

地震電磁気研究ステーションの活動報告(平成20年度)

早川正士

Activity Report of Research Station of Seismo Electromagnetics (2008)

Masashi HAYAKAWA

Abstract

This reports on activities of the Research Station of Seismo Electromagnetics in the year of 2008. Our activity includes the organization of sessions in international conferences, publications of our monograph and an invited monograph, collaboration with domestic and international groups etc.

1. 地震の短期予知について

地質学や地震地質学、測地学の進歩に伴い、(1) 長期的(数百年オーダー)地震予知(予測のほうがより適切な言葉ではないかと思われる)、(2) 中期的(数百年～数年オーダー)予知に関してはそれなりの進歩が見られる。しかし、(3) 短期的(数ヶ月～数日オーダー)予知の実現はその重要性にもかかわらず、まだ道は遠いように見える。各種観測網(地震、地殻変動等)が整備されつつあるにもかかわらず、大災害をもたらした北海道南西沖地震、兵庫県南部地震、中越地震、中越沖地震などを含めて、短期(事前)予知に成功した例はない。1998年文部省(当時)測地学審議会のレポートが発表されたこともあり、短期的地震予知は将来にわたっても不可能であるという悲観的見解が特に地震関係者の間では支配的である。しかし、近年ラドン濃度、地下水位、地下水温などの地球化学的变化(これら地球化学諸量は電磁気と密接に関係することがわかってきた)、及び大気圏や電離層への影響も含めて各種の電磁気変化などに関連した地震短期予知に有望な報告が多数なされている。また地震前兆としての電磁気現象を集中的に取り扱う国際会議も企画され、活発な議論が世界的になされ、地震電磁気学という新しい学問分野は活性化している。

2. どうして電磁気現象が重要なのか?

従来の地殻変動観測が基づく地震予知では、地殻が動くという力学的変動に注目している。地震が起こった後、

この地震に伴う力学的変動(ずれ)はこの程度であったとか等々の議論がテレビで放映されるのをよく目にする。力学的変位は地圏のマクロな物理量で、この測定では地震の短期予知は不可能であることが1998年文部省(当時)測地学審議会の報告にて結論づけられている。そこで、地圏のより微細(ミクロ)な情報が重要となり、この情報をもたらすのが電磁気信号であると考えている。力学的測定に続いて、電磁気測定に進むのは物理学ではしごく当然の方向ではないかと考えている。地震の少なくとも数ヶ月前には、震源周辺での圧力上昇に伴い必ず岩石微小破壊(マイクロフラクチュア)が発生する。それにより、メカニズムは別として必ずや電気(電荷分離)が発生し、その帰結として電磁気現象、電波現象が前兆的に発生する。しかも、これら電磁気現象はクローン力に従うため、周波数にもよるが数10kmの深さからの電波を地上にて受信することは可能である。これら前兆的な性質と遠くまで伝わるという遠隔性が電磁気測定が力学的測定に比して決定的に優れている点である。

この電磁気現象が地震の短期予知において注目されるようになったのには、三つの理由を挙げることが出来る。第一の理由は、地震に伴う興味ある現象の発見である。まず、第一は大地震(マグニチュード7、8程度の)の前兆としてULF(ultra-low-frequency、周波数1Hz以下)放射の検出である。1988年旧ソ連グルジョア共和国でのスピタク地震とその一年後の1989年のカリフォルニア・ロマプリエタ地震の際に、極めて類似のULF放射が発見された。続いて、地上高度60-70km以上に存在する電離層(プラズマから成る)までもが地震に伴っ

