

## 宇宙への大気流出がより起こりやすい磁気嵐のタイプを 大型レーダーで発見

太陽から放出された大量のプラズマが地球に到達すると、極域(南極域と北極域)でオーロラが爆発的に光る「オーロラ爆発」や、地球の磁場が乱れる「磁気嵐」といった現象が起こることがあります。オーロラ爆発の際、極域の上空では、大量の地球大気が上昇して宇宙空間へ流出することが知られていましたが、その流出の時間変化や量、磁気嵐との関係などは分かっていませんでした。

国立極地研究所のおがやすのぶ小川泰信准教授、東京大学大学院理学系研究科のせきかなこ関華奈子教授およびけいかくにひろ桂華邦裕助教、京都大学生存圏研究所のえびはらゆうすけ海老原祐輔准教授の研究グループは、ノルウェーにある欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダーのデータを用い、極域の上空にあるイオン化した大気が宇宙空間へ向かう上昇流量や速度を解析しました。その結果、CME(コロナ質量放出)と呼ばれるタイプの磁気嵐の時に、地球大気の上昇流量が特に多くなることが明らかになりました。



図1：本研究に用いた EISCAT スバルレーダー（撮影：小川泰信 2009 年 8 月）。

## < 研究の背景 >

太陽が放出するプラズマは太陽風と呼ばれ、オーロラの発生要因のひとつです。また、太陽風が地球に到達すると、その影響で極域の遙か上空では大気中のイオン化した酸素原子などが宇宙空間に流出することがあります。特に、オーロラ爆発が起こる時には、同時に大量のイオンが超高層大気中から上昇することが、これまでの研究で分かっています。

太陽から大量かつ高速のプラズマがやってくると、しばしば地球の磁場が乱れる「磁気嵐」が発生しますが、磁気嵐が起きるときにはオーロラ爆発が頻繁に発生するため、極域でのイオンの上昇流も頻繁に起こっていると考えられます。しかし、その時間変化や上昇流量についての観測は十分ではなく、磁気嵐との関係も不明のままです。そこで研究グループは、ノルウェーのスカンジナビア半島北部とスバルバル諸島の 2 か所に設置され、日本を含む 6 ヶ国で共同運用している「EISCAT (欧州非干渉散乱) レーダー」の超高層大気観測データを用いて解析しました。

## < 研究の内容 >

EISCAT レーダーのうち、ノルウェーのトロンソ(北緯 69 度)と、同国スバルバル諸島ロングイヤービン(北緯 78 度)の 2 か所の観測データから、過去 20 年間(1996-2015 年)に磁気嵐が起きていたときの高さ 400-500 km での観測データを取り出して、磁気嵐時の上昇流の特徴(大気イオンの上昇流量や上昇速度)を調査しました。その際、磁気嵐を引き起こす要因が、高速の太陽風が先行する低速太陽風に追いつく現象(共回転相互作用領域: CIR)であった時と、太陽フレアに伴う突発的な太陽の爆発現象(コロナ質量放出: CME)であった時の 2 種類を区別して調べました(図 2)。

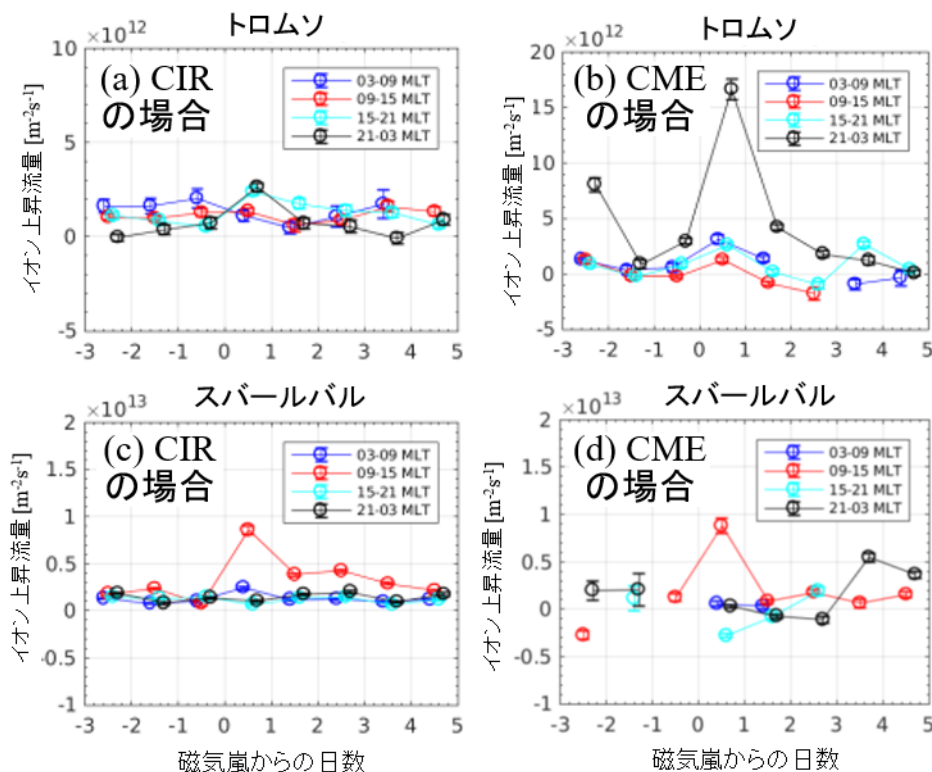


図 2: ノルウェーのトロンソ(北緯 69 度、磁気緯度 66 度)とスバルバル(北緯 78 度、磁気緯度 75 度)で観測されたイオン上昇流量の日変化。時間帯によって 4 つに色分けしている。さらに、共回転相互作用領域(CIR)とコロナ質量放出(CME)に起因する磁気嵐をそれぞれ区別して作成している。緯度の低いトロンソでは CME 発生時に夜側で、緯度の高いスバルバルでは CME 又は CIR 発生時に昼側でイオンの上昇する流量が顕著に増えていることが分かる。

