

# 地震 ジャーナル

57

2014年 6月

- エッセイ 自然災害の理解，共生，克服 ●大志万直人  
首都直下地震対策の基本方向 ●中林一樹—— 1  
国立科学博物館の地震資料 ●大迫正弘——14  
新潟地震における液状化被害 ●安田 進——22
- 寄書 アラビア海に出現した「地震島」 ●岡田義光——32
- 1999年イズミット地震（トルコ）に  
先立つ電気抵抗変化 ●本蔵義守——35  
次の関東大地震は来世紀中ごろ ●神沼克伊——41  
物を落として重力を測る ●坪川恒也——46  
●書評——53  
●新刊紹介——55  
●ADEP 情報——57

囲み記事 ブレーカー自動遮断装置を設置しよう／2つの体験—空襲と帰宅難民

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

## 自然災害の理解，共生，克服 大志万直人

今年の1月は、大正3年1月12日の朝に始まった桜島の大正噴火からちょうど100年という節目であり、1月12日に100周年の記念式典が桜島で開催されたが、私はその式典に出席する機会を得た。式典では、桜島に住む人たちだけではなく、鹿児島市や鹿児島県を挙げて、100年前の大噴火に関して語り継ぎ、可能な限りの防災対策を採るのだという強い意思と共に、ただ単に次の大正噴火級の噴火に備えるということだけではなく、桜島火山との共生の重要性が、何度も強調されたことに強い印象を受けた。桜島では、定期的開催される式典・行事、体験談の掘り起こし等々を通じて災害を知り、起こるであろう次の大噴火を克服しようという努力が、大正噴火以来の100年という長い年月の間、継続されてきたのだということを実感せざるを得なかった。

桜島の大正噴火といえば、小学校の運動場の隅に立つ大正13年1月の日付の入った東桜島村の桜島爆発記念碑の碑文が有名である。短い文章であるにもかかわらず、当時の状況、無念さと後世に伝えたい教訓が、読む者に的確に伝わる表現であるが、災害に関わる研究をしている者にとっては、次の部分が特に胸に刺さる。それは「住民は理論に信頼せず、異変を認知する時は、…」(原文はカタカナ使用)の部分である。「異変を認知する時は」以下は、避難をすること、また、當日頃の災害への心がけを説いているが、「理論に信頼せず」という言葉は、実に重い言葉だと言わざるを得ない。

ところで、1984年刊行の柳川喜郎氏による「桜島噴火記」という本があるが、桜島の大正噴火100周年に当たるとも、タイトルも「復刻 桜島噴火記」として、今年の1月に復刻出版された。この本は「桜島爆発の日」(野添武志編)等の大正噴火経験者の体験談をまとめた資料等を基にしたもので、著者の臨場感あふれる筆致と構成により、桜島の大正噴火が引き起こした災害の状況を知ることができる。

なぜ「理論に信頼せず」と碑に刻まれることになったのかに関しては、この本を読んでいただきたいが、噴火前に発生した地震活動や島内で見られた様々な異変の発生を総合して噴火を予知・予測することが何故できなかったかの要因に関しては、100年後の現代にも教訓となる様々なことを含んでいる。

3年前の東北の震災でも、多くの場面で「想定外」という言葉が聞かれた。考えてみれば、自然を理解するため、我々は「モデル」を用いるが(理論というときもある)、この「モデル」を用いた論理の展開の際、どのような「モデル」を用いるにしろ、その適応限界がある。「モデル」としてはその適用限界の外側が狭ければ狭いほど、より真実に迫れる「モデル」であるというだけで、「モデル」を設定した際には、実は多くのことを仮定し、多くのことを捨て去っている場合がある。しかしながら、一度設定した「モデル」の世界の中でのみ思考を繰り返していると、その限界を忘れてしまうことが多くある。

真に自然界を理解する努力はしていても、絶対的真理を我々は得ることができないという意味からも、我々が自然界を理解するための基本としている「モデル」には必ず適用限界があるということを忘れずに自然現象に向き合うことで、「理論に信頼せず」という言葉の思いに、少しでも応えられるよう努力をしたいと、式典参加と「復刻 桜島噴火記」を読み、思いを新たにした。



大志万直人

[おしまん なおと]

**現職** 京都大学防災研究所所長

**略歴** 東京工業大学大学院理工学研究科 応用物理学専攻 博士後期課程修了。日本大学文理学部助手、専任講師、京都大学防災研究所助教授、教授を経て現職

**研究分野** 地球内部電磁気学

# 首都直下地震対策の基本方向

中林一樹

## はじめに

2011年3月11日観測史上6番目のマグニチュード9の地震、東北地方太平洋沖地震が発生した。地震は東日本を大きく揺らし、同時に発生した巨大津波は青森県から千葉県までの太平洋沿岸に次々と上陸し、激甚な浸水被害をもたらした。1995年兵庫県南部地震がもたらした激甚な被害から、災害名として阪神・淡路大震災と命名されたように、この災害も東日本大震災と命名された。地震と災害の二つの名称を持つのは、この二つである。

阪神・淡路大震災が発生したのは、当時首都圏で次に発生するのは内陸に震源を持つ「首都直下地震」であるとして、首都圏における都市直下型地震が議論され始めた時であった。1995年3月に東京都は初めての区部直下地震（当初はマグニチュード7.0）の被害想定を取りまとめて公表する予定であった。その直前の1月17日早朝に兵庫県南部地震（マグニチュード7.3）が発生した。東京都は被害想定調査の取りまとめを中断し、翌年に兵庫県南部地震に合わせてマグニチュード7.3で想定し直し、公表した。

阪神・淡路大震災後に、各地での地震防災の取り組みを推進するために110の都市近傍の活断層と過去に被害をもたらした海溝型地震の長期評価に取り組み、確率論的地震動分布図を2005年より毎年公表することになった。2010年時の地震の長期評価では30年以内の発生確率が最も高く評価されていたのが宮城県沖地震であったが、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震はマグニチュード9.0で、長期評価の対象としてきた地震を遙かに凌駕する巨大地震であった。既往の海溝型地震を前提として評価してきた地震

の規模を遙かに上回る“想定外”の地震であった。

この東日本大震災を経験し、地震対策の備えを進める前提とする被害想定への考え方は、阪神・淡路大震災後とは大きく異なったものとなった。次に起きると想定する地震とともに、次の地震ではないとしても科学的に将来起こりうる“最大規模”の地震も想定しておくこととなった。

南海トラフの海溝型地震としては、従来の東海地震、東南海地震、南海地震ではなく、5連動によるマグニチュード9レベルの南海トラフ巨大地震が被害想定の対象となり、新たに対策を再構築することとなった。首都直下地震としても、首都圏を直撃する地震を再検討し、新たな首都直下地震の被害想定が2013年12月に内閣府より公表され、新たな立法に基づく取り組みを進めている。

本稿では、このような動向を踏まえて「震災対策を検討し、提案していく立場」から、新たな被害想定として示された“首都直下地震”をどのように捉え、どのように備え、事前にどのように取り組んでいくのか、を考えてみたい。

## 1. 対策の側面からみた首都直下地震

### (1) 発生頻度の異なる三種類の首都を襲う地震

首都機能を担う南関東地域を襲い大きな被害を引き起こす地震として、1703年元禄関東地震、1923年大正関東地震の相模トラフ沿いの海溝型地震と、それらの発生前に内陸直下に震源を持つ直下型地震があるとされてきた。200～300年間隔の海溝型地震の直前100年くらいの間に複数回の直下型地震が発生するとして、備えるべき地震として直下型地震が位置づけられ、東京湾北部の深さ30km（中央防災会議2005）のプレート境界面に震源を設定した「東京湾北部地震」が“最も蓋然性が高く、首都機能に与える影響の大き

い”ため、対策検討の対象地震と位置づけられていた。その後、首都直下地震防災減災研究プロジェクト（文部科学省2006～2011）の研究成果として、震源の深さが20kmと従来よりも浅い位置にあると公表された。東日本大震災の後、東京都は、中央防災会議にさきがけ2012年4月に、東京湾北部地震（深さ20km）による新しい被害想定を公表し、対策の見直しを先行させた。

2013年12月中央防災会議は、東日本大震災を受けて2012年4月から検討してきた新しい首都直下地震の被害想定と対策を公表した。それによると、首都圏を襲う地震は、相模トラフで①2000～3000年間隔で発生する最大クラスのトラフ地震として元禄関東地震タイプ（過去7000年間に4回発生）、②200～400年の間隔で発生する大正関東地震タイプ、そして「過去400年ほどの記録ではこの大規模な地震の前に③マグニチュード7クラス（以下、M7）の地震が複数回発生している。このM7クラスの地震は、浅い地盤やプレート内などを震源断層域とするもので、影響範囲は相対的に大きくないが、どこで発生するかはわからない。」（中央防災会議2013、同 概要）とした。このことが対策を考える上での特徴である。

相模トラフの地震に対して発生頻度の高いM7クラスの直下地震であるが、どこで発生するかが不明であるために、フィリピン海プレート内の地震（Mw7.3）10種類、地表断層が不明瞭な地殻内の地震（Mw6.8）2種類、フィリピン海プレートと北米プレート境界に想定する地震（Mw7.3）2種類、主要な活断層に想定する地震（Mw6.8～7.1）4種類、そして西相模灘に想定する地震（Mw7.3）1種類の、19種類をM7クラスの首都直下地震として設定し、被害想定を行った。

文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会（2014）によると、そのM7クラスの首都直下地震は30年以内に発生する確率が70パーセント、相模トラフの地震のうち大正関東地震については5%と、長期評価の結果を公表した。

## （2）姿の見えないM7クラスの直下地震とその理解

どれが発生するのかわからないM7クラスの地

震のなかで、最も被害規模が大きく首都機能にも影響を与える地震として、東京都心南部の直下を震源とする「都心南部直下地震」を詳細に被害想定を行う直下型地震と位置づけた。それは、国としての「首都直下地震対策」を検討する上で、最も重大な事態を引き起こす想定地震ということであるが、その結果M7クラスの地震は“どこで発生するのかわからない”にも関わらず、首都圏の多くの地方公共団体（地域自治体）にとって「我々の地域は震度6弱以下で、そんなに大きな被害にはならない」との誤解を引き起こす可能性がある。従って、都県とくに市区町村にとっては、自地域の最も厳しい状況を想定する基礎として、19の地震の想定震度の最大震度を集成した図1が首都直下地震対策を検討する上での基本として公表した。少なくとも、各自自治体の被害想定では、図1の「想定震度」を前提として想定調査を進め、対策を検討していくべきである。そして、下町低地の地域では、「震度7も発生しうる」ことを想定しておかねばならないのである。

## 2. 内閣府による首都直下地震の被害想定について

中央防災会議が2011～2013年に行った被害想定調査と対策の検討では、科学的に想定しうる最大の首都圏を襲う地震としたM8.6の相模トラフ地震については、被害想定は行っていない。被害想定は、M7クラスの直下地震とM8クラスの大正関東地震タイプの地震について行った。

19の直下地震のうち、建物などの直接被害が最大規模で、首都機能にもっとも大きな影響を与える直下地震を新たに「都心南部直下地震」として、発災後おおむね1か月間における被害の様相を量的質的に想定した。また参考として、現状で大正関東地震が発生したときの被害状況についても、直接被害について想定した。

### （1）想定震度の分布

都心南部直下地震は、下町低地と多摩川下流部の沖積地域、埋立地を中心に区部南部の台地上にも震度6強の区域が広がり、それを取り巻く

40 km圏域に震度6弱の区域が広がっている（図2）。江東地区の埋め立て地の一部に震度7が想定されているが、震度7問題よりも震度6強の区域に震度7に近い強い揺れの地域があると理解し、対策を推進すべきである。

一方、数百年間隔ということでも30年以内の発生確率が5%と長期評価された大正関東地震タイプの地震では、南関東地域の南部を中心に震度6強以上の地域が広がる（図3）。とくに震源直上で震源も浅くなる神奈川県では、相模川流域の沖

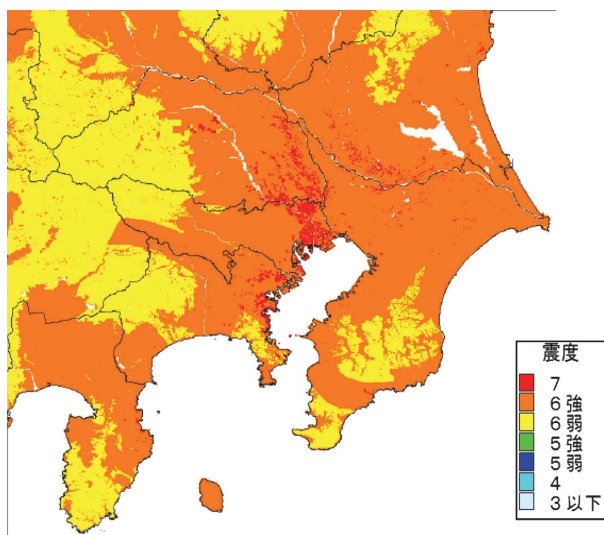


図1 首都直下のM7クラスの19の地震を重ね合わせた震度分布（中央防災会議2013）

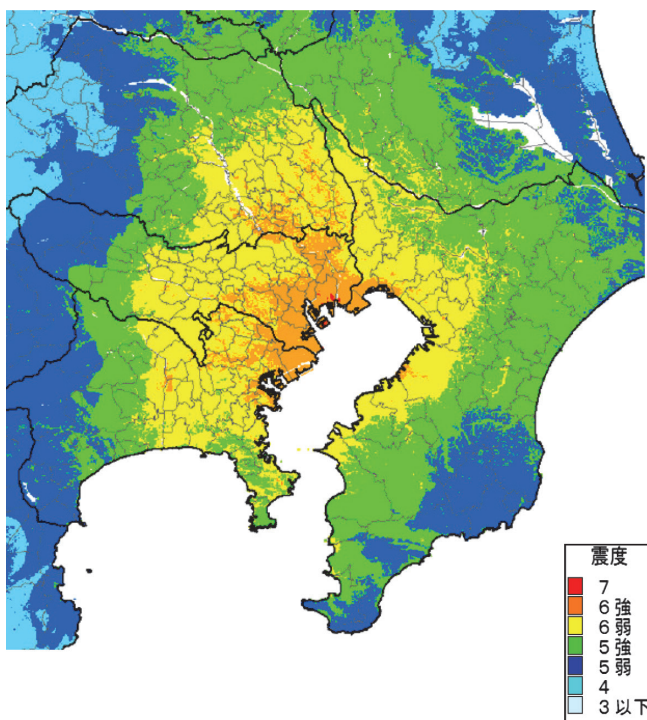


図2 都心南部直下地震の想定震度分布（中央防災会議2013）

積地域を中心に広範に震度7の地域が広がる。1923年の大正関東地震がそうであったように、相模湾の沿岸域には、地震動と液状化による被害とともに、津波の発生も想定されている。

## (2) 建物の被害想定

建物の被害は、地震の被害発生メカニズムの起点となる、想定におけるもっとも基礎的な被害項目である。建物被害は地震動の強さに比例して発

生するが、建物の耐震性能によって異なる。被害想定に用いた震度別・建物築年別に見た全壊率は、図4のとおりである。

2005年に公表した中央防災会議の首都直下地震の被害想定では、1981年以降に築造された建物を「新築年」として、阪神・淡路大震災時の西宮市における全壊率から震度別に推計していたのであるが、新耐震基準による築造も、特に木造建

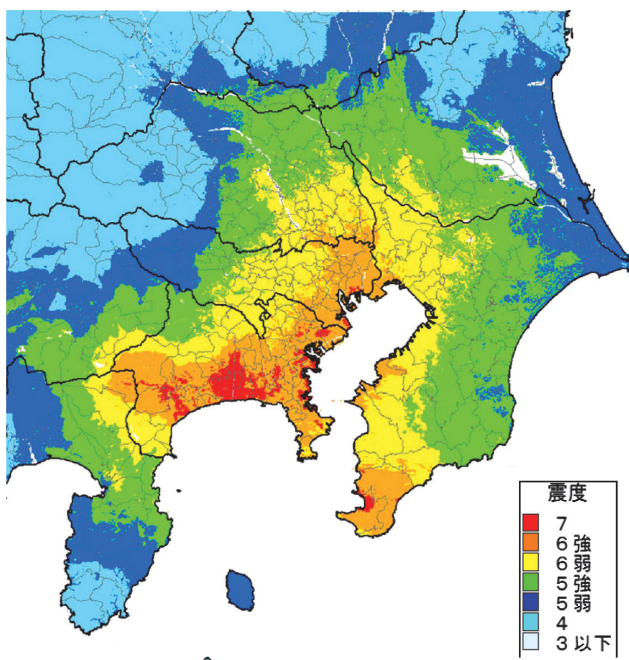


図3 関東大震災タイプ地震の想定震度の分布（中央防災会議 2013）

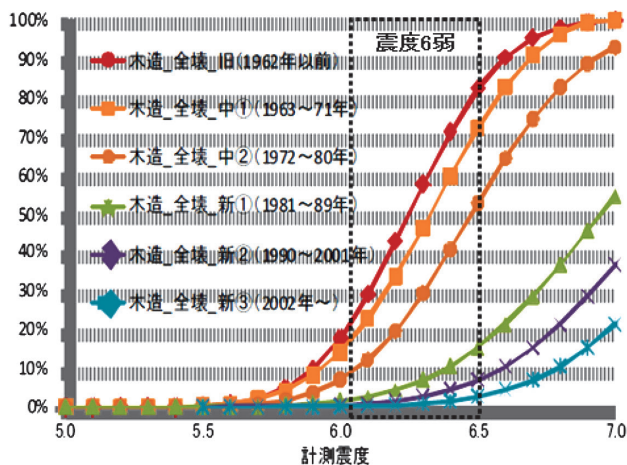


図4 震度別・築年別の木造建物全壊率（中央防災会議 2013 に加筆）

物では2000年に設計仕様を示されるまでは強度がばらついていたといわれ、2003～2008年までの間に発生した7つの被害地震から、1981年以降の「新築年」の区分を、1981～1990年、1991～2000年、2001年以降、に再区分して全壊率を

求め、建物の被害想定をおこなった。

このことは、1981年以前をさらに二区分したものと併せて、単に被害想定を高精度のみならず、震度6強の地震動に対しては、新築年でも被害率に大きな格差があり、新築年でも2000

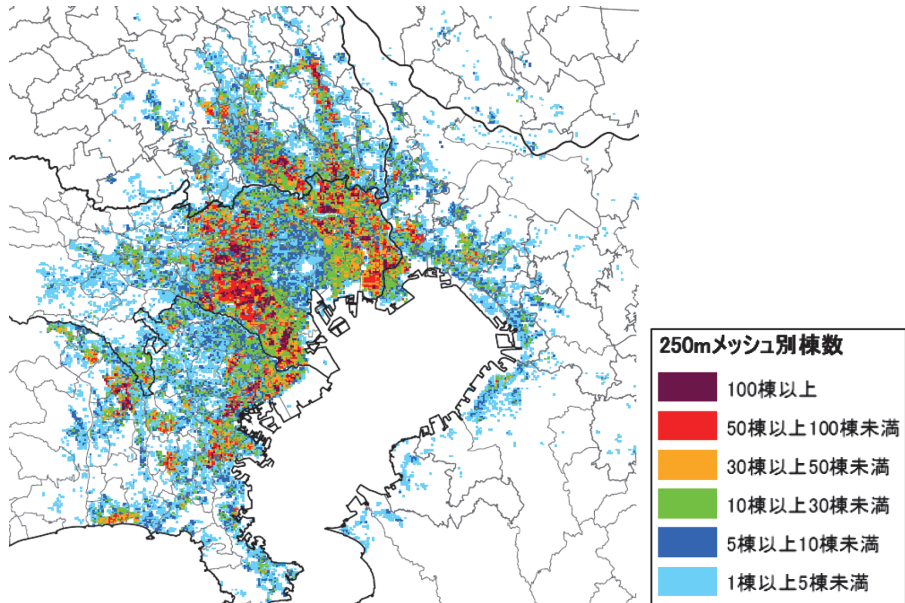


図5 都心南部直下地震における想定建物被害（全壊・全焼）の分布（中央防災会議 2013）

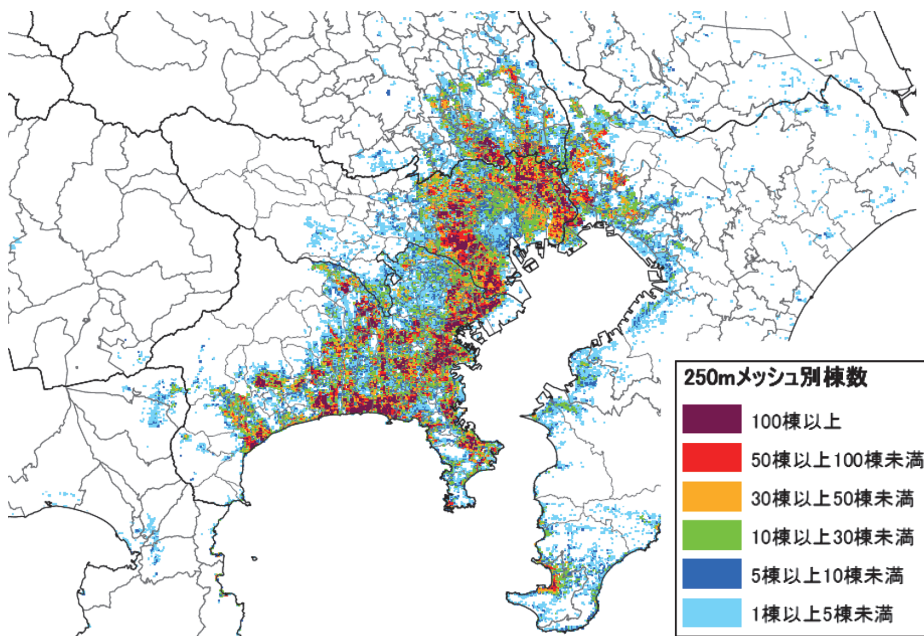


図6 関東大震災タイプ地震における想定建物被害（全壊・全焼）の分布（中央防災会議 2013）

年以前の築造の建物については、耐震診断を行い、必要であれば耐震改修を進めることが必要になっていることを示しているのである。とくに高齢社会においては、高齢者が自宅での生活を失うことは「震災関連死」につながる可能性が高くなることに注目した対策の重要性を示している。

建物被害想定イメージは図5および図6である。震度分布にしたがって建物の地震動被害が分布する一方、建物被害が集中している地区は火災による延焼区域である。地震火災の出火率が建物の全壊率に比例するために、マクロには震度分布と地震動被害の分布に比例するが、延焼被害は木

造建物の密集度の高い地区に想定されることになる。

都心南部直下地震では、冬の夕方の地震発生で全出火件数が約2,000か所、その多くを初期消火によって消し止めるが、約600か所で炎上火災となり地域に延焼が広がると想定した。阪神・淡路大震災の地震火災における時間経過ごとの出火件数と出火原因は、表3である。これと同様に地震後に地震火災が発生すると考えれば、都心南部直下地震では発災後15分間で600件の出火があり、うち180件が初期消火に失敗して炎上火災となる。その後の2時間では400件の出火があり120

表3 阪神・淡路大震災における地震火災の時間別出火件数と出火原因

出火の日時		炎上火災の出火件数		出火原因	件数
1月17日	5:46~6:00	87件	31%	電気関係	85件
	6:00~8:00	54件	19%	ガス関係	13件
	8:00~12:00	42件	15%	火種関係	12件
	12:00~24:00	22件	8%	石油関係	6件
1月18日		21件	7%	灯火	5件
1月19日		20件	6%	その他	18件
1月20日~26日		39件	14%	不明	146件
合計		285件	100%	合計	285件

