

## 地球化学と地震予知

脇 田 宏 (化学)

地震に対して近代科学的な研究が行われるようになってから、約100年が経過する。その間、地震学によって集積された地球に対する知識と理解は、驚異的である。しかし、地震の予知という面から考えると、研究はそれほど進んでおらず、予知を実現可能な目標として考えるようになったのも、ごく最近のこゝろである。これには、プレート・テクトニクスと呼ばれる地球物理学上の卓見が大きく影響しているように思われる。この説に従うと、地球の表面は、厚さ100 km程度の大小十数個のプレートからなり、これらのプレートが様々な方向に移動しているため、方々で互にぶつかり合っている。日本のように、プレートの境界面に位置した地域では、周期的な巨大地震の発生は、避けられないこともよく理解される。この周期性は、日本列島の下にもぐり込む海洋プレートに抵抗する大陸プレートの破壊強度に依存している。従って、このような巨大地震の

予知には、歴史上の地震発生時期を調査して、再来時期を予測することも考えられるが、記録に残されているだけでは、回数が少ないため、統計処理に限界がある。そこで、観測によって、前兆現象を積極的に検知することが必須となってくる。

過去の地震の例から、前兆として、確実であるかどうかは別として、地殻変動(土地の隆起、沈降、傾斜)、重力、地磁気、地電流、微小地震の発生頻度、地震波速度、地下水、……など、かなり多種類のものが知られている。これらの中には、時として、顕著な変化がみられる前兆もあるが、大部分のものは、概して、シグナルとノイズの判別が困難である。また、一つの地震に対して、これらの現象が全部観測されることは、ほとんどなく、地震の予知研究には、あらゆる分野の研究、観測を地道に行い、それらの結果を総合的に判断することが必要となる。

上にあげた前兆現象のうち、大部分のものは、す

でに学問的基盤を確立して、大学での研究と併行して科学的な観測が行われている。しかし、地下水や地球化学の分野の地震に関連した研究は非常に遅れている。というよりは、むしろ、これまでほとんど行われなかったというべきかもしれない。昔から、地震前に、地下水位が変化したとか、温泉の湧出量、温度、色、成分が変化したという数多くの報告があるにもかかわらず、積極的、組織的な研究が行われなかったということは不思議なことである。

大体同じ場所に、一定の周期で大地震が発生していると考えると、地殻には、応力の蓄積と解放という周期的な変化が起っていると解釈することができる。従って、その過程で地表近くでおこる地球化学的变化を観測することによって、前兆現象の定量的把握が可能ではないかというのが、私たちの研究目標である。

このような研究では、ある程度、長期に亘る観測が必須なことは言うまでもないが、観測で得られた値を、室内実験においても再現し、理論的基盤を確立することも、同時に重要なことである。ここでは、私たちが行っている地震予知研究のうち、地殻の歪に対応した地球内部からの脱ガス量の変化についての研究を紹介する。

地震の前に、深層地下水に含まれているラドン含有量が、2～3倍も増加するということが知られたのは、今から約10年前のことである。1966年ソ連邦ウズベク共和国の首都タシケントに発生した地震の前兆についての研究結果が発表されたのは、さらに5年ほどたってからである。1973年初夏、施風のような勢で日本の地震学界を襲った「ショルツ理論」あるいは、「ダイラタンシー・ディフュージョン・モデル」と呼ばれる論文がある。この論文は、一つの発震理論に基づき、あらゆる前兆現象を統一的に解釈し、地震予知の可能性を論じたものである。その中で、ラドン放出量変化に関しても、理論的解釈が試みられているので、この理論を簡単に説明する。

地震という岩盤の破壊に先行して、震央域に無数のクラック・空孔が発生し、岩盤のダイラタンシー（膨張）が起る。それによって、この領域は、相対的に水に対して不飽和となり、周辺の飽和した領域

から、地下水が移動して、徐々に、新しく形成された空孔を埋めはじめる。応力の蓄積は継続し、水の流入による空孔圧の増大により、滑り易くなった岩盤は、断層面を形成して、地震が発生するというのである。ダイラタンシーを考えると土地の隆起や傾斜などの現象は、都合よく説明づけられるし、地下深部の水の移動を考えると、重力、地下水、地電流、地磁気その他の異常が起ることについても矛盾はない。

