

# 地震予知の夢

佃 為成

## 1. まえがき

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. 地震発生のモデルと前兆現象

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

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

まっていくと破壊領域が拡大し大地震が発生する。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ(発表者:小笠原)(2005)によると、2001年からの記録を精査したところM<sub>w</sub>0の地震に対し震源距離20~30mの歪計に前兆歪 $10^{-7}$ が観測された。多数の観測例のうち、この地震だけ直前の前兆らしい歪が見つかった。このように、直前の前兆歪の検出は非常に困難であることがわかる。

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

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

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

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

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

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

### 3. 「地下からのサイン」の探求

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

#### 近畿地域の異常地殻活動

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

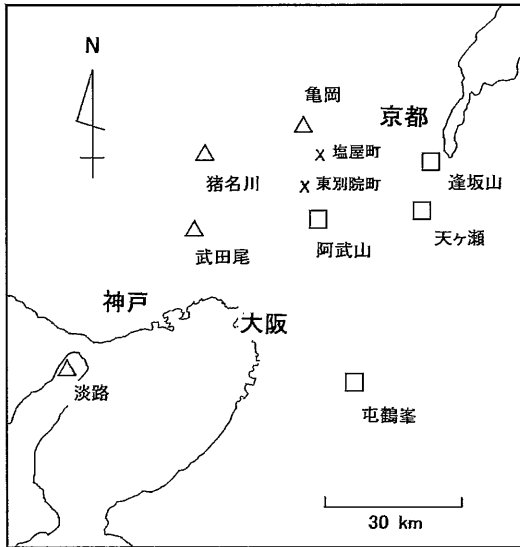


図1 近畿地方の観測点分布。□は京都大学防災研究所の地殻変動観測点（大津市逢坂山，宇治市天ヶ瀬，高槻市阿武山，香芝市屯鶴峯）。△は東京大学地震研究所の水温観測点（亀岡市馬路，猪名川町柏原，西宮市武田尾，淡路市楠本）。×は井戸水が濁った亀岡市塩屋町と東別院町の井戸。

