

地震 ジャーナル

48

2009年12月

- エッセイ 駿河湾で地震が起きた ●平田 直
新しい気象庁震度階級関連解説表 ●横田 崇・川上徹人
下山利浩——1
地震予知の夢 ●佃 為成——12
1894年東京地震による飯能の斜面崩壊 ●新井健司——20
四川大地震の地震像と被害の概要 ●林 愛明——32
超高層ビルの大型振動台実験 ●長江拓也・梶原浩一
井上貴仁・中島正愛——41
地震予知連トピックス ●野口伸一——52
●書評——60
●新刊紹介——61
●ADEP情報——62

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

駿河湾で地震が起きた

平田 直

平成21年8月11日朝5時7分、強い揺れで目が覚める。長い一日が始まった。枕元の携帯電話には緊急地震速報が入っていた。5時7分6秒、M 5.9、駿河湾、最大震度5弱。一秒後には情報が更新され、M 6.6、最大震度5強（最終的にはM 6.5）。テレビをつけると、駿河湾を震源とする地震の発生を告げている。大変なことになった。6時17分、研究所に向かう車の中で、気象庁から地震防災対策強化地域判定会委員あてに、所在確認のメールが来る。毎月一回行われる打合わせ会の午前中に送られてくるメールとほとんど同じだったが、メール冒頭に「本番」とあった。これは訓練ではない。メールで指定された番号に電話をして、現在地と連絡方法を知らせる。すぐに気象庁地震予知情報課から携帯電話に連絡があり、8時に判定会委員打合わせ会が開かれる旨が伝えられる。通りはまだ交通量も少なく、6時半頃には地震研究所に着き、関係者と簡単な打合わせをした。研究所にも私の携帯にも、報道関係者から次々電話が入る。

6時38分に気象庁地震予知情報課から携帯メールが入り、東海地震観測情報を発表することを決定したとの通知。このメールにも、本番とある。私は平成17年4月から判定会委員になっているが、観測情報発表を知らせる本番メールを受け取ったのは初めてである。実は、東海地震観測情報は制定後初めて発表されたのであった。7時15分に「東海地震に関連する情報 第1号」として「気象庁は、想定される東海地震との関連性を調査している」との発表があった。新聞社から電話がかかり、この情報に示された発震機構解の意味を説明してほしいという。私の手元にはまだ観測情報第1号はない。所長室にFAXで送ってもらう。横ずれ成分を多く含む北北東-南南西に圧縮軸を持つ発震機構解が示されていることから、沈み込むフィリピン海プレート内部で地震が起きていることが示唆された。つまりこれは、想定されている東海地震ではない可能性が高い。テレビ局からの電話がつながり、生放送でコメントを流すので話を聞かせてくれと言われる。

7時40分頃、車で気象庁に向かった。8時からの判定会委員打合わせ会がまもなく始まる。その後の気象庁からの発表は、みなさんご存じの通りである。今回の地震は東海地震には直接つながらない、ということ。勿論、東海地震の起きる可能性は現在も高い。



平田 直

〔ひらた なおし〕

現職 東京大学地震研究所所長・教授、地震防災対策強化地域判定会委員

理学博士

略歴 東京大学理学部卒、同大学院博士課程退学、東京大学理学部助手、千葉大学理学部助教授、東京大学地震研究所助教授、同教授を経て現職

研究分野 観測地震学、地殻構造論

著書 「地殻ダイナミクスと地震発生（分担）」（朝倉書店）

新しい気象庁震度階級関連解説表

横田 崇・川上徹人・下山利浩

1. はじめに

震度は、地震による揺れの強さを総合的に表す指標で、防災対応の重要な基準として利用されている。気象庁の震度観測は、平成8年に、それまでの人の体感によるものから震度計によるものに切り替わった。ここに、震度情報の速報体制が確立し、地震発生時の災害応急対応等により広く活用されるようになった。

この震度観測の変革とともに、気象庁は、ある震度の揺れがあった場合、その場所でどのような現象や被害が生ずるかを示す「気象庁震度階級関連解説表」を作成した。しかし、この解説表の作成から10年以上が経過し、その間、いくつかの規模の大きな被害地震が発生し、震度の大きさに比して建物被害が少ないなど、新たな事例が得られた。また、この間の社会状況の変化等があり、被害の状況や説明等に適切でない点も見られていた。

このため、気象庁では、平成20年10月に「震度に関する検討会（座長：翠川三郎）」を設置し、解説表の見直し等についての検討を行い、平成21年3月、「気象庁震度階級関連解説表」の改定を行った。ここでは、その概要について紹介する。

2. 震度観測の変遷

2.1 体感や被害に基づく観測

日本における震度観測は、1884年（明治17年）に、「地震報告心得」として始まった。これは、地震計の無い時代における地震観測として、揺れの強弱や被害の程度等を記録し報告するものであった。これが我が国における「震度階級」の最初のもので、微、弱、強、烈の4階級に区分されていた。明治31年には7階級となり、その後、明治41

年と昭和11年に説明事項を加えて表現をわかりやすくする等の改正が行われている。

昭和24年には、前年の福井地震の甚大な被害がきっかけとなり、震度7が追加された。同時に、震度6に「立つことが困難」、震度4に「歩いている人も感じる」等の体感の基準が加わった。これは、この年の12月から我が国としての津波警報が始まったが、その実施基準として震度の大きさが定められ、震度をより早く報告できるようにするためのものであったと思われる。その後、昭和53年には、気象庁の観測指針に体感等による区分がより細やかに記載されたが、本質的には昭和24年のとおりである。

震度階級は被害の程度等により定められていたことに加え、震度が津波警報の実施基準としても利用されていたことから、震度情報は、防災機関等の地震時の初動対応の立ち上がり等に活用されテレビ・ラジオにより広く放送されるようになった。

2.2 震度の計測化の検討（第1回目）

震度の計測化、即ち、震度計で観測した計測震度に基づき震度を観測することの最初の検討は、「震度観測検討委員会（座長：宇津徳治）」において、昭和60年から行われ昭和63年に結果が取りまとめられた。

当時の震度観測は、職員の体感によることから、「主観が入り震度が異なる可能性がある（定量的でない）」、「観測から報告までに時間がかかる（迅速化できない）」、「観測地点が気象官署に限られる（無人化、多点化できない）」との問題があり、高度情報化社会の要請に対応できるものではないと指摘されていた。

「震度観測検討委員会」による計測震度（以下、「旧計測震度」と言う）の要点は、次のとおりである。

○計測量として加速度を用いる河角式（震度＝ $2 \cdot \log(\text{加速度}) + 0.7$ ）を基本とし、加速度は、水平動2成分のみを使用する。

○対象とする地震波の周期は、0.1秒～1秒とし、計測震度を加速度と速度の中間的なものとする。

○周期1秒より長周期の波については、ローカットフィルターでカットする。

旧計測震度 (I_0) の算出式は次のとおり。

$$I_0 = 2 \cdot \log(a) + 0.7 + \log(k \cdot t)$$

a : 加速度 (gal=cm/s/s) (フィルター後)

t : 周期 (秒) (0.1～1秒の範囲)

k : 係数 ($k=1.5$)

2.3 震度の計測化の検討 (第2回目)

平成7年1月17日の兵庫県南部地震による大災害を契機として、気象庁では、初動対応の迅速化を確立するため、平成7年に「震度問題検討会 (座長: 宇津徳治)」を開催し、震度の計測化の見直しを行った。

これにより定められた計測震度が現在用いられている計測震度 (以下、単に「計測震度」と言う) である。旧計測震度から計測震度への変更点は、次のとおり。

○加速度は、水平動2成分に上下動を加えた3成分を使用。

○地震動と建物被害との相関を考慮し、対象とする地震波の周期帯を、「0.1秒～1秒」から「0.1秒～2秒」と長周期側に拡張。(実質的な総合特性としては1.7秒あたりにピーク。図1を参照。)

計測震度 (I) の算出式は次のとおり。

$$I = 2 \cdot \log(a) + 0.94$$

a : フィルター後の加速度 (gal=cm/s/s)

加えて、震度階級についても見直しを行った。

○震度5及び震度6については、対応する現象の幅が大きいため、それぞれ強と弱に区分。

これにより震度階級は、8階級から10階級となる。

○事後の被害調査により定めるとした震度7も、計測により速報。

平成8年、気象庁は、震度計で観測した計測震

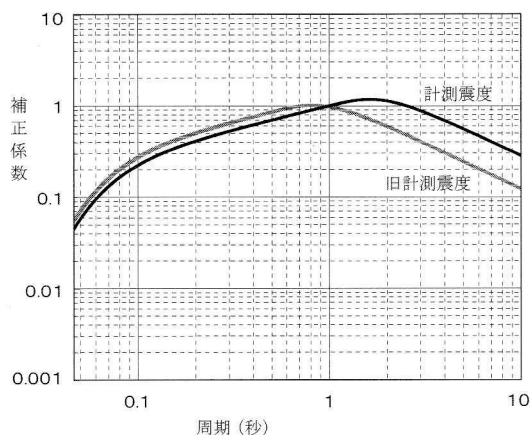


図1 旧計測震度と計測震度のフィルターの比較

度に基づく新たな気象庁震度階級を定め (平成八年二月一五日気象庁告示第四号)、震度観測を震度計によるものに改めた。同時に、ある震度の揺れになるとどのような現象や被害が生ずるかを示す「気象庁震度階級関連解説表」を作成した。これは、地震動から定量的に算出される計測震度を入力として、その出力として見られる揺れの状況や被害の状況等を取りまとめて記載したことに相当する。そして、この解説表は、構造物の耐震性の向上などで実状と合わなくなった場合には、内容を変更することとした。

気象庁が震度情報として発表する震度観測点は、平成5年7月12日の北海道南西沖地震を契機に平成6年度末にはそれまでの約150地点から約300地点に倍増していたが、兵庫県南部地震を契機に約600地点へとさらに倍増した。これにより、山間部・島しょ部を除き、全国約20km間隔の震度観測網が構築された。さらに、地方公共団体及び防災科学技術研究所の震度観測点の震度データも活用し、現在、約4200の震度観測点の震度を発表している。

3. 計測震度と被害との関係

「気象庁震度階級関連解説表」の見直し等を検討するにあたり、平成20年10月に「震度に関す

る検討会（座長：翠川三郎）（事務局：気象庁，消防庁）を設置し，計測震度と被害との関係等を含め，平成 20 年 12 月 7 日の第 1 回から平成 21 年 3 月 23 日の第 5 回まで集中的に検討を重ねた。

平成 20 年 6 月 14 日の岩手・宮城内陸地震や同年 7 月 24 日の岩手県沿岸北部の地震では，震度 6 強や震度 6 弱が観測されたが，震度の大きさに比べ木造家屋の被害が少ないなどの事例があった。これは，木造家屋に影響を与えるような周期の地震波が少なかったことによる可能性が考えられ，計測震度はこのような建物被害の指標としては不十分ではないかとの指摘があった。さらに，震度計の設置が不適切なため震度が大きくなったのではないかとの指摘もあり，設置条件等の不適切な観測点の点検とその扱いについても課題となっていた。実際，岩手県沿岸北部の地震で震度 6 強を観測した岩手県洋野町大野について，地震発生後に設置した臨時観測の震度計との比較結果から，震度 6 強を取り消している。

3.1 計測震度の確認

まず最初に，計測震度がそれまでの体感等による震度と合っているのかどうかの確認を行った。

① 計測震度と旧震度（体感震度）の比較

計測震度と旧震度（体感震度）の関係を確かめるため，1988 年～1994 年及び「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」の 87 型電磁式強震計による 3 成分加速度波形を用いて計測震度を算出し，観測されていた旧震度（体感震度）との関係を調べた。

その結果，計測震度の平均値は，旧震度（体感震度）よりやや小さい傾向にあるが，標準偏差内（ $\pm 1\sigma$ ）であり，概ね一致していることが確認された。（図 2 参照。）

② 計測震度と震度の聞き取り調査等の比較

気象庁では，「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」の際に聞き取り調査を行い，当時の「気象庁震度階級関連解説表」にある人間の体感・行動等の記載に着目して震度を推定した。この震度を整理し，計測震度との関係を調べた。その結果，ばらつきはあるものの，聞き取り調査から推定した震度と計測震度は，ほぼ対応し

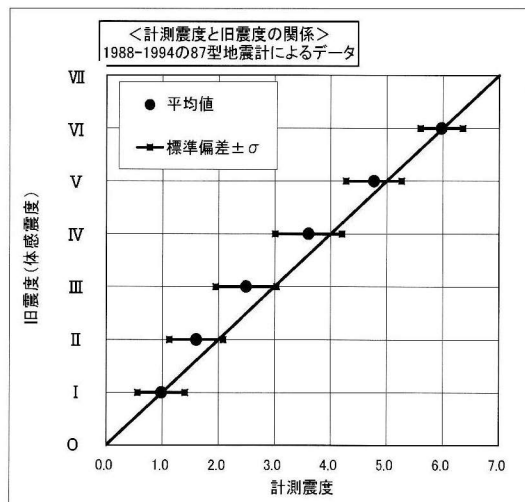


図 2 計測震度と旧震度（体感震度）の比較

ていることが確認された。

③ 計測震度と罹災証明による木造全壊率等との関係の調査

平成 15 年以降の主な被害地震（計 7 地震）について，気象庁では，震度観測点を中心に半径 200 m の範囲内の罹災証明による木造家屋の全壊率，半壊率及び一部損壊率を，昭和 56 年（1981 年）以前の建物と昭和 57 年（1982 年）以降の建物に分けて調査しており，観測点の計測震度と罹災証明の全壊率等との関係をまとめた。（範囲内に 100 棟以上ある場合に限定）その結果，計測震度と罹災証明の木造全壊率との相関は良いことがわかった。（図 3 を参照。）

以上を通じて，全体の結論としては，以下のよう

- 1) 計測震度は旧震度（体感震度）と概ね一致する。
- 2) 計測震度と聞き取り調査により「人体感覚から推定した震度」は，ほぼ対応する。
- 3) 計測震度と被害との関係は，次のとおりに整理される。
 - a) 計測震度は，罹災証明による全壊率との相関は比較的高い。（注 1）
 - b) 負傷者と罹災証明による全壊数との相関は比較的高い。

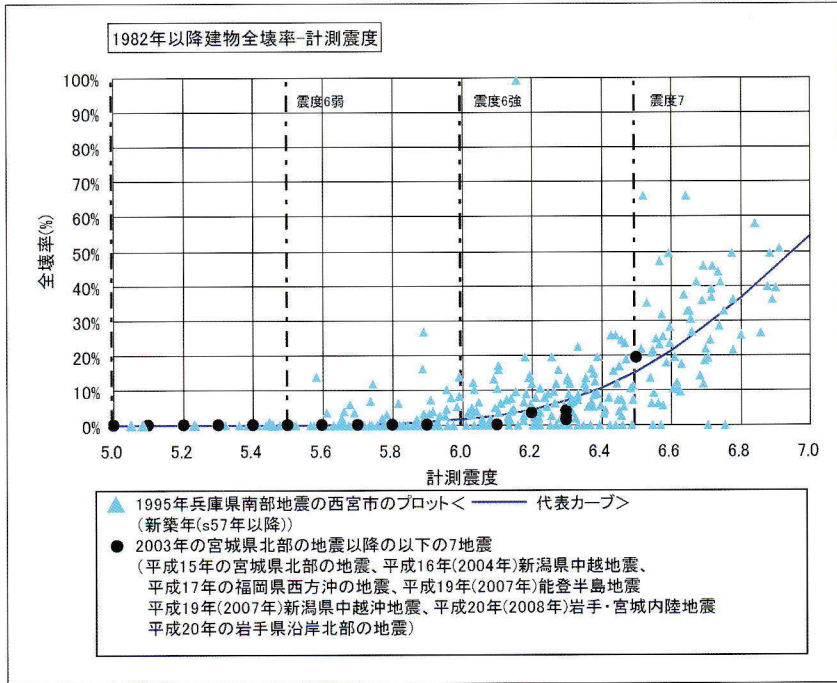


図 3 木造全壊率と計測震度の関係
(兵庫県南部地震の木造被害との重ね合わせ)

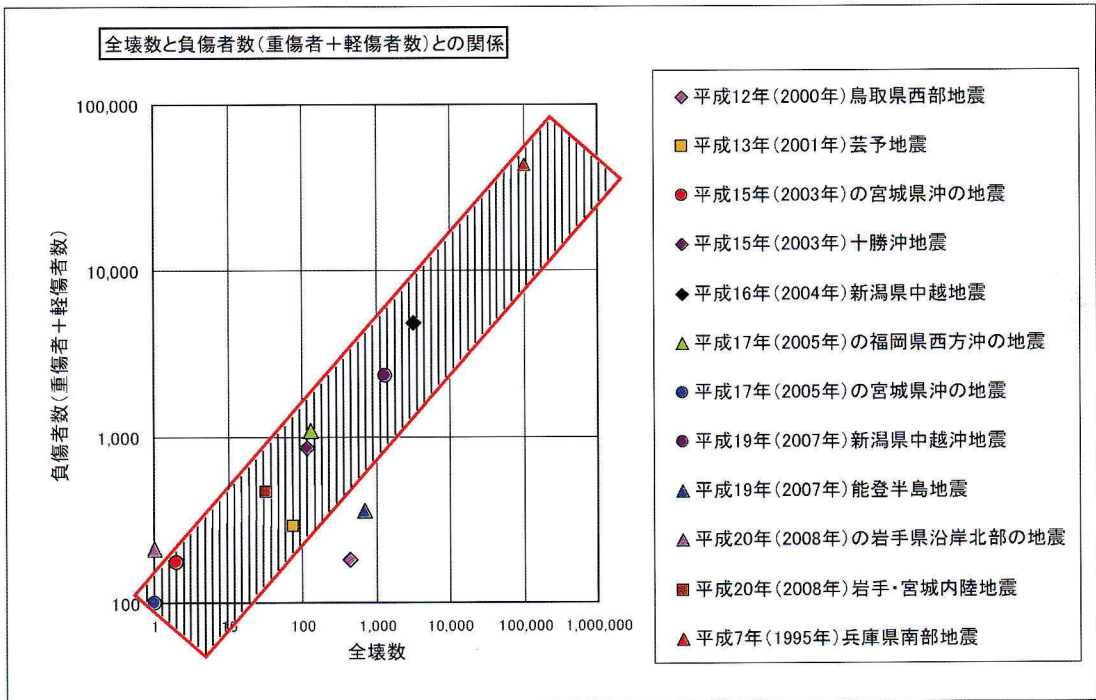


図 4 建物全壊数と負傷者数(重傷者+軽傷者数)との関係
[消防庁データを整理]

全壊数は、内閣府による地震の被害推定の際に死者数の算定に用いられるなどしている。また、全壊数は負傷者数との相関も高いことが分かった。(図4参照)

- c) 計測震度を、防災の初動対応の指標として用いることに、大きな問題はない。計測震度は、倒壊などの建物被害との相関をみると不十分な面があるが、全壊率との相関は高く、全壊数が負傷者数、死者数と関係することから、防災の初動対応に用いる指標として、大きな問題はないと考える。

加えて、この検討会を通じて、以下のことが確認された。

- 倒壊など重大な建物被害と計測震度の相関は必ずしも良くない。
- 境らによる提案震度、清野らの組合せ震度など重大な建物被害にも対応する指標が提案されているが、まだデータが十分ではない。
- 今後も倒壊など重大な建物被害と関係する指標の調査・検討を続ける必要がある。

注1：罹災証明の「全壊」は、住宅全部あるいは一部の階が倒壊するものに加え、住家の主要構造物の被害額が住家の時価50%以上のものを含んでいる。このことから、罹災証明の「全壊」は、「建物が倒れる」ものだけでなく、「建物が傾く」などの被害も含む。

3.2 「気象庁震度階級関連解説表」の見直しの検討

計測震度は、旧震度(体感震度)と幅はあるものの概ね一致しており、また地震後の聞き取り調査から推定した震度との対応も比較的良好ことから、人間の体感や行動等との相関が高い量であることが分かった。

一方、被害との関係については、罹災証明の全壊率との関係は比較的良好ことは分かったが、解説表を作成するには、どのような被害や現象が見られるのか具体的な記述が必要となる。

このため、解説表の見直しにあたり、近年の新たな事例を含め、ある震度でどのような被害があったのかについて資料を整理した。地震の被害事例はまだまだ少なく、具体例は十分ではない

が、できる限り整理した資料を参考に、震度別に発生する現象や被害等の状況について点検し、記述事項や表現を検討することとした。

この被害に関する資料は、建物被害については木造建物、鉄筋コンクリート建物に分け、それぞれ耐震性が高いものと低いものでどのような被害があったかについて震度ごとの比率を整理した。また、家具の移動・転倒、棚の食器や書籍類の落下、テレビの落下、ドアの開閉、ブロック塀の倒壊、窓ガラスの破損、壁タイルの落下、瓦の被害、道路の亀裂・段差、がけ崩れなどについて参考資料として取りまとめた。資料は、被害事例も少ないことからまだまだ十分ではないが、解説表の記述の根拠資料として使用した。

これら資料を検討した結果、震度階級と被害との基本的な関係は従来のもとは変更はないが、従来のは過度な被害をイメージさせる表現も少なくなく、誤解を与えないよう適切な表現に変更する必要があることが分かった。そして、表現等を変更した事項については、その理由が分かるように「気象庁震度階級関連解説表の変更点とその理由」を作成した。

「震度に関する検討会」の報告(平成21年3月23日)を踏まえ、所要の事務的な手続きを経て、同年3月31日に「気象庁震度階級関連解説表」の改定を行った。

4. 新しい震度階級関連解説表

新しい「気象庁震度階級関連解説表」と使用にあたっての留意事項を[別表]に示す。

今回の改定において、震度階級と被害との基本的な関係は従来のものから変更はなく、表現を分かりやすくするとともに、近年の被害において社会的に注目される事項を追加した。

主な改善点は、次のとおりである。

- 利用する人が自分のいる場所の揺れの強さが概ねどの程度の震度に相当するのか判断できるよう、出来るだけ分かりやすい表現に変更。
- 震度6強と震度7は強い揺れであり、人間の感覚では区別が困難なため、人の体感・行動の事

震度と揺れ等の状況(概要)

<p>0</p>  <p>【震度0】 人は揺れを感じない。</p>	<p>1</p>  <p>【震度1】 屋内で静かにしている人の中には、揺れをわずかに感じる人がいる。</p>	<p>2</p>  <p>【震度2】 屋内で静かにしている人の大半が、揺れを感じる。</p>	<p>3</p>  <p>【震度3】 屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。</p>
<p>4</p>  <p>【震度4】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●ほとんどの人が驚く。 ●電灯などのつり下げ物は大きく揺れる。 ●座りの悪い置物が、倒れることがある。 	<p>6弱</p>  <p>【震度6弱】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●立っていることが困難になる。 ●固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。 ●壁のタイルや窓ガラスが破損、落下することがある。 ●耐震性の低い木造建物は、瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。 <p>耐震性が高い 耐震性が低い</p>		
<p>5弱</p>  <p>【震度5弱】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●大半の人が、恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。 ●棚にある食器類や本が落ちることがある。 ●固定していない家具が移動することがあり、不安定なものも倒れることがある。 	<p>6強</p>  <p>【震度6強】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●はわないと動くことができない。飛ばされることもある。 ●固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多くなる。 ●耐震性の低い木造建物は、傾くものや、倒れるものが多くなる。 ●大きな地割れが生じたり、大規模な地すべりや山体の崩壊が発生することがある。 <p>耐震性が高い 耐震性が低い</p>		
<p>5強</p>  <p>【震度5強】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●物につかまらなさと歩くことが難しい。 ●棚にある食器類や本で落ちるものが多くなる。 ●固定していない家具が倒れることがある。 ●補強されていないブロック塀が崩れることがある。 	<p>7</p>  <p>【震度7】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●耐震性の低い木造建物は、傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。 ●耐震性の高い木造建物でも、まれに傾くことがある。 ●耐震性の低い鉄筋コンクリート造の建物では、倒れるものが多くなる。 <p>耐震性が高い 耐震性が低い</p>		

地震が起きたら

あわてず、まず身の安全を!!

緊急地震速報を見聞きしたら

- 頭を保護し、丈夫な机の下など安全な場所に避難
- 運転中は、ハザードランプを点灯し、緩やかに減速
- あわてて外に飛び出さない(落下物や車が危険)
- 近づくな、門や塀、自動販売機やビルのそば
- 揺れがおさまってから、あわてず火の始末
- 海岸でぐらっときたら高台へ
- あわてた行動、けがのもと

家屋の耐震化や家具の固定など、日頃から地震に備えましょう!!



