

# 地震 ジャーナル

36

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——1  
小田原地震は起こるのか? ●石橋克彦——8  
GPSからみた次の関東地震 ●鷺谷 威——14  
関東大震災：様々な被害とその教訓 ●武村雅之——26  
東京港の埋立ての歴史 ●清水恵助——40  
東京都の地震防災対策 ●笹井洋一——55  
地震予知連絡会情報 ●岡田義光——62  
●書評——72  
●新刊紹介——77  
●執筆者紹介——78  
●ADEP情報——80

地震の基礎知識 震度/マグニチュード

困み記事 「震度6が一日に3回」をめぐって/世界最高2,005ガルでも無被害/  
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/  
耐震補強は何故進まないのか

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

# 地震研究所創立と関東大震災

## 山下輝夫

地震研究所は、1923年に首都圏を襲った関東大震災に直面した先人達が、地震に関しての基礎研究の重要性を痛感し、研究所設立に向けて奔走した結果、1925年に発足したものである。特に、末広恭二や寺田寅彦らの熱意と努力によるところが大きく、地震研究所創立10周年を期に寺田寅彦により撰せられた銅板の碑文が今も地震研究所の一階ロビーに掲げられており、地震研究所設立の経緯などが述べられている。この碑文からは、設立当時の強い意気込みが感じられる。従来の震災予防調査会という委員会制度にかわり固有の研究者と予算を持つ常設の研究所が発足し、組織的に地震研究を推進する体制が整った。発足した地震研究所は、地震という地球の破壊現象を根源から理解することが必要だという考えが設立にあたっての精神であった。そのため、研究手法についても大転換が行われ、物理学的観点からの研究が強力に推進されることとなり、地震学はあらたな展開を示すことになった。専任の所員は、他分野ですでに業績をあげているが地震研究については全くの新人であり、研究所設立当時は清新の気風がみなぎっていたと言われている。地震研究所発足後数年にして、新しい機器の開発、現象の発見や理論が次々と報告されることとなった。たとえば、石本巳四雄による加速度計、シリカ傾斜計の開発や発震機構の研究、妹澤克惟による数理的弾性論の一連の研究は、良く知られている。これらの所員達の活動により現代地震学の礎が築かれたと言える。また、地震研究所設立を待っていたかのように、1926年十勝岳噴火、1927年丹後地震、1930年北伊豆地震、1933年三陸地震など次々起き、大きな惨禍にみまわれたが、これらの現象についての所をあげての取り組みにより多くの研究成果も得られた。

なお、地震研究所設立にあたっては、上に述べたとおり、地震という地球の破壊現象の根源からの理解が不可欠だとの考えが設立にあたっての精神であった。そのため、耐震研究所でもなく、防災研究所でもなく、地震研究所とされたのである。地震研究所という名称ではあるが、当初から火山研究も重要な柱であり、活発な研究が行われていたことは設立当時の所員構成などからもうかがい知れる。

今年で地震研究所は創立78年を迎えることとなる。もとより研究組織は、その古さに意義があるわけではない。新たな研究分野を開拓し、新たな人材の登用や人材交流に心を配らなければ、自然と発足時の清新の気風は薄れ研究活動は沈滞化してしまう。地震研究所は、1994年に全国共同利用研究所に改組し、国内外の研究者との研究交流に努めており、他分野からの人材の登用も進めつつある。また、最近では研究の幅も大きく拡大し、たとえば、地球規模の観測ネットワークの展開による地震や火山現象の根元である地球深部の構造とダイナミクスの解明についての研究も関連研究者と共同して推進しつつある。ただ、今後の大きな懸念は、来年4月に予定されている国立大学の法人化後、地球科学のようにタイムスケールが長く、多くの研究者の協力が必要な研究活動がどのように担保されるかということである。

# 元禄地震 300 年

## 都司嘉宣

### 1. 元禄地震とは

今年、徳川家康が江戸幕府を開いてから 400 年目に当たる年である。この間に、江戸・東京は 3 回、壊滅的な被害をもたらした地震を経験している。すなわち、元禄 16 年 (1703) の元禄地震、幕末の安政 2 年 (1855) に起きた安政江戸地震、および大正 12 年 (1923) の関東地震である。今年、元禄地震の 300 周年にも当たっていることになる。この江戸・東京をおそった 3 回の地震のうち、安政江戸地震は、プレートの内部に起きた地震、いわゆる直下型地震のやや規模の大きなものとされ、震度 6 の範囲は当時の江戸市中とその近郊に限られる狭い範囲であった。これに対して元禄 16 年 11 月 23 日 (1703 年 12 月 23 日) の午前 3 時頃に起きた元禄地震は、大正関東地震とおなじ、プレート境界の滑りによって生じた、海溝型の巨大地震の一つであって、家屋の倒壊や人の死傷の被害は関東地方南部の広範囲にわたっている。すなわち、相模湾の奥、国府津付近から、南東に向かって相模湾を斜めざまに横切り、房総半島の南方沖を東に延びて日本海溝の 3 重点に達する相模トラフの海溝線は、南から北上してくるフィリピン海プレートが関東地方を載せる北米プレートの下に潜り込み始める線であるが、大正関東震災も、元禄地震もともにこの 2 つのプレートの境界の滑りによって起きた巨大地震であると推定される。

このように、大正関東地震と、元禄地震は同じ原因で生じた兄弟地震であるため、共通する地震の「くせ」を指摘することができる。すなわち、房総半島と三浦半島先端部の隆起、関東地方全体での震度分布が互いによく似ていること、大きな

津波を伴っていること、などである。房総半島先端部の隆起量は、大正関東震災の時には最大 1.6 m ほどであったのに対して、元禄地震のさいには 4~5 m に達していたことが指摘されている (Matsuda et al. 1978)。房総半島の先端に近い千倉町の海岸には、現在の海岸線付近には、大正関東地震による 1 m 前後の「まないた岩」の露出が見られるが、さらにその上に元禄地震によって海底から隆起した標高 4-5 m の元禄段丘と呼ばれる著しい海岸段丘が見られる。

津波の規模の大きさについて、羽鳥ら (1975-a, b) は元禄地震の津波の方が大正地震のそれより浸水高さが多くの地点でより高かったことを示した。筆者は (1981)、元禄地震による津波が、静岡県伊豆半島西岸や浜名湖、伊勢湾、紀伊半島の熊野市九鬼浦や新宮の三輪崎などに居住地の浸水や家屋の流失を起こしており、さらに四国の土佐湾にまで達していたことを歴史史料から明らかにした。Aida (1977) は主として関東地方の津波の浸水高さの分布を説明する元禄地震の地震断層モデルを提案した。村上ら (2002) は、元禄地震の津波がこのような遠方の海岸にまで達していたことに注目して、Matsuda et al. (1978) や Aida (1977) が提案した断層モデルでは、このような遠方に津波が及んでいた事実が説明できないことを数値計算によって示した。その結果によると、元禄地震で滑った断層の位置は、相模トラフに沿って、その湾奥から三重点付近にまで連なった三個の滑り面の配列によって説明されるとされた。その滑りの量は、いちばん沖側の滑り面で 11 m にも達すると仮定された。大正関東地震の主たる滑り面での滑り量は 6 m 程度である (Aida, 1977)。

房総半島先端部の隆起量、および津波の史料研究による数値計算の示すところはともに、大正関

東震災より元禄地震とは兄弟地震でありながら、元禄地震の方が大正関東地震より遙かに規模の大きな地震であった、という事実である。

元禄地震の実像を明らかにすれば、大正関東地震に相当する、いやそれを上回る規模の巨大地震の都市災害、平野部の災害、津波災害のデータが豊富に得られる。法則は1個の事例からでは得られない。2個以上の類似事例があった場合、その共通点、類似点として法則性が見いだされる。元禄地震の史的説明はこういう期待を抱いて進めることができるのである。

## 2. 古文書にもとづく地震情報の処理について

元禄地震の有様を記述した古文書記録は、武者(1941)の謄写版本に40ページ分が紹介されている。その後、地震研究所の宇佐美龍夫元教授、上田和枝女史などの努力によって歴史地震に関する古文書記録の量が増大し、その成果は「新収・日本地震史料」のシリーズの刊行によって結実した。このシリーズは、本巻5巻、別巻、補遺編、続補遺編を合わせて総計22冊からなる膨大な印刷物であるが、その第二巻別巻(1982)は、1冊全巻が、元禄地震に関する古文書が収められている。それらに収められた古文書史料を合計すると、合計約400ページもの文献があることになる。

この膨大な文献から、震度分布や津波記事、特徴ある事象を、人間の読解能力だけで記憶整理するのは容易なことではない。そこで、最近筆者は、このような膨大な古文書史料の地震情報の整理に、パソコンのデータベースソフトを導入することを始めた。古文書独特の言い回し、その時代独特の背景と常識を持った目で古文書は読まなければならない、といわれる。しかし本研究ではあまりにもデリケートな判断を要する点には目をつぶって、要するにその古文書には地震が起きたことによって、その地点で何が起きたと言っているのか？という点にだけ注目した。すなわち、一地点で起きた一個の事象ごとに1枚の「カード」をつくることにし、これを検索の最小単位としてマ

イクロソフト社のエクセルによるデータベースを作成した。

原文書に記された地点名は、地名辞書によってできるだけ現在の行政区画の相当する市町村名を探し出し、二万五千分の一の地図上に相当する集落名などを確認して、地図上のピンポイントとしての情報として、北緯、東経の数値もデータベースの項目に書き加えることにした。カードにはさらに、どの史料集の何ページ目に紹介された記事か、原文書は何か、などの情報も書き入れた。このようにして、約400ページからなる印刷本の古文書から約1,000件のカードからなるデータベースを作成することができた。

もちろん、このような作業は、単純にことが進むわけではない。現代の地図の上の所在の知れないものの処理や、遠方の風聞を記した文章で、地名が列挙された文章があったとき、そのあげられた地名全部に対してカードを作るのかなどの難問が続出した。しかしながら、ピンポイント地点で何が起きたのかの情報を抽出できればよいとの原則に立ち戻って判断することにした。すなわち、他にもっと詳細なその地点の文献がある場合には、遠方で記された文章に出てくる総括的な記事は思い切って捨てることにする、という方針によった。この判断にしたがって、データベースの作成作業をなんとか進めることができた。

## 3. 元禄地震で被災した江戸市中のありさま

元禄地震の江戸市中の有様については、幕府の公的な立場の人の手による江戸城を中心とする武家居住地の被害記録が比較的数多く残っている。なかでも、江戸城の東に当たる和田倉門と、北の雉子橋御門での被害が重なった。和田倉門では大番所・箱番所が倒壊し、中間(ちゅうげん)の武士七人が死亡し、けが人十二人を生じている。雉子橋御門でもやはり大番所・箱番所がともに崩れて、警備についていた武士三人が死亡している。

現在の中央区から港区にかけての当時の町人の居住地の被災については、東北大学図書館の狩野文庫に原本が保存されている「変災温古録」(第二

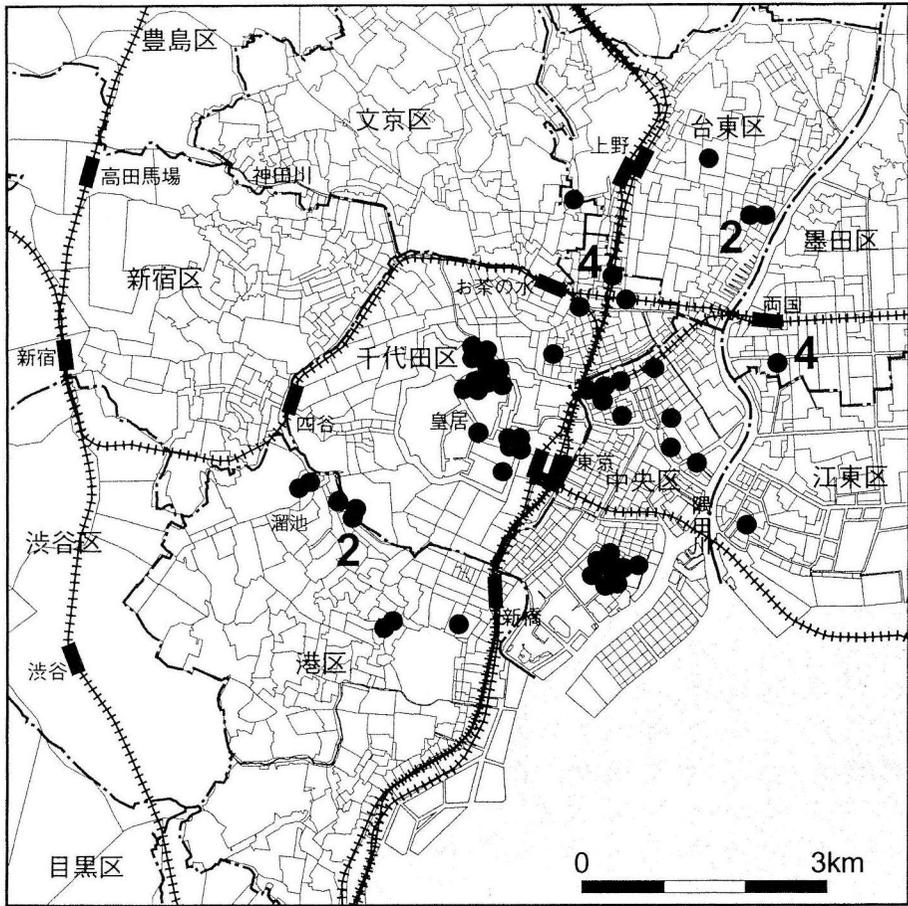


図1 元禄地震による江戸市中の死者の発生地点。数字は同一地点で2人以上の死者を生じた場所には数字を添え書きしてある。

巻別巻第50ページ)の記載がユニークである。そこには、江戸の町人の住む街区で著しい被害や、死者の発生した場所が一つ一つていねいに記されている。たとえば、「芝田町で八町目久右衛門の下女22才の娘サイと、28才の娘ユキが土蔵の下敷きになって死んだ。大森村のサイの兄五右衛門と、ユキの兄である非川谷村の甚兵衛が死体を引き取りに来た」などと記されているのである。

この文献があったおかげで、江戸市中の江戸城を離れた場所の状況を詳細に知ることができる。この文献の死者記録を、その他の死者発生記事をつなぎ合わせて、図1を得る。元禄地震では火災は小規模なもの以外発生していない。すべて、地震動での建造物倒壊による圧死者である。東京駅と皇居(江戸城)の間から北の丸にかけてと、東

京駅に北東方向の日本橋付近、および築地付近に死者が多く生じているのが目につく。また、江戸城の南西方向に当たる溜池のところで、一群の死者を生じているのが目を引く。

このような死者の発生、家屋や土蔵の被害、石垣の崩壊記事などから、江戸市中の各地点での震度を推定することができる。その結果を図2に示す。現在の皇居の東に当たる日比谷公園付近から北の大手町にかけて、そこから北西方向に北の丸、神保町、水道橋にいたる線上に震度が強く現れている。また、新橋駅の西方、虎ノ門から芝にかけての震度も大きい。さらに、溜池の地点も局地的に震度の大きい場所があったことが判明する。

太田道灌が江戸城を築き徳川氏が幕府を開い

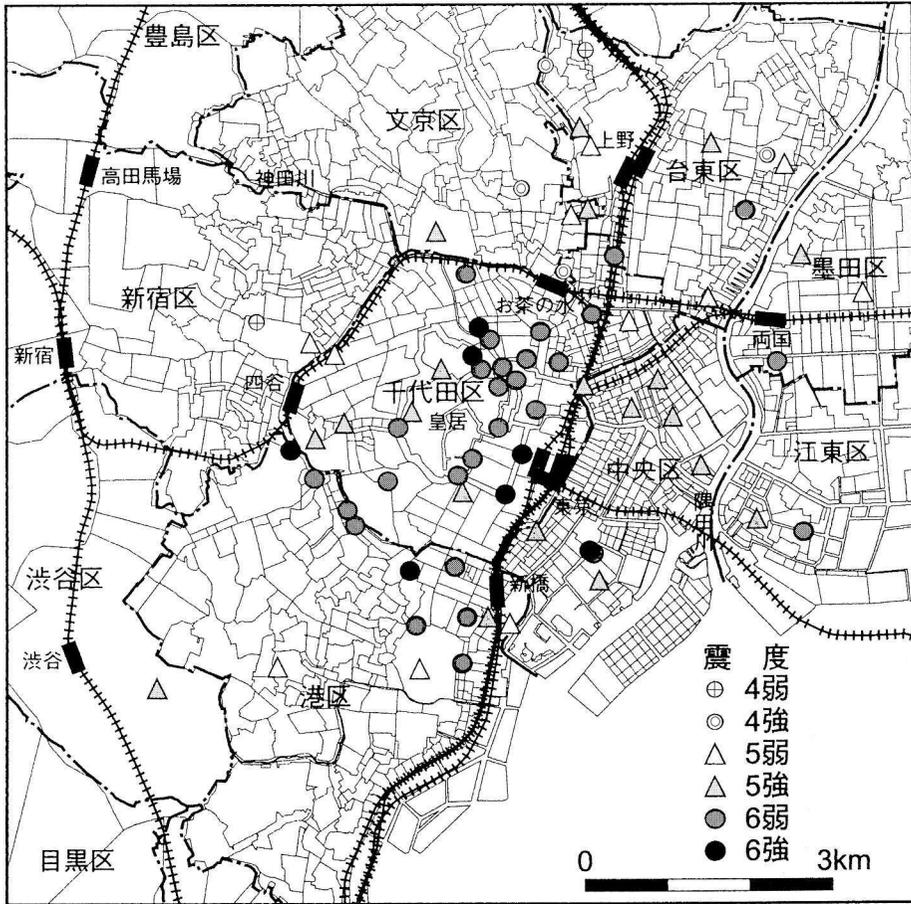


図2 元禄地震による江戸市中の震度分布.

て、江戸は世界最大の人口を擁する大都会に成長する。このように江戸が大発展を遂げる以前の江戸の地形を推定した「江戸古地図」が幾通りか推定されている。歴史民俗博物館（佐倉市）から最近発行された、「ドキュメント災害史, 1703-2003」で筆者ら（2003）が各古絵図を総合して新たに作成した江戸古地図を図3として引用しておく。元禄震度分布図（図2）に現れた皇居の東方から大手町、神保町、水道橋に至る線は、古地図（図3）の「日比谷入り江」と呼ばれる東京湾の一番奥の入り江と、大沼につながる平川の流域に対応していることがわかる。また、江戸時代にはすでに地名のみとなった溜池の場所は、古地図では文字どおりの池として存在していて、そこが局地的に震度が大きく現れた場所に当たっていることがわかる。

#### 4. 房総半島の震度分布

元禄地震の事象単位のデータベースを活用して、今度は著しい地変を生じた房総半島の震度分布図を描いてみた（図4）。房総半島は、大名旗本の領地がモザイクのように入り組んだ土地柄であるが、「楽只堂年録」という文献に、支配関係とともに集落ごとの被害数が詳細に記されている。この文献に記された集落名のうち、現在の地図に所在の確認でき、しかも郷土史の史料によって江戸期の家屋数を知ることのできる集落があると、倒壊家屋の全戸数に対する比率が求まる。これによって、比較的正確な震度を求めることができる。江戸時代の家屋は近代の木造家屋よりは弱い点と、現在の地震被害統計の「全壊」と江戸時代



## 元禄地震(1703)の震度分布(館山市付近)

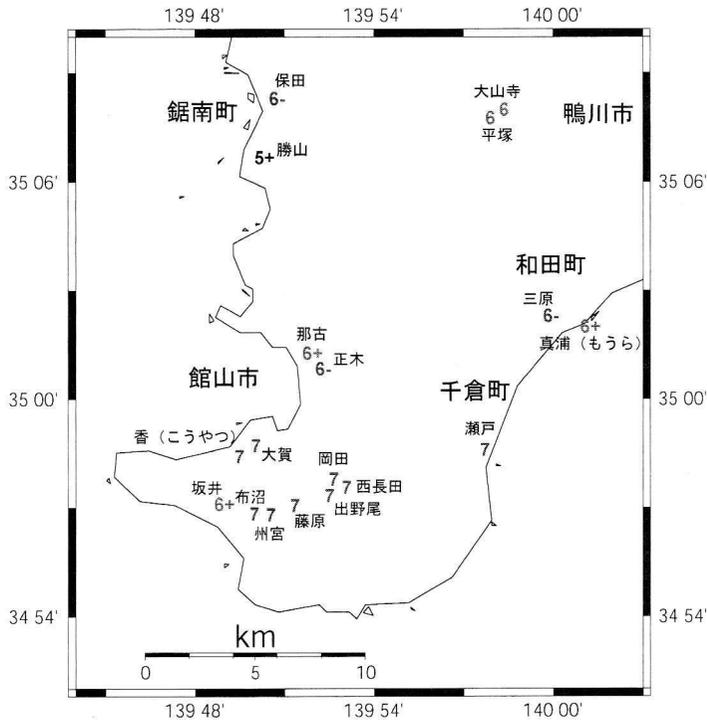


図5 元禄地震による館山市とその周辺集落での震度分布図

### 5. むすび

房総半島先端部の千倉付近の海岸には、元禄地震段丘のさらに上部に3段の段丘が存在していて、元禄地震級の巨大地震が過去約6000年間に4回起きていたことを示す、とされる。してみると元禄地震級の巨大地震の発生は6000年に4回ほど、ということになり、平均的には約1500年に一度の事象ということになる。元禄地震から、ちょうど300年を経過したばかりの現在、われわれの生存中に次の元禄地震が起きる可能性は少ないであろうが、巨大地震にさいして首都圏を含む関東地方にどのような被害を生じ、また九十九里海岸や東京湾内のような特徴ある海岸での津波の振る舞いなど、元禄地震に学び、防災試作に生かすべき課題は多い。

元禄地震の千葉県での被害というと、九十九里海岸をはじめとする外房でも大きな津波被害に注

目せざるを得ないが、それはまた別の機会を得て述べることにしよう。

**謝辞** 本稿の図の作成には、武村雅之氏、行谷佑一氏の御援助をいただきました。これらの方々に感謝致します。また、一部の図には、GMTのプログラムを使用致しました。

### 参考文献

- Aida, I., 1977, Numerical experiments for inundation of tsunamis, Bull. Earthq. Res. Inst., 52, 441-460.
- 羽鳥徳太郎, 1975-a, 房総沖における津波の波源, 地震研究所彙報, 50, 83-91.
- 羽鳥徳太郎, 1975-b, 元禄・大正関東地震津波の各地の石碑・言い伝え, 地震研究所彙報, 51, 63-81.
- Matsuda, T., Y. Ota, M. Ando, and N. Yonekura, 1978, Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in southern Kanto District, Japan, as deduced from coastal terrace data, Geolog. Soc.

- Am. Bull, 89, 1610-1618.
- 村上嘉謙, 都司嘉宣, 2002, 津波記録を考慮した元禄関東地震 (1703 年 12 月 31 日) の地震断層モデル, 月刊海洋号外 28, 津波研究の最前線 II, 161-175.
- 武者金吉, 1941, 「増訂大日本地震史料・第 2 卷」, 文部省震災予防評議会, pp. 754.
- 都司嘉宣, 1981, 元禄地震・津波 (1703 年 12 月 31 日) の下田以西の史料状況, 地震, 2, 34, 401-411.
- 都司嘉宣, 中村 操, 武村雅之, 諸井孝文, 2003, 江戸・東京の地震, 「ドキュメント災害史 1703-2003」, 国立歴史民俗博物館, 41-54.
- 地震研究所, 1982, 「新収・日本地震史料・第二巻別巻」, pp. 290.
- 地震研究所, 1990, 「新収・日本地震史料・補遺編別巻」, pp. 1222.
- 地震研究所, 1994, 「新収・日本地震史料・続補遺編別巻」, pp. 1228.

# 小田原地震は起こるのか？

石橋克彦

## 1. はじめに

本誌編集委員長の萩原幸男先生から「小田原地震のその後（仮題）」という原稿のご依頼を頂いたのは1年も前のことだが、長いこと小田原地震の実質的な研究から遠ざかっているのに、締切を大幅に過ぎても、正直なところ書きあぐねている。特別目新しい議論があるわけではなく、昔書いたことと重複する点が多いが、いくつかのポイントを述べてみる。

相模湾北西岸の城下町小田原は、江戸時代初期以来5回の震災を受けた。そのうちの2回は、1703年と1923年のプレート間巨大地震によるが、あとの3回（1633年、1782年、1853年）は当時から「小田原地震」と呼ばれたローカルな大地震による。しかし、筆者が最初にこの地域に注目したとき（石橋、1976）には、地下の大地震発生の規則性はまだ不明瞭だった。その後、歴史地震研究全般の進展もあり、筆者もいろいろ調べて、小田原付近の地下でM7相当の震源断層運動が平均約73年ごとに繰り返したこと、それは筆者が「西相模湾断裂」と命名したフィリピン海プレート内部の断裂の破壊と考えられること、近い将来また小田原地震（神奈川県西部地震）が発生するだろうこと、という主張に至った（石橋、1988a, b, 1994）。なお、小田原地震の繰り返しについては、笠原（1985）と坂田（1987）も、違うテクトニックモデルによって議論した。

しかし最近では、小田原地震は問題にされていないように見える。政府の地震調査研究推進本部と中央防災会議が精力的に大地震・活断層の長期評価や強震動予測や地震対策に取り組み、いくつかの具体的な大地震が検討対象になっているが、小

田原地震は話題にならない。また、「地震予知のための新たな観測研究計画」が今年度で最初の5カ年計画を終え、次の5カ年計画が始まろうとしているが、そこでも同様である。

小田原地震が無視されている理由としては、M7級地震とM8級プレート間地震を一緒にしているという批判、時間間隔が揃いすぎていることへの疑問、M7級の3地震の地震像も少しずつ違って固有地震とは思えないこと、構造探査によって西相模湾断裂が確認できなかったこと、などが考えられる。しかし、筆者の説の核心は、相模湾・伊豆地域周辺のフィリピン海プレートの収束テクトニクスに関する作業仮説であるのに、それについても積極的な調査・研究・議論がほとんどおこなわれていない。

## 2. フィリピン海プレートの境界と形状

小田原地震を繰り返し発生させる場所として高角のフィリピン海プレート内断層を考えただけだが、それは小田原地震とは独立に、この地域のフィリピン海プレートの三次元的境界の考察から必然的に出てきたものである。（ただし、当初の石橋（1976, 1985）やIshibashi（1985）では、新生沈み込み境界的な左横ずれ低角逆断層の「西相模湾断層」を考えていた。その考えを、1986年伊豆大島噴火、1985年から始まったDELPH南部フォッサマグナ衝突現象の共同研究、故中村一明先生との議論などを通じて、大きく改めた）

本地域のテクトニクスの根本的な特徴は、いうまでもなく、収束するフィリピン海プレートが伊豆弧という島弧であって、東方からの太平洋プレートの沈み込みに伴う火山フロントによって、東側の非火山性伊豆外弧（IOA）リソスフェアと

西側の火山性伊豆内弧 (IIA) リソスフェアに分けられていることである。そして、少なくとも 5Ma より前から、IOA リソスフェアは関東地方の下へ沈み込みを続け、浮揚的な IIA リソスフェアは伊豆半島の北方地域で浮揚性沈み込み・衝突・付加を繰り返してきた。

石橋 (1988 a, b, 1999) は、このような特徴を念頭に置きつつ、フィリピン海プレートの沈み込み口と沈み込んだプレート上面の深さを推定した (図 1, 2)。要点は、IOA リソスフェアの沈み込み口は相模トラフ中軸～足柄平野ではなくて相模海盆の南縁付近であり、したがってプレート上面の深さは足柄平野直下ではすでに 10 km 以上あること、IIA リソスフェアの沈み込み口 (静的、形態的な意味) は箱根火山北縁の衝突境界であること、したがって両者の沈み込み口は連続することができず、必然的に、ほぼ南北走向のプレート内断裂が出来るはずであることである。それは、貝塚 (1984) が指摘した鋏状断層の現在の姿だと考えられる。

海陸の構造探査によって西相模湾断裂が確認されなかった (加藤・他, 1993, 吉井, 1993) といわれるが、吉井 (1993) が議論しているように、深さや規模からみて、直接の検出は困難である。むしろ、図 1B あたりの海陸の大測線によって IOA リソスフェアの上面の位置・深さを確かめることが重要であろう。

真鶴海丘南縁に推定された断層 (大河内, 1990) が重視されて、それが西相模湾断裂を否定するもののようにいわれたことがある (例えば、萩原, 1993)。しかし、石橋 (1999) が詳しく論じているように、真鶴海丘南縁断層の存在自体、根拠不十分であるし、もし存在するならば、それは IOA リソスフェアの沈み込み口に関する石橋 (1988 a, b) の考えを支持するもので、結果的に西相模湾断裂を肯定することになる。

沈み込む IOA を IIA (衝突中) から切り離す西相模湾断裂の平均変位速度は、最大の部分で、フィリピン海プレートの収束速度とほぼ等しい 3 cm/yr 程度と考えられ、約 70 年ごとに M7 級地震が発生することと矛盾しない。図 3 に、西相模

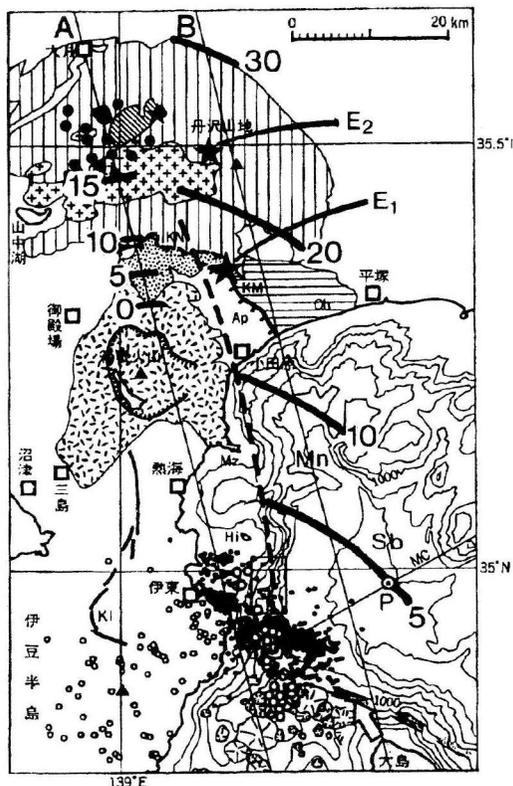


図 1 小田原周辺のフィリピン海プレート上面の深さ (太線, 数字は km) の推定 (石橋, 1999)。Ap: 足柄平野, Hi: 初島, KI: 北伊豆断層系, KM: 国府津・松田断層, KN: 神縄断層, Mn: 真鶴海丘, Mz: 真鶴岬, Oh: 大磯丘陵, Sb: 相模海盆。

湾断裂周辺概念図 (石橋, 1994 所収) を示す。

石橋 (1988 b) に掲載した図には北端最深部に描画ミスがあった。

### 3. 1923 年関東地震の断層モデル

1923 年大正関東地震の際に相模湾西岸の初島・真鶴岬などが著しく隆起したから、西相模湾断層ないしは西相模湾断裂が活動したと推定される (石橋, 1976, 1988 a, b, Ishibashi, 1985)。

最近、強震動や余震活動などに関して関東地震の再評価が進んでいるが、震源断層モデルとしては基本的に Wald and Somerville (1995) のものが採用されているようである。しかし、このモデルは、相模湾西岸の地殻変動を十分考慮しておら

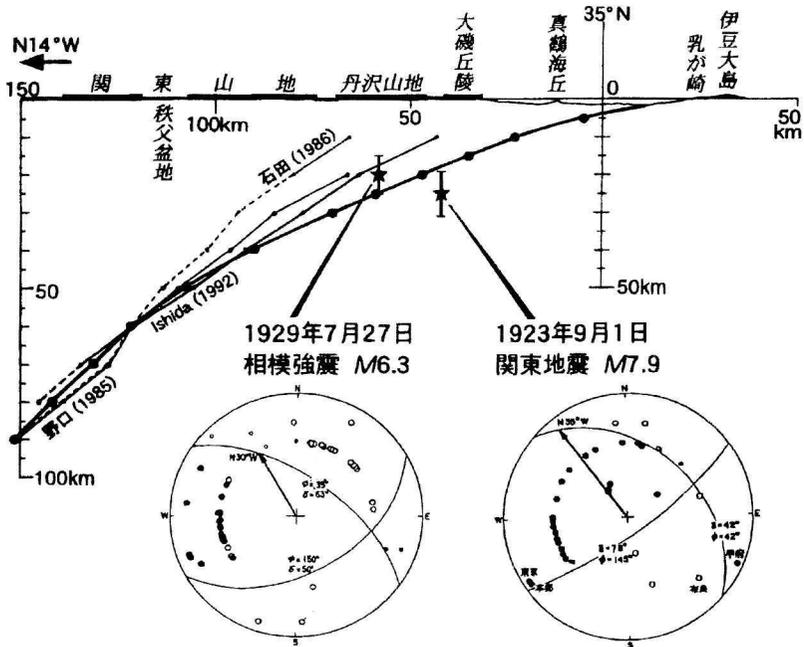


図2 図1の測線Bに沿うフィリピン海プレート上面の深さの推定(石橋, 1999).

