

PRESS RELEASE (2025/10/24)

## 地球温暖化は宇宙通信環境を悪化させる ～二酸化炭素濃度上昇でスプラディック E 層は強まり低高度化～

### ポイント

- 地球温暖化により、宇宙大気（熱圏・電離圏）は逆に寒冷化することに着目。
- 二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の増加は、スプラディック E 層（以下、Es 層）の発生特性に影響を与えることを世界で初めて明らかに。
- 将来の Es 層は、これまでよりも強く・低い高度で・夜間まで長く持続する可能性があり、短波・超短波通信や航行への影響が懸念される。

### 概要

九州大学大学院理学研究院のリユウ フィシン教授と博士後期課程のファーハン ナウファルらは、地球温暖化や気候変動は宇宙通信環境に悪影響をもたらすことを、世界で初めて明らかにしました。

主にCO<sub>2</sub>の増加によって引き起こされる地球温暖化は、私たちが暮らす対流圏では、猛暑や異常気象の原因としてよく知られています。しかし、高度100kmを超えた上空熱圏（宇宙大気と呼ぶ）では、全く逆の現象が進んでいます。つまり地表付近が熱くなる一方、宇宙大気は寒冷化しているのです。本研究は寒冷化が進むにつれ、宇宙空間の電波通信環境はどのように変化するのかについて世界に先駆けて検証しました。特に航空、海上通信や緊急救難活動などで用いられる短波・超短波通信に影響を与えるEs層の将来傾向に焦点を当てました。Es層は、電離圏の中で高度90～120kmに突発的に出現する局所的・高密度・薄い金属イオン層です。

本研究チームは、将来大気中のCO<sub>2</sub>濃度は667ppmに上昇した時（約2100年）の宇宙大気状態を高度3000kmまで含む気候モデルを用いてシミュレーションし、Es層の形成状況を評価しました。その結果、将来のEs層は、これまでよりも強度が強く、低い高度で、夜間まで長く持続する傾向が明らかになりました。これらの変化は、将来、短波・超短波通信への混信・受信障害や関連産業でのリスクの増加につながります。

これらの研究結果は科学的・応用的の両面から大きな意味を持ちます。科学的な面に置いては、CO<sub>2</sub>の増加による宇宙大気の変化は、全球規模から局所スケールへ、中性大気からプラズマへと連鎖する「階層間結合（クロススケールカップリング）」であることを初めて示し、その物理過程を明らかにした。応用面では、温室効果ガスの増加が将来の宇宙環境や通信システム運用に及ぼす影響を評価するための基盤を築くものになります。この成果は、航空・船舶通信や救難活動など、電離圏を利用する通信分野において、地球温暖化の長期的影響を考慮した将来の運用設計に重要な示唆を与えます。

本研究成果は、2025年10月23日（木）午後10時（日本時間）に米国科学雑誌「Geophysics Research Letters」のオンライン版に掲載されました。

### リユウ教授からひとこと：

今回の研究結果を通じて、より多くの人にCO<sub>2</sub>の影響が地表付近の温暖化や気候変動にとどまらず、宇宙通信環境まで広げることを知ってもらい、CO<sub>2</sub>影響評価及び宇宙空間長期運用の両方に新たな視点をもたらすことを期待しています。

## 【研究の背景と経緯】

主に CO<sub>2</sub>の増加によって引き起こされる地球温暖化は、私たちが暮らす対流圏では、猛暑や異常気象の原因としてよく知られています。しかし、高度 100km を超えた上空熱圏（宇宙大気と呼ぶ）では、全く逆の現象が進んでいます。つまり地表付近が熱くなる一方、宇宙大気は寒冷化しているのです。これまでの研究は、宇宙大気の全球的寒冷化に注目しましたが、本研究は、より局所的かつ小規模な電離圏不規則構造である Es 層に焦点を当てて、CO<sub>2</sub>増加の影響を明らかにしました。

電離層 Es 層は、高度 90～120km に突発的に出現する高密度の薄い金属イオン層です。密度が高いため、通常の短波電波の届く範囲である数千 km を超えた長距離通信を可能にします。短波電波は、航空通信（航空管制）、海上通信（船舶-陸上間および船舶-船舶間通信）、放送（FM ラジオおよび VHF テレビ放送）、アマチュア無線や緊急通信などに広く利用されています。そのため、Es 層の発生や増強は、航空通信や漁船、テレビ信号受信などを妨害し、ユーザーの正常な通信に深刻な影響を与える可能性があります。