ラドンについて考えると、ラドンは、ウラン系列の天然放射性核種で、短半減期の不活性気体で、直接の親はラジウムである。ウランは、地殻の岩石中にごく普遍的に存在するため、岩石の表面から、絶えずラドンが外部に放出されている。地下水中のラジウム含有量は非常に低いため、地下水に含まれるラドンの大部分は、岩石の表面から直接供給されたものであると考えられる。そこで、地震の前に、クラックの形成によって岩石の表面積が増加する、あるいは、これまで閉されていた岩石内部に新しい通路ができたり、水の移動が起るとすれば、地下水中のラドン濃度が増加することは十分に考えられる。また、地震前に報告されているラドン濃度の変化のパターンは地殻変動のパターンと非常によく類似している。これらのパターンが室内での岩石変形実験の結果とも定性的には一致するということが信憑性を深めることになる。しかし、ラドンについての実験的検討はなされておらず、私たちは、目下、室内実験を計画中である。

ラドン以外にも、地下水中の成分、たとえば、アルゴン、ヘリウム、窒素、炭酸ガス、ヨウ素、水銀などの揮発性物質の他、通常の化学成分に加えて、ウランの同位体比  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  などとも変化している。さらに、水温、水位、pHなども同様である。

このようなことを列挙すると、非常に説得力があって、地下水についてこれらの測定を行えば、すぐにでも地震の予知ができそうに思われてくる。また、地震予知への重要性以外にも、この研究それ自体が、地球内部からの脱ガス機構、地殻の温度・圧力条件下での地下水-岩石間の相互作用、深層地下水のダイナミックスなど、地球化学のテーマとして、非常

に魅力的である。といっても、これまでの仕事からはなれて、新しい領域に入るということが、それほどスムーズなものでないことも確かである。

1973年の秋頃から研究をはじめたのであるが、最初は、何を、どこで、どのようにしてという具合に、疑問符だらけの中で、文字通り、暗中模索の状態であった。今日、東海地震発生の時期が問題となっている御前崎周辺をテストフィールドと決め、井戸探しから着手した。この研究の目的には、とにかく深い井戸が必要で、それも、人里離れた場所にあるものが望ましいだろうということは、誰も考えるところである。しかし、現実には、井戸というものは、水を汲むためのものであって、日本では、すぐ良質の水が得られるため、必要以上に深い井戸はないのである。また、ほとんどの井戸は、大きな川の伏流水を利用しており、同一の帯水層に、大小の工場、村落の揚水井がひしめき合っている状態である。適当と思われる井戸もないまま、一番深い井戸として、深さ150mの水位観測井を静岡県から借用することにした。

観測研究を行ったこともない私たちは、まず、観測の習慣をつけることと、濃度変動の基礎データをとる目的で、月に1回はフィールドに出ることにした。地下百数十米のストレーナー（地下水のとり入れ口）まで、採水器を下ろすなど、当初は3～4人で2～3日を要したので、毎月のボランティアを確保するのも一苦勞であった。その間、地下水中のラドン濃度を連続的に測定、記録する装置を作成し、現在では、東海・伊豆地方など5ヶ所の地点で自動観測を行っている。

これまでの観測の結果、地下水中のラドン濃度は、年間を通してそれほど変化するものでないことがわかった。これならば、2～3倍の変化を地震と結びつけて考えることができるのではないかと思っているうちに、突然、半分以下の濃度になつたりして、何が地下水中のラドン濃度変化を支配しているかなど不明の点が多い。天竜川沿いの竜洋という町の観測井では、ラドン濃度は夜間に高く、昼間に低く、日曜から月曜にかけて、高くなるという規則的な変化がみられている。この変化は、地下水位の変化とも良い相関があり、周辺井戸の揚水量の変化に影響

されていると考えられる。

発生地震との相関については、昨年8月に2回発生した伊豆河津地震が、震源から約20kmと一番近く、地震の規模もマグニチュード5.5と4.5とかなり大きいものであったので、すぐに、2個所の連続観測点に駆けつけたのであるが、全く変化は記録されていなかった。