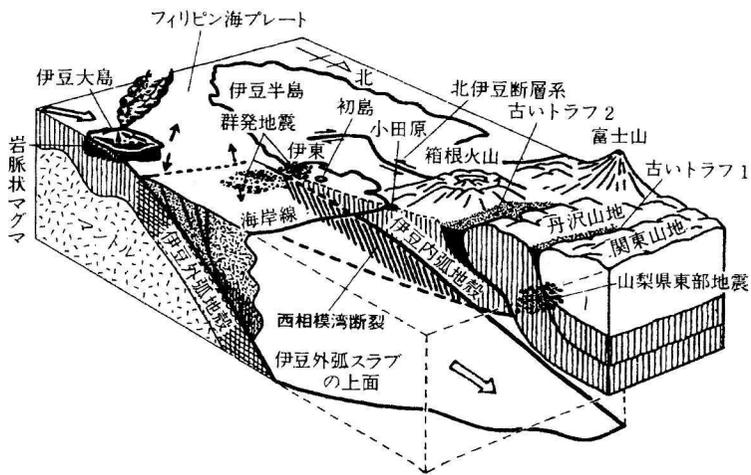


図3 西相模湾断裂周辺の概念図。伊豆外弧スラブの上の陸側プレートの物質を取り除いて見たところ。伊豆大島北方の点線は伊豆外弧プレートの沈み込み口。その付近の2組の黒矢印は、プレートの曲がりによる浅部の引っ張り応力。白い矢印は、フィリピン海プレートおよび伊豆外弧スラブの運動方向。(石橋, 1994より転載)

ず、伊豆半島周辺のテクトニクスと矛盾している。

1923年の地震時地殻変動に関しても、地震後の地殻変動(長期間および最近のGPS観測によるもの)に関しても、震源断層面のジオメトリー

(位置・深さや形状)を変えてみたインバージョンを是非おこなう必要がある。

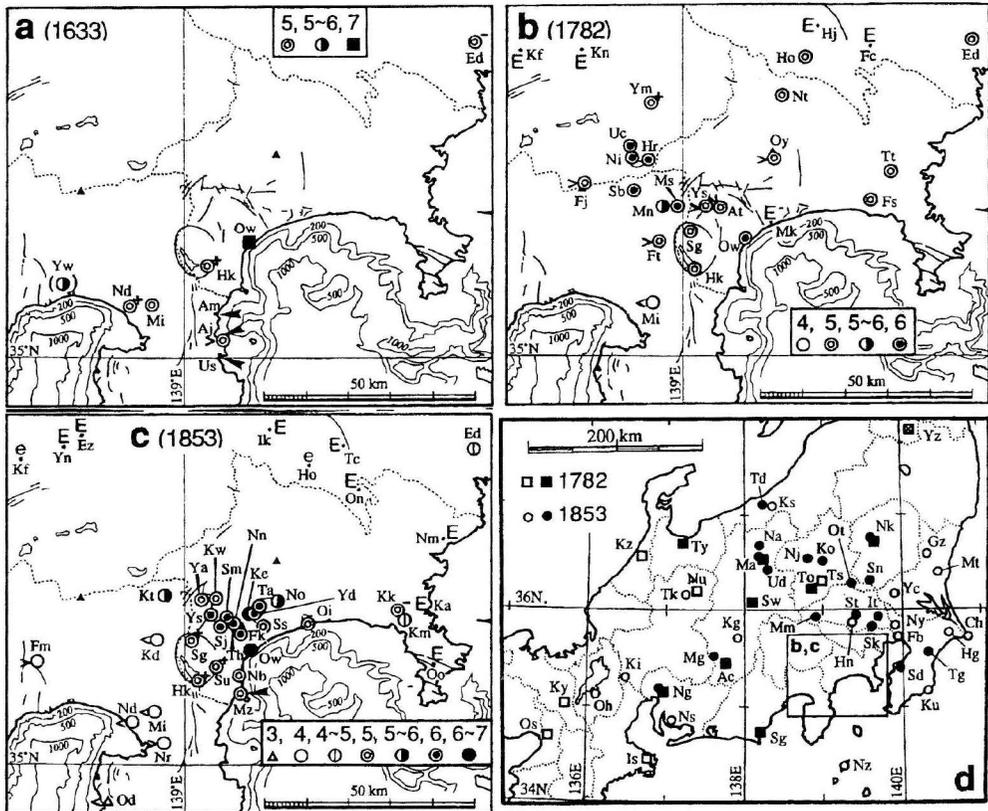


図4 3回の小田原地震の震度と津波（黒い矢頭）の分布。aは1633年寛永地震の全データ。dは1782年天明地震と1853年嘉永地震の有感範囲（白印は“地震”とだけ記されている地点，黒印は“大強，余程”などの修飾語が付されている地点，1782年のYzの×印は，無感と明記されていることを示す）。（石橋，1993より転載，地名略号はそれを参照）

#### 4. 歴史地震

小田原付近の歴史地震に関しては，石橋（1993）のまとめが現在でも妥当と思われる。3回のM7級小田原地震の震度・津波の分布を図4に示す。

1633年の寛永小田原地震について，松浦・他（2002）が，国府津・松田断層と相模湾へのその延長部が長さ30km程度，伊豆側を下盤とする低角逆断層運動を起こしたと考えるのが最も自然，と述べている。史料の再検討による細かい震度分布によって推定したというが，図4に示すデータからは，そのような結論は導けない。

1782年の地震は津波の有無をめぐって解釈が二転三転したが，石橋（1997）が史料を詳細に検討して津波は無かったと論証した。

宇佐美（2003）は，1633年地震を $M7.0 \pm 1/4$ ，1782年地震をM約7.0，1853年地震を $M6.7 \pm 0.1$ としている。しかし，1853年について石橋（1993）は，図4dの黒印（震度4に近い）の広がりから1782年とあまり変わらないことから，M6.7は過小評価でM7弱程度だろうと考えた。つまり，3回の小田原地震の規模はそれほど変わらないと思われる。

三つの小田原地震の震度分布から，左横ずれ高角逆断層の西相模湾断層上の震源域が導かれるわけではないが，そこでの繰り返しすべりと考えれば，図5に示すように震源域が推定される。津波を伴った1633年，1853年，1923年については，相田（1993）がそれぞれ複数の断層モデルについて津波の数値実験をおこなった。その結果，三つとも，西相模湾断層の活動に調和的な図6のモデル

ルが最適とされた。

1703年元禄地震の際にも西相模湾断裂が活動したという推定には、直接の証拠がまだない(石橋, 1993)。相田(1993)の津波シミュレーションでは、このときは同断裂が活動しないモデルのほうがよいとされ、萩原(1993)は断裂否定の根拠に挙げている。しかし、石橋(1993)が論じているように1923年のモデルとの間に矛盾があり、なお検討が必要であって、断裂が否定されたとはいえない。

図5に示すように、西相模湾断裂上で震源域を推定すると、結果的にいつも破壊するようにみえる領域が存在するので、石橋(1988a)は、そこが中核的なアスペリティで、約70年ごとの繰り返しを決めていると考えた。しかし、アスペリティ全般の性質に関して詳しいことがわかってきた現在では、この考えは粗っぽくて、時間的規則性と震源域の空間的ばらつきを统一的に説明するためには、更なる検討が必要である。

## 5. おわりに

宇津(1994)は、小田原付近の地震がまったくランダムではなくて、ある程度間欠的に起こってあれば、たまたま取った4個の時間間隔のサンプル

ルが今見ているようによく揃うことがありうることを、時間間隔の分布としてワイブル分布を用いて示した。その場合、次の地震も必ず前と同様の間隔で起こるとは考えないほうがよく、10~20年くらい前後にずれてもおかしくない述べている。

5回の地震の平均間隔は約73年だが、1923年

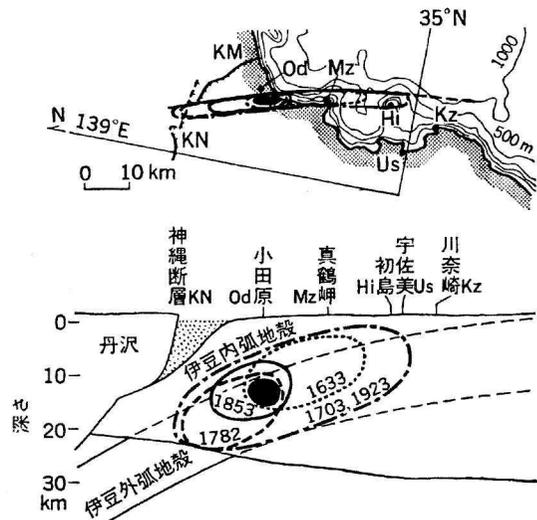


図5 小田原付近の過去5回の大規模な震源断層運動が西相模湾断裂上で起こったとしたときの震源域の推定。(石橋, 1988aより転載)

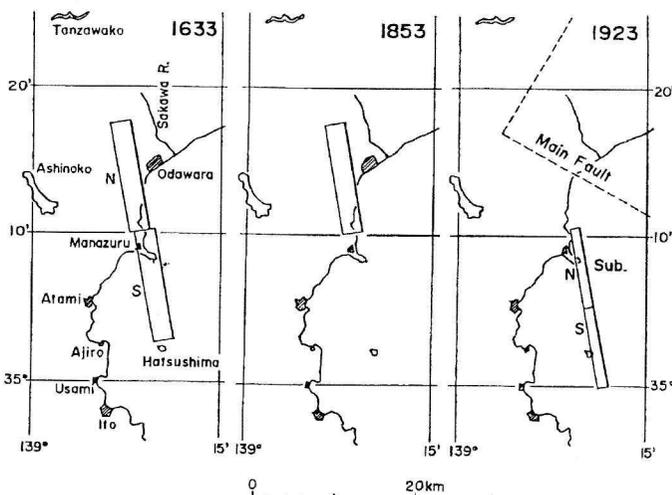


図6 相模湾北西部に起こった三つの地震津波に対する最適断層モデルの地表投影。(相田, 1993の図7を転載)

からすでに 80 年経っている。しかし石橋 (1988 b) は、1923 年の西相模湾断裂の破壊が特別大規模だったかもしれないこと、1703 年のあとは 79 年後であったこと、上盤近傍で 1930 年北伊豆地震が起こっていることから、次の神奈川県西部地震はある程度遅れるかもしれないと指摘した。

これらのことを勘案し、さらにこの地域の地殻活動の状況 (石橋, 1988 b, 1994) を考えれば、小田原付近の大地震が過去 5 回の偶然の規則性だけで途絶えてしまうとは考えないほうがよいだろう。今後 10 年程度のうちには、M7 級の神奈川県西部地震が発生する可能性は十分あると思われる。

ある地域の大地震の発生様式を理解し、将来予測に結びつけるためには、統計的な吟味によって規則性が偶然か必然かを検討するのさることながら、大地震を発生させる物理的メカニズムとしての当該地域の変動の実態に切り込むことが非常に重要だと考えられる。最近、この付近のプレート収束モデルとして「伊豆マイクロプレート」説 (例えば, Sagiya, 1999) が提案されているが、例えばこのモデルで相模湾の変動がどう説明されるのか、小田原地震も説明できるのか、西相模湾断裂説への対案になるのかは、重要で興味深い問題のはずである。

小田原付近が変動速度の大きな地域であることはたぶん間違いなく、一般論として大地震発生を懸念している研究者は少なくないようだから、起こる前に具体的な地震像と発生メカニズムを知ろうとする努力がもっとなされてよいと思われる。

## 参考文献

相田 勇, 1993, 相模湾北西部に起こった歴史津波とその波源数値モデル, 地学雑誌, 102, 427-436.  
萩原幸男, 1993, 「神奈川県西部地震」研究の現状と展望, 地学雑誌, 102, 337-340.  
Ishibashi, K., 1985, Possibility of a large earthquake near Odawara, central Japan, preceding the Tokai

earthquake, Earthq. Predict. Res., 3, 319-344.  
石橋克彦, 1976, 「伊豆東方線-西相模湾断層」と伊豆異常隆起の解釈-フィリピン海プレート最北境界の二重構造, 地震学会講演予稿集, No. 2, 29.  
石橋克彦, 1985, 小田原付近の大地震発生の可能性, 月刊地球, 7, 420-426.  
石橋克彦, 1988a, b, “神奈川県西部地震”と地震予知 I, II, 科学, 58, 537-547, 771-780.  
石橋克彦, 1993, 小田原付近に発生した歴史地震とその地学的意義, 地学雑誌, 102, 341-353.  
石橋克彦, 1994, 大地動乱の時代, 岩波書店, 234 pp.  
石橋克彦, 1997, 1782 年天明小田原地震の津波に対する疑問-史料の再検討一, 地震 ii, 50, 291-302.  
石橋克彦, 1999, 相模湾西部周辺のフィリピン海プレートの境界 (短報), 第四紀研究, 38, 427-434.  
貝塚爽平, 1984, 南部フォッサマグナに関連する地形とその成立過程, 第四紀研究, 23, 55-70.  
笠原敬司, 1985, 関東南部における大地震再来周期について, 月刊地球, 7, 440-445.  
加藤 茂・岩淵 洋・浅田 昭・加藤幸弘・菊池真一・穀田昇一・楠 勝治・渡辺一樹, 1993, 相模湾の地殻構造と変動地形, 地学雑誌, 102, 399-406.  
松浦律子・中村 操・唐鎌郁夫・茅野一郎, 2002, 歴史地震の震源位置および規模の系統的再検討-第 4 報一 (1633 年寛永小田原地震など 10 地震), 日本地震学会講演予稿集 2002 年度秋季大会, C66.  
大河内直彦, 1990, 相模湾の活構造とテクトニクス, 地学雑誌, 99, 458-470.  
Sagiya, T., 1999, Interplate coupling in the Tokai district, central Japan, deduced from continuous GPS data, Geophys. Res. Lett., 26, 2315-2318.  
坂田正治, 1987, 小田原地震について, 防災科学技術, No. 61, 15-17.  
宇佐美龍夫, 2003, 最新版日本被害地震総覧 [416]-2001, 東京大学出版会, 605 pp.  
宇津徳治, 1994, 時間間隔が揃った数個の地震, 地震 ii, 47, 93-95.  
Wald, D.J. and P.G. Somerville, 1995, Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake: Geodetic and body-waveform analysis, Bull. Seismol. Soc. Amer., 85, 159-177.  
吉井敏尅, 1993, 神奈川県西部における人工地震による地殻構造調査, 地学雑誌, 102, 393-398.

# GPS からみた次の関東地震

## 鷺谷 威

### 1. はじめに

2003年9月26日、北海道の南東沖でマグニチュード8.0の地震が発生し「2003年十勝沖地震」と命名された。この地震は北海道南東部を中心に最大で震度6弱の揺れや高さ4mの津波を生じ、道路、堤防、建物などの損傷に加え行方不明者2人、負傷者700名以上という多大な被害をもたらした。この地震は沈み込む太平洋プレート上面で発生したいわゆる海溝型の大地震であった。推定された震源域が1952年の十勝沖地震(M8.2)とほぼ重なっていることから、51年ぶりでの大地震が再来したものと考えられる。政府の地震調査委員会は、2003年3月に出した報告において、今回の地震の発生確率を30年間で60%程度と評価していた。

2003年十勝沖地震は、内陸地震と海溝型地震の区別を問わず、震源域を特定した地震活動の長期評価が行われた場所で発生した初めての大地震である。地震の規模や発生位置、発生様式などは、概ね予測の範囲内であり、現状の地震学の知識がそれなりに役立つことを意味している。しかし、十勝沖地震の10年以内の発生確率は10-20%とされており、予想よりもだいぶ早めに発生してしまったというのが正直なところだろう。事前の長期評価結果と実際に発生した地震を対比する作業はこれから本格的に行われるだろうが、それによって長期評価手法の向上や信頼性の評価に関して重要な知見が得られるものと期待される。

いきなり本題とはかけ離れた十勝沖地震の話から入ってしまったが、本稿で私と与えられたテーマは、将来発生する次の関東地震を、地殻変動を中心とする現在のデータから予想することで

ある。将来発生する地震に関する予測には様々なものがあるが、そうした予測に対する評価は、2003年十勝沖地震のような地震が実際に発生しない限り（もしくは想定した期間内に地震が発生しないまま終わらない限り）下すことができない。こうした事情から、地震の予測は、時として無責任な言いっ放しになってしまう危険性があり、情報を出す側にも、受け取る側にも真摯な姿勢が要求される。予測する側はその科学的な根拠や論理を明確にして観測事実と仮定や推論の区別を明確化することが求められ、受け取る側も予測結果だけを見て右往左往するのではなく、その結論に至る道筋を正確に理解する必要がある。本稿では将来発生すると思われる関東地震について、測地学的なデータに基づいて議論するが、手持ちの情報が不十分なことから、仮定や推論に頼らざるを得ない部分が多い。読者には、そうした予測の限界を読み取って頂くよう予めお願いしたい。

### 2. 過去の関東地震

1923年に発生した関東地震（以下、大正関東地震と呼ぶ）は、フィリピン海プレートが関東地方の下へ沈み込むプレート境界の相模トラフで発生した海溝型の大地震である。神奈川県から千葉県の下で起きた断層運動によって生じた地震動は関東一円に大被害をもたらした。震源域に近い神奈川県や千葉県だけでなく、東京都から埼玉県でも被害が大きかったのだが、これは軟弱な地盤の影響が大きい。なお、10万人を超える大正関東地震の死者・行方不明者の9割程度は地震直後に発生した火災によるものである（武村、2003）。

水準測量の結果によると、大正関東地震に伴っ

て相模湾北部から三浦半島、房総半島南部では1 m を越える隆起が生じた。三浦半島の先端に位置する油壺験潮場は約1.3 m 隆起し海水面が低下した。一方、三角測量によって、三浦半島や房総半島が最大4 m 程度南東方向へ移動したことも明らかにされている。こうした地殻変動のデータはMatsu'ura et al. (1980) やWald and Somerville (1995) によって解析され、震源断層モデルの推定が行われている(図1)。

南関東地域では元禄年間の1703年にも1923年と似たような大地震が発生している。これら2つの地震は共に相模トラフで発生したと考えられているが、地震によって生じた地殻変動には場所によって顕著な違いが見られる。1703年の地震(以下では元禄関東地震と呼ぶ)では、房総半島南端にあった野島が地震時の隆起によって陸続き(現在の野島崎)となった。こうした地変や海岸段丘として残された地形学的な痕跡から、元禄関東地震の時の房総半島南部における上下変動は南東が傾き上がるような傾向にあったと考えられている(松田・他, 1974)。それに対して、大正関東地震の際に房総半島の南端部は南西ないし西向きに傾き上がるような変動を生じており(陸地測量部, 1926)、2つの地震では地殻変動パターンが異なる。

こうした地殻変動の違いは、房総半島の南端部の局所的なものであるが、同一地域で繰り返す大地震が異なる様式を持つことの典型的な例である。こうした地殻変動パターンの違いから、相模トラフ沿いのプレート境界で発生する大地震には大正型と元禄型という2つのタイプがあると考えられてきた(松田・他, 1974)。しかし、こうした地震のタイプの違いが生じる原因については十分に解明された訳ではない。

関東地震の再来周期についてはこれまで様々な議論が行われてきた。最近2回の地震の発生間隔は220年である。また、油壺における非地震時の沈降速度(3-4 mm/年)で地震時の隆起量(1.3 m)を割ると300-400年程度の見積もりとなる。一方、地形学的な情報に基づく推定では、500年から2500年程度の再来間隔が推定されている。宍倉・他(2001)は、房総半島南西部岩井低地の離水海岸地形を大正型関東地震による隆起の痕跡と考え、約6800年前以降に少なくとも11回の地震があったが、各地震の発生間隔は約380年から約990年とばらつきがあると報告している。

こうした議論を決着させるためには、実際の大地震の発生間隔の情報が必要不可欠であるが、関東地方では歴史資料の情報が不十分で、元禄関東地震以前の大地震の発生履歴がはっきりしない。石橋・佐竹(1998)は、1495年、1433年、1293年、878年の地震などを相模トラフの大地震の候補として挙げ、明確な証拠が無いからと言って元禄地震の前に1000年以上大地震が無かったと結論するのは不適切であると述べている。

海岸段丘や歴史地震史料は実際に起きた地震に関する重要な情報を提供する。大地震は地殻に蓄えられた弾性エネルギーを解放する現象であるが、弾性エネルギーの収支という観点で大地震の繰り返しを考えた場合、弾性エネルギーの蓄積過程に関する情報が過去の大地震に関する情報と同程度に重要であることは言を待たない。

地殻の弾性エネルギーの蓄積状況は地殻変動を観測することで推定できる。日本では、最近10年ほどの間に全国を20 km 程度の間隔で覆うGPS連続観測網が構築され、日々の地殻変動の状況が

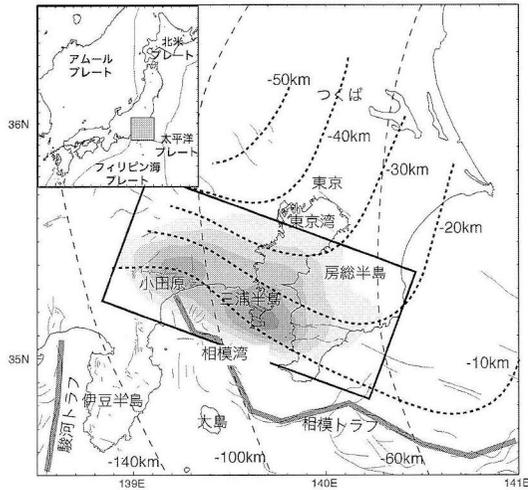


図1 相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートの形状と大正関東地震の断層モデル(Wald and Somervilleによる)。色の濃い部分で大きな断層すべりが生じた。

まさに「手に取るように」分かるようになった。こうした観測からエネルギーの蓄積状況が推定される一方で、大正関東地震の規模（解放された弾性エネルギーの量）もかなり正確に見積もられている。これらの情報から大地震の平均的な発生間隔の推定が可能になる。こうした方法では、大地震の繰り返し発生メカニズムが定量的に考慮されており、過去の地震発生履歴から再来間隔を推定するのは質的な違いがある。

以下では、関東地方における地殻変動の状況を整理し、そのデータの関東地震に関連する意義を解説するとともに、次の関東地震を予測していく。

### 3. GPS でみた関東地方の地殻変動

GPS (Global Positioning System, 全地球測位システム) は、アメリカ合衆国が運用している人工衛星を用いた航法測位システムである。搬送波位相を解析する精密相対測位法を用いると、水平方向を数ミリメートル、上下方向でも数センチメートルの精度で測位を行うことが可能である。この技術は1980年代後半から地殻変動観測に用いられるようになり、1990年代にGPS衛星の精密軌道情報が利用可能になってから精度が飛躍的に向上した。日本では、国土地理院が1993年からGPS連続観測点（電子基準点）の整備を始め、わずか数年後には日本全国に約1,000カ所の観測点を有する世界一の観測網が構築された。

GPS連続観測点では、1日24時間、30秒ごとにデータが記録されている。このデータを国土地理院に集めて解析し、全観測点の座標値が毎日算出されている。

図2は茨城県八郷町のGPS観測点を基準にしてみた関東地方における地殻変動速度の分布である。元になった日座標値データの期間は1996年6月から2000年5月である。この図を見ると、関東地方の南部で顕著な地殻変動が生じていることが分かる。まず、房総半島南部や三浦半島、相模湾北岸地域などで北北西向きの変動が見られ、茨城県八郷町を基準にすると房総半島先端に位置する館山の変動速度は20mm/年程度になる。相模ト

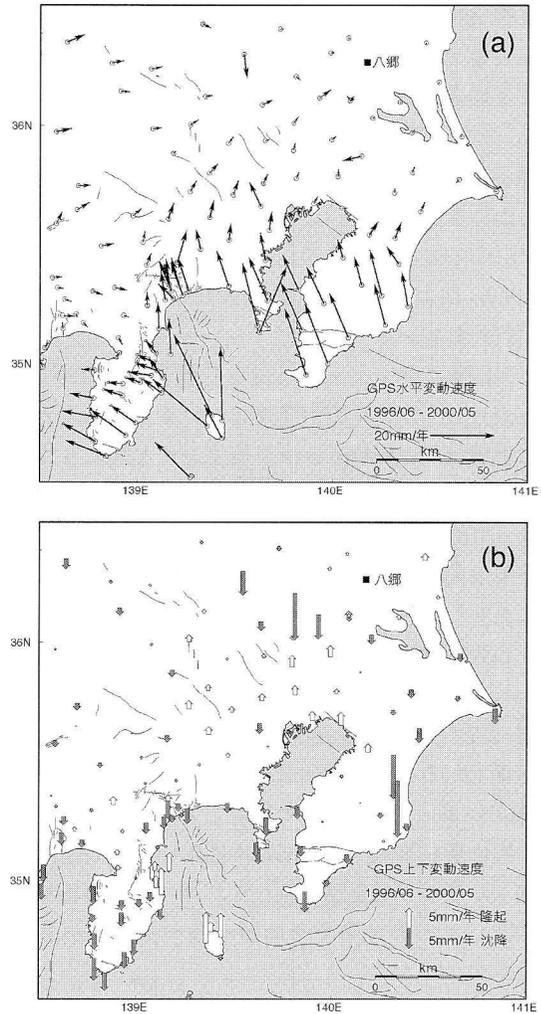


図2 GPS連続観測によって求めた関東地方の地殻変動速度。(a)水平変動。(b)上下変動。いずれも茨城県八郷町を基準としている。

ラフから沈み込むフィリピン海プレートの運動速度は30mm/年程度であるから、館山の動きは陸側よりも海側のプレートの運動に近いことになる。地殻変動速度分布から求めた房総半島南部における歪み速度は、 $2 \times 10^{-7}$ /年程度と火山地域などの例外を除けば日本列島で最大規模であり、特に南北方向の圧縮が顕著である。

上下変動に着目すると、房総半島や三浦半島の先端部では年間4mm程度の顕著な沈降が検出される。GPS観測は上下変動成分の精度があまり良くないと言われているが、4年間という長期間

の日座標値のデータがあれば、上下変動もかなり安定して見積もることが可能である。実際、こうしたGPSによる上下変動の観測結果は、水準測量による結果とも整合的である。

このような関東地方南部の顕著な地殻変動に対して、東京以北では目立った地殻変動が見られない。北緯36度付近より北側では、内陸部の観測点が東向きに3-4mm/年程度の速度を持つが、関東平野の歪み速度は $10^{-8}$ /年程度であり、南部に比べて一桁小さい。関東平野の中央部や房総半島東部では何カ所か顕著な沈降が見られるが、これらは地下水の汲み上げや天然ガス採掘による地盤沈下による人為的な影響である。

本題からは外れるが、この図に示された他地域の地殻変動についても簡単にコメントしておこう。伊豆大島では、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う北北西向きの運動と火山性の等方的な膨張の重ね合わせを示す地殻変動が重なり合っている様子が見られる。その西に位置する伊豆半島は、フィリピン海プレート北端部に位置するが、半島の付け根付近で地殻変動速度が殆どゼロになっていることが分かるだろう。伊豆半島は日本列島に衝突していると良く言われるが、少なくとも現時点で日本列島を押し込んではいない。また、伊豆半島内のGPS観測点は主として西向きの地殻変動成分を持っており、西向き成分は半島の南側へ行くに従って大きくなる。こうした地殻変動の傾向から、Sagiya (1999) は、伊豆半島周辺がフィリピン海プレート本体とは異なり、半島の付け根付近を支点として時計回りに回転するような運動をしていることに注目し、伊豆マイクロプレートの存在の可能性を指摘した。駿河トラフにおけるプレートの沈み込み速度がフィリピン海プレート本体ほどは速くないということは、駿河トラフ周辺における応力蓄積を鈍らせ、東海地震の発生間隔を長くする効果があるので、東海地震がいまだに発生しないことに対する説明となる。

話を本題に戻そう。関東地方南部に見られる顕著な地殻変動は、相模トラフから沈み込んだフィリピン海プレートと陸側プレートとの相互作用の結果生じているものと考えられる。もう少し具体

的に言うと、相模トラフから沈み込んだフィリピン海プレート上面の一部においてフィリピン海プレートと陸側プレートが固着しており、フィリピン海プレートの沈み込み運動に伴って陸側プレートが引きずられて変形する様子を我々は見ていることになる。

こうした沈み込み帯における地殻変動を説明するために、Savage (1983) はすべり欠損モデルを提案した。このモデルは、沈み込み帯周辺における地殻変動をプレート境界面に分布するすべり欠損で説明するものである。仮に全く固着がないプレート境界面を仮定すると、そこで接する2つのプレートは、両者の間の相対運動速度でずれていくはずである。こうした定常的なずれはプレートの相対運動以外の地殻変動を生じないものと考えられる。プレート境界面のある部分が固着していると、そこでは2つのプレートのずれる速度がプレートの相対運動速度より遅くなる。このことをすべり遅れ、すべり欠損などと呼ぶ。一例として、2つのプレートが完全に固着している場合にはプレート境界で全くずれが生じないので、プレートの相対運動速度に等しいすべり欠損が生じていることになる。逆にすべり欠損がゼロとなるのは、プレート間に全く固着がないことの表現となる。地殻変動から断層のすべり分布を求めると同じ要領で非地震時における地表の地殻変動分布を再現するプレート境界面上のすべり欠損分布を求めると、それはプレート境界面上のどの部分に強い固着が存在し、陸側プレートが引きずり込まれているかを示す結果となる。

こうした考えに基づいて、関東地方のGPS速度データを解析した結果を図3に示す。房総半島から三浦半島の地下のプレート境界面に最大30mm/年程度のすべり欠損が推定されている。すべり欠損の大きさはプレート運動速度とほぼ等しく、2つのプレートがほぼ完全に固着していることが示唆される。こうしたすべり欠損が大きいプレート固着域は、プレート境界面の深さが20km程度より浅い部分にあたる。一方、すべり欠損の向きに着目すると、興味深いことが分かる。推定されたすべり欠損は関東以北が含まれる北米プ

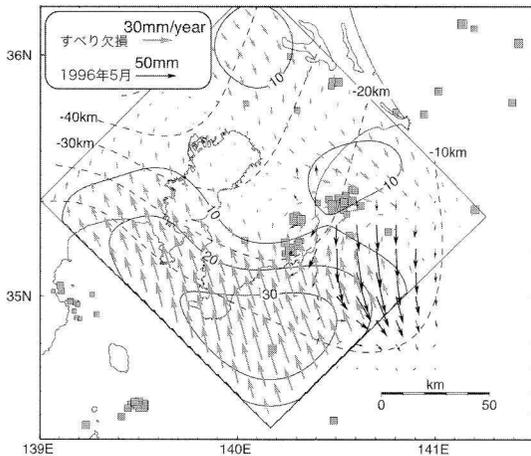


図3 相模トラフのプレート境界面におけるすべり欠損分布(灰色の矢印)。破線はプレート境界上面の深さを表す。すべり欠損が大きいほど固着の度合いが強いと考えられる。黒い矢印は1996年5月に発生した非地震性すべりの分布(後述)。四角は1996年5月の震央分布。

プレートに対するフィリピン海プレートの相対運動方向から時計回りに20-30度程度回転している。この結果は何を意味しているのだろうか。

実は、図3の結果は図2に示した地殻変動速度ベクトル、すなわち八郷を固定して求めた速度をそのまま解析した結果である。八郷が北米プレートに対して動いていなければ、図3ですべり欠損ベクトルはプレート相対運動方向に一致すべきである。すべり欠損の向きがプレートの運動方向からずれていることは、この八郷が不動という仮定が適当ではなく、実は北米プレートに対して動いていることを意味する。沈み込むフィリピン海プレートの下には東から太平洋プレートが沈み込んでおり、関東地方の下では3枚のプレートが折り重なっている。この太平洋プレートの沈み込みによって関東地方全体が北米プレートに対して西へ動かされているとすれば、すべり欠損の向きがプレート運動の方向と食い違う問題は解決する。関東地方が全体的に西へ動くメカニズムは明らかにされていないが、3つのプレートが重なり合う複雑な状況に起因していることだけは確かだろう。

すべり欠損の大きい部分は非地震時に固着して応力を蓄積している場所にあたり、将来、関東地

震が発生する場合にはこのすべり欠損領域の全部ないし一部が破壊を起こすものと予想される。このすべり欠損領域をWald and Somerville (1995)による大正関東地震のすべり分布(図1)と比較すると、相模湾北部、三浦半島付近に見られるすべりの大きな領域が、図3においてもすべり欠損領域となっていることが分かる。しかし、注目すべきは、房総半島の直下から沖合にかけてすべり欠損の大きな領域が広がっており、しかもそこは1923年には破壊を起こしていないと考えられる点である。この点については最後にまとめて議論する。

#### 4. 房総半島沖の非地震性すべり

1996年5月に、房総半島で異常な地殻変動が検出された(図4)(Sagiya, 2003)。房総半島の東部に位置するGPS観測点が、1週間程度の間で最大2cm程度南東向きに変位した。この期間中、若干の群発的な地震活動はあったものの、地殻変動の規模に匹敵するようなものではなく、主要な断層運動は地震を伴わずに生じたと考えられる。このような断層運動を「非地震性すべり」「ゆっくり地震」などと呼んでいる。

図4(b)を見ると、房総半島東部を中心として南東向きの地殻変動が生じた様子が良く分かる。この変位の方向は、通常房総半島で生じている運動の向き(図2を参照)と反対方向であるが、非常に興味深いことに、通常の運動速度が最大である館山とその周辺では、異常な地殻変動が起きていない。

図4(b)の地殻変動分布は、図2に示す通常の地殻変動分布と反対向きであることから、プレートの沈み込みによって蓄積された応力を解放するような断層すべりの生じたことが強く示唆される。そこで、GPS観測データに基づいて断層すべりの分布を推定した。その結果、断層面の面積は約50km四方、断層すべりの大きさは最大5cm程度で、断層運動の規模から計算したモーメントマグニチュードはMw 6.4程度となる(図3)。断層すべりによって震源周辺では応力が解放される

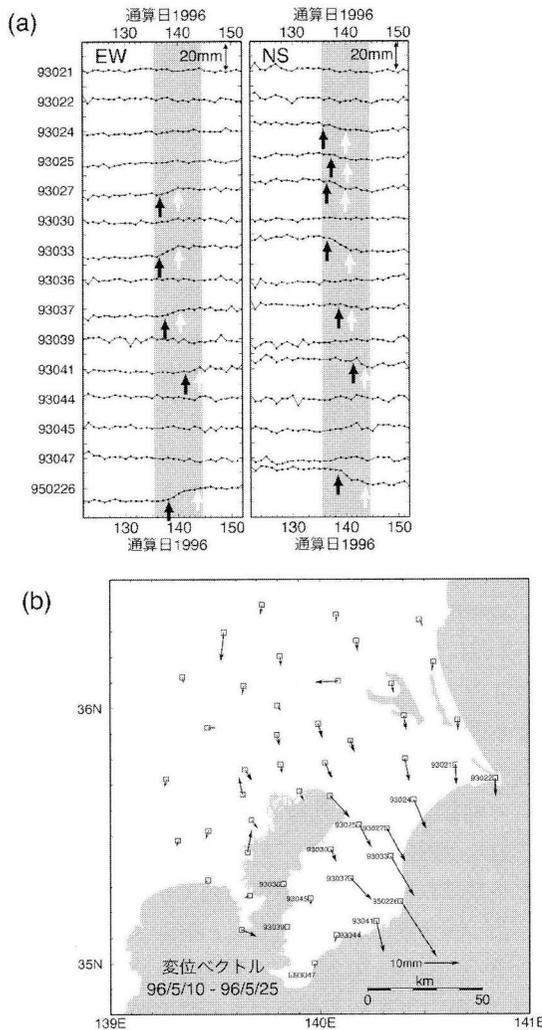


図 4 1996年5月に房総半島沖で発生した非地震性すべりに伴うGPS観測点の座標の日変化(a)と地殻変動分布(b).

が、断層モデルから計算した応力降下量は0.05 MPa程度になり、通常の地震の応力降下量(1-10 MPa程度)の数十ないし数百分の一である。このように小さい応力降下量は、断層のすべりが力の釣り合いを保ったまま準静的に進行したことを示している。

図3にはフィリピン海プレート上面の固着域を表すすべり欠損分布と1996年5月の非地震性すべりの断層すべりの分布を重ねて表示したが、非地震性すべりが固着域の周辺部で生じたことが分かる。固着が全く無い場所では歪みエネルギーが蓄

積しないので、非地震性すべりすら起きないだろう。固着域の周辺部では、固着の強い部分に引きずられる形ですべり欠損が蓄積する可能性があり、そのようにして蓄積したすべり欠損が非地震性すべりで解放されたと考えられる。この房総沖の観測例からは、大地震と非地震性すべりは空間的に棲み分けているように見える。

房総半島東部では、2002年10月にも1996年と似たような非地震性すべりが再び観測された(Ozawa et al., 2003)。時間をさかのぼると、1990年、1983年にも同様なイベントが発生していたと推定され、どうも房総半島東部の下のフィリピン海プレートでは、6-7年の間隔で応力蓄積と非地震性すべりによる解放が繰り返されていたようである。このすべり領域周辺におけるすべり欠損は、年間1-2cmと見積もられており(図3)、7年間に蓄積するすべり欠損量は10cm前後となる。この値は、1996年や2003年の非地震性すべり量と同程度であり、応力の蓄積・解放が非常に規則的に繰り返されていることが分かる。

## 5. 次の関東地震

ここまでGPSで見た関東地方の地殻変動とそこから推定されるプレート境界面の固着分布、GPSで発見された房総半島沖の非地震性すべりについて紹介してきた。以下では、これらの結果に基づいて次の関東地震について考察する。

図3に示したすべり欠損分布は、プレート境界面で生じている固着の全容を示すものである。将来、相模トラフで発生する大地震は、この固着領域の一部ないし全部を破壊する形で発生するに違いない。例えば、1923年の大正関東地震について、Wald and Somerville (1995)は、相模湾北岸付近と三浦半島付近に2つのすべりの大きい領域を推定している。このように地震時に大きくすべった場所をアスぺリティと呼ぶが、最近の研究では大地震が繰り返す際にアスぺリティの分布が時間的に不変であること、すなわち地震時にすべりの大きい場所はいつも同じであることが明らかになってきた(山中・菊地, 2001)。こうした考え

が当てはまるとすれば、Wald and Somerville (1995) の求めたアスペリティは、次の関東地震ですべりを起こす場所の第一候補である。

しかし、現実にはもう少し複雑である。アスペリティ・モデルは、多様な地震発生を同時に破壊するアスペリティの組み合わせが変わった結果と説明する。大正関東地震で破壊したアスペリティ以外に考慮すべりアスペリティがあれば、その組み合わせによって大地震の起き方が複雑に変わる可能性がある。

図3を見ると、房総半島南部から南東沖にかけて、年間30 mmを越えるすべり欠損が推定されている。大正関東地震ではすべりを起こさなかったこの場所にも主要なアスペリティが最低1つはあると考えるべきだろう。従って、次の関東地震を考える際には、少なくとも3つのアスペリティを考慮する必要がある。

関東地震には大正型と元禄型の2つのタイプがあり、地震に伴う地殻変動パターンが異なることを述べた。こうした違いは断層すべり領域の違いに起因すると考えるのが自然である。実際、房総半島南部から沖合に位置する第3のアスペリティで大規模な断層すべりが起きれば、元禄関東地震の際に生じた大規模な南または南東上がりの傾斜を説明することは十分可能である。房総半島下の第3のアスペリティのすべりの有無によって大正型になるか元禄型になるか決まるのだろう。

この第3のアスペリティは、1703年の元禄関東地震以降、300年間すべりを起こしていないと考えられるが、ここではいつ頃、どの程度の断層すべりが生じるだろうか。

こうした量的な議論の際に問題となるのは、過去の大地震の発生間隔である。地形学的なデータに基づく元禄型地震の再来間隔の見積もりは2000年前後と言われているが、これほど再来間隔が長くなると、すべり欠損の蓄積は60 mになってしまう、現実的な値ではない(知られている世界最大の地震である1960年チリ地震ですらすべり量は30 m程度であった)。それよりは、弾性歪みを蓄積すべき上部地殻で、非弾性的なひずみが生じてしまい地震時の反発量が小さくなったと考

える方が現実的である。房総半島南部を歩くと、地層が褶曲によって折り曲げられ、殆ど垂直になっているような場所も見つかる。こうした地層の変形は、房総半島の地殻が完全な弾性体ではなく、長時間かけて非弾性変形をしたことの直接的な証拠と考えられる。結局、地震間に蓄積されるすべり欠損のうち大地震によって解放される割合を求めることが重要になるが、そうしたデータを我々は持ち合わせていない。この点に関しては、元禄型の地震の再来間隔や規模の推定結果、および現在のすべり欠損速度に基づいて推定するしか方法はない。一例として元禄型の地震が2000年間隔で発生し、そのすべり量が12 mとすれば、地震で解放されるエネルギーは2割程度で、残りは非弾性的な変形として蓄積することになる。

これ以外に注意すべきアスペリティはあるだろうか？ 図3のすべり欠損分布では、房総南部の第3のアスペリティの東側に非地震性のすべりを繰り返して生じている領域が存在する。大正関東地震の翌日には勝浦沖でM 7.3の余震が発生した。この地震は短周期成分の励起が少なく(武村, 1994)、地震規模に比べて大きい津波を伴ったことが知られており、通常の地震よりもゆっくりとした断層運動によって生じたと推測される。地震の発生位置から考えると、通常は非地震性すべりのみを起こしている場所に大正関東地震による急激な応力変化が加えられ、断層運動が誘発された可能性がある。このM 7.3の余震は、第3のアスペリティの東隣に位置していると考えられ、その震源域を推定できれば、第3のアスペリティの詳細な位置や広がりを持つこともできるかも知れない。

次に発生時期について考えてみよう。大正関東地震で破壊した三浦半島付近のアスペリティに注目すると、測地データから推定したプレート境界面のすべり欠損は20-30 mm/年、地震時のすべり量は6-8 m程度である。これらの値から計算すると、地震の平均的な発生間隔は200-400程度と推定される。この値はプレート運動によって蓄積されたすべり欠損がすべて地震時に解放される(非弾性的な変形がない)と考えた場合であり、再来間隔の下限を与える。この推定は、元禄と大正の

関東地震の発生間隔（220年）と整合的である。200年程度で同一のアスペリティが繰り返し破壊したと考えると、上部地殻の非弾性変形の影響を考慮する必要はない。

一方、元禄型関東地震の再来間隔は地形学的なデータから900～2500年程度と見積もられており、前回のイベントが300年前であることを考慮すると、近い将来に発生する可能性は比較的低い。しかし、こうした長い再来間隔を想定するには、上部地殻の非弾性変形がここにだけ存在するという特別な仮定が必要となる。こうした仮定の妥当性を検証するため、プレート境界域の変形過程を水平方向の不均質性まで含めて解明することは今後の重要な課題である。また、メカニズムが未解明である以上、元禄型の地震についても、より短い間隔で繰り返すという可能性が否定できない。いずれにしても、地震が発生した時の影響の大きさを考慮すると防災対策を早急に進める必要がある。

2000年6月以降に発生した伊豆諸島の地震火山活動は房総半島でも顕著な地殻変動を生じた。こうした外部擾乱によってプレート境界の応力状態が変化し、大地震の発生の引き金となるようなケースも想定しておく必要がある。特に相模トラフの南西側には大島や三宅島などの活動的な火山があるので、その影響を正しく評価すべきだろう。

以上述べてきたことから分かるように、将来発生する地震の予測を行うには、地震学、測地学、地形学、地質学など固体地球に関連する様々な分野の知見を結集し、統一的な変形モデルを構築することが必要不可欠である。そうした努力によって、より現実を反映し、真に役立つ地震発生の予測が可能になることを期待したい。

## 参考文献

- 石橋克彦・佐竹健治, 1998, 古地震研究によるプレート
- 間境界巨大地震の長期予測の問題点—日本付近のプレート沈み込み帯を中心として—, 地震, 50, suppl., 1-21.
- 松田時彦・太田陽子・安藤雅孝・米倉伸之, 1974, 元禄関東地震（1703年）の地学的研究, 「元禄地方の地震と地殻変動」（垣見俊弘・鈴木尉元編）, 175-192, ラティス.
- Matsu'ura, M., T. Iwasaki, Y. Suzuki and R. Sato, 1980, Statical and dynamical study on faulting mechanism of the 1923 Kanto earthquake, J. Phys. Earth, 28, 119-143.
- Ozawa, S., S. Miyazaki, Y. Hatanaka, Y. Imakiire, M. Murakami, and M. Kaidzu, 2003, Characteristic silent earthquakes in the eastern part of the Boso peninsula, central Japan, Geophys. Res. Lett., 30, 1283, doi: 10.1029/2002GL016665
- 陸地測量部, 1926, 関東震災地一帯における土地の隆起及沈下状態, 東京大学地震研究所彙報, 1, 65-68.
- Sagiya, T., 1999, Interplate coupling in the Tokai district, central Japan, deduced from continuous GPS data, Geophys. Res. Lett., 26, 2315-2318.
- Sagiya, T., 2003, Interplate coupling in the Kanto district, central Japan, and the Boso Peninsula silent earthquake in May 1996, Pure Appl. Geophys., in press.
- Savage, J.C., 1983, A dislocation model of strain accumulation and release at a subduction zone, J. Geophys. Res., 88, 4984-4996.
- 宍倉正展・原口 強・宮内崇裕, 2001, 房総半島南西部岩井低地の離水海岸地形からみた大正型関東地震の発生年代と再来間隔, 地震, 53, 357-372.
- 武村雅之, 1994, 1923年関東地震の本震直後の余震活動—岐阜測候所の今村式二倍強震計記録の解析—, 地震, 46, 439-455.
- 武村雅之, 2003, 関東大震災—大東京圏の揺れを知る, 鹿島出版会, 139p.
- Wald, D.J. and Somerville, P.G., 1995, Variable-slip rupture model of the Great 1923 Kanto, Japan earthquake: geodetic and body-waveform analysis, Bull. Seismo. Soc. Am., 85, 159-177.
- 山中佳子・菊地正幸, 2001, 日本付近のアスペリティマップ: 東北編, 地球惑星科学関連学会2001年合同大会, Sy-005.

