

Abstract

X線天体は、気球やロケットなどを用いて観測機器を大気外に打ち上げることで、1962年に初めて観測された。より長時間の観測をするために衛星が用いられるようになった。1970年に初めて打ち上げられた Uhuru 衛星は比例計数管を搭載しており、長時間観測によって多くの X 線天体を発見し、X 線天文学を飛躍させた。1993年に日米共同で X 線 CCD カメラを搭載した「あすか」衛星が打ち上げられた。CCD カメラのエネルギー分解能 ($\Delta E_{\text{FWHM}} = 135 \text{ eV} @ 6 \text{ keV}$) は比例計数管 ($\Delta E_{\text{FWHM}} = 600 \text{ eV} @ 6 \text{ keV}$) より約 4 倍も向上した。近年では、より高い分解能を求めて極低温検出器が搭載されるようになった。2016年に日米欧共同でマイクロカロリメータを搭載した「ひとみ」衛星が打ち上げられた。「ひとみ」は軌道上で $\Delta E_{\text{FWHM}} \sim 5 \text{ eV} @ 6 \text{ keV}$ の超高分解能を達成したが、衛星の不具合により打ち上げ後すぐに運用を断念した。2022年度に代替の X 線天文衛星 XRISM を打ち上げる予定である。

XRISM 衛星には 50 mK で作動するマイクロカロリメータ (*Resolve*) が搭載される。マイクロカロリメータは光子のエネルギーを温度変化として検出する装置である。*Resolve* は液体 He 冷媒、機械式冷凍機 (2 段スターリング冷凍機 = STC とジュールトムソン冷凍機 = JTC) と断熱消磁冷凍機を用いて、温度を極低温で安定させ高エネルギー分解能を達成している。しかし、マイクロカロリメータでは機械式冷凍機や姿勢制御系のリアクションホイールなどが発生させる微小擾乱と呼ばれる意図しないトルクによって機械的エネルギーが極低温部に浸入することでノイズが発生する。このノイズはマイクロカロリメータの分光性能を著しく低下させるため、ノイズの発生原因の特定と除去が重要な課題である。「ひとみ」衛星でも同様な問題が発生し、原因追求のため装置が受ける振動を加速度として測定するシステムが構築された。しかし、データは間欠的にしか取得されていないため、網羅的な解析がされていない。これを踏まえ、*Resolve* では、地上試験中センサーが 50 mK に保持される全期間 (1450 時間 = 5.2 Ms) を通じて、均質かつ連続的な加速度データを取得した。現代の主流となる極低温センサーにおいて、前例のない質量のデータセットである。これを網羅的に解析し、微小擾乱干渉の物理的なメカニズムや長期的なトレンドを追求することが本研究の目標である。

具体的には、以下の 3 つの課題に取り組んだ。1 つ目は、加速度データとマイクロカロリメータのノイズデータを用いた機械式冷凍機による微小擾乱ノイズの特定と干渉メカニズムの解明である。加速度データのスペクトルから冷凍機が発生させる振動を特定し、マイクロカロリメータのノイズスペクトルから同等のものを探した。冷凍機の駆動周波数は JTC が 32 段階、STC が 256 段階で変化させることができるため、多くの組み合わせでデータを取得した。その結果、JTC の 4 及び 7 倍波の周波数で共鳴が起こり、ノイズが大きくなることが分かった。また、冷凍機の周波数に依存した低周波ノイズの出現した。これが分光性能の大きな劣化をもたらすことを示し、その出現するメカニズムについて考察した。

2 つ目は、*Resolve* 外から侵入する微小擾乱を加振機を用いて再現し、擾乱によるマイクロカロリメータへの影響を評価した。加振機で発生させる振動の周波数と振幅を変化させ、各周波数、振幅でマイクロカロリメータがどのような応答を示すか確認した。その結果、特定の周波数でのみマイクロカロリメータにノイズが発生した。また、この周波数は冷凍機の 4,7 倍の高調波に近い値であった。加振と応答の関係から、分光性能劣化として許容可能なレベルを新たに求めた。

3 つ目は、冷凍機駆動周波数の最適化とその方法の確立である。1 つ目の課題からノイズの出現条件が予測できたため、それを避けるように冷凍機駆動周波数を設定すればよい。マイクロカロリメータの温度データとノイズデータから、JTC と STC の駆動周波数の組み合わせを網羅的に評価し、その中から最適な組み合わせを段階的に見つける方法を確立した。