

# 地震 ジャーナル

56

2013年12月

エッセイ 関東大震災90周年にあたって思うこと ● 武村雅之

論文 地震波屈折法における萩原尊禮の考察 剥ぎ取り法 ● 増田 徹—— 1

キーワードから分析した日本の地震研究 ● 松村正三—— 6

地震火災：2011年東北地方太平洋沖地震に学ぶ ● 座間信作——13

2011年東北地方太平洋沖地震における

埼玉県鴻巣市中心市街地の屋根瓦被害 ● 新井健司——23

寄書 素数分布と地震発生パターンの類似性について ● 藤原広行——32

低角逆断層による地表上下変動のピーキング ● 岡田義光——35

新潟県中越地震こぼれ話 ● 水野浩雄——38

東京ゼロメートル地域は大丈夫か ● 伯野元彦——41

● 書評——47

● 新刊紹介——50

● ADEP 情報——52

囲み記事 ネット時代だからできる，地球科学の楽しい伝え方

## 地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

## 関東大震災90周年にあたって思うこと 武村雅之

関東大震災に大きな衝撃を受けその後の防災に身を捧げた2人の地震学者の晩年について、90周年を迎えるに当たり改めて考える機会を得た。1人は今村明恒(1870-1948年)、もう一人は寺田寅彦(1878-1935年)である。今村は震災予防、特に地震予知に生涯を捧げた地震学者として有名であるが、学問的には大森房吉の後継者として、統計・計測を中心とした古いタイプの地震学者との評価もある。一方寺田は震災前、ノーベル賞受賞候補とまで言われた当代一流の科学者で、地震学を地球物理学の一部として捉える現代につながる地震学者として評価も高い。

寺田は関東大震災後、西洋にはない我が国特有の科学的問題として震災を深く考えるようになり、震災予防に関する多くの随筆や論文を残している。それらを読むと、震災予防に関する限り、タイプの異なる2人が残した言葉は、表現の差こそあれ大変よく似たものであることが分かる。「災害経験を忘れるな」「地震予知と震災予防は区別して考えろ」「耐震設計と防災教育が震災予防の鍵」「国防よりも震災予防を優先させるべき」「地震は人の力では防げないが、災害は人の力で減らすことが出来る」等々である。ともに震災予防に対する西洋科学の限界を意識している点も興味深い。

寺田は昭和10年、今村は昭和23年に他界し、戦後は彼らの考えとは裏腹に、地震学は西洋科学一辺倒の途を歩んできた。その結果、現代の我々は、科学は進歩したが震災は減らないという現実に向き合っている。今のまま科学がいくら進歩しても我々は一方向、安全にも幸せにもなれないのではないかという危惧すら覚える。なるほど科学の進歩は我々に多くの選択肢を増やしてくれる。しかし一方でそれらを適切に選択する能力を身に付けなければ我々は返って危険になり不幸になることがある。急激な科学技術の進歩に対し、我々が如何に向き合い選択能力を高めていくかは重大な課題である。そのためには、あらゆる防災関連分野の専門家が、国民の防災教育と分野間連携に力を尽くすべきではないか。

最近、今村と寺田に、あの世から“そら見ろ!”とされているような気がしてならない。関東大震災から90年、日本人は本当に進歩したのだろうか?地震学者として、震災予防に懸命に取り組んだ2人の先生に今こそ学ぶべきではないだろうか。



武村雅之

[たけむら まさゆき]

**現職** 名古屋大学減災連携研究センター・エネルギー防災寄附研究部門教授  
理学博士

**略歴** 東北大学理学部地球物理学博士課程修了。鹿島建設技術研究所研究員、同小堀研究室プリンシパル・リサーチャー、(株)小堀鑛二研究所副所長を経て現職

**研究分野** 地震学、地震工学

**著書** 『関東大震災—大東京圏の揺れを知る』(鹿島出版会)、『未曾有の大災害と地震学—関東大震災』(古今書院)、『地震と防災』(中公新書)、『関東大震災を歩く』(吉川弘文館)、他

# 地震波屈折法における萩原尊禮の考察 剥ぎ取り法

増田 徹

地球上どの場所も、弾性波速度の値が地表での値より大きくなる地層が地下に必ず存在する。即ち、地表は地下と比較すれば弾性波速度が小さい地層で覆われている。この特徴は地下の性質を探る上で極めて幸運である。地表あるいは地表近くの発震源から出る波動は四方に広がっていくが、下方に向かう波動はその伝播経路の情報を携えて必ず地表に戻ってくるからである。波動が齎す地下の性質に関する情報の一つは波動が経路を伝播するのに要する時間（＝走時）であり、走時を活用して幸運の恩恵を得るために開発された探査技術の一つが地震波屈折法である。屈折法はその名称の示すとおり、震源から下方に向かい弾性波速度の速い地層とその上の遅い地層との境界に沿って進み再び遅い層に戻り観測地点に到達する波動（＝屈折波）の走時を震源と観測地点との水平距離の関数と見立てて、下層での速度及び上層と下層との境界の深さを決定する探査技術である。屈折法は理学分野において古くから用いられており、発震源として自然地震を利用して地下数十kmの深さに存在するモホ面（Mohorovičić, 1910）やコンラッド面（Conrad, 1925）の発見に貢献している。一方、工学分野においては、発震源として人工の爆発を利用することにより深さ10m～数kmの地層を対象として、建築物や土木構造物建設の際の基礎となる地盤の探査、トンネル掘削の際の掘削深度や掘削法の決定、あるいは鉱物や石油など地下資源の探査等に対して、理学分野以上の貢献をなしている。屈折法においては、走時データの処理方法に従った様々な手法が提案されてきたが、その中で我が国において最も広く用いられ最も顕著な成功を収めてきたものが萩原の方法である。自然界に存在する地層と地層との境界は一般に平坦ではなく起伏を持っている。この事情は屈折法による探査を容易でないものとする一

因であった。萩原の方法の長所は、地層の境界面が平坦ではなく起伏のある場合に、ほとんどの探査の現場で共通して誰にでも用いることができる、安定した解を得るための具体的な定量的方法を提供していることである。解析法に制限された解を得るのではなく自然に叶う解を得るための解析法を開発したのである。この方法が論文で紹介されたのは1938年のことであった（萩原, 1938）。この論文で萩原は、観測された走時を巧妙に組み合わせることにより、上層と下層との起伏のある境界の観測点直下における深さを求める式、及び、下層の弾性波速度を客観的に決定することが可能な走時（＝速度走時）に変換する式を導いている。このとき示された例は、速度の速い基盤の上に遅い一層のみの二層構造に単純化した場合であったが、その後、三層構造の解析方法（増田・北野, 1957, 金子, 1961）、任意の数の多層構造の解析方法（金子・田村, 1963）へと拡張された。あるいはまた、二層構造に対する解析方法（Hagedoorn, 1959）や複数の爆発点の走時を同時に処理する解析方法（Scheidegger and Willmore, 1957）などが異なる表現で提案されているが、これらは基本的には萩原の方法と同じである。屈折法探査の分野において、従来の懸案となっていた問題点を解決しその後の発展を促進したとも言える萩原の方法である。本小論は、萩原の方法が提案されるまで及びその後に発表された屈折法に関する論文を引用しながら、萩原の方法の長所を成している要点がどのような発展経路から生まれたのか、また、その後の屈折法の発展とどのように関連するかを考察するものである。なお、屈折法の種々の解析手法とその発展に関しては増田（1992）を参照した。

萩原（1938）では、屈折波の伝播経路を図1のように説明している。これより図1を参照しながら

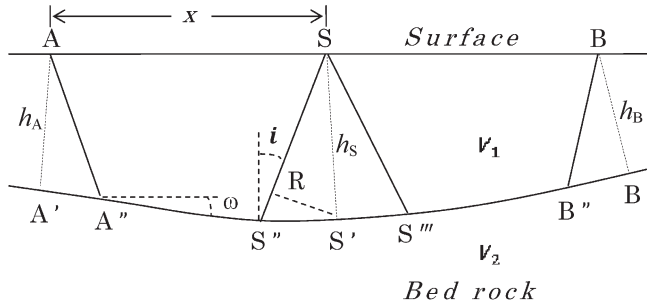


図 1 屈折波の伝播経路

ら、萩原の方法の基本となる関係式の導出から始める。図 1 で、上層と下層の二層からなる構造を対象とし、上層の弾性波速度は  $V_1$ 、下層は基盤でその弾性波速度は  $V_2$  である。点 A, B, あるいは S は地表に置かれた観測点あるいは爆発点である。地表に置かれた爆発点と地表の観測点との間の走時と水平距離が基本的な観測量である。点 A', B', 及び S' はそれぞれ点 A, B, 及び S から引いた基盤への法線と基盤面との交点であり、 $h_A$ ,  $h_B$ , 及び  $h_s$  は法線に沿って測った基盤面までの深さである。一方、点 A'', B'', 及び S'' あるいは S''' は、基盤を伝播する屈折波が基盤面から上層に屈折し点 A, B, 及び S に到達するとき基盤面を離れる点である。角  $i$  は上層と基盤との屈折臨界角である。角  $\omega$  は上層と基盤との境界面が水平面となす角である。角  $\omega$  は小さいと仮定されている。点 S から点 A へと伝播する屈折波は経路  $SS''A''A'$  を、点 S から点 B へと伝播する屈折波は経路  $SS''B''B'$  を、点 A から点 B へと伝播する屈折波は経路  $AA''B''B'$  を通ることは、今では地震学の初等科で教授されている。これらの屈折波の走時を  $t_{SA}$ ,  $t_{SB}$ ,  $t_{AB}$  とすると、それぞれ、

$$t_{SA} = SS''/V_1 + S''A''/V_2 + A''A'/V_1, \quad (1)$$

$$t_{SB} = SS'''/V_1 + S'''B''/V_2 + B''B'/V_1, \quad (2)$$

$$t_{AB} = t_{BA} = AA''/V_1 + (A''S'' + S''S' + S'S''' + S'''B'')/V_2 + B''B'/V_1, \quad (3)$$

と表される。ここで、屈折波の伝播経路のうち上層を占める部分  $SS''$ ,  $SS'''$ ,  $AA''$ , あるいは  $BB''$

を伝播するのに要する走時に着目し、例えば経路  $SS''$  を経路  $SR$  と  $RS''$  に分割すれば  $SS''/V_1 = SR/V_1 + RS''/V_1$  と表される。点 R は点 S' から経路  $SS''$  に引いた法線である。ここで、点 S' と点 S'' は近接しており両点において基盤面の水平面に対する傾斜角はほぼ等しいと仮定すると、角  $S'S''$  と角  $RS'S''$  は角  $i$  にほぼ等しいから、 $SR = h_s \cos i$  及び  $RS'' = S'S'' \sin i$  が得られる。角  $i$  は屈折臨界角であるから  $\sin i = V_1/V_2$  である。これらの関係を用いると式 (1) の右辺第一項は、

$$SS''/V_1 = h_s \cos i / V_1 + S'S''/V_2, \quad (4)$$

と変形される。上層を伝播するのに要する走時を式 (4) で表現することは屈折波の性質を積極的に取り込むことによるものであり今日普通に行われている。伝播経路  $SS'''$ ,  $AA''$ , 及び  $BB''$  についての走時も同様に变形され、それらを用いて式 (1) ~ (3) を書き改めると、

$$t_{SA} = h_s \cos i / V_1 + (S'S'' + S''A'' + A''A')/V_2 + h_A \cos i / V_1, \quad (5)$$

$$t_{SB} = h_s \cos i / V_1 + (S'S''' + S'''B'' + B''B')/V_2 + h_B \cos i / V_1, \quad (6)$$

$$t_{AB} = t_{BA} = h_A \cos i / V_1 + (A'A'' + A''B'' + B''B')/V_2 + h_B \cos i / V_1, \quad (7)$$

が得られる。式 (1) において速度  $V_2$  で伝播する経路は  $S'A''$  であるが、式 (4) においては経路  $S'S'' + S''A'' + A''A'$  を速度  $V_2$  で伝播するかのように変形されている。水平面から測った基盤面の傾斜

角が小さいという仮定のもとに、起伏をもった基盤面に沿った経路  $S'S''+S''A''+A''A'$  は直線的な経路  $S'A'$  とほぼ等しく、それはまた震源と観測点との水平距離に等しいと見做すことにより、速度  $V_2$  で伝播する距離を既知の水平距離で表わすことが可能となる。この近似を用いれば、

$$t_{SA} = h_S \cos i / V_1 + SA / V_2 + h_A \cos i / V_1, \quad (8)$$

$$t_{SB} = h_S \cos i / V_1 + (AB - SA) / V_2 + h_B \cos i / V_1, \quad (9)$$

$$t_{AB} = t_{BA} = h_A \cos i / V_1 + AB / V_2 + h_B \cos i / V_1, \quad (10)$$

と表される。式中の右辺第一項と第三項は、水平距離を速度  $V_2$  で伝播する時間より余分にかかる時間であることから遅れ時間と呼ばれる。これらを組み合わせることによって、観測点直下の上層の厚さを求める式、及び下層の速度を求めるための速度走時が得られ萩原の方法に到達する。

$$t_{SA} + t_{SB} - t_{AB} = 2h_S \cos i / V_1, \quad (11)$$

$$t_{SA} - (t_{SA} + t_{SB} - t_{AB}) / 2 = SA / V_2 + h_A \cos i / V_1, \quad (12)$$

萩原の方法の要点は、上層を伝播する走時を式(4)に変形すること、基盤の傾斜が小さいと仮定すること、及び少なくとも一地点において震源と観測点とを重複させて震源と観測点での遅れ時間の間に生じる曖昧さから逃れることにある。ある方法が発明されたあとにその道筋を辿るならば式の展開は当然として肯かれるが、式の組み合わせを発見することは容易ではなかったはずで、そのためにはいくつかの鍵を探し出す努力が必要であったと思われるが、そのような鍵はどこから見つかったのだろうか。謎を解く鍵は常に思わぬところに潜んでいるもので、隠れた鍵の発見の一つの例を振り返ることは、新たに見つきたい鍵の発見に役立たないとも限らない。

震源または爆発点から観測点に至る走時をこれら地点間の水平距離の関数として作図すると、ある距離を境に曲線の見かけの勾配が明らかに異なることは古くから見出されていた(例えばモホ面やコンラッド面の発見)。これは屈折波の発見であり地下に地表より速度の速い地層が広く存在す

ることを証明し、屈折法発明のきっかけを成している。見かけの勾配が異なる走時を説明するために光学分野のスネルの法則を弾性波に適用し弾性波の屈折の法則に転写したのは Hopkins (1848) であるとされている。これにより屈折波の伝播経路が明らかになりこの波を屈折波として論じる基礎が確立した。しかし、屈折波発見の当初においては、屈折波の伝播経路に関して今日知られているようなスネルの法則にしたがった臨界角による屈折は未だ定説とはなっていなかったようである。例えば Haalk (1934) は、屈折波が上層から下層に入射し境界に沿って伝播し再び上層に戻ることは認識しながらも、具体的な経路については下層への法線よりは緩やかであろうと論じるに留まっている。屈折波の伝播経路についての認識共有に関する事情は Jeffreys (1935) から想像することができる。地震波の近距離における距離減衰を論じた自身の論文 (Jeffreys, 1926) を引用して、観測される地震波の走時は屈折波で説明されるが振幅の距離減衰は説明できないと述べている。このような議論は、19世紀後半から20世紀初頭における波動伝播に関する理論の発展が基礎になっていると思われる。新たに発見された波の正体を走時と振幅の両面から解き明かそうとした先人の誠実な科学的態度が垣間見える気がする。昔の日本の地震学の先生(例えば松澤武雄)は屈折波の説明として、上層と下層の境界面よりやや下層に入り込んだ下に凸な伝播経路を図示されたそうである。上述の走時と振幅との不整合を意識されていたのかも知れない(高木章雄 私信, 2013)。

1920年代後半から1940年にかけて屈折法探査は欧州やアメリカの科学者により積極的に実施されている。そのなかで萩原の方法との関連において特筆されるのは、Barton (1929), Edge and Laby (1931), 及び Pirson (1937) である。

Barton (1929) では水平二層構造に対して観測点直下の上層の厚さが異なる場合の解析法を示しているが、上層と下層との境界面に起伏のある場合への一般化には至っていない。

Edge and Laby (1931) では、上層と下層との境界面に起伏のある構造を対象として、下層の弾

性波速度及び各観測点直下における境界面の深さを求める方法を論じている。この方法は Method of Difference として紹介されており広く用いられていたようである。この報告書の中では、起伏をもった境界面を伝播する屈折波の走時は式(1)~(3)による表現に留まっているものの、萩原の方法と全く同様な走時の組み合わせを用いる工夫がなされている。即ち、

$$t_{SA} + t_{SB} - t_{AB} = 2SS''/V_1 + (SA'' + S''B - A''B'')/V_2, \quad (13)$$

ただし、式(4)に示される変形はなされていないため右辺第二項=0とすることができない。そこで上層における伝播経路は鉛直に近いと仮定することにより、右辺第二項=0と置いたとき得られる解を初期解として順次補正を行う方法が取られている。報告書の中で解析された事例はこの方法が有効であることを示しているが、これは上層と下層の速度比が大きかったことも一因であったと思われる。

Pirson (1937) では、式(4)の変形による遅れ時間を取り入れた上で萩原の方法と同様の走時の組み合わせから上層の厚さを求める式を示し、また、下層の速度を求める方法として萩原の方法と同様の組み合わせにより速度走時を提案している。この方法は萩原の方法と同じである。

前出の Jeffreys (1935) も式(4)による遅れ時間を取り入れた萩原の方法と同様の走時の組み合わせから起伏のある地層境界面の深さを求める式を導出し、また、萩原による速度走時と同質の走時の組み合わせを用いて下層の速度を推定する方法を提案している。この論文の主眼は、しかし、屈折法の解析手法を探査技術者として提案することではなく、屈折波の正体を振幅と走時との両面から解明するために地震学者として物理探査技術への期待を表明することであったようである。

そして日本では1938年に萩原の方法が提案され、1960年頃までに様々な検討と改良発展がなされたことは前述のとおりである。また、萩原の方法から20年ほど経て萩原の方法と本質的に同値な解析方法が Hagedoorn (1959) や Scheiddegger and Willmore (1957) によって提案され

たことも既に述べたとおりである。

以上見てきたとおり、萩原の方法の要点は欧州、アメリカ、そして日本で、ほぼ同時期に提案されているのである。19世紀の後半から20世紀の前半には、一方では弾性波動の伝播に関する優れた観測的発見や理論的業績がなされ、一方では地震波時系列を記録する地震計の改良がなされ、両者が相乗して地震学の一分野が発展した。また、その時代には物理探査を必要とする産業の発展があった。萩原の方法は理論・計測技術の成長と技術の需要が重なって生みだされたと言えるかもしれない。大量の地震計を用いた稠密な観測も、高速大容量の計算機を用いた短時間での大量の演算も、どちらも未だ叶わない時代に、爆発点と観測点の配置を工夫することと観測走時を巧妙に組み合わせる方法を用いることによって、地下の構造を自然の姿のままに映し出す努力がなされた。やがてデジタル地震計が量産され高速大容量計算機が利用できるようになり地震波トモグラフィ技術の誕生へと引き継がれた。

## 参考文献

- Barton, D.C., 1929, Seismic method of mapping geologic structure, *Geophysical prospecting*, pp. 572-624, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York.
- Broughton Edge, A.B. and T.H. Laby (Editors), 1931, *The principles and practice of geophysical prospecting*, pp. 339-341, Cambridge Univ. Press, London.
- Conrad, V., 1925, Laufzeitkurven des Tauernbebens vom 28.11.1923. *Mitt. Erdb. Komm., Wien, Akad. Wiss., Neue Folge*, no 59.
- Haalk, H., 1934, *Lehrbuch der angebandten Geophysik*, pp. 300-305, Verlag Gebrüder Bornträger.
- Hagedoorn, J.G., 1959, The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections, *Geophysical Prospecting*, 7.
- 萩原尊禮, 1938, 基盤面の傾斜が一樣でない場合の走時曲線解析法, *地震 I*, 10, 1-6.
- Hopkins, W., 1848, Report on the British Association for the advancement of science, Oxford, June 1847, London, Part II, sec. 2, p. 33.
- Jakosky, J.J., 1940, *Exploration geophysics*, pp. 724-728,

Trija Publishing Company, Los Angeles.

Jeffreys, H., 1926, On compressional waves in two superposed layers, Proc. Camb. Phil. Soc., 23, 472-481.

