

## 地震に伴う電磁気現象と地震予知

早川正士

電気通信大学 電子工学科

## 1. 序論:

今回の阪神大震災では多くの人命と財産が消失される大惨事となり、この大惨事は地震予知研究が極めて重要である事を我々に痛感させた。地震学や地震地質学、測地学の進歩に伴い、(1)長期的(数100年オーダー)地震予知、(2)中期的(数10年~年オーダー)予知に関してはそれなりの進歩が見られていると言えよう。しかし、(3)短期的(数ヶ月~数日オーダー)予知の実現はその重要性にもかかわらず、まだ道は遠いように見える。各種観測網(地震、地殻変動等)が整備されつつあるにもかかわらず、大災害をもたらした北海道南西沖地震、阪神地震を含めて、短期(事前)予知に成功した例はない。現時点では、短期的地震予知は当面不可能であるという悲観的見解が支配的である(特に、地震関係者の間では)。

しかし、従来やや非正統的とされてきたラドン濃度、地下水位、地下水温度などの変化、及び各種の電磁気変化などに関連しては、有望な報告が近年多くなされている。特に、ここ数年、地震前兆としての電磁気現象を集中的に取り扱う国際会議も企画され、活発な議論がなされている。これらの電磁気現象はおそらく短期地震予知の本命であろう。地震観測などを主体とする従来の力学的方法は地震後何が起こったかを知るのには有用であるが、地下でのストレス変化に伴う決定的な前兆的現象の検出にはあまり有用でないことは30年来の予知研究の"成果"といってもよいだろう(但し最近の宇宙測地学的手法はやや有望である)。

電磁気的方法を大きく分類してみよう。物性変化は有望かつ学問的に重要なので推進すべきだが、実用化には解決すべき問題が多い。例えば磁場変化は震源(未知)のごく近傍での精密測定が必要であろう。それに対し、電磁気信号については色々な周波数での前兆が報告されている。以下では、このうち、発生時、電源、マグニチュードまでの予知に成功している地電流測定 of 通称VAN法があるが、本論文では、交流(ULFその他)の地震前兆電磁気現象について最近の我々の結果を述べる。以下に述べる観測としては、(1)ULF( $f < 10\text{Hz}$ )電磁放射(2)VLF/LF放射、(3)VLF送信局電波による方法、(4)衛星による電波観測について述べる。

## 2. 電磁放射を用いた地震予知法

## 2.1 ULF電磁放射

まず、筆者が最も有望と考えているULF(周波数が10Hz以下)電磁放射について述べる。後述するVLF/LF/HF波に比して歴史は浅いが、大きな地震に対して信頼できる観測事実が近年蓄積されつつある。前述のVAN法が直流(DC)の電界を測定するのに対し、ULF法ではAC(交流)のうちのULF帯の電界、磁界を測定対象とする。近年、二つの大きな地震、すなわち(1)1988年12月18日に発生したアルメニアのスピタック地震と(2)1989年10月8日に発生したカリフォルニアのロマ・プリータ地震に対して明瞭な前兆的ULF電磁放射が観測された。

前述の二つの大きな地震に対するULF電磁放射に加えて、我々の1993年8月8日のグアム地震に対する解析結果を示そう。我々の論文ではスペースプラズマ波動との弁別に最大限の考慮を払っている。ULF放射を扱う時は超高層(磁気圏)から飛来するプラズマ波動が地震前兆の検出には妨害となるが、これを如何に除去するかは前述の二大地震に対しては充分には解明されていなかったため、我々の仕事は一つの明確な指針を与えたものといえよう。グアム地震の諸特性は次の通りである。(1)日時:1993年8月8日、(2) $M_s=8.0$ 、(3)震源の深さ:~60km。ULF観測点は震央より65kmで、観測用の磁力計はプロトンフラックスゲート型磁力計であり、三成分(H成分(NS方向)、D成分(EW方向)、Z成分(Z方向))波形を1秒サンプリングし、記録するシステムである。昼間は夜間に比してULF電磁放射の変動が大きいので、夜間(地方時22時~02時)のデータのみを用いて、30分毎のデータに対してFFT解析を行い、月平均値(m)及び標準偏差( $\sigma$ )との比較からULF(周波数0.01~0.05Hz)の活動度を分類している。先ずこれらのULF活動と地磁気擾乱(即ちスペース活動)との相関を取った。従来の研究からスペース波動は地磁気活動と強い相関があることがわかっているため、スペースのプラズマ波動の影響であることが明らかなものと、明らかにそうではないもの、どちらとも判断に苦しむものに分離する。この種の詳細な研究自体初めての試みであった。次に、三成分計測を用いての解析(一種の偏波解析)を提案した。即ち、スペースのプラズマ波動は上空より飛来するのでZ/Hが極めて小さいことが予想されるのに対し、そうでないもの(多分地震前兆ULF波)は $Z/H \geq 1$ を越える事が予想される。事実、スペースプラズマの影響によると思われるULF放射に対してはH/Zが最大で0.2~0.3であるが、地震と関係すると思われるULF放射に対してはZ/Hが1.0を越えている。地震の前1ヶ月間ではZ/Hが大きな値を取っており、地震前兆ULF波であることを示唆する。その時のz成分(Hz)の変化はロマ・プリータ地震でのULF波の変化と極めて良く似ていることが理解されよう。我々が提案したこのような信号処理は極めて有用であり、それはVAN法での信号処理法に対応するものである。

