

研究成果報告書

研究テーマ：巨大地震のリアルタイム短期予測システム技術の開発：地圏—大気圏—電離圏結合の解明

研究代表者：服部 克巳（千葉大学大学院理学研究院・教授）

共同研究者：今住 則之（日本技術士会千葉県支部）

韓 鵬（千葉大学大学院理学研究院・博士研究員/中国南方科技大学・助教）

大村 潤平（千葉大学大学院理学研究科・修士課程大学院生）

齊藤 央（千葉大学大学院融合理工学府・修士課程大学院生）

謝 尉雲（千葉大学大学院融合理工学府・修士課程大学院生）

吉野 千恵（千葉大学大学院理学研究院・技術補佐員）

1. 研究の目的

大地震は建物や道路などの構造物を破壊し、人的損害や経済的な損失を招く。日本国内においては1995年の兵庫県南部地震（M7.2）や2007年中越地震（M7.2）、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）、2016年熊本地震などがあげられる。国外では、1999年台湾集集地震（M7.6）、2004年スマトラアンダマン地震（M9.1）、2008年中国四川地震（M8.0）、2010年ハイチ地震（M7.0）、2015年ネパール地震（M7.8）など枚挙にいとまがない。これらの被害を軽減するためには、地震の短期予測が重要であるが、長年の努力にもかかわらず、達成されていない。日本国内では、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震後においては、短期予測は不可能論が支配的で、地震発生後や建造物の堅牢性などの対策に重点をおくことが重要であるとされている。一方、地震に先行するさまざまな電磁気現象の報告がされている。たとえば、電離圏電子数の異常変動やULF帯の地球磁場の異常変動、衛星観測された熱赤外データの異常変動などである。これらの異常はある規模以上の地震と統計的な有意相関があることが示されつつあり、前兆現象としての電磁気現象の存在は確認されつつある。地震電磁気現象の研究手法は観測方式から次の3つに大別することができる。（1）電磁放射の地上で直接観測、（2）媒質の異常を（電磁波の異常伝播として）間接的に観測、（3）衛星による観測の3つである。（1）の例は前述のULF帯の磁場異常等である。（2）はGNSSデータを用いた電離圏電子数異常の監視等である。（3）は衛星温度異常検知などである。

本研究では、地上や衛星に搭載されたセンサによって、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クラス以上の地震の短期予測をする技術開発を行う。すなわち、マルチセンサ観測によるリアルタイム地象天気(地震予測)システムを構築することを究極のゴールとする。観測パラメータはこれまでの研究から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、大気電場等を軸に実施する。これらの観測データに基づいて予測を行うが、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システムとする。これら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を発信し、人命や経済的損失等の軽減をはかる。具体的には、平時の準備と、地震1週間前、3日前、1日前、数時間前、1時間前、津波到着20分前の地震予測情報による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の構築を目指す。台風・豪雨等の気象レーダー情報（ナウキャスト）や進路予測のような将来のM7

クラス以上の短期地震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に組み込むことによる世界一の安全安心な社会を実現することが目的である。

2. 研究の手法

千葉大学服部研究室ではこれまで、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、大気電場観測データなどの事例解析や統計解析を行い、地震との有意な相関や前兆性について調査してきた。ULF電磁場や電離層電子数などについてはそれらについて普遍的な結果が得られつつある。本研究では特にLF電磁場観測装置の開発、電離層電子数、地震活動度、地中ラドン濃度の変動について調査・研究を行った。LF電磁場観測については独自の機器開発を日本技術士会千葉県支部と共同して実施した。以下に簡潔にまとめる。

3. 研究成果

3. 1 LF帯平行円板アンテナ観測システムの開発

地震とLF帯の電磁波異常の観測の歴史は結構古い。1982年にGokhbergらが1980年3月31日の近畿地方で発生したM7の地震(深さ480 km)に先行する電磁雑音の異常を報告した。彼らは長野県の菅平においてLF帯(81 kHz)の背景雑音を連続観測していたところ、その雑音強度は地震の約30分前から異常に上昇し、地震発生とともに平常のレベルに戻るといったものであった。芳野らは同様な観測を関東周辺の7箇所で行ったところ、1985年から1990年の間に地震に関連すると思われる29例の電磁放射を報告し、マグニチュードの大きい地震ほどVLF/LF放射の観測される範囲が広がることを示し、観測された電磁放射には背景雑音を増加したものとパルス状に現れるものがあることを報告している。藤縄と高橋は、関東地方において複数のボアホールアンテナで電場を測定していた。1994年の北海道東方沖地震(M8.1)や2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)に先行して異常が観測されたと報告している。尾池らは、ポールアンテナによるLF帯(163 kHz)の電界観測を行い、地震の数日前にLF帯電磁パルスの増加が認められ、数十分前には異常がピークに達し、発生直前には平常化したと報告している。同様な前兆的増加が1995年兵庫県南部地震の際にも両グループから報告されている。

Gokhbergらと芳野らの観測は、ある周波数の連続観測、尾池らの観測はある閾値を超えたパルス数のカウントであった。現在ではICT技術の発達により、1980年代では不可能であった早いサンプリングによる広帯域の波形観測が可能となってきた。つまり、GNSS衛星信号による時刻同期やPC技術の発達による高速サンプリングの実現、HDDの大容量化、およびインターネットの発達により、LF帯電磁波動の干渉計観測による波源位置の推定が可能となってきた。そこで本研究では、Oikeらが報告している地震に関連するLF帯パルス研究の検証とさらに発展させるためにLF帯の電磁波動の干渉計観測に資するシステム開発を行うこととした。つまり、地震に関連するLF帯電磁放射の発生場所(放電位置)の時空間推定するためのLF帯干渉計観測の実現である。干渉計による観測により、Oikeらが報告した地震に関連するLF帯パルスの増加の検証を行うとともに、LF帯電磁波動の発生場所(放電位置)の同定を行い、気象現象に伴う雷活動と地震現象に付随する放電現象の特性を検討することが可能になる。本研究では、手始めとして次の予備調査を実施した。