Jeffreys, H., 1935, Time and amplitude relations in seismology, Proc. Phys. Soc. A., 47, 455-459.

金子徹一, 1961, 屈折法における3層構造の簡単な解析法, 物理探鉱, 14, 82-86.

金子徹一・田村芳雄, 1963, 屈折法における多層構造の簡単な解析法, 地質調査所月報, 14, 1-28.

増田秀夫, 1992, 地震探査屈折法における解析手法とその発展, 土木春秋社.

増田秀夫・北野昭彦, 1957, 浅い地下構造の屈折法について, 物理探鉱, 10, 56-66.

Mohorovičić, A., 1910, Das Beben vom 8.X.1909 : Jahrbuch des meteorologischen Observatoriums in Zagreb für 1909, IX, IV, Teil, AbscP, 1, Zagreb.

Pirson, S.J., 1937, Continuous profiling method of seismographing for Oil structures, Geophysics, pp. 305-

311, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York.

Scheidegger, A.E. and P.I. Willmore, 1957, The use of a least squares method for the interpretation of data from seismic surveys, Geophysics, 22, 9-22.

増田 徹

[ますだ てつ]

**現職** 東京大学地震研究所特任研究員

**略歴** 昭和50年3月東北大学理学研究科地球物理博士課程修了(指導教官:高木章雄教授), 昭和53年6月東北大学理学部助手, 昭和57年4月~昭和59

年3月カーネギー研究所研究員, 平成3年11月応用地質株式会社入社, 平成22年1月東京大学地震研究所特任研究員, 現在に至る.



# キーワードから分析した日本の地震研究

松村正三

## 1. はじめに

2013年5月2日付け朝日新聞は、「地震研究 お金かけすぎ?」というタイトルで地震研究を初めとするさまざまな科学研究にかけられた国家予算の集計を行った。これによると、1995～2012年度の18年間で費やされた地震調査研究関係予算は約3600億円となり、「高速増殖炉」、「国際宇宙ステーション」と並んで「地震研究」が巨大科学のひとつとなりつつあることが示された。この経費の多くは、1995年の阪神・淡路大震災の後、全国に張り巡らされた観測網強化にあてられたものであるが、これが国家による研究投資として妥当なものであるかどうか、同記事では、議論を持ち越した形で結論は棚上げされている。

科学研究への投資適否の判断は、経済指標を比較するような単純な仕業では済まない。調査をするとならば、対象は、単なる成果の実効性だけでなく、社会のあらゆる要素を巻き込んだものとなり、また、相当程度長期的視野のある観点が重要となろう。そうした難しさを踏まえる必要はあるものの、一方で、社会からの問いかけに答える姿勢を示すこともまた重要である。

本稿では、前述の期間を経て、日本の地震研究のテーマや内容がどのように変遷したか、また、現在どういったテーマが注目されているのかについて、学会発表内容のキーワードから分析することを試みた。この結果が、問いかけへの答えの一端となることを期待してのことである。

## 2. 調査方法

前述期間を含んでほぼ20年の時を隔てた1993年<sup>1)</sup>と2012年<sup>2)</sup>の日本地震学会秋季大会を取り

上げ、両年度における研究発表の内容の比較を行った。両学会の間には、1995年阪神・淡路大震災、及び2011年東日本大震災の二度の大震災が起き、学会全体が大きな打撃と反省を強いられてきたという経緯がある。調査方法は、両学会の予稿集から、全ての発表内容をチェックしてそれぞれのキーワードを拾い出し、これを集計対比する、というものである。1件の発表につき5～6個のキーワードを抽出することになるが、これを集計することで、それぞれの年度における日本の地震研究の全体傾向が読み取れることを期待したわけである。

## 3. 調査結果

両学会における発表件数は、1993年、2012年において、それぞれ358件、482件である。年度毎の発表件数の推移も、着実に増加してきており、筆者が以前に行った米国地震学会との比較<sup>3)</sup>でも拮抗するかむしろこれを凌ぎ、日本の地震研究が世界をリードする位置にあることは間違いない。抽出したキーワードの総数は、両年度に対しそれぞれ、1931個、2938個であるが、同じキーワードごとにまとめた語数は、それぞれ、722語、981語となった。表1に、1993年の学会に対して上位20位までのキーワードの出現度数表を示した。同様に表2は、2012年に対しての上位31位までの出現度数表である。出現度数のトップは、それぞれ「1993年北海道南西沖地震」、「2011年東北地方太平洋沖地震（以下では、2011年東北沖地震）」であり、ともに直近に起きた大地震となったのは当然の結果と言える。双方に共通のキーワードとしては10語が拾い出され、「地震動」、「津波」の2語は現実に起きた震災と津波災害を反映し、「地震活動」、「地殻変動」、「発震機



表 1 1993 年学会発表に出現したキーワードの分布（上位 20 位まで）

順位	キーワード	属性	度数
1	1993年北海道南西沖地震	A	54
2	地震活動	A	31
3	地震動(強震動、強震動記録、強震観測)	A	27
4	発震機構解	D	26
	群発地震	A	26
6	地震波速度構造(P波速度構造、S波速度構造)	D	20
	断層面	D	20
8	余震	D	19
9	地殻変動	A	17
10	不均質構造	D	16
	Q値	D	16
12	シミュレーション	E	15
	奥尻島	A	15
14	応力場	D	14
	マントル	E	14
	深発地震	D	14
17	グリーン関数(経験的グリーン関数)	C	13
18	反射法地震探査	B	12
	伊豆	A	12
20	津波	A	11
	地震前兆	E	11
	地震波形(解析・逆解析)	A	11
	破壊過程	D	11
	S波異方性	D	11
	震源分布	D	11
	1993年キーワード総数		1931

構解]、「地震波速度構造」,「不均質構造」,「反射法地震探査」の6語は時代に依存しない普遍的かつ代表的な調査項目を,「応力場」,「シミュレーション」の2語は,汎用的な解析項目を表している。

表に取り上げた順位は,キーワード全体の上位約1/30までに相当するが,キーワード個数の総数に占める割合は,それぞれ,23.1%,25.4%となり,すなわち上位キーワードへの集中度には,両年度間で大きな差が生じていない。

各キーワードに付したA~Eのマークは,キーワード属性を,A(データ・資料),B(観測装置・設備),C(解析手法・アルゴリズム),D(解析結果),E(解釈・概念)の5種類のカテゴリーに分類した結果を示す。属性の性格は,A→Eへと研究が進行する方向に沿っている。図1は,それぞれの年度における属性分布を示す。両年度の分布パターンは似通って見えるが,細かく見れば,1993年に比べ2012年では,B(観測装置・設備)とE(解釈・概念)の割合が若干増加している。B(観測装置・設備)の増加は,1995年阪

神・淡路大震災後の観測網整備によるデータを使った研究が大きな割合を占めるようになったことを示し,E(解釈・概念)の増加は,2011年東北沖地震による大震災が想定外であったことへの反省とともに地震研究を一段と高度なステージへと昇華させる動機となったことを想像させる。

#### 4. 地震研究における近年の指向性

本調査の目的は,最近20年間を経て,日本の地震研究の傾向がどのような方面に向き,また研究のスタイルがどのように変遷したかを知ることである。そこで,前節で紹介した調査結果から2012年と1993年の両年度間でのキーワード分布の差に着目した。表3に,キーワード出現割合の両年度間の差の順位表を示した。これは,それぞれの年度のキーワード度数を,その年度の総数で割って規格化し,両者の差,すなわち,1993年度に対する2012年度の増分(%)の順位である。19年前と比較したとき,新しく出現した項目,あるいは,その注目度が躍進した項目を抽出した

表 2 2012 年学会発表に出現したキーワードの分布 (上位 31 位まで)

順位	キーワード	属性	度数
1	2011年東北地方太平洋沖地震	A	95
2	地震波速度構造(P波速度構造、S波速度構造)	D	40
3	アスベリティ(アスベリティモデル)	E	38
4	シミュレーション	E	35
5	津波	A	30
6	KiK-net	B	26
7	沈み込み帯	E	23
8	F-net	B	22
	スロースリップイベント	D	22
	微動(環境雑音)	A	22
11	摩擦構成則(滑り弱化、速度弱化、動的滑り)	E	21
12	Hi-net	B	20
	地震動(強震動、強震動記録、強震観測)	A	20
14	フィリピン海プレート	E	19
	反射法地震探査	B	19
	応力場	D	19
	不均質構造	D	19
	地震活動	A	19
19	地殻変動	A	18
20	滑り分布	D	17
	地震サイクル	E	17
	地震トモグラフィー	C	17
23	地震波干渉法	C	16
	誘発地震(動的誘発)	D	16
	スケール則	E	16
	逆解析	C	16
	発震機構解	D	16
28	K-net	B	15
	低速度域	D	15
	GPS	B	15
31	クーロン応力変化	E	14
	東北地方	A	14
	震源過程	E	14
	2012年キーワード総数		2938

ことになる。増分がプラス、すなわち注目度がアップしたキーワードは全部で764語あるが、表3には、大きい順に59位までを拾い出して並べた。「2011年東北地方太平洋沖地震」がトップにくるのは当然として、以下に、この地震に結びついたキーワード(例えば、「東北地方」(19位)、「巨大地震」(26位)、「日本海溝」(31位)など)を除き、それ以外で特徴的なキーワードをA~Eの分類に沿って拾い出してみよう。

A(データ・資料):ここでの「微動」(12位)は主に常時微動を指し、地震動予測に必要な浅層の構造探査に利用される。「津波」(13位)、「海底地殻変動」(15位)は、今回の大規模災害の基本要因であり、地震学会ではこれまで比較的マイ

ナーな話題でしかなかった津波が一転して注目される結果となったことを示している。

B(観測装置・設備):「KiK-net」(3位)、「F-net」(4位)、「Hi-net」(6位)、「K-net」(10位)が上位に連なり、さらに「DONET」(31位)や「GEO-NET」(48位)が現れる。これらは、1995年阪神・淡路大震災を契機として整備されることとなった基盤観測網を初めとし、日本の科学技術政策に基づいて新たに整備、あるいは強化されてきた地震・地殻変動の観測網であり、序節に登場した地震関連3600億円の国家予算の多くがこの建設に費消されたわけである。その成果がいかに防災に役立てられたかについては、現在なお、さまざまな議論があり、妥当な評価がなされるのは先のこ

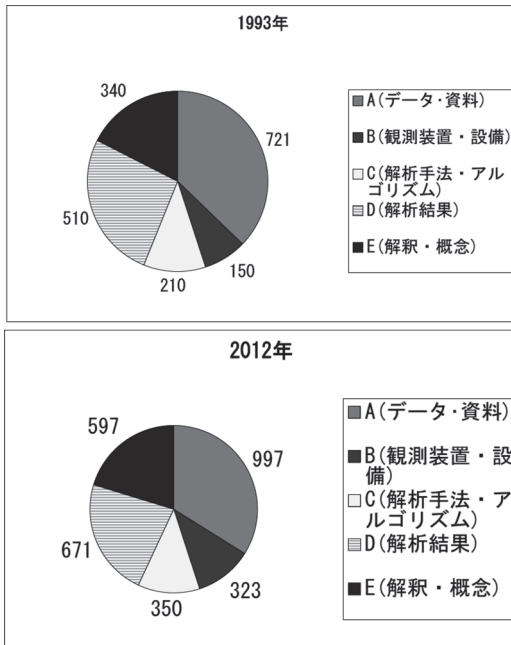


図 1 両学会におけるカテゴリ別キーワード分布

ととなるだろうが、少なくとも研究に関しては、近年の研究のほぼ全てがこれらの観測網からのデータに依拠していると言って過言でない。事象の客観的かつ正確な把握が地震研究の基本をなすからである。なお、「緊急地震速報」(26位)は、これら観測網整備の副次効果と言うこともできる。

C (解析手法・アルゴリズム) : 「地震波干渉法」(8位)、「差分法」(17位)、「地震トモグラフィー」(21位)、「Back Projection 法」(31位)、「逆解析」(44位)は、観測データの解析手法を代表するキーワードである。中でも、環境雑音の相互相関関数から浅層地盤の速度構造を求める「地震波干渉法」、及び、地震波のアレイ観測データから震源域における地震波励起位置を特定する「Back Projection 法」は、近年注目されつつある解析方法である。後者は、全国アレイの整備と相まって、東北沖地震の震源域の詳細構造の分析に威力を発揮した。その他に、表3からは欄外となるが、「Double Difference 法」(68位)、「ETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence) モデル」(同)など、

新しく開発された解析法も高頻度で採り入れられてきた。

D (解析結果) : 「スロースリップイベント」(5位)、「誘発地震」(11位)、「繰り返し地震」(15位)、「歪集中帯」(23位)、「深部低周波微動」(26位)、「余効滑り」(35位)、「深部低周波地震」(49位)、「相似地震」(同)は、いずれも近年になって発見されたか、または議論の俎上に上がるようになった特徴的な事象であり、プレート間結合の状態、地震の発生機構を研究するうえで重要な意味を持つキーワードである。この中の「スロースリップイベント」、「歪集中帯」、「深部低周波微動」、「深部低周波地震」は、日本の卓越した観測網によって生み出された世界に先駆ける発見を指す。

E (解釈・概念) : 「アスペリティ」(2位)は、プレート間あるいは断層面上の強く結合した領域をイメージした言葉であり、震源域の中の本質的な固着部分を指す。必ずしも最新の概念とは言えないが、近年の観測・解析技術の進展により、元は単なるイメージでしかなかったものが、今では、実存する場所として指し示すことができるまでになったものである。その意味で、地震研究が深化する過程を代表するキーワードと言えよう。「摩擦構成則」(7位)に基づいた「シミュレーション」(14位)は、地震活動様式とその時系列について説明することを目的とし、日本の地震研究の大きな一角を占め、世界をリードするまでに発展した分野である。「クーロン応力変化」(19位)と「破壊基準」(35位)は、2011年東北沖地震による「誘発地震」の説明のため、「Thermal Pressurization」(49位)は、断層滑りに伴う摩擦熱による「間隙水圧」(同)の上昇によって、同地震による日本海溝沿いの想像を超える大スリップの説明のために持ち込まれた概念である。「プレート間カップリング」(49位)と「滑り欠損」(59位)は、いずれも、巨大地震発生の準備過程として、歪み蓄積のイメージと実際の観測データの動きとの間を結びつけるための基本概念である。

表 3 両年度間でのキーワード出現割合の増分（上位 59 位まで）

順位	キーワード	属性	1993年 度数	2012年 度数	出現割合 増分(%)
1	2011年東北地方太平洋沖地震	A		95	3.23569
2	アスペリティ(アスペリティモデル)	E	7	38	0.93177
3	KiK-net	B		26	0.88556
4	F-net	B		22	0.74932
5	スロースリップイベント	D	1	22	0.69753
6	Hi-net	B		20	0.6812
7	摩擦構成則(滑り弱化、速度弱化、動的滑り)	E	1	21	0.66347
8	地震波干渉法	C		16	0.54496
9	滑り分布	D	1	17	0.52723
10	K-net	B		15	0.5109
11	誘発地震(動的誘発)	D	1	16	0.49317
12	微動(環境雑音)	A	5	22	0.49039
13	津波	A	11	30	0.45215
14	シミュレーション	E	15	35	0.4153
15	海底地殻変動	A		12	0.40872
	繰り返し地震	D		12	0.40872
17	差分法	C	1	13	0.39099
18	スケール則	E	3	16	0.3896
19	クーロン応力変化	E	2	14	0.37327
	東北地方	A	2	14	0.37327
21	地震サイクル	E	4	17	0.37187
	地震トモグラフィ	C	4	17	0.37187
23	地震予知	E		10	0.3406
	歪集中帯	D		10	0.3406
25	地震波速度構造(P波速度構造、S波速度構造)	D	20	40	0.32667
26	巨大地震	A		9	0.30654
	緊急地震速報	B		9	0.30654
	深部低周波微動	D		9	0.30654
29	低速度域	D	4	15	0.30375
30	地震動予測(強震動予測)	C	1	10	0.28881
31	Back Projection 法	C		8	0.27248
	DONET	B		8	0.27248
	日本海溝	A		8	0.27248
34	沈み込み帯	E	10	23	0.26551
35	海溝型地震	A		7	0.23842
	減衰	A		7	0.23842
	地震動特性(強震動特性)	D		7	0.23842
	地震発生予測(長期予測)	E		7	0.23842
	内陸地震	A		7	0.23842
	破壊基準	E		7	0.23842
	余効滑り	D		7	0.23842
42	南海トラフ	A	2	10	0.23703
	プレート間地震	D	2	10	0.23703
44	逆解析	C	6	16	0.23424
45	震源断層	E	1	8	0.22069
	付加体(付加帯)	E	1	8	0.22069
47	プレート内地震	D	3	11	0.2193
48	GEONET	B		6	0.20436
49	Termal Pressurization	E		6	0.20436
	海底	A		6	0.20436
	間隙水圧	E		6	0.20436
	地盤変動	A		6	0.20436
	深部低周波地震	D		6	0.20436
	水圧	A		6	0.20436
	相似地震	D		6	0.20436
	長野	A		6	0.20436
	プレート間カップリング	E		6	0.20436
	宮城	A		6	0.20436
59	滑り欠損(バックスリップ)	E	2	9	0.20297
	波源域	D	2	9	0.20297
	摩擦試験	B	2	9	0.20297

## 5. 考 察

日本史上初の M9 地震となった 2011 年東北沖地震は、それまでの地震研究の枠組みからはみ出した事象であり、結果的に「想定外」の大震災に結びついてしまった。ただしそれは、世界に比して日本の地震研究が遅れていたことを意味するわけではない。多くの時代で日本の地震研究は世界をリードする存在であり続け、特に、基盤観測網の整備以後は、圧倒的に高精度の観測とデータを背景とした成果を輩出することでその存在感を印象づけてきたのである。

その一方で、本稿の調査を通じて筆者の脳裡に生じたひとつの不審を表明しておきたい。それは、研究要素として整理したキーワードの中で、研究の中核をなすと判断される C (解析手法・アルゴリズム) と E (解釈・概念) のカテゴリーにおいて、取り上げられたキーワードのほとんどがその原典を海外にみる、すなわち外国産ということである。解析手法については地震学以外の分野に発祥のあるものも多いが、それが地震データ解析に導入された経緯を辿ればやはり海外に起点のあるものがほとんどとなる。「シミュレーション」は、今や日本でもっとも成長した分野と思われるが、その基本方程式をなす「摩擦構成則」は、Dieterich (1979)<sup>4)</sup> や Ruina (1983)<sup>5)</sup> によって提唱されたものである。前節に取り上げた中で純国産キーワードとして挙げられるのは、Ogata (1986)<sup>6)</sup> によって提唱された余震活動の推移を表す「ETAS」くらいではないだろうか。

こうなった原因のひとつに言葉の壁があるかもしれないと筆者は考える。例えば、断層面上に強固着部が斑状に分布するというイメージは、震源破壊過程を考察した者ならば誰でも思い浮かぶ構図である。しかし、これに対して Asperity (アスペリティ: Ruff and Kanamori (1980)<sup>7)</sup>) という英語をあてはめることは、おそらく普通の日本人には無理だろう。現実には、「アスペリティ」というキーワードは、物理学におけるような厳密な定義に裏付けられていない単なるイメージの置

き換えに過ぎない。しかし、そうしたイメージを具体的な言葉で指し示すことが、研究者間での議論を可能にし、さらなる概念の発展を促す基礎となる。そして、国際的な議論の場へ上がる以上、そうしたキーワードは英語であることが必須となる。その際、ネイティブ・スピーカーでない日本人には、もっとも適切な英語を選択できるという自信を持つことが難しい。このことに関連して筆者が象徴的と感じたのは「滑り欠損 (バックスリップ)」というキーワードである。これは、プレート境界など断層面の一部が固着した状態でブロック相対運動が進行した場合、滑り残った部分に宛てた言葉であり、そのイメージの原点は Savage (1983)<sup>8)</sup> によって提唱されたものである。続いて、Matsu'ura and Sato (1989)<sup>9)</sup> は、地殻変動データを使って実際の現場でこれを計算するための定式化を提示したが、その際、彼らはこれに Back-slip (バックスリップ) というキーワードをあてはめた。ところがその後、学会のある場面で、Back-slip というキーワードは概念を正確に表現していない故にこれを廃し、代わりに Slip-deficit (滑り欠損) という言葉を使うことが推奨された。Back-slip が適切な英語であるかどうかは筆者の判断を超えるが、仮にこのキーワードの初出が海外文献にあったとすれば、上述のような議論は起きなかつたらうと想像される。現実には、海外研究者が書く国際文献論文においても Back-slip が認定され、定着しかけていたのである。適切な感覚に裏打ちされた発語が非ネイティブには難しい故に、日本人は、英語のキーワードを提唱することに必要以上に臆病になってしまうのではないかということが、筆者の抱いた懸念である。

これまで海外産の概念や手法が積極的に取り入れられてきたことは、日本の地震研究が常に国際性を意識してきたことの反映と言えるかもしれない。しかしながら、国際性を重視することが単に外国文献の追従に終始するならば、それは研究の本質からの逸脱を意味することになる。理学研究の世界では、Originality, Uniqueness, Creativeness を内包する概念こそが重大視される。我が

国における研究に、このような精神性が事実、不足しており、仮にそれが、組織・機構の制度的性格に、さらには日本人の文化的風土に根ざしたものであるとすれば、これは看過ごすことのできない問題だろう。

## 6. おわりに

2011年東北沖地震を契機として、地震研究の基本概念が揺らいでいる。断層面の固着状態を代表する概念としてそれまで支配的であった「アスペリティモデル」の破綻を指摘する声が喧しい。観測の精緻化に伴って、基本概念が分化し、組み立てられるモデルは複雑化の一途を辿る。しかし、複雑なモデルに基づいたシミュレーションによって現象を再現することに成功したとしても、それで事態の解明が達成されたと言ってしまえるだろうか。科学の基本は、底に流れる概念の普遍化であり、一般化である。それ故、現実にある事象とモデル間の乖離を調整しながらも、なおかつ一般化を指向した概念の誕生とこれを代表するキーワードの出現が望まれる。今回の大震災を契機とした新たなキーワードの創出こそが日本の地震研究に期待される場所である。表3に掲載されていない現時点ではまだマイナーな存在であるが、そうした萌しを感じさせるキーワードも少しずつ出始めている。

## 参考文献

- 1) 日本地震学会講演予稿集, 1993年度秋季大会, 359pp.
- 2) 日本地震学会講演予稿集, 2012年度秋季大会,

267pp.

