

地震 ジャーナル

40

2005年12月

エッセイ 資源・環境・災害の連鎖と防災 ●植原茂次

インド洋大津波の特徴 ●今村文彦——1

気象庁のインド洋津波監視情報 ●西前裕司——8

スマトラ島西方沖地震津波の特性と

日本列島周辺で起きる可能性 ●都司嘉宣——13

首都直下地震の被害想定と防災対策 ●溝上 恵——29

活断層研究の成果を次の地震危険度予測へ

生かすための課題 ●隈元 崇——37

救急・災害医療活動支援モデルを開発 ●石田勝彦——49

地震予知連絡会情報 ●岡田義光——62

●書評——71

●新刊紹介——72

既刊総目録 [31号～40号] ——74

地震の基礎知識 スロースリップ/GPS, VLBI, SLR, SAR

困み記事 南海・東南海地震に備えて/やはり怖い液状化/
最近の自然災害の傾向/地震によるサッシ・
カーテンウォールのガラスへの影響/リフォーム
詐欺と耐震補強

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

資源・環境・災害の連鎖と防災

植原茂次

最近、スマトラ島沖の巨大地震とインド洋沿岸の大津波被害、パキスタン北部地震による山岳地帯の崩壊と救助活動の困難性、アメリカ南部の数度にわたる強大なハリケーンによるニューオーリンズ等の高潮災害と救援の遅れ等の巨大災害が発生した。国内においても昨年の台風発生、上陸数の増大、中越地震による山地集落の土砂災害とその復旧の遅れ、新潟県等の中小河川の洪水災害と避難警報の遅れといった防災上の重要な課題が指摘されている。

災害のリスクは、経済のグローバル化によって、世界各国とも都市への人口、社会的・個人的資産の集積によって高まる一方である。

また、競争原理に基づく社会・経済的発展と各種資源の大量消費は、環境問題を深刻化しているが、その取り組みも遅れ、地球温暖化等の環境問題は、更に災害のリスクを拡大している。

資源利用と環境問題は災害発生リスクの増大と相互に深く関係している。

防災対策は、災害に関わる自然現象の発生機構解明の学術的調査研究を進める一方、各種の防災技術を基に、計画的な対策が国、地方公共団体、地域の自主防災組織、個人等の各レベルで推進されているが、その実情は必ずしも計画通りとは行かず、問題は災害毎に顕在化している。

災害を惹き起こす大きな気候変動や巨大地震の発生には、かなり周期性があり、確率論的な予測も防災の備えには有効とみられるが、人間活動による環境変化が災害に与える影響も大きく、国連は「地球温暖化」の問題を取り上げ、「京都議定書」で国別の温暖化ガスの削減目標を掲げる等、世界的取り組みをしているが、各国の対応は国益優先で批准していない国も多い。その間に温暖化ガスの排出は増大している。学術機関等は、その増大の将来予測に基づき、気候変動への影響と、それがもたらす災害の予測を行っており、最近の気象変化、台風の発生数・強度、降水量の増大・減少による洪水災害、乾燥・砂漠化の進行等の問題は増加の傾向にあると認められている。

首都圏直下型地震、東海・東南海・南海地震への緊急性が叫ばれ、防災対策も強化されつつあるが、木造家屋の耐震補強だけを見ても、遅々として進捗していない現状である。

当面は出来る限りの防災対策を講じることが先決であるが、抜本的な防災対策は、土地資源の特性に応じた都市計画、居住計画を長期的な視点に立って実施することが基本であろう。

街区の整理、広域避難広場の確保、雑然とした居住地の耐震・耐火性家屋による再開発、軟弱地盤地域の建造物の耐震・免震性の確保、0m地帯の浸水防止対策、ライフラインの安全性の確保等々、災害に強い都市あるいは集落の構築である。

一方、省資源、省エネルギー、資源の再生利用、有効利用・保全対策も防災上は重要な問題である。

持続的な発展を志向するためには、「資源・環境・災害を相互に関連付けた長期的施策が、各レベルの努力により達成される」、という新しい思考が必要であると思われるのである。

(前防災科技術研究所所長)

インド洋大津波の特徴

—緊急調査と解析から分かってきたこと—

今村文彦

1. はじめに

平成16年12月26日午前8時頃(現地時間)に発生したスマトラ北西部沖地震(M9.0)は、ユーラシアプレートとインド・オーストラリアプレートの境界でのプレート間地震であり、余震観測から震源域は約千kmにも達し、この地域でも最大級の規模となった。地震より生じた津波は、直後にインドネシア沿岸を襲い、その後、タイ、マレーシア、バングラディッシュ、さらにはインド東岸、スリランカ(波源から1,600km)にも達した。驚くべきことに、アフリカ(波源から約6,000km)および南極へも来襲した。このようなインド洋全域に影響した津波は初めてである。犠牲者は30万人を超え、感染症などの2次災害も懸念されていた。津波災害の歴史の中で最悪となるで

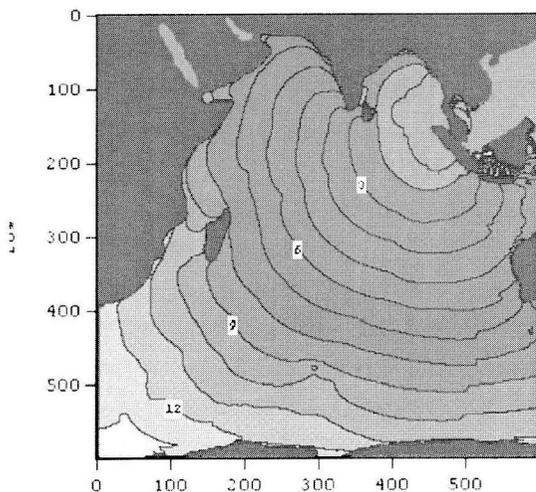


図1 インド洋大津波の伝播図

あろう。このインドネシア・スマトラ島地域では、マグニチュード8以上の地震は、歴史的に発生しているが、M9の地震は初めてである。また、大きな被害を生じさせた津波は、1883年クラカタウ火山性津波(3万6千名)を除いてないと言える。そのため、インド洋沿岸住民にとっては津波に対する知識・認識が低かったと考えられ、環太平洋で実施されているような警報システムがないために津波情報が出されないまま、不意打ちの来襲を受けたことになる。本文は、津波の発生、伝播、沿岸域への影響についての特性を説明したい。

2. 発生と深海域での伝播

2.1 逆断層運動による津波の発生

今回の津波は、プレート間での低角逆断層により海底地盤が変位し発生したものと推定される。最近の地震波解析によると、全体の中でのスマトラ沖の南側で大きな滑り量が生じ、その値は30mを超えると推定されている。しかも、断層長さは1,000kmを超え、破壊速度は2-3km/s程度であるので、破壊開始から終了まで5分以上かかったことになる。そのために、地震波の解析の際にも十分長い時間のデータを扱う必要がある。いずれにしても広範囲で大変大きな変動が生まれたことになる。ここでは、下盤側のインド・オーストラリアプレートがユーラシアプレートの下にもぐり込んでおり、この上盤側プレートが跳ね返ったために、主に隆起された海底変動により水面が上昇し、押し波の津波が生じたと思われる。これは主にインド洋へ向かって伝播することになる。こ



図 2a 津波の発生域



図 2b 2 時間後の津波伝播

の地域は震源からも遠いために、地震の揺れも小さくまた突然の津波による水位上昇が沿岸地域を飲み込んでいった。一方、波源の東側では、プレートの跳ね返りに引っ張られるため海底の沈下が生じて水位が低下したために、引き波の津波が、スマトラ北西部沿岸、タイ、マレーシア側へ向かったと考えられる。この周辺では、水面の低下が始まりその後続く津波の押し波で大きな被害が生じた。地震の揺れや引き波という前兆があったにも関わらず、住民や観光客にとって津波来襲という認識がなく避難できなかったと思われる。

図2に伝播の様子が示されているが、波源の長軸（南北方向）が短軸方向に比べて、非常に長いために、エネルギーの指向性が大きくなり、短軸方向へ主な波動エネルギーが伝播していった。

2.2 遠地津波としての特徴

津波の伝播速度は大変速く、我々の想像以上のスピードになる。津波の伝播速度は、水深と重力加速度の平方根で与えられ、深海（4,000 m）ほどでは、時速 720 km（秒速 200 m）にも達する。津波はジェット機並のスピードでかつ途中減衰することもなく伝播し、大洋においては発生源から数千 km も離れた場所へも到達する。1960 年のチリ地震津波は、1 万 7 千 km 離れた日本へおよそ 23 時間かけて伝わっている。我が国では、8 m に達する波高が観測され、139 人の死者を出した。

遠地津波を数値解析するには、広域であるので地球座標系を採用し、波数分散効果やコリオリ力

を考慮しなければならない。差分法による数値分散性を利用すれば、陽解法で高度な波数分散効果を取り入れることが可能であり、短時間で高精度な数値解析が可能となる。図3には4および6時間後の津波の伝播を示す。図2と同様に、正の津波が西側へ、負の津波が東側へ伝播していく様子が分かる。西側のインド洋は海底水深が約 4,000 m であり、そこでの津波の伝播速度は時速約 700 キロに達し、僅か2時間でインド東沿岸やスリランカに到達している。一方、アンダマン海では、平均水深が 400 m であり、伝播速度は時速 200 キロ以下になる。このため、タイやマレーシアにも2時間程度の時間で津波が到達することになる。6時間後には、マダガスカル島に達する。一部には、先端部での押し波が徐々に減衰し、引き続き引き波の成分が顕著になる。これは、波数分散効果であり、チリ津波の際にも、チリ沖では押し波で始まった津波が、日本到達時には引き波になっていたことと対応する。

数値解析で推定される津波周期は、バンダアチェで 30-50 分、プーケットでは短周期が見られ 20-40 分、ゴールでは 10-40 分、マレーでは 10 分程度の範囲である。津波波形では、後続波の周辺地形の影響を受けるため、このような差が生まれる。津波の初動を見ると 30-40 分程度であると思われる。マレーの短周期成分が卓越する理由としては、裾野の狭い島弧で散乱波が生じた可能性がある。

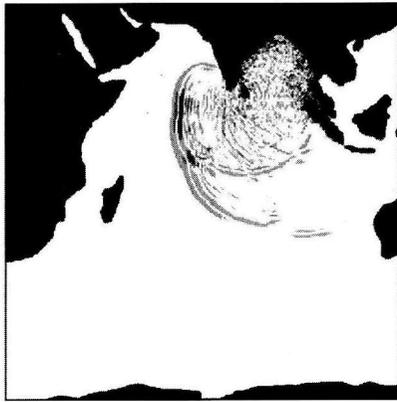


図 3a 4 時間後の津波伝播

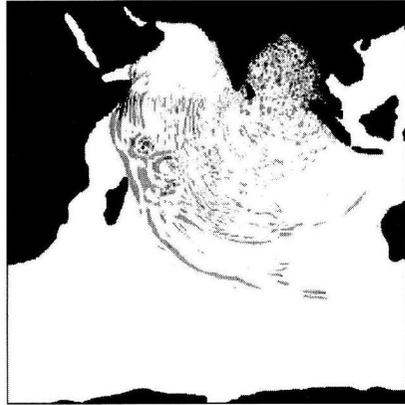


図 3b 6 時間後の津波伝播

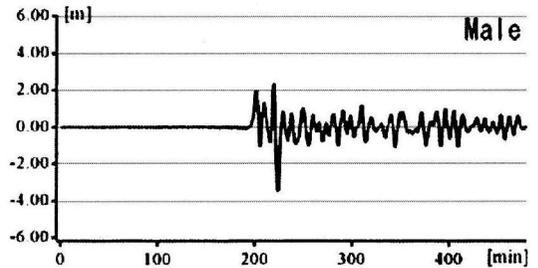
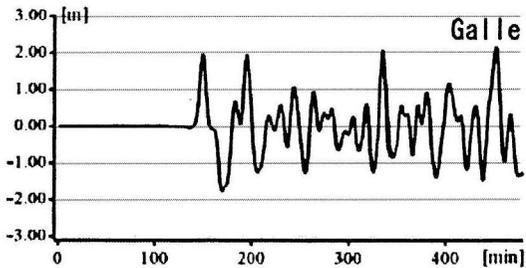
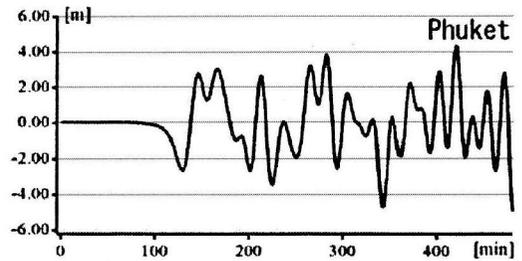
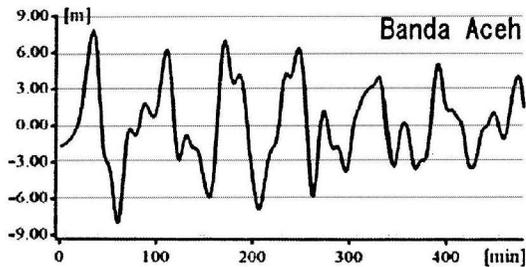


図 4 各地での推定波形

3. 浅海域での伝播

3.1 浅水変形と沿岸への影響

浅海域へ津波が到達すると伝播スピードは急速に低下する。津波の波長が長いので、先端は浅海域に達しても、後方は深海域にあるので、後方が先端に追いつくように近づき、その結果、波長が短くなる。1つの波成分のエネルギーは海底摩擦

などの減衰の理由がない限り、保存されるため、波長が短くなった分だけ、波高が増加する。深海域では、数十 km の距離で僅か数 m の変化であった津波は、浅海域で距離を短くし波高が急激に増加するために波形勾配を増加させ、「波」として初めて認識できることになる。これを浅水変形という。「津」は港の意味であるが、浅海域も含めれば、まさに、津波の特徴を表す言葉になる。

津波の第一波は、沿岸での地形の影響を受け屈

折しながら、ほぼ一直線上に沿岸に近づく。海岸線に到達した津波の一部は反射し沖合に戻り、残りは陸上に遡上する。たとえば、発生した一山一谷の単純な津波でも、様々な沿岸で反射した複雑な波が来襲し、何波も押し寄せる。最大の高さは第一波とは限らず、後から出現する場合もある。何時間もわたり津波が沿岸に押し寄せては戻りを繰り返す。

図5には、インドネシア・スマトラ北部での地形と調査により判明した津波遡上高さを示す。ここでは、バンダアチェ市内を中心とした北部海岸と震源域に近い西部海岸に分かれる。前者は、単純な海岸線地形と平坦な平野が多く、後者は、入り組んだ海岸地形と陸上で勾配もきつい場所が多い。入射する津波エネルギーの議論も必要であるが、この地形特性により大きな津波遡上高さの違いが見られた。バンダアチェ周辺では平坦なために、遡上高さは大きくなることなく浸水したと考えられ、対照的に、西海岸では入り組んだ海岸地形のために、局所的な波高増幅がみられ30m以上の記録が見られる。ただし、今回の津波被害は、津波高さ・浸水高さだけでは整理できない。なぜならば、平坦で津波遡上高さが大きくならなくとも、流速は低減せず浸入するために、破壊エネルギーが維持され、特に、流れによる漂流物が比較拡大につながったと考えている。今後、撮影されたビデオ映像や家屋の破壊状況により、バンダアチェ市内などでの流速や破壊力などの推定が行われると期待される。

3.2 浅海域でのソリトン発生

タイでのビデオ映像により、遠浅海岸での非線形分散効果によるソリトン分裂が確認された。特に、カオラックなどの沿岸では、沖から段波状の津波が何重にも重なってくる様子が鮮明に残された。図6には、タイ周辺へ伝播する津波の様子を示す。津波発生時には、長い波長を有していた津波第一波は、先端が浅海域に入るにつれ、先端部は減速するためにその波長を短くしている。このために波高が増加する。さらに、ブーケットより北側の沿岸では遠浅海岸が続いており、そこに入射した津波が急激に波高を増加した後、先端で分

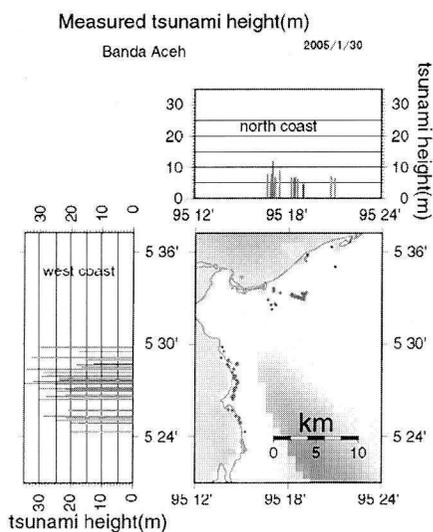


図5 スマトラ北部での地形と津波遡上高さ（現地調査団報告, 2005）
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/namegaya/sumatera/surveylog/survey_results.htm

裂現象が生じたと推定される。日本海中部地震津波の際にも観測されたこのようなソリトンの発生は、今後の津波解析に重要である。ソリトンが発生すると短周期成分が発生するために、鉛直加速度や波力の増加、さらには、連続する波列により浸水域の増加などが指摘されている。この解析のためには、分散効果のみならず砕波効果を適切に既存の数値モデルに導入する必要があり、これから改良しなければならない重要な課題である。

3.3 港湾・漁港での被害

スリランカでの事例を紹介する。Beruwala, Hikkaduaでの漁港被害、ゴールでの港湾被害を視察した。前者の漁港には石積みの防波堤（入り口の絞られた）があり、漁港の護岸もしっかりしている。そのために港内と港外では、津波の浸水高さに差が生じ、内部での被害軽減に寄与したと思われる。ただし、防波堤そのものは破損し、港内の漁船が流出し座礁していた（写真1）。石積みの護岸は高さが十分ではなく、津波の内陸部への浸入低減の効果まではなかったと判断している。津波の流れが強い場所では、石積みが破壊・移動し、大きな岩塊が何メートルも動いていた。これ

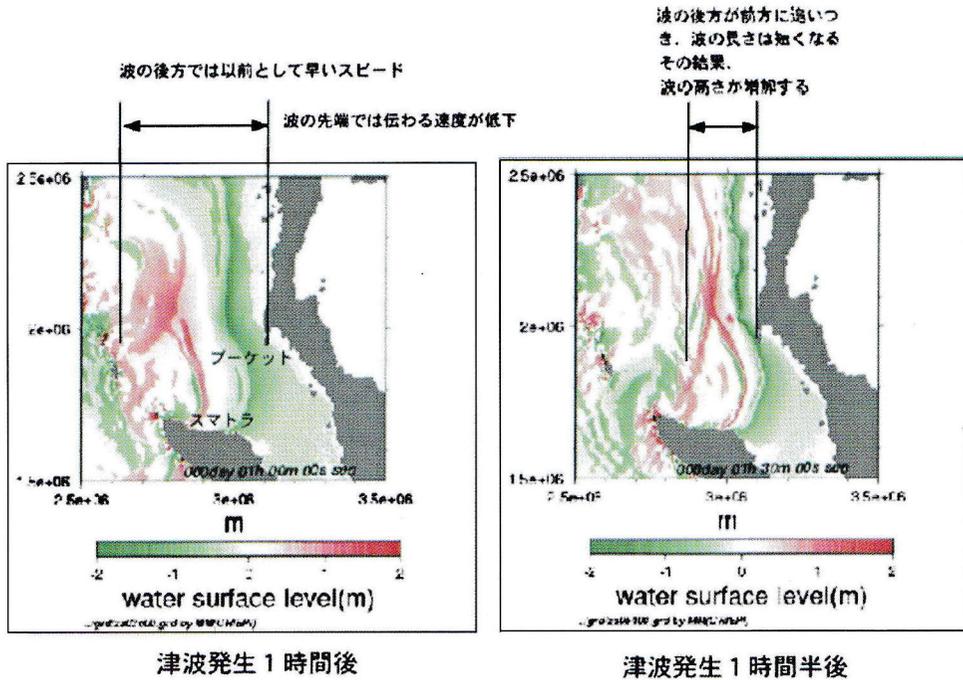


図 6 タイ沿岸に来襲する津波の第一波（電中研・松山氏解析結果に加筆）



写真 1 スリランカでの漁船の被害

は危険な状況であった。ゴール港でも、津波浸水高は 5m 程度、護岸での侵食、大型作業船の陸上への打ち上げ、港湾建物の 1 階部浸水が見られた。漁港も港湾も破壊的な被害を受けていないが、機能は停止しており復旧復興のみならず地域社会への影響は大きい。

3.4 被害を分けた地形

スリランカ・ゴール市は、旧市街（世界遺産にも指定されている城壁で囲まれた街）と新市街に分かれる。この周辺でも津波の浸水高は 5m 程度

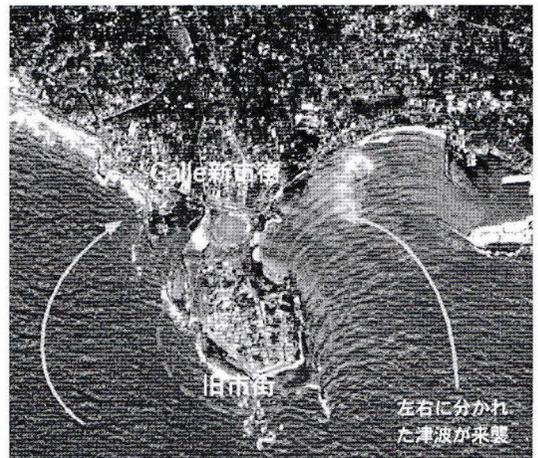


写真 2 スリランカ・ゴールに来襲する津波

であり、ほぼ同程度の高さで護られている旧市街と低い地盤で防潮堤などもない新市街では、大きく被害状況を異にした（写真 2）。ゴール市では、大きな引き波（湾口付近まで海面が後退し、その水深は 10m とされる）の後、6m 程度の押し波が来襲、新市街に侵入したものと考えられる。半島のような旧市街の左右に分かれた津波



写真3 スリランカでの列車被害

は、その背後にあるバスターミナルにも来襲した。西側から浸入した津波の方が到達時間は早く、これを追いかけるように右側から津波が入ったと思われる。全く違う方向からの津波来襲は、バスターミナルにいた多くの住民から証言を得ている。

4. 陸上への遡上

4.1 沿岸への遡上

ここでは、どのような遡上過程とそれに伴う被害があったのか、スリランカを例に紹介したい。今回のスリランカに影響した津波は、首都コロンボからゴールまでの平均高さ5m程度であった。局所的に9-10mにも達した地点もあったが、建物、植生や地形の影響を受けたと考えられる。この沿岸での地形は平坦であり、2-3mの標高を持つ地域が多かった（インドネシア・バンダアチェと同様である）。そのため、遡上してくる津波が斜面を駆け上がって大きくなる様子は見られない。沖合からほぼ3-5m程度の津波が来襲し、海面が上昇し、陸域へ流れ込み、そのまま内陸へ流入していったものと思われる。カハワのような地形は、海岸域で標高が高く、内陸に行くにつれて

若干低下する傾斜がある。このような場合には、内陸へ浸水してからの勾配を下がるにつれて重力効果で加速され、流速が増加するものと考えられる。流れが強くなると流体力も増加する。そのため、内陸であっても大きな流れによる被害が生じていた原因の1つである。今回、ゴール市北部のヒッカドア、カハワでは、9両の列車が被災し千名以上の犠牲者を出した（写真3）。津波第一波が来襲した時に、この列車がたまたまこの付近を通過しており、第一波の来襲により停止した。この第一波は、陸上で僅かに浸水した程度で被害を出すことはなかった。この周辺の住民も津波来襲の異変を見て、内陸側へ避難を開始している。その一部は、停車していた列車の内部へ逃げ込んでいった。列車の車両は、車などと比較して強固であり、高さもあるために、住民にとっては安全に見えたに違いない。しかし、3-40分後（証言によっては15分程度）に来襲した第2波により飲み込まれてしまった。第2波の痕跡は浸水高で5m前後、局所的に10mに達する場所もあった。車両は大きな破壊を受けることはなかったが、内部に浸水した海水により、ほとんどの乗客・住民は外に逃げ出すことが出来なかったようである。

4.2 都市域への侵入

バンダアチェ市は北スマトラの中心地域で人口26万人の大きな都市であり、このうち7万人が犠牲になっている。図5に示されたように、西海岸はちょうど三陸海岸と同じようにリアス式海岸であり、津波の高さが35m、局所的には40mにもなっていたが、一方、バンダアチェ市内では、せいぜい5~10mくらいで、高さとしては3分の1以下であったが、その破壊力はすさまじいものであった。海岸線の地形は大きく後退し、海岸線から1km距離程の地域では、一部モスクなどの構造物を除いて、すべて跡形もなく流失している。これらの瓦礫・残骸は町中心部へと流された。さらに、海域に停泊していた漁船のみならず貨物船や大型バージ船も軽々と運ばれ、中心部へ来襲している。

特に、バンダアチェの町中では、漁船、大きな船、車、残がいなどの漂流物が、非常に大きな犠牲を出した原因の1つと言われている。市内に浸入する津波に飲み込まれたら大人でも助かることは出来なかった。この津波は道路に沿って流れた。徒歩で避難すれば住宅・構造物の2階以上上がるので命は助かる可能性は高いが、車は道路しか通れないので津波により飲み込まれるのみであった。車の避難がいかに危険なのか分かった。市内の津波の浸水高さは1m程度であり、わずか1階が浸水するくらいである。しかし、推定速度は毎秒5m(電中研・榊山)、であり、映像に残された津波はまるで竜が走っているようであった。

4.3 土砂移動(侵食と堆積)

沿岸部、建物周り、橋脚や鉄塔周り、で大規模な侵食または堆積が見られた。上部構造は大丈夫であっても、基礎部での侵食のために傾斜し機能低下が起こっていた。このような砂移動は、押し波だけでなく引き波でも生じ、衝撃的な力の作用より一方向の流れの継続時間が長いと大きな規模の侵食が生じていた。写真4は一例である。狭い



写真4 線路の基礎が津波により大きく侵食

河口に浸入した津波が広い河道内に広がり、大きな渦を形成し、それが線路の基礎を大きく侵食させた。深さ2m、長さ200m以上、幅20m位の規模であった。なお、アスファルトやコンクリートで被覆していると侵食はない。

5. おわりに

約一年経ったいま、緊急調査や数値解析などで判明しつつあるスマトラ沖地震・インド洋大津波の姿を紹介した。今回、ビデオなどの映像については、十分分析が進んでいないが、様々な津波の特性が残されている。今後、大きな成果が出ることが期待される。

今村文彦

[いまむら ふみひこ]

現職 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター長、教授

略歴 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了、東北大学助教授を経て現職
研究分野 津波工学、災害科学

著書 『Tsunami: 1992-94, their Generation, Dynamics, and Hazards』(共編, Birhauser), 『防災ハンドブック』(朝倉書店), 『Landslide tsunamis: recent findings and research directions』(共編, Birhauser)



気象庁のインド洋津波監視情報

西前裕司

1. はじめに

2004年12月26日にインドネシアのスマトラ島西方沖で発生した巨大地震による津波は、インド洋全域に渡り、未曾有の大被害を発生させたことは記憶に新しい。太平洋地域では1960年のチリ地震津波を契機として、図1で示す太平洋津波警報組織が構築され、ハワイの太平洋津波警報センター（PTWC）が関係各国に対して津波警報を発表する。しかし、インド洋地域にはこのような津波警報組織がなく、このことが大きな被害が出た要因の一つとしてあげられた。

気象庁は、国連世界防災会議（2005年1月、神

戸）における、気象庁・内閣府等の主催による特別セッション「インド洋沿岸地域における津波被害軽減の推進」の議長報告を踏まえ、インド洋津波警戒体制に関するユネスコ国際調整会議（2005年3月、パリ）を経て、インド洋沿岸諸国へ本格的な津波警報組織ができるまでの津波災害を軽減させる目的で、暫定的に「インド洋津波監視情報」を提供することとなった。この情報提供は、既存の通信手段、地震・潮位データ、及び太平洋におけるこれまでの経験を生かし、太平洋津波警報センターと協力して行う。気象庁は2005年3月31日より、シンガポール・スリランカから情報の受領希望を受けて正式に情報提供を開始した。2005年8月1日現在では、表1の26カ国に情報を提

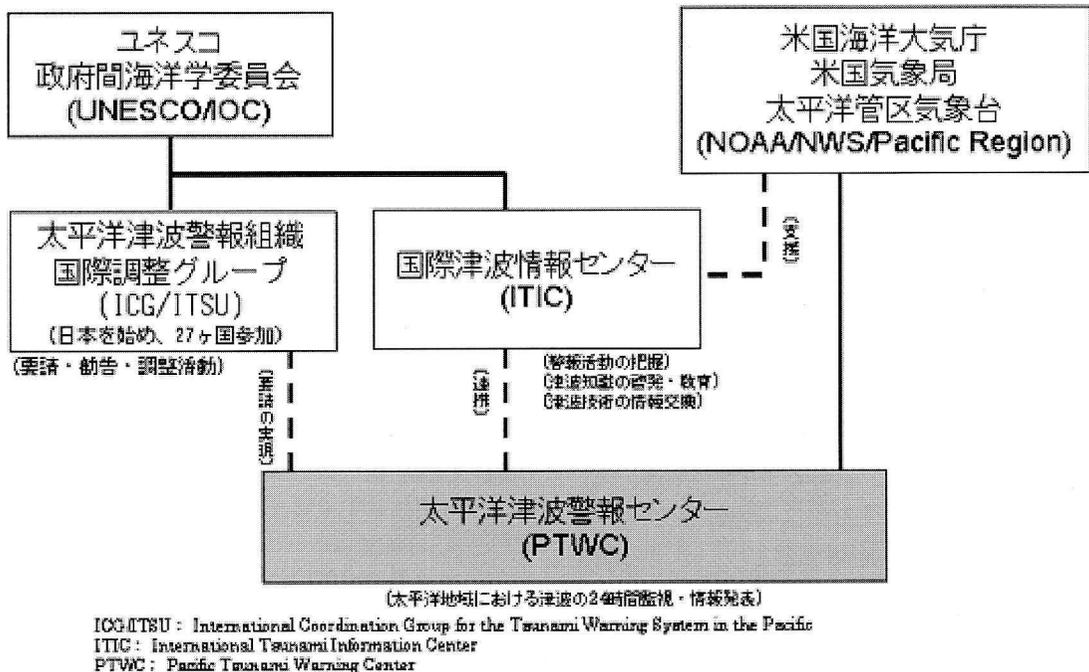


図1 太平洋を対象とした津波警報発表に関わる機関。本体系は1960年チリ地震津波を契機に設立され、現在に至る。

供している。

2. 津波監視情報の対象とする領域

インド洋津波監視情報の対象とする領域はほぼインド洋全域である。津波監視情報はインド洋地域にマグニチュード 6.5 以上の地震が発生した場合に発表される。情報の内容は震源、マグニチュードに関する地震の情報、津波発生の可能性および津波の発生のある場合には、インド洋の各沿岸までの津波の伝播時間を計算し発表

する。津波を観測した場合には、津波の観測値も発表する。

表 2 は地震のマグニチュードと深さ別に津波発生の可能性の評価を示したものである。マグニチュードが大きく、震源が浅い地震ほど津波が大きくなることが知られているが、津波の発生の可能性はこの表に基づいて行われる。これは太平洋における地震と津波の経験的な関係に基づくもので、インド洋では太平洋に比べて津波が少ないためである。PTWC もこれと同じ基準を使用している。

表 1 「津波監視情報」受領国の一覧
(26 カ国, 平成 17 年 8 月 1 日現在)

オーストラリア	モザンビーク
バングラディシュ	ミャンマー
コモロ	オマーン
東チモール	セイシェル
フランス*1	シンガポール
インド	スリランカ
インドネシア	南アフリカ
イラン	タンザニア
ケニア	タイ
マダガスカル	アラブ首長国連邦
マレーシア	イギリス*2
モルジブ	イエメン
モーリシャス	パキスタン

*1 マヨット島, レユニオン島, クロゼ諸島, アムステルダム島, セントポール島, ケルグレン島

*2 チャゴス列島

3. 地震・潮位の観測

津波の情報を提供するためには、震源・マグニチュードを精度よく求める必要がある。しかし、国内の観測網だけで、遠地地震の震源およびマグニチュードを決定することは不十分である。そこで遠地地震の震源決定を行うために、世界中に展開されている地震観測網を使用する。現在はアメリカの大学間地震学研究連合 (Incorporated Research Institutions for Seismology : IRIS) からインターネット経由により、リアルタイムで取得している地震波形データを用いている。図 2 にその観測点の位置を示す。図 3 は津波の発生を監視するために気象庁にデータが伝送されている潮位計の分布である。潮位データは気象衛星を経由して、GTS による伝送される。図 4 は 3 月 28 日に発生したマグニチュード 8.7 の地震で発生した津波の波形表示である。

表 2 津波発生の可能性と地震のマグニチュードと深さの関係

地震の深さ	地震の発生場所	マグニチュード	津波発生の可能性
<100 km	海域または海にごく近い地域	M > 7.8	広域に破壊的な津波発生の可能性
		7.8 ≥ M > 7.5	破壊的な地域的津波発生の可能性
		7.5 ≥ M > 7.0	破壊的な局地的津波発生の可能性
		7.0 ≥ M ≥ 6.5	破壊的な局地的津波発生の可能性は小さい
	陸域	M ≥ 6.5	津波発生の可能性なし
≥100 km	全地域	M ≥ 6.5	津波発生の可能性なし