(1) 最適なアンテナシステムの検討・設計

(2) 構築したアンテナシステムと類似アンテナシステムとの比較・特性評価

本研究では、アンテナとして雷放電に伴う電界変化を観測するために容量性円形平板アンテナを採用した。容量性円形平板アンテナは、モノポールアンテナのように突端がないため局所的に電界が増大しないため、雷雲が接近した際にもアンテナ先端でコロナ放電が発生しない。コロナ放電は雑音となり、精確な観測を妨げる。そのため、容量性円形平板アンテナは、雷雲観測に適しているといえる。容量性円形平板アンテナを大地と水平に設置し、さらにコンデンサCを接続し、コンデンサ両端の電圧Vを記録する。コンデンサ容量Cを変えることで受信感度を調節することができる。容量性円形平板アンテナを図3.1.1に示す。容量性アンテナの外部電界は $E=CV/(\epsilon_0 A)$ より求まる。Aは金属平板の面積、 ϵ_0 は真空の誘電率である。また、コンデンサに抵抗Rを挿入し、回路の周波数帯域の下限 $f=1/(2\pi RC)$ を決定する。ここで、RCは時定数と呼ばれ、Vにステップ電圧が加わったとき1/eに減少するまでの時間である。スローアンテナの時定数は数秒程度であり、ファーストアンテナの時定数は1 ms程度である。本研究ではLF帯電磁波形(電界変化波形)を容量性円形平板アンテナで受信し、時定数30 μ sのファーストアンテナ受信回路を通過後の電圧波形を記録するように設計した。

システム製作コストを削減するために、円形平板アンテナとして市販の寸胴鍋の鍋ふたを利用することとした。また、観測を雷嵐の観測をしている近畿大学グループのBoltシステムと共通化できることとした。そのために、市販の直径24cmおよび33cmのアルミ製鍋ふたによるアンテナと受信回路を試作し、Boltシステムと比較した。

本助成期間では、試作アンテナ(CF24(直径24cm)、CF33(直径33cm))とBoltアンテナの周波数特性とBoltシステムによる定常観測を実施している神戸市立工業高等専門学校における同時観測を実施した。

周波数特性の結果を図3.1.2に示す。図中凡例のF、Nはそれぞれ500 kHzの低域通過フィルタありおよびなしの意味である。図3.1.2の結果から、CF24、CF33ともBoltより感度は15 dBから30 dBほどよいことがわかる。これは、地震に先行する放電現象は雷活動に伴う放電よりエネルギーが小さいことが予想され、設計どおりの結果が得られている。一方、CF24は500 kHzのローパスフィルタを使用した場合に5 kHz周辺の受信感度が落ちる現象が確認された。原因の詳細は不明だが、フィルタとアンテナシステムの相性(容量)の問題と思われる。実際の観測にはAMラジオ放送等の影響を軽減するために500 kHzのローパスフィルタを使用するため、好ましくない現象である。また、Boltアンテナの受信は安定しているといえる。一方、CF33の場合、10 kHz以下の低周波側で-10dB/Oct以上の感度の減少が確認され、結論として、全般的には、CF33はBoltシステムと周波数特性的には遜色ないことがわかり、CF33を採用する。放電場所と時間を同定するためには複数アンテナによる干渉計観測が必要である。そのためには特性のそろったアンテナを展開する必要がある。そこで、試作したCF33アンテナを複数製作し、その特性を調査する必要がある。また、実施した周波数特性試験では、連続スペクトルの位相特性の調査は不可能なので、試作アンテナとBoltシステムとの同時観測試験をBoltアンテナが常設してある神戸市立工業高等専門学校において2018年2月下旬から実施した。観測例を図3.1.3と図3.1.4に示す。図3.1.3は比較的遠方の雷の例で、図3.1.4は観測点近傍で発生した雷の例である。(a)はCF33、(b)はBoltで子観測された波形である。なお、本試験観測では、近接雷に対して出力が飽和しないようにCF33の出力部に減衰器を接続している。

図3.1.2の波形は非常類似していることがわかる。一方、図3.1.3の近接雷は波形がやや異なることがわかる。この主たる理由は図3.1.1の周波数特性以外に、機器アースの問題がある。CF33では機器アースをアンテナ下にある受信機のケースにもおとしている。そのため、平行円板上の電荷がある程度大きくなると放電している可能性がある。またやや雑音が大きい傾向があることがわかった。一方、Boltアンテナでは、回路アースは同軸ケーブルで落としており、平板アンテナと大地の間の電荷量の変化を電界として計測している。LF帯の干渉計観測にむけて、CF33システムのアースの取り回し、および回路の安定性の改良が必要であることがわかった。



