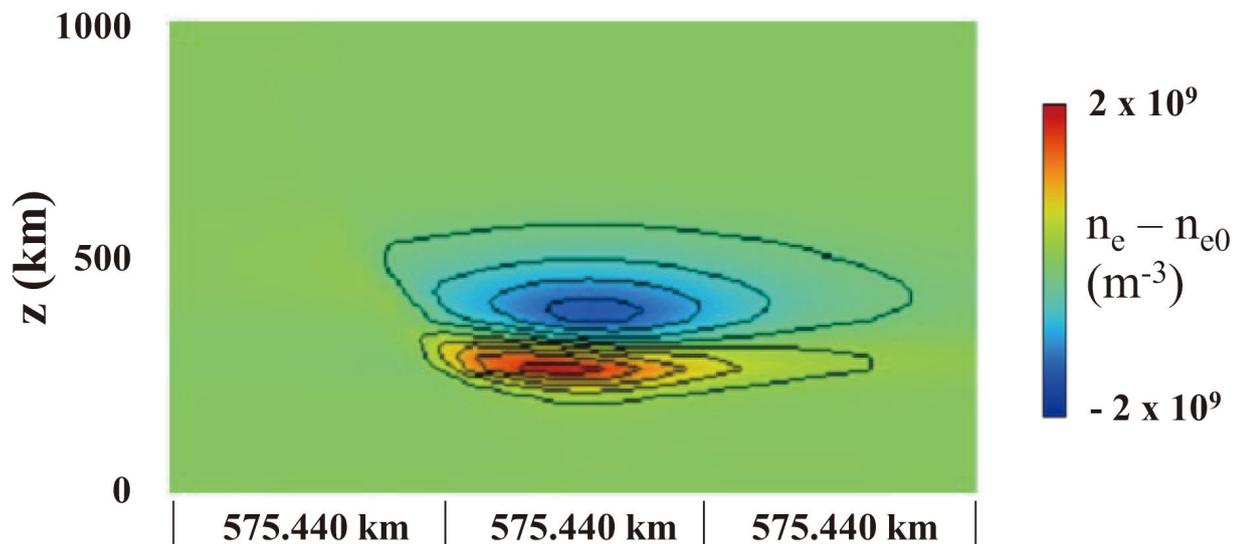


CONTENTS

地球上の非定常電荷が電離層におよぼす影響
年間70件に到達!
—平成30年度「技術相談」まとめ—



【表紙図】シミュレーションにより求めた、電離層の電子密度の初期密度 (n_{e0}) からの変化量 ($n_e - n_{e0}$) の空間分布

地球上の非定常電荷が電離層におよぼす影響

理論・シミュレーションチーム 古河裕之

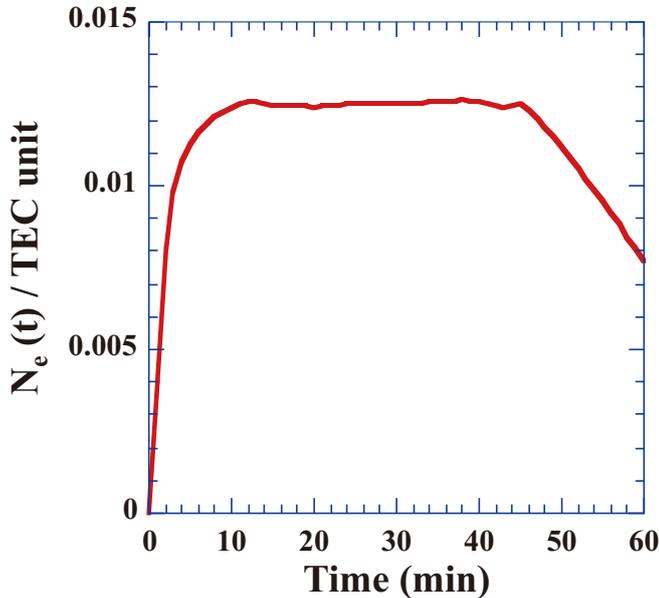
大阪大学大学院理学研究科 山中千博

(株)コンポン研究所 近藤 斎、杉浦繁貴

■はじめに

当研究所は大阪大学大学院理学研究科、(株)コンポン研究所と共同で、地球上の非定常電荷が電離層におよぼす影響を明らかにしようとする研究を行っている。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(マグニチュード9.0)において、北海道大学の日置(へき)幸介教授により、地震発生40分前から震源上空の電離層総電子数(TEC: Total Electron Content)の増大があったことが報告された¹⁾。測位衛星から地上局に向けて

