

# 地震 ジャーナル

## 43

2007年6月

エッセイ 傍目八目 ● 名和小太郎

緊急地震速報の提供に向けて ● 斎藤 誠——1

地下水と地震予知 ● 小泉尚嗣/松本則夫/  
板場智史——11

変わりゆく南極の地震像 ● 神沼克伊——23

ものがたり「松代群発地震」 ● 脇田 宏——34

安政江戸地震の際の武蔵国入間郡の災害 ● 新井健司——45

原子力発電所の新しい耐震指針 ● 大竹政和——60

地震予知連絡会情報 ● 岡田義光——70

● 書評——85

● 新刊紹介——86

● ADEP情報——88

地震の基礎知識 本震・余震・群発地震/地震の周期性と  
活動期・静穏期

囲み記事 活断層の成熟度と地震の規模頻度予測/  
「津波」という言葉はいつから使われはじめたか?/  
地震後火災を大火にしないためには耐震補強

### 地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

## 傍目八日 名和小太郎

ひょんなことで、門外漢が本誌の巻頭を汚すことになった。私は地球物理の学生ではあったが、卒業後半世紀、地震とはまったく縁のない世界で仕事をしてきた。本欄になにを書いたらよいのか、正直、困惑している。

執筆の参考にと編集部からいただいたバックナンバーをばらばらと拝読して気づいたことがある。それを紹介させていただこうか。まず、各論文についている引用文献表だが、もちろん新しい研究成果も参照されているが、遡って1970年代の文献もそれなりに引用されている。

ひるがえって私の研究分野をみると、それは情報システム関連であるが、ここでの論文の引用は、そのほとんどが21世紀のもの、まれに1990年代のものが混じっている、といった調子である。つまり論文の寿命が短い。陳腐化が激しい。こんな世界であくせくしているものからみると、本誌に登場なさる研究者諸氏に羨ましさやら、さらには妬ましさまで感じる。

もう一つ、その引用表だが、きちんと「雑誌名、〇巻、〇号、〇ページ」と記載されている。ひるがえって私の世界では<<http://www.xxxx.ac.jp/yyyy/zzzz.html>>などという引用が少なくない。これらに、10年先、20年先にもアクセスできるのかどうか、かなり心配である。

本来、学術研究は「巨人の肩の上に」というシャルトルのベルナルの箴言が、つまり知識の累積がものをいう世界であったはず。だが上記のように、近年は競争が優先され、研究論文が生鮮食品なみに消費される分野も増えてきた。ただし本誌を拝読するかぎり、著者も読者もそんな流行には見向きもしていない、とお見受けした。これが「忘れた頃に来る」といわれるテーマを扱っていらっしゃる方がたの心意気なのだろう。

私の関心テーマの一つにデジタル・アーカイブがある。いま課題になっていることは、デジタルデータの長期保存問題である。デジタル分野ではハードウェアやソフトウェアの技術標準は短寿命である。それらの世代交替も頻繁である。その世代交替を乗り越えてデータをどのように保存していったらよいのか、これが懸念されている。だが本誌の著者は、そして読者もすでにこの課題に心していらっしゃるだろう。とすれば心強いことである。

ここで、なんだよ、いまさら分かりきったことを、と半畳を飛ばされるかもしれない。だが本誌40号の編集後記に「文章は欠陥品でもよい」と書いてある。この言葉に甘えさせてもらった。



名和小太郎

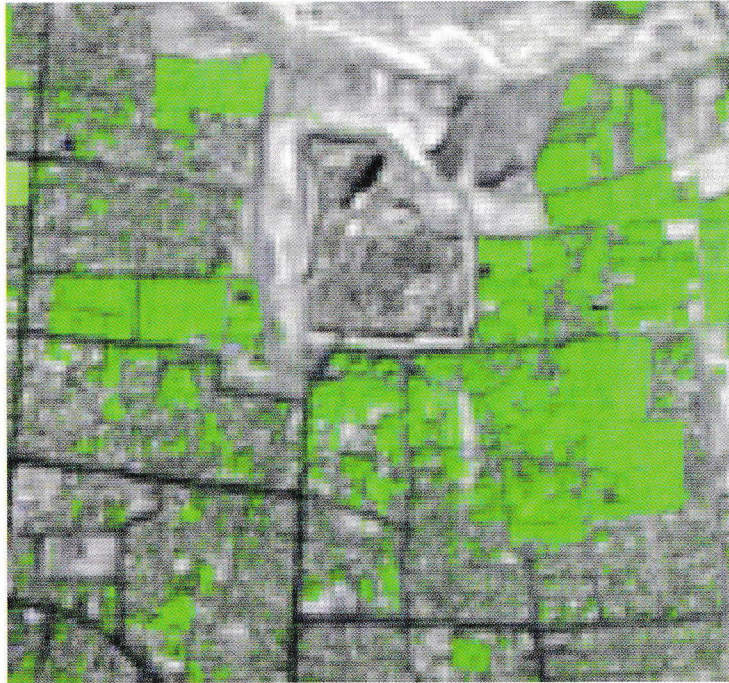
[なわ こたろう]

**現職** 情報セキュリティ大学院大学特別研究員

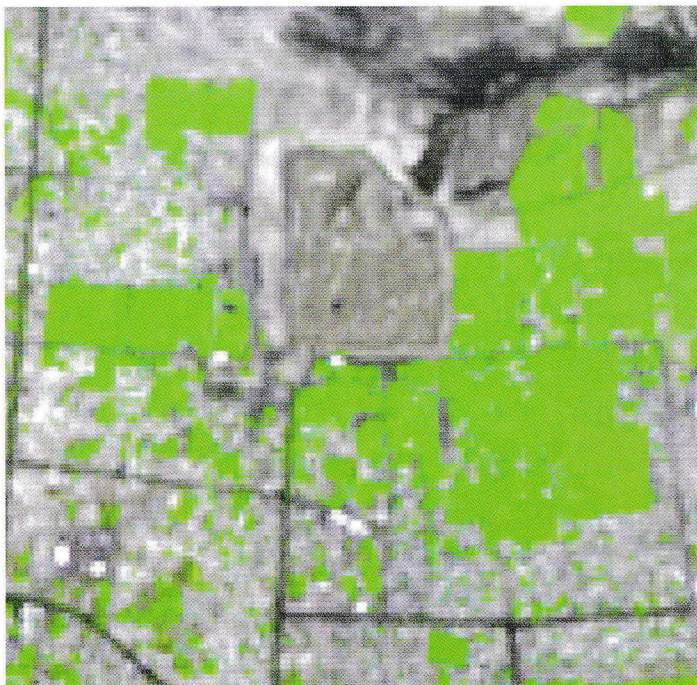
**略歴** 東京大学理学部卒、石油資源開発(株)、旭化成(株)、新潟大学法学部、関西大学総合情報学部を経て現職

**研究分野** 知的所有権論、情報通信制度論

**著書** 「学術情報と知的所有権」(東京大学出版会)、「エジソン理系の想像力」(みすず書房)、「科学書乱読術」(朝日選書)



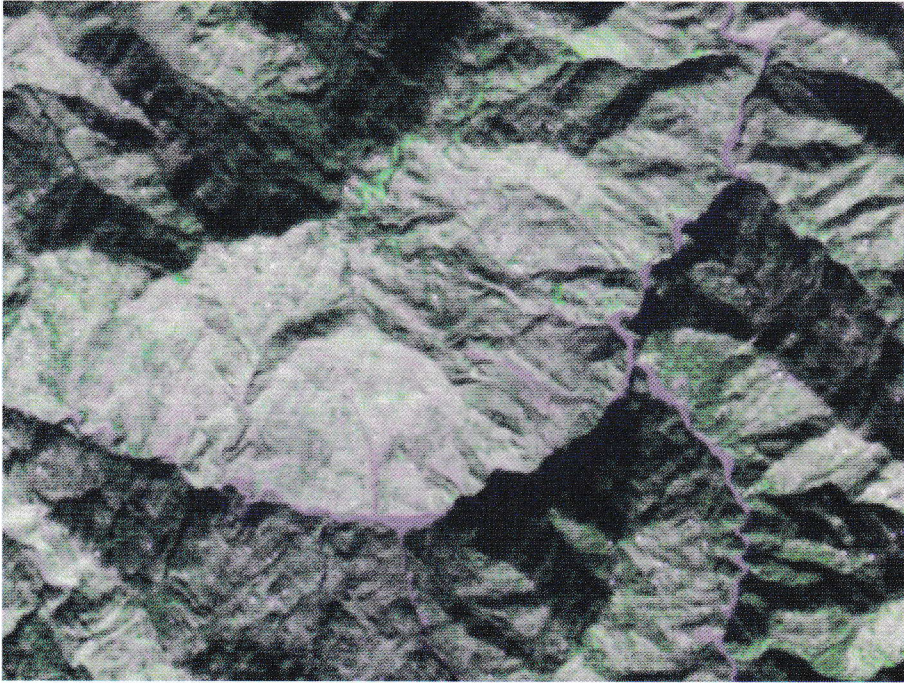
2003年10月28日撮影



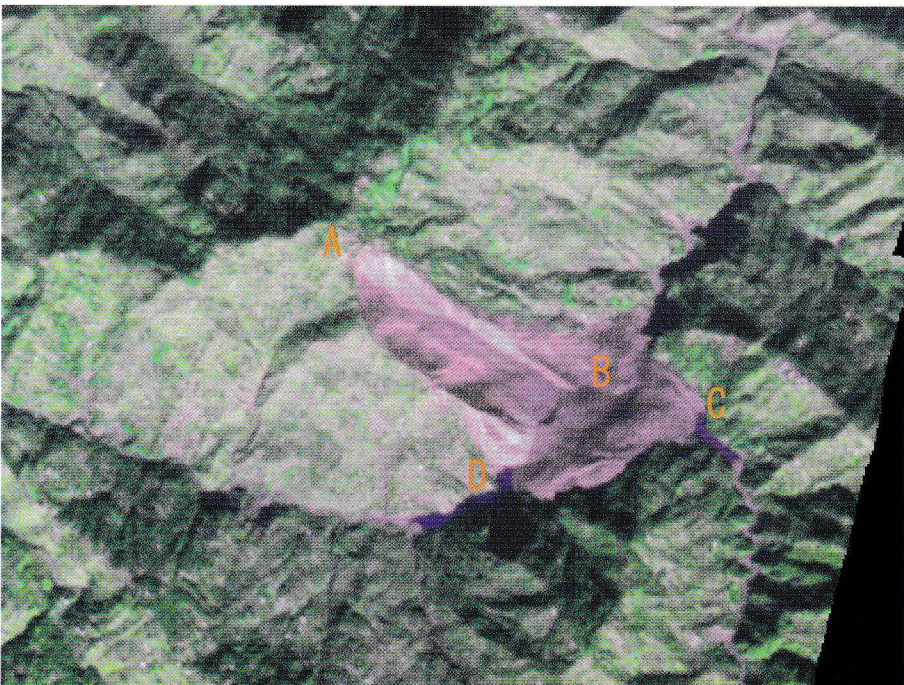
2004年8月4日撮影

イラン南東部のバムを襲った地震は2003年12月26日早朝に発生したが、写真は人工衛星テラ（Terra）のアスター（ASTER）により地震前（2003年10月28日）と地震後（2004年8月4日）に撮られたものである。両者を比べると、中央やや上の要塞都市遺跡アルゲ・バムや周辺市街地が、地震による建物倒壊などの被害を受けやや平坦になってしまったことを読取ることができる。

（中山裕則：日本大学文理学部）



2000年11月14日撮影



2005年10月27日撮影

パキスタン北部ムザファラバード付近で2005年10月8日にM7.6の地震が発生したが、写真は地震前（2000年11月14日）と地震約2週間後（10月27日）の震源から南東約75km地点の衛星画像である。山地斜面で発生した地すべりが明瞭に映し出されている。地震後の写真で、崩壊斜面の上部（A）から谷（B）までは水平距離約2km、幅約600m、標高差は約750mと大規模であり、谷底には大量の土砂が堆積し合流する二つの谷を堰止めて小さな湖（CとD）ができていることも判読することができる。

（Ⓒ中山裕則：日本大学文理学部）

# 緊急地震速報の提供に向けて

齋藤 誠

## 1. はじめに

緊急地震速報は、震源に近い観測点で得られた地震波を使って、直ちに震源、地震の規模及び各地の震度などを推定し、地震検知から数秒程度で迅速に情報として提供するものであり、地震の大きな揺れが始まる前の防災対応に資することを目指すものである。このようなアイデアは、19世紀のアメリカにまでさかのぼることが出来、また、わが国でも1960年代に東京大学地震研究所の伯野元彦博士などにより10秒前大地震警報システムが提案され、海底地震計で揺れをキャッチし都市に地震波が到達して揺れ出す前に地震情報を提供するアイデアが示されていた<sup>1)</sup>。また、列車の制御<sup>2)</sup>やエレベータの制御などについては、P波を利用した制御システムが開発・実用化が進んでいる。しかし、一般国民への情報提供については、地震学のみならず通信・情報処理技術の発展も受けて、最近になってようやく実用化の道が開けてきたものである。

緊急地震速報については、その提供が主要動(大きな揺れ)の到達に間に合わないことがあるなど、利用にあたってのさまざまな限界や課題はあるものの、気象庁が提供している従来の地震情報と異なり、強震動そのものによる被害の防止・軽減を可能とするものであり、適切に利用されれば大幅な減災効果が期待される。

気象庁では、平成19年9月頃にも緊急地震速報の広く国民への提供が開始できるよう検討・準備を進めているところである。

本稿では、緊急地震速報の提供に向けた気象庁の取り組みについて紹介する。

## 2. 緊急地震速報を提供するための技術

### (1) 緊急地震速報提供のための技術開発

緊急地震速報では、一刻も早く情報を発表するため、1点で地震波を検知した段階から震源等を推定し、情報を発信する、その後2点、3点と地震波を検出した観測点の数が増える毎に、それまでに得られたデータを利用して、震源・マグニチュードを繰り返し計算し、推定精度・信頼度を逐次向上させ、情報を数次にわたり更新し発表するという方法を用いる(図1)。

緊急地震速報を発表するためには、少数観測点のデータで、震源・マグニチュード等を迅速に精度よく推定する必要がある。このため、気象庁では、(財)鉄道総合技術研究所との共同研究により、1点のP波の観測データから震源・マグニチュードを推定する手法を開発<sup>3),4)</sup>、その成果を取り入れた地震計(多機能型地震計)を全国に整備した。また、(独)防災科学技術研究所が開発したHi-netを利用した震源・マグニチュードの推定手法<sup>5)</sup>も活用し、緊急地震速報の提供を行っている(図2, 3)。

これまでに発信した緊急地震速報の例を図4に示す。

### (2) 緊急地震速報に係る技術的限界

緊急地震速報には、以下のような技術的な限界があり、情報を適切に活用するためには、このような限界を踏まえることが重要である。

#### ① 情報提供から主要動到達までの猶予時間

緊急地震速報は地震の主要動が到達する前に速やかに情報を提供し、地震災害の防止・軽減に資することを目的とする情報であるが、震源直上(震央)やその周辺では、情報の提供から主要動到

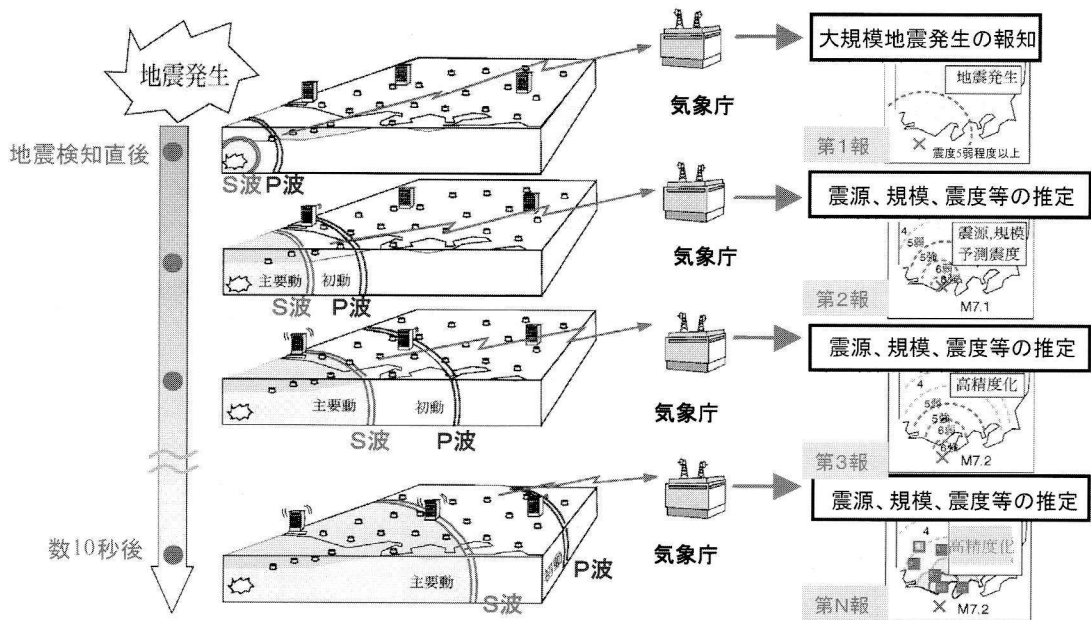


図1 地震波の伝搬と緊急地震速報の概念

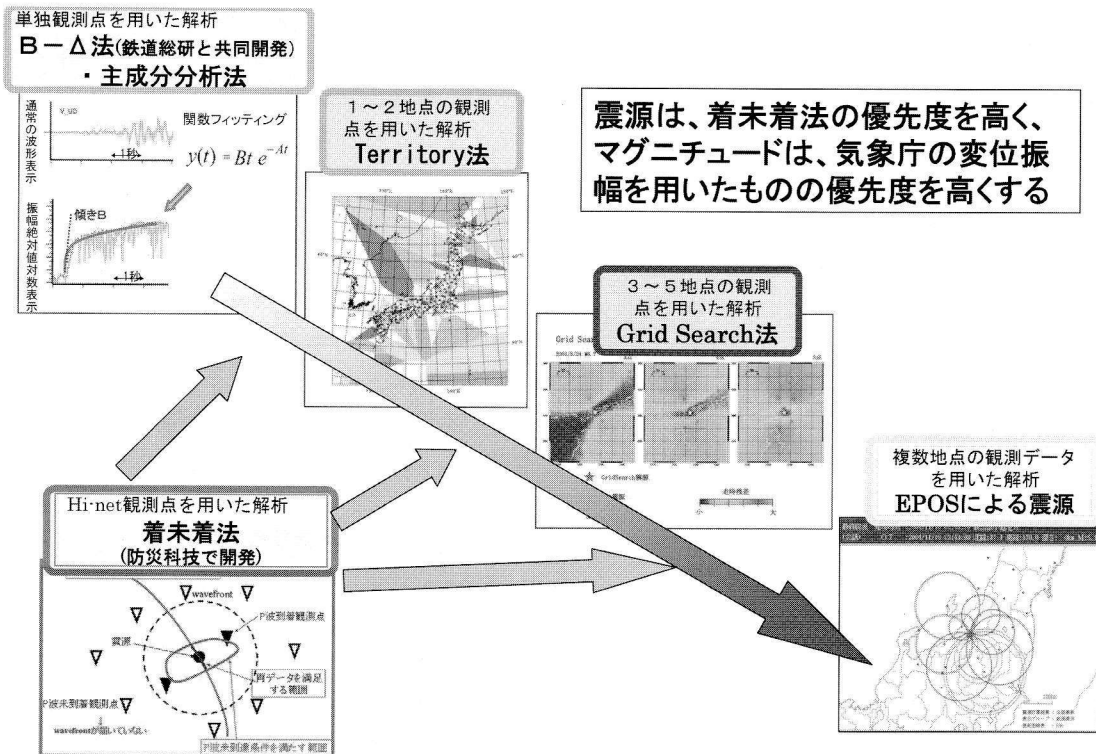


図2 緊急地震速報を発表するための震源推定手法

- 多機能型地震計(気象庁)
- ▲ Hi-net(防災科学技術研究所)



図 3 緊急地震速報の発表に使用している地震観測点  
(気象庁の多機能型地震計の観測網約 200 点及び防災科学技術研究所の Hi-net 観測網約 800 点)

達までの時間が短く、特に内陸の浅い地震の場合、震央付近では情報の提供が主要動の到達に間に合わないことが多い。一方、内陸の地震であっても震源が深い場合や、海域で発生する地震については、震源に最も近い陸上の地点でも、情報の提供が主要動の到達に間に合う可能性が高い。

## ② 震源・マグニチュード・震度の推定

緊急地震速報は短時間の間に得られた観測データから推定を行うため、その推定精度には限界がある。特に以下の場合には誤差が大きくなること

がある。

ア 一般的に地震観測網から遠く離れた場所で発生する地震の震源を精度よく求めることは困難であり、それに伴ってマグニチュードの推定にも誤差が生じやすい。このため緊急地震速報においても、地震観測網から 100 km 程度以遠で発生する地震では、震源やマグニチュードの推定値の誤差が大きくなる可能性がある。

イ マグニチュードが大きくなるほど、地震断

地震の概要

地震発生時刻	震央地名	北緯	東経	深さ	マグニチュード	最大震度
平成17年08月16日11時46分25.7秒	宮城県沖	38° 09.0′	142° 16.7′	42km	7.2	6弱

緊急地震速報で提供した震源の推移

緊急地震速報(第2報)の提供から主要動到達までの時間(秒)

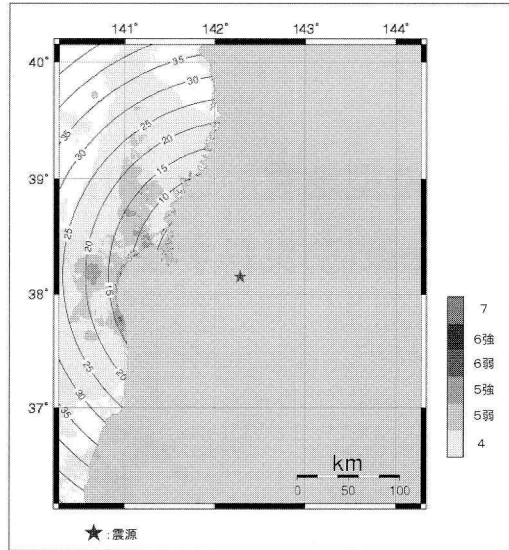
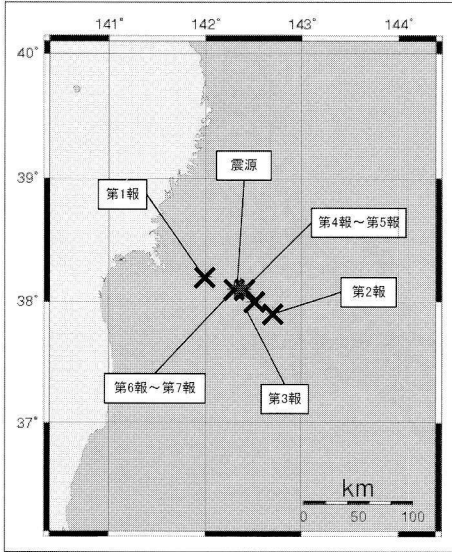


図 4-1 これまでに発生した緊急地震速報の例 (平成 17 年の宮城県沖の地震)

地震の概要

地震発生時刻	震央地名	北緯	東経	深さ	マグニチュード	最大震度
平成16年10月23日17時56分00.3秒	新潟県中越地方	37° 17.5′	138° 52.0′	13km	6.8	7

緊急地震速報で提供した震源の推移

緊急地震速報(第2報)の提供から主要動到達までの時間(秒)

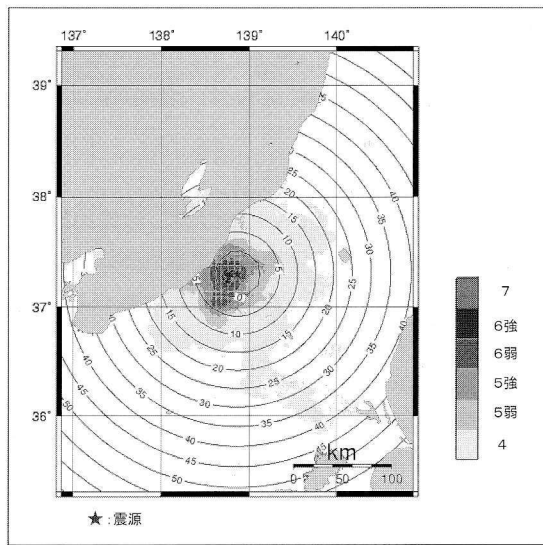
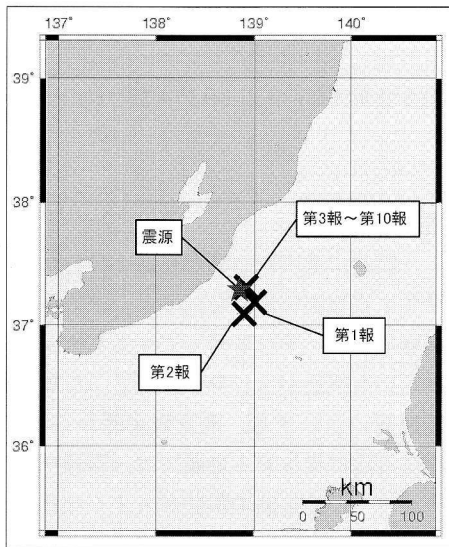


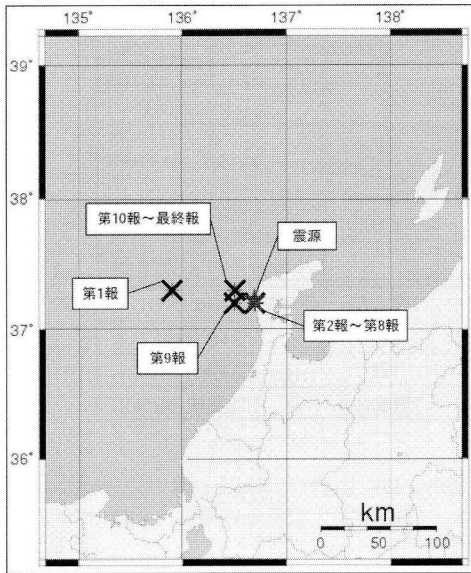
図 4-2 これまでに発生した緊急地震速報の例 (平成 16 年新潟中越地震)



## 地震の概要

地震発生時刻	震央地名	北緯	東経	深さ	マグニチュード	最大震度
平成19年3月25日9時42分57.9秒	能登半島沖	37° 13.2′	136° 41.1′	11km	6.9	6強

緊急地震速報で提供した震源の推移



緊急地震速報(第1報)の提供から主要動到達までの時間(秒)

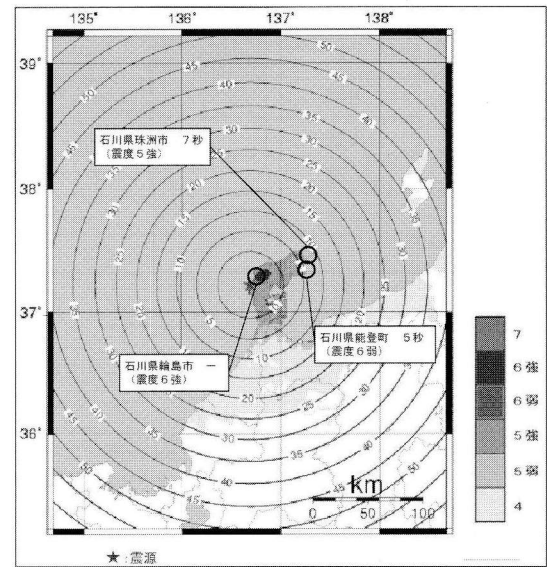


図 4-3 これまでに発生した緊急地震速報の例 (平成 18 年能登半島地震)

図 4 これまでに発表した緊急地震速報の例

左図は緊急地震速報で推定した震央の推移。

右図は緊急地震速報発信から主要動 (S 波) が到達するまでの時間 (秒)、気象庁の一元化震源を基に推定した各地への S 波到達時刻と緊急地震速報発信時刻から作成。

層面におけるずれ破壊の開始から終了までの時間が長くなる (マグニチュード 6 で約 3 秒, マグニチュード 7 で約 10 秒, マグニチュード 8 以上では数十秒以上) ことから, 一般的にマグニチュードを精度良く推定するためには, マグニチュードが大きな地震ほど長い時間が必要となる。緊急地震速報では地震断層面の破壊開始の初期段階で得られるデータからマグニチュードを求めるための推定式を用いているが, その推定精度には限界があり, マグニチュードが大きな地震ほど, 誤差が大きくなる可能性がある。

ウ 震度の推定値は, 震源からの距離, マグニチュード, 地盤増幅度のデータ等に基づく経験式から求めているが, その精度には限界がある (図 5)。

断層の長さについても考慮されているが, 方向までは考慮されていない。また, 規模の大きな地震になるとアスペリティ (断層面上の強度の大きい部分で, 大きな揺れを励起する場所) の影響が大きくなり, 地震による揺れの分布は, 震源域からの距離だけではなく, アスペリティの位置や大きさにも左右される。このことから, 特にアスペリティの位置が震源と大きく離れている場合には正確な震度分布の推定が困難である。

エ 深発地震 (深さ 100 km 程度より深い場所で発生する地震) では沈み込むプレートに沿って地震波が伝わりやすいという性質が顕著に現れるので, 震源の直上より震源から離れた場所で揺れが大きくなることもある (異常震域)。現在, 震度の推定に用いている経験

		一般向け緊急地震速報で推定された震度					
		4	5弱	5強	6弱	6強	7
観測された震度	1以下	2	1				
	2	8					
	3	45	1				
	4	59	11	1	2		
	5弱	11	9	1			
	5強	1	4	2	1		
	6弱		1				
	6強						
	7				1		

2006年9月1日  
 奄美大島近海 M5.4

推定された最大震度が4以上	
合計	161地域
一致	70地域(44%)
±1階級以内	143地域(89%)

図5 緊急地震速報における震度の推定精度  
 2観測点以上の観測点のデータを用いた解析で最大震度が5弱以上と推定された直後の緊急地震速報で、震度4以上と推定された地域（161地域）において観測された震度との関係（平成16年2月25日～平成18年9月30日までに発生した17事例を対象）

式はこのような深発地震に適用できないため、深発地震では正確な震度の推定は困難である。

### ③ 複数同時地震への対応

現在採用しているアルゴリズムでは、複数の地震が時間的に近接して発生した場合でも、各々の地震を適切に区別できるような工夫を行っているが、複数の地震が時間的だけでなく距離的にも近接して発生した場合には、これらを適切に認識し、各々の地震を区別することは困難である。このため、このような場合は的確な情報の提供ができないことがある。

### ④ 誤報

緊急地震速報は様々な手法を用いてノイズの除去を行っているが1観測点のみのデータを使っている段階の情報では、除去しきれない人工ノイズや電気ノイズ等のために、まれに地震が発生したと誤って情報を発信する可能性がある。

なお、ある観測点で地震を検知して緊急地震速報を公表した場合で、引き続き隣接する観測点で地震が検知されないときには、数秒～10数秒程度

でキャンセル報を発信する（ただし島嶼部等の観測点密度の低い地域で地震が発生した場合は、キャンセル報の発信までに30秒程度かかる場合がある）。

## 3. 緊急地震速報の利活用方策

緊急地震速報は従来の地震情報は異なる新しい情報であるため、しばしば、「5秒や10秒程度の時間があつたところで、何ができるのか」と問われることがある。しかし、例えば、数秒から数十秒程度の短い時間であっても、地震による大きな揺れが始まる前に、走行中の列車のスピードを少しでも落とすことができれば、脱線事故などの可能性の低減につながる事が期待される。エレベーターを最寄りの階に停止させることにより、閉じ込め事故を防止することもできる。工場や工事現場など危険なところで働いている方が、安全なところへ避難したり、安全な体勢をとったりするようなことも可能となるし、危険物を扱っている場所では、自動的にガスボンベや配管の遮蔽を

行うというようなことも可能となる。また、家庭や学校、オフィスなどで倒れてきそうな家具や書棚などの前から離れたり、丈夫な机の下に避難することにより身を守ったりすることもできる。このように緊急地震速報は、適切に活用することにより、地震被害の防止・軽減に資することが期待されることから、施設・機器の制御だけでなく、広く国民の利用に供するための検討・準備を進めてきた。

#### 4. 緊急地震速報の本運用に向けた検討

##### (1) 試験運用

気象庁では、平成15年度に関東から九州東岸にかけての地域に多機能型地震計を整備したことを受け、平成16年2月から同地域で発生する地震を対象に緊急地震速報の試験運用を開始した。

試験運用は、緊急地震速報の活用についての検討を希望する機関と協力して、次の3つの観点から活用方策の検証を行ったものである。

- ① 自動制御系における活用方策
- ② 住民等の危険回避行動への活用方策
- ③ 情報伝達システムの実用化の検証

平成17年3月には東北、北海道地方へ、平成18年3月には残りの地域への多機能型地震計の整備を受け、対象地域を順次拡大した。また、平成17年6月からは、精度向上を図るため、防災科学技術研究所が開発したHi-netを利用した震源・マグニチュードの推定手法も活用して試験運用を行ってきた。

平成18年8月には、試験運用の成果や「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」の成果等を踏まえ、緊急地震速報を混乱なく利用できる事業者等に対する「緊急地震速報の先行的な提供」を開始した(5参照)。その後も、上記②に関する検討を継続可能とするため、平成19年4月現在、学校における児童・生徒等への提供、家庭における提供に限って試験運用を実施している。

##### (2) 緊急地震速報の本運用開始に係る検討会

緊急地震速報は適切に利用されれば、地震被害

の防止・軽減が期待されるものではあるが、一方、情報の特徴や限界、適切な利活用方策が理解されていない段階で提供された場合には、例えば集客施設等で緊急地震速報を聞いた人が出口に殺到して事故が発生するなど、混乱や損害等が発生するおそれがある。

このため、気象庁では、平成17年11月に、学識経験者、報道機関、不特定多数の者が集まる施設、関係省庁及び地方公共団体をメンバーとする「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」(以下「検討会」という)を発足させ、緊急地震速報の混乱ない提供に向けた課題の検討を進めてきた。

検討会は、平成18年5月に中間報告、平成19年3月に最終報告を、それぞれ広く国民からの意見募集を行った結果も踏まえて取りまとめた<sup>6)</sup>。

気象庁では、これらの報告の趣旨に沿い、緊急地震速報の本運用に向けた準備を進めているところである。

#### 5. 緊急地震速報の段階的な提供

平成18年5月に取りまとめられた検討会中間報告では、「広く国民への情報提供を直ちに開始した場合には混乱を生じるおそれがあることから、十分な周知・広報等を行った上で提供を開始する。一方、すぐにも適切な利活用を図ることが可能な利用者に対しては、地震被害を少しでも軽減するという観点から、先行的に提供を開始すべき」という提言がなされた。これを受けて、列車やエレベーターの制御、工事現場の作業員の安全確保などの分野の利用者には、平成18年8月から先行的な提供を開始した(図6)。

先行的な提供は、緊急地震速報の提供に伴う事故や混乱の発生を防止するため、中間報告の趣旨に沿い、気象庁において、緊急地震速報の利用目的、緊急地震速報に関する理解が十分であるか、利用のためのマニュアルの作成状況、訓練の実施計画等について、確認を行ったうえで実施している。

平成19年4月1日現在で、この手続きの完了した事業者等は443機関であり、主な利用目的と

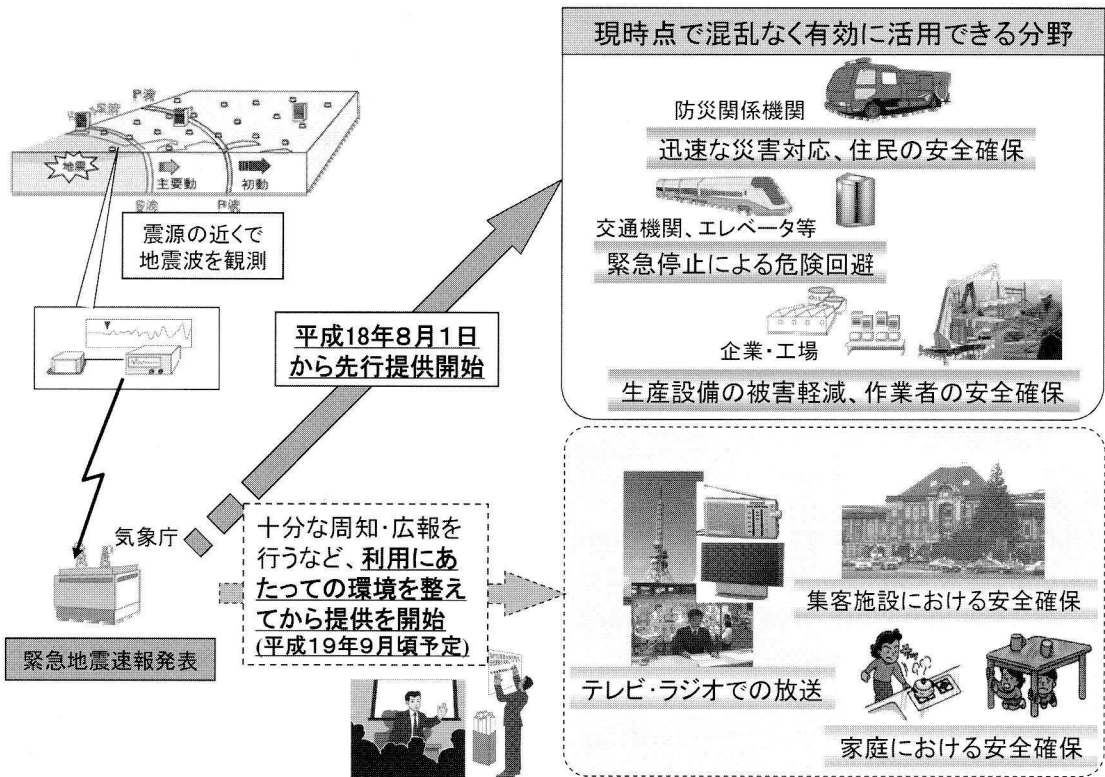


図 6 緊急地震速報の段階的な提供の考え方

しては、列車等の制御、生産設備の制御、工事現場等における従業員の安全確保、防災担当者による迅速な災害対応、今後の利用に向けた検討やシステム開発等となっている。

なお、平成18年9月頃に予定されている本運用（広く国民への提供）開始以降は確認手続きは行わないこととしている。

## 6. 広く国民へ提供する緊急地震速報の内容

検討会中間報告では、テレビ・ラジオ等を通じて広く一般に緊急地震速報を提供する緊急地震速報の内容についても提案されている。

先行的に提供されている緊急地震速報は、第1報発信の迅速性を確保しつつ、時間の経過とともに利用可能なデータが増加するにあわせ、精度・信頼度を向上させながら複数回発表している。計算機による自動制御であれば、あらかじめプログ

ラミングすることで、これらを有効に活用することが可能であるが、広く一般に提供する緊急地震速報については、短時間のうちに数次にわたり発信する情報では、対応が困難であり、また、放送も困難である。このため、迅速性及び正確性の両方の観点から最善と考えられる時点での情報を1つの地震に対し原則1回発表すること、また、内容については、精度等の観点から、強い揺れが推定される地域（最大震度5弱以上が推定された地震について震度4以上が推定された地域（全国を約200に分割した地域））を発表し具体的な推定震度や主要動到達予想時刻（または猶予時間）は発表しないこととされている。

## 7. 緊急地震速報の利用の心得

広く一般に緊急地震速報を有効に活用していただくためには、緊急地震速報を受信したときにど

のように行動するべきかという「心得」を示すことが必要である。

検討会最終報告（平成19年3月）では、「状況に応じて、あわてずに、まず身の安全を確保する。」という緊急地震速報の利用に当たっての基本的な「心得」及び、この心得を踏まえた「家庭」、「不特定多数の者が出入りする施設」、「屋外」、「乗り物で移動中」の4つの場面における具体的な対応行動の指針が示された（図7）。

## 8. 広く国民への提供を開始する時期

広く国民への提供開始に当たっては、「心得」の普及が鍵になると考えられる。「心得」の普及には一定の周知期間が必要であり、特に集客施設については、各施設の管理者が施設における対応のあり方を定め、これを利用者に周知するための期間が必要である。

このため、「検討会」最終報告案では、最終報告が取りまとめられた後、「心得」の周知等のための準備期間として、6ヶ月程度の期間を置いた後、広く国民への緊急地震速報の提供を開始することが適当であるとしている。また、モデル実験の結果等から新たな課題が見出された場合や周知の状況が混乱・損害防止の観点から不十分と判断され

る場合には、柔軟に計画を見直すことも必要であるとしている。

## 9. 今後の展望と課題

### (1) 精度の向上

緊急地震速報の精度向上は、情報の有効性を高めるために必須な条件である。気象庁は防災科学技術研究所等関係機関の研究成果の積極的な活用を図るなどして、今後も精度向上に努めることとしている。特に、観測点の密度が低い島嶼部では、平成18年8月1日の先行提供開始以降、震源や震度の推定精度が悪い情報の発信例が散見されている。このような精度の悪い情報の発信は、緊急地震速報の信頼性を損なうものであることから、信頼性の低い情報は発信を抑制するという方向で改善策の検討を行っている。

この他、震源域の早期推定は困難であっても、震源からの破壊伝播方向の推定結果を震度推定に取り入れるなど、中長期的な情報の高度化にも取り組む計画である。

### (2) 緊急地震速報の伝達

緊急地震速報は、情報の発信から極めて短時間の間に、利用者まで情報を伝達することが求めら

『緊急地震速報の利用の心得』 周知の状況に応じて、あわてずに、まず身の安全を確保する
『様々な場面における具体的な対応行動の指針』
【家庭】 ○頭を保護し、大きな家具からは離れ、丈夫な机の下などに隠れる ○あわてて外へ飛び出さない
【不特定多数の者が出入りする施設】 ○基本的には施設の従業員等の指示に従う ○その場で、頭を保護し、揺れに備えて身構える
【屋外】 ○ブロック塀の倒壊や自動販売機の転倒に注意し、これらのそばから離れる
【自動車運転中】 ○後続の車が情報を聞いていないおそれがあることを考慮し、あわててスピードを落とさない ○ハザードランプを点灯するなどして、まわりの車に注意を促したのち、緩やかにスピードを落とす
【鉄道・バスに乗車中】 ○つり革、手すりなどにしっかりつかまる。
【エレベーター利用中】 ○最寄りの階で停止させ、速やかにエレベーターから降りる。

図7 緊急地震速報の利用の心得の概要

れるものである。このため、一般国民への緊急地震速報の伝達手段としては、当面は、テレビ・ラジオ等からの放送やブロードバンド回線を用いた家庭用報知端末による伝達になると考えられるが、これらに加え、携帯電話等の移動体通信などによる情報伝達が可能になるよう関係機関への働きかけを行っている。

## 10. ま と め

緊急地震速報は、適切に利用できればさまざまな分野、場所、場面における地震被害の防止・軽減が期待される。一方、緊急地震速報は防災対策の特効薬ではあっても万能薬ではない。建物の耐震化や、家具の耐震固定など従来からの地震防災対策をあわせて実施することが重要であり、これらが行われることで、より効果を発揮する情報である。気象庁では、関係機関との連携のもと、緊急地震速報が地震災害の軽減に資するよう、情報の精度向上のための取り組みを続けるとともに、本運用開始時期を見据えて、緊急地震速報の特徴や限界、利用の「心得」についての周知・広報を推進することとしている。

詳細については、気象庁ホームページ (<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/index.html>) もご覧いただきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 伯野元彦・高橋 博, 1972, 10秒前大地震警報システム, 自然, 9月号, 74-79.
- 2) 中村 豊, 1996, 研究展望, 総合地震防災システムの研究, 土木学会論文集, 1-33.
- 3) 東田進也・小高俊一・芦谷公稔・大竹和生・野坂大輔, 2004, P波エンベロープ形状を用いた早期地震諸元推定法, 地震第2輯, 56巻, 4号, 351-361.
- 4) 横田 崇・上垣内修・加藤孝志, 2002, 『ナウキャスト地震情報』の実用化に向けて, 地震ジャーナル, 第34号, 41-49.
- 5) Shigeki Horiuchi, Hiroaki Negishi, Kana Abe, Aya Kamimura, and Yukio Fujinawa, 2005, An Automatic Processing System for Broadcasting Earthquake Alarms, Bulletin of the Seismological Society of America, 95, 708-718.
- 6) 気象庁, 2007, 緊急地震速報の本運用開始に係る検討会最終報告, 気象庁ホームページ.

