

オーロラの研究

金光研究室 浅田 直毅

1. はじめに

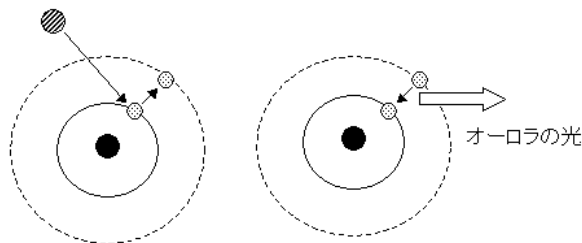
オーロラは、地球上で生活している私たちが直接肉眼で見ることのできる神秘的で美しい現象である。このオーロラの謎が解明されてきたのは比較的最近のことである。

オーロラは、地球の周辺空間で起きている大規模な電磁現象のひとつであり、様々な謎を秘めている。オーロラの神秘に迫るには、これらの謎を理解する必要がある。オーロラ科学は地上での研究と異なり、壮大なスケールの研究を要する。最近では、人工衛星による宇宙探索によって地球磁気圏の知識は急速に進歩をとげ、高度な計測装置がロケットや人工衛星に蓄積されたことでオーロラの謎が次第に明らかになっている。

太陽と地球間の関係が大きく関わるオーロラを調べる事は、太陽と地球そのものをより詳しく理解できると同時に、磁気を持っているほかの惑星の研究にもつながり、オーロラ科学を基礎にして新たな科学へ発展する。本研究では、オーロラが出現する地帯であるオーロラ・オーバルのしくみに注目し、オーロラ形成の様子を視覚的に捉えようと試みた。Excelのグラフを用い、オーロラ・オーバルの発生過程を表示する。

2. オーロラの出現

オーロラは地球と太陽の相互作用によって発生する。太陽活動による太陽風に含まれる荷電粒子が地球の磁場に捕らえられ、磁力線沿いに発生する電場によって加速され、地球の極域電離層へと向かう。磁極で粒子は地球の超高層大気中の原子などと超高速で衝突、励起し、その再結合過程で発光する。上層大気中に存在する原子は中心に原子核、その周りの軌道に電子を持った構造をしており、この原子に宇宙からの電子が超高速で衝突すると、原子は電子から運動エネルギーを与えられ、普段より外側の軌道に移動し、不安定な励起状態となり、その状態から原子が正常な軌道に戻ろうとするときに余分なエネルギーを光として放出するためである。この放電現象がオーロラである。



● 原子核 ● 電子 ● 荷電粒子

オーロラの色は、荷電粒子が衝突する大気中の物質の種類によって異なる。励起状態から戻るときに軌道のエネルギー差の分だけ光を出し、このエネルギー差が色に対応する。電子がとれる軌道のエネルギーは厳密に決まっており、酸素原子は赤色や緑色に、窒素分子は青色に光る。高度によって

大気の成分が異なるため、光の色も異なる。オーロラの明るさは、降り込む荷電粒子のエネルギーの高低が関わる。

3. オーロラ・オーバル

3.1 オーロラ・オーバルとは

地球上でオーロラがよく発生する領域をオーロラ・オーバルという。これは地磁気緯度 65~70 度付近で、地球の南北極周辺のリング状の領域である。平均的な半径は 2200 ~2500 km であり、太陽活動と、地球磁場の乱れにより常に形、大きさ、場所を変化させる。

シベリアの北極海側を西に、スカンジナビア半島の北、アイスランド、グリーンランドの南を通り、カナダのハドソン湾を横断し、カナダの北部からアラスカの真ん中を通って一周している一帯である。



