

電磁波利用技術

8. 電波による地震・津波・噴火の予知

高 橋 耕 三*

(平成元年1月24日受理)

ADVANCED TECHNOLOGY OF RADIO APPLICATIONS

8. PREDICTION OF EARTHQUAKES, TSUNAMIS AND ERUPTIONS
FROM PRECURSORY SEISMIC RADIO WAVES

By

Kozo TAKAHASHI

Since 1966, before great earthquakes, in many countries, people have noticed anomalous electromagnetic effects induced around the epicenters. In the USSR, China, Greece, and Japan, and other places, some seismologists attach importance to observing seismic radio waves or earth currents in predicting imminent great earthquakes, and they have succeeded in receiving the precursory signals.

It will be necessary to receive the precursory seismic radio waves on the deep seabed or underground to attenuate atmospherics and man-made noise, and to locate the emitting regions. This is because strong atmospherics and man-made noise prevent detection and discrimination of seismic radio waves. By monitoring the radio wave in a frequency of, for example, less than 9 kHz at four or more points simultaneously with this method, we can complete a tomogram of the source region. The tomogram shows the intensity distribution of radio wave sources on an arbitrary plane in the source region. We could detect not only the relative size and shape of the wave source region, but also the time variations in the size and shape. This tomogram will show the variations of stress and strain in a fault, make the source process of the earthquake clear, and be used for predicting both the location and magnitude of an imminent earthquake, and also the time of occurrence.

1. は じ め に

地震・波津・噴火は、予知できたからと言って、現在の技術では避けられるわけではないし、これらの予知は現状では発生日時をはっきりできないから有害・無益であり⁽¹⁾、予知の研究よりも発生した場合の被害軽減の研究の方が大切と考える人もいる⁽²⁾。たしかに、これまでの

地震予知の研究には、実用上見るべき成果は殆ど無いのにたいし、家屋等の建造物の耐震構造の研究は、我が国の場合、過去40年間に目覚ましい成果をあげ広く用いられている。このため、外国では最近でも、大被害が起きているが(例えば、ソ連邦アルメニア共和国の1988年12月の地震の死者は数万人、中国の1976年7月の唐山地震の死者は66万人)⁽³⁾、これらは土や日干し煉瓦の家、耐震性の無い高層建築物の崩壊によるもので、我が国では家

* 第二特別研究室

屋等の建造物は耐震性を十分考慮してあるため大被害は発生しないと思っている人が多い。しかし、我が国での地震被害の多くは、諸外国とは違って、火災と浸水によるものであることに留意すべきである。上記の場合と同じような震度7（加速度が400 cm/s²以上。自動車が急停止又は急旋回したときの加速度とほぼ同じ）の地震が起これば、3割以上の家屋が倒壊し⁽⁴⁾、炊事中であれば、火災が発生する。震度7の地震では、断水・停電は必ず起こるから、多くの場合、消火は不可能となる。また、堤防には亀裂が生じ、零メートル地帯では殆どの地域で浸水が始まる。関東地域での巨大地震発生の可能性が指摘されており⁽⁵⁾、1923年9月の関東大地震の時に比べて、現在は住宅密集地及び零メートル以下の住宅地の面積は10倍以上となっているから、我が国でも、地震による死者が関東大地震の時の10倍以上の100万人以上となる大被害が発生する可能性は十分にある。

しかし、もし地震を定量的に、例えば、規模（Magnitude：M）の誤差を0.5、場所の誤差を50 km、日時の相対誤差を10%（例えば3日前に数時間の誤差）程度で予知できれば、地震による死傷と火災の殆どが防げることは中国の海城地震（M=7.3、1975年2月4日）の例等で明らかになっている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。また、近年、地震前兆電波（以下地電流を含む）の観測による定量的地震予知の成功又は可能性がギリシャ・ソ連・中国等で示され^{(8)~(10)}、ギリシャでは定常的な地震予報が1986年から行われている⁽¹¹⁾。

