

# 地震 ジャーナル

62

2016年 12月

エッセイ 東海地震説から40年 ●石橋克彦

追悼 阿部勝征先生 ●佐竹健治

- 南海トラフ地震震源域のひずみ蓄積状況 ●西村卓也—— 1
- 南海トラフ地震の中短期予測をめざして ●松本則夫—— 8
- 1944年東南海地震発生時の掛川異常隆起は本当か? ●鷺谷 威——13
- 熊本地震での建物被害と耐震設計 ●高山峯夫——29
- 震度データを用いた地震の中期予測
- 地震発生の「相場観」を理解してもらうために— ●小泉尚嗣/今給黎哲郎——35
- 書評——41
- 新刊紹介——43
- ADEP情報——44

囲み記事 「震度7」の違和感

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

## 東海地震説から 40 年 石橋克彦

編集部から頂いた標題のとおり、私が1976年に「駿河湾地震説」を唱えてから40年になる。ただし、東海地震説の最初は69年の茂木清夫先生の発表である。このとき、萩原尊禮先生の「明日起きるかもしれないし、100年後かもしれない」という言葉が週刊誌に載った。73年頃からは東海地震＝遠州灘地震とされ、静岡県なども割に呑気だった。

私は、観測も防災も空白の駿河湾こそが危険という研究結果を得て、直下型巨大地震になって大震災を生ずる恐れと、観測強化の必要性を含め、地震予知連絡会に報告した。この指摘は「コロブスの卵」のようでもあったので、基本的に関係者に受け入れられた。駿河湾単独の大地震は起きないのではという意見もあったが、だから警戒不要とはいえず、ほぼ私のモデルが「想定東海地震」になった。

直前予知をめざせとも訴えたが、普遍的な地震予知は不可能と思っていたから、のちに「応急的地震予知」と呼んだものを考えていた。だから、予知を大前提にした大規模地震対策特別措置法（大震法）には違和感があった。40年たって、東海地震が南海トラフ巨大地震と連動する可能性が高まったこともあり、大震法を見直すのは当然である。

いまだに東海地震が起きていないことから、私の説は「勇み足」だったという声もある。しかし、切迫の可能性を含めた予測が「外れた」のは明らかだが、負け惜しみではなく、勇み足だとは思っていない。駿河湾地震と「原発震災」を同じように警告し、片や起こらず片や起きてしまった経験から、予測された危険性は積極的に発信すべきで、勇み足を恐れて慎重になるのは専門家の責任放棄だとも思う。もちろん専門家集団にチェックされ、不確実性も社会的に的確に理解されなければならないが、

駿河湾地震説の科学に関しては、拙著『南海トラフ巨大地震』に書いたことだが、フィリピン海プレートの沈み込みだけで考えていた点が誤っていたように思われる。この点は、40年間で観測事実が圧倒的に増えた一方で、学界の基本的考え方は旧態依然の気がする。いまや南海トラフ全体を視野に入れるべきだが、地震発生メカニズムも根本的に問い直す必要があるだろう。私たちの理解不足がまだ沢山あって、南海トラフ地震が何十年も起きないかもしれないし、駿河湾地震が絶対に起こらないとも言い切れない。

大震法の見直しも、なぜ南海トラフだけなのかという問題がある。日本の地震対策の法律は本来、特措法の寄せ集めではなく、列島全域を一本化した恒久法があるべきではないか。さらに言えば、地震対策は突き詰めれば文明論であり、地震や強震動の予測に頼りすぎるのではなくて、列島の自然条件を直視した国土政策や経済・社会政策をこそ中心に据えるべきだろう。そして、知的探究としての地震研究がもっと尊重されてしかるべきだと思う。



石橋克彦

[いしばし かつひこ]

**略歴** 東京大学理学部卒、同大学院地球物理学専門課程終了、理学博士。東京大学理学部助手、旧建設省建築研究所室長、神戸大学教授などを経て、現在、神戸大学名誉教授

**研究分野** 地震テクトニクス、歴史地震学  
**著書** 『大地動乱の時代』（岩波新書）、『阪神・淡路大震災の教訓』（岩波ブックレット）、『原発震災—警鐘の軌跡』（七つ森書館）、『南海トラフ巨大地震』（岩波書店）など



## 故 阿部勝征会長の近影

病氣療養中であった当振興会会長の阿部勝征は、去る9月9日に永眠いたしました。ここに、生前の主な経歴等をご紹介しますとともに、衷心より哀悼の意を捧げます。

### (主な経歴)

昭和48年3月	東京大学大学院理学系研究科博士課程修了(理学博士)	平成17年6月	日本災害情報学会会長(21年まで)
昭和48年4月	北海道大学理学部講師	平成19年1月	中央防災会議委員
昭和49年2月	同助教授に昇任	平成19年3月	東京大学地震研究所を定年退職
同 年3月	マサチューセッツ工科大学研究員	同 年4月	(財)地震予知総合研究振興会地震調査研究センター所長
昭和50年4月	地震予知連絡会委員	同 年5月	東京大学名誉教授
昭和52年8月	カリフォルニア工科大学上級研究員	平成25年6月	(公財)地震予知総合研究振興会理事長
昭和59年2月	文部省学術審議会専門委員	平成27年6月	同 会長
同 年8月	東京大学助教授地震研究所に配置換		
昭和60年10月	メキシコ地震調査	(受賞)	
平成1年4月	東京大学教授に昇任	平成16年10月	原子力安全功労者経済産業大臣表彰
平成2年5月	経済産業省原子力安全・保安部会委員	平成17年9月	防災功労者防災担当大臣表彰
平成4年9月	ニカラグア地震調査	平成20年9月	防災功労者内閣総理大臣表彰
平成6年5月	原子力発電技術顧問会顧問	平成28年10月	叙位・叙勲(正四位・瑞宝中綬章)
平成7年4月	地震防災対策強化地域判定会委員(20年~28年まで会長)	(著書)	
平成8年2月	地震調査研究推進本部地震調査委員会委員(18年~24年まで委員長)	昭和53年	「地震の物理」(岩波書店)
平成10年1月	中央防災会議専門委員会委員	昭和60年	「地震と断層」(アイ・エス・ユー)
平成11年10月	土木学会原子力土木委員会委員	平成2年	「地震は必ず来る」(読売新聞社)
		平成9年	「巨大地震 正しい知識と備え」(読売新聞社)

# 追悼 阿部勝征先生

## 佐竹健治

地震予知総合研究振興会の会長を務めておられた阿部勝征先生が、去る9月9日にご逝去されました。

阿部先生は、東京大学の学部生の時代から地震研究所に出入りしておられたようで、大学院へ進学されてからは、金森博雄先生の下で、いわゆるカナモリ・スクールの一人として、長周期表面波を使った上部マントルの地震波構造の研究や、地震波・自由振動・津波・地殻変動などの多種の観測データを用いた世界の大地震の研究を精力的に行われました。大学院の5年間に筆頭で10編の英文論文を出版されたことは、のちに阿部先生の指導を受けることになった私にとって大きな目標となりました。なかでも1968年十勝沖地震を使って、津波の発生を地震の断層運動と直接関連付けた研究は、その後、津波データを用いて地震の震源を研究する道筋を作ったと言えます。

1973年に東大の博士課程を修了後、北海道大学理学部に着任されました。北大在任中にはMITとCaltechへ一年ずつ留学されました。その間に、検潮記録の振幅から地震の規模を推定する津波マグニチュード $M_t$ を考案されたほか、ゲーテンベルグが残したノートを詳しく再解析して世界の主要な地震のマグニチュードを再決定され、世界の大地震について均質なカタログ、いわゆる阿部カタログを作られました。

私が阿部先生に初めてお会いしたのは、1980年、学部3年生の頃でした。学部や大学院で、阿部先生から研究の手ほどきを受けたのですが、「問題はエレガントに解くものだ」、「世界に通用する研究をしなければ駄目だ」、「解析をしても、それはまだ研究の3分の1であって、論文として公表し、それを広く宣伝してはじめて研究が完結するのだ」などといった精神および実践を叩き込まれました。1983年日本海中部地震の北海道における被害調査にご一緒してから、阿部先生は災害現場を意識されるようになり、私も津波の研究を始めることになりました。

1984年に地震研に異動されてからは、伊豆大島での割れ目噴火の現場で写真を撮ってその解析をされるなど、国内外の災害現場に赴かれるようになりました。また、地震予知連絡会・地震調査委員会・地震防災対策強化地域判定会の委員や委員長・会長を務められました。この三つの委員のことを、阿部先生は三足のわらじ、とおっしゃっていましたが、それらを履くことによって、地震学の成果を社会に正しく伝えていくことの重要性を感じておられたようです。のちには、内閣府の中央防災会議でも活躍されました。中央防災会議は、内閣総理大臣を会長として、関係大臣や日銀総裁・日本赤十字社・NHKの会長などからなる会議ですが、ここにただ一人の地震学者として加わり、政府の防災対策について地震学者として意見を言う職務を務められました。2007年に東京大学を退職された後は、地震予知総合研究振興会で地震調査研究センター所長・理事長・会長を務められました。

阿部先生に最後にお会いしたのは、昨年末の内閣府の検討会でした。今年に入ってから体調を崩されたようで、地震学会ニューズレター7月号に掲載された、地震学会名誉会員選出へのお礼の言葉が絶筆となりました。私自身、阿部先生からもっといろいろ学びたかったと思っています。ご冥福をお祈り申し上げます。

# 南海トラフ地震震源域のひずみ蓄積状況

西村卓也

紹介する。

## 1. はじめに

南海トラフ沿いでは、歴史上繰り返し海溝型巨大地震が発生してきたことが知られており、その最新の活動である1944年東南海地震 ( $M_{JMA}7.9$ )、1946年南海地震 ( $M_{JMA}8.0$ ) の発生から70年が経過した。地震調査研究推進本部の長期評価によると、南海トラフでは30年以内に大地震が発生する確率は70%程度と見積もられており、その規模はM8~M9クラスだとされている。このような地震が発生すれば、西日本ではきわめて甚大な被害が生じることは疑う余地がない。

南海トラフで巨大地震の発生が近づいている証拠の1つとして、測地観測によりひずみが蓄積されつつあることがあげられる。わが国においては、明治以降、水準測量や三角・三辺測量、潮位観測などの測地観測によって、地殻変動が高精度に把握されてきた。南海トラフ巨大地震によって大きな地殻変動が生じてきた四国や紀伊半島では、地震サイクルのほぼ1サイクルの間の地殻変動の時空間分布が得られつつあり、世界的にも貴重で地震発生過程を考えるうえできわめて重要なデータとなっている。

さらに、1990年代半ばからは国土地理院のGEONETに代表されるGNSS観測によって、地殻変動の時空間分布がほぼリアルタイムに観測できるようになった。2000年代に入ってから、GPS音響測距結合方式の海底地殻変動（以下、GPS/A）観測により、震源域直上での地殻変動データが得られるようになり、近年の測地観測データの充実は目を見張るものがある。

本稿では、測地観測によって得られた西南日本の地殻変動を概観するとともに、観測データから推定される現在のプレート間の固着分布について

## 2. 水準測量などによる約120年間の地殻変動

南海トラフ沿いにおいて最初に水準測量が行われたのは1880~1890年代であり、1920~1930年代に2回目の測量が、1944・1946年の地震の直後に3回目の測量が行われている。南海トラフ沿いの地殻変動を検出するための水準測量といえ、現在は年2回実施されている静岡県の掛川~御前崎間の水準路線が有名であり、1960年代以降、掛川に対して御前崎が5mm/年のほぼ一定の速度で沈降していることが観測されている（国土地理院、2016）。しかし、この路線は1960年代以降に設置されたもので、地震サイクル全体の変動をみることはできない。

一方、高知県の室戸岬や和歌山県の潮岬周辺の水準測量では、1944・1946年の地震前の変動、1944・1946年の地震時変動、地震後から現在までの地殻変動が捉えられている。図1は、高知県安芸市の水準点を基準とした室戸岬周辺の上下変動の時間変化を示したものである。基準とした水準点よりも北にある水準点5121を除いて、1946年の地震を含む期間には隆起、それ以外の期間では沈降が観測されている。これは、室戸岬周辺が地震時には隆起し、それ以外の期間にはほぼ一定の速度で沈降していることを示している。潮岬周辺の水準測量や潮位観測でも、地震時の隆起と地震間の沈降が捉えられているが、1946年以降の変動速度は余効変動の影響と考えられる時間変化を示しており（国土地理院、2015a, b）、地震サイクルにおける変動は室戸岬周辺ほど単純ではない。

室戸岬に近い水準点5140を例に、地震サイクルにおける隆起、沈降量を議論してみよう。この

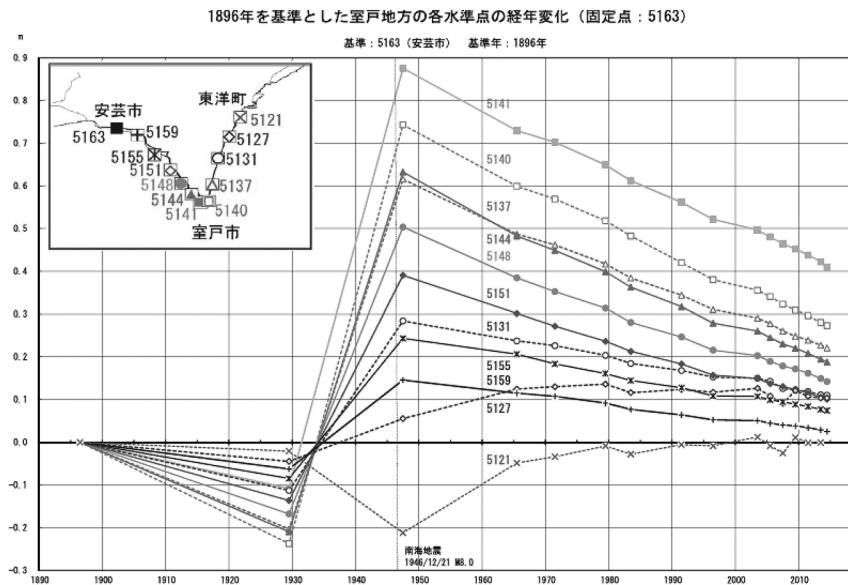


図 1 室戸岬周辺の水準点の高さの上下変動時系列 (国土地理院, 2015a). 水準点 5163 (高知県安芸市) を基準とした各水準点の時間変化を示す

水準点では、1930 年以前と 1947 年以降は、7mm/年の速度で沈降している。1930 年から 1947 年の間には 98cm 隆起しているが、この期間でも地震時以外は 1930 年以前と同じ速度で沈降していたとすると、1946 年の地震では約 1.1m 隆起したことになる。1946 年以降の沈降量は約 0.5m なので、地震時隆起量の半分以下ではあるが、確実にひずみが蓄積しつつあることを上下変動データは示している。一方、地形学的研究 (前杵, 1988) によると、室戸岬周辺では海岸段丘が発達しており、経年的に隆起していることが指摘されている。このような経年的隆起が水準測量データに含まれているとすると、次の南海トラフ地震は、1946 年以降の沈降量が前回の地震の隆起量より小さい段階で発生する可能性は高いと考えられる。

### 3. GNSS および GPS/A 観測による地殻変動観測結果

図 2 は、陸上の GNSS 観測点と海底の GPS/A 観測点における水平変位速度を示したものである。GNSS 観測点については、国土地理院、海上

保安庁、京都大学防災研究所の観測点における 2005 年 4 月から 2009 年 12 月の日座標値データを線形近似し、得られた速度をアムールプレート固定に変換したものを示した。この期間には、顕著な大地震や長期的スロースリップイベントは発生しておらず、本研究では最近の地震間地殻変動場を代表する期間とみなして議論をすすめる。一方、海底の GPS/A 観測点については、海上保安庁によって得られた変動速度 (Yokota *et al.*, 2016) を表示している。この速度は、座標値データに含まれる 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時および地震後の変動は、モデル (Inuma *et al.*, 2012; Sun and Wang, 2015) を用いて除去し、観測開始から 2015 年までの座標値データを線形近似して得られたもので、アムールプレートを基準としたものである。なお、観測開始時期は観測点によって異なり、誤差楕円の小さい 6 観測点は 2006 年、それ以外の 9 観測点は 2011~2012 年である。

図 2 の特徴は、以下のような点があげられる。  
(1) 南海トラフにおけるフィリピン海プレートの沈み込み方向である西北西への変動が四国や紀

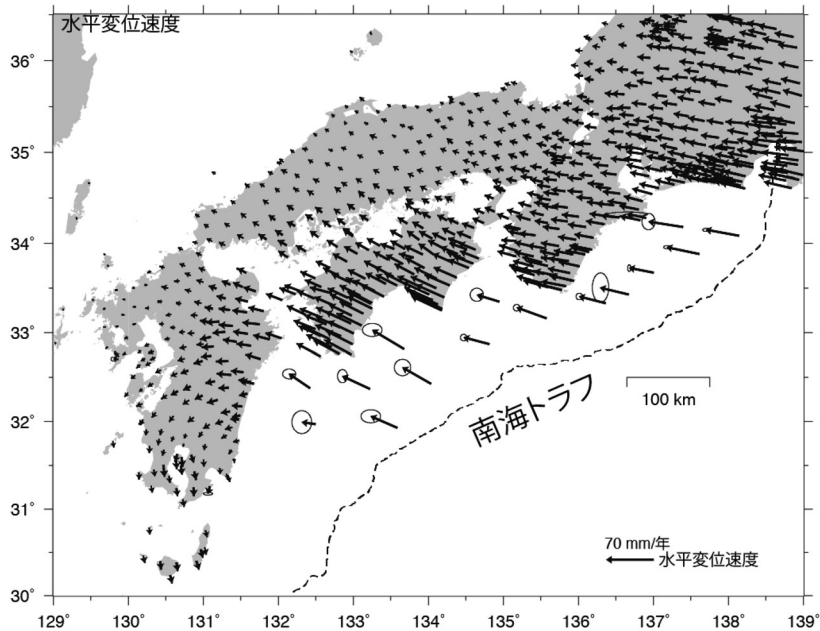


図 2 陸上の GNSS 観測と海底の GPS/A 観測 (Yokota *et al.*, 2016) によって得られた南海トラフ沿いの水平変位速度分布

伊半島の観測点において卓越している。特に太平洋側に突きだした御前崎、潮岬、室戸岬、足摺岬では変動速度が大きいですが、日本海側では変動速度は小さい。

(2) 九州東部の日向灘・豊後水道沿岸では、大分県・宮崎県では西北西方向の変動がみられるものの、南にいくに従って急速に小さくなる。九州南部や種子島・屋久島付近では、本州から四国でみられる西北西-東南東方向の短縮変形はみられない。

(3) 海底の地殻変動は、おおむね太平洋側の陸上観測点と変動方向が同じで変動速度は大きいですが、足摺岬沖や室戸岬南東沖の観測点での速度は、陸上の観測点とほぼ等しいか小さい。

(4) 淡路島から琵琶湖にかけての地域よりも東側では、西北西向きの変動速度が大きい領域が内陸や日本海沿岸まで続いている。

次に、陸上 GNSS 観測点の上下変動速度を図 3 に示す。速度の計算に用いた期間は水平成分と同じ 2005 年 4 月から 2009 年 12 月、基準座標系は ITRF2005 である。海底の GPS/A 観測点でも上

下変動は観測可能であるが、個々の測定誤差が 5 cm 程度と大きいので、ここでは表示しなかった。

図 3 の特徴は、以下のようにまとめられる。

(1) 駿河湾沿岸、潮岬、室戸岬、足摺岬周辺では沈降がみられる。

(2) 上記沈降域の北側、伊勢湾周辺から紀伊半島、四国、豊後水道周辺にかけての地域が隆起している。

(3) 隆起域の北側、長野県北部から北陸、中国地方、九州北部にかけての地域では、緩やかに沈降している。九州中部の阿蘇山周辺でも沈降が卓越している。

これら水平および上下変動の特徴の多くは、海洋プレートの沈み込みとプレート間の固着によって、陸側プレートが変形しているという典型的な海溝型地震の発生メカニズムによって説明することができ、次章でプレート間固着分布の推定を試みる。

