

すばる望遠鏡高分散分光器 (HDS)
ユーザマニュアル

第 1.1.1 版

青木 和光
国立天文台
2002 年 9 月

変更履歴

2000年10月4日 第0版

2001年3月13日 第1.0版

2001年9月14日 第1.1版

2002年9月5日 第1.1.1版 (青用ローテータの効率について改訂)

目次

1	はじめに	5
1.1	ユーザマニュアルの内容および参考資料	5
1.2	略号等	5
2	装置の概要および特徴	6
2.1	エシエル分光器の特徴	6
2.2	HDS の構成	6
2.3	HDS の基本性能	8
2.4	周辺光学系	11
2.5	制御	13
2.6	I ₂ セル・光量モニタ	14
3	観測準備	15
3.1	HDS 設定パラメータの決定	15
3.1.1	エシエルグレーティング	15
3.1.2	クロスディスパーザグレーティング	15
3.1.3	スリット	15
3.1.4	フィルタ	15
3.1.5	検出器	16
3.1.6	検出器部回転	16
3.2	スペクトルフォーマットの決定	18
3.3	分光器の標準設定	20
3.4	露出時間の評価	21
3.5	天体の高度および大気差	22
3.6	I ₂ セル・光量モニタ	24
3.7	チェックリスト	24
4	観測	25
4.1	分光器の設定	25
4.2	天体のスリット上への導入とガイド	26
4.3	観測手順書	26
4.4	データ取得	26
4.5	較正用データの取得	27
4.6	I ₂ セル・光量モニタ	27
4.7	データの特徴	28
4.8	取得されたデータの取り扱い	28
5	データ整約	30
5.1	データ形式の特徴	30
5.2	HDS データに特有な処理	31
5.3	I ₂ セルデータの整約	32

6 補遺	33
6.1 エシエルスペクトルフォーマット	33
6.2 観測手順書の例	41
6.3 FITS ヘッダとアスキー拡張テーブルの例	43

1 はじめに

すばる望遠鏡高分散分光器 (HDS) は、望遠鏡ナスマス焦点の一つに取り付けられ、可視光領域 (3000~10000Å) で最高波長分解能 16 万を実現する分光器である。すばる望遠鏡の第一期共同利用観測装置として開発・製作され、2000 年 7 月に初観測を迎えた。2001 年 4 月からは共同利用に供されている。

1.1 ユーザマニュアルの内容および参考資料

本マニュアルでは、HDS の共同利用における観測者 (ユーザ) に、観測準備からデータの処理までを説明することを目的としている。第 2 節では、装置および周辺光学系 (イメージローテータや較正用光源など) の構成と性能を説明する。そのうち、観測準備に必要な設定要素については第 3 節で詳しく述べる。第 3 節ではまた、設定の決め方や観測時間の見積り方についても説明する。観測の際に行う作業や取得データの形式については第 4 節で述べる。第 5 節では HDS で取得されるデータの整約について、特徴的な点にしばって説明する。

HDS を用いた観測を通じてユーザが主に行う必要があるのは、第 3 節で述べる分光器・周辺光学系の設定パラメータおよび露出時間の決定、較正用データ取得のタイミングの決定である。望遠鏡と装置の実際の駆動は、ユーザの指示のもと、オペレータによって行われる。HDS のこれらのオペレーションの詳細については、オペレーションマニュアル (仮称)、装置の詳細については「高分散分光器 (HDS)-光学設計、機械設計、電気系資料」において説明される。

その他、以下の項目については、それぞれの文書を参照してもらいたい。

- すばる望遠鏡 : <http://www.naoj.org/Observing/Telescope/index.html>
- データアーカイブ : T.B.D.
- HDS のページ (各種報告など) : http://optik2.mtk.nao.ac.jp/HDS/Index_J.html

1.2 略号等

Messia: CCD 制御・データ取得システム

OBCP: 観測装置専用制御計算機

OBS: 観測統合制御計算機

ADC: 大気分散補償装置

SV: スリットビューワ

AG: オートガイダ用カメラ

CAL: 較正用光源

IMR: イメージローテータ

TSC: 望遠鏡制御計算機

2 装置の概要および特徴

2.1 エシエル分光器の特徴

エシエル分光器は、グレーティング (エシエル) の高い回折次数を用いることにより、比較的広いスリット幅で高い波長分解能を実現する分光器である。高次の回折のために、エシエルグレーティングで分散された光は複数の次数が重なってしまう。これを解くために、主分散方向とは直角に低分散のグレーティング (クロスディスペーザ) を用いている (図 1)。

エシエル分光器は、高い分解能を実現するとともに、スペクトルが二次元検出器上に折り畳まれてうつるため、広い波長域をカバーできるのも特徴である。補遺に HDS の場合のスペクトルフォーマットの例を示す (図 9,10)。

