

神津島で観測された地電位差異異常変化

織原 義明^{1),2)}・鴨川 仁²⁾・長尾年恭¹⁾・上田誠也³⁾

Preseismic anomalous telluric current signals observed
in Kozu-shima Island, Japan

Yoshiaki Orihara^{1),2)}, Masashi Kamogawa²⁾, Toshiyasu Nagao¹⁾ and Seiya Uyeda³⁾

はじめに

かねてよりギリシャにおいて地震に先行する地電位差の異常変化が報告されていましたが、両者の相関については長い間議論の対象になっていました。そこで本研究では、電気的なノイズが少ない伊豆諸島の神津島で過去に計測された地電位差記録を詳細に解析し、地震前にみられる地電位差異異常変化と地震との統計的な検証を試みました。このような検証には多くの事例の収集が必要です。本研究では約3年間の観測で20例ほどの事例を収集し、両者の間には有意な相関があり、偶然ではないことを示すことができました。

本論文は2012年7月に米国科学アカデミー紀要 (Proceedings of the National Academy of the United States of America, PNAS) に投稿し、査読審査を通

過してアメリカ時間の2012年10月30日に電子版がインターネット上で公開されました。その後、2012年11月20日に冊子版が出版されました。さらに巻頭で注目論文 (This Week In PNAS, 図1) としてもトップ記事として大きく紹介されました。本論文は、世界で初めて地震に先行した地電位差異異常変化が地震と相関のある事を統計的に示したものです。この研究成果は現在、学界でも問題となっている短期地震予測に必要とされる先行現象の検証に結びつく結果になったといえます。なお本論文はオープンアクセスとなっており、どなたでも自由に下記サイトから入手できます。本解説と併せてご覧ください。

<http://www.pnas.org/content/109/47/19035.full.pdf+html>
(表紙および TWIP)

<http://www.pnas.org/content/109/47/19125.full.pdf+html>
(本文)

-
- 1) 東海大学海洋研究所地震予知研究センター 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1
Earthquake Prediction Research Center, Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University,
Shizuoka 424-8610, Japan
 - 2) 東京学芸大学物理学教室 〒184-8501 東京都小金井市貫井北町4-1-1
Department of Physics, Tokyo Gakugei University, Tokyo 184-8501, Japan
 - 3) 日本学士院 〒110-0007 東京都台東区上野公園7-32
Japan Academy, Tokyo 110-0007, Japan

(2013年1月22日受付)

