

地震 ジャーナル

28

1999年12月

- エッセイ 震災について感じる事 ● 伯野元彦
追悼 萩原尊禮先生 ● 力武常次
近畿の地震情勢 ● 梅田康弘 —— 1
地震断層運動論の進展 ● 柴原保人 —— 7
内陸地震の危険度を探る ● 隈元 崇 —— 13
地震関係古書談義 ● 金子史朗 —— 27
宏観異常現象の報告を歪める認知的要因 ● 菊池 聡 —— 35
本当の「リアルタイム地震学」実現に向けて ● 山中佳子 —— 44
リアルタイム地震防災システム ● 翠川三郎 —— 52
大振幅地震動と地盤 ● 吉田 望 —— 66
連載：その9 地震・津波碑探訪 ● 力武常次 —— 75
地震予知連絡会情報 ● 金沢敏彦 —— 84
● 書評 —— 92
● 執筆者紹介 —— 98
● ADEP情報 —— 100

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

震災について感じる事

伯野元彦

阪神・淡路大震災、トルコ大震災について感じた事を述べてみたい。

震災は繰り返す。これについては反対のご意見もあるかもしれないが、こういふことである。地震は耐震性の無い施設を直撃して人命を奪う。これは、1978年宮城県沖地震ではブロック塀であったし、1995年阪神・淡路大震災では老朽木造家屋であったし、トルコ大震災では耐震基準を満たさない細い鉄筋コンクリート柱とレンガ壁であった。日本でも、ブロック塀をやめて生垣にした方がよいとか、30年以上経った老朽木造家屋は耐震補強が推奨された。しかし経済的理由などから状況はあまり改善されていないように見える。したがって、今度東京を強い地震が襲ったとき、再びブロック塀が壊れ老朽木造家屋がつぶれるのではなからうか。つまり震災は繰り返す。

耐震設計されていない構造物は身の回りに沢山ある。世の中には、耐震設計されていない、地震に対して弱い構造物が沢山あるという事をご存知だろうか。たとえば、宅地造成地、河川堤防、道路盛土、鉄道盛土などおもに土構造物と、石灯籠、石垣などの石構造物である。被害地震があるたびに耐震基準が強化され、新設の構造物はだんだん強くなるが、より古い構造物は耐震補強以外に強くなる方法は無い。まして最初から耐震設計されていない構造物は、前の弱いままである。

自衛隊が緊急出動しても人命はそれほど救えない。阪神・淡路大震災の死者5500人以上の8割以上が老朽木造家屋の下敷きになっての死であり、医師の遺体検案によればそのほとんどが10分以内の死であるという。自衛隊がいくら緊急出動しても10分以内というわけには行かない、また最近のトルコ大地震でもわかるように、2000人もの日本をはじめとする国際救助隊が活躍したが、瓦礫の下から生きて救助できたのは海軍基地の130人を除くと100人に満たないのではなからうか、死者行方不明者約3万人に比べると微々たるものである。私はだから自衛隊、国際救助隊の出動が無駄だと言っているわけでは決して無い、むしろ日本は戦争の際金を出すけど人は出さないと散々国際社会から非難されているのだから、これを好機と捉えて100人以上を出すべきだったと思っているくらいである。私が心配するのは、阪神の地震の後で、首相官邸への情報伝達の遅れ、自衛隊出動の遅れが激しく非難され、あたかもこれらの遅れが犠牲者の増加を招いたかのような論調が目立った事である。今や情報伝達、自衛隊出動のシステムも整備され、もう大都市を直下地震が襲っても神戸のように多数の死者を出す事はあるまいと思っている向きも多いのではあるまいか、とんでもない誤解である、多数の死者の主原因は老朽木造家屋の倒壊である、その耐震補強が進行していない現在神戸の震災犠牲者の再現を恐れるものである。



はぎ わら たか ひろ
萩 原 尊 禮 先生 の近影

(経 歴)

昭和7年3月 東京帝国大学理学部地震学科卒業
昭和8年4月 東京帝国大学地震研究所助手
昭和16年4月 東京帝国大学助教授、地震研究所員
昭和19年6月 東京帝国大学教授、地震研究所員
昭和22年8月 地震予知研究連絡委員会委員(学術研究会議)
昭和23年11月 地球物理学研究委員会委員(学術研究会議)
昭和27年4月 測地学審議会委員(文部省)
昭和28年より2年間 ユネスコ技術援助使節としてトルコ国イスタンブール工大に地震学の指導
昭和40年4月 東京大学地震研究所長(44年3月退職)
同 年4月 東京大学評議員
昭和44年4月 地震予知連絡会会長(56年3月まで)
同 年5月 東京大学名誉教授
昭和47年9月 開成学園理事
昭和50年6月 科学技術庁参与
昭和53年10月 中央防災会議専門委員
昭和54年8月 地震防災対策強化地域判定会会長(56年3月まで)
昭和56年1月 (財)地震予知総合研究振興会会長

同 年4月 地震予知連絡会名誉会長
平成11年6月 (財)地震予知総合研究振興会名誉会長

(受 賞)

昭和44年11月 紫綬褒章
昭和53年11月 勲二等旭日重光章
昭和55年12月 交通文化賞
平成6年6月 国土行政特別功労者表彰
平成10年10月 物理探査学会特別功労者表彰
平成10年12月 文部大臣表彰(測地学発展功労者)

(著 書)

昭和11年 「地震計」(岩波書店)
昭和20年 「振動測定」(宝文館)
昭和26年 「物理探鉱法」(朝倉書店)
昭和41年 「地震の予知」(地学出版社)
昭和47年 「地震への挑戦」(講談社:ブルーバックス)
昭和57年 「古地震」編著(東京大学出版会)
昭和57年 「地震学百年」(東京大学出版会)
昭和58年 「地震の事典」監修(三省堂)
平成元年 「続古地震」編著(東京大学出版会)
平成3年 「日本列島の地震」編著(鹿島出版会)
平成7年 「古地震探究」編著(東京大学出版会)
平成9年 「地震予知と災害」(丸善)など

追悼・萩原 尊禮 先生

力武常次

11月14日の日曜日早朝電話のベルが鳴った。何となく不吉な予感がしたが、地震予知総合研究振興会事務局から萩原名誉会長の御逝去を告げる電話であり、先生には、東大理学部の学生であった50年以上も前からお世話になっているので、眞にショックであった。

萩原先生は1908年のお生れで、明治・大正・昭和・平成の激動の時代を生き抜き、地震学特に地震予知研究の生みの親として、まことにユニークな功績を残された。いささか私事にわたる点があるのは恐縮であるけれども、先生との長いお付合いを振り返って先生を偲びたいと思う。

私が東大理学部地球物理学科の学生となった1940年頃には萩原先生は東大構内地震研究所の助手であった。地震研と地球物理学科の対抗野球試合があり、先生は三塁手で、「あれは萩原という万年助手だよ」というような声が聞えてきたことを覚えている。当時は地震関係のポストはきわめて少なく、月給の貰える助手のポストにつければ御おんの字であった。

当時の地震研のメンバーには、重力・測地学の故坪井忠二教授、火山物理学の故水上武教授、地球電磁気学の故永田武教授がおられ、萩原先生を含め、これら気鋭の諸先生は、私たち学生のおこがれのまとであった。しかし、日本は戦争に突入し、私は海軍技術士官として横須賀海軍工廠に配属されたが、萩原先生は同工廠の機雷実験部の嘱託として磁気機雷対策などに従事されていたので、ときどきお目にかかることがあった。

敗戦後、地震研の助手に復員した私は、先生のお手伝いで1946年の南海地震、桜島噴火や1948年の福井地震調査などに参加させていただいた。先生は地震・地殻変動計測器の開発を得意とされ、神奈川県油壺をはじめ各地の地殻変動観測所を設立された。当時は食料難であったので、油壺では漁師から「イカ」をしこたま買って食べ過ぎてふらふらになったり、シリカ傾斜計の空箱に「タコ」をつめて持ち帰ったり、いろいろと珍談もあった。

助手時代が長かった先生は、助教授をわずか3年で教授に昇任され、地震研の重鎮となられた。その後ユネスコのプロジェクトでトルコ・イスタンブール工科大学で地震学振興の指導にあたられたことがある。先生の蒔かれた日土協力の種は表俊一郎先生や私に引きつがれ、1999年のイズミット地震などで活躍しているカンディリ地震研究所長などは、私のトルコ時代（1960年頃）の学生であった。1954年、萩原先生御夫妻はヨーロッパにおいでになり、当時イギリス留学中の私はロンドン見物の御案内をつとめた。「555」と書かれた煙草を買おうとしたが、先生が「スリーファイブズ」と言っても、発音を通じず、「こんなところにはもう来ない」などと怒られたことを覚えている。

1960年代になると、先生は日本の地震予知計画の中心となって、計画を進められることになり、当時若手の教授となっていた私は、先生のお手伝いで幹事役をつとめることになった。先生は国際的にもIASPEI（International Association for Seismology and the Physics of the Earth's Interior、国際地震学・地球内部物理学協会）の地震予知委員会の初代委員長となられた。

この『海の物とも山の物とも』分らなかつた計画を、多くの困難を乗り越えて軌道に乗せた先生の御苦労はなみなみならぬものがあり、私たちはひそかに先生のことを「地震予知の鬼」と呼んだものである。そのおかげで現在の地震研究者は多くのポストにありつき、昔にくらべるとはるかに潤沢な研究費をエンジョイしていることになる。東大御定年後、先生は財団法人地震予知総合研究振興会を主宰され、さらに研究の推進や具体化に努力されてきた。

近時、阪神・淡路大震災やトルコ・台湾の大地震など、地震災害はあとを絶たない。私たち後輩は萩原先生の御遺志を引きついで、地震予知研究や地震災害防止にますますつとめることを誓わねばならない。

近畿の地震情勢

兵庫県南部地震前との比較

梅田康弘

1. はじめに

今年、1999年のはじめから近畿地方の地震活動が、兵庫県南部地震以来初めて活発化した。特に近畿北部における、静穏期から活発化への移行や地下水異常などを丹念に調べてみると、1995年の兵庫県南部地震の前とよく似た状況になっていることに気付いた。

このような類似の現象がどうして現れるのかはわからないが、長い地殻活動の歴史のうちには時々出現するのかも知れない。そしてほとんどの場合は大事件にならず、つまり大地震は起こらずに通り過ぎて行く現象なのかも知れない。ここでは類似の現象を検証すると共に、地震予知という観点から見れば不確定な情報を社会にどのように伝えるかも考えたい。

2. 地震活動の静穏化から活発化

1995年の兵庫県南部地震直後から近畿北部、特に丹波山地での微小地震活動は非常に高くなった。4年半経過した今もその活動は衰えていない。ところが、震源の真上でだいたい有感となるマグニチュード3.5以上 ($M > 3.5$) の地震に限って見ると1年半ほど前からほとんど起きておらず、近畿地方の地震活動は静穏期という印象が持たれていた。

ところが、今年(1999年)に入ると様子が変わって1月下旬からの三重県中部の群発地震を皮切りに、京都府南部で2月と3月に $M \sim 4$ クラスの地震が2回、3月には滋賀県北部で $M 4.9$ 、4月には山崎断層でも $M 3.9$ の地震が発生した。このように数年間の静穏期の後、有感地震が活発にな

るといふ活動のパターンは、図1に示すように、1995年の兵庫県南部地震の前にもあった(片尾浩, 1999)。同図は琵琶湖の北部(NE)から淡路島(SW)にかけて長さ170 km、幅約40 kmの範囲に起こった $M > 3.5$ の地震を縦軸に時間、横軸に距離をとった、いわゆる時空間分布図である。1992年から1993年は静穏期であったが、1994年に入ってから有感地震が起ころいはじめ、その年の有感地震が8回という異常に多い状況が続いた後、1995年1月の兵庫県南部地震に至った。それ以降2年間くらいは有感地震も活発であったが、1997年中頃からは有感地震はほとんど無くなり静穏期が続いていた。有感地震が活発化したのは、先にも述べたように今年になってからであ

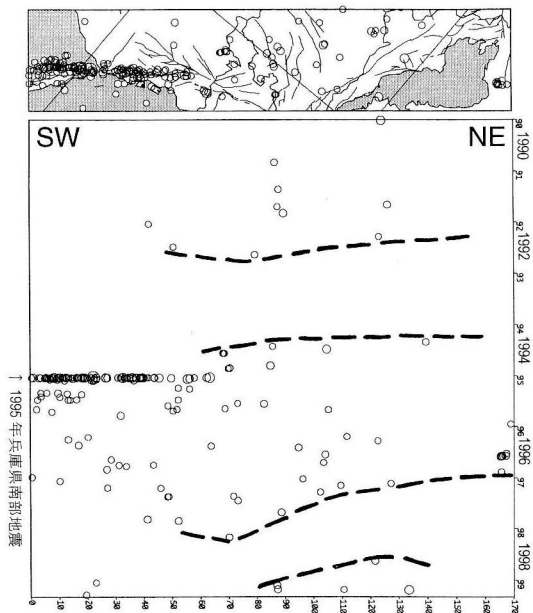


図1 $M > 3.5$ の時空間分布。
期間：1990年1月～1999年4月、領域：
上図(図2と同じ領域)

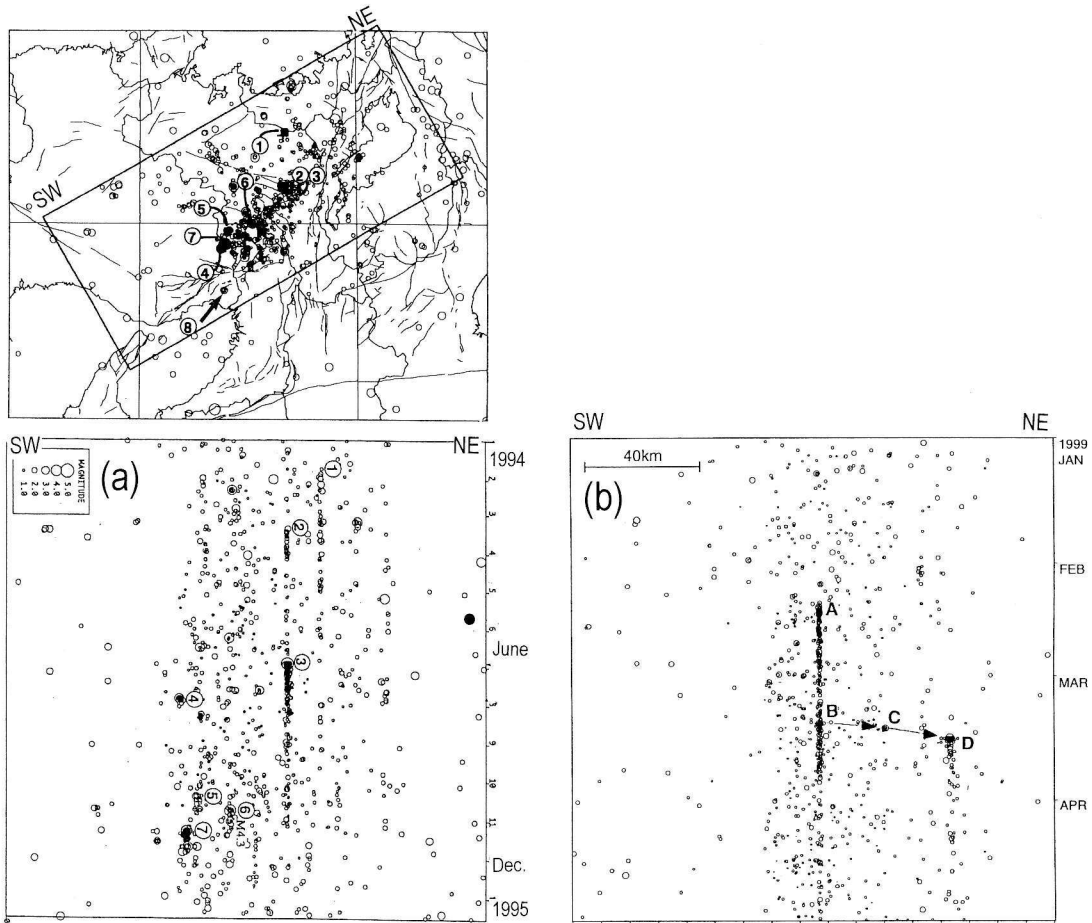


図 2 (a) : 1994 年 1 月から 1995 年 1 月の兵庫県南部地震発生の前まで、微小地震を含む時空間分布。(安藤 : 1995 年)
 (b) : 1999 年 1 月～同年 4 月の微小地震を含む時空間分布 (片尾 : 1999 年). A : 2 月 12 日, M4.0, B : 3 月 12 日, M3.9, C : 3 月 14 日, M3.5, D : 3 月 16 日, M4.9

る。静穏期と活発期の境目を図 1 に点線で示したが、兵庫県南部地震の前も今年の状態もよく似ている。以上は丹波山地に於ける活動状況であるが、気象庁地震予知情報課 (1999) によれば、山崎断層周辺の地震活動も兵庫県南部地震の発生する前の状況に似ているようである。

3. 震源の移動と空白域

活動期だけに限って時空間分布図を示したのが図 2 の (a) (安藤雅孝, 1995) と (b) (片尾 浩, 1999) である。(a) は兵庫県南部地震の前、(b)

は今回であり、どちらも図 1 と同じく NE が琵琶湖の北東、SW が南東の淡路島側である。兵庫県南部地震の前の有感地震の時空間変化 (図 2-(a)) は丸付き番号でも記してあるように、北東から南西へ、つまり兵庫県南部地震の震源に向かって移動しているように見える。一方、今年の場合 (図 2-(b)) は兵庫県南部地震の前ほど活発ではないが、震源は A→D へと移動しているという点では一致している。しかし方向は逆で、南西から北東への移動である。

ここで注目すべきは、兵庫県南部地震の前にその震源となる領域が、第 3 種地震空白域として

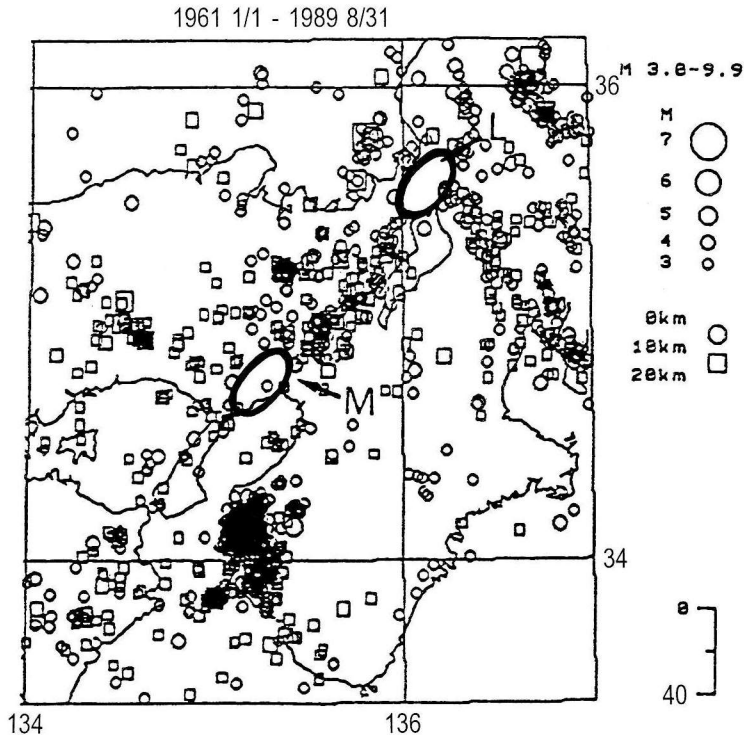


図3 石川（1990年）によって指摘された近畿地方の第3種地震空白域（MとL）。
Mは1995年兵庫県南部地震によって埋め尽くされた。（石川：1990年に加筆）

1990年に気象研究所の石川有三主任研究官（1990）によって指摘されていたことである。上記に述べた震源移動は、1994年の段階では第3種地震空白域に向かって進んでいたと表現するべきであろう。実は1990年に石川によって指摘された第3種地震空白域は近畿で2カ所あり、図3に示すようにその一つは先に述べた兵庫県南部地震の震源域（図中にMと記した領域）、もう一つはLと記された琵琶湖北部である。今回、南西から北東へ、つまり石川の言う第3種地震空白域に向かって有感地震が移動していることは特に注目すべきである。また、茂木清夫地震予知連絡会会長（1999）も、地震予知133回連絡会において、小地震のクラスター化に加えて琵琶湖とその隣接部の空白域に注目すべきことを述べた。

4. 逢坂山観測所の地下水の異常変化

京都市と大津市の境に逢坂山観測所があり、観

測坑道内に20mの縦坑がある。その水位が3月3日、14時間かけて約7cm低下した（図4の上の白抜き矢印）。全く同じ現象が1995年の兵庫県南部地震の139日前にもあったが（図4の下の白抜き矢印）、それ以降このようなパターンの水位低下が観測されたのははじめてである。前回の時と異なる点はco-seismicな応答である。通常、京都府中部や滋賀県北部でM~4クラスの地震があると水位はco-seismicな応答をする。今回も図4のB,Cに見るようにco-seismicな応答をしている。しかし、兵庫県南部地震の前は有感地震によってco-seismicな応答はしなかった。この違いがなぜかはわからないが、数時間~十数時間に7cmもの水位低下という希な現象が兵庫県南部地震の前と今回あらわれたということは注目しておくべきである。

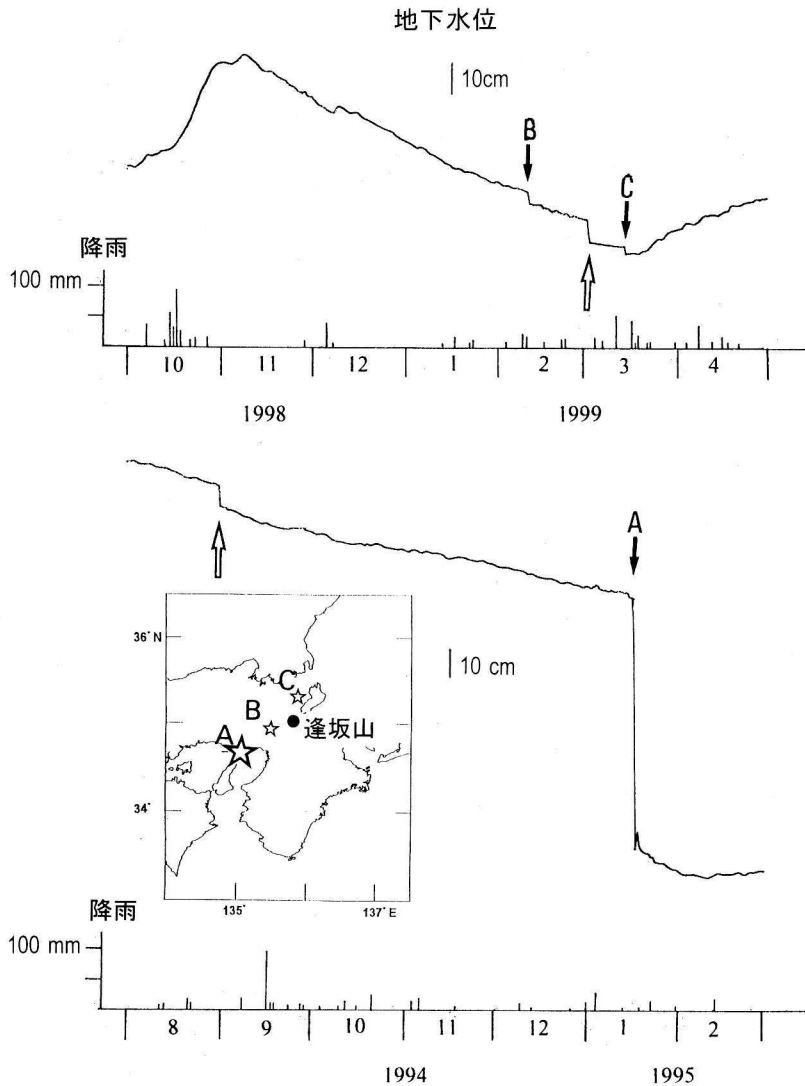


図 4 京都大学防災研究所逢坂山観測所における水位変化。1995年兵庫県南部地震の139日前に7cmの水位低下があった(白抜き矢印)。1999年3月3日にも同じパターン水位低下があった。A, B, Cは地震によるco-seismicな変化(重富:1999年)。

5. 地質調査所の観測井に於ける歪と水位の変化

地質調査所の花折観測井で設置されている歪計に2月はじめから変化が現れ、3月にはその傾向がより顕著になり、さらに3月14日からは加速したことが報告された。南にあるもう一つの大原観測井では花折観測井ほど明瞭ではないが、3月はじめと中旬に歪み変化を観測している(長 秋

雄, 小泉尚嗣, 1999)。3月16日の滋賀県北部の地震(M4.9)の90分前から両観測井の水位と歪記録に潮汐変化が停滞するという形の異常が現れた。(地質調査所では花折観測井の変化は地震の20分前と報告している。顕著なのは20分前だが潮汐の停滞は90分前に始まっている事が記録から読みとれる。)長 秋雄と小泉尚嗣(1999)は花折, 大原観測井における歪や地下水位の異常変化は滋賀県北部の地震の前兆現象と考えているよう

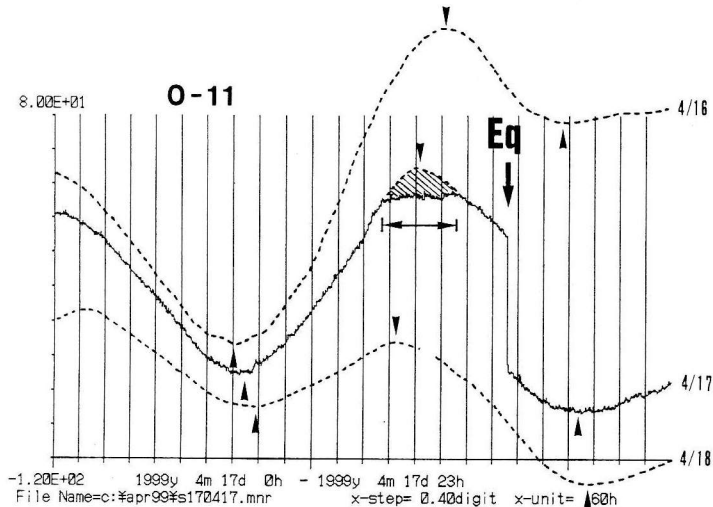


図5 山崎断層上にある安富観測坑の歪記録に現れた地球潮汐の停滞現象(斜線の部分)。停滞をわかりやすくするため、前日(4/16)と翌日(4/18)の歪記録が上下に描かれている。Eq.は東に10km離れたところで起こったM3.9の地震によるステップ(渡辺:1999-a)

である。

6. 伝搬する歪異常

地球潮汐が停滞するという異常変化は山崎断層でも観測された。安富観測坑には山崎断層を斜めに横切る形で2方向の歪計が設置されている。4月17日12時30分から15時30分の間に両成分の潮汐変化が停滞した。そのうちの1成分の記録を図5に示した。この異常がほぼ元に戻ってから2時間後の17時31分に東へ10km離れた同じ山崎断層でM3.9の地震が発生した。渡辺ら(1999, b)は広域応力場による弾性変形に加え、断層破碎帯のずれも考慮してこの異常を定量的に説明した。さらに彼らは波長9kmの歪異常が時速約3kmで山崎断層を西から東へ伝搬したと考えた。従来の考えだと、プレスリップは将来震源となる領域を中心に始まるとされているが、上記のように断層スリップが伝播する過程で、歪があるレベル(限界歪)を越えたところで地震をトリガーするという考えは新しい考え方として注目すべきである。

7. 灰色情報の伝達

以上述べてきた有感地震の活発化、震源移動、特に移動方向の先に地震空白域があること、地下水や歪が中規模の地震に対しても敏感に前兆現象と思われる異常をとらえていること、これら一連の地殻活動と異常の現れ方は近畿地方の地殻の状態が緊張状態になっていることを示すのではないだろうか。しかし、残念ながら地震予知という観点から見れば、これらの異常は大地震の前兆という証拠はない。異常は現れたけれど何事もなく、つまり大地震も起こらずにすぎるかも知れない。

こういう状況は我々の地震予知研究センターでも何度か議論され、地震予知連絡会にも報告された。5月の第133回地震予知連絡会には各機関からもデータが提出され議論された。その結果は記者レクにおいて発表することになったが、観測事実の報告はともかく、地震予知という観点からは「灰色情報」をどのように誤解のないように伝えるかは別途大きな問題である。兵庫県南部地震の時は地震が起きてから、地震前の色々な異常現象

が報告され、報道もされた。地震が起こってしまってから、地震の前の事実を報告するという前回と同じ事は繰り返したくない。なるだけ正確に今の近畿の地殻の状態が緊張状態にあることを社会に知らせるべきである。このような趣旨も含めて記者レクが行われた。

週刊誌の一部には「近畿に大地震か」といったような取り扱いもされたが、他はおおむね発表の趣旨をよく理解していただいたと思う。読売新聞の増満浩志(1999)さんはコラムで「灰色情報の公開」を取り上げ、その中で「言葉一つの違いで、過剰に危険視されたり、楽観視されたりしかねない」としながらも、「情報は隠さず、どんどん発表する。その積み重ねによって、どの辺の地域で注意すべきか、そして観測や研究がどんな風に進んでいるかといったことも、広く国民に理解してもらおう」という地震予知連絡会の事務局を務める国土地理院地理地殻活動研究センターの秋山実研究管理課長のことが引用されている。これが我々の姿勢である。

9. ま と め

2節と3節では地震活動の静穏期から活動期への移行や震源移動など、兵庫県南部地震の前に類似していることを紹介した。4節と5節で述べた異常現象は3月16日の滋賀県北部の地震の前兆現象、6節で述べた歪異常は4月17日の山崎断層の地震の前兆現象と考えられており、それぞれの地震によって異常は解消されたのかも知れない。しかし、一方ではこのように地殻活動が活発になったり、前兆と思われる現象がはっきり出現すること自体、もっと大きな変動のごく一部を見ているのかも知れない。このような地殻の緊張状態

というのは長い地殻活動の歴史の中では時々起こっていて、そのほとんどは大事件にならずに、つまり大地震は起こらずに緊張は緩和されるのかも知れない。そうすると我々は何度もこういうことを経験し、それによって知識を蓄積し、いつか本当の大事件の時にはその成果を生かせるように学習すべきである。

引用文献

- 安藤雅孝, 1995, 1995年兵庫県南部地震の前震・本震・余震・誘発地震, 月刊地球, 号外 No. 13, 18-30.
- 石川有三, 1990, 日本列島内陸部の地震活動空白域一序論一, 月刊地球, No. 6, 355-361.
- 片尾 浩, 1999, 最近の近畿北部における地震活動一近畿北部における地震活動の静穏化と活発化一, 地震予知連絡会会報, 第62巻, 389-396.
- 気象庁地震予知情報課, 1999, 関西地方とその周辺の地震活動, 地震予知連絡会会報, 第62巻, 375-384.
- 重富國宏, 1999, 逢坂山観測所における滋賀県北部地震(1999年3月16日, M4.9, $\Delta=32$ km)前後の地下水位変化, 地震予知連絡会会報, 第62巻, 474-476.
- 長 秋雄, 小泉尚嗣, 1999, 1999年3月16日の滋賀県北部の地震(M4.9)前後に於ける花折観測井と大原観測井での地殻歪と地下水位の変化, 地震予知連絡会会報, 第62巻, 446-452.
- 増満浩志, 1999, 灰色情報の公開, 課題は的確な伝達, 読売新聞1999年6月1日朝刊.
- 茂木清夫, 1999, 1995年兵庫県南部地震前後の地震活動, 地震予知連絡会会報, 第62巻, 385-388.
- 渡辺邦彦, 1999-a, 山崎断層の地震(1999年4月17日 M3.9)に先行した歪変化, 地震予知連絡会会報, 第62巻, 369-374.
- 渡辺邦彦・他, 1999-b, 山崎断層の地震(99年4月17日, M3.9)に先行した歪変化, 地震学会講演予稿集1999年秋季大会 B03.

地震断層運動論の進展

栗原保人

はじめに

地殻内で発生する地震のほとんどは断層での急激なすべり現象である。しかも、少なくとも比較的規模の大きい地震は既存断層のすべりによって発生し、その既存断層は過去において、固着をすする時期とすべりの発生を何度も繰り返していると考えられている。1995年兵庫県南部地震でも地質図上に記載された野島断層のすべりが地表でもはっきりとあらわれ、活断層という言葉が日本中で注目を集めた。また、つい最近甚大な被害を起こした1999年8月のトルコ・イズミット（コジャエリ）地震や1999年9月の台湾の地震でも地質図上の活断層がすべりを起こしたことが分かっている。

それでは既存断層上のすべり運動（断層運動）はどのようなものになるのであろうか。断層のどのような場所ですべりが開始し、どのように拡がり、どのように停止するのであろう。一見単純そうなこの現象の実態を捉え、理解することは実はやっかいなのである。自然の地震ではまだ、観測器自身の制約や観測できる場所が主に地表に限られる等の制限があることにより、断層運動の発生から終了までの全過程を明らかにすることは不可能である。特に地震のすべりの開始付近の微弱な運動の様子や、すべりが停止する過程を捉えることはむずかしい。しかしこれらの詳細を理解し、予測することが地震予知へ取り組む上で避けて通れない問題である。

自然の地震断層がすべりの開始から終了までどのような過程を経るのかを理論的に予測するためには以下の手順を踏む。まず室内実験で模擬的に断層面の粗さや断層粘土の状態、圧力、温度条件

を制御し、摩擦構成則と呼ばれるすべりの基本法則を明らかにする。次に実験室内の模擬断層と自然の地震ではその大きさや圧力、温度条件が異なることを考慮し、自然の地震の条件下での構成則のパラメータの推定を行う。最後に構成則に基づく断層運動の数値シミュレーションを行い、自然の地震断層がどのような運動をするのかを予測する。本稿では既存の断層面のすべりがどのように始まり、どのように伝播していくのかについての研究の変遷と最近のトピックを紹介する。約20年間のこの分野の研究を通して、地震の直前予測の可能性について科学的議論が可能になった。

固着-すべり (stick-slip) と安定すべり (stable sliding)

まずすべり現象の多様性から話を始めよう。すべり現象の多様性は我々の日常生活でも多く経験する。たとえばガラスをこすった時に非常に高音のいやな音が出るときとそうでないときがある。これと同じような多様性が断層運動の模擬実験でも起こる。実験室で、あらかじめすべり面（既存断層面）を入れた岩石試料に圧力をかけた状態で差応力を高めていくと、断層は間欠的なすべりを起こす場合がある。この現象は固着-すべりと呼ばれる。図1はBrace and Byerlee (1966)の実験結果であり、横軸は圧縮軸方向の変位量、縦軸は荷重であり図中の破線部分のところで間欠的なすべりが発生している。彼らによって最初に固着-すべりと自然の地震が物理的には同じ現象であると提唱された。固着-すべりはすべりの瞬間にはもはや外部からの応力の増加無しにすべりが増大する現象であり、不安定すべりともいう。一方、同じ法線応力、温度の下でも断層面の粗さを増し

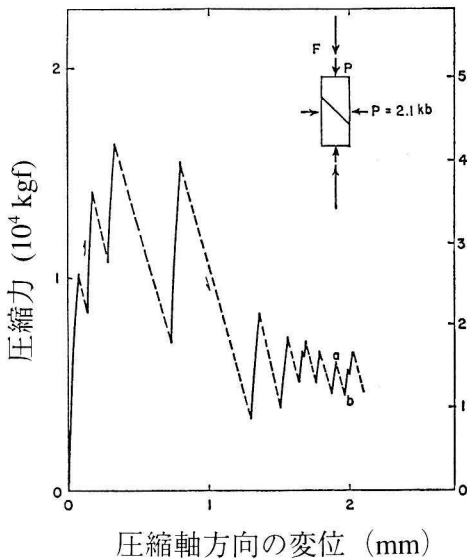


図1 Brace and Byerlee (1966) によって示された固着-すべりの発生. 図中の破線の部分で間欠的なすべりが発生している.

た場合には、断層は間欠的にではなく、ずるずると連続的にすべるようになる。これを安定すべりという。室内実験でのすべりが不安定すべりになるか安定すべりになるかを決定する要因は様々ある。代表的な要因をあげると(1)法線応力が大きいほど、(2)すべり面の粗さが小さいほど、(3)圧縮機の剛性が小さいほど、(4)ひずみ速度が小さいほど、またすべり発生までの固着時間が長いほど、(5)断層粘土の厚さが薄いほど、(6)柔らかい鉱物の含有量が少ないほど、(7)温度が低いほど、不安定すべりが発生しやすく、その逆の条件では安定すべりとなる(例えば、栗原, 1989)。

実際の地震断層運動にも様々な形態があることが知られている。例えば San Andreas 断層では、California 州の Hollister の近くにあるぶどう酒庫の床、壁などに徐々にひび割れ、食い違いが起こり、断層クリープという非常にゆっくりしたすべり速度を持つ断層運動が発見された。一方同じ San Andreas 断層でも、San Francisco 地震(1906)や Fort Tejon 地震(1857)の時大きく動いた部分ではクリープ現象は認められない。また日本でも跡津川断層において年間 1 mm 程度の断層クリープが発見されたという報告もある(多

田, 1998)。さらに 1999 年 8 月のトルコ・イズミット(コジャエリ)地震を引き起こしたアナトリア断層でもクリープ現象は確認されている。既存の活断層のすべりによって起こる地震は不安定すべりに対応し、断層クリープは安定すべりに相当するものと考えられている。

断層運動の基本モデル—摩擦構成則

断層面上のすべりは断層面上で一斉、同時にすべるのではなく、ある特定の場所からすべりが開始しそれが断層全面に拡大していく。それではすべりはどのように始まり、どのように拡大していくのであろうか。断層面上ですべりが起こっている領域が拡大していく状態を考える。すべり領域の先端部では断層が固着した状態からすべりが開始、進行するという過程が起こっている。すべり領域先端部でのすべり量と応力の関係は図 2 のように表される(例えば、Andrews, 1976)。図 2 (a) はすべり量と応力の空間的な分布を表している。すべり領域先端部での応力値は、応力集中という現象によりすべり領域から遠方での応力値 τ_0 よりも大きい。応力集中により応力が τ_p に達すると最大静摩擦を越えすべりが始まる。すべり量がある臨界値 d_c に達するまでは摩擦強度が低下し、その後は一定値、動摩擦 τ_k となる。すべり先端域において応力値が τ_p から τ_k に減少する領域を破損領域(図中の ω)と呼ぶ。実験ではすべり量の臨界値 d_c は断層面の粗さが増大するほど大きくなる。ここで言う断層面の粗さはすべり量程度かそれよりも小さい波長の断層の形状の凸凹を指すことに注意されたい。すべり量と断層面上の強度の関係は図 2 (b) のようになり、これがすべり弱化(slip weakening)モデルと呼ばれる摩擦構成則である。図中の影の部分の面積が破壊エネルギー G を表す。このすべり領域の拡大時における摩擦強度とすべり量の基本過程は室内での固着-すべり実験でも確認されている(例えば、Ohnaka and Kuwahara, 1990)。実験による詳細な観察では応力値が τ_p に達するよりもやや小さい値で微少なすべりが発生しており、厳密には図

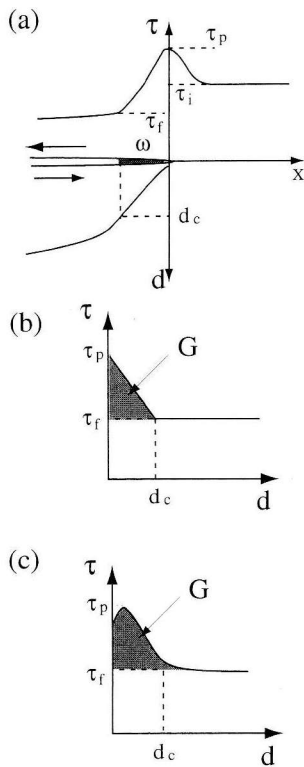


図2 すべり弱化モデル。(a) x軸上にすべり領域が存在するときのせん断応力 τ とすべり量 d の空間分布。(b) d と τ の関係。 d_c は臨界変位量。 G は破壊エネルギー。(c) 実験井より詳細な観察から求められた d と τ の関係。

2(c)のようにモデル化されている。このすべり弱化の基本過程は、室内での微小な破壊から断層の長さが1,000 kmにもおよび、またその破壊面が非常に複雑であると予想される地震断層運動まで一般的に成立していると考えてよい。

一方、上記のすべり弱化モデルでは、すべり速度、あるいは時間に関する項が含まれていないため、急激なすべりが停止した後の強度回復を記述できない。そのため1回の地震断層運動を再現することはできても、地震の繰り返しを記述することができない。Dieterich (1979) や Ruina (1983) は、すべり面での強度回復をも統一的に記述できるように、すべり速度と状態変数に依存する摩擦構成則を提唱した。状態変数とは必ずしもその物理的意味は明確ではないが、すべり面の微視的な

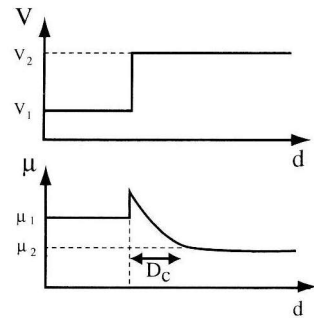


図3 摩擦係数 μ のすべり速度 V に対するステップ応答。上図のようにすべり速度を V_1 から V_2 に急激に変化させたときの摩擦強度は下図のように変化する。

接触の状態を表し、例えば、すべり面を微視的に見た時の接触部分の接触時間に対応すると考えられている。すべり速度と状態変数に依存する摩擦の構成則は摩擦係数のすべり速度に対するステップ応答を求める実験結果から得られた。実験結果は図3に示されるように、すべり速度の増加に対する摩擦応答は2つの効果に分離できるとされる。1つは速度を増加させた後、直ちに摩擦強度が増加する効果である。これは摩擦強度とすべり速度の直接の対応関係を表している。もう1つは、その後徐々に摩擦強度が減少していく効果である。これはすべり面上で微視的に見た接触状態が徐々に変化する効果を表している。この2番目の効果に対して、先のすべり弱化の構成則と同様、特徴的なすべり量 D_c が現れ、断層面の粗さが増大するほど大きくなる。両者は物理的には同じものであると考えられている。

以上のように摩擦の構成則としてはすべり量に依存する定式化とすべり速度/状態に依存する定式化の2つがある。それぞれの構成則で前節で説明した不安定すべりの発生条件が定量的に記述できることがわかっている。またすべり速度/状態に依存する構成則により断層クリープを数値シミュレーションで再現することも可能である(例えば、加藤, 1996)。実はこの2つの構成則はすべり速度の比較的大きい領域と小さい領域での違いを反映しており、相補的な関係であるとされている。例えば高すべり速度領域においては、摩擦係数のすべり速度依存性が小さくなるようにすべり

速度/状態に依存する構成方程式を修正する必要があることが示されている (Okubo and Dieterich, 1986). また両者を統合したすべり量と時間に依存する物理モデルも提案されている (青地・松浦, 1998).

