

観測機器分科会

今後の天文学を担う

日時	7月27日 17:45 - 18:45, 20:00 - 21:00 7月28日 9:00 - 10:00, 10:15 - 11:15(招待講演：柏川 伸成 氏), 17:15 - 19:30 7月29日 13:30 - 15:45, 16:00 - 17:00(招待講演：國枝 秀世 氏)
招待講師	柏川 伸成 氏 (国立天文台)「TMT」 國枝 秀世 氏 (名古屋大学)「X線天文学の観測的研究」
座長	花岡美咲 (名古屋大学 M2)、佐藤真柚 (首都大学東京 M2)、竹村泰斗 (京都大学 M2)、 今谷律子 (大阪大学 M2)、中谷創平 (埼玉大学 M2)
概要	<p>観測に用いる手段によって、宇宙の様々な描像を観る事ができます。今日の天文学は、電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、γ線、重力波、ニュートリノといった様々な観測手段を用いて、盛んに研究がおこなわれています。宇宙を様々な角度から観測し、理解を深めるためにも、その手段となる観測装置や解析ソフトウェアの発展は必須となります。これらの観測装置や解析方法の発展が、様々な角度から宇宙を観ることを可能とし、新たなサイエンスを明らかにします。その解明の過程には装置や解析方法の仕組みの理解は欠かせません。本分科会では、将来の天文学を支える観測機器の最先端の開発について、ハードウェアとソフトウェアの両面から理解を深め、議論する場を設けます。また、衛星開発と地上観測装置の開発に携わる講師を招き、参加者が装置開発の現状と今後について理解を深め、自らの開発のモチベーションを高める機会を提供します。様々な分野の今後の天文学を担う研究者同士が交流し、有意義な議論ができることを期待しております。</p> <p>注) 装置開発に関するものは基本的に観測機器分科会で扱います。開発する装置が目指す科学目標に話の重点を置く場合は、それに該当する分科会で扱います。</p>

柏川 伸成 氏 (国立天文台)

7月28日 10:15 - 11:15 B会場

「TMT」

TMT 計画の現況と運用方針、および TMT の切り拓くサイエンスについて紹介する。

國枝 秀世 氏 (名古屋大学)

7月29日 16:00 - 17:00 B会場

「X 線天文学の観測的研究」

1963年のX線天体発見そして1965年の日本で最初のX線観測以来100年になります。大気吸収を避けるために軌道上の衛星からの観測が主流になって来ました。宇宙観測に伴う、超軽量化、耐振動・耐衝撃性、と言う厳しい制限の中で、放射線技術、衛星搭載技術が磨かれました。検出器では比例計数管から半導体検出器、そしてマイクロカロリメータへの進化がありました。一方で、コリメータ、Coded Mask、そして集光結像光学系への進歩がありました。これに伴い、X線の撮像分光観測が可能になり、他波長では見られない高エネルギー天体现象を明らかにしてきました。本講演では宇宙観測機器開発の進展を紹介し、これまでにない検出器でこれまでにない精度や波長域で新しい物理現象を探ると言う講師の基本的姿勢を伝えます。

観測 a1 次世代を切り開く近赤外面分光ユニットの開発 –A new near-IR IFU for Subaru–

北川 祐太郎 (東京大学 天文学教育研究センター D2)

本講演では、面分光 (Integral field spectroscopy) と呼ばれる観測手法をキーワードに挙げ、前半はその観測原理と装置コンセプトの説明を、後半では現在私が開発を進めている近赤外面分光ユニット SWIMS-IFU について紹介する。

面分光とは、“視野内の空間情報を保持したまま、その波長情報も同時に取得できる” 観測手法であり、8–10 m 級望遠鏡の登場に伴い、可視赤外天文学で急速に発展してきた。その特徴として、通常の撮像やスリット分光観測が2次元のデータ構造 (X vs Y 、又は X vs λ) を有するのに対し、面分光観測では一度の露出で3次元のデータキューブ (X vs Y vs λ) が取得可能であることが挙げられる。このような観測を実現する光学系は IFU (Integral Filed Unit) と呼ばれ、特に近赤外 IFU は遠方宇宙 ($z > 1$) における銀河形成進化を解き明かすうえで重要な装置のひとつとなっている。実際に次世代超大型望遠鏡 TMT や Hubble 宇宙望遠鏡の後継機である JWST にも近赤外 IFU の採用が予定されており、今後の装置開発において日本の天文学が競争力をもつ装置提案をおこなうためには、IFU の要素技術開発が重要な鍵を握っているといえる。

そこで現在、私はすばる望遠鏡で観測可能な近赤外面分光ユニット SWIMS-IFU の設計、開発をおこなっており、2016 年度内のファーストライトを目指している。他の近赤外面分光装置と比べて広視野 ($14'' \times 5.2''$)、広波長帯 (0.9–2.5 μm) のデータキューブを取得できるという特徴を有し、その開発にはイメージスライサー方式と呼ばれる光学設計やスライスミラーアレイと呼ばれる特殊な光学素子の超精密加工技術による製作など前述の次世代天文観測装置につながる重要な要素技術が取り込まれている。講演ではこれらの要素技術の解説に加え今後の展望についても述べる予定である。

1. Kitagawa *et al.*, Proc. SPIE 9151 (2014)
2. Konishi *et al.*, Proc. SPIE 8446 (2012)

観測 a2 近赤外多天体分光カメラ SWIMS の開発

寺尾 恭範 (東京大学 天文学教育研究センター M1)

本発表では、近赤外多天体分光カメラ SWIMS の概要と開発状況、SWIMS が可能にするサイエンスについて紹介する。

現在、東京大学天文学教育研究センターでは、南米チリ共和国アタカマ高地のチャナントル山頂に 6.5 m 赤外線望遠鏡を建設する TAO (The University of Tokyo Atacama Observatory) 計画を進めている。TAO サイトは天文台として世界最高標高 5640 m にあり、良好なシーイング、高い晴天率、高い赤外線透過率などの特長がある。中でも近赤外領域における連続的な大気窓は他に類を見ず、他サイトでは困難な $\text{Pa}\alpha$ 輝線 (静止波長 1.8751 μm) の観測が可能な地上望遠鏡である。

SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Multi-object Spectrograph) は、TAO 望遠鏡の第一期観測装置として我々が開発している近赤外多天体分光カメラである。SWIMS 有する特徴のひとつとして挙げられるのが、短波長 (0.9–1.4 μm) と長波長 (1.4–2.5 μm) の2色同時撮像/分光観測である。入射光はダイクロミックミラーによって分割され、それぞれの波長帯で天体の像、あるいはスペクトルが得られる。観測モードは撮像、多天体分光、面分光の3つであり、これらのモードは、多天体分光マスクと面分光ユニット (Integral Field Unit) を収納した多天体分

光マスク交換ユニット (Multi-Object Spectroscopy Unit) によって一晩の観測中に迅速に切り替えられる。SWIMS と TAO 望遠鏡を組み合わせることで、赤方偏移により近赤外の波長域に入った静止系可視域の輝線を用いた遠方銀河の研究や、ダスト吸収を受けにくい $\text{Pa}\alpha$ 、 $\text{Pa}\beta$ 輝線を用いた高光度赤外線銀河の研究などの進展が期待できる。

1. 藤堂颯哉：修士論文「近赤外多天体分光カメラ SWIMS における検出器読み出しシステムの開発と評価」、東京大学 (2015)

観測 a3 InGaAs 近赤外線検出器 FPA640x512 の性能評価

都築 晃子 (名古屋大学 理学研究科 宇宙物理学研究室 赤外線グループ (UIR 研) M1)

昨今の近赤外線天文装置には、高性能で大規模な二次元アレイ検出器が不可欠であるが、そのような検出器は非常に高価なため、容易に入手できない。そこで、安価に入手可能な、中華立鼎光电製 FPA640x512・InGaAs 近赤外線検出器 (有効感度波長帯 0.9 μm –1.7 μm の半導体検出器) の、天文用途としての性能を評価する。評価すべき性能として、暗電流、Full Well、量子効率、読み出しノイズがある。これらを適切に評価するには、光電子の数 [e^-] と、A/D 変換後に出力されるカウント値 [ADU] の換算係数 CF [e^-/ADU] を正しく知る必要がある。本研究では、まずこの CF を実験で評価した。光子由来の電子の数が、その数の平方根で揺らぐことを利用して、検出器の出力値と、その時のノイズの大きさから CF を求める。検出器に光を照射し、出力値と分散を測定した。検出器出力が、ピクセル毎に大きくばらつくため、同じ状況で複数回測定を行い、ピクセル毎に出力の平均値および分散を求めた。また、さらに出力値を安定させるために、検出素子に印加するバイアス電圧を調整した。バイアス電圧を調整し、複数回測定を行った結果、CF は $36 e^-/\text{ADU}$ となった。これは、仕様値の約3分の2である。また、検出素子に印加するバイアス電圧を約3倍にすることで、ピクセル毎の出力のばらつきは、出力値の数10%から数%程度に低減した。検出素子に印加するバイアス電圧を変化させると、検出素子内部の、光を検知する空乏層の厚さが変化する。バイアス電圧が大きい場合、空乏層の厚さが大きくなるため、出力値がピクセル毎でばらつかなくなると考えられる。今後は、今回求めた CF の値を用いて、上述した評価項目について調査する。

観測 a4 京大岡山 3.8m 望遠鏡計画：主鏡支持機構・ワーピングハーネスによる鏡面歪みの補正

細野 俊介 (京都大学宇宙物理学教室 M1)

京都大学が中心となり、岡山にナスミス式 3.8m 光赤外線望遠鏡を建設する計画を進めている。日本の望遠鏡としては初の分割鏡方式を採用しており、全 18 枚の分割鏡を 1 枚の主鏡として成立させるためには、各分割鏡の傾きや鏡面の歪み等を高精度で補正可能な支持機構が必要となる。今回取り上げるワーピングハーネス (WH) は、鏡面歪みを補正するための装置である。各分割鏡は3つのホイップルツリーと呼ぶ機構により計 9 点で支持されており、各ツリーには WH が2つずつ設置されている。

鏡の形状誤差が原因で鏡面に生じた歪みにより、主鏡で光が反射する際に波面揺らぎが形成され、星像の乱れにつながるため、これを補正することが不可欠となる。WH はその誤差から生じると考えられる、

±500nm 程度の歪みの補正を目標とする。

具体的な補正の仕組みは、まず、ホイップルツリーに設置された計 6 つの WH を駆動させることで分割鏡に荷重がかかり、鏡面を変形させる構造になっている。シャックハルトマン波面センサーで波面のローカルな傾きとして鏡面の歪みを検出し、その歪みを打ち消すような変形を WH で与える。

そこで、補正に必要な鏡面変形を発生させるために適切な各 WH の駆動量を算出する必要がある。分割鏡とホイップルツリーの簡略化したモデルを作成し、有限要素法を用いて WH 駆動のモデル解析を行った。これにより、各 WH を駆動させた際の鏡面変形を変位データとして得た。そのデータを用いて逆解きを行うことにより、鏡面の歪みを補正するために必要な各 WH の駆動量を求める。

本講演では、WH のさらに詳細な仕組み・役割や、有限要素法解析を中心として WH の運用に必要なアクチュエータへの指令部を構築するために行ったこと、今後行うべきことを説明する。

観測 a5 岡山 3.8m 望遠鏡用可視高分散分光器の開発

高本 昌弥 (京都大学宇宙物理学教室 M1)

これまでケプラー衛星の測光観測によって、スーパーフレアを起こす太陽型星が発見されてきた。今回の研究では光度変化だけでなく、どのような条件でスーパーフレアが起こるのか、またその太陽型星がどのような物理的特性を持つのかを解明する。これにより太陽でスーパーフレアが起こるのか、またどのような前兆現象があるのかという謎に迫る。そのためには精密な分光観測をする必要があり、我々は広い波長帯を高分散で一度に取得でき、そして 2 天体を同時に観測することで観測精度を高めた可視相対高分散分光器を開発している。

これまでの高分散分光器は、各次数の回折スペクトルの重なりを分離する働きをもつクロスディスペルザにも回折格子を使用していた。回折格子は原理的に観測波長の半分の波長を持つ光の分離ができなため、広い波長帯を同時に観測するにはダイクロイックミラーが必要とされる、また波長帯の端で効率が低下するなどの問題がある。一方、高分散分光器でクロスディスペルザにプリズムを使用すると、一般的に十分な波長分散を得るためにプリズムのサイズと個数が増加する。

それらの問題を踏まえて今回の分光器はファイバーで離散スリットを作っている。そうすることで各スリットから得られるデータの重なりをずらすのに必要な波長分散を抑えられ、クロスディスペルザに頂角の小さなプリズムを使うことができる。プリズムは回折格子に比べて分散が小さいのだが、その材質によって透過率が決まってくるので材質を最適化することで高効率で観測することができる。また回折格子の場合得られる波長範囲が、最小波長の 1.5 倍から最大でも 2 倍までであるのに対して、プリズムの場合はその範囲に制限がなくなる。