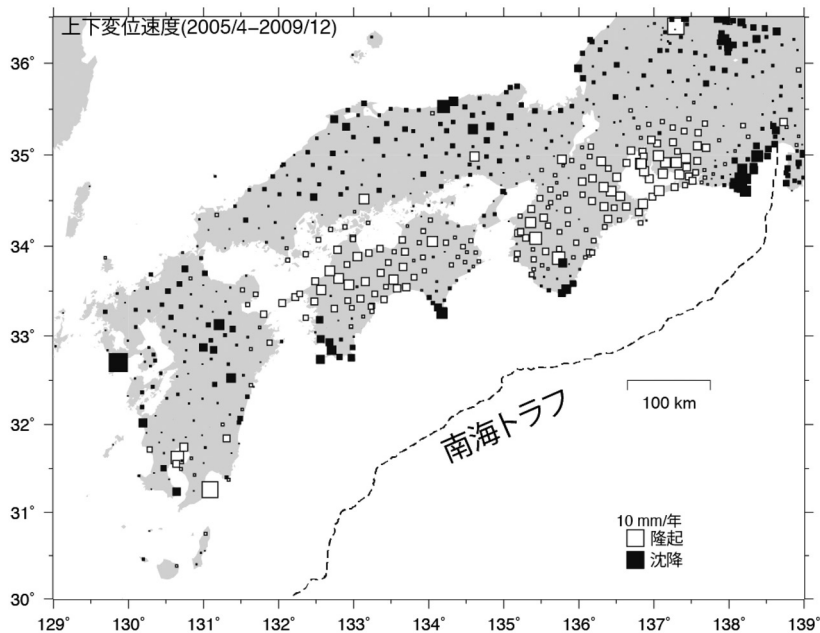


図3 陸上のGNSS観測によって得られた南海トラフ沿いの上下変位速度分布

#### 4. 測地観測データから推定されるプレート間固着分布

測地観測データから南海トラフ沈み込み帯におけるプレート間固着の推定は、Yoshioka *et al.* (1993) による研究を皮切りに、最近でも Yoshioka and Matsuoka (2013) など数多く行われている。これらの研究により四国沖などで海洋プレートと陸側プレートが強く固着していることが明らかにされてきた。最近、Yokota *et al.* (2016) は、プレート間固着分布の推定にGPS/Aによる海底での変動速度場を初めて利用し、南海トラフ沿いのプレート間固着の空間分布が不均質であることを示した。しかし、これらの先行研究の多くは、観測された地殻変動速度の原因としてプレート境界での固着のみを仮定しているが、内陸のひずみ集中帯などによってもたらされる図2の特徴の(4)は、プレート境界の固着だけでは説明できず、内陸におけるブロック的な運動などを考慮する必要がある。

そこで本稿では、「ブロック断層モデル」を用

いて、図2と図3に示した地殻変動速度をデータにして、プレート境界の固着分布を推定した結果(Nishimura, in prep.) について紹介する。ブロック断層モデルとは、観測された地殻変動をプレート境界での固着による弾性変形と解析領域内に複数仮定したブロックの剛体運動の和で表すモデルであり、日本全体のGNSS速度場をブロック断層モデルによりモデル化した論文としては、Loveless and Meade (2010) が有名である。ブロック断層モデルに関する詳細な説明は、西村(2011)を参照していただきたい。

図4は、南海トラフと相模トラフの沈み込みプレート境界におけるすべり欠損速度の推定結果を示したものである。すべり欠損速度とは、プレート間の固着により沈み込む海洋プレートが大陸プレートを引きずり込む速度を表すもので、すべり欠損速度をプレート相対運動速度で割ったものは、固着率やカップリング係数と呼ばれる。すべり欠損速度の特徴は、以下のようにまとめられる。

(1) 南海トラフ沿いでは、深さ30km程度より浅部ですべり欠損速度が大きく、カップリングがおおむね強いと推定されるが、すべり欠損速度



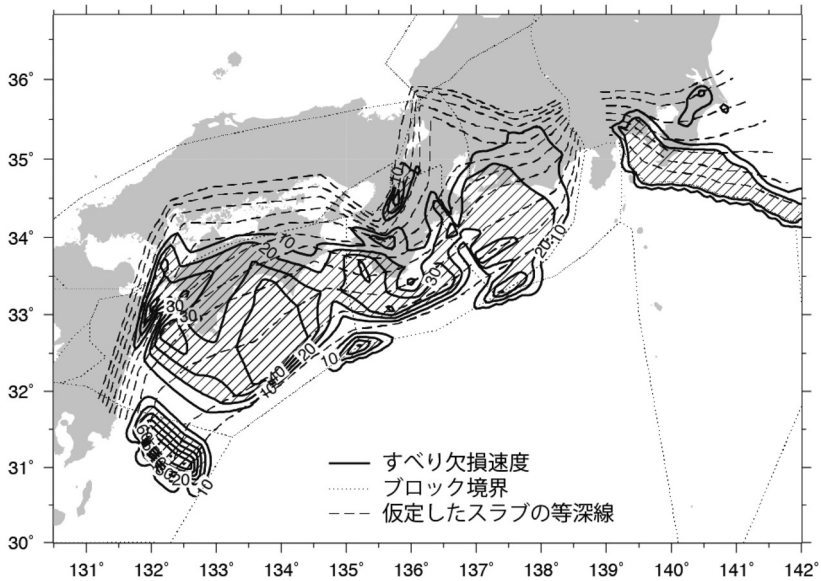


図4 ブロック断層モデルによって推定されたプレート境界面上でのすべり欠損速度分布。すべり欠損速度は、プレート間の固着により沈み込む海洋プレートが大陸プレートを引きずり込む速度を表す。スラブの等深線は5km間隔で表示した

の空間分布にはかなりの不均質性が認められる。

(2) 南海トラフ沿いのすべり欠損速度のピークは土佐湾沖にあり、豊後水道付近にも局所的なピークがある。すべり欠損速度は東側にいくにしたがって逡減する傾向があるが、これはブロック運動を考慮すると南海・駿河トラフ沿いにおける収束速度が東側ほど小さいことによると考えられる。

(3) 紀伊水道から紀伊半島沖は、特にすべり欠損速度分布の不均質性が大きい。室戸岬の南東沖はすべり欠損速度が小さく、沈み込む海山との関係が疑われる。

(4) 日向灘や南海トラフ軸付近に局所的なすべり欠損速度のピークがみられるが、GPS/Aのデータを用いても、これらの領域ではすべり欠損速度の推定誤差は大きく、これらのピークが存在することの信頼性は高くない。

(5) 相模トラフ沿いでは、深さ15km以浅からトラフ軸付近まで大きなすべり欠損速度が推定されており、これらの領域では、カップリング係数がほぼ100%である。すべり欠損の大きな領域は、相模湾から房総半島南東沖まで続いている

が、房総半島よりも東側では推定誤差が大きく、沖合の領域が固着しているかどうかは十分解像できていない。

図5は、ブロック断層モデルにおける各ブロックの剛体運動成分と南海トラフなどを含むブロック間の断層の固着による弾性変形成分を示したものである。西南日本におけるブロック運動に注目すると長野県北部から琵琶湖西岸、淡路島を通り、中央構造線から大分、熊本に至るブロック境界の東と西で大きくブロック運動が異なっており、東側のブロックが10~12mm/年程度の速度で西向きに運動している。四国などではプレート間の固着による弾性変形はブロック運動を上回るが、それ以外の場所ではブロック運動のほうが大きい。そのため、プレート間固着を推定するにはブロック運動を考慮することは重要である。一方、弾性変形を見ると四国を除けば、陸域での弾性変形はそれほど小さくなく、紀伊半島沖や東海沖では弾性変形は海域で卓越することがわかる。よってこれらの地域では、プレート間固着分布を精度良く推定するためには海域のデータがきわめて重要である。

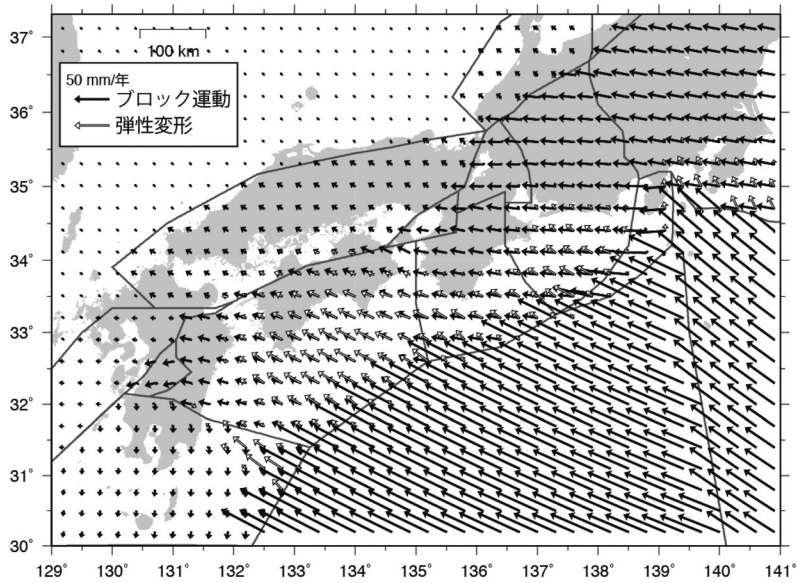


図 5 ブロック断層モデルによって推定された西南日本におけるブロック運動成分と弾性変形成分

## 5. おわりに

南海トラフ沿いにおける陸上と海底の測地観測データは、次の南海トラフ巨大地震に向けて、着実にひずみが蓄積されつつあることを示している。従来、南海トラフ沿いにおいては、プレート間の固着分布は全体的に強く、ひずみの蓄積速度は比較的一様であると考えられていたが、海底観測データの登場により、ひずみの蓄積速度が場所によって大きく異なることがわかってきた。このような空間的な不均質に加えて、豊後水道や浜名湖付近、紀伊水道などにおける長期的スロースリップや深部低周波微動を伴う短期的スロースリップの発生に示される（たとえば、Obara and Kato, 2016）ように、ひずみの蓄積速度は、時間的にも変化していることが観測されている。

次の南海トラフ地震の地震像を解明するうえで、ひずみの蓄積速度が時空間的にどのように変化していくかをモニターするという測地学的地殻変動観測の重要性は明らかである。科研費新学術領域「スロー地震学」の採択により、さらなる陸上 GNSS 観測点の拡充が予定されているが、海

底 GPS/A 観測については、南海トラフ軸近傍や日向灘から南西諸島海溝域にはほとんど観測点がなく、今後の拡充が望まれる。災害軽減に貢献するための地震火山観測研究計画でも、南海トラフ巨大地震については最重要課題の1つとして、観測研究が進められているところであるが、今後も観測、モデル、シミュレーションなどの手法を駆使して、南海トラフ巨大地震に関して災害軽減に資する調査研究を続けていくことが望まれる。

## 参考文献

- 国土地理院. 2015a. 中国・四国地方の地殻変動. 地震予知連絡会会報, **92**, 336-343.
- 国土地理院. 2015b. 近畿地方の地殻変動. 地震予知連絡会会報, **93**, 288-291.
- 国土地理院. 2016. 東海地方の地殻変動. 地震予知連絡会会報, **92**, 187-235.
- 西村卓也. 2011. 測地学的データに基づくプレート間相互作用の解明. 測地学会誌, **57**, 1-14.
- Iinuma, T. *et al.* 2012. Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data. *J. Geophys. Res.*, **117**, B07409.
- Loveless, J.P. and Meade, B.J. 2010. Geodetic imaging

of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan. *J. Geophys. Res.*, **115**, B02410.

前空英明. 1988. 室戸半島の完新世地殻変動. 地理学評論, **61A**, 747-769.

Obara, K. and Kato, A. 2016. Connecting slow earthquakes to huge earthquakes. *Science*, **353**, 253-257.

Sun, T. and Wang, K. 2015. Viscoelastic relaxation following subduction earthquakes and its effects on afterslip determination. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **120**, 1329-1344.

Yokota, Y. *et al.* 2016. Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone. *Nature*, **534**, 374-377.

Yoshioka, S. *et al.* 1993. Interplate coupling and relative plate motion in the Tokai district, central Japan, deduced from geodetic data inversion using ABIC. *Geophys. J. Int.*, **113**, 607-621.

Yoshioka, S. and Matsuoka, Y. 2013. Interplate coupling

along the Nankai Trough, southwest Japan, inferred from inversion analyses of GPS data : effects of subducting plate geometry and spacing of hypothetical ocean-bottom GPS stations. *Tectonophysics*, **600**, 165-174.

西村卓也

[にしむら たくや]

**現職** 京都大学防災研究所准教授

**略歴** 東北大学大学院理学研究科修士課程修了, 国土地理院研究官, 主任研究官などを経て現職

**研究分野** 測地学 (地殻変動論), GNSS データに基づきプレート間カップリングやスロースリップイベント, 内陸のひずみ集中帯に関する研究を行っている

**著書** 「地震予知の科学」(東京大学出版会, 共著)



# 南海トラフ地震の中短期予測をめざして

松本則夫

## 1. はじめに

東海地域から四国の太平洋沿岸にある駿河トラフ・南海トラフ沿いでは、過去 1,400 年間で M8 クラスの巨大地震が約 90~150 年おきに発生している（宇佐美ら，2013；本稿では駿河トラフ・南海トラフ沿いの巨大地震を「南海トラフ地震」と呼ぶ）。最近 2 回の南海トラフ地震の活動は 1854 年安政東海地震（M8.4）・安政南海地震（M8.4），1944 年昭和東南海地震（M7.9）・1946 年昭和南海地震（M8.0）である。最新の地震活動から約 70 年が経過しており，次の南海トラフ地震の発生の可能性が高まっている。

産業技術総合研究所（産総研）では，2006 年から南海トラフ地震の短期・中期予測の研究のために地下水等総合観測施設の設置を開始し，2016 年 9 月現在で 16 点整備した。本稿では，本施設整備の背景，施設の詳細および本施設で測定したデータを用いた成果について紹介する。

## 2. 南海トラフ地震前の地下水変化・地殻変動

水路局（1948；現在の海上保安庁海洋情報部）によると，1946 年昭和南海地震の前に計 12 カ所の井戸で地下水位の低下・温泉湯量の減少があったことが報告されている。ただし，水路局の井戸の調査対象は 160 カ所以上であり，ごく一部の井戸のみに地震前の変化が現れた（小泉，2013）。さらに，重富ら（2005）は 1854 年安政南海地震の前に土佐清水と和歌山県広川で井戸水が濁れたことを古文書などで確認している。

1946 年昭和南海地震の前の潮位変化は土佐清水（Sato, 1977）と和歌山県浦神（小林ら，2002）で報告されている。Linde and Sacks（2002）は

上述の 1946 年昭和南海地震前の土佐清水の潮位変化と地下水位の低下を同地震の震源断層の深部延長部での前駆すべりで説明したが，特に同地震前の地下水の低下を定量的に説明できているかについては議論がある（小泉，2013）。

近年，梅田・板場（2011）は地理調査所（現在の国土地理院）の水準測量と水路局の昭和南海地震前後の目視などによる上下変動量を組み合わせ，四国沿岸の 13 カ所で昭和南海地震前後の上下変動曲線を作成した。そのうち 8 カ所について，昭和南海地震の前に隆起速度が加速していることを示した。また，梅田・板場（2014）では，中村（2009）の聞き取り調査から，同地震前の 10 カ所の井戸水低下の証言を抜粋し，いくつかの証言については証言者本人から改めて聞き取り調査を行った。これらの調査結果は，昭和南海地震前に前駆すべりがあった可能性を示唆している。

## 3. 南海トラフ地震と深部低周波微動・深部ゆっくりすべり

21 世紀に入って，南海トラフ地震の想定震源域の深部延長部の深さ 30~40 km のプレート境界付近で，深部低周波微動（微動；Obara, 2002）と深部ゆっくりすべり（深部すべり；Obara *et al.*, 2004）が発生していることがわかった。Obara and Kato（2016）では微動と深部すべりをスロー地震と総称し，巨大地震との関連性を次のようにまとめている：① スロー地震は巨大地震の Analog である；② スロー地震の活動パターンの変化によって巨大地震震源域の応力蓄積を検知できる可能性がある；③ スロー地震が隣接した巨大地震の発生を促進する可能性がある。これらのことから，深部すべり・微動を詳細に把握することが巨大地震予測に資すると考えられている。

#### 4. 南海トラフ地震予測のための 地下水・地殻歪観測

産業技術総合研究所は、東海地震予知事業で地下水・地下ガスの観測を分担し、1976年から東海地域とその周辺において地下水位・自噴量などの観測を継続している（小泉ら、2005；Matsumoto *et al.*, 2007）。

これに加えて2006年から、紀伊半島から四国周辺にかけて、南海トラフ地震予測の研究のための地下水等総合観測網として新たに16カ所の観測点を整備した（図1；小泉ら、2009, 2012；小泉, 2013）。この観測網の目的は、①昭和南海地震前の地殻変動や地下水位変化を念頭に置き、南海トラフ地震の想定震源域の地下水位変化や地殻変動を高精度にモニタリングすること；②東海・紀伊半島・四国地域の深部すべり・微動を詳細に明らかにし、南海トラフ地震の予測に資することである。

この観測網では、1つの観測点で深さの異なる3本の井戸（約600m, 約200m, 約30m）を掘削した。それぞれの観測井戸で地下水位・地下水温観測、高感度地震計による観測を行うほか、600m井戸または200m井戸に多成分ボアホール型歪計・傾斜計を設置した（図2）。

観測したデータはリアルタイムで産総研に送付されている。観測したデータのグラフや微動の解析結果などを1日1回更新し、「地震に関連する地下水観測データベース“Well Web”」<https://gbank.gsj.jp/wellweb>で公開している。

#### 5. 防災科研・気象庁との相互データ交換によるすべり現象の検知能力の向上

ここで、深部すべりや前駆すべりをすべり現象と総称する。南海トラフ地震の想定震源域周辺でのすべり現象による歪や傾斜データの変化はとても小さく、ノイズレベルぎりぎりの変化ですべり現象を解析している（たとえば小林・松森, 1999；Sekine *et al.*, 2010）。したがって、すべり現象の

検知能力を向上させるために、できるだけたくさんの観測点のデータを収集する必要がある。

産総研は、防災科学技術研究所（防災科研）との共同研究契約に基づき、2011年から産総研の地下水・歪などの観測データと防災科研 Hi-net 高感度加速度計（傾斜）データ（以下、防災科研の傾斜データと呼ぶ）のうち、中部・西南日本を中心に240点あまりのデータについてリアルタイムでの相互交換を開始した。また、産総研は気象庁地震火山部とも共同研究契約を締結し、気象庁が東海地震の監視に用いている歪計などのデータと産総研の地下水・歪などの観測データを2002年頃からリアルタイムで相互に交換している。

産総研では、上記のデータ相互交換の実施後、2011年より産総研の歪計データと防災科研の傾斜データの統合解析手法による深部すべりの解析を開始した（板場ら、2012）。さらに、2012年には産総研の歪計・地下水位・傾斜データと防災科研の傾斜データおよび気象庁の歪計データを統合し、深部すべりの解析を開始した（板場ら、2013a）。

ここで、南海トラフ地震の想定震源域およびその周辺のプレート境界におけるすべり現象の検知能力を、任意の3観測点で検知可能な、1日程度継続するすべり現象の大きさの下限と定義する。このすべり現象の検知能力は、産総研の観測データのみでは、陸域でモーメントマグニチュード（Mw）5.5～6.0程度、沖合ではMw 6～7程度であった（小泉ら、2012）。一方、産総研、防災科研、気象庁の観測データを統合して解析する場合、すべり現象の検知能力は陸域ではMw 5.0～5.7程度、沖合ではMw 5.3～7程度となる（図3；Itaba and Kimura, 2013）。産総研・防災科研・気象庁のデータの統合解析によってすべり現象の検知能力が大幅に向上したことが示された。

産総研・防災科研・気象庁の観測データに基づく深部すべりの統合解析により、2012年5月から2015年4月までの3年間で、計91イベントの深部すべりの断層モデルを推定した（図4；板場ら、2012, 2013a, b, 2014a, b, 2015；落ら、2015）。産総研の観測点が少ない和歌山県・四国東部・四国中部以外の微動発生域において、連続した微動

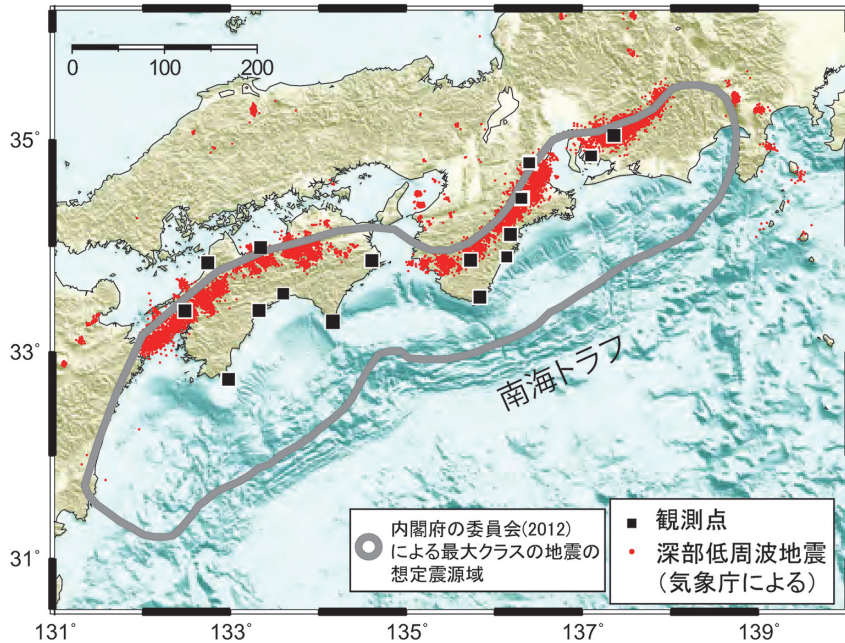


図 1 南海トラフ地震の想定震源域、気象庁による深部低周波微動の震源位置と南海トラフ地震予測の研究のための地下水等総合観測網の観測点、観測点の詳細な位置や各種機器の設置深度などについては地震本部の地震観測施設一覧（2016）を参照