発する電波が、電離層電子によって遅延を受けることを利用し、その視線方向の総電子数を算出する手法(GPS-TEC法)を用いて見いだされた現象である。日置は、1994年から2015年までのマグニチュード8級以上の地震について震源上空のTECを解析し、磁気嵐の時期を除いた過去18回のすべての例で、地震の発生直前数十分以内においてTEC異常があったことを示した²⁴⁾。この現象(Heki TECと呼ばれる)を説明できる物理モデルはいまだ存在しておらず、根拠となるモデル



【図1】電離層総電子数の時間発展

の構築が求められている。

Heki TECの原因については、大気力学的要因、放射性ガスの拡散など諸説ある。これに対しわれわれは、この現象が大地震直前に観測される、という時間的なずれを考慮し、この要因が地球電離層間の電磁気的な作用にあるのではないかと考えている。観測面から見ると、この現象と地震と関連しない類似現象とを区別するためには、その解析に膨大な時間を要するのが現状である。その点において、シミュレーションによる研究は電磁気的作用がこの現象に与える影響について検討するための有効な手段であると考えられる。

本研究では、現象のモデル化と、それを記述可能な基礎方程式の導出、シミュレーションコードの開発を行った。開発したシミュレーションコードを用いて、さまざまな地球上の非定常電荷分布に対するシミュレーションにより非定常電荷の電離層への影響を評価し、日置らの測定結果¹⁾と比較した。

■2流体近似によるシミュレーション

本研究では簡単のため、平面地球で、プラズマの成分は電子と水素のみ、擾乱(じょうらん)のない静かな電離層を仮定し、地球磁場は $B_{\text{earth}} = 25000 \text{ nT}$ とした。電荷量が単調増加するような地球上の分極電荷を仮定した。非定常分極電荷が作る電磁場の時間発展をビオサバルの法則により求め、電離層への影響を評価した。

本研究で想定する時空間は、数100 kmかつ60分程度

と広大であり、プラズマを流体としてシミュレーションを行った。過去のHeki TEC異常に関する先行研究としては、Kuoらによる電流注入モデル計算⁵⁾があり、このほか、Kerryによる地上電場の電離層影響仮説⁶⁾があるが、実際に外部電場のもとで数100km立方の空間と数十分の時間幅で計算を実施したのは、われわれが初めてである。

プラズマを流体として取り扱う場合は、そのほぼすべてで「プラズマ近似(局所的電荷中性近似)⁷⁾」を用い、イオンのみの1流体近似による計算が行われている。しかしながら、プラズマ近似の最大の問題は、外部電場(地球上の非定常電荷による電場)に対するプラズマの応答が考慮できない、という点にある。このため本研究においては、物理モデルおよび数値計算上のモデルを詳細に検討し、2流体近似によるシミュレーションを行った。表紙図に示すのは、流体近似のシミュレーションで求めた、電離層の電子密度の初期密度からの変化量の空間分布であり、図1には電離層総電子数(TEC)の時間発展を示す。いずれも日置の測定結果¹⁾と良い一致を示すことがわかった。

参考文献

- 1) K. Heki, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L17312 (2011).
- 2) K. Heki and Y. Enomoto, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, **120**, 7006-7020, (2015).
- 3) K. Heki, *Parity*, **33**, No.2 (2018) (in Japanese).
- 4) L. He and K. Heki, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, **122**, 8659-8678 (2017).
- 5) C. L. Kuo, L. C. Lee and J. D. Huba, *J. Geophys. Res. Space Physics*, **119**, 3189-3205 (2014).
- 6) M.C. Kelley, W.E. Swartz and K. Heki, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, **122**, 6689-6695 (2017).
- 7) 西川恭治、大林康二、若谷誠宏、「連続流体物理学」朝倉現代物理学講座 - 9