て擾乱されていることが神戸地震（1995年）の際早川らによって発見され、世界的な注目を集めた。ULF放射は地圏からの直接的な放射であり、比較的受け入れ易いものであったが、電離層が地震の影響を受けることは地圏の何らかの効果が大气圏を通して電離層まで伝達されることを示唆し、にわかには認めがたい発見であった。第二の理由は神戸地震後の日本政府（旧科学技術庁）による地震フロンティア計画の実施である。二つの研究機関、理化学研究所と旧宇宙開発事業団（NASDA）においてそのフロンティア研究が5年間実施された。早川は後者のフロンティアを担当し、多くの成果を挙げたが、最も重要な点の一つとして地震電磁気研究分野での国際的活動母体を創出したことであろう。過去4回電気通信大学にてIWSE（International Workshop on Seismo Electromagnetics）（地震電磁気現象と地震予知）という国際会議を開催し、国際的研究活性化に寄与している。日本のフロンティアの成功に刺激され、台湾、インド、イタリア、ロシア、メキシコ等の国でも、地震電磁気に関する国家プロジェクトが採択されている。第三の理由は、仏国による地震電磁気専用衛星（DEMETER）が2004年6月29日に打ち上げられたことであろう。早川は当初よりこの衛星計画に関与してきたが、興味ある観測データが出始めている。この種の衛星観測は地上観測との同期観測により地圏・大气圏・電離層結合メカニズムの解明には不可欠の手段である。

3. 最近の地震電磁気研究ステーションの活動

3.1 EGU（欧州地球科学連合）でのセッション企画

2008年4月13日～18日にかけてオーストリアのウィーンにおいてEGU（欧州地球科学連合、European Geosciences Union）の総会が開催された。このEGUは宇宙、大気、海洋、地圏というすべての領域を網羅する大規模な会議であり、欧州を中心に多くの大学院生が参加するというもう一つの特長も持っている。例年の事であるが、今回もイタリアのP. Biagi教授、ロシアのO. A. Molchanov教授、ギリシャF. Vallianatos教授とともに“地震電磁気”（正確には“Electric, Magnetic and Electromagnetic Phenomena Related to Earthquakes”）というタイトルのセッションを企画し、チェアした。口頭発表は18件、ポスター論文が30件で、会場は常時50人以上の参加者があり大変盛況であった。早川は日本国内でのVLF/LF観測に基づく電離層擾乱観測に関する統計結果を招待講演として発表した。もう1件は日本のJJY送信局（40kHz）の仏国DEMETER衛星上でのホイスラモード信号の解析から地震前兆の電離層擾乱があることが明瞭に示した論文である。大学院生武藤君の仕事である。両論文とも多くの質疑応答があった。セッション

全般として注目すべきは、やはり仏国のDEMETER衛星データを用いた種々の解析が報告されたことであろう。もうひとつは我々グループが先駆の仕事をした地圏内での自己組織化プロセスをいろいろな手法にて解明しようとする取り組みである。又、例年通り、EGU会議の後にはセッションにて発表された論文を中心とした特集号が予定されており、我々も5～6編の論文を投稿し、数件はすでに掲載されている。全体の特集号は秋に発刊の予定である。

3.2 地震電磁気に関する成書の発刊

早川とロシアMolchanov教授との共著となるモノグラフがテラパブ出版社より本年2月に発刊された。本のタイトルは以下の通りである（図1参照）。

O. A. Molchanov and M. Hayakawa, “Seismo Electromagnetics and Related Phenomena: History and latest results”, TERRAPUB, Tokyo, 189p, 2008.

前述した旧宇宙開発事業団の地震リモートセンシングフロンティア研究（1996年～2001年）の成果から始まり、最新の成果までがまとめられている。我々が地震の短期予知の観点から重要と考える、（1）ULF電磁放射、（2）電離層擾乱に重点を置いているが、そのメカニズム、特に（2）に関するものも含め、地球化学量の重要性が強調しているところが特長だと思われる。各章の本文は式をなるべく避け、わかり易く記述し、式が必要な時には附録にまとめている。早川による以前の三冊の編著に加えて、本書は地震電磁気学のReference bookになると信ずる。