以上のことから、地震予知の研究は、現在では、国が重点的に行う研究の筆頭となるべき情勢になってきている。

地震予知ができれば、津波・噴火の予知も可能となる。と言うのは、海底地震と津波の関係は統計的に良く知られているし⁽¹²⁾、噴火は必ず地震を伴うから。

2. 地震予知の現状

学術上は、地震とは地球内部の急激な変動により地震波が発生する現象を意味し、人体では感じず地震計でしか検出できないMが1以下の現象でも地震と言うことになっているが、地震予知では通常M6以上、震度6（烈震、地表の加速度が250~400 cm/s²）⁽⁴⁾以上の地震のみを対象としている。それ故、本稿では、地震とはM6以上の地震を指すことにする。

現在知られている地震の殆どは断層で起きており、しかも繰り返し起きている。我が国の場合、その周期は一部の断層では約100年、多くの断層では1000年以上である⁽¹³⁾。それ故、総ての地域で地震の規模と発生確率を推定することが可能であり⁽¹⁴⁾、この様な意味での地震

予知法は確立されていると言っても過言ではなく、津波保険料率の算定等に実際利用されている⁽¹⁵⁾。しかし、上述の周期は、地震発生の日時が推定できるほど正確なわけではなく、単に周期が確率・統計的に意味のある平均値を持つと言った程度だから、この方法では、日常生活上必要な精度で日時の予知を行うことは出来ない。

前節で触れたように、1975年の海城地震は予知に成功した。これは、それまで地震が非常に少なかった海城地域で2ヶ月前から微小地震が多発したため可能となった⁽⁷⁾。地震は余震を伴うことは多いが、前震を伴うことは少ないから、微小地震の観測に依る予知の成功は例外に近く、一般的手法とは言えない。我が国の場合、前震を伴う本震は約4%にすぎないとの報告もある⁽²⁾。

地震の前兆現象としては、微小地震のほかに、地殻変動、地下水のレベル・温度・成分の異常、動物（以下、鳥・魚・昆虫を含む）の異常行動、本稿が対象とする電波の放射等が知られている。誰でも経験しているように、微小地震の後で大地震が起きる確率が非常に小さいのと同様に、通常あまり強調されていないが、前兆と言われていることが観測されても地震が起きないことの方が圧倒的に多い。このため、我が国でも米国でも、多くの異常現象が同時に観測されたときのみ前兆と推定するのが一般的である⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。しかし、現時点では、地震が起きて初めて多数の前兆現象の在ったのを知る場合が多い。

ソ連邦タジク共和国のガルム地方は、地殻の相対的な動きが約30 cm/年に達し、M6クラスの地震が30年に1回程度の割合で起きている。このため、ガルムに複合地震観測所が設置され、地震波、地殻の電気抵抗・伸縮・歪・傾斜、地電流、重力、地磁気、地下水のレベル・成分・イオン濃度、気象、ある種のげっ歯類（鼠に似た小動物）・魚・昆虫の動き、魚の電位を観測している。これらの異常と地震発生との相関の良いのは、上記の動物の動き・電位で、その他の異常からは良い相関は得られていないとのことである⁽¹⁸⁾。動物の動き・電位を電子装置を用いて定量的に表しているのが、良い相関が得られた主な理由であろう。臭いに関しては、昨今ようやく人間の作ったセンサーが動物並の感度を持つようになったが、地震予知に関しては、まだ動物には及ばないようである。なお、上記観測所では研究に伴う人工雑音が強いため地震前兆電波の観測は行われていない。

3. 地震前兆の電磁現象

地磁気や地電流が地震前に変化することは、18世紀には既に知られていた。ただし、信頼できる地磁気・地電流のデータは、我が国では1960年代頃からしか得られて

いない⁽¹⁹⁾。地震前兆の電波は、地電流よりも約200年遅れて1966年頃から知られるようになり⁽¹⁰⁾⁽²⁰⁾、我が国でも、菅平宇宙電波観測所や宇治の防災研究所等で81~82 kHz, 163 kHz等の受信に成功している⁽²¹⁾⁽²²⁾。

地電流の観測では、現在は地中の一對の電極(Erd-antenne)間の電圧を計っているが、歴史的には電極間の電流を計っていたため、検出している物理量は電界であるが、地電位とは言わず地電流と言っている。通常、地中の電極で検出された数ヘルツ以下の電界変動に伴う電圧変動を地電流として測定している。