国土交通省 気象庁

〒100-8122 東京都千代田区大手町1-3-4 電話: (03)3212-8341 (代表)
ホームページアドレス <http://www.jma.go.jp/>



















平成21年3月31日

図5 震度と揺れ等の状況(概要)

● 震度階級別の木造建物（住宅）の被害状況のイメージ図

木造建物（住宅）の被害の状況について、耐震性の高低の違いと震度の大きさにより、被害状況にどのような違いが現れるかを、DATS（Damage Assessment Training System）の被害認定用パターンチャートの図を参考にして示したものです。建物の被害の程度の記述は、震度階級関連解説表によっています。

実際の被害は、建物の被害の様相は様々で、この図はその一例を目安として示しているものです。詳細は次ページの罹災証明調査で利用する被害認定用パターンチャートの例を参考下さい。

震度階級	木造建物（住宅）					震度階級				
	耐震性									
	(丈夫)	高い	低い	(こわれやすい)						
5弱	(被害なし)					5弱				
								軽微なひび割れ・亀裂		
5強								軽微なひび割れ・亀裂	ひび割れ・亀裂	5強
										
6弱								軽微なひび割れ・亀裂	大きなひび割れ・亀裂	傾く
										
6強			軽微なひび割れ・亀裂	大きなひび割れ・亀裂	傾く	倒れる	6強			
										
7			軽微なひび割れ・亀裂	大きなひび割れ・亀裂	傾く	倒れる	7			
										

図中のイラストは、DATS(Damage Assessment Training System)の被害認定用パターンチャートを基に、一部加筆したものをを用いている。

図 6 震度階級別の木造建物（住宅）の被害状況のイメージ図

気象庁震度階級関連解説表

使用にあたっての留意事項

- (1) 気象庁が発表している震度は、原則として地表や低層建物の一階に設置した震度計による観測値です。この資料は、ある震度が観測された場合、その周辺で実際にどのような現象や被害が発生するかを示すもので、それぞれの震度に記述される現象から震度が決定されるものではありません。
- (2) 地震動は、地盤や地形に大きく影響されます。震度は震度計が置かれている地点での観測値であり、同じ市町村であっても場所によって震度が異なることがあります。また、中高層建物の上層階では一般に地表より揺れが強くなるなど、同じ建物の中でも、階や場所によって揺れの強さが異なります。
- (3) 震度が同じであっても、地震動の振幅（揺れの大きさ）、周期（揺れが繰り返す時の1回あたりの時間の長さ）及び継続時間などの違いや、対象となる建物や構造物の状態、地盤の状況により被害は異なります。
- (4) この資料では、ある震度が観測された際に発生する被害の中で、比較的多く見られるものを記述しており、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。また、それぞれの震度階級で示されている全ての現象が発生するわけではありません。
- (5) この資料は、主に近年発生した被害地震の事例から作成したものです。今後、5年程度で定期的に内容を点検し、新たな事例が得られたり、建物・構造物の耐震性の向上等によって実状と合わなくなった場合には変更します。
- (6) この資料では、被害などの量を概数で表せない場合に、一応の目安として、次の副詞・形容詞を用いています。

用語	意味
まれに わずか 大半 ほとんど	極めて少ない。めったにない。 数量・程度が非常に少ない。ほんの少し。 半分以上。ほとんどよりは少ない。 全部ではないが、全部に近い。
が（も）ある、 が（も）いる	当該震度階級に特徴的に現れ始めることを表し、量的には多くはないがその数量・程度を表現できかねる場合に使用。
多くなる	量的に表現できかねるが、下位の階級より多くなることを表す。
さらに多くなる	上記の「多くなる」と同じ意味。下位の階級で上記の「多くなる」が使われている場合に使用。

※気象庁では、アンケート調査などにより得られた震度を公表することがありますが、これらは「震度〇相当」と表現して、震度計の観測から得られる震度と区別しています。

●人の体感・行動、屋内の状況、屋外の状況

震度階級	人の体感・行動	屋内の状況	屋外の状況
0	人は揺れを感じないが、地震計には記録される。	—	—
1	屋内で静かにしている人の中には、揺れをわずかに感じる人がいる。	—	—
2	屋内で静かにしている人の大半が、揺れを感じる。眠っている人の中には、目を覚ます人もいる。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。	—
3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。歩いている人の中には、揺れを感じる人もいる。眠っている人の大半が、目を覚ます。	棚にある食器類が音を立てることがある。	電線が少し揺れる。
4	ほとんどの人が驚く。歩いている人のほとんどが、揺れを感じる。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。	電線が大きく揺れる。自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる。
5弱	大半の人が、恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。	電灯などのつり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の大半が倒れる。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものも倒れることがある。	まれに窓ガラスが割れて落ちることがある。電柱が揺れるのがわかる。道路に被害が生じることがある。
5強	大半の人が、物につかまらなさと歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。	棚にある食器類や書棚の本で、落ちるものが多い。固定していない家具が倒れることがある。	窓ガラスが割れて落ちることがある。補強されていないブロック塀が崩れることがある。据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。自動車の運転が困難となり、停止する車もある。
6弱	立っていることが困難になる。	固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。	壁のタイルや窓ガラスが破損、落下することがある。
6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多い。	壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する建物が多くなる。補強されていないブロック塀のほとんどが崩れる。
7	揺れにほんろうされ、動くこともできず、飛ばされることもある。	固定していない家具のほとんどが移動したり倒れたりし、飛ぶこともある。	壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する建物がさらに多くなる。補強されているブロック塀も破損するものがある。

●木造建物（住宅）の状況

震度階級	木造建物(住宅)	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5弱	—	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。
5強	—	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。
6弱	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。 壁などに大きなひび割れ・亀裂が入ることがある。 瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。
6強	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などに大きなひび割れ・亀裂が入るものが多くなる。 傾くものや、倒れるものが多くなる。
7	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。 まれに傾くことがある。	傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。

(注1) 木造建物(住宅)の耐震性により2つに分けた。耐震性は、建築年代の新しいものほど高い傾向があり、概ね昭和56年(1981年)以前は耐震性が低く、昭和57年(1982年)以降には耐震性が高い傾向がある。しかし、構法の違いや壁の配置などにより耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

(注2) この表における木造の壁のひび割れ、亀裂、損壊は、土壁(割り竹下地)、モルタル仕上壁(ラス、金網下地を含む)を想定している。下地の弱い壁は、建物の変形が少ない状況でも、モルタル等が剥離し、落下しやすくなる。

(注3) 木造建物の被害は、地震の際の地震動の周期や継続時間によって異なる。平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震のように、震度に比べ建物被害が少ない事例もある。

●鉄筋コンクリート造建物の状況

震度階級	鉄筋コンクリート造建物	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5強	—	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。
6弱	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。
6強	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂がみられることがある。 1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものがある。
7	壁、梁(はり)、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂がさらに多くなる。 1階あるいは中間階が変形し、まれに傾くものがある。	壁、梁(はり)、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂が多くなる。 1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものがある。

(注1) 鉄筋コンクリート造建物では、建築年代の新しいものほど耐震性が高い傾向があり、概ね昭和56年(1981年)以前は耐震性が低く、昭和57年(1982年)以降は耐震性が高い傾向がある。しかし、構造形式や平面的、立面的な耐震壁の配置により耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

(注2) 鉄筋コンクリート造建物は、建物の主体構造に影響を受けていない場合でも、軽微なひび割れがみられることがある。

●地盤・斜面等の状況

震度階級	地盤の状況	斜面等の状況
	5弱	亀裂 ^{※1} や液状化 ^{※2} が生じることがある。
5強	—	—
6弱	地割れが生じることがある。	がけ崩れや地すべりが発生することがある。
6強	—	がけ崩れが多発し、大規模な地すべりや山体の崩壊が発生することがある ^{※3} 。
7	大きな地割れが生じることがある。	—

※1 亀裂は、地割れと同じ現象であるが、ここでは規模の小さい地割れを亀裂として表記している。

※2 地下水位が高い、ゆるい砂地盤では、液状化が発生することがある。液状化が進行すると、地面からの泥水の噴出や地盤沈下が起こり、堤防や岸壁が壊れる、下水管やマンホールが浮き上がる、建物の土台が傾いたり壊れたりするなどの被害が発生することがある。

※3 大規模な地すべりや山体の崩壊等が発生した場合、地形等によっては天然ダムが形成されることがある。また、大量の崩壊土砂が土石流化することもある。

●ライフライン・インフラ等への影響

ガス供給の停止	安全装置のあるガスメーター(マイコンメーター)では震度5弱程度以上の揺れで遮断装置が作動し、ガスの供給を停止する。さらに揺れが強い場合には、安全のため地域ブロック単位でガス供給が止まることもある [※] 。
断水、停電の発生	震度5弱程度以上の揺れがあった地域では、断水、停電が発生することがある [※] 。
鉄道の停止、高速道路の規制等	震度4程度以上の揺れがあった場合には、鉄道、高速道路などで、安全確認のため、運転見合わせ、速度規制、通行規制が、各事業者の判断によって行われる。(安全確認のための基準は、事業者や地域によって異なる。)
電話等通信の障害	地震災害の発生時、揺れの強い地域やその周辺において、電話・インターネット等による安否確認、見舞い、問合せが増加し、電話等がつながりにくい状況(ふくそう)が起こることがある。 そのための対策として、震度6弱程度以上の揺れがあった地震などの災害の発生時に、通信事業者により災害用伝言ダイヤルや災害用伝言板などの提供が行われる。
エレベーターの停止	地震管制装置付きのエレベーターは、震度5弱程度以上の揺れがあった場合、安全のため自動停止する。運転再開には、安全確認などのため、時間がかかることがある。

※ 震度6強程度以上の揺れとなる地震があった場合には、広い地域で、ガス、水道、電気の供給が停止することがある。

●大規模構造物への影響

長周期地震動 [※] による超高層ビルの揺れ	超高層ビルは固有周期が長い、固有周期が短い一般の鉄筋コンクリート造建物に比べて地震時に作用する力が相対的に小さくなる性質を持っている。しかし、長周期地震動に対しては、ゆっくりとした揺れが長く続き、揺れが大きい場合には、固定の弱いOA機器などが大きく移動し、人も固定しているものにつかまらないうつかり、同じ場所にいられない状況となる可能性がある。
石油タンクのスロッシング	長周期地震動により石油タンクのスロッシング(タンク内溶液の液面が大きく揺れる現象)が発生し、石油がタンクから溢れ出たり、火災などが発生したりすることがある。
大規模空間を有する施設の天井等の破損、脱落	体育館、屋内プールなど大規模空間を有する施設では、建物の柱、壁など構造自体に大きな被害を生じない程度の地震動でも、天井等が大きく揺れたりして、破損、脱落することがある。

※ 規模の大きな地震が発生した場合、長周期の地震波が発生し、震源から離れた遠方まで到達して、平野部では地盤の固有周期に応じて長周期の地震波が増幅され、継続時間も長くなる可能性がある。

項では、震度6強と震度7の項を統合して記載。

- 木造建物や鉄筋コンクリート造建物の状況は、耐震性の高低に応じて記載。また、従来の解説表は実際よりも大きな被害をイメージする用語が用いられていたことから、誤解を与えないよう、実際の現象を適切に表す表現に変更。
- ライフライン等の関係については、鉄道の停止、高速道路の規制、電話等通信の障害、エレベータの停止の事項を加え、「ライフライン・インフラ等への影響」としてまとめて記載。また、超高層ビル等の「大規模構造物への影響」についても記載。
- 被害などの数量や程度を表す副詞・形容詞について、「かなり」、「多い」など、人により数量・程度の大きさの理解や感じ方が異なるような用語を避け、一般の理解が共通している用語を使用。この場合においても、本資料で用いる際の一応の目安としての意味を定義して使用。
- 今後5年程度で定期的に内容の点検を行う旨を明記。

5. おわりに

今回の改定にあたっては、一般の方や防災担当者の方の利便性を高めるため、各震度に対応して発生する現象や被害の状況をできるだけわかりやすく表現し、地震に対する日頃の備えや災害応急活動にも幅広く活用されることに主眼をおいた。

このため、新しい「気象庁震度階級関連解説表」を作成するのみではなく、一般の方々向けに、震度に対応する被害等が簡潔にわかるイラスト付き

の「震度と揺れ等の状況(概要)」を制作した(図5参照)。また、木造家屋の被害の様子の違いがわかるイラスト付きの資料も作成した(図6参照)。また、地震時にとるべき行動、計測震度と建物の全壊及び負傷者数との関係に関する資料等も含めた広報用の資料として、「気象庁震度階級の解説」を作成した。

これらの資料が幅広く活用されることを期待する。

参考文献

- 1) 太田 裕・後藤典俊・大橋ひとみ(1979):アンケートによる地震時の震度の推定,北海道工学部研究報告,第92号,pp.117-128.
- 2) 太田 裕・小山真紀・中川康一(1998):アンケート震度算定法の改訂—高震度領域—,自然災害科学, J. JSNDS, 16-4, pp. 307-323.
- 3) 境 有紀・神野達夫・額瀨一起(2004):震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案,日本建築学会構造系論文集,第585号,pp.71-76.
- 4) 清野純史・藤江恵悟・太田 裕(1999):組合せ震度の提案・定式化とその応用について,土木学会論文集, No. 62/I-62, pp. 143-151.
- 5) 中央防災会議(2005):首都直下地震に係る被害想定手法について, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/15/shiryous3.pdf>
- 6) 山口直也・山崎文雄(2000):西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築,地域安全学会論文集, vol. 2, pp. 129-138.
- 7) 気象庁震度階級関連解説表: <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/kaisetsu.html>
- 8) 「震度に関する検討会」資料: http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_kentakai/index.html

横田 崇

[よこた たかし]

現職 気象庁地震火山部地震予知情報課長

略歴 昭和 57 年入庁。気象研究所主任研究官，地震火山部管理課補佐官，総務部企画課防災企画調整官，札幌管区気象台技術部長，地震火山部火山課長，地震津波監視課長等を歴任し，本年 4 月から現職。

著書 「世界の災害の今を知るシリーズ 津波」(文溪堂)，「世界の災害の今を知るシリーズ 地震」(監訳，文溪堂)，「火山に強くなる本」(共著，山と溪谷社)，「災害情報論入門」(共著，弘文堂)



下山 利浩

[しもやま としひろ]

現職 気象庁地震火山部地震津波監視課 調査官

略歴 平成 9 年気象庁入庁。総務部企画課，地震火山部管理課，国土交通省河川局砂防部砂防計画課，地震火山部地震予知情報課等を経て，平成 21 年 4 月より現職



川上 徹人

[かわかみ てつと]

現職 気象庁地震火山部管理課 調査官

略歴 昭和 59 年入庁。大阪管区気象台，地震火山部管理課，静岡地方気象台，地震火山部地震津波監視課等を経て，平成 21 年 4 月より現職(兵庫県南部地震を契機とした 95 型震度計・震度観測システムの整備，強震波形観測，地震観測処理システムの整備等に從事)



地震予知の夢

佃 為成

1. ま え が き

「予知して摘み取れ危険の芽—高める意識でゼロ災害」という標語が、ある酪農工場の建物に緑十字のマークとともに掲げてあった。これまでの経験に照らし、頭でよく考えて危険の芽生えを示す現場の状況の変化を見つける努力をし、危険を予知しようという運動の一環である。「予知」という言葉の使い道はこのようなところにもある。ずいぶん前から各地の工事現場で「危険予知」のスローガンを見かけた。現在では、製造工場でも、あるいは一般企業でもさまざまなリスクに対応する「危険予知」が叫ばれている。国家の危機管理にも「危険予知」が極めて重要なことは言うまでもない。

さて、危険の芽とはどんなものだろうか？ 建築物や構造物、機械を例にとると、ひび割れ、亀裂、ネジの緩み、材料の部分的な破断などが発生して、度が過ぎると大きな亀裂や破断、脱落が起これ、危険な事故が発生する。種々の作業の中にも、気のゆるみ、不注意が重なると事故が起こる。個人の普段の行いや集団の中で発生する社会問題もある。よく観察すると、これらの危険の芽が少しずつ増えていくのが見えてくる。それを見逃さないことである。

医療や介護の現場では、「ヒヤリ・ハット・キガカリ活動」が実践されている。大きな事故やミスに至らなかったけれどヒヤリとしたこと、ハットとしたこと、キガカリなことの記憶を絶えず振り返り、潜んでいる大きな危険を想像しつつ仕事に携わる。「予知」の頭を働かすのである。

航空機の重大事故などでは、その事故も前に、多数の小さい事故が起きていた、という話がある。小さな事故群は、大きな事故の危険が潜んでいる

ことを示すサインである。これらに敏感に対応すれば大事故を防止することができる。これも「ヒヤリ・ハット」の類である。

地震の場合にも危険の芽が存在する。例えば耐震補強を施していない建物自体もそうである。「地震予知」では、地下で進行している大地震の準備過程を知らねばならない。その様子を知らせる「地下からのサイン」をつかまえることが必要である。怖い大地震の災害の危険性を知り、それが迫っていることを「地下からのサイン」から読みとって、そこから見える大地震発生の気配を知って、来るべき災害を軽減する対策をたてる。これが地震予知の心、あるいは芯の部分である。

では、読みとるべき「サイン」とは何か？ 地震以外にもいろいろなサインが登場する。

犯罪や子供達のいじめなどの社会問題においても、様々なサインがあちこちから発せられている。児童虐待防止キャンペーンでは、「助けての 小さなサイン 受け止めて」（平成20年度 児童虐待防止推進月間標語の最優秀作品）と呼びかけている。病気のサインもある。「眠れないくらい手足が冷えたり、体がだるいときは病気のサインかもしれない」というテレビコマーシャルがあった。

以上述べてきたように、地震予知に限らず一般的な「予知」は、何か兆候（危険の芽や様々なサイン）をつかんで、来る危険をあらかじめ知ることである。サインの中には、普段と違った異常な現象として認識されるものが多い。地震予知では、サインが異常現象として認識されれば、前兆現象と呼ばれる。

そのとき、この兆候やサインが出たら必ずこうなるといった因果律はおおよそ成り立たない。ほとんどの場合、偶然性に支配される。あらゆる「予知」は確率予測といっても過言ではない。確率の値はサインの情報が増加するごとに大きくな

る。実用的な地震予知では予報として大地震発生確率を発表する。どのくらいの確率値が得られたら警報として発表するかは、多くの人々の間の合意によって決める。筆者は数10%のレベルが妥当と考えている。さらに、警報が発令され、その後大地震に至らなかった場合に、その警報を解除する道筋も立てておかなければならない(佃, 2007)。

地下からのサインを多く受信して、今地下で進行中の大地震の準備過程をさぐり、地震発生の本質にせまり、大地震発生に対するできるだけの前測を行う。これが「地震予知」である。

この地震予知に夢があるのか。大地震から命や財産を守る決め手なのか、それは幻想なのか、科学として研究者を引きつける魅力はあるのか、夢があるならどんな夢なのか。この小論ではその夢について考えてみたいと思う。

結論を先に述べると、地震予知は地震科学に夢が膨らむテーマを誘導し、科学として魅力あふれる「仕事」である。地震の本質や大地の運動の探求の正道である。この小論では、最初に地震予知を考える基礎となる地震現象の理解の仕方をまず議論し、次に大地震の準備のイメージを念頭に地下からのサインの具体的な事例を述べ、地震予知のこれからの展望と夢を語る。

2. 地震発生のモデルと前兆現象

地震そのものは破壊現象であって、主に岩盤のずれ破壊を起こすことは多くの研究者に受け入れられている。そして多くの検証もなされている。

破壊現象一般には、フラクタル統計法則が当てはまるが、地震現象にもフラクタル性の法則が存在する。地震の発生頻度は地震が小さいほど高い。大きい地震は小さい地震が集まって発生しているとも考えられる。小さな破壊単位を考え、これがある確率で隣の領域の破壊単位へつながっていった破壊領域が拡大するというモデルがある。これは浸透理論に基づいて考えてもよいし、破壊単位の空間分布の濃度が高くなって結合するという考え方でよい(佃, 2009)。後者の考えによると、破壊単位がある領域に密集し始め、その密度が高

まると破壊領域が拡大し大地震が発生する。

破壊はエントロピー増大の法則に従えば、ランダムに分布する。ところが、破壊の空間分布を示す活断層の分布は、分布にやや偏りがある。

破壊は主に剪断破壊であって、これを媒質の剪断抵抗応力の強さ(これを単に媒質の強度と呼ぶ)と歪蓄積の過程で高まる剪断応力(主圧力の差応力に起因)の関係で破壊が発生するかどうかが決まる。剪断破壊が発生すれば、先端部の応力集中によってさらに破壊が拡大する。それを止めるのは、バリアーと呼ばれる。ソフトな媒質であればその役割は充分である。応力を緩和してくれる緩衝体である。

なお、バリアーのアイデアはまず、断層面の強度が高い部分に考えられた(Das and Aki, 1977)。Aki (1979)は、上に述べた緩衝体型バリアーへの拡張も示唆した。

破壊して亀裂(断層)が生成されるが、その生成された断層をさらにずらすときに、現れるのが摩擦力である。

岩石実験において人工的な断層をつくり摩擦実験を行ったときに preseismic fault slip (いわゆるプレスリップ)が見いだされた(Dieterich, 1978)。最近の我が国の予知研究計画では、地震の直前予知の決め手がプレスリップをつかまえることとされている。

このプレスリップ仮説の根拠となった実験は、岩石を平面で切断し、人工的な断層を造り、その面を滑らせる摩擦実験である。岩石に力を加え剪断破壊を起こさせる実験ではない。後者の実験ではプレスリップ確認の明確な報告はない。大きな岩石実験とも言える鉱山のいわゆるヤマハネの場合でもプレスリップは見つかっていない。実は、自然の大地震でも、確認された例はない。

Dieterich (1978)は、自然地震について検証を試みている。San Andreas断層上に位置するCinega Wineryでの断層のクリーブ運動の加速が1961年のM 5.5, M 5.6の地震前に観測されたことや、1966年のParkfield地震で、2週間前から地表にクラックが生じたことなどをプレスリップ発生と解釈した。これは、絶えずクリーブ運動が起こっ

ているサンアンドレアス断層という特殊なケースが対象であって、しかも、岩石の摩擦実験のプレスリップに対応した地殻変動が本当に起こったのかどうかの検証まではおこなっていない。いわば、状況証拠を挙げたに過ぎない。

岩石の破壊実験でもプレスリップは確認されていないが、南アフリカ金鉱山で行われている大規模な模擬岩石実験でも、震源の極近傍であってもプレスリップや直前の歪変化はほとんど検出されていない。南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ、山本覚仁ほか(2005)によると、2003年2月4日にM2.5の地震(さしわたし200mぐらゐの震源域)が発生した。震源距離約70mに設置されている石井式3成分歪計に歪変化が観測された。地震に伴って 7×10^{-5} のstrain stepは記録されたが、直前のプレスリップのような前兆的な歪変化は見いだされていない。

南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ(発表者:小笠原)(2005)によると、2001年からの記録を精査したところM_w0の地震に対し震源距離20~30mの歪計に前兆歪 10^{-7} が観測された。多数の観測例のうち、この地震だけ直前の前兆らしい歪が見つかった。このように、直前の前兆歪の検出は非常に困難であることがわかる。

結局、南アフリカ金鉱山において、M2クラスを含む他の地震にはプレスリップまたはその他の前兆歪らしい前兆現象は見いだされていない。

我が国の近年の大地震でも明確なプレスリップを検出した観測例はない。1995年兵庫県南部地震では、六甲山にある地殻変動観測所の伸縮計は震源断層の真上に位置するにもかかわらず、直前の歪変化は検出されなかった(藤森ほか,1995)。プレート間地震でもまだプレスリップは確認されていない。2003年十勝沖地震(M8.0)では、もっとも震源に近い、えりも地殻変動観測所や三石観測点、広尾観測点の石英管伸縮計の記録にも前兆的な歪変化は検出できなかった(中尾ほか,2005)。えりも観測点は震源から約80kmであり、この地震の断層変位が大きかった領域(アスペリティ)の最も陸寄り、えりも直下の深さ約50kmに

あった(山中,2005)。もっとも、1週間~1ヶ月間継続した降雨ノイズの影響があり、 2μ strain以下の変動はあったとしても検出不可能であった。

では、直前歪は全くないのか? そうではないという希望がもてるデータもある。南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験において、プレスリップとは異なる前兆現象が見ついている。M2の地震が発生した震源域付近に数ヶ月前からAE(Acoustic Emission)、すなわち非常に小さい地震が発生していた(Watanabe et al., 2009)。これは、震源域付近に歪や応力が集中していたことを示す。AE発生域の範囲が震源域を示し、来るべき地震の規模も推定できる。

前兆歪は極めて局所的に発生する可能性がある。小さな亀裂の群がマクロにみたときの断層面をつくる。単純な摩擦滑りだけでなく岩盤媒質の変形など複雑な挙動が起こるのであろう。

震源域となる領域付近で、小さく不規則な歪場が生じ、震源域予定領域の強度を下げている、そのどこかで破壊が開始され、その伝播と拡大が起こるのであろうと想像するのみで、大地震を起こすために、その環境がどのように整っていくのかを我々は全く何も知らない。その解明を目指すところに大きな夢がある。

3. 「地下からのサイン」の探求

大地震の準備過程をさぐるための重要な情報、そして地下の地殻活動が活発であることを示すサインにはどんなものがあるか。その具体例を示して夢のある科学の一端をご理解いただこうと思う。現在、地下からのサインを最も多く検出しつつある地域は近畿地方である。現在までに取得されたデータのあらましを述べる。図1は登場する観測点の位置図である。

近畿地域の異常地殻活動

近畿地方では2002~2003年ごろから地下の岩盤の動きに変化が現れている。1997年頃から全国的なGPS観測が始まって、日本列島の陸地の中で、新潟から神戸に至るほぼ直線に沿った地帯の岩盤の歪みが最も大きいことがわかってきた。い

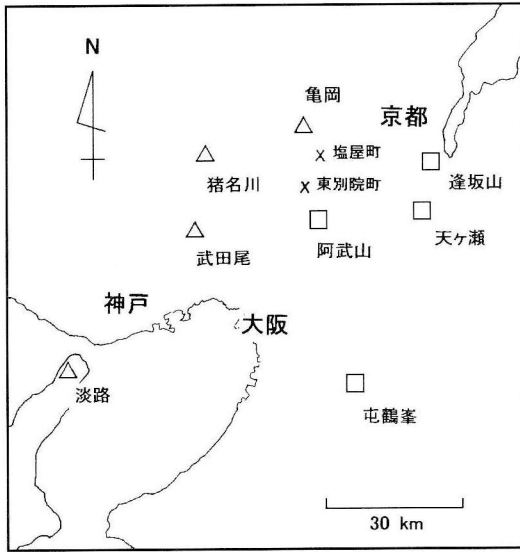


図1 近畿地方の観測点分布。□は京都大学防災研究所の地殻変動観測点（大津市逢坂山，宇治市天ヶ瀬，高槻市阿武山，香芝市屯鶴峯）。△は東京大学地震研究所の水温観測点（亀岡市馬路，猪名川町柏原，西宮市武田尾，淡路市楠本）。×は井戸水が濁った亀岡市塩屋町と東別院町の井戸。

わゆる新潟-神戸歪集中帯である。新潟地域では2004年新潟県中越地震（M 6.8），2007年新潟県中越沖地震（M 6.8）というように大地震が発生しているが，近畿地方も1995年兵庫県南部地震（M 7.3）が発生した。その後，2002年ごろから近畿地方の岩盤の動きに変化が現れた（片尾ほか，2005；森井ほか，2005；京大防災研究所，2009）。新たな大地震の本格的準備が開始された可能性がある。これまでに明らかになった異常現象は以下の通りである。

1) 地殻変動（観測抗における観測）

1-1) 天ヶ瀬観測所（京都府宇治市）

京都府宇治市の天ヶ瀬観測所の伸縮計のデータは，一定の率で東西・南北に縮んでいるが，2003年初めごろから南北方向の縮み速度が以前に比べ2倍ぐらいに増加した。

1-2) 阿武山観測所（大阪府高槻市）

2002年頃から南北方向の歪が縮みに変化した。また，東西方向の伸び変化がやや増大した。

1-3) 屯鶴峯観測所（奈良県香芝市）

阿武山観測所と同様，2002年頃から東西方向の

伸び変化がやや増大した。

1-4) 逢坂山観測所（滋賀県大津市）

降水の変化に応じて井戸の水位が変化する。その経験則が知られている。2002年頃から降水増加に先行して水位上昇が観測されるようになった。降雨によらない岩盤の応力増加を意味すると思われる。

2) 地殻変動（GPS 観測）

国土地理院のGPSデータの解析によると，近畿地方の岩盤の伸び縮みの変動が大きいところは，琵琶湖付近（京都）から大阪・神戸にかけての地域で，ここでは東西方向の縮み速度が小さくなっている（大谷・片尾，2007）。

3) 微小地震活動

大阪府の能勢町や高槻市を中心とした地域（丹波山地）の微小地震の発生回数が2003年ごろから以前の7割ぐらいに減った（京大防災研究所，2009）。微小地震を起こす力（この地域の多くの地震は東西にかかっている力で発生）が弱まったと考えられる。

2009年に入ってから地震活動はやや活発になっている。静穏化を脱したのかどうかはまだ不明である。

4) 地下水異常（水温観測など）

4-1) 兵庫県猪名川町柏原

地下岩盤の歪や応力の変化に応じて，深部岩盤の隙間に潜む流体が流動する。とくに，岩盤の圧力増加は深部熱水の上昇を促す（Tsukuda et al., 2005；佃，2006b）。そのためと考えられる地下水温上昇変化が観測されつつある。

兵庫県川辺郡猪名川町柏原の自噴井（深さ30m）において，2002年ごろから微小な水温上昇が発生している（佃，2006a）。

図2に水温の1日平均値を示す。但し，サインカーブを描く季節変動（7m°C p-p）を取り除いた。2001年の間は変化は横ばいだったが，2002年の初めから上昇に転じた。2002年11月～2003年8月までは14m°C/年，2005年初以降は17.5m°C/年の高上昇率。2006年8月ごろより一定。2007年秋から再上昇し2009年7月現在，14.8m°C/年。2002年からの平均的トレンドは9.4m°C/年。地

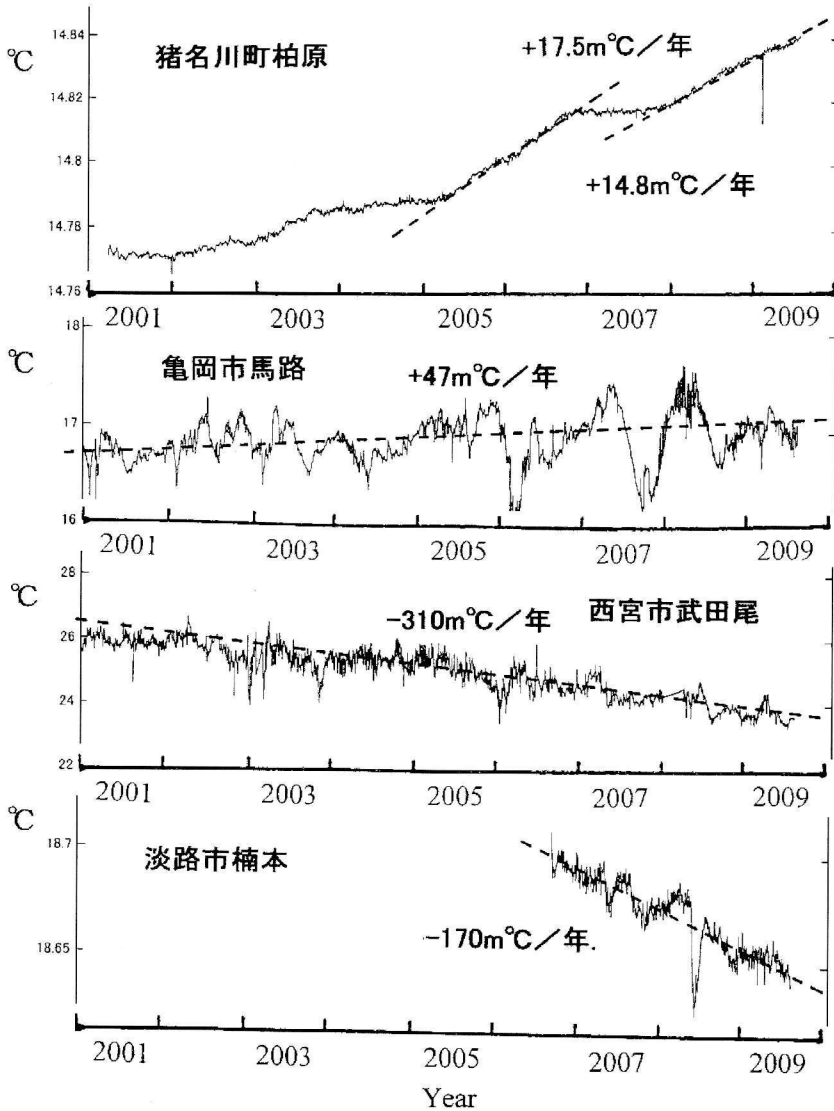


図2 水温変化(1日平均値, 2009年7月中旬まで). 季節変化を除去(猪名川7m°C p-p, 亀岡2.4°C p-p, 武田尾2.0°C p-p, 淡路30m°C p-p.). トレンド: 猪名川+9.4m°C/年, 亀岡+47m°C/年, 武田尾-310m°C/年, 淡路-170m°C/年.

殻変動の伸縮計のデータのように, 期間毎に直線的な変化を示す.

4-2) 京都府亀岡市馬路

1.4°C p-pの季節変化を取り除いても, 揺らぎが大きい, 1998年より2001年までは水温は-85m°C/年の率で下降, その後47m°C/年で上昇のトレンドを示す(図2).

4-3) 兵庫県西宮市武田尾

西宮市武田尾温泉では, 2002年中頃から水温が

断続的に低下している(-310m°C/年)(図2).

ここでは地殻が膨張している可能性がある. 場所は丹波山地の微小地震活動域に近い.

4-4) 兵庫県淡路市

2006年7月に観測を開始した. 季節変化を除去したトレンドとして-170m°C/年の率で下降中である(図2).

4-5) 神戸市北区有馬

有馬温泉は極めて特異な温泉で, NaClの量は

海水の濃度を上回るくらいミネラル成分の濃い温泉である。この温泉水は、水の酸素同位体の分析により、地下深部に起源をもつことが推定されている。

妬（うわなり）泉源では、兵庫県南部地震の際、水温が低下した。

この泉源では1998年10月頃から大きな変化があった。それまで70℃前後の水温が80～90℃に上昇し、電気伝導度も上昇した。2000年後半からは電気伝導度は当初の1.5倍になり、一時は温泉のヘドロが大量に吐き出されることがあった。

さらに、2003年頃からは炭酸カルシウムの沈殿量が増え、配湯管が短期間で詰まるため、1週間に1回程度のパイプ交換が行われている。

5) 地下水異常（水の濁り）

京都府亀岡市塩屋町の江戸時代から使用されている井戸にて、2007年9月より水の濁り現象が発生した。また、亀岡市東別院町でも2006年から濁りが発生していた。現在では塩屋町の井戸の濁りはほとんど消えたが、東別院町の井戸は濁りが続いていて、装置を用いて水を浄化して飲料水等に利用している。それぞれの濁り等の特徴は以下の通り。

5-1) 京都府亀岡市塩屋町

井戸は2カ所ある。井戸水面の膜は、固まると茶褐色（鉄分）になる。析出した微粒子が膜をつくり光を反射して白く見える。井戸Aから風呂水をとっていたが、2007年9月23日、水の濁り（色：茶、ブルー）や匂いが確認された。9月25日には、口に含むと味が今までと違うことがわかった。11月8日、井戸Bにも白い膜が見つかった。

井戸は内径80cm石積みみの孔で、江戸時代に造られた（A：150年前；B：少なくとも100年前）。

5-2) 京都府亀岡市東別院町

京都大学の阿武山観測所の北約10kmの地点にあり、1977～1978年に掘削された深さ50mの井戸で、2006年から（現在まで）井戸が濁っている。亀岡市塩屋町の井戸の濁りと類似点が多い。最初のころ白く濁り、膜ができた。ただし匂いはない。沈殿物は、塩屋町のものに類似。鉄分も多い。なお、1970～1971年に掘削された深さ30mの井戸は、汲み上げられる水は少量であるが濁りはない。

6) ガス放出（ラドン観測）

地殻の変形や応力変化によって地殻活動が活発になると、ある場所では間隙流体圧が高まる（流体信号の発信源）。同時に、微小クラック群の生成、既成クラックの拡大変形も起きる（流体流動の経路）。ゆえに、地表へ向かう上昇流体の発生が予想される。ラドンガスは、1) ラジウムの元素崩壊により生成され常に豊富に存在し、2) 放射能をもつため検出が容易で、3) 存在寿命（半減期3.8日）をもつので古い情報は消去され地下の最新状態を伝える流体である。ラドンは通常、岩石鉱物の結晶中や間隙に閉じこめられていて、その生成率と崩壊率が釣り合った放射平衡状態にあり、地表への放出も定常的である。ところが、地殻活動が活発になると、クラック群が生成され、これがラドンガスの通路となり、その地上への供給が増加する。各地域の通常のラドン放出量を測定すれば地殻活動をモニターできる。

そのためには、各地に浅井戸を掘り、検出器を設置した観測点を高密度に展開すればよい。上記の計画を実行する前に、通常、どの程度のラドン放出が起きているかを空間分布、時間変化をサーベイして把握しておくのがよい。実際には、ある固定した地点やある路線に沿った繰り返し測定を行う。多くの回数の測定を繰り返すことによって、平均的なラドンの放出量（相対的量）を把握するとともに、異常放出発生検知のチャンスを増やすことができる。

地下からのラドン放出量変化を測定し地殻活動を監視するため、2チャンネルのスペクトル帯域の連続記録が可能なガンマ線シンチレーションカウンターを用いて、約8年間に定点観測および自動車や列車での移動観測を実施した（Tsukuda, 2008）。

6-1) 兵庫県猪名川町柏原

兵庫県のくり返し観測固定点では、近畿地方の地殻活動異常に対応した2002年頃からのラドン放出量増加が観測された。

6-2) 東海道新幹線の京都・米原間

新幹線の測定では、京都付近のラドン放出異常が22%の率で観測された。

地殻変動や水温観測について、近畿地域では以

上のような観測データ（地下からのサイン）が得られている。10 数年前の阪神・淡路大震災以前にはこのような情報を手に入れることは出来なかったことを思うと、隔世の感がある。

しかし、まだ情報不足である。将来は、GPS や微小地震の観測網に加え、地下流体の動きを検出する観測網建設は筆者の夢の一つである（佃，2007）。現在はまだ、職人芸の調査や観測の時代である。一人でもこのワザに興味をもつ研究者が現れることが当面の個人的な願いであり夢でもある。

4. あとがき

まえがきで述べた、「危険の芽」や「危険を知らせるサイン」を見つけて、危険を予知するという「危険予知」は、地震予知にも通用する基本的な考え方を示している。さらに、日本語の「地震予知」という言葉には、prediction（予言）を使う英語の表現とは違い、人々の予知したいという願望が込められている。これが「地震予知」の夢の中身の第1である。

地下からのサインを追い求める観測の仕事にも夢がある。夢の中身の第2である。例えば水温観測のような極めて単純な観測も、きちんと継続的に長期の観測をおこなうことによって貴重な情報を得ることができる。

これらの情報を読み解いて、地下の動きを知り、どのような経過を辿って大地震に至るのかを解明する研究にも夢がある。これが第3の中身である。まだ答えはないのだから、誰もまだそのしくみを知らない。まずデータそのものが魅力的である。例えば、地殻変動や地下水温度の変化が直線的な変化をして、その傾斜が区間毎に変わるが、これがなぜそのようなになるのか？ データの蓄積によって、もっと詳しい自然の法則や大地震発生の仕組みが見えてくる。

手の届きにくい地下深部の情報をどのように手に入れて、解明していくのか。それには様々な試みができることから一つずつやっていくしかない。

このようなとき参考になる指導原理がある。ギリシャのイソップ寓話にある「兎と亀」の話である。

中務哲郎訳による岩波文庫（1999）のイソップ寓話集の226番目の話として、次のように書かれている。

亀と兎：「亀と兎が足の速さのことで言い争い、勝負の日時と場所とを決めて別れた。さて、兎は生まれつき足が速いので、真剣に走らず、道から逸れて眠りこんだが、亀は自分の遅いを知っているのだから、弛まず走り続け、兎が横になっている所も通り過ぎて、勝利のゴールに到達した。

素質も磨かなければ努力に負けることが多い、ということはこの話は説き明かしている」

さて、兎と亀は競争をするのであるが、なぜ競争になったかはギリシャの本には陽には書かれていない。ところが、明治初期の渡部温訳による通俗伊蘇普物語という書には、兎が亀ののろさをからかったという話から出発している。子供にもよくわかるように説明を加えたのだろう。日本の童謡の「もしもしかめよかめさんよ」はおそらくこれをもとにしている。学校でもそのように教えられてきた。

この寓話は動物を擬人化し、俗世の人間を鋭く観察して作られた。その要点は次のようにまとめられる。

- 1) 世間ではのろまをバカにすることが多い。
- 2) バカにされてもそれにも負けずに少しずつ着実に物事に励む人はいる。
- 3) バカにした人は、自分は簡単に物事を行うことができるかと過信しているので努力を怠る。
- 4) 結局、のろまに見えた人が物事を成就する。
- 5) 以上のことを「予知」すれば、たとえ人にバカにされようとも、一步一步着実に歩いていく道を選ぶことができる。
- 6) そのやり方こそ夢があって、楽しいのである。

イチロー選手が大リーガーになった当時、次のようなことをテレビのコマーシャルで述べた。「できることをやる。一つ一つやる。それを続ける。そうしたら、楽しんでいる自分に気づく」

自然（じねん）の心で物事にあたる。「できること」は無限にある。それを一つ一つ丁寧にこなしていけば、自ずと夢をつかむことができる。

地震予知という事業においても、小粒ながら多

くの夢がころがっていて、一つ一つクリアしていくその先に大きな夢がある。

「地震予知はいつ、どこで、どれくらいの地震が発生するかを言い当てること」のみの考え方に立つと、一方では夢にもならぬ幻想に溺れ、また片方では「予知できる」と「予知できない」の議論の泥沼にはまる。

予知への本当の夢は素朴な科学の一步一步の中にある。「科学」は「はてな？」から始まり、日々の思考や実験の営みに科学者の喜びがあり、そして「夢とロマン」の物語が展開していくのである。

参考文献

- 1) Aki, K., 1979, Characterization of barriers on an earthquake fault, *J. Geophys. Res.*, 84, 6140-6148.
- 2) Das, S. and K. Aki, 1977, Fault plane with barriers: a versatile earthquake model, *J. Geophys. Res.*, 82, 5658-5670.
- 3) Dieterich, J.H., 1978, Preseismic fault slip and earthquake prediction, *J. Geophys. Res.*, 83, 3940-3948.
- 4) 藤森邦夫・山本剛靖・石井 紘, 1995, 1995年兵庫県南部地震に関連した地殻変動と湧水量変化—六甲高雄観測室における観測—, *月刊地球* 号外 No. 13, 148-153.
- 5) 片尾 浩, 2005, 丹波山地における最近の微小地震活動の静穏化, *京大防災研究所年報*, 第48号B, 167-174.
- 6) 京大防災研究所, 2009, 第183回地震予知連絡会資料.
- 7) 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ (発表者: 小笠原宏), 2005, 南アフリカ金鉱山震源極近傍での歪変化に見えるもの (1: 概要), *日本地震学会講演予稿集*, C042.
- 8) 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ, 山本覚仁, 梶谷 剛, 小笠原宏, 竹内惇一, 下田直之, 直井 誠, 森下 健, 石井 紘, 中尾 茂, 2005, 南アフリカ金鉱山震源極近傍での歪変化に見えるもの (3: Banbanami 歪変化の原因と特徴), *日本地震学会講演予稿集*, P111.
- 9) 森井 互・重富國宏・尾上謙介・中村佳重郎・大谷文夫・細 善信・和田安男, 2005, 近畿地方の最近の地殻変動について, *京大防災研究所年報*, 第48号B, 197-202.
- 10) 中尾 茂・笠原 稔・岡山宗夫・一柳昌義, 2005, えりも地域における2003年十勝沖地震以前の地殻歪変化, *月刊地球* 号外 No. 49, 100-104.
- 11) 大谷文夫・片尾 浩, 2007, 近畿地方北部の地殻活動—GPSによる歪速度変化と地震活動—, *日本地球惑星科学連合大会予稿集 (CD-ROM)*, D107-P010.
- 12) 佃 為成, 2006a, 深部地下水上昇と地殻変動—地下水温上昇 (2002年〜) と近畿地方の地殻活動異常—, *日本地震学会講演予稿集 (2006年秋)*, D068.
- 13) 佃 為成, 2006b, 深部流体上昇仮説とその検証, *月刊地球*, 28, 813-822.
- 14) 佃 為成, 2007, 地震確率予報の実用化—長期・中期・短期・直前予報および警報発令・解除—, *地震予知研究ノート No. 1*, 6-46.
- 15) 佃 為成, 2007, 地震予知の最新科学, ソフトバンククリエイティブ社.
- 16) Tsukuda, T., 2008, Radon-gas monitoring by gamma-ray measurements on the ground for detecting crustal activity changes—Preliminary study by survey method—, *B.E.R.I., Univ. Tokyo*, 82, 1-15.
- 17) 佃 為成, 2009, 破壊の結合確率モデルと地震の規模別頻度分布, *地震予知研究ノート No. 4*, 38-57.
- 18) Tsukuda, T., K. Gotoh, and O. Sato, 2005, Deep groundwater discharge and ground surface phenomena, *B.E.R.I., Univ. Tokyo*, 80, 105-131.
- 19) Watanabe, T., M. Naoi, Y. Yabe, M. Nakatani, and Japanese-German Underground Acoustic Emission Research in South Africa, 2009, Relocation of AE hypocenters before an M2.1 earthquake in a South African deep gold mine, *Abstracts of JPGU Meeting 2009 (CD-ROM)*, S148-P011.
- 20) 山中佳子, 2005, 長周期地震動から見た2003年十勝沖地震の震源モデル, *月刊地球* 号外 No. 49, 34-39.

佃 為成

[つくだ ためしげ]

現職 日本女子大学非常勤講師
理学博士

略歴 熊本県出身, 東京大学理学部卒, 同大学院博士課程中退, 京都大学防災研究所助手, 東京大学地震研究所助教授 (准教授). 平成21年3月定年退職. 平成8年より日本女子大学非常勤講師

研究分野 地震学, 地震予知論 (手法: 確率論 微小地震 活断層 地下水 放射線 地電流)

著書 「大地震の前兆と予知」 (朝日新聞社, 1995), 「新潟は安全か 地震」 (共著, 新潟日報事業社, 1998), 「地震予知の最新科学」 (ソフトバンククリエイティブ社, 2007)



1894年東京地震による飯能の斜面崩壊

—「飯能町‘久美山中’で350～360間崩壊墜落した山腹」はどこか？—

新井健司

1. はじめに

近い将来、首都圏において発生するとされる巨大地震に備えて、多くの研究が行われているが、歴史地震の被害情報の収集は十分に行われていない。

特に埼玉県西部地域では、かなりの震動に見舞われていることが想定される地震でも、これまでに明らかにされている被害情報は極めて限られている。

1855年安政江戸地震では入間郡に山崩れが生じたことが知られているが(宇津, 1987), その詳細は不明であった。筆者は埼玉県入間郡毛呂山町において、地元に残る古文書と旧家に伝わる被害状況の話をもとに現地調査を行い、被災地の特定と被害状況の詳細を明らかにすることができた(新井, 2007)。

この度、筆者は同様の方法により、1894年東京地震の際に発生した、埼玉県飯能町(現飯能市)の斜面崩壊について調査を行った。その結果、従来不明であった崩壊地の位置を特定することができ、調査結果をもとに当時の被害状況について考察を試みたので、ここに報告する。

2. 1894年東京地震の被害

1894年東京地震は、明治27年6月20日、14時04分に発生した地震で、東京湾北部(北緯35.7°, 東経139.8°)の地下数10kmを震源とし、マグニチュードは7.0であった。震源位置とマグニチュードは、宇津(1982)が当時の記録を丹念に調べて再決定したものである(茅野, 1989)。

ただし、マグニチュードについては、さらに茅野(1975)が当時の気象台年報の資料から、6.3/4という数値を算出し、宇佐美(1976)は安政江戸地震(M 6.9)と比較して、これを妥当な値としている。

被害が大きかったのは東京・横浜などの東京湾岸で、内陸に行くにつれて小さい(宇佐美, 1987)。煉瓦構造物・煙突・石塀・土蔵の被害が多く、木造家屋の被害が少ないことから、短周期の地震動が強かったと推定されている(茅野, 1989)。

東京以北の被害は、草加・鳩ヶ谷・川口付近で大きく、岩槻付近から東京湾西部にかけての南北方向の低地帯で震動が最大であったことが報告されている(大森, 1899)。

従来確認されている埼玉県内の被害報告は、東部及び南部に集中し、家屋被害の他に、元荒川や綾瀬川などの低地帯に沿って、堤防や田畑の亀裂、液状化に伴う噴砂等が発生したことが知られている(中央気象台, 1897)。

3. 埼玉県内唯一の斜面崩壊報告

埼玉県内で最も西の被害報告は、高麗郡飯能町(地震発生2年後の明治29年に入間郡飯能町に変更、現在は飯能市)におけるもので、土蔵1棟が小破し、屋根瓦が120枚ばかり崩落したという[飯能警察分署の報告](震災予防調査会, 1895)。

この被害は県東部で報告された多くの被害と同種であるが、中央気象台(1897)の報告中に見られる次の一文は、県内唯一の斜面崩壊に関するものとして注目される。

「飯能町久美山中ニ於テハ劇動ノ為メ山腹凡三百五六十間崩壊墜落スルニ至リタリ」

飯能町久美山中において、激しい震動のために、山腹がおよそ 350~360 間にわたり、崩落したとのことである。崩落区間の距離はメートルに換算すると、およそ 640~660 m もの長さになる。

この斜面が崩落しやすい条件であるとしても、震央から遠く離れた飯能町において、相当の震動があったことが推察される。

4. 「久美」は「久須美」の誤記

崩壊が発生した斜面は、前述の報告に「久美山中」と記されているのみで、これだけでは、その位置を特定できない。旧飯能町の町域にも、そして現在の飯能市域にも「久美」という地名や山名は存在しない。

しかし、これに似た地名として、飯能市街から入間川の谷に入った所に「久須美」がある。久須美は、かつて久須美村という村であったが、明治 22 年に他の 5 村とともに飯能町に吸収合併され、現在は飯能市の大字名として、久須美の地名が残されている（埼玉県教育委員会, 1974）。

おそらく中央气象台（1897）の報告に出るまでのいずれかの段階で、久須美の「須」の文字が抜け、「久美」になってしまったのであろう。久須美は地震が発生した明治 27 年には、すでに飯能町

と合併しているのので、久須美村ではない。報告者が当時の地名表記である飯能町久須美と記す際に誤ったか、あるいは中央气象台が報告をまとめる際に、なじみのない地名ゆえ誤記したと考えるのが自然であろう。

5. 「久美（=久須美）山中」の位置

飯能市街の外れから入間川沿いに 3 km ほど遡ると、川は逆 V 字形に大きく屈曲する。この屈曲点が久須美淵と呼ばれる所で（写真 1）、これより約 700 m 上流までの左岸に発達する河岸段丘とその背後の山地斜面が久須美地区（大字久須美）である（図 1）。

段丘面と山麓緩斜面に集落と耕地が広がり、比高 140 m 以下の低い山稜に囲まれている。山地斜面は 20°~30°の傾斜で、北側の斜面の方が西側に比べて急である。しかし、斜面全体に開析が進み、複雑な地形になっている。

このような地形の斜面を中央气象台（1897）の報告にあるような連続的な斜面と考えることには無理がある。

そこで、久須美地区の周辺までを視野に入れて見ると、久須美淵の北から南南方へ向けて、帯状の急斜面が続いていることがわかる。この斜面は



写真 1 入間川の屈曲点、久須美淵

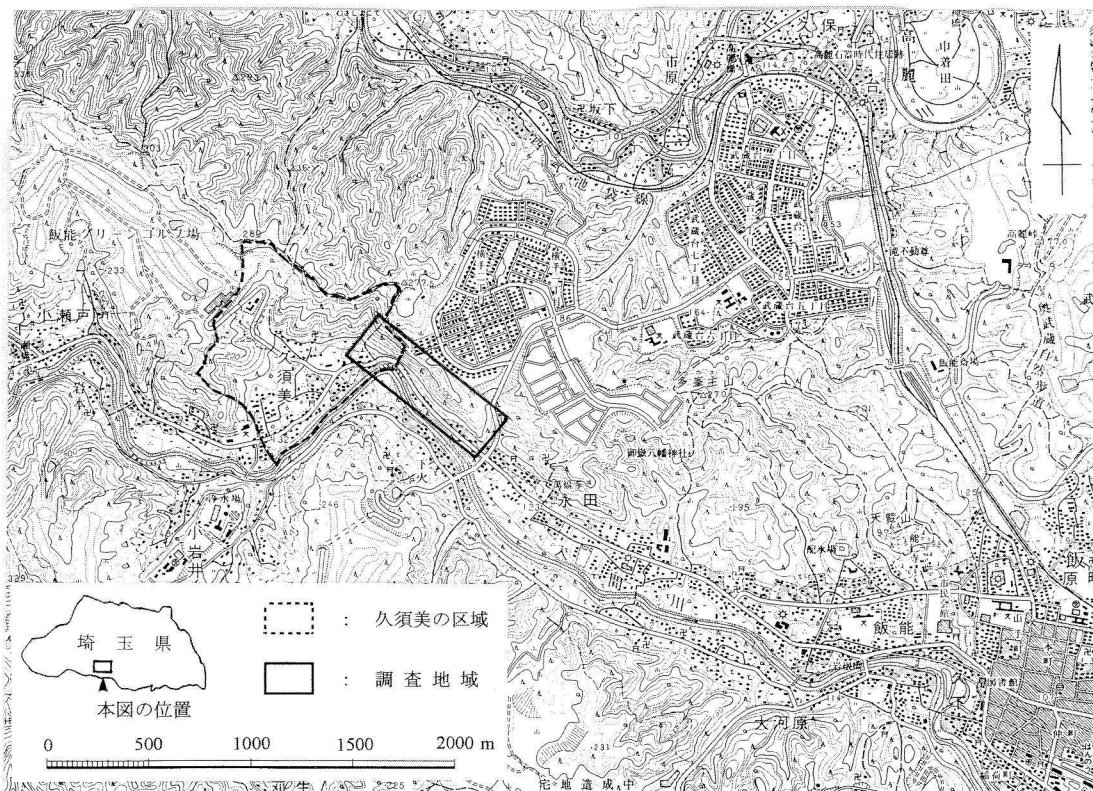


図1 久須美の区域と調査地域

入間川の直線的な流路に並走し、川との間にある狭小な河岸段丘上には県道飯能・名栗線（70号線）が通っている。

県道から斜面最高所までは70～80mの高さで、勾配は平均40°前後である。斜面の全長は約700mで、地形的特徴においても長さにおいても中央气象台（1897）の報告にある崩壊地である可能性が高い。

ただし斜面の大半は久須美の東側に隣接する永田地区（大字永田）に入るため、「飯能町久美（＝久須美）山中」という地名の表記には疑問が残る。この点については後に考察することにして、この斜面について行った調査結果を次に述べる。

6. 久須美・下モ田川下流北側斜面の崩壊

前述の斜面に近い集落に、1894年東京地震の被害に関する情報が残されている可能性を考え、住

民からの聞き取り調査を行った。その結果、久須美在住の小林正夫氏を通じて、近隣に地震被害の話が伝わる家があるとの情報を得た。

この家は、久須美地区東端に位置する宮寺家で、当主の宮寺正男氏が祖父の故宮寺銀三郎氏より、かつて自宅が地震被害に遭った話を伝え聞いているということであった。

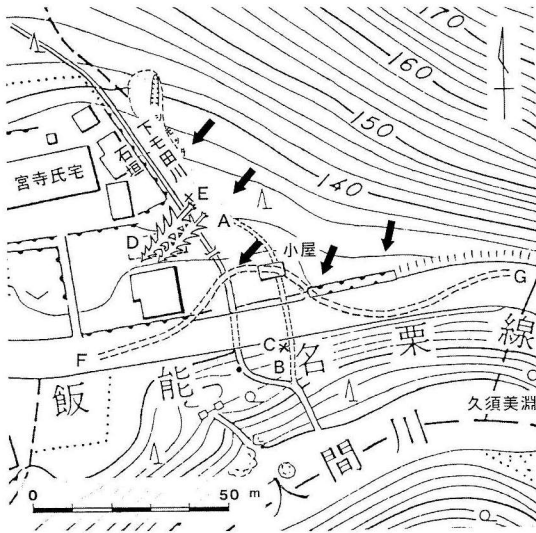
銀三郎氏は幼少時に激しい地震に見舞われ、その際自宅東側の斜面が崩れて、自宅敷地と斜面の間を流れる下モ田川の流路が土砂に押されて移動してしまったという（図2）。

また、下モ田川に沿う境木（隣地との境界を示す列状に植えた木）のスギが何本か西向きに倒れ、自宅母屋の南にあった蔵1棟を押し潰してしまったとのことである。

宮寺氏宅の東側斜面は30°～40°の傾斜で、南西方向に傾斜する。下モ田川は同氏宅北方の谷から流れ出る沢で、敷地東縁の石垣沿いに下り、2車

線の県道飯能・名栗線の下をくぐって入間川の急崖に流れ落ちる（写真2）。

崩壊土砂は斜面の傾斜方向（南西方向）に押し



- A-B : 地震発生前の下モ田川の下流部流路（推定）
- C : 地震発生前の下モ田川の入間川浸食崖流出口跡（現存）
- ← : 地震発生時の崩落土砂の推定移動方向
- D : 倒木（境木のスギ）により損壊した蔵（現存せず）
- E : 倒木の根の1つ（現存）
- F-G : 地震発生当時の入間川沿いの道（推定）

図2 久須美の宮寺正男氏宅東側斜面の崩落被害

出し、石垣から入間川の崖にかけての下モ田川下流部を一時的に埋没させたとみられる。

宮寺氏によると、現在の県道の位置には、かつて現在の県道よりはるかに狭い‘六尺道’（幅約1.8 mの道）が通っていたという。この道は久須美淵の直上の斜面が屈曲する辺りから同氏宅にかけて、緩やかなS字を描きながら通り、下モ田川を渡る所では、山側へ入り込んでいたそうである。

旧道が山側に入っていた辺りは、現在隅に小屋のある平坦地（面積約70 m²）になっていて、ここから下モ田川に沿って上る50 mほどの間には、幅3 mほどの廃道が通っている。この道は以前材木の搬出用につけたものである。

明治27年の地震発生当時この斜面では、境木以外の植林は行われていなかったそうで、斜面上の天然林が土砂とともに崩落したと考えられる。この時下モ田川左岸に植えられていた境木が蔵の上に倒れたとのことで、倒木の根の一部が今も沢岸に残っている（写真3）。