地震断層面の構成則パラメター

図2に示されるすべりの進行とともに強度が減少するというすべりの基本的性質は破壊の寸法にはよらないであろうが、すべり弱化的関係やすべり速度弱化的関係の中で現れるパラメターの値は必ずしも寸法に依存しない量であるとはかぎらない。実際の地震断層に対して図2であらわれる構成則のパラメターが推定されているのでここで紹介する。地下深部で発生する地震では室内実験のように断層面上の応力とすべり量を直接に測ることは不可能であるから、地震波や断層の大きさ、すべり量等の観測できる量からあるモデルを仮定して推定する。最初にすべり弱化的モデルに現れる d_c を求めたのはIda (1972)であろう。彼は、スリップウィークニングモデルに基づく断層モデルによりすべりの最大加速度を与える理論式を求め、実際の地震の最大加速度が1Gであると仮定すると、地震断層の d_c は10 cm程度になるとした。またTakeuchi and Kikuchi (1973)は、すべりが動的に伝播するための最小の断層の長さを理論的に求め、ここで得られた結果から、チリ地震(1960)の破壊エネルギー G を 10^7 J/m^2 と見積った。その他にも摩擦構成則のパラメターが推定できる様々なモデルから d_c や G の値を求め、それらは概ね、 $10^5 \text{ J/m}^2 < G < 10^8 \text{ J/m}^2$, $0.1 \text{ m} < d_c < 3 \text{ m}$ という結果を得ている (Aki, 1979; Hussein et al., 1975; Papageorgiou and Aki, 1983; Zhi-eren, 1984等)。

以上の結果によると、地震断層運動で推定された破壊エネルギー G 、臨界変位量 d_c の値は、室内実験で測定された値よりも3オーダー以上大きい。この違いは、これらの量が媒質の持つ特有の物理量ではなく、見かけ寸法に依存する量であることが原因であると考えられている。この見か

け上現われる寸法効果は何に起因するのであろうか。先に述べたように、これらの量は断層面の粗さに依存した量であり、粗さが粗くなるほど G や d_c は大きくなる。このことから、地震と室内での破壊の G や d_c の違いは、地震断層面の粗さが室内での人工断層面の粗さに比べて非常に粗い、あるいは断層粘土の厚さが非常に厚い、地震断層の主破壊面近傍に副次的破壊面が発達しているなど、断層の不均質性の違いに起因しているであろう。

破壊核の成長

ここまで断層のすべりに関する基本法則と基本法則に現れるパラメターが実際の地震断層でどのような値になっているかを説明してきた。それでは地震予知の上で最も重要である、すべりの開始時にどのような過程が起こりうるのかについて考えてみよう。実験的には不安定すべりが発生する場合でも不安定で急激なすべりの発生に先行した準静的なゆっくりしたすべりの存在が確認されている (例えば, Ohnaka and Kuwahara, 1990)。この高速の破壊伝播が発生するまでの、ある限られた領域のみで準静的なゆっくりしたすべりが発達する過程が破壊核の成長と呼ばれる。図4にその概念を示す。横軸に断層に沿った距離を縦軸に時間を取る。図4の影の部分部分が図2で破損領域に対応するところである。時間の進展と共に破損領

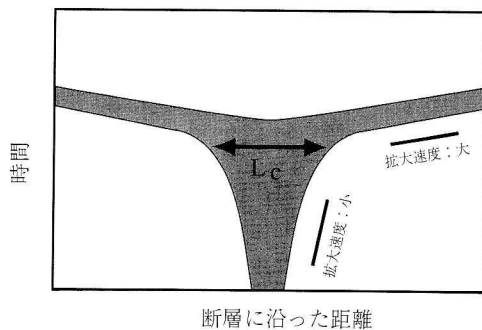


図4 破壊核成長過程の概念図。影をつけた部分が図2の破損領域の広がりを示す。最初破壊核がゆっくりと拡大し、その大きさが L_c になったときに急激に拡大を始める。

域がゆっくりと拡大し、破損領域の大きさがある特徴的長さ L_c になった時に破壊伝播速度が急激に大きくなる。この破損領域の大きさが L_c になるまでのゆっくりしたすべり拡大過程が破壊核の成長過程である。ここで実験的に観測された現象は図2あるいは図3の摩擦構成則に基づく破壊拡大の数値シミュレーションによっても再現することができる(例えば、Shibazaki and Matsu'ura, 1998)。これにより実際の地震断層で急激なすべり破壊が発生する前にどの程度の破壊核の成長があるのかが予測可能となったのである。例えば、加藤・平沢(1996)はすべり速度と状態に依存する摩擦構成則に基づき、将来発生する可能性がある東海地震の破壊核成長のシミュレーションを行っている。彼らは破壊核の成長により地表で観測される異常地殻変動の計算も行っている。このような計算に基づき、地震予知のための最適な観測体制を計画する事が可能になった。現在の気象庁による東海地域の地震予知のための監視業務はこの考え方に則っている。摩擦構成則に基づいたシミュレーション全般やその東海地震への応用については本ジャーナル1998年12月号でも平原和朗博士や吉田明夫博士によって詳しく解説されており、それを参考にいただきたい。

実際の断層運動で破壊核の成長は実証されているのだろうか。これに関しては実際の地震で観測される地震波初動の立ち上がり部分に注目し、震源上で急激なすべりが発生する前にゆっくりしたすべりが発生していると指摘されている(Iio, 1992; Ellsworth and Berroza, 1995)。さらにこのゆっくりしたすべりの継続時間は地震の最終的な規模に比例しているとされている。しかし一方で実際の地震の破壊核の成長は仮に存在するとしてもそれは地震の最終的な規模には依存していないとの主張もある(例えば、Mori and Kanamori, 1996)。このように実際の地震で観測可能な大きさをもつ破壊核の成長が存在し、なおかつそれが地震の最終的な規模と相関を持つということは必ずしも観測事実としては確立していないのが現状であろう。しかしこれが実際に自然界の法則として成り立つのなら地震予知は非常に有望であると

言える。なぜなら大きな地震ほど破壊核の成長を観測しやすいということになるからである。

それでは摩擦の構成則から破壊核の規模と最終的な地震の規模に相関を予測することは可能であろうか。これまで見てきたように摩擦構成則がすべり量に対応する程度の波長の不均質性を原因とするすべり過程を記述したものであるのに対して、地震の最終的な規模を議論するためには最終的な断層の大きさに対応する波長の不均質性を扱う必要があると考えられる。従って、すべり量に対応する短波長の不均質性と断層の大きさに対応する長波長の不均質性に何らかの相関が期待できるなら、破壊核の規模と最終的な地震の規模の相関を理論的に予測できるであろう。最近、ゆっくりしたすべりの継続時間が地震の最終的な規模に相関するという事実を、摩擦構成則の観点と断層上のより長波長の強度分布の不均一概念である断層アスペリティーの観点を取り入れて説明を試みた例もある(大中, 1998)。観測と理論の両面から破壊核の規模と最終的な地震の規模の相関が自然界の法則として成り立つのかどうかを明らかにしていくことが非常に重要となっている。

おわりに

以上、岩石の摩擦現象という側面から地震の断層運動を見てきた。急激なすべり現象である地震発生開始時には必ず破壊核形成という非常にゆっくりとしたすべりが発生し、そのゆっくりしたすべりは地表においても観測できる可能性があることが最近の研究で明らかになっている。この可能性の有無を追求するためには自然の地震断層が摩擦構成則のパラメーターでどのような値をとるのかを明らかにすることが重要であり、地下深部での断層上の温度、圧力や不均質性、断層粘土の状態を明らかにするための観測研究が望まれる。

参考文献

- Aki, K., 1979, Characterization of barriers on an earthquake fault, *J. Geophys. Res.*, 84, 6140-6148.

- Andrews, D.J., 1976, Rupture velocity of plane strain shear cracks. *J. Geophys. Res.*, 81, 5679-5687.
- 青地秀雄・松浦充宏, 1998, 地震発生過程の支配方程式としてのすべりと時間に依存する断層構成則, *月刊地球*, 20, 528-533.
- Brace, W.F. and J.D. Byerlee, 1966, Stick-slip as a mechanism for earthquakes, *Science*, 153, 990-992.
- Dieterich, J.H., 1979, Modeling of rock friction 1. Experimental results and constitutive equations, *J. Geophys. Res.*, 84, 2161-2175.
- Ellsworth, W.L. and G.C. Beroza, 1995, Seismic evidence for an earthquake nucleation phase, *Science*, 268, 851-855.
- Husseini, M., D.B. Jovanovich, M.J. Randoll and L.B. Freund, 1975, The fracture energy of earthquake, *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 43, 363-385.
- Ida, Y., 1972, Cohesive force across the tip of a longitudinal-shear crack and Griffith's specific surface energy, *J. Geophys. Res.*, 77, 3796-3805.
- Iio, Y., 1992, Slow initial phase of the P-wave velocity pulse generated by microearthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 477-480.
- 加藤尚之, 1996, 非地震性すべりの発生機構, *地震* 2, 49, 257-275.
- 加藤尚之・平沢朋郎, 1996, 仮想東海地震に先行する非地震性すべりと地殻変動の予測, *月刊地球号外*, 14, 126-132.
- 柔原保人, 1989, 岩石の摩擦特性と地震断層運動論, *地震* 2, 42, 105-116.
- Mori, J. and H. Kanamori, 1996, Initial rupture of earthquakes in the 1995 Ridgecrest, California sequence, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 2437-2440.
- 大中康馨, 1998, 地震発生に至る過程と予測: その物理法則と地学的環境要因の重要性, *地震* 2, 50, 別冊, 129-155.
- Ohnaka, M. and Y. Kuwahara, 1990, Characteristic features of local breakdown near a crack-tip in the transition zone from nucleation to dynamic rupture during stick-slip shear failure, *Tectonophysics*, 175, 197-220.
- Okubo, P.G. and J.H. Dieterich, 1986, State variable fault constitutive relations for dynamic slip, In *Earthquake Source Mechanics (Am. Geophys. Union Monogr. 37)*, pp. 25-35.
- Papageorgiou, A.S. and K. Aki, 1983, A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion, II, Applications of the model, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 953-978.
- Ruina, A., 1983, Slip instability and state variable friction laws, *J. Geophys. Res.*, 88, 10359-10370.
- Shibazaki, B. and M. Matsu'ura, 1998, Transition process from nucleation to high-speed rupture propagation: scaling from stick-slip experiment to natural earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 12, 14-30.
- 多田 堯, 1998, 跡津川断層における地殻変動, *月刊地球*, 20, 142-148.
- Takeuchi, K. and M. Kikuchi, 1973, A dynamic model of crack propagation, *J. Phys. Earth*, 21, 27-37.
- Zhieren, N., 1984, Estimates of fracture parameters of earthquakes, *Pure Appl. Geophys.*, 122, 645-661.

内陸地震の危険度を探る

活断層トレンチ調査の成果

隈元 崇

はじめに

日本は地震国であるといわれ、アメリカ・カリフォルニア州やトルコ、ニュージーランドと並んで世界で地震が多く起こる地域として必ず取り上げられる。地震の起こる原因や地震分布の偏在は現在プレートテクトニクス理論から統一的な説明がなされている。日本列島に被害を及ぼすような地震は、(1) 狭まるプレート境界である海溝（日本の周辺では、北海道・東北沖の日本海溝や中部本州・四国沖の南海トラフ）を発生源とするプレート間地震、(2) 沈み込むプレートの内部で起こるやや深い地震、そして(3) 島弧地殻の深さ約20 km 内を発生源とする内陸直下型地震に大別できる。これら3タイプの地震で規模を示すマグニチュード M を比較すると、(1) の海溝型プレート間地震ではおおよそ $M8$ であるのに対し、(3) の内陸直下型地震はほとんどの場合 $M7.5$ 以下でやや小さい。しかし、その発生源である「活断層」が社会活動の営まれる都市部に近接するのでひとたび地震が生じたときの影響は非常に大きい。

活断層は「最近の地質時代（過去約50万年間）に繰り返し活動し、将来も活動することが推定される断層」と定義されている。過去100年間の地震に関する調査によると、大規模な被害を及ぼした内陸直下型地震では、地形学的に認められる活断層に沿って地表に変位が現れている（活断層研究会, 1991）。このことから、内陸地震の危険度を評価するためには、過去の内陸地震の変位を記録している活断層地形を十分に調査する必要がある。カリフォルニア州などではこのようなデータに基づいた地震危険度マップが既に公にされている。一方日本では、1948年の福井地震を最後に

1995年の兵庫県南部地震まで半世紀近くにならなかって大地震が都市部直下で起こらなかったために、活断層研究者と一部の地震研究者を除けばその危険度評価に関する議論は十分には行われていなかった。しかし兵庫県南部地震の発生以降、活断層や内陸地震への関心が高まり、地方自治体による活断層調査も進められている。ここで得られたデータは科学技術庁・地震調査研究推進本部など公の機関によって解析が進められ、日本の地震危険度マップ作成のための資料として利用されようとしている。

そこで本稿では、これまでの研究で明らかとなった活断層研究の成果を概観するとともに、活断層トレンチ掘削調査の結果を用いた長期的な地震危険度評価の方法と結果の紹介、および現状の問題点の指摘を行うこととする。

地震の危険度評価に必要なパラメータ

地震の危険度評価を行うために必要な多くの要素のなかでも、(1) 地震の起こる場所、(2) 地震の規模、(3) 地震の起こる時期、の3点はもっとも重要である。特に(3)について月や日の単位で警報を出すことを目標とする短期的地震予知の試みが、日本での大規模地震対策特別措置法（昭和53年制定）に則った東海沖地震を対象とする調査・観測やギリシャのVAN法など数多く行われているが、現在でもその可否についてさまざまな議論もある。

これとは別の地震危険度評価手法として、歴史地震調査や古地震調査結果など、過去の地震の規模や頻度に関するデータを統計的に解析することによる長期的な評価も研究されてきた（例えば、Kawasumi, 1951；損害保険料率算定会, 1986）。

歴史地震の調査は古文書など文献に残された過去の地震データを扱い、古地震調査では地形学的手法や活断層のトレンチ掘削調査などから歴史時代以前の活断層の活動史を明らかとすることを目的とする。このようにして得られてきた活断層に関する新しい知見は、対象とする期間を30年から100年といった長期に設定する場合の活断層の地震危険度を評価できるほどの質・量となりつつある。

(1) 内陸地震の場所の予測 日本活断層の分布図は、1970年代から地形学研究者により行われてきた変動地形の空中写真判読から既に作成されている(例えば活断層研究会, 1991: 図1)。事実、兵庫県南部地震の地表変位も、淡路島では既に認定・記載の行われていた野島断層に沿って出現した。

ただし、全ての内陸地震が常に地表変位を伴うわけではないことも事実である。兵庫県南部地震の際にも、本州の神戸側では既存の活断層も含めて地表変位は出現しなかったといわれている。この原因として堆積層の厚さの違いや1596年慶長地震の震源断層の未破壊部分との関連が議論されているが、後述する活断層のセグメント化の問題とあわせて将来の課題である。これとは別に、1995年4月の新潟県の地震($M6.0$)、1997年の3月と5月に発生した鹿児島県薩摩半島の地震($M6.3$, $M6.2$)、同年6月の山口県北部地震($M6.1$)などでは震源直上のごく狭い範囲で建物被害などが見られたが、やはり地表変位を伴わなかった。これは、このような中規模の地震を生じさせた活断層の面積が小さく、地震発生層である上部地殻全域に破壊が及ばなかったためと考えられている。一方1998年の岩手県雫石地震のように、地表に近いところで発生する中規模地震の場合には、短い地表変位が観察されることもある。

以上のような地震の規模と地表変位の有無を歴史地震について調べると、地表変位を伴うか否かの境は経験的に $M6.8\sim7$ 程度と考えられる。さらに、日本のような湿潤な環境下において1回の地震に伴う地表変位が累積して形成される変動地形が明瞭に保存されていることから、活断層は過

去に繰り返し活動していたことは明らかである。よって対象とする内陸地震を $M7$ 以上とすれば、将来の内陸地震の発生場所は活断層分布図に記載された活断層であると考えてよい。地形から活断層を判定する手法については、建設省国土地理院(1998)や渡辺・鈴木(1999)に判読方法と事例が多数紹介されている。

(2) 内陸地震の規模の予測 活断層から生じる地震の規模の予測について、松田(1975)は日本の明治以降の地震に関するデータから M と活断層の長さ L (km)の関係を経験的に

$$\log L = 0.6M - 2.9 \quad (1)$$

と求めている。この式を逆に活断層分布図上に示された活断層の長さにあてはめて、将来の地震の規模を推定することがこれまで多く行われてきた。しかし、野外で観察される活断層には数メートルと小さなものから数キロメートルに至るさまざまな規模の不連続(ギャップやステップ)が存在するため、予測したい地震の破壊域の始点と終点の決定には解釈が入らざるを得ない。例えば1:25,000地形図上に記載された変位地形を表す線分を、1つの地震を起こすと考えられる単位にまとめて“〇〇断層”という名称がつけられる。このような断層の長さはほとんどが10kmから20km程度であり、(1)式を用いると想定される地震の M は6.5から7.0となる。

ところが過去の地震では複数の活断層が連動して同時に活動した例がある。1891年の濃尾地震($M8.0$)の際には、地表変位が温見、根尾谷、梅原の3つの活断層の延長80kmに及んだ。これらはあわせて濃尾活断層系と呼ばれている。またアメリカで1992年に起こったLanders地震($M7.4$)でも、3つの既存の活断層(Emerson断層, Homestead Valley断層, Johnson Valley断層)に沿って変位が進行した。このように、複数の活断層をまとめてより規模の大きい地震が起きる可能性を探る作業を活断層のグループ化と呼び、まとめられた活断層の集合は活断層系あるいは活断層帯となる。活断層系(帯)が一度に破壊して生じる地震を一括放出型地震と呼ぶ。一方、個々の断層が独立に活動するときの地震を分割放出型地震

2. 阿寺断層系
3. 糸魚川-静岡構造線活断層系
4. 北伊豆断層系
5. 中央構造線活断層系
6. 山崎断層系
7. 濃尾断層系
8. 陸羽断層系
9. 御母衣断層系
10. 花折断層系
11. 琵琶湖西岸断層系
12. 富士川断層系
13. 伊那谷断層系
14. 有馬-高槻構造線/六甲断層系
15. 跡津川断層系
16. 北上低地断層系
17. 福島盆地西縁断層系
18. 双葉断層
19. 会津盆地西縁断層系
20. 立川断層
21. 郷村断層
22. 山田断層
23. 仲禅寺断層
24. 長尾断層
25. 菊川断層
26. 警固断層
27. 日奈久断層



図1 日本の活断層分布図(活断層研究会, 1991)と, 1998年までに結果が学会誌等で公表されたトレンチ調査地点。四角で囲まれた活断層系では複数のトレンチ調査が行われたことを示す。

と呼び, 長大な活断層系内の不連続部に注目してその発生域を区分することは活断層系のセグメント化という。

地震の規模予測のためには破壊域の推定精度の向上が不可欠である。そこで, これまでのような活断層間の不連続部の距離を機械的に設定するグループ化・セグメント化だけでなく, 最近では活断層の地表での分岐形態を指標として破壊の開始地

点や破壊域の推定を行う試みが提案されている(中田ほか, 1998)。また, 地表に見られる活断層の平面的幾何学形態に加えて地下構造データも利用され始めている。地震の規模予測とその基礎データである活断層のグループ化・セグメント化の作業は, 地震危険度評価の中で次に述べる地震の頻度とも関係して非常に重要であり, 新しい成果が望まれる課題である。

(3) 内陸地震の頻度の予測 活断層の平均活動間隔 R を変動地形学的に求める際には次式が用いられる。

$$R = D/S \quad (2)$$

S は活断層の平均変位速度で、河成段丘など形成年代のわかっている地形の総変位量を計測し年代で除することによって求める。1回の地震での最大変位量 D (m) は(1)式と同じデータから経験的に

$$\log D = 0.6M - 4.0 \quad (3)$$

と求められている(松田, 1975)。(2)式的前提は、ある活断層の活動間隔はランダムではなく、むしろ地震によって放出した地殻の歪エネルギーを回復するための一定の期間 R を必要とし、また1回の地震で放出されるエネルギーもほぼ同じ大きさであるという弾性反発説といえる。

(3)式を用いる際には、地震時に観察される活断層に沿う変位量の分布は場所によって大きく異なり、 D は最大変位量であることに注意する必要がある。さらに、変位量の分布パターンやある場所で計測された1回の地震の変位量は同一の活断層において繰り返す地震ごとにいつも同じであるのか、といった問題を考えると、(2)式の不用意な使用は将来の地震に関してまちがった解釈を生む危険を残している。

このことについて Schwartz and Coppersmith (1984) は、変位量の分布パターンの考えるモデルとして、a: 変動変位モデル、b: 一様変位モデル、c: 固有地震モデルを提示した(図2)。変動変位モデルでは地震の起こる範囲も変位量も地震ごとに異なり将来予測は不可能である。そこで Sieh and Johns (1984) は、San Andreas 断層系の中央部 300 km の区間の最新の活動である 1857 年の地震とそれ以前の地震の変位量の分布を実証データとして測定した。その結果、この区間では 1857 年の地震時の変位量とよく似た分布が、過去の地震においても繰り返されていたことが明らかとなった(固有地震モデル)。

将来の地震の規模や時期を推定するためには、固有地震モデルが断層の活動を一般化していれば都合がよい。しかし、San Andreas断層系の Pal-

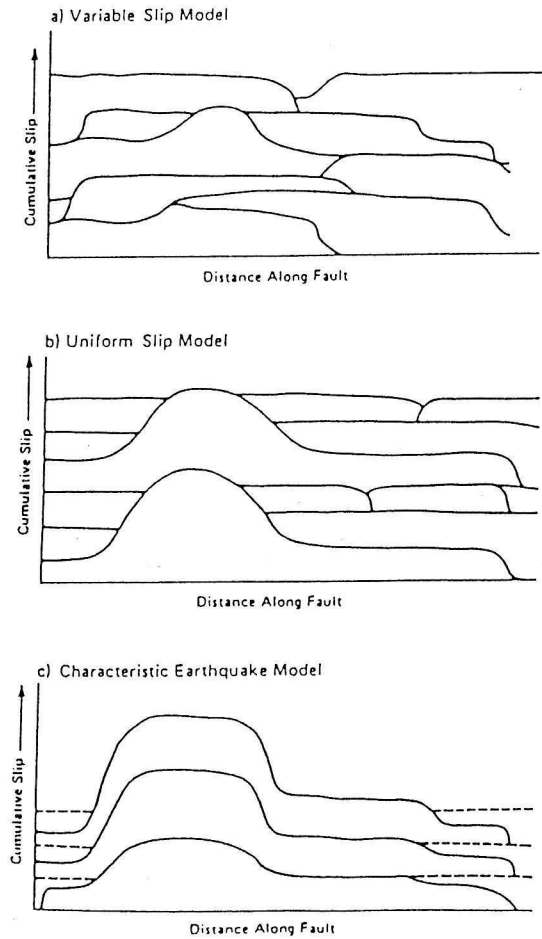


図2 活断層に沿う方向の変位分布を考慮した地震の繰り返し発生モデル (Schwartz and Coppersmith, 1984, a: 変動変位モデル, b: 一様変位モデル, c: 固有地震モデル)

lett Creekセグメントでは、むしろ一様変位モデルに近い挙動を示すとの報告もある(Sieh, 1984)。また最近では各モデルを断層発達史と関連させた議論も始まっており(例えば、Wesnousky, 1994; Stirling et al., 1996)、実際の活断層はこれらのモデルの中間的な振る舞いをすると考えられる。このばらつきの程度を考慮した固有地震モデルの発展的モデルとして時間予測モデルや変位量予測モデルが提唱され(Shimazaki and Nakata, 1980)、その有効性が歴史地震の記録やトレンチ調査結果を用いて検証されつつある。

(4) 活断層トレンチ調査の成果 日本の内陸地震の危険度評価を行うには、上に述べた地震の

場所、規模、および頻度に関するモデルだけでは十分ではない。例えば、兵庫県南部地震を起こした六甲-淡路活断層系の活動間隔はその後の調査で1000~2000年と推定されている。ここで弾性反発説を地震発生第一近似モデルとすると、兵庫県南部地震前後の同断層系の地震危険度確率は大きく異なることになる(本稿では本震のみを対象とし、これによって二次的に引き起こされる余震は考慮しない)。つまり、より実際的な地震危険度評価には活断層の過去の履歴を考慮することが必要である。このために活断層のトレンチ(掘削)調査が行われている。トレンチ調査では、バックホウを用いて活断層を横切る人工的な溝を掘ることによってその壁面の層序から過去の地震の変位を読みとったり、木片や埋没土壌、火山灰などの年代試料から活動時期に関する情報を得る。このような調査は日本では1978年以来大学や研究機関の研究者を中心に行われてきたが、兵庫県南部地震以降は国の政策によって地方自治体による調査も行われるようになった。

さらに、トレンチ調査を隣接する活断層で複数行い、地震の活動間隔や最新の活動時期に関する成果を比較することで、活断層のグループ化・セグメント化にも有効なデータを得られる。最近Kumamoto and Wesnousky(投稿中)は1998年までに公表された日本のトレンチ調査結果のレビューを行い、(1)個々の活断層の活動間隔には規則性があるのか、(2)地震が起るとき、活断層系は常に全長にわたって破壊するのか、あるいはセグメントに分かれて活動するのか、という問題の検討資料とした。その結果、活断層系のなかでは破壊が全長に及ぶような地震を起こす場合とセグメントごとに分かれて活動する場合があること、また次節で概略するように、活断層の活動間隔は完全な周期性は示さないが、個々の活断層から全く不規則に地震が起るのではなく意味のある平均的な値を持つこと、を示した。

ここでは具体例として、1930年の北伊豆地震(M7.0)を起こした北伊豆断層系でのトレンチ調査結果を図3に示す。北伊豆地震時の地表変位は、断層系内北部の丹那断層から浮橋中央断層、

浮橋西断層を経て、それらに共役な南部の姫之湯断層にまで達した。図3の活断層トレース図中の番号は、トレンチ調査結果を示す図の番号に対応する。トレンチ調査結果図中の長方形で示されている期間が、年代測定誤差を含んだ1回の地震の推定発生時期を表している。長方形の辺が欠けた部分は、年代資料が正確に得られないため時期が確定できていないことを示す。また、トレンチ調査結果の論文に推定地震発生時期の誤差範囲が明記されていない場合は楕円記号で示した。活動間隔の規則性に関しては、丹那断層の名賀(調査地2)でのトレンチ調査で詳しい結果が得られている(丹那断層発掘調査研究グループ, 1983)。ここでは深さ7mのトレンチ壁面に、最近の7000年間に8回の古地震の痕跡が認められた。その平均活動間隔は、地震発生時期の誤差の中央値をとると700~1000年と規則的であった。しかし、浮橋中央と姫之湯の両断層のトレンチ調査結果では、丹那断層の約700 B.P.と約1100 B.P.の地震に対応する痕跡が認められていない。これは、北伊豆断層系の中で1930年の北伊豆地震時の活動域は固定的なものではないことを示すと考えられ、トレンチ調査結果の時間空間分布から見た活断層系のセグメント化に関する考察の一例である。

ここで見られるように、トレンチ調査による古地震では歴史時代の地震とは異なり地震の発生時期推定に誤差を含むことが大きな問題点である。その原因には、トレンチ掘削で露出した壁面から木片や古土壌層など年代測定に適したサンプルが常に得られるわけではないこと、サンプルが地震の直前直後に堆積したものばかりではないこと、また年代測定法自体の計測誤差が避けられないこと、が挙げられる。

古地震調査の年代推定に用いられることの多い放射性炭素年代測定法(^{14}C 法)では、天然に存在する安定な ^{12}C と ^{13}C と半減期約5568年で窒素 ^{14}N へと変化する ^{14}C の同位体比を利用する。具体的には、年代測定試料である有機物の死後 ^{14}C を取り込まなくなった後に、放射壊変の法則に従って減少した試料中の ^{14}C 濃度をガス比例計

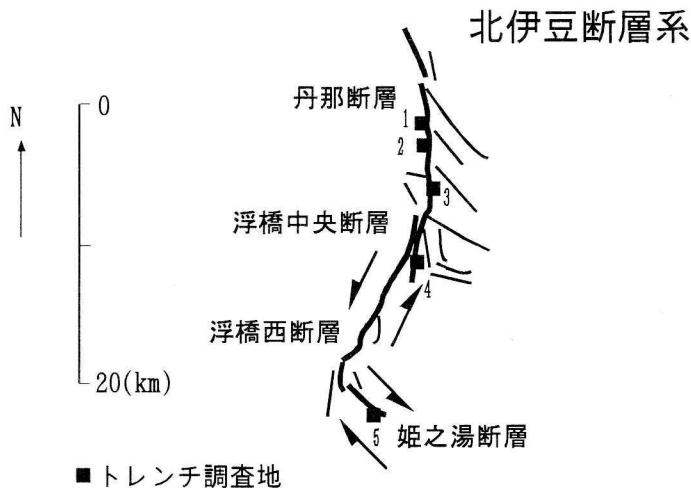
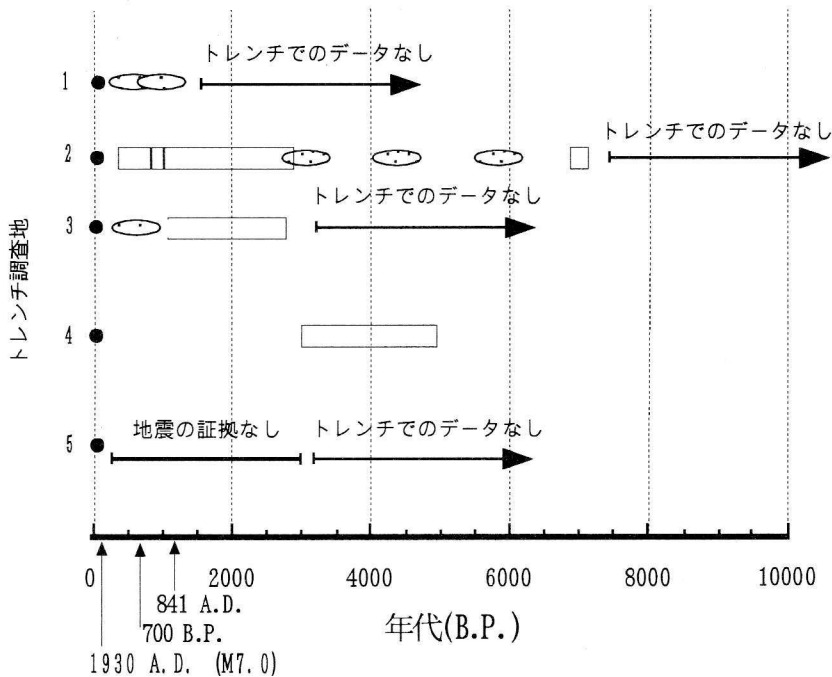


図 3 トレンチ調査より得られた北伊豆断層系における過去1万年間の活動史（縦軸の数字は地図中のトレンチ位置に対応する）。太線で示された活断層で地表変位が観察された。

数管や加速器質量分析装置などを用いて計測することで、その経過時間を求めている（中村, 1999）。この場合の測定誤差は、計数誤差に起因する ± 60 から ± 200 年程度となる。また、この年代測定法では ^{14}C 濃度は時代によらず一定であるという仮定を用いているが、実際には地域差や経年変動が存在する。このため、樹木の年輪やサンゴ、湖沼堆

積物など年ごとの縞模様をなす試料の測定結果から得られた校正曲線を用いて暦年代へ変換して議論することが最近行われているが、トレンチ調査結果への応用は最近始まったばかりである。

このようにトレンチ調査結果には壁面の地層の解釈や年代推定誤差など難しい問題を含むが、歴史時代以前の地震活動を直接記録した唯一の資料

であることはまちがいない。それゆえ、活断層を調査・研究の対象とする実務者・研究者の間の技量を高いレベルで一定に保つために、トレンチ掘削調査地点の選定のための活断層の空中写真判読や地層から古地震を読み取る技術などを資格として認定し、責任のおける調査結果を提出できる体制をつくることも今後考慮すべきである。

トレンチ調査結果から得られる 活断層の長期危険度評価

内陸活断層の歴史地震・古地震データを統計的に扱った研究例として Working Group on California Earthquake Probabilities (WGCEP, 1988) を挙げる事ができる。そこでは、主に歴史地震データから得られた個々の活断層の活動間隔をその平均値で正規化した値をヒストグラムにまとめ、それらが同一の対数正規分布に従うと仮定して最終地震からの経過時間を考慮した危険度評価を行った。さらに 1989 年のロムプリエタ地震 ($M7.1$) の後に該当セグメントの確率を経過時間に関して再計算した改訂も行っている (WGCEP, 1990)。

兵庫県南部地震以降、日本でも同様の研究が行われ始めている (例えば, Suzuki and Matsuo, 1995; 隈元, 1998) が、古地震データが主となるために地震発生時期の推定誤差の評価が問題となる (表 1)。例として日本のトレンチ調査結果に記載された年代推定誤差の中央値を用いて WGCEP (1988, 1990) と同様のヒストグラムを示すために、3 回以上の古地震の履歴が得られているトレンチ調査結果に示された活動間隔 T をそれぞれ求めた。次に、各トレンチごとに活動間隔の平均値 T_{ave} と個々の活動間隔の比 T/T_{ave} を計算した (表 1)。もし活断層が完全な周期性をもつ場合この比は 1 となるが、ここで求められた値は 0.28 から 1.84 の間に分布した [図 4 (a)]。次に、年代推定の誤差の影響をみるために、誤差の範囲内では一様な確率分布が成り立つと仮定し、個々の誤差範囲の中で任意の時点を古地震発生時期とみなして作為的に T/T_{ave} を 1 に近づけた分布

[図 4 (b)] とできるだけ裾を広くとった分布 [図 4 (c)] 比較のために示した。このように、年代推定誤差を考慮すると、トレンチ調査結果を用いた場合でもより周期的なデータを作り出すことができる [図 4 (b)]。あるいは図 4 (c) のように地震がランダムに起こってきたと解釈できるような分布も示しうる。今後は、古地震の読み取りや年代測定に関してより精度の良いトレンチ調査結果を統計的に十分な数集める必要がある。

こうして得られたトレンチ調査結果から活断層の条件付き確率を計算するために、ここでは年代推定誤差の中央値を用いた場合の分布 [図 4 (a)] が、活断層の平均的な活動様式を表していると考ええる。この分布に極端に小さな値や大きな値がないことは、地震エネルギーの蓄積には時間が必要である (=ある大地震の直後に同じ活断層から同規模の地震は起こらない) こと、地殻応力は無尽蔵に蓄積されるものでなくある限界点が存在する (=同じ活断層からは規模の類似した地震が起こる) こと、を示唆していると考えられる。地殻の構成物質は不均質でありまた断層の破壊現象が複雑であることを考えれば、地震の弾性反発説に大きく矛盾しない。地震はランダムであると仮定して理論的に求めたヒストグラム分布との比較からも活断層の活動間隔は準周期的であるといえることができる (Kumamoto and Wesnousky, 投稿中)。

図 4 のような分布が得られればこれを確率密度関数 $g(t)$ で近似し、危険度評価の対象とする活断層の最新活動時期からの経過時間 t_1 をトレンチ調査や歴史地震記録から求めることで、特定期間 Δt の条件付き危険度確率 P_c を次の (4) 式で計算することができる。ここで、(4) 式に表される積分記号は確率密度関数 $g(t)$ で囲まれる面積を求めることを意味し、分母は図 5 の影の付いた部分全体の面積、分子は濃い影の付いた部分の面積にそれぞれ対応する。

$$P_c = \int_{\Delta t} g(t) dt / (1 - \int_0^{\Delta t} g(t) dt) \quad (4)$$

近似するための分布関数として、これまでの研究ではワイブル分布、ガンマ分布、対数正規分布などが用いられてきた。それぞれの分布には特有の

表 1 日本の主要な活断層で行われたトレンチ掘削調査結果 (2つ以上の活動間隔が得られたもの)

活断層系	掘削地点	断層名	古地震記録	T_{ave}	T/T_{ave}	参考文献
北伊豆活断層系	田代	丹那断層	1930 AD ca. 700 ca. 1000	490	1.39 0.61	丹那断層発掘調査 研究グループ (1986)
	名賀	丹那断層	1930AD 400-870 870-960 985-2810 ca. 3070 ca. 4530 ca. 5850 6890-7100 6900-7200	891	0.69 0.31 1.10 1.32 1.64 1.48 1.28 0.17	丹那断層発掘調査 研究グループ (1983)
糸魚川-静岡構造線	並柳	牛伏寺断層	710±80-1520±80 1700±100-1780±80 2210±90-2580±90	604	0.91 1.08	奥村ほか (1994)
	岡谷	岡谷断層	1850±110-2410±120 4040±140-5140±150 8330±200-11740±160	3,940	0.62 1.38	第二次岡谷断層発掘 調査研究グループ (1989)
	茅野	大沢断層	1130±80-1290±80 1750±85-3550±95 5440±110-6470±120 9330±180-17730±530	4,165	0.35 0.79 1.86	糸静線活断層系発掘 調査研究グループ (1988)
阿寺活断層系	三ツ石	萩原断層	1 event after ca. 3100-3900 ca. 3900-5000 ca. 5000-7000 ca. 7000-13600	2,484	1.26 0.38 0.62 1.73	岡田ほか (1988)
	小郷	小和知断層	ca. 250-1760 ca. 3000-4100 ca. 5360-5460 ca. 7450-7870 ca. 9380-9690	2,293	1.39 0.81 0.98 0.82	粟田ほか (1986)
	小郷	小和知断層	419±97 1328±371 5139±158 6324±120 9058±315 10595±382	2,046	0.47 1.86 0.58 1.34 0.75	遠田ほか (1995)
	小和知	小和知断層	1 event after ca. 3350 ca. 3600-3880 ca. 5280-7280 ca. 7650-7820	2,457	1.37 1.03 0.59	地質調査所 (1988)
	田瀬	阿寺断層	440±80-770±80 2760-2970 4240-8740	3,063	0.82 1.18	遠田ほか (1994)
山崎断層系	安志	安富断層	750±80-1170±120 1910±70-2280±75 ca. 3000-5560±240	1,659	0.61 1.39	岡田ほか (1987)
濃尾活断層系	高田	梅原断層	1891 AD ca. 19200-20900 ca. 27940-30000 3 older events w/o dating	14,455	1.38 0.62	岡田ほか (1992)
富士川活断層系	芝川	芝川断層	ca. 2900-4500 ca. 5300-7600 ca. 8200-10000 ca. 13500-18500	4,100	0.67 0.65 1.68	岩田ほか (1997)
跡津川活断層系	野首	跡津川断層	1858 AD 4950-5450 6800-7800 8400-8800	2,836	1.801 0.740 0.458	跡津川断層発掘調査団 (1986)

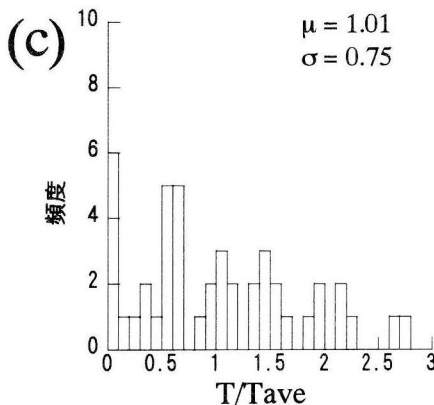
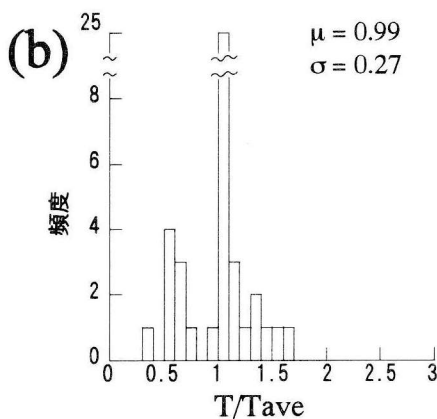
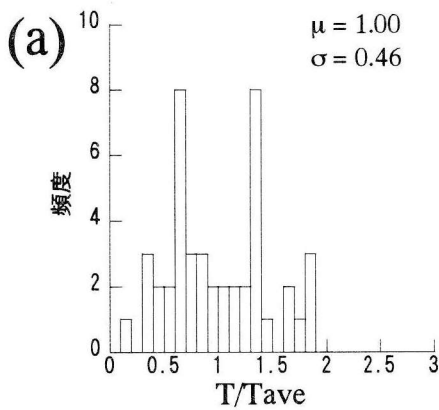


図4 活断層のトレンチ調査結果で得られた地震発生間隔をそれぞれの平均値で正規化した分布。(a) 年代推定誤差の中央値を採用、(b) 年代推定誤差の範囲内で最大限に周期性を強調した場合の分布、(c) 年代推定誤差の範囲内で最大限に不規則性を強調した場合の分布。 μ ; 平均値, σ ; 標準偏差.

癖があるが、長期評価手法検討分科会(1998)は赤池情報量基準(AIC)を用いた各関数の当てはまり具合に関する比較を行った結果、有意な違いはないことを示している。ここでは長期評価手法検討分科会(1998)と同様に、パラメータが平均値と標準偏差(図4)で表されていて直感的に理解しやすい対数正規分布を(4)式の $g(t)$ として以下の計算に用いることとする。

これに対して活断層の活動履歴を考慮せずに地震は活断層からランダムに発生するという仮定を用いると、危険度確率 Pp は(5)式のポワソン過程から計算される。ここで f は活断層の平均活動間隔の逆数で示される活動頻度である。

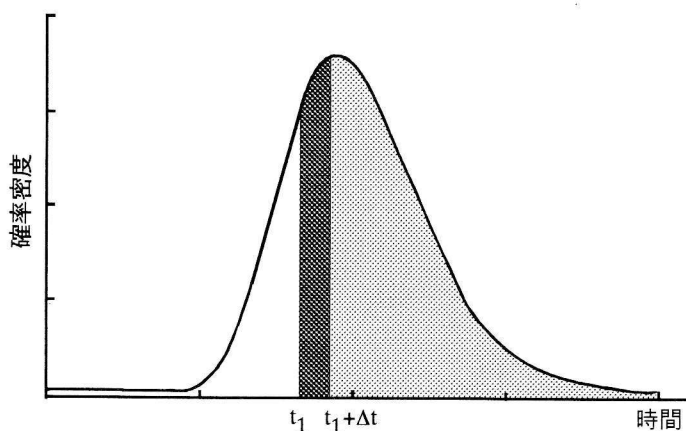
$$Pp = 1 - \exp(-f\Delta t) \quad (5)$$

これら2種類の活断層の危険度評価の違いを示す例として、1930年に北伊豆地震を起こした丹那断層[平均活動間隔は996年(丹那断層発掘調査研究グループ, 1983)]と、841年に信濃地震を起こしたとされる糸魚川-静岡構造線に属する牛伏寺断層[平均活動間隔は677年(奥村ほか, 1994)]について、21世紀中のある時点でそれ以降の50年間に地震の発生する確率をそれぞれ求めた。丹那断層では最新の地震からまだ70年しか経過していないので、条件付き確率 Pc は21世紀中の前半はほとんど0に近い。一方 Pp は約6%で常に一定である。牛伏寺断層では経過時間は平均活動間隔を上回る1160年と考えられており、条件付き確率 Pc は2001年の12%から2050年の13%へ時間に連れて増加する。しかし、 Pp は時間によらず約6%と一定である。

丹那断層と牛伏寺断層を比較すると、地震の弾性反発説と最新地震からの経過時間を良く表すのは条件確率 Pc であり、最新の地震からの経過時間と平均活動間隔が明らかとなっている場合には、条件付き確率のほうがポワソン過程を用いた確率に比べて活断層の実際的な危険度評価に有効であるといえる。

日本の内陸活断層の長期危険度評価マップ

前節と同様の手法を日本全国の活断層データに



t_1 : 最後の地震からの経過時間
 Δt : 地震危険度評価で対象とする期間

$$\text{条件付確率} = \frac{\text{濃い影のついた部分の面積}}{\text{影のついた部分全体の面積}}$$

図 5 地震発生間隔の分布を近似した確率密度関数から条件付確率を求めるための概略図。条件付き確率は、濃い影のついた部分の面積を影のついた部分全体の面積で除して求められる。 t_1 : 最新地震からの経過時間, Δt : 危険度評価の対象とする期間。

適用して、日本の内陸活断層の長期危険度評価マップの作成を試みた。ただし、活断層や古地震に関するデータが現状では不十分なものもあり予察的な結果である。

まず日本列島に分布する 4600 あまりの主要な活断層の線分を、松田 (1990) の基準を用いて 383 の起震活断層系にグループ化し、位置、長さ L (km)、平均変位速度 \dot{D} (mm/yr)、活動様式、期待される地震の大きさを地震モーメント M_o で表したデータベースを作成した (Kumamoto, 投稿中)。地震モーメントは地殻の剛性率 μ ($=3.3 \cdot 10^{11}$ (dyne/cm²)), 断層の変位量 D , 断層面積 S (断層長 L と深さ方向への長さ W の積) を乗じて計算される地震の規模を示す値で、日本の活断層については(6)式によって活断層の長さ L と経験的に関連付けられている (Wesnousky et al., 1984)。

$$\log M_o = 23.5 + 1.94 \log L \quad (6)$$

次にトレンチ調査の行われていない活断層の活

動間隔 T を求めるために、データベース中の \dot{D} から 1 年あたりの地震モーメント放出率を (7) 式を用いて求め、さらに (8) 式に (6) と (7) 式の結果を代入した。 (7) 式の断層面積 S には、断層の長さ L が 20 km 以上の活断層系では、脆性破壊の及ぶ地殻全体に破壊が及ぶと仮定して W を 20 km とし、それ以下では $W=L$ とした。

$$\dot{M}_o = \mu \dot{D} S \quad (7)$$

$$T = M_o / \dot{M}_o \quad (8)$$

ここまでの準備で (5) 式は計算できるが、(4) 式を計算するためには最新の活動時期からの経過時間 Δt に関するデータが不足している。これまでの歴史地震記録 (宇佐美, 1987) や活断層トレンチ調査、また地震考古学 (寒川, 1997) などの調査によって判明しているデータの数は起震活断層系全体の約 1 割に過ぎない。活動間隔の確率分布を利用した経過時間の統計的な推定も試みられてはいる (亀田・奥村, 1985) が、本稿では経過時間の不明な活断層については日本の歴史地震記録

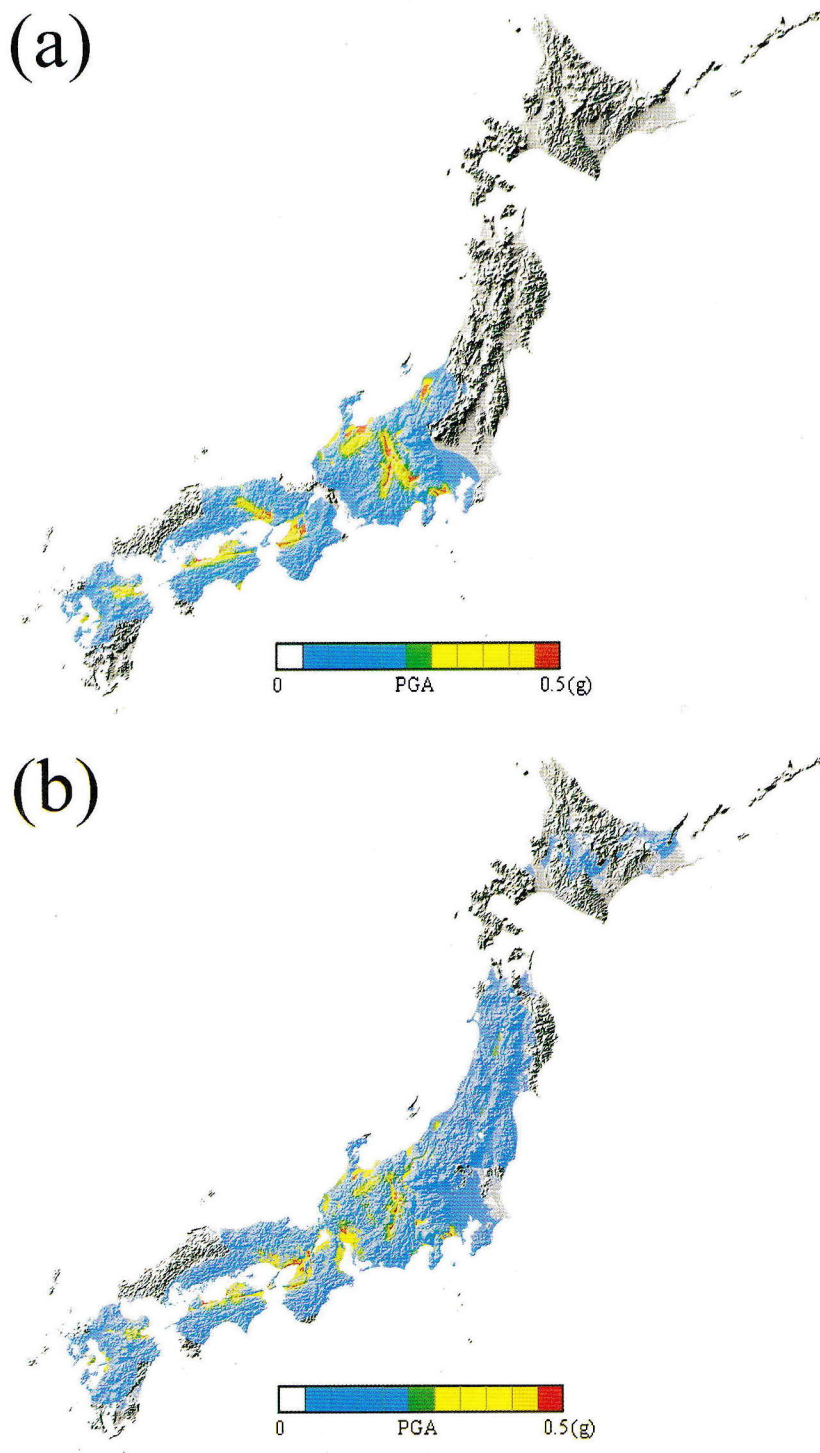


図 6 活断層および古地震データから求めた表層地質による増幅効果を考慮した場合の最大水平加速度 (PGA, 単位は重力). (a) 条件付き確率に基づく, 10%の確率で西暦 2001 年から 50 年間に期待される最大水平加速度 (個々の活断層の経過時間に関するデータが不十分なために一部危険度が過少評価されている; 特に北海道・東北地方). (b) 地震はランダムに起こると仮定したとき, 任意の 50 年間に期待される最大水平加速度.

