

地震予知はできるか？

—地電流による地震予知—

Is Earthquake Prediction Possible or Not?

— Earthquake Prediction by Telluric Current Monitoring —

長尾年恭^{*}
NAGAO Toshiyasu

Abstract On 5:46Am, January 17, 1995, devastating earthquake with magnitude 7.2 hit western Japan. This earthquake was finally named "Hanshin-Awaji earthquake disaster", and lost over 5,500 people. Were we able to predict this earthquake? We introduce the method of earthquake prediction by monitoring electro magnetic phenomena, especially telluric current measurements.

Keywords : Greece, VAN, Earthquake, Earthquake Prediction, Earth Current

1. はじめに

94年10月の北海道東方沖地震、12月の三陸はるか沖地震、そして95年1月の阪神・淡路大震災など、日本列島全体が地震学的に見て活動期に入ったと考えられる。そして地震予知に対してこれほど注目が集まったことはかつて無かったことであろう。しかし地震予知とひとくちに言ってもその定義が人によって違い、まず“予知”という言葉の定義から始める必要がある。長期予知、中期予知あるいは短期予知という言葉が存在し何の疑いもなく使われているのであるが、このような言葉の正確な定義というものがあるのであるか？今後“予知が可能か？”について議論する時は“あなたにとっての予知とは”という事を確認してから始める必要がある。東海沖地震はまだ発生していないにもかかわらず、すでに名前がついている奇妙な地震である。この

地震は科学的に発生が長期予知(予測)されたため、政府が立法措置を講じたわけである。しかし社会に必要なのは短期(あるいは直前)予知であり、これこそ皆が知りたいことである。もちろんここで取り上げるのは短期(直前)予知についてである。はたして実用的な予知(短期予知)は可能なのであろうか？

2. ギリシャの地震予知

2.1 ギリシャの地震予知とは

1980年代後半に入り、ギリシャで地電流を用いた実用的地震予知が成功しているとの報告がなされた[1,2]。これはアテネ大学の物理学部のグループが固体電子論を基礎に、岩石破壊前に電流が流れるとの仮説をもとに彼らの理論を地震予知に応用したものである。1980年6月ギリシャ・アテネを襲ったM5.5の地震で、ピサソチン時代の遺跡が破壊され

* 東海大学地震予知研究センター
〒424 清水市折戸3-20-1
電話 0543-36-0591
FAX 0543-36-0920
E-mail nagao@scc.u-tokai.ac.jp

るなど大きな被害を受けた。この地震を契機にアテネ大学の物理学教室の教授であったバナヨティス・パロッチョス博士は自分の研究が地震予知に使えるのではないかと考えた。彼の専門は固体物理学(固体電子論)で、室内での岩石実験で、応力を加えると破壊前に電流が流れることをつかんでいた。そして地震も岩石の破壊現象なのだから、この実験結果が予知に使えるのではないかと考えたのであった。そして室内の実験装置を地球という巨大な実験室にそのまま持ち出したのである。

現在すでにギリシャでは地電流観測による短期地震予知が日常的に行なわれており、人的被害の軽減に多大の功績をあげている[3]。彼らはギリシャ本土に被害をもたらすと考えられるマグニチュード5以上の地震について政府に対して予知情報を提供している。これは現在の地球科学の常識からすれば誠に驚異的なことと言わざるを得ない。この観測方法は観測を始めた3人の科学者(パロッチョス、アレクソプーロス、ノミコス)の頭文字から通称「VAN法」と呼ばれている。VAN法の特徴は同一方向に長さの異なる地電流観測測線(実際に測定しているのは2地点間の電位差、地電位差あるいは自然電位ということもある)を設けることにより、広域的な変化と考えられる地震前兆シグナルとそれ以外の(局所的と考えられる)人工ノイズとの識別が極めて容易になったことである。彼らによると、地電流に継続時間数分から数時間の変化(Seismic Electric Signal: SES)が現れた後、数時間から1カ月程度で地震が発生するというものである。

彼らは岩石破壊直前に岩石中に含まれるミクロな格子欠陥双極子が一斉に分極し、震源において一時的に起電力が生ずるという固体物理学の仮説を地震予知に応用したのである。VANのうちの2人(VおよびA氏)は固体の電気的性質を専門とする物性物理学者であり、彼らの主著「点欠陥の熱力学とそのバルク物性の関係」に、「地殻には石英のような圧電物質と多くの荷電点欠陥(双極子)を含む物質

が含まれている。圧電物質の結晶方向の分布は完全にはランダムではないとする。地震の前に応力が高まると、それに比例して圧電物質が分極し、地殻内にマクロな電場が生ずる。この素過程はポテンシャルの山を越える必要がある活性過程であり、その進行にはある時間(緩和時間)を要する。つまり地殻の応力が高まり、ある臨界状態を越えると、温度や圧力によって決まる緩和時間でマクロな双極子の分極が起こり電流として観測される」と述べている。

もちろんVANの予知が地震予知関係者にすみやかに受け入れられたわけではない。特にギリシャの地震学者はVANの予知に真っ向から対立し、その状態は現在でも続いている。統計的にはVANの予知は有意であると報告されているが[4]、それに反対する意見もある。さらに日本の電磁気関係者にもギリシャの結果はほとんど受け入れられなかった。その理由は大きく分けて、1) SESの物理的メカニズムが不明である。2) SESの伝播メカニズムが不明である、という2点に集約されると筆者は考える。SESが震源付近で発生したとすると観測点でVANの主張する程度の電場変化を観測するためには均質大地ではとてつもなく大きな電流源を必要とするというのも批判の大きなポイントである。

しかしVANグループの努力は続けられ、状況は少しずつ変わってきた。まずアメリカは1992年、「電磁気学的手法を用いた地震前兆現象」のワークショップを開き、結論としてNSFに対し「VANは有効な手段である」との勧告を行った。またECはVAN法の研究を1991年から正式にサポートし現在にいたっている。また今年5月には国連の防災10年(IDNDR)の呼びかけでイギリス王立アカデミーが主催者となりロンドンでVAN法に関する国際会議が開催されることも決定した。これにはVAN支持派、反対派及び中立派が招かれVAN法に対して徹底的な討論を行うことになっている。

2. 2 VANは何を測定しているのか？

VANが実際に測定しているのはさきほども述べたように大地の2点の間の電位差である。地球の表面には微弱ではあるが、常に電流が流れている。ほとんどの変化は地磁気(磁気嵐など)の変化に伴う誘導電流で説明できる。また測定には当然ノイズが伴う。降雨は電極の接触電位を変化させるし、工場や電車からの漏洩電流も大きなノイズ源である。これらを1) シグナルは全ての測線に同時に出現する。2) その単位長さあたりの強度(異常変化/測線長)はほぼ等しい。3) 信号が遠方起源である。という基準で純粋に電磁気学の公式(つまりオームの法則)を応用してノイズを除去したことがVAN法成功の秘訣であった。換言すればVAN法というのは何も特殊な方法を意味するのではなく、ノイズ除去の方法と言える。彼らも述べているが異常変化の99%以上は人工ノイズ、あるいは降雨・雷等のノイズである。しかしそれらを全て除去した後に残る異常変化は地震活動と非常に対応が良いことを見いだしたのである。

2. 3 VANはどのような予知を行っているのか？

VANは決して地震発生(つまり岩石破壊)そのものを予知しているのではない。「ある領域で岩石破壊前に必ず出現する物理過程を観測しました、その位置は何処、エネルギーはどれだけ(つまりマグニチュード、 M)であろう」という予知を行っているのである。VANによれば前兆となる異常の振幅(電場変化)と M にはある一定の関係があり、異常の特性(東西/南北の比など)から位置が決まり、次に M が予測されるのである。具体的な予知情報の例をFig. 1に示す。VANでは予知成功の定義として

- 1) 震央の位置の誤差100km以下
- 2) マグニチュードの誤差0.7以下
- 3) 地震発生は前兆検知後数時間から1ヶ月程度

という全ての条件を満たした時のみを成功としている。この基準で成功率と警告率を以下

THE UNIVERSITY OF ATHENS

DEPARTMENT OF PHYSICS
SOLID STATE PHYSICS SECTION
Knostris 14, Ave. Gireas
Athens 145 01, GREECE

P. Varotsos
Professor of Physics
Chairman of the Department
of Physics

Athens, February 28, 1994

Dear Prof:

We have recorded a *SBS activity* with the following characteristics:

Date: February 23, 1994 (and earlier dates).

Station: IOA

Components: NS - short dipole arrays and on the long dipole.

Polarity: Negative

Impending earthquake:

Magnitude: M_0 (ATH) 6.0 or 5.5 (or cases 1 and 2 respectively,
MB(USGS) 3.5 or 3.0

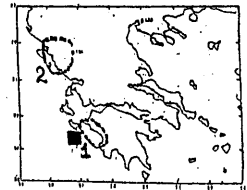
Epicenter: See the attached map (two alternative solutions*)

Time: According to Fig. 28A of Varotsos and Lazaridou, 1991 (i.e. 3-4 weeks for the first big event, etc).

Yours sincerely

Varotsos
Prof. P. Varotsos

* P.S. No definite discrimination can be made (based on SBS characteristics) between the two alternative epicentral areas. However, as the current SBSs seem to be similar to those recorded on Jan. 27, 1993, the solution 1 might be more probable.



Tel. (+301) 72 24 444 - 49 49 810 Fax (+301) 76 23 261

Fig. 1 An example of prediction made in Greece. This fax contains 1) date and location(s) which they observed a precursor, 2) characteristics of the precursor, and 3) location and magnitude of impending earthquake. Concerning date of impending earthquake usually does not represent because an earthquake occurs between a few days and about one month after detecting a precursor. This is a basic agreement between the predictor and the Greek government. This fax is sent not only the Government but also about 20 foreign universities and institutes at the same time. A solid square in the figure shows actually happened earthquake, of-course this solid square was marked after the earthquake occurrence for the matter of readers.のように定義する。

成功率 = 成功予知数 / 予知数

警告率 = 成功予知数 / 地震数

この二つのパラメータは相反する性格を持っている。つまり予知を非常に沢山行えば警告率は大きくなるが成功率は低くなってしまふ。VAN法の場合成功率、警告率とも統計の取り方、定義により若干の違いがあるがいずれもほぼ60%程度と報告されている[たとえば

文献5]。当然のことながら日本ではいずれもゼロである。震央位置が150km外れたら予知失敗としてこの数字である。これだけでも驚異的であるが、さらに驚くことは完全な失敗というのは86年以降無く、特に不意打ちで大きな地震に襲われたことは一度もない。

2. 4 ピルゴス地震事件

ギリシャの地震学者とVANとの力関係が逆転したのは1993年3月にペロポネソス半島の東に位置するピルゴス市を襲った地震である。この地震では4000棟を超える家屋が全半壊の被害を受けた。市はVANグループによる予知情報に基づき警戒宣言を発令し、住民たちは避難行動を取っていた。地震学者を長とする国の防災委員会はVANグループの予知をマスコミを通じ「全く科学的根拠がない」と激しく非難した。その翌日このピルゴス地震は発生したのである。このような「予知」、防災委員会による「否定」という事例は今回が初めてではなく、1988年以降4回あり、そのうち3回はVANの予想どおり地震が発生していた。残りの1回は群発地震活動は予想位置で開始したものの大きな地震は発生せず、社会的な意味では予知は空振りに終わっていた。このような過去の経緯をふまえピルゴスの地震以降、ギリシャ政府は公式にVAN法を予知法として認知し、防災委員長が辞任するという事態になった[3]。

3. 日本への適用

ギリシャの地震予知にいち早く注目し、日本での適用を試みたのは東京大学地震研究所・上田誠也(当時)のグループであった。上田らはNTTの全面的な協力を得て、最盛期には全国に20カ所程度の観測網を設置して地電流観測を行った。この間に北海道弟子屈などで興味ある結果が得られたが、いずれも可能性の指摘に過ぎず確実な事実といえるものではなかった。

筆者の所属する金沢大学でも北陸地域でNTT交換局を用いた地電流観測を1991年から開始した。ここでは能登半島・珠洲周辺に展開さ

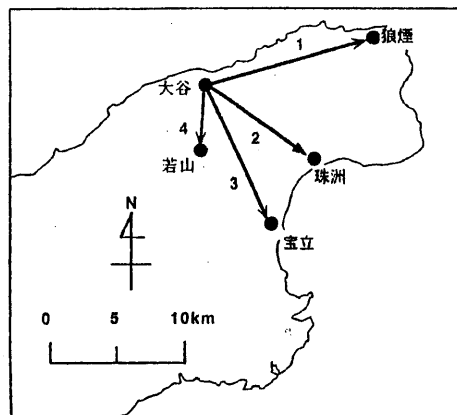


Fig. 2 Dipole configuration of Suzu network, Noto Peninsula. We use an earthing of NTT exchange stations as electrodes.

れた観測網で得られた1993年2月7日に発生した能登半島沖地震(M=6.6)についての事例を紹介する。Fig. 2に珠洲観測網の測線配置を示す。

地電流観測期間中(1991年2月~1993年7月)における能登半島周辺の地震活動をFig. 3に示す。Fig. 4には、図示したエリアで観測期間中(1991年3月1日から1993年7月31

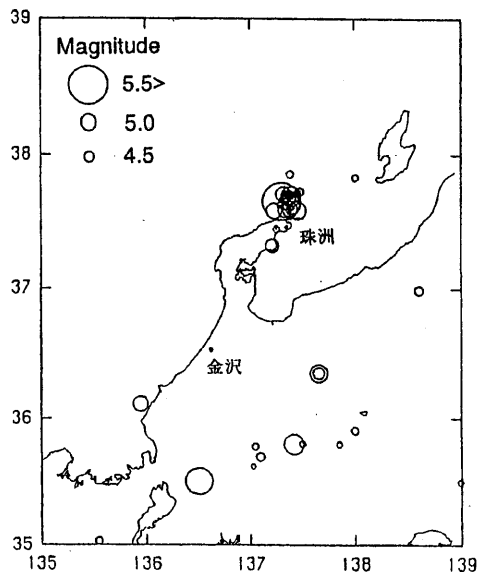


Fig. 3 Seismicity map of the target area. We plot all $M > 4$ events during observation period.

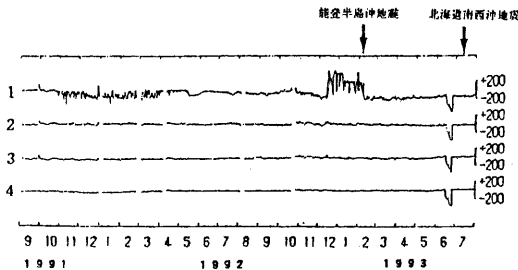


Fig. 4 Records of the Suzu network. We removed induction components of magnetic disturbances.

日まで)に発生した気象庁マグニチュード4以上の全ての地震がプロットされている。また観測期間中の1993年7月12日には日本海側では過去10年間で最大の北海道南西沖地震($M=7.8$)が発生した。

Fig. 4に珠洲観測点で得られた記録を示す。この記録は20秒サンプリングのオリジナルデータから1時間平均値を作成し、気象庁・柿岡地磁気観測所の3成分地磁気データを参照して地磁気の誘導成分の除去を行ってある。Fig. 4には明らかに通常と異なった記録の部分が見られる(1992年12月中旬~1993年2月上旬、1993年6月中旬)。これらの異常変化と前出の地震について考察を行なう。

能登半島沖地震は中部・北陸地方では観測期間中の最大の地震であった。地震は2月7日の午後10時27分に発生した。気象庁によれば震央は北緯37度39分、東経137度18分と報告されている。珠洲観測網のチャンネル1に地震発生の55日前(12月14日)から明瞭な異常電位が観測された。この異常電位は地震発生まで続き、地震発生後約2時間で通常のレベルに回復した。この珠洲観測網で観測された狼煙一大谷間での電位の変化は500mVに達した。これに対してその他の測線では顕著な異常は観測されなかった。Fig. 3の測線配置からも解るようにこの異常変化の原因は狼煙交換局(電極)にあると推測される。そして狼煙交換局は震央から最も近い(約15km)電極である。Fig. 5にはチャンネル1の1992年12月から3月までの記録と地震活動を示す。余

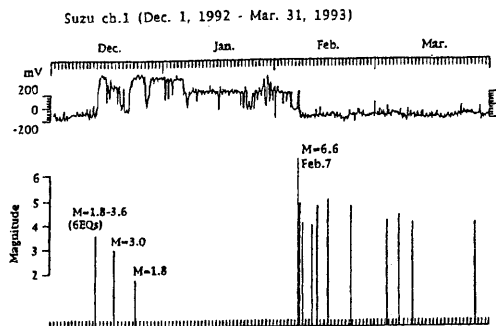


Fig. 5 Expanded version of the record of channel 1 of the Suzu network (from December 1992 to March 1993).

震はマグニチュード4以上のものをプロットした。また前震は地震発生後に地震予知連絡会で「前震であった」と認定された地震も同時にプロットした。狼煙交換局の異常電位の開始時期はこの前震活動の開始時期と極めて近い時期に開始している。自然電位異常の開始時期と前震活動、本震の発生時刻と自然電位異常の消失の時期の一致を考えると、我々はこの自然電位異常が能登半島沖地震の前兆であった可能性が高いと考えている。

6月13日、珠洲観測網の全チャンネルに異常電位が観測され始めた(Fig. 4)。この異常変化は全チャンネルに等しく現れているため大谷交換局(電極)の電位の変化と推測できる。そしてこの変化は6月25日に平常の状態に復帰した。異常電位が観測されていた間も地磁気の誘導成分は平常通り記録されており、電極の故障ではなかった。また電極周辺では特に激しい雨や地滑りも報告されていない。そして7月12日に北海道南西沖地震($M7.8$)が発生した。もちろんこの地震と珠洲観測網で観測された異常変化を(直接的に)結び付ける証拠は存在しない。たしかに北海道南西沖地震の震源域と珠洲観測網は直線距離にして約600kmも離れている。またVAN法がギリシャで予知に成功したとされている地震は観測点から300km程度が最大である。しかしギリシャではマグニチュード6クラスの地震までしか

経験がなく、エネルギーレベルの違い(Mが1違うとエネルギーは約30倍、2違うと1000倍となる)を考えればあながち前兆を観測することが不可能な距離とも言えない。

今回我々が観測した異常はいずれもギリシャで観測されているSESより継続時間がはるかに長く、いわゆる典型的なSESではない。ギリシャで観測されているSESは通常数分から数時間の継続時間である。一方能登半島沖地震の際に観測された異常変化は継続時間が約2ヶ月と非常に長く、この変化はVANグループの提唱する典型的なSESとは違う。このように長時間続く異常を説明するモデルとして地質調査所の石戸経士は減圧による地下水の沸騰に伴う界面動電現象の可能性を示唆している。石戸はモデル計算を行い狼煙で観測された変化は十分説明できると結論している。

今回我々が狼煙で観測した異常電位と能登半島沖地震との時間的・空間的関連は強く、地震の前兆を捉えていた可能性がある。しかし異常が観測された交換局が1地点であり、このような変化は通常ノイズとして処理されてきた。今後は異常電位の空間的な広がりを探るためにもギリシャで行なわれていると同様な長基線と短基線の併用観測を同一地点で行なう必要がある。

4. まとめ

VAN法は地震を予知しているのではなく、歪みエネルギーの蓄積が、限界を越えたことを観測している。つまりVANはある地域で、どれだけの歪みエネルギーが蓄積したかを、破壊の前に必ず通過する物理過程を通じて見ているのである。従ってVANも地震の発生時期については予知を行っていない。発生時期は経験則である。ただし、VANの観測している物理過程が我々の時間スケールで耐えられる範囲(地震発生まで経験的に数時間から1カ月)のため、予知として成り立っているのである。

地電流観測は現在のデジタル技術・コンピュータ処理能力の向上により、全く新しい段階に

入ったと筆者は考えている。まず長期的に安定したデータを取得し、そのデータから地磁気誘導成分を除去して電磁気学的な批判に耐えるデータとすることである。その後異常変化を冷静に判別することが肝要である。

また通産省・機械技術研究所、榎本裕嗣らのグループも、測定周波数は違うものの地電流を利用して顕著な前兆を捉えることに成功している。さらに地電流(地中の電場)ではなく、地中の電界観測でも長波領域の観測が有効であることが科学技術庁・防災科学技術研究所の藤縄幸雄らの研究で明らかとなっている。電気通信大学の早川正士らは超長波の電磁放射が特に“いつ”の特定に有効であることを示している。また彼らの主張する電波方位探査による震央位置の推定は極めて有効なものであろう。今後は“観測された異常はノイズである”という批判に対し、観測網の充実をもって答えることが肝要である。Fig. 6とFig. 7に理想的な観測の例を提案したい。