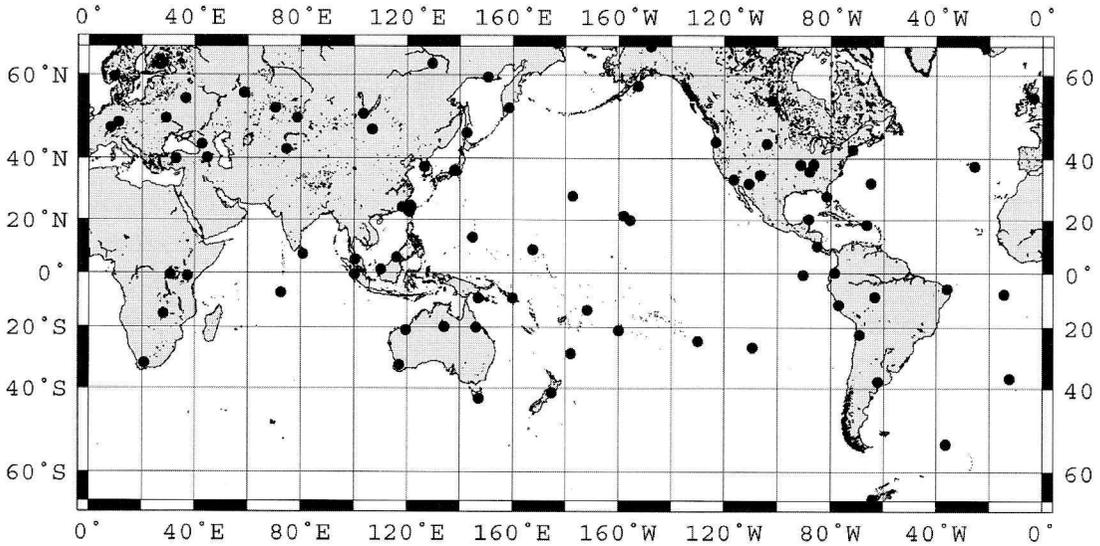


図2 震源およびマグニチュードの決定に使われる地震観測点

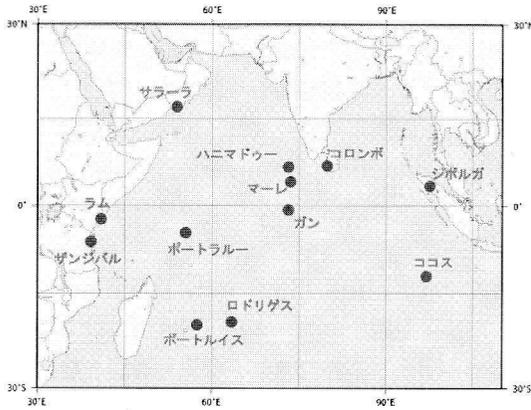


図3 津波の監視に用いられる検潮所

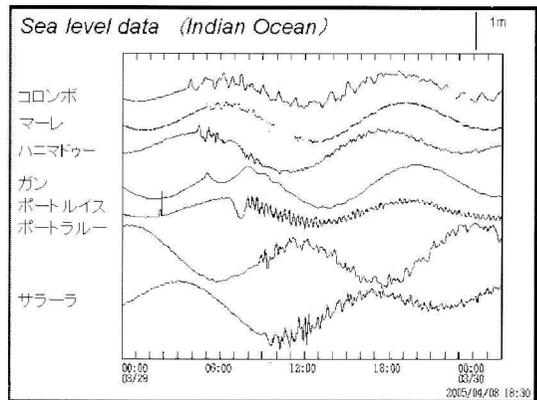


図4 2005年3月28日の地震で発生した津波

4. 震源およびマグニチュードの決定

震源決定の方法は日本で発生する地震に対するものと同様の最小2乗法による方法とグリッドサーチ法による。グリッドサーチ法は、最初は広いグリッド間隔で走時残差の最小値を求め、徐々にグリッド間隔を狭めて最終震源を求める方法である。図5はスマトラ島付近（インドネシア）で発生した地震について、アメリカ地質調査所

(USGS) による震央と気象庁のシステムで決定した震央を示す。

IRISからのデータはインターネットを經由して取得しているため、データが切れたりすることがある。万が一、全観測点のデータが取得できなくても、長野県長野市松代町にある精密地震観測室の群列地震観測システムのデータや干場・他(2002)によるHi-netデータを用いた方法により、情報の発表は可能である。

マグニチュードは津波の発生の判断についての

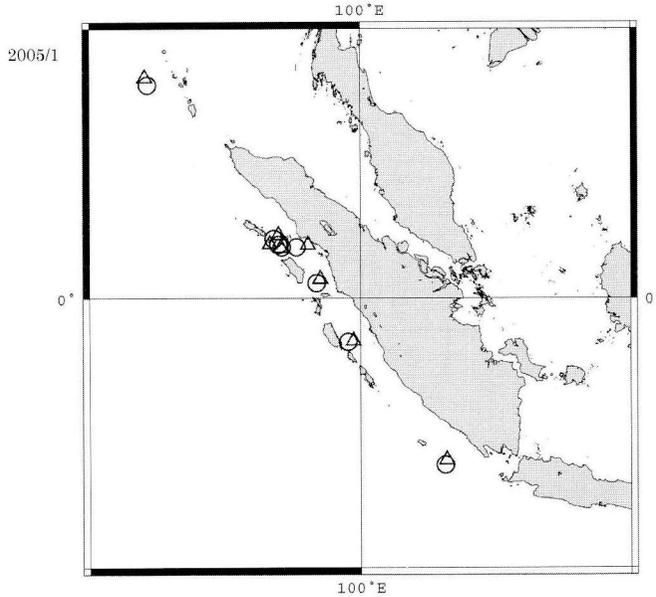


図 5 スマトラ島付近の地震において気象庁のシステムで決定した震央 (△) と USGS (PDE) による震央 (○) との比較

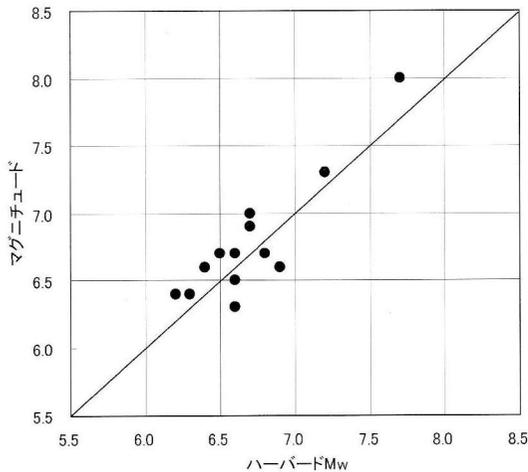


図 6 P 波部分の平均 2 乗振幅から求めたマグニチュード (縦軸) とハーバード大学によるモーメントマグニチュード (横軸) の比較

重要な要素である。また津波予報を行うためには迅速にマグニチュードを決める必要があるので、マグニチュードを決定するために地震波の P 波部分の振幅を使うこととした。西前・他 (2002) による開発された P 波部分の平均 2 乗振幅を使う方法および Tsuboi et al. (1995) による方法を

用いてモーメントマグニチュードに相当する値を求めるようにした。図 6 はハーバード大学によるモーメントマグニチュードとの比較である。その他、CMT 解析によるマグニチュードも計算している。これらの図で示されるように、USGS が決定する震源とはほぼ同程度の精度で決定できる。

5. これまでのインド洋津波監視情報の発表

気象庁では、24 時間日本付近の地震活動と津波の発生状況を監視している。さらに 3 月からインド洋津波監視情報の提供が開始されてから、インド洋に発生する地震についても監視を開始した。地震が発生すると、海外の観測点の地震データを使い、震源・マグニチュードを計算し、津波発生の評価を行う。さらにその結果、津波の発生の可能性のある時は津波の伝播時間も計算する。情報は全球気象通信システム (Global Telecommunication System : GTS) ・電子メール・ファクシミリを用いて関係国に伝達される。関係国はこの情報を参考とし、自国の責任において津波警報を発表することになる。

表 3 2005年3月31日の正式な提供開始後のインド洋津波監視情報の発表状況

震源時刻 (UTC)	緯度	経度	マグニチュード	発表時刻 (UTC)
2005/4/10 10:29	1.1 S	99.4 E	6.8	2005/4/10 10:56
2005/4/16 16:38	1.9 N	97.8 E	6.5	2005/4/16 16:59
2005/4/28 14:07	2.2 N	96.9 E	6.6	2005/4/28 14:30
2005/5/14 05:05	0.7 N	98.7 E	6.8	2005/5/14 05:32
2005/5/19 01:54	2.0 N	97.0 E	6.6	2005/5/19 02:15
2005/7/ 5 01:52	1.9 N	97.0 E	6.7	2005/7/ 5 02:15
2005/7/24 15:42	8.7 N	92.1 E	7.3	2005/7/24 16:02

2005年8月1日現在、インド洋津波監視情報は7回発表している(表3)。発表までの時間は概ね20分程度である。なお、2005年3月29日(日本時間)にインドネシアのスマトラ島付近でM8.7の地震が発生した際には、正式な提供開始前であったが、既に情報提供の準備が整っていたために、緊急的にインド洋沿岸諸国の11カ国にFAXにより津波情報を提供した。

なお、パリでのユネスコ国際調整会議の後にモリシャスで開かれた国際調整会議で、太平洋地域と同様に Intergovernmental Coordination Group for the Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation System (ICG/IOTWS) の設立が決定され、第1回の会合がオーストラリアのパースにおいて開催され、インド洋地域に津波の早期警報システムの構築に向けて動き始めた。日本ではこれまでの蓄積した近地津波・遠地津波で得た知見および経験を生かして協力をすることが重要である。

全球気象通信システム (Global Telecommunication System : GTS) : 世界気象機関による運用されている気象資料を交換するための通信システム

参考文献

- 西前裕司・仲底克彦・岡田正実, 2002, 遠地地震のモーメントマグニチュードをSTS2地震計を用いて即時推定するための経験式, 気象庁精密地震観測室技術報告, 19, 57-79.
- 干場充之・柏原静雄, 2002, Hi-Netを大口径アレイとして用いた遠地震源の推定, 気象庁精密地震観測室技術報告, 19, 57-79.
- Tsuboi, S., K. Abe, K. Takano, and Y. Yamanaka, 1995, Rapid Determination of Mw from Broadband P Waveforms, Bull. Seism. Soc. Am., 85, 606-613.

西前裕司

[にしまえ ゆうじ]

現職 気象庁地震火山部地震津波監視課

略歴 北海道大学理学部地球物理学科卒業, 北海道大学大学院理学研究科修士課程修了

研究分野 地震学



スマトラ島西方沖地震津波の特性と 日本列島周辺で起きる可能性

都司嘉宣

1. 2004年12月26日インドネシア・

スマトラ島地震の震源域

2004年12月26日にインドネシア・スマトラ島北部の西方海域に発生した地震は、マグニチュード9.0とされる超巨大な規模を持つものであった。本震発生の直後に起きた余震分布の図を見ると、スマトラ島の北部西方沖、北緯3度付近に本震が起きている。余震は本震の震央位置から南には全く延びず、スマトラ島の北に連なって列島弧をなすニコバル諸島からアンダマン諸島に沿ってもっぱら北に延びて、アンダマン諸島の北方海域の北端付近の北緯14度の海域にまで及んでいる。その余震域の長さは南北約1,200 kmの範囲に及んでいることになる。本震直後に発生する余震は、地震によって滑った面上に分布するから、つまり、今回の地震の本震で滑った断層面の広がり、すなわち震源域が南北1,200 kmの海域に及んでいたということを意味する。ちなみに、わが国で起きる巨大地震の一つである東海地震の震源のサイズは、最大限に見積もって駿河湾の最奥部から、紀伊半島最南端の潮岬沖を西限とみて長さ300 km程度である。また南海地震の震源にしても、紀伊半島潮岬沖南東方向に引いた線を東限、高知県足摺岬南方南西方向に引いた線を西限としてせいぜい長さ400 kmの海域である。してみると、今回のインドネシア・スマトラ島西方沖地震の震源は、東海地震の震源を4個分縦方向に連ねた長さ、南海地震なら3個を連ねた長さがあることになる。今回のスマトラ島西方沖地震は、わが国屈指の巨大地震である東海地震や南海地震

でさえも及びも付かない、とほうもない超巨大地震であったのである。

2. マグニチュード9.0の地震

この地震のマグニチュードは9.0とされた。大正関東震災のマグニチュードが7.9、昭和21年南海地震が8.0であるから、今回の地震はこれらの地震よりマグニチュードの数字にして1.0から1.1大きい。マグニチュードが1.0大きいということは地震のエネルギーは32倍大きいことを意味する。すなわち、今回の地震はこれらの地震の30倍から40倍のエネルギーがあったことを意味する。安政南海地震はM 8.4と推定されているから、今回の地震はその8倍であったことになる。震源の長さだけではなく、エネルギーの大きさで見ても超巨大で、スマトラ島西方沖地震は安政南海地震が8個同時に起きたのと同じ規模があったことになる。

地球全体として、マグニチュードが9.0と同等かこれ以上の地震がどれほどの頻度で起きているのかを調べると、表1のようになる。古い時代のマグニチュードを機械観測で得られる地震波の振幅で見積もることはできないので、津波から地震規模を推定したAbe (1981)の津波マグニチュード M_t で比較した。

表1によると、津波マグニチュード M_t が9.0を超えた超巨大地震は、地球全体として19世紀に4回、20世紀に5回起きていたことが分かる。とくに20世紀の5回は、1946年から1964年までのわずか18年のうちに集中して起きていることは注目される。こうなった原因ははっきりしない

表 1 地球全体で発生した津波マグニチュード
Mt 9.0 以上の地震

西暦年	場所, 地震名称	津波マグニチュード Mt
1837	Valdivia, Chile	9.3
1841	Kamchatka	9.0
1868	Arica, Chile	9.0
1877	Iquique, Chile	9.0
1946	Aleutians	9.3
1952	Kamchatka	9.0
1957	Aleutians	9.0
1960	Chile	9.4
1964	Alaska	9.1
2004	Sumatra, Indonesia	9.0

が、M 9.0 を超える超巨大地震の発生は、地球全体として連鎖的であるらしい。ところで表 1 によると、超巨大地震が起きているのは、環太平洋に限られ、しかもその中でも南米チリと、アラスカ、カムチャッカ海域という限られた海域の限定されていることがわかる。それに対して、今回のインドネシア・スマトラ島西方沖地震はインド洋で起きた地震である。この点から見ても、過去 2 世紀の地球全体の歴史上になかった異例の出来事であったことがわかる。

3. 常流の津波と射流の津波

この地震の発生の直後から、この地震によって引き起こされた恐るべき大津波の映像が次々と報道されるようになった。ことに、国際的な保養地として著名なタイ国のプーケットのビデオ映像が何種類か報道され、その中には、沖合からナイアガラの滝のような「海水の壁」をなして海岸に接近してくる津波の姿や、海岸に遊ぶ人々をつぎつぎに呑み込んでいく津波の映像、さらには海岸で休暇を楽しむ観光客や、土産物屋やホテルの建物に襲ってくる津波の映像があった。海岸に面して立っているビルに衝突した津波が、ビルの全面で垂直に激しく跳ね上がっている映像は、この津波による海水の流れが「射流」であることを鮮明に示すものであった。水理学の教えるところによれば、水の流れは「常流」と「射流」に区別される。

流れの水深を D 、重力加速度を g とするとき、そこを伝わる長波速度 \sqrt{gD} より流速が遅い場合を「常流」といい、これより速い場合を「射流」という。飛行機の速度が音速を超えると「超音速」の状態になり空気中に衝撃波が発生するが、「射流」はこの状態になぞらえることができる。風呂場でコンクリートの床面に水道水を落下させて水柱を打ち当てると、水柱が床面とぶつかる点を中心として床面に流れの「菊花模様」ができることは日常よく見かけるところであろう。この菊花模様の内側が「射流」の状態であり、外側が「常流」の状態になっている。射流の中では、たとえ水層の厚さは薄くとも水の流速が速いため、そこに人間や家の柱が立っていると、人間や柱は強い水からの力を受ける。これに対して、常流の場所では、たとえ水層の厚さは大きくても、そこに人や柱が立っていてもそれらが受ける衝撃は小さくなる。津波が人や物に打ち当たるときの力の強さは、水層の厚さには必ずしも比例しない。むしろ、そのときの海水の流れが「常流であったか射流であったか」に大きく左右されるのである。そして今回の地震の津波では、射流の津波と常流の津波の境界線が明瞭に現れたのである。

4. 今回の地震の震源位置をプレート・テクトニックスの立場から見ると

2005 年の正月 3 が日が明けると、今回の地震の津波が、いまだかつて世界史上現れたことのない巨大な被害を起こしたものであることが徐々に明らかになってきた。年末最後の 2004 年 12 月 31 日のニュースでは津波の死者数は 2 万人ほどと発表されていたが、年明け 5 日、6 日と経過するにつれて、その時点までに明らかになった死者総数が急増した。そうして、1 月 10 日頃、ついに死者数が 25 万人から 30 万にも達していたことが明らかになってきた。わが国で史上最大の津波被害を出した明治三陸地震津波の死者数約 2 万 1 千人を遙かに突破し、大正関東震災 (1923) の約 10 万人の約 3 倍の死者数という、途方もない自然災害であったことが明らかとなったのである。

この津波が起きるまで、インド洋は津波のほとんど起きない海と考えられてきた。地球テクニックスの立場からも、太平洋における環太平洋の地震帯のようなプレート境界のプレートの沈み込み線は、インド洋にはほとんど見られない。ただ、列島弧から成るインドネシアのスマトラ島、ジャワ島とそれに連なる小スンダ列島の南側を、列島弧に平行に走るインド・オーストラリアプレートの沈み込み線・スンダ海溝で起きる海溝型地震のみが、インド洋では例外的に津波を引き起こす地震の起きる場所であると考えられてきた。

今回のスマトラ島西方沖地震は、このスンダ海溝の一番西北の端付近で起きた。その意味では今回の地震は「意外な場所で起きた地震津波」ではない。事実、この海域では、歴史上にもしばしばローカルな津波を伴う地震が発生してきた。しかしながら、スンダ海溝とは言ってもこのあたりは、海溝軸の地形が西に行くほどぼやけていき、アンダマン諸島付近ではもうほとんど明瞭な海溝地形は見られない、そんな場所であった。このような場所で、前代未聞の破天荒な津波を引き起こす超巨大地震が起きる場所であることは、誰一人予測できなかったのである。

津波の被害は、震源に近いインドネシア、タイの海岸だけではなく、インド、スリランカ、モルジブ、さらにアフリカ東岸のソマリア、タンザニア、マダガスカル、モザンビークの諸国にもおよび、おのおの国で数十人から数万人の死者を出した。この中であって、ケニア国の死者わずか2名という数字には驚かされる。この国では、軍がいち早く津波の来襲と死者の発生を予測して海岸にいた人に避難を呼びかけていたのである。

5. 津波の最大被災地 Banda Aceh 市の調査

2005年の新年が明けると、さっそくこの未曾有の規模の地震津波の被害現場に入り、被害・津波浸水高さの調査をするために、国際的な調査団の組織結成と、インドネシア、タイ、スリランカ、インドなどの被災国の地震・海岸工学研究者たちと連携作業が始まった。調査団の中でも、秋田大

学の松富英夫先生は、災害発生のわずか4日後の12月30日にはタイ国ブーケットとその北のカオラック地区に入り、お正月休暇返上で調査を進めた。筆者は、京都大学防災研究所の河田恵昭教授を代表者とする文部科学省の科研費研究の一端として、最大被災地となったインドネシア国スマトラ島最北端部の Banda Aceh 市とその近郊の調査を実施することとなった。筆者を団長とする調査団は、日本から7人、インドネシアから6人、米国から2人、フランスから2人の合計17人から成る国際調査団であった。1月8日頃から出発直前の15日まで、インターネットによる国内国外の情報交換が逼迫集中した。現地は人口25万の Aceh 州の州都・Banda Aceh 市であるが、そのうち5万人が津波で死亡したと伝えられた（後に同市での死者数は7万に訂正された）。同市に入る交通手段、調査中の団員相互の連絡、日本との連絡、調査基地とすべき宿舎の確保、食料と飲料水の確保、衛生状態、伝染性の風土病、換金と調査費の携行、レンタカーと運転手の確保、など現地でのようすがほとんど何一つ明らかではない状態で、出発日が来てしまった。そのうえ Aceh 州はインドネシアからの独立を意図するゲリラである GAM の組織がインドネシア政府軍と激しく対立する抗争地域で、外務省の資料でも危険度3とランクされ、立ち入りはなるべく控えるようにと勧告された危険地域であった。

われわれ日本からの7人の調査グループは2005年1月17日に成田出発、3日間インドネシアの首都 Jakarta に滞在して、インドネシア気象庁からの参加者、および米仏の団員と合流して、1月20日午前のインドネシアの国内便で Banda Aceh 市に入った。ここで市の郊外の非被災地域の農家の民家を借り上げて基地とし、団員を5個の班に分けておのおの被災現地の調査を開始した。

調査は29日に終了し、この日 Jakarta に戻り、インドネシア気象庁で直後報告会を行い、われわれ日本からの団員が、ふたたび成田空港に戻ったのは2月1日の早朝であった。

このように、幾多の困難、危険を伴う調査地域であったため、調査に当たっては、携帯衛星電話

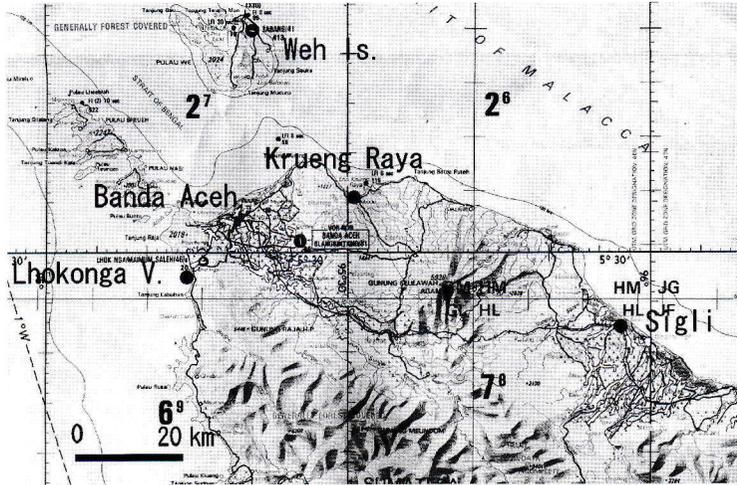


図1 スマトラ島北端部 Banda Aceh 市とその周辺地域

を用いて、毎日正午には筆者の属する班であるリーダー班への報告を義務づけた。また、東大地震研究所・研究室の大学院生・行谷佑一氏へは朝9時、13時、18時には毎日欠かさず安否連絡を行い、彼を通じて文部科学省、外務省へ日々の安全連絡を行った。

また、その日得た津波浸水高さの成果は、毎夜20時頃、東京の研究室の行谷氏に連絡し、ただちに、国際インターネットボードに書き込んで世界中の津波研究者の利用に供した。

6. Banda Aceh 市の被害

Banda Aceh 市は人口約25万人の都市で、スマトラ島最北端部の海岸に位置する。そのうち約7万人が津波によって死亡したと報道されている。

図2はBanda Aceh市の中心市街地の詳細地図である。インドネシアで最大部数を誇るKompas紙から引用したものである。図の範囲は東西、南北とも10kmである。青の点線は津波の浸水限界線を、赤の点線は家屋のほとんどが流失した区域の限界線を示している。

海岸線からおおむね5kmまで浸水し、おおむね3~4kmまでの範囲が、津波によってほぼ全戸流失を生じたことになる。市の中央には大モスク(Great Mosque)があり、同市はこのモスクを中



図2 Banda Aceh市街地の津波被害範囲
図の範囲は東西、南北とも10km。青の点線は津波の浸水限界線。赤の点線は家屋のほとんどが流失した範囲の限界線。(Kompas紙による)

心に発展してきた。その北西約5kmに港があり、ここに港のモスク(正式名Baiturrahim Mosque)がある。この二つのモスクを結ぶ街路は、イスカンドル・ムダ(Iskandar Muda)通りといい、町の発展の軸となってきた街路である。

われわれは、市街地での津波の浸水標高を測定するために、大モスクにもっと近い街路の起点付

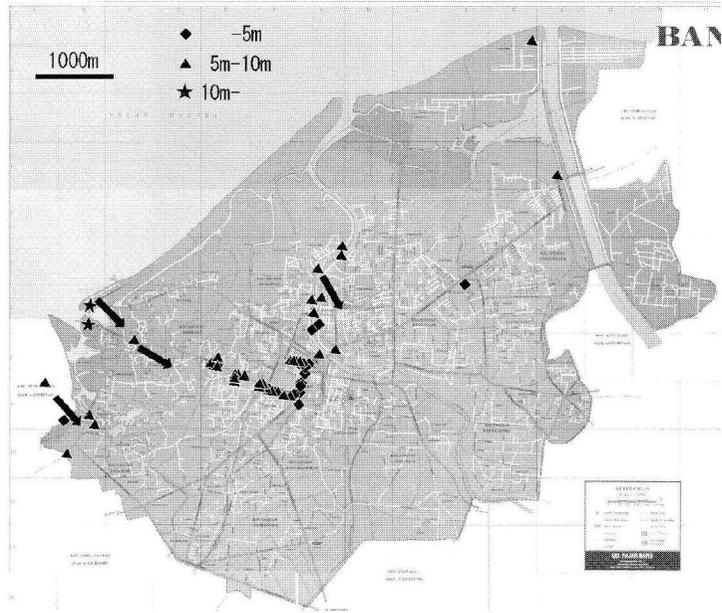


図 3 Banda Aceh 市街地での津波浸水標高 (行谷佑一氏作図)

近に A 点, 海岸から約 1 km 入ったところに G 点と命名した水準点を設定し, さらにこの間に約 400 m の間隔で B~F の 5 点の固定水準点を決め, 各点の平均海面上の標高を数度の繰り返し測定によって精密標高値を決定した. 津波による海水の到達高さを示す痕跡 (water mark) の標高は, これら 7 点の基準標高値から側線をのぼすことにより測定した. A 点からは大モスクの敷地を経て, 北側の川の水面と測定線をつないだ. その結果, 川の水面は大モスクへの再接近点で平均海面より 1.0 m 上昇していることが判明したので, 津波浸水高さの測定はこの川の両岸沿いにも拡張することができた.

こうして得られた, Banda Aceh 市における津波浸水標高の分布を, 図 3, および図 4 に示しておく. 港付近で 12 m 余り (Baiturrahim Mosque で 12.2 m, 家屋が全面的に流失した限界線 (図 2 の赤の点線) 付近で 6~7 m, 津波浸水限界付近で 4~5 m であった. 港付近の地盤高さはおおむね 1~2 m ぐらいであるから, この付近での地上冠水厚さは 10 m を超えていたことになる. 流失限界付近の標高は 3~4 m ほどであるので, このあたり

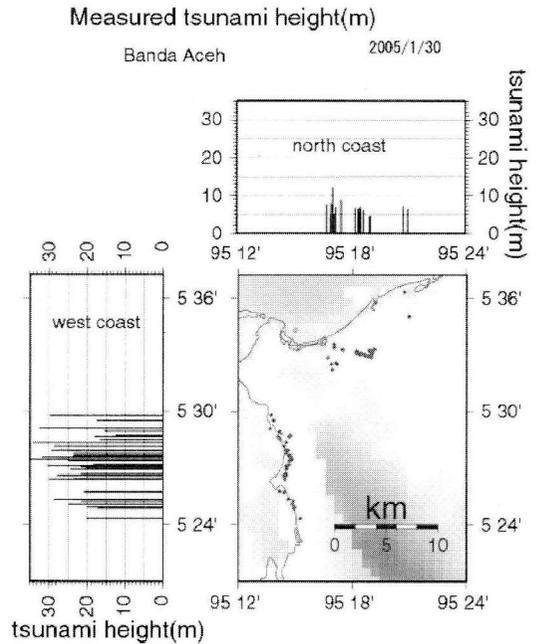


図 4 Banda Aceh 市街地 (上グラフ north coast, および西側海岸での津波浸水標高) (筆者らのデータにもとづき松山昌史氏<電力中央研究所>が作図) 松山 (私信)



図5 すべての建物が流した Banda Aceh の海岸付近の光景

での地上冠水厚さは2~3m ほどであったことが分かる。地上冠水高さは2m 以下の場所は大きめに、図2の赤い点線と青い点線に挟まれた家屋が残った地域に当たっている。

ほとんどすべての建物が完全に流した Banda Aceh 市の海岸線付近の光景を図5に示しておく。このあたりは鉄筋コンクリート作りの建物が建ち並ぶ繁栄した港の街路であったが、土台コンクリート床面を残して、その上にあったいっさいのものが流していることが分かる。また海岸線は津波前には直線状であったが、津波によって激しく浸食され、海岸の陸地が大きくえぐり取られて海域と化している様子が見てとれる。この場所で唯一残ったのは、コンクリート灯台の柱（写真上部左より）であった。

7. 西海岸の津波被害

Banda Aceh の中心市街から約15 km 南西に進むと、標高15 m ほどの緩やかな市街地の鞍部を経て、スマトラ島の西海岸に達する。ここには Lhokonga (ロコンガ) はじめ、5 個ほどの集落があったが、そのうち4 個の集落が津波によって完全流失した。図4にこの海岸での津波浸水高さの分布図を併記したが、こちらの海岸では、津波浸水高さは25 m から30 m にも達していた。1993 年の北海道南西沖地震の津波では、奥尻島西岸の



図6 Banda Aceh 市港付近の光景
鉄筋の入ったコンクリート柱も、根本の所から折れている。

藻内キャンプ場付近の谷筋で30.6 m に達していたのが、この津波で唯一飛び抜けて大きな浸水高を示した点であるが、今回の津波では、Banda Aceh 市西方の海岸上では、浸水高さが30 m を超えた場所は、別に珍しくもなくあちこちに存在している。図7にこの強烈な津波の直撃を受けた、西海岸 Lhokonga 集落の惨状の光景を示しておく。この海岸では、津波のとき、そこに住んでいた住民の全員死亡、という場所が各所に出現した。

Banda Aceh 市から西海岸沿いに南下すると、約200 km 先に、Aceh 州第2の都会であるムラ



図 7 浸水高さ 30 m にも達する津波に壊滅した Lhokonga 村の惨状



図 8 セメント工場の北に連なる労働者たちの居住区もあとかたもなく壊滅した

ポー (Meulaboh) に達する。この両都市は西海岸に沿った道路によって結ばれていたが、この間には 50 カ所以上の場所で川を横断しており、そのおのおのの横断点に橋があった。今回の津波では、そのすべての橋が流失したと伝えられている。Lhokonga 集落の南側に第 1 番目の川があり、ここに架けられていたトラス橋も津波に流失して、自動車に頼っての調査はこの橋の手前で遮られた。われわれの調査ではここでは渡船によって川を横断し、その先は徒歩で南下して行った。ただし、調査中 26 日にインドネシア軍の手に

よって橋は再建され、この日以後は自動車で南下することができた。この橋から約 3 km 南下したところに、近代的で大規模なセメント工場があった。津波はこの工場の労働者たちが住む居住区も、ほとんど何の痕跡も残さず消滅した。付近には大型の船舶が 2 隻、陸上に打ち上げられていた (図 8)。

今回のわれわれの調査で、一番浸水高さが大きかったのはこのセメント工場の約 700 m 北にあたる谷筋であった。その場所の光景を図 9 に示す。この谷の出口の海岸平野部には大型の船舶が

陸上に打ち上げられていた。写真には、津波来襲前には海岸線にまで迫っていた緑の林が、津波のために浸水限界まですっかり洗い去られて、表土あるいは、基盤岩が露出している様子を見て取る

ことができる。写真中央の谷筋に上がった海水の最終到達点の標高は 34.9 m に達した。

図 10 は、セメント工場の約 1.5 km 南方に位置するやはり津波によって激しい浸食を受けた谷筋



図 9 浸水高さ標高 34.9 m を示した谷筋，セメント工場の北約 700 m に位置する。津波来襲前には海岸線にまで迫っていた。緑の林は、津波のために浸水限界まですっかり洗い去られて、表土あるいは、基盤岩が露出している。写真中央の谷筋に上がった海水の最終到達点の標高は 34.9 m に達した。



図 10 セメント工場南方約 1 km の谷筋の光景
津波の駆け上がった線まで林の木々がきれいに洗い去られている様子が見える。ここでの浸水標高は 27.9 m。中央少し左寄りに人間が 1 人映っていることに注意。人間のスケールと津波の浸水高さを対比してほしい。

の光景である。ここでの津波浸水高さは、斜面をよじ登って測定した結果 27.9m であることが判明した。写真中央すこし左寄りに人間が 1 人映っていることに注意。映っているのは、共同研究者の一人、インドネシア気象庁のニューマン氏であるが、津波の巨大さの人間の絶望的な小ささに注目されたい。このように 30 m にも達するような巨大な津波の来襲を受けた海岸では、人間が生き残ることすらほとんど絶望的であることがよく理解できるであろう。

9. 我が国で今回のインドネシア・スマトラ島西方沖地震津波のようなことが起きる可能性はあるか？

今回のスマトラ島西方沖地震の津波が、全世界の歴史にも全く前例のない巨大な災害であることが明らかになるにつれて、筆者は報道関係者からしばしば、「今回のような出来事は、日本でも起きる可能性があるのですか？」という質問を受けるようになった。この質問に正確に答えるためには、この質問をした人も明白には把握していないかもしれない点を明確しておく必要がある。すなわち、「今回のような」とは何を意味するのであるか？ もったいぶらずに率直に書くと、それは次のようなこととなる。

(1) 震源域の長さが、およそ 1,000 km にも及ぶ、巨大なものであること。

(2) 断層面上の滑り量が 15 m かそれ以上にも達し、沿岸に巨大な津波が襲うこと。

これで思い出すのは、1960 年のチリ津波の地震であろう。その震源の大きさは優に 700 km を超え、チリの沿岸では 30 m 以上の浸水高さを記録したばかりか、太平洋を横断して日本列島にも死者・行方不明 142 人という大きな津波被害をだした、この事例こそ今回のスマトラ島西方沖地震に匹敵するものであろう。しかし、この事例は日本に津波被害をもたらしたとは言っても、日本の事例ではなく、南米チリ国の事例である。

まず、上記(1)の条件からいうと、明らかにしばしば話題になる東海地震や南海地震では役不足だ

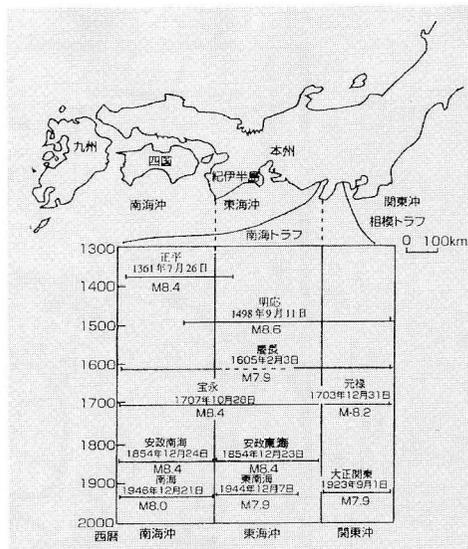


図 11 歴代の東海地震と南海地震
東海地震と南海地震は連動する傾向がある。

ということである。すなわち、東海地震の震源の長さは最大で 300 km、南海地震のそののせいぜい 400 km からである。したがって、昭和 21 年 (1946) の南海地震 (M 8.0)、幕末の安政東海地震 (1854 年 12 月 23 日, M 8.4) やその翌日 (12 月 24 日) に起きた安政南海地震 (M 8.4) を以てしてもまだ及ばない。よく知られているように、東海地震と南海地震はわずかな期間を隔てて引き続いて起きる傾向がある。そのペアはおおむね 100 年ぐらいの間隔で起きていることが知られている。たとえば、東海地震の一つである昭和 19 年 (1944) 東南海地震の約 2 年後に昭和 21 年 (1946) 南海地震が起きている。また、幕末の安政東海地震 (1854 年 12 月 23 日) の次の日、その約 32 時間後に安政南海地震 (同 24 日) が起きている。宝永地震 (1707) は東海地震と南海地震とが同時に起きたものである。さらに、平安時代の嘉保東海地震 (1096) の 3 年後に康和南海地震 (1099) が起きた。