ただ問題として広い波長帯で色収差をなくす必要がある。そのため反射光学系を使用し、さらに自由曲面のみを用いることでその設計を可能にしようとして開発を進めている。

発表の際には、この開発している分光器の設計と問題について報告する。

観測 a6 FMLO: オフ点不要の新しいミリ波サブミリ波分光法の開発と性能評価

谷口 暁星 (東京大学 天文学教育研究センター D1)

我々は、ヘテロダイン受信機の局部発振器 (Local Oscillator; LO) の発信周波数を変調 (Frequency Modulation; FM) することで単一鏡分光

観測の感度を向上させる、新しいミリ波サブミリ波分光法 “FMLO” の開発を行っている。本手法では従来のポジションスイッチ観測や周波数スイッチ観測で取得すべきオフ点 (参照スペクトル) の観測が不要なため、観測効率の大幅な改善による感度の向上が可能である。これは、分光計出力を高頻度 (~ 10 Hz) で取得しつつ、LO 周波数を変調させて天体信号を時間空間上で高周波に変調することにより、低周波成分が卓越した $1/f$ 状の相関雑音と天体信号とを時系列データ上で分離することで実現している。これにより、観測効率および感度の向上とともに、ベースラインのうねりの低減、サイドバンドの分離が可能となり、線幅の広い系外銀河の輝線探査やオフ点観測が難しい銀河面サーベイなどに、絶大な威力が発揮されることが期待される。

本講演では FMLO の原理に加え、正確かつ高速な相関雑音の分離を可能にする解析パイプラインの開発、野辺山 45m ミリ波望遠鏡へ搭載された FMLO による系内分子雲 Ori-KL の性能評価観測について紹介する。解析パイプラインの開発では、連続波多素子カメラの反復モデリングを応用するとともに、相関雑音の分離に主成分分析 (PCA) に確率モデルを導入することで、天体信号スペクトルの再現性を大幅に改善が可能となった。また性能評価観測では、周波数変調の速度と幅のパターン (FMP) を最適化、および FMLO を併用したマッピング観測を試験し、オフ点不要な天体画像が取得できることを実証した。

1. Y. Tamura et al. 2013, ASPCS, 476, 401
2. E. L. Chapin et al. 2013, MNRAS, 430, 2545
3. T. P. Minka et al. 2000, NIPS, 15, 598

観測 a7 自作断熱消磁冷凍機を用いた TES 型 X 線カロリメータの開発

海道 司 (金沢大学宇宙物理学研究室 M1)

X 線マイクロカロリメータは入射する X 線光子 1 つ 1 つのエネルギを素子の温度上昇として計測する検出器であり、0.1 K 以下の極低温で動作させることにより優れたエネルギー分解能を実現する。中でも TES 型は、超伝導遷移端を高感度の温度計として利用することによりさらなる分光性能が期待できることから、X 線天文学における次世代精密分光装置として最も注目されている。我々は将来の X 線天文衛星への搭載を念頭に置き、微小重力下で < 0.1 K の極低温を実現できる断熱消磁冷凍機 (ADR) をカロリメータと一体で開発している。昨年は 5.9 keV の X 線に対して 3.8 ± 0.4 eV (FWHM) の分解能を実現したことを報告した。その後、安定した素子評価環境の実現を目指して、さらなる ADR の改善に努めてきた。

我々の ADR が抱える問題の一つは、リサイクル過程において磁化熱の排熱に時間がかかり (~ 7 時間)、運転効率を下げていることである。私は使用している部材の熱容量や排熱経路の熱伝導度の測定を行い、ヒートスイッチの接続部で熱伝導度が小さくなっていることを突き止めた。現在、ヒートスイッチ接続部の改良を進めている。またセンサ動作時の温度制御ロジックを見直し、温度安定度の改良も行ってきた (伊東他, 本研究会)。

本講演ではこれらの改良について報告する。また、現在進めている新しいアレキソ子の性能評価結果についても述べる。

1. 高倉奏喜, 修士論文 (2015)
2. 田沼静一, 低温, 共立出版株式会社 (1974)
3. Frank Pobell, Matter and Methods at Low Temperatures

Springer(1992)

観測 a8 Double-SOI 層を用いた X 線天文観測用 SOI ピクセルの性能評価

大村 峻一 (京都大学 宇宙線研究室 M1)
X線天文衛星で現在主流の検出器である X 線 CCD の時間分解能は数秒なので、ブラックホールやパルサーなどの X 線天体の激しい時間変動 (msec) の観測が出来ない。そこで、私達は Silicon On Insulator (SOI) 技術を用いて、検出部と読み出し回路が一体型の X 線天文衛星用 SOI ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、新たに「イベント駆動」という、X 線の入ったピクセルのみを読み出す方法を用いることで、数マイクロ秒という時間分解能を達成できる。これまでの開発で、一体型の検出部と読み出し回路の間で電気的な干渉があり、その結果読み出しノイズが下がらない問題が明らかになっている。そのため、検出部と読み出し回路の間に新たに silicon 層を挟むことで両者の干渉を切ることを目的に、新たに Double-SOI ピクセル検出器を開発した。これまでに Am-241X 線源を用いた常温での X 線照射実験を行い、X 線スペクトルの取得に成功した。今講演ではその結果を中心に、Double-SOI 型の XRPIX 素子の性能について述べる。

観測 a9 X 線観測用 SOI ピクセル検出器における裏面照射での軟 X 線性能の評価

伊藤 真音 (京都大学 宇宙線研究室 M1)
X 線天文衛星の標準的な検出器である CCD には、問題点が 2 つある。1 つは時間分解能が数秒程度と低いので、ミリ秒パルサーやブラックホールなどの短い時間変動の観測が不可能であるという点である。2 つ目は 10keV 以上の領域において非 X 線バックグラウンドが占有的であるので、エネルギー帯域が 0.5-10keV に限られてしまう点である。そこで、私たちは Silicon On Insulator (SOI 技術) を用いて、SOI ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。この素子は時間分解能が数 μ 秒であるので、激しい時間変動の観測が可能である。また、非同時計測法を用いることで、10keV 以上の非 X 線バックグラウンドを下げる事が可能となり、0.5-40keV とした広帯域での撮像分光を行うことができる。XRPIX の表面には 10 μ m 程度の回路層が存在するため、表面照射型の観測方法では低エネルギーの X 線観測が不可能である。そこで、不感層厚が薄い裏面照射型の XRPIX の開発を開始した。これまでに、LBNL によって開発された「Pizza process」と呼ばれる方法と、イオンインプラ + レーザーアニーリングによる方法の 2 種類の素子を試作し、これらの素子における軟 X 線の感度を調べた。本公演ではその結果を述べる。

観測 a10 電子飛跡検出型コンプトンカメラによる偏光検出

吉川 慶 (京都大学 宇宙線研究室 M1)
高エネルギー天体では偏光を生成するプロセスが多数存在する。数百 keV から上の MeV ガンマ線では、超新星残骸の磁場構造、ガンマ線バーストの放射機構、分子雲トラスの幾何構造といった情報が偏光を検出することで分かる。しかし、MeV ガンマ線では宇宙線との相互作用により多量のガンマ線・中性子・荷電粒子を生じ、高雑音環境になっ

てしまうため検出が難しい。また、MeV ガンマ線ではコンプトン散乱が優位に起こるのだが、従来の撮像技術では散乱ガンマ線の方向、エネルギー、反跳電子のエネルギーを測定し、反跳電子の方向が測定できていない。そのため入射ガンマ線を再構成することができず、撮像精度が悪い。今、強力な雑音除去能力および高精度な撮像能力を持つ偏光検出器が必要とされている。

そこで、次世代の MeV ガンマ線偏光検出器として電子飛跡検出型コンプトンカメラの開発を行っている。シンチレーション検出器により散乱ガンマ線のエネルギーと吸収位置を検出し、ガス飛跡検出器により反跳電子のエネルギーと三次元飛跡を検出する。入射ガンマ線の再構成することができ、偏光と撮像を同時に行える世界初の検出器となる。

偏光観測の性能評価をするために SPring-8 BL08W で実験を行った。182keV 直線偏光ビームを 10mm 厚のアルミ板に照射し、その 90° 散乱光を測定した。検出器全体を方位角方向に回転させることで、入射ガンマ線の偏光方向を変えて、方位角依存性を見た。性能指標であるモジュレーションファクターが 0.6@130keV という高い値を示した。偏向角の検出も誤差の範囲内で、シミュレーションによって得られた値と一致した。

今後は、撮像を活かした偏光測定実験、より偏光検出に適したジオメトリの考案をして電子飛跡検出型コンプトンカメラを改良していく。そして、未知の高エネルギー現象の解明を目指す。

観測 a11 データステッチングとアルゴリズム開発

石井 遊哉 (京都大学宇宙物理学教室 M1)

望遠鏡の開発にあたって、鏡の表面荒さが要求仕様を満たしているかを調べるためには、表面形状を測定する必要がある。直線経路上の高さを測定する機器を使用すると、鏡面を網目状に測定することで表面形状が得られる。しかし測定データには各経路ごとに異なる偶然誤差が乗っているため、本来同じ値であるはずの経路の交点でも異なる値を示し、真の表面形状とは見せない。そのため、従来は交点部分の偏差が最小となるように、各経路データ一本ずつの並進・回転を調整して処理していた。しかしこの手法では交点の不一致は依然残ったままであり、知りたい精度を確保するにはより高精度の測定機器を必要とした。これはデータを「剛体」として扱っていると言える。

これに対してデータステッチングは、各経路のデータ一本ずつを「弾性体」として扱い、交点部分の値が完全一致するように強制変位を与えて貼り合わせていく (ステッチング)。この処理によって、物理的意味を保ったまま交点部分の不一致を解消することができる。実際、鏡の形状を計測したデータを本手法で処理すると、表面粗さの指標となる RMS が 84 nm から 28 nm に改善するなど、偶然誤差の影響を大幅に軽減することが実験的に確かめられている。この技術は、画像のモザイク合成など重複領域を持つデータに対して広く応用でき、非常に汎用性が高い。

今回、よりコンパクトな行列計算でこの処理をアルゴリズムを開発した。本発表では、データステッチングの概念とその計算アルゴリズム、実際に処理し誤差の影響を小さくしたデータを紹介する。

観測 a12 Suzaku/WAM で検出されたガンマ線バーストの数値計算による位置決定法の開発とその系統誤差の評価

藤沼 洸 (埼玉大学 理工学研究科 物理機能系専攻 田代・寺田研究室 M2)

X 線天文衛星「すざく」に搭載されている硬 X 線検出器の外周を取り

巻く非同時計数用のシンチレーションカウンタは、50–5000 keV 帯域で全天のほぼ半分の視野を持ち、広帯域全天モニタ (Wide-band All-sky Monitor; WAM) として役立てられる。WAM は、硬 X 線帯域で大きな有効面積 (800cm² at 100 keV) を持つため、ガンマ線バースト (Gamma Ray Burst; GRB) をはじめとする突発天体を年間 300 イベントあまり検出する。しかし現状では、WAM だけを用いた位置の決定ができず、光子の到来方向に依存する応答関数が作成できないため、スペクトル解析できる GRB は他衛星と同期し位置決定できた約 1 割のイベントに限られる。残りの 9 割の GRB を解析するためには、その到来方向を独自に求める必要がある。そこで我々は、まず衛星全体を構成する物質やその密度、空間分布を再現したマスモデルを作成、モンテカルロシミュレーションを行い、光子の入射角度ごとに WAM の応答を詳細に調べた。この結果を、実際の観測結果と比較する事で WAM 単独で到来方向を推定する方法を開発した。この方法を検証するために、他衛星の観測により到来方向が既知の 32 の GRB について、このシミュレーションツールを用いて推定した到来方向と比較した。その結果、物質が多い冷媒タンクなどがある方向を除けば、両者の方位角方向の差分の平均は約 6 度の精度であった。さらに、推定した到来方向で応答関数を作成、スペクトル解析を行い、その結果を他衛星によって決定された到来方向で求めた応答関数による評価と比較した。GRB によく合うモデルである Band Function の場合、系統誤差はそれぞれ、低エネルギー側の光子指数に約 11%、高エネルギー側の光子指数に約 2%、べきが折れ曲がるエネルギーに約 10%、フラックスに約 21% と評価された。

観測 a13 電気パルスで駆動できる可搬型 X 線発生装置の基礎開発

西田 和樹 (東京理科大学 玉川研究室 M1)

検出器のエネルギー較正を行うためには、特性 X 線など既知のエネルギーをもつ X 線を入射させる必要がある。一般には ⁵⁵Fe などの放射性同位体か、フィラメントによる熱電子発生を利用した X 線発生装置が用いられる。ただし、これらの X 線の発生過程はランダムなので、Time Projection Chamber を用いたガス検出器の電子ドリフト速度測定など、X 線の発生タイミングが重要な検出器の較正には用いることができない。電気パルスで変調駆動できる可搬型 X 線発生装置 (Modulated X-ray Source; MXS) を使うと、外部の電気信号により高速で X 線を ON/OFF できるので、X 線・ガンマ線天文衛星の分野で、にわかに注目を集めている。

我々は将来の衛星計画への搭載に向けて、様々なタイプの MXS を開発している。一般的な MXS の構造は、外部からの電気パルスで駆動する、光電効果や電界放出を用いた冷陰極電子源と、電子を電場加速し、衝突させることで X 線を発生するターゲット金属から成る。この構造のため、外部電気パルスをトリガーとして、任意のタイミングでパルス状の X 線を発生させることができる。このとき発生する輝線のエネルギーは、ターゲット金属の種類で決まり、制動放射成分は加速電圧によって調整することができる。