- 3) 松村正三, 2011, ふたつの大震災から見た我が国の地震研究の動向と問題点, 科学技術動向, No. 126, 29-39. <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt126j/report2.pdf>
- 4) Dieterich, J.H., 1979, Modeling of rock friction, J. Geophys. Res., 84, 2161-2175.
- 5) Ruina, A.L., 1983, Slip instability and state variable friction laws, J. Geophys. Res., 88, 10-18.
- 6) Ogata, Y., 1986, Statistical models for earthquake occurrence and residual analysis for point processes, Math. Seism., 1, 228-281.
- 7) Ruff, L., and H. Kanamori, 1980, Variation in asperity size inferred from the body waves of great earthquakes, EOS, 61, 1026-1027.
- 8) Savage, J.C., 1983, A dislocation model of strain accumulation and release at a subduction zone, J. Geophys. Res., 88, 4984-4996.
- 9) Matsu'ura, M., and T. Sato, 1989, A dislocation model for the earthquake cycle at convergent plate boundaries, Geophys. J. Int., 96, 23-32.

松村正三

[まつむら しょうぞう]

**現職** 文部科学省科学技術・学術政策研究所客員研究官, 地震調査研究推進本部専門委員, 日科情報株式会社情報部主席部員  
理学博士



**略歴** 東京大学理学部物理学科卒業, 同理学系大学院地球物理学博士課程中退, 国立防災科学技術センター入所, 独立行政法人防災科学技術研究所固体地球研究部門長などを経て, 現職  
**研究分野** 地震学

# 地震火災：2011年東北地方太平洋沖地震に学ぶ

## 座間信作

### 1. はじめに

本年（2013年）は、史上最悪の地震火災をもたらした1923年関東地震から90年という節目に当たる。この地震では地震直後から多数の火災が発生し、折からの強風にあおられて大規模市街地火災へと拡大し、全体死者約10万5千人の9割に当たる約9万2千人もの犠牲者をもたらした。特に当時の東京市では出火した134カ所のうち77カ所の火災が拡大延焼し、5万人以上が焼死したとされ<sup>1)</sup>、中でも本所被服廠跡地では発生した火災旋風の影響もあって約4万人もの犠牲者が生じたことはよく知られたことである。

その後、1948年福井地震、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震などの大地震の際には必ずと言ってよいほど大規模火災が発生してきたが、市街地大火としては、平常時を含めても1976年10月に発生した酒田大火以来しばらくなく、もはや我が国では大規模市街地火災は発生しないのではないかとの感があった。しかし、1995年兵庫県南部地震では特に木造密集市街地で大規模延焼火災となった。この地震では約25万棟の建物が全半壊し、死者の8割に当たる約5千人が建物倒壊によって亡くなった。これら建物被害は火災の発生や延焼拡大に強く影響し、出火件数は293件にものぼり、7千棟以上が全焼し<sup>2)</sup>、火災による犠牲者は400名を超えた。

兵庫県南部地震のおよそ10年後に示された中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」での東京湾北部地震に対する被害想定では、建物倒壊及び火災延焼による死者が膨大で、死者数は夕方6時・風速15m/sのケースで約11,000人、うち火災による死者数は6200人、建物全壊・焼失棟数は約85万棟、うち焼失65万棟とされており、

依然として地震火災の脅威は去っていない。これに対する防災戦略として、建築物の不燃化、火気器具の安全対策等による出火防止、市街地の面的整備、道路・公園などによる延焼遮断帯の整備等の延焼被害軽減、平常時からの地域コミュニティの再構築や自主防災組織の育成・充実等に基づく初期消火率の向上等が謳われ、今後10年で死者半減を目指した<sup>3)</sup>。しかし、その実効性については、例えば、フィリピン海プレート上面深さが約10km浅い等の最新の知見に基づいて実施された東京都地震被害想定<sup>4)</sup>では、東京湾北部の地震に対し、冬の夕方18時、風速8m/sの条件下でおよそ出火800件、焼死者4000名、全焼20万棟という甚大な被害が見積もられていることから、地震火災対策が大いに進んだとは言えない状況であることが暗に示されている。

このような状況の中で発生した2011年東北地方太平洋沖地震では、1995年兵庫県南部地震の293件を上回る330件の火災が発生した<sup>5)</sup>。この地震では、強震動に起因する従来型の火災のほか、今まであまり関心が向けられてこなかった津波浸水地域での火災が約半数発生した。また火災は、北は函館市から南は横浜市までの太平洋沿岸およびほぼそれと並行する内陸の約700kmにも及ぶ範囲に発生した。兵庫県南部地震での火災がほぼ震度6以上の領域に対応する長さ40km程度の带上部分に発生したことと比較すると、地震規模の大きさを改めて感じさせる。

以下では、東北地方太平洋沖地震での発生した主な火災の状況を紹介するとともに、それを踏まえた火災への対応のありようについて考える。

## 2. 津波起因の火災

### 2.1 概要

東北地方太平洋沖地震では各地に大津波が押し寄せ、甚大な被害をもたらしたが、一方で津波が関与したと考えられる火災が数多く発生した。表1は、消防研究センターが調査した主な市街地広域火災（延焼面積1万m<sup>2</sup>以上）を兵庫県南部地震での調査結果と併せて示したもので<sup>6)</sup>、東北地方太平洋沖地震では、延焼面積の広い火災現場が多いこと、多県にわたり発生していることがわかるが、最も特徴的なことはここに示した市街地広域火災の延焼域の殆どすべてが津波浸水域内にあることである。なお、この表には記載してないが、東日本大震災では、宮古市田老、山田町、大槌町、気仙沼市などで市街地火災から延焼した山林火災が発生し、その中には延焼面積が100haを超えるものもあった。

火災学会が実施した本震後から2011年4月11日までの火災発生状況に関するアンケート調査<sup>7)</sup>によれば、津波によるものとされる火災は、青森県から千葉県までの太平洋岸に亘って156件で、そのうち宮城県で最も多く103件となっている。

出火原因のほとんどは、津波からの避難で目撃情報が殆どないこと及び津波による市街地全体の現状をとどめないほどの破壊等のため不明となっている。出火源がわかっているものとしては、車両からが23件と最も多く、積算電力量計からが9件、電気設備・配線から7件などとなっている。

一方、津波火災拡大の一つの典型的なプロセスとしては、次節で述べるように三陸沿岸では津波によって山際や高台に流され堆積した家屋や車両等の多くの可燃物が着火炎上、津波からの避難のためこれらの火災の覚知が遅れ初期消火もできず、さらには津波による消防庁舎、消防吏員、消防車両、資機材等に被害が生じるとともに、津波浸水、ガレキの堆積等による消防活動障害のため消火活動が思うに任せず、火災は山裾に堆積した大量のガレキへと延焼する、といったことが推察できる。

津波起因の火災の発生は今回の地震が初めてというわけではなく、例えば1933年昭和三陸地震での岩手県釜石市、1964年アラスカ地震や新潟地震での石油コンビナート火災、1993年北海道南西沖地震での奥尻島の火災などが知られている。しかし、今回ほど多くの地点で大規模な火災をもたらした地震は初めてではないかと思われる。

表 1<sup>6)</sup> 主な延焼地域 (10,000m<sup>2</sup>以上)

東北地方太平洋沖地震			兵庫県南部地震	
地区名	延焼面積 (m <sup>2</sup> )	延焼域の浸水率 (%)	地区名	延焼面積 (m <sup>2</sup> )
山田町 陸中山田駅・役場付近	170,000	100	須磨区・長田区 水笠西公園周辺	97,000
大槌町 大槌小付近	116,000	98.45	長田区 高橋病院周辺	62,000
気仙沼市 鹿折地区	110,000	100	兵庫区 会下山南	52,000
石巻市 門脇小付近	58,000	91.26	長田区 菅原市場周辺	45,000
名取市 関上地区平田橋	42,000	100	長田区 神戸デパート南	36,000
宮古市 田老地区	40,000	100	長田区 新長田駅南	35,000
気仙沼市 内の脇地区	38,000	100	須磨区・長田区 西代市場周辺	34,000
気仙沼市 二ノ浜地区	27,000	100	長田区 御蔵通り5・6丁目	20,000
いわき市 久ノ浜地区	18,400	100	長田区 御船通り2・3・4丁目	15,000
大槌町 赤浜地区	14,000	99.79	須磨区 千歳小公園周辺	14,000
名取市 関上地区ホーム前	12,500	100	東灘区 魚崎北5・6丁目	10,000



る。以下では主な津波起因の火災の状況について紹介する。

## 2.2 岩手県大槌町の火災

図1<sup>8)</sup>は岩手県大槌町での火災延焼領域をピンク色(11.6ha)で、浸水域を水色で示している。これから、浸水域の中で山裾に沿って火災が拡大したことがわかる。図2は本震2週間後の津波浸水域から山側を見たもので、出火危険が高かつ

延焼を促進するLPGボンベ、灯油ホームタンク、車両等を含む多くのガレキが山裾に流れられ堆積し、そこで発生した火災が延焼していった跡を見ることができる。なお、明治三陸地震を想定した津波浸水予測において2.2mの予想浸水域内にあった大槌消防署は、実際には高さ約11mの津波が襲い全壊した。

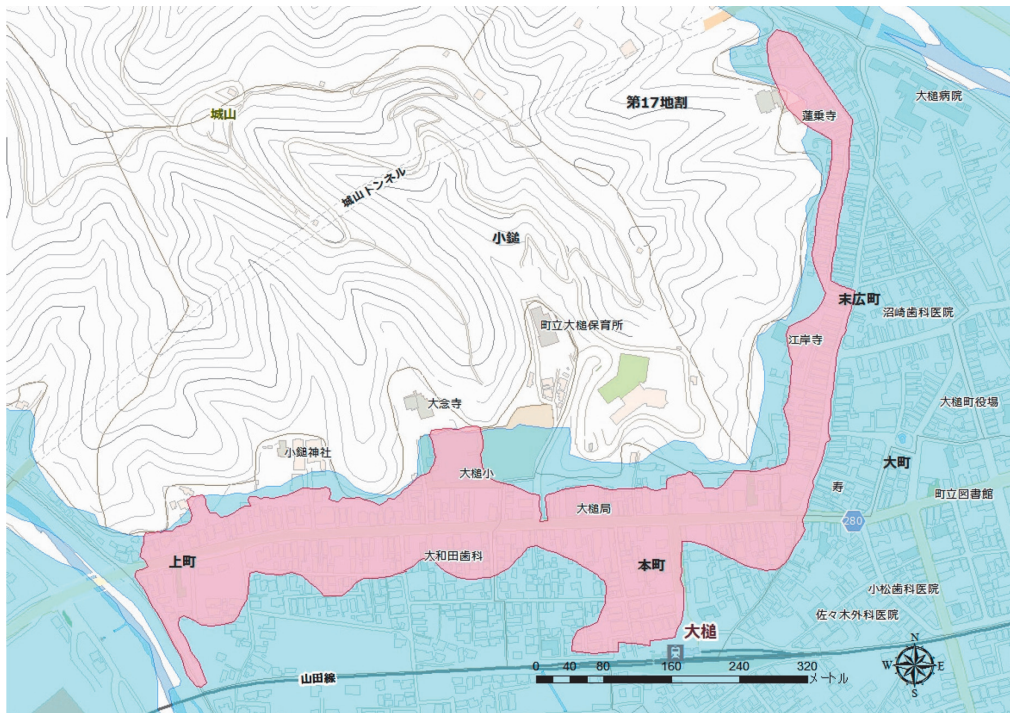


図1 岩手県大槌町での火災延焼領域(ピンク)と津波浸水域(水色)<sup>8)</sup>



図2 岩手県大槌町での火災延焼域<sup>8)</sup>



図3 石巻市門脇小学校付近の状況（消防研究センター撮影）

### 2.3 宮城県石巻市門脇の火災

3月11日15時50分頃、津波来襲により複数個所から出火し、200棟が全焼した。大槌町での山裾に広がった市街地火災と同様、この地区にも北側に高台があり、大津波によって打ち寄せられた瓦礫がこの高台下に集積し、出火・延焼した。北側の高台には住宅地が広がり、一時延焼の恐れがあったが、高台側からの消火活動によって延焼がくい止められた。図3の門脇小学校に避難した住民によれば、「学校への避難に利用した多くの車が津波によって押し流され、校舎内に激突した。校庭にあった車から火災が発生し、その火災が校舎に延焼していった。避難してきた人たちは、校舎2階から裏手の高台に逃げて難を逃れた<sup>8)</sup>」とのことである。津波避難ビルからの2次避難が可能であったことは不幸中の幸いであったが、このことは津波避難ビル選定での大きな留意点であろう。

### 2.4 宮城県気仙沼市の火災

地震発生当日の夜、陸上自衛隊東北方面隊が気仙沼上空から撮影した火災の映像が、テレビで放映された。映像は一面の大火災を映し出していたが、この火災が気仙沼のどこで起きているのかは定かではなかった。その後、残された映像の分析

や住民等への聞き取りから、この火災は気仙沼湾内（魚市場前）であると特定された<sup>8)</sup>。この火災は17時45分頃に湾の東南岸付近に線状に認められ、ゆっくり北上し19時20分頃に上記魚市場付近に移流してきている。このような海上火災に石油タンクから流出した油の関与が考えられている。埠頭の南端付近にあった容量100kL以上の屋外タンク23基のうち22基が津波により移動・破損し（図4）、これらのタンク内の危険物（重油、灯油、軽油、ガソリン合わせて11,521kL）が流出したからである。ある証言では<sup>6)</sup>、「（海の上では）油そのものではなく、ガレキ・ブイ・漁具に重油が付いたものが燃えていた。」「気仙沼湾を見ると、燃えたがれきが津波で行き来して」というものがある。津波で浸水した気仙沼湾の周辺地域で採取した焦げた木材からは、油分が検出されている<sup>6)</sup>ので、海面上で燃えていた木材に油分が付着していた可能性はあるが、油そのものが海面上で燃えたかどうかについては不明である。なお、油の海上火災を模擬した実験では重油だけでは点火できず、ガレキを油に浸した場合に漸くガレキに着火する。ちょうど蠟燭に火が点ると同様の現象と思われる<sup>9)</sup>。

気仙沼で最も延焼面積の大きかった鹿折地区で



図 4 津波によって浮き上がり移動したタンク（左）とタンクの基礎部分（右）



図 5 アスファルトタンクの被害状況（筆者撮影）

の証言では、油の浮遊はない中で3か所からの出火があり、ガレキを伝って拡大延焼していった。その只中にケアハウス（RC造3階建：高齢者約30名、スタッフ約10名）があり、一部が燃えたものの、周囲の火災による熱及び建物内に一部入った火から逃れるため、建物内で部屋の移動をすることによって、幸いにも犠牲者を出すことなくすんだ<sup>10)</sup>が、この例においても津波避難ビル等における火災対策の重要性が指摘される。

なお、3月14日の夜、埠頭にある南気仙沼駅

近くの内の脇町で発生した火災現場では、15日の未明、火災旋風が目撃されている<sup>6)</sup>。

## 2.5 仙台地区でのコンビナート火災

1978年宮城県沖地震で、仙台地区にある3基の重油タンク（20,000～30,000 kL）の側板と底板の接合部付近が地震動を受けて破断し、約70,000 kLの重油が流出したと同じ地区で、地震当日の21時25分頃出火し、石油貯蔵施設などを広範囲にわたって焼損した（図5）。1978年宮城県沖地震ではタンク底板の腐食が破損の大きな要因で

あったが、今回は津波（津波高さは湾内で5m程度、タンクの浸水深は約3.5m）により配管（ガソリン、重油、ブタン、プロパン）の破断や貯蔵タンク（ガソリン、アスファルト、硫黄）の破損が発生し、危険物等が漏洩したことに起因する。事業所職員の証言と現地調査によれば、石油出荷場付近における横転車両のバッテリーの電気的原因により、津波浸水のため漏洩拡散した危険物等に引火し、延焼拡大したものと推定されている<sup>6)</sup>。津波の影響で現場立ち入りさえできなかったため消火活動は思うに任せず、3月15日に漸く鎮火に至った。なお、この火災による人的被害はなく、また近隣住家への影響も生じていない。一方、火災にはなっていないが、同地区の他2か所のタンクヤードでは津波によって重油配管が損傷し、それぞれ約4000kLが防油堤内に流出している。消防庁による全国的調査によれば、津波浸水深が3~5mで配管の移動、折損など、5m以上でタンク本体の移動、転倒などが生じている<sup>11)</sup>。

### 3. 地震動起因の火災

#### 3.1 概要

線震源モデルを仮定した簡易な被害想定システム<sup>12)</sup>を用いて地震動による出火件数を予測してみると、1995年兵庫県南部地震に対しては270件程度（実際は293件）、東北地方太平洋沖地震に対しては約360件となる。北海道を除く東日本の1都16県297消防本部に対する、本震から1ヵ月の間に発生した火災に関するアンケート調査によれば、地震動に直接起因する火災が110件で<sup>7)</sup>、予測の約1/3となり従来方式による予測よりはるかに少ない。なお、余震、地震後の停電復旧、地震で破損した機器の使用による火災が34件、地震動とは直接関係なく避難生活や停電に伴うろうそくや火気器具の誤使用、復旧作業時の火花などによる火災が40件発生している。今回の地震について出火件数と地震動指標（最大加速度、震度など）との関係を統計分析した結果によれば<sup>13)</sup>、地表最大速度50cm/s（震度6強相当）で10万世帯当たり2件弱、100cm/s（震度7相当）

で4件弱となり、兵庫県南部地震のそれと比較するとそれぞれ約1/2、1/5で、やはり今回の地震動による出火率は小さい。なお、震度7を観測した宮城県栗原市築館では火災はなく、地震動指標との関係も含め、地域性、建物構造や生活環境の変化等をも考慮した出火予測式に関する検討が今後必要である。

内陸の地震動に係る火災に関しては、千葉県市原市で発生したガスタンク爆発火災を除けば、1消防本部管轄内における地震直後の火災件数は多くはなく、ほとんどが単独火災となっており、兵庫県南部地震の神戸市等の状況と大きく異なっているのが特徴的である。

