

サブヘルツ電磁波の観測による地震の短期予測について

大阪大学名誉教授

塩 澤 俊 之

1. まえがき

筆者は、平成 16 年 3 月に大阪大学を定年退官し、同年 4 月名古屋市の郊外にある中部大学に移り、平成 23 年 3 月同大学を定年退職しました。中部大学には丸 7 年間在籍しましたが、この間、教育・研究および管理業務に従事する傍ら、文部科学省学術フロンティア推進事業「地殻現象モニタリング手法高度化に基づく予測と情報伝達の科学創生」（平成 18 年度～平成 22 年度）に参画し、地震の電磁的前兆現象の理論的解明の問題に取り組みました。中部大学では、以前より、地震の前後に発生する超低周波の電磁波の観測が行われてきましたが、これらの観測に関わった研究者との交流、関連分野の主要な文献の調査、筆者自らが行った理論解析の結果と観測事実との照合等を通じて、大地震の起こる直前（数週間、数日あるいは数時間前）に発生する周波数が 1Hz 以下のサブヘルツ電磁波の観測によって、大地震の短期予測が可能であるという確信がもてるようになりました。本稿では、読者の皆様のご参考までに、地震の直前に地殻内でどのようなメカニズムによってサブヘルツの電磁波が発生し、地表まで伝搬して観測されるようになるか、また、このような超低周波の電磁波の観測がどのように大地震の短期予測に繋がるかについて簡潔に解説したいと思います。

2. 観測事実

これまでに、大地震の起こる直前にサブヘルツ電磁波が観測された事例は多数報告されていますが、とりわけ、以下の 2 つの例はよく知られています。これらの地震に関する報告は、何れも、アメリカ地球物理学会速報誌に掲載されています。

(1) スピタク地震（アルメニア）¹⁾

この地震は、1988 年 12 月 7 日に発生、マグニチュードは 6.9。この地震の震央（震源の真上の地表の点）から約 130km 離れた地点で行われた観測では、地震発生の 1～2 週間前から、サブヘルツ電磁波の磁界強度の上昇が見られ、特に、3～4 日前からは著しい上昇が認められています。

(2) ロマ・ブリータ地震（カリフォルニア）²⁾

この地震は、1989 年 10 月 17 日に発生、マグニチュードは 7.1。震央から 7 km の地点で、地震発生の 12 日前ごろから、0.01 Hz のサブヘルツ電磁波の磁界強度が平時の約 20 倍に上昇し、特に、数時間前には約 60 倍に上昇しました。

一般に、地震の前兆現象として観測される電磁波は微弱なノイズであるため、高度の信号処理の技術を用いて、他のノイズから分離することが必要です。主な背景ノイズとしては、地磁気変動のノイズ、工場や直流電車などから発生する人工ノイズ、空電によるノイズなどがありますが、サブヘルツ帯では、特に地磁気変動によるノイズが重要です。上の 2 つの例では、観測期間においては地磁気活動が比較的静穏であったことが確認されています。

3. サブヘルツ電磁波発生メカニズム

地震が起こる直前に、どのようにしてサブヘルツの電磁波が発生するのかを考えて見ましょう。地震は、プレート境界あるいはプレート内部の活断層に蓄えられた歪のエネルギーが急激に開放されることによって起こります。地震の際の岩盤の破壊は瞬間的に起こるのではなく、地震の前の段階から徐々にその破壊が進みます。この破壊が進む過程では、プレート境界あるいは断層面を挟んで岩盤が強い力で押し合ったり、引き合ったりするわけですから、もともと電氣的に中性であった岩盤の間に電荷分離が生じることは、摩擦電気からの類推によっても、容易に想像できます。この電荷分離によって生じた電荷が岩盤に沿って移動すれば電流が流れることになります。

それでは、どのようにして、岩盤の間に電荷分離が起こり、電流が発生するかについて、もう少し具体的に考えて見ましょう。ところで、地殻を構成する岩盤は一般に花崗岩あるいは玄武岩などの火成岩からできていますが、これらの岩石の主要な成分はケイ素酸化物（ SiO_2 ）です。これらの岩石に強い衝撃が加わると、ケイ素酸化物を構成する酸素中の電子が分子結合から解放され、後に電子の抜けた空孔（ホール）を残しま

す。このホールは電氣的には正電荷と同じ働きをします。このようにして発生した多量のホールは拡散によって地球の表面に向かって移動し、一方電子群は温度の高い地球内部（マントル）の方へ移動します。その結果として、地殻内では時間的に緩やかに変動する大電流が流れることになります。上のような過程によって電荷の分離と電流が発生することは、NASAの研究者によって、地上の実験室で実証されています³⁾。

ところで、マクスウェルの電磁理論によると、電流が流れると、その周りの空間に電磁界が発生します。上述のような過程によって生じた電流が源となって発生する電磁波は広い周波数の広がりを持っていますが、その中で、周波数の高い成分は地殻内部で急激に減衰し、比較的周波数の低い成分のみが生き残って地球の表面まで伝搬してきます。このように周波数の低い（波長の長い）電磁波に対しては、地殻は電磁気学的には導電性の媒質として振る舞います。

4. サブヘルツ電磁波伝搬のメカニズム⁴⁾

それでは、震源で発生した電磁波がどのように地殻内を伝搬し、地球の外部に現れてくるかについて考えてみましょう。3.で説明した過程によって発生する電流およびその電流によって生じる電磁界に対する厳密な数学的表示を求めることは一般に極めて困難です。以下では、震源からの電磁波の伝搬の問題を、次のように、近似的に取り扱います。震源で発生した電磁波は、震源を中心として球面波として広がって行きますが、この球面波はいろいろな方向に伝搬する平面波の集合と考えることができます。これら多くの平面波が地球の表面に達したとき、伝搬方向と地球の表面に立てた垂線とのなす角がある値（臨界角 θ_c ）よりも小さい場合には、その平面波は地球外部に透過し、大気圏を伝搬して電離層に入射し、その一部は反射されて再び地表にもどってきます。一方、伝搬方向と地球の表面に立てた垂線とのなす角が臨界角よりも大きい場合には、その平面波は、地殻と大気の境界面において全反射し、地球の表面に沿って表面波として伝搬します。以上、2通りの経路を通して伝搬してきた平面波が震央から離れた地表面で観測されることになります。

サブヘルツ帯では、全反射の臨界角は非常に小さい値（ $\theta_c \ll 1$ ）を取るため、震源から出たサブヘルツ電磁波は、震源と震央を結ぶ直線の周りの非常に狭い伝搬路を通して地殻内を伝搬し、地殻と大気の境界面に達すると、その大部分は反射されて地殻内部に戻って

行きますが、一部は入射角の値に応じて大気中のいろいろな方向に伝搬して行きます。

これまでの地震の前兆現象と考えられる超低周波の電磁波は、大部分はサブヘルツ帯で直接観測されています。すなわち、他の周波数帯よりもサブヘルツ帯において観測しやすいということです。ここで、その理由を考えてみましょう。まず、この周波数帯では、空電によるノイズが小さく、工場あるいは直流電車などによる人工ノイズも、観測時間帯を深夜に選べば十分小さくなります。また、震源から地殻と大気の境界面に伝搬してくる超低周波の電磁波の電力減衰係数は、震源における電力に対する地殻と大気の境界面に達したときの電力の比によって表されますが、この係数は、周波数が0から増加すると、指数関数的に単調に減少します。一方、地殻と大気の境界面における電力透過係数は、周波数の増加とともに単調に増加します。従って、震源から出た電力のうち、大気中に出てくる電力の割合は、上の2つの係数、すなわち、電力減衰係数と地殻と大気の境界面における電力透過係数の積で表されます。この積、すなわち、実効電力透過係数は、地殻の導電率の値および震源の深さによって決まるある周波数において、最大値を取ります。実際の地殻の導電率の値および震源の深さに対して、この最大値は、サブヘルツ帯において得られます。以上の理論解析の結果は、観測事実とよく一致することが判明しました。上の議論から、地震の前兆現象と考えられる微弱な電磁波が、なぜ、他の周波数帯よりもサブヘルツ帯において観測されやすいかが理解できると思います。

5. 中長期予測から短期予測へ

地震の予測は、予測期間が数百年の長期予測、数年から数十年の中期予測、ならびに数か月から数日の短期予測に分けられます。この中で、中長期予測と短期予測の間には明確な相違があります。すなわち、中長期予測では、ある特定の地域で起こる地震の履歴を歴史的に詳しく調べ、そこで得られた観測データを基にして、将来起こり得る地震を統計的、確率論的に予測します。例えば、「今から何年後までに、確率何パーセントで、マグニチュードがいくつの地震が、ある地域で起こる可能性がある。」といった予測です。このような予測では、実際の検証は不可能であり、あまり意味がないように思われます。しかしながら、これによって、行政機関が防災計画を策定したり、人々の防災意識を高めたりするのには役立つでしょう。