我々は、新しく開発した冷陰極電子源を実装し、Ti をターゲット金属に用いた MXS を製作した。電気パルスにより電子源を駆動することで X 線の発生を ON/OFF 制御できることを確認し、エネルギースペクトルやカウントレートの測定を行った。本講演では、MXS の製作と基礎特性調査について報告する。

観測 a14 Cherenkov Telescope Array 計画の大口径望遠鏡初号機に用いる光電子増倍管の較正試験結果

松岡 俊介 (埼玉大学 理工学研究科 物理機能系専攻 田代・寺田研究室 M2)

Cherenkov Telescope Array(CTA) 計画とは 20 GeV から 100 TeV 以上のガンマ線を地上の大気チェレンコフ望遠鏡を用いて従来より 10 倍以上の感度で観測する、29 国からなる国際共同計画である。CTA 計画では大中小 3 種類の口径からなる望遠鏡群を用いて観測を行い、日本は低エネルギー側の観測を担う大口径望遠鏡 (Large-Sized Telescope; LST) の開発に貢献している。

LST の光検出器には光電子増倍管 (PhotoMultiplier Tube; PMT) が採用されており、望遠鏡一台につき 1855 本の PMT が取り付けられる。LST の低エネルギー閾値 20 GeV を達成するために PMT にはゲイン、パルス幅、アフターパルス発生確率などに対し要求があり、現在我々はこれら全ての PMT に対しそれらの諸特性の調査を行っている。これらの結果は PMT を LST 初号機に取り付ける際の最適な配置を決定するためにも用いられる。本講演では較正試験の試験系及び、それら諸特性の結果について報告をする。

観測 a15 CTA 大口径チェレンコフ望遠鏡初号機に搭載する読み出し回路の設計と性能評価

谷川 俊介 (京都大学 宇宙線研究室 M1)

CTA(Cherenkov Telescope Array) 計画は大中小 100 台程度の望遠鏡群を設置することで、従来より一桁良い感度で 20GeV から 100TeV 以上の超高エネルギーガンマ線を観測する計画であり、世界 29 ヶ国の国際協力により進められている。その中で、日本グループは主に大口径望遠鏡の開発に大きく関わっている。低エネルギー側の観測を行う大口径望遠鏡では、超高エネルギーガンマ線が大気中を通過するときに発生するチェレンコフ光を望遠鏡の鏡で集光し、集光面にある光電子増倍管 (PMT) を用いたカメラで検出する。チェレンコフ光によるパルスの時間幅数ナノ秒と非常に短いため、夜光などのバックグラウンドからチェレンコフ光のみを分離して検出するには数 GHz 程度の非常に速いサンプリングスピードを要求される。また、大口径望遠鏡のカメラでは、PMT を 2000 本ほど用いるので、カメラ内の発熱をなるべく小さくするよう、回路の消費電力を小さくすることも求められる。

そこで我々はアナログメモリの ASIC である DRS4 を用いて、このような要求を満たす大口径望遠鏡の読み出し回路を開発した。現在、読み出し回路は大口径望遠鏡の初号機に搭載する版が完成しており、その性能評価が行われている。また、現在までに半数が量産されており、今後残りの 150 枚が量産される予定である。性能評価では具体的に、読み出し回路の周波数帯域の測定と、テストパルスの波高値に対するリニアリティの評価、ノイズレベルの測定、クロストークの測定、トリガーとなる信号がきてからサンプリングするまでの時間の揺れ (トリガージッター) の測定、故障部品の有無の確認が行われている。本講演では、搭載される読み出し回路の設計と、性能評価の進捗状況について発表する。

観測 a16 次世代ガンマ線天文台 CTA における波形記録回路 TARGET の時間応答特性の評価

重中 茜 (茨城大学理工学研究科理学専攻物理系 M1)

次世代ガンマ線天文台 CTA における小口径望遠鏡では、その光学系の 1 つとして、主鏡と副鏡を用いたデュアルミラー光学系を提案している。この光学系は、副鏡により焦点面でのイメージを圧縮することができるため、多チャンネル光検出器を用いたカメラの小型化、コスト抑制が期待できる。

TARGET は、このデュアルミラー光学系用のカメラが検出した信号波形を記録する集積回路である。CTA では、宇宙からのガンマ線が大气中で相互作用して生じる電磁カスケードシャワーからのチェレンコフ光を集光し、望遠鏡の焦点面カメラで観測することで、ガンマ線のエネルギーや到来方向を推定する。観測するチェレンコフ光は数ナノ秒しか光らないため、波形記録はナノ秒単位で行う必要がある。TARGET は波形記録セルと呼ばれるコンデンサを多数並べた構造を持っており、入力信号に対してこの記録セルを次々と切り替えることで、ナノ秒単位の波形サンプリングを行っている。しかしこの周期的なサンプリングは、セル毎に切り替えタイミングの揺らぎ(ジッター)が存在する。CTA では、チェレンコフ光子の観測時間と光子数の関係からガンマ線の到来方向を推定することで、望遠鏡の観測精度を向上させる研究を進めている。カメラから取得した波形データをこの解析に使用するには、ジッターによる波形記録タイミングのずれを補正することが必要である。

本研究では疑似的に作成したジッターを用い、その測定精度を最適化した。その結果、今回のジッター測定方法では 0.15 ナノ秒の精度でジッターの測定が可能であることを検証した。本講演では、ジッター測定の原理、最適化、期待される精度について概説し、それを TARGET のバージョン 5 におけるジッター測定に適用した結果について報告する。

1. 佐々木美佳 (2011), 茨城大学大学院理工学研究科修士論文
2. B.S. Acharya, M. Actis, T. Aghajani, et al. (2013).

観測 a17 誘電体 X 線マイクロカロリメータの開発

中山 貴博 (宇宙科学研究所 M1)

宇宙の高エネルギー現象を解明するために X 線検出器のエネルギー分解能や角度分解能を向上させることは重要である。例えば優れた角度分解能をもつ Chandra 衛星の CCD 検出器で銀河団を観測すると内部構造まで鮮明なイメージが得られる。一方、エネルギー分解能が十分でないためその運動の詳細は解析できない。CCD 検出器の素子数を保ちつつマイクロカロリメータで得られる高い分光性能を同時に実現することは困難であった。CCD 検出器の分光能力は原理的に 120eV が上限である。マイクロカロリメータは 100mK で素子の温度上昇を読み出す検出器である。素子には電気抵抗体用いるのが現在の主流であるが衛星の冷却能力を考慮するとその素子数は数千程度からの飛躍的向上は望めない。なぜなら 1 素子に対して読み出し用配線が数本必要となるからである。そのため電気抵抗体では配線からの熱流入が問題となり、CCD 検出器のように素子数を並べることができない。

そこで我々は、温度計素子として誘電体を用いた「誘電体 X 線マイクロカロリメータ (DXMC)」の研究を進めている。DXMC は誘電体素子をキャパシタとした LC 共振回路を伝送路に並列接続して共振周波数の変化を読み出す。並列接続のため読み出し用配線数を抑えることができる。また広帯域の共振周波数を並べることで伝送路あたり 1 万素子程

度の読み出しが可能で、検出器の素子数を飛躍的に向上させることができる。

これまでの研究では、量子常誘電体である $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ (KTN) に不純物をドーピングし 100mK の極低温で誘電体の温度依存性を見出されてきた。極低温では SrTiO_3 への温度計感度が見出されていたが、KTNの方が感度が高く DXMC の有力な素子材料である。

本講演では、X 線検出に向け誘電体素子として KTN を用いた DXMC の開発について報告する。

1. Kikuchi Takahiro. 誘電体 X 線マイクロカロリメータの GHz 帯読み出しの研究. Master's thesis, University of Tokyo. 2013
2. Sekiya Norio. 誘電体 X 線マイクロカロリメータの概念検討と基礎実験. Master's thesis, University of Tokyo. 2012

観測 a18 X 線精密分光に向けた TES 型 X 線マイクロカロリメータのインピーダンス特性測定

中島 裕貴 (宇宙科学研究所 M1)

次世代 X 線観測衛星 DIOS は中高温銀河間物質の 3 次元の空間構造を捉えることが目的である。このため、2eV 程度@0.1~1.5keV のエネルギー分解能が必要であり、これを実現する検出器として X 線光子 1 つのエネルギーを温度上昇として測定する X 線マイクロカロリメータが開発されている。

我々は DIOS 搭載を目指し、物質が常伝導体から超伝導体へ遷移するときに抵抗が急激に変化することを利用した温度計を用いて TES 型 X 線マイクロカロリメータ (以下、TES) の開発を行っている。TES は ~100mK という低温下において定バイアス電圧のもとで動作し、素子の温度上昇による抵抗変化を電流変化として測定するものである。

エネルギー分解能の向上には TES の特性を十分に理解することが必要である。TES の静的な特性は抵抗-温度特性、電流-電圧特性の測定によって行われている。これらの静的な特性はある温度平衡による測定のみであるが、カロリメータとしての動作を考えると実際に X 線が入射したときのように TES の温度が時間変化する場合の動的な特性を知っておくことは必須である。

動的な特性を評価する場合、TES の応答による非線形性から TES は本質的に単純な抵抗ではなく複素インピーダンスをもつ素子であることを考慮する必要がある。従って、実用に向けた TES の特性評価には TES のインピーダンス測定が重要である。インピーダンス測定は交流バイアス電圧によって行うため、配線の寄生インピーダンスの影響や読み出しアンプの周波数特性等を考慮しなければならない。

我々は DIOS の要請する性能に達成すべくインピーダンスの測定を行う。そのために、寄生インピーダンスの影響や読み出しアンプの周波数特性等を考慮した測定系を構築し、実際にインピーダンスの測定を行い、エネルギー分解能の向上を目指す。本講演では、これらの研究結果について報告する。

1. H. Akamatsu, Y. Abe, K. Ishisaki, Y. Ezoe, T. Ohashi, Y. Takei, N. Y. Yamasaki, K. Mitsuda, and R. Maeda. Impedance measurement and excess-noise behavior of a Ti/Au bilayer TES calorimeter. AIP Conference Proceedings, Vol. 1185, pp. 195-198, 2009.

観測 a19 積層配線 TES 型 X 線マイクロカロリメータの表面粗さの研究

黒丸 厳静 (首都大学東京 宇宙物理実験研究室 M1)
我々のグループでは 2020 年頃の打ち上げを目指す小型科学衛星 DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Survey) への搭載に向けた TES (Transition Edge Sensor) 型 X 線マイクロカロリメータを開発している。TES 型 X 線マイクロカロリメータは、超伝導金属の常伝導-超伝導転移時の急激な抵抗変化を利用して X 線のエネルギーを高分解能で分光できる X 線検出器である。我々はこれまでに 4×4 ピクセル中の 1 素子について 2.8 eV、 16×16 ピクセルアレイ中の 1 素子について 4.4 eV のエネルギー分解能を達成した。

DIOS ミッションでは検出器の性能として 1 cm 角の有効面積と 2 eV のエネルギー分解能が要求されており、我々はその要求を満たすため、200 μm 角を 1 素子とした 400 ピクセルの大規模 TES アレイを製作している。その際、従来の配線デザインでは多素子化すると配線スペースの問題が生じることや、密集した配線間でクロストークが発生してしまうことが分かった。そのため我々のグループでは超伝導積層配線と呼ばれる、素子までの行きと帰りの配線を絶縁膜を挟んで上下に配置するデザインの開発に取り組んでいる。これにより配線スペースを確保し、配線間クロストークを減少させることが出来る。これまでに、上部配線に傾斜加工を施し TES とのコンタクトを強化した傾斜付き積層配線基板における上部配線のみを試作で TES 正常な転移を確認している。

現在我々は傾斜付き積層配線による TES アレイの試作中である。基板上で正しく超伝導転移しなかった TES の表面を調査したところ、自乗平均面粗さ (RMS) ~ 4.5 nm の凹凸があることが分かった。この凹凸が転移特性に影響をもたらした可能性は十分に考えられる。そこで TES の下地にある絶縁膜と下部 Al 配線に着目して調査を行ったところ、Al 下部配線の製作プロセスにおいて凹凸が発生していることが分かった。

本講演では、これらの凹凸の発生原因の詳しい調査、改善策とその結果を始めとした、DIOS 搭載用の積層配線 TES 型マイクロカロリメータの開発の現状について報告する。

観測 a20 超伝導遷移端検出器の弱結合の理解へ向けた臨界電流測定

鈴木 翔太 (首都大学東京 宇宙物理実験研究室 M1)
我々のグループでは小型 X 線天文衛星 DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor) への搭載に向けた次世代 X 線検出器である超伝導遷移端温度計 (Transition Edge Sensor = TES) 型マイクロカロリメータの開発を行っている。TES 型マイクロカロリメータは入射 X 線光子のエネルギーによる素子の温度上昇による超伝導状態と常伝導状態の急激な抵抗値の変化を利用して、X 線のエネルギーを 2eV の程度の精度で測定可能である。TES カロリメータは冷凍機内で極低温にして動作させることで高い分解能を得る。我々は TES に超伝導金属であるチタンと常伝導金属である金の二層薄膜を用い、近接効果で遷移温度を調節している。