資料：「地震災害の事典」（土岐・岡田編，2001）から筆者が作成。



図7 阪神・淡路大震災における神戸市兵庫区での振動被害と焼失被害  
 (都市計画学会等(1995)の建物被害状況図から火災被害建物を筆者が集成)



件の炎上火災となる。さらにその後の4時間で、300件の出火があり210件は初期消火するものの90件が炎上する。すなわち、地震からの約6時間で、1300件の出火のうち910件の出火を初期消火するが390件の炎上火災が発生するという想定となる。そのうち多くの炎上火災は数棟以内の延焼でとどまるかもしれないが、道路閉塞などの状況下(図8)で消火活動も困難となり、大きく延焼拡大する火災も少なくないと想定されている。

関東地震タイプでは、東京区部を取り巻く木造密集市街地に加えて地震動が強くなる神奈川県南部にも火災被害が広がる(図6)。

### (3) 首都直下地震で想定された被害の概要

表3は、都心南部直下地震と大正関東地震タイプの地震の被害想定結果の概要である。

都心南部直下地震では、震度6弱以上の強い揺れの地域で地震動に暴露される人口が2,970万人、建物が671万棟である。最大規模の被害は、死者が夕刻で23,000人(圧死等(深夜)11,000人、焼死(夕刻)16,000人)、負傷者123,000人で、また全損建物は夕刻で61万棟(全壊20万棟、全焼41万棟)である。死者には“逃げまどい”として、2005年の首都直下地震の被害想定では想

定しなかった避難途上での焼死者を含んでいる。

大正関東地震タイプの地震では、震度6弱以上の強い地震動に暴露される人口が3,200万人、建物が730万棟と推計される。その最大規模の被害は、死者が夕刻で70,000人(圧死等30,000人(深夜)、津波で11,000人(深夜)、焼死37,000人(夕刻))、負傷者240,000人と想定された。また夕刻で全損建物が133万棟(全壊51万棟、津波3,000棟、全焼82万棟)である。大正関東地震タイプの地震では、震源直上の地域に広範に震度7の強い揺れが想定され、現状の市街地に対しては、都心南部直下地震に比べて建物倒壊被害が2.5倍、焼失被害が2倍になると想定された。

### (4) 切迫する巨大地震災害のインパクト

30年以内の発生確率が70%と長期評価されている首都直下地震、南海トラフ地震、同じく5%と長期評価された大正関東地震タイプの地震の被害想定を、近年の阪神・淡路大震災や東日本大震災と比べると、被害規模では数倍から十数倍で、特に南海トラフ地震の想定被害は“桁違い”ある。しかし、その被害のインパクトは規模だけでは測れない。そこで、核の大規模地震・津波災害について、発生当時の日本人口1万人に対して何人の

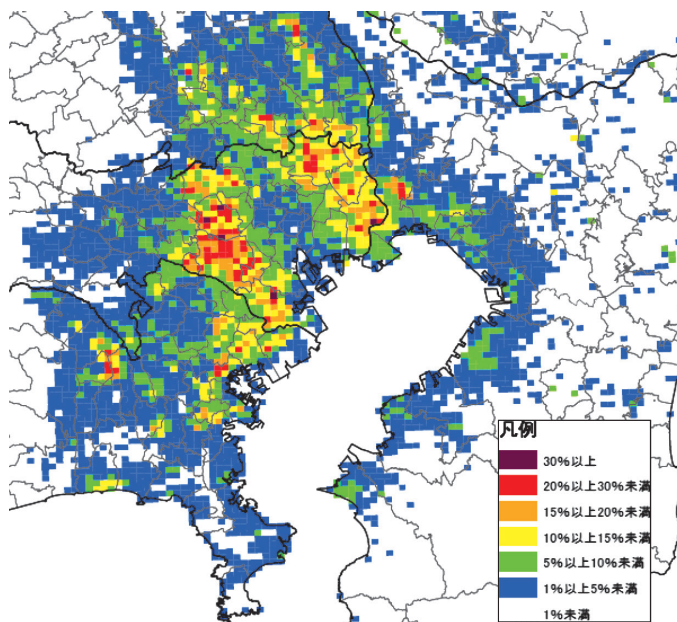


図8 都心南部直下地震時の道路閉塞状況(中央防災会議2013)

表 3 都心南部直下地震と関東大震災タイプ地震の想定被害の比較

被害想定項目と発生確率		都心南部直下地震	関東大震災タイプ地震
発生確率	30年以内	70%	5%
	50年以内	80%	10%
震度6弱以上の地震動に暴露される建物と人口	建物棟数	6,710,000棟	7,300,000棟
	人口	29,700,000人	32,000,000人
建物の被害	揺れによる全壊	175,000棟	480,000棟
	液状化による全壊	22,000棟	30,000棟
	急傾斜地崩壊による全壊	1,100棟	2,000棟
	津波による全壊	—	3,000棟
	地震火災による焼失(最大)	412,000棟	820,000棟
	建物全損被害の合計	610,000棟	1,330,000棟
人的被害	建物倒壊による死者	(深夜) 11,000人	(深夜) 30,000人
	(家具転倒や屋内落下物の死者)	(うち1,100人)	(うち3,000人)
	津波による死者	—	(深夜) 11,000人
	地震火災による死者	(夕方) 16,000人	(夕方) 37,000人
	死者数の合計	(夕方) 23,000人	(夕方) 70,000人
	負傷者数	(夕方) 123,000人	(夕方) 240,000人
	揺れによる自力脱出困難者	58,000人	180,000人

資料：中央防災会議・首都直下地震対策検討ワーキンググループ（2013）からの集成。ただし、関東大震災タイプ地震における震度6弱以上に暴露される建物棟数と人口は筆者の推定。

死者となったのか、という比率を計測した(表4)。

それによると、南海トラフ地震の最悪ケースは関東大地震(1923)を超えているが、115の都市が罹災した太平洋戦争の空襲のほうがインパクトははるかに大きく、大正関東地震タイプの地震も、都心南部直下地震も、人的被害というインパクトでは、安政年間に連続した地震災害も超えるものではない。しかし我々は、これらに備えることができる。我々にはさらに被害を減らすことが可能であり、着実な災害予防の推進こそ重要なのである。

#### (5) 首都機能を支えるライフライン等の影響

阪神・淡路大震災や東日本大震災では、火災焼失地や津波被災地を除いて、ライフラインの復旧には電気約1週間、通信2週間、上水道2~3か月、都市ガス3か月であった。なお、東日本大震災ではプロパンガスが多く、ボンベと機器を持ち込む応急復旧が行われた。

都心南部直下地震でのライフライン等の被害とその復旧状況の想定を整理すると表5である。電力、通信、都市ガス、鉄道、首都高速道路などの被害想定は各事業者の協力を得て想定を行っている。すべての都市機能の基盤エネルギーである電気については、東京湾岸に立地している火力発電所が被災しないことを前提としているが、火力発電所の被災が生じると、首都圏の停電は広域化と長期化を余儀なくされる。

表5を見ると、過去の震災よりも早期に復旧するように見える。しかし、全国のみならず世界にも大きな影響を与える「首都機能」という観点からは、首都圏での都市活動に数週間も支障をもたらすということは国家中枢に対する非常事態である。ライフラインのみならず、通勤の足である鉄道が数週間も制約されることは、首都機能を支える公・民のBCP(業務継続計画)にかかわる“出勤困難”の問題を示しており、“帰宅困難”問題

表 4 過去の巨大震災と想定された巨大地震災害とのインパクト比較

震災・津波名	時代	日本人口 (万人)	死者不明者 (人)	比率 (1/1 万人)
貞観三陸津波	869	640	1,000	1.56
南海地震津波	887	640	多数	—
慶長東海・東南海地震	1605	1,200	2,500	2.08
慶長三陸津波	1611	1,200	6,800	5.67
元禄関東地震	1703	2,800	5,200	1.86
宝永東海・南海地震	1707	2,800	4,900	1.75
安政東海・南海地震	1854	3,100	20,000	6.45
安政江戸地震	1855	3,100	10,000	3.23
明治三陸津波	1896	4,200	22,000	5.24
大正関東地震	1923	6,000	100,000	16.67
(参考) 太平洋戦争空襲	1945	7,600	331,000	43.55
阪神・淡路大震災	1995	12,400	5,500	0.52
東日本大震災	2011	12,600	18,600	1.48
都心南部直下地震	20XX	12,000	23,000	1.92
南海トラフ地震	20XX	12,000	320,000	26.67
大正関東地震タイプ地震	21XX	11,000	70,000	6.36

資料：900年、1600年の人口は鬼頭宏（1996）「明治以前日本の地域人口」、1600年、1700年の人口は社会工学研究所（1974）「日本列島における人口分布の長期時系列的分析」、1850年の人口は森田慶三（1944）「人口増加の分析」、1896年の人口は内務省（1930）「明治5年以降我国の人口」、1923年以降は国勢調査からの概数、将来人口は筆者の設定、死者数は「理科年表2012年版」と中央防災会議（2013他）の各被害想定。

以上に重大な課題なのである。

それ以上に大きな課題は、発災直後からの自動車交通の混乱問題である。発災と同時に都心・副都心地域を取り囲む木造密集市街地で同時多発する火災に行く手を遮られる自動車は、路上にあふれ、首都高速道路からも自動車が地上に下ろされれば、環状7号線内外の木造密集市街地に取り囲まれた都心・副都心地域の道路交通は完全にマヒ状況となろう。道路の被害はそれほど甚大に被災すると想定されていないが、自動車交通については被害想定されていない。

また1か月後でも400万人にも及ぶ避難生活者の生活確保の課題は、同時にBCP要員確保の問題でもあり、重大である。

オープンスペースの少ない東京大都市地域では、避難所解消と迅速な復旧のカギとなる応急仮設住宅など仮の住まいの確保の問題も大きい。そ

れは自衛隊や緊急消防援助隊などの活動拠点、応援ガレキの処理、ライフライン復旧作業拠点など“迅速な復旧と着実な復興”に向けて、オープンスペースの合理的かつ効果的な活用という課題である。

さらに、通勤のみならず業務活動の足を確保する鉄道と空路、物流を確保する港湾や道路交通と海上交通の確保は、広義のライフライン機能といえるが、これらの人流と物流の障害の長期化は、3000万人に達する暴露人口の生活にも影を落とす。とくに首都圏の最大の物流拠点である東京湾の臨海地区も、埠頭の耐震バース化の遅れによる被災は、液状化の影響を受ける港湾と内陸をつなぐアクセス道路とともに、物流に多大な障害をもたらす。首都圏に物不足を引き起こす可能性がある。その物流支障は、人々の生活のみならず、産業活動のサプライチェーンにも大きく影響する。

表 5 ライフライン等の被害状況の推移

被害事項		サービス人口	被災直後	1日後	1週間後	1ヶ月後
上水	影響人口	46,562,000人	14,440,000	13,545,000	8,516,000	1,402,000
	断水率	100%	31%	29%	18%	3%
下水	影響人口	38,580,000人	1,499,000	1,499,000	1,199,000	50,000
	支障率	100%	4%	4%	3%	—
電力	供給停止	5,300万kw	2,700万	2,500万	300万	*0万
	支障率	100%	49%	48%	6%	*0%
通信	不通回線	9,683,000回線	4,687,000	4,653,000	*4,500,000	919,000
	不通率	100%	48%	48%	*48%	9%
	携帯電話（停波基地局率）		4%	**46%	*46%	9%
ガス	供給停止	9,390,000戸	1,587,000	1,505,000	1,257,000	485,000
	支障率	100%	17%	16%	13%	5%
帰宅困難者		外出1,700万人	800万人	800万人	—	—
避難者	避難所	在宅2,000万人	—	180万人	***290万人	120万人
	避難所外		—	120万人	***430万人	280万人
	合計		—	300万人	***720万人	400万人
道路	幹線道の中小被害	高速道620所 幹線道120所	多くの道路が通行不能	交通規制も緊急交通難	高速道・国道（多く）回復	主要道路交通回復
鉄道	鉄道の中小被害	中小被害840所（大被害なし）	新幹線含む鉄道全線で運行停止	震度5強以下の区域で運航再開	新幹線全線地下鉄一部の運航再開	震度6弱以上でも60%回復
港湾	重要港湾の岸壁	全923岸壁の250岸壁が被災	全港湾機能航路の停止	優先航路啓開・緊急輸送	—	航路啓開し復旧拡大 大被害港湾の復旧2年

資料：中央防災会議・首都直下地震対策検討ワーキンググループ（2013）からの集成。\*：定性的記述から筆者の推定。\*\*：非常発電以降も継続する停電で基地局の機能停止のため。\*\*\*：報告者では2週間後に避難者がピークに達するとしている。

都心南部直下地震の被害想定では、生産・サービス低下による損失が1年間で47兆円に達しうると想定した。

### 3. 想定しておくべき首都の複合災害

中央防災会議（2013）の報告書では、被害想定を上回る「過酷事象等への対応」を求めている。M7クラスの首都直下地震における過酷事象として、①海岸保全施設の沈下・損壊、②局所的な地盤変位による交通施設の被災、③東京湾内の火力発電所の大規模な被災、④コンビナート等における大規模な災害の発生、の事態を示した。このう

ち、①、③、④は、東京湾の臨海地区における地震災害と風水害・高潮災害との「複合災害」への備えでもあり、その発生の可能性は高いのである。①の海岸保全施設は、伊勢湾台風（1959）を教訓に整備されてきた高潮防潮堤で、50基の閘門と60基の陸間で江東地区の東京湾満潮時水位以下のゼロメートル地域を守っている。それが地震動で機能なくなると、その後の台風や集中豪雨で通常では防げる状況でも長期的な災害を引き起こす。このような「複合災害」への取り組みは想定しておくべきで、その発生の可能性は高いと考えねばならない。

さらに、これらの防潮堤など保全施設の設置場

所は戦前の東京湾の海岸線に設置されていることである。港湾施設のみならず、戦後に拡大した東京湾臨海地区の埋め立て地のほとんどは、これらの海岸保全施設の外に広がっている。③火力発電所も、④コンビナートも、防潮堤の外に拡大しており、地震災害と風水害との複合災害への備えは急ぐ必要がある。

なお、大正関東地震タイプの地震時の過酷事象としては、①津波対策、②建物等被害対策（耐震と耐火）、③新幹線・東名高速道路の被災による東西分断、④長周期地震動対策、を指摘した。このうち、②は直下地震対策としての課題でもあり、④は南海トラフ地震対策でもあり、着実な対策の進展が不可避である。

#### 4. 首都直下地震対策の基本方向

##### (1) 被害想定から読み解く災害対応策の喫緊の課題

被害想定から、災害対応策としての検討を深めねばならない課題が山積していることがわかる。その中で、二次被害と犠牲者の軽減にかかわる課題として次の二つがある。ともに膨大な人と自動車の動きの誘導規制であり、今後のビッグデータの活用技術が期待される取り組みでもある。

##### ① 大規模な同時多発火災から命を守る「広域避難システム」の確立

被害想定では東京都の密集市街地を中心に同時多発する地震火災は、感震ブレーカーの設置によって出火件数を半減することができるとともに、地域での初期消火を徹底することによって火災の被害を大幅に軽減できることが示された。しかし同時に、逃げまどいも含めて想定では16,000人もの犠牲者の可能性も示された。どこで出火し、どこまで初期消火をがんばり、延焼阻止が難しいときにはなるべく早めの避難が必要になる。しかも、どのような情報がどのように地域に示され、地域の人々が避難行動要援護者を支援しつつ、東京区部では指定された避難場所への避難を実行する。そのシステムが確立されていない。情報の伝達システムすら不確定なのである。

##### ② 走行自動車の「誘導規制システム」の構築

東京をはじめ首都圏を走行している自動車が、地震発生後にどのようにふるまうのか。未経験の取り組みであるが、東日本大震災時には、東京には被害が極めて軽微であったにもかかわらず、鉄道による公共交通手段が停止し、首都高速道路から地上に誘導された自動車と、帰宅困難者を迎える車も加わって、都内の路上は大渋滞となり、人が歩く速度のほうが早い状況をきたした。首都直下地震の被害想定では環状7号線沿線に建物倒壊と火災の被害が集中する。そこが災害対応地域であり、その地域では「広域避難」も不可欠な状況となる。しかし、東日本大震災時の状況を想定すると、走行車両を一刻も早く郊外に移動（啓開）する必要があることは明らかである。それには、首都高速道路の耐震強化を急ぐとともに、環状7号線内部の地域の走行自動車を規制し、耐震強化された首都高速道路を使って郊外に誘導するシステムが不可欠である。安全確保のために下ろすのではなく、むしろ一般道の走行車両も首都高速道路に誘導して郊外への移動を進めるべきであろう。そのような、首都圏の走行自動車の誘導規制システムの構築も急ぐ必要がある。

##### (2) 超長期・長期・短期に共通する事前防災の持続的推進

発生頻度の異なる3つの地震、2000~3000年間隔の巨大地震、200~400年間隔の大地震、そして切迫性を高めているM7クラスの直下地震、に共通する備えをどのように進めるのか。超長期にも備える地震対策の基本方向として、次の2点を提案する。

##### ① 防災教育の重層化・継続強化による「人づくり」

千年先の時代にも備える地震対策は、学校防災教育の重層化による「人づくり」で、世代をつないで災害への備えを継承し続けることである。小学校、中学校、高等学校、大学と、すべての課程に継続する「防災教育プログラム」を千年先の地震に備える社会インフラとして構築すべきである。それには、第一歩として、大学の教職課程において教員免許の基本教科として「防災教育法」

を必須科目とし、専門教科にかかわらず防災教育法を習得させる。そして幼児期から社会人に巣立っていくまで、段階的に防災教育を習得した子供は、企業での防災にも、結婚して家族を作れば家庭での防災にも取り組み、地域防災の主役となり、子々孫々に「ほうさい」が継承され、千年先につなげることが可能となる。「人間の知恵は、千年先にも老朽化しない」のである。

## ② 老朽化しない「オープンスペース」で臨海地区の首都直下地震対策の拠点に

もう一つの基本方向は、200年先にも老朽化しない「オープンスペース」の大都市圏における整備・確保である。首都直下地震から迅速な復旧・着実な復興を進めるには決定的な「空地不足」の状況がある。地盤的に安全で災害後の復旧復興に活用できる空地をどこに整備するのか。短期的には都心に近接し、最も脆弱な木造密集市街地での災害対応の拠点ともなり、首都圏の物資流通拠点でもある「東京湾臨海地区」を、安全なオープンスペースと液状化に備えたインフラ（ライフラインおよび陸海空の交通インフラ）が整備された首都直下地震対応拠点として整備することである。「2020年東京オリンピック」はその機会であり、防潮堤外に設置される多くのオリンピック施設は「仮設施設」としても、土地基盤を確保して次の地震にそなえるべきである。切迫する首都直下地震が発生したその日に、「オリンピックが東京を救った」といわれるような拠点整備である。

## ③ 直下地震からの復興を積み重ね、次の地震への備えとする長期大都市整備構想を

同時に、直下地震で被災が集中するであろう木造密集市街地の復興にあたって、道路基盤も大規模公園も少ない木造密集市街地に、次の地震の備えとしての大都市としての市街地整備を推進する長期的な取り組みである。

それには、安全なオープンスペースの配置と市街地の集約化による安全で快適な都市づくりへの「長期大都市整備ビジョン」を策定し、都市づくりに継続的に取り組むべきである。それは、長期的な相模トラフ巨大地震への備えともなる。複数回のM7クラスの地震への備えと被災からの復興

を繰り返しつつ、その先に大正関東地震タイプの地震を迎え撃つための都市づくりとなるのである。

## (3) 迅速復旧と着実復興を目指す事前復興計画ビジョンづくりを

首都地震対策特別措置法(2012)が制定された。首都直下地震対策の重要性が指摘されて20年を経て、ようやく立法された。しかし、この法律は、事前の取り組みとして、①被害軽減の災害予防対策の取り組みと、②災害対応のための準備対策の取り組みを推進することに主眼が置かれている。それは国や地方公共団体の各々の取り組みが原則となっているが、災害予防でも、災害対応でも、都県が連携して対応することが不可欠である。さらに大規模災害復興法(2012)が制定された。国、都道府県が復興方針を、市町村が復興計画を策定することが規定された。しかし地方公共団体の連携は、被災後の復旧復興においても非常に重要な視点である。

### ① 大規模地震復興法による「首都圏復興方針」の事前策定を

国は、被害想定に基づいて、人口減少時代にふさわしいオープンスペースと市街地のコンパクト化を目指した「首都圏復興方針(案)」を事前に検討しておくべきである。それはこれからの首都圏整備の長期的な羅針盤でもあり、同時に都県が準備する「都県復興方針(案)」の事前準備を促すことにもなる。

その方針を具体化するには、国土強靱化計画法においても「首都圏国土強靱化広域構想(案)」のような広域計画が検討され、「都県国土強靱化地域計画」に位置づけ、事前復興の取り組みを推進することが可能となったのである。

### ② 首都直下地震緊急対策区域の都県・区市町村における復興マニュアルの事前準備を

東京都及び19の区市では震災復興マニュアルの準備や復興推進条例の事前制定などに取り組んできている。東京都多摩地域、神奈川県、埼玉県、千葉県など首都機能を支えている地域自治体でも、被害想定に基づいて「震災復興の事前準備」に取り組むべきである。「応急仮設住宅」の建設、民間賃貸住宅の借り上げによる「みなし仮設住

宅」の供給，被災者の被災元自治体と避難先として仮居住先自治体における被災者の対応など，連携して迅速復旧と着実復興に向かうためのシステムも事前の構築しておかねばならない。

#### ④ 空地不足を補う「被災地短期借地権」の活用 方策の検討

大規模災害借地借家特別措置法（2013）において，5年間に限り被災地を借り上げる権利が創設された。これは，従来から東京都が提案してきた被災市街地を借り上げて「時限的市街地（仮設市街地）」として活用し，復興の担い手である関係権利者の離散を避けるという取り組みを可能とするものである。迅速な復旧と着実な復興が不可欠な首都直下地震対策として，この被災地短期借地権を活用する復興プロセスを検討することも，過去の大震災の反省を教訓とする望ましい復興を可能とする取り組みだと考える。

#### おわりに

中央防災会議・対策検討ワーキング（2013）の最終報告では，地震の切迫性の観点からM7クラスへの備えを中心としつつも，神奈川県，千葉県が強い揺れとなる可能性のある相模トラフ沿いの地震への対応は，先送りするのではなく，今からできる対策に計画的に対応していくことが重要で，「長期的な街の再構築，津波対策，耐震化の技術開発などを着実に推進すべきである」とした。建物の耐震化技術はM7クラスの地震対策の基本でもあるが，相模トラフ地震対策は長期的な効果を確保することが重要である。都心区域のライフライン機能の耐震強化と木造密集市街地における火災対策としても通電施設や通信施設の地下化を進め，人口減少・高齢化が進展する21世紀から22世紀における「100年の体系」に基づく長期的な災害に強い都市づくり・まちづくりとしての首都圏整備をめざす必要がある。

しかし，その基礎としては被害軽減は個人の災害予防の取り組みが不可欠なのである。個人の自助による防災の取り組みがなければ被害を軽減す

ることはできない。しかし，長期的視点に立つと，耐震化や不燃化等を推進して整備した構築物も老朽化していく。また社会の人口減少と高齢化の進展も不可避である。国も，自治体も，地域も，個人も，その時に備えるために長期的な目標に向かって国づくり，都市づくり，地域づくり，まちづくりを進めるが，最も基本は一人一人に「防災を風化」させる「防災教育」なのであろう。それは「防災の取り組みが常識となっている」人づくりであり，まちづくりなのである。

#### 参考文献

- 東京都（2012）「首都直下地震等による東京の被害想定—概要版—」
- 中央防災会議・首都直下地震対策検討ワーキンググループ（2013）「首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）」
- 中林一樹（2011）「国家戦略としての二元復興による国土復興デザイン—東日本の災害復興と首都圏・西日本の事前復興による国土復興デザイン—」都市計画，第291号，pp. 58-61.
- 中林一樹（2012）「首都直下地震への新しい備えと主要課題」都市計画，第299号，pp. 42-45.
- 中林一樹（2013）「『迅速な復興』と『着実な復興』を—これからの災害復興の基本方向—」新都市，第67巻2号，pp. 81-85.

