

各報道機関文教担当記者 殿

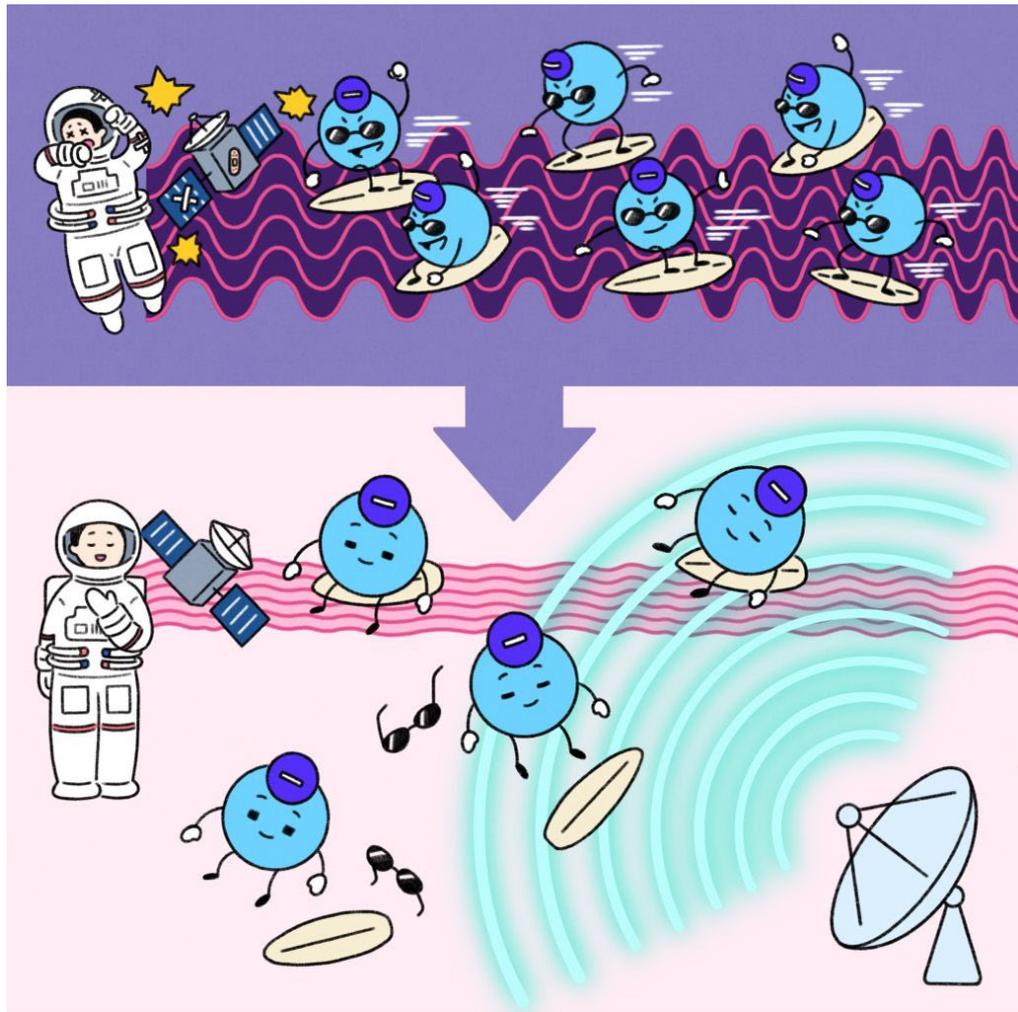
宇宙の電子加速に作用するプラズマ波動を 人工的にコントロールする解析に成功！ ～宇宙プラズマ嵐の人工制御の第一歩へ～

金沢大学理工研究域電子情報通信学系の尾崎光紀准教授，八木谷聡教授，京都大学生存圏研究所の大村善治特任教授らの共同研究グループは，宇宙の電子を放射線になるまで加速させるプラズマ波動（コーラス放射，※1）の発生を人工的に抑圧する解析に成功しました。

地球周辺（静止軌道の近くまで）の宇宙空間には，高いエネルギー状態の電子が飛び交う放射線帯と呼ばれる領域が形成されています。この放射線帯は，静止軌道を含む領域にまで広がるため，気象，通信，放送などのさまざまなサービスを提供する人工衛星に搭載される電子回路の劣化や故障に直接影響することがあります。放射線帯電子（※2）が発生する要因として，コーラス放射と呼ばれる電磁波が自然の加速器として作用し，低いエネルギーの電子を放射線帯電子にまで加速させることが分かってきました。本研究では，コンピュータシミュレーションを用いて，コーラス放射が生じるプラズマ環境下において，外部から印加する電磁波により，コーラス放射を作り出す電子の運動を人工的に阻害し，コーラス放射の発生を抑圧できることを明らかにしました。これは，イヤホンなどで使われる不要な信号と逆位相の信号を重ね合わせることで，不要な信号のキャンセルを行うノイズキャンセル技術とは異なり，印加する電磁波によりプラズマ運動の人工制御を提唱する新しい技術です。