## 2.2 VLF/LF電磁放射

ULF波に比して、VLF/LF帯での地震前兆現象の歴史はかなり長い。即ち、VLF/LF電波関係の先駆的仕事は1982年のGokhbergらの論文にさかのぼることはすでに述べた。その後も世界各国において多くの報告が行われている。この周波数での観測結果と問題点を指摘する。

### 3. 新しい観測方法

#### 3. 1 ULF/ELF/VLF波の衛星観測

地震前兆の電磁放射が衛星でも受信されているという報告を1988年ロシアのグループがはじめて行って以来、仏国、米国グループなどがそれぞれの衛星波動データを用いて研究した。この分野の最近の我々の総合的論文の内容を紹介しよう。研究に用いた衛星は Intercosmos-24 衛星で、この衛星は1989年9月28日打ち上げられ、その近地点は約500km、遠地点は2500kmで、傾斜角は83°である。この衛星はもともとスペースのプラズマ波動の研究のためのものであり、観測周波数が8Hz~20kHzであるため、本研究にも使い得るものであった。まず、衛星観測の特長はたとえ数カ月の期間でも極めて多くの地震を対象とする事が出来る点であろう。事実、1989年11月16日より12月31日までの約1.5ヶ月間の観測期間中に5.2<Ms<6.1の28ヶの地震を対象とする事が出来た。地震の2時間前に、震央の緯度より少々離れた所で電磁放射が受信されている。低緯度領域での地震関連電波の受信の妨害となるのは自然雑音（雷からの空電、ホイスラ、磁気圏放射）である。我々は受信器の検波回路、プラズマ波の諸特性に関する従来の研究成果を最大限に活用して、この分離を試みた。観測された電磁放射の受信時刻と地震時刻との時間関係を調べたが、電磁放射は地震の前12~24時間にピークを示していることが理解されよう。これは地震予知の可能性を示唆している。

仏国のグループは GEOS、AUREOL 衛星波動データを用いてVLF帯の前兆現象を報告、地震前兆電磁放射の存在を支持している。しかし、スタンフォード大学グループは米国衛星データの解析に基づいて少なくともVLFには同様の現象はなかったと報告している。今後、地球電磁気環境をモニターする衛星の実現が望まれるところである。

#### 3. 2 VLF送信波の受信による方法

VLF送信局は航行用としてのオメガ局など多数が世界中に存在している。送信局から発信された電波は電離層と大地から成る導波管内を伝搬し、受信点で受信されるが、その振幅と位相をモニターするのである。送信局と受信点とを結ぶ大円上において地震の影響として電離層が影響を受けていると、その効果が振幅、位相にて検出される (Gufeld et al.とHayakawa and Sato,"Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction(以下 EPREP)", ed.M.Hayakawa & Y.Fujinawa)。特に、位相観測は小さな変化に対しても極めて敏感である事がわかっている。Gufeldらはアルメニアのスピタック地震に対してはじめてこの異常を発見した。即ち、リベリアのオメガ局をモスクワとオムスク（ともにロシア）にて受信した際、その位相の日変化が地震の二週間前後より平常値よりも著しく大きな変動（特に夜間）を示し、地震後にはそのような異常は全く認められなかった。震央はリベリアのオメガ局と受信点とを結ぶ大円のすぐ近くに位置しており、これは長距離（伝搬距離は数千km以上）伝搬に対する結果である。

今回の神戸地震の際の結果（通信総合研究所との共同研究）は現在投稿中であるが、その結果を簡単に述べる。送信点（九州の対馬のオメガ局）と受信点のほぼ大円上に震央があると考えられる。伝搬距離はほぼ1,000kmで、前述の長距離伝搬の結果とは著しく異なった全く新しい異常を示すことがわかった。銚子の犬吠観測所での10.3kHz電波の位相変化を日を追って描いみると、複数モードの干渉による位相最小となる日出、日没の時間の変化が興味深い。地震の数日前より位相最小を示す日出の時間は早くなり、位相最小を示す日没の時間は遅くなるという顕著な変化を示している。即ち、等価的に日中が長くなっている。地震の2週間後の変化は地震前の1週間の変化と全く同じである。この間の地磁気活動は $\Sigma K \leq 15$ という極めて静かな状況で、超高層からの粒子降下の可能性は極めて低いと言える。

本VLF送信波による方法では地震に伴う擾乱域はほぼ送信局-受信点を結ぶ大円の近くである事からいろいろな送信局-受信点のパスを考えてネットワークを組むことにより擾乱域を同定することも可能であろう。

近年、同様の擾乱が中波 (Bella et al., EPREP) やFM電波においても観測されているが、これらはすべて同様の機構（地震の前に現れるラドン等の放出による大気導電率、電離層下部電離層の変化）によるものと考えられよう。