可視撮像分光装置 NaCS の紹介と CCD 線形性の評価

中尾光(北海道大学大学院理学院)

Abstract

我々は北海道大学 1.6m ピリカ望遠鏡のナスミス魚点に搭載する可視撮像分光装置 NaCS(Nayoro optical Camera and Spectrograph)の開発を行っている。NaCS は活動銀河核のモニター観測を主な目的として開発された装置であり、8.4' × 4.2'(ピクセルスケール 0".246/pixel)の比較的広い視野を持つ。波長分解能 は $\lambda/\Delta\lambda \sim 300$ である。CCD カメラにはより広い波長域での観測ができるように、可視光域全域にわたり 高い量子効率をもつ浜松ホトニクスの 2k×1k CCD を用い、読み出しシステムには東京大学で開発された KAC(Kiso Array Controller)を採用した。

2011 年 11 月に NaCS の分光ファーストライトと試験観測を行った。試験観測では 1 次処理をしても読み出しチャンネル間の光量レベルが一致しない問題が確認された。これは、CCD の線形性が低カウント時に悪化する事によって発生しており、その原因は CCD の駆動電圧のうちパラレル転送クロック電圧とサミングゲート電圧の電圧値が CCD の動作条件電圧値外になっていたためであった。

本講演では NaCS の紹介と CCD の線形性の測定結果と補正結果について報告する。

1 イントロダクション

北海道大学 1.6m ピリカ望遠鏡 (図 1(中)) は、北海 道大学理学部地球惑星科学科が中心となって北海道 名寄市に建設した光学赤外線望遠鏡である。名寄市 が運営する公共天文台 (図 1(左)) と連携しており、東 経 142 度 28 分、北緯 44 度 22 分、標高 151 m に位 置している。R バンドでのナチュラルシーイングは 1".3-2".3(典型値は 1".8) であり、気候は梅雨がない 反面、冬には大量の雪が降る。

ピリカ望遠鏡は観測ターゲットとして惑星観測を メインとしているため、仰角5度までの追尾が可能 であるという特徴も持っている。カセグレン焦点に は可視光マルチスペクトルイメージャー (MSI) と近 赤外エシェル分光器 (NICE) を搭載している。

NaCS(図1(右))を用いた研究の目的の1つは、活 動銀河核の連続光と広輝線の強度変動のタイムラグ から中心核と広輝線領域間の距離を求めるレバベレー ションマッピング観測による活動銀河核の中心構造 の解明である。また、ロングスリットによる銀河ディ スクの分光や、スリットレス分光による前 主系列星 ・褐色矮星の探査も目的としており、ピリカ望遠鏡の ナスミス焦点に搭載れている。NaCS は AGN の連 続光と複数の輝線の相対光度が同時に得られるよう

に分光観測モードを、また、連続光や輝線の絶対光 度が得られるように撮像観測モードを用意した。さ らに、近傍の AGN に対して母銀河を同時に分光で きるように広い視野 (8.4' × 4.2') を確保した。検出 器は 450-900 nm の範囲で 80%以上の高い量子効率 をもつ浜松ホトニクス社製の完全空乏型、背面照射 型 CCD を採用した。この CCD は高い量子効率の他 にも正孔転送型や4チャンネル読み出しなどの特徴 がある。本研究では読み出しシステムとして、汎用 の読み出しシステム KAC(Kiso Array Controller)の 開発もおこなった。KAC は回路 · クロックのわずか な変更により、異なる種類の複数の CCD を同時に 駆動可能であり、現在までに MIT、SITe、浜松ホト ニクス (本研究) 社製の CCD の駆動に成功している。 CCD1 枚による NaCS の様な観測装置から木曽観測 所の KWFC のような異なる 2 種類の CCD8 枚によ る観測装置など、様々な規模の観測装置に対応可能 である。また、機能、構成をシンプルにし主に汎用 製品を用いることで、導入が容易なシステム構成を 実現している。

2011 年5月には試験用 CCD カメラを用いて、撮 像モードのファーストライト観測に成功した。KAC は 2011 年7月に実験室での駆動試験に成功した。同



図 1: (左) 名寄市立天文台、(中) ピリカ望遠鏡、(右)NaCS

視野	$8'.4 \times 4'.7$
ピクセルスケール	$0^{\prime\prime}.248/\text{pixel}$
撮像時波長域	380 - 970 nm
分光時波長域	435 - 820 nm
スリット	2′′,3′′,4′′(各スリット長は 1′ 以上)
フィルター	SDSS(g',r',i',z',),Johnson(B,V)
	オーダーソート (GG435)
分散素子	グリズム (G300)
検出器	浜松ホトニクス (2k × 1k)
読み出しシステム	KAC(Kiso Array Controller)
ゲイン	$2 e^{-}/ADU$
読み出しノイズ	3.8 ADU (マルチサンプル1回モード ¹)
	2.5 ADU (マルチサンプル 4 回モード)
読み出し時間	5.3 秒 (マルチサンプル 1 回モード)
	12 秒 (マルチサンプル 4 回モード)
外径寸法	$720 \times 720 \times 1300 \text{ mm}^3$
重量	100 kg

表 1: NaCS 仕様

年 11 月には NaCS 本体に KAC を搭載して、分光 ファーストライト観測することに成功した。現在の NaCS の仕様を表1に示す。表中のマルチサンプル とは、1 ピクセルのデータのサンプリング回数であ り、サンプリング数を増やすことにより読み出しノ イズを軽減させることができるが、読み出し時間が 長くなる特徴がある。

線形性

試験観測の結果、一般的な一次処理後にチャンネル 間のカウントレベルが一致しない問題が生じた。こ の原因は CCD の線形性が低カウント時に悪化する 事に起因することが分かった。そして、その線形性の 悪化の原因は CCD の駆動電圧のうちパラレル転送 クロック電圧とサミングゲート電圧の電圧値が CCD の動作条件電圧値外になっていたためであった。現 2013年度第43回天文・天体物理若手夏の学校

状の読み出しボードでは全ての条件を満たした電圧 を供給できないため、ボードの再製作を予定してい るが、ボード交換までの観測データに対する線形性 の補正が必要である。

図2は線形性の測定結果である。縦軸は出力カウ ント、横軸は各測定でのカウントレイトの変化を補 正した露光時間である。測定は流す電流値を固定し たドームフラットを様々な露光時間で取得した。測定 誤差を軽減させるために5日間に分けて測定を行っ た。線形性の良い高カウントの領域を用いて直線で フィッティングを行い線形性の評価を行った。通常の CCD は高カウント側で電荷の飽和が起きることによ り線形性の悪化が生じるが、NaCS のシステムでは 数千カウント以下の低カウントの領域で線形性が非 常に悪くなっている。図3はフィット直線に対する測 定値の割合である。赤い点は後述するフィッティング 時にフィってイングに使用しなかったデータである。 現状では10カウント前後では非線形性が50%近く にもなっているとが分かった。





図 3: 線形性補正式のフィッティング結果

3 補正式と補正結果

フィット直線からのズレをフィッティングすること によって線形性の補正式を導出した。フィット曲線の 関数は以下を使用した。

$$I_{cor} = I' \times \left(-\frac{a}{(I'+b)^{1.4}} + \frac{c}{(I'+d)^2} + 1 \right)$$

各チャンネルに対して求めた補正式は以下である。

$$\begin{split} I_{cor}(ch1) &= I' \times \left(-\frac{823.52}{(I'+186.398)^{1.4}} + \frac{6.94488}{(I'+2.01651)^2} + 1 \right) \\ I_{cor}(ch2) &= I' \times \left(-\frac{890.424}{(I'+180.209)^{1.4}} + \frac{2.92276}{(I'+1.68198)^2} + 1 \right) \\ I_{cor}(ch3) &= I' \times \left(-\frac{384.838}{(I'+110.781)^{1.4}} + \frac{1.22258}{(I'+1.84323)^2} + 1 \right) \\ I_{cor}(ch4) &= I' \times \left(-\frac{420.049}{(I'+123.468)^{1.4}} + \frac{1.3126}{(I'+0.97364)^2} + 1 \right) \end{split}$$

上記の補正式を用いて補正を行った後の線形性測定 の結果は図4である。赤いプロットはフィッティン グから除いたデータである。線形性の補正後は最大 50%程度あった非線形性が最大でも5%程度になった。



図 4: 線形性補正後のフィット直線と測定値の割合

4 結果と今後の課題

今回導出した補正式を用いることで、低カウント 時の線形性の悪化を5%以下に抑えることができた が、1%未満に抑えることが望ましい。特に分光観測 時はスペクトルが4チャンネルにまたがるので、こ の影響が大きい。今後はさらに補正式の精度をあげ る為に、線形性の測定と補正のイタレーションを行 う。また、ドームフラット光源の明るさの変動の補正 精度をあげ、かつ測定回数を増やすことによる、測 定誤差の軽減を行う予定である。