これらの知見は，宇宙の放射線環境の人工制御の可能性を開き，地上や宇宙からの電磁波を用いたプラズマ環境の人工制御という新しい技術を通じて，宇宙放射線環境化に暴露される多様な人工衛星による宇宙利用インフラの発展へ貢献することが期待されます。

本研究成果は，2024年10月17日9時（米国東部標準時間）にアメリカ地球物理学連合の学会誌『*Geophysical Research Letters*』に掲載される予定です。



電子加速に作用するコーラス放射を人工電波で抑圧するイメージイラスト
上：コーラス放射の波により加速される電子群を表すイラスト
下：人工電波の印加により電子加速に作用するコーラス放射抑圧を表すイラスト
加速された放射線帯電子は、人工衛星に搭載される電子回路の故障を誘発し、宇宙飛行士に被ばくをもたらす可能性があります。

【研究の背景】

宇宙の放射線から、人工衛星に搭載される電子回路を守るための対策は必須です。放射線は、コンピュータのメモリ内容を書き換え、エラーを生じさせる可能性があるため、エラーに備え同じ内容を複数記憶するシステムの搭載や、放射線から守るための数 mm の分厚い金属筐体でシールドを施します。これらは重量や積載量などを圧迫するため、新たな放射線対策が求められています。地球周辺の宇宙において、自然電磁波の一種であるコーラス放射による電子加速が放射線帯電子を生み出す要因になっていることが分かってきています。同時に、電子との相互作用により発生する、大振幅なコーラス放射の発生メカニズムが明らかになってきました。コーラス放射の発生メカニズムの研究推進は、宇宙開発において厄介な放射線を生み出すコーラス放射の発生を阻害する物理メカニズムの確立にも重要になります。

【研究成果の概要】

電子の運動は電流となるため、コーラス放射は電子の運動によって生じる自然アンテナから放射される電磁波と考えることができます。コーラス放射は、大きな振幅に成長する前の弱い振幅の電磁波と電子の非線形な共鳴により発生することが、京都大学生存圏研究所の大村善治特任教授らにより解明されてきました。発生の際、電磁波の周波数（※3）を変化させる電流を生み出す非線形な電子の運動によって、大きな振幅をもつ電磁波へ成長することが明らかになってきました。この発生メカニズムを巧みに扱い、本研究グループは、人工電波を使うことで、電磁波の周波数を変化させる電流を生み出す非線形な電子の運動を阻害し、コーラス放射の発生を抑圧する人工制御を考えました。このために、周波数を変化させない一定の周波数で、かつコーラス放射の基となる電磁波よりも少しだけ周波数と振幅の大きい電磁波を外部から人工的に印加し、電子の運動を人工電波で乱し、自発的なコーラス放射の成長を抑圧する条件を考えました。この「少しだけ周波数が違う」ということが重要で、共鳴しようとする電子から見ると基の電磁波と人工電波がそれぞれ異なる周波数を有して存在するため、電子が効率よく電磁波と共鳴することができなくなります。人工電波の有無によるコーラス放射の成長の影響を厳密に調べるために、コンピュータシミュレーションを用いて、コーラス放射の成長過程を詳細に調べました。最先端ワークステーションを駆使したシミュレーションの結果（図1）、適切な周波数と振幅を有した人工電波を印加することで、コーラス放射の発生抑圧に成功し、コーラス放射を発生させる非線形な電子の運動は、印加された人工電波の影響により運動の様子が変化することが明らかになりました。さらに、人工電波の印加によりコーラス放射が発生できないため、放射線帯電子の生成率も低減できる可能性があることも分かりました。つまり、この研究成果は、人工電波の周波数と振幅を調整することで、人類が放射線帯で発生しうるコーラス放射やそれによって加速される放射線帯電子を人工制御できることを意味します。

【今後の展開】

本研究により、放射線帯電子を生み出すコーラス放射の発生を抑圧するために適切な

周波数と、振幅を有した人工電波を宇宙に向かって印加することで、人工的にコーラス放射と放射線帯電子の低減が可能であることが明らかになりました。今後は、さらに効率よくコーラス放射を抑圧するために、人工電波を印加する位置や印加する時間などの評価と理論的な枠組みの開発に関する研究を推進していきます。本研究の成果は、地上や宇宙からの電磁波を用いた、プラズマ環境の人工制御という新しい技術を通じて、宇宙利用インフラの放射線による電子回路の劣化や故障低減へ貢献することが期待されます。