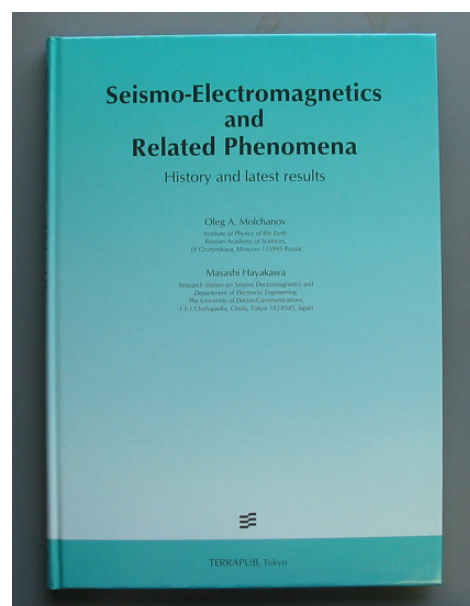


図1 モノグラフの表紙

3.3 国際誌での地震電磁気に関する特集号の編集

昨年度には重要な会議が複数開催された。列記すると、(1) AOGS (アジアオセアニア地球科学会議) (July-August, 2007) での地震電磁気セッション (早川、J. Y. Liu コンビナー)、(2) Chiba Conference: Bilateral Seminar Japan-Italy on Electromagnetics in Seismic and Volcanic Areas (July, 2007, 服部、Telesca コンビナー)、(3) International Workshop on Seismo Electromagnetic Precursors (November, 2007; 服部 コンビナー) である。各会議とも世界各国から多くの参加者があり、多くの興味ある論文が発表された。これら三つの会議での発表論文のうち厳選された論文を国際誌 *Physics and Chemistry of the Earth* の特集号として企画し、現在編集が進んでいる。Guest Editors は早川、J. Y. Liu (台湾)、服部 (千葉大学) と L. Telesca (イタリア) である。約 50 論文が投稿されたが、厳しい査読の結果最終的には 30 論文くらいにて構成される特集号が秋には出版されると思われる。

3.4 招聘モノグラフの編集

ある外国出版社より早川のもとへ地震電磁気に関する招聘モノグラフの提案があり、社会への啓蒙や異なる分野への啓蒙としても我々のモノグラフの発刊は良いタイミングと考え、引き受けた。出版社からの要請もあり、色々な現象をその分野のエキスパートによる執筆にてお願いしてくれとのこと、執筆者は Senior Scientists だけで構成した。執筆者は、(1) 米国スタンフォード大学 A. C. Fraser-Smith 教授 (米国ロマプリエタ地震での ULF 放射の発見者)、(2) ロシア Yu. Kopytenko 教授 (スピタク地震での ULF 放射の発見者)、(3) NASA、F. Freund 教授 (地震電磁気に関する室内実験の第一人者)、(4) イタリアバリ大学 P. Biagi 教授 (地震に伴う地球化学量研究の第一人者)、(5) 早川 (大気圏内擾乱と下部電離層擾乱 (VLF/LF 電波を用いた) の研究に従事)、(6) 台湾 National Central University, J. Y. Liu 教授 (電離層擾乱研究に多くの貢献)、(7) 仏国 LPCE の M. Parrot 博士 (仏国人工衛星 DEMETER の責任者)、(8) ロシア S. Pulnits 博士 (地圏・大気圏・電離圏結合機構の解明に従事)、(9) ロシア O. A. Molchanov 教授 (地圏・大気圏・電離圏結合機構に関する研究) である。皆様大変お忙しい中の執筆であったが、すべての原稿はすでに印刷所へ渡しており、これも秋には発刊されると運びとなっている。

3.5 国内外との共同研究の推進

国内外研究機関、研究者との共同研究を強く推し進めているが、先ず国内的な連携として、中部大学「地球ウォッチ・市民安全センター」(後藤俊夫センター長)

との連携に関する合意を本年 7 月 7 日に調印した。同大学は文部科学省より私立大学支援として「地震電磁気現象」関連の研究助成を受けており、近年多くの成果を収めている。そこで、国立大学と私立大学との連携でもあり、観測データの相互使用、大学院生の交流等にて著しい連携を深める目的である。更に、国内研究者の集合する「地震電磁気セミナー」も続けられている。本年 7 月 15 日には電通大創立 80 周年記念館 (リサーチユ) にて第 46 回も開催した。

