

# 首都直下地震の全体像の解明と減災技術の向上を目指して

文部科学省研究開発局地震・防災研究課

## 1. はじめに

政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会は、長期評価により、南関東で発生するマグニチュード(M) 7程度の地震を今後 30 年以内に 70% 程度という高い確率で発生すると予測しており、また、中央防災会議がまとめた被害想定でも最大で死者数約 11,000 人、経済被害約 112 兆円との予測がなされています。しかしながらこれまで、こうした大地震に対する研究は十分ではなく、未だ首都直下で発生が予想される地震の全体像は明らかになっていません。

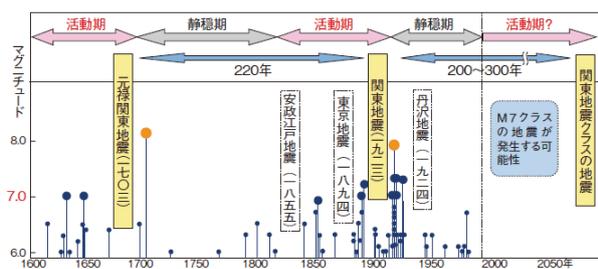


図1 南関東で発生した地震 (M6 以上、1600 年以降、防災白書平成 21 年度版より)

このため文部科学省では、プレート構造調査で地震の姿を明らかにする一方で、建物の耐震構造技術の向上ならびに災害対応体制の確立により被害軽減に資することを目的とする「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」を平成 19 年度より実施しています。

## 2. プロジェクトの研究内容と目的

首都直下地震防災・減災特別プロジェクトは、次の3つのサブプロジェクトで構成されています。

①首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等

首都圏での自然地震観測によるプレート構造の推定、地震の震源断層モデル・地下構造モデル

の構築により、首都直下地震の詳細を明らかにし、地震の長期予測や強震動予測の精度向上を目的としています。

②都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究

実大三次元震動破壊実験施設 (E・ディフェンス) を活用した防災・減災に資する研究開発を実施することで、首都直下地震に対する都市施設の直接被害を軽減し、建物の継続使用性を維持することを目的としています。

③広域的危機管理・減災体制の構築に関する研究

首都直下地震時の被災者の生活再建方策を「危機対応能力」、「生活再建能力」および「地域抵抗力・回復力」の観点から研究し、応急対策から復旧・復興対策までを包括的に研究します。

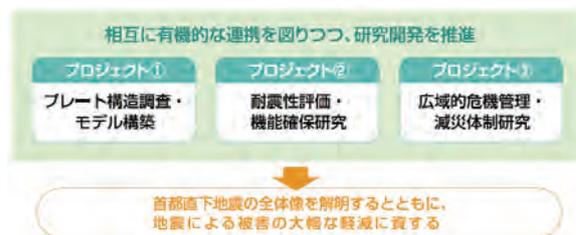


図2 プロジェクトの構成

## 3. これまで研究成果と社会への還元

これまでの3年間で、地震観測や実験によりデータが蓄積され、また被災地域の調査により災害対応時の課題等がまとめられつつあります。これらの過程で国内外の研究機関や地方自治体との連携も進み、研究成果の社会還元も進められていますが、今後は3つのサブプロジェクトの連携をさらに進め、首都直下地震防災・減災特別プロジェクトとして有機的に研究成果を統合し、我が国の防災力向上に貢献できるよう最終年度に向けてプロジェクトを進めます。

# 首都圏を襲う地震の姿に迫る

## ～首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等～

東京大学地震研究所 所長 平田 直

### 1. はじめに

大地震発生による首都圏での被害を軽減するための文部科学省委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が始められました。このプロジェクトの中で我々は、どこでどのような地震が発生し、どれ程の大きさの揺れが生じるのかという「理学」的なアプローチによって首都直下地震の姿について迫ります。まず首都圏地域における地震活動について言及し、新たに設置した地震観測網を紹介します。一方で、古文書などの調査から過去に発生した大地震の時系列やその時の震度分布・震源位置を明らかにします。過去の地震活動を現在の地震活動や地下構造に照らし合わせて、今後発生する可能性の高い場所を選び、そこで発生する地震による揺れを考えてみたいと思います。

### 2. 関東地方は地震の巣

関東地方は、世界で最も地震の多い場所の一つです。この地域では、有感地震が1カ月に約1個の割合で発生していて、明治時代以降、5個のマグニチュード(M)7程度の大地震が発生し、大きな被害をもたらしています(図1)。

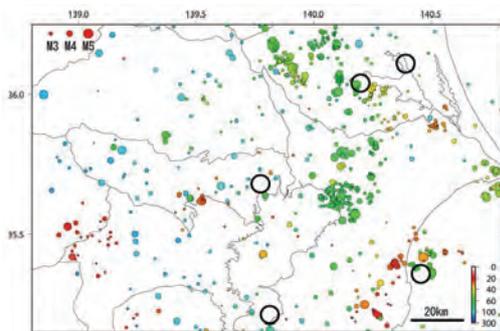


図1 5つの大地震(黒丸)と最近2年間に発生したM2以上の震源。震源の深さをの色で表しました。

関東地方で地震が多い理由は、2つの大陸プレート(ユーラシアプレートと北米プレート)の下に、2つの海洋プレート(太平洋プレートとフィリピン海プレート)が沈み込むという4枚のプレートが交錯する世界で唯一の地域であるからです。地震はプレート同士の相互作用等で発生するため、プレートとプレートの境界やプレート内部、それから陸のプレートの活断層のそばで発生します。関係するプレートの枚数が多いと、それだけ発生する地震の数も種類も多くなるわけです。

### 3. 最近400年間の地震活動

普段から小さな地震や身体に感じる地震の多い関東地方ですが、これまでには、大正関東地震(1923年)や元禄関東地震(1703年)のようなプレートの境界で発生するM8級の巨大地震が繰り返してきました(図2)。このような巨大地震の発生間隔は200~400年と長く、大正関東地震から80余年経った現在は、次の巨大地震発生までには、まだ若干の時間的猶予があると考えています。しかし過去の事例では、巨大地震と巨大地震が発生するあいだの期間には、M7級の大地震

