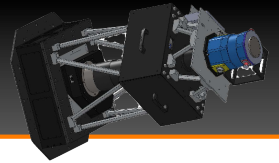




可視撮像分光装置NaCS開発の進捗状況

○中尾光、渡辺誠、徂徠和夫(北海道大学)、山田真広(神戸大学)
伊藤洋一(兵庫県立大学)、酒向重行、宮田隆志(東京大学)



概要

我々は北海道大学 1.6m ピカ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、 $8.4' \times 4.7'$ (ピクセルスケール $0''.248/\text{pixel}$) の比較的大い視野を持つ。波長分解能は $\lambda/\Delta\lambda \sim 300$ である。CCDカメラには 450–900nm の範囲で 80%以上の高い量子効率をもつ浜松ホトニクス 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。

2011年11月に仮のスリットを用いて NaCSの分光ファーストライトと試験観測を行った。波長分解能はおおむね設計通りであることを確認できたが、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や、焦点位置のズレ、グリズムホイールのバックラッシュ対策不足、デューア窓の曇り問題が明らかとなり、原因究明と改修を行ってきた。主な改修は 2012年7月中に終え8月から試験観測を行う予定であったが、真空と冷却にトラブルがあり、試験観測は1ヶ月遅れ、9月10日から16日の間で行った。

今後は試験観測の解析および配線等の残りの改修を行い、今秋からはレバレーションマッピング観測を開始する予定である。

NaCS仕様

- ・視野 : $8.4' \times 4.7'$ (2014 x 1152 pixel)
- ・ピクセルスケール : $0.248 \text{ arcsec/pixel}$
- ・検出器 : 浜松ホトニクス社製 (4チャンネル読み出し)
- ・読み出しシステム : KAC(Kiso Array Controller)
- ・撮像時波長範囲 : 380 – 970 nm
- ・分光時波長範囲 : 435 – 820 nm
- ・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(300 line/mm)
- ・スリット幅 : $2'', 2.5'', 3''$ (スリット長はそれぞれ $1'$)
- ・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 ~ 360)

改修結果

■システムの性能

ゲインの改修により変化したシステムの性能を再測定した。

項目	目標or設定値	ゲイン改修前測定値	ゲイン改修後測定値
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 ⁻ (マルチサンプル4回)	7.3 e ⁻ (通常読み出し) 5.0 e ⁻ (マルチサンプル4回)
読み出しノイズ (望遠鏡搭載時)		11.2 e ⁻ (通常読み出し) 6.4 e ⁻ (マルチサンプル4回)	9.1 e ⁻ (通常読み出し) 7.1 e ⁻ (マルチサンプル4回)
読み出し時間		5.3秒 (通常読み出し) 12秒 (マルチサンプル4回)	
総合ゲイン	2.2 e ⁻ /ADU	1.5 e ⁻ /ADU	2.0 e ⁻ /ADU
フルウェル	$1.5 \times 10^5 \text{ e}^-$	$9.8 \times 10^4 \text{ e}^-$	$1.1 \times 10^5 \text{ e}^-$
暗電流	$1.4 \times 10^{-3} \text{ e}^-/\text{sec}$ 以下	$8.7 \times 10^{-2} \text{ e}^-$ 以下	$2.8 \times 10^{-3} \text{ e}^-$ 以下
非線形性	1%以下	0.5%以下	0.5%以下

一次処理後にチャンネル間の光量レベルが一致しない

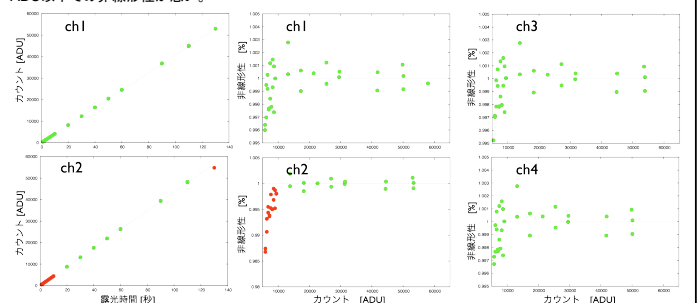
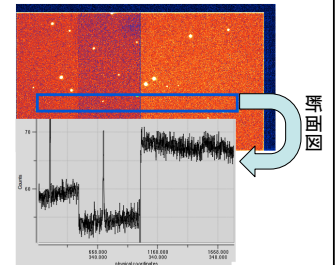
一次処理をしても光量レベルが一致しない問題の原因を調査した。