3.2 オーロラ・オーバルの発生過程

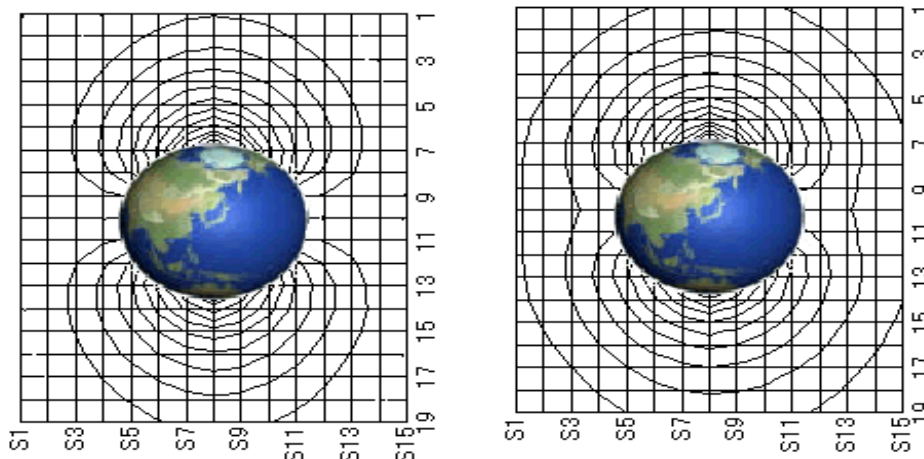
なぜ、この領域にオーロラが出現するのだろうか。理由は2点ある。

まず1点は、**地球磁場と太陽磁場の相互作用**が考えられる。

地球そのものは巨大な磁石であり、地球の磁場を簡単に双極子磁場と仮定できる。一方で太陽は、地球のように南北に極を持つ地磁気極以外に、その光球面にきわめて複雑な磁場を持っている。今回は、オーロラ活動に直接関わる南北成分の磁場を考える。北向きは地球の南極から北極に向かう方向、南向きはその反対の方向である。

地球磁場に一樣な南向きの太陽磁場を足し合わせると、赤道面では地球の北向きの磁力線と太陽風の南向きの磁力線とがお互いに逆方向となる。そのため太陽風の磁力線の一部と地球の磁力線の一部とがいったん切れて、再結合する。太陽磁場が北向きの時には、地球の磁場の方向と同じであるため再結合をおこさず地球の磁場が球形の領域に閉じ込められる。太陽風磁場が南向き成分を持っている場合には、地球につながった太陽風磁場の磁力線は地球の南北高緯度で円形の領域に集まっていて、オーロラはこの円形の領域の外郭を光で表示している。

以下に磁場の等しい点を結んだ線（磁力線に直交する線）を表した。

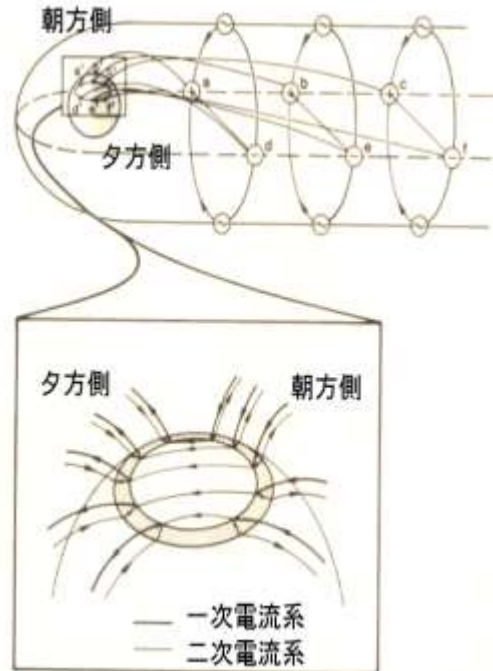


3. 3 オーロラ放電

2点目は、**電離層と磁気圏を結ぶ電流系の作用**が考えられる。太陽磁場の磁力線は荷電粒子をつれて地球磁場と接触し、荷電粒子は地球磁力線にそって進入する。この電子が2つの電流系を生み出すことがオーロラ・オーバル形成に関わる。

・一次電流系

太陽風は磁気圏の外壁に沿って、再結合した磁力線を横切って吹き流れる。荷電粒子は磁場によって運動の方向を変えられ、朝方側の赤道面は正に、夕方側の赤道面は負に帯電する。ここで北半球に根を持つ磁力線を考える。半分は朝方に、もう半分は夕方に根をもっているとする。その磁力線を朝方は朝方の正の端子、夕方は夕方側の負の端子につなぐ。すると電流は朝方側の磁力線に沿って朝方の端子からオーロラの環に向かって流れる。端子からの電流は、オーロラの環を含む電離層に達すると電離層を流れた後、夕方側の磁力線に沿って負の端子に達する。同じことが南半球でも言える。

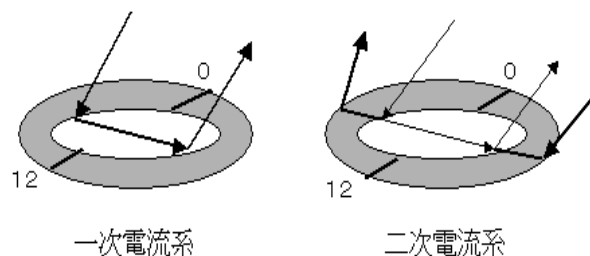


この電流の端子をつなぐ多くの磁力線の根元つまり、電離層と交わる点は円を形成しており、太陽磁場につながった磁気圏の磁力線の根元を囲む円形の領域のすぐ外側にある。

・二次電流系

環と赤道面をつなぐ電流系のことをいう。地球の近くでは実際の電流系は少し複雑であり、上記の円を内側とする 200 km の環を電離層の中に考える。一次電流は正の端子から内側の環の朝方側に流れ込む。そこから電流は二つに分かれる。一方は一次電流であり、一方が二次電流である。朝方側の環の内側から環を横切って外側に達し、そこから磁力線に沿って上向きに赤道面に向かって流れ、夕方側にはこれと反対に流れる電流系ができる。

