

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

臨界現象の物理を背景とする地震活動度解析

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

ア．観測データによる先行現象の評価

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

ウ．地震活動評価に基づく地震発生予測

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

近年ナチュラタイム (Natural time) という新しい時間概念で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) . Natural time の概念では、ものごとはその過程に固有の“ self clock あるいは internal clock ”ともいうべき時間によって進行するのであって、天体の運行、原子時計などで測られる通常の時間 (conventional time) に支配される理由はないとし、時間は事象が起こったときのみに進むとする。N 個の事象をふくむ時系列は、k 番目の事象 (物理量 Q_k) が Natural time χ_k ($\chi_k = k / N$ で定義される) 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 κ_1 とよばれる指標の値が 0.07 に収束するという。指標 κ_1 は時系列について規格化された Q_k 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。Natural time 概念を地震発生時系列に適応させ、 κ_1 が 0.07 となるときをもって、大地震のようなイベント発生前の臨界状態を知ることができることになる。本研究の目的は、Natural time の上記の諸特性の真偽を世界各地の地震について検証し一般性が確立されれば、その理論的基礎を明らかにすることにある。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

【平成 24 年度】

Natural time 概念は κ_1 が 0.07 に収束することによって臨界現象における臨界点の発生時を認定できることを既にいくつかの地震について示したので、ギリシャにおいては短期予知に有効であるとされている。しかし、我々が行った本邦の大地震での解析ではあらゆる大地震には有効ではなかった。これについては臨界点発生認定の数学的記述に問題があるとも考えられるため、パラメーターチューニングの手法によってその原因を探る。我々は、信頼性の高い関連データの存在するギリシャ・台湾・米国などの可及的多数の過去の大地震について Natural time 解析を適用し、これが一般的法則と成り得

るかを検討し、論文化する。また、 κ 1 の変動度に注目すべき変化の可能性が見られた 2011 年東日本太平洋沖 M9 地震前の地震活動について、その徹底的検証を行う。なお、これらの研究過程において、Natural time の理論的側面について、Varotsos 教授との共同研究論文 (Abe et al., Phys. Rev. Lett., 2005) の実績を持つ三重大学工学研究科物理工学専攻阿部教授と理論共同研究に着手し、同教授が最近提唱している修正理論を地震活動度の時系列解析に適用すべく、その発展を試みる。大地震前の κ 1 の統計的性質一般については ETAS を用いた合成地震カタログ、地震の順序をシャッフルしたカタログからの結果とも比較しつつ Natural time 解析の有用性を検討する。

【平成 25 年度】

24 年度に引き続き、2011 年東日本太平洋沖 M9 地震の先行と見られる地震活動度変化を現象の一般性を含めて精査する。これには全世界的視野で巨大地震前の地震活動度変化をも解析し、論文執筆作業を進める。また Natural Time 解析の理論的根拠も依然として完全に納得のいく状況ではないので、我々はこれらの点について、24 年度に続き阿部教授と統計物理学の基礎理論の深化につとめる。その完成は本研究の重要目標の一つである。

また、臨界である事の大きな判断要素として、相関距離の増大 (長距離相関) がある。このため、より正確な地震発生場所を予測するためには、地震発生における空間的な constraint をどうするかが問題となる。本研究では、地震活動静穏化評価の方法である RTM 法 (Nagao et al., EPS, 2011) をはじめとした他の概念を natural time 解析と組み合わせ、より精度の高い臨界現象検知を目指す。

(7) 計画期間中 (平成 21 年度 ~ 25 年度) の成果の概要：

地震を臨界現象とみる立場の研究は、Bak らの自己組織化臨界現象の研究をはじめとして数多い。これらは地震発生マグニチュードの頻度分布や余震の発生数時系列などが臨界現象の特徴であるべき変化を示すこと及び大地震などのイベントが相転移に対比できることから予想されている。自己組織化臨界現象とみなせる地震や砂山崩しなどでは、発生マグニチュードの時間発展はごく僅かな例外を除き、磁性体の相関長などのようにべき的な変化ではなく単調増加でもない。ゆえに、大地震の発生時を、臨界現象の立場から予測することは難しいと考えられている。しかしながら、Varotsos らによれば本概念を地震発生時系列に適用させることによって、大地震のような最大イベント発生前の臨界状態を知ることができるかとされている。だが、Varotsos らの計算方法は、重み付き時間と閾値を満たす地震のマグニチュードのみをパラメーターにして計算している。実際の地震は余震などからわかるように空間的な相関をもち距離に大きく依存していると考えられる。そこで平成 24 年度の研究では、我々が Varotsos らの理論体系を再構築したアンザッツ (Ansatz) をもとに、自己組織化臨界現象の例として地震を対象にして解析した。更に重み付き時間・マグニチュード・距離に依存する新たな関係式を定式化した。この式を用いて日本のプレート境界などのサブダクションによる地震とは大きく関係していないと考えられる、内陸性の地震について検証した。平成 25 年度では、これらの内容について論文執筆したので、投稿準備をしている。さらに、 κ 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のみ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。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

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)

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

上田誠也

他機関との共同研究の有無：有

鴨川 仁 (東京学芸大)、長尾年恭 (東海大)

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：

e-mail：

URL：

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：上田誠也

所属：東京大学地震研究所