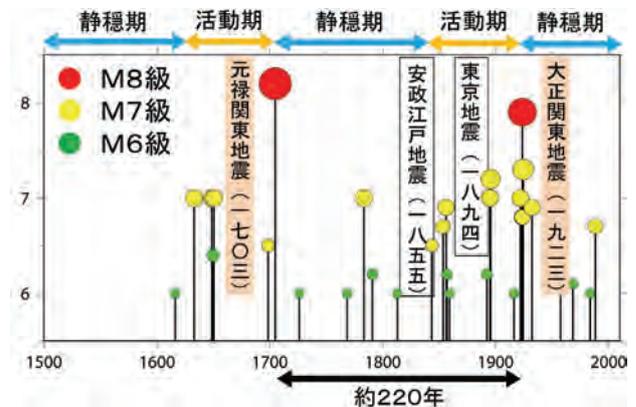


図2 最近関東地方で起きた被害地震の年表

が発生し、江戸や東京に大きな被害をもたらしてきました。当時は近代的な地震観測網がなかったため、それら M7 級地震の震源の位置・深さ・規模などの詳細がわからず、首都直下地震の地震像の把握ができていないことから、対策が困難です。

#### 4. 地下の CT(コンピュータ・トモグラフィ)画像

大きな地震がどこで、なぜ発生するかを理解するためには、沈み込むプレートの形を知ることと普段の小さな地震がどこで発生しているのかを詳しく知る必要があります。特に、関東地方の下では、2 つのプレートがどのように沈み込んでいるか、どこで両者がぶつかり合い、こすれ合っているのかなどを理解することが、地下で発生する地震像を明らかにするために必要です。それに加えて、沈み込むプレートの硬さなどの物性を知り、どこで地震が起きやすいのか、逆に起きにくい場所はどこにあるのか、地震をめったに起こさないでゆっくり変形する箇所があるのか、などを考えることで大地震を起こすことのできる場所の候補が絞られてきます。

これらの事を明らかにする手段として地震波トモグラフィ法という地下の様子を探る方法があります。この手法では、地震の波の伝わり具

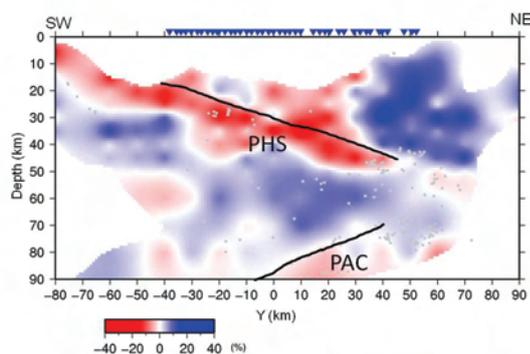


図3 地下の深さ断面図。色は、地震波の速度を表し、赤色は遅い(岩石が柔らかい)、青色は速い(岩石が硬い)ことを示します。図の右が茨城県つくば市、左が神奈川県藤沢市で、フィリピン海プレート(PHS)が南西から北東へ沈む様子がわかります。

合を詳しく調べることによって、地下のかたい岩石とやわらかい岩石の分布がどのようになっているかを、人体の CT 画像を得るように描き出すことができます(図3)。

#### 5. 首都圏に 400 箇所の地震観測点

デジタルカメラは画素数が多いと得られる画像は鮮明になると言えますが、それと同様に、地下構造の解像度を上げるためには、より多くの地震観測点を密に配置することが必要です。これまでの地震観測点は約 20km 間隔で設置されてきました。しかも首都圏中心部には、ほとんど観測点がありませんでした。しかし今回は、東京 23 区を中心により細かく約 2~5km で配置しました。そのため、地下の様子がこれまで以上に鮮明に得られるようになりました。以下のような、約 400 カ所の地震計を集中させる首都圏地震観測網(MeS0-net)を構築中です(図4)。

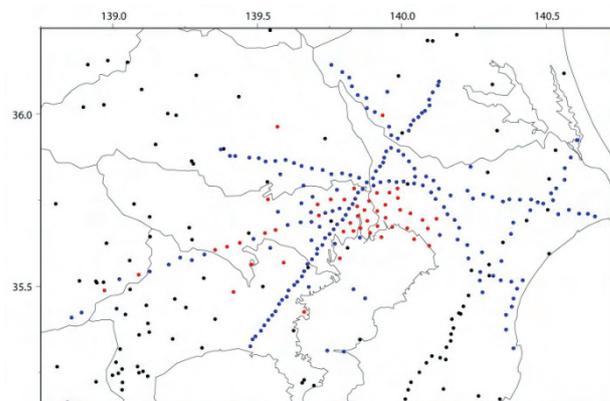


図4 首都圏地震観測網(226点、青丸+赤丸)黒丸は既存の観測点。

#### 6. 地震観測点の概要

これまで地震観測を行う際には、できるだけ静かな場所を選んできました。しかし、首都圏のような都市部では、工場が稼働していたり、鉄道や道路などにおける交通があつたりして、静かな環境を見つけるのが困難です。そこで、地震計を深さ 20m の井戸の底に設置して、地表の雑振動の影

響から避けることを目指しました（図5）。さらに、一般の震度計に使用されているものと同種の加速度計を設置しているため、大きな地震でも逃さず収録できるため、ゆれの大きさの地域性を知ることができます。



図5 観測点概要（地震計、温度計、気圧計）  
地震波形データは、インターネット経由で24時間365日連続して地震研究所へ送られている。

都市部において、このような観測孔を掘ることができる場所として、小中学校を選定しました。学校に設置させていただくということは、設置が可能であるという理由だけでなく、地震を広く知っていただき、理科教育や防災教育にも役立てていただきたいという願いがあります。地震観測だけでなく温度や気圧も同時測定していて、専用のウェブからリアルタイムで観察することができます。すでに、多くの方に地震波形や気温・気圧の記録を利用いただいています。

