

愛知県震度観測・調査報告書

— 第 3 4 報 —

平成 2 6 年（2 0 1 4 年）1 月～1 2 月

平成 2 7 年 5 月

愛知県防災会議地震部会

はじめに

東日本大震災から4年目となる平成26年度は、愛知県の地震防災にとって一つの節目の年です。平成23年から実施をしてきた愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査がまとまり、平成26年5月の防災会議で公表されました。これをうけて愛知県では第3次あいち地震対策アクションプランを策定し、南海トラフで発生する地震による災害の軽減に向けた強い取り組みを進めることになりました。一方、活火山のない愛知県にとっても大変痛ましい災害が長野県と岐阜県にまたがる御嶽山で発生しました。平成26年9月27日午前11時52分頃に御嶽山が噴火し、57名の尊い命が失われ、いまだに6名が行方不明です。犠牲者は多くの都府県にまたがり、そのうち愛知県は17名という最大の犠牲者を数えました。御嶽山は、名古屋からもよく見える火山で、県民にとっても親しみのある山です。自動車でも名古屋から3時間程度の距離であり、比較的容易に登山することのできる山でした。

本報告書では、これらの点を踏まえ3つのトピックスを掲載しました。一つ目は愛知県の公表した南海トラフ地震の被害想定について、着目点を中心に解説をしたものです。二つ目は、南海トラフなどの海溝型の巨大地震に関する最新の研究として、海底地殻変動観測について解説をしました。三つ目は御嶽山の噴火災害についての解説です。活火山のない愛知県に住む私たちにとっても、火山について知ることは、予期せざる火山の噴火による被害を減らすことにつながります。

報告書では、平成26年に愛知県で観測された地震についてもまとめています。日本全国では日々多くの地震が発生しています。平成26年も11月22日に長野県北部で被害地震が発生しました。日本を横断する第一級の活断層である糸魚川-静岡構造線の一部が動いて地震を起こしました。幸い犠牲者はありませんでしたが、地表に断層によるずれが現れました。我が国ではこのような被害地震が発生する一方、本報告書でまとめたとおり、愛知県は最近大きな地震を経験していません。愛知県内で最も長い統計がある名古屋市千種区（名古屋地方気象台）の記録を見ても、1975年以降この40年間の最大震度は4であることがわかります。

本報告書で分析された地震のデータが、地震防災対策の基礎資料として活用され、また、県民の皆様の地震に対する理解を深めていただくための資料となれば幸いです。

最後に本報告書の作成にあたり、原稿及び資料をお寄せいただきました名古屋大学大学院環境学研究科の山岡耕春教授、田所敬一准教授、気象庁名古屋地方気象台をはじめ、ご協力いただいた方々に厚く謝意を表します。

愛知県防災会議地震部会

目 次

I トピックス

- 1 南海トラフ地震に関する愛知県の被害予測調査 1
- 2 南海トラフ周辺での海底地殻変動観測 13
- 3 2014 年御嶽噴火..... 17

II 震度観測資料

- 1 はじめに 27
- 2 愛知県における地震 28
 - (1) 愛知県とその周辺の地震の震源分布 28
 - (2) 愛知県内の有感地震 30
 - (3) 愛知県の各地で観測した有感地震の推移 41
- 3 国内の主要な地震 43
- 4 世界の主な地震 47

1 トピックス

1. 南海トラフ地震に関する愛知県の被害予測調査

1.1 はじめに

愛知県は平成26年5月に南海トラフ地震に関する被害想定を公表しました。報告書の表題は「愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査報告書」となっていますが、最近ではこれらの地震をまとめて「南海トラフ地震」と呼ばれることも多いので、ここでもそれにならって南海トラフ地震と呼ぶことにします。さて、この報告書は言うまでもなく2011年に発生した東日本大震災を契機として、従来の被害想定を見直したものです。東日本大震災後、政府の中央防災会議では、過去に発生した地震にとらわれずに科学的に想定される最大規模の地震を考慮すべきであるとの考え方にに基づき、南海トラフで発生する海溝型地震について想定すべき地震の規模を見直しました。愛知県では、中央防災会議の考えを踏襲し、従来想定していた東海・東南海・南海地震よりも大きな規模の地震を想定することにしました。その地震は、過去に発生したことは知られておらず発生頻度は低いと考えられるものの、東北地方太平洋沖地震の研究結果をふまえた最新の地震学の知見から考えると、将来の発生を否定できないものです。一方で、南海トラフで発生する巨大地震は7世紀以降に発生した地震については歴史資料などによって、世界的にもよく研究されており、それらの研究によって判明している地震のうち最も大規模な地震を用いた想定をすることも根拠のあることです。今回の想定では、そのうち1707年に発生した宝永地震以降の地震を参考にしています。愛知県が公表した被害予測調査報告書では、前者を「理論上最大想定モデル」、後者を「過去地震最大モデル」と呼んでいます。理論上最大想定モデルおよび過去地震最大モデルの考え方については、昨年度の震度観測・調査報告書で解説しましたので、そちらを参照して下さい。

本トピックスでは、平成26年度の愛知県防災会議にて報告された南海トラフ地震に関する愛知県の被害想定について、その着目すべき点について解説をしたいと思います。なお、報告書は愛知県防災局のホームページ(<http://www.pref.aichi.jp/bousai/>)よりダウンロードすることができますので、詳細をご覧になりたい方は、ぜひ入手してください。また県内の各市町村では、この被害想定にもとづいたより詳細な想定や具体的な対策について検討されることになっていきますので、お住まいの市町村のホームページ等をご覧下さい。

1.2 予測調査について

震源モデルと時間帯

想定では、用いる地震の震源として、理論上最大想定モデルと過去地震最大モデルを想定しています。理論上最大想定モデルについては、中央防災会議の想定に用いられている複数の震源モデルのうち、愛知県に最も影響の大きいものを用いています。その意味で、考え得る最悪のケースを想定していることとなります。しかし、この最悪のケースの地震・津波については、千年に一度あるいはそれよりもっと発生頻度が低いとされていることから、南海トラフで繰り返し発生している地震・津波のうちで過去に実際に発生したものを参考とした過去地震最大モデルも用いています。