国外との協力も絶えず進めているが、近年の大きなものとしては、欧州での VLF/LF ネットワークの構築への協力を先ず挙げることが出来る。我々は日本国内、カムチャカ、台湾、インドネシアでの環太平洋 VLF/LF ネットワークを構築し、多くの成果を収めていることに刺激され、イタリア Biagi 教授が欧州内での VLF/LF ネットワークの構築を本年 4 月の EGU にて提案した。大まかな計画としては、欧州 (トルコも含め) 10 箇所に VLF/LF 受信器を設置し、地震に伴う電離層擾乱の検出とその空間的・時間的変化を追うというものであり、我々は多くのノウハウを提供している。外国人来訪者も定常的に多く、色々な国との共同研究 (ロシア、米国、英国、仏国、台湾、インド、インドネシア、中国等) は順調である。イスラエルテルアビブ大学との協定により、同大学の大学院生も 3 週間我々のもとで共同研究した。我々の院生は 10 月末にイスラエルに出かけることとなっている。図 2 はロシアモスクワからの来訪者 Surkov 教授によるセミナー後のスナップショット写真である。



図 2 ロシア Surkov 教授による発表会のあとのスナップショット

3.6 国内での研究発表や啓蒙活動

国内での学会活動の一部を紹介する。本年 8 月の電気学会では「安定した社会活動継続のための自然災害監視・予測の電磁界技術」という特別セッションにて大学院生伊田君 (D3) がフラクタル解析を用いた地震関連電磁気現象の描出という招待講演を行った。又、8 月には早

川は電通大創立90周年記念第51回移動体通信研究会にて「地震に伴う電磁気現象と地震予知の可能性」と題する招待講演を行い、大きな反響を呼んだ。最後に、9月には東京国際フォーラムで開催されたイノベーションジャパンでは初めて展示も行った(図3参照)が、3日間にわたり我々のブースには予想をはるかに超える来訪者があり、大盛況であった。勿論「地震予知は不可能」という批判を言いに来た数人の人もいましたが、多くは我々の最新の成果に驚き、多くの激励を頂いたことは忘れられない。

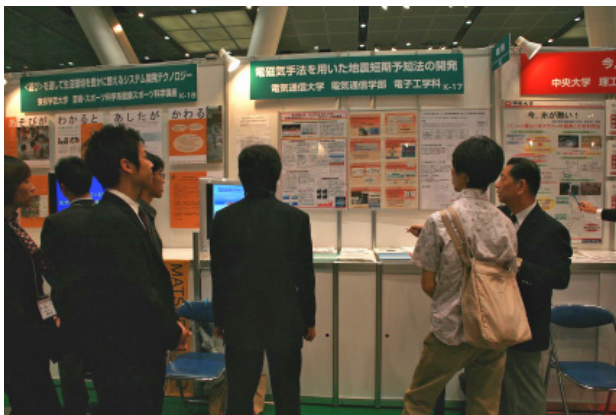


図3 イノベーションジャパンでの1ショット

4. 発表論文

最後にこの一年間にて発表した論文をリストとして掲げている。先ず、ULF放射に関しては中国での地震に対する初めての前兆ULF放射を中国研究者と共著にて発表した。中国人研究者には大きな意味を持つのではないか。又、ULF放射に対するフラクタル解析に関する更なる研究を続けている。続いて、電離層擾乱に関しては、(1)更なるデータに基づく因果関係解析(電離層擾乱(VLF伝搬異常)と地震(マグニチュード6以上))、(2)VLF送信局電波の衛星データ解析、(3)電離層擾乱の発生メカニズム等に重点が置かれている。

