

電子基準点情報を用いた巨大地震予測に関する研究（MT法）

Earthquake prediction using electronic reference point data and MT method

アングルトライ(株) 手島昌一* (10032)

元(株)KYB 生駒亮久 (11662)

(有)前田コンサルティング 前田誠 (12371)

東芝電子エンジニアリング(株) 澤田静雄 (13922)

長谷川技術士事務所 長谷川良子 (10252)

東京計器(株) 西巻寛之 (15652)

ソニーセミコンダクタソリューションズ(株)

田中靖人 (14267) 元古河電工(株) 小澤章一 (15810)

1. はじめに

地震予測は大きな期待が寄せられながら、実現が困難な課題であり、理論的に不可能とする学者もいる。天気予報と異なり計測手段が限られていることや、そもそも何をどの場所で計測したらよいかさえが判然としていない。

本研究は表題を“地震予測”としているが、正確には以下のとおりである。

「定期間にに対する地面の動きパターンの数量化」

地面の動きは電子基準点データを利用し、パターンの数量化はMT法を適用した。得られた数値（マハラノビス距離）が大きければ、地震などの異常発生可能性を示すと捉えてよいのではないか、ということである。

過去14年間のデータを用いて解析を行ない、大規模地震発生との関連性が高いことがわかった。

2. 地震予測に関する情報と研究

2.1 田口による予測手段の提案

田口玄一は1995年の品質工学誌に「地震予測と品質工学」との論説を発表している¹⁾。同年1月に発生した阪神淡路大震災の惨状を見て、MT法の適用による予測の考えを提示した。地震が発生していない期間を単位空間とし、マハラノビス距離（MD）により

地震リスクが定量化できるのではないか、と提案している。論説の中では、まず地震が起こらないときのデータベースが必要であるとし、たとえば48時間以内の地震発生を予測するための手順が示されている。避難するとか、ガスを止めるなどの日常生活に活かすことができる予測は、数日単位であるべきとの考えがあったものと考えられる。

どのようなデータを使うかは専門家に委ねるとしているが、地面の歪データや注目地点の断層からの距離など、“使える情報は全て使う”としている。

2.2 全国地震動予測地図

政府地震調査委員会は、「全国地震動予測地図」を発表している（図1）。今後30年間に震度6弱以上の地震が発生する確率を、地図上で色分けしている。この予測は過去の巨大地震履歴とその発生時期の規則性（グーテンベルグ・リヒター則）などを根拠としている。

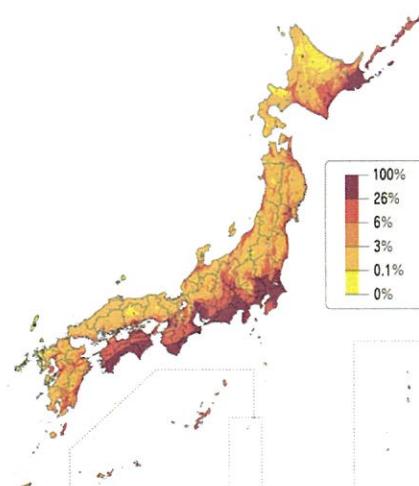


図1 全国地震動予測地図

Shoichi TESHIMA (teshima@angletry.com) (AngleTry Associates)

Akihisa IKOMA (former career : KYB Co. Ltd.)

Makoto MAEDA (Maeda Consulting)

Shizuo SAWADA (Toshiba Electronic Engineering Co. Ltd.)

Yoshiko HASEGAWA (Hasegawa Consulting Engineer)

Yasuhito TANAKA (SONY Semiconductor Solutions Co. Ltd.)

Hiroyuki NISHIMAKI (TOKYO KEIKI INC.)

