

# 地震 ジャーナル

41

2006年6月

- エッセイ 古きをたずねて今を想う ●津村建四朗
- 地球潮汐による地震のトリガー作用 ●田中佐千子——1
- 地震と荷重の微妙な関係 ●日置幸介——5
- 「新潟県中越地震」と人々の対応 ●中森広道——16
- 新潟県中越地震の早期検知と脱線 ●中村 豊——25
- 宏観異常判定システムの構築 ●萩原幸男  
/糸田千鶴——43
- 地震予知連絡会情報 ●岡田義光——53
- 書評——63
- 新刊紹介——65
- ADEP情報——68

地震の基礎知識 地震を起こす原動力／海溝型地震・  
内陸型地震・スラブ内地震

困み記事 地震動早期検知システム／地震早期検知システムは、  
長周期地震動による共振被害防止に有効である／自律防災／  
耐震計算偽装／志賀原発差し止め判決への疑問／

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

# 古きをたずねて今を想う

## 津村建四朗

内務省地理局御用掛を兼務して今から約120年前の明治17年（1884年）末に全国的な地震調査事業を創始した東京大学助教授関谷清景は、翌年11月7日の理医学講談会で、「地震を前知するの法如何」と題して地震予知の現状と見通しについて講演した。この講演は、「(天気は前日から予報できるが、地震はまだ予知できない。)しかし、昔から今まで学者がこれについて辛苦して研究したことの概略を申しあげ、今後どういう研究をしたならば前知(予知)できるであろうかということをお話いたします」という前置きで本題に入り、動物異常では予知はおぼつかない、気象現象は地震の引きがね作用としての影響が皆無とはいえないが、それで予知できるわけではない、地磁気はもっと観測精度を上げてみないと有効かどうか分からない、と評価し、有望と思われるのは、微動(現代風にいえば微小地震も含む)と地の変化(地殻変動)の観測であろうと述べている。そして、「未だ(天気予報における)晴雨計に匹敵するような地震計の発明はありませんが学問の力は怖きものなれば、学問の進歩するに従って地震を前知する法則並びに機器を発明し、又之を全国各地に備え置いて(観測結果を日々電報をもって東京の本局に報知し、これに基づいて)世人に地震を前以て知らずる様になるのは遠いことではないと存じます」と結んでいる。

関谷が重視した微小地震や地殻変動の観測は、関谷の講演から80年後の1965年に始まった地震予知計画でやっと国のプロジェクトとして推進されるようになり、徐々に技術を高めてきた。さらに阪神・淡路大震災以降一新された国の地震調査研究計画でも、基盤的観測として全国的に高密度の観測網が整備され、全国の地震活動と地殻変動の詳細な実況が把握できるようになった。しかし、それで予知できるのかと問われれば、先覚者の期待に反して依然として関谷とほぼ同じ答えをせざるを得ないのは残念である。しかし、深部低周波微動やスロースリップを検出できる観測基盤がやっと整備されたばかりであって、本格的な地震予知研究はこれからだともいえる。

ところで、関谷によって始められた全国的な地震調査事業は、当初測候所、郡役所等からの有感地震報告による震源推定であったが、次第に各地の測候所に地震計が設置され、中央气象台、気象庁による地震観測事業に発展し、膨大な観測データが蓄積されてきた。しかし、古い原記録、原簿類の多くが、震災や戦災だけでなく、その重要性についての認識を欠いたために失われてしまったのは痛恨の極みである。また、地震予知計画初期の大学関係の観測データなども散逸しつつある。現在の基盤的観測に比べればはるかに感度や精度は劣るが、長期間にわたる観測データも地震の調査研究の不可欠な基盤であることが最近再認識されてきた。残存している先人の貴重な遺産の保存・整理・活用にさらに積極的、計画的に取り組み、長期的視野をもって研究を発展させるよう望みたい。

# 地球潮汐による地震のトリガー作用

田中佐千子

## 1. はじめに

地球潮汐とは、月や太陽の引力によって地球が準周期的に弾性変形する現象である。地球潮汐によって地球内部には  $10^3 \sim 10^4$  Pa のオーダーの応力変化がもたらされる。これは地震時の応力降下量の  $10^{-3}$  程度であり、地球潮汐が地震を引き起こす直接の原因になるとは考えにくい。しかし、その変化率は大きく、テクトニックな応力蓄積速度を2桁上回ることもある。テクトニックな応力が臨界状態まで高まっている場合には、地球潮汐に起因する微小な応力変化によって地震の発生に至る、つまり、地球潮汐が地震のトリガー（引き金）要因となることが期待される。最近の研究の進展により、地球潮汐が地震発生に及ぼす影響が次第に明らかになってきた。

## 2. 地球潮汐と地震発生の相関

地球潮汐と地震発生の関係については古くから興味もたれ、その統計的調査は100年以上前の Schuster (1897) の研究に始まる。研究の初期の段階では、月や太陽の運動に関係した地震発生の周期性に関心が向けられていた。その後、地球潮汐に起因する歪や応力の変化を理論的に計算し、これと地震発生時刻の比較がなされるようになった。Heaton (1975, 1982) 以降の最近の研究では、地震の発震機構解を用い、理論地球潮汐として断層面上に生じる応力の変化を計算するのが一般的となっている。

この方面の研究は数多くなされ、地球潮汐と地震発生の間に有意な相関が見出された事例も少なくない。その大部分は余震系列や群発地震群など

の時間的・空間的に局限された地震活動に関するものである。一方で、全世界の長期間の地震データからは、むしろ否定的な結果が得られた場合が多い。例えば、Heaton (1982) は全世界の328個の地震データを解析し、地球潮汐と地震発生の相関はないと結論づけている。しかし、この結論には問題があることが後に示されている。理論地球潮汐を計算する際に、月や太陽の引力によって固体地球が直接変形する効果のみが考慮され、海洋潮汐による荷重変化の効果が含まれていなかったのである。この問題は Tsuruoka et al. (1995) によって解決され、Heaton (1982) と同じデータセットから全く逆の結論が得られることが明らかとなった(鶴岡・大竹, 2002)。

最近では、衛星観測に基づく精度の高い海洋潮汐モデルが構築され、より精緻な解析が可能となっている。Tanaka et al. (2002a) はこのような新しい海洋潮汐モデルを用い、全世界の9,350個の地震データから有意性の高い相関を検出することに成功した。その後も Tanaka et al. (2002a) の方法を用いた研究が進められ、地球潮汐の地震発生への影響が実際に存在するものであることが明らかになっている。特に、相関の強弱の時間的・空間的变化に関する調査から、大地震の発生に関連した興味深い知見が得られつつある。

## 3. 2004年スマトラ沖地震に先行する 顕著な地震トリガー作用の出現

2004年12月26日、スマトラ島の西方沖を震源とするモーメントマグニチュード (Mw) 9.0 の巨大地震が発生した。発震機構は北東-南西方向を圧縮軸とする低角逆断層型で、インドプレートがビルママイクロプレートの下に沈み込むことによ

り発生したプレート境界型地震であると考えられている。広大な範囲で余震活動が確認され、その長さは1,300 kmにも及ぶ(図1)。

この地震の震源域およびその周辺を対象に、地球潮汐と地震発生の関係を調査した。解析領域は余震域を含む長さ1,600 km、幅800 kmの矩形領域とし、この領域内で1977年から2004年までの28年間に発生したMw 5.0以上の浅発地震(深さ70 km以浅)275個を用いた(図1)。これらの地震はハーバード大学のグループによって震源断層のモーメントテンソル解(CMT解)が与えられているものである。

これらの地震について、理論地球潮汐と地震発生時刻を比較し、地震が地球潮汐の特定の位相付近に集中しているかどうかを統計的に検定した。地球潮汐の位相は図2のように定義される。この検定にはSchuster(1897)の方法が広く用いられ、地球潮汐と地震発生の相関の大小は $p$ というパラメータで表される。これは「地震が地球潮汐の位相とは無関係にランダムに発生する」という帰無仮説を棄却する危険率である。 $p$ は0と1の間の値をとり、小さいほど両者の相関が著しいことを意味する。

図3aは時間ウィンドウを移動させながら $p$ 値

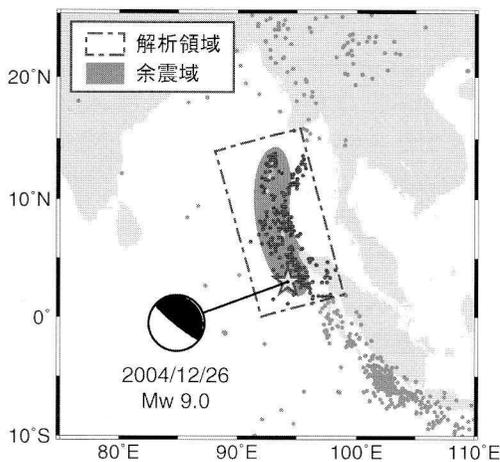


図1 2004年12月24日スマトラ沖地震(Mw 9.0, 星印)および解析に用いた地震(黒丸)の震央分布。発震機構解はハーバード大学のCMT解。

の変化を追跡したものである。ここでは、断層面上の剪断応力成分に対する結果を示している。 $p$ 値は1977年以降約20年間にわたり20%以上の高い値を示していたが、1995年頃から徐々に低下していることがわかる。この $p$ 値の低下はスマトラ沖地震の発生まで続く。平常時には地球潮汐が地震発生に及ぼす影響はみられないが、スマトラ沖地震の発生前約10年程度の期間には顕著な影響が現れていたことがわかる。

この異常期間に発生した地震について、発生時刻の地球潮汐位相を示したのが図3bである。地震は位相 $0^\circ$ 、すなわち、地球潮汐によって生じた剪断応力が地震の発生を促進する方向にもっとも強く作用する時刻付近に集中する傾向を示す。これは、検出された相関が統計的な偶然によって得られたものではなく、地球潮汐が実際に地震発生に寄与していることを強く示唆している。

この相関には、時間的変化だけでなく、空間分布にも興味深い特徴がみられる。図4は、スマトラ沖地震発生前の期間について、空間ウィンドウを北北西から南南東へ移動させながら $p$ 値の空間分布を調べたものである。地球潮汐の顕著な影響は、スマトラ沖地震の震源域全体ではなく、震源域南側の破壊の開始点近傍に局限されていたことがわかる。

以上の時間的・空間的特徴は、スマトラ沖地震の発生に先立って地球潮汐の地震トリガー作用が

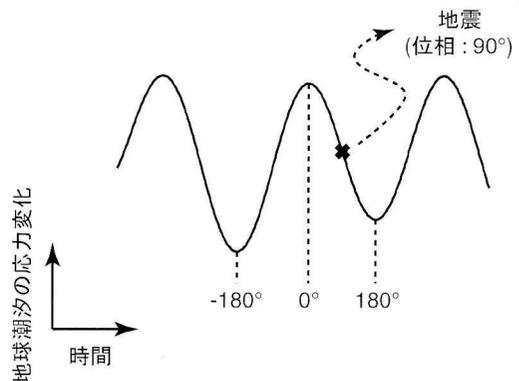


図2 地球潮汐の位相の定義。地球潮汐の応力変化が極大となる時刻を $0^\circ$ 、極小となる時刻を $\pm 180^\circ$ とする。

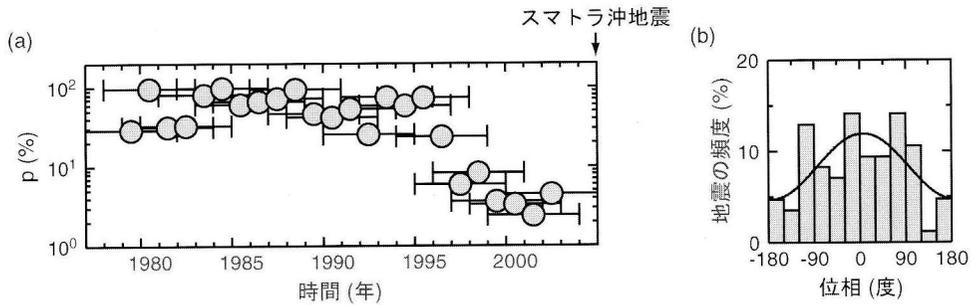


図 3 (a)  $p$  値の時間変化. 幅 5 年の時間ウィンドウ (横棒) を 1 年ずつ移動. (b) スマトラ沖地震の前 10 年間に発生した地震の地球潮汐位相の頻度分布.

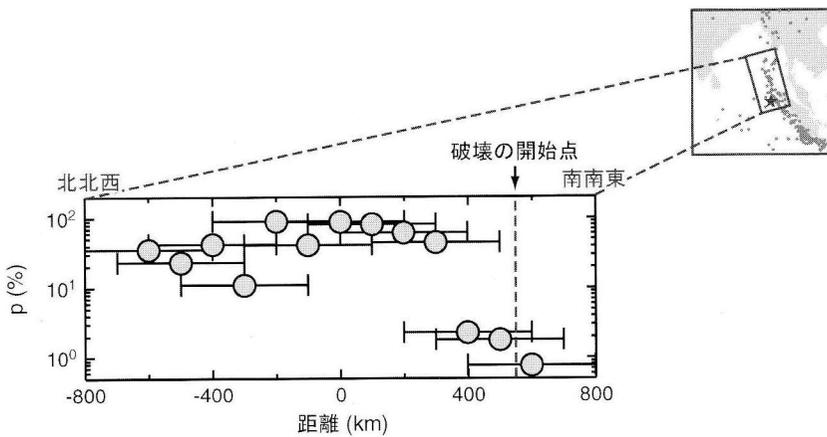


図 4 スマトラ沖地震の前 10 年間における  $p$  値の空間分布. 幅 400 km の空間ウィンドウ (横棒) を北北西から南南東へ 100 km ずつ移動.

顕著に出現していたことを示している. 大地震発生前の  $p$  値の顕著な低下は, スマトラ沖地震だけでなく, アリューシャンやトンガのプレート境界地震についても報告されている (大竹・鶴岡, 1995; Tanaka et al., 2002b). いずれの場合も, 地震は地球潮汐がその発生を加速する方向に作用する時刻に集中している. これは単なる偶然ではない. 大地震発生前の臨界応力状態にあるときに限り, 地球潮汐による微小な応力の変化が地震発生の「最後の一押し」としてはたらくことができることを示している.

#### 4. おわりに

地震データの注意深い解析により, 地球潮汐が

地震発生に無視できない影響を及ぼしていることが明らかになった. 特に興味深いのは, 両者の相関が時間的・空間的に変化し, 大地震の発生と密接に関わっていることである. この成果は, 大地震の発生予測に新たな貢献をもたらす可能性を秘めている. 地球潮汐による地震トリガー作用を系統的に追跡することにより, 大地震発生前の異常な領域を検出することができるかもしれない.

地震活動にみられる地球潮汐の影響を大地震の発生予測に活用する試みは中国の研究グループによっても進められている (Yin et al., 1995, 2000). 彼らは影響の強弱を表す指標として LURR (Load/Unload Response Ratio) というパラメータを導入し, このパラメータの追跡・監視によっていくつかの地震の発生予測に成功したと報告してい

る。ただし、彼らの解析には、海洋潮汐に起因する地球潮汐の間接項が考慮されていないこと、個々の地震の断層面が特定されていないことなどの問題点が残されており、今後のさらなる発展が期待される。

この分野の研究はようやく始まったばかりである。さらに多くの事例研究を積み重ね、現象の普遍性や特性を明らかにしていくことが重要であろう。

### 参考文献

- Heaton, T.H., 1975, Tidal triggering of earthquakes, *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, 43, 307-326.
- Heaton, T.H., 1982, Tidal triggering of earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 2181-2200.
- 大竹政和・鶴岡 弘, 1995, 地震の発生と地球潮汐, *科学*, 65, 285-287.
- Schuster, A., 1897, On lunar and solar periodicities of earthquakes, *Proc. Roy. Soc. London*, 61, 455-465.
- Tanaka, S., M. Ohtake and H. Sato, 2002a, Evidence for tidal triggering of earthquakes as revealed from statistical analysis of global data, *J. Geophys. Res.*, 107 (B10), 2211, doi : 10.1029/2001JB001577.
- Tanaka, S., M. Ohtake and H. Sato, 2002b, Spatio-temporal variation of the tidal triggering effect on earthquake occurrence associated with the 1982 South Tonga earthquake of Mw 7.5, *Geophys. Res. Lett.*, 29 (16), 1756, doi : 10.1029/2002GL015386.
- Tsuruoka, H., M. Ohtake and H. Sato, 1995, Statistical test of the tidal triggering of earthquakes : Contribution of the ocean tide loading effect, *Geophys. J. Int.*, 122, 183-194.
- 鶴岡 弘・大竹政和, 2002, 地震発生における地球潮汐の影響—数値シミュレーションによるアプローチ—, *地学雑誌*, 111, 256-267.
- Yin, X.C., X.Z. Chen, Z.P. Song and C. Yin, 1995, A new approach to earthquake prediction : The load/unload response ratio (LURR) theory, *Pure Appl. Geophys.*, 145, 701-715.
- Yin, X.C., Y.C. Wang, K.Y. Peng, Y.L. Bai, H.T. Wang and X.F. Yin, 2000, Development of a new approach to earthquake prediction : Load/unload response ratio (LURR) theory, *Pure Appl. Geophys.*, 157, 2365-2383.

田中佐千子

[たなか さちこ]

**現職** 独立行政法人防災科学技術研究所勤務, 日本学術振興会特別研究員理学博士  
**略歴** 東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了  
**研究分野** 地震学



# 地震と荷重の微妙な関係

## 日置幸介

### 1. はじめに

一年の中で地震の発生数が多い季節と少ない季節があることは百年以上前から研究者の議論の対象であった (Omori, 1902; Mogi, 1969; 岡田, 1982). なかでも南海・駿河・相模トラフの海溝型地震の発生時期が秋冬に偏っていることはよく知られている (Ohtake and Nakahara, 1999).

季節の移り変わりは、地球の自転軸が黄道面 (地球の公転面) にまっすぐでなく傾いていることにより、太陽の高さが年周変化するために生じる。一方地震は、プレートの動きによるゆっくりとしたストレス (応力) の蓄積の結果、断層がずべる現象である。一見無関係に思われる両者は、荷重 (load) というキーワードを介して結びついている可能性がある。その心は、鯰の上に要石を置けば (地面を荷重で押さえつければ) 断層が動きにくくなるのではということである。そして、雪や大気など荷重の多くは季節とともに変動する。本稿では日本列島における荷重の季節変化と地震活動の変化の関係について最近の研究を紹介する。

### 2. 荷重の季節変動: 衛星による観測

2002年3月に米国によって打ち上げられた GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) 衛星は、同一の軌道に少しずつ投入された双子衛星から成る。片方の衛星がもう片方を追いかけるのである。地球の重力にはわずかながら強いところと弱いところがある。それに反応して衛星の速度が微妙に変動するため、二つの衛星の間の距離が変動する。それを電波で正確に

測れば地球の重力場の全貌を短期間に決定できる。今までに、2002年以來の地球の1カ月ごとの重力場が、球関数の次数で150次まで (緯度経度で1度くらいの大きさの重力異常が見える細かさ) に展開され、その係数が研究者に公開されている。

GRACEの重要な科学目標は重力の季節変化や永年変化から大気、海洋、陸水 (土壌水分や雪水など) の動態や環境変動を解明することである。例えば南米アマゾン中流の水位は振幅10メートルにおよぶ季節変化をみせる。GRACEの初期成果として真っ先に捉えられたのが、アマゾン盆地にたまった水の量の変動がもたらす重力場の季節変化であった (Tapley et al., 2004; Davis et al., 2004)。アラスカ南東部の山岳氷河は地球の温暖化によって急激に縮みつつあるが、衛星から見た重力場には、氷の引力が減ることによる永年減少が検出されている (Tamisiea et al., 2005)。

地表にたまった水や氷は、重力を増やすだけでなく地殻変動をもたらす。荷重は地面を押し下げ、かつ水平方向に縮ませるのである。そのため荷重はGPS (Global Positioning System) 等で位置変化としても観測できる。アマゾン盆地中央部の都市、マナウスにあるGPS連続観測局の上下位置は河川の水位変動にともなって年間5cmから7.5cmというすさまじい振幅の季節的な上下変動を示す (Bevis et al., 2005)。これだけの荷重の変化があれば地下の応力状態も季節によって大きく変わるだろう。残念ながらアマゾン盆地はプレート境界から遠く、荷重によって地震活動が季節変動を示すことは知られていない。

さて、日本列島の日本海側はこの冬何十年ぶりの豪雪を記録し、雪が二階の窓まで積もった様子がテレビや新聞に繰り返し登場した。四季のはっ

きりした日本はアマゾンに負けない荷重変動大国である。荷重の変動が地震活動にどのような影響を与えるのか、次の章でもう少し定量的に考えてみたい。

### 3. クーロン破壊応力の永年変動と季節変動

寺田寅彦は大正5年3月に「現代の科学」に次のように書いている。「…地殻の歪が漸次蓄積して不安定の状態に達せる時、適当なる第二次原因たとえば気圧の変化のごときものが働けば地震を誘発する事は疑いなきものごとし。ゆえに一方において地殻の歪を測知し、また一方においては主要なる第二次原因を知悉するを得れば地震の予報は可能なるらしく思われる。この期待はいかなる程度まで実現されうべきか…」

現代の地球物理学者は、地震の誘発の議論に、クーロン破壊応力 (Coulomb Failure Stress, CFS) と呼ばれる量をしばしば用いる。これは特定の場所の特定の種類の (横ずれとか逆断層とか) の断層に対して、その断層をずらそうとする岩盤中の力の度合いを示す量である。断層をずらすせん断応力と (断層をずらす向きに正)、断層の法線応力 (断層を押しえつける力がゆるむ方向に正) に摩擦係数をかけたものの和であり、単位面積あたりの力 (単位 Pa, 1m<sup>2</sup>あたり 1N の力) として表される。せん断応力はプレート運動等の原因で徐々に増え、近くで発生した地震や雪等の地表の荷重の消長などによる擾乱 ( $\Delta$ CFS) がそれに加わる。月や太陽の引力による潮汐力も同じような擾乱を与えるが、潮汐と地震活動との相関も古くから議論されている。これらに関しては多くの研究があるので、興味のある読者は Cochran et al. (2004) 等を参考にしてほしい。

応力が断層固有のしきい値を超えたときに破壊が始まるとすると、正 (負) の  $\Delta$ CFS は次の地震を早め (遅らせ) る。近傍で発生した地震はステップ状の  $\Delta$ CFS をもたらし、季節的な荷重の変動、地球潮汐等は周期的な  $\Delta$ CFS をもたらす。周期的な  $\Delta$ CFS が地震の発生時期に影響を与えるかどうかは、その振幅と永年的な上昇との量関係

で決まる。一年周期の  $\Delta$ CFS がある場合を考えてみよう。テクトニックな原因による応力の永年上昇率を一年で  $a$  Pa とし、表面荷重の消長による年周変動の振幅を  $b$  Pa とすると、 $d\Delta$ CFS/ $dt$  に比例する瞬時の地震発生の相対確率は  $a-2\pi b$  と  $a+2\pi b$  の間を一年周期で変動する。比  $2\pi b/a$  は、定常的な地震活動と季節変化分の比  $P_m/P_0$  (Locker and Beeler, 1999) になる。

応力の永年上昇率  $a$  はどの程度だろうか。プレート間地震で生じる応力降下を数 MPa、繰り返し間隔を 100 年とすると、せん断応力の永年的な蓄積速度は年間数十 kPa と考えられる。内陸地震では応力降下が大きい、繰り返す間隔も長くなるため応力が蓄まる速度はこれと大差ないと考える。 $b$  が  $a$  の 1/10 の場合を図 1a に示すが、 $d\Delta$ CFS/ $dt$  は大きな変動を受け地震発生確率は季節変動を見せる ( $P_m/P_0 \approx 0.6$ )。なお地震発生確率の極大は  $d\Delta$ CFS/ $dt$  の極大に重なり、 $\Delta$ CFS 自体の極大より 1/4 年早い (例えば積雪荷重は負の  $\Delta$ CFS をもたらすため地震発生の極大は CFS 最大の夏の無雪期ではなく 1/4 年早い春の雪どけに重なる)。

図 1b は周期成分が永年上昇に比べて大きい場合 ( $a < 2\pi b$ ) を示す。周期の短い (すなわち一周期間の永年増加が少ない) 半日周の潮汐による地震の誘発等がこれに相当する。この場合は図

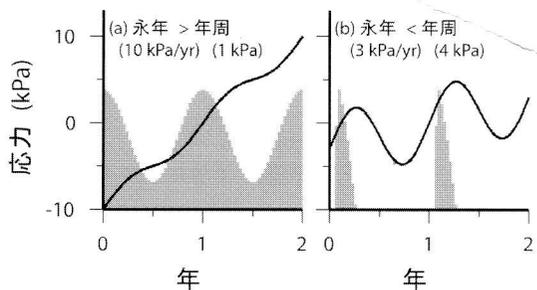


図 1 永年的に増加する応力と周期的な変動の組み合わせ (黒い曲線)。それらから予測される地震活動度の変化 (灰色のヒストグラム) は定常的 ( $P_0$ ) および年周的 ( $P_m$ ) な項からなる (縦軸は相対値)。(a) は永年増加が比較的大きい場合、(b) はその反対の場合で、応力値が過去の最大値より小さい期間 (stress shadow) が生じる。

1b に示すように永年変化と周期変動の合計が負の傾きを示す時期が生じ、応力が過去の極大値を越えるまで時期地震発生確率がゼロとなる「影」の期間が生じる。この場合地震発生確率の極大は  $d\Delta CFS/dt$  極大より  $\Delta CFS$  自身の極大の方にずれる。

#### 4. 日本列島における荷重の季節変化

季節変化する荷重の代表は大気と積雪の荷重であろう。大気圧の平均値はおよそ 100 kPa (1,000 hPa, 1 m<sup>2</sup> あたり 10 t の荷重に相当) であるが、その一部が季節変化し、日本列島の大部分では冬季に気圧が高くなる。Ohtake and Nakahara (1999) は、陸域で冬に大気圧が約 1 kPa 上がることが南海・駿河・相模トラフの地震が起こりやすくしていると考え、陸域での大気圧上昇がプレート境界の逆断層のせん断応力をどれくらい増加させるかを見積もっている。しかし計算結果はわずか数十 Pa であり、地震発生に影響をおよぼすには小さすぎると結論づけた。一方 Heki (2001) は、積雪荷重は最大で大気圧の季節変化より一桁大きいことを示したが、それでも海溝型地震の断層における  $\Delta CFS$  (主にせん断応力の増加が効いている) は高々 0.1 kPa に過ぎず、やはり地震活動への影響はないと考えた。前の章の議論からわかるように、地震に季節性をもたらすには  $\Delta CFS$  の振幅は、数 kPa は必要なのである。

GPS 局の座標に見られる季節変化成分は、ゆっくり地震などの検出の妨げになる。Heki (2001) は、それらのかかなりの部分は積雪荷重の季節変化によるものと考えた。Heki (2004) はその考えを発展させ、積雪荷重だけでなく、大気荷重、ダムの貯水による荷重、土壤水分の荷重、非潮汐性の海洋荷重など、日本列島陸域にはたらく荷重を様々なモデルとデータから計算した。それら荷重の季節変化から生じる水平、上下の地殻変動を計算し、GPS で見られる年周地殻変動と良く一致することを確かめた。日本では稠密 GPS 網のおかげで、衛星重力ミッションを待たずとも陸水の季節的な挙動がかなり明らかにされているので

ある。

最も大きな荷重変動をもたらすものは積雪である。日本列島には AMeDAS 積雪計による積雪深度のデータがあるが、設備の都合で標高の低い谷沿いに設置されており実際の平均的な積雪深度よりかなり低い値を示す傾向がある。Heki (2004) では、地域ごとに積雪深度と標高を一次式で関係付け、地域ごとの平均標高における積雪深度を計算して実際の積雪深度とした。さらに初冬から雪どけに季節が進行するに従って増大する積雪密度は、全国数点の積雪断面調査の結果を参考に補正した。日本全国を細かいブロックに分けて積雪加重の季節変化を求め、水に換算した振幅をヒストグラムで示したものが図 2 である。大きい場所では、雪は水の深さで 1 m を超える荷重をもたらす。

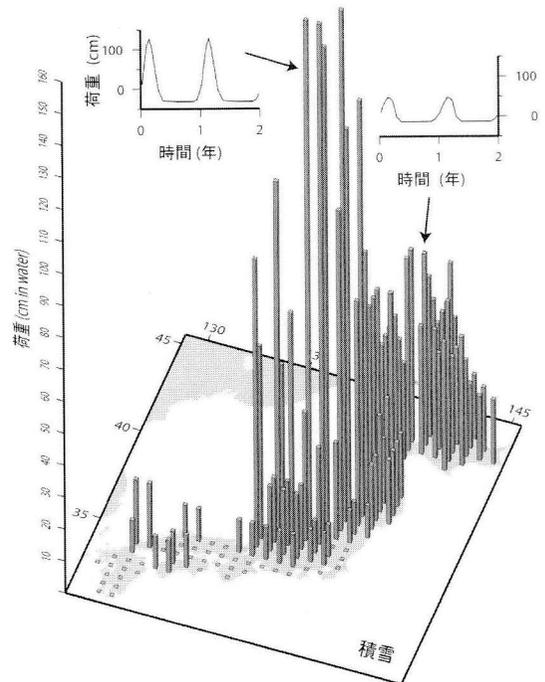


図 2 ブロックに分けた日本列島各地の積雪荷重の変動の振幅の大きさ (Heki, 2004)。うち二つのブロックについて時系列を小さく示している。AMeDAS 積雪計データに標高の補正を行い、さらに積雪断面調査に基づく積雪密度をかけたものを基礎データとしている。

## 5. 日本列島の内陸地震発生時期の季節性

このような大きな年周変動を示す積雪荷重や大気荷重であるが、既に述べたように海溝型地震の断層面に及ぼす応力の擾乱は無視できるほど小さい。しかしそれらが直下の地震断層へ与える応力の擾乱はかなり大きいに違いない。これらの荷重が内陸地震の発生時期に影響を与える可能性はある。過去の論文では大規模地震の発生時期のみを扱っており (Mogi (1969) は近代では  $M \geq 7.5$ 、歴史地震は  $M \geq 8$  としている)、 $M 7.5$  を越えることがまれな内陸地震は十分な議論の対象となっていなかった。ここでは内陸地震に注目し、その発生時期の季節性と積雪荷重の関係を見てみよう。

宇佐美 (1996) がまとめた過去の被害地震から内陸地震 ( $M \geq 6.0$ ) を取り出し、その震源を図2に示す。これらの地震をもたらす断層は、東北日本では脊梁山脈と平野部を分ける高角逆断層 (千屋断層等) が多く、それらの走向はプレート収束方向に垂直、つまり積雪帯に平行である。中部・

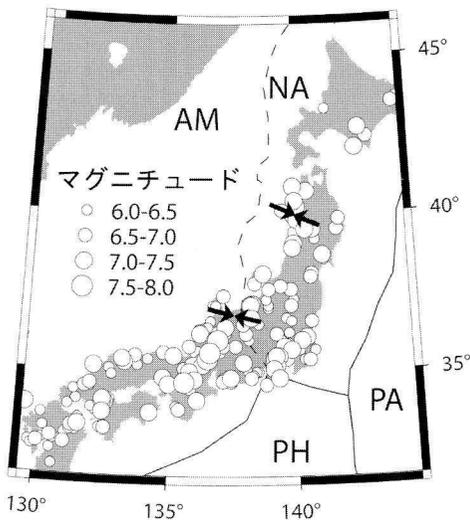


図3 宇佐美 (1996) に基づく過去の被害地震 ( $M \geq 6.0$ ) の震源。AM, NA, PA, PH はアムール、北米、太平洋、フィリピン海の各プレートを示す。黒い矢印はNA-PAおよびNA-AMの収束方向 (長さには意味は無い)。

西南日本では横ずれ断層が支配的であり、西北西-東南東のアムール-北米プレート収束方向 (図3) を反映し、西南西-東北東 (跡津川断層等) または北北西-南南東 (根尾谷断層等) の共役断層群が発達する。それらの走向は積雪帯にそれぞれほぼ平行および垂直である。

単純な島弧と積雪帯の形状を仮定し、積雪荷重がもたらす断層面の法線応力を計算したものを図4に示す。幅200 km、長さ1,000 kmの南北走向の島弧を考え、幅140 kmの積雪帯を島弧西端におく。積雪の最深部は島弧中心軸の30 km西で2.5 mとする。平均積雪密度を  $0.4 \text{ g/cm}^3$  とすると (Heki, 2001)、これは積雪最深点での荷重は深さ1 mの水、または大気圧10 kPaの増加に相当する。西に45度傾き下がる逆断層 (図4a) と、鉛直な横ずれ断層 (図4b) を仮定する。いずれも走向は積雪帯に平行とする。荷重に対する岩盤の弾性変形はFarrell (1972) に基づいて計算した (剛性

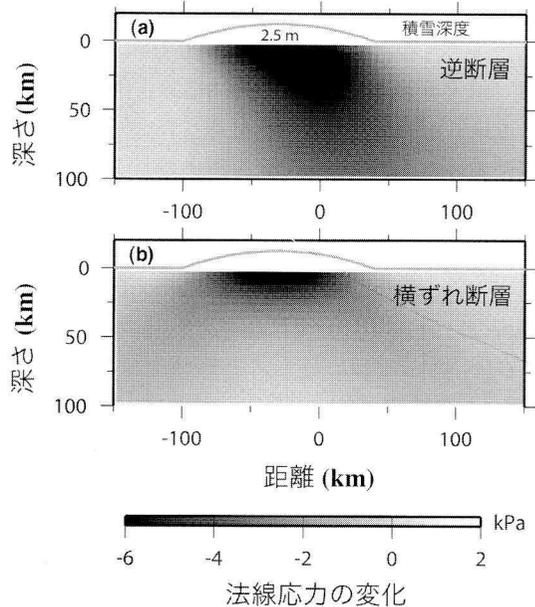


図4 断層の法線応力 (圧縮を正) 分布の断面を逆断層 (走向は島弧に平行、45度で西落ち) (a)、および横ずれ断層 (走向は島弧に平行) について描いたもの。島弧の幅は200 km (-100 km から+100 km) で、その西側 (-100 km から+40 km) が積雪で覆われ、-30 km 地点で最大深度2.5 mの値をとる (曲線) と仮定。

率: 30 GPa, ポアソン比: 0.25). 内陸地震の発生深度は高々10-20 km なので地球は半無限弾性体で近似した.

いずれの場合も断層の法線応力(圧縮)は積雪帯を中心に5 kPaを超える(図4bで断層走向を積雪帯に垂直にするとこの値は1/3程度減少). 荷重によって逆断層ではせん断応力も変化し(法線応力のおよそ1/3で断層ずれを押さえる向き),  $\Delta CFS$ の減少に貢献する(摩擦係数を0.5とすると全体で $\Delta CFS$ は-5 kPa). 一方横ずれ断層では走向が積雪帯に垂直, 平行にかかわらず積雪荷重によるせん断応力は生じないため, 法線応力に摩擦係数を掛けたものがそのまま $\Delta CFS$ となる(摩擦係数0.5で-2~3 kPa). いずれの場合も $\Delta CFS$ は負で大きさは数kPaとなり, 永年的な応力の蓄積が数十kPa/yr だとした場合, 地震活動に有意な季節変化を与えることができる.

岡田(1982)は内陸地震を積雪地域内で発生したものとそれ以外に分けて月別の発生数を調べ, 前者が春夏に多いことを示唆した. Heki(2003)は宇佐美(1996)の新しい被害地震カタログを用い, かつ積雪地域を過去5年間のアメダス積雪計データによる平均最大積雪量が20 cmを越える地域として改めて定義し, 岡田(1982)と同様の傾向を確認した. 積雪地域とそれ以外について, 地震発生回数を2カ月ごとのヒストグラムで図5a, bに示す. Mogi(1969)や岡田(1982)に倣って余震は除外し, かつ一年以内に近傍で同程度の規模の地震が発生した場合は最初の地震のみ勘定した. 積雪地域(丸)とそれ以外(三角)で発生した内陸地震の震源を最大積雪深度とともに図5cに示す.

積雪地域の26個のM 7.0以上の地震の発生時期(図5a)は岡田(1982)に示されたとおり春夏に多く, 雪のない地域での地震(図5b)はそのような傾向を示さない. しかし図5aに古典的な検定法(Schuster, 1897)を施すと, これがランダムな現象の結果である(季節性がない)という仮説を95%以上の信頼度で棄却できない. これは地震の数が少ないためで, 必ずしも季節性の存在を否定するものではない.

Lockner and Beeler(1999)のように地震発生数の推移を定常成分( $P_0$ )と季節変化成分( $P_m$ )に分けて考えると, 後者は前者のおよそ半分となる(図5aの曲線). この値は従来知られている最も有意性の高い半日周潮汐との相関(e.g., Wilcock, 2001; Cochran et al., 2004)の検出例よりも大きい. 図5aと相似な月別分布で地震数が増加すれば54個を越えた時点で上記の検定に95%の信頼性で合格する. それにはあと千年の時が必要

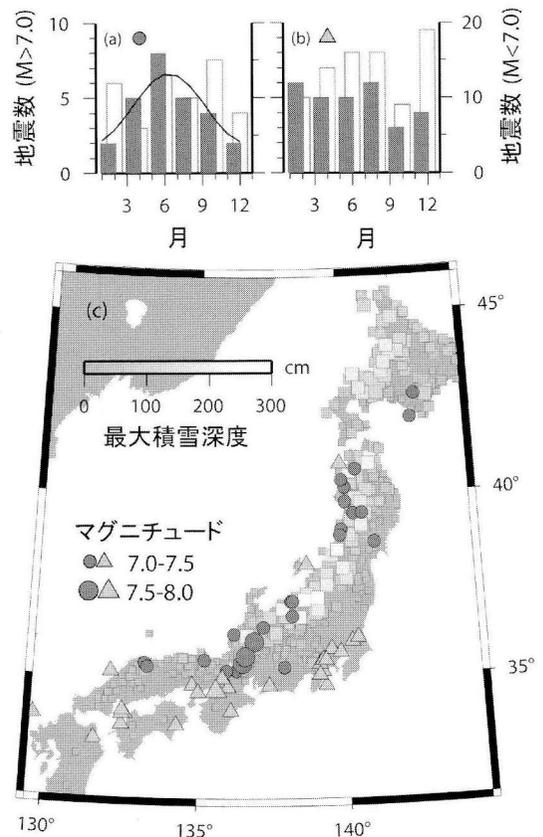


図5 (a) 積雪地域, (b) それ以外で発生した内陸地震の発生時期を2カ月ごとのヒストグラムで描いたもの. 灰色と白のヒストグラムはそれぞれ  $M \geq 7.0$  (ラベルは左側) および  $7.0 > M \geq 6.0$  (ラベル右側) の地震に関するもの. (c) で灰色の四角は AMEDAS による過去5年間の平均最大積雪深度を示す (20.0 cm 以上の地点のみ).  $M \geq 7.0$  の地震の震源を積雪地域とそれ以外ではそれぞれ丸と三角で示す. (a) に描かれた曲線は定常成分および年周変化成分の二つを仮定した場合の最適確率密度曲線.

要であるが、潮汐との相関が数百や数千という地震の発生時刻を統計処理してようやく有意とされることを考えると、54個という数は小さいといえる。

この研究の動機は、年周地殻変動の主な原因として同定された積雪荷重の地震発生への影響評価である。したがって Heki (2003) は地震発生の季節性が統計的に有意であることは主張していない。また有意であっても秋冬に地震が発生しないわけではないので、防災的な意義もさほどないだろう。しかし季節変化の位相(最大確率時期が雪どけ期に重なる)や振幅( $P_m/P_0 \approx 0.5$ は、 $\Delta CFS$ の周期変動が永年変化の1/10程度という推定に調和的)が雪どけ(積雪荷重の除去)が地震を誘発するという考察を支持することは地球物理学的に興味深い。

## 6. おわりに

Mogi (1969) や岡田 (1982) で指摘されているように、地震発生時期の季節変化は小規模の地震で不鮮明になる傾向がある。図 5a でも  $7.0 > M \geq 6.0$  の地震の2カ月ごとの発生時期を示す白いヒストグラムには明瞭な季節変化が見られない。Heki (2003) は大きな地震ほど季節性が出やすいのは、大きな地震ほど震源核形成に長い期間を必要とするためと考えた。

Shibazaki and Matsu'ura (1992) は地震の発生過程を、準静的な震源核形成、それに続く動的加速フェーズ、最終的な主破壊、の三段階に分けた。Ellsworth and Beroza (1995) は地震計記録の初期フェーズ(上記の動的加速フェーズに相当)を分析して、地震の最終的なサイズが大きいほど初期フェーズの継続時間が長いことを見出した。準静的な震源核形成がどの程度継続するのかについては明瞭な測地学的観測の例はないが、大きな地震ほど継続時間が長いと考えることは自然である。Kato and Hirasawa (1999) は摩擦構成則に基づく数値実験で、東海地震のようなプレート間地震の前兆すべりの継続時間は数日に及ぶことを示唆した。

もし  $M \geq 7.0$  の地震の震源核形成が数日またはより長い時間スケールで生じるなら、それらの地震は半日周潮汐などの短周期の CFS 変動には反応せず、積雪荷重のような長周期の変動にのみ反応するであろう。震源核形成に要する時間が短い小規模地震は逆に潮汐や気圧変動等の短周期変動によって簡単にトリガーされ、その発生時期の季節変動が不明瞭になるのではないか。なお融雪に伴う地下水位の上昇が断層における間隙水圧を上昇させ、地震発生を誘発するという考えもあるが、その場合の CFS 変動を定量的に見積もることは難しいかも知れない。

さて積雪荷重が海溝型地震の発生に影響する可能性が小さいことは既に述べた。岡田 (1982) は海面高の季節変化による荷重変動が海溝型地震の発生に影響している可能性を示唆した。太平洋側の検潮所はいずれも 20 cm におよぶ海面高の季節変動(9月に最も潮位が高くなる)を示す。これが積雪と同じく海溝型地震の発生時期に影響すると考えると、最大潮位の1/4年後の12月に地震発生数が極大を示す傾向(Ohtake and Nakahara, 1999)と調和的である。

潮位の季節変動の大部分は質量の変化を伴わない海水の熱膨張に過ぎないことが知られている。しかし国立天文台江刺地球潮汐観測施設で連続観測を行っている超伝導重力計には明瞭な年周変動が見られる。それによると、海面高変動のかなりの部分が熱膨張ではあるが、それらの補正後も日本近海で 10-20 cm 程度の質量変動が残留するらしい(Sato et al., 2001)。これは非潮汐性の海水荷重の季節変動が海溝型地震の発生時期の季節性をもたらしている可能性を示唆し興味深い。しかし最終的な結論を出すには、海底圧力計(Fujimoto et al., 2003)や衛星重力ミッションによって、日本近海の海水質量の季節変動を計測する等の直接証拠が必要だろう。

## 参考文献

- Bevis, M., D. Alsdorf, E. Kendrick, L. P. Fortes, B. Forsberg, R. Smalley Jr., and J. Becker, 2005, Sea-

- sonal fluctuations in the mass of the Amazon River system and Earth's elastic response, *Geophys. Res. Lett.*, *32*, L16308, doi : 10.1029/2005GL023491.
- Cochran, E.S., J.E. Vidale, and S. Tanaka, 2004, Earth tides can trigger shallow thrust fault earthquakes, *Science*, *306*, 1164-1166.
- Davis, J.L., P. Eloségui, J.X. Mitrovica, and M.E. Tamisiea, 2004, Climate-driven deformation of the solid Earth from GRACE and GPS, *Geophys. Res. Lett.*, *31*, L24605, doi : 10.1029/2004GL021435.
- Ellsworth, W.L. and G.C. Beroza, 1995, Seismic evidence for an earthquake nucleation phase, *Science*, *268*, 851-855.
- Farrell, W.E., 1972, Deformation of the Earth by surface loads, *Rev. Geophys. Space Phys.*, *10*, 761-797.
- Fujimoto, H., M. Mochizuki, K. Mitsuzawa, T. Tamaki, and T. Sato, 2003, Ocean bottom pressure variation in the southeastern Pacific following the 1997-98 El Niño event, *Geophys. Res. Lett.*, *30*, 1456, doi : 10.1029/2002GL016677.
- Heki, K., 2001, Seasonal modulation of interseismic strain buildup in northeastern Japan driven by snow loads, *Science*, *293*, 89-92.
- Heki, K., 2003, Snow load and seasonal variation of earthquake occurrence in Japan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, *207*, 159-164.
- Heki, K., 2004, Dense GPS array as a new sensor of seasonal changes of surface loads, in *The State of the Planet : Frontiers and Challenges in Geophysics*, edited by R. S. J. Sparks and C.J. Hawkesworth, *Geophys. Monograph*, *150*, 177-196, American Geophysical Union, Washington.
- Kato, N. and T. Hirasawa, 1999, A model for possible crustal deformation prior to a coming large interplate earthquake in the Tokai district, central Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, *89*, 1401-1417.
- Lockner, D.A. and N.M. Beeler, 1999, Premonitory slip and tidal triggering of earthquakes, *J. Geophys. Res.*, *104*, 20133-20151.
- Mogi, K., 1969, Monthly distribution of large earthquakes in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, *47*, 419-427.
- Ohtake, M. and H. Nakahara, 1999, Seasonality of great earthquake occurrence at the northwestern margin of the Philippine Sea Plate, *Pure Appl. Geophys.*, *155*, 689-700.
- 岡田正実, 1982, 日本付近の大地震発生の季節変動と地域性, *地震*, *2*, 35, 53-64.
- Omori, F., 1902, Annual and diurnal variations of seismic frequency in Japan, *Pub. Earthq. Invest. Comm.*, *8*, 1-94.
- Sato, T., Y. Fukuda, Y. Aoyama, H. McQueen, K. Shibuya, Y. Tamura, K. Asari, and M. Ooe, 2001, On the observed annual gravity variation and the effect of sea surface height variations, *Phys. Earth Planet. Inter.*, *123*, 45-63.
- Schuster, A., 1897, On lunar and solar periodicities of earthquakes, *Proc. R. Soc. London*, *61*, 455-465.
- Shibazaki, B. and M. Matsu'ura, 1992, Spontaneous processes for nucleation, dynamic propagation, and stop of earthquake rupture, *Geophys. Res. Lett.*, *19*, 1189-1192.
- Tamisiea, M.E., E.W. Leuliette, J.L. Davis, and J.X. Mitrovica, 2005, *Geophys. Res. Lett.*, *32*, L20501, doi : 10.1029/2005GL023961.
- Tapley, B., S. Bettadpur, J. Ries, P. Thompson, and M. Watkins, 2004, GRACE measurements of mass variability in the Earth system, *Science*, *205*, 503-505.
- 宇佐美龍夫, 1996, 新編日本被害地震総覧 (増補改訂版), 東京大学出版会, 493 pp.
- Wilcock, W.S.D., 2001, Tidal triggering of micro-earthquakes on the Juan de Fuca Ridge, *Geophys. Res. Lett.*, *28*, 3999-4002.

日置幸介

[へき こうすけ]

**現職** 北海道大学理学研究院自然史科学部門教授

**略歴** 東京大学理学部地球物理学科卒業, 同大学院修士課程, 博士課程修了,

郵政省電波研究所, グラム大学, 国立天文台等を経て現職

**研究分野** 宇宙測地学, 地球惑星ダイナミクス

**著書** 「地球が丸ってほんとうですか?」(共著, 朝日選書)



# 地震を起こす原動力

地震とは『地下の岩盤に力が加わり、それが岩石の破壊強度を上回った際に生じる破断現象』である(図1)。ところで、このような力を加えている犯人は一体誰であろうか? これに答えることは、すなわち「地震は何故起こるか」という根本問題に答えることに他ならない。

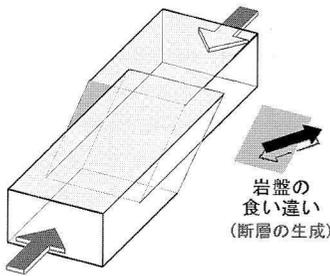


図1 震源での断層運動

## (1) 地球の中心部

地震を引き起こす力の根源を探し求めていくと、最後にたどりつくのは地球の中心部である。地球は約46億年前に誕生した半径6,370kmの球体であり、その中心部は6,000~7,000°Cという高温の状態になっている。この熱エネルギーを宇宙空間に放出する営みとして、岩石圏全体にわたるゆっくりとした物質の流れ(マントル対流)が生じており、地球そのものは巨大な熱機関だと言することができる。

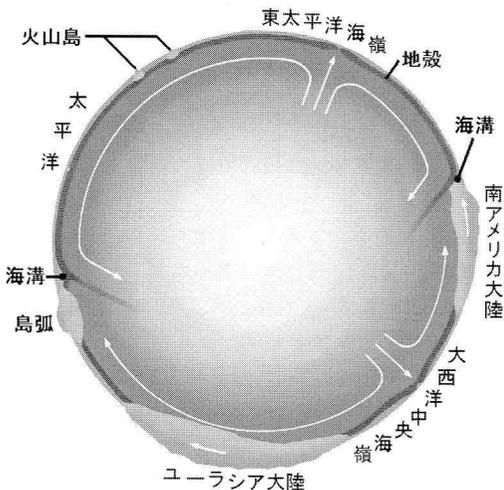


図2 マントル対流(上田誠也「生きている地球」岩波書店より)

## (2) 地面が動いている証拠

ゆっくりと地面が動いていることを示すわかりやすい例として、ハワイ諸島がある。ハワイの島々は西北西-東南東方向に一直線に並んでいる。各々の島の年齢を調べてみると、有名なキラウエア火山のあるもっとも東側のハワイ島が一番若く、西側へ行くほど順々に年老いた島となっていく。これを説明するには、図3のように考えればよい。

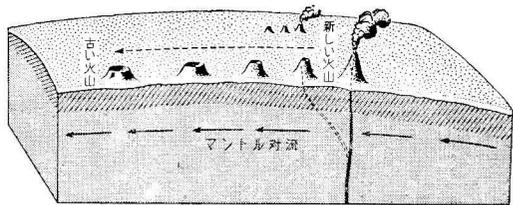


図3 太平洋の島々の成因(竹内均「地球の科学」NHK ブックスより)

ただ、これでは「海底が動いていると考えれば都合がよい、説明がし易い」というだけの状況証拠であって、本当に動いているのを確かめたわけではないとの反論があり得る。

しかし最近では、宇宙技術の発達によって、その実測が可能となった。宇宙のかなたにある準星からの雑音電波を地球上の2地点で受信することにより、大陸と大陸の間の距離をセンチメートルの精度で測ることができる。図4は、ハワイのカウアイ島と茨城県鹿島との間の距離を測定した結果を示しており、日本とハワイの距離は毎年6.5cmのスピードで接近していることが観測事実として確かめられている。

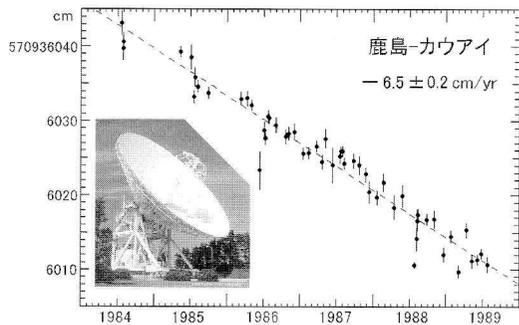


図4 VLBIによる鹿島~カウアイ間の距離変化(情報通信研究機構による)

### (3) プレートテクトニクス理論

1960年代後半、「動かざること大地の如し」という固定的な地球の考えは、流動し進化する地球という概念に大変革された。「大陸移動説」や「海洋底拡大説」を統合した新しい地球観は「プレートテクトニクス理論」と総称されるようになった。この理論によれば、地球表面は10数枚のプレート (plate: 岩板) により覆われ、各々は独自の動きをしている。そして、プレート同士が接する境界部付近では、地震や火山といった活発な地学現象が生じる (図5)。

岩石のような固体が動くということはなかなか信じにくいですが、何億年という時間スケールと地球内部の高温環境を考えれば、岩石はむしろ硬い水飴のような性質を持っていると考える方が自然である。ただ、動くといってもそのスピードは年間に数 cm 程度と大変に遅く、これは人間の爪が伸びるくらいの速度である。しかし、年間10 cmだと、10年で1 m、千年で100 m、百万年で100 kmとなり、2億年もすれば太平洋を横断できてしまうことになる。

プレートが生まれるのは海嶺や海膨と呼ばれる海底の高まり部分であり、ここでは地下深部から熱い物質が湧き上がり左右に分かれていく。海底を移動するうち物質は徐々に冷やされ、表面から深さ数10 km くらいまでの部分はカチカチに硬くなる。ただ、1,000 km オーダーの横の広がり相較れば、数10 km という厚さは大変に薄く、まるで板のような状態のため、プレート (板) と呼ばれるようになった。

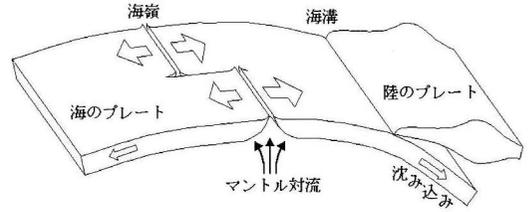


図5 プレートテクトニクス理論の概念

海底を旅して冷えて重くなったプレートは、他のプレートと出会い、海溝やトラフ (舟状海盆) と呼ばれる深い溝状の海底地形を作り、地震を起こしながら再び地球深部へと沈み込んでいく。また、ある場合には、プレート同士のすれ違いによってサンアンドレアス断層 (カリフォルニア) のような地震帯を形成したり、プレート同士の衝突によってヒマラヤやアルプスのような高い山脈を作ったりする。

世界のプレートの分布は、最近の震源分布から自ずと明らかである (図6)。これらの震源配列は、そのままプレートとプレートの境界線となっており、その海底部分は、海嶺や海溝の位置に一致している。

地震を起こす原動力は、地球内部の熱である。従って、地球が冷え固まってしまうば地震は起きなくなるであろうが、その時は人類も生きていられない。やっかいな相手だが、地震や火山も、生きている地球の仲間なのである。

(岡田義光)

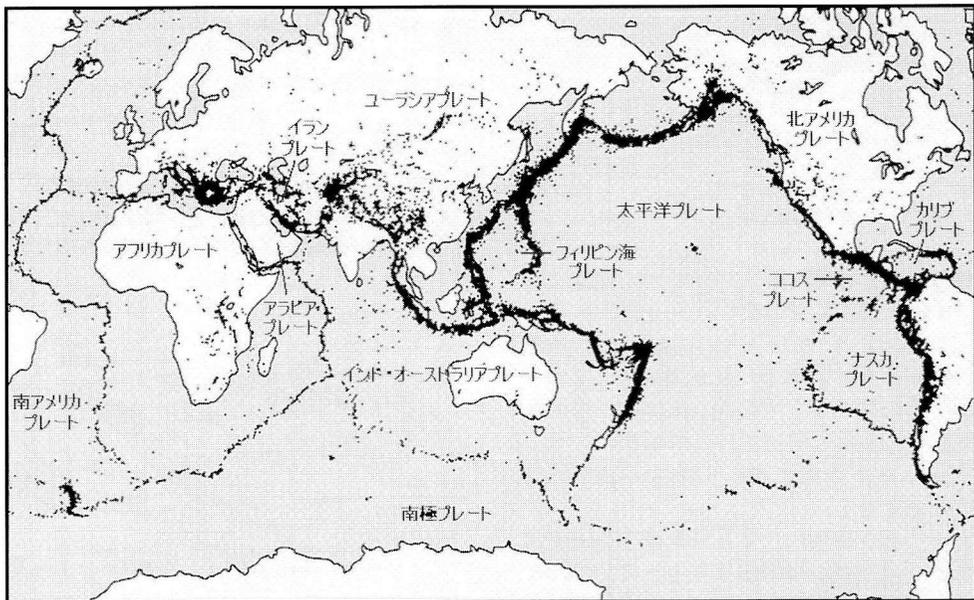


図6 国際地震センターによる世界の震源分布 (1975~1994年, M4以上, 深さ100 km 以浅)

# 海溝型地震・内陸型地震・スラブ内地震

## (1) 日本周辺のプレート

日本列島をめぐるプレートの状況は図1に示すようになっている。東北日本の東方沖には厚さ70~100 kmの太平洋プレートがあって、西北西に年間約8 cmの速度で進んでいる。また、西南日本の南方沖には、厚さ30~40 kmのフィリピン海プレートがあって、北西方向に年間約4 cmの速度で進んでいる。

一方、陸側の日本列島は、従来ユーラシアプレートの一部とされてきたが、1983年日本海中部地震(M 7.7)や1993年北海道南西沖地震(M 7.8)のような大地震が続けて発生したことから、北東日本は北米プレートに属しており、日本海東縁部では新しいプレート境界が生まれつつあるとの認識がされるようになった。

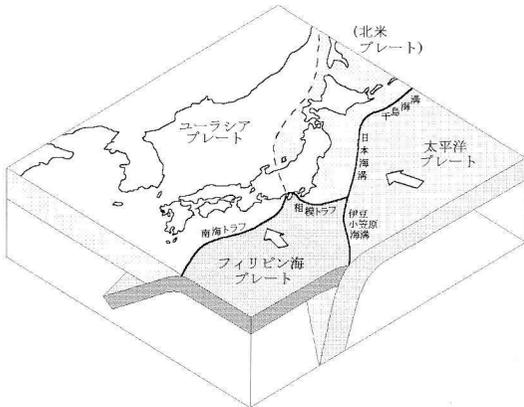


図1 日本列島周辺のプレート構造

図2は、東北日本を東西に横断する断面で深さ250 kmまでの地震の発生状況を見たものである。この図では、右上の日本海溝付近から左下の日本海直下にかけて、段々深くなりながら震源が2本の列をなして整列している。これは深発地震の二重面と呼ばれ、この延長は、ウラジオストック下の深さ600~700 kmまで追跡することができる。

一方、これとは別に、東北日本直下の地殻浅部にも多くの地震が集中的に発生している。これらの地震の震源の深さは、おおむね15~20 kmより浅いものである。

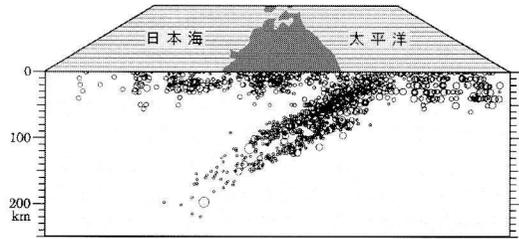


図2 東北日本の東西断面に投影した震源分布

## (2) 海溝型地震と内陸型地震

プレートの沈み込みに伴って発生する地震のうち、海溝部付近のプレート境界を断層面として、上盤側が跳ね返ることによって生じる低角逆断層型の地震を「海溝型地震」と呼ぶ。ここでは、十勝沖地震、三陸地震、関東地震、東海地震、南海地震など、M 8級に達する巨大地震が100年前後の間隔をもって繰り返されている(図3)。

一方、陸域浅部で発生するものは「内陸型地震」と呼ばれ、プレート運動による圧縮力によって蓄積された歪みが、東北日本では逆断層型、西南日本では横ずれ断層型の地震として発生することが多い。地震の大きさは通常M 7級どまりであるが、1891年に岐阜県から愛知県にかけて発生した濃尾地震のように、稀にM 8.0に達する場合がある。

内陸型地震では、プレート境界地震と比べて歪の蓄積速度が1桁から2桁遅いため、特定の断層において地震が繰り返される周期は数千~数万年と、非常に長いものが多い。

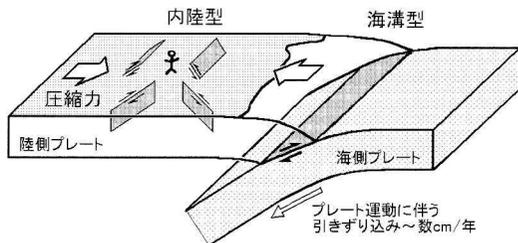


図3 海溝型地震と内陸型地震

### (3) スラブ内地震

海洋性プレートが地下に沈み込んだ部分をスラブと呼び、その内部で発生する地震が「スラブ内地震」である。

スラブ内地震の典型例は、図2の断面図に見られた、深発地震の二重面に沿って常時発生している中小の地震群である。これらの地震に共通する一般的な特徴として、二重面のうち上面に属するものはプレートの沈み込む方向に圧力軸（P軸）が、また下面に属するものは張力軸（T軸）が、それぞれ向くような発震機構解を有している（図4）。

このような二重の地震面が何故生じるのかはよくわかっていないが、いったん曲げられたプレートがふたたび直線状に戻ることによる非曲げ（アンベンディング）効果、プレート上面付近と内部との温度差による熱応力効果、あるいは、温度による物質の変化などが、その原因として考えられている。

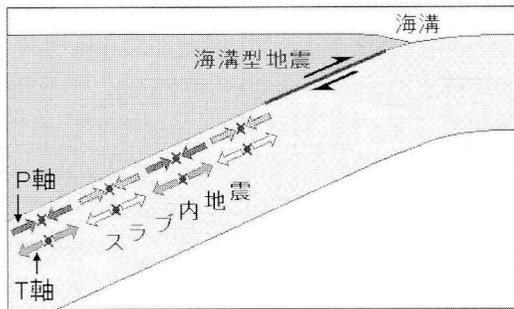


図4 プレート境界付近で発生する地震

このほかにも、沈み込む海洋性プレートの内部では、プレート形状の変化に伴う応力集中によると思われる地震や、すでに沈み込んだプ

レートの自重による引張り力が作用したためと考えられる地震など、様々なタイプのスラブ内地震が発生している。

これらの中には、時折、巨大な地震も混じることがあり、たとえば太平洋プレートに関しては、三陸沖の日本海溝付近で生じた正断層型の地震で、沈み込んだプレート部分が折れたと解釈されている1933年三陸地震（M 8.3）や、色丹島沖合の深さ20 km付近で生じ、海側への高角逆断層として発生した1994年北海道東方沖地震（M 8.1）、また、釧路平野の直下約100 kmの深さで発生し、ほぼ水平な断層面を生じた1993年釧路沖地震（M 7.8）などの事例が知られている（図5）。

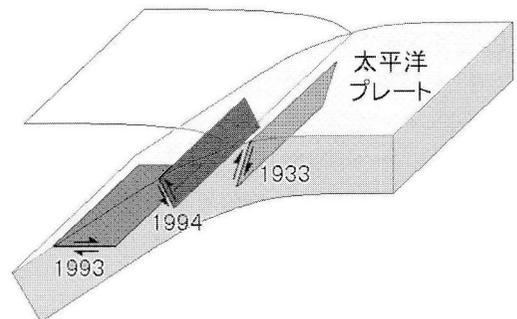


図5 太平洋プレートで発生した巨大なスラブ内地震

一方、フィリピン海プレートで発生したスラブ内地震としては、房総半島の九十九里浜付近直下の深さ約50 kmでほぼ垂直な右横ずれ断層を生じた1987年千葉県東方沖地震（M 6.7）や、安芸灘の深さ51 kmで正断層型の地震として発生した2001年芸予地震（M 6.7）などの例が挙げられる。（岡田義光）

# 「新潟県中越地震」と人々の対応

## —住民調査から考えるいくつかの課題—

中森広道

討したいと思う。

### 1. はじめに

2004年10月23日(土)17時56分、新潟県中越地方を震源とするマグニチュード6.8の地震が発生し、新潟県川口町で震度7、小千谷市、山古志村(現・長岡市)、小国町(現・長岡市)で震度6強を記録した。気象庁が「平成16年新潟県中越地震」と命名したこの地震により、2006年6月9日現在、死者63名、負傷者4,805名、全壊家屋3,175棟、半壊家屋13,785棟という被害が生じている(内閣府による)。