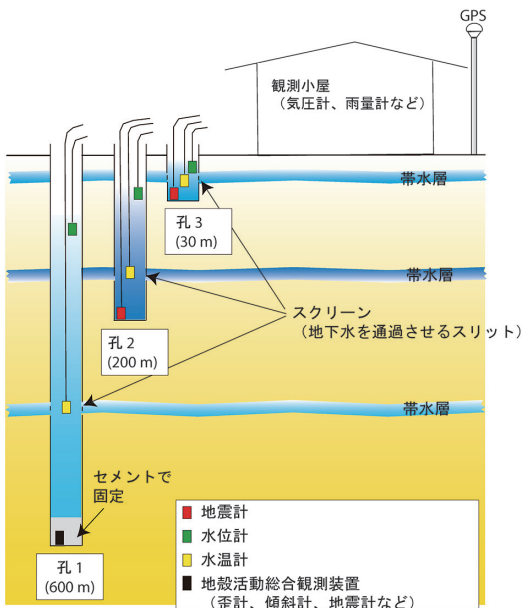


図 2 南海トラフ地震予測の研究のための地下水等総合観測網の観測点の概要図

が発生した期間には、おおむね深部すべりの断層モデルが推定可能となった。

産総研では、微動・深部すべり解析結果を地震調査委員会・地震防災対策強化地域判定会・地震予知連絡会に逐次報告し、国の地震の総合的な評価などに貢献している。

## 6. 深部すべり・微動の解析の高度化のためのいくつかの研究

本観測網を用いたいくつかの研究により、深部すべり・微動の活動をより詳細に解析することが可能となっている。

多成分歪計の歪データは装置の構造や埋設の条件から実際の歪よりも約 1.5~4 倍ほど大きい値を出力することが多い。本観測網の多成分歪計の歪データに対して、固体地球潮汐・海洋潮汐加重による歪の理論値を用いて原位置キャリブレーションを行った (Matsumoto *et al.*, 2010)。このキャリブレーションにより歪データと傾斜データ

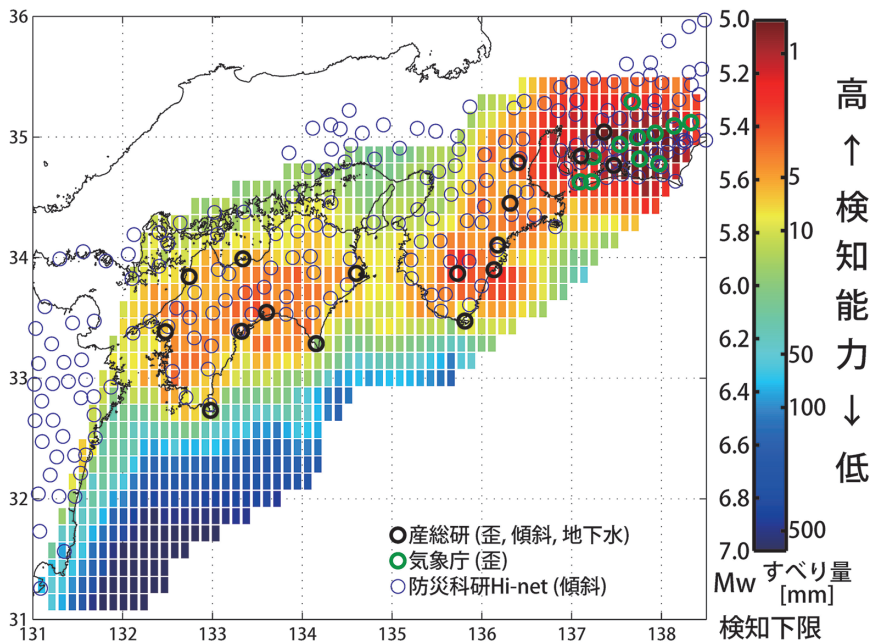


図 3 産総研, 防災科研, 気象庁の観測データを用いた場合のすべり現象の検知能力の分布図 (Itaba and Kimura, 2013)

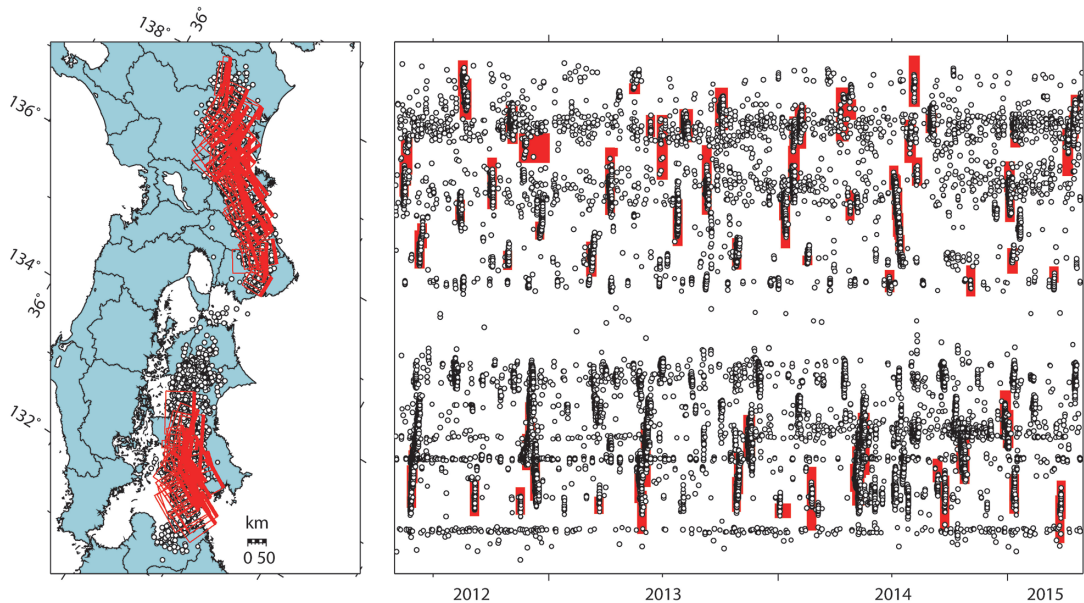


図 4 2012年5月から2015年4月までの産総研・防災科研・気象庁の観測データによる深部すべりの断層モデルの推定結果 (地図上の赤四角および時空間プロットの赤棒; 板場ら, 2012, 2013a, b, 2014a, b, 2015; 落ら, 2015). 白丸はエンベロップ相関法で産総研が推定した微動の震源位置

との統合解析が可能となった。

本観測網の歪データを用いることによって、初めて奈良県南部を中心とした深部すべりが定期的には発生していることを示した (Itaba *et al.*, 2010)。

さらに奈良県南部での深部すべりが地震によって誘発されることを発見し、誘発メカニズムについて議論した (Itaba and Ando, 2011)。

本観測網の地下水位・水圧観測によって、深部

すべりが検出できることを世界で初めて示した (Kitagawa and Koizumi, 2013). 現在, 深部すべりを解析する際には, 歪計・傾斜データだけでなく, 地下水位・水圧データも用いて深部すべりの検出精度を向上させている.

## 7. おわりに

産総研で実施されている南海トラフ地震の予測研究のための地下水・地殻変動の観測網の現状といくつかの研究結果を紹介した. 今後とも南海トラフ地震の想定震源域の地下水位変化や地殻変動を高精度にモニタリングし, また, 深部すべりや微動の活動を詳細に明らかにするための研究を続けていく所存である.

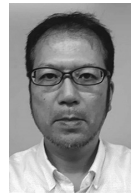
## 参考文献

- Itaba, S. *et al.*, 2010. *PAGEOPH*, **167**, 1105-1114.
- Itaba, S., Ando, R. 2011. *Geophys. Res. Lett.*, **38**. doi:10.1029/2011GL049071
- 板場智史ら. 2012. 予知連会報, **87**, 399-418.
- Itaba, S. and Kimura, T. 2013. *AGU Fall Meeting*, S41B-2422.
- 板場智史ら. 2013a. 予知連会報, **89**, 226-238.
- 板場智史ら. 2013b. 予知連会報, **90**, 254-269.
- 板場智史ら. 2014a. 予知連会報, **91**, 230-242.
- 板場智史ら. 2014b. 予知連会報, **92**, 238-249.
- 板場智史ら. 2015. 予知連会報, **93**, 245-257.
- 地震本部. 2016. [http://www.jishin.go.jp/database/observation\\_station/spots/](http://www.jishin.go.jp/database/observation_station/spots/) (accessed 2016/09/15)
- Kitagawa, Y. and Koizumi, N. 2013. *Geophys. Res. Lett.* **30**. doi:10.1029/2013GL058322
- 小林昭夫・松森敏幸. 1999. 験震時報, **62**, 17-41.
- 小林昭夫ら. 2002. 測地学会誌, **48**, 1-12.
- 小泉尚嗣ら. 2005. 地震2, **58**, 247-258.
- 小泉尚嗣ら. 2009. 地質ニュース, **663**, 29-34.
- 小泉尚嗣ら. 2012. GSJ 地質ニュース, **1**, 188-190.
- 小泉尚嗣. 2013. *Synthesiology*, **6**, 24-33.
- Linde, A.T. and Sacks, I.S. 2002. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **203**, 265-275.
- Matsumoto, N. *et al.* 2007. *PAGEOPH*, **164**, 2377-2396.
- Matsumoto, N. *et al.* 2010. *AGU Fall Meeting*, G11A-0626.
- 中村不二夫. 2009. 南海地震は予知できる. 高知新聞文化出版, 301pp.
- Obara, K. 2002. *Science*, **296**, 1679-1681.
- Obara, K. *et al.* 2004. *Geophys. Res. Lett.* **31**. doi:10.1029/2004GL020848
- Obara, K. and Kato, A. 2016. *Science*, **353**, 253-257.
- 落 唯史ら. 2015. 予知連会報, **94**, 250-261.
- Sato, H. 1977. *J. Phys. Earth*, **25**, 115-121.
- Sekine, S. *et al.* 2010. *J. Geophys. Res.* doi:10.1029/2008JB006059
- 重富國宏ら. 2005. 京都大学防災研究所年報, **48-B**, 191-195.
- 水路局. 1948. 水路要報, **201**, 1-117.
- 梅田康弘・板場智史. 2011. 地調研報, **62**, 243-257.
- 梅田康弘・板場智史. 2014. 地調研報, **65**, 129-144.
- 宇佐美龍夫ら. 2013. 日本被害地震総覧. 東京大学出版会, 599-2012.

松本則夫

[まつもと のりお]

**現職** 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ長  
**略歴** 東北大学大学院工学研究科博士前期課程修了, 工業技術院地質調査所(現 産業技術総合研究所)地質情報解析室研究員, 産業技術総合研究所地球科学情報研究部門地震地下水研究グループ主任研究員等を経て現職. 博士(理学)





# 1944年東南海地震発生時の掛川異常隆起は本当か？

鷺谷 威

## 1. はじめに

1978年に大規模地震対策特別措置法（以下、大震法）が成立して以降、いわゆる「東海地震」を対象とする地震予知の監視体制が40年弱にわたって続けられてきた。この間、幸いにして「東海地震」の発生はなかったが、地震に関する研究の進展の結果として、地震現象が当初想定されていたよりはるかに複雑で、実用的な地震予知が少なくとも現状では困難であることが地震研究者の共通認識となってきた。政府の中央防災会議に設けられた南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会は、2013年5月に「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について」という報告を行った。そこでは、南海トラフで発生する大地震には多様性があり、その地震規模や発生時期の予測には不確実性が伴い、地震の発生時期を確度高く予測することは困難であると述べられている。この報告は「東海地震」の予知が可能という立場を一貫して保持してきた政府の方針転換を促すものとみることもできる。

2016年に入り、中央防災会議が大震法の見直し作業に入ると報じられている。この背景には、「東海地震」がこれまで発生しなかった結果、次に発生するのが1944年昭和東南海地震（以下、東南海地震）および1946年昭和南海地震の割れ残りとしての「東海地震」ではなく、南海トラフ全体が破壊する可能性が現実味を帯びてきた点があげられる。その一方、上述したように地震予知の困難さを踏まえた地震防災対策の見直しも避けられず、近い将来に日本を襲う可能性のある現実的な脅威に対して、多方面から検討を行う必要がある現状を踏まえた動きとみてよい。

地震研究者の間では、そもそも現状では不可能

な地震予知を前提とする大震法は不合理であり、早急に廃止すべきという意見がある（たとえばゲラー、2012；安藤、2016）。その一方、少なくとも大震法によって防災対策が進展したことを積極的に評価する意見もある。かりに明確な前兆が検出された場合に情報を災害軽減のために生かせるよう大震法が必要であるとして大震法を肯定的に捉える研究者も少なくない。今回の見直しは、あくまで地震防災対策の一環として政府内で行われるものだが、地震研究者のコミュニティにおいても、地震予知の可能性や地震災害軽減方策に関する議論を行っておくことはたいへん重要である。

本小論では、科学的な大地震の予知の可能性およびそれに関する問題点について考える一助として、東南海地震の発生直前に静岡県掛川市周辺で生じたとされる異常隆起を振り返る。この異常隆起は、気象庁が「東海地震」の直前予知が可能とする重要な根拠としてきたものである。筆者は、この異常隆起に注目して調査・分析を行い、鷺谷（2004）などで報告するとともに、上記の予測可能性調査部会でも報告を行った。この事例は、大地震の前兆を捉えた可能性がある貴重な観測例である一方、その科学的評価は現在に至るまで必ずしも定まっておらず、科学的な知見と防災実務の関係を考える上で多くの示唆に富んでいる。

## 2. 掛川異常隆起に関する歴史的経緯

1944年12月7日に東南海地震が発生したそのとき、現在の静岡県掛川市付近で陸軍陸地測量部による水準測量が実施されていた。この測量は、大地震発生前の土地の傾斜変化に注目した今村明恒が、日本学士院の支援を受けて陸軍陸地測量部に依頼し実施したものである（Imamura, 1945）。この水準路線では1902年と1933年に実施された

2度の測量から南東下りの傾斜変動が得られており、この傾斜変化がその後どうなっているかを確認することが今村の主たる関心事であった。1945年の論文でも、1902年～1933年の31年間と1933年～1944年の11年間で傾斜の大きさがほぼ同等で、地震発生前に南東下りの傾斜が加速していたことを強調している。また、東南海地震の発生を知った今村は、即座に再測量の実施を要請し、地震発生の翌日から同じ水準路線の再測量が実施され、地震に伴う高さ変化が検出された。その結果、測量された水準路線の北端（三倉、現在の静岡県森町）や南端（御前崎）に対して、掛川付近に約10cmの隆起が検出された（Imamura, 1945）。一方、1945年の論文では、後に前兆現象として注目される異常傾斜変動についての記載はない。当時は異常傾斜変化の存在を今村本人も関知していなかったと考えられるが、この点については後ほど議論する。

この水準測量結果はその後長い間忘れられていたが、国土地理院の佐藤 裕が1970年に測地学会誌に発表した論文で再び日の目を見る（佐藤, 1970）。この論文が出てきた背景として、地震予知計画の影響が考えられる。1965年に開始された地震予知研究計画は1968年の十勝沖地震発生を受けて第2次地震予知計画（昭和44年～48年）へと「格上げ」された。その際、関係機関の連絡調整を目的として、国土地理院長の諮問機関である地震予知連絡会が設けられた。地震予知連絡会は基本的に年4回開催され、その報告内容は毎年2回ずつ発行されている地震予知連絡会報にまとめられている。1970年2月に発行された第2巻には「東海地方の地殻上下変動」という報告が国土地理院からなされており、その中では、明治時代以降に行われた水準測量および駿潮データに基づいて、東海地域における地殻上下変動の概要がまとめられている。その中には佐藤（1970）と同じ図も含まれることから、地震予知連絡会への報告用にデータを整理する中で、東南海地震発生時に水準測量が行われていたことに気付き、若干の検討を加えた結果を測地学会誌に報告したのだろう。なお、佐藤（1970）は、論文を草した後にIma-

mura（1945）の存在を知ったと述べていることから、水準測量データはそれまでの約25年間人知れず眠っていたことになる。

佐藤（1970）の分析の大部分は、Imamura（1945）で報告された水準測量結果と同じである。ただ、論文の最後で、東南海地震発生前日（12月6日）と当日（12月7日）の午前中に往復の測定が行われた水準点5260と5259の間（正確には水準点の間に臨時に設けられた固定点までの約1,400mの区間）で、往復差が約9mmあったことに触れている。この値は通常の一等水準測量の制限値（1,400mの区間に対する往復差で約3mm）より有意に大きく、水準測量の原簿を見直した結果の新発見だったと考えられるが、この論文ではそれ以上の考察はなされていない。また、東南海地震発生時の水準測量が2班に分かれて行われ、片方の班が掛川～三倉間の既存路線の再測量を行う一方、もう1つの班は掛川～御前崎間に水準路線を新設する作業を行っていたことにも言及しており、このうち後者の測量原簿が見つからなかったと述べている。

Ando（1975）は、将来東海地域で起こり得る地震像について議論している。その中で、Imamura（1945）および佐藤（1970）の水準測量データに言及しており、掛川付近の隆起が東南海地震に先行して生じた深部の断層クリーブによる可能性を指摘している。この論文は佐藤（1970）が指摘した直前の異常について議論していないものの、掛川付近の隆起が非地震性で、本震前後の短時間に生じたと考えていたようである。

次の重要な動きは、当時三倉～掛川間の水準測量を行っていた測量手である越山敏郎氏による手記の発表である（越山, 1976）。この手記は1976年10月発行の国土地理院広報第100号別冊に掲載された。この手記は「私は、近頃、新聞やテレビで話題になっている『遠州灘あるいは、相模湾（原文ママ、駿河湾の意か?）を中心に明日地震が起きても不思議はない』という論評について特別の関心をもつ一人である。」と始まり、この水準測量が実施された経緯について述べている。すなわち、この手記は石橋克彦が1976年5月の地

震予知連絡会で駿河湾地震説を発表した後に書かれたものであることが分かる。また、文面からは、この原稿が国土地理院側からの依頼によって書かれたことも分かるが、原稿依頼に至る経緯は明らかでない。越山は当時の測量原簿のコピーを見ながら回想しており、この手記中のデータは佐藤(1970)と本質的に同内容である。ただし、測量時の気象条件(「田んぼの中の一本道で強い風が吹き抜けていた」)や、地震直前に水準儀の気泡が静止しなくなったとの記述は、この手記で初めて出てきた内容である。以後の経緯を見る限り、この手記は掛川異常隆起の解釈に大きな影響を与えている。

Sato(1977)は、佐藤(1970)の水準測量データを再度精査し、地震発生直前に2度続けて検出された4mm超という固定点間の往復誤差が、同一測量班が測定した他の59区間中1度しか生じていないことから異常値の統計的有意性を主張するとともに、越山が手記で述べた気泡の異常と中国における地震前兆現象との類似性を指摘している。また、この論文では1946年昭和南海地震について、土佐清水と細島の毎時の潮位差から、土佐清水で前兆的な隆起があった可能性についても指摘している。なお、この論文は1977年1月に開催された日米の地震予知シンポジウムの特集号として出版されたものである。この時期、石橋の駿河湾地震説(1976年5月)、地震予知計画の見直し(1976年12月)、東海地域判定会の設置(1977年4月)、大規模地震対策特別措置法制定(1978年6月)と矢継ぎ早に東海地震予知体制が構築されていくが、掛川の異常隆起に関する調査・報告もこの流れと同時に進行しており、1977年頃から言及される機会が増えている。

1980年5月には米国で地震予知に関する国際シンポジウムが開催された。そこでの発表内容はAGUのモノグラフとして出版されている。その中で、Thatcher(1981)はSato(1977)のデータを引用し、東南海地震の前兆である可能性について言及している。また、Mogi(1981)は、日本の地震予知を概観する中で、東南海地震の発生直前に顕著な隆起があったと述べている。

日本国内では、日本学術会議と地震学会が共催する「地震予知研究シンポジウム」が数年おきに開催されていた。1976年12月に開催されたシンポジウムでは昭和東南海地震の前兆に関する議論が行われた形跡は見当たらないが、1980年7月のシンポジウムでは、その序文で昭和東南海地震直前に著しい上下変動があったことが述べられている(茂木・佐藤, 1980)。1980年頃には、少なくとも日本の地震予知関係者の間では、掛川の異常隆起を地震の前兆現象とする評価が確立していたようである。

茂木(1982a)は、この水準測量データを詳細に検討して傾斜の時間変化を求め、この結果が地震前兆としての掛川異常隆起の評価を決定付けることになった。茂木は、同年に執筆した著書「日本の地震予知」の中でこのデータを詳しく論じており(茂木, 1982b)、さらにはほぼ同内容による英語の論文も出版している(Mogi, 1984)。今日、掛川の異常隆起として認知されている内容は、ほぼ茂木の論文に依っている。

茂木(1982a)が指摘した掛川異常隆起のポイントは、1944年12月7日13時35分の本震発生に先立って、掛川から北に延びる水準路線の測量において、南上がりの傾斜がしだいに加速する変化が生じたという点である。Sato(1977)、茂木(1982a)およびMogi(1984)は、時間をおいて行われた水準測量の往復の測量値の差を、その間に生じた地殻変動として解釈している。茂木(1982a)は、12月3日まで固定点間(約700m)の往復差は±2mm程度の制限値以内にほぼ収まっていたが、12月3日から7日にかけて、系統的に異常が現れたとし、図1のように東南海地震発生へ向けて加速的な傾斜変化が起きていたと論じた。今日に至るまで、この茂木の結果は東南海地震の発生直前に前駆的な異常地殻変動が起きた根拠とされ、同程度の地殻変動が生じた場合には、現存の体積歪み計をはじめとする観測網でリアルタイムに検出することが十分可能であることが、「東海地震」の予知が可能とされる根拠となっている。

気象庁は、地震予知が可能とされてきたもう1

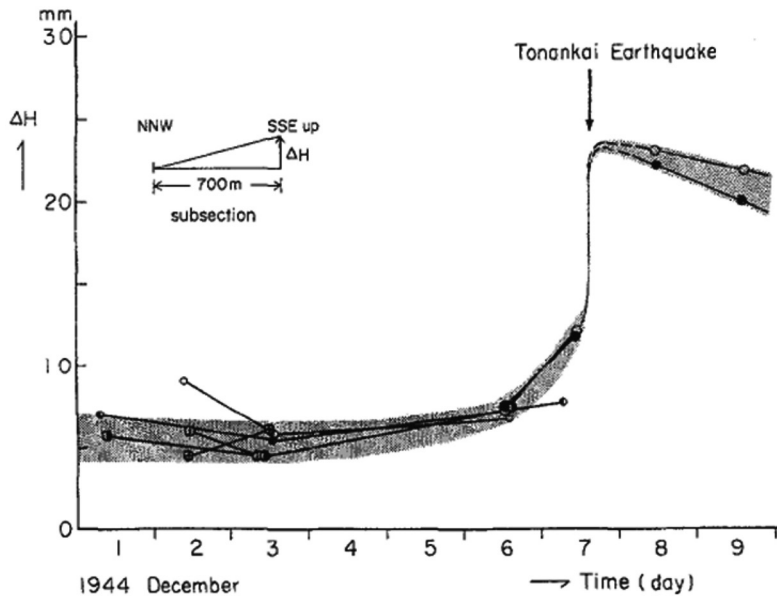


図 1 水準測量結果から求めた 1944 年 12 月 7 日に発生した東南海地震前後における南上がり傾斜の時間変化 (Mogi, 1984)

つの根拠として、地震発生サイクルの物理モデルにより、観測結果の定量的な解釈が可能であるとしている。この根拠となったのは Kato and Hirasawa (1999) の研究である。彼らは東海地域のプレート沈み込みを模した 2 次元断層面に、鷺谷 (1998) が GPS データに基づいて推定したすべり欠損分布を参考にしながらすべり速度と状態に依存する断層摩擦構成則の分布を仮定した。その上で、プレートの沈み込みに伴うプレート境界の挙動を数値的に求め、地表の観測データに期待される変化を見積もった。その結果、大地震発生に先駆けて加速的な地殻変動が生じ、大地震発生の 1 日前にはノイズレベルを超えるシグナルが検出可能であると結論づけている。

Linde and Sacks (2002) は、掛川異常隆起および昭和南海地震発生前の土佐清水における潮位変化を、ともにプレート境界面における大地震震源域の深部延長における非地震性すべりによるものと考え、断層モデルの推定を行った。掛川が東南海地震の破壊開始点と反対側の東端付近に位置することから、異常隆起と地震発生の因果関係について批判も多いのだが、彼らは東南海地震およ

び南海地震の震源域全域にわたって非地震性すべりの発生を想定することでそうした批判に答えている。一方、そもそも証拠がなく検証不可能な場所にまで非地震性すべりの存在を仮定することは勇み足の感も免れない。

### 3. 水準測量データの再検討

筆者は、この掛川異常隆起に関心を持ち、国土地理院の原簿倉庫に残されていた測量手簿を用いて異常隆起の検証を行った (Sagiya, 1998; 鷺谷, 2004)。こうした検討を行ったそもそものきっかけは、国際地震学・地球内部物理学連合 (IASPEI) の地震予知委員会が行った 2 度にわたる地震前兆のレビューにおいて、掛川異常隆起が信頼できる地震前兆として認定されず、ペンディングの扱いとされたことであった (Wyss, 1991; Wyss and Dmowska, 1997)。原データを見直せば、掛川異常隆起が信頼に足る地震前兆であると示せる可能性があるのではないかと、というのが当初の目論見であったが、検証を進めるにつれ、当初の思惑とは逆に、しだいに疑念が増える皮肉な

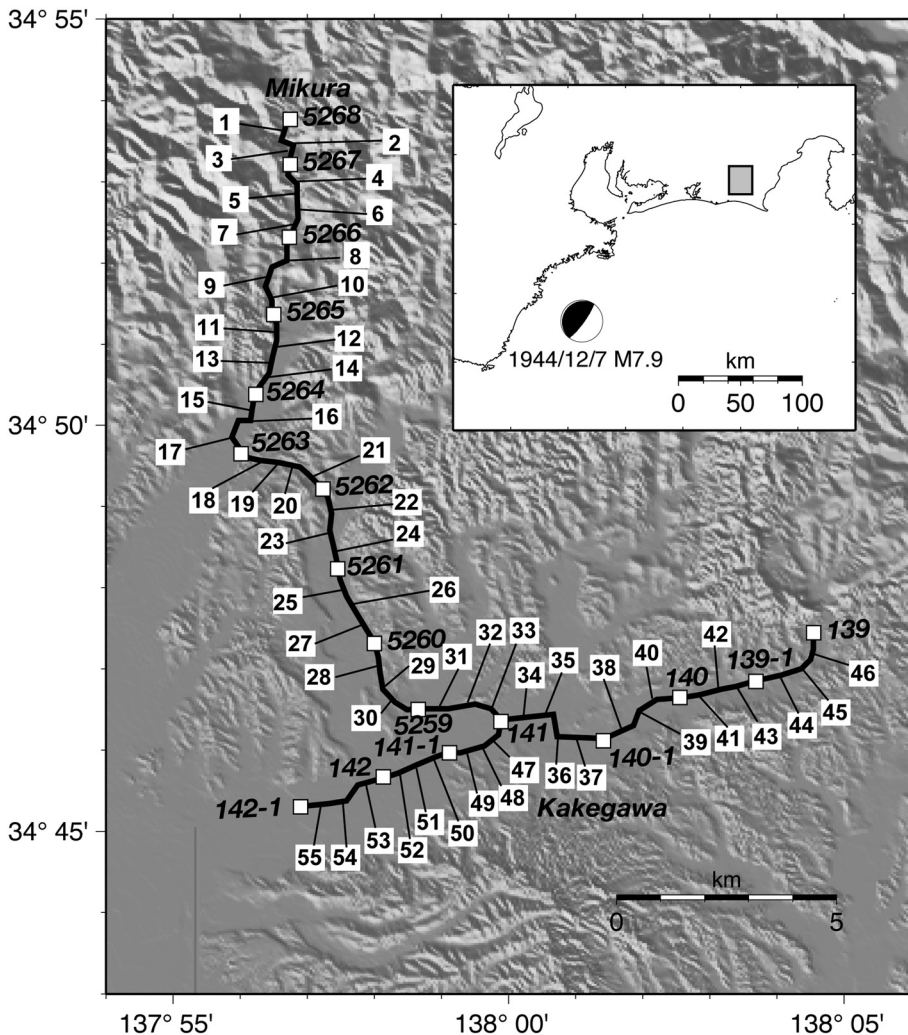


図 2 掛川付近の水準路線の位置図 (鷲谷, 2004). 1~55 は小区間の番号

結果となった。この間、2003年に十勝沖地震が発生し、GPS連続観測網で精密な地殻変動監視が行われていたにもかかわらず、直前に加速的な地殻変動がみられなかったが、このことが筆者自身に若干のバイアスをもたらした可能性も否定しない。

水準測量データの再検討においては、まず、越山が東南海地震の前後に行った測量記録（水準儀の読取值）をデジタル化し、当時のデータ処理をすべて再現した。水準測量は1944年11月24日に開始され、12月7日の本震発生後には再測量が行われ、最終的には12月25日に作業を終了し

ている。越山が測量した区間を図2に、各区間の測量日および往復差の一覧を表1に示す。この1カ月間の記録全体についてデータを見直した結果、計算処理は正常に行われており、大きな問題はないことが確認できた。

次に、Sato (1977) や Mogi (1984) と同様に、固定点間の測量の往復差について検討を行った。固定点間を約700mとすると、往復差に関する一等水準測量の制限値は約2mmである。固定点間の往復差は、地震前と地震後を合わせると全部で96のデータがある。このうち2mm以上の往復差は22個（全体の23%）、3mm以上は6個（同

表 1 東南海地震前後の水準測量の測定時期と比高変化 (鷺谷, 2004)

section	Survey Date						Relative Height Changes (mm)				
	A	B	C	D	E	F	A-B	B-C	Coseismic	D-E	E-F
1	11/24	11/26		12/24	12/24		+1.72			-1.62	
2	11/24	11/26		12/24	12/25		+2.24		-1.69	-0.38	
3	11/24	11/26		12/24	12/25		-1.80			+2.20	
4	11/24	11/26	11/26	12/24	12/25		-1.05	+1.20		+1.23	
5	11/24	11/26		12/24	12/25		-0.39		+2.28	-0.75	
6	11/24	11/25					-1.42			+1.97	
7	11/24	11/25		12/24	12/25		+0.62				
8	11/24	11/25		12/23	12/23		+0.38			+0.68	
9	11/24	11/25		12/23	12/23		-0.86		-3.09	+0.49	
10	11/25	11/25	11/28	12/23	12/24		+4.07	-1.42		-2.13	
11	11/28	11/28		12/23	12/23		-1.47		+0.79	+0.94	
12	11/28	11/28	11/29	12/23	12/23	12/25	-1.29	+0.70	+6.76	-1.25	+0.76
13	11/28	11/29		12/21	12/23	12/25	+0.58		+3.12	-1.78	-1.76
14	11/28	11/29		12/21	12/23		+0.25		-2.07	-2.21	
15	11/28	11/29		12/21	12/21		-1.20		-3.71	+1.23	
16	11/28	11/29		12/21	12/21		-0.26			-0.60	
17	11/28	11/29		12/21	12/21		+0.92		+2.76	-2.70	
18	11/29	12/4		12/19	12/19		+0.07		+3.28	-0.96	
19	11/29	12/4		12/19	12/19		+2.05			+1.33	
20	11/29	12/4		12/19	12/19		-1.87		+17.21	+1.25	
21	11/29	12/3		12/19	12/19		-0.50			+1.30	
22	12/1	12/3	12/7	12/18	12/20		-1.26	-0.21	+10.12	-0.61	
23	12/1	12/3	12/7	12/18	12/20		-1.56	+2.44	+5.19	-0.96	
24	12/2	12/3	12/6	12/18	12/20		-1.29	+2.87	-5.69	+0.23	
25	12/2	12/3	12/6	12/18	12/18		-3.21	+1.09	+17.82	+1.19	
26	12/2	12/3		12/18	12/18		+1.54		-5.77	+1.35	
27	12/2	12/3		12/18	12/18		-1.37		+17.40	-2.05	
28	12/6	12/7		12/8	12/9		+4.77		+12.84	-1.23	
29	12/6	12/7		12/8	12/9	12/9	+4.29		+11.56	-2.21	+1.27
30	12/6	12/7		12/8	12/9	12/9	-0.15		+7.84	-1.90	+2.87
31	12/6			12/8	12/9				+2.33	-2.65	
32	12/6			12/8	12/9				+4.18	+0.98	
33	12/6			12/8	12/9				+3.51	+0.60	
34	12/5	12/5		12/12			+0.75				
35	12/5	12/5		12/12			-2.04		+2.00		
36	12/5	12/5		12/12			+1.09				
37	12/5	12/5		12/12			-0.32				
38				12/13	12/13					+3.07	
39				12/13	12/13					-1.35	
40				12/13	12/13					-0.89	
41				12/16	12/16					-0.21	
42				12/15	12/16					-2.24	
43				12/15	12/16	12/16				-2.37	-0.56
44				12/15	12/16					+0.02	
45				12/15							
46				12/15							
47				12/10	12/11					-0.41	
48				12/10	12/10	12/11				-4.49	+2.44
49				12/10	12/10	12/11				-1.92	+0.30
50				12/10	12/10					+0.72	
51				12/10	12/10					-1.72	
52				12/10	12/10					-0.64	
53				12/11	12/11					+0.51	
54				12/11	12/11					+1.53	
55				12/11	12/11					-0.28	

地震時の変化は地震前、地震後それぞれの期間における測定結果の平均値の差として算出した。比高変化の正の値は 5269→141→139, 141→142.1 の方向で各区間の終点が相対的に隆起したことを示す。地震を挟まない時期で 3mm を超える比高変化が得られた区間に影をつけた。

6%)、4mm以上は4個(同4%)であった。往復差2mm以上の22個のうち6個、3mm以上6個のうち3個、4mm以上4個のうち2個が本震発生前(12月3日~7日)に生じた異常と解釈されていた。このように、地震直前に異常値が多く出ているのは確かである。一方、本震とまったく関係ない時期に出ている異常値もある。たとえば4mm以上の往復差のうち2個は、11月25日と12月10日に得られており、これらは測量作業上のミスによる可能性が高い。このように異常値の存在だけで明白な前兆があったということはむずかしいが、同時にこれだけで前兆現象の存在を否定することもできない。

水準測量における往復の測定値の差を、往復の測定間に生じた地殻変動の影響とみることの問題点を指摘しておく。水準測量はさまざまな工夫によって誤差要因を相殺して高い精度を実現している。たとえば、1回の測定で前後に置かれた標尺の読定を、異なる目盛りに対してそれぞれ行うことで読み間違いをなくす、測定の際に水準儀を2本の標尺のほぼ中間に設置して光路の屈折の影響を打ち消す、観測開始と終了の水準点には同じ標尺を立てることで標尺の個体差の影響を消す、といった具合である。往復の測定値の差で精度をチェックし、その差が制限を満たす場合のみ平均値を採用する、という方法も精度を維持するための方策の1つである。一方、測定の途中で標尺台を動かしてしまうといったミスは、一見正常な記録に見えるが大きな往復差を得る結果につながるが、観測手簿をいくらチェックしても原因の特定は不可能に近い。こうした測量手法そのものの特徴を考慮すると、通常の手続きを逸脱している往復差に基づく議論の際には、普通的水準測量に基づくデータよりも慎重を期する必要がある。

異常隆起がプレート境界の前兆すべりによって生じた場合、地表の地殻変動パターンは断層モデルで解釈できると期待される。図3に実線で示すのは、水準測量結果から得られた昭和東南海地震に伴う上下変動分布である。図の左側が掛川より北の三倉方向、右側が御前崎方向に相当する。この図では、越山らが測量した掛川から北の部分だけ

でなく、測量手簿が行方不明となっている掛川~御前崎間のデータも表示していることに注意されたい。なお、掛川~御前崎間に当時設置された水準点の位置は不明のため、以下のモデリングでは、これらの水準点が現在的水準路線に沿って設置されたと仮定している。

図3の実線を見ると、水準点5263より南側で急激に隆起が増加し、掛川市中心部の水準点140-1で最大隆起量約11cmを記録している。同じ図に破線で示したのは、この観測結果を説明するために、Ando(1975)がプレート境界上に想定したクリープ断層による地表変位分布である。上下変位の空間変化は実際の観測データと比べてなめらかで、掛川付近の急激な立ち上がり表現できていない。点線は水準測量データに基づいて筆者が求めた断層モデルによる上下変位分布である。ある程度地殻変動パターンを再現できていることが分かるが、この矩形断層の位置は上端が12.6kmと上部地殻内になってしまい、20~25kmに想定されるプレート境界よりも有意に浅い。この結果は、東南海地震の際に掛川付近で生じた上下変動は、プレート境界の断層ではなく、地殻内で生じた断層、おそらくはプレート境界からの分岐断層の活動による可能性を示唆している。掛川付近のプレート境界で断層運動が生じて動いていないとすれば、前兆すべりによって異常隆起が生じたという「東海地震」予知の前提が崩れることになる。なお、この断層モデルは、地震前の異常隆起に加え、東南海地震の本震に伴う変動も含んでいるが、図1が示すとおり、異常隆起による地殻変動は本震時のステップ変化の半分程度の規模を持っており、地震前後の地殻変動に対して無視できない点に注意されたい。

「東海地震」の予知が可能とされてきた根拠のうち、地震発生前の異常地殻変動が1~3日間程度かけて加速的に変化する点は重要なポイントである。数年かかるようなゆっくりとした加速であれば、そもそも加速の検出が困難な上に、最終的にどのタイミングで地震発生にいたるかの判断が難しい。一方、加速が数時間以下の期間で急速に進行すると、対応を検討しているうちに地震が発

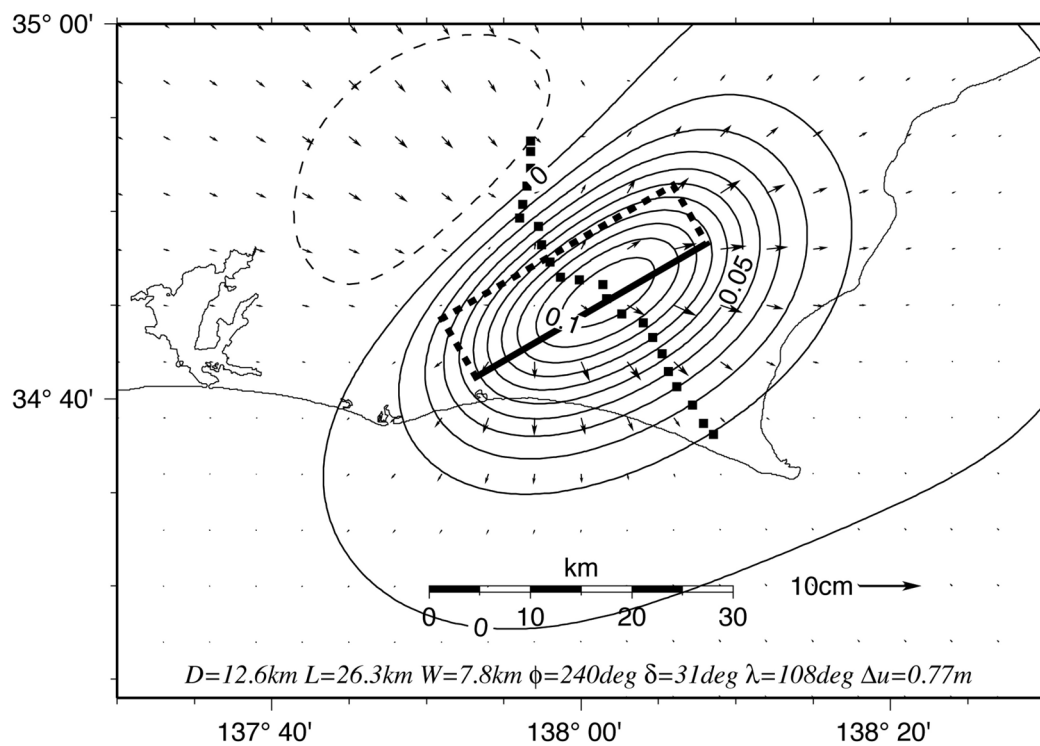
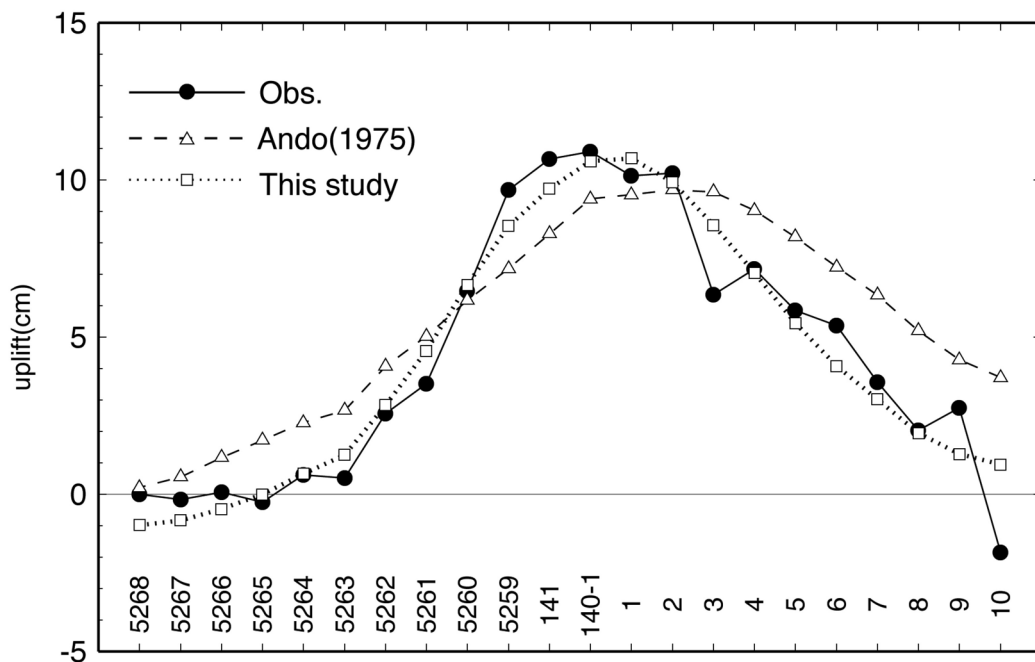


図 3 (上) 掛川付近における東南海地震前後の上下変動(実線), Ando (1975) (破線) と新たな断層モデルによる計算値(点線)を重ねて示す(鷺谷, 2004). (下) 断層モデルによる地表の変位分布. 上下変動の等値線は 1 cm 間隔. 黒い四角は計算に用いた水準点の位置を示す