の長さとはほぼ同じ1000年を仮定する。よって経過時間の不明な活断層の危険度確率は、経過時間を過少に見積もっている可能性が大きいことから真の値より小さい場合が多いと予想される。今後経過時間に関するデータを整備し計算を改定することが急務である。

以上のような仮定の下で、日本列島を覆う1 km メッシュの各地点ごとに、(4)式から計算した2001年から2050年の間に10%の確率で期待される最大水平加速度(PGA, 単位は重力) [図6(a)] と任意の50年間に10%の確率で期待されるPGA [図6(b)] を示した。メッシュの各地点と活断層の距離減衰式には Fukushima and Tanaka (1991) を用いた。さらに、表層地質の違いによる地震動への影響を考慮するために、国土地理院発行国土数値情報の1 km メッシュの表層地質図(ks-156-1)を基盤、段丘堆積物、沖積層に再区分して計算に組み入れ、それぞれ地震動の増幅率は0.6, 1.0, 1.4とした(Fukushima and Tanaka, 1991)。

図6(a)では過去百年間の地震(陸羽地震、濃尾地震、北丹後地震、福井地震、兵庫県南部地震など)を起こした活断層周辺のPGAは小さい。図6(b)では活断層の活動履歴は考慮されていないので、これらの地域の危険度は高いままである。これとは逆に、図6(a)の糸魚川-静岡構造線や伊那谷断層帯、山崎断層系、新潟、富山、別府周辺のPGAは図6(b)に比較して大きく、相対的に危険度の高い地域だといえる。しかし、図6(a)では北海道・東北地域の危険度が著しく小さい。これは、この地域に多く分布する逆断層のトレンチ掘削調査が困難であり、過去の履歴や平均変位速度の見積もりが不十分なためである。実際には変動地形を明瞭に残す多くの活断層が分布しており(図1)、今後の調査を待って改訂する予定である。

ま と め

本稿では、活断層データとトレンチ調査結果を活断層の長期地震危険度評価へ適用するための手

法と問題点、および予察的な結果を紹介した。しかし、これまで得られたデータ数とその精度はまだまだ十分なものではなく、今後も地道な地形学的調査やトレンチ調査による基礎データのさらなる蓄積が必要である。国の地震調査研究推進本部では、基盤的調査研究の1つとして今後10年間で全国約100の主要な活断層系を基盤的調査観測の対象として調査を完了する予定である(総理府地震調査研究推進本部, 1998)。

トレンチ掘削調査結果から明らかとなったように、活断層によって生ずる内陸地震の活動間隔は1000年から10000年の単位で、日常の人間活動から見ると非常に長い。しかし、ひとたび地震が起こればその被害は甚大となる。また、個々の活断層の活動間隔は長いとはいえ、図1に示されるように日本の活断層分布密度は非常に高く、被害地震を被る確率は決して小さくない。実際、過去約100年間にM7以上の内陸被害地震は15起きている。今後特に大規模建築物や公共施設、インフラを建築・整備する際や文化財の保護などを考える際には、内陸地震の長期危険度評価を十分考慮する必要がある。

参 考 文 献

- 跡津川断層発掘調査団, 1986, 1982年跡津川断層(野首地区)トレンチ調査, 活断層研究, 3, 59-64.
- 粟田泰夫・佃 栄吉・山崎晴雄・水野清秀, 1986, 阿寺断層の最近の活動史—加子茂・付知・坂下・山口におけるトレンチ発掘調査から—, 第2回阿寺断層現地シンポジウム報告集, 1-11.
- 第二次岡谷断層発掘調査研究グループ, 1989, 1984年糸静線活断層系(岡谷地区中島A遺跡地)トレンチ調査, 活断層研究, 6, 64-71.
- Fukushima, Y. and Tanaka, T., 1991, A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Shimizu. Tech. Res. Bull., 10, 1-11.
- 糸静線活断層系発掘調査研究グループ, 1988, 糸静線活断層系中部, 若宮, 大沢断層の性格と第四紀後期における活動—富士見, 茅野における発掘調査—, 地震研究所彙報, 63, 349-408.
- 岩田孝仁・小澤邦雄・稲葉晴伸, 1997, 富士川河口断層

- 帯, 入山断層系に関する調査, 平成7年度・平成8年度地震調査研究交付金成果報告会予稿集, 219-223.
- 亀田弘行・奥村俊彦, 1985, 活断層データと歴史地震データを組み合わせた地震危険度解析, 土木学会論文集, 362, 407-415.
- 活断層研究会, 1991, 新編日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 448 pp.
- Kawasumi, H., 1951, Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 21, 469-481.
- 建設省国土地理院, 1998, 空中写真による活断層の判読法—判読基準カード集—, 財団法人日本地図センター, 89 pp.
- 隈元 崇, 1998, 活断層のトレンチ調査結果を用いて推定した日本の内陸地震の長期危険度評価, 地震2, 50 (別冊), 53-71.
- Kumamoto, T., Wesnousky, S.G., Paleoearthquakes Data in Intraplate Japan—Implications for earthquake recurrence models—, submitted to *Bull. Seism. Soc. Am.* (June 7th, 1999).
- Kumamoto, T., Seismic Hazard Map of Japan and Differences between models and Parameters, submitted to *Geographical review of Japan*, Ser. B (July 6th, 1999).
- 松田時彦, 1975, 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震2, 28, 369-383.
- 松田時彦, 1990, 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, 65, 289-319.
- 中村俊夫, 1999, 放射性炭素年代測定法, 長友恒人編「考古学のための年代測定学入門」, 古今書院, 2-38.
- 中田 高・島崎邦彦・鈴木康弘・佃 栄吉, 1998, 活断層はどこから割れ始めるのか?—活断層の分岐形態と破壊伝播方向—, 地学雑誌, 107, 512-528.
- 岡田篤正・安藤雅孝・佃 為成, 1987, 山崎断層系安富断層のトレンチ調査, 地学雑誌, 96, 1-17.
- 岡田篤正・粟田泰夫・奥村晃史・東郷正美, 1988, 1986年阿寺断層系・萩原断層(乗政地区)トレンチ調査, 活断層研究, 5, 65-70.
- 岡田篤正・渡辺満久・安藤雅孝・佃 為成・平野信一, 1992, 濃尾活断層系から発生した古地震の考察—梅原断層のトレンチ調査—, 地学雑誌, 101, 1-18.
- 奥村晃史・下川浩一・山崎晴雄・佃 栄吉, 1994, 糸魚川-静岡構造線活断層系の最近の断層活動—牛伏寺断層・松本市並柳地区トレンチ発掘調査, 地震2, 46, 425-438.
- 寒川 旭, 1997, 揺れる大地—日本列島の地震史—, 同朋舎出版, 272 pp.
- Schwartz, D.P. and Coppersmith, K.J., 1984, Fault behavior and characteristic earthquake: examples from the Wasatch and San Andreas fault zone, *J. Geophys. Res.*, 89, 5681-5698.
- Shimazaki, K. and Nakata, T., 1980, Time-predictable recurrence model for large earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 7, 279-282.
- Sieh, K.E., 1984, Lateral offsets and revised dates of large prehistoric earthquakes at Pallett creek, southern California, *J. Geophys. Res.*, 89, 7641-7670.
- Sieh, K.E. and Jahns, R.H., 1984, Holocene activity of the San Andreas fault at Wallace creek, California, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95, 883-896.
- 損害保険料率算定会, 1986, 活断層による地震危険度に関する研究, 地震保険調査研究, 1, 149 pp.
- 総理府地震調査研究推進本部, 1998, 日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴—<追補版>, (財)地震予知総合研究振興会地震調査研究センター発行, 395 pp.
- Stirling, M.W., Wesnousky, S.G., Shimazaki, K., 1996, Fault trace complexity, cumulative slip, and the shape of the magnitude-frequency distribution for strike-slip faults: a global survey, *Geophys. J. Int.*, 124, 833-868.
- Suzuki, Y., and Matsuo, M., 1995, A probabilistic estimation of the expected acceleration of earthquake motion by inland active faults and its application to earthquake engineering., *Proc. ICASP 7 Conf.*, 635-641.
- 丹那断層発掘調査研究グループ, 1983, 丹那断層(北伊豆・名賀地区)の発掘調査, 地震研究所彙報, 58, 797-830.
- 丹那断層発掘調査研究グループ, 1986, 1982年丹那断層(田代地区)トレンチ調査, 活断層研究, 3, 52-58.
- 地質調査所, 1988, 1985年阿寺断層(小和知地区)トレンチ調査, 活断層研究, 5, 60-64.
- 遠田晋次・井上大栄・高瀬信一・久保内明彦・富岡伸芳, 1994, 阿寺断層の最新活動時期: 1586年天正地震の可能性, 地震2, 47, 73-77.
- 遠田晋次・井上大栄・久保内明彦・高瀬信一・二階堂学, 1995, 阿寺断層系の活動と1586年天正地震: 小郷地区, 青野原地区, 伝田原地区トレンチ掘削調査, 地震2, 48, 401-421.
- 長期評価手法検討分科会, 1998, 長期的な地震発生確率の評価手法及びその適用例について(試案), 総理府

- 地震調査研究推進本部・地震調査委員会・長期評価部会, 73 p.
- 宇佐美龍夫, 1987, 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 453 pp.
- 渡辺満久・鈴木康弘, 1999, 活断層地形判読—空中写真による活断層の認定—, 古今書院, 184 pp.
- Wesnousky, S.G., 1994, The Gutenberg-Richter or characteristic earthquake distribution, which is it?, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 1940-1959.
- Wesnousky, S.G., Scholz, C.H., Shimazaki, K., and Matsuda, T., 1984, Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic risk : a case study of Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74, 687-708.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988, Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault, U.S.G. S. Open-File Report, 88-398, 62 pp, 1988.
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1990, Probabilities of large earthquakes in the San Francisco bay region, California., U.S. Geol. Surv. Circ, 1053.

地震関係古書談義

金子史朗

この春、地震ジャーナルの編集の方から、表題のテーマで何か書けないかというお話を受けた。一度は種々の事情で辞退を申上げたが、古書の紹介という話ならとお引受けすることになった。

しかし雑誌を戴いて、すっかり気おくれしてしまった。それによく考えてみると、蔵書はいく度か処分しているの、手許にどの位本があるのかも、にわかに見当がつかなかった。情けないやらもどかしいやら、自分ながら呆れている始末。ともかく蔵書をどうするか、を改めて考える良い機会を与えて頂いたことを感謝している。

この稿の準備をはじめた隣の部屋では、今日は畳屋と大工さんらが入っている。部屋に本を積み過ぎて床が抜けたのだというが、押し入れも傷みがひどいのでやっぱり床張りしなくてはダメと言われた。

本棚はどこも前後二重のうえ、ダンボール箱に入った物置の分は探し出すのは難しい。いち度に何10箱など容易には動かせないからである。もう10、20年と顔をみてないものもある。以前、新着の外国雑誌をもてあまし、必要な部分を切り離して袋に入れたことがある。じつはその作業が容易でない。そのうえ、袋に入れたら最後、ほとんど活用した例がないのである。

昨年の暮、一カ月後に手術を控え、あたふたと差当たり不用分と思われるものを処分した。知人を通じて、神田の古書市で業者の競りに掛けて貰った。ダンボール箱につめ、宅急便で送った分は正確に数えてないが、20数箱だったろうか。

小説など、ここでは関係ないが、美しい初版本なので結構、価値が高いと思っていた。あにはからんや文庫化が進んでいて、すっかり事情は変わっていたのである。マンガ雑誌同様、読み捨てる時代になっていたから、価格はガタ落ちになってい

た。ノンフィクションであれ、歴史ものであれ、軒並みダウン。唯一例外は昔のマンガ本で、たまに見つけてはくそ笑むなんて、われながら最低である。

戦後、本に飢えていた時代とは大違いで、^{きこう}稀覯本か、よほどのコレクションでもない限り蔵書で食いつなぐなど妄想の類である。

ひどいのは地学関係の古書である。毎度のことながら、耳を疑う始末である。知人は競りの結果を申訳なさそうに電話で伝えてきた。

「——さん、お気の毒ですがね、あれ（地震など地学関係の本の入ったダンボール箱）、やっぱりダメでした。まったく値段のつかない分もありました。どうしましょうかね」

地学の本だって、古本屋さんの棚では結構いい正札がついているのに。ともかく、落札する業者がいなくては、話にならない。

「いろいろご心配戴いて申訳ありません。適当に処分して下さい」じつは処分して貰うにも手数料がかかるのであるが、友人は気の毒で言えなかった、とあとで知ったのである。ケチで言う訳でないが、宅配便の送料は重いので一箱1,600円前後。

それにしても、なぜ地学の本は古本市場で評価が低いのか。自然災害方面とか、環境問題などの基礎知識を提供する重要な分野なのに、なぜ価値が判って貰えないのか歯がゆい。同学としては残念なことである。

山本夏彦がいつだったか、週刊新潮のコラムで「…大正12年の大地震の話、清水幾太郎は当時独協中学の三年生で家がつぶれて九死に一生を得た。その地震が近くまたあるといくら言っても聞いてくれないと再三書いていた…」という「誰も聞いてくれない地震の話」を紹介していた。

戦後間もなく高等学校理科に地学が登場するのであるが、その地学がなかなか社会に一人前として認知されなかった理由は、この学問を担う側にも責任がある、と望月勝海が『日本地学史』(平凡社)で論じたのは昭和23年である。

渡辺 貫はもう65年前、彼が編集した『地学辞典』(昭10、古今書院)の序文で、こう書いた。影響力の大きな岩波書店など地学関係のみ地質学、古生物学、鉱物および岩石学ならびに地理学などことさら細分しているが、なぜ物理、化学や生物学のように地学講座にできなかったのか、と。これは「党中党を樹て、徒らに異を唱う」もので、はっきり不利だった。

「大地の科学のあらゆる部門を動員し<地学>の一大オルスツレイション(ママ)を構成し以てその標識を明かにせんとするものである」大文章である。

「地学とはなにか、地質学のこと? 地震学は物理学で地学とは無縁? 地学とはGeographyのこと? 惑星地質学ってなに? 世間の認識を限りなく混乱させている元凶はいったい誰?」

そんな次第で、私が古書の話をするのも考えるとおこがましい。地震学のことは知らないが、断層や節理などの割れ目現象に興味を抱いてきた1人として、この方面の古書の話ができればと願っている。

神話・伝説の世界

地震国であるから、私は日本にはたくさんの神話、伝説があるだろうと漠然と思っていた。ところが特別な名前と呼ばれる地震神は知られてない。へそ曲りの考えであるが、記紀編纂時に中央政庁のお役人がローカル神だとして没にしたのかも知れない。ともあれ昔から地震は畏怖の目で見られていたことは世界共通のようである。

ギリシアでは地震の神ポセイドン信仰は、ざっと3000年以上昔から行われていた。クレタの線文字Bの解読によると、ミケーネ時代には知られていた。イオニア海に臨むデュロスの王がおぞましき海神に貢物を捧げていた、という。

旧約聖書の「創世記」は、さらに古い地震伝説を伝えている。その最古の例が、ソドムとゴモラの物語である。その町々は死海の南端にあったと考えられるが、「創世記」19章24-25節によれば主(神)の怒りによって天から硫黄と火とが降り、町も住民も一切が滅ぼされた、と伝えている。同じ旧約聖書の「哀歌」によると、「ソドムは昔、人の手によらないで、またたく間に滅ぼされたのだ」(4-6)と言われている。

この部分の英訳をみると、「overthrown in a moment」の表現となっていて、これなら地震にちがいないと思う。そのことを間接的に証拠立てる初期青銅器時代の遺跡(バブ・ア・ドラやヌメイラなどで前2350年頃、地震で破壊)も知られている(著者『ソドムとゴモラの滅んだ日』中公文庫)。

地震にかんする古代の神話伝説については、地震学者石本己四雄の『地震とその研究』(昭10、古今書院)がほとんど唯一。内外の地震原因論について述べた中でギリシア、ローマなどの哲学者の地震観を紹介しているたいへん貴重である(前記、望月も触れている)。

たとえば小アジアのミレトスは、大地を広い大洋に浮ぶ船にみたと、地震は嵐などによるその動揺にたとえている。船底の水漏れを割れ目から湧出する泉とみるのである(前580年ごろ)。後世、最も大きく、長く影響を与え続けた人物となると、アリストテレスを措いては見当らない。

彼によると、地震は地下の空洞中にある大気が移動するとき起るのだ、という。それにしても、いったいどうしてそんなふう考えたのだろうか。これは私の妄想の類であるが、時代背景も与っていると思う。彼の時代、ギリシアでは森林が枯渇しはじめ、建築用材として石の利用がはじまった。その石は水に溶け空洞のできやすい石灰岩や大理石で、天然の洞穴(風穴)はもちろん、石切場でもそうしたものを観察する機会がふえたのだろう。海の民でもある彼らは、暴浪時に恐ろしいなり声をあげる海食洞のこともよく知っていたことだろう。洞窟内の落盤を地震と結びつける哲学者もいた。地鳴りなどの地下鳴動も、彼ら

の想像力を大いに刺戟したにちがいないのである。

寛永年間（17世紀）、日本で行われていた陰陽道にもとづく地震の説明でも、大地の穴々から大風が吹出そうとするが出口が得られず、無理に上昇するとき地震が起きる、などとみえ、これはアリストテレス流だな、とすぐに判るのである。

が、レオナルド・ダ・ヴィンチの「岩窟と聖母」はどうだろう。そこでは「洞穴は自然が造った驚異的な創造の秘密の場—闇と風とに満ち…強い風のために灯りをつけておくことができぬ」とイメージされているのだが—（斎藤泰弘『レオナルド・ダ・ヴィンチの謎—天才の素顔』, 1987, 岩波書店）。

歴史家ヘロドトスも地学の知識は大したものだった。彼の著書『歴史』（松平千秋訳、岩波文庫）を読むとペルシア戦争時の前5世紀、ギリシアは地震活動期ではなかったか、とさえ思われるほど各地がゆれた。なにかとギリシア側には有利になったもようである。デルフォイの神託所にペルシア軍が迫ったときうしろの岩山が崩れ、被害をうけてその靈験に胆をつぶしたらしいことなどが描かれている（『歴史』8-64他）。

ローマの地理学者ストラボの『地理書』（最近翻訳が出た）では、すでに2000年前、津波は浅い海底で急激な地形変化が生じた結果である、と明確に説明していて驚かされるのである。

世評に反して、大プリニウスもまた、ドキリとするような記述を残している。ミレトスのアナクシマンドロスが靈感により、スパルタ大地震を予知した、などと書いているのだ。ほんとうかどうか当たってみた。この地震は、たぶん歴史家トッキュディデスが『戦史』（久保正彰訳、岩波文庫）で記述した「ラケダイモン人の首都スパルタが大地震に見舞われたと一般に信じられていた」地震（前464年）に該当するものだろう。じつは、この地震はアナクシマンドロス死後のものであるから、この点は明らかに大プリニウスの誤りだと思うのである。数年前、このとき動いた活断層が調査され、年代もほぼ合致するようである。

地震の予感を「井戸から水を汲んでいるとき得

た」とか「井戸の水がいつもより濁り幾分悪臭があるときは、いまひとつの前兆だ」などの話も興味ぶかい。

「閉じ込められた空気へ出口を与えるという、地震からの救済方法が、井戸にもあるのだから」、の発想はやはりアリストテレスの影響だと思う。

地震の話は、古代の科学史ではふつう話題として取り上げられてない（たとえば平田寛『科学の起源』1974, 岩波書店）。この点石本の本は貴重なわけである。

なお、今井功・片岡正人『地球科学の歩み』（1978, 共立出版）や神話・伝説についての大林太良の『地震』所収の論文、（1976, 東大出版会）も大いに参考となるだろう。

古書との出会い

私が最初に手にした地震の本は、今村明恒『地震講話』大13, 岩波書店だった。前半は当時の地震の知識の紹介で、あと半分は付録で、大正12年の大地震調査日記。専門家の書いた震災日誌は貴重な記録である。

今村は本郷東大キャンパスにおいて、着席の姿で大地震と向かいあった。初期微動12秒とかぞえたあと主要動がきた。3, 4秒後に最大のゆれを感じた、という。30分後、今村の所へ20人ばかり新聞記者（うち2人は外人）が詰めかけた。震源は大島付近の海底で、構造的な地震であろうとの見解を発表したという。

9月25日にはジャッガー夫妻来たる。その取材記は「1923年9月1日の横浜—東京地震」としてアメリカ地震学会誌（Bull. Seism. Soc. Amer. 1923, 12号）に発表になった。

今村はすでに18年前、『地震学』（大日本図書、私は現物をみてない）を著わしている。この本は不幸にも物議をかもした。センセーショナルな広告、折りから東京での強い地震、マスコミの取り上げ方のまずさが災いしたもので、今村の真意は理解されてなかったのである。科学史家がたとえどう言おうと、今村の国家的貢献を忘れることはできない。今村は私費を投じて太平洋岸沖の巨大

地震を事前にキャッチするため7つの観測所を設置した。東南海（昭19）、南海（昭21）の両大地震まで観測所を維持できなかったことは残念だった。

氏は晩年、薬餌にこと欠き病状が悪化、ついに不帰の客となられたのであるという（河角広『今村明恒先生』科学昭23年4月号）。私はこの号をいまでも大切にしている。

箱入りの今村の本は別にして、いま手元にある本を机の上に並べた。どれも分解寸前、表紙も紛失してしまっている。戦後、わが家の蔵書が処分されたとき、今村他何冊かが手元に残った。

立川はもと（戦中）、第5航空隊の基地である。私が出入りした古本屋だけでも2軒、ちょっと考えるとふさわしくないのでは一。

大処分のとき一風変わった名の「地球堂」の主人がリヤカーをひいてきて、「——全集」類をごっそりと運び出したのは、寂しい記憶である。いま考えても腑に落ちないのは、横山次郎『岩石変形学』や田山利三郎『南洋諸島のサンゴ礁』別刷とか、両書店とも地学雑誌のバックナンバーがバラ売りで相当置かれていたことだ。横山の本は戦後、買ったが、あとは戦中（中学3年）のことである。

戦後間もない頃、中央線沿線では良い本にめぐり会えた。Geikie, A. (1905) の Structural and Field Geology と出会ったし、北田宏蔵の『大陸漂移説解義』（古今書院）は吉祥寺でみつけた。荻窪の古書市に朝早く兄弟で行ったこともある。開店前並んで待っていたのは古本屋ばかりで、戸が開くと一斉にゲタ、草履を蹴散してなだれ込んだもの。争奪戦で早いもの勝ち。やっとあったと思ったら、横からオッサンの手が伸びてきてぐいと持って行ってしまうのである。いまの市は業者ばかりでないし、静かなものである。

地学関係の古本を扱う店が三省堂近くにあった。大久保書店で、喉から手のであるような雑誌のバックナンバーがセットで並んでいたが、個人では手も足もでない値段である。1960年代、東大赤門近くにみえる書房があり、古書カタログが送られてきた。そこに目指す論文別刷などの名前が上

がっていると、毎度、駆けつけたものである。大塚弥之助の「The Geomorphology and Geology…」は北伊豆地震の別刷で、1970年に1500円で求めた。田山利三郎の『北伊豆地震と地質構造との関係』は、1963年に450円だった。表紙に「——先生」に贈呈などと書かれているが、ポロポロでもこれは実に有難かった。

北伊豆地震のように膨大な研究があるところでは、勤務が終って立川から東京の図書館に駆け込んでも、ノートに筆写する分量はたかが知れている。それだけで何年もかかってしまう。

北伊豆についてはRichterも不満を述べていた。あまり豊富な文献が羨ましく思えたのか、手に負えぬ膨大さに業をにやしたのか、似たりよったり重複の多いことに腹を立てたのか真意は計りかねる。在野の研究者の立場から言えば、リヒターの言い分に同調したい気分にもなるのである。

いまはゼロックスコピーで文献をそろえるなどいとも容易だ、と言われようが、外部の人間にはあまりにも、壁が大きく、結局は研究なんかあきらめるしかない。せめて文献類については国公立大学のサービスを受けられないものだろうかと思う。ヘブライ大学に資料をたのんだら、いきなりコピーが先にきてしまい、あたふたと代金を送る羽目になった。イリノイ大学だったろうか、大学出版局に尋ねたら、著者に連絡したらしく、直接著者から本を贈呈されて面くらったものである。

どんな汚れ本でもよいからと再三出版局に手紙を出したところ、やはり著者に手紙が回送されたらしくたくさん別刷を戴くことになって大いに感激したこともある。こちらの問い合わせになしのつぶてだったのは、なぜかニュージーランドの2つの大学だけだった一。話がついつい脱線してしまった。

断層地震説前夜

地震で生じた地割れのなかには、大きな変位量をもつ破壊面—断層があり、これが地震の原因ではないか、と考えられはじめた。

1891(明24)年の濃尾地震がその国内の最初の例であった。小藤文治郎は「On the cause of the Great Earthquake in central Japan」(東大理科紀要5, 1893)のなかで、つぎのように述べている。抄訳すると、10月の地震は既存の割れ目(fissure)の一つが再活動したものと思われる。この根尾谷断層線にそって、垂直的にも水平的にも変位(ずれ)が生じたこと、私にはこれが件のカタストロフィの唯一の原因と考えられる、と。

有名な水鳥^{みどり}の写真では、断層が出来たばかりの道路を斜断して走る。西側は崖上端から6m低下、東側が水平に4m北東へ移動している。きわめて印象的なこの写真は、のち世界を駆けめぐり、テキストを通じて広く紹介されたものである。断層崖を利用したためずらしい水車風景はあまり知られてない(「天然記念物調査報告書」地質鉱物之部第2輯, 昭2, 内務省)。

橋本万平は「根尾谷断層と小川写真師」(日本古書通信446号, 昭56)で、この写真は誰が写したのかを追っている。ミルン・バートン共著『日本の地震』(じつは橋本との三人が共著者、写真は26×19.5cm大が29葉, 昭和56年に8万5000円の値段がついていた)の中に橋本は小藤の論文のそれとそっくりな写真を確認している。小川写真館の私家本『創業記念参拾年誌』からみると、小藤の写真はミルンと友人の間柄にあった小川一眞が自主的に写した可能性が大きい。

濃尾地震に先立ちアメリカ西部でオーウェンズ・ヴァレー(1812, M8.3, 横ずれ6m)や1857年のフォート・テホン地震(8.0±0.5, 横ずれ10m, サンアンドリアス断層南半部が移動した)などがあったが、後者の真相はずっとあとから判ったので小藤の耳にはとどかなかったと思う(著者「史上最大の地震」in『世界災害物語』Ⅲ)。

1926年にはアメリカの地質学者デーリが『Our Mobile Earth』のなかで濃尾地震をふくむ「地震と結びつきのある断層」をリストアップ、解説を加えている。しかし当時はまだ地震とは断層であると確言はできなかったのだろう。

濃尾地震から15年後、今度はサンアンドリアス断層の北半分が最大6.3m移動、サンフランシ

スコ大地震となった(著者『世界の大災害』中公文庫)。この大地震の報告はカーネギー研究所の資金を得て公刊されたが見る機会がなかった。(The California Earthquake of April, 18, 1906. Report of the State Earthquake Investigation Commission. 1906, vol. 122, Atlas.) 幸い1969/70年に復刻、入手できた。ハリー・オスカー・ウッド基金1万5000ドル拠出によるもので、報告書の再販などは稀なケースである。

じつに立派なもので驚いてしまった。第1巻は写真、地図による調査記録。第2巻は物理学者レイドなどの断層運動についての弾性反発説他を収録している。アトラスは震度分布や地形図、地質図、三角測量および地震記象などの資料類のコレクション。

当時、この大冊を手にしたら相当のショックを受けたことだろう。なお手軽なカリフォルニアの活断層、地震の本としてR. Iacopiの『Earthquake Country』があり、ガイドになろう(力武常次氏がこの第4版を本誌で紹介している)。

ここで一口言ってみたかったことは、つぎの関東地震はともかく、北伊豆地震では既知の丹那断層が誰の目にもあざやかな活動の記録を残した。これらの内外の事例を総合して検討を加えてみれば、もっと早い段階で地震の原因は断層活動にある、との展望なり確信が得られたのではあるまいか、とすることである。

小川琢治と大塚弥之助

よほど地学史にでも強くないと、小川琢治といってもご存知ないと思う。ナウマンやリヒトホーフェン、原田のあと日本列島の地質構造を論じたが一方、近代歴史地理学の創始者でもあり、『山海経』など中国最古の地理的知識の復元に大きな貢献をした。ここで氏の足跡を追うスペースはないが、一点だけ記す。東大の地質学科の学生^のとき、三浦・西山氏らとともに明治26年の第2次吾妻山噴火調査におもむき、遭難していた可能性があったことである。危うく難を免れたのは父親の病床を見舞ったおかげ(「父母存さば遠く遊

ばぬ聖訓」)だった、と『一地理学者之生涯』(昭16, 私家版)で回想している。

さて氏の『地質現象之新解釈』(昭4, 古今書院)は700ページの大著。濃いなめし革の背に金文字がまぶしかった。昭和20年, 中学の先生から借りたのが最初の出会いだった。

内容の理解などおよそ縁遠いが, 不思議といま読み返しても, あの頃受けた印象とはそれほど異なっていない。じつに新鮮なのである。氏は地表や地殻にこだわりがちな私たちの目を, 地球のもっと深所へと向けさせてくれた。もし小川が, 現代にタイムワープしてプルームテクトニクスを知ったら, 大いに喜んだことだろう。マグマの上昇の動きを地震現象の本質とみていたのである。「地内力の働き方を地震地質学的に研究」する必要性を説いている。アレクサンダー・フンボルトの写真を巻頭に掲げていることから判るが, フンボルトの学問にふかく共鳴していたのであった。

いち早く構造地震説を唱えた小藤が, その後どのように考えを発展させたか私は気になっていた。小川は江濃地震の際の小藤の微妙な発言をとらえ, こう言う。「先生(小藤)もまた当時からすでに構造地震説を固守するの意志なくして一条の退路を開かれたものと想わざるを得ぬ…」後世, 同時代の発言を聞くまでは, 断定のはばかれることが多いものである。

小川の天才的閃めきは随所に伺えるが, 相模湾底の水深変化について海底地すべりや乱泥流(この言葉は新しいが)の意義を問うていたのもその一つで, デーリ(前出)も異端的説明として紹介した。なおシェパードもたびたび来日し, 湾底調査に熱意を傾けていたことも忘れる訳にゆかないと思う(著者, 「関東大地震と津波」in『世界災害物語Ⅲ』)。昔, 九死に一生を得たハワイでの津波の体験があつてのことだろうか(Shepard, 1959, The earth beneath the Sea, 氏家 宏訳『海の下の大陸』ブルーバックス)。

50年以上経っても忘れていなかった小川の話の1つは, 「駿河湾から出稼の海女が大島周辺の海底の異常の泡沫が噴き出て海底が赤色の泥に濁

るので, 驚いて八月末日までに皆引き上げていた…」という下りである。相模湾の海底異変についてはトリブッチ『動物は地震を予知する』(1985, 渡辺 正訳)がある。

石本己四雄の先の本は, 小川やフンボルトの影響を受けていて, 構造地震説や測地的地塊説などには批判的だった。関東地震はマグマの東南方向への移動の結果と解釈されており, 地殻の粘弾的挙動に注目していたのである。関東地震については英国のダビソンが一書を著わしているし(C. Davison, 1931, The Japanese Earthquake of 1923. 1931), 藤原咲平も『地渦・地裂・地震』(1932, 古今書院)でユニークな説明を試みていて興味ぶかい。

「Principle of Physical Geology」の著者, ホームズも, 1944年第一版からドーリス改定版(『一般地質学』東大出版会)に至るまで関東地震については説明が一貫してほぼ同じである。しかも風評(日本で)のあるダビソンやデーリの本を基本文献として引用, 参照している。この例はむしろ風評がいかにあてにならぬか, 根拠薄弱かを示しているのではあるまいか。

ところで、『日本の地質構造』(1942, 同文書院)の著者大塚弥之助は石本に私淑していた。そのためもあってか, 書名ははじめ『地質構造とその研究』だった, と杉村 新が書いている(杉村 新「科学サロン」, 1984, v. 8)。

私がこの本とであったのは昭和21年で, 母親らと上野公園に行った帰り, お茶の水の三省堂で買ってもらった。私が地理学科に入ったときにはすでに大塚先生は亡くなられ, 期待していた講義を受けるチャンスは永久にめぐって来なかったが, たった一度高等師範学校の時大学の講義に紛れ込んで聴講し, 深い感銘を受けた日のことを時々思い出す。以来, 『日本の地質構造』は私の愛読書となり, 読んだ日付を第一章のページに記入したりしたものである。こんど新旧の本をくらべて読む機会を得たのも, なにかの縁であろうか。

大塚は断層をステレオ投影して表現する方法を解説。それには断層面上でのずれの方位(条線とか擦痕)を測定することの必要を述べている。こ

の方法によって、大塚は糸静線南部の安倍川東岸でみられる直立した断層面上でスリップ・アングルがゼロの条線を見出し、『日本の地質構造』に図示されている。そして「この様な図式表現をみると、これは水平移動の断層である」と指摘している。

数年前、付近の空中写真を調べたところ、地形上は大塚とは異なり左横ずれの変位が推定できることが判明した。ともあれ、この辺を押し進めていたら、大発見へとつながったかもしれない。

当時の地質学の常識では、例外的な現象、にわかには信じ難いことだったのではあるまいか。というのは、改訂新版ではこの図はカットされていたからである。

地震と活断層の研究をしていた C. Allen が来日して、糸静線中・北部をみて歩いたのは 1969 年のことだった。その何年前のことか、いま記録がなくて判らないが、地震研究所地質部内での内輪の談話会で、私は空中写真の判読によると糸静線はすべて地形的には左横ずれの表現を持っている、と紹介したことがある。

その頃は、糸静線が横ずれであるなどとは、想像できなかつたので、皆さんは半信半疑の面持ちで、これといった質問もなく、討論にはならなかつたことを覚えている。

あまりにも顕著な地形・地質上の落差、またすでにその頃、南アルプス山麓では低角度の衝上断層が知られていたもので、これは信じられないことだった、のだと思う。

その後、大塚は台湾の地震断層の調査で、水平横ずれ断層とでくわしている（「昭和 10 年 4 月 21 日台湾中部地方に起った地震に伴へる地震断層」（1936、震研彙報別冊 3 号）。これは貴重な報告書であった。

こんど、この論文の付図—地形図をいろいろと調べてみると、屯子脚のみならず紙湖地震断層も、確実に右横ずれの特徴を示す。なお地形断層にそって生じていることが判った。最近台湾島の地形上の大断層は、ほとんどが横ずれタイプであることが判明している。

大塚はテキストで「地震断層も…地質構造と密

接な関係にあり、かつその変形の傾向に大きな地質構造的長短を持っていることは地震現象また構造地質学的基礎を充分に必要とすることを示している」、と結論づけている。

活断層についての視点の相違

古本の紹介もままならぬうちに、すでに紙数は尽きかけているので、つぎの点をのべてまとめたい。

活断層の認識において、地質学と地形学研究者の間には微妙な相違があるが、それは主として認識の手段のちがいによる。

なお活断層とは、第四紀後半に繰返し活動し、将来も活動の可能性が高い断層と定義されている。現在、活断層として公的にリストアップされている断層は、後期更新世以降の活動歴がはっきりしているが、堆積層の層位的年代区分が信頼できるところは平野部に限られ、しかも年代論はなかなか微妙である。浸食域つまり山地では、断層の実質的な年代を決めることは大方無理である。したがって、リストアップされた活断層分布図については、この点に配慮が必要であろう（山地では重要なものが検出、認定を免れているかもしれない）。

さて、以下は近い過去のことではあるが、断層の認識について地学のなかでも、地質と地形の研究者の間では見方、ないし重点の置き方が異なっている、ということを指摘したい。両者の間に微妙な解釈上のちがいがあることである。

いま説明の便宜上、ベーズン・レーンジ地方のモデルでこのことを説明したい。この数 1000 万年、定常的(?)な圧縮場にある日本と、最近の地質時代に伸張場に置かれている前者という違いはあるにせよ、本質的な部分では共通したものであると思うので一。

以下のモデル(図 1 参照)はウィリス父子が論じた内容 (Willis, B. & Willis, R. 1934, Geologic Structures) をデーヴィスが体系化、C. King が模式図にしたものである。ウィリスらは最初の研究者を記念して、各ステージは、たとえばステー

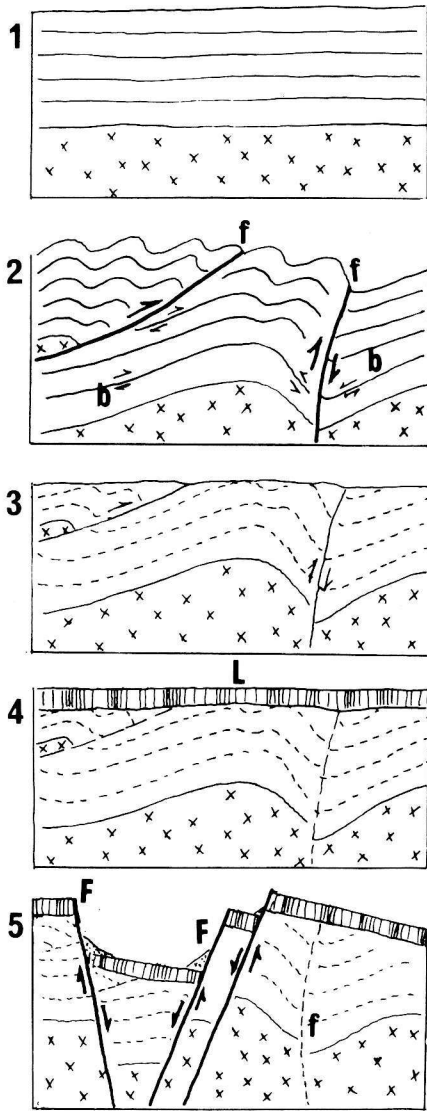


図1 デービスによって体系化されたベースン・レンジの構造発達

ジ1にはキング堆積層—この地方の地質・層位を最初に調査した個人名 King を用いる—の名を与えた。

造構造運動により地質構造ができた時代を、キ

ング褶曲の形成期、ステージ2と呼ぶ。地質学者の主たる関心は、これまで地層の積成からはじまり、地質構造発達のプロセスを解きほぐすことに向けられてきた、といえよう。

ステージ2では地層の変形—褶曲が主役で、断層などの破断現象はいくぶんか従であろう。変形には層面がずれるタイプの層面断層—bedding faultが重要だが、これまで十分評価されていなかった。もう40年前になるが学会誌に bedding fault とか—thrust と書いたら、クレームがつき、返却された。構造地質学のテキスト（たとえば Billings など）にはちゃんとあります、と苦情を申し述べたことがある（著者、1959「多摩川中流における小型断層群の形成機構」地質雑 v. 65）。

地質学者の主な関心は、当然ながらステージ1—2に向けられてきた。地質構造形成後の浸食によって生じた平坦面（準平原化）をポーヴェル面とよぶ。この上に流動性の大きな玄武岩質熔岩が薄く広く被ったのが4で、ローダーバックステージと呼ぶ。

そのあと伸張場となり、ベースン・レンジの地塊山地、盆地の形成が行われたステージ5をギルバート期と呼ぶ。玄武岩層が一つの Key bed と同じ役割を演ずるので、地形上の断層 F の認定は地形研究者にはいとも容易である。既成の地質構造とは無関係にこれを剪断、新しい構造的枠組がつくられたのである。第四紀に生じた変動起伏（tectonic relief）の形成を造構造運動と区別して、造山運動と定義すれば、ベースン・レンジではそれは目下、進行中である。地震の際、起伏を生長させるような断層運動 F が行われているからである。地形学者が、地質学者よりいち早く断層 F を地震の原因と認識できた（たとえば Cotton 1921, New Zealand Geomorphology）のは、この辺の事情によるのであろう。

宏観異常現象の報告を歪める認知的要因

菊池 聡

はじめに

地震の宏観異常現象は幅広い社会的関心を集めているようだ。阪神大震災以降に地震予知研究の重要性が再認識されたことや、力武（1998）や弘海原（1996, 1998）、池谷（1998）などの研究が一般に広く紹介されたこと、有効な短期予知法が他に見いだせないことなども大きな原因であろう。これを受けて、関西サイエンスフォーラムのように、多方面の研究者が学際的に協力する取り組みも行われるようになった。

ただ現状では、異常現象のメカニズムは未解明であり、異常現象と地震の間に予知につながるはっきりとした関連性は確認されていない。そのため非科学的というレッテルを貼られることも珍しくない。

こうした不透明な状況下では、一般社会での関心の高まりは結構なことではあっても、副産物として「前兆とおぼしき現象を地震発生と結びつける」ステレオタイプも産んでしまう（心理学で言うステレオタイプとは、ある社会的事象に対して共有される、過度に単純化・画一化・固定化したイメージのこと）。この前兆ステレオタイプのために誤った地震予知が行われ、社会的な不安を生み出す可能性もある。実際に、筆者は阪神大震災にからんで社会的な問題となった複数の地震予言を分析した（菊池, 1998 a）。

本稿では、認知心理学の立場から、前兆ステレオタイプの成立と強化のプロセスを概観し、宏観異常現象報告で起こりやすい認知の歪みと、それが誤信念をもたらす過程について分析する。

認知心理学では、知覚、記憶、言語、学習、推論などの心的過程を「認知 (cognition)」と表現

し、その働きを一種の情報処理にとらえてモデル化するのが中心的な考え方である。これは今世紀後半のコンピュータや情報理論の進歩に影響を受けており、現代の科学的心理学の主流にあると言ってよい。

その研究領域は多岐にわたるが、中でも人の認知システムの二面性は興味深いテーマの一つだ。まず、人は限られた知覚や記憶情報からでも、非常に的確で効率的な情報処理が行える高度な認知システムを備えている。だがその反面で、認知システムが効率的に働くが故に、特定の条件下では、バイアスのかかった情報処理が行われ、誤判断や誤信念を導くこともある。こうした偏った情報処理を巡って、記憶や思考、社会的認知などの領域で多くの研究が行われてきた（概観は Gilovich, 1991）。

こうした観点から、前兆ステレオタイプの成立はどう捉えることができるのだろうか。宏観異常現象は、異常な「現象」という側面と、それが人による「目撃報告」だという二つの特徴があり、ここで扱うのはもちろん後者である。つまり一般的な宏観異常現象では、人が何らかの現象を目撃・記憶し、その異常さの意味づけに関して思考判断を行った上で報告される、という一連の過程が含まれている。この流れの中で、前述した偏った情報処理が行われれば、結果として現象の的確な評価が行えないことになる。

たとえば、頻繁に見受けられる宏観異常現象の批判に、「ノイズが多く、前兆シグナルと見分けがつかない」というものがある。だが、単にシグナルがノイズに埋もれるという検出上の問題以外に、認知研究の知見から見れば、たとえランダムな出来事（ノイズ）からさえも、人は「意味のある」シグナルを錯覚して見いだしてしまうことが

広く知られているのである。

このような誤認を引き起こすヒューマンファクターは、不特定多数の目撃者の報告に依存する宏観異常現象で強く働く。したがって本稿では、宏観異常現象の中でも土地の隆起や変形、前震、地下水や温泉の水位・温度の異常など、ある程度客観的記録が可能で対照データの収集が容易なものはできるだけ除き、「動物の異常行動」（以後、「異常行動」）に代表される目撃報告への依存度の高い現象に絞って考えるものとする。

地震学の専門家ではない筆者の立場を明らかにしておく、宏観異常現象は非科学的であるとか、異常行動などは単なる迷信だ、と頭から否定してしまう態度こそ非科学的だと考える。しかし、認知の歪みのために異常現象の報告が不当に割り増しされている点に配慮のない研究は、科学的な検討として不十分であり、説得力がないと考える。したがって、ここでは前兆現象を的確に評価・判断するための基礎資料を呈示すること、および日常的な観察を元に生み出され、一般向けの書籍で広まった地震と異常行動に関するステレオタイプの信念について注意を促すことを目的とする。

共変の判断

異常行動が地震の前兆として観察されるということは、心理学の用語では、地震発生と動物の異常行動生起の間に共変が検出 (covariation detection) される、もしくは地震に対して異常行動は随伴性 (contingency) を持つと判断されたことになる。

ある/ない、で記述できる単純な二値事象の共変を論理的に評価するためには、図1のような四分割表 (共変テーブル) を用いることになる。たとえば「雨乞いをすると雨が降りやすい」ことを証明するためには、「雨乞いをしたら雨が降った」例だけを集めても意味がない。両者の関連性を評価するためには、雨乞いをしたときの「降雨」と「非降雨」、同じく雨乞いをしないときの「降雨」と「非降雨」の件数を各セルに入れた分割表で判

断しなければならない。このような関連性の評価は、推測統計学の教科書でもよく扱われ、この場合はカイ2乗検定などで評価できる。また、学習・行動を扱う心理学分野では、「事象 X が生じた条件下での Y 生起の条件付き確率」と、「事象 X が生じない条件下での事象 Y 生起の条件付き確率」を求め、この差を用いて事象 Y に対する事象 X への片方向の随伴性を表すこともある。

地震に対する異常行動の共変・随伴性を評価する際にも、こうした手法と同じく、地震発生時の異常行動頻度と、非発生時の異常行動頻度を比較するのが基本である。しかし、日常生活の中で人が行う多くの共変の判断では、論理的に正しい方法からは逸脱した偏った情報処理が行われることが広く知られている。その結果、錯誤相関 (もしくは幻相関 illusory correlation) と呼ばれる現象が起こる。これは、「実際には相関が全くないか、ほとんどない二変数の間に相関があると誤って判断してしまうこと」である。

錯誤相関を引き起こす大きな原因の一つは、人は四分割表のすべてのセルを公平に評価するのではなく、左上の a のセル、つまり「ともに生じた事例」に注目し、残りをほとんど考慮しないことである (Jenkins & Ward, 1965)。図1であれば、雨乞い/降雨、地震あり/異常行動あり、のセルのみを過大に評価する。

左上の a のセルは、ともに何か目立った出来事

	雨乞いあり	雨乞いなし
降雨あり	a	b
降雨なし	c	d

	異常行動あり	異常行動なし
地震あり	a	b
地震なし	c	d

図1 二つの事象の共変を評価するための四分割表

が生起しているために、それだけで注意を引く。その一方で、バックグラウンドになる「起こらなかった」ことは、何もなかったが故に注意をほとんど引かない。このように普通はバックグラウンドとなっていて、生起して初めて注意を引く出来事は「一面性の出来事」と呼ばれる。こうして、目立った出来事同士の共同生起に注意が偏るために、それらは相互に関連づけられて認識されてしまう。

たとえば、実際には無関連な症状と病気のデータを現役看護婦に示した場合でも、共生起事例に偏った認知のために、症状と病気間に錯誤相関を見いだす者が非常に多いという報告もある(Smeldslund, 1963)。また、同じ原理で、雨乞いと降雨のような身近な迷信や誤信が引き起こされることも知られている。「祈禱をしたら、病気が治った」「不吉な夢を見たら、事故が起こった」なども同様である。

それだけでなく Hamilton らから始まる一連の研究では (e.g. Hamilton & Gifford, 1976) では、類似したプロセスで黒人などの社会的マイノリティへの偏見が生み出されることも指摘されている。社会の中では小集団であるマイノリティは目立ち、また、犯罪者のような好ましくない属性を持つ者は少数者で、それだけで目立つ。所属集団と属性の双方で目立つ者は、注目・過大視されて、マイノリティ集団と好ましくない属性の間に錯誤相関が生じるのである。日本でも、在日外国人による犯罪事件が何回か報じられると、日本人と外国人での犯罪者/非犯罪者の割合(四分割表)を考慮することなく、「外国人=犯罪者が多い」というステレオタイプにつながる。外国人犯罪の場合には「外国人であること」が注目されても、日本人が犯罪を犯した場合、「外国人でない」という評価の仕方をするのはまずない。この「……でない」情報を無視する認知バイアスが、地震前兆ステレオタイプの成立に関しても顕著に見られるのである。

宏观異常現象を適切に評価するために、四分割表の残りを埋めるデータが必要になるのはもちろんである。大地震の発生も、動物の異常行動も、

それ自体が目立つ出来事であるがゆえに、同時生起すると錯誤相関を引き起こしやすい。そして、「異常な行動がなかったこと」「大地震が起こらなかったこと」は日常の中で当たり前であるために注意が払われることがないのである。

土地変形や前震、異常行動に関しても継続的な観測が行われている研究例も多くある。しかし、本稿で問題とする一般社会での前兆ステレオタイプを生み出すのは、まさに「大地震が起こったとき、異常行動が観察された」という「一面性の出来事」同士の共同生起事例なのである。たとえば弘原海の『前兆証言 1519!』(本稿では1996の普及版に準拠)のように、大地震が起こってから回顧・収集された異常現象は非常に多く、マスコミをにぎわせている。逆に「地震が起こったとき異常行動が無かった」「異常行動があったのに、地震が無かった」といった事例は、人の記憶に残らないし、マスコミに取り上げられることはまずない。このような偏ったデータのみが社会に蓄積されていけば、歪んだ前兆ステレオタイプに容易につながってしまう。

とはいえ、「普通は見られないようなペットの異常行動を見た」という報告ならば、言外に「地震が無かった時には、異常行動は無かった」という含意がある。だが、地震を伴わない異常現象は見逃されやすい。また、後述するように事後報告における人の認知傾向の偏りを考えれば、そのまま受け取るわけにはいかない。

関西サイエンスフォーラム報告書では心理学者の木下がコントロール条件のデータの重要性を指摘しているし、弘原海をはじめとした研究者も錯誤相関の危険を承知していることは著書を詳細に読めば理解できる。だが、一般向けの書物の記述全体を通して見れば、共同生起事例の紹介が突出しており、残りのセルについてバランスのとれた検討が行われているようには受け取れない。

仮説の確証傾向

人の認知には「予期の確証傾向」もしくは「確証バイアス」と呼ばれる基本的な傾向がある。こ

れは自分の信念や期待を確証する情報が強く認知され、反証情報は利用されなくなるという傾向である。これは認知的負荷を軽減し、安定した認知をもたらすために必要なものであるが、時には、利用される情報に偏りが生じ誤った判断や信念に結びつく可能性もある。

社会的な場面で、情報の利用が確証に傾くことを示す研究は多く行われている。たとえば、Snyder & Swann (1978) は、初対面の相手とコミュニケーションする場合に、自分の予期に沿った情報収集が行われ、反証情報が利用されにくいことを示した。また、Choen (1981) や Snyder & Cantor (1979) は、対象人物の日常的な行動をビデオや文章で観察し、後にその人物の行動についての記憶をテストしている。すると、観察者が対象人物の職業に関する予期を持っていると、その予期を与えられるのが観察の前後いずれであっても、予期に一致した情報の記憶成績は、不一致情報の成績を上回ることが示された。

こうした実験が示しているのは、私たちが何らかの判断を行う際には、すべての情報を公平に利用するのではなく、雑多な情報の中から予期の正しさを確証する情報を選択的に利用してしまうことだ。この確証傾向が強いと、傾向性をもたないランダムなノイズ情報であっても、自分の予期の正しさを裏付けるものと錯覚する可能性がある (Darley & Gross, 1983)。これは、前述の錯誤相関と同じく、偏見やステレオタイプ、そして迷信を強化する働きをする。たとえば、出かけると必ず雨が降るという「雨女・雨男」というジンクスも、一度その人が雨男という予期を持ってしまえば、雨のエピソードのみが記憶に残り、反証事例は忘れ去られてしまうために強化される。

心理学では支持されていないのに、日本の若者の過半数に肯定的に受け取られている現象に「血液型性格判断」がある。この俗信が信奉される要因には、同様の確証に偏った情報処理がある。たとえば、ある人物が A 型であるという先入観を持つと、その人物の行動の中から予期に合致するものが強く印象づけられる。その結果、血液型性格判断の正しさは、実例によって裏付けられるこ

とになる (坂元, 1995)。

本稿で問題にしている地震と異常行動についても、両者の関連に一定の予期やステレオタイプを持つ観察者は、その予期に沿って目撃した現象を評価するだろう。実際に、予期によって動物行動の観察報告が左右されることを示した研究がある。Cordaro & Ison (1963) は、小型扁形動物のプラナリアを使った心理学の初歩的な条件付け実験を観察する場面で、観察者の期待によって、プラナリアの反応カウント数が著しく変化することを示した。同一のプラナリア群を観察しているにもかかわらず、「プラナリアの回頭や収縮反応が数多く観察できる」と高い期待を持った観察者は、低い期待しか持たない観察者より 3 から 20 倍もの数の反応をカウントしたのである。

こうした知見からみれば、動物の異常行動を前兆現象として捉える研究の中でも、観察者の目撃証言、それも事後報告の場合には、その信頼性に大きな疑問符がつくことがわかる。報告者が前兆現象について一定の期待やステレオタイプを持っていた場合、かなり歪んだ報告になることは間違いない。強い前兆ステレオタイプの持ち主は、身の回りでランダムに生起する出来事の中に数多くの地震の前兆を見いだしてしまう。また、観察時だけでなく、記憶想起時の予期であっても同様であり、自分の記憶の中のあいまいな出来事の中から前兆を作り上げる可能性も決して低くはない。

事後報告調査法の問題点

もう一点、目撃報告に関する認知心理学の重要研究を紹介する。それは、事件を目撃・記憶した後には与えられる「事後情報」によって、事件の記憶が誘導・変更されることを示したものだ。この領域では、第一人者である Loftus らの研究グループのものが代表的なものである (概観は Loftus, 1979)。そして、場合によっては、実在しなかった出来事に関する記憶ですら、鮮明に再生できることは近年の認知心理学が示した重要な知見の一つである (e.g. Loftus, 1997)。

ここでは、異常行動の報告に影響を与える記憶

の誘導効果についての研究を紹介する。Loftus & Palmer (1974) は、車同士が衝突する場面のフィルムを被験者に見せ、後に車のスピードを評定させる実験を行った。この際に、被験者によって、車が「激突 (Smashed) したとき、どれくらいのスピードが出ていたか？」から「車が接触 (Contacted) したとき、……」までさまざまに表現を変えた質問を行ったのである。その結果、被験者はすべて同じフィルムを見たにもかかわらず、スピードの平均推定値は、「激突」の場合が 40.8 マイルと最も速くなり、「接触」は 31.8 マイルと最も遅くなった。この結果は、質問文が「事後情報」となって記憶の変更が起こったことを示しているが、単に言葉遣いに引っ張られて言語反応が変化したとも考えられる。そこで、同様の手続きで実験を行い、フィルムでは実際に割れていなかった窓ガラスについて「割れているのを見たか」どうかを質問した。その結果、激突条件で割れたガラスを見たと言った被験者は接触条件の二倍以上になり、前記の結果は単なる言葉遣いの問題ではなく、記憶内容自体が歪められたものと解釈された。

こうした研究は、何気ない質問自体が記憶を歪める誘導尋問になる危険性を示している。その面から見て、地震の前兆現象のデータ収集では、情報の管理に対する配慮が十分であったか疑問が残る。たとえば弘原海は「前兆的な異常行動」収集をマスコミで告知したうえで、一般からの報告を受け付けている。また、力武が 1980 年代に行ったアンケート調査のハガキでは「……動物の異常行動……等々の変化があったことは明らかである」と明示してから回答を求めている (力武, 1998)。「異常行動」が存在したことを前提とする質問では、見慣れた動物の行動であっても、異常さが割り増しされて記憶から再生されることは当然考えられる。こうした調査に当たっては、質問文の構成にも細心の配慮が必要なのである。また、記憶の誘導を別としても、一般的なアンケート調査において、質問形式や言葉使いで生じる結果の歪みは平松 (1998) に詳しい。

地震が起こらなかったときの 地震の前兆現象報告の調査

目 的

前兆現象としての異常行動は、系統的に収集された一部のデータを除き、「大地震が起こったとき、異常現象を報告した事例」に多くを依っている。こうした事例の集積は、基本的に四分割表の共同生起例のみに注目しているという問題がある。共同生起していない事例が無視されやすいのは確かだが、では実際に心理的な要因によってどの程度異常現象報告が左右されるかを定量的に評価することは難しい。

そこで、四分割表の残りのセルを推定するデータを収集するため、地震がないのに大地震が起こったと想定した場合、前兆として思い当たる現象がどれくらい報告されるかという調査を行ってみた。

今回の調査条件では、報告者はある程度、地震の宏観異常現象について知識 (予期) を持っているという条件を設定した。前述のように、実際の大地震後の報告では、マスコミなどを通して異常現象の存在が報道され、目撃報告が促進されるという状況が多いと推測されるためである。

方 法

被調査者 筆者担当の信州大学一年生向け科目を受講している大学生。調査への回答者数 332 名。
調査方法 平成 11 年 6 月 3 日。予言や予知現象に関する思考バイアスを取り上げた講義の中で、錯誤相関について解説し、さらに宏観異常現象についても簡単に説明した。授業内容は菊池 (1998 a, b) に沿ったものである。この授業の内容をふまえて、歌や文学作品の中に疑似予言を探すというテーマのレポートを翌週 6 月 9 日に提出するように指示した。そして、このレポートに項を改めて書き添える形で前兆現象報告を収集する教示を行った。

まず、前兆現象の研究では、地震が起こらない時のデータが少ない点が問題であることを解説した。そして、その欠けたデータを収集するための

調査であることを告げた。

次に、「本日、長野県松本市を阪神大震災クラスの大地震が襲い、多数の死者が出た、と仮定する。その場合、この地震の前兆として、思い当たる出来事があればレポートの最後に項を改めてすべて記述しなさい」と教示した。

注意点として、この調査の記述は、レポートの採点（成績評価）には全く含まれないこと、実態調査なのだから、思い当たる現象が無ければ、創作するようなことはせずに「無い」と記述すること、いくつ書いても構わないことを教示した。

地震予知総合研究振興会のデータ配信サービス (<http://www.adep.or.jp/shindo/EqUser.html>) によると、この時期に長野県で発生した有感地震は5月3日長野県中部深さ10kmを震源としたM3.9を最後に、9月9日、長野県北部深さ10kmを震源とするM3.8の地震まで観測されていない。弘原海(1998)によれば、動物の異常行動は日本ではM6以上の地震でのみ観察されるとあり、またサイエンスフォーラム報告書でも震度6以上の地域で多いとされている。よって、この時期に前兆をとまなう地震は長野県では無かったものと考えて良いであろう。

結 果

「特に思い当たるものは無いが、強いて挙げれば～」といった表現のものは、すべて「心当たりなし」にカウントした。提出された332人分のレポートの記述の内訳を表1に示す。

表1 レポート提出者332人の内訳

何らかの地震の前兆現象を報告した者	213人	64.2%
前兆現象には心当たりがないと報告した者	48人	14.5%
無効回答者*	50人	15.1%
未記述者	21人	6.3%

*無効回答は、宏観異常現象の範疇にない回答のみをした回答者

「阪神が優勝すれば大地震が来る」「巨人の四連勝」「占いで運勢が最悪と出た」(麻雀で)「役満を和った」「大勝ちした」など

また、「信州大学が長野各地に学部を分散させているのは全滅を避けるため」「浅間山が大噴火」など、調査の趣旨を理解していないと判断される者

全提出者の64.2%にのぼる213人のレポートで、何らかの前兆現象が報告された。これは、有効回答者の81.6%にあたり、また「宏観異常現象の範疇にない無効回答者」を「前兆に心当たりが無い者」とカウントしても、68.5%になる。

報告されたすべての前兆現象は408件。前兆を報告した一人あたり平均1.9件であった。これをサイエンスフォーラム報告書と同じく「動物の異常(ヒト・動物)」「自然の異常(空大気・大地河川)」「その他(テレビラジオ・その他)」に分類し、代表的な回答を簡単に要約したものを表2に示した。

考 察

弘原海(1998)が阪神大震災後に被災地の高校で行った調査では、宏観異常現象の報告率は複数のサンプルで30%前後であった。また、被災地から離れた淡路島では約12%、姫路市内では約2%にとどまった。これに対し、今回の調査結果は、現実には地震が起こっていないにもかかわらず、かなり高い報告率である。

本調査の具体的回答の要約を表2に示した。弘原海の収集例と比較すると、一つ一つの報告記述は弘原海調査の方が詳細で、文章も長い。しかし表現されている内容自体では、両者はかなり類似したものと判断できる。実際、今回でも記述の長い報告を『前兆現象1519!』の中に紛れさせれば、見分けることは困難であろう。

また、特徴的な点を比較してみると、本調査ではヒトの異常の割合が31%と、弘原海の5%をかなり上回っている。「最近よく眠れない」「変な夢を見た」といった程度のもものも含まれるが、これらは弘原海がカウントしている内容なので、今回もカウントしている。一方で、弘原海の報告で多い地鳴りや前震、井戸水の異常などは今回はごく少なく、「温泉のイオウ臭」と「上高地群発地震」の二件のみであった。

動物の異常行動は、内陸県であるため魚類に関する報告が少ない他は、獣類・鳥類・昆虫など幅広く見られた。一般に、継続的に観察している飼い主が飼い犬や飼いネコの異常行動を報告した場

表 2 報告された異常現象の代表的なもの 全 408 件（一部表現は簡略化した）

-
1. 動物異常 234 件 (57.4%)
- 1-1 ヒトの異常 128 件
- いつもは朝絶対に起きないのに目が覚めた
 - 二、三日前から眠れなくなった
 - 耳の調子が悪い。私の耳は気圧変化に敏感である。
 - 昨夜、夜中に三回目が覚めた
 - 5/31 から 3 日間、毎晩鼻血がでた。
 - 5 月下旬、金縛りにあう
 - 5 月 27 日から眠れない。夜中 3 時台に目が覚める
 - 実家に帰りた衝動に駆られ、荷物をまとめた
- 1-2 動物・植物 106 件
- ニワトリが羽を羽ばたかせて飛ばうとしていた
 - 夜中の一時に飼い犬が急に鳴き出し、なかなか鳴き止まなかった
 - 二、三日間、野球場で信じられない数のツバメの群が二、三度上空を飛んでいった
 - アスファルトの上にダンゴ虫の大群を見た
 - ここ最近、家の中に虫が侵入してくる
 - ゴキブリがたくさん出てきた
 - 早朝、隣家の犬が激しく吠えた
 - 近所のカエルが異常なほどうるさい
 - いつも通ると吠えていた犬が前日はおとなしくて全く吠えなかった
 - 四月下旬、下駄箱の上の水槽から十五年間飼っている巨大金魚が 1m 下の土間にダイブした
 - 学校へ行こうとしたら原付の上に猫が座っていて、なかなかどかなかった
 - カラスとトンビが興奮して空中で喧嘩をしていた
2. 自然の異常 79 件 (19.4%)
- 2-1 空・大気の異常 69 件
- 5/30、6/1 の月の色が赤っぽく非常に不気味だった
 - 月が異常に大きく、オレンジ色に見えた
 - 6/8 に太陽の周囲に二重の虹が出ていた
 - 夜七時頃の空が紫できれいだった
 - 一週間前、朝焼けの中に見たことのない変わった形の雲が出ていた
 - 秋のようなウロコ雲が出ていた
 - 夕方、サークルに出る途中、山の上の雲は一度も見ただことのない変な形をしていた
 - 梅雨にもかかわらず、ものすごく晴れ渡って、雲がすごく低い
- 2-2 大地・河川の異常 10 件
- 浅間温泉の硫黄のニオイが強くなった。温度も高かった。
 - 昨年、上高地で群発地震が起こっている
 - 女鳥羽川の水が急に減り、異常な数の魚が見えた
3. その他 95 件 (23.2%)
- 3-1 テレビ・ラジオ等 25 件
- FM の受信状態が悪い
 - テレビのリモコンが急にきかなくなった
 - 5 月頃からビデオデッキに触れていないのに勝手にテープが出てくる。CD プレーヤーも NO DISC という表示がたびたび出る
 - TV 松本のうつりが悪い
- 3-2 その他 70 件
- 授業の時、教室の後ろ半分の電気がつかなかった
 - 時計が狂った
 - 携帯電話のつながりが悪く、急に切れるようになった
 - 朝シャワーを使っていたら、急に水になった
 - 半年前から立て続けに家電製品が壊れた
-

合は信頼性が高いと考えられやすい。しかし、今回の調査では、普段から見慣れている動物であっても異常が多く観察されている。また、空や大気の異常、ラジオやテレビ、携帯電話の電波異常も、同様にある程度数が報告された。こうした現象を弘原海は帯電エアロゾル仮説から、池谷(1998)は電磁波仮説から説明して、有力な前兆となりうると考えているが、今回の結果はそれらの仮説に慎重な扱いが必要なることを示すものであった。

以上より、宏観異常現象として捉えられる現象は、定常的に身の回りに多く存在しており、ある程度の予備知識や期待と報告する機会があれば、かなりの数が報告されるものと結論できる。特に人や動物、空や大気の異常に関する事後報告の信頼性には留意しなければならないことを、実際のデータとして示すことができた。

今回の調査で、異常現象が数多く報告された原因を考えると、被調査者が異常現象について予備知識を与えられていたことに加え、レポートに併記するだけという報告コストの低さが挙げられる。また、彼らが興味を持ってこの課題に取り組んだこと、調査が行われたのが、信州の自然が大きく変化する初夏の時期であったことなどもあるだろう。

さらに、レポートに添えて後日提出させたため、十分に考える時間があつたことも回答率上昇に関与したと思われる。アンケートを即座に提出させることも可能だったが、実際の地震に際しての報告と同じく、ある程度考える時間をとった。しかし、そのために講義には300人弱程度が出席していたのに対し、提出されたレポートの数が2割前後多くなっていた。つまり、教示をよく聞かず、調査の趣旨を理解しないまま、「創造した事例」を回答した者も多少は混じっていると推測される。

このような反省点から、さらに厳密な条件の下、「説明した後、即座に回答させる条件」「予備知識を与えない条件」などのデータを比較することが今後の課題となるだろう。

また、異常現象報告が報告者の認知要因と深くかかわっているという今回の結果は、宏観異常現

象が時間・空間的に地震発生が近づくほど多くなるという知見(力武, 1998, 弘原海, 1998)についてもさらに検討が必要なることを示している。もし、異常現象が全くランダムに起こっていたとしても、地震に遭遇した震源に近い人の方が異常な現象を地震と結びつけて報告しようとする動機づけが強まり、また地震に近い時期の異常現象の方がより想起されやすく報告されやすい。その結果、異常現象の報告が周辺から震源に向かって多くなり、さらに地震発生の一ヶ月前あたりから現れはじめた異常現象報告数が発生直前にピークになるという現象が観察できると考えられる。今回の調査では特に指示しなかったため、時期を明記した報告は多くはないが、それらを見ても、目撃はレポート提出日寸前のものが多く、過去に遡るにつれて少なくなる傾向が見て取れた。

ま と め

筆者は宏観異常現象という一種の未知現象の研究を「非科学」と退けるべきではないと考えている。ただし、種類の多い宏観異常現象を無批判にひとくくりにしてしまい、認知の歪みに関する配慮を欠いたまま、対照条件に留意せずに結論に至るものであれば、それは非科学的な思考と考えざるを得ない。目撃証言は、さまざまな認知の歪みによって、「動物が地震を予知する」という信念を強化する方向へバイアスを受ける。そして、地震が起こらなかったときの異常現象は忘却され報告が生じにくい。こうした要因を配慮しているかどうか、科学的研究であるための要件の一つになるだろう。また、一般社会に広がっている前兆ステレオタイプは、そうした面から批判されなければならない。

この問題を根本的に解決するためには、一つは弘原海が主張するように、地震の前兆の「事前報告」を大規模かつ継続的に研究することが必要だろう。また、地震にともなうどのような介在要因(地電流、帯電エアロゾル etc)が動物や大気に影響を及ぼすのか、そのプロセスを特定するアプローチもある。これらの基礎研究は続けて欲しい

し、将来有意義な結果が得られるかもしれない。

ただ「地震の短期予知を実現する」という切迫した目標に絞った場合、宏観異常現象を過大に評価すべきではないと筆者は考える。宏観異常現象のプロセスは「地震に伴うストレス刺激の発生」→「動植物や自然の反応」→「それを人間が目撃して報告」という、複数の不確実な段階が含まれている。地震の予知が目的であれば、ストレス刺激の発生自体をダイレクトに捉えることにこそ研究資源を傾注し、ストレス刺激の解明と客観的予知に向けた努力をすることが重要であろう。また、宏観異常現象を観測するにしても、動物や人の異常行動や、地震雲などをひとまとめにして宏観異常現象として扱うのではなく、前震や土地の隆起、地鳴りなどの、1. 現在考えられている地震発生モデルと、ある程度の関連が認められ、2. 報告における人の認知の歪みが入りにくく、3. 対照条件との比較が行える現象を重視すべきだと考える。

動物の異常行動と地震の相関を調べる研究自体は、予知へ応用できるレベルに達してはいないとしても、ストレス刺激の特定に向けて発展可能性のある魅力的なテーマに感じられる。本稿で述べたような認知心理学の知見を取り入れたさらなる研究の発展を期待したい。

謝辞 本稿の執筆にあたって貴重なご助言を下さった、東北大学・松澤 暢先生に深く感謝いたします。

引用文献

- Cohen, C.E., 1981, Person categories and social perception, *Journal of Personality and Social Psychology*, 40, 441-452.
- Cordaro, L. and Ison, J.R., 1963, *Psychological Reports*, 13, 787-789.
- Darley, J.M. and Gross, P.H., 1983, A hypothesis confirming bias in labeling effects, *Journal of Personality and Social Psychology*, 44, 20-33.
- Gilovich, T. 1991, *How We Know What Isn't So*. Free Press, (T. ギロビッチ 守 一雄・守 秀子 (訳), 人間この信じやすきもの 迷信誤信はどうして生まれるか, 新曜社).
- Hamilton, D.L. and Gifford, R.K., 1976, Illusory correlation in interpersonal perception: a cognitive basis of stereotypic judgment, *Journal of Experimental Social Psychology*, 12, 392-407.
- 平松貞実, 1998, 世論調査で社会が読めるか? 事例による社会調査入門?, 新曜社.
- 池谷元何, 1998, 地震の前, なぜ動物は騒ぐのか NHK ブックス 822, 日本放送協会.
- Jenkins, H.M. and Ward, W.C., 1965, Judgments of contingency between responses and outcomes, *Psychological Monographs*, 79 (1 of No. 594).
- 関西サイエンスフォーラム, 地震前兆情報の利活用に関する調査・研究と提言(第1次報告書) <http://www.kdoyukai.on.arena.ne.jp/ksf/3teigen/index.htm>
- 菊池 聡, 1998a, 予言の心理学, KK ベストセラーズ.
- 菊池 聡, 1998b, 超常現象をなぜ信じるのか, 講談社.
- Loftus, E.F. and Palmer, J.C., 1974, Reconstruction of automobile destruction: an example of interaction between language and memory, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 13, 585-589.
- Loftus, E.F., 1979, *Eye Witness Testimony*, Harvard University Press (E.F. ロフトス著 西本武彦 (訳), 1987, 目撃者の証言, 誠信書房).
- Loftus, E.F., 1997, Creating false memory, *Scientific American*, September (ロフトス, E.F. 仲真紀子 (訳), 1997, 偽りの記憶を作る, 日経サイエンス, 12月号, 18-25).
- 力武常次, 1998, 予知と前兆—地震「宏観異常現象」の科学—, 近未来社.
- 坂元 章, 1995, 血液型ステレオタイプによる選択的な情報使用, *実験社会心理学研究*, 35, 35-48.
- Smeldslund, J., 1963, The concept of correlation in adults. *Scandinavian Journal of Psychology*, 4, 165-173.
- Snyder, M. and Swann, W., 1978, Hypothesis testing processes in social interaction, *Journal of Personality and Social Psychology*, 36, 1202-1212.
- Snyder, M. and Cantor, N., 1979, Testing hypotheses about other people, *Journal of Experimental Social Psychology*, 15, 330-342.
- 弘原海 清, 1996, 前兆現象 1519! 普及版, 東京出版.
- 弘原海 清, 1998, 大地震の前兆現象, 河出書房新社.

本当の「リアルタイム地震学」実現に向けて

山中佳子

はじめに

8月17日のトルコ地震、9月7日のギリシャ地震、そして9月21日の台湾地震と、この夏は地震によって多くの方の命が奪われた。ニュースでの被災地の様子を見ると、4年半前の兵庫県南部地震のときの様子が脳裏をよぎる。いつどこでも地震の被害は悲惨である。

日本ではこれまで地震予知に多くの期待が寄せられていろいろな試みがなされているが、今もってこれといった決定的手法はない。もちろん、だからといって地震予知をあきらめたわけではない。しかし、現状の地震学では短期予知は不可能と言わざるを得ない。そういう中で、これまでの地震学の知識をフルに使ってできるだけ被害を最小に抑える努力をする必要がある。これがリアルタイム地震学の重要な役割である。

トルコ地震でも台湾地震でも多くの建物が倒壊し(人災的な部分も多々あったようだが)、多くの方が建物に閉じこめられ救援を待っていた。一方、軍隊や多くの国際救援チームが被災地に入り救助活動を行っていた。救援活動では72時間ルールという言葉があるそうだ。壊れた建物などに閉じこめられてから72時間経つと生存の可能性はきわめて低くなる。地震後どれだけ早く正確な情報が伝えられ、被害状況を把握できるかでその後の災害救援復旧に大きな違いがでてくる。

1999年8月17日 トルコ地震発生!

ここでは今年8月に起きたトルコ地震の時に我々がどのようにして情報を得て、かつどのような情報を発信していったかを紹介する。

1999年8月17日午前3時1分(現地時間)、トルコのアナトリア断層の西側でM7.4の地震が起きた。現在世界で起こったM5.5以上の地震に対しては地震後1~6時間程度で米国地質調査所(USGS NEIC)から震源情報(QED)のE-mailが届く。アメリカ地震学研究連合(IRIS)のデータ管理センターでは世界中に広帯域地震観測点を持ち、そのうち50観測点程度の地震波形データ(図1)が電話やインターネットを通じてリアルタイム収集されている。これらのデータを使って東京大学地震研究所、ハーバード大学、USGSではCMT解(点震源を震源域の重心においたときに求められるモーメント・テンソル解)を求め、地震後3~24時間程度でその情報が世界中に発信されている。

今回のトルコの地震では地震発生から3時間半でアメリカUSGSからQED E-mailが届いた。それから30分後にはUSGSから、その後ハーバード大学からもCMT解が送られてきた。我々

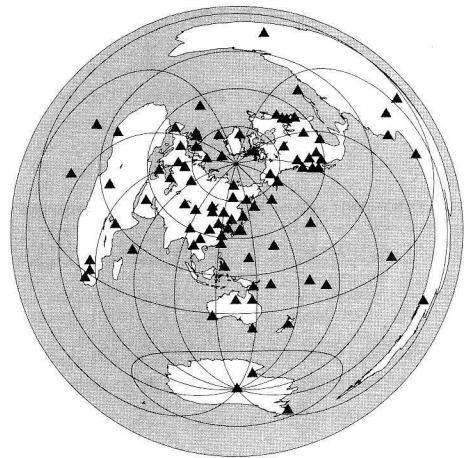


図1 アメリカIRISリアルタイムで集められている広帯域地震観測点分布

Kocaeli Earthquake-Turkey

Epicenter: 40.70N 29.91E 16km

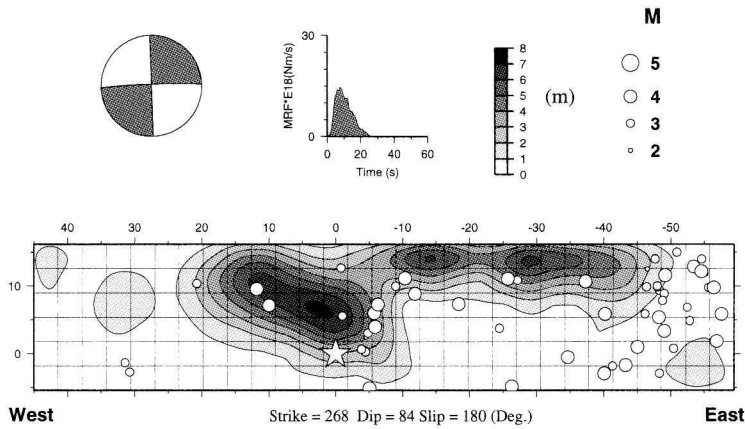


図 4a 近地強震計記録を使って求められたトルコ地震の震源過程 (Yagi and Kikuchi, 1999)

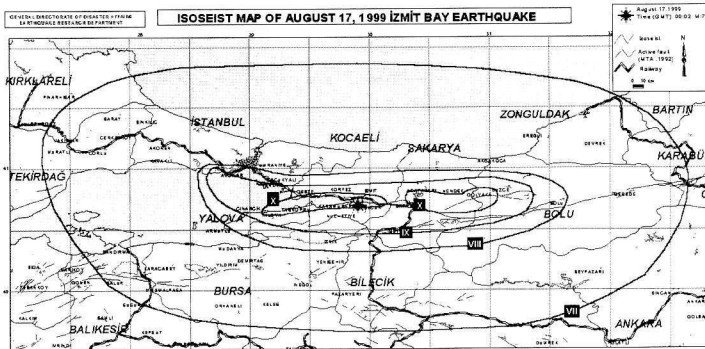


図 4b トルコ地震の等震度分布図 (<http://angora.deprem.gov.tr/isoseist.htm> より)

を求めることはできない。また、波形収集にもある程度時間がかかる。一方、短周期実体波を用いた解析では、P波到達から1~2分程度の波形データを用いるので、グローバルなデータを収集したとしても収集時間が15分程度と短くてすむし、長周期波形解析に比べ破壊過程のより細かい解析が可能となる。ただ、地下構造の影響や初期情報の不確かさによる影響などが大きくなるので解は不安定になりやすい。しかし地震防災面を考えると、できるだけ早い段階で詳細な破壊過程を知ることは重要である。

我々はさらにもっと短周期の波 (0.004-2 Hz) を使って、より詳しい解析をこれまでかなり手動

で行い、できるだけ早くホームページで公開 (<http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC-News/>) を行ってきた。図3は今回のトルコ地震の解析結果である。この地震は東西走向の右横ずれ断層で、破壊はバイラテラルに進行していることがわかった。しかしこのような人手を介する解析は時間帯によってはすぐにできず、詳細な破壊過程が求められるまでに1日以上かかってしまうこともある。そこで現在これらの自動化に取り組んでいる。まだ試験運用であるため、データ収集は独自に行わず IRIS が収集したデータを利用しているが、M6.0以上の地震に対しては深さ、地震モーメント、メカニズムが求められるように

なった。図3で示したような複雑な破壊過程まで自動的に求めることはまだできないが、大地震に対しては破壊の伝播方向まではおおよそ求めることができるようになってきた。

また今回はトルコ政府機関によって地震後2週間で断層近傍の強震記録がホームページによって公開された。これらの記録を用いて、Yagi and Kikuchi (1999) は震源(深さ16 km)から最初西に約20 km, その約6秒後には今度は東側に約50 km 破壊が進んだことを示した(図4a)。図4bはこの地震での震度分布である。震度X (MSK 震度階?) の領域が震央の直上ではなく、今回動いたと思われる断層の両端からさらにその延長上に細長くのびていることがわかる。これはもちろん地盤の影響も考えられるが、今回の破壊がバイラテラルに伝播したことも関係していると思われる。1995年の兵庫県南部地震でも破壊が北東方向に伝播したため、断層より東側の地域でもかなりの被害がでた。このように被害の状況把握にもできるだけ早い段階で断層の走向、破壊の伝播方向を知ることが重要である。

日本の現状

さて、日本で地震が起こった場合はどうであろうか?

兵庫県南部地震以来、各種地震観測網に関してはものすごい勢いで充実してきている。現在地震調査研究推進本部が策定した「地震に関する基盤的調査観測計画」に基づき、全国に高感度地震観測基盤が整備されつつある。2001年までには500点程度整備される予定であり、既存の観測点とあわせると約1000点になる。広帯域地震計も現在整備が進められており、2003年までには全国に約50点整備される予定である。また広帯域地震計の波形データはインターネットを通じてリアルタイムで公開されている。

これら広帯域地震計の記録を用いて、科学技術庁防災科学技術研究所、東京大学地震研究所ではM4.5以上の日本付近で起こった地震に対してCMT解を求めている。これらも周期の長い波を

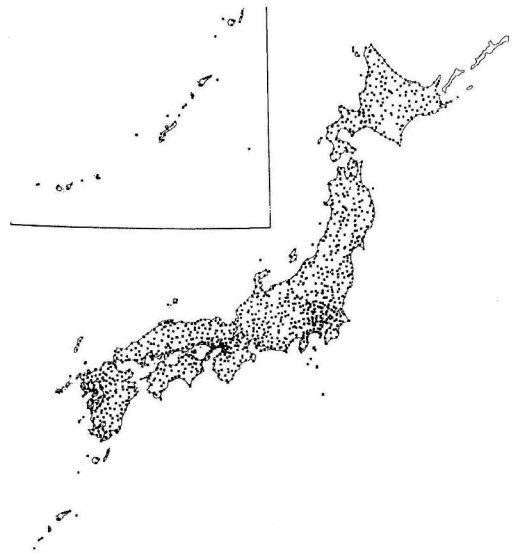


図5 現在の強震計観測網 (<http://www.jishin.go.jp/main/seisaku/hokoku97/s8kei.htm> より)

使っているため、細かい破壊過程までは求めることができない。我々は今後、気象庁の震源情報を基にM6クラス以上の地震に対して、世界で起こった地震の時と同様に世界の広帯域地震計の記録を即時に収集し解析するとともに、国内の広帯域地震計や強震計の記録を使って地震後30分以内に地震の破壊伝播方向、破壊継続時間などを自動的に求められるようにしたいと思っている。

また、強震記録に関しては、すでに日本国内に観測点間隔25 kmで約1000点設置(図5)されており、データはK-netホームページ(<http://www.k-net.bosai.go.jp/>)から1日後にはダウンロードできるようになっている。これ以外に各地方自治体やガス・電気・鉄道など公共団体が独自にそれぞれの地域に地震観測網を展開している。これらの数はわからないが、これらも含めればものすごい数の地震計が我々の周りに設置されているはずである。これら強震計で得られた震度情報については、現在それぞれの組織でほとんどリアルタイム収集されているが、ここで得られた波形データについてのリアルタイム性は二の次にされていた感がある。が、今回のトルコ地震での解析

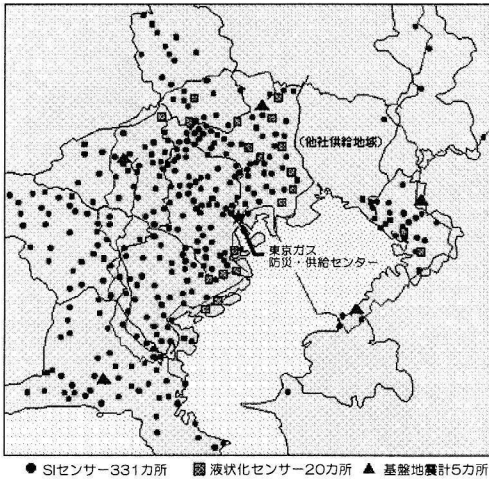


図 6 地震時導管網警報システム SIGNAL 地震センサー設置状況 (<http://www.tokyo-gas.co.jp/techno/stp/97c1-j.html> より)

をみても、断層近傍の強震記録があるかないかで求められる破壊過程の詳細さが全く違ってくる。つまり断層近傍のデータが被害状況の把握にも大きく影響するということである。今後これら強震波形データのリアルタイム公開が望まれる。

そのほか GPS についても全国に 1000 点以上もの観測点がおかれ、国土地理院からデータが公開されている。

日本の場合と次節で説明するアメリカの CUBE との違いは、これらがそれぞれ独自のデータを用いて独自の手法でリアルタイム地震に取り組んできたという点であろう。東京ガスの SIGNAL、JR 東海のユレダスなどが有名である。ここで簡単にそれらを紹介する。このほか東京消防庁、東京都、横浜市、川崎市なども独自の多点観測点からの情報と地図情報などのデータベースを利用して被害の規模や被害状況のリアルタイム把握のためのシステムを整備している。

SIGNAL (Seismic Information Gathering and Network Alert system)

大地震によってガス供給設備が破壊された場合、2 次災害を防ぐためガスの供給をストップさせる必要がある。東京ガスでは地震直後に被害を

把握し、ガスの供給停止を判断するためのシステム、SIGNAL を開発している。このシステムでは、リアルタイムで収集される観測地震動と東西 250 m × 南北 175 m という非常に細かいメッシュ単位での地形・液状化層厚・導管口径・管種などのデータベースをもとに埋設管や需要建物の被害を推定し地震発生後 10 分程度での警報を目指している。現在、東京ガス供給範囲に SI センサー (SI 値や最大加速度を測定するセンサー) が 331 カ所、基盤地震計 5 カ所、液状化センサー 20 カ所が設置されている (図 6)。これらのデータは専用の無線網を通じて防災供給センターにリアルタイムで収集されている (山崎・吉川, 1995)。

ユレダス (UrEDAS : Urgent Earthquake Detection and Alarm System) とヘラス (HERAS : Hazards Estimation and Restoration Aid System)

ユレダスは 1 観測点 3 成分地震波形データから地震の震央方向・震央距離・地震規模・震源の深さなどを P 波検知から 3 秒以内に推定し、これらの複数の観測点情報から P 波検知後 4 秒以内に警報を出すシステムである。このシステムは 1992 年 3 月より東海道新幹線で実用化されている。この場合、東海道新幹線を囲むように 14 基設置され、線路直下の地震の場合には線路沿線の変電所に設置された警報地震計が警報を発し、その他の地震の場合には M6.5 以上であると警報を発するようになっていた。また、このユレダス情報を受けて各地点での震動特性のデータベースに基づいて地震動の推定を行い、さらに過去の地震被害データベースを用いて構造物の被害程度を推定するシステム、ヘラスがある。地震後 5 分以内でこれらの推定をすることを目指している (中村, 1995)。

ユレダスのシステムは現在、南カリフォルニアやメキシコでも取り入れられている。メキシコ (SAS : Seismic Alert System) の場合、太平洋岸で大地震が発生してもメキシコ市に S 波が到達するまでには 70 秒以上かかる。そこで海岸沿いに約 25 km 間隔で観測点を設置し、そのうち 2

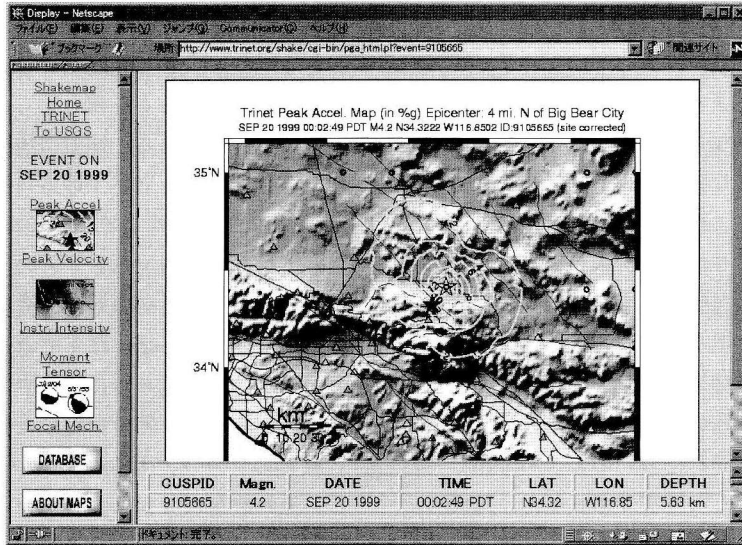


図 7 TriNet SHAKE MAP ホームページ

観測点以上で $M > 6$ と判断した場合にメキシコ市に警報を出すというものである (Espinosa et al., 1995). 気象庁でも現在、地震の主要動到達前に規模や揺れの大きさを把握しようという“ナウキャスト地震情報(地震発生直後の即時的情報)”提供の実用化に取り組んでいる。

アメリカ CUBE から TriNet へ

近代都市で地震が起こった時にいかに早く都市機能を復旧させるかが重要である。そのためには地震に対する正確な情報ができるだけ早く関係機関に伝えられる必要がある。CUBE (Caltech/USGS Broadcast of Earthquakes) は、そのような目的でカリフォルニア工科大学と米国地質調査所 (USGS Pasadena Office) が 1990 年から行ってきた共同プロジェクトである (Kanamori et al., 1997)。

南カリフォルニアで地震が起こると、自動的に波形データを収集し震源とマグニチュードを決定してその情報がポケットベル (pagers) によって利用者へ送られるシステムである。また pager をパソコンにつなぐことによって、パソコンのスク

リーン上に震央表示もできる。これにはガス会社・電力会社・鉄道など政府機関や私企業等 30 にもおよぶ組織が参加している。また、年に 2 度ユーザーとの会が開かれ、彼らからのフィードバックを基にシステムの改良が行われている。

北カリフォルニアにもカリフォルニア大学バークレー校、米国地質調査所 (USGS Office in Menlo Park) が開発している REDI (the Rapid Earthquake Data Integration project) というシステムがある。1994 年からは CUBE と REDI が共同でカリフォルニア州全体を対象に地震情報提供を行っている。

さらに最近では、Caltech, USGS, CDMG (California Division of Mines and Geology) が共同で南カリフォルニアを対象とした TriNet プロジェクトを始めた。ここでの主な目的は、1. 地震後数分以内に地震動情報を提供、2. 広帯域地震計、強震計波形データの収集・公開、3. 早期地震警報システムの開発である。現在地震後数分以内で、地表加速度、速度、震度などの分布図が Web (<http://www.trinet.org/shake.html>) 上に公開されている (図 7)。

今後の展望

これまで述べてきたように、日本では兵庫県南部地震を契機にかなり密にさまざまな地震計が全国に整備され、より細かい対応を考えることが可能な体制はとれてきたと思う。また、計算機のみざましい進歩により情報解析スピードも本当のリアルタイムに近づきつつある。ここまでくれば、これまでのような単なる地盤の応答だけでなく、今度は地下構造の影響なども考慮したハザードマップの作成も可能になってくるだろう。というのは、震央距離が同じくらいのところで起こった同じ規模の同じような地震であっても、地震波の到来方向によって地盤の揺れが大きく異なってくることもあるからである。現在よく見られるようなある地震のみを想定したハザードマップだけでは不十分である。また、震源の複雑さも地盤の揺れに大きく関係がある。今後これら密なネットのデータ蓄積によって地下構造、震源と強振動との関連がつかめれば、より確実にスピーディーな地震防災情報提供ができるようになるだろう。

情報提供手段として現時点では、インターネット、特に Web の普及が大きな役割を果たしている。映像を含む情報でもインターネットを介して簡単に誰とでも情報交換ができる。東京大学地震研究所地震予知情報センターでは、これまでも主要な地震に対して情報を収集し Web 上で特集を組んで情報発信をしてきた。今回の台湾地震 (<http://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/taiwan/>) でも情報を収集しホームページを立ち上げた。立ち上げてから 1 週間で約 20000 件ものアクセスがあった。ただし、こういった手段はあくまで被災地外の人への提供手段である。兵庫県南部地震の時も被災地ではなかなか情報が入らなかったようだ。その後、専用線や衛星回線 (BS, CS など) を使った情報配信システムが検討されているが、被災現場にいち早く情報を伝達するにはどうしたらいいのか、同様に、被災地での観測データ (たとえば震度情報など) を確実に入手するにはどんな配信システムを用いるのがいいの

か、災害に強い配信システムについてはまだまだ考えて行かなくてはならない問題である。

もう一つ、大きな問題はこれからいろいろな機関で取られたデータをどのように地震防災に活用していくか、である。地方自治体を考えても地震の規模によっては当然 1 地方自治体で考えられるものではない。従って、周辺の自治体 (場合によっては離れた自治体も) との協力体制も必要になってくる。非常時の対応、被害予測などを行う場合にも周囲と一緒に考えていかないと現実とはかけ離れたものに陥りやすい。観測網を単なるリアルタイム震度情報のための道具とせず、それらのデータを用いてハザードマップを作成し、それを基に災害に強い町づくりに生かすような日常的な利用も考えた方がいいと思う。それにはそれぞれが持つ観測網のデータを相互交換し、非常時の体制についても隣接する自治体、ライフライン関係機関が協力しあって考えていく必要があるだろう。

一方、我々地震研究者も自分たちがこれらデータから得た結果をただ公開・広報すればいいというわけではない。どういう情報が地方自治体、公共団体に必要とされているのか、また我々が出せる情報をさらにどのように活用できるか、今後は自治体、公共団体などと一緒にリアルタイム地震 (防災) 学に取り組んでいく必要があると思う。

神戸の教訓を生かすよう、新たな取り組みができればと思っている。

参考文献

- Espinosa Aranda, J.M., A. Jimenez, G. Ibarrola, F. Alcantar, A. Aguilar, M. Inostroza, S. Maldonado, 1995, Mexico City seismic alert system, *Seismol. Res. Lett.*, 66, 42-53.
- Kanamori, H., E. Hauksson, and T. Heaton, 1997, Real-time seismology and earthquake hazard mitigation, *Nature*, 390, 461-464.
- 菊地正幸・山中佳子, 1999, EIC 地震学ノート No. 66.
- 中村 豊, 1995, ユレダスについて, *JSEEP NEWS* No. 142.

Yagi, Y. and M. Kikuchi, 1999, Preliminary result for the source rupture process of the Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999 obtained by joint inversion using strong-ground-motion data and

teleseismic data, (準備中)

山崎文雄・吉川洋一, 1995, 東京ガスの地震時導管網警報システム SIGNAL, JSEEP NEWS No. 142.

リアルタイム地震防災システム

— 現状と課題 —

翠川三郎

1. はじめに

兵庫県南部地震では国や自治体の初動体制が遅れ、問題となった。例えば、国の非常災害対策本部が設置されたのは地震発生から5時間以上経った11時15分のことだった。大きな原因のひとつは、地震直後に被害の情報がほとんど得られず迅速な判断ができなかったためである。

従来、被害状況を把握するには、図1の上段に示すように、調査員を被災現場に送って調査させていた。そのため、この地震の場合に限らず、広い範囲で大きな被害が生じた場合には、従来の方法では短時間で被害状況を把握することは困難であった。

これを教訓として、地震計から揺れの情報に基づいて被害状況を即座に評価するシステムの開発が積極的に進められるようになった。図1の下段にその概念図を示す。人手によらず自動化することにより迅速化を図っている。このようなシステ

ムをリアルタイム地震防災システムと呼んでいるが、リアルタイム地震防災システムには大きく2種類ある¹⁾。

ひとつは、上述のように観測された揺れの大きさに基づいて地震後即座に被害を推定し、地震直後の防災対応に生かそうとするものである。最近開発されたシステムはこのタイプのものが多い。もうひとつは、大きな揺れが来る前に大地震の発生を判断し、警報を出して、直前の防災対応に生かそうとするもので、後述するJRのユレダスなどがこれに対応する。

ここでは、リアルタイム地震防災システムの歴史や現状について簡単に紹介した上で、筆者が開発に関わった横浜市のリアルタイム地震防災システムについて詳しく紹介し、今後の課題について整理してみたい。

2. リアルタイム地震防災システムの歴史

リアルタイムで地震による影響を把握しようとするアイデアは19世紀後半に既に提案されていた。1868年10月にサンフランシスコ地域を地震が襲い、死者や建物被害を生じ、地震防災への関心が高まった。この地震から約1ヶ月後の当地の夕刊紙には、地震予知がうまくいかないことに鑑み、地震予知に代わるものとして、揺れより早く地震発生を知る構想が提案されている²⁾。

これは、図2に示すように、地震の発生しそうな場所に感震器を置いておき、大きな揺れを感じた場合にサンフランシスコに電信して市内のタワーに設置された大きなベルを鳴らして、揺れが到着する前に大地震の発生を市民に伝えるというものである。これによって多くの命が救われる可能性がある」と指摘している。

従来の被害調査



リアルタイム被害推定



図1 従来の被害調査とリアルタイム被害推定の比較



San Francisco Daily
Evening Bulletin,
November 3, 1868

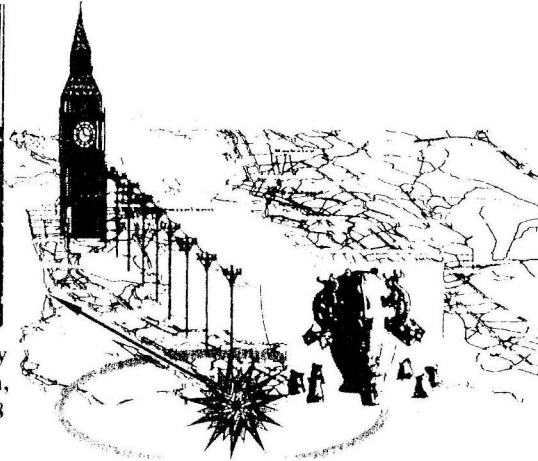


図 2 揺れより早く地震を知る構想 (文献4) より)

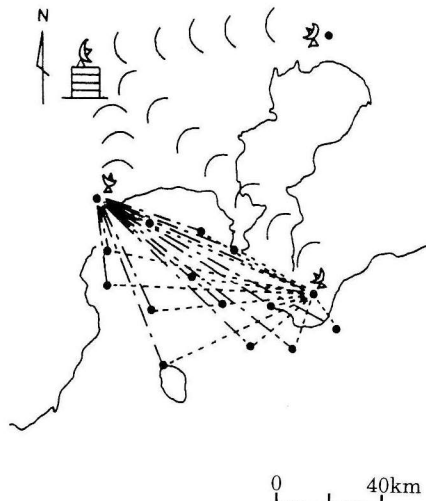


図 3 10秒前大地震警報システム (文献3) より)

しかし、当時はこの構想を支える技術がなく、実現可能な状況になかった。これに続くリアルタイムシステムの構想は、1972年頃に提案された伯野らのグループによる「10秒前大地震警報システム」³⁾までみあたらない。このシステムの原理は前述のものと同様である。図3に示すように、大地震の発生する恐れのある海域に地震計を設置して、その信号を都市に電送することにより、大きな揺れが都市を襲う10秒前に大地震の発生を知ることができるというものである。

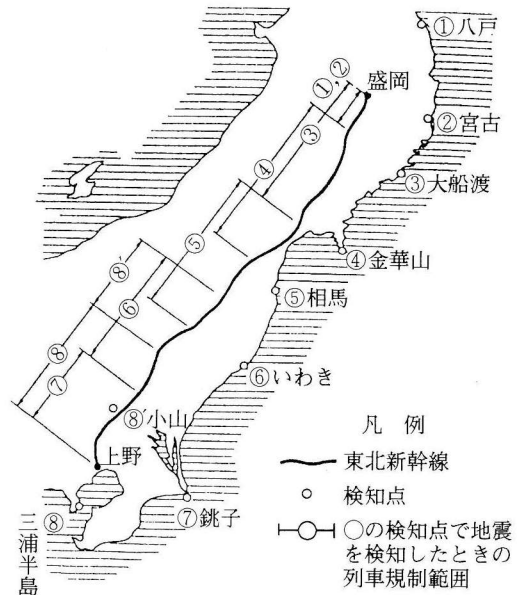


図 4 海岸線地震検知システム (文献4) より)

この10秒間でオンライン制御された各種非常装置の作動や市民への情報伝達が行え、地震火災などの2次災害の発生を大幅に軽減できるとしている。この構想も実現には至らなかったが、これに着目した当時の国鉄(現在のJR)が東北新幹線の地震時運転制御システムを開発するきっかけを与えた⁴⁾。

国鉄は1975年頃より地震早期検知システムの研究に着手し、1982年に東北新幹線の海岸線検知

システムとして実用化された。これは、図4に示すように、地震の多発する太平洋沖合と海岸線から数十 km 内陸側を走る東北新幹線の間の海岸線に、地震計を設置して地震を待ち受け、大きな揺れが到達する前に新幹線の運行を自動的に制御しようとするものである。

その後システムは発展して、ユレダス(UrEDAS)と名付けられた。これは、地震動のP波部分の情報に基づいて地震の規模や位置を推定し、被災の可能性のある地域に対してP波検知後4秒で警報を発するものである。このシステムの目的は、被害をもたらすような大きな揺れの発生を事前に検知して、地震動によって直接生ずる1次災害を減少させるための防災対応を行うことにある。現在、JRの東海道新幹線や山陽新幹線、青函トンネルなどで運用されている。

ユレダスに続いて、1980年代後半から、川崎市の震災対策支援システム⁵⁾や東京ガスの地震時導管網警報システム(SIGNAL)⁶⁾の開発が始まり、どちらも1994年より運用されている。これにやや遅れて東京消防庁でも地震被害予測システムの運用を開始している⁷⁾。これらのシステムは、ユレダスとは異なり、地震の揺れを観測して、発生したであろう被害の程度や分布を即座に予測し、1次災害によってさらに引き起こされる2次災害の拡大を抑制して、迅速な復旧を行うことを目的としている。

これらのシステムでは、適切な直後対応ができるよう、揺れや構造物の被害の地域的な分布、さらには防災施設の分布など、より具体的な出力情報が要求される。そのため、地震計から送られる地震動情報に加えて、図5に示すように、震度分布算出のために地盤・地形などの自然環境データベースが、被害分布算出のために構造物・人口などの社会環境データベースが、対応策の決定を支援するために避難所・防災計画などの防災資源データベースが必要とされる。さらに、地震動情報とこれら3つのデータベースを用いた処理するための地理情報システムも必要とされる。

例えば、図6に示すように、東京ガスのSIGNALでは331地点に地震計が設置され、こ

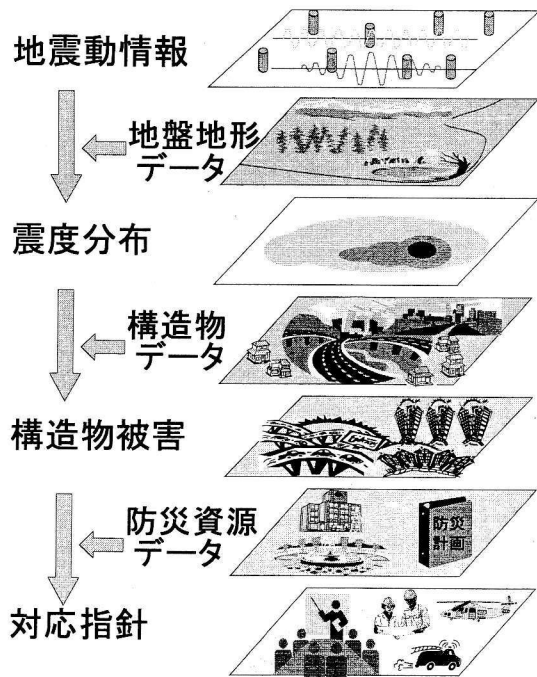


図5 リアルタイム被害推定システムの概念図

の情報に基づいて建物や埋設管の被害が推定され、ガス供給停止の判断が迅速に行われる。また、川崎市のシステムでは、市内各区に置かれた地震計からの情報に基づいて、地盤条件を考慮して市内震度分布を推定し、各種被害分布の予測を500mメッシュ単位で行い、防災計画に基づいた簡単な災害応急対策指針も出力する。図7に人的被害予測の出力例を示す。

したがって、このようなシステムの構築は、近年のセンサー技術、情報伝達技術、情報処理技術などの進歩とともに実現可能になったものである。これに前述の兵庫県南部地震での教訓が加わって、国や地方自治体、ライフライン企業などでリアルタイム地震防災システムの整備が加速的に進められた。

一方、海外では、ユレダスに刺激を受けて、メキシコ市の地震警報システム(SAS)が1991年から運用されている⁸⁾。これは、図8に示すように、太平洋沿岸で発生する大地震の揺れを海岸線で待ち受け、約300km内陸のメキシコシティに大きな揺れが来る1分程度前に警報を出すもの

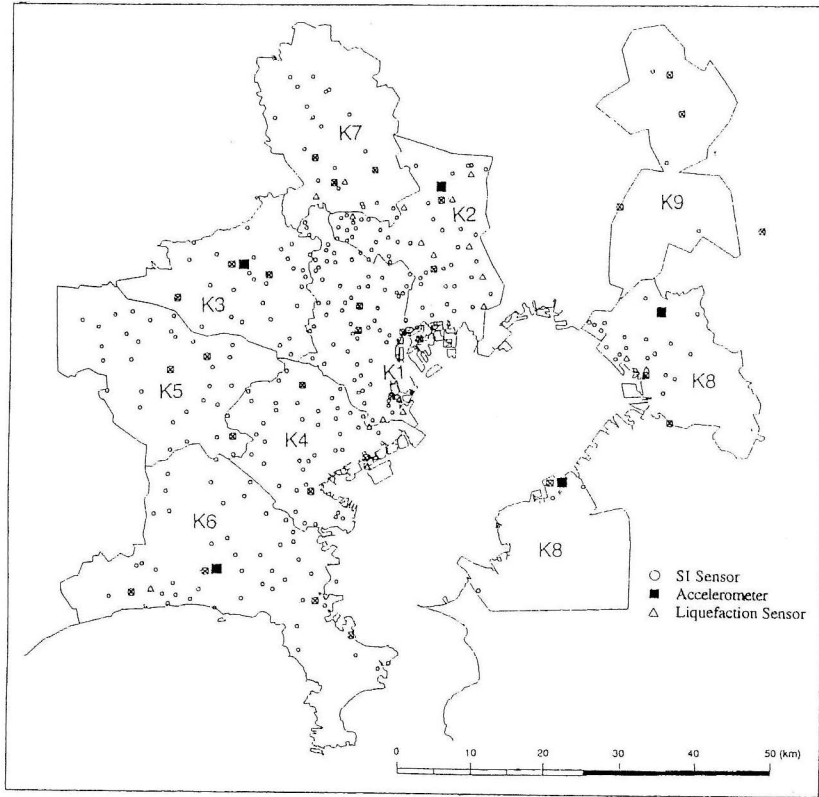


図 6 東京ガスの SIGNAL での地震計配置 (文献 6) より)

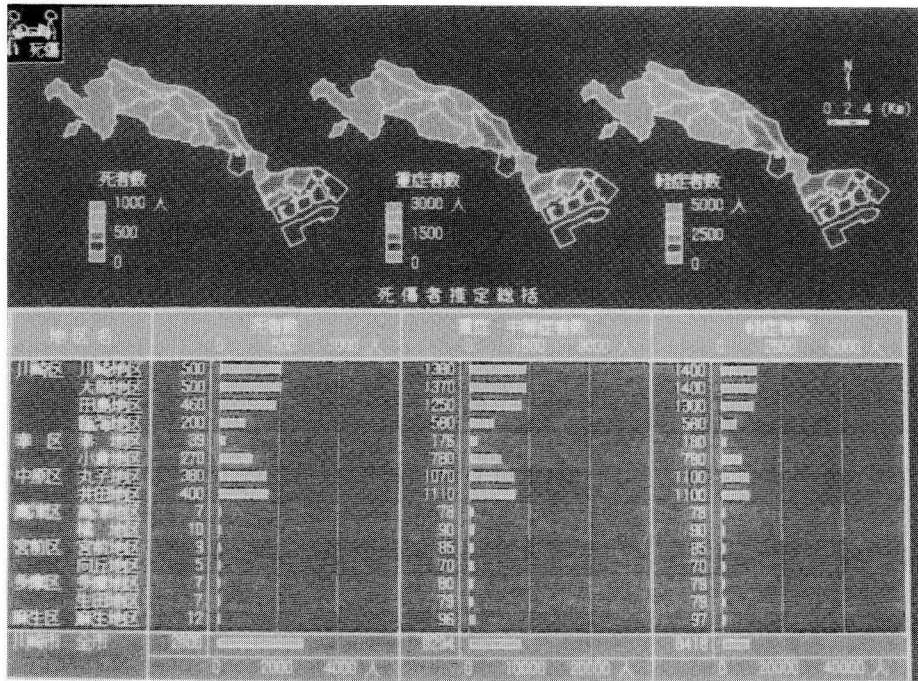


図 7 川崎市の震災支援システムの出用例 (川崎市パンフレットより)

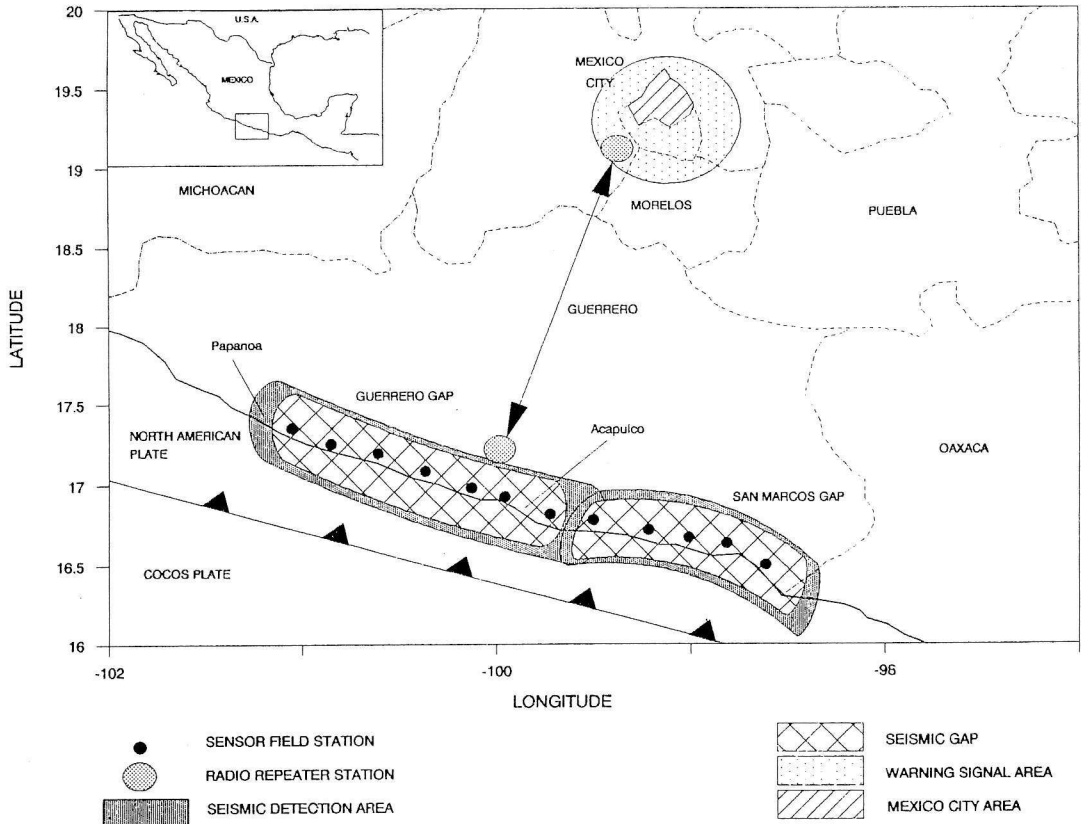


図 8 メキシコ市の地震警報システム (文献 8) より)

である。警報は、政府防災機関、市役所、軍、警察、電力会社、地下鉄会社などの他、ラジオの自動放送を通じて市民にも直接伝えられる。一般市民をも対象とした点で、この警報システムは画期的なものであり、このシステムを市民に周知させるための努力もなされている。

米国の南カリフォルニアでは、CUBE システムからの震源情報に基づく地震被害早期評価システム (EPEDAT) が 1994 年に開発されている⁹⁾。その後、CUBE システムを発展させた TriNet プロジェクトにより強震計からの情報による震度分布図が地震直後に得られるようになり¹⁰⁾、この震度分布図に基づく被害推定も EPEDAT で行えるよう改良が加えられている。北カリフォルニアでも同様のシステムの構築が進められている。

米国の連邦危機管理庁 (FEMA) では 1992 年より想定地震に対する地震被害推定システム

(HAZUS) の開発を進め¹¹⁾、1997 年に HAZUS 97 としてパソコン上で作動するプログラムが公開されている。最新版の HAZUS 99 では地震計情報を取り込んだリアルタイム被害推定も可能となっている。その他、台湾で地震警報システムの試みがみられる¹²⁾が、海外の事例は比較的少ない。

3. わが国の最近のリアルタイム地震防災システム

兵庫県南部地震を契機に開発されたりアルタイム地震防災システムの代表的なものとして、国土庁の地震被害早期評価システムがあげられる¹³⁾。これは、地震発生直後の情報が限られた状況下で、被害規模を短時間で概略推計するものである。気象庁から発信される各観測点での計測震度 (1998 年 9 月現在で全国約 1,500 箇所) を基に、地

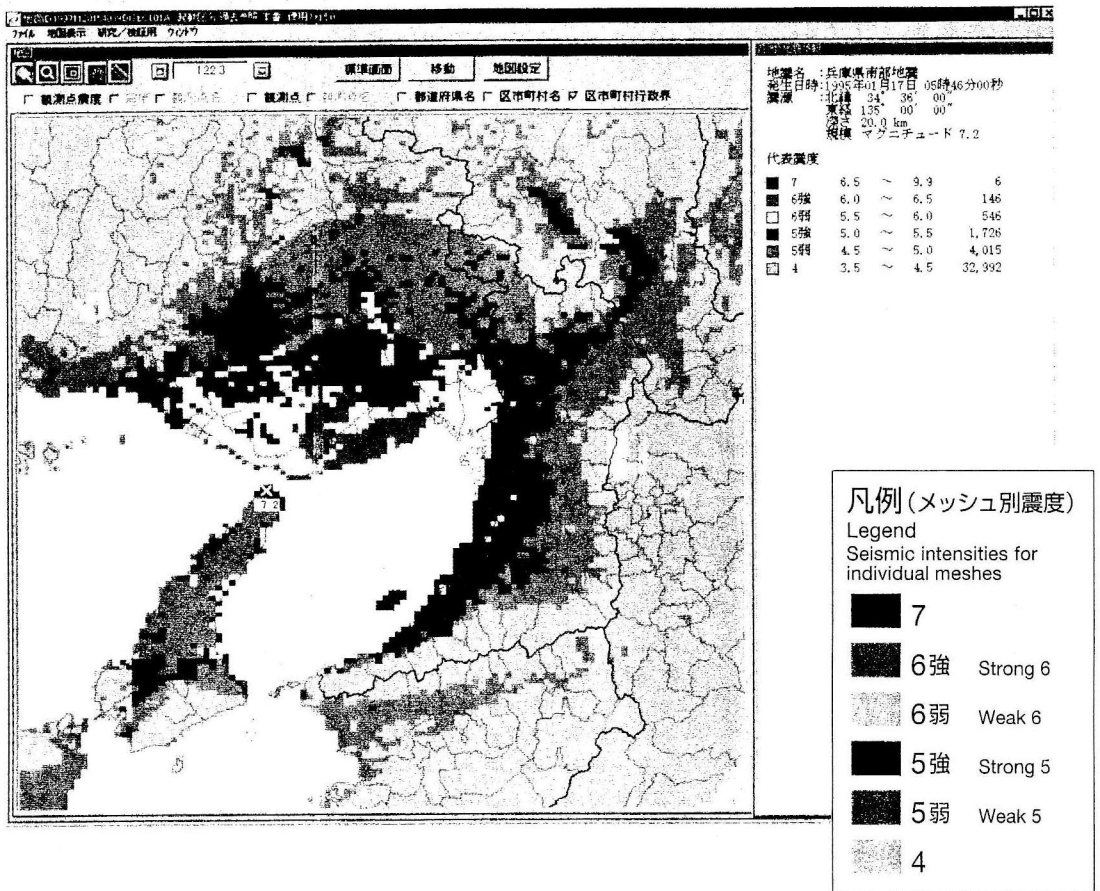


図 9 国土庁の地震被害早期評価システムの出力例 (国土庁パンフレットより)

盤条件を考慮して1kmメッシュの面的震度分布を推計する。その後、建築物被害とそれに伴う人的被害の推計を行い、結果は地震発生後概ね30分以内に自動出力される。図9に震度分布推計結果の一例を示す。

この結果は、災害対策本部の設置の判断、政府の初動対応の検討、応急対策活動の参考データとして活用される。このシステムは1996年4月より運用が開始され、1997年5月の鹿児島県北西部の地震では関係省庁による官邸への緊急参集時に活用された。さらに、応急対策支援システムとして、重篤患者の広域搬送支援システムも開発されている。国土庁と他の防災関係省庁とは中央防災無線網を利用してネットワークが構築されつつあり、これらのシステムは各省庁に置かれた端末か

らも利用できる。

上述のシステムは国レベルのものであるが、都道府県レベルのものとしては、東京都(東京消防庁)、大阪府、兵庫県、三重県、茨城県、埼玉県、群馬県、福井県、和歌山県、島根県などで運用されている。これらは震度情報ネットワークを利用したものである。震度情報ネットワークは、全市町村に震度計を設置して、その震度情報を都道府県庁や消防庁、気象庁などに送り、市町村単位で震度分布状況を把握するものである。

例えば、福井県のシステムでは、県内35地点での震度情報に基づいて、500mメッシュ単位で、震度分布、液化化危険度、急傾斜地危険度、建物被害、ライフライン施設被害(電力、上下水道、都市ガス、道路、鉄道、橋梁)、人的被害、火災出

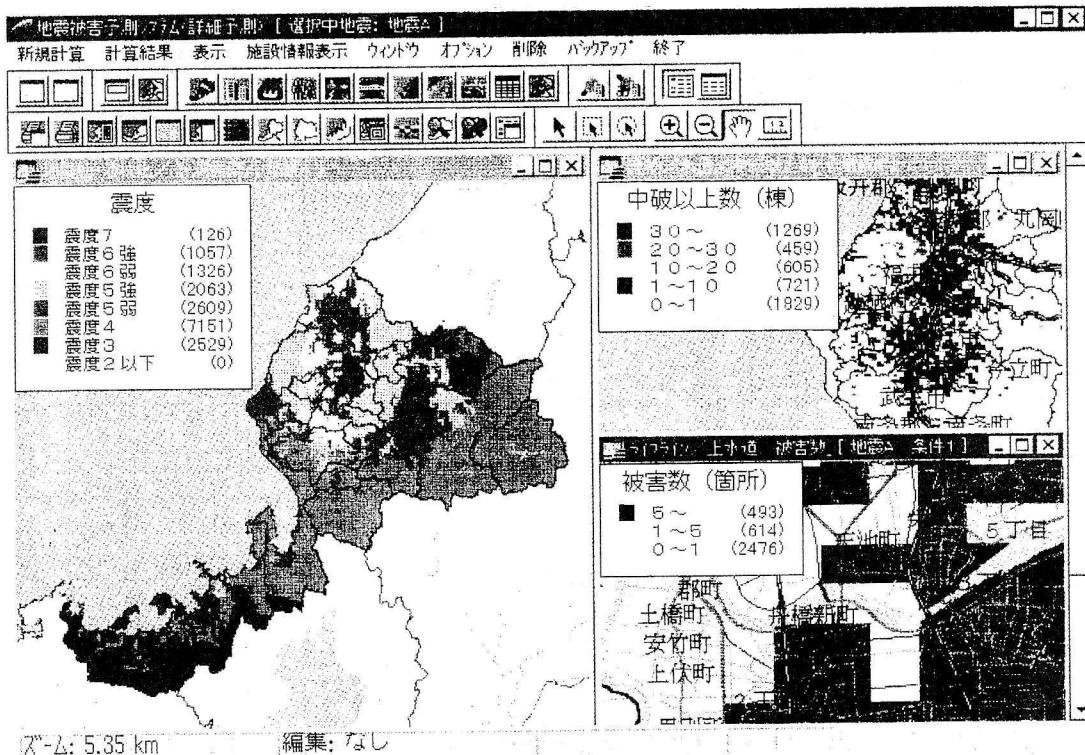


図 10 福井県の地震被害予測システムの出力例 (福井県パンフレットより)

火点数, が推定される. 図 10 に出力例を示す. 都市レベルのものとしては, 前述の川崎市や名古屋市, 京都市, 大阪市, 広島市などの他, 次章で説明する横浜市で運用されている.

自治体以外では, 道路及び河川施設を対象とした建設省のもの, 高速道路を対象とした日本道路公団のもの, 地下通信管路を対象とした NTT のもの, 東京都内での交通管制のための警視庁のもの, 会社の機能回復や顧客対応などを目的とした建設企業のものがある. 大阪ガスや東邦ガスなども前述の東京ガスの SIGNAL と類似のシステムを運用している. また, 東京ガスでは SIGNAL に加えて超高密度地震防災システム (SUPREME) として約 3,000 km² の供給地域に 3,600 台の地震計の設置を進めている.

4. 横浜市のリアルタイム地震防災システム

横浜市のリアルタイム地震防災システムは,

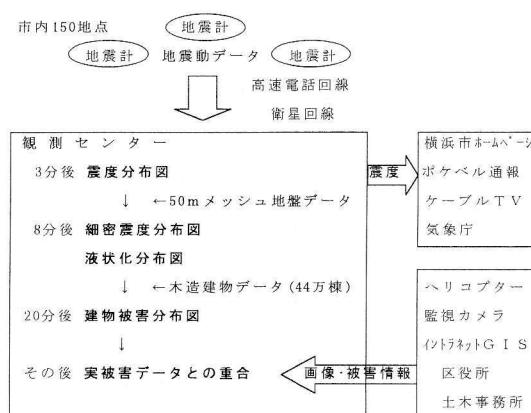


図 11 横浜市のリアルタイム地震防災システム

1995 年から開発が進められ, 1999 年 6 月より本格的に稼動した. このシステムは, 高密度強震計ネットワーク, リアルタイム地震被害推定システム, 実被害情報収集システムの 3 つのサブシステムからなっている¹⁴⁾. 図 11 にシステムの概要を示す.

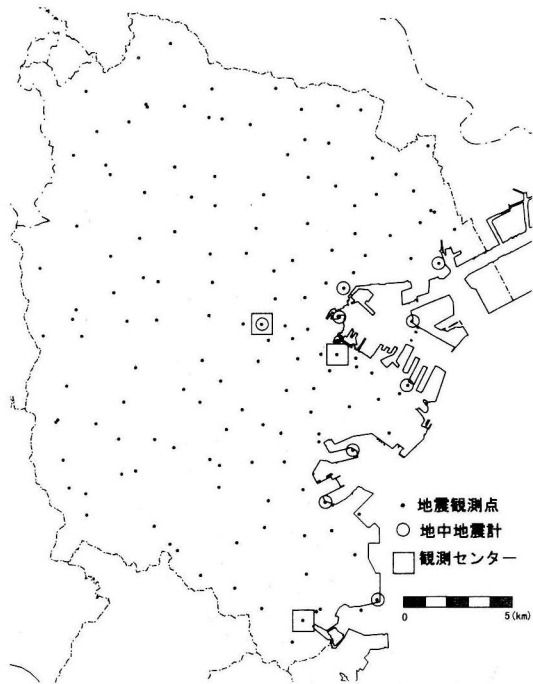


図 12 高密度強震計ネットワーク

高密度強震計ネットワークは、約 400 km²の市域の 150 箇所に設置された強震計からなっている。このうち、18 点については 1996 年 5 月より、他の 132 点については 1997 年 5 月より稼働している。図 12 に観測点の配置を示す。強震計は 2 km 程度の間隔で設置され、このような密な配置は世界でも他に類をみないものである。また、液状化予測のために、地中地震計も埋立地を対象として 9 地点に設置されている。

各観測点には最新鋭の加速度型デジタル強震計が設置されている。地震によって強震計がトリガーされると、観測点では加速度時刻歴が収録されるとともに、計測震度、最大振幅、継続時間、応答スペクトルなどが計算される。トリガーから約 30 秒後に計測震度の速報値が 3 つの観測センター（横浜市災害対策室、横浜市消防局、横浜市立大学）に高速電話回線（ISDN）で送られる。150 箇所のうち、18 箇所では衛星回線により通信がバックアップされている。計測震度の確定値や応答スペクトルなどはトリガーから 5 分以内にセン

ターに通報される。

これらの情報から地震の約 3 分後には 150 地点の震度の分布図が得られる。図 13 に 1997 年 7 月 9 日の地震の例を示す。この地震での各地点の震度の最大は 3.4、最小は 1.2 で、同じ市内でも震度に 2 程度の差があった。図 14 に同地震の加速度波形を示す。最大加速度で 10 倍程度の違いがみられる。このことは、地盤の条件によって地震動の強さが場所毎に大きく異なることを示している。

震度の分布図は横浜市のホームページ (<http://www.city.yokohama.jp/me/bousai/eq/index.html>) でも即座に公開される。この震度情報は、ポケットベルにより職員に通報され、市内のケーブル TV 各社や気象庁を通じて市民にも通報される。なお、市の周辺の被害状況を概略把握するために、東京ガスと連携して、図 6 に示した SIGNAL による震度情報をリアルタイムで受信して表示するシステムも導入している。

リアルタイム地震被害推定システムは、地震計からの情報を用いて、地震後 20 分以内に被害の状況を推定するものである。地震計の揺れの大きさに基づいて地震計周辺の地点の震度も推定し、細密な震度分布を求める。さらに、地盤の液状化分布や木造建物被害分布を推定する。本システムの最大の特徴は、詳細な地盤データや建物データに基づいて、50 m メッシュ単位できめ細かく推定が行われることにある。市域の全メッシュ数は 17 万個にも達する。500 m や 1 km メッシュ単位で行われてきた従来の被害推定に比べ、本被害推定では場所毎の地盤条件や建物分布の違いを精密に取り入れることができる。

地盤条件の分布を知るために、市内にある 1 万 5 千本以上のボーリング資料が収集・整理され、詳細な地盤図が作成されている。これに基づいて、地盤を 268 タイプに分類し、17 万個の 50 m メッシュそれぞれに対して地盤タイプを当てはめている。なお、150 点の観測点では、地盤特性を正確に評価するために第三紀の軟岩までの PS 検層が実施されている。

各メッシュでの地震動評価方法¹⁵⁾の概念図を

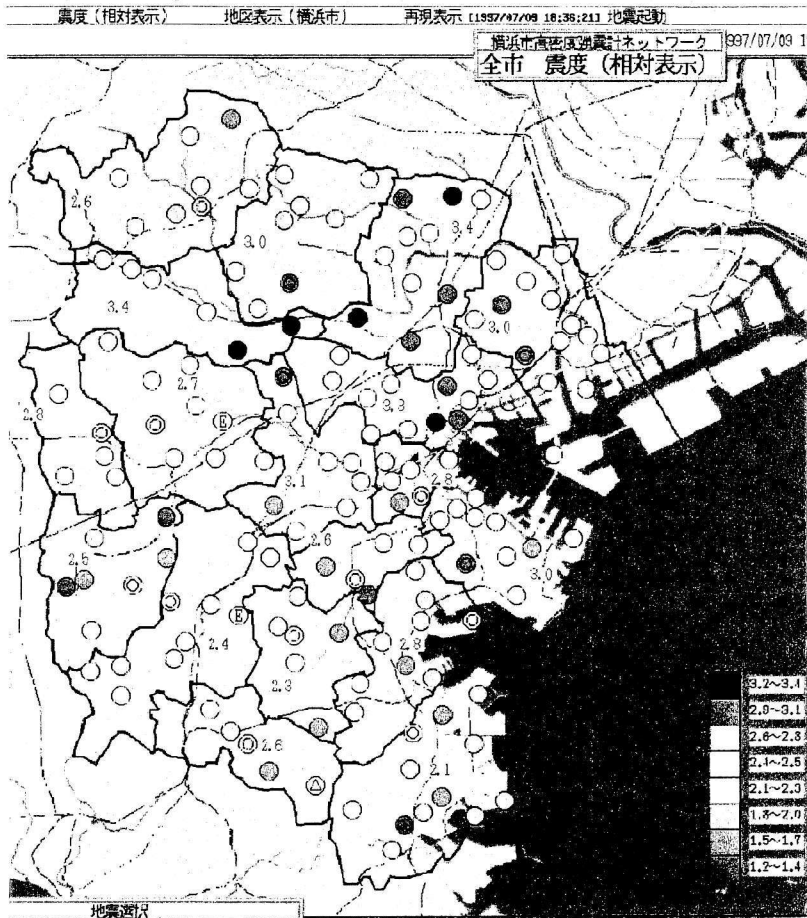


図 13 150 地点での震度の分布図

図 15 に示す、各観測点からの情報としては、応答スペクトル ($h=0.05$) と最大速度を用いている。各観測点での応答スペクトルを PS 検層データに基づいて計算された地盤の増幅率で除して、各観測点での基盤スペクトルを計算している。この際に地盤の非線形性の影響を考慮するため、異なる地震動レベルでの増幅率を計算しておき、地表での最大速度の大きさに応じて増幅率を選択している。

計算された基盤スペクトルに各メッシュでの地盤タイプに対する増幅率を乗じて、各メッシュでの地表での応答スペクトルを計算している。この際も地盤の非線形性の影響を考慮している。各メッシュで計算された地表での応答スペクトルか

ら、それに相当する最大加速度、最大速度および震度を計算し、それらの分布を地図上に表示している。この手順により図 16 に示すような詳細な震度分布図が得られる。

液状化危険度については、液状化が生じた場合には地表での加速度は低減されるので、地震動そのものが弱かったのか、液状化により加速度が小さくなったのかを判断しにくい場合が生ずる。そこで、軟岩中に設置された地中地震計からの情報を用いて、液状化が起こらなかった場合の地表での最大加速度を計算し、道路橋示方書の判定法に従って、各メッシュでの液状化危険度を評価している。

建物被害については、市内で多数を占める木造

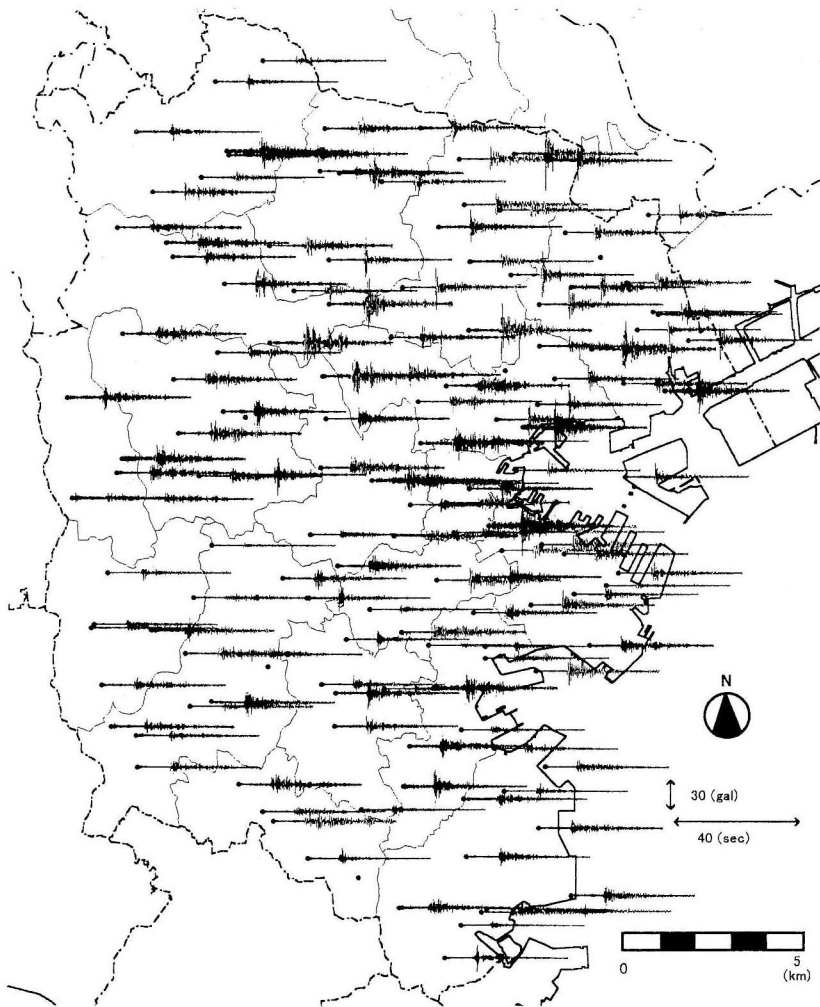


図 14 150 地点での加速度波形の比較

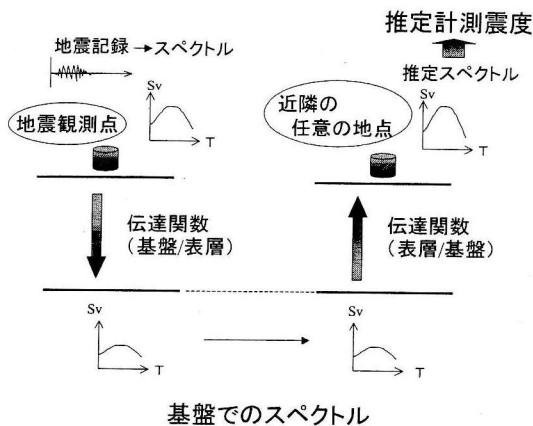


図 15 細密メッシュでの地震動評価方法

建物約 50 万棟を対象として被害予測を行っている。固定資産税データの用途分類や築年などから各建物の固有周期と靱性を設定し、それぞれの地点での地震動の応答スペクトルから各建物の被害を評価している。評価結果は町単位に集計されて表示される。

これらの推定結果は任意のスケールで表示され、緊急輸送路や避難場所などの施設を重ね書きすることにより、より効果的な緊急対応の戦略づくりを支援することに利用される。図 17 に建物被害推定結果の例を示す。図の左側に示した全市の表示結果から被害の全体像が把握でき、右側に