図3.1.1 平行円板アンテナ (a)千葉大アンテナ(CF33) (b)Boltアンテナ

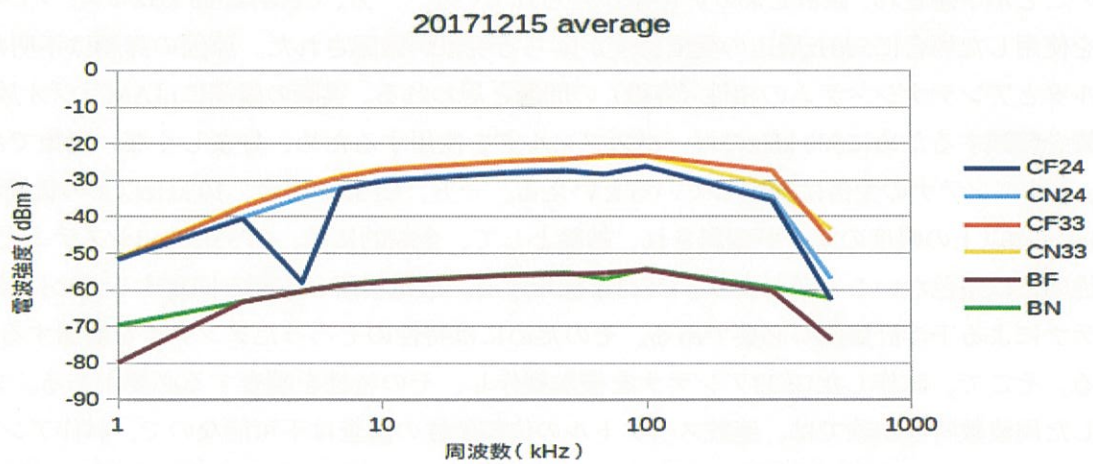


図3.1.2 千葉大アンテナ(CF24とCF33)とBoltアンテナの周波数特性

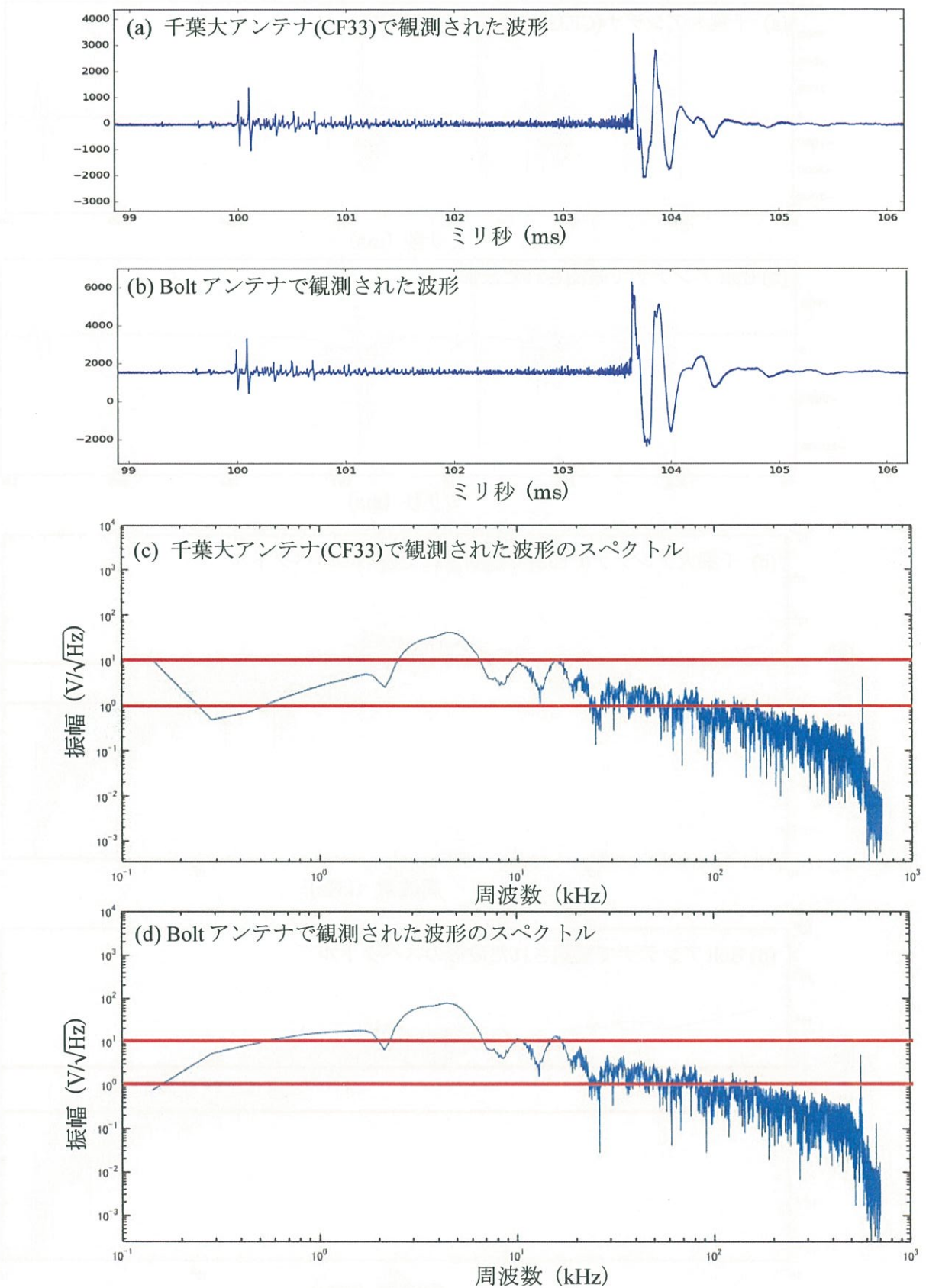


図3.1.3 2018年6月24日 00:59:20頃に観測された比較的遠い雷の波形の一例 (a) 千葉大アンテナ(CF33)で観測された波形とスペクトル (b) Boltアンテナで観測された波形とスペクトル (c) (a)で観測された波形のスペクトル (d) (b)で観測されたスペクトル