後年、県道や小屋付近の平坦地が造られたり、林道がつけられるなど、人為的に地形が変えられているため、外見からは被災時の変状はわからない。

移動前の下モ田川下流の流路も、現在の地表には全く痕跡を残していない。しかし、入間川の急崖に降りると、現流路の流出口より10 mほど東

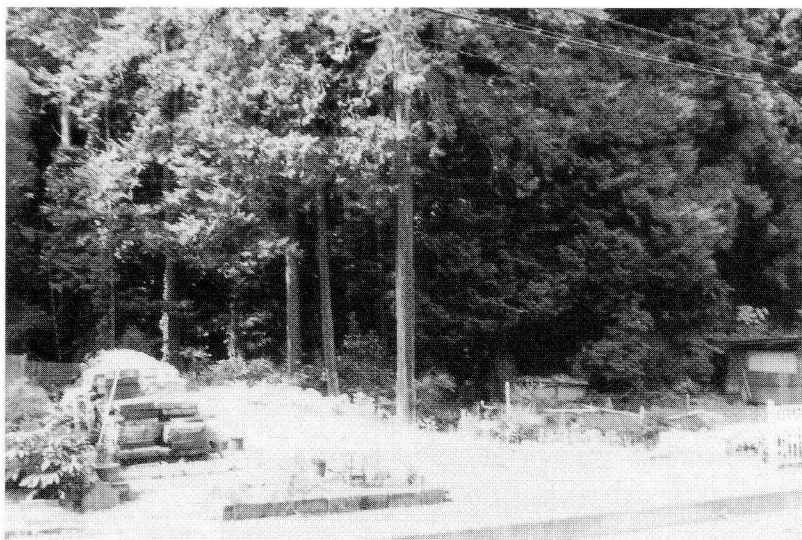


写真2 下モ田川下流部（手前左から右へ）と崩落した斜面（奥）



写真 3 沢岸に残る倒木（スギ）の根（スケールは1m）



写真 4 入間川の崖に残る下モ田川の流出口跡（左手立木の奥から手前にかけて）

に寄った谷壁に旧流路の流出口跡があり、証言通りであることが確認できる（写真4）。

7. 平山の斜面地形

以上の事実より、中央气象台（1897）の報告に出ている崩壊斜面の一部は、宮寺氏宅東側斜面である可能性が高い。そして、これが正しいとすれば、既に注目している南東方に続く帯状の急斜面

にも、同時に崩壊が発生したことになる。

この斜面のある尾根は、地元で平山ヒラヤマと呼ばれ、県道が通る段丘面は平と呼ばれてきた（飯能市史編集委員会、1986）。そこで本稿では、以後この斜面に「平山の斜面」という呼称を当てることにする（図3）。

1) 平山の地形・地質

久須美淵の北440mにある、標高277.5mの山

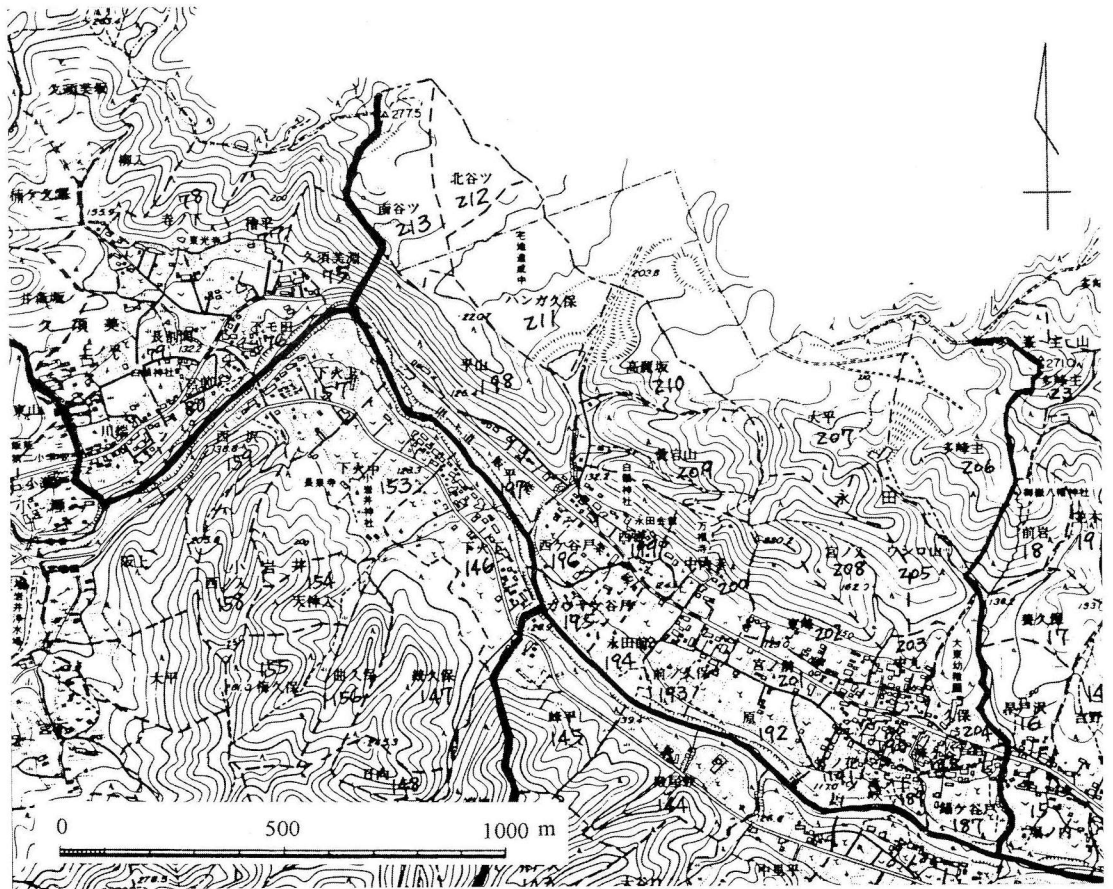


図3 大字永田の小字名〔飯能市史資料編XI(地名・姓氏)付図1, 部分〕

から南へ延びる尾根は、途中で方向を変えて入間川と平行に南東へ向かう。

入間川と平行する尾根、すなわち平山の稜線には緩やかな起伏があり、多くの谷が入っていた北東側斜面は造成され、住宅団地(飯能日高団地)に改変されている。

一方、南東側斜面は入間川の浸食により形成された急斜面で、斜面中央部の下の標高124m付近と斜面東部の下の標高130m付近に2段の狭小な段丘地形(小字名は平)を持つ(図4)。

前者は北西方に向けて緩斜面に移行しつつ、幅もより狭まるが、久須美淵の手前まで追える。

後者には、斜面基部に沿う狭い旧道の一部が今も残る。これが宮寺氏の言う‘六尺道’で、かつてこれより久須美淵の上を経て、久須美へ通じていたと考えられる。

斜面の高さは中央部において段丘面からの比高で約80mあり、段丘面より入間川河床までは約10mの高さがある。

基盤は砂岩優勢の砂岩・粘板岩互層とチャート層で構成される秩父系堆積岩類である。斜面の随所に砂岩の露岩が点在し、差別浸食の結果、粘板岩はほとんど表土に覆い隠されている(写真5)。チャートは平山の西部から中央部にかけての稜線付近にのみ分布し、西部では標高214m以上、中央部では標高206m以上に露出する。

地層の走向・傾斜はN20°~50°W, 45°~60°Nで、地表面の傾斜方向に対して層理面が逆向きに傾斜した‘受け盤’になっている。また、地層の走向に対して直交的な走向の節理も発達している。

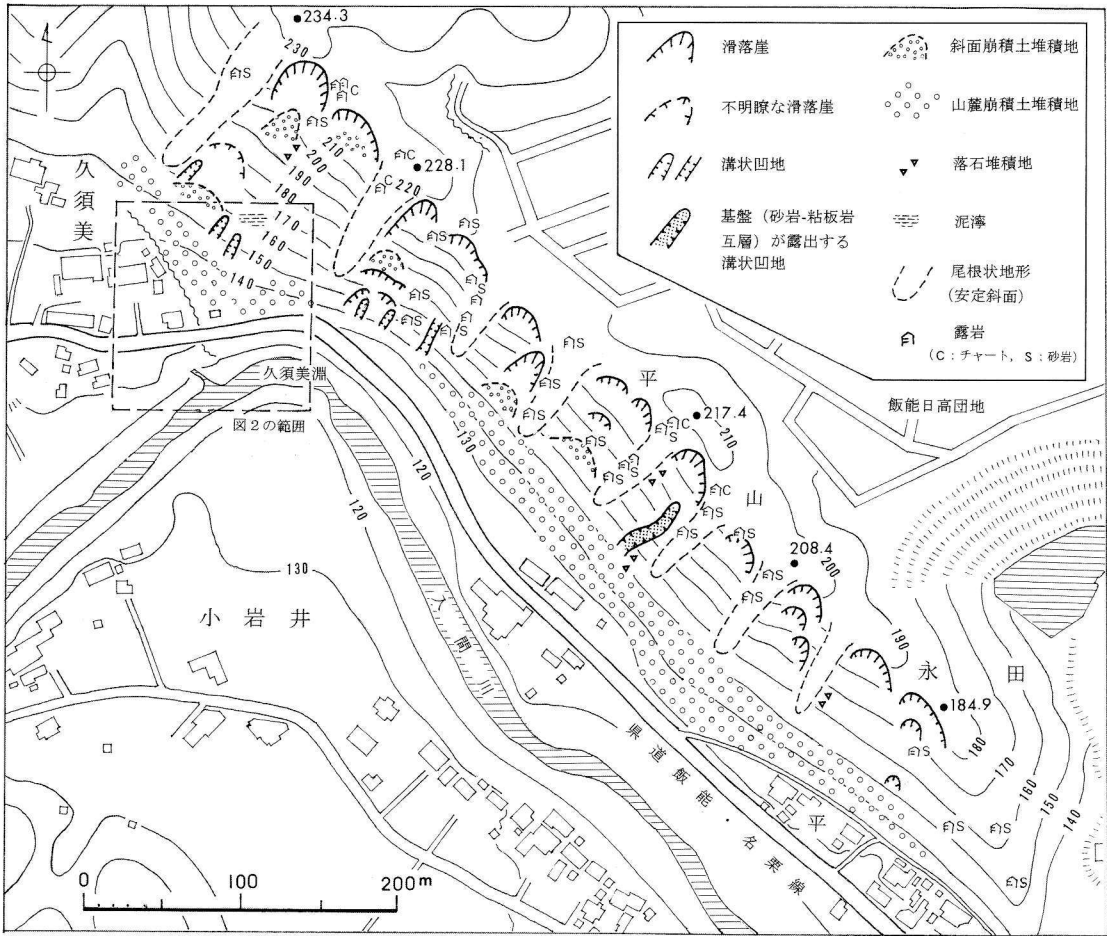


図4 平山の斜面の地形



写真5 露岩（硬質の砂岩層が部分的に突出、稜線付近はチャート）

2) 地すべり状地形の分布

平山の斜面は、2,500分の1の大縮尺図でも直線的な等高線がほぼ等間隔に並ぶ平滑な面と表現されている。

しかし、実際には図4に示したように、表土に覆われて不鮮明ではあるが、幅10~40m、奥行10~30mの地すべり状地形が多数存在している。全体的に顕著な滑動は起きていない模様である(写真6)。

また、この斜面には、斜面の傾斜方向に延び、周囲よりわずかに盛り上がった、尾根状の高まりが複数存在する。この地形には、大きく成長したスギの境木や天然広葉樹、突出した露岩が共通して見られ、斜面を区切る境界になっている(写真7)。

尾根状地形と尾根状地形の間の幅は50~100mで、この区画の1つ1つに2~7個の地すべり状地形が縦横に並んだり、あるいは複合して存在



写真6 地すべり状地形の1例(クリーブによる根曲がり、破線は滑落崖冠頂)



写真7 尾根状地形(左手大木から右手奥へ降りる)

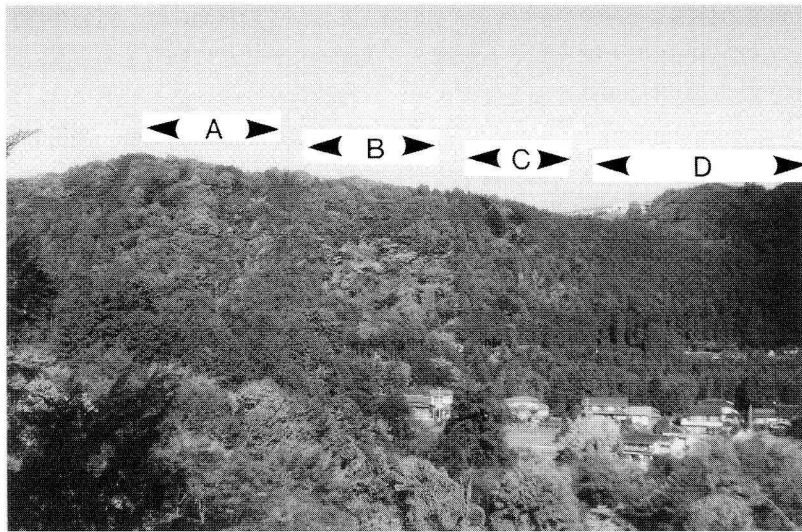


写真 8 植生の違いと対応して並ぶ凹地状地形群 [A~D] (小岩井の山より遠望)

し、各区画内部が全体として緩やかな凹地状の地形になっている。

また、各区画に生えている樹種や樹高は、区画ごとに明瞭に異なり、この特徴は入間川対岸から遠望することによっても確認できる(写真8)。

なお、地すべり状地形と樹種・樹高との対応関係については、飯能市の地質・斜面防災に詳しい、パシフィックコンサルタンツ(株)の中里 薫氏に御教示いただいた。また、稜線付近の地すべり状地形は、同氏の見解を参考にして判定した。

8. 考察と結論

以上の調査結果をもとに、中央气象台(1897)の報告中にある「飯能町久美山中」の斜面崩壊について、次のような考察を経て、結論を導いた。

初めに、飯能市久須美の宮寺家に伝わる明治期の地震被害の経験談が1894年東京地震によるものと認められるか否かという点から検討してみた。

故宮寺銀三郎氏は明治26年1月12日の生まれである。氏の生年である明治26年以降数年の間に発生した大規模な被害地震は、明治27年の東京地震以外には該当するものはないので、氏が語っていた幼少時の地震体験談は同地震の際のも

のと認められる。

ただし、地震発生時に銀三郎氏はわずか1歳半なので、おそらく体験談は後に親等から聞いた話がもとになっていると思われる。

地震による地表の変状は、孫の正男氏まで正確に伝えられ、既に述べた通り、発生から115年経った今日でも、その痕跡の一部を確認することができる。

斜面災害は、大雨によるものが多く、被災地ではしばしば震動による場合と混同して伝えられていることも多い。しかし、宮寺家では地震が原因であることが明確に伝えられており、この事実もまた、同家の体験談を1894年東京地震の際のものとして判断する根拠を支持するものである。

平山の斜面は急勾配で、多数の滑落崖が見られ、斜面下部(概ね標高150m以下)は崩落土砂の堆積域になっている。

斜面の各所に基盤岩が露出し、浸食地形の断面観察より、斜面中・上部の表土は1.5~2.0m以下程度と推定される。

この斜面は、従来大雨あるいはまれに地震動により、滑落を繰り返してきたと考えられるが、いずれも表層地すべり的なものと考えられる。

前述の通り、斜面の全長約700mは、中央气象台(1987)の報告にある崩壊斜面の全長(約640~

660 m)に近い数値である。

以上により、不安定な平山の斜面において、1894年東京地震の震動を受けて、全面的に地すべり型の崩落が発生したと判断できる。

ただし、全面的と言っても、斜面の複数区間が一斉に滑落したという表現が適当かもしれない。しかし、崩落区間の位置や移動土砂の量的・面的規模の詳細までは、その後の土砂の流失や人為的な除去により、今日では明らかにできない。

先にふれているが、平山の斜面の大半が永田地区に入るのにも関わらず、何故中央気象台(1897)では「飯能町久美山中」と報告したのかという疑問を残している。

永田地区(大字永田)は、多峯主山(270.8 m)を中心とする山塊の南西斜面とその南側の段丘面、さらに久須美淵の北に続く平山から成る。

旧永田村が明治22年に久須美村他4村とともに飯能町に合併している(飯能市史編集委員会、1986)。

永田村と久須美村との境は、古くから久須美淵にあった。このことは、明治8~14年に執筆された「武蔵国郡村誌」に、永田村を通る秩父道が「村の東方飯能村界より西方久須美村界に至る長17町53間3尺」(村内を通る秩父道の区間長が約1,950 m)と記されていることから判断できる。

従って、平山は久須美ではなく、永田に含まれていたのであるが、永田の集落からは離れた位置にあり、人家も少なかったであろう。

地震発生後、家屋被害のあった久須美の宮寺家東側斜面の崩壊を中心に被害報告が出され、その結果、平山の斜面全体が「飯能町久美(=久須美)山中」の山腹崩落として中央気象台に伝わったのではないと思われる。

9. 今後の課題

平山の斜面の中で、どの位置にどの位の量の土砂移動があったかは、現状からは明らかにできない。

そこで、1894年東京地震発生後に書かれた文書の中に何らかの手がかりがないかと考え、飯能市

域の古文書・古記録を調べた。

その結果、道路や橋の修繕工事のために、飯能町が埼玉県に地方税補助費を申請した際に作成された、申請書等が数点残されていることを知った。

明治28年7月22日に出された申請書には次のような内容が記されている。

「名栗・飯能間の道路は交通量が多い。大字永田・久須美地内を通る字角淵などは道路の片側に崩落箇所があり、通行が甚だ危険であるため、山の岩を切り割り、道路の幅員を広げ、険しい坂を切り下げて交通の便を得たい。久須美淵の道路は屈曲し、木材運搬に不便であるばかりか、荷車が谷間に転覆するなど、危険極まる所である。永田地区の地藏橋は従来民費で修繕していたが、今回大破したので、地方税の補助を受け架け替えたい。地藏橋が破損した後は、このまま放置できなくなってしまっている。」

この文からもわかるように、以前から久須美淵付近は難所であり、明治26年から修繕補助金を県に申請していたが、特に今回は道路片側の崩落箇所及び橋の大破があるため、大規模な改修工事の必要性が強く訴えられている。

なお、文中の角淵という地名は現在使われていないが、久須美淵付近を指すものと思われる。また、地藏橋という小さな土橋(長さ、幅ともに9尺、すなわち約2.7 m)も現在は存在せず、その位置は不明である。

道路や端の破損が地震によるものか否かは明言されていないが、申請書が出された時期から、1894年東京地震がその一因となった可能性は大きい。

このような文書から、新たな被害情報が得られることが期待できるので、今後も引き続き調査を進める予定である。

10. おわりに

近年、各自治体では住民の防災意識向上のために、ハザードマップをはじめとする様々な情報提供を行っている。飯能市では、「飯能市防災ガイド

マップ(2008年発行)」に「地震マップ(ゆれやすさ、危険度の地域別区分図)」と「土砂災害マップ(土砂災害危険区域・防災関係施設分布図)」を掲載している。

平山の斜面は同書の中で、全面的に「がけ崩れ(急傾斜地崩壊)危険箇所」に指定され、市民への注意が呼びかけられている。

地震による斜面崩壊の危険度は傾斜角度の他に、斜面物質の状態(厚さ、透水性)、基盤の風化状態、クラックや断層破碎帯の有無、活断層の活動などの様々な地盤条件に加え、降雨・降雪など地震発生時の気象条件も関与することが考えられる。

平山の斜面が崩壊した要因は、総合的に判断して、主として震動(揺れ)にあり、表層地すべり型の土砂移動が広範囲に発生したものとみられる。風化層は比較的薄く、今後深層に達する崩壊が起きる可能性は低い。

埼玉県土木部第二課の資料(水位日表)を見ると、1894年東京地震発生当日の天候は安定していたことがわかるが、降水量の増加時に震動を受けた場合には、崩壊規模が拡大することも想定される。

なお、構造的な要因も考慮するなら、久須美淵より下流の入間川流路や平山の稜線は直線的で、基盤層の走向方向と調和的であることから、伏在する走向性の既存断層が誘発的に活動した可能性も否定できない。

しかし、特筆すべき断層構造は見られず、入間川の屈曲点である久須美淵の河岸においても破碎帯を伴わない小断層(N20°W, 70°N)が認められる程度である。

因みに、周辺地域で認定されている活断層について見ると、久須美の南方約3kmの直竹川の谷から北西の仁田山峠にかけて、活断層の名栗断層(確実度Ⅱ)があり、さらにその南東には、2009年度より文部科学省の重点調査が始まった立川断層(確実度Ⅰ)がある。しかし、本稿で扱った地域は、両活断層の影響は直接的には受けない位置にある。

1894年東京地震の震動は、埼玉県西部に広く伝

わっているため、斜面崩壊は他の場所にも発生した可能性があるが、現在までに確認された例はない。

なお、この地震の震度については、茅野(1970)が各地域の被害等の記事に基づき、12階方式により震度を推定している。それによると、飯能付近の震度は7である(震央付近は8)。

ただし、「周辺部の地域では1~2の事象から震度を判定しているため、信頼度がやや低いのは止むを得ない」としている。飯能も周辺部にあり、この点を考慮して見る数値ではあるが、かなりの強い揺れであったことは事実である。

災害情報はどうしても住民の財産である土地や家屋が被災した箇所、もしくは偶然住民に発見された箇所に限られてしまう。殊に人口の少ない地域では、情報量も限られ、客観性に欠けることも少なくない。近代に起きた地震でさえ、予想以上に資料や人々の記憶が残っていないことに驚かされる。

地震による地盤災害は、地震波の性質や揺れの大きさに加えて、地盤の諸条件が複雑に関係している。将来起こる地震に対して示す土地の反応を正確に予知することには困難が伴うが、現実には発生した過去の被害の実態を知っておくことは、意味のあることと考える。年々消えゆく過去の地震情報を可能な限り残して、地震防災に役立てられるようにしたいものである。

謝辞

本研究を進めるにあたり、以下の方々のお世話になった。

(株)久須美レース代表取締役社長の宮寺正男氏と同夫人には、詳細な地震被害のお話と崩壊斜面の特定に有益な情報を提供していただいた。

また、久須美在住の小林正夫氏には、宮寺家をご紹介下さり、同家へ案内していただいた。

パシフィックコンサルタンツ(株)地盤技術部応用地質グループ・グループリーダーの中里 薫氏には、現地調査に同行していただき、地すべり・崩壊地形について、御教示いただいた。

文書調査にあたっては、飯能市郷土館の尾崎泰

弘主査に同館所蔵文書の利用にあたり、便宜を
図っていただいた。

ここに記して、厚く感謝申し上げる次第であ
る。

参考文献

- 新井健司 (2007) : 安政江戸地震の際の武蔵国入間郡の
災害—埼玉県入間郡毛呂山町大谷木の山崩れと地盤
沈下—, 地震ジャーナル, 43, 45-59.
- 中央气象台 (1897) : 中央气象台年報第二部地震之部
1894年, 38-47.
- 飯能市史編集委員会 (1986) : 飯能市史資料編XI (地
名・姓氏), 233 p.
- 飯能市役所 (2008) : 飯能市防災ガイドマップ, 44 p.
- 茅野一郎 (1975) : 明治27年東京地震の被害について,
東京直下地震に関する調査研究 (その3) —地震活動
状況に関する考察—, 東京都防災会議, 123-131.
- 茅野一郎 (1989) : 明治中期の“煙突地震”—明治27
(1894)年6月20日東京・横浜の地震—, 地震ジャー
ナル, 8, 30-37.
- 大森房吉 (1899) : 明治二十七年六月二十日東京激震ノ
調査, 震災予防調査会報告, 28, 71-78.
- 埼玉県教育委員会 (1974) : 埼玉縣市町村誌, 5, 201 p.
- 震災予防調査会 (1895) : 地震その他地異彙報, 震災予
防調査会報告, 3.
- 宇佐美龍夫 (1976) : 新史料による安政江戸地震の調査,
地震研究所彙報, 51, 209-230.
- 宇佐美龍夫 (1987) : 新編日本被害地震総覧, 東京大学
出版会, 434 p.
- 宇津徳治 (1982) : 日本付近の M 6.0 以上の地震および
被害地震の表 : 1855年~1890年, 地震研究 所彙報,
57, 401-463.
- 宇津徳治・嶋 悦三・吉井敏尅・山科健一郎 (1987) :
地震の事典, 朝倉書店, 657 p.