#### 3.2 地震動に直接起因する火災の事例<sup>14)</sup>

例えば、ガステーブルに棚が倒れて点火、落下物に着火し木造住宅が全焼した事例、地震によって熱帯魚用水槽が倒れ、空になった水槽内の鑑賞魚用ヒーターが過熱し衣類に着火し、共同住宅3階25m<sup>2</sup>等を焼損した事例など、1995年兵庫県南部地震等でも認められた火災発生のプロセスが認められた。その他、地震によりエレベーターが揺れてバランスウエイトがレールから外れ、その状態のまま稼働したため発生した火花が周囲の潤滑油や埃に着火した事例、合板作製工場で木材チップの不純物を分別する装置が地震により不具合を起こし、それによって粉じん爆発を起こし工場を焼損（約2,000m<sup>2</sup>）した火災などの特異な事例もあった。

特に注目すべきは、千葉県コンビナート地域で発生した大規模なガス爆発火災である。この事故は、定期点検後、空気追い出しのため満水状態にあったLPガス球形タンクのブレース（筋交い）が本震（震度5弱、事業所での地表最大加速度114gal）で破断し、直後の茨城県沖の最大余震（震度4、99gal）によりタンクが倒壊、このため隣接のLPガス配管が破損してLPガスが大量漏洩し、何らかの原因で火災となり爆発（5回）に至ったもので、重軽傷者6名を出した。ガスの漏洩が継続し、大規模な火災・爆発に至ったのは、法で設置が義務づけられている緊急遮断弁の閉止ができない状態になっていたためと考えられている



図 6 LP ガス球形タンクの被害状況（筆者撮影）

る<sup>15)</sup>。この影響で、LP ガス球形タンク 17 基が全焼、全損した（図 6）ほか、隣接事業所にも延焼し、爆発により 3cm 厚の貯槽殻が飛散している。特に留意すべきは、民家等 118 軒のガラス等が破損したほか、中には約 6km も離れた幼稚園に軽量飛散物が落下しており、近隣住民約千人（五井地区）に一時（8 時間）避難勧告が出されたことで、石油コンビナート地区内事業者に対する最低限の要請である近接一般住家に影響を与えない安全対策をより一層高めていくことが望まれる。なお、鎮火には 3 月 21 日までかかったが、これは当初は他施設への類焼等を防ぎつつ流出するガスを適切に燃焼させたこと、残液が少なくなった時点では継続漏洩している未燃焼ガスを噴霧注水等で拡散し再着火防止を行っていたためである。

#### 4. 地震火災から命を守る

上述したように、地震動に起因する内陸での火災については、地震規模の大きさに対応するように極めて広範囲に亘って火災が発生したが、1 つの消防機関管轄地域毎にみれば、東京都 35 件、仙台市 17 件、登米市 6 件、千葉市 5 件、郡山市 4 件<sup>14)</sup> 等と同時多発はしたものの、既存消防力で対応可能な状況であった。一方で、津波被害を受

けた沿岸地域では、住民が避難しているため火災発見が遅れ初期消火ができず、また公設消防機関、消防団の人的・物的被害も含め様々な消防活動上の困難な状況があり、延焼拡大へと発展した。

今後の南海トラフ巨大地震や首都直下地震では、震源域が陸域にかかることから地震動は極めて強く、また被災想定地域は人口過密、木造密集地をもつ地域でもあり、地震動に起因する火災の多発とその延焼拡大は今回以上のものとなることが想定されている<sup>16)</sup>。また、予測される津波高さも今回の地震に匹敵するものであるとともに、地震発生後極めて早い時間に津波が来襲すると考えられている。

上述したように津波襲来時には延焼阻止が極めて困難となることから、今後の津波起因の火災による被害軽減のためには、まずは出火防止が基本となるのであるが、東北地方太平洋沖地震では多くの火災の原因特定が津波の影響で困難となっている。従って、出火リスク低減に向け火災原因の解明を引き続き進める必要がある。

ところで、津波起因の火災によると考えられる死者数は全体の 1% 程度（148 名：2011 年 4 月 11 日時点<sup>17)</sup>）と発表されており、津波によって建物等に閉じ込められたことによると思われる。従って、津波火災から命を守るためには先ずもって津

波からいかに逃れるかが基本となろう。その際には避難先が津波火災に対して安全か、または2次避難が可能であるかが重要なポイントとなる。また当然ながら強い地震動が津波よりも先に襲うので、建物等の耐震化も迅速な避難のために必要である。

地震動に起因する従来型の火災では、家屋等の損壊による閉じ込めや逃げまどいが主な死者発生要因となる。前者については家屋等の耐震性の向上が重要であることは論を待たない。家屋等の耐震化は消防車両等の通行障害を少なくするとともに安全な避難路を確保する上でも重要である。

後者については特に情報の果たす役割が大きい。1923年関東地震での火災被害に関する最近の検討<sup>1)</sup>によると、発災当日の午後13時から17時の比較的早い時間帯で極めて延焼速度の速い市街地火災に追われ、逃げ場を失って既に多数の死者が発生している(神田区、浅草区、本所区など)。その発生が危惧されている南海トラフ巨大地震、首都直下地震等においても多数の延焼火災が発生する可能性があるが、都内のある木造密集住宅地域において1,100世帯を対象に行った避難に関するアンケートによれば<sup>18)</sup>、住民は火災が迫る、あるいは消防等公的機関から指示されるなどの切迫した状況にならないと避難を決断しない傾向があり、また必ずしも火災に対する安全性が確保できるとは限らない最寄りの小中学校を避難先として想定している。したがって、広域避難場所への避難が遅れ、逃げまどいの状況も想定されるため、避難者に対して安全な避難路、避難場所へと誘導することが極めて重要である。

適切な避難情報提供のためには、火災発生の状況把握とそれに基づく数時間後程度までの延焼拡大予測と時間経過ごとの適切な避難路の選択が必要である。さらには膨大な数に上ると想定される避難者や帰宅困難者等に対する情報提供と避難誘導のための総合的な体制が必要となる。図7は筆者らが開発した延焼予測システム<sup>19)</sup>を用いて、出火6時間後の延焼状況と街路への影響を推定したもので、赤色で示した太線がその後1時間以内に通れなくなる道路を示している。地震直後から

の火災発生、延焼拡大の状況を例えば空から随時監視し、その情報に基づいて延焼予測を行い、避難路の火災による影響評価を先読みし、安全な避難路、避難場所を地域ごとに提示することができれば、逃げまどいなく早期に安全に広域避難場所に逃れることができるのではないかと期待される。その際、特に避難に時間を必要とする避難行動要支援者等への早期の情報提供が重要である。

情報伝達に関しては、東北地方太平洋沖地震を踏まえた検討がなされており、地域の実情に応じ、各情報手段の特徴を踏まえ、複数の手段を有機的に組み合わせ、災害に強い総合的な情報伝達のシステムを構築する等の提言がなされている<sup>20)</sup>。しかし、情報は単に伝達できればよいわけではなく、適切な防災行動を喚起しなければ意味をなさない。命を守るための情報の提供をどうするか、また、その情報を受け避難を適切に誘導する支援体制をどうするか、予めしっかりと計画しておく必要がある。たとえば、筆者が東京都を対象に行った現体制における火災からの避難に係る情報の適切な伝達・共有・活用に関するヒアリングによれば、

- ・火災の状況(ヘリテレ、各署)、進展予測、避難を必要とする地域、避難方向等の情報は消防から都災害対策本部へ、更に区市災害対策本部に伝達され共有される。
- ・被害情報は各交番の周辺(20分以内)、交番管轄地域(50分以内)の状況が警察本部に伝達され、都対策本部、東京消防庁と共有される。
- ・避難場所・避難路への延焼危険度に応じて出場区域、延焼阻止線の指定、重要対象物等の確保がなされる。
- ・住民への伝達は広報車、消防車両、ヘリコプター、消防団員の巡回などによる。
- ・避難誘導は警察、消防団、事業所等による。

このような計画・体制で実際に支障なく適切な避難誘導を実施できるか、地震時の要員確保、通信状況、東北地方太平洋沖地震での首都圏等での人の流れ等、様々な視点からの検証を今後も続ける必要がある。



図 7 延焼シミュレーションに基づく避難路危険度情報の表示例  
出火 360 分後の延焼状況から、さらに 60 分後（赤）、90 分後（黄色）、120 分後（緑色）に火災の影響で通過不可のおそれのある避難路

## 5. おわりに

いったん市街地火災として成長した火災は、なかなか延焼阻止できないものである。例えば、1976 年に発生した平常時の酒田市大火では、この 1 件の火災に対して最終的に合計 217 台の消防ポンプが出動したが、その延焼は自然焼け止まり線である新井田川という大きな河川に至るまでは止まらなかった<sup>21)</sup>。市街地延焼火災の局限化のためには、道路の拡幅や沿道の不燃化による延焼遮断帯の構築や、木造建物密集市街地の再整備という根本的対策を進めることが必要である。しかし、この課題は、予算面でも実現に向けての住民合意形成の面でも、気の遠くなる努力と時間が必要となる。一方で、現実的対応として可能な対策も必要であろう。既に多く指摘がなされているように<sup>22)</sup>、たとえば、様々な耐震装置付き機器、マイコンメータや感震ブレーカ、LP ガス容器から

のガス放出に備えるためのガス放出防止型高圧ホース等の設置による出火防止の努力や、消火器の備え、住宅の耐震化、家具転倒防止などは各家庭でも行える効果的な防災対策である。また、地域では、消防団、自主防災組織等の拡充、地震時にも使える消防水利の確保や取り扱いが容易なスタンドパイプの活用などが地域防災力向上にとって重要である。実際には、市街地の面的整備、道路・公園などによる延焼遮断帯の整備等の中長期的対策（公助）に地道に取り組む一方で、公設だけでなく自主防災を含めた消防力の拡充と体制作り（公助、共助）、各家庭で行える出火防止や初期消火の努力（自助）、地震後の火災延焼に関する適切な情報提供と避難誘導體制の実効性の向上などを多角的に進め、これらの「合わせ技」により、少なくとも火災から命を守ることができるよう願うものである。

## 参考文献

- 1) 内閣府：災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 1923 関東大震災，2006年7月。http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1923-kantoDAISHINSAI/
- 2) 消防庁：阪神・淡路大震災について（確定報），2006年5月19日。http://www.fdma.go.jp/bn/data/010604191452374961.pdf
- 3) 内閣府：平成19年度 防災白書，http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h19/index.htm
- 4) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定，2012年4月。http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/assumption.html
- 5) 消防庁 平成25年3月26日 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）（第147報）。
- 6) 消防研究センター：消防の視点からみた東北地方太平洋沖地震，第15回防災講演会資料。http://nrifd.fdma.go.jp/publication/kouenkai\_gaiyou/index.html
- 7) 岩見達也：東日本大震災時に発生した火災の類型化，H25年度日本火災学会研究発表会概要集，212-213，2013。
- 8) 消防研究センター：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の被害及び消防活動に関する調査報告書（第1報），2011年12月。http://nrifd.fdma.go.jp/publication/gijutsushiryo/gijutsushiryo\_81\_120/index.html
- 9) 関澤 愛：東日本大震災における火災の全体像と津波起因火災の考察，消防科学と情報，No. 108。http://www.isad.or.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=IB17&ac2=108winter&ac3=6574&Page=hpd\_view
- 10) 日本火災学会東日本大震災調査委員会：東日本大震災火災等調査報告書（速報版），2011年11月。
- 11) 消防庁：東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書，2011年12月。
- 12) 座間信作，遠藤 真，細川直史，畑山 健：簡易型地震被害想定システムの改良，消防研究所報告，90，pp. 1-10，2000。
- 13) 樋本圭祐，山田真澄，西野智研：2011年東北地方太平洋沖地震後の出火傾向の分析，2013年度日本火災学会研究発表会概要集，pp. 210-211，2013。
- 14) 近代消防社：東日本大震災・ダイジェスト，2012。
- 15) 総合資源エネルギー調査会・高圧ガス及び火薬類保安分科会・高圧ガス部会：東日本大震災を踏まえた高圧ガス施設等の地震・津波対策について，2012年4月。
- 16) 内閣府：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告），2012。http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829\_higai.pdf
- 17) 警察庁：平成23年度版警察白書 http://www.npa.go.jp/hakusyo/h23/honbun/index.html
- 18) 関澤 愛：震災火災発生時における住民の防災対応に関する研究，火災学会研究発表会概要集，pp. 56-57，2013。
- 19) 関澤 愛，高梨健一，遠藤 真，座間信作，山瀬敏郎，篠原秀明，佐々木克憲：リアルタイム延焼予測に基づく消防活動支援情報の出力システム，地域安全学会論文報告集，No. 11，pp. 116-119，2001。
- 20) 消防庁：地方公共団体における災害情報等の伝達のあり方等に係る検討会報告書，2012年12月。
- 21) 自治省消防庁消防研究所：酒田市大火の延焼状況等に関する調査報告書，消防研究所技術資料第11号，1977。
- 22) 例えば，関澤 愛：関東震災による火災と木造密集市街地の防火対策，建築防火，427，pp. 38-45，2013。

座間信作

〔ざま しんさく〕

**現職** 横浜国立大学客員教授  
理学博士

**略歴** 1975年東京大学理学部地球物理学科卒業。1981年東京大学理学系研究科地球物理学専攻博士課程修了。1983年日本学術振興会研究員を経て，消防庁消防研究所入所。独立行政法人消防研究所基盤研究部長，消防庁消防研究センター火災災害調査部長などを経て，現職。

**研究分野** 地震防災，強震動予測。

**著書** 容器構造設計指針・同解説（改訂），日本建築学会，2010（共著），太田外氣晴，座間信作：巨大地震と大規模構造物，共立出版，2005，Earthquake Motion and Ground Conditions, Architectural Institute of Japan, 1993（共著）。

**受賞** 2005年度日本高圧力技術協会科学技術振興賞，2006年度日本地震学会論文賞。





# 2011年東北地方太平洋沖地震における 埼玉県鴻巣市中心市街地の屋根瓦被害

新井健司

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)による被害は、関東地方にも及んだ。埼玉県では、久喜市と加須市の一部で液状化による建築物への被害(全壊・大規模半壊・半壊)が発生したが、県内の他地域における建築物被害の大半は屋根瓦の崩落や塀の倒壊などで、比較的軽微であった。

埼玉県の屋根瓦被害は主として東部で多く発生し、中でも鴻巣市では地震動に比較的強いとされる洪積台地上の中心市街地で、被害が集中的に発生した。本稿では、鴻巣市の地盤条件および基盤構造から、同市の屋根瓦被害の特異性について検討した。

## 2. 2011年東北地方太平洋沖地震における 鴻巣市の被害

2011年東北地方太平洋沖地震が発生した際、鴻巣市では最大震度5強が記録され、市内各所での建造物被害が報告された。その内訳は、屋根瓦被害1,165棟、ブロック塀等の損壊82件、道路等インフラ被害139件、公共施設被害78件である(鴻巣市, 2011)。

市役所には、屋根瓦被害に遭った住民から屋根を覆うブルーシートの配布申請が多数寄せられ、その数は鴻巣地域(旧鴻巣市域, 2005年に合併した旧吹上町域・旧川里町域を除く地域)だけで約650世帯に上り、同市の市民協働部生活安全課により、その位置を記録した被害分布図が作成された(縮尺1,500分の1および20,000分の1)。

## 3. 鴻巣市中心市街地と周辺地域の間に見られる 屋根瓦被害分布の差

鴻巣市には旧中山道の宿場として発展した歴史があり、JR鴻巣駅付近の市街地がその中心である。その南に隣接する北本市から桶川・上尾の両市を経てさいたま市に至る地域は、埼玉県内最大の人口集中地域である。

2011年東北地方太平洋沖地震の発生後、鴻巣市中心市街地付近に屋根瓦被害が顕著であったことは、列車からの車窓風景やJR鴻巣駅近くの高層建築物・陸橋等からの展望により認識することができ、住民の間でも中心市街地に屋根瓦被害が多いという印象が語られていた(写真1, 写真2)。

そこで筆者は、周辺部を含めた地域の被害分布を把握した上で、鴻巣市中心市街地における被害集中の程度を見る必要があると考え、新たに広域被害分布図(図1)を作成した。この図の作成にあたっては、前述の鴻巣市市民協働部生活安全課作成の被害分布図および北本市くらし安全課作成の被害分布図(縮尺10,000分の1)をもとにした。

図上の屋根瓦被害家屋は、ブルーシート申請のあったものに限られるが、申請しなかった被害家屋は極めて少なかった模様(鴻巣市・北本市談話)とのことである。被害家屋の老朽度や建築工法等の建物側の要因まで含めた精査は行っていないが、全体的な被害分布の傾向は、本図に表れていると考える。

被害が集中して分布するのは、北は箕田<sup>みだ</sup>から南は氷川町に至る南北約2.5km、東西2.0kmほどの範囲で、安養寺から屈巢<sup>くす</sup>付近にも被害の集中が見られる。屋根瓦の多くは住宅であるため、必然



写真 1 JR 鴻巣駅南の陸橋から見た中心市街地の屋根瓦被害



写真 2 鴻巣駅西口住宅地の屋根瓦被害

的に市街地に被害が多発するが、北本市中心市街地や JR 北鴻巣駅付近と比較して、明らかに鴻巣市中心市街地に被害が集中していることがわかる。

#### 4. 被害と表層地盤の関係

鴻巣市中心市街地は、大宮台地の北端に位置する。大宮台地は荒川低地と加須低地に挟まれた全長約 39km、幅約 10km の島状の台地である。台地の大部分は標高 20m 以下の武蔵野面<sup>あみぎょう</sup>面であるが、北本・桶川両市の西部と川口市安行<sup>あんぎょう</sup>付近には 20m 以上の下末吉面が分布する。鴻巣市中心市街地

では、旧中山道沿いで 24~26m と標高が高く、大宮台地全体の最高所 (32m) は、JR 鴻巣駅の南約 3.5km 付近 (北本市高尾 2 丁目) にある。

大宮台地には大小の開析谷が発達するが、国土地理院発行 (1980) の 2 万 5,000 分の 1 土地条件図「鴻巣」によると、鴻巣市中心市街地には浅い谷や凹地が見られるのみで、深い侵食地形は存在しない。表層地質は、地表より地下 20m 前後まで、関東ローム層、大宮層 (火山灰質シルト質砂層)、東京層 (貝化石の多い泥層) の順で構成される (日本の地質「関東地方」編集委員会, 1986)。

地震動に対する地盤の強度については、一般的



図 1 鴻巣市・北本市中心市街地の屋根瓦被害分布  
 赤丸が被害家屋，鴻巣市市民協働部生活安全課作成の被害分布図と北本市暮らし安全課作成の被害分布図をもとに作成

に台地は低地に比べて強いとされる。しかし、鴻巣市中心市街地では大宮台地上にあるにも関わらず被害が多く、また台地の中でも限られた地域に集中的に分布するという事実があり、これには何らかの要因を考えざるを得ない。

前述の通り、鴻巣市中心市街地が載る台地上には浅い谷や凹地があり、このような侵食地形を埋積する軟弱地盤が地震動を増幅させた可能性を考えることができる。この地域の台地上の侵食地形は、これまでに発行された以下の諸図に表現されている。

- 1) 埼玉県東部地質図〔昭和45年、森川六郎作成（水文学特定研究）、5万分の1〕
- 2) 土地分類基本調査図「鴻巣」地形分類図〔昭和50年、埼玉県発行、5万分の1〕
- 3) 土地分類基本調査図「鴻巣」表層地質図〔昭和50年、埼玉県発行、5万分の1〕
- 4) 埼玉県表層地質図〔平成7年、埼玉県県政情報資料室発行、10万分の1〕

これらの図のいずれにもJR鴻巣駅東方から始まって北西方に向かう小さい谷地形（所謂‘谷地’）が描かれている。これは荒川に注ぐ小河川、さかさ逆川の侵食で形成されたものである。現在では市街化が進んでいるため、地形図上では判別できず、現地でも確認は難しい。原地形が最も表現されているのは明治期に発行された下記の地形図（以下「迅速図」）で、当時は全長約1.8kmの逆川が流れていたことがわかる。

第一軍管地方二万分一迅速測図原図「埼玉県武蔵国北足立郡鴻巣駅及近傍」〔明治17年、陸軍参謀本部測量課発行、2万分の1〕

図2は、迅速図を被害分布図（図1）と同縮尺にして、等高線を際立たせたものである。この図で、逆川の他にも荒川側に数本の谷地形が認められるが、いずれもわずかな等高線の屈曲で表される程度である。

このような小規模な侵食地形と被害分布を重ねてみると、逆川の谷地形付近には被害が多いが、北方や東方にも同様に被害は広がっている。したがって、逆川の谷を埋める軟弱地盤に特に集中的に被害が生じているとは言えず、表層地質との相