朝方側では、一次電流が環の内側に下向きに流れ込み、二次電流が環の外側から上向きに流れ出す。夕方側には、内側から上向きの一次電流、外側では下向きの二次電流がある。ここで重要なのは、電流は主に電子によって運ばれる事である。電流の方向と電子の運動の方向は反対であるため、朝方側では環の内側から電離層の電子が上向きに流れ、外側には磁気圏の電子が流れ込

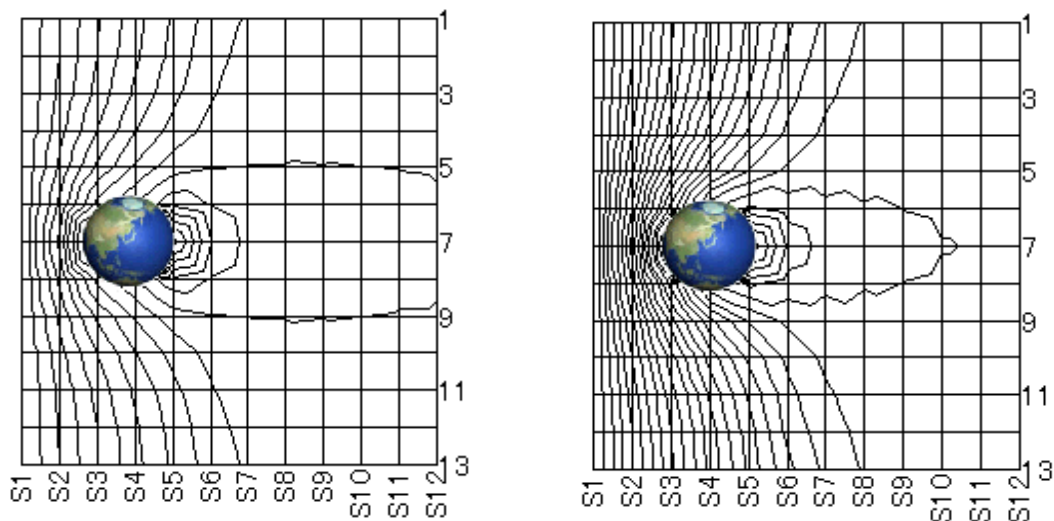


む。一方、夕方側では、内側には磁気圏の電子が流れ込み、外側では電離層の電子が上向きに流れる。磁気圏から流れる電子流は、朝方側では電離層の環の外側半分、夕方側では環の内側半分の二つの半円形部分で発光し、その結果として、オーロラが両極付近の円領域で見える。

3. 4 オーロラ・オーバルの変化

オーロラの原因は太陽からの荷電粒子であるため、太陽の活動量によってオーロラ・オーバルの大きさが変化する。太陽活動が低いときには弱い、高いときには強いエネルギーの荷電粒子が放出される。地球は磁石であるため、宇宙から地球に突入してくる荷電粒子は質量とエネルギーによって分けられ、突入できる緯度が異なる。磁気圏の外側の弱い磁場では弱いエネルギーの荷電粒子が、極地から離れたところで地球と接している強い磁場では強いエネルギーを持つ荷電粒子がとらえられる。そのため、太陽活動が活発な時にはオーロラ・オーバルが大きくなり、低緯度でオーロラを見ることが出来る。

Excel を用い、太陽活動度の違いによる地球磁場の様子を再現した。



4. まとめ

今回の研究ではオーロラ・オーバル仕組みについて視覚的に捉えることができた。また、太陽活動度によるオーロラ・オーバルの変化を計算により確かめることができた。今後、太陽活動の強弱による地球磁場の変化、荷電粒子の電力・加速機構を詳しく調査することでオーロラ出現の位置やその姿を正確に予測することが可能になるであろう。

オーロラの物理機構はまだ十分に理解されていない部分が多い。オーロラを研究することは、太陽と地球の関係を知るだけではなく、磁気を持つ他の惑星の研究へと発展する。これからのオーロラ研究の進歩に期待したいと思う。