中林一樹

[なかばやし いつき]

**現職** 明治大学政治経済学研究所・危機管理研究センター特任教授，首都大学東京名誉教授  
工学博士

**略歴** 東京都立大学地理学科助手，助教授，教授を経て現職

**社会活動** 日本災害復興学会会長，文部科学省地震調査研究推進本部政策委員会委員，他

**研究分野** 都市防災学，災害復興学，都市計画学

**著書** 「危機管理学」第一法規（共著，2014），「市町村合併による防災力空洞化」ミネルヴァ書房（共著，2013），他



# 国立科学博物館の地震資料

## 大迫正弘

### 1. はじめに

国立科学博物館には、日本の地震科学の揺籃期から発展期、つまり明治時代の中頃から昭和の初期頃までを中心に、現在に至るまでのその歴史を物語る資料が集められ保存されている。本稿ではこれら地震関連の歴史的資料について実機のある地震計を中心に紹介し、あわせて博物館活動の一環として行ってきたそれら資料の収集・保存・活用について述べることにする。

### 2. 国立科学博物館の地震関係資料

#### 2.1 資料の概要

国立科学博物館（以降科博とする）の地震関連資料は地震に関係するところから、測地や火山に関連するものにまでわたる。資料といっても、観測のデータや記録類は研究資源としてもとの大学や研究所にそのまま保管され、科博で保存している資料は観測に使われた器械や写真が中心となっている。それら資料の由来は、大学からのもの、気象台・測候所からのもの、国の研究機関からのもの、民間会社からのもの、個人からの寄贈・寄託品である。また、科博が展示や普及教育の目的で独自に集めたものもある。収集の対象となる分野が地震火山そして測地というおもに大学や国の研究機関が行う研究や調査、事業なので、資料はいきおいそこからのものが多くなる。また、地震の被害写真や古い文献などは個人の寄贈になるものもある。

地震資料と科博との関係はいまを遡ること140年ほど前に始まる。旧日本地震学会発足より前、1877年（明治10年）にのちに科博となる教育博物館が設立され、1881年には発足間もないわが

国の地震研究を紹介する展示会が行われている。しかし、どのような展示が行われたのかはよくわからない。一説によると30種類の器械と数10冊の本を並べ、3日間で入場者は3000人に上ったとある。時代が下って1923年（大正12年）の関東地震では教育博物館から代って施設を湯島に移していた東京博物館は焼失し、それまでの標本資料をすべて失うこととなった。震災直後に行われた被害調査には東京博物館の職員が活動した。そのときの撮った被災地の写真が写真ライブラリーに保存されている。また、科博の図書室には震災後に火災の広がる様子を1時間ごとにポスターカラーで赤く塗った地図が保管され、震災を描いた油絵が研究部の資料室に残されている。なお、科博の図書室には武者文庫と称して武者金吉の収集した地震文献（ほとんどは出版された印刷物）が収蔵されている。

地震関連の資料で大きいところは、戦後数度にわたって科博に移された東京大学旧地震学教室由来のものである。これには地震計などの器械類、地震学者や地震計の写真、地震被害の写真、火山噴火の写真、そのほか雑多な文献類がある。またこれと並んで、国土地理院から移された旧陸地測量部の経緯儀や水準儀など、明治から昭和初期にかけて国土の基本測量に使われた器械が測地関連の一大コレクションをなしている。そこにはまた、基本測量で標準機となって使われた器械に混じって、明治初期に輸入され、その後活躍する場がなく忘れられていったいくつかの珍しい測量器械もある。この2大資料が集められたのは筆者が科博に来る前のことで、地震を担当していた前任者が熱心に資料の収集に努められた賜物といえる。その後現在に至るまで地震測地関連資料の収集は続けられてはいるものの、これだけまとまったコレクションの収集は今後なかなかできないか



もしれない。

## 2.2 写真資料

地震火山関係の写真は8000枚以上ある。ただし、同じ写真が異なる形態で重複するものがあるので、整理すると数はこれより少なくなるが、写真どうしの照合作業はまだ完了していない。写真の形態としては、ガラス乾板のネガ（図1）、ネガフィルム、台紙張写真（図2）、大型のパネル写真、写真アルバム、ガラス幻灯（図3）とさまざまである。

関東震災の写真などを含む4000枚のネガ（乾板・フィルム）は1975年頃までに整理され番号がつけられていた。これを便宜上「地震火山写真原板1」（以下〔原板1〕）としている。そのうちの半数は地震関係の写真で、残りの半分は火山（1914年の桜島大噴火、1910年の有珠山噴火、ほか）の写真からなる。これら写真のほとんどは震災予防調査会の残したものである。震災予防調査会は火山噴火の調査も行われていたこともあり、大正桜島噴火や明治有珠山噴火のかなりの枚数にのぼる写真がある。これ以外のネガはしばらく手つかずのままであったが、最近整理し番号づけを行った（「地震火山写真原板2」（原板2））。ここには地図や図面の写真、地震記象を写した写真も多い。

写真資料のうち、台紙張写真、大型のパネル写真、幻灯写真はネガから起こして重複しているものが大半であるが、対応するネガのないものもある。また、ここには1894年明治東京地震の写真や1888年磐梯山噴火の写真なども含まれている。これら写真はネガが失われており、それでしか見られない貴重なものもある。写真アルバムには、濃尾地震（Milne-Burton “The great earthquake in Japan, 1891” の初版・第2版を含む）、1894年庄内地震、1896年陸羽地震、1889年熊本地震といった古いところのものがある。とくに熊本地震の写真は現存する日本の被害地震の写真としてはもっとも古いものであろう。

## 2.3 文書文献類

江戸時代後期の絵図（善光寺地震の被災地図、伊豆大島の図など）、名簿類、大学便覧、雑誌、

抜き刷り、報告書、カタログ・パンフレットなどがある。文献類はそれほど多くはなく、続きがそろっているものではない。その中で注目するのは関谷が記したと思われるユーイングのもとで地震



図1 ガラス乾板



図2 台紙張写真 左上：1888 磐梯山噴火，左下：濃尾地震，右：明治東京地震



図3 幻灯写真

計の実験をした記録のノートである。また、未整理の文書が段ボール 30 箱くらいあり、一通り仕分けをしたが、整理はついていない。これには、別刷り、報告、雑誌、書籍などがある。

## 2.4 地震計など器械類

科博の地震資料の中心となるものは地震計の実機のコレクションである。先に述べたように、器械類は古いところで旧東京大学地震学教室由来のものが多いが、時代が下ると気象官署で使われたもの、民間からの寄贈になるもの、さらには科博が購入したものが多くなる。古いところが中心であるということから地震研の地資計資料とは相補的と思われる。以下科博の所蔵するおもな歴史的な地震計を中心にして述べる。

### (1) 円盤式地震計

1880 年代の初期地震計の復元模型である (図 4)。2007 年の地震計展示の再開にあわせて製作した。ただし、完全な復元でないでこれ地震の記録はできない。復元の拠り所はユーイングによる報告<sup>1)</sup>と [原板 1] の写真 (009-09) である。1880 年にはじめて円盤式地震計により地震動の連続記録をとったが、そのとき使われた器械は水平動 2 成分で、振り子の形が異なっていた。のちに上下動を加えてこのような 1 台で 3 成分の地震計となったのは、1884 年頃のことのようである<sup>2)</sup>。この形式の地震計の名称は定まっていないうであるが、使用している振り子の開発者の名をとつ

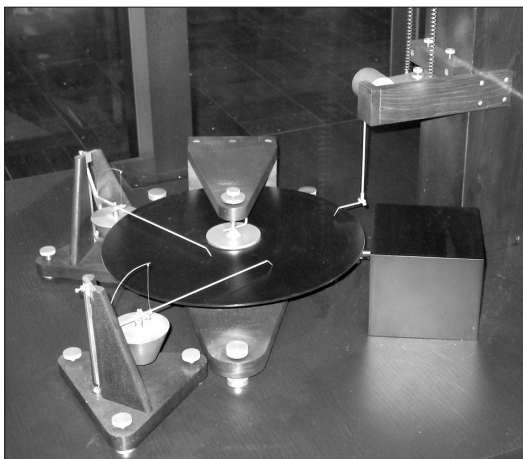


図 4 円盤式地震計 (復元模型)

てユーインググレイの円盤式地震計とするのがよいと考え、展示説明にはそのように記した。模型の上方には 1894 年 6 月 20 日の明治東京地震の円盤式地震計による煤書きガラスの記録を展示してある。地震の記録はニスで固定してから青写真に複写し、ガラス板は再使用した。煤書きガラスのまま残っている円盤式記録は珍しい。円盤式地震計には低倍率の強震計もあり<sup>3)</sup> 明治東京地震の記録を残している<sup>4)</sup>。円盤式強震計の水平動 2 成分用の写真は残っているが、これに上下動を加えた 3 成分用の写真や図は見つかっておらず、実際どのような形をしていたかは不明である。

### (2) 関谷の地震動軌跡模型

関谷清景 (1854-1896) による地震動の針金による模型 (図 5)。1887 年 1 月 15 日におきた地震の東京での記録をもとに、地面の動き (変位) を立体的に表わしている。もともなった地震の記録はユーインググレイの円盤式地震計によるものである。地震動の始まりから 21 秒まで、それから 41 秒まで、さらに 72 秒までと時間を三つに区切り地面の動きを示している。関谷はまず 15 倍に拡大した針金模型をつくり、それをもとに 50 倍に拡大した模型が教材として頒布された。その広告チラシによると価格は八圓五十銭で説明書つきとある。説明書は雑誌掲載記事の抜き刷り<sup>5)</sup> そのものである。科博に残る模型は台座に英語で説明があり輸出向けである。[原板 1] には台座の説明が日本語の写真がある。どのくらいの台数が作られたかは不明であるが、国内にほかに現存しているとの情報はいまのところはない。

### (3) 張衡の地動儀

中国の後漢時代に張衡 (AD78-139) が作った感震器。実物や図はなく、その記述を頼りに復元がなされている。この模型 (図 6) は現在展示していないが、その形から印象に残った向きも多い

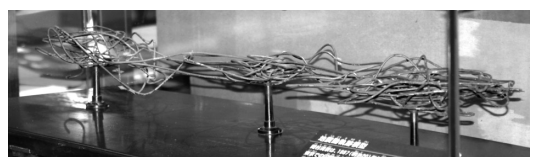


図 5 地震動軌跡模型

ようで、ときどき問い合わせがあり、他館の展示に貸し出したこともある。中央の筒の中には頭の重い不安定な柱が立ててあり、地面が揺れた方向にこれが倒れて龍の口に通した棒を押し、その中の鉄の玉が蛙の口に落ちるしかけになっている<sup>6)</sup>。科博のこの張衡の地動儀模型の発端は明治初年の1枚の絵<sup>7)</sup>にさかのぼることができ、外観はそれを参考にしている。なお、この絵は旧地震学教室の写真パネルとともに科博に移され現在も保存されている。

#### (4) 始動用感震器

地震計を始動させるために用いられた一種の感震器。振り子から下に伸ばした針先と水銀だめとの間で電気接点をなしている。初動により針先が動いて水銀に触れ、両者の間がつながり電気が通じ地震計を始動させる。20世紀初頭の地震計の写真(図7)にはこの感震器が右側に見える。このように円盤記録式をはじめその頃までの多くの地震計では初動は欠測であった。なお、この地震計の写真は震災予防調査会の報告<sup>8)</sup>に収録されているものの「原板1」にはなく不思議に思っていたが、後に整理した「原板2」の中から鮮明なネガが見つかった。なお、この感震器は「ゴットフリート＝ワグネル(お雇い外国人Wagenerのことか)の感震器」とラベルをつけて展示してあったが、文献にはそのような呼びかたはなく<sup>8),9)</sup>、とくに名称のない「始動用感震器」として展示している。



図6 張衡の地動儀

#### (5) 大森式地震計

科博には大森式地震計をいくつか収蔵しており、よく知られた水平地震計のほか上下動のものもある。複数台分の支柱・振り子・描針・駆動器・ドラムなどが資料庫に保管されている。ただ、おのおのの部分品がどのように対応し組み合わせられてもとの形になるのかわからなくなっているところがある。大森式水平動地震計には複振り子にして周期延ばしをはかったもの、重錘を大きくして拡大倍率を上げ微動計と称したものなどさまざまな変種がある。それらの当時の形は「原板1」に見ることができる。展示している大森式地震計は構造が簡単なプロトタイプのもので、振り子の質量は7kg、周期は10秒以上、記録の倍率は20倍前後である。水平動2成分を一つのドラム上に記録するような格好で見せているが、そのドラムは金属製のうちの別の地震計に使われたものの流用である。薄い木の板を張り合わせて作った記録ドラムも残っている。なお東京大学構内の旧耐震家屋内に設置されていた周期60秒という大型の大森式地震計の支柱と振り子も資料庫に保管してある。

#### (6) 田中館式地震計

田中館愛橘(1869-1952)により1900年頃に作

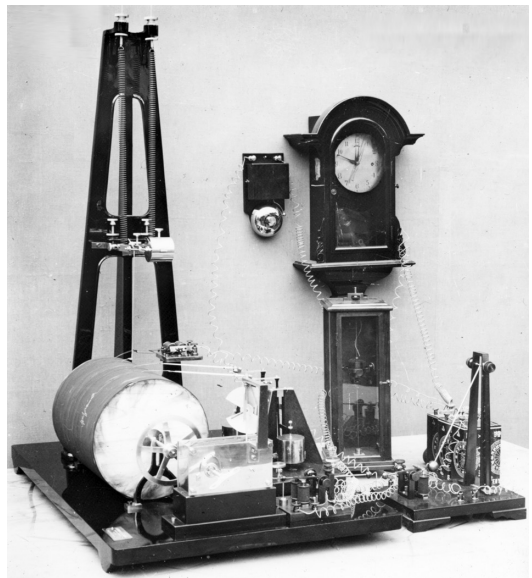


図7 普通地震計<sup>8)</sup> 時計に下に始動用の感震器がある

られた地震計で、田中館式大震計とも称した。水平動用には円柱の重りにリンク機構を組み合わせたワットの平行運動装置による振り子を、また上下動用には中央の重りを保持する腕の回転軸に渦巻バネ（ゼンマイ）を仕組んだ振り子というように地震計としては珍しい機構を採用している（図8）。倍率は等倍で、この一台で水平動と上下動の計3成分を記録する。記録方式は煤書きで、幅の広い記録紙をゼンマイの動力で送る。また、そのギア装置に倒立振り子を組みこみ、これを振らせることで送りの速さを調節するようにしている。台座に製作者 TOYA ERECTRIC の銘板がある。また、この地震計を作るのに先立ち試験を行った上下動振り子の試作品も残されている。

### (7) 振動試験機・簡単微動計

地震計の応用の一つとして、鉄橋の振動試験のための器械が明治30年代に作られ、その後いろいろな型の振動試験機が現れた。このような振動試験機の多くは1成分を記録する器械で、記録方式にはペン書きも使われている。この形の器械は後の簡単微動計へと発展した<sup>3),10)</sup>。[原板1]にはさまざまな振動試験器や簡単微動計の写真が残されている。科博の地震計資料の中には実機が数台があるが、どれも可動部分のどこかが失われており、完全な形をしたものはない。また、展示もしていない。なお、旧制中学の部活動で使われた今村式14年型簡単微動計が後身の学校から寄贈された。

### (8) ヴィーヘルト水平動地震計

水平動の振り子の質量が200kg、上下動の振り子の質量が80kgの小型版ヴィーヘルト地震計である。その原型は20世紀のはじめにドイツのエミル＝ヴィーヘルト（1861-1928）がゲッチング

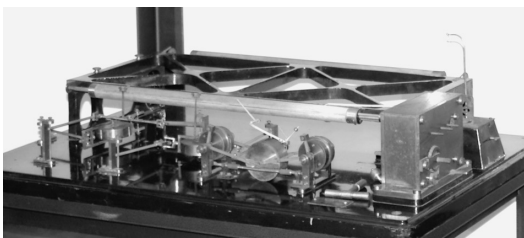


図8 田中館式地震計

ン大学で完成した振り子の質量1トンの大型のものである。三島の測候所に置かれ、のちに払い下げられて横浜市立大学で動かしていたものが科博に寄贈になった。国産品で製作者はALESである。本体はもとより、煤がけ器・ニス槽・乾燥架などの付属品をはじめ、描針から振り子や伝達機構の支点バネ、空気制振器の釣り線などの補修部品に至るまでの一式が揃っている。科博にある機械式地震計のうちの完動品の一で、記録紙送りの調速機がやや不調となっているが、企画展や特別展のときに動かして見せることがある。

### (9) マインカ地震計

1907年頃旧ドイツ領のシュトラスブルクでマインカが完成した形式の大型の機械式地震計。科博所蔵の本機は日本で作られ、東北大学旧向山観象所で使われたものである。科博に移された1963年にはすでに使われなくなってから年月が経っており、器械の詳しいことは不明である。振り子の質量は水平動用が300kg、上下動用が400kgある。機構の多くのところが失われているが、残されている部分から見てヴィーヘルト式地震計と同じような空気制振器と梃子の仕掛けを備え、重錘の動力で送られる煤紙に記録するようになっていたようである。この地震計は収蔵庫にあり展示はしていない。

### (10) 今村式2倍地震計

本郷の東京大学において1923年の関東地震の記録をとったと伝えられている地震計（図9）。水平動2成分、上下動1成分とも2倍に拡大して1枚の煤紙に記録する。振子の周期は水平動が10秒、上下動が5秒で、ともに油槽による制振器がついている。記録ドラムの駆動はゼンマイにより、その動きはテンプで調節し、紙送りの速さは毎分4cmである。上下動の記録針のすぐ上に電磁石を置き、クロノメーターからの電流パルスで鉄の記録針を一瞬持ち上げて時刻の印を入れていた（[原板1]に当時の写真が1枚だけある）。今村式2倍地震計（強震計）は岐阜気象台のものがよく知られているが<sup>10)</sup>、水平動振り子の重りの取りつけ高さが違い、また油制振器の有無ということが異なっている。科博の今村式はゼンマイ駆動

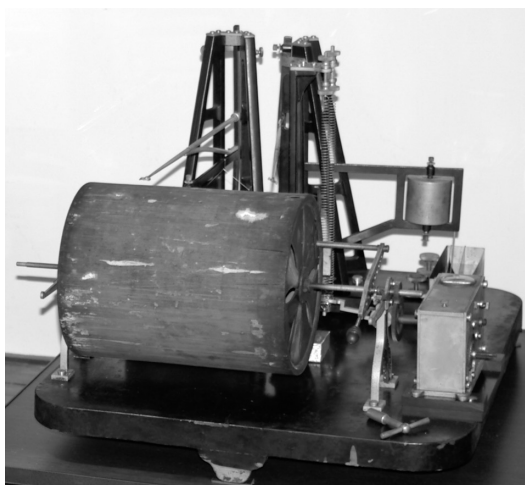


図 9 今村式2倍地震計

部の動きがやや悪くなっているものの完動品で、特別展示のときには記録紙の煤がけをして動かした。木製の記録ドラムは傷みが進みまた歪んでいるので、新しいものを2個作ってある。

#### (11) ガリッチン地震計

ロシアのボリス＝ガリッチン（1862-1916）による世界最初の電磁式地震計。1907年に水平動用が完成し、これにはツェルナー吊りという形の水平振り子を用いている。ついで1910年にはグレイ－ユーイング型振り子を用いた上下動用ができた。振り子にとりつけたコイルからの電流を鋭敏な反照式検流計に送り、光の点の動きは記録器のドラムに巻いた印画紙に記録する。いまの小型軽量という電磁式地震計にたいする感覚とは異なり、一人では持ち上げられないようなかなりの質量がある。科博のガリッチン地震計は水平動1台と上下動それに記録器である。真鍮の記録ドラムは失われてアルミのもので補っており、駆動部ももとの形ではない。このガリッチン地震計はイギリスの機器製造会社の製品で、そのカタログ<sup>11)</sup>も出ており、広く世界中で使われたものである。

#### (12) ミルン水平振り子地震計

おもに遠隔地の地震をとらえるために考案した光学記録式の地震計。振り子の竿の先と本体の互いに直交するスリットの交点を通る光の動きを長巻きの感光紙に記録する。光源に電球ではなく石

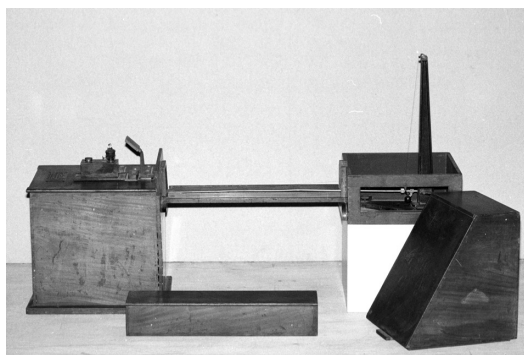


図 10 ミルン水平振り子地震計

油ランプを使う。当時としてはこのほうが設置場所を選ばず安定して記録ができたはずである。ミルンは日本を離れる少し前の1894年頃この地震計を考案したといわれるが、帰国するとこれを世界各地に設置し、イギリス南部のワイト島を拠点にして地震観測網の構築をはかった。科博所蔵のミルン地震計はその一つとして震災予防調査会がイギリスから購入したもので<sup>12)</sup>、記録板には“UNFELT EARTH MOVEMENT RECORDER, No.8”の刻字がある。ランプの火屋は失われていたので代わりを作って補い展示しているが、耐熱ガラス製で分厚く違和感がある。また、振り子の支点に近いところにある真鍮の重りやアルミの竿の一部ももとのものではない。この地震計は平成11（1999）年度に記録紙41巻とあわせて国の重要文化財に指定された。

地震計にはこのほかに、萩原式携帯用速度地震計、HESS地震計（上下動、水平動）、気象庁59型直視電磁式地震計、ウッド－アンダーソン地震計、ミルン簡単地震計（復元）、大型のグレイ－ユーイング上下動地震計、などがある。さらに、資料庫には振り子、支柱、記録ドラム、からバネ・ねじに至るまでのさまざまな物品があるが、小さな部品などはわからないものも多く、あまり整理は進んでいない。また、地震関連の大型器械として地震研究所に設置されていた茂木式：真の3軸試験機が寄贈になり保存されている。



図 11 上野展示館地階での地震計の収蔵展示 (1993 年)。①大森式、②ヴィーヘルト水平動、③ヴィーヘルト上下動、④松沢式上下動、⑤マインカ上下動、⑥マインカ水平動、⑦大型大森式の支柱と振り子、⑧ガリッテン

### 3. 資料の活用

写真資料はデジタル化を行い画像データの形にして保存している。なお、元の写真も判読ができないほどコントラストが失われたり劣化したものもあるがすべて保管はしてある。関東地震、濃尾地震、磐梯山噴火、桜島大正噴火などの写真は「国立科学博物館地震資料室」という WEB ページを立ち上げ公開した。このサイトではまた科博所蔵の地震計も紹介している。やはりアクセス多いのは関東地震の写真で、出版、放送、展示などに使いたいと月に数件は問い合わせがある。なお、[原板 1]については、デジタル化した画像データのコピーを地震研究所図書室に提供し、そこでも利用できるようになっている。