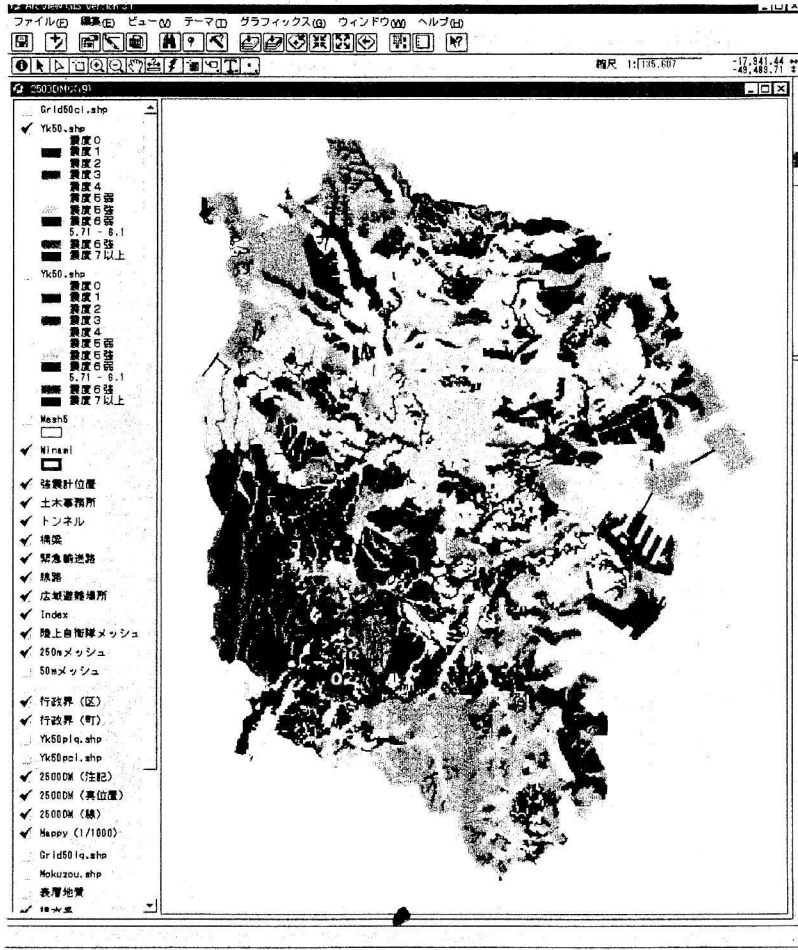


図 16 細密震度分布図の一例

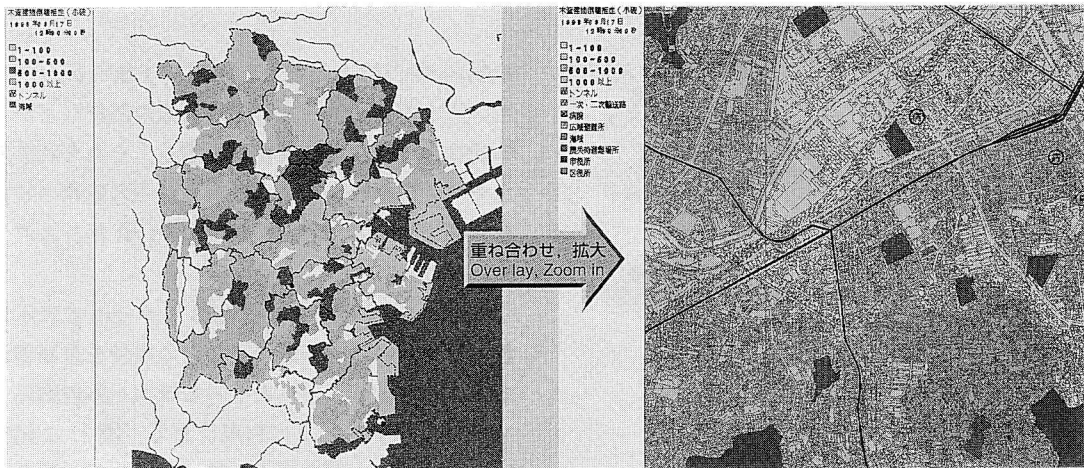


図 17 木造建物被害の推定結果の表示例

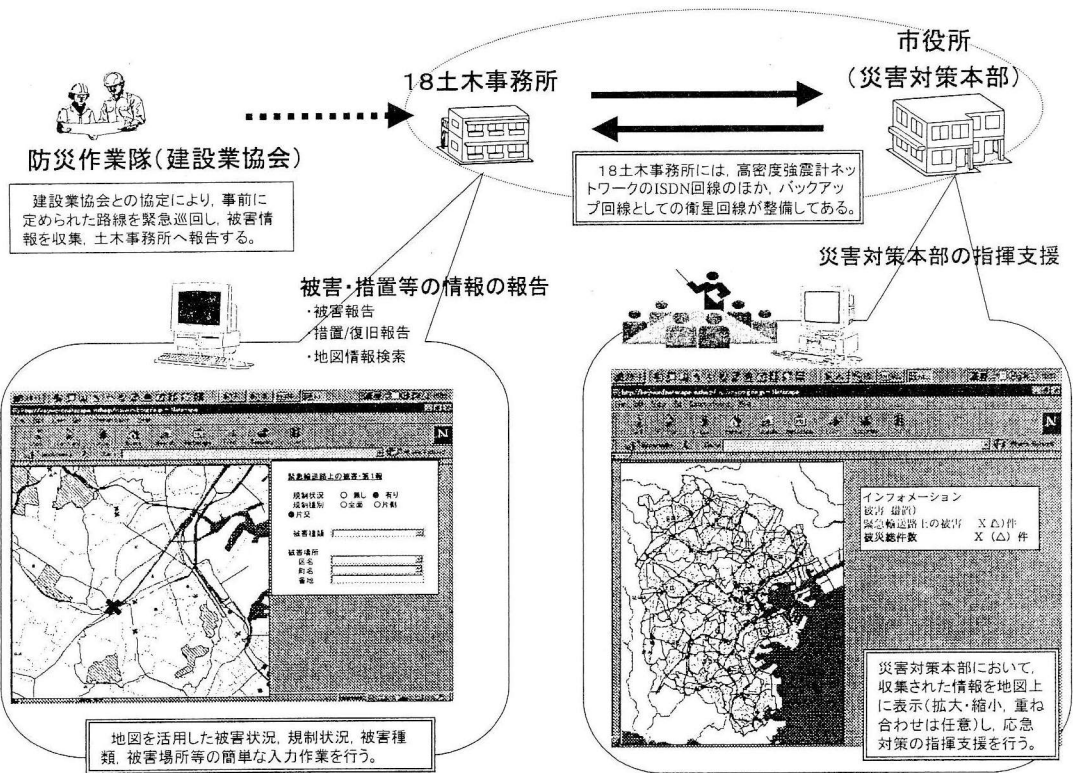


図 18 実被害情報収集システム

示した拡大図から個別の地域での被害状況を詳細に把握できる。

さらに、実被害情報を効率よく収集できる実被害情報収集システムも構築されている。これは、震度5弱以上の地震が発生した場合、市と協定を締結した建設業者が防災作業隊として、地域の道路被害や交通規制の状況を各区の土木事務所に報告し、土木事務所がこの報告結果を地図データの形で市役所に衛星回線や高速電話回線で送信するものである。図18に本システムの概要図を示す。

また、ヘリコプターや超高層ビル(ランドマークタワー)屋上からのカメラ映像、区役所からの被害や対応の情報、ライフライン事業者からの被害や復旧情報も市役所に収集される。これら全ての情報を参照しながら、市の災害対策本部会議で初動の活動方針が決定される。

5. 今後の課題

筆者は大学院の授業の一環として、横浜市のシ

ステムの見学会を行い、その役割や問題点についてレポートを大学院生に提出させている。ここでは彼らの指摘した横浜市のシステムでの問題点を整理して、他のリアルタイム地震防災システムにも共通する今後の課題について考えてみたい。

指摘された問題点を整理すると、①システムの耐震性、②システムの維持管理体制、③他のシステムとのネットワーク化、④実被害情報の収集は十分か、⑤コスト-ベネフィットの問題、⑥システムを十分に活用できるか、に集約される。

①は大地震時にシステムが確実に作動するのか、特に通信回線の信頼性やバックアップシステムの必要性の問題である。横浜市では150観測点の内18点についてはバックアップの通信手段があるが、これを強化する努力も必要であろう。また、現在のところ被害推定システムのバックアップはないが、市役所から約1km離れた、みなとみらい地区に準備中の災害対策本部室の分室にバックアップシステムを用意する予定となっている。

②はデータ更新や管理者の育成などの問題である。横浜市ではデータベースの更新は5年に一度行う予定となっている。システムの管理は防災技術課の数名の職員で行われており、職員の移動があっても支障がないよう配慮されている。③のネットワーク化の問題は、相互支援のためには周辺地域の状況も把握する必要があるためである。横浜市では東京ガスからの情報を取り込んで周辺地域の震度分布を把握しているが、県や周辺自治体との情報の共有化はほとんど進められていないのが現状である。

④は、いかに迅速に現場の被害情報を集約できるかという問題である。横浜市の各区の土木事務所や区役所から市役所本部へ被害情報を効率的に送信するシステムは整備されているが、現場から各土木事務所や区役所への情報伝達については特別準備されていない。日常の施設管理にも役立つモバイル端末の開発などを進める必要があろう。

⑤のコストについては、横浜市のシステムを構築するのに約18億円の費用がかかっている。総額は大きなものであるが、約340万人の横浜市民一人当たりのコストに直せば500円程度である。これが安いか高いかは以下に述べる⑥の問題とかわってくる。

⑥の「システムを十分に活用できるか」が最大の課題であろう。第一に、被害推定結果からいかに適切な対応が行えるかという問題がある。横浜市のシステムでは被害推定結果に防災施設などの情報を重ねあわせて緊急対応の判断材料としているが、特定の対応指針が与えられているわけではない。しかし、大地震時には様々な予想外の状況が起こりうるので確定的に指針を与えることは現状では困難である。横浜市では本システムによる模擬推定結果に基づいて防災訓練を年に2回行っている。このような訓練を通して徐々に対応指針を整備していくことが今後必要であろう。

第二には、いかに市民へ情報を提供できるかという問題があげられる。現状では、図13に示した震度の分布図以外は、本システムによる結果は行政内部からしか見ることができない。推定結果すべてをそのまま市民に提供すれば誤解や混乱が起

こる恐れもあるが、わかりやすい形で提供できれば市民の復旧活動を支援する情報となろう。横浜市では大地震時に避難所となる小中学校にインターネットによる被災地情報ネットワークを整備しつつある。このような情報ネットワークに本システムによる結果を組み入れて市民への情報発信を行うことも重要な課題であろう。

第三には、平時での活用である。大地震は激甚な被害を引き起こすが希にしか起こらないものである。リアルタイム地震防災システムを長年にわたって維持管理していくためには緊急時だけでなく平時にも役立つものでなければならない。平時での活用として、地震観測結果などの解析による精密なハザードマップを作成し、それを地域防災計画へ反映させることが望まれる。また、観測結果や模擬推定結果をわかりやすく解説して市民の防災意識の向上を図ることも重要である。

これら両者を目的としたインターネット震度調査を筆者らは横浜市と協力して実施している¹⁾。これは横浜市の震度情報のホームページにアンケート震度調査のページをリンクしたものである。日常発生する中小地震の際にホームページで市内各所の震度を知ろうとした市民に揺れに関する質問を回答してもらい、回答結果に基づいて算出した震度を回答した市民に即座に返答し、それぞれの自宅での震度も知ってもらうものである。これにより、市民の防災意識の向上が図れるとともに、地震観測結果を補って、よりきめ細かい震度分布図やハザードマップが得られることを期待している。

ある学生のレポートには、「リアルタイム地震防災システムに問題があるとすれば、それは使う側の使い方にある気がします」と書かれていた。我々はリアルタイム地震防災システムという新兵器を手にしたばかりであり、これを使いこなすための努力が今後必要とされている。

参考文献

- 1) 山崎文雄, 1999, リアルタイム地震防災のための地震動モニタリング, リアルタイム地震防災シンポ

- ジウム論文集—リアルタイム地震防災の現状と今後—, pp. 5-12.
- 2) Nakamura, Y. and Tucker, B.E., 1988, Japan's earthquake warning system. Should it be imported to California?, California Geology, Vol. 41, No. 2, pp. 33-41.
 - 3) Earthquake Alarm Group, 1973, A plan for strong earthquake alarm system 10 seconds before it attacks the City of Tokyo, Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering.
 - 4) 中村 豊, 1996, 総合地震防災システムの研究, 土木学会論文集, No. 531, pp. 1-33.
 - 5) 持田忠男, 1994, 川崎市の震災対策支援システム, 火災, Vol. 44, No. 6, pp. 44-49.
 - 6) 山崎文雄ほか, 1995, 大規模都市ガス導管網の地震時警報システムの開発, 土木学会論文集, No. 525, pp. 331-340.
 - 7) 大津康祐, 1997, 東京消防庁の地震被害予測システム, リアルタイム地震防災—現状と可能性—プログラム&予稿集, pp. 13-16.
 - 8) Espinosa Aranda, J.M. et al., 1995, Mexico City seismic alert system, Seismological Research Letter, Vol. 66, No. 6, pp. 42-53.
 - 9) Eguchi, R.T. et al., 1997, Real-Time loss estimation as an emergency response decision support system: The early post-earthquake damage assessment tool (EPEDAT), Earthquake Spectra, Vol. 13, No. 4, pp. 815-832.
 - 10) Wald, D.J. et al., 1999, Trinet "Shakemaps": Rapid generation of peak ground acceleration and intensity maps for earthquakes in southern California, Earthquake Spectra, Vol. 15, No. 3, pp. 537-555.
 - 11) Whitman, R.V. et al., 1997, Development of a national earthquake loss estimation methodology, Earthquake Spectra, Vol. 13, No. 4, pp. 643-661.
 - 12) Wu, Y. et al., 1998, Quick and reliable determination of magnitude for seismic early warning, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 88, No. 5, pp. 1254-1259.
 - 13) 桐山孝晴, 1999, 地震防災情報システム (DIS) の開発, リアルタイム地震防災シンポジウム論文集—リアルタイム地震防災の現状と今後—, pp. 59-62.
 - 14) Midorikawa, S. and Abe, S., 2000, Real-time assessment of earthquake disaster in Yokohama based on dense strong-motion network, Proceedings of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 1036/9/A (in Printing).
 - 15) 翠川三郎・阿部 進, 1998, 横浜市における細密震度分布の即時評価, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol. 3, pp. 3467-3472.
 - 16) 翠川三郎ほか, 1999, インターネットを利用したアンケート震度調査, 第9回地域安全学会講演概要集 (印刷中).

大振幅地震動と地盤

非線形化の問題

吉田 望

はじめに

1985年メキシコ地震や1989年ロマプリエタ地震では、震源から遠く離れたメキシコシティやサンフランシスコで大きな被害が発生した。断層で発生した地震波は断層から離れるにしたがって拡散し、振幅が小さくなるのが普通なので、これは、奇妙な現象といえる。

このような現象は、地表近くで起こる地震動の増幅現象を考えないと理解できない。地震動の増幅現象は、特に軟弱な地盤で顕著に見ることができる。

一方、軟弱な地盤では強度も弱いので、地震動の増幅によりひずみが大きくなると破壊状態に至ったり、破壊に至るまでは至らないまでも非線形挙動をするようになる。すると、そこでエネルギーが吸収されるため、地震動の増幅は抑えられる。つまり、地表では、振動の増幅と減衰の二つが同時に起こる、複雑な挙動が起こる。

本論では、地表近くで起こる、地震動の増幅と地盤の非線形挙動に焦点を絞って、地盤の揺れ方を考えてみる。

地震動の増幅

話は地震動からそれるが、読者はサーフィンをご存じと思う。海岸近くで、大きな波が来るのを待ちかまえ、それに乗るスポーツである。この大きな波を遡って見ると、沖合にあるときには、それほど波は小さくなく、海岸近くになって大きな波に成長する。では、なぜ海岸近くで、大きな波に成長するのだろうか？

波の伝播を扱う理論によれば、波の伝播速度は水深に影響され、水深が浅いほど速度が遅いことが知られている。つまり、波は沖合から海岸に向かって伝播して行くに従い、速度が遅くなる。すると、後ろから来る波が前の波に追いついてくるので、単位の長さあたりに蓄えられる波のエネルギーが増える。このために海岸に近づくにつれて波の振幅はどんどん大きくなる。

同じことが地盤でも起こる。地盤では、波のS波速度 V_s は地盤の剛性に依存し、次の関係がある。

$$V_s = \sqrt{G/\rho} \quad (1)$$

ここで、 G はせん断剛性、 ρ は質量密度である。式(1)は地盤を伝わる速度は地盤の剛性が大きいほど速くなることを意味している。一方、地盤の剛性は、地表に近づくほど小さくなっていく。特に、表層地盤では剛性は非常に小さく、地震波の伝播速度は小さい。このため、海岸の波と同じ原理で、地震波は地表に近づくにつれて振幅が大きくなる。つまり、地震動の増幅が起こる。

なお、式(1)では、S波（せん断波、横波）に対する式を示した。これは、地震による被害という観点からは、多くの場合、せん断波が重要であるからである。これ以後も、特に断らない限り、せん断波による現象を扱うことにする。P波（粗密波、縦波）に対しても同ような議論は成立するが、これについては、最後に示す。

海岸の波の場合には波は海岸の奥まで押し寄せてなくなってしまうが、地盤では伝わった波動は地表で反射する。これにより、表層にはよりエネルギーが蓄積される。さらに、地表で反射した波は、再び、下方に伝播して行くが、そのまま行ってしまうわけではない。波動が剛性^{*1}の小さい層

から大きな層に伝播しようとする時、層の境界で波が反射する割合が多くなる。地盤では先にも述べたように下に行くにしたがって剛性が大きくなるので、地下に伝播しようとした波動は、層の境で次々と反射し、再び地表に向かうようになる。これによっても表層にはエネルギーが蓄積される。このように、地表と地下で反射を繰り返すことによって表層では波動のエネルギーが蓄積され、地震動は増幅する。

このような地表と地下で反射を繰り返すことにより、エネルギーが蓄積される以外に、地震の継続時間が長くなるという現象も現れる。地震被害を考える際には、これも重要になるときがある。

最初に述べた、波動の伝播速度による増幅はどのような周波数の波でも起こる。しかし、ここで示した地表と地下での反射により起こる地震動の増幅は周波数に依存するという性質を持つ。これは、入射、反射を繰り返している多くの波の山が重なる機会が多いほど地震動の振幅が大きくなるからである。

地表は、波動の伝播から見ると自由端で、位相が変わらないで反射する。このことは、地表では入射した波動と反射した波動が同じように挙動するので、入射した波動の倍の大きさで振動することを意味している。一方、理想的な基盤で反射が起こると、そこは、固定端になり、位相が逆転するので、振幅は0になる。このため、地表が最大振幅の時基盤で振幅が0になるような定常波を起こす周波数の波が最も増幅されることになる。層厚 H の間に $1/4$ 波長が奇数個存在するとこの条件が満たされる。このとき、波の周期 T_n 、層厚 H と V_s の関係は次のように表される。

$$T_n = \frac{4H}{(2n-1)V_s} \quad (n=1, 2, \dots) \quad (2)$$

特に、 $n=1$ の周期は最も地震動が増幅される周期である。

図1は北海道開発局釧路港湾建設事務所で1993～1995年に観測された地震記録より、地表と地中の記録の周波数ごとの振幅の比（スペクトル

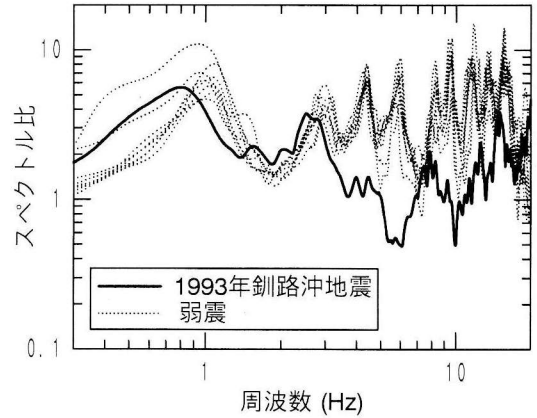


図1 北海道開発局釧路港湾建設事務所で1993～1995年に観測された地震記録の増幅

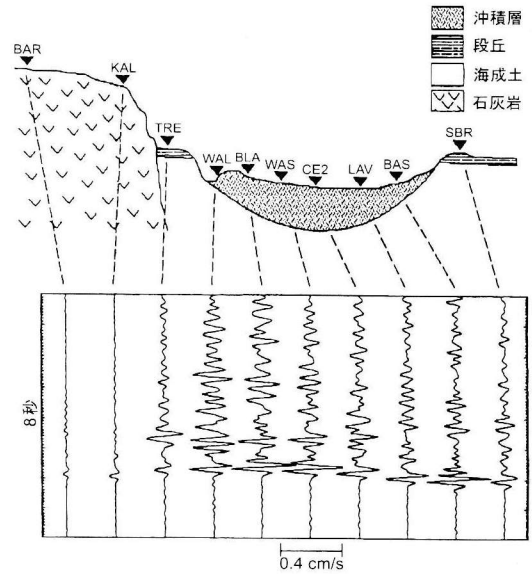
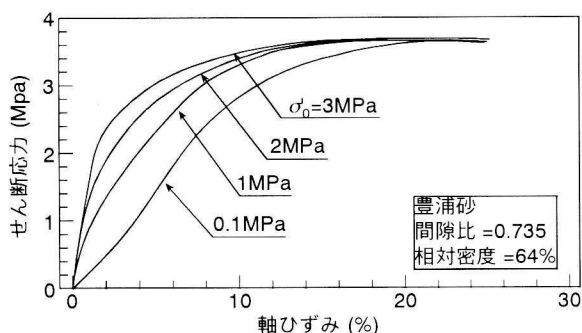


図2 ロマ・プリエタ地震の余震の記録¹⁾

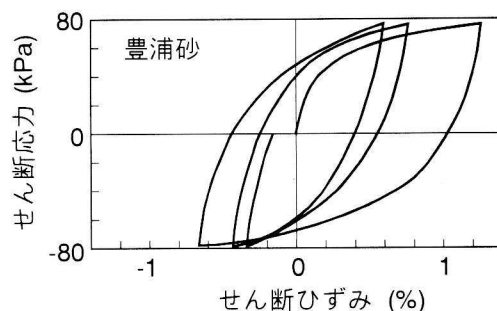
比)を求めたものである。八つの弱い地震動に対するスペクトルの比は概ね同じ形状をしており、増幅特性の周波数依存性が明瞭に読みとれる。

以上では、表層地盤で地震動の増幅が起こる原因として、波動の伝播速度、地表での反射、地下での反射の三つを挙げたが、このうち、地表での反射を除く二つは、表層地盤が軟弱なほど起こりやすいことは、これまでの説明から明らかである。

¹⁾ 実際には、インピーダンスで反射が決まるが、土では単位体積重量はそれほど変わらないので、概ね剛性と考えるが良い。



(a) 単調載荷時の挙動²⁾



(b) 繰返し載荷時の挙動³⁾

図3 土の応力-ひずみ関係の例

このような表層における地震動増幅が大きな話題となったのは、1989年サンフランシスコをおそったロマプリエタ地震であったように思われる。この地震では、サンフランシスコ市で得られた地震記録で、硬質地盤サイトで得られた最大加速度がおおむね0.1gをやや下回る程度であったのに対して、埋立地等の軟弱地盤では0.2g程度の大きさとなっている。また、この地震の余震の記録では、図2に示すように軟弱地盤で地震動が増幅されている様子が見事に記録されている¹⁾。

地盤の非線形挙動

これまでの話では、表層の地盤が軟弱なほど、地震動は地表付近で増幅されるということであった。つまり、軟弱という用語を、剛性が小さいという意味で用いた。しかし、地盤が軟弱というときには、もう一つの性質、すなわち、「非線形挙動を起し、破壊しやすい」という意味も含めていることが普通である。

図3(a)は、土が力を受けたときの応力とひずみの関係の例である。土に限らず、物質は力を受けると次第に抵抗力が無くなり、やがて破壊状態に至る。また、図3(b)のように、繰返し力が作用したときには、応力-ひずみ関係はループを描く。このループの面積は、材料が吸収したエネルギーである。このような、応力-ひずみ関係が線形

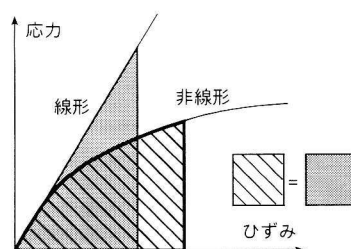


図4 線形と非線形の系のエネルギー吸収の違い

にならない挙動を非線形挙動という^{*2}。つまり、非線形挙動とは、応力が大きくなると、剛性が小さくなること、繰返し力を受けるとエネルギーを吸収することである。全ての物質はこのような性質を持っているが、鋼材やコンクリートといった構造用材料に比べれば、土は非常に小さい応力でも非線形挙動を示すことが特徴である。

では、非線形挙動が起きるとどうなるかを考えてみよう。先に、地震動が増幅するのは、波動のエネルギーが貯まるからであることを述べた。つまり、波動の持っているエネルギーがひずみエネルギーとして蓄えられるわけである。この際、同じエネルギーを蓄えるのに、弾性と非線形では蓄え方に差がある。図4は弾性の系と非線形の系に同じエネルギーが貯まったときの状態を示したものであるが、次のようなことが分かる。

- ① 弾性（線形）の系では、応力が大きく、ひずみが小さい。
- ② 非線形の系では、弾性の系と比べ、同じエネルギーを吸収するのに、応力は小さいが、ひず

^{*2}本来、線形と弾性は異なる性質であるが、ここでは地盤材料に話を限定し、線形（応力-ひずみ関係が直線）=弾性、非線形=弾塑性の意味で用いている。図4参照。

みが大きい。

- ③ 見かけのせん断剛性は、非線形の系の方が小さい。

ここで、一次元の地盤を考え、ある深さ H より上の力の釣り合いを考えると次のようになる (図5参照)。

$$\tau = \frac{\sigma_v}{g} \alpha \quad (3)$$

ここで、 τ は水平面に作用するせん断応力、 g は重力の加速度、 α は深さ H から上の土柱の平均的な加速度で、 σ_v は上載圧 (深さ H より上の土柱の重量) である。これからせん断応力が小さくなると、加速度も小さくなる事が分かる。

つまり、非線形挙動が起ると、図4から分かるように剛性が小さくなり、また、式(3)から分かるように加速度の値が小さくなるわけである。

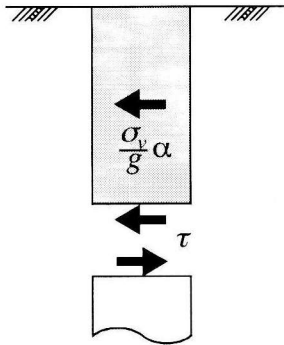


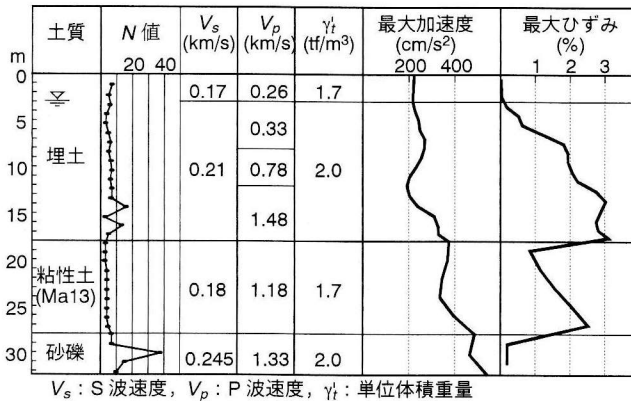
図5 単位面積の土柱の力の釣り合い

図6は、1995年兵庫県南部地震におけるポートアイランドの鉛直アレーのシミュレーションである⁴⁾。ここではGL-18mまでが埋土で、これが大規模な液状化を起こし話題となった。しかし、ここで着目したいのは、その下にある軟弱な沖積粘土層 (Ma13 と呼ばれることが多い) の挙動である。図6 (a) に見られるように、この層では最大加速度は小さくなり、ひずみも大きい。図6 (b) にはこの層の応力-ひずみ関係の例を示しているが、著しい非線形挙動をしていることが分かる。このように、非線形挙動が起ると、地震動は増幅せず、減衰してしまうこともある。

加速度が小さくなることは、地表の構造物に作用する慣性力が小さくなるということであるから、構造物にとって有利である。1995年兵庫県南部地震では、震災の帯の南側では構造物被害が比較的少なかったが、震災の帯の南限を決めたのは、図6と同じような軟弱な沖積粘土層 (Ma13) の存在である⁵⁾。実際、Ma13の北限と震災の帯の南限が一致することも確かめられている⁶⁾。

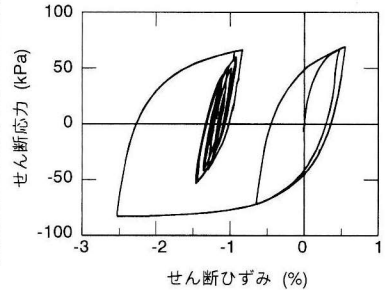
では、地盤に非線形挙動が起るのは良いことだろうか？ 加速度が小さくなるということは良いことであるが、これに伴って問題となる現象が現れることもある。

一つは、図5から分かるように、非線形挙動が起ると、地盤のひずみ (変形) が大きくなることである。したがって、地中にある構造物、例えば構造物を支持している杭の周辺でひずみが大き



V_s : S波速度, V_p : P波速度, γ_t : 単位体積重量

(a) 最大応答値



(b) 粘性土層の応力-ひずみ関係

図6 兵庫県南部地震におけるポートアイランドの地震応答解析

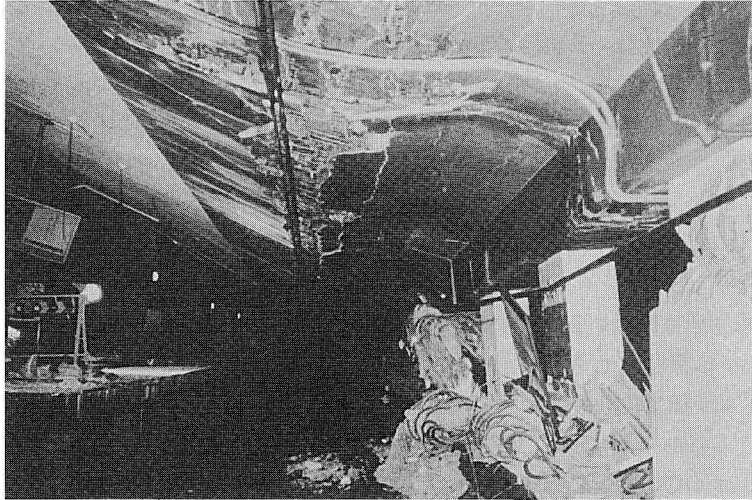


写真 1 地下鉄大開駅の被害

くなる。杭は地盤の動きにつられるように動いているので、地盤のひずみが大きくなると被害を受けやすくなる。兵庫県南部地震では、地盤の大きなひずみが原因と考えられるような杭の被害が非常に多く報告されている。また、地下構造物の初めての大規模な被害といえる地下鉄大開駅の崩壊(写真1)も、地盤のひずみが大きくなったのが原因である⁷⁾。

地盤のひずみをもっと大きくなり、地盤が発揮できる最大強度を超えると、せん断応力は急激に減少するので、斜面ではせん断強度が作用しているせん断応力より小さくなり、斜面崩壊が発生することもある。本論では、地震動を扱うので、このような現象はこれ以上触れない。

地盤の非線形挙動に伴う、もう一つの現象は、剛性の低下に起因する。式(2)に示したように、剛性が低下すると、地盤の卓越周期は伸びる。地表では長周期の成分がより増幅されるようになる。図1には、大きな地震(1993年釧路沖地震)による増幅特性が比較されているが、小さい地震と比べ、スペクトル比が小さくなるとともに、卓越周期が伸びている(ピークの振動数が小さくなっている)ことが分かる。また、図9には異なるケースであるが加速度波形の変化の例が示されており、周期がのびる様子がより理解できよう。

地表の構造物の被害は、慣性力の大きさだけで

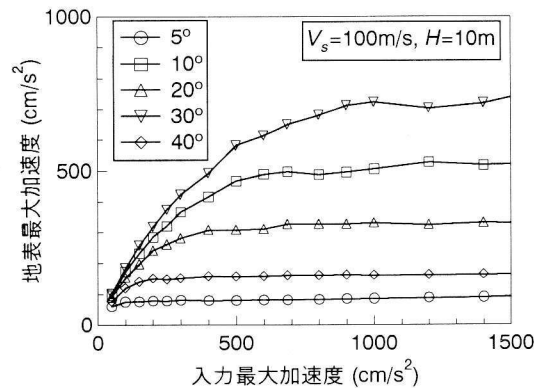


図7 モデル地盤における地盤の強度と最大加速度の関係

はなく、地震動の周波数特性に依存する。つまり、構造物の卓越周期に近い周波数成分をより多く含んでいるほど被害を受けやすくなる。ビルディングでは階数が多くなるほど卓越周期は大きくなる。また、一般に大規模構造物ほど周期は長い。地盤の非線形効果により長周期成分が卓越されるようになると、このような構造物ほど被害を受けやすくなる。つい最近起こったトルコのコジャエリ地震では、2階建て建物より4階建て以上の建物に被害が大きいということが報告されている⁸⁾が、これもこのような地震動に含まれる周波数特性抜きには考えられない。

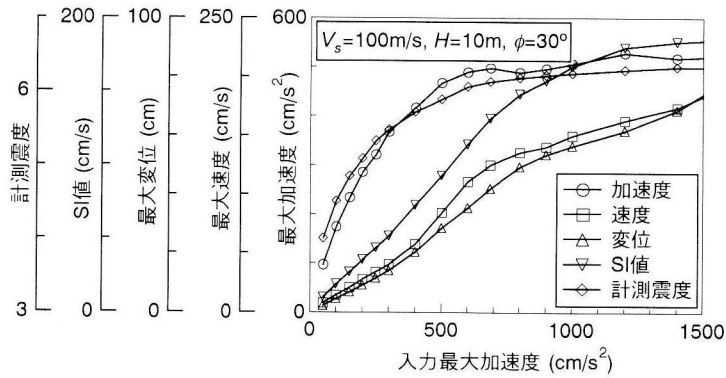


図 8 入力地震動-地表の地震動に対する各種指標関係

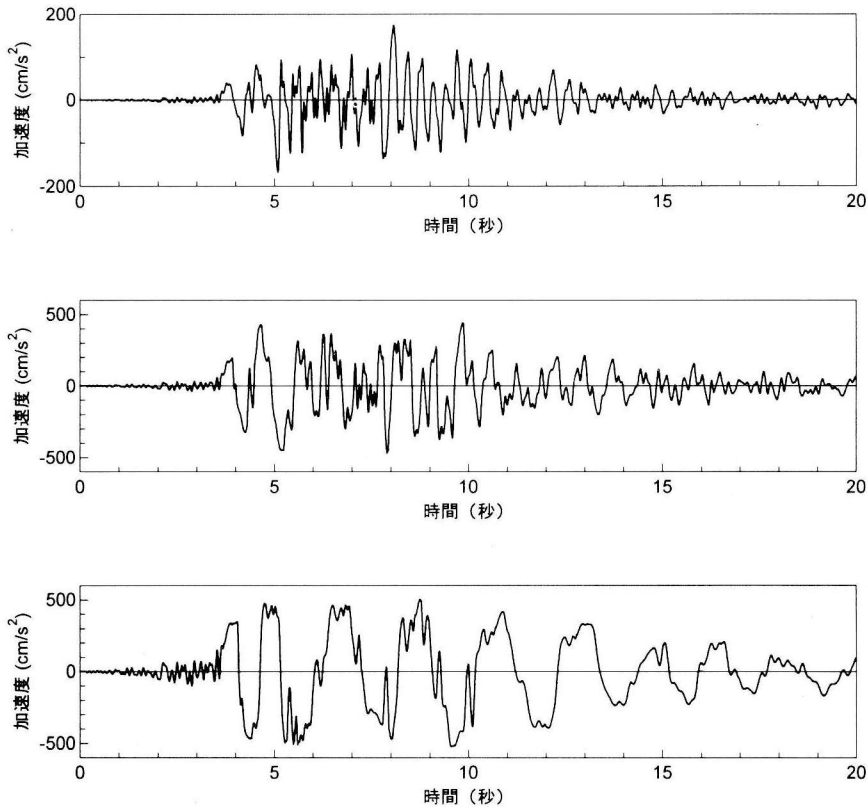


図 9 異なる入力地震動に対する地表の応答 (上から入力加速度 100, 500, 1400 cm/s^2)

関東地震では、地盤の良い山の手で被害が小さく、地盤の悪い下町で家屋の被害が多かったことが報告されている。これらの地域の地盤の地震応答解析を行ってみると、地盤の良いところの方が大きな加速度となっており、被害の傾向と合わない。これも、下町では地盤の軟弱さと非線形挙動のため地震動の卓越周期が長く、重い瓦屋根や剛

かった当時の家屋の周期に近づいてきたと考えれば理解できる現象である。

最大の地震動は

式(3)でせん断応力と地盤の加速度は密接な関係があることを示した。また、地盤が支持できるせん断応力には限界がある。これから、地表で得

られる加速度には上限があることが分かる。

このことを実証するために、モデル地盤を作成し、地盤の強度と表層地盤に入射する地震波の大きさを変えて、地震応答解析を行った⁹⁾。その結果の一部を図7に示す。横軸に示した入力加速度が大きくなるほど縦軸で示される地表の最大化速度が頭打ちになること、地盤の強度が小さいほど頭打ちになる最大加速度が小さくなること分かる。

ところで、先に述べたように、構造物の被害には、加速度だけでは決まらない。そこで、同じ計算で得られた地表の地震動から、色々な地震動の指標の増幅特性を計算してみた。図8はその一例である。

図を見ると、入力が大きくなると図7と同じような頭打ち現象が見られる指標と、見られない指標があることが分かる。例えば、最大速度には、加速度に見られたような頭打ち現象は見られない。図9に示した加速度時刻歴の比較を見ればこの原因は推測がつく。つまり、加速度には地盤の強度で決まる上限値があるが、入力が大きくなると、その値を維持している時間が長くなっている。したがって、加速度を積分して得られる速度は入力とともに大きくなるわけである。もちろん、入力がとてつもなく大きくなり、地震の作用時間全部で同じ大きさの加速度となれば、速度は頭打ちとなるわけであるが、このような現象は通常の範囲では起こり得ない。

では、構造物被害との相関が良いといわれている震度はどうであろうか？ 図8に震度について示しているが、やはり、地盤の強度による頭打ちが見られる。計測震度^{*3}は、加速度記録にフィルター処理をして求めるものであるため、最大加速度と同じ傾向を持つのは当然と考えられる。一方、SI値は最大速度と同じような性質を持つと考えられているが、図8ではSI値は上限を持つものに対して、最大速度には頭打ちが見られず、両者に違いがある。これは、SI値の算出では、周期0.1

^{*3}震度の計算には水平2方向と上下動の三つを使うが、ここでは、同じ計算手法で、一方向成分に対する震度を計算している。

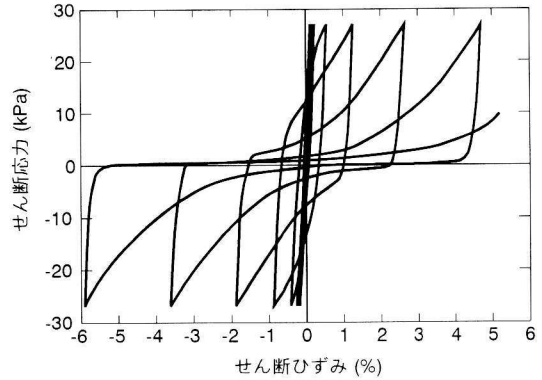


図10 砂の液状化強度試験における応力-ひずみ関係の例

秒から2.5秒までの速度応答スペクトルを用いるので、地盤の非線形性が極端に大きくなり、地震動が長周期化してしまうとSI値の計算範囲からはずれてしまうために、SI値には上限値が存在すると考えると理解できる。

液状化

地盤の非線形現象の一つの典型的な現象に、地盤の液状化がある。液状化が発生すると、これまでと同じような現象が見られるわけであるが、これに加え、液状化に特有な現象が起きる。ここでは、このことを示す。

図10は砂に繰り返しせん断を加えたときの応力-ひずみ関係を示している。図4で示した非線形の例では、ひずみが大きくなるとせん断応力の増加分は次第に小さくなった。これに対して、液状化が起こるような材料で、ある程度強い材料では、図10に示すように、繰返しせん断を加えていくと、ひずみが大きくなっていく過程で、一旦は普通の非線形挙動と同じようにひずみと共に剛性が小さくなっていく現象が見られるが、ひずみがさらに大きくなると、再び剛性が大きくなる。この現象はサイクリックモビリティと呼ばれ砂では普通に見られる現象である。

これまで述べてきたことから分かるように、せん断応力が増加すると、加速度も増加する。した

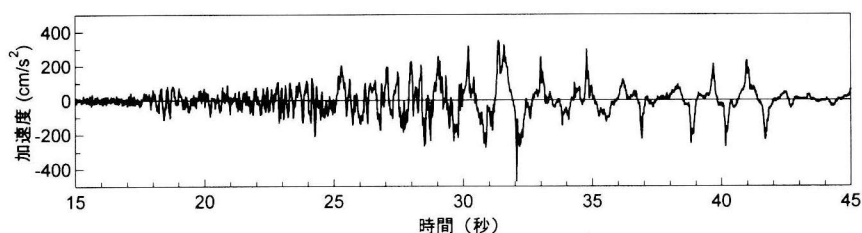


図 11 液状化サイトの加速度時刻歴の例 (1993 年釧路沖地震・港湾事務所)

がって、液状化が発生したサイトでは、地盤の非線形化に伴う加速度の頭打ち現象や長周期化は見られるが、これ以外に、サイクリックモビリティに伴って生じる急激な加速度の増加が現れる。例えば、図 11 は 1993 年釧路沖地震の際液状化したサイトの加速度波形を示している。25 秒以降、波形は長周期化しており液状化が発生していると考えられるが、加速度がピークを示す付近で、加速度が急激に増加している。これがサイクリックモビリティが起こったことによる現象である。

P 波の増幅

最後に P 波について考える。地震動で考慮すべき周波数のオーダーでは、地下水がある場合、土と地下水は一体となって挙動する（非排水条件）ので、同じ土であっても、地下水より上にある時と下にある時で V_p が全く異なる。この点は速度がほとんど変わらない S 波と大きく異なる点である^{*4}。

P 波の伝播に対応する水の剛性は土の剛性より非常に大きいので、地下水位以下では P 波の伝播は水に大きく支配される。水の P 波速度は約 1500 m/s であるので、非線形が問題となるような表層では、計測される P 波速度もこのオーダーである^{*5}。さらに、地盤の非線形挙動の影響もほとんど受けない。

地下水位以下では、伝播速度が深さに関わらず

ほぼ同じなので、先に述べた、表層で地震動の増幅が起こる三つの原因のうち、波動の伝播速度が遅くなることによる増幅と、地下で反射することによる増幅は起こらない。したがって、地下水位以下では P 波は余り増幅しない。これに対して、地下水より上では、P 波速度は水の影響を受けなくなるので、例えば図 6 (a) に示したように 1500 m/s に比べ非常に小さくなる。したがって、増幅の起こる三つの原因の全てが作用することになり、P 波も増幅する。

地下水位以下では P 波は増幅しないと述べたが例外もある。例えば、兵庫県南部地震の際ポートアイランドで得られた鉛直アレーの記録では、表層では水平方向の加速度が減衰したのに対し、上下方向の加速度が増幅したのが一つの話題となった。水平方向の減衰は、Ma 13 や埋土の非線形挙動に起因している。これに対し、上下動の増幅はこれでは説明できない。

図 6 に示した P 波速度 V_p を見ると、地下水位以下では V_p は余り変わらないという上の説明とは異なり、地下水位以下でも、埋土層では 0.33~0.78 km/s と非常に小さい層がある。詳細な土質調査によれば、これらの層はかなり不飽和であることが示されている¹⁰⁾。つまり、 V_p が小さいのは、飽和度が極端に低い結果である。この程度 P 波速度が小さくなれば、増幅の起こる三つの原因が全て作用するので、上下動が増幅しても不思議ではない。

おわりに

本論では、表層地盤における地震動の増幅と地盤の非線形挙動が表層の地震動に与える影響につ

*4 せん断変形に対する抵抗力（剛性）は変わらないが、水と一体となって動くので質量が変化し、式 (1) で分かるように、せん断波速度も変化する。

*5 地下水位以下では水で飽和しているとはいっても空気が溶け込んでいるので、実際に計測される P 波速度は 1500 m/s より少し小さいのが普通である。

いて検討した。これらをまとめると次のようになる。

- ① 増幅が発生するには三つの原因があり、表層ではこのどれもが起りやすい。特に軟弱地盤では増幅が顕著になる。また、地盤によって増幅の起りやすい周波数がある。
- ② 入力が大きくなると、地盤が非線形化し、増幅率が減少するとともに、地震波は長周期化する。入力地震波がさらに大きくなると、材料が破壊に近づくため、地表では地震動に上限がある。
- ③ 地震による被害を考える際には、加速度の大きさだけでなく、地震動の周波数特性も重要である。表層地盤の特性はこれに大きな影響を与える。

さらに地震動増幅という観点でまとめると、表層における地震動を考える際には、入力が小さい間は増幅現象が重要であり、入力が大きくなるにしたがって非線形挙動による減衰と卓越周波数の減少が重要になるようになり、非常に大きい入力では材料の破壊とそれに伴う地震動の頭打ち現象が重要になるといえよう。

なお、ページ数の関係から、筆者の最大の研究対象である、非線形な力学挙動についてページを余り割くことが出来なかったのは少し残念である。

最後に、本論をまとめるに当たり、末富岩雄さんには色々手伝っていただいた。感謝します。

参考文献

- 1) 地震予知総合研究振興会, 1990, 1989年ロマップリ
エタ地震被害調査報告書.
- 2) Ishihara, K., 1996, Soil Behavior in Earthquake
Geotechnics, Oxford Science Publications, 350 p.
- 3) Towhata, I., 1989, Models for cyclic loading,
Mechanics of granular materials, Report of
ISSMFE Technical Committee on Mechanics of
Granular Materials, ISSMFE, pp. 80-90.
- 4) 吉田 望, 1995, 1995年兵庫県南部地震における
ポートアイランドの地震応答解析, 土と基礎, Vol.
43, No. 10, pp. 49-54.
- 5) Suetomi, I. and Yoshida, N., 1998, Nonlinear
behavior of surface deposit during the 1995 Hyo-
goken-nambu earthquake, Soils and Founda-
tions, Special Issue on Geotechnical Aspects of
the January 17 1995 Hyogoken-Nambu earth-
quake, No. 2, pp. 11-22.
- 6) 阪神・淡路大震災調査報告書委員会, 1998, 阪
神・淡路大震災調査報告書, 共通編-2, 地震・地震
動, 地盤・地質, 丸善, 577 p.
- 7) Yoshida, N., Nakamura, S., Suetomi, I. and
Esaki, J., 1997, Validation of analytical procedure
on Daikai Subway Station damaged during the
1995 Hyogoken-nambu earthquake, Seismic Be-
havior of Ground and Geotechnical Structures,
Balkema, pp. 381-388.
- 8) Erken, A., 1999, The effect of soil condition
during Kocaeli earthquake, [http://www.koeri.
boun.edu.tr/earthqk/earthquake.htm](http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/earthquake.htm)
- 9) 末富岩雄, 沢田純男, 吉田 望, 1999, 地震動上
限值と地盤のせん断強度の関係に関する一検討, 第
34回地盤工学研究発表会, pp. 1963-1964.
- 10) 阪神・淡路大震災地盤調査研究会, 1999, 平成9
年度報告書.

