

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510218

研究課題名(和文) 臨界現象の概念を用いた地震発生時期推定の新手法

研究課題名(英文) New approach based on the critical phenomena concept to assess the occurrence time of earthquakes

研究代表者

上田 誠也 (Uyeda, Seiya)

東京大学・地震研究所・名誉教授

研究者番号：60011459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：近年、時間は事象が起きたときにのみ進むとするNatural timeという新しい時間概念に基づいて臨界現象の時系列解析を行うと、システムが臨界点に達しているか否かを推定できることが示唆された。Natural Timeはイベントごとに時間が進む性質を持ち、指標 κ_1 が0.07に収束することで臨界状態かどうか判別できる。本研究では、 κ_1 の値が臨界点接近にともなって0.07に収束することを既知の臨界現象の知見をもとに示した。さらに、統計的性質を調べるべく κ_1 の分布形状の時間変化を調べたところ、2011年東北地方太平洋沖地震前のみ顕著な変動があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：It has recently been suggested that the approach of a system to critical state can be estimated by the Natural Time analysis of time series leading to a critical phenomenon. Natural Time is a new concept of time, which assumes that time proceeds only when an event occurs. Critical state can be recognized when a parameter called κ_1 , that can be derived through the above analysis, converges to 0.07. In this study, approach to 0.07 was comparatively examined for various known critical phenomena. In investigating the statistical properties of κ_1 , we found that its fluctuation in seismicity before the 2011 M9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake exhibited a remarkable variation.

研究分野：地震予知

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、自然災害科学

キーワード：地震 臨界現象 ナチュラルタイム

1. 研究開始当初の背景

地震予知は科学的にも、社会的にも極めて重要であり、1960年代以降、国家的規模での研究が進められ、一定の成果を上げてきたが、依然として地球科学に残された最大難題の一つである。特に、短期地震予知については、方法論すら明確化されていない。

2. 研究の目的

本研究計画の目的は、申請者らが1980年代半ば以来進めてきた地震電磁気学的研究に“Natural Time”なる新しい時間概念を導入し、地震先行電磁現象のみならず地震現象そのものを、物性物理学での臨界現象として考察し、それらの発生機構を明らかにするとともに、短期地震予知実現をはかることである。

3. 研究の方法

臨界現象に関する近年の統計物理学関係の重要文献をくまなく再検討し、“Natural Time”解析が臨界点同定を可能にする一般理論を明確化する総合報告を執筆する。この総合報告では広汎な分野の理論・実験・観測結果と整合する統一像を提示するもので、世界の学界への作業仮説提出と位置づけられる。同時に各種の地震自己組織化臨界説との理論的相関を明らかにする。次には、“Natural Time”解析を日本・ギリシャをはじめ各地のデータに適用し、臨界現象としての地震先行電磁現象・地震現象の上記統一像を検証・確立し、短期地震予知精度を画期的に高め、最終論文を執筆する。

4. 研究成果

近年、時間は事象が起きたときのみ進むとする Natural time という新しい時間概念に基づいて(図1)臨界現象の時系列解析を行うと、システムが臨界点に達しているか否かを推定できることが示唆された(Varotsos et al., PRE, 2002)。すなわち、N個の事象をふくむ時系列では、 k 番目の事象は Natural time χ_k ($\chi_k = k/N$)に起きたと記述され、その時系列が臨界状態に達した場合には χ_1 とよばれる指標の値が0.07に収束するという(図2)。指標 χ_1 は規格化された物理量 Q_k (例えば各事象のエネルギー)の重みを付した Natural time χ_k “重み付き時間”の概念から得られる値である。地震は臨界現象であるとの見地から、

大地震発生前の地震発生時系列の解析を行い χ_1 が0.07となるときを推定すれば、大地震の直前予知が可能となる。本研究は、上記の諸特性の一般性を検証し、その理論的基礎を明らかにすることにある。我々はまず、 χ_1 の値が臨界点接近にともなって0.07に収束することを既知の臨界現象である強磁性体の Ising モデルや、自己組織化現象などについて実証することによって Natural time 解析の理論的妥当性を示した(Varotsos et al., PNAS, 2011)。