新井健司

[あらい けんじ]

現職 上武大学経営情報学部教授

略歴 北海道大学大学院環境科学研究
科博士後期課程単位取得満期退学, 上武
大学講師, 同助教授を経て現職。

研究分野 地形学, 地質学

著書 『日高町史 自然史編』(埼玉県入間郡日高町, 共
著), 『新版埼玉県地学のガイド』(コロナ社, 共著) ほか



四川大地震の地震像と被害の概要

林 愛明

1. はじめに

四川大地震は現地時間 2008 年 5 月 12 日 14 時 28 分、チベット高原と四川盆地の境界部の四川省アバ・チベット族チャン族自治区汶川県で発生し、死者約 7 万人、行方不明者約 2 万人、負傷者約 37 万 4 千人におよび被害者の総数は 4,624 万人にもぼるといふ大きな被害をもたらした。

今回の地震は、日本では四川大地震と呼ばれているが、中国では震央地である「汶川県」の地名を取って「汶川地震」と命名された。地震の規模（エネルギー）を示すマグニチュードは 7.9 であり、1995 年に発生した兵庫県南部地震の約 30 倍のエネルギーに相当する。地震直後、この地震の震源断層のメカニズムと地表地震断層に関連した変形の特徴と被害状況を解明するために、私たちの調査グループ（静岡大学と中国南京大学の合同チーム）は地震の 2 日後に震源地に入って現地調査を行ってきた。その結果、今回の地震は既存の活断層である龍門山断層帯により引き起こされたことと、この地震に伴って総延長 285 km 以上、最大垂直変位量 6.5 m の地表地震断層が既存の龍門山逆断層帯沿いに現れたこと、などが明らかになった（図 1）^{1)~5)}。地表地震断層の長さの変位量とも内陸逆断層タイプの地震としては最大規模のものである。地震直後から現在まで、私たちの調査グループは計 4 回に亘って現地調査を行ってきた。震源断層である龍門山活断層帯および地震断層に関する調査を現在でも継続しており、これまでの調査成果の一部は林ほか（2008）^{1),2)}と Lin *et al.* (2009)³⁾ および林・任（2009）^{4),5)} により報告された。本論では主に四川大地震の地表地震断層の変形の特徴および地震被害の概要を紹介する。

2. 四川大地震の地震テクトニック背景

四川大地震のニュースを聞いて、大陸の中国でそんな大地震があるなんて、と驚く人が多いかも知れない。ところが、「地震最多国」とされる日本に比べれば少ないが、中国は決して地震が少ない国ではなく、むしろ多い国だと言える。歴史記録によると、中国で発生した地震が世界の陸地で起きた被害地震の 3 分の 1 を占めている。20 世紀になってからでも、中国ではマグニチュード 6 以上の被害地震が約 800 回発生し、死者は約 60 万人（今回の四川大地震の死者を含めて）と全世界の大地震による死者の約半分を占めている。

チベット高原を含む中国の西半分は東西方向にわたるいわゆる「東西地震帯」と、チベット高原の東縁部と北京の周辺に南北方向に縦断するいわゆる「南北地震帯」で、過去に大きな被害をもたらした地震がたびたび起きている。1900 年以降に発生し、死者を出した地震も、これらの地震帯域に偏在しているのである。とりわけ、1976 年に北京市から 150 km 東に位置する唐山市で起きた「唐山地震」は、被害が非常に大きかった。マグニチュード 7.8 だったこの都市直下型の大地震では、死者が 24 万人以上にも上った。人口 130 万の唐山市のほとんどの建物が破壊されてしまった。

また、中国の西部では、今回の地震のような巨大な地震が過去にも頻繁に発生していた。歴史的に最大の被害をもたらした、マグニチュード 8.0~8.25 の「華県大地震」が 1556 年 1 月 23 日に唐の時代の都である西安市東部の華県地区で発生し、その被害は広い範囲に及び、約 83 万人の死者を出した。これはこれまでに報告された一回の地震による死亡者数としては最多のものである。最近でも 2001 年に、チベット高原の北部でマグニチュー

ド8.1の昆崙地震があった。しかしこの地震がチベット高原北部の山間部地域で起きたために大きい被害はなかった。今回の四川大地震があった四川盆地のすぐ西側でも、1900年以降に1933年の四川(豊溪)地震と1976年の松潘地震という二つの大きな地震が発生している。松潘地震はマグニチュード7.2で、死者41人、負傷者約750人であった。それに対して、豊溪地震はマグニチュード(7.5)と、比較的が強かったため、死者が約6,800人に上る大被害をもたらした。このように、四川盆地周辺ではこれまでに大きい被害地震が頻繁に起きていたことが明らかである。従って、今回の地震はたまたまそこで起きたのではなく、この地域の地震活動の1つのイベントにすぎないということである。

研究地域はチベット高原と四川盆地の境界部である龍門山地域に位置している(図1)。チベット高原は、インド・プレートがユーラシア・プレートに衝突することによって隆起してきた。現在も年間数センチメートルの速さでインド・プレートがチベット高原を押し続けている。その結果、チベット高原は東側の四川盆地に押し出されるように動いている(図1a)。チベット高原の東縁部に位置する龍門山断層帯は、チベット高原の東への押し出しの動きを受け止めるような形になっているために、東西方向の圧縮の力がかかりチベット高原側隆起の逆断層になっている。今回の地震はこのようなプレートの衝突により龍門山断層帯で生じたひずみを解消するために引き起こされたものである。すなわち、インド・プレートのユーラシア・プレートへの衝突は汶川地震のそもそもの原因なのである。

龍門山断層帯は、北東-南西走向で、全長約500 km、幅約30 kmの褶曲帯と数本の逆断層から構成される断層-褶曲変形帯で、龍門山逆断層-褶曲帯とも呼ばれている⁶⁾。龍門山断層帯は平均標高4,000 m以上(震源地南西部の最高峰である貢嘎山の標高は7,556メートル)のチベット高原と標高500 m前後の四川盆地と明瞭な地形境界をなしており、龍門山断層帯を挟んだ両側の地形の標高差は平均で4,000 m以上に及び、地球上もっと

も地形起伏の大きい地域である(図1)。このような大きい地形起伏は、第三紀後期(約1,500万年前)ごろから形成されたと推定される。龍門山断層帯は4本の主要な逆断層、すなわち汶川-茂文断層、映秀-北川断層、灌県-安県断層および青川断層から構成される(図1b)⁷⁾。地震前の調査によると、この断層帯の平均変位速度は千年で約1-1.5 m^{7),8)}、大地震の再来周期は2千-1万年⁶⁾または3-6千年⁷⁾と推定されていた。しかし、地震後に私たちのチームが行った調査結果、龍門山断層帯の平均変位速度は千年で約2-3 m、大地震の平均再来周期は千年程度であることが明らかになった^{9),10)}。日本の活断層と比べると、龍門山断層帯は、活動度のもっとも高い中央構造線や糸魚川-静岡構造線活断層系などに匹敵するものである。

3. 地震概況と震源メカニズム

新疆自治区と黒龍江省を除いて、中国全土において四川大地震による震動が観測された。汶川地震の震央は汶川県に位置しており、地震破壊が地表地震断層帯南西端部の映秀町の南部から始まって、北東方向へ約2分間かけて青川県砂洲町の周辺まで伝播した。震源断層の破壊範囲は300 km以上に達する(図2)³⁾⁻⁵⁾。地震後6月23日までの40日の間に、発生した余震の累計総数は13,685回で、そのうちマグニチュード4-4.9は189回、5-5.9は28回、マグニチュード6以上は5回にも上った¹¹⁾。これらの余震はほとんど地表地震断層沿いに集中した(図1)。四川大地震の震源メカニズム解析の結果、1)地震断層が若干の横ずれ成分を伴った逆断層であること、2)震源断層は北西走向で西へ約30°傾斜、逆断層の性状を呈すこと、3)断層沿いの平均すべり量は2-4 m、最大6-7 mであることが明らかになった(図2)¹¹⁾⁻¹⁴⁾。また、地球観測衛星「だいち」から得られたInSARの画像の解析結果は地表地震断層変形帯の長さが285 kmであることを示しており¹⁵⁾、地震インバージョンの結果および野外調査の結果とほぼ一致する。

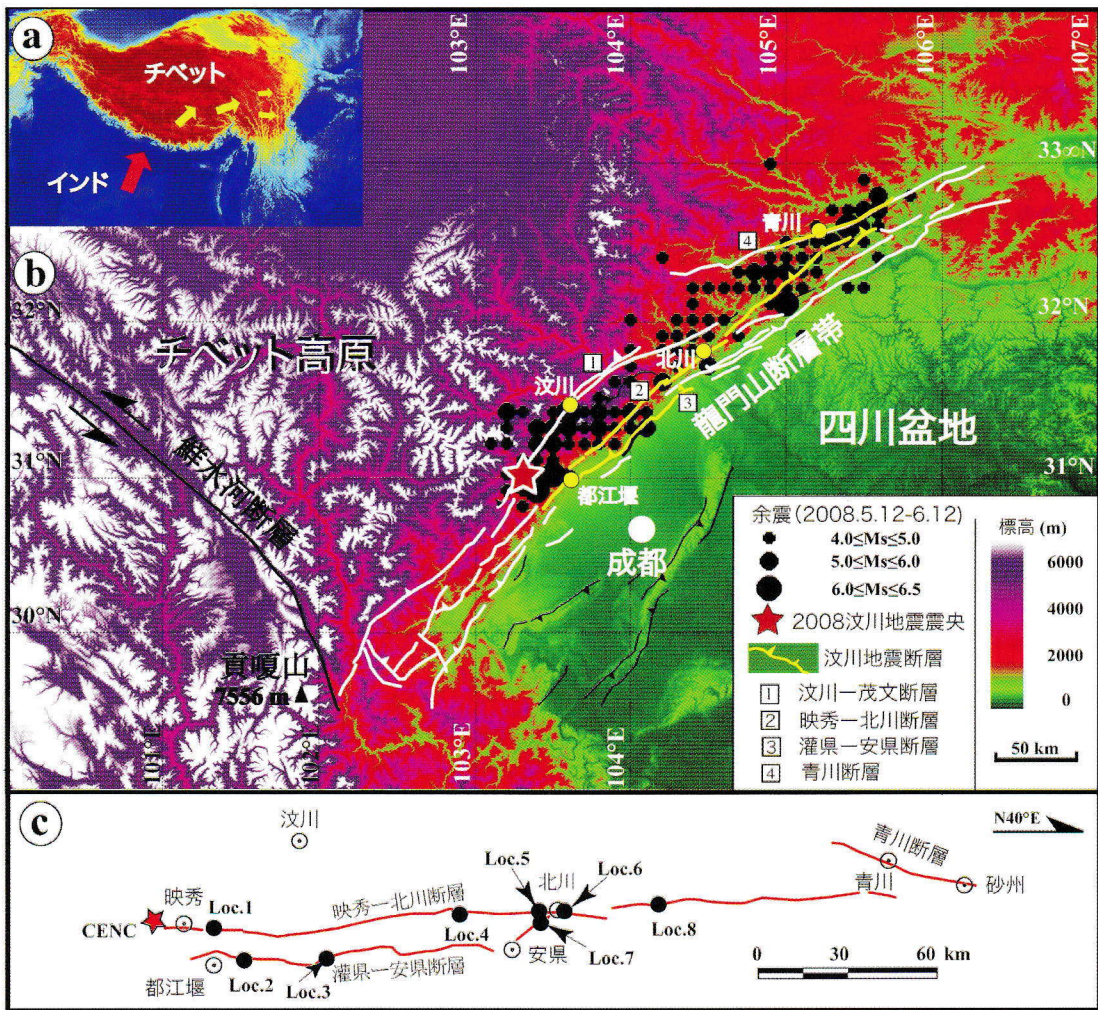


図 1 (a): チベット高原周辺の地形と 2008 年中国汶川地震の震央位置 (星印) を示している (Lin *et al.*, 2009³⁾ に加筆). 長い矢印はインド・プレートがチベット高原を押し出す方向, 短い矢印はチベット高原の東への押し出し方向を示している. (b): 汶川地震の震源地周辺域の立体地形図. 地震発生してから 6 月 12 日までの一ヶ月間に発生したマグニチュード 4 以上の余震データは中国地震ネットワーク・センター (CENC)¹¹⁾ によるものである. (c): 地表地震断層分布図. 震央位置 (星印) は中国地震ネットワーク・センター (CENC)¹¹⁾ によるものである. Loc. 1-8: 本論文に記載した写真の露頭位置.

4. 地表地震断層

現地調査の結果, 今回の地震により生じた地表地震断層は龍門山断層帯を構成する 4 本断層のうち 3 本, すなわち映秀-北川断層と四川盆地の南西縁部にある灌県-安県断層および北東延長部に既存の青川断層沿いに出現したことが明らかになった (図 1). これらの 3 本の地表地震断層帯が

全体としては左雁行配列を呈しており, 震央地近くの都江堰の南西部から北東端部の青川県砂州町まで, 総延長は 285 km 以上に達している (図 1). これは内陸逆断層タイプの地震断層としては最大級のものであり, 2001 年にチベット高原北部で発生したマグニチュード (M_w) 7.8 の昆崙地震により生じた最大規模の横ずれ地震断層 (長さ 450 km)^{16,17)} に匹敵するものである.

地表地震断層は主に明瞭な逆断層とモール・ト

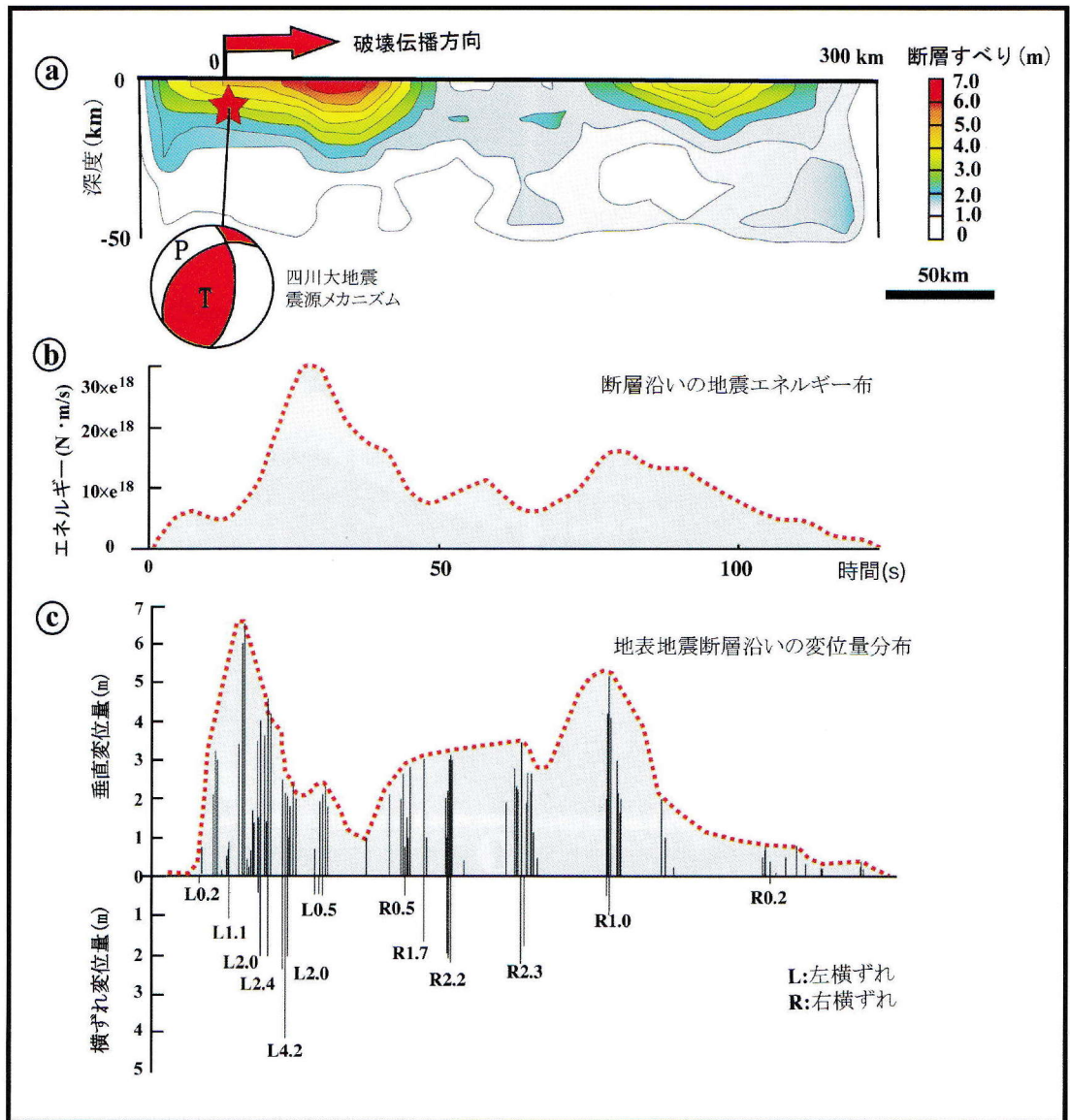


図 2 四川大地震の震源メカニズムと地震すべり分布 [a, b: データは西村・八木 (2008)¹¹⁾ より, c: Lin et al. (2009)³⁾]. a: 断層面沿いの地震すべり分布; b: 地震エネルギーの分布; c: 地表地震断層の変位量分布. 地震エネルギー分布パターンと地表で観察された地震断層変位量の分布様式と調和的である.

ラック構造を含む褶曲構造および多くの開口割れ目から構成される (図 3). 地震断層は幅数メートルから数百メートルまで変化するが, 一般的に既存の龍門山逆断層帯沿いに幅数メートルから数十メートルの狭い帯状地域に分布している. 逆断層構造は明瞭な断層面と断層崖および褶曲構造により特徴付けられる (図 3a-d). 断層露頭で観察された断層すべり面の多くは西へ約 25-30° 傾斜し

ており, 衝上断層の性状を呈している. これは, 地震弾性波探査の解析結果に示される龍門山断層帯の深部構造と一致している¹⁸⁾. また, 逆断層のずれ方向は地震断層すべり面上の条線などにも示されている³⁾. モール・トラック構造は地表地震断層沿いに多く観察された (図 3c). これは逆断層の圧縮によるもので, 地震断層の圧縮性状を表している. 開口割れ目は主に断層崖沿いに現れて

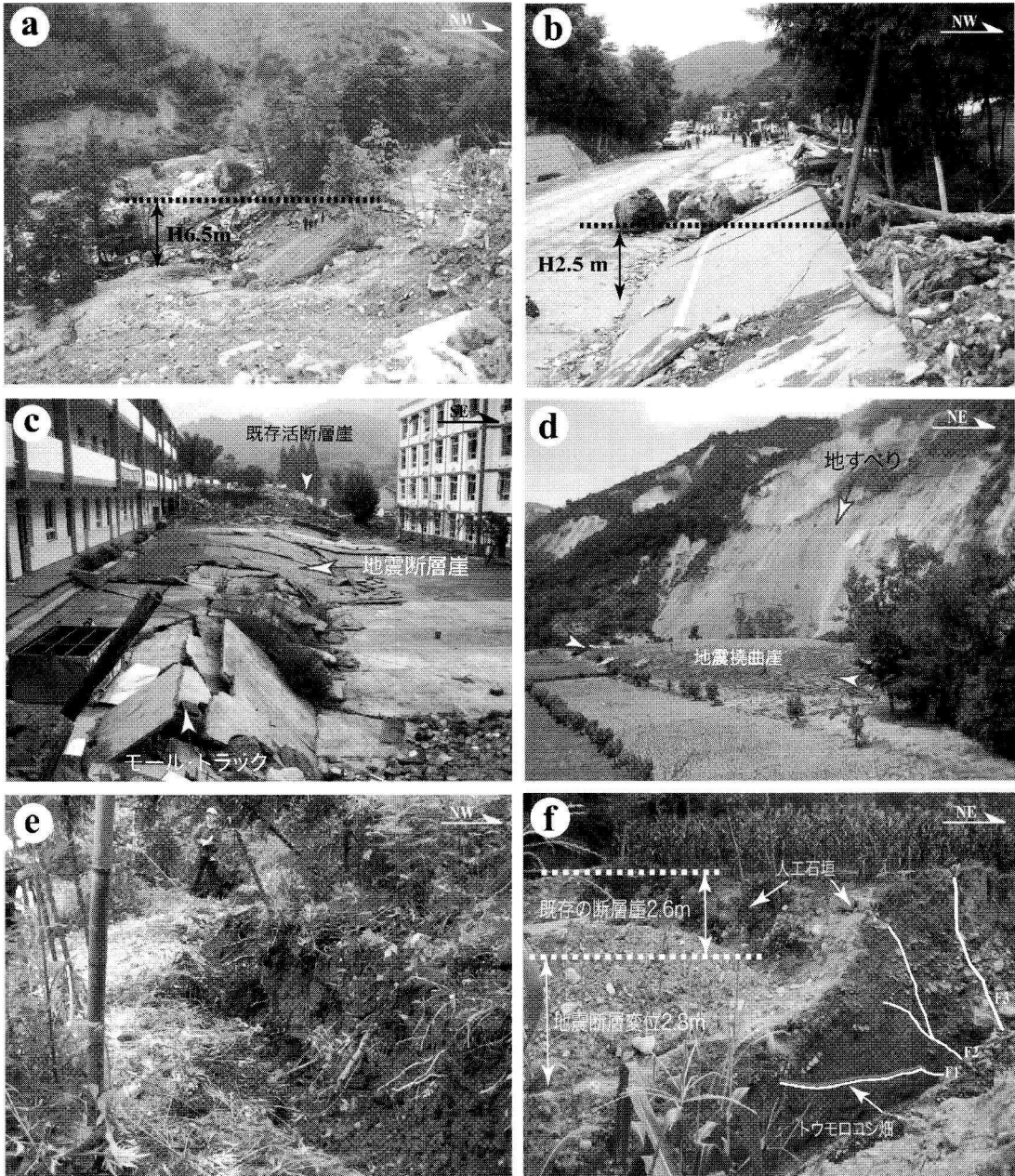


図 3 地表地震断層の写真。(a)：段丘と河床部に現れた地表地震断層 (Loc. 1)。上下に 6.5 m の変位が認められる。この地点の垂直変位量は四川地震断層で観測されたものとして最大のものである。H：垂直変位量。(b)：北川町の南西部の道路を横切った地震断層 (Loc. 5)。断層の右側が左側に乗りに上がるようにずれている。垂直方向のずれが 2.5 メートルである。(c)：白鹿中学校の校庭に現れた地震断層撓曲崖とモール・トラック構造 (Loc. 3)。(d)：段丘面に現れた地震断層撓曲崖 (Loc. 8)。(e)：山麓斜面に現れた地震断層崖 (開口割れ目) (Loc. 2)。(f)：人工石垣があった既存の活断層崖沿いに地表地震断層は現れている (Lin et al., 2009³⁾ に加筆) (Loc. 7)。この石垣が前述した約千年前の唐の晩期の大地震により形成された断層崖沿いに作られたもので、この断層で大地震が約千年周期で繰り返し起きていたことを示している。F1-F3：断層。露頭位置 (Loc. 1-8) は図 1c を参照。

おり (図 3e), 地震断層とほぼ平行またはやや斜交に配列するものが多い。河川部などの低地では、開口割れ目沿いに、液状化現象が多く観察される (図 3f)。

地表地震断層は北西側上がりの既存の活断層崖沿いに現れたことが多くの露頭で観察された。図 3f に示すように、人工石垣があった断層崖沿いに今回の地表地震断層は現れている。これが今回の地震の前にすでに断層崖は存在していたことを示している。この石垣が前述した約千年前の唐の晩期の大地震により形成された断層崖沿いに作られたもので、この断層で大地震が約千年周期で繰り返して起きていたことを示している^{9),10)}。

汶川地震により生じた地表地震断層は逆断層であるために、変位量の測定に用いる地表の変位基準線 (直線状の道路とあぜ道や段丘崖など) と断層の走向との交差角度により見かけ上の変位量が増加する。また、低角度の地震断層は幾何学的な形状は山地と低地の地形により大きく左右され、複雑な形態を呈することがよく知られる。本研究では、このような変位基準線と断層との交差角度や地形による影響を避けるために、断層走向と直交またはほぼ直交の道路やあぜ道や段丘崖などの基準線を用いて、285 km の地表地震断層沿いに約 100 カ所で変位量の測定を行った。図 2c に示すように、垂直変位量は平均 2-4 m、最大 6.5 m (図 3a) であることが明らかになった。断層の傾斜角度から、今回の地震による最大断層すべり量は 10 m 以上と推測される^{3),4)}。四川大地震に伴って出現した地表地震断層の長さや断層変位量は、ともに内陸逆断層タイプの地震として最大規模のものである。また、地震断層の北東セグメントにおいて、局部的に右横ずれの変位も観察される (図 2c)。断層の南西セグメントにおいて、北西-南東走向の地表地震断層沿いに左横ずれの変位も観察される。地表で観測された変位量分布様式は断層沿いの地震エネルギー分布パターンと調和しており (図 2b, c), 地表で観測した地震断層変位量は地下の震源断層の性質を反映していると思われる。

5. 地震被害

今回の地震の最大震度は 11 (中国の震度階、日本の震度階 7 弱に相当する) に達しており、マグニチュードと震度とも 1976 年の唐山大地震を超えている。四川大地震は被害を及ぼした範囲が広がった。中国国務院の報告によると、四川、甘粛、陝西、重慶などの省・直轄市の 417 市・県、4,656 郷・鎮、47,789 村庄が被災し、被災地域の総面積は 44 万 km²、被災人口は 4,624 万人に上るといふ。さらに、ライフラインや家屋も広い範囲で被災した。中国国務院の公式発表によると、震央地区の周囲の 16 本の国道・省道の幹線道路と宝成線など 6 本の鉄道が分断され、電力、通信、水道などのシステムも広域に被災した。また、倒壊家屋は約 780 万軒、損壊家屋約 2,460 万軒に上るといふ。地震の規模が大きかったことに加えて、今回被害を受けた地域が急峻な地形であったために、被害が大きかったと考えられる。多くの被災地は、谷沿いに走る活断層に沿って町が形成されており、そうした自然条件が被害を大きくした要因の 1 つである。今回の地震でほとんどの建物が崩壊した震央地近くの映秀村と北東部の北川町 (北川県庁所在地) はその典型的な例である^{2),3)}。

四川盆地の西側には、山岳地帯が広がっている。とくに、四川盆地との境目には、5,000 m をこえる山々がそびえ立っていて、その高低差は非常に大きい。四川盆地の標高は 500 m 前後である。四川盆地西縁から 50 km ほど山岳地帯に入れば、標高は 5,000 m をこえる。これは地球上で最も高低差の大きい場所である。このような急勾配のため、もともと地すべりが起きやすいところであった。図 4a に示すように、北東-南西方向に谷を縦断する地表地震断層沿いに発生した地すべりは建物を直撃し、倒壊させた。これらの地質・地形要因が北川町に壊滅的な被害をもたらしたと考えられる。

また、余震回数が多かったことも被害を拡大させた要因のひとつである。激甚災害地区は交通の不便な高山・峡谷地区であるため、本震に加えて

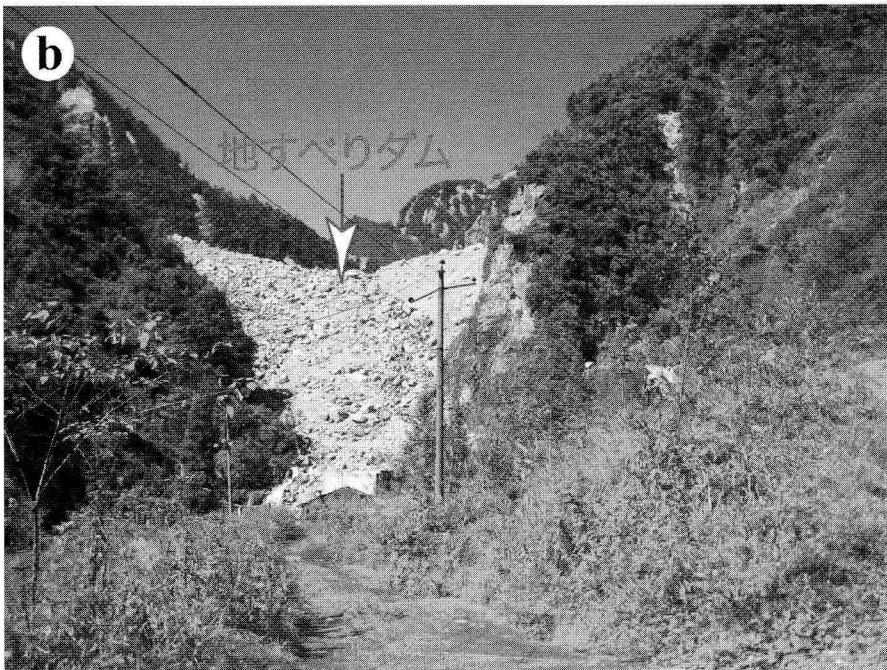


図 4 地すべりによる被害と天然ダム，(a)：地表地震断層沿いに発生した地すべりが町の中心部に直撃し，建物を崩壊させた (Loc. 6)。(b)：地すべりにより形成された形成天然ダム，この地すべりにより形成された天然ダムの高さは 690 m に及ぶ，これはこれまでに報告された地すべりにより形成された天然ダムの高さとしては最大規模のものである (Loc. 4)。

これらの余震によるがけ崩れや地すべりなどによって交通，通信が途絶し，救援活動が極めて困難であった。

6. ま と め

地表地震断層の幾何学的な形態は地表の性状を示しているだけではなく、既存の断層深部の構造とテクトニックな環境をも反映している。四川大地震に伴って現れた地表地震断層の長さ・形態・傾斜と変位量の分布は震源断層が僅かの横ずれ変位を伴った逆断層であることを示しており、震源断層のメカニズム解の結果とほぼ一致している^{11)~14)}。また、図2に示した変位量の大きい二つの分布域は震源メカニズム解の結果とも調和している¹¹⁾。

今回の地震による平均垂直変位量2-4 mと千年おきの地震再来周期から、龍門山断層帯の平均垂直変位速度は千年で2-4 mであると推定される。これはGPSの観測の結果とほぼ一致している^{19)~21)}。これはインド・プレートのユーラシア・プレートへの衝突によりチベット高原は東へ押し出されて龍門山断層帯で生じたひずみがほとんど逆断層タイプの地震により解消されることを示している。従って、今回の地震は巨大内陸地震のメカニズムや内陸の大逆断層沿いでの破壊過程を知る上で絶好な機会を与えてくれたものである。

本調査研究に静岡大学および中国南京大学の方々には協力して頂いた。本研究の実施に当たって、静岡大学学長決裁経費・静岡大学防災総合センターおよび財団法人東京海上各務記念財団地震研究助成金の援助を得た。また、文部科学研究補助金(基盤研究B)の一部を使用した。以上の関係機関および協力して頂いた関係者に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 林 愛明 (2008). 2008年中国四川大地震の地震断層. 日本地震学会広報紙, ないふる, Vol. 69, p. 2-3.
- 2) 林 愛明ほか (2008). 2008年 M_w 7.9 中国汶川地震の地表地震断層と被害状況の速報. 地学雑誌, Vol. 117, p. 593-598.

