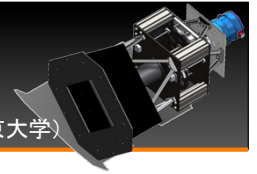




可視撮像分光装置NaCSのCCD読み出しシステムの開発と性能評価

○中尾光、徂俣和夫、渡辺誠(北海道大学)、山田真広、伊藤洋一(神戸大学)、酒向重行、宮田隆志(東京大学)



概要

我々は北海道大学 1.6m Pirka 望遠鏡のナスミス焦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。この装置はロングスリットによる銀河ディスクや活動銀河核の分光、スリットレス分光による前主系列星・褐色矮星の探査を主な目的としており、 $8.4' \times 4.2'$ (ピクセルスケール $0''.246/\text{pixel}$) 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製の $2k \times 1k$ 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。KACは様々なCCDに対応可能であり、これまでにMIT及びSITeのCCDの駆動に成功している。今回我々は浜松ホトニクス製のCCDに対応させた回路及びソフトウェアを開発した。通常の読み出し方法に加え、ビニングと部分読み出し、さらに同一ピクセルに対するAD変換を複数回行うことで読み出しノイズを減少させるマルチサンプリングが可能である。回路は2011年8月までに製作し、実験室にて通常読み出しで読み出しノイズ $5.8 e^-$ (読み出し時間5.3秒)、マルチサンプリング (4回AD変換) では、読み出しノイズ $3.8 e^-$ (12秒) を達成した。

このカメラは2011年11月にNaCSに組み込まれ、新システムによる撮像及び分光ファーストライト観測に成功した。ただし望遠鏡からのノイズにより、読み出しノイズがマルチサンプリングでも $7.4 e^-$ と悪化した。

本講演では浜松ホトニクス製のCCDに対応したKACの開発とCCDの性能評価試験の結果を報告する。

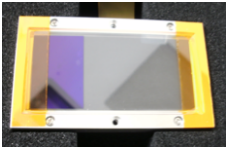
NaCSステータス

- ・視野 : $3.6' \times 3.6'$ ($0.246 \text{ arcsec}/\text{Pixel}$)
- ・フィルター : SDSS (g', r', i', z')、オーダーソートフィルター(GG435)
- ・分光素子 : グリズム(G300)
- ・撮像限界等級(60秒、 $S/N=10$ 、シーイング $2''$) : $g'=21.0, r'=20.7, i'=20.1, z'=19.5$
- ・分光限界等級(1200秒、 $S/N=10$ 、シーイング $2''$) : 15.9 ($R \sim 360$)

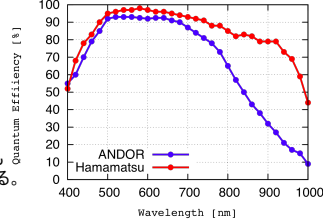
検出器

- ・本研究で開発した読み出しシステムにより駆動するCCDは浜松ホトニクス社製完全空乏型、背面照射型CCDであり、可視光域全域に渡り高い量子効率を持つ。ピクセルサイズは $15 \mu\text{m}$ 、ピクセル数は $2k \times 1k$ である。

CCD素子



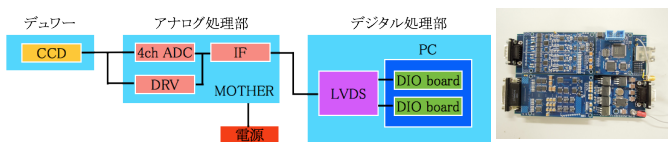
CCDの量子効率



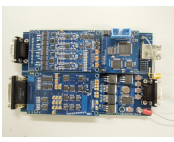
- ・ $2k \times 1k$ CCDはチップサイズ自体は $2k \times 4k$ のものと同じで、イメージエリアが $2k \times 1k$ 分だけある。(写真の紫色の箇所がイメージエリア)