地震による被害は発生する時間帯によって異なるため、報告では3つの季節・時間帯の想定をしています。一つ目は冬の未明5時です。これは1995年の兵庫県南部地震が発生した時間帯であり、多くの人が就寝している時間です。そのため家屋が倒壊したり家具が転倒した場合のとっさの動作ができず、死傷者が多くなる時間帯です。同時に、地震による停電が発生すると明かりが消えて真っ暗になり、津波に備えた避難が遅れやすい時間帯でもあります。二つ目は夏の昼12時です。これは、多くの人が自宅以外で被災するケースです。もし兵庫県南部地震がこの時間帯に起きていたら、倒壊したオフィス、百貨店や鉄道の駅などで多くの方が犠牲になり、身元の確認は困難を極めることが想像されます。また電車には多くの人が乗車しているなど、未明に発生する地震とは、災害の様子が全く異なったものになります。三つめは、冬の夕方6時です。この時間帯は、飲食店や自宅に火気の使用機会が最も多くなり、火災の発生可能性が最も高い時間帯です。また勤務先から多くの人が帰宅する時間帯であり、繁華街やターミナル駅などが多くの人で賑わっている時間帯でもあります。

ハザードと被害

被害予測調査は、ハザード想定と被害想定に分けられます。地震などによる被害を日本語では「災害」と一言で表現してしまいましたが、ハザードと被害に分けると整理しやすくなります。ハザードとは人間の活動とは無関係に発生する自然現象で、地震の場合には、揺れ、津波、液状化などの現象です。ハザードには適切な日本語が当てはめられていないため、ここではハザードと呼んでいます。最近では「災害誘因」という表現が用いられることもありますが、まだ一般的ではありません。被害とは、ハザードによって引き起こされる人間の活動への影響です。建物の倒壊は典型的な被害です。ハザードである「揺れ」は建物の有無にかかわらず変わりませんが、建物があることによって被害が顕在化します。報告で

は、ハザードと被害についてそれぞれ予測を行っています。

1.3 ハザード予測

ハザードは自然現象です。地震の場合には、地震そのものである「揺れ」、地震によって引き起こされる「津波」、揺れによって引き起こされる液状化、急傾斜地の地すべり・崖崩れがハザードです。またすでに使われなくなった亜炭坑、ため池、盛土造成地など、人工的な改変を受けた地盤の被害についてもこの報告書ではハザードに含めています。

報告では、地震動（揺れ）、液状化、崖崩れ、浸水・津波、亜炭坑・ため池・盛土被害について県内全域を対象に予測を行っています。それぞれについて理論上最大想定モデルと過去地震最大モデルについて予測が行われました。ここではそれらの予測のうち、地震動、液状化、浸水・津波について紹介します。

地震動（揺れ）

地震動を計算するためには、震源・地下構造・地盤構造の情報が必要です。最新の知見をもとに震源・地下構造・地盤構造を決め、地震動を計算します。また計算手法も複数あるため、報告書では経験則に基づく簡易的な方法と理論計算を取り入れた方法の計算を行い、各地点で大きいほうの震度を採用しています。これは同じ震源を想定したとしても揺れの想定に幅があることを認めた上で、念のために大きい方の揺れを採用したものです。

図1に、震源モデルとして理論上最大想定モデルと、過去地震最大モデルを用いた県内の予測震度分布を示します。県内では2つの地震モデルともに広い範囲で震度6弱以上の揺れに見舞われることが分かります。震度6弱以上になると建物は大きな被害を被る可能性があると考えられていますから、過去地震最大モデルであっても理論上最大想定モデルであっても広い範囲における建物被害が予想されます。揺れは震源に近い県南部で大きいほか、平野部での揺れが大きくなります。理論上最大想定モデルの場合には、震度6強に見舞われる場所が平野部を中心に広がっていることに加え、震度7と予測される場所が知多半島南部や三河湾沿岸などに現れています。

液状化

図2は液状化危険度の高い場所を示した地図です。液状化は砂の地層で地下水に満たされた場所で発生しやすいとされています。地表付近だけでなく地下数十メートルの地層内で液状化が発生する場合があります。ボーリングによる地下構

造の掘削調査結果が液状化危険度を評価する上で有効なデータであり、報告では県内の多くのデータを用いて評価が行われています。図を見ると、県内の平野部を中心に液状化危険度が大きい場所が示されています。理論上最大想定モデルでも過去地震最大モデルでも分布に大きな違いはありません。