関は認められない。

## 5. 被害と基盤構造の関係

鴻巣市中心市街地に屋根瓦被害が集中的に分布した原因は、表層の地質条件より、地下深部の基盤条件に存在すると考えられる。

### 1) 鴻巣市付近の地下構造

鴻巣市付近の地下構造に関する研究では、萩原ほか（1986, 1987）の関東山地北東縁断層群の検出を目的とした詳細な重力調査が行われている。この調査により明らかにされたブーゲー異常をもとに作成された基盤表面の深度分布図（図3）には、鴻巣市西方の吉見丘陵から北東方に向けて急傾斜で沈み込む基盤斜面が表れている。

### 2) 関東平野の地下構造

関東平野の基盤の深さや形状については、産業総合技術研究所の高橋雅紀氏により、次のような新しいモデルが提唱されている（高橋ほか, 2005；高橋, 2006など）。

図4は、埼玉県朝霞市から鴻巣市を経て群馬県おうら邑楽町までの地震は観測データを処理して作成した地下断面図および強い地震波反射面から推定される基盤断面図（防災科学技術研究所、産業技術総合研究所）である。

この図によれば、朝霞から北へ40kmほどの所（川越市の南の地下約2,000m）で基盤表面が急傾斜した後に地下約5,000mから緩やかに上昇に転ずる。そして、鴻巣付近で1,000m以下の浅い位置に到達し、再び急傾斜で沈み込む。

高橋氏によれば、図中に見られる2枚の急傾斜面は正断層面と考えられ、鴻巣の少し北の地下にある正断層は中央構造線で、邑楽の南約7kmの地下にある正断層は利根川構造線に推定されるという。図4の中央構造線に推定される急傾斜面は、図3では吉見丘陵の北東に続く急傾斜面（等深度線間隔が狭い部分）である。

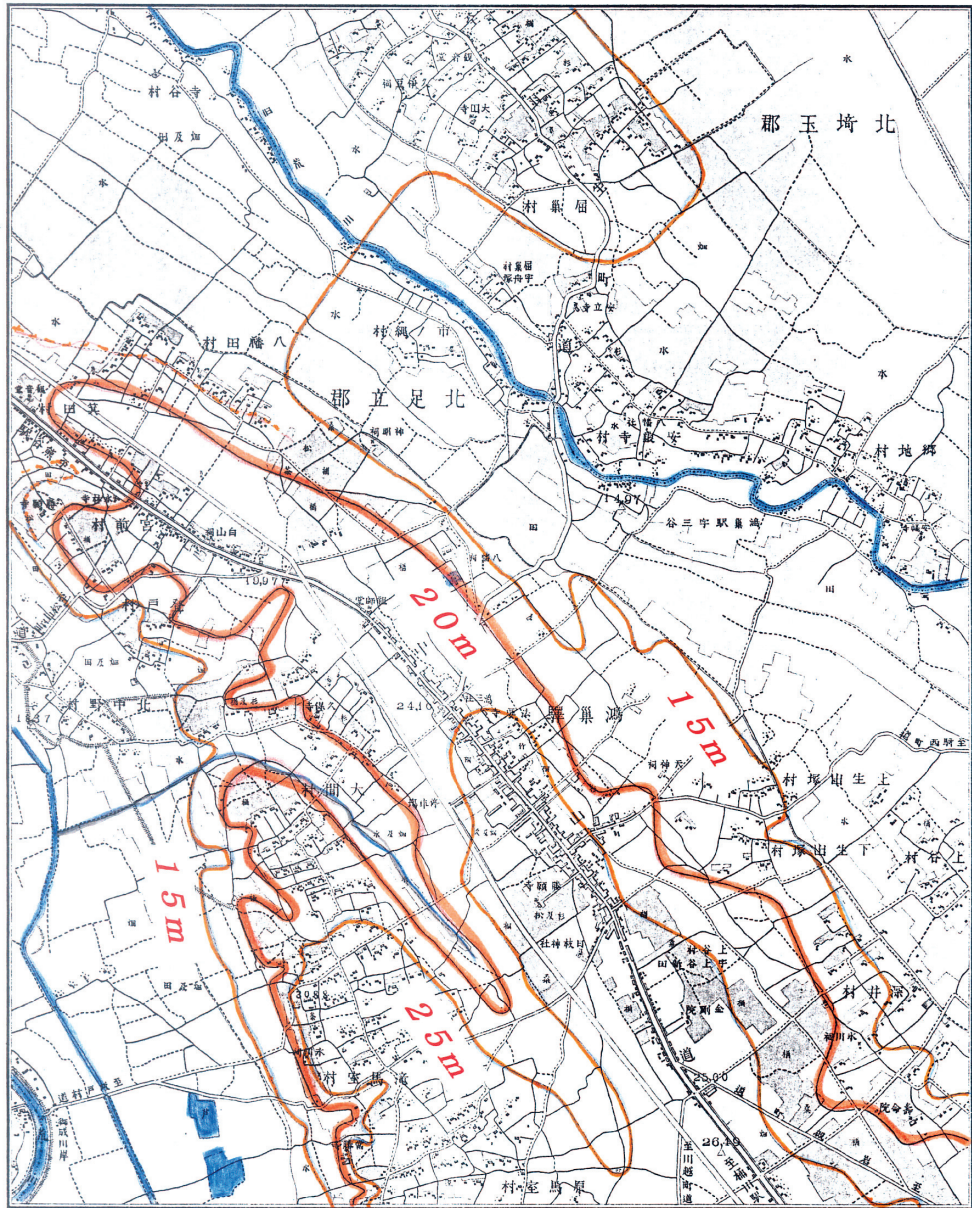
このような急勾配の正断層面に沿って基盤が沈み込んだ構造、すなわちハーフグラバーベン（半地溝）は、1,900万年前にはユーラシア大陸の一部だった日本列島が日本海の誕生・拡大とともに太

傍近及驛巢鴻郡立足北國藏武縣玉埼

明治十七年一月

第二十七号之三

小地測量第三班幹部測手心得參謀本部測量課飯松井利行



- 等高線 (計曲線)
- 等高線 (主曲線)
- - - - 等高線 (補助曲線)
- ~ ● 河川・池沼

図 2 迅速図に見る鴻巣付近の地形  
 明治 17 年発行，第一軍管地方二万分一迅速測図原図「埼玉県武蔵国北足立郡鴻巣駅及近傍」に加筆

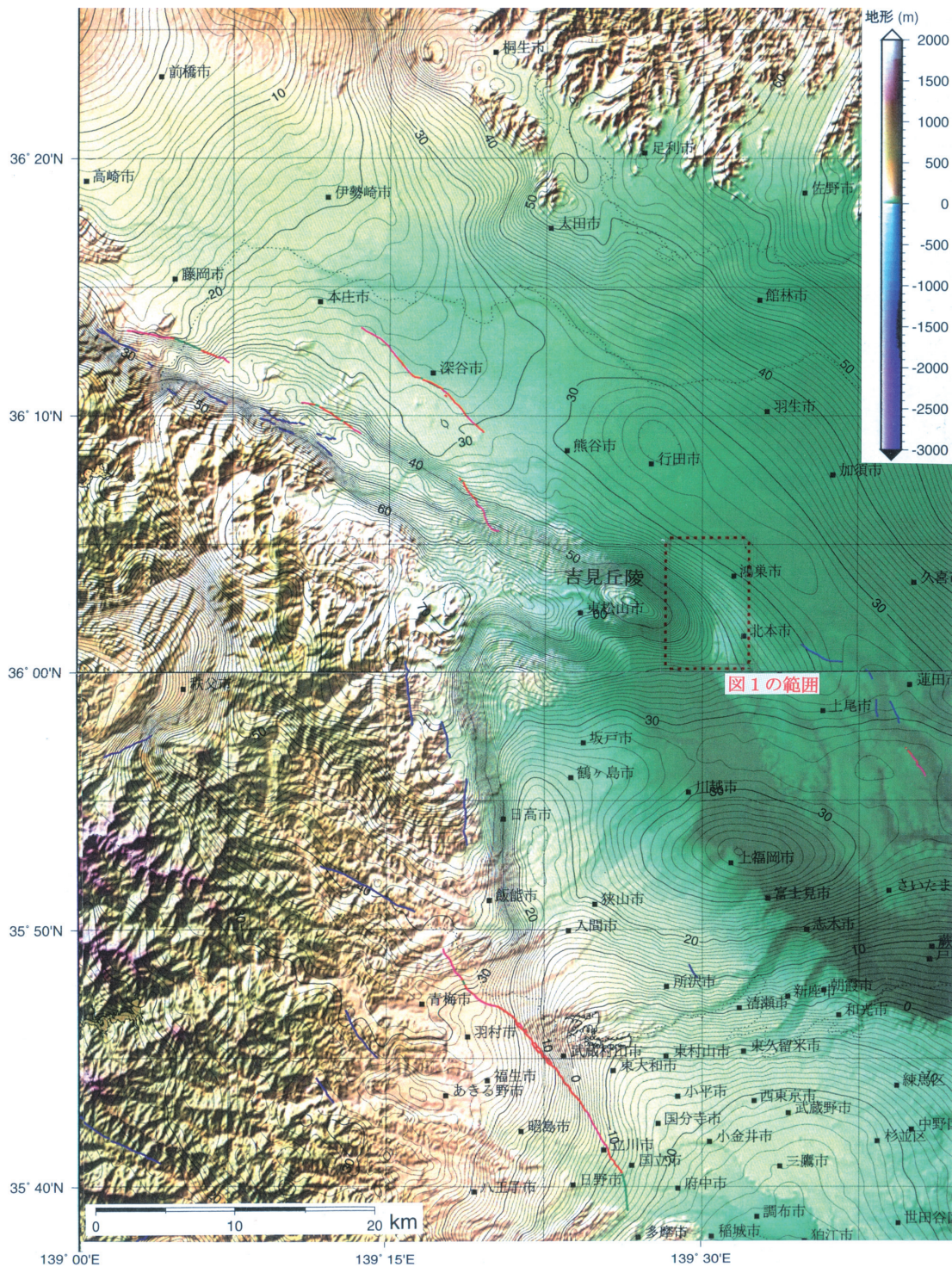


図 3 関東平野北西部の基盤深度  
 山本明彦・志知龍一編「日本列島重力アトラス—西南日本および中央日本—」(2004年, 東京大学出版会  
 発行)の掲載図版53・54より作成

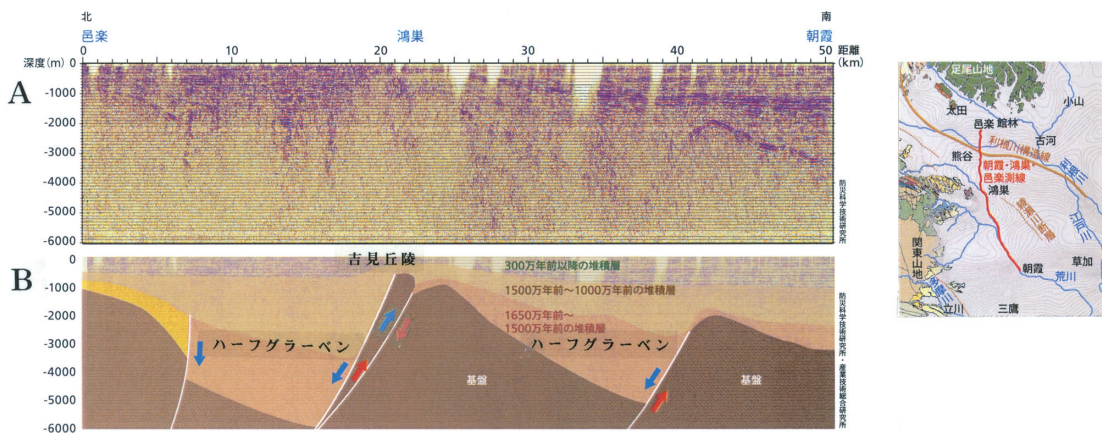


図 4 朝霞-鴻巣-邑楽の反射法地震探査断面 (A) と基盤の地質学的解釈 (B)  
高橋, 2006 に加筆・一部改変

平洋に張り出し、観音開きのように太平洋側に開く力が加わった結果、形成されたと考えられている (高橋, 2006)。

### 3) 正断層直上地域における地震波の増幅

高橋 (2006) は、ハーフグラベンの基盤構造に周期の異なる地震波が来た時の振幅の変化をシミュレーションしている。このシミュレーションでは、朝霞-鴻巣間で地震波が北方から到来した場合を想定して、従来モデル (急傾斜の正断層を想定しない緩やかな凹凸の基盤表面を描くモデル) と新モデル (ハーフグラベンを想定して深く沈み込んだ基盤表面を描くモデル) の間で、どの周期の場合にどの程度の振幅の差が出るかを比較している。

その結果は、周期 4 秒の揺れで新旧モデルの間の差が大きく、特に新モデルの正断層 (ハーフグラベンの急斜面) 直上地域で振幅が大きくなる事が判明している。

### 4) 屋根瓦被害と地震波の周期

鴻巣の地下で基盤の表面が浅くなり、北に急傾斜で傾く正断層 (中央構造線) が存在することから、鴻巣が地震波の増幅しやすい場所であることが考えられる。

前述のシミュレーションでは鴻巣-邑楽間について行われていないが、この区間でも周期 4 秒の地震波が増幅される可能性はあり、また、周期 4

秒の地震波が増幅されるのは、地震波が北方から来た場合を想定した場合であり、東北地方太平洋沖地震の地震波のように異なる方向から来た場合では、異なる結果になる可能性があるという (高橋雅紀氏談)。

一方、一般住宅に屋根瓦被害を発生させる地震波は、1 秒以下の短周期波であり、4 秒の周期では長過ぎることになる。したがって、地震波の伝播方向と周期の点でこのシミュレーションはそのまま適用できないが、鴻巣市中心市街地の地下には、地震波が増幅されやすい条件が存在すると考えられる。

## 6. 吉見丘陵の基盤岩類

鴻巣市中心部の西方約 6km という近い位置にある吉見丘陵には、吉見変成岩類と呼ばれる基盤岩類が地表に露出する。吉見丘陵は関東山地から遠く孤立して基盤岩が露出する特異な丘陵である。

高橋ほか (2006) によると、吉見変成岩類の周囲は顕著なブーゲー異常の急変帯となっていて、中新統と断層で接し、周囲を第四系に囲まれてわずかに露出しているため、関東山地の先新第三系基盤岩類との連続性が不明の地質体であるという。また、吉見変成岩類が地表に露出する理由については、ハーフグラベン形成時にその北側

にある正断層の上盤は沈降したが、南側にある他の断層(図4に示す)が逆断層の活動をした結果、両者の間にある現在の吉見丘陵が相対的に隆起したためという解釈をしている(高橋ほか, 2006)。

## 7. 鴻巣市付近の基盤構造が地震波に与えた影響

以上の通り、鴻巣市は南北2つのハーフグラabenの間の基盤表面が最も浅い部分に近く、かつ市の中心市街地から約6kmの吉見丘陵に、基盤の一部である吉見変成岩類が露出するという位置にある。

市口・松村(2012)によると、2011年東北地方太平洋沖地震では、首都圏では地震波の長周期成分による被害(超高層ビルの長時間の揺れ)もあったが、1995年兵庫県南部地震に比べて一般住宅の全壊や大破といった構造部の損傷が少なく、被害は瓦屋根や壁などの非構造部に集中しているという特徴が見られたという。

鴻巣付近では、こうした非構造部に被害を与える短周期の地震波が吉見丘陵付近の基盤構造により、集中的に増幅された可能性を推定することができる。

## 8. おわりに

本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震で発生した埼玉県鴻巣市中心市街地における屋根瓦被害の集中的な分布について、表層地盤および地下基盤構造との関係から、その原因を考察した。結果をまとめると、以下の通りである。

- 1) 鴻巣市中心市街地の屋根瓦被害の集中的な分布には、台地の中の限られた地域に見られ、さらに大宮台地に載る軟弱地盤との相関も見られないという特徴があり、表層地盤の条件に原因を求めることはできない。
- 2) 鴻巣市は南北2つのハーフグラabenの間の基盤表面が最も浅い部分に近く、かつ市の中心市街地から約6kmの吉見丘陵に、基盤の一部である吉見変成岩類が孤立して露出するという位置にある。このような吉見丘陵付近の

基盤構造が地震波の短周期成分を増幅させて、鴻巣市中心市街地の屋根瓦被害の原因になった可能性を推定することができる。

関東平野の中で、鴻巣が久喜とともに地震発生時に揺れやすい場所であることが、地震研究者の間では知られているが、その原因については未だ議論されていないとのことである(高橋氏談)。

本稿では地下の基盤構造との関係に着目して考察を試みたが、鴻巣市内の局地的な被害集中に対応し得る精度の基盤構造は未だ明らかにされていないため、十分な究明には至らなかった。今後さらに地震学・地質学双方からの原因の解明が進められることに期待したい。また、鴻巣市民および同市防災担当者には、鴻巣市の地盤の特殊性を共通認識として、防災活動に取り組んでいただければ幸いである。

## 謝辞

本報告をまとめるにあたり、多くの方々のお世話になった。

地震予知総合研究振興会の萩原幸男博士には、関東山地北東縁断層帯の研究成果を提供していただき、鴻巣地域の重力異常についてご教示を賜った。

産業技術総合研究所地質情報研究部門地球変動史研究グループの高橋雅紀博士には、関東平野の基盤構造の新しいモデルによる解釈についてご説明いただき、示唆に富む貴重なご意見を頂戴した。

鴻巣市経営政策課の高橋亮介氏、同高田大輔氏、鴻巣市生活安全課の吉田憲司氏、北本市くらし安全課の職員の方には、被災後の多忙時にも関わらず、市内の震災被害状況の説明と資料提供を快諾していただいた。

以上の方々に対し、ここに記して謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 萩原幸男・村田一郎・田島広一・長沢 工・井筒屋貞勝・大久保修平(1986): 活断層の重力調査(1) — 1931年西埼玉地震の震源断層の検出 —, 地震研究所



彙報, 61, 563-586.  
萩原幸男・長沢 工・井筒屋貞勝・小竹美子・大久保修平 (1987) : 活断層の重力調査 (2) — 関東山地北東縁における断層群の検出 —, 地震研究所彙報, 62, 311-327.  
市口恒雄・松村正三 (2012) : 地震動の周期に依存した建物被害と新たな課題, 科学技術動向, 5・6月号, 21-25.  
鴻巣市 (2011) : 広報かがやき, No. 713.  
日本の地質「関東地方」編集委員会 (1986) : 日本の地質3「関東地方」, 共立出版, 335p.  
高橋雅紀・林 広樹・笠原敬司・井川 猛・川中卓・須田茂幸 (2005) : 関東平野下に伏在する中新世ハーフグラベン群—地表地質からみた地下地質構造の新たな視点—, 防災科学技術研究所研究報告, 67, 13-28.  
高橋雅紀・林 広樹・笠原敬司・木村尚紀 (2006) : 関東平野西縁の反射法地震探査記録の地質学的解釈—と

くに吉見変成岩の露出と利根川構造線の西方延長—, 地質学雑誌, 112, 1, 33-52.  
高橋雅紀 (2006) : 関東平野の地下に潜む断層群, 別冊日経サイエンス, 153, 18-29.

新井健司

[あらい けんじ]

**現職** 上武大学経営情報学部教授

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

**研究分野** 地形学, 地質学

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



# 素数分布と地震発生パターンの類似性について

藤原広行

## 1. はじめに

素数とは、自然数の中で1と自分自身以外では割り切れないような数として定義されるが、その性質には大変興味深いものがあり数学の重要な研究対象にもなっている。一見何の関係もないように見える素数の分布と地震発生パターンの間には奇妙な類似性があることがわかったので報告する。

## 2. 太平洋プレートの地震発生パターン

地震発生パターンの例として、日本海溝及び千島海溝沿いにおける実例を以下に示す。データとしては、「全国地震動予測地図」の作成のため整備した地震カタログに基づいている。

図1に、検討する領域を示す。図2に、図1のNo.1及びNo.2のそれぞれの領域に対する地震の規模別発生頻度を示す。この領域では、地震の規模別発生頻度が Gutenberg and Richter (1956) により示された G-R 則と呼ばれるべき乗則にほぼ

従うことがわかる。また、図3にNo.2の領域に対する1885年以降2010年末までの地震（東北地方太平洋沖地震を追加）のMT図を示す。

## 3. 素数の分布について

$p_i$  を  $i$  番目の素数とし、その素数の出現間隔を  $M(p_i)$  とする。

$$M(p_i) = p_i - p_{i-1}$$

最小の素数2から500万個の素数についての数

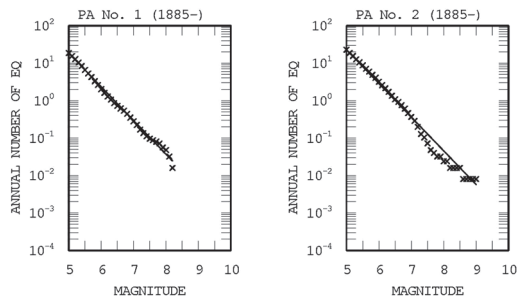


図2 No.1及びNo.2の領域に対する地震の規模別発生頻度分布。

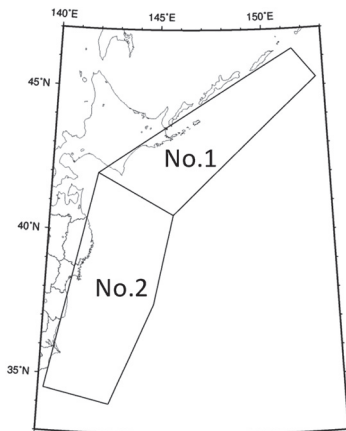


図1 千島海溝及び日本海溝沿いの領域。

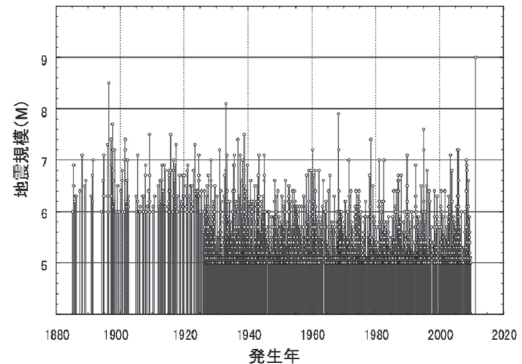


図3 No.2の領域に対するMT図。

値実験の結果を以下に示す。

$M(p_i)$  を縦軸に、 $p_i$  を横軸としてグラフを描くと、地震発生に関する MT 図とよく似たものが得られる (図 4)。

また、それぞれの  $M(p_i)$  の値ごとに、それぞれの値をとる素数の数を調べ、 $M(p_i)$  を横軸に、出現数を縦軸にしてグラフを描くと、規模別地震発生個数の法則として有名な G-R 則と同様なべき乗則が得られることがわかる (図 5)。地震発生時刻を素数  $p_i$ 、地震規模を出現間隔  $M(p_i)$  と対応させることにより、素数分布と地震発生パターンには類似性があることが確認できる。この対応関係により得られるモデルを「数論的地震活動モデル」と呼ぶこととする。

最小の素数 2 から 100 万個の素数について、 $M(p)=2$  に対応する素数 (双子素数) の出現間隔のヒストグラムを図 6 に示す。出現間隔はほぼ指数分布となり、出現パターンはポアソン過程に似たものとなることがわかる。ここでは、特に、 $M(p)=2$  の場合について具体的に示したが、 $M(p)=n$  の場合でも、ほぼ同様の結果が得られる。

「数論的地震活動モデル」を用いて「数」に物理的な意味付を行うことにより、例えば、「双子素数は無限に存在する」という数学上の未解決問題は、上記モデルにおいて「最小規模の地震は無

限に発生する」という地震活動モデルの持つ性質に関する問題に置き換えられることがわかる。

#### 4. 考 察

地震を場のエネルギー状態の変化を表す現象としてとらえてみる。場が安定して存在するときのエネルギー準位のようなものが存在し、地震は、それらエネルギー準位間での遷移に対応する現象とみなせるのではないだろうか。地震が発生する場のハミルトニアン (エネルギーに対応する特性関数) を考え、地震発生に関する問題を、ハミルトニアンに対する固有値問題として設定することができないだろうか。

現在のところ、このような考え方に基づいて地震発生場を説明できる力学系は知られていない。

一方で、素数の分布に関する研究において、あ

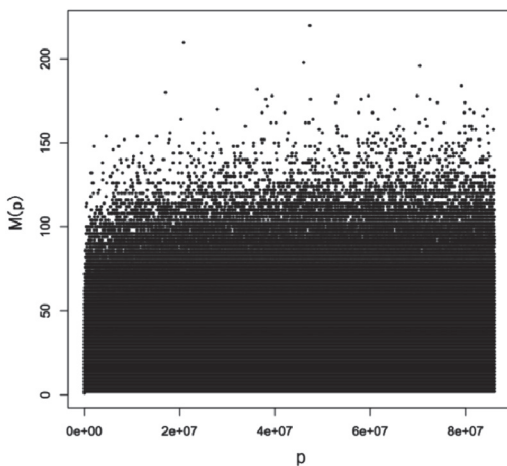


図 4 素数間隔 (縦軸) と素数 (横軸) の関係。

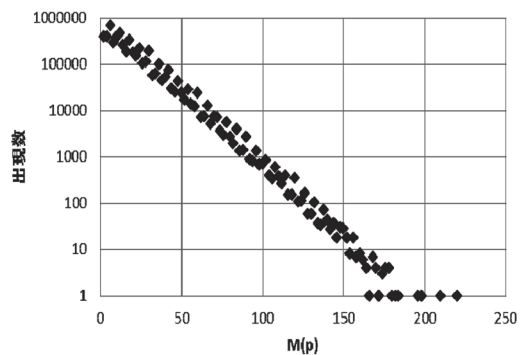


図 5 規模別の出現頻度。

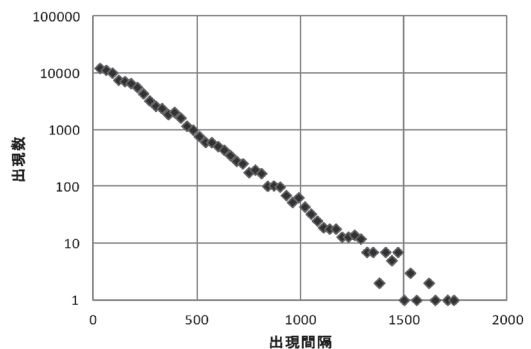


図 6 双子素数の出現間隔と出現数。

る種の量子化された力学系の固有値問題として素数分布と同値な関係にあるリーマン・ゼータ関数の零点分布をとらえようとする研究が進んでいる (Connes and Marcolli (2008), 黒川・小山 (2011)). 将来, こうした研究により得られた知見が, 地震活動のモデル化に利用できるかもしれない.

個人的な直感であるが, 素数分布は, 「数」が持ちうる秩序と無秩序のぎりぎりの境界がどこにあるのかということに関連しており, 素数分布は, 臨界現象と関係している可能性がある. 地震という破壊現象も臨界現象として解釈することが可能であり, 地震と素数の間に類似性が見られると考えられる.

## 5. おわりに

素数分布と地震発生パターンの中にみられる類似性に注目し考察を行った. 近年, 地震発生の物理に関して研究が進んでいるが, 多くは古典的な力学に立脚するもので, G-R 則を説明するような量子化された力学系を考慮したものはない. 地震現象の本質的な解明のための新たな研究分野開拓

に向けて, 本検討が何らかのきっかけとなれば幸いである.

## 参考文献

- Connes, A. and M. Marcolli (2008), Noncommutative geometry, quantum fields and motives, AMS 55.  
Gutenberg, B. and C. Richter (1956), Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration, Bull. Seism. Soc. Am. 46, 105-145.  
黒川重信, 小山信也 (2011), リーマン予想の数理物理, サイエンス社.

藤原広行

[ふじわら ひろゆき]

**略歴** 1989年京都大学大学院理学研究科中退. 科学技術庁国立防災科学技術センター(現:防災科学技術研究所)入所. 強震観測網の整備, 地震動予測地図の作成, 統合化地下構造データベースの構築, 災害リスク情報プラットフォームの開発等に従事. 専門は, 応用地震学. 2011年4月より社会防災システム研究領域長.



# 低角逆断層による地表上下変動のピーキング

岡田義光

東日本大震災では、日本海溝付近のプレート境界で40~50mもの大きなすべりが生じ、巨大津波を引き起こしたとされている。海底に大きな上下変動を引き起こした要因として、プレート境界から地表へ高角で向かう分岐断層の存在を指摘する意見もあるが、そもそも浅い低角逆断層の場合には、断層面上端付近で地表面が大きく盛り上がる、いわゆるピーキング現象の存在が知られている。

図1は、低角逆断層が地表に近づくにつれ、上下変動のプロファイルがどのように変化するかを示している。断層面上端が地表に近づくとき、その付近で地表はピーク状に盛り上がり、地表に到達した瞬間、そのピークは消滅する。

このような現象が何故起こるかは、浅い低角逆断層を、地表に達する長い逆断層と短い正断層の合成であると考えれば理解できる。図2(a)は、地表に達する長い低角逆断層とそれによる上下変動、(b)は地表に達する様々な長さの低角正断層とそれによる上下変動を示しているが、この両者を組み合わせると、同図(c)~(e)のように、浅い低角逆断層によって上下変動パターンにピークが現われることがわかる。

ただ、数学的にこうなることは納得できても、いまひとつ直感的な物理イメージを持ってないという方は、図3を御覧いただきたい。これは、低角逆断層運動により、地表だけでなく媒質の内部がどう変形するかを示した図である。上段は地表にまで断層面が達しており、上盤側の変位は断層面に沿って素直に地表まで続いているのに対し、断層面が浅部で止まった場合は、断層面上端付近で上盤側と下盤側が連結しているため、断層面に

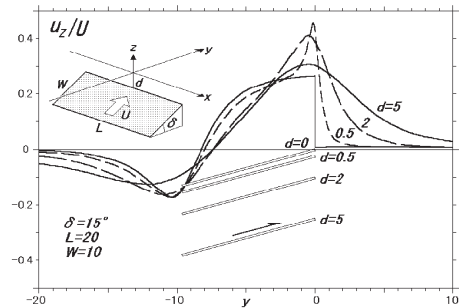


図1 低角逆断層の上端の深さ  $d$  が0に近づく際の地表上下変動パターンの変化

沿った動きが阻止され、行き場を失った変位ベクトルは抵抗の少ない自由表面の方向へ変針せざるを得なくなって、ピーキングが生じている(岡田, 2003)。

上に示した半無限媒質中の断層モデルによる地中変形はOkada (1992)により定式化されているが、同論文の最後部で必要な読者にはサブルーチンを提供すると記したため、この20年間に29カ国165人の研究者に対し、ソフトの配布を行ってきた。

これに伴い、上記のピーキング現象を含め色々な質問や、疑問点が寄せられてきた。その多くは、プログラムのパラメータの与え方に関する誤解に基づくものであったが、時に「論文中の計算式は誤っているのではないか」とのクレームも数件受けている。

その中には、数式の微分・積分を行う市販ソフトでチェックしたところ、式が一致しないという訴えがあった。解析解の表現は一通りではない。もっとも単純な例でいえば、 $(a+b)^2$ と $a^2+2ab+b^2$ は数学的に等価であり、どちらで計算しても

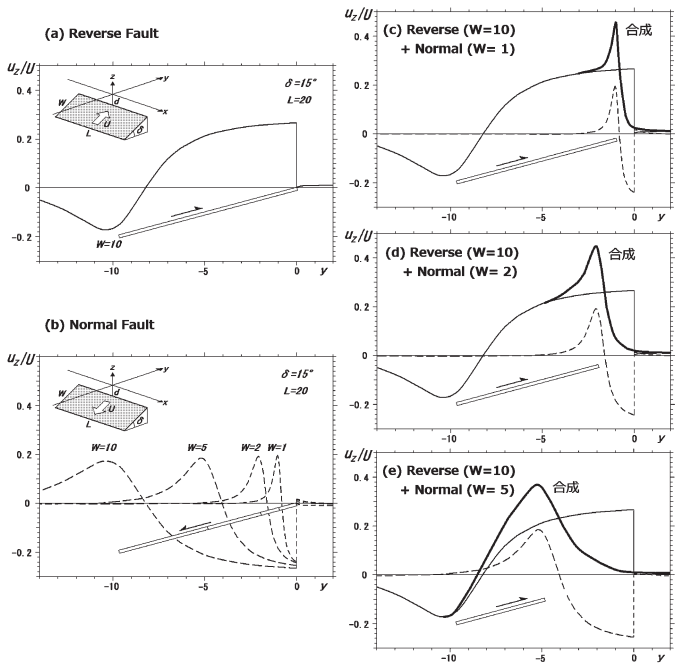


図 2 地表に達する (a) 長い逆断層と (b) 色々な長さの正断層による地表上下変動のパターン。(c)~(e) は、それを組合せた浅い低角逆断層と、合成される上下変動パターン (太線)。

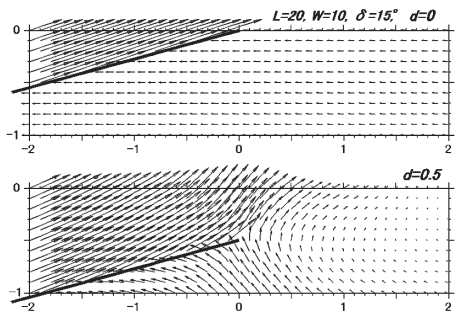


図 3 低角逆断層の上端が地表に到達した場合 (上段) と、浅部で止まった場合 (下段) の内部変形の違い

同じ答が得られる。計算機処理の場合、計算速度を度外視すれば、後者の式を使っても何の問題もない。市販ソフトによる数式処理は、おそらくこのような思想で答を吐き出しているのではないか？

一方、人間が「紙と鉛筆」で解析解を求める際は、なるべく簡潔で美しい表現式を得ようと努力

する。その結果として計算時間が短縮されれば、パラメータを何万通りも変えつつ同じ計算を繰り返すモンテカルロ・シミュレーションなどで威力が発揮される。

つい最近も、ある中国の研究者から「お前の理論式は間違っているのではないか」との議論をふっかけられ、数カ月にわたるやり取りを余儀なくされた。苦労はしたものの、「紙と鉛筆」を使って自分の頭と腕で確認しようという、今や絶滅に近いと思われる気風が少しは残っていると感じられたのは収穫であった。

計算式の導出にむずかしい所は何もなく、ただ根気よくコツコツと初等関数の微分・積分を行って、コンパクトな式にまとめ上げるだけである。良い機会なので、上記中国人とのやり取りに追補して体裁を整え、理論式の導出過程を防災科研のソフトウェア・ダウンロードのページ (<http://www.bosai.go.jp/study/application/application.html>) から公開することにした。学生諸君にとっ

て、物理数学の良い演習問題になることを望んでいる。

最後は脱線になるが、極限にまで表現式を簡潔なものにしようとする意識は、筆者の学生時代に芽生えたように思う。当時、地球物理学教室にHITAC-10というミニコンが導入されたが、メモリーは4KW (1W=16bit)、プログラムもデータも孔の空いた紙テープから読み込む方式であった。

計算機を立ち上げる際には、毎回 IPL (Initial Program Loader) という 16 ステップのローダを手動でセットしたのち、OML (Object Module Loader) を紙テープ・リーダーから読み込む必要があった。この読み込み時間を短縮するため、OMLのコードを解析し、トリッキーな手法も駆使して紙テープの長さを 20 cm 縮めることに成功した。高速の計算機で湯水のようにメモリーを使える現在から見ると、まさに隔世の感がある。

### 参考文献

Okada, Y. (1992) : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc.

Am., 82, 1018-1040.

岡田義光 (2003) : 断層モデルによる地表上下変動のパラドックス, 測地学会誌, 49, 99-119.

岡田義光

[おかだ よしみつ]

**現職** 独立行政法人防災科学技術研究所  
所理事長  
理学博士

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

**研究分野** 地震学, 地殻変動論

**著書** 『日本の地震断層パラメーター・ハンドブック』(共著, 鹿島出版会), 『現代測地学』(共著, 日本測地学会), 『最新 日本の地震地図』(朝倉書店), 『自然災害の事典』(共著, 朝倉書店) 他



# 新潟県中越地震，こぼれ話

水野浩雄

2004年10月23日に新潟県中越地震が起きてから、来年は10年の節目を迎える。震源は新潟県川口町（現長岡市）で、マグニチュードは6.8、内陸の地震としては大きかった。そのうえ震源の深さが9kmと浅かった。小千谷市や川口町、山古志村（現長岡市）など、この地域の小都市と集落が強い揺れに襲われた。川口町では計測震度導入以来はじめて、震度7を記録した。

今日ではGPS連続観測点が20km前後の間隔で全国的に設置されている。刻々に集まるその

データにより、地震にともなう地殻変動は、今日ではほとんど間をおくことなしに把握できる。各観測点で観測された水平方向、鉛直方向の変位量から、震源断層を推定することができる。こうして求めた新潟県中越地震の震源断層を図1に示す<sup>1)</sup>。図に矩形が3個ある。これらはそれぞれ、断層を上から見た投影である。図の中央から右上に向かう矩形①が本震で、②③は余震である。実線で示された辺は断層の上縁である。本震ではその深さが28kmであった。この上縁から西北西

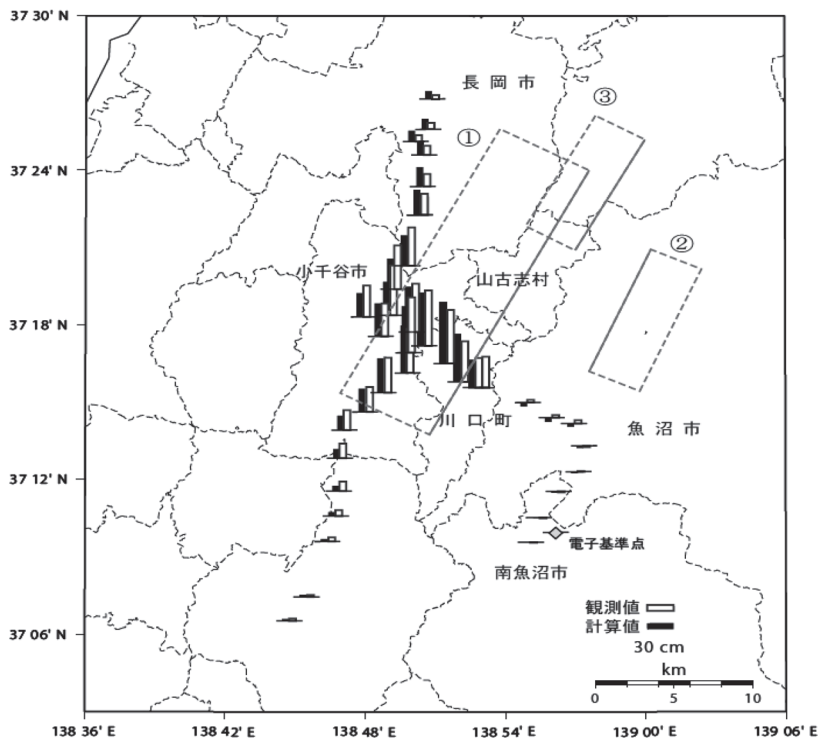


図1 水準測量による上下変動観測値と断層モデルから推定される上下変動量の比較。矩形（3個）は震源断層の地表面への投影



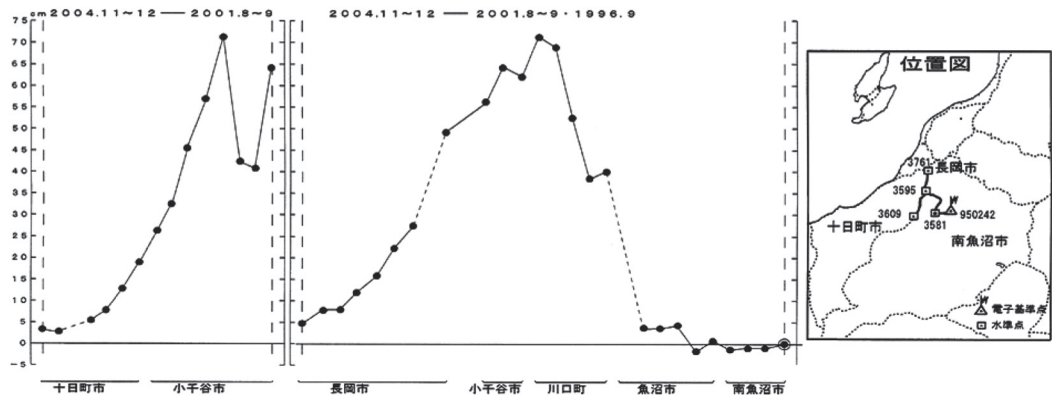


図 2 地震前後の水準測量の比較による水準点の上下変動，および水準路線図。

側に傾斜して断層面が広がる。下の縁の深さは約 11 km で、断層の長さは 20 km 余りであった。この断層面を境にして上盤側（小千谷市側）が、ほぼ 1.8 m 滑り上がった。まさに逆断層そのものであった。そこから地震波が射出されたのである。