地震・津波碑探訪

力武常次

の町村別建物全壊数を引用するとつぎのようになっている。

埼玉県の震災

埼玉県方面では、県内発生地震の災害よりも、安政江戸地震（M=6.9, 安政2年, 1855）や関東地震（M=7.9, 大正12年, 1923）など、県外の地震による被害が目立つ。したがって、これらの地震に関連するモニュメントがいくつか残されている。

「埼玉県地震被害想定調査報告書」（平成10年3月, 埼玉県）には、上記2つの地震の被害概略がつぎのように記載されている。

○安政江戸地震

推定震度 浦和, 蕨, 草加, 志木, 幸手, 吹上, 栗橋 6. 荒川沿いに北の方熊谷あたりまで, 土手割れ, 噴泥砂等の被害があった。幸手から松戸付近までの荒川～利根川間の52ヶ村総家数5041軒中, 壊家17軒人家・土蔵・物置等壊同然3243軒。(村毎の被害率9-73%)。殆どは液状化による被害か。越谷土蔵の小被害。

蕨で宿壊3軒。土蔵は全て瓦壁土落ちる。家の大破33軒死1, 傷1。見沼代用水の堤も多くの損害。行田で壊。半壊3。土蔵は所々で大破, 壁落ち等あり。

○関東地震

死者316名, 負傷者497名, 行方不明者95名, 全壊9268軒, 半壊7577軒。

関東地震の被害をより詳しくみるために、「震災豫防調査会報告第百號(甲) 関東大地震調査報文地震篇」(震災豫防調査會編, 1925)より埼玉県

町 村	總戸数	全潰家屋數	百分率
美谷本	450	73	16.2
六 辻	659	229	34.8
尾間木	450	38	8.4
蕨	1125	77	6.8
戸 田	799	129	19.9
芝	580	132	23.3
草 加	1053	126	12.0
神 根	669	69	10.3
野 田	435	24	5.5
戸 塚	349	55	14.3
安 行	528	104	19.7
新 田	418	149	35.7
川 口	3272	488	14.9
横曾根	929	61	6.6
南 畑	546	28	5.1
宗 岡	394	29	7.4
井 草	343	48	13.0
出 丸	390	33	8.5
共 和	345	28	8.1
原 道	515	39	7.6
元 和	404	36	8.9
岩 槻	1407	58	5.4
豊 春	410	78	19.0
粕 壁	1180	209	17.7
川 通	429	107	23.5
武 里	510	157	30.7
櫻 井	403	68	16.7
増 林	634	36	5.7
大 袋	475	44	9.3
萩 島	410	33	8.0
新 和	485	84	16.9
出 羽	444	151	34.0
大相模	514	61	12.8
幸 手	1018	276	27.5
八 代	521	47	9.0
田 宮	451	53	11.7
杉 戸	632	46	7.3
堤 郷	329	28	8.5
幸 松	562	93	16.3
豊 野	388	29	7.5

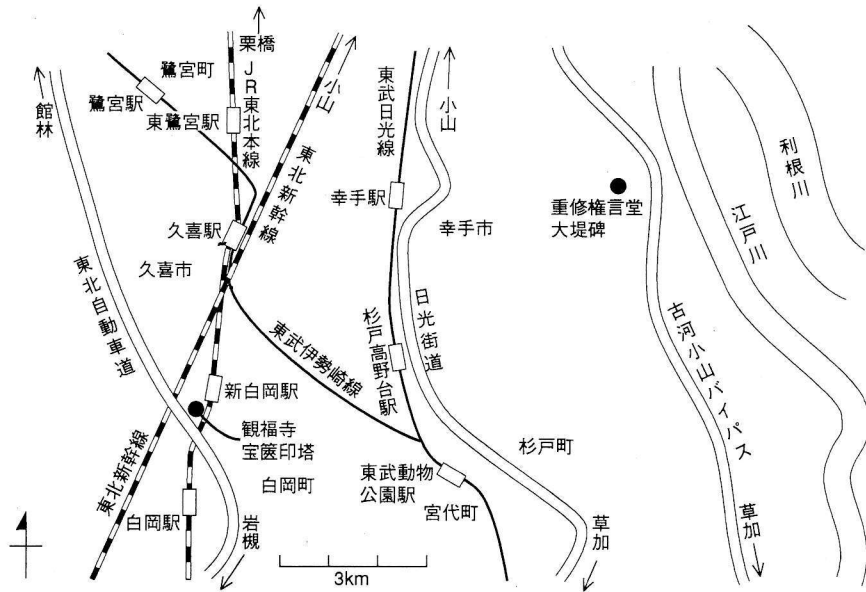


図1 「重修権現堂大堤碑」と「観福寺宝篋印塔」の位置図

また、前出「被害想定調査報告書」によれば、関東地震や安政江戸地震と同等の地震が将来発生したときの震度はそれぞれつぎのようになると想定されている。

○安政江戸地震

志木市、戸田市の一部や浦和市と与野市、大宮市の谷筋の腐植土分布地帯で震度6弱となる。川越市、所沢市より東部の平野部で震度5強以上となる。県の東半分は震度5以上になる。

○南関東地震

戸田市から川島町へかけての荒川沿いが震度6弱と予想される。このほか浦和市と与野市、大宮市の谷筋の腐植土分布地帯、所沢市から三郷へかけての都県境付近にも震度6弱が見られる。県の東半分はほぼ震度5強以上となり、さらに熊谷市から本庄市方面の県北部は震度5弱となる。

このように埼玉県の地震被害にはかなりなものがあり、上記2つの地震以外にも、西埼玉地震や綾瀬川断層地震などの可能性もあるので、埼玉県としては震度5~6弱の地震の発生を想定して、

対策を練っておく必要がある。

●重修権現堂大堤碑 [幸手市宇和田 543 宇和田公園内]

埼玉県東部には利根川、庄内古川、中川、元荒川、荒川などの諸河川があり、従来洪水の災害をしばしば蒙ってきた。したがって、高瀬正著「埼玉県の近世災害碑」(ヤマトヤ出版、1996)にも述べられているように、災害モニュメントには水災に関するものが圧倒的に多い。

以下に述べる「重修権現堂大堤碑」は、天明6年(1786)の洪水によって決潰した権現堂川大堤を修復したが、安政2年(1855)の安政江戸地震によって再び破損し、再度修復したことを記念したモニュメントで、明治27年(1894)建立された。

前出「埼玉県の近世災害碑」によれば、この碑は幸手市権現堂にあることになっている。地図によると幸手市には権現堂という地名が何箇所もありよく分からなかったが、幸手市教育委員会社会教育課にうかがって、東武日光線幸手駅より東方約4kmの宇和田公園内に現存することが分かった。同公園は図1の地図に示すように、中川沿い

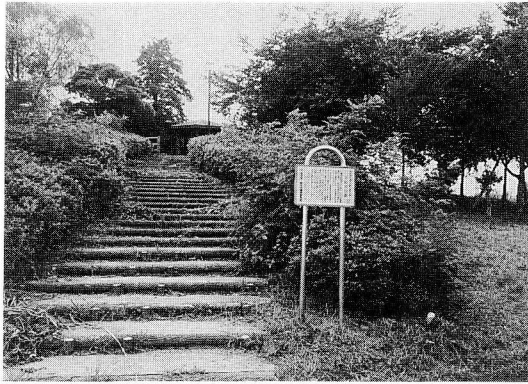


図 2 幸手市宇和田公園入口と案内掲示板

の上宇和田地区にある。この碑が初めからこの地にあったか否かは明らかでない。

公園の入口には図2のような掲示板があり、下記のように記してある。

「 市制施行五周年記念 幸手八景
宇和田公園

権現堂桜堤から延びていた旧権現堂川の堤は、昭和初期の川の締切り以後の開発により、その姿を切り取られていきました。

大正六年に、林学博士の本多静六氏によって設計されたこの公園も、その一部です。幸いなことに桜堤以外では、この周辺だけが歴史の持つ重みからか開発の手を逃れました。多くの記念碑が建てられており、年輪を刻んだ様々な木々があって、市民の憩いの場となっています。

公園の繁みに遊ぶ子らの声
堤に川に響き交わせり 郷子
幸手市・幸手市教育委員会

掲示板に述べられているように水害関係の碑がいくつもあるが、なかでも目立つのは

「内閣総理大臣男爵田中義一題字による
『庄内古川改修記念碑』(昭和3年6月)」

で見上げるような高さである。この碑の背後に問題の「重修権現堂大堤碑」があり、図3のように苔生していて、判読しにくい。幸い前出「埼玉県

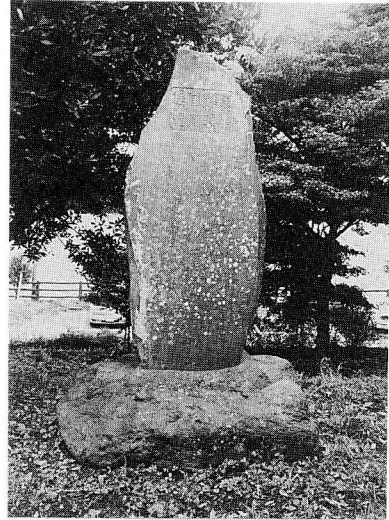


図 3 幸手市「重修権現堂大堤碑」

の近世災害碑」には全文がつぎのように記されている。

「 重修権現堂大堤碑(篆額) 重修権現堂大堤碑
正三位伯爵板垣退助篆額

明治二十六年十月某日修築権現堂大堤告竣其長八百二間堤在埼玉」縣武蔵國北葛飾郡権現堂川邨木立舊志曰天明六年洪水氾濫大堤壞」者長七十餘間激浪奮迅人蓄死傷無算延及江戸浩浩懷城裏街下民昏」墊溺者甚多官命發人夫一修之安政二年地大震又破再修之用夫五万」費用從之近者堤漸壞恐有潰冒之患乃以三千餘圓起其實是歲五月」也初霖雨連月次以炎暑終則秋彌之時農家最多事而用夫一万五千顧」董督得之宜茲告其成盖天明安政之工事大則大矣然害既被亦不過善」其後耳此之於今日未雨之綢繆非同日之論也然則其利之所及何獨埼玉一縣而已哉東京民人亦當安枕而眠矣而東京天下之首都也此堤之」安危謂係天下苦樂亦可矣豈可不勒諸貞石以諗後人乎 明治二十七年五月衆議院議員野口髯撰文併書 齊藤漱石刻字

なお、同書にはつぎのような平仮名まじりの文語体に直した文が載っていて、このほうが分かり易い。

「 明治二十六年十月某日、権現堂大堤を修築し告竣す。其の長八百二間。堤は埼玉縣武蔵國北葛

飾郡權現堂川邨に在り、木立の舊志に曰う。天明六年洪水氾濫し大堤の壊る者長さ七十餘間、激浪奮迅し人畜の死傷算無し。江戸に延及し城を懐き街下に襲る。民昏して墊溺する者甚だ多し。官、命じて人夫を發し一め之を修す。安政二年地大いに震し又破れ再び之を修す。用うる夫五万、費用之に従う。近者堤の漸く壊し潰目の患有るを恐る。乃ち三千餘圓を以て其の工を起す。實に是の歳五月なり。初め霖雨月を連ね、次に炎暑を以てし終われば則ち秋彌の時、農家最も多事にして用うる夫一万五千。顧れば董督宜しきを得茲に其の成を告ぐ。蓋し天明安政の工事大なれば則ち大とせり。然るに害既に被れり。亦善に過ぎず。其の後此れのみ今日において未だ雨の網繆は同日の論に非ざるにならざるなり。然れば則ち其の利の及ぼす所、何ぞ獨り埼玉一縣のみならんや。東京民人亦當に枕を安くして眠るべし。而して東京は天下の首都なり。此の堤の安危は天下の苦樂に係ると謂うも亦可とせり。豈に諸の貞石に勒らざるべからんや。以て後人に諗せんや。

明治二十七年五月衆議院議員野口鑿撰文併書
齊藤漱石刻字

碑の背面には、「埼玉県知事男爵千家尊福他有力量、村内有志者」など20数名の名前が彫られている。

◇ 遙かなる 江戸の地震に 決潰す
水害防ぐ 中川の土堤

●観福寺（真言宗大悲山）の「宝篋印塔」

〔南埼玉郡白岡町大字野牛 656〕

「宝篋印塔」とは「宝篋印陀羅尼の経文を納める塔」で、地震ジャーナル22号(1996)79～80ページに、東京都葛飾区「長伝寺」の塔に関連して詳しい説明がある。

図1の地図に示してあるように、観福寺は東北本線新白岡駅のそばにある真言宗の立派なお寺である(図4)。白岡町教育委員会社会教育課神田氏の御好意で入手した「白岡町史通史編上巻」第9章第六節「安政の大地震と風水害」には、つぎの

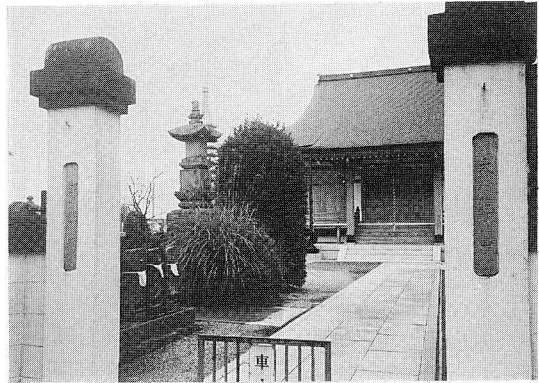


図4 観福寺の寺門、本堂および宝篋印塔

文章があり、地震動による田畑の震害が大きかったことが分かる。

「安政二年十月二日夜の大地震で、西里の畑は残らず地割れをし、磯川と落堀は共に畑と同じ様に悉く埋まり、耕地は壊滅状態となった。農民はこの被害状況を地頭の川副鉦五郎に報告をした。地頭は居宅・土蔵の屋根・壁など破損したが、用人の磯川佐左衛門を遣わして、つぶさに村内の被害状況を見分させている。この見分に基づいて、埋まった磯川の床下掘浚普請を行うこととし、人足として農民を徴発している。その人数は八八人、延人足数は一七〇三人三厘で人足一人に玄米一升と塩味噌増料として一人四文を支給している。そのため下給された米は十七石三升三勺、永は六貫八一三文余であり、これによって磯川及び落堀の普請ができた。(細井昇家文書)

また、この地震で野牛村観福寺の宝篋印塔が倒れ、そのため十世尊栄住持と世話人大久保七蔵外惣壇中で、安政五年七月に再建したことが台石に刻まれている。

「埼玉県の近世災害碑」にも記してあるように、図5の上段の台座には

「安政二年」大地震ニテ」揺損依之」観福寺二」十世尊栄」再建ス」右旨趣旨」為當寺代々先□」法印栄戒」法印覚栄」法師壽栄」両親一門且衛」各盡菩提也」「維時安政五戊午年」七月吉祥日」願

主現住」尊栄代」世話人」大久保七蔵」惣壇中」

この安政江戸地震による倒壊復旧のほか、下段の台座には

「大正十二年九月一日為大震災倒潰依而再建ス
大正十四年三月十日 當山廿三世 東光 』



図5 観福寺宝篋印塔のクローズアップ

と彫っており、関東地震でも倒壊したことが分かる。どういいうけか、前出「埼玉県の近世災害碑」にも「白岡町史」にも、関東地震の被害についての記載がない。この塔の倒壊から考えて、どちらの地震でも白岡町のあたりの震度は5強を超えていたと想像される。

◇ 安政と 大正大震 耐えしのび
今に残れる 観福寺の塔

●普門院供養塔 [岩槻市大野島 246]

図6の岩槻市地区の3つのモニュメント位置図にあるように、同市大野島地区にこの供養塔がある。普門院とあるが、寺院は現存せず墓地と自治会館があり、現在は駐車場となっている広場の片隅みに10基あまりの古い墓石とともに並んでいる。

前出「埼玉県の近世災害碑」には、「岩槻市史金石史料編Ⅱ」（岩槻市社会教育課文化振興係青木氏の御好意によりコピー入手）よりそのまま引用したと思われる以下の文章が記載してある。

「(正面) 安政二卯年十月二日地震ニ 而諸国之人



図6 「普門院供養塔」,「龍門寺」および「正福寺」の位置図



図7 普門院供養塔，正面は剝落して判読不能

横死有無両縁一切精霊各位（左側面）島村中
（右側面）普門院現住法印正隨代」

寸法は64 cm×27 cm×14 cmの角柱であるが、表面は図7のように剝落していて正面の碑文はほとんど判読できずわずかに両側面が読取り可能であり、「普門院」に属することが辛うじて分かる。

◇ その由来 知るよしもなし 安政の
剝落すすむ 横死者の塔

●龍門寺（曹洞宗玉峰山）の「大岡忠光の墓」

[岩槻市日の出町9-67]

龍門寺には、関東地震で倒壊した大岡忠光の墓石の一部が保存されている。龍門寺は岩槻市の東北部にあり、日光御成街道沿いの名刹である（図6の位置図参照）。図8のように山門の脇に案内板が立っていて、下記のように記されている。図9は同寺の本堂である。

「 龍 門 寺

所在地 岩槻市日の出町9-67

龍門寺は、岩槻市街の東北に位置し、日光御成道に面している。宗派は曹洞宗に属し、大里郡寄居町藤田正龍寺の末寺である。



図8 龍門寺の山門

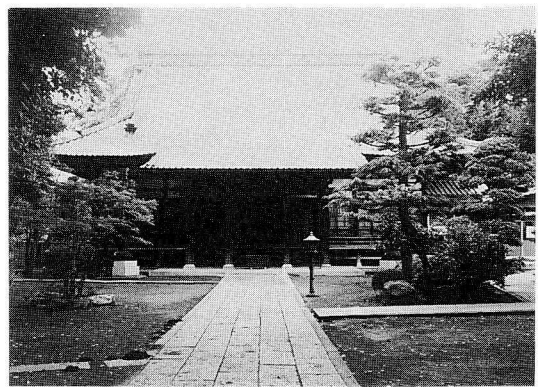


図9 龍門寺の本堂

天文十九年（一五五〇）齊田若狭守の開基で、山号は若狭守の法号「玉峰道全上座」に因んで玉峰山という。開山は格叟寅越大和尚で、本尊は釈迦如来を安置している。

境内には、白山堂、弁天堂、稲荷堂、不動堂がある。

不動明王木像は、慈覚大師の作といわれ、手なし不動の伝承がある。

なお、時の城主大岡出雲守が寄進したと伝えられる備前の国福岡一文字派の刀工助真の作品である刀一振り（国指定文化財・工芸品）が所蔵され、また、岩槻藩主大岡忠光の墓（昭和三十五年市指定文化財・史跡）や岩槻藩土山県大武筆の大岡忠光行状記（昭和三十五年市指定文化財・古文書）などがある。



図 10 龍門寺の大岡忠光の墓

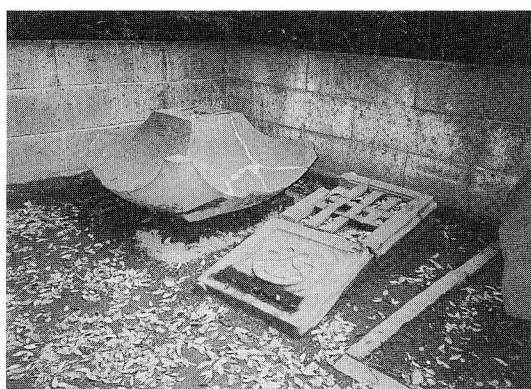


図 11 関東地震で倒壊した大岡忠光の墓石の最上部の傘蓋

昭和五十九年三月

埼玉県
岩槻市

市指定文化財の大岡忠光の墓は図 10 のような立派なお墓であるが、関東地震の際倒壊し、その後修復された。旧墓石の最上部の傘蓋および囲の扉が敷地内に保存されていて（図 11）、傘蓋には

「 大正十二年九月
大震災の際倒壊
昭和五年十二月復舊
大岡家及
外舊臣一同
昭和六年一月

と刻んである。このような墓石の倒壊から判断して、関東地震の震度は岩槻市あたりで 5 強～6 に達していたと想像される。

大岡忠光は名君であつたらしいが、山門脇の案内板（図 8）にもあるように、当寺には岩槻市指定文化財「大岡忠光行状記」が所蔵されていて、忠光が如何なる人物であつたかは、本堂前にある行状記の案内板に、下記のように紹介されている。

「 市指定有形文化財（古文書）

大岡忠光公行状記

大岡忠光は、江戸幕府九代將軍徳川家重の寵臣として若年寄・側用人等の要職を務めた。宝暦六年（一七五六）岩槻城主に封ぜられ、藩領二万石、同十年歿するまで五年間、領下の支配に當つた。山県大弼は宝暦四年以來忠光に仕え、よく輔弼の役も果したが、同十年四月、忠光が病歿すると致仕、のち明和の変に連座し死罪となつた。

本書は、宝暦十年五月に藩主忠喜が大弼に命じて、父忠光の頌徳の碑文を大學頭林信言に求めた際、大弼が主君忠光の系譜並びに略伝を叙して行状記としたものである。

内容は、大岡氏の先世から筆を起こし忠光の生涯の功業と事蹟や事に処しての恭謙な態度、並びに龍門寺に墓壙を定めた経緯等を簡潔な漢文体で叙述し、また文中には忠光を敬慕した大弼の心情を窺うことができる。寛政元年（一七八九）沼野武英は本書を和訳して「得祥院様御行状和解」を作つた。

昭和五十三年三月二十九日 指定

岩槻市教育委員会

◇ 大正の 震災語る 龍門寺
墓石保存の 忠光の墓

●正福寺（新義眞言宗法界山）の追善碑

[岩槻市尾ヶ崎新田 192]

図 6 の位置図に示すように、浦和市との境界に近い綾瀬川沿いに正福寺がある。現地には門柱に「正福寺」とあるだけで、本堂はないし、無人であ

る。境内にはいくつかの墓石とともに一際目立つ「追善碑」がある（図12）。

岩槻市社会教育課文化振興係青木氏の御好意により入手した「岩槻市史金石史料編Ⅱ」によると、この碑の正面および背面の碑文は



図12 正福寺の追善碑

「
 (正面)
 (紋) 追善碑 浅草寺大僧正栄海謹書
 (背面)
 普照院釈妙聞大姉 常照院釈妙秋大姉
 常光院釈智清童女 常楽院釈智秀童子
 常行院釈智勇童子 大正十二年九月一日大震災
 災之際於東京市本所区被服廠跡岡野家家族遭難
 ス茲ニ其冥福ヲ祈ランガ為是ヲ建立ス 大正十
 四年三月十日建立 東京市本所区相生町 建設
 者・施主(人名略) 石工田中忠次郎
 」

となっていて、東京本所被服廠跡で遭難した岡野家を悼む碑がなぜ当地にあるのかは全く分からない。

なお、現地で確認したところでは、建設者は岡野喜平次、施主は真々田馬之助となっている。

◇ 詳しくは 由来不明の 追善碑
 一際目立つ 正福寺の庭

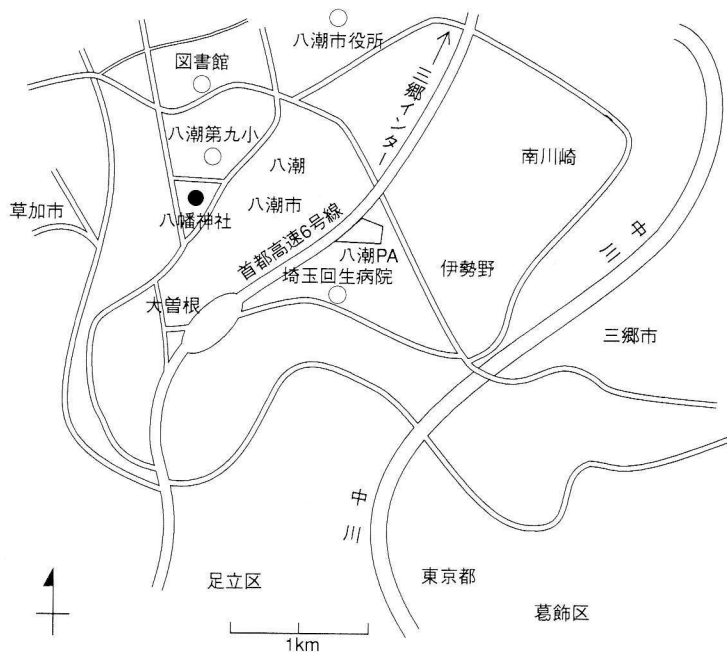


図13 大曾根八幡神社の位置図

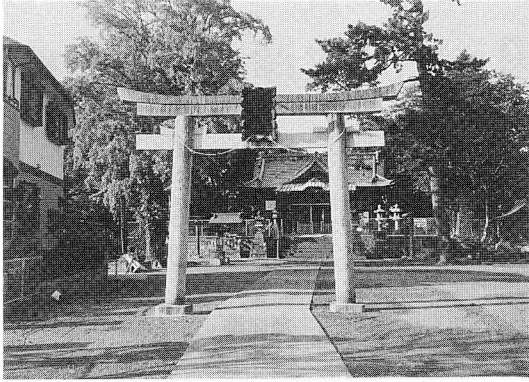


図 14 八潮市大曾根八幡神社の鳥居と本殿

●大曾根八幡神社の鳥居偏額 [八潮市大曾根 40]

東京都足立区に隣接する八潮市大曾根の八幡神社は図 13 に示す場所にある。その鳥居に掲げている銅板の題額の裏面の文面より、文化 6 年 (1809) に建立された鳥居が、安政江戸地震で倒壊したが、安政 5 年 (1858) に再建されたことが分かる。

図 14 に示すように、額は高さ 4 m くらいのところにあり、現地で読み取ることはできなかったが、幸い「東京大学地震研究所編、新収日本地震史料第五巻別巻二-二、1583~1584 ページ」に「鳥居偏額願文」と題して、「八潮の金石資料」よりつぎのように引用してあるので、その由来を知ることができる。

- 「イ 安政五年 (一八五八)
 ロ 大曾根 八幡神社
 ハ 四〇〇×三一〇×三六
 ニ 鳥居
 (右) 領主無疆武運永昌 当村

(正) 八幡宮 (額)

(左) 邨中安泰五穀豊茂 氏子中

(裏) 安政五稔歳在戊午秋八月重修

(額裏) 爰武蔵国埼玉郡八條領大曾根村鎮守八幡宮華表初建者文化六巳年惣氏子一心同志ヲ合御影石ヲ以精造之然ニ安政二卯年十月二日夜稀震災ニ崩碎石頭無事民家揺潰翌辰年八月廿五日夜大風起民屋夥倒損斯兩度之天災ニ氏子人馬無怪我今為奉謝神恩氏子並有信之背再建災奉祈開運依額裏ニ誌之以伝不朽尔云 于時安政五戊午年八月重修

別当 光林山 福寿院 世話人 名主豊田佐五右衛門 組頭豊田健之助 同金子惣右衛門 同書間伝兵衛 同蓮見久兵衛 同小倉嘉右衛門 世話人関根安兵衛 蓮見長兵衛 松崎善右衛門 小倉治郎兵衛 小倉金兵衛 平野由兵衛 金子弥平次 屋間弥五右衛門 小倉治兵衛 最川徳右衛門 屋間七郎右衛門 江戸深川諸町 石彫伊勢屋政五郎 花又村字六町建方石工石屋安五郎 江戸大門通額彫勝田万治郎 同額工鋸師金次郎 建方脇野小左衛門

なお、前出「埼玉県の近世災害碑」にも、上記文章の一部が引用されている。この文章により、大曾根地区が安政江戸地震および安政 3 年 (1856) 8 月 25 日の大風で非常な損害を被ったことが分かる。本殿前の案内板にもその旨記してある。同案内板によると当社は文亀二年 (1502) に勧請されたとあり、由緒ある神社であるが詳細は省略する。

◇ 安政の 震災語る 八幡宮
 修復なりし 鳥居掲額

■ 地震予知連絡会情報 ■ 金沢敏彦 ■

地震予知連絡会は第134回が平成11年8月23日、第135回が11月15日に開催された。第134回地震予知連絡会では、1999年5月から1999年7月の全国の地震活動、地殻変動および地磁気に関する報告と質疑について各地域についての詳細検討にはいり、近畿、東海、伊豆地方、関東地方の地殻活動等についての観測・研究成果が報告され議論された。トピックスとしては第132回地震予知連絡会でとりあげられた候補のうちから全国活断層調査成果と海底活構造調査成果が選ばれ、そのはじめとして内陸の主要活断層の調査結果と地震危険度、および沿岸海域の海底活断層調査結果が報告され質疑がおこなわれた。今後も活構造・活断層についてはトピックスでとりあげることとなった。また、その他の話題提供の中で、予知連絡会直前の8月17日にトルコで発生したマグニチュード7.8の被害地震について、震源域周辺の過去の活動や被害状況等について報告され意見交換がおこなわれた。議題全体として55件の報告および提出資料等があった。また、「地震年報(CD-ROM)平成7年版」(気象庁)、「都市圏活断層図」(建設省国土地理院)が配布された。

第135回地震予知連絡会は開会にさきだって、初代の会長として地震予知連絡会に大きな貢献をされた萩原尊禮氏が前日の11月14日にご逝去されたことが報告され、全員で黙禱をささげた。開会のあと、1999年8月から1999年10月の全国の地震活動、地殻変動の概況の報告と質疑がおこなわれ、つづいて東海地方、伊豆地方、近畿地方、中国・四国地方についての詳細検討がおこなわれた。トピックスでは、前回につづいて1999年トルコの地震がとりあげられたほか、1999年9月21日に発生したマグニチュード7.3の台湾の地震がとりあげられ議論された。また今後も引き続きとりあげるトピックスのひとつである「GPSによる地殻変動検出」の1回目として10月に行われたGPS国際シンポジウムにおける最近の動向が報告された。議題は資料提出のみを含めて89件である。また「地震年報(CD-ROM)平成8年版」(気象庁)、「平成10年度活断層・古地震研究調査概要報告書」(工業技術院地質調査所)、「活断層研究18号」(活断層研究会)が配布された。

本稿ではこれらの議題の中からその概要を紹介する。

1. 全国の地震活動

1999年5月-7月の3ヶ月間の全国の地震活動は、マグニチュード5クラス以上の地震でみて非常に静かに経過している。東北地方の日本海溝のトレンチ外側で1999年7月27日にM5.1の地震が発生した。この地域は、日本海溝沿いの中では海溝の外側に地震活動がみられる地域ではあるものの、マグニチュード5クラスの地震は過去そんなに頻繁には発生していない。1999年8月-10月の3ヶ月間はその前の3ヶ月間に比べて太平洋岸でのマグニチュード5クラスの地震が目立つことが報告された。

2. 中国・四国地方の地震活動

瀬戸内海中部の愛媛・香川県沖では、1999年3月ごろから微小地震の活動がはじまり7月28日にM3.5が発生した。10月19日にM3.6が発生するなど10月になってやや活動が活発化して、10月30日にM4.5の地震が発生した。現在もこの活動は継続しており、その活動の深さは10-13km程度に位置している。近傍に位置する中央構造線と平行するように東西に地震が分布しており、その分布はメカニズムとも調和的である(図1)。このため、中央構造線との関連性について議論されたが、中央構造線自体の活動の変化を示すような観測結果はみられていない。

3. 九州地方の地震活動

熊本県熊本地方では、日奈久断層北部で1999年10月31日にM4.0が発生して活動が活発化した。その活動域内で11月10日にM4.3の地震が発生した(図2)。日奈久断層との関連性が議論された。

4. 全国の地殻変動

GEONETによるGPS連続観測から求めた全国の水平地殻変動ベクトルの1年間の変動(1998年10月-1999年10月の1年間)は、1998年の岩手山の活動に伴う地

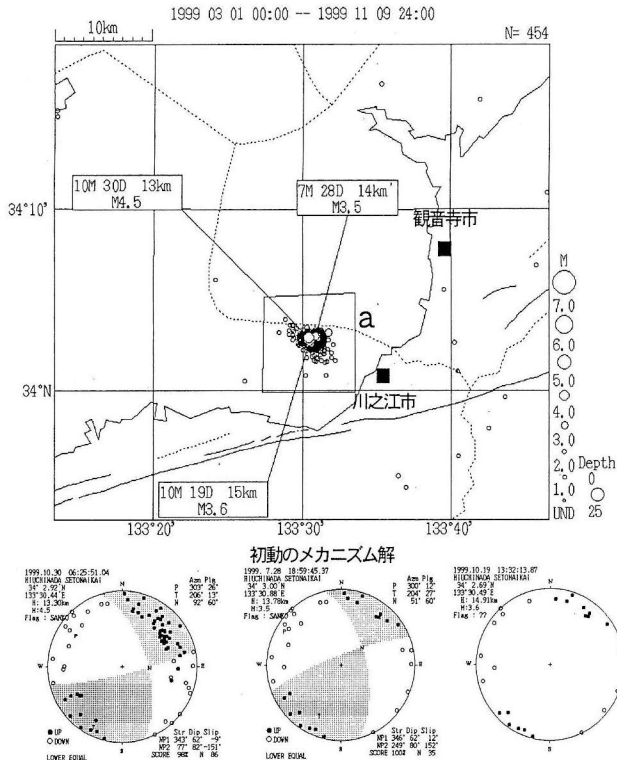
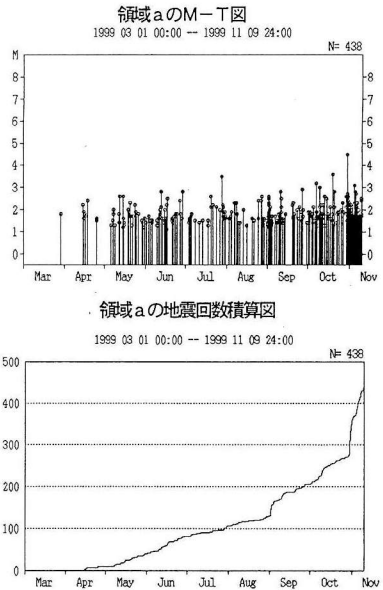


図1 瀬戸内海中部(愛媛・香川県境沖)の地震活動(第135回:気象庁)



殻変動の影響が残っているものの、それ以外に従来の傾向と異なる顕著な変動はみられない(図3-5)。またここ3ヶ月間(1999年7月-10月)の変動をみても、平穏で大きな変化はみられないことが報告された。

5. 東海地方の地殻変動

年4回の繰り返しによる東海地方(森町-御前崎間)の水準測量の最新のデータは1999年10月のものである。この水準測量結果によると、森町の水準点5268を基準としてみた掛川の水準点140-1及び浜岡の水準点2595は、1ヶ月前の9月のデータと比較してそれぞれ沈降である(図6)。この結果を、掛川の水準点140-1を基準として浜岡の水準点2595をみると観測値としては1.8mmの隆起となっている。また、年周変化を補正した結果では、3ヶ月前の前回値にくらべて約1cmの隆起となっている(図7)。御前崎は、例年、この時期は前回値にくらべ沈降する傾向を示すが、今回は若干の隆起がみられたことになる。このような現象は過去にも何度か現れており、今回、特に地殻変動の傾向が変化したとまで言うことはできない。駿河湾周辺のGPS連続観測結果、御前

崎の長距離水管傾斜計の月平均結果、および御前崎の約800mの深井戸で実施している地殻変動(歪みおよび傾斜)連続観測結果のいずれでも、特に目立った変化はみられないことが報告された。

6. トピックス

6-1. 活断層調査

1995年兵庫県南部地震以降、京阪神-中京広域都市圏の地震危険度評価を目的として、近畿三角地帯ですすめられてきた合計25の活断層/活断層系の調査結果について地質調査所から報告された。中央構造線四国から養老までの18の起震断層が設定されたことと、主要な起震断層についての歴史地震と古地震イベント(解明されたセグメントの活動)との対応;地震危険度評価、評価結果からみた今後詳細調査をおこなうべき起震断層が紹介された。活断層のグループ化およびセグメント化に関する判定基準、地震危険度評価の手法等について議論された。

また、東京湾、伊勢湾、大阪湾を含む3大湾、人口が密集している瀬戸内海、福岡湾等といった海域ですすめ

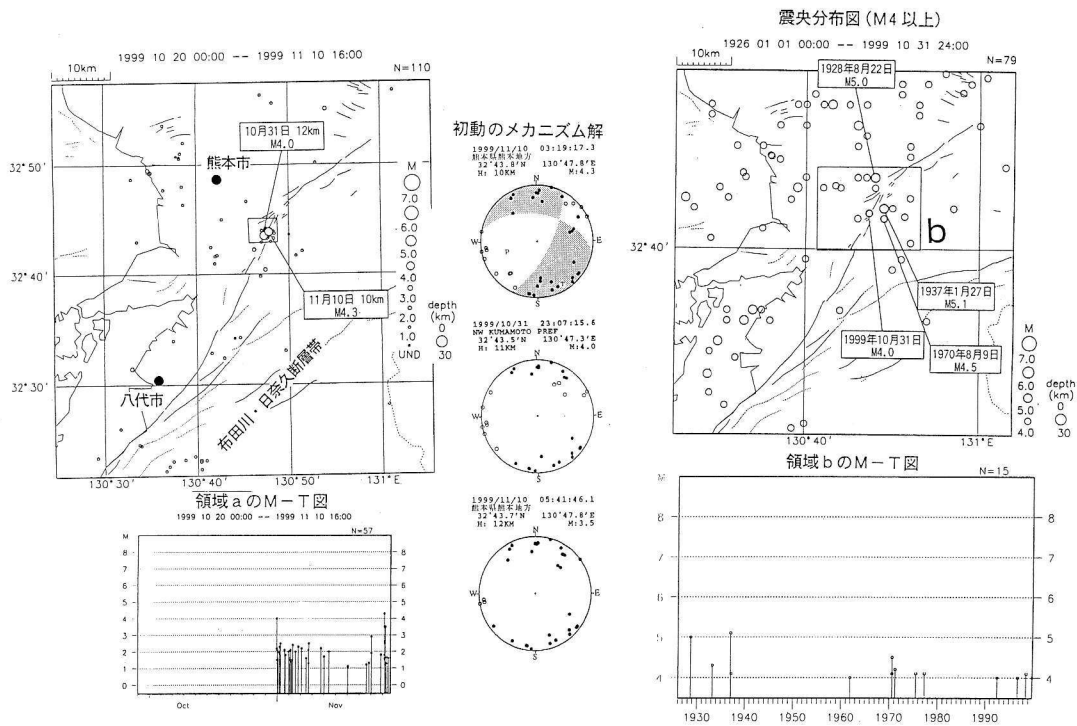


図 2 熊本県熊本地方の地震活動 (第 135 回: 気象庁)

られてきた、表層音波探査、深層音波探査、海底堆積物調査による沿岸海域の海底活断層調査結果について海上保安庁水路部より報告があった。沿岸域における横ずれ断層の検出能力などについての議論があった。

6-2. トルコの地震

1999年8月17日に発生したM7.4のトルコの地震について、第134回地震予知連絡会では、公表されている資料をまとめたものが気象庁から報告された(図8)。また、約20年間北アナトリア断層西部域で総合的な地震断層調査をおこなってきた東京工業大学からと、1982年ごろから北アナトリア断層でトレンチ調査、活断層調査をおこなってきた地質調査所から報告があった。第135回地震予知連絡会では、本震前後の地震活動について東京工業大学から報告があり、本震の前6年間の観測で本震の震源域周辺に明瞭な地震活動がみられていた

こと、また余震域の広がり地表にあらわれた地震断層と一致することが示された。1999年11月12日に発生したM7.0の地震は8月のM7.4の地震断層の東側延長部分が破壊したものとみられる。

6-3. 台湾の地震

1999年9月21日に発生したM7.7の台湾中部の地震について、地震活動、地殻変動等について現地調査結果も含め報告があった。本震発生の前1年間の地震活動からは、台湾周辺の地震活動に特に変化はみられていなかったこと、これまでの台湾における被害地震の分布から衝突プレート境界に発生している一連の地震の一つであり低角逆断層のメカニズムであること、フィリピン海プレートとユーラシアプレートの相対運動でこの地震の大局は説明できることなどが示された(図9)。

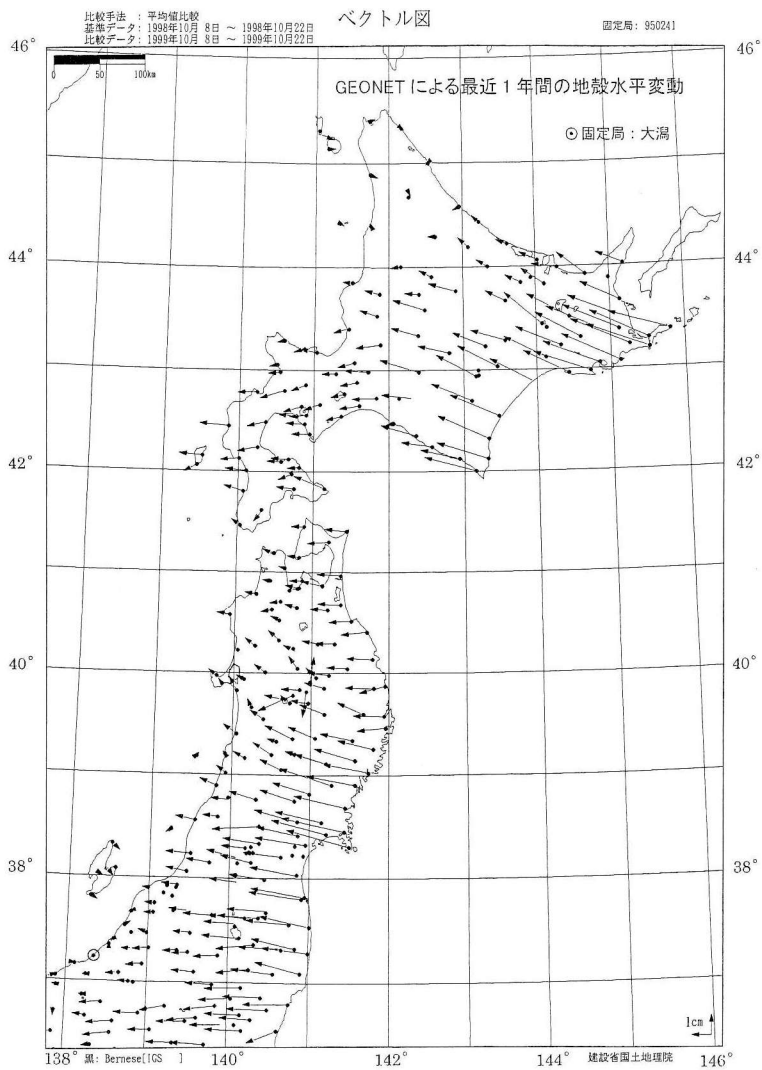


図 3 GEONET による GPS 連続観測から求めた全国の水平地殻変動ベクトルの 1 年間の変動 (1998 年 10 月～1999 年 10 月の 1 年間)。東北日本、ユーラシアの安定地塊に対する各点の相対変動を表す目的で、固定点は新潟県の大湊にとっている (第 135 回: 建設省国土地理院)

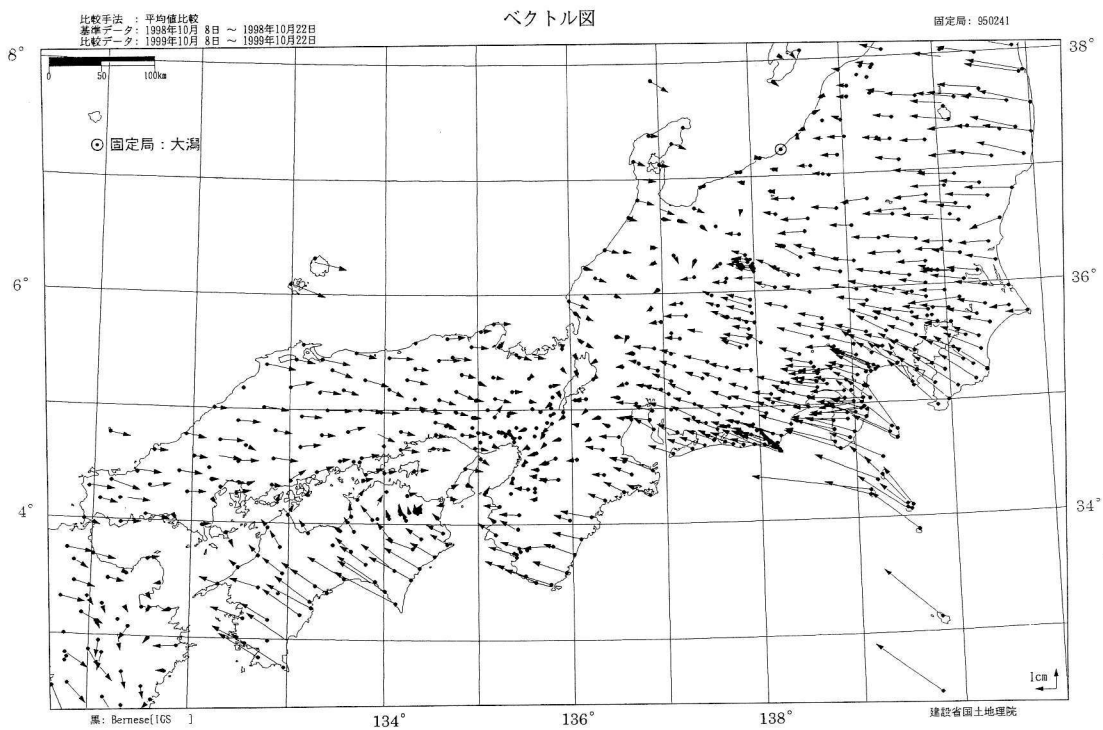


図 4 図 3 と同じ, 中部日本.

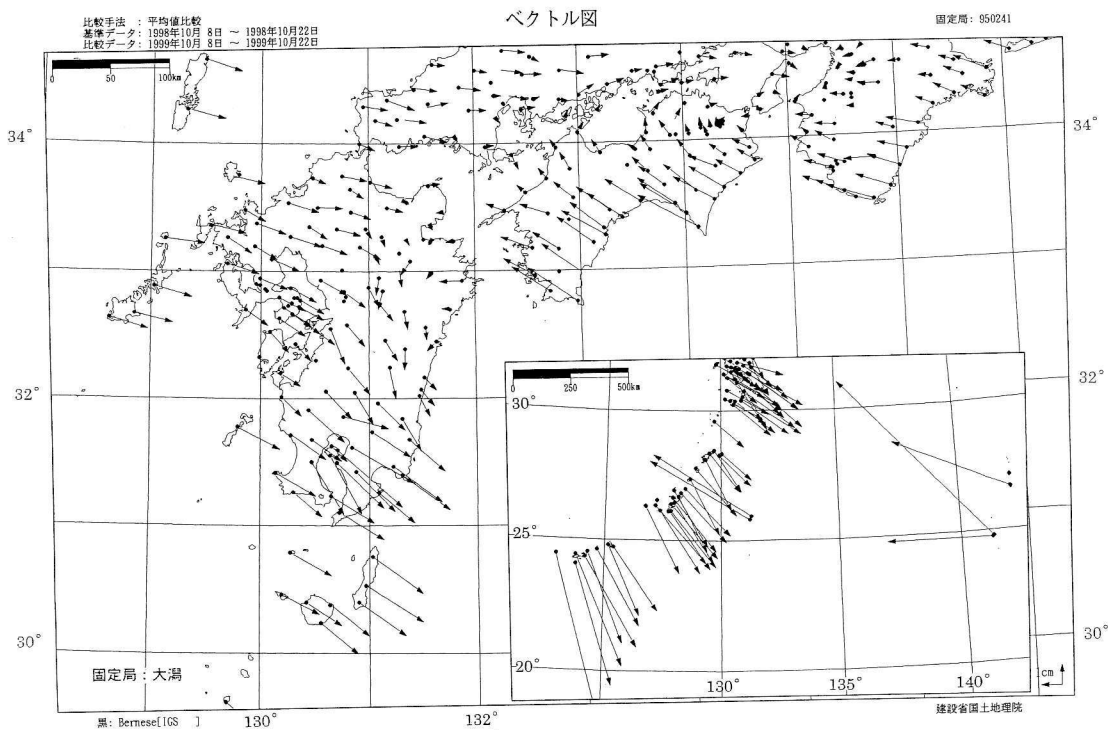


図 5 図 3 と同じ, 西南日本.