# 震 度

## (1) 震度とマグニチュード

地震学用語の中で、「震度」と「マグニチュード」はよく混同される。これは、地面が揺れたという現象と、震源で起きたおおもとの事件とが、ともに「地震」という同じ言葉で呼ばれることに根本的な問題がある。図1に示すとおり、「地震」という原因によって「地震」という結果が生じ、いわば加害者と被害者が同姓同名の状態となっている。「マグニチュード」は加害者の狂暴度を表わす量であり、「震度」は被害者が受ける影響の大きさを表わす量である。

台風にとえれば、「マグニチュード」は台風の強さを表わす中心気圧、「震度」は各地における風速に対応している。台風の目との位置関係や周囲の地形によって風速が異なるように、震度は震源からの距離や地盤の状況等に大きく左右される。このため、震度を言う場合には「○○地震による△△での震度」という風に、必ず場所の情報を付加せねばならない。

なお、中心気圧と風速は945 hPaと25 m/sのように数値も単位も明確に異なるのに対し、マグニチュードと震度は共に単位がなく数値が似通っているため、これも混乱のもととなっている。

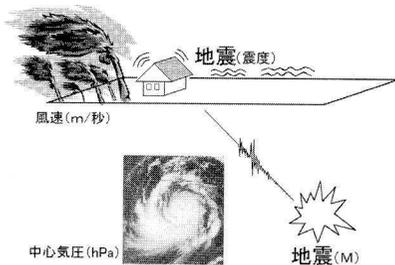


図1 震度とマグニチュード (M)

## (2) 震度分布と異常震域

一般に、震源から遠いほど震度は小さくなるため、図2 (a) のように、震度分布は震源を中心として概ね同心円状となるのが普通である。

しかし、深発地震などの場合には、震源に近い側よりも遠い側の方が大きく揺れることがある (図2 (b)). このように、震源からの距離と震度との関係が逆転する現象は異常震域と呼ばれ、沈み込んだプレート内を地震波が減衰せず効率よく伝わるためと考えられている。

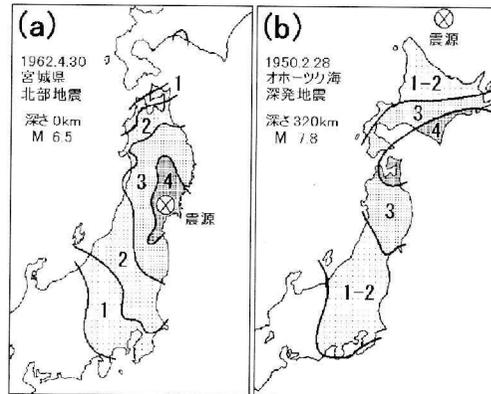


図2 (a) 通常の震度分布, (b) 異常震域の例

## (3) 震度階級の変遷

「震度」は自分のいる所がどれくらい揺れたかを示す尺度として定められている。この尺度は国により異なり、欧米では1~12の階級をもつ「改正メルカリ震度階 (MM 震度階)」が多く用いられている。我が国では、1908年、当時の中央气象台により震度0 (無感) から6 (烈震) までの7段階からなる「気象庁震度階」が定められた。これは、人間の体感や室内の様子、周囲の状況などの観察結果に基づいて測候所の職員が総合判断して決定する、きわめて人間的な尺度であった。たとえば震度3は「家屋が揺れ、戸障子がガタガタと鳴動し、電灯のようなつり下げ物は相当揺れ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震」と定義されている。その後、1948年福井地震で生じた被害の甚大さから、家屋の倒壊が30%以上に及ぶことを基準とする震度7 (激震) がつけ加えられ8段階となったものの、基本的にはこのように人間が判断して震度を定める方式が踏襲されてきた。

震度7は1995年兵庫県南部地震で初めて適用されたが、その発表には家屋の倒壊状況調査を待って2~3日を要したことが大きな社会問題となった。人間が決める以上、(1)震度の値に主観が入る、(2)震度決定までに時間がかかる、(3)震度報告の地点数が限定される、という問題が改めて浮き彫りにされたため、翌1996年10月、我が国における震度の決め方は、それまでの人間中心の方式から計器による自動決定の方

式（「計測震度」方式）へと大転換された。

この変更にあわせて、震度5と震度6はそれぞれ弱と強とに2分され、全体として10段階の区分が採用されるとともに、気象庁からは「震度階級関連解説表」が公表された。これは、計測震度がある値となった際に、人間の体感や行動、屋内・屋外の状況、木造建物・鉄筋コンクリート造建物・ライフライン等の被害が概ねどのようになるかを、参考説明したものである。かつては、このような現象から人間が判断して震度を決めていたのが、現在ではその関係が逆転したということになる。

#### (4) 震度の決め方

震度決定方式が根本的に変更された背景には、地震計とマイクロプロセッサを組合わせて即時に「計測震度」を算出し、通信回線によって情報を直ちに伝送するといった技術革新の流れが大きく貢献している。

「計測震度」は以下のように決定される。

- ① 加速度記録3成分に対し、周波数0.5～10 Hzの範囲で地震動の加速度と速度の中間の波形を与えるようなフィルター処理を施す。
- ② フィルター処理済みの記録3成分から、ベクトル波形を合成する。
- ③ ベクトル波形の絶対値（振幅）がある値 $a$ 以上となる時間の合計が0.3秒となる $a$ を求める。
- ④ この $a$ から、 $I=2\log a+0.94$ により、計測震度 $I$ を計算する。

ここで得られる計測震度 $I$ は連続量であり、以下の表1によって震度階級に換算する。

表1 計測震度と震度階級

計測震度 $I$	震度階級
$0.0 \leq I < 0.5$	震度0
$0.5 \leq I < 1.5$	震度1
$1.5 \leq I < 2.5$	震度2
$2.5 \leq I < 3.5$	震度3
$3.5 \leq I < 4.5$	震度4
$4.5 \leq I < 5.0$	震度5弱
$5.0 \leq I < 5.5$	震度5強
$5.5 \leq I < 6.0$	震度6弱
$6.0 \leq I < 6.5$	震度6強
$6.5 \leq I$	震度7

#### (5) 震度の統計

表2は、計測震度導入後の6年間における、地震時の最大震度の報告数を、気象庁から発行される「地震・火山月報（防災編）」に基づいてまとめたものである。2000年は3月末の有珠山噴火、7～8月の三宅島噴火および伊豆諸島の群発地震、10月の鳥取県西部地震と大事件が続いたため、異常なほど有感地震が多い。

平年では、我が国で震度5弱以上が記録される回数は年に2～10回、震度4が記録される回数は年に30回前後であり、また、震度1～3の地震は、毎日3個程度発生していることになる。

表2 最近6年間の最大震度報告回数

震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	計
1997年	1188	434	129	30	5	4	1	-	-	1791
1998年	999	374	118	27	1	-	1	-	-	1520
1999年	641	278	81	20	3	-	-	-	-	1023
2000年	12211	3975	1133	312	30	8	6	1	-	17676
2001年	1014	352	110	28	5	3	1	-	-	1513
2002年	821	309	95	24	4	-	-	-	-	1253
計	16063	5413	1571	417	44	15	9	1	0	23523

#### (6) 震度観測点の激増とこれに伴う注意点

計測震度の導入によって、震度決定における(1)主観的要因の排除、(2)迅速性の確保、(3)高密度化への対応が可能となった。

かつて震度は測候所職員の報告に頼っていたため、震度観測点は気象官署の数（約150カ所）に限られ、たとえば東京の隣りは網代（静岡県）、熊谷（埼玉県）、銚子（千葉県）といった地点でしか、公式な震度は発表されていなかった。計測震度計の導入によって、気象庁の震度観測点は約600カ所に増え、また地方公共団体の観測点約2,800カ所の震度も気象庁に集約されるようになった。

震度観測点の密度が飛躍的に増大したことによって、昔であれば無感とされた地震も、今は有感として登録されるケースが多い。また、ある地震における最大震度も従来より大きくなる傾向にある。小さい地震の場合、有感となる範囲は狭く、また、非常に浅い地震の場合にはごく局所的に大きな震度が現われるが、従来の疎な観測網では見逃されていたためである。逆に、震度5や6が観測されても、その広がりを確認しないと、必ずしも大地震であるとは限らない場合があるので、注意が必要である。

（岡田義光）

## マグニチュード

地震の震源域で生じた現象そのものの大きさを表す尺度がマグニチュード (M) であり、日本語では「規模」とも称される。

規模の大きな地震でも遠く離れていれば地面の揺れは小さいし、逆に小規模の地震でもごく近傍で発生すれば大きな揺れが記録される。このため、地震の規模の大小を公平に判断するためには、震源から同じ距離だけ離れた地点において揺れ具合を比較せねばならない。

マグニチュードは、このような趣旨で、米国カリフォルニア州に発生する地震の規模を客観的に評価する尺度として、1935年、リヒター (Richter) によって導入された。震源から 100 km 離れた地点に置かれた当時の標準地震計 (ウッド・アンダーソン型地震計) で記録された揺れの最大振幅をミクロン ( $\mu\text{m}$ ) 単位で表わし、その数値の対数をマグニチュード (M) とすることが提唱された。このため、欧米では、マグニチュードよりも「リヒター・スケール」という用語がよく使われている。

現実には、震源からちょうど 100 km の地点に都合よく地震計が設置されているとは限らず、また地震計にも様々なタイプのものがあるため、当初定義されたマグニチュードに準拠する形で種々の補正式が考案され、使用されている。

### (1) マグニチュードのいろいろ

地震は、地中で岩盤の破壊が進行し、断層面が形成される現象である。大きな地震ほど破壊に要する時間は長くなるため、そこから放出される地震波の卓越周期も長くなる性質がある。

一方、地震波を観測する地震計は、自分自身の固有周期 (振子を自然に 1 回振らせたときの所要時間) より速い振動は正確に記録できるものの、ゆっくりとした地面の揺れに対しては感度が鈍るという特性をもつ。このため、個々の地震計は、その周波数特性の限界によって、ある周期以上の地震波を十分に記録できず、大きな地震に対するマグニチュードの見積もりが正確にできなくなる。これは、“マグニチュードの頭打ち”現象と呼ばれている。

#### ① 実体波マグニチュード

周期数秒程度までの地震波 (主に P 波や S 波などの実体波) を用いて短周期地震計で見積

もるマグニチュードであり、M5 程度で頭打ちを生じる。

#### ② 表面波マグニチュード

周期 20~30 秒までの地震波 (主に表面波) を用いて長周期地震計で見積もるマグニチュードであり、M8 程度で頭打ちを生じる。

#### ③ モーメント・マグニチュード

周期数 100 秒までの地震波を捉える広帯域地震計の記録や、地殻変動記録などを用いて見積もるマグニチュードであり、巨大な地震に対しても頭打ちの問題がない。モーメント・マグニチュードは、震源で生じた断層運動の強さに対応する物理的意味を有している。

### (2) マグニチュードによる地震の分類

地震は、その規模の大小によって、下表に示すとおり、大地震 (M7 以上)、中地震 (M7 未満で M5 以上)、小地震 (M5 未満で M3 以上)、微小地震 (M3 未満で M1 以上)、極微小地震 (M1 未満) と分類されている。大地震のうち M8 以上のものは、とくに巨大地震と呼ばれることがあり、1960 年チリ地震や 1964 年アラスカ地震のように世界最大規模のものは M9 クラス (モーメント・マグニチュード) に達する。

これとは逆に、小さな地震の方は M1, M0,

### 地震のマグニチュード (M) の解説

名称	M	地震の概略 (浅い地震の場合)	発生頻度
大地震	9	数 100~1000km の範囲に大きな地殻変動を生じ、広域に大災害・大津波。	日本付近に起こった記録がない。
	8	内陸に起これば広域にわたり大災害、海底に起これば大津波が発生する。	10年に1回程度
	7	内陸の地震では大災害となる。海底の地震は津波を伴う。	1年に1~2回程度
中地震	6	震央付近で小被害が出る。Mが7に近いと、条件によって大被害となる。	1年あたり10~15回程度
	5	被害が出ることは少ない。条件によっては震央付近で被害が出る。	1月に10回程度
小地震	4	震央付近で有感となる。震源がごく浅いと震央付近で軽い被害が出る。	1日に数回程度
	3	震央付近で有感となることがある。	1日に数10回程度
微小地震	2	震源がごく浅い場合に、震央付近でまれに有感となることもある。	1時間に10回程度
	1	人間に感じることはない。	1分に1~2回程度
極微小地震	0	人間に感じることはない。	無数に発生している。
	-1	人間に感じることはない。	
	-2	人間に感じることはない。	

M(-1), M(-2), ……と続いている。もともと M は記録された地面の揺れ幅の対数で定義されたことを思い起こせば、これは記録された地動の振幅が 10, 1, 0.1, 0.01, ……と小さくなっていくことを意味している。現実には、小さな地震になるほどその捕捉は困難である。

規模の大きな地震はめったに発生しないが、中小の地震は無数に発生している。図 1 は、1990~1999 年の 10 年間に関東・東海地域で検知された深さ 100 km 未満の地震を、(a) M 4 以上、(b) M 4 未満に分けて、その震源分布を示している。(a), (b) それぞれの地震数は、約 600 個および 11 万個であり、いかに小さな地震の発生数が多いかということが実感できる。

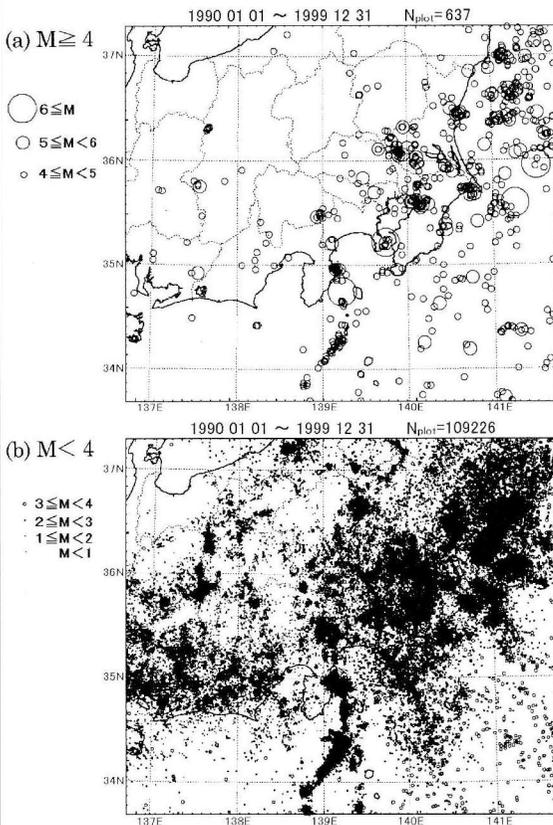


図 1 1990-1999 年の 10 年間に関東・東海地域で発生した深さ 100 km 未満の地震の震源分布 (a) M 4 以上、(b) M 4 未満 (防災科研による)

### (3) マグニチュードの統計

図 2 は、1949~1998 年の 50 年間に日本とその周辺で発生した地震の数を M が 0.1 ごとに集計し、その結果を棒グラフにしたものであ

る。この 50 年間に発生した地震数は、M 8 級が 3 個、M 7 級が 52 個、M 6 級が 502 個、M 5 級が 3,640 個、M 4 級が 14,224 個となっている。この数字を 50 で割って平均的な年間の地震発生率を求めると、M 8 級が 0.06 個/年、M 7 級が 1 個/年、M 6 級が 10 個/年、M 5 級が 73 個/年、M 4 級が 284 個/年となる。

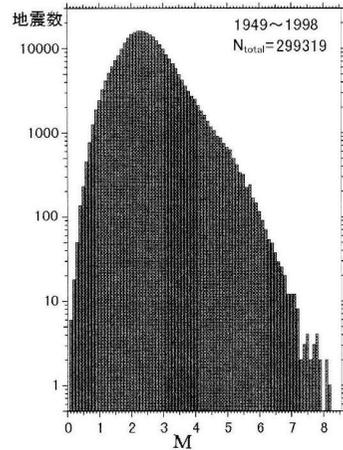


図 2 1949~1998 年の 50 年間に日本周辺で検知された地震の M 別頻度分布 (気象庁による)

図 2 では、縦軸が対数目盛となっており、M が 3 から 7 くらいの範囲では、地震数  $n$  の対数がほぼ直線状に減っていく。数式で書くと、この直線部分は  $\log(n) = a - bM$  と表わすことができる。この式はグーテンベルグ・リヒター (Gutenberg-Richter) の関係式と呼ばれ、地震統計の基本となっている。直線の傾きを表わす係数  $b$  は、しばしば「 $b$  値」と呼ばれ、大きな地震と小さな地震の発生頻度の比を表わす重要なパラメータである。 $b$  値は通常 0.9~1 であり、これは、M が 1 小さくなると発生する地震数は 8~10 倍に、M が 2 小さくなると地震数は 64~100 倍に増えることを意味している。

なお、図 2 で、M 3 程度より小さな地震の数が直線から外れて激減していくのは、地震観測網の検知能力の限界によって、あまりに小さな地震は捕捉できなくなるためである。逆に、このような直線関係からのずれを見ることにより、観測網の地震検知能力を評価することができる。また、M 8 付近の地震数もこの直線から外れているが、これは、そもそも地震の発生回数が低く、サンプル数が少ないためである。

(岡田義光)

# 関東大震災：様々な被害とその教訓

武村雅之

## 1. はじめに

大正12年（1923年）の関東大地震から今年でちょうど80年になる。最近では、平成7年（1995年）に発生した兵庫県南部地震の大きな被害の影響で、関東大震災は影が薄くなったと思われる方もおられるであろうが、被害のスケールは、様々な面で兵庫県南部地震に比べて大きく、80年を経た今日でも、我々に多くの貴重な教訓を与えてくれることに変わりはない。地震後80年目にあたり、被害の実態をもう一度再確認することは、将来首都圏で発生するであろう大地震に備える上で、最も重要な課題の一つであると考え、そこで本稿を執筆することにした。

## 2. 揺れの強さ

兵庫県南部地震以来、被害地震を直下型と海洋型に分け、直下型は揺れの継続時間は短い揺れ幅が大きく、海洋型は、長周期成分を含み、揺れ幅はそれほど大きくないが、継続時間が長いということが言われることがある。そのこと自体間違いではないが、関東地震は海洋型であり、揺れの強さ（揺れ幅）はそれほど大きくなかったと思っている人がいるとしたら困ったことである。兵庫県南部地震の後に、「関東大震災時の何倍もある予測だにできなかった強い揺れに襲われたので、多くの構造物が壊れた。」というような発言が国の建設関係の要職にある人の口をついて出、それが新聞紙上をにぎわせたことがある。そのような発言が、間違っただけを一般に広げることによって一役買ったとしたら不幸なことである。

このような発言が出ること自体、関係者ですら

関東大震災の実態を知らず、従って教訓も生かされていないと考えるべきであろう。関東地震では後で示すように、あまりに東京、横浜など大都会における火災の被害が大きかったために、揺れによる直接の被害がかすみがちであるが、建物の全潰被害から揺れの強さを推定する限り、そのような考えが誤っていることに気づくはずである。

図1は、木造家屋の全潰率をもとに推定した関東全域に及ぶ震度分布である<sup>1)</sup>。図には、参考のために震源断層の位置も示す。房総半島東部を除き、断層面の直上では全域で震度6弱以上（全潰率1%以上）で、相模川低地や房総半島南部の館山低地では震度7（全潰率30%以上）となり、その周辺部も概ね震度6強（全潰率10%以上）となっている。

一般に地盤は、古い時代に堆積してできたものほど、地震の揺れを増幅させにくい。関東地方の地盤を概観すると、構成する地層によって大きく三つに分類できる。一つは沖積層と呼ばれるもので、約1万年以降の完新世と呼ばれる新しい時代に堆積し主に低地を構成する。次に古いのが洪積層と呼ばれるもので、約200万年前から1万年前の更新世に堆積したものである。これらは洪積台地と呼ばれる丘陵地を形成している。さらにそれ以前のは第三紀以前の地層で、主に山地を形成する。断層面の直上で震度6強から7となっているのは、神奈川県相模川低地や千葉県房総半島南部の館山低地とその周辺部で、それらの地域では、主に沖積層や10万年以後の後期更新世に堆積した洪積層の地盤が支配的である。

一方断層面からはずれた地域では、震度は一般に低めとなり、千葉県北部や、東京湾沿岸を除く東京都全域、埼玉県中部など洪積台地が広がる地域では概ね震度5以下である。これに対して、沖

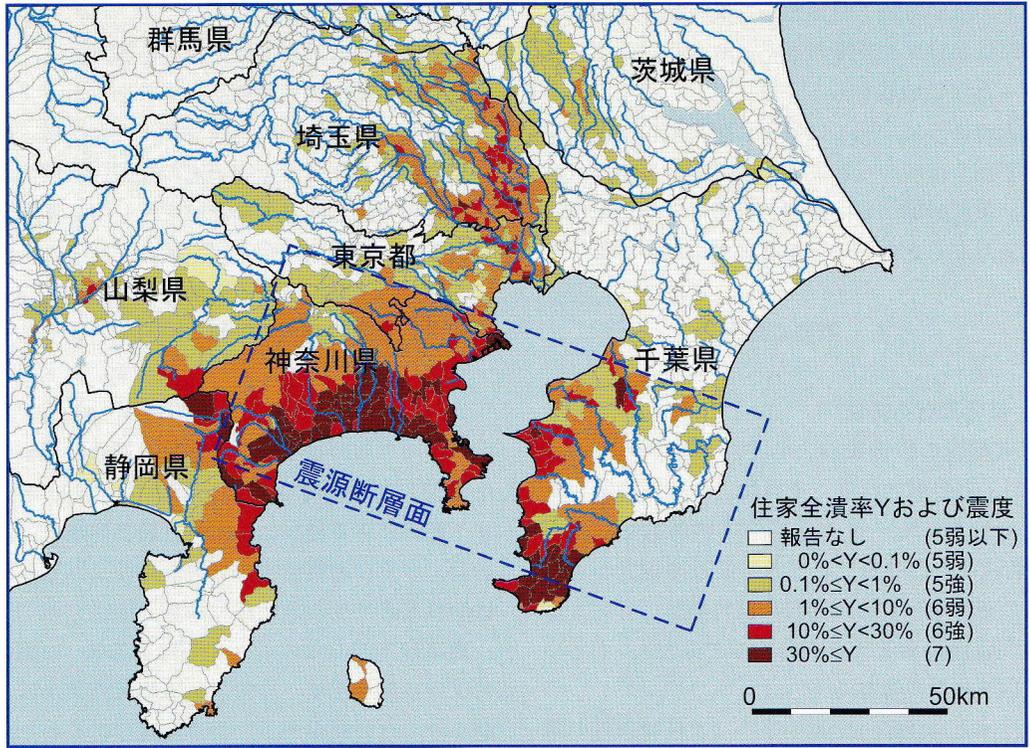


図1 木造住家の全潰率から求めた市区町村別の震度分布<sup>1)</sup>。地表投影した震源断層の位置も示す。

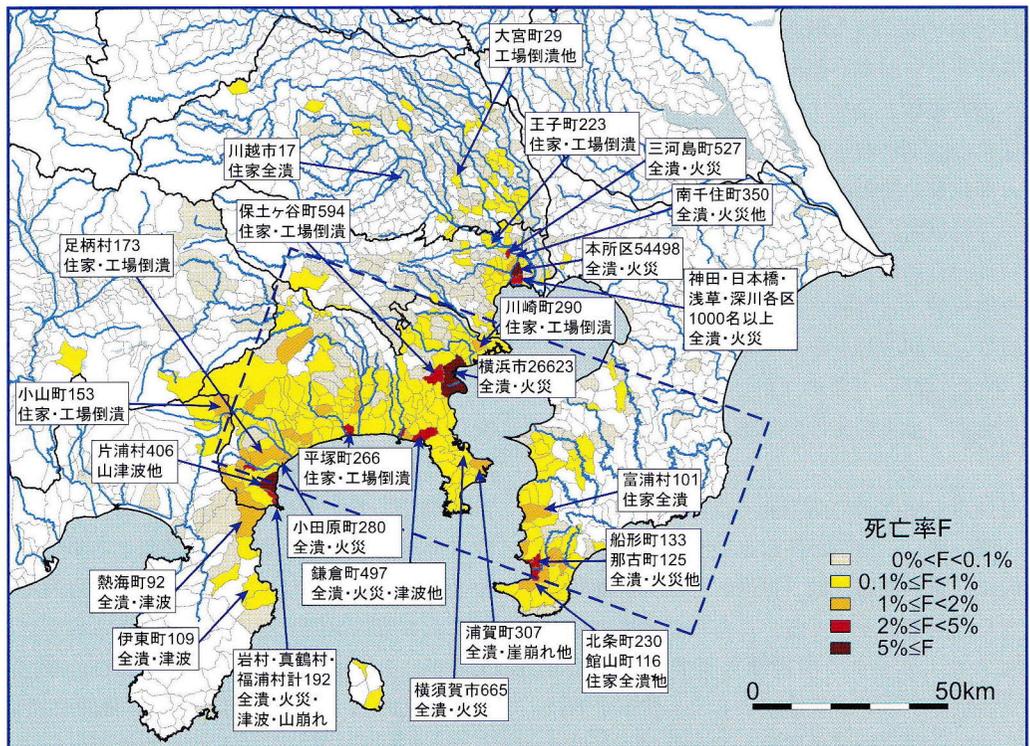


図6 死亡率の市区町村別分布と主な死亡原因と死者数。地表投影した震源断層の位置も示す。

積低地の広がる埼玉県東部から東京都東部の東京湾沿岸にかけては震度が高く、6強から所によっては7となる地域もある。

以上のように、図1は我々に関東地震の揺れが決して弱くはなかったことの他に、揺れの強さが単に、震源断層からの距離だけでなく、地盤条件に大きく左右されることを教えてくれている。

### 3. 被害の実態

#### 3.1 被害集計への疑問

関東地震の被害集計として、今村明恒による表<sup>2)</sup>がよく引用される。それによれば、建物の全潰・焼失576,262、死者と行方不明者数をたすと約142,807人となる。ところが最近の研究から、今村の集計をはじめ、当時の被害集計にはいくつかの問題点があることが分かって来た<sup>3)</sup>。まとめると以下ようになる。

- 1) 住家と非住家（納屋や小屋など住家以外の建物）で建物被害を区別しているケースと、区別せず戸数や世帯数で被害を集計しているケースの統計を一緒に扱う場合は、住家一棟に一世帯が暮らすことが多い都市部を除く地域では、戸数＝住家棟数と見なすのがよい。今村<sup>2)</sup>は住家、非住家の区別があるところでは、住家の被害棟数と非住家の被害棟数の和を用い、その他のところでは被害戸数を用いて、建物被害を集計している。このため、例えば、住家全潰棟数または全潰戸数（世帯数）を評価するという立場から見ると、都市部を除く千葉、埼玉、山梨、茨城、栃木、群馬、長野の7県で、合わせて約2万4千棟分、被害を多めに評価していることになる。
- 2) 東京市や横浜市の都市部では集合住宅によって住家一棟に一世帯が住むという状況が崩れ、一般に住家の被害戸数（世帯数）が被害棟数を大きく上回ることになる。これらの地域では火災もあり、データの信頼性も多少懸念されるが、現状のデータより推定すると、住家全潰に関して、全潰戸数（世帯数）を単位とした集計は、全潰住家棟数に比べ約3万6千程度多めの

数値を与えることになる。

- 3) 東京市や横浜市では火災の影響が大きく、火災のために建物の調査が出来ないとか、または焼失数と全半潰数の重複を避けるために、内務省社会局による大正震災志の叙説の資料のように非焼失区域のみの集計値を示している場合がある。その場合、例えば全潰数で見ると、焼失区域の全潰数約2万1千棟、世帯数で約4万9千世帯分の被害が焼失数に隠れてしまうことになる。

武村・諸井<sup>3)</sup>、諸井・武村<sup>1)</sup>は、1)-3)の混乱の原因をできるだけ整理し、住家を対象に建物棟数を単位に被害を集計した。表1にその結果を示す。震動による集計は、焼失区域と非焼失区域に分け、さらに地震直後の火災や津波、さらには土砂崩れなどで失われた住家棟数も推定した。

表には比較のために、今村による表<sup>2)</sup>に掲載されている値も示す。今村による集計結果には、半潰を除く合計欄がある。たぶん完全に失われた家屋の数を意識して設けられた欄であると解釈し、今回の評価に際しても、全半潰焼失流失つまり全ての合計の他に、半潰を除く合計も求めた。これらの集計に際しては、全潰、半潰したのちに焼失した家屋の重複を避けるため、いずれの欄においても非焼失区域の全潰数、半潰数と焼失流失数を足し合わせた値を合計として示す。

半潰を除く合計欄で両者を比較すると、千葉、埼玉、山梨、茨城、栃木、群馬、長野の各県では1)で指摘したように、今村の表には非住家の全潰数が混入しており、値がかなり大きいことが分かる。また東京府と神奈川県での値がおそらく非焼失に対応するにもかかわらず大きいのは今村が採用した戸数単位の値が大きいため、この違いは2)で指摘したように、集合住宅の影響によって戸数（世帯数）による集計が棟数による集計を大きく上回ることが主な原因であると考えられる。戸数による集計単位の差は、震動による被害にとどまらず、火災による焼失数にもおよび、東京、横浜合わせて20万余りに昇る。最終集計の576,262と293,387との差は、ほとんどこの差に起因していると言えるかもしれない。つまり、結論的に言

表 1 木造住家の県別被害数<sup>1)</sup>、今村の表の値<sup>2)</sup>も比較に示す。

府県	全潰棟数 (非焼失)	(焼失)	半潰棟数 (非焼失)	(焼失)	焼失流失	合計(半潰除く)	合計(被害棟数)		
神奈川県	63,577	46,621	16,956	54,035	43,047	10,988	35,909	82,530	125,577
東京府	24,469	11,842	12,627	29,525	17,231	12,294	176,507	188,349	205,580
千葉県	13,767	13,444	323	6,093	6,030	63	502	13,946	19,976
埼玉県	4,759	4,759	0	4,086	4,086	0	0	4,759	8,845
山梨県	577	577	0	2,225	2,225	0	0	577	2,802
静岡県	2,383	2,309	74	6,370	6,214	156	736	3,045	9,259
茨城県	141	141	0	342	342	0	0	141	483
長野県	13	13	0	75	75	0	0	13	88
栃木県	3	3	0	1	1	0	0	3	4
群馬県	24	24	0	21	21	0	0	24	45
合計	109,713	79,733	29,980	102,773	79,272	23,501	213,654	293,387	372,659
(うち)									
東京市	12,192	1,458	10,734	11,122	1,253	9,869	166,191	167,649	168,902
横浜市	15,537	5,332	10,205	12,542	4,380	8,162	25,324	30,656	35,036
横須賀市	7,227	3,740	3,487	2,514	1,301	1,213	4,700	8,440	9,741

以下の表は、今村による集計 [震災予防調査会報告 100 号甲 (大正 14 年)]

府県	全潰 (非焼失)	(焼失)	半潰 (非焼失)	(焼失)	焼失流失	合計(半潰除く)
神奈川県	62,887		52,863		68,705	131,592
東京府	20,179		34,632		377,907	398,086
千葉県	31,186		14,919		718	31,904
埼玉県	9,268		7,577		0	9,268
山梨県	1,763		4,994		0	1,763
静岡県	2,298		10,219		666	2,964
茨城県	517		681		0	517
長野県	45		176		0	45
栃木県	16		2		0	16
群馬県	107		170		0	107
合計	128,266		126,063		447,996	576,262
(うち)						
東京市	3,886		4,230		366,262	370,148
横浜市	11,615		7,992		58,981	70,496
横須賀市	8,300		2,500		3,500	11,800

例えば、関東大震災で失われた住家数（全潰焼失流失）は約 30 万棟ということになり、今村の表から勝手に 57 万棟と考えるとすれば、それは多すぎるといふことである。

以上が建物被害の概要であるが、人的被害についてはさらに複雑である。表 2 に再整理した結果<sup>4)</sup>と今村による表の比較を示す。

表 2 要因別死者数<sup>4)</sup>。今村の表の値<sup>2)</sup>も比較に示す。今村の表には、死者と行方不明者の数は別々に示されている。

府県	要因別死者数推定値				合計	死者+行方不明者数 (今村)
	住家全潰	住家焼失	住家流失・ 埋没	工場等の 被害		
神奈川県	5,795	25,201	836	1,006	32,838	33,067
東京府	3,546	66,521	6	314	70,387	107,519
千葉県	1,255	59	0	32	1,346	1,342
埼玉県	315	0	0	28	343	411
山梨県	20	0	0	2	22	20
静岡県	150	0	171	123	444	443
茨城県	5	0	0	0	5	5
長野県	0	0	0	0	0	0
栃木県	0	0	0	0	0	0
群馬県	0	0	0	0	0	0
合計	11,086	91,781	1,013	1,505	105,385	142,807

### 3.2 震動

地震による被害要因の第一はもちろん震動である。強い揺れによって建物が崩れ、その下敷きになって人命が失われる。我が国では、建物の多くが木造の住家で、至る所にあるため、昔から木造住家の全潰率から揺れの強さを示す震度が求められてきた。従って震度分布は、そのまま木造住家の全潰率に対応すると考えて間違えない。図1の関東地震による震度分布も木造住家の全潰率から求められたものである。

この震度分布を平成7年(1995年)の兵庫県南部地震のものと比較したのが図2である。同じスケールで示したものであるが、大きな被害が生じる震度7や6強以上の領域を比較して分かるように、分布地域の広さは関東地震の方がはるかに広いことが分かる。先に述べたように、関東地震による揺れがそれほどでもないどころか、兵庫県南部地震に比べ、はるかに広い範囲で強い揺れに襲われ、建物被害をはじめ、それに伴う人的被害も多数生じたと想像される。