地殻は主にイオン結晶の岩石で構成され、磁性を持つ岩石も多い。これらの岩石は応力・歪の変化で圧電気やピエゾ磁気を発生するため⁽²³⁾⁽²⁴⁾、地震前兆の地殻の応力・歪の変化に伴い電磁界が変化し、地電流の変化・電波の放射を起こすと考えられる。これらのことは、内外の地下での核・ダイナマイト爆発実験や岩石破壊実験で定性的に検証されている^{(25)~(27)}。また、地震前兆の岩石の歪、亀裂の発生及び亀裂への水の流入による地電流の変化も測定されている⁽²⁸⁾。

断面面には強度の高い部分(Asperity)が多数存在し、地震の前にはこれらのアスペリティに応力・歪が集中する。その結果、応力・歪が限界に達し、アスペリティが次々と破壊される。最も強度の高いアスペリティが最後に残り、これが破壊されるときが地震の発生時と考えられている⁽²⁹⁾。それ故、地震前には、アスペリティの応力・歪の急変により電波が放射され、その強度は地震直前に最大となるものと思われる。このことは観測とも一致している(第1, 2図参照)。

4. 電波による地震予知の問題点と解決法

地震前兆の電波・地電流の観測は、単独では唯一の定量的予知の手法、特に前震・本震・余震の弁別予知の可能な唯一の手法と一部では言われているが、我が国での電波による地震予知の研究にたいする評価は、現在のところ、なまず(鯨)の動きの研究同様に低く、冷笑されている。鯨が地震前に特異な動きをすることは昔からよく言われており、鯨にとっては地震前に穴から出て圧死を避ける必要があり、進化の結果、その様な特技を持つようになったことは十分考えられる。しかし鯨が何をどのように感知しての行動なのかは分からないし、穴から出るのは地震前に限ったことではない。電波による地震予知の場合も、震源域付近で電波の発生することは、理論的にも、実験からも、十分考えられるが、地中の比抵抗が地表での測定から推定されている値ならば、電波の地中伝搬時の減衰が大きく、震源域で発生した電波を地表で受信することは、通常は期待できない(例えば、比

抵抗が $10^4 \Omega \text{m}$ 以下では100 kHz以上の電波の減衰は0.1 dB/m以上)⁽³⁰⁾。また、たとえ受信できたとしても、同様な電磁現象は、空電・人工雑音でも発生し、これらとの弁別が非常に困難である。

上記の問題を解決するための、地中での減衰の少ない電波伝搬モデルとして、下記の2種類が考えられる。地殻は一様でないため、大部分は比抵抗が小さくても、もし一部でも大きいところが連なっていれば、あまり減衰しないで伝搬するモードが考えられる。しかし、地中の比抵抗の分布は分からないから、定量的な説明は不可能に近い。一方、Mが8以上の巨大地震の震源域は通常80 km以上の大きさがあるから⁽³¹⁾、地震前にこの領域全体に亘って大きな応力・歪の急変が生じ、それに伴う圧電気が発生すれば、その変化により電界・電流の大きな変化が生じ、電波が放射される。即ち、地中を電波が伝搬しなくても地表近くでも応力・歪の変化が生じれば、地表で電波が放射されることになる。地震前の電離層の急変は⁽³²⁾、80 km以上に亘る電界の変化とも考えられる。

モデルがどのようであれ、例えば、グルジア共和国科学アカデミー地球物理研究所では、深さ1 kmの地下の廃坑で地震前兆電波を何回も受信している。前述のソ連・中国の地下での核・ダイナマイト爆発実験でも、地下約300 mの爆発点で爆発時に発生し、地中を伝搬してきた電波も、爆発後の地殻の応力・歪の変化に伴う電波も、地表で受信している。