1. Surkov, V. V., and M. Hayakawa, ULF electromagnetic noise due to random variations of background atmospheric current and conductivity, *J. Geophys. Res.*, 112, D11116, doi: 10.1029/2006JD007788, 2007.
2. Biagi, P. F., L. Castellana, T. Maggipinto, G. Maggipinto, A. Minafra, A. Ermini, V. Capozzi, G. Perna, M. Solovieva, A. Rozhnoi, O. A. Molchanov, and M. Hayakawa, Decrease in the electric intensity of VLF/LF radio signals and possible connections, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 7, 423-430, 2007.
3. Ohta, K., N. Watanabe, and M. Hayakawa, The observation of ultra-low frequency emissions at Nakatsugawa, Japan, in possible association with the Sumatra, Indonesia, earthquake, *Int'l J. of Remote Sensing*, 28: 13, 3121-3131, 2007.
4. Horie, T., T. Yamauchi, M. Yoshida, and M. Hayakawa, The wave-like structures of ionospheric perturbation associated with Sumatra earthquake of 26 December 2004, as revealed from VLF observation in Japan of NWC signals, *J. Atmos. Solar-terr. Phys.*, vol. 69, 1021-1028, 2007.
5. Hayakawa, M., and O. A. Molchanov, Seismo-electromagnetics as a new field of radiophysics: Electromagnetic phenomena associated with earthquakes, *Radio Science Bull.*, 320, 8-17, 2007.
6. Hayakawa, M., K. Hattori, and K. Ohta, Monitoring of ULF (ultra-low-frequency) geomagnetic variations associated with earthquakes, *Sensors*, 7, 1108-1122, 2007.
7. Hayakawa, M., VLF/LF radio sounding of ionospheric perturbations associated with earthquakes, *Sensors*, 7, 1141-1158, 2007.
8. Ida, Y., M. Hayakawa, and S. Timashev, Application of different signal analysis methods to the ULF data for the 1993 Guam earthquake, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 7, 479-484, 2007.
9. Yonaiguchi, N., Y. Ida, M. Hayakawa, and S. Masuda, A comparison of different fractal analyses for VHF electromagnetic emissions and their self-organization for the off-sea Miyagi-prefecture earthquake, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 7, 485-493, 2007.
10. Rozhnoi, A., O. Molchanov, M. Solovieva, V. Gladyshev, O. Akentieva, J. J. Berthelier, M. Parrot, F. Lefeuvre, M. Hayakawa, L. Castellana, and P. F. Biagi, Possible seismo-ionosphere perturbations revealed by VLF signals collected on ground and on a satellite, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 7, 617-624, 2007.
11. Yonaiguchi, N., Y. Ida, M. Hayakawa, and S. Masuda, Fractal analysis for VHF electromagnetic noises and the identification of preseismic signature of an earthquake, *J. Atmos. Solar-terr. Phys.*, vol. 69, 1825-1832, 2007.
12. Smirnova, N. A., M. Hayakawa, Fractal characteristics of the ground-observed ULF emissions in relation to geomagnetic and seismic activities, *J. Atmos. Solar-terr. Phys.*, vol. 69, 1833-1841, 2007.
13. Rozhnoi, A., M. Solovieva, O. Molchanov, P. F. Biagi,

- and M. Hayakawa, Observation evidences of atmospheric gravity waves induced by seismic activity from analysis of subionospheric LF signal spectra, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 7, 625-628, 2007.
14. Sorokin, V. M., A. K. Yashchenko, and M. Hayakawa, Electric field perturbation caused by an increase in conductivity related to seismicity-induced atmospheric radioactivity growth, *Russian J. Physical Chemistry B*, vol. 1, 644-648, 2007.
 15. Schekotov, A. Y., O. A. Molchanov, M. Hayakawa, E. N. Fedorov, V. N. Chebrov, V. I. Sinitsin, E. E. Gordeev, G. G. Belyaev, and N. V. Yagova, ULF/ELF magnetic field variations from atmosphere induced by seismicity, *Radio Sci.*, vol. 42, RS6S90, doi:10.1029/2005RS003441, 2007.
 16. 吉田麻里, 山内健, 堀江匠, 早川正士, Wave-hop法を用いたVLF/LF帯電波伝搬解析による Terminator Timeの発生機構に関する考察, *電子情報通信学会論文誌B*, vol. J91-B, No. 1, 70-78, 2008.
 17. Hayakawa, M., K. Ohta, and N. Watanabe, Anomalous Schumann resonance phenomena observed in Japan, in possible association with earthquakes in Taiwan, in "Electromagnetic Phenomenon Related to Earthquakes and Volcanoes", Ed. by B. Singh, Narosa Pub. House, 1-6, 2008.
 18. Ohta, K., N. Watanabe, and M. Hayakawa, Electromagnetic precursors to the Indonesia Sumatra earthquake, in "Electromagnetic Phenomenon Related to Earthquakes and Volcanoes", Ed. by B. Singh, Narosa Pub. House, 7-14, 2008.
 19. Horie, T., S. Maekawa, T. Yamauchi, and M. Hayakawa, Characteristics and dynamics of ionospheric perturbations associated with the 2004 Sumatra earthquake, as revealed from subionospheric VLF propagation (NWC-Japan), in "Electromagnetic Phenomenon Related to Earthquakes and Volcanoes", Ed. by B. Singh, Narosa Pub. House, 84-95, 2008.
 20. Muto, F., M. Yoshida, T. Horie, M. Hayakawa, M. Parrot, and O. A. Molchanov, Detection of ionospheric perturbations associated with Japanese earthquakes on the basis of reception of LF transmitter signals on the satellite DEMETER, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 8, 135-141, 2008.
 21. Yoshida, M., T. Yamauchi, T. Horie, and M. Hayakawa, On the generation mechanism of terminator times in subionospheric VLF/LF propagation and its possible application to seismogenic effects, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 8, 129-134, 2008.
 22. Sorokin, V. M., and M. Hayakawa, On the generation of narrow-banded ULF/ELF pulsations in the lower ionospheric conducting layer, *J. Geophys. Res.*, vol. 113, A06306, doi:10.1029/2008JA013094, 2008.
 23. Kasahara, Y., F. Muto, T. Horie, M. Yoshida, M. Hayakawa, K. Ohta, A. Rozhnoi, M. Solovieva, and O. A. Molchanov, On the statistical correlation between the ionospheric perturbations as detected by subionospheric VLF/LF propagation anomalies and earthquakes, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 8, 653-656, 2008.
 24. Tanaka, Y. T., T. Terasawa, M. Yoshida, T. Horie, and M. Hayakawa, Ionospheric disturbances caused by SGR 1900+14 giant gamma ray flare in 1998: Constraints on the energy spectrum of the flare, *J. Geophys. Res.*, vol. 113, A07307, doi:10.1029/2008JA013119, 2008.
 25. Ida, Y., D. Yang, Q. Li, H. Sun, and M. Hayakawa, Detection of ULF electromagnetic emissions as a precursor to an earthquake in China with an improved polarization analysis, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 8, 775-777, 2008.
 26. Nagamoto, H., T. Fukushima, Y. Ida, Y. Matsudo, and M. Hayakawa, Disturbances in VHF/UHF telemetry links as a possible effect of the 2003 Hokkaido Tokachi-oki earthquake, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 8, 813-817, 2008.
 27. Bashkuev, Y. B., V. R. Advokatov, L. K. Angarkhaeva, V. S. Dorzhiev, and M. Hayakawa, Maps of geoelectric sections of Turkey, Iran, Afghanistan, Pakistan, Korea, and Japan, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 8, 861-868, 2008.
 28. 井筒潤, 太田健次, 畑雅恭, 渡辺伸夫, 石野博一, 早川正士, 巨大地震に伴うSchumann共振の異常励起, *J. Atmos. Electr.*, vol. 28, No. 2, 87-99, 2008.
 29. Hayakawa, M., and Y. Ida, Fractal (mono- and multi-) analysis for the ULF data during the 1993 Guam earthquake for the study of prefracture criticality, *Current Development in Theory and Applications of Wavelets*, vol. 2 (2), 159-174, 2008.
 30. Biagi, P. F., L. Castellana, T. Maggipinto, D. Loiacono, V. Augelli, L. Schiavulli, A. Ermini, V. Capozzi, M. S. Solovieva, A. A. Rozhnoi, O. A. Molchanov, and M. Hayakawa, Disturbances in a VLF radio

signal prior the M=4.7 offshore Anzio (central Italy) earthquake on 22 August 2005, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol. 8, 1041-1048, 2008.

31. Rozhnoi, A., M. Solovieva, O. Molchanov, O. Akentieva, J. J. Berthelier, M. Parrot, P. F. Biagi, and M. Hayakawa, Statistical correlation of spectral broadening in VLF transmitter signal and low-frequency ionospheric turbulence from observation on DEMETER satellite, *Natural Hazards Earth System Sci.*, vol 8, 1105-1111, 2008.