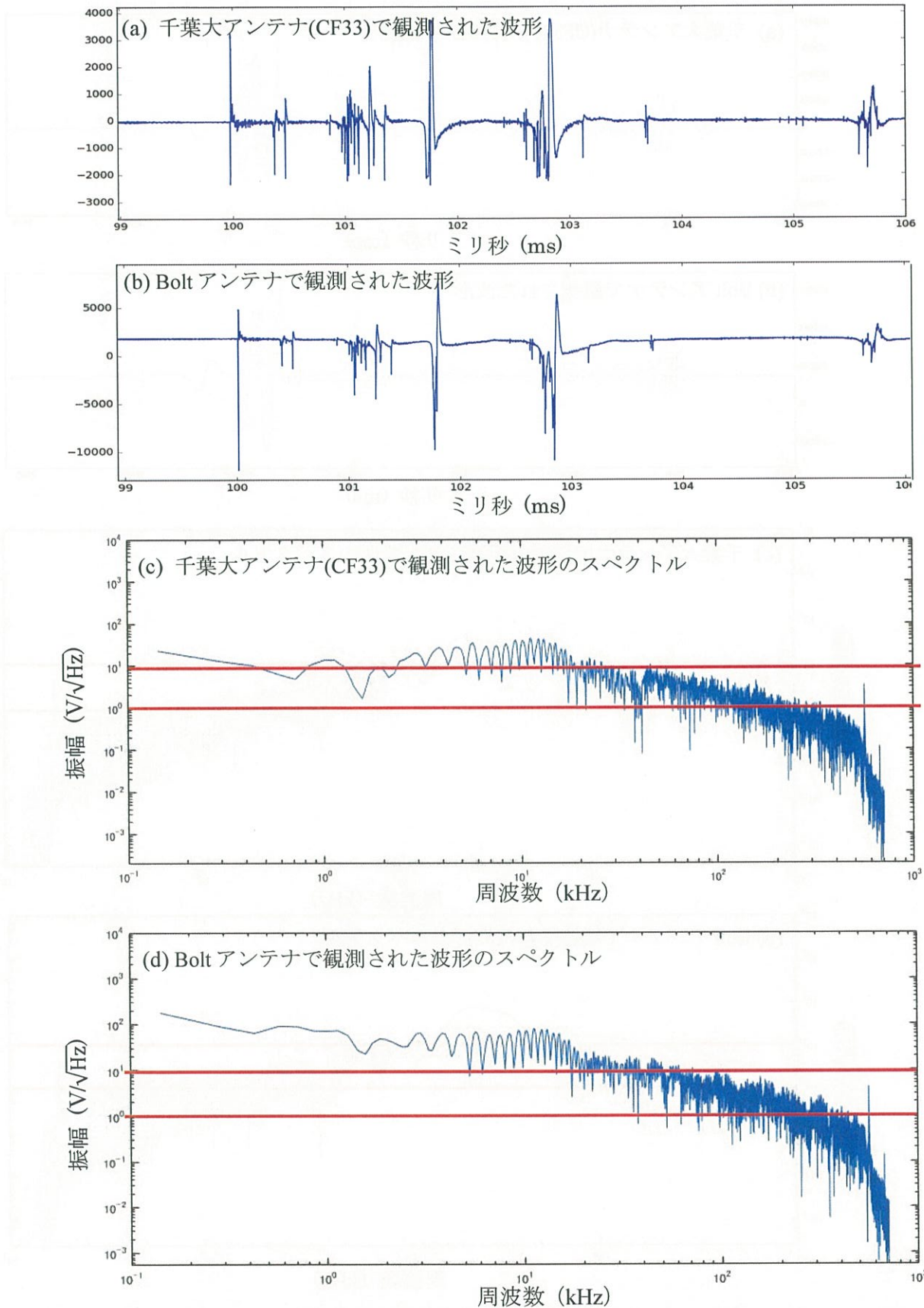


図3.1.4 2018年6月12日 04:11:46頃に観測された比較的近い雷の波形 (a) 千葉大アンテナ (CF33)で観測された波形とスペクトル (b) Boltアンテナで観測された波形とスペクトル (c) (a)で観測された波形のスペクトル (d) (b)で観測されたスペクトル

3. 2 イオノゾンデデータによる地震と電離圏電子数変動の統計解析

地震活動は人間生活に大きな影響を及ぼす。特に 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波による被害は記憶に新しい。このような甚大な災害を軽減するために、地震活動の短期予測は重要視である。近年になって、地震活動に関連する様々な電磁気現象が報告されており、その中でも、地震活動に先行する電離圏電子数の異常変動に着目した研究が活発に行われている。地震起源の電離圏電子数変動の観測手法としてイオノゾンデや GNSS がある。イオノゾンデを用いた電離圏の観測は古くから行われおり、日本では 1958 年からデータが入手可能である。そこで、本研究では、イオノゾンデのデータを用いて 1958-2017 年の 60 年間にわたる地震に先行する電離圏電子数の異常変動の統計解析を行った。

本研究では、イオノゾンデデータの F2 層の最大電子密度を示す NmF2、その高度を示す hmF2 の結果について報告する。各パラメータの時系列データの異常値の閾値を前 15 日間の中央値+1.5IQR (IQR:四分位範囲) として検出した。電離圏異常と地震との有意相関に検定するために Superposed Epoch Analysis (SEA) を用いた。具体的には地震日を基準日(0 日)として、その前後 30 日間の各パラメータ値に対して、1 日または 5 日間毎に閾値を超える異常の有無を調査し、異常が存在すれば 1、なければ 0 とする 2 値データを作成する。解析対象の全地震に対してこの処理を行い、積算してヒストグラムを作成する。さらに、対象期間のデータの中から、地震の数と同じ日数をランダムに抽出し、SEA を行うことを 100000 回繰り返した平均およびその標準偏差 (σ) を計算する。その平均+2 σ を有意水準とし、異常日の積算値が、この閾値を超えるかどうかを調査する。また、先行期間においてカウントが最大のものについてそのカウントを示す地震がいくつあるかの確率を調査した。