本稿では、この地震の被災住民を対象に行った調査結果をもとに、地震時の人々の対応について考えていきたいと思う。ここでは、2005年2月に、仮設住宅に住む小千谷市ならびに川口町の住民の中から抽出した20歳以上の男女600名(小千谷市400名、川口町200名)を対象に、東京大学大学院情報学環・廣井研究室が行った調査をもとに検証し、その中からいくつかの課題を挙げていきたい<sup>1)</sup>。また、同研究室の研究グループがNTTドコモ・モバイル社会研究所の調査として、新潟県十日町市の住民を対象に行った同様のアンケート調査(308名)の結果<sup>2)</sup>も、一部比較しながら検

### 2. 地震発生時にどんな行動をしたのか

まず、17時56分に発生した最初の地震の時に人々はどのような対応をしたのであろうか。「地震が起こったとき、あなたはどうしましたか」という質問(複数回答)をしたところ、「屋外に飛び出した」を回答した人が最も多く(川口町56.9%、小千谷市46.6%)、これ以外では「その場でじっとして様子を見ていた」(川口町29.4%、小千谷市39.9%)、「まったく動けなかった」(川口町38.1%、小千谷市31.8%)などが多かった(図1)。そして、地震発生時に人々へ求められる対応とされる「机やテーブルの下にもぐった」「ドアや窓を開けた」などを回答した人が少ないことは、単に人々の心構えの問題だけではなく、突然の揺れに翻弄されてしまって何もできないという要因が大きく、地震発生時に何もできない人が多いという結果はある意味仕方がないことかもしれない。ただ、最も回答の多かった「屋外に飛び出した」については、いろいろな評価が出てきているのではないかとと思われる。従来、地震発生時に屋外へ飛び出すことは、好ましくない行動とされていた。しかし、1995年の「阪神・淡路大震災」以降、家屋倒壊の恐れがある場合、速やかに屋外へ出るという行動も必要になるのではないかとこの考え方も出てきている。はたしてどのような対応が適切なのかは判断が難しいところであるが、地震発生時に人々が行う対応について、いまいちど見直すと、その啓発を再考する必要があるのではないだろうか。

1. この調査と結果は、廣井脩、田中淳、中村功、中森広道、福田充、関谷直也、森岡千穂により検証を行っている。また、本稿の一部は、拙稿「視点・防災 地震の後、お墓を見に行きますか?」『東京消防』2005年8月号(東京消防協会発行)を書き改めたものである。

2. 中村功・田中淳・中森広道・福田充・関谷直也「中越地震と情報伝達の問題」中村功ほか『災害時における携帯メディアの問題点』NTTドコモ・モバイル社会研究所、2005年、pp.99-153。

### 3. 地震発生後の人々の意識

次に、地震発生後の人々の意識についてみていこうと思う。「地震が起こった日の夜、あなたが困ったことは何ですか」という質問（複数回答）をしたところ、図2のような回答となった。この

結果を見ると、大きく分けて、

- (1) いわゆるライフラインに関する問題
  - (2) 住家の中にいることができない問題
  - (3) 情報に関する問題
  - (4) 食事・暖房・トイレ・寝具など人々の生理的な欲求に関する問題
- の回答者数が多いようだ。

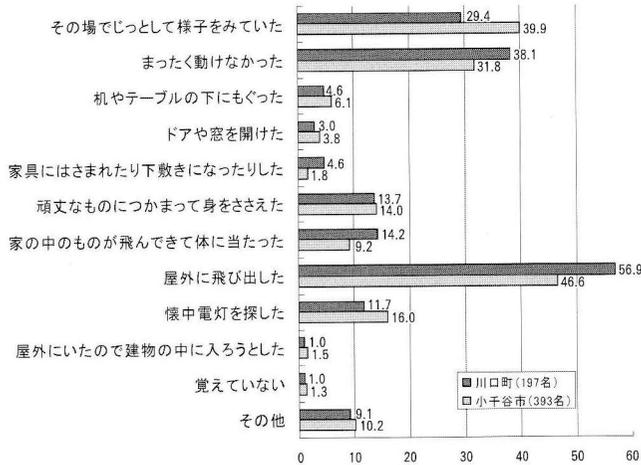


図1 地震発生時の対応〔複数回答〕(%)

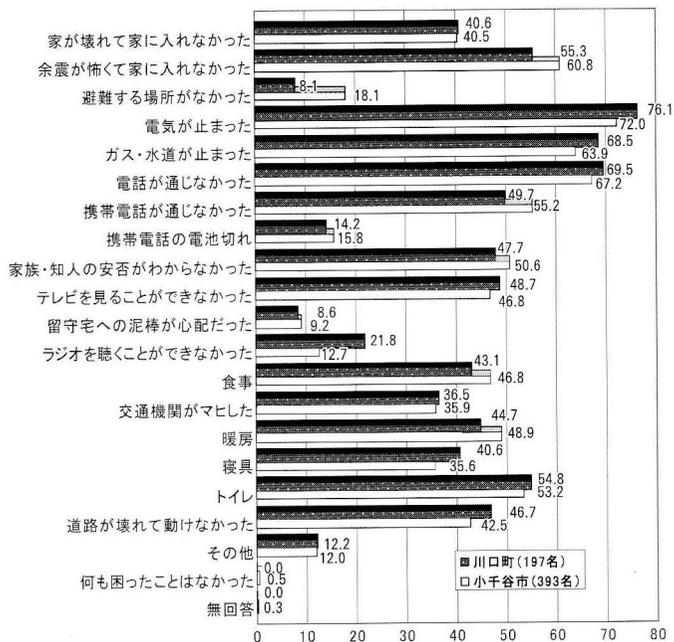


図2 地震発生当日に困ったこと〔複数回答〕(%)

(1)のいわゆるライフライン（電気、ガス、水道など）のマヒは、ある程度の規模の災害になると必ず生じる問題であるが、特にこの地震は被害規模も大きく、また調査対象者が、家屋の被害の大きい仮設住宅の住民であることから、この点が顕著であったように考えられる。

(2)の住家の中にいることができない問題について注目できる点は、「余震が怖くて家には入れなかった」と回答した人が6割近くいたことである。この点について、十日町市の住民アンケート結果と比較してみたい。十日町市の調査は市内全体から抽出した住民を対象としているため、川口市・小千谷市の調査対象者に比べ大きな住家被害を受けた回答者が少なかった（家屋が全半壊と回答した人は川口市が98.0%、小千谷市が76.2%に対し十日町市は8.3%）。そのため、十日町市の調査結果では「地震が起こった日の夜、あなたが困ったことは何ですか」の問いに対して「家が壊れて家に入れなかった」と回答した人は8.8%であったが、「余震が怖くて家に入れなかった」と回答した人は77.6%を占めていた。

この地震において自宅外に避難した人はピーク時には10万人近くいたと言われている。後述する自動車の中へ避難する人が多かったことにも関わることであるが、大きな地震の後、建物内に入ることに不安を感じる人が少な

くないということが、これらの調査結果からもわかる。各所で地震時の避難場所が検討され、その中には建物内の避難を前提としているものもある。しかし、耐震性が保たれている建物であっても、強い余震が続く状況では、建物の中ですごすことに不安を覚える人が増えるかもしれない。そのため、避難所として指定した建物の安全性を人々に周知させる方法や、建物内への避難を拒む人が多くなった場合の対策も考えなければならないだろう。

(3)の情報に関する問題も、災害発生直後には必ず生じるものである。特に、この地震は構造物の損壊や停電の被害が大きかったため、電話・携帯電話が使えないことに加え、テレビを見ることができず自分自身がどのような状況に置かれているのかもわからない人が多かったようだ。

そして、(4)の食事・暖房・トイレ・寝具など人々の生理的な欲求に関する問題は、(1)で述べたようなライフラインのマヒや甚大な建物被害に加え、地震発生の時刻が夕方のしかも夕食前であり、これから夜を迎える時間であったことも関係しているであろう。

#### 4. 避難生活における問題

最初の地震から1週間後に困ったことについて質問したところ(複数回答)、図3のような回答となった。この結果をみると、まず、「余震が怖くて家に入れなかった」と回答した人が、川口町では47.7%、小千谷市では37.2%とこの時点でも多いことがわかる。次に、ライフラインも完全に復旧していないため、電気・水道・ガスが使えない人も半数以上を占めている。そして、人々の生理的な欲求に関する問題についても、食事、暖房、寝具、トイレなどを回答する人の数は、地震当日に比べれば減ってはいるものの、まだまだ少ないとは言えない。加えて、この頃になると入浴や体調の問題を挙げる人が多くなっている。

さて、この調査では、対象者がどのような場所に避難をしたかについても質問している(複数回答)。その結果、回答者が多かったものが「市・町

が指定した避難場所」と「自動車の中」で、それぞれ半数以上を占めていた(図4)。

「市・町の指定した避難場所」と回答した人に、「市・町の指定した避難場所に避難しているときに不便や不満を感じたことはありますか」という質問(複数回答)をしたところ、「洗濯」「風呂」「トイレ」「プライバシー」「なんとなく落ち着かなかった」といった選択肢を選んだ人が多かった(図5)。これらの傾向は、1995年の「阪神・淡路大震災」などでも見られたことである。しかし、これらの問題に対する具体的な解決の方法については、現在も課題として残っている。

そして、この地震で大きく注目された問題が、「自動車の中」に避難をした人が非常に多かったことである。図6は、「自動車の中」に避難した人に、その理由を尋ねた結果で(複数回答)、回答「余震が続くから」、「建物の中にいるのが恐かったから」を挙げた人が多かった。3.でも触れたように、余震が続くと、建物の中へ避難することに不安を覚える人が少なくない。そして、自動車の中は、特に冬季は暖をとりにやすく、プライバシーも保ちやすい。さらに、カーラジオに加え最近ではカーナビゲーションでテレビを視聴することも可能となり情報も得やすくなっている。このようなことから、これからの災害時に自動車の中で避難生活をする人が地域によっては増えることも考えられる。また、この地震では自動車の中で避難した人の中から深部静脈血栓症(エコノミークラス症候群)による死者がでたことから、同じ姿勢をとり続けず、折を見て体を動かすことの必要性といった自動車内での避難における問題点が指摘された。このような問題点を含め、災害時の自動車内避難対策について検討をしなければならないだろう。

#### 5. マス・メディアに対する評価

災害時に、住民の多くはテレビ・ラジオ・新聞などのマス・メディアから情報を得ようとする。この地震では、住民は、これらマス・メディアを、どのように評価したのであろうか。

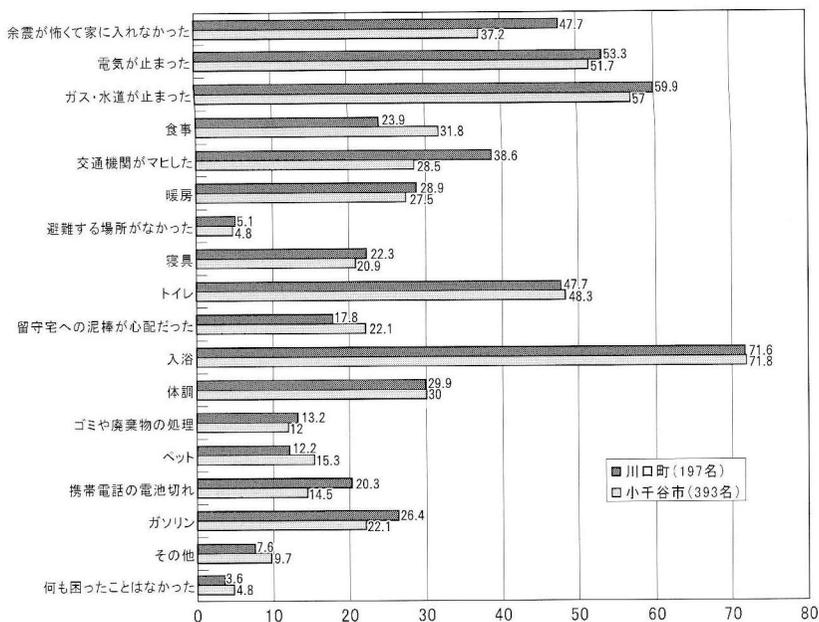


図3 地震発生1週間後に困ったこと〔複数回答〕(%)

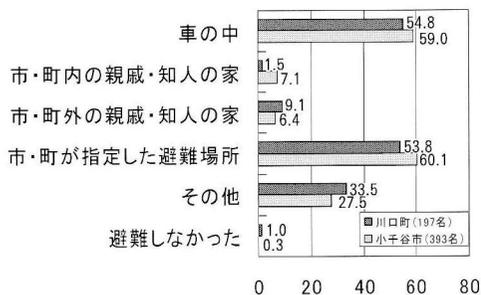


図4 避難した場所〔複数回答〕(%)

この地震におけるマス・メディアの報道について質問したところ(複数回答), 回答者の多かったものが、「地域が偏っていて, 自分の住んでいる地域についての情報が少ない」(川口町 62.4%, 小千谷市 55.0%, 十日町市 44.8%), 「地域が偏っていて救援物資が届く場所と届かない場所が出てきた」(川口町 43.7%, 小千谷市 53.2%, 十日町市 49.7%) で, 情報が特定の地域に偏っていることへの不満が多いことがわかる。また, 「マスコミがたくさん来て迷惑した」「被災者にカメラを向けてまるで見世物のような扱いだ」と回答した人の割合は, 十日町市に比べ川口町や小千谷市が大きくなっている。これは, 川口町や小千谷市に比べ

て, 十日町市は取材の対象になることが少なかったことに関係しているのではないだろうか(図7)。

加えて, 「生活情報など被災者の求めている肝心な情報が少なかった」という回答が, それぞれの地域で2割以上を占めていた。このような意見は, 他の災害でも頻繁に見られることである。被災者向けの生活情報へのニーズは, 市区町村よりも小さい, 町・丁, 避難場所, さらには個人を単位としたものが高く, マス・メディアが, そのすべてのニーズに応えることは現状では難しい。この点はマス・メディアの問題だけでなく, 各地域で災害時における生活情報をどのように収集・整理するべきかという検討課題であろう。

次に, マス・メディア各社が伝えた被災者向けの生活情報についての評価を質問したところ(複数回答),

- (1) FM 放送やコミュニティ FM 放送よりも, 開局してから時間が経っているテレビやラジオ(AM)から情報を得ようとする人が多い。
- (2) 全国紙よりも地元紙から情報を得ようとする人が多い。

という傾向が見られ, さらに, 十日町市よりも仮設住宅の住民を対象とした川口町や小千谷市の方

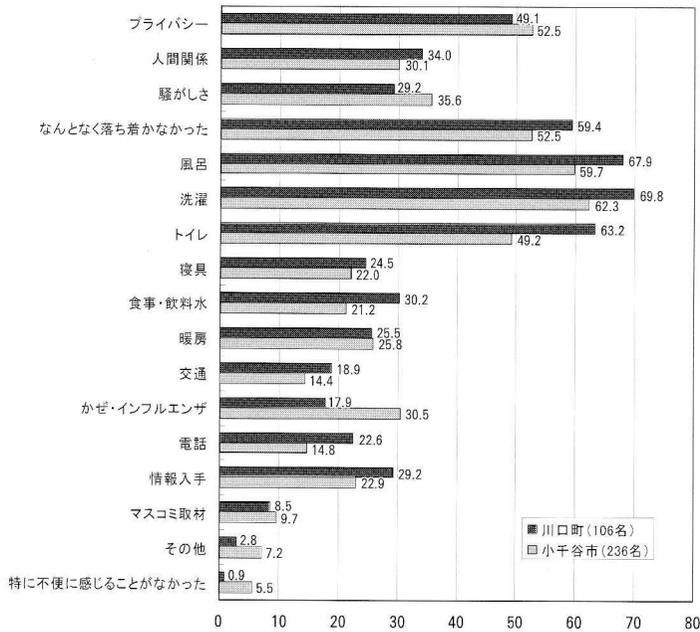


図 5 市・町の指定した避難場所での不便や不満を感じたこと〔複数回答〕(%)

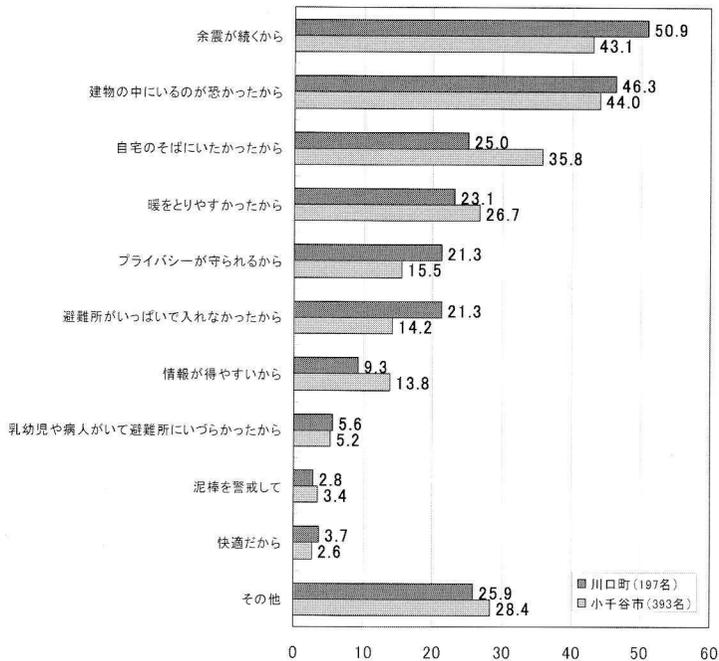


図 6 自動車の中に避難した理由〔複数回答〕(%)

が、テレビ・ラジオよりも新聞からの生活情報が役に立ったと評価した人が多かった(表1)。これは、1995年の「阪神・淡路大震災」でも見られた

ことであるが、特に被害が大きい地域では、情報の収集方法について、見逃したり聞き逃したりしやすいテレビ・ラジオよりも、各自の都合やペー

スで読むことができる新聞（文書）の方に利便性を感じる人が多いという傾向がある。これは、災害時の情報（特に生活情報）伝達手段として、マス・メディアとしては原初的な文書情報が、現在でも有効なものであることを示していると言える。

## 6. 事前の準備と非常持ち出し品

この調査結果によれば、「新潟県中越地震」が発生する以前に、自分の住んでいる地域に大きな地震が起こるかもしれないと考えていた人は、回答

者の2割未満であった。この意識は事前の地震対策の状況にも関係している（表2）。「地震発生前に実施していた対策」について質問したところ（複数回答）、耐震補強や家具の固定といった対策を行っていた人は非常に少なく、非常持ち出し品の用意をしていた人も2割未満であった。

次に「非常持ち出し品を用意していた」と回答した人に、この地震の際に非常持ち出し品を持ち出すことができたかどうかについて尋ねたところ、ほとんどが甚大な住宅被害を受けている小千谷市や川口町の対象者の方が、「持ち出せなかつ

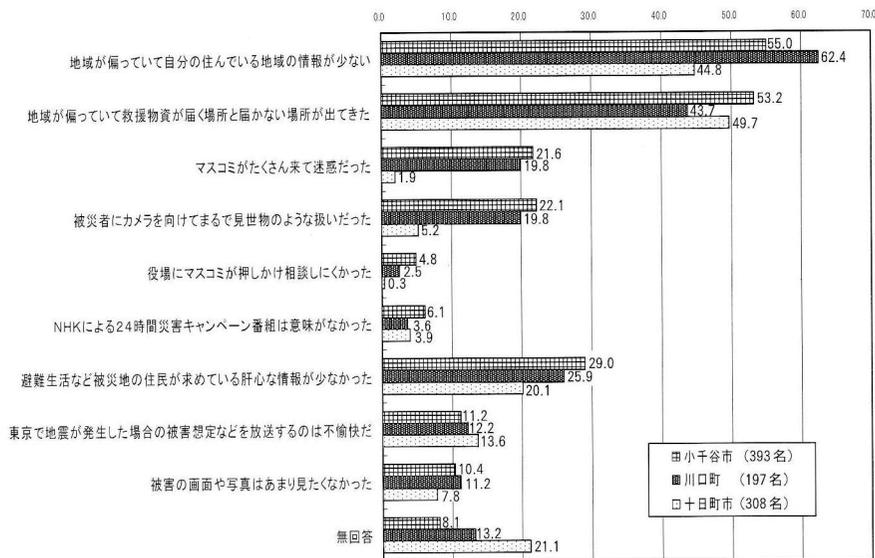


図7 報道に関する評価〔複数回答〕(%)

表1 報道各社の生活情報への評価〔複数回答〕(%)

	小千谷市 (393名)	川口町 (197名)	十日町市 (308名)
NHK ラジオで定期的に放送している生活情報	34.1	24.4	39.9
BSN ラジオ「中越地震情報ステーション」	14.5	15.2	24.7
FM 新潟の生活関連情報	11.7	13.7	12
テレビで放送している生活情報	39.2	32.0	39.6
新聞の生活関連情報	54.7	45.2	28.2
全国紙の地方版に掲載された生活情報	13.7	9.6	13
コミュニティFM	2.0	1.5	8.1
その他	2.3	1.5	1.0
無回答	11.7	23.4	18.2

た」と回答した人が多かった（図8）。

このような回答を踏まえ、「自宅から非常持ち出し用品が持ち出せないことを考えて、あらかじめ地域や避難場所での水や食料の備蓄を考えた方がよいと思いますか」という質問をしたところ、8割以上が賛成と回答している（図9）。

非常持ち出し品を用意していても、現実には持ち出せなかった人が少なくなかったという結果が出ている。非常用品の備蓄は、もちろん各世帯で行うことが必要であるが、あわせて地域単位での備蓄を検討することも必要ではないだろうか。

ただし、地域単位の備蓄と言っても、市区町村の防災用倉庫などにまとめて備蓄しているだけでは、その倉庫から各避難所に運送ができないケー

スも出てくる。そういったことから、ある地域で避難所または避難生活の拠点になる場所に、あらかじめ、その地域の住民に必要なもの（例えば高齢者の多い地域では固くない食料や老眼鏡を備えるとか、乳幼児の多い地域では、粉ミルクやおむつなどを備えるといった対応）を備蓄しておくことにより、災害発生後に生じる問題を緩和できるかもしれない。これは、自治体が担うのか、町内会などの自治会が主体となるのか、地元の商店やコンビニエンスストアと協力するのか、その対策や方法は地域によって様々な考え方があるだろう。いずれにしても、その地域の人々が非常時に避難する場所に予め備蓄しておくことや、その方法について地域の住民の間で合意形成をすることが日常の課題として必要になってくると思われる。

表2 地震が起こる前に実施していた地震対策（複数回答） [%]

	小千谷市 (400名)	川口町 (200名)
耐震補強	1.8	1.5
家具の固定	8.0	9.0
非常持ち出し品の用意	16.3	11.0

## 7. 地震後の留意点

この調査では、地震後の人々の行動の中から、「位牌を取りにいった」「墓を見に行った」「アルバム・写真を持ち出した」「思い出の品・遺品を持ち出した」という選択肢を設け、「家」に関わるものやお金では買えないものなどへの対応に関する質問をしている（表3）。

これらの対応は、誰もがその心情を理解できることである。「取りに行く・持ち出す」といった回答は、調査対象者の全てが仮設住宅で生活をしている小千谷市や川口町の方が、十日町市よりも当然のことながら割合が多くなっている。そして、3つの市町に共通して多いものが「墓を見に行った」という回答だった。「墓を守る」という考え方は、多くの日本人が共通して持っている意識であ

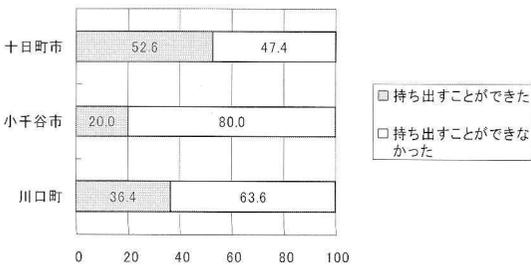


図8 「非常持ち出し品」の持ち出し (%)

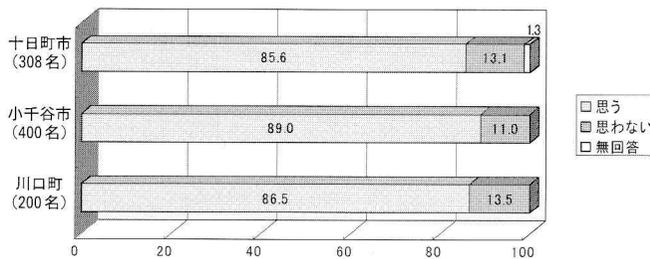


図9 地域や避難場所単位での備蓄が必要と思いますか? (%)

表 3 地震の後に行ったこと（複数回答）〔%〕

	小千谷市 (400名)	川口町 (200名)	十日町市 (313名)
位牌を取りに行った	51.3	51.5	3.8
墓を見に行った	62.8	56.5	56.2
アルバム・写真を持ち出した	47.5	54.0	1.3
思い出の品・遺品を持ち出した	41.3	49.0	4.2

る。

ここで留意したいことは、地震の後、当然行うと考えられるこれらの対応が実は危険な面を持っているということである。大きな地震の後には余震などによって、さらなる建物の崩壊、壁やガラスの落下、棚などの転倒などが生じることがある。位牌を取りにいくことにしても、アルバムや写真を持ち出すにしても、建物の中に入るという行動は人的被害を大きくする可能性がある。目的は何であれ、被害のあった建物に入ることは、時には生命に関わることになることを認識しておかなければならないだろう。

そして、墓に行くことも、地震の後の行為としては、同様に危険なことであろう。近年の地震において、墓石の転倒などによる死者がほとんど出ていないが、これはあくまでも偶然の結果と考えた方がよい。例えば、1978年の「宮城県沖地震」のブロック塀被害のように、死傷者が出るといった顕著な被害が出た場合に、それらの地震対策が進むが、地震時の墓石の危険性は、これまであまり問題にはなっていない。本震では転倒を免れた墓石も、余震で転倒する可能性もあることから、地震の後、墓地に行くことは、実は危険なことであることを知っておく必要があるだろう。そして、将来的には墓石の転倒対策も考えなければならない課題となる。

ただし、これらの行為を絶対にやめるということは、現実的には難しい。したがって、せめて我々の間に定着している生活様式や考え方の中には、地震や災害に対する危険が潜んでいるかもしれないということを認識し、地震の後には、一般の人々もヘルメットを着用して作業をするといった、身の安全を図ることを忘れないようにしなけ

ればならない。

これらの問題は、ボランティア活動においても同じである。「阪神・淡路大震災」により、災害時のボランティアの重要性が認識され、近年の災害でも、発生直後に被災地に来るボランティアが少なくない。しかし、地震の場合は、中には強い揺れを記録する余震も発生することがあり、しばらくは危険な状況が続く。大きな地震の後、被災地でボランティア活動を行う場合には、それぞれが「自分は危険な場所にいる」ということを心に留めて活動しなければならないだろう。

## 8. まとめにかえて—「教訓の共有」と「過去の災害の再検証」—

以上、「新潟県中越地震」に関する調査とその結果から指摘できる問題点の一端を挙げてみた。

このような問題点に対応する課題の1つとして、「教訓やデータの共有」が挙げられるだろう。ある地震から生まれた教訓は、その地震を経験した地域では生かされるが、他の地域では生かされないことが多い。また、次に、同じように地震が発生しても、実際に生じる災害は、季節や時間、場所や地域の特性などによって違ってくる。したがって、地震災害について様々な面からの評価をし、いろいろな可能性を踏まえた備えを行うことが重要となる。こういった判断が各所で行うことができるように、災害時の教訓を共有することが求められる。また、ここで紹介したような調査データ等も、特定の専門家の間だけでなく、一般の多くの人々も容易に活用できるような工夫や発表の機会を設けることも、我々研究する側が考えなければならないことであろう。

そして、問題点に対応するもう1つの課題として、過去の地震災害における教訓の再検証であろう。

1993年に、廣井は、今日も発生が懸念されている地震の1つである「神奈川県西部地震」が仮に起こった場合に予想される状況とその問題について考察を試みている。これによると、「神奈川県西部地震」が起きた場合には、小田原市などの都市部では、ライフラインのマヒによる混乱などが主となる「都市型災害」と、丹沢・箱根地域では、土砂崩壊や道路寸断により多くの人々が孤立するような「山地型災害」が同時に生じる可能性があるとして提起している。このような指摘の基盤となったものは、それまでの災害調査のデータと、そこから得られた知見であり、後者の「山地型災害」というのは、1984年の「長野県西部地震」などを念頭においている<sup>3</sup>。

今回の「新潟県中越地震」においても、被災地の孤立が大きく問題となった。しかし、「長野県西部地震」や1961年の「北美濃地震」など、そう遠くない過去においても地震による山間地などの孤立が問題となっていた。ところが、この問題については、今日においても有効な対策は十分に講じられていない。ある災害が起こると、そこで生じた問題は、しばらくは話題にされるものの、時間が経つと一般的には関心が薄らいでしまう。ま

た、その災害で目立った問題点は対策も検討される場合もあるが、その他の問題点は隠れてしまうこともある。そして、その地震では顕著でなかった点が、別の地震では大きな問題となることもある。こういったことから、過去の災害についてもあらためて様々な点から検証し、言わば「隠れた教訓」を探し出すということも、現在の我々に課せられているのではないだろうか。

## 追記

本稿執筆中の2006年4月15日、東京大学大学院情報学環教授の廣井脩先生が永眠されました。無念です。謹んで先生のご冥福をお祈り申し上げます。

中森広道

[なかもり ひろみち]

**現職** 日本大学文理学部社会学科助教授

**略歴** 日本大学大学院文学研究科社会学専攻修了、財団法人都市防災研究所研究員、日本大学文理学部社会学科助手、同専任講師を経て現職

**研究分野** 災害社会学、災害情報論

**著書** 『阪神・淡路大震災の社会学』（共著、昭和堂）、『災害情報と社会心理』（共著、北樹出版）、他



3. 廣井脩・中森広道「神奈川県西部地震の被害と様相」『地学雑誌』102号、東京地学協会、1993年、pp.482-488.

# 新潟県中越地震の早期検知と脱線

中村 豊

## 1. はじめに

2004年新潟県中越地震では高速で営業運転中の新幹線列車が初めて脱線した。

新幹線構造物が地震で破壊されてしまえば、その上を走る新幹線の安全性を確保することなど不可能である。しかし、構造物が耐震的であっても、大きく揺れる中を高速走行すればなにが起きるかわからない。つまり、新幹線のような、ものが動くことで機能を発揮するシステムの場合、施設の耐震化だけでは、地震被害や災害を防ぐことはできない。地震発生時の機能保全対策が不可欠となる。新幹線の場合、いち早く地震の発生を検知して、できるだけ減速することが地震時対策の基本であり、このためのシステムが地震早期検知警報システムなのである。

新潟県中越地震の場合、直下地震にもある程度対応できる「コンパクトユレダス」がいち早く警報を発して高速走行する新幹線を効果的に減速させた結果、脱線はしたものの大きな災害になるのを防ぐことができた。地震時の対策としての早期検知警報システムの効果は一概に論じることができないが、実際にその減災効果が確認された事例を示すことで、早期検知警報システムの役割を考えるきっかけとなれば幸いである。

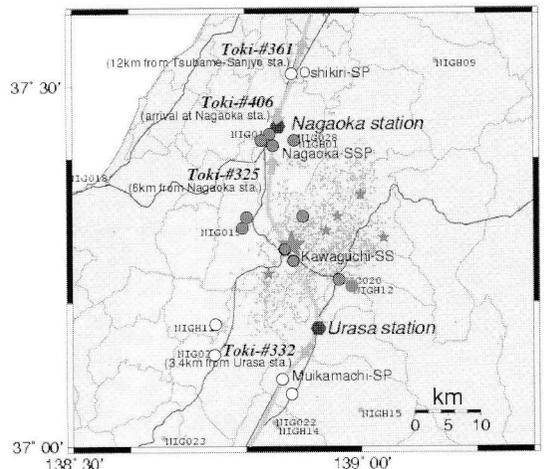
## 2. 2004年新潟県中越地震発生時の状況

本地震は、新幹線の営業時間帯に発生して新幹線に被害をもたらした史上4番目の地震である。気象庁によれば、2004年10月23日17時56分0.3秒に発生し、震央位置は、北緯37度17.3分、東経138度52.2分、深さは13kmで、地震規模はM

6.8であった。

地震当日(2004年10月23日)は、朝方合計5mmの降雨があり、気温は12度から15度、風は1m/sから2m/s、天候は曇、日照時間は合計0.2時間であった。日没はおよそ17時、地震発生は17時56分であるから日没後約1時間のかなり暗い状況だった。雲は夜になって無くなったと考えられ、少なくとも、脱線車両の乗客が地震後4時間経って長岡駅に向かって歩いたときは、月明かりで照明が不要なほどであった。

コンパクトユレダスがP波警報を出した区間は新川口変電所と新長岡補助き電区分所が担当するエリアで六日町き電区分所から押切き電区分所までの区間である。この区間内にいた列車は次の3本である(図1参照)。北から、とき406号(上り、長岡駅に差し掛かって停車)、とき325号(下



- コンパクトユレダスがあれば1秒でP波警報
- コンパクトユレダスはP波警報を出さない
- ★ は主な震央、
- 小さい点群は余震分布、
- 矢印は地震直後の新幹線列車位置と方向

図1 震央付近の状況(震央、余震分布、新幹線列車位置、強震観測点など)

り、脱線して長岡駅まで6kmの地点に停車、乗客151人)、とき322号(上り、浦佐駅から東京寄り約3.4kmの地点で停車、乗客316人)である。なお、脱線した「とき325号(下り、200系10両K25編成)」には、運転士、車掌および客室販売員の3名が乗務し乗客は151人であった。脱線付近の線路はほぼ南北に直線的に伸びている。したがって、その運行に大きな影響を与える地震動は東西方向成分となる。

### 3. コンパクトユレダスの働き

200Gal(=cm/s<sup>2</sup>)以上を検知した震源域付近の新幹線沿線検知点を北から列举すると、新押切SP(き電区分所、203Gal)、新長岡SSP(補助き電区分所、434Gal)、新川口SS(変電所、846Gal)、新六日町SP(270Gal)となる。このうち、P波警報(P波検知後1秒)を発信したのは新川口SSと新長岡SSPの2カ所である。他は40Gal加速度警報だけを発信している。

脱線した「とき325号」が地震発生時にいたと思われる滝谷トンネル出口付近をはじめ、P波警報を発した沿線検知点でのP波到達時間などを0.1秒単位で推定して表1に示す。RI2はリアルタイム震度<sup>1)</sup>の2を表し、計測震度の2に相当する。加速度は5HzPGAの値(単位:Gal)である。なお、コンパクトユレダスの警報ログには10Gal超過時刻の1秒未満を切り捨てたものが各検知点の発震時刻として記録される。

図2に震源域での強震記録(EW方向成分)を

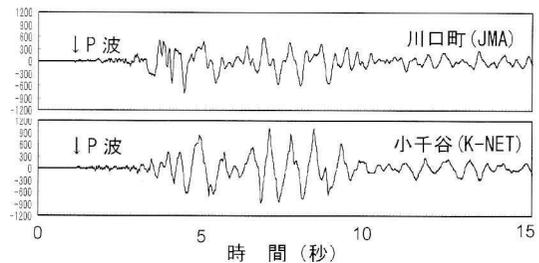


図2 震源地域の強震加速度波形例(単位:Gal)

表1 コンパクトユレダスの動作

検知点	上越新幹線沿線地震検知点(一部)ほか				
	新六日町	新川口	脱線現場	新長岡	新押切
5HzPGA	270Gal	846Gal	(推定)	434Gal	203Gal
最大RI震度	4.9	6.6		5.8	5.3
検知時間 (地震10Gal超過)	17時56分	17時56分	17時56分	17時56分	17時56分
	8秒	3秒	秒	4秒	8秒
P波到来時	5.0	2.9	3.3	3.5	5.9
P波警報時		3.9	3.9	4.5	
RI震度2超過時	6.9	3.1		4.1	8.0
10Gal超過時	7.1-8.1	3.4		4.7	8.5
40Gal警報時	9.8	4.2		5.9	9.9
S波到来時	10.7	5.9	6.4	6.7	15.9
5HzPGA時	12.1	7.7		9.4	13.4
最大RI震度時	13.1	8.1		9.5	17.8
観測波形を用いたシミュレーション結果					

\*5HzPGAはJR警報特性の水平合成最大加速度

\*RIはリアルタイム震度、最大値は計測震度とほぼ一致

例示する。震源直上の川口町の記録（JMA 川口）をみると、東西方向が大きく揺れ始めるのはP波検知後2秒以上経過してからである。トンネル出口とはほぼ同じ震央距離と推定される小千谷地点では、K-NET、気象庁の記録とも、P波到来から東西方向の大きな揺れまでの時間は3.0秒程度であり、トンネル出口ではP波から警報まで約0.6秒と推定されるので、警報から大きな揺れまでの時間は2.5秒程度あったと推定される。極めて短い時間であるが、走行距離にすると約130mであり、被災しているかも知れない130mの区間を走行しなくても済んだこととなる。図3に、深さ13kmの震源から、地震波動が拡がり、検知点や脱線地点などに到達するさまを模式的に示す。

川口町の記録も小千谷の記録も、大きく揺れ始めてから一旦収束した大きくなるという特徴的な地震動の様子を示している。脱線箇所とはほぼ同じ震央距離の小千谷の記録でみると、大きな地震の始めから終わりまでの継続時間は5-6秒である。

なお、地震後の報道では、運転士による非常ブレーキ操作が強調されたが、運転士はコンパクトユレダスの警報によって停電したのを見て、非常ブレーキの操作を行っている。つまり、コンパクトユレダスが警報を発して周辺への給電を停止し走行中の列車に緊急ブレーキを作動させた。その後、その警報で運転士が地震を認識して非常ブレーキを操作したということである。

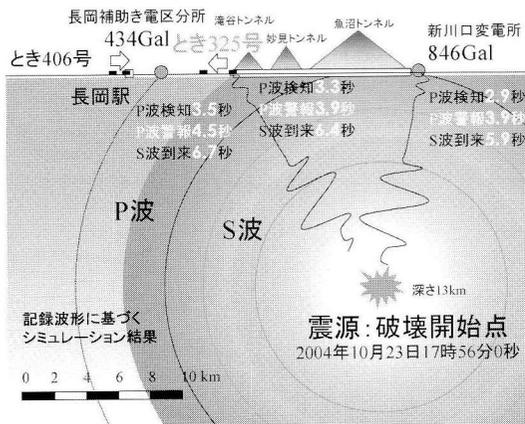


図3 地震波動伝播の模式図

図1には強震記録を用いて、上越新幹線の沿線コンパクトユレダスと同じ警報条件で動作状況をシミュレートした結果を示している。これによると、今回の中越地震の被害地域においては、いずれもP波検知後1秒で警報が発信されることがわかる。これに対して、無被害地域ではP波警報が発信されず、コンパクトユレダスは的確な設定となっていることが確認された。

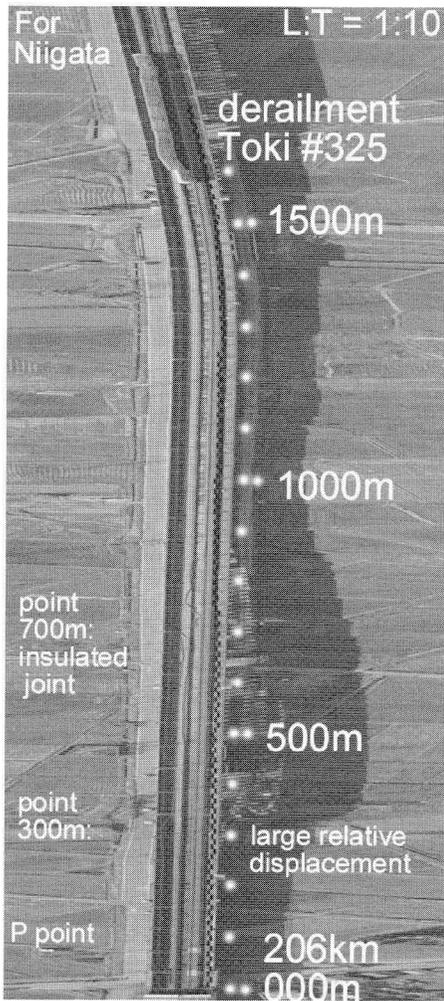
なお、コンパクトユレダスと同等のP波警報レベルで、新川口SSや新長岡SSPでの記録波形に対して、最速警報システム「フレックル」の動作をシミュレーションした結果、それぞれP波検知後0.2秒、0.6秒での警報発信が確認された。現行のコンパクトユレダスよりもそれぞれ0.8秒、0.4秒の短縮が見込まれる。この時、トンネル出口ではP波到来前に警報を受けることになる。これは地震検知点を20km間隔から10km間隔に増やすのと同様またはそれ以上の効果である。

#### 4. 報道された「とき325号」の脱線状況

地震発生時、脱線した「とき325号」は滝谷トンネル付近にいた。滝谷トンネルはキロ程205km 700m（東京起点）までであるが206km 000m付近までトンネル状の雪覆いで覆われている。ここではトンネル出口とはこの206km 000mを指す。また地点位置をここからの距離で示す。図4に脱線現場の航空写真を示す。写真の横方向（ほぼ東西方向）を10倍に強調した結果、レールの変状が明瞭にみとれるようになっている。

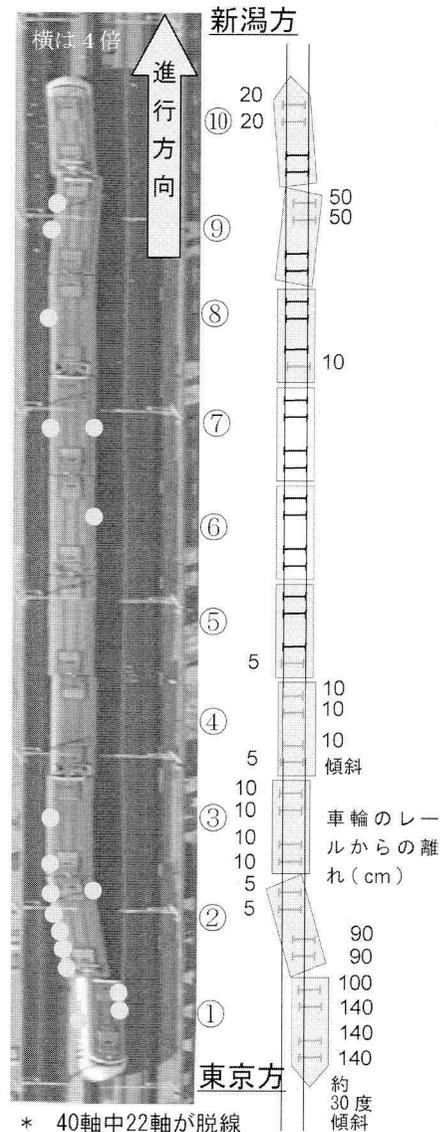
新聞報道による事故調査委員会の発表によれば、脱線状況は以下のとおりである。

大宮起点206km 191m付近の右側レール上から幅数mmの細い傷が付き始め、約16m続いた後、レールの右側に落ちた痕跡が残っていた。何号車の車輪がこの傷をつけたかは不明である。最後尾停止位置から750m手前（206km 830m付近）のところで最後尾車両が排水溝に落ちた。ここから最初の脱線箇所までは、640m程度あり、最初の脱線箇所から停止した先頭車まで1.6km程度ある。全40軸中22軸が脱線、最後尾車両は



とき 325 号脱線やレール変状の状況などがわかる。次々に脱線したと考えられる 300 m 地点付近での軌道スラブの色調変化も見てとれる。

図 4 脱線現場の航空写真



- \* 40軸中22軸が脱線
- \* 1号車は排水溝に落下、車体は約30度傾斜
- 印は損傷した窓の位置

図 5 とき 325 号脱線状況

約 30 度傾斜した。脱線状況を図 5 に示す。

### 5. 目撃証言に基づく脱線状況

NHK 報道番組で放映された目撃者（当時高校三年生、男性）の証言（目撃位置は図 6 参照、トンネル出口から西北西に約 700 m）によれば、① 突然の揺れを感じ、② 光を感じ、③ 何かかかっているとゴーという音がしたので振り返ると新幹線が走っていた。④ 新幹線はトンネルを出た後、しばらくは普通に走り、⑤ いきなり火花を散らし

始めた、⑥ 滑るように停車位置まで走っていった。

直接本人に取材した結果も併せて目撃証言をまとめると以下のようなになる。（ ）内は直接取材によるもの。

- ① P 波を感じた、
- ② 直後に光を感じた（紫色の光、スパーク）、



図 6 目撃地点と新幹線の関係

- ③ 次にゴーという音を聞いている（本人の感覚では①から2秒くらい後）、
- ④ 振り向いて、トンネルを出つつある新幹線を確認したが、トンネルを出てしばらくは普通に走っていた、
- ⑤ いきなり火花を散らし始め（新幹線全体がトンネルから出て50m-100m走った後、先頭から火花に包まれ始め、やがて全体が火花に覆われた）、火花の高さは新幹線の2倍くらいだった、
- ⑥ 滑るように走って止まった。

⑤の証言は非常に興味深い。この証言は、脱線が大きな地震動で一気に生じたものではなく、ある地点を通過する際に、順次脱線していったことを物語っている。

また、①から④の証言は地震発生時の列車位置を特定するのに役立つ。図6に示す位置関係から目撃者が受けたP波を「とき325号」もほとんど同時に受けたものと推測される。その列車がトンネルを出た時のゴーという音を、最初に地震に気づいた後、2秒程（目撃者本人の感覚）経過して聞いている。トンネル出口付近から目撃位置まで700m程度あり、トンネルを出た音が目撃者に届くまでに2秒強を要する。つまり、地震発生時は、「とき325号」がトンネルから出始めた瞬間ということになる。振り向いたときには、2秒分トンネルから出た状態で目撃されることになる。地震時の時間は長く感じられることが多いが、目撃者の感じた2秒という時間がもっと短かったとすれ

ば、地震発生時の「とき325号」はトンネルからもう少し頭を出した状態となる。

別の目撃者（男性、目撃場所は未特定：線路近辺だと思われる）は、列車がトンネルから出てきた瞬間、火花が走ったところをみている。目撃された光が地震動のP波によって「とき325号」のパンタグラフが架線から離線するときのスパークだとすると、K25編成のパンタグラフは先頭から3両目8号車の後部（進行方向に対して、以下同じ）に位置するので、この時点でほぼトンネルから75m以上突き出ていたものと推測される。目撃少年の感じた光もこのスパークである可能性は高い。

今回の地震動は高周波数の上下動がP波到来時から大きく卓越しており、地震直後に上下震動による離線が生じてスパークしても不思議ではない。もちろん、表1によれば、コンパクトユレダスによりP波後0.6秒で停電したと考えられるので、スパークはこの前ということになる。トンネルから75m突き出た時点で地震のP波を受けたとすると、スパーク時点ではパンタグラフはトンネルから出ている。これならば、暗くなった状況下でこのスパークが目撃される可能性は大きい。スパークの時点でトンネルを出たときの音は出口から約470m（ $=75/54.2 \times 340$  m/s）の地点に達している。ここから目撃少年（トンネル出口から約700mの位置）までの音の伝播時間は約0.7秒程度と推測される。つまり、少年はP波の揺れを感じた後、1秒くらい後にゴーという音を聞いたことになる。少年の感覚よりはやや短い、概ね整合する。

## 6. 列車走行状況と地震動の関係

航空写真によれば、トンネル出口から100m程のところ（先行列車がいる区間に次列車を進入させないための）P点がある。P点の150m前方（長岡寄りの206km250m付近）が閉塞区間の境界である。地震動が到来したときには「とき325号」はトンネルから75m程度頭を突きだした状態で閉塞区間境界のかなり手前だったと考えられ

るので、ATCによる減速体勢には入っていません。と考えられる。

震度4程度以上に相当する走行振動に曝されながら、大きく揺れ始める前に地震を感知するのは難しい<sup>2)</sup>。これまでも震度5を超える地域を走行していた列車運転士の多くが地震に気づいていない。警報システムが備えられている所以でもある。トンネル出口付近では、P波到来後0.6秒程度でコンパクトレダスの警報が届いていると考えられる。

トンネル出口付近は小千谷観測点とほぼ同じ震央距離であり波動の発現状況が類似しているとすれば、トンネル出口付近では、P波に続いて約2秒後にS波が到着し、さらに約1秒経過してから本格的な揺れが始まったと考えられる。大きな揺れは5-6秒間継続し、途中1-2秒小さい部分があったと思われる。脱線地点周辺の地震動の大きさは、付近の高架橋がほとんど被災していないことから、小千谷市や川口町よりもかなり小さく、大きくても400Gal程度ではなかったかと思われる。

図7は小千谷の記録の周波数分析結果であるが、上下震動は概ね10Hz~15Hz程度の高い周波数が卓越し、水平震動は、概ね0.7Hzから3Hz程度が卓越している。水平動のうち線路にほぼ直交する東西動成分は、1Hz~2Hz程度が卓越し、新幹線列車の左右動の固有振動数に対応している。したがって、地震動により大きな左右動が励

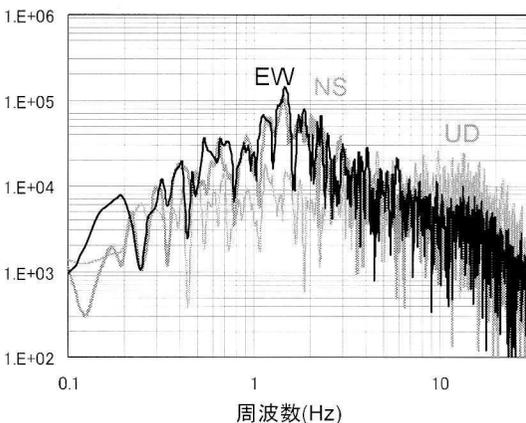


図7 K-NET小千谷の加速度フーリエスペクトル

起され、「とき325号」は大きく左右にロッキング振動しながら走行したと推測される。

結局、「とき325号」はP波後S波まで2秒間、比較的周波数の高い上下動により細かく上下震動しながら、S波以後は、次第に大きく左右に揺れながら走行したものと推測される。P波初動部分の上下動ではパンタグラフの大離線が生じ、大きなスパークが発生した可能性がある。P波後、0.6秒程度で早期検知警報システムにより停電したと考えられるので、離線によるスパークはすぐに生じなくなったと思われる。大きく揺れだすまでの間は、空走時間のため、ほとんど減速していないと考えられ、この間の走行距離は、 $3 \times 54.2 = 160$  mと推測される。トンネル出口からは約240 mとなり、ほぼ全車両がトンネルから出た状態で大きな震動を受け始めたことになる。先の日撃少年の話では、新幹線全体がトンネルから出た後、50 m~100 m走行して、火花を散らし始めたとのことである。したがって、火花を散らし始めたのは、出口から290 m~340 mということになり、大きく火花を散らすような脱線はこの辺りを通過するときに生じたものと推測される。

## 7. 最初の脱線地点と主要な脱線地点付近の状況

一番東京よりの脱線痕跡(206 km 191 m付近から206 m付近まで約15 m)は進行方向右側のレール踏面にあり、トンネル出口から191 mの距離にある。地震発生時には先頭車両は出口からほぼ75 mの位置にあり、この脱線痕跡へは約2秒の距離にある。すなわちS波が到着した時点で、先頭車が最初の脱線地点に到達していたと考えられる。大きく揺れだすのはさらに1秒後であり、50 mほど進んだところである。したがって、トンネルに一番近い脱線痕跡に関与している可能性のある車輛は3両目以降となる。また、この脱線痕跡は一軸だけであり、大きく揺れ始めた震動で進行方向右側のレールに強く押しつけられた車軸のひとつ、おそらく3両目(8号車)後部台車の後部車軸が、たまたませり上って乗り上がり脱線したと考えられる。この時、先頭車は70 m先の260 m

付近に達している。

左側レール踏面には217 m 付近から10 m 程度の間で脱線痕跡が認められる。これに対応するのは後ろから5両目(5号車)の後部台車の後部車軸で、左側レールに押しつけられて乗り上がり脱線したものと推測される。最初の脱線から100 m 程度(2秒程度)走行した時点であり、地震動の中休み部分で生じたものと考えられる。

トンネル出口から300 m くらいの間は、一部耐震補強された、柱高さがほぼ揃った背の低い剛な高架橋が続いている。このため、すべての車輛が同じ位相で左右に揺れながら走行したと推測される。

左右動により車輪が浮く限界の水平加速度は、重心高さ2.2 m とレール幅1.43 m とから、概略330 Gal 程度と見積もられる(図8参照)。付近の地震動加速度はこれよりもやや大きいと考えられ、高架橋の増幅効果も考慮すると、大きな揺れの間は、左右に揺れると同時に車輪を浮かせながら走行したと考えられる。これは、脱線後のコンクリートスラブ上の走行痕跡(図9参照)とも整合する。

一方、トンネル出口から300 m 付近は崖状地形のため、高架橋の高さが急変している(図10参照)。このため、構造も一層式高架橋から2層式高架橋に変わる。つまり、地震動に対する高架橋の変形性能は、この地点で大きく変化しているもの

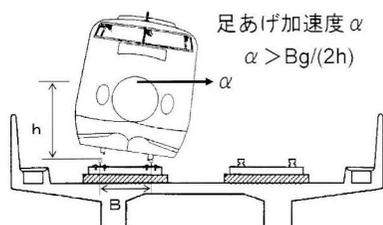
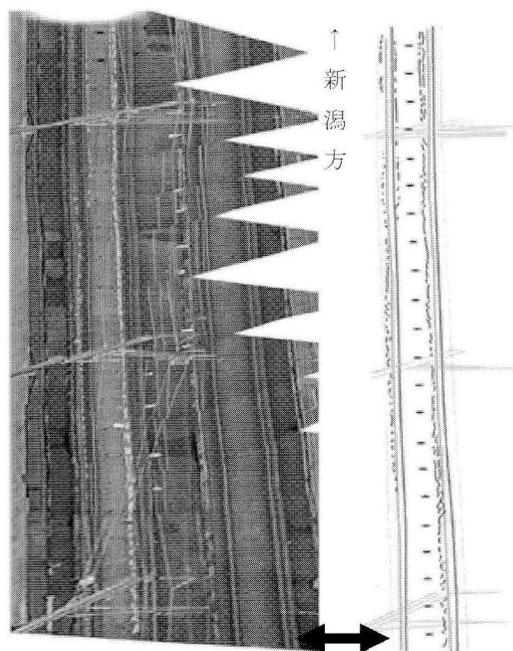


図8 足あげ加速度の見積

と推測される。高架橋の高さは概ね5 m 程度から12 m 程度へと急変しているが、設計震度が作用した時に1 cm 以下の変形に抑える規定に基づき、低い高架橋では柱幅90 cm の一層構造、高い高架橋では柱幅110 cm の二層構造となっている。この変形性能はほぼ固有振動数2.23 Hz(設計震度0.2)~2.49 Hz(設計震度0.25)に対応する。大宮-熊谷間(上越新幹線)の高架橋(概ね高さ9 m)の実測によると、固有振動数は概ね3.5 Hz<sup>3)</sup>と規定よりも剛につくられている。



\* 著大相対変位発生箇所(206 km 285 m 付近)  
通過後の脱線状況=スラブ面の走行痕  
左: 上が新潟方面、左側から撮影された報道映像を加工して作成、横方面を4倍に拡大  
右: 走行痕、レール、スラブ及び電架柱のトレース図  
\* 矢印は295 m 付近を示す  
\* 軌道中央の楕円はRCスラブブロックをとめる円筒形せん断キー=5 m 間隔

図9 大脱線開始点付近の状況

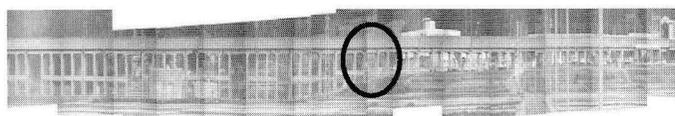


図10 著大相対変位発生箇所206 km 285 m 付近(○印)

図 11 は、崖部分を中心に柱の高さや太さをもとにして、静的な加速度が作用したときの高架橋柱の変形分布を、崖上高架橋を基準にして概算したものである。

今回の地震動は 1 Hz～2 Hz 程度と、高架橋の固有振動数よりかなり低いので、高架橋の変形応答を静的に見積もっても大差ないと考える。崖付近での柱の変形形状を図 11 に示されるように高架橋ブロックごとに平均し、滑らかに繋いだものと考え、崖の上に位置する一層式高架橋ブロックと崖を跨ぐ二層式高架橋ブロックの間には大きな相対変位が発生することがわかる。つまり、一斉に左右の車輪を交互に上げながら進んできた列車の先頭車両が、崖地点を通過する時に、レール上の車輪がレールの大きな変位に追従できず脱線したのではなからうか。脱線後も大きな地震動が継続する間は、左右に大きく揺れながらコンクリートスラブを傷つけたと考えられる。後続車両も同じように左右に揺れながら崖地点を通過したが、地震動の大きさの消長により、脱線したものと脱線しなかったものが生じたのであろう。間に比較的静かな部分がある地震動の様子と、前方と後方で脱線している状況は調和的である。さらに後半の地震動の方がより長いことは列車の後半でより多く脱線していることとも調和的である。なお、片方の車輪を挙げた状態で、挙げた車輪の方向に投げ出されれば、ほとんど抵抗無く脱線し、レールには大きな脱線の痕跡は残らないも

のと想像される。

脱線後、レール踏面からコンクリートスラブ面まで約 20 cm 落下する。3 号車（後ろから 3 両目）の乗客の中に、「何か下に引っ張られるような感じがして…」地震に気付いたと証言している人がいるが、この時の落下に対応しているかもしれない。

単純な落下を考えると、この間の車輪の落下に要する時間  $t$  は、 $t = (2h/g)^{0.5} = 0.2$  秒となる。ここに  $h$  は落下高さ、 $g$  は重力加速度である。この間、列車は 10 m 程度走行する。つまり、大きな変位が発生した地点はスラブ面の脱線痕跡箇所より約 10 m 手前ということになる。最初に道床スラブに大きな傷がついている箇所は、206 km 295 m 付近と思われるから、脱線を引き起こした大きな地震動は 206 km 285 m 付近で発生したことになる。これは図 10 の高架橋の変形図と整合する。

大きな地震の揺れは、5-6 秒程度しか継続していない。195 km/h で走行していた列車が一定の減速度で 1,600 m 走行して停止したとすれば、その減速度は約 3.3 km/h/s (0.92 m/s<sup>2</sup>) と見積もられる。したがって、この 5-6 秒間で 260-300 m 程度走行する。大きく揺れ始めたのが 240 m 付近と考えられるから、大きな地震動が収まったときには先頭車は概ね 500-540 m 付近にあり、最後尾はちょうど大きな相対変位が発生する地点付近の手前か通過中と考えられる。既に大きな地震動は終わっていたかも知れず、最後尾車両（1 号車）はこの時点では脱線していなかった可能性がある。

脱線車輪の走行などで破損したレール締結装置などが跳ね飛ばされ、窓ガラスを破損した。損傷状況（図 5 に付記）を見ると、進行方向左側に多い。これは、飛ばされたものが防音壁で跳ね返ったためと考えられる。4 号車と 5 号車の窓は損傷していないこと、全軸が脱線した 3 号車と 4 号車の後ろの 2 号車の窓ガラスの損傷がもっとも多いことなどから、脱線車両の 1 両～2 両後ろの車両の窓ガラスが破損すると考えられる。1 号車の窓ガラス損傷が少ないことから、2 号車は一部しか脱線しなかった可能性がある。つまり、大きな地震動は 2 号車が 285 m 付近を走行する時点では

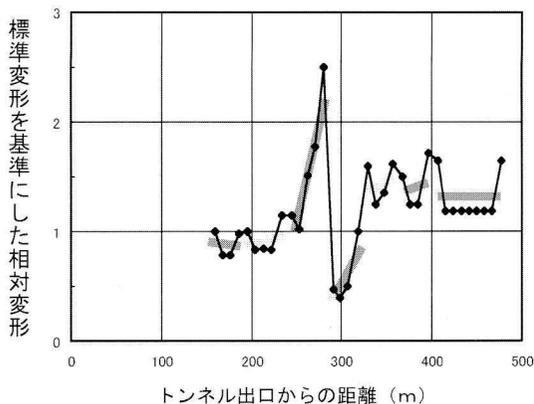


図 11 静的水平荷重に対する高架橋の変形形状

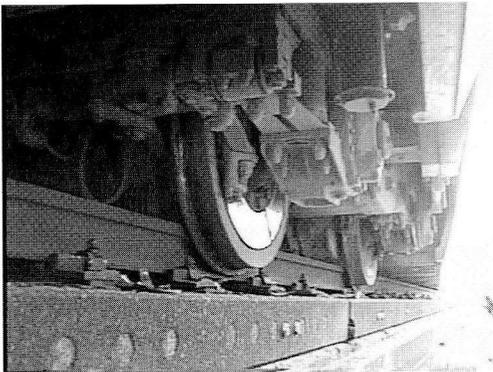
ぼ終了したと考えられる。300 m 付近の走行痕や停車位置での脱線状況をみると、前部の台車が左側に脱線した後で大きな揺れは終了したと推定される。最後尾車輛はこの時点では脱線していなかった可能性がある。以上の考察は、上述の地震終了時の車輛位置関係とも矛盾しない。

## 8. レールと車体の接触

脱線して車輪がスラブ面に落ちると、レール踏面と車体のボディマウント底面が接触する。その様子を図 12 に示す。

大きな地震動が継続している間の車体とレールの接触は、左右どちら側へ脱線したかによって異なる。すなわち、先頭車のように進行方向左側への脱線では、車体が右方向に揺れている時には右側のレールと車体底部右側が接触する。このとき、スラブ面への痕跡は右側レールの左側、すなわち軌条の内側につけられる。一方、車体が左方向に揺れている時には、スラブ面への痕跡は左側レールの左側（軌条の外側）につけられるが、左右のレールと車体の接触はないと考えられる。右側に脱線した場合には、これと逆の現象となる。すなわち、軌条内のスラブ面への痕跡がある方のレールと車体下部が接触しながら走行したと考えられる。

脱線状況をみると、進行方向左側への脱線が比



2号車（後から2両目）3号車寄り台車の状況。車輪がレールに密着していること、胴体がレールに接触していることなどが分かる。（NEWS23取材班提供VTRから）

図 12 脱線状況の例

較的多く、大きな地震動の間、右側のレール上を車体が滑走した時間が長かったと推測される。左右の揺れはほぼ半々と考えられるので、震動時間の半分の3秒程度がその滑走時間の上限と推定される。しかし、連続した滑走ではなく、摩擦による加熱量は相対的に少なかったものと推測される。しかし、地震動が収まった後は、脱線部分では車体がレール上に胴体着陸した状態となり、連続的に接触する。つまり、脱線車輛が通過する間、レール踏面は摩擦により加熱され続ける。このため、レールは上に凸の形状に孕みだそうとするが、車体重量と締結装置により抑えつけられる。列車通過後は車体重量による押さえ込みがなくなり、締結装置だけがレール変形に抵抗することになる。大きく脱線しなかった後部の車輛では脱線後車輪がレールの締結装置を踏んで破壊しながら走行したと考えられるから、左右のレールの左側のレール締結装置は損傷していると考えられる。このため、列車通過後、レールの左方への孕みだが始まったものと推測される。これが500 m から600 m のレールの状況であろう。700 m 付近の絶縁継ぎ目付近は、レール伸縮に対して多少動きやすくなっていると考えられる。このため、継ぎ目部が盛り上がったものと推定される。付近のスラブ面（図 13 参照）をみると、9号車（先頭から2両目）の左側車輪によるものと思われる軌道中央左側の走行痕を残して走行痕が消えている。右側レールの左側にずっと続いていたスラブ面走行痕は約15 m に亘って突然消える。前後の走行痕の様子をみると、前の痕は次第に薄くなっているのに対して、15 m 先では走行痕が突然、明瞭に始まっている。一方、左側のレールの左側の痕跡はあまり明瞭ではないが、右側と同時に痕跡が無くなり、右側の痕跡よりさらに25 m ほど先で再び始まっている。この痕跡は突然ではなく少しずつ濃くなっている。