我々は TES の物理について理解を深めることが検出器の性能向上にもつながると考えているが、現状 TES の物理は完全には理解されていない。近年の研究で、超伝導体-常伝導体の 2 層構造を用いた TES において弱結合的振る舞いを示すケース (配線間の超伝導電子による巨視的な波動関数の干渉効果) があることがわかった。そこで、このような弱結合的振る舞いが我々の TES でも現れるかについて検証することにし

た。検証方法として、TES 臨界電流の温度依存性の特性の調査、臨界電流の磁場依存性の測定がある。

我々のグループでは前研究において臨界電流の温度依存性の特性の調査を行った。調査方法は超伝導状態の TES に電流値を変えながら電流をかけ抵抗値を測定し、超伝導状態の破れる電流値を記録、温度を変えながら同様の測定を行った。結果は理論値との比較から、測定した TES において弱結合の可能性が低いことがわかった。今後の課題としては違うデザインの TES での測定や、臨界電流の磁場依存性の測定を行うことが上げられる。本講演では TES の臨界電流における研究の現状と課題を報告する。

観測 a21 小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射 X 線望遠鏡用反射鏡の可視光形状評価

萬代 絢子 (名古屋大学 Ux 研 M1)

現在の宇宙において宇宙論で予測されるバリオンの半分以上は未検出であり、ダークバリオンと呼ばれる。ダークバリオンの多くは、宇宙の大規模構造に沿って中高温銀河間物質 WHIM (Warm/Hot Intergalactic Medium) として分布していると考えられている。小型衛星計画 DIOS は WHIM の空間構造解明を目的としている。WHIM は面輝度が低く、広がっているため、大有効面積かつ広視野の望遠鏡が必要である。この要求を満たすため、我々は X 線望遠鏡として、従来の 2 回反射光学系に代わり、4 回反射光学系を採用することで、短焦点距離 (700 mm) 化し、大口径 (600 mm) かつ大視野 (50 分角) の実現を目指している。

本望遠鏡は厚さ 0.22 mm の薄い反射鏡を同心円状に多数配置した構造を持っており、現在製作中の半径 250 mm 付近の反射鏡 4 段 10 組を X 線を用いて性能を評価したところ、結像性能は ~ 8.8 分角であり、目標の 5 分角には達していなかった。結像性能の主な劣化要因は反射鏡の円周方向の形状誤差であった。円周方向の形状誤差が生じる要因の 1 つは、実際にできた反射鏡の半径が設計値からずれていることであると考えられる。実際製作された反射鏡の半径は設計値より大きくなる傾向にあり、支持機構であるハウジングに搭載する際に自然な形を保持することが難しい。本研究の目的は、反射鏡をハウジングに搭載することによる形状の変化を明らかにすることである。測定の容易性から可視光を用いて反射鏡単体の形状評価と、反射鏡をハウジングに入れた状態での形状評価を行った。本講演では、その結果を比較することで反射鏡をハウジングに入れることによる形状の変化、さらに反射鏡の性能の悪化が許容できる反射鏡の実際の半径と設計値の半径のずれについて議論する。

観測 a22 炭素繊維強化プラスチックを用いた次世代 X 線望遠鏡の開発

島 直究 (名古屋大学 Ux 研 M1)

従来の日本の X 線望遠鏡は多重薄板型と呼ばれる種類の望遠鏡を用いてきた。この望遠鏡は薄い反射鏡を同心円状に多数配置することで軽量かつ高い集光力を得ることができ一方、角度分解能が数分角程度に制限されてしまうという欠点を併せ持つ。その要因のひとつに、従来用いられてきたアルミ製の薄板基板では Wolter I 型光学系の二次曲面の形成が困難であり、光学系を円錐近似していることが挙げられる。今後の日本の X 線天文学の発展のためには、高い集光力を保持したまま結像性能を向上させる必要性があり、将来的には完全な Wolter I 型光学系を使用した望遠鏡の開発が必須となる。そこで我々は愛媛大学と共同で、炭素繊維強化プラスチック (以下、CFRP) を基板として用いた望遠鏡

の開発を行っている。炭素繊維に樹脂を含浸させて硬化させた複合材である CFRP は軽量 (比重がアルミの 2/3) かつ寸法安定性がよく (熱膨張係数がアルミの 1/8 以下)、高剛性である (ヤング率がアルミの 2 倍) という利点を持つ。また任意の形状に成型が容易であるため、原理上完全な Wolter I 型光学系を使用した望遠鏡が製作できる。

現在は愛媛大学製作の 1/4 周二段一体 CFRP 基板 (ϕ 200 mm、各段 150 mm) を用いて反射鏡の製作を行っている。反射鏡製作手法は、ガラス母型に反射膜を成膜し、それをエポキシを用いて基板に転写させるレプリカ法を用いる。今回、製作した反射鏡 4 枚をハウジングに組み込み、大型放射光施設 SPring-8 のビームライン (エネルギー 20 keV) において性能評価を行った。細く絞った平行 X 線ビームを用いて性能評価を行ったところ、ひとつの反射鏡全面では結像性能 3.0 - 4.5 分角程度であり、この結像性能劣化要因が反射鏡の母線方向と円周方向の形状誤差に切り分けられることが分かった。一方局所的には、最も良い位置で結像性能 20 秒角を達成した。本講演では X 線望遠鏡開発の現状と SPring-8 における測定結果について述べる。

観測 a23 マイクロマシン技術を用いた超軽量 X 線望遠鏡の開発の現状

中村 果澄 (首都大学東京 宇宙物理実験研究室 M1) 将来得衛星搭載に向けて開発を行っている独自の超軽量 X 線光学系について発表する。X 線天文学において、天体からの X 線を集光・結像させる光学系は必要不可欠である。しかし、X 線の物質に対する屈折率は 1 よりわずかに小さいため、全反射を用いた斜入射光学系が主に用いられる。X 線は地球大気で吸収されるため、人工衛星への搭載が必要であり、より軽量で角度分解能の良い光学系が求められている。

私はマイクロマシン技術を用いて光学系の製作を行っている。マイクロマシン技術とは、Si 基板上に 3 次元微細構造を製作する技術のことで、半導体の製作等に応用されている。私はその中でもシリコンドライエッチングを用いて 4 インチ Si 基板に穴幅 20 μm 、深さ 300 μm の曲面穴構造体を製作し、高温アニールで曲面穴の側壁を平滑化し、X 線全反射鏡として利用する。さらに宇宙からの平行 X 線を一点に集光させるため、高温で球面塑性変形を行う。また原子堆積法で Ir 等の重金属を膜付けし反射率を上げる。最後に異なる曲率半径で曲げた 2 枚の基板を重ねて Wolter I 型 X 線光学系として完成する。

この手法では、薄い Si 基板を使用するため、原理的に世界最軽量になる。また、X 線反射鏡を一括して製作することが出来る。我々は本光学系をほぼインハウスで製作しており、Wolter I 型光学系による X 線全反射の実証を行い、X 線の結像に世界で初めて成功した。本発表では本光学系の製作の原理と開発の現状について発表する。

1. 'Ultra light-weight and high-resolution X-ray mirrors using DRIE and X-ray LIGA techniques for Space X-ray Telescopes' Yuichiro Ezoe (2010)

観測 a24 ASTRO-H 搭載軟 X 線望遠鏡用反射鏡の M 吸収端付近での反射率測定

倉嶋 翔 (首都大学東京 宇宙物理実験研究室 M1) 2015 年度に打ち上げが予定されている日本の次期 X 線天文衛星「ASTRO-H」には、軟 X 線領域 (0.3-15 keV) の X 線の集光を担う軟 X 線望遠鏡 (SXT) が 2 台搭載される。SXT での X 線の集光には、反

射鏡による全反射を用いて集光する斜入射光学系を採用している。反射鏡はアルミニウム基板に金の薄膜を蒸着したものをを用いる。2 台の SXT の内の 1 台である SXT-S の焦点面検出器である軟 X 線分光器 (SXS) は 6 keV の X 線に対し 7 eV 以下という高分解能を誇り、天体が発する輝線の微細な構造を検出することで、天体のより詳細な情報が得られると期待されている。

検出器による出力には SXT の特性が現れてしまうため、実際に天体が発している情報を手に入れるためには SXT の特性を表すような関数が必要であり、それを応答関数という。高いエネルギー分解能を誇る SXS で検出できる天体からの情報を再現する応答関数を構築するためには SXT の性能を十分に把握することが必要である。X 線望遠鏡の性能を表す指標の 1 つに反射鏡の反射率がある。反射鏡に用いられる金には X 線の反射率が急激に変化する M 吸収端が 2-4 keV に存在し、M 吸収端付近の反射率の複雑な構造を把握する必要がある。

そこで、高輝度で安定した X 線が供給され、高分解能の二結晶分光器で X 線の単色化を行うことができる高エネルギー加速器研究機構 Photon factory に反射鏡サンプルを持ち込み、反射鏡の M 吸収端付近の反射率のエネルギー依存性を測定した。測定は、X 線の入射角を金の臨界面周囲の 5 点で固定し、2100-4100 eV のエネルギー領域を 2 eV ピッチでの測定、さらに吸収の深い金の M-IV, M-V 吸収端付近 (2200-2350 eV) を 0.25 eV ピッチという細かいエネルギーピッチでの測定を行った。また測定で得られた反射率曲線から導き出される応答関数へ組み込むパラメーターである光学定数のエネルギー依存性を反射率曲線の Model fit を行うことで算出した。

本発表では実験方法と結果を述べ、その考察を行う。

観測 a25 ASTRO-H 衛星搭載 SXS 用波形データ処理器の機上での機能検証

加藤 優花 (埼玉大学 理工学研究科 物理機能系専攻 田代・寺田研究室 M1)

X 線天文衛星 ASTRO-H は、2015 年度に打ち上げが予定されている。この衛星には、軟 X 線分光検出器 (Soft X-ray Spectrometer, SXS) が搭載される。SXS は、X 線望遠鏡の焦点面における入射 X 線の光子エネルギーを熱エネルギーに変換して計測する X 線マイクロカロリメータと呼ばれる X 線検出器である。受光素子を 50mK という極低温で動作させることで、0.3-12.0keV の入射 X 線に対して 7eV(FWHM) という高エネルギー分解能を実現する。SXS はすでに ASTRO-H 衛星に搭載され、現在、衛星上での機能・性能試験が行われている。

SXS の一連の信号処理部のうちデジタルデータを扱う部分を Pulse Shape Processor (PSP) という。PSP は、増幅と A/D 変換を施された波形データを受け取り、X 線イベントの検出と光子のエネルギー測定を行う。具体的には、光子を吸収したことによる温度変化のプロファイルに対して、ノイズのフーリエスペクトルも考慮したテンプレート波形を用いた最適フィルタ処理を行うことで、入射光子による温度上昇、すなわち入射エネルギーを精度よく求めることができる。

しかし、PSP で評価する波形の中に複数のイベントが重畳していると、正確なエネルギー計測ができなくなる。そのため、入射イベントは前後の時間間隔によってイベントを分類するグレード付けという処理を行う。このグレード付けとは、時間間隔ごとに 3 種類に分類することであり、長い方の 2 種類に分類された信号にのみ、最適フィルタ処理を行う。間隔が広い順に、H, M, L の 3 種類、信号の前後関係で p, s の 2 種類がある。これらを組み合わせた Hp, Mp, Ms, Lp, Ls の計 5 種類が存在する。ランダムな信号入力の場合、各グレードの発生する割合は、カ

ウントレートの間数となる。今回の発表では、衛星に搭載され、他の機器も動作している状態で測定することで、PSP の機能・性能評価するとともに、周期的な信号による干渉も評価する。

観測 b1 TMT 中間赤外線観測装置冷却チョッパー用ボイスコイルモーターの開発

毛利 清 (東京大学 天文学教育研究センター M1)
中間赤外線における地上観測では大気の放射が非常に大きくこれを取り除くことが課題である。これまで副鏡を動かすチョッピングと呼ばれる技術によって放射を取り除いてきたが、TMT など口径 30m 以上の次世代大口径望遠鏡の時代においては副鏡が大きくなり、副鏡チョッピングは不可能となる。代替案として副鏡を動かす代わりに、光学的に副鏡と共役な位置にあたる冷却された装置内の鏡を動かすことにより、副鏡を動かした際と同じ効果を得る「冷却チョッピング」という手法が考案されている。本課題研究では、冷却チョッピングの導入を検討している TMT 用中間赤外線観測装置 MICHI における冷却チョッパーの具体的な要求性能を明らかにした。またその性能を満たすチョッパーの動力として、ボイスコイルモーター (VCM) に着目し、要求性能を満たす条件についての検討を行った。その結果、VCM に使用する巻き線の電気抵抗率が、チョッパーとしての要求性能を満たす上での重要なファクターであることが明らかとなった。また巻き線として高純度銅線、高純度アルミ線、および超伝導線を使用した VCM のそれぞれについて、原理的には条件を満たし、最終的に要求性能を達成する可能性があることが示された。現在超伝導コイルを用いた VCM を製作中であり、完成後は想定されている VCM 使用環境下での駆動試験を予定している。

