

シリーズ論説

大地震前の電離圏異常を説明できるメカニズム — ダイナモ電場の増幅 —

正会員 小山孝一郎

(国立成功大学、宇宙科学プラズマ研究所、台湾)
(九州大学国際宇宙天気・教育センター、福岡)
(株)アジア宇宙環境研究機構、神奈川)

まえがき

私の地震前の電離圏異常に関する研究は私が宇宙科学研究所を定年退職した2006年の数年前にロシアのPulinets博士から、電離圏が地震前に変化しているのが見られるからデータを見てほしいといわれた時にはじまる。その前にも当時宇宙開発事業団の児玉氏からもたびたびお話をうかがっていたが、当時はまだ大きな地震の電離圏への影響があることを深刻に考えてはいなかったし、当時科研費の審査委員をしていた時も、ある先生から出された地震に関する研究に高い点をつけなかった。しかしPulinets博士の言葉は忘れたわけではなく当時ブルガリアからの宇宙科学研究所客員教授のKutiev教授にまず日本の太陽観測1号機となった“ひのとり”衛星で計測された電子密度と温度のデータ解析をお願いした。お願いした時、教授には小山は何を言っているのかというような、日ごろの温和な顔と違う表情が見られたが、とにかくデータ解析をやって下さった。この結果は米国地球物理学会誌JGRに掲載した。この論文が私の地震関連の最初の論文である。本研究に本腰を入れたのは2008年私が台湾国立中央大学のLIU教授に招待されてからである。ここでは1981年に打ち上げられた米国の電離圏観測衛星DE-2で得られた酸素原子イオン密度の解析をはじめた。2年後の中央大学滞在を経て、招聘された台湾の京都といわれる台南の国立成功大学ではスペースチャンバーの設計、そしてチャンバーの完成後はこれまでに1970年代に開発した電子温度測定器を改良して電子密度も測定できるようにするため、博士課程、修士課程の学生と室内実験を繰り返した。この測定器の開発は来たるべき小型衛星時代において大地震前の電離圏擾乱の研究の為に小型衛星コンステレーションに備えるためであった(Oyama et al., 2010)。



2011年3月11日、東北沖の巨大地震が起こった。アパートで独り、テレビを見ながら、研究者の無力さを強く感じた。これがその後、著者に一層研究に邁進する動機を与えたことは間違いない。

最初の論文を2008年に出してから既に十数年の月日が立った。日本における地震の電離圏前駆現象の研究者はいまだ少ないが、インド、中国など、世界的に見て本研究者の数が増え、大地震の前駆現象の研究は少しずつ認知されてきている。中国では地震現象観測のための第1号衛星が2018年に打ち上げられ、現在中国国内でのデータ検証、データ解析が進んでいる。私自身2019年9月27日での北京での国際フォーラム、10月19日での第4回中国地震衛星シンポジウムなど招待講演が増えてきている。本稿の一部は先に2008年、2011年のJ. Geophys. Res.および2017年電子通信情報学会(小山、児玉、2017)、他(小山、柿並、2012)に掲載した論文の続きの一部であり、これら論文の掲載後に得られた知見とともに電離圏擾乱を引き起こすと思われる電場発生メカニズムを紹介したい。最後に前駆現象研究の方向をこれまでの研究に基づいて述べたいと考える。

1. 観測データ解析

ここではDE-2衛星データ解析後に行ったDEMETER、および DMSP F15によるデータ解析の結果を紹介する。

1.1 DEMETER衛星による磁気赤道上空近辺のプラズマ密度上昇

地震に伴う電離圏変動の検出を主目的としたフランスの衛星DEMETER (Parrot et al., 2006; Parrot et al., 2012) より得られた電子密度データを韓国Ryu博士 (Ryu et al., 2016) が解析した。DEMETERは高度約660kmの太陽同期軌道である。表1に示すように2007-2010年間に日本で発生した7個の大きな地震 ($M > 6$) を解析した。DEMETER衛星に搭載された電子密度測定用のDCプローブは、電極汚染により正しいデータが得られていないので、NEPD=磁気赤道上空の電子密度 / { (北半球の中緯度での電子密度 + 南半球の中緯度での電子密度) / 2 } を用いた。ここでの磁気赤道上空の電子密度は磁気赤道をはさんだ南北40度の緯度内の密度の平均、そして中緯度の密度は南北20度—40度の緯度領域の電子密度の平均である。

DEMETERの衛星高度では震源上空に特徴ある現象を見出すことは出来なかったが、表1に示した8個の地震のうち6個の地震に磁気赤道上空でプラズマ密度の増加が見られた。地震のマグニチュードが大きくなるにつれ、現象は地震発生日より早期に現れる。残る2個の地震の一つは地震前の約1週間データ欠損、もう一つの沖縄近辺の地震は震源の緯度が低すぎて、磁気赤道上空のプラズマを高いところの磁力管を一部しか満たせなかったことによると説明される。

ここでは2007年3月25日本州西岸で発生した地震 (北緯37.13度、東経136.41度、 $M=6.9$) 例を示す。この地震発生日及び27日後に余震が発生した。図1の1番目のパネルに示した3個のNEPDの極大A, B, 及び Cは2番目のパネルに示した3個の地震 (A', B' 及びC') に対応していると考えられる。地震生時と地磁気擾乱時の電離圏密度の増加の違いは、地震による擾乱は震源位置の経度付近の磁気赤道のみに現れ、地磁気擾乱時の場合は全球的な電子密度の増加が見られることである。地震A', B', C' については地震

発生日の9日、2日、および当日に磁気赤道付近の電子密度が最大を取る。すなわち地震が大きいほど前兆が現れる日より早くなる。ここで強調したいことは中性風の影響を受ける高度300 km以上での衛星観測ではプラズマ密度の振る舞いから震源の経度はわかっていても緯度、経度を特定することは難しいだろうということである。ただし後述するように磁力線に沿って伝わる電場によって震源同定ができるかもしれない。

1.2 米国軍事衛星DMSP F15による知見

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に供され得る衛星データは米国防省気象衛: DMSP (Defense Meteorological Satellite Program: 高度約800km, 太陽同期) と台湾のFormosat-3/COSMIC衛星群の2種のみである。DMSP衛星は高度が高く、この衛星により得られたデータからの成果が危ぶまれたが、Formosat-3/COSMIC 衛星群から得られる全電子数のデータ

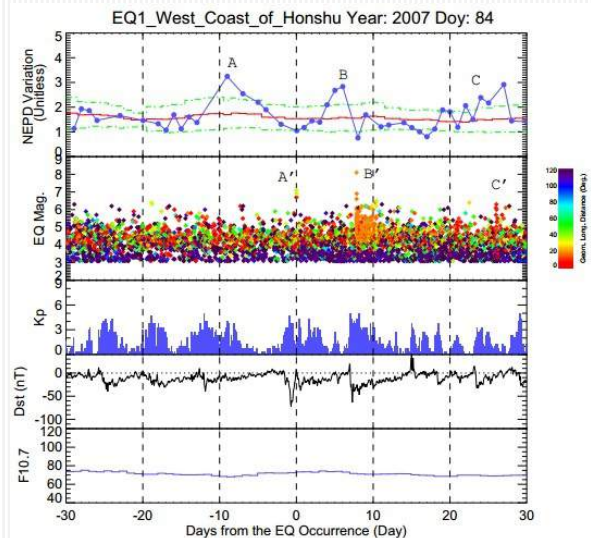


図1 本州西海岸で立て続けに発生した3つの地震の磁気赤道上空のプラズマ密度上昇(縦軸には最上部パネルにNEPD, 2番目のパネルに地震のマグニチュード、および震源からの衛星観測位置で3, 4および5番目のパネルに K_p インデックス、 D_{ST} インデックス、および $F_{10.7}$ を示した。横軸は地震Aが発生した日をゼロに取って地震発生日前後一か月をプロットした。)

表1 日本で発生した地震の解析一覧

Earthquake name	Y	M	D	Lat. (°)	Long. (°)	Mag.	Dep. (km)
¹ Kuril Island	2007	1	13	46.272	154.455	8.1	10
¹ West Coast of Honshu	2007	3	25	37.132	136.411	6.9	11
¹ Twin West Coast of Honshu	2007	7	16	37.334	138.365	6.8	17
¹ Near Coast Honshu	2008	5	7	36.136	141.364	7.0	51
Northern Honshu	2008	6	13	39.017	140.528	7.2	8
¹ Hokkaido	2008	9	11	41.465	144.090	7.1	31
Ryukyu Island	2010	2	26	25.551	128.408	7.2	37

Note: The earthquakes with a dagger mark (¹) represent the earthquakes which are thought to accompany precursory EIA enhancements.

をもってしても空間分解能が不十分であること、またGPS Tomographyによる電子密度高度プロファイルは衛星高度で国際標準電離層の電子密度を初期条件として用いているので、高い高度での電子密度の不正確さが生じるため、DMSPで得られた酸素原子イオン密度を集中的に解析してもらった。悲観的な予想に反して、以下のような新しい知見が得られた(Oyama et al., 2016; Oyama et al., 2019)。

① 中緯度トラフ (Quegan et al., 1982; Rodger et al., 1992; Yigen and Moldwin, 2005) が明瞭に見られ、このトラフの位置は3月11日につれ低緯度へ移動し、地震発生後再び高緯度へ移動する。

② トラフの低緯度側にプラズマ密度の小さな極大がみられる。

③ 磁気赤道上空に酸素原子イオン密度の増加が見られる。

因みに2011年3月11日の地震については多くの報告がある (e.g. Carter et al., 2013)。

1.3 地上イオノソンドの観測

図2にKhabarovskで得られた2月9日から4月9日までのイオノソンドで得られたNmF2のプロットを示す。この図から以下の2つのことが注目される。まず特にKhabarovskで得られたNmF2に6日前より2日周期の変動が見られる。この2日周期の変動 (Jia et al., 2012) はKhabarovskより北のIrukutsuk ではみられず稚内、国分寺で明瞭で、沖縄ではまた小さくなる。また夜間のNmF2の上昇が時に2倍以上になる。このような夜間のNmF2の増加は地震前駆現象の論文にも多く見ら

れる。この事実はあとで述べるように電離圏擾乱のメカニズムを解く重要なカギとなるかもしれないので敢てここに記した。また、これまでNmF2の地震前の変動に関する過去の統計はNmF2の変動があるしきい値を超えた場合を異常値として扱ってきたが (Liu et al., 2004; Liu et al., 2010; Liu et al., 2014), 更に日々の変動に注意すべきではないかと感じている。さらに付け加えれば日本ではあるしきい値を正に超えた地震が負方向に超えた場合より多いが、中国での統計は逆である。