斎藤 誠

[さいとう まこと]

**現職** 気象庁地震火山部管理課即時地震情報調整官

**略歴** 大阪大学大学院理学研究科博士前期課程修了, 科学技術庁研究開発局企画課防災科学技術推進室専門職, 気象庁地震火山部管理課計画係長, 内閣府政策統括官(防災担当)付参事官(地震・火山対策担当)付参事官補佐などを経て, 2004年4月から現職



# 地下水と地震予知

## —地下水観測による地震前後の地殻変動の推定—

小泉尚嗣・松本則夫・板場智史

### 1. はじめに

地震予知は、種々の手法を組み合わせ、相互に情報交換しつつ協力して研究していかななくては達成できない困難な課題である(山岡, 2006). 地震予知研究の手法において地下水観測を用いた手法は、従来の地震や地殻変動の観測・研究を用いた手法に比べて研究の歴史が浅く、地震発生と結びつける理論面で弱点がある. 他方、地震と地殻変動に関しては、理論および観測の双方で研究が進んでいるし、地下水と地殻変動との関係についても、多孔質弾性論(たとえば、徳永, 2006)を用いて理論的な研究が進んでいる. したがって、地下水観測データ(主に地下水位のデータ)を、地殻変動データ(具体的には、地盤の伸縮や隆起・沈降のデータ)に換算することで、理論面の弱点を克服でき、他分野との情報交換やシミュレーションが容易になる. なお、ここでいう地下水とは、地表から深さ 1-2 km 位までのものを想定している.

### 2. 手 法

#### 2.1 地下水位データの地殻変動データへの換算

水を多量に含む地層や岩盤の割れ目群を帯水層という. 水を通さない、あるいは、通しにくい粘土層や岩(不透水層とよぶ)で囲まれた帯水層を被圧帯水層、その中にある水を被圧地下水(confined groundwater)と呼ぶ(図1). 被圧地下水は、地盤が歪む(伸縮する)とそれにあわせて水圧を変化させるので、その水位変化は体積歪(地盤の伸縮)変化として扱える. 地面は、月や太陽

の引力で伸縮し、それを地球潮汐による体積歪の潮汐変化というが、その変化による地下水位変化を利用して、地下水位の体積歪変化に対する感度を求めることができる. 地球潮汐による体積歪の変化は、 $10^{-8}$ ~ $10^{-7}$ といった非常に小さな変化だが、ごく条件のよい観測井戸であれば、数 cm 程度の振幅の潮汐変化が観測できる. 我々が通常用いる高感度の水位計の分解能が 0.2 mm 程度であるので、 $10^{-10}$  程度の体積歪変化の検出が期待できることになる(図1). ただし、(1)降雨が地下水位へ与える長期的な影響を取り除くのが難しいこと、(2)数日以上の時間をかけてゆっくりと変化する体積歪に対しては、一般に地下水位はあまり変化しないこと、つまり、地下水位変化の体積歪変化に対する感度が落ちること(Rojstaczer, 1988; 北川・他, 2004)、(3)数日以内の変化に限っても、地下水位は通常時に数 mm 程度は変化することといった理由により、条件のよい井戸の場合でも 1 時間階差・3 時間階差・24 時間階差(1 時間毎・3 時間毎・24 時間毎の変化)にして、 $10^{-8}$  の体積歪変化に対応するような通常時の変化(ノイズレベル)がある(図2)(松本・北川, 2005). これはつまり、 $10^{-8}$  の体積歪変化を越えるような地盤の伸縮ならば、地下水位変化として検出できることを意味する.

被圧地下水と違って、地盤の圧力を受けていない地下水を不圧地下水(unconfined groundwater)や自由地下水(free groundwater)と呼ぶ. 不圧地下水は、一般に浅い地下水で自由地下水面をもち、その表面での圧力は大気圧に等しい. 不圧地下水の場合は、地盤が伸縮しても水圧がほとんど変化しない. つまり、不圧地下水の場合は、体積歪変化に対する地下水位変化の感度は

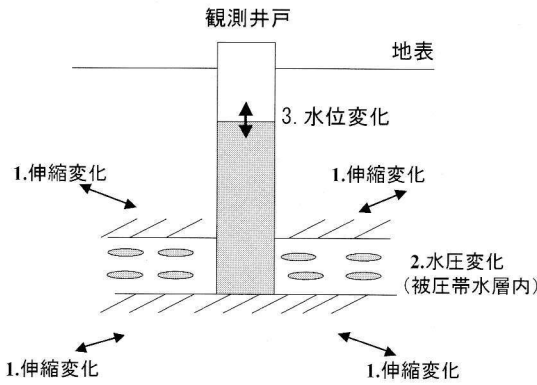


図1 地盤の伸縮（体積歪変化）と被圧地下水水位変化との関係を示すモデル。

悪いことになる (Bredehoeft, 1967). しかし、海岸付近の浅い不圧地下水の場合、海水面と圧力的につりあった状況にあることから、海水面に対する相対的な地面の隆起・沈降に応じて、地表からの地下水面の深さ（水位）が変化する。すなわち、ある基準面に対する地盤の高さ（比高）の変化が、海岸付近の不圧地下水の水位変化になり得る（図3）。その場合、比高変化があった後も、海岸付近の不圧地下水と海水面とで圧力がつりあった状態になっているならば、不圧地下水の水位変化量は比高変化量と同じかそれ以下になる（吉川・他, 1958）。

## 2.2 地下水データを地殻変動データに換算することのメリット

下記の4点が考えられる。

- (1) 帯水層の広がりに対応する範囲の空間的な平均値を測定できること。
- (2) 地殻変動を測定する通常の観測機器とは独立な観測であることから、それらの地殻変動観測機器と比較・検討することで観測データの信頼性が増すこと。
- (3) 既存の地下水データ・地下水観測設備の利用により、近代的観測の行われていない場所・時代での地殻変動データが提供できること。
- (4) 地下水位等の観測機器は、通常の地殻変動の観測機器に比べて安く扱いも簡単なこと。

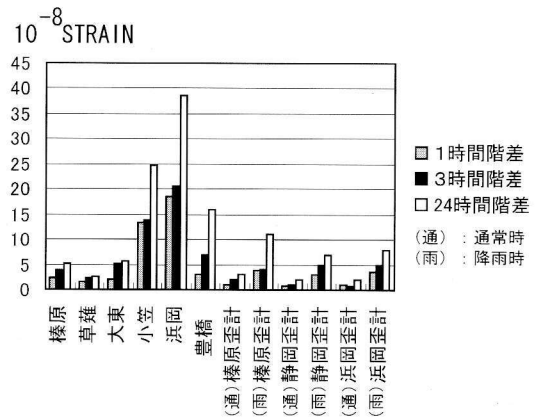


図2 東海地域の地下水観測点における歪換算後の水位のノイズレベルと、気象庁体積歪計のノイズレベル（小林・松森, 1999）との比較（松本・北川, 2005）。

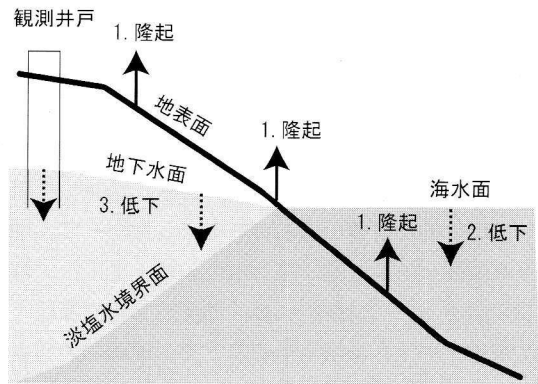


図3 地盤の隆起と海岸付近の地下水位の低下との関係を示した模式図。地盤が沈降したときは、地下水位はこの図とは逆に上昇する。

## 3. 地下水観測による地震に伴う地殻変動の推定

### 3.1 想定東海地震におけるプレスリップ検知能力

上述のように、被圧地下水であって地球潮汐による潮汐変化を確認できるような観測井戸の水位データは、気象庁で使われているような体積歪計データとまったく同様に扱えるので、気象庁が東海地震予測のために用いている体積歪データの解析手法と同様の手法で地下水位データを解析し、



相互に比較することができる。現時点で最も有望な地震の前兆現象は、地震直前に将来の地震発生域周辺で起こるゆっくりすべり（プレスリップ・前駆的すべり・前兆すべり等と呼ぶ）である。図4は、静岡県榛原の直下で、マグニチュード6.5の大きさに相当するプレスリップが生じた時に想定される体積歪変化と地下水位変化を示したものである。気象庁の体積歪計3点で、レベル3（図2で示したノイズレベルの2倍）を越える変化があり、しかもそれがプレスリップによるものと判断される場合、東海地震予知情報（警戒宣言）が出される（気象庁，2003）。東海地方における産業技術総合研究所（以降、産総研と略称）の地下水観測点の中で条件のよいものは、気象庁体積歪計に匹敵するプレスリップ検知能力をもつことがわかる。

東海地震予知においては、気象庁の歪計・地震計データに加えて、産総研の地下水等データ、国土地理院のGPS等測地測量データ、防災科学技術研究所の地震計・傾斜計データ等を総合的に評価して地震予知に関する情報を発信することになっている。

### 3.2 1946年南海地震前後の地下水変化の評価

四国～紀伊半島の南の沖合いで、何度も発生しているM（マグニチュード）8クラスの巨大地震は南海地震と呼ばれる。過去1,300年間に8-9回の発生が古文書等で確認されている南海地震では、四国や紀伊半島の温泉でくりかえし自噴量や水位の低下があったことが知られている（宇佐美，2003）。特に、1946年南海地震（1946年12月21日発生，M 8.0）においては、地震時における温泉水の自噴量・水位の低下に加え、地震の数日前から、紀伊半島～四国の太平洋岸の浅い地下水の水位が、推定で数十cm以上低下したことが知られている（図5，水路局，1948；京大防災研，2003b）。重富・他（2005）によれば、このような地震前の沿岸部の浅い地下水の水位低下は、1854年安政南海地震の前にも、紀伊半島の和歌山県広川町周辺や四国の土佐清水市周辺であったとのこと、南海地震前の浅部地下水位低下には再現性が

あることになる。

1946年南海地震の断層モデルから計算すると、紀伊半島から四国の陸域では基本的に体積歪が地震時に増大、すなわち地盤が地震時に膨張する。したがって、地震時の温泉水の自噴量・水位の低下については、温泉水を被圧地下水と考えて、上述のように計算される体積歪変化で定性的に説明できるだけでなく、一部の地域では定量的にも説明できる（図6，小泉，2004；小泉・他，2005）。

地震前の浅い地下水（＝不圧地下水）の水位低下も、1946年南海地震の震源域周辺でプレスリップがあったとすれば、紀伊半島～四国の太平洋岸で陸地が隆起することで、2.1で示した考えに基づき定性的に説明できる（図6）。ただし、京大防災研（2003a）の計算によれば、1946年南海地震にプレスリップがあったとしても、沿岸部の陸の隆起量が最大5cm程度となっていることから不圧地下水の水位低下は数cm以下にとどまることになり、上述の数十cm以上といった振幅は説明できない。この結果を踏まえて京大防災研（2003b）は、地盤が隆起して海面と地下水面が圧力平衡に達する前の遷移的な過程において、局所的に不圧地下水の水位が大きく低下し得るというモデルを出している。他方、同じ京大防災研（2003a）の計算において、面積歪は最大 $5 \times 10^{-7}$ の増加を示していることから、小泉・板場（2006）は、被圧地下水なら数十cm以上の水位低下が可能であるとし、（深い）被圧地下水の水位低下の影響を受けて、浅い不圧地下水の水位が低下した可能性を指摘している。これらのモデルを検証し、地震予測につなげるためには、後述するような新たな観測網の整備が必要である。

## 4. 課 題

### 4.1 地下水変化を地殻変動データに換算する際の周波数依存性の評価

体積歪変化に対する被圧地下水の水位変化のところで説明したように、地面の伸縮や比高変化がゆっくりだと、地下水位の変化の仕方が変わる。すなわち、地殻変動に対する地下水位変化には周

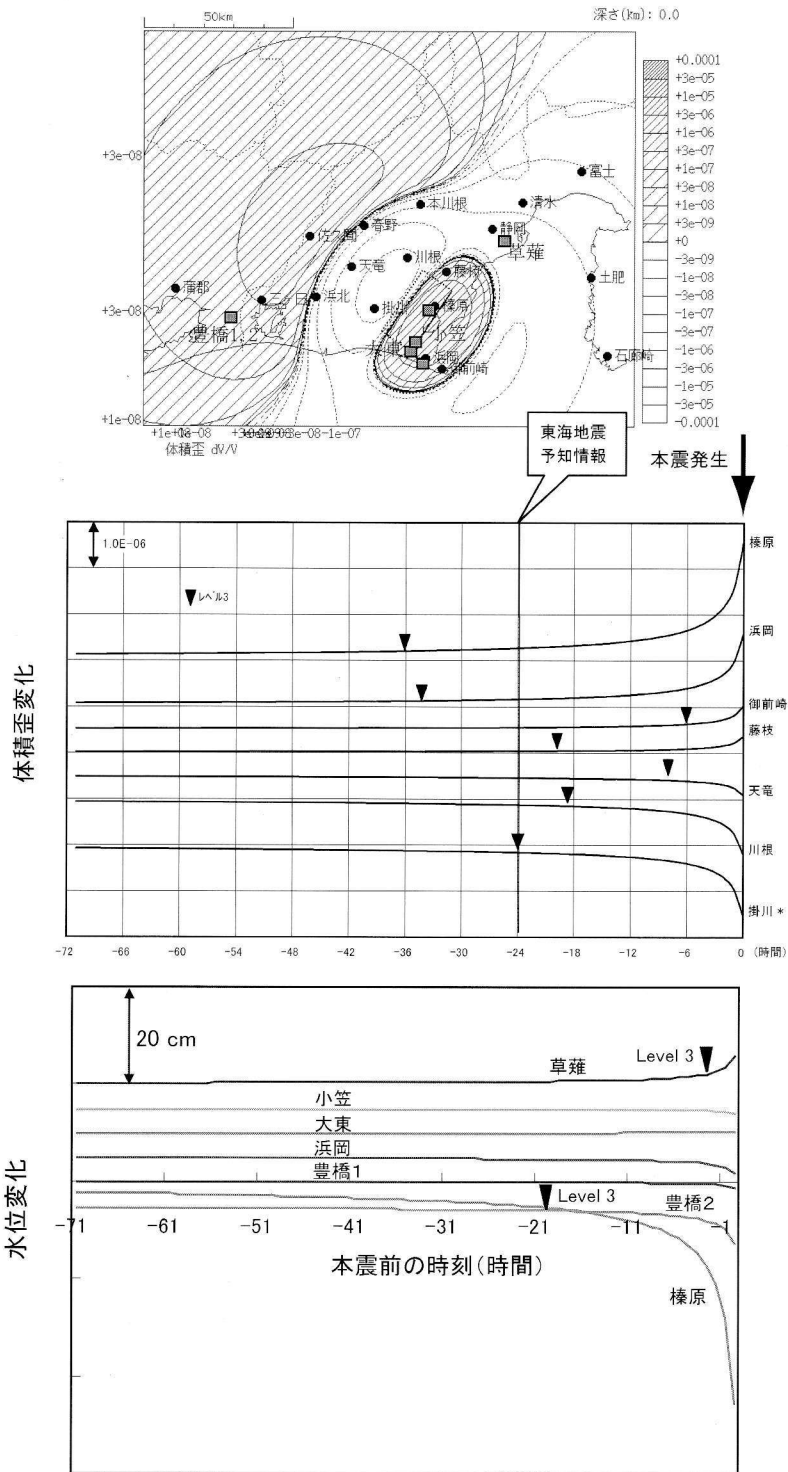


図 4 静岡県榛原町の直下で、マグニチュード 6.5 の大きさに相当するプレスリップが生じた時に想定される体積歪変化の分布 (上図) と気象庁の体積歪計 (上図の●) の変化 (中図) と産総研の地下水位計 (上図の■) の変化 (下図). 上図と中図は気象庁 (2003) 作成に加筆したもの.

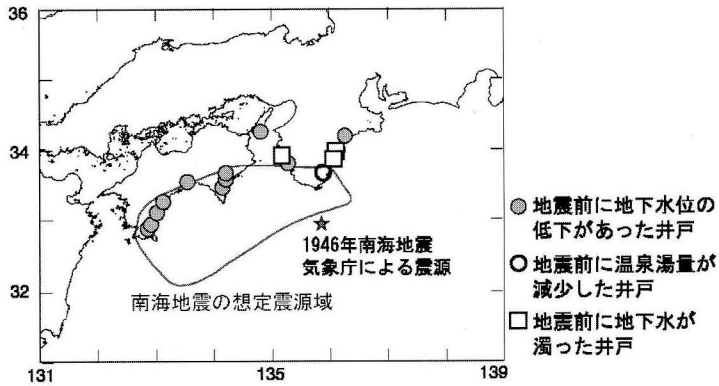


図 5 1946年南海地震前の地下水の変化. 京大防災研(2003b)を元に作成.

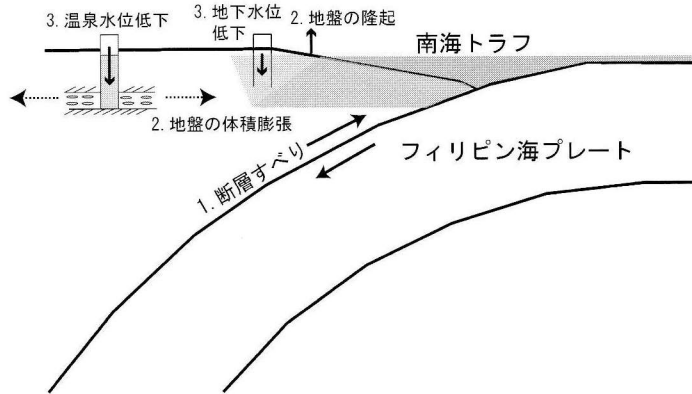


図 6 1946年南海地震前後の地下水変化を説明する模式図.

波数依存性がある.

潮汐とは違うスピードで変化する気圧変化によっても地面は伸縮し地下水位は変化する. また, 海水面もいろいろな要因で地面に対して上下し, それに応じて海岸付近の浅い地下水は変化する. このような地下水位変化を, 通常時に観測し解析して, 上述の周波数依存性を解明しておくことが重要である. それによって, より精度の高い, 地下水変化から地殻変動への換算ができることになる.

#### 4.2 地震時に地下水変化をもたらす他の要因による寄与の評価

地震の時には, 体積歪変化や比高変化だけでなく, 地震動によって, 地面の中の水圧(間隙水

圧)が急増する液状化や地盤の地下水貯留能力・透水性に変化が生じる. それらによっても地下水は変化する. 通常時の変化を把握し, 過去の地震時・地震後の変化を理解しておけば, 地震前の変化が適切に評価できる. 液状化や透水性・貯留能力の変化は, 観測井戸のまわりの地質状況や地震動の強さに左右されると考えられるから, それらと地下水変化を比較検討していく必要がある.

#### 4.3 反映している地殻変動の空間的な把握

2.2の(1)で帯水層の広がりに対応する範囲の地殻変動の空間平均を地下水変化は示すとしたが, 実際どの程度の範囲を代表しているかはよくわからないというのが実情である. (1)広範囲の地殻変動の検出に優れたGPS観測データや, 狭い範囲

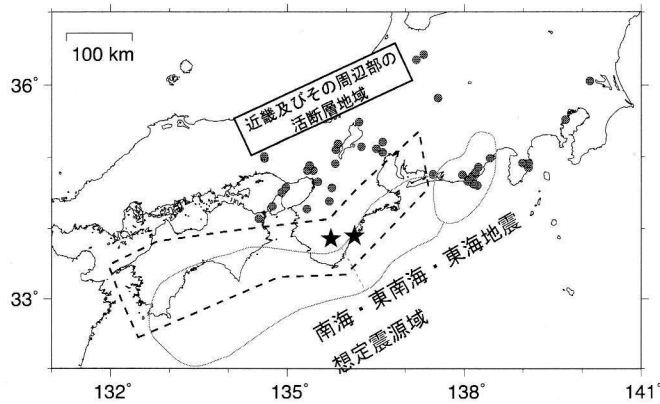


図7 産総研が観測している既存の地下水等観測点(●)と2007年度観測開始点(★)および今後観測施設を展開する予定の地域(破線で囲まれた地域)。

の地殻変動検出にすぐれた体積歪・傾斜計データ等との相互比較や、(2)狭い範囲に観測井戸を集中させて、潮汐・気圧変化・地震動によってもたらされる、それぞれ周波数の異なる(=影響をうける空間的な範囲の異なる)地殻変動に対する個々の観測井戸における地下水変化を比較検討するといった手法で、上述の範囲を推定していくといったような解決策が考えられる。

### 5. 東南海・南海地震予測のための新たな地下水等総合観測網の作成

東南海・南海地震については、30年以内の発生確率は50-70%に達する(地震調査研究推進本部, 2007)。さらに、30年以内の発生確率が87%(参考値)となっている東海地震(地震調査研究推進本部, 2007)と同時に発生する可能性も考慮しなくてはならない。このような観点から、産総研は、2006年度から、東南海・南海地震予測のために、愛知県～紀伊半島～四国に地下水等総合観測網の整備を開始した(図7)。3.2の議論で、南海地震前の地下水変化メカニズムとして、地震前の地殻変動と地下水流動が考えられることから、1つの観測施設に深さの異なる3本の観測井戸(原則として600m, 200mおよび30m程度)を掘削し、水位・水温の測定を行うとともに、GPSやボアホール歪計等で地殻変動の観測も行う。地震計

も設置する(図8)(小泉・板場, 2006)。このような観測施設は、4に挙げた課題を克服するためにも必要なものである。

2007年度に2点で観測が開始され(図7)、2008年度にはさらに10点の観測が開始される予定である。これらの新規観測施設は、既存の10点からなる東海地下水観測網と統合して運用され、産総研の「地震に関連する地下水観測データベース」(<http://www.aist.go.jp/RIODB/gxwell/GSJ/index.shtml>)でデータが公開される予定である。

### 6. まとめ

地下水変化を地殻変動に換算することで、地震に関連した地下水変化を、地震の理論やシミュレーションと結び付けて定量的評価ができる。上述したように、体積歪変化に対して敏感な井戸ならば、近代的な地下水位観測がされているところで $10^{-8}$ 程度の体積歪変化が検出できる。また、地下水位変化の記録が人の目で見積もったものにすぎない場合でも、人の目で判断できる数十cm程度の水位変化に相当する $10^{-6} \sim 10^{-7}$ (百万分の1~1千万分の1)程度の体積歪変化を検出している可能性がある。海岸部の地下水位変化の比高変化への換算等も考慮すると、近代的観測の行われていない場所・時代における地震前後の地殻変動

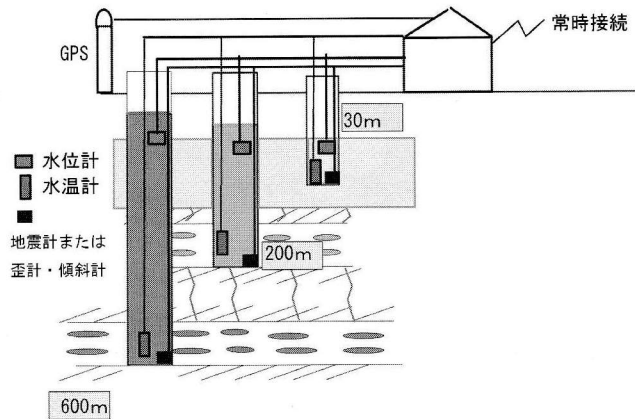


図 8 新規観測施設の概念図。

に関する情報を既存の地下水記録から得ることができる。過去の南海地震前後の地下水変化の解析から、次期南海地震の際には、前兆的な地下水変化や地殻変動が期待できるので、産総研が新たに愛知～紀伊半島～四国に整備する地下水等総合観測網でこれらの地震前の変化の検出とメカニズム解明を目指す。

### 参考文献

Bredehoeft, J.D., 1967, Response of well-aquifer systems to earth tides, *J. Geophys. Res.*, 72, 3075-3087.  
 気象庁, 2003, 東海地震に関する新しい情報発表について, [http://www.jma.go.jp/JMA\\_HP/jma/press/0307/28a/20030728tokai.pdf](http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/press/0307/28a/20030728tokai.pdf)  
 北川有一・小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・桑原保人・伊藤久男・長 秋雄・佐藤隆司・佃 栄吉, 2004, 近畿地方およびその周辺における産業技術総合研究所地下水観測点での地下水水位の大気圧応答, *地質調査研究報告*, 55, 129-152.  
 小林昭夫・松森敏幸, 1999, 埋込式体積歪計のノイズレベル調査及び異常監視処理, *験震時報*, 62, 17-41.  
 小泉尚嗣, 2004, 昭和南海地震：次の南海地震の予測をめざして, 産総研シリーズ「地震と活断層—過去から学び, 将来を予測する—」, 産業技術総合研究所編, 丸善, 209-220.  
 小泉尚嗣・板場智史, 2006, 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備, *東濃地震科学研究所報告*, 20, 179-183.  
 小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・大谷 竜・北川有一, 2005, 水文学的手法による地震予知研

究—地下水変化から地震前の地殻変動を検知する試み—, *地震*, 58, 247-258.  
 京大防災研, 2003a, 地下水変化に対する前駆的すべりの断層モデル, *地震予知連絡会会報*, 70, 402-403.  
 京大防災研, 2003b, 南海地震の前の井戸水の減少について—増幅のメカニズム—, *地震予知連絡会会報*, 70, 423-428.  
 松本則夫・北川有一, 2005, 想定東海地震震源域付近の観測井における地下水水位の歪感度とノイズレベル, *測地学会誌*, 51, 131-145.  
 Rojstaczer, S., 1988, Intermediate period response of water levels in wells to crustal strain : Sensitivity and noise level, *J. Geophys. Res.*, 93, 13619-13634.  
 重富國宏・梅田康弘・尾上謙介・浅田照行・細 善信・近藤和男・辰巳賢一, 2005, 資料・証言に見る南海地震前の井水涸れ及び異常潮位, *京大防災研年報*, 48B, 191-195.  
 水路局, 1948, 昭和 21 年南海大地震調査報告—地変及び被害編—, *水路要報増刊号*, 201, 117pp.  
 徳永朋祥, 2006, 準静的多孔質弾性論に基づく地盤・岩盤と間隙水の相互作用と地球科学的意義 (総説), *地学雑誌*, 115, 262-278.  
 宇佐美龍夫, 2003, 日本被害地震総覧 [416]—2001—, 東京大学出版会, 605pp.  
 山岡耕春, 2006, 地震予知—この 10 年, これからの 10 年—, *月刊地球*, 28, 171-178.  
 吉川秀夫・赤井浩一・速水頌一郎, 1958, 河川と地下水の問題, 石原藤次郎・本間 仁編「*応用水理学中Ⅱ 応用水理学 (Ⅱ)*」, 丸善株式会社, 275-337.  
 地震調査研究推進本部, 海溝型地震の長期評価の概要, 2007, <http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/kaikou.htm>

小泉尚嗣

[こいずみ なおじ]

**現職** 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門地震地下水研究グループ グループ長  
理学博士



**略歴** 京都大学大学院理学研究科博士後期課程地球物理学専攻単位取得退学, 京都大学防災研究所助手, 工業技術院地質調査所主任研究官を経て現職

**研究分野** 地下水の調査観測による地震予知, 火山噴火予知の研究

板場 智史

[いたば さとし]

**現職** 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門地震地下水研究グループ 産総研特別研究員  
理学博士



**略歴** 京都大学大学院理学研究科博士後期課程地球物理学専攻修了

**研究分野** 地下水や歪観測による地震予知研究, 活断層等の地震活動評価

松本 則夫

[まつもと のりお]

**現職** 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門地震地下水研究グループ 主任研究員  
理学博士



**略歴** 東北大学大学院工学研究科博士前期課程資源工学専攻修了, 工業技術院地質調査所研究員, 同主任研究官を経て現職

**研究分野** 地下水位や歪計データ解析による地震予知の研究

## 本震・余震・群発地震

### (1) 本震と余震の分布

大きな地震が発生すると、それに引き続いておびただしい数の余震が観測されることが多い。とくに、本震が浅いところで発生した場合には、このような傾向が顕著である。

余震の発生する場所は、本震を生じた断層面のごく近傍であることが知られている。このため、本震直後の期間、たとえば24時間以内に発生した余震の空間分布に基づいて、本震の発震機構解が示す2つの節面のうち、どちらが断層面であるかを判別したり、また、断層面の長さや幅などを推定したりすることができる。

図1は、気象庁資料に基づく1995年兵庫県南部地震(M7.3)の本震と、本震発生後24時間以内に発生した余震の震源分布を示している。明石海峡にある大きな丸印が本震、それ以外の小さな丸印はすべて余震であり、震源分布の全体は、淡路島から神戸市にかけての約40kmにわたって南西-北東方向に直線状の分布を見せている。同図には本震の発震機構解も示されているが、この余震分布から、2つある節面のうち、北東-南西方向のほぼ垂直な面が断層面であり、右横ずれ断層運動を生じたものと判断することができる。

なお、明石海峡に大きな丸印でプロットされた本震の位置は、あくまで断層破壊の開始点を示しているにすぎない。本震そのものは、余震で埋め尽くされた40kmにわたる断層面を形成した事件であり、巨大なエネルギーが明石海

峡にある1点から放出されたわけではない。

### (2) 余震の大きさ

余震には大小のものが混じるが、最大のものでも、マグニチュードは本震より1以上小さいのが普通である。1995年兵庫県南部地震(M7.3)の最大余震はM5.4であった。しかし、2004年新潟県中越地震(M6.8)では、M6.5の最大余震を含め、M6以上の余震が4個もあり、群発地震的な性格が見られた。

### (3) 余震数の時間変化

本震の直後には大量の余震が発生するものの、時間の経過につれて余震の発生頻度は急激に低くなることが知られている。この余震数の減衰については、「改良大森公式」と呼ばれる統計的な時系列モデルがよく適合する。これは、本震発生からの経過時間を $t$ とすると、その時の余震発生率 $f$ が $f=K/(t+c)^p$ により与えられるというものである。ここで、 $K$ 、 $c$ および $p$ は定数であり、 $p$ は通常1よりやや大きいくらいの値をとる。

図2は、1995年兵庫県南部地震に伴った余震活動の推移を示している。左の図は4月末までの日別余震回数であり、余震の発生数は時間とともに急激に少なくなることがわかる。一方、右の図は、地震後3年間にわたる余震発生率の減衰の様子を示しており、横軸は地震発生時点からの経過日数、縦軸は1日あたりの余震回数を、いずれも対数目盛で表現している。この図では、余震の発生率がほぼ直線状に減っていく様子が見られ、これは、余震数がべき乗則で減衰するという上記の改良大森公式がよく成り立っていることを示している。

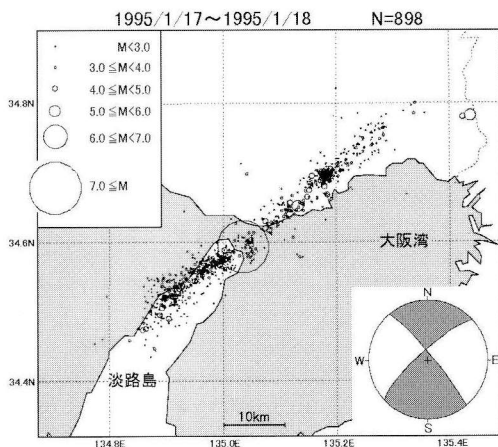


図1 1995年兵庫県南部地震の本震と24時間以内の余震分布(気象庁資料による)

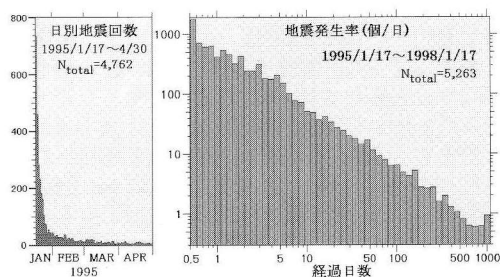


図2 1995年兵庫県南部地震の余震活動。(左)地震後3ヶ月半の日別余震回数。(右)地震発生から3年間の余震発生率の推移

#### (4) 群発地震

とくにどれが本震という区別もなく、似たような大きさの地震が、ある期間に比較的せまい地域で集中的に発生する現象を、「群発地震」と呼ぶ。日本周辺では小規模な群発地震がときどき起きるが、それらは火山地帯の近傍であることが多く、岩盤の破砕度が高い地域で群発地震は発生しやすいと言われている。

多くの場合、震源はごく浅く、小さな地震が連続的に大量発生するが、中にはM5級程度の地震が混じることもある。

#### ■ 松代群発地震

1965年8月に始まった長野県松代の群発地震では、最盛期の1966年4月中旬には有感地震が1日に600回を超え、気象庁の松代地震観測所では、1970年末までに震度5を9回、震度4を50回、震度3を419回、震度2を4,706回、震度1を57,626回、記録した。

図3は、松代での日別有感地震回数の推移を示すが、2年近くにわたって、連日のように多数の有感地震に悩まされたことがわかる。これに、地震計でのみ捉えられた無感地震を加えると、1970年末までに観測された地震の総数は648,000回余りに達したと報告されている。

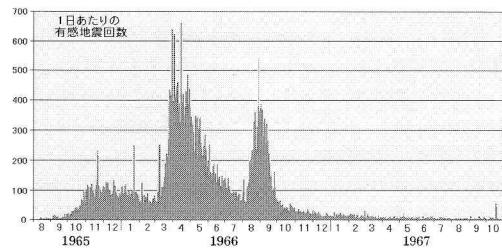


図3 1965年8月～1967年10月の松代における日別有感地震回数（気象庁技術報告より）

#### ■ 伊東沖群発地震

1978年6月に静岡県伊東市沖で始まった群発地震活動は、松代のケースとは異なり、間欠的な発生が特徴であった。1978年以来、20年間にわたって37回の群発地震活動が数えられ、平均すると年に2回弱の頻度で発生したことになる。1回の群発地震活動の規模は大小さまざまであり、数日間に数10回の無感地震を起こすだけのものから、数10日間に数100回の有感地震を含み1万回以上の地震を起こすものまで、様々であった。ただ後者の場合でも、最盛期はせいぜい1週間から10日程度であった。

図4は1978～1998年の期間に伊東沖で発生した群発地震の日別地震回数を示す。20年間に観測された地震の総数は約15万回にのぼった。

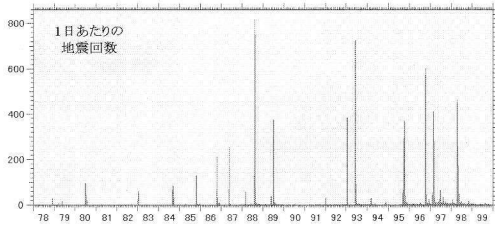


図4 1978～1998年の伊東沖における日別地震回数

#### ■ 伊豆諸島群発地震

三宅島の噴火活動に呼応して2000年6月から三宅島・神津島・新島近海で始まった伊豆諸島群発地震では、2ヶ月の間にM6級地震5個、M5級地震36個を含む、我が国の観測史上最大規模の群発地震となった。M4以上の地震数で較べると、松代地震では2年間に225個、伊東沖群発地震では20年間に125個なのに対し、伊豆諸島の群発地震活動では2ヶ月間に591個を数えた。このような地震活動の規模はM8級巨大地震に伴う余震活動に匹敵している。

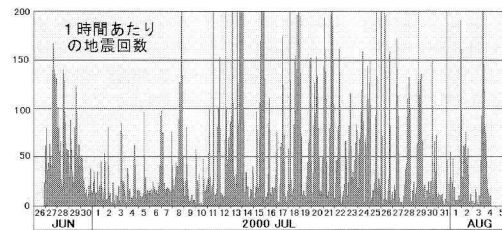


図5 2000年7月の伊豆諸島における時間別地震回数

#### (5) 群発地震の原因

以上の3例に共通する特徴として、震源域周辺では群発地震に伴って非常に大きな地殻変動が観測されている。その大きさは、個々の地震の断層運動による静的な変形の和では説明しきれず、火山性の膨張源や開口断層の存在が示唆されている。実際、伊東沖群発地震では1989年7月に海底で小規模なマグマ水蒸気爆発が発生し、また、伊豆諸島群発地震も三宅島の火山活動に同期している。一方、松代群発地震では、その末期に大量の地下水が地表に流出し「水噴火」との表現もなされた。

このようなことから、マグマと水の違いはあるものの、群発地震の発生には地下における流体の挙動が密接に関与しているのではないかと推測がなされている。（岡田義光）



## 地震の周期性と活動期・静穏期

### (1) 広域における地震発生の時系列

長期的な地震発生の時系列については、よく周期性とか、活動期・静穏期ということが言われる。しかし、これらは、ある領域を特定し、しかも対象をある程度以上大きな地震に限った場合に語ることでできる現象である。

たとえば日本周辺の全域をとって、最近 80 年間に於けるマグニチュード別の地震発生数の累積状況を調べてみると、図 1 のようになる。M 8 級の地震は 1940 年代頃に集中しているように見えるが、全体で 6 件しかないため、統計的な発生パターンを云々することはできない。

一方、M 7 級以下の地震では、どのマグニチュードにおいても地震数積算の推移はほとんど直線的であって、非常に一定の割合で地震が発生していることがわかる。すなわち、広域かつ長期的に見ると、地震の発生に特別な周期性や、はっきりとした活動期・静穏期の区別を見

出すことはできない。

### (2) 特定の震源断層における地震発生の周期性

前節のように、広い領域をとってしまうと、地震の発生の仕方に何らかの規則性を見つけることはできず、むしろ地震はでたらめに発生しており、長期的な地震発生率は一定であるとの結論になってしまう。

しかし、ここで特定のプレート境界に発生する大地震や、ある活断層の部分に発生する大地震に着目すると、今度は地震の発生におおむねの周期性が見えてくる。M 8 級の海溝型巨大地震では 100~200 年、内陸の活断層で発生する M 7 級の大地震では数千年~数万年の繰返し周期をもって、似たような地震の発生が繰返されておられ、このような地震は「固有地震」と呼ばれる。これは、特定の地震を発生させる領域における歪エネルギーの蓄積と解放が、図 2 の概念図で示すように繰返されているという物理的背景によって説明することができる。

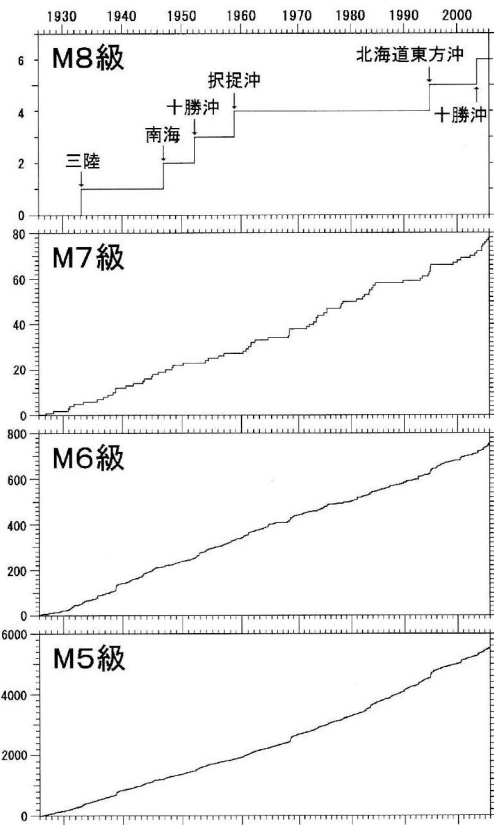


図 1 日本列島周辺における最近 80 年(1926-2005)の M 別地震回数積算

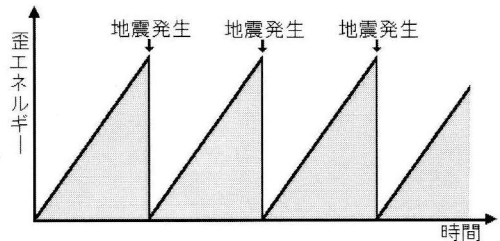


図 2 地震発生源における歪エネルギーの蓄積と解放のサイクル

### (3) 特定の地域における地震の活動期・静穏期

上に述べた大地震の繰返しに関連して、その震源域周辺のやや広い範囲において、地震活動が活発化したり、静穏化したりする現象を認めることができる。

図 2 で示した地震サイクルでいえば、歪エネルギーを蓄積する期間のうち前半は、前回の地震で周辺部の歪エネルギーを放出しているため、一般に大きな地震は起きにくくなり(静穏期)、後半になると地下の緊張状態が高まり、大きめの地震が起きやすくなる(活動期)という傾向がある。