表2の要因別死者数を見ると<sup>4)</sup>、最大の要因は後で述べる、東京、横浜に代表される大火災であることは言うまでもないが、もし火災が発生しな

かったとして、どの程度の被害が発生したのだろうか。

表によると、火災以外の死者数の合計は、約1万3千人。そのうち住家全潰によると推定されるのが約1万1千人で大多数を占めている。この数は兵庫県南部地震の約5千5百人や、我が国で最大級の内陸直下型地震と言われている明治24年(1891年)の濃尾地震の7千2百人をはるかに上回るものである。地域別には、震源断層に近く震度7の激震地区を広くもつ神奈川県がその約半分を占め、人口密集地の東京市を含む東京府がそれに次いでいる。

### 3.3 火災

それでは、火災による死者数は如何ほどかというところ、これも表2にあるように約9万2千人が火災により亡くなっている。死者数の合計約10万5千人の実に9割近くが火災で亡くなったことになる。やはり火災は、関東地震の被害要因の中で特筆すべきものである。図3は関東一円での死者数の分布を市区町村ごとにまとめたものである。特に死者数が多いところは東京と横浜で人口密集地に大火災が発生した地域である。

図4(a)は東京市における延焼地域である<sup>5)</sup>。

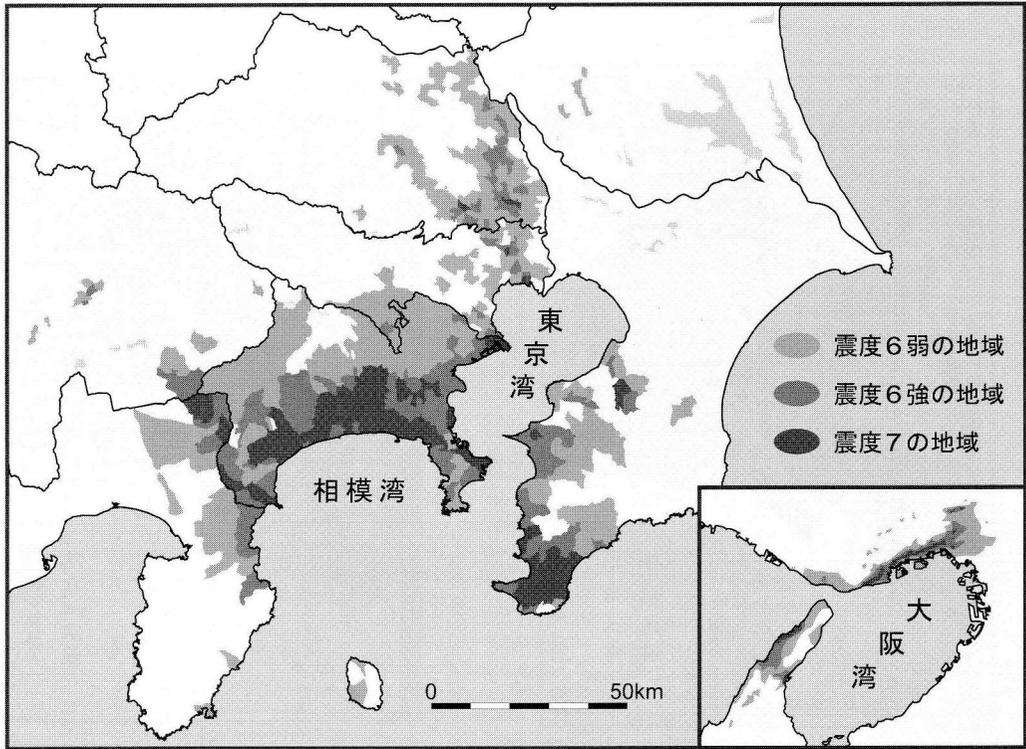


図2 兵庫県南部地震の震度分布との比較。

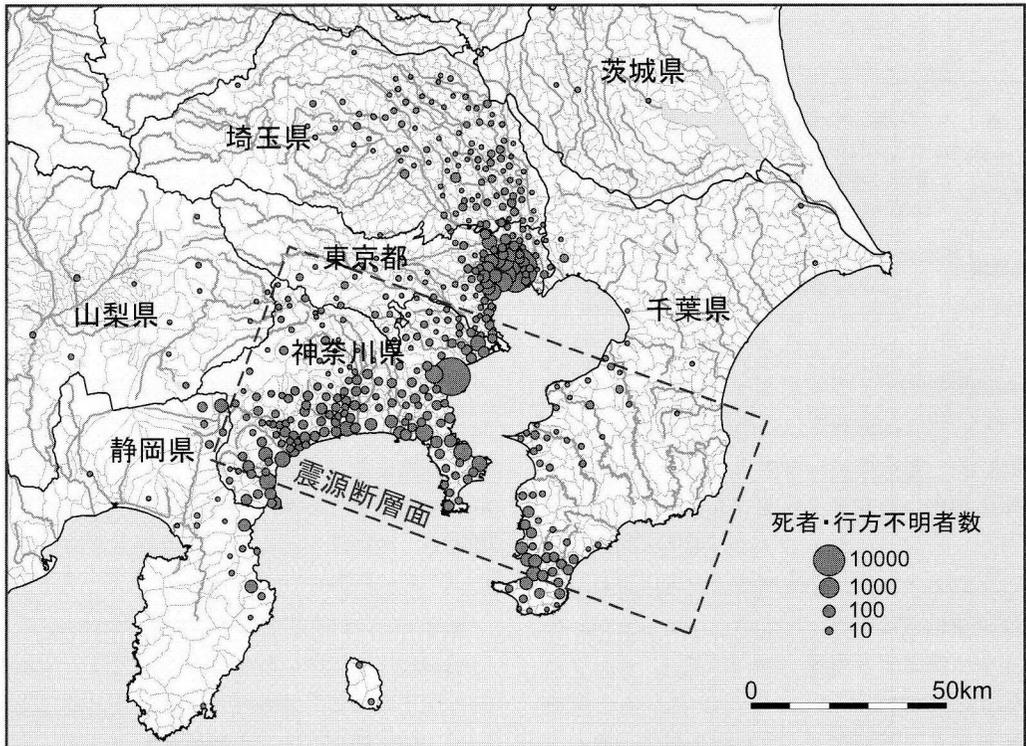
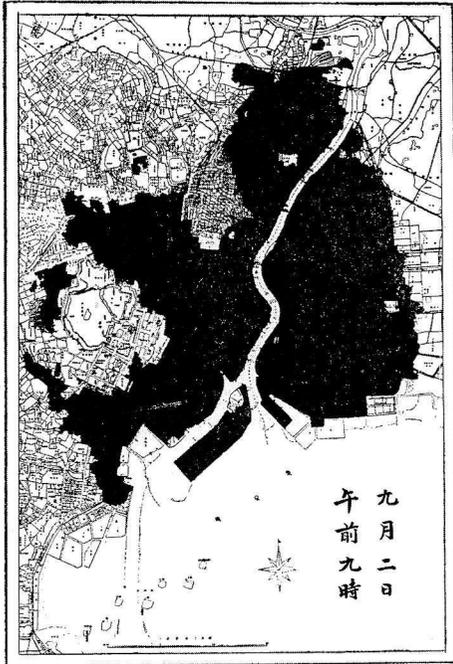


図3 死者・行方不明者数の市区町村別分布。地表投影した震源断層の位置も示す。

(a)



(b)



図4 関東地震と安政江戸地震の際の東京・江戸における焼失地域の比較<sup>5)</sup>。黒い部分が延焼地域。(a) 関東地震 (b) 安政江戸地震

表3 関東地震と安政江戸地震の比較

地震	発生日	時間	マグニチュード	天候	死者・行方不明者数	人口	死亡率
安政江戸	安政二年十月二日 (1855年11月11日)	夜四つ時 (午後10時頃)	6.9	薄曇り・微風	7,000人強	130万人	0.5%
関東地震	大正十二年九月一日 (1923年)	午前11時58分	7.9	曇り, 強風	68,660人	220万人	3%

火災の広がる様子を説明すると、9月1日午前11時58分32秒に地震発生、その約1時間後の午後1時頃には、延焼地域はまだそれほど広くなく、隅田川の両側に点在する程度である。それが次第に広がり、日付が代わって2日の午前3時頃には東京の下町の大部分が延焼地域に飲み込まれ、それ以後延焼地域はそれほど広がらなかったが、火災が完全に鎮火するのは、さらに翌日、9月3日の午前10時頃だったと言われている。その間東京市だけでも、火災によって6万人以上の尊い人命が失われ、中でも、本所区の被服工廠跡（現在

の隅田区横網町の震災復興記念館敷地）では4万4千人の人々が、大火災によって引き起こされた火災旋風によって命を落とした。被服工廠跡でこのように恐ろしい火災旋風が起こったのは午後4時頃で、地震発生後実に4時間もあとのことである。

図4(b)は関東地震の約70年前の安政2年(1855年)に江戸の町を襲った安政江戸地震の火災の様子である。安政江戸地震では火災は発生したが、関東地震に比べ小規模なものであったことが分かる。表3は江戸、東京での両者の被害の比

較である。安政江戸地震の際の江戸の人口は約130万人で、関東地震の際の東京市の人口220万人の半分あまりである。その差を考慮しても、関東地震による死者・行方不明者数は非常に多く、死亡率で約6倍程度高いことが分かる。その違いの原因は、直後に発生した火災の程度によると考えられる。都市部での地震後の火災が如何に多くの人命を奪うかを示す事例と言える。

では何故関東大地震の直後の火災が大火災になったのであろうか。よく言われることは、地震の発生が、昼食時の少し前（東京での揺れはじめは午前11時59分頃）で、火を使う家庭が多かったということである。確かに表3からも分かるように安政江戸地震の発生時刻は夜の10時頃である。しかしながら、天候が大きく違っていたことにも注意すべきである。

関東地震の際には、前日九州西岸にあった台風が当日の朝には、図5の天気図にあるように、能登半島付近まで進み、勢力はそれほどでもなかったにしろ、関東地方では、朝から10m/秒余の強風が吹いていたと言われている。関東地震の時と同じように、江戸、東京が強い揺れに襲われた元禄16年（1703年）の元禄地震や、先に指摘した安政江戸地震の時はそれほどの火災にはなっていない（元禄地震の際には地震の数日後に大火災が

あったが直後にはほとんど出火はなかった）。これに対し、地震とは無関係であるが、明暦3年（1657年）のいわゆる明暦の大火は、江戸城も焼くほどで、関東地震の際にも勝る大火災であった。この時も1月の冬の季節風が吹き荒れていたといわれている。この時の死者は実に10万人以上と言われ、関東地震の際の東京での死者数をも上回っている。つまり、火災は天候とも大きな関連をもっており、台風シーズンの幕開きとも言える二百十日（9月1日）に発生した関東地震は、最悪の天候の元での地震であったと言えるのである。

再度表2に戻る。表2には従来からよく引用される今村の表<sup>2)</sup>の値も示されている。死者・行方不明者数の合計が約14万人となり、4万人近く、諸井・武村<sup>4)</sup>の集計を上回っている。その原因は表からも分かるように、東京府の集計が大きく違っていることに起因している。諸井・武村<sup>4)</sup>の集計は、特に死者数の多い東京市については、内務省社会局による「大正震災志」<sup>6)</sup>を基本としている。この資料は、震災直後に国が実施した国勢調査方式による調査結果に基づいており信頼度が高いと考えられる。東京府での死者数（行方不明者約1万1千人も含む）の合計は約7万人である。これに対し、今村の表での東京府での死者・行方不明者は合計約10万7千人で、そのうち、死者は約6万8千人、行方不明者は約3万9千人であるが、震災予防調査会報告100号戊の竹内<sup>7)</sup>によれば、死者数の多くは、火災によって身元が分からない遺体の検視結果で、約4万2千体は性別不詳である（今村の表の死者数の出典は不明であるが竹内による集計に近い）。一方、行方不明者数約3万9千人は、家族、友人などから警察に捜索願のあった数で、死者数とかなり重複しているだろうということである。つまり、今村の表の行方不明者数3万9千人は、性別不詳の身元不明者と重複している可能性が高いのである。従って、今村の表の死者と行方不明者の数は単純にたし合わせてはいけない数で、通常よく言われる死者・行方不明者数14万人という数字はそれを無視した分過大評価となっていると考えてほぼ間違いないもの

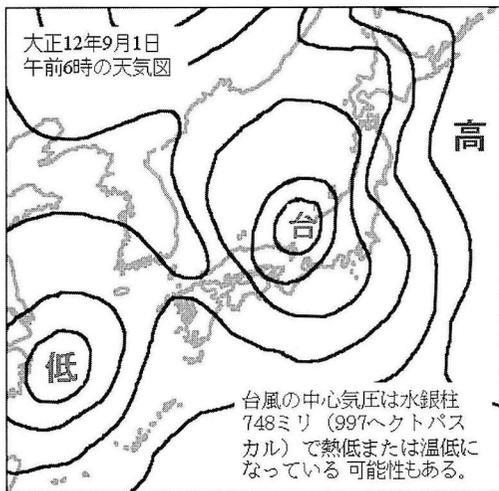


図5 大正12年（1923年）9月1日午前6時（関東地震発生日の朝）の天気図の写し。

と思われる。

### 3.4 山崩れと津波

図6は、市区町村ごとに死亡率をまとめ、そこで大きな被害を出した原因と、それによる死者数を書いた地図である。東京、横浜では、先に述べたように火災が死亡の大きな原因であるが、神奈川県相模湾沿岸から伊豆半島の東岸にかけては、津波や山崩れなどの原因が目立つことが分かる。

関東地震による津波は、地震発生後早いところで数分以内に陸地に到達し、伊豆半島東岸から相模湾、房総半島沿岸を襲った。津波による死者を詳しく見ると、神奈川県鎌倉郡鎌倉町（現鎌倉市）の由比ヶ浜海岸で津波にさらわれ約100名が行方不明、さらに川口村（現藤沢市）江ノ島棧橋で約50名が行方不明との記録がある。それだけでも最近の津波災害で大きくクローズアップされた平成5年（1994年）の北海道南西沖地震や昭和58年（1983年）の日本海中部地震と並ぶ被害が生じていたことになる。

次に各地で発生した山崩れに注目すると、最も大きな被害を出したのは、神奈川県足柄下郡片浦村（現小田原市）の根府川集落で、白糸川上流部で発生した土石流が流れ下り、地震の5分後に山

津波に襲われた。64戸の家屋が埋没406人が死亡した。さらに近くの熱海軽便鉄道の根府川駅では背後の山が崩れ、停車中の列車を海中に押し流し死者300名を出した。また、同村米神（現小田原市）でも土石流があり、20戸が埋没、死者62人を出した。結局、この地域で死亡した人は外来の人も含め、山崩れによって750人以上にのぼることになる。またこの他に津久井郡や足柄上郡でも山崩れによって約20名もの死者を出し、合計すると800名近くが命を落としたことになる。図6をみると、片浦村での死者が406名と上記の値より少ないが、図6の値はあくまで対応する市区町村に住む住民の被害であり、外部からの来訪者を含まないのが大きな原因である。人的被害の把握にはこの種の問題がつきまとう。しかしながら、いずれにしてもこのような地震による土砂災害は、明治以後、最大規模のものであることに違いはない。土砂災害はこれに止まらず、9月12-15日には中郡大山町（現伊勢原市）で地震で緩んだ山地に大量の降雨があり、土石流で140戸が押し流される被害もあった。幸い避難が早く、死者は1名に止まったが、典型的な二次災害である。

以上の結果から、関東地震が津波災害や土砂災害に関しても、明治以後の地震の中では最上位に

表4 工場倒潰による死者数

府県	郡	市町村	工場名	死者数
東京府	北豊島郡	王子町	東洋紡績	85
		王子町	東京毛織	31
		岩淵町	小口組製糸工場	25
	南葛飾郡	吾嬬町	東京モスリン	数十名
		亀戸町	東京モスリン	39
		亀戸町	日清紡績	26
南足立郡	西新井村	東京紡績	43	
神奈川県	橋樹郡	川崎町	東京電気	65
		川崎町	富士瓦斯紡績	154
		保土ヶ谷町	富士瓦斯紡績	454
	中郡	平塚町	相模紡績	144
	足柄下郡	足柄村	小田原紡績	134
静岡県	駿東郡	小山町	富士瓦斯紡績	123

ランクされる地震であることが分かる。

### 3.5 その他の被害

図6を見ると、その他に工場倒潰という文字があることに気づく。倒潰によって多くの死者を出した建物は、最近の兵庫県南部地震と同じく、一般の木造住宅であることは変わらない。しかしながら兵庫県南部地震と異なる点は、多くの工場建物が崩壊し、そこで一度に多数の人命が失われたことである。発生時刻が兵庫県南部地震のように早朝の始業前ではなく、皆が働いていた昼間であったことにもよるが、当時の工場設備の不備など、労働環境が大きく異なっていたという社会的側面も原因として考えられる。いずれにしても、歴史的事実として、工場被害の惨状も関東地震による被害の特徴として指摘しておきたい。表4に25名以上の死者を出した工場のリストを示す。これらは、東京府、神奈川県、静岡県に分布し、中でも、神奈川県保土ヶ谷町（現横浜市保土ヶ谷区）の富士瓦斯紡績では工場の煉瓦壁が倒潰し一度に454人も死者を出している。この数は先に述べた根府川集落が山津波によって埋没した際の死者をも上回るものである。富士瓦斯紡績は、この他、橘樹郡川崎町（現川崎市）で154人、静岡県の駿東郡小山町（現駿東郡小山町）で123人の合計731人の死者を一社で出した勘定になる。富士瓦斯紡績に代表されるように大きな被害を出した工場のおお半は、当時の日本の基幹産業であった紡績工場である。工場の建物は、木造、煉瓦造を問わず、大空間を必要とし壁や柱が少ない構造になりがちである。その上本格的な建築基準ができる以前の建物であり、震度6から7の強い揺れによってひとたまりもなく倒潰したものと思われる。工場には、農村部から働きに来ていた若年労働者も多数含まれていたであろうことを思うと、誠に痛ましい限りである。

また、関東大震災でもう一つ忘れてはならないことに、数千人にも及ぶとされる朝鮮人などへの虐殺の事実がある。その社会的背景などを本稿で述べるつもりはないが、その発端とされる流言飛語と地震による揺れとの関係という観点から、興味ある資料が存在するので紹介する。

関東大震災時の体験談は関東・東海の各地に多数残されているが、本震、余震の揺れの様子を記録したものの中で、静岡県富士郡大宮町（現富士宮市）の河合清方の日誌は内容の緻密さから言って出色である<sup>8)</sup>。河合清方は富士浅間神社主典（さかん）を勤めた後、関東地震当時、菓子屋を営む大宮町東町の現河合広宅に居た。大変筆まめな人で、日頃から正確で几帳面な内容を持つ日誌を書き続けていた。こうした日誌の第17輯に「大地震の記」があり大正12年9月1日から12月31日まで地震にかかわることが記録されている。関東地震の際の大宮町の震度は4と5の境目くらいで、深刻な被害を受けた地域ではないが、地震後住民が大きな不安をもって暮らしていた様子が、毎日の余震の記録の合間によくあらわされている。

特に大きな余震の揺れを感じた日を中心に、表5に日誌の一部をまとめてみた。河合は、余震の揺れを感じるたびに、いつ頃の程度の強さの揺れがあったかを丹念に記している。最近気象庁の浜田・他<sup>9)</sup>は、関東地震の余震の震源位置とマグニチュードの決め直しを行っている。河合の記録はその結果と驚くほど対応が良い<sup>8)</sup>。余震のうち、対応すると思われるものを《 》で示している。

表5を詳しく見てゆくと、9月3日までの3日間は、連続的に余震による揺れが続き、さすがの河合も余震ごとに揺れの様子を記述できなかったようで、震動数十回、震動連続、震動十数回などの記述が見える。そんな中でも、本震直後の2回の強い揺れと9月2日の午後9時前後の揺れについては他と区別して記録されている。住民は、地震のために何が起きているのか、これからどのようにして行くのか等、正確な情報を得るすべもなく、地元の民友新聞や静岡新報などが伝える「東京全滅」「横浜跡方なし」などの漠とした記事や、針小棒大の流言飛語によって一層不安をかき立てられ、2日には様々な団体が過度な非常警戒体制をとり、3日や4日になると、歴史上大きな不祥事へと繋がる朝鮮人や共産主義者の暴動の風説が出回っていく様子もよく分かる。

地震後1週間が経過するころには、余震活動も

表 5 河合清方による日記から抜粋した本震・余震による揺れの記述と周辺状況<sup>8)</sup>。対応する余震も示す<sup>9)</sup>。

日付	河合清方による本震・余震の揺れに関する記述 《浜田による対応する余震》	主な周辺状況
9月1日	<p>*自分が喫飯せんとせる刹那に家屋動揺し始む。例よりは少し強しと思う程にて最初に予が飛び出し辛ふして栗の樹につかまりしとき……（本震の震動止む）。久子（孫）の居らさるに気付き逸太郎（息子）は捜索に出掛け連れ来るや否や第二の動揺より相率いて別室の裏に到りし頃第三次の強震あり 附近の建物左右に動揺し殆ど顛倒せし形成なりき。《11時58分本震（M=7.9）、12時1分頃第二震（M=7.2）、12時3分頃第三震（M=7.3）*第二震、第三震の詳細は文献10）参照》</p> <p>*震動数十回《静岡県東部や近隣地域で発生したM5以上の余震だけでも19個を数える》</p>	<p>(1)夜電燈十分ならず蠟燭を用意 (2)消防隊市内を巡羅 (3)窃盗横行につき注意の言い継ぎ (4)日本絹糸多数の死者ありとの風評 (5)種々針小棒大の流言放つもの多数</p>
9月2日	<p>*夜来大小の震動連続《同M5以上の余震は5回で1日に比べ数は減るが依然余震活動は活発》</p> <p>*午後九時前後の地震はかなり強烈、今夕は野宿を止めようとしたがこの地震のため前日同様とする《22時9分伊豆半島中部（M=6.5）》</p>	<p>(1)人々職に就くことなく大半は露営 (2)民友新聞の号外：東京全滅、横浜跡方なし小田原大海嘯等（東京の新聞は至らず） (3)京浜の親類知人の安否心配 (4)公私の団体恟々として非常警戒 (5)富士紡全潰數百人死亡 (6)御殿場、三島、沼津の火災等情報伝わる (7)当家、並びに近所の被害比較的少 (8)大宮小学校は五日まで休校の通知 (9)新聞は静岡各社配達あり</p>
9月3日	<p>*前夜来震動十数回、時には飛び出さんかとするもの数回あり《同M5以上の余震は4回、M5以下の余震は多数あり依然余震活動は活発》</p>	<p>(1)家に起臥する者無く職を執る者少し (2)菓子類の売れ行き平日と大差なし (3)号外、静岡新報の情報で益々親類知人の安否心配 (4)不逞鮮人共産主義者の暴挙の風説流説蛮語大いに衆人を惑わす (5)鉄道沼津以東不通 (6)飛行機数回往復はじめる (7)富士山大崩壊山容異変の風説</p>
9月4日	<p>*午前五時頃と午後二時前後に強震あり、その間軽震数十回あり《強震に対応するような地震は見当たらないが依然余震活動は活発》</p>	<p>(1)囚人鮮人今にも来襲せん風説頻々 (2)午後10-12時に大震との飛語 (3)人々不安に消光屋内に入れず (4)東京各紙の替りに大阪毎日配布 (5)東京横浜戒嚴令許可無く入れず (6)鉄道御殿場以東依然不通 (7)親族知人間文書の往復開始</p>
9月5-7日	<p>*5日：朝より数回の微震、6日：微震数回あれども驚起する人なかりき、7日：朝より軽震五六回あり《同M5以上の余震は無く、余震活動は小康状態》</p>	<p>(1)常業に復すべく準備開始、定業に復す者少なからず (2)所用で吉原へ午後3時帰宅 (3)露宿する者残少いが、尚縁端に戸を明け放して仮寝する (4)親族の安否を求め上京する者あり。電話や人の往来で、親族知人の安否一部確認ができるようになる</p>

日付	河合清方による本震・余震の揺れに関する記述 《浜田による対応する余震》	主な周辺状況
9月8日	*午後六時十五分頃一日以後最強なる地震あり。餐に付いていた家人は屋外に飛び出す《18時8分山梨県東部 (M=5.8)》	(1)再野宿の用意をする。 (2)大概は戸を明け放し睡眠 (3)不逞鮮人襲来等蛮語流説湧出し非常警戒頗る物々し (4)富士山噴火、甲州大地震甲府全滅、鰍沢陥没等流言 (5)9月9日：浮説に惑わされ終日通宵消光
	*午後八時頃前者より軽いがやや強きものあり、二十分時過ぎて又微動あり《20時45分神奈川県 (M=4.5)》	
9月9-13日	*9日：朝一二回軽震、10日：軽震数回、11日：十二時前後に微震一回、12日：前夜十一、二時頃より午後六時頃の間小震数回、13日：前夜微震数回、日中は殆ど感知せず《M4-5の余震平均日に5、6個》	(1)親族知人の無事の報入る。肉親の家族の無事皆判明。 (2)東京への郵便は役場に依頼 (3)汽車から多くの避難者あり
9月14日	*深夜やや強き地震あり。折箱屋の若夫婦は屋外に飛び出し、逸も雨戸を開け警戒、近所大略目覚める、この前後にも微震あり《13日21時57分山梨県東部(M=4.0)または14日1時15分(M=4.1)が対応》	(1)富士郡菓子組合員による見舞金の醸出に協力
9月15日	*午前三時頃、前夜より以上の強震あり。驚き跳び起きて久子は朝まで眠れず《2時41分山梨県東部 (M=5.3)》	(1)浅間神社の典主富士視察頂上異常なしとのこと
9月19日	*微震数回、深更のもの稍大なり《4時43分東京湾 (M=3.7)》	(1)今夕6-12時に強度の地震との風説 (2)読売新聞配達あり (3)清水東京間、軍艦から定期船へ
9月21日	*一日の激震以来日夜多少震動ありしが、今日初めて動揺を感せず《大宮に影響しそうな地震なし》	
9月24日	*午後十一時過暴風雨の最中軽震一回《25日0時17分富士山付近 (M=4.5)》	
9月29日	*十二時前後に強震あり。家人騒ぎ、おとよ、久子、つや子等表へ飛び出す《12時0分山梨県東部 (M=5.3)、この日大阪 (M=5.0)、台湾 (M=5.8) で地震有り、30日には伊豆でM=5.1の地震有り》	(1)大工を頼み家屋のひずみを直す
10月2日	*微震2回午前十時半と十一時半、昨今台湾大阪大島等に稍強震、人々恟々《10時25分神奈川県 (M=4.9)、11時5分東京湾 (M=4.4)》	(1)11、2時頃地震があるという説があったが、家内一同感知せず
10月4日	*深夜十時二十分頃と十一時過ぎに震動二回あり。中には戸外へ飛び出したものあり《対応する余震不明》	(1)大地震以来止まっていた芸者の音が再開、無遠慮にも思われる
	*午後十時過ぎに稍強い水平動、家中飛び出す。その前後にも1、2回微震《21時51分山梨県中部 (M=3.9)》	
10月5日	*午後十時過ぎ強き震動あり。清方は熟睡して知らず、おきやう、きみ子、つや子戸外へ、近所の誰彼皆表へ《22時5分山梨県東部 (M=6.1)》	
10月23日	*未明のは地鳴りあり稍強し《4時45分山梨県東部(M=5.1)》	
11月5日	*午前六時やや長き水平動あり《5時5分東京湾(M=6.3)》	(1)新聞紙上では震源は甲駿の境、感じた時間は5分
11月23日	*午前十一時四十分稍強く長く最近に稀なる地震あり、人々驚き多くは戸外に飛び出す《11時33分神奈川県(M=6.3)》	(1)24日の正午頃大地震があるという流言が一府数県に広がる
12月31日	*去二十三日以来時々微震あり、就中二十五日の地震は稍強く長い、三十日からは極めて微弱だが稍長い震動、三十一日は3、4回、人々稍不安を感ず(可能性のあるもの2つ)《31日14時51分新島近海 (M=5.4)、17時47分静岡県東部 (M=4.0)》	(1)要するに9月1日の余震は来13年に至るも尚何回か続発するならんか(最後の筆者の感想)

やや下火となり、もとの仕事に服する人が増えてくるが、それもつかの間、8日の午後6時頃に起こった余震による強い揺れは、再び流言飛語を増幅させる結果となり、翌日はそれらに惑わされて終日消光していたと記されている。その後も大きな揺れをもたらす余震が起こったり、他の地域で有感地震があったという情報が入ったりすると、すぐに大地震の到来を予言する流言が飛び交ったこともよく分かる(9月19日、10月2日、11月23日)。このように、引き続き余震による強い揺れは、大宮町のように大きな被害を被らなかった地域の人達をも不安に陥れること、関東地震のような大地震ではそれらが何カ月もの間続くことを、河合の日記は教えてくれている。この点は、今後の地震対策でも十分考慮すべき教訓である。

#### 4. おわりに

手元に一冊の手記がある。東京市本所区横川町で暮らしておられた松本ノブという方が書かれたものである。夫と、4歳、1歳の二人のお子さんとの幸せな暮らしに、突然襲いかかった大震災の体験が書かれている。地震後火災に追われ、持ってくるものがあるからと自宅に戻ったご主人と別れ、二人のお子さんを連れて逃げまどった筆者。やっと火災が収まった後、黒こげの遺体が至る所どころが焼け跡に、ご主人を探し求めて歩いたが、ご主人とはそれが最後の別れになってしまった。手記には、12月に郷里の新潟へ引き上げるまでの約3カ月間の体験が切々と書かれている。「九月一日以来一日とて、身も心も休まる日とてありません。涙の乾く日とてありません。静かに自分の身を考えると、こんな恐ろしい目にあっても気違ひにもならず居る自分のからだ不思議なように思われました。」「バラックの軒に冷たい雨が降る淋しい夕暮れも、街路に砂塵を吹き巻く嵐の朝も、空澄み渡って月の光の清い夜も、私の頭から寸時も離れ得なかったのは夫の惨死を顧ふ悲しみと子供の将来を想ふ不安でした。」

この震災で亡くなった方、10万5千人の一人一人に家族があり、同じような悲痛な体験をされた

かと思うと、今でも胸が締め付けられるような思いに駆られる。最近の地震発生や地震動に関する確率論的評価の結果をみれば、大地震に襲われる確率は、日本のほとんどの地域で一般人の感覚からすればそれほど高い値にはならないようである。おそらく関東地震の前でも事情は同じであったろう。確率論的にみれば、震災対策を充分にしていなかった当時の行政も国民も感覚的には「合理的な選択」をしていたと言えるかもしれない。しかしながら、関東大震災の体験は、そのような感覚に基づく「合理的な選択」をしてはいけないことを我々に教訓として残しているように思う。地震や火山がつくりだしたすばらしい大地に住み、それらの恵みを毎日享受している我々日本人には、如何に確率が低く感じられても、いつでもどこでも関東大震災のような悲惨な目に遭う可能性があるということを肝に銘じ、震災対策に努力を払う必要がある。遠い天国に行かれた関東大震災の犠牲者や愛する人を亡くした多くの被災者の全ては、そんな思いでおられたのではないだろうか。最後に関東大震災から80年の節目にあたり、国民一人一人が、多くの被災者の犠牲を教訓として、心新たに震災対策に取り組む決意をすべきであると訴えて本稿を終わりたい。

なお本稿は、筆者の拙著「関東大震災一大東京圏の揺れを知る」<sup>10)</sup>の内容の一部に、新たな情報を加えて書き直したものである。

**謝辞** 本稿をまとめるにあたり、朝日新聞科学部の泊次郎氏には、関東地震の死者・行方不明者数に関して貴重な情報をいただきました。また、埼玉県入間郡の村石抖誌子氏からは、関東大震災におけるお母様の貴重な手記をお送りいただき、その手記を拝見することで、筆者の関東大震災に関わる調査・研究へのモチベーションを高めることができました。また、本稿の内容は、鹿島小堀研究室地震地盤研究部の諸井孝文次長との共同研究の内容が含まれています。皆様に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 諸井孝文・武村雅之, 2002, 関東地震(1923年9月1日)による木造住家被害データの整理と震度分布の推定, 日本地震工学会論文集, 2巻, 3号, 35-71.
- 2) 今村明恒, 1925, 関東大地震調査報告, 震災予防調査会報告, 100号甲, 21-66.
- 3) 武村雅之・諸井孝文, 2001, 1923年関東地震による木造建物被害数が混乱する原因, 日本建築学会構造系論文集, 543, 97-103.
- 4) 諸井孝文・武村雅之, 2002, 1923年関東地震による被害要因別の死者発生数, 第11回日本地震工学会シンポジウム論文集, 2253-2258.
- 5) 中村清二, 1925, 大地震による東京火災調査報告, 震災予防調査会報告100号戊, 81-134.
- 6) 内務省社会局, 1926, 大正震災志(上), 1236pp.
- 7) 竹内六蔵, 1925, 大正十二年九月大震火災に因る死傷者調査報告, 震災予防調査会報告100号戊, 229-264.
- 8) 武村雅之, 1999, 日記に記された大正関東地震の余震活動とその影響, 歴史地震, 15, 209-224.
- 9) 浜田信生・吉川一光・西脇 誠・阿部正雄・草野富二雄, 2001, 1923年関東地震の余震活動の総合的調査, 地震2, 54, 251-265.
- 10) 武村雅之, 2003, 関東大震災—大東京圏の揺れを知る, 鹿島出版会.