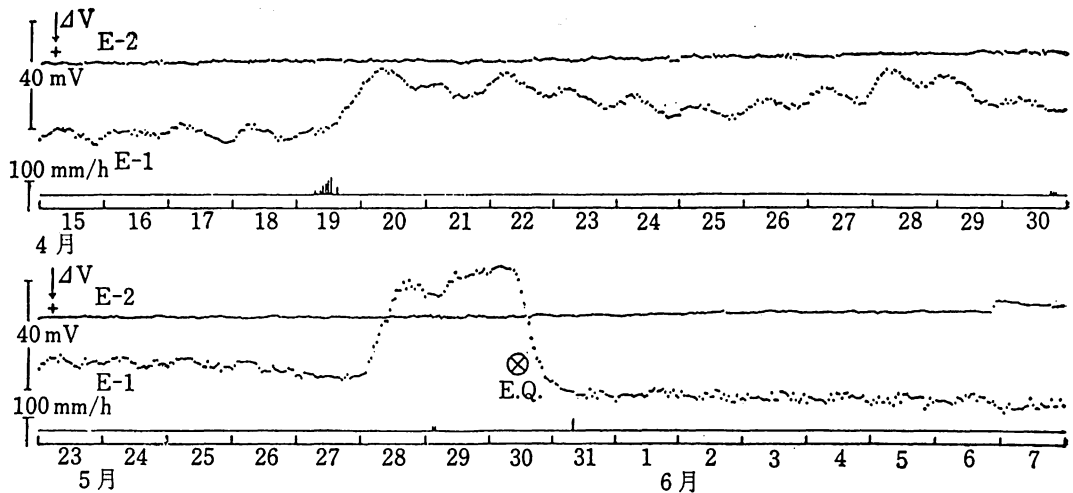
地震前兆電波と空電・人工雑音との弁別の問題の解決法は6.で述べる。

5. 地震前兆電波の受信例

前述のように、ギリシャでは1986年から地電流の観測による地震予報が定期的に行われているが、我が国の場合は地震前兆の地電流は、通常は、電車の運行等に伴う人工の地電流や、自然の地電流の降雨等による変動に埋もれてしまい、検出が不可能であった。

ギリシャでは0.1 Hz以下の地電流が測定されており、100 km程度離れて16以上の観測点がある。多くは陸軍の演習場等人工雑音の少ないところにあり、降雨の有無等は人間が常時監視している。各観測点には、東西・南北、長・短の組合せの4基線があり、局地的な雑音は4基線上に異なった現れかたをすることから、また、汎地球的な磁気嵐に伴う地電流は多くの観測点に同時に現れることから、地震前兆の地電流と区別している⁽⁸⁾⁽¹¹⁾⁽³³⁾。

我が国での地電流による地震予知の研究は、兵庫県の山崎断層での例が有名で⁽³⁴⁾、前兆検出成功の代表(第1図参照)に選ばれている⁽³⁵⁾。中国高速道路の下の活



1984年5月30日9時40分兵庫県山崎断層の地震 ($M 5.5$) の前後に、断層破碎帯内トンネル中の電極間に現れた地電位の異常変化 (宮腰による)。

E-1は電極 $C_1 \sim C_2$ 間 (31.2 m) の電位差、E-2は電極 $C_1 \sim P_2$ 間 (20.8 m) の電位差。同断層はA級の活断層で地震予知研究のテストフィールドとして、各種の観測・調査が行われてきた。

第1図 宇津編“地震の事典、9. 地震の予知”の表題下の図のコピー⁽³⁵⁾。

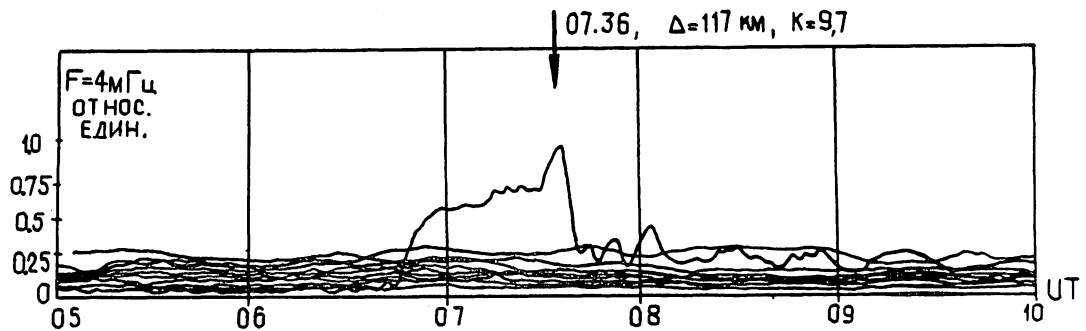


Рис.9. Характерный ход уровня огибающей ЭМИ на частоте 4 МГц с 05^h до 10^h UT в течение месяца на с/с Шеки и аномальное возмущение к моменту землетрясения $K \approx 9.7$.