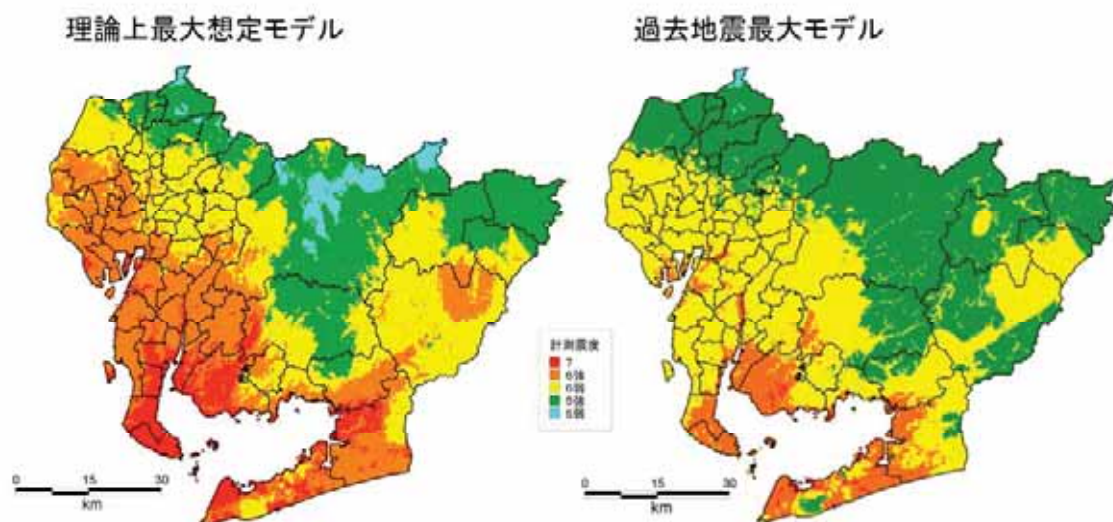


図1：2つの震源モデルにおける愛知県内の震度分布

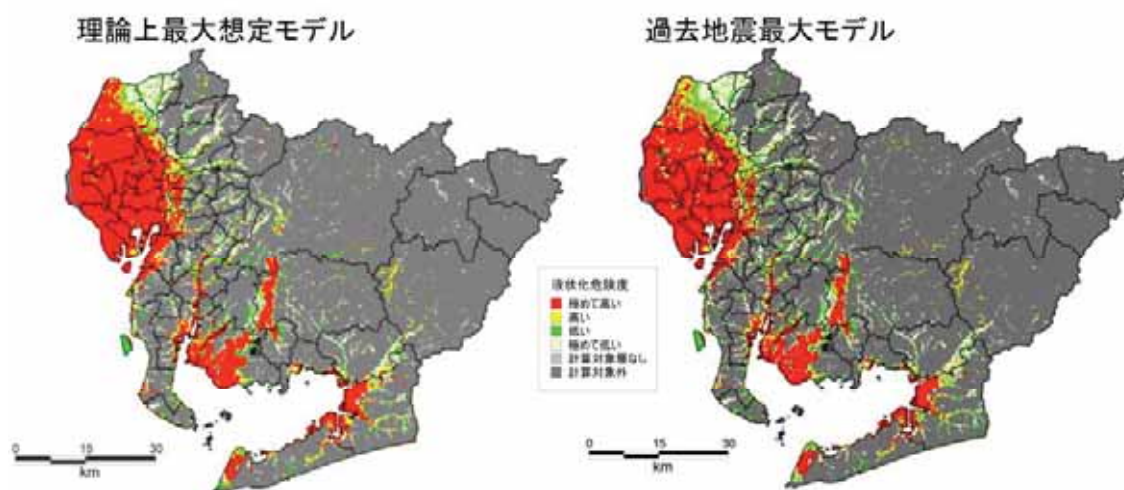


図2：2つの震源モデルにおける愛知県内の液状化危険度分布

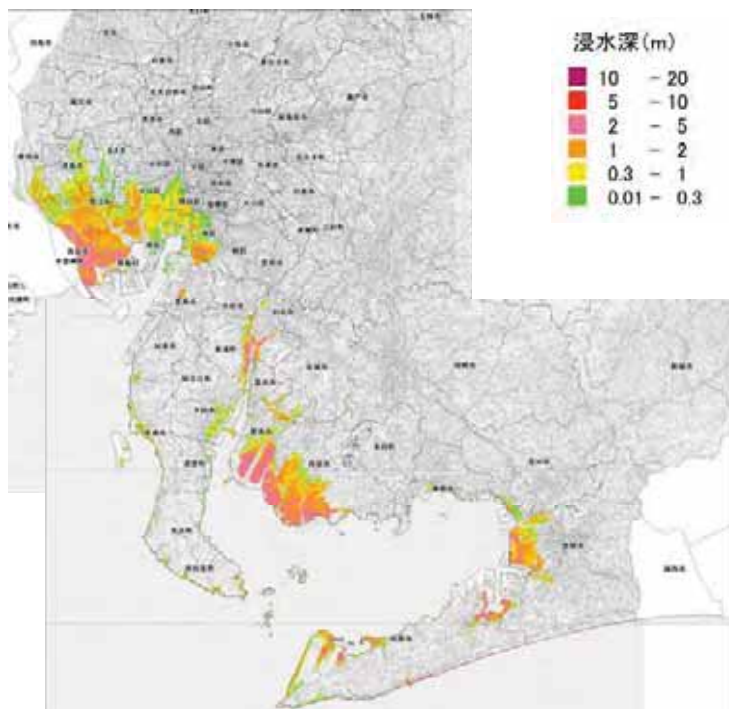
浸水・津波

津波は地震による海底の地殻変動によって引き起こされます。南海トラフ地震では、沖合で発生した津波が海岸に押し寄せてきます。津波と聞くと普通は高さに関心が持たれます。例えば高さ 10 メートルの津波が海岸に押し寄せると、標高 10 メートル以下の土地は全て浸水してしまうように思ってしまうかも知れません。しかし、沿岸部に 10 メートルの高さで到達した津波は、陸上に侵入すると地表を流れる海水の流れが変わるため、陸地の奥にまで津波が到達するには時間がかかります。途中で引き波になってしまうと、陸地の奥にまで津波は到達しません。実際に陸地のどこまで津波が浸入するかは計算してみないとわかりません。津波の被害は津波が浸入する陸地で発生するわけですから、防災上は海岸における津波の高さよりも津波の浸水域のほうが重要です。通常、津波の浸入する範囲とその深さは**浸水深**（しんすいしん）として提供されます。浸水深とはその場所に浸水する津波の最大の深さです。図 3 は、愛知県内における津波の浸水深の分布を示したものです。浸水深を考慮する上で重要な数値が 2 つあります。ひとつは 0.3 メートル（30cm）、もうひとつは 2 メートルです。0.3 メートルとは人が流される可能性がある浸水深です。0.3 メートルというと膝よりも低く、たいしたことがないように思うかも知れません。しかし、強い流れを受けると掴まるものが無い状態で立っていることが難しくなります。強い流れのためによろけて転倒すると、体全体で流れを受けて流されてしまいます。2 メートルとは木造家屋が流される浸水深です。木は水よりも密度が小さいため、津波で浸水すると木造家屋は浮力によって浮き上がろうとします。水位が低い場合は浮力も小さいため流されることはないのですが、2 メートルを越えると木造家屋が浮き上がって流されてしまう可能性が大きくなります。浸水深の図を見る場合には、この 2 数値に注意をしておくといでしょう。

津波のハザードマップで、もうひとつ重要なのは地震が発生してから浸水が始まるまでの時間的余裕です。津波は南海トラフ沿いで発生し、陸地に向かって進んできます。伊勢湾の入り口の伊良湖水道にまで津波が達するのは地震が発生してから約 20 分後です。伊勢湾内は水深が浅いため津波の進む速度は遅くなり、名古屋港にまで達するには地震が発生してから 1 時間以上かかります。そのため、愛知県では渥美半島の太平洋側を除き、地震が発生してから津波がやってくるまでに避難をする時間的な余裕が十分にあるように思うかも知れません。多くの場所はその通りですが、そうでない場所もあります。それは海拔が満潮時の海面よりも低い場所（ゼロメートル地帯）です。ゼロメートル地帯では、地震の強い揺れによって堤防が壊れてしまうと、直ちに浸水が始まります。そのような堤防の被害の可能性も考慮して浸水深が 30cm になるまでの時間を示したのが図 4 です。浸水深が 30cm になる時間が 30 分以内である場所としては、濃尾平野で

は日光川流域が顕著です。日光川流域は普段でもポンプによって水をくみ出している場所であり、堤防とポンプによって守られている場所です。そのような場所でいったん堤防が損傷すると河川から水が浸入し、長期間にわたって水につかった状態が続きます。

過去地震最大モデル



理論上最大想定モデル (ケース①)

