

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	加藤 正久
論文題目	Temporal and spatial variability of electrostatic potentials on the dayside lunar surface (昼側月面電位の時空間変動性)		
(論文内容の要旨)			
本論文では、月面の昼側の電位が、その上空に生じているとされる極小値電位や月面の地殻磁気異常、太陽活動度に応じて、どのように変動するのか明らかにすることを目的としている。具体的には、太陽放射を受ける月面から放出される電子のエネルギースペクトルに関する数値モデルを開発し、それから得られる結果を探査機からの観測データと比較することで、この目的を達成しようとしている。 まず、第1章では、月周辺の荷電粒子環境や月面帯電に関わる基本的な物理過程を概説している。さらに、関連するこれまでの研究における未解決課題を整理し、それをふまえた本研究の目的を示している。 第2章では、本論文で用いるデータ、具体的にはARTEMIS探査機の磁場・衛星電位データと静電分析器からの荷電粒子データ、並びに「かぐや」衛星の磁場とプラズマのデータについて説明している。 第3章では、月面から放出される光電子およびオージェ電子のエネルギースペクトルに関する数値モデルの開発の手法を述べている。このモデルは、太陽放射のエネルギースペクトルを入力とし、電子放出過程に関わる物理的あるいは化学的パラメータを組み込んでいる。開発した数値モデルにより、月周辺におけるARTEMIS探査機および「かぐや」衛星による電子観測が良好に再現できることを示している。さらに、この数値モデルを用いて、月面上空の極小値電位と月面電位との関係を調査し、両者の間に正の相関関係が存在することを見いだしている。 第4章では、モデルに基づく計算と「かぐや」衛星の観測との比較を通して、月が地球磁気圏尾部ローブ領域に位置する時に月面電位と地殻磁場強度の間にどのような関係があるのかを調べている。月面から放出される電子は、比較的強い地殻磁場領域の上空において、より減速されていることを見だし、それにより、月面電位は地殻磁場領域において、より大きな正の値になる傾向があることを指摘している。また、周囲のプラズマ条件にかかわらず、地殻磁場領域ではイオン・電子分離によって上向きの電場が形成されている可能性も指摘している。 第5章では、太陽活動に依存して変動する月面電位の性質に焦点を当てている。この変動について、1太陽周期にわたる長期間のARTEMIS探査機の観測をモデル計算と組み合わせて調べている。月面に出入りする電流のバランスを考慮し、太陽活動の異なるレベルに対して月面電位の大きさを見積もり、月が地球磁気圏尾部ローブ領域に位置する時には、月面電位が太陽活動度の増加とともに一層大きな正の値をとることを示している。増大する月面電位は、局所的に大きな電位変動を引き起こす可能性があり、月面探査においてリスクとなり得ることを指摘している。 最後の第6章では、この研究から得られた結果をまとめ、全体的な結論を述べている。			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

全球的な磁場と大気を持たない天体である月では、太陽光照射の影響により、その昼側領域において典型的には正の電位が形成されている。この電位が、上空で生じているとされる極小値電位や月面の地殻磁気異常、太陽活動度に応じて、どのように変動するのかについては、これまで十分に理解されていなかった。本論文では、月面から放出される電子のエネルギースペクトルに関する数値モデルを開発し、その結果を探査機から得られる観測データと比較することで、これらの未解決問題を明らかにしようとしている。

申請者は、月面から放出される光電子およびオージェ電子のエネルギースペクトルに関する独自の数値モデルを考案した。このモデルは、太陽放射のエネルギースペクトルを入力とし、電子放出過程に関わる物理的あるいは化学的パラメータを組み込んでいる。開発した数値モデルを通して、月周辺におけるARTEMIS探査機および「かぐや」衛星による電子観測を再現した。さらに、この数値モデルを用いて、月面上空の極小値電位と月面電位の関係を調査し、両者の間に正の相関関係が存在することを見いだした。新たな数値モデルを考案することにより、衛星での観測結果を再現した点に学術的価値が認められる。さらに、モデルを通して、月面電位に関する新たな関係を同定した点にも価値がある。

次いで申請者は、モデルに基づく計算と「かぐや」衛星の観測との比較を通して、月が地球磁気圏尾部ローブ領域に位置する時に月面電位と地殻磁場強度の間にはどのような関係があるのかを調べた。衛星の300軌道を越える多くの観測データに基づく解析を行い、その結果、月面から放出される電子は、比較的強い地殻磁場領域の上空においてより強く減速されていることを明らかにした。また、月面電位は、地殻磁場領域においてより大きな正の値になっていること、周囲のプラズマ条件にかかわらず、地殻磁場領域ではイオン・電子分離によって上向きの電場が形成されている可能性を指摘した。

さらに申請者は、1太陽周期にわたる長期間のARTEMIS探査機の観測をモデル計算と組み合わせ、月面電位が太陽活動度に依存してどのように変動するのかを調べた。月面に出入りする電流のバランスを考慮し、太陽活動の異なるレベルに対して月面電位の大きさを評価した。その結果、月が地球磁気圏尾部のローブ領域に位置する状況のもとで、大きな太陽フレアが発生すると、月面電位が+100 Vを超えるような大きな値にまで上昇することを示した。増大する月面電位は、局所的に大きな電位変動を引き起こす可能性があり、月面探査において潜在的なリスクとなり得ることを指摘した。月が地球磁気圏尾部のローブ領域に位置する状況のもとで実際に起こりうる最大レベルの具体的な月面電位の値を明らかにした点で学術的価値が高い。

以上のように、これまで十分に理解されていなかった月面昼側電位の性質について、独自に構築した数値モデルを通して、種々の時空間変動性を明らかにした本論文の意義は極めて大きい。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和8年1月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降