ここで注目されるのは、1707 年の宝永地震である。この地震は東海地震と南海地震が同時に起きたものである。宝永地震の震源域は東海地震の 300 km と南海地震の 400 km を併せた 700 km の海域に達している (図 12)。また、津波の規模も、単に東海地震と南海地震が単独で起きたものを足

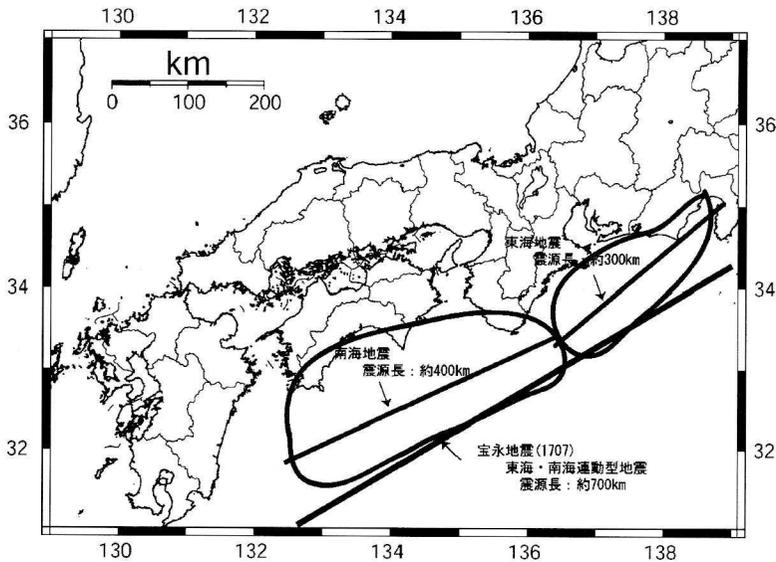


図 12 宝永地震 (1707) の震源

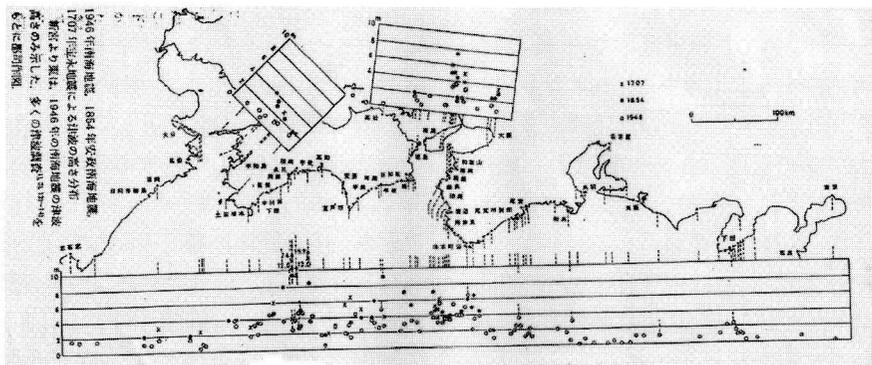


図 13 昭和 21 年南海地震 (1946), 安政南海地震 (1854), および宝永地震 (1707) の津波浸水高の比較

し併せただけのものではなく、その和を遙かに上回る規模があった。

すなわち、東海地震と南海地震が同時に起きたと考えられる複合地震である宝永地震 (1707) が、規模はやや小さいながら今回のインドネシア・スマトラ島西方沖地震によく比べることで、超巨大地震であった、と考えられるのである。

それでは、宝永地震のような東海・南海の複合型の超巨大地震は、いったい何年に一度の出来事と考えられるのであろうか？ それに答えてくれるのが、四国の室戸岬の段丘である。以下、前巻 (1999) にしたがって、その議論を述べておこう。

昭和 21 年南海地震によって室戸岬の先端部海岸は一時的に 1.2 m ほど隆起したが、その本震後 2, 3 年後には 30 cm ほど戻して、結局永年的には 90 cm ほどの隆起量が残った。安政南海地震 (1854) のときにも約 1.4 m ほどの隆起があったことが古記録から知られているが、やはり永年的には 1 m ほどの隆起が残ったと考えるべきであろう。ところで、南海地震はおおむね 100 年間で起きているのであるが、この間に室戸岬は 1 年あたりおよそ 7 mm ぐらいの割合で沈降が続いていることが知られている。してみると、昭和 21 年 (1946) によって 0.9 m ほど生じた永年の隆起量も、次の南海地震を迎えるまでの約 100 年のうち

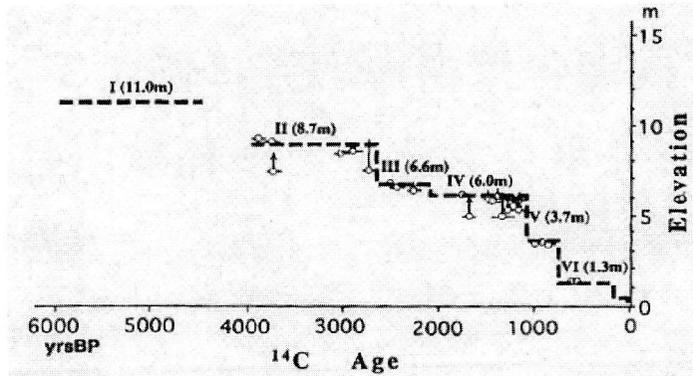


図 14 室戸岬の段丘と、各段丘の形成年代（前杵，1999）による

に、およそほとんどすべてが解消されて、結果的には段丘は形成されないことになってしまう。安政南海地震（1854）によっても段丘は形成されないであろう。しかし宝永地震（1707）のさいには、室戸岬はおよそ 2.4m ほども隆起したことが古記録によって知られている。これだけの隆起があると、たとえその次の 100 年間 1 年あたり 7mm ずつ解消しても段丘は残る。すなわち、宝永地震（1707）のような複合型超巨大地震が起きると室戸岬に段丘が形成されて永久的にそれが残されるのである。

前杵（1999）は、室戸岬の段丘面を調査し、かつ各段丘面上に残された生物痕跡に C14 年代測定法を適用することによって図 14 のような段丘形成史の図表を得た。これによると、最下段の段丘は今から 300 年ほど前に形成され、その上の段丘は西暦 1200 年頃、その前は西暦 900 年頃前に形成されたと読める。最近の 2000 年間に形成された段丘はこの三つのみである。われわれは当然、300 年ほど前に形成された最下段の段丘とは宝永地震（1707）によるものであるとごく自然に納得することができる。さらにまた、宝永地震と同じような複合型超巨大地震はどうやら最近 2000 年間に 3 度起きたらしいことを了解することができる。南海地震がおよそ 100 年に 1 度の現象であれば、2000 年間に 20 回ほどの南海地震が起きてははずである。その 20 回のうち 3 回が、宝永地震に匹敵する超巨大地震であった。

以上の推論から、この節の最初のジャーナリス

ト氏の質問にどうやら答えることができる。すなわち、「今回のインドネシア・スマトラ島西方沖地震に匹敵する地震は過去に起きたことがある。1707 年の宝永地震が、やや小規模ながらその一つと考えることができる。そうして、宝永地震を含めて、2000 年に 3 回ぐらい、同じような規模の複合型超巨大地震が起きたと推定されるのである」と。

参考文献

- Abe, K., 1981, Physical size of tsunamigenic earthquakes of the Northwestern Pacific, Phys. Earth Plan. Inter., 27, 194-205.
 前杵英明, 1999, 室戸岬の最近数千年間の隆起様式から推定される新たな南海地震像, 月刊地球, 号外 24, 76-81.

都司嘉宣

[つじ よしのぶ]

現職 東京大学地震研究所助教授
理学博士

略歴 東京大学工学部土木工学科卒業、同大学大学院理学系研究科地球物理学専攻修士課程修了、科学技術庁国立防災科学技術センター研究員を経て現職

研究分野 津波、高潮、古地震

著書 『沿岸災害の予知と防災』（共著、白亜書房）、『富士山の噴火』（築地書館）、『地震と断層』（共著、東京大学出版会）、『古地震を探る』（共著、古今書院）、『火山とマグマ』（共著、東京大学出版会）



南海・東南海地震に備えて

地域防災ボランティア—和歌山県潮岬

2001年9月、地震調査委員会が南海地震や東南海地震の確率予測を発表したが、その影響が、紀伊半島地域の行政当局・住民の地震防災意識が高まったように見える。そしてさらに、2004年12月のスマトラ沖大地震津波は、多くの人々に津波災害の恐怖を強烈に印象づけた。

このような背景があって大地震に備えようと地域住民の防災ボランティアが立ち上がった。その一つ和歌山県串本町潮岬地区の活動を紹介する。行政の指導を待つことなく自主的に災害予防の対策や災害直後の緊急活動、災害後の長期支援活動について計画が立案され組織化された。特筆すべきは、これらの方々が災害の対応のみではなく、地震予知へ向けての観測を自力で企画し、速やかに実行に移されたことである。

潮岬は本州最南端に突き出た東西4km、南北3kmの島状の台地である。ここは東は出雲地区、西は潮岬地区に区分されている。潮岬地区の集落は海拔60mの高台にあり、津波の心配はない。将来の南海や東南海地震のとき、串本の中心街からこの高台に避難することができ

る。この地の自主防災組織は、2004年11月、正式に発足した。これに先立ち、同年4月から地下水の井戸の水位の測定を開始した。そのきっかけはこうである。気象台や役場に資料を求め、勉強しながら防災の行動マニュアル（「潮岬自主防災会 行動マニュアル」）を作成していった。串本の中心部が震災、津波、火災によって打撃的な被害を受けると、この台地は孤立する。地震後の飲料水の確保は重要である。皆でその時のための井戸を点検していった。その過程でふと思いついた。昔から井戸水の水位が地震の前に変化することがあるという話がある。それならば、予知のために水位を観測してみよう。幾人かのグループで観測は始まった。

防災の基本はもろもろの備えにある。南海地震や東南海地震のような巨大地震の場合、被害は広域で、各自治体の組織では手が回らないので、自力で災害に立ち向かわねばならない。災害時に円滑に行動ができるためには、日頃からの準備や訓練が必要である。上記行動マニュアルには、避難を想定した家族の相談、危険予知、火災消火用の水、飲料水の確保、いざという

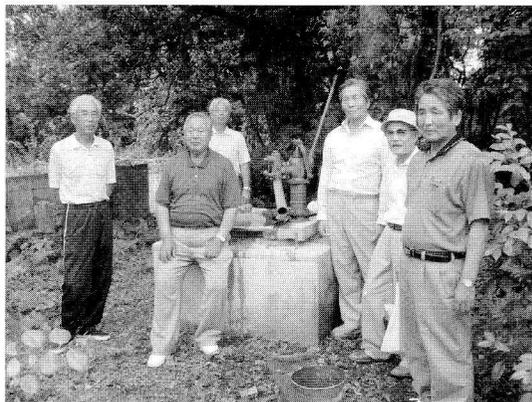


写真 潮岬自主防災会（会長：田仲康基、副会長：杉本正幸）の皆さんと潮岬神社の井戸

きの雨水の利用などの災害前の心得や備えを示している。地震時には、救出、救護、消火、避難誘導、給食、給水活動を組織的に行う。そして、潮岬の10地区ごとの防災会の代表や班長のもとにその組織作りがなされた。

最後に水位観測のその後に触れる。2004年4月30日からまず一つの井戸の測定を開始した。井戸の最上部から底までの深さは15.3mである。重りを糸でつり下げ底まで降ろし、水がついた部分を確認して、底からの水位を測る。4月の次は9月、それ以降は約1カ月ごとに計測した。2005年2月までは5~6mであった。と

ころが、3月、4月には4~5mの水位となった。1~2mの低下である。すわ、異変だという知らせが、周りまわって、筆者のところまで届いた。

東大地震研究所は、2005年6月、3カ所の井戸において10分ごとに水位と水温を自動計測する装置を稼働させた。この器械は精密なデータをとるのが目的で、数カ月ごとにデータを回収する。異常の早期発見はマニュアル測定にゆだねる。マニュアルと自動のコンビネーションによって将来有用な情報をつかむであろう。

(東京大学地震研究所 佃 為成)

スロースリップ

地震は断層面を境として両側の岩盤がずれ動く現象である。通常、このようなずれは急激に起こり、強い揺れを周囲に与える。断層面上の1点で見ると、M8級地震では数秒以内にずれを完了するのが普通である。ところが、数ある地震の中には変わり種がいて、ずれの動きが通常とは異なりゆっくりとした時間経過をたどる特殊な地震が存在する。これは、プレート境界などの断層面がどこも均質なわけではなく、固くくっついている場所や、ずるずるとすべる性質をもった場所など、多様性に富んでいることが原因であると考えられている。

このようなタイプの地震は、そのゆっくり度に応じて様々な呼ばれ方がされている。

(1) **津波地震**：体に感じる揺れはたいしたことのないのに、非常に大きな津波を伴う地震を「津波地震」と呼び、1896年明治三陸地震がその代表例である。津波地震は、通常数秒で完了する岩盤のずれが数十秒から数分をかけてゆっくりとすべることにより生じる(図1)。この場合、加速度が小さいため体に感じる大きな揺れは生じないものの、最終的にずれる量は急激にすべった場合と同じであり、大量の海水が持ち上げられて、大きな津波を発生させる。

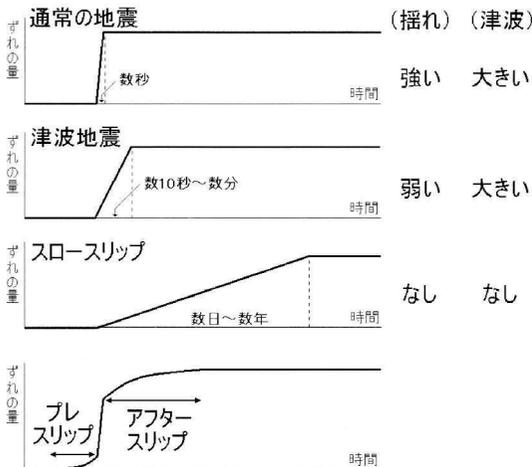


図1 断層面上のある点における、ずれの時間経過

(2) **スロースリップ**：すべりの時間経過が津波地震よりさらにゆっくりとなり、数時間から数日以上にも及ぶと、海底が隆起しても海水は横

に逃げてしまい、津波さえ起こらなくなる(図1)。このように、体に感じる揺れも津波も発生させず、ごくゆっくりと地殻変動だけが進行する現象を「スロースリップ」と呼ぶ。

スロースリップは、全国的なGPS観測網が整備された最近になって検出例が増えてきた。その時定数は、九州の豊後水道で1~2年、東海地域の浜名湖周辺で数年、房総半島東部で1週間程度と様々であり、ひとつの地域では6~7年くらいの間隔で間欠的に繰り返されているらしいことがわかってきた。また、これらのスロースリップは大地震を起こす震源域の深部への延長部分で生じており、固着状態から定常すべりの状態に移り変わる領域に位置するという特徴がある(図2)。

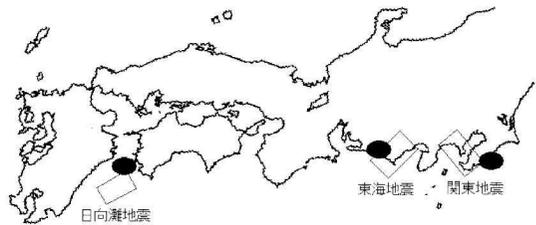


図2 これまでに見つかったスロースリップの場所 (豊後水道、浜名湖周辺、房総半島東部)

(3) **プレスリップ・アフタースリップ**：通常の地震でも、発生的前後にゆっくりとしたすべりを伴うことがあり、これらを「プレスリップ(前兆すべり)」および「アフタースリップ(余効すべり)」と呼ぶ(図1)。アフタースリップは大きな地震のあとでしばしば観測されるが、プレスリップが確実に検出された例はまだない。

(4) **クリープ**：上記(1)~(3)のように単独の事件として生じるのではなく、慢性的・定常的にずるずるとすべりが続く現象を「クリープ」と呼ぶ。米国サンアンドレアス断層の一部で顕著に見られるが、我が国では跡津川断層の中央部でクリープが生じているらしいとの報告がある。

なお、以上に挙げた特殊な現象に対する俗称的な呼び方として、「スロー地震」や「ゆっくり地震」、「ぬるぬる地震」といった用語が使われる場合があり、また、地震計に何も記録されない静かな現象を総称して「サイレント地震」と呼ぶことがある。(岡田義光)

GPS, VLBI, SLR, SAR

地震による断層運動に伴う地表の静的変形や、長い時間をかけてゆっくりと進行する地面の変形を捉えるのが地殻変動観測である。とくにスロースリップなどの現象については、振子の原理を利用した地震計では観測が不可能なため、歪計や傾斜計、GPS などによる地殻変動連続観測に期待が寄せられている。

水準測量や三角測量といった旧来の測地測量は、広い範囲の永年的な地殻変動を精密に測定できる利点の代り、測定に多大の労力を要し時間分解能が劣るという欠点があった。一方、歪計や傾斜計は非常に高感度で地殻変動の時間変化を追跡できるという利点の代り、局所的な変動に影響されやすく、永年的な変化は検知しにくいという欠点があった。GPS を代表とする宇宙技術利用の測地測量は両者の長所を併せ持つ画期的な手段であり、すでにめざましい成果が得られつつある。

(1) GPS

GPS (Global Positioning System : 汎地球測位システム) は、地上約 20,000 km の高度に打ち上げられた 6 軌道 24 機の人工衛星から発射される電波を用いて、船舶や航空機の航法支援を行うために開発されたシステムである。地上の観測点で 4 つ以上の衛星からの信号を受信

1). 震源決定では、観測点が地表にしかないため、震央位置に較べて震源の深さの決定精度が劣るという性質があるが、GPS を用いた位置決定においても、衛星は上空側にしかないため、観測点の水平位置に較べて高さの決定精度は原理的に劣ることになる。

地殻変動を計測する目的には、地上に置かれた複数の GPS 観測点において複数の衛星からの電波を同時受信して、電離層や対流圏の影響、衛星や観測装置に組み込まれた時計のずれなどの様々な誤差要因を相殺する Double Difference 法によって、精密な位置変化の測定を行っている。これにより、たとえば 10 km 程度離れた 2 地点間の相対位置を、水平方向で 2~3 mm、上下方向で 5~6 mm の精度で測定することが可能となった。なお、地震学の分野でも Double Difference 法は精密な震源決定手法として採用されている。

我が国では、国土地理院が全国を約 20 km の間隔で覆う 1,200 カ所に「電子基準点」(図 2) を設け、広域・高密度の GPS 連続観測網 GEONET (GPS Earth Observation Network System) を展開している。GEONET の出現により、日本列島の動きを刻一刻と捉えることは今や夢でなくなった。

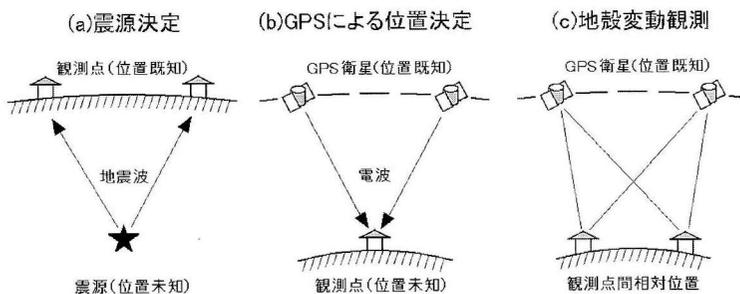


図 1 GPS による位置決定の原理と震源決定との比較



図 2 GEONET 電子基準点

することにより、観測点の三次元的な位置と精密な時刻を得ることができる。

その原理は地震観測における震源決定と同様であり、軌道情報から得られる各人工衛星の位置を既知として、地上の観測点までの各々の距離を求め、観測点の位置を決定している (図

(2) VLBI

VLBI (Very Long Baseline Interferometry : 超長基線電波干渉法) は、元来、天文学の分野において、強い電波を出す準星 (Quasar) の構造を調べることを目的として開発された技術である。地球上の遠く離れた 2 地点に巨大な

パラボラアンテナを置き、宇宙からの微弱な電波を受けて、そのわずかな到着時刻の差を精密に計測することによって、大陸間の距離を2~3 cmの精度で測定することができる(図3)。

VLBIは1970年代後半に高精度化が達成され、当時提唱されていたプレートテクトニクス理論の検証に大きな役割を果たした。

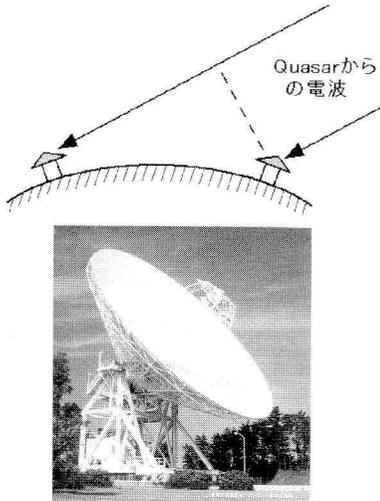


図3 VLBIによる位置決定の原理

(3) SLR

SLR (Satellite Laser Ranging: 人工衛星レーザ測距)は、地上から人工衛星に向けてレーザ光線を射出し、反射してくるレーザ光の位相を捉えることによって人工衛星の軌道を精密に計測し、その軌道のゆらぎから観測点自身の位置やその変化を知る技術である(図4)。精度はVLBIと同程度だが、VLBIが2地点間の幾何学的な距離を測定するのに対し、SLRは地球重心に対する観測点の位置を知ることができるため、上下変動の検出に有効である。SLRも1970年代後半に高精度化が達成され、プ

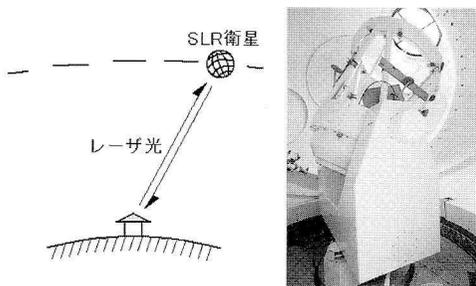


図4 SLRによる位置決定の原理

レートテクトニクス理論の検証に貢献した。

(4) SAR

以上に述べた諸技術は、いずれも測器の設置された場所の位置変化を点情報として得る手段であり、地殻変動の詳細な地域分布を知るためには、測器を高密度に配置する必要がある。これに対し、InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar: 干渉合成開口レーダ)は地表面の変動を面的に直接把握することができる画期的な技術であり、現在注目をあびている。

SARでは、人工衛星や航空機から地上に向けて電波を射出し、その後方散乱波の位相を計測することによって、衛星と地上との距離を数cmの精度で求める。また、このような測定を複数回行い、検出された地形情報との差分をとることによって、地殻変動(おもに上下変動)を抽出することができる。図5は、1992年ランダース地震の際にSARで検出された面的な地殻変動(縞模様の1サイクルが28mmの変化に対応)と、断層モデルから理論的に予測される干渉画像とを比較したものである。

(岡田義光)

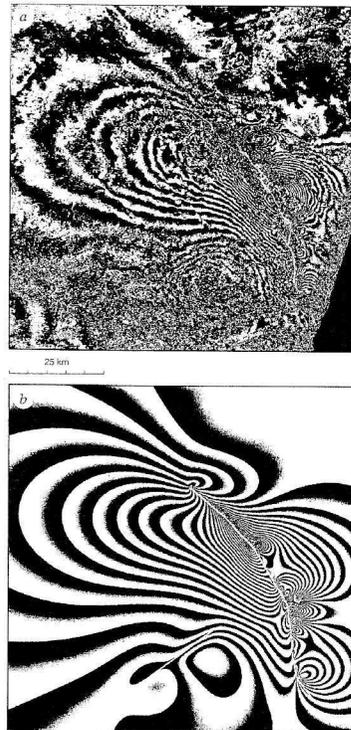


図5 SARにより得られた1992年ランダース地震の面的地殻変動(上)と理論予測(下)(Massonnet 他による)

首都直下地震の被害想定と防災対策

溝上 恵

1) はじめに 首都直下地震に関わる防災対策の検討とその経緯

首都直下地震の切迫性が高まりつつあり、被害の影響は国家的な重大性をもつであろうとの考えから、中央防災会議は、首都直下地震対策専門調査会を2003年9月に立ち上げた。2005年7月に「専門調査会報告」が提出され、その成果を踏まえて9月に「首都直下地震対策大綱」が策定された。では、首都を襲う地震について政府がこれまでどのような取り組みを行ってきたのか振り返ってみよう。

1988年に中央防災会議は相模トラフに沿うプレート境界を震源域とする海溝型巨大地震である関東地震をモデルとした被害想定を行い、その成果を踏まえて「南関東地域震災応急対策活動要領」が策定された。その後、地震学会などで、関東地震の再来は100～200年以上も先であり、より近い将来に発生し甚大な被害を生む可能性のある地震は、M8クラスの関東地震ではなく、M7クラスの直下地震であるという認識が生まれてきた。しかし当時は、M8クラスの関東地震への対策は、M7クラスの直下地震への対策に包含されるとの建前から、直下地震に特定した防災対策は直ちには立てられなかった。しかし、南関東直下の地震活動およびプレート構造に関する観測・研究が進み、その成果に基づいて1992年に南関東で発生するM7クラスの地震を対象とした「南関東地域直下の地震対策に関する大綱」が策定された。さらに、1995年阪神・淡路大震災により直下地震に対する大都市の脆弱性が明らかとなり、政府は首都圏を含む南関東地域の直下地震への防災対策が急務であるという認識に立ち、1998年に

前述の「活動要領」と「大綱」がそれぞれ改訂され、南関東直下の地震発生に備えた政府の防災体制について充実が図られた。その中で、「南関東地域直下の地震モデルとその発生により著しい被害を生じるおそれのある地域の範囲について」の検討が行われた。その内容は概ね次のようである。

南関東地域のプレート構造は、陸のプレートである北アメリカプレートの下に相模トラフからフィリピン海プレートが沈み込み、さらにその下に日本海溝から太平洋プレートが沈み込むといった複雑な3層構造になっている。南関東地域直下の地震には、これら3層のプレートのそれぞれの内部で発生する地震（プレート内地震）とプレートが接し合う面で発生する地震（プレート間地震）とがある。南関東に著しい被害を及ぼす可能性があり、しかもある程度の切迫性のある地震とは、フィリピン海プレートの上面付近で発生するM7程度の規模の地震であると想定した。震度予測には、フィリピン海プレートの上面に沿って、あたかも正方形のタイルを整然と敷き詰めたように19枚の断層を配列したモデルが用いられた。それぞれの断層のサイズはM7程度の地震に相当するように設定された。これら19枚の断層のそれぞれでM7の地震が発生した場合に予測される各地点の震度を計算し、それらを重ね合わせた時の最大値が震度6以上（現在の震度階級では震度6弱以上）となる範囲を著しい被害が生じる可能性がある地域とした。その結果、南関東のほぼ全域が一樣に著しい被害が及ぶという予測となった。これは、中央防災会議による南関東直下地震に対する防災対策地域指定が、広域にわたり一樣な網をかけたものとなり、防災対策の主眼とすべき地震像を絞り込んだ震度予測と被害想定は行えなかった。今回の首都直下地震対策専門調査

会では、専門調査会の下に地震ワーキンググループをおき、防災対策の主眼とすべき首都直下地震の地震像を地震学の観測・研究による最新の知見に基づいて絞り込んだ。

2) 最近の観測・研究成果による地震像の絞り込み

1703年元禄関東地震(M 7.9~8.2)から1923年大正関東地震(M 7.9)にいたる220年間の地震活動の推移から、南関東地域では200~300年の間隔でマグニチュードM 8クラスの海溝型地震(関東地震)が発生し、その間の期間にM 7クラスの直下地震が数回発生するということが分かる。関東地震の余震活動の終息以降は70~80年間にわたり地震活動の静穏期が訪れる。その静穏期に続き徐々に直下地震の活動が活発化する。つまり静穏期はあまり長くは続かず、やがて地震活動はその活動期に入り次の関東地震の発生へとつながる。この活動期に発生する直下地震の代表的な事例が、1万人にのぼる死者が出たといわれる1855年安政江戸地震(M 7.0~7.1)である。このような

南関東地域の地震活動のサイクルを考えると、関東地震の発生から80年以上が経過した現在、M 7クラスの直下地震への備えが急がれる(図1)。

前述のように首都直下では、海側のフィリピン海プレートと太平洋プレートが陸側の北アメリカプレートの下に沈みこんでいるため、M 7クラスの地震の発生の様相は極めて多様である。専門調査会の任務は、先ず直下地震についての観測データの蓄積や新たな学術的知見に基づいて防災対策の対象とする地震の発生メカニズムを含む地震像を明らかとし、その地震による震度分布(ないしは地震動の強さの分布)の予測を行うことである。その次に、求められた震度分布に基づいて被害想定を行い、その被害を可能な限り軽減するための具体的な防災対策を提起することである。専門調査会の下におかれた地震ワーキンググループは、被害想定的前提となる直下地震の地震像の絞り込みと震度分布の予測を行った。この地震像の絞り込みは、2段階の手順で行われた。先ず、防災対策の対象とする地震の選定を3つの枠組みについて行った。それぞれの枠組みの前提条件は次のよ

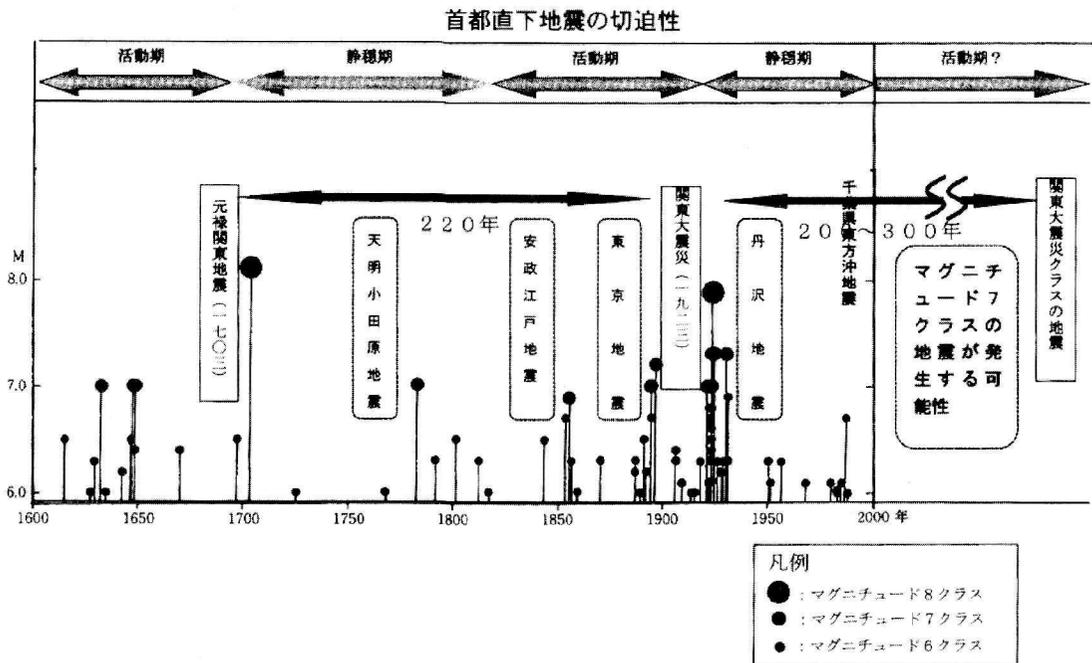


図1 南関東で発生した地震(M 6以上、1600年以降)
(内閣府防災担当作成)

うである。①地震学は最近大きく進展したとはいえ、いまだ未知の部分が極めて多く、直下地震の地震像についても十分には把握しきれていない。つまりある程度の規模以下の地震については、それが発生する可能性の根拠をつかむことは不可能であり、いつどこで発生しても不思議ではない。そこで、この「ある程度の規模」をM 6.9とする。その妥当性についてはワーキンググループで大いに議論したが、その点についての説明は紙面の制約上から他の機会にゆだねる。このM 6.9の地震が大きな被害を生むのは、震源が地殻内で浅くしかも人口の集中した地域や空港などの重要施設の直下で発生した場合である。この枠組みにより選定された地震が都心（東部：霞ヶ関と西部：新宿）直下地震および中核都市等（さいたま市、千葉市、川崎市、横浜市、立川市、羽田、市原市、成田）直下の10地震である。②首都圏一帯にはM 7以上の地震を引き起こす可能性のある複数の活断層が知られている。それらの活断層のうち最近500年以内に地震が発生したと考えられるものについては、今後100年程度以内に地震が発生する可能性はほとんどないとして除外した。その結果、防災対策の対象となる活断層の地震は、関東平野北西縁断層帯地震（M 7.2）、立川断層帯地震（M 7.3）、伊勢原断層帯地震（M 7.0）、神縄・国府津-松田断層帯地震（M 7.5）および三浦断層群地震（M 7.2）の6地震である。これらの地震が近い将来に発生する可能性はさほど高くはないが、活断層が存在するのは明確な事実であり、地震発生の可能性は否定しがたい。③首都直下地震の発生蓋然性が最も高いと考えられる領域は陸側の北アメリカプレートとその下に沈みこむフィリピン海プレートの境界である。しかし、地震発生蓋然性はプレート境界面上で一様ではない。前述のプレート境界に沿う19枚の断層の中で関東地震の断層に対応するものは、100年以上後の次の関東地震の発生まで、プレート境界の固着域として歪エネルギーの蓄積が続き、その期間は地震空白域の状態となる。そのためこの領域で近い将来にM 7クラスの直下地震は発生しないと推定される。房総半島東部では、プレート境界がゆっくりと滑る現