2. 電場

2.1 電場の起源に関するモデル

これまで電離圏擾乱を招く原因の一つとして提案されているPulinets (Pulinets et al., 2010; Pulinets et al., 2015)によるラドン生成説であり、ラドン放出に始まる、雲の生成、そして潜熱に基づく波動の励起をとまなう。もう一つはFreundらが提案した岩石の圧縮による正電荷の発生による電離層電場の生成 (Freund et al., 2006; Kuo et al., 2004,) がある。

これまでDMSP衛星で得られた発見は昼間、および夜遅くまでの磁気赤道のプラズマ密度増加、中緯度トラフの赤道側への移動、およびトラフの低緯度側の小さな酸素原子イオンの極大、そして図2中、3月7-11日に見られるNmF2の夜間の異常な増加である。これらの現象は図3に示すように昼間の東向きのダイナモ電場がプラズマを押し上げ、そして磁力管の一部を満たし、夜は強くなった西向き電場がプラズマを押し下げたとすると説明できる。

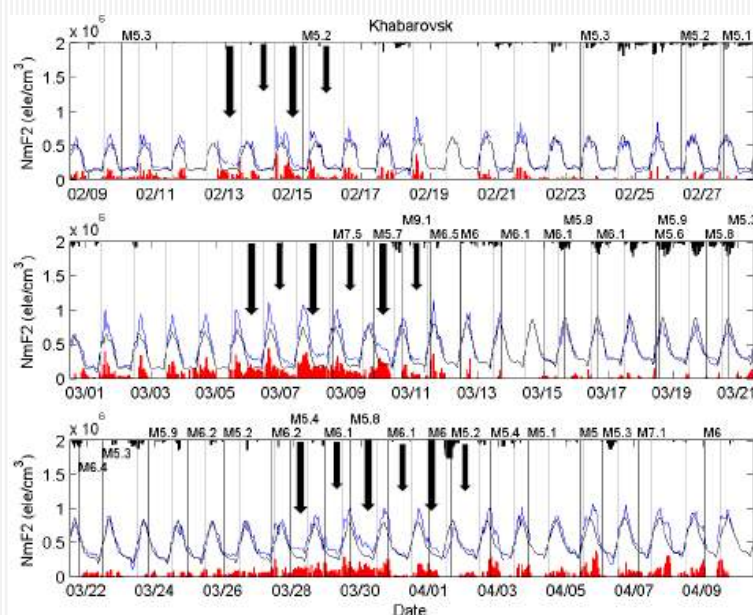


図2 Khabarovskで得られたNmF2

(3月6日—19日までの黒色の縦長の矢印は夜間のNmF2が大きく増加した日を示す。これらの日には夜間の2日周期が3回繰り返されている。)

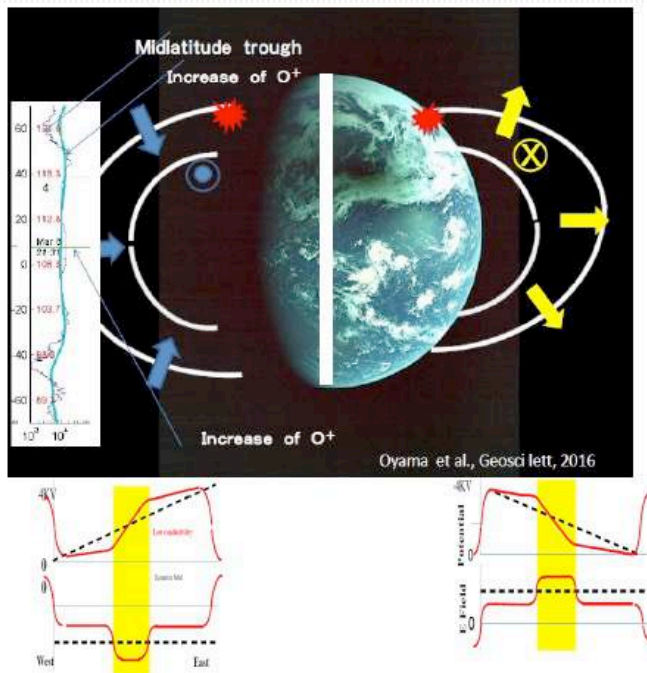


図3a 電離圏異常現象を引き起こす震源領域におけるダイナモ電場の増幅（この図は極端な場合として、震源領域の電場が強くなる代わりにほかの場所の電場が弱くなることを強調して示してある。）

ここに提案されたモデルは衛星“ひのとり”で見つけられた午後の電子温度オーバーシュートの消滅も説明できる、昼間の強くなった東向き電場がより多くのプラズマをもちあげ、そのゆえ磁力線に沿って流れ落ちるプラズマ密度も高くなり、従って電離率が最大になる高度約180kmで生成された光電子は磁力線に沿って上昇しながらエネルギーを失う。高度600kmより低いところで電子密度の増加があれば、ここでの電子エネルギーのロスが増え、その結果、高度600kmでの電子密度に増加が見られなくても午後の電子温度極大が現れないことが説明できる（Oyama et al., 2008）。この説明は将来電離圏上部の電子密度高度プロファイル測定することにより確認されねばならない。

同じようにDEMETER衛星で得られたデータ解析で見いだされた磁気赤道上空の昼夜の電子密度増加は昼間は東向き電場によるプラズマの持ち上げ、夜は昼間磁力管に貯められたプラズマが下方に下りてくることにより説明される。

次にDMSPにより得られた発見のうち中緯度トラフが、地震発生日が近づくにつれ深くなり、低緯度へ移動し、かつ中緯度トラフの低緯度側でのプラズマ密度の小さな極大は西向き電場がより高緯度のプラズマを低緯度側に押しつけたとして説明できる。2011年3月11日の電離圏、赤外放射を説明するものとして、Ouzounovら（2011）によるラドン放射説があることを付記しておく。

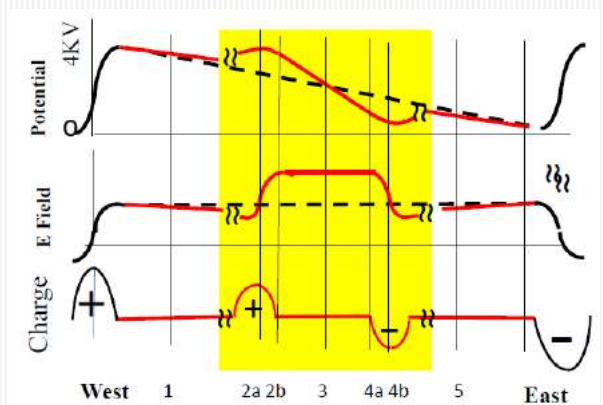


図3b 図3aに示された昼間の電位、電場、および電荷の東西向の分布（黄色で塗られた範囲は地震擾乱域を示す。図3aとは違い、擾乱領域外電場分布が震源領域付近に限定されている。震源の西端は周りより電位がたかく、東端は低いとする電位分布の示唆するところは、震源の西側では南北に向かう電界、東側では震源の南北から擾乱域に向かう電場が存在する。）

稚内、国分寺、およびハバロフスク（Khabarovsk）は山川ほど低緯度でなく、イルクーツク（Irkutsk）ほど高緯度でない緯度に位置し、イオノゾンデによるNmF2に2日周期が見られ、特に夜の電子密度の増大は通常の電子密度の2倍以上になる。これは昼間東向きの高い高度の磁力管に蓄積されたプラズマが西向き電場に転じた時点で下方向の力を受けることによると説明できる。高緯度のイルクーツクでのNmF2に夜間の密度増加が見られないのはイルクーツクを通る磁力管を満たせるまで、プラズマが蓄積されていないことによる。

2.2 プラズマドリフトの観測

ここでは前項に述べた電位、電場分布の考えを立証しているとみられる米国衛星DE-2によるプラズマ諸量の観測例を示す。

図4に1981年10月16日に発生した地震（-33.1N; -73.1E）の6日前の昼間に衛星で測定されたプラズマ物理量を示す。震源上空での減少は赤道異常といわれている磁気赤道帯の現象とよく似ており、これを私たちはPrecursor Ionization Anomaly (PIA)と名付けた（Oyama et al., 2011）。電場の強度により震源上空でごくわずかの酸素原子イオンの減少、あるいは極大がみられる。一酸化イオン（NO⁺）とみられる中性分子イオンは震源上空を中心として南北緯度に約15°分布している。図4に電場が周りに比べて上昇している緯度にaおよびbを、そしてこの磁気共役点に位置する場所にa'およびb'を記した。

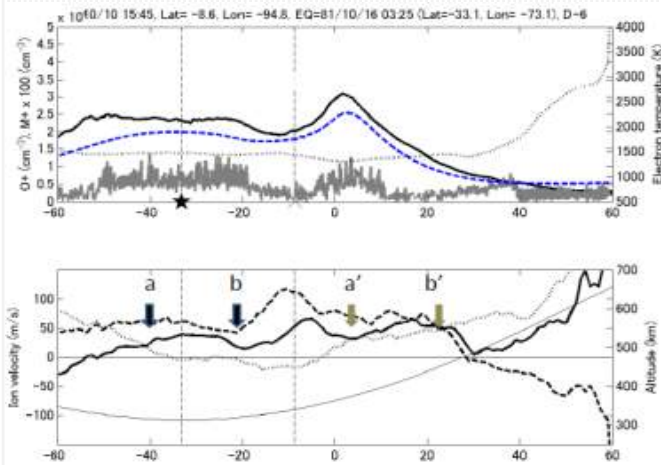


図4 DE-2の軌道に沿って得られたプラズマ量の变化（上のパネルの濃い黒線は酸素原子イオン密度、青線は国際標準電離圏モデルから計算された酸素原子イオン密度、灰色の線は分子イオンである。磁気赤道はかけ印、震源は星印で記した。下のパネルにおいて黒線は上下方向のプラズマドリフト、うすい点線は東西方向のプラズマドリフトを示す。左に縦軸がプラズマドリフト速度で正が上向きドリフト、東向きドリフトをそれぞれ示す。右側縦軸の目盛りは衛星の高度である。）

震源上空ではプラズマドリフト速度の上向き成分の上昇、すなわち東向きの電場が卓越している。磁気共役点では逆に減っているように思える。東西のドリフトは震源より南では西向き、赤道側では東向きを示す。東向きドリフトの上昇部から得た地震による擾乱領域は東西に大きく125度、南北には約25度に広がりを見せる。Dobrovolsky et al. (1979) が地面のストレス観測と理論計算から得た擾乱の範囲はこの地震の場合、緯度範囲はぴったりと一致する。東西方向の電離圏擾乱は南北方向の少なくとも2倍である。日本の最南北端、最東西端はせいぜい震源から東西に10度である。衛星データによると震源上空では殆どプラズマ密度の変化が見られず、それ以外で変化が見られる場合があり、このことから国内の地上観測だけで電離圏擾乱の全体像を把握できない。

図5には1981年10月9日に発生した地震（ -9.98°N 、 162.1°E 、 $M=6.5$ 、 $\text{Depth}=52\text{km}$ ）に関連してDE-2で得られたデータをもとに図4に見られた震源上空での昼間の東向き電場—その磁気共役点での西向き電場を説明する電離圏での電流回路を示す。

昼間は図5に示されたような閉回路を作る。夜間における衛星軌道に沿うデータは磁気共役点とともに西向きドリフトを示す。この場合、震源上空およびその磁気共役点で共に西向き方向の

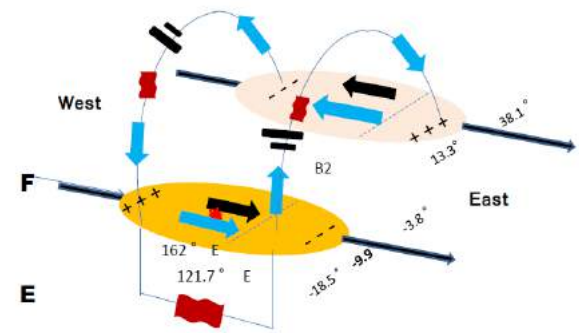


図5 昼間のF層高度での震源付近と磁気共役点をむすぶ電流回路（図3に示されたモデルにより、南半球の震源付近の電場の西端は正、東端は負の領域であり、北半球では逆となる。この結果南北両半球の両端に図のような電池を考えることが出来る。この電池効果により、電流は青色の矢印が示す方向に流れるので、磁気共役点での電場の方向は震源上空とは逆となる。黒色の矢印は電場、茶色の長方形は磁力線方向の抵抗をあらわす。）

電場が強くなる。この説明は簡単で、F層に作られた電場が磁力線でつながれるということである。電流はF層のみで閉回路をつくる。イオノゾンドのNmF2を研究する場合、このような目で見てみる必要性がある。

2.3 電場の増幅機構

ここでのモデルは昼間にF領域東向き電場が強くなり、夜には西向き電場が強くなるということである。電場の増幅は導電率の減少と考えられるが、これは電離圏の大気密度の増加擾乱、あるいは中性風の局所的な変動によるかもしれない。実際、酸素原子イオン密度には揺らぎが見られる。このモデルの更なる検証の為に今後の私たちの仕事は、DE-2で測定されたF領域の中性ガス温度、密度、風向、風速、プラズマ密度の揺らぎなどを調べることである。

電離圏の大気密度の擾乱あるいは中性風の局所的な変動は地震発生前の地球表面の微小な上限運動に起因すると考えている。地上0.1mmの上下運動は高度約100kmでは 10^7 倍の1kmの上下運動で、高度200kmでは 10^9 倍の100kmと見積もられるが、密度の上下運動は上空に行けばいくほど水平に広がるであろう。こうしてできた東西方向の中性風により局所的なダイナモ電場も出来るかもしれない。

3. 結論及び今後の研究項目

擾乱領域の電場の変化が知られたとしても次の仕事は大気の運動に起因すると思われる電場増幅のメカニズムを考えることである。

このためにはまづ高度100km以下の中性大気密度、温度の変化を知る必要がある。

幸いにして2016年まではまだTIMED衛星が健在であった。我々の次のステップは衛星データの解析と並行して地上微小振動を見つけることである。すでに最近、中国の研究者は周期的な地表面の上下運動を見つけることに成功している。

謝辞

DE-2衛星によるプラズマ諸量のデータ解析は北海道情報大学柿並義宏准教授による。研究の一部は三菱財団自然科学研究助成金 (ID: 26113) によりなされた。原稿のチェックをJAXA児玉哲哉主任開発員にお願いした。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Carter, B. A., A. C. Kellerman, T. A. Kane, P. L. Dyson, R. Norman, and K. Zhang, Ionospheric precursors to large –earthquakes: A case study of the 2011 Japanese Tohoku earthquake, *J.Atmos.Sol.-Terr.Phys., Phys.*, 102, 290- 297, 2013.
- 2) Dobrovolsky, I. P., S. I. Zubkov, and V. I. Miyachkin, Estimation of the size of earthquake preparation zones, *Pure Appl. Geophys.*, 117, 1025 - 1044, doi: 1007/BF00876083, 1979.
- 3) Freund T. F., A. Takeuchi, and W. S. Lau, Electric currents streaming out of stressed igneous rocks – A step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions, *Phys. Chem. Earth.*, 31, 389 - 396, 2006.
- 4) Hayakawa, M., Y. Kasahara, T. Nakamura, F. Muto, T. Horie, S. Maekawa, Y. Hobara, A. A. Rozhnoi, A. A., M. Solovieva, and O. A. Molchanov, A statistical study on the correlation between lower ionospheric perturbations as seen by sub ionospheric VLF/LF propagation and earthquakes, *J.Geophys. Res.*, 10.1029/2009JA015143, 2010.
- 5) Hayakawa, M., Y. Hobara, Y. Yasuda, H. Yamaguchi, K. Ohta, J. Izutsu, and T. Nakamura, Possible precursor to the March 11, Japan earthquake : ionospheric perturbations as seen by subionospheric very low frequency/low frequency propagation, *Annals Geophys.*, 55, 1, 2012; doi: 10.4401/ag-5357.
- 6) Kuo, C. L., L. C. Lee, and J. D. Huba, An improved coupling model for the lithosphere-atmosphere-ionosphere system, *J. Geophys. Res.*, 119, 3189- 3205, DOI: 10.1002/2013JA019392, 2014.
- 7) Liu, J. Y., Y. I. Chen, H. K. Jhuang, and Y. H. Lin, Ionospheric foF2 and TEC anomalous days associated with M>5.0 earthquake in Taiwan, during 1997-1999, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 15, 371- 383, 2004
- 8) Liu, J. Y., C. H. Chen, Y. I. Chen, W. H. Wan, K. I. Oyama, and K. W. Kuo, A statistical study of ionospheric earthquake precursors monitored by using equatorial ionization anomaly of GPS TEC in Taiwan during 2001-2007, *J. Asian Earth Sci.*, 39, 76- 80, 2010.1)
- 9) Liu, J.Y., C. H. Chen, and H. F. Tsai, A statistical study on ionospheric precursors of the total electron content associated with 146 M > 6.0 earthquakes in Japan during 1998- 2011, *Earthquake Prediction Studies: Seismo Electromagnetics*, edited by Hayakawa, PP.1-13, TERRAPUB, 2014.
- 10) Ouzounov, D., and F. Freund, Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data, *Adv. Space Res.*, 33, 268-273, 2004.
- 11) Oyama, K. -I. , Y. Kakinami, J.Y. Liu, M. Kamogawa, and T. Kodama, Reduction of electron temperature in low latitude ionosphere at 600km before and after large earthquakes, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2008JA013367, 2008.
- 12) Oyama, K. -I., Y. Kakinami, J.Y. Liu, T. Kodama, and C.Y. Chen, Micro/mini satellites for earthquake studies - toward international collaboration, *Adv. in Geosci.*, 21, 251- 256, 2010.
- 13) Oyama, K. -I., Y. Kakinami, J. Y. Liu, M. A. Abdu, and C. Z. Cheng, Anomalous Ion Density Latitudinal Distribution as a precursor of large earthquake, *J. Geophys. Res.*, 116, A04319, doi:10.1029/2010JA015948, 2011.
- 14) Oyama, K. - I. D. Minakshi , K. Ryu, C. H. Chen, J. Y. Liu, H. Liu, L. Bankov, and T. Kodama, Modification of ionosphere prior to large earthquakes- Report from Ionosphere precursor study group-, *Geosciences Lett.* 1-10, 3:6, DOI 10.1186/s40562^016-0038-3. 2016.
- 15) Oyama, K. - I. , , C. H. Chen, L. Bankov, D. Minakshi , K. Ryu, J. Y. Liu, , and H. Liu, Precursor effect of March 11 2011 off the coast of Tohoku earthquake on high and low latitude ionospheres and its possible disturbing mechanism, *Adv. Space Res.*, 63, 2623-2637, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.12.042>
- 16) Ouzounov, D., S. Pulnits, A. Romanov, A. Romanov, K. Tsybulya, D. Davidenko, M. Kafatos, and P. Taylor, Atmosphere-ionosphere response to M9 Tohoku earthquake revealed by joined satellite and ground observation. Preliminary results, *Earthquake Science*, 24, issue 6, 557-564, 2011.
- 17) Parrot, M., J. J. Berthelier, J. P. Lebreton, J. A. Sauvaud, O. Santolik, and J. Blecki, Examples of unusual ionospheric observations made by the DEMETER satellite over seismic regions, *Phys. Chem. Earth*, 31, 486- 495, 2006.
- 18) Parrot, M., J. J. Berthelier, J. P. Lebreton , J. A. Sauvaud, O. Santolik, and J. Blecki, Ionospheric anomalies associated with the Haiti earthquake of 12 January 2010 observed by DEMETER satellite,

- Nat. Hazards Earth Syst., Sci., 12, 671- 678, 2012.
- 19) Pulinet, S., and D. Davidenko, Ionospheric precursors of earthquakes and Global circuit, Adv. Space Res., 54, 709- 723, 2014.
 - 20) Pulinet, S. and D. Ouzounov, Lithosphere- Atmosphere- ionosphere coupling (LAIC) model- an unified concept for earthquake precursors validation, J. Asian Earth. Sci., 41, 4-5, 371-382, 2010.
 - 21) Pulinet, S. A., D. Ouzounov , A. V. Karelin, and D. V. Davidenko, Physical bases of the generation of short –term earthquake precursors: a complex model of ionization-induced geophysical processes in the lithosphere- atmosphere-ionosphere- magnetosphere system, Geomag. Aeron., 55 (4), 521- 538, 2015.
 - 22) Quegan, S., G. J. Bailey, R. J. Moffett, R. A. Neelis, T. J. Fuller@ Rowell, D. Rees, and R. W. Spiro, A theoretical study of the distribution of ionization in the high-latitude ionosphere and the plasma sphere: first results on the mid-latitude trough and the light -ion trough, J. Atmos. Terr.Phys., 44,619- 640, 1982.
 - 23) Rodger, A. S., R. J. Mofett, and S. Quegan, The role of ion drift in the formation of ionization troughs in the mid- and high latitude ionosphere- a review, J. Atmos.Terr. Phys., 54, 1- 30, 1992.
 - 24) Ryu, K., K.-I. Oyama, L Bankov, M. Devi, C. H. Koichi, J. Y. liu, and H. Liu, Precursory Equatorial Ionospheric Density Enhancement: Contribution from Mid-latitude Large Earthquakes in the North-East Asian Region., , Adv. Space Res., 57, 268- 280, 2016.
 - 25) Sun, Y.Y., K. -I. Oyama, J. Y. Liu, H. K. Jhuang, and C. Z. Cheng, The Neutral Temperature in the Ionospheric Dynamo Region and the Relation with the Ionospheric Density during Wenchuan and Pingtung Earthquakes, Nat. Hazard. Earth Syst. Sci., 11, 1759- 1768, 2011
 - 26) Takla, E.M., K. Yumoto, S. Okano, T. Uozumi, and S. Abe, The signature of the 2011 Tohoku mega earthquake on the geomagnetic filed measurements in Japan, NRIAG J. Astro. & Geophys., 2, 185-195, 2013.
 - 27) Yigen, E., and M. Moldwin, The altitude extension of the mid-latitude trough and its correlation with plasma pause position, Geophys. Res. Lett., 32, L09105, doi: 10.1029/2005GL022854, 2005.
 - 28) Y, Jia, W. Wang, A. D. Richmond, and H. L. Liu, Quasi-two day wave coupling of the mesosphere and lower thermosphere in the TIME-GCM: Two- day oscillation in the ionosphere, J.Geophys.Res.,117, A07305, doi:10.1029/2012JA017815, 2012.
 - 29) 小山孝一郎、柿並義宏、大きな地震発生前に見られる電離圏擾乱の衛星観測、地震予知研究の最前線ー 監修早川正士日本専門図書出版、3月2012年
 - 30) 小山孝一郎、児玉哲也、宇宙からとらえる大きな地震の前駆現象 JSASS 特集第6回、ID05239 2017/06/12

