

1. 研究課題名：宇宙高温プラズマの観測的研究と偏光分光型超高精度X線CCD素子の開発研究

2. 研究期間：平成16年度～平成20年度

3. 研究代表者：常深 博（大阪大学・大学院理学研究科・教授）

#### 4. 研究代表者からの報告

##### (1) 研究課題の目的及び意義

高温プラズマは宇宙における物質の基本的存在形態の一つであり、その観測的研究から期待される物理量は、宇宙物理の基本とも言うべき量である。宇宙には高温プラズマ以外に、高エネルギー宇宙線に代表される熱分布から外れる、いわゆる非熱分布をした成分も広く知られている。熱分布はその温度で決まる範囲にあるが、一般的に非熱成分はエネルギースペクトルにおいて高エネルギー側に延びている。熱分布と非熱分布とを分離する有力な手段は、10 $\mu$ eV, keV を越える高エネルギー領域での観測にある。

超新星爆発やそれに伴って生じる磁場を含んだ衝撃波面における加速により、非熱粒子が発生すると考えられている。これらの非熱成分は、スペクトルではべき関数型であるため、高エネルギー側まで延びているが、光子密度としては低エネルギー側が強い。従って、熱成分と非熱成分とが分離し始めるエネルギー領域(数十 keV)を観測することが最も望ましいことになる。当然、熱成分とその延長上にある非熱成分とを同時に観測することが必要である。実際に我々が観測できるX線は、種々の物理現象が複雑にからみあった結果として放出、伝搬されたものである。つまり、これら複雑に絡み合った物理現象を解き明かし、熱い宇宙と非熱的な宇宙の高エネルギープラズマの実体解明、それに含まれる基礎物理量の導出方法の確立とその実証が本研究の目的である。

##### (2) 研究の進展状況及び成果の概要

我々の技術で開発したX線CCDは、小惑星サンプルリターンを目指す「はやぶさ」や、国際宇宙ステーションの「MAXI」に搭載される。それを基に作ったフレーム転送型素子は、空乏層厚さは約100 $\mu$ mである。更に厚い空乏層を目指すPチャンネル型素子の開発も順調で、空乏層厚さは200 $\mu$ mを超えている。またX線偏光を狙う微小画素の開発も進んでいる。

CCDの空乏層を厚くしても、その有効エネルギー範囲は10keV以上には、なかなか広がらない。そこで、シンチレータを直接蒸着したCCD(SD-CCD)を開発した。これは、0.1~100keVのX線を効率よく、かつ高い位置分解能で検出できること、さらに気球高度で動作することを実証した。これを気球に搭載し、2007年11月にブラジルの気球基地から放球した。その後、38kmの高度まで上昇し、観測体制に入ったが、大西洋に流れ、装置の回収には至らなかった。

我々の開発しているX線用CCDは、感度や波長分解能において、低雑音、高感度と言う点で他を圧倒している。さらに広い応用を狙うために低雑音アナログASICを開発した。ASICの大きさは3mm四角で、そこに四回路が入っている。概ね計画した性能を発揮しており、性能はすばく衛星搭載のアナログ回路系とほぼ同じになっている。したがって、「誰でも調整することなく、すばく衛星と同じ性能を達成できる」までになった。

#### 5. 審査部会における所見

##### A- (努力の余地がある)

宇宙高温プラズマの高精度観測を目的としたX線CCD素子の開発は順調であり、空乏層を厚くすることによる優れた低雑音動作、及び、画素の微細化を実現させ、「はやぶさ」での使用や国際宇宙ステーションへの搭載予定など、着実な実績を積んでいると評価できる。さらに、シンチレータとCCD素子を組み合わせ、軟X線から硬X線までの広範囲エネルギー帯域に感度のある検出素子開発を進め、気球高度で所定の性能で動作することを実証した。以上のことから、X線CCD素子に関する研究については、ほぼ期待どおりの成果が得られ、宇宙物理以外への応用も示され波及効果も期待できる。しかし、気象的な理由による不測の事態により、開発された検出器を搭載した気球を回収できなかったため、宇宙高温プラズマ観測に関して十分な成果を得ることができなかったのは残念である。宇宙高温プラズマ観測研究の可能性拡大を目指し、気球実験に替わる代替実験の検討・実施の努力を継続することが望まれる。以上により、努力の余地があると判断した。