Shoichi OZAWA (former career : Furukawa Electric Co. Ltd)

しかし、地震発生が「今日から30年後までの期間」という情報であるため、日々の社会活動や生活においてどのように活用すべきか、多くの人々が戸惑っていることは否めない。

2.3 品質工学会における予測研究

品質工学会では田口の提案に基づいた地震予測の研究がおこなわれている²⁾³⁾。いずれも地面振動データを利用した研究であり、MTシステムによる地震予測の切り口を提示したという位置づけであろう。

2.4 電子基準点情報の利用

元財団法人資源科学研究所の荒木春視、東京大学名誉教授の村井俊治は、2002年頃より全国1,300箇所の電子基準点における地面の動き情報を利用した地震予測活動を行ってきた⁴⁾。

荒木、村井の専門は測量工学であり、地面の動きを観察する過程で、巨大地震の前には特異な動きがあるという経験知を持つにいたったと述べている。現在、村井は日本各地における日々の地面の動き、水平・垂直方向の動きを可視化し、危険な兆候がないかを1週間ごとに分析している⁵⁾。特に、一定期間の垂直方向の動きに注目している。

また、2013年に地震科学探査機構（JESEA）という民間会社を設立し、メルマガによる情報発信を行っている。

2.5 地震予測の難しさと懐疑的な見方

大規模地震の予測について、国内ではその実現に懐疑的な見解が大勢を占めている。かつて予測技術の実現を前提とした法律が作られたが、2017年に内閣府より“現状では予測実現が困難”との見解が発表された。

地震の多くは震源が地中数十km以上の深さ、さらに海洋部のことも多く、天気予報と異なり観測のための計測器の配置に大きな制約がある。地殻の破壊現象は物理モデルができないので、そもそも地震予測は困難との専門家見解も示され、支持を得ている。

しかし、果たしてそうだろうかとの疑問もある。山にかかる笠雲と雨、夕焼けと晴れなどの関係は、農業や漁業などに従事していた人々が獲得した経験知であり、現在では科学的に説明ができる。荒木、村井の経験知は意味がある可能性もあり、さらに今後現れてくるだろう新たな観測情報も期待され、地震国である我が国では予測技術の研究の手を休めるわけにはいかない。

3. 本研究の予測手段

3.1 電子基準点情報の利用

電子基準点（以下「基準点」と記載）は、測量における基準点・観測点であり、GNSS（Global Navigation Satellite System／全球測位衛星システム：米国ではGPSと呼ぶ）を利用して、地心直交座標系における位置や変位などを約5mmの精度で観測する。図2は電子基準点であるが、高さ5メートルほどの位置にGNSSからの情報を受信するセンサーがある。図3に示すように、日本全国に約1,300の基準点が存在し、国土地理院は各基準点の毎日のデータを同院のサイトから配信している⁶⁾。

図4に地心直交座標系と日本の位置関係を示す。地球の中心を原点、北極を貫く軸をz軸、経度ゼロと緯度ゼロの交点を結ぶ軸をx軸、それらと直交する軸をy軸と定義している。東京は北緯35° 東経139° の位置にある。国土地理院が全国の基準点を管理しており、時間を含め同一条件のデータを網羅している。



図2 電子基準点（北海道長沼）



図3 電子基準点の分布
(国土地理院サイトより)

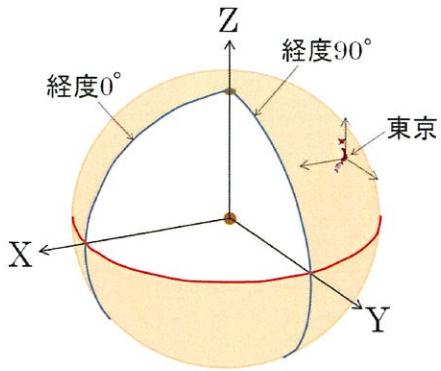


図4 地心直交座標系

表1 電子基準点データの例（世田谷）

DATES	<u>X</u> _m	<u>Y</u> _m	<u>Z</u> _m
2011/3/2	-3952590.463	3360273.966	3697987.305
2011/3/3	-3952590.468	3360273.973	3697987.312
2011/3/4	-3952590.463	3360273.972	3697987.311
2011/3/5	-3952590.463	3360273.971	3697987.309
2011/3/6	-3952590.471	3360273.971	3697987.310
2011/3/7	-3952590.471	3360273.972	3697987.310
2011/3/8	-3952590.465	3360273.958	3697987.304
2011/3/9	-3952590.462	3360273.965	3697987.305
2011/3/10	-3952590.461	3360273.959	3697987.303
2011/3/11	-3952590.589	3360273.675	3697987.317
2011/3/12	-3952590.580	3360273.743	3697987.342