象（スロースリップ）が繰り返し発生し、フィリピン海プレートの沈み込みにより蓄積された歪が断続的に解放されていることが最近のGPSによる地殻変動観測から解明された。そのためこの領域ではM 7クラスの直下地震が発生する可能性は低い。山梨・神奈川県境は伊豆半島と本州弧の衝突帯であり、地震活動が活発でM 5～6クラスの地震が比較的頻繁に発生する。しかしこの衝突帯でM 7クラスの地震が発生する可能性は低い。千葉県北部から埼玉県東部にかけては、フィリピン海プレートの上面の深さが30～40kmであり、この領域では微小地震の震源分布が途切れた低地震活動域となっている。この領域では、岩石が蛇紋岩化し流動性が高くなっていると推定される。そのため、この領域でM 7クラスの直下地震が発生する可能性は低い。一方、東京都の区部を含む東京湾北部とその沿岸地域および茨城県南部・南西部についてはM 7クラスの直下地震が発生する可能性を排除する理由は見つからない。伊豆半島北西部から神奈川県西部にかけての領域についても同様のことが指摘できる。そこで、防災対策の対象とするプレート境界の地震として、第一に東京湾北部地震、第二に茨城県南部地震の2地震を選んだ。これらの地震の規模は両者ともにM 7.3と推定した。このM 7.3という地震の規模は直下地震として考える上限である。このタイプの地震としてM 7.3の規模の地震は、関東地震の最大余震である1924年丹沢地震のみである。直下地震の代表である1855年安政江戸地震の規模はM 7.0～7.1であり、1894年東京地震の規模はM 7.0であることを考えるとM 7.3はまさに想定される直下地震として究極の上限であるといえよう。地震防災対策を考える場合には、常により危険な状況を想定するという原則から、このM 7.3という地震規模の設定は妥当性があり容認できる。

以上に述べたような検討の結果、防災対策の対象とする地震のタイプは、都心部および中核都市等の直下地震が10タイプ、活断層の地震が6タイプ、プレート境界地震が2タイプとなり、首都直下の地震として選定した地震像は合計18タイ

プとなった。これらの地震像のうち、北アメリカプレートとフィリピン海プレートの境界で発生する M 7.3 の「東京湾北部地震」が、①ある程度の切迫性が高いと考えられる地震であること、②都心部の揺れが強いこと、③強い揺れの分布が広域的に広がっていることから、首都直下地震対策を検討していく上での中心となる地震と位置づけた。

3) 予防・応急対策の対象となる地震の震度分布

検討対象となる地震は予防対策と応急対策のそれぞれの対策についての対象地震に区分される。いつどこで大きな地震が起きるか予測し難いので、日頃から地震に対する備えに心がけるというのが予防対策の目的である。建物の耐震化等の各種の予防対策を具体的に検討するためには、近い将来に発生する可能性がほとんどない地震（関東地震）を除き、想定される地震の全てに漏れなく対応できる対策でなくてはならない。そのため予防対策の対象となる地震の選び方については、地震による発生の蓋然性の差を問題にするよりも、むしろ発生の可能性のあるすべての地震を考慮に入れる方が合理的である。この考え方から、予防対策の対象となる地震は、前述の 18 タイプの地震のすべての地震とした。また、予防対策のための震度分布は、18 タイプの地震のそれぞれによる震度分布を重ね合わせた時の最大値の分布とする。この手法は、1998 年に「直下地震の発生により著しい被害を生じるおそれのある地域の範囲」を指定したときの震度分布の予測手法と類似している。この点から、中央防災会議による従来の直下地震による震度分布のとらえ方は、予防対策の域に留まっていて、応急対策に対応するものではなかったといえよう。応急対策に対応する震度予測については、結果的に見て東京都など首都圏の地方自治体による地域防災対策に委ねられてきた。しかし今回の専門調査会では、その応急対策に主眼を置いた震度予測に踏み込んだことが特筆すべき点である。

実際に地震が発生した場合のシナリオに基づい

た応急対策を具体的に検討するためには、「ある特定の地震を想定地震として絞込み、その地震が発生した場合にそれぞれの場所の震度（ないしは地震動の強さ）がどの程度になるかを検討した。応急対策の対象地震のうち、特段に大きな被害を生むと予想される地震は都心部直下の地殻内で発生する浅い地震と東京湾北部直下のプレート境界（北アメリカプレートとフィリピン海プレートの境界）で発生する地震（以下、東京湾北部地震とよぶ）とがあげられる。

都心部直下の地殻内で発生する浅い地震とは、都心東部（政府省庁が集中する霞ヶ関）直下と都心西部（都庁本庁舎ビルのある新宿）直下の地震を指す。両地域ともに被害地震を引き起こす可能性のある断層の存在が知られているわけではない。しかし、ある程度の規模以下の地震は、いつどこで起きても不思議ではないという考え方に立つと、地震発生の蓋然性はきわめて低いものの、M 6.9 の地震が都心部直下の地殻内で発生する可能性を完全に否定することはできない。このような前提条件の下に、都心東部と西部の直下の地殻内地震を考えたとき、その震度分布はどのようなものであろうか。両者ともに震源直上の震度が大きくなるとともに断層破壊が進む方向に向かって強い揺れが生じる現象（ディレクティビティ (Directivity) 効果）が見られる。都心西部直下の地震では、北西方向に震度 6 強の範囲が広がっているが、これはディレクティビティ効果に加えて、やや深い地盤構造の影響が現れているものと考えられる。地震の規模が M 6.9 と相対的に小さく、震源の深さが浅い地震であるため、強いゆれの範囲は次に述べるプレート境界で発生する東京湾北部地震 (M 7.3) と比べてかなり狭い。

東京湾北部直下のプレート境界を震源域として発生する M 7.3 の地震は、発生の蓋然性が高いこと、震度 6 弱～強の強い揺れが都心部の全域を襲うことから、今回の首都直下地震の被害想定の中で最も注目すべき地震である。都心部直下に大きなアスペリティ（断層面が強く固着している部分で、断層が急激にずれ動いて地震が発生するとき大きな地震波のエネルギーが放出される）を配置

した場合についての震度分布を南関東全域および都心部を拡大した図で示す（図2-aおよび図2-b）。アスペリティの配置により強い揺れの現れる

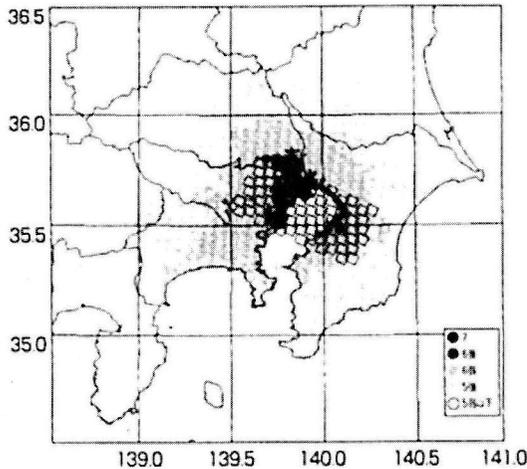


図 2-a 東京湾北部地震（東京湾北部直下のプレート境界地震）（M 7.3）による震度分布
都心部直下に大きいアスペリティがある場合、東京東部の震度6強の強い揺れは震源直上であることに加え、地盤条件を反映したもの、地震の規模、深さが異なるが、活断層の地盤と比較して震度分布は広がりがある。沿岸エリアを含め8都県市内の都心部及び中枢都市全てが一定のダメージを受けるため、総合的対策を検討する必要性が明らかである。（内閣府防災担当作成）

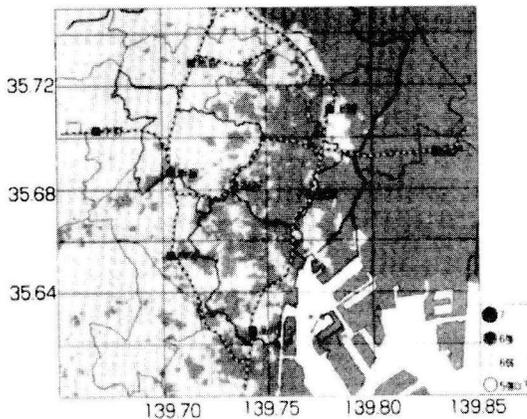


図 2-b 東京湾北部地震による50mメッシュ震度分布（都心部に大きなアスペリティがある場合）隅田川以東の強い揺れ震源直上であること及び地盤条件を反映、日比谷入り江などの地形も強い揺れに対応している。
-----はJR線、——は隅田川（内閣府防災担当作成）

領域が若干異なる。都心部のうち隅田川以東の強い揺れは、表層の軟弱な地盤の影響による。震度7は見られないが、震度6弱および震度6強の揺れが8都県市に広く分布する。

4) 東京湾北部地震の強震動予測と被害想定

東京北部地震の断層モデルは、陸側の北アメリカプレートと海側のフィリピン海プレートとの境界面上の長さ63.64m、幅31.82m、傾斜および走向はそれぞれ23度および296度の断層とした。マグニチュードはM 7.3（気象庁マグニチュードおよびモーメントマグニチュード）、平均すべり量は1.62mとした。アスペリティの面積は、断層全面積の約20%程度とし、2つの面積比率は7:3とした。破壊開始点はアスペリティの外側に設定し、防災上の観点から、首都機能が集積する地域への影響が最も大きくなるケースを想定した。

地盤構造モデルについては、震源断層から計算地点までを地震基盤（ $V_s=3,000$ m/s）以深、地震基盤から工学基盤（ $V_s=700$ m/s）上面、および工学的基盤以浅の3つの領域に分割し、工学的基盤以浅を「浅部地盤」、工学的基盤以深を「深部地盤」と呼ぶ。浅部基盤については、微地形区分、ボーリングデータをもとにして区分し、1kmメッシュごとの震度増分などの特性を求めた。都心部（千代田区、港区、中央区、新宿区）付近の震度分布については、首都機能の特性を表現するのにより細かなメッシュを用いることが望ましいことから、東京ガス株式会社所有の50mメッシュの地盤データを用いて計測震度を求めた。

50mメッシュでの震度増分の都心部での分布については、江東区、墨田区、台東区にかけての沖積低地に震度増分の大きな地域が広がり、また、中央区、および港区から千代田区東部の帯状の沖積低地にも震度増分の大きな地域が延びている。他方、神田川、外堀等の武蔵野台地を刻む河谷では、震度増分が相対的に低くなっている所が見られる。これらが位置する武蔵野台地は、洪積砂礫層を関東ローム層が覆っている。神田川等の中流域では、勾配がやや急になって、谷底が砂礫

層を削り込み腐植土等が堆積している所もある。下流側では、ゆるい勾配となつて、沖積層の基盤は深くなり、やわらかい粘性土などが深くなる傾向がある。これらの河川の中流部の谷の中央付近では表層はやわらかいものの、層厚が薄いため、増幅度が小さい。50 m メッシュでの震度増分と中村による安政江戸地震の震度分布を比較すると、全体的に見て、震度増分の大きい場所では安政江戸地震の震度も大きい。また、安政江戸地震の震度分布と微地形を比較すると、下町の低地、山の手の台地それぞれの地形的特徴とおおむね対応している。つまり今回の調査による震度増分の分布と安政江戸地震による震度分布との共通性は地盤特性の反映であることをよく示している。

東京湾北部地震による被害は、冬の18時、風速

15m/秒のケースでは、死者約1万1千人、経済的被害約112兆円と想定される。揺れによる全壊棟数の分布(都心部)を図3、焼失棟数の分布(都心部)を図4に示す。この場合、建物被害からの連鎖被害、つまり出火、火災延焼、避難者の発生、救助活動の妨げとなる瓦礫の発生(約8,300万t~9,600万t)などが深刻な問題である。建物の全壊棟数約85万棟の約77%が火災に関連するものであり、死者数の約6割が火災によるものである。避難所生活者は約400万人~460万人となり、阪神・淡路大震災の30万人、新潟県中越地震の10万人をはるかに越える。帰宅困難者は約600万人(うち東京都は390万人)と想定される。火災については、地震時に、路上の放置自動車、沿道家屋の倒壊、電柱の倒壊により細街路の道路閉塞

揺れによる全壊棟数の分布(都心部)

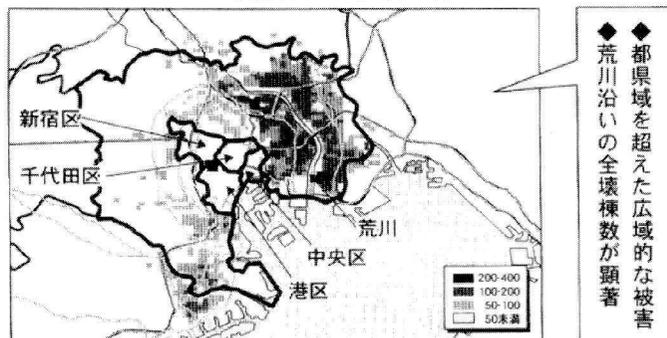


図3 揺れによる全壊棟数の分布(都心部)
(内閣府防災担当作成)

焼失棟数の分布(都心部)(冬18時、風速15mケース)

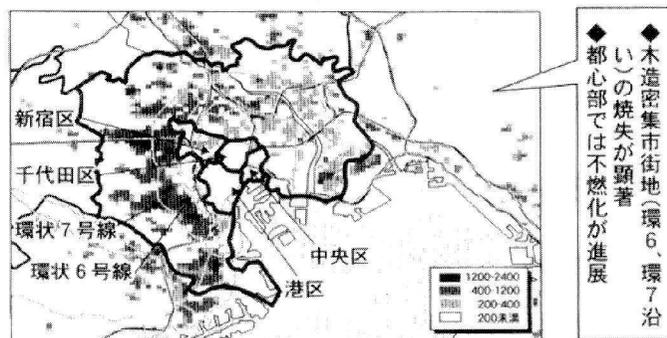


図4 焼失棟数の分布(都心部)(冬18時、風速15mケース)
(内閣府防災担当作成)

が発生し、消化活動が著しい支障を受ける。

そのため、全出火数約2,500件に及び、環状6号～7号線間周辺、東京東部の荒川流域などの不燃領域率が小さい老朽木造密集市街地を中心に大規模延焼被害が発生し、これによる約65万棟の焼失、死者約6,200人の被害が出ると予想される。火災による死者の13%は家屋内閉じ込めによる救出困難者で、延焼拡大による逃げ惑いによる死者が約8割と推定される。風速15m/秒以上の際には、消火力により延焼拡大を防止することは困難である。

5) 首都直下地震対策大綱の概要

2005年7月に発表された「首都直下地震対策専門調査会」報告を受けて、9月に防災対策の基本方針を示す「首都直下地震対策大綱」が中央防災会議で策定された。この「大綱」は、北アメリカプレートとフィリピン海プレートの境界で発生するM7.3の「東京湾北部地震」に対する対策を中心とする。また、「大綱」はこれから策定される「地震防災戦略」、「首都直下地震応急対応」、「地震時経済対策要領」等とセットとして政府による防災対策が示される。

「大綱」は3章から成り立ち概ね次のような内容である。第1章は、「首都中枢機能の継続的確保」、つまり地震時に国家の存亡に関わる政治・行政・経済の中枢機能をライフライン・インフラとともに確保することである。政治中枢は国会、行政中枢は中央省庁、経済中枢は日銀本店・都市銀行本店・銀行協会を指す。第2章は、「膨大な被害への対応」である。その柱は、第一に、予防対策として建築物の耐震化、火災対策、ライフライン・インフラの確保を計画的かつ早急に行うことである。第2に、阪神・淡路大震災に比べて桁違いに膨大な避難者、帰宅困難者への対応である。避難者対策としては、避難所の確保、空き屋利用など多様なメニューを提示する。帰宅困難者対策としては、「むやみに移動を開始しない」という原則を周知・徹底すること。各企業は、従業員の家族の安否の確認に努めるとともに、従業員を一定

期間収容する。各企業の従業員は企業自体と近隣地域社会のための救急・救援・復興活動に参加することが奨励される。さらに、地域防災力と企業防災力の向上、広域的連携による防災体制の確立、治安の維持、震災廃棄物の処理と復旧・復興対策の重要性が指摘されている。第3章は、「対策の効果的推進」である。国、地方自治体、企業、一般市民、ボランティアなど、自衛隊、消防、警察、医療機関など、その他多くの組織・機能が一体となって幅広い連携を組み、震災対策を推進する必要がある。

以上に述べた各章の事項についての具体的プランが、近く策定される「地震防災戦略」、「応急対策活動要領」および「地震時経済対策要領」に盛り込まれる。首都直下地震による被害は、国家存亡に関わるほどの、極めて膨大かつ深刻なものと予想される。そのため「大綱」では、「自助」、「共助」、「公助」を三位一体化して、社会全体で減災に総力をつくすという「国民運動の展開」を提唱している。

6) おわりに 今後の課題

今回の調査の強震動の推計にあたっては、対象とする震源に対して断層パラメータを、また対象とする地域に対して地盤モデルを設定した。さらに、予防対策用の強震動については経験的手法を、応急対策用の強震動では、経験的手法とともに統計的グリーン関数法を用いた波形計算による推計を行った。この数値波形の計算結果は、実際の地震による強震動の観測データとともに、構造物の耐震設計の研究に大きく役立つことが期待される。

長周期地震動については、その特徴を詳細に検討するために、S波主要動よりも後続部分の速度応答スペクトルの振幅分布を、都心東部直下、プレート境界の地震、神縄・国府津-松田断層の地震について求めた。堆積層の厚い地域に位置する霞ヶ関および市原においては、神縄・国府津-松田断層の地震の場合に、地盤の固有周期付近の周期では後続波の振幅がS波主要動より大きく、振

動継続時間が長いことが分かった。さらに、最近の新潟県中越地震や宮城県沖地震について見ると、首都圏の超高層ビルでは、周期数秒に及ぶ長周期地震動が3分以上も引き続くことが経験されている。大規模地震では震源域が遠方でも、周期3~10秒といった長周期地震動が盆地構造の関東平野を揺るがし、京葉コンビナートの大型原油タンク、超高層ビル、長大橋梁等の構造物に想定外の被害を生む可能性は否定しがたい。これら長周期地震動による被害についての検討は、今後の重要課題である。

去る7月23日午後4時35分、千葉県北西部を震源とするM6.0の地震があり、東京都足立区で震度5強、千葉県浦安市、埼玉県草加市、横浜市神奈川区などで震度5弱を観測した。首都圏1都3県で負傷者27人、東海道新幹線のほか首都圏のJR、地下鉄各線で運転見合わせが相次いだ。エレベータに人が閉じ込められるケースが40件を越えた。港区の六本木ヒルズ森タワーでは69台の全エレベータが緊急停止し、52階の展望台へ向かう高層用エレベータの乗客37人が5~30分間閉じ込められた。今回の地震と同規模、同じメカニズムの地震がほぼ同地点で1980年9月25日に発生した。この地震では、死者2人、負傷者73人、家屋の損壊、高速道路の損傷、ガス漏れ、停電、通勤電車約800本の遅れなどが出た。しかし、エレベータによる閉じ込めはごく限られていた。

首都圏の都市構造や生活様式は急速に変貌し、新たな地震災害の芽が生まれつつある。湾岸の埋立地の超高層集合住宅群もその一つである。また、地上の建造物・施設・諸機能と密接にリンクした地下空間の諸施設は、時とともに巨大化、複雑化しつつある。この地上と地下の結合を立体的に捉えた被害想定は今後の課題である。一般的に、被害想定の主な視点は、人口密度が高く都市機能が集中する都心部に向けられる。しかし、都心周辺に広がる多摩丘陵や狭山丘陵などは、広大な起伏地形を大規模に造成した住宅地域である。これらの造成地の盛り土部分の地盤災害の可能性について、念入りの点検が必要であろう。

定量的な被害想定は、過去の地震災害の事例に基づいている。首都直下地震で想定される被害の中には、比較すべき過去の事例がなく、単に定性的な評価・記載に留めるか、評価の対象外に置かれるものが多い。被害の過少評価を避けるために、地震の規模を蓋然性の範囲の上限に設定するなどの工夫が行われているものの、「想定」と「現実」との差異はさけ難い。

政府による今回の「被害想定」と「大綱」を受けて、東京都はより詳細な被害想定を区市町村別の視点で行う方針のようだ。首都直下地震については、その地震像がある程度見えてきたとはいえ、まだ分からない部分も多い。関東地震からすでに80年以上が経過した現在、いつ首都直下地震に見舞われても不思議ではない。今回の被害想定は鶴呑みにするべきものではなく、地方自治体、企業およびわれわれ一般市民が、自らの安全確保に役立つ防災対策を立てるための「ベース」あるいは「ツール」として活用すべきものであろう。

参考資料

- 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会資料(2004):内閣府作成, 2004年11月
- 首都直下地震対策大綱(2005):中央防災会議, 2005年9月27日
- 防災白書(平成17年度版)(2005):内閣府編, 2005年6月
- 1855年安政江戸地震報告書(2004):中央防災会議・災害教訓の継承に関する専門調査会, 2004年3月

溝上 恵

[みぞうえ めぐみ]

現職 東京大学名誉教授
理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、同大学院理学系研究科修了、東京大学地震研究所助手、助教授、教授を経て現職

研究分野 地震学



活断層研究の成果を 次の地震危険度予測へ生かすための課題

隈元 崇

1. はじめに

地震危険度評価とは、活断層データや地震活動データ、また地殻構造データなどを用いて、将来の地震の発生時期や規模、地震発生時の地震動などを統計的手法やシミュレーションにより明らかとすることである。その成果を表現する形式の一つである地震動予測地図は、地震被害のリスク評価やそれを軽減するための防災・減災対策に生かされることになる。

このような評価には、将来発生する地震について、(1)発生場所の推定、(2)規模の推定、(3)発生確率の計算、(4)地震動の評価、という4つの重要なテーマが関連する。日本では、兵庫県南部地震の発生から10年を経るこの間、さまざまなデータの蓄積やモデルの提示がなされてきており、確率論的地震動予測地図や、より地震工学的な見地から特定の活断層や地震発生域を対象とした強震動の計算と評価が行われている。その代表的な成果としては、文部科学省・地震調査研究推進本部(以下、推本)によりまとめられた「全国を概観した地震動予測地図」報告書(<http://www.jishin.go.jp/main/>)の中で、地震発生の長期的な確率評価と強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対して想定されたシナリオによる詳細な強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の2種類の地震動予測地図が挙げられる。これらは、地震ハザードの共通情報基盤として、防災科学技術研究所により「地震ハザードステーション J-SHIS」としてインターネットを通じた公開が行われてい

る(<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>)。

この中で、内陸活断層を震源断層とする直下型地震については、地震動予測地図を精度良いものとするために、変動地形学の知見を用いた1/25,000縮尺の詳細な活断層データベースの作成(例えば、中田・今泉編, 2002)、地震発生の規則性に関する検討を行うために必要となる古地震データの収集(例えば、産総研・活断層研究センターの「活断層データベース」<http://www.aist.go.jp/RIODB/activefault/>)、また、推本の主要98活断層帯の長期評価結果である「基盤的調査観測対象活断層の評価手法—これまでの長期評価手法のとりまとめ—」(<http://www.jishin.go.jp/main/>)など、データの取得と公開が行われてきた。

一方で、この10年間に日本の主要98断層帯の長期評価は一巡したことを踏まえて、今後は「地震動予測地図の高度化」という目的をより明確にした精度の高い活断層データの収集とあわせて、評価手法を再検討することも視野に入れた議論が始まっている。そうした場での検討課題としては、(1)活断層の位置や形状と地震発生の繰り返しに関するデータの高度化、(2)活断層帯から発生する地震の規模予測の高度化、(3)規模予測に関連して頻度分布まで考慮した活断層帯のグループ化・セグメント化の検討、(4)活断層の変位量分布をより詳細に把握した強震動予測のための新たな基礎データ作成、さらに、(5)観測地震データや測地データと活断層データを融合させて地域性を考慮した地震危険度評価手法の確立、といったことが挙げられる。

こうした新しい取り組みの中でも、活断層研究

の成果は1次データとして重要な位置付けにあると考えられる。一方で、活断層の認定基準となる変動地形の写真判読や過去の地震活動履歴をトレンチ掘削調査から読み取る過程においては、経験に裏打ちされた職人技的な“判断”が必要な場合があり、その成果の表現も断定と推測が混在する独特なものになることも少なくない。しかし、これは、確率論的地震動予測地図や震源断層を特定した地震動予測地図の高度化において必要となる数値化されたパラメータを活断層研究が提供できないことを意味するものではない。そこで、本稿は、次の地震危険度予測へ生かすために今後の活断層評価で取り扱われるべき課題についての事例を紹介することを目的とする。

2. 地震発生の繰り返しに関する 活断層データの高度化

日本で行われた活断層の古地震調査結果から明らかとなった最近数千年間の活断層の活動をみると、統計的に意味のある平均活動間隔が見られる。例えば、図1は、隈元(1998)に示された活断層トレンチ掘削調査結果から得られた活動間隔と平均活動間隔の比の分布を示している。もし地震が完全に周期的に起こるのであれば、この値は1.0のところに集中することになるが、実際には0.28から1.93の間にくら幅を持って分布している。しかし、分布には山が見られ、決して一様分布ではない。これは、地震の弾性反発説は1次近似として成立しており、その中で地震の繰り返しは完全に周期的ではないにしろランダムでもなく、統計的に意味のある平均活動間隔とそのばらつきをもっていることを意味する。この考えによれば、活断層から発生する地震の繰り返しの規則性を、確率過程の中で地震の発生間隔が互いに独立で同一の分布に従うとする更新過程に適用することで、将来の地震発生時期を確率論的に評価することができる。

そのような確率論的評価の一例として、「長期的な地震発生確率の評価手法について」(推本, 2001)では、統計モデルと日本の古地震データを

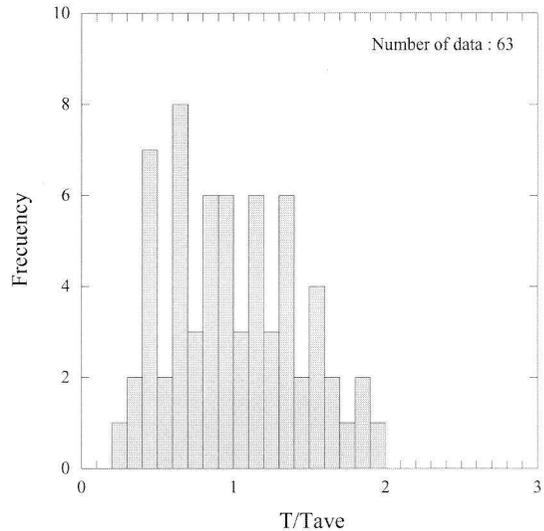


図1 トレンチ掘削調査結果から得られた活動間隔と平均活動間隔の比の分布(隈元, 1998)

用いた地震発生の長期評価を体系化している。統計モデルには、平均活動間隔だけがパラメータであるポアソン過程と、平均活動間隔に加えて最新活動時期からの経過時間が必要な更新過程モデルとして、対数正規分布、ガンマ分布、ワイブル分布、二重指数分布、Brownian Passage Time (BPT) 分布が比較された。その中で、物理的な意味付け、安定性、分かりやすいパラメータ、といった観点から、現時点ではBrownian Passage Time (BPT) モデルが最も適しているとされた。

このBPTモデルのパラメータのひとつである地震の発生間隔の相対的ばらつきについて、Ellsworth *et al.* (1999) は世界の37の地震データからBPTモデルのばらつきの暫定値として0.5を見積もっている。日本では、推本の報告書の中で、4つの活断層(5回の活動履歴の跡津川断層、6回の活動履歴の阿寺断層と丹那断層、9回の活動履歴の長野盆地西縁断層、ただし長野盆地西縁断層はボーリング調査)から、共通の値として0.24を得ている。また、この値はAICを用いた比較により、個々の活断層に固有の値を用いた場合よりも当てはまりが有意に良いとされた。しかし、全ての陸域の活断層にこの共通の値を用いることができるかは定かではなく、データの蓄積と検討の継続

が将来の課題とされた。この課題について、Kumamoto and Hamada (2005) は、1995 年から 2003 年度までに発行された次に挙げる活断層調査報告書を整理して 178 の活断層トレンチデータベースを作成し BPT 分布のばらつきのパラメータ評価を行った。

その作業の中では、BPT モデルのパラメータを算出するために、活断層トレンチデータベースで暦年校正した古地震の履歴が 3 回以上得られているものを抽出した。その際、個々のイベント年代が、「地震は〇〇年以降に起こったと考えられる」、または、「〇〇年以前に発生した」というような不明確な表現に拠っている場合にはイベントとして採用していない。これに、隈元 (1998) によって既にまとめられている 1995 年以前のトレンチ調査結果を加えて、BPT 分布のばらつき (α) を最尤法を用いて求めたところ、その分布は図 2 のように 0.07 から 0.80 に広く分布した。また、推本 (2001) に従って共通のばらつきを計算すると 0.49 となった。次に、断層固有のばらつきと共通のばらつきのどちらがモデルを良く説明するかについて、推本 (2001) と同様に AIC を用いて比較すると、断層固有のばらつきを用いる場合の AIC 値の合計は 1119.80、一方、共通のばらつきでの AIC 値の合計は 1118.47 となり、有意とはいえなまでも地震発生確率の計算には共通のばらつきを用いる方が良いという結果となった。

この共通のばらつきの値 0.49 は、推本 (2001) で得られた 0.24 に比べると 2 倍以上大きい。その理由としては、推本が共通の値を算出するのに用いた 4 つの活断層はどれも活動度が高いことが考えられる。活動度の高い活断層は断層面が発達して固有地震に近い活動をするという“Fault evolution”の考え (Wesnousky, 1988) に基づけば、推本 (2001) が用いた 4 つの活断層から求めたばらつきの値が小さいことは理解できる。それに比べて、Kumamoto and Hamada (2005) の古地震データは長さや活動度の異なる活断層のデータに基づくので、ばらつきも大きくなったと考えられる。このことは、全国を概観する確率論的地震動予測地図の作成に当たって、1 つの共通の値で全

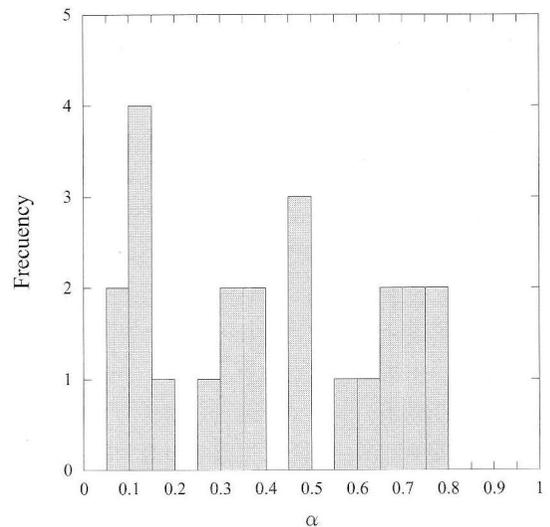


図 2 22 の古地震データによる BPT モデルのばらつきのパラメータの分布 (Kumamoto and Hamada, 2005)

ての活断層の地震発生確率評価を行うことの妥当性の問題を再提起する。一方で、BPT 分布のばらつきと活断層の長さ、活断層のずれのタイプ、活断層の活動度、トレンチ調査結果より得られた平均活動間隔、トレンチ調査地点のセグメント中心からの距離などとの相関にはいずれも明瞭な関係はみられていない (Kumamoto and Hamada, 2005)。ただし、活動間隔のばらつきと、対象活断層の周囲 30 km 以内の活断層数との関係には弱いながら正の相関が見られている。これは、活断層は周囲の地震活動による擾乱を受けてその活動間隔と地震発生確率が変化するという考えの定性的な表れと考えられる。

確率論的地震動予測地図の中で、地震の繰り返しを更新過程でモデル化する際のパラメータは最も基本的なものであるが、現状では、上に述べたようにまだまだ十分なデータ取得も検討も行われたとは言い難い。一般に、1000 年以上の活動間隔をもつと考えられる日本の内陸活断層で、過去の複数の活動履歴を知るための調査の手法として確実なものは変動地形に基づいて選定した地点で活断層を露出させて直接確認するトレンチ掘削調査であり、活断層の諸特性とばらつきの値の関係を

論じるために今後もより詳細な古地震データを蓄積する必要がある。これまで多数の調査が行われていても最新活動時期が不明な活断層や、過去の活動履歴が1~2回しか判明していないために個別のばらつきの値を得ることができない活断層は再調査の必要がある。また、複数の活動履歴が得られたトレンチ掘削調査結果は、そのほとんどが中部地方に位置する横ずれ活断層のものであり、逆断層の発達する東北日本などもあわせて地域性を論じることはできていない。

日本の活断層のトレンチ調査結果は、プレート内地震に関するデータとしてはその量・質ともに世界でも有数のものであるが、まだ十分ではない。しかし、現在のところ、1000年以上の活動間隔をもつと考えられる日本の内陸活断層の活動履歴を考慮した危険度評価は、これを解析することでしかできないことも事実であり、今後もトレンチ掘削調査に期待されることは大きい。

3. 活断層から発生する地震の規模と頻度予測

将来の地震の発生時期や発生確率の評価と並んで地震危険度評価のために活断層研究の成果に求められている重要な課題は、地震の規模の高精度の予測と、さらに、1つの(長大な)活断層帯について地震繰り返しサイクルの中での規模別頻度分布を明らかとすることである。これらをモデル化することは、活断層のグループ化・セグメント化と言われる作業と関係が深い。活断層のグループ化とは、地図上に示された活断層線から地震を起こす単位をまとめる作業である。過去の地震をみるとおおむね5kmを超えて分布する活断層は同時に活動しないという経験的事実より、日本の活断層については、約2000の活断層線分が松田(1990)や松田ほか(2000)により約300の起震断層帯にまとめられている。推本が長期評価した日本の主要98断層帯も、これらの起震断層帯の中から長さや都市部への近接の程度などを考慮して調査対象に選定されたものである。このとき、起震断層帯の全長の長さや過去の地震データを基にした回帰式から推定される地震規模は、その起震

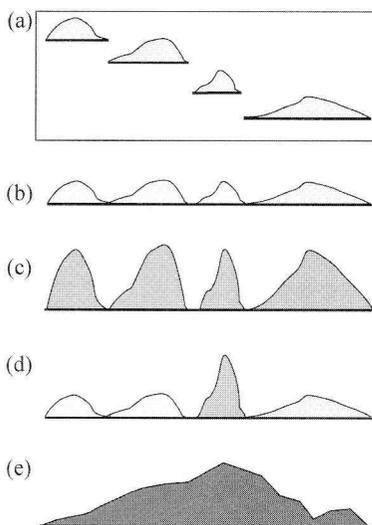


図3 活断層のグループ化・セグメント化および地震のスケールに関する概念図

断層帯から将来起こりうる最大規模の地震を推定したことを意味する。

一方、1つの起震断層帯で行われた複数のトレンチ掘削調査を比較すると、起震断層帯はその全長が常に同時に破壊を起こしているわけではなく、むしろセグメント化して区間ごとに分かれてやや規模の小さな地震を発生している例も多い(隈元, 1998)。これをより具体的に述べるならば、例えば図3に示すように80kmの起震断層帯が長さ20kmの4つのセグメントに分割可能なとき、地震の繰り返しサイクルの中で地震危険度評価にM8程度の地震を1つだけ想定するのか、それともM7程度の地震を4つ想定するのかということは、地震動予測地図に重要になる。このとき、個々のセグメントから発生する地震の規模は、経験的な地震のスケール則の適用範囲であるので推測可能である(図3(a))。しかし、連動するときの地震の規模は、純粋なカスケードモデルを適用してセグメントごとの地震モーメントの単純和をとる考え(図3(b))と、連動地震にまで地震のスケール則を適用して大きな地震モーメントを与える考え(図3(c))の間では規模予測に小さくない違いが生じる。内陸地震のための「強震動予測レシピ」(Irikura, 2002)では、大