これは次のように解釈できる。左右のレールともに浮き上がっているが、左側は車輪がかすかに浮く程度のところと浮き上がらないところが交互に現れた。これに対し、右側は、絶縁継ぎ目部分でかなり盛り上がった。ここを通過する脱線車輛

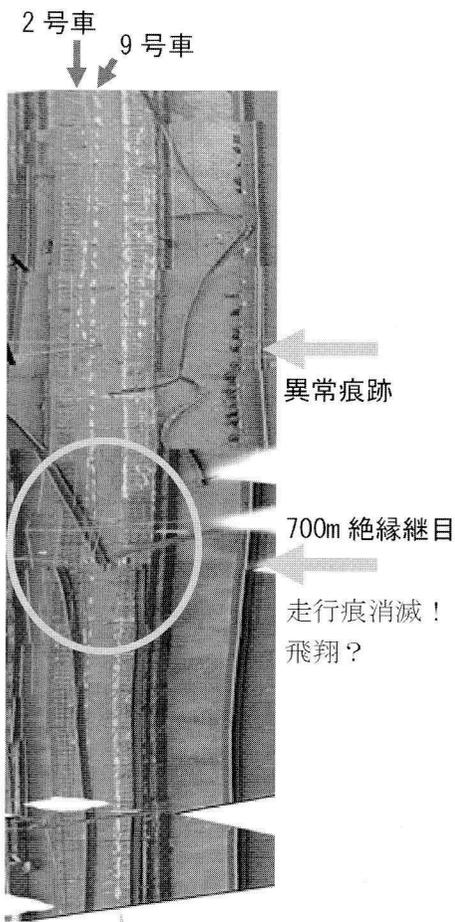


図 13 700m 地点付近の状況

は車体の右側を浮かせて 15 m ほど飛んだ後、各台車がほぼ同じ地点に着地して明瞭な痕跡を残した。

2号車後部はここまで脱線しておらず、最後の1号車もレール上を走行しながら盛り上がり部分で飛び上がり、着地したあとのリバウンドで右側に大きく脱線したものと推測される。図13に見られる変則的な走行痕(←印で示した)は、その時に引きずり込まれて方向を変えながら走行した2号車の走行痕跡と思われる。つまり、最後尾車輛はこの部分で大きく脱線し(排水溝に落ちかかったかも知れない)、その際、右側レールを巻き込んで引きちぎり、大きく変形させながら進んでいったものと推測される。なお、830m付近からは上り側スラブの側面にも傷跡が見られることが

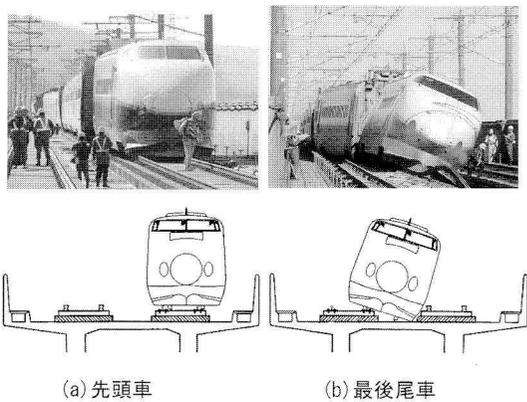


図 14 地震後の脱線状況

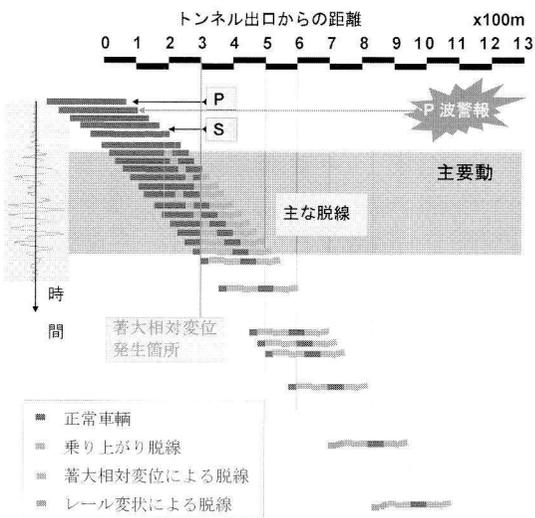


図 15 地震時脱線状況の模式図

ら、ここで完全に排水溝に落ち込んだとされている(図14)。

## 9. 脱線状況のまとめ

今回の脱線現象に関する考察をまとめると、脱線は以下のように発生したと推定される。参考のため図15に脱線状況の模式図を示す。

- ① 先頭車が滝谷トンネル(206 km 地点)を出て、75 m ほど進んだところで、地震(P波)に遭遇し、スパークした。

- ② P波から0.6秒後にコンパクトユレダス警報を受け停電、緊急ブレーキが作動し始めた。
- ③ P波から2秒後にS波が到来し、さらに1秒後大きな揺れが始まった(先頭240m付近)。その直後、8号車後部台車の後部車軸が190m付近で乗り上がり脱線した。
- ④ 列車は、5-6秒継続する大きな揺れの中を、全車両が一斉に左右にロッキング震動しながら交互に片輪走行した。
- ⑤ 高架橋ブロック間で大きな相対変位が発生する場所(285m付近)があり、ここを片輪走行するときに次々に脱線した。最初の大きな揺れが終わる頃に左車輪を挙げて右側に揺れている列車の10号車前部台車が285m付近で左側に脱線し、そのまま30mほど走行して、今度は反対側に揺れはじめ、全列車は右側車輪を挙げた。その直後、9号車の後部台車が285m付近を通過して、右側に脱線した。その後揺れは一旦おさまったが、80m走行して再び揺れ始める前に、5号車の後部台車の後部車軸が217m付近で乗り上がり脱線した。再び揺れ始めて、右側の車輪を上げ始めた4号車が285m付近を通過する時に左側車輪が右側に脱輪した。続いて3号車の全台車および2号車の前部台車が285m付近を通過する時は左側に脱線した。この間、およそ1.5秒、この段階で大きな揺れはおさまり、最後尾車輛の1号車は無事に285mを通過した可能性が高い。
- ⑥ 大きな揺れが続いている間は、片輪走行し脱線車輛のボディーマウント底面とレールの接触は左右交互に発生した。地震終了後は脱線した車体底面とレールが全面的に接触しながら滑走した。この摩擦熱によりレールが伸び、特に700mの絶縁継ぎ目付近が盛り上がった。
- ⑦ 700m付近を通過した車両は飛び上がり、15m先に落下した。500m-600mでは列車通過後、左右のレールともに左側のレール締結装置の左側が脱線車輛によって損壊して、大きく左側に孕みだした。
- ⑧ 最後尾車輛(1号車)は、700m付近を通過した時飛び上がり、着地後バウンドして2号車の後部台車を引きずりながら右側に大きく脱線した(700m付近)。この時同時に抱き込むようにレールを横倒ししながら進んだ。
- ⑨ さらに130mほど進んで、最後尾車輛は完全に排水溝に落ち込み、停車位置まで滑走した。

以上のように、今回の脱線は微妙なタイミングで生じたと考えられる。警報が遅れ、列車がもう少し進んだ状態で大きな地震を受け始めて285m付近の大変形地点にさしかかったとすると、最初の大きな揺れで先頭車両はより激しく脱線し、最後部車輛も次の大きな揺れの最中に285m付近を通過して脱線したかもしれない。つまり、より多くの車輛が脱線した可能性があり、その場合、レール上を脱線した車体が接触しながら滑走するため、摩擦の問題がより深刻になったと考えられる。すなわち、列車通過後にレールが変状するのではなく、通過中にレールを巻き込んで大惨事になった可能性もある。逆に、より早い警報などで早く制動をかけることができると、285mに差し掛かるのを遅くすることができ、先頭部分は脱線から免れ、後半部分もより少数の車輛だけに脱線が限定されると期待される。脱線する車輛が少なくなり、車体とレールの接触も限定されたものとなり、レールの変状も抑えられたかもしれない。少なくとも今回の場合、より早い制動はより高い安全性をもたらすものと考えられる。

## 10. 今後の対策について

ここでは前節で分析された脱線現象に基づいて、地震時の列車災害を防止する方策について検討する。

今回の脱線では、幸運にも列車の前方部分で致命的な走行障害が発生しなかった。今回の脱線事故の教訓のひとつは、脱線しても大きな走行障害を生じさせなければ、乗客の安全は確保されるというものである。結果的に後方から引っ張る形で

滑走したのも、ドイツ新幹線 ICE のような惨劇に発展しなかった要因であろう。また、ボディーマウントタイプの車体では脱線すると、車体とレールが接触して滑走する可能性がある。考えてみると不思議でないかもしれないが、新鮮な知見である。滑走すれば、摩擦熱でレールに異常が生じる可能性が大きくなり、走行障害に発展する可能性があることもわかった。こうしたことから、定性的には以下の方策が考えられる。

- ① 脱線させない
- ② 脱線しても正常に走行させる
- ③ もし万一災害になっても最小限度に抑える

この実現のため以下のような具体的方策が可能性として考えられる。この方策の中には既に実施されたか、実施されることになっているものもある。あくまでも部外者の考えで的を射ていないものもあろうかと思う。ご教授いただければ幸いである。

①-1. 軌道側の脱線しやすい場所に脱線防止工（レールまたはガード）を敷設する。地震時は左右動が卓越し、車輪が交互に持ち上がる可能性が高い。このような状態でも効果が無くならないように配慮する。短い区間で大きな相対変位が生じる場所を選定し、集中的に敷設するだけでも、大脱線を防止する効果は大きいと推察される。

①-2. 車輪のフランジは現在 3 cm であるが、これを可能なだけ伸ばすことで、脱線に対する耐性を高める。これによって、万一脱線しても、車体とレールが接触しないようになり、摩擦熱の発生が抑えられると期待される。

②-1. 脱線しても車輪がレールから大きく逸脱しないような装置を、軌道側ないしは車輪側につける。車輪側でいえば、脱線しても台車がレールをガイドとして抱き込むような構造とする。今回の脱線でも結果的にそのような事態となったことが報告されているが、これを意識的に行おうとするものである。

②-2. 脱線した後、レールに過大な熱を加えないように工夫する。具体的には、ボディーマウント車体とレールの接触を防ぐため、車体下面位置を現在より上げる。または、車輪の径を大きくする、すなわち、フランジの長さを現在よりも大きくして、脱線時にも車体とレールが接触しないようにする。これは、脱線防止にも効果的だと考えられる。

③-1. 現在より早く警報できるようにする。シミュレーションによれば、フレックルはコンパクトユレダスが 1 秒で発した警報を 0.2 秒程度に短縮できる。今より 0.8 秒早く、地震計間隔を 10 km にすると同程度以上の効果が期待される。

③-2. いち早く走行中の新幹線を減速させるため、緊急ブレーキの空走時間を短縮する。新幹線では、停電によって緊急ブレーキが作動する仕組みとなっているが、停電後、緊急ブレーキが効き始めるまでには数秒を要する。この空走時間をほとんど 0 にできれば、警報の迅速化や検知点の増設などよりも効果的である。しかも車輪側で対策できるので現実的で、実現性の高い方策ではなかろうか。

③-3. 地震をより早く検知できるように検知点間隔を狭める。現在の新幹線は原則として 20 km 間隔に地震計が設置されている。これを 10 km 間隔にすると最大で 1 秒早く検知できる。しかし、設備が大掛かりになる割には効果が少なく、ここに現在より 1 秒以上警報が遅いシステムを置けば、現在よりも遅い警報しか実現できないことになってしまうので注意が必要である。

## 11. おわりに

以上、新潟県中越地震におけるコンパクトユレダスの動作状況と脱線状況を、公開資料などを中心にして分析した。また、得られた知見をもとに地震時の脱線対策を定性的にまとめた。

阪神大震災や新潟県中越地震の例をみると、M7 クラスの地震でも震央域では脱線は避けがたい現象であると思われる。脱線しても転覆などに到

らないようにうまくやり過ごす方策を考えることが重要となる。そのためにも、今回の脱線についての詳しい調査分析が不可欠となる。事故調査委員会からは経過報告<sup>4)</sup>のみで最終報告はまだである。早急な公表を期待するとともに、本稿が議論の深まりに少しでも寄与できれば幸いである。

なお、2005年8月16日11時56分頃に発生した宮城県沖地震(M7.2)でも、コンパクトユレダスがいち早く警報を出して(当時話題になった気象庁の緊急地震速報発信よりも4秒ほど先行している<sup>5)</sup>)、仙台周辺を走行中の列車群を緊急停止させた。新幹線構造物に被害は無かったものの、運転再開までに長い時間を要した。これには架線の切断事故が発生したことも影響している。規模の大きな地震の場合長周期成分が卓越するため、架線の共振が発生したと思われる。共振により架線が大きく左右に振れてパンタグラフのすり板からはみ出た後、パンタグラフと衝突して切断に到ったものと推測される。こうした周期の長い架線の振動は時間をかけて成長すると考えられるので、警報とともにパンタグラフを下げることで、このような事態は避けられるのではなかろうか。

**謝辞:**多くの公開資料を参照させていただき、今回の脱線現象を自分なりに納得できるようになるまで考察させていただいた。資料を収集し、公開された関係者のご尽力とご努力に感謝します。特に東京新聞の瀬口晴義記者には独自に入手された様々な情報を教えていただきました。また、長岡技術科学大学増井技官には現地調査におつき合いいただくとともに、目撃少年を探し出していただくなど、大変お世話になりました。(株)システムアンドデータリサーチの齋田淳主任研究員と佐藤勉副主任研究員には、資料整理や議論、現場調査などにおつき合いいただきました。深甚の謝意を

表します。強震記録については、独立行政法人防災科学技術研究所によるK-NET、KiK-netの公開データ、気象庁仕様の計測震度計に記録され気象庁から公開されたデータならびにJR東日本の新幹線沿線で観測され土木学会を通じて公開されたデータを使用しています。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 中村 豊, 2003, 合理的な地震動強度指標値の検討—DI値を中心にした地震動指標値間の関係—, 第27回地震工学研究発表会, 2003.12.9~12.
- 2) 増田泉子, 2001, 芸予地震…その時多くの乗客は気付かなかった, 中国新聞特報2001, 2001年5月1日朝刊.
- 3) 中村 豊, 中嶋 繁, 1989, 常時微動を用いた新幹線の高架橋の地震動特性の推定, 第20回地震工学研究発表会講演概要集, pp.405-408.
- 4) 航空・鉄道事故調査委員会, 2005, 上越新幹線における列車脱線事故に係る鉄道事故調査について(経過報告), 平成17年1月24日, <http://www.mlit.go.jp/araic/>
- 5) 検証:2005年8月16日11時16分頃の宮城県沖の地震に対する情報発信, 2005年8月29日, <http://www.sdr.co.jp/050816miyagi/analysis.html>

中村 豊

[なかむら ゆたか]

**現職** 株式会社システムアンドデータリサーチ代表取締役, 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻連携教授  
工学博士

**略歴** 東京大学大学院土木工学専門博士課程修了, 日本国有鉄道公社鉄道技術研究所, 財団法人鉄道総合技術研究所ユレダス推進部長を経て現職

**研究分野** 耐震工学, 地震工学, リアルタイム地震防災



# 地震動早期検知システム

早期検知システムはさまざまな地震対策のひとつであり、地震に遭遇したときに生じるかもしれない災害をできるだけ軽減することを目的としている。新幹線の場合、大きな地震動に襲われる前にできるだけ減速して被災箇所へ突入する危険を少なくするとともに、災害発生時の衝撃を緩和する効果を期待している。新潟県中越地震で指摘された脱線列車と対向列車の衝突防止効果は、被災箇所への突入防止効果のひとつとして考慮されている。

地震の予知（場所、時間、大きさ）が確実にできるのならば、その時間安全な場所で地震をやり過ごせば安全性は確保できる。実際には、予知もできないし、絶対的な耐震構造物も存在しない。経年劣化という現象もあり、不測の事態の発生に備える必要がある。

地震予知に代わるものとして地震の早期警報が発案されたのは、今から140年近く前、明治維新の年のことである。サンフランシスコを襲った地震を契機に地元の医師により、震央地域で危険地震の発生を検知し、電信で遠く離れた都市に伝える前線検知のアイデアが公表されている（Cooper: San Francisco Daily Evening Bulletin, 3<sup>rd</sup> November 1868）。それからほぼ100年が経過した1972年、日本の地震学者と地震工学者のグループが協力して東京圏を対象にした「10秒前検知システム」構想を発表した。日本ではこれに興味を示したいくつかの機関により開発研究が進められたが、国鉄以外は実用的なシステム構築までには到らなかった。当時の国鉄では、新幹線の地震発生時対策のひとつとして前線検知の採用を模索し、1982年の東北新幹線開業時から海岸線検知システムとして実用化した（中村・斎藤：地震の早期検知・警報システムの開発, 6JEES, 1982.12）。

さらに地震検知を早めるため、1979年からP

波初動で地震を検知して警報する新しい「一点検知システム」の開発研究を開始し、1984年には実用可能なP波警報システム「ユレダス」として完成した。これは、単一の観測点の初動情報を基に地震の全体像をいち早く推定して被害発生地域を予測し、地震動到達前に警報するというものである。地震の規模M、地震発生位置・深さを推定し、既往の被害分析からM-Δ図上で地震規模Mに対して被害が発生するかも知れない地域の震央距離を割り出す、いわゆるM-Δ法によって警報を発信している（中村・富田：地震動と被害の予測, JREA, Vol. 27, No. 9, 1984.9）。以上のいわゆるユレダス処理は、波形データを蓄積することなく逐次リアルタイムに実行される。

ユレダス処理では地震規模を初動周期から推定するが、断層破壊時間に相当する時間以上の時間が必要になるものと考え、当初、概ねマグニチュード(M)6の断層破壊時間に相当する3秒という処理時間を設定した。警報にはM6以上であることがわかれば十分と考えたのである。その後、P波後1秒までの情報で少なくともM7超まで推測できるという観測事実が明らかになり（Nakamura: UrEDAS, Urgent earthquake Detection and Alarm System—Now and Future, 13WCEE, 2004.8）、ユレダス処理で得られるマグニチュードは断層破壊時間よりもかなり短い時間で確定するという研究成果（Olson and Allen: The deterministic nature of earthquake rupture, Nature 438, 10<sup>th</sup> November 2005）も発表された。こうして、現在、最新のP波警報システム「フレックル」のユレダスロジックでは、警報に必要な地震諸元の推定はP波検知後1秒までに短縮されている。

一方、まだ、ユレダス処理時間が3秒であっ

た頃、阪神大震災が発生した。神戸市内のコンビニエンスストアの防犯ビデオ映像は、地震発生直後のすさまじい揺れの様子を記録している。これらの映像によればP波到来後数秒で大きな震動に襲われている。これでは3秒で警報を出しても、大きく揺れ出してから警報となる。もともとユレダスは大きな地震の震央付近で地震を検知し、離れてはいるが被害が発生しそうな地域に対して、地震波動より早く警報しようとするものである。その意味では想定通りなのであるが、もしP波後1秒で警報が出せれば、直下の地震であっても大きく揺れ出す前に1~2秒のリードタイムが稼ぎ出せる可能性があることをこれらの映像は示している。

そこで、直下地震にもある程度有効なP波後1秒で警報できるシステムの開発に着手した。このシステムがコンパクトユレダスであり、検知した地震の危険性をP波部分の地震動の大きさに直接的に判断する。「コンパクトユレダス」ではP波識別の信頼性を確保するため1秒を費やしていたが、機能を複合させ高度化した新世代システム「フレックル」ではP波識別機能を向上させた結果、最短0.2秒で警報可能になっている。

このフレックルは、センサーを含めたほぼすべての機能が12cmの立方体に収納され簡単に持ち運ぶことができる。極めて迅速で信頼性の高い警報を実現しており、持ち運びできる地震動早期検知警報システムとしての用途も広がっている。すでに2005年のパキスタン地震で活躍するなど、頻発する余震の中で活動しなければならぬことが多いレスキュー部隊の信頼を得ている。フレックルは、小型で世界最速のP波機能をもつという特長を活かし、今後、

鉄道分野のみならず、様々な分野に浸透していくものと期待している。

また、カリフォルニア大学バークレー地震研究所やカリフォルニア工科大学地震研究所などのユレダス共同観測結果によれば、通常使用範囲の半径200km内のみならず、10,000kmを超える遠地大地震についても大まかな震源諸元が推定できる可能性が見出され、ユレダス処理も採用しているフレックルは地震を感じない地域に対する津波警報システムとしても利用できるのではないかと期待している。

なお、早期検知システムには、以上説明した新幹線などで15年以上の稼働実績のあるユレダス系列のほか、緊急地震速報のために稼働しているふたつのシステムがある。ひとつはユレダスと同じように単一の観測点の情報を用いるシステム（いわゆる気象庁システム）であり、もうひとつは稠密に配置された多数の観測点の情報を用いるシステム（いわゆる防災科研システム）である。気象庁システムは、観測点から200kmまでの地震を対象に、地震検知後2秒間の蓄積波形を処理して地震諸元の推定を試み、これで確定できなかった場合、1秒ずつデータを足して推定を行うというものである。気象庁による試験観測の結果では、地震諸元の推定には実用上5秒程度を要することである。防災科研システムは、稠密に配置された観測点への波動の到達情報を用いて震央位置をいち早く特定するものであるが、データ伝送時間も考慮すれば規模を含めた全体像を確定して警報を出すまでの時間は概ね気象庁システムと同じ5秒程度とのことである。

(中村 豊：(株)システムアンドデータリサーチ、  
東京工業大学大学院連携教授)

# 地震早期検知システムは、長周期地震動による共振被害防止に有効である

## 地震早期検知システムの長所と短所

地震早期検知システムの原理は、地震の起こる近辺に地震計を設置し地震が起こったら、その地震計で観測した波形から震源位置、マグニチュードなどの情報をなるべく早く特定して、必要な施設に電波なり有線で送り、地震の主要動であるS波が到着するまでの時間的余裕を利用して種々の防災処置をとるというものである。したがって、震源からその施設までの距離が短いほど余裕時間が短い。内陸直下地震がその施設近傍で起こったときは、ほとんど有効な余裕時間が無くなる。地震被害は近距離の地震ほどひどいのに、そういう地震に対して有効な処理ができないというのはこのシステムの最大の短所だといわれてきた。そして、2003年の新潟県中越地震で新幹線が脱線したのも、その地震が近距離で起こったため、早期検知装置（ユレダス）はちゃんと作動したのだが、時間的余裕が無かったため脱線したのだと言われた。通常地震予知では起震時刻を予知することが非常に難しい。東海地震を含めて現在までに成功した例は無い。しかし、この早期検知システムは、既に起こった地震が間もなくくるというわけであるから、地震の強さとか到達時刻などに誤差はあるかもしれないが、その地震が起こったという情報には信頼性がある。したがって、このシステムの長所は情報の信頼性があること、短所は余裕時間が少なく近距離の地震に対しては有効でないことである。

## 長周期地震動による共振の被害

1964年の新潟地震では、石油タンク群が炎上し、何日間も燃えつづけ、付近の住宅にも延焼し500戸近くが燃えた。1978年の宮城県沖地震でも、東北石油の石油タンク群では炎上はしな

かったが、大量の重油が漏れた。1983年の日本海中部地震でも、秋田の火力発電所の石油タンクが炎上した。2003年の十勝沖地震では、苫小牧でナフサのタンクが炎上し燃え尽きるまで鎮火しなかった。

これらは何れも周期数秒以上の長周期地震動に、タンクの石油が共振したスロッシングによる被害とされている。このようにある程度以上の規模の地震からは長周期地震動が出て、それと共振することによって被害が出るのが注目されてきた。ここで我々が注目したいのは、以上のような長周期地震動による被害は、共振によって起こっているということである。共振は地震動が数波加わらなければ大きくならない。したがって、周期4秒の波が3波加わるとすれば、地震動が加わり始めてから12秒経過しているということである。であるから、ここに地震早期検知システムを利用すれば、共振によって被害が起こるまでには、更に余裕時間が生まれることになる。つまり、長周期地震動に対しては、地震早期検知システムは短周期地震動に対してより有効であるとも言えるのである。

## エレベーターと高層ビルに対する早期検知システムの適用

2005年8月16日の宮城県沖地震で、多くのエレベーターの不具合が発生した。何人もの人が地震で停止したエレベーターの中で閉じ込められた。この原因の一つにエレベーターを吊っているケーブルが長周期地震動と共振し、上部の回転装置から外れたり、切れたりしたためもあるといわれている。これらエレベーターは現在では、地震計を頂部に置き、地震の大きさがある値を超えたとき、最寄階で停止し、ドアを開くようになっている。したがって、この直接

的な原因としては、建物そのものはたいして揺れず、エレベーターを停止させるまでには至らなかったが、エレベーターを吊っているケーブルが長周期地震動に共振して不具合を生じ、エレベーターが階の途中で停止してしまい、ドアが開かなくなったと言われている。ここで早期検知システムも、このエレベーターに情報を提供するようにしておけば、マグニチュードの大きさから、長周期地震動が来ることを予測し、共振のかなり前に停止させることができたと思

われ、このような事故を防ぐことができたであろう。

同様に、超高層ビルなども、長周期地震動と共振し構造本体に軽微ではあるが損傷が生じるというシミュレーション結果も出ているようだが、これもこの地震早期検知システムと制震技術を組み合わせることによって、損傷を軽減させることができると思われる。

(伯野元彦)

# 自律防災

最近、気象庁の緊急地震速報が話題になることがある。緊急地震速報は、“新幹線の”「ユレダス」(1989年からの試験運用を経て1992年から本格運用され15年以上の稼働実績がある)の全国版だといわれる。新幹線の「ユレダス」は、もともと、新幹線だけではなく高層ビルのエレベータ管制など社会一般で利用されることを想定して開発した世界初のP波警報システムである。

昔、1990年代の始め頃、旧運輸省の助成研究(1987~1989年度)で完成した首都圏ユレダス5基を利用して、首都圏のユーザーを対象にユレダス地震情報を配信しようとしたことがある。ところが気象庁は、国民の重要な防災情報であるから、①一部のメンバーだけではなくあまねく一般に配信されなければならない、②ひとつの地震に対して情報内容を変更して何度も発信することは許されず確度の高い情報を一回だけ責任をもって発信するようにしなければならない、③無償でなくてはならない、等々と難しいことを言う。ユレダス地震情報はこれまでよく知られていないものなので取り敢えずはメンバー制にして効果的な利活用方法を検討する計画であり、ユレダス情報は時間経過とともに正確にできるので情報を逐次配信してユーザー側の責任でそれをそれぞれの実状に応じて警報などに利用できるようにしたい、などと説明したが受け入れられなかった。

ところで、現在(2006年春)試験運用中の気象庁の緊急地震速報は、衛星通信を原則としているため本格運用後もメンバー限定で少ない利用経費が見込まれている、地震検知後何度も逐次情報を配信するのみならずキャンセル報などというものも少なくない、受信側の責任で使うことが条件である、などと言われている。これでは衛星通信とキャンセル報以外15年前の計画とあまり変わるところがない。しかも、緊急地震速報は平均7秒程度で配信されるとのこと、15年前に計画していたユレダス地震情報

と較べてもかなり遅い。

時代は大きく変わった。特に情報通信の分野の進展は著しい。今なら、情報技術(IT)を利用して、緊急地震速報といわず、気象庁の全観測情報を低廉にほぼリアルタイムに配信できるのではないか。また、地震も含めて気象庁で行われている定常観測の多くは自動化されており、6,000人も職員が今後も必要である理由がわからない。緊急地震速報の配信を衛星通信にこだわる理由もわからない。もっと多様化すべきだろう。せめて防災科学技術研究所なりに観測情報にアクセスできるようにしてほしい。

正確な発生時刻(少なくとも秒単位)や正確な震央位置(深さを含む、少なくともkm単位)の情報は、地震後の迅速な対応にとって欠かせない。これらの情報を地震後いち早く速報することが重要である。大きな地震動で受信用パラボラが移動してしまうことが懸念される衛星通信などより、インターネットやFM放送などの放送形式の方が緊急地震速報には適しているのではないか。

大きな地震動は突発的に襲来するが、そのとき、外部からの情報のみに期待して行動するのは危険である。自分でも地震監視を怠らず自前の情報と外部情報を併せて自分がとるべき適切な防災行動を判断して実行する「自律防災」が求められている。

なお、ユレダス系列のP波機能は、ユレダス実用開始当初の3秒警報から、2004年新潟県中越地震でも活躍したコンパクトユレダスの1秒警報に進化し、さらに、2005年のパキスタン地震後のハイパーレスキューチーム活動の支援に使われるなどしている新世代フレックルにおいてはサブセカンド警報(1秒以下の瞬速警報)にまで進化している。フレックルは非常に小さく、現在考え得る最速の警報機能と相俟って、様々な分野での活躍が期待される。

(中村 豊:(株)システムアンドデータリサーチ、  
東京工業大学大学院連携教授)

# 宏観異常判定システムの構築

萩原幸男・糸田千鶴

## 1. はじめに

観測機器によらず人間の感覚でわかるような地震前兆現象, 例えば動物の異常行動, 地鳴り, 発光現象, 地下水異常等を総称して「宏観異常」という(力武, 1998). 宏観異常現象は一般にデータに不備や欠陥が含まれやすく, 統計解析に適さないことが多い.

宏観現象の異常判定システムを構築するために必要なデータは次の3通りのケースに分けられる. (a) 宏観異常が観測された後に地震が発生した. (b) 宏観異常が観測された後に地震が発生しなかった. (c) 宏観異常が観測されなかったのに地震が発生した.

ところが宏観異常の観測者, 例えば動物の飼い主は(a)のケースのみを重要視する傾向にある. そのため(b)に属するデータには欠落が多くなりやすい. これに対して, (a)と(b)のデータが整っていれば, 宏観異常出現と地震発生とつき合わせることで, (c)のデータは作成可能である. しかし(b)のデータに欠落があれば, (c)もまた欠落を含むことになる.

また宏観異常の種類によっては, 明瞭に異常と判定できないケース, いわゆる「灰色」の問題がある. 実際のデータには灰色のケースが多いものと思われる. このケースをどのように統計的に取り扱うか, 宏観異常判定システムの構築には, この問題を避けては通れない.

残念ながら上記(a)~(c)の条件を満たす宏観異常データはこれまでのところ見あたらない. また灰色を考慮した実例もない. ここでは仮想的なデータを用いて解析を実施することにより, 宏観異常判定システムを提案する.

## 2. 仮想的な例題

表1は次のことを示している. ある地域に3点( $m=1, 2, 3$ )の観測点があり, 3点のうち少なくとも1点において異常または灰色が観測されたケースが10回( $n=1, 2, \dots, 10$ )ある. そのうち3回地震が発生した. 表1において $f(m, n)=1$ が異常出現, 0.5が灰色, 0が異常なしに対応し,  $Q(n)=1.0$ が地震発生, 0.0が地震なしに対応する. いま表1のデータに基づいて, 「各観測点の異常判定の効率を見積もり, かつ各回ごとの地震発生率を算出せよ」という問題を解くものとする.

まずモデルを設定する. モデルに要求される第1の条件は3点の観測データを総合的に判断すること, 第2の条件は判断の結果が1か0に対応することである. 第1の条件を満たす最も簡単なモデルは観測データ $f(m, n)$ の $m$ に関する線形結合

$$R(n) = a + \sum_{m=1}^3 b_m f(m, n) \quad (1)$$

により与えられる. ここに $a$ および $b_m$ ( $m=1, 2, 3$ )は観測データから決定すべきパラメタである.