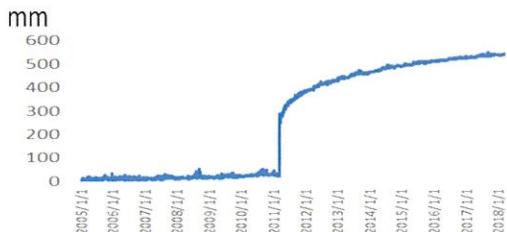


図5 世田谷の地面変位の様子(13年間)

表1は東京都世田谷の基準点における基準点データの一部である。図5は13年間の変位（3軸方向の変位の二乗和の平方根）を示す。横軸は時間であり、2005年1月1日から2018年まで表示している。縦軸が変位（mm）である。横軸中央付近に大きな変位があるが、2011年3月11日の動きである。このとき、世田谷は約300mm変位したことがわかる。

図6は地面を板、基準点を○で模式的に示している。日本の国土は、太平洋プレートなどの動きに影響されて変形してゆくが、基準点データから地面（地表面）のねじれやシワ形成などの時間的变化を捉えることができる。そしてまた、その変形を観測することで地面内部の歪の推定、すなわち地震リスクを合理的に評価できる可能性もあると考えられる。

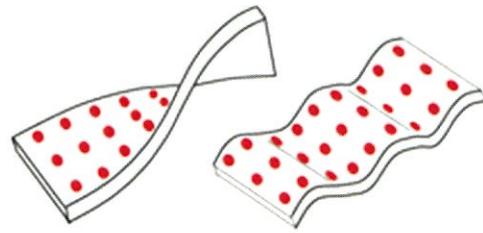


図6 地面変形の模式図

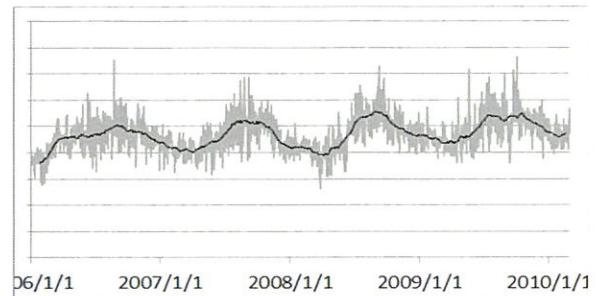


図7 季節変動と平準化の例（秋田県象潟）

3.2 ノイズ除去処理

電子基準点から得た地面変位情報には、実はノイズが多く含まれている。空気中の水分や周辺の樹木などの影響を受けやすく、さらに水田への灌漑や雪融けによる地下水増減の影響で季節的な変化も示す。こうしたノイズの影響を除くため、図7に示すように移動平均値を利用し、波形データを平準化することとした。

3.3 特徴量抽出

ノイズ除去処理後のデータについて、田口の提案を参考に以下の値を特徴量として求めた。

- ・当日の値
- ・7日前／30日前／100日前との差分
- ・変位速度

すなわち、1基準点あたり5つの特徴量となる。複数の差分により、変位の時間変化パターンを得ることができる。

変位速度Vは直交多項式により求めるが、例えば7日間の計算式は以下の通りとなる。

$$V = 3x_1 + 2x_2 + x_3 - 0x_4 - x_5 - 2x_6 - 3x_7 \quad (1)$$

ここで x_i は該当日を $i=1$ としたとき、 $(i-1)$ 日前の値である。

このように特徴量を求めるので、基準点数が10の場合、特徴量の数は50となる。

3.4 解析対象領域と電子基準点の選定

本研究では、図8に示すように全国を半径150kmの円領域に分け、領域ごとに解析することとした。半径を150kmと決めた根拠は、多くの地震の震源深さが数十kmなので、仮に50kmとした場合にその3倍程度の半径が妥当ではないかとの考え方である。円の数は全国で30となる。なお、島嶼部は円領域を設定しても、基準点が面ではなく線としてしか選択できないことが多い、解析対象から割愛した地域もある。

このようにすると、一つの円領域には数十の基準点が存在する。そこで、各領域から適切な10程度の基準点を選択した。実は基準点には実稼働していないものや、データに長い欠測期間のあるものがある。さらに、さまざまな要因でデータの信頼性が劣るものもある。これらの問題がないことを確認した上で、基準点を選択した。図9は宮城県地方の例で、◆が選択した基準点である。

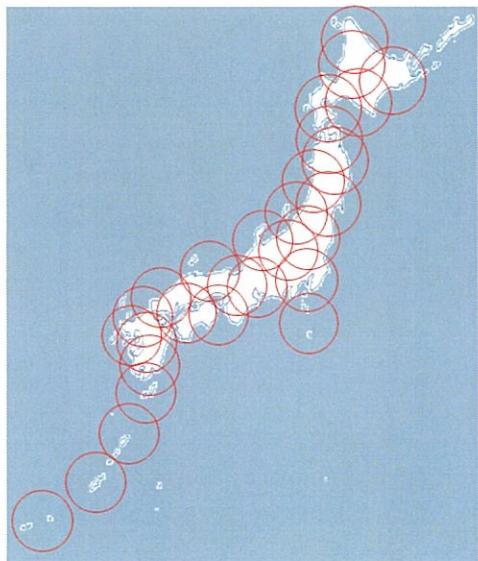


図8 半径150kmの予測領域設定



図9 電子基準点の選択例（宮城県地方）

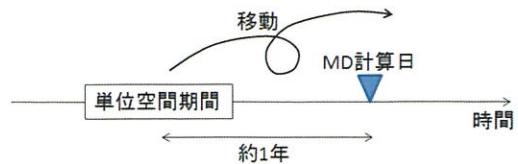


図10 移動単位空間の概念図

3.5 単位空間の設定

MT法では基準とする状態、すなわち単位空間からのパターン相違をマハラノビス距離（MD）として求める。単位空間には一般に、異常の発生していない状態が選ばれるので、地震のない安定期間とのパターン相違を評価する手段として適している。ただし、震度3程度の地震は各地域で頻繁に発生しているので、それらの日は単位空間に含めることにした。したがって、大きなMDが現れた場合には大規模地震が発生する可能性が高いことになる。

そして地面の季節変動の影響を低減するために、単位空間は原則として1年前とした。その期間は固定ではなく、地震が発生していないければ1週間ごとに更新した。この考え方を図10に示す。これは“移動単位空間”的考え方であり、設備監視などでもよく利用される。さまざまな解析実験から、単位空間とする日数は90日とした。

4. MT法による解析結果と考察

4.1 解析結果

2005年以降、国内で発生した大規模地震3例についての解析結果を示す。なお、(1)と(2)は過去の地震であり結果がわかっていたが、(3)の胆振東部地震は解析時点以降に地震が発生した例である。

(1) 宮城県地方

2011年3月11日、宮城県沖を震源とする大震災（マグニチュード9）では、震度7の揺れや津波により、甚大な被害をもたらした。宮城県地方の半径150km領域における解析結果を図11に示す。横軸が2005年5月から2017年5月の時間軸であり、縦軸がMDである。MDは毎日計算されている。

図11では3.11を矢印で示すが、直前の1月～2月にかけて、MDは大きなピークがあり、いったん低下した後に3.11を迎えていくことがわかる。宮城県地方は地震が非常に多い地域であり、他にも大きな地震が発生している。それらにおいても、地震発生の1か月程度前に大きなMDが出現することが多いことがわかった。

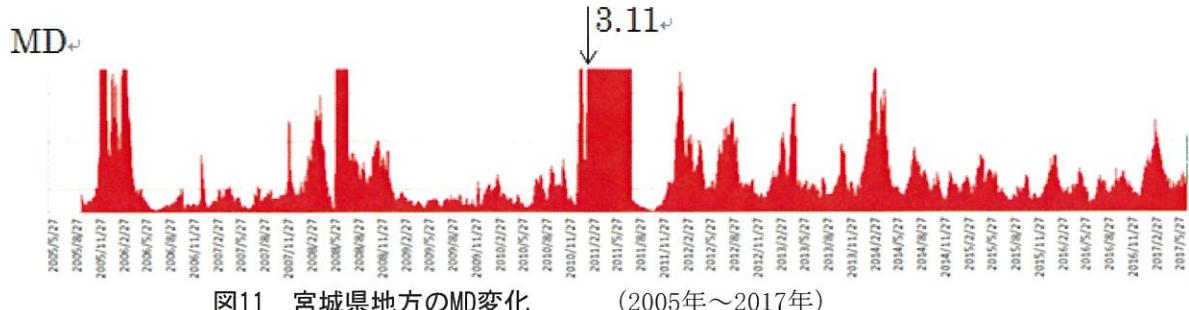


図11 宮城県地方のMD変化

(2005年～2017年)

また大きなMDが現れてから、いったんMDが小さくなり、数週間後に大規模地震が現れるという現象は、この後に述べる熊本地震、北海道胆振東部地震でも類似している。

なお、2011年3月以降の1年程度はMDが大きくなっている。3.11後に長期間大きなMDが続く状況はほぼ日本全国にわたっていた。

(2) 熊本県地方

2016年4月14日および16日に、熊本県と大分県では震度7(マグニチュード7.3)を記録する地震に相次いで襲われた。図12に示すように、2016年4月14日の約1か月前に、大きなMDが現れ、一時的にその値が低下した後で地震が発生している。

また、この場合も東日本大震災と同様に、地震以降1年間程度はMDが大きな状態が継続した。

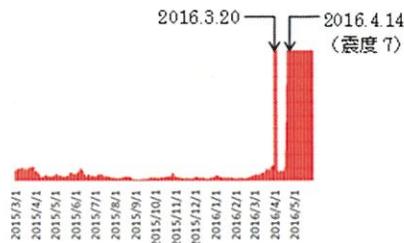


図12 熊本県地方のMD変化 (2015. 3~5)

(3) 北海道胆振地方

図13は旭川を中心とする半径150km領域のMDを示す。2018年7月から8月にかけて、突然大きなピークが現れている。同年9月6日に震度7(マグニチュード6.7)の胆振東部地震が発生したが、本図は発生前に解析されていた。その前6月から苫小牧・日高地方のMDが上昇していたため、北海道の中央部から苫小牧、襟裳方面で大規模地震の可能性があるとの情報を関係者で共有していた。

図14は8月11日の北海道地方のリスクの様子を示している。図8に示したように、全国を円領域に分

けているが、そこにMDに基づくリスク表示をしている。リスクはMDに応じて5段階表示しており、旭川と浦河を中心とする円領域のリスクは4である。また、偶然かもしれないが、震源となった厚真町(千歳市南東に隣接)は2つの領域が重なる位置にある。

なお、この地震以後は前述の2例のように継続的に大きなMDが続く状況は見られない。

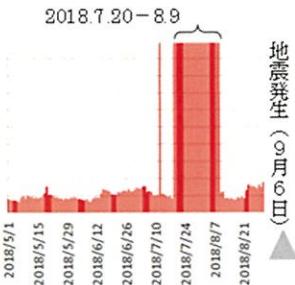


図13 旭川地方のMD変化 (2018. 5~8)

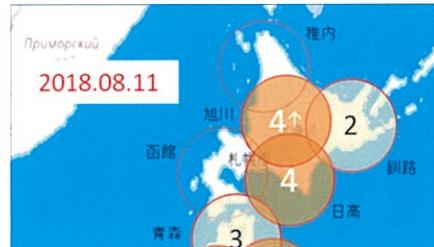


図14 北海道の地震リスク表示 (2018. 8. 11時点)

4.2 原因診断

MT法の大きな特徴である原因診断を行った。ここでは熊本地震を例にその結果を記載する。図15はMDが大きくなった3月20日のデータについての、Paleyの直交表を用いた診断結果である。横軸が項目番号、縦軸が貢献度(SN比)である。項目の中で“大矢野基準点の30日前差分”などが大きな原因となっている。大矢野は熊本県天草諸島に位置する。

3.3で述べたように、各基準点の変位量はx,y,zの3

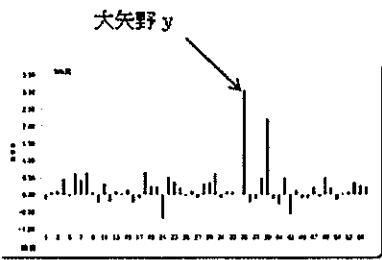


図15 熊本地震前の原因診断結果

方向のベクトルから二乗和の平方根でまとめているが、さらに追加の解析を行ったところ、特にy方向の変位が最も大きな原因であった。詳細は割愛するが、当該基準点では1年前のy方向変位がほとんどないことがわかった。