- 3) Lin, A. *et al.* (2009). Co-seismic thrusting rupture and slip distribution produced by the 2008 M_w 7.9 Wenchuan earthquake, China. *Tectonophysics*, Vol. 47, p. 203-215.
- 4) 林 愛明・任 治坤 (2009). 中国四川大地震—中国四川大地震の地震断層と被害写真集, 近未来社, p. 111.
- 5) 林 愛明・任 治坤 (2009). 2008年中国汶川地震の地表地震断層と被害. 月刊地球, Vol. 31, No.4, p. 2-11.
- 6) Jia, D., Wei, G., Chen, Z., Li, B., Zeng, Q., Yang, G. (2006). Longmen Shan fold-thrust belt and its relation to the western Sichuan Basin in central China: New insights from hydrocarbon exploration. *AAPG Bulletin*, Vol. 90, p. 1435-1447.
- 7) 李 勇ほか (2006). 青藏高原東縁大陸動力学過程与地質響応. 地質出版社, 北京 (中国語), p. 148.
- 8) Densmore, A.L. *et al.* (2007). Active tectonics of the Beichuan and Pengguan faults at the eastern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonics*, Vol. 26, TC4005, doi: 10.1029/2006TC001987.
- 9) 林 愛明 (2008b). 2008年12月10日午前7:30ごろNHKニュース「おはよう日本」に報道されたものである.
- 10) 林 愛明・任 治坤 (2008). 龍門山逆断層帯の歴史大地震について. 2008年日本活断層学会年会要旨, p. 2.
- 11) 西山直樹・八木勇治 (2008). 2008年5月12日中国四川省で発生した巨大地震(暫定). (<http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~yagi-y/EQ/20080512/index.html>).
- 12) China Earthquake Networks Center (CNC) (2008): Rupture Process of the 2008 M_s 8.0 Wenchuan Earthquake (<http://www.cenc.ac.cn>).
- 13) Chen, Z. *et al.* (2008). The rupture process of the M_w 8.0 Wenchuan earthquake (<http://www.csi.ac.cn/sichuan>).
- 14) Harvard University (2008). Global CMT Catalog, 200805120628A Eastern Sichuan, China (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>).
- 15) Geographical Survey Institute (2008). Analytic Results of PALSAR Data for Sichuan Earthquake (<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/sisen/index.htm>).
- 16) Lin, A., Fu, B., Guo, J., Zeng, Q., Dang, G., He, W., Zhao, Y. (2002). Co-seismic strike-slip and rupture length produced by the 2001 M_s 8.1 Central

Kunlun earthquake. *Science*, Vol. 296, p. 2015-2017.

- 17) Lin, A., Kikuchi, M., Fu, B. (2003). Rupture segmentation and process of the 2002 Mw 7.8 Central Kunlun earthquake, China. *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 93, p. 2477-2492.
- 18) Jia, D., Li, Y., Lin, A., Wang, M., Chen, W., Wu, X., Ren, Z., Zhao, Y., Luo, L. (2009). Structural model of Mw 7.9 Wenchuan earthquake in the rejuvenated Longmen Shan thrust belt. *Tectonophysics*, in press.
- 19) Chen, Z. *et al.* (2000). Global Positioning System measurements from eastern Tibet and their implications for India/Eurasia intercontinental deformation. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, p. 16215-16228.
- 20) Shen, Z. *et al.* (2005). Contemporary crustal deformation around the southeast borderland of the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110, p. 1-17.
- 21) Zhang, P. *et al.* (2004). Continuous deformation of the Tibetan Plateau from global positioning system data. *Geology*, Vol. 32, p. 9809-9812.

林 愛明 (Aiming Lin)

[リン アイメイ]

現職 静岡大学創造科学技術大学院教授 (兼: 静岡大学理学部地球科学科, 静岡大学総合防災センター)
理学博士



略歴 1992年東京大学大学院(東京大学地震研究所)博士課程修了, 1996年3月神戸大学理学部助手, 2000年2月静岡大学理学部助教授, 2004年4月静岡大学理学部教授, 2005年1月-2006年1月アメリカ・プリンストン大学客員教授, 2006年4月より静岡大学創造科学技術大学院教授

研究分野 地震テクトニクス

著書 「Fossil Earthquakes: The Formation and Preservation of Pseudotachylytes」(Springer, Berlin, 348 p), 「2008 四川大地震の地表地震断層と地震被害写真集」(近未来社, 114 p), 「Co-seismic surface Rupture and Disaster produced by the 2008 Wenchuan earthquake — A Photographic Atlas. (Springer, Berlin, Higher Education Press, Beijing, 120 p).

超高層ビルの大型振動台実験

長江拓也・梶原浩一・井上貴仁・中島正愛

1. はじめに

太平洋側沖合のプレート境界においてマグニチュード8クラスの巨大な地震が今世紀前半のうちにほぼ確実に発生する。このとき、長周期の成分に力を有する長周期地震動が内陸に伝わり、大都市の超高層建物群を長時間にわたって強く揺さぶる可能性が高い。こうした状況下で、防災科学技術研究所は、多くの機関との協働により^{1),2)}、超高層建物の被害の軽減に資する実験に取り組んでいる。実験では、E-ディフェンス振動台の持つ性能を最大限に活かし、長周期地震動をうける超高層建物の揺れを引き起こす。本稿では、前半を「室内安全性に関する実験」、後半を「鉄骨造骨組の耐震性に関する実験」として、現在までの成果を紹介する。前者は防災啓発を視野にマンション住民やオフィスビル関係者に提示できる資料を取得するもので、後者は工学的な見地から設計や耐

震改修に展開できる技術資料を取得するものである。

2. 室内の安全性に関する実験

この実験では、特に、防災施策、防災教育に展開することをめざした。ここでは、超高層建物の居室の被害様相に関する実験を紹介する。記録されたビデオ映像は既に公開されており、ホームページ (<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>) からダウンロードできる。読者の方々によって、防災啓発等の実践的な場面で活用されることも期待し、実験の背景、条件まで詳しく解説する。

2.1 試験体と床応答状況

事前の解析で求めた、長周期地震動を受ける超高層建物の揺れ（床速度）を図1に示す。超高層建物の揺れは、高層階ほど増幅され、また数分間も続く。実験ではE-ディフェンス振動台上に用意

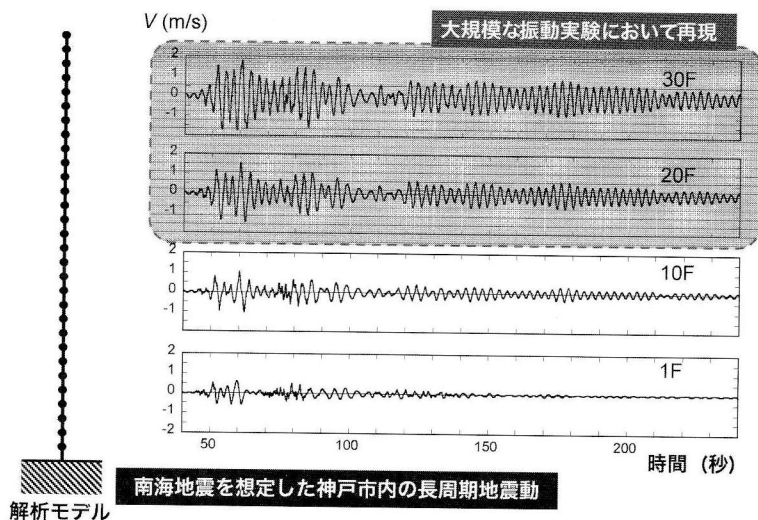


図1 長周期地震動を受ける超高層建物の揺れ

した試験体を高層階と同じように揺らし、室内の安全性を検証した。実験装置を図2に示す。実験では5層の大型鉄骨骨組を用意し、広い内部スペースを確保した。この鉄骨骨組と振動台の間に積層ゴムをはさんで振幅を増幅する手法により、大振幅で長時間の揺れを実現した。固有周期は想定する建物になるべく近くしておき(約3秒)、加振では逆解析で求めた入力波を用いた。実験で与えられた床の動き(変位オービット)を図3に示す。試験体の2方向に大振幅の床応答が与えられ、Y方向(試験体長辺方向)の最大の往復振幅は2.5mに及ぶ。実験では、超高層建物が長周期地震動に共振して長時間揺れる状況を表現しており、揺れははじめから120秒経った後の動き(図中、黒線)は、なおも振幅1.5mを有している。

2.2 家具の条件

家具が転倒する際には、床加速度の慣性力によって下端部が浮き上がり、その重心位置が反対の下端部位置を超えることになる。そのため、転倒条件には、床加速度とともに床速度も反映される。ただし、超高層建物の揺れの場合には、床加速度が条件を満たしたときの床速度は十分大きい。実験において、試験体のY方向に生じた最大加速度は 4.5 m/s^2 (最大速度は 2.2 m/s)である。標準的な家具の形状比を図4に示し、下端部の浮き上がる条件の形状比0.45を付記した。形状比が0.45より小さいと転倒する条件となり、レンジや洗濯機などを除き、一般的な家具は、軒並み転倒することとなる。

家具のすべりは、床加速度による慣性力が静止摩擦係数(静止摩擦係数と重量の積)を超えたときに発生する。キャスター付の家具の場合は、静止摩擦係数が0.1を下回り、家具と床の材質がともに木質の場合、また、金属系の家具とPタイルの組み合わせの場合にも、0.1、0.2といった小さい値になる。床の動きは往復で2.5mにおよび、摩擦係数が小さくなると、すべりの振幅は急激にその値に近づいていく。したがって、重量が200kgにもなるコピー機等の重量物も、キャスターや床の材質によって、大きく長時間にわたって動き回ることとなる。

2.3 本実験のコンセプト

兵庫県南部地震でも、室内における家具の転倒・飛散が、人命を奪う被害を引き起こすことが大きく取り上げられた。マンション住民やオフィスビル関係者が自ら適切な対策を講じて、災害に備える必要がある。その工学的な意味は前節で述べたとおりで、技術的に個々の家具の振る舞いを予測する資料は以前より提示されている。一方、対策の重要性を訴える防災啓発活動の局面においては、ひとの心に動かす武器が必要となる。

本実験のコンセプトを図5に示す。モデルとなったのが、交通安全教育で使われるビデオである。実際の事故やその後に生じる様々なドラマを組み込んだリアルな内容によって、受講者は身近なこととして切実感を覚え、安全運転に取り組む思いを強いものにする。家具の転倒や飛散を防止するための対策を訴えるとき、同様の方法によって当事者に、ことの重大性を理解してもらうことが、防災啓発の効果を増幅する。実験では、室内における総合的な被害状況を実際の映像として記録することに力点を置いた。こうした映像を公開し、防災に関わる機関や団体に活用してもらうことを意図したのである。

マンションの居室、オフィスのワークスペースには、人体を模擬した人形を組み込み、家具什器の被害のみでなく、そこに居る人々がどのような危険にさらされるかが表現されている。図6のように、その映像の持つ意味を補足することで、さらに切実感を増したプレゼンテーションとすることができる。ビデオ映像の例を図7に示す。音響も含まれる映像ファイルがインターネットを通じてダウンロードできるようになっている。

2.4 実験から読み取れる被害状況と対策の効果

(1) オフィス

被害状況を図8に示す。対策のないオフィスには、収納能力の高い(背の高い)書棚が壁面を覆い、キャスター付のコピー機が置かれている。実験で、書棚は、揺れの開始から十数秒後にその空間で働く人たちを一気に埋め尽くした(図7(2))。衝突を繰り返すコピー機の動きは3m以上となり、壁に穴を開ける状況も記録された。人間はこ

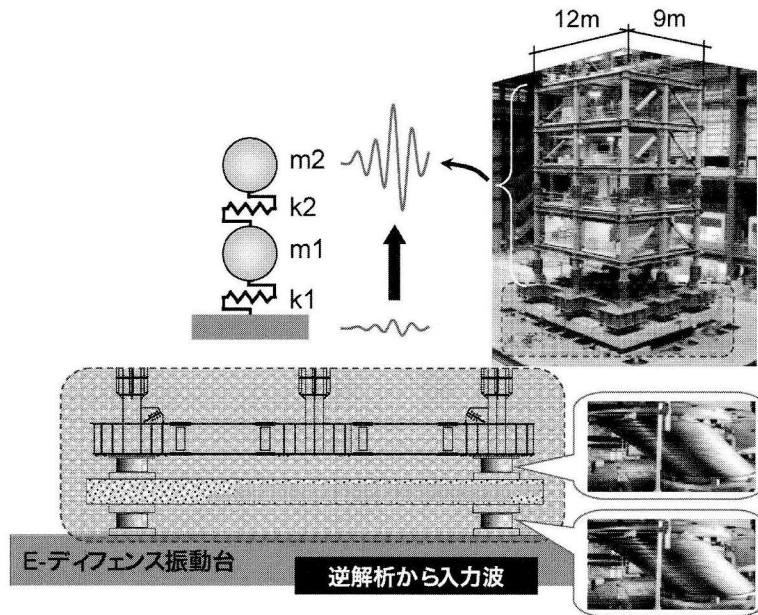


図 2 試験体

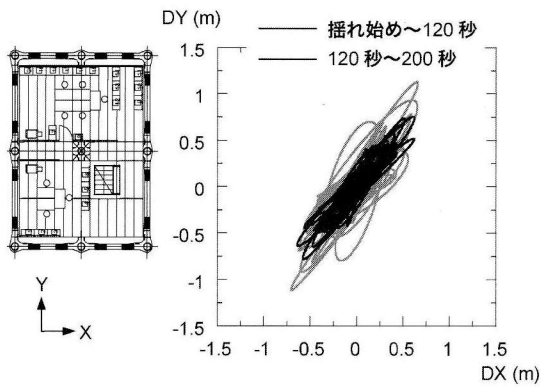


図 3 実験における床の動き



図 5 防災啓発のコンセプト

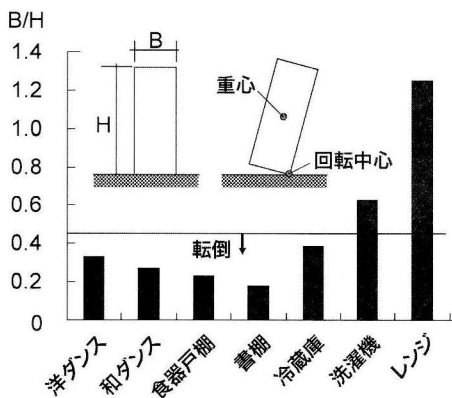
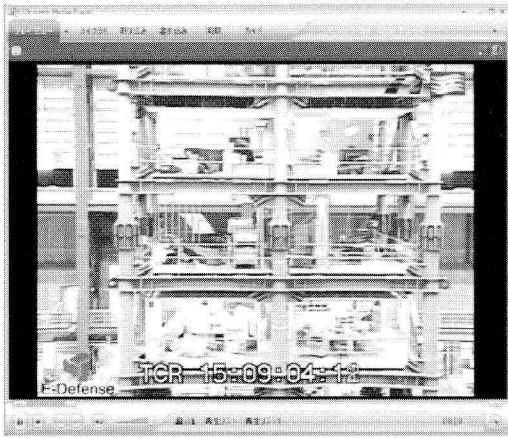


図 4 家具の転倒条件



図 6 室内に組み込まれたドラマ



(1) 5層分の室内空間の加振状況



(2) 室内が陥る危険な状況

図7 記録映像 (入手先→<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>)

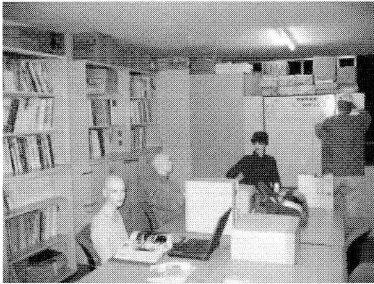
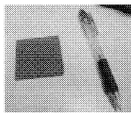
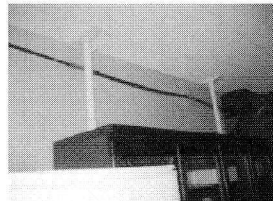
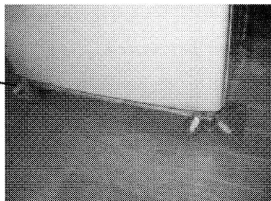


図8 オフィスの被害状況 (左は加振前)



金具の裏



突っ張り棒

金具と粘着マット



図9 対策の効果 (図16と比較)

のような揺れのなかで立っていることができず、重量物がそのような威力をもって衝突してくるときに、無防備に上半身で受けてしまう。揺れは200秒以上続き、その間コピー機は動き続けた。

オフィス用の書棚等は、ものを効率的に収納できる代わりに、本体だけで数十キロのものが、内

容物を入れることで、数百キロにもなる。こうした内容物の飛散を完全に防ぐことは容易でない。移動式書棚の動きはコピー機と同類で、専門家による特別な器具の設置が必要である。キャスター付の機器に対しては、適切なストッパーが必要である。まずは、居室のレイアウトを考え、ものを

置く場所と働く場所を適切に区分し、被害を最小限にとどめる必要がある。実験で確認された最も安全な空間は、ものを置かない廊下であった。緊急地震速報を導入して、速報の際には廊下で待機することを確認しておけば、有効な対策になる。

(2) マンション

キッチンにおいて、冷蔵庫のような重量物が転倒し、食器・調理器具は滑落、損壊、飛散し凶器に変わった(図6)。ダイニングにおいては、フローリング床のうえを木質系の家具が、大きくすべり続けた。対策がある場合の加振後の様子を図9に示す。効果はてき面である。住宅系の家具は、内容物の重量とのバランスから見れば、しっかりしていることが多く、突っ張り棒やL型アングルなどを用いて固定すれば、転倒や移動を防止できる。内容物や器具の飛散に対しては、滑り止めマット、粘着性耐震マットを用いることで、被害を防ぐことができる。一方、マンションでは床や壁に穴を開ける必要がある対策や、視覚的に圧迫感のある対策は、なかなか取り入れられない傾向がある。金具と粘着性耐震マットを組み合わせた対策はそのような負担がなく、これによって冷蔵庫の転倒を防ぐことができた。こうした視点からの取り組みも、対策を広めるためには重要である。

3. 鉄骨造骨組の耐震性能に関する実験

建物そのものの耐震性能はどうであろうか。こうした内容に関する実験が、文部科学省が推進する首都直下プロジェクトの一環として計画された。本実験は、その第1弾にあたるもので、2008年3月に実施された。ここでは鉄骨骨組が被る変形の特徴や、その保有性能を概説するが、過去に例の無い実験において工夫した点、骨組の破壊性状など専門的な内容も交えさせていただく。

3.1 実験方針と試験体用力学モデル

鉄骨造超高層建物の骨組実験の方針を図10に示す。本実験では、E-ディフェンス振動台に載せることのできる最大レベルの鉄骨造骨組を用意し、その破壊現象に重要な意味を持つ柱と梁の接合詳細を実物とする。試験体用力学モデルの考え方を図11に示す。想定する高さ80m、21階建ての超高層建物に対して試験体用の21層モデルを設定し、これを縮約モデルに置換した。実験では、4層の骨組を下層部分として用意し、それよりうへは、コンクリート錘と積層ゴムを基本とする縮約層によって表現した。

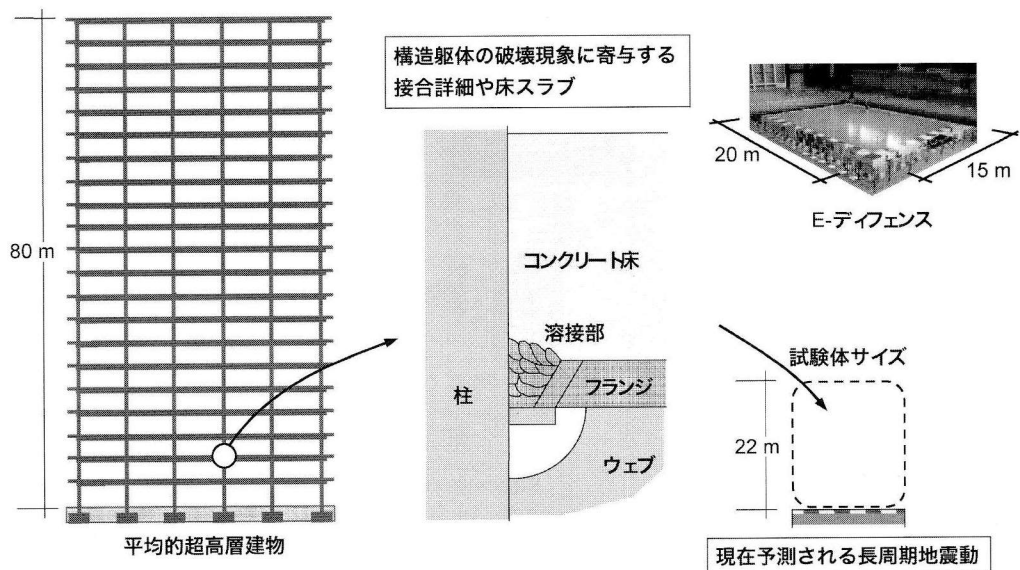


図10 鉄骨造骨組実験の方針

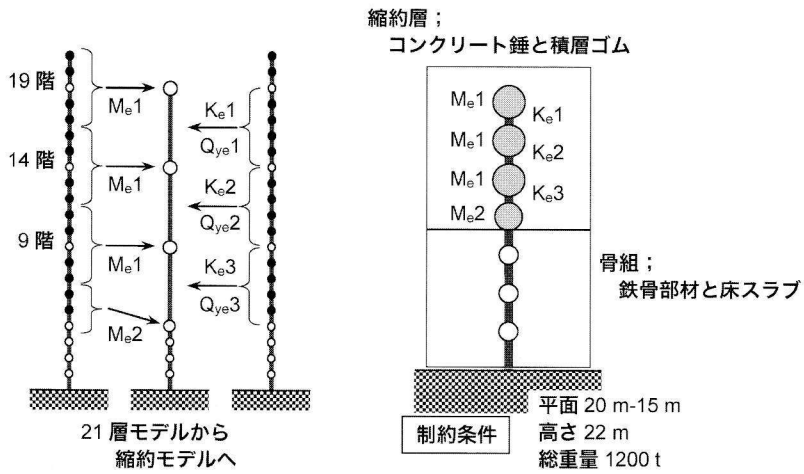
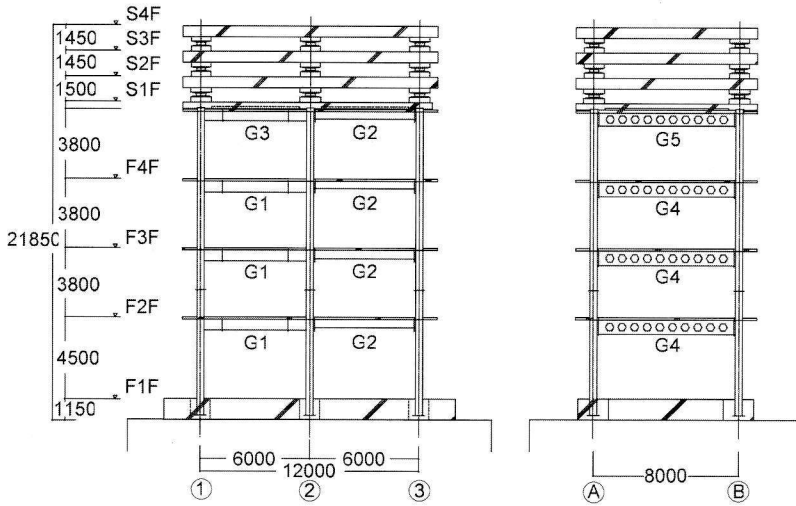
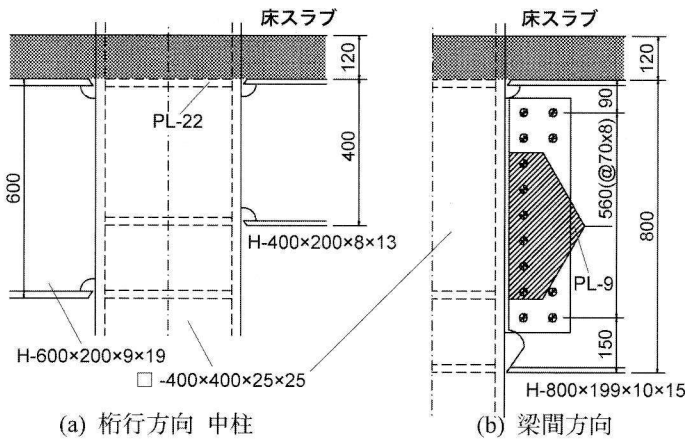


図 11 力学モデルと試験体

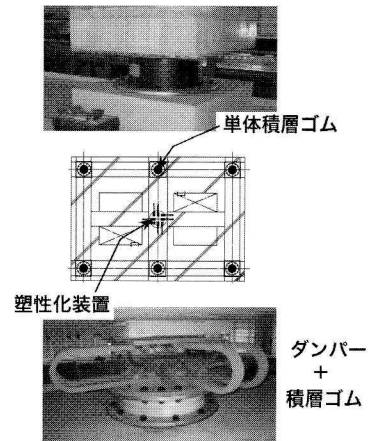


(1) 試験体立面



(a) 桁行方向 中柱

(2) 柱梁接合部詳細



(3) 縮約層の平面配置

図 12 試験体

3.2 試験体

試験体の立面を図12(1)に示す。階高、スパン長さを実寸とする鉄骨造骨組は、振動台平面の長辺方向を2スパンの桁行方向、短辺方向を1スパンの梁間方向とした。柱と梁の接合部の詳細を図12(2)に示す。1960年代から1980年代に採用された条件を反映している。うえの層の概要を図12(3)に示す。塑性化装置によって骨組のエネルギー吸収特性までモデル化し、現実的な地震応答を意図した。

3.3 試験体の製作

図13に試験体の製作状況を示す。骨組の中には、柱と梁が工場で溶接されるタイプと現場にて溶接されるタイプを組み込んで、性能を比較することとした。超高層建物が建設され始めた当時は、工場において溶接したものを現場で組み立てる手順が多く採用されたが、合理性と経済性の観点から、現場において溶接する方式が次第に増え、現在、超高層建物に関しては、梁の根元のほ

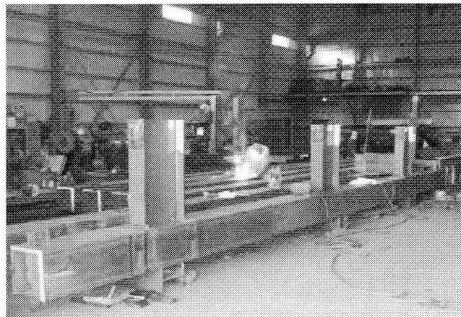
ぼすべてが現場で溶接されるといっても過言でない。

当然、現場で空中に身を置いて溶接するほうが、作業条件は悪い。溶接技術が向上したとはいえ、工場における溶接よりも相対的に溶接の品質が悪くなる可能性がある。また、組み立て手順の必然性から、梁の根元の一部をボルトで接合する必要もあり、接合部としての変形性能を低下させる原因になるという指摘もある。こうした、実際の作業環境を屋外で再現して、試験体骨組の現場溶接を実施した。各層のコンクリート床スラブの打設を終えた骨組を施設屋内に搬入し、積層ゴムとコンクリート錘を交互に組み上げて、試験体を完成した。