図 3 の上段は、1946 年南海地震 (M 8.0) の発生する前の 40 年間と、最近 40 年間のそれぞれにおいて、近畿地方周辺で生じた M 6 を超える地震の分布を示している。両期間を比較すると、南海地震に先立つ 40 年間は確かに内陸の地震活動が高かった様子がうかがえる。1995 年

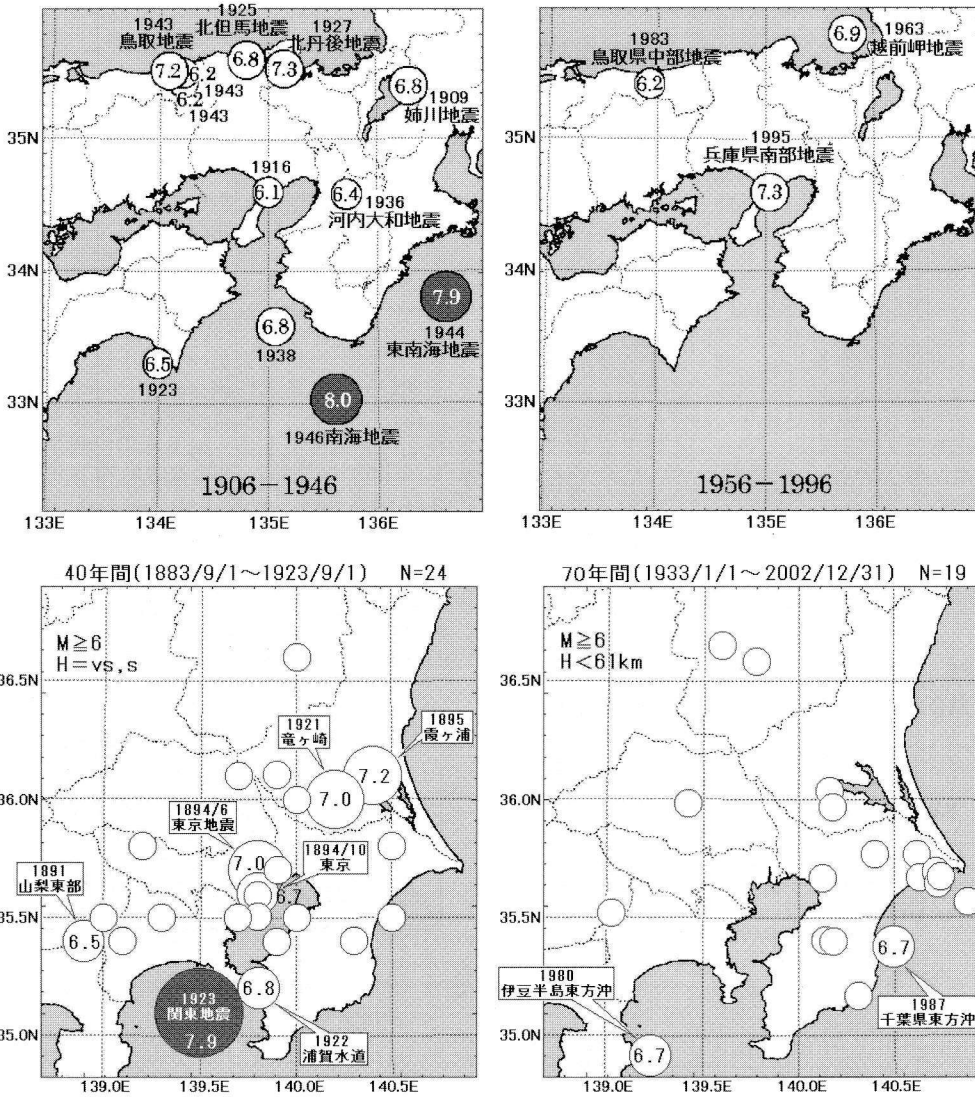


図3 【上段】1946年南海地震 (M 8.0) の発生前40年間 (左) と最近40年間 (右) における、近畿地方周辺の地震活動 (M > 6) の比較 (京大防災研による) 【下段】1923年関東地震 (M 7.9) の発生前40年間 (左) と最近70年間 (右) における、関東地方周辺の地震活動 (M ≥ 6) の比較

兵庫県南部地震以降、西日本では大きな地震が続き、地震の活動期に入ったとの見方がある。

同様のことを関東地方について調べてみると、図3の下段のようになる。1923年関東地震 (M 7.9) の前40年間と、最近の70年間を較べると、前者は東京周辺で大きな地震が多く活動期の様相を示しているのに対し、後者は期間が長いにも拘らず大粒の地震がほとんどなく、静穏期であるように見られる。

このように、ある地域を取り出して長期的な地震活動の推移を見た場合には、地震の活動期

や静穏期が浮かび上がって見えてくる。しかし、図1のように全国を対象とした場合はそのような傾向が見られなくなってしまふ。

これは、それぞれの地域が独自のサイクルを持って地震の活動期・静穏期を繰り返しており、ある地域が活動期を迎えている時期には、他の地域が静穏期に入っているといった事情があり、これらを足し合わせてしまうと特徴が消えてしまうためであろうと思われる。

(岡田義光)

# 変わりゆく南極の地震像

## —南極観測 50 年—

神沼克伊

### 1. はじめに

2007年1月29日、日本の南極観測は50年の節目を迎えた。1957年1月29日、日本からみれば地の果ての南極オングル島に日章旗を立て、昭和基地とする宣言がなされた。以来今日まで、途中4年間の空白期間はあったが昭和基地は維持され、多くの観測が継続されている。

海岸線も明瞭でなかった南極大陸も、各国の協力により数多くの大小縮尺の地形図が作成された。地形図、地質図の作成をはじめ、多くの分野で調査・研究が進み、南極の姿が解明されていった。

当初、地震が起これないと考えられていた南極大陸も50年に及ぶ地震観測の継続で、活動度は低いながらも、地震が発生している事が確かめられた。南極プレート内では巨大地震も発生した。

地震に焦点を当てつつ、日本の南極観測を振り返ってみる。

### 2. 国際極年

極地は多くの文明国から離れて位置している。その地理的条件から1カ国だけの観測では、その自然像が解明されにくいことは、過去も現在も同じである。そのため極地の自然を調べるため、各国が協力して1882年8月～83年7月に第1回極年(IPY)が実施された。12カ国が参加し、中緯度地域で34カ所、北極地域13カ所、南極地域1カ所でオーロラ、地磁気、気象などの共同観測が行われた。南極地域ではドイツが亜南極のサウスジョージア島に基地を設けた。

この頃の日本は文明開化の荒波のなかの発展途上国で、ようやく国会開設の論議がなされていた時代で、極年に参加する力も余裕もなかった。

第1回極年から50年後の1932年8月～33年7月に第2回極年が実施され、44カ国が参加した。この時も北極地域の観測が中心で、南極地域ではケルゲレン島とサウスジョージア島で越冬観測が行われただけであった。日本も国内で観測研究を実施する形で参加した。

1932年は、3月に日本が満州国建国宣言を行わせたり、5.15事件が起こったりと、軍国主義が謳歌しはじめた頃である。

第2次世界大戦が終わった時、世界の科学技術は急速に発達しており、その技術を用いて地球や宇宙に関する研究も著しく進歩していた。両極域を含めた地球に関する研究上の要求は、第3回極年の開かれる1982年を待っていられなくなり、25年後に開催する事になった。

研究対象も極地ばかりでなく全地球上で、1957年7月から58年12月まで、各国が共同で地球物理学の諸観測を推進することになり、名称も国際地球観測年(IGY)とした。そして主要な観測項目として、当時は未知の大陸であった南極に焦点をあて、南極観測を実施する事になった。南極観測には日本を含む12カ国が参加した。気象、オーロラ、地磁気、地震など地球物理学諸分野の共同観測と地形図作成などを目的に、南極大陸及び周辺の島々を含め約60カ所に基地が設けられた。

IGYから50年後の2007～08年にまた国際極年(IPY07～08)が計画されている。これを最初のは第4回IPYと呼んでいたが、第3回に相当するのはIGYで、IGYはあくまでIGYということか、現在はIPY07～08と呼ぶようである。

### 3. IGY への日本の参加

日本が国際学術連合(ICSU)に対し、南極観測への参加を表明したのは1955年9月であった。1952年4月、サンフランシスコ講和条約が発効し、日本は国際社会に復帰した。1953年2月にはテレビ放送も始まった。戦後の混乱期は過ぎてはいたが、日本は主食の米も輸入に頼る時代であった。

政、官、学界の英断で南極観測への参加を表明はしたが、国内世論は必ずしも好意的ではなかった。『(略)私は南極観測をしたとして、かなり地球物理的進歩はのぞまれるかもしれないが、実生活にひびく知見が増えるわけでもなく、学問上の活気的な躍進などはとうていのぞめないものと思われる。(略)古船の「宗谷」を砕氷船に改装するために、全予算の大半が費やされるのでは、研究や観測はおろか隊員の保安、厚生が思いやられる。(略)挙国的な観測、研究をするにしても、敗戦国らしく謙虚に振る舞い、最も民利民生に寄与する実質的なテーマを取り上げてもらいたい(略)』(1956年1月16日付・読売新聞(東京版))。

1956年3月24日の毎日新聞(東京版)には、『南極観測に矛盾』という見出しで、衆議院文教委員会での次のような質問が報じられている。それは『国際地球観測年の行事として、日本では最初に予定していなかった南極観測の方に国内体制より力を入れているのは本末転倒ではないか。また南極観測にしてもこの程度の予算で安全にできるのか』であった。

また次のような意見もあった。『四たび南極探検をし、今次大戦中も襲撃基地をケルゲレン島につくったドイツではこの観測に参加していない』(『科学読売』編『南極』妙義出版、1956年)。

同じ敗戦国のドイツ、イタリアの南極観測への参加は、20年以上後の1980年代になってであった。隕石の発見、オゾンホール発見をはじめ日本が南極観測で果した数々の成果を考えると、南極観測への参加を決めた当時の学界の指導者をはじめ政、官界指導者達の先見の明はすばらし

かった。

### 4. 支援体制

参加表明から出発時期の1956年11月まで、時間的な余裕の無いなかで、一部には冷やかな反応があったものの、学界はもちろん政財官民がこぞって南極観測を支援する体制がとられていった。まず朝日新聞社は1億円の拠出、資材の提供、人員の派遣を申し出た。特筆すべきは南極観測という国際的な事業への参加は「科学オリンピックへの参加」の名のもとに、日本国中が湧きあがったことである。新聞紙上では南極観測への募金を呼びかけ、小・中学生が小遣いから5円、10円を寄付した。大瓶のビール1本が125円、カレーライス1皿が100円の時代であった。新聞は定期的に寄付者の名前を掲載し、その報道がまた寄付者を増やしていった。

国民の興味や趣味が多様化している現代とは異なり、娯楽も少ない時代であったが、多くの国民が浄財を寄付して成功に導いた科学イベントは他にあっただろうか。現代の宇宙飛行士を送り出すにしても癌研究にしても、これだけの熱気は無い。

南極観測は国民の熱気に後押しされ始まった。そしてその国民の熱気が次節で述べる幸運を呼びこんだと、筆者は確信している。

### 5. 昭和基地建設

参加表明が遅れたことで、日本に割り当てられた基地候補地は必ずしも条件の良いところではなかった。その中で、内陸地域へのアクセスが可能な地として現在のプリンス・ハラル海岸、プリンス・オラフ海岸地域を選んだ。この選択も後年になって南極隕石の大量発見へとつながる事になった。この地域は1937年にノルウェーが探検船を送り、水上飛行機を飛ばして露岩地帯の斜写真を撮り地名をつけていた。ノルウェー語の地名がついた地域ではあったが、海上から近づいた実績は無く、文字通り人跡未踏の地であった。

1956年11月8日、南極観測船に改装された宗谷で第1次日本南極地域観測隊（JARE-1）は東京芝浦埠頭を出港した。そして1957年1月29日、リュツォ・ホルム湾のオングル島に昭和基地を建設する事を宣言したのである。

4棟の建物が建てられ必要な物資が運ばれた事で、1957年2月、JARE-1の越冬が11名で始まった。しかし、昭和基地を離れた宗谷はすぐ密群氷帯にピセットされ、ソビエト（当時）のオビ号によって救出された。

1958年2月、JARE-2は宗谷が密群氷帯に前進をはばまれ、予定した16名の人員を6名にまで減らし、セスナ機による空輸でわずかの資材を送り越冬を試みたが、ついに断念した。そして結果的には15頭のカラフト犬を置き去りにする事になった。

2年続けてのピセットでリュツォ・ホルム湾の海水環境を知ったJAREは、1959年から基地への輸送に2機のヘリコプターを導入した。昭和基地に到着したJARE-3の隊員を迎えたのは、前年置き去りにしたタロ、ジロ2頭の兄弟犬であった。この朗報に日本中が沸いた。ほとんどの犬が鎖に繋がれたまま死亡している中で、この2頭は鎖を切って自由になり、生き延びたのである。

JARE-3、-4、-5と越冬が継続され、JARE-6（1962年）で昭和基地は閉鎖された。JARE-4では福島紳隊員が遭難死した。日本隊はこの事故を教訓に、以後一人の犠牲者も出していない（海上自衛隊側に1名の死亡者あり）。

4回の越冬でリュツォ・ホルム湾海域の自然環境が解明されるに従い、JARE-1で宗谷がオングル島付近まで進入できたのは僥倖であった事が明らかになった。しかも昭和基地は当時は知られていなかったオーロラ・オーバル（楕円帯）の直下に位置していた。この偶然も伴い、観測条件に恵まれた日本のオーロラ研究（超高層物理学）はおおいに発展した。この二つの幸運は「科学オリンピックに湧き立ち協力した」国民の熱気が呼び寄せたと言えよう。

## 6. 恒久体制の確立

日本の南極観測はあくまでもIGYの為の臨時体制で実施されていた。宗谷は南極観測船としては貧弱であった。国際的には1961年に南極条約が発効し、既得の領土権の主張に関係なく、科学活動は自由にできるようになった。昭和基地はノルウェーが領有を主張している地域に建設されているが、南極条約によって、基地を維持する事に支障はなくなった。

砕氷・貨物・ヘリコプター搭載の能力を備えた南極観測船が新造された。国立科学博物館に極地課が新設され、南極観測の中核機関となった。極地課は極地センターとなり、1973年極地研究所へと発展した。国内の体制が整い、4年間の空白の後、1966年、昭和基地は再開された。

3倍増となった輸送量のおかげで、基地の諸設備は改善された。まず、それまではテントだった発電棟が立派な建物になり、その中には発電機の余熱を使い風呂場や便所が併設された。不思議に思われるかもしれないが、それまではまともな便所も無かった。観測と居住が同じ建物だったのが、目的別の観測棟と3棟の居住棟が建てられた。

基地ではロケットによるオーロラ観測が実施され、オゾン全量の急減も世界に先駆けて観測した。野外調査域も拡大し、昭和基地の南300kmの地点にみずほ基地が建設され、やまと山脈の地質調査や隕石探査も繰り返し行われた。

昭和基地は各国の基地の中でも、質の高い多種多様な観測を実施している第1級の基地へと発展した。

## 7. 調査域の拡大

1983年、JARE-25から新観測船「しらせ」が就航し、積載量は1,000トンと倍増した。昭和基地の西南西670kmにあすか基地が建設され、その南に広がるセールロンダーネ山地の地学調査が実施された。

また昭和基地の南1,000 km にドームふじ基地を設け、2007年1月には3,000 mの氷床掘削に成功した。岩盤に近い底部の氷の年代は70万年前と推定されている。我が国は70万年前まで氷の柱状試料を得て、地球上の古環境の解明が待たれる。

運べる燃料が増えたので、より大型の発電機が設置され、観測に使える電力も増えた。それに伴い各分野の観測機器は一層充実し、観測項目も増えた。直径11 mのパラボラアンテナが設置され、宇宙技術を利用した観測も行われるようになった。

居住施設もすべてが改善された。生活環境が向上したので女性の越冬も可能となった。2009年に就航すべく、新しい観測船の建造も始まっている。日本の南極観測は50年の節目を迎えさらに発展しようとしている(図1)。

## 8. 歴史の古い地震観測

地震観測は南極観測の項目のなかで、気象、オーロラの全天カメラ、地磁気の連続観測などとともに、IGYから始まった最も古い観測項目の一つである。JARE-2からの観測を予定していたが越冬ができなかったため、JARE-3で何とかHES地震計(萩原式電磁地震計)の上下動1成分を設置して観測を開始した。JARE-5では水平2成分を増設、短周期3成分の観測を1年間実施して基地は閉鎖された。

昭和基地の再開に際し地震観測の充実も検討された。当時アメリカがソビエトの地下核実験探知のために世界の自由主義国124カ所に設置した世界標準地震計と同じ性能を有する観測所にすべく、HES地震計3成分に加え、Press-Ewing型長周期地震計3成分も設置する事になり、その役割のため、筆者がJARE-8の地球物理担当隊員に指

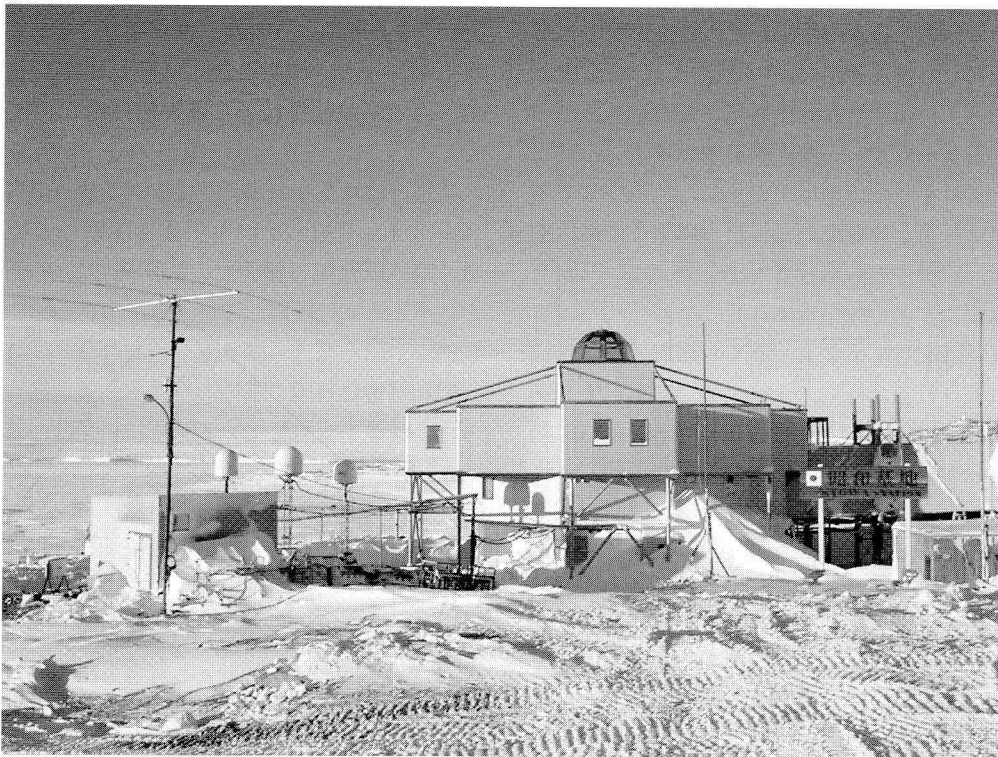


図1 現在の昭和基地。

名された。

再開当時の観測は地震、地磁気、オーロラの全天カメラ、海洋潮汐の4項目を地球物理定常観測と位置づけ、一人の隊員が担当する事になっていた。そして気象観測の気象庁や測地・測量の国土地理院のような業務官庁が無いので、担当は科学博物館に新設された極地課とするが、極地課にも人はいないので地磁気観測も業務としてやっている国土地理院と地震観測に実績のある東京大学地震研究所とから交互に隊員を派遣することになっていた。

この決定は日本学術会議の対応議員であった和達清夫、宮地政司と永田武の3名が相談して決めたと、後年永田先生から伺ったことがある。しかし地震研究所の了解をどの程度得ていたのかは不明で、その後筆者が地球物理担当の隊員選考に苦勞する事になる。

JARE-8 (1967年) で宗谷時代に実現できなかった地震計室も建設し、長・短周期各3成分の観測が開始された。以後の地震観測の変遷は金尾(2001)を、また参加隊員は神沼(2001)をそれぞれ参照されたい。

## 9. 大陸内に震源決定

筆者が初めて南極に行った頃、当時の地震学の教科書には「南極は火山性地震のほかは、地震は起こらない」(Gutenberg-Richter, 1954)とあった。しかし、越冬して毎日HESの地震記象を見ていると、数多くの地震らしい現象が認められた。そのほとんどは周期が短く氷震と判定できたが、自然地震と同じような波形も確認できた。

当時、アメリカ沿岸測地局(USCGS)は世界中に起こる地震の震源決定をしていたが、南極に関しては各基地からの読み取り結果をまとめて「The Antarctic Seismological Bulletin」として毎月出版していた。それによると、読み取り点数が少なく震源決定がなされていなかったが、複数の南極基地だけで観測されている現象が少なくない事に気がついた。

南極から帰国後、The Antarctic Seismologi-

cal Bulletin 1966~69の資料に基づいて、当時院生だった石田瑞穂さんとともに震源決定を試みた。少なくとも4点以上の基地からの読み取り報告のあるものにつき、震源の深さを33kmと仮定して震央と発震時を求めた。震源決定を試みた72個のうち24個の震央を、誤差±100km以下、O-C residual 3秒以内で決めることができた(Kaminuma and Ishida; 1971)。24個の地震のうち23個までは南大洋の環南極地震帯に位置していたが、ただ1個だけではあるが南極大陸内に震源が決まった。この地震についてさらに精査して、その震源要素を以下のように決めた。

発震時: 1968年6月26日、18時20分56.1秒

位置: 79.56°S, 20.33°W

深さ: 海面下1km

マグニチュード: 4.3(南極点基地の記録より推定)

この地震につき南極地球科学国際シンポジウム(ISEIS)で発表すると、出席していた数少ない地震研究者からは「精度が悪い」、「本当に地震が起きているならもっとあるはずだ、1個では信用できない」、「数学で(地質学者を)ごまかしている」などと批判された。すぐ賛同したのはイギリスの地質学者で「震央のある地域はシャクルトン山地と呼び、地質断層が多いので、地震が起こったのは興味深い」と評してくれた。

現在でも南極研究科学委員会(SCAR)が主催するISEISへの出席者は、半数以上が地質研究者で地震研究者は一桁少ないが、当時は地震、重力、地磁気の研究者すべてを含めても20名程度で、全出席者の10%以下だった。

筆者は南極大陸には地震観測点が少なく、またあっても倍率の低い地震計がほとんどで、小さな地震の震源決定は難しいが、長期間観測を継続する事により必ず地震は観測されると断言した。国際会議に慣れていない筆者だったので、孤軍奮闘は大変だったが、現在振り返ってみて筆者の予想は正しかった。しかし、当時はGutenberg-Richterの教科書が信じられていたのか、南極に興味を示す地震研究者の数も少なく、たまたま記録された地震らしき現象もすべて「氷震」と考えられていた。

とにかく筆者はより明瞭な自然地震波形を記録

したいと考え、昭和基地に10万倍程度の高倍率の地震計を置くことを試みた。

JARE-13と-14は2年続けて地震研究所から地球物理担当隊員が参加してくれたので、高感度地震計を設置して、臨時に観測をしてもらった。

もちろん定常的に観測を継続しなかったが、一人で4項目の観測を担当しているので負担が大きくなるので、地震観測に慣れた隊員の時だけ実施した。東オングル島内に一辺1km程度の3点観測を行ったが、1秒1cm程度の紙送り速度では、正確な震源決定は出来なかった。

しかし、図2に示したようにP波、S波が明瞭に判別でき、明らかに自然地震と推定できる現象も数個記録できた。筆者は昭和基地近傍でも微小地震が発生している事を確信した(神沼, 1975)。

1980年に極地研究所に澁谷和雄さんが入所し、定常の地震観測に関する筆者の負担も少し軽くなった。

#### 10. 無線テレメータ観測

JARE-28(1987年)で地球物理担当として京都大学防災研究所の赤松純平さんが行く事になった。赤松さんの意向と長年の筆者の夢でもある微小地震の震源決定ができる観測を実施する事にした。定常観測にはほとんど予算が無いので、約

2,000万円の予算を何とかかき集めて、3点で無線テレメータ地震観測を可能にした。予算も無いのにと周囲から批判されたが、観測の名手・赤松さんに越冬してもらう以上は、そのくらいの準備をしなければ失礼だし、絶好の機会を生かさねばとの思いがあった。

1987年2月、昭和基地で観測が始まるとすぐP-Sがほぼ4秒で波形が似ている地震9個が観測された。越冬が始まって2カ月、海水が発達して大陸に渡れるようになってすぐ、大陸沿岸に2点の観測点を設置して、図3に示したような3点観測網が完成した。大陸にあるLAN, TOTの2点の記録は、太陽電池を利用した無線送信で昭和基地に送られ、連続観測を行った。

6月には2月に起こった地震と相似した波形の地震が発生、TOT観測点の近くに震源が求められた。これにより規模こそ小さかったが2月の地震は一種の群発地震であった事がはっきりした。観測を始めて日は浅かったが、テレメータ観測の成果がすぐ出たことになる。3点によるテレメータ観測は3年間継続したが、それまでほとんど観測されなかった地震が3年間で20数個観測された。その結果、昭和基地付近の微小地震活動が解明され、地震活動像が形成された(赤松, 1988)。

さらに正確な震源決定から波形の特徴をつかんだので、テレメータ観測終了後は、1点3成分

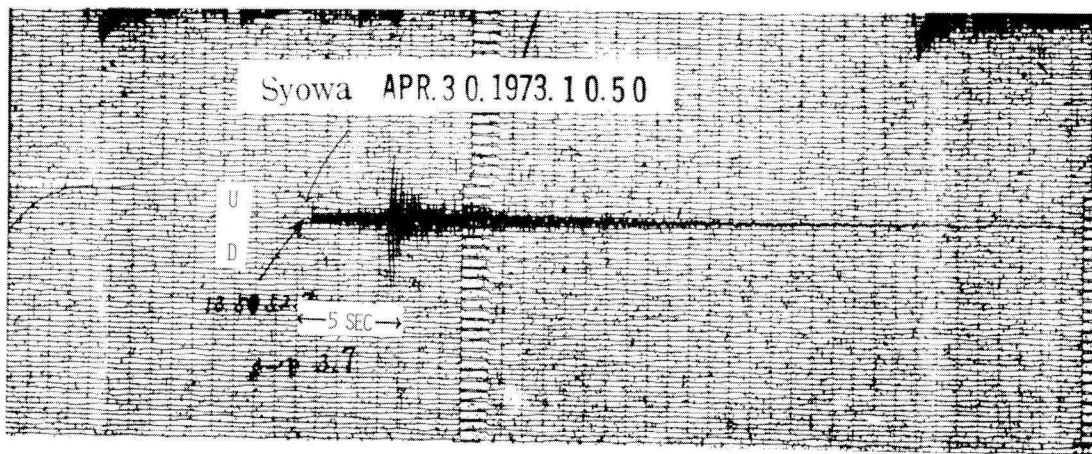


図2 初めて自信を持って「地震」と判定できた地震記録。



のデータからも震源決定をするようになった(根岸, 2001).

図4に1970年代から観測されたP-S 10秒以下の地震の数を示してある. 地震計の倍率は年により2倍程度の差があるが, 全体として付近一帯の地震活動度を示していると考えてよいだろう.

1972~73年や87~89年には地震数は多く74年~86年は観震者が注意深く記録を見ていたにも関わらず地震は認めていない. 特に80~81年は澁谷, 神沼が越冬し, 昭和基地でも注意していたので, この間の10数年間, 昭和基地付近の地震活動が極めて低かった事は事実であろう.

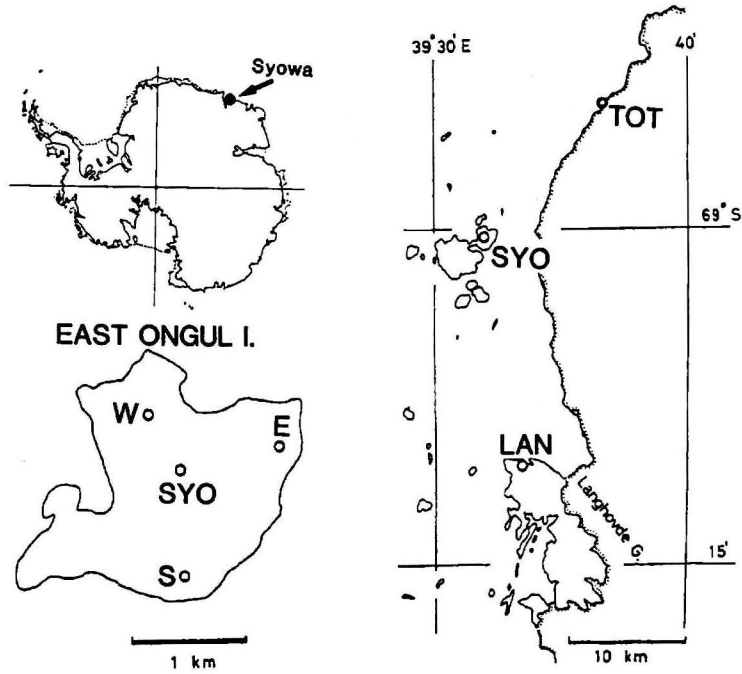


図3 無線テレメータ地震観測網 (SYO: 昭和基地, LAN: ラングホブデ, TOT: とつつき岬, 東オングル島内 E, W, S は予備観測点).

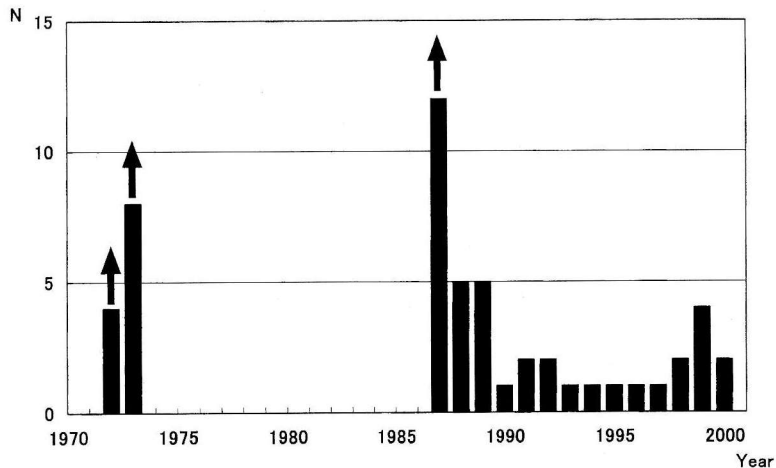


図4 昭和基地で観測されたP-S 10秒以下の年別地震数. 矢印の年は観測期間が12カ月にみえない.

図5には決定された震源を示してある。明らかに地震は大陸沿岸からリュツォ・ホルム湾内に起こっており、陸地側には震源が分布していない。

以上の事実からこの地域の地震活動は次の性質があると考えている。

1) マグニチュード1~3程度の地震は発生している。

2) 発生数は多くても1年に10個程度であるが、群発型、双発型、本震-余震型など、地球上で地震活動が最も活発な日本列島と同じような活動形態がみられる。

3) 昭和基地付近の微小地震活動は10数年から20数年間の2~3年が活発で、残りの期間は活動が低い間欠的。

4) 震源は沿岸から沖合に分布する。

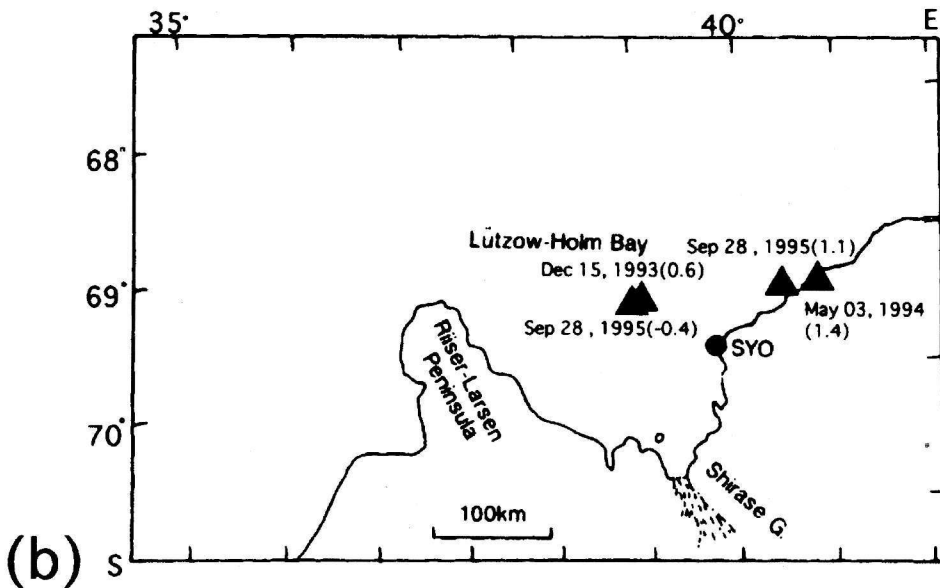
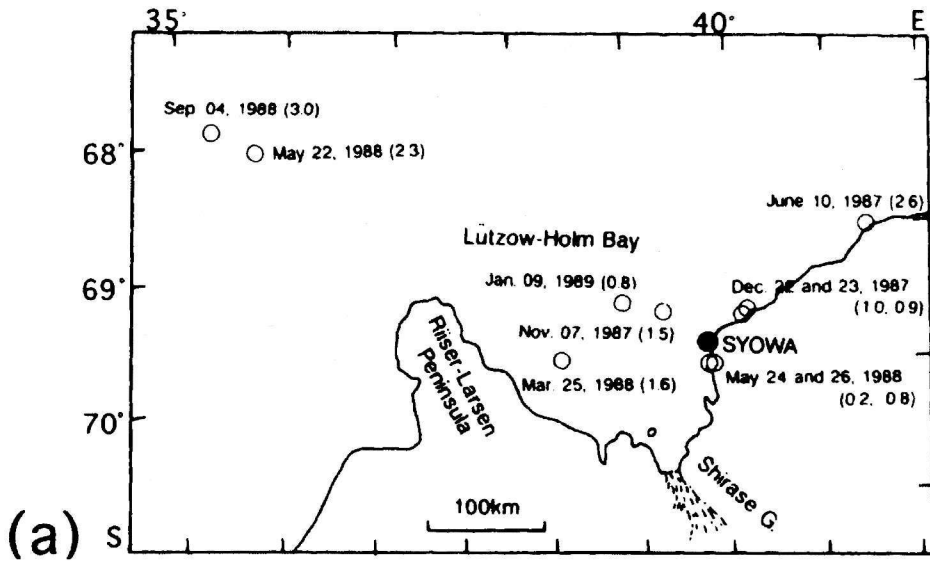


図5 昭和基地の観測網で震源決定された地震。

## 11. 一つの仮説

昭和基地近傍の震源が沿岸から沖合に位置する事から、その起震力は氷河後退後の地殻の隆起による歪の蓄積と推定した。大陸沿岸の露岩地帯は約 18,000 年前、最後の氷期が終わってから露出したと考えられている。

昭和基地付近の最も高い隆起汀線は 20 m、付近の貝化石は 6,000 年前に死滅したと推定されている。平均すると年 3 mm 程度の隆起が続いている。また海洋潮汐の結果からは年平均 5~10 mm の海面低下、つまり陸地の上昇が報告されている (Odamaki et al., 1991)。地形学的データと験潮儀データの間には 2 倍程度の差がある。これらの事実は陸地の上昇速度が一定でない事を示唆している。

考えられる隆起パターンを図 6 上に示した。大陸には氷床が存在しているので、その端を支点として、沖合にかけて傾斜して隆起する領域に歪が

集中し断層帯となり地震が起こる。隆起はゆっくりなので、歪の蓄積も小さくなく、大きな地震は発生しない。

しかし、震源は沿岸とリュツォ・ホルム湾の中央に分布することから、実際には図 6 下のパターンであろうと推定している。その隆起は幾つかのブロックに分かれていて、ブロックの境界に地震が発生しているとする定性的には全体の説明ができる。

また図 4 で地震の発生が間欠的なことから、一定の割合で隆起するのではなく、数年間隆起し、10 年以上は停滞するパターンであろうと推定している。実際には連続的なゆっくりした隆起と速い間欠的な隆起が重なっていると考え、一つの作業仮説として、昭和基地付近の微小地震活動を注意深くみている。

ただし、21 世紀に入ったら再び地震活動が活発になると予想していたが、まだその兆候は認められない。昭和基地では験潮儀の他、重力計、超伝導重力計、GPS など、地殻隆起を検出可能な観測を続けている。いずれ興味深い記録が得られると期待している。

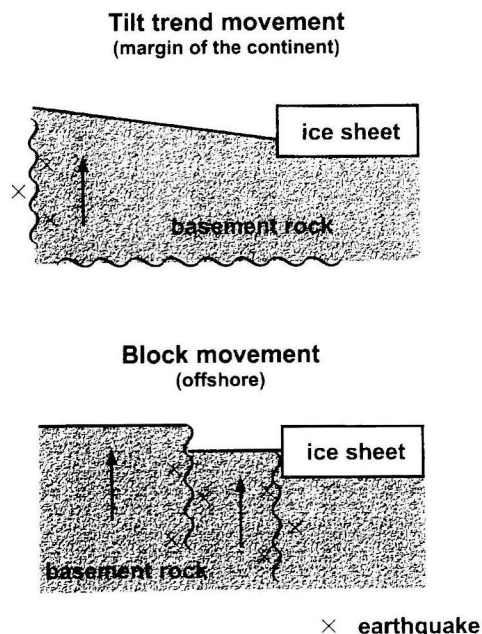


図 6 氷河後退後の地殻隆起のモデル。氷床縁を支点とする傾斜運動 (上) とブロック運動 (下)。

## 12. 大きな地震

南極観測が始まって 50 年、世界の地震観測網のデータを使った震源決定で 1 回だけ昭和基地近傍に震源決定された。震央は昭和基地の北東 410 km、大陸の沖合約 120 km の地点である。その震源要素は以下のとおり。

発震時：1996 年 9 月 25 日、14 時 59 分 50.30 秒

緯度・経度：65.678°S, 44.461°E

深さ：10 km

マグニチュード：4.6

昭和基地からの震央距離：3.8°

また 1998 年 3 月 25 日、南極プレート内に巨大地震が発生した。これも 50 年間で初めての事である。震源要素は以下の通りである。

発震時：1998 年 3 月 25 日、03 時 12 分 24.7 秒

緯度・経度：62.876°S, 149.762°E

深さ：10 km

マグニチュード：8.0

この地震は南極大陸の沖合 400 km, バレニー諸島の西 550 km に位置している。もっとも近いフランスのデュモン・デュルビル基地では震度 3~4 を記録した。南極大陸最初の有感地震である。

### 13. 南極の地震活動

南極大陸及びその周辺海域の地震分布を図 7 に示した。この地域の地震活動は以下の 5 地域に分けられる。

- 1) 南極大陸 (C) : マグニチュード 5 以下の構造的な地震が数年に 1 度程度の割合で発生する。
- 2) 南極大陸沿岸域 (D) : マグニチュード 3 以下の構造的な地震があちこちで発生している。
- 3) 南極プレート内の海洋域 (A) : マグニチュード 4 以上のプレート内地震が時々起こる。
- 4) 南極半島-サウスシェトランド諸島付近 (B) : 南極プレート内では相対的にもっとも地震活動の活発な地域。
- 5) 火山地域 (E) : デセプション島やロス島のエレバス山周辺, ビクトリアランド東岸のメル

ボルン山周辺などでは火山性地震が頻発する時がある。

### 14. あとがき

南極観測の開始から 50 年, 地震学者はほとんど興味を示さない地域ではあった。しかし地震活動や地球内部研究のデータ取得で少しずつではあるが興味関心を持つ研究者も増えてきた。国際極年 07~08 では地震のプログラムも幾つか提案されている。

数十年のデータの蓄積でようやく興味を持つ研究者が増えてきたわけであるが, 1980 年代までは南極での地震観測は次の道であった。南極研究科学委員会の会議で南極での地震観測の強化を各国に勧告しても, 遅々として進まなかった。

そんな状況が変化してきたのが広帯域・デジタル地震計の利用で, この地震計が開発された事により, 各国の基地で地震観測が行われるようになり, データも蓄積していった。それに伴い南極に興味を示す研究者も増えていった。

しかし各基地とも定常的な観測は予算的にも苦しい状況であるようだ。50 年でようやくこの程度

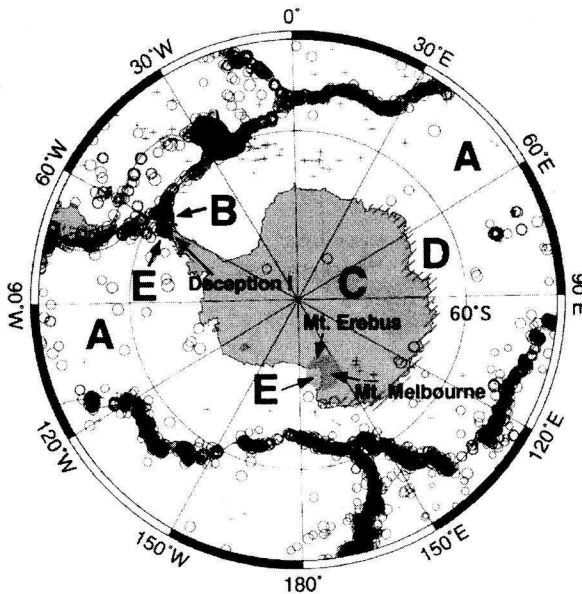


図 7 南極大陸及びその周辺の地震活動。ISC のデータに局地的に観測された震源を加えてある。

の事が分かるのでは、すぐ成果を求められる現代の学界の風潮では、なかなか評価もされにくい。しかし地球を知るためには目先の成果にとらわれない息の長い観測も必要な事を、改めて認識すべき時代がきていると思う。

14,000 km 離れた大陸ですぐ成果のあがりにくい観測を継続するにはそれだけの文化と国力が必要で、我が国はそれを有していると考え、定期的な観測の大切さを改めて訴えておく。

### 参考文献

- 赤松純平 (1988), 昭和基地の無線テレメータ地震観測, 極地 24 No. 1, 41~45.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1954), Seismicity of the Earth, 2nd ed. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.
- 神沼克伊 (1975), 南極大陸の地震, 極地 10 No. 2, 16~20.
- 神沼克伊 (2001), 日本の地球科学者の南極へのアプローチ, 月刊地球, 号外 No. 35, 5~12.
- Kaminuma, K. and Ishida, M. (1971), Earthquake ac-

- tivity in Antarctica, Antar. Rec. No. 42, 53~60.
- 金尾政紀 (2001), 南極観測における地震学研究の変遷, 月刊地球, 号外 No. 35, 14~19.
- 根岸弘明 (2001), リュツォ・ホルム湾域の地震活動とテクトニクス, 月刊地球, 号外 No. 35, 44~50.
- Odamaki, M., Michida, Y., Noguchi, I., Iwanaga, Y., Ikeda, S. and Iwamoto, K. (1991), Mean sea-level observed at Syowa Station, Antarctica, presented at the Antarctic Geodesy Symposium 2001, St. Petersburg, July, 17~22.

### 神沼克伊

[かみぬま かつただ]

**現職** 極地研究所・総合研究大学院大学名誉教授, 固体地球物理学

**略歴** 1966年東京大学大学院博士課程修了, 地震研究所入所, 1974年極地研究所・助教授に配置換え, 2001年極地研究所・教授定年退官. 南極観測への参加は15回.

**主な著書** 「地震学者の個人的地震対策」の教室」他多数.



# ものがたり「松代群発地震」

—マグマダイアピルによる

脇田 宏

## 1. はじめに

2006年の夏、松代群発地震40周年を記念する研究会に出席するため訪れた松代は、私たちが研究を続けていた当時とはまったく様相の異なる町に変わっていた。その後オリンピックが開かれ、すぐ側を高速自動車道が走り、会議場やホテルなど大きな建物が立ち並んでいた。当時というのは、群発地震から10年も経った1975年頃のことであり、私たち地球化学の研究者が地震予知の分野に参入した時期である。その頃、私たちは地下水中のラドン濃度を連続的に観測する研究に取り組んでいたが、地震発生の源となる活断層の活動度を推定する研究もはじめていた。国内各地の断層を調査するうち、松代地震断層から多量のマンテルヘリウムが放出されていることを見つけた。なんの変哲もない普通の田圃から噴火している火山と同じようなガスが出ていたのである。夢中で研究を進めながら、松代群発地震発生の鍵ともいえる異常な化学組成をもった大量の地下水が湧出した原因についても探っていた。いろいろな測定データを総合して、群発地震の原因が地下深部の溶融層から上昇した小さなマグマによるという解釈にたどり着き、論文を米国 Science 誌<sup>1)</sup>に投稿した。採択されるまでには、レフリーとの間で激しいやり取りがあった。エディターに何度も説明の手紙を書いた。この論文には国外からもかなりの数の別刷請求があった。今ではなつかしい思い出となっている。

「松代地震の40年研究会」には、全国から大勢の研究者が参加し、群発地震の原因や湧出した水の起源についても数多くの発表があった。ところ

が、私たちが提唱した説はまったく忘れられていた。ひどく驚いていた私に気づいた主催者の石川有三さんは会議を抜け出し、研究室から別刷を探し出して来て、その日の発表が終わる前にコピーを出席者全員に配って下さった。さらに翌日の研究発表会のタイトなスケジュールの中で、私が3分間のコメントをすることが許された。今になって考えると、忘れられてしまったのは論文の題名の所為だったかもしれない。松代地震の発生メカニズムばかりでなく、一般的な群発地震や火山の起こり方まで説明できると考えて、「“ヘリウムスポット”—上部マントルからのマグマダイアピルによる(日本語訳)」という、タイトルをつけたのである。

ここで、うれしいことには、最近発刊された月刊地球の特集号『松代群発地震の40年』では、多くの研究者によって私たちの論文は引用されているばかりか、評価もされている。

それより前になるが、今年に入って本誌の編集長の萩原幸男氏から、あの時のコメントが面白かったので、掲載したいという話をいただいた。研究をまとめるまでの顛末を綴るとなるとずいぶん昔のことでもあり、記憶も覚束なくなってしまったので、“ものがたり”という語句をつけた表題とした。松代地震の詳細については大竹政和氏のレビュー<sup>2)</sup>を、そして私たちの研究については前記論文を参照していただきたい。

## 2. 活断層の活動度の推定

地球化学が地震予知の分野に加わることになったのは、1970年代はじめのA. ヌーア、続いてC. ショルツらによって発表された「ダイラタンシー

(岩石膨張・水拡散)モデル」とよばれる理論が契機となっていた。この中で、地震発生には地下水が決定的な働きを持つことが強調され、1966年のタシケント地震前の地下水のラドン濃度の変化も紹介されていた。また、この頃から活断層の存在が地震発生にとくに重要であることが認識されてきた。さらに、断層活動度の評価についての研究も行われるようになってきた。厚い堆積層に覆われた大都市圏などの地震対策として、活断層の位置を判別する研究が必要であった。航空写真、地形調査、物理探査などが行われていたが決め手はなく、私たちは地球化学の技法を活用できないものかと考えた。

活動度が高く、破碎のはげしい断層では、地球内部からのガスフラックスが高いと考えることができる。よく知られているように、大気は地球内部から放出した気体である。現在の大気は地球の形成時につくられたものであるが、気体の放出は現在も続いている。その証拠のひとつは、大気中にごく微量(5 ppm : ppm というのは単位体積当たり百万分の1)のヘリウムが存在することである。ヘリウムは質量が軽く、時間が経つと大気圏外に逸散するため、新たな移入がなければ大気中には存在しなくなる。然るに、大気にヘリウムが存在するという事は現在もこの放出が続いているからである。

地球内部からの気体の放出を考えると、その出かたは地表物質の物理的形狀に依存する。断層の活動によって地殻が破碎された地域ではフラックスが高いと考えることができる。新たに割れ目ができれば、岩石に閉じこめられていたラドンなどの気体も放出する。それでは、どのようにしたらこれらの気体のフラックスを測れるであろうか。これまでこのような研究はあまりなく、役立つ文献はほとんどなかった。

研究を始めた直後の1974年5月、伊豆半島沖地震が発生した。このマグニチュード6.9の地震では石廊崎断層が動き、石積みの基礎をもった灯台は無惨に崩れた。近くのホテルの床にも亀裂が走り、プラスチックは数十センチもずれていた。上空からもはっきり識別できるように、この断層

は伊豆半島南端部を東南-北西方向に貫き、直交するいくつかの峰々を数百メートルもずらしている。これまで、この断層に何百回も地震が発生したことを如実に示している。

その時の地震で動いた断層は堅い岩盤をあたかも羊羹でも切るように鋭く切断していた。この石廊崎断層の活動度はあきらかに高いと考えられたが、この地域は岩盤が露出しているため、地球内部から放出される気体は保持されにくく、地球化学の測定には不向きなことも判った。

国内各地の断層でいろいろな方法を試みた。内側に細い棒を入れた長さ1メートルほどのステンレス製の肉厚の管を作った。それを地面に打ち込み、内側の棒を引き抜いて、下部にあけたストレーナを通して地中ガスの採取を試みた。この方法は火山地域ではかなり効果があった。1977年の有珠山の噴火では、山体に近づくほど地中ガスに火山性の水素濃度が増加するのが観測された。こうした研究の中から、ほかにも興味深い成果が得られた。兵庫県の山崎断層では多量の水素が放出していた。この水素が断層活動による破碎によってつくられた新しい岩石表面と地下水との化学作用によって生成されるという論文<sup>9)</sup>を発表した。

気体放出の研究を続けるうちに、松代群発地震の時に形成された断層が私たちの研究目的にとくに適していることに気がついた。この断層は規模こそ小さいが、位置がはっきりしていること、地震に伴い断層に沿った地点から多量の地下水が湧出し、その放出が続いていることなどであった。さらに松代群発地震は発生初期から終息までの全期間に亘って、綿密な研究が実施され、多種類の観測データが残された地震である。

地中から放出する気体のフラックスを議論するには、窒素や酸素など大気中の主要成分は適さない。窒素がいくら増えても、その割合が見えにくいからである。少量や微量で存在する成分となるとアルゴン、二酸化炭素、水素、ヘリウム、メタン、ラドンなどが考えられる。このうち測定が簡単で地中の生物活動などと関連のない気体が望ましい。ヘリウムは逃げ易いことに注意すれば最適である。その上、ヘリウムはガスクロマトグラフ

という可搬型の装置でも簡単に測定することができる。

### 3. 気体放出の測定

気体フラックスを測定するには、地面に孔を掘って、上部をふさぎ、貯まった気体の濃度を測る。孔に入ってくるガスと大気に逃げていくガスが平衡に達するまでの間の濃度変化を求めるのである。これは作業が大変なので、設定条件を同じにして濃度を比較することとした。孔の深さや口径はどのくらいにするか、どのくらいの時間貯めればいかなど、検討しなければならないことは沢山あった。孔を深く、大きくすれば、孔に入ってくるガスの量は多くなるが、孔の中に最初に占めている大気の割合も大きくなる。同じ測定条件をつくるため、いろいろな方法が検討された。丁度このころ大学の食堂が配膳用のトレイをアルミ製から樹脂製に代えようとしていた。このアルミのトレイを格安で手に入れ、孔を開け、ゴム栓をつけて、地表にばらまいたのである。これによって手軽にかなり似た測定条件をつくることができた。

次に、私たちは地表を移動して気体放出を測っていく方法を考えた。あたかも犬が探索物の臭いを嗅ぎまわるように、地表から漏れ出す気体成分の濃度を連続的に測るのである。実験室では、真空装置などの漏れを検知するのにヘリウム・スニファー（リークディテクター）という装置が使われている。ヘリウムの検出は四重極質量分析装置で行う。漏れを調べようとする容器などの中にヘリウムを充填して、容器の外側のガスを質量分析器に吸入し、ヘリウムの有無から漏れの箇所を検出する装置である。大きさは中型の冷蔵庫ほどで、重く、稼働させるには安定な電源を要した。さらに、装置内に高真空をつくるための液体窒素が必須となり、野外作業に適したものではなかった。当時、イオンポンプなど高性能のポンプは市販されてなかった。液体窒素も大都市から離れると、入手できなかった。松代での観測には、準備が大変だった。会社からリークディテクター

を借りて、液体窒素を入れた大きな容器やガソリン発動機、電源安定器、各種ガスのボンベなど大量の研究資材をレンタカーに載せた。道路事情は悪く、東京から松代へは8時間もかかった。寒空の下で重労働を伴うため人手も必要だった。これを当時の東大地球物理学教室の学生さんが手伝ってくれた。この方たちは、今では高名な研究者となっておられ、こんなことをお願いしたこともよい思い出となっている。

### 4. 野外観測

研究現場は松代町の東部、皆神山麓の田圃の広がる地域で、第3活動期に形成された北西-南東方向に約4 kmの走行をもつ断層の中央付近であった。この辺りでは細いコンクリートでできた田の畦がずれ跡を残していた。ここには、第3活動期から激しさを増した湧水個所のひとつが残り、水溜りをつくっていた。水の中からは無数の炭酸ガスの泡が噴き出していた。

ここで、気体放出の研究とは直接関係はないが、松代での生活ぶりを紹介する。夜は気象庁松代地震観測所（現在は精密地震観測室）の宿舎に格安の料金で泊めていただいた。そこは太平洋戦争中に設営された天皇陛下の御座所となるはずの部屋だった。その部屋は観測所に隣接する建物の内であって、背後は帝国陸軍大本営（参謀本部）に予定された巨大地下壕につながっていた。御座所は庭に面して日当たりはよかったが、夜は寒かった。そこは裸火が禁止されていて、暖は小さな電気コタツひとつという有様だった。初冬の雪のちらつく田圃で、泥まみれの野外作業を終えると、駅前の食堂で夕食をとった。その後、町の共同温泉に浸かって、体が温かいうちに寝てしまうという生活であった。寝るときの布団の重く、冷たかったことを覚えている。朝の寒さも格別だった。

### 5. 異常な化学組成の地下水の湧出

ヘリウムスポットの論文を中村一明氏はとても



喜んで下さった。論文の謝辞にも書いたように原稿にも細かく手を入れていただいた。タイトルについても相談した。その時、氏はこの水の湧出について熱っぽく語って下さった。以下はその概要である。

『夏の暑い日だった。いつものように山地を歩いていると、足元になんともいえない気配を感じた。最初は何だかわからなかった。注意深く観察していると、乾いた桑畑の蟻の巣穴から無数の泡が吹き出していた。穴に指をつっこむと水がしみだしてきた。次の日には滴るように溢れ出していた水が流れをつくり下方に向かっていく。泉というものは谷間に湧くとばかり思っているのに、山の上から大量の水が湧き出してくることにいいしれぬ気味悪さを感じた。』

中村氏が不気味に感じたこの水は過飽和状態の二酸化炭素を含み、塩分濃度も異常に高かった。カルシウムイオン濃度は9,000 ppmで塩素イオン濃度は19,000 ppmにも達していた。この水が山を下って田圃に入ると、刈り取りを前にした稲を枯らし始めたので、行政による緊急の対策がとられた。おもな湧出地点には穴が掘られ、コンクリート製の大きな円形のマスが設置された。マスに溜った水は新しい水路を通して排水するという大土木工事が突貫作業で行われた。こうしたマスは約70カ所に造られたという。この結果、この水の湧出量は極めて精度よく推定されている。最大の地点では毎分 $12\text{ m}^3$ の湧出があったというが、この量を想像できるだろうか。そして、総湧出量は小さな川の年間流水量に相当する $10^7\text{ m}^3$ と推定されている。水の湧出が弱まるとともに地震活動も静穏化していった。この群発地震と水の湧出現象は中村氏によって、いみじくも「水噴火」と名づけられている。

## 6. ヘリウムスポット

研究を続けるうち、来日中のコロラド大学のキスリンジャー教授が現場を見たいといっただけ

た。松代群発地震でつくられた断層から多量のヘリウムが放出しているというニュースが教授にも伝わったのである。教授は松代地震についても論文を書いておられ、松代にも地球化学にも高い関心をお持ちであった。

6月の晴れた日に、教授を案内して松代を訪れた。私はこれまでこの時期に現地を訪れたことはなかった。いつも研究を行っていたのは稲の刈り取りが終わった晩秋から冬にかけての休耕の時期であった。現場周辺の風景はまったく異なっていた。田植えが始まり、いつもの乾きった田圃には一面に水が張られ、育った苗が風にそよいでいた。

「ここがヘリウムの出ている場所です」と説明しかけて、すっかり驚いてしまった。苗の間の中から無数の泡が噴き出していたのである。乾いた田圃の上であんなに苦労してつくったヘリウムの分布図が目前に広がっていた。泡の出ているところと出ないところが一目瞭然だった。すっかり興奮して、案内もそこそこに測定を再開すべく東京に戻ってきた。

水から出てくる気体を扱うわけだから、測定のすべてが簡単だった。気候も良く、研究はどんどん進展した。それぞれの泡の出口（ベント）から単位時間に放出する気体の容積を量り、化学組成を正確に測定することができた。ヘリウム濃度が350 ppmという異常に高い値をもつ横30 m、長さ50 mくらいの地域を「ヘリウムスポット」と名づけた。そのすぐ側には、群発地震の時から湧水が続く水溜りがあった。そこからは盛んに二酸化炭素が放出されていた。私たちはこれを「CO<sub>2</sub>スプリング（炭酸ガス泉）」と呼んだ。

「ヘリウムスポット」での気泡の出方はさまざままで、活発なベントからは1分間に100 ml程度、平均的なベントはその十分の一程度であった。ベントの数などから推定したヘリウムフラックスは約 $3 \times 10^{10}\text{ atom cm}^{-2}\text{ sec}^{-1}$ であった。これは平均的な地殻中でウランやトリウムから生成される値 $10^6\text{ atom cm}^{-2}\text{ sec}^{-1}$ より $10^4$ 倍も高かった。

不思議なことに、ヘリウムスポットとCO<sub>2</sub>スプリングから出る気体の組成はまったく異なってい

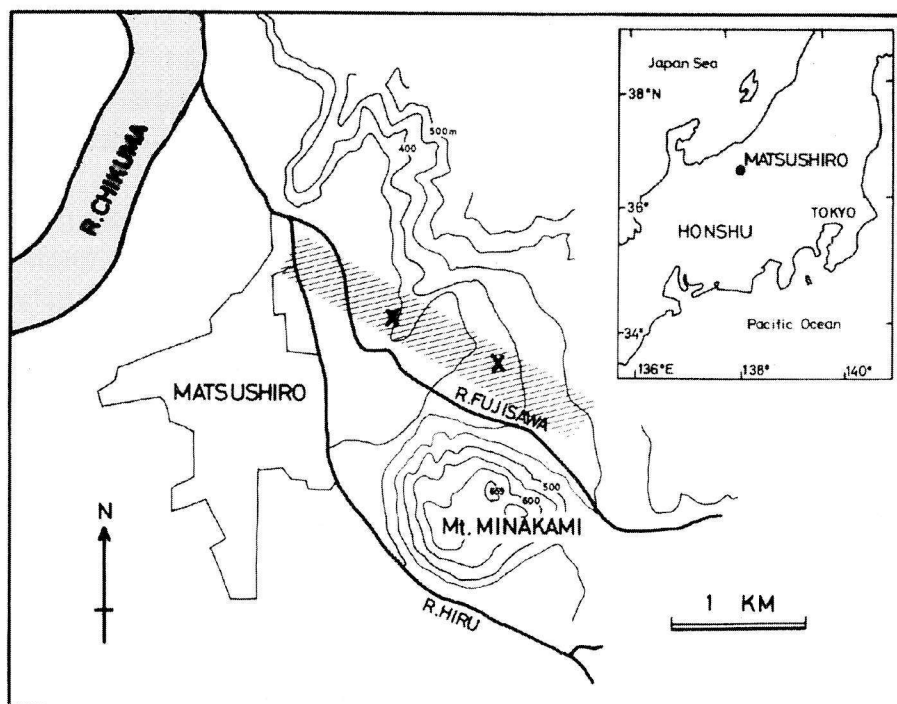


図 1 松代地震断層 (斜線) とヘリウムスポット (X) の位置<sup>1)</sup>

表 1 ヘリウムスポットおよび CO<sub>2</sub> スプリングの気体組成

	窒素 (%)	二酸化炭素 (%)	ヘリウム (ppm)	<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He (10 <sup>-6</sup> )
ヘリウムスポット	80	20	350	8.90±0.31
CO <sub>2</sub> スプリング	7	93	5	8.87±0.55

た (表 1). ヘリウムスポットでは主成分組成が窒素 80%, 二酸化炭素 20% で, ヘリウム濃度は 350 ppm もあった. これに対し, CO<sub>2</sub> スプリングは, 窒素 7%, 二酸化炭素 93% で, ヘリウム濃度 5 ppm であった. このことはヘリウムスポットの気体が二酸化炭素に希釈されて, CO<sub>2</sub> スプリングになったと解釈できる.

## 7. ヘリウム同位体比

このころ日本ではようやくヘリウム同位体比が測定できるようになっていた. 大阪大学の高岡, 長尾の両氏による測定結果 (表 1) は, ヘリウムが上部マントル起源を示すという驚くべき値であった. ここで, ヘリウム同位体比について説明する.

ヘリウムには質量数が 3 と 4 の 2 種類の安定同位体がある. 通常ヘリウムといえばヘリウム-4 (<sup>4</sup>He) のことを指し, ウランやトリウムなど半減期の長い天然放射性元素の  $\alpha$  崩壊によって生成される. もう一種の存在が極めて微量なヘリウム-3 (<sup>3</sup>He) は始源的な成分と考えられている. すなわち, 地球の形成初期に原始太陽系星雲中に存在していた成分であり, 地球が形成された時に地球内部にとり込まれたものである. 地球の進化の過程で大部分のヘリウム-3 はヘリウム-4 とともに大気圏外へ逃散したが, 地球の内部には, まだ初生のヘリウムが残っていて, 今日でも, 火山や断層などから大気中に放出されている.

ヘリウム-3 の含まれている割合はヘリウム-3 とヘリウム-4 の存在比, すなわち <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比で

表わされる。大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は $1.4 \times 10^{-6}$ である。これに対し、上部マントルではヘリウム-3の含有量は高く、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は大気の約10倍である。地球深部では $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はさらに高くなる。一方、地殻はウランやトリウム濃度が高いため、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はきわめて低くなる。このように、ヘリウム同位体比を測定することによってヘリウムの起源は勿論のこと、共存する気体の起源についても重要な情報が得られる。

松代の気体試料のヘリウム同位体比の値は興奮するものであった。ヘリウムスポットばかりか $\text{CO}_2$ スプリングの気体のヘリウム同位体も高く、上部マントル起源を示していた。このことから、ヘリウムスポットの気体はマグマの成分をそのまま保持しているのに対し、 $\text{CO}_2$ スプリングや断層沿いに出ている気体はマグマガスに多量の二酸化炭素が加わることによって薄められたと解釈したのである。

## 8. 松代地震の原因

松代群発地震には著しい特徴がある。群発地震は前触れもなく始まり、日ごとに活動が高まっていった。地震活動は消長を続け、いくつかの活動期に区分されている。震源域は当初、第四紀火山の皆神山を中心とした深さ4~5 kmの領域にあったが、第二活動期にはいと上昇しはじめた。それとともに震源域は平面的にも拡大し、この傾向は第三活動期に入っても継続した。第二活動期から観測された湧水や地割れは第三活動期にますます激しくなった。この時期に長さ4 kmの左ずれ断層が形成され、湧水による地すべりも発生した。異常な化学組成をもった地下水の湧出が収まるとともに地震活動も静穏化していった。誰でも指摘するところであるが、地震活動と地下水の湧出には強い関連性がある。

水の起源を考えると、松代の地下深部には化石海水であるとか、何十万年前の火山活動で放出された水などが普遍的に存在するという考え方がある。しかし、このような水が突然上昇すると主張するのは必然性に乏しい。

私たちは松代地震もヘリウムスポットも上部マントルの溶融層から地殻上部に上昇したマグマによって生じたと理解している。湧出した水の総量がすべてこのマグマに由来すると考えると、マグマの大きさは直径1 km程度となる。地殻中でマグマが冷却し、固化するに伴い、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{He}$ などの流体が排出される。上方に移動した流体は応力下にある地殻の間隙圧を増大させ、群発地震を発生させたと解釈するのである。松代の地殻中には海底下で堆積した石灰質の地層が存在すると考えられる。これとマグマから放出された酸性の流体が接触すると大量の二酸化炭素が発生する。測定した二酸化炭素の炭素同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )は-1から-3の値を示し、この解釈と矛盾はない。ヘリウムスポットは火山性流体がたまたま石灰質物質と接触せずに地表に到達した地点ということになる。

マグマの大きさを直径1 km程度と考えたが、地殻にこのようなものが入れば地表で地殻変動が観測されなければならない。また、この大きさでは冷却に時間がかかり、一気に流体が排出されることはなく、地殻の間隙圧を高めることはない。そこで、全体を合わせると直径1 km程度となるが、無数の小さな泡状のマグマが上昇し、冷却したと考えるのである。何回ものダイアピル活動があったとすると、3期とも6期ともいわれる地震活動についても説明することができる。

さらに話を進めると、火山活動が噴火するか貫入にとどまるかということはダイアピアの大きさで決まるのではないだろうか。直径が1 kmより大きいと噴火がおこる。それより小さいと温泉ができる程度で周辺の地熱を上昇させるにとどまる。丁度1 km位の大きさのダイアピルが群発地震を引き起こすのではないだろうか。

これが私たちの考えた松代群発地震の発生メカニズムである。「水噴火」と名づけられ、これまで湧出した水の起源については盛んに議論されている。私たちはこの地震を同じ時期に上がった小規模のマグマから放出された流体による間隙圧の増加によると結論するのである。

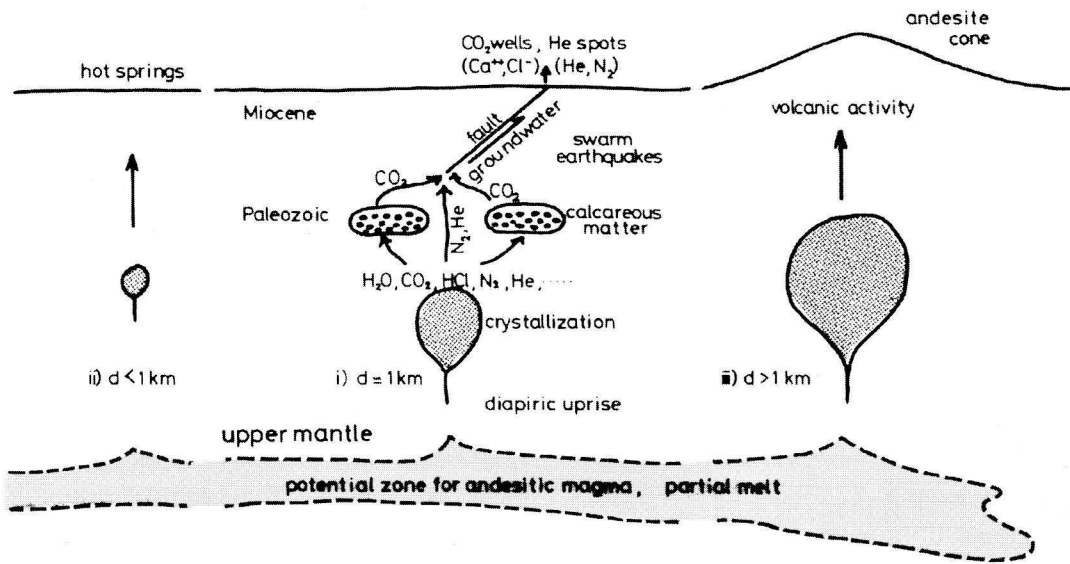


図2 マグマダイアピルによる松代群発地震の発生とヘリウムスポットの形成<sup>1)</sup>

その後、私たちは松代で始めたヘリウム同位体比の測定を日本列島全体に展開し、地域的分が島弧テクトニクスと強く関連していることを示した<sup>4)</sup>。この中で、和歌山群発地震の成因を前弧地域に位置しているのに高温の温泉が豊富に湧く理由と結びつけ、これから始まる火山活動と考える新たな解釈<sup>5)</sup>を提唱した。

以上述べてきた地球化学的研究は、近年、地震学と緊密な接点をもつことが明らかになってきた。ひとつは、GPS観測を主体とする地殻変動研究であり、日本列島を縦断して「歪み集中帯」<sup>6)</sup>が存在することが示されている。もうひとつは、3次元地震波速度構造トモグラフィ<sup>7)</sup>から得られた地下構造で、日本列島直下に連なるマンテル上昇流を地域ごとに見ることができる。

### 参考文献

- 1) H. Wakita, N. Fujii, S. Matsuo, K. Notsu, K. Nagao and N. Takaoka (1978) "Helium spots": Caused by a diapiric magma from the upper mantle, *Science*, **200**, 430-432.
- 2) 大竹政和 (1976) 松代地震から10年, *科学*, **46**, 306-313.
- 3) H. Wakita, Y. Nakamura, I. Kita, N. Fujii and K.

Notsu (1980) Hydrogen release: New indicator of fault activity, *Science*, **210**, 188-190.

- 4) Y. Sano and H. Wakita (1985) Geographical distribution of the  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios in Japan: Implications for arc tectonics and incipient magmatism, *J. Geophys. Res.*, **90**, 8729-8741.
- 5) H. Wakita, Y. Sano and M. Mizoue (1987) High  $^3\text{He}$  emanation and seismic swarms observed in a non-volcanic, forearc region, *J. Geophys. Res.*, **92**, 12539-12546.
- 6) T. Sagiya, S. Miyazaki and T. Tada (2000) Continuous GSP array and present-day crustal deformation of Japan, *PAGEOPH*, **157**, 2303-2322.
- 7) J. Nakajima and A. Hasegawa (2007) Tomographic evidence for the mantle upwelling beneath southwestern Japan and its implications for arc magmatism, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **254**, 90-105.

脇田 宏

[わきた ひろし]

現職 東京大学名誉教授

略歴 学習院大学理学部化学科卒, 同大学院修士課程修了, 東京大学理学部教授, 学習院女子大学教授を経て現職

研究分野 地球化学による地震予知



## 活断層の成熟度と地震の規模頻度予測

活断層の成熟度に関連する研究を空間的なスケールで区別すると、小は断層破碎岩中の micro-crack や断層破碎帯の幅を議論するものから、大は地域スケールで見た活断層の分布密度まで多岐にわたる。ここでは主に内陸地殻内地震の地震危険度評価への応用を目的として、地震活動や地震の規模頻度予測との関連を議論した研究成果を紹介したい。

例えば Dolan (2006) は、震源断層の規模によらず活断層の地表トレースに沿って認められる 3~4 km の地質構造あるいは変動地形の不連続部で破壊伝播が抑制されるという Wesnousky (2006) の指摘が、地震学的には最終的な地震規模は破壊現象が終了するまで予測できないことを意味すると考えた。これは、大地震と小地震ではその破壊過程が異なるという地震観測をもとにした考えと整合しない。実は活断層研究と地震学の地震規模推定に関する考え方には、これとは逆の議論が以前にも存在した。それは、活断層から発生する地震の個別的性質として、破壊領域の大きさ、地震の規模、地震の繰り返しの時間間隔が固有であるとする characteristic earthquake model (Schwartz and Coppersmith, 1984) と、地震活動の集団的性質である Gutenberg-Richter (GR) の関係 (Gutenberg and Richter, 1954) の取り扱いである。地震学では、GR の関係が成り立つことは、地震が臨界現象で小地震と大地震を区別することはできないことに対応し、変動地形学に基づく characteristic earthquake model とは対立するとの捉え方もあった。

活断層研究と地震学のそれぞれの分野の観測にもとづくこれら 2 通りの考え方の相違は何に起因するのであろうか。まず確認すべきことは、モデルの対象が個別の活断層なのか、それともそれらを複数含む領域なのかということである。

特に、GR の関係が地震の規模予測の観点で議論される場合には、その対象範囲の中に活断層が複数含まれる場合が多い。この活断層の地表分布形態に着目すると、長大で直線的なものや、step や jog により細切れのものなどさまざまである。そこで、活断層の長さの頻度分布を地域ごとに検討すると、GR の関係と同様にべき乗則に従っていることが分かった。一方で、モデルのパラメータには地域的な相違も見られる。このとき、活断層の地表分布形態の相違を活断層の成熟度の相違として捉えて、長さや平均変位速度、累積総変位量などの諸元と関連させることにより、地域的な GR の関係など地震活動のモデルと統合した議論が進展する可能性が指摘された (Wesnousky, 1999)。

その実証の一例として、Wesnousky (1988, 1990) は、活断層の累積変位量が大きいほど活断層の分布の形態も複雑なものから単純なものへ変化し、微小地震活動も低調となることを示した。続いて、Stirling *et al.* (1996) は、活断層の累積変位量や不連続部の割合を、活断層周辺での GR の関係で予想される地震の頻度と観測頻度との比で表した指標と比較した。その結果、累積変位量が大きいほど地表トレースは連続的となり、GR の関係で予想されるよりも少ない地震数しか観測されないことを示した。これは、累積変位量が大きく形態が単純化している成熟した活断層からのエネルギー解放は、その長さに比例するような固有規模の地震によりまかなわれることを意味する。さらに、Wesnousky (1999) は、地域的な活断層分布に着目し、長さと個数にべき乗則が成り立つ初期の段階から次第に発達して、少数の長大な活断層の変位が代表的になるという活断層進化モデル (Evolution of faulting model) を提案した (図 1)。ただし、ある地域で長大な活断層が支配的と

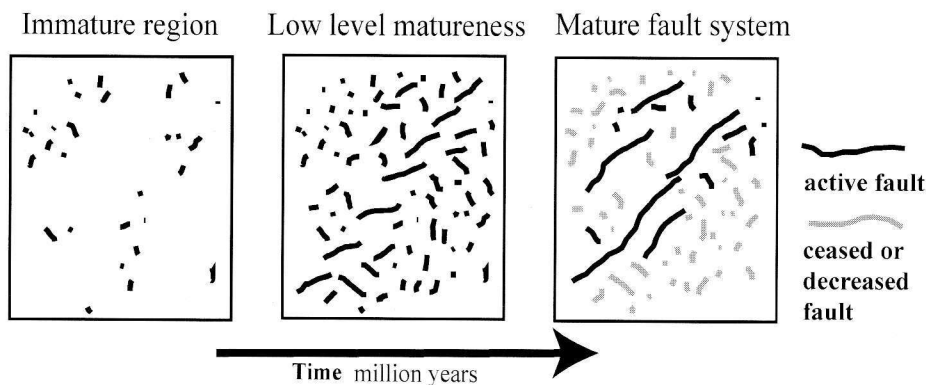


図 1 活断層の発達モデルの概念図 (Wesnousky (1999) を加筆修正).

なっても、活断層の長さの頻度分布と平均変位速度の関係には feedback が存在し、GR の関係の  $b$  値は 1 程度で安定すると考えられた。

こうした新たな知見によれば、地域性や成熟度を考慮せずに断層長とマグニチュードを 1 つの変数で回帰するような検討は、今後の詳細な地震危険度評価では十分とはいえない。例えば、地震の規模予測式の中でも平均変位速度の相違が意味を持つと考えた Anderson *et al.* (1996) は、世界の 43 地震のデータセットから、

$$Mw = 5.12 + 1.16 \times \log(L [\text{km}]) - 0.20 \times \log(S [\text{mm/yr}])$$

の関係を得た。これを先の活断層の成熟度の議論に関連させると、ある地域で地震活動を固有地震的に支配するように成熟した長大で平均変位速度の大きい活断層から発生する地震は、従来の式による予測よりも地震の規模は小さいものとなる。これは野外で観察される断層破碎帯の性状が活断層ごとに異なっていて、長大なものほど破碎の程度が激しく、歪の蓄積に関して弱化していることに対応すると考えれば合理的である。

このように、個別の活断層の詳細な調査結果を活断層進化モデルや成熟度の観点で定量化することで、地震地体構造区の個別の危険度評価をより実際的なものとするための検討が今後の地震動予測地図の作成では必要である。

#### 参考文献

- Anderson, J.G., Wesnousky, S.G. and Stirling, M. W. (1996) *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **86**, 683-690.  
 Dolan, J.F. (2006) *Nature*, **444**, 276-279.  
 Gutenberg, B. and Richter, C.R. (1954) Princeton University Press, 310p.  
 Schwartz, D.P. and Coppersmith, K.J. (1984) *Jour. Geophys. Res.*, **89**, 5681-5698.  
 Stirling, M.W., Wesnousky, S.G. and Shimazaki, K. (1996) *Geophys. Jour. Int.*, **124**, 833-868.  
 Wesnousky, S.G. (1988) *Nature*, **335**, 340-343.  
 Wesnousky, S.G. (1990) *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **80**, 1374-1381.  
 Wesnousky, S.G. (1999) *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **89**, 1131-1137.  
 Wesnousky, S.G. (2006) *Nature*, **444**, 358-360.

(隈元 崇：岡山大学理学部地球科学科)

## 「津波」という言葉はいつから使われはじめたか？

「津波 (tsunami)」というのは海域で大きな地震が起きたとき、それに伴う海底の隆起陥没の地変によって引き起こされる現象をさす日本語起源の言葉として、今では世界中で一般語として知られるようになっている。津波は地震だけではなく、火山活動、海底あるいは沿岸での大規模な地滑り、あるいは隕石の落下、核実験でも引き起こされるが、台風によって引き起こされる高潮や、異常気圧変動の伝播によって長崎湾などに引き起こされる「あびき」のような気象学的原因による現象とは区別される。江戸時代の文献には「津波」、「津浪」のほか、「海嘯」、などの漢字が当てられることがあるが、どれも「ツナミ」と読まれた。ただし江戸時代の文献では、台風によって引き起こされた、現在では高潮と呼ばれる現象もツナミと呼ばれることがある。

さて、津波は、日本語に由来する世界共通の単語となったが、では、日本ではいつ頃から津波という言葉が使われはじめたのであろうか？意外なことに、江戸時代初頭の慶長16年三陸地震(1611)以前の記録にツナミという言葉が使われた例は一つも存在しない。津波の現象そのものの記録は、白鳳南海地震(天武天皇13年、684)以来存在する。しかし、「日本書紀」に書かれた記録では、津波は「大潮高騰、海水漂蕩」と表記されている。この記録以後、江戸時代の初めまでに、明白な津波記録は、貞観11年(869)三陸、仁和3年(887)五畿七道、嘉保3年(1096)東海、仁治2年(1241)鎌倉、正平16年(1361)南海、応永14年(1408)伊勢、明応7年(1498)東海、慶長元年(1596)別府湾、慶長9年12月(1605)関東沖・南海沖の各地震の9例が存在する。しかし、それらの記録にはそれぞれ、「驚濤涌潮」(三代実録)、「海潮漲陸」(同)、「大波浪」(中右記)、「引潮

(吾妻鏡)、「大山の如なる潮漲来て」(参考太平記)、「大潮」(大日本府県誌所引、伊勢記)、「大浪」(後法興院記)、「洪濤」(由原宮年代略記)、「大波」(当代記)等と記載されていて、ツナミとは呼ばれていない。さらに、これらの文献相互間で呼び名が一定しないのはこの現象をさす一般的な名称がなかったからであろう。

ツナミの一番古い用例は慶長16年(1611)三陸地震を記録した文献「駿府記」である。すなわち徳川家康の側近が公的な立場から記した日記風の文献である「駿府記」には「政宗領所海涯人屋、波濤大漲来、悉流失、溺死者五千人。世曰津波云々」とあって、ここに現れる「世曰津波(世にツナミといふ)」がツナミの初めての用例である。江戸時代の初期に林羅山の第三子である林鶯峰によって著された「玉露叢」は、ほぼ駿河記の記事を引用して、やはり「世にこれを津浪といへり」と記している。「譜牒余録」も「十月二十八日巳刻、過政宗領内、大地震津波入、千七百八十三人相果」と記載したのち「右の趣、駿府政治録に相見へ申し候」と書かれている。これも、慶長16年三陸津波の「津波」という用語使用例と見なせよう。

注目すべきは、この5年後の元和二年(1616)の三陸の中規模津波のときの岩手県大槌の記録に、「大波山の如く参り」(大槌記録抄)とあって「津波」とは書かれていないことである。この時点では、まだ「津波」は一般的になっていないことが伺われる。さらに、寛永十七年北海道駒ヶ岳の噴火に伴う内浦湾の津波に対して徳川家光の公的伝記である「大猷院実記」には「逆波」と書かれ、津波という用語はまだ用いられていない。寛文二年(1662)日向灘の地震にも津波を伴ったが、やはり当時直接記録された文献には「津波」とは書かれていない。

津波という言葉が広く定着したのは、延宝五

年（1677）3月の三陸地震，同年10月の関東東方沖地震以後のことであるらしい。すなわち前者の津波では，大槌諸記録抄に「大塩津波」とあり，後者の津波では，上総一宮の兎玉惣次左衛門の「万覚書写」に「津浪水押上候」と記載され，この時点ではじめて，「ツナミ」が全国的な広がりをもって使われはじめていることが確認できるのである。

なお，「八丈実記」の慶長九年地震（1603）記事に「八丈年代記」の引用文として「津浪アガ

リテ」とあるが，この文は後世に作文されたものであると考えられる。同様に，「熱海名主代々手控」に「同（寛永）十年津浪の節」とあり，また寛永十七年（1640）北海道駒ヶ岳の噴火に伴う内浦湾の津波に対して「松前年々記」に「津浪」，福山旧記に「津波」と書かれているが，これらも後世に編集された文であって，津波発生時の使用例と認めることは難しい。

（都司嘉宣：東京大学地震研究所）



# 安政江戸地震の際の武蔵国入間郡の災害

## —埼玉県入間郡毛呂山町大谷木の山崩れと地盤沈下—

新井健司

### 1. はじめに

近年、首都圏を震源とする巨大地震の発生が懸念されているが、過去に関東地方で見られた地震被害の実態を明らかにすることは、今後の震災に備える上で重要とされる。しかし、科学的な調査・研究が未発達であった時代の地震については、古文書の記録に頼るところが大きく、巨大地震でさえ十分な情報が得られないことも少なくない。

1855年安政江戸地震の被災地が武蔵国入間郡に存在したことについては、このような現状の中でこれまでほとんど知られていなかった。しかし、この度同地震による山崩れと液状化が原因とみられる地盤沈下の発生箇所を特定できたので、ここに報告する次第である。

### 2. 1855年安政江戸地震の被害

安政江戸地震は、1855年11月11日（安政2年10月2日）に江戸で発生した、近世最大級の内陸直下型地震である。M 6.9と推定され、江戸下町が激震に見舞われ（震度VI）、潰家1万4,000以上、町人の死者が4,000人近くに達したとされる。

周辺地域では、蕨、幸手、松戸、木更津、佐倉、川崎などで潰家や破損家があったという。武蔵国北部、すなわち現在の埼玉県地域については、東部地域の幸手付近に建物被害が顕著であった。これは液状化現象によるものと考えられ（宇佐美、1987）、中川の沖積低地を北上伝播した強震動が引き起こしたとみられる。また、埼玉県中・南部地域でも、川越、志木、所沢、久米村（所沢）の

各地で家、土蔵、土塀などに破損や歪みが生じたことを記した記録が散見される（日本電気協会、1994）。

ところが、埼玉県西部地域の被害記録は、わずかに「埼玉県入間郡などで山崩れがあった。」という記述を「地震の事典」（宇津、1987）に見るのみである。埼玉県西部地域で被害記録が少ないのは、台地・丘陵が多く、低地が少ないことが要因としてあげられる。しかし、この記述から建物の被害をもとにした比較はできないが、震央（江戸）からの距離（30～40 km）が幸手付近とさほど変わらない入間郡でも、山崩れが発生するほどの強い震動に襲われたことがわかる。

### 3. 「入間郡の山崩れ」はどこで起きたか？

宇津（1987）の山崩れはどこで起きたのか。その出典を探すべく関係文献にあたったところ、「新収日本地震史料 第5巻 別巻2ノ2」（東京大学地震研究所、1985）に「毛呂山町史」（毛呂山町、1978）の山崩れに関する記述が掲載されていることを見出した。しかし、それは「安政2年（1855）の地震、10月2日大地震、山間の村々で地崩れが起きている。」[第3章近世（江戸時代）、5産業と交通、3災害と飢饉、イ災害]という短いもので、その位置や状況についての詳しい記載はない。とはいえ、毛呂山町史に記載されていること、そして山間の村々という表現から、現在の入間郡毛呂山町の町域に含まれる山域の複数箇所でも斜面災害が発生したことは確かである。

今から150年以上も前の災害地の痕跡が残されている可能性は極めて低いですが、その位置だけでも特定できないかと考え、毛呂山町の山域から調査

を始めた。なお、宇津（1987）では「埼玉県入間郡などで……」と記されているが、毛呂山町以外の入間郡地域もしくは入間郡以外の地域については、現在のところまったく手がかりが得られない。そこで、毛呂山町の調査と同時に、斜面災害が発生する可能性のある地形を含む周辺市町についても、市町史・史料集等の災害記録を調べてみたが、これまでのところいずれの記録からも該当するものは発見できなかった。

#### 4. 大谷木小高正賢家文書

##### （安政2年地震害の拝借金に関する記録）

毛呂山町歴史民俗資料館（毛呂山町大字大類535）に安政江戸地震の被害に関する記録を問い合わせたところ、前出の毛呂山町史の記載とは別のページに、「安政2年地震害の拝借金に関する記録」が掲載されていることを教えていただいた。それは、2通の書簡で、1通は「地震により山が崩れて（土砂が）田畑を押し被せた」ので、災害復旧のために500両を借りたいと、3ヶ村の村役人が日光奉行に願ひ出た誓願書で、他の1通はこれに対して村に下された下知書である（資料1, 2）。

この文書は、現在の毛呂山町域で安政江戸地震による山崩れが生じたことを証明する確かな記録である。3ヶ村とは、阿諏訪村（現在の毛呂山町阿諏訪）、大谷木村（現在の毛呂山町大谷木）、瀧野入村（現在の毛呂山町滝ノ入）で、これらを合わせた範囲は東西約4.8km、南北約3.8kmに及ぶ。

町史に掲載された同文書には、被災地を特定できる地名がなく、被害状況についても詳述されていないので、原本にあたることにした。ところが、町史にはこの文書の原本が記載されていない。そこでやむを得ず、毛呂山町歴史民俗資料館の所蔵文書目録から該当する文書を探した。その結果、この文書はかつて毛呂山町大谷木の小高家に所蔵されていた「大谷木小高正賢家文書」（資料番号37）であることが判明した。しかし、この文書（原本）にも被災地に関して述べた箇所がなく、結局3ヶ村で山崩れが発生したという事実を知ることとどまる結果となった。

#### 5. 毛呂山町大谷木の旧家に伝わる 安政江戸地震被害の話

以上の通り、古文書からは山崩れ箇所の特定と発生状況について知るところまで到達できなかったが、その後、古文書調査でご協力いただいた毛呂山町歴史民俗資料館の内野勝裕町史編さん専門調査員より、「一ヶ所山崩れ箇所を特定できる情報がある。」との知らせを頂戴し、大谷木の山口満氏を紹介していただいた。

山口家は、鎌倉幕府の御家人宿谷氏の重臣（七騎筆頭）を祖とする旧家で、当主の山口満氏は毛呂山郷土史研究会会長を務める郷土史家である。氏は幼少時に曾祖母から昔の話を良く聞かされたそうで、その中に大地震の被害の話があったことを覚えているという。それは、「自分（曾祖母）が生まれる少し前に起きた大地震で、近所の岩沢で山崩れが起き、岩田では大谷木川の川岸の土地が沈んで岩が現れた。」というものである（図1）。

氏の曾祖母の生年は安政4年であり、生まれる少し前の大地震とは、まさしく安政2年の安政江戸地震であることは疑いない。地震は曾祖母が生まれる2年前に起きているので、直接体験したことを語ったものではないが、後に曾祖母が成長して親から聞いたことを曾孫の山口満氏に伝えたのであろう。筆記記録は残されていないが、当地で152年前に起きた事実を伝える貴重な証言である。

#### 6. 岩沢の山崩れ

安政江戸地震で山崩れが起きたという岩沢は、毛呂山総合公園西側の山地斜面である（毛呂山町大谷木岩沢前、写真1）。約1.5km西方の鎌北湖の南から延びる尾根の先端部がこの斜面で、全長300mほどの短い谷で山崩れが発生したとみられる（写真2）。

そこで、岩沢前の旧家、岩澤家を訪ねてお話を伺った。岩澤家は、鎌倉時代より続くとされる修験（山本坊配下岩本坊）の家系で、近くの山地にある「硯岩」や山頂に祭った「亥鹿明神」で

上

上野の書物も類止し

酒井三郎守行所由列入多能海軍令  
之より酒井三郎守行所由列入多能海軍令  
大谷川に於て酒井三郎守行所由列入多能海軍令  
因に酒井三郎守行所由列入多能海軍令  
山明生来由知也押冠一頁等初と新原信之  
常 所役可振申合前所全て内五百石  
信任之能成也一石姓相續の爲に之を  
由信信之 信有之り是出りて五箇月と  
之利を爲す也少くも此地に之の年其全  
之由是也年々上常 所役可振申之  
其より方上前之積戸一切信之に爲り委  
之より多能海軍田畑質地所法取上り申之

信有之り是出りて五箇月と  
一三月中上野藩小寺一返村を野原信之

( 中略 )

右願し由信信之 作月りり其方  
信有之り是出りて五箇月と  
之より酒井三郎守行所由列入多能海軍令

酒井三郎守行  
所由列入

大谷川  
に於て酒井三郎

安政二年十月十日

酒井三郎守行  
所由列入  
大谷川  
に於て酒井三郎

日光  
酒奉行所様

( 傍線筆者 )

資料 1 大谷木小高正賢家文書（部分，毛呂山町歴史民俗資料館蔵）  
傍線部に、安政2年10月2日夜に起きた地震で山崩れが発生し、（土砂が）田畑に押し被せたこ  
とが記されている。

日光

御役所御貸付金引続村方江之下知写  
右拝借金村方より願書写

卯（安政2年、1855）十一月廿四日

「下知書 武州入間郡 澁野入村  
阿諏訪村  
大谷木村  
各役人共々江」

下知書

一其村方荒地起返方心配之折柄去  
月二日夜地震ニ而山崩之場所出来  
田畑江押冠候二付、弥以（いよいよもって）難波致候間  
百姓為相続日光  
御役所御貸付金之内五百兩（改頁）  
拝借仕候上者、右元利返納皆済相成  
申候納高二応し年々物成相渡桑村  
方江引取無滞（とどころりなく）上納可致候。依之下知  
書如件  
安政二卯年十一月

酒井老枝守内  
澁 昌介 印  
秋盛民右衛門 印  
武州入間郡  
澁野入村  
名主  
太兵衛 印  
組頭  
重兵衛 印  
百姓代  
要右衛門 印  
同州同郡  
阿諏訪村  
年番名主  
民 八 印  
組頭  
東作 印  
百姓代  
弥之助 印  
同州同郡  
大谷木村  
名主  
左文次 印  
組頭  
万右衛門 印  
百姓代  
源兵衛 印

表書之通相違無之（これなき）者也  
酒井老枝守 印

資料 2 大谷木小高正賢家文書解読文（全文）

東京大学地震研究所 都司嘉宣氏 解読

（この文書は原本を写したもので、下知書が先、請願書が後という順になっている。）

「上」

乍恐以書付奉願上候

（おそれながらきつけをもってねがいあげたてまつりそうろう）

酒井老枝守知行所武州入間郡澁野入村

高武百四拾石余、阿諏訪村高百九拾六石余

大谷木村高百六拾貳石余御座候得共（ござそうらえども）連々

困窮仕手余荒地出来候上去月二日夜地震ニ而

山崩出来田畑江押冠一同必至而難波仕候二付

当 御役所御貸付金之内五百兩拜

借仕（つかまつり）、荒地起返し百姓相続手当仕度（つかまつりたく）、尤（もつとも）

御拝借被 仰付被下置候ハゞ

（おおせつけくだしおかれそうらわば

＝お金を貸してやれと部下に御命じになられましたら）返納方之儀ハ

元利皆済相成候まで地頭江可納（おさめるべき）年買金

之内を以て年々当 御役所様江無滞（とどころりなく）

村方より上納仕（つかまつり）候積。万一相滞候節ハ為引当

差上置可申田畑質地所御取上御私ニ被

仰付候節者代金を御買受可申其節ニ至り

一言申上聞敷候。

（借金返済が滞ったときは田畑が取り上げられ

売り払われても一言も文句は言いません）

右之趣村々対談仕地頭

役場へ中置候処、物成金返納皆済まで当

御役所様江差上可申間、村方へ下知状相渡し

私共可罷出（まかりいでべく）可相願（あいねがうべき）旨被申（もうさるに）付

縁翰被相渡候間

何卒（なにとぞ）以 御慈悲金五百兩御拝借被

仰付被下置候ハゞ村々一同相助雖有仕合（あいたすかりありがたきしあわせ）

奉存候（ぞんじたてまつりそうろう）

右願之通拝借被 仰付候ハゞ村方

質地所為御改御役人中様御越御見分被成下（ごけんぶんなしくされ）

之様仕度、此段一同奉願上候（ねがいあげたてまつりそうろう）。以上

酒井老枝守内

武州入間郡

阿諏訪村

大谷木村

右貳ヶ村代兼

澁野入村

百姓代

伝左衛門 印

組頭

重兵衛 印

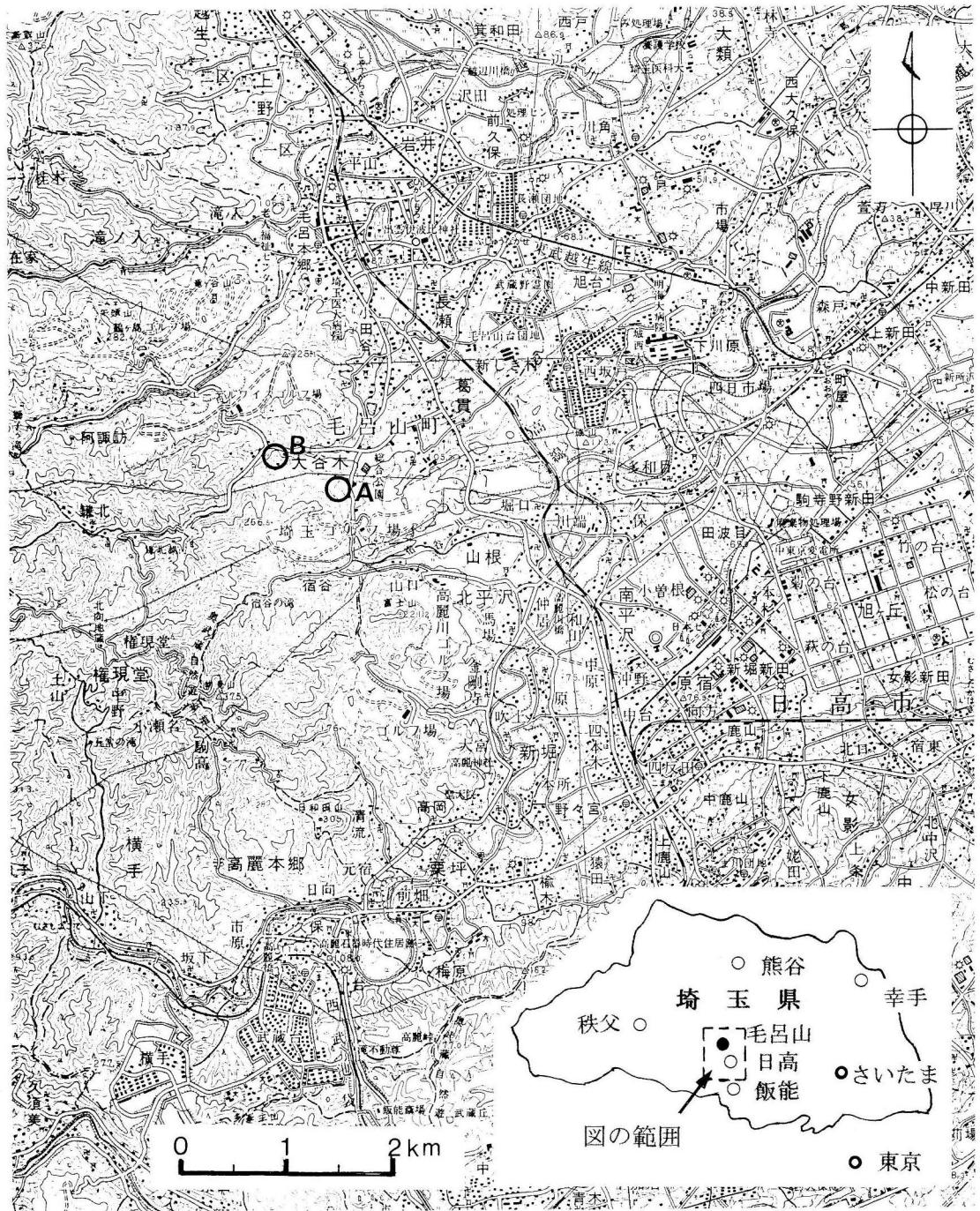
名主

太兵衛 印

安政二卯年十一月十四日

日光

御奉行所様



- A 1855年安政江戸地震で発生した山崩れ箇所（毛呂山町大谷木岩沢）
- B 1855年安政江戸地震で発生した地盤沈下箇所（毛呂山町大谷木日影〔岩田〕）

図1 毛呂山町大谷木の1855年安政江戸地震被災地

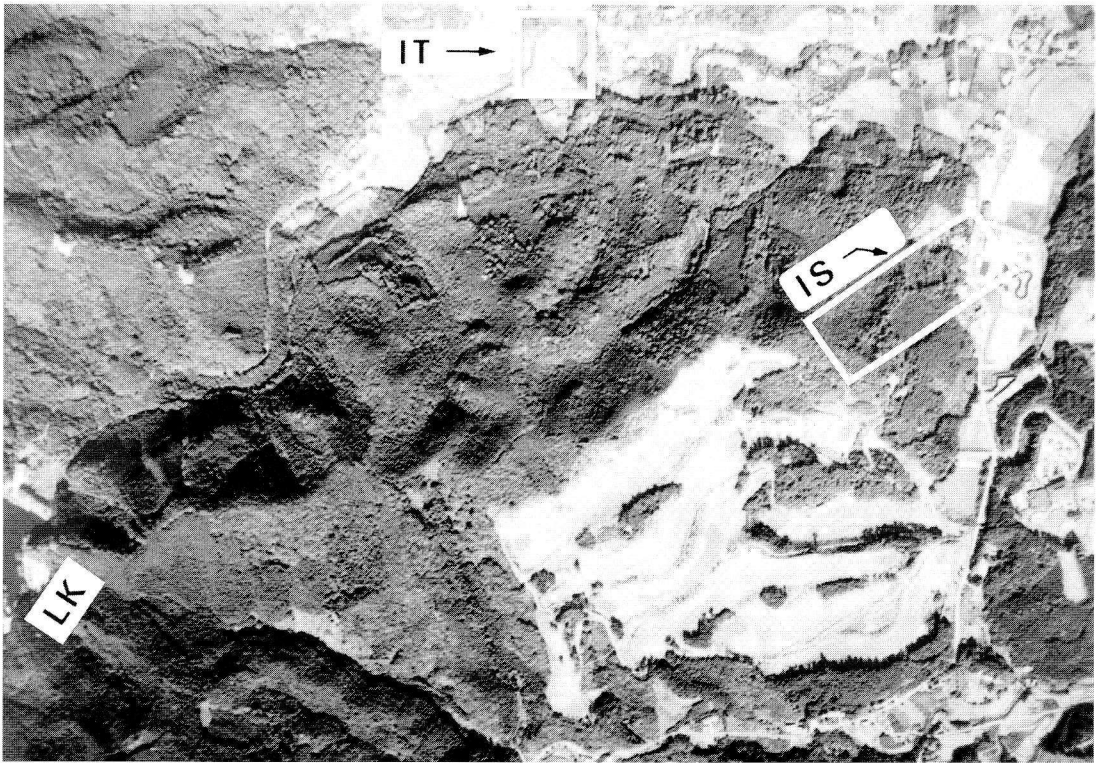


写真 1 毛呂山町大谷木被災地周辺の空中写真  
 昭和 59 年 建設省国土地理院 撮影  
 IS : 岩沢の山崩れ跡地, IT : 岩田の地盤沈下跡地, LK : 鎌北湖

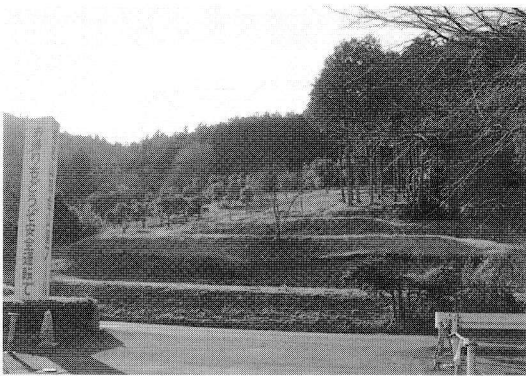


写真 2 岩沢の谷  
 過去に度々、豪雨や地震で大量の土砂が押し出していた谷（公園看板の右手奥）。現在、谷口の北側緩斜面（写真中央）は、特産のゆずの果樹園として利用。

雨乞いを行ってきたそうである。山麓斜面には「堂庭」ないし「堂平」と呼ぶ小平坦地があり、かつてはここに観音堂があったという。

背後の谷が大水や地震でたびたび崩れ、大量の土砂が押し出して、山麓は被害を被ってきた。岩澤家当主の岩澤 弘氏および山口 満氏の話、山口氏の書簡（町の残土処理計画に対する意見書）の内容を総合すると、この地における被害の概況は次のようなものである。天明 8 年（寛政元年、1789 年）の大洪水（「天明の大荒れ」）をもたらした集中豪雨で、亥鹿明神（のある峰の）北面が崩落し、斜面の立木とともに観音堂が押し流され、大量の土砂が低地を埋めた。この低地は、江戸期初期より観音堂本尊の聖観音に因んで「観音免」とされた年貢免除地で、近年では「岩沢耕地」と呼ばれてきた。

安政 2 年（1855 年）の安政江戸地震で岩沢の谷

に山崩れが起きた（前述の山口氏曾祖母の話による。岩澤家では、この地震での被害状況は伝えられていない。）

明治43年（1910年）、集中豪雨（「43年の大水」）により、天明8年の時と同様に亥鹿明神（のある峰の）北面が山鳴りの中で崩落し、立木、土砂が岩沢耕地に達した。山鳴りに気付いた当時の岩澤家当主は、急遽本尊や法具を観音堂から持ち出して、安全な母屋に移した。その直後に観音堂は押し流され、以後再建されることはなかった。戦後間もなく、岩沢耕地暗渠排水工事業（農地改良）が実施された際、地下2尺（約60cm）ほどの地中から夥しい松丸太や雑木が生木状態で出土した。

以上の通り、岩沢の谷はこれまでに幾度も山崩れを起こしており、岩澤弘氏によると、岩沢耕地（現在の毛呂山総合公園）には流出土砂が10mくらい堆積しているという。

山崩れが起きる沢は、亥鹿明神奥宮の峰（標高219.6m、国土地理院「2,500分の1国土基本図」の299.6mは誤記）の東斜面に水源を持つ沢で、支流はない。その下流、全体の半分ほどは緩やかな堆積地形をなす。標高約110mの山麓より、138m付近までは11~12°の緩勾配であるが、これより160mの谷頭までは21~22°に変換し、谷幅が狭くなる（図2）。

この沢の谷頭より仰ぐ峰が、この辺りの最高点、すなわち、かつて亥鹿明神奥宮が祭られていた峰である。この峰の東方へ120m離れたやや低い峰が、亥鹿明神中宮が祭られていた峰である。これらの峰の頂上や北側斜面直下には多くの露岩が見られる。

## 7. 岩田の地盤沈下

岩田という地名は、大谷木（大字）、日影（小字）の中の小地名で、一般には地図に記載されていない。鎌北湖へ向かう県道の登池橋より大谷木川沿いに600mほど上ると、河道が大きく北に曲がる場所があり、地元ではこの辺りを岩田と呼んでいる（図2）。

岩田は幅150mほどの谷底平野の中にあり、水田が広がっている（写真1）。山口満氏によると、現在の岩田付近は安政江戸地震の前までは、自然の土砂が埋めた土地であったが、地震の際に土地が沈下して、岩盤が抜け上がるように現れた（曾祖母談）という。水田に利用されるようになったのは、地震後のことだそうである。

現在の岩田では、大谷木川が曲流を始める屈曲部の右岸に、岩盤が河床から水田面までの低崖に露出し（河岸延長7.5m、幅5.4m、河床からの高さ2.7m）、水田面より上に50cm突出している。山口氏によると、この地点より少し離れた位置（南東へ数m以内か？）にも地表に岩盤が出ていたそうである。しかし、近年水田内の岩はその突出部が人為的に削り取られたために、現在は全く見ることができない（写真3、4）。

また、今残っている岩にはのみ跡があり、これまでに石材として利用するために削られてきたようで、この岩も水田面上に突出した時に比べて、多少低くなっている可能性がある。

岩田より1.3kmほど県道を東へ下った所（大谷木石原ヶ谷戸）に、毛呂山台団地方面に向かう道の分岐点がある。この分岐点には、馬頭尊（馬頭観世音）が建てられている。この馬頭尊に使われている石は、岩田に出ていた岩盤の一部を切り取り、修羅に載せて2日かけてこの地まで運んだものであるという。日露戦争で軍馬として徴発された地元の馬が供養されているそうである。

## 8. 岩沢西方の地質と越生断層

岩沢西方の山地は、秩父中・古生層の堆積岩で構成される。その大半は層状チャートで、硬質のため峰の頂部や直下の急斜面、谷の側壁等に幅数m~数10mの露岩として見られる（写真5）。尾根の峰と峰の間の鞍部には、しばしばチャート層中に挟在する泥質凝灰岩層があり、差別浸食による凹凸のある地形が形成されている。地層の平均的な走向・傾斜は、NW-SE・30~80°Sである。このような岩相、構造の一般的特徴は、この地域より南に続く物見山から日和田山にかけての山城

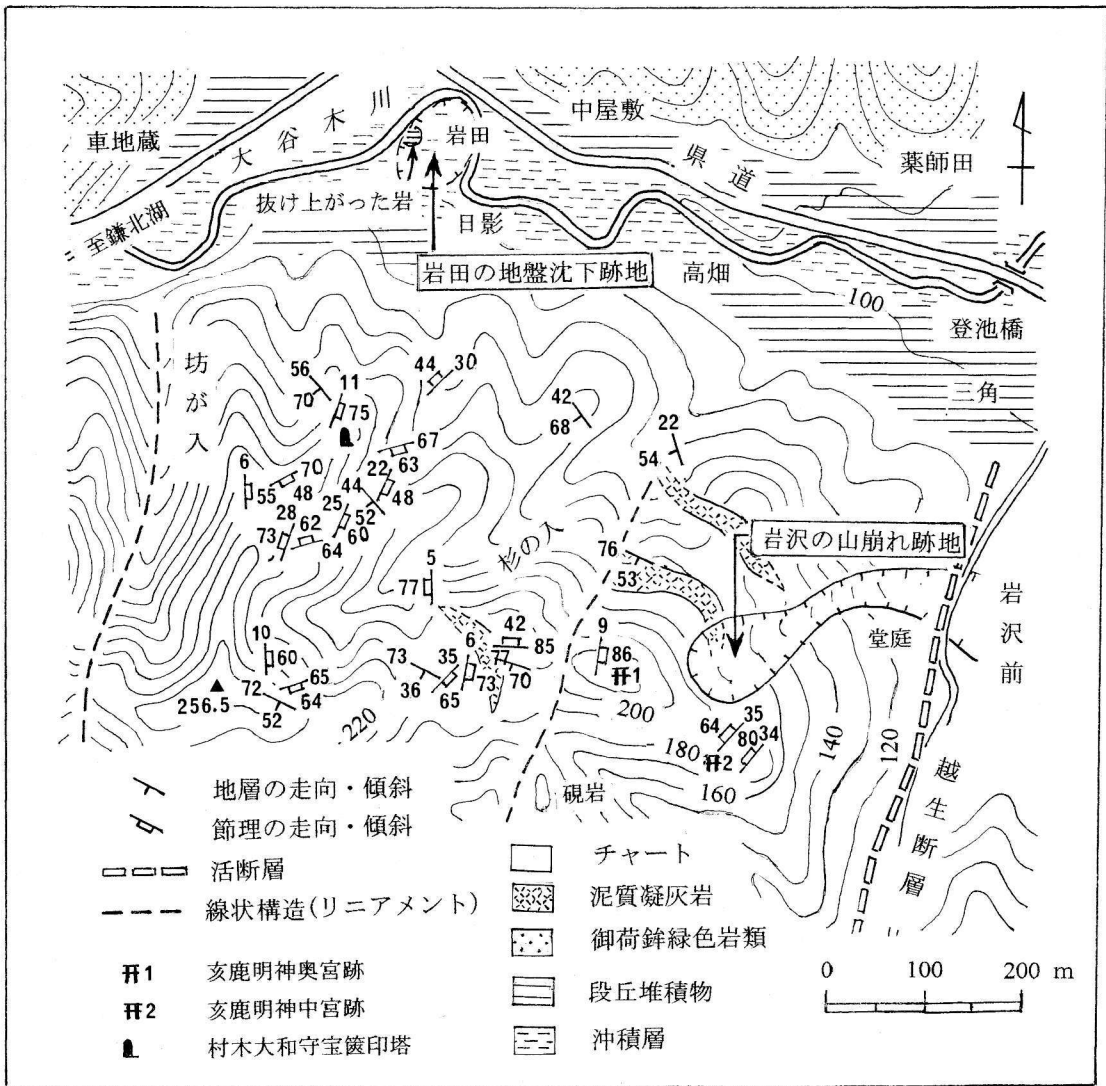


図2 被災地周辺の地質

のそれと変わらない。なお、チャート層には節理が発達するが、この地域では南北性 (N 0~30°E または W)、急傾斜 (50~90°N または S) が顕著である (図2)。

毛呂山総合公園 (旧岩沢耕地) のある谷にはわずかな水流しかないが、かつては葛川 (高麗川支流) の上流が流れ、岩沢前より 400m ほど南 (粕入) でほぼ直角に西に向きを変え、およそ 500m 上った所に水源があった。この辺りはゴルフ場の造成により改変され、今では原地形がわかりにくくなっているが、毛呂山総合公園から南下する谷

は、西へ向かう浸食谷と分かれて、そのまま南へ続く。この谷は、低い分水界を越えて宿谷川の谷を横断し、その延長は富士山 (221.2m) の西麓を通過して、日高市清流の谷に至る。古来、地元で「鎌倉街道」と呼ばれる道がこの谷を通り、人々が行き来したのも、起伏が少なく通りやすい地形であることで領ける。なお、この鎌倉街道は毛呂山町の東部を南北に通る真の鎌倉街道とは別である。

この直線状の谷地形は断層谷であり、日高市栗坪付近から北上する高麗川流路沿いの断層線とともに、外秩父山地と関東平野の構造的な境界であ





**写真 3** 現在の岩田  
大谷木川右岸の一部に露出する基盤岩.  
1855年安政江戸地震で地面が低下し、  
岩が現れたという。



**写真 4** 平成5年頃の岩田  
平成11年の基盤整備事業が実施される  
前は、川岸の岩の他に水田上に突出した  
岩(矢印)があった[村本(1993)の掲  
載写真に加筆]。

る八王子構造線を構成する断層が通っていると考えられる。この断層は活断層研究会(1991a)が越生断層の名で記載している3本の活断層のうち最も南のものに相当する。同研究会は、越生断層を确实度Ⅱ(推定断層)、活動度C(平均変位速度が1,000年に1cm以上10cm未満)に認定し、長さ(3本の総延長)13kmとしている(図3)。

越生断層の活動歴は不明で、1923年関東地震(M7.9)や1931年西埼玉地震(M6.9)等の被害



**写真 5** 峰下の岩壁  
外秩父山地の秩父中・古生層分布域では、  
峰の直下の急斜面にしばしば大きな  
チャートの岩壁が見られる(写真は、坊  
の入東隣りの谷の谷頭)。

地震で活動した事実は知られていない。しかし、安政江戸地震を含め、過去に発生した大地震の際は、弱線として強震動を伝えた可能性がある。安政江戸地震では越生断層の沿線に位置する岩沢の山頂付近の岩盤が崩落したものとみられる。

## 9. 岩沢の谷の地盤条件と山崩れの関係

豪雨によっても繰り返し崩壊する岩沢の斜面には、何らかの局地的な構造的な原因もあるのかも知れない。前述の通り、岩沢西方の山地はNW-SE、 $30\sim 80^{\circ}$ Sの走向・傾斜で、岩沢の谷では「受け盤」の関係になるため、地層構造が崩れやすい条件とは言えない(図2)。

一方、節理は越生断層と同方向の南北性の走向が顕著で、全体に南北方向の浸食谷が多いのも節理方向に支配されている結果と考えられ、節理面に沿う岩盤の風化・剥離が進み、崩壊の誘因となっている可能性はある。ところが、現在の岩沢の谷は安定していて、谷底・谷壁ともに斜面は一樣に厚い表土・植生に覆われ、地元で「喰い抜け」と呼ばれる斜面崩壊跡の凹地は見られない。標高160~170mが谷頭であるが、既述のようにさらに上の標高180m付近から峰(亥鹿明神中宮の峰、約192m)にかけてチャートが広く露出して

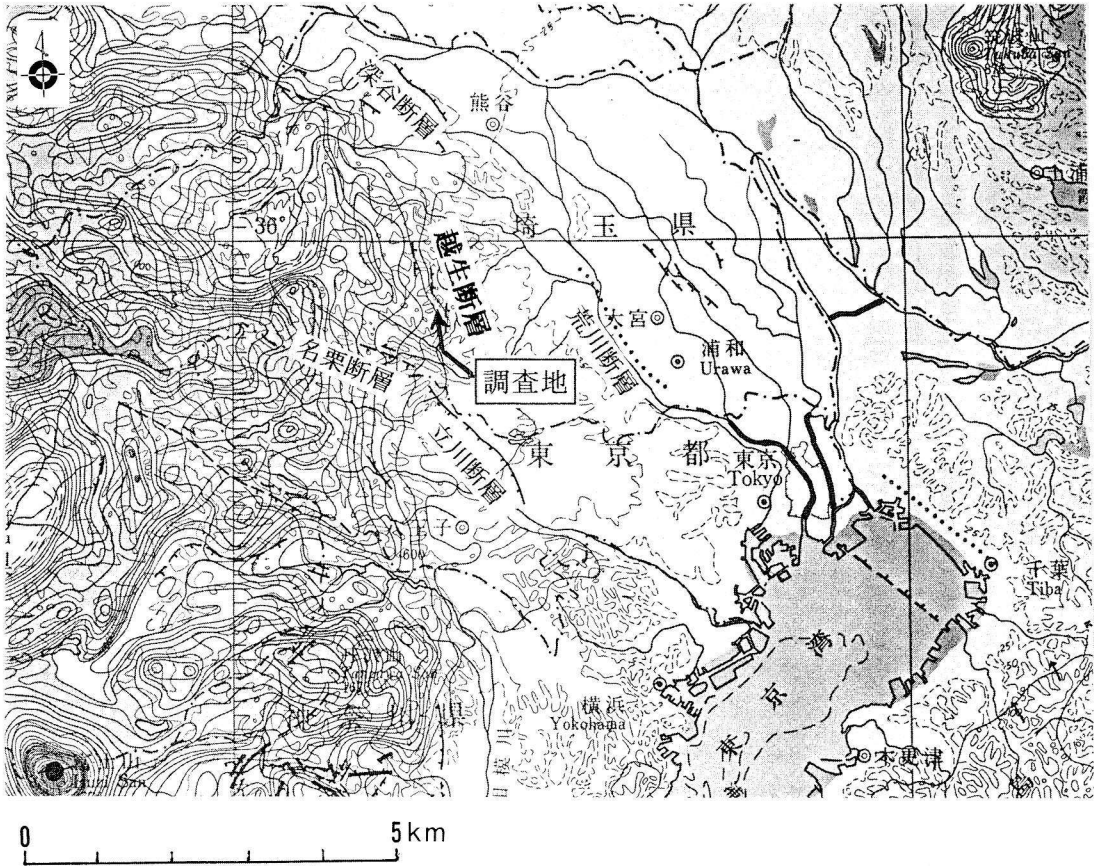


図3 越生断層の位置  
活断層研究会(1991b)に加筆.

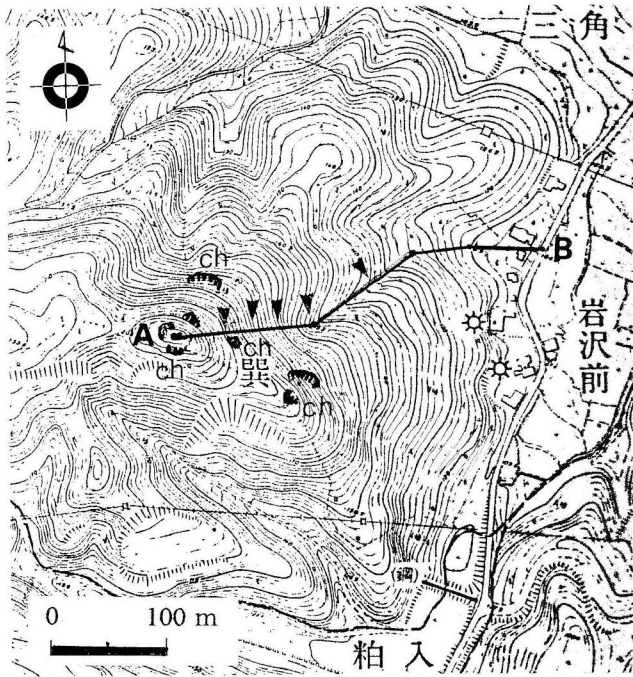
おり、あるいは崩壊の発生域はこの辺りまで達したのかも知れない(図4)。この峰の付近でも南北性の節理が発達している。

これより西へ120m離れた「亥鹿明神奥宮の峰(219.6m)」の北西斜面には、ほぼ真北へ向かう谷の谷頭がある。標高170m付近でこの谷を横断する山道沿いに、全長15mにわたり基盤岩が現れた露頭がある。この露頭は、チャートに挟むる灰褐色の泥質凝灰岩が見られる、この付近では希少な場所である。この岩石は南方の物見山～日和田山でもチャートとともに秩父中・古生層を構成している。

泥質凝灰岩は硬質のチャートとは対照的に軟質であるため、風化しやすい性質を持つ。先にもふれたように、差別浸食によりチャートに比べて地

表が低下しやすく、尾根では鞍部をつくることが多い。「亥鹿明神奥宮の峰」北西の谷の露頭では泥質凝灰岩が風化し、特に谷底部は赤褐色に粘土化して、浸食を促進させる条件を備えていることがわかる(写真6)。

この泥質凝灰岩層の層厚は不明であるが、下位のチャート層の走行・傾斜がN76°W, 53°Sであり、その東方への延長は岩沢の谷の谷頭付近に達する可能性がある。現在の岩沢の谷は、谷頭部も含めて厚い崩積土と植被のために、泥質凝灰岩層の有無を確認できない。しかし、延長部が存在すると仮定すれば、「受け盤」ではあるが風化しやすい泥質凝灰岩層の破壊が進行し、上位のチャート層を重力的に不安定化させるため、地震動や豪雨を引き金に崩壊が発生することが考えられる。



- A 亥鹿明神奥宮の峰(219.6m)
- B 毛呂山総合公園プール前の道路(104.0m)
- 断面線
- ▼ 傾斜変換点
- ch 露岩(チャート)

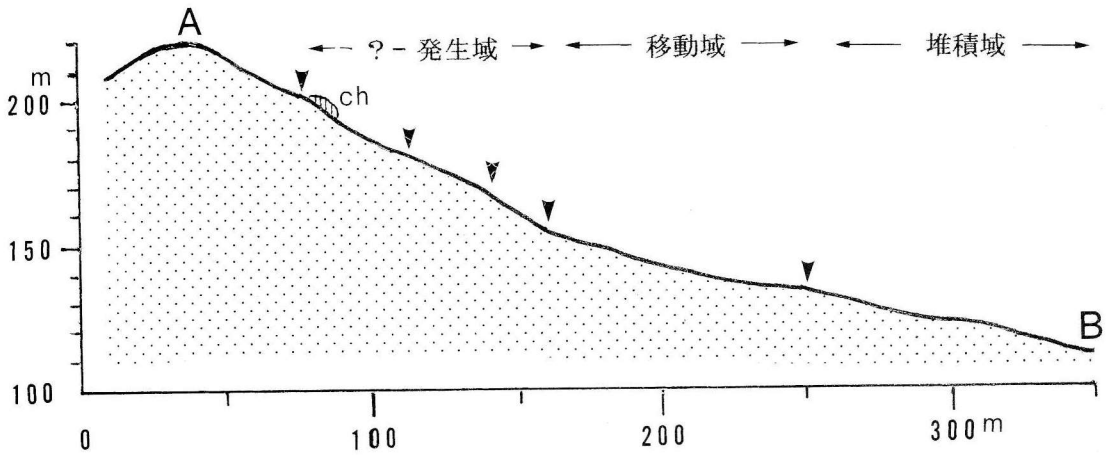


図4 岩沢の谷の縦断面

### 10. 岩田の地盤沈下の原因

安政江戸地震で起きたとされる岩田の地盤沈下は、記録されたものがなく、その範囲と沈下量については不明である。しかし、他の地震災害から類推するに、おそらく大谷木川の谷の沖積地全体が強震動により、液状化を起こしたのであろう。

地盤沈下は岩田以外の場所でも生じたのかも知れない。

岩田では地表面の低下と同時に、隠れていた基盤岩の一部が相対的に抜け上がり、以後地表面上に露出していたが、前述の通りその一部が人為的に除去され、現在は川岸の岩のみが見られる。この岩は、過去に人為的に上面が削られているとすると、その減少分の高さに岩の上の表土の厚さを



写真 6 「杉の入」支流の谷の粘土化した泥質凝灰岩層  
山崩れを起こしやすい地盤条件の1つに挙げられる。

加えた高さが地震前の地表の高さになる。

今も残っている川岸の岩は、地表面より 50 cm ほど突出し、近年まで存在した水田内の岩の突出部の高さもほぼ同程度かと思われる(写真 4)。したがって、地震前までは現在より少なくとも数 10 cm を超える高さ(約 50 cm + 除去された岩の高さ + 岩石上の表土の厚さ)に当時の地表面があったことになる。地割れや噴砂・噴水等の記録はなく、詳細な発生状況は明らかでないが、激しい震動で地下の堆積物が流動し、地表が瞬時に低下したのであろう。

川岸の岩石は粗粒結晶が特徴的な青灰色の貫入岩である。地元では「青権兵衛」としているようであるが、大谷木川の谷の北側山地に見られる「青権兵衛」(御荷鉾緑色岩)とは別種である(「地元住民は、「権兵衛石」と総称する基盤岩のうち、片理の発達した灰緑色の御荷鉾緑色岩を「青権兵衛」として、灰褐色泥質凝灰岩の「赤権兵衛」と区別)。

岩田より大谷木川の上流へ 200 m ほど行くと、車地蔵という字名の場所がある。南の山麓に「坊が入(棒ヶ入)」と呼ばれる沢の谷口がある(図 1)。この沢は南北方向の深い直線的な谷中を流れ、沢口より 300 m にわたり支流を持たない。その谷頭は亥鹿明神の峰から続く尾根の北面にあるが、南面からも同様の直線的な谷がさらに南へ

400 m ほど伸び、宿谷川の谷に至る。

これらの谷は南北性の線状構造(リニアメント)として認められ、断層谷の可能性が考えられる。坊が入は大雨で土石流が発生しやすく、山口満氏によると、大谷木川の河道が沢口前を北へ迂回しているのは、排出した土砂によるものであるという。

坊が入の沢口付近(左岸側)には、かつて諏訪神社という神社があり、その近くに六角柱形の「車地蔵」と呼ばれる石塔があった。車地蔵は明治 43 年の豪雨で坊が入の谷から出た土砂により押し流され、埋没してしまったが、大正年間になって発見され、沢と大谷木川の合流点付近に建て直された。この辺りはかつて「亀石」という地名であったが、「車地蔵」に改称され、近年車地蔵はさらに県道脇に移設されている。

坊ヶ入の東側の尾根は、標高 256.5 m の四等三角点のある峰より真北に伸びる尾根で、その先端斜面に水源を持つ小沢(3 本)もこれまでに度々荒れている。尾根の先端部分はさらに二股に分かれるが、東の枝尾根の標高 197.5 m 地点に宝篋印塔が建っている。山口氏によると、この石塔も明治 43 年の豪雨で押し流されたが、山麓で発見され、後に元の位置より幾分低い現在地に設置されたという。

岩沢と同様に、坊が入とその東の小沢も過去に幾度か大きな土砂災害を引き起こしているが、その中に地震が原因のものがあるか否かは不明である。しかし、坊が入の線状構造や崩れやすい地質など、断層が関与した地盤条件があるのかも知れない。さらに、岩田の地盤沈下も局地的な現象と仮定するなら、断層線に沿う地盤の変形ととらえることもできる。この点を明らかにするには、岩田とその周辺の大谷木川沖積低地の基盤高度や構造を知る必要がある。

## 11. 秩父中・古生層と御荷鉾変成岩類の 分布・境界と東西性断層

登池橋付近から車地蔵にかけての大谷木川の谷は、南北の異なる地質を分ける境界でもある。南

側は、広く高麗川・入間川の流域を占める秩父中・古生層の堆積岩類で構成される地域の一部である。一方、北側は上武山地の御荷鉾山付近から外秩父山地北部にかけて断続的に見られる、御荷鉾緑色岩類の最南端分布地である。

両者がどのような境界で接しているか、確認できる露頭はない。これまでに公刊された地質図では、大谷木川流路近くに境界線を引いたり、谷底の第四系（段丘堆積物・沖積層）を境に南北山地をそれぞれ区分しているもの（通商産業省工業技術院地質調査所，1989；関東地方土木地質図編纂委員会，1996；埼玉県農林部林務課，1998）の他に、大谷木川流路に沿う断層（推定断層）を以て境界とするように表現されているものもある（埼玉県，1974；埼玉県政情報センター，1995）。秩父中・古生層と御荷鉾緑色岩類の接触関係や境界位置に関する詳細は、今後の調査に委ねることにするが、大谷木川の谷に沿う地帯に大きな地質境界が存在することは事実である。

毛呂山町の地質に詳しい西川正巳氏（埼玉県立日高高等学校）によると、この地域の南東方、日高市上大寺<sup>かみおおでら</sup>の宿谷川沿いの崖に、秩父中・古生層と第三～四系の飯能礫層が断層で接する露頭があるという。西川氏はさらに、この断層の走向はWNW-ESEで、その北方への延長は毛呂山丘陵を斜めに横断し、岩沢付近から山地北斜面を抜けて（ケルン・コル，ケルン・バットと思しき地形を指摘）、岩田の近くに達している可能性があるという見解を示している。

この断層の延長は、越生断層を横断する位置で変位していることも考慮する必要があるが、岩沢から岩田方面へ続くとするなら、このような断層が山崩れ・地盤沈下といった地震災害に関わっていると考えることもできる。

同様の東西性の断層は、その位置は異なるが、すでに故村本達郎埼玉大学名誉教授（地理学）によっても想定されている。村本氏は岩田の西方、「入<sup>いり</sup>」の旧家に生まれ、地元の地理・歴史・自然について調査・見聞されたことを「大谷木中央部落覚書」として、毛呂山郷土史研究会発行「あゆみ」に連載された。前述した、坊が入東側の尾根上に

ある宝篋印塔は、村本氏の遠祖、村木大和守の供養塔である。

村本氏は、「大谷木の岩沢付近は、秩父古生層と御荷鉾層との構造的断層が、関東地方で最も南部にあり、地上では最も低い所で、広い構造面（即ち断層面）に浸み込んだ水が、最も多量に流出している所である。」と述べている（村本，1993）。さらに、江戸時代には大谷木村と宿谷村の村境が、現在の大字大谷木と大字宿谷の境界より南に位置していることから、粕入から西へ向かう谷の沢（氏は「岩沢川」と仮称）が当時の岩沢と推察し、「この辺が秩父系と御荷鉾系の岩石の構造線つまり或る意味での断層線で、その地下に或いは山の方に、広く断層線が広がっている筈である。その断層面に広く溜った地下水が（ ）岩沢川として流れ、そして大谷木村方面の岩沢前とある水田方面に流れているのである。」という見解も示している（村本，1992）。

## 12. 断層と湧水

村本達郎氏は上記の断層の延長が車地蔵に達すると考え、「この大きな断層面は単に岩沢にのみ泉となっているのではない。断層面をほぼ直角に浸食して流れる大谷木川は、大谷木中央部落の中央あたりで、断層面からの湧水を入れて流れているのである。小字車地蔵付近の大谷木川に『しみず』と呼ばれる淵がある。ここは秩父系の固い巨大な石が重なっていて、深い淵となっている。（中略）ここに断層面からの湧水があることは、恐らく沿岸が水田化される江戸時代になってから知られ、『しみず』とこの淵を呼ぶようになったのであろう。」と述べている（村本，1992）。

村本氏の想定する断層線の粕入から西へ向かう区間は東西性の断層で、安定的な水量の岩沢の水流が広い断層面に溜った水を起源とするという考えによるものである。西川正巳氏の東西性断層と同様に、越生断層と直交する方向性の断層が存在する可能性もある。ただし、村本氏が「あゆみ」第19号（1993）に掲載した地質図で表現された見解のうち、粕入の断層が北へ大きく屈曲して南北

方向に転じた後に車地蔵に達しているとするには検討が必要で、また、この断層線の北東側の山域がすべて「御荷鉾変成岩層」(本稿の御荷鉾緑色岩類)として、南西側の秩父系(本稿の秩父中・古生層)と断層で接しているとする点については、実際の岩石分布に合わないため、支持しかねることを付言したい。

断層の位置、規模、数、地質境界との関係など、検討すべき課題は多いが、このような急斜面の多い山地で、安定的な量の水を供給する沢や湧水などからは、断層の存在を想定することができる。

村本氏が着目した車地蔵の「しみず」は、坊が入の沢口より大谷木川を約200m上った「あぶらいし」付近と推定される(山口氏による)。岩沢とともに興味深い場所である。岩沢にはその昔、日照りでも涸れることなく湧く泉があり、山の獣たちが水を飲みに来ていたという話が伝えられている。

安政江戸地震の際、この地域の断層に顕著な活動(変位)があったとは考えにくい、地震災害を起こしやすい地盤条件に断層が関与している可能性は多分にあるはずである。詳細は今後の調査の進展に期待したい。

## 12. ま と め

1855年安政江戸地震の現埼玉県域における被害は、東部で顕著であったことが記録に残されているが、西部でも入間郡で山崩れがあったことが、わずかに記録されている。従来、山崩れの発生位置については不明であったが、この度、毛呂山町に残る古文書と地元旧家からの聞き取りにより、その一部を特定することができ、新たに液状化によると思われる地盤沈下が発生した場所も知ることができた。

埼玉県は、平成元~2年度に実施した「大規模地震被害想定調査」で、1855年安政江戸地震が再来した場合を想定した被害予測を行っている。それによると、毛呂山町大谷木地区は震度3以下で、液状化可能性は「なし」に判定されている。本報告の結果はこうした予測値の見直し(震度6

以上、液状化可能性「やや高い」以上?)を要するものである。

今後は、さらに広域的な地震災害情報の収集と地盤条件に関する調査が実施され、将来の地震被害の予測に歴史地震の現地記録が活用されることが望まれる。本報告の概要をまとめると、次のようになる。

- 1) 毛呂山町大谷木「小高正賢文書」に、阿諏訪村・大谷木村・瀧野入村の3ヶ村(安政年間当時)において、安政江戸地震により複数箇所で山崩れが発生したことが記されている。
- 2) 毛呂山町大谷木の旧家、山口家当主が安政年間生まれの曾祖母より、安政江戸地震の際に近所の岩沢および岩田で、それぞれ山崩れと土地の低下(地盤沈下)が起きたことを直接聞いている。
- 3) 岩沢の谷は、活断層の越生断層(確実度Ⅱ、活動度C)に近く、同断層を伝播した強震動により、山崩れを起こしたことが考えられる。
- 4) 岩沢の谷では豪雨による山崩れも度々発生しており、山崩れを起こしやすい地盤条件は、安定化した現況では不詳である。硬質のチャート層に発達する、南北性の節理に沿う風化・剥離が進む他に、谷頭付近に軟質の泥質凝灰岩層が想定でき、斜面を不安定化させている可能性がある。
- 5) 岩田の地盤沈下は、基盤岩の抜け上がりに伴うもので、大谷木川の沖積地が液状化を起こしたことによると推定される。基盤構造は不明であるが、近くに豪雨時に土石流被害を出す沢があり、線状構造から南北性の断層が関係している可能性がある。
- 6) 大谷木川の谷に沿う地帯に秩父中・古生層と御荷鉾緑色岩類の境界が存在するが、その位置は確定できない。大谷木川の南の山域には東西性断層を推定することもでき、岩沢の山崩れや岩田の地盤沈下に関係している可能性もある。

### 13. おわりに

当地としては極めて希なことに、前年末に山里でクマの目撃例があり、現地調査に遅れが生じた。そのため若干の課題を残しているが、諸般の事情により、ここで現在までに得られた結果を報告をすることにした。今後も周辺に調査地域を広げ、本研究を継続する予定である。

#### 謝辞

本報告の調査は、多くの方々のご協力に支えられ、希少な記録・情報に接する幸運にも恵まれて実施することができ、多くの知見を得ることができた。

毛呂山歴史民俗資料館の内野勝裕町史編さん専門調査員および同資料館の寺島正芳主任学芸員には、多忙な時期にもかかわらず、快く史料調査にご協力いただいた。特に内野氏は、地元の旧家を何軒も訪ねて、本研究を始める契機となった貴重な情報を提供して下さいました。

東京大学地震研究所の都司嘉宣准教授には、「大谷木小高正賢家文書」を解読していただき、毛呂山町の3ヶ村(当時)で安政江戸地震の際に山崩れが起きていた事実を確認していただいた。

毛呂山郷土史研究会会長の山口 満氏からは、ご自身が曾お婆様から聞かれた貴重なお話や郷土の歴史を聞かせていただき、大谷木川の現地案内までしていただいた。往年見聞された様々なことをよく記憶されていて、毛呂山町の歴史・自然に精通されている同氏からは、実に多くの現地の知識・情報を得ることができた。

毛呂山町大谷木岩沢前の岩澤 弘氏からは、岩沢の谷で起きた山崩れや岩沢の歴史について教えていただき、調査のための入山を快諾していただいた。

埼玉県立日高高等学校の西川正巳氏には、現地の地質全般についてご教示いただき、岩石および地質構造に関する示唆に富んだ有益なご意見を頂戴した。

以上ここに記して、お世話になった方々に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 宇佐美龍夫(1987):新編日本被害地震総覧. 東京大学出版会.  
宇津徳治・嶋 悦三・吉井敏尅・山科健一郎(1987):地震の事典. 朝倉書店.  
活断層研究会(1991a):新編日本の活断層. 東京大学出版会.  
活断層研究会(1991b):日本の活断層図. 東京大学出版会.  
埼玉県(1974):埼玉県地質図.  
埼玉県政情報センター(1995):埼玉県表層地質図.  
埼玉県農林部林務課(1998):埼玉県地質図(山地・丘陵地).  
東京大学地震研究所(1985):新収日本地震史料第5巻別巻2ノ2. 社団法人日本電気協会.  
通商産業省工業技術院地質調査所(1989):日本地質図大系「関東地方」(42. 関東平野西部の地質と地形II, 西縁丘陵地域). 朝倉書店.  
土木地質図編纂委員会(1996):関東地方土木地質図解説書(関東地方土木地質図1). 国土開発技術研究センター.  
日本電気協会(1994):わが国の歴史地震被害一覧表. 社団法人日本電気協会.  
村本達郎(1992):大谷木中央部落覚書(2). あゆみ, 18, 1-10(毛呂山郷土史研究会).  
村本達郎(1993):大谷木中央部落覚書(3). あゆみ, 19, 2-15(毛呂山郷土史研究会).  
毛呂山町史編さん委員会(1978):毛呂山町史. 毛呂山町.

新井健司

[あらい けんじ]

現職 上武大学経営情報学部教授

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

研究分野 地形学, 地質学

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



# 原子力発電所の新しい耐震指針

—何がどう変わったのか—

大竹政和

昨年(2007年)の9月に原子力発電所の耐震指針が改訂された。1981年(昭和56年)の指針制定以来、25年ぶりの大改訂である。新しい指針では、この間の科学と技術の進歩を踏まえて内容の高度化、近代化が図られた。同時に、改訂前の旧指針にはなかった新しい考え方も導入された。耐震指針の何がどう変わったのか、主な改訂点を中心に見て行くことにしたい。

## 耐震指針とは何か

原子力発電所を新設・増設する際には、まず基本設計の段階で、耐震安全性が十分確保できるかどうか厳しく審査される。この安全審査のガイドラインとして用いられるのが耐震指針である。正式には「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」という。当然のことながら、基本設計を受けて行われる実際の設計も耐震指針の要求を満たさなければならない。したがって、耐震指針の効力は詳細設計以後の後段規制にも及ぶことになる。

耐震指針の適用対象は、名称が示す通り発電事業を目的として電力会社等が設置する原子炉施設である。しかし実際には、発電用の原子炉施設だけでなく、研究・開発炉や核燃料サイクル施設等にもこの指針が準用されている。

このように、耐震指針は原子力施設全般にわたって耐震設計の基本を律する規範として機能しており、ときには原子力施設の耐震設計の「憲法」と呼ばれることもある。法制上は原子力安全委員会の一内規に過ぎないが、その実質的な影響力は名称が示す範囲にとどまらない。

## 指針改訂の経緯

耐震指針は、1978年(昭和53年)に当時の原子力委員会が策定したものが原型になっている。原子力安全委員会の発足に伴って、1981年(昭和56年)に同委員会の公開内規として制定された。

この耐震指針の見直しの契機となったのが1995年(平成7年)の阪神・淡路大震災である。震災の直後に、原子力安全委員会は特別の検討会を設置して耐震指針の妥当性を検討した。その結果、兵庫県南部地震の経験を踏まえても耐震指針の妥当性は損なわれないと結論されたが、同時に、新しい知見を踏まえて指針の高度化を図る必要性が強く指摘された。原子力安全委員会は、(財)原子力発電技術機構(NUPEC)に調査を委託し、5年間をかけて課題の洗い出しと整理を行った。

以上の経過を経て、2001年(平成13年)7月に原子力安全委員会は原子力安全基準専門部会(当時)の下に「耐震指針検討分科会」(主査:青山博之、東京大学名誉教授)を設置し、正式に見直しの検討を開始した(図1)。以来5年弱にわたって慎重な審議を重ね、2006年4月の第43回分科会で指針の最終案が取りまとめられた。その後、一般からの意見公募とそれを反映した原案の一部修正を経て、同年9月に原子力安全委員会の決定に至ったものである。

一般公募に寄せられた意見は合計679件にのぼった。また、分科会はすべて公開で開催され、毎回50人を越える傍聴者がつめかけた。このように、改訂の審議は最初から最後まで公開の場で行われ、国民注視の中で新しい耐震指針が誕生し



た。

### 改訂のポイント

新・旧指針の全体比較を図2に示す。改訂点は多岐にわたり、限られた紙幅でその全てを詳しく解説することは困難である。改訂の内容はいずれもゆるがせにできない重要性をもっているが、そ

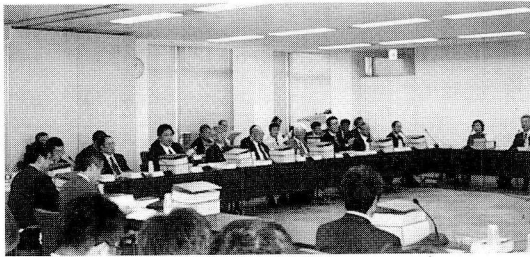


図1 耐震指針検討分科会の会合風景

の核心部分は次の3点に集約される。

- ・地震に対する安全機能保持要求の明確化
- ・基準地震動策定の高度化
- ・「残余のリスク」の導入

以下では網羅的な解説は避けて、これら3つのポイントを中心に述べて行く。

第1のポイントについては、新指針の「基本方針」で次のように述べられている。「耐震設計上重要な施設は、(中略)施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動による地震力に対して、その安全機能が損なわれないように設計されなければならない。」いささか回りくどい文章ではあるが、これによって、耐震設計の基本的な要求が地震時の安全機能保持にあることが明確にされた。

また、建物・構築物は原則として剛構造とし、そのうち重要なものは岩盤に支持させるという旧指針の規定は廃止された。新指針では、「建物・構

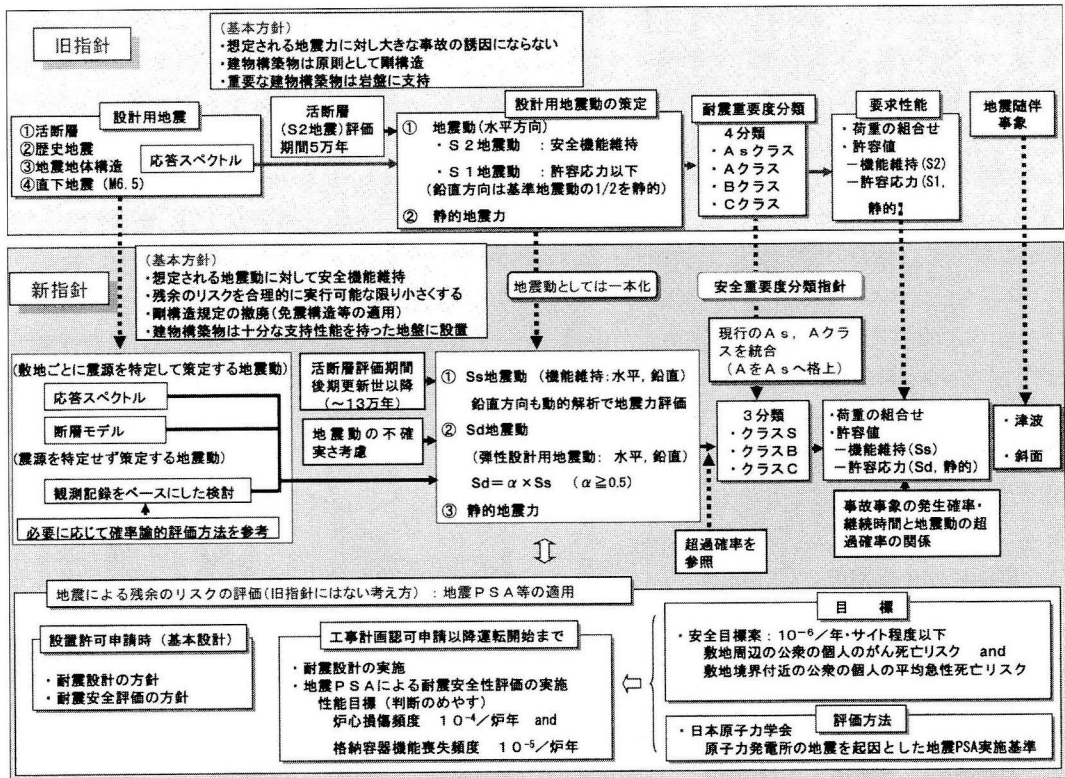


図2 新・旧指針の全体比較 [(独)原子力安全基盤機構が整理したもの]

建築物は、十分な支持性能をもつ地盤に設置されなければならない」としている。新指針は、何が要求されるかを明示し、それをいかにして実現するかは学協会等の基準や設置者の裁量に任せる方針をとっている。これは、法令等の規制が仕様規定から性能規定へと移り変わりつつある時代の流れとも合致するものである。

### 基準地震動と耐震重要度分類

基本方針が言う「施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動」は、基準地震動として具体化され、耐震設計の入力地震動として用いられる。旧指針ではS1, S2 (S1 < S2) の2種類の基準地震動が設けられていたが、新指針ではこれが新しい基準地震動Ssに一本化された。

旧指針のS1は、敷地で想定される最強の地震動、S2はそれを超える限界的な地震動として設定されていたものである。耐震重要度がAクラスの施設はS1に耐え、最上位のAsクラスの施設はさらにS2に対して安全機能を保持できるように設計することとなっていた。しかし、このような2種類の地震動を適切に想定するのは地震学的にみてきわめて困難であり、新指針では基準地震動Ssに一本化されることとなった〔注1〕。

これに伴って、施設の耐震重要度分類が従来の4クラス(As, A, B, C)から3クラス(S, B, C)に変更された。実質的には、従来は上から2番目だったAクラス施設が最上位クラスに編入されたことになる。これにより、これまでAクラスに分類されていた非常用炉心冷却系の一部機器などがSクラスに格上げされた。新指針では、最上位のSクラス施設に対して、基準地震動Ssに対する安全機能の保持を要求している。

### 基準地震動策定の高度化

指針改訂の第2のポイントは、最新の知見を踏まえて基準地震動策定の高度化、厳格化が図られたことである。基準地震動Ssは、地震の種別を

考慮して複数策定される。新指針では、その際に①内陸地殻内地震、②プレート間地震、③海洋プレート内地震のすべてを考慮するよう求めている。これによって、これまで取り扱いが不明確だった海洋プレート内に発生するやや深い地震についても、十分な考慮が求められることとなった。

内陸地殻内地震については、変動地形学的調査、地下構造の物理探査などを適切に組み合わせ、徹底した活断層調査を行うべきことが強調されている。考慮の対象とする活断層は、「後期更新世以後の活動が否定できないもの」と定められた。ただし、その認定は最終間氷期の地層・地形面によってもよいとしている。結局、評価対象とする活断層の活動間隔は、従来の5万年から8～13万年にはほぼ倍増したことになる。

図3は、国内の主要活断層について平均活動間隔の累積頻度を示したものである〔注2〕。曲線はこれに対数正規分布を当てはめたもので、データによく適合していることがわかる。データ中最長の平均活動間隔は4万年で、5万年を超えるものは1つもない。しかし、今後調査が進めば事情が変わってくる可能性がある。当てはめた曲線を外挿すると、活断層の平均活動間隔が5万年を超える確率は $4.0 \times 10^{-3}$ 、10万年を超える確率は $2.5 \times 10^{-4}$ となる。今回の改訂により、評価期間の限定が原因で活断層を見逃す可能性はほぼ1桁小さくなったと考えられる。

基準地震動の策定には、歴史的には標準スペク

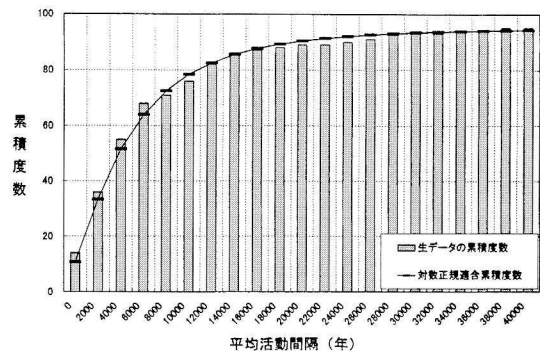


図3 主要な活断層の平均活動間隔の累積度数

トル法が用いられてきた。地震のマグニチュードと震源距離をパラメタとして、あらかじめ用意された標準的なスペクトルに基づいて敷地における応答スペクトルを推定する手法である。考慮対象地震のスペクトルを包絡した基準地震動の応答スペクトルを設定し、これに適切な位相情報等を加えて模擬地震波が作成される。標準スペクトルは実際の観測データに基づいて作成され、これまでに大崎スペクトル、耐専スペクトルなどが用いられてきた。

一方、近年、断層モデルに基づいて地震波を合成する技術が著しい発展を遂げてきた [注3]。現在では、強震動予測の標準的な手法として各方面で活用されている。新指針では、標準スペクトル法、断層モデル法それぞれの長所と短所を考慮して、両手法を共に用いて基準地震動を策定することとした。

いずれの手法でも、基準地震動の策定過程で不確かさやばらつきが生じることは避けられない。指針では、こうした不確定性についても適切に考慮するよう求めている。

#### 「震源を特定せずに策定する地震動」

敷地近傍の地震を想定する上で、活断層の徹底した調査が必須である。しかし、それをもってし

ても将来発生しうる地震を完璧にカバーすることは不可能である。そのため、上に述べた震源を特定して策定する地震動に加えて、「震源を特定せずに策定する地震動」という新たなカテゴリーが導入された。新指針では、「(活断層と) 関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震」による震源近傍の観測記録を収集し、これによる Ss も策定するように求めている。この新しい方針の採用に伴って、旧指針の直下地震 M 6.5 の規定は廃止された。

図 4 に、新方針に沿って作成された、「震源を特定せずに策定する地震動」の応答スペクトルの一例を示す。左が水平動、右が上下動のスペクトルである。両者とも、地盤の地震波速度によって異なる応答値が与えられている。

新指針の考え方は実際の観測記録に根拠を置くもので、根拠が薄弱な M 6.5 という規模を天取りで与えるよりもはるかに合理的である。しかし、上記の要件を満たす震源近傍の観測記録はまだごく少数に限られている。このことを念頭に置いて、指針では「確率論的な評価等を必要に応じて参考とすることが望ましい」としている。実際の安全審査に際しては、案件ごとに個別の慎重な取り扱いが必要になるだろう。

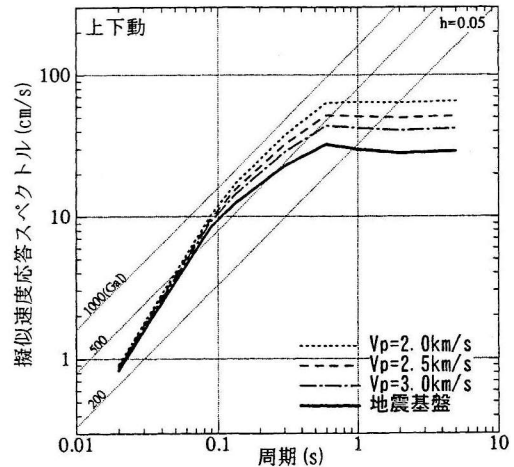
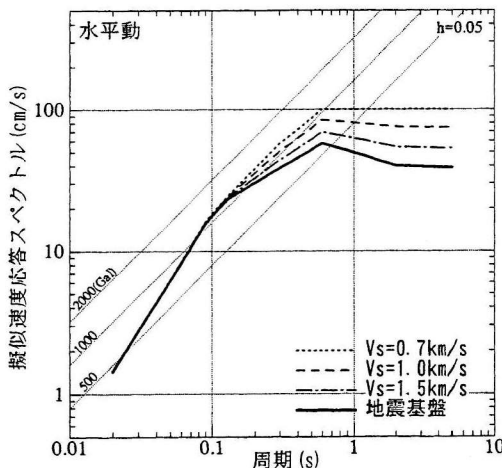


図 4 震源を特定せずに策定する地震動の応答スペクトルの例 [(社)日本電気協会による]

## 「残余のリスク」の導入

今回の改訂の第3のポイントは、「残余のリスク」という新しい概念が導入されたことである。基準地震動をどんなに厳格に設定したとしても、それを上回るさらに強い地震動が発生する可能性を完全に排除することはできない。新指針は、この想定外の揺れの可能性を明確に指摘し、それによる「残余のリスク」への留意を求めている。

ここで言う「残余のリスク」とは、基準地震動  $S_s$  を超える想定外の地震動に起因する潜在的な危険を指し、機器・配管・建物等の重大な損傷、大量の放射性物質の環境への拡散、その結果生じる公衆の放射線被曝のリスクが包含されている。指針の「基本方針」の解説では、「この「残余のリスク」の存在を十分認識しつつ、それを合理的に実行可能な限り小さくするための努力が払われるべきである。」としている。

## 想定外の地震動

想定外の強い揺れがありうることは、地震研究者には広く認識されている。1995年の兵庫県南部地震 (M 7.3) の際には、最大 821 ガルという大きな加速度が記録され、耐震指針見直しの重要な契機となった。その後、観測体制の整備に伴ってさらに大きな加速度が記録されるようになり、2004年の新潟県中越地震 (M 6.8) では、川口町で 1,722 ガルという最大加速度が記録された。さらに、同町の近傍で発生した最大余震では、2,500 ガルを越える前代未聞の大加速度となった。地震の揺れは、1,000 ガル前後が上限という十数年前の常識は、現在では完全に過去のものとなっている。

もちろん、地震の破壊力は加速度だけで決まるわけではない。地動の速度、振幅、継続時間なども重要な要素である。原子力施設では、周期 2 ないし 5 秒から 0.02 秒 (50 ヘルツ) の周期帯の震動特性を考慮して基準地震動が策定されている。旧指針では、供用期間中に起きる可能性がある最大の地震動として基準地震動  $S_1$  を設定し、さらに

それを上回る基準地震動  $S_2$  を想定して耐震設計が行われてきた。

ところが、指針改訂の審議中に、 $S_2$  を超える想定外の地震動が観測され、関係者に大きな衝撃を与えた。2005年8月16日、宮城県沖で M 7.2 の地震が発生し、震央から約 70 km 離れた女川原子力発電所でも強い地震動が観測された。東北電力 (株) がそのデータを解析した結果、一部の周期帯で基準地震動を超える揺れとなっていたことが判明したものである。

この地震動の応答スペクトルを図5に示す。2本の曲線は、それぞれ東西、南北方向の水平2成分である。3本の折れ線は、設計に用いられた基準地震動  $S_1$  と  $S_2$  の応答スペクトルである ( $S_2$  は M 6.5 の直下地震とそれ以外の地震による寄与が分けて示されている)。

図に見るように、観測された地震動は周期 0.4 秒付近と 0.1 秒以下の短周期帯で  $S_1$  を超えている。さらに、周期 0.05 秒 (周波数 20 ヘルツ) 前後では、わずかではあるが  $S_2$  をも上回っている。

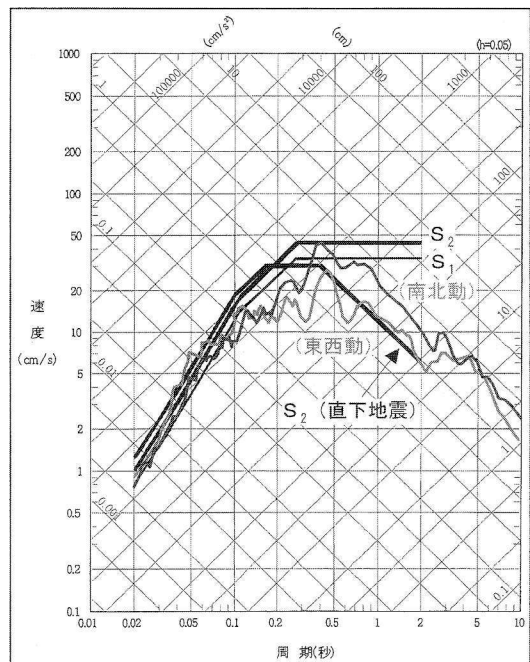


図5 2005年宮城県沖の地震 (M 7.2) による女川原子力発電所における地震動の応答スペクトル [東北電力(株)による]

想定を超える地震動が実際に観測されたことはきわめて深刻と言わざるを得ない。

### 設計余裕と多重防護

もちろん、想定外の揺れを受けたからといって、それが直ちに原発災害に結びつくわけではない。実際の施設は相当の余裕をもって設計されているからである。実際、女川発電所の場合も強い地震動で原子炉は自動停止したが、問題となる損傷は皆無であった。

また、原子力発電所は、多重防護の考え方に従って幾重ものバリアで守られている。万一炉心が重大な損傷を受けても、多くの場合は、その影響は鋼鉄製の原子炉圧力容器の中に封じ込められ、外部まで及ぶことは回避される。それが破られた場合も、堅牢な原子炉格納容器、原子炉建屋が次の防壁となる。

これら何重もの防壁がすべて突破されたときに、放射性物質の外部放散が初めて現実のものとなる。その可能性はごくごく小さいが、決して完全なゼロではない。

### 地震 PSA

このようなリスクを定量的に評価するために、地震 PSA と呼ばれる手法が開発されてきた。PSA は Probabilistic Safety Assessment の略で、確率論的安全評価と訳されている。

その基本的な原理は比較的単純である。簡単のために、地震による単一の機器の損傷について考えてみよう(図6)。図の上段は、あるサイトで期待される地震動の強さ(例えば最大加速度)の頻度分布で、地震ハザード曲線と呼ばれる。一般に強い地震動ほど頻度が低いので、地震ハザード曲線は右肩下がりのカーブとなる。一方、機器が損傷を受ける確率は強い地震動ほど高く、図の中段に示すように右肩上がりとなる。両者の値を掛け合わせれば、地震動強さに対応する損傷頻度(下段)が得られる[注4]。

下段の図で、斜線を施した部分が、あるしきい

値(縦の破線)を超える地震動による損傷のリスクを表す。しきい値として基準地震動  $S_s$  をとれば黒い部分の面積は非常に小さくなるが、それでもなお完全にゼロにはならない。これが指針の言う「残余のリスク」に相当する。

現実のプラントは無数の機器・配管等で構成された複合体であり、その解析は簡単ではない。それぞれの構成要素について、地震動の周期ごとに上記のような解析を行うだけでなく、各要素間の相互作用、損傷確率の不確かさなども考慮しなければならない。事故の進展にはさまざまなシナリオがありうるので、多様な分岐を漏れなく考える必要がある。専門家によって見解が分かれる事項については、ロジックツリーと呼ばれる手法で意見の違いを考慮に含めた評価が行われる。

地震 PSA には3つのレベルが設けられている。レベル1では炉心の重大な損傷の発生頻度、レベル2では放射性物質の格納容器外への放散について解析が行われる。最後のレベル3では、個

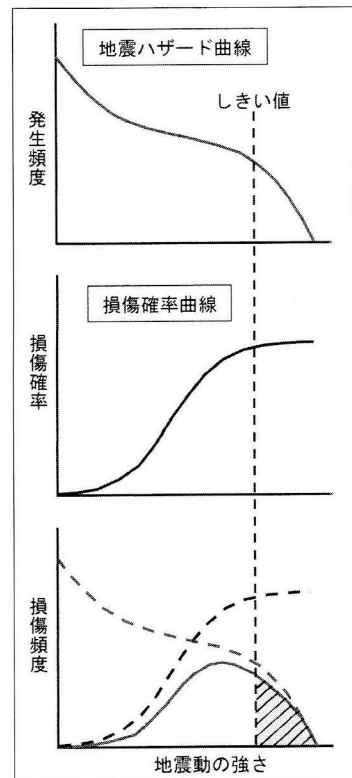


図6 地震 PSA (レベル1) の考え方

人の死亡リスクが評価される。

地震 PSA の手法は 1980 年代に米国で開発され、日本でも原子力研究所（現在は（独）日本原子力研究開発機構）などを中心に改良が進められてきた。このほど（社）日本原子力学会が『原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価手順』を取りまとめ、原子力発電所への本格的な適用の道が整備された。

### 確率論的评价をめぐる議論

今回の指針改訂では、「残余のリスク」という新しい考え方が導入され、安全審査では策定された地震動に対応する超過確率も参照することとなった。しかし、確率論的评价の全面的な採用は見送られ、「残余のリスク」の最小化もいわば精神的色合いが濃いものとならざるを得なかった。審議の途上で積極論と慎重論が交錯し、最終的な合意に至らなかったためである。

慎重論の第 1 は、どの程度のリスクまで許容するのか、判断の基準がなくては安全審査に使えないというものであった。誠にもっともな意見である。しかし、国際原子力機関（IAEA）はすでに、炉心損傷頻度は 1 年あたり  $10^{-5}$ （新設炉）ないし  $10^{-4}$ （既設炉）以下という定量的な目標値を提示している [注 5]。わが国では、個人の死亡リスクが年あたり  $10^{-6}$  程度を超えないように抑制すべきであるとする定量的安全目標の案が 4 年前に公表され [注 6]、これに対応する性能目標も提示されている [注 7]。

慎重論の第 2 は、地震 PSA の技術は未成熟で実用に耐えないとするものであった。しかし、前項で述べたように最近の発展は目覚ましいものがあり、すでに幾つかの試解析でその有効性が確認されている。

このように、安全評価に確率論的手法を活用する基礎はすでに固まっている。新指針が打ち出した新しい考え方を首尾一貫させるためには、決定論と確率論の両面から耐震設計上の要求の明確化を図る必要がある。

### 今後の課題

今後、耐震設計における確率論的要求を指針上で明確に位置づけて行くことが大きな課題である。図 7 に、耐震設計上の基本的要求を提案として示した。今回の指針改訂で、決定論に基づく要求 I は明確になった。しかし、要求 II は精神的規定ないし参考情報にとどまり、その意味で今回の改訂はまだ中 2 階の段階と言わざるを得ない。

図 7 は単なる個人的な見解ではない。耐震指針検討分科会の基本ワーキンググループは、見直し審議の早い段階で同趣旨の提言を取りまとめた。また、原子力安全委員長からは、指針改訂の第 2 ステップとして要求 II の検討を進めて行くとの方針が表明された。その方針が早期に実現されるよう強く望むものである。

地震 PSA の信頼度をさらに向上させて行くことも今後の重要な課題である。とくに、重要な機器等の損傷確率（図 6 参照）の一層の信頼度向上が望まれる。そのためには、実機を用いて機能喪失まで加振する、限界的な実証試験を欠くことができない（図 8）。

新指針は本来、今後の新・増設案件に適用されるものである。しかし、旧指針の下で建設された原子力発電所についても無関心ではられない。指針の改訂を受けて、原子力安全・保安院は、既設の施設について新指針に照らした耐震安全評価を行うことを各事業者に指示した。また、残余のリスクについても評価を実施するよう指示した。

#### 耐震設計の基本的要求（提案）

##### 要求 I（決定論的要求）：

施設の供用期間中にきわめて希には生じるかも知れない地震動として基準地震動を設定し、これによって施設の安全機能が損なわれないように設計すること。

##### 要求 II（確率論的要求）：

基準地震動を超える地震動を考慮しても、それによる放射線災害のリスクが十分に小さくなるように設計すること。

図 7 耐震設計における 2 つの基本的要求

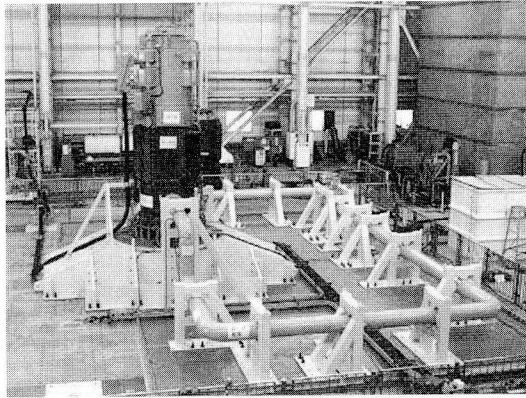


図 8 (独)原子力安全基盤機構が多度津工学試験所の振動台で行った実機(たて型大型ポンプ)の耐震信頼性実証試験

このバックチェック作業は、概ね3年以内で既存の原子力発電所すべてについて完了する予定である。新指針に適合しない場合は、必要に応じて補強、改造等の措置がとられることになるだろう。関係者の総力をあげた努力を期待したい。

### おわりに

新しい耐震指針は、基準地震動策定の厳格化などによって、原子力施設の耐震安全性の一層の向上に資するものとなった。また、原子力発電所は絶対に安全という根拠のない「神話」を排して、その潜在的な危険性についても客観的な評価への道を拓いた。今後の課題を残しつつも、今回の指針改訂は歴史的意義をもつものと言ってよい。

原子力発電のリスクをどの程度まで容認するか、その最終的な判断は国民の手に委ねられている。誤りなき判断を支えるのは、原子力発電の利便性、潜在的危険性の両面からの透明かつ客観的な情報である。原子力安全の透明性、説明性を確保する上でも、新しい耐震指針は重要な貢献をして行くことだろう。

原子力の安全は、安全確保への高い意識とたゆまぬ努力を通じて、日々つくられて行くものである。関係者はこのことを肝に銘じて、安全性のさ

らなる向上に邁進されるよう切望する。

(追記) 去る3月25日の2007年能登半島地震によって、北陸電力(株)の志賀原子力発電所でS2を超える地震動が再び観測された。既設発電所のバックチェックは、実質的には再審査に匹敵する重みをもつものとならざるを得ないだろう。

- [注1] ただし、工学的な要請から新たに弾性設計用地震動Sdが設けられ、旧指針のS1が果たしてきた役割を一部担うこととなった。
- [注2] 使用データは、地震調査研究推進本部による主要95活断層の評価結果を(独)産業技術総合研究所が取りまとめたもの。平均活動間隔は「代表値」を用いた。
- [注3] 例えば、月刊地球(2002年)、号外No.37、総特集『最近の強震動予測研究—どこまで予測可能となったのか?—』。
- [注4] 正確には、地震ハザードの確率密度と損傷確率(条件付き確率)の積が地震による損傷確率を与える。
- [注5] IAEA/INSAG, 1999, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, A Report by the International Nuclear Safety Advisory Group, Safety Series No.75-INSAG-3 Rev.1 INSAG-12.
- [注6] 原子力安全委員会安全目標専門部会(2003年)、『安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ』。
- [注7] 原子力安全委員会安全目標専門部会(2006年)、『発電用軽水型原子炉施設の性能目標について—安全目標案に対応する性能目標について—』。

大竹政和

[おおたけ まさかず]

現職 東北大学名誉教授。  
理学博士

略歴 (独)原子力安全基盤機構技術顧問、地震予知連絡会会長、原子力安全委員会専門委員。耐震指針検討分科会では主査代理を務めた。

著書 『地球は生きている』(小峰書店)、『日本海東縁の活断層と地震テクトニクス』(共編著、東京大学出版会)など。



## 地震後火災を大火にしないためには耐震補強

### 過去の地震後火災

関東大震災では、地震後火災による災害が非常にひどかったことは誰でも知っていることである。戦後では、1946年南海地震で2,600戸近くを焼失し、1948年福井地震では、福井市、丸岡町、金津町など6市町村で多数の家屋が焼失した。1964年新潟地震では、出火は7件あったがそのうち5件は延焼せず消し止められたが、石油タンクの2件の火災が延焼し民家290戸を焼失した。1968年十勝沖地震では、十和田市の使用中の石油ストーブのうち1.32%（9件）から出火し、消し止められたが、石油ストーブからの出火が改めて注目され、以後石油ストーブの耐震消火装置が普及することとなった。1993年北海道南西沖地震では、津波のひどかった奥尻島青苗地区で原因不明で出火、津波の再来が怖くて消火活動ができず、焼けるにまかせ、192棟を焼失した。そして1995年阪神・淡路大震災では、地震後火災によって、多数の家屋が焼失し、焼け跡から400人以上の遺体が発見された。

以上のほか、数多くの被害地震で殆どの場合小規模の火災は発生している。しかし、これらの場合家が壊れても立っているときには小さな火災は消し止められている。

これらの地震後火災の大火になった原因をまとめてみると、地震後に消火が思うようにならなかったことが挙げられる。そのもっとも多く例では、多数の老朽木造家屋が密集して倒壊した場合、多数の人が家の下敷きになってしまう。そのとき、消火より下敷きになっている人を救うことが第一になる。そして火元がある程度大きくなってしまえば個人で消すのが難しくなる。こうして大火となってしまうのである。