第2の条件は $R(n)$ を入力とすると, 出力 $S(n)$ が1か0の値をとることを要求する. この条件を満たすシステムはシグモイド関数

$$S(n) = [1 + \exp\{-R(n)\}]^{-1} \quad (2)$$

により与えられる. シグモイド関数はニューラル・ネットワークにおいて, 神経細胞の情報伝達モデルに応用される.  $R(n) = +\infty$ において $S(n) = 1.0$ に,  $R(n) = -\infty$ において $S(n) = 0.0$ に対応する. 図1に見るように,  $|R(n)|$ の値が十分に大きければ,  $S(n)$ はステップ関数 $Q(n)$ に近似できる.

表 1 仮想的な宏観異常データ.  $f(m, n)=1$  が異常あり, 0 がなし.  $Q(n)=1.0$  が地震あり, 0.0 がなし.  $R(n)$  はシステム入力,  $S(n)$  はシステムにより判定された地震発生率.

$n$	$m=1$	2	3	$Q(n)$	$R(n)$	$S(n)$
1	1	0	0	0.0	-1.7488	0.14820
2	0	1	0	0.0	-4.2217	0.01446
3	0	0	0.5	0.0	-7.7414	0.00043
4	1	1	0	1.0	2.7123	0.93775
5	1	0.5	0.5	1.0	1.4232	0.80583
6	0	0.5	0.5	0.0	-5.5109	0.00403
7	0.5	0	0	0.0	-5.2158	0.00540
8	0	0.5	0	0.0	-6.4523	0.00157
9	0	0	1	0.0	-6.8000	0.00111
10	1	0.5	1	1.0	2.3464	0.91409

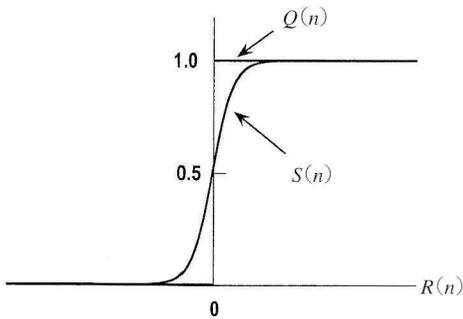


図 1 ステップ関数  $Q(n)$  に対するシグモイド関数  $S(n)$  の近似.

$S(n)$  を  $Q(n)$  に適合させるためには, 誤差を含めて

$$Q(n) \sim S(n) \quad (3)$$

が成立しなければならぬ. このとき

$$E = \sum_{n=1}^{10} \{Q(n) - S(n)\}^2 \quad (4)$$

を最小 2 乗法を用いて最小化することになる. すなわち与えられた問題は式(4)を最小化するときの最適パラメタ  $a$  と  $b_m$  ( $m=1, 2, 3$ ) を定めることに帰する.

### 3. 空振りの定義

第 1 種の空振りとは, すべての観測点で異常または灰色が観測されないまま地震が発生したと

いうケースである. すなわち, ある  $n$  について  $f(m, n)=0$  ( $m=1, 2, 3$ ) のとき  $Q(n)=1.0$  となるケースである. 第 2 種の空振りとは, すべての観測点で異常または灰色が観測されたにも拘わらず, 地震が発生しなかったというケースである. すなわち, ある  $n$  について  $f(m, n)=1$  ( $m=1, 2, 3$ ) のとき  $Q(n)=0.0$  となる.

第 1 種の空振りは, 例えば異常が極めて微弱で灰色の判定も困難なとき, あるいは異常が有効にキャッチされなかった場合等に見られる. これに対して第 2 種の空振りは, 例えば観測データにノイズが大きい, あるいは地震以外のシグナルを拾っている等の場合であって, 観測法あるいは観測装置そのものを見直す必要がある. したがって本論では, 空振りを第 1 種に限定して考える.

第 1 種の空振りなしのシステムでは,  $f(m, n)=1$  ( $m=1, 2, 3$ ) のとき  $S(n)=1-\varepsilon$  ( $\varepsilon$ : 微量  $0 < \varepsilon \ll 1$ ) となるように設計される. このとき

$$a = \ln\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) - \sum_{m=1}^3 b_m \quad (5)$$

が成り立つので, 式(2)は

$$S(n) = \left[ 1 + \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \exp\left\{ \sum_{m=1}^3 b_m (1-f(m, n)) \right\} \right]^{-1} \quad (6)$$

と書き換えられる. この場合, パラメタ  $a$  は消去されているので,  $\varepsilon$  を仮定して式(4)の  $E$  を最小化するようにパラメタ  $b_m$  ( $m=1, 2, 3$ ) のみを決定

すればよい。

#### 4. 最適解

最適解に到達するには、第0近似解から出発する。まず式(6)を変形し、式(3)を考慮すると

$$\sum_{m=1}^3 b_m \{1-f(m, n)\} \\ \sim \ln\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) + \ln\left(\frac{1-Q(n)}{Q(n)}\right) \quad (7)$$

を得る。この式の右辺第2項は  $Q(n)=0.0$  あるいは  $1.0$  のとき発散するので、 $Q(n)=0.0$  に代わって  $\varepsilon$ 、 $Q(n)=1.0$  に代わって  $1-\varepsilon$  とする。すなわち式(7)に代わって

$$\sum_{m=1}^3 b_m \{1-f(m, n)\} \\ \sim \begin{cases} 2 \ln\{(1-\varepsilon)/\varepsilon\} : Q(n)=0.0 \\ 0 : Q(n)=1.0 \end{cases} \quad (8)$$

に最小2乗法を適用して  $b_m (m=1, 2, 3)$  の第0近似解を得ることになる。 $\varepsilon=0.01$  を仮定して計算すると、第0近似解として  $b_1=5.6751$ 、 $b_2=3.5575$ 、 $b_3=2.3717$  が、また式(5)により  $a=-7.0092$  が得られる。このとき  $E=0.084611$  の値をとる。

さらに高次の近似解を得るためにはニュートン法がよく用いられる。しかしここでは第0近似解の付近で  $E$  を最小化する解を探索する方法をとる。その結果、最適解として  $a=-8.6828$ 、 $b_1=6.9340$ 、 $b_2=4.4611$ 、 $b_3=1.8828$  を得、 $E=0.071179$  となって近似が一段と進んだことが判る。こうして得られた  $b_m$  の最適値が各観測点の異常判定の効率に他ならない。

最適パラメタを用いて計算した  $R(n)$  および  $S(n)$  の値を表1に併記する。 $Q(n)=1.0$  のとき  $R(n)>1.0$ 、 $Q(n)=0.0$  のとき  $R(n)<-1.0$  となることが知れる。また明らかに  $S(n)$  値は  $Q(n)$  値に近い。このときの  $S(n)$  値が地震発生率に相当する。このようにして最適パラメタさえ決まれば、3観測点に出現した異常または灰色の組み合わせにより、直前に地震発生率を算定することが可能である。つまり直前予測ができることとなる。

#### 5. 欠測の取り扱い

この判定システムには一つの欠陥がある。それは  $f(m, n)$  ( $m=1, 2, 3$ ) の線形結合  $R(n)$  を入力とするため、3点の観測点のうちいずれか1点に欠測が出た場合には、計算から除外しなければならない。しかし実際の宏観観測では、欠測はしばしば見受けられる。欠測を除いたのではデータ数が減少する。もし  $f(m, n)=0$  として計算するならば、欠測と異常なしとを区別できない。

この欠点を避けるために、何かの方法で欠測を補間しなければならない。いま表1のデータから最適パラメタを決めた後、 $n=11$  に欠測があるケースを追加するものとする。例えば  $f(1, 11)=1$ 、 $f(2, 11)$  は欠測、 $f(3, 11)=0$ 、 $Q(11)=0.0$  とする。これは  $n=1$  において  $m=2$  を欠測にしたケースに相当するので、類推により  $f(2, 11)=0$  が予想される。あるいは次のように推定することもできる。 $Q(11)=0.0$  であるから  $R(11)<-1.0$ 、したがって式(1)より

$$a + b_1 + b_2 f(2, 11) < -1$$

が成立する。得られたパラメタを用いて計算すれば  $f(2, 11) < 0.17$ 、つまり  $f(2, 11)=0$  と推定できる。

また  $f(1, 11)=1$ 、 $f(2, 11)$  が欠測、 $f(3, 11)=0.5$ 、 $Q(11)=1.0$  の場合を考える。これは  $n=5$  において  $m=2$  を欠測にしたケースに相当するので、 $f(2, 11)=0.5$  と予想できる。あるいは

$$a + b_1 + b_2 f(2, 11) + 0.5b_3 > 1$$

により計算すれば  $f(2, 11) > 0.41$  を得る。つまり  $f(2, 11)=0.5$  あるいは  $1$  であると推定できる。

しかし以上のような補間法が採用できるのは、データ総数に比べて欠測件数が少ないときに限られる。欠測が多い場合には、この判定システムは基本的には採用できない。

#### 6. おわりに

本論では、仮想的なデータを用いて宏観異常判定システムを提案した。当然のことながら、この

ようなシステムは実際のデータによる検証が必要である。しかし残念ながら宏観異常データに不備が多いのは事実である。異常発生の後に地震が起こった場合のみ記載され、地震がなかった場合には記載漏れの傾向がある。

宏観異常を観測するセンサーそのものにも問題がある。センサーが同種の動物であっても、個体差が多く、地震と無関係な異常に敏感に反応する個体がある反面、逆に鈍感な個体もあると言われる。また同一の個体であっても、体調や異常発生の時間帯にも左右されやすい。安定した観測データを得るには、同一条件で多数の個体を長期間飼育することが望まれる。信頼性ある観測とデータ取得が宏観異常研究の最重要課題であることは言うまでもない。

池谷(1998)によると、多くの動物異常行動は地磁気・地電流で説明できるとされる。もしそうであるならば、宏観異常そのものを観測するよりも、地磁気・地電流のような計器観測による方が安定したデータが得られる。本論で提案した判定システムは多少の手直しさえすれば、計器観測データへの適用はそのままの形で可能と考えられる。

**謝辞** シグモイド関数を用いて最適解を得る計算法に関して、独立行政法人防災科学技術研究所固体地球研究部門総括主任研究員松村正三氏よりご教示を頂いた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 池谷元同, 1998, 地震の前, なぜ動物は騒ぐのか, NHK ブックス, 258 pp.  
力武常次, 1998, 予知と前兆, 近未来社, 244 pp.

萩原幸男

[はぎわら ゆきお]

**現職** 東京大学名誉教授  
理学博士

**略歴** 東京大学理学部卒, 同大学院修士課程修了。東京大学地震研究所教授, (旧) 科学技術庁防災科学技術研究所所長, 日本大学文理学部教授を経て現職。

**研究分野** 測地学・地球物理学

**著書** 「地球重力論」(共立全書), 「測地学入門」(東京大学出版会)



糸田千鶴

[いとた ちづ]

**現職** 太成学院大学人間学部助教授  
博士(理学)

**略歴** 神戸大学大学院自然科学研究科博士課程修了, 日本大学文理学部助手, 大阪短期大学経営情報学科講師, 助教授を経て現職

**研究分野** 古地磁気学

**著書** 「地球システムのデータ解析」(共著, 朝倉書店)



# 耐震計算偽装

このところ、日本社会も米国流の自由競争社会になりつつあり、過当競争の結果、耐震計算偽装という人命にまで影響する事柄にまで及んだのかという気がする。ただこの問題はそう簡単なことではなくて、次のようないろいろなことを考えさせる問題ではないかと思う。

## 1) 社会の風潮

確かに世間で言われているように、米国流の自由競争、拝金主義の結果、ホリエモンのように金儲けのためなら法律の範囲内なら何でもする、ばれなければ何でもする、たとえ法律を外れていても罰則が軽ければ何でもするという風潮の結果起こったことなのだと思う。建造物は建設された後、たとえ不正がなされていたとしても非常にばれにくいものである。最近でこそ非破壊検査技術が進歩したお陰で、この柱の中には鉄筋が何本入っているかまでわかるようになったが、今でもビルの基礎に打ってある杭の本数とか深さなどは正確に調査することは困難である。大地震があって、壊れて初めて手抜き工事などはわかるのが普通である。今回、偽装が何でばれたのか私などは当初は不思議であった。

## 2) 民営化も良いことばかりではない

郵政民営化をはじめとして民営化ばかりであるが、民営化は良いことばかりではない。というのは、公共の利益優先ということから企業の利益追求型になるということだから、安全第一ではなく利益第一になるということである。JR西日本の尼崎の事故も、列車が制限速度を超えて走行していたら自動的にブレーキを掛けるATS装置が設置されていたら、あの事故は防げたはずである。しかし、その費用は儲けをあげるための投資、すなわち、電車の美化とか高速化のように集客力を高めるための投資に向けられていたのである。安全第一のATSはい

くから投資してもお客さんには何のための投資かわからないので集客効果はないのである。今回の耐震偽装問題も公共工事ではなかなかこのようなことは起こらない。というのは、公共工事は「鬼より怖い」といわれる会計検査官がチェックするからである。ただこういうお役人が賄賂を貰って検査に手心を加えてしまっただけでは何のための検査かわからなくなる。したがって、お役人だけには収賄罪というものがある。そのへんは厳格になっている。民間には贈賄罪はあっても収賄罪というような罪はない。

## 3) パソコンの功罪

現在の耐震計算は、マンション程度の小規模のものでは、国交省で認定されたソフトを用いてパソコンで計算が行われている。パソコンは複雑な計算を高速で行うので非常に便利であるが、この計算書はテレビで見てもわかるように部厚く、膨大な量の計算を含んでいる。したがって、その計算が正しいかどうかをチェックするには、そこに用いられているデータとソフトによって再計算するしか方法は無い。これには大変な時間がかかる。したがって、結局のところ、1平方mあたりに用いられている鉄筋量と図面から大丈夫かどうかの見当をつけて、特に鉄筋量の少ないものについてやや厳密にチェックすることが普通であろう。このように便利に使われているコンピュータであるが、その仕事のチェックとなると非常に難しい。

## 4) 建築構造物

現在の先進国で、若者の将来就きたい職業のベスト3は、建築家、医師、弁護士であるという。日本でも事情はあまり変わらない。そういう意味で、一級建築士というのは、社会的に憧れの的の職業なのである。ただ同じ建築士といっても、専門分野が、意匠(デザイン)、設備、構造と分かれていて、総数約27万人のうち構

造分野は1万人足らずと言われている。希望者は少ないのである。何故か。構造分野というのは、建物の安全を支える重要な分野ではあるが、縁の下を支える、脚光を浴びることのない分野なのである。日本の名建築家といわれる人々、丹下健三氏にしても、意匠（デザイン）分野である。これらの方々が、奇妙な建築を設計したとして逮捕されたなど聞いたことがない。構造分野建築士は責任だけ重い役回りなのである。今後益々、構造分野の建築士はなり手がなくなるであろう。

#### 5) 既存不適格構造物

上記の言葉を1995年阪神・淡路大震災以降、耳にされた方は多いと思う。この震災で多くの建造物が壊れ、5,500人以上の犠牲者が出た。同じような地震によって、同様に壊れる建造物は全国にまだまだあるのではないかということから、このような言葉が生まれた。すでに存在している構造物で、強い地震が来たとき、壊れる可能性のあるものを調べ補強するため、全国的に耐震診断、耐震補強が奨励されている。阪神・淡路大震災の被害を調査した結果では、軟弱地盤上の老朽木造家屋が、1980年以前に建設された構造物が危険の可能性があるとということであった。だが、新築の中にも耐震計算偽装のような建物がまぎれ込んでいるということは看過することのできない事態であると言える。別の言い方をすると、新築だからこのように大問題になったので幸運だったと思わざるを得ない。地震が来たら壊れるかもしれない構造物は、既存不適格構造物として今回とは別に100万棟も山のようにあることを忘れてはならない。

#### 6) 法律の適用は過去にさかのぼらない

何故このように、地震が来たら壊れるかもしれない建物がたくさんあるのか信じられない方も多いと思う。それは、そのような建物の大部分は1980年以前に建てられているからである。建築基準法は1981年に改正されているが、現

在耐震偽装で騒がれている建物は、現在の法律に違反しているのである。1980年以前に建てられた建物はそのときの建築基準法に基づいて認可されているので、現在どんなに弱くても現在の法律に基づいて処罰されることはない。1981年に建築基準法が改正されたのは、それまでの法律に基づいて設計していたのでは、地震時に壊れる可能性があるから改正されたのである。また、建物、特に木造家屋は、高温多湿の日本では年々腐朽や虫害などによって、弱くなるので、地震で壊れるかもしれない建物は年々増えていく、これは木造家屋の宿命なのである。それだけに耐震補強が重要なのである。

#### 7) 「許容応力度等計算」と「限界耐力計算」

耐震計算偽装に関して、不安なビルの再チェックが方々で行われているが、ある物件について、一般に使われている「許容応力度等計算」法で計算した結果は危険という判定となり、同じ物件を最近使われるようになった「限界耐力計算」法で計算すると安全という結果となったということがあり、本当のところはどうなんだと問題になっている。普通の数学の問題などは解法が違っても答えは同じだから不思議な感じがするのは無理もない。

一般に構造物が外力を受けて壊れるときを考えると、最初小さな外力の間は、構造物のたわみも小さく比例関係にある。どんどん外力を大きくすると構造物に亀裂が入ったりして外力に比べてたわみが大きくなり比例関係がなくなり、外力の最大値を迎えそれを過ぎると外力を減らさないと釣り合わなくなり、たわみばかりが大きくなり遂には崩壊に至る。

「許容応力度等計算」法というのは、前記の実験の外力がまだ小さい範囲の建物内部に発生する応力度をある許容値以内に定めて、それを超えないように設計するもので、実際に壊れるより何分の一もの応力から壊れるかどうかを推定しようとするものである。ただこの方法で耐震設計された建物も阪神・淡路大震災では数多く

壊れてしまった。そこである程度以上の強い地震では建物の柱とかはりなどが少しくらい壊れるのはやむを得ないが、倒壊してペチャンコになるのだけは避けようという考え方に変わってきた。建物がかなり壊れても立っていれば人命は何とか助かるからだ。そこで前記の実験で、柱などが相当壊れても何とか立っている限界耐力を超えないように設計しようというのが「限界耐力計算」法である。つまり「許容応力度等計算」法の方は、まだ小さな力を加えて、ずっと大きな力が加わったときの安全を判断するのに対して、「限界耐力計算」法の方は壊れる寸前までの力を加えた状態から安全を判断するので、後者のほうがより精密であると言える。したがって、結果もある程度異なるのもやむを得ないとも言えるのである。ただどちらがより真実を示しているかは難しい点で、一概に後者のほうがより正しいと言えるかどうかは難しい。というのは、限界耐力近辺の構造物の挙動は、材料の性質、施工状況、地盤条件など色々なものが影響してくるので、それらの特性も正確に計算に反映できるかどうかが決め手になるから

である。

#### 8) 姉齒元建築士の功罪

耐震計算偽装をした姉齒元建築士の行為は決して許されるものではない。しかし、この事件のおかげで建物の耐震性というものが世間の注目を浴びたことは確かである。マンションの新規購入の条件としては、従来の交通便利、広さ、価格などを押しつけて耐震性が第一位に浮上ってきているという。また、耐震性に問題のあるオフィス・ビルではテナントが出て行ってしまいう例があり、現在はそれらオフィス・ビルは耐震補強工事を行うことがブームになっているようで建設会社も耐震補強工事に追われ注文を受けきれない状況であるという。阪神・淡路大震災以後既存不適格建物に対して全国的に耐震診断、耐震補強が声高に叫ばれ推進されてきたにもかかわらず、遅々として進まなかったのが嘘のようである。皮肉ではあるが姉齒元建築士の事件が、オフィス・ビル等の耐震補強工事促進の引き金になっていることは確かなような気がする。

(伯野元彦)

## 志賀原発差し止め判決への疑問

2006年3月24日に金沢地方裁判所は、北陸電力の志賀原発2号機の運転差し止めを命じる判決を下した。判決の主な理由は要約すれば次のようである。

耐震設計に考慮している地震動は、金井式(1966年提案)、大崎式(1978年提案)に基づいている。05年8月16日の宮城県沖地震(M7.2)の際、女川原発の敷地で観測された地震加速度による応答は、設計の際、金井式、大崎式に基づいて想定された基準地震動S2による応答を一部超えていた。したがって北陸電力が想定した基準地震動S1、S2を超える揺れを生じさせる地震が発生する具体的可能性があるとした。そしてそのような地震が発生した場合、北陸電力が構築した多重防護が有効に機能するとは考えられないとしている。以上要するに、耐震設計に用いられた、最強の地震動よりももっと大きな地震動が現実には観測されたのだから、この耐震設計は信用できないということである。

ここで、私の考えを述べさせていただくと、

1) 原子力発電施設は十分な安全余裕を持っている。

原子力発電施設は、最も重要なAクラス構造物の場合、基準地震動S1、基準地震動S2を少しくらい超えた地震動が襲ったとしても、機能維持には全く支障のないだけの安全余裕を持っている。とりわけ、原子炉を収めている原子炉建屋の耐震壁は、弾性限界時の入力地震動の約10倍の地震動までは終局限界に達しないことが、実験によって確かめられている。(丸田ほか、1993)

2) 現に05年8月16日の宮城県沖地震において、問題とされている大きな地震動が東北電力女川原発で観測された。しかしながら、女川原発の施設にはAクラスの1/3の強度しかない

Cクラスも含めて、全く被害がなかった。一般建築物と同じCクラスの構造物に亀裂一本はいらなかったのに、その3倍以上の強度を持つ多重防護されているAクラス構造物に障害が発生するとはとても考えられない。

3) したがって、北陸電力が想定した基準地震動S1、S2が発生した場合、この原発の多重防護が有効に機能するとは考えられないとした判決は、上記の安全余裕を過小評価した性急な結論といわざるを得ない。

以上の判決から次のような感想を持った。

1) 耐震設計では、加わる地震力と施設強度が、車の両輪である。

耐震設計は、将来来るであろう最大の地震動によっても、施設が壊れないように設計するものである。最近の議論では、この「壊れないように設計する」ということが忘れられているのである。どういうことかということ、最近の地震学は長足の進歩を示していて新しい知見が増えていることは確かである。したがって、原子力発電の耐震基準も30年近く前のものであるから、これを改定しなければならないのは当然である。ただ、その場合耐震設計の目的を思い出していただきたいのである。地震の研究が目的ではなく、壊れないようにするのが目的なのである。であるから耐震基準の改定に当たっては、従来の基準より大きな地震動が観測されたからといって、直ちに地震動だけを改定するのではなく、そのような大きな地震動が来たときに壊れたかどうかについてもよく調査して、被害状況をも説明できるような改定をしてもらいたいものである。つまり近年は地震計の性能向上もあって、観測される地震動の強さが年々大きくなっている。40年間に加速度最大値は5倍くらいになっている場合もある。しかし被害はそれに比例しては出ていない。そこで現在観測

されているデータをもとに地震動基準のみを改定した場合、構造物は軒並み危険ということになるかもしれない。しかし、実際には被害は出ていない。

2) 地震の強さは年々大きくなるわけではない。

1962年4月23日の広尾沖地震(M 7.0)では、当時としては最高加速度の390ガルが観測された。ところがそれから時が経つにつれ最大加速度値は大きくなり、阪神・淡路大震災では800ガルを超え、最近の2003年宮城県沖地震では、何箇所も1,000ガルを超え、2,000ガルを超えたところもあった。また、2004年新潟県中越地震では、震度7を計測した川口町役場の震度計も2,000ガルを超えていた。そしてその震度計から1mくらいしか離れていない鉄筋コンクリート造の川口町役場では、窓ガラス、間仕切り壁などを除いて、地震力を支える柱、はり、壁などには亀裂1本入っていなかった。このように地震加速度値が年とともに上がってきているのは、決して年々地震動そのものが強くなっているからではないであろう。

現在考えられている主な理由は、地震計の性能が著しく向上したこと、観測地点の増加に伴い、震源の直近とか、軟弱地盤上、崖淵などの地震動の増幅の激しい観測点が増えていること、などが挙げられている。

このように、地震の加速度値一つとっても年々新しい知見が増えている。

一方原発の耐震設計を行う場合の基準地震動などを算定する基本となっている、各種実験式、金井式とか大崎式などは40年も28年も前に提案された式なので当然それ以前に観測された地震動が元になっている。最大加速度400ガル程度しか得ることができなかった時代に観測された地震データを統計的に処理したものである。そのため、最大加速度2,000ガルが得られるようになった現代では、時々これらの式と観測記録との齟齬が起こる。しかし、繰り返すようだが地震の強さが年々強くなっているわけで

はない。

3) 耐震設計の目的は地震の研究ではなく、構造物が地震で壊れないように設計することである。

すでに述べたようなことから、原発の耐震基準を見直す作業が政府関係で進められている。その場合、まずどのくらいの強さの地震を考えたければならないかということから入り、そのような地震を考えた場合どのような構造物を作らなければならないかと議論が進んでいく。ところで、この種の議論ではいつも、最初の地震の章で意見がまとまらず他の問題まで議論が至らないまま改定を終了しなければならないのである。今回も地震関係の議論だけで5年を費やしている。このまままとめるとしたら多分耐震設計で考慮する地震動に新知見を取り入れてより強い地震動を考慮することで幕を閉じることになるのではなかろうか。とすると地震動は年々強くなるということになってしまう。その強くなった地震動によって、以前のそれほど大きくない地震動で設計されたビルなどまったく壊れていないのにである。

今、地震学の新知見の一つに、鳥取県西部地震(M 7.3)は伏在していた活断層によって引き起こされたもので、現行の基準ではM 6.5しか考えていないので不十分という意見である。この問題はその後の地質学的調査から、原子力発電所建設時には厳密な調査が行われるのでこの伏在断層は発見されるに違いないという結論になった。ただこのような綿密な調査がなくM 7.3の伏在断層を考えるように基準を変えよう。そして他の部分には変更の手を加えないとすると、ただ考える地震を大きくするというだけの基準の改定になってしまう。ところでこの鳥取県西部地震では、阪神・淡路大震災と同じM 7.3ではあったけれども被害は全く少なく、一人の死者も出てはいない。地震被害の中心部日野町では震度計で1,500ガル以上を記録した鉄筋コンクリート造の町役場には何の被害

もなく、地震直後から通常業務を行っていた。この町役場は原発構造物から見ればCクラスにランクされるものである。このような被害の実態を見ること無しに、基準のM 6.5は小さすぎるからMを引き上げるだけでよいのだろうか。原子力発電所の耐震基準は何度も言うように、地震で壊れないようにするための基準である。M 7.3の伏在断層によっても原発Cクラスに相当する建物には全く被害がなかったことを考慮して、建物の許容値を引き上げるなり何なりの地震力と被害の関係を説明できるような改定をすべきではなからうか。

#### 4) 原発の耐震設計の3要素

原子力発電所が地震で壊れないようにするために、次の3点が耐震設計の基本方針となっている。

- a) 岩盤上に建設する。
- b) 剛構造とする。特に壁式構造とする。
- c) 構造を重要度別にA, B, Cクラスに分け、最重要Aクラス構造にはCクラス(=一般建築物)の3倍以上の地震力を考える。

これによって、大地震における被害調査から原発構造物の耐震安全性を推定することが可能である。原発のAクラスと同等な耐震性を持

つ構造物は一般には存在しないので、被害調査からは推定できない。しかし、一般の鉄筋コンクリート造ビルで、岩盤上にあり、壁式構造のものは比較的多いので、大地震でこの種の建築物の被害がなければ、これに相当する原発のCクラス構造物にも被害がないと推論することができる。さらに、3倍以上の耐震性を持つAクラス、1.5倍以上のBクラスでも勿論被害がないと推定できる。そして過去40年間ほどの地震被害では岩盤上、壁式構造で被害にあったものは皆無である。あの被害のひどかった阪神・淡路大震災ですらそうである。したがって、一般建築物ですら被害が出ないのに、その3倍の耐震強度がある原発Aクラス構造物に被害など生じるわけがないと思っていただけに今回の判決は驚きであった。

#### 参考文献

丸田 誠, 内山義英, 柴田明德, 久保哲夫, 他, 「原子炉建屋耐震壁の動的性能に関する試験」(その12 終局応答試験: 試験の結果), 建築学会大会学術講演梗概集 2780-2781, pp. 1559-1562, 1993年9月

(伯野元彦)

# ■ 地震予知連絡会情報 ■ 岡田義光 ■

定例の地震予知連絡会は、第167回が2006/2/20、第168回が2006/5/22に開催され、2005年11月～2006年4月における全国の地震活動・地殻変動を中心として報告と検討がなされた。この間、日本周辺で特に大きなイベントはなかったが、2006年1月から4月にかけて伊豆半島東方沖で久しぶりに発生した大規模群発地震が注目を集めた。

毎回テーマを決めて詳細な検討を行っているトピックスとしては、第167回に「東南海・南海地震のアスペリティ」（世話人：橋本学委員）が、また、第168回には「十勝沖・根室沖のプレート間カップリングの時空間的变化」（世話人：谷岡勇市郎委員）が、それぞれ取り上げられた。

## 1. 北海道地方

2005年12月23日、北海道積丹半島の西方沖でM5.5の地震が発生し、最大震度3を記録した。震源の位置は1993年北海道南西沖地震の(M7.8)余震域の北端付近にあっており、発震機構は東西方向に圧力軸を有する逆断層型であった(気象庁)。

2006年4月10日、根室支庁北部中標津町付近の深さ120kmでM5.1の地震が発生し、最大震度3を観測した。太平洋プレート内部二重深発地震面の上面で発生した地震であり、発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。この地震の震源付近では、1997年11月15日に深さ155km、M6.1の地震が二重深発地震面の下面で発生している(気象庁)。

2006年4月13日、浦河沖の深さ43kmでM5.3の地震が発生し、最大震度4を記録した。太平洋プレートと陸側プレートの境界で発生した地震であり、発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。この地震を含め、今回の震源付近では、4月に入りM4を超える地震が4回発生している(気象庁)。

2003年十勝沖地震(M8.0)以降、えりも岬先端部～十勝海岸周辺では隆起傾向が続いている。この付近は地震時には沈降した領域であり、それが隆起に転じたのは、深部での余効変動が続いていることを暗示している。なお、2004年11月29日釧路沖地震(M7.1)以降の余効変動による推定モーメントは、十勝沖でMw7.4、釧路沖

でMw7.1に達している。根室・釧路付近では余効変動が止まりつつあるが、十勝地方および浦河沖では余効変動が継続している(地理院)。

一方、1994年から2006年にかけて観測された相似地震のデータを用いて、北海道太平洋岸のプレート間すべりの履歴を調査した結果が報告された。根室半島沖では2003年十勝沖地震や2004年釧路沖地震後に多くの地点ですべりが始まっており、十勝沖～日高山脈直下でも同様の結果が推定された。また、浦河沖や青森県東方沖を含め、一部のアスペリティでは2003年十勝沖地震の前からプレート間すべりが発生していたらしいとの報告がなされた(防災科研)。

## 2. 東北地方

2005年12月2日、宮城県沖の深さ40kmでM6.6の地震が発生し、最大震度3を記録した。震源の位置は、同年8月16日宮城県沖の地震(M7.2)の余震域の南東端に接しており、発震機構は本震と同じく北西-南東方向に圧力軸を有する逆断層型であった。8月の地震の最大余震と見られるが、本震から108日も経過して最大余震が発生するのは極めて珍しい。1923-2004年に海域で発生したM7.0以上の本震とM5.0以上の最大余震の組合せは44事例あるが、その半数の22例は経過日数が2日未満であり、2-19日が13例、20-40日が4例となっている。残る5例が41日以上であり、それらを経過日数の長い順に記すと、1961/8/21根室半島沖M7.2の最大余震M6.9(96日後)、1933/6/19宮城県沖M7.1の最大余震M5.9(94日後)、1941/11/19日向灘M7.2の最大余震M5.4(67日後)、1936/11/3宮城県沖M7.4の最大余震M6.4(65日後)、2000/1/28根室半島沖M7.0の最大余震M5.4(62日後)となっている。したがって、今回の事例はこれまでの最長記録ということになる(気象庁)。