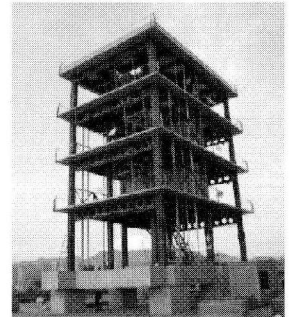
3.4 実験結果

3.4.1 振動特性

ホワイトノイズ波による弾性加振から求めた試験体基礎と頂部の伝達関数を図14(1)に示す。これをもとに求めた1次モードの固有周期は2.13 sec、



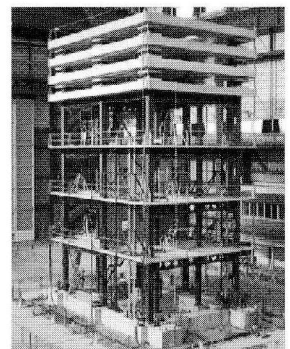
(1) 現場溶接接合部



(3) 骨組の組立



(2) 現場溶接接合部



(4) 試験体全景

図13 試験体製作

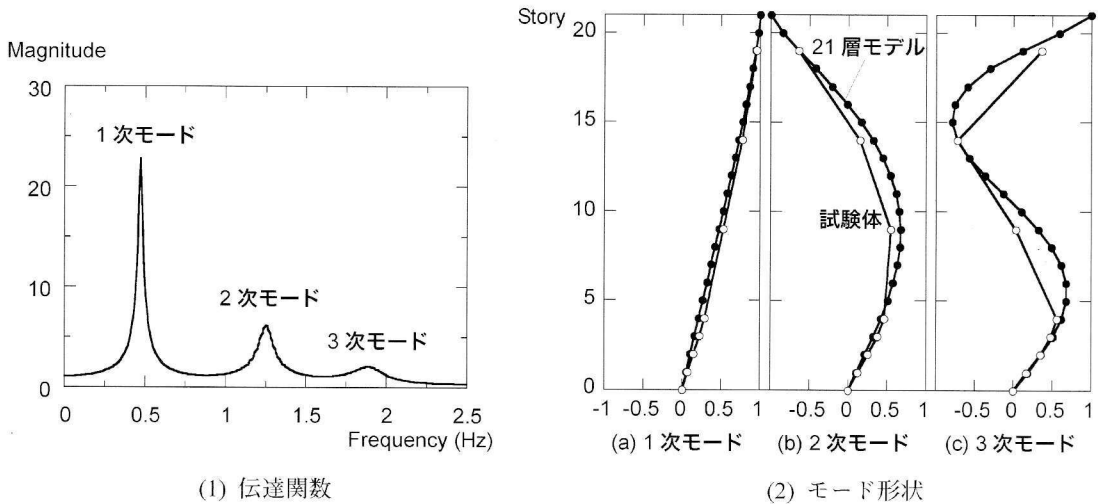


図 14 ホワイトノイズ加振の結果

表 1 実験に用いた地震動

地震動	想定地震	マグニチュード	場所
気象庁波	関東地震	7.9	東京都千代田区
東扇島波	東海地震	8	川崎市
三の丸波	東海・東南海地震	8.3	名古屋市
El Centro 波レベル 2	—	—	—

減衰定数は 2.6% となった。試験体のモード形状を図 14 (2) に示す。縮約層の値は、等価な 9 階、14 階、19 階にプロットしている。試験体のモード形状は、当初目標とした建物のモデルを実現した。

3.4.2 入力地震動

本研究で用いた地震動を表 1 に示す。設計用地震動としてレベル 2 の El Centro 波（最大速度 0.5 m/s）を採用した。首都圏に予測される長周期地震動として、関東地震を想定した気象庁波、東海地震を想定した東扇島波を採用した^{1),2)}。さらに、東海・東南海地震を想定した東海地方の長周期地震動、三の丸波を採用した³⁾。速度応答スペクトルを図 15 に示す。実験は水平 2 方向の同時加振で、試験体の桁行方向と梁間方向に対して示している。試験体の 1 次固有周期付近に対応するスペクトル振幅について、東扇島波は El Centro 波と同程度、気象庁波はその 0.5 倍程度、三の丸

波は 1.5 倍程度である。

3.4.3 地震応答性状

弾塑性応答時において骨組は、梁の根元が主に降伏した。図 16 に最大層間変形角分布を示す。モデル化した層は等価な値を等価な位置にプロットしている。設計用地震動の El Centro 波の最大値は 0.009 rad となり、超高層建物に対して従来の設計が想定した応答値 0.01 rad を再現している。東扇島波と三の丸波の場合は 1 次モードが卓越し、下層ほど最大層間変形角が大きくなっている。最大値を見ると、東扇島波の場合は 0.011 rad で設計想定程度、三の丸波の場合は 0.018 rad で設計想定 1.8 倍となった。

骨組内で最大層間変形角が生じた 2 層目の層間変形角の時刻歴波形を図 17 に示す。設計用地震動の El Centro 波に比べれば、長周期地震動は、揺れの継続時間が長く、気象庁波、東扇島波で 120 秒を超える。三の丸波は、200 秒を超える。梁

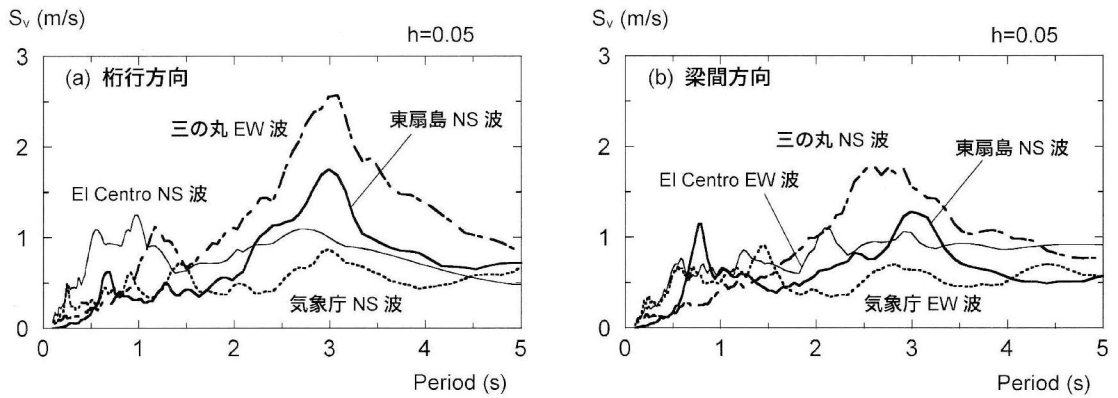


図 15 実験に用いた地震動の速度応答スペクトル

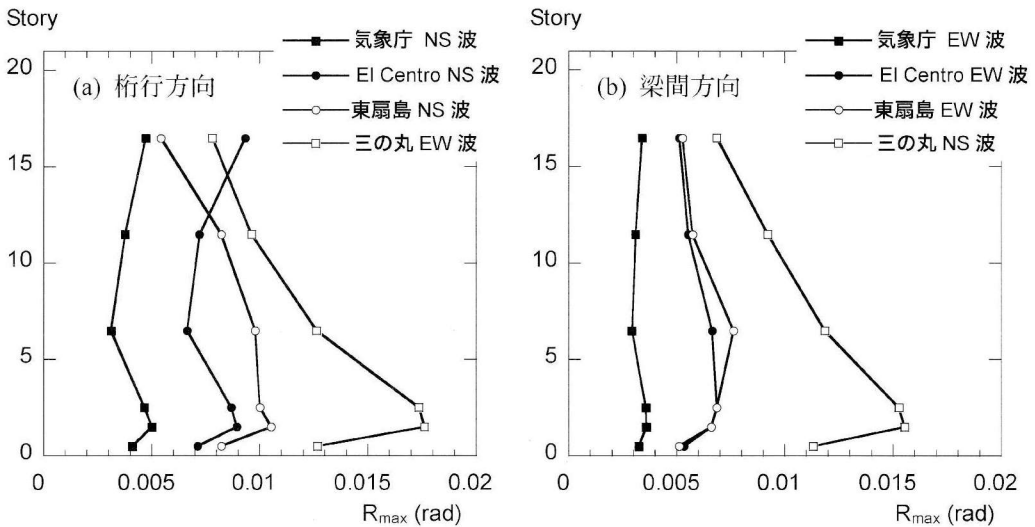


図 16 最大層間変形角分布

の下フランジの降伏時層間変形角は約 0.005 rad であり、これを超える振幅が多数回発生して、塑性変形が累積された。層レベルの累積塑性変形倍率を出して比較すると、東扇島波で、El Centro 波の約 4 倍、三の丸波で El Centro 波の約 15 倍に達する累積値となった。

実験では、三の丸波を入力したとき、梁間方向の現場溶接接合部において、梁の根元が破断した。図の中に、その破断時刻を示す。塑性変形の累積によって生じた亀裂が進展して破断したもので、対象とする 12ヶ所のうち 3ヶ所に生じた。桁行方向の工場溶接の場合は、桁行方向の一方向加振に切り替えて、さらに 2 回の加振を追加したと

ここで、梁の根元の破断が 12ヶ所のうち 2ヶ所に生じた。破断までの累積塑性変形倍率で比較すると、工場溶接接合部は現場溶接接合部の約 5 倍の変形能力を有していた。梁の根元が破断した場合の例では、図 18 に示すように、多数回の繰り返し塑性変形を受けた後、フランジの破断に伴う急激な耐力劣化が生じた。

3.6 鉄骨造骨組実験に関する今後の展開

超高層建物の柱梁接合部は現場溶接接合である場合が圧倒的に多い。多数の梁の根元に破断が生じれば、大規模な補修が不可欠である。その程度によっては、継続使用を放棄せざるをえない状況も出てくるかもしれない。変形レベルを抑えて、

Drift angle (rad)

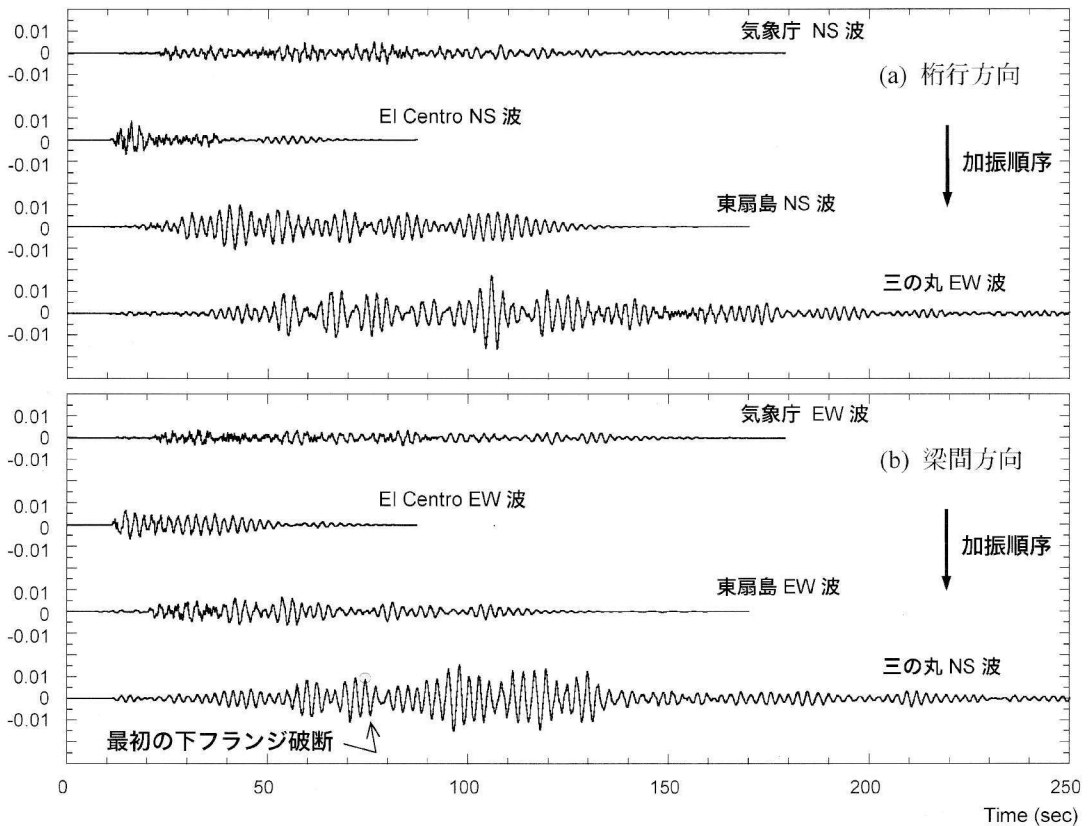


図 17 骨組の 2 層目における層間変形角の時刻歴波形 (水平 2 方向同時加振)

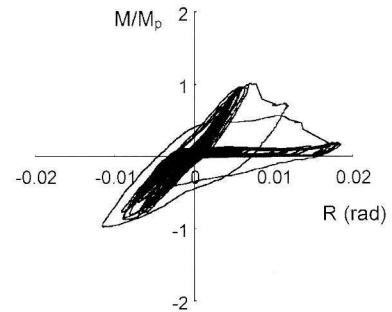
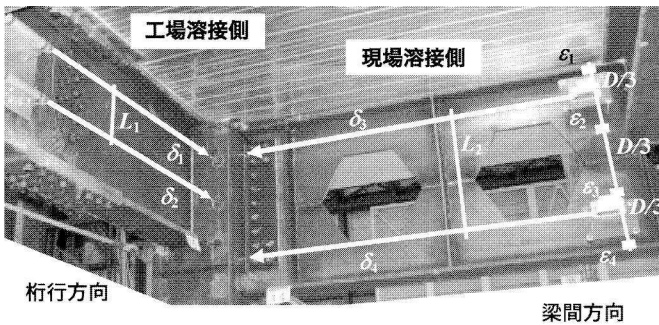


図 18 梁端部のモーメントと回転角の測定、および破断した現場溶接接合部の状況 (三の丸波)

多数回の繰り返し塑性変形が生じないようにするためには、ダンパーを組み込む耐震改修が必要である。梁の根元に対する補強が必要となる場合もある。プロジェクトにおける第 2 回目の実験は、図 19 に示すように、同様の試験体に、こうした内容を盛り込む予定である。

4. 結 語

(1) 室内の安全性

以前は、超高層建物のみならず、地震時の室内における被害状況を忠実に再現した公開映像は、

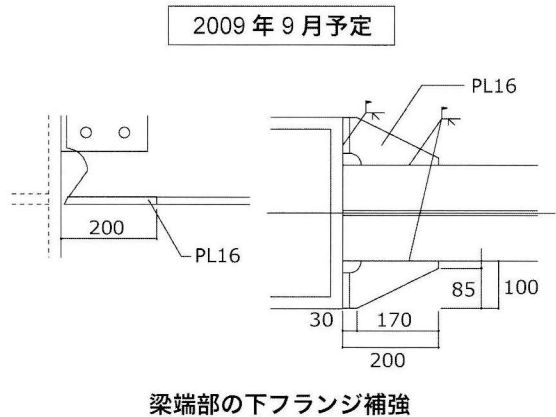
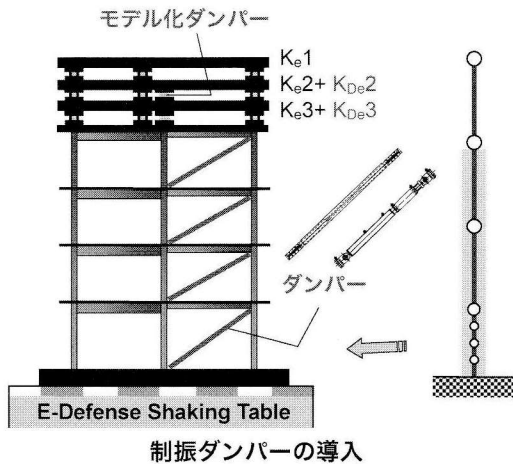


図 19 耐震改修に関する実験

ほとんどなかった。超高層建物が長周期地震動で共振するといわれても、その室内の状況をイメージすることは容易でない。実験においては、多数のビデオカメラを試験体内に組み込み、貴重な映像を収録することができた。内容はすでに公開されており、今後展開される防災教育において有力な資料となる。

(2) 鉄骨造骨組の耐震性

長周期地震動を受ける超高層建物の骨組は、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。針金を曲げるときを思い浮かべるとわかりやすい。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ない。しかし、同じ箇所を何度も繰り返し、押し戻したりしていきながら、とうとうそこで切れてしまう。同じことが、長周期地震動に共振する超高層建物の骨組に起きる可能性がある。

実験では、設計用の地震動において骨組に補修を必要とする損傷は生じなかった。しかし、現在、予測される長周期地震動は、それとは異なる揺れ方を超高層建物に与える。個々の建物で、設計内容をもう一度見直して、設計時に考えられていなかった地震動に対する再評価が必要である。

参考文献

- 1) 佐藤俊明・壇 一男 (2001) : 関東地震による首都圏の広帯域強震予測, 免震構造設計指針, 日本建築学会, pp. 263-274.
- 2) 土方勝一郎, 植竹富一, 金谷淳二, 真下 貢, 早川 崇, 渡辺基史, 佐藤俊明 (2007.7) : 想定東海地震の東京湾岸における長周期地震動予測, 日本建築学会構造系論文集, No. 617, pp. 55-62.
- 3) 愛知県設計用入力地震動研究協議会 (2005) : 愛知県設計用入力地震動の作成—想定地震による強震動予測—改訂版.

付記

室内の安全性に関する実験は兵庫県との共同研究によるものです。現場では兵庫県建築士会の方々が居室の作成を担当しました。兵庫県立東播工業高校の生徒たちも教育の一環として作業に参加しました。多くの組織を迎えて草の根活動を展開し、東京消防庁とも連携して対策の重要性を訴えた、兵庫県の防災担当の方々の熱意は深い敬意に値します。実験の映像には、その熱意が溶かし込まれています。

独立行政法人防災科学技術研究所
 兵庫耐震工学研究センター
 主任研究員 長江拓也
 主任研究員 梶原浩一
 企画室長 井上貴仁
 センター長 中島正愛

■地震予知連トピックス■野口伸一■

定例の地震予知連絡会は、第183回が2009/8/21、第184回が2009/11/20に開催された。第183回連絡会では8月11日に発生した駿河湾の地震に関する検討が最初に取り上げられた。重点課題として、第183回連絡会では「プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング」(コンビーナ:松澤副会長)、第184回連絡会では「地震波干渉法」(コンビーナ:山岡重点検討課題運営部会長)が検討された。また定例の議題「地殻活動モニタリング結果に関する検討」については、プレート境界地震のモニタリングに的を絞った議論が重要であることが島崎会長より提起された。これに基づいて、議事を1) プレート境界の固着状態とその変化、2) 地殻活動・その他、に区分して行い、資料作成もこれに沿うことが事務局より提案され、重点検討課題運営部会でまとめることになった。

1. プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング

第183回連絡会の重点検討課題「プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング」では、コンビーナの松澤副会長から、ここ10年進展が著しいアスペリティモデルに基づいて、プレートの沈み込み境界の固着とすべり状況に関する最新のモニタリング結果を検討し、固着やすべりの地域性とアスペリティの破壊の複雑性について理解を深めたいと趣旨説明があった。これに沿って、地理院、海上保安庁、東北大、防災科研、鹿児島大、気象庁による資料説明と、気象研の岡田氏による最近の研究成果の報告があった。

1.1 陸域と海域の地殻変動モニタリング

列島周辺の沈み込みプレート境界のすべり欠損分布が地理院(水藤氏)から報告された。陸域GPSによる1998年1月~2000年1月の2年間の

平均変動速度データに基づき、全国を3つの中領域と9つの小領域に分け、各々にプレート形状モデルとスリップ方向等を与えてインバージョンを行い、地域毎に特徴的なすべり欠損分布が得られた(図1:地理院)。また現在と10年前のすべり欠損の比較から、東北日本の青森沖で最近カップリングの回復傾向、北海道の十勝沖では最近でもカップリングは小さいが、釧路沖では2004年11月29日のM7.1の地震前と同程度の回復が推定される。モニタリングの問題点・改善策として、すべり欠損分布がプレート形状モデルや固定点の取り方に依存すること、速度ベクトルの上下成分や海底地殻変動観測点のデータが分解能と精度の向上に重要であること等が挙げられた。またプレート先端部の影響を考慮した動的な解析手法の必要性等が議論された。

海底の地殻変動については、宮城県沖・福島県沖の3つの海底基準点の観測で捉えられたプレート境界の固着とすべりの状況が、海上保安庁(佐藤氏)から報告された。宮城県沖の海底基準点(宮城沖1、宮城沖2)の定常的な速度ベクトルは、概ね西北西方向に6~7cm/年であるが、福島県沖の基準点(福島沖1)は西向きに3.1cm/年で、両地域の変動は有意に異なる。2005年8月16日の宮城県沖地震M7.2では、震源の東側約10kmに位置する宮城沖2が東に約10cm移動したが、2007年頃から再び西北西へ6.5cm/年の移動が観測され、宮城県沖地震によるひずみ解放からひずみ蓄積再開まで一連の過程が捉えられた。また宮城沖1と2は、各々2003年10月31日M6.8と2005年8月16日M7.2のすべり領域に位置し、ここでは小繰り返し地震が起きていない。これに対し福島沖1は小繰り返し地震の発生域に位置する。したがって宮城沖1と2の海底基準点の近辺ではプレートの固着状が強く、福島沖1の付近下では

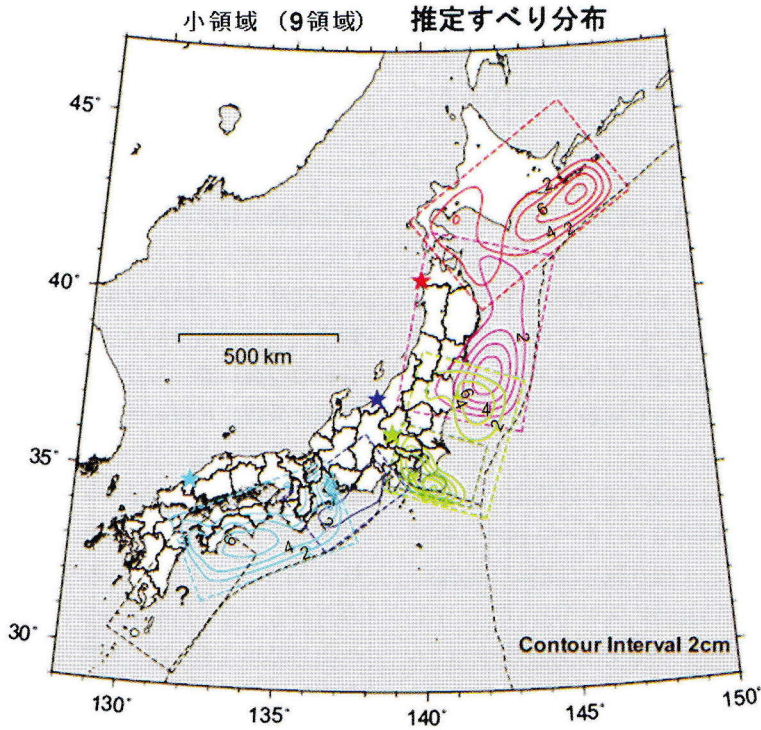


図 1 全国を9個の小領域に区分して推定したすべり欠損分布。使用データは1998年1月～2000年1月の2年間の平均変動速度。[183回：地理院資料]

相似地震クラスター毎のすべり履歴

- ・相似地震から推定した関東地方のフィリピン海プレート・太平洋プレート上のすべり速度はほぼ一定。
- ・房総スロースリップイベントに伴う加速、太平洋プレート銚子付近のM6クラス地震に先行する減速が見られる。

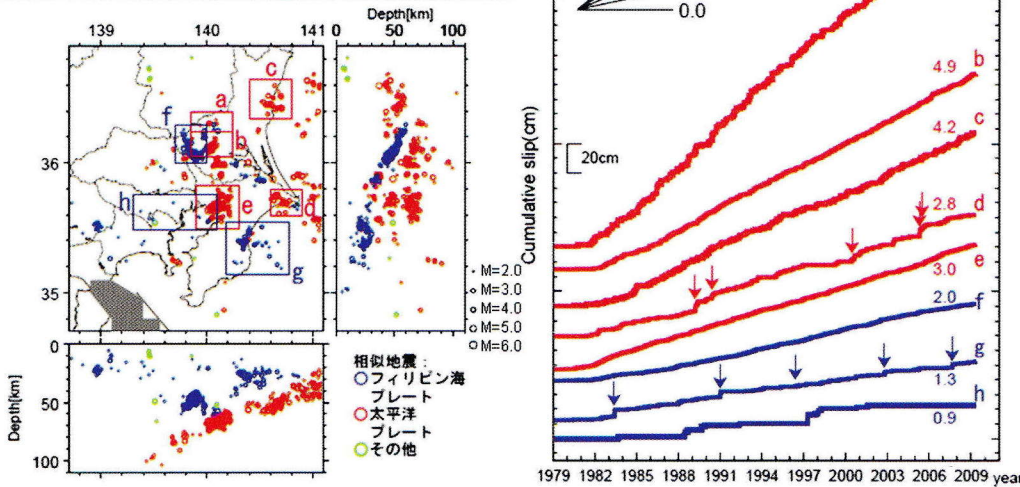


図 2 関東地方の相似地震のクラスター a～h のすべり履歴。数値は平均すべり速度 (cm/年)。クラスター d の矢印は銚子付近の M6 クラスの地震の震源時、クラスター g の矢印は房総スロースリップイベントに伴う群発活動の開始時期を示す。[183回：防災科研資料]

固着が弱いと推定され、両地域の有意な速度差と整合する。海域のプレート境界を詳細にモニターするためには、海底観測点の充実が重要であることが述べられた。

1.2 小繰り返し地震の分布のモニタリングとプレート境界のすべりの推定

アスペリティモデルによると小繰り返し地震のすべりの積算は周辺のプレート間準静的すべりを表わすと考えられ、海域プレート境界のすべりのモニタリングに有用である。千島弧～東北日本弧のプレート境界の小繰り返し地震の解析結果が東北大(内田氏)から報告された。陸寄りの深い領域では、すべり速度は比較的速く時間変化が少ないが、海溝寄りの浅い領域ではすべり速度は顕著に時間変化する。また小繰り返し地震は大地震のアスペリティの周囲の比較的固着が弱い所に分布する。最近の二つの地震 2008年5月茨城沖 M 7.0 と 2008年8月福島沖 M 6.9 では、地震前の 2008年1月頃から近辺の複数領域で小繰り返し地震が増大し、加速的すべりが推定された。今後の課題として、小繰り返し地震の抽出基準、小繰り返し地震のすべり=周囲のプレート間準静的すべりの妥当性、小繰り返し地震の時空間分布とアスペリティの対応関係の合理的推定法等が挙げられた。

関東地域では太平洋プレートとフィリピン海プレートの相似地震の解析から、小繰り返し地震のクラスター毎のすべり履歴が推定された(防災科研, 木村氏)。相似地震のクラスター域毎のすべり速度はほぼ一定であるが(図2, 防災科研)、銚子付近と房総半島沖のクラスターのすべり速度には揺らぎがみられる(図2のクラスターdとg)。各々房総沖のスロースリップイベント(SSE)に伴うすべりの加速、および銚子付近のM6クラスのプレート間地震に先行する相似地震の静穏化(=すべり減速)に因っている。発生間隔が揃った相似地震グループについては次回の発生時期が予測され、千葉県中部下のM5前後の相似地震群の次回の地震は2013年と推定された。関東下深部のプレート境界とスラブ内のモニタリングには、相似地震による解析手法を進展させることが重要とのコメントがあった。

東海地域の相似地震の活動は、静岡市・藤枝市付近下のプレート境界付近の地震とともに、浜名湖近辺下のフィリピン海プレート内と陸側プレートにも観測される(防災科研, 松原氏)。それらのすべり履歴に基づくと、浜名湖付近を境に東側の東海地震の震源域はひずみ蓄積速度が相対的に遅いことが推定された。

日向灘・南西諸島北部域では、相似地震群の活動様式の判別基準を設定して、小繰り返し地震の分布の特徴が調べられた(鹿児島大, 後藤氏)。5種類に分類した相似地震群のうち、発生間隔がほぼ一定の繰り返し型は海側のプレート境界かプレート内、短期間に集中するバースト型はほとんどが陸のプレート内で発生する。繰り返し型の地震とM7以上の地震のすべり域には棲み分けがみられる。種子島南東沖からトカラ列島の南方沖や都井岬沖は繰り返し地震が卓越し、プレート間固着が弱いと推定される。一方種子島東方沖や日向灘中北部域では相似地震はほとんどみられない。日向灘北部域に相似地震が無いことと1997年豊後水道のスロースリップイベントの発生との関係が推定された。

日本付近の中～大規模地震(M4～M6)の繰り返し地震群について、過去の波形記録に遡った調査から、プレート境界の7箇所の発生域が抽出された(気象庁, 土井委員)。各地の繰り返し地震群はさらに小グループに分けられ、グループ毎に平均のM、発生間隔、さらに次回の地震の発生予測期間、カップリング率等がまとめられた。宮古島近海の隣接する4つの繰り返し地震群の時系列では、M5クラスのグループの繰り返しとM3クラスのグループの準周期的発生が同期する傾向がみられる(図3: 気象庁)。討議では、繰り返し地震群の多様性をアスペリティモデルから如何に捉え解釈するかが議論された。

1.3 繰り返し地震の規則性と不規則性

岡田氏(気象研)は「繰り返し地震の周期性とゆらぎに基づく発生予測」で、最初に日本と世界の繰り返し地震の発生予測例と統計的有意性について論じた。次いで東北日本のプレート境界付近の相似地震データに基づく予測実験の結果が報告

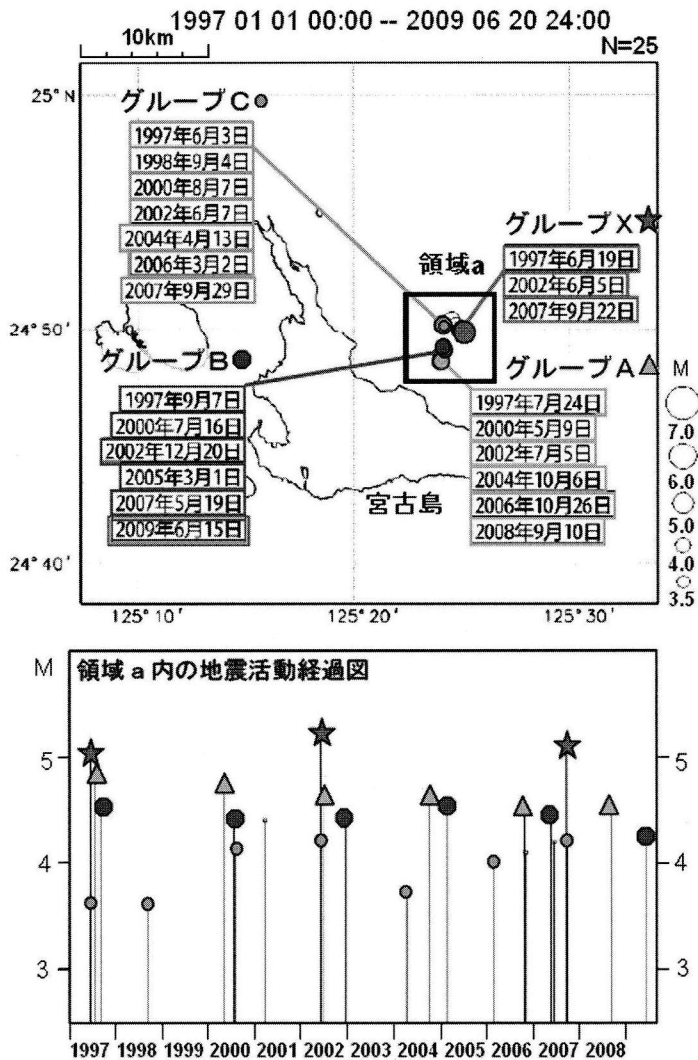


図3 宮古島近海の繰り返し地震. M5クラスの繰り返し地震群グループ×(★印)と、M4クラスの準周期的な3グループA(○印)、B(●印)、C(△印)の空間分布と活動経過図. [183回: 気象庁資料に加筆]

された. 相似地震の発生間隔データに更新過程を仮定して, ベイズ手法による対数正規分布モデルで発生確率を求めた. 各繰り返し地震系列に対する2008年1年間の発生予測は, 実際の発生状況と比較的対応する結果が得られた. しかし2009年前半は, いくつかの系列で予測より相当早めに発生したため予測の成績は低い結果となった. 予測が外れた系列には大地震の余効滑りの範囲内で発生したものが含まれる.