特定の波長は、一般には複数の次数に現れる。しかし、それぞれの次数については、スペクトルは sinc 関数に近いプロファイル (ブレードプロファイル) をもっており、高い効率をもつ波長は決まっている。このため、ひとつの次数の中で効率が大きく変わる。そして実際には、ある波長は一つないしは二つの次数に現れる。次の次数との重なりがおこらない波長範囲はフリースペクトルレンジとよばれ、 λ/m で表される (λ は波長、 m は次数)。図 9,10 で示したスペクトルフォーマットは、ブレード波長を中心にフリースペクトルレンジ分だけ表示したものである。このフリースペクトルレンジが検出器の大きさの内におさまるとき、そのスペクトルフォーマットで波長が切れ目なくカバーできることになる。

クロスディスペーザの分散が高いと、次数のあいだの間隔が広くなり、ある大きさの検出器におさまる次数の数は減って、カバーできる波長範囲は狭くなる。一方、分散が低いと、次数のあいだの間隔が狭くなり、スリット長をあまり広げられなくなるため、観測できる空間方向の範囲が狭くなる。クロスディスペーザの分散はこれらのバランスを考慮して決定される。

2.2 HDS の構成

HDS は望遠鏡のナスミス焦点のひとつ (光学ナスミス焦点) に設置されている。望遠鏡主鏡、副鏡 (光学ナスミス焦点専用のもの)、第三鏡を通った光は、必要に応じてイメージローテータや大気分散補償装置 (ADC) を経てナスミス焦点におかれる HDS のスリットに入る。以下、光路に沿って HDS の構成を説明する。重要な数値については表 1 に示す。なお、スリットより前の光学系 (周辺光学系: イメージローテータ、ADC、較正用光源等) については、2.4 節で説明する。

- スリット部:

スリットは、観測の目的に応じて幅、長さとも連続的に変えられる。

スリットの後に二つのフィルターターレットがおかれ、観測の目的に応じてフィルターを選択できる。

フィルターの後にシャッターが置かれ、これにより光の入射を制御する (HDS の場合、検出器部にはシャッターはない)。なお、焦点合わせのために用いられるハルトマンシャッターもこの部分に置かれている。

- I₂ セル・光量モニタ:

高精度視線速度測定用に用意されている I₂ セルおよび光量モニタが、スリット部の後に置かれる。通常退避状態にあり、必要な場合にそれぞれ光路内に導入する (詳細は 2.6 節参照)。

- コリメータ:

表 1: HDS の構成

		特徴、可動範囲等
スリット	長	1000~30000 μm (2-60arcsec)
	幅	10~2000 μm (0.02-4arcsec)
フィルタ	1	ND1, ND2, SQ, OG530, KV408
	2	SC46, SC42, GG495, KV389, KV370
シャッタ		開閉は最短 1 秒
コリメータ	赤	軸外し放物面鏡
	青	軸外し放物面鏡
エシェル		刻線 31.6 本/mm、ブレード角 71.25 度
クロスディスペルザ	赤	刻線 250 本/mm、ブレード角 5.00 度
	青	刻線 400 本/mm、ブレード角 4.76 度
		平面鏡
カメラ系		焦点距離 770mm
検出器		EEV CCD 4100 pix \times 2048 pix \times 2, 13.5 $\mu\text{m}/\text{pix}$