2006年2月13日、山形県庄内地方の深さ9kmでM4.8の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は東西方向に圧力軸を有する逆断層型であった。この付近では、東側で1944年12月7日にM5.5、北側で1972年8月20日にM5.3の地震が発生した例があるが、普段の活動はきわめて低調な場所である(気象庁)。なお、今回

の震源の東方約10kmには、月山湖（寒河江ダム）が位置しているとのコメントが大竹会長より提出された。

2005年8月宮城県沖の地震（M7.2）の余効変動は継続しており、牡鹿半島で最大2cmほどに達している。推定された半年間での累積モーメントはMw7.0に達している（地理院）。本震直後の余効すべりは南側に進展したが、10月以降は北側で余効すべりが卓越し、12月からは本震位置付近で余効すべりが生じている（東北大）。また、2005年12月2日の最大余震（M6.6）以降は余効変動が加速したように見られるとの報告があった（地理院）。

宮城県沖の地震活動度変化と大地震発生との関連を調査した結果、2003/10/31のM6.8および2005/8/16のM7.2の震源域付近では、いずれも地震発生前に微小地震活動が活性化していることが見出された。これは、将来の破壊に向けた準備過程として応力集中が進行したものと考えることができる。現段階では、2005年8月宮城県沖の地震（M7.2）の北西隣りで微小地震の活性化が起きているように見られ、この領域で応力集中が進行している可能性が指摘された（防災科研）。

一方、宮城県沖において地球潮汐による地震トリガー作用を検討した結果も報告された。気象庁の一元化処理が開始された1997年10月から、宮城県沖の地震（M7.2）が発生する直前の2005年7月までの期間に、宮城県沖のプレート境界付近で発生したM1.5以上の地震6,933個を抽出し、各地震が発生した時刻における理論地球潮汐の位相を求めて、Schusterの検定法により、位相選択性の有無が統計的に調べられた。対象とする応力成分としては、剪断応力と法線応力、およびその組合せ

であるCoulomb破壊関数が試されたが、全データを用いた場合は、いずれも地球潮汐と地震発生との間に有意な相関は認められなかった。次に、中でも相関の高かった剪断応力成分を取り上げて、1年ごとのp値の変化を求めた。p値は検定の結果を示すパラメータであり、これが小さいほど特定の位相に集中することを表わす。通常の期間はp値が40%以上を示し、これは地震がランダムに発生していることを意味する。しかし、この期間に発生した2つの大きな地震（2003年10月31日M6.8および2005年8月16日M7.2）の直前1年間では、有意にp値が低下した。しかも、各々の期間における潮汐位相角は $0^\circ$ 、すなわちすべり方向の剪断応力が最大となる時刻に集中していた。さらに、この2期間におけるp値の空間分布を調べてみると、p値が1%より小さかった領域は、地震発生前に微小地震活動が活発化した場所にあっており、また、直後の大地震によるすべり量が大きい場所とほとんど一致することがわかった（図1：防災科研）。

### 3. 関東地方

2006年1月1日、鳥島の北方約100kmの海域でM5.9の地震が発生し、伊豆諸島などで高さ10数cmの微弱な津波が観測された。この地震の震央付近ではM6.0前後の地震が時々発生しているが、今回のように微弱な津波を伴ったものとしては、1984年6月13日（M5.9）、1996年9月5日（M6.2）の2例が知られている（図2：気象庁）。今回の地震の発震機構は北西-南東主圧力軸の逆断層型だが、等方成分を多く含んでおり、1996年の地

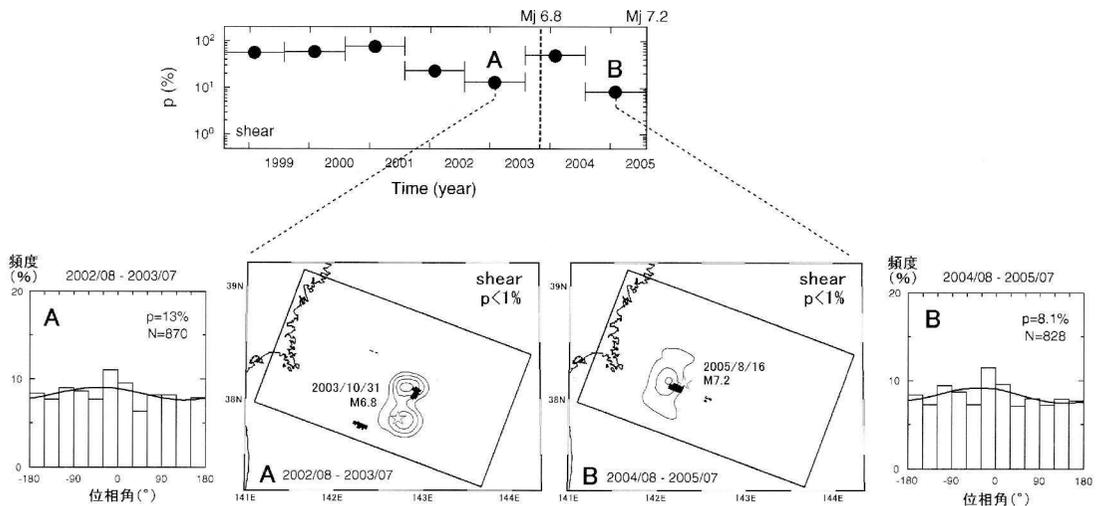


図1 宮城県沖におけるp値の時間変化と、期間AおよびBにおける潮汐位相角の頻度分布、ならびに両期間における $p < 1\%$ の領域（黒塗り部分）と直後の大地震によるすべり量分布。星印は本震の震央を示す。[第167回：防災科研資料より合成]。

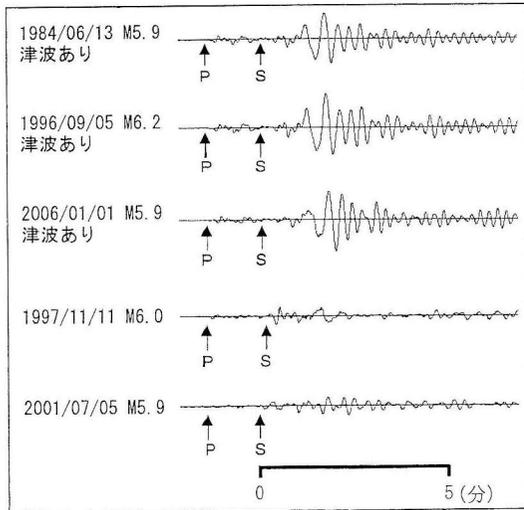


図2 長野県松代で観測された鳥島付近の地震による地震波形記録(上下動成分)の比較。津波を伴ったものは大きな長周期成分を含んでいる。[第167回: 気象庁資料]

震の発震機構解と比較的よく似ている。1984年の地震も同様なタイプの地震であったと考えられ、Kanamori et al. (1993) は、この地震をマグマの貫入を原因とする海底隆起によるものと推定している(気象庁)。

2006年2月1日、千葉県北西部鎌ヶ谷市付近の深さ101 kmでM 5.1の地震が発生し、最大震度4を記録した。発震機構は東西方向に張力軸を持つ型であり、二重深発地震面の下面で発生した地震である。今回の震源の近傍では、同様のメカニズムを有するM 5.1の地震が1997年9月8日に発生している(気象庁)。

2006年2月3日、茨城県沖でM 5.9の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートの沈み込みに伴う地震であった。本震直後に、M 5.3を筆頭としてM 5.0前後の余震が4回発生したが、活動は次第に減衰し、2月半ばにはほぼ収まった。今回の震源付近では、M 5~6クラスの地震が年に1回程度の割合で発生している。茨城県沖で発生するM 4.3以上の地震、および茨城県南西部で発生するM 4.0以上の地震について、3年間の地震回数を指数化して1年ごとにプロットしてみると、両者にはかなりよい相関が見られるとの報告があった(図3: 気象庁)。

2006年2月17日、父島近海の深さ約200 kmでM 6.0の地震があり、最大震度1を記録した。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、太平洋プレート内部で発生した。この地震の震源付近では、1955年5月30日にM 7.5の地震が発生している(気象庁)。

東京の水準原点を基準とした三浦半島の上下変動測量

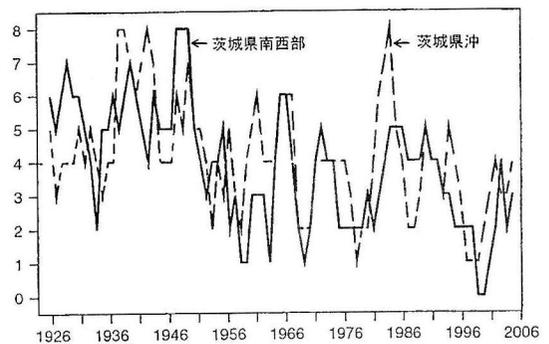
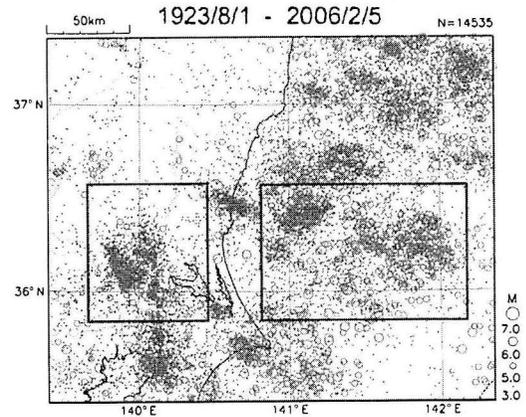


図3 1923年8月以降の茨城県沖(M 4.3以上: 破線)と茨城県南西部(M 4.0以上: 実線)における地震活動指数の比較。[第167回: 気象庁資料に加筆]

結果によると、油壺検潮場はこの数10年間、定常的な沈降を続けており、その速度は年間4 mm程度である(図4: 地理院)。これは、次の関東地震に向けた準備過程を表わしているものと考えられる。

#### 4. 伊豆地方

2006年に入ってから、伊豆半島の東方沖では1, 2, 3, 4月に活発な群発地震活動があった。川奈崎付近で発生した1月の活動はごく小規模であり、最大の地震もM 1.1であったが、その後活動は徐々に沖合に移動し、各活動の中で最大の地震のMも大きくなっていった。4月21日には川奈崎沖でM 5.8の地震が発生し、全体の震源域は南方に拡大した。その後、4月30日には網代付近でM 4.5、5月2日には伊豆大島北方でM 5.1の地震が発生するなど、周辺に飛び火するような様子を見せたものの、5月中旬までに活動は低調となった(図5: 気象庁)。

これらの群発地震の前には周辺の体積歪計、傾斜計、地下水位計などで変動が捉えられ、地震に伴う変化以外に前駆的な地殻変動も観測されている(気象庁、防

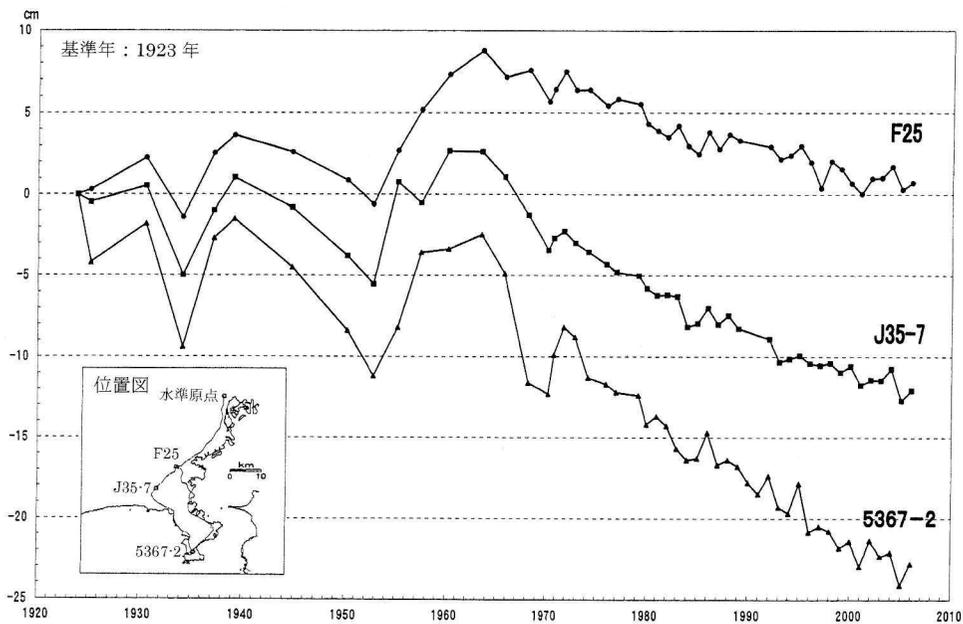


図4 水準原点を基準とした三浦半島の上変動。〔第167回：地理院資料〕

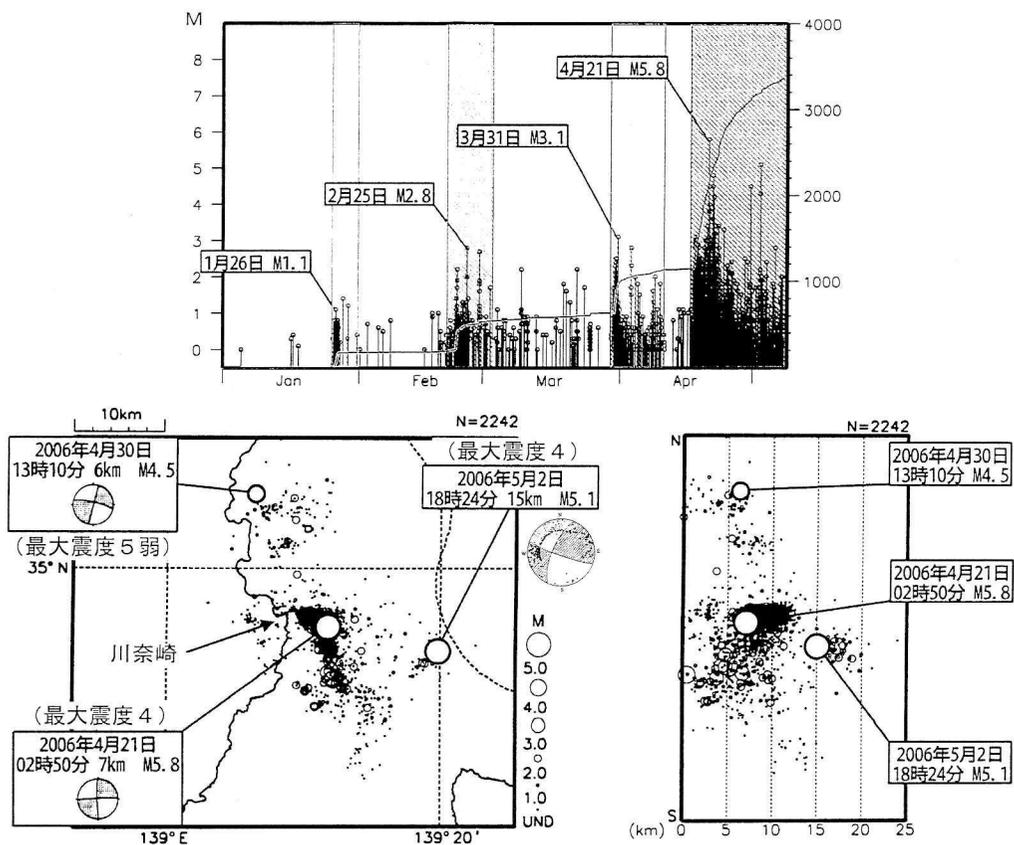


図5 伊豆半島東方沖における地震活動。上段は2006年1月～5月の地震活動経過と地震回数積算，下段は2006年4月17日～5月7日の震央分布と南北断面を示す。〔第168回：気象庁資料より合成〕

災科研, 東大震研, 産総研). GPS 観測結果を説明するモデルとしては, 西北西-東南東方向に走向を持ち約 90 cm の開口量を有する岩脈貫入と, M 5.8 の地震に対応するほぼ南北走向で約 60 cm のすべり量を有する横ずれ断層の組合せが提案された(地理院).

伊豆半島東方沖では 1978 年から群発地震が毎年のように繰り返されてきたが, 1998 年 4 月に大規模な群発地震があったのちは地震活動がいったん静穏化した. その後, 2002 年 5 月, 2003 年 6 月, 2004 年 4 月にはごく小規模の群発地震が再発したが, M 2.5 を超える地震の発生はなく, また 5 km より浅い活動もほとんど見られなくなっていた. 今回は, 1 月から 4 月にかけて規模を大きくしながら群発地震活動が連発し, 1998 年 4 月以来の大規模な活動となった(気象庁). 2002 年以降の伊豆半島東方沖の地震活動を詳しく見ると, 震源域は発生時期ごとにその位置を変え, 住み分けているように見られる. また, どの活動も深さ 7~10 km だけで発生しており, 浅いところまで震源分布が広がった 1998 年までの状態とは変化しているように見られる. なお, 今回の群発地震に際しては, 4 月から 5 月にかけて伊豆半島東部の深さ 30~40 km で低周波地震が発生していることが確認された(東大震研).

長期間にわたる伊豆東部の地殻変動を詳細に見ると, 3 つの変動源があるらしいことがわかってきた. その 1 つは伊豆半島東部の深さ 10 km 付近にある水平の板状のマグマだまり(シル)であり, 少なくとも 1970 年代から活動していたと思われる. ほかの 2 つは, 東岸の富戸沖あたりに存在が推定される別のシルと, 川奈崎北方あたりに推定されるほぼ垂直な岩脈貫入源である. ただし, 群発地震発生時のマグマはシルからの供給だけでは足りず, より深部から上昇してくるらしいとのことであった. なお, 最近の群発地震に際して, 伊豆半島東部のシルが地震活動の活発化に 1 カ月くらい先行して膨張する性質があることが見出され, これを用いた地震活動開始予知の試みも紹介された(地理院).

伊豆半島東部における今後の地震活動の推移を占うためには, 長期的な地殻変動データの動向を見るのが重要である. 水準測量によれば, 伊東市付近は伊豆半島沖地震の発生した 1974 年頃から, 最後の大規模群発地震が発生した 1998 年 4 月までに 60 cm もの急激な隆起を見せたが, その後はほとんど上下変動が停止している. 2002 年から 2004 年にかけては 2 cm ほど隆起したものの, 最近はほとんど動きを見せておらず, かつてのように急激な隆起を再開する気配はない(図 6: 地理院). このことから, 群発地震が再びしつこく繰り返されるようになることは今のところ考えにくいのではないかとの意見が出された.

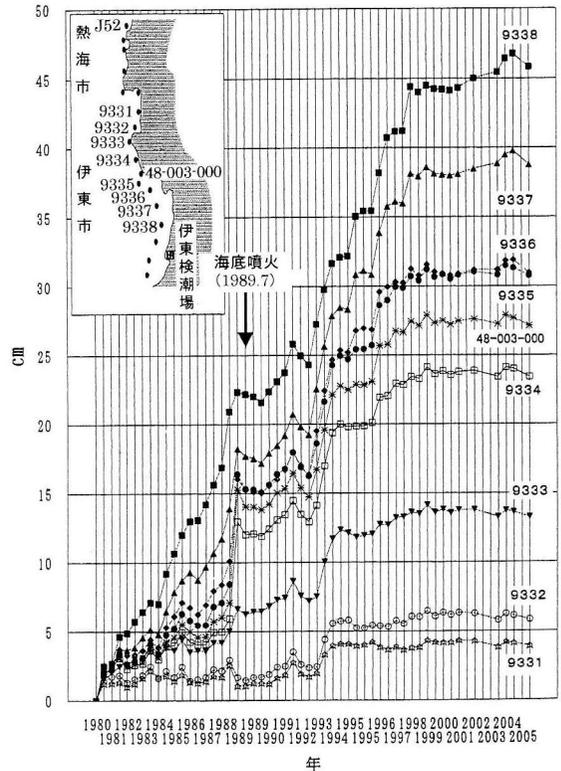


図 6 熱海市を基準とした伊東市付近の地盤上下変動の推移. [第 167 回: 地理院資料]

## 5. 東海・近畿地方

東海地域の水準測量結果による御前崎の沈下は, ほぼ一定の年間 5 mm ほどの速度で続いている. また, 検潮記録から見た駿河湾周辺の上変動も, 20 年近くほぼ一定である. 一方, 浜名湖周辺で続いてきた長期的スロースリップは, 2006 年 4 月までに水平, 上下とも最大で 6 cm ほどに達した. しかし 2005 年くらいから変動は非常に小さくなっているように見え, プレート境界における累積すべりの推定モーメントも頭打ち状態になったとの報告があった(図 7: 地理院). なお, 三ヶ日に設置された傾斜計の記録からは 2004 年秋頃にスロースリップが停止したように見られ, 因果関係は不明なものの, 2004 年 9 月紀伊半島南東沖地震 (M 7.4) の発生とともにスロースリップは止まったのではないかとの見方が示された(防災科研).

2006 年 1 月 16 日から 22 日にかけて, 愛知県東部では, 低周波地震の活動にともない, 短期的スロースリップ現象が歪計, 傾斜計, 地下水位計などで観測された(気象庁, 防災科研, 名大, 産総研). これに先立って,

1月4日頃から三重県尾鷲市付近では深部低周波微動とこれに伴う短期的スロースリップが始まっており、その後、この現象は20日間をかけて愛知県東部までの約200 kmを移動していたことが判明した(図8:防災科研)。紀伊半島中北部では、過去7回、ほぼ規則的に半年周期で移動性の微動活動が活発化しているが、最初に観測された2002年10月以外は、すべて北東から南西へと移動していた。今回は、移動方向がそれとは逆方向であったこと、初めて伊勢湾を越して愛知県にまで移動していったことが珍しい。図8では、傾斜記録のインバージョンにより5つの断層モデルが求められており、これらの地震モーメントを合算すると、M 6.2の地震に相当するすべりがあったものと考えられる(防災科研)。

2006年3月2日、和歌山県北部の深さ4 kmでM 4.1の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は西

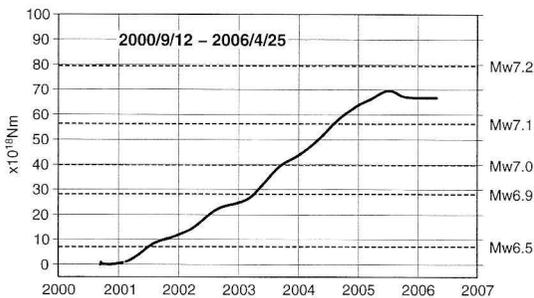


図7 東海地域の長期的スロースリップによる推定モーメントの時間変化。[第168回:地理院資料]

北西-東南東方向に圧力軸を持つ型であった。また、5月15日にはほぼ同じ場所でM 4.5の地震があり、震度4が記録された。今回の地震の震源付近は定常的に地震活動が見られる場所であり、M 4以上の地震は年に1回程度の頻度で発生しているが、2006年に入ってから活発化の傾向が見られる(気象庁)。

2006年3月28日、東海道沖の深さ439 kmでM 6.0の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構はプレートの沈み込む方向に圧力軸を持つ型であり、太平洋プレートの内部で発生した地震である。今回の地震の震源付近ではM 7前後の地震が時々発生しており、最大のもは1978年3月7日に発生したM 7.2の地震である(気象庁)。

近畿地方北部では、2002年頃から丹波山地での積算地震回数や、周辺の地殻変動連続観測結果に傾向変化が見られ、現在も継続中であることが報告されている。これに加え、GPSデータを用いて近畿北部のひずみ速度変化を調査した結果が報告され、2002年前半から2003年にかけていくつもの基線で歪み速度が変化していることが見出された(京大防災研)。

## 6. 中国・四国・九州地方

2006年2月1日、愛媛県伊方町すぐ沖合の伊予灘で、深さ46 km、M 4.3の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は東西方向に張力軸を持つ正断層型であり、フィリピン海プレートの内部で発生した地震である

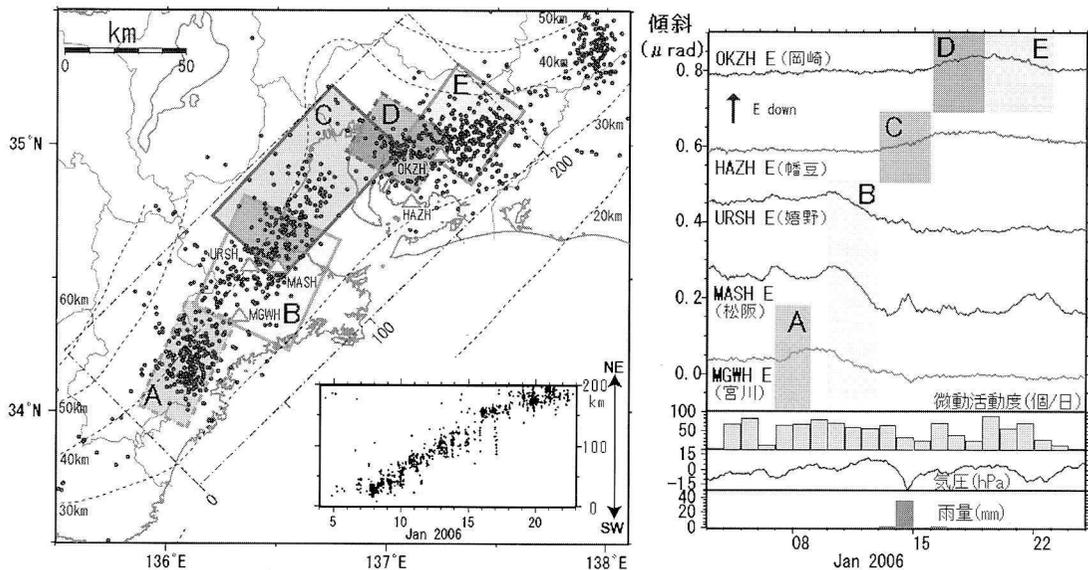


図8 (左) 2006年1月の深部低周波微動の活動および短期的スロースリップイベントの全体図。黒丸は微動源の震央位置、A~Eの矩形は短期的スロースリップの起こった領域を示す。(右) 代表的な観測点(左の△印)における傾斜記録。[第167回:防災科研資料に加筆]

(気象庁).

2006年4月22日、愛媛県宇和島市西方の豊後水道で、深さ40km、M 4.0の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は上記の伊予灘の地震と同じく東西方向に張力軸を持つ型であり、これもフィリピン海プレートの内部で発生した地震である(気象庁)。

2005年11月22日、薩摩半島の南方約30kmの深さ146kmでM 6.0の地震が発生し、最大震度3を記録した。この地震は九州南部に沈み込んだフィリピン海プレートの内部で発生したものと見られ、発震機構はプレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型であった。今回の地震の付近はやや深発地震の活動が活発な場所であるが、M 5.0を越える規模の地震は稀である(気象庁)。

2005年12月4日、奄美大島近海でM 6.1の地震が発生し、最大震度3を記録した。余震活動は10日間程度でほぼ収まったが、その後、小規模な活動が続いた。また、2006年3月2日には奄美大島西方沖の深さ15kmでM 4.9、4月10日には奄美大島北西沖の深さ18kmでM 4.9の地震があった。奄美大島近海ではM 6級の地震が度々発生しており、2001年12月9日の奄美大島直下M 6.0の地震では最大震度5強が観測されている(気象庁)。

2006年3月27日、宮崎県延岡市東方の日向灘で、深さ35km、M 5.5の地震が発生し、最大震度5弱を記録した。発震機構は西北西-東南東方向に張力軸を持つ型であり、フィリピン海プレートの内部で発生した地震である。小規模な余震活動が続いたが、4月下旬には収まっている(気象庁)。この日向灘地震に関連して、2000年10月~2006年3月に日向灘周辺で発生した相似地震活動の解析がなされた。その結果、2006年3月の地震が発生した領域においては2004年半ばまで相似地震の発生がなく、その後間欠的にすべりを生じたのち、地震とともに急速にすべったことが判明した(防災科研)。

## 7. その他

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

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

395km、M 5.4の地震が発生している(気象庁)。

2006年2月23日、モザンビーク南部でM 7.5の浅発地震が発生し、死者4名、負傷者27名などの被害を生じた。この地震の周辺には東アフリカ地溝帯があり、今回の地震の発震機構もこれを反映した東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型であった。震源付近ではM 4.0以上の地震が時々発生する程度であり、M 7.0以上の地震は1970年以降初めてであった(気象庁)。

2006年4月21日、カムチャツカ半島の付け根付近で、深さ20km、M 7.6の地震が発生し、負傷者約40名などの被害を生じた。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、北米プレートの内部で発生した地震である。4月30日にM 6.0の最大余震が発生したのち、余震活動は順調に減衰している(気象庁)。

2006年5月9日、トンガ付近でM 7.9の地震が発生し、負傷者1名の被害を生じた。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、太平洋プレートがインド・オーストラリアプレートの下へ沈み込むことに伴う地震である(気象庁)。震源の深さは約75kmであったと推定され、このため顕著な津波は生じなかったようである。

## 8. トピックス

### 8-1. 東南海・南海地震のアスペリティ

第167回連絡会では、トピックスとして「東南海・南海地震のアスペリティ」(世話人:橋本学委員)が取上げられ、両地震に関する最新の研究成果が紹介された。

「測地データのインバージョンによる南海トラフ沿いのカップリングの時空間変化」(名大:伊藤武男)では、過去約100年間にわたる長期間の地殻変動データに対して、地震の発生サイクルと粘弾性緩和を考慮したインバージョン法を適用した結果が報告された。南海トラフ沿いのプレート境界面上でのすべり欠損量の時空間分布が定量的に推定され、1946年南海地震のあと約30年間にわたり、四国下の深さ30km以深のプレート境界面上で1m程度の余効すべりが生じていたこと、浅い領域では地震直後(4年以内)にプレート間カップリングが回復していたことが確認された。また、地震間(40年~70年)では、約30kmよりも浅い部分で5~6cm/年のカップリングがあり、地震の約90年後における蓄積すべり欠損量は四国沖で6m、紀伊半島沖では3m程度に達するとの予測がなされた。

「1944年東南海地震の再解析」(東大震研:山中佳子)では、Kikuchi et al. (2003)による1944年東南海地震のアスペリティ解析における問題点が指摘され、新たな観測点の追加、P・S波到達時刻の修正などを加えて再解

析を行った結果が報告された。それによると、地震の規模は Mw 7.9 から Mw 8.1 に訂正され、従来、紀伊半島東岸の近くに推定されていたアスペリティの位置は大きく東北方向にずれ、広く遠州灘をカバーする領域が新たにアスペリティとして推定された(図9)。この結果は、地殻変動データから渥美半島下でのすべりの必要性が指摘されていたことに符合し、また津波データにも調和的であるという。さらに、他の事例と同様に余震分布がアスペリティの周囲に位置するようになること、最近のGPS観測から得られている固着域にも整合するとの考えが示された。一方、紀伊半島沖には大きなアスペリティがなくなったため、ここでは余効変動などを考える必要が出てきた。これに対し、より綿密な地殻変動データとの比較が必要であるとの指摘がなされ、また東海地震の震源域との関連性について議論があった。

「震度データのインバージョン解析による過去の東海・南海地震の短周期地震波発生域」(鹿島建設:武村雅之・神田克久)では、宝永、安政、昭和の東海地震・南海地震の震度分布データを用いて、まず、各々の地震における短周期地震波の発生域が推定された。次に、これらは破壊開始点からの波動がアスペリティを横切った

終端点付近に現れるという考え方に基づき、東海・南海地域におけるアスペリティ領域の分布が推定された(図10)。東海地域では2つのアスペリティ(TA1, TA2)が推定されたが、1707年宝永地震および1854年安政東海地震時における山梨県最南部付近の短周期地震波発生域に対応するアスペリティは推定されていない。これに対し、東海地域の微小地震活動から推定されている固着域がこれにあたるかもしれないとの意見が出された。一方、南海地域では3つのアスペリティ(NA1, NA2, NA3)が推定されているが、1707年宝永地震の際に室戸岬付近で見られた短周期地震波発生域はやや特異である。この沖合には沈み込んだ海山の存在が知られており、1707年にはここが破壊されたものの、1854年安政南海地震や1946年昭和南海地震の際にはこの海山がバリアとして働いたのかもしれないとの推測がなされた。