🗨️ 行事案内

第6回(2019年)学術講演会

日時：令和1年12月25日(水)～ 26日(木)

会場：東海大学高輪キャンパス 4号館 2階 4201室
(〒108-8619 東京都港区高輪2-3-23)
電話番号：03-3441-1171 (代表)
<https://www.u-tokai.ac.jp/about/campus/takanawa/>

共催：東海大学海洋研究所
関西サイエンス・フォーラム

会場へのアクセス(下図および右図参照)：

JR・京浜急行「品川駅」下車、高輪口より徒歩約18分
(改札より右方向(田町方面)に進み、「高輪2丁目」
交差点を左折)

JR・京浜急行「品川駅」下車、高輪口より都バス
「目黒駅行」に乗り「高輪警察署前」下車、徒歩
約3分

東京メトロ南北線・都営地下鉄三田線「白金高輪駅」
下車、出口1から左に進み、徒歩約8分

都営地下鉄浅草線「泉岳寺駅」下車、A2出口より
徒歩約10分

参加費：会員 無料、 非会員：¥4,000(2日間有効)

懇親会：25日(水)17時30分～
4号館地階「コメドール」
参加費¥4,000 (学生¥2,000)

※参加費・懇親会費は当日現金にてお支払い願います。
お釣りの無いようお願い致します。



会場へのアクセス図

第6回(2019年)学術講演会 — 招待講演の紹介—

招待講演 1

講演題目：「人工衛星を用いた大気観測」
講演者：中島 孝 氏 (東海大学)
講演日時：12月25日(水) 11:30～12:10

招待講演 2

講演題目：「地震活動度研究の最前線」
講演者：楠城一嘉 氏 (静岡県立大学)
講演日時：12月25日(水) 13:10～13:50

招待講演 3

講演題目：「地震先行現象としてのVLF帯電磁
波強度の減少に関する統計的分析」
講演者：金井龍一 氏 (University College
London)
講演日時：12月26日(木) 11:30～12:10

招待講演 4

講演題目：「China Seismic Experimental
Site」
講演者：Qinghua Huang (Peking Univ.),
Xiaodong Zhang (China Earthquake
Administration)
講演日時：12月26日(木) 13:30～14:10



最寄り駅からのアクセス概略地図

第6回(2019年)学術講演会 —プログラム—

第1日目 12月25日(水) 午前の部
座長 織原義明、野田洋一

9:40-9:50 ~開会挨拶~ 会長 長尾年恭

9:50-10:10
小島春奈, 大村潤平, 吉野千恵, 服部克巳(千葉大学), 下道國(藤田保健衛生大学), 小西敏春((株)応用光研工業), 古屋隆一((株)コムシステム)
旭観測点における地中ラドンフラックス変動とGEONET観測点を用いた地表変位との関係について

10:10-10:30
織原義明(東海大学)
地震予知を目指したアマチュア研究グループによる地下水データの再検証

10:30-10:50
野田洋一(東海大学), 藤縄幸雄(一社・防災減災技術開発機構), 江川紳一郎(一社・漁業情報サービスセンター), 長尾年恭(東海大学)
ナマズの行動と地中電界変動との関係について

10:50-11:10
中尾風佐, 曾谷太洋, 馬場久紀, 清水賀之, 長尾年恭(東海大学)
駿河湾におけるb値の時間変化

11:10-11:30
荻原洋聡(エヌ・ワイ・ケイ), 佐藤紘志(防衛大学校)
コンストラクタル法則に基づく日本全国の地震発生状況解釈の一提案

11:30-12:10
[招待講演]
中島 孝(東海大学)
人工衛星を用いた大気観測

12:10-13:10 昼休み(60分)

第6回(2019年)学術講演会 —プログラム—

第1日目 12月25日(水) 午後の部 1
座長 三神 厚、神山 眞

13:10-13:50

[招待講演]
楠城一嘉(静岡県立大学)
地震活動度研究の最前線

13:50-14:10
莊司 雄一((株)復建技術コンサルタント)
GEONETデータから見た2019年山形県沖の地震

14:10-14:30
三神 厚(東海大学), 神山 眞(東北工業大学)
2018年北海道胆振東部地震の地殻ひずみ時刻歴にみられる予兆的変動

14:30-14:50
神山 眞, 小出英夫(東北工業大学), 沢田康次(東北大学), 秋田 宏, 千葉則行(東北工業大学)
GNSSデータに基づく地殻ひずみの蓄積過程と被害地震発生の関係

14:50-15:10
末 芳樹
2011年東北地方太平洋沖地震前の凡そ3ヵ月間に観測された事象

15:10-15:20 休憩(10分)

第1日目 12月25日(水) 午後の部 2
座長 井筒 潤、梅野 健

15:20-15:40
國廣秀光(JYAN研究会)
地震予知の理論とメカニズムが判りました

15:40-16:00
長連成, 高明慧, 梅野健(京都大学)
イオノゾンデ射入射観測によるスプラディックE層の高度及び電子密度の測定について

16:00-16:20
林雄大, 高明慧, 梅野健(京都大学)
斜めイオノグラムで検出する2019年山形県沖地震発生前の電離圏異常

16:20-16:40
五十嵐喜良, 土屋俊夫, 梅野健(京都大学)
斜めイオノグラムで見た 2011 年東北沖地震発生の前後における異常伝搬の特徴

16:40-17:00
斉藤好晴(NPO法人環境防災技術研究所)
2019/6/18 山形県沖 M6.8と銚田、横浜観測点におけるAM放送波活用電離層擾乱観測の相関性

17:00-17:20
井筒潤(中部大学), 楠城一嘉, 鴨川仁(静岡県立大学), 織原義明, 長尾年恭(東海大学)
各種地震活動度解析のデジタルアースによる可視化と比較

懇親会17:30~ 4号館地階「コメドール」

**第6回(2019年)学術講演会
—プログラム—**

第2日目 12月26日(木) 午前の部
座長 早川正士、小山孝一郎、児玉哲哉

9:30-9:50

Hayakawa, N. (Hi-SEM), A. Rozhnoi, M. Solovieva (Russia Academy of Science), and S. S. Yang (National Central Univ.)

On electromagnetic precursors to the Hokkaido earthquake in September, 2018: Multi-parameter analysis

9:50-10:10

S. S. Yang (National Central Univ.) and M. Hayakawa (Hi-SEM, UEC, Geoscent Technologies Inc.)

Gravity Wave Activity in the Stratosphere before the 2016 Kumamoto Earthquakes and the 2011 Tohoku Earthquake

10:10-10:30

K. -I. Oyama (Kyushu Univ., National Cheng Kung Univ., Coltd Asia Space Environment Research Consortium), Y. Kakinami (Hokkaido Information Univ.), T. Uozumi (International Centers for Space Weather Study and Education), and C. H. Chen (National Cheng Kung Univ.)

Electric field in the Precursor ionization anomaly and its possible origin

10:30-10:50

岩田英経
地震前兆時に岩石中に発生する電流密度の推計についての考察

10:50-11:10

石川大河, 高明慧, 梅野健 (京都大学)
QZSS静止衛星で観測する地震発生前の種々の電離圏異常の解析について

11:10-11:30

松崎太郎, 山中千博 (大阪大学)
準天頂衛星「みちびき」による電離層TECの解析と評価

11:30-12:10

「招待講演」
金井龍一 (University College London)
地震先行現象としてのVLF帯電磁波強度の減少に関する統計的分析

12:10-13:10 昼休み (60分)

**第6回(2019年)学術講演会
—プログラム—**

第2日目 12月26日(木) 午後の部
座長 本島邦行、服部克巳

13:10-13:30

榎本祐嗣(信州大)、日置幸介(北大)、杉浦繁貴、近藤 斎(コンボン研)

2011 東北沖地震の直前・直後の地磁気偏角・GPS-TEC 変動

13:30-14:10

「招待講演」

Qinghua Huang (Peking Univ.), Xiaodong Zhang (China Earthquake Administration)

China Seismic Experimental Site

14:10-14:30

新城アンドレ, 本島邦行 (群馬大学)

MF帯放送波の日出/日没時伝搬異常と地震発生との関連性解析

14:30-14:50

Rui Song, Katsumi Hattori (Chiba Univ.), Xuemin Zhang (China Earthquake Administration), Saito Sanaka (Chiba Univ.), Jing Liu (China Earthquake Administration)

Seismic-ionospheric effects detected by the China Seismo-Electromagnetic Satellite

14:50-15:10

Hong-Jia Chen (Chiba Univ., National Central Univ.), Hattori Katsumi (Chiba Univ.), Chien-Chih Chen (National Central Univ.)

