

# 1 宇宙天気諸現象の研究について

## 1 *Space Weather and Its Hazards on the High-tech System*

菊池 崇

KIKUCHI Takashi

21世紀の宇宙利用時代において衛星による通信、放送、測位が社会活動、経済活動にとって重要度を増し、建設が進む宇宙ステーションにおける有人宇宙活動が予定されている。宇宙放射線は衛星の半導体機器の誤動作や太陽電池パネルの劣化を起し、衛星そのものの機能を停止させる事故を発生させる。また、電離層異常電離(デリンジャー現象)による船舶航空無線・海外放送の途絶、地磁気嵐による電力送電線・海底ケーブル電源線誘導電流障害、電離層嵐による衛星測位誤差や衛星画像劣化、そして超高層大気の加熱による衛星軌道・姿勢障害が発生する。2000年7月には我が国の科学衛星が姿勢制御不能になり、ついには落下する事故が発生したほか、1994年2月、2001年9月及び11月には衛星放送が一時中断する事故が発生した。諸外国においては最近5年間をとってもカナダ、米国の複数の通信衛星が機能停止の重大な障害を受けた。最近ではGPSを利用した精密な地形情報や航空機の着陸誘導の検討がなされるなど、ハイテク度を増す衛星時代には宇宙天気情報とその予報が重要となる。通信総合研究所は1957年以来、電離層電波伝搬の予警報の研究と業務を実施してきたが、1988年からは宇宙天気予報へと研究領域を拡大してきた。この目的のために太陽面の光学・電波観測、極域レーダー、地磁気観測、電離層観測、太陽風観測衛星受信を行い、データ収集・配信システムの開発整備、そして太陽観測衛星の開発等を実施している。これらのデータを基に、宇宙天気の現況を解析し変動を予測する研究を実施している。本特集号は2分冊に分けられ、前半(本号)は宇宙天気現象に関する研究、また、後半(12月号)は観測、

衛星計画、データ収集配信、予報手法に関する研究論文で構成される。

以下に、本号で研究課題とする太陽から電離圏に至る領域での宇宙天気現象とこれに起因する衛星、地上施設の障害を概観する。

宇宙環境を決定するエネルギーの源は太陽である。太陽からは衛星障害や人体被爆の原因となる高エネルギー粒子やデリンジャー現象を引き起こすX線、地磁気嵐や電離層嵐の原因となるプラズマ塊が放出される(CME:コロナガス噴出現象)。X線は光の速度で地球へ到達し1時間から数時間継続し、放射線はフレア発生後早い場合は30分程度で地球へ到達し数日間にわたって継続する。プラズマ塊は2日程度で地球に到達し磁気圏と相互作用して極域嵐や大規模な地磁気嵐を発生させる。また、コロナホールから吹き出す高速プラズマ流は太陽活動が静かな時期でも周期的に地球に押し寄せ、太陽自転周期27日で繰り返す地磁気擾乱を引き起こす。太陽高エネルギー粒子は静止衛星軌道まで侵入するために実用衛星に直接影響を与え、2001年9月に発生した衛星放送の一時中断のような障害を発生させる。太陽X線や高エネルギー粒子を発生させる太陽フレアは黒点領域における磁場の再結合過程によると考えられている。また、太陽風衝撃波が高エネルギー粒子生成に寄与していることが指摘されている。これら太陽面及び太陽風現象に関する研究は第2章(太陽・太陽風)の4編の論文において詳述される。

太陽プラズマが磁気圏(地球磁場が及ぶ約10万キロメートルの範囲)に到達すると磁気圏や電離圏に閉じ込められているプラズマの大規模な運動を引き起こす。この結果、磁気圏内で小さな

嵐(サブストーム)や大規模な地磁気嵐が発生し、衛星障害の原因になる放射線帯が形成される。静止衛星軌道でエネルギーが1MeVの電子が10000個/ccを超えると衛星機器に障害が発生する確率が高くなるとされる。サブストームは1時間から数時間継続し1日に数個程度、地磁気嵐は月に1個程度発生する。極域にはオーロラが発生し電離層には強い電流が流れるが、オーロラ発生に伴って磁気圏の後方から静止衛星軌道に熱いプラズマが流入し、衛星を帯電させ障害の原因となる。また、静止軌道の磁場も大きく変動し、磁気トルクによる姿勢制御が影響を受ける。磁気圏内のプラズマ対流、地磁気嵐の発達、放射線帯粒子の生成などに関する研究は、第3章(磁気圏)に納められた6編の論文により詳述される。

大規模な地磁気嵐の際には北海道でもオーロラが観測されるが、この時、超高層大気が加熱を受け、衛星の軌道や姿勢が深刻な影響を受ける。2000年7月の科学衛星の姿勢不安定はこれが原因で発生した。また、気象衛星画像の乱れや航空無線などの地上通信や通信放送衛星からの電波強度の変動(シンチレーション)が発生する。オーロラが発生するときには電離層に100万アンペアに達する電流が流れ、地上の送電線やパイプラインに誘導電流を流す。1989年3月13日に

カナダで発生した大規模な停電事故は、送電系統に流れた誘導電流が原因であった。電離圏嵐に関する研究は第4章(電離圏・熱圏)の論文により詳述される。

宇宙天気予報を行うには各種のモデルが必要となる。当所ではニューラルネット手法を用いた地磁気嵐環電流発達の予報手法を開発し、太陽風データを入力してリアルタイムで運用している(12月号参照)。さらに、数値予報を目的として三次元空間でのMHD方程式を解き磁気圏の形成と磁気圏嵐の再現を可能にした。コンピュータの高速化によって、MHDコードによる磁気圏嵐の予報が可能になりつつある。今後は更に磁気圏を構成する荷電粒子の運動方程式を解く方式を開発し、予報精度の向上を図る。シミュレーションに関する研究は第3章(磁気圏)の2編の論文に詳述される。

太陽、太陽風、磁気圏、電離圏の観測及びコンピュータシミュレーションの飛躍的発展により、宇宙天気研究は質、量ともに大きな発展を遂げた。なかでも、衛星環境である磁気圏・電離圏の研究は、三次元の複合系の物理学として新たな展開を開始した。本特集号の発行はこれまでの宇宙天気研究のまとめであると同時に、新しい宇宙天気学の導入部となることを意図している。



まぐち 崇  
菊池 崇

電磁波計測部門研究主管 博士(理学)  
磁気圏電離圏物理