## 7. 古文書から見た江戸時代の震度分布

首都圏では昔から大地震が発生し、大きな被害を被ってきました。当時は地震計などの近代的な観測装置はありませんが、多くの人の手によって

書き遺された文書の形で、その時の状況を窺い知ることができます。例えば、生麦村（現在の横浜市鶴見区生麦）で書かれた『関口日記』によれば、文久九年十一月に「神奈川宿荒宿、亀屋家倒れほかにも潰死少々」と記され、家が倒壊したことで死者が生じたことがわかります。このような記述を収集し、被害の程度から揺れの大きさを推定し、当時の地名と現在の地名とを照合することで、この地震の震度分布がおおよそわかります（図6）。

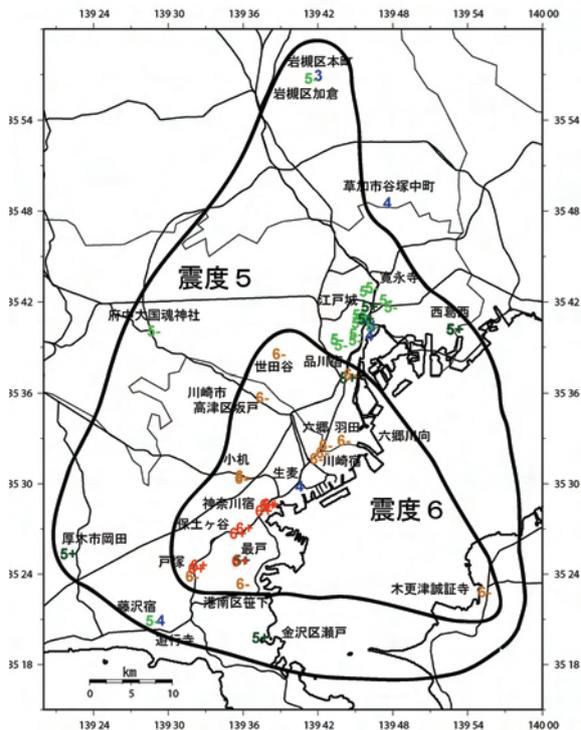


図6 文化九年(1812年)の地震の震度分布

## 8. どこがゆれやすいのか？

一般的に、震度は震源に近ければ大きくなりますから、震度が大きい地域の中心付近に震源があると考えます。したがって文久九年の地震の場合、震源地は川崎市もしくは横浜市付近と推定されます(図6)。しかし、古文書に記載が無いからといって、被害が生じなかった、というわけではないでしょう。このような震度データだけで震源の位置を決めることは、必ずしも正確とは言えません。そこで、MeSO-net で得られた実際の地震の揺

れから震度を計算し、これと過去の震度分布とを比較してみました（図7）。

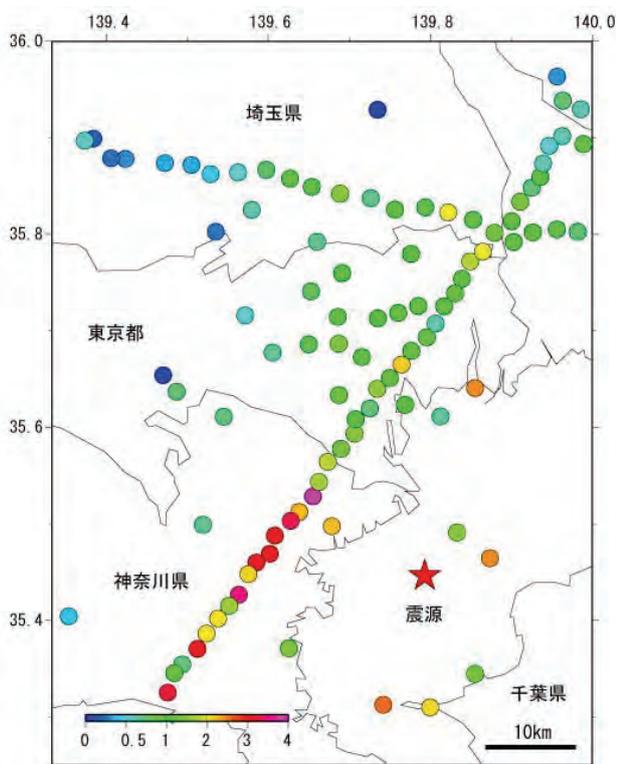


図7 2009年11月14日に東京湾で発生したM4.2の地震の揺れ分布。震源の深さは約40km。観測された震度相当値を色で表わした。赤色がほぼ震度3に、黄色が震度2に、緑色が震度1の揺れに相当する。

文久9年の地震の震度6の地域（図6）と2009年の地震の震度3の地域（図7）は、どちらも川崎や横浜周辺に集中していて、両者の分布のパターンは似ています。おそらく震源は同じような位置にあり、文久9年の地震の方がやや大きな規模だったということが考えられます。しかし、2009年の地震の震源地は東京湾に位置し、必ずしも揺れの大きな所の中心に位置しているわけではありません。これは、地下の構造や地盤の揺れやすさ等に偏りがあるためと考えられます。このことから、過去の地震の震源分布だけを見て、その地震の位置を推定してみても、不確実な部分があることが分かるでしょう。そこで揺れやすさの分布を知るために、多くの地震のデータを集めること

が必要になり、それを基にした地域ごとの地面の揺れをシミュレートすることができます。

このように、古文書等の記載から過去の震度を抽出し、現在の震度分布とシミュレーションとを対比させることで、過去の地震がどこで発生したどんな地震であったか等が明らかになってきます。安政江戸地震(1855年)や明治東京地震(1894年)などの姿を明らかになれば、同様な地震が現在の首都圏で発生した際の揺れを具体的に見積もることが可能になります。