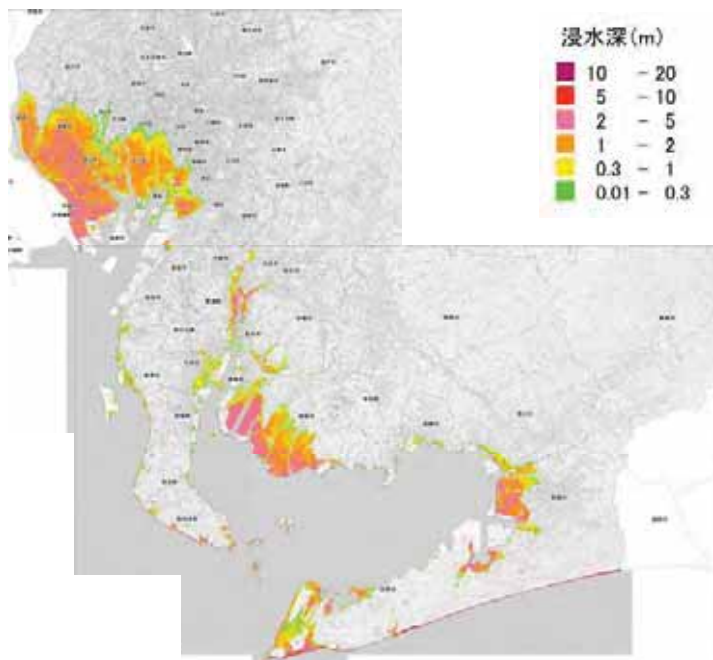
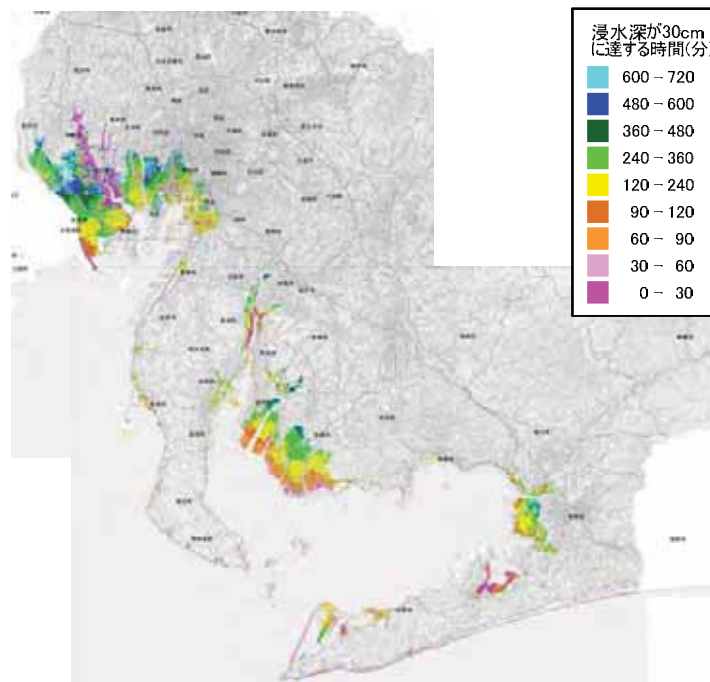


図3：2つの震源モデルにおける愛知県内の津波浸水深分布

過去地震最大モデル



理論上最大想定モデル（ケース①）

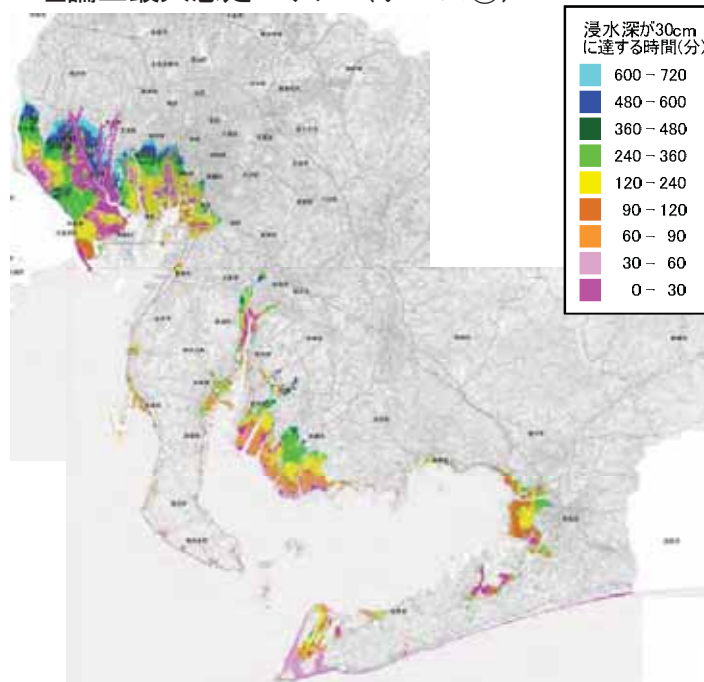


図4：2つの震源モデルにおける愛知県内の浸水深が30cmに達する時間の分布（地震発生から浸水深が30cmになるまでの時間を色によって表している。）

1.4 被害想定

想定する被害は、人間の活動に対する被害です。地震の被害は建物被害が代表的なものです。揺れによる被害に加え、液状化、崖崩れ、津波や、揺れによって発生する火災による建物被害もあります。建物の倒壊や火災に加え、崖崩れ、浸水・津波など多くの要因によって負傷者や死者が発生します。建物が倒壊しなくても、ビルの看板などの落下、ブロック塀や自販機の転倒などによって、負傷者や死者が発生します。地震の後には、上下水道・電力・通信・ガスなどのライフラインが停止し長期間にわたる不便な生活を強いられます。地震は道路・鉄道・港湾・空港などの交通へも大きな影響を与えます。実際に被害が発生しなくても鉄道の運行を停止して点検作業が行われます。被害が発生すると長期間の運行停止を強いられることもあります。道路についても地震時には高速道路は緊急車両のために用いられて一般車の乗り入れが制限されるなどの措置がとられます。揺れによる産業施設への被害も考えられます。東日本大震災でも、東北地方だけでなく千葉県の上原市にあった石油精製工場のタンクで火災が発生しました。地震後は、様々な被害によって避難者・帰宅困難者が発生します。また道路などの物流に支障が出ることから物資の不足が予想されます。地震災害では壊れた建物や使えなくなった家具など災害廃棄物が大量に発生するだけでなく、一般の廃棄物も増加し、その処理は大きな問題となります。地震災害は地域や国の経済にも大きな影響をあたえます。経済被害の影響は直接・間接に拡がり、全体像を予測するのは困難です。ここでは、報告書で扱われた被害予測のうち代表的なものを紹介します。

