

二国間交流事業 共同研究報告書

平成24年4月13日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 青山学院大学・理工学部

職・氏名 (ふりがな) 助教・榎直人 さかき なおと

1. 事業名 相手国 (フランス) との共同研究 振興会対応機関 (CNRS)

2. 研究課題名 国際宇宙ステーションきぼうモジュール搭載極限宇宙天文台 JEM-EUSO

3. 全採用期間

平成22年4月1日～平成24年3月31日 (2年0ヶ月)

4. 経費総額

(1) 本事業により執行した研究経費総額 3,417,540円

初年度経費917,540円、 2年度経費2,500,000円、 3年度経費 円

(2) 本事業経費以外の国内における研究経費総額 0円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者（代表者は除く）

氏名 (ふりがな)	所属・職名	研究協力テーマ
浅野 勝晃 井上 進	東京工業大学・助教 京都大学, 東京大学宇宙線研究所・研究員	超高エネルギー宇宙線の理論的研究 超高エネルギー宇宙線の理論的研究
長滝 重博 東出 一洋	京都大学・准教授 埼玉大学・博士課程3年	超高エネルギー宇宙線の理論的研究 JEM-EUSO 観測装置の開発
川崎 賀也	理化学研究所・協力研究員	JEM-EUSO 観測装置の開発
富永 望	甲南大学・講師	超高エネルギー宇宙線の理論的研究
柴田 三四郎	甲南大学・修士課程2年	超高エネルギー宇宙線の理論的研究

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名

パリ第7大学 APC・教授・Parizot, Etienne

(3) 相手国参加者（代表者は除く）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
Gorodetzky, Philippe	パリ第7大学 APC・DR2 Emeritus	JEM-EUSO 観測装置の開発
Allard, Denis	パリ第7大学 APC・CR	超高エネルギー宇宙線の理論的研究
Capdevielle, Jean-Noël	パリ第7大学 APC・CR	JEM-EUSO 観測装置の開発
Semikoz, Dmitri	パリ第7大学 APC・CR1	超高エネルギー宇宙線の理論的研究
Urban, Marcel	IN2P3 LAL・DR1	JEM-EUSO 観測装置の開発
Dagoret, Sylvie	IN2P3 LAL・DR2	JEM-EUSO 観測装置の開発
Monnier, Delphine	IN2P3 LAL・CR1	JEM-EUSO 観測装置の開発

6. 研究実績概要（全期間を通じた研究の目的・研究計画の実施状況・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

JEM-EUSO は 13 カ国、約 250 人の科学者が参加する国際宇宙研究プロジェクトで、 1km^2 、1 世紀に 1 個という非常に低い頻度でしか飛来しない 10^{20}eV 以上のエネルギーをもつ超高エネルギー宇宙線について研究するプロジェクトであり 2017 年の打ち上げを目指している。JEM-EUSO の目指すゴールは、超高エネルギー宇宙線のデータをこれまでにない量で収集し、エネルギースペクトル、到来方向分布の解析からその源を特定し、粒子天文学という天体物理学の新しい分野を切り拓くことである。現在世界最大の宇宙線観測装置 Auger の観測結果では超高エネルギー宇宙線は原子核である可能性を示唆しているが、 10^{20}eV 付近の領域ではまだ観測例数が不足しておりさらなる統計量が必要である。本共同研究では JEM-EUSO を実現し超高エネルギー宇宙線の研究を発展させるために理論面、実験面(観測装置開発)両方からアプローチした。

超高エネルギー宇宙線は大気中で相互作用を繰り返して空気シャワーを発達させる。空気シャワー中の荷電粒子は窒素分子を励起して 300nm から 430nm の紫外線蛍光を発する。JEM-EUSO ではこの蛍光を国際宇宙ステーション上の 2.5m 望遠鏡を用いて広大な検出面積で観測する。観測結果をもとに宇宙線の起源について詳細に議論するためには様々な大気条件下での蛍光発光効率を正確に把握しておく必要がある。発光効率測定精度を上げるために重要な較正装置を共同開発し光電子増倍管の効率を 5%以下の精度で測定することに成功した(榊)。本研究で準備を進めた発光効率測定は日本側の経験を生かしてフランスで行われる予定である。また、JEM-EUSO 用電子回路、特にプリアンプと計数回路などを組み込んだ ASIC(専用集積回路)の開発を日仏の技術をあわせて開発し実用に耐えるものが完成しつつある(川崎)。これらを含めた JEM-EUSO プロトタイプの実証実験を 2013 年にフランスの気球実験で行う予定をしており実施準備を共同で進めている。超高エネルギー宇宙線が原子核である可能性があるが観測シミュレーションに原子核を取り扱えるよう取り込み基本的な観測はできることを確認した(東出)。

超高エネルギー宇宙線について、JEM-EUSO で期待されるスペクトルや異方性の大量の観測データを適切に解釈し、その起源を突き止めるためには、加速源天体および宇宙空間伝播中における宇宙線の元素組成を正しく理解することが不可欠である。特に超高エネルギー宇宙線が鉄などの原子核である場合、起源天体での原子核生成量や伝搬過程での原子核相互作用を考慮することが重要でこの点に着目して研究を進めた。まず起源天体に多量の重元素が存在していなければならない。ガンマ線バースト中の相対論的ジェット中における元素組成と相対論的ジェットの加速メカニズムの関係を自分たちで開発した元素合成コードと D.Allard の重原子核破壊過程コードを組み合わせることで、調べた。その結果、重元素は壊れずに残り得るためには、ガンマ線バーストのジェットが輻射圧ではなく、主に磁場の圧力によって加速される必要があることを示した。この結果からガンマ線バーストジェットが磁場により生成されているとすれば、ガンマ線バーストが重原子核を主な構成要素とする超高エネルギー宇宙線の加速源の有力な候補となり得る事を明らかにした(柴田、富永)。井上は D. Allard らとともに、活動銀河核およびガンマ線バーストにおける最高エネルギー宇宙線陽子・原子核の加速・破壊・逃走過程について共同研究を進めた。この成果については現在論文を準備中である。さらに、H22 年度の時点では日本メンバーであった高見一らとともに、宇宙磁場中の宇宙線原子核伝播の詳細なシミュレーション計算を元に、現時点で観測されている宇宙線組成と異方性との関係を議論し、JEM-EUSO 観測に向けた予想の定量的な検討も行った。この成果は論文として学術雑誌に受理され、出版予定である。さらに陽子から鉄まで光破碎反応、パイオン生成率などに応じたエネルギー損失と磁場効果をすべて取り入れたコードを D. Allard らと共同で開発することに成功した(長滝)。さらに Dongsu Ryu 氏(韓国)の磁場中のシミュレーションをとりこみ、その初期結果を公表しつつある。