現在の首都圏には、様々な形状、大きさ、強度の建造物があります。江戸時代とは違い、地上だけでなく地下や海上も利用しているため、それぞれで、ゆれの特徴が大きく変わる事が知られています。それぞれの場所や建物に対応したきめ細かい対策が必要ですが、これまではおおまかな仮定に基づく揺れの推定しかできませんでした。しかし、このプロジェクトでは高密度な地震記録を得ているため、各地点での実際の揺れがわかります。その情報を取り入れることで、それらに対応した耐震・免震機能を設計することができます。壊れにくい、揺れにくい建物が建てられることによって、災害を未然に防ぐことが期待されます。

## 9. おわりに

首都圏が位置する南関東地域では、今後30年間にM7級の地震の発生する確率が70%と評価されています（地震調査研究推進本部）。さらに、東京湾北部でM7.4の規模の地震が発生したときには、最悪の場合、約1万1千人の死亡者と約112兆円の経済損失が発生してしまうという被害想定が公表されています（中央防災会議）。このような大地震の発生を避けることは、現在の科学技術ではできませんが、切迫している大災害の発生に対して取り組み、大災害の防止および軽減に資する情報を提供することが我々研究者の使命であると考えています。

# 首都の人命と生活を守るためになすべきことを探る ～都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究～

防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター センター長 中島 正愛

## 1. はじめに

サブプロジェクト2では、実大三次元震動破壊実験施設（E-ディフェンス）を用いる実大実験により、大地震に対する都市施設の被害を予測し、防災・減災対策法を提示することで、社会の地震に対する安全性を高める研究に取り組んでいます。E-ディフェンスは、旧科学技術庁が兵庫県南部地震における被害を受けて建設した世界最大の振動台です（図1）。重さ1200tの構造物を震度7の地震動で揺さぶることができます。

政治、経済、医療、情報発信など、社会経済活動の基幹を担う重要施設の安全性の確保、機能性の維持は、高機能化が進む都市、おいては日本全体の地震防災において極めて重要な意味を持ちます。本サブプロジェクトは、医療施設の耐震性と機能、高層建物の耐震性と機能をモデルケースとして、そうした問題を実験的研究から浮き彫りにし、かつ対策法を提示することで、実際に被害が生じる前に予防することの重要性を訴えます。

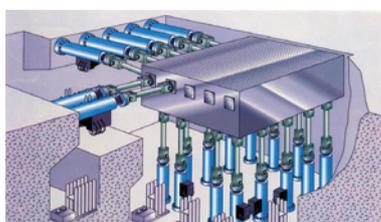
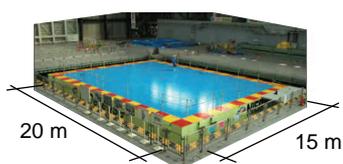


図1 E-ディフェンス

## 2. 医療施設の実大震動台実験

都市部に大地震が発生した場合、建物の倒壊を防ぐことは重要です。一方、被災後の政治、経済、

医療、情報発信等社会活動の停止は、被害の拡大やその後の復興にも多大な影響を与えるため、これら都市機能を災害後も継続させることも不可欠な課題です。そこで、大地震時における重要施設の機能保持に関する研究を進めることとし、特に大地震時における救急救命、被災後の生命維持の拠点となる医療施設の機能を震災時にも保持するための研究を行います。

医療施設を模擬した鉄筋コンクリート造4階建の試験体（図2）（高さ約18m、各階床面積80m<sup>2</sup>(8m×10m)）を建設し、1階に撮影室、情報通信室、2階に診察室、人工透析室、スタッフステーション、3階に手術室、集中治療室（ICU）、4階に病室、情報通信室を配置しました。室内にはX線撮影装置、人工透析装置、手術用機器、医療棚、情報通信機器など、実際に用いられている様々な医療機器類を、床・壁固定、床置き、キャスター付き（ロック又はフリー）など、それぞれの通常の使用状況にあわせた設置方法で設置しました。さらに、屋上には新旧2つの高架水槽を配置し、複数材質の給排水管、形式の異なるスプリンクラーを設置しました。

建物の構造形式として、試験体を震動台に直接固定する従来の“耐震構造”に加え、建物の揺れを抑えることを意図して積層ゴムを介して建物を支持する“免震構造”の2つの形式を採用しました。入力地震動として、短周期成分が卓越している地震動（以下、短周期地震動）としてエルセントロ波（6弱）、兵庫県南部地震で観測されたJMA神戸波（6強）、関東地震において推定されている横浜波（6強）を、長周期成分が卓越している地震動（以下、長周期地震動）として東海・



図2 実大医療施設試験体



図3 耐震構造時被害状況（短周期地震動）

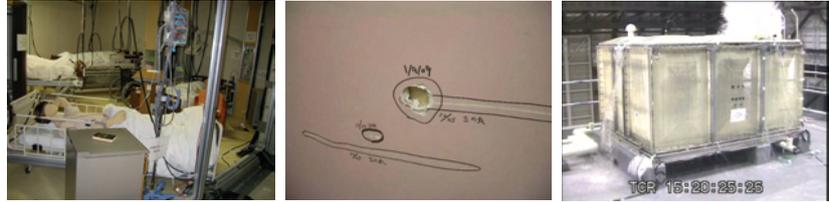


図4 免震構造時被害状況（長周期地震動）

東南海地震で想定される名古屋三の丸波（5強）を採用しています。

耐震構造での実験結果として、短周期地震動では、床の応答加速度が入力地震動の加速度に対し約2~3.4倍に増幅され、最大で $2,000\text{cm/s}^2$ 以上に達しているものも確認されました。室内被害としては、ほとんど全ての機器が移動し、床や壁に金物等で固定されていない機器（CTスキャナ撮影部、手術台など）および什器の移動、棚内に納められていた医薬品等の物品の散乱、スライド式扉の脱落、機器の転倒・落下などが確認されました。また手術台のマネキン人形（重さ45kg）が台上で回転してずり落ちそうになっており、大地震時に人体が受ける振動の激しさを物語っています（図3）。このような状況下では、高度な医療行為は当然のことながら通常の医療行為ですら即座に実施することは困難であると推測されます。