本研究で解析に使用した地震データは気象庁の地震カタログであり、解析期間は 1958 年 1 月 1 日から 2017 年 11 月 30 日までで、マグニチュードは 6 以上、震源の深さは 40 km 以浅で、イオノゾンデの観測機のある国分寺より半径 1000 km 以内で発生したものを選択した。対象とする地震が発生した日数は M \geq 6 が 257 日、M \geq 6.5 が 106 日、M \geq 7 が 33 日で、発生した地震の総数は M \geq 6 が 352 個、M \geq 6.5 が 128 個、M \geq 7 が 36 個であった。

図 3.2.1 に NmF2 の SEA の結果、図 3.2.2 に前後 30 日間に地震が発生していない場合の SEA の結果を示す。各図中の折れ線は 1 日毎の積算値、棒グラフは 5 日毎の積算値を表す。また、中央の直線は 1 日毎の積分値に対するランダム平均とランダム平均+2 σ 、5 日毎の積分値に対するランダム平均+2 σ を表す。各結果とも NmF2 は地震に先行して正の異常が卓越していることがわかる。6-10 日前 (特に 6, 7, 8, 10 日前)、前後 30 日間に地震が発生していないものについては 6-10 日前(特に 8,10 日前)に有意な正の異常が見られることがわかる。図 3.2.1 と図 3.2.2 の違いは、東北地方太平洋沖地震等の余震の影響を取り除くための簡易な方法の結果である。hmF2 については地震に関連する統計的ば有意性は見られなかった。以上をまとめると、イオノゾンデを用いた長期統計解析により、日本では M6 以上、深さ 40 km 以浅で、半径 1000 km 以内で発生した地震に 6-10 日間先行して NmF2 の正の異常が有意に発生することがわかった。一方、Kon らの GPS-TEC の統計解析では、同様な地震に対して 1-5 日前に 10 時間以上の正の電離圏異常が有意であることを報告していた。両者では先行時間がやや異なる。このことは NmF2 がボトムサウンディングで、垂直プロファイルの最大

電子密度を示し、GPS-TECはGPS衛星と地上受信機間の電子数の総積分値であることに起因するかもしれない。今後詳細に検討する必要がある。

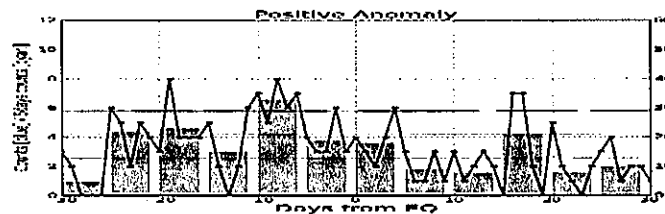


図 3.2.1 イオノゾンデデータの SEA 結果

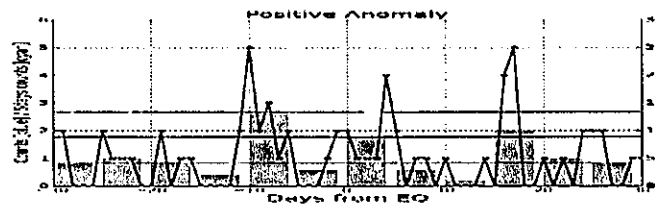


図 3.2.2 前後 30 日に地震が発生していない場合を SEA の結果

3. 3 ラドン濃度観測とデータ解析法の開発

地震に関連する電離層電子密度の異常の発生機構として、地圏-大気圏-電離圏結合 (LAI カップリング) 理論が提唱されている。千葉大学では、大気電場、大気イオン濃度、ラドン濃度等の大気電気パラメータを観測することによって、LAIC のうち化学チャンネルの可能性を観測学的に検証している。地震に関連する大気電気学的パラメータの変動を検知するためには主にノイズとなる気象要素に起因する変動を取り除く必要がある。そこで本稿では、千葉県旭市に設置した旭観測点の大気電気パラメータと気象要素の変動の関連性を調査した結果を報告する。図 3.3.1 に旭観測点 (北緯 35.77 度、東経 140.69 度、以降 ASA) の場所を示す。ASA は道路に隣接した農地の一角に設置されている。ASA で観測している大気電気学的パラメータは大気イオン濃度、大気電場、大気ラドン濃度、地表ラドン散逸量、気象要素である。ラドンについては 3 つの観測機器を用いている。それらは応用光研工業株式会社 (以下、応研) 製の地表ラドン散逸量測定器と大気ラドン濃度測定器、Saphymo 社製の Alphaguard (大気ラドン濃度測定器) で、測定原理は α 線検出である。本稿では ASA の地中ラドン濃度と気温、気圧についてマルチチャンネル特異スペクトル解析 (MSSA : Multi-channel Singular Spectrum Analysis) を用いて共通する変動成分を算出し、各種パラメータの間で相関の高い変動の分離を試みた。

今回は 2015 年 8 月 25 日から 2016 年 2 月 29 日までの約半年にわたる地中ラドン濃度、気温、気圧の 3 チャンネルの連続時系列データ (5 分値) について気象要素の変動が大気電気学的パラメータに与える影響を実際に分離するための試みとして、MSSA を適用した。本研究では短周期の変動に焦点をあてるためウィンドウ幅 L を 1.5 日に設定した。ここでは累積寄与率が約 98% となる 12 番目までの主成分までについて議論する。各主成分の再構成時系列についてその周期性に着目すると、特に第 6,7 主成分では 1 日周期の変動が卓越しており、第 10-12 主成分では半日周期の変動が卓越していた。