生してしまう。こう考えると、3日程度という変化の時定数が、実用的な予知にとってたいへん都合のよいものであることが分かる。本震前の加速を示す科学的根拠のうち、数値モデルの結果は、観測事例と合うように摩擦構成則のパラメータを調整して得られたものであり、加速の時定数に関しては、実質的には東南海地震時の観測例にすべて依存しているといつてよい。

では、実際に加速の時定数が3日程度だったと本当にいえるか、図1を改めて見てみよう。この図に描かれた地震発生に向かう加速的变化は、12月6日以前の変化と12月7日午前に得られた2つの異常値（区間28、29）を一連の連続的な変化として解釈した結果である。12月7日午前には、区間22において12月3日とほとんど変わらない値が得られているのだが、このデータは加速的变化を満たしていない。12月6日までの変化は、観測誤差を考えると必ずしも有意とはいえず、変化が認められるのは12月7日午前の2つのデータだけということになる。これらのデータの解釈として、Mogi (1984) のような加速的变化を仮定することは可能であるが、それが可能な唯一の解釈とはとてもいえない。たとえば、12月7日午前に区間22を測定した後、何らかの地殻変動が生じ、その後に区間28と29の測量が行われた、というステップ的な変化でもデータは解釈可能である。

図1を見る際、われわれは個々のデータを示す丸印ではなく、本震発生に向かって傾斜の加速を示す曲線だけを記憶してしまうのではないだろうか。筆者は、自分自身ですべてのデータを見直すという手間をかけた上でこのことに気付いた。最終的に得られた結論を鵜呑みにするのではなく、つねにデータの分析過程全体を先入観なしに見直すことは科学研究の基本であるが、そうした基本の重要性に改めて思いいたった。

以上のように、東南海地震に先行したと考えられてきた掛川異常隆起についてデータを再検討してみると、(1) 測量誤差の観点から必ずしも有意とはいえず、(2) 変化を説明する断層運動がプレート境界で生じたとは考えにくく、(3) 本震発

生に向けて3日程度の時定数で連続的に加速したとは必ずしもいえない。このように、従来の解釈は可能な唯一解ではなく、説得力に欠け、多くの疑問が残る。ただし、以上の考察では従来の解釈を否定はしていない。現状手に入る情報に基づく限り、掛川異常隆起の存在および前兆すべりによる解釈は白でも黒でもなく、グレーのままである。地震前兆としての可能性をペンディングとしたIASPEI委員会の判断は結果的に正しかったといえるかもしれない。

従来の解釈が否定できないのであれば、地震予知の可能性はあるとして問題ないではないか、と考える向きもあろう。しかし、掛川異常隆起には、科学者コミュニティの外の社会に影響を行使するに足だけの科学的根拠はないといわざるを得ない。基礎研究として前兆や予知の可能性に言及する場合と、そうした成果を防災対策として実用化する場合とでは、必要とされるデータや解釈の信頼性が大きく異なることを改めて肝に銘じる必要がある。

#### 4. 越山手記に関する疑問

前節では、鷺谷 (2004) に従って、掛川異常隆起のデータおよび解釈に関する疑念を述べた。以下では、従来言及してこなかった問題点についても2、3指摘しておきたい。

東南海地震後の再測量は地震の翌日からすぐに行われており、大地震が発生して混乱する中でも、おそらくは陸地測量部を通して、測量班と今村の間で緊密な連絡が保たれていたと考えることができる。こうした状況を考えるとき、測量中に地震に関連する可能性のある異常を感じたのであれば、なぜその報告が今村になされなかったのか理解に苦しむ。測量作業中に大地震の発生に遭遇するのは非常に稀な経験であり、越山が経験した異常を伝えていれば、今村が大いに関心を抱いたであろうことは想像に難くない。実際、今村は、聞き取り調査に基づいて1872年浜田地震の発生直前に海面潮位が下がった事例を震災予防調査会報告に記載している (今村, 1913)。しかるに、

Imamura (1945) では、測量班が経験した異常な事象についていっさい触れられておらず、通常の水準測量成果が報告されているのみである。事象の発生から30年以上経過した後、しかも駿河湾地震説が発表され、地震予知に向けた機運の高まりがある中で寄せられた手記にどこまでの証拠能力を求められるだろうか。

越山の手記については、別の観点からの疑念もある。1944年当時の越山は新米の測量手であった。一方、1976年に手記を書いている越山は、すでに国土地理院を退職し、測量関係企業の役員となっている。この間に積んださまざまな経験が手記を書く際にバイアスとなっていることはないだろうか。測量作業中に大地震を経験するという特殊な体験で、測量手簿という証拠書類を見ながら書いたとはいえ、30年以上前の出来事をどこまで正確に再現できるのだろうか。筆者自身、手記を書いた当時の越山の年齢に近いが、日常生活の中でも記憶力の衰えを感じる事が多く、自分自身の記憶がはなはだ心許ないというのが正直なところである。

## 5. 今後に向けて

地震学の立場からみた場合、東南海地震時の掛川異常隆起の存在を証明できる可能性は実は1つ残されている。それは、掛川～御前崎間を測量していた別の測量班による観測手簿の存在である。こちらの観測手簿は1970年当時から行方不明となっているが、もし発見され、そこから同様な加速的变化の傾向を読み取ることができれば、2つの完全に独立した観測に基づいて異常隆起が確かにあったという結論を下すことが可能である。

一方、日本列島ではGNSS連続観測網GEONETやHi-netに敷設されたボアホール傾斜計など、広域にわたって詳細な地殻変動を検出するための環境が整っており、スロー地震等の新たな発見も相次いでいる。掛川異常隆起のような現象が陸域付近で起きれば、確実に観測で捉えられると考えて間違いない。東南海地震の際に何が起きたのか、科学的な興味は尽きないが、こと地震予知や

前兆現象の可能性に関する限り、この事例はもはや賞味期限切れというしかない。

今後重要なのは、利用可能な情報が限られ、考え方しだいでいかようにも解釈できてしまう過去の事例にこだわるのではなく、新たな観測網をフルに活用して、大地震に先行する前兆現象の有無を検証するとともに、前兆現象が検出された場合にはその定量的解釈・モデル化を進めることである。いまだ先が見えない地震予知を実現に至らしめるためには、こうした地道な研究を進めていく他に道はない。そのような意味において、実用的な地震予知・予測に向けた取り組みはまだ緒にいたばかりであり、大震法のような実用化を試みる段階とはとてもいえない。社会貢献を急ぐよりも、しっかりとした科学的根拠を積み上げていくことが肝要である。

## 参考文献

- Ando, M. 1975. Possibility of a major earthquake in the Tokai district, Japan and its pre-estimated seismotectonic effects. *Tectonophysics*, **25**, 69-85.
- 安藤雅孝. 2016. 大震法の廃止, *JGL*, **12** (3), 13.
- ゲラー・ロバート. 2012. 地震科学と災害対策: リセットの時期. 日本地震学会モノグラフ「地震学の今を問う」, 153.
- 今村明恒. 1913. 明治五年ノ浜田地震. 震災予防調査会報告, **77**, 43-77.
- Imamura, A. 1945. Land deformation associated with the recent Tokaido Earthquake. *Proc. Jpn. Acad.*, **21**, 193-196.
- Kato, N. and Hirasawa, T. 1999. A model for possible crustal deformation prior to a coming large interplate earthquake in the Tokai district, central Japan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **89**, 1401-1417.
- 越山敏郎. 1976. 東南海地震時の水準測量. 国土地理院時報, **100**, 6-8.
- Linde, A.T. and Sacks, I.S. 2002. Slow earthquakes and great earthquakes along the Nankai trough. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **203**, 265-275.
- Mogi, K. 1981. Seismicity in Western Japan and long-term earthquake forecasting, in *Earthquake Prediction. Maurice Ewing Ser.*, **4**, 43-51.
- 茂木清夫. 1982a. 1944年東南海地震直前の前兆的地殻変動の時間的变化. *地震*, **2**, 35, 145-148.

- 茂木清夫. 1982b. 日本の地震予知. サイエンス社, 357 pp.
- Mogi, K. 1984. Temporal variation of crustal deformation during the days preceding a thrust-type great earthquake—The 1944 Tonankai Earthquake of magnitude 8.1, Japan. *PAGEOPH*, **122**, 765–780.
- 茂木清夫・佐藤良輔. 1980. 序文, 地震予知研究シンポジウム (1980). 1–2.
- Sagiya, T. 1998. Crustal movements as earthquake precursors—Leveling anomaly before the 1944 Tonankai Earthquake revisited—. *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **44**, 23–36.
- 鷺谷 威. 1998. GPS 連続データから推定されるフィリピン海プレート北端部におけるプレート間相互作用とテクトニクス. 東京大学地震研究所彙報, **73**, 275–290.
- 鷺谷 威. 2004. 1944 年東南海地震前後の地殻変動再考. 月刊地球, **26**, 746–753.
- 佐藤 裕. 1970. 1944 年の東南海地震に伴う地殻変動. 測地学会誌, **15**, 177–180.
- Sato, H. 1977. Some precursors prior to recent great earthquakes along the Nankai Trough. *J. Phys. Earth*, **25** (Suppl.), S115–S121.
- Thatcher, W. 1981. Crustal deformation studies and earthquake prediction research, in Earthquake Prediction. *Maurice Ewing Ser.*, **4**, 394–410.
- Wyss, M. (ed.). 1991. Evaluation of proposed earthquake precursors. *Am. Geophys. Un.*, 94.
- Wyss, M. and Dmowska, R. (eds.). 1997. Earthquake prediction—state of the art. *PAGEOPH*, **149**, 264.

鷺谷 威

[さぎや たけし]

**現職** 名古屋大学減災連携研究センター教授

**略歴** 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻博士課程中退. 国土地理院に勤務を経て 2003 年より名古屋大学大学院環境学研究所助教授. 2012 年より現職

**研究分野** 地殻変動学. GNSS 等の測地学的手法による地殻変動観測を行うとともに, そのデータを用いて地震やテクトニクスを研究している

**著書** 「日本海東縁の活断層と地震テクトニクス (分担, 大竹政和他編)」など



## 付 録

越山氏の手記は国土地理院広報に掲載されており, 一般には入手しにくいと考えられるため, 以下に全文を掲載する.

### 「東南海地震時の水準測量」

越山敏郎

(国土地理院広報 第 100 号別冊, 6~8 頁, 昭和 51 年 10 月 15 日)

私は, 近頃, 新聞やテレビで話題になっている「遠州灘あるいは, 相模湾を中心に明日地震が起きても不思議はない」という論評について特別の関心をもつ一人である.

昭和十九年十二月七日の東南海地震の際, 私は静岡県掛川の近くで一等水準測量の観測を実施中であり, 地震前かなり大きい異変を体験していた.

このときの測量記録が, 後に地震予知の貴重な資料になっているとは予想だにできなかったが, 当

時の模様を書く様に依頼されたので, 何か少しでも参考になることがあればと, 当時の記録や資料を調べて見た.

国土地理院は測量の博物館と同じで古い測量記録や成果が大切に保存してある.

古い資料の中から必要箇所をコピーして持ち帰り, 繰り返し懐かしく眺めつつ当時を思い起こしてみた.

私は, 昭和十九年七月三十一日繰り上げ卒業で

別表 (地震直前、直後の比較出来る観測値をまとめたもの)

観測月日 水準点 No.	12月3日 I	12月6日 I	12月7日 II	12月8日 II	観測路線の 地形と方向
5259		10h30	12h		
固定点 A		+1.80899 ↓	-1.80994 ↓	-1.80092	平坦地 東西
〃 B		+2.97966 ↓	-2.97536 ↓	-2.96490	〃 南北
5260		+2.97987 14h	-2.97510 9h40	-2.96403	〃 〃
5261		11h 15h30			
固定点 A	+ 3.25537 ↓	+3.25250 ↓	7h		〃 〃
〃 B	+ 2.56462 ↓	16h30	- 2.56214 ↓		〃 〃
5262	+11.39690 15h		-11.39714 9h		丘陵地 〃

陸軍技手（通称・測量官）となった。赴任した陸地測量部測地班で最初の単独作業は、三宅坂水準原点から油壺験潮場までの一等水準測量であった。研修を受けるため、ラバウルから潜水艦で帰国した同期の河野技手とともに、当時「水準測量の神様」といわれた辻田技師の指導を受けた。始めての水準測量であったが、多少の自信を得て役所に帰り、整理していた十一月中旬のある日「静岡へ一等水準測量に行ってくれ、細かいことは研究班の武藤博士に聞くように」と指示され、早速武藤博士の部屋に赴いた。部屋で武藤博士は、田舎の村長然とした東大理学部の今村明恒博士と懇談しているところだった。

遠州灘付近に地震近しと予想した今村博士に、多分学士院が金を出し、それを陸地測量部で委託作業として実施するというものであった。

私は三倉から森、掛川を経て島田方向に、河野技手は、御前崎から佐倉、南山、内田を経て掛川の交点まで約三〇キロメートルに新らしく、水準点十五点埋設してそれを観測するといった計画で出発し、十一月二十四日三倉から観測を開始した。

三倉川の清流に沿った美しい山の中の街道で、バスやトラックも観測中は停止してくれるので静かな環境での観測であった。辻田技師の「観測を早く」に挑戦してやったことは、一測点で後尺、前尺の左右四カ所の観測値を全部暗記して一回に記帳する方法であった。

観測は早く、再測もないので、二十年選手の川本測手は驚き、かつ、喜んでくれた。

十二月に入って、朝の気温は摂氏五度から七度位になり、昼間は強い風が吹く毎日であった。

こうして順調な毎日であったが、六日夜、いつものように当日の観測値を整理していると、夕方観測した水準点ナンバー五二六一（原谷村七反田）とナンバー五二六二の間で七反田側から十点区間（約八〇〇メートル）において、三日前の観測値と比べ、三ミリメートルの差が生じた。（別表参照）

七日七時十分に観測を開始した。（晴疾風西北摂氏六度）

昨六日の作業に続いて、ナンバー五二六二までの観測を終わり、ナンバー五二六〇（原谷村細谷）からナンバー五二五九（桜木村富部）までの観測を行った。

いつものように午前中の観測値を整理していて驚いた。昨日観測したこの区間の観測値と比較して信じられないような数値だ。

昨日もナンバー五二六一の地点で三ミリメートルの差が出た。今日、続けてまた。（別表参照）

観測には自信を持っていた。使用している器械は、大正末期ドイツから購入したカールツァイスで二十年の老令ながら点検調整をよくしているので順調である。

原因不明のまま、午後の観測に入ったナンバー五二五九から掛川に向って七点終って八点目にタンニングした。前方の標尺は、固定点に立っているが、川本測手がセットした器械で、いつものように観測しようとレベルを合致させようとする

も、レベルの気泡が動いて静止しない。

田んぼの中の一本道で強い風が吹き抜けていた。日傘で風よけを作らせたり、器械のセットをやりなおしたりいろいろ試みたが、レベルの動きは、ますます大きくなるばかりであった。

そのうち、大地震（東南海地震）が起き、瞬間、道路が波うつてくるのが見えた。

幾人か近くを歩いていた人や自転車に乗っていた人も近くの田んぼに避難した。

標尺係の測手二名は、尺をささえ切れず道路に横にして、しゃがみ込んだ。

体に感じる地震は一瞬のうちであったが、地盤の動きは止まず、レベルは相変わらず動いて仲々静止しない。しばらくレベルを睨んでいたが諦めて掛川に引き上げた。

旅館に帰ると「とてもお世話できないからで行ってくれ」と要請されたが、行く先もないので

拝み倒して部屋に入る。

部屋は、新築の離れであったが、壁が落ちていて整理が大変であった。多分、今村博士の要請だったと思うが、翌日ナンバー五二六〇からナンバー五二五九に向かって観測、今度は予想していたが、またまた別表に見る如くバラバラの値であった。

地震後は、指示により、私は三倉村から、河野技手は御前崎からそれぞれ再測量を行った。

三倉村を基準に考えると掛川は、地震前約三十五ミリメートル沈下であったが、地震後は、約一一〇ミリメートルの隆起現象を観測した。

当時の負色濃き戦争中の陸軍で、かかる研究作業を実施させた研究班の武藤博士、もち込んだ東大の今村博士お二人の努力が、資料を通じて生きてくれることを願うものです。

（元・測地部計画企画第二係長）

## 「震度7」の違和感

2016年4月の熊本地震では、14日の前震で震度7を記録したのち、16日の本震では、直後の震度報告がなかった2地点で実は震度7だったことがその後の調査で判明した。これを受け、報道では「一連の地震で震度7が2回観測されたのは史上初」、「同じ場所が2度の震度7に見舞われた例は初」、「ひとつの地震で2地点が同時に震度7を観測したのも初」と大きく取り上げていたが、これには違和感を覚えた。

上の例でわかるとおり、震度7のような極値が記録されるかどうかは、激しく揺れた地域に震度観測点があたまたま存在したかどうか大きく依存している。最大震度というのは、きわめて「きわどい」量なのである。

そもそも「震度7」は、1948年福井地震での被害があまりに甚大だったため、1949年にそれまでの最大だった震度6の上に新たに追加したものである。もともと震度は「人体感覚、身の周りの物体の動き、構造物の揺れおよび被害や地変の程度などから総合的に推定された地震動の強さの階級」と定義され、新たな震度7の条件は家屋倒壊率30%以上と定められた。

この震度7が初めて適用されたのは1995年阪神・淡路大震災である。しかし、震度7の認定には家屋倒壊状況の調査が必要なため、気象庁が震度7と判定した地域を正式に発表したのは、地震から半月以上も経ってからであった。世の中からは、「これでは緊急時の防災対策に役立たない」との批判が強く出された。

これを受け、わが国の震度決定方式は1996年に大転換され、人間が震度を決める方式（体感震度）から、器械が決める方式（計測震度）へと変更された。従来の震度は気象官署の職員が体感や周囲の状況から判断する人間臭い指標であったが、1996年以後は震度計で測った揺れの程度から自動決定されることになった。これにより、震度情報の迅速化・客観化が図ら

れ、観測点の高密度化も実現できるようになった。阪神・淡路大震災以前の1993年における震度観測点は全国で約150地点だったが、現在では約4,400地点の震度情報が気象庁に集められ、発表される体制となっている。

図1は、1923年から最近までに日本周辺で発生したM6以上の地震と、最大震度6以上を記録した地震について、積算回数を比べたものである。M6以上の地震の発生率はほぼ一定なのに対し、震度6以上が観測される率は阪神・淡路大震災以降に急増しており、これは明らかに震度観測体制の大転換によるものである。

この図から、1995年以前は震度データの大規模な取りこぼしがあったものと考えられる。たとえば1994年12月19日、東京都多摩西部で発生したM4.6の浅発地震では、青梅市で小学校の窓ガラスが割れるなどの被害があり、局地的には震度4から5の揺れがあったと思われるが、東京での公式震度は千代田区大手町で観測

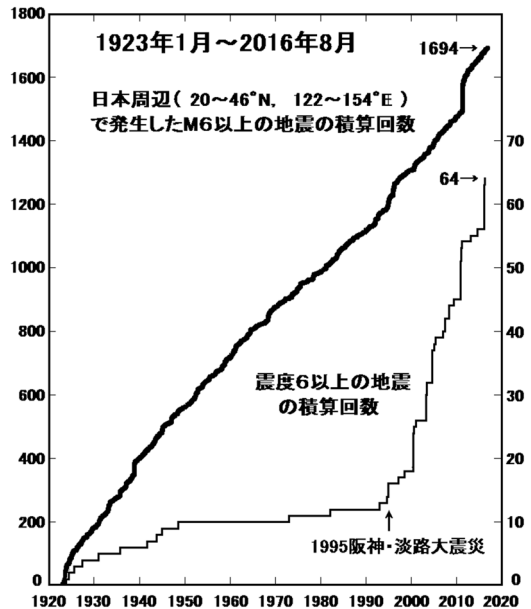


図1 1923年から最近までのM6以上、および震度6以上の地震の積算回数

表 1 わが国で震度7が観測または推定された事例

地震	M	① JMA 発表 震度7の地点	② NIED 強震観測点 震度相当値7の地点	③ JMA 推計震度分布 推計震度7の領域	④ J-RISQ 地震速報 推定震度7の市町村
1995/1/17 兵庫県南部 地震	7.3	神戸市等 阪神淡路地域			
2000/10/6 鳥取県西部 地震	7.3		KiK-net 日野 (鳥取県日野町)		
2004/10/23 新潟県中越 地震	6.8	新潟県長岡市 東川口*	K-NET 小千谷 (新潟県小千谷市)	7メッシュ	
2011/3/11 東北地方太 平洋沖地震	9.0	宮城県栗原市 築館(旧)*	K-NET 築館 (宮城県栗原市) KiK-net 芳賀 (栃木県芳賀町)	19メッシュ	
2011/4/7 宮城県沖の 地震	7.4			—	宮城県栗原市
2011/4/11 福島県浜通 りの地震	7.1			2メッシュ	
2016/4/14 熊本地震 (前震)	6.5	熊本県益城町 宮園*		12メッシュ	熊本県益城町
2016/4/16 熊本地震 (本震)	7.3	熊本県益城町 宮園* 熊本県西原村 小森*	KiK-net 益城 (益城町辻の城)	—	益城町, 西原村, 嘉島町, 大津町, 熊本市東区, 菊陽町