他の例では、1964年の新潟地震の石油タンクからの延焼火災がある。これは石油タンクの火災という、個人では何ともしがたい火元からの延焼なので我々にはなんともできない。しかし、これはそのような火元になるような危険物の近くには遮断帯を作って一般住居には延焼しないようにすることによって防ぐことができるし、最近はかなりその対策が行なわれている。1993年の北海道南西沖地震では奥尻島青苗地区で津波第一波のあと、火災が起こった。ただ人々は、津波から逃れて高台に避難していたが、津波が第2波、3波と来るので怖くて消火できずに延焼した。

### 地震後大火になる原因

以上の過去の地震後火災の例から、大火になる原因は少数の例外を除いて次のようにまとめることができる。

#### 多数の老朽木造家屋が密集して倒壊

木造家屋が密集していても、倒壊しないで立っていれば、たとえ出火しても消火することができる。近所からも消火の手伝いができる。ところが軒並み倒壊すると下敷きになった家族を救うほうが優先される。これは人間として当然である。消防団員にしても、下敷きになった家族が助けを求めているのに、消火に駆けつけることができるであろうか。勿論、密集して倒壊している道路を消防自動車が通行するのも容易ではない。1993年の北海道南西沖地震の場合、家は倒壊していなかったけれど、津波を避けて消火できなかったのも、特例と考えてよいと思う。

### 大火にしないためには耐震補強

こう考えてみると、地震後火災を大火にしないためには、密集した老朽木造家屋を倒壊させ



なければよいという結論になる。どこの都市でも、老朽化した木造家屋が密集したところはあるが、限られた地区であり面積である。こうした地区は、他の地区に対して公平性は多少欠くが、耐震補強を促進するために無利子の資金を融資するとかして、来るべき地震時に、壊れても何とか倒れないようにできないものであろうか。耐震補強しなければならぬような老朽化した家の持ち主は、何を今更と考える高齢者が

多い。しかもこれらを狙った、耐震補強詐欺が現在でも横行し、体面を考える世代が多いこともあって、耐震補強という言葉を聴いただけで拒絶反応を起こす傾向にある。しかし耐震補強しないということは、自分一人が損害をこうむるだけではなく、大火の原因となり他に大変な損害を与える可能性があるということも考えなければならぬであろう。 (伯野元彦)

# ■ 地震予知連絡会情報 ■ 岡田義光 ■

定例の地震予知連絡会は、第171回が2007/2/19、第172回が2007/4/9、第173回が2007/5/14に開催され、2006年11月～2007年4月における全国の地震活動・地殻変動を中心として報告と検討がなされた。この間に国内で起きた最大のイベントは2007/3/25能登半島地震(M 6.9)である。また国外では、2006/11/15および2007/1/13に千島海溝付近で、また2007/4/2にはソロモン諸島で、いずれもM 8級の地震が発生し、大きな津波を伴った。

第172回連絡会は、予知連委員の任期満了に伴い新しく発足した第20期地震予知連絡会の構成を行うことが当初の目的であったが、能登半島地震が発生したため、急速にこの地震に関する検討が議題として加わった。第20期の会長は大竹政和氏、副会長は島崎邦彦・平原和朗の両委員が選出された。また、東日本部会(中日本部会兼務)、西日本部会、およびトピックス部会の各部会長には、それぞれ島崎、平原、および平田直の各委員が就任した。

毎回テーマを変えて集中的な議論を行うトピックスとしては、第171回に「近畿の地殻活動」(世話人:伊藤潔委員)、また第173回には「連動型巨大地震」(世話人:谷岡勇一郎委員)が、それぞれ取り上げられた。

## 1. 北海道地方

2007年1月9日、網走沖の深さ9kmでM 4.7の地震が発生し、最大震度3を記録した。1997年10月以降、今回の震源付近ではM 3以上の地震は発生していないが、過去に遡ると、1956年3月6日に今回の地震とほぼ同じ場所でM 6.3の地震が発生し、網走で7cmの津波が観測されている(気象庁)。今回の地震の発震機構は北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、断層面の走向は海底地形に見られる北見大和堆にほぼ平行している(図1:防災科研)。

2007年2月17日、十勝沖の深さ40kmでM 6.2の地震が発生し、最大震度4が記録された。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートの上面付近で発生した地震である。今回の地震は2003年十勝沖地震(M 8.0)の最大余震(M 7.1)が発生したすぐ近くに位置しており、M 6を超える規模の余震の発生

は2年3ヶ月ぶりである(気象庁)。なお、2003年十勝沖地震および2004年釧路沖地震に関連する余動的な地殻変動は依然として継続している。2004年釧路沖地震以降の余効すべりのモーメントは全体でMw 7.6相当を超えており、十勝沖領域ではMw 7.5、浦河沖領域ではMw 7.3、釧路沖領域ではMw 7.1に相当するモーメントの解放があった(地理院)。

2007年3月30日、日高山脈南部の深さ47kmでM 4.7の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートの上面付近で発生した地震である。今回の地震の震源付近はクラスタ状の地震活動が見られるところであり、最近では2006年11月1日にM 4.8(最大震度4)の地震が発生している。1923年8月以降のM 5以上の地震活動を見ると、今回の地震の震央付近では2003年十勝沖地震前に地震活動が静穏化し、発生後は活発化したように見られる。また、1952年十勝沖地震の前にも似たような傾向が認められるとのことであった(図2:気象庁)。

2007年4月23日、留萌市すぐ北方の深さ10kmでM 4.6の地震が発生し、最大震度3が記録された。この地震の震源付近では2004年12月14日にM 6.1(最大震度5強)の地震が発生しており、今回の地震はその余震域内で発生した。発震機構は東西方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、2004年12月の地震と同じであった(気象庁)。

## 2. 東北地方

2006年11月30日、福島県会津の深さ4kmでM 4.3の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は北東-南西方向に張力軸を有する正断層型であった。ほぼ同じ場所では同じような発震機構を持つM 3.3の地震が2005年6月26日に発生しているものの、周辺では東西方向に圧力軸を有する型の地震が多く、今回のような地震は珍しい(気象庁)。

2007年1月28日、山形県沖の深さ23kmでM 4.3の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。この地震の震源は1964年新潟地震(M 7.5)の震源域の北隣りに位

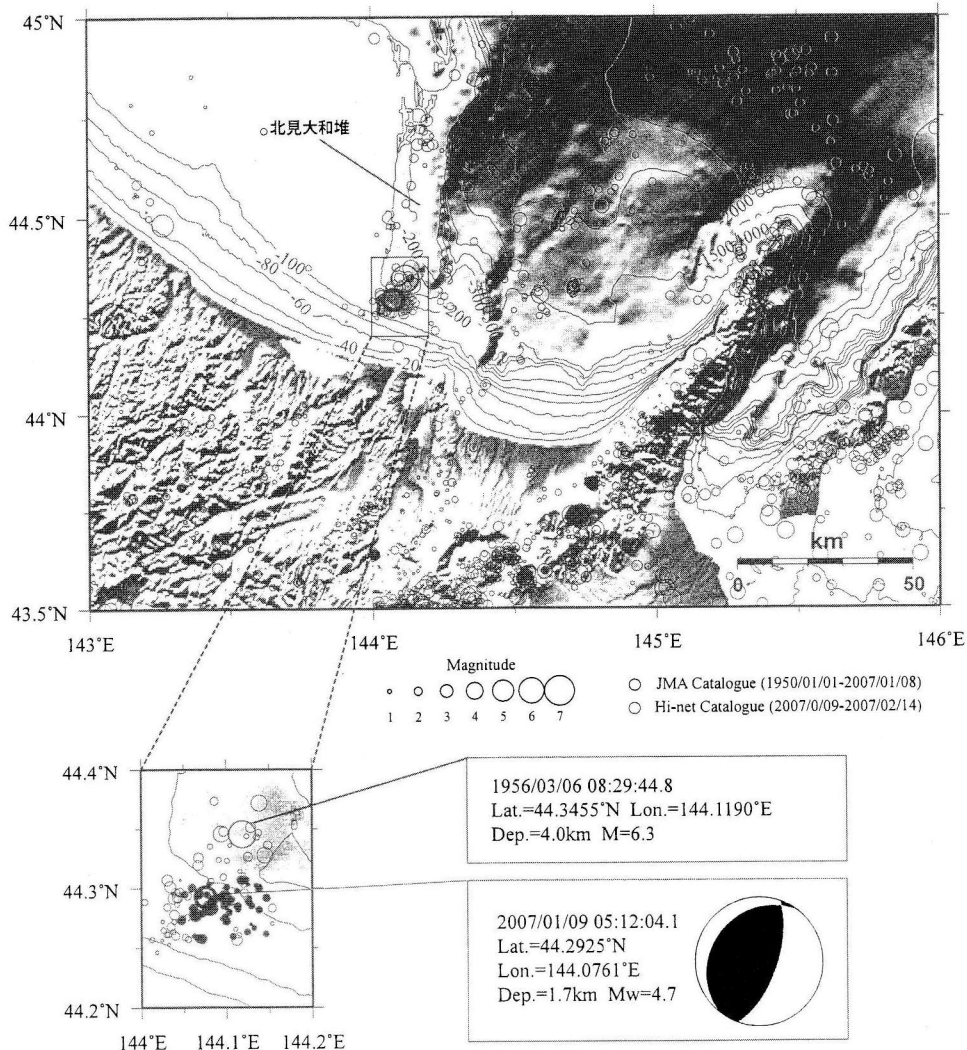


図1 2007/1/9 網走沖の地震 (M 4.7) と、周辺で発生した深さ 50 km 以浅の地震の震央分布。白い丸は 1950/1/1 から 2007/1/8 までの気象庁による震央分布、黒塗りの丸は防災科研により決められた 2007/2/14 までの余震分布を示す。[第 171 回: 防災科研資料に加筆]

置しており、1833 年庄内沖の地震 (M 7.5) の震源域内で発生したものであると思われる (気象庁)。

2007 年 3 月 31 日、宮城・岩手県境付近の海岸線直下 77 km で M 4.8 の地震が発生し、最大震度 3 が記録された。この地震は、2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震 (M 7.1, 最大震度 6 弱) の余震域の最下端で発生し、発震機構も太平洋プレートの内部で発生した地震であることを示している (気象庁)。

2007 年 4 月 5 日と 12 日、共に仙台湾の深さ 12 km で M 4.5 の地震が発生し、最大震度 3 を記録した。発震機構は、4 月 5 日の地震が東北東-西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型、4 月 12 日の地震は東南東-西北西方向に圧

力軸を持つ逆断層型であった。この海域では、海上保安庁による活断層調査により、第四紀に活動した形跡がある断層が知られており、今回の地震はその断層の近傍で発生した。また、この地震は 2003 年 7 月 26 日に石巻市付近の直下で発生した宮城県北部の地震 (M 6.4, 最大震度 6 強) の南方延長に位置している (図 3: 防災科研)。仙台湾付近で M 4.0 以上の浅い地震が発生することは珍しく、1923 年 8 月以降では、今回の 2 例を含め、6 回しか観測されていないとのことであった (気象庁)。

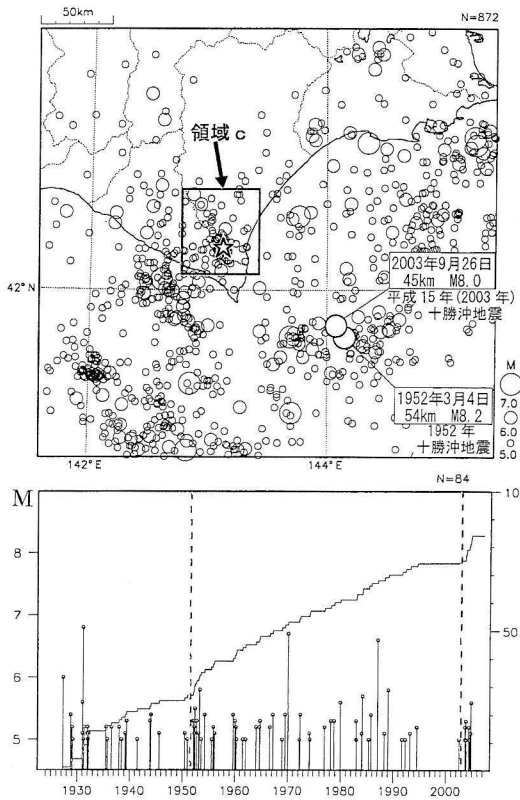


図2 2007/3/30日高支庁南部の地震(星印: M 4.7)。上段は1923年8月以降に北海道南部の深さ200km以浅で発生したM 5.0以上の地震の震央分布, 下段は領域c内におけるM-T図と回数積算図を示す。下段の点線は、1952年十勝沖地震と2003年十勝沖地震の発生した時期を示している。[第173回: 気象庁資料より合成]

### 3. 関東・中部地方

2006年12月26日、佐渡島南西端沖の深さ14kmでM 4.9の地震が発生し、最大震度4を記録した。今回の地震の震源付近では2003年12月22日のM 4.7など、M 4以上の地震が時々発生している。発震機構は南北方向に圧力軸を持つ逆断層型であった(気象庁)。中越地域では北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型の地震が一般的であるが、今回の地震はそれらと有意に異なっている(図4左: 防災科研)。また、佐渡島の活断層や地形リニアメントの走向も一般的に北東-南西を向いており、今回の地震の走向とは一致しない。旧江線高度の変形様式を見ると(図4右)、佐渡島全体は北西側落ちの逆断層によって境され、南東方向にブロック的な傾動運動をしているが、南西端の小木半島では東西走向で孤立的な隆

起が見られる。また、小木半島の南側には東西走向で北側隆起の海底崖が存在し、小木半島に続いていることから、今回の地震は小木半島を隆起させている造構運動に関連する断層面上で発生した可能性が高い(防災科研)。

2007年1月8日、新潟県中越地方の深さ13kmでM 4.8の地震が発生し、最大震度4が記録された。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、この付近で通常見られるタイプの地震であった。2004年新潟県中越地震の余震のひとつと見られるが、M 4以上の地震、震度4以上を観測した地震とともに、2005年8月21日に発生したM 5.0の地震以来、1年半ぶりであった(気象庁)。

2007年3月25日09時41分、能登半島西岸付近の深さ11kmでM 6.9の地震が発生し、石川県の七尾市、輪島市、穴水町で震度6強が観測された。気象庁は、この地震を「平成19年(2007年)能登半島地震」と命名した。この地震により、北陸地方で約20cmの微弱な津波が観測された。余震は北東-南西方向の約40kmにわたって南東傾斜の面状に分布しており、最大余震は同日18時11分に余震域の東端でM 5.3(最大震度5弱)、また翌日07時16分に余震域西端で同じくM 5.3(最大震度4)が発生した。4月以降、余震域はやや南西側に広がったことが確認されている(図5: 気象庁)。本震の発震機構は、P波初動解から見ると横ずれ成分の卓越した型だが、CMT解では逆断層成分が顕著な地震であった(図5: 防災科研)。なお、このCMT解は、1993年2月7日に能登半島先端の珠洲市北方沖で発生した能登半島沖地震(M 6.6)のものによく似ている。

図6左は、合同余震観測から得られた精密震源分布による北西-南東方向断面図を示している。本震(星印)は余震域の最深部付近に位置するが、これより浅部では余震が約60度の傾きで整列しているのに対し、深部ではほぼ垂直に見える。記録された地震波形を詳細に調べると、本震発生の約0.5秒前にM 4.4の地震(初期破壊)が発生しており、その震源は本震の約1.5km南西で約0.6km深い位置となった。さらに、本震の約12分前には、これとほぼ同じ位置にもっと小さなM 2.2の地震が発生しており、これらの前震は主断層の破壊を促進する向きの影響を与えていたことがわかった。P波初動解とCMT解との差異も考え併せると、今回の地震は、まず広域応力場に調和的な右横ずれ断層型の初期破壊が深部で発生し、それが浅部に応力集中を与えて、既存の弱面(構造境界?)が滑る主破壊に至ったものと考えられる(図6右: 東大震研)。

今回の地震の震源域付近に顕著な活断層は知られていないが、北陸電力が能登半島西方沖で実施した音波探査によれば、今回の震源断層の走向や傾斜とほぼ一致する

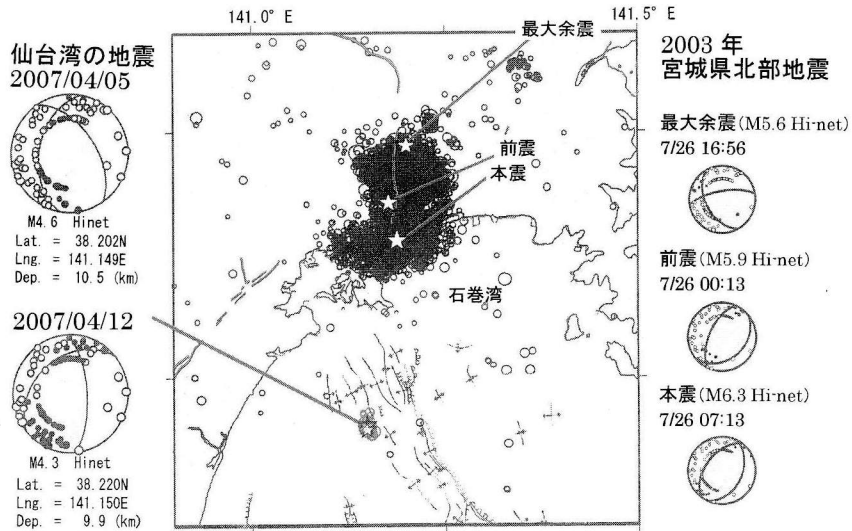


図3 2007年4月仙台湾の地震 (M4.5)。背景は2000年10月~2007年4月のM>1の震央分布、陸上部の震源密集域は2003年宮城県北部地震とその余震である。なお、陸域および海域の線分は、第四紀以降に活動した断層、拗曲および褶曲などの活構造を示している。[第173回：防災科研資料に加筆]

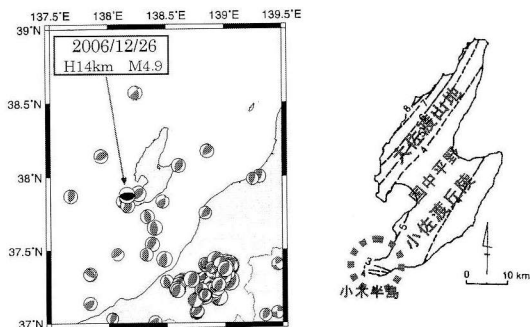


図4 (左) 2006/12/26 佐渡島近海の地震 (M4.9), および1997年7月から2006年12月までの期間に周辺で発生したM3.9以上の地震の発震機構解分布。(右) 完新世段丘の高度分布 (田村, 1979による)。[第171回：防災科研資料より合成]

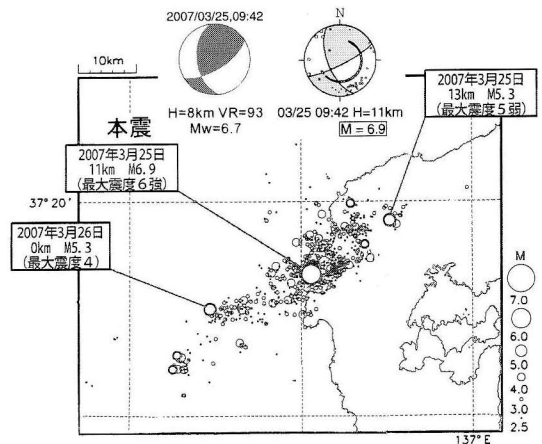


図5 2007/3/25 能登半島地震 (M6.9) と余震分布 (3/25~5/6に発生したM2.5以上の余震)。上部には本震の発震機構解 (左はCMT解, 右はP波初動解) を示す。[第173回気象庁資料と第172回防災科研資料を合成]

高角度の逆断層 (図7のF14, F15など) が見出されている。また、陸域には、同図のFaやFbといった地質断層も知られている。図6の余震断面図の浅部では、主断層面にはほぼ直交する共役な震源の並びが見られるが、主断層面は地表断層のF14やFaにつながり、共役な震源は地表断層のFbにつながるように見られる (図6: 東大震研)。また、震源域における地震波速度構造の推定結果によれば、主断層面の上盤側 (南側) は高速度、下盤側 (北側) は低速度となっており、今回の地震はこのような構造境界で発生したと思われる。なお、地震後

に実施された余震域での海底調査によれば、図7の海底断層F14に沿って海底面の高まりが存在し、その南側には液化現象を示す泥火山や、下部の地層が露出した個所が多数見つかったとのことであった (海上保安庁)。

今回の地震に伴って、震源域周辺では顕著な地殻変動が捉えられた。GPS観測によれば、志賀町の富来観測点では南西方向に約21cmの移動と約7cmの隆起が、穴

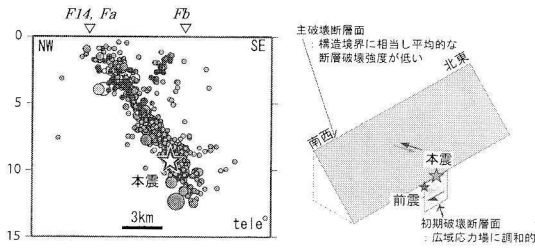


図6 (左) 合同余震観測から得られた2007年能登半島地震の余震(3/25~5/10)の北西-南東方向断面図。星印は本震の位置を示す。F14, Fa, Fbについては図7参照。(右) 主破壊を引き起こした断層面と初期破壊断層面の位置関係。[第173回: 東大震研資料に加筆合成]

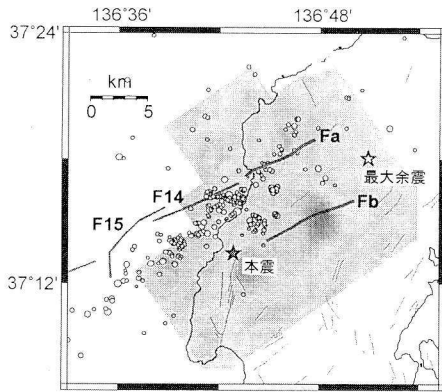


図7 深さ1.5~4.5kmの余震(丸印)の分布と、海域および陸域で見出された地表断層の位置。[第173回: 東大震研資料に加筆]

水観測点では西北西方向へ約12cmの移動と約2cmの沈降が観測された。また、陸域観測衛星「だいち」によるSARデータ干渉解析によって、能登半島における面的な地殻変動が把握され、これらのデータを用いて震源断層面上のすべり分布が推定された(図8: 地理院)。一方、これとは独立に、能登半島西岸に沿ってカキの分布上限などを指標とする地殻上下変動の現地調査が行われ、約40cmの最大隆起と約10cmの最大沈降が見出された。これらの観測結果は、断層モデルから推定される海岸線の上下変動とよく調和している(産総研)。このほか、緊急のGPS臨時観測によって、本震の震源に近い観測点で若干の余効変動が認められたとの報告があった(京大・北大・富山大・金沢大)。

御嶽山周辺では、GPS観測により2006年12月下旬から山体を挟む基線わずかな伸びが観測され、これを説明するための力源モデルが提出された。最適なモデル

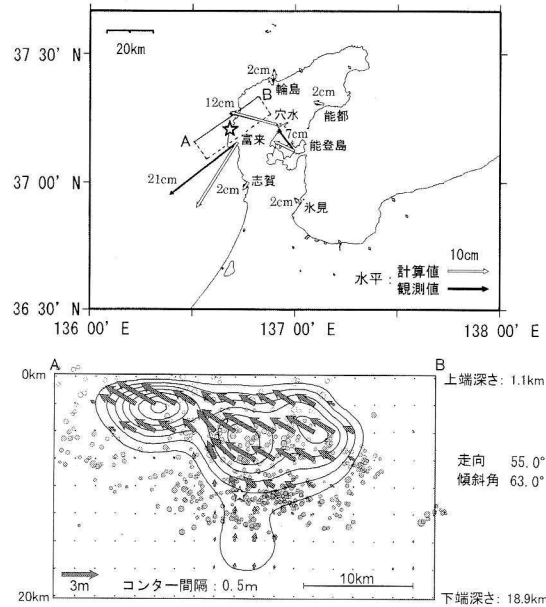


図8 (上) GPSにより観測された水平変動と震源断層モデル。(下) 干渉SAR(2007/2/23~4/10)とGPSの観測結果から推定された震源断層面上のすべり分布。星印は本震、丸印は余震の位置を示す。[第173回: 地理院資料に加筆合成]

は、御嶽山直下の深さ10kmに球状圧力源を置き、これに南北走向でほぼ鉛直の開口断層(長さ2.7km、幅5km、上端深さ5.4km、開口量33cm)を組合せるというものであった(地理院)。なお、御嶽山の直下では2007年1月25日午前9時頃に超長周期振動の発生が検知されているが、山頂から南南東に約15km離れた王滝観測点に設置されたボアホール傾斜計には、特別な変化は観測されなかった(防災科研)。

#### 4. 伊豆・東海地方

新島・神津島近海では、2006年12月21日より微小地震が間欠的に発生し、12月30日からは規模が大きくなった。最大の地震は12月31日のM4.7であり最大震度4が記録されたが、この地震に前後して、20分前にM4.3、1時間後にもM4.3の地震があった。30日以降、震度3以上を観測した地震が6回発生したが、その後活動は次第に収まった(気象庁)。なお、伊豆大島では、2007年3月頃から体積歪計で大きな膨張が観測されており、また島内のGPS基線にも顕著な伸びが見られるとの報告があった(気象庁)。

2007年1月16日、静岡県伊豆修善寺町付近の深さ175kmでM5.8の地震が発生し、最大震度3が記録さ

れた。発震機構はプレートの沈み込む方向に圧力軸を持つ型であり、太平洋プレートの内部で発生した地震である。今回の地震の震源付近ではM4以上の地震が時々発生しており、M5以上の地震も1923年8月以来7回発生しているが、今回の地震はそれの中でも最大の規模である(気象庁)。

御前崎沖では、図9の領域b内における地震活動が2006年8月頃より静穏な状況になっているとの報告があった。この領域では、1997年10月11日にM5.1、最大震度3の地震が発生している(気象庁)。

東海地域の水準測量結果によると、掛川に対する御前崎の動きは、相変わらず長期的な沈下傾向が続いている。一方、東海地域の非定常地殻変動(スロースリップ)は2005年中頃からほぼ停止しているように見られるが、一部の観測点ではわずかな隆起が継続あるいは新たに開始しているように見える。GPS観測結果のインバージョンによれば、最近のすべり分布は浜名湖より北東側と伊勢湾周辺に分散しているようである(地理院)。

一方、名古屋大学からは、明治時代からの水準測量結果を吟味して、東海地方における上下変動の変遷を調査した結果が報告された。それによると、2000年以降浜名湖付近で生じた大規模なスロースリップと同様な現象は1944年東南海地震の前後にも発生していた可能性が示された。また、東南海地震を含む時期の水準測量データには袋井市付近をピークとする最大20cm程度の隆起が見られ、これを説明する断層モデルが提出された(図10:名大)。このモデルは、袋井付近の水準路線の直下13kmのところの長さ33.6km、幅3.8km、傾斜角35°の逆断層を置き、1.6mのすべり量を与えるもので(Mw7.1に相当)、海陸合同の構造探査から見出された顕著な地殻内反射面や、常時の地殻内地震活動とも整合するという。また、東南海地震の前兆として有名な掛川付近における南上がりの異常傾斜変化も、この断層の運動によって説明でき、プレート境界でのプレスリップによるという解釈には無理が生じてくることになる(名大)。

2007年2月4日から9日にかけて愛知県中部で深部低周波微動活動が生起し、これに伴う歪変化や傾斜変動が観測された。これらのデータから、長さ37km、幅25kmの断層面ですべり量1.1cmの短期的スロースリップイベント(Mw5.7)があったとするモデルが提出された(防災科研)。

## 5. 近畿・中国・四国地方

2006年11月3日、大阪府北部の能勢町付近の深さ8kmでM3.7の地震が発生し、最大震度4が記録された。発震機構は東西圧縮の逆断層型であり、余震活動は

3日間ほどでほぼ収まった。今回の地震は、丹波山地の活発な地震活動域に属しているが、2002年頃からは微小な地震も含めて活動が静穏化している。とくにM3以上の地震について着目すると、2005年頃より静穏化の傾向が顕著である(図11:気象庁)。

2007年4月15日、三重県中部(亀山市付近)の深さ16kmでM5.4の地震が発生し、最大震度5強が記録された。発震機構は北東-南西方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、本震の2分前にはM3.2(最大震度2)の前震が観測された。また、最大余震は本震から約6時間後に発生したM4.6(最大震度4)の地震であった(気象庁)。DD法を用いて再決定された余震分布の全体は約50度で西に傾く面上に並ぶが、本震と最大余震はこれに直交する配置を見せている(図12:名大)。今回の地震の震源は、布引山地東縁断層帯西部の明星ヶ岳断層や椋本断層の直下にあたるが、震源再決定された余震分布の西下がり面を地表に延長すると、伊勢湾沿岸に存在する布引山地東縁断層帯東部の千里(ちさと)断層につながるようである(図12:産総研)。なお、P波速度構造のパーティションと対比させてみると、今回の地震の震源は、浅部の高速度領域と深部の低速度領域との境界で発生したように見られるとの報告があった(防災科研)。

2007年4月26日、愛媛県東予の深さ39kmでM5.3の地震が発生し、最大震度4を記録した。発震機構は東西方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であり、フィリピン海プレート内部の地震である。今回の地震の震源付近では2005年5月27日にM4.7の地震が発生しており、ここ数年は地震活動がやや活発な状況である(気象庁)。地震波速度構造との対比によれば、今回および2005年5月の地震は、いずれもフィリピン海プレート内モホ面よりも深いところで発生していることが判明した(防災科研)。

2007年1月および3月には、四国西部および中央部で活発な深部低周波微動活動が観測され、これに伴う短期的スロースリップが傾斜計により検知された。また、これと同期して、周期20秒から50秒の超低周波地震も捉えられ、波動伝播の様子が報告された(防災科研)。

一方、国土地理院からは、水準測量結果による室戸地方の各水準点の経年変化の様子が報告された。安芸市を基準として、室戸岬はこの60年間でほぼ直線的に40cmほどの沈降を見せており、次の南海地震への準備が着々と進んでいることが示された(図13:地理院)。

## 6. 九州・沖縄地方

2006年11月18日、奄美大島近海(喜界島の北東沖)の深さ30kmでM6.0の地震が発生し、最大震度4を記

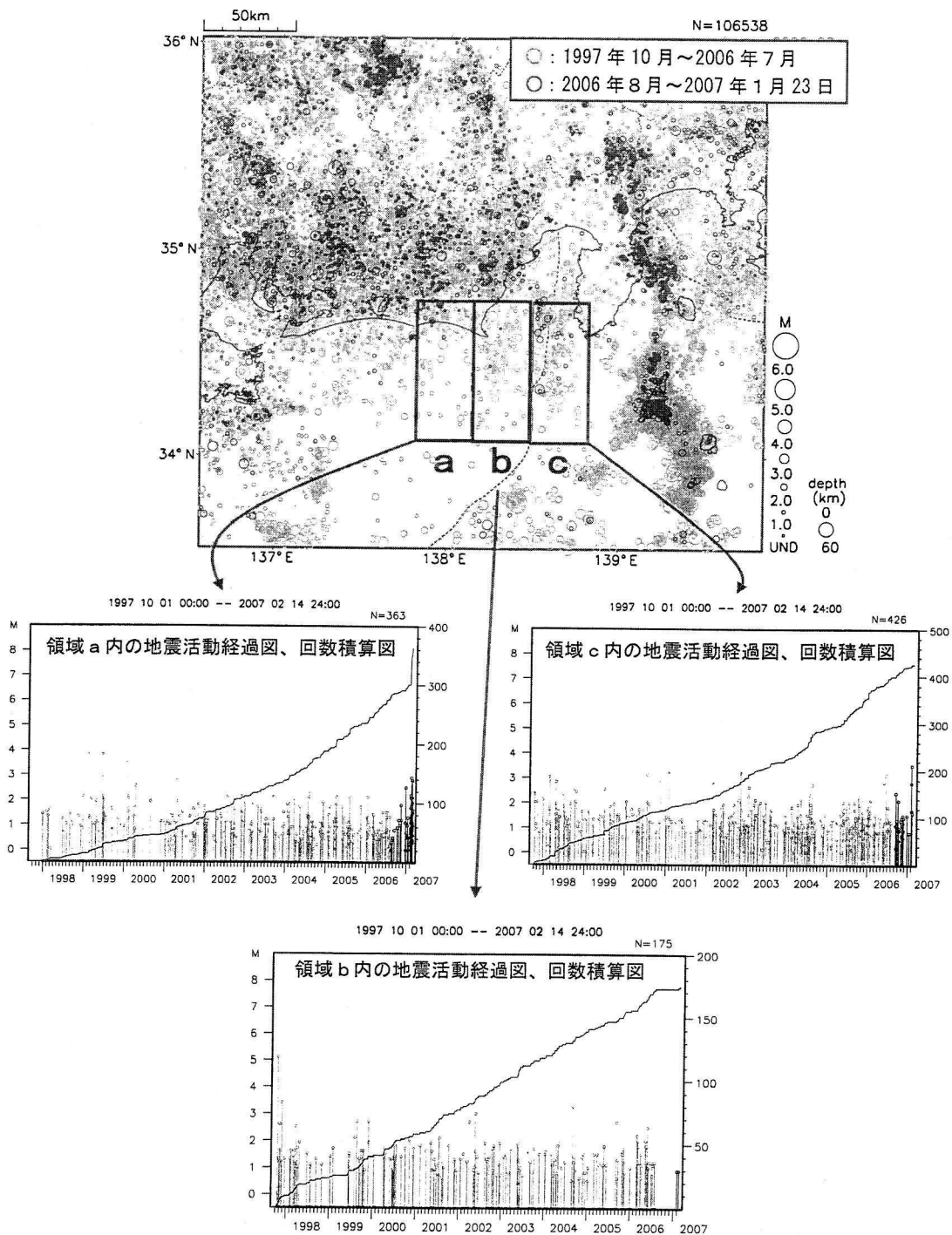


図 9 御前崎周辺の地震クラスタにおける活動経過および回数積算. 薄い印は1997年10月~2006年7月, 濃い印は2006年8月~2007年1月23日に発生した地震を示す. [第171回: 気象庁資料]



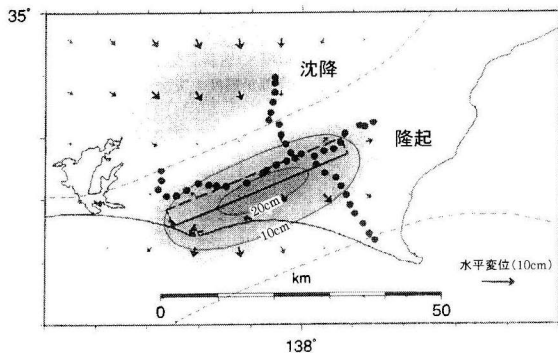


図 10 1944年東南海地震に伴う袋井付近の隆起を説明する断層モデル(矩形部分)。黒丸は水準路線、コンターは上下変動、矢印は水平変動を示す。[第171回:名大資料に加筆]

録した。発震機構は北西-南東方向に圧力軸を有する逆断層型であった。今回の地震の震源周辺では8月から10月にかけて地震活動が活発であり、すぐ北側では8月13日にM 5.3, 9月1日にM 5.4の地震が発生していた。また、今回の地震の南側にある震源密集域では、1995年10月18日にM 6.9, 翌19日にM 6.7の地震があり、ともに津波を発生させている(気象庁)。

2006年12月11日、奄美大島北東沖(屋久島の南方約50 km)の深さ54 kmでM 5.7の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を有する逆断層型であった。なお、今回の地震の南側の震源密集域では、2005年12月4日にM 6.1の地震が発生して地震活動が一時的に高まったのち、2006年前半には通常レベルに戻っていたが、8月ころからは再び活発化していた(気象庁)。

2007年3月22日、熊本地方の深さ6 kmでM 4.0の地震が発生し、最大震度3が記録されたのち、翌23日にもほぼ同じ場所でM 4.1の地震が発生し、最大震度4を記録した。発震機構はともに北北西-南南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で、この付近の地震によく見られるタイプであった。今回の地震の震源は布田川・日奈久断層帯に近接しているが、1997年頃から同断層帯の北側では地震活動が静穏化する一方、南側では対照的に地震活動が活発化しているように見られるとの報告があった(気象庁)。

2007年4月20日、宮古島の北方沖でM 6.7の浅発地震が発生し、最大震度3を記録した。この地震の約1.5時間前にはM 6.3の地震があり、また約30分後にもM 6.1の地震が発生するなど、活発な地震活動が見られた。本震の発震機構は北北西-南南東方向に張力軸を持つ正断層型であり、沖縄トラフの拡大に伴う地震であったと

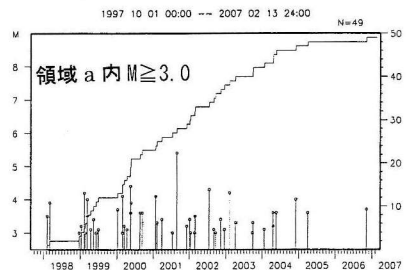
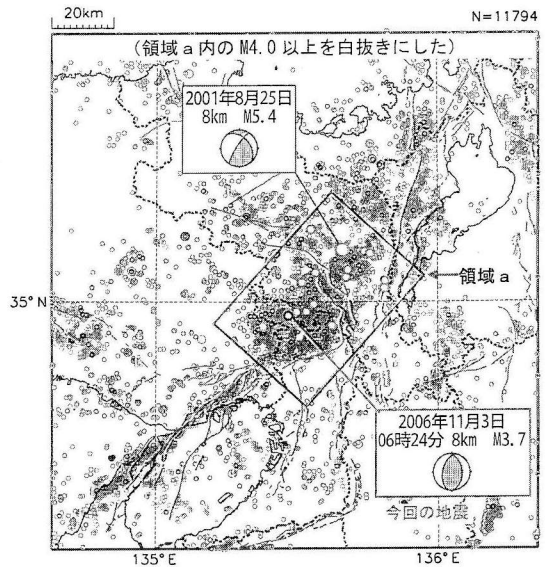


図 11 (上) 2006/11/3 大阪府北部の地震 (M 3.7)。背景は1997年10月以降に発生した30 km以浅、M 1以上の地震を示す。なお、地図内の実線は活断層のトレースを示す。(下) 領域 a 内におけるM 3以上の地震のM-T図および回数積算図。[第171回:気象庁資料より合成]

考えられる。なお、この地震に伴う津波は観測されなかった。今回の地震の震源付近では、これまでもM 6.0以上の地震が時々発生している(図14:気象庁)。

2007年4月21日、沖永良部島付近の深さ42 kmでM 5.7の地震が発生し、最大震度4を記録した。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震であった。今回の地震の震源付近では、2003/1/16にM 5.3, 2004/5/20にM 5.1の地震が発生するなど、M 5.0を超える地震が時々発生している(気象庁)。

## 7. その他

2006年11月15日、千島列島東方の海溝軸内側でM 7.9の地震が発生し、次いで2007年1月13日には海溝

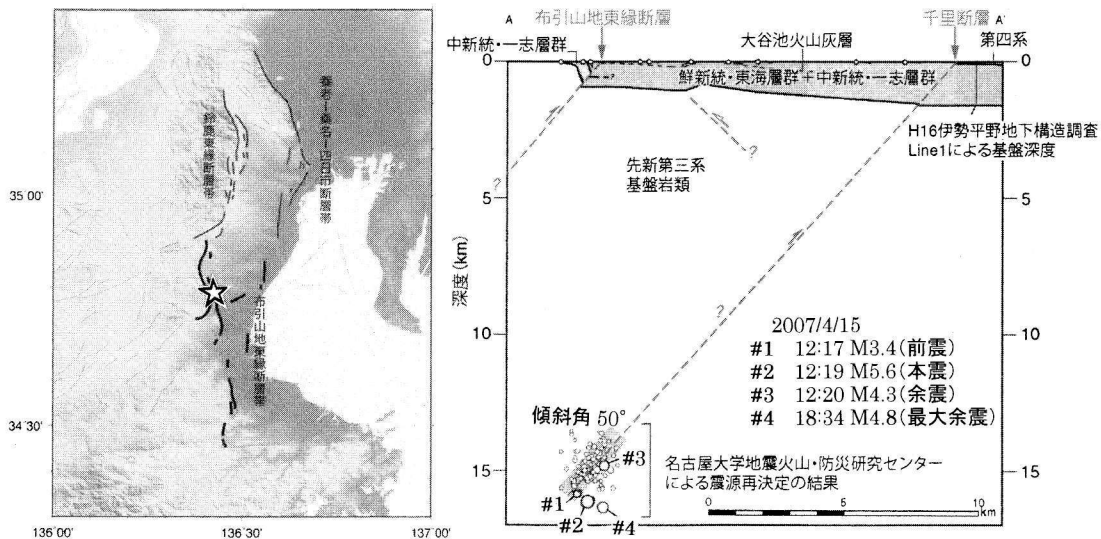


図 12 2007/4/15 三重県中部の地震（星印：M 5.4）と布引山地東縁断層帯との関係。〔第 173 回：名大資料と産総研資料に加筆合成〕

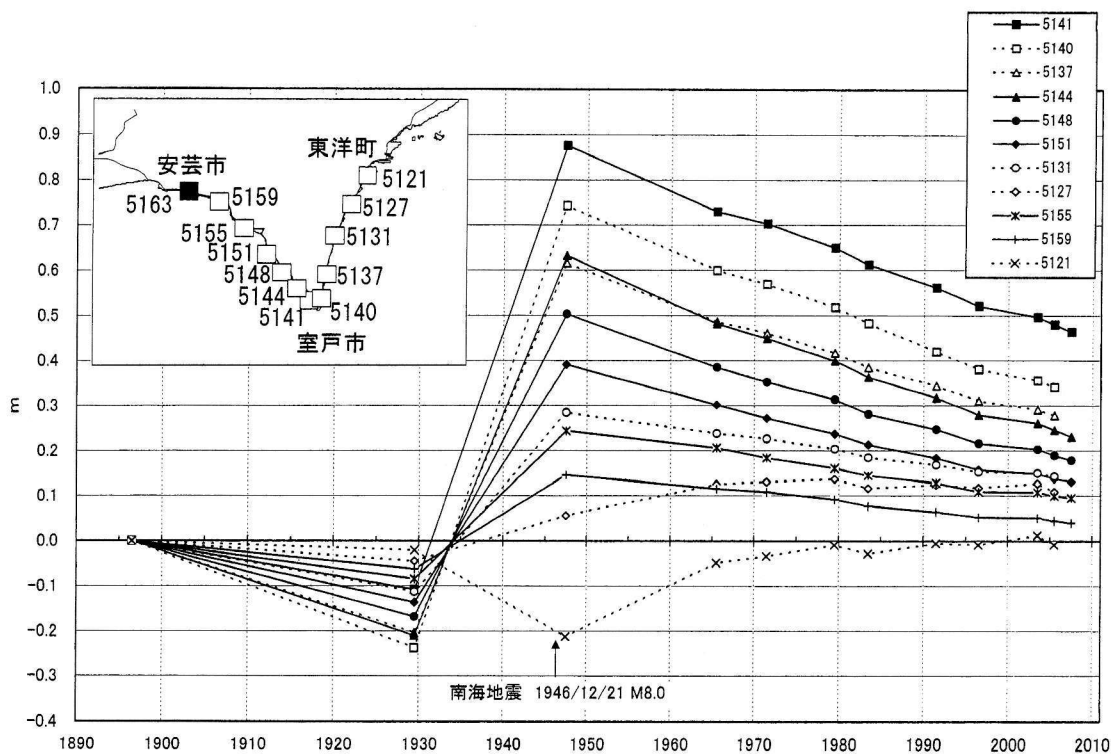


図 13 室戸地方の各水準点の経年変化。基準地点は 5163（安芸市），基準年は 1896 年である。〔第 171 回：地理院資料〕

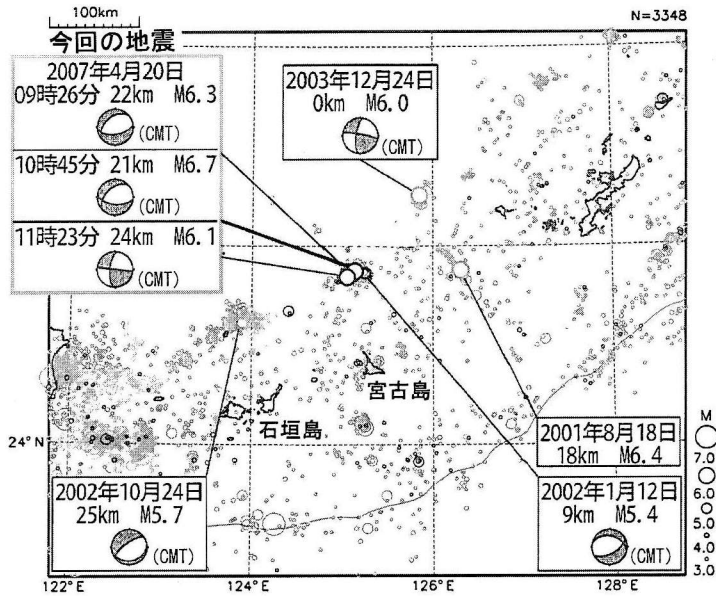


図 14 2001年1月～2007年4月における宮古島周辺の深さ100km以浅、M3以上の地震の震央分布。〔第173回：気象庁資料に加筆〕

軸の外側で M 8.2 の地震が発生した。11月の地震は北西-南東方向に圧力軸をもつ低角逆断層型で、北米プレートと太平洋プレートの境界で発生した地震であるのに対し、1月の地震は北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型であり、太平洋プレート内部で発生したものと考えられる(図15:気象庁)。

全体の震源分布は海溝の西側(領域W)と東側(領域E)に分離しており、11月の地震が起きた領域Wでは9月下旬から10月初旬にかけて地震活動が活発化していた。11月の地震が発生すると、その直後から領域WとEの双方で地震活動が活発化し、それらの活動が収まっていく中で1月の地震が領域E内で発生した。その後は、主として領域E内で地震活動が続いた。この間に発生した主な地震の発震機構は、海溝軸の西側が逆断層、東側は正断層と、明瞭に異なっていた(図16:気象庁)。なお、領域Wにおける前震活動ではb値が有意に小さかったこと、また、11月の地震が1月の地震の断面面に与えた影響( $\Delta CFF$ )は地震を促進するセンスであり、その大きさは最大で地球潮汐の100倍程度であったことが報告された(気象庁)。

今回の2つの地震はいずれも津波を伴ったが、全体の1月の地震の方が津波は小さかった(国内最大波高を記録した三宅島坪田では、11月が80cm、1月が43cm)。また、11月の地震による津波は押しで始まったのに対し、1月の地震による津波はほとんどの観測点で引きが観測された。一方、両地震による国内の最大震度を比較

すると、11月の地震では震度2だったのに対し、1月の地震では震度3となっており、有感範囲も広がった。このように、両地震は注目する周期帯によって地震の規模の大小関係が違って見える。11月の地震と1月の地震は、 $M_j$ (気象庁マグニチュード)だと7.9と8.2、体積歪計から計算した $M_w$ (モーメントマグニチュード)では8.2と8.1、検潮記録から計算された $M_t$ (津波マグニチュード)では8.3と8.1になっている。また、USGSによる $M_s$ (表面波マグニチュード)は7.8と8.2、ハーバード大学による $M_w$ は8.3および8.1と報告されている(気象庁)。

なお、GPS観測結果では、11月の地震の際に北海道北部で東向きに約1cmの系統的な水平変動が検出され、断層モデルとも調和する結果となったが、1月の地震についてはノイズレベルを超えるような地殻変動は観測されていない(地理院)。

2006年12月26日、台湾の南端付近でM7.2の地震が発生し、その8分後にはM7.1の地震がほぼ同じ場所で続いて発生した。最初の地震の発震機構は東北東-西南西方向に張力軸を持つ正断層型であったが、2番目の地震は横ずれ断層に近いものであった。震源付近は、ユーラシアプレートがマニラ海溝からフィリピン海プレートの下へ沈み込む状況となっており、今回の地震はユーラシアプレートの内部で発生したものと考えられる。なお、今回の地震の南方約130kmでは、10月9日にM5.9の地震が発生している(図17:気象庁)。

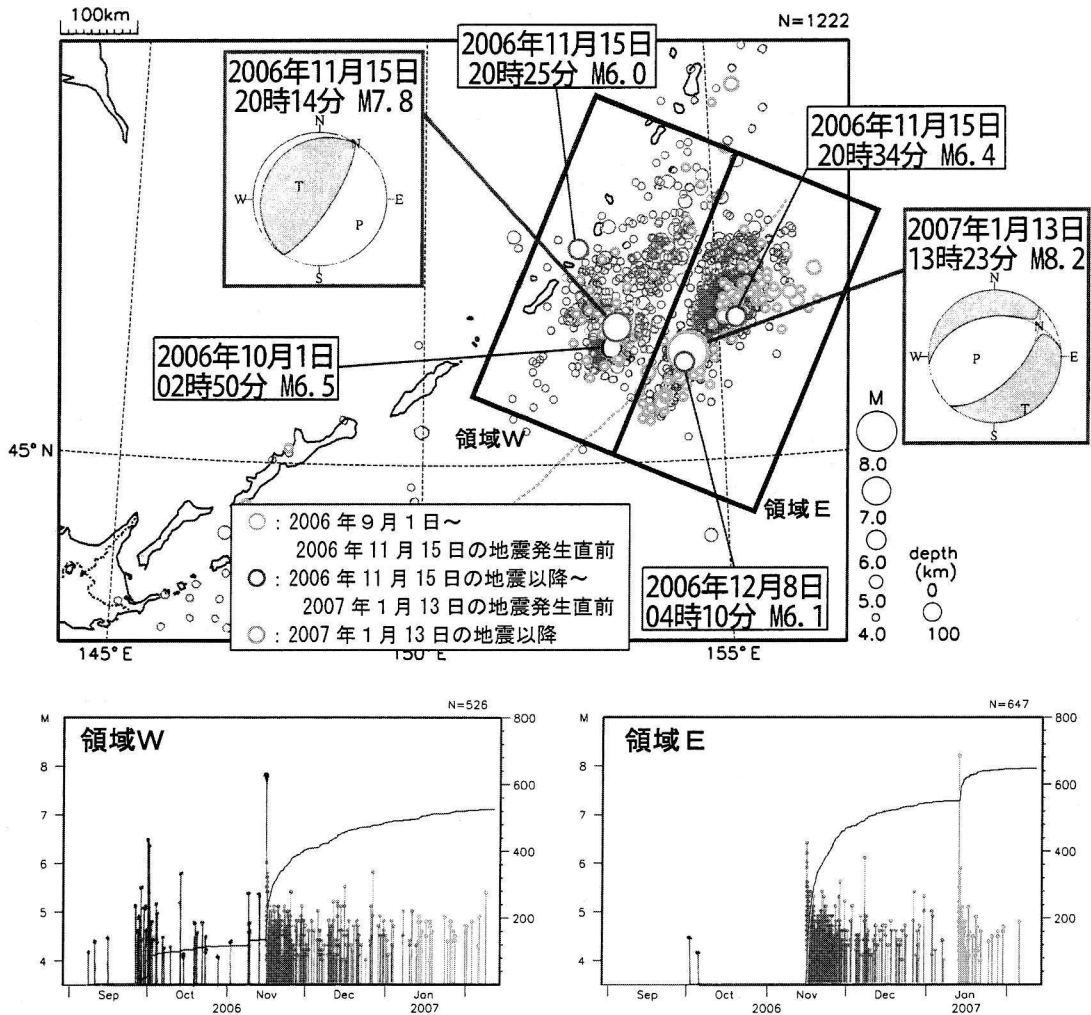


図 15 2006年9月以降千島列島東方で発生したM4以上の地震の震央分布(USGS震源による)と、2006/11/15及び2007/1/13両地震の発震機構解(ハーバード大学によるCMT解)。下段は領域W、Eそれぞれにおける地震活動経過(M-T図)と回数積算を示す。[第171回:気象庁資料より合成]

また2007年1月25日には、台湾の東方沖でM6.1の地震が発生した。発震機構は東北東-西南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型で、圧力軸の方向は周辺の地震の発震機構と調和的であった。今回の地震の周辺にはクラスター的な地震活動域が見られるものの、M5を超える地震の発生は珍しいとのことであった。ただ過去に遡ると、この地震のすぐ近くでは1972年1月25日にM7.5の地震が発生し、石垣島で5cmの津波が観測された例がある(図17:気象庁)。

2007年4月2日、ソロモン諸島でM7.9の地震が発生し、津波により死者52名などの被害を生じた。余震は北西-南東方向の約400kmの領域に分布している。今回の地震の震源付近はインド・オーストラリアプレートが北

東にある太平洋プレートの下に沈みこんでおり、M7を超える地震が度々発生している場所である(気象庁)。ただ、今回の震源は、太平洋プレートの下にリッジが沈みこんでいる非常に特殊な場所の直上で発生したことから、現地での緊急調査が実施された。津波の遡上高調査では、Gizo島西海岸で5mを超える津波、Simbo島の北側で8mの津波があったことが確認された。また、地震前の高潮位の痕跡や、さんご礁のトップから低潮位面までの高さ等から地震に伴う地殻上下変動が見積もられ、Ranonga島では最大3mの隆起、他のすべての島はほとんどが沈降したとの結論になった。これらのデータから推定される断層モデルは、長さ方向の拘束はできないものの、上端の深さは非常に浅く、断層面の傾斜は

35 度程度と比較的大きい必要があることがわかった。このため、リッジが沈み込んでいるために分岐断層的になっている可能性が指摘された (図 18 : 北大ほか)。

## 8. トピックス

### 8-1. 近畿の地殻活動

第 171 回連絡会では、トピックスとして「近畿の地殻活動」(世話人：伊藤潔委員) が取上げられ、近畿地方における最近の地震活動や地殻変動に見られる異常変化の観測結果とその解釈について議論がなされた。

「丹波山地における微小地震活動の静穏化」(京大防災研：片尾浩) では、丹波山地地域での微小地震発生数が 2003 年初頭から 3 割くらい減少し、顕著な静穏化を示し

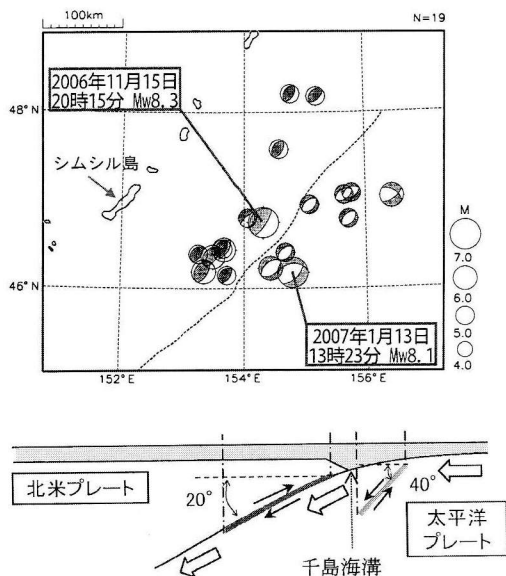


図 16 2006 年 9 月以降に千島列島東方で発生した地震の発震機構解分布 (ハーバード大学による CMT 解) および 11 月と 1 月の両地震の断層モデル。[第 171 回：気象庁資料より合成]

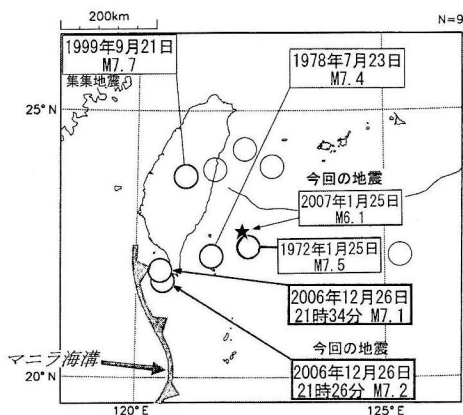


図 17 1965 年以降最近までに台湾付近で発生した M7 以上の地震。星印は、2007 年 1 月 25 日に発生した M6.1 の地震を示す。[第 171 回：気象庁資料に加筆]

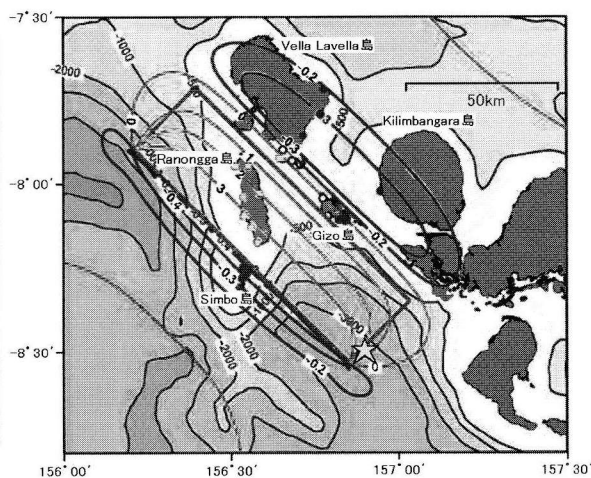
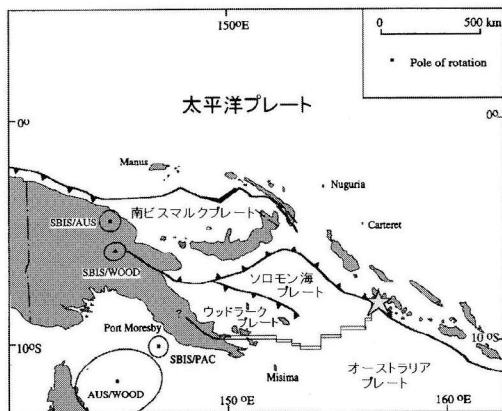


図 18 (左) 2007 年 4 月ソロモン諸島の地震 (星印：M 7.9) の震源域周辺のテクトニクス (Tregonning et al. による)。 (右) 推測された断層モデル。Ranongga 島は全体が隆起、ほかは Vella Lavella 島の南西端を除きすべて沈降したことが確認された。[第 173 回：北大ほか資料に加筆]

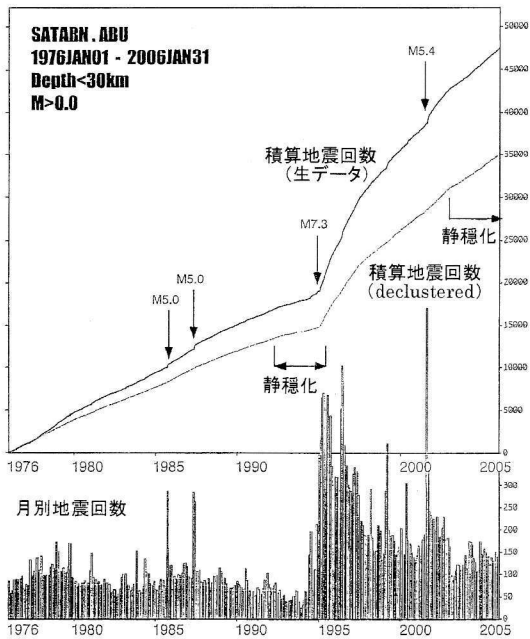


図 19 京都大学阿武山観測所で捉えられた 1976 年から 2006 年 1 月までの積算地震発生数および月別地震発生数。  
[第 171 回: 京大資料に加筆]

たまま現在に至っていることが紹介された。静穏化がとくに著しいのは、京都府中部から琵琶湖西岸にかけての領域である。同地域での微小地震活動が周辺地域の中規模地震に先行して静穏化する現象はこれまでも知られてきたが、過去 30 年間の記録に遡ると、今回のように長期かつ規模の大きな静穏化は、1995 年兵庫県南部地震の数年前に発生した 1 例しかない (図 19)。今回の現象が、きたるべき地震の前兆なのか、それとも兵庫県南部地震によってもたらされた地震活動活発化の終焉を示すのかは定かでない。

「近畿地方中部における地殻変動連続観測に現れた異常変動」(京大防災研: 森井互) では、地震活動の静穏化とはほぼ時期を同じくして、主歪軸方向および歪速度の変化が過去 30 年間の伸縮計記録から見出され、また地下水位観測結果にも同時期に異常が認められることが報告された。同様の現象は兵庫県南部地震に先立つ 1990 年代にも観測されているが、これを震源断層のプレスリップで説明することは定性的にも定量的にも困難なため、歪レート変化の原因はプレート運動に関係した広域歪場の変化であるとの仮説が提出された。具体的には、三重県南部付近のフィリピン海プレート上面に 50 km × 50 km の固着域を想定し、兵庫県南部地震の前には固着が緩んで歪レートが増大したことにより地震が誘発されたとしている。このようなモデルにより、少なくとも定性

的には観測された歪の異常変化を説明できるとのことであった。

「GPS データで見る近畿地方の地殻変動」(京大防災研: 大谷文夫) では、京都大学が花折断層周辺で実施している稠密 GPS 観測結果に 2003 年から傾向変化が見えることから、地理院の GEONET による広域の GPS 観測結果ではどうなっているかを調査した結果が報告された。長さ 40 km 以下の測線の組合せから有意な歪速度変化が検出された地域を抽出すると、新潟-神戸歪集中帯に沿って、丹波地域から琵琶湖西岸にかけての領域が選出された。これらの測線では、2002 年後半に剪断性の歪みが一斉に発生している様子が確認された。このような変化を引き起こすひとつのモデルとして、雁行する横ずれ鉛直断層群の出現が考えられ、実際の状態としては、小規模クラックが多数集まってこれに等価な状態が実現されているのではないかと考えが示された。

「まとめ」(京大防災研: 梅田康弘) では、2003 年頃より近畿地方で観測されている地震活動や地殻変動等の異常を説明するひとつの解釈モデルとして、地下水と応力の変化によってこれらの諸現象がもたらされるとする仮説が紹介された (図 20)。構造探査や地震波トモグラフィの結果から、丹波山地地域の地下には、流体の存在を示唆する反射体が確認されている。地下での応力が増加すると、地殻変動や地下水に異常が現れると同時に、反射体が目詰まりを起こしたり、逆に目詰まりを破られたりして、地震発生層の間隙水圧が低下または上昇することにより、地震活動の静穏化や活発化が引き起こされるとするモデルである。最後に、近年は地下構造 (とくに地震波速度と散乱係数) と地震の発生に関する研究が進展しており、M7 クラスの内陸地震について、どこから破壊が発し、どこで大きな破壊をするかを予め推定することも、ある程度可能になってきたのではないかとする希望の見解が述べられた。

## 8-2. 運動型巨大地震

第 173 回連絡会では、トピックスとして「運動型巨大地震」(世話人: 谷岡勇市郎委員) が取上げられた。スマトラ島地震を契機として、日本周辺でも超巨大地震が発生する可能性はないのかを検討しようとの趣旨である。

「東北～常磐沖と南海沖の巨大津波痕跡」(東大震研: 島崎邦彦) では、まず南海地震の津波古文書調査結果に基づき、1854 年 (安政) と 1946 年 (昭和) の地震では 2 つのアスベリティが関与したのに対し、1707 年 (宝永) には足摺岬沖に推定される第 3 のアスベリティまで破壊したのではないかと推測が述べられた。コアリングによる津波堆積物調査の結果によると、宝永型の特別に大きな南海地震は 300～400 年で繰り返されており、時折

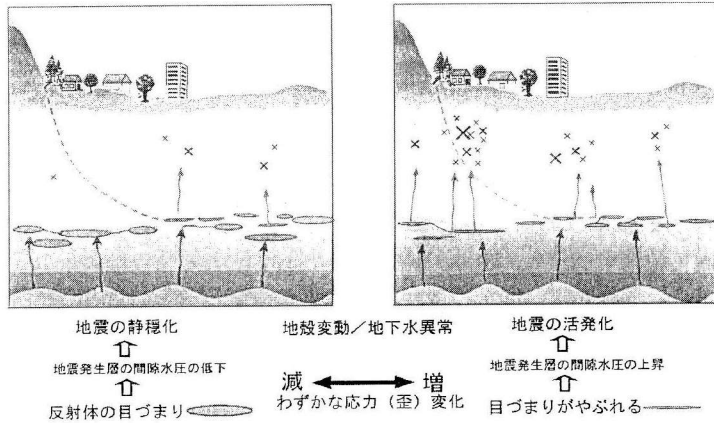


図 20 地下水と応力の変化によって地震活動の活発化・静穏化や地殻変動異常などが引き起こされるモデル。[第 171 回：京大資料]

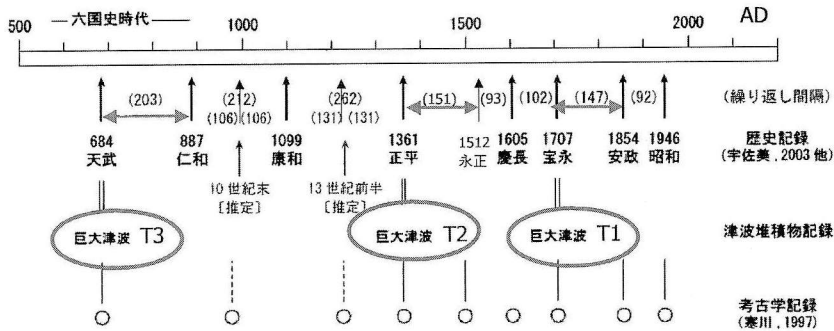


図 21 南海地震系列と、巨大津波を生じさせる超地震サイクルの作業仮説。[第 173 回：東大震研資料]

700 年くらいの間隔を置いた可能性があるという。1361 年（正平）巨大南海地震から 151 年，93 年，102 年の間隔において 1707 年（宝永）巨大南海地震に至ったのち，147 年，92 年の間隔において 1854 年（安政），1946 年（昭和）の南海地震が起きたパターンはよく似ている（図 21）。この次が 300 年ごとの巨大南海地震になるのか，それとも 700 年間隔になるのかはわからない。

同様の津波堆積物による考察から，三陸海岸の過去 6,000 年間における巨大地震の歴史も調査されており，1611 年慶長津波や 869 年貞観津波のように，かなり大きな津波を常磐海岸の北部にもたらした地震が数 100 年の間隔で繰り返されてきた可能性が指摘された。

「東海から琉球にかけての超巨大地震の可能性」（名大：古本宗充）では，従来，南海地震の震源域よりさらに南西方向へ拡大する断層運動は想定されてこなかったが，そうした断層運動は本質的に発生しないのか，それとも発生間隔が長いだけ知られていないだけなのかという問題提起がなされた。通常の南海地震の繰返しでは室戸岬

での永年の隆起は説明できず，時々巨大な地震が起きて一気に隆起させる必要があるという。御前崎や喜界島における地殻変動も，1,700 年に 1 回くらいの間欠的な隆起運動が過去 4 回あったことが知られており，喜界島-室戸岬-御前崎を同時に隆起させる超巨大地震の存在を否定できない（図 22）。ただ，もしこのような地震が起きると，中国大陸の揚子江付近で大きな津波が観測され易いとのシミュレーション結果になるが，中国の文献にこのような津波記録は見出されていない。

いくつかの沈み込み帯でプレートの収束速度と超巨大地震の平均間隔の関係が知られているが，沈み込み速度の遅いプレートほど平均間隔が長く，スマトラのようにこれまで記録されていなかった可能性が高くなる。これに対し，極限的な地震についてゲーテンベルグ-リヒターの関係式をあてはめてよいのか？また，沈み込み帯は地域ごとに個性があり，最大地震も場所によって大きく異なるのではないのか？などの反論が提出された。

「古地震学からみた陸上活断層による連動型地震」（産

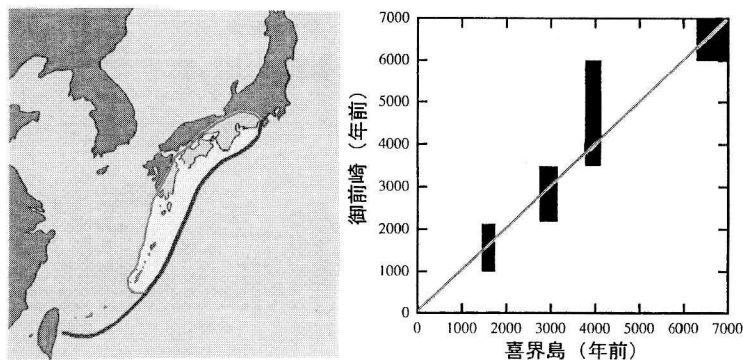


図 22 (左) 仮想「西南日本超巨大地震」。(右) 喜界島と御前崎で見られる間欠的な隆起運動の同時性。[第 173 回：名大資料]

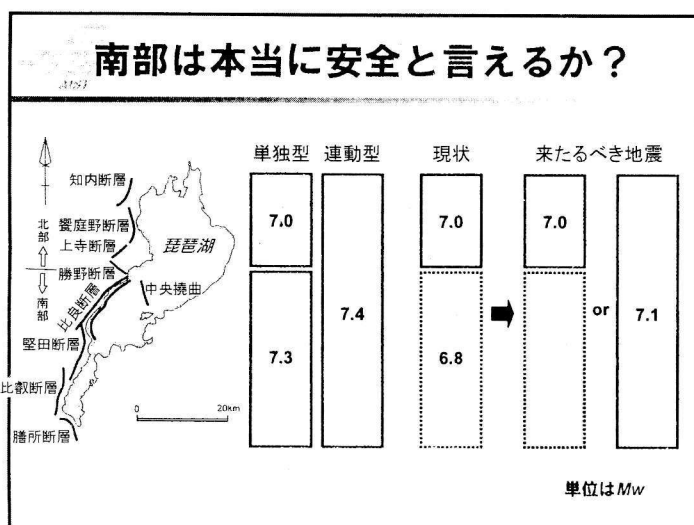


図 23 琵琶湖西岸断層帯の活断層評価と、来たるべき地震の可能性。[第 173 回：産総研資料に加筆]

総研：金田平太郎) では、過去の活動履歴の異なる複数の活断層がまれに同時に破壊して発生させるひとまわり大きな地震についての考察が述べられた。まず、濃尾地震とランダース地震を比較すると、両者はどちらも総延長約 80 km であり、3つの活断層を乗り越った点でよく似ている。だが、各断層の活動履歴を見ると、濃尾地震では過去 9,000 年、ランダース地震では過去 25,000 年の間に認められる数回の活動で、連動した形跡は一度もない。しかし、過去に連動破壊していないからといって、次の地震でも連動破壊しないとは限らず、問題なのは連動を判断する基準がないことである。たとえば、活動間隔が 1,900~4,500 年とされる琵琶湖西岸断層帯について見ると、北部は危険だが、南部は 800 年前に動いたので安全との評価がされている。しかし、その南部についても、最新活動以降すでに約 2 m のすべりを生じさせるだ

けの応力蓄積があり、M 6.8 程度の地震を起こすポテンシャルは持っている。次に起きる地震が単独型か連動型か判断できなければ、北部だけで M 7.0 となるのか、それとも全体が破壊して M 7.1 となるのか、誰もわからない (図 23)。

次世代の活断層評価には、個々の断層の詳細な活動履歴情報に加えて、連動性の解明・評価が不可欠である。そのためには、実際の連動破壊事例や連動しなかった事例を再現し得る (半経験的) モデルの構築が必要となる。そのようなモデルの構成要素としては、断層の幾何学的形態、活動履歴 (応力蓄積状態)、破壊開始点と破壊伝播方向などが考えられ、蓄積した事例データに基づいて、シミュレーション手法やパラメータ設定をチューニングすることが必要であろう。



# ■ 書 評 ■

## ● 理工学生・実務者必読の書

山中浩明 編著

武村雅之・岩田知孝・香川敬生・佐藤俊明 著

### 地震の揺れを科学する

評者 木下繁夫

真面目な本である。これは読者層を制限する。おそらく、自然災害に対する減災対策と危機管理に日々務めている行政上の真面目な実務者が最も読者層として相応しい。次に、この分野の知識をある程度持つ学生と実務者であろう。新たにこの分野を目指す学生、例えば卒論の学生には、お茶の時間に読み聞かせる内容であり、独習には向いていない。本書が講習会用のテキストに近いためである。これは、数式を使わず、図に依存する説明につきまとう裏の面であろう。構成は、マグニチュード、震度及び地震被害をキーワードに地震被害の歴史から教訓を学び取ろうという第一章を序章として、地震を引き起こす断層運動と地表面まで地震断層から射出された地震波が変調される様子を説明する第二及び第三章へ続く。第三章の後半から実務面での扱いに重点が移り、地下構造の推定法と地震動の計測法及び我が国の強震観測を第四章までに説明し、強震動を予測することによる実社会への貢献とその現状を整理して終章としている。

理学と工学を結ぶ広範囲の話であるが、近年の話題も含めて簡潔明瞭に整理されている。強震動の学習や実務に役立つ Web 情報なども十分に入っている。特に第一章は、この分野を代表する話し上手の筆になるだけに一気呵成に読ませてくれる。押さえ気味の社会批判を隠し味として視点の定まった章となっている。一般の読者も、この章を読むだけで本書に価値を見いだせよう。さすがである。章別に見れば明らかであるが、書き易い(或いは説明し易い)章ほど頁数が増える。これは読者の興味にも比例しよう。そういう意味で第五章は飛びつきやすい章であり、図を多用して判りやすい章にしようとする努力が随所にみられる。しかしながら、強震動の予測地図などが、日々見慣れた天気図の様に、実社会で育つほど我が国の土壌は形成されていない。土壌形成は啓

蒙書として精力を注ぎ込むべき第一であろう。

本書のような多数の著者によるオムニバス形式の本では、全体のバランスと章間の接続に编者或いは代表者は気を使うことになる。全体のバランスは良く取れている。ただ、上部地殻と思われる層の厚さを示す図で数値が章によって違っていたり、プレートの厚さを約 100 km として、地殻の厚さを約 30 km とすると残りは何なのか、初心者は戸惑う。些か辛口の書評になってしまったが、本書が啓蒙書として一般向けに書かれたことに対し、敬意を表するに躊躇はない。

<東京大学出版会、2006年7月、B6判、185頁、2,310円>

## ● 震災を考えなおす書

北後 寿 著

### 近代都市の巨大地震災害を追う

評者 伯野元彦

従来の地震被害の報告書では、物的、人的被害は詳細に記述されているが、被害地域の社会環境は、あまり言及されては来なかった。本書は都市震害に関する社会科学的側面をも考えた報告書となっている。具体的には「鉄構技術誌」(鋼構造出版社発行)に筆者が世界の都市震害について発表した多くの小論文に、いくつかの震害調査を付け加え、最後に耐震防災に関する新しい方向として、性能設計手法についての議論を加えて一冊にまとめたものである。著者は、大阪は殆ど被害を受けていないのに、阪神・淡路大震災とは何事かと、神戸大震災という文言しか使わないという一本筋の入った人柄が随所に出ている。

本書は、第1部「都市震害に関する社会科学的背景」と題して、震害が拡大する原因として、人口の都市集中その他の要因を挙げている。

第2部は、神戸大震災について、「被災から復興への軌跡」という副題が示すように、被災直後の状況から、1年後、3年後の復興の状況と、復興計画とその実現への障害、産官学の都市防災問題への対応等、が論じられている。ただこれらの記述は、被災直後、1年後、3年後などの時点における前記雑誌への投稿評論を、そのまま集めたものである。2年も経っているのに、仮設住宅

にはまだ2万人もの人が暮らしている。どうするのか……」などの記述が方々に見られる。読者はその後、どうなっていくのかを知っているだけに、妙な気持ちにさせられる。しかし、これが復興の軌跡を示す貴重な資料となるのであろう。

第3部は、1985年メキシコ大震災を取り扱っており、副題に示すとおり、「近代都市の巨大地震災害の幕開け」に位置するものとして論じている。この地震で大被害を蒙った人口1,200万人の首都メキシコ・シティは湖を干拓したS波速度数10m/秒という超軟弱な表層地盤上にあり、そのため、メキシコ・シティから西方約350kmの海底で起こったM8.1の地震によって、超軟弱地盤の特定の厚さの地盤が約2秒の周期の共振を起こし地盤上に建っていた10階建てくらいの鉄筋コンクリートビルが軒並み大破、崩壊した。

第4部は、世界の震害都市—復興の現場に各国の取り組みを見る—として、米国—ノースリッジ地震、ロマブリエタ地震、トルコーエルジンジャン地震の災害と復興過程、特に行政の対応のよさを称えている。

さらに、付論として、耐震防災に関する新しい方向と題して、副題「危機管理システムと耐震性能工学」を論じている。1989年の米国ウィットピア地震で、被害を蒙ったロックウェル社が、その復旧に当たって、考える地震を、低、高、最高レベルの3種に分け、建物も生じる被害程度に応じて、その性能をA、B、C、Dの4カテゴリーに分け、それぞれのマトリックスにたいして耐震設計を行った。そして、1994年にノースリッジ地震が起こり、ロックウェル社の復旧された建物の被害程度(性能)が地震レベルと対比して調べられた。その結果、建物損傷は予想と比較的あっているという結果が得られた。このことから、耐震設計を性能別に行うという手法が普及し始めた。

日本では、1970年代の終わりから、原子力発電所の耐震設計には、これに似た手法が用いられており、その後、一般建築、土木構造物でも1995年の神戸大震災以降、めったに起こらないような大地震に対しては従来のような亀裂一本入らないという耐震設計はできない。そのような地震に対しては、亀裂は入ってもよい、ただ人命にかかわるので倒壊はさせてはならないという設計に変わってきて、さらには、建物を耐震設計するに当たって、施主の意向、費用の点も考えて、地震はどの程度の大きさを考えるのか、そのような地震によってどの程度の被害まで許してよいのかを考えて設計する、いわゆる性能設計になるであろうことを予測している。

全体として、雑誌に登載された評論をそのまままとめたため、話題が色々飛び、かなり読みづらくなってい

るが、震害を深く掘り起こし考えており、地震工学上貴重な書となっている。

<イワキ・プランニングジャパン, 2006年12月,  
A4判, 187頁, 3,799円>

## ●新刊紹介

独立行政法人 産業技術総合研究所 著

### きちんとわかる巨大地震

白日社, 2006年10月, B6判, 281頁, 1,575円(税込み)

片山善博 著

### 住むことは生きること 鳥取県西部地震と住宅 再建支援

東信堂, 2006年10月, B6判, 78頁, 735円(税込み)

木股文昭, 田中重好 著

### 超巨大地震がやってきた—スマトラ沖地震津波 に学べ

時事通信出版局(時事通信社), 2006年11月, B6判,  
229頁, 1,890円(税込み)

安藤雅孝 著

### いま活断層が危ない—中部の内陸直下型地震

中日新聞社, 2006年10月, A5判, 219頁, 1,799円(税  
込み)

新潟日報社 編

### 中越地震 復興公論

新潟日報社(新潟日報事業社), 2006年10月, B6判,  
317頁, 1,575円(税込み)

里村洋子 著

### 動き出す山古志の衆(しよ) 中越地震からの復 興

アートビレッジ, 2006年10月, B6判, 244頁, 1,799円  
(税込み)

仁杉 巖 監修, 久保村圭助, 町田富士夫 著

### 巨大地震と高速鉄道—新潟中越地震をふりか えて

山海堂, 2006年11月, B6判, 331頁, 2,520円(税込み)

高濱信行 著

### 新潟県中越地震—新潟の大地 災害と生活

新潟日報事業社, 2006年11月, A5判, 255頁, 1,680円  
(税込み)

チームこむん, 細川顕司 著

**うちのマンション大丈夫? 一家族で助かる地震対策マニュアル**

ゆうエージェンシー (学陽書房), 2006年12月, A5判, 127頁, 1,365円 (税込み)

Simon Winchester 著, 柴田裕之 訳

**世界の果てが砕け散る—サンフランシスコ大地震と地質学の大発展**

早川書房, 2006年12月, A5判, 494頁, 2,940円 (税込み)

賃貸不動産管理業協会 著

**早わかり! 地震対策マニュアル (Business selection)**

PHP 研究所, 2007年1月, A5判, 174頁, 1,365円 (税込み)

双葉社スーパーブック

**首都圏大地震リアル対策 Book**

**徹底的に聞いて調べて考えました!**

双葉社, B5変形, 2007年1月, 128頁, 1,260円 (税込み)

金凡性 著

**明治・大正の日本の地震学—「ローカル・サイエンス」を超えて**

東京大学出版会, 2007年1月, A5判, 174頁, 3,360円 (税込み)

棋図かずお 著

**恐怖の地震男**

小学館クリエイティブ, 2007年2月, A5判, 128頁, 2,520円 (税込み)

大野隆造 編著, 瀬尾和大ほか 著

**地震と人間 (シリーズ<都市地震工学>)**

朝倉書店, 2007年1月, B5判, 116頁, 3,360円 (税込み)

左右田鑑穂 著

**地震に強い家づくり**

日経 BP 企画, 2007年2月, A5判, 191頁, 1,470円 (税込み)

梶 秀樹, 塚越 功 著

**都市防災学—地震対策の理論と実践**

学芸出版社 (京都), 2007年3月, A5判, 271頁, 3,150円 (税込み)

# ADEP情報

財団法人 地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動について

## 採用

阿部 勝征	地震調査研究センター所長	19.4.1
澤田 義博	本部 地震防災調査研究部長	19.4.1
河村 廣	東濃地震科学研究所 副首席主任研究員 (非常勤)	19.4.1
宮島 力雄	東濃地震科学研究所参事 (非常勤)	19.4.1

## 配置換等

松浦 律子	(昇任) 地震調査研究センター解析部長	19.4.1
-------	---------------------	--------

## 退職

平澤 朋郎	理事・地震調査研究センター所長	19.3.31
相田 勇	本部 副首席主任研究員	19.3.31
浜田 和郎	地震調査研究センター参事 (非常勤)	19.3.31
藤井 巖	東濃地震科学研究所主任研究員 (非常勤)	19.3.31

## 編集後記

このところ立て続けに2つの被害地震が発生した。3月25日に能登半島地震 M 6.9, 4月15日には三重県で M 5.3, ともに被害が発生した。2004年にも同様な地震の連続発生があった。9月5日に紀伊半島南東沖で M 7.4, 10月23日には新潟県中越地震 M 6.8である。これら4個の地震は東海地方を取り巻くリング上に分布しているように見える。

以前本誌の編集後記に記したのであるが、東海・南海の巨大地震発生の前後に集中して、内陸部に中規模地震が発生する。例えば1854年安政東海・南海地震の前後には、善光寺地震、嘉永小田原地震、伊賀上野地震、安政江戸地震が発生、ともに多くの犠牲者が出た。また1944年東南海、1946年南海地震の前後にも、鳥取地震、三河地震、福井地震の被害発生を見た。

このような目をもって、前記した4個の地震を眺めると、もしかして想定される東海地震発生の前兆かも知れないと不安が募る。1944年から数えて今年まで僅か63年しか経っていない。東海・南海地震の歴史的繰り返し発生は平均して100年余り、最短でも90年の発生間隔があった。63年はあまりにも早すぎ

る。しかしかつての石橋説によれば、1944年の東南海地震の際、駿河湾から東海沖にかけて広い海域が震源域から取り残された。この取り残しが早めの地震発生を促す恐れがあると言う。

地震調査研究推進本部では、現在の時点における東南海地震の発生確率を64%、南海地震のそれは53%と発表した。確率という概念は解りにくい、この数字はかなりの切迫性を示していると言える。東大地震研の瀬野教授が考案したフラクタルアスペリティ/バリア浸食モデルでは、東海地震の発生は2007.6年、つまり今年の7月頃との勘定になる。信じたくない結論だが、無視はできない。詳しくは本誌34号(2002年12月号)をご覧ください。

東海・南海の巨大地震の連動ではなく、想定東海地震が単独に起こったとしても、その被害は甚大である。京浜と阪神を結ぶ日本列島の大動脈を切断するからである。東京も震度5程度に揺れる地域があり、低周波の揺れは高層建築に被害をもたらしかねない。免震構造の耐震性を試す機会にならないとも限らない。付随する中規模地震まで勘案すると、その災害は広域に及び計り知れない。

今年10月28日は宝永東海・南海地震の300周年に当たる。この巨大地震は富士宝永火口の噴火を誘発した。江戸には火山灰が降り注ぎ、昼間でも提灯を付けて歩いたと言う。想定される東海地震でも富士側火山の噴火が懸念され、対応するハザードマップも作成されている。今年12月に発行される本誌44号には、宝永地震と富士山噴火の関連がメインテーマとして取り上げられる予定である。(Y.H.)

## 地震ジャーナル 第43号

平成19年6月20日 発行

発行所 ☎101-0064  
東京都千代田区猿楽町1-5-18  
☎03-3295-1966

財団法人  
地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

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

●製作/ (財)学会誌刊行センター