1. T. Tokunaga et al., Design Concepts for a Mid-Infrared Instrument for the Thirty-Meter Telescope. SPIE. Vol.7735 77352C (2010)
2. C. J. Fredricksen et al., High field p-Ge laser operation in permanent magnet assembly. Infr. Phys. Tech. Vol44 79 (2003)
3. J.Bahrdt. Permanent magnets including undulators and wigglers. CERN. Accelerator Physics (2009)

観測 b2 可視光望遠鏡 CAT を用いた分光観測機器の性能評価

山田 宗次郎 (中央大学 天体物理学 (坪井) 研究室 M1)
中央大学坪井研究室では、一昨年から 26cm 可視光望遠鏡 Chuo Astronomical Telescope 通称 CAT を稼働し、自分たちの手による観測手段を得た。今までは測光観測を行っていたが、新たな観測分野を得るために分光観測機器を取り入れ、分光観測を行うこととなった。天体の写真を得るために使用したカメラは、ATIK CAMERAS 社製の冷却 CCD カメラ ATIK460EX であり、用いた分光器は Shelyak INSTRUMENTS 社製の Alpy 600 である。解析に適したスペクトル領域は 3700-7400Å であり、波長分解能は 6500Å 付近で 600、4500Å 付近で 400 である。これらの観測機器を用いて実際に天体を観測し、性能評価を行った。本講演では、その結果について報告する。

観測 b3 DLC 薄膜蒸着によって立体状に湾曲させたシリコン結晶について

松岡 直宏 (中央大学 天体物理学 (坪井) 研究室 M1)

我々の研究室では、単結晶の X 線集光素子の実現に向け、厚さ 50 100 μm のシリコン結晶に対して、プラズマ CVD 法を用いて DLC 薄膜を蒸着していき、その薄膜の応力を利用してシリコン結晶を回転面状に湾曲させる研究を行ってきた。

私は、結晶構造の対称性に着目し、Si(1,0,0) 結晶をその劈開方向に沿って割ることで作成した正方形の形状の結晶、Si(1,1,1) 結晶をその劈開方向に沿って割ることで作成した正三角形の形状の結晶に対して DLC 蒸着を行うと、蒸着後どちらも球面状に湾曲すると考えた。

そこで、上記のように作成した一辺 2.9cm で正方形の形状をした Si(1,0,0) 結晶及び、一辺 3.5cm で正三角形の形状をした Si(1,1,1) 結晶に対して、DLC 薄膜を蒸着していき、蒸着後の形状をレーザー変位計で調べたところ、2 つともすべての測定ラインにおいて円状に近く湾曲していることが確かめられ、これら 2 つの試料は、立体状に湾曲していることが判明した。

観測 b4 地上ガンマ線望遠鏡 CTA 計画での小口径望遠鏡における半導体光電子増倍素子の較正手法

佐藤 雄太 (名古屋大学 太陽地球環境研究所 M1)

Cherenkov Telescope Array (CTA) は、20 GeV から 300 TeV にわたるエネルギー範囲で超高エネルギーガンマ線を観測するための国際的な次世代望遠鏡計画である。CTA では大・中・小の異なる口径の大気チェレンコフ光望遠鏡を 100 台規模で設置し、従来の望遠鏡に比べて 1 桁高い検出感度の実現を目指す。宇宙線の加速現場、その加速機構は何かという疑問の解決に加え、超新星残骸の衝撃波面からの宇宙線脱出の発見といった、CTA の高い検出感度、角度分解能、観測エネルギー範囲を活かしたガンマ線観測が可能になると期待される。

我々は複数ある小口径望遠鏡の設計のうち、Gamma-ray Compact Telescope (GCT) の焦点面検出器を開発している。GCT では複鏡を用いた Schwarzschild-Couder 光学系を採用することで 8 度以上の視野で結像性能を維持し、空間的に広がる天体の観測や高い角度分解能を実現する。さらに、副鏡を用いて焦点面上での画像を縮小し、カメラの小型化を可能にした。広大な有効面積を実現するための数十台の望遠鏡の設置には、安価かつ要求性能を満たす焦点面カメラの開発が必須である。

GCT の焦点面カメラは半導体を用いた多ピクセルの光検出器と小型の波形記録回路を用いることで、従来の光電子増倍管に比べて小型で多チャンネルの読み出しを可能にし、また高い光検出効率も得ることができ。検出器に用いる半導体光電子増倍素子は、出荷時には暗電流の電圧依存性などの基本特性しか測定されていない。そのため、全てのピクセル (約 7 万) についてゲイン特性と飽和特性を測定する必要があるが、組み立てに割り当てられた期間を考慮してカメラモジュールに組み込み後に較正する方針である。

当講演では、半導体光電子増倍素子のゲイン特性と飽和特性を電子回路の特性込みで較正する方法について報告する。

1. B. S. Acharya, et. al. Introducing the CTA concept APh....43...3A (2013)
2. M. Actis, et. al. Design concepts for the Cherenkov Telescope

Array CTA: an advanced facility for ground-based high-energy gamma-ray astronomy ExA...32..193A (2011)

3. CTA-japan コンソーシアム "Cherenkov Telescope Array 計画書" (2014)

観測 b5 3.8m 電波望遠鏡による S/X バンド観測システムの開発

高橋 諒 (大阪府立大学 宇宙物理学研究室 M1)

大阪府大 宇宙物理学研究室は、国土地理院が北海道・新十津川にて測地 VLBI 観測用に運用していた 3.8m 電波望遠鏡を我々の研究室棟屋上に移設した。従来、S(2GHz)/X(8GHz) バンドを用いて観測を行っていたが、我々はより高周波・広帯域での観測を目指し、冷却受信機・広帯域フィードの開発を行っている。

移設の際、主鏡をばらして輸送し、再度組み立てたため、主鏡面の鏡面精度や望遠鏡の指向精度等を再度測定する必要があった。私は、これらの移設に伴った望遠鏡の性能評価測定を中心に行っている。鏡面精度測定には、フォトグラメトリという手法を用いて測定を行い、主鏡の鏡面粗さが 0.969mmRMS であることがわかった。この値を Rutz の式に代入することにより S/X バンド及び 12GHz において鏡面の粗さによる能率の低下を確認した。また、望遠鏡の指向精度測定のために、太陽の十字スキャン観測を行なった。この観測では、太陽を追尾しながら Az 方向・El 方向ともに 0.25° 間隔で 7 点に向けながら電波強度を取得した。El 方向において指向精度はおおよそ問題ないとわかったが、Az 方向においては指向誤差があり、引き続きポインティング観測が必要であることがわかった。

本講演ではこれらの結果及び 3.8m 望遠鏡の現状を報告し、今後の展望を紹介する。

観測 b6 NANTEN2 サブミリ波望遠鏡 230 GHz 帯受信機の概要

古賀 真沙子 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

我々の研究室では、南米チリ・アタカマ高地 (標高 4860 m) に設置された口径 4 m のサブミリ波望遠鏡「NANTEN2」を用いて宇宙電波の観測を行っている。NANTEN2 電波望遠鏡では、2013 年度より 230 GHz 帯受信機を搭載し、一酸化炭素分子の回転遷移輝線 $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ を用いて銀河系中心部、超新星残骸、分子雲衝突候補天体、高銀緯天体、小質量星形成領域他、多数のプロジェクトの観測を行っている。

天体からの電波はきわめて微弱であるため、受信機自体の雑音を押さえた上で信号を増幅することが重要である。しかしながら我々が観測する 230 GHz 帯の高周波電波を直接増幅できるような低雑音増幅器はまだ実用化されていない。そのため NANTEN2 受信機では、初段部分を 4 K まで冷却し、超伝導ミクサーを使ったヘテロダイン方式 (周波数変換方法の一種) を用いて信号周波数を下げてから増幅を行うことで、受信機雑音温度 30–50 K の低雑音を目指している。また、安定した望遠鏡運用のためには、受信機を望遠鏡に搭載する前に、実験室でその性能やノイズ、長時間安定性の調査等を行って最良の状態を知っておく必要がある。

2015 年度シーズン立ち上げ前の実験室評価では、Hot/Cold 法を用いた受信機雑音温度の正確な測定を重点的に行った。Hot/Cold 法は、受

信機に常温の擬似黒体と液体窒素温度の擬似黒体を見せたときの出力パワーから受信機雑音温度を見積もる評価法で、受信機の性能を定量化する際にしばしば用いられる。この方法を用いて測定した 2015 年シーズンの 230 GHz 受信機の受信機雑音温度は、観測周波数の 226 GHz において 30–40 K となり、当初の目標を達成することが出来た。この結果は望遠鏡に搭載後にも再現したことが確認されており、実験室での事前評価の重要性を再確認することが出来た。

本ポスター講演では現在搭載されている 230 GHz 帯受信機の受信システムの概要および、実験室での受信機性能評価の詳細を紹介する。

観測 b7 NANTEN2 マルチビーム受信機の光学系開発と評価

加藤 千晴 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

我々は南米チリ・標高 4800m のアタカマ高地にて、口径 4m のミリ波・サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を運用している。これまでに一酸化炭素分子の回転遷移輝線 ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O ($J=1-0$ 、 $J=2-1$) の観測が行われており、空間分解能はそれぞれ 2.6 分角と 1.3 分角に相当し、広範囲の観測データを用いて分子雲の物理的状態や星間現象の解明が進められている。

現在 NANTEN2 はシングルビーム観測を行っているが、比較的口径が小さい NANTEN2 でマルチビーム観測が可能になれば、広域観測をさらに効率よく行うことができると期待されている。そこで、我々は全天の 70% を観測する超広域分子雲サーベイ NASCO (NANTEN Super-CO as Legacy) を計画している。この計画を実現するために、現在 NASCO 用のマルチビーム受信機に対応した光学系の設計・開発が行われている。この光学系のモデルは、ピラミッド型ミラーによりビームを 4 つに分離し、楕円鏡で絞ったのちホーンに集光するという構成である。

ピラミッド鏡各面はそれぞれのビームで開口率が 70% 出るよう、設置角度が調整されていた。しかし、物理光学シミュレーション (GRASP) を用いてビームの指向特性の仰角依存性を調査したところ、天球面上で各ビームの感度の位置が、仰角の変化に対し異なる中心点と半径の円弧状にそれぞれ軌跡を描くことがわかった。この複雑な指向特性により、仰角が小さくなるにつれて一部鏡面においてビームが蹴られ、開口率が 50% 程に大きく低下してしまうことも判明した。

この問題と既存の受信機室の空間的制約をクリアするため、マルチビーム光学系の再検討を行った。楕円鏡を上手く組み合わせることでビームがコンパクトに並ぶようにし、開口率 70% とエッジレベル 30dB 達成を目標とした新光学系を設計している。本発表では、ピラミッド鏡光学系における解析結果と新マルチビーム光学系開発の現状について報告する。

1. 黒田 豊 修士論文, 名古屋大学 (2012)

観測 b8 NANTEN2 電波望遠鏡の制御システム更新

丸山 将平 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

NANTEN2 は、南米チリ共和国アタカマ高地 (標高 4800m) に設置されたミリ波・サブミリ波望遠鏡であり、南天の分子ガス観測を通して「銀河や宇宙の起源解明」に挑んでいる。今後、世界初の超広域分子ガスサーベイを行うために、新受信機の搭載を計画している。しかし、現

在の NANTEN2 制御システムは、独自に開発された言語で構築されており汎用性が低く、また、7年以上前の計算機や OS を用いているため、新受信機の搭載・運用に適していない。そのため我々は受信機の更新に先駆け、今後のスムーズな運用、長期にわたるビッグデータの取得を目標として、NANTEN2 の制御システムの更新を最優先で進めている。具体的には、大阪府立大学が中心となって運用している 1.85m 電波望遠鏡のシステムをベースに構築を始めている。これらは python とよばれるプログラミング言語で書かれており汎用性が非常に高く、現在 NANTEN2 が抱えている問題点をクリアすることが可能である。計算機も全て一新し、NANTEN2 電波望遠鏡の独自の装置（ミラー、ドームなど）の制御項目の追加や、自動簡易解析などの観測効率向上を目指した機能も新規作成している。名古屋での動作試験を経て、2015 年秋以降の NANTEN2 への搭載を計画している。本講演では、NANTEN2 制御システム更新作業の概要、および今後の開発計画について紹介する。

観測 b9 TES 型 X 線マイクロカロリメータ用断熱消磁冷凍機の温度制御の改良

伊東 宏昌 (金沢大学宇宙物理学研究室 M1)
X 線マイクロカロリメータは入射 X 線光子 1 つ 1 つのエネルギーを素子の温度上昇として計測する検出器であり、100 mK 以下の極低温で動作させることによって、 $E/\Delta E_i$ 1000 の画期的なエネルギー分解能を実現する。さらに、超伝導遷移端を高感度の温度計として利用した TES (Transition Edge Sensor) 型は、より高い分光性能を実現でき、次世代 X 線天文衛星への搭載が予定されている。軌道上で 100 mK 以下の極低温を実現するには重力依存性のない断熱消磁冷凍機 (ADR) がもっとも現実的な解である。ADR は磁性体に磁場を印加し、断熱状態で磁場を取り去って冷却する冷凍機である。断熱消磁後は超伝導マグネットに流す電流を制御して温度を一定に保つ。カロリメータはわずかな温度揺らぎでも影響を受けるため、その性能を最大限引き出すには精細な制御による高い温度安定度が必要である。