地震の合成に地震のスケーリング則が適用されているので、活断層のグループ化・セグメント化の中でも後者の考え方と整合は良いが、その場合でも、大きな地震の変位量分布はセグメント固有の地震と相似になるという考え(図3(c))もあれば、連動地震の際はセグメント固有の地震とは様相が異なるという考えも否定されたわけではない(図3(d))。

日本の歴史地震の実例としては1891年濃尾地震が挙げられる。この地震では、温見・根尾谷・梅原の3つのセグメントが連動して合計80kmの破壊長をもつM8の地震が発生したが、それらの古地震調査結果によると、これら3つのセグメントが常に連動しているわけではない。このとき、根尾谷セグメントの中地区で記録された最大6m以上に及ぶ左横ずれ変位は、連動した80kmに対応するのか、それとも根尾谷セグメントの35kmの長さに対応すると考えるべきかということが、活断層データを基にした地震のスケーリング則で重要な課題である。さらに、発展的なモデルとして、起震断層帯の中にマスタセグメントと呼ばれる大きな変位量をもつセグメントがあり、そこが破壊するとき連動型地震が発生するという考えもある(図3(e))。

このように、活断層のグループ化・セグメント化と将来の地震の規模予測は、巨視的パラメータとして「確率論的地震動予測地図」と「震源断層を特定した地震動予測地図」の双方へ大きな影響を与える。それにもかかわらず、現状の地震危険度評価では、活断層の長さから経験式でマグニチュードを求める長期評価と、活断層の傾斜と地震発生層の厚さをデータに加えて断層面積をまず算出し、次に地震モーメントとの経験式から地震規模を求める強震動評価のように、データも手法も統一が図られていない。

活断層はその繰り返し間隔が1000年以上に及ぶため、内陸地震の規模の予測に用いられてきた回帰式の中に同じ起震断層帯から発生した地震は含まれていない。そのため、活断層のグループ化・セグメント化を考慮した地震のスケーリング則はまだ良くわかっていないといえる。引用され

ることの多いサンアンドレアス断層や北アナトリア断層のような、プレート境界に位置し歴史地震の破壊領域の外側へ活断層が連続するような断層と、日本の内陸活断層のように両終端が存在する場合とでは拘束条件が異なることも考えられる。

この課題の解決も、やはり、変動地形調査とトレンチ掘削調査に基づいた活断層調査結果に頼らざるを得ない。このとき、規模の予測には、議論の多い活断層の長さだけでなく、トレンチ掘削調査地点で観察される単位変位量や活断層沿いの変動地形から推定される平均変位速度などのデータをより積極的に利用することが重要と考える。ただし、日本の活断層では変動地形が湿潤多雨な環境下で残りにくく、人為的な改変も多い。そのため、活断層に沿って同時代の地形面の変位を連続的に計測することが難しい。これを克服するためには、トレンチ掘削とジオスライサ(中田・島崎, 1997)を併用して、逆断層などでより深い地層の変形を明らかとするなどして、これまで得ることの難しかったデータを新たに取得する努力が必要である。トレンチ掘削調査の規模は比較的大きなものになるであろうが、地震動予測地図の高度化のためにはぜひとも必要な作業であり、地道な野外調査データの蓄積が急務である。

4. 強震動予測のための破壊開始地点とアスペリティの推定

「強震動予測のレシピ」(Irikura, 2002)に代表される強震動予測手法の中で、活断層研究の成果は、巨視的パラメータとして将来の大地震が発生する場所の特定と地震の規模の予測に加えて、詳細な波形予測に大きな影響をもつ破壊開始地点・破壊伝播方向の推定とアスペリティの位置の推定に貢献できると考える。このためには、強震動予測に必要な手順と精度を理解し、それに見合った精度の活断層データベースの作成や新しいモデルの構築が必要である。

前者について、従来利用されることの多かった縮尺20万分の1の「新編日本の活断層」(活断層研究会, 1991)よりも大縮尺の活断層カタログを

形態単位モデル

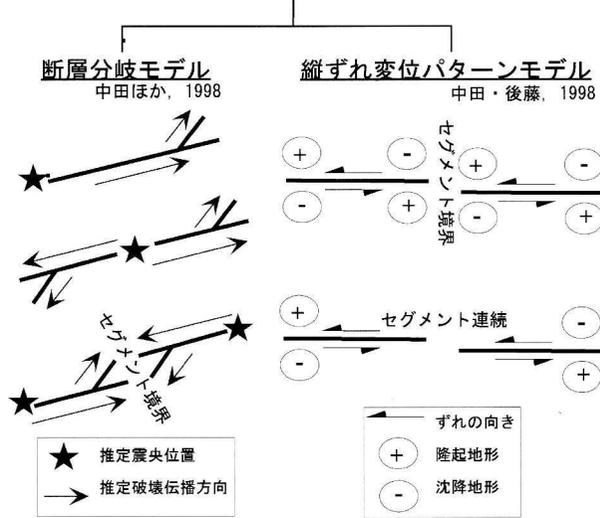


図 4 活断層と変動地形の幾何形態を条件とする「形態単位モデル」

整備する作業が行われ、日本全国を網羅したデータベースとして縮尺2万5千分の1「活断層詳細デジタルマップ」(中田・今泉編, 2002)が刊行されたことで、活断層の位置や地表形態がこれまでにない精度で議論可能となっている。

この高精度活断層データベースを用いて、活断層の地表での分岐形態に着目した「活断層分岐モデル」(中田ほか, 1998a, 1998b)や断層終端部の「縦ずれ変位パターンモデル」(中田・後藤, 1998)を包括的に検討し、活断層の幾何形態を震源断層のモデル化の第一条件とする考えが「形態単位モデル」(中田ほか, 2004; 図4)である。この中で、「活断層分岐モデル」は、破壊進展エネルギーの効率的な散逸過程を地表の活断層の分岐形態と関連付けることで、活断層の地表でのV字やY字といった分岐形態から逆に破壊開始地点や破壊伝播方向を推定するという考えである。これに加えて、横ずれ断層末端の隆起・沈降の変位パターンと歴史地震で観測された変位地形やより大きなスケールの地形が良く適合することもあわせて、変動地形と活断層の幾何形態に基づくモデルを今後さらに強震動予測で生かすための検討が重要である。その際、「活断層詳細デジタルマップ」は、最近10万年間程度の地形に変位が残る変動地形を

読み取ったものであり、「新編日本の活断層」とは定義が異なることに留意する必要がある。このことは、地震動予測地図を作成する場合には、活断層の定義と地図の目的が合致するように、活断層の認定の作業が新たに必要になる場合もあることを意味する。これは、同時に、活断層から発生する震源を特定できる地震と、地表地震断層を伴わない震源を特定できない地震を実態に即して区別して地震動予測地図に取り入れる一助となるはずである。

地震の強震動予測のための活断層のモデル化には、このほかにも、断層面において地震時の変位量が他の個所よりも大きい部分をアスペリティと考え、その位置や変位量を推定することが求められている。これまで同じ領域に発生した海溝型地震については、地震波形の解析からアスペリティの位置が重なっていると考えられている(永井ほか, 2001)ことの類推から、活断層でも類似の考えが適用できる可能性が高い。ただし、湿潤多雨の日本では単位変位量のデータ取得は難しいので、代替として、時代の異なる地形面の断層変位量をその地形面の年代で除した変位速度の分布を求めて比較することが考えられる。この分布は、「活断層の平均活動間隔はほぼ一定であり、地震

ごとの変位量分布のパターンも同じである」という“characteristic earthquake model” (Schwartz and Coppersmith, 1984) の考えが日本の活断層にも成り立つと仮定すれば、地震時の変位量の分布と相似になるはずである。実際、1891年濃尾地震の際の変位量分布と「活断層詳細デジタルマップ」の河川屈曲量から求めた変位速度分布に充当すると考えられる分布を比較すると、中部の根尾谷断層の変位量が北部の温見断層や南部の梅原断層よりも大きいというパターンが共通している。また、1896年の陸羽地震についても、変位量分布と平均変位速度分布に相似の関係が見られる。

こうしたデータを面的に多数取得するためには、現地調査に加えて、デジタル写真測量や航空機 Lidar による地表面計測など新しい手法も積極的に取り入れるべきである。文部科学省による地殻活動モニタリングの基盤的調査観測の中で、糸魚川・静岡構造線重点調査のパイロット的な重点的調査観測でもこの計測手法の検討が行われている。このような新たなデータを取得することで、活断層に沿う変位量分布の形状や個数についての議論 (杉山ほか, 2002) が深まると考えられる。さらに、地表で変位量の大きな区間は地下の断層面上でも変位量が大きいことを示す帰納的なデータだけでなく演繹的なモデルも必要となるが、この点については活断層の深部構造のイメージが重要であり、反射法や屈折法などの地震探査の成果が重要である。

5. まとめ —ロジックツリーに組み込む活断層地震発生モデルの構築へ向けて—

内陸直下型地震の地震動予測地図の高度化を考えると、ここまで述べたように、活断層のモデル化も、そのための野外調査データもまだまだ不足しているのが現実である。例えば「活断層分岐モデル」についても、活断層分布や地震時の地変分布にはさまざまな空間スケールで分岐形態が見られ、このモデルを適用するには任意性が大きい。この問題点については「活断層分岐モデル」の提唱にあたって十分考察されていない。「強震

動予測レシピ」の中で「活断層分岐モデル」が広く利用されるためには、客観性・再現性が不可欠である。このように、推本により主要 98 断層帯の長期評価が行われたとはいえ、将来活断層から発生する地震動の予測という目的には、今後もデータ取得やモデル化の作業が必要である。

その際には、活断層研究は正解をひとつだけ提示するということを求められているのではなく、複数のモデルを確率的に取り扱う手法である地震発生モデルのロジックツリーに意味のある選択肢と重みを与えることが求められているということを理解することも必要であろう。そもそも、活断層はそのテクトニクスや発達過程の違いにより単一のモデルでは表現できない可能性が高い。だとすれば、少なくとも現段階の活断層は、recipe の中で一義な正解手順を与えるものではなく、むしろ必要性や影響度をもとに選択される flavor として考慮するのが妥当であろう。

近年日本で発生した M7 クラスの内陸直下型地震である兵庫県南部地震や鳥取県西部地震、新潟県中越地震が活断層の典型的な活動形態とはいえないことや、地震発生モデルの相違により規模と頻度の予測にも大きな幅があることが、地震危険度評価の中で活断層の相対的地位を下げることがないように、活断層研究の応用面も含めた議論を進める必要がある。そのためには、確率論的地震動予測値図や強震動評価で作業を協力する関連分野の研究者との意見の交換が重要であり、本稿を含めそのような機会を増やしていきたい。

参考文献

- Ellsworth L.W., Matthews, M.V., Nadeau, R.M., Nishenko, S.P., Reasenber, P.A., and Simpson, R.W., 1999, A physical-based earthquake recurrence model for estimation of long-term earthquake probabilities, Proceedins of the 2nd joint meeting of the UJNR panel on earthquake research, 129-134.
- Irikura, K., 2002, Recipe for estimating strong ground motions from active fault earthquakes. Fujinawa Y. and Yoshida A. (ed.): *Convergent Plate Boundary (TERRAPUB)*, 45-55.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001, 長期的な地震発生確率の評価手法について, 46 pp.

活断層研究会, 1991, 『新編日本の活断層—分布図と資料—』, 東京大学出版会.

隈元 崇, 1998, 活断層のトレンチ調査結果を用いて推定した日本の内陸地震の長期危険度評価, 地震2, 50 (別冊), 53-71.

Kumamoto, T. and Hamada, Y., 2005, Examination of aperiodicity parameters for the Brownian Passage Time model using intraplate paleoearthquake data in Japan, Active Fault Research, 25, 9-22.

永井理子・菊地正幸・山中佳子, 2001, 三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究—1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の比較—, 地震2, 54, 267-280.

中田 高・今泉俊文編, 2002, 『活断層詳細デジタルマップ』, 東京大学出版会.

中田 高・隈元 崇・熊原康博・山中佳子, 2004, 「形態単位モデル」による一括活動型活断層の設定と起震断層帯の再検討, 活断層研究, 24, 39-48.

中田 高・後藤秀昭, 1998, 活断層はどこまで割れるのか?—横ずれ断層の分岐形態と縦ずれ分布に着目したセグメント区分モデル—, 活断層研究, 17, 43-53.

中田 高・島崎邦彦・鈴木康弘・佐藤比呂志・隈元 崇, 1998a, 活断層研究にもとづく大地震発生モデル, 月間地球, 号外20, 136-141.

中田 高・島崎邦彦・鈴木康弘・佃 栄吉, 1998b, 活断層はどこから割れ始めるのか?—活断層の分岐形態と破壊伝播方向—, 地学雑誌, 107, 512-528.

中田 高・島崎邦彦 (1997) 活断層研究のための地層抜

き取り装置 (Geo-slicer). 地学雑誌, 106, 59-69.

松田時彦, 1990, 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, 65, 289-319.

松田時彦・塚崎朋美・萩谷まり, 2000, 日本陸域の主な起震断層と地震の表一断層と地震の地方別分布関係一, 活断層研究, 19, 33-54.

Schwartz, D.P. and Coppersmith, K.J., 1984, Fault behavior and characteristic earthquake: examples from the Wasatch and San Andreas fault zone, J. Geophys. Res., 89, 5681-5698.

杉山雄一・関口春子・栗田泰夫, 2002, 活断層情報と不均質震源特性との関係, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究第1回シンポジウム論文集, 37-42.

Wesnowsky, S.G., 1988, Seismological and structural evolution of strike-slip faults, Nature, 335, 340-343.

隈本 崇

[くまもと たかし]

現職 岡山大学理学部地球科学科助教授
理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科地理学専攻博士課程中途退学, ネバダ州立大学リノ校地球物理学専攻博士課程中途退学, 東京都立大学理学部助手を経て現職

研究分野 サイスマテクトニクス

著書 『地理情報入門』(共著, 東京大学出版会)



やはり怖い液状化

液状化は人命に優しい災害と言われる。確かに、液状化によって建物が沈下・傾斜しても建物自体が全壊することはないので、中にいる人が大けがをすることはない。この意味で液状化に起因した死者の数はこれまで少なかった。

ところが、きわどいことも実際には起きてきている。例えば、1964年新潟地震の際に昭和大桥の上には作業中の人と車がいた。地震だと気づいて逃げ終わった後、橋桁が落ちたとのことである。この間1分余りかかったのが幸いした。

液状化によって構造物は沈下、傾斜、浮上りなど大きく変形する。このことが2次災害をもたらし、ひいては人命に影響する可能性がある。特に種々の構造物が混在する都市部ではその危険性は大きいと考えられる。危惧されるこのような液状化に伴う2次災害を挙げてみると以下のようなものがある。

浸水による被害

東京や大阪などでは地下水の汲み上げによる地盤沈下によってゼロメートル地帯となった地区が広く分布する。写真1に例を示すようにこのような地区は護岸や堤防で浸水から守られている。当然、液状化し易い緩い砂層が存在する



写真1 東京のゼロメートル地帯

所も多く、液状化により護岸・堤防・水門などが変形すると浸水する危険性を有している。これらの施設は耐震化が進められてきているが、まだまだ古いまま残っている所もあり、また、耐震化した所でもレベル2地震動に耐えうるかどうかあまり明らかになっていない。

もし、ゼロメートル地帯に浸水したらどうなるか？ 東京のゼロメートル地帯ではTP-3.6m程度と海面より大変低い地区もある。地下室などに水が流れ込むと人命に影響するであろう。

火災や有毒ガスの漏洩

兵庫県南部地震の際、神戸の高圧ガス施設でガスタンクから漏洩が生じ、地震発生の6日後まで付近の住民の方が避難する事故が発生した。この原因は高圧ガスタンクから取り出している配管を支えている架台の基礎地盤が液状化し、架台が沈下したためであった。

コンビナートは埋立地に造られていることが



写真2 液状化により崩壊した五明光橋取付け盛土

多い。埋立地は当然液状化し易い。タンク等の施設は約30年前から液状化対策がとられるようになってきてはいるが、まだ液状化対策がとられていない施設が多く存在する。また、海岸に立地している場合、液状化に伴う地盤の流動も生じて甚大な被害が発生するが、このことは兵庫県南部地震以降やっと設計基準に採り入れられるようになってきたばかりである。従って、現状のコンビナートでは、液状化によりタンクや配管が変形し、漏洩や火災を生じる危険性が高いと考えておいた方が良くであろう。

交通障害

液状化による構造物の変状は様々な交通傷害を発生させる。道路や鉄道盛土においてその下の地盤が液状化すると盛土は大きく沈下・流出する。写真2は1983年日本海中部地震の際の五明光橋取り付け盛土の崩壊を示す。ここまで極端でなくても数10cmの沈下はよく生じる。橋の取り付け部でこのように大きな段差ができると車両が通行出来にくくなる。

一方、2004年新潟県中越地震では下水道のマンホールが約1,400箇所で浮き上がった。そして道路面に突出したマンホールに乗用車が衝突し大破する被害も発生した。最大の浮上り量は約1.5mであった。このようにマンホールが浮き上がった原因は、施工時に埋め戻した土が液状化したためである。そして、調べてみるとどうやら周囲の地盤は本来液状化しない粘性土地盤で浮上り被害が多かった。ということは、現在各自自治体などで作成されている液状化危険度地図で液状化しないことになっている地区でも、このように埋戻し土の液状化による被害が発生することになる。このことは今まで考慮されていない。

ともあれ、マンホールが路面から突出したり、橋の取り付け盛土が沈下すると緊急車両が通れなくなり、救助できるはずの人命にも大きく影響するであろう。

(安田 進：東京電機大学理工学部
建設環境工学科)

最近の自然災害の傾向

—気象災害と地震災害の比較—

地球温暖化の影響でグローバルに気象災害が急増していると言われる。また地震災害も増加傾向にあるように見える。果たして事実であろうか。ここでは災害の大きさを示すインディケータとして死者数を過去約100年間にわたって調べてみることにする。

小見波(1992)は1940~1991年に世界および日本国内に発生した自然災害を年表の形にまとめた。最近この年表を1901~2004年に拡充した(小見波, 2005; 私信)。このデータを図化して過去約100年間の災害の傾向を検討する。

図1(上図)は世界の気象災害(死者100人以上)の度数, (下図)は各年の最大災害の死者数を示す(各年の総死者数ではない)。原年表では気象災害の他に雪氷災害, 風害を別表としているが, ここではこれらの災害を一括して気象災害とする。

図を見ると, 明らかに1960年頃より災害件数および死者数ともに急激な増加を示している。世界的な人口増加, 地球温暖化の促進, インフラ整備に伴う危険個所への住居進出等が原因と考えられる。第2次世界戦争以前と直後の期間における災害データの採り方にも問題があるのかも知れない。

一方, 図2(上図)は世界の地震・火山災害(死者100人以上)の度数, (下図)は各年の最大災害の死者数である。気象災害に比較して, 災害の発生が平均的に分布しており, 1960年以降の急激な増加は見られない。世界人口の増加, 危険個所への住居進出等の影響はあったとしても, 気象災害ほど顕著に現れないらしい。

図1(下図)と図2(下図)を比較してみると, 1960年以前には地震・火山災害の死者数が気象災害のそれより断然多い。これに対して1960年以降は両者の差が殆どなくなったことが知れる。しかし地震・火山災害の方が災害度数が少ないことから, 一回あたりの死者数は気象災害に比べて多いと言える。

図2(下図)において死者数の推移に周期性ら

しいものが見られる。これはKanamori(1978)が世界の地震死者数について指摘した現象であり, 後に茂木(1982)が人口稠密な中緯度地方において地震活動が活発な時期を反映すると説明した現象である。しかし指摘された当時のデータからは周期性が明瞭に読み取れたが, 今回の新しいデータでは1960年頃の極小期は残るものの, 周期性は明瞭とは言えない。

次に日本国内で発生した災害にのみ注目してみる。図3(上図)は死者10人以上の気象災害(雪氷災害・風害を含む)の度数, (下図)は各年の最大災害の死者数である。ともに1950年頃にピークがあり, その後次第に減少する傾向にある。その意味では最近とくに気象災害が急増したという事実はない。

しかし図3(上図)には次の重要な特徴が認められる。死者100人以上の災害は1985年以降発生していない。これに対して100人未満の災害件数は1950年代以降減少せず, むしろ増加の傾向にある。大規模災害への対策が効を奏した反面, 災害が都市部や山間部に局地化する傾向を反映しているとも考えられる。

一方, 図4(上図)と(下図)はそれぞれ死者10人以上の地震・火山災害件数と各年最大災害の死者数の推移を示す。気象災害に比べて災害件数にとくに顕著な特徴は見られない。死者数(下図)は1923年関東地震から1948年福井地震まで集中して多い時期があり, 再び1995年兵庫県南部地震を頂点とする同様な時期に差し掛かっているように見える。これは図2(下図)に示した周期性と一致している。

参考文献

- Kanamori, H. (1978), *Nature*, 271, 411-414.
小見波正隆(1992), 災害の事典(萩原幸男編), 朝倉書店, 400 pp.
茂木清夫(1982), 日本の地震予知, サイエンス社, 352 pp.

(萩原幸男・小見波正隆)

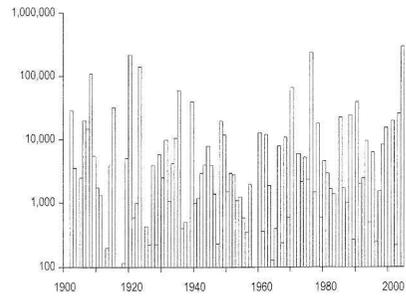
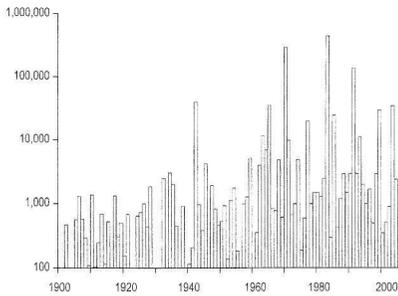
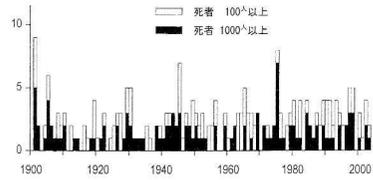
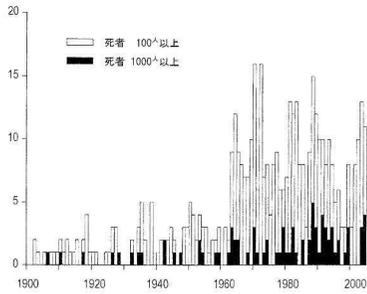


図 1 (上図) 世界の気象災害度数 (死者 100 人以上, 雪氷災害・風害を含む). (下図) 世界の気象災害死者数 (各年の最大災害の死者数).

図 2 (上図) 世界の地震・火山災害度数 (死者 100 人以上). (下図) 世界の地震・火山災害死者数 (各年の最大災害の死者数).

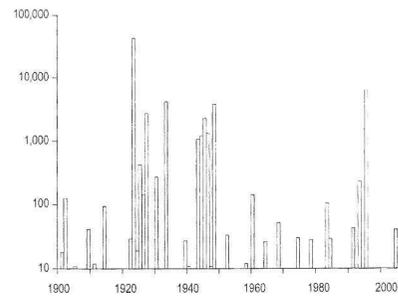
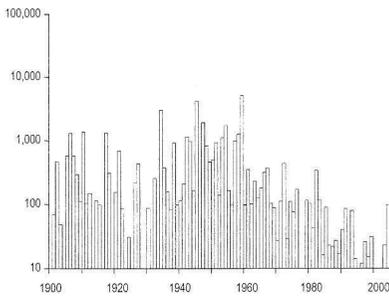
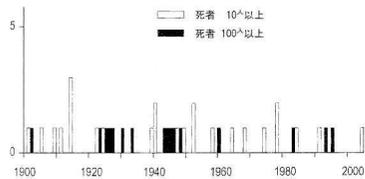
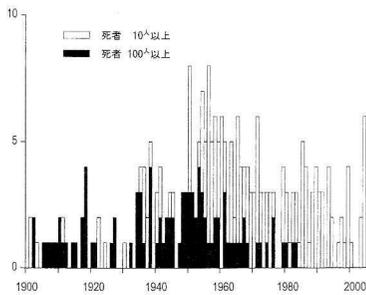


図 3 (上図) 日本国内の気象災害度数 (死者 10 人以上, 雪氷災害・風害を含む). (下図) 日本国内の気象災害死者数 (各年の最大災害の死者数).

図 4 (上図) 日本国内の地震・火山災害度数 (死者 10 人以上). (下図) 日本国内の地震・火山災害死者数 (各年の最大災害の死者数).

救急・災害医療活動支援モデルを開発

石田勝彦

1. はじめに

大事故や大災害、特に地震災害の場合は被害が広域に発生し、各自治体の地震被害予測では、多くの被災者が発生することを予測している。被害を受けた患者の救命は、何よりも大切である。早急に適切な治療が施されなくてはならない。1995年阪神・淡路大震災の医療現場は、多くの傷病者が押し寄せ、また、病院やライフラインも被害を受けていたり、医師をはじめとする人員の確保が十分でなかったりして混乱した。その状況は、石井、中山(1995)¹⁾によって、①医療機関の状況が把握出来ず、最悪の状況下で医療活動を行った、②患者搬送システムが十分に機能しなかった、③どの医師をどの病院へ派遣すればよいかの判断がつかなかった、④場当たりすぎて、適切な指示を得られなかった、などであった、と報告されている。同じ年に地下鉄サリン事件が発生し、多くの被災者が聖路加病院で治療を受けたが、この時も、阪神・淡路大震災の医療現場と同じ混乱状況を呈したことが、報告されている²⁾(奥村、1999)。

このような問題を解決する一つのソリューションとして、病院それぞれの、その時々での治療能力の下で、来院患者数や、その患者に対する治療活動の状態をリアルタイムに把握出来、さらに、その治療活動の実態に基づいた、1時間後、2時間後、1日後、等での、それぞれの病院の治療活動状態も予測出来る機能を持って、救急・災害医療活動を支援するシステムの開発と実用化が強く望まれる³⁾。

2. 病院の治療能力の現状

地震災害は、ある時突然やってくる。したがって、災害発生直後は、平常時の医療活動の体制がとられていることになる。平常時の患者への治療能力については、神戸大学医学部附属病院の5,213名の救急患者を分析して、H時間における患者収容可能数として、以下の結果が報告されている⁴⁾(高橋 晃, 川島隆久, 石井 昇, ほか, 2005)。

- 1) 血液浄化必要患者数 = 最大公約数 (医師数/2, 血液浄化回路数/1, ベッド数/1) × H/2
- 2) 外傷患者数 = 最大公約数 (医師数/2, 麻酔科医師数/1, 人工呼吸器数/1, ベッド数/1, 手術室数/1) × H/4

ちなみに、東京都北多摩南部の4指定災害拠点病院(武蔵野赤十字病院, 杏林大学医学部附属病院, 都立府中病院, 東京慈恵会医科大学附属第三病院)の、ある病院のホームページで公開されている情報⁵⁾からは、地震発生直後、幸い病院の医療機能に損傷がなかったとしても、例えば、手術を要する外傷救急患者が数名、ほぼ同時に運び込まれた場合は、その次の患者は、最初の患者の治療が済むまで、平均的に4時間ほど待っていかなくてはならないことが想像される。この能力は、4病院でいたい同様である。

一方、東京都の被害調査報告書⁶⁾による想定地震では、北多摩南部地域(狛江市, 三鷹市, 府中市, 武蔵野市)の地震時推定重傷者数は、想定地震によってその人数は異なるが、4市の推定重傷者数の合計は、区部直下の地震で559人、多摩直下の地震で311人、神奈川県直下の地震で223

人、埼玉県境直下の地震で153人となっている。北多摩南部地域の、4指定災害拠点病院だけでは、想定重傷患者数に対して、発災直後、十分な対応は難しいであろうことがわかる。患者は、時間の経過にしたがって次々と病院にやってくるわけであり、したがって、その患者への対応を適切に行うためには、その患者来院数の時間変化に対応して、必要な治療分野の医師を、早め早めに必要な病院へ派遣するとか、転送可能な病院へ速やかに転送するとかを、1時間後、2時間後、等の患者の来院状態をも予測し、早めの対応が取れるようなシステムが必要になる。

3. 救急・災害医療活動支援モデル⁷⁾

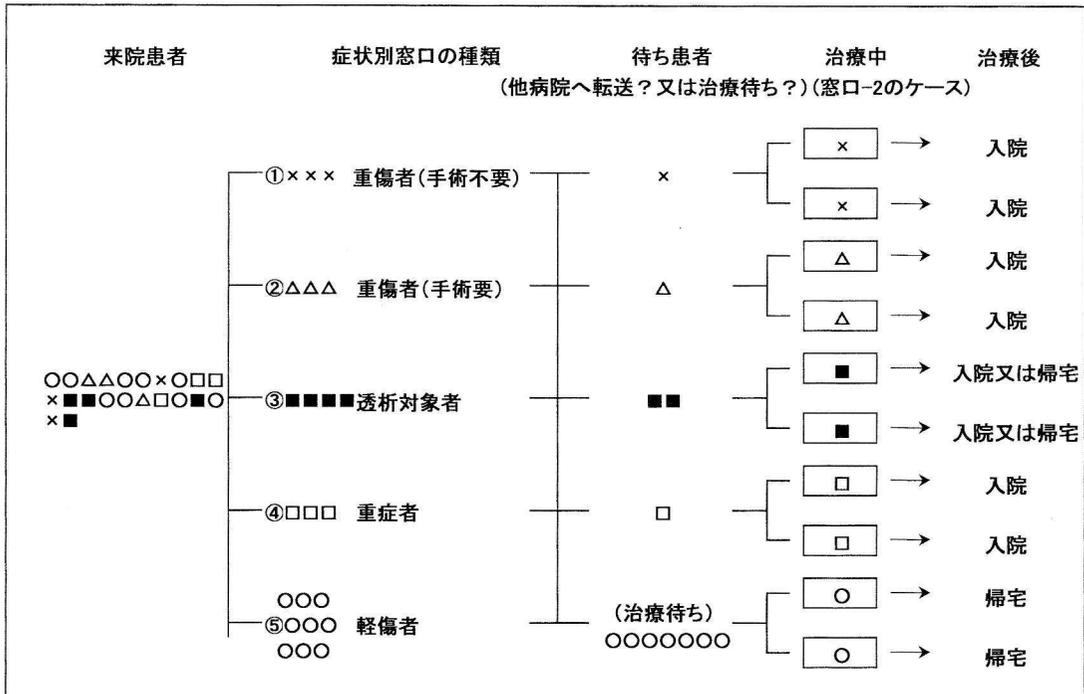
救急・災害医療活動支援モデルを構築するためには、まず、現実の病院での患者の治療過程の基本をモデル化することが必要である。そして、このモデルを仮想現実化された病院の治療活動とし

て、コンピュータ上で電子化する。

図1は、病院における「患者の来院—治療窓口への到着—治療または必要に応じての患者の転送—治療済み。重傷者は入院」という、治療過程の基本的な概念を表している。この概念に基づいて、現実の治療過程をモデル化し、個々の病院の治療活動をコンピュータ上で仮想現実化して、いわゆる電子病院というようなオブジェクトを構築するためには、治療過程は単純化する必要がある。

患者の症例は、仮に、①重傷患者（手術不要）、②重傷患者（手術要）、③透析必要患者、④重症患者、⑤軽症患者、の5分類としている。この分類は阪神・淡路大震災時の医療活動に関する報告⁸⁾の中で使われている分類項目を、参照したものであるが、これについては、各病院の実態に合わせて、今後、現場の医療関係者の意見を元にして、容易に修正することが出来るようになっている。

各症例ごとに、治療窓口があるが、そこでは、



〔来院患者の治療過程〕

図1 病院における治療過程の基本的な概念図。

その症例窓口の担当医師数、または、手術室数、というように、同時に治療を受けられる患者数に対応した窓口数が設定される。図では、それぞれの症例窓口に対して2と仮定しているが、これも、各病院の現状に即して設定し、状況の変化に即応して修正することも出来る。症例別の治療窓口は、それぞれ独立であり、①～⑤の症例に選別された患者は、それぞれの症例別の窓口で治療されるとしている。

地震発生後、罹災患者は、時間の経過とともに、各病院へ次々に来院し、それぞれの症例窓口（ここでは、仮に上記の5分類とする）で治療を受けることになる。治療窓口が治療中であれば、その間にその窓口到着した患者は、それぞれの窓口で治療の順番を待つことになる。この時、治療協力ネットワークを組んでいる病院間で、患者の転送が諮られるが、その場合の条件は、ある症例の患者が、その病院の窓口で治療を受けるよりも、受け入れ可能な他の病院へ転送したほうが、その患者が時間的に早く治療を受けられる場合には、その患者をその病院へ転送するというロジックが組み込まれている。他の病院からの患者転送受け入れも、同じロジックで行われる。軽傷者は転送しないとしている。

各症例別の治療能力は、各病院における救急患者の症例別の治療実績から、第一近似として確率・統計的に割り出す。2章の、治療患者数の推定式³⁾は、そのための研究成果の一部である。患者一人一人が、それぞれの治療時間で治療を受け、そのときの治療窓口数で、治療済みの患者数がリアルタイムに管理でき、同時に、治療待ち患者が何人いるかも把握できる。重傷（症）患者の待ち状態から、その状態が患者の救命という視点から許容される状態かどうか判断される。

この医療活動支援モデルでは、各病院の症例部門や、その治療窓口数は、現実の病院の体制に即して、それらを設定出来るようになっているが、治療窓口を増やすということは、多くの重傷（症）患者が、それぞれの病院へ到着する事態に対して、その病院へ必要な医師を派遣した、ということにも対応している。どの病院へどの分野の医師