ドームフラットを用いて、各チャンネルの非線形性を測定した。その結果、4チャンネルのうちch2のみ10000ADU以下の場合に非線形性が最大2%程度悪くなることが分かった。そのため、数万ADUのフラットフレームを用いると、ch2のみ光量レベルが下がってしまったと思われる。

スカイフレームを用いてフラットフィールドングを行うことで、チャンネル間のレベル差は生じなくなるが、スカイフレームでは高いS/N比を得るのが困難であるので、他の対策を行う必要がある。

(左図)ch1とch2の露光時間に対するカウントの関係。図の●はフィッティングから取り除いた測定点である。(中、右図)各チャンネルの非線形性の結果。ch2のみ10000ADU以下での非線形性が悪い。

下図はバンドで取得したM34の画像を1次処理したものである。ch2の光量レベルが他チャンネルに比べて小さいことが分かる。



これまでの問題点と改修点

・スリットホイールがなかった

現在は、スリット幅が $2'', 2.5'', 3''$ と3段のスリット(各スリット長は $1'$)が1枚取り付けられている。

・グリズムホイールにがたつきがあった

ホイールの重心合わせと板バネで予圧をかけることにより、バックラッシュを軽減した。

・デューア窓が曇る

窓径を今までの半分にしたが失敗。窓材を合成石英からフッ化カルシウムに変更する、またはデューアフランジにヒーターをつけることを検討中。

・焦点位置の調整機構がなかった

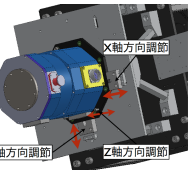
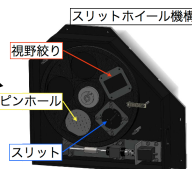
デューアフランジに位置調整ネジを取り付け、デューア動かすことで焦点を合わせられる様にした。

・フルウェルが不足していた

CCD自体のフルウェルに対してシステムのフルウェルが小さかったためゲインを $1.5 \text{ e}^-/\text{ADU}$ から $2.0 \text{ e}^-/\text{ADU}$ に変更した。ゲインの変更に伴うシステムの変化は後述する。

・一次処理後にチャンネル間の光量レベルが一致しない

ch2の非線形性が10000ADU以下で悪いことが原因だった。具体的な対策は検討中である。詳しくは後述する。



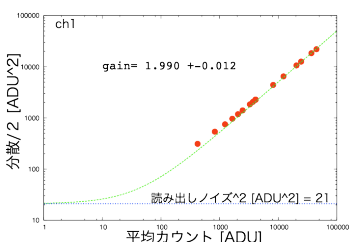
改修結果

■ゲイン

・ゲイン変更後に再測定を行った。

・望遠鏡のフラット光源を用いて測定を行い、4chの平均で約 $2.0 \text{ e}^-/\text{ADU}$ となり、目標値の $2.2 \text{ e}^-/\text{ADU}$ に近い値であることを確認した。また、フルウェルも目標値に近い値に増加した。

・右図はch1のゲインの測定結果



要改修項目

- ・デューア窓の曇り対策を行う。
 - ・読み出しノイズが目標値よりも高いのでノイズ対策を行う。
 - ・コントローラ、電源などをまとめてラックに収納し配線の整備を行う。
- (これらは今年中に改修する予定)

改修後に進めるサイエンス(AGNの分光モニター観測)

今秋よりNaCSによるAGNのレバレーションマッピング観測を行う予定である。レバレーションマッピング観測は主にセイファート銀河などの電波の弱いAGNに対しておこなわれてきた。

我々は電波強度の強いAGNに対してレバレーションマッピング観測を行い、得られる広輝線領域の中心核からの距離や速度幅を用いて、電波強度の弱いAGNと電波強度の強いAGNの中心構造の違いの解明を目指す予定である。