我々は、ADR での温度制御方式として PID 制御を用いている。PID 制御とは、目標値との偏差に比例 (Proportional) した項、偏差を積分 (Integral) した項、偏差を微分 (Derivative) した項により出力を補正することで偏差を無くす制御方法である。我々の ADR での温度安定度はこれまで 10 μ Krms 程度であり、長期的な温度ドリフトも見られていた。私は温度制御のコードを一から見直し、また ADR の電流減少速度をあらかじめ予想することで PID 制御を補助する、電流減少項の導入を行った。その結果、温度安定度は 2 μ Krms 程度にまで改善し、長期的に一定の温度で制御することが出来るようになった。

本講演では、これらの内容について詳細に報告する。

1. 高倉奏喜. 修士論文 (2015)
2. 星野晶夫. 修士論文 (2005)
3. 山本重彦, 加藤尚武. PID 制御の基礎と応用. 朝倉書店 (2005)

観測 b10 次世代 X 線観測機械 (XRPIX) の基本性能の温度依存性とノイズの評価

玉澤 晃希 (東京理科大学 理工学研究科 物理学専攻 幸村研究室 M1)

我々は、次世代の X 線天文衛星に搭載する SOI 技術を用いた CMOS アクティブピクセルセンサー (XRPIX) を開発している。XRPIX は、各

ピクセルにイベントトリガー出力機能を持ち、ノイズを低減するために CDS 機能を兼ね備え、高い時間分解能 (数 μ s) や、広いエネルギー帯域観測 (0.3 40keV) での観測を実現する X 線検出器である。

XRPIX シリーズは、読み出しノイズ、リーク電流、ゲイン、エネルギー分解能などの基本性能の温度依存性は十分には調べられていない。そこで、我々は、XRPIX シリーズの中の、XRPIX1, XRPIX2b の 2 種類の素子に対して、これらの基本性能の温度依存性の評価実験を行った。ただし、この実験では、イベントトリガー出力機能は用いず、フレーム読み出しモードを使用し、バックバイアスを 5V 印加し、素子温度を常温から -80 $^{\circ}$ C まで変更して行った。

実験結果から、読み出しノイズ、リーク電流、エネルギー分解能は、いずれも動作温度に依存していることが分かった。また、読み出しノイズを、リーク電流起源のノイズと回路起源のノイズに切り分け、回路起源のノイズの評価も行った。電子回路起源のノイズは、kT/C ノイズと考え、容量 C を算出したところ 33fF (XRPIX1)、20fF (XRPIX2b) と求められ、この算出した容量は設計値の電気容量よりも小さく、49fF (XRPIX1)、22fF (XRPIX2b) 程度の寄生容量が存在することが分かった。

本講演では、XRPIX1, XRPIX 2b の基本性能の温度依存性の実験結果と、電子回路由来のノイズの評価について報告する。

1. 中島真也, 修士論文「SOI 技術を用いた広域 X 線撮像分光器 (XRPIX1) の評価試験と性能向上の研究」、京都大学 (2011 年)

観測 b11 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X 線 CCD 用のコンタミネーション防止膜 (CBF) の開発

吉野 祐馬 (東京理科大学大学院理工学研究科物理学専攻 幸村研究室 M1)

X 線天文衛星に搭載する X 線観測機器は、衛星内部の有機物から放出されるアウトガスによるコンタミネーションによって、検出効率等の性能低下を引き起こす。特に X 線 CCD のように -100 $^{\circ}$ C 程度まで冷却する検出器は、アウトガスが吸着しやすくコンタミネーションの影響が大きい。そのため我々は、コンタミネーション防護用の CBF (Contamination Blocking Filter) と呼ぶフィルターを開発している。2015 年度打ち上げ予定の X 線天文衛星 ASTRO-H に搭載する X 線 CCD は、我々が開発している CBF を装備する。この CBF はコンタミネーションを防止するだけでなく、地球大気が放射する紫外線や天体が放射する可視光を遮光する役割もある。ただし、CBF は観測対象となる X 線を吸収するため、できるだけ薄くする必要がある。これまでに、我々はポリイミドとアルミニウムを素材とした 2 種類の CBF を開発した。1 つは、厚みが 200nm のポリイミドの片面に厚みが 30nm のアルミニウムを蒸着したもの (CBF-I)、もう 1 つは、ポリイミドの厚みは同じ 200nm で、ポリイミドの両面に厚みがそれぞれ 400nm と 800nm のアルミニウムを蒸着したもの (CBF-II) である。CBF の実用化に向けては、ロケットでの打ち上げ時の振動への耐久性や、CBF の X 線・紫外線・可視光透過率を評価することで必要となる。CBF-I については、Spring-8 の BL25SU において、2.0keV 以下の軟 X 線透過率を測定し、理科大において可視光透過率を測定した。一方、CBF-II については、KEK-PF において X 線・紫外線を評価し、理科大において可視光透過率を測定した。X 線透過率は、窒素を含む、炭素、酸素、アルミニウムの K 吸収端付近の X 線吸収微細構造 (XAFS) を含めた X 線透過率を測定することができ、CBF-I では 0-K で 60 本公演では、CBF-I と CBF-II の X 線・可視

光・紫外線透過率の測定の結果について報告する。

観測 b12 次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載用 X 線 CCD カメラ (SXI) の Si-K edge 前後のレスポンスの研究

丹野 憧磨 (東京理科大学 理工学研究科 物理学専攻 幸村研究室) M1)

我々は X 線天文衛星搭載 X 線 CCD カメラ (SXI; Soft X-ray Imager) の開発を行っている。X 線 CCD のスペクトルの形 (レスポンス) は入射 X 線のエネルギーによって異なり、特に Si-K edge ($\sim 1.84\text{keV}$) より高いエネルギー帯域では Si の escape peak や Si line があるなど複雑なレスポンスとなる。現在稼働中の Suzaku 衛星搭載 X 線 CCD のレスポンスでは、Si-K edge 前後のレスポンスの不定性が解消されていない問題があり、2015 年度打ち上げの ASTRO-H 衛星搭載 X 線 CCD (SXI) の地上キャリブレーションの重要課題となっている。

我々は、2014 年 2 月、12 月、2015 年 5 月に高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光施設 (KEK-PF) のビームライン BL-11B において $1.73\text{keV}\sim 3.00\text{keV}$ の帯域の単色 X 線を用いて、SXI と同じ性能を持つ CCD 素子 (mini 素子) の Si-K edge 前後におけるスペクトルの詳細な測定を行った。さらに、放射性同位体 ^{55}Fe からの X 線を使ったレスポンスの評価も行っている。

今回行った測定では mini 素子のレスポンスは、SXI のフライト品と同様に、2 個のガウシアンからなるピーク成分と、エネルギーに依らない一定成分の、計 3 成分で再現できることが分かった。ただし、ピーク成分と一定成分の比などが、フライト品と異なることも分かり、駆動回路のノイズなどが原因か調査を進めている。

1. 大阪大学 上田 周太郎 修士論文 (2010) : 次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載軟 X 線 CCD カメラ (SXI) に向けた CCD 素子の開発 低エネルギー応答の改善と電荷注入法の確立

観測 c1 鹿児島大学 1m 望遠鏡に搭載する近赤外 3 バンド同時撮像装置の開発

西森 健文 (鹿児島大学 M1)

私は、鹿児島大学 1m 望遠鏡に導入する近赤外線カメラ (新赤外カメラ) の開発を行っている。現在の赤外カメラはフィルターホイールを回転させることで J ($1.2\ \mu\text{m}$), H ($1.6\ \mu\text{m}$), K ($2.2\ \mu\text{m}$) の 3 バンドを別々に撮像している。しかし、新赤外カメラでは HAWAII アレイを 3 つ搭載し、ダイクロミックミラーを用いて光束を 3 つに分けることで、J、H、K の 3 バンド同時撮像を行うことができる。よって、この新赤外カメラは、現在の赤外カメラに比べ観測時間が $1/3$ になり、さらに、フィルターが固定されるためトラブルも少なくなると考えられる。近赤外観測装置は検出器の暗電流、光学系の熱輻射を減らすために装置内部を冷却する必要がある、そのためには装置内部を真空にする必要がある。そこで私はこれまで、この新赤外カメラにおいて以下の 3 つのを行った。1 つ目は耐圧シミュレーションを行った。耐圧シミュレーションでは装置外壁にかかる応力、変位量を有限要素法を用いて求めた。その結果、応力は降伏の強さを下回り、変位量は $33\ \mu\text{m}$ と非常に小さいため観測装置として問題ないことを確認した。また、変位量は実際に測定し、シミュレーションの結果と $10\ \mu\text{m}$ の差で一致することを確認した。2 つ目は冷凍機を装置内部が無負荷の状態で作動させる実験を行っ

た。その結果、冷凍機コールドヘッドは $27.5\ \text{K}$ となり冷凍能力曲線の推定値と 1K 程度の差で一致した。3 つ目は装置内部の熱計算を行った、まず装置外部からの熱流入を $21.1\ \text{W}$ と見積もり、その値を用いて、冷凍機稼働時に検出器が 70K 、光学系が $100\ \text{K}$ を実現できることを確認した。今後は装置内部の設計を進め、来年夏の完成を目指す。

観測 c2 鹿児島大学 1m 光・赤外線望遠鏡観測データ解析における等級ゼロ点の決定精度の検証

栄木 美沙紀 (鹿児島大学 M1)

鹿児島大学 1m 光・赤外線望遠鏡では、天の川銀河のミラ型変光星の変光周期と平均等級を求めるため、観測を行っている。観測によって得られたデータは、測光・等級較正の処理を経ることで、星の見かけ等級 (較正済み等級) を求めることができる。現在、この処理は山下卒業研究 (2014) で開発された自動解析システムで自動処理され、等級較正に必要な「等級ゼロ点」も自動処理の過程で求められている。しかし、等級ゼロ点が精度よく決定しない場合があるため、私は等級ゼロ点の決定精度の改善を目的として最頻値と一次関数フィッティングを用いて等級ゼロ点を求めた。また、それぞれの等級ゼロ点の値を使用して非変光星の時系列データの等級較正を行い、両者の標準偏差を比較することで優劣を判断した。その結果の一例として、最頻値から等級ゼロ点を求めた場合の標準偏差が 0.095 であるのに対して、一次関数フィッティングの場合の標準偏差が 0.073 であるなど、最頻値から等級ゼロ点を求めるよりも、一次関数フィッティングをすることで等級ゼロ点を求める方法が精度良く等級ゼロ点を求めることができると分かった。

観測 c3 遠赤外線天文学における観測装置と検出器

花岡 美咲 (名古屋大学 理学研究科 宇宙物理学研究室 赤外線グループ (UIR 研) M2)

一般に、赤外線は $1\text{--}300\ \mu\text{m}$ に渡る波長の電磁波を指し、その中で遠赤外線は $50\text{--}300\ \mu\text{m}$ に分類される。宇宙からの遠赤外線放射は、主に星間固体微粒子 (ダスト) からの熱放射と、星間ガスからの微細構造輝線によるものである。よって、遠赤外線放射を観測することにより、星形成領域などのダスト、ガスが多く存在する星間空間の物理を知ることが出来る。遠赤外線は大気吸収のため、飛行機 (Kuiper、SOFIA) や人工衛星 (Herschel、AKARI など) といった飛翔体を利用した観測が必須となる。また、背景光を少なくするために望遠鏡や検出器を冷却する必要がある。

遠赤外線検出器は、光検出の原理から熱型検出器と量子型検出器に大別される。現在まで活躍してきた遠赤外線検出器は、熱型検出器のボロメータ (Herschel/PACS Photometer など) と量子型検出器の Ge:Ga フォトコンダクター (AKARI/FIS など) である。ボロメータは入射光子の持つエネルギーによる温度変化を利用し、フォトコンダクターは束縛電子が励起されたことによる電流量の変化を利用して光を検出するという違いがある。また、ボロメータは $1\ \text{K}$ 以下の温度に冷却する必要があるが、検出できる波長帯が広く、一方で、フォトコンダクターは数 K 程度の冷却温度で運用できるが、検出できる波長帯が狭いという特徴がある。将来の検出器としては、超伝導ボロメータ (SPICA に搭載予定) や、Blocked Impurity Band 型 Ge 検出器の開発が行われている。これら検出器のもつ特徴を把握し、その長所と短所を整理することは、装置開発や観測データの解析を行う際に重要である。本講演では、遠赤外線天文学における観測装置と検出器について、その種類と特徴を紹介する。

1. Kaneda, H., et al. Japanese Journal of Applied Physics, 50, 066503 (2011)

観測 c4 Development of Far-Infrared Image Sensor with Silicon-Supported Germanium Blocked Impurity Band Detector

公地 千尋 (宇宙科学研究所 D1)

宇宙空間における波長 50 – 200 μm の遠赤外線検出には、ゲルマニウム中の不純物 (ガリウム) の光励起を利用した検出器である Ge:Ga 外因性フォトコンダクタが用いられてきた (Kaneda et al., Infrared Phys. Technol., 48, 22, 2006)。しかしこの検出器には、不純物濃度を高くして感度を上げると、同時にホッピング電流による暗電流も増加するという欠点があった。

