

大地震発生直前に観察される電離層異常発生 の物理メカニズムを発見

—地殻破壊時に粘土質内の水が超臨界状態となること が鍵—

概要

京都大学大学院情報学研究科 梅野健 教授、水野彰 同研究員、高明慧 同専門業務職（研究当時）らの研究グループは、大地震発生直前に観察される電磁気学的異常を地殻破壊時の粘土質内の水が超臨界状態であることにより説明する物理メカニズムを発見しました。今まで、2011年東北沖地震、2016年熊本地震などの大地震発生直前に震源付近の電離層上空に異常が観測されたことが報告されてきましたが、何故、大地震発生直前に電離層に異常が生じるかを明確に説明する物理モデルの報告はなく、幾つかの仮説が提唱されているのみでした。研究グループは、プレート境界面には、すべりやすいスメクタイトなどの粘土質が存在し、その粘土質の中にある水が地震発生前の高温高圧下で超臨界状態となり、電気的な性質が通常の水と異なり絶縁性となり、電気的特性が急に変化することで電磁気学的異常が生成することを初めて提案し、電離層への影響を大気の静電容量によりモデル化し、モデルから予測される生成電場の大きさと観測されている地震発生前の電離層の伝搬異常の速度変化と整合的であることを示しました。今後、この研究の実証を更に進めることで、宇宙（電離層）における異常と地震発生直前との物理が結合する新しい科学の誕生が期待され、更にはこの科学的知見を活かす事前防災システムの実現とその環太平洋地域など地震が多発する地域での普及に貢献します。

本研究成果は、2024年3月19日に国際学術誌「International Journal of Plasma Environmental Science and Technology」にオンライン掲載されました。



(撮影: 梅野健 石川県穴水町 2024年3月7日)

1. 背景

大地震発生前の電離層に異常が生じることは様々な研究の報告がありましたが、何故そのような異常が生じるのかその物理的メカニズムは未解明でした。例えば、2011年東北沖地震の電離層内の電子数密度が約1時間前に急に上昇する観測結果を説明するには、通常とは逆向きの電場 ΔE (0.5mV/m程度)が発生する必要がある、2016年熊本地震の電離層内の移動性電離圏擾乱の伝搬速度が約1時間前に ΔV だけ減速することを説明するために、上記と同じ程度の逆向き電場 ΔE (0.5mV/m程度)が発生する必要がある、という仮説及び ΔE と ΔV が普遍的な線形応答関係を持つという線形応答理論を2021年に梅野教授が確立して論文に発表しておりましたが、何故その電場 ΔE が地震発生前に発生するのかという ΔE などを定量的に与える物理メカニズム(物理理論)はありませんでした。

また、地殻内部の高圧力により岩石中の正孔が地表に移動する正孔電荷キャリアの生成と拡散、圧電効果、熱電効果、あるいは水分が動くことによる流動帯電などの仮説が提案されてきましたが、観察された電離圏異常とを定量的に予言する物理理論にはなっていませんでした。

本研究プロジェクトは、このような大地震発生直前の電離圏の異常を捉える衛星などの観測及び観測結果の解析手法を新たに開発するとともに、この大地震発生前に電離層異常が生じる物理メカニズムの解明を行なって来ました。

一方、最近の大きな地震の震源付近の地質調査から、プレートの境界面には、すべりやすいスメクタイトなどの粘土質が存在しており、また水分も含まれている可能性が指摘されています。その境界面の弱い部分でスロースリップが発生し、強く固着している部分にひずみを残すことで、そこが急激に破壊して地震を引き起こしている可能性が指摘されていました。

2. 研究手法・成果

地殻の破壊は、極めて高い圧力の下で発生します。このため、破壊時の運動エネルギーが熱となり、極めて高い温度になると考えられます。このため、破砕層内部に水分が含まれていると、水は超臨界状態となり、絶縁性となります。また比誘電率が大きく低下するので、破砕層内で摩擦などにより発生する電荷により、破砕層間の電圧上昇が起こります。この電圧上昇分は、大気の静電容量を介して電離層に伝わります。この時、破砕層に蓄えられる電荷とエネルギーは、電離層の擾乱を引き起こすに足る値であることが、破砕層の最大電圧の見積もりから推測できました。また、今回の論文では、超臨界条件付近で水・粘土混合物が帯電する可能性を予備的な実験で示したものです。今後さらに精密な実験検証が望まれます。