一方、長周期地震動では、床の最大応答加速度は $200\sim 250\text{cm/s}^2$ 程度で、増幅率としては、1~1.3倍であり、室内被害としてキャスター付き機器・ベッドでキャスターをロックしていないものが約50~80cm移動した。また、屋上の高架水槽にスロッシングが発生し、新旧両方の水槽から水が噴出する現象が確認されました。

免震構造に関しては、短周期地震動において、

床の応答加速度が入力加速度の $1/3\sim 1/2$ に低減され、高い免震効果が発揮されており、構造的な被害もみられませんでした。室内の被害としては、キャスター付き機器・ベッドでキャスターをロックしていないものが約50~60cm程度で移動しており、病院機能に大きく影響する被害は確認されませんでした。

しかし、長周期地震動においては、床の応答加速度が免震構造でありながら約1.3倍に増幅してしまいました。これは、免震建物が共振し応答が増幅してしまったためで、この共振により建物はゆっくりゆらゆらと大きく揺れるのが観測されました。そのため、室内の被害としては、直接床に設置された機器やキャスターをロックした機器には特に問題はなかったものの、キャスターをフリーにした機器は、室内を走り回り、多くのものが1m以上移動しており、最大で3m以上移動した機器もありました。また、移動による衝突や転倒する機器もみられました（図4）。これら機器の激しい衝突により、手術室壁パネルと病室壁ボードなどが大きく損傷するのも確認されています。キャスター付き機器を有効に移動しながら使用する手術室では、激しく機器が移動し混乱する様子が観測されています。屋上階に設置した新旧の高架水槽はスロッシングの影響により、天板に

設けられた蓋およびベンチレーターから水が噴出するとともに、旧水槽では蓋の止め具部分の破損により、蓋が開き大量の水が噴出する状況となりました。

### 3. 長周期地震動を受ける高層建物の被害と対策

現在、東海地震などの海溝型巨大地震の発生が高い確立で予測されています。首都圏に数多く建設されている高層建物は、このような大きな地震に見舞われた経験がありません。想定以上の地震動に対して、骨組の損傷状況、内壁や配管などの建物を構成する要素の被害状況を大規模な実験により確かめます。実験では、いままでに最も多く建設された高さ 80m 程度の鉄骨造の高層建物を想定しました。図 5 に実験の様子を示します。まず、震動台の上に、4 階建ての鉄骨造の骨組を用意し、その上に 3 個のコンクリートの錘を載せました。コンクリートの錘の間に積層ゴムを挟むことで高層建物と同じようにゆっくりと大きく揺れる動きを再現しました。試験体の屋上には、ペントハウスを設けて室内空間を用意しました。

以降では、震動台を長周期地震動で揺さぶった時に、骨組および居室に生じた被害を順番に述べ

ます。揺れを受けると骨組はゆがんで、柱が傾きます。設計では、上下の床の水平変位の差をその階の高さで除した変形角を最もよく参照します。図 6 に長周期地震動(名古屋三の丸波)の揺れと、比較のため、設計で想定する地震動の揺れを併せて示します。長周期地震動を受ける超高層建物の骨組みは、設計で考えられていた変形の数倍もの大変形を一気に受けるのではなく、設計で考えられていた値の 1.5 倍程度の変形を長時間に渡って何度も繰り返し受けることがわかります。骨組の中では、特に大きな力を受ける梁の根元に変形が集中しますが(図 7)、長周期地震動を受けてここが何度も押し引きされうちに、溶接部分で鉄骨が切れてしまいました。梁の根元にそのような損傷が生じると、大規模な補修が必要になります。その数や程度によっては、継続して使用することを放棄しなければいけない状況も出てくるかもしれません。現在、その対策技術として最も期待されるのがダンパーによって共振を抑える方法です。

耐震改修を主題とした実験を昨年の 9 月に実施しました(図 8)。ダンパーは、実験において、骨



図 5 振動台上の試験体

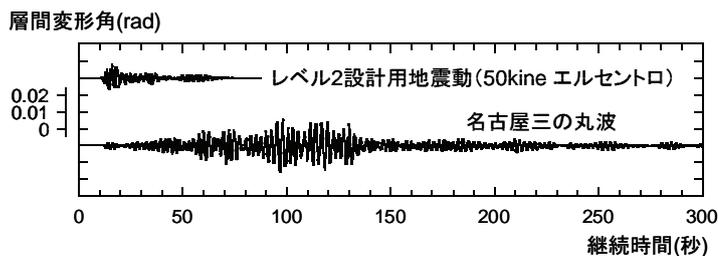


図 6 対策の無い骨組が受けた変形角



図 7 大きな力が加わる梁と柱の接合部分



図 8 オイルの圧力を利用するダンパー

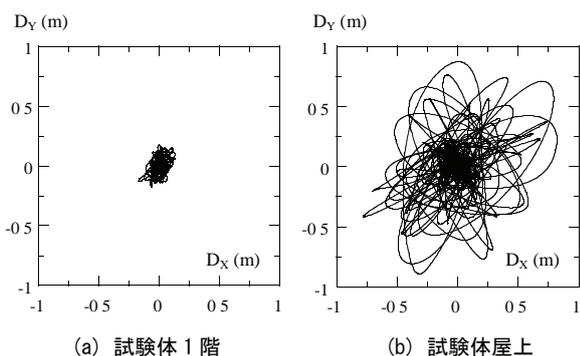


図9 床の水平2方向の動き



図10 高層階（19階相当）の室内

組が吸収していたエネルギーの8割近くを肩代わりして、骨組の損傷を大きく減少させました。一連の内容は、設計や耐震改修のための技術資料として纏められる予定です。

高層建物での床の動きは高層階では数倍に増幅されます。屋上に設置した居室には19階相当揺れが与えられました(図9)。ここでは、政府機関や自治体、オフィスビル関係者やマンション住民に防災資料を提示することを目的として、多くのビデオ映像を収録しました(図10)。オフィスの書棚は、揺れの開始から十数秒後に転倒し始め、デスクに覆いかぶりました。衝突を繰り返すキャスター付きのコピー機は周辺に多くの損傷を与え続けました。キッチンにおいて冷蔵庫が転倒し、食器・調理器具は滑落、飛散し凶器になりました。このような揺れのなかで、室内の人は立っていることができず、衝突してくる家具、機器等を、無防備に上半身で受けてしまいます。一連の実験では、家具や機器に転倒防止対策、ストッパーなどを施した、全く同じタイプの居室を用意して、高い効果を確認しています。