Influence of large earthquakes on connectivity density time series of the Taiwan Geoelectric Monitoring System

15:10-15:20 休憩 (10分)

座長 服部克巳、児玉哲哉

15:20-15:40

塩野優人, 本島邦行 (群馬大学)
深層学習を用いた地震を伴う電波伝搬異常の検出

15:40-16:00

斎藤央, 宋鋭, 服部克巳 (千葉大学)
電離圏トモグラフィーによる電離圏電子密度推定

16:00-16:40

意見交換会 & 閉会の辞

関連行事報告

International Symposium on Earthquake Forecast / International Workshop on Earthquake Preparation Process 2018, - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (ISEF/IWEP5))開催報告

服部 克巳¹⁾

1) 副会長 千葉大学大学院理学研究院・教授, hattori@earth.s.chiba-u.ac.jp

1995年兵庫県南部地震、2004年スマトラアンダマン地震、2008年中国四川地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震など甚大な被害をもたらした地震が毎年のように発生しています。一方、地上や衛星データの解析から種々の地震前兆現象が報告されています。最近の成果では、地震に先行して観測された異常変動と地震との統計的有意性や再現性、普遍性などが報告されつつあります。これらの地震前兆現象の地震短期予測への応用について議論するとともに、発生機構や伝搬機構などの物理的なメカニズムについても検討することを目的として、“第5回地震準備過程に関する国際ワークショップ (5th International Workshop on Earthquake Preparation Process, - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP5))”を2018年5月25日～27日に千葉大学西千葉キャンパスにおいて開催しました。今回は地震・火山噴火予知研究協議会の「地震先行現象・地震活動評価」計画推進部会の“地震予測に関する国際シンポジウム (International Symposium on Earthquake Forecast)”と共催です。



写真1 ISEF/IWEP5 講演

ISEF/IWEP5, Provisional Time Table		
	Speaker (affiliation of the speaker*)	Title
8:30-9:10	Lunch And Party Payment	Reservation Required for both Boxed Lunch and Party.
May 25, Fri.	Opening Remark	
9:10-9:30	Masao Nakatani (20 min.) (Earthquake Research Institute, the Univ. of Tokyo)	Short-term precursors, why do I care? (Opening Remark/Lecture)
	Reasons for pessimism	
9:35-10:15	Satoshi Ide (40 min.) (Dept. Earth and Planetary Science, the Univ. of Tokyo)	Multiscale heterogeneities in earthquake source process
10:20-11:00	Takeshi Sagiya* and Yo Kamikawa (40min.) NA for 26pm (Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ.)	The pre-slip controversy: a review of the 1944 Tonankai and the 2011 Tohoku-oki cases and their implications for short-term prediction
break		
	Minute To Day	
11:20-12:00	Kosuke Heki (40min.) NA for 26 (Dept. Earth Planet Sci., Hokkaido Univ.)	The "Standard Model" of Preseismic TEC Anomalies
lunch		
13:00-13:40	Satoshi Itaba* and Yasuhiro Umeda (40min.) NA for 26 (Geological Survey of Japan, Advanced Industrial Science and Technology)	On the well-water and sea-level changes witnessed before the past Nankai Earthquakes
	Day To Week	
13:45-14:25	Jianchang Zhuang*, Mitsuhiro Matsu'ura, and Peng Han (40min.) (The Institute of Statistical Mathematics)	Critical zone of the branching crack model for earthquakes: Inherent randomness, earthquake predictability, and precursor modelling
break		
14:45-15:25	Jann-Yeng (Tiger) Liu (40min.) (National Central Univ., Taiwan)	Statistical Significance Analyses on Ionospheric Total Electron Content Related to Earthquakes
15:30-16:10	Peng Han*, Katsumi Hattori, and Jianchang Zhuang (40min.) (Dept. Earth and Space Science, Southern Univ. of Science and Technology, China)	On the precursory information in ULF seismo-electromagnetic phenomena
break		
16:30 - 17:00	Open Discussion 1	
17:00 - 17:55	POSTER 1	
18:00-20:00	Welcome PARTY	

ISEF/IWEP5, Provisional Time Table		
	Speaker (affiliation of the speaker*)	Title
May 26, Sat.	Day To Week	
9:00-9:40	Kenji Maeda* and Fuyuki Hirose (40 min.) NA for 25 (Meteorological Research Institute)	Empirical forecast of the occurrence of mainshocks based on foreshock activities
9:45-10:25	Morgan Page*, Karen Felzer, and Andrew Michael (40 min.) (United States Geological Survey, US)	Foreshocks are not predictive of future earthquake size
break		
	Week To Month	
10:45-11:25	Ting Wang*, Jianchang Zhuang, Mark Bebbington, Teruyuki Kato (40 min.) (Dept. Mathematics and Statistics, Univ. of Otago, New Zealand)	Precursory signals from GPS data for short-term earthquake forecasts: signal processing and assessment
11:30-12:10	Dimitar Ouzounov*, Sergey Pulintsev, and Katsumi Hattori (40 min.) (CEESMO, Chapman Univ., US)	Multi-parameter assessment of pre-earthquake atmospheric/ionospheric signals and their potential for short-term prediction
lunch		
13:10-14:10	POSTER 2	
14:10-14:50	Shunichi Nomura* and Yoshihiro Ogata (40 min.) (The Institute of Statistical Mathematics)	Statistical features and cluster-based discrimination of foreshocks
15:00-15:40	Valerio Tramutoli (40 min.) (School of Engineering (Potenza), Univ. of Basilicata, Italy)	Evaluating the impact of RST-TIR Satellite Observations on a multi-parametric system for time -Dependent Assessment of Seismic Hazard (e-DASH): a long term Correlation Analysis over California, Greece, Italy, Japan, Taiwan and Turkey.
break		
16:00-16:40	Angelo De-Santis (40 min.) (Teams SAFE and INGV LIMADOU, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy)	Pre-earthquake anomaly study from space: SAFE and LIMADOU-science Projects
16:40 - 17:10	Open Discussion 2	
17:10 - 18:10	POSTER 3	

図1-1 ISEF/IWEP5のプログラム (その1)

ISEF/IWEP5, Provisional Time Table		
	Speaker (affiliation of the speaker*)	Title
May 27, Sun.	Combination	
9:00-9:40	Yoshiko Ogata (40 min.) NA for 25 (The Institute of Statistical Mathematics)	Probability forecasts of a large earthquake by combination of statistical characteristics and anomalies of seismic activity
9:45-10:15	Open Discussion 3	
break		
	Wrap-up Discussion	
10:35-10:55	Masao Nakatani (20 min.) (Earthquake Research Institute, the Univ. of Tokyo)	A revised seismogenesis scenario implied by the discovery of a too consistent, immediate precursor - I think I've figured it out!
11:00-11:20	Max Wyss (20 min.) (International Center of Earth Simulation Foundation, Geneva and San Francisco)	Namazu and Earthquake Prediction
11:20-12:20	Max Wyss, Masao Nakatani (60 min.) (Discussion Leader)	Concluding Discussion: Precursor studies - Sound? Useful? Interesting?

Poster presentations Session 1 (day 1, 17:00-17:55)

- P1-01 Hirokazu Moriya et al., Large localized damage structures detected by acoustic emissions at an active mining front in South Africa gold mine.
P1-02 Suguru Yabe and Satoshi Ide, Foreshock seismicity on the frictionally heterogeneous fault
P1-03 Hiroyuki Noda and Takane Hori, Condition for aseismic transients in a seismogenic patch modelled by rate- and state-dependent friction
P1-04 Shiro Hirano et al., Objective matched-filter analysis for detecting small events
P1-05 Ryu Ohtani et al., Project of the Impact Assessment of the Uncertainties of Earthquake Forecasting Information on Societal and Individual Disaster Preparedness
P1-06 Naoki Uchida, Periodic slow slip and interplate earthquakes in Tohoku subduction zone
P1-07 Yoshiyuki Tanaka, The lunar perigee and the occurrence of historical large earthquake along the Japan Trench
P1-08 Fumiaki Tsunomori, Radon Concentration Anomalies at Nakaizu Observation Station and Current Situation of Geochemical Monitoring for Seismic Activity
P1-09 Chihiro Yamanaoka et al., Computer simulation of Heki-TEC disturbance assuming surface charge polarization
P1-10 Sho Morita et al., Statistical evaluation of anomalous propagation of VHF-band radio wave and reliability of the anomaly that immediately preceded the 2016 Kumamoto Earthquake
P1-11 Xiaocan Liu et al., Possible geomagnetic Sq abnormal related to great earthquake
P1-12 Sanaka Saito et al., Statistical analysis of pre-seismic ionospheric electron density anomalies using ionosonde data, over Japan
P1-13 Junpei Omura et al., Characteristics of Atmospheric Parameter Changes at Boso Peninsula, Japan ~ Observational Study to Understand Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling ~
P1-14 Xuhui Shen, Preliminary Result of CSES-01 onboard during its commission test phase

Session 2 (day 2, 13:10-14:10)

- P2-01 Makoto Naoi et al., Possible precursors implied from acoustic emissions and strain records in deep gold mines in South Africa
P2-02 Takeo Ishibe et al., Asperity as an undividable unit of earthquake rupture
P2-03 Makiko Ohtani et al., Nucleation of the characteristic earthquake in simulated cycles involving huge SSEs on the deeper extension
P2-04 Kazuyoshi Nanjo, A global model of earthquake forecasting using spatiotemporal variation of b-value
P2-05 Takahiro Omi et al., Real-time short-term earthquake forecasting after a large earthquake in Japan
P2-06 Min-Chien Tsai et al., Using the CWB geophysical data to study pre-seismic anomalous signals preceding large earthquakes in Taiwan
P2-07 Taku Ueda and Aitaro Kato, Seasonal variation of seismicity in San-in district, SW Japan
P2-08 Ayaka Ishikawa et al., Experimental Study on the Electro-Kinetic Effect ; Self-potential approach to monitor groundwater condition under the slope for rainfall-induced landslide forecast
P2-09 Yoshiharu Saito, Anomaly prior to 2018/4/9 Tottori West M5.8 and other earthquakes appeared on Ionosphere Perturbation observed by Terminator Time of AM Broadcasting Wave
P2-10 Yoshiaki Sue, Phenomena observed before slow slip events starting on 29 January 2011 prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake
P2-11 Yongxin Gao et al., Induced electromagnetic field by seismic wave in earth's magnetic field: a 2D layered case
P2-12 Toru Mogi et al., MT survey in the source region of SSEs in Boso peninsula, Central Japan - improving noisy data by ICA and three dimensional resistivity modeling -
P2-13 Shih-Sian Yang, Stratospheric Gravity Wave Activity before the 2018 Hualien Earthquakes
P2-14 Michel Parrot, Statistical analysis performed with the DEMETER satellite in relation with seismic

Session 3 (day 2, 17:10-18:10)

