

宇宙総合学研究ユニット

NEWS 2021年8月号



第4回 SCB2 キックオフ報道発表 開催報告

今年度も5名のクルーを選抜し、米国アリゾナ大学(The University of Arizona)と協力して Space Camp at Biosphere 2 を実施します。2021年8月5日に昨年度のクルーによる第3回 SCB2 の報告と、今年度選抜された5名によるキックオフ報道発表を実施しました。

昨年度クルーメンバーからは、コロナ禍において昨年実施した日本でのフィールド実習の様子と日米でのオンラインワークショップの報告を行っていただきました。今年度選抜されたクルーからは、自己紹介と今後 SCB2 に参加する抱負を発表していただきました。

(第3期 SCB2 クルー)

- 東亜希哉 (ひがしあきや) 産業医大 医学部 5年生
- 大上耕平 (おおうえこうへい) 京都大学 工学部 3回生
- 高畑花帆 (たかはたかほ) 近畿大学 医学部 5年生
- 清水里香 (しみずりこ) 京都大学 理学部 4回生
- 堀山勝輝 (ほりやまかつき) 京都大学 医学部 2回生

(第4期 SCB2 クルー)

- 佐野愛華 (さのあいか) 京都大学 工学部 2回生
- 伊藤河間 (いとうがもん) 早稲田大学 修士1年生
- 生方紗貴 (うぶかたさき) 慶應義塾大学 3年生
- 平嶺和佳菜 (ひらみねわかな) 東京理科大学 3年生
- 紺谷昌平 (こんたにしょうへい) 筑波大学 1年生

第4回 SCB2 海洋環境実習 in 白浜 開催報告

第4回目となる Space Camp at Biosphere 2 は、冬に予定されているアメリカ・アリゾナ州にある人工閉鎖生態系 Biosphere 2 におけるスペースキャンプに加えて、日本国内3ヶ所(白浜・芦生・鳥取)での環境実習を行う。その第一回として2021年8月7日~8日にかけて和歌山県白浜で海洋環境実習を行った。

1日目は、京都大学防災研究所・白浜海象観測所を訪問した。観測所は、和歌山県田辺湾に位置しており、田辺湾にある田辺中島高潮観測塔にて長期観測を行っている。馬場康之准教授から、海洋固定観測点が果たす長期観測の役割と、海洋基礎物理パラメータを通じての環境長期観測の方

法とその重要性に関する講義を受けた。その後、小型船舶で沖合にある観測塔を訪れ、観測塔付近と汽水域の二ヶ所で、各水深に対する塩分濃度・水温・溶解酸素濃度・濁度・クロロフィル a 濃度などの基礎パラメータの鉛直分布の実地観測を行った。また、エクマンバージ採泥器を用いた海底の採泥や、バンドーン採水器を用いた採水の方法も実地で体験した。夜には、京都大学総合生存学館の山敷庸亮教授から、地球近辺の惑星や恒星の特徴について「太陽系外惑星データベース・Exo Kyoto」を用いて講義を受け、その後屋外で天体望遠鏡を用いて学んだ恒星や惑星の観望も行った。また後日オンラインで、山敷教授からデータの解析方法や、生命にとっての海の重要性に関する講義を受けた。

2 日目は、京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所・白浜水族館を見学した。水族館では、小林元樹研究員に、ゴカイをはじめとする周囲の海に生息する生物の特徴や飼育方法、進化に関する説明を受けた。さらに、水族館の付近の潮だまりでは実際の生物の観察も行った。今回の実習で学んだ知識や得たデータは、アメリカ側の SCB2 参加者 5 名とオンラインで共有して、今後 Biosphere2 の人工の海洋環境との比較を行う予定である。



写真左：ボートによる実地観測



写真右：瀬戸臨海研究所周辺の海岸にて

大気球による豪州での MeV ガンマ線南天観測

谷森 達

京都大学 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 物理学第二教室

今日天文学は大きく進展した。約 80 年前までは可視光の観測のみであったが、今は電磁波のほぼ全波長領域から宇宙線、ニュートリノ、重力波まで観測が進んでいる。その中で 0.1~50MeV のコンプトン散乱を主な反応とする MeV ガンマ線は、原子核反応に関する放射領域のため、超新星爆発等の元素合成領域や中性子星・ブラックホール等からの放射、粒子加速からの放射など宇宙の大半の高エネルギー現象の重要な情報が得られる。特に放射性同位体からの核ラインガンマ線は元素の種別以外に、半減期からその場での元素合成を直接示す唯一の証拠であり、超新星爆発等の元素合成解明には不可欠と考えられている。そのため X 線天文学が始まった当時から研究が開始された。しかし 60 年経過した今もほとんど進展は無く約 30 天体が観測されたに過ぎない。

その理由は、MeV ガンマ線は量子性が強く屈折・反射などの電磁波の画像法が使用できず、到来方向は個々のガンマ線のコンプトン散乱の物理量を計測、運動方程式を解くという粒子物理的手法でしか求まらない。しかしコンプトン散乱は散乱電子、反跳電子共に MeV 以下でその 3 次元測定が困難であった。1970 年以後、反跳電子の方向以外は測定可能となり、不完全ながらコンプトン散乱の運動学からガンマ線方向が決定できるコンプトンカメラ (CC) が登場。しかし電子の方向測定が不可能なため運動方程式が完全には解けず、ガンマ線方向を決める仰角と方位角のうち、仰角しか得られず方向は数十度に広がる円環となる。そのため画像内の各場所の情報が常に混在し画像内の各場所の線形性が無い非線形画像となる (図 1 b)、つまり Point Spread Function が全画面に薄く広がった状態なため本質的に感度が下がり定量性もない。普通の画像はこの 2 角が画像面の 2 次元座標に全単射されるが、それができない。他のコーデッドマスク法なども同様である。さらに MeV ガンマ線は大気外での衛星、気球観測が必要だが上空では宇宙線が常に測定器と作用しガンマ線放射性同位体が出来るため測定器自体が最も強い雑音源に常になるというジレンマまである。これを除去するためにも正確なガンマ線到来方向が必要だがそれが不可能であった。1990 年代にコンプトンカメラ (CC) の COMPTEL、2000 年代以後はコーデッドマスクの INTEGRAL と 30 年にわたり欧米の大型衛星が観測を続けたが大きな進展は得られていない。

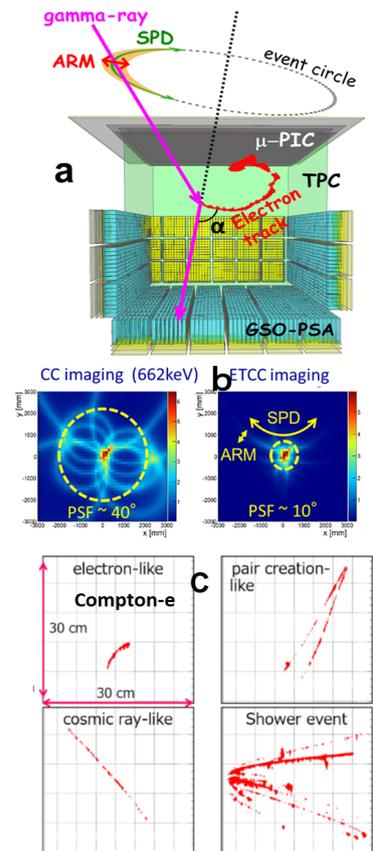


図 1 : (a) ETCC の概念図、TPC 周囲を PSA が取り囲む。到来方向は ARM と弧の長さ SPD で限定。従来 CC は SPD が無く円環となる。(b) CC (左) と ETCC (右) の集光の差。(c) TPC 内の飛跡トポロジー例。

これを打破し MeV ガンマ線天文学が本来持っている豊かな科学を引き出す目的で、我々は電子飛跡の方向を測定しコンプトン散乱の全物理量測定が可能な電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) を開発 (図 1 a)、ETCC を用い気球による MeV ガンマ線観測計画 SMILE を開始した。ガンマ線検出には本来用いない希薄なガスを利用し、粒子実験で使用されるガス 3 次元粒子飛跡検出器 (Time Projection Chamber; TPC) を改良、数 keV 以上の微弱な電子飛跡の方向が霧箱で見えるように測定出来、コンプトン散乱の全物理量の測定を実現し、ガンマ線を 1 点に収束し全単射ガンマ線画像取得に成功した (図 1 b)。さらにガンマ線再構成に使用しない電子のエネルギー損失率等や飛跡のトポロジーを利用し (図 1 c)、ガンマ線を損失せずに完全な雑音分離も同時に実現、2 つの問題を一気に解決した。つまり今まで見えなかったガンマ線の完全可視化を世界で初めて実現したのである。