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

### 1) 地殻変動（観測抗における観測）

#### 1-1) 天ヶ瀬観測所（京都府宇治市）

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

#### 1-2) 阿武山観測所（大阪府高槻市）

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

#### 1-3) 屯鶴峯観測所（奈良県香芝市）

阿武山観測所と同様，2002年頃から東西方向の

伸び変化がやや増大した。

#### 1-4) 逢坂山観測所（滋賀県大津市）

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

### 2) 地殻変動（GPS 観測）

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

### 3) 微小地震活動

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

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

### 4) 地下水異常（水温観測など）

#### 4-1) 兵庫県猪名川町柏原

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

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

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

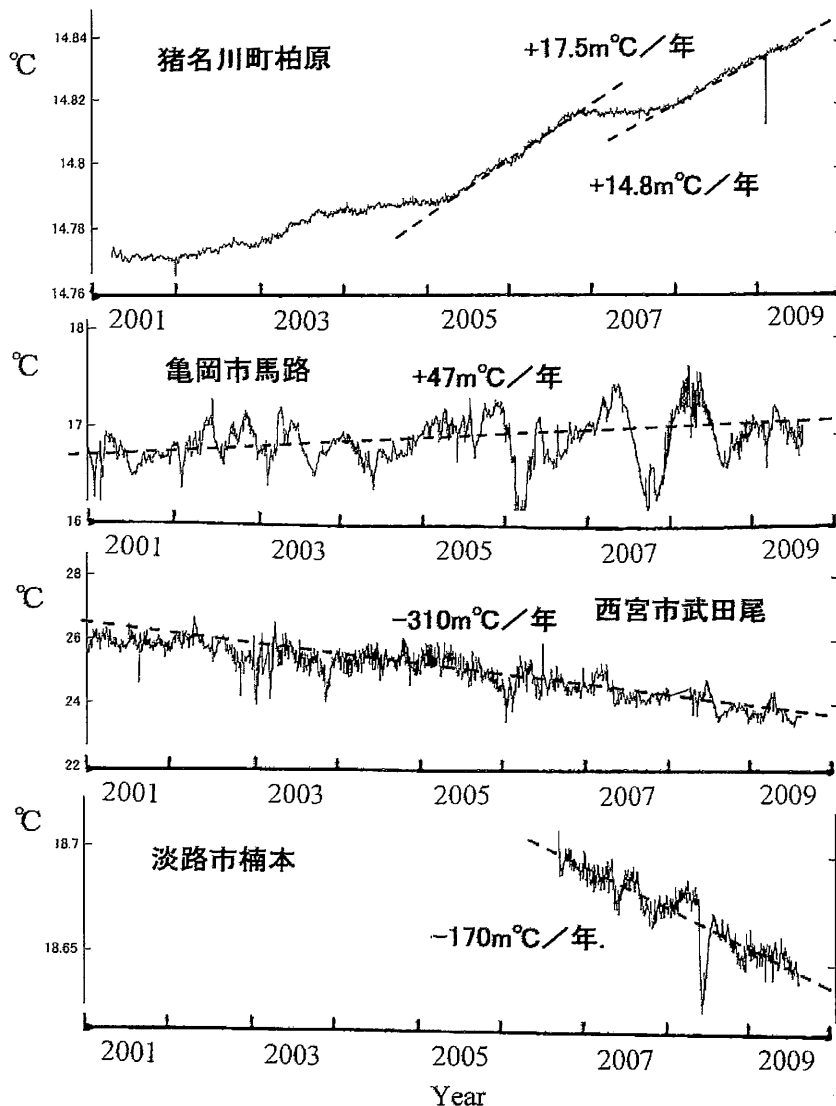


図2 水温変化(1日平均値, 2009年7月中旬まで)。季節変化を除去(猪名川7m°C p-p, 亀岡2.4°C p-p, 武田尾2.0°C p-p, 淡路30m°C p-p)。トレンド: 猪名川+9.4m°C/年, 亀岡+47m°C/年, 武田尾-310m°C/年, 淡路-170m°C/年。

殻変動の伸縮計のデータのように、期間毎に直線的な変化を示す。

#### 4-2) 京都府亀岡市馬路

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

#### 4-3) 兵庫県西宮市武田尾

西宮市武田尾温泉では、2002年中頃から水温が

断続的に降下している(-310 m°C/年)(図2)。

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

#### 4-4) 兵庫県淡路市

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

#### 4-5) 神戸市北区有馬

有馬温泉は極めて特異な温泉で、NaClの量は

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

妬（うわなり）泉源では、兵庫県南部地震の際、水温が低下した。

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

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

## 5) 地下水異常（水の濁り）

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

### 5-1) 京都府亀岡市塩屋町

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

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

### 5-2) 京都府亀岡市東別院町

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

## 6) ガス放出（ラドン観測）

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

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

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

### 6-1) 兵庫県猪名川町柏原

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

### 6-2) 東海道新幹線の京都・米原間

新幹線の測定では、京都付近のラドン放出異常が22%の率で観測された。

地殻変動や水温観測について、近畿地域では以

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

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

#### 4. あとがき

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

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

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

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

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

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

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

素質も磨かなければ努力に負けることが多い、ということをお話で説き明かしている」

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

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

- 1) 世間ではのろまをバカにすることが多い。
- 2) バカにされてもそれにも負けずに少しずつ着実に物事に励む人はいる。
- 3) バカにした人は、自分は簡単に物事を行うことができると思っているため努力を怠る。
- 4) 結局、のろまに見えた人が物事を成就する。
- 5) 以上のことを「予知」すれば、たとえ人にバカにされようとも、一步一步着実に歩いていく道を選ぶことができる。

6) そのやり方こそ夢があって、楽しいのである。イチロー選手が大リーガーになった当時、次のようなことをテレビのコマーシャルで述べた。「できることをやる。一つ一つやる。それを続ける。そうしたら、楽しんでいる自分に気づく」

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

地震予知という事業においても、小粒ながら多

くの夢がころがっていて、一つ一つクリアしていくその先に大きな夢がある。

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

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

### 参考文献

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

佃 為成

[つくだ ためしげ]

現職 日本女子大学非常勤講師  
理学博士

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

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

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