建物被害

報告書では、建物被害について、地震動、液状化、浸水・津波、急傾斜地崩壊、火災等の要因別に、震源モデルと時間帯を想定して予測しています。図5は要因・条件ごとの建物の全壊棟数を表しています。地震動、液状化、浸水・津波、急傾斜地崩壊による建物被害は発生する時間帯には関係ありません。それに対し火災は冬の夕方に地震が発生した場合の焼失棟数が他に比べて大きくなっています。震源として理論上最大想定モデルの場合は過去地震最大モデルに比べて全壊棟数が非常に多いことが分かります。ただし、液状化による全壊棟数には差はありません。またいずれの場合にも地震動による全壊が圧倒的に多くなっています。このことから耐震化の推進が重要であることが分かります。火災による焼失は、火災発生だけでなく類焼による延焼も含まれます。火災による焼失を減らすには、初期消火活動の強化や建物の密集を減らすなどの対策による延焼の防止が必要となります。

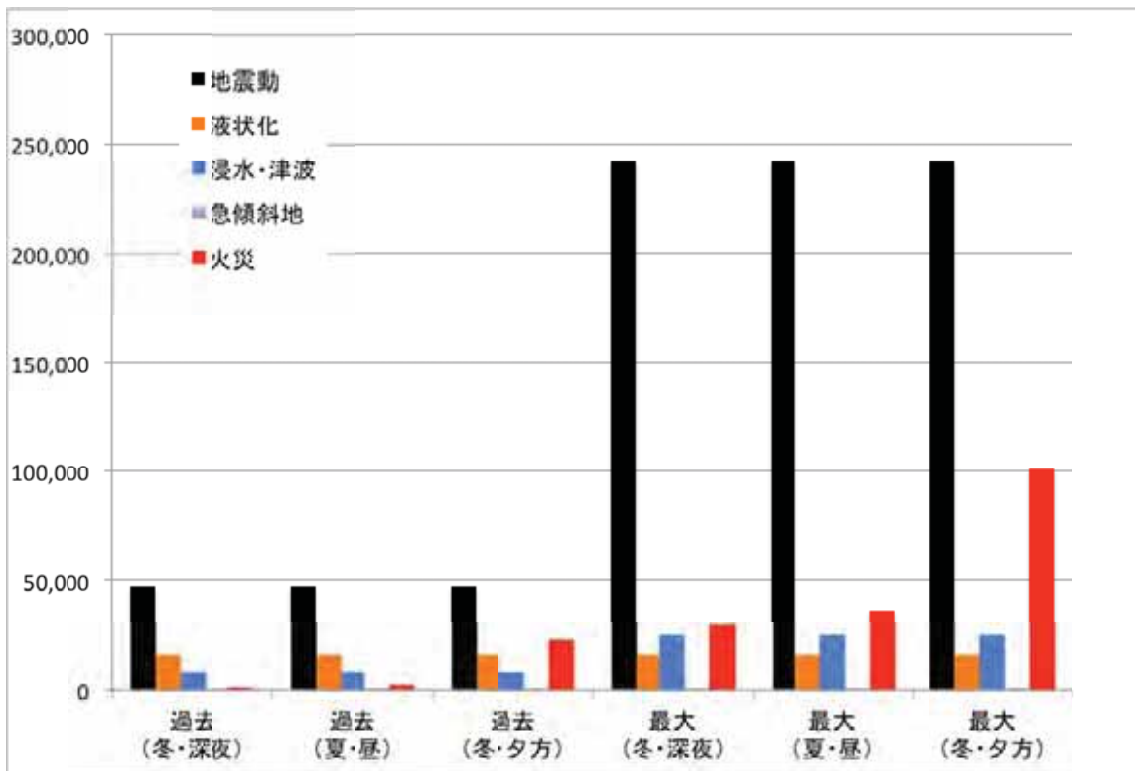


図5：過去地震最大モデル（「過去」と表現）と理論上最大想定モデル（「最大」と表現）による建物全壊予測。それぞれのモデルについて、冬の深夜、夏の昼、冬の夕方に発生した場合の全壊家屋数を示している。

人的被害

大きな地震が発生すると、様々な要因により人的被害が生じます。建物の倒壊で直接の人的被害が生じるほか、倒壊した建物に閉じ込められた場合の人的被害も無視できません。1995年の阪神淡路大震災では倒壊した建物に閉じ込められた人がそのまま火災に巻き込まれて亡くなった例も多くありました。閉じ込められなくても、住宅密集地で大規模な火災が発生すれば、火に取り囲まれて死亡する可能性もあります。浸水・津波が想定される地域では、倒壊した建物に閉じ込められたまま水死する可能性もあります。建物の耐震性があっても、屋内の家具などの下敷きになる場合もあります。建物・家具ともに地震対策が十分できていたとしても、場所によっては津波から逃げ遅れてしまうこともあり得ます。このように様々な要因による予測死者数をまとめたものが図6です。

死者数についても、建物被害と同様、理論上最大想定モデルを震源とした場合の死者が、過去地震最大モデルの場合に比べて圧倒的に多くなっています。浸水・津波については、早期避難率の高い場合と低い場合の両方について計算しています。早期避難率が高い場合とは、すぐに避難を開始（昼間は5分、深夜は10分）する人が7割の場合です。早期避難率が低い場合とは、すぐに避難を開始する人

が2割の場合です。浸水・津波の避難率が低い場合の死者数は建物被害による死者数を超えることが多いことが分かります。伊勢湾や三河湾沿いでは地震から津波がやってくるまでの時間が1時間ほどあると考えがちですが、堤防破壊によってすぐに浸水が始まる可能性があります。浸水・津波の犠牲者を減らすためには早期の避難行動が必要です。