1日周期、半日周期のどちらの成分でもラドンと気温では負の相関、ラドンと気圧に正の相関が見られ、気温の日変化や大気潮汐など変動の起因となる物理的機構を想定することができた。しかし、そのほかの主成分では数日程度の周期を持った変動について現段階で物理的機構を仮定して信号を分離することが困難であった。そこで本研究では地中ラドン濃度変動と気温との相関が0.9以下、また気圧との相関が0.9以上となる主成分を気象要素の変動に関連する変動成分として分離した。この条件に当てはまった主成分は第2,3,4,6, 7,10,11主成分であった。これらの主成分を元の時系列データから除去した結果が図3.3.2である。図3.3.2(b)の地中ラドン濃度は安定しており、地中からのラドンガスのfluxであると考えられる。

地中ラドン濃度についてMSSAを用いて気温、気圧の時系列データを共通する周期変動の主成分に分解した。分解した主成分毎に地中ラドン濃度と気温、気圧の相関関係を評価することで気象要素の変動に関連する半日～数日周期の地中ラドン濃度の変動成分を概ね除去し、地中からのラドンガスのフラックスを推定することができた。今後は推定したラドンガスのフラックスの変動と観測点近傍の地震や地表変位などの地殻活動との関連性を調査することが今後の課題となる。

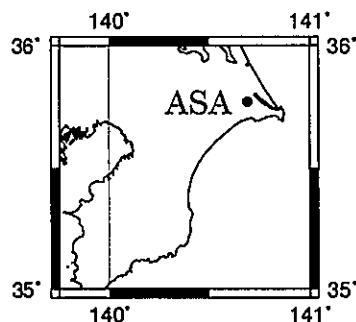


図 3.3.1 ASA 観測点の位置

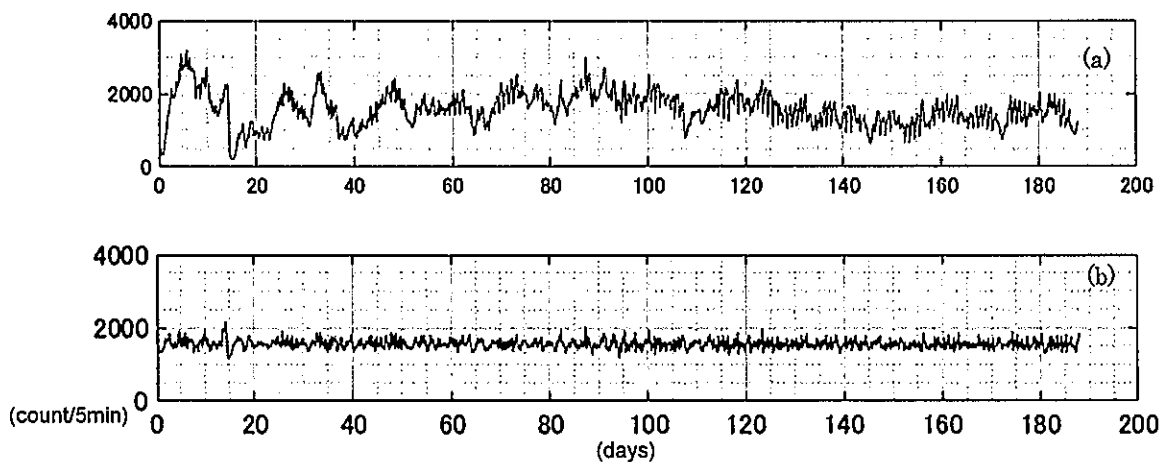


図 3.3.2 地中ラドン濃度の時系列データ

(a) 観測された時系列データ

(b) (a)から気温・気圧に関連する主要な変動成分を取り除いた残差

3. 4 地震活動の監視手法の開発

本研究では十勝沖における b 値を用いた前震活動の監視を試みた。地震の発生頻度とマグニチュードの関係は GR 則 (Gutenberg-Richter law) : $\log N(M)=a-bM$ によって近似に表すことができる。ここで、 M はマグニチュード、 N は M より大きい地震の累積的発生頻度、 a と b は定数である。 b は大地震と小さい地震の相対的発生率を表し、応力の状態を反映すると指摘されている。また、大地震の発生する約数年前あるいは数十年前から b 値が低下するという報告が数多くされている。また、地震に先行する電離圏電子数異常の報告も数多くされている。日本地域では $M6$ 以上の地震の 1-5 日前に電子数が増加する異常が有意に出現すると報告されている。しかし、電離圏電子数の変動は太陽活動でも大きく変動し、電離圏電子数変動の監視だけでは、精確な地震活動予測は実現できない。そこで我々は、 b 値による地震活動度の予測と電子層電子数変動による予測を組み合わせ、より現実的な短期予測の可能性を追求したいと考えている。そこで本稿では、 b 値を用いた短期的な地震前兆検出の可能性を検証することとした。

本研究では、予察的な研究対象地域として、 $M6$ クラス以上の地震が複数回発生している十勝沖 (北緯 41° – 42.5° 、東経 143 – 146 の矩形地域) を選択した。研究対象地域において 2003 年には $M8$ の十勝沖地震が発生しており、地震の発生する前後の b 値の時間変動をモニタリングする国内のテストサイトとしては最適な場所の 1 つと考えられる。なお、本稿では気象庁の地震カタログを使用し、解析期間は 1990 年から 2014 年で、震源は深さ 90 km 以浅のものを使用した。