第2図 Gokhberg, M. B. et al., “Operative Electro-magnetic Earthquakes Precursors”, p. 25, Fig. 9 のコピー⁽³⁶⁾。アゼルバイジャン共和国シェキ地震観測所での地震前兆電波 4 MHz の受信エンベロープとバックグラウンド。1981年2月30日、マグニチュード 2.8、震央距離 117 km。

断層内の研究用トンネル中に電極が在り、雑音や降雨の影響が少なく、前兆信号のレベルが高かったため、検出に成功したのであろう (自動車から出るイグニッションノイズは主成分が 1 kHz 以上にあり、高速走行中の自動車が数 Hz 以下の地電流の測定に影響を与えることは殆どない)。

第2図は、ソ連で受信・記録された地震前兆電波の初期の頃の例である⁽³⁶⁾。前述のグルジア共和国地球物理研究でも、第2図同様、本震と同時に受信レベルが低下するばかりでなく、余震終了とともに平常レベルに戻り、前震・本震・余震が弁別予知できることを示唆する観測データが得られている。

中国では、1966年3月の邢台(Xingtai)地震(8日:M=6.8, 22日:M=7.2, 震源:北京南南西約300km, 深さ23km)及び1976年7月28日の唐山地震(M=7.6, 震源:北京東南東約150km, 深さ23km)の数週間前から、震央近くでは、一時、ラジオ・TV・電信が受信不能又はこれらの中継回線が不通になったり、レーダに実体のないエコーが現れ、地震と同時にその様な現象が消えたことから、電波受信が地震予知の有効な手法と考えられ、地震前兆電波の研究が開始された。1979~1985年に50の観測所が中国国内に設置され、1981~1985年に中国で起きたM6以上の5回の地震総ての前兆電波の受信に成功している⁽¹⁰⁾。中国での電波観測の一例として、国家地震局地球物理研究所での観測を下記に示す。同所には、最近まで3箇所に受信システムがあったが、現在は廊坊(北京市内)と白家疃(北京東南約50km)の2箇所のみで、観測専任の職員が居住している。地中に埋設したパーマロイバーアンテナ(ループアンテナの一種)出力の0.1~10Hzと、モノポールアンテナ出力の15kHz, 0.5~5kHz, 120~160kHz, 1.65MHzの受信機出力を、ペンレコーダ(YEW 3056-31 中国製)に時刻信号と一緒に6cm/hで記録している。人工雑音は、特定の周波数帯でのみ発生し、かつ、それぞれの雑音固有の振幅の包絡線を持ち、一方の観測地でのみ受かるため、通常は誰でも容易に同定できる(当所での観測の様に、種々雑多な雑音が頻繁に受かるようなことはない)。空電は、徐々に振幅が大きくなり、その後で徐々に小さくなること、5kHzあたりでの強度が最大となることから、また常時人が付いているので雷鳴から同定できる(大平原の中の観測所のため、この様な同定法が可能となるのであろう)。人工雑音でも空電でも無く、両観測所で、全周波数帯でバーストが観測された時、この電波を地震前兆電波と同定している。1986年5月~1987年12月の間にM4クラスの地震が北京及びその近郊で19回起こり、そのうちの15回(約80%)は地震の2~10日前から前兆電波を受信できた。地震前兆電波(M4クラス以下)と同定した電波を受信しても地震が起きなかった場合は20%であった。大きな地震ほど強い前兆電波が早くから出するため、M7以上の地震の予知は100%成功するものと確信しているようである。

6. 当所及び国防防災科学技術センターでの研究成果及び計画

地震前兆電波の受信例は、前述の様に内外に数多くあるが、これまでの観測・記録の例は、何れも受信波の振幅の包絡線、バーストの個数等であり、しかも大部分は狭帯域受信の記録である。これにたいし、当所と防災セ

ンターは、共同で、前兆電波を0~9kHzの周波数帯の殆ど総ての帯域で受信・記録し、前兆電波の波形とスペクトルを明らかにする予定である。このため、防災センターの観測用深井戸(深さ603m)を電極として63年度末から観測を始めている。