## 4. まとめ

### (1) 医療施設

医療施設実験より、短周期地震動が襲ってきた場合、免震構造は非常に有効であり、高い機能保持性能があることが確認されました。しかし、免震構造の苦手とする長周期地震動の場合は、構造的な被害はなくとも、室内状況等の結果から、思わぬ室内被害や機能低下が発生し、折角費用を費やして耐震性の高い免震構造にしても地震対策の効果が半減してしまうことが考えられます。

耐震構造ではもちろんのこと、耐震性の高い免震構造といえども動きやすい機器の固定など最低限の地震対策は必要であることが明らかになりました。

今後は、大地震時から多くの病院機能を守るため、今回取得できた実験データによって明らかになった知見、情報や実験映像データを広く公開していく予定です。

### (2) 高層建物

針金を1回曲げただけでは白っぽくなるだけで、抵抗する力は変化しません。しかし、同じ箇所を何度も繰り返して、押し戻りたりしているうちに、とうとうそこで切れてしまいます。同じことが、長周期地震動に共振する高層建物の骨組に起きる可能性が確認されました。高層階は前後左右に1メートル以上、数分間にわたって動き続けます。対策がなければ、室内の人たちは命の危険にさらされます。大都市の超高層建物群が一度にこのような状況に陥れば、被害の大きさは計り知れません。こうした被害を防ぐために、耐震改修を念頭に柱梁の接合部分を補強する方法、揺れを抑えるダンパーを組み込む方法に関する検討を継続して進めています。居室の被害は、家具等に適切な対策法を講じることにより激減します。

本サブプロジェクトの実験映像は、下記のホームページにて公開されています。

<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>

# 首都直下地震の問題構造を明らかにする

## ～広域的危機管理減災体制の構築に関する研究～

京都大学防災研究所 林 春男

### 1. はじめに

中央防災会議 (2005)によれば、今後 30 年間で 70%の確率で首都直下地震が発生すると予測されています。その被害は最悪の場合、東京湾北部を震源とするマグニチュード 7.3 の地震 (阪神淡路大震災の時と同じ規模の地震) によって、1.2 万人の犠牲者と 112 兆円に及ぶ直接・間接被害が発生すると予測されています。いわば国難とも言うべき事態の発生が予想されているのです。

残された時間の中で被害抑止のために最大限の努力を払ったとしても、この被害をゼロにすることは実質的に不可能です。言い換えれば、こうした甚大な被害をいかに受け止め、そこからいかに首都圏を立ち直らせるかが重要な課題となります。それは決して簡単なことではありません。そのためには周到な対応計画と十分な準備が必要です。そして、それはこれまで十分に検討されてこなかった新しい研究課題でもあるのです。

首都圏での直下地震による被害を軽減するための文部科学省委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト (2007 年-2011 年度)」の一環として、サブプロジェクト③「広域的危機管理減災体制の構築に関する研究」が上記の問題を検討するために設けられました。サブプロ③では、首都圏直下地震の発生後の諸問題を、首都圏を現場とする全国的な危機として捉え、日本全国の防災研究者の英知を集め、災害発生後に行われる応急対策から復旧・復興対策までを包括的にとらえ、被害の「軽減化」方策の検討を行い、首都圏直下地震の影響を受けると予想される最大 2,500 万人の被災者の生活再建方策の確立を目指しています。

### 2. 2500 万人もの被災者が発生する

中央防災会議が想定する首都直下地震の最悪シナリオである M7.3 の東京湾北部地震が発生した場合は、住宅の倒壊も予想される震度 6 弱以上の地域が 1 都 3 県が同時被災するという、わが国の災害対応がこれまで経験したことがない、未曾有の事態となります (図 1)。

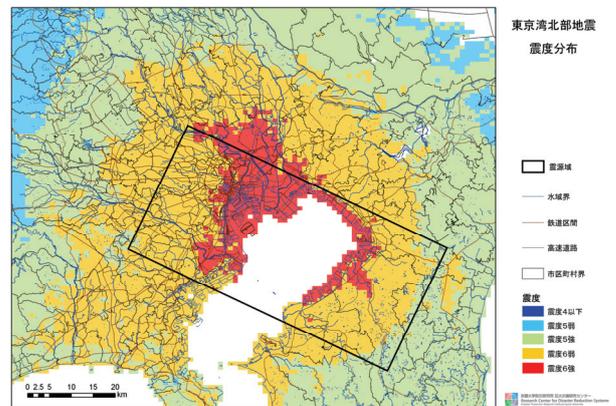


図 1 東京湾北部地震の想定震度分布

表 1 想定される暴露人口 (鈴木・林 2008)

曝露量	震度 6 強地域	震度 6 弱地域	合計
人口	5,017,544	20,372,552	25,390,096
一般世帯数	2,140,721	8,367,022	10,507,743
一戸建世帯数	607,541	3,341,897	4,012,438
東京	3,470,677	7,164,775	10,635,452
埼玉	443,544	3,111,543	3,555,087
千葉	791,360	3,614,500	4,405,860
神奈川	311,963	6,481,734	6,793,697
4 県計	5,017,544	20,372,552	25,390,096

(平成12年国勢調査メッシュ統計をもとに推計)