# 東京港の埋立ての歴史

## 清水恵助

### 1. はじめに

関東地震（1923年）当時、現在の東京港における大部分の埋立地は存在しなかったわけである。この事実をよく考えてみると、様々な感慨が浮かぶはずである。それも、一般常識的（一般都民的）な立場からのものはもちろん、技術的専門的な立場によっても異なるかもしれない。筆者の場合は、直接東京港における埋立地の地盤関係の調査をつい6年前まで手掛けていた担当者、という視点で考えざるを得ない。

現在の埋立地が存在する前の海底地盤では、関東地震時にどのような現象が起こったであろうか、ということにも興味がそそられるが、現在の埋立地が当時存在していたらどうなっていたか、という方ははるかにスリリングで恐いイメージを抱かざるを得ないのである。このことは、直ちに次の関東地震とはいわれないまでも、関東地震級の地震襲来時の被害・震害予測にもつながってくるからである。

もうひとつ、東京港の港湾関係者の立場から関東地震を見た場合に忘れてはならない視点がある。それは、いわゆる関東大震災時に緊急物資や災害復興のための資材輸送において、港湾がいかに重要な役割を果たすべきかを、目の当たりに痛感させられたことである。これには、当時の東京港における港湾施設が十分でなかったが故に、災害対応に不十分な役割しか果たせなかったという苦い悔恨と深い反省があり、その後の港湾整備や東京港開港への機運が一気に高まったのである。因みに東京港の開港は、諸般の事情によって大幅に遅れ、昭和16年（1941）である。

この小文は、関東地震80年を機に、東京港の埋

立ての歴史を振り返り、過去のそして来るべき地震を念頭に入れた場合の、埋立地盤の特性について紹介したものである。

### 2. 埋立概史

#### 2.1 通史

東京港というよりまず東京の埋立ての概史について時代を区切ってみたい。

##### 1) 江戸時代

本格的な埋立地の出現は江戸時代からとするのが通例である。その江戸時代の埋立地造成の目的を次の二つに分類することが可能である。

① 江戸開府の一環としての大規模埋立て

② 新田開発およびごみ処分のための埋立て

①については、徳川家康が幕府を開くにあたっての家臣団を住ませる土地の造成から始まり、江戸の本格的街造り過程における本格的な大規模埋立てである。現在の東京下町低地は、当時砂州・干潟・入江・湿地帯で構成され、とてもそのまま人が住めるような土地ではなかったための砂州や干潟の埋立造成である。埋立素材は、神田山の切り崩しを始めとする山の手台地における洪積土を利用したものである。

②の意義は、人口増大による江戸の大都市としての発達によって、放置できなくなったごみ処分問題の解決とあわせて、そのごみ捨てによって出来た埋立地を新田として開発しようとしたことにある。もちろん当時のごみは、生活様式を反映して最後まで利用しつづきたいわゆる塵芥であった（伊藤、1982）。さらに、そのごみ捨て場が江戸市中から遠くなるにつれ、ごみ運搬のための舟運をはかるための運河開削が行われるようになり、それらの開削に伴って発生した泥土も埋立材料とし

て利用されることになった。また、この時代の材料の特徴として、数十回にも及ぶといわれている江戸の大火による瓦礫も埋立処分されたことがあげられる。

なお、以上のような埋立事業はたいては豪商などから幕府への申請によって行われたことは、ごみ処理と埋立処分そして新田開発が一連の事業として採算が十分とれたことを意味しており興味深い。

以下に江戸時代の主な埋立造成地を完成年代とおおよその現在の地名、事業主体もしくは申請者を記してみる。

- ・日比谷の入江：文禄元年（1592）；千代田区丸の内や有楽町一帯；西丸築城
- ・豊島の洲：元和3年（1608）；中央区日本橋浜町～人形町～茅場町，八丁堀，築地一帯；幕府（神田山切崩土による埋立て）
- ・佃島：寛永6年（1629）；中央区佃2丁目付近；撰津国佃島漁民
- ・鉄砲洲：明暦3年（1657）；中央区築地，明石町付近；
- ・越中島：明暦年間（1655～1657）；江東区越中島付近その他；
- ・砂村新田：万治2年（1659）；江東区北砂，南砂近辺；砂村新四郎
- ・千田新田（十万坪）：享保年間（1716～1735）；江東区千田，千石付近；千田庄兵衛
- ・鈴木新田：文政2年（1819）；大田区羽田旭町付近；鈴木弥五右衛門

（東京都港湾局，1990より抜粋）

## 2) 明治から第二次世界大戦前まで

近代都市東京の発達の過程で埋立地造成が都市計画の一環として位置付けられるようになったとはいえ、埋立地造成という面では江戸期の単なる延長のようにもみえる。

大正時代に入ると、東京港整備の先駆として海底の浚渫土を主とした晴海や豊洲の埋立ておよび都内の小河川（枝川）の浚渫による埋立ても行われた。現在の江東区枝川一～三丁目の地名はその名残である（清水ほか，1975）。

関東地震が東京港の港湾整備充実の必要性と海

外交易のための開港を急ぐ気運をもたらしたことは既に述べたが、現在の竹芝・日の出・芝浦ふ頭付近のみの港湾施設（しかも地震の被害を受けている）だけでは、緊急物資や災害復旧資材類の荷役が十分円滑には行われなかった（東京都港湾局，1994）。

図1は、関東地震前大正8年（1918）当時の東京港付近の海図に現在の埋立法線を破線で示したものである。月島の市街地区や海域の滲筋が明瞭であり、荒川放水路や航路が未整備であったことがわかる。なお、図中のAは台場、Bは砂町水門の各現在の場所であり、また人の寝そべったような記号は海苔ヒビである。

昭和に入ってから、幻に終わった東京オリンピック（1940年）会場予定地の準備と港湾の戦時体制への組入れのなかで一部埋立地の軍事用地化（高射砲陣地）などがみられた。また、東京市の都市計画事業として現在の夢の島付近に飛行場を造るために、昭和14年（1939）頃から砂州を利用した埋立造成が行われたが、昭和20年（1945）終戦のため中止となっていた。なお、その区画は戦後10数年を経て海上輸送によるごみの埋立処分場となって“夢の島”として甦り、やがて廃棄物処分場の象徴、ハエ騒動や悪臭といったごみ問題の原点、ひいては東京港の埋立地は全部ごみで出来ていると誤解させたあの「夢の島」現象に到ったことは周知のとおりである。

## 3) 第二次世界大戦後

東京の戦災復興の担い手として東京港の重要性が一層強く認識され、近代港湾として本格的な開発が行われるようになったが、埋立地造成を中心にした開発となったことはもちろんである。しかし、それらの過程は戦後日本の政治・経済の動向と密接に関係している。ここではそれらの動向を詳しく述べることは避け、開発時期を代表する主なキーワード類をあげるに止めたい。なお、【 】には埋立地造成関連では重要と考えられる具体的内容を示した。

- ① 進駐軍による接収（1945年）と解除（1958年）
- ② 港湾法（1950年）や海岸法（1956年）の整備

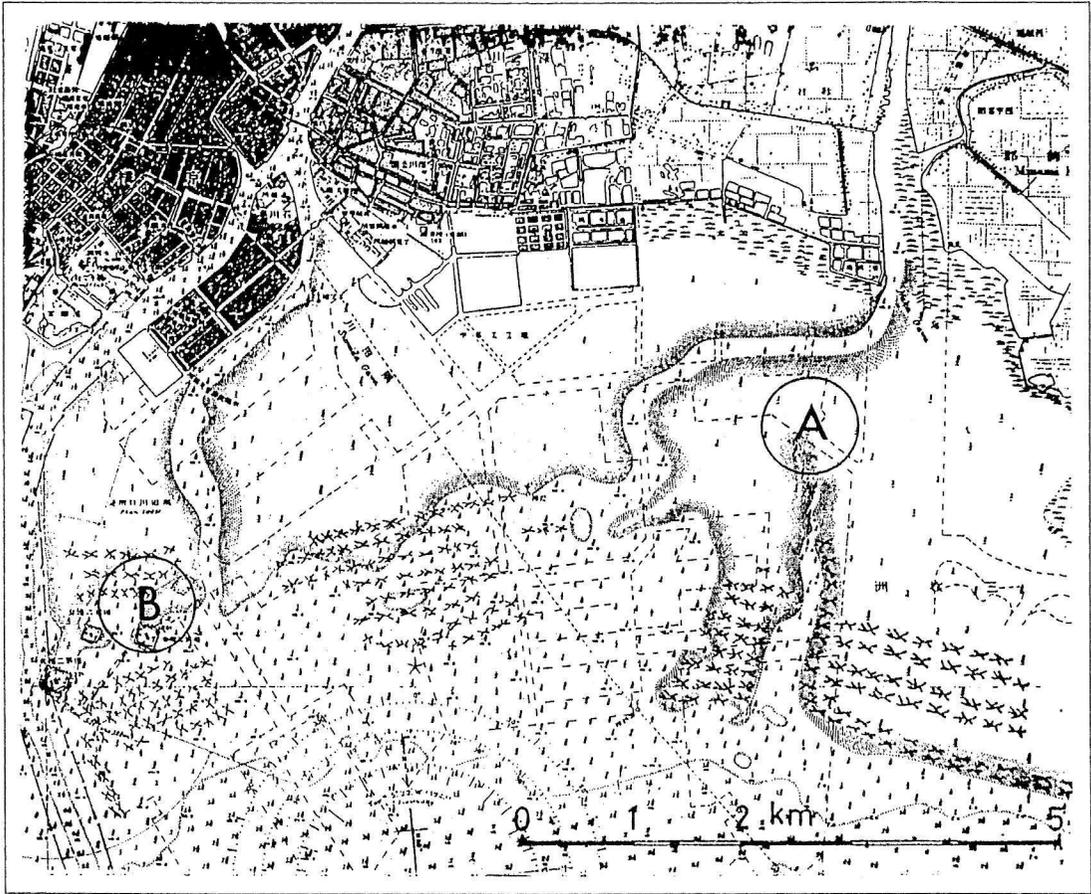


図1 大正8年(1919)頃の東京港(土質工学会ほか, 1995)

- ③ 海岸防災事業の開始(1956年)【高潮対策事業による高潮堤防】
- ④ 国民所得倍増計画(1960年)【埋立地造成の全国的展開】
- ⑤ 都市問題(公害問題)の現出(昭和30年(1955)代後半頃から)【埋立地の公害対策の場としての利用】
- ⑥ 輸送革新と物流時代(1980年代)【交通用地・航路等港湾施設の確保と充実】
- ⑦ ウォーターフロント開発(1980年代)【軟弱地盤地帯への重量構造物と液状化対策】
- ⑧ 環境保全対策(1970年以降)【海上公園構想】

もともと港湾では、船舶の安全航行のために航路を常に維持管理することが至上命令である。とくに河川上流から土砂が運搬されてくるような、

すなわち航路埋没が起りやすい東京港のような河口港においては、一定の吃水を確保する航路維持のための浚渫を怠ることはできない。したがって、それらの浚渫された土砂をストックすべき場所が必要不可欠となる。そのような区画場所が、やがて埋立地造成の誕生動機として働き、出来上がった埋立地の利用計画を経て港湾の新たな開発萌芽となってきたことは否定できないであろう。

そのような背景を持つ港湾における埋立地であっても、④の国民所得倍増計画を中心にした戦後高度経済成長期に全国各地で展開された埋立地造成は、港湾が持っているそれらの宿命をはるかに凌駕する規模で実施されたものである。

## 2.2 埋立造成技術の変遷

以上述べてきた東京の埋立造成の概略経過を技術的視点から検討してみよう。

自然（立地）条件（地形・水深），技術的条件（材料・浚渫法・運搬法・土留法），社会的条件（調達距離・市街化・港湾発達史）などを時代的に整理したものが，図2である。

図2からは，埋立工事が容易な方法で済む場所選択から次第に難しい場所へ，より複雑な技術によって大規模化していく様子がうかがえる。

なお，図における「浅海」「-5m」というのは，昭和30年代後半の港湾改訂計画に伴って埋立地を造成しそれを開発処分する事業において，十分採算がとれる限界の水深であった。

一方現在では，水深20m付近海域に造らざるをえないこれまた至上命令による大規模海面処分場のような例が出てくることになる。

### 3. 埋立地と地震

これまでみてきたとおり，時代の経過とともに埋立地盤の構成物や埋立方式の変遷が了解できるわけであるが，地震との関連では埋立地盤の構成物が重要な役割を演ずるはずである。それはとりもなおさず，地震時の液化化現象が発生するための大きな要因でもあるからである。

今ここで，埋立地盤の構成を概略的に把握できるように，砂質系土砂の埋立地の粒度組成を表す細粒分含有率深度分布図および同じ埋立地における標準貫入試験によるN値の深度分布図を，それぞれ図3と4に示した。東京港の一般的な埋立

条 件	項 目	変 遷 内 容
自然(立地)条件	地 形 水 深	砂 州 → 干 潟 → 浅 海 → 沖 合 + → 0 → -5m → -10m 以深
技術的条件	材 料 浚 渫 法 運 搬 法 土 留 法	付近の山砂(神田山) → 浚渫土砂 → 現地海底土砂 → 良質遠隔地山砂 → グラブ船・ディッパー船・バケット船 → 人・家畜力 → 船 → ポンプ船・送泥管 → 大型土運船・ポンプ船 石積 → 本護岸+埋立 → 仮棚+本護岸+埋立 → 本護岸+埋立
社会的条件	調 達 距 離 市 街 化 港 湾 発 達 史	付近(容易) → 現地調達 → 遠隔地 拡大・密集期 → 過密期 → 残度・ごみ増大環境問題 江戸湊 → 開 発 → 大港湾
時 代		江戸時代 → 昭 和 → 現 在

図2 埋立地の造成技術の変遷（清水，1984）

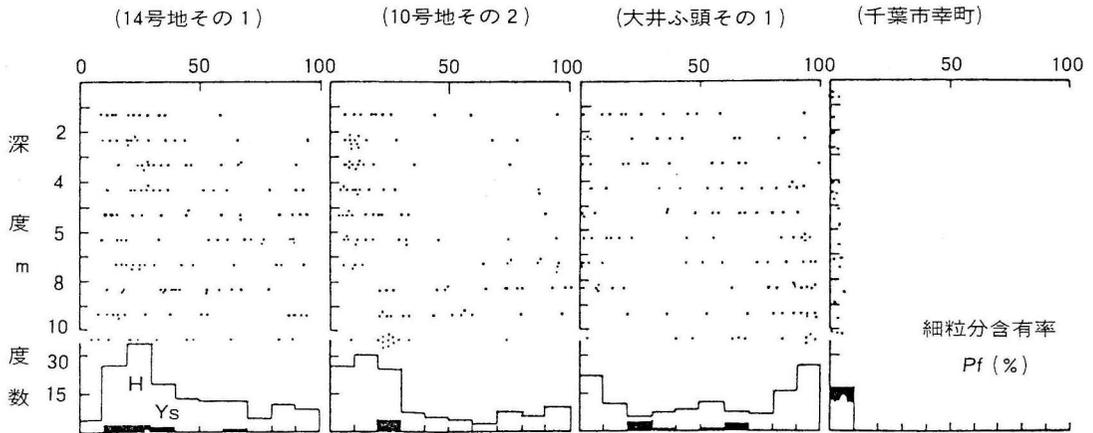


図3 埋立地盤の細粒分含有率深度分布図（陶野ほか，1978）

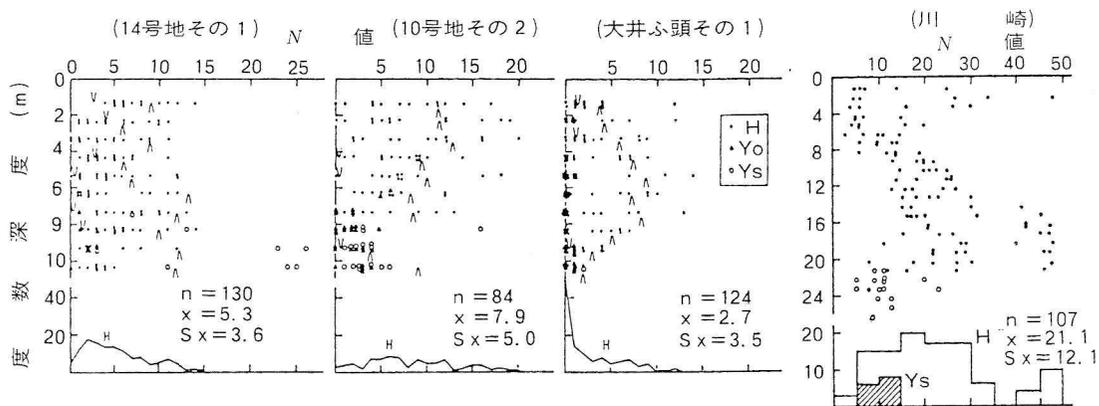


図4 埋立地盤のN値深度分布図(清水ほか, 1980)

地盤の14号地, 砂分が多目の10号地, 粘性土が多い大井ふ頭となっており, その地盤を反映したN値がそれぞれ5, 3, 8を示している. なお, 図3の千葉市, 図4の川崎の例は, 埋立素材や埋立管理を十分に行った埋立地盤の特徴をよく表している.

東京港の地盤を特徴付けている要素として, とくに地震関連で重要なものをあげると次のようになる.

- ① 先第三系の基盤地形
- ② 沖積層下の埋没地形 (沖積層の厚さも含む)
- ③ 沖積軟弱層の土質特性
- ④ 埋立土層の土質特性

以上のなかには, 地震のみならず地盤工学的一般の性質を特徴付けるものも含まれているが, 地震動の場合は①②が, 液状化の場合は③④が特に大きな役目を果たすものと考えられる. しかし, ②の埋没地形の地震動に及ぼす影響については, 2次元地盤地震応答解析上の不整形地盤の一種とする扱いは知られているが, 小~中規模の埋没谷地形における解析例は知られていないと思われる. もっとも, 不勉強の筆者だけが知らないのかもしれないが.

ここでは, 地表面最大加速度分布図と液状化予測図をそれぞれ図5と図6に示すに止めたい.

図5は, 全応力解析に基づくSHAKEによる一例で, 遠距離地震としTAFT波形で露出基盤入力加速度を150 gal, 卓越周期0.4 secとしたときの地表面最大加速度分布図である. この図に表れた特徴としては, 沖積軟弱層が薄いいわゆる一般

的には“いい地盤”とされる地区で大きな加速度となっているが, これはSHAKEの特性といわれている.

また図6の液状化予測図は, 詳細は省略するが東京都土木技術研究所方式による判定法によって図示したものである. なお, 液状化対策前の地盤での判定予測図であることをお断りしておきたい. また, この資料を発表したときに翌日の新聞の発表が“羽田が危ない”という見出しに驚き, 当時の運輸省に大目玉を食らったことを思い出す. 実は埋立地盤内の地下水位のとり方とデータ数による判定表現での問題だったのである.

この図に表れた「液状化が発生しやすい」と「液状化の発生が少ない」を合わせた“液状化可能性がある”の面積は76%にも達するが, 「液状化がほとんど発生しない」埋立地をみると, 夢の島や中防内側の廃棄物で埋立てられた地区になっているのは, 何ともいえず皮肉な結果を示している. それは, 液状化しやすい砂質土ではない, 地盤構成上あまり芳しくないごみ地盤となっているからである.

#### 4. 埋立地の今後の課題

東京港の埋立地のうちでも臨海副都心区域は, 今でこそ東京において最もトレンドなスポットのひとつとして人気と話題を集めているが, 計画段階や建設開始の頃の喧騒を思い出すと, 都政

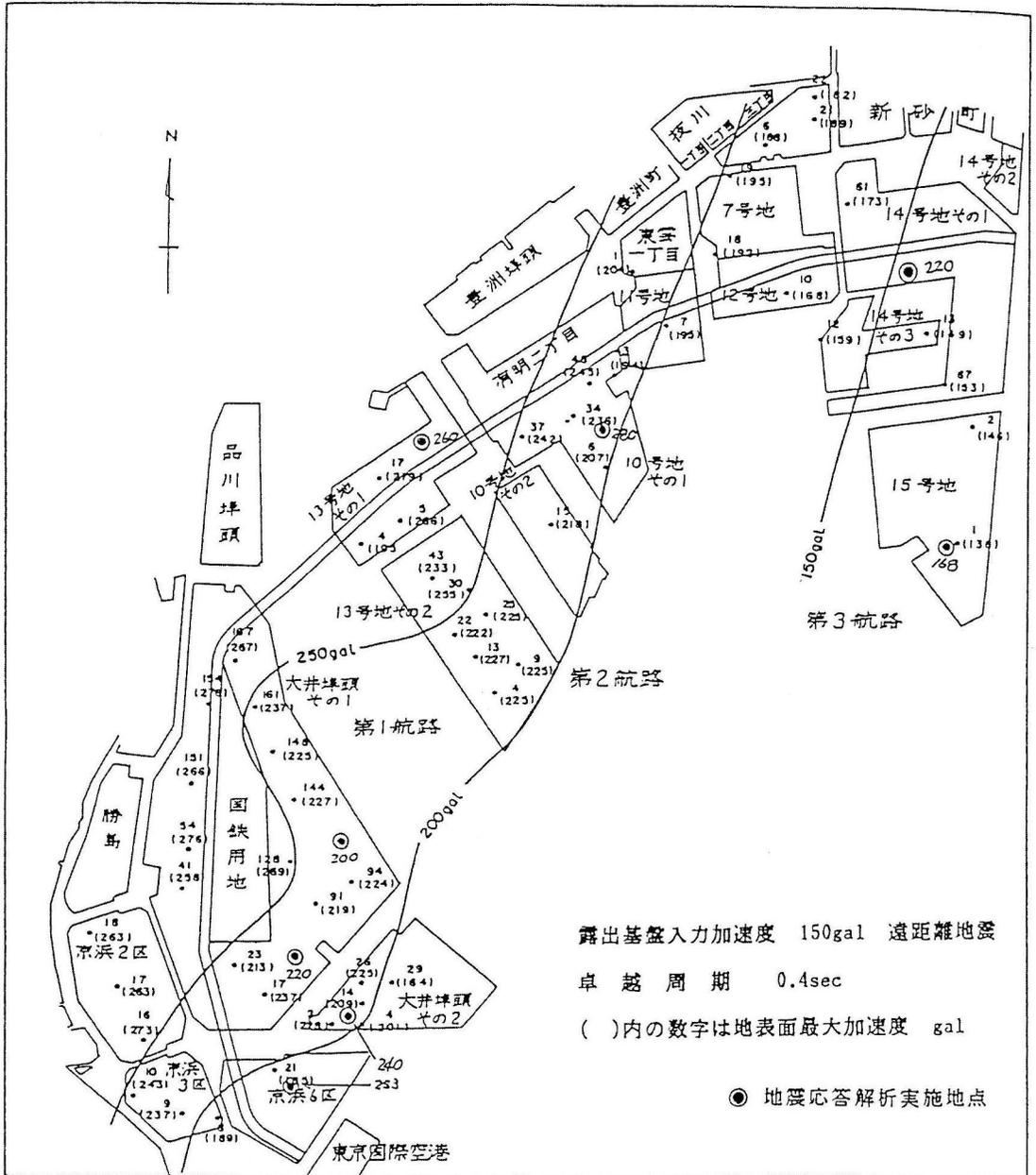


図5 埋立地における地表面最大加速度分布図（東京都港湾局ほか，1979）

のみならず中央政界をも巻き込んだ一大政治課題であったことが、まるで夢のように感じられる。しかし、今はそのような個人的感傷に浸ることはさておいて、東京港のこの広大な埋立地の今後の課題について、筆者なりに思い浮かんだことを記してみたい。ここでは、①災害（震災）に対する埋立地の役割もしくは位置付け、および②地震

に関する課題の2つの視点でまとめてみたい。

まず①については、これまでの東京港の埋立地一帯、災害時の備蓄施設設置場所（基地）、そして避難場所として位置付けられていることがあげられる。いずれも既成市街地に比べて格段に人口が希薄かつ建物の密集度が低いことに由来した役割のはずである。したがって、これは今後の埋立

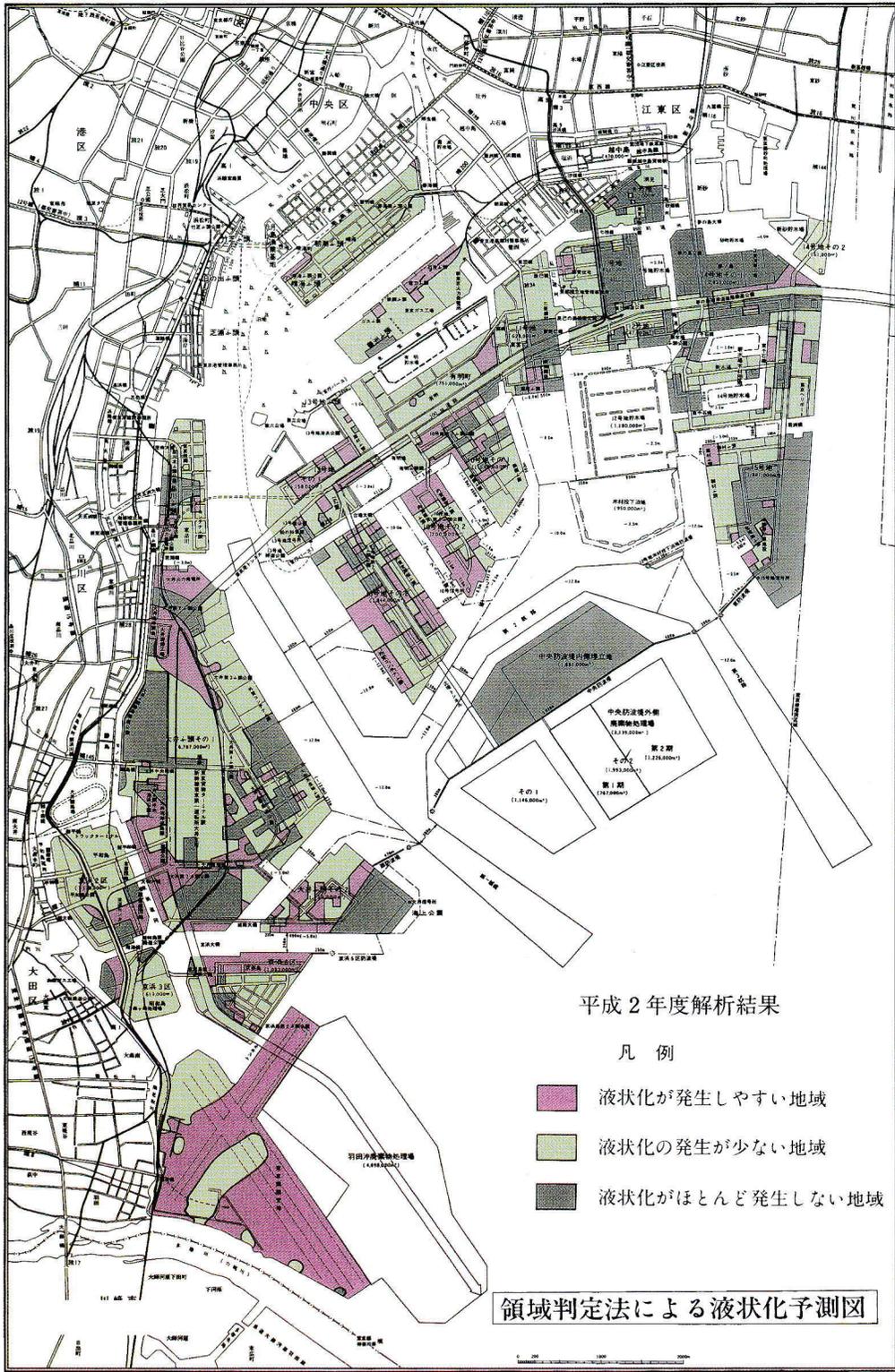


図6 東京港における液状化予測図（東京都港湾局，1991）

地全体の開発進捗状況に左右されるかもしれないが、都の災害対策の計画では重要な位置付けがなされている。かつて、臨海副都心地区の地震対策を中心にした防災対策について防災拠点としても位置付けることが話題になった際に、海で隔離されたゾーンでありその中で自給自衛しなければならず、少なくとも既成市街地における被災対応の足を引っ張ることのないようにしたい云々の意見があった。

以上の問題については、開発の進捗による密集・輻輳の今後の状況もさることながら、何といてもやはり埋立地盤の耐震対策とくに液状化対策が決め手になることは当然であろう。臨海副都心開発が当初見込みよりも多額の経費を要したのは、この液状化対策のためであったといわれているくらいであるから、それなりの対策が講じられたうえの防災拠点の位置付けであったはずである。

もうひとつ開発がそれほど進まないうち確認すべきこととして、来るべき東京の震災時における災害廃棄物の受け入れ場所(受皿)を考慮しておく方がよいということがある。この問題の重要性は、阪神淡路大震災の際に経験済みである。とはいえ、かつて何かの雑誌に「来るべき関東大震災時に云々」と同様なことを書いて、編集者の方に注意されたことがあったことを思い出す。

次は地震的な課題である。

まずその一つ目は、東京港の埋立地に限らない問題かもしれないが、関東造盆地内の地震波の共振増幅による長周期地震波の地盤震動特性のことである。新生界の地層が厚い造盆地の中心のひとつが東京港近辺にあることを考えれば、やはり気になる問題であろう。

また、地震動に関しては、前にも触れた埋没地形、とくに埋没谷近辺における震動特性への影響も懸念される。

以上のような地震動の重要性は、構造物そのものへの地震力としてはもちろん、地盤の液状化や埋立地盤の残留変形という現象に大きく影響することにある。

地震的な課題の二つ目は、これも東京港の埋立

地に限ったことではないが、沖積層下に隠れて見えない活断層の存在可能性である。この問題については、何度か触れたことがある(例えば地盤工学会、1998)ため詳細は避けたいが、たいていの活断層分布図において東京地域の新生界が厚い部分で空白になっているのは、全く分布しないというわけでは決していない。むしろ、他の陸域地区と同様に分布すると考えた方が自然なのである。軟弱層下の活断層の本格的な調査を行い、地震対策の一助とすべきであろう。

## 5. むすび

筆者がかつての仕事から離れた後、阪神淡路大震災による地震対策の見直し等について、実際の程度の対策事業が行われているのかといった新しい情報に疎いままに勝手に書き連ねてきたが、以上のうちとくに4.の課題については、全くの杞憂に過ぎない状態になっていることを期待しながら、この小文をまとめると次のようになる。

- ① 関東地震 80 年の今、一般的には地震時に最も危ないとされる埋立地の歴史をかえりみて、今後の対策について考えることは意義が深いこと。
- ② 江戸開府以来、時代時代の政治・経済・技術状況に合わせて、これまでに大規模な埋立てが盛んに行われてきたこと。
- ③ 埋立地盤と地震の関係では、埋立地盤の特性やその他自然条件から種々の特性が明らかであること。
- ④ 埋立地の今後の課題として、地震に関連して埋立地の役割や活断層のことに若干触れたこと。

最後に、執筆の機会をいただいたことに対してお礼を申し上げ、それにもかかわらず、目新しい研究資料が何もないままに駄文を並べ立てたことを深くお詫びし、ここでキーボードを閉じたいと存じます。

## 参考文献

土質工学会ほか、1995、堆積環境が地盤特性に及ぼす影

- 響に関するシンポジウム発表論文集, 198 p.
- 地盤工学会, 1998, 東京の地盤, 126 p.
- 伊藤好一, 1982, 江戸の夢の島, 吉川弘文館, 190 p.
- 清水恵助, 1984, 東京港における自然地盤ならびに埋立地盤の地質工学的研究, 東京工業大学博士論文, 240 p.
- 清水恵助ほか, 1975, 東京港における生ごみ埋立て地盤について, 土と基礎, vol. 23, no. 8, pp. 51-60.
- 清水恵助ほか, 1980, 東京湾岸における埋立土の力学的性質, 第15回土質工学研究発表会講演集, pp. 49-52.
- 陶野郁雄ほか, 1978, 東京湾岸における埋立土の物理的性質, 第13回土質工学研究発表会講演集, pp. 137-140.
- 東京都港湾局, 1990, 図表でみる東京港, 300 p.
- 東京都港湾局, 1991, 東京港における液状化予測, 24 p.
- 東京都港湾局, 1994, 東京港史 第一巻 通史(概論), 330 p.
- 東京都港湾局ほか, 1979, 埋立地盤地震特性調査総括報告書(その1), 17 p.

# 「震度6が一日に3回」をめぐって

2003年7月26日に宮城県北部で発生した前震(M5.6)、本震(M6.4)、余震(M5.5)のそれぞれについて、最大震度6弱、6強、6弱と、1日に3回も震度6が記録され、これは我が国で初めてだということがマスコミで大きく取り上げられた。しかし、本号の「地震の基礎知識」でも紹介しているとおり、マグニチュードと震度は混同されやすく、とくに震度を用いた議論は注意が必要である。

地震の規模を示す「マグニチュード」はある地震について1つだけ定まるのに対し、揺れ具合を示す「震度」は震源からの距離や地盤状況によって左右され、場所ごとに無数の震度が存在する。面的に全ての点で震度観測を行うことは不可能なため、本当の意味の「最大震度」(各地の震度のうち最大のもの)は誰もわからない。発表されているのは、あくまで観測された震度のうちの最大値である「最大観測震度」であって、これは観測点密度に大きく依存している。「震度6が1日3回は初めて」というのは、正確には「最大観測震度6が1日3回報告されたことは初めて」ということであり、これは必ずしも「最大震度6が1日3回あった地震はこれまで無かった」ということを意味しない。図1のように、浅い地震の場合は震源のごく近傍で局所的に大きな震度が出易いことはよく知られている。これまでも、ごく浅い群発性の地震活動などの際には、局所的に大きな震度が何回も現われていた可能性は高いと思われる。

我が国の震度観測体制は阪神・淡路大震災を境にして劇的に変化した。かつての震度観測は全国約150カ所の気象官署でのみ実施されていたが、現在は気象庁所管の計測震度計600カ所のほか、地方自治体所管の計測震度計2,800カ所のデータが収集されている。従来、実際の現

地震度より1から2小さい値が公式の「最大震度」とされたり、現地が有感なのに公式記録は「無感地震」とされた例があったが、最近はそのような矛盾が少なくなりつつある。

図2は宮城県周辺の震度観測点分布であるが、かつては仙台、石巻、大船渡といった点でしか震度は発表されておらず、もし今回の地震が10年前に発生したならば、最大震度は石巻市泉町で観測され、公式の震度は前震が5弱、本震は5強、余震は3とされた筈である。震度観測点数が約20倍に増えた現在の観測結果を、震度観測がまばらにしか行われていなかった過去の時代の記録と比較することは適当でない。

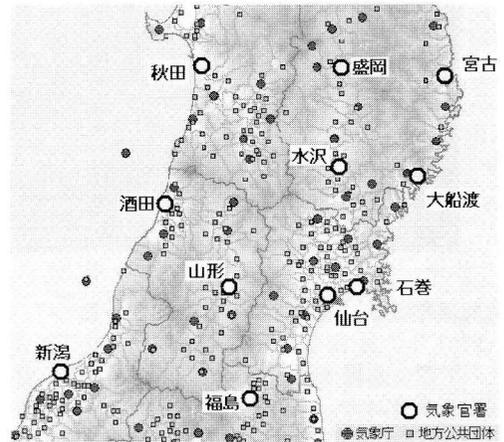


図2 宮城県周辺の震度観測点(気象庁HPに加筆)

なお、前震の際に震度6弱を記録した宮城県鳴瀬町では、南北・東西・上下成分で603, 2,005, 584ガルの最大加速度が報告され、2,000ガルを超えたことが話題になった。しかし、他の観測点はどこも500ガル止まりだったこと、同じ鳴瀬町が本震では636, 756, 923ガルしか記録していないことから、2,000ガルは異常値であったと思われる(別掲の囲み記事参照)。地方公共団体の設置した震度計は計測震度と最大加速度値の送信のみを目的としており、強震波形を残しておく機能はないため、今となっては検証できないのが残念である。

(岡田義光)

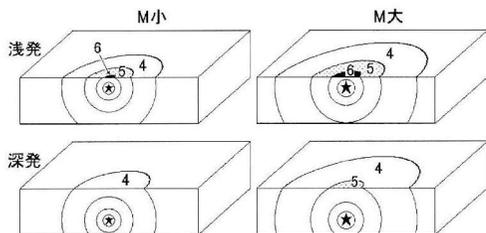


図1 震源の深さとMによる震度分布の違い

# 世界最高 2,005 ガルでも無被害



## 大加速度は最近観測されるようになった

2003年7月26日午前0時13分頃の宮城県北部地震の前震(M5.5)では、鳴瀬町役場の敷地内の震度計で、東西方向加速度2,005ガルが観測された。この加速度は地表で観測されたものとしては大変大きく世界最高であろう。その震度計の設置状況は、写真でわかるように3階建て鉄筋コンクリート造の鳴瀬町役場のビルから数m離れた敷地端部に設置されていた。一方、このような大きい加速度を受けた周囲の被害はというと、数m離れた鳴瀬町役場は窓ガラス1枚に亀裂が入り外壁に見過ごしてしまいかねない小さなヘアークラックがあったが無被害といってよいものであった。このような大加速度が観測されるようになったのは比較的最近のことで、特に1995年兵庫県南部地震の後である。実際、兵庫県南部地震でひどい被害を出した地域でも観測最大加速度は818ガルであった。この地震以降、国は全国的に強震観測網の強化に努め、独立行政法人防災科学技術研究所はK-NET、KIK-NETを張り巡らし、さらに全国の市町村にも気象庁の震度計が設置された。

K-NET、KIK-NETのためには新たに強震計が開発された。これは従来のSMAC型強震計と比べると、技術レベルが上がってからの製品であるから、より高周波成分を多く含んだ、より忠実な加速度波形を記録することが可能となった。このK-NETで得られる加速度は従来のSMAC型によるものに比べ高周波領域の感度が大きく加速度値が大きい。同様に震度計の加速度にも高周波成分が多い。震度を計算するときは高周波成分をカットする。2000年の鳥取県西部地震以降地表で1,000ガルを超えるような記録が度々得られるようになった。鳥取県西部地震でも、震源域の日野町役場の震度計は1,400ガル以上を記録したが、その町役場のビルには亀裂一本入っていなかったし、今回の一連の宮城県の地震でも大船渡で1,105ガル、牡鹿で1,111ガル、鹿島台町で1,631ガルなど枚挙に暇がない。

そして、これらを記録したのはかなりが市町村に設置してあった震度計である。震度計は記憶容量に限界があるので余震によって上書きされてしまって波形情報は得られない。したがっ

て、高周波成分が多いとか継続時間が短いとかいう事もわからない。ただ、1,000 ガル以上を記録した震度計が設置してある、無被害の地点では、人々の証言ではかなり高周波な地震で継続時間も短かったようである。その事はこの付近の K-NET の記録解析からも言えることである。

#### 地震動が年々強くなっているわけではない

このように大加速度が観測されるようになった原因としては大きく分けて4つ考えられると思う。

1つは地震計の精度の向上。2つ目は観測網の密度が向上し、震源の近傍でも観測されることがある。3つ目は強震計の設置場所が崖渕のような不適切な所であったり、設置基礎が適切でない場合があること。4つ目は断層破壊の極近傍では、極端な高周波が多くて加速度も大きいと想像されること。

旧式の強震計では、その振子の固有周期より短周期側の感度は急激に落ちる。最近の強震計は、電磁型で振子が振れないよう逆起電力をかけ、その逆起電力が地震波形に換算される。したがって、原理的にはどんな高周波も観測可能である。また旧式の記録は機械式でペンによっていたが、ペンは紙との摩擦などもあって高周波は記録しにくかった。最近では電磁的記録でICに記録することもあるくらいで隔世の感がある。以上のように、地震計の精度向上によって高周波成分がより多く記録されるようになり加速度値が上昇した。

2つ目はこの数年、K-NET、震度計に限らず観測網が充実して設置箇所が急増し、震央に近い場所、軟弱地盤上、崖の上などのように地震動の大きくなる場所でも観測されるようになったことも原因の一つとして挙げられよう。そのような大加速度の近傍でも無被害であった原因であるが、震度計は波形がわからないので駄目であるが、近傍の波形の得られているものによれば一連の大加速度波の特徴はヒゲのような突出した1波と継続時間が短いことである。加速度と質量の積を取れば力となるので、高周波の瞬間的な力では、物体に亀裂は入れられても、継続時間が短い場合にはその亀裂を進行させ大破壊に導くことは出来ないのである。したがって、瞬間的な力で窓ガラスは壊れても、柱にヘアークラックは入っても、後続の大きな力が来

ないので大破壊にまでは至らないのである。しかしブロック塀や石垣は最初の衝撃である程度傾くと重力で壊れてしまう。

3つ目の地震計の設置場所、基礎が不適切であったり、という問題は今後議論していかねばならないところであろう。

4つ目は、これはこれまで観測はされていないのだが、断層破壊の極近傍では飛び石現象からもわかるように、大変な高い周波数の大加速度が起こっているのではないかと想像されるのである。もしそうなら、断層破壊点から観測地点まで距離が小さければ、高周波大地震加速度は相当な距離減衰を受けながらも記録されるのではなかろうか。その考えを延長すれば、今後もっと震源から近距離で観測されればより大きな加速度が観測されることも有り得る。

#### 耐震設計用入力地震加速度は？

以上のように、大加速度が記録されても、それによる被害がたいした事はないという原因は理解できたとしても、工学側からは困った問題が起こるのである。

構造物を耐震設計する場合、原子力発電所とか超高層とか巨大橋梁など特別な構造物の場合、動的耐震設計をする。その場合、構造物に來襲する地震動を予測して、構造物の揺れを計算しそれが許容値以内になるように設計する。その地震動の強さを、マグニチュード、震央距離などから予測する実験公式はかなり昔の地震記録に基づいて作られている。つまり、最大加速度がせいぜい400ガルくらいの時代の記録に基づいている。したがって、この公式を用いて構造物に來襲する地震動を予測しても現在観測している大加速度よりかなり小さな加速度値を予測することになってしまう。このような小さい加速度値の地震動を想定して耐震設計された構造物は危険ではないかという指摘が出てきている。ただ実際の地震動は年々大きくなっているわけも無いから、この最近観測された大加速度は地震計が改良されて、構造物の破壊能は余り無いが加速度値には大きく寄与する高周波成分を、より忠実に観測できるようになったに過ぎないのである。であるから、従来の公式を用いて何ら不都合は無いのだが、なかなか一般に理解されずに困っている。