地震計は主なものを展示に出している。科博の地震計展示についてはここ数 10 年の間にかなり

の紆余曲折を経てきた。1960 年代はまだ展示室に余裕があったのか、煤書きの今村式地震計などを動かしていたという。また、マインカ地震計も展示していた。地震計はその後大きなガラスケースの中にやや所狭しという状態で並べられることとなり、そこでは名前のラベルだけで個々の説明がほとんどなされていなかった。周期 60 秒の大型大森式地震計が本館の階段吹き抜けを利用して展示してあったが 1979 年の秋に撤去された。その対面のフーコー振り子は科博の名物展示として今でも動いている。大型ケースに展示してあった地震計はそのフロアが別の目的に使用することになったために本館の地下にやや窮屈な状態で置かれることとなった。しかしそれも展示の全館的改修に伴い撤去されることとなり、地震計はコンピューターや電子顕微鏡、加速器、テレビなどとともに展示館建物地下の資料庫内の収蔵展示という形で置かれることになった (図 11)。この収蔵

展示では通路も確保し、説明ラベルもつけて行事などのときに引率立ち会いのもと見せるようになっていた。しかしその期間は5年と短く、1998年には展示館建て替えのため再び移動することとなり、地震計は筑波の収蔵庫に移され展示から姿を消した。それから10年近くを経て2007年の春に今の科博上野本館（日本館）の展示が更新され地震計の姿を再び見られるようになった。

器械の実物は展示されることのほかに、当時の観測のシミュレーションに利用されることがある<sup>13)</sup>。ミルン水平振子地震計以外にも重要文化財になりそうな器械もあるが、もし登録がなされた場合には、そのような地震学上の利用を行おうとしたとき手続きが面倒になってくるかもしれない。

#### 4. おわりに

科博の地震関連資料はこのように内容が多岐にわたり、量的にもかなり充実したものであるということが出来る。古い時代の地震被害写真や火山噴火の写真は研究資源としても、また写真史の資料としても価値あるものであろう。大森式地震計、今村式2倍地震計、田中館地震計などは作られてからすでに1世紀が経っている。残念ながら最初期の円盤式地震計は失われてしまい、科博の資料にもない。ミルンの器械は由来の明らかな日本最古の地震計ということが理由の一つとして重要文化財（歴史資料）の指定を受けた。資料が資料を呼ぶということであろうか、ときには寄贈の話もくる。今後も博物館として現有の資料を維持するとともに、貴重な資料が失われることのないようセーフティネットとしての役割を担っていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) Ewing, J. A., 1883. "Earthquake measurement". *Mem. Sci. Dep. U. Tokyo*, **9**: 1-92.
- 2) 大迫正弘, 2007. ユーイングの円盤記録式地震計について. 国立科学博物館研究報告 E 類, **30**: 45-50.
- 3) 濱田信生, 2007. 地震計の写真にみる中央気象台・気象庁の地震観測の歴史」等の改訂. 験震時報, **70**: 73-75.
- 4) 古村孝志・竹内宏之, 2007. 首都圏直下の地震と強振動 —安政江戸地震と明治東京地震—. 地学雑誌, **116**: 430-450.
- 5) 関谷清景, 1888. 地震動ノ性質ヲ示ス雛形ノ説明. 日本地震学会報告, **5**, 35-40.
- 6) 浅沼俊夫・泉水 巖, 1960. 張衡の候風地動儀, 自然科学と博物館, **5-6**: 13-19
- 7) 萩原尊禮, 1982. 『地震学百年』 東京大学出版会, pp. 25-26.
- 8) Kikuch, D., 1905. "Recent seismological investigations in Japan", *Pub. Imp. Earthq. Inv. Comm.*, **19**: 1-120.
- 9) 大森房吉, 1905. 地震験測法一斑 第1編 感電機及び地震計, 地震予防調査会報告, **50**: 1-20.
- 10) 濱松音蔵, 1981. 「地震観測史」. 地震, 第2輯, 34 (特別号), 73-92.
- 11) Cambridge scientific instruments for special applications, (年代不詳). Cambridge Instrument Co., LTD, London.
- 12) 今村明恒, 1901. 「ミルン」式水平振子記象ニ関スル調査, 震災予防調査会報告, **35**: 5-26.
- 13) 田中貞二・横田治彦・岩田孝行, 1988. 今村式地震計の構造図, 地震 **2**, **41**: 283-285.

大迫正弘

[おおさこ まさひろ]

1947年生まれ

理学博士

1976年東京大学大学院博士課程（地球物理学）修了, 国立科学博物館勤務,

2012年定年退職, 同館名誉研究員

研究分野 地球内部物性



# 新潟地震における液状化被害

安田 進

## 1. ま え が き

1964年6月16日の午後1時1分41秒に新潟地震が発生した。震央は日本海の粟島付近でマグニチュードは7.5であった。この地震により新潟県から山形県、秋田県にかけての日本海沿岸で多くの構造物が被害を受けた、中でも新潟市は震央から約50km離れていたが、多くの建物が沈下・傾斜し、信濃川に架かっていた橋が落ち、鉄道盛土も崩れるなど甚大な被害を受けた。地震後の調査により新潟市のこのような被害は地盤の液状化によるものであることが分かってきた。もっとも、新潟地震以前にもすでに液状化現象は一部の研究者によって注目され研究も始まっていた。最上<sup>1)</sup>らは1948年福井地震の際に発生した液状化現象に対し、乾燥砂や不飽和砂を箱に入れ、上下振動を加えた状態で一面せん断強度を求める実験を行っていた。ただし、まだ一般には液状化現象なるものの認識はなかった。

1964年はまた米国でアラスカ地震が発生した年でもある。この地震によってアンカレッジで液状化による被害が発生したため、日米で液状化に関心が持たれ、急速に研究・技術開発が行われることになった。

筆者は1964年当時はまだ高校2年生でしかも広島にいたので、同年に開催された東京オリンピックのこと覚えていても、新潟地震に関しては発生したことすら記憶にない。ところが、大学院学生になった1970年に石原研而先生から液状化のテーマを与えていただき、それから液状化との付き合いが始まった。以後44年ほど液状化の研究・技術開発に携わってきたが、その過程で当然新潟地震の被害のことを調べる必要があり、何十回も新潟市に出かけて、現地を見たり住民の方々

からヒアリングするなどの調査をしてきた。また、新潟地震の調査に行かれた東京工業大学名誉教授の渡辺隆先生などから被災状況の話をお聞きし、写真も見せてもらった。そこで、これらのバックデータをもとに、新潟地震の際に新潟市で発生した被害の状況およびその後の液状化に関する研究・技術開発の経緯を述べてみる。

## 2. 1964年新潟地震による液状化被害状況

(1) 新潟市の地盤の形成と液状化発生地区の関係  
新潟市は北は日本海に面し南には丘陵が続く。その間の中央部の低地の大半は三角州、後背湿地、海岸低地などからなる低平地であるが、現在の河川や旧流路に沿って細長く不定形に延びる自然堤防や砂丘列が微高地を形成し、それらの間を大小の低湿地帯がモザイク状に埋めている<sup>2)</sup>。

中央部には東から阿賀野川が西からは信濃川が流れこんでいる。両河川ともかつては流路が定まらず大きく蛇行していた。中世には阿賀野川は現在の津島屋付近から西に折れ、蛇行しながら信濃川河口部と合流していた。ところが、1730年に阿賀野川の水を日本海に放水するために松ヶ崎掘割が造られ、翌年の洪水でそこが決壊したため阿賀野川の本流は日本海に直接流れるようになった。そして、取り残された川跡が通船川となった。一方、新潟市内の信濃川はかつては川幅が広がったが1922年の大河津分水の通水を契機に下流の川幅が大幅に減少した。そして新潟市内中央部では信濃川沿いの埋立てが進行し、右岸の万代地区や左岸の白山・関屋地区などが市街地に組み入れられた。この付近では川幅が明治時代の半分程度となった。

図1に新潟地震で液状化した区域と旧河道などの位置を示す。大まかにいうと上記のように旧河



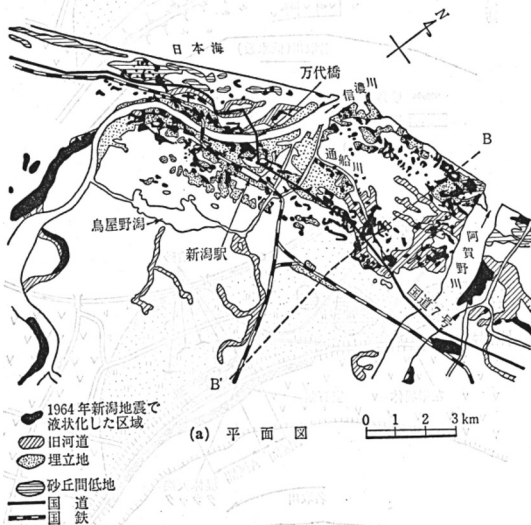


図1 液状化発生区域と旧河道・埋立地

道やそこを埋め立てた所などで液状化が発生したと言える。

#### (2) 新潟地震前の地盤データと地震後に出された報告書

新潟市では1955年の大火の後で多くの中層ビルが建てられ、さらに新潟地震寸前に行われた新潟国体のために昭和大橋などが建設されたため、多くの地盤データが揃っていた。また、新潟地震で多くの土木、建築構造物が甚大な被害を受けたため、地震後に各機関で詳細な被害調査が行われた。そして、地震後まもなく土木学会では被害報告書<sup>3)</sup>が出され、土質工学会（現、地盤工学会）では英文論文集「Soils and Foundations」で1966年1月と3月の2つの巻で特集が組まれた。さらに集大成された英文の冊子も発刊された<sup>4)</sup>。以下にはこれらの報告書に述べられている被災状況の概要を示す。

#### (3) 道路・鉄道の被害

信濃川に架かっていた道路と鉄道の橋梁が甚大な被害を受けた。最も大きな被害は昭和大橋である。この橋は橋長303.9m、12径間の鋼単純桁で、橋台・橋脚の基礎には鋼管杭が使用され、地震の約1か月前に完成したばかりであった。写真1に示すように中央から左岸側の4径間と右岸側の1



写真1 落橋した昭和大橋（渡辺隆博士撮影）

径間が落橋した。地震後に引き抜かれた鋼管杭は杭先端から4mより上部が曲がっていた。地盤調査データによると図2に示すように標準貫入試験におけるN値が10前後の緩い粗砂層が厚く堆積していた。この下流側の八千代橋では写真2に示すように橋台が足元をすくわれるように川側に押された。また、上流側にあった鉄道橋の信濃川橋梁では写真3に示すように橋脚が川側に大きく傾いた。これに対し、同様に信濃川に架かっていた萬代橋は写真4に示されるように大きな被害を受けなかった。萬代橋はニューマチックケーソン基礎で建設されたアーチ橋であり、周囲の地盤が液状化しても構造上耐えたと考えられている。

道路のその他の被害で特筆すべきは、通船川の南側に位置する大形地区の国道7号線の蛇行である。ここでは図3に示すように、道路が大きく蛇行した。また、鉄道では白山駅付近の越後線の盛土が大きく崩壊した。

#### (4) 建物の被害

新潟では大火の後にビルの建設が進められていたこともあり、新潟地震の時には1530棟のコンクリートの建物が建てられていた。そのうち約340棟が何等かの被害を受け、約半数は壁にクラックもはいらずに沈下・傾斜したと報告されている。最も有名になったのは写真5に示す川岸町にあった県営アパートである。4階または3階建ての鉄筋コンクリート造のアパートが8棟ほどあったが、そのうち4号棟はほぼ転倒し、3号棟は転倒寸前、その他は $2^{\circ}$ ~ $8^{\circ}$ ほど傾斜した。地震当時屋上におられた住民の方の話によると、ゆっくりと転倒していったとのことである。基礎

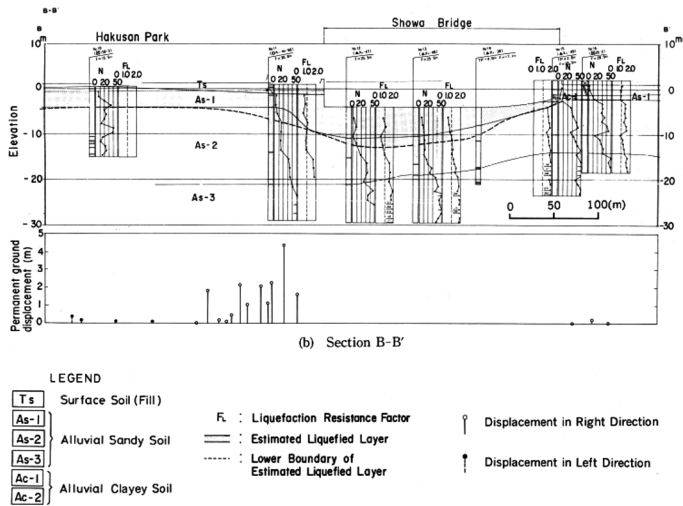


図 2 昭和大橋を横切る地質断面<sup>10)</sup>



写真 2 八千代橋の被災状況  
(渡辺隆博士撮影)



写真 3 越後線信濃川橋梁の被災状況  
(渡辺隆博士撮影)



写真 4 萬代橋周囲の被災状況  
(渡辺隆博士撮影)

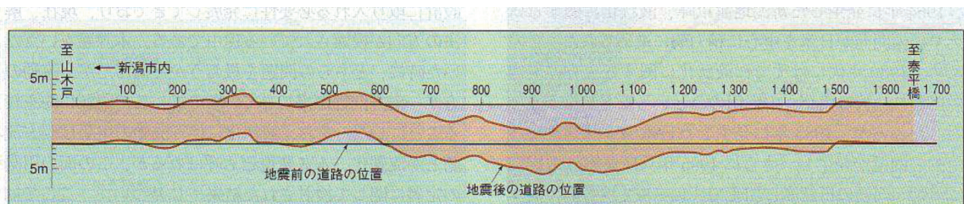


図 3 通船川南側の国道7号線で発生した蛇行

は杭基礎ではなく砂地盤上に直接建物が乗っていた。上部構造に被害らしきものはみられず、大きく傾斜した棟でもあけたたてができるほどであった。石原・古賀はこのアパートのすぐ傍で地盤調査を行いそれをもとに液状化解析を行っている<sup>5)</sup>。図4に土質柱状図およびN値を示すが、N値は

GL -5m 付近で5程度からGL -14m 付近で10程度と緩く、細粒分の少ない砂が堆積し、地下水位もGL -2m と浅かった。液状化の解析結果によるとGL -3m ~ -13m 付近の層が液状化したと推定されている。

なお、新潟市内で沈下した中層ビルの沈下量は



写真 5 沈下・傾斜した川岸町県営アパート（渡辺隆博士撮影）



写真 6 沈下・傾斜した石油タンク（渡辺隆博士撮影）

大変大きく、1m を超すものが多くあり、最大で 3m 近くも沈下したのもあった。

#### (5) タンクの被害

新潟には昭和石油と日本石油の二つの製油所があった。そのうち昭和石油ではスロッシングによってタンクが被災し大火災を起こした。一方、日本石油では写真 6 に示すように液状化によってタンクが沈下・傾斜する被害が発生した。ただし、新しく造られたタンクはバイプロフローテーション工法で地盤を締め固めてあったため、被害を受けなかった<sup>6)</sup>。

このように地盤を締め固めると液状化対策になることがこの事例で明らかになり、すぐ後に八戸の製紙工場において重要な構造物が建てられる箇所で液状化対策としてバイプロフローテーション工法で締固められた。そこに 1968 年十勝沖地震が襲い、改良してなかった地盤は液状化して構造物が被害を受けたのに対し、地盤改良をしてあつ

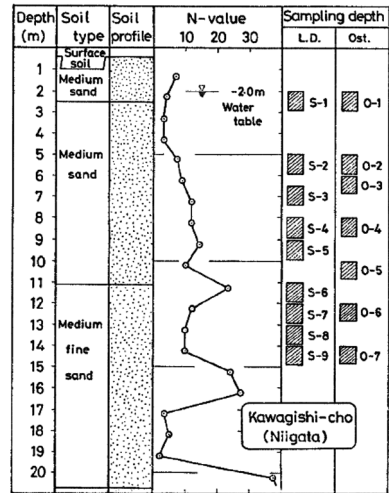


図 4 川岸町の地盤調査結果<sup>5)</sup>

た構造物は被害を受けず、早速液状化対策が功を奏した。

#### (6) 河川の被害

阿賀野川、信濃川とも堤防や護岸が各所で大きな被害を受けた。阿賀野川では河口から 27km 上流までクラックや沈下、崩壊など様々な被害を受け、噴砂も見られた。特に左岸の河口から 4km ほどの被害が甚大で、堤防にクラックがはいり大きく崩壊した。

新潟市内中心部の信濃川は矢板などで護岸が設けられていたが、写真 4 にも見られるように護岸は川に向かって大きく倒れた。

#### (7) ライフラインの被害

ライフラインでは新潟市内の上下水道、ガス、地中送電線、鉄塔、通信ケーブルが大きな被害を受けた。これらの被害のほとんどは液状化に起因したものと考えられている。例えば、図 5 は下水道施設の被害箇所<sup>7)</sup>と噴砂・噴水の発生箇所<sup>8)</sup>を重ねて示しているが、下水道施設の被害箇所は噴砂・噴水が発生した地区、つまり液状化した地区に集中し、液状化しなかった地区では被害がなかったと見受けられる。

下水道では箱型きよ、円形管とも激突、離脱、亀裂、蛇行、高低の変化、浮上り等の被害を受けた。ただし、浮上りが生じたのは一部で、越後線

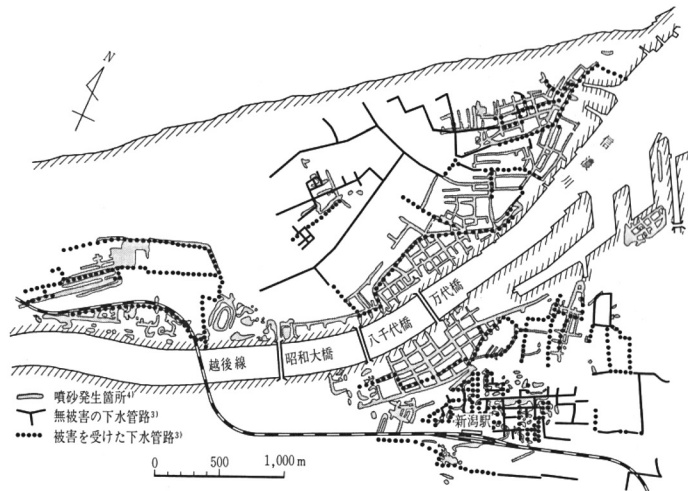


図5 下水道施設の被害箇所<sup>7)</sup>と噴砂・噴水発生箇所<sup>8)</sup>



写真7 浮き上がった浄化槽（渡辺隆博士撮影）

の盛土沿いおよび阿賀野川堤防に沿った2区間で、ヒューム管、マンホールとも道路上に露出した。また、写真7に示すように浮き上がった浄化槽もあった。

#### (8) 港湾の被害

新潟港は矢板岸壁やコンクリートブロックなど種々のタイプの岸壁で造られていた。これらの岸壁が前に孕み出したり沈下するといった甚大な被害を受け、また、背後の倉庫も被害を受けた。

### 3. 約20年後に明らかにされた現象

写真2~4に見られるように、信濃川の護岸は川に向かって倒れ、背後の地盤が川に向かって流

れ出していることは、地震後の調査ですでに指摘されていた。写真3の越後線橋梁の上流側にあった明訓高校付近では図6に示すように校舎を含んで広い範囲の地盤が川に向かってすべったとの観察もされていた<sup>9)</sup>。ただし、その定量的な把握は行われていなかった。

その後1983年に発生した日本海中部地震では能代市や若美町の砂丘斜面で地盤が液状化にもなって流れだし、ガス導管に被害を与えたため、地盤の変位量を定量的に把握する必要が出てきた。これに対し地震予知総合研究振興会を中心とした研究会で地震前・後の航空写真をもとに測量する手法を考え出し測定した結果、地盤の変位量の分布が定量的に明らかになった。そこで、同じ手法で新潟地震の時の変位分布を求める試みが行われた。その結果、図7に示すように信濃川沿岸一帯では最大で10m程度の水平変位が河心に向かって生じていた<sup>10),11)</sup>。また新潟駅付近では反対方向に2m程度も変位していた。そして、能代市の緩やかな砂丘斜面のケースも合わせて、液状化によって地盤の流動が発生するパターンには図8のようなものがあることが分かってきた。

このように液状化した地盤が大きく流れ出すことが発生したとなると、新潟地震で生じたいくつかの特異な被害が説明できるようになった。ま

ず、写真2、3に示されるような川岸にあった橋台や橋脚が川に向かって押し出されたことが、これで説明できるようになった。また、図6のように説明されていた地盤のすべりも確かに起きていて、しかもここだけでなく信濃川に沿った多くの

地区で発生していることが分かってきた。白山競技場では川から約300m離れた箇所まで地盤が流れ出していた。また、萬代橋の付け根では川岸は大きく川に向かって孕みだしていたものの萬代橋はそれに耐えて被災しなかったことも明らかになってきた。なお、この痕跡は現在でも残っている。写真8は信濃川左岸側の川岸を萬代橋の上から撮影したものであるが、地盤の流動が橋で止められ、付け根で川岸が大きく曲がっているのが今でも見てとれる。

なお、このような護岸背後地盤の液状化にともなう流動現象が明らかになった約10年後に1995年兵庫県南部地震が発生し、神戸港などで岸壁・護岸背後地盤で同様な被害が数多く発生したが、被災原因を考える上で新潟での調査が役に立った。

