

12-5 地震の短期予測の現状と評価～電磁気学的観測

Current status and evaluation of short-term earthquake prediction – Electromagnetic precursor

鴨川仁 (東京学芸大学教育学部物理科学分野)

Masashi Kamogawa (Department of Physics, Tokyo Gakugei University)

地震に先行する電磁気現象としては、地電位差変動、超低周波地磁気変動などの地上観測で計測できる現象だけでなく、大気圏・電離圏擾乱などの高高度における現象も報告されている。いずれも 1980 年代後半ごろから指摘され始め、多くの論文が出版された¹⁾。それらの多くは、地震に先行するとされた過渡的な現象であるが、地震との相関は必ずしも明瞭ではなかった。しかし、一部の報告には、地震発生時に向かって単調増加的に変化しており、震源核の概念と一致しやすいものもあった。その例の一つは、1989 年のロマ・プリエタ地震(M7.1)であり、超低周波地磁気変動が震央から 7 km の直近で観測された²⁾。変動は地震発生前の 2 週間前から発生し、地震発生の数時間前にさらに大きくなった。地震後は、次第に変動が減少した。本結果は先行現象とは考えにくいという報告³⁾もあるが、初期の報告として注目に値する。同様な単調増加的变化としては、近年では、地震に数十分先行して電離圏電子密度の増加する現象が海溝型巨大地震において発生するという報告がある⁴⁾。しかし、これは津波電離圏ホール⁵⁾と呼ばれる津波起源の地震発生後の現象から生じる解析上の問題とみられ、先行現象ではない可能性が高い⁶⁾。このように、現在までのところ、明確に震源核の概念と一致するような単調増加的变化はほとんど報告されていない(図 1)。電磁気学的先行現象に着目する限り、地震に数時間から数週間先行した過渡的な現象について更に精査する必要がある。

そのような現象を先行現象と判定するためには、変化と地震の相関関係を統計的に示すか発生のおよび強さを解明する必要がある。後者はいくつかの仮説が提示されているが未解明である。従って、現段階では統計的に相関関係を示すことが主たる研究手法となっている。そのなかで 2000 年代中頃より統計的な手法で相関を示す論文が報告されるようになってきた。本稿では、次に述べる基準をおおむね満たした論文に着目する。(1) 先行的と思われる変化は定量的に定義されているか。(2) 変化の強度に対する閾値、解析対象の地震の領域およびマグニチュードの下限、地震に対するリードタイムなどの複数の閾値を定義し、この条件で先行的变化と地震の 2 つの時系列が構築してあるか。(3) 2 つの時系列に対する相関関係を得る方法として、名義尺度間の相関など、地震がある・ない、変化がある・ないの 4 つの関係がすべて示される手法を用いているか(表 1)。(4) 閾値を変化させた場合でも結果を矛盾がなく説明できるか。特にマグニチュードが大きい地震には規模の大きい先行現象が現れるか。

前述の判断基準に基づき、地震に先行する電磁気現象を統計的に議論している結果を述べる。ギリシャの VAN 法⁷⁾と呼ばれる地電位差変動測定は実際に予測を行った結果⁸⁾の成否で関係性は議論しているが、統計的相関関係についてはあまり議論がなされていない⁹⁾。しかし日本の神津島においては、地電位差変動と地震発生との統計的相関が得られているので、これらが先行現象であった可能性は高い¹⁰⁾。また地震に先行していると思われる大気圏および電離圏擾乱については、さまざまな結果が得られている¹¹⁾。文献¹¹⁾で精査された結果に近年の結果を加えると、対流圏擾乱¹²⁾、電離圏 D 領域夜間電離圏変動¹³⁾、電離圏 F 領域日中電子密度減少¹⁴⁾、D 領域変動が起源とみられる夜

間 VLF 帯電磁波強度減少^{15,16)}などがある(図 2)。しかしながら、追試では同様な結果が得られない¹⁷⁾、統計的上の問題がある¹⁸⁾、磁気嵐の影響が取り除けていないのではないか¹⁹⁾などの議論も少なからずある。