年間 70 件に到達！

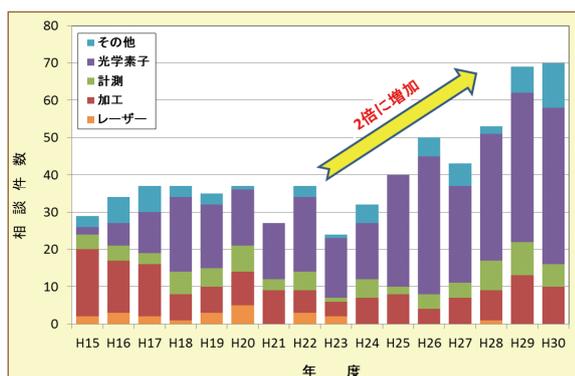
—平成 30 年度「技術相談」まとめ—

レーザー技術開発室 本越伸二

●はじめに

当研究所では、ホームページに「技術相談」窓口を設けている。ILTの技術シーズを産業界へと広く利用していただくことを目的に、レーザー技術に興味がある、また導入を検討している方々の疑問や課題などにお応えしている。必要に応じて、打ち合わせや「お試し照射」をへて、共同研究や受託研究へと発展することも多い。図1に年間相談件数の推移を示す。窓口開設時は年間30件程度であった相談件数が、平成30年度には2倍以上の70件に達した。相談件数の推移を見ると、その年の景気動向や国内情勢に影響されているようである。平成21年、平成23年に相談件数が減少しているのは、平成20年に起こったリーマンショック、平成23年度に発生した東日本大震災の影響によるものと思われる。それ以降は着実に件数が増加しており、この傾向は景気回復とともに産業界が新しい技術の開発に注力し始めていることのと表れであろうと考えられる。

平成29年から当研究所は「レーザー科学技術フェア」(主催：オプトロニクス社)などの光技術展示会に紹介ブースを出展するとともに、前年度の研究成果やレーザー技術の基礎と応用について講演するオープンセミナーを開催するようになった。その結果われわれの技術を紹介する機会も増え、また技術相談窓口の存在もさらに広く知られるようになったためか、平成29年度以降は前年に比べて約20件相談件数が増加している。本稿では、昨年度窓口寄せられた主な技術相談の紹介および今後の展開について述べたい。

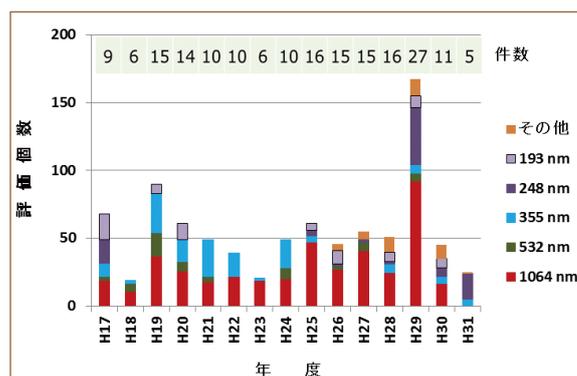


【図1】年間相談件数の推移

●光学素子評価体制の確立へ

～レーザー損傷試験～

相談内容で最も多いのが「光学素子の評価」に対する問い合わせで、全体の半分以上を占めている。多くはレーザー技術開発室で実施している光学素子のレーザー損傷耐性試験への相談、依頼であるが、近年は長時間照射に対する光学特性の変化などの評価も増加している。光学素子のレーザー損傷は、レーザー装置の出力を制限する大きな要因である。高出力レーザー装置を使用するユーザーにとっては、光学特性とともにレーザー損傷耐性が光学素子を選定する上での重要な要素となっている。国内では、高耐力、レーザー損傷について研究を行っている大学、企業はいくつか存在するが、その評価技術を外部へ提供しているところはなく、当研究所が多くのメーカーからの評価依頼を受けるようになった。図2に、レーザー損傷耐性試験の実施件数および評価試料数の推移を示す。平成28年度までは、平均10件、50個の評価試験を実施してきたが、平成29年度についてはその約3倍の光学素子評価を行った。評価試験数の増加は、図1に示した技術相談件数の推移と相関がなく、一度ご相談いただいたメーカーと継続的な契約を結ぶ形へと内容が変わってきたことを意味している。平成30年度には評価件数、試料数ともに平均的な数に戻ってきているように見られるが、これは依頼数が減少したわけではなく、評価体制の見直しのため試験を延期させていただいたことによるものである。平成31年(4月時点)のデータ(図2)で示