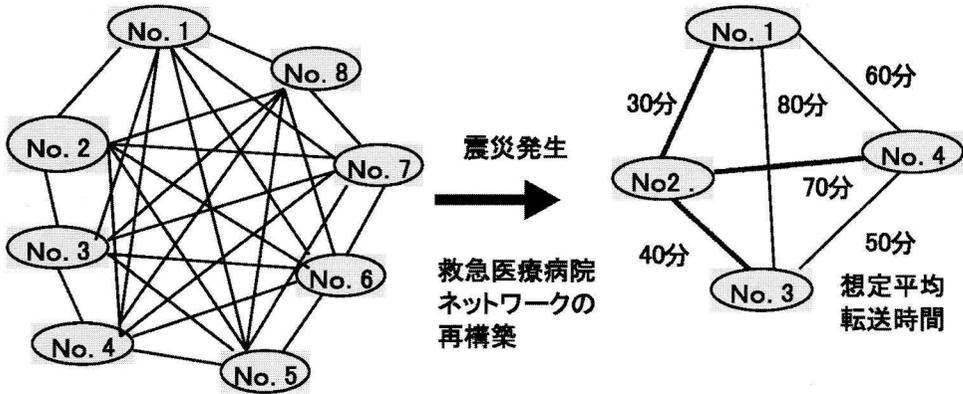
を何人派遣するか、ということを決めることは、難しい問題であり、1995年阪神・淡路大震災では、その問題を解決するためのシステムが必要であるとされた大きな問題の一つであった¹⁾。ここで提案したモデルは、時々刻々変化する各病院の治療活動状況を、リアルタイムに管理することが出来る機能を持っている。さらには、一時間後、数時間後、一日後、等、の患者の来院状態と、治療状況を同時に予測することが出来るため、いろいろな治療窓口数に対して、治療待ち患者数の時系列状態を予測することによって、どの病院へ、どの専門の医師を、何人派遣しなくてはならないか、または、どの病院へ患者を搬送するか、という事前の意思決定の支援を行うことも出来る。

このことは、一病院についてだけではなく、複数の医療協力病院間のネットワークにおいて、ネットワーク全体として、その地域の重傷（症）患者の救命活動を的確に支援することが出来ることを示している。

ところで、地下鉄サリン事件のような、一つの特定される原因によって発生した、大量の被害者の救命活動については、その特定の原因（例えば、サリン）に対応する治療窓口を、想定される原因の数だけ、事前にこのモデルに組み込んでおけば、それぞれの特定の原因による大被害が発生した場合、その原因に対応する治療活動を支援する体制を起動させることが出来る。

4. 医療活動支援システムのシミュレーション⁷⁾

今、災害拠点病院とその医療協力ネットワークを、図2に示すように想定する。7災害拠点病院が、発災後は4拠点病院が医療機能を維持できていると仮定する。No. 1, 3, 4は、発災直後から医療活動を行うことが出来、No. 2病院は、ライフラインの供給支障で、発災後2日間医療活動を休止し3日目から医療活動を再開出来たとしている。もちろん、すべての病院が発災後も支障なく医療活動が行える時は、7病院全てについてのネットワークを機能させればよい。



震災発生前(常態)の想定救急医療病院の連携の概念図

震災発生後の救急病院連携再構築。
No. 2病院は、ライフライン復興で中途再開。
No. 1、No. 3、No. 4病院のみが震災発生直後から医療機能が健全と想定。

震災発生後の罹災者治療活動のための救急医療機関の連携(ネットワーク)の再構築概念モデル

図 2 仮想医療協力病院ネットワーク概念図。

震災後、罹災者が No. 1, No. 3, No. 4 の病院へそれぞれ独立に、ランダムに来院するわけである。その実態を想定したシミュレーションでは、阪神・淡路大震災で、神戸大学医学部附属病院への、外傷患者と疾病患者の来院患者数の統計値を参考にして、指数分布に従った時間間隔で、患者が来院するとした¹⁾。また、5 症例それぞれの治療時間は、クラッシュ症候群のような、透析治療を要する患者については、やはり、阪神・淡路大震災時の治療活動の体験を報告した文献⁹⁾を参考にして、患者一人3時間を要するとし、それ以外の症例については、それぞれが対数正規分布に従うものとして、患者一人一人ランダムに与えることとしている。

シミュレーションは、5 症例すべてについて同時に行われるが、ここでは、一例として、図 3 (a) (b) に、透析治療を要するケース (L3) のシミュレーション結果を示す。計算は、発災日から3日間実行しているが、必要な期間計算することが可

能である。また、患者の来院状況は、毎日変動することも考慮している。図中、H1 は、No. 1 病院を示し、G2 は治療窓口数(この場合は、血液浄化回路数にあたる)が2つあることを示す。また、図中、上段左は、来院患者の時系列累積数、右は、待ち患者数の時系列累積数、下段左は、他の病院からの時系列受け入れ患者累積数、右は、治療を終えた患者の時系列累積数を表し、この数が必要なエキストラベッド数となる。図 3 (a) は、血液浄化回路数2の場合の治療状況であり、想定した患者の発生状況に対して、非常に多くの待ち患者が出ていることがわかる。それに対して、図 3 (b) のように、血液浄化回路を搬入させてその数を10に増やした結果は、待ち患者数はほとんど出ておらず、治療待ちによる生命の危険を回避できていることがわかる。外傷患者の治療について見るときは、外科医2名の状態に対して外科医を派遣して10名とした場合、ということに対応する⁷⁾。

H1G2L3

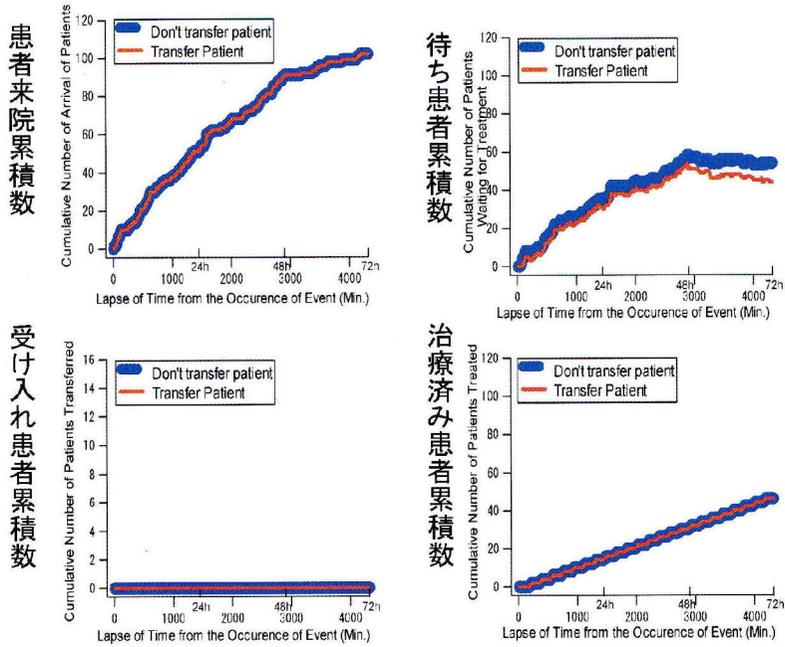


図 3-a H1 病院における透析必要患者 (L3) の治療状態 (治療窓口数 2 (G2)).

H1G10L3

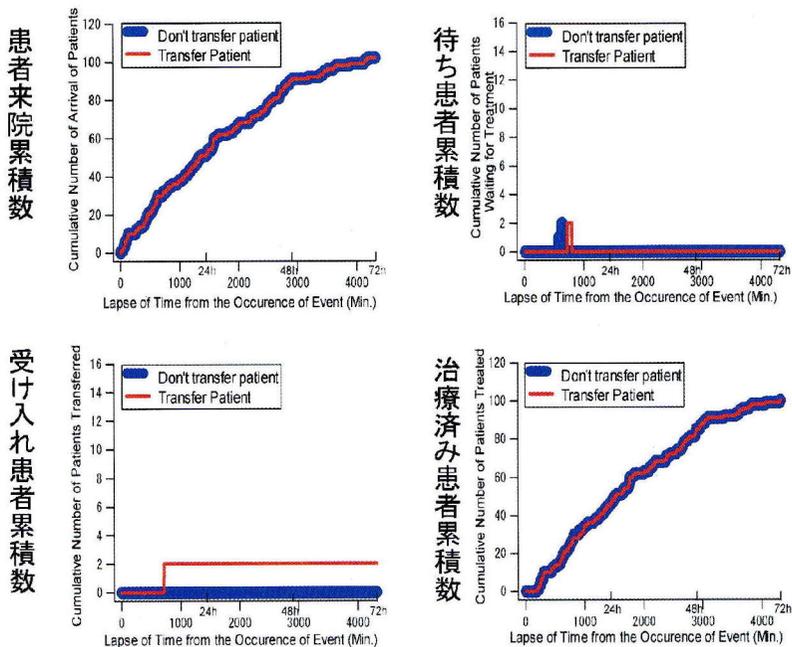


図 3-b H1 病院における透析必要患者の治療状態 (治療窓口数 10 に増加).

この、透析治療を必要とする患者の例のように、今不足している医療資材（医師や医療装置など）を、何時間後までにどれほど補充すれば、想定患者来院数に対して、その治療に万全を期すことが出来るかを計算して、事前に対応することが出来る。また、図中太線は、例えば、ネットワークが回復するまで、それぞれの病院単独で、来院患者を治療しなければならない状況を想定したものである。コンピュータをオフラインで、それぞれ自分の勤務している病院の治療活動状況が、現在どうなっているか、また、数時間先はどのような状況になるかを予測して、治療活動を管理している状態と考えていただきたい。

更に、医療協力ネットワークを構築している、すべての病院における医療活動状況が、それぞれの病院への患者の来院状態と、その時の病院の治療能力の下で、同時にシミュレーションされるために、各病院での各症例別の同時刻の医療活動を、リアルタイムに把握できる。しかも、ある時刻の状況に対して、一時間後、数時間後、一日後、などの患者の来院数や、治療活動状況を予測することによって、現在どのような状況にあるかを知ると同時に、近未来、どのような状態になるかもわかる（図5）。すると、後どれくらい患者を受け入れることが出来るか、薬剤や包帯などの医療品が十分かなども予測可能となり、不足しそうな医療品等を、早めに手配することも出来る。

したがって、この救急・災害医療活動支援モデルをそれぞれの病院のパソコンに搭載し、例えば、災害拠点病院間でネットワークを組んでおけば、その地域のどの病院が、どのような治療活動状況にあるか、どの病院へ患者を搬送すればよいか、どの病院へ、どの医療資材を、どれほど送ればよいか、という、戦略的な意思決定に対する有益な情報が得られることになり、災害時の患者の救命に役立つことになる。

日常、秩序だっで行われている医療活動は、大災害時には、その秩序が破壊され、災害規模が大きければ大きいほど、秩序の破壊状態は大きくなる。その場合、医療秩序を復旧させるには、復旧のベクトルを持ったシステムがどうしても必要で

ある。それが無い場合は、場当たりの対応をとらざるを得なくなる。ここに示した、モデルは、そのようなベクトルを持ったものであり、システムを構築する上で不可欠なものである。

5. 医療活動情報の共有化

地震災害のような、広域災害の医療活動を効率的に行う場合には、地域の医療活動に関する情報の共有化はもちろんのこと、被災地外の医療機関との連携が取れる、実用的なシステムが構築されていなければならない。しかも、災害による地域の被害状況は時々刻々変化する。したがって、情報は、医療活動現場の状態、例えば、病院への患者の来院状態、や病院の治療活動状況が、具体的、かつ、リアルタイムに把握できるシステムでなくてはならない。

図4は、災害拠点病院間の連携と、医療協力ネットワークで連携されているすべての病院の医療活動を、自治体、例えば東京都（新宿区、など）、の災害対策本部がモニターしている、というネットワークシステムのイメージ図である。病院A、Bに患者が来院しそれぞれで治療を受けるとともに、必要に応じて、病院間で患者を転送する。その様子を中央司令室がモニターしている。図中の自動カウント機は、患者の来院数を症例別に自動的にカウントする装置として、筆者が提案しているものである。これを基本ネットワークとし、さらに自治体の災害対策本部間を結んだネットワークを、上位の中央災害対策本部、例えば東京都、がモニターし、最終的に国の危機管理室までの階層的なネットワークを構築すれば、各階層レベルで必要なデータの質に集約することによって、情報量を制限し、全国的な医療活動の情報をリアルタイムに共有することが出来る。

図5は、基本ネットワークとしての活用法の一例を具体的に示したものである。各病院の治療活動状況を自治体の災害対策本部がモニターしている状態とさせていただきたい。今、各病院の治療活動状況のモニターを、それぞれ自治体、例えば新宿区等の災害対策本部と見れば、東京都の災害

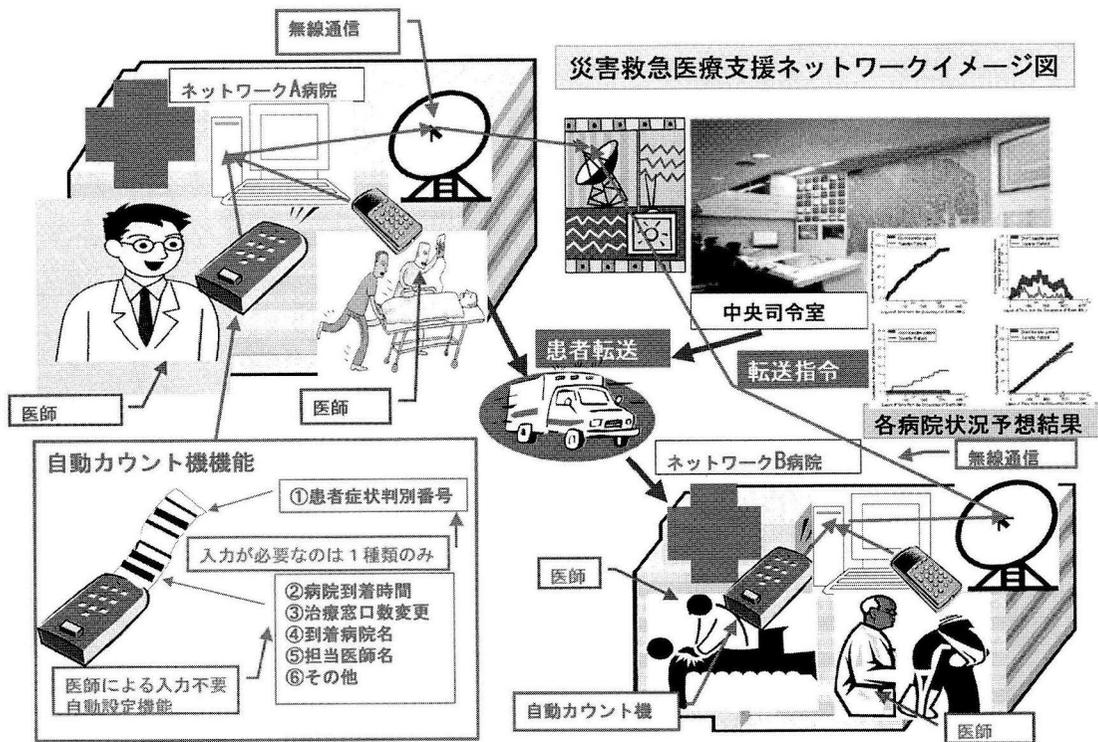


図4 (災害拠点)病院A, B, および中央司令室(防災センター)間のネットワークイメージ図。
中央司令室はすべての病院の状況をモニターし、必要な対策を決定。

対策本部が、都区内の状況をモニターしている状態と見ることになる。発災後、各病院は、被害状況をまず調査・整理しなくてはならないが、それにより、例えば、病院の治療窓口数の情報が更新された後は、どの病院への専門の医師をどれだけ派遣すればよいか、という判断など、災害対策本部が各病院に代わって状況を管理することも出来る。この機能は、本モデルの一つの大きな特徴でもある。更に、図中の各病院の治療活動状況を東京都、神奈川県、千葉県など、都道府県単位の状況のモニターと見れば、関東ブロック、または、内閣府のレベルの災害対策本部がそれをモニターしている状態と見ることになる。これに、各病院の医療ニーズ情報、例えば、薬剤、包帯、医師数、被害情報、などを付帯させておけば、支援すべき医療機材が何か明らかになる。

6. まとめ

ここで提案している救急・災害医療活動支援モデルは、災害発生直後の混乱状態の中で、治療に当たらざるを得ないという、災害医療が抱える諸問題を出来るだけ解決し、可能な限り罹災者、特に重傷(症)患者の命を救うために役立つことを願って、構築されたものである。モデルは、現実の医療活動の基本的な実態を、論理的に構築し、電子化したものである。このモデルに基づいた医療活動支援ネットワークを実現するためには、治療窓口等、仮に設定した部分の、医療現場に即した検討が必要である。発災直後は医療現場が混乱する故に、その混乱を少しでも解決する能力を持っている本システムの、早期の実現を願っている。

なお、大災害に対応する場合、予防(発災)一

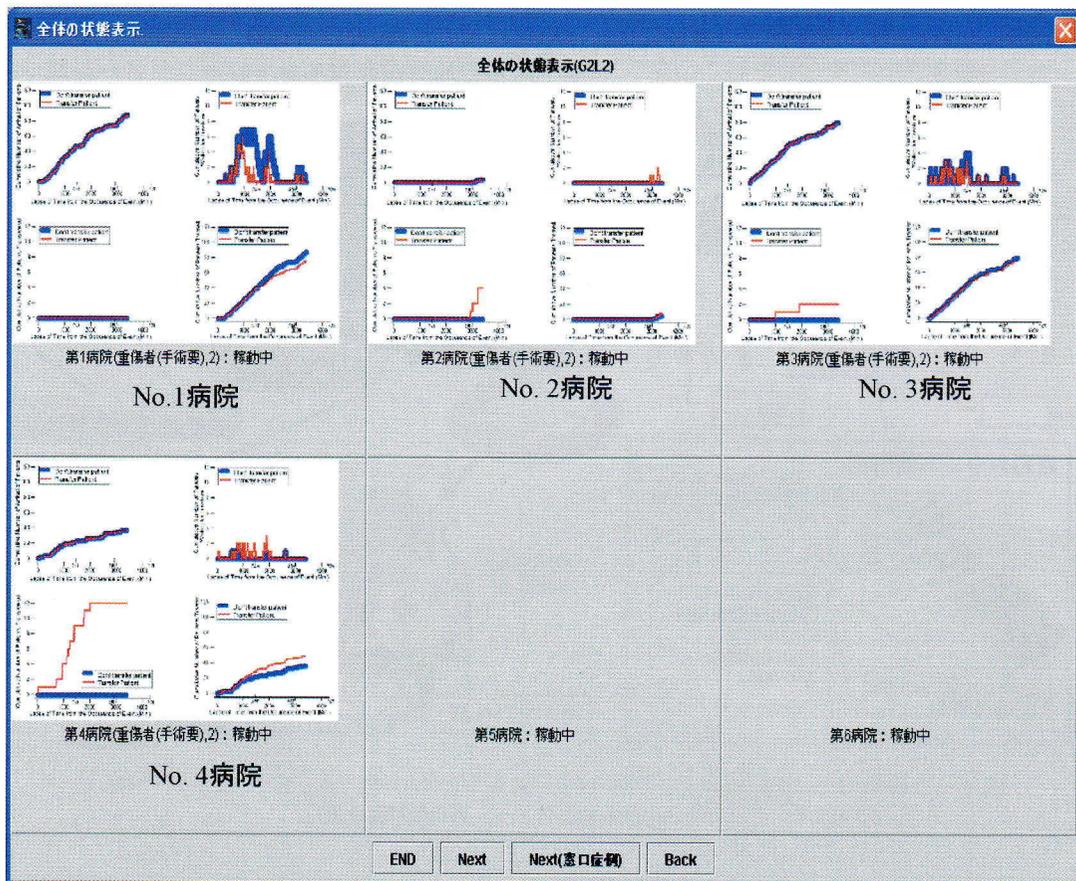


図5 自治体中央防災センターの、地域内(災害拠点)病院の治療活動状況のリアルタイムなモニター状態。各病院の状況を、自治体ごと(新宿区、練馬区、千代田区、等)の状況画面と見れば、東京との防災センターがモニターしている場面と見る。画面の消えている病院は、専用通信ラインの支障で、優先的な修復を指示する。

応急一復旧一復興、という、時系列の状態変化に対応して行動することになるが、発災前の段階において、このモデルによって、ある地域で想定される人的被害に対して、災害拠点病院を中心としたネットワークの下で、様々な条件での医療活動状態をシミュレーションすることにより、その地域の救命活動に対する対策立案の支援を行うことも提案したい。また、このモデルに、平常時の救急外来部門の診療予定を、治療窓口として搭載し、消防本部とネットワークを構成しておけば、どの病院でどの症状の急患を治療できる状態にあるかが、リアルタイムに把握出来、どの病院へ急患を搬送出来るかの判断に要する時間を大きく短

縮出来る。このような日常の利用によって、このモデルの使用に習熟し、いざ、大地震発生、という時は、リアルタイム地震情報の利用によって、発災時の体制に瞬時に切り替えて、患者の来院に備える、という利用方法も考えられる。

参考文献

- 1) 石井 昇, 中山伸一(1995) 阪神・淡路大震災—神戸大学医学部付属病院の救急体制—, 神戸大学医学部神緑会学術誌, pp. 47-51.
- 2) 奥村 徹(1999) 緊急招集, 河出書房新書.
- 3) 災害時の混乱を解決するための「救急・災害医療

支援モデル」を開発，救急医療ジャーナル（トピックス 62）.

- 4) 高橋 晃，川島隆久，石井 昇，他（2005）病院における災害・救急対応能力（治療能力）の評価，日本集団災害医学会誌，p. 250.
- 5) <http://www.jikei.ac.jp/hospital/daisan/center/51.html>
- 6) 東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書（1997），東京都.
- 7) 石田勝彦（2004）災害医療活動支援モデル—戦略的救急・災害医療活動支援システム—，原著論文，日本集団災害医学会誌，pp. 26-36.
- 8) 阪神・淡路大震災復興誌（第一巻）（1997）兵庫県（財）21世紀ひょうご創造協会.
- 9) 内藤秀宗（1996）阪神大震災に学ぶ医療と人との危機管理，はる書房.

石田勝彦

【いしだ かつひこ】

現職 （財）電力中央研究所上席研究員，東京理科大学理工系大学院（建築）客員教授

工学博士

略歴 東京大学大学院理工系研究科博士課程修了，（財）電力中央研究所主任研究員，企画部部長，スタンフォード大学客員教授を経て現職

研究分野 地震工学，防災工学

著書 『地震荷重—地震動の予測と建築物の応答』（共著，日本建築学会），『原子力施設の耐震設計』（共著，産業出版社）他



地震によるサッシ・カーテンウォールのガラスへの影響

層間変位とは

層間変位とは、一般に建物が地震時に揺れる（強風でも揺れるが、一般に地震の場合の方が揺れが大きい）ことにより発生する各フロア間（層間）のズレをいい、そのズレ量を層間変位量という。また、層間変位量をフロア間の距離（高さ）にて除した値を層間変位角という。

層間変位追従性能とは、層間変位を生じた際、建物に被害が無い様にする技術的工夫である。

サッシ・カーテンウォールの場合、次の2つの性能を要求されるのが一般的である。

第一の要求性能は、時々起きる地震による層間変位に対し、地震後の窓やその周辺からの雨漏れしないこと、その他機能に何ら異常をきたさないという要求である。

第二の要求性能は、建物構造上、想定される巨大地震による層間変位に対しても、窓ガラス及び周辺材が破損・脱落しないという要求である。これは、破損・脱落したガラス片で通行人に被害がでることを避けるためであり、建物が存在する間が保障年限となる。

この被害事例は、残念ながら過去の大きな地震では、必ず起きており、近年では、福岡西方沖を震源とする地震も例外ではない。

ここでは、この現象に対する性能について記述する。

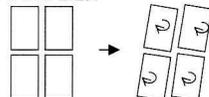
サッシ・カーテンウォールの層間変位追従方法

サッシ・カーテンウォールにおける地震時の層間変位追従方法には、図1に示す3通りがある。

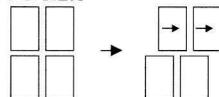
サッシは、枠は③、障子は①、②、③のそれぞれもしくは複合にて追従する。

カーテンウォールは、工法により違うが、ノックダウン工法は、各縦部材、横部材が現場にてボルト或いは枠はめ合いにより組み上げられる工法であるため、縦・横の接合はピン接合となることから、③による追従となる。

① ロッキングによる追従



② スライドによる追従



③ セン断変形による追従

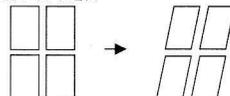


図 1

ユニット工法は、工場にて縦横部材及びガラスを組み上げ壁の一部として作り上げたものを現場取付することから、ユニットの面剛性により、①、②の追従が可能となる。勿論③にて追従も可能となる。

これらサッシ・カーテンウォールの層間変位追従方法の中であって、問題となるのは、面材であるガラスと枠の相対関係にある。つまり枠が、③の追従方法の場合、枠が菱形変形することからガラスは枠の変形に拘束され、破壊する可能性がある。

ガラスの破損現象は、図2に示すように、層間変位によりサッシ枠が変形（平行四辺形になる）することにより、ガラスが面内対角方向に圧縮され、最終的にはガラスが座屈して面外に曲げ破壊される。この現象は、固定窓（Fix）に多く発生し、可動窓では、障子とサッシ枠間に隙間があることから、比較的少ない。

ガラスが破壊に及ばないためには、ガラスと枠間のエッジクリアランスを十分取ることが重要となる。

枠とガラスのエッジクリアランスによる層間変位追従性能

エッジクリアランスによる追従可能な最大層

間変位は一般に図3に示す式にて求められる。

枠とガラスの相関関係における幾何学的層間変位追従性能は図3に示す通りであるが、実際には、ガラスと枠は、弾性シーリング材により接合されていることから、同シーリング材の弾性抵抗により、ガラスは枠の変形とともに、ロッキングを初期段階から呈していることが、

層間変位追従試験により確認されている。

図4にガラスの辺比とロッキング率 β_r の関係グラフを添付する。

以上の結果から、現在では、弾性シーリング材を考慮し、ガラスと枠の層間変位に対するエッジクリアランスの適正寸法を確認し、ガラスが破損に及ばないように設計されている。

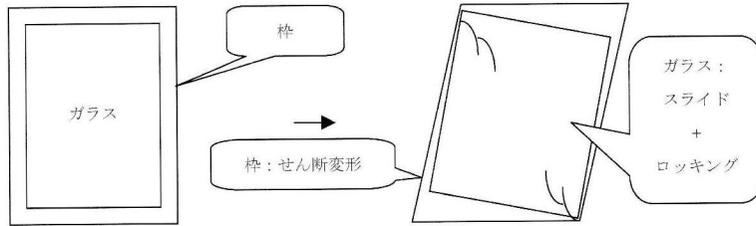
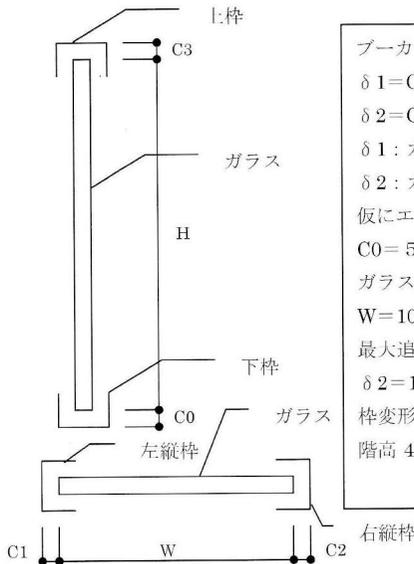
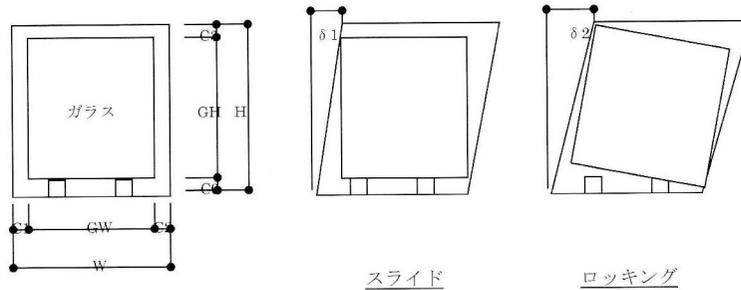
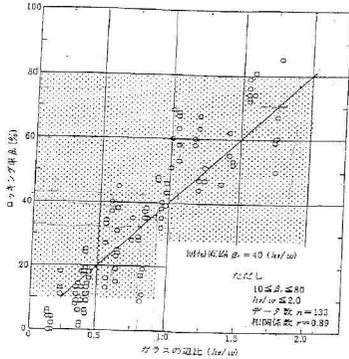


図 2



ブーカムの式と呼ばれる。
 $\delta 1 = C1 + C2$
 $\delta 2 = C1 + C2 + H/W(C0 + C3)$
 $\delta 1$: ガラススライドにての追従
 $\delta 2$: ガラススライド+ロッキングにての追従
 仮にエッジクリアランス
 $C0 = 5 \text{ mm}$, $C1 = 10 \text{ mm}$, $C2 = 10 \text{ mm}$, $C3 = 15 \text{ mm}$
 ガラス
 $W = 1000 \text{ mm}$, $H = 2000 \text{ mm}$ とした場合
 最大追従可能な層間変位量
 $\delta 2 = 10 + 10 + 2000/1000 \times (5 + 15) = 60 \text{ mm}$
 枠変形率: $60/2000 = 1/33$
 階高 4000mm の場合、 $60/4000 = 1/67$ まで追従が
 可能との計算結果となる。

図 3



解説図 4 ガラスの辺比とロック率の関係
(日本玻璃子(株)技術資料による)

左図で見ての通り、辺比：縦長/横長 (H/W) が大きければ大きいほど、ロック率が高くなる。辺比 2.0 以上の場合、80%以上のロック率となる。

図 4

平成 7 年 1 月 17 日兵庫県南部地震の被害調査から

平成 7 年 1 月 17 日午前 5 時 46 分に発生した兵庫県南部地震 (マグニチュード: 7.2, 神戸市中央区等 震度 7 激震) の被害調査の結果を見るに以下の報告がなされている。

枠と面材のクリアランスが、想定される層間変位に対し確保されているカーテンウォール・サッシは面材 (ガラス) の破損にいたらなかった。

腰部を RC (SRC), PC にて構成し、開口部

をサッシの横連窓とした物件では、かなりの破損状況が確認されたようだが、これは、層間変位量が全て開口部に集中することから、サッシの変形角が層間変位率の倍以上になり、ガラスエッジクリアランスが足りなかったものと判断する。

それぞれの材料の挙動をしっかりと把握し、設計することが如何に大切か痛感した調査結果であった。

(丸山 治: 新日軽株式会社)

1) 取付工法別

工 法		被害状況 (技術的問題)
カーテンウォール	純メタル (ガラス)	全て健全 (カーテンウォール工法上全く問題なし)
	PC 複合 (腰PC・横連窓)	健全な建物と破損した建物に分れた (設計上の差が出ている) 破損状況: PCクラック、PCタイル剥落、窓ガラス破損
	PCボリ窓 (サッシ組込み)	健全な建物と破損した建物に分れた (PCの設計上に問題あり)
	PC複合 (分割PC)	健全な建物と破損した建物に分れた (工法及設計上工夫が必要)
	ALC	大型物件では、ほとんど破損 (耐震性に問題あり)
サッシ	横連窓 (腰RC・層間)	窓ガラス破損 破損率: 25~80%
	ボツ窓 (単窓・連窓共)	窓ガラス破損 破損率: 5~10%

2) サッシ型式別

FIX窓と開閉窓 (引違い、片引き) の型式の差が著しく表れていた。主にサッシが使用される RC (SRC) 造の建物において、取付工法種類 (横連・ボツ窓) にかかわらず、開閉窓の損傷はFIX窓に比べて非常に低いことが判明した。

リフォーム詐欺と耐震補強

リフォーム詐欺

この言葉は最近報道されたのでご存知の方は多いと思うが、住宅を訪問して簡単な調査をして、例えば、屋根なら屋根がかなり傷んでいるので早急に補強しないと、取り返しのつかないことになりますよと言う。そして簡単な工事をして、実費の10倍とか法外な金額を取るとかいったものである。そしてこれらリフォーム工事は耐震補強をも含めたものとして行われていることが多い。しかもこれらの工事個所は、素人が簡単には見ることのできない屋根裏とか床下とか二階の屋根上などのため、ちゃんと工事がなされたかどうかは直接確かめようが無く、先方のデジカメ映像を見せられて納得するより仕方が無いのである。

この種の詐欺のターゲットは高齢者である

リフォームをする家屋は戸建てで古くなければならない。このような条件を満たす家屋の所有者は必然的に高齢者となる。もう一つ、高齢者が狙われるわけは、統計的にも明らかになっているように、高齢者は平均的に数千万円という小金を持っているのである。

老朽木造家屋と耐震補強

我々が阪神・淡路大震災から学んだことの一つに、地震による死者の8割以上が、硬い地盤近くの液状化しない軟弱地盤上の老朽木造家屋の倒壊によって起こったということである。であるから、現在、地震死者をなるべく減らすには建築後30年以上の老朽木造家屋を倒壊させないことが急務となっている。将来の大地震で、現在のままでは倒壊する危険性のある家屋を、その耐震補強によって、何とか倒壊せざにすむようにしなければならない。

耐震補強詐欺に遭わないために

以上述べたように、近い将来の大地震における人命損失を少なくするためには、軟弱地盤上の老朽木造家屋の耐震補強を進める必要があるが、この場合、次のような問題点がある。

1) 耐震補強しなければならないような老朽木

造家屋の所有者は大体が高齢者である。

- 2) 高齢者は、退職金を貰ったなどのために数千万円の小金を持っている。
- 3) そのため、振り込め詐欺、リフォーム詐欺などの標的になりやすい。
- 4) 戸建て木造家屋を耐震補強する業者は、500万円以下の工事しか請け負えない零細業者が多い。大中小のちゃんとした業者は、戸建て住宅の耐震補強などの少額の工事は引き合わない。
- 5) 建設不況のあおりで、零細建設業者への仕事は激減している。
- 6) 我々庶民が耐震補強詐欺に遭わないためには、次のような注意が必要である。

A) 戸別訪問の耐震診断などの勧誘には絶対に応じないこと。

B) 耐震診断を無料に近い費用でして貰った後で、耐震補強工事を断りにくい、耐震診断と耐震補強工事は同一の業者はやってはならないことになっているので、工事を断ることはできると思う。

7) 耐震補強は、自分から最適な業者を探さなければならない

A) 地元の業者に頼む

私の調査した限りでは、このような詐欺まがい業者は地元の業者ではなく、近隣の市、町の業者であることが多い。何か悪いことをした場合、地元ではすぐ噂が広まるし、消費生活センターなどに訴えた場合、同じ市内ならばすぐ対応をとって貰える。

