



## 商用サービスが始まり、期待が高まる 地震予知の科学的原理を再検証

# VLF/LF送信局電波による 地震予知研究の成果と最新動向

早川 正士  
Masashi Hayakawa

### 1 地震の短期予知の重要性

最近も世界各地において大きな地震が頻繁に発生し、多くの人命と財産が失われています。2008年のハイチ地震、2010年のスマトラ地震などは多大な損失を伴った地震です。本稿では、これら地震予知の可能性を最新の成果を示して紹介します。

#### ■ 地震発生の1週間程度前に予知する

ここでいう「地震予知」とは、地震の数日から1か月程度前に地震を予知するという「地震の短期予知」(直前予知)の意味であり、日本のような地震国では社会的要請の強い課題です。新聞等でしばしば目にする「この地域では向こう50年間の地震確率は30%」というような長中期予測ではないことを強調したいと思います。

地震災害を軽減するという目的のためには、予知研究よりは防災の方がより直接的ですから、建造物の耐震性等を高めることが必要であることは論を待ちません。しかし、地震予知ができれば人的損失の著しい軽減だけでなく、防災上からも大変重要であることから、地震予知研究は国民の関心も高く、また学問的にも地球科学に残された最大のフロンティアの一つといっても良いと考えます<sup>(1)~(9)</sup>。さらに付け加えれば、防災、地震予知、地震災害事後処理は等しく重要であり、三位一体として考えるべきであると思います。

#### ■ 実用的な地震予知の有用性

「現在の科学では地震予知はできない」という見解はかなり一般的ようです。しかし、ここで注意すべき点はいくつかあります。

第1は地震予知の定義です。「いつ、どこで、どの程度の大きさの地震が起こるか(地震予知の3要素という)を事前に知る」というのが至極当然の定義と思われれます。それには観測可能な何らかの前兆現象と地震との間に科学的関連があるか否かの確立が最重要であり、ひとたびそれが確立されたら原理的には地震予

知はできたこととなります。前兆現象と地震との関連についての物理学的究明が科学的地震予知といえ、現在私たちはこの段階にあるといえるでしょう。

「実用的地震予知」となると話は違ってきます。地震予知の3要素を「役立つ精度」で社会に伝えるという条件が加わるからです。ここで重要なのは「役立つ精度」が単義的でなく、地震予知ができるできないという議論を不毛にしがち原因の一つはここにあります。

「東京に1週間ほど後に比較的大きな<sup>マグニチュード</sup>(M6以上)の地震があるかも」(これは短期予知といえよう)から「南関東地域に十年以内にM8の地震の恐れあり」[これは中期予知(予測)といえよう]など「役立つ精度」はいろいろあり得えます。

ところが、初めから著しく厳しい条件を課し、それに適合しない予知は予知ではないとする否定論者が多いようです。その種の立場からは「社会・経済損失が大きいから、絶対確実ではない予知はむしろ有害だ」といった議論までもが出るに及んでは何をかいはんやです。「東海地方ではこれこれの異常事象がおきているから、当分の間警戒した方がいい」といった程度でも「役に立ち」得るのではないのでしょうか。さらに「東京地区には来週は地震はなさそう」でも大いに有用ではないのでしょうか。

#### ■ すでに地震予知研究は かなりのレベルに到達している

以下に述べるように、実際は地震予知研究はすでにかかなりのレベルまで到達しています。未完成の度合いを含めて、その手法が科学的根拠に基づいているのであれば、その情報を社会に提供することも意義深いのではないかと考えます。

本稿では、従来の地殻変動観測(地震観測)という力学的手法とは本質的に異なる、電磁気的手法を使った最新の成果、とくにVLF/LF送信局電波を使った電離層擾乱に関する最新の成果を示し、本手法の世界的動向も合わせて紹介します。さらに、この科学的根拠に基づく地震予知情報の社会への提供についても言及

します。

## 2 電磁気的手法による地震予知

### ■ 力学的地震予知法

過去50年以上にわたり地震学者が使ってきた力学的地震予知法は、基本的には地殻変動を地震計、ひずみ計等によって測定するものです。大地震(本震)の前にその前触れのような小さな地震(前震という)が起こることがあります。この情報が地震の直前予知に貢献した例(例えば中国海城地震)はありますが、如何せん前震を伴う地震の割合は2~3割にとどまるため、極めて有用な地震予知法とはいえません。

これらの状況や過去の<sup>①</sup>前兆研究を踏まえ、1998年に文部省(当時)の測地学審議会は「将来にわたっても地震予知は困難である」とする報告書を公表しました。その後、地震予知不可能論が強い風潮となっており、さらに前兆や予知という言葉を使用することすら<sup>②</sup>憚れることもあります。

### ■ 電磁気学的地震予知法

地震観測による地震予知が困難であるとすれば、非地震観測に基づく新しい手法を模索することになるでしょう。この新しい手法として登場したのが「電磁気的手法」です。電気、磁気、電磁気(電磁波)現象の観測に基づくもので、阪神・淡路大震災後に著しい発展を遂げています<sup>(1)~(9)</sup>。

従来の地震観測では、地圏のマクロな(巨視的)情報をとくに地震の起こった後に得ることができ、地震発生メカニズムの解明に貢献しています。地圏内では震源付近の圧力上昇に伴い、微小岩石破壊(マイクロフラクチャ)が必ず先行し、電気/電子工学でお馴染みの圧電効果や摩擦電気等のメカニズムによって電荷分離(すなわち電流)が発生します。これらの地圏内のミクロな(微視的)情報が、地震予知では重要であることがわかってきています。

いったん電磁気現象が起これば、その効果は周波数にもよりますが、数十~100 km地圏内を伝達し、地表近くでも受信され得ます。この前兆性と遠隔性が、電磁気的手法(非地震観測)が力学的手法に対して決定的に優れている点です<sup>(1)(3)(4)(5)(8)(9)</sup>。もちろん、基本的には、地圏内でのマイクロフラクチャなどのミクロな力学効果が原因であるため、地震学との協力は不可欠です。

### ■ 電磁気現象が注目される理由

電磁気現象が地震の短期予知において近年注目されるようになったのには、いくつかの理由があります。

以下ではそれらを具体的に述べましょう。現在の状況を概念的に描いたのが図1です。

#### ● 地震に伴う興味ある現象の発見

第1の理由は、地震に伴う興味ある現象の発見です。まず第1は、大地震(M7~8程度の)の前兆としてULF(周波数1 Hz以下)電磁放射が検出されました。1988年におきた旧ソ連グルジア共和国でのスピタク地震とその1年後のカリフォルニア・ロマブリエタ地震の際に、極めて類似のULF放射が発見されました<sup>(3)(5)(9)</sup>。その後、1993年のグアム地震に対して、私たちはまったく新しい信号解析法を開発し、前兆ULF放射の検出に成功しました<sup>(7)(9)</sup>。

続いて、地上高度60~70 kmに存在する電離層までもが地震に伴って擾乱されていることが阪神・淡路大震災(1995年)の際、私たちによって明瞭に発見され、世界的な注目を集めました<sup>(3)(4)(5)(8)(9)</sup>。

ULF放射は地圏からの直接的な放射であり、比較的受けいれやすいものでした。しかし、電離層が地震の影響を受けることは、地圏の何らかの効果が大気圏を通して電離層まで伝達されることを示唆し、にわかには認めがたい発見でした。

#### ● 日本政府による地震総合フロンティア計画の実施

第2の理由は阪神・淡路大震災後、日本政府(旧科学技術庁)による地震総合フロンティア計画の実施です。二つの研究機関、理化学研究所と旧宇宙開発事業団(NASDA)に対して電磁気現象を使った地震予知の可能性を追究せよとの要請がありました。私たちは後者のフロンティアを担当し、幾多の成果を挙げましたが、最も重要なものの一つとして、地震電磁気研究分野での国際的活動母体を創出したことでしょう。過去4回(1994、1997、2000、2005年)電気通信大学においてInternational Workshop on Seismo Electromagnetics「地震電磁気現象と地震予知」という国際会議を開催し、国際的研究活性化に寄与しています。

日本のフロンティア研究の成功に刺激され、台湾、インド、イタリア、ロシア、メキシコなどの国でも、地震電磁気に関する国家プロジェクトが採択されています。

#### ● 地震電磁気観測衛星の打ち上げ

最後の理由として、フランスによる地震電磁気専用人工衛星(DEMETER: Detection of ElectroMagnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions)が2004年6月29日に打ち上げられたことを挙げることもできるでしょう。

私は当初から、この衛星計画に関与してきましたが、私たちも含め各国の研究者が客員研究者として参加し、興味ある結果が始まっています。この種の衛星観測は地上観測との同期連携観測により地圏・大気圏・電離圏結合メカニズムの解明には不可欠の手段です。

以上述べた様に、地震予知の可能性を追究する地震