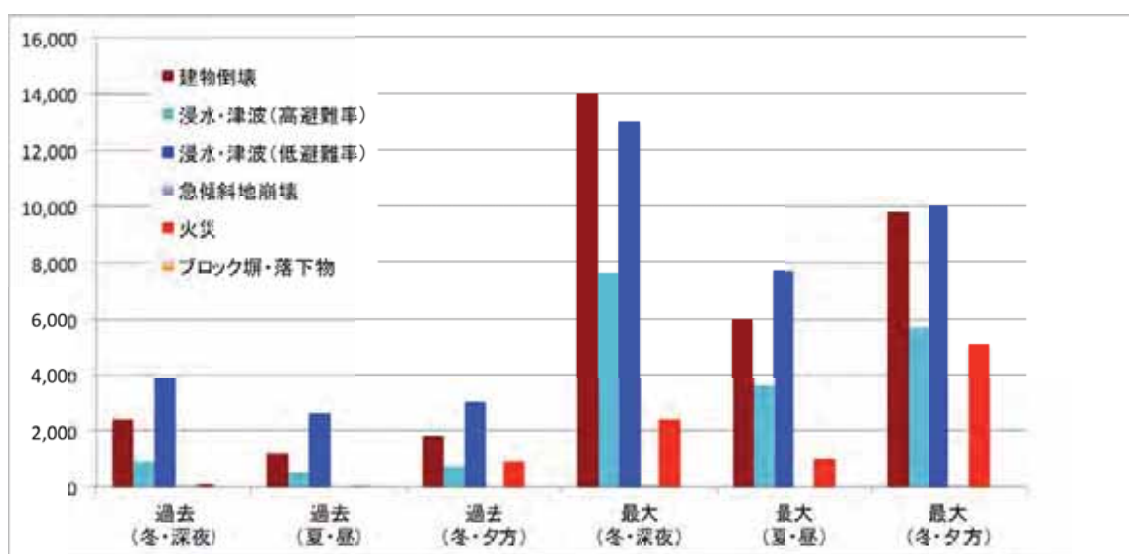


図6：過去地震最大モデル（「過去」と表現）と理論上最大想定モデル（「最大」と表現）による予測死者数（それぞれのモデルについて、冬の深夜、夏の昼、冬の夕方に発生した場合の、原因別の死者数を示している。）

ライフライン

報告書には、上水道、下水道、電力、固定電話、携帯電話、都市ガス、LP ガスなどライフラインの被災率と復旧速度の予測結果が示されています。これらのライフラインは、現代の生活にはなくてはならないもので、すこしでも使えなくなると生活に大きな支障となります。復旧の速度もライフラインの種類によって異なります。例えば、都市ガスやLP ガスは、安全のため地震の揺れを感知して自動的にバルブを閉じるように設計されています。都市ガスの場合には地下埋設などでガスを供給しており、要所に地震の揺れを検知して自動的にガス供給を停止するバルブが配置されています。復旧は配管の安全性を点検しながらの作業となるため、各家庭にガスが届くようになるまでには時間がかかります。LP ガスの場合には各家庭にボンベがあるため、ボンベから家の中のガス管の安全性を確かめることによりガスの供給が再開出来るため比較的短時間の復旧が可能となります。このようなライフラインの特性の違いを考慮した復旧時間の目安が報告書に示されています。またライフラインの被害予測は、過去地震最大モデルのみが対象で、理論上最大想定モデルに対しては行われていません。これは理論上最大

想定モデルで予想される被害は過去に我が国が経験したことがないほど大きく、かつ広域被害となるため、予測の根拠となる十分なデータがないからです。

以下に、過去地震最大モデルによるライフライン被害予測の概要をまとめます。

上水道については、直後の断水率が95%になります。上水道は都市ガスと同様に地下の配管の点検と修理を進めるため、復旧には比較的時間がかかり、95%が復旧するまでには約6週間かかるかとされています。

下水道は、上水道と同様に地下に埋設してありますが、上水道とは異なった様相を示します。地震直後の支障率は18%ですが翌日には支障率が60%に跳ね上がります。これは、下流側の処理施設等の被害によって下水が使用不能となることを反映しています。95%復旧には約3週間かかるかと予測されています。

電力は、地震発生直後は需給バランスが崩れることなどから89%が停電します。ただし、電力の復旧は比較的早く、4日後には停電率が1%程度になるとされています。

固定電話も停電の影響を受け、地震発生直後には89%の回線が不通となります。こちらでも電力と同様に比較的復旧は早く、1週間後の不通回線率は2%にまで復旧するとされています。

携帯電話は固定電話とは異なった状況となります。携帯電話の場合には、各携帯電話と直接電波のやりとりをしている基地局の停波が不通の主な原因になります。地震直後は電話を使う人が激増するため携帯電話会社が9割程度の通話制限をしますが、これは携帯電話の不通には含めません。停電などによる基地局の停波率は、地震直後は2%程度であるものが1日後には非常用のバッテリーの電力が尽きるなどにより、81%が停波すると予想されています。その後は停電からの復旧や主要基地局への電源車の配置などにより急速に復旧が進み、4日後には停波基地局率が3%程度まで回復するとされています。

都市ガスは復旧のスピードが緩やかです。報告書では地震発生直後の供給停止率が9%ですが、1週間後でも7%程度にしか戻りません。95%の家庭に都市ガスが供給されるようになるまでには2週間程度かかるかとされています。ただし、各家庭のマイコンメータはこの数字とは無関係に作動してガス供給を止めている可能性がありますので、都市ガスが停止した場合にはまずマイコンメータをチェックする必要があります。

LPガスは建物の被害に関連して使えなくなります。直後の機能支障率は16%程度と予想され、95%復旧までに約1週間程度とされています。LPガスの場合にもマイコンメータが作動してガスの供給が停止している可能性もあるため、各家庭でのチェックが必要です。

ただし、津波により被災した場合にはさらに復旧までに長期間を要するため、いずれの計算からも除外しています。

廃棄物

地震や津波災害が発生すると大量の廃棄物が発生します。建物の全壊・焼失などによって発生する災害廃棄物だけでなく、津波によって陸上に運ばれて堆積した津波堆積物もやっかいですし、さらに家庭内で地震によって壊れた器具などが粗大ゴミとして排出されるため一般廃棄物も増加します。愛知県全体で災害廃棄物は、1,300 万トンあまりとされ、体積にすると約 1,200 万立方メートルとなります。幅 100 メートル道路に高さ 10 メートルで積み上げても、長さが 12km にもなるというとんでもない量となります。津波堆積物は約 700 万トンで、体積にすると 500 万から 600 万立方メートルとなります。粗大ゴミは地震発生後 3 ヶ月程度の間は通常の 3 倍に増加すると考えられています。地震発生後しばらくは、道路交通にも支障があると考えられるため、これらの廃棄物の処理には長い時間がかかります。

1.5 おわりに

愛知県では平成 23 年度から 3 年間をかけて南海トラフ地震等による被害想定を行ってきました。理論上最大の想定をした地震が実際に発生すると、想像を絶する被害となることも分かってきました。県内の死者数も最悪のケースで 3 万人近くになります。しかし、この数字に一喜一憂していても仕方ありませんし、この数字そのものは個人の防災対策には必ずしも役に立つものではありません。個人で、あるいは地域の取り組みとして行うべきことは、やはり耐震化の推進と家具の固定、それに加え浸水・津波の可能性がある場所においては迅速な避難です。愛知県の建物の耐震化率は現在約 85%です。この割合を増加させることによって確実に被害を減らすことができます。過去地震最大モデルの想定においては、耐震化率を 100%にすることによって建物倒壊等による死者数を 1 / 4 近くまで減らすことができます。また、早期避難率を 20%から 70%まで向上させることで、理論上最大想定モデルの想定における津波からの逃げ遅れによる死者数を約 7 割減にすることができます。被害想定は、地震の規模に驚くためにあるのではなく、対策を実施するためにあります。被害想定はその時点における社会の防災力が反映されます。次の被害想定では、予想される被害が激減していることを期待したいと思います。(山岡 耕春)

2. 南海トラフ周辺での海底地殻変動観測

2.1 海底地殻変動観測

平成7年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）後，国土地理院によって陸上でのGPS観測網（GEONET）が展開され，日本列島の陸上における地殻変動観測は目覚ましい発展をとげました．南海トラフの巨大地震のような海溝型地震の震源域は，その大半が海底下に位置していますので，このような地震の調査研究や減災対策にとって，海域における地殻変動観測データは必要不可欠です．海域で地殻変動を測定する場合，陸上と同様にGPSが使えれば問題ないわけです．ところが，GPSは人工衛星からの電波を受信して自らの位置を決定するシステムですが，電波が海水中では著しく減衰するため，GPSを用いた海底での地殻変動観測は原理的に不可能です．海中でも十分な距離にわたって届く波は音波のみです．そこで，電波の代わりに音波を用いた海底地殻変動観測システムが名古屋大学で開発されてきました[たとえば，田所ほか，2001；安藤・田所，2004；Ikuta et al., 2008]．

海底地殻変動観測のしくみの模式図を図1に示します．まず，地殻変動を測定する海底に3台の海底局（写真1）を設置します．海底局3台がセットで1つの海底ベンチマークを構成します．海底局には直径17インチのガラス球内に電子回路と電池が搭載されており，30年間作動できる量の電池を積んでいます．トップの部分にはトランスデューサ（音波の送受信器）が装着されています．

観測の際には，海底ベンチマークが設置されている海域に音波の送受信を司る船上局を搭載した観測船で行き，海底ベンチマークの周囲を回りながら音波を送受信して海底ベンチマークと観測船との距離をセンチメートル単位で測ります．観測船から送

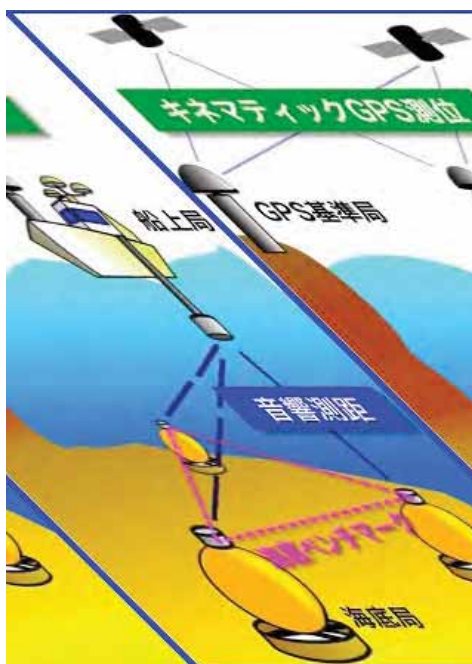


図1：海底地殻変動観測のしくみ（模式図）



写真1：海底局の写真

信した音波は 6km 先の海中でも十分に届きます。また、観測船の位置はキネマティック GPS という方法で決定します。音波による距離測定と、キネマティック GPS による船の位置の測定のデータを合わせて解析し、海底ベンチマークの位置をセンチメートル単位で決定します。これを繰り返して行うことにより、海底の移動、すなわち海底地殻変動を測定することができます。

我が国では、これと同様の観測システムを用いて海上保安庁と東北大学でも観測が行われており、日本列島周辺に約 60 点の海底ベンチマークが設置されています(図 2)。また、沖縄では、琉球大学と名古屋大学が共同で観測を行っています。琉球列島の南東方には南海トラフの延長である琉球トラフというプレートの沈み込み口があります。琉球海溝ではプレートの沈み込みに関わる実測データが乏しく、地震の発生確率などの長期評価が行われていません。したがって、この観測点での調査結果は、沖縄での地震・津波対策にとって大変重要です。

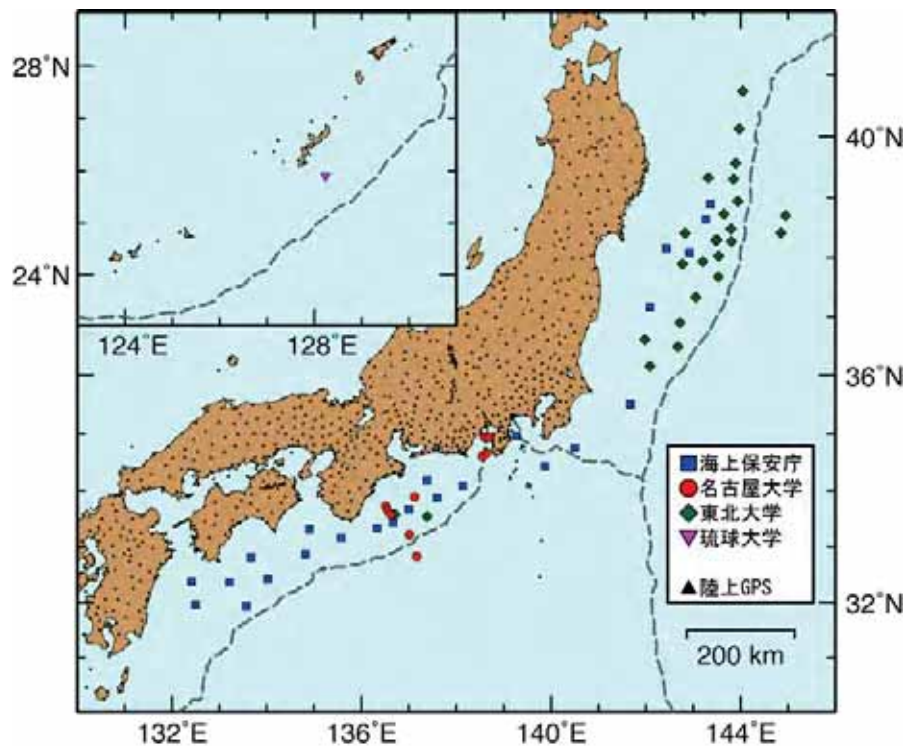


図 2：日本列島周辺に展開されている海底地殻変動観測点

2.2 調査内容とその結果

名古屋大学では、南海トラフ周辺において図 3 に示した 7 ヶ所の海底地殻変動観測点で継続して観測を行っています。設置日と 2015 年 1 月末現在の観測回数を表 1 に示します。KMN, KMC, KMS, KME 観測点では、三重県水産研究所（調査船「あさま」）にご協力をいただきながら、1 観測点あたり年に 1～2 回の観測を実施しています。これらの海底ベンチマークの水深は 2km 前後です。つまり、我々のシステムでは、2km 先の海底の位置を cm 単位で決めることができます。