JMA : 気象庁, NIED : 防災科学技術研究所, ①の\*印は気象庁以外の震度観測点を示す。

された震度2にとどまっている。このほか、現地では有感であっても公式記録は震度0とされている例は無数にあると思われる。阪神・淡路大震災の前と後では震度の捕捉率が大幅に異なっており、両期間の震度データを同列に取り扱うことは危険である。

一方、1996年以降の震度観測体制は万全かといえば、そうではない。たとえば2000年に伊豆諸島で生じた大規模群発地震では、気象庁が地震の頻発する根島に臨時の震度観測点を設置した途端、震度5弱や5強の報告が急激

に増え、震度6弱も捉えられた。

震度はきわめて局所性が高く、これをもれなく拾うには、現在の観測点密度でも圧倒的に足りない。もしも日本中に震度計を敷き詰めれば、図1にある1996年以降の震度6以上の積算回数はさらに増えたであろう。だが、日本全国を震度観測点で埋め尽くすことは現実的でない。そこで気象庁は、震度計で観測された震度をもとに、地表付近の地盤の増幅率を用いて1kmメッシュの震度を推定した「推計震度」の図を、2004年新潟県中越地震以降、震度5

弱以上を観測した地震について発表している。

また防災科学技術研究所は、2011年4月以降に発生した最大震度3以上の地震について、観測された震度データに250mメッシュの表層地盤増幅率データを組み合わせ、「J-RISQ地震速報」として、空間的に補間された推定震度分布を準リアルタイムで情報発信している。

話を「震度7」に戻そう。表1は、わが国でこれまでに震度7が観測または推定された事例をまとめたものである。1949年に制定された震度7がその本来の意味で適用されたのは、1995年兵庫県南部地震が最初で最後である。家屋倒壊率30%以上と認定された震度7の領域は、いわゆる「震災の帯」と呼ばれた「神戸市等阪神淡路地域」であり、有限の広がりを持つ。しかし、計測震度方式に切り換えられた1996年以降は震度計の設置されたポイントの揺れ状況だけで震度7が決定され、現在の観測密度では、とてもその広がりまで把握できない。

さて、わが国では表1の①気象庁発表が公式の震度記録とされ、阪神・淡路大震災以後、震度7は2004年新潟県中越地震と2011年東北地方太平洋沖地震、そして2016年熊本地震の前震と本震の4例だけである。ただ、この4例で震度7を記録したのはいずれも気象庁以外の震度観測点であり、もしも気象庁のみの観測体制であったなら、震度7は現在でも兵庫県南部地震が唯一無二の例であったことになる。

次に、表1の②は防災科研の強震観測点で震度7相当の揺れが記録された例である。これによれば、震度7は2000年鳥取県西部地震でも捉えられていたことがわかる。

また、表1の③は気象庁の推計震度分布、④は防災科研のJ-RISQ地震速報による面的な震度推定結果を示している。③では、推計震度7とされた1kmメッシュの数をウェブ上で読み取った数値が記されており、④には推定震度が7とされた市町村名が記されている。

これらによれば、阪神・淡路大震災以後、震度7が現れたと推定される地震の例は7つとなる。また宮城県栗原市は、2011年3月東北地方太平洋沖地震と、その余震である同年4月宮城県沖の地震で、いずれも震度7を経験したとみられる。すなわち、熊本地震より前に、「一連の地震で震度7が2回」、「同じ場所が2度の震度7」の例が存在した可能性が高い。

さらに、2004年新潟県中越地震から2016年熊本地震（本震）までの5例では、いずれも複数の地点で震度7が観測または推定されており、「ひとつの地震で2地点が同時に震度7」の例は頻繁にあったことになる。

最大震度の捕捉は震度観測体制に大きく依存せざるを得ず、報道においては、「現状の観測網で公式に記録されたのは初」といった、限定的な表現がなされることが望ましい。

（岡田義光：防災科学技術研究所前理事長）

## 【訂 正】

地震ジャーナル61号の9ページ、「2016年熊本地震（速報）」の「7. おわりに」冒頭部で、以下の誤りがありました。ここに訂正し、深くお詫び申し上げます（岡田義光）。

<誤> 最初のM6.5の地震が「前震」から「本震」に変更された

<正> 最初のM6.5の地震が「本震」から「前震」に変更された



# 熊本地震での建物被害と耐震設計

## 高山峯夫

### 1. はじめに

2016年4月14日(前震)と4月16日(本震)に発生した一連の熊本地震による被害は、熊本県の発表によれば(9月14日現在)、人的被害(死者数)が関連死を含めると111名、住家被害が全壊8,176棟、半壊29,463棟、一部破損130,873棟となっている。避難者はピーク時(4月17日)には183,882名にのぼった。

この地震を受けて日本建築学会九州支部では災害調査委員会(委員長:高山峯夫)を設置した。災害調査委員会は、日本建築学会九州支部の構造委員会(委員長:菊池健児)と災害委員会(委員長:高山峯夫)の構成員を中心に組織された。災害調査委員会では主に構造種別ごとに調査班を組織し、日本建築学会本部委員会との連携もはかりながら、建物被害の調査にあたることにした。こうした活動の他に、木造住宅の被害が著しかった益城町においては、被害が集中した地域を中心に悉皆調査を実施した。調査結果については、日本建築学会全国大会(8月24日)においても報告している。ここでは、熊本地震の建物被害調査の全体の概要および耐震設計の課題について述べてい

### 2. 木造建物の被害

熊本地震の震源断層の近くに位置する益城町、西原村、南阿蘇村では甚大な被害が発生した。図1は益城町で観測された本震(EW成分)の記録を使った加速度応答スペクトル(減衰5%)である。図中の黒実線は、工学的基盤で規定されている建築基準法のスペクトル(告示スペクトル)を示し、黒点線はこれを2倍して第二種地盤(地域

係数 $Z=1.0$ )相当での地表におけるスペクトルとしたものである。灰色の点線はKiK-net 益城での記録、灰色の実線は益城町役場での震度計による記録である。M-1、M-2、S-3の記録は大阪大学の秦氏による臨時観測点での記録である<sup>1,2)</sup>。M-1観測点は益城町役場近く、S-3観測点は県道28号線の南側の建物の倒壊率が高い地区での観測記録である。このスペクトルからはKiK-net 益城からM-1、さらにS-3地点と南側にいくほど大きな揺れが観測されていることがわかる。また益城町では建築基準法の地震動を超える大きな入力地震動が生じたことがわかる。こうした地震観測記録と建物被害の関連性を調査するために益城町において悉皆調査を実施した。

益城町の悉皆調査では、町役場を中心に南北軸を設定し、南側は秋津川まで、東西方向は県道28号線沿いに調査範囲を設定した。悉皆調査は、5月3日から8日の6日間実施し、構造種別に関係なく、すべての建物(約2,600棟)の被害を調査した。調査にあたっては、災害調査委員会の構成員のほか、JSCA、建築士会、建築事務所協会、JIAなどからも協力を得た。調査にあたった人員は延べ200名(69チーム)となった。

悉皆調査データを分析するにあたり建物の建設年代の特定は被害分析の上で重要である。そこで、調査データの信頼性を向上させるために、日本建築学会九州支部災害調査委員会と国交省・国土技術政策総合研究所・建築研究所の間で調査データの共有をはかることにした。その成果の1つとして、国土交通省の「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」(以下、国交省委員会)においては、木造住宅に関して建設年代と被害率の関係などが示された<sup>3)</sup>(図2参照)。これによれば、1981年以前の住宅で大破以上の被害を受けた建物は約46%、1981年から2000年で

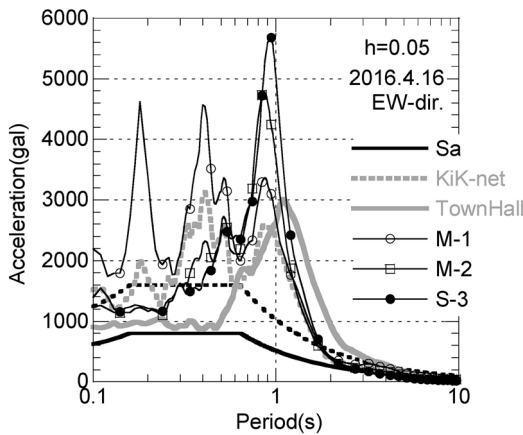


図 1 益城町での観測記録の加速度応答スペクトル (4月16日の本震の記録, EW成分)

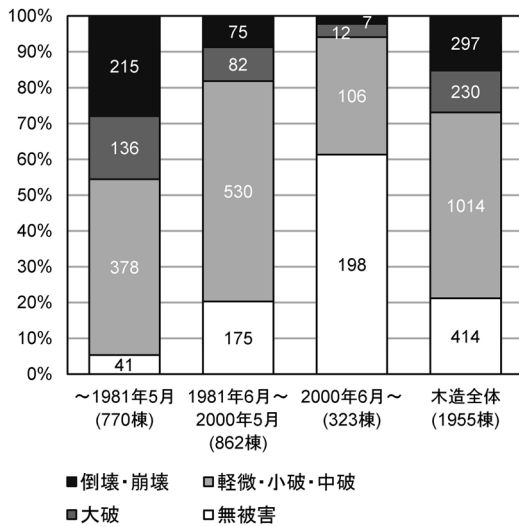


図 2 悉皆調査による木造の建築時期別の被害状況 (文献3のデータに基づいて作成)

大破以上の被害率は約18%, そして2000年以降で大破以上は約7%となっている。2000年以降の木造住宅の約61%が無被害となっている。建設年代が新しいほど被害率は小さくなっていることがわかる。また、耐震等級3の住宅16棟のうち14棟が無被害であったとされており、現行の耐震規定は熊本地震においても有効に機能したといえる。

木造住宅が全壊・倒壊した要因については、①建設年代が古い(旧耐震基準), ②設計基準を超

える入力地震動, ③地盤・基礎の変状(断層運動によるズレも含め), ④腐朽や施工不良, などが考えられる。日本活断層学会の調査によれば益城町での建物被害が集中した県道28号線沿いに断層があったのではないかと報告されている<sup>4)</sup>。

南阿蘇村では図3に示すように学生向けの木造アパートが多数倒壊(1階の層崩壊)している。これらのアパートは新しいようにみえる。しかし、柱の接合部を見ると釘だけで固定されていたりするため、構造体は古いまま内装などのリフォームをしたものと思われる。以前から耐震改修の重要性が指摘されているものの、リフォーム時点で耐震改修が推奨され、耐震改修のための補助制度があればこうした被害を防ぐことができたかもしれない。さらには、木造住宅の設計に構造設計者が関与するような体制づくりも必要ではないだろうか。

### 3. RC造建物の被害

鉄筋コンクリート造建物でも被害が多く発生している。特に古い建物では層崩壊なども発生している。その一例としては図4に示す宇土市役所があげられる。5階建ての4層で層崩壊しているようにみえる。図4の写真でわかるように右側の菱形の事務所と左側の長方形の建物とが繋がっているような平面形をしている。そのため、ねじれ変形が大きくなったことも要因の1つではないかと考えられる。

宇土市役所の周囲には低層の建築物があるものの、それほど大きな被害はみられなかった。やはり当該建物の耐震性が低かったことが一番の被害要因ではなかったかと思われる。また耐震補強されていた益城町役場は本震(16日)により使用不能となったものの、西原村役場は軽微な被害でとどまった。災害時に拠点となる市庁舎や病院、そして避難所となる体育館などはより高い耐震性を持たせるか、あるいは免震構造として設計する必要があるのではないだろうか。

国土省委員会では、RC造建築物で倒壊・崩壊した10棟すべてが旧耐震であり、現行の建築基



図 3 南阿蘇村での木造アパートの被害



図 4 宇土市役所の被害

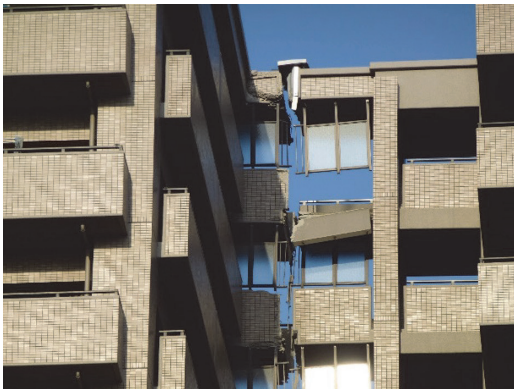


図 5 エキスパンションジョイントの被害

準を満たすもので倒壊・崩壊に至った建築物はないと報告されている（ただし大破した建物は9棟ある<sup>3)</sup>。一方、マンションなどでは図5に示すようなエキスパンションジョイント（以下、Exp.J）の被害が発生している。地震の発生時間が夜だったこともあり、幸いなことにExp.Jが落下してけが人などは出ていない。しかし、地震によっ

て建物がどの程度変形するかを考えてExp.Jの可動範囲を決めることが必要だろう。大きな可動範囲をとれないようであれば、落下しても問題にならないような対策を講じておくことが必要だと思われる。

マンション管理業協会によれば、熊本県内の分譲マンション566棟のうち、527棟でなんらかの被害があり、そのうち、建て替えが必要な「大破」が1棟、大規模補修が必要な「中破」は48棟（約9%）であったと報告されている<sup>5)</sup>。大破となったマンションは旧耐震の建物であるが、新耐震のマンションでも23棟が中破の被害をうけている。現行の耐震基準に基づけば建物が大破・倒壊にいたる割合は小さいといえる。しかし、中破以下の被害であっても、建物の所有者・居住者にとっては、その後の補修などに多大な負担が求められる場合もある。居住者や購入者に対して建物の耐震性能と建設費との関係、大地震時の被害程度を事前にわかりやすく説明することも必要ではないだろうか。

#### 4. 文化財の被害

熊本地震では、文化財にも多くの被害がでている。熊本城や阿蘇神社などの復旧には多大な費用と時間が必要となる。これらの国等による指定文化財は時間がかかっても復旧される仕組みが整っているものの、登録文化財や未指定の重要な歴史的建造物に関しては工事費などの補助がないか少ないという。歴史的建造物が解体されるのを防ぐために、日本イコモス国内委員会は「熊本地震で被災した文化財等の保存に向けた緊急アピール」を発表するとともに、文化財の被害調査結果も公開している<sup>6)</sup>。

なお、阿蘇神社では楼門と拝殿が倒壊した。しかし、これら以外に神社での被害はなく、神社周辺の住宅などに目立った被害はない。このため、拝殿などの倒壊は長周期地震動による共振現象による可能性が高い。文献7では震央から479km離れた大阪湾岸に建つ52階建ての超高層建物での強震記録が紹介されている。この建物の1階の

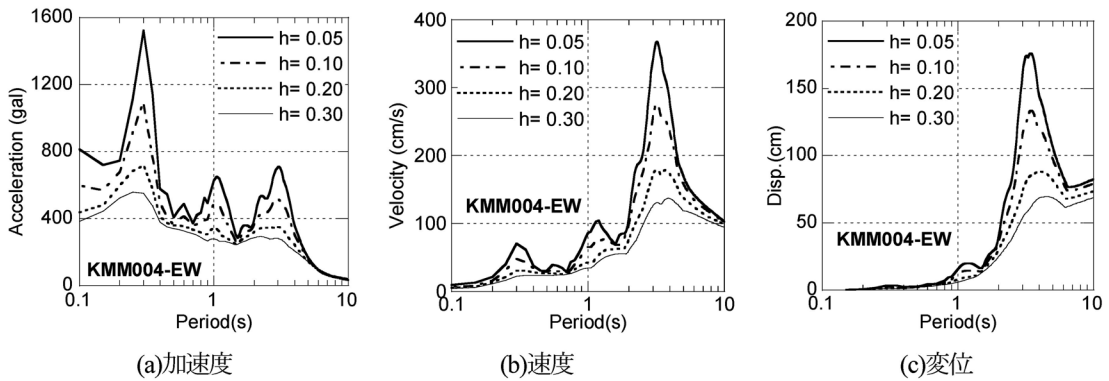


図 6 K-NET 一の宮での観測記録の応答スペクトル (EW 方向)

最大加速度  $7 \text{ cm/s}^2$  に対し 52 階の最大加速度は  $71 \text{ cm/s}^2$ 、継続時間も 300 秒を超えており、長周期地震動の発生がみられたとしている。阿蘇神社に近い K-NET 一の宮の応答スペクトルをみると周期 3 秒付近に非常に大きなピークがある (図 6 参照)。減衰定数 5% のとき速度応答は  $300 \text{ cm/s}$ 、変位応答も  $1.5 \text{ m}$  を超えており、断層近傍でも長周期地震動が発生していたことがわかる。なお、 $3 \text{ km}$  ほど離れた地点に免震構造の病院があり、設置されていたけがき式変位計によれば、免震層の応答変形は片振幅で  $46 \text{ cm}$  程度であった。K-NET 観測記録による変位応答に比べ、免震建物の応答変形に大きな差がある点については今後検討が必要であろう。

### 5. 免震構造の地震時挙動

熊本県内には施工中の 4 棟を含め 24 棟の免震建物がある。用途としてはマンションが最も多く (12 棟)、ほとんどが熊本市内 (18 棟) に建っている。免震構造の調査概要はすでに文献 8 に速報が公開されている。日本建築学会は建築研究所、日本免震構造協会と協力して、文献 8 で調査されていない建物の調査も実施している。

これまでの調査からエキスパンションジョイントなどに被害はみられるものの、免震機能は十分発揮されていたことがわかっている。病院やホテルなどは地震後も業務を継続できており、免震マ

ンションの住民はインフラが復旧した段階で通常どおりの生活をおくることができたと聞いている。またマンションの部屋の中は何一つ倒れず、食器なども割れなかったということで、すべての所有者・居住者はその効果にたいへん満足されていた。

ただ、残念なことに地震計の設置はどの建物にもなく、免震マンションではけがき式変位計すらも設置されていなかった。けがき式変位計で免震層の変位履歴を確認することは免震建物の健全性を評価する上で重要である。

### 6. これからの耐震設計

熊本地震は、益城町において震度 7 の揺れが連続して発生するなど、これまで経験したことのない地震であった。こうした強い揺れに見舞われた地域では、前震では大きな被害を受けずにすんだ建物も本震の揺れで倒壊した建物も多くあった。断層近傍に建つ建物の設計を行う際には、建築基準法に規定されている耐震性能では不十分であるといえる。

益城町の悉皆調査から、2000 年以降の木造住宅では無被害率が 60% と高く、耐震規定の妥当性を示す結果となった。また耐震等級 3 の住宅の有効性も認められた。一方で、柱や筋交いの接合方法が不十分なため大きな被害を受けた建物もあった。建物の耐震性能を確保するためには、筋

交いなどの耐震要素を平面的にも立面的にもバランスよく配置し、抵抗力を発揮できるような適切な設計と施工が求められる。今回の地震被害では建物だけでなく地盤の被害も多くみられている。住宅地の地盤特性によっては基礎形式やより高い耐震性能を目指すことも求められる。さらに、住宅の購入者に対して耐震性能に関する適切な情報提供も必要だろう。

木造以外の建物では、特に旧耐震の建物に被害が集中した。以前から言われていることだが、旧耐震建物の耐震補強・改修を促進していくことが将来の地震被害を抑制するために不可欠である。現行の耐震設計の考え方は、今回のような熊本地震に見舞われた場合、人命保護の観点から建物の倒壊を防ぐことを最低性能としており、ある意味建物が損壊することは許容されている。住宅の購入者などは耐震構造だから「安全」と説明を受けているかもしれないが、「安全」という意味は少なくとも建物の倒壊を防ぐという意味であり、一般の方々が「安全」という言葉にもつイメージとは異なっている。こうした点を市民や社会に説明していくことが必要であり、住宅の購入者や居住者が建物の耐震性能を正しく理解して、選択できるようにすることが求められる。

米カリフォルニア州には断層ゾーン法 (The Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act) が制定されている。断層ゾーン法は州の地質調査官により活断層の地表痕跡の両側に設定されており、ゾーン幅は1/4マイル (0.4km) 程度である。自治体は、活断層地表痕跡の直上での新築および大規模増改築に対しては建築許可を与えてはならず、建築前の地質調査で活断層が発見されると、建物を50フィート (15m) セットバックして建設しなければならないという。この断層幅0.4kmの範囲内に住む人口はわが国全体としては、現時点で全人口の2.3%、最も多い京都府でも10%未満であるという調査結果がある<sup>9)</sup>。この結果は、今後50年で人口の3割が減少するわが国の人口減少社会を見据えれば、適切な土地利用・都市計画的な政策によって、活断層近傍の危険性の高いエリアに住む人々に、長期的に安全なエリアに移

り住んでもらうことで、将来の地震被害を大幅に軽減し、災害に強い国土づくりを実現する可能性を示すものであるとされている。建物の耐震性だけではなく、まち・都市の安全性をいかに確保していくかについて、まちづくりや都市計画の観点から長期的に考えていくべき課題であろう。

しかし、活断層の位置が曖昧では政策も打ち出しにくい。文献10では、活断層防災のために必要なこととして、第一に、活断層の見落としを防ぐため、その存在を明らかにするための調査を集中的に実施することを提案している。第二に、「震災の帯」が出現し得る範囲を特定し、活断層防災特別地域に指定して、必要な対策を講ずることも提案している。徳島県が条例で定める活断層直上のずれ対策や、福岡市が条例で推進する揺れ対策が参考になるとしている。同文献では熊本地震の被害者の声として「布田川断層が家のそばを通っていることは20年前から知っていたが、どうすればよいかわからなかった…」が紹介されている。こうした声はどう答えていけばいいのか問われている。