この欠点を改善するために考案されたのが、不純物を高濃度でドーピングした外因性フォトコンダクタと高純度な真性半導体の層を接合した Blocked Impurity Band (BIB) 型検出器である (Hadek et al., Appl. Phys. Lett., 72, 273, 1992)。この BIB 型検出器では、不純物単位を持たない真性半導体層によってホッピング電流をブロックできるため、高感度かつ低ノイズな光検出を行うことができる。

我々は、Ge:Ga BIB 型検出器を完全空乏型 SOI (Silicon on Insulator) を用いた CMOS 読み出し回路 (ROIC) とパンプを用いて画素毎に接続した構造の大型 2 次元画像センサの開発を進めている。画像センサは約 2 K で運用されるが、その際、ゲルマニウムである検出器とシリコンである ROIC との間の熱膨張率の差によってパンプが破損するという問題があった。この問題の解決のために、我々は検出器をシリコン基板で支持する構造を考案した。この構造をとることにより、検出器部分と ROIC の熱膨張特性の差を小さくし、極低温でパンプにかかる応力を小さくすることができる。我々は検出器の光検出効率と熱・材料力学的な点から考察を進め、シリコン基板に支持された検出器を作成した。さらに、この支持構造に伴う埋め込み透明電極への電気的コンタクト機構を作成し、赤外透過率の評価と金属電極の蒸着状態に関する考察を行った。

観測 c5 南極観測用赤外線カメラの開発および性能評価

中堀 日光 (東北大学天文学専攻 M1)

南極で系外惑星のトランジット観測や CIB の観測を行いたいという背景のもと、赤外線カメラ "tonic" の開発と性能評価を行ってきた。南極である理由は、優れたシーイングや晴天率、低水蒸気量など様々な好条件が揃っているからである。本研究では、赤外線カメラ (と 25cm 望遠鏡) を南極に持って行くことを想定しカメラの開発を行っている。行ってきたことは以下のとおりである。

1. 真空引き・冷却実験
2. カメラ駆動用ボードの作製
3. CCD の駆動実験

1 は赤外線観測するのでカメラ自身の放射を減らすために行う。2 では既存の基盤を複製するという形で作製した。故障時の代替機になり、さらに故障の原因を解明するのにも役に立つ。3 では実際に画像を撮り、出力値を見ることによってカメラが正しく動いているのかを確認した。

観測 c6 CTA 計画における大口径望遠鏡カメラ窓の促進耐光性試験

本橋 大輔 (茨城大学理工学研究科理学専攻物理系 M1)

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画とは、口径の異なる大中小 3 種類の解像型大気チェレンコフ望遠鏡群を設置することで、既存の望遠鏡に比べて 1 桁高感度で、非常に幅広いエネルギー領域 (20 GeV–100 TeV 以上) をカバーすることを目指す国際共同実験計画である。この計画には現在 29 カ国が参加しており、その中で日本グループは主に大口径望遠鏡の開発に大きく関わっている。

大口径望遠鏡は、高エネルギーガンマ線が大気中を通過するときの電磁カスケードにより発生するチェレンコフ光を鏡で集光し、焦点面にあるカメラで検出する。チェレンコフ光の波長分布は $1/\lambda^2$ に比例するスペクトル分布を持つが、波長 300 nm 以下は大気中の酸素やオゾンに強く吸収され、およそ 300 nm から 600 nm のチェレンコフ光の検出が重要となる。しかし、そのカメラは湿気やダストから守るために密閉性が要求されており、カメラの焦点面側は透明な窓で覆う必要がある。したがって、その窓は波長 400 nm 以下の紫外線も十分に透過することが要求される。現在、大口径望遠鏡カメラ窓の候補として、「三菱レイヨン」製の UV 透過型アクリル板「アクリライト」が挙げられている。8 mm 厚の「アクリライト」の透過率は、波長 350 nm より長波長側で 90% 以上、波長 300 nm でも 70% 近くの透過率を示しており、カメラ窓として使用できる十分な透過率を有していることが確認されている。しかし、望遠鏡は建設されると長期間に渡って太陽光や風雨などの気象環境に曝されることになるため、高い耐候性も同時に求められる。太陽光の紫外線による影響に焦点を絞り、「アクリライト」に対して紫外線蛍光ランプを用いて促進耐光性試験を行い、劣化による透過率の低下を調査している。

本講演では、促進耐光性試験の概要と「アクリライト」の透過率変化について報告する。

観測 c7 電子飛跡検出型コンプトンカメラにおける飛跡取得の改良

中増 勇真 (京都大学 宇宙線研究室 M1)

MeV ガンマ線での観測は様々な天体現象を理解するうえで重要なものである。しかし、MeV 領域での全天観測はこれまで COMPTEL のみしか行われておらず、他の波長領域に比べて検出感度もよくない。この原因は、MeV 領域では、物質との相互作用はコンプトン散乱が優位になり、その再構成が難しく到来方向を求めにくいためである。また、宇宙線と検出器との相互作用から生じる大量のバックグラウンドが存在することも原因として挙げられる。そこで、我々のグループは優れたイメージング能力を持つ全く新しい検出器として電子飛跡検出型コンプトンカメラ (Electron-Tracking Compton Camera, ETCC) を開発している。COMPTEL では、ガンマ線の到来方向を円環上に制限するのみであったが、ETCC ではコンプトン散乱による散乱ガンマ線のエネルギーや吸収点だけでなく、反跳電子の三次元的な飛跡も測定することでガンマ線の到来方向を絞ることができる。

ETCC で反跳電子に電離された電子雲の信号の持続時間 (Time Over Threshold, TOT) を測定していたが、横方向に走った飛跡や短い飛跡は長方形型に広がって再構成されていたため、反跳電子の三次元的な飛跡を得る際に散乱点と反跳方向の決定精度を上げる余地があった。そこ

で、TOT に補正をかけることでより細かく飛跡の構造を取ることができるようになった。本講演では ETCC での飛跡解析の改善された点について述べる。

観測 c8 MPPC を用いた新型 GRB 偏光検出器の開発と性能評価

河合 謙太郎 (金沢大学宇宙物理学研究室 M1)

ガンマ線バースト (GRB) は 100 億光年以上遠方の宇宙で発生する爆発現象である。数秒～数十秒という短時間に大量のガンマ線を放出し、その総エネルギーは 10^{52} erg にも達する。GRB の標準理論となっている火の玉モデルにおいて、GRB の放射は、衝撃波により加速された電子が、同じく衝撃波により形成された強磁場中で曲げられ発生したシンクロトロン放射によるものとされている。シンクロトロン放射で輝くならば、偏光が観測されるはずである。我々の研究目的は、偏光観測によって GRB 内部の磁場構造や、放射メカニズムを解明することである。2010 年に打ち上げられた IKAROS に搭載した検出器 GAP により強い偏光が検出されており、今後はより詳細な偏光観測が望まれる。

我々は 2020 年代前半に打ち上げが予定されている木星圏探査用ソーラーセイルへの搭載を目指して、次世代の偏光検出器の開発を行っている。MPPC(Multi-Pixel Photon Counter) と散乱体として 36 本のプラスチックシンチレータ、吸収体として 28 本の CsI シンチレータを用いた、マトリクス型偏光検出器を開発した。MPPC は複数のアバランシェフォトダイオードからなるフォトンカウンティングデバイスで、小型、軽量、低電圧動作といった利点を持ち、衛星搭載に適している。本講演では、検出器の製作および、高エネルギー加速器研究機構にて高い偏光度を持ったビームを照射する偏光観測実験を行い、実験とシミュレーションを比較することで性能評価を行った結果について報告する。GAP と比較してモジュレーションファクタで 2 倍程度の向上が確認できている。また、数 keV の低エネルギーからの検出を目指し、MPPC の読み出し回路の改善を検討しているため、その進捗を交えた開発の現状を紹介する。

1. Daisuke Yonetoku et al.(2011).ApJL,743:L30(5pp)

観測 c9 NANTEN2 駆動系の開発

岩村 宏明 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

我々の研究室では、アタカマ高地に設置されている電波望遠鏡「NANTEN2」を使用して一酸化炭素分子の回転遷移輝線 CO(J=2-1) の観測を行っている。この望遠鏡の駆動系に関して、現在研究室で進めている全天の 70% をもカバーする超広域分子雲観測 (NANTEN Super CO Survey as Legacy; NASCO) の「NASCO 計画」を実行するにあたり、大量のデータ取得、及びその処理が必要となるため、それらを可能とするための改修である。具体的な作業として、主鏡や副鏡などの望遠鏡の各種モーターの制御プログラムの一新、観測効率を上昇させるための観測及び解析の自動化と効率化、天候や Az・El 値など各種ステータスの新たな処理プログラムとそのモニタの作成を行っている。ここまでの制御と観測に使用するプログラムは、全て python によって書かれる予定であり、これらの動作を実現するための計算機と OS の更新も同時に行う。本講演では、これらの開発作業の計画及びその進捗について報告する。

観測 c10 ROACH ボードを用いた広帯域・高分解能デジタル分光計の開発

江藤 翔太郎 (鹿児島大学 M1)

我々は、ROACH ボードを用いた高性能な分光計の開発に取り組んでいる。ROACH ボードとは、カリフォルニア大学バークレー校を中心としたグループ、CASPER によって作られた天文学者向けの計算機モジュールである。ROACH ボードは FPGA を中心に動作する。そのため何度でも機能を変更することができる。また本来 FPGA の開発には高度な知識が必要であるが、ROACH ボードの開発は GUI ベースで簡単に行うことができるようになっている。これらのことから ROACH ボードを用いれば高度な機器開発の知識を持っていない天文学者でも、自ら目的の機能を持ったバックエンドを開発することができる。我々の目標は野辺山で使用されている受信機、FOREST の帯域をカバーできる分光計を開発することである。FOREST は広帯域であるために、現状のバックエンドではすべての帯域をカバーすることはできていない。ROACH ボードを用いることで、広帯域・高分解能なバックエンドの開発を目指す。計画としては ASIAA(AD コンバータ)16 枚 ROACH ボード (分光計)8 枚を使用して帯域 40GHz、周波数分解能 38kHz、速度分解能 0.1km/s を目標としている。

2015 年 10 月には野辺山で立ち上げ測定が行われる。現在はそのバックエンドとして ROACH ボードを用いた分光計を開発している。特に ROACH ボードにおいて FFT のチャンネル数を上げずに高分解能なスペクトルを得ることができる、FFX というアルゴリズムを組み込む。今回は ROACH ボードによる分光計開発の現状について発表する。

観測 c11 POLARBEAR-2 における大型低温光学系のアライメント試験

高取 沙悠理 (総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究所 M1)

近年の観測により、宇宙が熱い火の玉宇宙から膨張したとされるビッグバン理論が確立された。しかし、ビッグバン理論では説明する事の出来ない問題が宇宙の精密測定から明らかになった。宇宙の初期に加速膨張を仮定する事によりこれらの問題を解決する理論がインフレーション理論である。インフレーション理論の実験的検証は、現代宇宙論における最重要課題の一つである。インフレーション理論は原始重力波の生成を予言する。したがって、原始重力波によって宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) に生成される特殊な偏光パターン (B モード) を直接観測するとインフレーション理論の検証ができる。さらに、宇宙の大規模構造によって生じる重力レンズ効果によっても B モードは生成され、B モードの観測によってニュートリノ質量和に関する制限が可能となる。発表者が行う POLARBEAR-2(PB-2) は B モード偏光の精密観測を行う事でインフレーションモデルやニュートリノ質量和に強い制限を与える事を目的とした実験である。PB-2 実験は 2016 年よりチリのアタカマ高地で観測を開始する。PB-2 実験は以下の 3 点の特徴をもつ。(1) 統計感度を向上する為に超伝導 TES(transition edge sensor) ボロメータを 7588 個用いる、(2) 前景放射の分離能力を向上するために 95 GHz と 150 GHz の 2 波長で同時測定する、(3) 光学系由来のノイズを抑制する為に光学系を冷却する。7588 個のボロメータを用いた検出器アレイを構築する為には大きな焦点面とそれに対応する大型低温光学系が必要である [1]。十分な角度分解能で測定を行う為には、全ての検出器に対して回折限界を満たす位置にレンズを配置する必要がある [2]。PB-2 で用いるアルミ

ナレンズは世界最大の直径であり [3]、大型のアルミナレンズに対するアライメントと観測感度についての先行研究はまだ無い。そこで、発表者は大型アルミナレンズを用いた光学系に対して、観測に十分な性能を持つ光学系を構築する為に必要な条件をシミュレーションによって求め、要求値を満たすアライメントを行った。本講演では PB2 実験の概要と PB-2 の低温光学系に対するアライメント試験について報告する。

1. Tomotake Matsumura et al. Proc. of SPIE Vol.8452,84523E-5(2012)
2. S. Hanany, M. Niemack and L. Page. Springer Science+Business Media Dordrecht, 431(2013)
3. Yuki Inoue et al. Proc. of SPIE Vol.9153,91533A (2014)