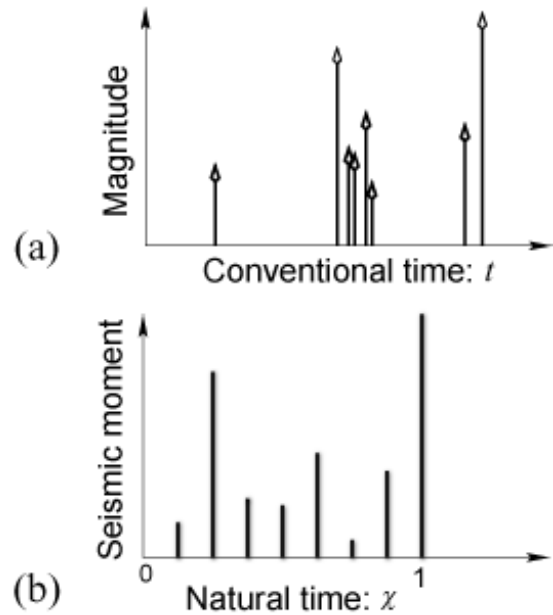


図1 (a) 従来の時間による地震発生時系列 (b) ナチュラルタイムによる地震発生時系列。

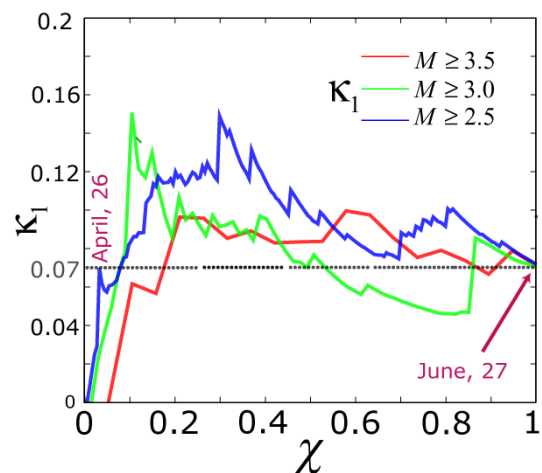


図2 2000年伊豆諸島群発地震発生前の変化時系列(Uyeda et al., JGR, 2009)。横軸は Natural Time χ 。

次に、地震は臨界現象であるとの見地から、我が国の数個の大地震発生前の Natural Time

解析を気象庁地震カタログについて行なった。 τ_1 の計算には臨界状態の別の指標である地震電気信号 (SES) 活動発生時から解析を始めるのが、常道であるが、我が国では SES データが存在しない場合が多いので、特殊なパラメータ探索法が案出された。その結果、2000M7.3 鳥取県西部地震、2008M7.2 岩手宮城地震などでは明確ではなかったが、1995M7.3 兵庫県南部地震(図 3)、2004 紀伊半島沖地震、2005M7.0 福岡県西方沖地震等の明確な $\tau_1 = 0.07$ 、即ち臨界状態が検出された。また、 τ_1 頻度分布が G-R 則の b 値と密接に関連すること、その変動度が大地震発生の τ_1 ないし数ヶ月まえに減少するという事実もその存在が指摘され、現在その統計的研究が進捗中である。また神津島で観測された SES が地震先行した現象であることを統計的に示した論文も出版した(Orihara et al., PNAS, 2013)。

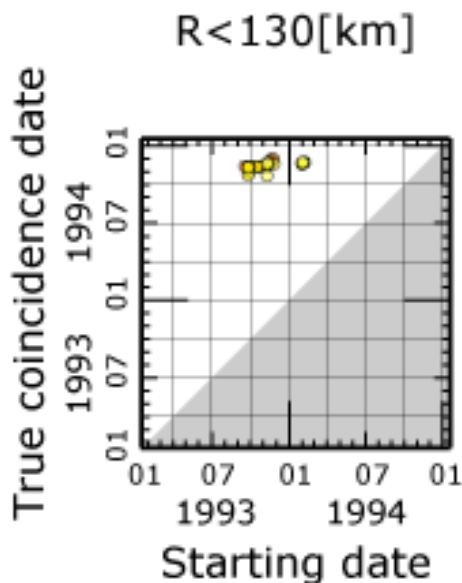


図 3 兵庫県南部地震前に臨界状態になったと見られる例。

さらに、統計的性質を調べるべく τ_1 の分布形状について時間変化を調べたところ、2011 年東北地方太平洋沖地震前だけに顕著な変動があることがわかり、米国アカデミー紀要に論文発表した(Sarlis et al., PNAS, 2013)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Sarlis, N. V., E. S. Skordas, P. A. Varotsos, T. Nagao, M. Kamogawa, H. Tanaka, and S. Uyeda, Minimum of the order parameter

fluctuations of seismicity before major earthquakes in Japan, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 110 (34), 13734-13738 (2013) 【査読有】

Y. Orihara, M. Kamogawa, T. Nagao, and S. Uyeda, Preseismic anomalous telluric current signals observed in Kozu-shima Island, Japan, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **109**, 19125 ~ 19128 (2012) 【査読有】

Orihara, Y., M. Kamogawa, T. Nagao, and S. Uyeda, Variations of geoelectric potential differences associated with an anomalous volumetric strain change in the region of expected Tokai Earthquake, Japan, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **12**, 121-127, doi:10.5194/nhess-11-1-2011 (2012) 【査読有】

Varotsos, P. A., N. V. Sarlis, E. S. Skordas, S. Uyeda and M. Kamogawa, Natural time analysis of critical phenomena, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 108, 28, 11361-11364, doi: 10.1073/pnas.1108138108 (2011) 【査読有】

〔図書〕(計 2 件)

Nagao, T., S. Uyeda and M. Kamogawa, What we can do in seismo-electromagnetism and electromagnetic precursors, in Earth's Magnetic Interior (IAGA special Sopron book series 1), Volume 1, 91-100, DOI: 10.1007/978-94-007-0323-0_6, Springer (2011).

Uyeda, S., T. Nagao and M. Kamogawa, Earthquake Prediction and Precursor, *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Part 5, 168-178, DOI: 10.1007/978-90-481-8702-7_4, Springer (2011).

6. 研究組織

(1)研究代表者

上田 誠也 (UYEDA, Seiya)
 東京大学・地震研究所・名誉教授
 研究者番号：60011459

(2)研究分担者

鴨川 仁 (KAMOGAWA, Masashi)
 東京学芸大学・教育学部・助教
 研究者番号：00329111

上嶋 誠 (UYESHIMA, Makoto)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号：70242154