更新過程に基づく予測からの外れは, プレート

運動の非定常性やアスペリティの相互作用等, 重要な情報である可能性が指摘された. 繰り返し地震による予測実験を今後も発展させるため, 特に若手研究者に期待するとの意見があった. プレート境界に関しては, 重要課題として再度討議することが予定されている.

2. 地震波干渉法

第184回連絡会の重点課題の検討では, コンビナーの山岡委員より, 地下探査手法として最近

世界的に注目されている「地震波干渉法」の原理・概要を再認識し、地下構造調査への応用、さらに構造の時間変化のモニタリング手法としての可能性について検討するとの趣旨説明があった。背景には近年の地震観測点の増加、長時間連続のデジタル記録の普及による地下探査手法としての急速な広がりがある。原理と応用の理論的背景について、渡辺氏（名大）と横井氏（建築研）のレビュー、続いて地域毎の構造探査と時間変動モニタリングについて、横浜市立大、北大、東大震研、東北大、京大防災研、防災科研、気象研からの報告があった。

2.1 地震波干渉法の原理と概要、常時微動探査

地震の波動場を異なる2地点で同時に観測し、それらの波形の相互相関処理を行うことで、一方

を震源、他方を受信点とした場合に観測される波形の合成が可能である。すなわち、地震波形の相互（あるいは自己）相関解析から地下構造のインパルス応答（グリーン関数）が生成される。この手法を地震波干渉法（相互相関解析、仮想震源法）と呼ぶ。渡辺氏（名大）から、この原理の理論的背景、音響波動場から弾性波動場への拡張、さまざまな分野への応用とモデリング等のレビューがあった。手法の開発とともに地震波干渉法の仮定の検証が重要であることが述べられた。

横井氏（建築研）は、常時微動のアレイ探査法への応用の面から、地震波干渉法の理論的背景を述べた。半世紀前に開発された微動探査法であるSPAC法（spatial autocorrelation method、空間自己相関法）と、極小アレイでも探査可能な最近

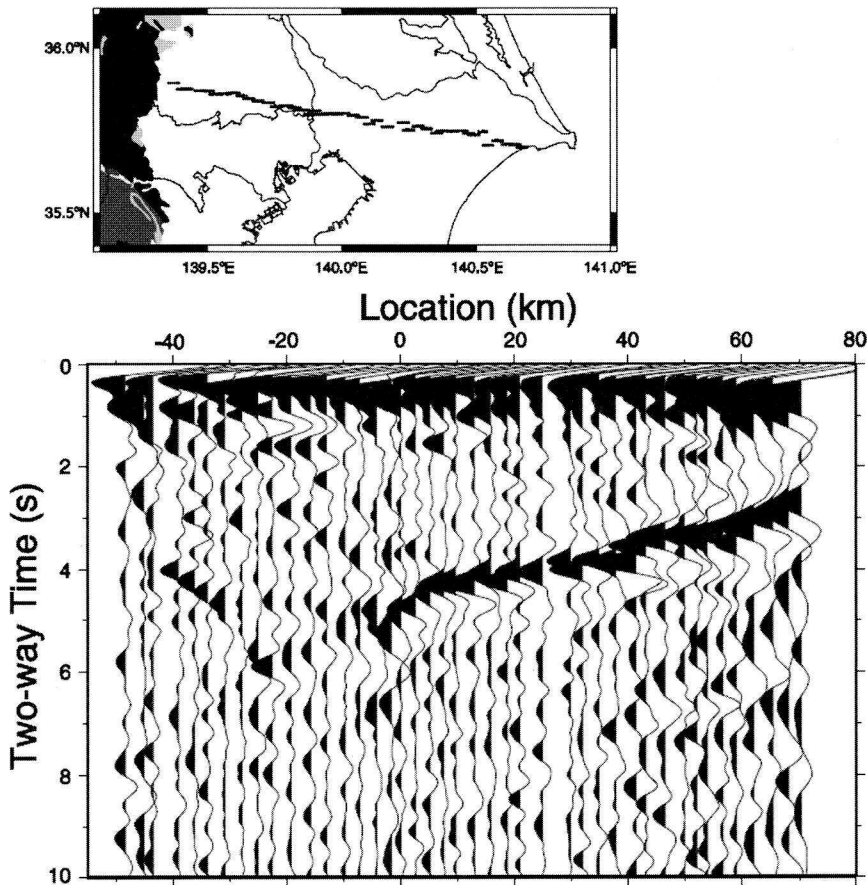


図4 地震波干渉法によるレスポンス関数の水平方向の変化例。MeSO-netの入間-銚子測線で得られた結果。[184回：横浜市立大資料]

の CCA 法 (centerless circular-array method) の整合性, また SPAC 法が地震波干渉法の長波長領域での利用例に位置づけられることを解説した. 今後の課題として長波長領域での地震波干渉法の妥当性の検証, SPAC 法と CCA 法を応用した Dual Mode Inversion の実用性の検討等が挙げられた.

2.2 構造調査への応用

人工ノイズが大きい都市部の地下構造推定に地震波干渉法が有用である. 横浜市立大 (吉本氏) は, 首都圏地震観測網 (MeSO-net) と首都圏強震動総合ネットワーク (SK-net) による近地震の波形データの処理解析から, 地下構造の応答関数を求め地震基盤と堆積層内の境界面の反射 S 波位相を検出した (図 4: 横浜市立大). 関東平野と周辺の地震基盤と堆積層構造の大局的特徴と地域変化が得られた. 今後新設観測点のデータを加えることで空間分解能の飛躍的な向上が期待される.

北大・UCSB・防災科研 (谷岡委員) は, 北海道の Hi-net 観測点の波形データについて観測点間の相互相関をとり, ノイズ干渉法により地殻構造を求めた. 1年間を通した相互相関は, 1月のデータの相互相関信号が最も大きく, またノイズ源は, 高周波は日本海側から, 低周波は太平洋側か

ら到来する. レイリー波の群速度の地域分布から, 道北から石狩にかけて最も低速度, 道東 (根室-釧路) も低速度, その他で高速度地域が広がる浅部地殻構造が得られた.

東大震研 (西田氏) は, 地震波干渉法による表面波やコーダ波の解析から, 局地構造からグローバル構造までの調査概要を示し, その中で Hi-net 傾斜計で観測された脈動を用いた日本列島の S 波速度構造について紹介した. 2 観測点間の表面波の相互相関関数による分散曲線から位相速度を測定し, 全観測点の一次元 S 波速度構造とパス平均の S 波速度構造, さらに波線近似による 3 次元 S 波速度構造を求めた. 今後の展望として, このように得られる構造の時間変化の検出のため, 長期間のデータと, ノイズ励起源とその時間変化を分離する理論的枠組みが必要であることが述べられた.

2.3 時間変動モニタリングへの応用

東北大 (中原氏) は, 微動記録の自己相関関数による地下構造のイメージングとモニタリング手法 (Passive Image Interferometry) の適用事例として, 2005 年福岡県西方沖地震 M 7.0 前後の時間変化について報告した. F-net の SBR 観測点の連続記録から 1 日毎の微動の自己相関関数を求め本震前後の変化を調べたところ, ラグタイム 4

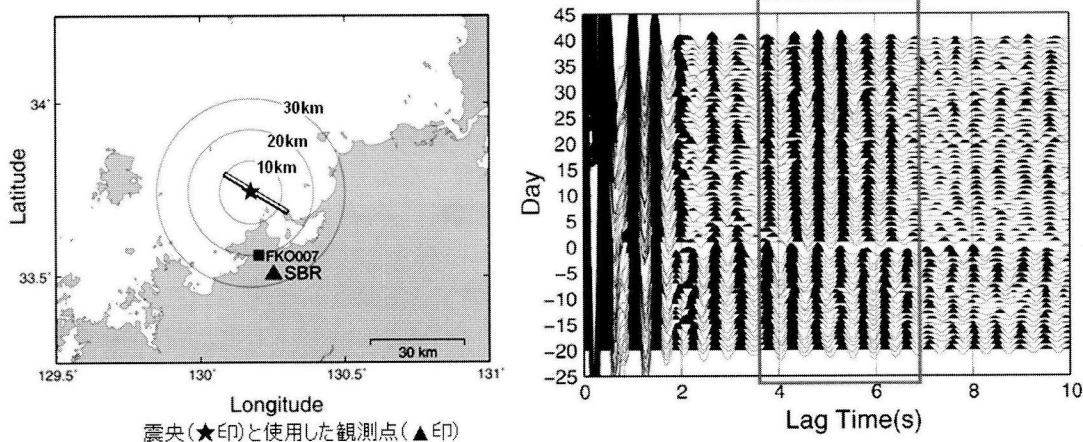


図 5 F-net の SBR 観測点 (福岡県前原市背振, ▲印) における 2005 年福岡県西方沖地震前後の微動の自己相関関数の時間変化 (上下動成分, 2-2.82Hz). 縦軸の 0 が本震発生日. 横軸はラグ (秒). 枠内のフェイズに本震後の遅れがみられる. [184 回: 東北大資料]

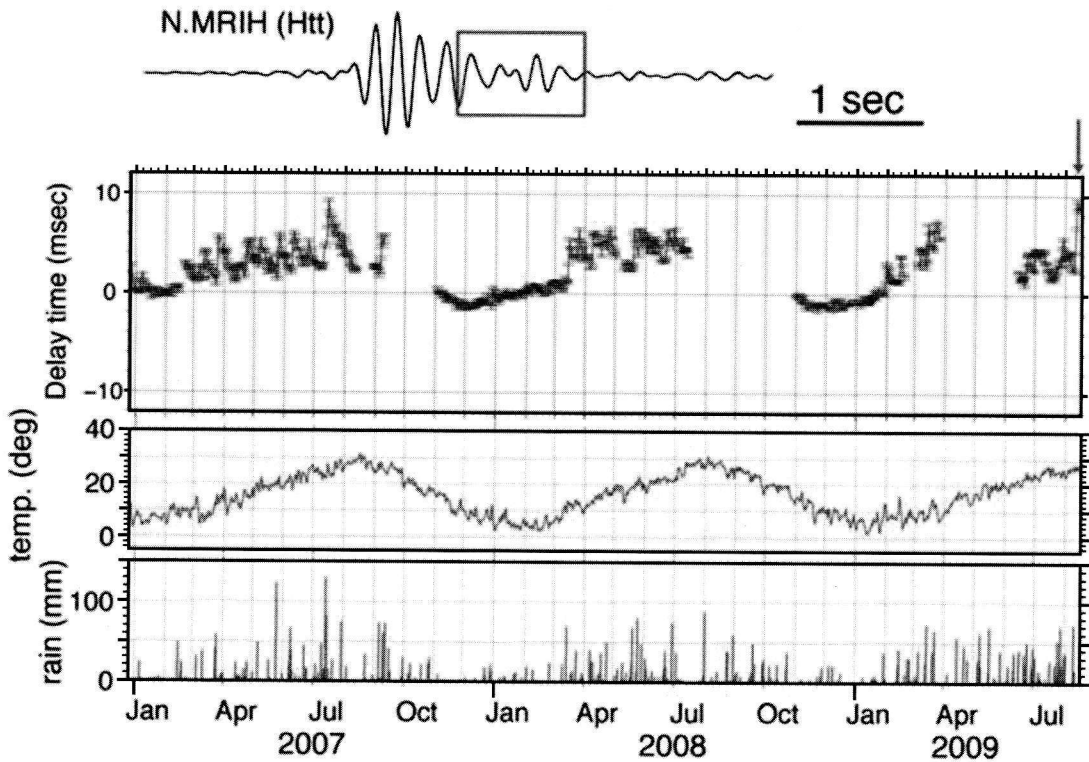


図 6 弾性波アクロス送信装置による Hi-net 森観測点 (N. MRIH) の伝達関数と走時時間の変化。上から、伝達関数の例 (枠内の時間窓を走時解析)、伝達関数の走時時間遅れ (ミリ秒、遅れを正)、天竜アメダス観測点の気温変化、および同観測点の降水量変化。右端上の矢印は 2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震の発生時間を示す。[184 回: 気象研資料]

～7 秒あたりのフェイズに本震直後約 0.1 秒の遅れが認められた (図 5: 東北大)。これらのフェイズは本震の約 1000 日前から出現し本震直後に遅れが表れ、その後約 2 年間を経ても遅れが続いている。地震波速度に変換すると本震後 1.5% 程度の速度低下に相当する。その原因は断層運動による静的応力変化では説明できず、強震動による極浅部の地盤の損傷によると考えられる。

京大防災研 (大見氏) は、2007 年能登半島地震 (M 6.9) の震源域周辺を例に、単独微小地震観測点の雑微動の自己相関関数 (ACF) の時間変化の調査結果を示した。ACF の成因として、1) 地下の反射面からの疑似反射波、2) 散乱体からの疑似散乱波を想定し、フェイズのラグタイムと減衰率の時間変化を調べた。地表観測点 (DP. NNJ) では本震前の 2 週間程度のラグタイムの変動が本震とともに戻ったこと、また長期的には季節変動と

数年間に渡るトレンドが観測された。地中観測点 (N. TGIH) では、本震前に特段の変化はないが、本震後ラグタイムのオフセットが観測され、2 年半経過しても回復していない。またラグタイムと減衰率に共通の変化は認められず、各々別の量を観測している可能性がある。今後、従来からの反射法探査やコーダ Q の解析結果との比較・検討が重要である。

防災科研 (小原委員) は、2007 年大分県中部の群発地震に伴って地震波速度が変化し、その後回復したことを報告した。震源付近の観測点 (気象庁の OITA2) のノイズの自己相関関数を求めその時間変化を調査した。群発活動は 2007 年 6 月 (最大地震 M 4.9) と 10 月 (同 M 3.0) の 2 度にわたり活発化し、位相変化がいずれの活動期にも検出された。1 度目の活動に伴う速度変化は約 4 カ月、2 度目の活動に伴う速度変化は約 3 カ月かけ

て回復した。等方的な速度変化を仮定すると約1%の速度低下に相当し、観測点近傍よりもやや離れた領域における速度低下とするモデルの方が観測事実を良く説明する。

精密制御定常信号システムのアクロス (ACROSS, Accurately Controlled Routinely Operated Signal System) を用いた能動観測による地殻構造の時間変化の解析が気象研 (吉田氏) から報告された。静岡県森町の弾性波アクロス送信装置の信号を長時間スタックし Hi-net 観測点の伝達関数を求めた。波群の伝播経路の追跡のため東海臨時稠密観測データを用いて伝達関数を求め、フィリピン海プレート上面での反射波 (SxS) を同定した。Hi-net 森町観測点 (N. MRIH) の伝達関数の時間変化から、後続波の走時の日変化がミリ秒オーダーで捉えられた (図6: 気象研)。伝達関数の時間変化は年周変化と数日間の変化に大別され、

各々気温と降水量の変化と良い相関がある。したがってこれら気象要素を使って地表付近の影響を補正し、深部の時間変化を抽出することが今後の課題であることが述べられた。

野口伸一

[のぐち しんいち]

現職 (独)防災科学技術研究所総括主任研究員
理学博士

略歴 北海道大学大学院理学研究科博士後期課程修了, 科学技術庁国立防災科学技術センター研究員, (独)防災科学技術研究所海溝型地震研究室長を経て現職。

研究分野 サイモテクトニクス, 地震活動のフラクタル性など



書 評

● 内陸に起った世紀の大地震

林 愛明, 任 治坤

四川大地震

中国四川大地震の地震断層と
被害写真集

評者 伯野元彦

2008年5月12日に中国四川省で起こったマグニチュード7.9の大地震は、9万人近い人命を奪い去った。著者らが調査のため、中国に到着したのは地震発生から2日後の5月14日であった。地震の現地調査は地震発生後、なるべく早いほうがよい。復旧などのために原状が変えられてしまうからである。著者らがこのようにすばやい行動を取れたのは、中国人であることが大いに役立っているであろう。そして、多くの現地の人々の助力もあって、また何回もの現地調査の繰り返しによって、3本の震源断層総延長285kmに亘って、地表に現われた断層の姿、被害の様相を169枚の貴重なカラー写真、カラー図版で示している。そして、地震発生から丁度1年後の5月12日に本書が出版された。

第1章は四川大地震の地学的背景として、震源地周辺の地質・地形を3枚のカラー図と1枚のカラー写真を用いて説明している。これで、インド・プレートが北進し、ユーラシア・プレートと衝突し、チベット高原が東へ押し出され、その結果四川盆地の境にある龍門山逆断層地域の4本の並行した活断層の内、映秀-北川断層、灌県-安県断層、青川断層の3本が動いたことを説明している。

第2章は地震概要と震源メカニズムと題して、マグニチュードは7.9で、震源断層の破壊が、断層南端の映秀町南部から始まって、北東方向へ約2分間かけて青川県周辺まで伝播した。その範囲は約300kmに達する。そして、メカニズムは逆断層であって、断層沿いの平均すべり量は2~4m、最大6~7mであることが、調査の結果明らかになったとしている。

第3章は地表地震断層の概要として、地表に現われた断層の地図と、逆断層なので、上下変位が大きい、多数の地点の写真を示している。

第4章は地表地震断層の変形特徴として、断層のすべりを示す断層粘土による条線を示している。河床部を横切った場合には、小さな滝を形成している写真もある。道路を横切った場合には、路面に段差が現われていた。また、地盤表面の圧縮によって、路面が三角形に盛り上がるモール・トラック構造なども複数箇所示されている。そして、このような地盤による変形によって、鉄道線路も大屈曲を起し、貨物車が転倒していた。そして、これらは58枚の詳細なカラー写真で見ることができる。

第5章は地表地震断層と活断層との関係と題して、過去に知られている活断層崖と今回の地震で現われた断層を比較し、ほぼ近接していることを多くの写真で示している。

第6章は、地表地震断層と建物破壊の関係と題して、地表断層が建物の下または近傍を通った場合、真下の場合にはその断層変位によって、被害を生じるのだが、真下ではなく極端に言えば1mでも離れていれば建物にはほとんど被害を生じないことを、今回の地震で最も被害のひどかった、映秀と北川の二つの町、地表断層が出現した白鹿町についても、検証するような写真を示している。

第7章は地震による地すべりと液状化と題して、地震被災地は、急峻な山間地域のため、多くの地すべりが発生し、交通の遮断、堰止湖、建物の破壊を引き起こした。最大規模の地すべりによって形成された自然ダムの高さは690mに及んだそうである。また、被害地の河床部や氾濫原では多数の液状化が発生した。16枚の詳細なカラー写真で見ることができる。

第8章は、地震被害と題して、今回の地震により、四川、甘粛、陝西、重慶、などの417市・県が被災し、その面積は44万km²と日本全国(37.8万km²)以上の面積が被災した。震央近くの映秀町と、地震断層中央部の北川町の被害を詳細に示している。そして、それらの町では、木造や耐震構造に不備がある鉄筋コンクリート構造の建造物が倒壊または大きい被害を受けたこと、一方、断層真上の建造物は、耐震構造の有無とは関係なくほとんどが破壊された。それら、映秀、北川二つの町の立地は、狭い谷沿いの軟弱な沖積地盤上にあり、この地盤による地震増幅が、建造物の耐震性の低さとともに明らかに認められる。更に、北川町では、地震後に土石流による災害も起こっており、それらも33枚のカラー写

真に見ることができる。

第9章は救援活動と題して、地震後の、政府派遣の救援隊、多くのボランティアの、救出作業について頁を割いている。また、四川省は2010年9月までに震災復興再建の達成を目指すとのことである。

何よりも、震災直後に被災地に入ることが出来た、著者らの集めた、多くの貴重な断層ならびに被害に関するカラー写真、資料に圧倒される。

本書は、四川大地震の断層の様相、規模の大きさ、その引き起こした被害のすさまじさ、原因、救援の困難さを、多くのカラー写真で知ることの出来る、貴重な一冊である。

●新刊紹介

矢田俊文 著

中世の巨大地震

吉川弘文館、2009年1月、B6判、203頁、1,785円(税込み)

松田磐余 著

江戸・東京地形学散歩—災害史と防災の観点から (増補改訂版)

之潮、2009年3月、B6判、318頁、2,940円(税込み)

羽鳥謙三

地盤災害—地質学者の覚え書き

之潮、2009年6月、B6判、238頁、2,730円(税込み)

山本 寛 著

地震学のウソ—地震学会への提言

工学社、2009年5月、B6判、215頁、1,680円(税込み)

大大特成果普及事業チーム33・河田恵昭 著

巨大地震災害へのカウントダウン

東京法令出版、2009年6月、A5判、262頁、2,520円(税込み)

野辺公一 著

地震に強い家づくり

雲母書房、2009年6月、B6判、206頁、1,890円(税込み)

國生剛治 著

液化化現象—巨大地震を読み解くキーワード (増補改訂版)

鹿島出版会、2009年7月、B6判、308頁、2,520円(税込み)

斎藤正徳 著

地震波動論

東京大学出版会、2009年7月、A5判、539頁、8,190円(税込み)

角田史雄 著

地震の癖

講談社、2009年8月、新書判、190頁、919円(税込み)

武村雅之 著

未曾有の大災害と地震学—関東大震災

古今書院、2009年9月、A5判、209頁、2,940円(税込み)

萩原幸男 監修

日本の自然災害 1995~2009年

日本専門図書出版、2009年7月、A4判、463頁、29,400円(税込み)

木村 学/木下正高 著

付加体と巨大地震発生帯 南海地震の解明に向けて

東京大学出版会、2009年8月、A5判、281頁、4,830円(税込み)

日本耐震防災事業団 監修

低コストの最新技術で地震に強い家に変える本

洋泉社、2009年9月、A5判、157頁、1,470円(税込み)

ADEP情報

財団法人 地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動について

役員就任

阿部 勝征	理事・地震調査研究センター所長	21. 6. 28
石井 紘	理事・東濃地震科学研究所長	21. 6. 28

役員退任

青木 治三	理事・東濃地震科学研究所長	21. 6. 27
石川 嘉延	理事	21. 6. 27

採用

阿部 正男	地震調査研究センター事業推進管理部参事	21. 7. 1
尾上 謙介	東濃地震科学研究所主任研究員 (非常勤)	21. 9. 1

退職

佐藤 勇	地震調査研究センター事業推進管理部長	21. 6. 30
------	--------------------	-----------

配置換等

鈴木 貞臣	東濃地震科学研究所 副首席主任研究員・副所長 (旧)東濃地震科学研究所副首席主任研究員	21. 6. 28
吉水 正義	地震調査研究センター事業推進管理部長 (旧)地震調査研究センター 事業推進管理部参事	21. 7. 1

編集後記

本財団の創立者萩原尊禮先生が91歳で亡くなられてから本年で10年を迎える。この11月14日のご命日には「萩原尊禮先生没後十年の集い」が開催された。思えば本誌は萩原先生のご提案で発行された経緯もあり、本誌30号は「萩原尊禮先生を偲ぶ」特集号に当てられた。

萩原先生からご指名を受けた力武常次先生は、初代編集長として15年間本誌の発展に努められた。力武先生のご引退後以来9年、私が編集を引き継いで来た。しかし力武先生のように、力強い個性によりジャーナルを牽引する自信は私にはない。そこで編集陣に有力な岡田義光氏と伯野元彦氏の参加を得て、やっと今日まで持ちこたえてきたのである。

本誌も48号を数えるに至った。あと1年で50号の節目を迎える。この際、本誌の出版を現在の姿のまま継続するのではなく、何か新しい姿を期待する声もあった。しかし一応軌道に乗っている現状を大幅に改変する必要も見出されない。51号からは無料化する方向で検討が進められてきた。

無料化するとなれば、当然印刷費や発送料も軽減しなければならな

い。しかも公益性を高める目的で、現在の印刷部数1,000部を更に引き上げることも考えると、経費的な問題が重要な課題となる。印刷や製本、紙質も含めて細部の検討が必要となろう。

現在鋭意実行されている作業は、ジャーナル配布先の再検討である。発行以来25年も経つと、当初の配布先が高齢化し、必ずしも現在の必要性と一致していない。事実若手の研究者、教育者、防災担当者等が本誌の存在すら知らない傾向にある。これでは本誌の公益性は疑問となる。新進気鋭の若手に広く読まれ、寄稿をお願いすることで、研究や防災実務を側面から支援して行くことが本誌刊行の重要な使命である。

地震学会には、各機関に雑誌「地震」の集配を担当するボランティア「地方連絡員」の制度がある。本誌もこれに倣えば、送料の大幅な軽減につながる。現在配布先の再検討と同時に、この制度の導入も計画中である。現在のところ、新たな配布先を集計すると、概略1,500部を超える印刷部数が予想される。地震学会のような制度の実現が当然必要になるであろう。

地震ジャーナルの発刊を決意され

た萩原尊禮先生、編集刊行を実現された力武常次先生、故人となられた両先人のご意志は今日も本誌に脈々と引き継がれている。先人への敬意と感謝をもって、今後のジャーナル編集出版事業を継続しなければならぬ。50号の節目を迎えるにあたり、重責を身に感じないではいられない今日この頃である。(Y.H.)

地震ジャーナル 第48号

平成21年12月20日 発行

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

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

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

●製作/ (財)学会誌刊行センター