現在の装置では、受信機入力に0.1mV(電界強度は約1 μ V/m)以上の地震前兆電波が受信・記録でき、100V(電界強度は約10V/m)以下の妨害波の大部分は除去できる。と言うのは、現在までの経験では、上記の0~9kHzの周波数帯では、連続して出ている人工雑音等の妨害波は周波数がほぼ一定なのでフィルタで除去可能である。その他の妨害波の多くは、持続時間が3~4ms程度の波束(wave packet)又はパルス幅が0.1ms以下の衝撃性雑音である。前者は約2kHzにスペクトルのピークがあり、150km以上の遠隔地の空電の電離層伝搬波と言われている。受信頻度は毎分1回程度と高いが受信時間率は通常 10^{-4} 以下である。後者の衝撃性雑音は電気回路の開閉、静電放電、スパーク放電(空電の直接波を含む)によるものと言われている。

通常、地震前兆電波の発生源と受信点間の距離は10km以上あり、伝搬路・伝搬モードとも多数あるから、地震前兆電波が遠隔地からの空電のような約2kHzにスペクトルのピークを持つ単純な波束の形で受信される可能性は殆どない。また、0.1ms以下の衝撃性雑音も、下記の理由から地震前兆の電波ではないと考えている。地中の電波の伝搬速度は約 10^8 m/sであり、上記の様に、発生源と受信点間の距離が10km以上、伝搬路・伝搬モードとも多数あると考えられるから、地震前兆電波の波形が持続時間が0.1ms以下のパルス(スペクトルのピークの周波数が10kHz以上)となる可能性も殆ど無い。即ち、地震前兆電波の地表での受信波のスペクトルのピークは10kHz以下にあるものと考えられる。前述のグルジア共和国地球物理研究所でも、3kHz以下の周波数帯にピークを持つ前兆電波を数多く受信している。

平成元年度には、申請中の研究助成金等が与えられれば、中国の場合同様に、50km程度離れた2箇所以上での同時観測を始める予定である。2箇所以上で0.5ms以下の時間差で受信した信号のみから地震前兆電波を弁別することにすれば、63年度よりも同定は正確となる。さらに、50km程度離れた4箇所以上で同時に受信すれば、波源の位置が推定できる(受信時刻差に対応する伝搬距離差が一定の点の軌跡は双曲面であるから、波源は3個の双曲面の交点として求められる)⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾。波源が地中にあるもののみを弁別の対象にすれば、空電・人工雑音の殆ど全てが除去できることになるから、地震前

兆電波の同定は一層正確となろう。

波源の位置が定まれば発生強度も推定できるから、連続観測により、前兆電波の発生場所・強度を連続的に画像表示し、これらに対応する断面面の三次元的な応力・歪の発生場所・強度と、これらの時間変化を明らかにすることができよう。このことに成功すれば、地震の発生過程が明らかになり、地震の場所・規模・日時を、数週間前から定量的に予知することも可能となろう。

一方、深さが 500 m 以上の海底で地震前兆電波を受信すれば、地表の人工雑音・自然雑音とも海水で減衰し海底には殆ど到達しないから、前兆電波だけを受信できるうえ、従来の手法では海底地震の予知は不可能に近いことから、海底での受信が最も有効な海底地震予知法と考えられる⁽³⁹⁾。海洋科学技術センター、東京大学地震研究所⁽⁴⁰⁾、カリフォルニア大学スクリプス海洋研究所等では、既に海底での受信実験が行われている。我が国の場合、大災害をもたらす地震の多くが海底地震であることから、社会的に海底地震の予知が特に必要なばかりでなく、学術的には、海底での電波の受信により、最も容易に地震前兆電波の波形とスペクトルを取得できる可能性が大きい。このため、当所と防災センターも、海洋科学技術センターの協力を得て、相模湾の海底での前兆電波受信の検討を進めている。

どのような方法にしる、地震前兆電波の波形とスペクトルが得られれば、地震前兆電波の発生過渡が明らかになるばかりでなく、その他の雑音との弁別・検出も波形とスペクトルの差から容易となるであろう。