B) 市、町など公的機関が優良業者を紹介できないか

このようにリフォーム詐欺が社会を騒がしている時に、適当な業者を紹介してくれる機関が無く、自助努力によるというのは、いくら米国流の自助努力社会を目指しているといっても高齢者にはきつい。

(伯野元彦)

■地震予知連絡会情報■岡田義光■

定例の地震予知連絡会は、第165回が2005/8/22、第166回が2005/11/21に開催され、2005年5月～10月における全国の地震活動・地殻変動を中心として報告と検討がなされた。この間に起きた最大のイベントは第165回の開催される1週間前に発生した2005/8/16宮城県沖の地震(M7.2)であり、第165回のトピックステーマとして急遽取り上げられた。この地震と、想定された「宮城県沖地震」との関連性は重大な問題であるため、第166回のトピックスにも、あらためて「『宮城県沖地震』と2005年8月16日宮城県沖の地震」(世話人:島崎副会長)が取り上げられ、詳細な検討がなされた。なお、外国では、2005年10月8日に、パキスタン北部で8万人を超える死者を出すM7.6の浅発地震が発生した。

1. 北海道地方

釧路沖では、2004年11月29日にM7.1、同12月6日にM6.9の地震が発生したが、その余震活動は順調に減衰してきている(気象庁)。しかし、釧路沖から根室沖にかけてのプレート境界では、この地震の前後からゆっくりとしたすべりが始まり、2003年十勝沖地震の余効すべり領域が東側に拡大したように見られる(図1:地理院)。この領域では、1973年6月17日に根室半島沖地震

(M7.4)が発生しており、注意が必要である。

2005年8月16日、日高山脈直下の深さ51kmでM4.6の地震があり、震度3を記録した。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、太平洋プレートと陸側プレートとの境界に発生した地震であると思われる(気象庁)。

2005年9月21日、国後島付近の深さ103kmでM6.0の地震があり、震度4を観測した。二重深発地震面の下面で発生した地震であり、発震機構は、プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ水平または鉛直の断層運動を示している。同じタイプの地震としては、1993年釧路沖地震(深さ101km, M7.5)が挙げられる(気象庁)。

2. 東北地方

2005年5月27日、宮城・山形県境付近の深さ109kmでM4.9の地震があり、震度3を記録した。発震機構は太平洋プレートの沈み込む方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、スラブ内の地震であると見られる。付近で発生した同様の地震としては、1944年8月18日M6.4(深さ142km)、1992年1月22日M5.6(深さ120km)が知られている(気象庁)。

2005年6月2日、秋田県南部の横手市付近でM4.0の

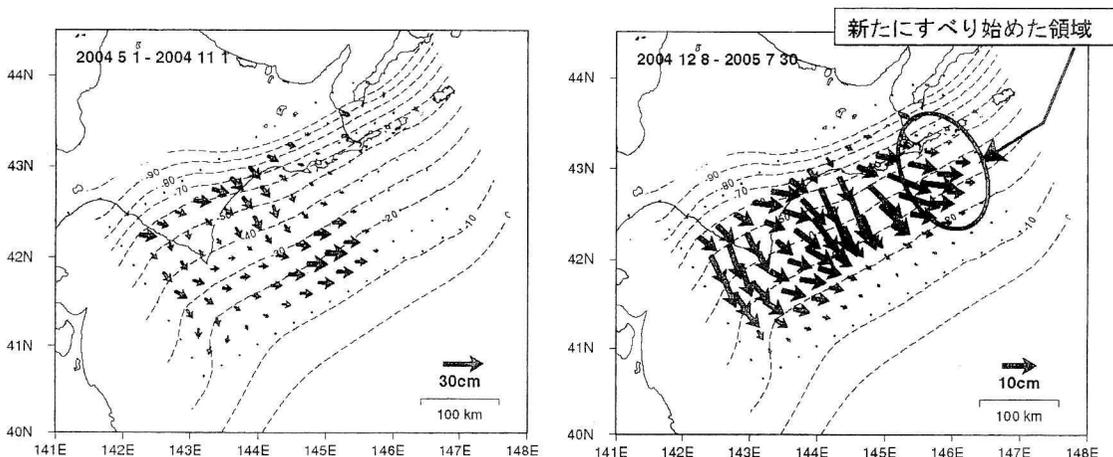


図1 2004年11月29日(M7.1)および12月6日(M6.9)釧路沖地震の前6カ月間(左)と、後8カ月間(右)における北海道沖プレート境界でのすべり分布(すべり量の縮尺の違いに注意)[第165回:地理院資料]

浅発地震があり、震度3を記録した。発震機構は東西圧縮の逆断層型であった。震源の付近には南北に伸びる地震活動域があり、その北方では1914年秋田仙北地震(M7.1)が発生している(気象庁)。

2005年8月16日、宮城県牡鹿半島の沖でM7.2の地震が発生し、最大震度6弱を記録した(トピックスの項参照)。8月24日および8月31日には、この震源域のさらに沖合の日本海溝付近でM6.3の地震が発生し、多くの余震を伴った。

2005年10月22日、福島県いわき市すぐ沖合の深さ52kmでM5.6の地震があり、震度4を記録した。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あり、太平洋プレート上面で発生した地震であると思われる。この地震の震源付近ではM5.7前後の地震が約8.5年の間隔で定期的に発生しており、前回は1997年5月12日のM5.7であった。地震波形状の類似性からも、ここでは固有地震的性格をもった中規模地震が繰り返されていると考えられる(気象庁)。

2005年11月15日、三陸はるか沖の日本海溝より外側でM7.1の浅発地震が発生し、大船波で約50cmの津波が観測された。発震機構は東西に張力軸を持つ正断層型であり、余震は南北方向に分布している。今回の地震の震源位置は、昭和三陸地震(1933/3/3, M8.1)の震源域の南にあたっている(図2:気象庁)。この地震に際して、岩手県釜石沖に設置されたケーブル式海底津波計では、振幅3.5cm、周期5~6分の海面変動に相当する明瞭な水圧変化が捉えられた(東大震研)。

3. 関東地方

2005年5月28日から、茨城県つくば市南部で群発地

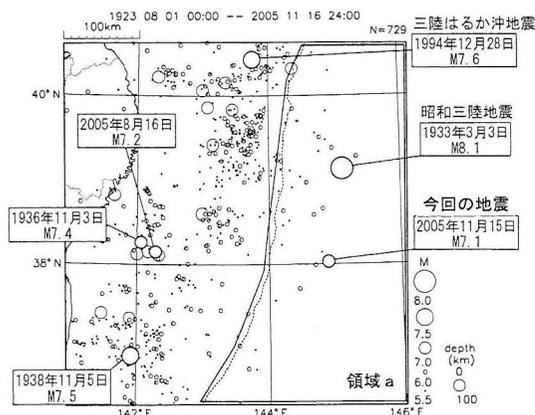


図2 1923年8月以降、東北地方の沖合で発生したM5.5以上の地震の震央分布 [第166回:気象庁資料]

震活動が始まった。臨時観測点を加えた震源再決定の結果、震源の深さは10km程度と推定され、地殻内部の地震活動であることが明らかとなった(図3:防災科研)。地震の規模は最大でもM3程度であるが、関東平野内でこのように浅い地震がまとまって発生することはきわめて珍しい。また、震源域の南側は地震波速度の高速度域、北側は低速度域と見られ、群発地震はその境界付近に発生している。

2005年6月1日、東京湾羽田沖の深さ約30kmで、19時05分M3.7、19時39分M3.7と連発したのち、20時44分にはM4.1の地震が発生した(気象庁マグニチュードでは、それぞれM4.1, M4.1, M4.3)。発震機構はいずれも南北方向圧縮の低角逆断層型であり、フィリピン海プレートと陸側プレートとの境界付近で発生したものと思われる。なお、これに先立つ5月7日04時52分には、東京都多摩市付近の深さ28.6kmでM4.0の地震が発生している。東京付近の浅発地震活動は、1980年代前半から1990年代前半にかけて、発生する地震の最大規模が徐々に増大する傾向を見せていたが、1990年代後半から2000年代前半にかけては落ち着いた状態が続いていた。しかし、2005年5月から6月にかけては、M4前後の地震が同時期に集中発生し、このような事態は最近25年間で初めてのことである(図4:防災科研)。

2005年7月23日16時34分、千葉市付近の深さ約70kmでM6.0の地震が発生した。発震機構は東西方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界付近で発生したものと見られる(図5:気象庁)。余震分布からは、プレート境界型の地震なのか、スラブ内地震なのかを断定することは難しい。また、余震の中には色々なメカニズムの地震が混じっており、震源域周辺は複雑な構造になっていることが想像される(防災科研)。千葉市周辺は首都圏最大の「地震の巣」として知られており、M6以上の地震としては1928/5/21(M6.2)、1951/1/9(M6.1)、1952/5/8(M6.0)、1956/9/30(M6.3)、1980/9/25(M6.0)が過去に発生している。この内、1951年および1952年については東北地方で震度が小さいなどの点で他の地震と異なっているため、これを除いて今回を加えた4例で見ると、約25年周期でM6級地震が繰り返されており、東京観測点における機械式強震計の変位記録も酷似しているとの報告があった(気象庁)。

この地震により、東京足立区伊興で震度5強、大田区本羽田および江戸川区船堀で震度5弱が観測された。関東地震とその余震が終息したのち、東京で震度5が観測されたのは1985年10月4日取手市付近の地震(深さ78km, M6.0)、1992年2月2日浦賀水道付近の地震(深さ92km, M5.7)に次いで3度目である。ただし、1985年

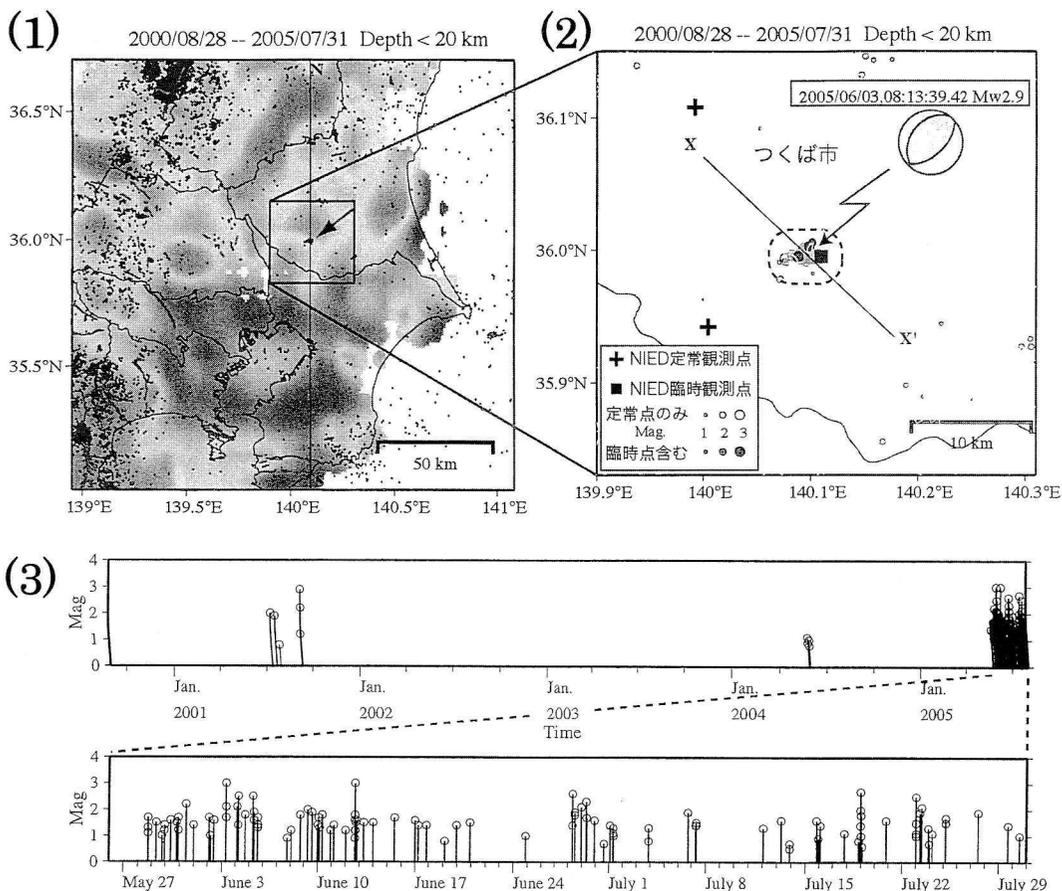


図3 2005年5月末から始まった茨城県つくば市南部の群発地震活動。(1) 最近5年間に関東地方の深さ20km未満で発生した地震、背景の濃淡は地震波速度分布を示す。(2) 群発地震の震央分布。(3) 震源域における、最近5年間(上段)および2005年5月26日以降(下段)のM-T図。[第165回:防災科研資料より合成]

と1992年当時は東京都唯一の震度観測点であった千代田区大手町で震度5を記録しているが、今回の大手町での震度は4である。従って、厳密に言うと東京で3度目と言うことには問題がある。逆の見方をすれば、もし東京全域で現在と同じ密度の震度観測がなされていたならば、震度5は過去にももっと多くあった可能性が高い。今回の地震が太平洋プレート内部で発生したものとすれば、東京で震度5を記録した最近3回の地震は、いずれもかなり深く(太平洋プレート内部)、マグニチュードも6程度であったことが共通している(防災科研)。

2005年7月26日、房総半島南東沖のプレート三重会合点の南方、伊豆・小笠原海溝の東側で、M 5.3を最大とし8つのM 5級地震を含む活発な群発地震活動が生じた。これらの地震の深さは5kmから8kmとごく浅く、すべての地震が正断層型の発震機構を示している。震源域は正断層帯に多く見られる地塁・地溝構造の分布域とよく一致することから、この群発地震は海溝軸

海側に発達する地塁・地溝の形成に関連したものと考えられる(防災科研)。

2005年10月16日、茨城県南西部の深さ47kmでM 5.1、最大震度4の地震があり、3日後の10月19日には茨城県東方沖の深さ48kmでM 6.3、最大震度5弱の地震が発生した。前者はフィリピン海プレート上面、後者は太平洋プレート上面で発生した地震であるが、両地域における最近80年間の地震活動指数の変化傾向はよく似ているとの報告があった(気象庁)。

4. 甲信越地方

2005年6月20日、新潟県中越地方の深さ15kmでM 5.0の地震が発生し、震度5弱が記録された。この地震は、2004年新潟県中越地震の余震域から西へ約20km離れた場所で発生し、発震機構はこの地域に典型的な北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。現地

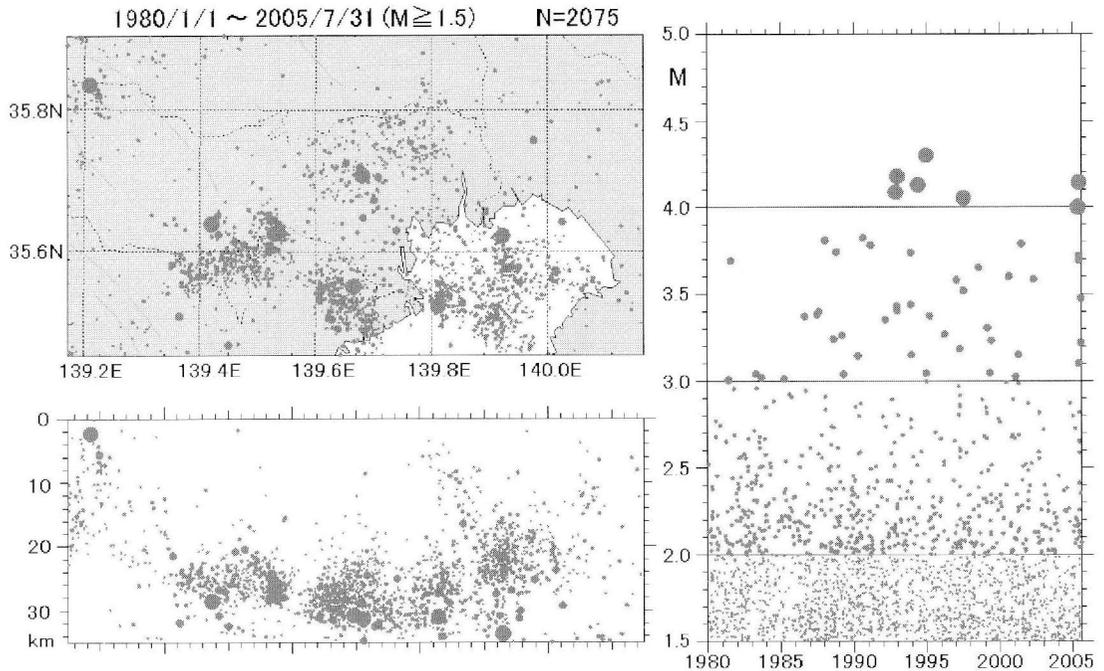


図 4 最近約 25 年間 (1980/1/1~2005/7/31) に、東京付近の深さ 35 km 未満で発生した M 1.5 以上の地震の震央分布、東西断面、および M-T 図。薄い線は活断層の位置を示す。[第 165 回：防災科研究資料]

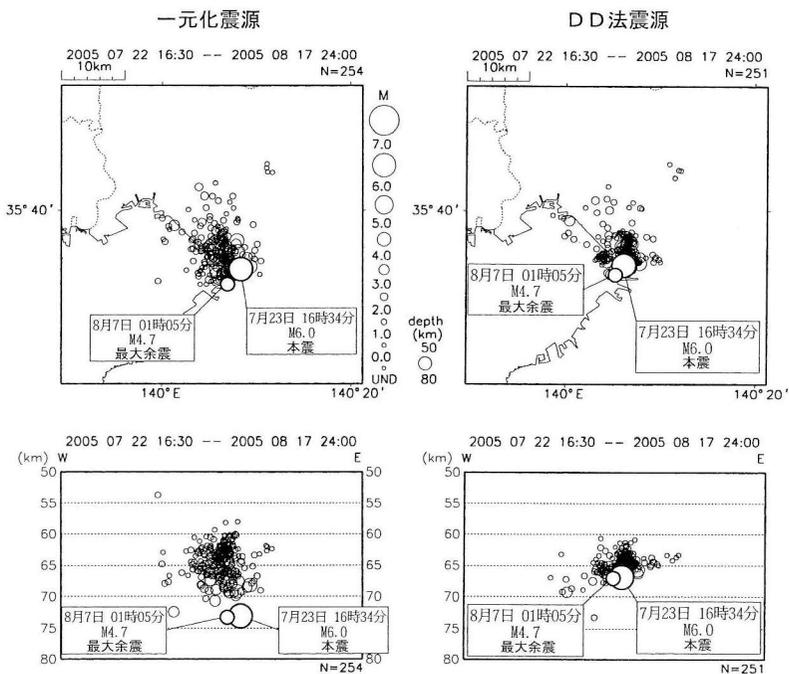


図 5 2005/7/23 千葉市付近の地震 (M 6.0) とその余震。左はルーチン震源、右は精密再決定した震源による深さ 50~80 km の分布を示す。[第 165 回：気象庁資料]

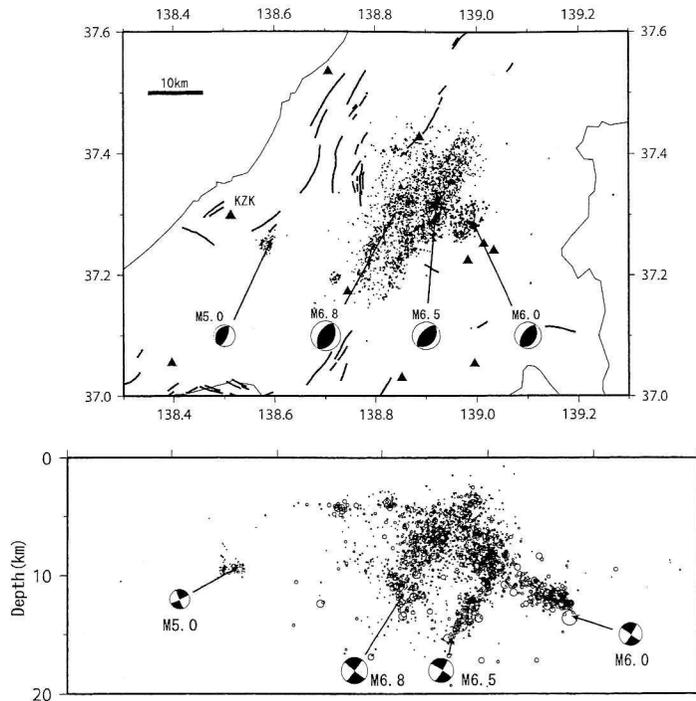


図6 新潟県中越地震の余震域と、その西方で2005年6月20日発生したM5.0の地震。
 (上段) 震央分布と主な地震の発震機構解。▲は臨時観測点、実線は活断層を示す。
 (下段) 時計まわりに35度回転した断面における余震分布。[第165回: 東大震研資料より合成]

の臨時観測データを加えた震源再決定結果によると、震源の深さは8~10kmになり、余震の並びは周辺の活断層と同じく北東-南西走向を示した。また、震源断層面は低角度な北西傾斜の面であることがわかった(図6: 東大震研)。

続いて2005年8月21日、上記の地震と新潟県中越地震余震域との中間付近で、深さ17km、M5.0の地震が発生し、震度5強が記録された。発震機構は6月20日の地震と同様であった。新潟県中越地震の余震域の西方では、この2つの地震のようにM5級地震が時々発生している(図7: 気象庁)。なお、溝上委員から、このような地震活動と小千谷・小国活褶曲地域の地殻変動との関連について指摘がなされた。

5. 東海地方

東海地域の水準測量結果による御前崎の沈下は、ほぼ同じ速度で続いている。一方、浜名湖周辺のスロースリップは依然として継続しており、推定されるプレート境界の累積滑りはMw7.1の地震に相当する量を超えたが、2005年に入ってから変動は小さくなってきている(地理院)。また、ITRF2000座標系で見たGPS解析結果

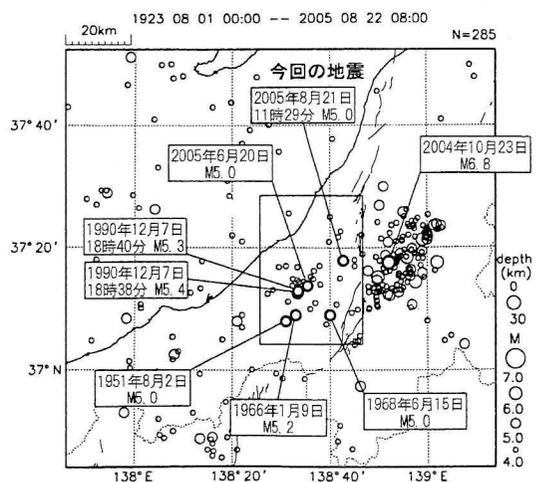


図7 新潟県中越地震の余震域の周辺で1923年8月以降に発生したM4以上の地震の震央分布 [第165回: 気象庁資料]

や、三ヶ日に設置された傾斜計記録からは、2004年後半頃にスロースリップが停止したように見られるとの報告があった(防災科研)。

2005年7月20日から23日にかけて、愛知県東部およ

び静岡県東部に設置された各機関のボアホール歪計で $0.01\mu\text{str}$ オーダーの微小な歪変化が記録された。プレート境界に変動源を推定すると、すべりが起きている可能性のある場所は愛知県東部で低周波地震の発生している場所に一致し、時期的にも同期していることが確認された(気象庁, 産総研, 東濃地震科学研究所)。

東海地方と紀伊半島北部では、2004年1月, 6月, および12月における深部低周波微動と、これに伴う短期的スロースリップの発生が、Hi-net地震計および傾斜計により、すでに報告されている。今回も同様の現象が記録され、愛知県東部のプレート境界で40km四方の範囲が0.8cm滑ったMw 5.7のイベントとしてモデル化がなされた(防災科研)。今回は変動源が東に寄ったため、気象庁の歪計などでも気付かれたのであろう。愛知県内における深部低周波微動と短期的スロースリップ現象を過去に遡って調べるため、関東・東海観測網の地震および傾斜記録を精査したところ、1997年から現在まで、年に2~3回のペースで規模の大きな微動が発生し、これに伴う短期的スロースリップも周期的に発生していたことが確認された(防災科研)。

6. 九州地方

2005年3月福岡県西方沖の地震(M 7.0)の余震活動は順調に減衰している。震源域周辺で実施されていたGPS臨時観測結果からは明瞭な余効変動が観測され、その向きは本震時のCoseismicな変動とほぼ同じ方向を示した。本震の断層モデルを参考にして余効変動をモデル化してみると、本震断層の上半分の浅い部分が6.2cm(本震時のすべり70cmの8.9%)すべったとするモデルが最適であった(九州大・鹿児島大・北大)。

2005年5月31日11時4分、宮崎県都井岬すぐ沖の深さ29kmでM 5.8の地震が発生し、最大震度4を記録した。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ低角逆断層型で、フィリピン海プレートと陸側プレートとの境界で発生した地震であると見られる。ほぼ同じ場所では、1998年12月16日にもM 5.7の地震が発生している(気象庁)。

2005年6月3日4時16分、熊本県天草芦北地方の深さ11kmでM 4.8の地震が発生し、最大震度5弱を記録した。発震機構は南北方向に張力軸を有する横ずれ型であり、この付近でよく見られるタイプであった。なお、震源は布田川・日奈久断層帯の北西約5kmに位置している(気象庁)。

7. その他

2005年10月6日、与那国島北方海域の深さ175kmでM 6.5の地震があり、最大震度3を記録した。フィリピン海プレート内部で発生した地震であると見られ、発震機構はプレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型であった。この地震の震源付近では、1947年9月27日に深さ96km, M 7.4の地震が発生している(気象庁)。

2005年10月23日、日本海中央部の深さ411kmでM 6.1の地震があり、最大震度2を記録した。太平洋プレート内部で発生した地震であると見られ、発震機構はプレートの沈み込む方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。この地震の震源付近では、1999年12月31日に深さ395km, M 5.4の地震が発生している(気象庁)。

2005年10月8日、パキスタン北部でM 7.6の浅発地震が発生し、死者8万名以上、負傷者7万名以上の甚大な被害を生じた。震源付近は北東進するインド・オーストラリアプレートがユーラシアプレートと衝突する地域にあっており、地震活動が活発な地域である。発震機構は北東-南西方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、M 6.3の最大余震が震源域の付近で発生した(図8: 気象庁)。人工衛星データにより、この地震に伴う地殻変動が検出され、震源の北西から南東にかけて帯状に約90kmの範囲で、1m以上の地殻変動を生じていることが確認された。この変動域の南端に沿って、北西-南東方向に伸びる北東側隆起、右横ずれの活断層の存在が知られている。被害の大きかったムザファラバード北部では、最大となる6mほどの隆起が見られ、モデル計算から断層すべりは最大約9mに達したとの推定がなされた(地理院)。

8. トピックス

8-1. 宮城県沖の地震

第165回連絡会では、当初の予定を変更して、2005年8月に発生した「宮城県沖の地震」をトピックスとして集中討議することになった。第166回で報告された資料と併せ、この地震の概要は以下のとおりである。

2005年8月16日11時46分、宮城県牡鹿半島の東方沖約50kmを震源とするM 7.2の地震が発生し、宮城県南部の川崎町で震度6弱、仙台市などで震度5強を観測した。震源の深さは約28km、発震機構解は北西-南東方向に圧縮軸をもつ低角逆断層型であり、沈み込む太平洋プレートと陸側のプレートとの境界で発生した地震であると考えられる。余震活動は本震の北西部で活発であった。宮城県沖は、地震調査委員会によって今後30年以内にM 7.5前後の地震が99%の確率で発生するとの長期

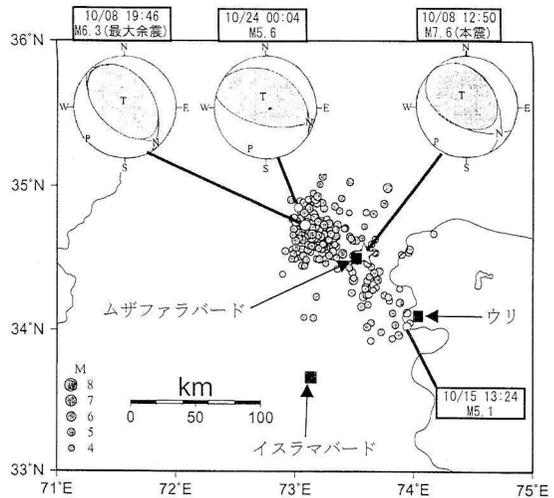
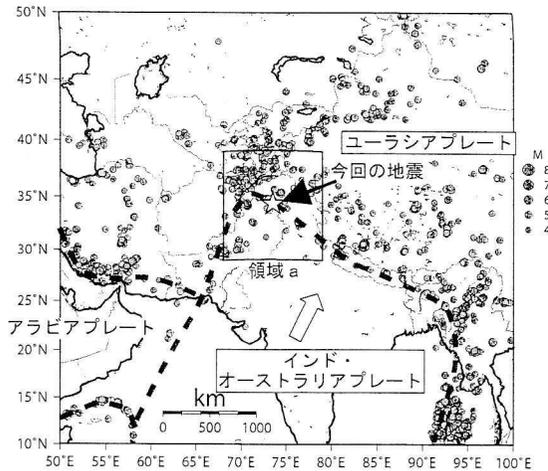


図8 (左) 2004/1/1~2005/10/8 にパキスタン周辺で発生した深さ100 km 以浅、M 4.0 以上の地震の分布。破線はプレート境界、矢印はプレートの進行方向を示す。(右) 2005/10/8~11/3 にパキスタン周辺で発生した M 4.0 以上の余震分布と、主な地震の発震機構解 [第166回: 気象庁資料]

評価が出されていた領域であるが、今回の地震の余震域は、想定震源域の一部分しか占めていない (図9: 気象庁)。

この地震で、石巻市鮎川では10 cm ほどの津波が観測された。鮎川では、今回の津波が地震発生から18分後に始まっているのに対し、1978年宮城県沖地震では地震発生とほぼ同時に津波が始まっており、このことから、今回の地震の震源域の広がりには1978年宮城県沖地震よりも小さかったことが想像される (気象庁)。

震源域付近で稼動していた5台の自己浮上式海底地震計のデータを加えて、精密再決定された余震分布から、本震と余震は沈み込む太平洋プレートの海洋性地殻内で発生していることが確かめられた。また、余震分布と津波記録に基づき、本震の断層面は長さ30 km、幅25 km ほどであり、すべり量は約1.5 mと推定された (東北大・東大震研ほか)。

遠地の広帯域地震記録を用いた震源過程のインバージョン結果によると、すべりの大きかった領域は破壊開始点の付近に推定され、その位置は1978年宮城県沖地震と1936年宮城県沖地震のアスペリティの中間あたりに位置するように見られる (図10: 東大震研)。破壊開始点付近ですべりが大きかったことは、強震計記録のインバージョン結果 (防災科研) や津波記録のインバージョン結果 (北大) から確認されている。

一方、GPS 観測結果からは、牡鹿半島の先端で5.6 cm の東方への水平変動と同時に、4.9 cm の沈降が観測された。また、宮城県の海岸寄りの各地点では2~3 cm の水平変動と1 cm 前後の沈降が確認された。これらの地殻

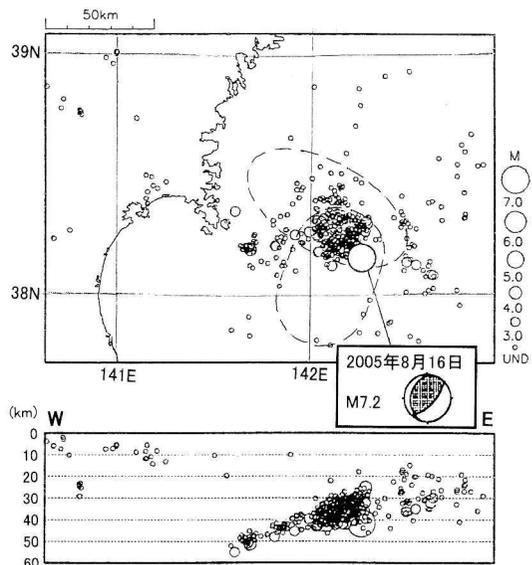


図9 2005年8月16日宮城県沖の地震 (M7.2) と、8月22日までの余震活動。破線で示す2つの楕円は、北側が1978年宮城県沖地震、南側が1936年宮城県沖地震の震源域を示している。 [第165回: 気象庁資料より合成]

変動分布に基づき、西方に23度で傾く、長さ28 km、幅49 km、上端深さ32 kmの断層面上で1.5 mのすべりがあったとする断層モデルが推定された (図11: 地理院)。今回の震源のすぐ東方では、水深1,100 mの海底に地殻変動基準点が設けられており、この地震の前後で東向きに約10 cmの水平変位が観測された。これは、上記モデルから計算される変位ベクトルとよく一致している (海

洋情報部)。

この地震のあと、宮城県沿岸では3カ月間で1 cm ほどの余効変動が観測され、プレート境界の震源域周辺、とくにその南側で5~6 cm の余効すべりがあったものと推測される(地理院・東北大)。震源域周辺にはいくつ

かの相似地震の巣があることが知られているが、本震後2日間に相似地震の発生は見られず、これから推定される準静的すべりの時間変化についても特別な動きは見られなかった(東北大)。

今回の地震に先立って、震源域の南側に隣接する領域では2004年末頃から地震活動の低下が見られ、とくにM 3.0以上の地震について顕著であった。この活動低下は地震の発生とともに元に復したが、今度は北側の隣接領域において、この地震を境とする顕著な地震活動の低下が始まった(気象庁)。これとは別に、震源域周辺における微小地震活動は1年くらい前から活性化し、直前の30日間には静穏化したと見られるとの報告があった。また、1997~2001年の5年間を基準とした宮城県沖の微小地震活動をさらに詳しく見ると、地震が活性化した領域において2003/10/31の地震(M 6.8)や今回の地震(M 7.2)が発生しており、活性化していながらもまだ地震の発生していない領域への注意が必要であるとの指摘があった(防災科研)。なお、Hi-net観測網に設置された傾斜計には、直前(1日間)および中期(30日間)のいずれにもノイズレベルを超える異常な変化は記録されなかった。このことは、地震前のプレスリップが仮にあったと