大地震発生直前に観察される電離層異常発生時の物理メカニズム

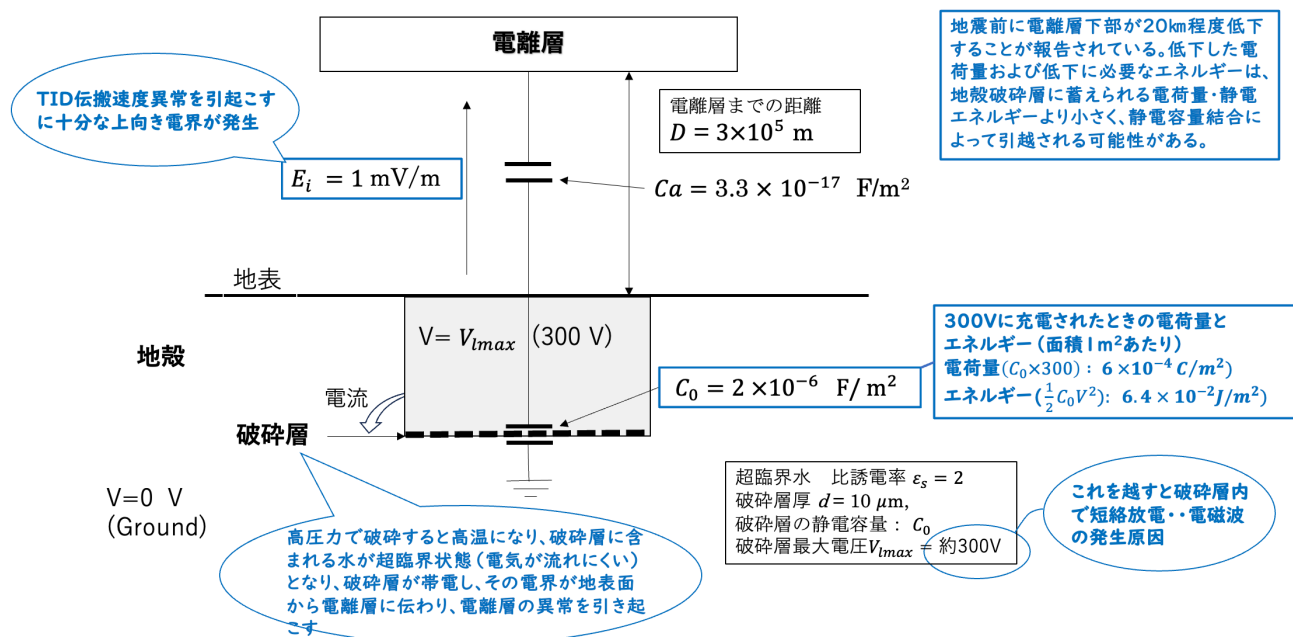


図1 地殻破砕層 - 電離層の静電結合モデル

超臨界条件近くでの粘土と水の混合物の帯電可能性を調べる実験装置

外形3.2mm (1/8 inch)、内径2.7mm、長さ100mmのステンレス管を用い、一端にはSwagelokのプラグ、多端にはユニオンを用い、ユニオンの外側の末端には厚さ約0.1mm程度のアルミ箔を何枚か重ねて封をし、高圧力で破壊するように強度を調節した。

水200 μL 、粘土50mgを混合して封入した。ステンレス容器の内容積は600 μL であり、200 μL の水の封入により、蒸発時の比重は0.3である(粘土の重量は含まない)

このステンレスチューブの容器周囲に電気ヒータを巻き、全体を断熱材でカバーした。

ファラデーケージは直径10mmの内円筒電極と外部のアース電極とで構成し、内円筒を絶縁するとともに、高入力抵抗のエレクトロメータ(Keithley6514)で電荷量を測定した。

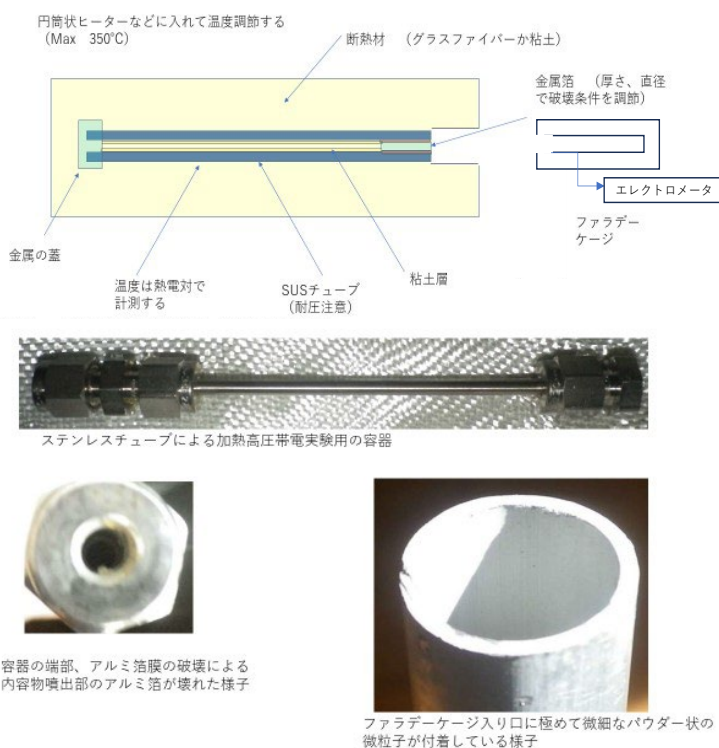


図2 高温・高圧力での帯電実験装置(実験は、水野彰研究員による)

