県日高川町で震度 4 を観測しています。

(3) 15 日 07 時 12 分頃、岐阜県美濃東部の地震（M3.6、深さ 51 km 図中 3）

愛知県内では名古屋市で震度 2 を観測しました。また、長野県高森町、売木村で震度 2 を観測したほか愛知県、長野県及び岐阜県で震度 1 を観測しました。この地震は、フィリピン海プレート内部で発生した地震で、地震の発震機構は東西方向に張力軸を持つ型でした。今回の地震は、昨年 12 月 14 日に発生した地震（M5.1、深さ 49km）の余震と考えられます。

(4) 17 日 05 時 48 分頃、遠州灘の地震（M3.6、深さ 31 km 図中 4）

愛知県内では豊橋市、蒲郡市、新城市などで震度 1 を観測しました。また、岐阜県恵那市、三重県津市、松坂市、伊勢市でも震度 1 を観測しています。

(5) 17 日 07 時 06 分頃、静岡県西部の地震（M3.1、深さ 12 km 図中 5）

愛知県内では豊根村で震度 1 を観測しました。また、静岡県浜松市でも震度 1 を観測しています。この付近では昨年 11 月下旬から地震活動がやや活発となっており、1 月 10 日にも浜松市で震度 1 を観測しています。この地震は地殻内で発生した地震で、地震の発震機構は東北東－西南西方向に張力軸を持つ正断層型でした。

(6) 28 日 07 時 43 分頃、山梨県東部・富士五湖の地震（M5.4、深さ 18 km 図中 7）

注：同一地域で複数の地震が発生したため一つにまとめています。

愛知県内では新城市で震度 2 を観測したほか、県内の広範囲で震度 1 を観測しました。また、山梨県忍野村、富士河口湖町で最大震度 5 弱を観測しました。このほか東北地方から近畿地方にかけて震度 4 から震度 1 を観測しました。この地震は地殻内で発生した地震で、地震の発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型でした。

この地域では、27 日から活発な地震活動が続いており、この地震の 4 分前の 07 時 39 分（M4.9、深さ 18 km 図中 6）にも地震が発生し神奈川県、山梨県で最大震度 4 を観測しています。また 29 日 16 時 46 分（M4.7、深さ 21 km 図中 8）でも同じく山梨県で最大震度 4 の地震が発生しています。これら 2 つの地震とも愛知県内では震度 1 を観測しています。

○平成 24 年（2012 年）2 月

2 月に愛知県内で震度 1 以上を観測した地震は、2 回発生しました。

(1) 17 日 06 時 00 分、静岡県西部の地震（M3.7、深さ 13 km 図中 9）

愛知県内では豊田市、新城市、みよし市、豊根村で震度 1 を観測しました。また、静岡県浜松市で最大震度 2 を観測したほか静岡県、長野県、及び岐阜県で震度 1 を観測しました。この地震は、地殻内で発生した地震で、地震の発震機構は東西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型でした。

(2) 17 日 19 時 37 分、愛知県東部の地震（M3.1、深さ 39 km 図中 10）

愛知県内では豊橋市、新城市、豊根村で震度 1 を観測しました。また、長野県、静岡県、岐阜県の一