## 【研究の内容と成果】

本研究チームは、高度 600km まで含む気候モデルを用いて、大気中の CO<sub>2</sub>濃度が 315ppm と 667ppm であるときの宇宙大気状態をシミュレーションし、それによる Es の形成状況を評価しました。その結果、CO<sub>2</sub>濃度が高いレベルのとき、将来の Es 層は、これまでよりも強く、より低い高度で発生し、夜間に長く持続する傾向にあることが初めて明らかになりました。こうした変化をもたらす主因は、宇宙大気密度の低下（いわゆる大気の薄層化）と東西風の変化であることがわかりました。

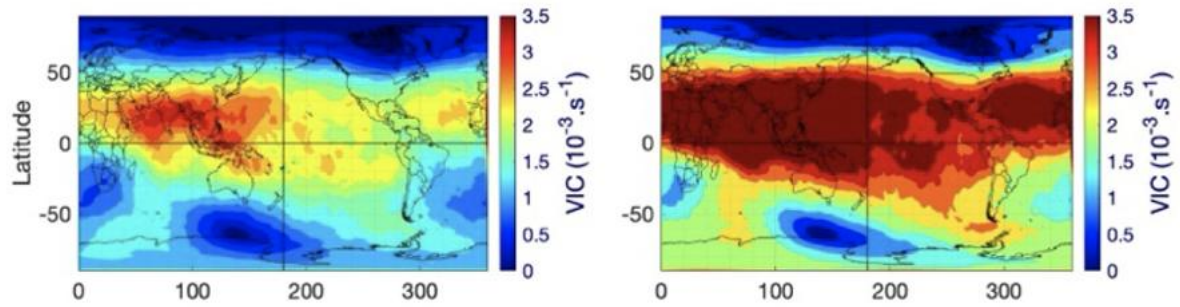
地球温暖化や気候変動が Es 層の発生に与える影響を体系的に解析した世界初の本研究結果は、学術研究と応用の両面で重要な意味を持ちます。研究面では、CO<sub>2</sub>上昇による宇宙大気への影響を全球スケールから局所スケール、そして中性大気からプラズマへと連鎖する「階層間結合」を初めて明らかにし、地球温暖化や気候変動が宇宙空間の通信環境まで影響を及ぼす新たな視点を提示した

応用面では、この知見は通信・航行関連産業にとって極めて重要です。航空機や船舶通信、救難活動、地平線越えレーダーなど、電離圏を経由する通信技術に関わる分野では、地球温暖化や気候変動の長期的影響を考慮した運用計画が求められます。

## 【今後の展開】

通信分野への示唆として、Es 層の強度増加・低高度化・長寿命化は、短波・超短波の電波における混信や受信障害の増加につながる可能性があり、通信・放送・航空・海事など幅広い分野でリスク評価と運用対策の強化が求められます。次の研究段階では、現在のモデルを用いて Es モデルを駆動し、Es が存在しうる可能性の推定にとどまらず、CO<sub>2</sub>の実際上昇に合わせて Es 層の実際の規模と強度を評価します。その結果を、電波を利用した通信システムの長期運用に応用していきます。

【参考図】



左：CO<sub>2</sub>濃度が315 ppm 時の Es 層形成状況、右：CO<sub>2</sub>濃度が667ppm 時の Es 層形成状況

【謝辞】

本研究は科学研究費助成事業（JSPS：日本学術振興会【JP25K01058, JP22K21345】）の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：Geophysical Research Letters タイトル：How does increasing CO<sub>2</sub> concentration affect the ionospheric Sporadic-E formation?

著者名：Farhan Naufal Rifqi, Huixin Liu, Lihui Qiu, Chihiro Tao, Hiroyuki Shinagawa

D O I：10.1029/2025GL117911

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院理学研究院 地球惑星科学部門 教授 LIU HUIXIN（リュウ フィシン）

TEL：092-802-4234 FAX：092-802-4208

Mail：liu.huixin.295@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp