

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19360386

研究課題名 (和文) 地球高層中性大気のグローバル・リモートセンシング技術に関する研究

研究課題名 (英文) Remote Sensing of Neutral Particles in the Upper Atmosphere using Artificial Ion Beam

研究代表者

國中 均 (KUNINAKA HITOSHI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・教授

研究者番号：60234465

研究代表者の専門分野：電気推進、プラズマ応用、宇宙機器の研究開発運用

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：リモートセンシング、高速中性粒子、イオンエンジン、大気圏再突入、APD

#### 1. 研究計画の概要

高度 100km から 1,000km の地球超高層大気は、中性粒子がその大多数を占める。しかし、応答性が低いために、電波やレーザ等による遠隔観測が実施できない。中性大気に関する、地球規模広域で高い空間・時間分解のあるデータが蓄積されれば、宇宙環境における地球環境モニタが可能になるとともに、新しい科学分野が構築される。また低軌道衛星運用に役立つ宇宙大気の速報値を提供できて、さらに宇宙天気予報が可能になり、世界に貢献できる技術となる。この技術は、地球のみに留まらず、火星や金星への応用も期待できる。

研究代表者らは、宇宙推進用のイオンエンジンの開発に成功して、これを「はやぶさ」小惑星探査機に応用し、深宇宙動力航行を実施して目的小惑星「いとかわ」へのランデブーおよび地球帰還軌道への投入を成功させた。このイオンエンジンを地球周回で用いる場合、放射されたイオンビームは地球磁場に捕らえられ、ラーマー旋回しながら、高緯度領域の高層大気深部に侵入して、大気との電荷交換により中性粒子に戻り、地磁場に影響されず慣性飛行して地球を脱出して失われる。この機構を研究する過程にて、能動的に利用して高層中性大気の遠隔観測法を着想するに至った。既知の速度・時刻・場所から放射された、自然界では稀な粒子種のイオンを用いて、後天的に変換された高速中性粒子を遠方から観測すれば、高層中性大気の組成・密度・空間・時間分布を捕らえることができる。特に、クリプトンイオンは、高層大気の主成分である原子状酸素と選択的に反応する性質を持ち、また自然界には稀にしか

存在しないため、観測用トレーサとして最適である。

これまでに、宇宙観測システムの机上検討に基づいて、キセノンイオンと酸素分子による実験室模擬にて観測原理を立証した。また提案者が発明・開発し、「はやぶさ」小惑星探査機にて宇宙実用したマイクロ波放電式イオンエンジンをキセノンからクリプトンへ変更することで、観測用イオンビーム源へ対応した。

ロケットや衛星を用いた実証試験や観測システム構築に向けて前進するには、クリプトン高速中性粒子観測装置の開発が課題であり、本研究課題の主目的である。クリプトン高速中性粒子の観測装置として具備すべき技術要件を以下に個条書きする。

- ・観測対象粒子：クリプトン (原子量 84、速度 2keV 程度、中性)
- ・飛来方向、飛来時刻、速度は 1 度、1 秒、10eV の精度で既知
- ・感度フラックス：100 粒子/cm<sup>2</sup>/秒以上、時間分解能：1 秒
- ・ノイズ成分：他高速中性粒子、イオン、紫外線
- ・その他要件：ロケット・衛星搭載のため、軽量・省体積・低消費電力・耐振動環境性

#### 2. 研究の進捗状況

一般的な高速中性粒子観測器は (1) 斜衝突電離または超薄膜電離機構、(2) 質量分析、(3) コリメータおよび (4) 粒子検出器から構成される。まずは研究の主題である、「微量かつ keV オーダーのエネルギーの高速中性粒子を高感度で検出可能な粒子検出器」についての検討と基礎実験を行った。

検討の結果、半導体粒子検出器、電荷増倍型検出器および蛍光X線検出器の三種を候補として、アバランシェ・フォトダイオード (APD)、マイクロチャンネルプレート及びシリコン PIN フォト検出器を入手し、基本性能を確認した。この結果、アバランシェ・フォトダイオードにおいて、数 keV という固体検出器としては著しく低いエネルギーの重粒子 (Xe, Kr, Ar) を検出することに成功した。また入射する粒子数に対して比例した出力を得られていることから、高速中性粒子数を定量的に直接測定できるセンサとしての利用が期待できる。この結果は世界でも報告されておらず、低エネルギー中性重粒子検出器として工学的に価値のある発見であった。

またアバランシェ・フォトダイオードは高速中性粒子を直接測定でき、前述した観測器システムの (1) ~ (3) を不要した。特に (1) の斜衝突電離には高度な技術が要求されるため、システム構築の面において、高速中性粒子を直接測定できるメリットは大きく、実際の宇宙検証システムの設計に大きく前進した。ロケットでの原理実証試験を鑑みて、感度評価を行った結果、APD によって増幅された直流電流から、 $10^5$  個/s という微小なフラックスの高速中性粒子まで測定できることが実験的に確かめられ、APD は人工イオンビームを用いた高層大気観測における検出器として高い応用性があることが示された。

### 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

過去に実績のある高速中性粒子観測器は (1) 斜衝突電離または超薄膜電離機構、(2) 質量分析、(3) コリメータおよび (4) 粒子検出器、という 4 つの複雑な構造が必要とされ、さらに実際の宇宙用観測器としてシステムの感度保証や汚染対策などの高い技術的なハードルがあったが、keV オーダーの重粒子検出器として前例のないアバランシェ・フォトダイオードでの直接観測に成功したことによって、宇宙検証実験は目前となっている。

### 4. 今後の研究の推進方策

検出システムのコアとなる検出器の原理検証と精度評価が完了したことから、(1) 観測機器の開発と、(2) ロケット或いは衛星による観測システムの部分的飛翔実験にフェーズを進める。

観測機器開発については、軌道上でより高精度の測定を行うために検出回路の高感度化に取り組む。必要となる高速アンプなどはすでに入手済みである。また宇宙環境耐性 (熱、光、放射線等) についても評価を行う。

観測システムの部分的飛翔実験については、グローバルリモートセンシングの前段階として、特定の位置・高度で宇宙実証試験を検討しており、イオンビーム及び電子放出機、検出器および電気回路などの試作を行い、宇宙実証の機会を伺う。

### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 9 件)

- ① 小川卓哉、細田聡史、國中均、西山和孝、山極芳樹、アバランシェ・フォトダイオードによる微小フラックス ENA 測定、宇宙輸送シンポジウム、2010 年。
- ② 細田聡史、小川卓哉、國中均、西山和孝、山極芳樹、アバランシェ・フォトダイオードを検出器とした惑星高層大気のリモートセンシング、宇宙科学シンポジウム、2010 年。
- ③ 細田聡史、小川卓哉、國中均、西山和孝、山極芳樹、アバランシェ・フォトダイオードによる keV オーダーの人工 ENA 計測、宇宙関連プラズマ研究会、2009 年。

-ほか 6 件