【図2】光学素子損傷評価年間件数の推移

すように、今年度は4月の1カ月間での評価数がすでに5件25個となっている。

評価試験には、正確性、再現性は勿論として、即応性も求められる。レーザー損傷耐性試験は当初、高耐力光学素子の開発研究の一環として整備されたものであり、その研究の一部を産業界に提供するものであったが、メーカーからもご信頼いただき、現在では年間100個クラスの評価依頼をいただくようになった。しかしながら、現状の試験規模は研究の一部としての枠を超えつつあることも事実である。正確かつ即応可能な評価試験を維持するためには、評価機関としての新たな体制作りが必要である。今後はメーカー、関係機関とも相談しながら評価体制の確立に努めていきたい。

●フェムト秒からCWまで

～レーザー加工～

当研究所が保持する技術の大きな柱である「レーザー加工」については、毎年10件以上の技術相談がある。中でもフェムト秒レーザー加工に関するものが多く、平成30年度もこれに関するご相談がほとんどであった。フェムト秒パルスによるレーザー加工は熱影響の少ない非熱加工として注目を集めてきた。またフェムト秒レーザーはパルスピーク強度が高いため多光子吸収過程が起こることから、吸収係数の小さいガラス材料や、難加工材料の加工にも対応できる。近年ではフェムト秒パルスレーザーを導入するレーザー加工企業も増加したが、当研究所に毎年多くの相談が寄せられる理由は「お試し照射」が可能であるためと考えている。レーザー加工は、照射レーザーの波長、パルス幅、エネルギー、パルス数などにより仕上がりが異なり、また加工材料によっても最適条件が異なる。このため、実際の加工材料で「お試し照射」ができる当研究所は、ご相談いただく企業にもメリットが大きいものと考えている。昨年度もさまざまな材料の加工に関するご相談をいただいた。また当研究所では、300W出力のファイバレーザーやCO₂レーザー、1.3μmパルスレーザーなど、多くの加工用レーザー装置を準備している。幅広い照射条件での加工試験、および加工結果の比較も可能であるため、あわせてご活用いただきたい。

●構造診断から分析まで

～レーザー計測～

当研究所で開発を進めているレーザーを用いたコン

クリート健全性評価は、今後の社会ではインフラの適切な管理・維持を行うことが重要となる、という社会的背景にも後押しされ、近年特にご注目いただいている技術である。パルスレーザー照射によりコンクリートに振動を誘起し、生じた表面振動をレーザー干渉計により検出、周波数分析などを行い構造物内部の健全性を評価する手法であるが、最近ではコンクリート以外の素材への適用や、これまで主なターゲットとしてきたトンネルや高架橋以外のインフラにも応用できないか、といったお問い合わせやご相談をいただくようになってきている。現在具体的な検討に入っている課題もあり、今後も本技術の応用範囲をさらに広げていきたいと考えている。レーザー計測に関しては、ライダー、ラマン分光法を用いた水中リモートセンシング技術にもお問い合わせをいただいた。特に最近では海洋開発への関心が高まっており、その関連技術として、海中でのレーザー通信やレーザー測量などが国内外で研究されており、海外では製品化に至っているものもある。これらに対し当研究所では、海中の溶存ガスや混入物などを(海上から)遠隔計測可能な独自技術の開発を進めており、他技術との差別化を図ることで海洋でのレーザー応用に新しい展開をもたらしたいと考えている。

●レーザー応用の裾野を広げるために

レーザー技術のシーズと社会的なニーズを結びつけることを目的に進めてきた技術相談窓口であるが、開始から15年を経て合計で600件を超えるご相談をいただくに至った。その中には、受託研究、そして共同開発まで発展したものや、国内唯一の機関として依頼と期待を受ける技術に育ったものもある。これらの技術を維持しつつ、シーズとなる新しい技術を産み育てることの重要性を感じている。最近では大学や公的機関等でも産学連携を謳っているが、レーザー応用の裾野をさらに広げるためには「高額」「難解」「操作が複雑」などレーザーの利用に対する高いハードルを下げる必要があると考えている。レーザー光のあらゆる可能性に対して相談、試験ができるオープンな窓口がILTの「技術相談窓口」であり、今後もさまざまなご相談、お問い合わせにお応えできるよう努めていく所存である。ご興味のある方はぜひ一度下記アドレスからお問い合わせいただければ幸いです。

(ILT技術相談窓口:<http://www.ilt.or.jp/testing/soudan.html>)