最後に、熊本地震で被災された方々ができるだけ早く元の生活に戻れることを祈りたい。

## 謝 辞

本稿で示した地震応答スペクトルは気象庁で公開されている熊本県益城町と西原村の観測記録、および防災科学術研究所のK-NET・KiK-netによる観測記録を使わせていただきました。ここに記し感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Hata, Y., Goto, H. and Yoshimi, M. 2016. Preliminary analysis of strong ground motions in the heavily damaged zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the main shock of the 2016 Kumamoto Earthquake (Mw7.0) observed by a dense seismic array. *Seismol. Res. Lett.*
- 2) <http://committees.jsce.or.jp/eec2/system/files/地震動・地盤震動：秦吉弥（大阪大学）.pdf>
- 3) 国土交通省. 2016. 熊本地震における建築物被害



# 震度データを用いた地震の中期予測 —地震発生の「相場観」を理解してもらうために—

小泉尚嗣・今給黎哲郎

## 1. はじめに

災害（ディザスター：Disaster）は素因（社会の脆弱性等：Vulnerability）と誘因（ハザード：Hazard）によって生じる（たとえば、牛山（2012））。誘因は、災害を生じさせる「きっかけ」となる現象のことで、地震災害の場合は「地震」が誘因となる。自然災害における誘因の改善は困難なので、自然災害軽減のためには、素因を改善することが一般に有効である。政府公報オンライン（2016）では、「一番大切なのは、一人一人が取り組む防災対策」としているが、この場合も、「各個人の自然災害に対する脆弱性を改善すること」を勧めているわけである。

個人レベルで地震災害に備えるにあたっては、地震に関する正しい知識に基づいた判断がなされることが望ましい。被害が出るような地震の発生については、短期的な予測の情報が出せるような一般的手法は確立されていないのが現状であるが（たとえば、日本地震学会、2016）、地震調査研究推進本部による地震動予測地図のような、数十年という期間を対象とした確率的な中長期の予測については、ハザードに関する情報として公開されている。しかしながら、「震度6弱を今後30年間に体験する確率」などといわれても日常生活の感覚と比較してそれを理解することは難しい。一方で、被害は出ないものの記憶に残る程度の震度4程度の地震であれば、数カ月から数年に1度といった、日常感覚で十分把握可能な頻度で体験する可能性がある。しかし、その程度の地震であっても、一般市民の地震活動に対する感覚は、地震研究者のそれとかなりの差があるのが実情であ

る。最近、携帯電話やファックス、インターネット等を利用した民間の地震予知・予測有料サービスが多くなったが（たとえば、村井、2015）、地震研究者からみれば、通常の地震活動から想定される地震を予知・予測したにすぎないケースでも、そのユーザー（一般市民）が高く評価していることが多い。

本報告で紹介する「地震予測」手法は、オリジナルの物理的モデルや統計的モデルを新たに提案して、より信頼性の高い手法を確立するための学術的な議論を行うためのものではない。通常の地震活動から当然予想できる地震発生について、一般市民に「地震の相場観（どの程度の地震なら起きても当たり前という感覚）」を理解してもらうことを主眼としている。そのために、「地震」イベントを震源カタログ（たとえば、気象庁一元化震源、気象庁（2016b））から集計するのではなく、より体感に近く一般の人も使いやすい気象庁の震度データベース（気象庁、2016a）を用いた手法を採用した。数カ月から1年程度の、日常生活の時間に対応した期間において、当たり前に行き起きている地震の頻度に基づき、分かりやすい表現でやや強めの地震を体感する確率を示すことで、定常的な地震活動のレベルを理解できることを目指している。

## 2. 手 法

この手法の原理は、今給黎（2016）に基づく。任意の場所Aを対象とし、気象庁震度データベースを用いてY1年～Y2年の間で、ある震度X以上の地震が発生した回数をカウントし、それをもとに震度X以上の地震が発生する平均間

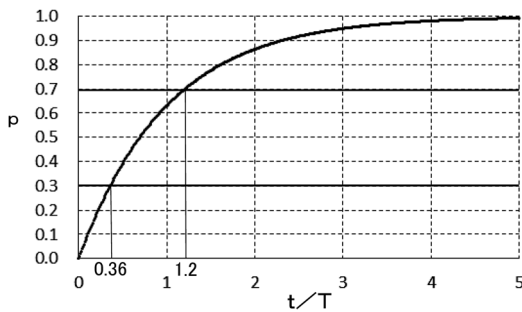


図 1 定常ポアソン過程にしたがって発生する現象の発生確率  $p$  を、その平均発生間隔  $T$  と予測期間  $t$  の比で表したグラフ。  $p=1-e^{-t/T}=1-\exp(-t/T)$

隔  $T$  (日) を求める (震源は、想定する場所 A から離れていてもよいことに注意)。ここで、この震度  $X$  以上の地震が、この平均間隔で定常ポアソン過程に従って (それまでの発生経過に関係なくランダムに) 発生すると仮定すると、ある  $t$  日間に対象とする場所 A で震度  $X$  以上の地震が発生する確率  $p$  は  $1-e^{-t/T}$  であらわされる (図 1)。ここで  $e$  はネイピア数 (あるいは自然対数の底 (てい)) とよばれる数値でおおむね 2.7 程度の値である。  $e^{-t/T}$  は  $\exp(-t/T)$  と表記されることもある。図 1 からわかるとおり、  $T$  に比べて予測期間  $t$  が小さいと確率  $p$  が小さくなるので、この手法は基本的に短期予測には向かない。

この確率を用いて、以下のような予報を出すことにする。適当な閾値  $P1, P2$  を定め ( $P1 > P2$ )、  $p \geq P1$  であれば「場所 A で  $t$  日間に震度  $X$  以上の地震が発生する」と予測 (赤予報)、  $p < P2$  であれば「場所 A で  $t$  日間に震度  $X$  以上の地震は発生しない」と予測 (青予報)、  $P2 \leq p < P1$  なら「場所 A で  $t$  日間に震度  $X$  以上の地震が発生するかどうかは不明」と予測 (黄予報) するものとする。

ここでは実例として 2016 年の 1 年間および 3 カ月間の地震活動予測を試みてみよう。A としては各都道府県 (ただし、東京都と鹿児島県については、島嶼部とそれ以外の 2 つに分ける)、  $Y1 \sim Y2$  は 2013~2015 (比較対象として 2012~2014)、  $X$  は 4 とし、震度 4 以上の地震を対象とする。ま

た、予測期間  $t$  は 366 日 (閏年である 2016 年の日数) および 91 日 (3 カ月) を選んだ。両方の予測で、  $P1=0.7, P2=0.3$  とした。図 1 をみるとわかるように、平均発生間隔の 1/3 程度の期間 ( $t/T=0.36$ ) 以下だと発生確率  $p$  は 0.3 以下になる。また、平均発生間隔の 1.2 倍程度の期間 ( $t/T=1.2$ ) 以上だと発生確率  $p$  は 0.7 以上になる。福井県・三重県・長崎県では、2013~2015 年に県内で震度 4 以上を記録する地震は発生しておらず (表 1)、  $T$  は求められない。この場合は、  $T$  が非常に大きいと考え、  $t$  の値に関係なく地震発生確率  $p$  は 0 と考えた。

地震発生の平均間隔を求める期間として 2013~2015 年を選んだのは、小泉・今給黎 (2016) により、直近 3 年の地震活動で、3 カ月~1 年程度の期間の震度 4 以上の地震をかなりの確率で予測できることが分かったからである。

以上のパラメータは、任意に変えることが可能である。ただし、1884 年にスタートした日本の震度観測には、観測手法や観測点の数についてかなりの変化があるので注意が必要である。とくに 1995 年兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災) 後の 1996 年度から、震度観測が体感観測から機械観測に代わり、数年かけて震度観測点が 1995 年当時の観測点 (約 300 点) の 10 倍以上になったことは (現在は約 4,000 点)、最近の最も大きな変更点である (気象庁、2009)。すなわち、1995 年以前と 1996 年以降の震度データベースは、同等に取り扱うことができない。また、1996 年以降の数年間も上述のように移行期間であることを考慮し、小泉・今給黎 (2016) では、2001 年以降について解析を行っている。

### 3. 結果と考察

2012~2014 年の 3 年間における都道府県別の震度 4 以上の地震の年間発生率を図 2 (a) に、2013~2015 年の 3 年間における都道府県別の震度 4 以上の地震の年間発生率を図 2 (b) と表 1 に示す。対象とする都道府県で震度 4 以上の地震であるということなので、その都道府県の直下で



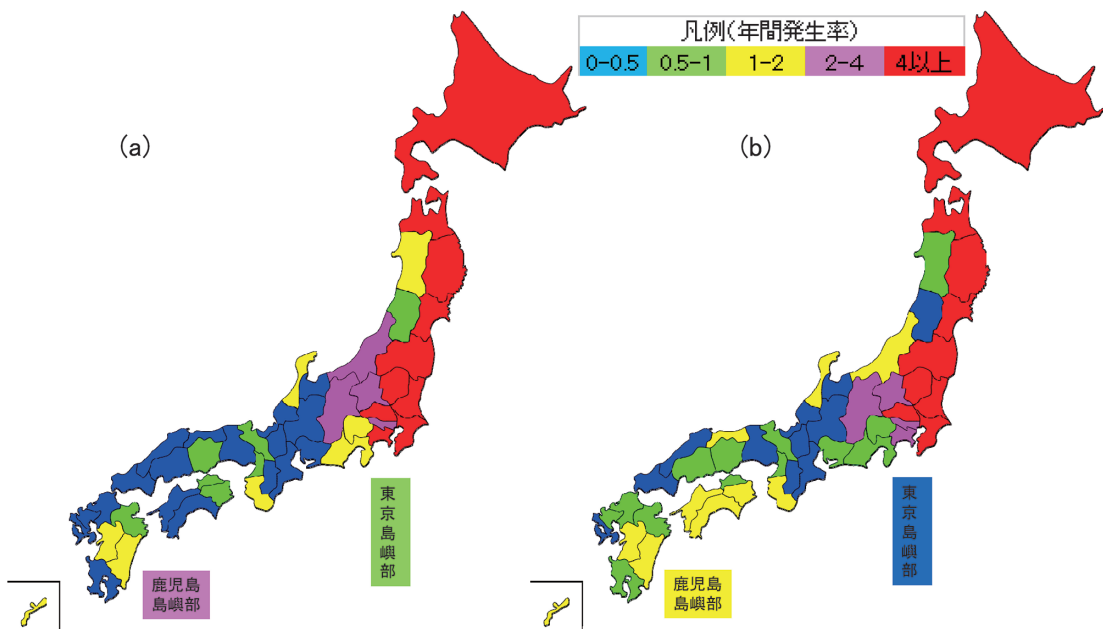


図 2 (a) 2012～2014 年, (b) 2013～2015 年の都道府県別震度 4 以上の地震の年間発生率. 日本地図の作成に関しては, 白地図ぬりぬり (2016) というツールを利用した. 図 3 以降も同様

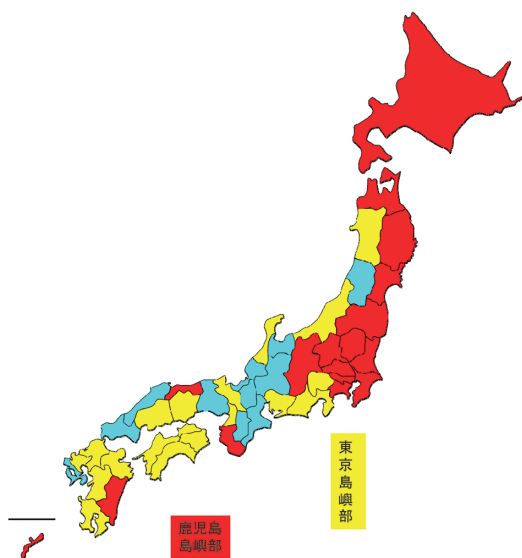


図 3 図 2 (b) (2013～2015 年) の年間地震発生率から計算した 1 年間 (366 日間) の震度 4 以上の地震発生予測

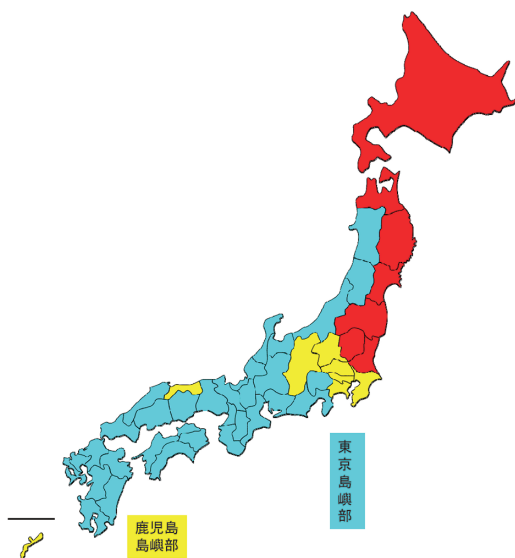


図 4 図 2 (b) (2013～2015 年) の年間地震発生率から計算した 3 カ月間 (91 日間) の震度 4 以上の地震発生予測

表 1 2013～2015年に震度4以上を各都道府県で記録した地震の数

都道府県等	2013～15年の発生回数 (回)	年平均発生数 (回/年)	平均発生間隔 (日)
1 北海道	16	5.3	68
2 青森	17	5.7	64
3 岩手	19	6.3	58
4 宮城	21	7.0	52
5 秋田	2	0.7	548
6 山形	1	0.3	1,095
7 福島	30	10.0	37
8 茨城	34	11.3	32
9 栃木	25	8.3	44
10 群馬	9	3.0	122
11 埼玉	14	4.7	78
12 千葉	14	4.7	78
13 東京 (島嶼部以外)	6	2.0	183
14 東京 (島嶼部)	3	1.0	365
15 神奈川	10	3.3	110
16 新潟	3	1.0	365
17 富山	1	0.3	1,095
18 石川	3	1.0	365
19 福井	0	0.0	—
20 山梨	2	0.7	548
21 長野	7	2.3	156
22 岐阜	1	0.3	1,095
23 静岡	2	0.7	548
24 愛知	2	0.7	548
25 三重	0	0.0	—
26 滋賀	1	0.3	1,095
27 京都	2	0.7	548
28 大阪	2	0.7	548
29 兵庫	1	0.3	1,095
30 奈良	1	0.3	1,095
31 和歌山	4	1.3	274
32 鳥取	5	1.7	219
33 島根	1	0.3	1,095
34 岡山	2	0.7	548
35 広島	2	0.7	548
36 徳島	3	1.0	365
37 香川	2	0.7	548
38 愛媛	3	1.0	365
39 高知	3	1.0	365
40 山口	1	0.3	1,095
41 福岡	2	0.7	548
42 佐賀	2	0.7	548
43 長崎	0	0.0	—
44 熊本	3	1.0	365
45 大分	2	0.7	548
46 宮崎	4	1.3	274
47 鹿児島 (島嶼部以外)	2	0.7	548
48 鹿児島 (島嶼部)	8	2.7	137
49 沖縄	5	1.7	219

地震が発生したとは限らない。また、1つの地震に対して複数の都道府県で震度4以上になることがあるので、地震の数が重複してカウントされているケースがあることに注意が必要である。

2013～2015年の都道府県別震度4以上の地震発生率を、2012～2014年のそれと比較してみる(図2)。2011年東北地方太平洋沖地震の余震活動が続いていることもあって、東日本の太平洋岸では、2013～2015年も震度4以上を記録する地震が多く発生している。ただし、図2では区別できないが、発生数そのものは2012～2014年に比べて減ってきている。東日本の日本海側では、震度4以上を記録する地震が減ってきていることが図2でもみても分かる。全体として、東日本では、2012～2014年に比べて、2013～2015年のほうが震度4以上を記録する地震は減ってきている。他方、西日本では、全体に暖色系が増えている、震度4以上を記録する地震は増えている。

次に、表1や図2(b)の年間地震発生率に基づいて、各都道府県で震度4以上の地震が1年間(366日間)および3カ月間(91日間)に1度以上起こる確率を計算する。たとえば、ある都道府県における震度4以上の年間地震発生率が2回だったとすると、その平均間隔  $T$  は183日となり、予測期間  $t=366$ 日 ( $t/T=2$ ) に対しては  $p=86\%$ 、予測期間  $t=91$ 日 ( $t/T=0.5$ ) に対しては  $p=40\%$ となる(図1)。このようにして得られた1年予測および3カ月予測は、図3および図4のようになる(小泉・今給黎, 2016)。ここでは、確率が70%以上の都道府県を赤で、30%以上70%未満を黄で、30%未満を青で示している。

さて、図3を2016年1年間の地震発生予測、図4を2016年の1～3月および4～6月の地震発生予測と見なして、2016年1～6月に実際に発生した地震をもとに図3、4の予測(赤予測と青予測)を検証した結果が表2と表3である。表2は、図3の年間予測に対し、2016年1～6月の結果で評価している点に注意が必要である。適中率(出した予報がどれくらいあたるかの評価: 宇津(1977))は年間予測で89%、2回分の3カ月予測(以降、単に3カ月予測)で71%、予知率(発生

表 2 2013~2015 年の活動をもとにした 2016 年の 1 年予測の検証結果

	赤予報	黄予報	青予報	小計
地震有	16	8	3	27
地震無	2	12	8	22
小計	18	20	11	49

項目	計算式	値
適中率	16/18	0.89
予知率	16/27	0.59
安心率 1	8/11	0.73
安心率 2	8/22	0.36

した地震の中でどれくらい予知されていたかの評価：宇津（1977）は年間予測で 59%，3 カ月予測で 29% となった。予知率を下げた大きな要因は、2016 年熊本地震である。3 カ月予測ではほとんど青予測、年間予測でもほとんど黄色か青の予測である西日本において（図 3、4）、2016 年熊本地震（特に 4 月 16 日の本震）では、多くの県で震度 4 以上の揺れを記録したからである。本予測の原理からいって、地震活動の低い場所における大地震の予測は困難である。

小泉・今給黎（2016）では、青予報のときに地震が発生しない事例の比率や、地震が発生しないときに青予報が出ている比率も重要と考え、前者を「安心率 1」、後者を「安心率 2」と定義した。予知率・適中率と同様に、安心率 1・安心率 2 を計算すると、安心率 1 は 1 年予測で 73%，3 カ月予測で 79%，安心率 2 は、1 年予測で 36%，3 カ月予測で 83% となった。1 年予測の安心率については、1~6 月の分で計算しているため、7~12 月で地震発生場所（都道府県）が増えれば、安心率 1 の分子と安心率 2 の分母が減る可能性があるため、安心率 1 の低下と安心率 2 の上昇が見込まれる。

上記では、2 で示した手法において、震度を 4 以上、場所を都道府県として計算した結果について述べた。たとえば、震度を 5 弱以上、場所を日本全国とすることも可能である。2013 年から 2015 年の 3 年間に於いて全国で震度 5 弱以上を

表 3 2013~2015 年の活動をもとにした 2016 年の 3 カ月予測 2 回分（1~3 月、4~6 月）の検証結果

	赤予報	黄予報	青予報	小計
地震有	10	11	14	35
地震無	4	7	52	63
小計	14	18	66	98

項目	計算式	値
適中率	10/14	0.71
予知率	10/35	0.29
安心率 1	52/66	0.79
安心率 2	52/63	0.83

感じた地震は 31 回あったので、平均発生間隔は  $36/31=1.16$  カ月となる。その 1.2 倍の期間： $1.16 \times 1.2=$ 約 1.39 カ月（約 6 週間）が地震発生確率 70% の期間となるから、6 週間以上の期間をとって「日本のどこかで震度 5 弱以上の地震が発生する。」とすれば、かなり好成績の「地震予測」となるだろう。

#### 4. 結 論

気象庁震度データベースを用いて、過去の地震活動（2013~2015 年）に基づいて各都道府県における震度 4 以上の地震の平均発生間隔を求めた。震度 4 以上をもたらす地震がポアソン過程で発生すると仮定して確率を計算し、2016 年の 47 都道府県（東京都と鹿児島においては島嶼部とそれ以外を分けたので 49 地域）における 1 年予測、3 カ月予測（1~3 月、4~6 月）を行ったとして結果を検証した。それぞれについておおむね良好な結果が得られた。ただし、2013~2015 年の地震活動が比較的低かった熊本県で発生した 2016 年熊本地震は予測できず、この手法の限界も同時に示された。

限界はあるものの、単純に言えば、自分の住む地域における一定の震度以上の地震の発生間隔（たとえば表 1）に興味をもったうえで、「平均発生間隔の 1.2 倍以上の期間なら地震が起きても当たり前」という感覚を、一般の方は持ってもらえ

ればよいことになる。それは、日本列島の地震活動に対して地震学者が持つ「相場観（どの程度の地震なら起きて当たり前という感覚）」と同様であり、「各個人の地震災害に対する脆弱性を改善すること」につながるだろう。表1（あるいは読者自らが作る表1に相当する表）が読者の「地震発生の相場観」取得に役立つことを願っている。

**謝辞**：気象庁震度データベース構築に貢献している気象庁職員をはじめとする多くの関係者に感謝する。本稿を作成するに当たっては、本誌編集委員の岡田義光氏の助言が非常に有益であった。ここに記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 今給黎哲郎. 2016. 平常的な地震活動と「予測」の価値—当たり前前の地震について—. 地震予知連絡会会報, **95**, 425-431.
- 気象庁. 2009. 震度の活用と震度階級の変遷等に関する参考資料. <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/study-panel/shindo-kentokai/hensen.pdf> (2016年9月アクセス)
- 気象庁. 2016a. 震度データベース検索. <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (2016年9月アクセス)
- 気象庁. 2016b. 地震月報 (カタログ編). <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html> (2016年9月アクセス)
- 小泉尚嗣・今給黎哲郎. 2016. 気象庁震度データベースを用いた地震予測. 日本地震学会ニュースレター, **68** (6), 22-25.
- 村井俊治. 2015. 地震は必ず予測できる. 集英社, 172 pp.