本研究は、科学研究費助成事業（24K00898, 23H05429）の支援を受けて実施されました。

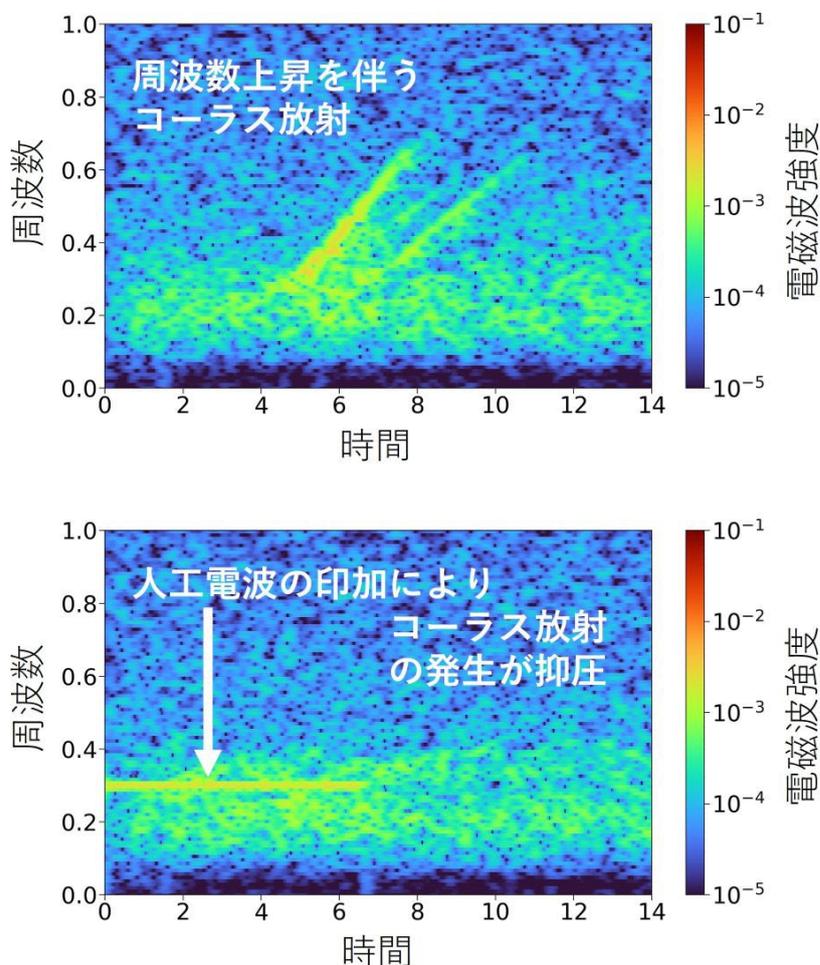


図1：人工電波の印加の有無によるコーラス放射の成長への影響
人工電波なしの場合、周波数上昇を伴うコーラス放射の発生（上）
人工電波ありの場合、コーラス放射を発生させる非線形な電流を生み出す電子の運動が人工電波により乱され、コーラス放射の発生が抑圧（下）

【掲載論文】

雑誌名 : *Geophysical Research Letters*

論文名 : Suppression of nonlinear chorus wave growth by active control of gyroresonant interactions with electron hole deformation (電子ホール変形によるジャイロ共鳴相互作用のアクティブ制御による非線形コーラス波動成長の抑制)

著者名 : 尾崎光紀¹, 溝手啓太¹, 近藤岳琉¹, 八木谷聡¹, 疋島充², 大村善治³

1 : 金沢大学大学院自然科学研究科

2 : マグネデザイン株式会社

3 : 京都大学生存圏研究所

掲載日時 : 2024年10月17日9時(米国東部標準時間)にオンライン版に掲載

DOI : 10.1029/2024GL112218

【用語解説】

※1 コーラス放射

鳥のさえずりに似た周波数変化を伴う、プラズマ中で発生する電磁波のこと。放射線帯電子の生成やオーロラ現象と密接な関わりがあると考えられている。

※2 放射線帯電子

地球周辺の宇宙(静止軌道程度まで)に飛び交う数百キロ電子ボルトから数メガ電子ボルトの高いエネルギーを有する電子のこと。

※3 電磁波の周波数

電磁波の1秒間に繰り返される波の数のこと。

【本件に関するお問い合わせ先】

■研究内容に関すること

金沢大学理工研究域電子情報通信学系 准教授

尾崎 光紀 (おざき みつのり)

TEL : 076-234-4857

E-mail : ozaki@is.t.kanazawa-u.ac.jp

■ 広報担当

金沢大学理工系事務部総務課総務係

廣田 新子 (ひろた しんこ)

TEL : 076-234-6821

E-mail : s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp