

単光子計数による時間領域可視光天文学の開拓

Exploring time-domain optical astronomy by the single-photon counting

山形大学 中森健之

高速回転する中性子星である Crab パルサーは、自転に同期した周期で電波からガンマ線に渡る広帯域の電磁波をパルス状に放出している。カニパルサーでは平均的なパルス強度に対して 10–1000 倍以上にもなる巨大電波パルス (Giant radio pulse; GRP) の存在が知られており、ときにはナノ秒スケールの強度変動が観測されている。GRP は頻繁に繰り返り起こっているが、その起源については未だ結論が得られておらず、多波長同時観測が活発に行われている。

高エネルギー天体现象の理解には、様々な波長 (や粒子等) で同時に観測することが不可欠であり、特に高速変動現象には各波長の観測で時間分解能を揃えた上での同時観測が肝要となる。しかし可視光観測で使われることが多い CCD や CMOS は、他の波長に対して高速測光能力に劣る。本研究では、シンチレーション検出器として放射線計測に用いられることが多い半導体光センサー Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) を、可視天体観測用途に改造し高速測光システムを開発した。MPPC はガイガーモードで動作する有感セルが 2 次元状に配置された構造で、個々のセルが 10^6 程度の内部増幅機能を持ち、単光子を検出する高い感度を有する。ナノ秒の応答速度を持つため、天体観測用素子に採用すれば、可視光子の到来時刻を精度よく測定できる。

試作した 4x4 画素のセンサーが検出した光子を毎秒 1 万フレームで取得する狭視野高速動画撮影システムを初めに開発した。このシステムを山形大学天文台にある口径 35 cm の望遠鏡に搭載し、Crab パルサーを 7 分間観測した。その結果、電波で観測されている周期と矛盾しない結果が得られ、可視の光度変化を表すパルス波形を再構成した。従来から知られていた波形と一致することを確認した。

GRP に連動した光度変化を測定するためには、十分な光子統計量が必要となる。小口径望遠鏡では効率が悪いと、さらに大型の望遠鏡に搭載する必要がある。口径 1.5 m を持つ広島大学かなた望遠鏡のナスミス焦点に開発したシステムを設置し、東北大学が運用する飯館電波望遠鏡と Crab パルサーの同時観測を行った。高い集光力によって、わずか数周期で Crab パルサーの定常パルス信号の検出に成功した。現在は慎重に可視・電波同時観測データの解析を進めている。

カスタム MPPC によって Crab パルサーの定常パルスは光子計数法で問題なく検出することができたため、高速可視観測のセンサーとして有望であると言えるだろう。開拓と題した本研究の目的は、ある程度達成できた。可搬性と小型化をさらに追求できれば、小惑星による恒星食などの野外観測への新しい応用が実現する可能性も考えられる。

【参考文献】

- ・” Development of an optical photon-counting imager with a monolithic Geiger Avalanche Photodiode array”, T. Nakamori et al., Publications of the Astronomical Society Japan, 73, 66–77, 2021
- ・「アマチュアとの連携夢見て 小型望遠鏡でパルサー観測」月刊星ナビ 7 月号, 56–59, アストロアーツ, 2021 年