(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

この地震の本震の震源は、宮城県桃生郡鳴瀬町役場北東付近くで深さが13km位とされている。この役場から北東方約2km離れた隣町矢本町願成寺墓地には約800の墓所があり、壊滅的な被害を受けた。ほぼ震源直上に近い所に位置する。不動のまま耐えた健全な墓所は数えるほどで少なかった。大半の墓石が転倒、台座とともに回転・移動した。系統的な変位の傾向は見られなかった（写真1）。2m以上飛び跳ねた墓石のほかに、飛び上がって宙返りして頂部から落下したのも確認された（写真2, 3）。激しい上下動が働いたことは間違いない。

震央から約2km東方で、JR仙石線鹿妻駅前の尾形石材工業（株）の展示場では、墓石が3～4m飛び跳ねているのが多数見られた。願成寺墓地に類似した現象であるが、ここでも転倒・移動方向に一定の傾向は見られなかった。むしろ奇異なことに1mも離れていない事務所が簡易建物ながら、窓ガラスは損傷も無く健全であり、書類戸棚が転倒した程度の軽微な被害で済んだことである（写真4）。

願成寺墓地は、第三紀中新世堆積岩からなる丘陵地を刻んでできた沢筋に広がって造成されている。沢は東西方向に300mほど伸び、崖錐堆積物が埋めている。尾形石材工業（株）の展示場は、震央からも海岸からも約2km離れた沖積層の平地に位置する。両地点は、ともに軟弱地盤環境に立地している。

甚大な被害を受けた場所からわずか1m離れて隣接する建造物が無傷であった事例は、筆者が淡路島北部において兵庫県南部地震による「墓石の飛び跳ね現象」などとして地質ニュース（1998-99）に詳しく報告している。地盤環境と設置方式が地震被害を大きく差別化している可能性が高く、本文に紹介した内容にも類似点が見られる。

今回の墓石の被災状況調査には、みむら（株）専務三村淳一氏および尾形石材工業（株）社長尾形清登氏のご支援を受けた。ここに記して感謝したい。

（服部 仁）



写真1 不規則に転位・飛び跳ねた乱雑な様子。



写真 2 緩傾斜地の墓地で墓石が1m以内の脇に逆立ち転倒。横倒しではなく宙返りしたらしい。



写真 3 写真2を裏側から見た状況。台座に残った径5cm、長さ15cmの固定用心棒は折れていない。墓石が上に向かって飛び上がりすぐ横に頭部から逆さに落下したことを示す。



写真 4 事務所東隣りの展示墓石の被災状況。

# 耐震補強は何故進まないのか

## 耐震補強の重要性

1995年の阪神・淡路大震災では死者の8割以上は、老朽木造家屋の倒壊による圧死、焼死であることがわかった。したがって、来るべき大地震を生き延びるためには、地震予知によって地震が来る前に逃げてしまうか、地震によっても倒壊しない家に住むしかない。現在でも地震予知の可能性の有るのは東海地震のみであるため、一般には木造家屋の耐震化で対応するしかない。将来の地震で大きな揺れが予想される軟弱地盤上であって、屋根の重い瓦葺で、築後30年以上たった木造家屋は、首都圏などでも結構あるのである。したがって、これらの耐震補強が現在もっとも緊急の課題なのである。ところが、このように緊急かつ重要な事柄が一向に進まないのである。その理由は次のようなことではないかと思っている。

## 個人負担の壁

日本には「総論賛成、各論反対」という諺がある。自分の利害に関係ないものは、良いものはやったらよいということである。家屋を地震に強くすることは、一般的には良いことなので賛成である。しかし、自分の家を自己負担でとなると、よく考えて見なくてはということである。個人の財産で生じた利益は個人のものになるが、生じた損害も個人の損害になるのは資本主義の原則である。阪神・淡路大震災の後、国が死者の大部分の原因になった家屋の再建の援助はせずに、何兆円もの費用をかけて港湾、道路などの公共施設を復旧したのもその原則があったからである。地震後、倒壊家屋を建て替えるのに、一棟につき3,000万円かけたとしても2万棟建て替えるのに6,000億円しか掛からないではないかとの声もあったが、以上の原則はどうにもならなかった。地震による倒壊家屋を全額国費で建て替えてくれるという夢のような国もある。1999年に大地震のあったトルコである。しかし、この制度の弊害もある。最初建てる時は個人負担であるから建築基準法を守らず弱い建物を建てる。また、地震で壊れないと建て替えてくれないから耐震補強もしないと聞いた。何れにせよ、日本では地震による損害を少なくするための耐震補強も、個人の負担で行わざるを得ないのである。ただ原則はそうであっても、余りにも耐震補強が進まないため、地方自治体による公的補助も少額ではあるが増

えては来ている。

さて、この耐震補強を何故しないのかというアンケート調査によると、一番多い理由は「費用が掛かるから」である。では、その耐震補強の費用はどのくらい掛かるかというところ、平均200万円くらいとのことである。この金額は我々庶民にとって決して小さくない額である。小型車の新車くらいの金額である。車の場合は、ほぼ毎日少くない便益が得られる。地震の場合、この金額を払うかどうかは個人がその便益をどのように考えるかである。

## 耐震補強をしなければならぬのは年金生活者の家

まず耐震補強をしなければならぬ家屋は、軟弱地盤上の30年以上たった老朽木造家屋であるが、この所有者は老齢の年金生活者の可能性が高い。30代半ばで家を建てたとして、30年経てば60代半ばになっているであろうからである。月額平均20数万円の年金生活者が200万円の臨時費用を負担するのは大変なものである。勿論、年金生活の前に2,000万円くらいの退職金を貰っているかもしれないが、年金以外に収入の無い者にとっては、この金は老後の備えのためそう簡単に消費できないものである。

## 地震がきても死者は千人に一人

耐震補強をするかどうかを判断する時、それをしなかった場合と、した場合を比較するのが最も有効である。しなかった場合にどうなるかは、各自治体で行っている被害予測を利用するのがよからう。

首都圏で直下地震により死者7,000人強が、東南海では28,000人が予想されている。首都圏の人口を少なめに見積もって1,500万人として、死亡率を出すと2,000人に1人ということになる。同様にして東南海では1,000人に1人ということになる。この死亡率を大きくと見るか小さいと見るかであるが、何れの場合も99.9%生き残れるというわけであるから、私個人としては死ぬことは無いと判断する。

## 公的補助の拡大を

地震は何時来るかもわからず不安であるが、例え来てもほとんど死ぬことは無いとなると、個人負担200万円はちょっと大きすぎるのではなからうか。公的補助が増えて個人負担が100万円以下になれば耐震補強もぐんと促進されると思うのだが。(伯野元彦)

# 東京都の地震防災対策

笹井洋一

## 1. はじめに

死者・行方不明者を合わせて14万人を越える人的被害を出した関東大震災から、今年で80年を迎えた。関東地震が発生した9月1日に大規模な防災訓練が行われるのは、毎年恒例となっている。東京都では1年交代で区部と多摩地域に主訓練会場を設定していて、今年の日野市で28,500名が参加して実施された。勿論、各区市町村の自主防災組織では町会ごとに消防訓練などが行われている。1995年阪神淡路大震災の貴重な教訓として、先ず被災者自身が立ち上がり互いに助け合うことで、多くの人々が生き延びることが出来た、という事実がある。行政はその手助けが出来るとすぎないという意味で、「自助・共助・公助」というスローガンが語られている。9月1日の防災訓練は、地域住民にとっては「自助・共助」のノウハウを身につける場として、またそれを支える行政および防災機関にとっては災害対応力を養う場として企画されている。

公助と呼ばれる行政の役割は、大地震発生時の緊急防災対応に留まらない。1971(昭和46)年に東京都は全国に先駆けて、「東京都震災予防条例」を制定し、予防対策重視の立場から地震に強いまちづくりを進め、行政主導で震災の未然防止、被害を最小限にとどめることを目指し、震災対策を進めてきた。これを大地震発生時の応急対策、およびその後の復興対策をもあわせた総合的震災対策の体系を構築するものとして、2000(平成12)年に「東京都震災対策条例」が新たに制定し直された。「自助・共助・公助」はその基本理念として条例の前文にうたわれている。表1に東京都が行ってきた地震防災対策の経過をしめす(「防災

のしおり」資料に加筆)。

この報告では東京都の震災対策として、予防、発生時の緊急対応、そして復興という3つの対策について紹介する。またその前提として先ず、東京都に被害を及ぼす地震としてどのようなものを想定し、どのような被害が予想されているかについて述べる。これらは膨大な調査報告書に基づいているが、筆者にはそれらを全て読みこなして理解するのは手に余る。ここでは都民向けのパンフレットのいくつか一特に「防災のしおり」(東京都災害対策部：平成12年3月発行)一、あるいは東京都のホーム・ページに掲載されているものによることにする。

## 2. 想定した地震とそれによる被害

### 一「あなたのまちの地域危険度」

東京都に被害を及ぼす地震としては、(1)相模トラフからのフィリピン海プレートのもぐりこみに伴うプレート境界型の巨大地震(大正および元禄の関東大地震)、(2)東京都の直下でやや深い(20-40km)がM7クラスの直下型地震、(3)東海地震、(4)この他に注意すべき地震(「神奈川県西部地震」など)が挙げられる。東京都防災会議では平成3年に、「東京における地震被害の想定に関する調査研究」を公表した。これは大正の関東大地震クラスの再来(M7.9)を前提として、冬の夕方6時ころ発生、その時の風速は6m/秒として、建物倒壊、人的被害、火災の被害等を見積もったものである。同時に安政江戸地震の再来を仮定して、(2)の直下型地震の被害見積もりも行っている。ところで昭和63年6月中央防災会議の発表では、(1)のタイプの関東大地震は今後100年から200年先に発生する可能性が高いとされた。これと同時に同会議では、「南関東地域直下の地震の発生は、あ

表 1 東京都の震災予防対策等の経過

1962 (S 37) 04	総務局行政部災害対策課（現総務局総合防災部）発足	1985 (S 60)	避難場所 137 カ所指定
67 (S 42) 06	都・防災会議答申（避難場所 12 カ所選定）		多摩地域の被害想定公表
07	都・防災会議「大震災火災被害の検討」改定案	86 (S 61)	地域防災計画震災編修正
68 (S 43) 06	都・防災会議「東京における大震災火災時の避難経路について」（2 次答申）		地域危険度調査（多摩）② 公表
08	都・防災会議「石油ストーブの着火機構」	88 (S 63)	東京都震災予防計画④ 策定
69 (S 44) 11	江東再開発基本構想（江東防災 6 拠点構想）	91 (H 03)	東京における地震被害の想定に関する調査研究
71 (S 46) 10	東京都震災予防条例公布	92 (H 04)	避難場所 148 カ所指定
72 (S 47) 07	避難場所 121 カ所指定		地域防災計画震災編修正
73 (S 48)	東京都震災予防計画① 策定	93 (H 05)	地域危険度調査 ③ 公表
75 (S 50)	地域危険度調査（区部）① 公表		東京都震災予防計画⑤ 策定
77 (S 52) 10	都議会震災対策特別委設置	96 (H 08)	地域防災計画震災編修正
78 (S 53)	区部における地震被害想定公表		東京都震災予防計画⑥ 策定
	東京都震災予防計画② 策定	97 (H 09)	東京における直下地震の被害想定に関する調査
79 (S 54)	避難場所 134 カ所指定	98 (H 10)	地域防災計画震災編修正
80 (S 55)	地域防災計画震災編修正	99 (H 11)	東京都震災予防計画⑦ 策定
	警戒宣言に伴う対応措置	2000 (H 12)	東京都震災対策条例
	地域危険度調査（多摩）① 公表	02 (H 14)	地域防災計画（東海地震災害事前対策）修正
83 (S 58)	東海地震が東京に与える影響に関する基礎調査		東京都震災対策事業計画⑧ 策定
	東京都震災予防計画③ 策定	03 (H 15)	地域防災計画震災編修正
84 (S 59)	地域危険度調査（区部）① 公表		

る程度の切迫性を有している」と警告している。東京都ではこれを受けて、引き続きいわゆる直下型について、より踏み込んだ被害想定に着手していた段階で、平成 7 年兵庫県南部地震 M 7.2（後に M 7.3 に改訂）による阪神淡路大震災の発生を見た。平成 9 年 8 月東京都防災会議は「東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書」を公表している。これが現在東京都が行っている様々な地震防災対策の前提となっている被害想定

である。

東京都の場合には直下型地震といっても、兵庫県南部地震のように地表に近い活断層が動く事態を想定していない。この理由は、東京都で明瞭な活断層は多摩地域の立川断層しか知られていないが、東京都による調査（1999）ではこの断層の地震発生危険度はかなり低い（平均活動間隔が 5000 年で、1000 ないし 2000 年前に活動履歴があるため）と判断されたこと、もうひとつは直下型地震

の典型と目されている安政江戸地震（1855年，M 6.9，死者4千人余）や，明治東京地震（1894年，M 7.0，東京で死者24人）の震源がかなり深かったのではないかと（数10ないし100km）という指摘（例えば萩原，1991）があるためである。

図1に平成9年報告書で設定された地震断層の位置などを示す。①区部直下の地震，②多摩直下の地震，③神奈川県境直下の地震，④埼玉県境直下の地震と，4つの地震断層が仮定されている。深さはその付近でのフィリピン海プレートと東京都の載る北米プレートの境界付近であり，下面が北向にもぐる逆断層運動，想定マグニチュードを7.2としたことから断層の広がりには40km（東西）×20km（南北）で，スリップ量は数mというものである。つまりこれはプレート境界地震のやや規模の小さいもの，あるいは大正関東地震断層の

北方延長の一部が動くモデルである。関東地方では過去にさかのぼる古文書の歴史は浅く，過去にこのような地震が起こったかどうか明らかではない。しかし東京都の下で兵庫県南部地震クラスの直下型地震を想定するとすれば，実際に最も起こりそうなモデルと言えるだろう。

南関東大地震の場合と同様な手法で，建物倒壊や人的被害，火災，液状化被害等々が推定された。これらを通り易くまとめたものとして，「あなたのまちの地域危険度」（東京都都市計画局，2002）が発行されている。東京都本土における区市町村の町丁目ごとに色分けして，地盤分類，建物倒壊危険度，火災危険度，避難危険度，そして総合危険度，および広域避難場所概略図が載っている（2002年版からは英語も併記）。これは時折新聞などで図が引用されることもあり，ご存知の方が多

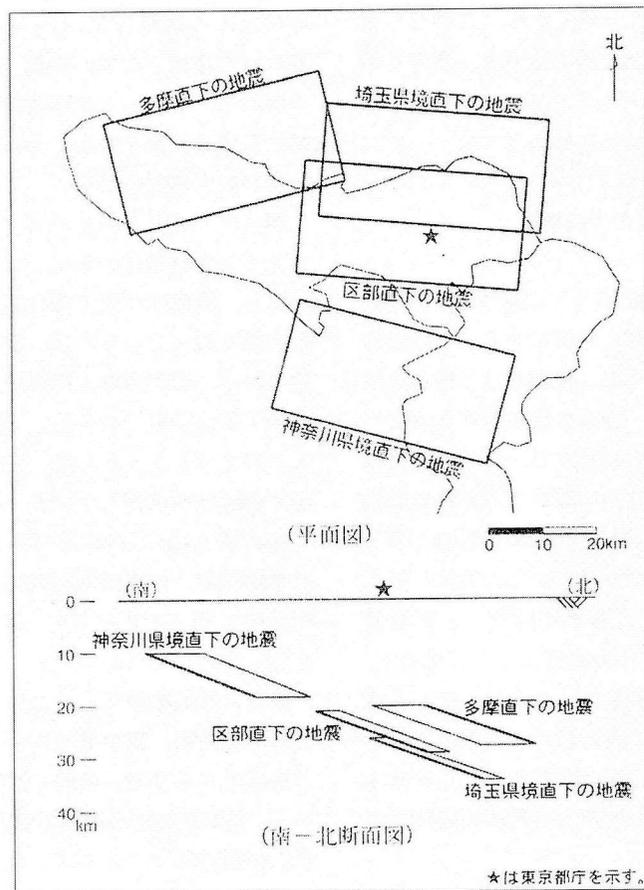


図1 被害想定に用いた4つの地震断層モデル

いと思うが、各自治体等で閲覧できるし、市販されている。ここに挙げた危険度はランク分けした上で、4つの断層モデルのうちから最も高い値を与えるものを、その区域の危険度としている。従って東京でM7クラスの直下地震（プレート境界型）が起こった時に、東京都全域がこのような災害をこうむるという図ではないことに注意したい。

なお平成9年報告書によれば、被害が最も大きい区部直下地震①の場合で、都全体で死者7,159人、負傷者158,032人である。内訳は建物倒壊等によるものが死者2,344人、負傷者130,648人、火災によるものが死者4,802人、負傷者26,537人、鉄道施設の被害によるものが死者13人、負傷者797人とされる。区部直下地震による社会生活上の被害としては、発災1日後の自宅外避難者数が区部で約194万人、多摩で約39万人、合計で約233万人の自宅外避難者が発生する。このうち避難所への避難者数は区部で約126万人、多摩で約25万人、合計で約151万人である。また帰宅困難者は約371万人発生するとされる。

### 3. 震災の予防対策

災害対策基本法（昭和36年）に基づき、各地方自治体は「地域防災計画」を策定することが求められる。表1に見るように、東京都は「地域防災計画」を何度か修正し、最新の修正は本年度に行われた。これには長期的視野に立った「地震に強い都市作り」と、地震発生に際しての応急対策が含まれるが、東京都では特に昭和48年以来「震災予防計画」を8次にわたり策定して、実施してきた（第8次から「震災対策事業計画」と名称変更）。前節に紹介した地域危険度マップを見ると、環状7号道路とJR山手線にはさまれたベルト状地帯と、中央線沿いに武蔵野市・三鷹市あたりまで、総合危険度の高い地域が存在する。これは木造家屋密集地で、家屋倒壊や火災延焼の危険性が高いことによる。

震災の抜本的な予防対策として、平成8年に防災都市づくり基本計画が立てられた。これは東京

の市街地（23区と多摩東部）を河川（荒川、隅田川、多摩川など）と広域道路による延焼遮断帯でゾーン分けして、その中でも火災危険度の高い11地区を、防災都市作りの重点地区に指定して整備するものである。そこでは土地区画整理、市街地再開発、道路、公園等々の諸事業を集中して、老朽住宅の共同化、公共建造物の不燃化、道路の拡充や公園の整備を行い、面的に地震に強い市街に作りかえることを目指している。重点整備地域では当面10年間に不燃領域率45%の確保を目指す。また重点地区の中で防災上の整備効果の大きい地域を重点整備地域（25カ所）に選定し、当面10年間で不燃領域率50-65%を目指している。（不燃領域率：市街地の延焼しにくさを評価する指標。空地率と耐火性建物等の建築面積に基づく不燃化率で算定する。この値が40%以上になると延焼率が急激に低下する。70%に達する市街地はほとんど延焼しない。）この事業の結果生まれ変わった地域として、白髭（しらひげ）東防災拠点がある。しかしこの事業には地域住民の合意と膨大な資金を要することから、遅々として進んでいないのも事実である。

第2に、道路をはじめとする施設構造物やライフラインの耐震化がある。これらは非常に多面にわたり、具体的な諸方策は紹介しきれない。筆者が心強く思っているのは、震災時における水の供給である。阪神淡路大震災でも、飲料水や生活用水の不足が深刻であった。東京都では飲料水を1人1日3リットルとして、都全体（1,200万人）で約4週間分を確保している。給水拠点はどの地域でも大体2km以内に確保されている（浄水場、給水場の他、地震時の避難広場に設置された応急給水槽）。散歩の折にでも、最寄の給水拠点の場所を知っておいてほしい。

第3に建築物の安全化である。救助活動の中心となる消防署、警察署の庁舎や、避難者の一時収容施設となる学校、病院の耐震補強を順次進めている。民間建築物の耐震不燃化を進めるため、「建物の耐震診断マニュアル」を作成、また「セーフティ・ローン」制度による耐震化補助も行っている（「防災のしおり」参照）。

#### 4. 地震発生時の対策

東京都地域防災計画（震災編）には、災害応急対策計画が詳細に取り決められている。図2に大地震が発生した場合、東京都がとる初動態勢の概要図を示す。平日の勤務時間内であれば、都庁第1本庁舎9階の東京都防災センターにおいて、総務局総合防災部の職員が必要な対応を迅速に取ることができる。夜間や休日の場合に備えて、次のような態勢が取られている。1) 防災センター内に夜間防災連絡室を置き、複数の職員が常時待機する。2) 東京都防災センター周辺に218戸、立川地域防災センターに65戸の災害対策職員住宅を整備し、入居職員は震度5弱以上の地震もしくは都内での災害が発生した場合、夜間・休日を問わず直ちに参集する。なおこの災対職員住宅には総合防災部トップの危機管理監を始め、管理職・職員20数名も入居している。

大地震発生直後に最も大切なのが、情報収集とその伝達である。東京都は東京消防庁、警視庁、区市町村、都立病院等の主要出先機関、国の各機

関や自衛隊、ライフライン機関、放送機関などの防災機関との間に防災行政無線ネットワークを整備し、NTT等の有線電話が途絶した場合でも、情報連絡が出来る。東京都防災センターの中枢機能は災害情報システムである。これは災害時に区市町村の端末から被害等の情報を入力して、被害の全体像を表示するデータ通信機能と、ヘリコプターや衛星中継車等からセンターに被災現場の映像を送る画像通信機能を持つ。各区市町村の庁舎には強震計を設置し、地震発生時には計測震度が自動的に防災センターに集約される。また東京消防庁が配置した強震計の計測震度もセンターで画面表示され、いち早く激震地を知ることが出来る。被害情報は現地の自治体等で確認され通報されたものが最も信頼できるが、大地震の場合、その被害状況が外部に伝わるには非常に時間がかかる。兵庫県南部地震の例を見るまでも無く、最近の7月26日宮城県北部地震、9月26日十勝沖地震の場合でも、被害の全容が明らかになるのにほぼ半日を要している。そこで地震の規模と震源の情報から被害を予測する「地震被害予測システム」を、初動態勢の中で補助的に活用しようとい

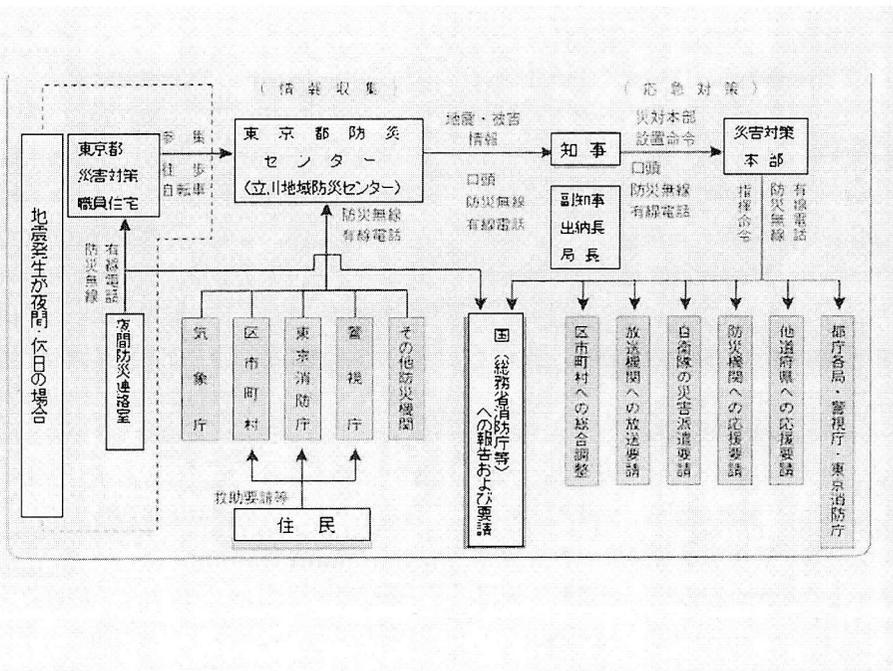


図2 大地震発生時における東京都の初動態勢概要図

う考えがある。これは東京都土木技術研究所が開発したプログラムで、基本的には東京都防災会議による地震被害想定に用いられたものと同じ機能を持つ。特に道路の閉塞状況を予測して、通行可能な経路を表示するなど、実際の救助活動に必須な情報を提供できる。

図2に見るように、大地震が発生もしくは発生のおそれがある場合、知事を本部長とする災害対策本部が発足する。これに伴う東京都職員の非常配備態勢には第1から第5までの段階があり、第1(5,866人)、第2(局地的災害発生、東海地震「観測情報」発表、12,422人)、第3(数区市町村で被害、20,357人)、第4(第3より被害拡大、31,246人)、第5(震度6弱以上の地震、132,462人)とされている(人数は配備される職員数)。第5段階で一挙に人員が増えるのは、全ての警察、消防職員を含めるからである。即ち都内に震度6弱の地震動が観測された場合、全ての都職員が防災の配置につくことになる。

災害対策本部は①情報の収集・伝達、②災害救助法の適用、③相互応援協力(八都県市)・派遣要請(自衛隊等)、④消防・危険物対策、⑤水防・危険物対策、⑥避難、⑦警備・交通規制、⑧緊急輸送、⑨救助・救急などの事項について審議を行い、対策を進める。この全てを到底紹介し切れないので、詳しくは「防災のしおり」を参照して頂きたい。

ここではいくつかの身近な話題に限らせてもらう。飲料水については確保の目途がついていることは既に述べた。食料・毛布等の備蓄は十分行われている。しかし色々な支援が有効に機能するまでの3日間、食料などの家庭での備蓄を、都では呼びかけている。

区部直下の地震が発生した場合、371万人の帰宅困難者が出るという見通しを述べた。帰宅困難者対策の基本方針は「組織は組織で対応してもらう」つまり企業や学校などの組織のある所では、組織の責任で家族の安否や交通情報を確認し、帰宅できる者から帰宅させる、帰宅困難な人については事業所内で保護するよう要請する。買い物客など個人で行動している人の場合について

も、都心と他県市および多摩地域とを結ぶ幹線道路沿いに、公共施設を活用した帰宅支援施設を設置し、水・食料・トイレ・休息の場・情報の提供を行う。また船やバスを活用した代替輸送を行うこととしている。しかし大地震発生時には人命救助が優先され、また繁華街やターミナル駅ではパニックの発生も予想される。帰宅困難者に対して、十分な対応が取れるかどうか、未解決な問題が多い。

首都圏で東京都と隣接する八都県市(埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、さいたま市、千葉市、川崎市、横浜市)では、「災害時相互応援に関する協定」を結んでいる。これらの都県市で大規模な地震災害が発生した場合、食料・飲料水・生活必需品の提供や、特に医療救護での協力を行うこととなっている。本年1月15日には7都県市(さいたま市は本年4月以降に政令指定都市となって正式参加)で、1,400人が参加して図上訓練が行われた(大地震発生を想定して、救援連絡を行う、実動を伴わない訓練)。

なお震災復興については省略する。東京都復興マニュアルが平成15年度に策定されている(東京都ホーム・ページ)。

## 5. 東海地震対策

平成13年に国の中央防災会議は「東海地震の見なおし」を発表した。これにより強震動に見舞われる地域が、従来より西の愛知県主要部にまで広がること、および津波予測が公表されて新たに津波対策が要請される地域が増えた。東京都で予想される地震動は最大で震度5強と、従来の予測と変わらない。しかし新島村、神津島村および三宅村が「20分以内に大津波(沿岸で3m以上、満潮時に地上の浸水深が2m以上)が来ると予測される」ため、大地震対策特別措置法の「対策強化地域」に指定された。

東京都は平成14年10月に「地域防災計画(震災編)」のうち「第5部東海地震災害事前対策」を修正した。東京都の23区および多摩地区に関しては、予想震度も変わらず、大きな対策の変更は

無い。東海地震の観測情報発表（従来の「判定会召集」情報に相当）と共に、災害対策本部を立ち上げること、この場合第2非常配備態勢が取られることは既に述べた。実際に本年7月18日、東海地震の予知情報が出されたという想定の下で、半日に及ぶ情報連絡訓練が、総合防災部を中心に実施された。

事前対策の重点は津波対策であって、新島、式根島、神津島については、都道などの通行止め規制、避難誘導等の方策が決められた。更に学識経験者を含めた「津波浸水予測検討委員会」が発足し、平成15年度中により具体的な津波災害防止策を策定する運びになった。

## 6. 東京都の地震防災資料はどこで手に入るか？

この報告でもっぱら頼りにしたのは、「防災のしおり」（東京都総務局災害対策部（現：総合防災部）平成12年3月発行）および「あなたのまちの地域危険度」（東京都都市計画局、平成14年10月発行）である。これのダイジェスト版は東京都のホームページ（<http://www.metro.tokyo.jp/URBAN/anzen.htm>）に掲載されている（「東京

都の地震対策」）。この2つのパンフレットおよび東京都の「地域防災計画（震災編）」等は、都庁第1本庁舎3階の都民情報センターで市販されている。

## 参考文献

- 東京都、1999、立川断層に関する調査（概要報告書）、平成11年3月、49pp.
- 東京都防災会議、1991、東京における地震被害の想定に関する調査研究、平成3年9月、223pp.
- 東京都防災会議、1997、東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書、平成9年8月、241pp.
- 東京都防災会議、2002、東京都震災対策事業計画—震災から首都東京を守る—（平成14-16年度）、平成14年3月、211pp.
- 東京都防災会議、2002、東京都地域防災計画（震災編）第5部東海地震災害事前対策、平成14年10月修正、126pp.
- 東京都防災会議、2003、東京都地域防災計画（震災編）「本冊」、平成15年修正、292pp.
- 萩原尊禮、1991、江戸—東京の直下地震・古記録から探る、力武常次監修・地震予知総合研究振興会編「東京直下地震」、毎日新聞社、17-33.

# ■地震予知連絡会情報■岡田義光■

この半年間には、5/26と7/26に宮城県で発生した2つの地震、および9/26に発生した十勝沖地震と大きな事件が続いたため、定例の地震予知連絡会（第153回：2003/8/18、第155回：2003/11/17）のほか、5月の宮城県沖の地震に関しては2003/6/6に特定部会が開かれ、7月の宮城県北部の地震については第153回予知連で飛び入りのトピックスとして取り上げられた。また、9月の十勝沖地震については臨時の地震予知連絡会（第154回）が2003/10/21に開催された。なお、第155回予知連のトピックスとしては「観測の精度」（世話人：岡田義光委員）について議論がなされた。

## 1. 北海道地方

2003年9月26日、十勝沖の深さ約40kmでM8.0の地震が発生し、最大震度6弱を記録した。この地震により、北海道から東北地方にかけての太平洋沿岸で津波が観測され、えりも町では遡上高4.0mの津波が確認された。余震分布は釧路海底谷を越えて東側には広がらず、

またM7.1の最大余震が同日6時8分、余震域の南西端で発生した。北大による震源再決定結果によれば、本震の深さは28km、最大余震の深さは48kmである（図1：北大）。

GPS観測により、北海道の広い範囲で地殻変動が観測され、広尾では南東方向に約97cmの水平変動、大樹では約28cmの沈降が確認された。これらのデータから解析された震源断層モデルの大きさは、余震域の広がりと同様整合している。本震発生後は、10月8日までに、えりも付近で南東方向に引き続き5~6cm移動するなど、北海道の広い範囲で余効変動が観測され、10月末までにMw7.6に相当するモーメント解放があった。この余効変動のすべりの範囲は、地震時から徐々に東西に広がったと推定される（図2：地理院）。なお、震央の東南東約30kmの海底に設置されていた津波計は、本震の発生に伴って40~50cmの海底隆起をとらえたとの報告があった（海洋センター）。

2003年十勝沖地震の発震機構は1952年十勝沖地震（M8.2）と同様の低角逆断層型を示し、典型的なプレート境界の地震であったと考えられる。

今回の地震の震源域では、本震の3時間ほど前にM2.4の前震が発生したが、規模は異なるものの、前震・本震・最大余震の位置関係は、1952年十勝沖地震の場合とよく似ている（図3：気象庁）。

今回得られた地震や地殻変動のデータに基づき、いくつかの断層モデルや断層面上のすべり分布が提出されている。広帯域地震計の観測波形から推定されたすべりの大きな領域は、本震付近から北西方向のえりも岬付近にまで分布し、余震はこの領域を避けるように発生している（図4：東大震研）。このすべりの大きな領域は1952年十勝沖地震で大きくすべったとされる領域にほぼ重なっており、強震波形や津波波形から求められたすべり量分布も、この

Depth 0.0 - 80.0 (km) 2003 9 26 4 50 - 2003 9 27 23 59

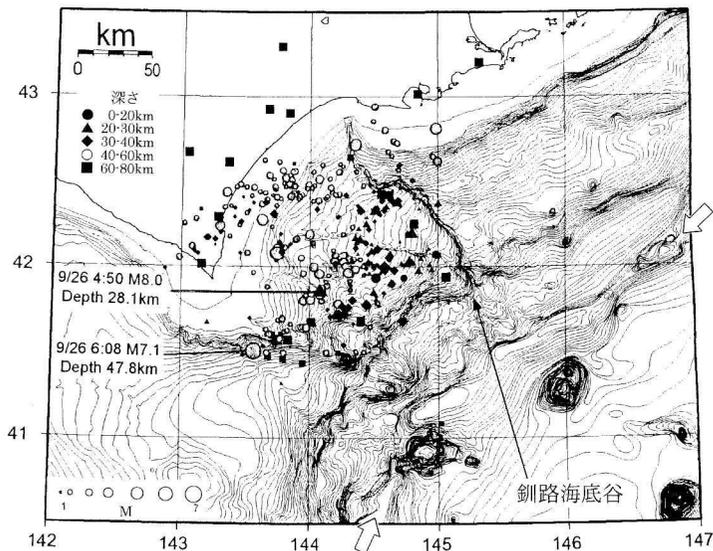


図1 2003/9/26十勝沖地震（M8.0）の本震および最大余震の位置と、約2日間の余震分布。白抜き矢印は海溝の位置を示す。[第154回：北大資料に加筆]

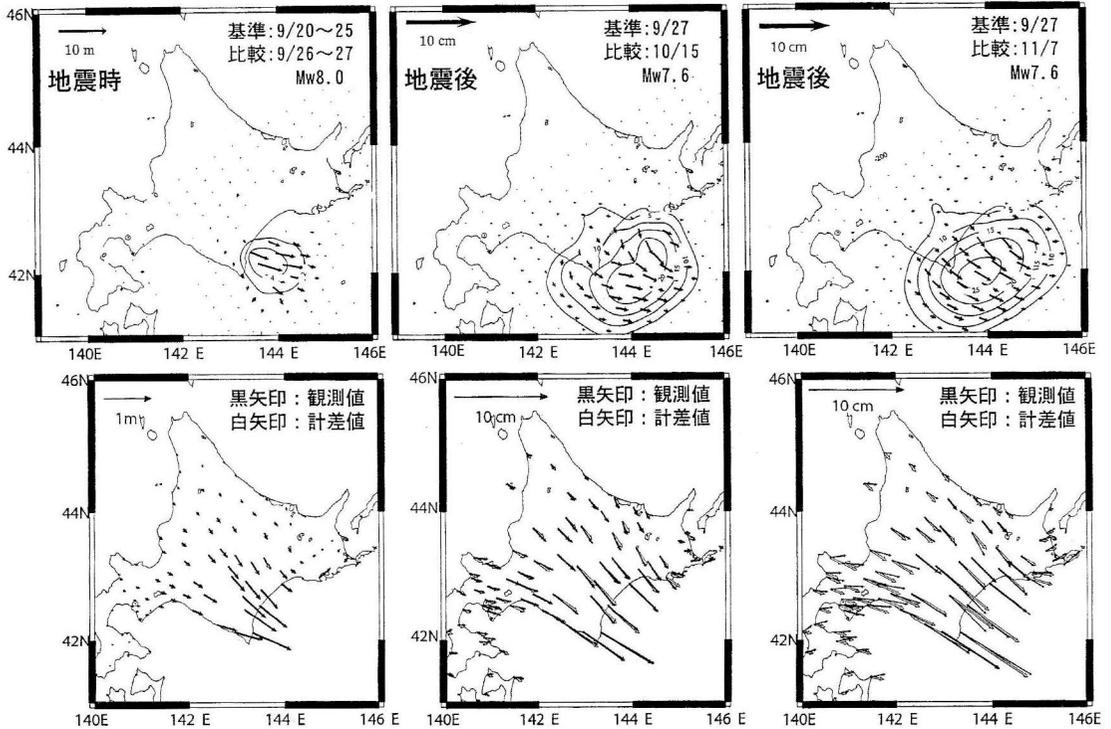


図2 GPSによる2003/9/26十勝沖地震に伴う地殻変動(左)と、地震後約20日間(中)及び40日間(右)の余効変動。上段は推定されたプレート間滑りの分布、下段は観測値と計算値の比較を示す。地震時(左)は矢印の長さの単位が異なることに注意。[第155回:地理院資料]

結果にほぼ一致している(防災科研,産総研)。

今回の地震の発生直後から、北海道東部では火山フロントに沿う内陸の浅い地震活動が活発化する現象が見られた。一方、余震域の海溝側では低周波地震の発生が確認され、Hi-net(短周期)ではM2.8、F-net(長周期)ではM5.2となるイベントが報告された(防災科研)。発生場所が海溝側に近いことから、水が関与している可能性が考えられる。

今回の地震の発生直前に、伸縮計・ひずみ計・傾斜計などの連続記録にはノイズレベルを超えるシグナルが見られず、プレスリップの検出はなされなかった。中期的には、今回の地震の前に深発地震の発生回数の増加する現象が認められ、同様の傾向は1952年十勝沖地震や1993年釧路沖地震の際にも見られた。また長期的には、今回の震源域付近で1976年頃から地震活動が静穏化し、b値も徐々に低下する傾向にあったとの報告があった(気象庁)。

## 2. 東北地方

前号で速報したように、2003年5月26日、宮城県沖の深さ72kmでM7.1のやや深発地震が発生した。震源

は宮城・岩手県境の海岸線付近に位置し、最大震度6弱が記録された。この地震の発震機構解はプレートの沈み込む方向に圧力軸をもつ逆断層型であり、余震分布などから太平洋プレート内部をほぼ垂直に切るスラブ内地震であることがわかった(後出の図14参照)。この地震に伴って、周辺のGPS観測点では1~2cmの水平変動が記録され、これらのデータに基づいて震源断層のモデルが提出された。上端の深さ52km、西に68°で傾く長さ17km、幅19kmの逆断層で、すべり量は2.1m(すべり角73°)と推定されている(図5:地理院)。

この5月26日の地震から丁度2カ月後の7月26日には、宮城県北部の石巻市近くでM5.6、M6.4、M5.5の前震-本震-余震型の浅発地震が発生し、1日に3度の震度6が記録された。この地震活動については第153回予知速報でトピックスとして取り上げられ、詳しい検討がなされた(トピックスの項参照)。

2003年10月31日、福島・宮城県境の沖合いでM6.8の地震が発生した。発震機構解は西北西-東南東方向に圧力軸をもつ低角逆断層型であり、太平洋プレート上面の地震と考えられる。地震波形のインバージョン解析から推定されたこの地震のすべり分布によれば、余震はすべり量の大きな領域と重なっておらず、また、この付近

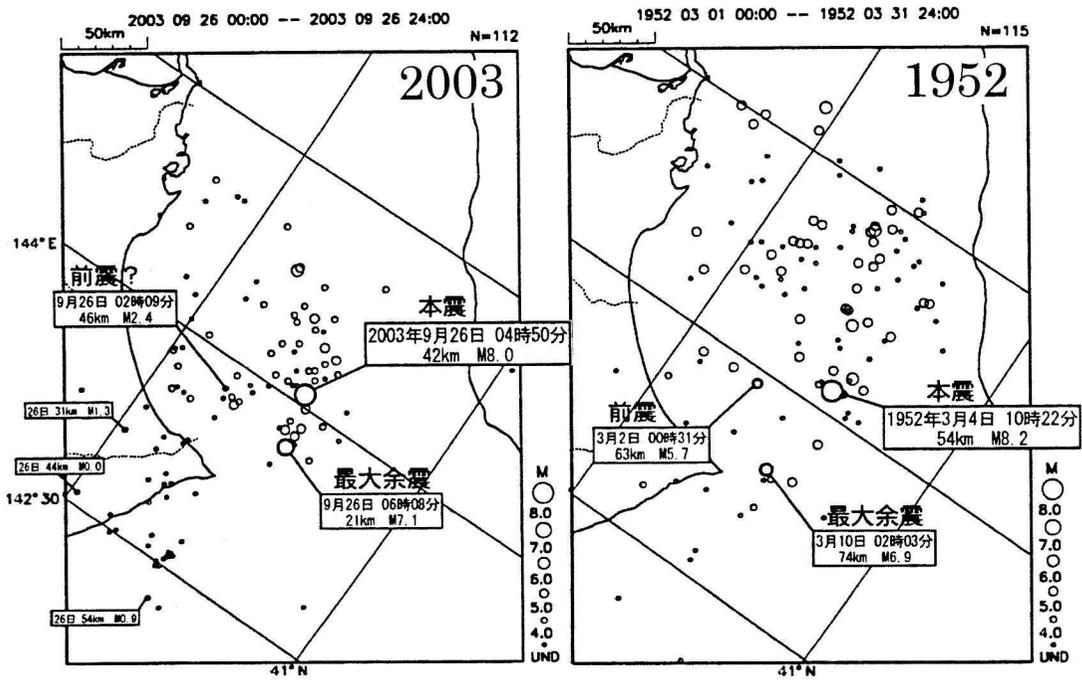


図3 2003年十勝沖地震(左)および1952年十勝沖地震(右)の前震・本震・最大余震の位置 [第154回: 気象庁資料に加筆]

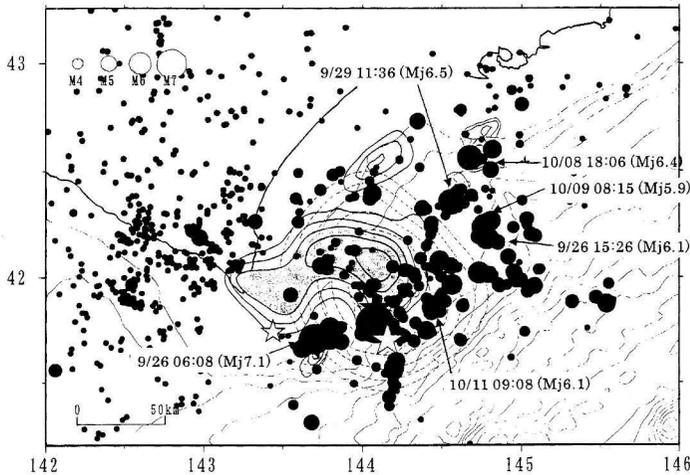


図4 2003年十勝沖地震によるすべりの大きかった領域(実線の等高線)。点線は1952年十勝沖地震時のすべり領域を示す。黒丸は今回の地震に伴う余震活動、星印は1952年の本震と最大余震の位置を示す。 [第154回: 東大震研資料に加筆]

で過去に発生した1936年、1978年、1981年の地震とは住み分けているように見られる(図6: 東大震研)。余震のうち、南に離れた一群は本震発生の半日後より活動を開始しており、これらは誘発された地震群である可能性が高い。この中には、プレートの準静的すべりを示唆する相似地震も含まれており(東北大)、この地震に伴って観測されたわずかな地殻変動から推定されたすべり分布も、地震波形から推定された領域より若干南へずれてい

る(地理院)。

### 3. 関東地方・伊豆地方

2003年5月12日、茨城・千葉県境付近の深さ47kmでM5.2の地震が発生し、その2分後にもほぼ同じ場所でM4.6の最大余震があった。発震機構は北北西-南南東方向に張力軸を有する型であった。この地域は地震の

頻発する場所であるが、この深さでの発生は珍しく、フィリピン海プレート内部の地震と考えられる（気象庁）。

2003年9月20日、千葉県南部勝浦市付近の深さ約70kmでM5.8の地震が発生した。発震機構は東西に圧力軸を持つ逆断層型で、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地震と考えられる（気象庁）。

伊豆半島東方沖では、2003年6月13日22時頃から小規模な地震活動が始まり、14日にはやや活発化して最大地震M2.7が発生したものの、その後ほぼ2週間で活動は終息した。伊豆半島東方沖では、1978年以来20年間続いた群発地震が1998年4月の活動を最後としてなりを潜めたのち、2002年5月8日にM1.9を最大とする4年ぶりの小活動があった。2003年6月の群発地震は、この2002年5月の活動よりはやや規模が大きく、震源域

は前回のやや東側に位置している（図7：気象庁）。これまでの群発地震活動と同じく、今回も周辺の傾斜計や歪計、GPSなどに明瞭な地殻変動が記録され、大室山の地下水位にも変化が見られた。さらに、2003年10月20日には、やや北方の宇佐美沖合でM3.1を最大とするごく小規模な地震活動が発生したが、主要な活動は2日程度で終息した（気象庁）。このように小規模ながら地震活動が再発していることに対応して、伊豆半島東岸の水準測量結果では、1998年以来停滞していた地殻変動が伊東検潮場（富戸）付近でじわじわと隆起に転じていることが報告された（地理院）。

一方、伊豆大島の西方では10月の始め頃より小規模な群発性の地震が続いていたが、2003年10月28日、M4.4の浅発地震が発生し、地震活動度が高まった。しかし、11月上旬には活動が収まりつつある。この海域では、1978年1月および1990年2月にそれぞれM7.0およびM6.5の伊豆大島近海地震が発生している（気象庁）。

#### 4. 東海地方

東海地方の地殻上下変動のパロメータとして報告される掛川～浜岡間の水準測量結果について、第153回予知連では議論があった。といっても年間5mmの浜岡の沈降に異常が現われたわけではない。毎回、観測された生の値と年周変化を補正した値とが並べて提示され、従来は後者の方が当然変動が小さかったのに対し、最近では

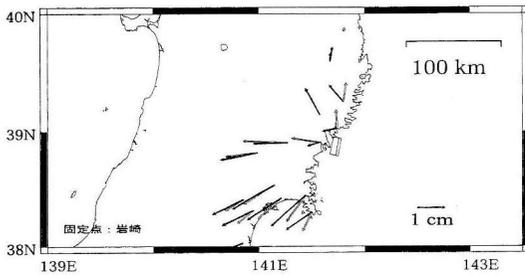


図5 GPS観測結果から推定された2003年5月26日宮城県沖の地震の断層モデル。黒矢印は観測値、白矢印は計算値を示す。[第153回：地理院資料]

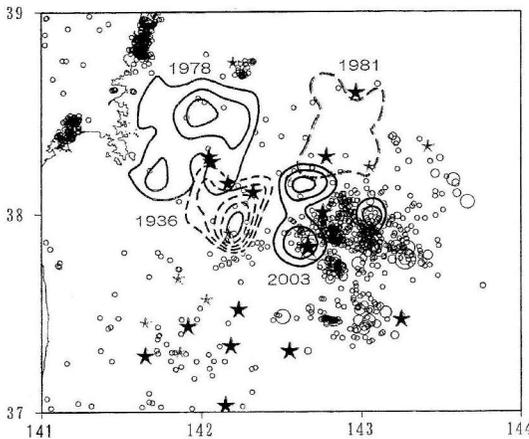


図6 2003/10/31福島県沖の地震ですべりの大きかった領域（南東にある3つの目玉部分）と、1936、1978、1981年宮城県沖地震のすべり分布。背景の丸印は本震後10日間の余震分布、星印は1900年以降に発生した規模の大きな地震を示す。[第155回：東大震研資料に加筆]

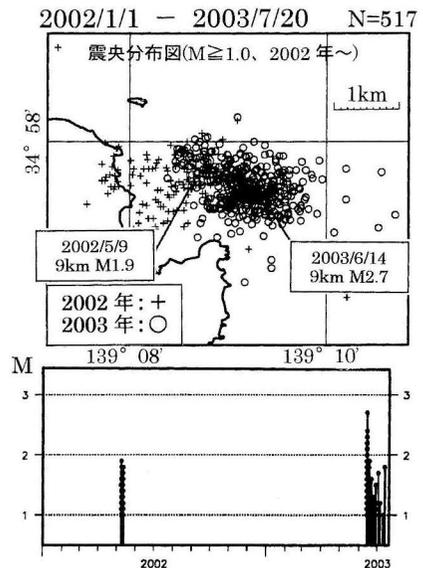


図7 2002年5月および2003年6月の伊豆半島東方沖地震活動 [第153回：気象庁資料より合成]

逆転して見えることが話題となった(図8:地理院)。これは、1999年10月以降、水準測量に用いられる測器が傾動レベルからデジタルの自動レベルに切り替えられ、測定時間の短縮とともに精度が向上したため、誤差が大きかった時代のデータにあてはめられた年周変化で補正すると、かえって悪い結果を及ぼすことになったためである。

一方、東海地域の地震活動静穏化や浜名湖付近のスローイベントに見られる異常地殻活動は、依然として継続している。GPS観測結果から推定されるプレート境界面のすべりによるイベント開始以来のモーメント解放量はついにMw 7.0に近づき、さらに成長を続けている(地理院)。なお、スローイベントはGPSにより見つけられた現象であるが、これに対応する記録は静岡県三ヶ日町に設置されたボアホール傾斜計によっても捉えられていることがわかった。傾斜変化はこの3年間で東南東上がり1.7 $\mu$ radとなるが、これはGPSにより捉えられたこの地域の上下変動分布とよく調和している(図9:防災科研)。

東北大学・防災科研からは、東海地域の推定固着域下盤側で発生した地震について、地球潮汐による地震のトリガー作用を検討した結果が報告された。最近15年間に発生したM4.5以上の地震は4個であるが、そのすべてに先立って、地震発生と地球潮汐の位相が同期する傾向のあることが明瞭に認められ、この傾向はプレート境界の固着が強いと考えられている地震活動活性化域で特に顕著であることがわかった(図10:東北大・防災科研)。

2003年11月12日、東海道沖の深さ398kmでM6.5の地震があった。発震機構解は太平洋プレートの沈み込む方向に圧力軸を有しており、プレート内部で発生した深発地震である。この地震により、関東地方から東北地

方にかけて最大で震度4の揺れが記録されたが、西日本では震度1どまりであり、いわゆる異常震域現象が観測された(気象庁)。

## 5. 近畿地方以西

2003年7月6日、紀伊半島南方沖の南海トラフ軸直下で、深さ38km、M4.7の地震が発生した。この場所は1946年南海地震の震源から南へ20kmほど離れた地点であるが、この付近を震源とする地震でM4.5以上を観測したのは1984年3月20日のM5.1(深さ42km)以来のことである(気象庁)。

豊後水道付近から四国西部にかけては、低周波微動という現象がしばしば観測されており、それらのうち孤立性のは低周波地震として認識されている。この微動は、ほぼ半年ごとに1週間ほど活発化していることがわかり、これに同期して傾斜計にもわずかな地殻変動が現われていて、その傾斜方向は南下がりから南東下なりに転じる場合と、南東下がりから南下なりに転じる場合のあることが見つかった。前者では微動が東から西へ移動し、後者では逆に西から東へ移動しているという対応関係があり、プレート境界近くで逆断層性のすべりが移動するモデルによって、2種類の傾斜変化を説明できることがわかった(図11・図12:防災科研)。

2003年8月末には、豊後水道から四国西部へと移動する低周波微動の活動が再び出現したが、今回は1週間程度で終息せず、2カ月近くわたって次々と低周波微動の発生が繰り返された。この活動に同期して、GPS観測からは定常的な地殻変動からのずれとしてスロースリップが検出され、フィリピン海プレート上面に沿った逆断層型の断層モデルが推定された。断層面の大きさは44km $\times$ 60km、すべり量は11cmで、Mw6.6の地震に相

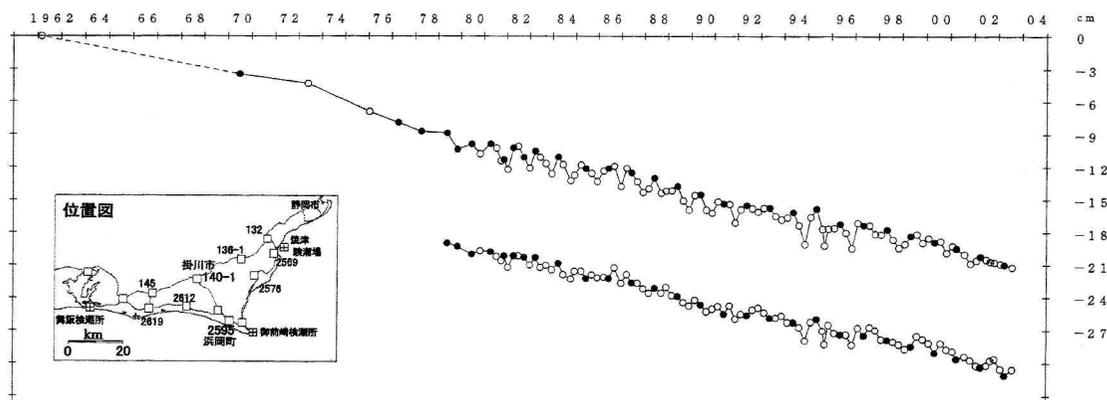


図8 掛川市(140-1)に対する浜岡町(2595)の沈降の経年変化。上段は生の観測値、下段は年周変化を補正した値を示す。[第155回:地理院資料に加筆]

当している (図 13: 地理院)。豊後水道では、1996 年から 1997 年にかけても今回と同様のスロースリップ現象が捉えられており、ほぼ 1 年かけて Mw 6.8 相当のモーメント解放がなされたことが知られている。

約 7 年の周期でスロースリップが繰り返されることは房総半島の事例と似ているが、現象の継続期間は房総半島の方がはるかに短い。逆に、東海地方のスロースリップの継続時間は豊後水道よりも長いように見られる。

## 6. トピックス

### 6-1. 7月26日宮城県北部の地震

第 153 回連絡会では、当初の予定を変更して「7月26日宮城県北部の地震」が急速トピックスとして取り上げ

られ、各機関からの報告と意見交換がなされた。

2003年7月26日00時13分、石巻市付近の深さ12kmを震源としてM5.6の前震が発生、次いで07時13分、M6.4の本震が発生し、同日16時56分にはM5.5の最大余震が発生した。これらの地震による最大震度は6弱、6強、6弱と報告され、1日に3回も震度6が記録されたことは我が国で初めてということがマスコミをにぎわせた (本誌別稿の囲み記事参照)。また、前震-本震-余震型という地震発生パターンは、1918年大町地震 (M6.1の13時間後にM6.5が発生) や1949年今市地震 (M6.2の8分後にM6.4が発生) などの例が知られているが、珍しい現象である。

この地震の2カ月前には宮城・岩手県境の海岸線付近でM7.1のやや深発地震が発生し、やはり最大震度6弱

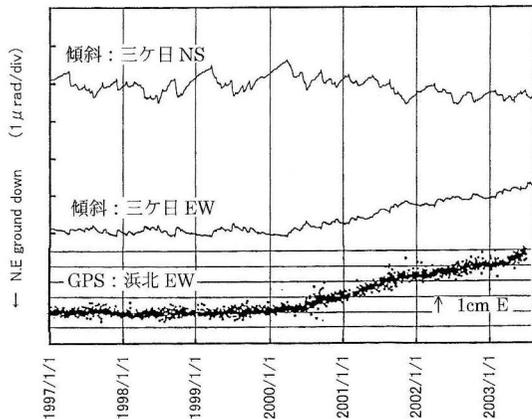


図 9 三ヶ日における傾斜記録と国土地理院：浜北におけるGPS (東西成分) 観測結果。両者ともトレンド成分は除いてある。 [第153回：防災科研資料に加筆]

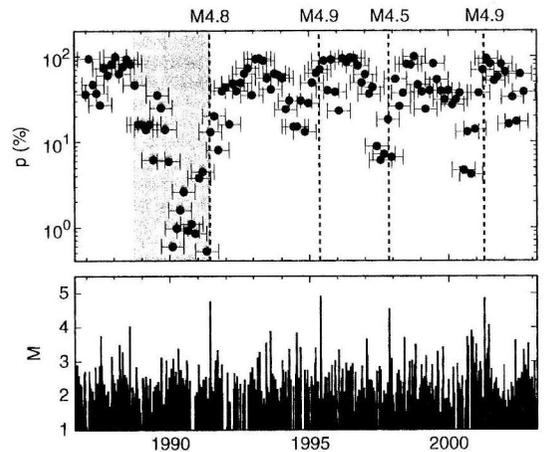


図 10 東海地域の推定固着域下盤側で発生した地震に対する p 値の時間変化と M-T 図。p 値が小さいほど潮汐との相関が大きいことを示す。 [第153回：東北大・防災科研資料]

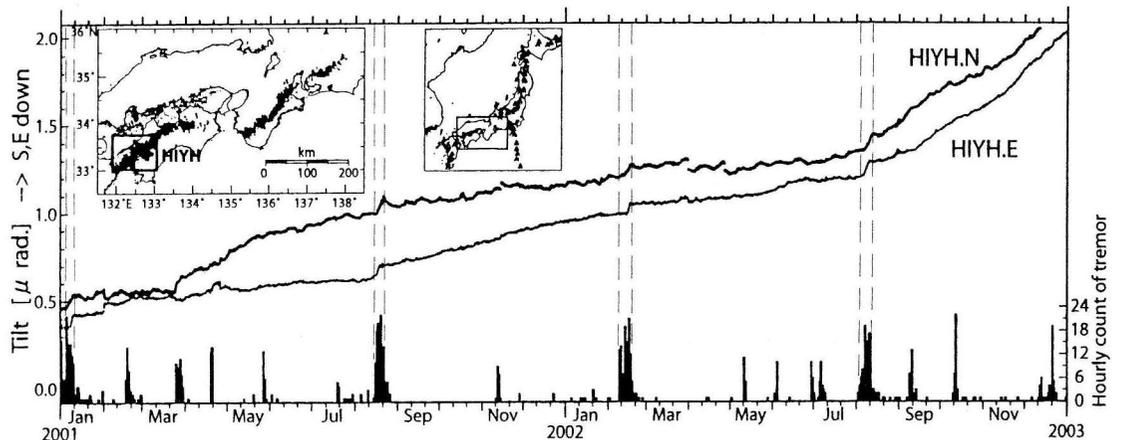


図 11 2001~2002年の豊後水道・四国西部における深部低周波微動の活動度 (棒グラフ) と、愛媛県日吉観測点 (HIYH) での傾斜変動。破線で囲った約半年周期の微動活性化に対応してステップ的な傾斜変化が見られる。 [第155回：防災科研資料]

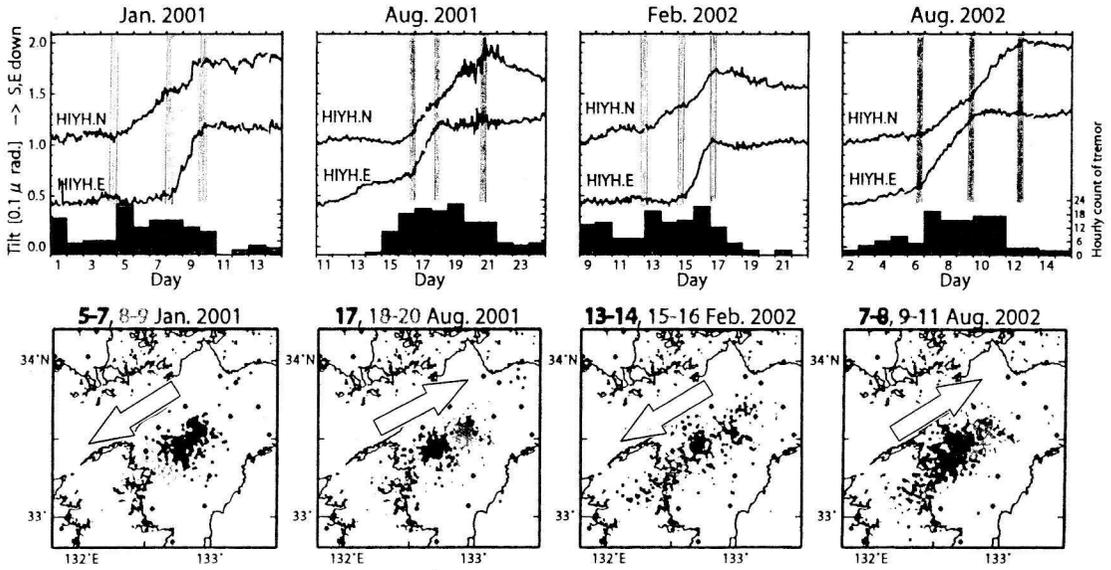


図 12 (上段) 図 11 で深部低周波微動の活発化した 4 時期の拡大図。縦棒のところで傾斜方向が変化している。(下段) 同時期における微動の震源分布。前半の期間は濃い色、後半は薄い色で描かれ、矢印は微動源の移動を示す。[第 155 回: 防災科研資料に加筆]

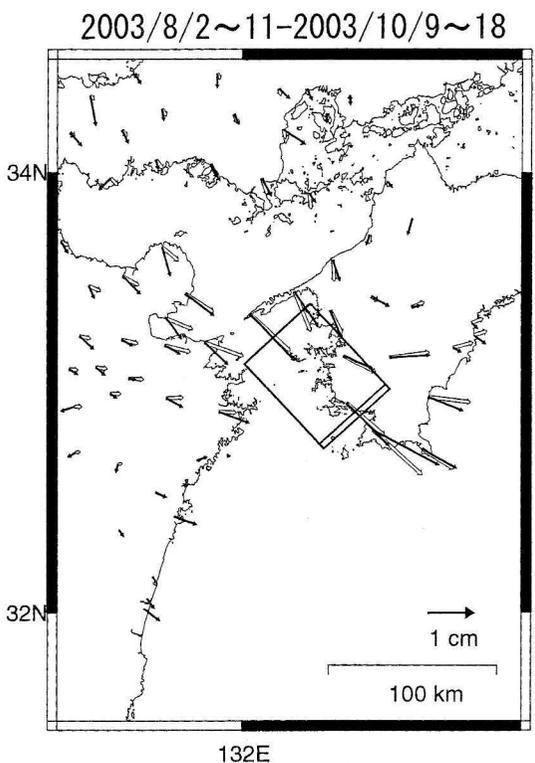


図 13 GPS 観測により豊後水道付近で 2003 年 9 月から 10 月にかけて検出されたスロースリップと、その断層モデル。黒矢印は観測値、白矢印は計算値を示す。[第 155 回: 地理院資料]

が記録された。この地震は太平洋プレート内部をほぼ垂直に切るスラブ内地震であり、その時系列は通常の本震-余震型であった。この地震の発生以降、脊梁山脈付近の陸域浅部では地震活動が活発化し、そんな中で、7月26日には今回の M6.4 の地震が発生した。こちらは、陸側プレートのごく浅部で発生した内陸地震であり、5月26日のやや深発地震とは明らかに発生メカニズムが異なっている。また、両者は、宮城県沖で近い将来の発生が懸念されているプレート境界型地震ともメカニズムを異にしている (図 14: 気象庁)。

震源は全体としてはほぼ南北方向に配列しているが、前震の震源域と本震の震源域とは住み分けしているように見られる。また、地震発生直後の時空間分布からは、①本震の前に地震活動域が北方へ拡大したらしいこと、②本震発生と同時に活動域は東へ約 5 km、北へ約 4 km ステップ的に拡大したこと、③本震発生後、地震活動は次第に浅くなったこと、④最大余震は全体の最北端で発生したこと、⑤前震の発生位置付近は余震活動が低調であったこと、等が報告されている (防災科研)。

発震機構については、大部分が北西-南東ないしは東西方向に圧力軸を有する逆断層型なのに対し、最大余震は同じ逆断層型ながら圧力軸方位はこれらと大きく異なる北東-南西方向となっている。なお、本震については初動極性による解が北西-南東主圧力軸の逆断層型なのに対し、CMT 解は東西主圧力軸の逆断層型を示しており、震源過程が複雑であったことを示唆している (図 15: 防災科研)。

東北大学からは、震源近傍で実施された14点の稠密臨時地震観測のデータを加えた詳細な震源分布が報告された。ルーチン観測結果と比較して、震源分布は全体としてかなり浅くなり、余震域の北側では東西方向の断面で余震分布の厚さがもっとも薄くなるのに対し、南側では北西-南東方向の断面で厚さがもっとも薄くなった。これは、震源域の北側と南側で断層面の走向が異なっていることを示唆し、実際、余震の震央分布は北側ではほぼ南北に配列するのに対し、南側では海岸線に沿うように広がっている。また、余震の発震機構解も、北側では東西主圧力軸の逆断層が、南側では北西-南東主圧力軸の逆断層が卓越している(図15:東北大)。

上記のような地震学的データに基づき、断層モデルや震源過程の解析結果がいくつかの機関より報告された。本震に伴う近地強震動記録のインバージョンでは、52°で西に傾くほぼ南北走向の断層面上で、深さ6.5kmの

地点から破壊が北向き浅い方向に進展し、大きなすべり量のもっとも浅い部分に集中したとの結果が得られた。すべり量の大きな領域が浅い場所に推定されたことは、局所的に大加速度が観測された事実と符合する(図16:防災科研)。

一方、この地震に伴って震源直近のGPS観測点:矢本では南東方向へ16cmもの水平変動が観測され、また、同様に大きな変位は、緊急に実施された震源近傍でのGPS測量結果からも確認された。さらに、地震発生前日には仙台から牡鹿半島に向かう水準測量がたまたま震源付近を通過しており、地震直後の再測によって、この地震に伴う地殻上下変動が明確にされた。鳴瀬町付近では最大14cm程度の隆起が観測されている。なお、干渉SARによる解析によっても、本震の東側付近で大きな地殻変動のあったことが確認された。これらのデータに基づいて、地理院からは2枚の断層面からなる震源モデルが提出された。南側の断層面は上端の深さ約4km、大きさはほぼ5km四方で北西に38°で傾き、約1mの逆断層性すべりを生じ、一方、北側の断層面は上端の深さ約1km、長さ6km、幅7km程度で西に37°で傾き、約1.1mの逆断層性すべりを生じたとしている(図17:地理院)。南側の断層面は前震の発震機構解、および本震の初動極性による発震機構解に調和し、北側の断層面は本震のCMT解による発震機構解に調和していることから、前震は南側の断層面が発生し、また、本震は南側の断層面から破壊を開始し、北側の主断層面に乗り移ったものと想像される。これは、上述の強震記録による震源解析結果ともよく整合している。

今回の地震は旭山撓曲および大塩背弧と呼ばれる地質構造の直下で発生したが、これらとの関連性は必ずしも明確でない。断層面を地表へ延長したあたりには、仙台湾から上陸する石巻湾断層があるため、その深部延長部分が動いた可能性も考えられる(産総研)。ただし、M6程度の地震は全国どこにでも発生し得るものであり、無理に活断層等と結び付ける必要はないのではないかと議論もあった。

今回の地震について予知に結びつくような前兆的現象は報告されていないが、今回の震源域の北側と南東側では地震活動が近年活発であり、とくに北側では2002年頃から地震活動が活発であったとの報告があった(気象庁)。また、地震波速度構造や電気比抵抗探査の結果から、当地付近は1962年宮城県北部地震(M6.5)と同様に、地震を発生させやすい素因をもった場所であったのではないかと考えが提出された(東北大)。

なお、宮城県北部における一連の地震活動に関連して、5月26日の地震が7月26日の地震に及ぼした影響や、7月の地震が長町-利府断層に及ぼした影響、また5

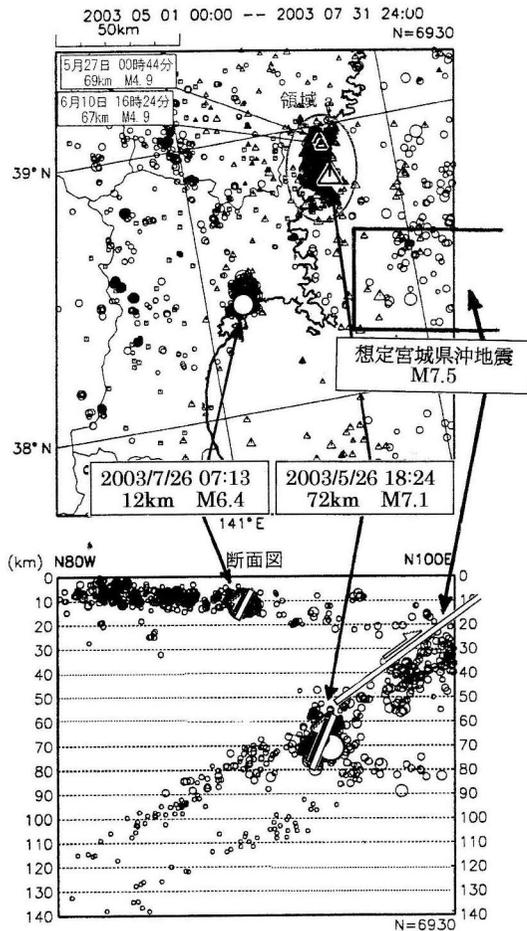


図14 2003年5月26日宮城県沖の地震、同7月26日宮城県北部の地震と、将来の発生が予測されている宮城県沖地震の関係 [第153回:気象庁資料に加筆]

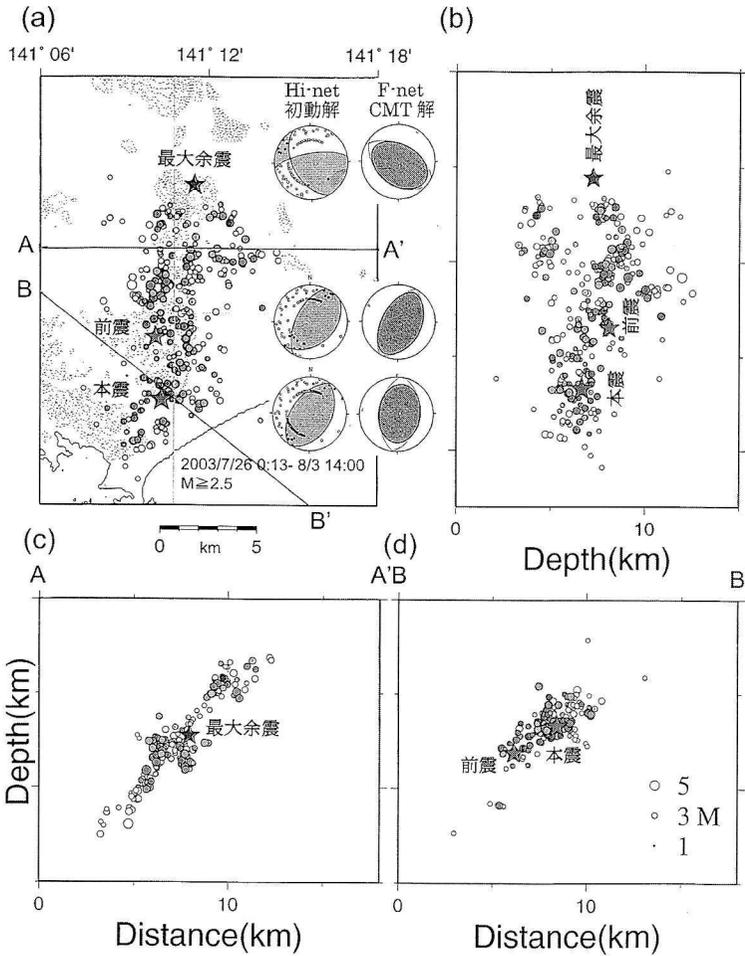


図 15 臨時観測点のデータを併合して再決定された 2003 年 7 月 26 日宮城県北部の地震の震源分布  
 星印は前震・本震・最大余震を示し、発震機構解は左が初動極性によるもの、右が CMT 解を示す。(a) 震央分布、(b) 南北断面、(c) 北側部分の東西断面、(d) 南側部分の北西-南東断面 [第 153 回: 東北大資料・防災科研資料を合成]

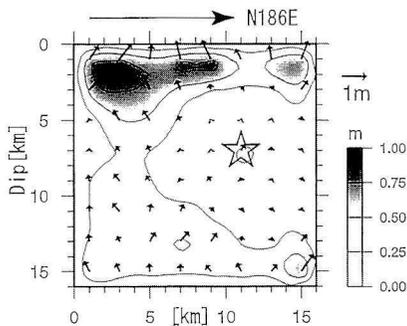


図 16 近地強震動記録から推定された 2003 年 7 月 26 日宮城県北部の地震 (M6.4) の震源過程。星印は破壊開始点、矢印はすべりの方向と大きさ、コンターはすべり量分布を示す。 [第 153 回: 防災科研資料]

月と 7 月の両地震が将来の宮城県沖地震に及ぼす影響などが、クーロン破壊関数を用いて定量的に検討されたが、その大きさはいずれも地球潮汐程度のレベルであって、直接的な影響はないであろうとの結果が報告された(気象庁)。

### 6-2. 観測の精度

第 155 回連絡会では、本来 153 回で予定されていたトピックス「観測の精度」(世話人: 岡田義光委員) が議論された。地震予知研究の基礎として、観測の重要性は論を待たない。「地震予知のための新たな観測研究計画」においては、モデリングとモニタリングの両面における進歩とその連携が、これからの地震予知研究の進むべき方向として示されている。第 148 回 (2002 年 8 月) 連絡会では、「地殻活動予測シミュレーション・モデルの開発

と実用化へ向けての問題点」と題してモデリングに関するテーマが取り上げられており、今回は、それと対をなすモニタリング技術の現状を総括することが意図された。なお、観測技術の話題としては、第146回(2002年2月)連絡会で取り上げられた「海底諸観測の開発状況」に次ぐものである。

我が国では、阪神淡路大震災を契機として発足した地震調査研究推進本部の方針のもとに、全国を覆う稠密か

つ高精度の地震およびGPS観測網が急速に整備され、モニタリングの能力は飛躍的に増大している。「最近の地震観測の精度～気象庁における地震観測業務～」(気象庁：原田智史)では、一元化以降の気象庁ルーチン地震観測における震源決定能力の向上と、近年の震源分布の精密化(図18：気象庁)に加えて、西日本における低周波地震の発見など質的な向上も図られていることが紹介された。

「GPS連続観測網の精度」(地理院：畑中雄樹)では、GPS観測における各種の誤差要因と、地理院ルーチン観測においてそれらを克服する試みが紹介され、精度向上の状況と、依然残る大気遅延による誤差の問題が詳説された。「人工衛星からの地殻変動観測」(宇宙航空研究開発機構：島田政信・大澤右二)では、運用を止めてしまったJERS-1に代わって2004年打ち上げられる予定のALOS衛星を用いた干渉SARの概要説明とともに、複数の衛星によって3時間ごとのSARデータを得る将来技術の紹介がなされた。

「海底地殻変動観測の到達点～宮城県沖データによる再現性評価～」(海上保安庁海洋情報部：藤田雅之)では、宮城県沖の日本海溝近くで水深1,700mに設置した海底基準点での観測結果が報告された。海水温分布の変動の影響や、RTK-GPSによる船位決定誤差等の問題はあるものの、条件さえよければ5cmの再現性が得られ、海底が年間10cm程度で西方に移動していることが確認されている。「地下水観測の意味するもの～地殻変動センサーとしての地下水の能力～」(産総研：小泉尚嗣)では、地下水位の変化を体積ひずみの信号として捉えることによって、より物理的・定量的な議論を可能とする方向性が示された。

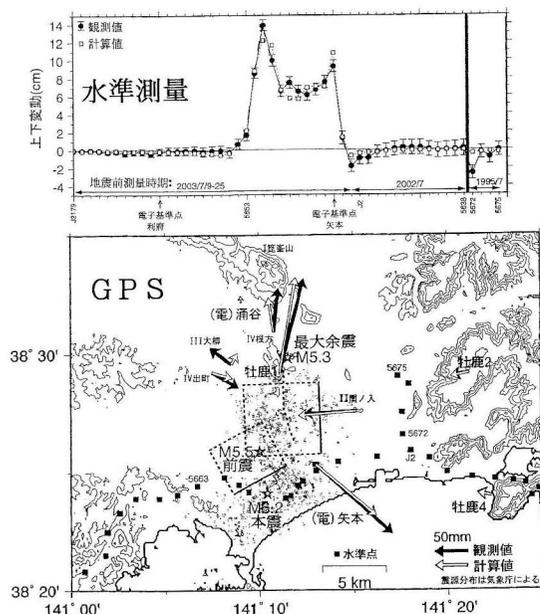


図17 地殻変動データから推定された2003年7月26日宮城県北部の地震の断層モデル。北側断層面直上の破線は旭山拗曲、黒四角(■)は水準点、背景は余震分布を示す。[第153回：地理院資料より合成]

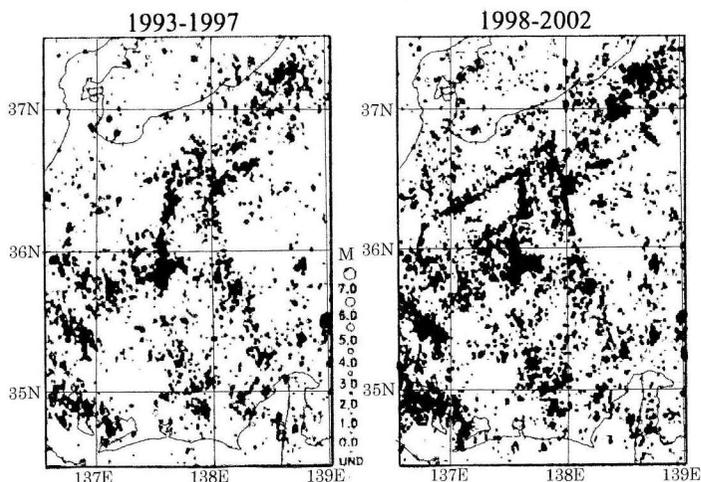


図18 一元化処理の開始された以前(左)と以後(右)における中部日本の震源分布の比較 [第155回：気象庁資料]

# ■ 書 評 ■

## ● 新しい地震システム科学

菊地正幸 著

### リアルタイム地震学

評者 石田瑞穂

リアルタイム地震学という言葉が、一般的に取り上げられるようになったのは、日本ではおそらく1995年兵庫県南部地震以降であろう。当時、カリフォルニア工科大学ではアメリカ地質調査所との共同プロジェクト“CUBE”を、自治体、企業、公共機関などを取り込んで進めていた。CUBEの目的は、リアルタイム地震情報を災害軽減に役立てることであった。

著者は、CUBEに触発され1995年以前からリアルタイム地震情報システムの構築を試みていたが、1995年以降は、企業や国の研究機関でもリアルタイム地震情報を用いた防災システムの構築を試みるようになり、様々な目的に即した情報の提供が工夫されるようになった。著者は、本書完成には3年を要したが、その過程で近年急速に深まった地震発生過程に関する多くの知見を取り込み、結果としてリアルタイム地震学の今後の方向性を示すことができたと言う。

本書は、第1章の基礎から第5章の今後の方針まで全5章から構成されている。第1章地震波と震源では、本書を理解するために必要とされるであろう基礎知識が、簡潔にまとめられている。まず、地震波が多重構造を持つ媒体中を伝播し地表に達した時にどのような波が励起されるか、震源からはどのような地震波が放出されるか、ダブルカップルやCLVDとはなどを直感的に解りやすい図で説明している。さらに断層パラメータ、震源時間関数とモーメント速度関数、断層運動に関係した応力変化など、後の章で震源過程を理解するために必要な基本方程式が示される。

第2章地震情報システムでは、地震防災情報として最も一般的な指標である震度やマグニチュードなどの意味と求め方から、一般論としての強震計と地震計の基本的な仕組み、さらに最近の高性能デジタル地震計までを簡潔にまとめ、最後に、近年の高速データ通信システムの導入によりリアルタイム震源解析が如何に促進されたか

などが示される。

第3章リアルタイム防災システムでは、災害の軽減を目指して、様々な機関で構築されたリアルタイム地震情報システムが紹介される。ここでは、リアルタイム地震情報を大きく二つに分けて、一つは主要動到達前の「即時情報」で警報システムなどへの利用を目的とした情報、もう一つは地震動到達後の「直後情報」で早期被害状況把握などを目的とした情報としている。この章の特徴は、地震学における知見が、企業、自治体、国などの地震情報システム構築にどのように生かされているかを、それぞれが用いた地震観測網の特徴と一緒に示されていることである。

第4章得られた震源パラメータでは、インターネット回線や衛星回線を介して全世界の地震波形データが準リアルタイムで利用可能になった1990年以降に、著者により即時に解析された世界の主な地震45個の震源過程解析結果が示されている。巨視的震源像から微細構造までの震源過程に関する一連の記述や、破壊伝播の不規則性をモデル化したバリアモデルとアスペリティモデルに関する震源過程に基づく解釈は、まさに著者の独壇場と言えよう。

第5章地震予知計画との関わりでは、著者がリアルタイム地震防災研究と地震予知研究計画とが一体であると考えるに至った経緯とその理由が述べられている。例えば、地震予知研究で「地震の始まり」と呼ばれる過渡的段階は、震源過程の研究で大地震前の準静的すべりと呼ばれる現象と同等であり、前駆的な地震すべりをリアルタイム地震データ処理の段階で捉えることを考えるならば、リアルタイム地震防災研究も地震予知研究も同等であろうと言う。さらに地震の初期破壊過程について、準静的すべり、破壊核の臨界サイズ、すべり特性の不均一分布などに基づく解釈と、それぞれの特徴が示される。

本書は、第1章の震源解析のための基礎知識から、リアルタイム地震学と結びついた応用段階を経て第5章の地震予知研究におけるリアルタイム解析の位置づけまで、著者の地震学における研究成果の集大成である。地震学の知見を地震防災に反映したいという著者の情熱が随所に見られ、本書全体に新味を加えている。前書きでは、第4章を副産物と称し既往地震の発生メカニズムの抄録としているが、この副産物こそが著者をして“リアルタイム地震解析による「現在の解説」は「既往地震」

を「未来の地震予測」につなぐ架け橋になる”という確信に至らしめ、そうした信念の持続が本書に結実したと言える。

著者は、研究者・学生に加え国・自治体・企業などの防災担当者を念頭において本書を書いたというだけあって、図には工夫が凝らされている。たとえば、各章の参考文献には、著者、題名、掲載誌名に加え、内容の紹介が2・3行でまとめられている。また、いくつか挿入されたコラムは、その章を理解するための応用例や具体例として、幅広い読者層のどの層の読者にとっても役立つものである。地震波の解析プログラム（FORTRAN）のパッケージをWeb上で公開する予定とのことなので、本書を読み興味を持たれた読者は是非自ら解析を試みると良い。

<東京大学出版会、2003年1月、A5判、222頁、本体3,800円>

## ● 最新版 大学院生向け教科書

菊地正幸 編

### 地殻ダイナミクスと地震発生

評者 梅田康弘

大学院重点化に伴って大学院大学となった大学院では、大学院生の定員を増やすとともに、幅広い専攻分野から院生を受け入れるようになった。地球惑星関連の研究科にも、学部学生時代に固体地球科学の講義を受けていない大学院生が増えている。すなわち現在は大学院において、地震学や測地学といった専門課程を履修してきた院生と、それらを履修しないで物理や地質学を履修してきた大学院生が、同じ専攻課程の、同じ分科に属している。従って、学部専門課程の上に成り立っていたそれまでの大学院教育とは違って、専門外の院生を早急に専門分野の学部履修課程のレベルにもっていく必要が、今の大学院教育に求められている。

本書はそういう大学院教育のための教科書を意図しており、はじめて固体地球物理学を学ぶ大学院生にとって最適の書と言える。はじめはやさしく読者を引き込み、徐々にレベルを加速して、最終的に大学院修士課程のレベルに達している。

編者が述べているように、本書は3つの主要な構成部分から成り立っている。1章では地震の発生場としての断層の深部構造の解明が、最新の観測成果、特に流体との関連についてダイナミックに論じられている。2章では近代の地震史が物語り風に描かれ、読み物としても興味深い。決定論的地震予知モデルとしての「時間予測モ

デル」は院生諸君の好奇心をかきたてるに違いないが、なぜそれが「確率予測」にならないかという問題提起があっても悪くはないだろう。3章では、いま最も注目されるGPS観測網の成果が十分に述べられている。豊富な図が用いてあり直感的に理解しやすいが、もう少し図の説明を丁寧にするか、あるいは記述をそのままにして、本文に記載した地名が図に書き入れない場合は、クイズ形式でそれを言い当てさせるという遊び心があっても本書の価値を損ねることはないだろう。

4,5,6章では、計測器・計測法・データ処理について、最新の傾斜計、地震計、重力計、GPS、SAR、VLBIのそれぞれの原理から実用まで詳しく述べられている。従来なら地震計は地震学の教科書、傾斜計や重力計は測地学の教科書というように、別々の教科書だったのが1冊の教科書にほぼ同じレベルで丁寧に記述されている。7章では震源断層が実験室で再現され、摩擦すべり特性という地震発生の基本となる重要な概念が丁寧に解説されている。8章では実際に起きた地震断層の記述の手法と、地震工学にとって重要な強震動の生成メカニズムについて記載され、さらにその予測についての将来像も書かれている。

最後の章では、破壊現象の一つである地震を複雑（破壊）系のひとつとしてとらえ、やや哲学的な観念を展開したうえで、地震発生の予測についての可能性を述べている。どの章も、その道の最先端をなす気鋭の研究者によって書かれており、その記述は魅力的であるし、すっかり納得させられることも多い。しかし、科学の先端を切り開く若い研究者はすべてに納得しないこともまた重要なことである。

<朝倉書店、2002年11月、A5判、222頁、4,000円>

## ● 水がなければ地震も起きない

笠原順三・鳥海光弘・河村雄行 編

### 地震発生と水

—地球と水のダイナミクス—

評者 小泉尚嗣

「地震発生において水の役割は重要だ」ということは筆者の学生時代（二十数年前）からすでに言われていたことだが、「水の役割」解明のための手法の発展とともに、その具体像が最近ようやく見えてきた。したがって、非常にタイムリーな出版であるといえる。しかし、この本は読んでいて非常に辛かった。筆者も「地震と水」に

関しては、それなりの専門家であるつもりであったが、この本を読んでみていかに自分の知識が少なかったかを思い知らされたからである。副題が示すように地震発生の場合として「地球」にまで対象をひろげる一方、水の物理的・化学的性質にまで踏み込んでいるので、切り口・内容とも非常に多様・豊富である。

第1章が地球内部の水とその循環、第2章が水の特性と地球構成鉱物の性質、第3章が本のタイトルと同じ「地震発生と水」、第4章が「地球の水の歴史」という構成にこの本はなっている。そのうち、筆者の興味をひいたのは、沈み込み帯における物質・エネルギー循環をモデル化して、日本列島の火山フロントの分布等を説明した部分（第1章の2）、「水はわれわれのまわりにあふれているが、実は非常にかわった物質である」というこぼの意味を緻密に検証する部分（第2章の1と2）、水で飽和した弾性体の力学について、物理的イメージを明確にしつつ見事にレビューし記述した部分（第2章の4、個人的にはこの部分だけでも、この本を買う価値はあると思った）、地震発生過程を支配する摩擦構成則に与える水の影響とその意味を記した部分（第3章の1）、地震波トモグラフィーによる地殻構造調査結果から水の分布を推定し地殻内大地震への水の寄与を考察する部分（第3章の5）である。他方、実際の地下水観測からの報告が、第2章の4の一部や2頁のコラム「地下水の水位変化と地震」とどまったのは、地表付近での地下水観測から、なんとか地下深部の水に関する情報を得ようと試みている筆者にとっては寂しかった。もちろん、以上は、筆者の興味と知識に依存したものであり、読む人によって、感想は異なるであろう。とりあげているテーマによって、導入部における初心者への「気配り」に関するばらつきは見られるものの、執筆担当者による意気込みが感じられる力作ばかりであるからである。また、文献が豊富に引用してあり、これからこの分野に取り組もうという研究者にとっては非常な助けになるはずである。

あとがきにもあるように、この本は当初めざした「総合的な入門教科書」を飛び越えたものになっている。東京大学出版会では、学部学生～大学院生を読者の対象と考えていたとのことだが、一般の学部学生がこの本を読んで理解するのは難しいように思う。研究者および大学院生向けであろう。この本の内容の一部に関する専門家（と思いついて入っている人）も是非読むべき本であるといえる。

<東京大学出版会、2003年3月、A5判、392頁、本体4,800円>

## ● 電磁気法は臨床的地震予知

早川正士 著

### なぜ電磁気で地震の直前予知ができるか

評者 長尾年恭

本書は阪神大震災の後に科学技術庁が宇宙開発事業団を中心に実施した「地震リモートセンシングフロンティア研究」の成果を中心にまとめたもので、斬新な結果が数多く紹介されている。

本書を従来の地震予知に比べると、やや奇異な感じを与えるのではないかと推察される。なぜなら本書で紹介される研究分野は著者らの努力により阪神大震災以降急激に進歩したまさに発展途上の学問だからである。

本書は6章に分かれており、1章「地震のメカニズムと地震予知」、2章「地震電磁気現象とは」、3章「地震に伴う電離層内電磁気現象」、4章「地震に伴う大気圏の擾乱現象」、5章「地圏内電磁気現象」、6章「地圏と大気圏と電離層がどのように結合するのか」となっている。

1章の地震のメカニズムの部分は、記述に若干正確さを欠く面があるがこの部分だけを取り上げて、本書の価値を判断するのは必ずしも適当ではないだろう。

2章は本書を読むためのイントロに相当する。3章および4章は本書のハイライトであるが、広い周波数領域での電波伝播異常と地震との関連性の発見の経緯を含め、いわゆる地震学者には「なぜその現象と地震とを対応させたのか？」という疑問と同様、なかなか理解しがたい部分であろう。特に最も難解な所は、地震は地下での岩石の破壊（あるいはすべり）現象なのになぜ電離層にまで影響を与えるのかという点であろう。しかし、まさにそのことを著者は数多くの事例から確認し、まず統計的有意性を証明しようとしているのである。その後メカニズムを明らかにしていこうという方針である。

電離層および大気圏については、著者らのもとの専門分野であり、これまでに膨大な知識の集積があり、その性質は良く分かっている。特に既存の電波の異常伝播を使い、電離層の異常を検知するという手法は、地震学という「アクロス」と同様の概念であり、放送波という周波数・位相とも精密に制御されている信号源がすでに存在しているので、それが実用化され、空間のダイナミックな時間変動を検出することが可能となっているのである。

5章は地上観測では最も有望な周波数帯と考えられるULF（極低周波）帯（数Hzから数mHz）の地磁気観測

のまとめであり、ノイズ/シグナルの分別の重要性が謳われている。著者は6章で「地圏・大気圏・電離圏結合仮説」を提唱しており、そのカップリングメカニズムとして1) 電磁チャンネル、2) 音波チャンネル、3) 化学チャンネルの3つのメカニズムを提出している。

本書によって、地震を単に地圏内の現象として捉えるだけでなく、電離層を含めた地球表層部のエネルギー循環と捉えることが本書の内容の理解を助けるものと思われる。

今、地震電磁気学は新しい段階を迎えている。これまでの時系列の対応だけから、その異常の空間的關係(震源と異常の発生源)も示されるようになり、ようやく電磁現象発現メカニズムを議論できる段階にさしかかっている。

地震予知研究には、地震全サイクルの解明から地震予知を目指す、いわゆる“演繹的方法(医学で言えば基礎医学)”と本書が目指すような“帰納的方法(臨床的)”が考えられる。現在はあまりに演繹的方法に偏りすぎており、帰納的方法とのバランスも大切なのではないか。本書により全く新しいアプローチを用いて、帰納的方法もここまで進歩しているということが確認できるであろう。

＜日本専門図書出版、2003年4月、B6判、204頁、1,200円＞

## ● 関東大震災 80周年

### 武村雅之 著 関東大震災 大東京圏の揺れを知る

評者 福和伸夫

今年のゴールデンウィーク、近くの大型書店に出かけたら、東海地震コーナーがあった。何気なく目を向けると、黄色い表紙の「関東大震災」が目立っていた。手にすると、著者は関東地震の達人・武村雅之氏、思わずその場で購入、期待通りの面白さに、あっという間に読み終えた。

読み手を飽きさせない理由は3つ。武村さんの地震防災に懸ける情熱、解き明かした関東地震の実像の面白さ、そして、推理小説並みの解き明かしプロセスの面白さである。特に、体験談と昔の地震記録発掘に基づく犯人探しは圧巻である。

この本は一般の人に読んでもらいたい。東京に住む人にとっては、身近な地名が随所に現れ、足下の地盤の過去と地震災害との関係など、地域と災害を実感して学べ

る。さらに、関東地震の被害の様子から当時の世相を知ることできる。

関東地震の一般向けの本といえば、吉村昭の小説くらいしかなかったが、この本で、科学的な側面から災害を読み解くことができるようになった。関東地震80周年に相応しい秀逸な本である。

この本で紹介された関東地震の解説図は、本年8月から国立科学博物館で開催された「地震展」で、一般向けに分かりやすく展示されていた。本書では推理小説風に解き明かされていたが、地震展では科学的立場から系統的にパネル展示されていた。関東地震に関する展示物の多くは、武村さんと諸井孝文さんの研究成果そのものであり、本書で示された成果の価値の大きさが良く分かる。

さて、この本を絶対に読んで欲しいのは、土木・建築技術者、そして地震学や地震工学に携わる研究者である。武村さんが解きほぐした関東地震の実像には、モノ作りや防災に活かさなければならぬ項目がたくさんある。揺れによる建物損壊と津波・土砂災害の実態、関東地震のマグニチュードと震源の破壊過程、揺れの継続時間、揺れの強さと旧地形(微地形)との相関、想像以上の余震の大きさと数などである。

本書には、日頃、武村さんがあちこちで断片的に発せられる苦言や提言が、随所に盛り込まれている。地球物理出身の武村さんが、ジェネコン研究所で、土木・建築のモノ作りを体感しながら、指摘している言葉は重い。

我が国の耐震設計基準が関東地震の揺れを拠り所になっているにも拘わらず、この種の本を建築育ちの大学人にならなければならぬ。一つは反省すべきである。一つの地震をねちっこく調べ、体験談と埋もれた記録を丹念に発掘し、相互に分析する研究態度は、現象の理解に基づく地域性の強い学問である地震学・地震工学研究では不可欠である。

我々、地域の防災研究者は、武村さんの居る東京を羨ましく思うのではなく、自分たちが武村さんのような態度で研究を進めていくべきだと感じる。各地で地域固有のデータ・資料を発掘・収集し、自然・社会現象を探索しながらモノ作りの学問との相互作用を強め、市民に地震災害の実態を広く伝える必要がある。これが、武村さんが主張する「地震博物館」の実現に繋がる。最近、中央防災会議に、「災害教訓の継承に関する専門調査会」が設置された。本書の出版や地震展の開催と合わせ、地震博物館が一步近づいたように感じる。

＜鹿島出版会、2003年5月、A5判、139頁、2,300円＞

## ● 地殻変動と周氷河作用が生んだ 北の大地

小疇 尚・野上道男・  
小野有五・平河一臣 編

### 日本の地形 2 北海道

評者 垣見俊弘

本書は、地方地形誌のシリーズ「日本の地形」全7巻のうち2巻目である。

第1巻「総説」では、前段で約130ページにわたり、大地形から微地形までを形成した、内因的（地質・地殻変動・マグマ活動など）および外因的（気候・植生・海面変動など）な営力やプロセスが解説されている。この部分は、地形学の基礎を学ぶ勝れた教科書ともなっている。つぎに各論として、変化に富むといわれる日本の地形の特徴を、山地・火山・平野・海底・自然災害に分けて記述し、最終章では列島全体の地形発達史をまとめている。このなかでは海底地形に1章を割り当てているのがユニークなところで、「日本の地形」を島弧-海溝系のなかに位置付けようとする編者らの意図が感じられる。

このシリーズは、各巻とも研究史が付され、膨大な文献を丁寧に引用してあるから、専門書に分類されるべき本である。これを「地震ジャーナル」の読者に紹介するのは、些か場違いな気もする。しかし読者の中には、地震テクトニクスや古地震の探求のために、地形に関心を持つ方も多いのではなからうか。そういう地形情報のユーザーにとって本シリーズは、最新のデータソースとして貴重かつ便利であり、また大変読みやすくできている。必要な専門用語は欄外に註記してあるのは有難い。なお、素人にも関心のありそうな話題は、別に1~2ページのコラムとして、さらに噛み砕いて説明してある。

さて、本書「北海道」では、第1章でこの島の地形とかわりの深い営力についての解説がある。この中では、地形形成環境要素（気温、降水・積雪量、植生など）を、現在（間氷期）から過去（氷期）にまで遡って具体的に論じているのが印象深い。そのあとの各論では、北海道を北東部、南東部、中央部および南西半島部の4地域に分けて記載している。

北海道には、本州以南と違った独特の地形がいろいろ

あるが、なかでも次の2点が特筆すべきだろう。

第一は、この島の外形が尻尾を南に曲げたエイ（北海道の方言ではカスベ）の形をしていることである。本州以南の島が現在の島弧-海溝系とはほぼ平行しているのに対して、北海道だけはサハリンから続く山列や盆地列が千島弧とはほぼ直交して南北に延びている。この山列の成り立ちは千島弧よりは古いが、しかし現在もまだ北米/ユーラシアプレート境界としての機能を失っていない。したがって北海道の地形はもちろん、地震活動や火山活動を理解するためにも、新しい千島弧と東北日本弧の活動と両者の会合、古くて新しい北米/ユーラシアプレートの衝突と、その日本海東縁への移動、さらには千島弧外弧の西進運動などのからみ合いを解きほぐすことが、とくに重要だろう。本書は明らかにこのことを意識的にとりあげており、各地の変動地形や、全島の地形発達史（最終章）を記述したところでは、“これが地形の解説か”と思うほど、テクトニクスへの言及が多い。

第二の特色は、この島が“雄大な北の大地”（本書の帯による）、ときには“大陸的”景観といわれるように、山地や丘陵の斜面が緩やかなことであろう。本書では、それは氷期に凍結・融解作用を強く受け、面的削剝が進んだためであるとしている。北海道は氷期には、低地を含めて全域が氷河-周氷河域となった唯一の島であるから、当然のことながら本書には、化石周氷河地形や埋没周氷河現象に関する最新の成果の紹介が多い。それどころか、間氷期にある現在でも、積雪の少ない寒冷地では、高山でなくても周氷河作用（永久凍土など）が進行しつつあるという。地質調査の経験から、北海道の地形をある程度知っているつもりだった評者も、しばしば意表を突かれるような記述に接し、楽しく読ませてもらった。

コラムのなかにも周氷河現象の記事が多いが、それ以外にも面白いテーマが紹介されている。「地震ジャーナル」の読者には、「日本海東縁変動帯」や「超巨大津波堆積物」の記事が興味深いのではなからうか。本書に限らず、シリーズ全体を通じていえることだが、良質の図や写真が非常に多くて、読むだけでなく、地形を見る楽しさも味わわせてくれる。とくにDEM（Digital Elevation Model）から作成した地形の陰影図は素晴らしい。但し、斜面や気象などのメッシュデータを示した図は、白黒のグラデーションで表現されているため、貴重な定量データが読み取り難いのが惜まれる。

<東京大学出版会、2003年8月、B5判、360頁、6,800円+税>

●新刊紹介 .....

京都大学防災研究所 編

**防災学ハンドブック**

朝倉書店, 2001年4月, B5判, 740頁, 32,000円.

竹内吉平 著

**企業の震災危機対応〔上〕 事業所の震災応急対策**

近代消防社, 2001年6月, B5判, 237頁, 2,571円.

竹内吉平 著

**企業の震災危機対応〔下〕 先進企業の震災対策(実例)**

近代消防社, 2001年6月, B5判, 322頁, 3,143円.

気象庁 著

**気象・防災六法 平成15年版**

ぎょうせい, 2003年2月, A5判, 487頁, 4,667円.

木村政昭 著

**東海地震はいつ起こるのか**

論創社, 2003年4月, 四六判, 293頁, 2,500円.

名古屋大学災害対策室 著

**東海地震がわかる本**

東京新聞出版局, 2003年4月, B6判, 235頁, 1,500円.

神沼克伊 著

**地震の教室**

古今書院, 2003年4月, A5判, 159頁, 1,800円.

宇佐美竜夫 著

**最新版日本被害地震総覧**

別冊 安政2年10月2日(西暦1855年11月11日)  
の江戸地震における大名家の被害一覧表

東京大学出版会, 2003年4月, B5変形判, 605頁,  
28,000円.

若林佳史 著

**災害の心理学とその周辺 北海道南西沖地震被災地の人たちへのコミュニティアプローチ**

多賀出版, 2003年5月, A5判, 395頁, 4,800円.

神沼克伊, 平田光司 編 神沼克伊・溝上 恵・島村英紀ほか 著

**地震予知と社会**

古今書院, 2003年5月, A5判, 147頁, 2,000円.

林 春男 著

**いのちを守る地震防災学**

岩波書店, 2003年6月, B6判, 184頁, 2,200円.

安震技術研究所 著(協力 清水建設)

**地震に強い建物 図解雑学シリーズ**

ナツメ社, 2003年7月, B6判, 223頁, 1,300円.

地震災害対策研究会 著

**東京大地震 緊急防災マニュアル**

ぶんか社, 2003年9月, A5判, 106頁, 800円.

地震災害対策研究会 著

**東京が危ない**

ぶんか社, 2003年9月, B5判, 107頁, 950円.

京都大学防災研究所 編 橋本 学・入倉孝次郎・安藤雅孝ほか 著

**地震災害論 防災学講座2**

山海堂, 2003年9月, A5判, 211頁, 3,400円.

塩崎賢明・西川榮一・出口俊一, 兵庫県災害復興センター 著

**大震災100の教訓**

クリエイツかもがわ, 2002年10月, A5判, 254頁,  
2,200円.

太平洋戦争研究会 編 阪 明・児島 準 著

**図説関東大震災 ふくろうの本**

河出書房新社, 2003年9月, A5変形判, 127頁, 1,800円.

# 執筆紹介

<掲載順>

氏名 山下輝夫

[やました てるお]

現職 東京大学地震研究所所長, 教授  
理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業, 同大学院博士課程修了, 東京大学地震研究所助手, 同助教授を経て現職

研究分野 理論地震学

著書 『大地の躍動を見る』(岩波ジュニア新書) (編著)



二耐震工学室長, 応用地震学室長, 神戸大学理学部教授を経て現職

研究分野 地震テクトニス, 歴史地震学

著書 『大地動乱の時代—地震学者は警告する—』(岩波新書), 『阪神・淡路大震災の教訓』(岩波ブックレット), 『地震予知の方法』(共著, 東京大学出版会), 『地震の事典』(共著, 朝倉書店), 『南の海からきた丹沢』(共著, 有隣新書), 『古地震を探る』(共著, 古今書院) 他

調査研究センター長を経て現職

研究分野 地震学, 地殻変動論

著書 『日本の地震断層パラメター・ハンドブック』(共著, 鹿島出版会), 『現代測地学』(共著, 日本測地学会) 他

氏名 武村雅之

[たけむら まさゆき]

現職 鹿島建設(株)小堀研究室地震地盤研究部部长  
理学博士

略歴 東北大学理学部地球物理学博士課程修了, 鹿島建設技術研究所研究員, 鹿島建設小堀研究室主任研究員, 主管研究員, 次長を経て2000年より現職

研究分野 地震学, 地震工学

著書 『大地震と都市災害』(共著, 鹿島出版会), 『20世紀の災害と建築防災の技術』(共著, 技法堂出版)



氏名 都司嘉直

[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), 『ソ連の地震予知研究事業』(地震予知総合研究振興会), 『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)



氏名 鷲谷 威

[さぎや たけし]

現職 名古屋大学大学院環境学研究科助教授

略歴 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻博士課程中退, 国土地理院地殻調査部, 同地理地殻活動研究センター主任研究員を経て現職

研究分野 地殻変動学

著書 『日本海東縁の活断層と地震テクトニクス』(分担執筆, 東京大学出版会)



氏名 清水恵助

[しみず けいすけ]

現職 九州工業大学工学部教授  
工学博士

略歴 山形大学文学部理科地質鉱物学専攻卒業, 東京都港湾局主事を経て現職

研究分野 地盤工学, 第四紀学, 地質学

著書 『地球環境調査計測事典 第1巻 陸域編』, 『土の環境圏』(共著, フジ・テクノシステム), 『明日を拓く地質学』(共著, 日本地質学会), 『東京の地盤』(共著, 地盤工学会), 『首都機能の一極集中問題』(共著, 日本学術協力財団)



氏名 石橋克彦

[いしばし かつひこ]

現職 神戸大学都市安全研究センター教授  
理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程博士課程満期退学, 東京大学理学部助手, 建設省建築研究所国際地震工学部研究員, 第



氏名 岡田義光

[おかだ よしみつ]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所企画部長  
理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程博士課程中退, 東京大学地震研究所助手(富士川地殻変動観測所勤務), 科学技術庁国立防災科学技術センター(現防災科学技術研究所)地殻力学研究室長, 地震前兆解析研究室長, 地震活動研究室長, 地震・噴火予知研究調整官, 地震予知研究センター長, 地震



氏名 伯野元彦

[はくの もとひこ]

現職 攻玉社工短  
期大学学長  
工学博士

略歴 東京大学工学  
部、土木工学科卒業、同大学院博士  
課程修了、東京大学生産技術研究所  
助手、東京工業大学理工学部助教  
授、東京大学地震研究所助教授、同  
教授、同所長、東洋大学工学部教授  
を経て現職

研究分野 地震工学

著書 『被害から学ぶ地震工学』(鹿  
島出版会)、『破壊のシミュレショ  
ン』(森北出版)等



氏名 服部 仁

[はっとり ひとし]

現職 日本大学文理  
学部非常勤講師  
理学博士、技術士  
(応用理学部門)

略歴 名古屋大学大学院理学研究科  
修士課程修了、地質調査所地質部  
長、鹿島技術研究所顧問、早稲田大  
学非常勤講師を経て現職

研究分野 地球科学、岩石学、蛍光  
X線分析

著書 『日本地質図大系』(共著、朝  
倉書店)、五万分の一地質図幅「明  
石」・「洲本」・「根雨」他



氏名 笹井洋一

[ささい よういち]

現職 東京都総務局  
総合防災部東京都防  
災専門員(主任)  
博士(理学)

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士課  
程修了、東京大学地震研究所助手、  
講師、助教授を経て現職

研究分野 地球物理学(地殻活動電  
磁気学)

著書 『地球環境調査計測事典 第  
1巻 陸域編』(共著、フジ・テクノ



システム)

氏名 石田瑞穂

[いしだ みずほ]

現職 独立行政法人  
防災科学技術研究所  
研究主監  
理学博士

略歴 東京大学大  
学院理学系研究科地球物理学専攻博士  
課程修了、科学技術庁国立防災科学  
技術センター(現防災科学技術研究  
所)研究官、地圏地球科学技術研究  
部長、総括地球科学技術研究官を  
経て現職

研究分野 地震学、リアルタイム地  
震学

著書 『日本列島の地震』(共著、鹿  
島出版会)他



氏名 梅田康弘

[うめだ やすひろ]

現職 京都大学防災  
研究所教授、地震予  
知研究センター長  
理学博士

略歴 京都大学大学院理学研究科地  
球物理学修士課程中途退学、京大  
学理学部助手、同大学防災研究所  
助教授を経て現職

研究分野 地震学、地震予知

著書 *Historical Seismograms and  
Earthquakes of the World* (共著、  
Academic Press, INC.)



氏名 小泉尚嗣

[こいずみ なおじ]

現職 独立行政法人  
産業技術総合研究所  
地球科学情報研究部  
門地震地下水研究  
グループグループ長  
理学博士

略歴 京都大学大学院理学研究科博  
士課程単位取得退学、京都大学防  
災研究所助手、工業技術院地質調査  
所主任研究官を経て現職



研究分野 地殻活動地下水学

氏名 長尾年恭

[ながお としやす]

現職 東海大学地震  
予知研究センター長  
理学博士

略歴 千葉大学理学  
部卒業、東京大学大学院理学系研究  
科博士課程修了、金沢大学理学部助  
手、東海大学海洋学部助教授を経て  
現在東海大学海洋研究所教授

研究分野 地震電磁気学、固体地球  
物理学

著書 『地震予知研究の新展開』(近  
未来社)等



氏名 福和伸夫

[ふくわ のぶお]

現職 名古屋大学大  
学院環境学研究科教  
授

略歴 名古屋大学工  
学部建築学科卒業、同大学院工学研  
究科修了、清水建設、名古屋大学工  
学部助教授、同大学先端技術共同研  
究センター教授を経て現職

研究分野 耐震工学、地震防災

著書 『東海地震が分かる本』(共  
著)



氏名 垣見俊弘

[かきみ としひろ]

現職 地学情報サー  
ビス(株)代表  
理学博士

略歴 北海道大学理  
学部地質学鉱物学科卒業、工業技術  
院地質調査所地震地質課長、同環境  
地質部長、同所長、(財)原子力発電  
技術機構特別顧問を経て現職

研究分野 地震地質学、構造地質学

著書 『地震と活断層』(共著、ISU)、  
『地質構造の解析』(共著、愛智出  
版)、『日本列島の地震—地震工学と  
地震地体構造』(分担執筆、鹿島出版  
会)他



# ADEP情報

(財)地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動

## 就 任

理事・事務局長	佐藤 敬	15. 6.28
理事 (非常勤)	竹中賢太郎	15. 6.28
監事 (非常勤)	永井 榮	15. 6.28
常務理事	塚腰 勇	15.10. 1

## 辞 任

理事・事務局長	鎮守 芳久	15. 6.27
監事 (非常勤)	小林 正孝	15. 6.27
専務理事	一色 長敏	15. 9.30

## 嘱 託

### 採 用

研 究 員	山本 俊六	15. 6. 1
-------	-------	----------

### 退 職

研 究 員	今野 広信	15. 6.30
-------	-------	----------

以上

## 編集後記

今年は関東大地震 80 周年にあたる。この地震を契機に設立されたのが東京大学地震研究所である。巻頭に同所の山下所長にエッセイを頂いたのはこのためである。関東大地震の一つ前の大地震は 1703 年の元禄大地震であり、今年はちょうど 300 周年の節目の年でもある。そこで第 1 論文に同じく地震研究所の都司氏に「元禄地震 300 年」を寄稿して頂いた。

大正関東大地震と元禄大地震とはともに相模トラフの海溝型巨大地震という点で一致している。2つの巨大地震は 220 年の間隔で発生したが、地殻変動パターンの相違から、単なる相模トラフの繰り返し活動と割り切れない。つまり次の関東大地震は 140 年先との単純な計算はできない。以前国土地理院地殻活動研究センターで活躍され、この問題点に詳しい名古屋大学の鷺谷氏に「次の関東地震」の予想を立てて頂いた。

関東大震災の被害の実態はよく知られているようで、案外知られていない。書評にも取り上げた「関東大震災—大東京圏の揺れを知る」の著者である鹿島建設(株)の武村氏に、著書の内容の一部に新たな情報を加えて頂いたのが「関東大震災：様々な

被害とその教訓」である。また東京都防災専門員主任の笹井氏には東京都の地震防災対策、地震発生時の対応等について述べて頂いた。過去を知り、未来を想定するという地震災害予測・軽減対策の基本とも言うべきこれら 2 論文の掲載は本号にとって重要な意義をもつと考える。

少し毛色が違うと思われるかも知れないが、「東京港の埋立ての歴史」は関東大地震と無縁ではない。震災時における緊急物資・復興資材輸送の重要性を目の当たりにした港湾関係者の体験がその後の東京港開港につながる。人口急増に伴う海浜地帯の埋立は地震時の地盤震動や液状化対策について多くの知見を踏まえて実施されたこともまた事実である。

紹介が後になったが、第 2 論文は「小田原地震」である。東京(江戸)直下型地震という誰も安政江戸地震を挙げるが、ここでは 70 年周期説でかつて有名であったこの M7 級地震について、神戸大学の石橋氏に書いて頂いた。既に 80 年を経過したが、少し遅れるものの次の小田原地震は必ず来ると同氏は警告する。「災害は忘れた頃に」という教訓は活かされなければならないであろう。

本号は数多くの書評を掲載した。地震研究所の菊地正幸教授は本年

10 月に他界されたが、凶らずも同教授の編書および著書を紹介することになった。同教授は当財団主催の研究会にもしばしば参加され、参加者はその広い知見と鋭利な判断力に畏敬の念を抱いたものであった。55 歳の若さでの他界は多くの人々に惜しまれ、学界にとって大きな損失であることは言うまでもない。ここに故教授のご冥福を祈る。

(Y. H.)

## 地震ジャーナル 第 36 号

平成 15 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・記事の一部を引用される場合には、必ず出典を明記して下さい。また、長文にわたり引用される場合は、事前に当編集部へご連絡下さい。

●製作/ (財)学会誌刊行センター