## 8-2. 十勝沖・根室沖のプレート間カップリングの時空間的变化

第168回連絡会では、「十勝沖・根室沖のプレート間カップリングの時空間的变化」(世話人:谷岡勇市郎委員)がトピックスとして取上げられ、北海道南方沖にお

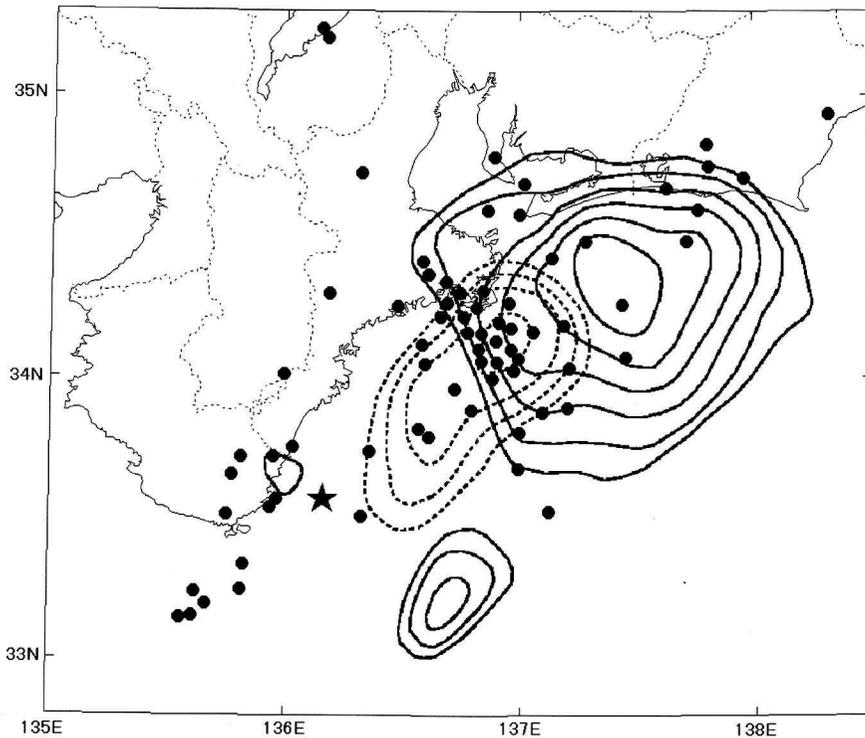


図9 再解析により新たに提案された1944年東南海地震のアスペリティ領域(実線)。コンター間隔は0.3mで、1.2mより大きくすべった領域を表示している。星印は本震、黒丸印は余震の位置を示し、点線はKikuchi et al. (2003)による従来のアスペリティ領域を示す。[第167回:東大震研資料]

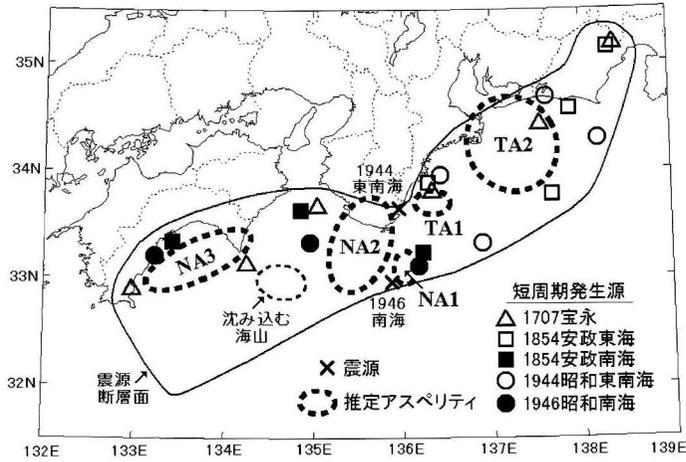


図 10 宝永、安政、昭和の東海地震・南海地震の震度インバージョン結果による短周期発生源中心と、推定されたアスペリティ領域。×印は昭和の地震の震央を示す。[第 167 回：武村資料より作成]

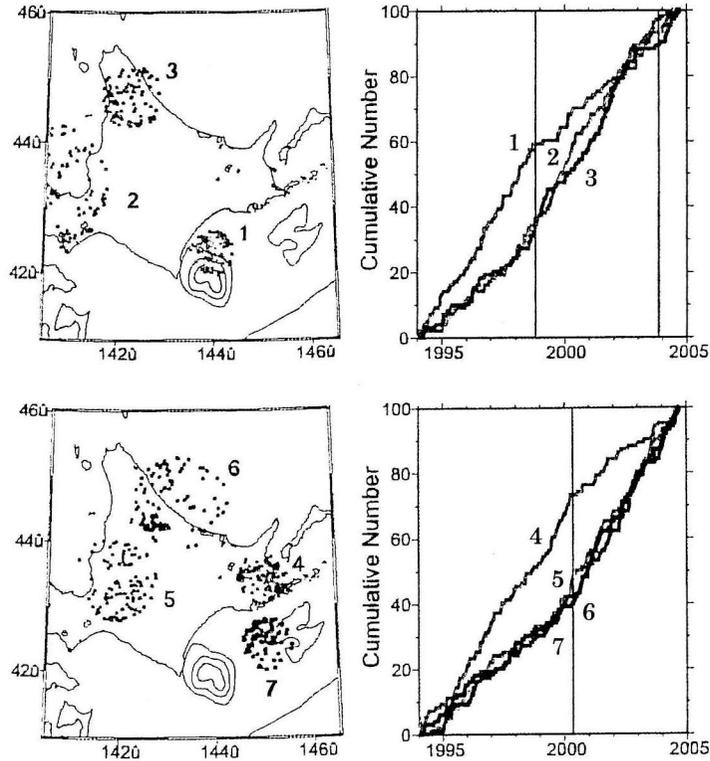


図 11 ZMAP により比較された震源領域(左)と積算地震回数(右)。上段は 2003 年十勝沖地震に先行した地震活動度変化、下段は根室半島付近の最近の地震活動度変化を示す。沖合のコンターは十勝沖および根室沖に推定されたアスペリティを示す [第 168 回：北大資料に加筆合成]

ける最近の地殻活動状況について議論がなされた。  
「地震活動の解析から見た変化」(北大：勝俣啓)では、北海道の下に沈みこんだ太平洋プレートの浅部と深部での地震活動度を長期的に比較した結果が報告された。こ

のような作業を行う際には、地震カタログの時間的な不均質性、とくにマグニチュードの不均質性が問題となるため、まず最近 10 年間ほどの期間に北海道周辺で発生した地震について震源再決定を行い、均質なカタログを

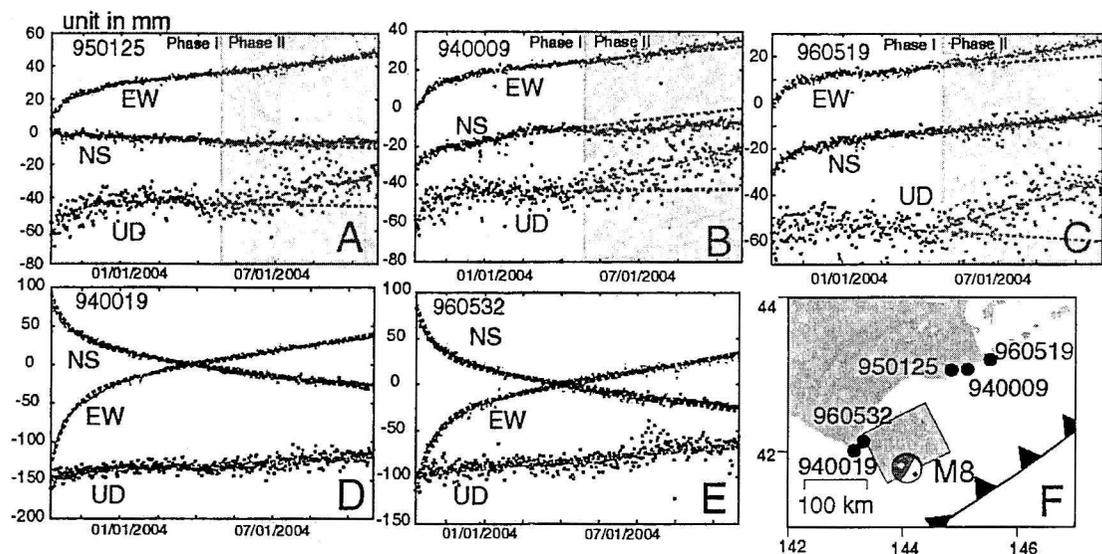


図 12 北海道南岸における 2003 年十勝沖地震以降の地殻変動。 [第 168 回：地理院資料]

作成した。次に、この地震カタログに基づき、Wiemer and Wyss (1994) による ZMAP 法を用いて、異なる地域の地震活動度の比較がなされた。

図 11 の上段は、十勝沖の浅部(深さ数 10 km 程度)に設定した円柱領域 1、および深いところ(深さ 250-300 km)に設定した円柱領域 2、3 における最近 10 年間の地震活動度変化を比較している。この図から、2003 年十勝沖地震の 5 年ほど前から領域 1 では地震活動が静穏化し、領域 2、3 では逆に活発化したことがわかる。同様の变化は、最近の根室半島付近の地震活動にも見られる(図 11 下段)。領域 4 では 2000 年中頃より静穏化すると同時に、領域 5~7 では地震活動が活発化し、この傾向は現在も継続中である。今後数年以内に根室半島沖で大地震が発生するかどうかが目される。

「地殻変動(GPS)解析から見た変化」(国土地理院：村上亮)では、2003 年十勝沖地震以降の GPS 観測結果から推定されたプレート境界のすべり挙動について、解析結果が報告された。図 12 は、北海道南岸における 2003 年十勝沖地震以降の地殻変動を示している。えりも岬付近の D、E では単調な余効変動が記録されているのに対し、釧路・根室付近の A、B、C では 2004 年夏頃から新たなゆっくりすべりが加わっている。十勝沖地震の余効変動が東へ拡張する中で、釧路・根室沖では新たなゆっくりすべりの活動が顕著になり、2004/11/29 釧路沖地震(M 7.1)および 2004/12/6 釧路沖地震(M 6.9)が

誘発されたものと考えられる。この釧路周辺のスロースリップは、2006 年に入ってから目立たなくなっているとのことであった。

「地震発生サイクルシミュレーションから期待されるプレート間カップリングの時空間変化」(海洋研究開発機構：堀高峰)では、北海道下に 3 次元プレート形状をモデル化し、地域的に異なる摩擦特性を与えて地震発生の数値シミュレーションを行った結果が報告された。複数のアスペリティが存在する場合、アスペリティから遠い場所はほぼ定常すべりを行うのに対し、アスペリティ近傍やアスペリティに挟まれた場所ではすべり遅れによるひずみ蓄積が進行し、主に地震後の余効変動によってひずみが解消される。アスペリティの周りにすべり遅れが広がっているかないかでアスペリティの連動破壊は左右され、これが 1952 年と 2003 年の十勝沖地震の違いを生んだ可能性があるとの指摘があった。

また、地震間には固着域の広がり小さくなる現象が進み、条件次第ではアスペリティの一部で地震前(数年~10 年のオーダー)に固着のはがれが起きると考えられる。2003 年十勝沖地震以前の GPS データを解析すると、アスペリティ領域の深部ではバックスリップが推定されず、深部での固着をはがれ始めていた可能性があり、これは、本震近傍で数年前から地震活動が静穏化していたこととも符合するとの考えが示された。

# ■ 書 評 ■

## ● すぐに役立つ防災ハザードマップ

若松加寿江・久保純子・松岡昌志・  
長谷川浩一・杉浦正美 著  
日本の地形・地盤デジタルマップ  
CD-ROM 付

評者 翠川三郎

近年、災害を軽減するためには、行政による公助だけでなく、個々人の自覚に根ざした自助や地域コミュニティ等による共助が重要であることが強調されている。各人の災害に対する自覚を促す方策のひとつに、ハザードマップにより災害リスクを知ることがあげられる。

そこで、地震ハザードマップが積極的に作成されるようになった。例えば、地震調査研究推進本部により「全国を概観する地震動予測地図」が、また中央防災会議により巨大地震や直下地震の「強震動マップ」や「地盤のゆれやすさ全国マップ」が、それぞれ作成・公表されている。

このような地震の揺れの分布図を作成するには、各地点での地盤の揺れ易さを評価する必要がある。そのため、各地で行われた地盤ボーリング資料が収集・整理されてきた。しかし、ボーリング資料が入手できるのは都市部に限られるため、広域の範囲を対象とする場合には、ボーリング資料だけでは地盤の揺れ易さを統一的に評価できない。そこで、その基盤となるべきデータとして地形・地質のデータが用いられてきた。

そのデジタルデータとしては、これまで全国を網羅した国土数値情報の地形分類データがしばしば用いられてきた。しかし、もともとこのデータは1960～1970年代に都道府県別に調査・編集された地盤分類図を基に作られており、全国を統一的な基準で整備したものではない。

例えば、硬質な砂れき地盤からなる扇状地性低地と軟弱な粘土地盤からなる三角州性低地が分離されている場合とされていない場合があったりする。同様の問題は、自然堤防、砂州、砂丘など他の微地形分類についても生じているため、いくつかの工夫をしながら国土数値情報が用いられているが、根本的な解決には至っていない。

そこで、本書の著者らは、国土の基礎情報である地形・地質を全国的に統一基準で分類し、とくに、人口の集中する低地については、防災的な観点からかなり詳細な区分を行い、地形・地盤特性のGIS（地理情報システム）データベースを構築した。本書では、このGISデータベースの解説と適用事例が示されている。

データベースは、地形分類、表層地質（地質時代区分）、標高、傾斜、起伏量から構成されており、これらの情報が約1km四方の基準地域メッシュ単位で全国約39万メッシュに対して網羅されている。付属のCD-ROMには、このデータベースがGISおよびテキストのファイル形式で収録されている。高解像度の画像ファイルも収録されており、従来の紙地図と同様の利用法も可能である。

本データベースの防災への利用例として、地盤の揺れ易さに関する地盤の平均S波速度マップをはじめ、液状化危険度マップや洪水ハザードマップ、侵食速度ポテンシャルマップが紹介されている。このように、本書は、強震動や地震防災を専門とする地震研究者や地学教育に携わる教員、災害リスク評価の専門家、建設・環境分野の技術者など、様々な分野の方々にとって必携の豊富な内容の地盤データブックとなっている。

<東京大学出版会、2005年11月、A5判、104頁、  
9,450円（税込み）、ISBN4-13-060748-0>

## ● 劇画化された歴史的教訓

### 津波から人々を救った稲むらの火

評者 今村文彦

これは、2004年3月に立ち上げられたNPO環境防災総合政策研究機構が企画制作した作品である。戦前・戦中、普及の防災テキストと言われた「稲むらの火」のモデルとなった浜口梧陵の史実に基づいた劇画である。「津波」と「劇画」はいずれも日本から発信された国際語である。2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震・インド洋大津波の大災害を契機に、提案が一気に具体化したそうである。未曾有の犠牲を出したインド洋大津波

であったが、教育または啓蒙のあるなしで生死を大きく分けたと言われる。その後、昭和十二年（1937）から約十年間国語読本に載せられて全国の小学校に読まれてきた「稲むらの火」が脚光を浴びるのに時間はかからなかった。

「稲むらの火」は、ラフカディオ・ハーン（小泉八雲）が浜口御陵の史実を参考に創作した物語「生き神様」を基に、さらに小学生にも読める教材に書き直したものである。ハーンが生き神様を書いたのは、三陸大津波の直後であり、ハーンはこの時の出来事と、稲むらに火を放って村人を救った梧陵の逸話とをヒントに、一気に感動的な物語を書き上げたのだと言われている。また、教材を書いた中井常蔵は広村の隣町の生まれで、梧陵が村に作った「耐久社」から発展した耐久中学校の卒業生である。彼が師範学校でハーンのこの作品を学び、大変感銘して、小学校の先生になったときに、「稲むらの火」を書いたと言う。従って、三つの話が存在する。

本誌は、浜口の生涯を劇画として描いた実話であるので、「稲むらの火」と異なる部分がある。実話では、津波の第一波が引いた後、暗闇に取り残された人たちに逃げ道を示すため燃やしたが、「稲むらの火」では、津波が来襲する様子を見て、とりいれたばかりの稲村に火を放って家を火事であるように見せかけて村人を高台に誘い、全員を救っている。ハーンが感動的な表現にした創作である。この違いも楽しみたい。一方、浜口の功績は村人を救ったヒーローとしてだけでなく、被災した村の復興・復旧に尽力し、百年先の津波の来襲を予測し、私財を投じて津波堤防を完成させた事実注目したい。さらに、この事業の最中に、江戸で1855年11月11日安政江戸地震が発生し、浜口の江戸の屋敷・工場が火災で消失し、広津波堤防建設の資金難に陥る。この逆境を乗り越えて完成させた事業であることも確認したい。

ところで、稲むらに火を放した時に、なぜ火を消そうと若者だけでなく、老人も女・子どもも駆けつけたであろうか？ ハーンの原文には、昔の日本の村では、火事があった場合には村人全員が消火にかけつけるという重い決まりがあったと書かれている。その決まりを守ったために、自らの命が助かったのである。

「稲むらの火」では、津波の引き波や来襲の様子を生々しく表現した記述が圧巻である。ただし、ご存じのように、津波は引き波で始まるとは限らない。

本誌では、ナマズ博士が登場し、科学的な解説を加えている。プレートテクトニクス、引き波への注意、津波のながれの恐ろしさ、などが掲載されている。

また、その中で、広の堤防がすばらしいハイブリッドな構造を持っていることも紹介している。高さ5メートル、幅20メートル、長さ600メートルのこの堤防は、当

時としては画期的な土盛りの堤防であり、さらに、海側には津波の力を弱める防潮林をかねて松の木を反対側に植林している。

地域・学校や家族の中で、過去の防災文化や教訓を語り継ぐ機会が急激に減少している中、教材として活用されたい。

## ● 今日に生きる大地震体験談

武村雅之 著

### 手記で読む関東大震災

評者 北原糸子

#### 著者の意図

本書は、関東大震災を体験した当時の著名な地震学者今村明恒と一般市民の震災日記を現代の地震学者が編纂、解説したものである。

「まえがき」から編著者の意図を聞いてみよう。

武村氏は、震災体験を生かした提言が後世に伝わらないのは、地震の科学的研究は盛んに行われているのに、一般の人にとってはなかなか実感の湧きにくい学問の領域に留まっていることだという。それを打開する道として、震災を実体験した人々のメッセージを有機的に結合すれば、災害教訓が有効に活かされる道筋が開けるのではないかと主張するのである。

本書で紹介される日記は、本所横川町の魚屋の主婦松本ノブ（震災当時27歳）の震災体験日記、次に静岡県富士郡大宮町（現富士宮市）在住の当時62歳の元小学校校長河井清方の許に届く震災情報を綴る日記、それに当時の地震学界の中心人物であった今村明恒の地震発生の日1日から10月31日までの2カ月間の日記である。

この3編の日記に絞った理由そのものがすでに紹介した編著者武村氏の意図を表わしている。つまり、震災で、夫を失い3歳と生まれたばかりの子供を抱えて生き抜いた女性の体験記、また、実際に地震の猛火をくぐったわけではないが、地方にいて東京に出た娘や親戚の無事を遠くからひたすら祈るばかりの地方の知識人がものした日記、それに当時東京帝国大学教授大森房吉が海外の学会に出張中の留守を預かり、災害後の学問レベルの震災対策を取り仕切る立場にいた地震学者の不眠不休の2カ月間の記録からなる。この3者3様の組み合わせに、編著者が主張する実感を伴う震災体験と地震学を学問の領域を超えて広く活用するための方策を次々と編み出す学者の「有機」的な結合をもたせようという狙いがあることが読み取れる。

## 本書の魅力

本書の第1部は、関東地震に取り組み火災の死者でマスクされた関東大震災の被害者数の実態を新しく読み解いた地震学者武村氏の関東地震のメカニズムに関する懇切丁寧な解説と、震災日記の作者たち3人の詳細な紹介の章がある。そして、第2部はそれぞれの日記本文の掲載となる。

この第1部の作者紹介では、松本ノブ、河井清方のそれぞれの生涯について関係者を探ね、その足跡が丁寧に辿られている。しかし、わたしがもっとも興味を抱いたのは、今村明恒についての以下のような紹介である。濃尾地震の翌年(1892年)国家の地震調査機関として勅令を以って立ち上げた震災予防調査会の関東大震災に至る活動は大森房吉一人が踏ん張るばかりで、組織的研究はなされていなかったこと、大森の死後、今村が関東大震災に関する震災予防調査会報告6巻を編纂の責任者となってまとめたこと、この完成を以って調査会が解散され、その後引き継ぐものとして地震学の学理の研究を目指す地震研究所ができたことなどが綴られる。さらに、著者の率直なものの言いは、当時の地震研究所の創設には地震学の純理論に力点がかかり、防災への眼差しが疎かにされたことを指摘し、今村の防災に賭けた情熱が生かされなかった無念さを今村に成り代わって説いて止まないことだ。

事実、今村の日記を読むと、いかにこの地震学者が地震の被害から身を守る教訓を一般の人々に伝え、その実効を願っていたかがわかる。それは同時に、編著者武村氏の思いであることも静かに伝わる。

<古今書院、2005年、菊判、190頁、3,000円>

## ●新刊紹介 .....

伊藤和明 著

### 日本の地震災害

岩波書店、2005年10月、新書判、180頁、735円(税込み)

新潟日報社、BSN新潟放送

### 10.23新潟県中越地震1年の記録

新潟日報社、2005年10月、A4判、143頁、1,500円(税込み)

阪神高速道路管理技術センター/阪神高速道路株式会社 著

大震災から学ぶ都市高速道路における地震対策  
電気書院、2005年10月、A5判、409頁、4,200円(税込み)

### 消防防災(特集:新潟中越地震から1年)2005 秋季号(14号)

東京法令出版、2005年10月、B5判、128頁、1,250円(税込み)

溝上 恵 監修、佐々木ときわ・大宮信光 著

### 地震の大常識—これだけは知っておきたい

ポプラ社、2005年11月、A5判、143頁、924円(税込み)

木股文昭・林 能成ほか 著

### 三河地震60年目の真実

中日新聞社、2005年11月、B6判、218頁、1,365円(税込み)

池谷元伺 文・おか なみ 絵

### 動物の地震予報 みんなどうしたの?

パレード(星雲社)、2005年11月、新書判、51頁、945円(税込み)

恒文社新潟支社 編

### 雪国を襲った大地震 新潟中越地震に学ぶ

恒文社、2005年11月、B5判、145頁、1,800円(税込み)

天野 彰 著

### 地震から生き延びることは愛

文芸春秋、2005年12月、新書判、222頁、767円(税込み)

島村英紀 著

### ポケット図解 最新地震がよ〜くわかる本

秀和システム、2005年12月、B6判、303頁、1,470円(税込み)

### 消防防災(巻頭論文:スマトラ地震及びインド 洋大津波から1年)2006 冬季号(15号)

東京法令出版、2006年1月、B5判、128頁、1,250円(税込み)

内野将憲 著

### おっちゃん、なんで地震おきたん!一姪っ子ア ヤとの二週間

文芸社、2006年1月、B6判、130頁、1,050円(税込み)

雑喉 謙 著

### 神戸震災、再起の鉄道—地震と鉄道、メモラン ダム

文芸社、2006年1月、B6判、273頁、1,575円(税込み)

土木学会巨大地震への対策検討特別委員会ほか 編  
**地震なんかに負けない！幼稚園・保育園・家庭  
防災ハンドブック**  
学習研究所，2006年1月，B6判，191頁，1,680円（税込み）

柘植久慶 著  
**首都直下地震“震度7”**  
PHP研究社，2006年1月，文庫判，324頁，650円（税込み）

佐藤忠信・亀田弘行 編  
**ここまで進んだ日米の都市地震防災—2005第19  
回「大学と科学」公開シンポジウム講演収録集  
クバプロ**，2006年1月，B5判，167頁，2,940円（税込み）

染谷秀人 著  
**危ない建物を見抜く方法—そのマンションは地  
震にどこまで耐えられるか**  
河出書房新社，2006年1月，新書判，216頁，756円（税込み）

Newton ムック  
**想定される日本の大震災**  
ニュートンプレス，2006年1月，大型本，159頁，2,415円（税込み）

ニッポン放送地震取材班 編  
**大地震発生 生き残るための75の教え**  
扶桑社，2006年1月，B6判，127頁，600円（税込み）

新潟日報社 編  
**復興へ「中越地震」再起へ被災地は歩みだす—**  
新潟日報社，2006年1月，B6判，283頁，1,575円（税込み）

九州国立博物館，新潟県津南町教育委員会 編著  
**よみがえる被災火焰型土器—新潟県中越地震で  
被災した津南町所蔵の縄文土器の修復記録**  
クバプロ，2006年1月，95頁，1,500円（税込み）

西村太志，井口正人 著  
**日本の火山性地震と微動**  
京都大学学術出版会，2006年2月，A5判，242頁，3,570円（税込み）

名古屋裕ほか 著  
**ぼくの街に地震がきた—大震災シミュレーション  
コミック**  
ポプラ社，2006年2月，A5判，208頁，1,365円（税込み）

藤谷 健 著，アチェ・フォトジャーナリストクラブ  
**TSUNAMIをこえて—スマトラ沖地震とアチェ  
の人びと**  
ポプラ社，2006年2月，B5変型，57頁，1,365円（税込み）

国崎信江ほか 著  
**じしんのえほん—こんなときどうするの？ い  
のちを守る地震・防災の本**  
ポプラ社，2006年2月，B5判，32頁，1,260円（税込み）

蒲田文雄 著  
**昭和二年北丹後地震—一家屋の倒壊と火災の連鎖  
シリーズ日本の歴史災害第1巻**  
古今書院，2006年3月，A5判，215頁，3,150円（税込み）

高嶋哲夫 著  
**巨大地震の一日—命を守るための本当のこと**  
集英社，2006年3月，新書判，205頁，714円（税込み）

川崎一朗 著  
**スロー地震とは何か—巨大地震の可能性を探る**  
日本放送出版協会，2006年3月，B6判，269頁，1,071円（税込み）

松岡達英ほか 著  
**モグラはかせの地震たんけん**  
ポプラ社，2006年3月，A4判，39頁，1,365円（税込み）

杉山義孝 著  
**なぜ日本の家は倒壊するのか 地震に負けない  
家づくり**  
住宅新報社，2006年4月，A5判，230頁，1,890円（税込み）

角田四郎 著  
**一人でもできる地震・災害ボランティア活動入  
門**  
ふきのとう書房（星雲社），2006年4月，A5判，109頁，1,260円（税込み）

山村紳一郎 著

**メカニズム・防災・予知すべてわかる地震**

誠文堂新光社, 2006年4月, A5判, 223頁, 1,470円(税込み)

木庭元晴ほか 著

**宇宙地球地震と火山**

古今書院, 2006年4月, B5判, 180頁, 2,730円(税込み)

山辺豊彦 監

**絵解き・住まいを守る耐震性入門 地震に強い木の家をつくる**

風土社, 2006年5月, A5判, 103頁, 1,200円(税込み)

天野正樹 著

**お寺を地震から守る方法**

白馬社, 2006年4月, A5判, 105頁, 1,575円(税込み)

横山幹雄 著

**これが新潟中越地震だ!!**

新風舎, 2006年5月, B5判, 23頁, 1,680円(税込み)

中嶋文雄 著

**地震に無傷の家 阪神大震災に窓ガラス一枚の破損もなし WPC工法**

ニューハウス出版, 2006年5月, A5判, 210頁, 1,470円(税込み)

松本久美子 著

**剥離の中でスマトラ島沖地震 tsunami が私に残した痕**

新風舎, 2006年5月, B6判, 78頁, 1,050円(税込み)

松村郁栄 著

**濃尾震災(シリーズ日本の歴史災害) 明治24年内陸最大の地震**

古今書院, 2006年5月, A5判, 131頁, 3,150円(税込み)

# ADEP情報

(財)地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動について

[平成 18 年 4 月 1 日付]

地震調査研究センター

仲嶺 信英

地震調査研究センター次長に採用

(兼) 業務部長

塚腰 勇

(免) 地震調査研究センター次長事務取扱

平澤 朋郎

(命) 解析部長事務取扱

中村 誠

企画部長に配置換

東濃地震科学研究所

石井 紘

嘱託職員 (副首席主任研究員 東濃地震科学研究所副所長)

## 編集後記

今年 12 月は南海地震 60 周年にあたる。約 2 年の間隔をおいて東海地震・南海地震と 2 つの巨大地震が続発した。ちょうど太平洋戦争の終結を挟んでの発生であったため、その被害の詳細は定かではない。

東海地震と南海地震は俗に「双子地震」とも言われ、その続発性は歴史的事実である。1605 年慶長地震と 1707 年宝永地震では 2 つの地震がほぼ同時発生、1854 年安政地震は約 32 時間の間隔で発生した。およそ百年間隔で東海・南海の双子地震は繰り返すことから、次の発生は 2050 年前後と想定される。しかも同時発生が予想されると言う。

2 つの巨大地震が同時発生すると、災害は広域的なものとなる。想定されている東海地震のように、静岡県とその周辺地域だけの問題ではない。日本列島の大動脈を広域にわたって寸断するため、国の存亡に係わる大事に発展する可能性が高い。

そこでは阪神大震災は教訓とならない。首都圏直下型地震の対策も参考とするには不足である。とにかく災害地域の広がり、スケールが桁外れに大きい。病気にたとえるならば、歯痛や虫垂炎とはわけが違う。心臓手術や片肺切除のような、全身的生命に係わる大病に相当する。

病気は予防ができる。しかし巨大

地震は必ず襲来する。言うなれば、既に発症しているのであって、予防の段階ではない。どのように手術するか、患者の肉体的負担が最も軽い治療法を議論する段階に来ている。東海・南海地震対策は現在の時点で既に緊急性を持つと言わなければならない。

東海・南海の巨大地震は首都圏はじめ中部・近畿地方の内陸部に暮らす住民にとっても他人事ではない。巨大地震の発生の前後に集中して、内陸部に中規模直下型地震が発生する傾向にあるためである。例えば 1854 年安政東海・南海の数年前に発生した 1847 年善光寺地震では、約 1 万余人の犠牲者を出した。1853 年の嘉永小田原地震では死者約百人、1854 年伊賀上野地震では死者千人以上、そして 1855 年安政江戸地震では、江戸下町を中心に約七千名の犠牲者を数えている。

また 1944 年東海、1946 年南海地震の前後に発生した 1943 年鳥取地震では死者千人余、1945 年三河地震では死者 2,306 名、1948 年福井地震では 3,895 名の死者を数えた。このように東海・南海の巨大地震発生の前後には、中規模とはいえ内陸部に大被害をもたらす直下型地震が集中して発生する傾向にある。この意味からも、東海・南海の巨大地震の続発は日本全体を揺るがす大事件なの

である。

いまバブル崩壊期を過ぎて、東京の中心部に高層マンションが続々と建設されている。それに伴い首都圏の周辺部に暮らしていた高齢者、つまり災害弱者が U ターンする傾向にある。生活面や医療面で首都圏周辺部の生活は不便で、高齢者には住みにくいことは確かである。しかし被害地震発生の切迫性に逆行した、このような現象に歯止めは掛かりそうもない。被害の増加が明らかに予想されながら、傍観している行政の責任はないのだろうか。(Y.H.)

## 地震ジャーナル 第 41 号

平成 18 年 6 月 20 日 発行

発行所 ☎101-0064

東京都千代田区猿樂町 1-5-18

☎03-3295-1966

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