観測 c12 位置天文衛星 Gaia が抱える問題と今後の展望

井 伊織 (国立天文台三鷹 M1)

Gaia とは、銀河系内部の 10 億個もの星々を $10\mu\text{as}$ レベルという精度で観測する ESA の位置天文衛星計画である。この超高精度での観測を実現するには極めて厳密な装置の機構の管理を行わねばならないのだが、衛星打ち上げ後、予期せぬ問題により 1mas の精度でしか観測を行えない事態に陥ってしまった。本講演では、その問題とそれらの原因が具体的にどのようなものなのかを取り上げて最新の Gaia についての報告を行う。

Gaia には二つの望遠鏡が搭載されていて、目標の精度のためにはこの鏡の相対角 (basic angle) のぐらつきを $0.5\mu\text{as}$ 以内に抑えなくてはならない。しかし現状では 1mas のオーダーでぐらついている。これが今回取り上げる深刻な問題である。BAM(The Basic Angle Monitoring) という basic angle のずれを測定する干渉計システムを用いると、この原因が明らかになってきた。太陽の影響による干渉縞パターンの変化量が予想以上に大きいこと、その信号に不連続な点が見られること、パターンに中一長期的変化があること、干渉縞の周期に変化が見られること、の 4 つである。ただ中一長期的変化は人工的なものであることが分かっている。いくつかについては引き起こす要因が考えられていて、信号の不連続は衛星内の機器の活動が、干渉縞の周期的変化は BAM に用いるレーザーの温度の変化が要因とされている。しかし改善に向けて何も成されていないわけではなく、周期的変化についてはフーリエ級数展開によるフィッティングが施され、信号の不連続は解決策が目下進行中である。

今回問題を提示してくれたように、今後 basic angle に関する問題の解決には BAM が重要な役割を果たすであろう。全体的な解決がなされた後、basic angle についてのより深い知識が得られると思う。

1. Mora, A., et al., EAS Publications Series(2015)
2. Mora, A., et al., arXiv:1407.3729v1(2014)

観測 c13 ドーム型 26cm 望遠鏡のシステム立ち上げ

三宅 梢子 (中央大学 天体物理学 (坪井) 研究室 M2)

2013 年度から当大学屋上にドーム型 26cm 望遠鏡 Chuo university Astronomical Telescope 通称 CAT が稼働を開始した。当研究室はかつて全天 X 線監視装置 MAXI や Swift 衛星などから観測データを転送し、

解析を行っていたが、CAT の稼働により、積極的な可視光観測が可能となり、観測対象やデータ取得の自由度が増えた。昨年までの 2 年間は、人の立会いのもと恒星観測を行っており、観測者個人の予定や時間制限により効率的なデータ収集ができなかったため、システムの自動化を試みた。ドームや望遠鏡を制御するハードウェアは全て ASCOM で統合されているため、ASCOM 準拠のソフトウェアである ACP と、ACP で制御される CCD カメラ制御ソフトである MaxIm DL を導入した。観測スケジュールは、ACP の姉妹ソフトである ACP Scheduler により計算、実行が可能となる。これらにより ACP ソフトウェアを介してドーム、赤道儀、CCD カメラがすべて制御可能となるため、人の立会いが不要となる観測が実現できる。その他自動化の詳細に関してはポスターに掲載する。

観測 c14 埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA の現状と課題

柴田 吉輝 (埼玉大学教育学部理科専修 天文学研究室 M1)

埼玉大学では、口径 55cm の赤道儀式光学望遠鏡 SaCRA を有しており、光赤外線天文学大学間連携事業でのガンマ線バーストや超新星等の突発天体、星形成領域、系外惑星、太陽系小天体の観測を実施している。現在までに架台などの観測装置を 2 台の Windows PC 上の GUI から制御していたが、これを改修し、1 台の LINUX PC を用いたコマンドラインによる遠隔制御を可能にしたことで、観測システムの自動化に向けて前進した。

加えて、観測装置について以下の二つの開発、製作を行っている。

一つ目が、可視三色同時偏光撮像装置である。可視の長波長側の r,i,z バンドを用い、ダイクロックミラーを 2 枚使用して 3 つの光路を分岐させる。大きさは、 $40 \times 40 \times 10[\text{cm}]$ 、重さは約 $10[\text{kg}]$ 程度と非常にコンパクトな設計となっている。また F6.5 の明るい光学系で、収差を小さくするように工夫したため、本学の望遠鏡のみならず、様々な望遠鏡に搭載することができる。

二つ目が、可視中分散分光装置である。波長分解能の高いエシェルグリズムを用いて、スリットターレット、コリメータレンズ、クロスディスペルザ、カメラレンズを組み合わせた光学系で設計した。理論上の分解能力は R 3000 を見込み、一般的な分光器よりコンパクトな大きさである。

最終的にこれらの装置を用いて、系外惑星の探査や月の地球衝、変光星、太陽系小天体等の観測を行う予定である。

今後の課題としては、フォーカス調整の遠隔制御や気象センサーとの連携、測光まで含めた自動解析パイプラインの整備が挙げられる。また上述の可視三色同時偏光撮像装置のための CCD カメラ制御システムの構築や光学系での色変換係数の算出、可視中分散分光装置のための高精度な天体追尾などへの対応が課題となっている。

本稿では、埼玉大学 55cm 望遠鏡 SaCRA の自動観測システムの確立に向けた制御環境の構築と、可視三色同時撮像偏光装置、可視中分散分光装置の製作の現状と課題について報告する。

観測 c15 高感度ビデオカメラを用いた突発現象に対する観測環境の構築

勝倉 大輔 (青山学院大学大学院 M1)

宇宙最大規模の爆発現象であるガンマ線バースト (GRB) の対応天体を効率よく観測するためには、GRB 観測衛星 Swift に搭載されている BAT (Burst Alert Telescope) の視野を追うことが効率的である。また、

BATの視野は $120^\circ \times 90^\circ$ と非常に広いため、その視野に対応する観測装置が必須となる。そのため、青山学院大学吉田研究室では、広視野観測装置 AROMA-W (AGU Robotic Optical Monitor for Astrophysical object - Wide field) を開発した。現在、この観測装置を使用し GRB や一般相対性理論において予言される重力波イベントの対応天体等の可視光領域で増減光する天体現象の常時観測を行っている。一方、そのような現象の大半は実視等級が非常に暗いものであり、かつ光度変化も数秒から数分単位の短い時間で増減光する。従って、時間分解能が低い現在の AROMA-W のシステムでは、その増減光の様子がはっきりととらえられない可能性がある。高感度でフレームレートの高いビデオカメラを用いることにより、一眼レフカメラを用いたシステムに比べて時間分解能の向上が見込まれ、これまでよりも時間分解能の優れた光度曲線が得られると考えられる。本研究は高感度かつ高フレームレートの Point Grey 社製 Flea3 ビデオカメラと短焦点レンズ (Tokina 12mm F1.4) の組み合わせにより、1秒間に60フレームという時間分解能の向上だけではなく、25という広い視野を達成できるカメラの試作を行った。これは、GRBの対応天体や重力波イベント等の可視光領域で増減光する天体現象の検出を目的とするものである。これらの目的を達成するためにはビデオカメラを用いた観測をするための環境の整備が必要となる。まず、コマンドライン上で画像を取得できるようにした後、RAWデータを解析可能な画像形式 (FITS形式) に変換するためのスクリプトを作成した。次に、実際の星夜を撮影した画像を解析し、このビデオカメラの限界等級を求めた。その結果、0.1秒の露出時間で撮影した RAW データを100枚積分した画像 (10秒露出相当) において3の限界等級が9.3等であった。現在 AROMA-W に同荷し、Swift-BAT の観測可能な視野を追従している。今回の発表では、Flea3 ビデオカメラを用いた観測環境の整備とその観測性能について報告する。

観測 c16 TES型 X線マイクロカロリメータの AC 駆動時のクロストーク減少に向けた研究

前久 景星 (宇宙科学研究所 M1)

我々は次世代 X 線天文衛星、DIOS 衛星に搭載する観測機器の開発を行っている。DIOS はダークバリオンを直接観測し、その空間分布を求めることを目的としている。そのためには数 eV という高いエネルギー分解能を実現できる超伝導遷移端温度計 (TES) を用いた TES マイクロカロリメータ (以下、TES) を 16×16 素子ほど並べる必要がある。

TES の信号は超伝導量子干渉計 (SQUID) で読み出し、通常一素子について8本の配線が必要となる。TES は $\sim 100\text{mK}$ で動作させるため、多素子化に伴う読み出し配線群からの熱流入を無視できない。我々のグループでは、複数素子からの信号を1つの SQUID で読み出すために、各 TES を異なる周波数 ($\sim \text{MHz}$) の交流で駆動する、周波数分割多重化法の研究を行っている。しかしそれと同時に、高周波数での信号のやりとりは、配線間のクロストークを増加させるという問題がある。

TES は温度計として非常に高い感度を持っているが、感度を持つ温度域が非常に狭いため、動作点を (超伝導) 吸収端中に保たなければならない。これは TES と並列に、TES の動作点抵抗 ($\sim 100\Omega$) より十分小さい抵抗 (シャント抵抗) をつなぎ、擬似的に定電圧バイアスとすることで実現している。そのため TES を駆動させるための配線には他の配線に比べて1桁以上大きい電流 ($\sim \text{mA}$) が流れており、この配線によるクロストークが最も大きい。よって TES の性能を落とすことなく、配線電流を小さくすることが求められる。

そこで我々はシャント抵抗をインダクタに変更することでこの問題を解決しようと考えた。新しい駆動回路の設計、シミュレーションを行い、

正しく駆動させるための最適なパラメータを検討している。本講演ではその結果を説明する。

1. K.Sakai. A Frequency-Division Multiplexing Readout System for Large-Format TES X-Ray Microcalorimeter Arrays towards Future Space Missions. PhD thesis, University of Tokyo.

観測 c17 ASTRO-H 衛星搭載 SXS のデジタル信号処理装置の時刻付け機能の検証

久保田 拓武 (埼玉大学 理工学研究科 物理機能系専攻 田代・寺田研究室 M2)

ASTRO-H は、今年度に打ち上げが予定されている X 線天文衛星である。この衛星には Soft X-ray Spectrometer (SXS) と呼ばれる、X 線マイクロカロリメータ検出器が搭載される。この検出器は、入射した光子のエネルギーを吸収体の温度上昇に変換して検出することによって、これまでの標準的な X 線 CCD のおよそ 20 倍以上高い、7eV (FWHM) 以下のエネルギー分解能を実現する。この温度上昇として検出された信号は、アナログ/デジタル変換された後に、デジタル信号処理装置である Pulse Shape Processor (PSP) へと送られている。PSP では入射 X 線のエネルギーや到来時刻などの解析の際に、平均波形との相関をとる最適フィルタ処理を行うことでこれらを決定している。この処理により、波形のサンプリングレートの $1/16$ の精度で、到来時刻 (波形の立ち上がり時刻) を決定することができる。しかし、X 線入射ピクセルの位置や時刻配信による遅延によって、時刻決定精度に偏りが生じる可能性がある。本講演では、この PSP の時刻決定精度について試験で得られたデータをもとに確認した結果を報告する。我々は、つくば宇宙センターで行われた、一定周期で特性 X 線を照射させる衛星搭載装置を用いた試験で得られたデータを取得した。これらを周期で folding し、立ち上がり立ち下りの時間と delay を測った。この検証の結果、照射周期および GPS 時刻に対する位相が、正確に再現できることを報告する。

観測 c18 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のためのビームマッパーの開発

濱田 崇穂 (東北大学天文学専攻 M1)

近年の観測によって裏付けられているビッグバン理論は、宇宙を構成する物質の起源を説明した。しかしより精密な観測から、ビッグバン理論だけでは説明できない謎が明らかになった。その謎を解決するため、宇宙の誕生間もない時期に加速膨張を仮定するインフレーション理論が提唱された。

しかし、その実証のための観測は未だ達成されていない。インフレーションが実際に起こっていたとすると、原始重力波が発生し、宇宙初期の光である宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光に B モードと呼ばれる特徴的な偏光パターンを作り出す。このパワースペクトルの強度はインフレーションのモデルに対応している。したがって、B モード偏光パターンを精度良く測定する事で主要なインフレーションモデルに制限を与える事が可能である。

発表者は、この偏光を測定するため、POLARBEAR-2 (PB-2) 実験を行っている。PB-2 は、2015 年からアタカマ高地での観測を開始するプロジェクトである。大きな特徴として、250mK で使用する 7588 個の TES ボロメータによって高い統計感度を得ることができる。また、

95GHz・150GHzの2帯域観測による前景放射除去が可能である。

これらの性能を満たす為には、7588個ある検出器のビーム形状の歪みを抑制しなければならない。発表者はこれらのビームの評価が可能なビームマッパーの開発を行っている。このビームマッパーには、以下の条件が求められる。

2つの偏光方向に対する同時測定の実現

95GHz・150GHzの同時測定の実現

安定的な長時間測定の実現

これらの測定によって得られた情報を組み合わせることで、より精度良く検出器を評価できる。こうして評価された検出器を用いることで、インフレーションモデルに制限を与えられる。

本発表では、PB-2実験の概要とこれまでに発表者が行ったビームマッパーの開発および評価について紹介する。

.....