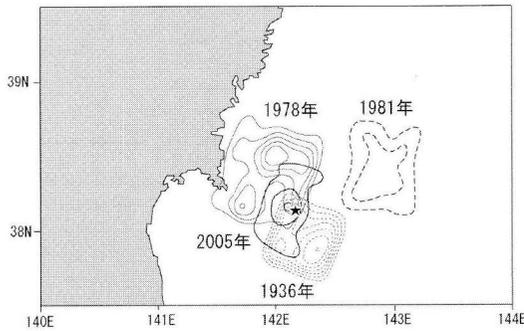
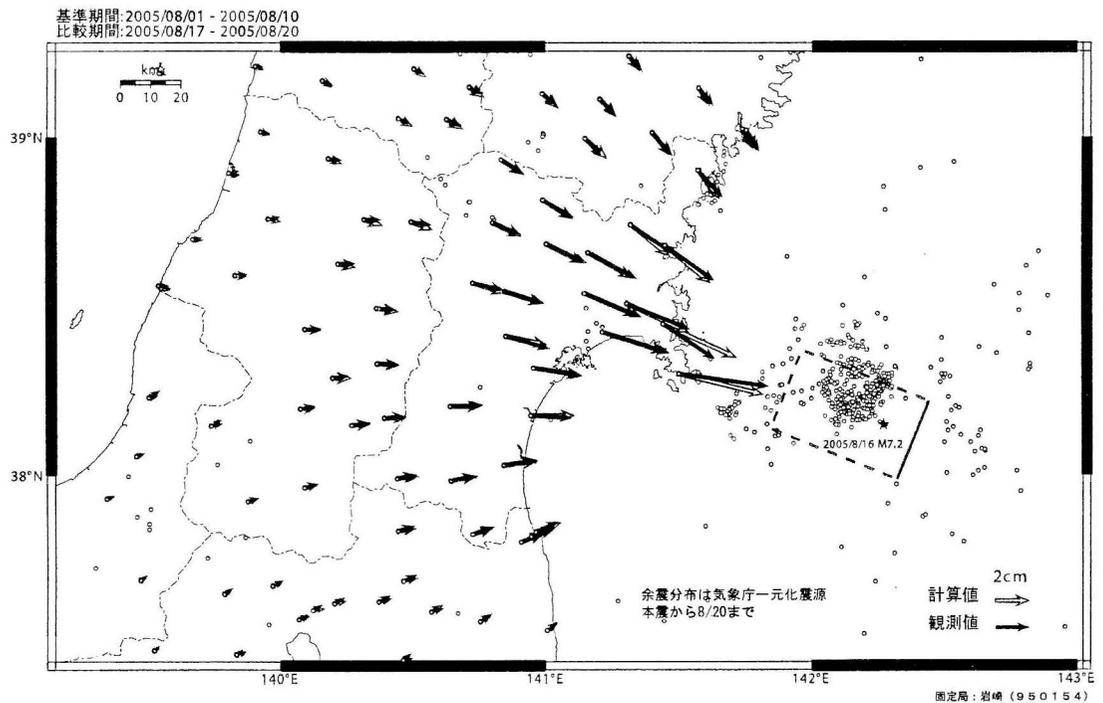


図 10 2005年8月16日宮城県沖の地震ですべりの大きかった領域(太い実線)と、過去の宮城県沖地震のアスベリティの比較(1978年: 細い実線, 1936年: 点線, 1981年: 破線)。コンター間隔は0.3 m。★は今回の地震, ☆は1978年宮城県沖地震の破壊開始点を示す。[第165回: 東大震研資料に加筆]



緯度	経度	深さ	長さ	幅	走向角度	傾斜角度	すべり角度	すべり量	マグニチュード
Lat=38.22	Lon=142.44	D=31.5km	L=27.8km	W=48.9km	Strike=202deg	Dip=23deg	Rake=91deg	Slip=1.47m	Mw=7.1

図 11 2005年8月16日宮城県沖の地震(M 7.2)に伴った地殻水平変動と、推定された断層モデル [第166回: 地理院資料]

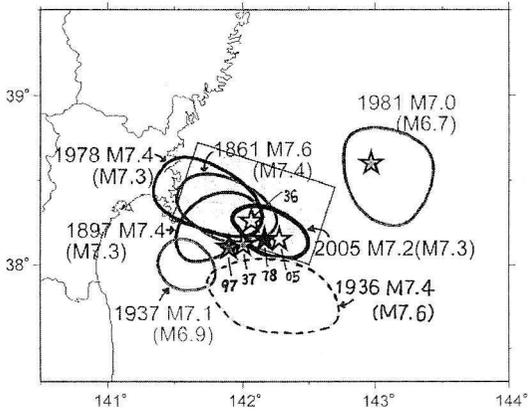


図 12 震度インバージョンにより推定された宮城県沖の主な地震の短周期エネルギー発生域。星印は気象庁による震央位置、括弧内の M は震度分布から推定された M を示す。〔第 166 回：武村資料に加筆〕

しても、その大きさは地震直前の 1 日間では Mw 6.0 以下、30 日間では Mw 6.8 以下であったことを示している（防災科研）。

震源域周辺の海底地殻構造を東西断面で見ると、太平洋プレートは 2 カ所で折れ曲がっており、沖合の折れ曲がり点より深部で 1981 年宮城県沖地震が、また陸に近い側の折れ曲がり点より深部で 1978 年宮城県沖地震および今回の地震が発生している。また、南北断面で見ると、1936、1937、2005 年の震源域付近を境として構造が不連続的に変化していることが報告された（海洋研究開発機構）。

8-2. 『宮城県沖地震』と 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震

第 166 回連絡会では、第 165 回に引き続き「『宮城県沖地震』と 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震」（世話人：島崎副会長）がトピックスとして取上げられ、おもに今回の地震をどう解釈するかについて活発な議論がなされた。

「古い地震波形記録を用いた一連の宮城県沖の地震の比較」（京大防災研：金森博雄・宮澤理稔・Jim Mori）では、外国で観測された遠地地震波形、および日本の阿武山・阿蘇で記録された地震波形を詳細に検討することにより、過去の宮城県沖地震の特徴を今回の地震と比較した結果が報告された。2005 年のイベントに較べると、① 1933 年は大きさはほぼ同じだが浅い、② 1936 年は大きさも深さも今回とほぼ同じ、③ 1937 年はやや小さく深い、④ 1978 年はほぼ同じ深さだがサイズはずっと大きい、ことがわかった。このことから、宮城県沖の一連の地震（1933、1936、1937、1978、2005）は、単純な固有地震ではないとの結論を得た。

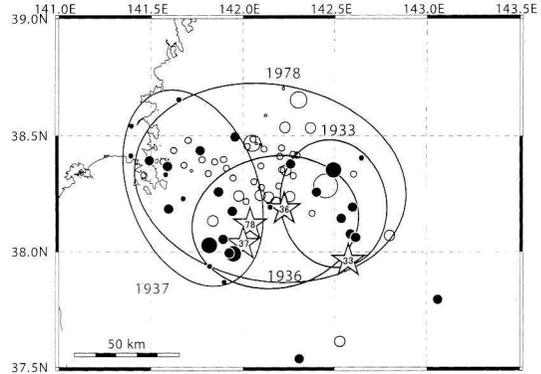


図 13 再決定された 1933 年、1936 年、1937 年、および 1978 年の宮城県沖地震の本震（星印）と余震（○印）の震央分布〔第 166 回：東北大資料に加筆〕

「震度インバージョン結果による 2005 年 8 月 16 日の地震と過去の宮城県沖地震の比較」（鹿島建設：武村雅之・神田克久）では、1861 年以降の各宮城県沖地震（1861、1897、1936、1937、1978、2005）による震度分布の違いと、それから推定される短周期エネルギー発生域についての考察結果が紹介された（図 12）。主要な結論は以下のとおりであった。① 1861、1897、1978 の 3 イベントは震度 6 の範囲を有しており、同一タイプの地震であったと思われる。② 2005 のイベントは 1936 と 1978 の中間的特長を有しており、1978 タイプの東側が破壊した可能性がある。③ 1936、1937 の短周期発生域は、1978 よりも南に位置している。但し、1936 の広がりには 1978 よりも 2005 に近い。

「2005 年 8 月 16 日宮城県沖地震及びそれと想定宮城県沖地震との関係」（東北大：海野徳仁・松澤暢ほか）では、まず、DD 法で精密再決定された 1978 年と 2005 年の宮城県沖地震の震源分布を比較した結果が示された。2005 年の本震は 1978 年の本震のすぐ北東隣りに位置していること、2005 年の余震域は 1978 年の余震域の南側を占めており、個々の余震が密集する場所は互いに重なっていることが指摘された。次いで、過去 4 回の宮城県沖地震（1933、1936、1937、1978）の余震を再決定したところ、1933、1936、1937 の 3 イベントの余震域は、1978 年の余震域の東部、南部、西部をそれぞれ占めていることがわかった（図 13）。

以上のことから、今回の地震は 1936 年宮城県沖地震とよく似ていることが確認された。また、宮城県沖には 3 つのアスペリティがあって、1861 年、1897 年、1978 年はこの 3 つが一括破壊した型の地震であり、1933 年、1936 年、1937 年はひとつひとつが個々に分割破壊した型の地震だったのではないかと、などの議論が交わされた。

（防災科学研究所企画部長）

■ 書 評 ■

● VAN 法の集大成

Panayiotis A. Varotsos 著 The Physics of Seismic Electric Signals

評者 長尾年恭

本書「地震電気信号の物理」は1980年代より話題となったギリシャにおける地電流観測を基にした地震予知法（VAN法）に関する集大成と位置づけられる著作である。特に地震前に発生すると著者が主張している Seismic Electric Signals (SES) の発生・伝播メカニズムを含む理論的・実験的研究と彼らの最新の時系列データ解析等が述べられている。

第一部は観測および室内実験に基づく SES の特徴のまとめであり、5章から成る。第二部は SES の伝播についての理論的考察であり、5章から成る。第三部は SES 発生メカニズム仮説の詳細と最近の成果を中心に述べており、3章から成っている。

第一部では観測システムの紹介から、観測結果を基にした SES の特徴、MT法による観測点近傍の詳細な電氣的構造探査の結果、および彼らが観測を開始する前に実施していた SES 発生に関する室内実験結果などについて述べられている。さらにVAN法につきまとった「予知はどの程度実現していたのか」という問題に対する統計的な検討や各種議論が掲載されている。

第二部はSESが観測されるためにはどのような電氣的な地殻構造（異方性）が必要かといった問題に対する理論的な研究に当てられている。最大の結論は均質な大地ではSESは震源地直上近傍だけでしか観測されず、100 kmも離れた地点で観測されるためには、非常に大きな電氣的な構造異方性が地殻に存在する事が必要な事であり、著者は断層系がその異方性の候補と考えているようである。

第三部は物性物理学から見たSES発生メカニズム仮説の詳細と、SESは臨界現象の物理学と強く関係しているという主張を展開している。地震活動を物性物理学で言う強磁性鉱物の相転移などと比較し、地震活動そのもの

のも同じスキームで扱えるという主張を行っている。そしてある系が臨界かどうかを客観的に判断できる新しい時系列解析手法（Natural time）を紹介している。

全体を通して言える事だが、極めて難解な本である。評者はたまたま本書の第一次原稿を入手する機会があったが、それに比べると格段に内容が整理されており、読みやすくなっているが、それでも依然として極めて読みづらい。この著者の読みづらい表現法そのものがVAN法が学会で認知されにくい原因の一つだと評者は推察している。

VAN法については「当たった」、「外れた」という議論のみが先行したきらいがあるが、最も重要なのは、著者は固体物性物理学の見地から、まず理論的にSESという現象が破壊（地震）前に発生する可能性を考え、それを実際の大地に適用し、さらにそれらが観測されるためにはどのような地殻構造（電氣的な地殻の不均一性）が必要かをstep by stepに解明を試みている事を評価すべきであろう。

VAN法については批判も多いが、本書はDC-ULF帯の地球内部電磁気現象を総合的に扱ったものであり、固体地球電磁気研究者全体にとって有用な書物であろう。

< TERRAPUB, Tokyo, 2005年, A4判, 358ページ,
ISBN No. 4-88704-136-5, \$150 >

● 東北日本の地形・地質を詳説

小池一之、田村俊和、鎮西清高、 宮城豊彦 編 日本の地形3・東北

評者 長谷見晶子

発行準備開始から十数年をかけて作られた7巻のシリーズ本のうちの1冊である。執筆者が37名に及ぶ内容豊富な本である。執筆者がそれぞれ熟知されている地域を専門用語をできるだけ使わないで解説しているので、地形の専門家でなくても理解しやすい記述が多い。地震波の観測から得られた東北日本の地下構造の紹介から本文が始まっているのを見ると、地形学、地震学の分

野が重なっていることを感じる。

にわか勉強の必要に迫られて、あるいは楽しみのために地形・地質の文献に当たることがしばしばある。たとえば地震が起きると震源あたりに活断層があるかと資料を参照するし、地下構造に地震波速度異常がみつければ付近の火山の活動史などを調べ、旅行のときは行き先の地質ガイドを読んだりする。これからは、そういういろいろな場面でこの本のお世話になることだろう。地形の小区分がだいたい余さず取りあげられているから、お目当ての火山が載っていない、ということがなさそうで有り難い。

東北地方全体や脊梁山脈、内陸盆地群といった大きな区分の特徴を知るための本としてもそばに置いておきたい。東北日本の地形形成については「1. 総説」でプレートの沈み込みや応力場に関連づけられてまとめられている。分かり易く書かれているので断片的であった知識を整理することができた。続いて「2. 北上山地と阿武隈山地」、「3. 下北半島・北上低地帯・阿武隈低地帯」、「4. 奥羽脊梁山脈と火山群」、「5. 南北に連なる盆地群と日本海に注ぐ河川群」、「6. 出羽・飯豊山地と日本海沿岸の地形」と東側から西側へ地域ごとの特徴が解説されている。4章では2つの節(4-1と4-7)で奥羽脊梁山脈の大局的な特徴が述べられているが、内陸盆地の分布の規則性なども含む内容であり、他の章を読むときにも参考になる。最後の「7. 東北日本の地形発達」に地形面の発達史がまとめられている。この章を読んでおくと、5章に書かれている内陸盆地の地形の記述が分かり易くなると思う。

当然のことであるが、海成段丘、河成段丘の記載が多い。盆地の形成史が河成段丘の記載に基づいて組み立てられている場合も多いが、その記述を追うには地形学の基礎知識と根気が筆者には不足しているのを感じた。執筆者は分かり易い記述を苦心されたと思うが、形成史を再現するときの過程がもう少し詳しく、易しく書かれていて欲しいと思うが、望みすぎだろうか。

筆者にとって身近な山形県の地形に関するところを読んでいたら、月山は断層上に噴出した火山で、その断層は30-40万年以降にも活動しているという記述があった。この断層の南方延長には微小地震活動が活発な地域がある。地震活動と断層との関連を調べたくなった。

本書を一読してこのような“発見”をされる読者は多いのではないだろうか。

<東京大学出版会, 2005年2月, B5判, 376頁,
7,140円(税込み)>

●新刊紹介

雨宮士朗・宮原 潤 著

地震・防災対策マニュアル策定ガイド

日本能率協会マネジメントセンター, 2005年3月, A4判,
336頁, 44,100円(税込み)

福生ボランティア連絡協議会 編

哀しみをみつめて 新潟中越地震災害ボランティア活動ドキュメント

ふきのとう書房, 2005年4月, A5判, 135頁, 1,575円
(税込み)

山下文男 著

津波の恐怖—三陸津波伝承録

東北大学出版会, 2005年4月, B6判, 249頁, 2,100円
(税込み)

西日本新聞社

福岡沖地震 2005年3月20日午前10時53分

西日本新聞社, 2005年4月, A4判, 79頁, 1,000円(税
込み)

田代ひろし・土屋たかゆき 著

大地震マニュアル あなたの命を救う地震対策 60ポイント

しのめ出版(星雲社), 2005年4月, B6判, 151頁,
1,260円(税込み)

柘植久慶 著

東京大津波 東海・東南海連鎖地震、ついに発 生す!

PHP研究所, 2005年5月, 文庫判, 299頁, 620円(税
込み)

中林一樹 著

あなたの命を守る 大地震東京危険度マップ

朝日出版社, 2005年5月, B5判, 80頁, 700円(税込み)

国生剛治 著

液状化現象 巨大地震を読み解くキーワード

山海堂, 2005年6月, B6判, 269頁, 2,100円(税込み)

テレビ朝日「ドスペ!」取材班

草野仁の緊急警告! 必ず来る巨大地震

朝日新聞社, 2005年7月, A5判, 173頁, 1,470円(税込み)

宮城賢秀 著

安政の大地震

光文社, 2005年6月, 文庫判, 328頁, 600円(税込み)

U.E.P.・関谷真一 著

地震・災害にも負けない「強い家」の建て方とメンテナンス

永岡書店, 2005年6月, A5判, 191頁, 1,260円(税込み)

矢田俊文 著

新潟県中越地震文化遺産を救え (高志書院ブックレット)

高志書院, 2005年6月, A5判, 96頁, 1,050円(税込み)

矢作征三 著

地震対策 危機管理が企業を守る

パピルスあい(社会評論社), 2005年6月, B6判, 236頁, 1,785円(税込み)

土井恵治 著

地震のすべてがわかる本 発生のメカニズムから最先端の予測まで

成美堂出版, 2005年7月, A5判, 224頁, 1,365円(税込み)

平 朝彦 著

地球の内部で何が起きているのか?

光文社, 2005年7月, 新書判, 277頁, 893円(税込み)

伊藤和明 著

津波防災を考える 「稲むらの火」が語るもの 岩波ブックレット

岩波書店, 2005年7月, A5判, 55頁, 504円(税込み)

須藤真啓 著

新潟県中越地震における『迷彩服の隊長』奮闘記
(財)日本法制学会, 2005年7月, A5判, 197頁, 1,575円(税込み)

中林一樹 著

<図解>東京直下大震災

徳間書店, 2005年8月, B6判, 158頁, 1,470円(税込み)

上出孝之 著

わかりやすい地震雲の本 これであなたも大地震を予知できる

北國新聞社, 2005年8月, B6判, 148頁, 1,260円(税込み)

毛利甚八 著 片桐恒平 撮影

山古志のこどもたち(中越地震復興応援写真集)

小学館, 2005年8月, B5変形, 84頁, 2,100円(税込み)

金折裕司 著

山口県の活断層 地震災害の減災をめざして

近未来社, 2005年8月, A4変形, 119頁, 1,800円(税込み)

山下順正 著

台風と地震・その防災 明日はあなたが被害者かも?

新風舎, 2005年8月, B6判, 117頁, 1,260円(税込み)

「週間現代」特別取材班 著

巨大地震と地震雲 予兆現象はXデーを警告する!

講談社, 2005年8月, A5判, 199頁, 1,365円(税込み)

柴田明德 著

確率的手法による構造安全性の解析 確率の基礎から地震災害予測まで

森北出版, 2005年8月, A5判, 275頁, 4,410円(税込み)

戸石四郎

津波とたたかった人—浜口梧陵伝

新日本出版社, 2005年8月, B6判, 188頁, 1,680円(税込み)

保坂貴司 著

地震に強い家に住みたい 正しい耐震診断とは しっかりした耐震補強とは

暮しの手帖社, 2005年9月, A5判, 204頁, 1,785円(税込み)

太田外氣晴・座間信作 著

巨大地震と大規模構造物 長周期震動による被害と対策

共立出版, 2005年9月, A5判, 287頁, 3,570円(税込み)

地震ジャーナル・既刊総目録

[31号~40号]

31号・2001年6月

エッセイ ジャーナル編集15年 力武常次
座談会 地震の活動期と静穏期
司会：萩原幸男
茂木清夫/尾池和夫/岡田義光/井野盛夫
鳥取県西部地震と兵庫県北部の地震 渡辺邦彦
地震工学から見た鳥取県西部地震の被害 伯野元彦
富士山の低周波地震(続報) 鶴川元雄
ハイブリッド重力観測で追う地震・火山活動

これからの気象庁マグニチュード 大久保修平
地震予知連絡会情報 上垣内 修
長谷川 昭

◇第141回 [2001.02.19] ◇第142回 [2001.04.13]

◇第143回 [2001.05.21]

書評・力武常次 地震予知 井野盛夫
・池谷元司 大地震の前兆 こんな現象が危ない/
山下輝夫 大地の躍動を見る/
溝上 恵 東京直下大地震/
長尾年恭 地震予知研究の新展開 力武常次
・貝塚爽平ほか編 日本の地形4 佐藤比呂志
「関東・伊豆小笠原」
・J.B. Rundle ほか編 地球複雑系と
地震物理学 GeoComplexity and
the Physics of Earthquakes 大中康馨
ADEP 情報 平成13年前期の人事異動

32号・2001年12月

エッセイ 祖父と関東大震災 片山恒雄
東海地震対策の再検討を 茂木清夫
東海地震の警戒宣言における灰色情報 井野盛夫
東海の固着域と地震活動の変化 松村正三
陸域震源断層の深部すべり過程のモデル化 伊藤久男
地殻下部の震源断層
—2001年インド・グジャラート地震— 佐藤魂夫
被害分布とその特徴
—2001年インド・グジャラート地震— 村上ひとみ
囲み記事・K-NET, Hi-net, KiK-net,
FREESIA 岡田義光
・世界で初めての地下鉄地震被害/
ところ変われば品変わる：野良いのしし?

地震予知連絡会情報 伯野元彦
長谷川 昭

◇第144回 [2001.08.20] ◇第145回 [2001.11.19]

書評・瀬野徹三 続プレートテクトニクスの基礎 橋本 学
・萩原幸男, 糸田千鶴 地球システムの
データ解析 斎藤正徳
・宇津徳治 地震学 第3版 吉井敏尅
・宇野仔江子 淡墨桜/
島崎邦彦ほか あした起きてもおかしくない
大地震/
上田誠也 地震予知はできる 力武常次

33号・2002年6月

エッセイ 地震と木造密集市街地 伊藤 滋
講演 地震予知のための物理モデル序説 安芸敬一
つぎの南海地震 尾池和夫
西南日本で発見された深部低周波微動 小原一成
岩手県釜石沖の固有地震の地震活動 長谷川 昭
社会が苦手なこと 鳥井弘之

建築物の耐震診断・耐震補強 岡田恒男
戸建て住宅の免震設計の考え方と実際 石丸辰治
囲み記事・雑微動の時間変化/「震度」と「マグニ
チュード」のたとえ 岡田義光
・地震数え唄 本蔵義守
・地震いろは歌留多 力武常次
・静岡県地震防災センター 井野盛夫
地震予知連絡会情報 岡田義光
◇第146回 [2002.02.18] ◇第147回 [2002.05.20]
書評・岩切 信 日本災害史 第1巻 地震・津波
川端信正

・Rikitake, Tsuneji 著 Predictions and Precursors
of Major Earthquakes—The Science of Macro-
scopic Anomalous Phenomena— 佃 為成
・茂木清夫 地震のはなし 力武常次
ADEP 情報 平成13年後期の人事異動

34号・2002年12月

エッセイ 死角から忍び寄る内憂外患 溝上 恵
地震動予測地図 藤原広行
表層地盤と地震動 翠川三郎
1923年(大正12年)関東地震による地震動と
地盤 武村雅之
レベル2地震動に対する液状化の研究の取組み 安田 進

『ナウキャスト地震情報』の実用化に向けて 横田 崇/上垣内 修/加藤孝志
フラクタルアスペリティ/バリアー侵食モデル
と地震予知 瀬野徹三
地震の基礎知識 岡田義光
地震計の原理/歪計・傾斜計の原理
囲み記事・N値/地震基盤(工学基盤)/
液状化は怖くない 伯野元彦
・地震観測の思わぬ副産物 岡田義光

地震予知連絡会情報 岡田義光
◇第148回 [2002.08.19] ◇第149回 [2002.11.18]
書評・Agustin Udias 著 Principles of Seismology 佐藤春夫
・Carl-Henry Geschwind 著 California Earth-
quakes: Science, Risks, and the Politics of
Hazard Mitigation 力武常次
・池田安隆ほか編 第四紀逆断層アトラス 松田時彦

35号・2003年6月

エッセイ 新しい地震確率情報 阿部勝征
都市ガス供給網における超高密度地震防災
システム 清水善久
災害時の情報流通の課題 鈴木崇伸
ITを活用した次世代型地震防災情報システム
の開発 後藤洋三
地震災害被害を軽減するためのRT(ロボット
テクノロジー) 田所 諭

砂山崩しの実験—SOCと固有地震 吉岡直人
南ア金山での震源過程直接観測 小笠原 宏/飯尾能久
速報 2003年5月26日宮城県沖の地震 岡田義光
地震の基礎知識 岡田義光

3 震源決定と観測網最適配置
4 発電機機構とその表現

囲み記事・全壊家屋と倒壊家屋は違う?/
地震基盤(工学基盤)の訂正 伯野元彦
地震予知連絡会情報 岡田義光

◇第150回 [2003.02.17] ◇第151回 [2003.04.14]
◇第152回 [2003.05.19]

書評・William H.K. Lee ほか編 International Hand-
book of Earthquake and Engineering Seismol-

ogy Part A
・大中康譽ほか 地震発生の物理学
・大竹政和ほか 日本海東縁の活断層と
地震テクニクス 笠原 稔

新刊紹介 編集部
ADEP 情報 平成 14 年度の人事異動について

36 号・2003 年 12 月

エッセイ 地震研究所創立と関東大震災 山下輝夫
元禄地震 300 年 都司嘉宣
小田原地震は起こるのか? 石橋克彦
GPS からみた次の関東地震 鷺谷 威
関東大震災: 様々な被害とその教訓 武村雅之
東京港の埋立ての歴史 清水恵助
東京都の地震防災対策 笹井洋一
地震の基礎知識 岡田義光
5 震度
6 マグニチュード
囲み記事・「震度 6 が一日に 3 回」をめぐって 岡田義光

- ・世界最高 2,500 ガルでも無被害/
耐震補強は何故進まないのか 伯野元彦
- ・宮城県北部の地震 (平成 15 年 7 月 26 日)
震央至近における墓所の被災 服部 仁

地震予知連絡会情報 岡田義光
◇第 153 回 [2003.08.18] ◇第 154 回 [2003.10.21]
◇第 155 回 [2003.11.17]

書評・菊池正幸 リアルタイム地震学 石田瑞穂
・菊池正幸編 地殻ダイナミクスと地震発生 梅田康弘
・笠原順三ほか編 地震発生と水 小泉尚嗣
・早川正士 なぜ電磁気で地震の直前予知
ができるか 長尾年恭
・武村雅之 関東大震災大東京圏の揺れを知る 福和伸夫
・小崎 尚ほか編 日本の地形 2 北海道 垣見俊弘

新刊紹介 編集部
ADEP 情報 平成 15 年度前期の人事異動

37 号・2004 年 6 月

エッセイ 総長室の窓から 尾池和夫
2003 年十勝沖地震: 長期予測と実際 島崎邦彦
活断層の長期評価を読み解く 栗田泰夫
地震情報における数値とその評価 中森広道
地震予知と噴火予知 井田喜明
工学からみた地震の予知・予測 伯野元彦
気象予報と地震予知 廣田 勇
地震の基礎知識 岡田義光
7 断層運動
8 地震波の放射と静的変形

囲み記事・発破の増減と経済 岡田義光
・富士山に登った絶対重力計 大久保修平
・日干しレンガはキラー・レンガ 伯野元彦
・「降水確率予報」技術とその課題 山川修治
・アンサンブル天気予報の利用可能性 有沢雄三

地震予知連絡会情報 岡田義光
◇第 156 回 [2004.02.16] ◇第 157 回 [2004.05.17]
書評・小林惟司 寺田寅彦と地震予知 飯沼光夫
新刊紹介 編集部
ADEP 情報 人事異動について

38 号・2004 年 12 月

エッセイ 科学の語り部を育てよう 大竹政和
力武先生の思い出 萩原幸男

地震予知から地震調査研究へ 岡田義光
東海・東南海・南海地震の予知 安藤雅孝
阪神・淡路大震災における木造建築物の
層破壊被害 堀江 啓
新潟県中越地震の災害 (緊急報告) 伯野元彦
囲み記事・「稲むらの火」—忘れないだけでは

津波災害は防げない— 津村建四朗
・SMAC 型強震計 田中貞二
・地震による死傷者の数え方 宮野道雄
地震予知連絡会情報 岡田義光
◇第 158 回 [2004.08.23] ◇第 159 回 [2004.09.17]
◇第 160 回 [2004.11.04] ◇第 161 回 [2004.11.15]

書評・井野盛夫 こうすれば東海地震は
こわくない 石田瑞穂
・岡田義光 日本の地震地図 塚原弘昭
・日本測地学会監 大久保修平 地球が
丸いってほんとうですか 本蔵義守

新刊紹介 編集部
ADEP 情報 平成 16 年度前期の人事異動

39 号・2005 年 6 月

エッセイ 所長室の窓から 大久保修平
パークフィールド地震から学ぶもの 長谷川 昭
地震予測地図の工学利用 亀田弘行
地震と火災…次の大地震に備えて 室崎益輝/関沢 愛
地震による土砂災害の実態と防災対策 井口 隆
実大三次元震動破壊実験施設 (E-ディフェンス)

地震の基礎知識 小川信行
9 アスベリティ 岡田義光
10 相似地震

囲み記事・安政江戸地震の震源は深いか浅いか 古村孝志
・確率による地震動予測の問題点 土岐憲三
・計測震度と被害 境 有紀
・免震台の盲点/液状化は怖くない (2) 伯野元彦

地震予知連絡会情報 岡田義光
◇第 162 回 [2005.02.21] ◇第 163 回 [2005.04.07]
◇第 164 回 [2005.05.16]

書評・太田陽子ほか編 日本の地形 6 近畿・ 佃 栄吉
中国・四国
・山本明彦ほか編 日本列島重力学アトラス 松田時彦
・大竹政和監 防災力! 宮城県沖地震に
備える 岡田義光

新刊紹介 編集部
ADEP 情報 組織の一部改組/人事異動

40 号・2005 年 12 月

エッセイ 資源・環境・災害の連鎖と防災 植原茂次
インド洋大津波の特徴—緊急調査と解析から
分かってきたこと 今村文彦
気象庁のインド洋津波監視情報 西前裕司
スマトラ島西方沖地震津波の特性と日本列島周辺で
起きる可能性 都司嘉宣
首都直下地震の被害想定と防災対策 藤上 恵
活断層研究の成果を次の地震危険度予測へ
生かすための課題 隈元 崇
救急・災害医療活動支援モデルを開発 石田勝彦
地震の基礎知識 岡田義光

11 スロースリップ
12 GPS, VLBI, SLR, SAR
囲み記事・南海・東南海地震に備えて 地域防災
ボランティア—和歌山県潮岬 佃 為成
・やはり怖い液状化 安田 進

・最近の自然災害の傾向—気象災害と
地震災害の比較 萩原幸男/小見波正隆
・地震によるサッシ・カーテンウォール
のガラスへの影響 丸山 治
・リフォーム詐欺と耐震補強 伯野元彦
岡田義光
地震予知連絡会情報

◇第 165 回 [2005.08.22] ◇第 166 回 [2005.11.21]
書評・Panayiotis A.Varotsos 著 The Physics of
Seismic Electric Signals 長尾年恭
・小池一之ほか編 日本の地形 3 東北
長谷見晶子
新刊紹介 編集部

編集後記

編集者にとって一番の困りものは期限を大幅に遅れる執筆者である。私も原稿の催促を何遍も受けた経験があるので判るのであるが、催促を受けてから書き始めるケースが多い。あらかじめ論文の構想が出来上がっており、資料が整っていれば、文章の方は一週間もあれば完成する。しかし書き始めのきっかけがない。催促の電話を受けて、「もうすぐ完成します」と、そば屋の出前的な返事がきっかけとなって書き始める。

雑誌の編集事情に精通している人のなかには、もっと性の悪い人もいる。期限といっても一カ月くらいの余裕はあるに違いないと、一カ月経過してから書き始める。現今では原稿の郵送に時間をとられることなく、メールで瞬時にやりとりができるので、その程度の遅れなら、雑誌の発行に何とか間に合うことを知っているのである。しかし編集者にとって、このような執筆者ほど迷惑なものはない。

私は日大文理学部で「論文の読み方と書き方」の講義を担当している。そこでは院生に論文を気軽に書くよう勧めることにしている。もし先人が 100% 完璧な研究論文を書いたとしたなら、その研究はそこで終了、研究を受け継ぐ者は出ない。先人の論文に誤りがあったり、不完全な部分があるからこそ後続の研究者が現れる。「私は単著 10 冊以上、論文 200 編近く書きました。しかしその大部分は欠陥品です」と告白することになっている。

だからと言って、いい加減な論文を作られても困るが、実際のところ、論文書きは大変な事と思っている真面目な人が多いのである。「この部分の実験が終わらないと論文にならない」とか、「もう一度調査してから論文にする」と言っているうちに、時間はどんどん経過する。実験や調査の途中のどこかで、踏ん切りを付けなければ論文はできない。データ解析やモデリングの場合も同じである。モデルを単純化すべきところ、逆に複雑化するため收拾がつかなくなり、結局論文に至らない。

地震ジャーナルの場合、オリジナルな研究論文を要求することはない。研究の解説やレビューを平易な論調で書き上げて欲しい。したがってその分野で功あり名を上げた研究者に執筆を依頼することが多い。一般にこのような大家は執筆慣れているから、前記のような真面目過ぎて論文が書けない人達ではない。むしろ多忙で、執筆依頼を受けたことを忘れ去っているのである。しかし資料は手元にある程度揃っているだろうから、僅かな努力と論文書き始めのきっかけさえあれば、一週間もすれば投稿できる筈である。しかし実際には、一カ月経っても論文が届かないことがある。相手はどうあれ、編集者にとっては原稿締め切りを守る執筆者を歓迎するだけである。

以上のように編集者の泣き言を書く積もりはなかったのであるが、本号の編集に当たって、色々なトラブルがあったものだから、多少八つ当たりしたことをお許し頂きたい。巻

頭のエッセイをお願いした某大家は、期限に一カ月以上遅れた上、多忙を理由に執筆を断って来られた。急遽ピンチヒッターとして、植原防災科学技術研究所前所長をお願いした。またメインの論文執筆者の一人も期限を一月半ばかり超過した。マスコミに売れっ子の先生であるため、電話も通じなければ、メールに返事も来ない。ほとんど困ったというのが実感である。

地震ジャーナルの先代の編集長方武常次先生は執筆に「手が早い」人の情報を熟知されており、決して「手が遅い」人に執筆を依頼されなかった。私もそろそろ先代の真似をせざるを得なくなっている。(Y.H.)

地震ジャーナル 第 40 号

平成 17 年 12 月 20 日 発行

発行所 ☎101-0064
東京都千代田区猿樂町 1-5-18
☎ 03-3295-1966
財団法人
地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

本誌に掲載の論説・記事の一部が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/ (財)学会誌刊行センター