こうして決まった断層は、実際に存在する震源断層のいわばモデルである。このモデル断層が上記のような変位をしたときに、各 GPS 観測点で起きるであろう変位量を計算することができる。それと、モデルを決めるための入力として用いた観測変位量とを比べてみて、両者がよく一致していればモデルは真実に近いと判断する。新潟県中越地震については、これらはよく一致した<sup>2)</sup>。

ところで、この地震の断層の領域を横断して水準路線が設置されていた。本震の断層の南部に向けて、3 本の路線が集まってきている（図 1、図 2）。小千谷市の水準点 No. 3595 から北へ、長岡市に至る路線、南東へ魚沼市から南魚沼市に向かう路線、南南西へ十日町市を経て長野市方面へ向かう路線である。

地震のあと、2004 年 11 月から 12 月にかけてこれらの路線の水準測量が行われ、以前の測量（2001 年 8 月～9 月、一部 1996 年 9 月）と比較して、その間の変動量を求めた。図 2 はその結果である<sup>3)</sup>。図の左側は、小千谷市と十日町市の間の変動で、十日町市に対して小千谷市側が、最大

70 cm 余りの隆起を示した。右側の図は、長岡市から小千谷市を経て南魚沼市に至る間をまとめて示してある。小千谷市と川口町の境に 70 cm を越える最大の隆起が確認できる。こうして断層南部において著しい隆起が生じたことが分る。

モデル断層に沿う滑りによる各水準点における上下変動量を求めることができる。それを測量で得た変動量と比較して、両者がどのくらい一致するかを見る。図 1 はその結果である。両者はたいへんよく一致していて、モデルは、GPS とは独立な観測である水準測量からの変動をも、よく再現することが確かめられた<sup>1)</sup>。

隣接する水準点の間隔は約 2 km である。路線に沿ってはこの間隔でデータが得られるが、面的な広がりには限られる。それに対して GPS 観測点は 20 km 程度の間隔で面的に分布している。面的には一様だが、観測点の間隔を小さくするのは事業的観点から容易ではない。

新潟県中越地震による水平変位は GPS により見事に捉えられた。断層を境にして東側では西向きの変位、西側では東向きの変位が明確に区別された。東側の守門観測点では約 21 cm、西側の柏崎観測点では 5.6 cm もの大きな変位であった。それに対して GPS による上下変動の情報は豊富ではなかった。わずかに小千谷観測点において 27 cm の隆起が認められたが、その他の観測点で

の変動は概して小さく止まった。このようなデータによっても、図1に示すような断層が決まった。西下がりの断層だと推定する上では、小千谷観測点における27cmの隆起と8cmの西南西向き変位が鍵となった<sup>4)</sup>。

新潟県中越地震にともなって、図2に明らかのように、70cmに及ぶ大きな上下変動が起きた。しかしそれが起きた領域にはGPS観測点が多かった。偶然の仕業で、そこに水準路線が設置されていた。それがいま生きて、GPSで決めた断層モデルは間違いないことを立証する役目を果たしたのである。

新潟県中越地震は確かに特徴ある地震であった。余震活動が極めて活発だった。本震のマグニチュードは6.8であったが、本震後1時間のうちに、マグニチュードが6.0以上の余震が3回も起きた。余震活動全体は、これまで最も活発な余震を伴った1945年三河地震、1943年鳥取地震を上回る発生数を記録した<sup>5)</sup>。

断層面を境に上盤側はほとんど真っ直ぐ上に滑りあがった。それに押されて地表面でも著しい隆起が起きたことは水準測量の結果で分る。しかしそれは、地表面を突き破るには至らず、その一歩手前で事が収まったと思われる。もし突き破っていたら、新しい活断層の誕生になったことであろう。

この地震の震源断層は典型的な逆断層である。その断層面の水平面に対する傾斜角は約60度である。かなりの急斜面を上盤側が衝上する瞬発力をはたらいた。この力とエネルギーの源は何で

あったのだろうか。

新潟県中越地震の震源域の周りには顕著な活断層がある。だが、この地震はそれらを避けて起きた。震源域の西側約10kmには長岡平野西縁断層帯があり、南方には六日町断層帯がある。だがこの地震の震源断層は、これらいずれの既知の活断層とも関係は指摘されていない<sup>5)</sup>。震度7は、いつ何処を襲うとも知れないのである。

## 参考文献

- 1) 国土地理院(2005)、北陸地方の地殻変動、地震予知連絡会会報、第74巻、331-345頁。
- 2) 第160回地震予知連絡会(2004年11月4日)、国土地理院提出資料。
- 3) 地震調査研究推進本部、第137回地震調査委員会(2005年1月12日)、国土地理院提出資料。
- 4) 国土地理院(2005)、北陸地方の地殻変動、地震予知連絡会会報、第73巻、269-317頁。
- 5) 平田直(2009)、平成16年(2004年)新潟県中越地震(2004年10月23日、M6.8)、地震予知連絡会40年のあゆみ、176-183頁。

水野浩雄

[みずの ひろお]

**略歴** 東京大学理学部卒、同大学院地球物理コース修士修了、国土地理院、香川大学教授  
理学博士

**研究分野** 地球電磁気学、地殻変動論

**著書** 「天災予知は可能か」(勁草書房)



# 東京ゼロメートル地域は大丈夫か

伯野元彦

## 河川堤防の液状化による被害



淀川西島地区被災状況（1995年阪神・淡路大震災）  
（地盤工学会，土木学会，日本機械学会，日本建築学会，日本地震学会の調査報告書より）

東日本大震災以降、南海トラフ大地震をはじめ、首都圏直下地震をも、被害を再想定する動きが起こり、旧来の被害想定よりも何倍もの被害が想定されるに至っている。

私が今最も気にかかっているのは、地盤の液状化である。

最近も南海トラフ地震によって、都内405.9平方キロの地盤が低いながらも液状化する可能性があることが、東京都の被害想定によって明らかにされた。来たるべき首都圏直下の地震では、より地震動も強いので、液状化の可能性もより高くなると思われる。

ただ、私の心配しているのは、東日本大震災のときに発生したような、道路の亀裂から泥水が噴出したり、家が傾いたりするような液状化ではない。このような液状化では、ほとんど人命に被害がないからである。

今、東京の「江東デルタ」といわれるゼロメートル地域を考えてみよう。隅田川と荒川の間であって、その堤防の背後にはゼロメートル地域が広がっている。これらの川の水面は海面とほぼ同じである。ゼロメートル地域は海面より低い、すなわち、川の水面より低いので、何らかの理由で川の堤防が壊れたら、際限なく川の水が流れ込ん

でくる。川は途中で水門などなく直接海とつながっているから、海から際限なく水が流れ込む。

この地域には、地下鉄も通っているから、地下鉄にも駅とか換気口などから水が流れ込むかもしれない。地下鉄は東京全域に張り巡らされており、しかも、そのかなりが海水面より下にあるから、地下鉄水没などということが起きる可能性すらあるのではないか。勿論、そういうことは百も承知で、堤防は非常に頑丈なスーパー堤防になっているから安心であるし、地下鉄も駅の出入り口は浸水しないように工夫してあるから心配ないと反論されるかもしれない。

確かにそうであるが、東日本大震災では想定外のことが起こったから、現在の被害の見直しが行われているのではなからうか。現在の隅田川、荒川の堤防は、これまで想定されていた地震動の何倍もの激しい地震動による液状化にも耐えるのであろうか。

東京メトロでは、浸水や津波の対策として、102カ所の換気口の浸水防止機を従来の水深2mのものから水深6mに対応できるように更新する。水深6mといえば、2階家の屋根上である。東京ゼロメートル地域ではそこまでの浸水を新たに想定せざるを得ない状況なのかもしれない。

1995年の阪神・淡路大震災では、河口に近い淀川堤防が液状化によって写真に示すようにひどい被害をこうむった。幸い河川水位が低かったため溢流などは起こらなかったが。

一般に土は建物やビルなどの構造物と比べて地震に弱い。東日本大震災の時も、東京湾岸部で大

規模な液状化が起こって、家が傾いたりしたが、それは建物を支えるべき土地盤が液状化して建物を支えられなくなったから傾いたわけであって、その建物自体は、地震動によって壊れてはいなかった。付近でも、液状化が起こっていない地域には、建物の被害は皆無であった。

それともう一つ、土は鉄など他の建設材料と比べて強度が非常にばらつくという性質を持っているのである。

したがって、土で作られている堤防が或る長さを持っていると、そのどこも同じ強さを持っていると思ったら大間違いで、ある地点では半分の強さしかないということも十分考えられるのである。堤防ではこのことが重大な結果をもたらす。

すなわち、一か所でも壊れたらそこから水が流れ込んでしまうし、その流水の勢いで周囲の土が削られ傷口を広げてしまうからである。

伯野元彦

[はくの もとひこ]

**略歴** 東京大学工学部、土木工学科卒業、同大学院博士課程修了、東京大学生産技術研究所助手、東京工業大学理工学部助教授、東京大学地震研究所助教授、同教授、同所長、東洋大学工学部教授、同工学部長、攻玉社工科短期大学学長を歴任  
**研究分野** 地震工学

**著書** 『被害から学ぶ地震工学』（鹿島出版会）、『破壊のシミュレーション』（森北出版）等



# ネット時代だからできる、地球科学の楽しい伝え方

## 1. 地球科学に対する認識の現実

2013年4月、日本人の地球科学知識の底上げを最終目的に、【Solid Earth Channel】という名のサイト (<http://www.solid-earth.com>) を開設した。このサイトの目玉は【じおじい・もじおの地球はワンドフル】(略称：じおワン) という地球科学3分人形劇(番組)である。

筆者はかつて地殻変動の研究を少々していたものの、今は地球科学に関する諸活動をライフワークとする一民間人に過ぎない。研究という深い世界に一度身を置いたあとに一般社会に出ると、驚くべき認識のずれに気づく。

まず、研究者が感じている以上に人々は地球科学に興味がない。地震と聞くと想像するのは災害であり、地震動はおろか、断層の破壊現象など想起する人は皆無に等しい。そもそも、この台地は固くて動かないものと信じて疑わない。だから、地質学的時間スケールの話をすると思えば思考停止する。日本人の大半の脳は、地向斜造山運動論より遥か昔の状態で止まっているのだ。

## 2. 「地学はオタク」を利用する

筆者の地学好きが表出すると「オタクだねえ」と言われるのは、もはや当たり前前のシーンである。多くの人々は地学(地球科学)をオタクの愉しみと思っているのだ。このような人々は、自然災害大国・日本で、自らが直面するであろう災害を引き起こす自然現象に立ち向かうのが地球科学(の側面)であることを知らない。

筆者は、地震や津波、火山噴火で亡くなる人がゼロになるような世の中になることを望んでいる。そのためには防災教育が必須だがその前に、災害を引き起こす諸現象を無視しては興味や関心さえ向かない。そう考え、「地学はオタク→オタクの世界はなんか気になる」という人々の心理を利用し、マニアックな地球科学番

組(動画)を作って配信することとした。

## 3. 動画の概要

地球科学が大好きな地底人「じおじい」と、学校の成績が良くない子供モグラ「もじお」の2体のパペットが登場する。見た目のゆるさで、まず心理的ハードルを下げた。YouTubeに動画を置き、前述のサイトからアクセスできるようにしている。ほぼ毎週水曜朝8時に公開し、1テーマ3~5分と、気軽に見られるよう配慮している。テーマの選択は、筆者が単に「オモシロイ」と思ったものがほとんどである。現役研究者に台本の校閲を依頼し内容の正確さを担保している。参考として第1回目のテーマの台本と動画のキャプチャ画像を以下に掲載する。

### 【ミミズとヘビが同時に襲う!?】

#### 直下型地震の恐怖

も「ねえじおじい、直下型地震って何が怖いなの?」

じ「おお、直下型地震か。最近ちまたでよく聞くのう。直下型地震はな、自分の足下のごく浅いところ、と言ってもkm単位じゃがな、そこで起きる地震をいうのじゃ」

も「で、怖い理由は?」

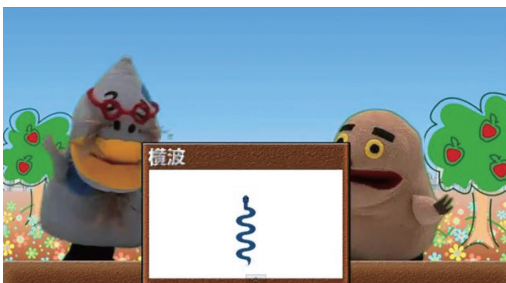
じ「もじおは、P波、S波、表面波というのを聞いたことがあるのう?」



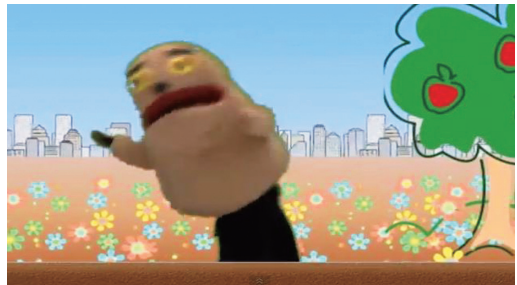
も 「うん、縦波と横波なら聞いたことがある」  
 じ 「おお、もじおにしては上出来じゃ。P波が縦波、S波が横波じゃな。表面波はちよいと難しいので説明はまた今度とするが、じゃあ、縦波と横波は、地中にどう動く動きを起こして伝わっていくか知っておるか？」  
 も 「このボクにそんなことがわかると思う？」  
 じ 「じゃまずは、縦波からじゃ。道ばたでミミズが伸びたり縮んだりしながら進んでいくのを見たことがあるじゃろ」  
 も 「うん」



じ 「縦波は、地中がまさにあの動きをしながら伝わっていくんじゃよ」  
 も 「ふえ～、キモッ！」  
 じ 「で横波じゃが、これはヘビを思い浮かべるといい。横波はヘビのように地中が蛇行の動きをしながら進んでいくじゃ」  
 も 「ほう、こりゃなんかイメージしやすいぞ」



じ 「ではだめ押しで縦波・横波を体験するか」  
 も 「体験？」  
 じ 「まずは縦波じゃ。もじおの足下から、ミミズが這うように縮んだり伸びたり・縮んだり伸びたり・・・」  
 も 「わ～（飛ばされる）。い、痛いじゃないかっ！」  
 じ 「続いて横波じゃ」  
 も 「うおっ、まさかの無視っ！」  
 じ 「横波はな、こうして蛇がくねるように・・・」  
 も 「うわ～～～（ふり回される）。お、オエ～、目が回った・・・」  
 じ 「とまあ、こんな感じになるんじゃよ。でな、直下型地震は比較的自分の近くの地下で起きるから、揺れが弱まる前に自分のところに着いてしまうんじゃ」



も 「そりゃ怖いねえ」  
 じ 「それにな、S波はP波より伝わるのが遅いという性質がある。普通遠くで起こった地震はカタカタとP波が来たあと、少ししてからグラグラと大きなS波が来るんじゃ。じゃがな、さっきも言ったとおり、直下型地震は自分の近くの地下で起きるもんじゃから、この両方の揺れがいつぱんぱんに襲ってくるから怖いんじゃ」  
 も 「そうなんだ。でもちょっと大袈裟じゃない？」  
 じ 「そんなことあるかっ。起震車を体験してみなさい。よく町の防災訓練に来るあの車

じゃ、起震車ではな、強い横波が体験できて、大きな揺れがどれだけ怖いかを身をもって知ることができるんじゃない」

も「へえ～、そうなんだ」

じ「そう、経験しておくのとおかないのとは、心構えがずいぶん変わる。じゃから、機会があったら家族みんなで体験してみてくれ」

も「うん、わかったよ！ありがとう、じおじい！」

#### 4. おわりに

大人の無関心の壁を超えるのは難儀である。そこで、せめて先入観のない子どもに地学と慣れ親しんでいただきたい。ところが、地学が苦手な小学・中学理科教員が多いということを目にした。教える側の人であれば、子どもたちも地学に興味を持ちにくい。そこで、まずはこのような教員にはこの動画を見ることで「地学ってオモシロイかも」と思っていたきたい。そして教員には楽しんで授業をしていただき、その結果興味を持つ子供が増えたら幸いである。

(大木裕子：東大理修，現職：中小企業診断士)

## 訂正

### 沈み込むプレートの歩み

地震ジャーナル（55号）47頁に示された地震鉛直断面図の右端にそれぞれの地理的位置を示す緯度経度を示す欄を設けましたが、その順序に入れ間違えと不十分な点がありましたので、ここに訂正させていただきます。これらの図は南端【A】を北緯36度、北端【B】を北緯40度とし、経度で0.2度の薄い板状の鉛直の空間内に深さ120kmまでに発生する地震の鉛直断面図です。Dは深さを示します。縦の並びは上から下に日本海溝近くから順次三陸沿岸近くまでの鉛直地震断面図です。横の3つのグループ（左、中、右）は2002年～2004年、2005年～2007年、2008年～2010年

の期間に発生した地震の鉛直断面図です。

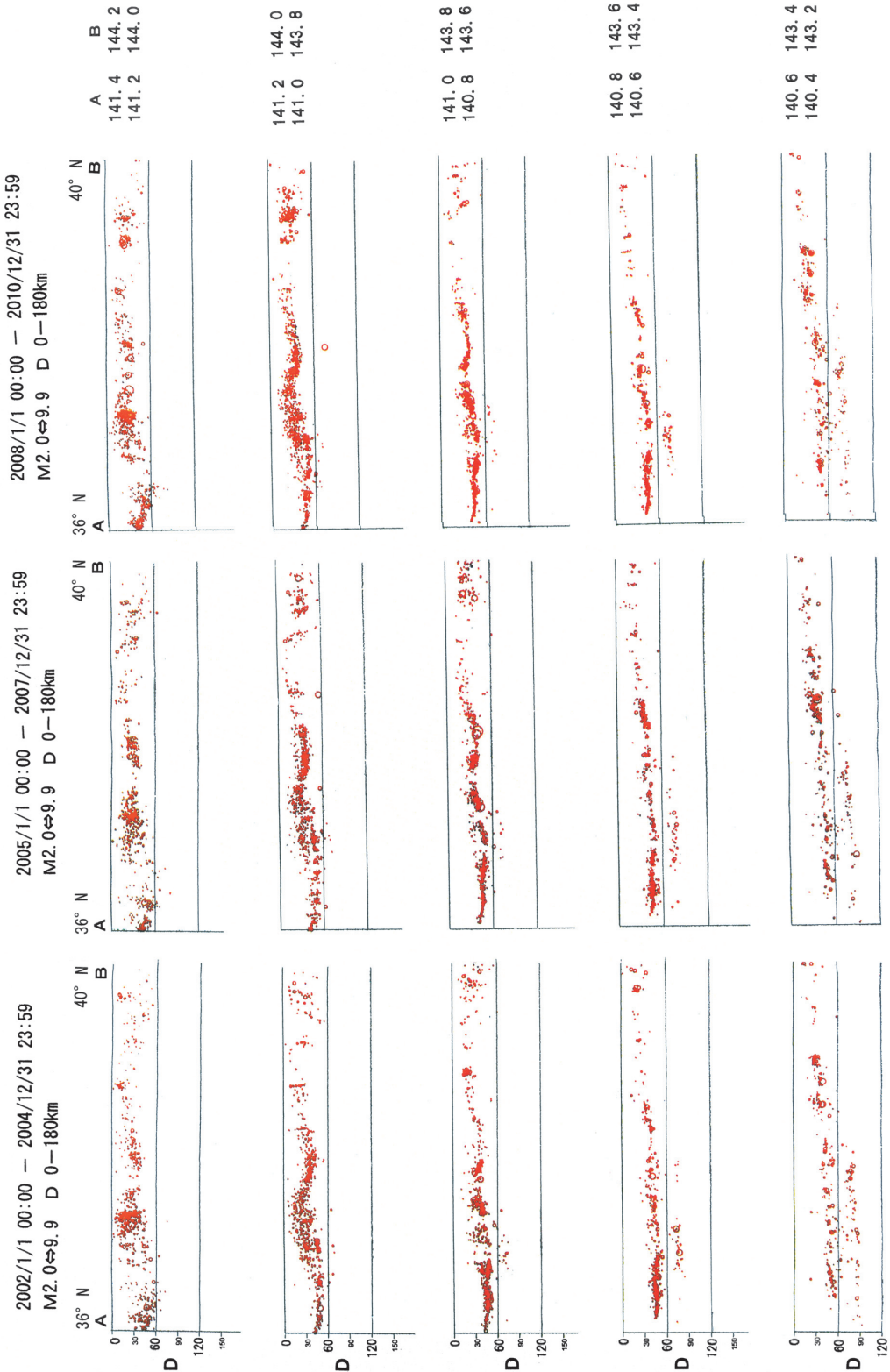
地震鉛直断面図作製にはSEIS-PCを使用させて頂きました。記して感謝するとともに、近い将来海底観測データが収集される予定と聞いていますが、断面図作製に更に貢献するものと考えています。