7. 国際協力の必要性

我が国は地震国であり、1923年の関東大地震のときのように、地震の被害で国家経済が危機に陥ったこともある（被害総額が国家予算約3年分）⁽⁴²⁾。しかし、世界一の地震国・地震被害国と言うわけではない。大地震は、我が国にも津波被害をもたらした1960年のチリ地震の例があるように、南米の太平洋岸とアラスカの太平洋岸・アリューシャン・カムチャッカに多い。チリ地震のエネルギーは我が国での記録上エネルギー最大の安政東海、安政南海地震（1854）の45倍以上ある⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾。一方、地震による死者の数は、中国では過去100年間に100万人以上あり、我が国の約5倍である⁽³⁾⁽⁴³⁾。また、地震による死亡率はイランが一番高いと言われており、10万人あたり約5人/年⁽⁴⁴⁾、我が国の2.5倍程度になっている。上記のほか、環太平洋の島島の多くも地震・津波・噴火の被害を受けており、これらの予知のため、パプアニューギニア、コロンビア等には、国際協力事業団による援助が行われている。

地震予知研究の対象となるマグニチュードや震度が6以上の地震は、我が国の場合、前述の様に、最も頻繁に起こる地点でも百年に1回程度であり、近海を含む我が国全体でも百年間に10回程度にすぎない。しかも、その約9割は海底地震であるため⁽⁴³⁾、前兆現象の観測が困難で、予知の研究に必要・十分なデータを我が国一国だけで短期間に取得することは不可能に近い。また、より多くの地震・津波・噴火の前兆データが得られれば、より正確な予知に成功する確率が大きくなるため、技術援助や国際共同研究を数多く行うことが、我が国の地震等の予知の研究には必要・不可欠と考えられる。幸か不幸か、上記の様に我が国以外にも地震国が多数あり、地震予知の技術援助や共同研究を希望する国もある。このため、当所では、電波観測による地震予知の国際共同研究を提唱している。当所及び防災センターと、ソ連邦科学アカデミー地球物理研究所との共同研究が1988年12月の日ソ科学技術協力委員会第5回会議で合意されている。当所と中国国家地震局地球物理研究所との共同研究も、測地学審議会日中研究協力検討小委員会及び中国国家地震局の内諾を得ている。中・ソとも、地震前兆電波の観測に適した人工雑音・自然雑音ともに少なく立地条件が良いうえ、観測体制の整った観測所が数多くあるため、我が国の陸域での観測とは比較にならないくらい S/N の良いデータが共同研究により得られるものと期待されている。

8. おわりに

地震予知は、地震の場所・規模・日時を定量的に予知することであるが、電波観測以外の予知法は、場所・規模のみ定量的で、日時は定性的なものが多い。地震前兆電波の観測では、長期の予知はできないという欠点があるが、現時点では最も優れた短期・直前予知法と思われる、M7以上の地震なら前震・本震・余震を弁別予知できる可能性も非常に大きい。このため、我が国のように雑音の強い地域でも、予知システムに組み込めるような前兆電波観測の普遍的手法を、国内のみならず国際的にも広く協力して、開拓していくことが望まれる。

参考文献

- (1) 宇佐美滝夫；“地震工学への期待”，日米合同大会地震学会会長演説，ハワイ，ホノルル，May 1988，地震，Second Series, 41, 3, pp. 459-460, 1988.
- (2) 竹内 均；“地震予知より井戸の整備を”，科学朝日，38, 9, pp. 81-86, Sep. 1978.
- (3) 東京天文台，理科年表，昭和62年，丸善，p. 844, 1986.

- (4) 東京天文台, 理科年表, 昭和64年, 丸善, p. 807, 1988.
- (5) 見野和夫; “日本列島の海溝に沿う巨大地震の移動”, 地震, Second Series, **41**, 3, pp. 375-380, 1988.
- (6) 浅田 敏, 地震予知の方法, 東京大学出版会, pp. 197-198, 1978.
- (7) 大谷洋平; “大地震で壊滅した唐山復興の姿”, 科学朝日, **47**, 8, pp. 46-50, Aug. 1987.
- (8) Varotsos, P. and Alexopoulos, K.; “Physical Properties of the Variations of the Electric Field of the Earth Preceding Earthquakes”, Tectonophysics, **110**, pp. 73-125, 1984.
- (9) Gokhberg, M. B. et al., Operative Electromagnetic Earthquakes Precursors, Nauka, Moscow, 1986 (in Russian).
- (10) Qian Shuqing; “General Description of Precursory Electromagnetic Disturbances Before Large Earthquakes of China”, The Second International Conference on Earthquake Precursor, p. 16, Beijing, China, 1987.
- (11) 木下正高, 上田誠也; “再びギリシャの地震予知について”, 科学, **56**, 12, pp. 770-775, Dec. 1986.
- (12) 宇津徳治, 地震の事典, 朝倉書店, pp. 279-290, 1987.
- (13) 宇津徳治, 地震の事典, 朝倉書店, pp. 121 & 255-256, 1987.
- (14) 宇津徳治, 地震の事典, 朝倉書店, pp. 3398-401, 1987.
- (15) 力武常次, 相田 勇; “日本沿岸各地の津波の危険度”, 地震学会講演予講集, p. 109, 1988, No. 2.
- (16) 松村正三, 浜田和郎, 大久保正; “地震前兆解析システムによる異常地殻活動の自動判定”, 地震学会講演予講集, p. 103, 1988, No. 2.
- (17) Bakun, W. H.; “Parkfield, California Earthquake Prediction Experiment-A Status Report”, Seismological Research Letters, **59**, 1, 33, Jan.-Mar. 1988.
- (18) Nersesov, I. L., Protasov, V. R. and Sidorin, A. Ya.; “On Biological Indications of Earthquakes”, Zoologicheskii Zhurnal, **LXIV**, 12, pp. 1905-1907, 1985 (in Russian).
- (19) Rikitake, T.; “Magnetic and Electric Signals Precursory to Earthquakes: An Analysis of Japanese Data”, J. Geomag. Geoelectr., **39**, 1, pp. 47-61, 1987.
- (20) 高橋耕三; “中国の地震前兆電波観測の現状と我が国での観測法の提案”, 通総研季報, **34**, 173, pp. 245-249, Dec. 1988.
- (21) Gokhberg, M. B. et al.; “Experimental Measurement of Electromagnetic Emissions Possibly Related to Earthquakes in Japan”, J. Geophys. Res., **87**, B9, pp. 7824-7828, 1982.
- (22) Oike, K. and Ogawa, T.; “Electromagnetic Radiation from Shallow Earthquakes Observed in the LF Range”, J. Geomag. Geoelectr., **38**, 10, pp. 1031-1040, 1986.
- (23) 玉虫文一他, 理化学辞典, 岩波, p. 23, 1981.
- (24) 浅田 敏, 地震予知の方法, 東京大学出版会, pp. 182-185, 1978.
- (25) Qian Shuqing, Cao Huixin and Lu Zhi; “Observations and Experiments on Electromagnetic Waves as Seismic Precursors”, The Second International Conference on Earthquake Precursor, p. 17, Beijing, China, 1987.
- (26) Ogawa, T., Oike, K. and Miura, T.; “Electromagnetic Radiations From Rocks”, J. Geophys. Res., **90**, D4, pp. 6245-6249, June 1985.
- (27) 山田功夫, 増田幸治, 井原 理; “岩石の破壊に伴う電磁気的現象の発生メカニズム”, 地震学会講演予講集, p. 238, 1988, No. 2.
- (28) 浅田 敏, 地震予知の方法, 東京大学出版会, pp. 185-188, 1978.
- (29) 石橋克彦; “神奈川県西部地震”と地震予知 I”, 科学, **58**, 9, pp. 537-547, Sep. 1988.
- (30) 高橋耕三, 藤縄幸雄; “地中のマグマからの長波の観測による噴火予知”, 通総研季報, **34**, 171, pp. 59-63, June 1988.
- (31) 宇津徳治, 地震の事典, 朝倉書店, p. 251, 1987.
- (32) Gokhberg, M. B. et al., Operative Electromagnetic Earthquakes Precursors, pp. 64-69, Nauka, Moscow, 1986 (in Russian).
- (33) 上田誠也; “ギリシャの地震予知”, 科学, **55**, 3, pp. 180-184, Mar. 1985.
- (34) Miyakoshi, J.; “Anomalous Time Variation of the Self-Potential in the Fractured Zone of an Active Fault Preceding the Earthquake Occurrence”, J. Geomag. Geoelectr., **38**, 10, pp. 1015-1030, 1986.
- (35) 宇津徳治, 地震の事典, 朝倉書店, p. 397, 1987.
- (36) Gokhberg, M. B. et al., Operative Electromagnetic Earthquakes Precursors, p. 25, Nauka,