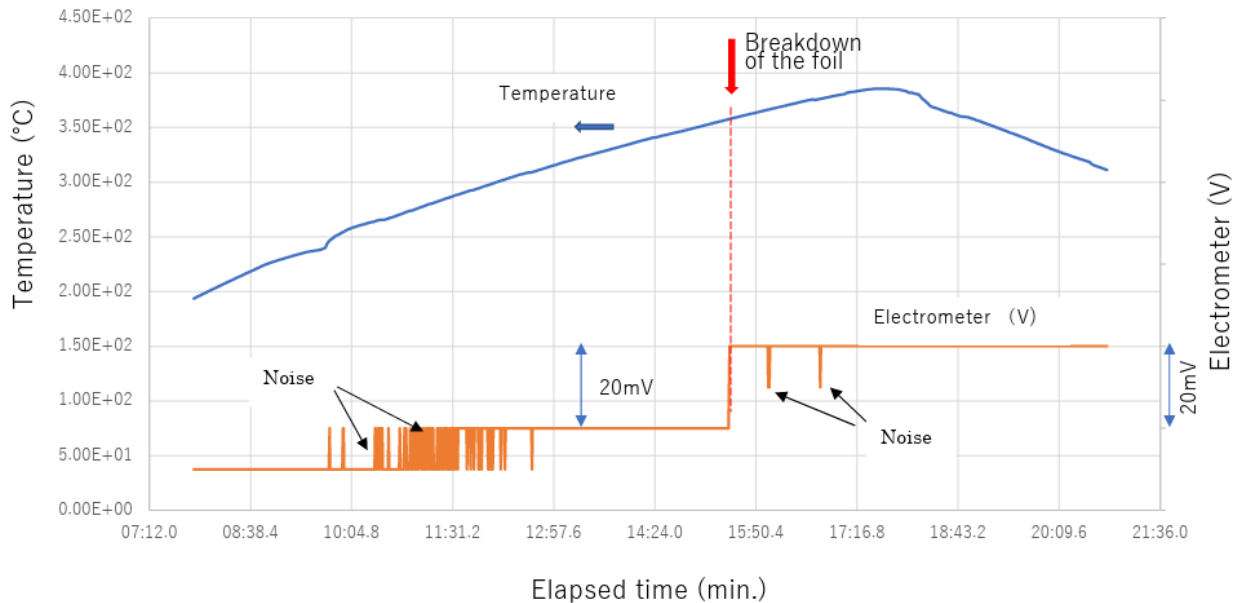


図3 水・粘土混合物の超臨界付近での帯電測定結果
 実際に正極性に帯電したことを簡易な実験により証明

3. 波及効果、今後の予定

本研究成果により、大地震発生前に観測された電離層の異常が、偶然のノイズによるものではなく、物理的な因果関係を持つ前兆現象である可能性が大きくなったと考えることができます。

今後、この大地震発生前の電離層異常生成の物理メカニズムの実証を更に進めることで、科学的知見に基づく防災システムの構築だけでなく、宇宙(電離層)における異常と地震発生直前との物理が結合する新しい精密科学の誕生が期待されます。そのためには、更なる観測データ取得のための観測点の設置、そのデータ解析結果に基づく、モデルとの整合性確認などを行なっていく必要があります。

<研究者のコメント>

本研究の原点となったのは、自分自身が2011年3月11日に福島で東北沖地震を経験し、その福島で考えた、物理の原則: 無から有は生じないということです。地震という大きな運動エネルギーに変換する前は、別の形でエネルギーが蓄積されていたはずで、そのエネルギーの変化自身も物理的なプロセスなのでそれは観測で捉えられるはずであるという信念でした。今回は研究グループに参画した水野研究員のもたらした、水の超臨界状態という第三の状態というアイデア及びその超臨界状態の再現実験での検証と、ほぼ同時期(2021年)に私自身が構築した電離層異常と電場との精密な線形応答理論という理論が結びつき、更に我々自身がその前に観測していた数々の大地震発生前の電離層の異常が偶然のノイズによるものではなく、本当の異常であることが私の中では確信に変わりました。大地震で被災された方のためにも、また今後の大地震に備えるためにも、この電離層と地震を結びつける精密科学の構築、そして、これらの科学的な知見に基づく防災システムを早期に実現していきたいと考えております。

(梅野健)

<論文タイトルと著者>

タイトル：A capacitive coupling model between the ionosphere and a fault layer in the crust with supercritical water（超臨界水）

著者：Akira Mizuno, Minghui Kao and Ken Umeno

掲載誌：International Journal of Plasma Environmental Science and Technology

DOI：<https://doi.org/10.34343/ijpest.2024.18.e01003>

<関連する研究のリンク>

大地震発生前の電離圏異常を検出—マグニチュード7以上の大地震の直前予測の可能性—

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2016-10-03>

熊本地震直前においても電離圏異常が起きていたことを発見

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2017-03-01>

2016年2月の台湾南部地震直前の電離圏異常を発見—電離圏データ解析が大地震の減災・防災に資する可能性

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2019-10-17>