その結果、トロムソでは CME 起源の磁気嵐の場合に特にイオン上昇流量が増加していることが分かりました。そのほかにも、以下のことが判明しました。

#### **CME 起源の磁気嵐の場合**

##### ・トロムソ(北緯 69 度):

発生初日に夜間のイオン上昇速度が激しく増加。イオン上昇流量は CIR 時の 4 倍。

##### ・スバルバル(北緯 78 度):

昼にイオン上昇速度が増加。イオン上昇流量は CIR 時と変わらない。

イオン上昇流は初日のみ発生。

#### **CIR 起源の磁気嵐の場合**

##### ・トロムソ:

発生初日に夜間のイオン上昇速度が増加。ただ、イオン上昇流量は CME 時に比べて少ない。

##### ・スバルバル:

昼にイオン上昇速度が増加。イオン上昇流量は CME 時と変わらない。

イオン上昇流が数日間にわたり継続する。

また、夜間のイオン速度増加が起きているときには、超高層大気中の電子とイオンの温度が共に上昇することも分かりました。このことは、極域の遥か上空で、エネルギーの低い電子(数百電子ボルト)の降下と、電場の増大の両方が夜間に起きていることを示唆します。また、CME 発生時にトロムソで見られたイオンの上昇流量の増大は、多量の降下粒子に伴って超高層大気中のイオンの量(密度)が増えることに起因することが分かりました。

このようなイオン上昇流の特徴と、関係する加熱や電流などとの関係(シミュレーション研究結果を組み合わせた内容)をまとめたものが、図 3 です。

#### **<今後の展望>**

今回の研究では、極域イオン上昇流が頻繁に観測される高さ 400-500 km に絞って調査がなされましたが、研究グループは今後、異なる高さでの特徴を明らかにしたいと考えています。特に、より低い高度での調査により、重い分子イオンがいつどこで上昇しているかを明らかにすることで、太陽風の影響による惑星大気の流れに関する知見が増えると考えています。このような地球大気の流れに関する基本的な性質や機構を理解することにより、火星や金星などの他の惑星大気が太陽風の変化に対してどのように反応するかをシミュレーション研究等により理解することにも貢献すると期待されます。

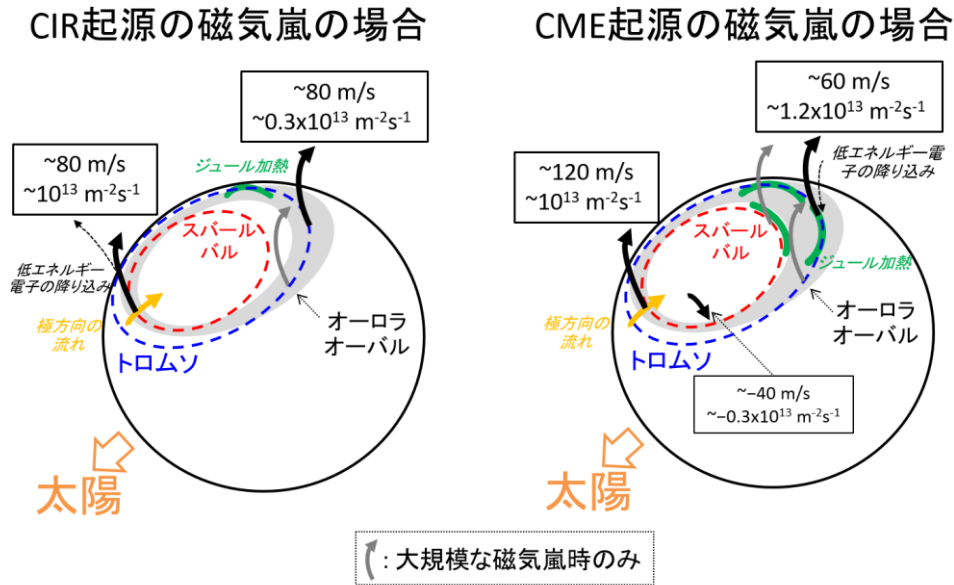


図 3 : CME と CIR 起源の磁気嵐の発生初日における極域イオン上昇流の特徴のまとめ図。赤点線と青点線は観測所の位置（一自転中の通り道）を示している。

< 発表論文 >

掲載誌: *Journal of Geophysical Research: Space Physics*

タイトル: Characteristics of CME- and CIR-Driven Ion Upflows in the Polar Ionosphere

著者:

小川 泰信(国立極地研究所 宙空圏研究グループ 准教授

／総合研究大学院大学 複合科学研究科 准教授)

関 華奈子(東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授)

桂華 邦裕(東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 助教)

海老原 祐輔(京大大学生存圏研究所 准教授)

URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018JA025870>

DOI: 10.1029/2018JA025870

論文公開日: 2019年6月14日

< 研究サポート >

本研究は JSPS 科研費 (JP16H02229、JP17K14400) の助成を受けて実施されました。