どこの国でも大地震が発生したあと、あるいは群発地震活動が開始した後、その推移を地震学者に問う。これは致し方のないことであるが、ある意味では無理な注文である。地震学は地震の発生様式、またはどのように推

観測模式図

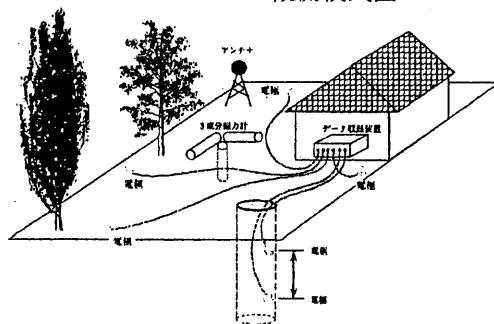


Fig. 6 An ideal short-span observation station. We measure telluric currents both N-S, E-W components, If possible, we would like to measure the vertical one. We would like to measure three-components of magnetic fields at the same time to estimate induction components of the telluric current. An antenna measures electric field in air.

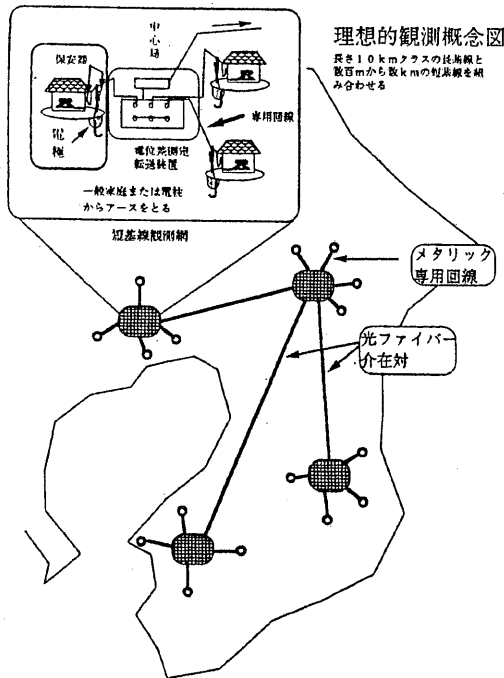


Fig. 7 An ideal observation system by using NTT network. Usually it is very difficult to conduct short-span observation because lack of space in Japan. Therefore we propose this system. We measure telluric current by long-span dipoles by using an optical fiber cable which contains one pair of metallic cable for the matter of maintenance the NTT system. We will rent this metallic cable. For the short-span observation, we will rent current metallic telephone lines. The combination of long-and short-span measurements is essentially important to discriminate a real signal from many noises.

移したかは極めて的確に答えることができるが、未来の予測は地震学者の仕事ではない。

過去の例により、どのような可能性があるかは答えることが出来るが、それぞれのケースについて予測する術は持ち合わせていない。ところが、ギリシャでは「少なくとも数日は大地震は発生しない」とか「前兆が観測されているのでさらに同規模の地震が発生する」という極めて現実的な回答がVANから得られるのである。

我々はそろそろ地震予知(学)と地震学とは違う学問であることを認識する必要があるのではなからうか？地震予知には“地震”という単語が含まれているためあたかも地震学の一分野であるかのごとく錯覚されている。実際には地震学は地震予知という目的の実現のための一手法である。地震予知は地震学、地球科学、宇宙測地学、地球電磁気学などを応用して総合的に(学際的に)行う時期に来ていると筆者は確信している。

また「予知か防災か」という議論がよくあるが、予知を行ったところで地震は発生するのであり、本来は全く別の議論である。予知も防災も両方行う必要がある。ギリシャの例からもわかるように、予知がなされることの最大の利点は人的な被害が劇的に小さくなることである。

参考文献

- [1] 上田誠也：岩波「科学」、55、180(1985)。
- [2] Varotsos P. et al., : Tectonophysics, 224, 1(1993)。
- [3] 長尾年恭：ギリシャの地震予知その後、岩波「科学」、65,282-284(1995)。
- [4] Hamada, K.: Tectonophysics, 224, 203(1994)。
- [5] 上田誠也：地震、44、391(1991)。