その他、新潟駅前のビルの解体工事を行っていたところ、杭が定期的に曲がっていることが見いだされたが、これも地盤の流動によって生じたも

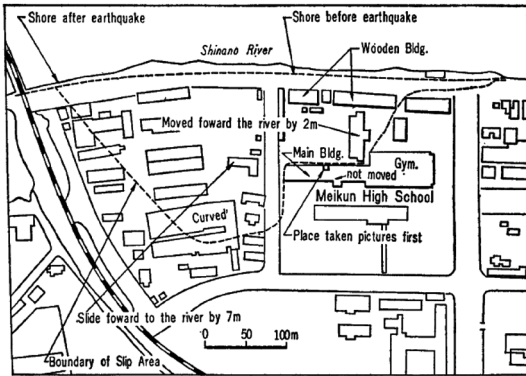


図6 明訓高校付近の地盤の変状<sup>9)</sup>

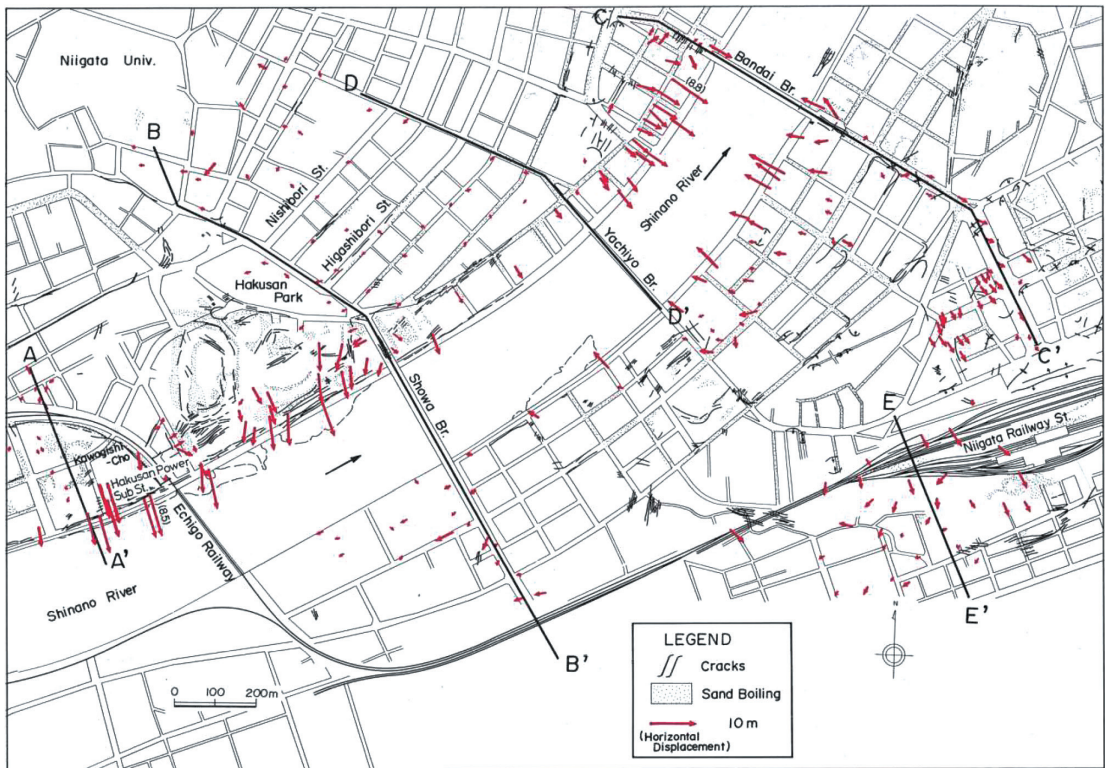


図7 地震前・後の航空写真から測量した地盤の水平変位量の分布<sup>10)</sup>

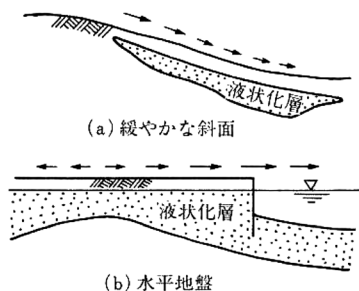


図 8 液状化による地盤の流動のパターン



写真 8 萬代橋の付け根に今でも残っている流動の痕跡

のであることが明らかにされた<sup>10)</sup>。このような事例はその後も新潟市内での解体工事でいくつか見つかった。また、図3のように道路が蛇行した原因は、通船川沿いの微高地から緩やかな傾斜地盤に沿って放射状に地盤の流動が発生し、そこを通過している道路が曲げられたために生じたことも明らかになった。

#### 4. 約40年後に調べられた被害のタイミング

地盤が液状化すると“地上にある重い構造物は沈下し、地中の軽い構造物は浮き上がり、護岸背後地盤や緩やかな傾斜地盤は流動する”，と、液状化した結果の構造物の被害の様子は分かったが、どのようなタイミングで沈下や浮き上がり、流動が発生するのか明らかにされてきていなかった。これは液状化による構造物の被害のメカニズムを考え、解析方法を考え出していく際に必要で

ある。新潟地震は昼間に発生ししかも人口の密集する都市で液状化したため、目撃者が多くいるはずである。そこで、目撃者を捜し出して被害が発生したタイミングを聞き、被災のメカニズムを検討する試みが新潟地震から約40年後に行われた<sup>12),13)</sup>。なお、以下の方々が撮影された写真や動画は文献14)に収録されている。

まず、地震の時に新潟空港におられ、ターミナルビルの周囲で噴水・噴砂が発生し始める大変貴重な動画を撮られた弓納持福夫氏に、状況を詳しくお聞きしたところ、下記のようなことが明らかになってきた。

- ①揺れが収まって1分半後くらいたった時ビルから飛び出した人が後ろを振り返り「ビルが沈む！」と叫んだ。その時電柱はまだ揺れていたが足元は静止していた。
- ②この叫びを聞いて静止画像を2枚写した。その時8ミリカメラを持っていることを思い出しビルに向けたところ、目の前の地面から噴水・噴砂が始まった。これは強い揺れが収まってから2分位にあたる。この時すでに建物は沈み始めていたことになる。

なお、弓納持氏はこの後セスナ機で離陸し、上空から新潟市内の被災状況を撮影されている。

竹内寛氏は地震当時図6に示した明訓高校の生徒で、地震後に水が噴き出す校庭の様子からその後の市内の様子を沢山写真に撮られている。その撮影された時の行動を再現していただき時間を測定して分かったこととして、明訓高校の校庭で噴水が発生し始めたのは地震の揺れを感じてから3分15秒後であり、その後みるみるうちに校庭に水が溜まっていったとのことである。

昭和大橋の落橋のタイミングに関しては、橋の上下で作業をしていた人や、川岸で落橋を見た人など数名の人からヒアリングが行われた。その結果、以下のことが分かった。

- ①落橋が始まったのは初動から70秒前後からである。図9には川岸町の地震記録から変位波形を推定されたもの<sup>13),15)</sup>を示すが、この70秒付近で、大きな振幅の変位が発生しているようである。
- ②左岸側の護岸のところにはいた高校生の証言によ

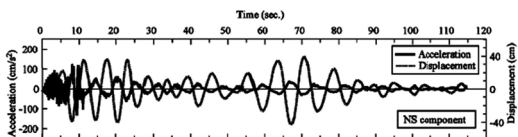


図 9 加速度波形と変位波形<sup>13),15)</sup>

ると、落橋が始まって逃げていく途中で地割れが発生した。したがって、地盤の流動が発生する前に落橋したと考えられる。

③昭和大橋は中央部の橋桁が最初に落ち、それから隣の桁が落ちていった。一方、流動による変位量は左岸側で数 m と大きく、右岸側では大きくなかったため、流動によって橋脚が押されたのは左岸から河心に向かってと考えられる。ところが、左岸側の橋脚の変位量を比較してみると岸付近で大きくて河心に向かって小さくなる分布とはなっていない。

これらのことにより、昭和大橋が落橋したのは左岸側からの地盤の流動によるものではなく、地盤が液状化して杭の水平支持力が減少していたところに、70 秒あたりに変位振幅が大きな揺れがあったためと判断された。

## 5. 新潟地震の経験をもとにした液状化の研究・技術開発の経緯

前述したように 1964 年は米国でも液状化による被害が認識された年であった。そこでこの年から日米両国で同時に液状化に関する研究および技術開発が多く行われるようになった。

新潟市では地盤調査が多く行われていたので、液状化した地区と液状化しなかった地区の地盤条件の比較が行われ、液状化は  $N$  値が 10 程度以下で細粒分を含まないきれいな砂で発生していることが明らかにされた。また、繰返し三軸試験や振動台で液状化が再現できることや、液状化の強度に与える地盤の密度や粒径、拘束圧が与える影響といった基礎的な研究も始められた。そしてこれらをもとに液状化の発生の予測方法が早速考え出され、新潟地震の 6 年後に港湾施設に、そして引き続き道路橋、鉄道、建築の設計基準類にとり

入れられ始めた。

一方、バイプロフローテーション工法で締め固めてあったタンクが無被害だったため、この工法によって地盤を締め固めて液状化対策を施すことが新潟地震直後から行われ始め、さらに確実に締め固めるサンドコンパクション工法に代わっていった。また、他の原理の工法としてセメントを混合して固める工法や発生する過剰間隙水圧を消散させる工法など、種々の工法が急速に開発された。

このようにして、1995 年兵庫県南部地震の頃までには、新潟地震の経験を中心にして液状化の予測や対策方法が多く開発され、実務でも使われるようになっていた。ただし、兵庫県南部地震では新潟地震やそれに続く地震での経験を越える大きな地震動が発生したため、液状化の予測方法や対策方法の考え方も少し変える必要が出てきた。具体的には兵庫県南部地震のような強い地震動（レベル 2 地震動）に対しては液状化が発生するかどうかで対策工の設計をするのではなく、液状化による構造物の沈下量や浮き上がり量の許容値などをもとにして性能設計を行うようになってきている。

## 6. あとがき

1964 年は 10 月に東京オリンピックが開催され、そのために国体が 5 月に早められ新潟で開かれた。そして終了した 5 日後に地震が発生し、国体のために整備してきた橋や競技施設が無残にも被災してしまった。次の東京オリンピックが 2020 年に東京湾岸の埋立地で開かれる予定になっているが、首都直下地震などが襲っても東日本大震災の時のような液状化被害は生じないように対策が施されておく必要がある。

## 参考文献

- 1) Mogami, T. and Kubo, K. : The behavior of soil during vibration, *Proc. of the 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on S.M.F.E.*, Vol. 1, pp. 152-155, 1953.

- 2) 地盤工学会：全国77都市の地盤と災害ハンドブック，611p.，2012.
- 3) 土木学会新潟地震調査委員会編：昭和39年新潟地震震害調査報告，土木学会，1966.
- 4) 新潟地震調査報告書編纂委員会：General report on the Niigata Earthquake of 1964，東京電機大学出版局，550p.，1968.
- 5) Ishihara, K. and Koga, Y. : Case studies of liquefaction in 1964 Niigata Earthquake, *Soils and Foundations*, Vol. 21, No. 3, pp. 32-52, 1981.
- 6) Watanabe, T. : Damage to oil refinery plants and a building on compacted ground by the Niigata Earthquake and their restoration, *Soils and Foundations*, Vol. VI, No. 2, pp. 86-99, 1966.
- 7) 日本下水道協会：下水道施設地震対策指針と解説，1981.
- 8) 新潟大学：新潟地震地盤災害図，1964.
- 9) 土質工学会：Brief explanation on picture taken at the moment of Niigata Earthquake, *Soils and Foundations*, Vol. VI, No. 1, pp. i-vi, 1966.
- 10) Hamada, M., Yasuda, S., Isoyama, R. and Emoto, K. : Study on liquefaction induced permanent ground displacement，地震予知総合研究振興会，1986.
- 11) 浜田政則・安田 進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察，土木学会論文集，No. 376，Ⅲ-6，pp. 211-220，1986.
- 12) 若松加寿江・田蔵 隆・安田 進・東畑郁生・吉田 望・金谷 守・規矩大義・中澤博志：第39回地盤工学研究発表会—新潟地震40周年特別セッション第1部 液状化現象の目撃者一，土と基礎，Vol. 52，No. 12，pp. 15-20，2004.
- 13) Yoshida, N., Tazoh, T., Wakamatsu, K., Yasuda, S., Towhata, I., Nakazawa, H. and Kiku, H. : Causes of Showa Bridge collapse in the 1964 Niigata earthquake based on eyewitness testimony, *Soils and Foundations*, Vol. 47, No. 6, pp. 1075-1087, 2007.
- 14) 地盤工学会：1964年新潟地震液状化災害ビデオ・写真集，2004.
- 15) Kudo, K., Uetake, T. and Kanno, T. : Re-evaluation of nonlinear site response during the 1964 Niigata Earthquake using the strong motion records at Kawagishi-cho, Niigata City, *Prof. 12<sup>th</sup> WCEE*, Paper

安田 進

[やすだ すすむ]

**現職** 東京電機大学理工学部教授

**略歴** 昭和50年3月東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻博士課程修了，昭和50年4月基礎地盤コンサルタンツ(株)入社，昭和61年10月九州工業大学工学部助教授，平成6年4月東京電機大学理工学部教授，現在に至る





## ブレーカー自動遮断装置を設置しよう

### 地震後火災

もし M7 程度の首都直下地震が起こるとすれば、東京山手線の外側の木造密集地区では、地震後火災が起こり地震後の人々の避難ならびに生活に大変な障害を及ぼすといわれている。

19 年前の阪神・淡路大震災の時の地震後火災の原因は電気関係が多く、実に 4 割に上るといわれている。その中でも通電火災（地震の後、停電を修理して再通電したとき、ショートなどで火花が飛び火災となる。）が多いという。この火災は地震後 1 週間もたつて出火することもある。地震後にブレーカーを落とさずに避難してしまい、再通電によって出火することもあるからである。

このように出火原因が電気関連が多くなったのは、阪神・淡路大震災以降のことで、それ以前は、石油系暖房機やガスなどからの出火が多かった。それが一般家庭における電気関連装置の普及につれて電気関連の出火が増加したのである。

ガス関連の地震時自動遮断装置の普及は比較的遅れていたため、地震後ガス供給体制が復旧しても、再開は全所帯のガス栓の閉じていることを確認してからしかできなかった。マイコンメーターの普及以前は、何らかの事情で家が留守になっている所帯は、一軒一軒ガス会社が確認してから再開したのである。当然、阪神・淡路大震災後、電気関連についても地震時ブレーカー自動遮断装置をつけたらどうかとの意見が出たし、私自身も出した。電力会社には法律的

に電力供給を行う義務があり、ガスのマイコンメーターのように、自ら電力供給を停止することはできない。したがって、ブレーカー遮断は一般家庭の自己責任で行うこととなる。

### ブレーカー遮断による不便

ブレーカー遮断装置の設置は地震後の火災を防ぐという意味で大変な価値があるのであるが、電気が生活の隅々まで支えている現代において停電は、生命の危険を伴うことでもあるのである。例えば、人工呼吸器によって生命を維持している患者にとって停電は死を意味する。各家庭生活にとってはそのような危険はあり得ない。ただ不便さは大変なものである。全電化家庭にとっては一層不便であろう。ただ、夜中に地震後真っ暗闇になるのは避難するのにも不便であるし、装置の費用が高いなどの点から、阪神の地震から 19 年経った現在でも、それほど普及しているとは言い難い。

ただ、首都圏直下地震の被害として、山手線の外側のベルト地帯の木造密集地区が火災に包まれ、人々の避難とか生命に大変な障害をもたらす可能性を考えると、地震火災を何とか減らすことはできないのだろうか。

ブレーカー自動遮断装置が木造密集地域に普及すれば、かなり火災を減らすことができる。民放のテレビで仕入れた情報では、装置の費用は 3000 円強で済むという。ブレーカー自動遮断装置の設置を真剣に考えるべきではないだろうか。

(伯野元彦)

# アラビア海に出現した「地震島」

岡田義光

## 地震の発生と島の出現

2013年9月24日16時29分(現地時間)、パキスタン南部バルチスタン州でM7.7の地震が発生した。米国地質調査所(USGS)によると、震源地はアワランの北北東61km、震源の深さは約15kmである(図1)。震源地付近では泥を固めて作った数百の家屋が倒壊して住民が瓦礫の下敷きになるなど、10月23日現在で386人が死亡、816人が負傷と報じられている。地震の揺れは2分ほど続き、バルチスタン州の州都クエッタでも人々が建物の外に避難、1000km以上離れたインドのニューデリーでも揺れが感じられたという。

この地震はほぼ横ずれ断層型であり、アラビアプレートがユーラシアプレートの下に沈み込むパキスタン南西部と、インドプレートがユーラシアプレートに衝突するパキスタン東部との中間あた

りに位置している。この複雑なテクトニクス環境はこれまでに多くの被害地震を生んでおり、今回の地震それ自体は特に珍しいものではない。しかし、この地震に伴って驚くべき現象が現われ、世界の地震学者の注目が集まった。それは島の出現である。

新たな島が突然現れたのは、震源から約350km離れたアラビア海沿岸の港町グワダルの沖合2kmの地点で、長さ約80m、幅約40m、高さは海面から20mほどもあり、「地震島」と命名された(図2)。海岸には大勢の見物人が詰めかけ、翌25日には地元住民や地震学者、野次馬の観光客らが次々と島に上陸して大賑わいとなった。その様子は動画サイトYouTubeにも掲載され([http://www.youtube.com/watch?v=dlq5XXT\\_ep8](http://www.youtube.com/watch?v=dlq5XXT_ep8))、泥や砂や岩でできたゴツゴツとした地形の島にはエイの死骸や貝殻の付着が見られ、岩の間に溜まった泥水から噴き出すガスに火をつけるシーンも映し出されている。

## 島の成因

この島の出現に対し、一部の報道機関は「地震による地殻変動が原因とみられる」と報じたが、これはとても信じられない話である。M7.7の地震であれば、震源断層でのずれの量はせいぜい4~5m程度であり、ごく近傍であってもこれを超える変位はあり得ない。まして、震源から350kmも離れた地点で期待される地殻変動量は最大でも3cm程度である(Okada(1995)による)。ただし、これは純粋な弾性論による見積もりであって、現地で20mもの隆起を生じたということは、よほど特殊な条件があったと考えざるを得ない。

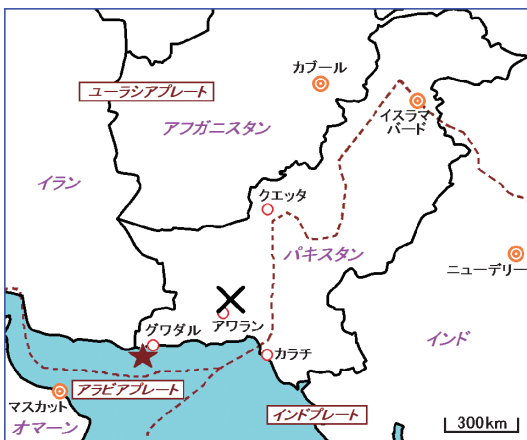


図1 2013年9月24日アワラン地震の震源(×印)と、地震島(★印)の出現位置。破線はプレート境界を表わす。



図 2 アラビア海のグワダル沖に現れた地震島 (NASA 提供)

一方、この場所では同様の現象が過去にも起きていたらしい。年配のグワダル市民からは「以前にも同じことが起きた。1968年の地震で沖合に島ができたが1年で消えた」との証言があり、また専門家も「同じような島は70年前の1945年カラチ地震 (M 8.1) の際に出現したが、1年ほどで消えた」という。さらに、この付近では地震が無くとも突如島が出現することが多く、1999年と2011年にも同じく島が現われたものの、やがて消滅したとする報道もある。

複数の地質学者や地震学者によると、今回生じた島は「泥火山」である可能性が高いという。泥火山は、地下深くの粘土が地下水やガスなどとともに地表や海底に噴出して形成される。周辺の海底下には天然資源として注目されるメタンハイドレートが埋蔵されているとのことで、地震による強い揺れで地下の圧力状態が変わって、地盤が弱い箇所から高压のガスが漏出し、土壌が海底の砂や液体もろとも噴き上げられてドーム状の構造物を形成したものらしい。なお、正確には泥火山でなく泥ダイアピル (塑性流動) であろうとの考えも提出されている (横井, 2013)。

ともかく今回の島の出現は海底そのものが隆起したわけではない。島自身は固定された大地ではなくて泥の塊なので、ガスが空气中に放出される

につれて圧縮され、やがて風や波にさらわれて、数ヶ月のうちには再び海底に姿を消してしまうだろうと言われている。

蛇足であるが、今回の事件と似て非なるものとして、火山や地熱地帯における遠隔トリガリングという現象がある。2011年東北地方太平洋沖地震の直後からしばらくの間、北海道から鹿児島県にわたる20箇所火山では周辺の地震活動が一斉に活発化したが、これは地震による強い揺れが地下のマグマシステムを不安定化させたためと考えられている。また、米国のイエローストーン公園や日本の小笠原硫黄島では、数千 km も離れた場所で発生した大地震による表面波が通過する際、動的な歪変化によって地震活動が活発化することが古くより知られている (鶴川, 2013)。

### 日本付近にもある泥火山

泥火山は油田地帯や沈み込み帯周辺に多く、カスピ海や黒海の沿岸、インドネシア、台湾、アラスカ、カリフォルニア、メキシコ、ニュージーランドなど世界各地に存在している。地表および浅い海底には1,100箇所ほどの泥火山が確認されており、また、深海平原などには1万を超える泥火山があるという。

泥火山は日本にも存在しており、陸上では北海

道新冠町の国道 235 号に沿って並ぶ新冠泥火山が有名である。これまで、1952 年十勝沖、1968 年十勝沖、1981 年浦河沖、1994 年北海道東方沖、2003 年十勝沖、2008 年十勝沖など大規模な地震が発生するたびに、泥水の噴出現象が記録されている。

一方、海域では、紀伊半島沖合の熊野灘でおよそ 10 個の大規模な泥火山が見つまっている。そもそも泥火山は、今回島の出現騒ぎがあったバルチスタン沖のように、水を多く含む遊離した沈殿物層に特有の構造であると言われている。パキスタン南部は、チベット高原から流れ出したインダス川が運ぶ土砂でできた広大な三角州となっており、河口の沖には莫大な泥土が堆積している。わが国でも同様に、泥の供給源である富士川や天竜川の河口から離れた熊野灘にかなりの数の泥火山が存在しており、将来南海地震が起こった場合には、日本でも新たな島が出現するかもしれない。

泥火山は古くから地質学者に興味をもたれてきた存在だが、最近になって、この熊野灘で泥火山の構造を掘削で調べる研究が始められている（飯島、2012）。その結果、内部は泥火山を噴き上げた粘土とそれによって破壊された岩石のかけら、そして燃える氷と呼ばれる「メタンハイドレート」が網目状に隙間を埋めるように走っていることがわかってきた。どうやら泥火山は、海底深部からメタンガスを地上（海底）に運ぶ天然のパイプラインの役目を担っているらしい。

## 参考文献

- 飯島耕一（2012）ついに始まった本格的な泥火山調査—泥火山から見る地下深部の構造，<http://www.jamstec.go.jp/chikyuu/magazine/j/discover/no14/>.
- Okada, Y. (1995) Simulated empirical law of coseismic crustal deformation, *J. Phys. Earth*, 43, 697-713.
- 鶴川元雄（2013）大地震と噴火の連動性について，*地震ジャーナル*，55，13-25.
- 横井和夫（2013）13' 09 パキスタンの地震島，<http://www.geo-yokoi.co.jp/News/1309Pakistan.htm>.

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  
所理事長  
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，地震調査研究センター長，企画部長を経て現職

**研究分野** 地震学，地殻変動論

**著書** 『日本の地震断層パラメーター・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），『最新 日本の地震地図』（東京書籍），『自然災害の事典』（共著，朝倉書店）他



# 1999年イズミット地震（トルコ）に先立つ 電気抵抗変化

本蔵義守

## 1. はじめに

北アナトリア断層はサンアンドレアス断層とよく似ており、プレート境界ではあるものの横ずれであることから、例えば我国の内陸地震と同様に浅いM7~M8クラスの地震が発生し、直下型地震として大きな被害を起こしてきた。北アナトリア断層では地震の静穏期と活動期があるらしく、現在の活動期は1939年のエルジンジャン地震(M7.9)から始まったとされている。現に、この地震に続いて西方に向かって移動するように大地震が続発し、1967年のムドゥルヌ地震(M7.1)を見たのである。このような移動性から、その次の大地震の発生はこの地震の震源域の西隣であると思われるので、1970年代にこの地域は国際地震予知実験場とされた。このような実験場提唱グループの我国代表が力武常次教授であったことから、門下生の私が東工大チームを結成し、研究観測を行うことになった。外国チームとしては、英国チームとドイツチームがすでに観測を開始していた。前回の地震から14年経った1981年のことであった。

その後、地震予知研究は衰退の一途をたどり、我国でも阪神・淡路大震災を契機に地震予知研究計画は大幅な見直しが行われた。国際的にも、地震予知実験場という観点も忘れ去られる運命にあった。とはいえ、1939年以来の規則的西方移動は、実験場における近い将来の大地震発生を強く示唆することには変わりはなかった。そこで日本チームは間欠的ではあるが研究地域を維持し、観測を継続してきた。そして1999年8月17日未明にMw7.6(Mw7.4とする意見もある)のイズミット

ト地震が予期されていたところで発生したのである<sup>1),2)</sup>。前回の地震から32年が経過していた。日本チームの研究開始からは18年後のことである。イズミット地震に関してはいろいろ調査研究が行われた。日本・トルコチームが設置した定常観測点(IZINET)及び臨時余震観測点で得られた記録から求めた余震分布は断層に沿って約100kmにわたり、深さは20kmよりは浅い。典型的な直下型地震とってよい。とくに震源近傍の深さ10km程度までのセグメントが地震時に大きくすべった。

電磁気観測に関しては、地震発生時には震源域直上で観測中であり、地震に関連する異常変化が観測されているのではないかと期待されたものの、予備的データ解析からは明瞭な電磁場異常変化は検出できず、地震予知は困難であるというその後の流れの一因ともなった。その後、詳しいデータ解析を行ってみたものの、ポジティブな結果が得られないまま、ほぼあきらめかけていたが、最近になって地殻比抵抗時間変化の詳細な解析を行ってみたところ、地震発生前に震源域で電気抵抗が変化した可能性が高いとの結論を得るに至った<sup>3)</sup>。本稿ではその内容を紹介する。

## 2. 電磁気観測及びデータ解析

断層域の地殻比抵抗構造を調べるために、地震発生2週間ほど前からMT(マグネットテルリクス)法とよばれる探査を行っていた。図1に示すように、001(▲印)を参照点として常時観測を行いつつ、南北測線に沿う探査観測点(○印)で2-3日観測(同時には4点)を行うという方式

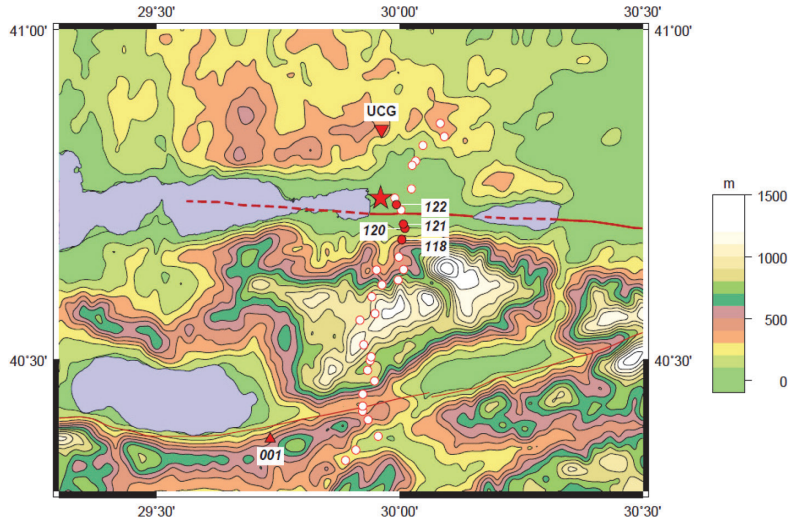


図 1 MT 観測点 (▲, ○, ●) の配置とイズミット地震の震央 (★). 東西に延びる実線及び破線は地表に現れた震源断層トレース及び海域. 湖上の推定位置を示す. ▼はトルコ TUBITAK の地震観測点である.

で、探査観測点を南から北に向けて移動させる。赤で塗りつぶした (●印) 探査観測点 (118, 120, 121, 122) で観測中の 8 月 17 日に地震が発生した。東西に延びる震源断層をちょうど横切るような形で、しかも震源の真上という理想的な観測配置となっていた。星印は震央で震源の深さは 10–15 km である。もちろん、この場所で 8 月 17 日に地震が発生することを予め知っていたわけではない。全くの偶然である。▼印はトルコの TUBITAK とよばれる学術機関の地震計設置点である。後述するように、この観測点で得られた前震群の波形が重要な情報となる。

解析方法としては、24 Hz サンプリングデータを 1 分毎に切り出し、 $xy$  モード (南北電場、東西磁場) 及び  $yx$  モード (東西電場、南北磁場) の見かけ比抵抗と位相を求めるといった少々乱暴ではあるが時間分解能に優れた方法を採用した。地震時の変化については、地震前と地震後に分けてそれぞれの区間の平均値とその信頼区間 (99%) を求め、地震前の変化はばらつきの中で判断するというようにした。したがって、後者の統計的信

頼性は議論できない。本稿では地震前の変化についてのみ図 3 に示す。地震時の変化については Honkura *et al.* (2013)<sup>3)</sup> に示されている。

見かけ比抵抗及び位相の他にも地殻比抵抗の変化を示す指標がある。震源域から遠く離れた参照点での磁場変化の水平 2 成分に対する探査観測点での磁場変化水平 2 成分の振幅比 (及び位相) の時間変化を調べるという手法である。今の場合、参照点では見かけ比抵抗の変化が見られないことを確かめているので、この手法は信頼できる。そのうち、南北成分比 ( $xx$ ) と東西成分比 ( $yy$ ) の結果を図 2 に示した。これらのデータ解析ではコヒーレンス閾値を基準に比較的ノイズの影響の小さいもののみを採用している。

### 3. 解 釈

図 3 では、サイト 118 の磁場振幅比  $xx$  モードの変化は地震時ではなく、約 20 分前に急に起こっているように見える。同様に、サイト 122 の 0.2 Hz の見かけ比抵抗 (両モード) も約 20 分前に急変している。一方、同サイトの 0.5 Hz には

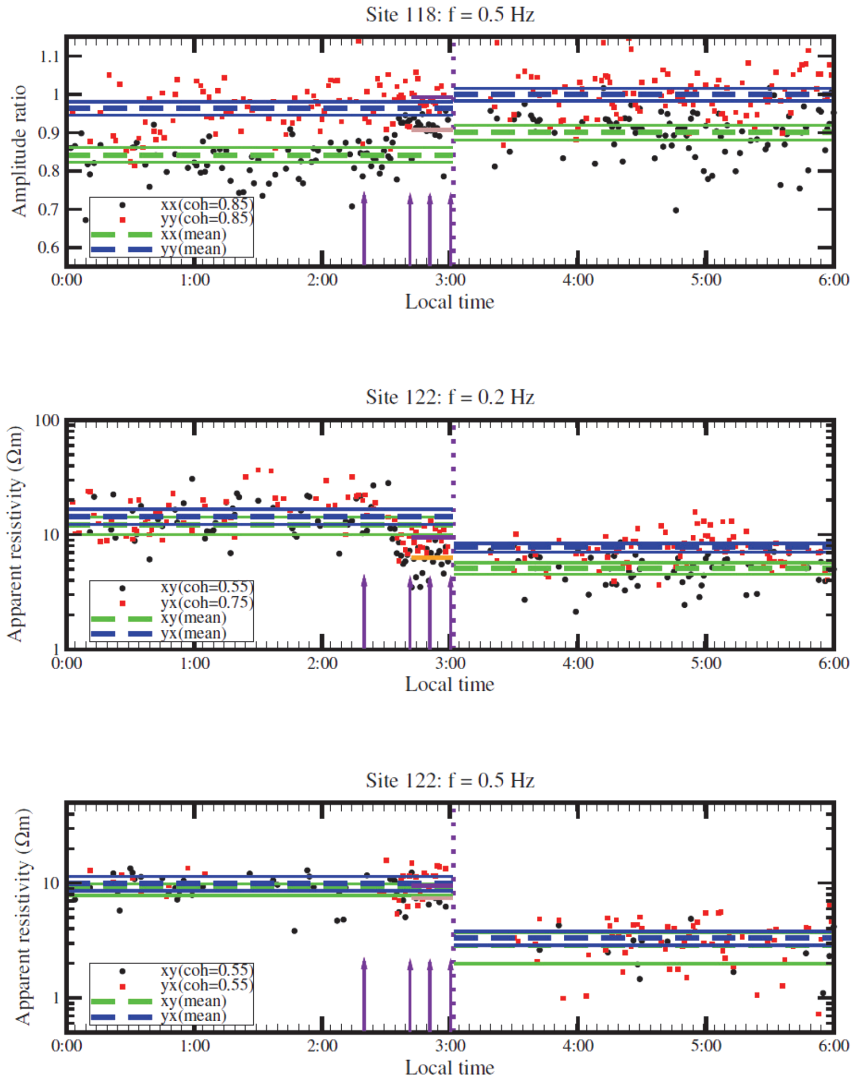


図 2 上段：サイト 118（図 1 参照）における周波数 0.5 Hz に対する磁場振幅比（ $xx$ ：南北成分， $yy$ ：東西成分）。中段：サイト 122 における周波数 0.2 Hz に対する見かけ比抵抗。下段：サイト 122 における周波数 0.5 Hz に対する見かけ比抵抗。実線は地震前及び後の平均値，破線はその 99% 信頼区間を表す。地震は 3 時過ぎに発生している（紫色の点線）。矢印はほぼ同じ波形の前震群を表している。

そのような変化はなく、地震時に変化しているように見える。地震時の変化は他の周波数及び他のサイトでも多く認められるが、それらが地震前の変化であったのかあるいは地震時の変化であったのかを判定できるほど十分なデータがない場合が多い。図 2 は比較的良好なデータが確保できた場

合である。

見かけ比抵抗や磁場振幅比の変化はいずれも地殻の比抵抗が低下したことを意味している。これらの変化を説明できる物理モデルを考えるために、2次元の比抵抗構造モデルを求めてみた。図 3 の左側モデルは、図 1 の比抵抗探査観測点のす

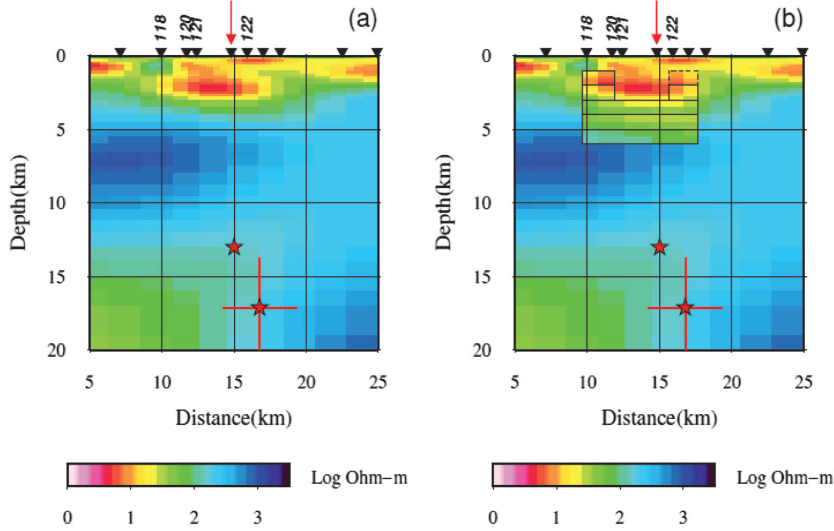


図 3 左図：地震前の 2 次元比抵抗構造。右図：地震後（地震直前を含む）の 2 次元比抵抗構造。長方形の領域で比抵抗が低下している。矢印は震源断層，▼は探査観測点及び地震時に稼働中だった観測点（118, 120, 121, 122）の位置を示す。★は震源を示す。

すべてのデータを使って行った 2 次元インバージョンの結果から、震源断層（北アナトリア断層）近傍の南北 20 km、深さ 20 km の断面を取り出したものである。矢印で示す震源断層直下の浅部に低比抵抗層が広がるが、その下の震源近傍では高比抵抗層となっている。右側のモデルは地震時と地震前の見かけ比抵抗及び磁場振幅比の変化を合わせて説明できるモデルである。長方形で囲った領域の比抵抗が数十パーセント低下している。図 3 のサイト 122 の周波数 0.2 Hz（地震前に変化）と 0.5 Hz（地震時に変化）の振舞いに関しては、点線の長方形の領域が地震時にのみ変化したとすれば説明できる。

このモデルにおいて変化領域及び変化量に関する詳細な議論はあまり意味がないものの、特徴として挙げられることは、断層近傍の 10-100 Ωm という比抵抗領域で比抵抗が数十パーセント変化したらしいということである。つまり、10 Ωm 以下の低比抵抗の領域ではなく、また 100 Ωm 以上の高比抵抗の領域でもなく、その中間の比抵抗の領域であるということである。

#### 4. 比抵抗と地殻流体

地殻岩石中のクラックや間隙には水が含まれており、地殻流体ともよばれる。地殻流体は各種イオンを含むことから比抵抗が低い。したがって比抵抗が低い領域では一般に地殻流体の含有量が多いと考えてよいのであるが、電気伝導にとって重要な要素は、電気的回路が形成されているかどうかである。わかりやすくするために、極端な二つのモデルを考えてみよう。岩石中の流体がばらばらに孤立している場合とすべての流体がつながっているばあいである。流体の総量が同じとすれば、両者の状態はわずかな差でしかない。しかし電気的に見れば、その差は極めて大きい。流体が孤立している状態では比抵抗は岩石の比抵抗と同程度であるのに対し、連結している状態では比抵抗は流体の比抵抗と含有量比の積と同程度である。一般にはこの両極端の中間の状態にあるはずで、連結度に応じて比抵抗が変わる。したがって、何らかの理由で連結度が変わると、部分的に状態相転移のような現象となり、比抵抗が大きく変わることになる。前節で中間比抵抗領域において地



震前あるいは地震時に比抵抗が急変したことを指摘した。地震に関連してこのような状態相転移が起きると考えれば、比抵抗急変は自然に理解できる。

## 5. ひずみと比抵抗変化

それでは、連結度が変化するメカニズムはあるだろうか。ここで、“ナマズ岩”として有名になった油壺の岩石を思い出そう。空隙率が非常に高い、水を含む岩石では、ひずみに対して非常に大きな電気抵抗変化を示すことが知られている。とくに、水で飽和していない場合には極端に大きな変化を示し、電気抵抗変化はひずみの $10^3$ 倍にも達する。ひずみに対する電気抵抗変化の比は増幅ファクターとよび、大きな値を示す現象を山崎効果とよぶ。また、油壺観測点では地震時にひずみステップに対応する電気抵抗変化が観測されることでも有名で、微小なひずみ変化に対してはさらに大きな振幅ファクターを示す。そのメカニズムの詳細は解明されてはいないが、前節の流体の連結度に関する状態相転移を微小ひずみが引き起こしたと筆者は考えている。

この考えをイズミット地震時及びその前の比抵抗変化に適応してみよう。地震時の変化は油壺の場合と同じとして、地震前の変化はどう考えればよいか。ここで、図2に示した同じ波形を示す前震群を思い出そう。これらの前震の波形が本震の波形と相似であることから、前震群は本震破壊の断層面でのすべりを示唆する。さらに、最近のフランス・トルコチームの詳細な研究によると、観測された前震群に加えて無数の類似微小相似地震が発生しており、低周波微動のような現象も見られる。これらは地震前のスロースリップを示唆する。したがって、流体の連結度に関する状態相転移の原因をスロースリップによる微小ひずみに求めても不自然ではない。

では、流体の連結状態が多少変化したとて、果たして地震発生につながるだろうか。確かに、スロースリップが前震を発生させ始めたのは地震の

約40分前であり、比抵抗が急変したのは約20分前であったので、スロースリップが進行中に状態相転移が発生したと考えてよい。断層面近傍での流体連結度の急増は断層すべりを促進する方向に働くことが予想されるので、この意味でスロースリップに加えて状態相転移が起こったことからイズミット地震がトリガーされたという仮説を立てたくなる。非常に難しいとは思いますが、室内実験あるいは野外観測で検証してほしいものである。

## 6. おわりに

筆者たちが得たデータは限られているものの、イズミット地震の前に断層面近傍の比抵抗が低下したようである。これだけでは地震の先行現象とするには無理があるが、この現象はスロースリップの進行中に起こり、しかも断層すべりを促進する方向に働くことを考えれば、地震発生に関わっていた可能性が出てくる。一方、スロースリップという現象自体は我国のプレート境界でしばしば発生していることが知られており、必ずしも大地震発生につながるわけではない。

2011年東北地方太平洋沖地震では、地震前に震源近傍でスロースリップが発生していたことを示唆する観測データが得られており<sup>4),5)</sup>、一方では地震発生に向かってすべりの加速（プレスリップ）は観測できなかったという結果もあり<sup>6)</sup>、スロースリップと大地震発生との関連を解明するさらなる研究が求められる。イズミット地震に先行したと思える比抵抗変化は地殻変動や地震活動とは異なった視点からの現象で、1970年代に盛んに提唱された多様な異常現象の同時発生の重要性を思い出す。地震予知に否定的な昨今であるが、基礎研究としてスロースリップ及びそれに付随する多様な現象（比抵抗変化を含む）に関する研究を推進する意義は十分にあるのではないだろうか。

地震予知の実用化という観点からは否定的状況にあることには変わりはない。しかし、スロースリップが地震に先行した例があり、しかも我国ではスロースリップがモニターできる観測網が整備

されつつある状況に鑑みれば、気になる現象に直面する局面もありうると思われる。その時に、基礎研究の段階だからといって単に見過ごしてよいのか不安になる。警報などの実用化とは離れて、各種リアルタイム観測データの監視及び何らかの観測情報はあってもよいのではなかろうか。特に近い将来の南海トラフ巨大地震の発生が危惧される現状においては、もちろん、実用的予知への期待、あるいは国民の混乱を招くような情報は避けなければならないことは言うまでもない。

(本稿は Honkura *et al.* (2013) を我国の一般読者向けに改稿したものである。)

### 参考文献

- 1) 本蔵義守・他, 2000, 観測網のなかでおこった地震, *科学*, **70**, 109-112.
- 2) 大志万直人, 2000, トルコ・イズミット地震, *地震ジャーナル*, **29**, 1-10.
- 3) Honkura, Y., *et al.*, 2013, Rapid changes in the electrical state of the 1999 Izmit earthquake rupture zone, 2013, *Nature Comms.*, **4**: 2116 doi: 10.1038/ncomms3116.
- 4) Kato, A., *et al.*, 2012, Propagation of slow slip leading up to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earth-

quake, *Science*, **335**, 705-708.

- 5) Ito, Y., *et al.*, 2013, Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, **600**, 14-26.
- 6) Hino, R., *et al.*, 2013, Was the 2011 Tohoku-Oki earthquake preceded by aseismic preslip? Examination of seafloor vertical deformation data near the epicenter, *Mar. Geophys. Res.*, doi:10.1007/s11001-013-9208-2.

本蔵義守

[ほんくら よしもり]

**現職** 東京工業大学名誉教授, 科学技術振興機構国際部研究主幹, 地震調査研究推進本部地震調査委員会委員長

**略歴** 東京大学大学院地球物理学専攻博士課程修了, 東京大学地震研究所助手, 東京工業大学大学院理工学研究科教授, 東京工業大学理学部長, 文部科学省研究開発局科学官, 東京工業大学理事・副学長を経て現職

**研究分野** 固体地球物理学

**著書** 地球内部ダイナミクス (共著), *Solid Earth Geomagnetism* (共著), 日本列島の地震 (共著)



# 次の関東大地震は来世紀中ごろ

## 神沼克伊

### 1. はじめに

関東地震は首都圏南部の地域、特に神奈川県にとっては、プレート境界の巨大地震であるとともに、直下型地震でもある。筆者はかねてから関東地震が1923年の大正関東地震と1703年の元禄関東地震の二つしか（注目されていない）ないことが気になっていた。また鎌倉大仏の大仏殿が津波に流されて、露座の大仏になったという史実についても、疑問を持っていた。

東日本大震災を機会にこの問題を考え調べた結果、筆者にとっては半世紀ぶりにその疑問が解消した。そして「次の関東地震は22世紀の中ごろに起こる」可能性が高いことがはっきりした。その結果を詳述する。

### 2. 繰り返し起こる関東地震

よく知られているように噴出した火山島をのせて北上してきたフィリピン海プレートは、日本列島に衝突し伊豆半島を形成するとともに、その下に潜り込み始めた。数百万年前の話である。潜り込みつつあるフィリピン海プレートは伊豆半島の東側では北東方向に向かい相模トラフを形成し、関東地震を起こしている（図1）。

また西側では北西方向に潜り込み駿河トラフから南海トラフを形成し、東海地震、南海地震などと呼ばれている巨大地震を繰り返し起こしている。東海地震や南海地震は少なくとも天武天皇の684年を最初として9回の巨大地震が記録されている。

同じフィリピン海プレートの潜り込みで発生する巨大地震なのに、伊豆半島の西側では過去1500年ぐらいの間に9回も記録されているのに、

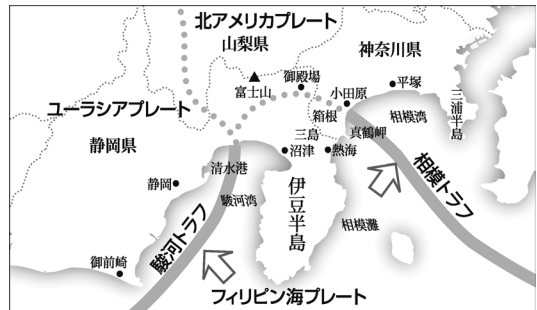


図1 駿河・相模トラフの概念図：北上したフィリピン海プレートの沈み込む方向が伊豆半島を境に北西方向と北東方向に分かれ、それぞれ駿河トラフ、相模トラフを形成している。

なぜ東側では2回なのかというのが、筆者の素朴な疑問であった。

もちろん西側の地域は飛鳥時代から都が置かれ、古文書も数多く残っており、歴史地震を調べるにも有利な地であるのに対し、東側の地域は東国と呼ばれ、いわば僻地であって奈良時代や平安時代の資料も少ない。地震は起こっていても記録が無いので分からないというのが、一つの説明である。

しかし、源頼朝が鎌倉幕府を開いたのが1192年とされるが、それからでも800年以上が経過している。やはり関東地震が記録に無いのは不思議であると考えていた。

大正関東地震から80年が経過した2003年頃のことである。南関東は地震の活動期に入り始めたので、これから注意が必要であると話題になった（例えば「月刊地球号外 No. 34, 2001」）。確かに1703年の元禄関東地震の後、80年間ぐらいは首

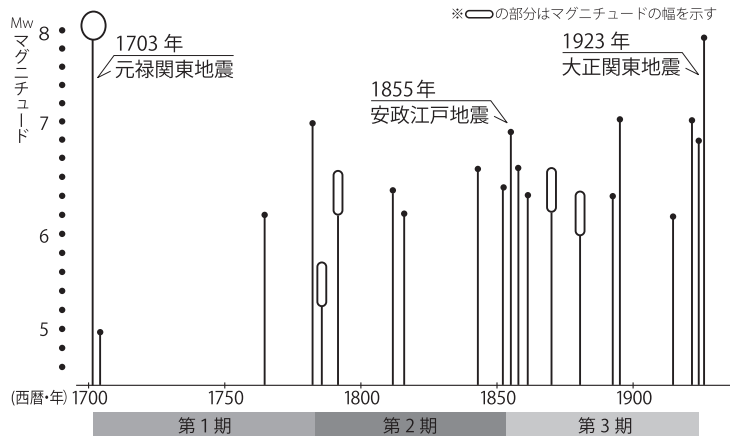


図2 南関東のおもな地震活動：元禄関東地震から大正関東地震まで

都圏南部の地域では記録に残るような被害をともなした地震は発生しておらず地震活動は静かであった。

その静穏期を過ぎ1800年前後の70~80年間にはポツリポツリとM6~7クラスの地震が記録されている(図2)。したがって首都圏南部ではこれから地震活動が活発になる、さらに飛躍的に物を云う研究者の中には、「安政江戸地震」(1855年)のような直下型の地震が起こると主張する人もいた。しかし関東地震の発生はまだ先だろうというのが、当時の風潮だった。

筆者は次の関東地震は大正関東地震から200年以上後という論調にも疑問を呈していた。元禄-大正間が220年という、ただ一度の例からの推測はすべきでないと考えていた。だから次の関東地震は1923年から150年後かもしれないし300年後かもしれない、このような発生間隔では50年、100年は誤差のうちである。したがって油断は禁物であるが、切迫しているわけでもないだろうと、ただ漫然と考えていた。

### 3. 明応年間には大仏殿は無かった

東北日本大震災後、メディアとそのメディアに触発された一部の研究者は、首都圏で直下型地震が誘発されると盛んに宣伝した。その直下型地震

には関東地震も含むような発言もあったので筆者も調べてみることにした。

そこで第1に浮上したのが1495(明応4)年の地震である。鎌倉幕府の年代記である「鎌倉大日記」(国文学研究資料館で容易に閲覧可能)に明応4年8月15日に鎌倉は大地震に見舞われ、津波も襲来した。そして『水勢大仏殿破堂舎屋』と記されている。

この文章から鎌倉大仏の仏殿が明応4年の津波により破壊されたと解釈された。鎌倉大仏は現在では高德院の本尊であるが、それは元禄関東地震以後の話で、それ以前はあれだけ大きな尊像が存在しているのに、正式な寺の名前が無かったらしい。大仏も鎌倉五山の一つの建長寺や近くの長谷寺が管理していたようであるが、どちらかと云えば厄介者扱いだったことが資料の行間から伺える。地元の人は大仏の前を通ると手を合わせていたようだが、供養する寺僧も居たり居なかったりで、周辺は田んぼだったり、雑草が生えたりし、荒れていた。そして地元では『大仏殿』は「大仏のある寺」の呼称だった。

したがって明応4年の地震では、「津波により大仏のある寺の堂舎が破壊された」と解釈するのが自然である。

現在は高德院の山門付近の標高は13m、大仏

の台座はそこから2m以上も高い。台座と同じ高さには高さが数十センチの大仏殿の礎石がある。仮に大仏殿付近が元禄、大正の地震でそれぞれ1m近く隆起したとしても、明応4年の頃の標高は10m以上はあったろうから、大仏殿の基礎は13~14mの高さだったろう。大仏殿が津波で流されたとすれば、その波の高さは少なくとも15~16mなければならない。そんな津波が本当に襲来したのだろうか。

仮に大仏殿ではなく、現在の山門周辺にあったであろう寺僧の暮らす堂宇だったら12~13m程度の津波でも流されたであろう。鎌倉大日記の記述はその事実を示していると考えられる。

さらに明応年間にはすでに大仏殿は無かった記録がある。和歌の師として美濃から太田道灌に招かれた萬里集九は、1486年に大仏殿を訪れたとその著「梅花無尽蔵」(国文学研究資料館マイクロフィルムの資料が閲覧可能)に記述している。その時、大仏は荒れており、体内では昼間から博奕をやる人がいた。大仏は露座だったなどと明記している。当時の鎌倉幕府の勢力から、明応年間までの数年で大仏殿が再建できなかつたらうし、再建されたという記録もない。

現在、高德院の参拝券には『尊像を収めていた仏殿は1334(建武元)年と1369(応安2)年に大風で損壊したらしい。15世紀以後同仏殿が再建された形跡は認められない』とある。以上のような状況から、筆者の疑問の一つは解消された。

#### 4. 明応年間の二つの巨大地震

1498(明応7)年8月25日には東海地震が起こり、史上最大の津波による被害が出ている。この地震によって静岡県の浜名湖の砂州が崩壊し太平洋とつながった。ところが史上1,2を争う大地震だったにもかかわらず、この地震は鎌倉大日記には記載されていない。また明応4年の地震は8月15日、明応7年の地震は8月25日と似ていることなどから、一部の研究者は、明応4年の地震は明応7年の地震を誤って記載したと主張し

た。その結果、「明応7年の東海地震の津波によって鎌倉大仏の仏殿が流された」と解釈され、理科年表にも記載されていた時期があった。

筆者は誤記説を提唱した地震研究所時代の先輩である宇佐美龍夫先生に、その事情を直接伺った。「全体の背景として明応4年の地震は資料が少ないので不明の点が多い。新しい資料が発見されれば、これまでの見解が変わる可能性がある」との話を伺った。その後筆者が調べた結果、明応4年と明応7年の地震を明確に区別して記載してある熊野年代記、北条早雲の小田原への侵攻のような社会情勢の変化、そのほか考古学的な資料などから、明応4年の地震も実在したと以下のように結論づけた。

明応4年(1495) 関東地震 鎌倉に震害と津波  
明応7年(1498) 東海地震 東海地方に大被害  
つまり元禄関東地震のひとつ前の関東地震は明応4年の地震となる。

そして、東海地震の津波で大仏殿が流されなかったとすれば、そのほかの東海、東南海、南海地震で相模湾奥まで津波による大きな被害があったという記録は見当たらないので、伊豆半島西側で発生するプレート境界の巨大地震に関しては、相模湾の北岸地域で津波の被害を受ける可能性は極めて低いとの結論も得た。地元にとってはこの結論は朗報だと考える。

また同じような意味で、相模湾奥に位置し海岸から平坦部が広がっている鎌倉や小田原でも、津波の被害を受ける可能性が高いのは関東地震だけと考えてもよさそうである。

2014年3月、政府は南海トラフの巨大地震で相模湾沿岸にも大きな津波の被害を想定している。これも超巨大地震のトラウマで、過去の例からはそれほど心配する必要はないと考える。

さらに明応4年以前で鎌倉に津波の被害と震害をもたらした地震を探したら仁治2年(1241年)5月の地震が浮かんできた。理科年表によるとM7.0で関東地震としては小さいが、これは多分文献が少なく、被害範囲が実際より狭く推定され

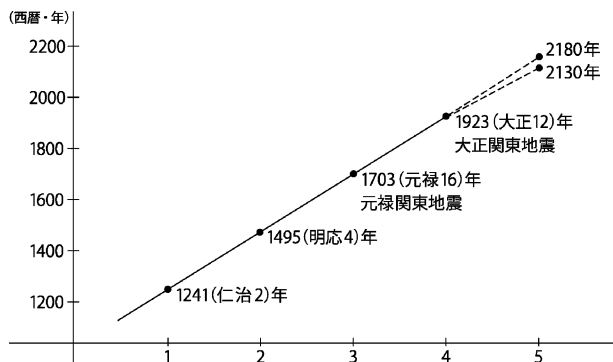


図3 次の関東地震の予測；4回の関東地震は見事にほぼ一直線上に乗った。  
(図2の安政江戸地震は相模トラフ沿いの地震ではないから考慮せず。)

た結果であろうと想像している。

またこの地震も鎌倉大日記には記載されていない。地震と津波という凶事を払拭するためか、地震の翌月大仏殿の上棟式が行われている。鎌倉大仏の建立については、未知の部分が多い。鎌倉幕府の歴史を記した「吾妻鏡」には1238年5月18日に『相模の国深沢の里の大仏の御頭を挙げ奉る』という記載がある。そして1241年6月の上棟式へとつながっていく。

いずれにしても鎌倉大仏は建立当初から関東地震と縁が深かったようだ。鎌倉大仏が高徳院となって現在の繁栄の基礎が築かれたのも、元禄関東地震で仏像が傾いたのを知った、江戸・芝増上寺の祐天上人がその再興に着手したからである。

## 5. 4回の関東地震

仁治2年の地震の前の関東地震は1000年頃には起こっていてよいはずであるが、理科年表には記載がない。鎌倉幕府の開かれる前であるから、関東地震が起こっていたとしても、記録として残されていなかったのだろう。

そこで大正、元禄の二つの関東地震に明応関東地震、仁治関東地震を加えてグラフにしてみたのが図3である。この程度のスケールだと地震の発生年はほぼ直線上にプロットされた。直線の勾配が関東地震の発生間隔になる。しかし、勾配と誤

差を求めて発生間隔〇〇年±X年としてもあまり意味はないと思うので、ここでは4回の地震の発生間隔254年、208年、220年の最長と最短をとって2180年と2130年とした。つまり22世紀の半ばに発生することが予測される。

だからと言ってそれまでは絶対に安心というわけではない。図2からも分かるように、関東地震発生前の約100年間、首都圏ではM6~7クラスの中地震、大地震がポツリポツリと起こっていた。その中には安政江戸地震(M7.0~7.1, 1855)、有名な横浜地震(M5.5~6.0, 1880)、東京地震(M7.0, 1894)などが含まれる。地震活動のこのような傾向は元禄地震の前にもある。次の関東地震でも同じような経過をたどると仮定すれば2050年頃からM6~7クラスの地震が首都圏で起こり始めると考えるのがよさそうである。もちろんそこには10年、20年の誤差が含まれるが、まだ時間はありそうである。

首都圏の地震活動に関しては巷では明日にも直下型の大地震が起きそうな風潮で伝えられているが、少なくとも関東地震の過去のふるまいからはその可能性は低そうである。

## 6. まとめ

「次の関東地震は22世紀の中ごろ」とはいわば巨大地震の超長期予知である。関東地震の振る舞

---

いを長期的視野で見ることは重要である。100年という年月は、人間の寿命では一生であるが、地球の寿命、自然の振る舞いではほんの一瞬である。

超巨大地震のトラウマからか、東日本大震災発生直後から、首都圏直下型地震や関東地震がすぐにでも発生するような発言をしたり、そんな発言を続ける研究者がいる。過去の地震活動を直視することなく、ただ「危ない」「起こるかもしれない」などとメディアを通じて広報する一部の研究者は猛省すべきと考えている。

神沼克伊

[かみぬま かつただ]

**略歴** 東京大学大学院理学系研究科修了、東京大学地震研究所助手、国立極地研究所助教授、教授を経て2001年3月退官。現在極地研究所・総合研究大学院大学名誉教授。

**研究分野** 固体地球物理学、極地科学。

**最近の著書** 日本の火山を科学する（共著サイエンスアイ新書）、次の超巨大地震はどこか（サイエンスアイ新書）、首都圏の地震と神奈川（有隣新書）、次の首都圏巨大地震を読み解く（三五館）ほか。



# 物を落として重力を測る

坪川恒也

## 1. はじめに

重力は文字通り、重さの力と言って良いでしょう。重さは重量と同じ意味ですが、それでは重量と質量は、どう違うのでしょうか。高校の物理では、質量は、物質固有の量であり、その動き易さや難さを表す量と教わったかも知れません。もう少し詳しく言うと、質量は、重力質量と慣性質量の2種類に定義されています。

重力質量は一般的に使用される質量の定義で、フランスのパリ郊外セーブル市にある国際度量衡局（BIPM）の金庫に保管されているキログラム原器を1キログラムの質量と決めた物です。これと全く同一のコピーを複数個作り、各国の計量研究所に供給しました。このようにキログラム原器は物そのものであるため、消耗を防ぐため、頻繁に使い回すことはできません。このため、供給を受けた国は、正確な孫コピー品を製作しています。この際に質量を測定する装置が精密天秤です。基準のキログラム原器を天秤の片方に載せ、もう一方の天秤に孫コピーのキログラム原器を載せて、質量を正確に比較測定します。こうして製作した孫コピーの1キログラムが、その国で実用に供される1キログラムの質量となる訳です。質量1キログラムの原器を製作する上で関与した重力は、フランスBIPMでの重力値のみであることが分かります。肉屋さんで使うはかりも、このキログラム原器を基に値付けられています。

一方、慣性質量は、物体の加速され易さ、難さを表す量です。慣性質量が小さいと大きな速度変化を獲得でき、大きな慣性質量では速度変化が少ない訳です。

さて、ここで質量の違う2つの物体を、地上で

落下させるとどうなるでしょう。自由落下は、地球の重力の力を受けて落ちることです。空気中では大きな質量の物が先に落ちます。これは空気抵抗の影響が出るからです。空気を抜いた真空中では、パチンコ玉も鳥の羽も、同時に下に到着します。この時の質量は、重力質量です。同時に落下するということは、物体の運動が重力質量に依らないということを表しています。大きな重力を受ける物体（重力質量が大きい）ほど、速度が変化し難い（慣性質量が大きい）ということで、折り合いを付けている訳です。慣性質量と重力質量が等しいことは、各種の実験で実証されています。

重量（重さ）は、この質量に掛かる重力の力です。つまり質量（ $m$ ）に重力加速度（ $g$ ）を掛けた値になります。地球の重力は、重力質量が寄与する万有引力により地球重心に向く力と、地球が自転することで慣性質量が寄与する遠心力の二つの力の合力になります。力 $F$ は、 $F=mg$ となります。そこで重さは、質量が一定でも重力値に比例して変わることになります。質量はどこへ行っても変わりません。地球上はもちろん、月や宇宙に行っても不変ですが、重さはその場所の重力によって変わってきます。重力計もこの原理を利用しています。

余談になりますが、力は質量に加速度を掛けたものですから、力は加速度を発生させると言ってもいいし、あるいは力のあるところ加速度あり、とも言えます。地震も地球が力を発生させたと考えると、通常地震計ではこの加速度を検出していることとなります。地面振動の速度が一定（つまり加速度がゼロ）ならば、地震計はなんら応答しません。



重力は加速度ですので、その単位は  $\text{m/s}^2$  となります。ただ、重力研究者の間では、CGS 単位系の Gal を使うのが一般的です。1 Gal =  $1 \text{ cm/s}^2$  です。地球の重力を Gal で表示すると、980 Gal 程度になります。これを大雑把に 1000 Gal としますと、1 Gal の分解能は重力を千分の一まで計ることになります。1 Gal の千分の一は 1 mGal です。これは重力値の  $10^{-6}$  に相当します。ちなみに MKS 単位系では  $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 、 $1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ s}^2$  となります。

## 2. 重力計の測定原理

先ほど述べたように、一定質量の物体に掛かる力を測定すれば、重力値が求まることとなります。例えば、物体を台の上に置き、物体に台から働く垂直抗力（これが無いと物体は落ちてしまう）を測定すれば重力が分かります。ただ、これは重力の直流成分を直接測ることになり、測定精度が上がリません。

測定精度を上げるには、重力の変化分（いわゆる交流成分）を求める必要があります。これに最も適した方法は、スプリング秤を利用することです。一定質量  $m$  を吊るしたスプリングの長さの変化を求めれば、フックの法則  $F = mg = kx$  から重力  $g$  が計算できます。ここで  $k$  はバネ定数、 $x$  はスプリングの変位量です。例えば 10 cm 長のスプリング型重力計を使って mGal の精度で重力を測定しようとする、10 cm を  $10^{-6}$  の精度で求める必要があります、これは  $0.1 \mu\text{m}$  の変位量に相当するため、簡単ではないことが分かります。

現在、重力測定精度は、更にこの千分の一の  $\mu\text{Gal}$  に達しています。これは  $10^{-9} \text{ g}$  という極限的な精度を実現していることとなります。

現在、最も多く使われているのは重力計は、このスプリング式です。小型、軽量で扱いやすいため、地下の構造探査や鉱物資源探査など、重力差を測定する場面で活躍しています。しかしスプリングを使う性質上、バネ定数の経年変化（へたれ）が避けられず、長期間に渡る重力変化を検出する

ことはできません。このように、重力の変化分しか測定できない重力計を相対重力計と呼びます。これに対し、重力加速度の絶対値そのものを求める重力計を絶対重力計と呼びます。以前、精密振り子の周期測定から重力を求めていましたが、最近の絶対重力計では、全て、物体の自由落下を利用する方式になっています。

## 3. 絶対重力計とは

いよいよ本題の絶対重力計の話に入りたいと思います。これは高校の物理で習った物体の自由落下の式を使い、落下時間と落下距離を測定して重力を求めるものです。ガリレオのピサの斜塔での実験の現代版と言っても良いかもしれません。重力を絶対値で求めるとなると、当然、この落下時間と落下距離を絶対値で測定しなければなりません。

時間と長さの単位は、秒とメートルです。これらを標準量と言います。現在、時間の標準は、原子時計から発生する周波数です。周波数標準の周期の何倍ということで、1 秒が定義できます。広く使われている原子時計は、GPS 衛星にも搭載されている、ルビジウム原子時計です。絶対重力計でも、時間の基準つまり周波数標準には、このルビジウム原子時計を使います。一方、長さの基準であるメートル原器は、光の波長で決めています。実際は光の速度を定数として定義し、光の周波数から波長を決めています。メートル原器として一番使われている光の波長は、ネオンの赤い色（632.8 nm）です。長さ標準として代表的な装置は、ヨウ素の分子吸収線を基準にして、He-Ne レーザの発振波長を安定化したヨウ素安定化 He-Ne レーザです。

長さと同時間の標準量（絶対値）を使って、どのように自由落下距離と落下時間を測定するのでしょうか。光の波長を元に変位量を求める訳ですから、単にパチンコ玉を落とせば測れるというものではありません。そのためには、レーザ干渉計を利用します。

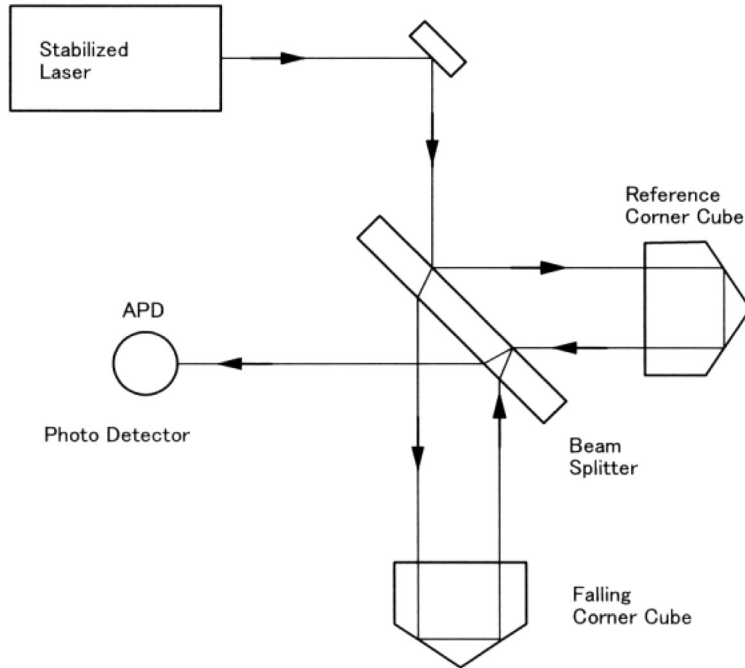


図 1 絶対重力計の原理図

図 1 のように干渉計を構成する 2 つの腕の内、縦方向の 1 つの鏡を移動すれば、光の明暗の連続である干渉縞が発生します。明から明、または暗から暗までの距離が、光の波長の半分に相当します。このように明暗の数を数えることで、鏡の移動量が分かります。

絶対重力計はレーザ干渉計の一種と言えます。一方の鏡を落下させれば、干渉縞信号から自由落下距離が求まります。このように落下物体（落体）として鏡を使うのが絶対重力計の特徴です。ただ、通常の鏡ではなく、入射する光と反射する光が平行になるように 3 枚の鏡を直角に交叉させた、特別な光学素子（コーナリフレクターやコーナキューブプリズム）を使います。これは、自由落下中に落体が僅か傾いた時でも、入った光が平行に戻り、干渉縞発生に支障が無いようにするためです。通常の平面鏡では僅か傾いただけでも、光干渉現象が起きません。

真空中で物体を自由落下させると、落下速度  $v$

は時間  $t$  に比例して上昇します。この時の比例係数が重力加速度  $g$  です。  $v=gt$  となります。明暗に変化する干渉縞の光強度は、光電変換素子（フォトディテクタ）により、電気信号（フリンジ信号）に変換されます。この電気信号を処理することで落下距離が分かります。落下速度は、フリンジ信号の周波数に比例します。つまり、フリンジ信号周波数は、落下時間と共にリニアに上昇します。

今、使用するレーザ光源の波長を 632.8nm とすると、その半波長は 316.4nm となります。重力値を  $9.8\text{m/s}^2$  とすると、半波長で換算した重力値は、約  $30.97 \times 10^6 \text{ fringe/s}^2$  となります。つまり、光の明暗の繰り返しが 1 秒間に 30.97 MHz の割合で上昇するフリンジ信号を、フォトディテクタで検出して落下距離に変換する訳です。

こうしてメートル原器を光源とする干渉計で、発生したフリンジ信号をルビジウム原子時計と同時に処理し、落下距離と落下時間の数多くのペアデータを得ます。これらを使って、重力加速度を

絶対値で計算します。

#### 4. 落下装置について

絶対重力計の心臓部は、光学素子を落下させる機構系（落下装置）です。現在、市販の絶対重力計で主流の落下装置は、ドラッグフリーチャンバー方式です。この落下方法では、落体となる光学素子をドラッグフリーチャンバーと呼ぶ一種のエレベータ内に格納します。この小型エレベータをサーボモータを駆動源に、下方に移動させる際、その速度を時間と共に直線的に増加させます。この速度変化（加速度）を重力加速度と一致させると、エレベータは見かけ上、自由落下状態になります。ただこの状態では、内部の光学素子もエレベータと一緒に移動するだけで、真の自由落下状態とは言えません。そこで移動開始直前に、一時的にエレベータを重力加速度の数倍の加速度で加速させれば、内部の光学素子はエレベータの床から数mm 離れ宙に浮きます。その後、

再び床に接触しないようにサーボモータを制御すれば、光学素子はエレベータ内部で浮いたまま、実質的に自由落下したことになります。真空度が悪い場合でも、エレベータ内部では残留空気分子の影響を受けない、利点があります。この方式を採用している絶対重力計が、米国マイクロ-gラコステ社のFG5型重力計で、現在、デファクトスタンダードとなっています。

これに対し、基本原理に忠実な方式が単純自由落下法です。この方式では、光学素子を格納した落体を、そのまま自由落下させます。このため、真空度が悪い場合は、その影響を直接受けます。しかし、最近の真空関連技術の進歩により、到達真空度は格段に改善され、この問題は無くなりました。この方式の利点は、機構が単純で、機械振動の発生を最小に抑制できることです。ドラッグフリーチャンバー方式では、自由落下中もエレベータが移動しているため、その駆動系からの振動発生は避けられません。

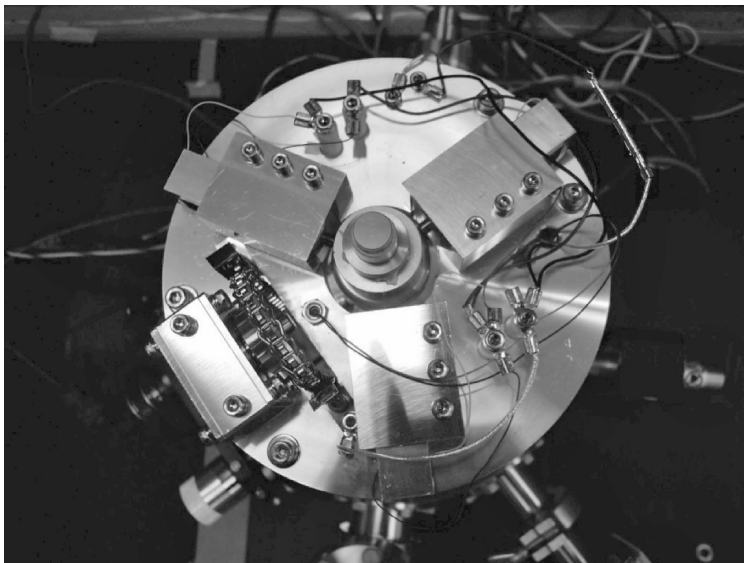


写真 1 サイレントドロップ落下装置  
3本のピエゾ素子は、静電シールドカバーに覆われて見えない。  
落体先端の平面鏡は、落下姿勢モニター用。  
左下に見えるのは、昇降台駆動用ラダープーリとラダーチェーン。



写真 2 落下装置全体図

落体は、落体受けに入っている。昇降台は、左のラダーチェーンと外部 DC モーターで駆動する。

単純自由落下法の一つとして、東京大学地震研究所の新谷先生と共同開発した、小型絶対重力計に使用している落下装置について紹介します。この装置は、極力、機械振動を抑えることを目標にして開発した落下装置であるため、サイレントドロップと名前を付けました。「寒夜に霜が降る如く」の言葉通り、音も無く静かにそして素早く、落体の姿勢を変化させずに、落下させることを目標に開発しました。

写真1は、落下開始地点に、落体をセットした状態を示しています。落体をこの地点まで移動させるためには、昇降台を使用します。昇降台は落体を載せて上昇し、落体を落下装置の中央に挿入

した後に停止します。落体を落下装置内につまみ固定するため、ピエゾ素子を使用します。落下装置では、3本のピエゾ素子に電圧を加えて微小変位させ、落体を写真1のように保持します。その後、昇降台は落体を落下装置に残し、落下点の下まで移動して停止し、落下を待ちます。ピエゾ素子を使用した理由は、電気対機械変位の応答速度が速いためです。落下装置では、落下スタート信号を受けて3本のピエゾ素子の電荷を同時に放電し、急速に初期寸法まで収縮させることで、保持していた落体を離脱させます。写真2は、落下後、落体を受けに入った状態を示しています。

落体全体の重心を、内部に格納したコーナリフ

レクターの光心と一致させることで、落体がわずかに傾いて落下した場合でも、距離測定の実誤差を最小限に納めることができます。3本のピエゾ素子は、落体の重心を通る水平面内の3点で保持と離脱動作を行います。重心まわりにモーメントを小さくし、落体の高速離脱を可能にした機構を採用したサイレントドロップ落下装置により、 $\mu\text{Gal}$ の測定精度を得ることができました。

## 5. おわりに

絶対重力計の開発には、長さや時間の標準量、光干渉や真空技術、機械加工、振動測定、電子技術、コンピュータなど精密計測に関連する技術を、上手に組み合わせて行くことが大事です。絶対重力計の更なる測定精度の向上には、地面振動加速度の補正も欠かせません。

地震に興味を持つリケジョ候補生や若い技術者の方々には、データ解析の研究も勿論重要ですが、データを生み出す装置の開発、特に絶対重力

計の開発自体にも興味を持ってもらえれば、これ程、嬉しいことはありません。

## 参考文献

新谷昌人・坪川恒也, 2010, 小型絶対重力計の開発, 月刊地球, Vol. 32, No. 4, 271-277.

坪川恒也

[つばかわ つねや]

**現職** 真英計測 代表  
理学博士

**略歴** 昭和42年成蹊大学工学部電気工学科卒業, 東京大学工学部電子工学科  
研究生, 昭和43年日本電子(株)分析機器事業部入社,  
昭和50年文部省緯度観測所入所,  
平成19年国立天文台・水沢観測所を定年退官,  
現在に至る

**著書** 超精密計測でひらく世界, 分担執筆,  
計量研究所編, 講談社ブルーバックス B1215



## 2つの体験—空襲と帰宅難民

昨年末に、首都圏直下地震による都の被害想定が公表されたが、それによると都心部のかなりで震度6強または弱、一部下町地域では7も予想されるという。ここで心配なのは、都民のほとんどは震度6以上の激しい地震の揺れを経験したことが無いということである。

東日本大震災でも、現在生活している住民には、その地域に歴史的には大津波があっても、自身には過去に大きな津波の経験がなく、それまでの津波警報でも大した津波は来なかったという経験から、避難が遅れたことが大災害の原因になったようである。

3月11日の地震では、私も東京、渋谷近くで帰宅困難者となり、多くの人々と同様に歩いたが、一向に恐怖感などは無く、これも一つの経験と思いながら歩いたことを覚えている。

私はこれまでに、死に物狂いで避難したことが一度だけある。それは、1945年5月25日夜10時ごろのことである。敗戦も間近の3月10日には東京、下町が爆撃され、約10万人が亡くなった。その後の焼け残りの空襲であった。

我が家は早稲田大学に塀を接していた。両親と私（中学2年）と10歳年下の弟（3歳）が母の背中に背負われていた。空襲警報が鳴って間もなく、ボーイングB29と思われる低いかさかな爆音が高空を次々と通り過ぎて、今夜の空襲は大がかりだなと思ったことを覚えている。そして、時々爆弾や焼夷弾が落ちたのであろう音がズシンズシンと遠くから響いた。そのうち隣近所が騒がしくなってきた。家の周辺が明るくなり火災が発生した。

それで貴重な焼けては困る物を地中に埋めて、町内会指定の横穴の防空壕に避難しようとした。ところが我々が物を埋めたりして時間をくったため遅くなり、防空壕は満員で入れなかった。そこで、まだ燃えていない暗い方に行こうとした。ところが、暗い方はまだ燃えてはいないのだが、煙が充満しており間もなく息ができず引き返すしかなかった。

何とかこの危機を脱出する方法はないかと周

りを見回したところ、道の片側はひどく燃えているのだが、道の反対側には燃え移っていないところが目に入った。ここを突っ切るしかないと、親子4人、十分水をかぶり、濡れ手拭いで鼻、口を覆い全速で炎の端に飛び込んだ。そして、息をせずできるだけ走って気が付いたら家族全員炎の外に出ていた。ただ持ち物は全部走る途中で捨てた。

その後も何回か、もうだめかと思う時もあったが、なんとか一家全員助かることができた。後でわかったことだけど、私どもが入れなかった横穴の防空壕に入った人々約200人は全員死亡し、私どもの両隣も全員死亡という痛ましい結果であった。

ここで、3月11日の帰宅困難時の避難と、東京空襲の時の避難の真剣さを比べたらどうであろうか。

東京空襲の時、炎に飛び込む前に全身に水をかぶった。避難途中で邪魔なので持物は一切捨てた。トイレは歩きながらした。

一方帰宅困難の時には、水をかぶるなどしてないし、避難中に持ち物を捨てるなんて事はできない。むしろトイレはコンビニで20分ほど並んだ事が大変であった。

この二つの避難を比べてみると、真剣さの点で大変な違いがあることに気が付く。危険を察知して避難する場合、経験したことの無いような危険はどうしても察知できない。首都直下地震で震度7が想定されたとしても、恐怖感はない。俺はまず大丈夫という感じになり、耐震補強の必要性も身に沁みて感じない。現在、個人住宅の耐震補強が進まない原因の一つには、震度7の地震がいかに激しいものかを経験したことが無いことにあるのではないだろうか。起震車で強震の疑似体験をしたところで、死の恐怖を前にした真剣さは体験できそうもないが、せめて疑似体験くらいはしてもらいたいと思う。

（伯野元彦）

# ■ 書 評 ■

## ● 地震予知の問題点と提言

横山裕道 著

### いま地震予知を問う～ 迫る南海トラフ巨大地震

評者 岡田義光

地震予知に対する人々の願望は昔も今も変わらずに大きい。これに応えるべく、わが国は世界に例のない地震予知研究計画を1965年にスタートさせ、4年後には地震予知計画と名前を変えて、以来30年にわたり様々な努力が続けられてきた。一方、1976年に提唱されたいわゆる東海地震説を契機に、これも世界初の大規模地震対策特別措置法が1978年に制定され、予知は防災行政に組み込まれていった。

しかし、研究が進展するにつれ、また観測が精密化するにつれ、地震現象は実に複雑であることがわかってきて、当初バラ色のように見えた地震予知はやはり遠い夢でしかないことが認識されてきたころ、1995年阪神・淡路大震災が起り、追い打ちをかけるように2011年東日本大震災が発生した。この2つの大事件を経て、地震予知はますます遠い存在となりつつある。

本書は、このような地震予知の流れを科学記者として長年見続けてきた著者が、これまでの地震予知の生々しい舞台裏を語り、現在の地震予知の構造的矛盾を説き、今後日本の地震予知はどのような方向に進むべきかを考察した書である。

著者自身が「はじめに」で述べているように、本書は東海地震説が登場したころから地震予知をめぐる取材を続けてきた科学ジャーナリストが、もう一度地震予知の最前線に立つ人々取材し直し、最新情報を満載して地震予知を世に問うている点において、これまで出版された幾つもの地震予知に関する書籍と一線を画している。当初は予知期待派であったと自認する著者が現在の異常事態を憂い、改めて学者や政府、自治体を取材し直して真相に迫った本書には、傾聴すべき内容がいっぱい詰まっている。

本書は8つの章から構成されている。まず第1章「激論・地震予知は可能か!?」では、地震予知擁護派のA

博士と批判派で知られるB博士を登場させ、仮想対談を行わせている。地震予知バトルを通して、読者に地震予知の全体像をつかんでもらうための優れた趣向であろう。

第2章「地震予知は科学と言えるか」では、前兆すべりを軸に地震予知がどのように行われるのかを解説したのち、地震予知は「体系的であり、経験的に実証可能な知識」という科学の定義にあてはまらない未熟な存在であることが語られている。この点は同感すべき部分が多い。

第3章「東海地震の予知と大震法のゆくえ」では、日本がずっと以前から目指してきた東海地震の予知の現状と問題点に鋭く切り込んでおり、この章と第6章には他の章の1.5倍のボリュームを割いていることから著者の力の入れ様がわかる。東海地震に関する「注意情報」の導入は抜本的改革と言えるのか？東海地震の予知体制に副作用はないか？大震法的前提である予知可能性について意識のギャップは？など、重大な問題提起がなされている。

第4章「前兆現象の真偽は？」は、地震予知の実現に不可欠な前兆現象の把握について解説しており、この中には、的中率86%という「棕平虹」のからくりを著者が暴いたエピソードが出てくる。評者はこの話を聞き及んではいたが、当の本人からの供述は興味深い。

次に第5章「地震予知とおきの話」では、地震予知研究の先駆者である今村明恒博士への関心の高まりに始まり、地震予知楽観論、浜岡原発、判定会委員の苦悩など、様々な話題が紹介されている。

第6章「地震予知に賭けてもよいか」では、国民の夢であった地震予知のたどった道や、中国の海城地震問題、イタリアのラクイラ地震問題、米国やトルコの例など、諸外国における地震予知の現状が紹介され、最後に緊急地震速報の問題が論じられている。

第7章「さあ今度は南海トラフ巨大地震」では、昨年5月に中央防災会議でとりまとめられた南海トラフ巨大地震の被害想定から発生時期の予測可能性の問題を取り上げ、ふたたび東海地震の予知体制との関係を重大な疑問点として浮かび上がらせている。

現体制では、仮に東海地震の前兆すべりがキャッチされた場合、その地震がどこまで拡大するのか判断できず、また東海地方以外には警報を出せない。逆に東海地

方以外でも南海トラフ巨大地震の兆候がキャッチされたら、東海地方にはどのような情報を流すのか？そこには多くの問題が山積している。確かに、地震調査研究推進本部では従来の東海地震・東南海地震・南海地震という領域分けをやめ、南海トラフを一体とした長期評価を行うようになっており、いつまでも東海地域とそれ以外を区別することは無理があるように思える。

最後の第8章「地震予知のゆくえー未来を託すには一」では、まとめとして、地震予知体制の検証、廃止を含めた大震法の再検討、基礎研究の重視、地震予知の限界の正しい伝達、予知に頼らない防災対策の推進などを提言しており、いちいち頷ける部分が多い。混迷する現状を何とかせねばならないと同感する読者も多いのではないか。

全体として本書は、地震予知のこれまでと現状の問題点、そして地震予知のこれからをわかり易くまとめた良書であり、地震とその予知に日ごろから関心を持つ多くの人々に是非一読をお勧めしたい。

<化学同人、2014年2月、四六判、232ページ、1,800円>

## ● 本質の理解から予測の科学へ

### 木村 学 著 地質学の自然観

評者 佃 栄吉

本書には著者木村 学氏の長年の地質学への思いが深く綴られている。「地球の科学」としての老舗である地質学の将来の発展への熱い期待が込められ、還暦を迎えた著者が人生のまとめとして書き留めたエッセイ集でもある。著者とはほぼ同じ時代の空気を吸ってきたものとして非常に多くを共感することができた。当時の若い地質研究者が新しい地球観を求めて苦悩・模索し、また活発に議論した40年前の出来事について、本書を通じて懐かしく振り返りながら、日本の地質学の歴史書の一つとして重く通読させていただいた。

第一章「古典地質学の方法」では地質学の概説として、その古典的概念と地質調査という特徴的な研究手法などをまず紹介し、初めての地質巡検の思い出や北海道の地質調査での自らの体験を生き生きと回顧している。フィールド科学に接しワクワクとして研究活動を始めようとした時期の著者の様子が面白おかしく描かれているが、観察・記載し、その結果を可視化（地図化・モデル化）する地質学の基本を述べることで、その後の章で展開される地質学論、「絶対に捨ててはならないものと、未来に向けて衣替えをして一層輝くものを、きちんと整

理しておきたい」という著者の強い意志を語る本書の序章となっている。

第二章「歴史科学としての地質学」の冒頭に、ゴージャンの絵のタイトル「私たちは何者か、どこから来てどこへ行くのか」を紹介し、特に地質学が「どこからきて？」の間に答えてきたとし、さらにE.H.カーの歴史学の定義、「ある事件の原因を明らかにし、そこから未来へ役に立つ普遍的な教訓を引き出す事だ」を引用し、地質学が歴史科学として将来を見通せる学問であるべきことを隠喩している。「実験的に再現不可能であるから、物理や化学とは違う」のではなく、「過去に起こった不可逆過程を、科学の言葉によってきちんと描き出すことができるかが大事」とし、地質学的時間スケールの問題と齊一主義を徹底すべきことが強調されている。

第三章「プレートテクトニクス革命」は 著者の研究人生に大きく関わっていることから最大の紙数が費やされている。ライマンやナウマンなどによる明治時代の地質学の輸入から言及し、日本の地質学の初期から、その発展過程を紹介し、1960年代から急速に発展したプレートテクトニクス革命に10年以上乗り遅れた日本の地質学を振り返り、「今から四十～五十年前の革命期の教訓、特に日本におけるそれについて、筆者なりの感想を記」している。まず、ウェーゲナーの大陸移動説に対して「記載的事実を帰納」することに地質学が大きく貢献したことも述べている。内容は、さらに海洋底拡大説などプレートテクトニクスの根幹となる研究内容の紹介へと続くが、この部分がわかりにくいと思われる読者には著者が最近、共著でブルーバックスから図解シリーズとして、「図解プレートテクトニクス入門（なぜ動くのか？原理から学ぶ地球のからくり）」を出版されているので、これをご覧になるのをおすすめする。プレートテクトニクスと地震など最近の話題をふんだんに取り入れた入門書であり、わかりやすい語り口で読者の興味を惹きつける非常に読みやすい好著となっている。

さて、本章の中核的部分となるところは、上田誠也著の「新しい地球観」との出会いから始まった著者の長い「戦い」の記述である。当時の先進地質研究者の紹介と地向斜論を中心としたアンチプレート論に固執した旧指導的地質研究者を対比し、日本の地質学の「脆弱性」の歴史を論じている。一方、プレートテクトニクスを抵抗なく受け入れた欧米とは異なり、沈み込み帯の付加体論を世界的にリードした「放散虫革命」を日本独自の齊一主義の大きな成果として高く評価している。齊一説を基礎にして積極的に物理的・化学的手法を取り入れた19世紀後半の先進科学であった地質学を思い起こし、融合的研究により21世紀の「科学の先進」としての地質学の発展を期待して最後を結んでいる。



第四章「地質学と哲学」で大学紛争末期を経験した哲学好きの著者の思索が展開されている。哲学への若い人の抵抗感を警戒してか、教授と学生の会話形式を取り入れた、プラトンとアリストテレスの議論などわかりやすく工夫している。しかし、内容的には必ずしも平易なものではなく、中谷宇吉郎の科学論の批判や、「科学における先入観と偏見」、「価値中立性」、「地域と地球一般」、「要素還元主義からの脱却」、「複雑系科学」など本質的な科学論を展開している。地質学が対象とする不連続現象については「複雑系現象を全面的に意識した科学」として「地質学的作用」や「地質学的事件」が解明されるために「大いにチャレンジすべき課題」と述べている。

第五章「現代地質学の方法と自然観」は最終章として全体のまとめとも言える内容となっている。「斉一主義の徹底」を繰り返し述べ、「地球の現在を知り、過去を知り、将来を予測する」科学として、また、総合科学としてジオサイエンスの発展を期し、その上で地質学の方向性を指し示す内容となっている。日本地球惑星科学連合の元会長、日本地質学会元会長として、地質学の存在意義を深く思考してきた重みのある内容である。ジオサイエンスという統合的枠組みで研究を推進し、その中で地質学の方法論の強みを発揮できるか、を常に考えてきたものと推察される。東北日本大震災を経験し、千年、万年スケールで地球の営みを見るのが重要であり、地質学的研究の発展無くしてはこれを解決できない、という明確な主張もしている。

国際深海掘削計画をリードし、総合・統合地球科学研究推進に深く関わってきた研究者として、著者は政治・経済の影響を無視できず、行政との粘り強い交渉無くしては実現できない「巨大地質学」の推進の困難さや苦労も吐露している。

本書には付録として、「これから論文を書こうとする若い読者のために」が巻末に添付されている。これは2007年から続けている学生向けのブログをもとにしてまとめられたものとしているが、細かい技術的な「書き方」指南ではなく、(1) 論文はラブレター、(2) 一番書きたいことはなにか、などの小見出しの表現にあるように、論文を書く意味や大事な心構え、作法を著者の愛情溢れる言葉で若い研究者に語りかけるものとなっている。

地質学は「大地の性質」を研究する科学とも言われるが、評者は大地の「本質」を研究する科学であると考えている。大地の本質を理解し、将来を予測する科学と変貌し、社会に無くてはならない科学へと地質学は発展すると確信している。本書はその事を明確に示してくれている。これからの若い地球科学研究者にも有用な書である。是非一読をおすすめする。

<東京大学出版会、2013年、231pp.、2,500円+税>

## ●新刊紹介

目黒公郎 監修

### 首都大地震揺れやすさマップ—あなたのまちはなぜ揺れるのか

旬報社、2013年10月、A4判、139頁、1,800円+税

金森博雄 著、瀬川茂子・林 能成 構成

### 巨大地震の科学と防災 朝日選書

朝日新聞社、2013年12月、B6判、218頁、1,300円+税

藤井 聡 著

### 巨大地震 X デー—南海トラフ地震、首都直下地震に打ち克つ45の国家プログラム

光文社、2013年12月、B6判、232頁、1,300円+税

國生剛治 著

### 地震地盤動力学の基礎—エネルギー的視点を含めて

鹿島出版会、2014年1月、B5判、384頁、6,600円+税

石橋克彦 著

### 南海トラフ巨大地震—歴史・科学・社会 叢書 震災と社会

岩波書店、2014年1月、B6判、205頁、1,800円+税

河田恵昭 編著、GK 京都 編

### にげましよう—災害でいのちをなくさないために (特別版)

共同通信社、2014年2月、B5判、125頁、1,800円+税

高橋 誠・田中重好・木俣文昭 編著

### スマトラ地震による津波災害と復興

古今書院、2014年2月、A5判、404頁、9,400円+税

大木聖子 著

### 地震防災はじめての一步—家族で学ぶ

東京堂出版、2014年2月、A5判、149頁、1,500円+税

京都大学防災研究所 著

### 巨大地震—なぜ起こる? そのときどうする? 楽しい調べ学習シリーズ

PHP 研究所、2014年2月、A4判、63頁、3,000円+税

森 隆 著

**石碑は語る—地震と日本人，闘いの碑記**

保険毎日新聞社，2014年3月，B6判，226頁，1,800円＋税

稲田倍穂 著

**技術者からみた日本列島の地震と地盤**

鹿島出版会，2014年3月，B6判，107頁，1,900円＋税

宮本裕司 編著，永野正行・藤谷秀雄・吉村智昭 著

**建築振動を学ぶ—地震から免震・制震まで**

理工図書，2014年3月，B5判，160頁，2,800円＋税

東日本大震災合同調査報告書編集委員会 編

**東日本大震災合同調査報告<共通編 1>地震・地震動**

日本地震工学会，2014年3月，B5判，233頁，8,000円＋税

## 退職

雑賀 敦 東濃地震科学研究所 副主任研究員

26. 3.31

## 編集後記

本誌では前号から「寄書」と銘打って短編の論文や報告を掲載するようにした。このような方針をとった理由を前号の編集後記に書いておいた。一般に長編の論文は読者が特に興味を持つ内容でない限り、全文を通して読む人は少ない。これに比べて短編は分野が違っても一応目を通して見る人が結構いる。本誌が研究者だけではなく、一般の読者にも読まれるためには、短編の寄書を数多く掲載する方がよいと判断したのはこのためである。

今号も4編の通常論文の他、4編の寄書と2編の囲み記事を掲載した。前号の編集後記には、テーマを絞って平易に読みやすい短編を書いてくれる人を探すのは編集者として苦勞が多いと書いた。しかし今回2号続けて寄書を編集してみて、事実はそのとおりだと分かった。気軽に引き受けってくれる人が案外多い。多忙な先生でも「短くてよいならば引き受けましょう」と云って下さる。

編集者にとって一番困るのは、原稿提出の期日を大幅に遅れる先生方が出ることである。執筆をお願いする先生はその道では大家であるため、超多忙な方々が多い。大学では正規の講義の他に学内委員会が数多くあって小田原評定に多くの時間を費やす。その上近年では入試制度が

多様化して、秋頃からは毎月のように色々な形の入試が繰り返される。有名な先生となると学外でも文科省を始め様々な委員会の委員として活躍しなければならない。

その道の大家ではなく若手研究者を執筆者に起用すべきであるとの意見がある事を前号も記した。しかし気軽に執筆を引き受けってくれる若手はまずいない。一般に若手は難しく書く傾向にある。あれも必要、これも書かなくてはと気負うもので、ついつい複雑な内容になってしまう。私も若い頃指導教官に「何を書くかではなく、何を捨てるかを考える」と云われたものである。

その点寄書のような短文は多忙な先生方であっても原稿提出期日を守って下さる。期日以前に原稿を送って下さるケースも多い。編集者としてはこんな有り難い事はない。今後は長編を毎号2~3編に抑え、最大刷り上がり4ページ程度の寄書や短編を数多く掲載してみようかとも思っている。

前号の編集後記にはもう一つ、執筆には関東勢が多く関西勢が少ない、編集にもこの点を考慮すべきであるとの声も紹介した。本号の執筆陣を見ても明らかに関東勢が占めている。そのため内容も関東大地震、新潟地震、首都圏直下地震の想定と関東周辺に限られている。幸いにも

巻頭エッセイを京大防災研所長の大志万先生に執筆して頂いた。今後は先生を通して関西の学術動向を把握して行きたいと考えている。

東海・南海のM9巨大地震を想定して、その襲来に対処しなくてはならない時期に来ていると云われる。東海・南海は関東・関西を結ぶ我が国の大動脈であり、ひとり関東・関西のみならず全国的な視野に立った防災体制が求められる。こうした要求に応えながら本誌の今後の方向性を決めてなくてはならないとも考えている。

(Y.H.)

## 地震ジャーナル 第57号

平成26年6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  
公益財団法人

### 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/一般財団法人学会誌刊行センター