読み出しシステム

NaCSに搭載しているKACの概略図



アナログ回路の概観



システムの性能

項目	目標or設定値	測定値
読み出しノイズ (実験室)	$5.5 e^-$ (通常読み出し)	$5.8 e^-$ (通常読み出し) $3.8 e^-$ (マルチサンプリング4回)
読み出しノイズ (望遠鏡搭載時)	$5.5 e^-$ (通常読み出し)	$11.2 e^-$ (通常読み出し) $6.4 e^-$ (マルチサンプリング4回)
読み出し時間		5.3秒 (通常読み出し) 12秒 (マルチサンプリング4回)
総合ゲイン	$2.2 e^-/\text{ADU}$	$1.5 e^-/\text{ADU}$
フルウェル	$1.5 \times 10^5 e^-$	$9.8 \times 10^4 e^-$
暗電流	$1.4 \times 10^{-3} e^-$ 以下	$8.7 \times 10^{-2} e^-$
非線形性	2.5 % 以下	0.5 % 以下

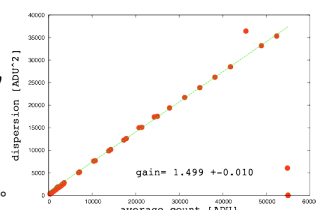
試験結果

■ゲイン

- ・望遠鏡のフラット光源を撮像し、横軸に平均カウントを縦軸にカウントの分散をとってプロットした。プロットの傾きよりゲインを導出した。

- ・右図はch3でのプロットの結果。

- ・下の表は各チャンネルで測定したゲインの結果。



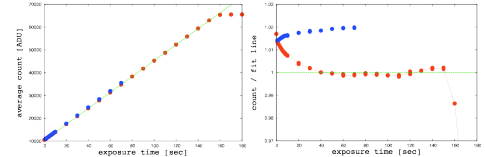
チャンネル	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4
ゲイン e^-/ADU	1.53 ± 0.01	1.48 ± 0.01	1.50 ± 0.01	1.48 ± 0.01

試験結果

■非線形性

ドームフラットを露光時間を変えながら取得し横軸を露光時間、縦軸をカウント数として、非線形性を測定した(左図)。右図はフィット直線と測定点との比をプロットしたものである。青いプロットは赤いプロットの測定の2時間後に行った測定結果であり、フラット光源の時間変化することを示している。

測定の結果、フラット光源の変化込みで非線形性が0.5%以下であることを確認した。



■フルウェル

各チャンネルでのフルウェルを測定した結果、全てのチャンネルで65535 ADUであった。これは約 $9.8 \times 10^4 e^-$ に相当し、CCDの仕様値 $1.5 \times 10^5 e^-$ に対して2/3程度の値である。現在の設定ではフルウェルの上限がAD変換器で決まっており、CCD自体のフルウェルが有効に使われていないことが分かった。

この原因は使用しているCCDが設計時に使用した試験用CCDよりも変換効率が高かったため、総合ゲインが予定の $2.2 e^-/\text{ADU}$ ではなく、 $1.5 e^-/\text{ADU}$ となっていたためである。総合ゲインを $2.2 e^-/\text{ADU}$ にすることで、フルウェルは $1.5 \times 10^5 e^-$ に改善する。

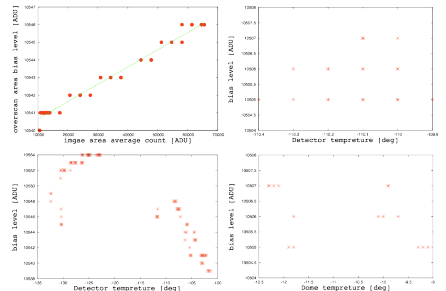
■バイアスレベルの変動

(左上) イメージエリアのカウント数によりオーバースキャン領域のレベルが変動する。

(左下) CCD温度が -100°C から -135°C の間でバイアスレベルが変化している。

(右上) CCD温度を -109.9°C から -110.4°C にコントロールした時はバイアスレベルとCCD温度との相関はなかった。

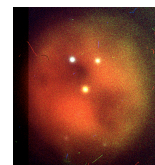
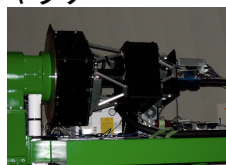
(右下) CCD温度を -109.9°C から -110.4°C にコントロールした時のドーム内温度とバイアスレベルとの相関もなかった。



■課題

- ・デュー内基板のハンダ付けミスによりch1の読み出しノイズが悪化している。
- ・1次処理後に各チャンネルのバックグラウンドが他のチャンネルと連続にならない。
- ・配線の整備等のノイズ対策が不十分で、読み出しノイズが悪化している。
- ・ソフトウェアの整備が必要。

ギャラリー



左から
NaCSの概観
KACを用いたファーストライト画像M97 (g', r', i' 3色合成)