- P3-01 Yasuo Yabe et al., Foreshock activity of Mw2.2 earthquake in a South African deep mine
P3-02 Weiyun Xie et al., Decrease in b-value prior to the 2003 Tokachi-oki earthquake (M8.0), Japan and the 2008 Wenchuan earthquake (M8.0), China
P3-03 Tomoaki Nishikawa and Satoshi Ide, Recurring slow slip events and earthquake nucleation in the source region of the M7 Ibaraki-Oki earthquakes revealed by earthquake swarm and foreshock activity
P3-04 Chieh-Hung Chen et al., Potential mechanisms of ground vibration before earthquakes
P3-05 Kei Katsumata and Masao Nakatani, Long-term earthquake forecast based on the seismic quiescence: trials in the Kurile, the Tohoku, and the Izu-Bonin subduction zones
P3-06 Keisuke Yoshida, Detailed view of earthquake swarms in northeastern Japan triggered by fluid migration associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake
P3-07 Daichi Iwata et al., Statistical analysis of the correlation between earthquakes and atmospheric radon concentration
P3-08 Yuji Enomoto et al., Potential mechanisms that produced the pre-seismic electromagnetic phenomena that immediately preceded the 2011 Tohoku-Oki earthquake and other strong inter-plate earthquake
P3-09 Kunihiko Motojima et al., Detection of anomalous VHF radio wave propagation associated with earthquake by artificial intelligence
P3-10 Motoaki Mouri et al., A Study on Unsupervised HMM Based Anomalous Signal Detection from Waveform Images of ELF Magnetic Signals
P3-11 Katsumi Hattori et al., Spatial and Temporal Characteristics of the Pre-Seismic Ionospheric Anomaly over Japan: Case study for the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0) and statistical study
P3-12 Hiroyuki Nakata, The ionospheric disturbances associated with the natural hazards using HFD and GPS-TEC
P3-13 Koichiro Oyama et al., Satellite Constellation to study ionosphere disturbance before large earthquakes
P3-14 Masashi Kamogawa et al., Origin of pre-seismic whistler wave intensity attenuation - Comparison between DEMETER satellite and global lightning data

図1-2 ISEF/IWEP5のプログラム（その2）

IWEP5は地震準備過程や地震前兆現象の物理機構に関する一般的な議論、地震前兆現象の発生・伝搬や地震サイクルに関する理論、モデル、室内実験、計算機シミュレーションなど、地震前兆現象の観測、検知、検証、地震前兆現象と地震学との関連や相関に関する検討などが主なトピックで、2014年8月に北海道大学で開催した第1回から5年連続の開催です。今回は、ISEFとの共催で、口頭講演(19件)はすべて招待講演で、地震学と非地震学のアプローチの理解を促進するために、ISEFとIWEPの組織委員で事前にテーマを絞り、電磁気学的手法でも地震学的手法でも、統計的なアプローチをしている研究者の成果発表を選出しました。口頭発表は質疑の時間を含めて40分とたっぷり時間をとりました。中身の濃い議論ができたと思います。一般講演(42件)はすべてポスターでした。ポスターの時間もコーヒープレイク等も含めてできるだけ時間をとり、活発な議論ができたと思います。特に、最終日には、会議終了後の午後もwith Beerで開放し、参加者の交流が深められたと思います。参加者数は地震・火山噴火予知協議会との共催ということもあり、国内外から143名(うち海外から20名)でした。この中の半数以上は地震関連の研究者で、気象庁からの参加もあり、例年のIWEP単独の開催とはまったく異なりました。特筆すべきなことは、招待講演者として数多くの外国人研究者の発表があったこと、地震学の大御所であるMax Wyss博士が参加したことです。会議全体のプログラムを図1-1および図1-2に、会議の様子を写真に示します（ご興味のある方には予稿集を差し上げますので、ご連絡ください）。

今回の合同国際会議は、地震学者と非地震学者の相互理解と研究交流を目的に行ったものです。本学会からは、鴨川先生のグループ、本島先生のグループ、小山先生のグループ、小職のグループが成果発表をしました。ポスター発表が主でしたが、こちらも活発な議論ができたと思います。電磁気関連の前兆現象も地震との相関の統計的有意性や前兆性の統計的評価も進展し、前兆現象の存在を地震学会に提示できるまでやっと成長してきました。定量的な評価ができるどころまで登ってきたという感じです。

個人的には、Wyss先生、平田直・東大地震研究所長、山岡耕春・名古屋大教授、尾形良彦・統数研教授らとポスターや口頭発表内容について突っ込んだ議論ができたことは成果でした。電磁気関連の外国人研究者も『日本の若手地震研究者や統計地震学研究者と濃密な議論ができたことは収穫であった、今まででベストの会議であった』と好評でした。地震学者からの電磁気学的手法の全体への評価やフィードバックはきちんと整理できていませんが、少なくとも千葉大の取り組み方については理解していただいたように思います。一方で、地震学という立場では、マグニチュード5（5.5だったかも）以下の地震に対する結果は信頼できないとWyss博士は論じていました。地震の規模と発生頻度からの指摘だと思います。しかし、背景変動に対して統計的に有意であることを示し、信頼できる前兆現象であることを証明していくことが、地震予測の可能性へつながっていきます。統計地震学の専門家との間では、磁場変動や電離層変動などの前兆現象の存在についてコンセンサスが得られつつあります。彼らの統計確

率モデルへの地震電磁気前兆現象の取込みも試験的に始まっています。地震学者の理解を得ること、あるいは地震学との融合に向けてはまだまだ時間がかかるかもしれません。地震・火山噴火予知協議会の関係者とは、このような合同会議を4-5年に1回程度共催していこうということになりました。地震学との連携は重要です。今後もわれわれ非地震学の地震予測研究者（わが学会）と地震研究者との間で有益で建設的な議論がされることを期待しています。

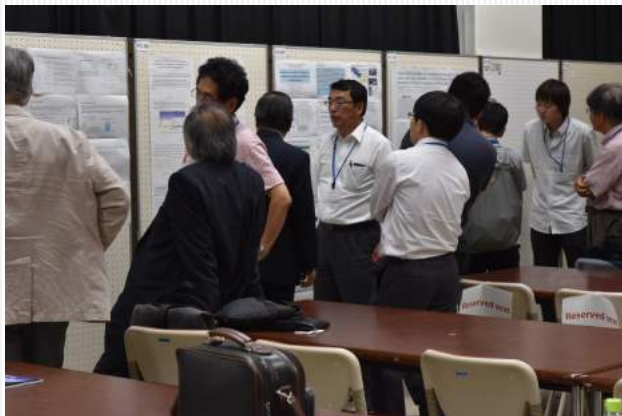


写真2 ポスターセッション



写真3 Max Wyss博士との熱い討論



写真4 懇親会

シリーズ・研究訪問

千葉大学大学院理学研究院・服部研究室の取組み

服部 克巳(正会員,
千葉大学大学院理学研究院教授,
メールアドレス:
hattori@earth.s.chiba-u.ac.jp)

1. はじめに

地震の短期予測はその重要性にもかかわらず達成されていません。地震波のP波とS波の速度差を利用して揺れの到達時間を知らせる緊急地震速報が2007年以降運用されていますが、ある程度離れた場所で発生した大地震には有効ですが、直下型地震では、P波とS波の到達時間差がなく、効果がありません。真に有効な地震短期予測を実現するためには、気象情報あるいは天気予報のように、さまざまなデータを融合したモデルが必要でしょう。あるいは、厳密なモデルまではいかなくとも、台風や豪雨等の気象災害に対するレーダー画像のように、降雨状況が把握でき、経験的に短期の予測ができるような仕組みを構築する必要があります。つまり、衛星および地上観測データを融合させ、前兆現象を利用したマルチパラメータのビッグデータの解析による地震短期予測技術を開発する必要があります。台風や豪雨等の気象災害に対するレーダー画像のように、巨大地震イベントに関する情報を事前に把握することができれば、それに対応する準備や心構えもでき、人的・経済的な被害を劇的に軽減できると期待されます。例えば、地震1週間前、3日前、1日前、数時間前、1時間前、地震波到着直前、津波到着20分前の地震情報があれば、事前準備や被害軽減のための行動により人命や経済的損失を劇的に抑制するシステムが構築可能であると考えられます。すなわち、台風・豪雨等の気象レーダー情報（ナウキャスト）や進路予測のように、将来のM7クラス以上の短期地震予測・津波予測技術開発と適切な情報提供あるいはその情報を社会システムやインフラに組み込めば、世界一の安全安心な社会の実現が可能になると思われます。取り掛かりとして、地震活動と有意相関をもち、かつ前兆性が担保できるパラメータを調査する必要があります。千葉大学では、衛星および地上観測データを融合させ、マルチパラメータのビッグデータの解析による地震短期予測技術の開発とその実用化に資する現象、すなわち地震の短期予測に有望な現象の調査と最適パラメータの調査を行っています。本稿では服部研究室の研究を簡単に紹介いたします。

2. 服部研究室の地震前兆現象の研究

2. 1. ULF電磁場変動と電離圏電子数変動

近年、地震や火山活動などの地殻活動に関連する様々な電磁気学的な現象が報告されており、従来の弾性学的なパラメータに加えて、地殻活動を予測するパラメータとして有効と考えられています⁽¹⁾。電磁気学的な地殻活動予測に関する研究は、地震総合フロンティア研究の枠組みで理化学研究所、当時の宇宙開発事業団を中心に1997-2001年に実施され、仏国、中国、ロシア、インド、台湾、メキシコ等でも同様な研究が開始されました。近年では国際電

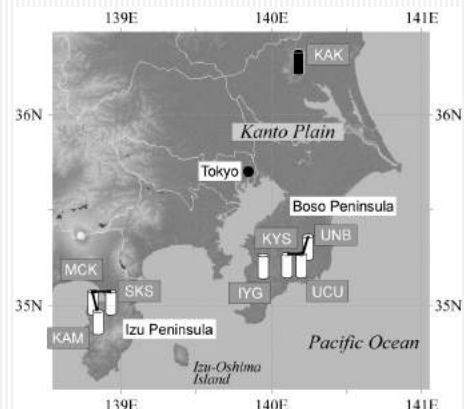


図1 千葉大のULF電磁場観測

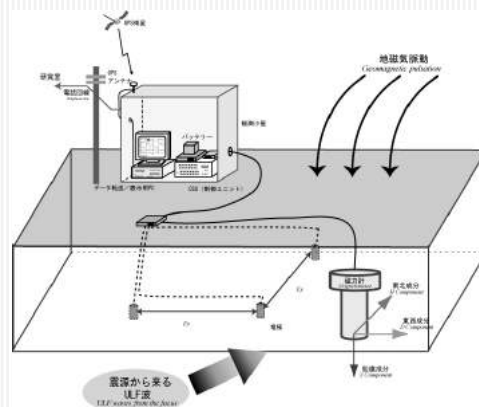


図2 千葉大のULF電磁場センサ設置概念図

波科学連合、欧州地球科学連合、米国地球物理連合やIUGGの総会にて地震電磁気セッションが設けられ多数の論文発表があります。地殻活動に伴う電磁気現象は、未解明の物理現象として研究対象となっています。服部研究室では、2001年より南関東を中心に、地震前兆現象の検出を試み、それを利用した監視と短期予測手法の検討を行っています。具体的には地震活動が活発な南房総地域を中心に、①地震に伴う電磁気現象を正確に捕捉する複合観測システムの確立とデータベースの構築、②データ解析法の確立（信号弁別や時系列データ処理などの信号処理法や統計的評価法の開発）、③南房総地域で電磁気探査／電気探査による地下の電氣的構造の把握、④室内実験やモデルによる地震電磁気信号発生の物理機構解明、⑤電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価を行っています。