- 日本地震学会. 2016. FAQ2-15 地震予知に対する地震学会の立場. [http://www.zisin.jp/modules/pico/index.php?content\\_id=150](http://www.zisin.jp/modules/pico/index.php?content_id=150) (2016年9月アクセス)
- 政府公報オンライン. 2016. 災害時に命を守る一人一人の防災対策. <http://www.gov-online.go.jp/useful/article/201108/6.html> (2016年9月アクセス)
- 白地図ぬりぬり. 2016. <http://n.freemap.jp/> (2016年9月アクセス)
- 宇津徳治. 1977. 地震予知の適中率と予知率. 地震2, **30**, 179-185.
- 牛山素行. 2012. 防災に役立つ地域の調べ方講座. 古今書院, 102 pp.

小泉尚嗣

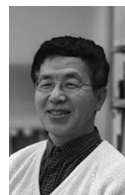
[こいずみ なおじ]

**現職** 滋賀県立大学環境科学部教授

**学位** 理学博士

**略歴** 京都大学大学院理学研究科博士後期課程地球物理学専攻単位取得退学. 京都大学防災研究所助手, 工業技術院地質調査所主任研究官, 国立研究開発法人産業技術総合研究所総括研究主幹を経て現職

**研究分野** 地震・地殻変動と地下水との関係を調査する研究



今給黎哲郎

[いまきいれ てつろう]

**現職** 国土交通省国土地理院企画部地理空間情報国際標準分析官

**学位** 理学修士

**略歴** 東京大学理学系大学院地球物理学専攻課程修士課程修了. 国土地理院測地観測センター長, 同地理地殻活動研究センター長を経て現職

**研究分野** 衛星測位, 地殻変動に関する研究



# ■ 書 評 ■

## ● 海洋底という観測窓を用いて 発展した地球科学

中西正男・沖野郷子 著  
海洋底地球科学

評者 馬場聖至

海洋底地球科学とは、海洋底を対象とした観測に基づく、おもに固体地球科学の研究領域である。ときに生物・環境・資源科学なども関連領域として含まれる。今日の固体地球科学の発展、とくにプレートテクトニクスの確立において、海洋底観測に基づく海洋リソスフェアの形成・成長過程の理解が重要な役割を果たした。本書は、海洋リソスフェアの基本的な特徴を、地球物理学的、地質学的なさまざまな観測事実に基づき多角的な視点から網羅していて、学部学生、大学院生向けの固体地球科学の入門書・教科書として適している。また時代とともに専門が細分化される傾向のなかで、特に海洋底観測とは直接関わることの少ない地球科学の研究者にとっても有用な参考書として活用できる。

本書は、7つの章と付録で構成されている。本論は、海洋リソスフェアが中央海嶺にて誕生し（第4章）、プレート内火山活動で改変されつつ（第6章）、海溝にて消滅する（第5章）までの一生を解説することである。それぞれ特徴的な地形の記載から始まって、関連するテクトニクスが比較的新しい研究成果も含めて詳しく述べられている。

第1章から第3章では、本論を理解するための基礎情報として、代表的な海底地形、海洋リソスフェアの基本的構造とそれぞれを構成する物質、および海洋リソスフェアの年代について、学ぶことができる。地球磁場と海洋リソスフェアに記録されている地磁気異常については、著者らの専門分野ということもあり、とくに詳細に解説されている。

第7章ではプレート運動論と主要な海洋プレートの運動史および未解明の問題が概説されている。未解明の問題の1つにプレートがなぜ動くのかという問題が取り上げられているが、これはアセノスフェアがなぜ柔らかいのかという問題と深く関わっている。長期の広帯域地震観測・電磁気観測や海洋プレート内火山由来の岩石採取

などの海洋底観測に基づくいくつかの研究は、アセノスフェアの実体に関する議論にも貢献している。本書はリソスフェアに焦点が当てられていて、アセノスフェアについての記載が少ないことはやや残念である。

付録に、海洋底研究で用いられるさまざまな観測方法が概説されているのも、本書の特色の1つである。この概説のみから実際の観測現場を想像することは必ずしも容易ではないかもしれないが、海洋底地球科学に携わる研究者と議論する際や、実際に海洋底観測の現場に赴いたときなどに、海洋底観測の原理と内容を理解するのに役立つだろう。

この分野の魅力の1つは、異なる専門の研究者がしばしば観測航海に同乗し、お互いの観測・研究をきわめて近い距離で体験できることである。著者らが本書で広範な専門領域を網羅されたことは、このような背景とも無関係ではないだろう。本書を通じて、より多くの現在・将来の研究者が海洋底観測に興味を持ってくれることを、評者も大いに期待する。

＜東京大学出版会、2016年5月、A5判、320ページ、3,800円＋税＞

【ばば きよし 東京大学地震研究所助教】

## ● 姿の見えない首都直下地震に 対する一里塚として

平田 直 著  
首都直下地震

評者 中林一樹

「首都直下地震」が首都圏で対策を講じ迎え撃つべき地震で、関東地震が発生する前に複数回発生するであろう、といわれはじめて四半世紀が経っている。首都であり巨大都市である東京を襲う直下地震対策を検討しようとして、東京都が初めて“東京区部直下地震”の被害想定に取り組み、とりまとめていた1995年1月17日、神戸市を含む阪神間の大都市圏を直撃する直下地震「兵庫県南部地震」が発生した。その被害の激甚さから災害名として「阪神・淡路大震災」と命名された。この地震災害を境に首都直下地震への関心は、研究界のみならず、対策を講じる行政機関および民間企業を含む国民レベルでも、急激に高まった。とくに東京都における被害想定は、

M7.0で取り組んでいた区部直下地震の規模をM7.3に想定しなおして1996年に公表し、対策検討を加速した。

中央防災会議が本格的に首都直下地震対策に取り組むようになるのは、2005年に公表された首都直下地震「東京湾北部地震」の被害想定以降である。しかし、首都直下地震とは何か、どのような地震なのか、地震被害を軽減する最も中心的な主体である首都圏に住む国民の理解が、必ずしも深まったわけではなかった。この間に文部科学省では大都市大震災被害軽減プロジェクト（2002～2007）を開始し、首都直下地震防災・減災特別プロジェクト（2007～2012）、都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト（2012～2017）と、首都直下地震をめぐる学際的な研究が推進されてきた。

本書は、それらの研究プロジェクトを牽引してきた地震学研究者による著作である。本書は、これらの研究成果をもとに、行政のみならず被災軽減に取り組む、首都直下地震対策を実践する主体である“首都圏に住み、活動する国民”に、わかりにくく誤解の多々あった首都直下地震の姿を概説している待望の著作である。本書によって、わかりにくかった首都直下地震の理解を大いに深めることができたことは間違いない。そのうえで、防災対策・計画を立案、策定し、その事前の実践に向けて関わってきた立場から、いくつかの論点に関して述べていただくことにした。

#### 直下地震のメカニズムが理解できたか

相模トラフの近傍にあり北米プレート、フィリッピン海プレート、太平洋プレートが重層している首都圏は、プレート境界地震も“直下地震”となるが、93年前に発生した関東地震（1923）を除いて、4種類の被害をもたらす直下地震があるといわれてきた。トラフ沿いではなくトラフから遠く離れたプレート境界地震以外に、北米プレート（地殻）内地震、活断層地震、およびフィリッピン海プレート（スラブ）内地震である。そして、2005年の被害想定では割れ残っているプレート境界地震として東京湾北部地震を政府が対策を検討するための地震として詳しく被害想定したが、2012年の想定では東京湾北部地震は1923年にすでに地震を引き起こしていたとして棄却し、その北部の茨城県南部地震など2つの地震、北米プレート内の5つの活断層地震および、さいたま市、横浜市の直下に設定した2つの北米プレート（地殻）内地震、そして東京都心をはじめ10カ所にフィリッピン海プレート（スラブ）内地震を設定した。

ところで、首都直下地震がどこにでも起こりうるものであることを理解しても、特にプレート内で発生する地殻内地震およびスラブ内地震とは、未知の活断層で発生するのか、ひずみが蓄積していたプレート（地殻、スラブ）内で新たに地震が発生し、そのときに新たに断層が

発生するというものなのか、そのところが地震学に不明の者には今一つ腑に落ちていない。この一点の理解ができれば、なぜ、活断層でないプレート内で地震が起きるのか、それを理解することができれば、首都圏に住む者が首都直下地震を自分事にでき、自分の住んでいる直下でも首都直下地震が起これば、自宅も厳しく被災するという認識を持つことにつながりうるのではないか。

#### 首都直下地震におけるプレート内地震と地殻内地震

政府は、どこで起きるかわからない首都直下地震に対して、政府としての対策を講じるために、建物の倒壊や火災による焼失などの直接被害が最大で、それが東京都心地域に集中している首都機能（立法、行政、司法の三権に関わる国家中枢機能、日本経済の中核機能など）に対して最も大きな影響を与える地震として、2005年の被害想定時の東京湾北部地震ではなく、2013年ではスラブ内地震として設定した都心南部直下地震に変更された。しかも、2002年以降の首都圏における地震観測の成果として、フィリッピン海プレートの深さが、当時の想定よりも約10km浅くなっていることが解明され、プレート境界よりも深い位置となるスラブ（フィリッピン海プレート）内の地震が、地表での震度の想定は東京湾北部地震（2005年想定）に近似した状況になったことはよく理解できた。

しかし、2013年の想定で北米プレート（地殻）内で発生する地震として想定した、さいたま市直下地震と横浜市直下地震の規模が、なぜMw6.8なのか、10のスラブ内地震（Mw7.3）に比べてモーメントマグニチュードで0.5低く想定した理由とは何か。地殻内地震をMw7.3の地震規模で想定すると、どのような震度分布状況になるのか、それに備える必要がないのか、知っておきたかったところである。

#### 各地の首都直下地震による最大震度の想定

首都圏に住む者、仕事をし、活動する者すべてが、首都直下地震を自分事とし、わが家でも、仕事場でも、地震対策に取り組むことが、首都直下地震対策として、特に被害の軽減には最も重要な取り組みとなる。そのことは、南海トラフ地震の被害想定（2012, 2013）とともに、首都直下地震の被害想定（2013）で初めて取り上げられた“対策効果”を踏まえ「首都圏に住むすべての皆様へ」という提言を報告書に記載した意図にもつながろう。その意味で、首都直下地震対策を自分事として理解し実践するためには、図1が最も重要な情報であると、評者は考えている。どこで起きるか不明の首都直下地震による、首都圏各地の最大震度を想定したこの図こそ首都圏に住む人すべてが十分理解しておくべき、最も重要な情報だと考えている。

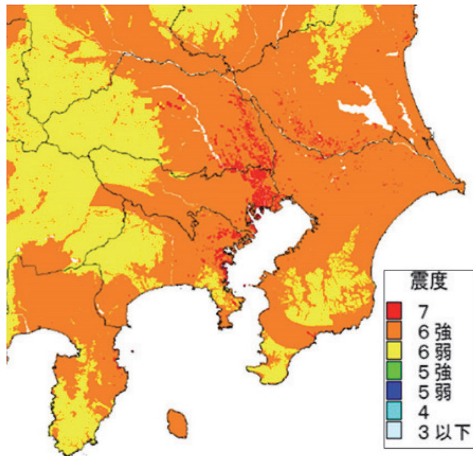


図 1 地殻内に一律に Mw6.8 の震源およびフィリッピン海プレート内に一律に Mw7.3 の震源を想定し、さらに被害想定 の 19 ケースの震度を重ねた震度分布図

#### 首都直下地震対策に取り組む動機づけとなったか

著者も指摘されているが、地震対策のみならず災害対策では、特に大規模災害ほど、自助とそれをベースとする共助の取り組みが重要となる。本書では、最終章に「首都圏を守るために」を設け、どこで起きるのか不明だが、都心南部で発生し被害規模も首都機能への影響も最大となる『都心南部直下地震』の被害想定結果から、首都直下地震の被害状況とその特徴、そして対策の基本方向が概説された。被害想定で取り組んだ、首都圏にある建物すべてが耐震強化（新耐震基準への適合化）されると、感震プレーカーの設置および家具等の固定と訓練を通して初期消火力が強化され初期消火活動が縦横に実施されれば、被害が大幅に軽減することが示された最終章は、非常に重要な役割を持っている。

著者は日本を代表する地震学者であるが、本書のまとめとして、首都圏に住むすべての人が、自らの命を守り、被害を軽減し、被災から復旧復興するための取り組みに加え、新たな公助の取り組みの可能性と限界についても概説していただいたかった。

首都直下地震では、直上の首都圏各地では、短周期の地震動と長周期の地震動が同時に地表に伝えられること、しかも地震発生から揺れるまでの時間は瞬時であり、緊急地震速報も間に合わないことなど、の特徴も伝えていただくとともに、都心南部直下地震の被害想定を前提として、今回初めて「首都直下地震対策」のための法制度が構築されたことである。そして、首都直下地震の特性から、首都直下地震の備える取り組みを進める「緊急対策区域」が、10 都県 310 市区町村に指定されて

いること、政府は同法に基づく取り組みを推進している一方で、地方公共団体の取り組みが進んでいない現状にあることにも、指摘をしておいていただきたかった。

しかしそれは、むしろ著者に対してではなく、評者を含む防災に取り組む関連分野で取り組むべき課題であることなのかもしれない。

広く国民に対して非常に特徴的な地震である首都直下地震をわかりやすく概説していただき、関連する多様な防災分野が取り組むべき課題をいっそう明らかにしていただいたのである。本書は、さらに学際的に首都直下地震への取り組みを進め首都圏に住むすべての人が首都直下地震対策に取り組むための、大きな一里塚である。

＜岩波新書、2016年2月19日、新書判、760円＋税＞

[なかばやし いつき 明治大学政治経済学研究所特任教授]

#### ●新刊紹介

熊本日日新聞社 編

##### 平成 28 年熊本地震一発生から 2 週間の記録

熊本日日新聞社、2016年5月、A4判、87頁、1,000円

##### 熊本地震—2016年4月15日付～4月27日付読売新聞西部本

読売新聞社、2016年5月、A4変判、177頁、864円

竹本修三 著

##### 日本の原発と地震・津波・火山

マニュアルハウス、2016年5月、B6判、209頁、1,080円

関 孝敏・松田光一 編著

##### 北海道南西沖地震・津波と災害復興—激甚被災地奥尻町の 20 年

北海道大学出版会、2016年5月、B5判、375頁、9,936円

熊本日日新聞社編集局 編

##### 平成 28 年熊本地震 1 カ月の記録—熊本日日新聞特別縮刷版

熊本日日新聞社、2016年6月、A4判、254頁、1,199円

日経アーキテクチュア編集部・日経ホームビルダー編集部 著

##### 検証熊本地震—なぜ倒壊したのか？プロの視点で被害を分析 日経 BP ムック

日経 BP 社、2016年6月、A4変判、177頁、2,808円

矢代晴実 編著・佐藤一郎・鳥澤一晃 著  
**震災工学—被害想定・リスクマネジメントから  
みた地震災害**  
コロナ社, 2016年6月, A5判, 155頁, 2,484円

山賀 進 著  
**科学の目で見える日本列島の地震・津波・噴火の  
歴史 Beret science**  
ペレ出版, 2016年7月, A5判, 303頁, 1,836円

佐藤比呂志 著  
**巨大地震はなぜ連鎖するのか—活断層と日本  
列島**  
NHK出版, 2016年7月, 新書判, 195頁, 799円

鎌田浩一 著  
**地震デリバティブと自然災害リスク投資**  
文芸社, 2016年6月, B6判, 180頁, 1,404円

角田史雄 著・藤 和彦 聞き手  
**次の「震度7」はどこか!—熊本地震の真相は  
「熱移送」**  
PHP研究所, 2016年8月, B40判, 227頁, 1,134円

## ADEP情報

公益財団法人 地震予知総合研究振興会 会長逝去のお知らせ

弊法人 会長（代表理事）阿部 勝征 が平成28年9月9日逝去いたしました。ここに謹んでお知らせいたします。

また、当分の間、会長の職務は専務理事（代表理事）澤田 義博 が代行いたします。

### 「人事異動」

#### 採用

可知 勝宏 東濃地震科学研究所 参事 28. 6. 1

#### 退職

須田 登 本部 事務局長 28. 6.30

美頭 克俊 地震調査研究センター 事業推進管理部長 28. 6.30

安藤 正剛 東濃地震科学研究所 参事 28. 5.31

谷口 仁士 東濃地震科学研究所 副首席主任研究員（非常勤）  
28. 8. 7

#### 配置換等

櫻井 清人 本部 事務局長 28. 7. 1

（(旧) 本部 事務局 参事）

棒田 明（兼）地震調査研究センター 事業推進管理部長 28. 7. 1



## 編集後記

このたび、「地震ジャーナル」の31号から61号まで15年半にわたり編集長を務められた萩原幸男先生から、その職を引き継ぐこととなった。先立つ2号の編集後記には地震ジャーナルの歴史や編集方針などが萩原先生により詳述されているが、その精神を深く噛みしめつつ、今後の編集に努めていきたい。

これを機として、編集委員会の顔ぶれも一新されることとなった。萩原編集長と伯野元彦委員は退任され、新たに2人が編集陣に加わった。ひとりには加藤照之東京大学地震研究所教授、地震・地殻変動研究の第一人者で、東日本大震災の翌年から4年間は日本地震学会の会長も務められた。もうひとりには工藤一嘉氏、強震動・地震工学に大変造詣が深く、東京大学地震研究所教授を退官後、日本大学生産工学部教授も歴任された。心強い新メンバーの助力を得て、これからの新しい紙面作りに取り組んでいく所存である。

さて、本号が刊行される2016年12月は、終戦直後のわが国を襲った1946年南海地震から70年目の節目を迎える。また、いわゆる「東海地震説」が提出されて世の中に衝撃を与えた1976年からは、ちょうど40年目にあたる。この間、「明日起きてもおかしくない」といわれた東海地震は発生せず、一方で南海地震の再来に対する懸念も高まってきた。2011年に発生した巨大な東北地方太平洋沖地震も教訓として、国は東海地震と南海地震を区別していたこれまでの方針を改め、最悪の場合はM9級の巨大地震ともなり得る「南海トラフ地震」として、両者を

一体化して扱う方向に舵を切った。

このような背景を受け、本号では東海地震・南海地震に係わる話題を特集することにした。エッセイには、40年前の東海地震説の提唱者である石橋克彦氏に寄稿をお願いした。論文としては、まず、「南海トラフ地震」を発生させる場である南海トラフ周辺領域のひずみ蓄積状況は現在どうなっているかについて、京大防災研の西村先生に解説をお願いした。複雑な様相をみせつつ、ひずみの蓄積は着々と進んでいるようである。次に、この「南海トラフ地震」の中短期予測に向けた試みの1つとして進められている西南日本における地下水等総合観測の取組みについて、産総研の松本先生より紹介をいただいた。プレート境界における前兆的すべり現象をとらえるための努力が続けられている。

ところで、現在の日本では、いわゆる「東海地震」のみが予知可能とされている。その大きな根拠となっているのは、1944年東南海地震の直前に静岡県掛川市付近で観測されたという前兆的な異常隆起である。はたしてその信憑性はどうかを詳しく再検証した結果について、名大の鷲谷先生より原稿をいただいた。結論はグレーということであり、科学的根拠はどうかや薄いようである。

東海地震・南海地震の特集記事以外には、2つの論文を収録した。まず、本年4月に発生した熊本地震における建物被害の状況等について、日本建築学会熊本地震災害調査団の団長を務められた福岡大学の高山先生に寄稿をお願いした。木造建物やRC造建物、文化財の被害状況の解

説に加え、これからの耐震設計や活断層防災に関する提言をいただいている。

次に、気象庁の震度データベースを用いて有感地震の発生確率を簡便に予測する手法について、滋賀大学の小泉先生および国土地理院の今給黎先生より紹介をいただいた。「平均発生間隔の1.2倍以上の期間なら地震が起きて当たり前」という“相場観”を持つことの大切さが語られている。

以上のように、今号も多彩な話題を取り上げているが、本誌の構成や内容について、読者諸氏からは忌憚のないご批判を賜りたい。

末筆になったが、本財団の阿部勝征会長が9月に亡くなられた。1年前に刊行された地震ジャーナル60号には会長就任挨拶を掲載したばかりであり、その早すぎる逝去はまことに残念でならない。わが国の地震研究および地震防災対策に多大な業績を残された阿部先生のご冥福を、ここに心よりお祈りする。(Y.O.)

### 地震ジャーナル 第62号

平成28年12月20日 発行

発行所 〻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 澤田義博

編集人 岡田義光

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