震度 6 弱以上の地域を被災地と考えると、表 1 に示すように、わが国の人口の 20%にあたる 2500 万人という膨大な被災者が発生します。兵庫県の発表によれば、阪神淡路大震災の被災者数は 350 万人でした。この数字は、もっとも被害が少ない

と予想される埼玉県の被災者数と同じです。この地域には 1000 万世帯が暮らし、400 万棟の木造建物があります。これらの人々の住まいや暮らしに甚大な影響が発生することになります。

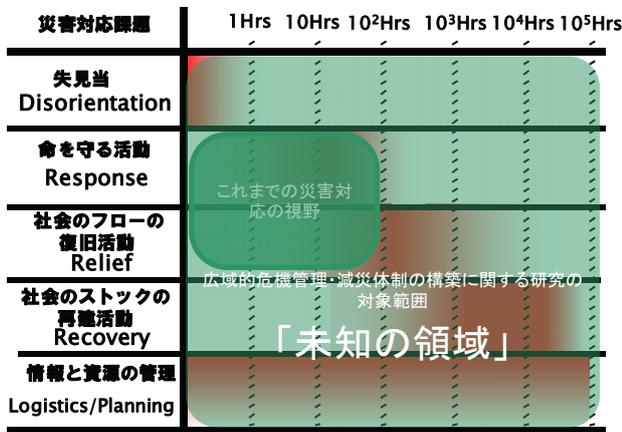


図 2. 応急対応から生活再建までの対応課題

### 3. 首都直下地震がもたらす応急対応から復興までの問題構造の明確化

我が国が体験したことがない未曾有な規模のこの震災に対して、地震発生直後の応急対応から、長期的な視野で行われる復旧・復興までにわたる包括的な災害対応を効果的に実施する必要があります。しかし、災害対応において考えるべき課題は多く、しかも実際の災害対応の経験がないこともあり、現在の災害対応は発災直後の数日間の応急対応に関心が集中しているのが現状です。応急対応はマスとしての被災者ニーズにどのように答えればよいか問われますが、その後世帯ごとに違う事情を考慮しつつ地域全体の再建を図るという復興課題が控えていることに関心が持たれていない状況です。いかにすれば災害対応業務の全体像が未だ見えていない状況にあります(図 2)。具体的には、少なくとも以下のような研究すべき課題があると認識しています。

- ・災害対応業務の遂行プロセスが描かれていない
- ・個々の業務に関する具体的な業務遂行シナリオがない

- ・現場対応に必要な具体的事務処理手順が明確でない
- ・組織間で活動を連携させる仕組みがない
- ・個々の制度の連関ならびに統一的視点に立った業務目標が描かれていない
- ・平時とは異なる質・量の業務と日常業務継続のための人的資源配置体制が確立されていない

そこで本研究では、研究メンバー全員が参加する全体ワークショップをこれまで 6 回開催し、首都直下地震が生む問題の全体構造の解明を行ってきました。それは次のような考え方に拠っています。

- ①首都直下地震はさまざまな被害を生む。
- ②それらの被害は相互に関連している。
- ③いわば首都直下地震の全体像はひとつのシステムとして捉えることができる
- ④このシステムに対する被害を最小限に止め、できるだけ早期の復旧・復興を実現することが私たちの任務である
- ⑤この際に部分最適を避けなければならない。各自が部分最適を求めて活動しても、全体最適にならないからである。
- ⑥さらに、システムの各要素がそれぞれ部分最適を求めて活動しても、全体最適にならないことは通常である。
- ⑦そこで求められることは、システムのパフォーマンスを規定する制約を見いだし、それを打破することで、システムとしてのパフォーマンスをあげることである。
- ⑧ひとつの制約を打破しても、また別の制約が生まれる。次々と制約を打破することでシステムのパフォーマンスは向上するというのが Goldratt の制約理論 (TOC) である。
- ⑨TOC の考え方にもとづいて、システムの改善を行うためには、システムそのものについて正確な理解を必要とする。
- ⑩複雑なシステムの理解を助ける手法として開

発されたのが「論理思考プロセス」である。

⑪そこで論理思考プロセスの手続きに依拠して、首都直下地震の問題構造の解明を行う。

⑫そのためには、首都直下地震について豊富な知識を持つ人たちが協働して、それぞれの問題認識を共有し、全体として問題の構造化を行うことが必要である。

⑬そこで、研究メンバー全員で WS を実施する。それだけでは時間が足りないので、WS で出された事実をファシリテータの手助けで整理し、次の WS に提出する。

6 回のワークショップの結果、首都直下地震災害を「都心」「下町」「山の手」という3つの異なる特性を持つ地域が同時被災するととらえることが有効であり、先例とすべき災害事例の存在も明らかになりました。

首都中枢機能の維持が問題となる「都心」では、2001年の同時多発テロの対象となったマンハッタンの対応から多くを学ぶことができます。臨海部のゼロメートル地帯が長期湛水によって機能停止する危険がある「下町」については、2005年のハリケーンカトリーナによるニューオーリンズが参考になります。広域にわたる延焼火災が懸念される「山の手」の場合は、1906年のサンフランシスコ地震や1991年のオークランド大火が教訓となります。

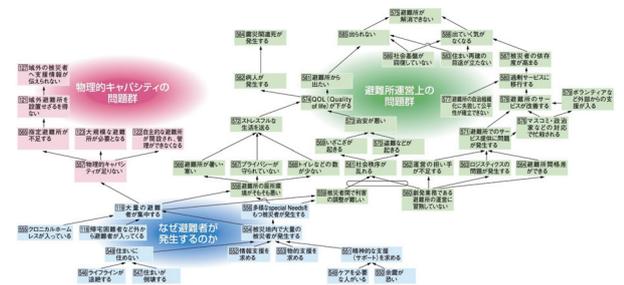


図3 避難所に関する問題構造

こうした地域特性の分析と現地調査での観察を踏まえて、首都直下地震において重大な問題を

発生させる要素として、①医療・衛生、②避難所、③火災、④治安、⑤外国人・要援護者、⑥帰宅困難、⑦避難、⑧企業、⑨社会基盤・交通、⑩経済、⑪住まい、⑫地域、⑬復興、⑭空地、14 課題を同定し、その構造化を進めました。図3は避難所の運営に関する問題構造を解明した例です。