次に、話題は変わるのであるが、この機会に是非私たちが行っているもう一つの研究も紹介したい。

地震が活断層で起ることから、今や、地震と活断層とは切っては切れない関係にあることが知られている。このため、活断層地形の判別ということは、地震予知上重要な位置を占め、構造地質学者の活躍によって、日本のおもな活断層は、ほとんど明らかとなっている。断層が記入された地図を見ると、日本列島はズタズタといっても良い程、大小の断層によってぎざまざっている。そうになると、これらの断層のうち、ほんとうに危い、すなわち、近い将来動いて、地震が起る活断層はどれなのかを限定することが必要となってくる。この問題の解決は容易ではなく多くの分野からのアプローチが必要とされている。私たちは、地球内部からの脱ガス量の変化に基づいて、活断層の活動度を定量化する目的で、地中空気中のヘリウム測定を計画した。

10年程前、群発した松代地震の原因は、地下深部の水と密接な関係があるといわれている。地震の発生とともに炭酸ガスを含む多量の地下水が湧出し、この水の湧出量が減少するのとはほぼ同時に、地震活動も急激に減衰に向つたのである。私たちは、最初のフィールドを、この松代地震断層に決めた。ヘリウムの測定には、リーク・ディテクターに用いられている質量分析器を可搬型に改造して、現地に向つた。地震断層は、地震研中村氏らの記載通り、田圃のコンクリートの畔の部分に数cmのくいちがいを残し、10年を経過した現在も、断層上のいくつかの地点で、炭酸ガスを含む地下水の湧出がつづいていた。断層と交叉する測線を取り、地中空気に含まれるヘリウムの測定を行った。どのようにして測定すればよいかの確たる理由はなかったが、収穫を終えた田圃にお盆を伏せたり、径5cm、深さ1.5mぐらいの

孔をあけ、蓋をするなどしてしばらく放置し、その間に蓄積したヘリウムの測定を行った。ほとんどの地点でのヘリウムの濃度は、大気と同程度であったが、断層上の何点かで、驚くべき高濃度のヘリウム（定量は困難であるが $\geq 300$  ppm）を測定した。最も著るしい個所では、地表に、蓋をした断面積 $3\text{ cm}^2$ 程度の塩ビ管を立てておくだけで、十数秒後には、大気との間に有意の相違を、そして、40分間も放置すると、内容積約 $130\text{ cc}$ の管中のヘリウム濃度は $300\text{ ppm}$ にまで達した。

大気中のヘリウム含有量は、世界中どこでも一定で、 $5.25\text{ ppm}$ といわれている。これらのヘリウムは、地殻に含まれるウラン、トリウムなどの壊変によって生成され、脱ガス作用によって大気中に供給されたものである。ウランおよび、トリウム $1\text{ g}$ づつから、1年間に生成されるヘリウムは、それぞれ $3.2 \times 10^{12}$ 個、 $7.2 \times 10^{11}$ 個と計算されるので、平均的な組成の地殻の岩石 $100\text{ m}^3$ 中には、1年間で約 $2.4\text{ ml}$ のヘリウムが生成されることになる。従って、地下でヘリウムが選択的に集められたり、長時間閉じ込められている場所では、ヘリウムの濃度は、

かなり高いものとなる。実際、北アメリカ、カナダの天然ガス田の中には $10\%$ 以上のヘリウム井があり、ほとんど全世界の需要に対して生産が行われている。ちなみに日本での最高濃度は、常盤炭田の $0.59\%$ が報告されている。

私たちは、断層のように破碎された地層とそうでない地層とでは、地層の緊密度が異っており、グズグズの地層からは、ヘリウムのような気体がスースー出ているのではないかというイメージを抱いている。今、松代の地下に、 $4\text{ ppm}$ のウランと $12\text{ ppm}$ のトリウムを含む、地殻の平均的岩石が存在すると考える。そして、松代地震の発生によって、たとえば、 $10^4$ 年間蓄積されていたヘリウムが、岩石中に $0.01\%$ 含まれていたその他の気体と共に地表に脱ガスされたとすると、松代で測定したヘリウム濃度については一応説明することができる。ヘリウムの絶対量を推定するためにはフラックスの測定を行う必要がある。

日本では $1000\text{ ppm}$ 以上の濃度があれば企業化されうることであるので、私たちは大きな風呂敷を広げておこうかと考えている。