中長期予測のよく知られた実例としては、想定東海地震の予測があります。政府の地震調査委員会は、浜岡原発直下で発生すると想定されるマグニチュード8以上の東海地震が、今後30年以内に確率88%で発生する可能性があるとしています。東海地震は、駿河湾から九州にかけての海底の溝、すなわち、南海トラフ沿いで起こる地震の1つで、西隣に東南海地震、さらに西に南海地震の震源域が広がっています。各地震は100～150年の周期で発生していますが、東海地震は、前回の1854年以降、150年以上経過した現在でも、まだ起こっていません。このような歴史的事実ならびに近隣の地殻変動の観測に基づいて、上記の中長期予測が出されたわけです。これまでに、地震学、地質学ならびに測地学等に基礎を置く地震の研究の目覚ましい進展によって、プレートテクトニクス（地球表面を覆うプレートの運動によって地震や火山活動などの地球表面の活動を説明する地球物理学の分野）の成功に見られるように、地震発生メカニズムはかなりよく理解されるようになり、それによって、地震の中長期予測が可能になりました。

一方、短期予測は、中長期予測とは異なり、地震の直前に起こる何らかの前兆現象を捉えて、これを時間的に追跡することにより予測を行うものです。従って、中長期予測は統計的あるいは確率論的予測であるのに対して、短期予測は決定論的予測であるということです。これは、台風の予測において、時々刻々変化する台風の目の周りの雲の様子を人工衛星や気象レーダーで追跡しながら、台風の進路やその勢力を予測するのに似ています。ところで、短期的な地震の予測には、地震学的な予測と電磁気学的な予測が考えられます。まず、地震学的な予測は、弾性学に基礎を置くものであり、地殻の歪を歪計によって計測し、地殻の変動を捉えます。特に、GPSを用いたシステムでは、広範囲にわたって地殻表面の歪を観測することができますが、歪計は地殻の特定の1点とその近傍の歪しか計測できません。一般に、地震の震源は地下数10kmにありますから、震源の大まかな位置が事前にわからない限り、従来の地震学的な短期予測には原理的な困難を伴います。

他方、先に詳しく述べましたように、地震の直前に発生するサブヘルツ電磁波を捉えて、これを時間的に追跡することによって予測を行うものが、電磁気学的な短期予測の代表例です。サブヘルツ電磁波の場合に

は、スピタク地震の例からもわかりますように、震源における電磁的な変動は、震央より100km以上も離れた地表面上の点まで伝搬することが可能です。これは、地殻の力学的な歪を計測することによって予測を行う従来の地震学的方法に比べてはるかに有利な点です。但し、地表面上にある震央の位置を特定するためには、少なくとも2つ以上の観測点が必要です。波長の短い電磁波、すなわち、指向性の良い電磁波の場合には、2つの観測点で十分ですが、サブヘルツ波のように波長の非常に長い電磁波ではもっと多くの観測点が必要です。しかしながら、先に述べましたように、従来の地震学的方法に比べれば、はるかに少ない観測装置により有効な予測が可能になると考えられます。電磁気学的な地震の短期予測システムの確立のためには、全国的な観測網を早急に構築することが望まれます。

6. むすび

本稿では、地震の直前に発生するサブヘルツ電磁波の観測による地震の短期予測について、従来の地震学による予測と比較しながら、その可能性について考察しました。この問題に関心をもたれる読者の皆様のご参考になれば幸いです。なお、本文の詳細につきましては、文献⁵⁾をご参照下さい。

<参考文献>

- 1) O. A. Molchanov, Yu. A. Kopytenko, P. M. Voronov, E. A. Kopytenko, T. G. Matiashvili, A. C. Fraser - Smith, and A. Bernardi: Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak (Ms = 6.9) and Loma Prieta (Ms = 7.1) earthquakes: Comparative analysis, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.19, No.14, pp.1495-1498, 1992
- 2) A. C. Fraser-Smith, A. Bernardi, P. R. McGill, M. E. Ladd, R. A. Helliwell, and O. G. Villard, Jr.: Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.17, No.9, pp.1465-1468, 1990
- 3) F. T. Freund, A. Takeuchi, and B.W.S. Lau: Electric currents streaming out of stressed igneous rocks - A step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions, *Phys. Chem. Earth*, Vol.31, pp.389-396, 2006
- 4) T. Shiozawa: Transmission and total reflection of subhertz electromagnetic waves at the earth-atmosphere interface, *J. Appl. Phys.*, Vol. 108, No.12, pp.124901 1-8, 2010
- 5) 塩澤俊之：サブヘルツ電磁波の観測による地震の短期予測について，電気学会電磁界理論研究会資料，EMT-12-046, 2012

(通信 昭和39年卒 41年修士 44年博士)