#### 4. 3つの具体的な研究課題

首都直下地震の問題構造を明らかにするとともに、効果的な災害対応を実現するための方策に関して以下の3つの研究課題を設定しています。

1) 効果的な行政対応態勢の確立 (京都大学防災研究所・富士常葉大学・首都大学東京)

地震発生直後の応急対応から、長期的な視野で行われる復旧・復興までにわたる包括的な災害対応に関連する地方自治体が連携して実施する必要があります。そのときに不可欠となる「効果的な行政対応態勢の確立」について、a) 一元的な危機管理対応体制の確立、b) 地域・生活再建過程の最適化に関する研究、c) 効果的な研修・訓練システムの確立の3つの側面から研究しています。

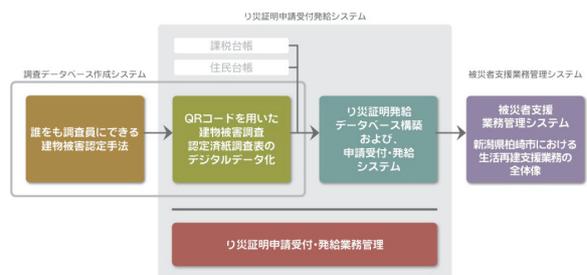


図4 被災者台帳による生活再建支援システム

その成果のひとつとして、「被災者台帳による生活再建支援システム」が開発されました。このシステムでは、図4に示すように、建物被害認定調査から、調査結果のデータベース化、り災証明の申請受付・発給の迅速化と、被災者台帳構築を活用したひとりの被災者も取り残さない統合的な生活再建支援業務の実現を可能にし、新潟県中

越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震で、その有効性が実証されたものです。現在は首都直下地震を想定して首都圏での社会実装に向けた検討を続けています。

## 2) 広域的情報共有と応援体制の確立（東京大学生産技術研究所）

効果的な災害対応を実現するためには、首都圏内外の防災関係機関や報道機関、企業など、数多くの機関による広域連携が不可欠であり、その前提として情報の共有化が必須条件です。しかし、災害情報や情報システムの標準化が行われていないため、現状では情報の共有化は容易ではなく、これが広域連携にとって大きな障害となっています。本研究では、広域連携のために必要不可欠な情報共有の基盤として、事前、準備、対応、復旧・復興過程に対応できる情報共有プラットフォームを構築した上で、広域連携による応援体制を構築し、広域的危機管理・減災対策の検証を目的としています。

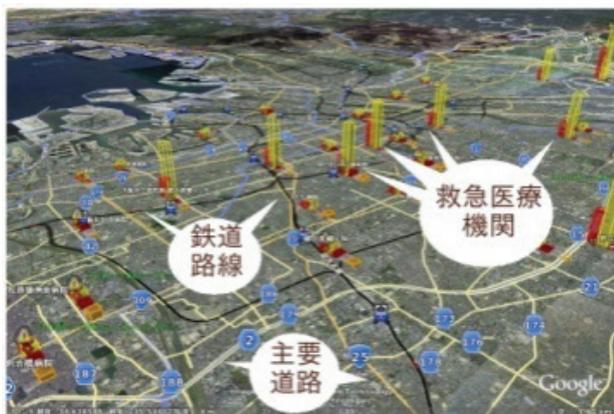


図5 広域的情報共有による応援体制の実現

国、都道府県、市町村の各レベルが、それぞれに情報を集約報告する現行のシステムが持つ情報のとりまとめに要する時間と労力を軽減するために、各レベルの情報ツールを統合する共通規格を提案し、平成20年度には各防災関係機関の協力を得て、発災直後の混乱期における情報共有

と組織間連携に関する実証実験によって、その有効性を検証しています。

## 3) 相互に関連したライフラインの復旧最適化に関する研究（千葉大学）

地震によるライフラインの被害波及と復旧過程を記述・解析するモデルを構築することによって、都市機能の防護戦略を策定し、安全で迅速な機能過程の実現と地域防災力の向上を図ることを目的とした研究も行っています。本研究では、図6に示すように、被害波及の時系列展開を踏まえて、局所的な「自律分散」、ネットワークとしての総合的な「復旧調整」、広域的な「連携」、という相互補完的な対策をベストミックスし、社会的インパクトを最小化するための復旧戦略を提案します。

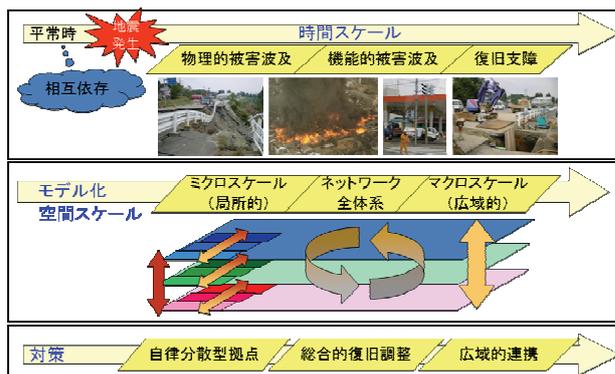


図6 ライフラインの相互依存性と被害波及

## 5. 最終成果物としての防災法制の見直し

本研究の成果を具体的な対策として生かすために、本研究では首都圏の自治体と協働して「8都県市首都直下地震対策研究協議会」を設立し、各チームの研究成果を研究者間および8都県市の防災担当実務者と共有し、その有効性を吟味するための研究会を毎月開催しています。そして、か未曾有な災害である首都直下地震対策を効果的にするために必須となるわが国の現行の防災に関する法体系が持つ問題点を体系的に見直し、解決策をまとめた政策提言集が、サブプロ③の最終成果物であると考えています。