地震の検知能力によって、マグニチュードの小さな地震は完全に検出できず地震記録から漏れ、累積発生頻度が変わり、地震の頻度分布が GR 則から逸脱する。 M_c とは完全に検出可能な最小マグニチュードであり、マグニチュードが M_c より大きい地震は完全に検出できる。正確な b 値解析をするためには、 M_c より大きいマグニチュードの頻度分布を用いて解析を行う必要がある。今回は、MAXC 法を用いて M_c を判定した。MAXC 法では、マグニチュード別の地震発生頻度曲線の最大曲率点のマグニチュードを M_c と定義する。本研究では、 M_c を偏りなく計算するため、bootstrap 法によって、ある個数の地震のグループから無作為に復元抽出を行い、リサンプルされた地震のサブセットにおいて別々に M_c を判断し、その平均値を元の地震グループの M_c とした。地震の検知能力は変動する。その結果、 M_c の最大値は約 3 となったため、解析期間の M_c を 3 とした。

b 値の時間変化を解析するため、地震カタログを window に分割し、設定したステップで window をシフトし、window 毎の b 値を求め、時間変動を検出する。step は地震の個数あるいは時間を基準とする 2 種類の方法があり、本稿では、window を 200 とし、地震数の step を 50 とした。なお、 b 値の推定には最尤法を用いた。図 3.4.1 はその結果を示し、解析期間の全体的な変動を表す。 b 値の短期的な変化を調査するため、step を 1 日とした結果例を図 3.4.2 と図 3.4.3 に示す。図 3.4.2 と図 3.4.3 はそれぞれ 2003 年 ($M8.0$) と 2008 年 ($M7.1$) の十勝沖地震が発生する前の日変化を含んでいる。

図 3.4.1 からわかるように、2003 年と 2008 年の $M8.0$ および $M7.1$ の十勝沖地震が発生する前に b 値の低下が見られている。図 3.4.2 と図 3.4.3 の b 値日変化から、大地震が発生する約 3 か月前から b 値の継続的な低下が見られ、地震が発生する直前 (4-5 日前) にも b 値の小さな低下があった。また、解析期間中の $M6$ 以上の地震 13 個に対して b 値変化を同様に調査した。13 個中の 6 個は 2003 年十勝沖地震の余震であるため考慮しない。余震以外の 7 個の地震では、4 個の地震の直前に b 値の低下が見られた。

今回は十勝沖を対象地域として、 b 値を用いた地震の短期予測の可能性を調査した。その結果、M7クラス以上の地震で約3ヶ月前から継続的な b 値の減少が確認され、地震数日前にも低下が見られた、しかし、その変化はわずかであり、また b 値変動には、ゆらぎがあるので、AICなどを用いて変動の有意性を評価する方法を考慮する必要がある。また、解析対象の十勝沖地震は海溝型の地震であり、今後は他の海溝型地震について同様な解析を実施するとともに、内陸型の地震を解析し、地震の発生する前の b 値変化の特徴について検証する必要がある。今回の解析領域は2003年十勝沖地震(M8.0)のすべり分布を参考にして決めたが、実際には将来の地震はわからない。したがって、地震予測にあたっては適切な解析領域の決定方法も検討する必要がある。さらには、地震のタイプによる b 値変化を検討する必要がある。

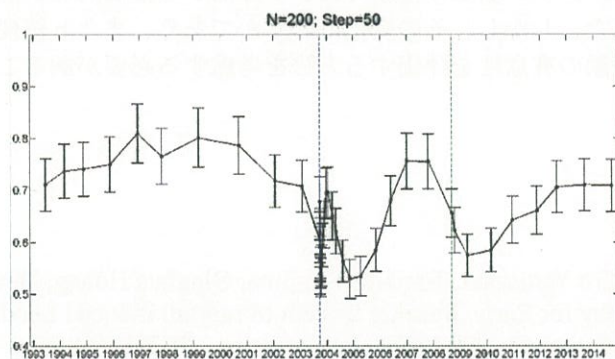


図 3.4.1. window 内の地震数が 200、step を 50 とした場合の b 値時間変動。図中の破線は 2003 年 9 月 26 日(M8)と 2008 年 9 月 11 日(M7.1)の地震を示す。

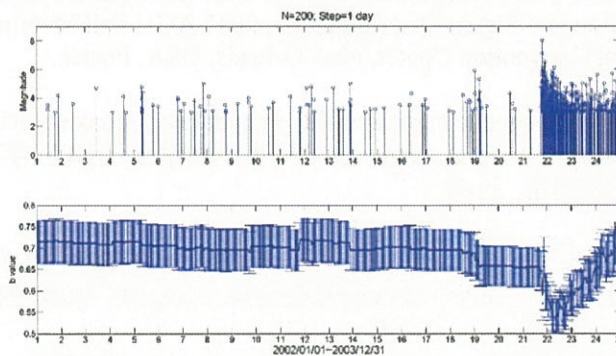


図 3.4.2. 2002 年 1 月-2003 年 12 月の b 値の日変化 (横軸は月を表す)

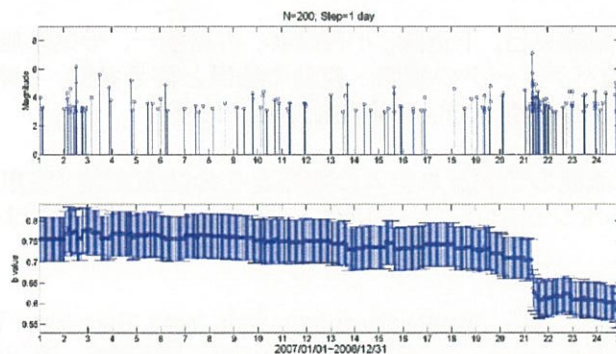


図 3.4.3. 2007 年 1 月-2008 年 12 月の b 値の日変化 (横軸は月を表す)

