

( 続紙 1 )

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                         |    |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 博 士（理 学）                                                                                                                                                                                | 氏名 | 横山 佳弘 |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Characteristics of the mesoscale field-aligned currents in the dusk sector of the auroral oval based on data from the Swarm satellites (Swarm衛星データに基づくオーロラオーバル夕方側領域におけるメソスケール沿磁力線電流の特性) |    |       |
| (論文内容の要旨)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                         |    |       |
| <p>本論文では、オーロラオーバルの夕方側領域に現れるメソスケールの沿磁力線電流について、その性質と生成過程を明らかにすることを目的としている。</p> <p>まず、第1章では、ラージスケールの沿磁力線電流の一般的な性質を解説し、磁気圏において、その電流がどのように生成されるのか、また、極域の電離圏においてどのように閉じているのかについてまとめている。メソスケールの沿磁力線電流については、その未解決となっている点を述べ、それをふまえた本研究の目的を示している。</p> <p>第2章では、本論文で用いる磁場データと、そのデータを取得した極軌道のSwarm衛星編隊飛行観測の特徴について説明している。また、同じく本論文で使用している地上オーロライメージャーのデータとDMSP衛星の磁場と降下粒子のデータについても述べている。</p> <p>第3章では、Swarm衛星と地上オーロラ全天イメージャーの共役同時観測の2例を提示している。ともに、安定した北向き惑星間空間磁場のもとでの観測であり、それぞれの例において、編隊飛行をする2機のSwarm衛星がともに不規則な磁場変動を捉えている。その1秒値の磁場データの解析を通して、不規則な変動が動的なアルペーン波によるものではなく、準静的なメソスケール（緯度幅は概ね20-30 km）の沿磁力線電流の多重構造によるものであることを示している。オーロラ全天イメージャーのデータからは、そのメソスケール構造で電流が流れ出している部分において、630 nmの波長の光のオーロラが相対的に強くなっていることを示し、その領域で数100 eVのエネルギーをもつ電子降下のエネルギーフラックスが高くなっていることを指摘している。これらをもとに、メソスケールの沿磁力線電流の多重構造は、安定した北向き惑星間空間磁場のもとでは、30分以上の長い間持続する現象であることを示している。また、DMSP衛星とオーロラ全天イメージャーとの共役同時観測例も示し、メソスケールの沿磁力線電流が、磁気圏の夕方側の低緯度境界層につながっていることを示している。さらに、その夕方側低緯度境界層における沿磁力線電流の生成のシナリオを提示している。</p> <p>第4章では、Swarm衛星が3年以上にわたって取得した大量の磁場データに基づく統計解析の結果を示している。イベントの自動同定の方法により、準静的なメソスケールの沿磁力線電流の多重構造の事例を577の衛星軌道において同定している。現象が同定される頻度は、惑星間空間磁場の北向き成分が大きくなるにつれて上昇し、また、電流の密度は、太陽風のプロトン密度とともに増加する傾向があることも示している。これらの統計結果をもとに、磁気圏の夕方側低緯度境界層の中に沿磁力線電流の生成領域が複数形成され、その生成メカニズムには惑星間空間磁場の北向き成分が大きくなると起こりやすくなる太陽風プラズマの流入過程が関わっていることを示している。</p> <p>最後の第5章では、全体的な結論を述べている。</p> |                                                                                                                                                                                         |    |       |

(論文審査の結果の要旨)

極域のオーロラオーバル領域には、Region 1とRegion 2と呼ばれるラージスケールの電流が磁力線に沿って流れている。これらの沿磁力線電流系は、地磁気の活動が活発となる状況下では明確に同定される。一方、地磁気の活動が極めて静穏となる状況においては、この電流系ははっきりと捉えられなくなり、その場には非常に不規則な磁場変動が現れる。この変動の性質はこれまで十分に理解されていなかった。本論文では、オーロラオーバル領域の中の夕方側領域に焦点をおいて、そのような不規則な磁場変動の性質を明らかにし、また、それを生み出している沿磁力線電流がどのように生成されるのかを明らかにしようとしている。

申請者は、編隊飛行をする2機の人工衛星と地上のオーロラ全天イメージャーとの同時共役観測の期間を調べ、惑星間空間磁場が安定した北向き時において人工衛星によって捉えられた不規則な磁場変動の2つの事例を見出した。衛星の1秒値の磁場で捉えられた不規則磁場変動は、磁力線に沿って伝搬しているアルベーン波によるものではなく、準静的なメソスケールの沿磁力線電流の多重構造であることを明らかにした。その構造の中で電流の流出領域に対応して光っている630 nmの波長のオーロラの特徴から、メソスケールの沿磁力線電流現象は一定の期間、安定して存在する性質をもつことも明らかにした。異なる時刻にほとんど同じ場所において磁場変動を捉えることのできる人工衛星編隊飛行観測の利点を活かし、捉えられた磁場変動が準静的な電流構造によるものであり、また、オーロラ観測をあわせることで、その現象の持続的な性質を明確にした点に学術的価値がある。また、申請者は、降下粒子と磁場の観測ができる別の人工衛星と地上オーロラ全天イメージャーとの同時共役観測事例も見出し、メソスケールの沿磁力線電流領域に磁気圏から低エネルギーイオンが降下していることも明らかにした。これは、この電流が磁気圏の低緯度境界層につながっていることを示す証拠である。このような観測の証拠をもとに、このメソスケール電流の生成には、磁気圏の低緯度境界層で起きる冷たい高密度プラズマの運動が関わっていることを示した点に学術的価値が認められる。

さらに申請者は、人工衛星の3年以上にわたる連続観測の大量の磁場データをもとに、メソスケールの沿磁力線電流の多重構造現象を自動検出する独自の方法を考案し、多数の事例を取り上げて、その性質を示した。その沿磁力線電流現象は、惑星間空間磁場の北向き成分が大きくなると同定されやすくなり、また、その電流の密度は、太陽風のプロトン密度の増大とともに大きくなることを見出した。これらの新たに見出された関係性は、電流の生成には惑星間空間磁場が北向きになると起こりやすくなる太陽風プラズマ流入過程が関わっていることを明確に示しており、学術的価値が高い。

以上のように、大量のデータを詳細に調べることにより貴重な観測事例を見出し、また、データの統計解析においては、独自の方法を導入することにより、これまで十分に理解されていなかった現象に対して、その本質的な性質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2年12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