電離圏 F 領域日中電子密度減少¹⁴⁾については、論文の著者らの解釈では、地震に先行して地上にできた電場などが電離圏に影響を与えている可能性があるとされている。しかし、筆者のひとつの解釈では地磁気擾乱が電離圏電子密度減少を引き起こし、かつ地下に誘導電流を起こし地震を誘発しているのではないかと考えられる。それを支持するものとしては、キルギスにおいて MHD 発電による地下へ向けた大パルス電流注入により、誘発地震を発生させたというロシア科学アカデミーの報告がある¹⁾。報告されている先行現象の一部は地震発生準備過程で生じた先行現象ではなく、地震を誘発させる地球電磁気的変動の結果である可能性がある¹¹⁾。これらは今後の研究対象であろう。

参考文献

- 1) Uyeda, S., T. Nagao, M. Kamogawa, Earthquake Prediction and Precursor (2011), Encyclopedia of Solid Earth Geophysics, Part 5, 168-178, DOI: 10.1007/978-90-481-8702-7_4, Springer.
- 2) Fraser-Smith, A. C., A. Bernardi, P. R. McGill, M. E. Ladd, R. A. Helliwell, and O. G. Villard Jr (1990), Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake, *Geophys Res Lett.*, **17**, 1465 - 1468.
- 3) Thomas, J. N., J. J. Love, M. J. S. Johnston, and K. Yumoto (2009), On the reported magnetic precursor of the 1993 Guam earthquake, *Geophys. Res Lett.*, **36**, L16301.
- 4) Heki, K. (2011), Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L17312.
- 5) Kakinami, Y., M. Kamogawa, Y. Tanioka, S. Watanabe, A. R. Gusman, J.-Y. Liu, Y. Watanabe, and T. Mogi (2012), Tsunamigenic ionospheric hole, *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L00G27.
- 6) Kamogawa, M., and Y. Kakinami (2013), Is an ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake a precursor?, *J. Geophys. Res.*, **118**, 1751 - 1754.
- 7) Varotsos, P. A., N. V. Sarlis, E. S. Skordas (2011), Natural Time Analysis: The New View of Time. Precursory Seismic Electric Signals, Earthquakes and other Complex Time-Series, Springer, Berlin, 476 pp.
- 8) Uyeda, S. and M. Kamogawa (2008), The Prediction of Two Large Earthquakes in Greece, *Eos*, **39**, 363.
- 9) Geller, R. (ed.) (1996), Debate on evaluation of the VAN Method (Special issue), *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 1291-1452.
- 10) Orihara, Y., M. Kamogawa, T. Nagao, and S. Uyeda, (2012) Preseismic anomalous telluric current signals observed in Kozu-shima Island, Japan, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **109**, 19125-19128.
- 11) Kamogawa, M., (2006) Preseismic Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling, *Eos*, **87**, 417 & 424.
- 12) Fujiwara, H., M. Kamogawa, M. Ikeda, J. Y. Liu, H. Sakata, Y. I. Chen, H. Ofuruton, S. Muramatsu, Y. J. Chuo, and Y. H. Ohtsuki, (2004) Atmospheric anomalies observed during earthquake occurrences, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L17110.
- 13) Hayakawa, M., Y. Kasahara, T. Nakamura, F. Muto, T. Horie, S. Maekawa, Y. Hobara, A. A. Rozhnoi, M. Solovieva, and O. A. Molchanov (2010), A statistical study on the correlation between lower ionospheric perturbations as seen by subionospheric VLF/LF propagation and earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **115**, A09305.

- 14) Liu, J. Y., Y. I. Chen, Y. J. Chuo, (2006) A statistical investigation of pre-earthquake ionospheric anomaly, *J. Geophys. Res.*, **111**, A05304.
- 15) Němec, F., O. Santolík, M. Parrot, and J. J. Berthelier, (2008) Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L05109.
- 16) Němec, F., O. Santolík, and M. Parrot, (2009) Decrease of intensity of ELF/VLF waves observed in the upper ionosphere close to earthquakes: A statistical study, *J. Geophys. Res.*, **114**, A04303.
- 17) Clilverd, M. A., C. J. Rodger, and N. R. Thomson (1999), Investigating seismoionospheric effects on a long subionospheric path, *J. Geophys. Res.*, **104**, 28171–28179.
- 18) Michael, A. J., (1997) Testing prediction methods: earthquake clustering versus the Poisson model, *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 1891-1894.
- 19) Rishbeth, H. (2006), Ionoquakes: Earthquake precursors in the ionosphere?, *Eos*, **87**, 316-316.

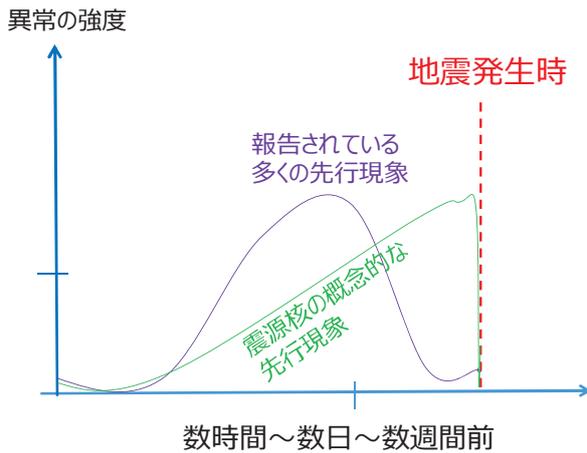


図 1 報告されている先行現象の時系列
 Fig. 1 Time-series of reported precursors.

表 1 先行現象と地震発生の相関を調べる 4 つの関係

Table 1 Four-windows for the correlation between the precursor and the earthquake.

	地震がある	地震がない
異常がある	先行現象として期待できる	異常が地震とは関係ない理由で生じていることを示せばよい
異常がない	この値が高いと地震予知には向かない	普段はどのようなになっているか知るのに大事

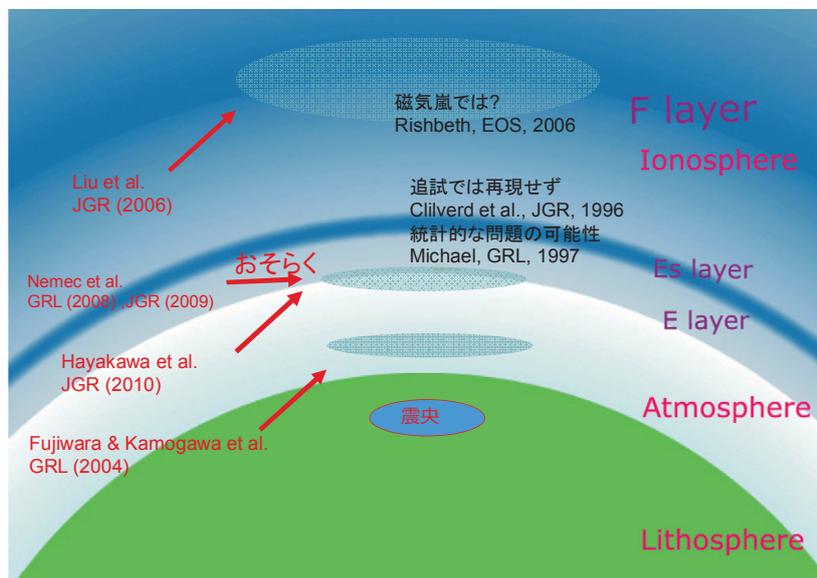


図 2 統計的評価がなされている大気圏・電離圏先行現象
 Fig. 2 Statistical studies of atmospheric-ionospheric precursor