4. まとめ

本研究では、LF 電磁場観測装置の開発、電離層電子数、地震活動度、地中ラドン濃度の変動について調査・研究を行った。LF 電磁波観測装置の開発では、鍋ふたを用いたアンテナシステムを構築し、市販の Bolt システムと特性等、比較観測を実施したところ、近接雷に対する観測に差異があり、アースシステムを改善する必要があることがわかった。電離層電子数解析では、イオノゾンデデータを用いた 1958-2017 年の 60 年間にわたる地震に先行する電離層電子数の異常変動の統計解析を行い、深さ 40km より浅く M6 以上の地震の 6-10 日前(特に 8,10 日前)に有意な正の異常が見られることがわかった。地中ラドン濃度変動について MSSA を用いて気温、気圧の時系列データを共通する周期変動の主成分に分解し、気温、気圧の変動に関連する地中ラドン濃度の変動成分を概ね除去し、地中からのラドンガスのフラックスを推定することができた。地震活動度については、M6 クラス以上の地震が複数回発生している十勝沖を対象として、地震の発生する前後の b 値の時間変動を調査した。その結果、M7 クラス以上の地震で約 3 ヶ月前から継続的な b 値の減少が確認され、地震数日前にも低下が見られた、しかし、その変化はわずかであり、また b 値変動には、ゆらぎがあるので、AIC などを用いて変動の有意性を評価する方法を考慮する必要があることもわかった。

5. 成果発表

1. Katsumi Hattori, Tomohiro Yamazaki, Tomomi Terajima, Qinghua Huang, Development of Self-Potential Tomography for Early Warning System of rainfall induced Landslides: Electro-kinetic Effects and Sandbox Experiments, 2017 AGU Fall Meeting, 2017/12/14, New Orleans Ernest N. Morial Convention Center, New Orleans, USA, Poster
2. Junpei Omura, Peng Han, Chie Yoshino, Katsumi Hattori, Michikuni Shimo, Toshiharu Konishi, Ryuichi Furuya, Observation of Atmospheric Parameters for Earthquake Forecast at Kanto, Japan: Characteristics of Variation and Signal Discrimination, 2017 AGU Fall Meeting, 2017/12/12, New Orleans Ernest N. Morial Convention Center, New Orleans, USA, Poster
3. Hattori, K. and P. Han, ULF magnetic signals as the potential earthquake precursory information and assessment for the practical forecast in Japan, 日本地震予知学会 第 4 回学術講演会, 2017/12/25, 電気通信大学, 東京都調布市, 口頭
4. 齊藤央, 服部克巳, 吉野千恵, イオノゾンデデータ(1958~2017)を用いた地震による電離層異常の統計解析, 日本大気電気学会第 96 回研究発表会, 2018/1/6, 東京理科大学, 東京都新宿区, 口頭
5. 謝蔚云, 服部克巳, 韓鵬, 十勝沖における b 値で用いた全身活動監視と地震活動予測, 日本大気電気学会第 96 回研究発表会, 2018/1/6, 東京理科大学, 東京都新宿区, 口頭
6. 大村潤平, 吉野千恵, 服部克巳, 下道國, 小西敏春, 古屋隆一, 千葉県旭市における地震予測のための大気電気学的パラメータの観測: 変動の特徴と信号弁別, 日本大気電気学会第 96 回研究発表会, 2018/1/7, 東京理科大学, 東京都新宿区, 口頭
7. 服部克巳, 巨大地震・津波の予測システムの開発とその社会実装(実用化試験)プロジェクト, 第 20 回 環境リモートセンシングシンポジウム, 2018/2/15, 千葉大学けやき会館, 千葉県千葉市, 口頭
8. 大村潤平, 吉野千恵, 服部克巳, Dimitar Ouzounov, Jann-Yenq Tiger Liu, 下道國, 小西敏春, 古屋隆一, Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling の観測学的研究, 第 20 回 環境リモートセンシングシンポジウム, 2018/2/15, 千葉大学けやき会館, 千葉県千葉市, poster

9. 齊藤央, 吉野千恵, 服部克巳, イオノゾンデデータを用いた地震に先行する電離圏異常の統計解析, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, MIS03-P01, 2018/5/24, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, ポスター
10. 大村潤平, 吉野千恵, 服部克巳, 下道國, 小西敏春, 古屋隆一, Signal Discrimination for radon variation at Asahi station, Chiba, Japan, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, MIS03-P02, 2018/5/24, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, ポスター
11. 謝蔚云, 服部克巳, 韓鵬, 十勝沖における b 値を用いた地震活動の監視, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, MIS03-P04, 2018/5/24, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, ポスター
12. 服部克巳, Multi-sensor monitoring network for earthquake precursors and preparation process in Boso, Japan, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, MIS03-P05, 2018/5/24, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, ポスター
13. Sanaka Saito, Chie Yoshino, Katsumi Hattori, and Peng Han, Statistical analysis of pre-seismic ionospheric electron density anomalies using ionosonde data, over Japan, International Symposium on Earthquake Forecast / 5th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (ISEF-IWEP5), 2018/5/25-27, Chiba University, Chiba, Japan, poster
14. Junpei Omura, Peng Han, Chie Yoshino, Katsumi Hattori, Michikuni Shimo, Toshiharu Konishi, and Ryuichi Furuya, Characteristics of Atmospheric Parameter Changes at Boso Peninsula, Japan ~Observational Study to Understand Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling~, International Symposium on Earthquake Forecast / 5th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (ISEF-IWEP5), 2018/5/25-27, Chiba University, Chiba, Japan, poster
15. Weiyun Xie, Katsumi Hattori, Peng Han, and Haixia Shi, Decrease in b-value prior to the 2003 Tokachi-oki earthquake(M8.0), Japan and the 2008 Wenchuan earthquake(M8.0), China, International Symposium on Earthquake Forecast / 5th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (ISEF-IWEP5), 2018/5/25-27, Chiba University, Chiba, Japan, poster
16. Katsumi Hattori, Shinji Hirooka, Mustafa Yagmur, Sanaka Saito, Chie Yoshino, and Jann-Yenq Tiger Liu, 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, International Symposium on Earthquake Forecast / 5th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (ISEF-IWEP5), 2018/5/25-27, Chiba University, Chiba, Japan, poster