4.3 考察

(1) 2005年以降、日本で発生した3つの大規模地震については、いずれも発生の約1か月前にMDが急激に大きくなっていた。このほかにも、いくつかの震度5弱以上の地震について、ほぼ同様のことが言えることもわかった。

しかし、震度6弱以上の地震でMDが大きくなっていない場合（見逃し）も同じ程度ある。現象が発生する／しないの形式の予測問題では、予測と結果について4通りの組み合わせを求め、SN比として評価することができる。今後、実績が蓄積されてきた時点でも適用してゆきたい。

(2) MT法の“原因診断”により、安定期間とのパターン相違を大きくしている項目を絞り込むことができる。2005年以降の国内で発生した3つの大規模地震では、いずれの場合もy方向変位が原因となっていた。すなわち、地震発生の約1年前のy方向変位が一定期間以上“静止する”という現象である。電子基準点データは、あくまでも地表面の動きの計測値であるが、この結果は地震発生のメカニズム解明にも活用できる可能性がある。

5. おわりに

本研究では電子基準点情報、すなわち地面の動きデータを利用して、地震がない安定期間とのパターン相違をMT法で解析した。その結果、大規模地震とその1か月程度前に現れる大きなMDとが対応関係にありそうだということが分かった。さらに、MT法の特徴である原因診断機能により、地震発生メカニズム研究との連携可能性も明らかになった。

2017年以前については、いわゆる“過去予測”であるが、2018年は地震発生前の本当の意味での予測も行った。胆振東部地震のほか、2018年6月18日に発生した大阪府北部地震などは、いずれも約1か月前にMD上昇が見られた。その時点で地震リスクが大きいことを、限られた範囲の人々に対してではあるがアナウンスすることができた。情報を伝えた相手からは、家具の固定を確認したり、電池を確保したりすることができたと感謝もされた。小さな感謝ではあるが、生活に役立ってこそこの予測である。

地震予測技術の開発は、これまで多くの研究者が取り組んできたが、有効な予測方法に辿りついていない難題である。発表者らは地球物理や地質学について素人である。地殻の異変を、数年あるいは数か月単位のデータで捉えてよいのかという疑問もある。今後、広く専門家の見解を聞く必要もある。予測としての有効性を確認するためには、100例ほどの本当の意味での予測実績が必要であろう。そのためには恐らく10年以上は必要である。

MT法はさまざまな種類のデータが混在しても計算が可能なので、電子基準点データのほかにも利用可能なあらゆるデータを対象とすることも考えられる。今後も解析を続け、他の種類のデータ利用も検討を進めたい。

本研究は、日本規格協会QRG研究会ワーキンググループ4で2015年から取り組んだ成果をまとめたものである。なお、基準点データダウンロードのソフト作成は、シャンソンコンピュータ(有)のご協力をいただいた。データ解析では、アングルトライ社製ATMTSおよびMTRT-AddInsを使用した。

参考文献

- 1) 田口玄一：地震予測と品質工学，品質工学, 3, 3, (1995), pp. 2-6.
- 2) 五味伸之, 斎藤之男, 矢野 宏: MTシステムによる地震データの評価の研究 (I) -地震データの入力とデータの傾向, 品質工学, 14, 3, (2006), pp. 50-56.
- 3) 早川幸弘, 水谷淳之介, 山本桂一郎, 鴨下隆志, 矢野 宏:茨城地方の地震発生のパターンの定量化と予測 (I) -つくば地区の地震パターン, 品質工学, 18, 2, (2010), pp. 50-63.
- 4) Murai, S and Araki, H: Earthquake Prediction using GPS, GIM International, Volume 17, No. 10, October (2003)
- 5) 村井俊治：地震は必ず予測できる：集英社新書, (2015)
- 6) 国土地理院 電子基準点データ提供サービス
<http://terras.gsi.go.jp/>