2014 年末までの観測から分かった海底地殻変動の様子を図 3 に示します。KMC では

観測回数が少ないため、明瞭な変動は観測されていませんが、KMN, KMS, KME では年間 4cm 程度の速度で北東～東北東方向に海底が移動している様子が観測されています。この動きは、南海トラフにおいて海のプレート（フィリピン海プレート）が西南日本を載せている陸のプレートの下に沈み込むことによって生じていると考えられます。この海底の動きによって、南海トラフ地震の震源域には次の地震を起こす「ひずみ」のエネルギーが蓄積され続けています。

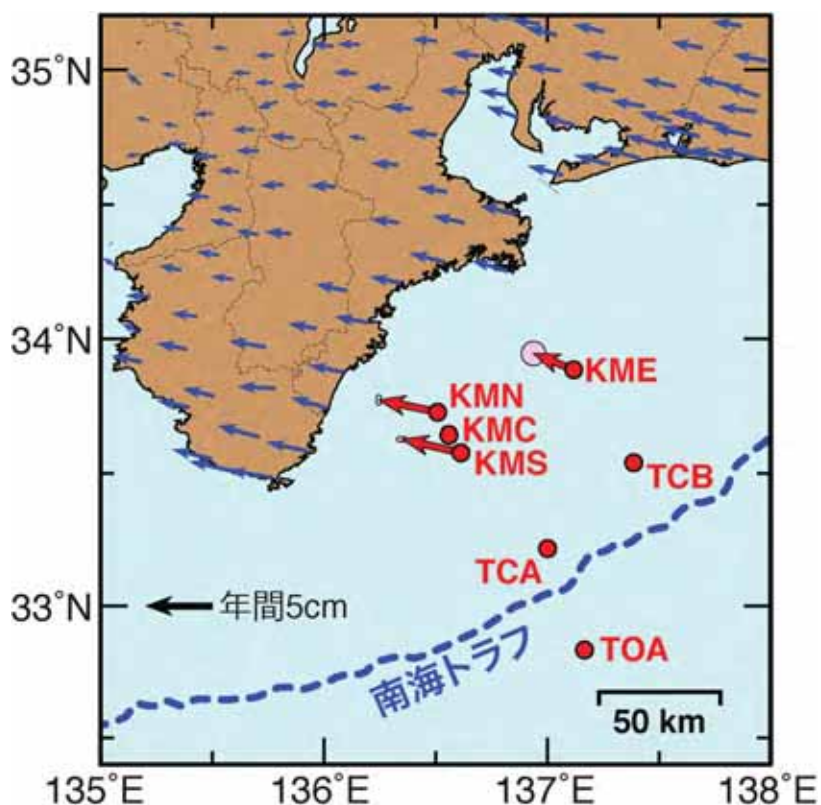


図 3：南海トラフ周辺で名古屋大学が観測している海底地殻変動観測点と観測結果。TCB は東北大学の所有であるが、名古屋大学のシステムでも観測でき、共同で観測を実施している。

表 1：海底局の設置日と観測回数

観測点	設置日	観測回数*
KMN	2003年 6月 12日	16
KMC	2004年 11月 8日	5
KMS**	2003年 7月 14日	20
	2009年 8月 24日	5
KME	2008年 6月 23日	10
TCA	2013年 7月 16日	4
TOA	2013年 8月 20日	4
TCB	2012年 12月 1日	1

* 2015年 1月末現在

**KMS には 2組の海底局が設置されている

2.3 南海トラフ軸付近での海底地殻変動観測

東日本大震災では、非常に高い津波が東北地方の太平洋岸を襲いました。このような津波が発生した原因は、海溝軸のすぐ内側のプレート境界浅部が地震時に極めて大きくすべったことにあるとされています [佐竹ほか, 2011]。この領域は、プレートの沈み込みに伴うひずみを貯め込んでいないため、地震時には大きくすべらないと考えられていました。この考えが東北地方太平洋沖地震の「想定外」を生んだ原因のひとつです。政府の地震調査研究推進本部でも、海溝軸付近の観測データが不足していたために、海溝軸付近での地震時のすべりやそれに伴う非常に高い津波が予測できなかったと総括しています。しかし、事前にこの領域でのひずみ蓄積状態あるいはバックスリップ（海のプレートの沈み込みに伴う陸側プレートの動き）が直接測定されていなかったのですから、無理もありません。

東北沖で海溝軸のすぐ内側のプレート境界浅部が地震時に大きくすべる能力をもっていることが分かったわけですから、南海トラフでもその可能性を実測に基づいて評価する必要があります。そこで、2013年の夏にKMS観測点のさらに南東方、南海トラフ軸から約15kmの地点に新たな海底ベンチマークTCA（図3参照）を設置しました。この観測点で地殻変動を観測することにより、南海トラフ軸付近でのプレート境界浅部における「ひずみ」の蓄積状態が把握できます。また、同じ時期に、南海トラフの向こう側約35kmの地点に別の海底ベンチマークTOA（図3参照）を設置しました。この観測点での調査結果から、フィリピン海プレートの沈み込み速度を実測することができます。TCB観測点は東北大学によって設置されたもので、名古屋大学の船上局でも観測ができるようになっていました。TCA、TOA、TCBでの観測はまだ始まったばかりですので、明瞭な地殻変動は観測されていませんが、今後も観測を継続し、南海トラフ地震およびそれによる津波の対策に役立つ実測データを取得していきたいと考えています。（田所敬一）

<引用文献>

- 田所敬一・安藤雅孝・佐藤一敏・山田卓司・奥田 隆・片尾 浩・岸本清行：音響測距-GPSリンクによる海底地殻変動観測システムの開発，地学雑誌，110，521-528，2001。
- 安藤雅孝・田所敬一，超音波で地震のメカニズムを知る，超音波 TECHNO，16，9-14，2004。
- Ikuta, R., K. Tadokoro, M. Ando, T. Okuda, S. Sugimoto, K. Takatani, K. Yada, and G. M. Besana, A new GPS-acoustic method for measuring ocean floor crustal deformation: Application to the Nankai Trough, *J. Geophys. Res.*, 113, doi:10.1029/2006JB004875, 2008.
- 佐竹健治，酒井慎一，藤井雄士郎，篠原雅尚，金沢敏彦：東北地方太平洋沖地震の津波波源，科学，81，407-410，2011。