本稿では、ULF帯（ここでは周波数10Hz以下）の電磁気観測について少し詳しく述べることにします。地震を地殻内の応力集中による破壊現象と捉え、巨大地震が発生する前の地殻内の応力変化に伴い、地殻内の流体や気体が移動することが予想されます。地殻内の流体や気体はイオン化されているので、その移動は電流が流れたことと等価になります。この電流によって電磁場が発生します。この電磁場を地表で精度感度よく精密に測定することができれば、地震準備過程における前兆現象を検知することが可能です。そこで千葉大学では南房総と西伊豆では観測点距離5kmのアレーを構成し、密な観測を行っています(図1, 図2)⁽²⁾。

ULF帯電磁場現象の発生モデルに関しては、①electrokineticによる電磁放射、②micro-fracturingによる電磁放射、③比抵抗構造の変化、④ピエゾ効果等の可能性が考えられますが、物理機構の解明に直接結びつく波形観測データはこれまで検出できていませんでした。ところが、2000～2010年にわたるデータを詳細に解析したところ、2002年10月および2007年8月の房総slowslipイベントに関連して、図3に示す電磁場変動が深夜に観測されました。極性や到来方向を調査すると、2002年、2007年の2つのイベントとも地下に線電流源を仮定すると、観測された波形の特徴が説明できることがわかりました⁽³⁾⁽⁴⁾。Electrokinetic仮説を強く支持する結果です。いくつか地震に対しても同様な変動が記録されています。また、房総・伊豆・柿岡(気象庁)の観測点で深夜に観測されたULF帯の磁場強度変動と地震発生との相関を調査したところ、磁場鉛直成分の活動度の統計的有意な増加と地域地震活動との間に相関関係があり、その相関の強さは震源距離と地震活動の規模に依存する傾向があることがわかりました(図4参照)⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。その先行時間は地震の約1～2週間(西伊豆は1ヶ月前から)です。

地震に関連する電離圏電子数の変動についても、GNSSデータや、イオノゾンデデータの事例解析・統計解析や、電離圏電子密度の3次元分布の推定等を実施し、精力的に研究を推進しています⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾(図5参照)。電離圏電子数変動の日変化については、観測点から1000km以内の浅いM6以上の地震との関係についてGEONETやGIMのTEC変動との間に正の有意相関(電子数が増加する)があることがわかりました。先行時間は0～5日です。イオノゾンデのNmF2変動については観測点から350km以内のM6以上の地震について地震の0～10日前に正の有意な異常が発生することがわかりました。これらの変動には異常出現の震央距離依存性や地震規模依存性があり、地震との因果関係の存在を強く示唆するものです。

また、Molchan Error Diagram解析からULF磁場変動、電離圏電子数変動のいずれの異常にも、予測情報が含まれることを示しました⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

2. 2. 衛星温度異常と地圏—大気圏—電離圏結合

北大のHekiらは2011年東北地震の約1時間前に電離圏電子数の異常を報告し⁽¹⁴⁾、著者らも確認しています。米国チャップマン大学のOuzounovらは独自のアルゴリズムを用いてNOAA衛星等のOutgoing Longwave Radiation (OLR)や熱赤外データを使用し、世界各地で発生した大地震の事例解析を進めており、2007年の中国・四川地震や2009年のイタリア・ラクイラ地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2015年ネパール地震等で地震に先行する温度異常を検知しています⁽¹⁵⁾。イタリアのTramutoliらは気象衛星の熱赤外データを用いてラクイラ地震等に先行する熱赤外異常を検知しています⁽¹⁶⁾。服部研究室では衛星AquaやTerraに搭載された赤外放射計MODISの夜間データを用いて、熱帯や温帯の火山溶岩活動の検知、2009年ラクイラ地震に先行する有望な温度異常の検知等に成功しました⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。最近では、イタリアの若手研究者と共同で静止気象衛星のひまわりデータの統計解析による衛星温度異常と日本付近の地震との有意相関解析に着手しました。ラクイラ地震前には地圏(前震、Rnの放射)、大気圏(温度異常)、電離圏(GPS-TEC)の順に異常が出現し、時間が進むにつれ異常の出現する高度が高くなりました。2011年東北地方太平洋沖地震に先行しても、前震、

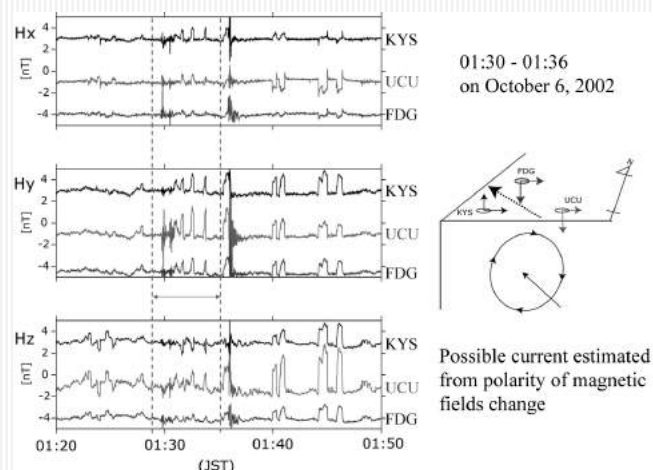


図3 10月6日に南房総3観測点で観測された矩形磁場変動の例とその極性から推測される地下電流源

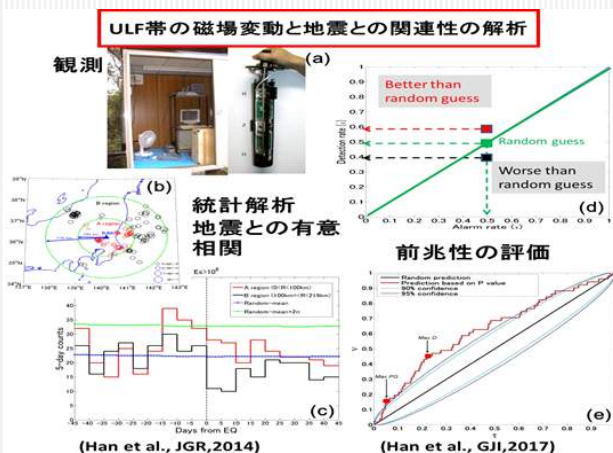


図4 ULF帯の磁場変動と地震との関連性の調査

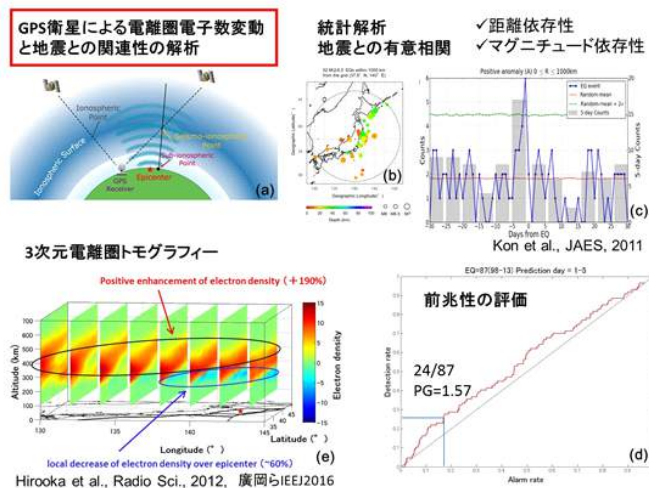


図5 電離圏電子数変動と地震との関連性の調査

Rnの放射、大気圏（温度異常）、電離圏（GPS-TEC）等が報告されています。

Pulnestsらはこれらの一連の変動は地圏から大気中へのラドンの放射の異常で説明可能とし、大気圏、電離圏が擾乱するという地圏—大気圏—電離圏結合（Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling: LAIC）モデルを提案しています⁽¹⁹⁾。千葉大学では、LAICの観測学的検証を目的に房総半島において大気電気パラメータ（ラドン、大気電場、大気イオン濃度）の観測を行っています。これまでに、福島第1原子力発電所の事故による放射性物質の観測点への飛来に伴い、大気電場の減少とイオン濃度の増加という事象を観測しています⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。これは、LAICモデルにおいて放射性ガスRnが原発由来の放射性物質に代わっただけで、同様なシステムが自然界に存在しうることを示唆しています。また、データの蓄積と詳細な検証が必要ですが、観測点近傍で発生した地震に先行して地中Rnフラックスが変動するデータを得ています⁽²²⁾。

3. Sensor WEB（マルチセンサネットワーク観測）

これまでの研究から、地震前兆現象の存在は疑いのない事実であることが認知されつつあります。現在までに、さまざまな観測データ（ULF電磁場、VLF/LF電磁場、VHF電磁場、電離層電子数、衛星温度異常、GPS地表変位、地震活動度、ラドン濃度など）の事例解析や統計解析により、地震との有意な相関、前兆性について普遍的な結果が得られつつあります。地震予測実現への第一歩です。確率的な予測の可能性はでてきたものの、因果関係については解明できていません。確率予測としても単一パラメータでは精度よい地震短期予測の実現が困難であることもわかってきました。そこで服部研究室では、中国南方科技大学、台湾国立中央大学、米国チャップマン大学、イタリアバシリカータ大学、インドネシア気象庁等の機関と共同で地震活動と有意相関をもち、かつ前兆性が担保できるパラメータを調査し、それらをパスした衛星および地上観測パラメータを融合させることを行っています。図6はその概念図で、地上や衛星に搭載されたセンサを用いて、巨大地震の準備段階で発生する前兆的な異常変動を検知し、海溝部や内陸で発生するM7クラス以上の地震や被害を与える津波の予測が可能なシステムを描いています。図7は図6のマルチセンサ観測によるリアルタイム地震予測システム構成例であり、観測パラメータ（ULF電磁場、VLF/LF電磁場、ボアホール広帯域電場、電離層電子数（GPS/TEC）、衛星温度異常、GPS地表変位、地震活動度、ラドン濃度等）が示してあります。これらの観測データに基づいて地震予測を行います。観測項目は固定せず、研究開発の進展に応じて、追加や削除が可能なopenシステムです。システムへの追加は地震活動との統計的有意性および前兆性が示されることが必須です。個別観測パラメータあるいは複合パラメータを評価することにより、台風や豪雨に対する気象情報のようなリアルタイム地象情報（例えば通常時、地震1週間前、3日前、1日前、数時間前、1時間前、地震波到着直前、津波到着20分前の地震予測情報）を発信し、人命や経済的損失等の軽減する技術開発に取り組んでいます。

4. まとめ

現在までに、さまざまな観測データ（ULF電磁場、VLF/LF電磁場、VHF電磁場、電離層電子数、衛星温度

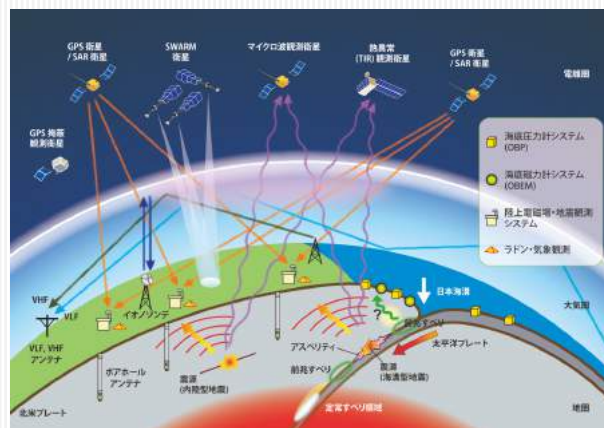


図6 衛星・地上マルチセンサネットワークによるリアルタイム巨大地震予測観測システムの概念図

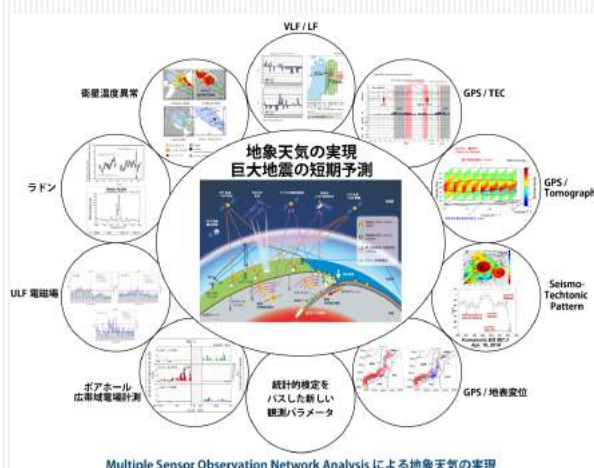


図7 マルチセンサ観測によるリアルタイム地震予測システム構成例

異常、GPS地表変位、地震活動度、ラドン濃度など）の事例解析や統計解析により、地震との有意な相関、前兆性について普遍的な結果が得られつつあり、地震前兆現象の存在は認知されたといえます。これらの成果を利用し、科学的な地震短期予測へいかに結び付けるかが重要で、巨大地震による生命や経済的損失のリスクを軽減する技術開発への応用が期待されます。疫学的な統計的な予測は実現可能と思われますが、マルチパラメータ化による予測精度の向上（特に被害を及ぼす大地震の見逃しをなくす）が必要です。また、何故地震に先行して電磁気現象が発生するのかについても、いくつかモデルは提案されているものの未解明であり、因果関係に基づく物理モデルの確立も必要不可欠な今後の課題です。

参考文献

- 1)Ouzounov, D., et al.: Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies, pp. 414, Wiley, July 2018.
- 2)Hattori et al.: ULF geomagnetic field measurements in Japan and some recent results associated with Iwateken Nairiku

- Earthquake in 1998, *Phys. Chem. Earth.*, vol.29, pp.481-494, 2004. (doi:10.1016/j.pce.2003.09.019)
- 3) Takahashi, I., et al.: ULF Electromagnetic Environment at Southern Boso Peninsula: Signal Discrimination of the Geoelectromagnetic Data, *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, 125(7), pp.583-590, 2005. (doi:10.1541/ieejfms.125.583)
 - 4) Takahashi, I., et al.: Anomalous geoelectrical and geomagnetic signals observed at Southern Boso Peninsula, Japan, *ANNALS OF GEOPHYSICS*, Vol.50, No.1, pp.123-135, 2007. (doi:10.4401/ag-3092)
 - 5) Hattori, K., et al.: Investigation of ULF Seismo-Magnetic Phenomena in Kanto, Japan During 2000-2010: Case Studies and Statistical Studies, *Surveys in Geophysics*, 34, 293-316, 2013. (doi:10.1007/s10712-012-9215-x)
 - 6) Han, P., et al.: Statistical analysis of ULF seismo-magnetic phenomena at Kakioka, Japan, during 2001-2010, *J Geophys. Res.*, SPA, 119, 4998-5011, 2014. (doi:10.1002/2014JA019789)
 - 7) Han, P., et al.: Evaluation of ULF seismo-magnetic phenomena in Kakioka, Japan by using Molchan's error diagram, *Geophysical Journal International*, 208 (1), 482-490, 2017. (doi:10.1093/gji/ggw404)
 - 8) Hattori K., and Han, P.: Statistical Analysis and Assessment of Ultralow Frequency Magnetic Signals in Japan As Potential Earthquake Precursors, *Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*, edited by Ouzounov et al., 229-240, Wiley, 2018. (doi:10.1002/9781119156949.ch13)
 - 9) Kon, S., Nishihashi, M., Hattori, K.: Ionospheric anomalies possibly associated with $M \geq 6.0$ earthquakes in the Japan area during 1998-2010: Case studies and statistical study, *Journal of Asian Earth Sciences*, 41, 410-420, 2011. (doi:10.1016/j.jseas.2010.10.005)
 - 10) Liu, J.-Y., et al.: Application of Total Electron Content Derived from the Global Navigation Satellite System for Detecting Earthquake Precursors, *Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*, edited by Ouzounov et al., 305-317, Wiley, 2018. (doi:10.1002/9781119156949.ch17)
 - 11) Liu, J. Y., et al.: Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw7.9 Wenchuan earthquake, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 114, A04320, 2009. (doi:10.1029/2008JA013698)
 - 12) 廣岡伸治, 市川卓, 服部克巳, 韓鵬, 吉野千恵, 劉正彦: 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)に先行する電離圏異常の時空間分布, *電気学会論文誌A(基礎・材料・共通部門誌)*, vol.136, no.5, pp.265-271, 2016. (doi:10.1541/ieejfms.136.265)
 - 13) Hirooka, S., Hattori, K., and Takeda, T.: Numerical Validations of Neural-Network-based Ionospheric Tomography for Disturbed Ionospheric Conditions and Sparse Data, *Radio Sciences*, 46, RS0F05, 2011. (doi:10.1029/2011RS004760)
 - 14) He, L. and K. Heki: Ionospheric anomalies immediately before Mw 7.0-8.0 earthquakes, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 122, 8659-8678, doi:10.1002/2017JA024012, 2017.
 - 15) Ouzounov, D., et al.: Thermal Radiation Anomalies Associated with Major Earthquakes, *Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*, edited by Ouzounov et al., 259-274, Wiley, 2018. (doi:10.1002/9781119156949.ch15)
 - 16) Tramoli, V., et al.: Significant Cases of Preseismic Thermal Infrared Anomalies, *Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies*, edited by Ouzounov et al., 331-338, Wiley, 2018. (doi:10.1002/9781119156949.ch19)
 - 17) Noguchi et al.: Detection of thermal changes possibly associated with volcanic activity and discrimination of faint changes from MODIS, *Journal of Asian Earth Sciences*, vol.41(4-5), pp.467-475, 2011. (doi:10.1016/j.jseas.2011.02.005)
 - 18) Tsutsumi, R., et al.: Detection of thermal anomaly associated with Earthquake from MODIS data, *Japan Geoscience Union Meeting 2014*, April 29, 2014, poster, MIS29-P05, Pacifico YOKOHAMA, Kanagawa, Japan.
 - 19) Pulinet, S. and Ouzounov, D.: Lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling (LAIC) model – a unified concept for earthquake precursors validation, *J. Asian Earth Sci.* 41(4), 371-382, 2011.
 - 20) Oyama, K., et al.: Observational study of the Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (Chemical channel), *Japan Geoscience Union Meeting 2012*, May 22, 2012, oral, MIS02-12, Makuhari Messe, Chiba, Japan.
 - 21) 大山 佳織, 服部 克巳, 古屋 隆一, 楠 研一, OUZOUNOV D.: 地圏-大気圏-電離圏結合(化学チャネル)に関する研究, *大気電気学会誌*, 6(1), pp.51-52, 2012.
 - 22) Kojima, H., et al.: Ground Rn concentration and local seismicity around Asahi station, Boso, Japan, *International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake*, September 16, 2019, oral, Taipei, Taiwan.

EPSJ CALENDER

(本会および関連学協会の行事予定)

○日本地球惑星科学連合2020年大会

JpGU-AGU Joint Meeting 2020

- ・ 日程：2020年5月24日(日)～5月28日(木) 5日間
- ・ 場所：千葉県 幕張メッセ 国際会議場、国際展示場 / 東京ベイ幕張ホール
- ・ 詳細：<http://www.jpгу.org/>

○EMSEV2020 in Taiwan

IUGG Inter-Association

- ・ 日時：2020年8月24日 (Mon) ～28日 (Fri)
- ・ 場所：National Central University, Taiwan
- ・ 詳細：<http://emsev-iugg.org/>

○安全工学シンポジウム2020

日本学術会議総合工学委員会

- ・ 日時：2020年7月1日 (水) ～3日 (金)
- ・ 場所：日本学術会議・講堂および会議室
- ・ 詳細：<https://www.anzen.org/>

○第17回世界地震工学会議

17th World Conference on Earthquake Engineering
公益社団法人日本地震工学会ほか

- ・ 日時：2020年9月13日 (日) ～18日 (金)
- ・ 場所：仙台国際センター(宮城県仙台市青葉区)
- ・ 詳細：<http://www.17wcee.jp/>

○International Workshop on Earthquake

Preparation Process 2020, - Observation,
Validation, Modeling, Forecasting -(IWEPT)

- ・ 日時：2020年7月1日 (水) ～3日 (金)
- ・ 場所：千葉大学西千葉キャンパス
- ・ 詳細：近日公開予定

ニュースレター 記事募集

会員の皆様からのニュースレター記事を募集します。

地震予知に関する意見、感想、地震予知に関する研究ノート、書籍紹介、地震予知に関するイベントの案内・開催報告、等々地震予知に関する様々な話題をお寄せ下さい。

投稿記事のフォーマットや様式は任意で。

下記の学会メールアドレスまでメール添付ファイルとしてお寄せ下さい。

E-mail: office@eqpsj.jp

編集後記

日本地震予知学会のニュースレター第9号をお届け致します。

第9号は巻頭のシリーズ論説の執筆を小山先生(九州大学)にお願いしました。長年の研究に基づく蘊蓄は示唆に富む貴重なものと考えます。また、研究訪問のシリーズは、今号では服部先生に千葉大学の取り組みを紹介していただきました。お忙しい両先生には原稿をお寄せいただき有り難うございました。今号では、恒例により学術講演会のプログラムを掲載しました。学会発足以来、6回を数える学術講演会が盛会となることを期待されます(編集担当理事：神山)。

一般社団法人 日本地震予知学会

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町11番地 清風ビル3階

TEL、FAX: 03-5579-8470

E-mail: office@eqpsj.jp

Website: <http://www.eqpsj.jp>

<本ニュースレターの内容を許可なく転載することを禁じます。>