宇宙観測用の 30 cm 立方 ETCC を 2018 年に JAXA 大気球搭載し豪州で南天の 1 日の観測を実施した (SMILE2 + 実験)。ETCC は 3sr と広視野を持ち、1 日の観測で全天の 3/5 を観測、銀河中心 (GC) 全域とディスクの半分さらにかに星雲 (Crab) までを観測した。予想通り雑音の大半

は簡単に除去でき、ETCC の見た領域の宇宙ガンマ線のライトカーブが得られた。GC が ETCC の視野に入る間、ライトカーブは増加と減少を示し明確に GC からの拡散ガンマ線を捉えた（図 2：R2 年秋の天文学会水村氏発表から）。MeV 領域での GC 拡散ガンマ線は GOMPTEL・INTEGRAL が 10 年近く観測しても広がっているため雑音分離が困難であり直接観測はできなかった。モデルを仮定した複雑な解析で精度の悪いデータのみである。ライトカーブのみで GC が観測できたことは雑音が宇宙拡散ガンマ線と同程度、つまりほぼ全雑音の除去に成功したことも明確に証明した。Crab も予定通り 4σ で検出。世界で初めて打ち上げ前の予想通りの感度を ETCC 法で実現、今までコンプトン法の観測では 1 桁近い予想感度の低下が常に報告されていた。1 日の観測であるが GC ガンマ線、さらには系外拡散ガンマ線共に初めて低雑音の高統計データが得られた。この 2 つは今、暗黒物質の探査、活動銀河核の分類などで非常に注目されている。ただ低雑音は実現したが信号ガンマ線自体が装置や大気で散乱した後に装置に入る成分が多く、それを直接装置に入った信号との分離が大変難しいという新しい問題も起こった。現在、その問題をシミュレーションとデータの精密な比較から解決し、今年数編の論文として発表していく（7 月に第 1 論文を投稿、Arxiv に登録）。

今、SMILE2+を基に 5 倍の感度改善を行い一か月の長時間気球による観測 SMILE3 を 4-5 年後に行う計画を進めている。今回より 2 桁以上の高統計を実現、COMPTEL より 5 倍感度が高い南天全域観測を実現、気球ではあるが一期に MeV ガンマ線天文学を進展させ、最終的には 2030 年代の衛星による従来の 100 倍の高感度全天探査を目指す。今回の成功はこの衛星観測が可能であることを実証している。ガンマ線測定に最も不向きなガスを利用、その希薄さを利用することで逆に初めて MeV ガンマ線の完全可視化に成功した。MeV ガンマ線は放射線ガンマ線である。つまり放射線の完全可視化が出来た。それを利用する医療、原子力、環境等多くの分野に高精度イメージング測定が今後可能になり、宇宙以外でも大きな発展が期待される。

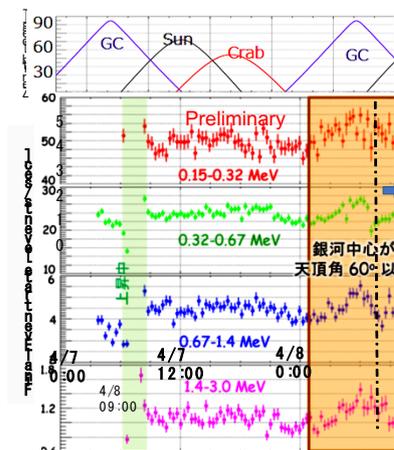


図 2：エネルギー別のライトカーブ。
8 日 0 時以後 GC が視野に入ると全帯域で増加に続き減少を確認

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆様のご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

<https://www.uss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：堀山勝輝

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: uss@kwasan.kyoto-u.ac.jp