

地震予知に関連する電磁気学的な研究の歴史は古く、最も古い文献は、地震学会の創設メンバーであったミルンによる報告と思われる。Milne (1890)では、「東京で大気中の電荷変動を連続観測していると地震に伴った変化が何度も観測された」との報告がある。それ以降、地殻の応力変化に伴う地磁気変化といった考えや、やはり応力集中により地下で流体が流れ、地電位差異を生ずるあるいは電磁気学的な構造変化（比抵抗構造変化）により、地表付近でも地電流の流れる経路が変わって、みかけ上地電流異常として観測されるといった構造変化を各種電磁気学的な異常の原因として考えていた。また1923年の関東地震の前に1923年関東地震発生の約20年前から柿岡地磁気観測所で、地磁気鉛直成分と水平成分の比（ $\Delta Z / \Delta H$ ）が0.2以上も変化していたとの報告もある（Yanagihara., 1972）。このような地球電磁気的な先行異常の報告からブループリントにおいても地球電磁気的観測が含まれるようになった。

参考文献

- Milne, J. (1890), Earthquakes in connection with electric and magnetic phenomena, Trans. Seismol. Soc. Japan, 15, 135-162.
- Yanagihara, K. (1972), Secular variation of the electrical conductivity anomaly in the central part of Japan, Memo. Kakioka Mag. Obs., 15, 1-11.

地電位差観測

1962年にブループリントが公表され、地震予知計画の一環として昭和53年から62年まで山崎断層テストフィールド総合観測が10年間実施され、1984年5月30日に観測点のほぼ直下で発生したM=5.5の地震の際に明瞭な異常が観測された。なおこの時代までの電磁気現象のまとめとしてはRikitake (1987)に詳しい。その後、地電位差観測の安定化ができるようになり、この商用電話回線を電線として利用する事で地下の大規模な電気伝導度構造の調査法がネットワークMTと呼ばれる予知研究が提案された(Uyeshima, 2007)。

一方、地震に先行する過渡的な地電位差変動としてギリシャのVAN法の報告がある。VAN法は、地電位差変動測定による地震予知手法で、実用予知として用いられその高い予知成功率が報告された(Varotsos et al., 2011)。実用予知手法であるため、日々発展する判定基準による予知の成否で、地震と先行現象の相関性が議論されていることから、地震先行地電位差変動の実在については議論が困難であった(Geller, 1996)。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の統計的相関が得られていることから(Orihara et al., 2012)、過渡的な地震先行地電位差変動先行現象は存在する可能性がある。

参考文献

- Rikitake, T. (1987), Magnetic and electric signals precursory to earthquakes: An analysis of Japanese data, J. Geomag. Geoelectr., 39, 47-61.
- Uyeshima, M. (2007), EM monitoring of crustal processes including the use of the Network-MT observations, Surv. Geophys., 28, 199-237.

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.

Geller, R. (ed.) (1996), *Debate on evaluation of the VAN Method (Special issue)*, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1291-1452.

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.

地磁気変動による観測

古くから知られている界面動電現象により、地震に先行する磁場変動は観測が試みられていた。顕著な事例は、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7kmの直近で観測された(Fraser-Smith et al., 1990)。変動は地震発生の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り、地震後は次第に変動が減少した。報告されている地震先行地球電磁気的変動の多くは、地震に先行するとされた過渡的な現象であり、地震と統計的相関が示しにくかった。しかし、この報告については、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く、検知が震央直近であったことから先行現象としての信頼性が高いと考えられる。以後、多くの地震先行地磁気変動の報告がなされているが、ロマ・プリエタ地震のような事例はみられていない。

参考文献

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.

電磁波による観測

地震に先行する電磁波の先駆的研究は1980年代のロシアのGohkbergと電気通信大学の芳野赴夫らの共同研究である。彼らは、LF帯の雑音レベルが1980年3月31日に発生したM6クラスの深発地震の発生30分前から上昇し、地震発生とともに元のレベルに復帰したと報告した(Gohkberg et al., 1982)。以後、VLF/LF帯のような長距離伝搬ができる周波数帯で同様な観測は多く試みられていたが、多くが地震発生前の過渡的な変化であり落雷起因の弁別の問題もあり相関が明瞭でなかった。しかし、東海大学の浅田、馬場らのグループにより、VLF帯電波の到来方向検知で、落雷起因とは異なる震央方向の電磁波の検知と、2点の観測でも整合的な結果が得られ、地震先行電磁波の存在は高いとみられた(Aasada et al., 2001)。現在のところ、周波数の低いVLF帯においても導電性の高い地中を透過することは困難であることもあって、これらの電磁波の発生の仕組みは未解明である。

参考文献

Gokhberg, M. B., V. A. Morgounov, T. Yoshino and I. Tomizawa, Experimental measurement of electromagnetic emissions possibly related to earthquakes in Japan (1982), *J. Geophys. Res.*, 87, B9, 7824-7828.

Asada, T., H. Baba, K. Kawazoe, and M. Sugiura (2001), An attempt to delineate very low frequency electromagnetic signals associated with earthquakes, *Earth Planets Space*, 53, 55-62.

大気圏および電離圏の変動

地震に先行する地球電磁気の変動は、地上観測における諸現象だけでなく、大気圏・電離圏変動も1980年代後半から報告され始めた。電離圏変動については1980年代後半ごろから指摘され始め、ロシアのGokhberg et al. (1989)をはじめ数多くの観測報告がある。大気圏・電離圏変動は、地上観測においては測定に電磁波を利用でき、一般的に広域にモニターができ、衛星においては、短時間で全球探査ができることから、事例数獲得が容易となり統計的研究が多くなされるようになった。対流圏擾乱(Fujiwara et al., 2004)、電離圏D領域夜間電離圏変動(Hayakawa et al., 2010)、電離圏F領域日中電子密度減少(Liu et al., 2006)、D領域変動が起源とみられる夜間VLF帯電磁波強度減少(Němec et al., 2008)などがある。しかしながら、追試では同様な結果が得られない、統計上の問題がある、磁気嵐の影響が取り除けていないのではないかといった指摘もある。これらの変動の発生起源が地震準備過程にあるならば、地上で検知できると期待されるが、上述の疑問を解消するような観測結果は得られていない。

参考文献

Gokhberg, M. B., I. L. Gufeld, A. A. Rozhnoy, V. F. Marenko, V. S. Yampolsky, and E. A. Ponomarev, Study of seismic influence on the ionosphere by super long-wave probing of the Earth ionosphere wave-guide (1989), *Phys. Earth Planet. Inter.*, 57, 64-67.

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.

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.

Liu, J. Y., Y. I. Chen, Y. J. Chuo (2006), A statistical investigation of pre-earthquake ionospheric anomaly, *J. Geophys. Res.*, 111, A05304.

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.