水準点 (140-1,2595) の経年変化

基準: 森町 5268 (119.72m)

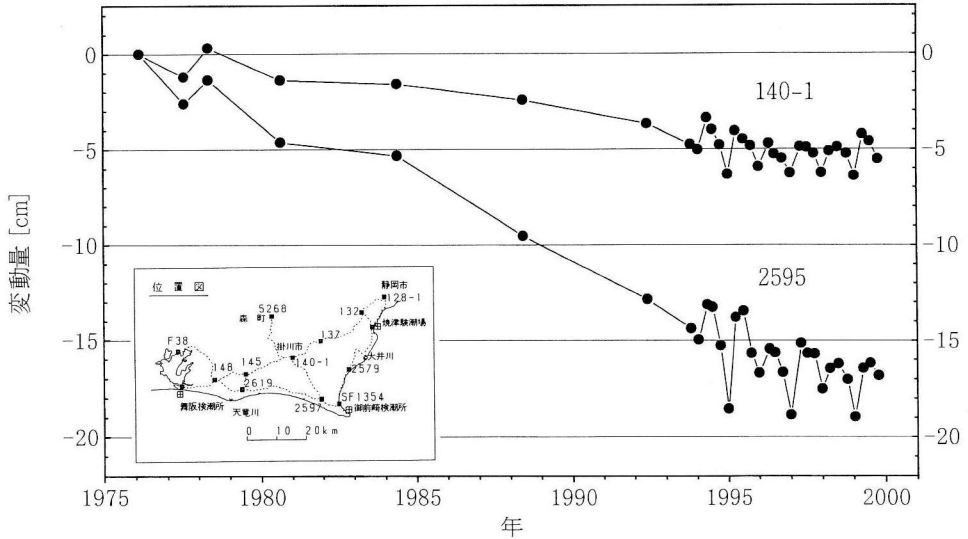


図 6 水準点森町 5268 を基準とした掛川 140-1 と浜岡 2595 の経年変化 (第 135 回: 国土地理院)

水準点 2595 (浜岡町) の経年変化

基準: 140-1 基準年: 1962

●: 網平均計算値による。

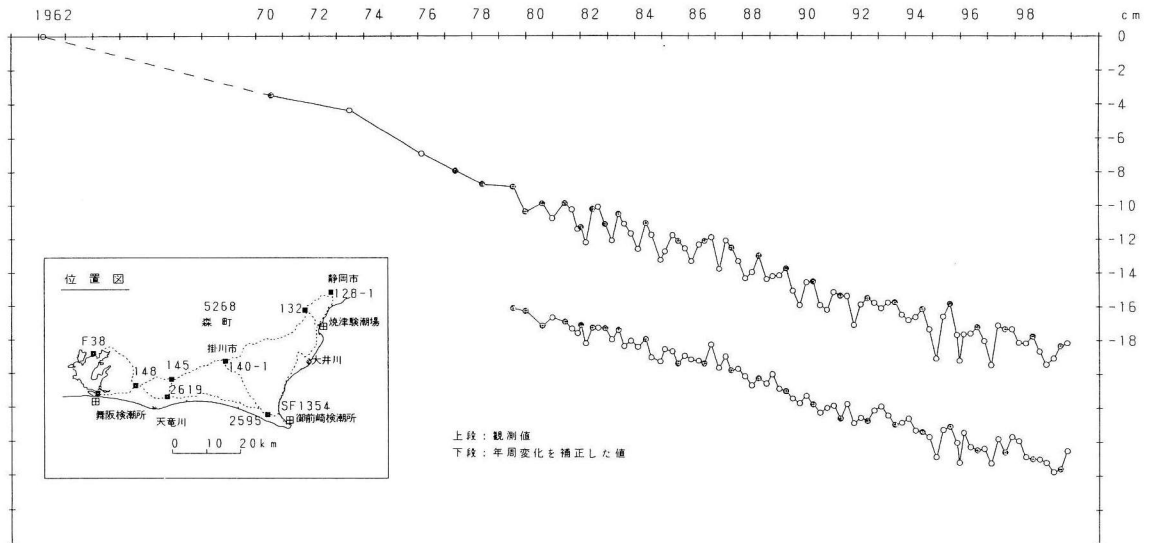


図 7 水準点掛川 140-1 を基準とした浜岡 2595 の経年変化 (第 135 回: 国土地理院). 上段は観測値, 下段は年周変化を補正した値を示す. 黒丸は網平均計算をした結果. 1962 年を基準とした水準点の変化を示す.

1900年からのトルコ付近で死者1,000人以上の地震

年	月	日	時	分	緯度	経度	深さM	死者	負傷者	
(—は不明)										
1903	4	19			0 L	39.1	42.4	0	1700	-9
1903	4	28	23		39 U	39.14	42.65	7	3560	-4
1912	8	9	1	29	U	40.75	27.2 n	7.4	2836	7353
1914	10	3	22		6 U	37.82	30.27	7	4000	-4
1939	12	26	23		57 U	39.5	38.5 s	8	32700	100000
1942	11	26	22		20 U	40.5	34	7.6	4000	-9
1942	12	20	14		3 U	40.7	36.8	7.3	3000	6300
1943	11	26	22		20 U	41	34	7.6	4020	5000
1944	2	1	3		23 U	41.5	32.5	7.6	4000	7000
1946	5	31	3		12 U	40	41.5	6	1300	-9
1953	3	18	19		6 U	40	27.5 n	7.3	1103	-9
1966	8	19	12		22 U	39.2	41.6 33	7.1	2517	1420
1970	3	28	21		2 U	39.2	29.5 18	7.1	1086	1174
1975	9	6	9		20 U	38.5	40.7	6.7	2370	4500
1976	11	24	12		22 U	39.1	44 36	7.3	5000	-4
1983	10	30	4		12 U	40.33	42.19 12	6.9	1400	-4
1988	12	7	7		41 U	40.99	44.19 5	6.8	25000	20000

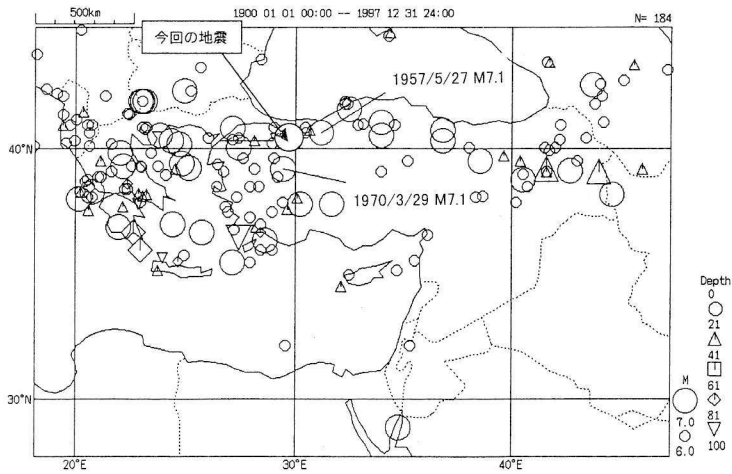


図8 トルコにおける過去の被害地震 震央分布図(1900-1997) (第134回:気象庁)

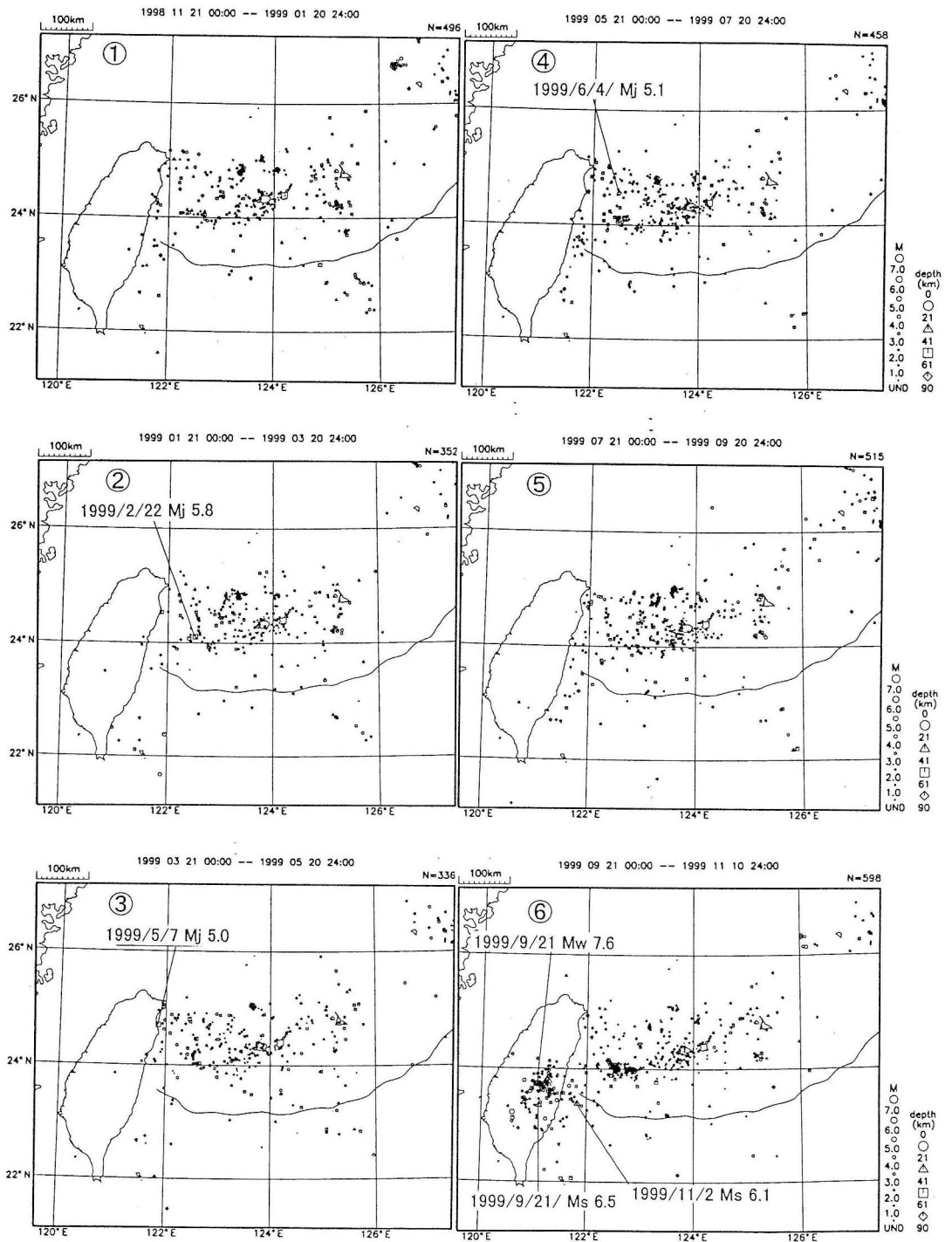


図 9 1999年9月21日に発生した台湾中部の地震の発生前1年間における台湾周辺の地震活動 (第135回: 気象庁)

■ 書 評 ■

● 地震波動理論の発展

F. A. Dahlen and Jeroen Tromp 著 Theoretical Global Seismology

評者 松浦充宏

地球内部の構造を調べる最も有効な方法は、昔も今も地震波データの解析である。実際、20世紀とともに始まった地球内部構造の研究は、地震波動理論の発展に伴って実体波の走時解析から表面波の位相速度や自由振動の固有周期の解析へとその手法を多様化させながら、1930年代の地殻-マントル-コアから成る基本構造の解明、1970年代の球対称標準地球モデルの確立を経て、1980年代にはマントルの大規模水平不均質構造が明らかにされるなど目覚ましい発展を遂げてきた。

理論地震学の世界的権威である F. A. Dahlen と Jeroen Tromp による 1000 頁を超す大著「Theoretical Global Seismology」は、定在波としての地球の自由振動と進行波としての表面波及び実体波を正規モード理論に基づいて統一的に取り扱い、グローバル地震学の理論体系をはほぼ完全な形で示したものである。16の章と4つの付録から成る本書は、19世紀半ばから現在に至るまでの連続体力学及び正規モード理論の発展の歴史を概観することから始まる。引き続き6つの章(第2~7章)で構成される第I部では、グローバル地震学の基礎として、連続体力学の基本概念と運動方程式、正規モード理論、震源の力学的表現、非弾性の取り扱い、Rayleigh-Ritzの方法等に関し、懇切丁寧な解説が成されている。第8章から12章までの5章で構成される第II部は、球対象地球モデルの自由振動のモード解、その弾性的/非弾性的性質の摂動による影響、理論地震波形記録の合成、表面波および実体波の正規モードの重ね合わせによる漸近表現について順を追って詳しく解説している。第13章から16章までの4章で構成される第III部は、1980年代以降のグローバル地震学の中心テーマである地球内部の3次元不均質構造の解明に関連して、実際の地球の球対象モデルからのずれを摂動理論に基づいて如何に取り扱うかを示した部分である。巻末の150頁にも及ぶ付録

は、本書の内容を理解する上で必要な数学的諸概念と手法(ベクトルとテンソル、球面調和関数、一般化球面調和関数等)が簡潔にまとめられており、グローバル地震学をこれから勉強する学生や大学院生にとって大変役に立つであろう。

ところで、本書を376頁まで読み進むと“Finally—after a scant 376 pages—we have assembled the tools needed to compute synthetic seismograms by means of mode summation upon a spherically symmetric, non-rotating, slightly anelastic Earth.”という一文に出会す。「わずか376頁」という表現は冗談なのだろうが、これだけ懇切丁寧に省略なしに書いても376頁で球対称地球モデルの理論地震波形計算に必要なものが全て用意できるならば、「わずか376頁」でも構わないような気がする。そしてこのことは、現在の成熟しきった地震学を良くも悪くも象徴しているように思える。

<Princeton University Press, Princeton, N. J., 1025 pp., 1998, ISBN 0-691-00116-2 (hardcover, \$80), 0-691-00124-3 (paperback, \$45)>

● 宏観前兆は超常現象か

菊池 聡 著

予言の心理学—世紀末を科学する*

菊池 聡 著

超常現象をなぜ信じるのか

—思い込みを生む「体験」のあやうさ**

評者 小山真人

神戸の震災の後、宏観異常現象が、専門家だけではなく広く一般市民からも耳目を集めており、一部の科学者による本格的な研究も開始されたように見える。しかしながら、従来のほとんどの研究は、以下の2点から評者にとっては疑問の残るものであり、未科学から科学への脱皮に十分成功していないように思われる。

(1) 個々の宏観異常報告自体の信頼性が吟味されず、いちおうすべてを事実の観察とみなして次の解析に進む場合がほとんどであること。

(2) 大部分が人間の手を経た事後報告であるにもかかわらず、心理学的側面からの分析（あるいは心理学や社会調査において確立された信頼性分析法の適用）がほとんどなされていないこと。

(1)にかんしては、たとえば古記録・古文書の中に残る歴史地震のさまざまな前兆報告を鵜呑みにしている例が多いが、史料地震学の立場から言えばナンセンスである。史料地震学においては、内容に注目する以前の段階として、史料の出自や性格、事件体験者と史料記述者の関係、事件年代と記述年代の時代差などにもとづく史料批判をおこない、ノイズを取り除き、真実に近づく努力をするのが常識である。地震史料の中には、好事家の著者が流言などを興味本位に集めたものもあり、本震やその被害の記述であっても虚偽や誇張がみられる例が多い。ましてや前兆の記述を鵜呑みにしては話にならない。ただし、近現代の地震については、事件体験者の直接の報告である場合が多く、史料批判の重要性は小さい。

より重要かつ深刻であるにもかかわらず専門家の認識が遅れているのが、(2)の問題である。冒頭に記した両書は、この問題にかんする絶好の解説書となっている。著者は、信州大学に所属する認知心理学の若手専門家である。文章は巧み、構成力も抜群で読み手を飽きさせない。

「予言の心理学」は、全10章（1章：予言とは何なのか、2章：予言を科学的に考えるために、3章：予言が当たったように見える理由、4章：地震予言 なぜ当たるのか、5章：大予言者になる方法、6章：予言・宗教・科学、7章：阪神大震災と予言者たち、8章：心理学と占いと疑似科学、9章：予言をめぐる心理学、10章：予言とつき合って生きる）から構成されている。やや理屈っぽい章と気楽に読める章とが交互に配置され、高度な内容の解説書でありながら、非常にとりつきやすい本となっている。有名予言者たちのトリックや錯誤を暴露するなど、興味深い事例も豊富である。

読者は、まず上の目次にある「予言」という言葉をすべて「予知」に置きかえて考えてみるとよい。そうすれば、この本の存在意義がおぼろげに見えるであろう。著者は、予言を「真性の予言」（科学的には未知の情報伝達が介在する予言）と「疑似予言」（単なる偶然、創作、心理的錯誤などによって生じる予言）とに分類する。著者にとって、宏観異常現象による地震予知は「真性の予言」候補のひとつなのである。じじつ、地震予知研究者の何人かの研究事例が紹介され、その研究手続きについて批判もなされている。

もう一冊の「超常現象をなぜ信じるのか」の扱う内容も前書と基本的に同じであり、全6章（1章：「信じる心」はどこから生まれるのか？、2章：「自分の目を見た

もの」は信じてよいのか？、3章：体験していないことをなぜ「体験」できるのか？、4章：その考え方は正しいのだろうか？、5章：それは本当に「めったにないこと」なのか？、6章：「信じる心」を生む「体験」のあやうさ）から構成されている。ただし、記述の仕方が「予言の心理学」よりは堅く、理屈っぽい読者にはこちらの方が好まれるかもしれない。

両書をつうじて著者が伝えようとしている最大のポイントは、以下の2つであろう。

(1) 人間の心にはさまざまな認知バイアス（確証バイアス、後知恵バイアスなど）が存在し、それが原因となって関連性の錯誤、確率推論の失敗、体験の絶対化などが起き、結果として多くの予知が「疑似予言」となりがちなこと。

(2) 認知バイアスは、心理学研究や社会調査で培われてきた正当な手順（信号検出理論、実験計画法にもとづく比較対照実験など）をふまないと、たとえ専門家であっても取り除くことが容易でないこと。

信号検出理論は、予知（前兆信号の検出）とその結果を、A) 予知あり・地震あり（ヒット）、B) 予知あり・地震なし（フォールスアラーム）、C) 予知なし・地震あり（ミス）、D) 予知なし・地震なし（コレクトリジェクション）の4つに区分し、信号検出能力をROC曲線などの手法をもちいて評価する手法である。宏観異常現象に限らず従来のすべての地震予知にかんして、A)のみが公表・報道されがちであり、とくにC)がすっかりなおざりにされている。A)のみが注目されるのは、上記「確証バイアス」（確証だけを求め、反証の収集を避ける心の働き）の結果に他ならないだろう。「めったにないこと（前兆）」が、「めったにないこと（地震）」と時間的に一致するだけでは意味がないのである。

今後の地震予知情報は、最低限として上記A)～D)のすべてを包み隠さず公表する必要がある。また、平常時に（あるいは被災地から隔たった遠隔地において）統制のとれた条件下で、宏観異常現象の能動的な情報収集をおこなうなどの比較対照実験がぜひとも必要であろう。市民からの情報を受動的に待つだけでは、少数の情報提供マニアとつき合うだけに終わりがちである。

上記両書は、心理学的な切り口で地震予知や宏観異常現象をみた場合、興味深い数多くの示唆が得られることを教えてくれる。学際科学としての「地震予知学」を推進したいのならば、理学者と工学者だけで閉じるのではなく、心理学や社会調査の専門家に対しても広く門戸を開くべきである。さもなければ、宏観異常現象をもちいた予知法が今後「実用化」され、予知情報が社会に広く伝えられるようになったとき、心理学者たちからの厳しい批判を浴びることになるだろう。

<* KKベストセラーズ, 1998年8月, 286頁, 本体1505円>
<** 講談社ブルーバックス, 1998年9月, 219頁, 本体860円>

● 電磁氣的地震予知研究の近況

M. Hayakawa (ed.)

Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes

評者 歌田久司

固体地球を相手にしている研究者の間では、「実用的な意味での地震予知を今すぐ実現することは難しいだろう」というのが共通認識になりつつある中で、おそらく唯一元気のいいわゆる「電磁気現象」研究者達である。編者の早川氏は科学技術庁の地震フロンティア研究の一つである、宇宙開発事業団 (NASDA) による「地球リモートセンシングフロンティア」推進の指導的立場にある。地震電磁気現象とリモートセンシングがどう結び付くのか不思議に思われる向きもあるかと思うが、答えは簡単で最近では人工衛星による観測からも地震に関連すると思われる電磁気現象が報告されているのである。本書は、1997年3月に早川氏が主催された「地震電磁気現象に関する国際ワークショップ」での発表の中から、地上観測・大気および電離層の現象に関係する70編あまりの論文によって構成されている。

冒頭にはワークショップの議長3名による序文がある。それぞれの方のこの分野の研究に対する見方が同われて興味深い。早川氏の序文では、このワークショップは、これまでに観測された現象を評価し、新しい知見を収集し、現象の背後にある発生機構について議論することを目的として開催したとある。地球電磁気学を専門とし、地震予知研究にも少なからず関わってきた評者であるが、残念ながらワークショップには出席できなかった。したがって本書の書評の依頼があった時、どのような議論がなされたのかについて大きな関心と興味をもってお引き受けした。

本書は4章から構成されており、第1章ではVAN法に始まりULF帯やELF帯の地上観測の結果が報告されている。第2章は地震に伴う大気現象がテーマで、VLF帯より高い周波数の現象はすべてここに含まれているようである。ここで初めて評者は、これらの周波数帯の地震に関係する電磁気現象のほとんどが大気中で発生していると考えられていることを知った。高周波現象

の地上観測が第1章にまったく含まれない理由もわかった。第3章では、地震に関連する電離層現象と人工衛星による地震活動のリモートセンシングについての論文がまとめられている。第4章には現象の発生機構に関する室内実験や関連する研究が報告され、これには地震とは関係の無い純粋な大気電気現象についての論文も含まれている。最後の点は、上で述べた高い周波数帯の現象がほとんど大気中で発生していると考えられていることと関連して非常に重要である。

さて、1000ページもなるというボリュームにこれだけの数の論文をそろえたということで、本書からはさまざまな知見を得ることができる。この点だけに限れば、本書は極めて有用である。反面、通常の本のように一連のストーリーに即して書かれているわけではないので、本書から知識を吸収しようという学生レベルの読者はおそらく消化不良を起こすに違いない。明らかに相矛盾する考え方が一見整然と並べられている。例えば、第2章に収録されている多くの論文では、震源上の地表付近にある電場ソースが原因となってその上の大気中に擾乱を発生させているという理論研究およびそれを示唆する観測研究を報告している。ところが、ある論文でははっきりと、「発生源は地上数十km、しかも震央から数十〜数百km離れた場所にあることがわかった。このことは、VLF波が地震破壊域近くの地表から直接放射されているのではないことを示す」と結論している。また、別の論文では、「(兵庫県南部地震の前に見られたLF帯)ノイズ増加の多くは気象条件に由来するものである。このことは、それらの発生が地震に関連するものではないかという仮説に対して否定的な材料となる」ことが示された。このような明白な矛盾が放置されることはあるまい。今後の研究でどう解決されるのか、注目したい。

第2章と第3章には、地震に関連した大気および電離層での電磁気現象の発生についての理論的な研究論文が掲載されており、その多くにおいて、震央に電場ソースがあるというモデルが共通して用いられている。このソースモデルは、以前に本誌の書評欄で紹介された「Earthquake Prediction: Seismo-electromagnetic Phenomena」という本の著者であるロシアのGokhbergらのグループの基本的な考え方である。このような考え方は上で述べたように、一部のVLFおよびLF帯の現象の観測結果とは相反する。さらには、VAN法におけるselectivityを説明するモデルとも明らかに矛盾している。また、これらの研究においては、ソースがどのように発生するのかについて全く説明がない点には驚かされる。ほとんどはロシアおよび東欧の研究者であるから、彼等にとってGokhbergらの考え方は自明なのかも知れない。しかし、考えているモデルによる現象の

発生が他の手段による電磁気観測にどう影響するのかについても、おおむね無関心であることには驚きを禁じ得ない。それとも地震が予知できれば、いやそれどころか自分達が関心のある現象が説明できさえすれば、それ以外の問題はいつでもよいというのだろうか？ 百歩譲っても、地表にソースを仮定するのなら、それが地上の電磁気観測にどう影響するかについては最低限の注意を払ってもらいたい。

本書を読んで最も印象的だったのは、さらに本質的な問題に関する無関心である。それは、ほとんどの論文に共通して見られる、「地震発生の物理」そのものに対する関心の無さである。さまざまなモデルで扱われている現象が地震発生にどう結び付くのか、なぜそれらが地震発生の直前に出現するのか、説得力のある説明がなされているものは極めて少ない。善意に解釈すれば、この分野の研究者は地震学の素人であり、それゆえ地震学者にできない地震予知にチャレンジしているのだという自負があるのかも知れない。しかしながら、天気予報の進歩は決して明日・明後日の天気の前兆を見つける努力の結果ではなく、気象現象そのものについての地道な研究の積み重ねの結果であることも忘れてはなるまい。少なくとも言うことは、地震予知の実現と地震発生の物理の解明への見通しが今よりはるかに発展した将来、両者の描く「地震像」は相矛盾するものであってはならない。地震発生が予測可能か否かという、根本的な問題への解答を含めて、ここへ至ることが科学的地震予知研究の方向性であると、評者は考える。本書の約1000ページは、そのような方向性を模索するための材料と捉えれば一層読み甲斐のあるものとなろう。これからこの分野に必要なのは、広い意味での地震学とのインタラクションである。

<テラ学術図書出版、1999年、996頁>

● 磁場でみる地殻構造

R. A. Langel and W. J. Hinze 著
The Magnetic Field of the Earth's Lithosphere :
the Satellite Perspective

評者 中塚 正

ケンブリッジ大学出版から昨年発刊されたこの本は、低高度周回軌道の人工衛星で測定される磁場からリソスフェアに起源をもつ成分、すなわち磁気異常を抽出して、その磁氣的構造を議論する研究者のために書かれた教科書である。また同時に、人工衛星データから磁気異

常分布を求めて地殻構造等の議論を行った研究を網羅的に集大成し、これまでの到達点と今後の研究への課題をも明らかにしている。

人工衛星データ利用という新しい分野であるため、過去のこのような教科書的なものが書かれたことがない。本書はそのような新分野での出版という意義はもちろんのこと、その内容の豊かさ・正確さについても高く評価されるだろう。章構成は、「1. 衛星高度における磁気異常/2. 地球の磁場/3. 宇宙空間からの地球磁場測定/4. 磁気異常場の分離/5. データ処理と逆解析/6. 衛星高度の磁気異常図/7. 磁気異常のソース/8. 磁気異常解釈の方法/9. 衛星磁気異常の解釈例」となっており、個々の部分をとってみると、関連分野での研究成果を引き継いでいるわけであるが、その関連分野の広さを再認識させられる。例えば、第2章では地球磁気学全般の研究の到達点のうち本書に関連するすべての内容を概括的に盛り込んでいる。地表や航空機高度で磁気異常を議論してきた応用地球物理関係者の中では、これらの予備知識が必ずしも広く知られていないと思われ、そういった人にとってのよい手引きともなろう。一方、衛星観測の実用化に携わった人の中では岩石磁気学的な背景をもたない人も多いが、第7章では磁気異常がどのようにもたらされるか概説される。

本書の中に盛り込まれた内容は、衛星での磁気異常観測とその解析に関連する事項を網羅的に扱っており、非常に豊富なものとなっている。そのため、400頁を越える大著とはいえ、個々の部分の解説が懇切丁寧に行われているわけではない。そのため、特定の分野では初心者である読者にとって、内容を深く理解するためには他の文献を参考にしなければならないかもしれない。しかし、著者らは、必要に応じてレビュー文献と鍵となる文献を示しているのだから、効率よく文献にアクセスできるだろう。本書の面目躍如たるところは、①関連する事項を広く概観するとともに、②主要な技術的側面については体系的に正確かつ要領よくまとめられており、③さらに実際の衛星データを用いた研究の網羅的なレビューがなされていることである。とくに、観測データをハンドリングする技術としての磁気異常場の分離・データ処理と逆解析などの解析技術については、各種数学的技法も含めて古典的な取扱いから最新の技術までを包含して体系化されており、当該分野の研究者にとっても頭の整理を助けるものとなっている。

著者の一人 R. A. Langel は、30年にわたって衛星データの取得・解析に関わり、国際標準地球磁場(IGRF)モデルの構築に力を注いだ点でも広く知られる。地球磁場に関する研究の幅広い理解を基礎に、衛星磁気測量の分野を育ててきた第一人者であり、衛星磁気

図やその解釈の的確かつ網羅的なレビューを行っていたのは、やはり彼を措いて他にないであろう。もう一人の著者 W.J. Hinze は、地磁気の応用地球物理学すなわち磁気探査の調査・解析・解釈にわたる技術での大御所といえる存在である。地質構造等の解釈のために緻密かつ体系だった技術の発展に寄与してきた彼の博識が、データ解析や解釈法の緻密な記載に反映しているのであろう。

本書はいわば教科書であるから、見て楽しむものではなく、取り入れられた図の多くは原著論文等からの引用であり、見ればわかるとまでは行かないものも多く、キャプションが親切というわけでもない。そのかわり、各章のそこかしこにはめ込まれた「マグネト・グレムリン」なるキャラクターの挿絵(チャーリー・バートン作)が目を楽しませ気持ちをもませてくれる。「グレムリン」は多くの場合、磁場の象徴である方位磁石を従えている。

本書が対象とする衛星高度では、グローバルな視点には適するものの、磁気異常という信号に対してそれ以外のノイズが卓越する条件の場であり、その中から有意義な情報を導くことは多大の労力と慎重な検討を必要とする分野である。なればこそ、広い視野をもった中で具体的な技術を総括した本書が出版された意義は大きなものがある。

<Cambridge University Press, 1998年, xx+429頁>

● 地震防災への予知の評価

茂木清夫 著
考え直そう、地震防災

評者 長宗留男

これは、地震災害の防止・軽減のためには何が重要であり、何をなすべきかについての、地震学特に地震予知研究の権威である著者の提言である。内容は、3部から成り、第I部では、主として環境が地震災害に及ぼす影響、について記述してある。

初めに、所謂近代都市が自然災害に対していかに脆弱な面を持っているか、「1978年宮城県沖地震」の例で解説してある。また、関東大地震と平成7年兵庫県南部地震との間には、相違点と同時に共通点もあることがわかり易く説明されている。次に、地震時凶器と化す恐れのある室内の家具類に対する対策、わが家の耐震性のチェック、新幹線の橋脚などの点検、補強の重要性が強調されている。

第II部は、情報についての解説である。特に地震予知

に関する情報については、出す側では十分にデータを吟味し、「わかり易い情報」を出すよう十分注意すること、受ける側では情報を正しく理解し、デマ情報により騒ぎを起こすようなことのないよう、特に注意を喚起している。また、「東海地震」の予知体制に関連して、予知情報の出し方と対応策について、抜本的な見直しを行うべきであると主張している。さらに、最近の活断層調査結果に基づく情報については、その内容をよく理解した上で対処するよう求めている。

第III部では、都市に防災空間を設けることの重要性について述べ、超過密都市である東京の場合、都心にさらに超過密地域をつくるような「都心の建物の容積率緩和」の問題点、「首都機能移転構想」、さらには「臨海副都心構想」などの問題点について、見解が示されている。

最後に、地震のみでなく、洪水、火山噴火など、いろいろの自然災害について、ハザードマップを作成し、住民に現在どのような立場にあるかをよく知っておいてもらうことが、災害軽減の基本であることが強調されている。

地震防災のためには、国や地方自治体がその責任において実施しなければならないこと、われわれ個人・個人が実行すべきこと、また、恒久的な対策、緊急に行わなければならないことなど、さまざまであるが、本書には、それぞれがそれぞれの段階において考え、実施すべきことが、例をあげて示してある。

本書が、多くの読者にとって「地震防災を考え、進める上で役立つ」ことを期待したい。阪神・淡路大震災からほぼ5年が経過し、そろそろ、その記憶も薄れかけている感もあるが、目を海外に転じると、今年8月17日トルコの大地震、9月7日アテネの地震、近くは9月21日の台湾大地震など、各地で「大震災」が続発している。この機会に、改めて「地震防災」について、特に、地震から人命を守るために何をなすべきか、考えることは極めて有意義と思われる。

<岩波書店、岩波ブックレット No. 485, 1999年8月, A5判, 62頁, 本体価格440円>

● 生々しい地震断層の姿

中田 高、岡田篤正 編
野島断層 [写真と解説] 兵庫県
南部地震の地震断層

評者 植木保吉

1995年兵庫県南部地震では、活断層(野島断層)に

沿って、延長約10kmにわたり地震断層が出現し、その被災状況は地上、空中の両面から写真と映像で報道された。一方、学術的には多くの研究者による緊急の現地調査をはじめ各種の本格的調査が地表部・地下深部を対象に数年にわたり実施された。本書は、写真と多角的な調査研究結果でまとめられた世界的にも貴重な野島断層の記録、報告書であり、解説書である。研究者、技術者、防災関係者のみならず一般の読者にも、是非一読を薦めたい。

本書は「写真集」[解説][紹介]の三部構成で、巻末に多くの引用文献・参考文献・用語解説が添付してある。「写真集」は、空中写真等を交えた132枚のカラー写真・コンピューターグラフィックスを主体とし、縮尺4000分の1の地震断層詳細図と166地点についての地震断層の諸元表からなる。詳細図上の位置と、写真・諸元表が地点番号で関係付けてあり理解し易く、読者に野島地震断層の巡検を模擬体験させてくれる。「解説」では、はじめに、第一章で地震と断層の関係、活断層と地震断層の関係、変位様式、活断層の活動度・活動履歴、活断層の活動サイクル、活断層の確実度、活断層の地震規模などについての基礎的・教科書的な解説をし、第二章・第三章で大阪湾を含む淡路島北部周辺の地質と活断層の紹介、兵庫県南部地震の全容の検証をしている。第四章「野島地震断層」では、その概要が説明され、場所ごとに断層の出現形態や変位量が精密なスケッチや写真を交えて詳細に記載されている。また、地震断層の範囲と活動区分も検討されている。「写真集」と共に記録として最も重点が置かれた部分と思われる。第五章では、

数年間にわたる各種調査(トレンチ発掘調査・空中写真および地形図判読・地震波探査・深層ボーリング調査・地殻応力測定等)の結果を踏まえて、活断層としての野島断層は、活動間隔が2000年ではほぼ同じ量の変位を繰り返す、累積横ずれ変位量は300m、累積上下変位量が230mで、断層上盤(南東側)が隆起した逆断層であると特徴づけている。また、富島付近の野島断層と分岐断層の考察から、野島断層は、第四紀半ばに上下変位の卓越した逆断層運動から横ずれ断層へ変化したとみなし、この変化の要因を検討する必要を指摘している。「紹介」は、A. 国指定天然記念物「野島断層」B. 野島断層保存館内のトレンチ断面解説 C. 野島断層保存館周辺の地学ガイドで構成される案内・説明資料である。

全体として地表部の記載・記述に重点が置かれているが、地下深部での地震断層の状態を理解するために、富島・平林地区の深部掘削での断層周辺のコア写真が掲載されていればよかったのではないだろうか。また、記録として、断層面の傾斜角の記載が必要ではないかと思う。一般の読者にとって、「解説」はやや専門的すぎると感じるが、全体に写真・スケッチや図表が多く載せてあり、視覚的に地震断層の理解ができると思う。

全編を通じて、編著者をはじめ関係者の記録保存への強い思いと社会的啓蒙の意図が強く感じられる。本書は世界的にみても、地震断層の記録・解説書として一つの基準になると評価したい。

<財団法人 東京大学出版会、1999年8月、208頁、本体価格4200円>

執筆者紹介

<掲載順>

氏名 伯野元彦

[はくの もとひこ]

現職 東洋大学工学部環境建設学科教授
工学博士



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、同所長を経て現職

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

氏名 梅田康弘

[うめだ やすひろ]

現職 京都大学防災研究所助教授
京都大学理学博士



略歴 岡山大学理学部物理学卒業、京都大学大学院理学研究科修士課程地球物理学専攻中退、京都大学理学部付属阿武山地震観測所助手を経て現職

氏名 栗原保人

[くわばら やすと]

現職 地質調査所地震地質部主任研究官



略歴 東北大学理学部天文及び地球物理学第二卒業、東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程修了、日本学術振興会特別研究員採用、地質調査所入所

研究分野 地震学

著者 『理科年表読本、日本列島の地質』（分担執筆、丸善）

氏名 隈元 崇

[くまもと たかし]

現職 東京都立大学理学系研究科助手
博士（理学）



略歴 東京大学理学部地学科地理課程卒業、東京大学大学院理学系研究科博士課程およびNevada州立大学Reno校博士課程中途退学を経て現職

研究分野 サイスマテクトニクス

氏名 金子史朗

[かねこ しろう]

現職 科学ジャーナリスト



略歴 東京文理科大学地学科卒業、同研究科中退、東京都立立川高校教諭を経て現職

理学博士

研究分野 構造地形学

著書 『世界災害物語』I-III（胡桃書房）、『ポンペイの滅んだ日』、『活断層と地震』、『ソドムとゴモラの滅んだ日』以上、中公文庫、『人類の絶滅する日—ある日突然、星が落ちて』（原書房）、「科学が明かす古代文明の謎」（『中央公論』）など

氏名 菊池 聡

[きくち さとる]

現職 信州大学人文学部助教授（文化情報論）



略歴 京都大学教育学部卒業、京都大学教育学研究科博士課程を経て現職

研究分野 認知心理学・神経心理学

著書 『美と造形の心理学』（分担執筆、北大路書房）、『不思議現象なぜ信じるのか』（共編著、北大路書房）、『予言の心理学』（KKベストセラー

ズ）、『超常現象をなぜ信じるのか』（講談社）、『視聴覚メディアと教育方法』（分担執筆、北大路書房）

氏名 山中佳子

[やまなか よしこ]

現職 東京大学地震研究所助手



略歴 東京女子大学文学部数理学科卒業、東京大学理学系研究科地球物理学専攻博士課程修了

研究分野 地震学

氏名 翠川三郎

[みどりかわ さぶろう]

現職 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授



略歴 東京工業大学工学部建築学科卒業、同大学院総合理工学研究科博士課程修了、東京工業大学大学院総合理工学研究科助手、同助教授、チリカトリカ大学客員教授を経て現職

研究分野 地震防災、地震工学

著書 『ジオテクトノト地震動』（共著、地盤工学会）

氏名 吉田 望

[よしだ のぞむ]

現職 佐藤工業(株)中央技術研究所主席研究員



略歴 京都大学工学部建築学第二学科卒業、同大学院工学研究科建築専攻修士課程修了、同博士課程単位取得退学、京都大学防災研究所研修員を経て現職

研究分野 地震地盤工学

氏名 力武常次

[りきたけ つねじ]

現職 (財)地震予知
総合研究振興会理事
東京大学・東京工業
大学名誉教授
理学博士



略歴 東京帝国大学理学部地球物理学科卒業、東京大学地震研究所助教授、同教授、同所長、東京工業大学理学部教授、日本大学文理学部教授を歴任、現在に至る

研究分野 地球物理学 (地球電磁気学、地震予知論) 専攻

著書 *Electromagnetism and the Earth's Interior, Earthquake Prediction* (いずれも、Elsevier)、『地球電磁気学』(岩波書店)、『なぜ磁石は北をさす』(講談社)、『地震予知』(中央公論社)、『地震前兆現象』(東京大学出版会)、『固体地球科学入門』(共立出版社)他

氏名 松浦充宏

[まつら みつひろ]

現職 東京大学大学院理学系研究科教授
(地球惑星物理学専攻)



理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、同大学院理学系研究科博士課程地球物理学専攻修了、東京大学理学部助手、講師、助教授を経て現職

研究分野 固体地球物理学 (地震物理学、地殻ダイナミクス)

著書 『地球連続体力学』(共著、岩波講座 地球惑星科学 第6巻、岩波書店)、『地球物理学概論』(共著、東京大学出版会)

氏名 小山真人

[こやま まさと]

現職 静岡大学教育学部総合科学教室助教授
理学博士



略歴 静岡大学理学部地球科学科卒業、東京大学大学院理学系研究科地質学専攻博士課程修了、静岡大学理学部助手などを経て現職

研究分野 火山学、歴史地震

著書 『ヨーロッパ火山紀行』(ちくま新書)、『フィールドガイド日本の火山』(分担執筆、築地書館)

氏名 歌田久司

[うただ ひさし]

現職 東京大学地震研究所教授
理学博士



略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程中退、東京大学地震研究所助手、同助教授を経て現職

研究分野 地球電磁気学 (地球磁場および電場観測、地球内部の電磁気的性質の研究) 専攻

氏名 中塚 正

[なかつか ただし]

現職 工業技術院地質調査所地殻物理部探査技術研究室長
理学博士



略歴 京都大学理学部地球物理学科卒業、京都大学大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程修了、地質調査所物理探査部研究員、主任研究官、探査課長を経て現職

研究分野 磁気探査、地殻活動電磁気学

氏名 長宗留男

[ながむね とめお]

現職 (財)地震予知
総合研究振興会主任
研究員



略歴 中央气象台附属気象技術官養成所本科卒業、中央气象台地震課、松代地震観測所、札幌管区气象台観測課主任技術専門官、気象庁地震課調査官、気象研究所地震火山研究部研究室長、気象庁地震予知情報課長、鹿児島大学理学部教授を停年退官後現職

研究分野 地震学

氏名 植木保吉

[うえき やすよし]

現職 (財)地震予知
総合研究振興会
研究業務支持機構



略歴 九州大学理学部地質学科卒業、鯛生鉱業(株)、住鉱コンサルタント(株)を経て現職

研究分野 鉱床地質学(鉱脈型鉱床)

氏名 金沢敏彦

[かなざわ としひこ]

現職 東京大学地震研究所附属地震地殻変動観測センター教授(センター長併任)
理学博士



略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻博士課程単位取得退学、東京大学理学部助手、同助教授を経て現職

研究分野 海底地震学

著書 「地震」(東京化学同人、翻訳)

ADEP情報

日本海東縁部における地震発生 ポテンシャル評価に関する 総合的検討

東北日本日本海側では、1983年日本海中部地震(M7.7)、1993年北海道南西沖地震(M7.8)と最大級の地震が相次いで発生し、観測史上かつてない活動期を迎えている。日本海東縁部に南北のプレート境界が存在することはほぼ疑いのないところとなった。しかし、ユーラシアプレートのオホーツクプレート下への沈み込みといった、単純な図式ではこの地域のテクトニクスを正確に理解することはできない。

秋田県沖、新潟県中部などに地震

空白域の存在が指摘されており、この地域の地震発生ポテンシャルの評価は喫緊の課題となっている。本研究は、その水先案内となるべき重要な位置を占めている。

この研究は、科学技術庁振興調整費による「日本海東縁部における地震発生ポテンシャル評価に関する総合研究」の一部、総合的検討であり、平成6～10年度の5年間で完了した。本総合研究に参加した研究機関の専門家と、大学等の地震学及び関連分野の学識経験者からなる研究委員会を当振興会内に組織して研究を進めた。

地球科学の諸分野にわたるこれまでの成果と知見をできる限りマップとして表現することにした。まず項目別のマップを作り、これを「素材マップ」と呼ぶことにした。統一的に同じ投影法、同じ縮尺(1/100万)で図化した。データの重ね合わせや比較検討が自由に行えるように、データは全ていったんデジタル化し、それをういて図化した。海底地形や地質構造など調査の進行に応じて5年間に数回改訂を行った図もある。さらに、東西10測線について、

総合地質・地球物理断面図(1/50万)を作成した。

これらの図に基づいて、総合的な観点から検討を進め、その結果をテクトニクスマップとしてとりまとめた。テクトニクスマップは、地震発生ポテンシャル評価を進めるための戦略マップとして位置づけられるものである。その結果、日本海東縁部では、プレート境界が線で表わされるようなものではなく、幅広い帯状の地域に分散していることが明らかになった。

総合的検討の過程で、歪集中帯という概念が生まれ、この概念を中心に日本海東縁のテクトニクス、地震テクトニクスをまとめることにした。地質学的歪集中帯、地形学的歪集中帯、地震学的歪集中帯、測地学的歪集中帯を抽出した結果、これらが重複しているところはいくつか見つけた。この場所は長期的に見ても短期的に見ても歪が著しく集中しており、地震発生ポテンシャルが高いと考えられる。さらに、歴史地震を含む古地震の発生も考慮して、地震発生ポテンシャルが特に高いと考えられるところを提示した。[IKay]

編集後記

8月17日にトルコで、9月7日にギリシャで、そして9月21日に台湾で、立て続けに大きな地震が起こったが、いずれも地震の発生を未然に予知することはできなかった。このように予知が不可能な状態で、何とか被害を軽減する目的で最近“リアルタイム地震学”が注目され、また現実に地震防災のシステムとして生かされている。われわれが最も身近にこれに接する機会は、地震によって一斉に新幹線がとめられることなどであろう。

本号では、山中佳子先生により、理学的立場からリアルタイム地震学にせまり、トルコ地震の際、驚くべ

き速さで地震検測情報が世界を駆け巡ったことが紹介されている。また、工学的にどのように取り組まれているか、翠川三郎先生が横浜市の地震防災システムなどを中心に紹介されている。阪神・淡路大震災などを思うとき、このような各種の防災システムが、われわれの生活を地震の被害から守ってくれることを、切に願わずにはいられない。

振興会会長で本誌の発行・編集に指導的に尽力された、萩原尊禮先生が逝去された。巻頭には先生の幅広いご業績を偲ぶ追悼の言葉があるが、われわれ編集部一同謹んで哀悼のまことを捧げるものである。[A]

地震ジャーナル 第28号

平成11年12月20日 発行

発行所 ☎101-0064

東京都千代田区猿樂町1-5-18

☎ 03-3295-1966

財団法人

地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 力武常次

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