November 20, 2012 | vol. 109 | no. 47 | 19035–19510

In This Issue

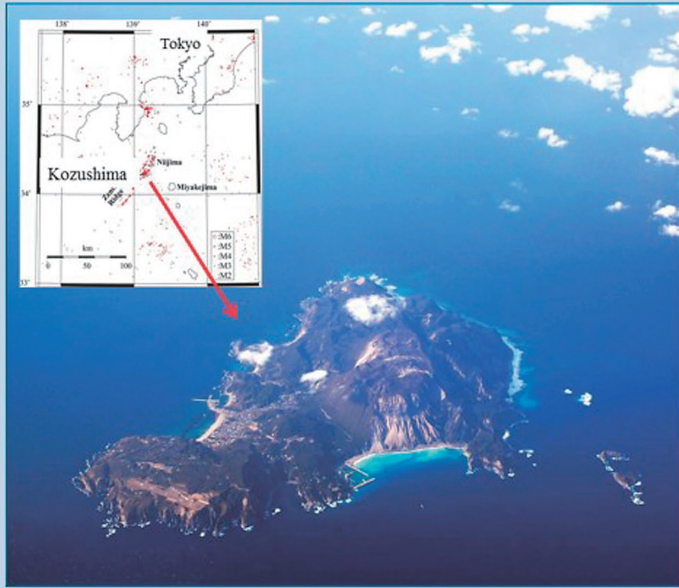
PNAS

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

www.pnas.org

Seismic electrical signals precede earthquakes at Kozu-shima Island, Japan

The VAN method, named for Greek physicists Varotsos, Alexopoulos, and Nomicos, seeks to predict near-term earthquakes by monitoring a type of naturally occurring seismic electrical signal known as telluric current. Since the method was proposed in 1981, researchers have reported significant correlations between preseismic anomalous telluric current changes (ATCs) and earthquakes. But others have argued that no causal relationship exists between faulting and seismic electrical signals. Yoshiaki Orihara et al. (pp. 19125–19128) searched for correlations between ATCs and nearby earthquakes in a record of telluric current that was obtained from May 14, 1997–June 25, 2000 at Kozu-shima Island off the southern coast of Japan. Assuming a range of lead times, magnitudes, and distances from the recording station, the authors determined that the best correlation occurs for earthquakes within 20 km that have a magnitude greater than 3.0. Given these parameters, the authors report that 11 of 23 earthquakes were preceded by ATCs within 30 days, a result statistically well beyond chance. The study, which includes a simple speculative model, contributes to the body of work aimed at exploiting ATCs to forewarn of impending earthquakes, according to the authors. — T.J.



Magnitude 2.5 or greater earthquakes at depths 50 km or shallower near Kozu-shima Island, Japan from May 14, 1997–June 25, 2000.

図 1 The front cover of the PNAS article. Our paper is selected as TWIP (This Week In PNAS).

<論文の概要>

本論文は、伊豆諸島の神津島における地電位差連続観測のデータと、神津島近傍で発生した地震とを比較した研究である。観測期間は1997年5月14日から2000年6月25日までの約3年1か月で、期間中にギリシャのVANグループが主張する地電位差異常変化と同様な異常変化が19回観測された。なお、神津島観測点における地電位差異常変化の条件は、1) 短基線における電場変化(単位長さ当たりの変化)がほぼ等し

い、2) 短基線と長基線で同時に変化、3) 短基線と長基線の変化の向き(極性)が同じ、4) 神津島観測点のバックグラウンド・ノイズレベル($2.0 \mu\text{V/m}$)以上の変化、5) 継続時間が40秒以上(10秒サンプリングで3データ以上)の5つを同時に満たす変化である。一方、観測点から20 km以内で発生したマグニチュード3.0以上の地震は23個(前震と余震を除く)であった。

地電位差異常変化19個と、神津島近傍の地震23個を時系列的に比較したところ、異常変化から30日以内に起こった地震は11個で、20日以内だと10個で

あった。また、地電位差異常変化の極性(プラス、マイナス)と、その後が発生した地震の震源位置を比較すると、プラスの極性のあとには島の東側で地震が発生し、マイナス極性のあとは西側で発生するといった明瞭な関係もみられた。当時、神津島周辺では島の南方にあるゼニス海嶺の伸長方向(北東-南西)に沿って地震が卓越していた。異常変化のプラス・マイナスはこの伸長方向の東西で分かれていると解釈することもできる。このような地電位差変化と地震との対応が偶然でも起こりうるものかどうかについて、各種の統計的な検証(ランダムに地震を発生させて実際の記録と比較する等)を行った。その結果、偶然ではめったに起こることがないとの結論となった。

以上により、神津島で観測された地電位差異常変化は、地震に先行するシグナルであると考えられ、ギリシャ以外でこのような現象がみられることが統計的にも有意に確認された最初の事例である。

<論文の解説>

ここでは、論文公表後に寄せられたコメント等も参考にして、読者の理解につながる解説を行ないたいと思います。

(1) この論文程度の結果は偶然生じるのではないか？

地震は時空間的に均等に起こるものではありません。同じ場所でも地震が起こりやすい時期があれば、起こりにくい時期もあります。また、日本周辺では常に地震は発生していますが、同じ島国でもイギリスではほとんど発生しません。このように地震は時間的にも空間的にも偏りをもって発生しています。したがって、均等に起こりうるといった前提の一般的な確率論では議論できません。しかし、「何年以内に何パーセントといった確率論があるではないか」といった批判もあるでしょう。これに対しては、例えば兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)も東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)も当てることができませんでした。一方で、30年以上前に「いつ起きてもおかしくない」と言われた東海地震は、いまだに発生していません。このように地震の発生確率と実際に発生する地震の間には感覚的なズレがある場合が多く、その確率が必ずしも適当とはいえない側面があります。

私たちの研究グループはこのような立場から地震を複雑系の現象として捉えています。複雑系とはいろいろな条件が複雑に絡みあって、単純に未来予測がで

きない事象のことをいいます。地震以外にも身近なところでは気象現象も複雑系です。これだけ観測技術が発達し、過去の事例が多いにも関わらず、天気予報は100%ではありません。また、社会科学の分野では株価や為替変動の予測も同様に複雑系になります。

話をもとに戻しますと、本論文では約3年2ヶ月の観測期間に異常変化は19回、地震は23回発生しています。30日の先行時間でその対応をみると、予想的中率(警告率)は約58%でした。19回の異常を観測した場合、最大の見積もりとして $19 \times 30 = 570$ 日は予測が有効(予測が出ている)という事になります。全観測期間は実際には3年1ヶ月(1139日)でしたから、 $570/1139 = 0.50$ (=50%)となり、全く偶然でも半分は予測が成功します。50%と58%では対して差がありません。しかし、前述したように地震は時空間的に等しく起こるものではありません。PNAS論文の中のFig. 3Aは実際に発生した地電位差異常変化(上)と神津島周辺で発生した地震の時系列(下)を示しています。一目してわかるように地震は時間的に均等に発生していません。そこで(2)に示すようなテストをしてみます。

(2) ランダム地震発生テスト

本研究では異常変化と地震の発生した日時が分かっています。したがって、実際に発生した異常変化と地震との対応が偶然よりも高いか低いかを検証することにより、異常変化と地震との間に相関があるかないかを明らかにしました。

観測期間1139日のなかで、異常変化は19回、地震は23回発生しています。異常変化と地震との対応は一對一とします。仮にある地震に対して先行時間内に異常変化が複数あった場合は地震との間隔が最も短い異常変化の採用を基本とし、他の異常変化は“ハズレ”とします。また、ある先行時間内に異常変化と地震が複数個あった場合は、先の異常変化と先の地震、後の異常変化と後の地震とを対応させます。このような条件で実際の異常変化と地震との対応を調べると、先行時間30日で11回、20日で10回、10日で6回、3日で4回となります。次にこのような対応回数が偶然よりも高いか低いかを検証する手法として、コンピュータでランダムに異常変化や地震を発生させたときの対応回数を比較してみます。

まずは、異常変化を実際の発生日に固定し、地震23個をランダムに発生させ、30日、20日、10日、3

日の先行時間での対応をテストします。その結果が図2AのAARになります。この図の(n)にあたる部分をみると、先行時間が30日と20日、3日のとき、Actual Rate(実際の対応)が95.4パーセントイルを超えています。これは、ランダムテスト100回の試行で実際の異常変化と地震との対応回数と同じまたはそれを超える場合は4.6回しかないことを意味しています(論文では1万回試行していますが、わかりやすい説明として100回にしています)。統計的には偶然では起こりにくいことをこのテストは示しています。次に地震を固定させ、異常変化19個をランダムに発生させた結果が図2BのEORです。このテストでも先行時間が30日と20日のときに95.4パーセントイルを超えています。

実は異常変化と地震との関係については、異常変化の極性と震源位置に明瞭な関係があります。図3の赤丸で示した地震は、先行する異常変化がプラスの極性を示しています。一方、青色で示した地震は先行する異常変化の極性がマイナスを示します。異常変化の極性がプラスのときは島の東側で地震が発生し、マイナスのときは西側で発生しています。これはゼニス海嶺の伸長方向で分けた場合にもあてはまります。対応が見られた11組の異常変化と地震はすべてこの関係が成り立っています。図2Aと図2Bにある(y)のバーは、このような異常変化の極性と地震の震源位置の関

係を考慮した場合のランダムテストの結果です。地震を実際の発生日に固定させたAARでは先行時間が30日と20日のときに、Actual Rate(実際の対応)が99.7パーセントイルを超えています。これはランダムテスト100回の試行で実際の異常変化と地震との対応回数と同じまたはそれを超える場合は0.3回しかないことを意味しています。言い換えれば1000回に3回しか起こらないほど、統計的には偶然に起こりにくいことを示しています。また、先行時間10日と3日の場合でも95.4パーセントイルを超えています。このような結果は異常変化を固定させたEORでも同様です。

(3) 異常変化の極性と島の東西で発生する地震とが対応

異常変化の極性と震源位置との間には、先行する異常変化がプラスの場合は島の東側で地震が発生し、マイナスの場合は西側で発生するといった明瞭な関係がありました。先行時間が30日のとき、11組ある対応のなかで5組がプラス極性と島の東側、6組がマイナス極性と島の西側です(PNAS論文中のFig. 3B)。論文では正断層型や逆断層型など地震のメカニズム解と異常変化の極性ととの比較も行いましたが、そこに関連性は見出されませんでした。本研究で導き出された結果は、異常変化の極性は地震のメカニズム解とは関係がなく、単に島の東側または西側に発生する地震に関係するといったものです。

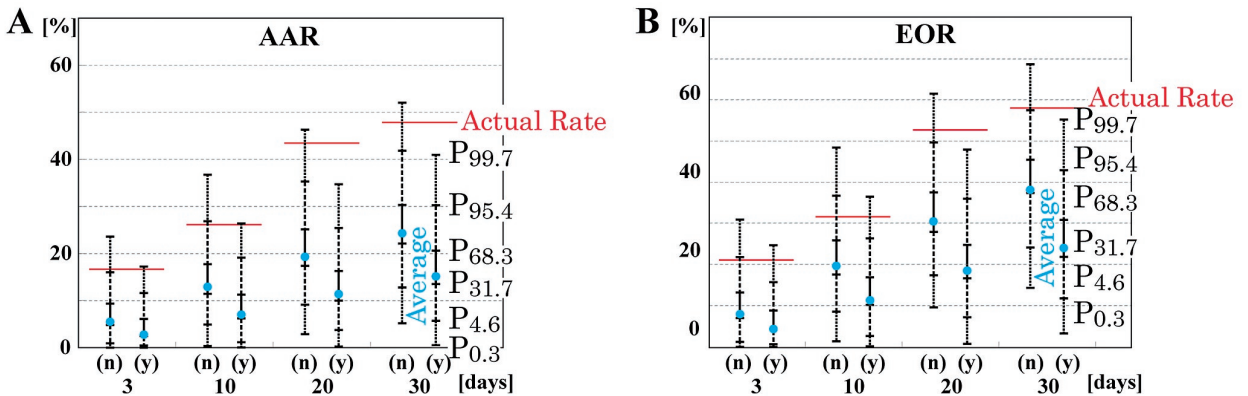


図2 (A) AAR in the randomly generated catalogs. (B) EOR for the randomly generated ATCs. The results with and without considering the east and west clustering of EQs are denoted by (n) and (y), respectively. Horizontal lines are the actual values of AAR and EOR. Blue points show their means, and bars are percentiles.

図4はその理由を模式的に示したものです。Aが平面的なイメージで、Bが良導体の層 (conducting path) を仮定した鉛直方向のイメージです。この図は震源が島の東であっても西であっても異常変化は同様のメカニズムで発生し、電気的信号が島の東側から

来るか西側から来るかで観測される地電位差異変化の極性が決まることを示しています。本論文では異常変化の発生とその伝播のモデルを模式的に推測しましたが、研究の次のステップは、それらをシミュレーションによって検証することになります。

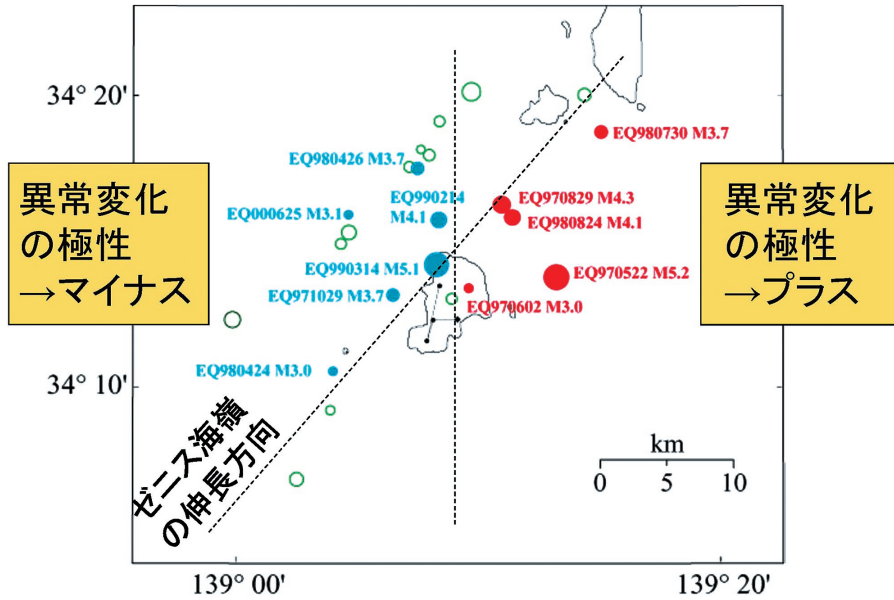


図 3 The relationship between observed polarity and the location of earthquakes. Eastern and western side earthquakes show positive and negative polarities, respectively.

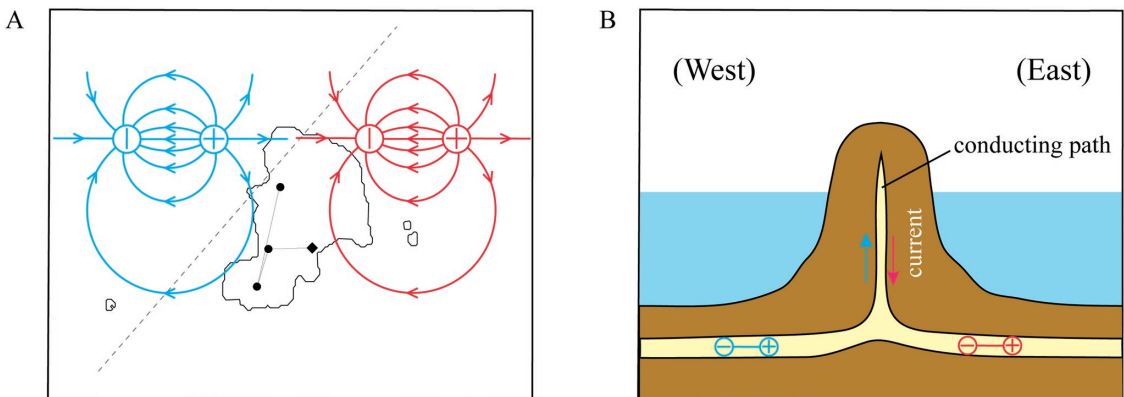


図 4 Schematic diagram of a speculative model generating ATCs with opposite polarities. (A) horizontal projection. (B) vertical projection.

ま と め

異常変化のあとに地震が起こった割合(警告率)は、先行時間30日で58%、20日で53%と決して高い率ではありません。しかし、時空間的な広がりの中で異常変化と地震との対応を比較すると、それでも偶然ではめったに起こらない対応であることをこの論文は示しています。米国科学アカデミー紀要の査読審査をパスし、なおかつ今週の注目論文として紹介された理由として、一つ目には地震のマグニチュードや震源距離のパラメータサーベイ(いろいろ値を動かして適当な閾値を決めること)を行い、先行時間についても3日から30日までの複数を示したことが考えられます。二つ目は対応する異常変化の極性と震源位置に

明瞭な関係があったこと、そして三つ目にはランダムテストといった統計的な検証を行ったことが考えられます。

以上から、神津島で観測された地電位差異常変化は、島周辺で発生した地震と関係がある、換言すれば先行現象であった可能性が極めて高いということです。ただし、これを実際の地震予知手法として考えた場合は、警告率は決して高くはなく、また、先行現象のある地震も島の近傍に限られているので、現時点では実用的な地震予知の手法といえるようなものではありません。しかし、本論文は地震に先行する電磁気現象が実際に存在することを示したものであり、地震電磁気研究を一步前に進める事が出来たと著者一同確信しています。