訂正図を次頁に掲載しました。

#### 参考文献

石川有三・松村一男・横山博文・松本英照，1985，SEIS-PCの開発—概要—，情報地質，19-34。

(高木章雄)



第11図 2011年東北地方太平洋沖地震発生前3年ごとの震源断面図。左側から右側へと時間の経過とともにプレート面の平滑化が進み、その結果沈み込みを容易とする事で巨大地震発生への準備をするものと考えられる。



# ■ 書 評 ■

## ● 郷土愛こそ防災の基本

神沼克伊 著

### M9シンドロームのクスリとは？ 次の首都圏巨大地震を読み解く

評者 萩原幸男

出版社から財団宛に直接送られて来る新刊本には書評願いのケースが多い。本書が送られて来たので早速封を切ってみると、表紙の装丁もそうであるが、本の標題も当該の書評に採り上げるには不適ではないかと最初は思った。世の中には大衆受けを狙った「地震予知本」が横行するからである。

しかし著者は他ならぬ神沼氏である。目を通さずばなるまいと、プロローグ“地震への「無知」に警告する”を読んでみた。ところが初期印象とは全く違って、学者・研究者らしい筆致で、問題を正面から捉えている。

第1章“次の首都圏地震を探る①—鎌倉大仏は知っていた”、第2章“次の首都圏地震を探る②—新発見、明応の関東地震”と一気に読み進んだ。著者は実に丹念に古文書を検討している。これ迄疑問視されていた明応4年（1495）の地震は「明応関東地震」とでも呼ぶべき実在した大地震であったと著者は結論した。

さらに明応7年（1498）の東海地震で大仏殿が流失して露座の大仏になったと云う従来の定説を否定、古文書を根拠に著者は「津波は大仏殿を流失させる程大規模ではなかった」と結論づけた。ここ迄読み進んだ評者は本書を是非とも書評に掲載したいと考えるに至った。

最近神奈川県は鎌倉市に最大14m超の津波が襲来すると云う試算を示した。東北地方太平洋沖地震以降、災害の試算には最悪のケースを見積もると云う風潮がある。このような風潮は神奈川県だけではなく日本全国に起こったもので、いたずらに住民に不安と不信を与えるだけだと著者は批判する。そして「M9シンドローム（症候群）」とでも呼ぶべきものだとしている（第3章）。

第4章“あなたの命を守る「抗震力」”は更に踏み込んで、住民一人ひとりの大地震への心構えと対処の仕方を説いている。抗菌力からも知れるように、菌に対する抵抗力は個人個人に蓄えられてこそ地域全体の持つ抵抗

力に結集する。地震災害も同様で、個人の持つ地震に対する抵抗力が結集してこそ地域全体の防災・減災に役立つ。それは更には日本全体の抗震力アップに資するのである。最後に第5章“「抗震力」のための地震学”で本書は締めくくられる。

本書には著者の熱意が感じられる。平塚市在住の著者は郷土愛に根付いて地域の地震防災・減災に熱心に取り組んでいる。その姿が本書のあちこちに垣間見られる。地震災害に関心を持つ多くの読者に参考にしてもらいたい一冊である。

<三五館, 2013年8月, 19cm, 206ページ, 1,470円>

## ● 地震防災は地盤対策から

濱田政則 著

### 地盤耐震工学

評者 伯野元彦

7年後のオリンピックは東京で開催されることが決まったが、その会場は半径8km圏内、かなりコンパクトなものである。新設や仮設の会場が多い東京湾岸地区はほとんどが地盤の軟弱な埋立地で、近い将来発生する首都圏直下地震に際しては、激しい地震動が予想されている。それに耐える施設を建設するのに大いに役立つものが本書である。

本書の内容を見てみると、第1章は近年の地震災害とその特徴と題して、世界及び日本の地震・津波災害として、2004年のスマトラ島大津波、2008年の中国四川大地震など7地震について、一方、我が国の地震・津波災害としては、1995年の兵庫県南部地震、2011年の東北地方太平洋沖地震など9地震について述べている。これらの内、特筆すべきは、地震、津波によって日本では初めて柏崎・刈羽原発と福島第一原発に被害が発生したことである。柏崎・刈羽では、津波がなかったため、非常用の電源が生きていたため、無事冷温停止に至った。一方、福島第一では、土砂崩れによる送電鉄塔の倒壊により外部電源は断たれ、自家発電機並びにバッテリーの内部電源も、津波の襲来、浸水によって停止し、全電源停止の状態となり、冷却機能を喪失し、それが水素爆発を引き起こし、かなり広範囲の放射能物質の放出となって

しまったのである。

第2章では、耐震設計と耐震補強と題して、以上述べたような地震による施設被害を防ぐ手法を、震度法、修正震度法、応答スペクトルなどについて述べ、さらに液状化に対する耐震設計についても言及している。最近、超高層など巨大構造物が増えるにつれて注目を集めている長周期地震動についても議論している。

第3章は地盤の液状化と対策と題して、液状化のメカニズムと被害について述べ、また、地盤が液状化を起しやすいか否かの判定方法についても詳しく説明している。地盤の液状化の対策としては、i) 地盤の液状化そのものを防止する方法、ii) 地盤の液状化が生じることを前提に、構造物が液状化に対して十分な強度と余裕を持つようにする方法、の2種について述べている。

第4章は液状化地盤の流動と対策と題しているが、この項目こそ著者の研究そのものである。液状化地盤の流動化の対策を進めるためには、そのメカニズムを知って、変位の予測をしなければならない。その予測手法についても述べているが、いずれの場合も結果はかなりバラツクが、これは土が本質的にもっているバラツキなので仕方のないことなのかもしれないが、今後の一層の努力が求められるところであろう。

第5章は地中構造物の地震時挙動と耐震設計と題して、地下タンク、沈埋トンネル等の解析に主として用いられる応答変位法について述べている。

また第6章では、発生の切迫性が指摘されている首都直下地震や南海トラフ沿いの巨大海溝型地震に対して、ハード・ソフト両面から、いかに災害を軽減するか、いくつかの課題について述べている。

地震災害は、地盤の軟弱な地域でひどいことは従来から言われてきたが、その災害を具体的に減少させる手法を明らかにした本書を参照することをお勧めする。

＜丸善出版、2013年1月、B5判、244ページ、6,090円＞

## ● 故きを温ねて新しきを知る

北原糸子 著

### 地震の社会史 安政大地震と民衆

評者 西山昭仁

本書の著者は早くから歴史地震に注目し、歴史学の立場から多数の著書を世に出してきた。なかでも1983年に三一書房より初版が刊行された本書は、歴史学者が江戸時代の都市における地震災害を論じて上梓した嚆矢であり、その後の歴史地震研究の流れを作ったと言っても過言ではない。本書では、幕末の江戸を襲った安政二年

(1855年)の安政江戸地震について「第一部 災害と情報」と「第二部 災害と救済」という視点から、江戸の民衆がどのように地震災害を捉えて、どのようにそれに対応したかが詳細に叙述されている。また、本書には「補論 安政江戸地震における武家地の被害」として、初版以降の著者の研究成果が収録されている。

第一部の「第一章 災害の社会性」では、安政江戸地震の被害の特徴として、建物の倒壊とそれによる多数の圧死者があり、被害は下町地域に集中し、山の手台地では少なかったことを挙げている。そして、下町地域で被害が多発した社会的理由については、下町に居住する裏店層の存在が大きく、裏長屋(集合住宅)と狭い路地という密集した居住環境が影響したと考えている。

「第二章 情報における事実と真実」では、地震後の江戸においては正確な情報への社会的欲求があるにも拘わらず、それが満たされないために情報の多量化や虚報・誤報が展開したとしている。

「第三章 さまざまな地震誌」では、地震後に著された「安政見聞誌」をはじめとする幾つかの地震誌が紹介されている。これらに収められている地震に関する挿話は、地震予兆と思われる自然現象の異常を伝えるものや、人事の不思議を伝えるものなど多様であるとされる。

「第四章 地震絵巻と民衆」では、江戸の民衆は、必ずしも客観的事実のみを災害情報として珍重したわけではなく、たとえ荒唐無稽な戯れであっても、そこに何らかの真実が含まれていれば良かったとしている。このような民衆の災害情報を特徴付けたのが、地震絵巻の氾濫という社会現象である。そして、絵巻に見られる現世謳歌は、地震という突発的災厄によって救済を受け、復旧工事によってにわかには賃金が高騰したために、一時的にせよ恩恵をこうむることができた民衆の願望を表現しているとされる。

第二部の「第一章 災害と救済」では、地震直後から町奉行が町方に対して実施した野宿者への焚出し・御救小屋の設置・御救米の施与、といった対策の詳細について述べられている。このような対策は、江戸で度々発生した大火の際に実施された伝統的な救助方法であったとされる。

「第二章 施行論」では、地震後に町奉行や裕福な町人が実施した御救や施行(施し与えること)は、民衆に世直りとして受け取られたとし、災害時における儀礼の一つと捉えている。

補論では、安政江戸地震における江戸城内や武家屋敷などでの被害状況、地震発生時の将軍や諸大名の行動について述べられている。そのなかで、地震発生直後に諸大名が、自らの屋敷が被災していたにも拘わらず、将軍の安否を尋ね、自らの無事を伝えるために、江戸城へ登

城した行動に注目している。

このように、歴史時代の地震災害と都市社会との関係について焦点をあてた研究は、地震を自然現象として捉え、その震源や被害の要因に着目する理工学系の研究からは特異に見えるであろう。しかし、歴史地震研究は本来、近代以降の価値観に基づいて過去の地震を自然科学的に探究する方法だけではなく、時代状況に即した価値観に基づいて過去の地震災害に直面した人々の捉え方や行動を探究する方法との両輪を成すべきと考える。これに関連して本書の序文では、「時代や歴史的条件は異なっても、人間の社会での突発的な出来事に対する対応にはある種の普遍性があるということを前提にするからこそ、過去の出来事も現代の視点から分析が可能なのだと考えるのである」とあり、歴史地震研究の目的について言及している。このことを受けて、今後の歴史地震研究の展開としては、理工学系の分野は当然のことながら、歴史学系の分野についても、現代の社会に活かせるような研究を指向していく必要があるのではないかと考える。

本書は、歴史地震の専門書に位置付けられ、「災害の社会史」という著者独自の視点から歴史地震を論じた良書であるため、歴史地震に興味をお持ちの方は一読されることをお勧めしたい。

＜吉川弘文館、2013年4月、B6判、378頁、  
2,940円（税込み）＞

## ● スタンダード地震年表

宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・  
武村雅之・松浦律子 著  
日本被害地震総覧

599-2012

評者 吉井敏尅

1975年に「資料日本被害地震総覧」として出版されて以来、ほぼ10年ごとに改訂されてきた「日本被害地震総覧」の4回目の改訂版である。これまで書名の頭についていた「新編」、「最新版」などがとれ、著者として新たに4名の皆さんが加わった。「はしがき」によると、今回の改定にあたり宇佐美先生の呼びかけで応募した大勢の中から、この4名が共同改訂者として選ばれたとのことである。2011年の東日本大震災も含まれており、これまでになく大きな改訂となった。

今回の改訂では、2003年から2012年までの間に発生した120近い数の地震が追加されている。東大出版会の

「UP」（第42巻9号、2013年）に見られる松浦氏の寄稿文によれば、この追加部分は主として松浦氏がまとめられたとのことである。2002年までと比べてみても、追加された地震の記述内容は適切で違和感なく読むことができる。改訂前は、計測震度が導入された1996年以降の地震について気象庁などによる震度分布図が引用されてきたが、2003年以降の地震については自前の見やすい震度分布図を採用するなど、新しい工夫も見られる。地図上の津波波高図なども、自前のものが使われるようになった。

歴史地震については、この10年間の研究成果などをもとに宇佐美先生が手を加えられた。より新しい地震の2002年までについても、明治の三陸地震の津波の表に東日本大震災の波高データが加えられるなどの変更がある。また、東南海地震や三河地震の統計などには、改訂に加わった武村氏の研究成果が取り入れられた。関東地震についても同様かと期待したが、こちらは改訂前の「最新版」と同様に、本文は変更されずに巻末注で扱われているだけである。

全体を通して見ると、引用されているどの図表についても、引用元を辿れるまで詳しく記述されるようになったのは、ありがたいことである。また、1923年以降の震源要素やマグニチュードの数値が、気象庁発表の最新のものに統一された。本書の性格として緯度経度で1分以下の違いなどどうでもよいことかもしれないが、数字として合っていないというのは気持ちの悪いものである。地味な変更かもしれないが、これらは手間のかかる作業であつたらうと推察する。

「日本被害地震総覧」には私自身たいへんお世話になった。宇佐美先生の後を引き継いで1986年版から理科年表の監修者に加わったが、地震の部の目玉ともいえる日本付近のおもな地震の年代表を思い切って改訂して1989年版で発表した。歴史地震の知識などほとんど無かったので、宇佐美先生をはじめ多くの方々の意見をうかがったが、いちばん頼りにしたのは最初の改訂版である「最新日本被害地震総覧」であつた。

日本の地震に関するまとまった年代表としてスタンダードと言える本書が、今回のような形で改訂され引き続き利用できるのは、すばらしいことである。東日本大震災以来、過去の地震を正しく理解することの重要性が再認識されている。今回の改訂版も、幅広い分野の読者にこれまで以上に活用されることであらう。

＜東京大学出版会、2013年9月、B5判、712ページ、  
29,400円（税込み）＞

●新刊紹介 .....

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集 地震編 全6巻**

クレス出版, 2012年9月, B5判, 6冊, 99,750円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集 地震編第二回 全6巻<第7巻~第12巻>**

クレス出版, 2013年3月, B5判, 6冊, 99,750円(税込み)

田中孝義 編・解説

**日本災害資料集<火災編 第2巻>大正大震災大火災 大日本雄辯會講談社**

クレス出版, 2013年6月, A5判, 1冊, 15,750円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第1巻>昭和五年十一月二十六日北伊豆地震報告 中央気象台**

クレス出版, 2012年9月, A5判, 150頁, 14,700円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第2巻>三陸大震災史 三陸大震災史刊行會**

クレス出版, 2012年9月, A5判, 185頁, 6,300円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第3巻>南海大震災誌**

クレス出版, 2012年9月, A5判, 692頁, 26,250円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第4巻>福井震災誌 福井県**

クレス出版, 2012年9月, A5判, 704頁, 22,050円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第5巻>北但震災誌**

クレス出版, 2012年9月, B5判, 202頁, 16,800円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第6巻>十勝沖地震調査報告地震篇 北海道大学**

クレス出版, 2012年9月, B5判, 303頁, 13,650円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第7巻>震災**

クレス出版, 2013年3月, A5判, 377頁, 10,500円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第8巻>東京大正震災誌 東京市**

クレス出版, 2013年3月, A5判, 274頁, 8,400円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第9巻>丹後地震誌 永濱宇平**

クレス出版, 2013年3月, A5判, 465頁, 14,700円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第10巻>昭和八年三月三日三陸沖強震及津浪報告 中央気象台**

クレス出版, 2013年3月, A5判, 260頁, 10,500円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第11巻>福井地震誌 名古屋鉄道局**

クレス出版, 2013年3月, A5判, 490頁, 14,700円(税込み)

伊津野和行 編・解説

**日本災害資料集<地震編 第12巻>十勝沖地震調査報告その2 北海道大学**

クレス出版, 2013年3月, B5判, 307頁, 31,500円(税込み)

木村政昭 著

**東海地震も関東地震も起きない! 地震予知はなぜ外れるのか**

宝島社, 2013年3月, B6判, 207頁, 999円(税込み)

里村幹夫 編

**地震防災 (増補改訂版)**

学術図書出版社, 2013年4月, B5判, 181頁, 2,100円  
(税込み)

未来防災 編

**巨大地震と津波の被害最小化技術**

未来予測研究所, 2013年5月, A4判, 115頁, 18,900円  
(税込み)

平川 新・今村文彦・東北大学災害科学国際研究所 編・著

**東日本大震災を分析する (1) 地震・津波のメカニズムと被害の実態**

明石書店, 2013年6月, A5判, 280頁, 3,990円 (税込み)

平川 新・今村文彦・東北大学災害科学国際研究所 編・著

**東日本大震災を分析する (2) 震災と人間・まち・記録**

明石書店, 2013年6月, A5判, 258頁, 3,990円 (税込み)

河田恵昭 著

**新時代の企業防災—3.11の教訓に学ぶ地震対策中防災新書**

中央労働災害防止協会, 2013年7月, 新書判, 279頁, 1,050円 (税込み)

池上 彰 著

**緊急! 池上彰と考える巨大地震 その時命を守るために…**

海竜社, 2013年9月, B5判, 119頁, 999円 (税込み)

# ADEP情報

公益財団法人 地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動について

平成 25 年 6 月 18 日に開催された臨時理事会において、会長、理事長及び業務執行理事が次のとおり選定されました。

会長 (代表理事)	高木 章雄	平成 25 年 6 月 18 日就任 (重任)
理事長 (代表理事)	阿部 勝征	平成 25 年 6 月 18 日就任 (新任 (前) 業務執行理事)
業務執行理事	石井 紘	平成 25 年 6 月 18 日就任 (重任)

## 編集後記

本誌 51 号以来インターネットに全文を公開するようになって、本誌が一般読者層の目に触れる機会が多くなった。事実ネットで「地震ジャーナル」を引くと、読者の感想やつぶやきが見られる。だが傾向として「囲み記事」のような短い記事には目を通すが、長い論文には関心がないらしい。

実は研究者にも同様な傾向がある。一般に自分の研究領域に近い論文には関心を持つが、他の領域にはあまり関心がない。標題に目を通す程度で終わる。しかし「囲み記事」のような短い記事には本文まで読むことが多い。私自身の経験でもそうであった。

物理学界には Physical Review Letters という有名な雑誌がある。レターと云うだけあって、論文は刷り上がり 4 ページ程度に制限されている。そのため数多くの論文が掲載され、物理学の世界では最もポピュラーな雑誌と云われる。

本誌が研究者をはじめ多くの読者に有効に読まれるためには、長い論

文を数少なくし、前記の物理学雑誌のように刷り上がり 4 ページ程度の短編を数多く掲載する方がよいのではないだろうか。そんな考えもあって、今回は試みに短編を幾つか掲載してみた。

実を云うと長い論文を掲載する方が編集の立場から楽なのである。これに比べて短編を書いてくれる著者を多人数探すのは苦労が多い。自然に集まって来るものではない。テーマを絞って短く、平易に読みやすく書ける人、しかも気軽に著者を引き受けてくれる人はなかなかいないのが実情である。

本誌の著者には若手研究者が見当たらないと批判を受けた事がある。これでは若手に本誌に関心を持って下さいと云っても無理だということである。真に当を得た批判と思う。確かに編集者も年をとって、ついつい年配の研究者に声を掛ける傾向にある。若手の論文を読んだり、学会講演を聴いたり、編集者自ら常日頃学ばなければならぬであろう。また年配者に若手を紹介してもらうのも有効な手段かも知れない。

また本誌の執筆者には関東勢が多く、それに比べて関西勢が少ない。もっと全国的な視野に立つべきだとの声も聞かれる。至極尤もな意見だと思う。いま東海・南海トラフを震源とする連動型 M9 巨大地震の発生が取り沙汰されている。首都圏のみならず、全国的な視野でテーマを選ばなければならない時が来ている。(Y.H.)

## 地震ジャーナル 第 56 号

平成 25 年 12 月 20 日 発行

発行所 ☎101-0064  
東京都千代田区猿樂町 1-5-18  
☎ 03-3295-1966  
公益財団法人

**地震予知総合研究振興会**

発行人 高木 章雄

編集人 萩原 幸男

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

●製作/一般財団法人学会誌刊行センター