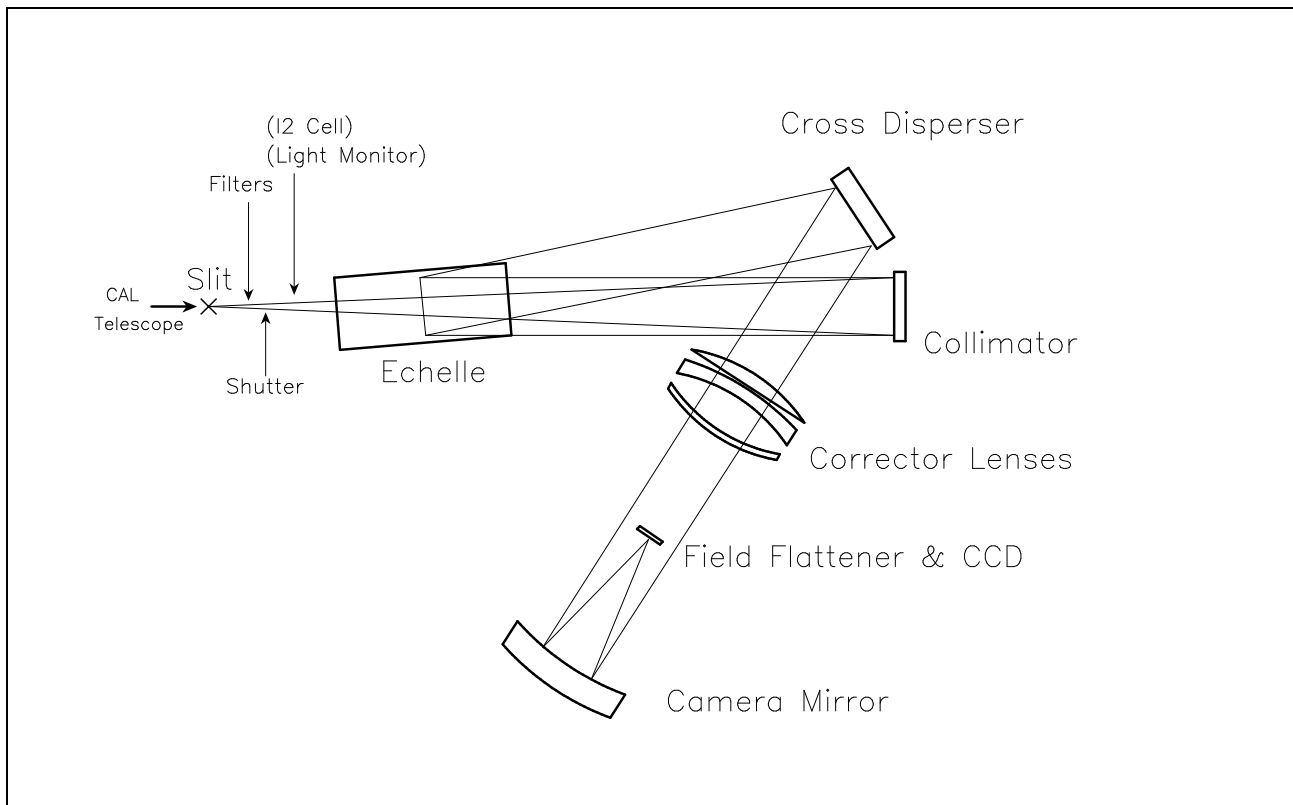


図 1: HDS の構成

F/12 でスリットに入った光は約 3.3m 先に置かれたコリメータ鏡により約 27cm の平行光束に変換される。観測目的に応じて、コリメータは青用、赤用が選択可能である。なお、スリットとコリメータ間の光路長の変化(フィルターの厚みの変更などによる)に対応してコリメータの焦点合わせを行うために、コリメータ前後移動が可能になっている。

- エシェルグレーティング：

コリメータから入った平行光束を、波長によって出射角度の異なる平行光束にする。このグレーティングにより、高分散スペクトルが実現される。エシェルグレーティングは一種類のみで、主分散方向のスペクトルフォーマットの調整のために回転角は可動になっている。

- クロスディスペルザグレーティング：

エシェルによって分散された光の次数の重なりを解き、入射光束をエシェルによる分散と直角方向に分散させる。グレーティングの効率の特性や、異なる次数の光を適切な程度に分散させるために、青用、赤用の二種類のグレーティングが用意されている。さらに、クロスディスペルザのかわりに平面鏡を用いることも可能になっており、狭帯域フィルタで次数選択を行えば、長いスリット(1分角以内)での観測も可能である。

- カメラ系：

エシェルおよびクロスディスペルザによって波長ごとに異なる方向へと分散された平行光束を、焦点位置に置かれた検出器に結像させる。集光のためのカメラ主鏡(球面鏡)のほか、結像性能を向上させるための補正レンズ、検出器の直前に置かれるフィールドフラットナーレンズからなる。カメラ系の焦点合わせは、検出器部支持枠の前後移動およびそのあおり角の調整によって行われる。

- 検出器部：

検出器としては、ピクセルサイズ $13.5\mu\text{m}$ 、 4100×2048 ピクセルの EEV42-80 CCD を二個モザイクにして用いている(4100×4096 ピクセル、ただし中央に 85 ピクセル程度に相当するギャップが存在する)。これらは検出器部支持枠によって焦点位置に置かれ、冷凍機によって適切な温度に冷やされる。検出器(CCD)の制御およびデータの取得は、すばる望遠鏡の観測装置向けに開発された Messia IV とよばれるシステムを用いて行われる。

2.3 HDS の基本性能

- 波長分解能

検出器の 2 ピクセル ($27\mu\text{m}$) サンプリングでは、最高で分解能 16.5 万 (1.8km/s) が可能である。標準的なスリット幅 (0.4 秒角) では、約 9 万 (3.3km/s) となる。

- 透過効率

標準星を用いて観測効率を測定した結果を図 2(上) に示す。この測定は、大気の透過率や望遠鏡の透過効率も含んでいる。分光器設定の青用/赤用の効率の逆転する波長は約 4400\AA である。

図 2(下) には、イメージローテータ(赤用、青用)と ADC の効率を示す。¹

- 波長カバレッジ

¹2001 年度に青用イメージローテータの再蒸着が行われ、透過率が大幅に改善された。

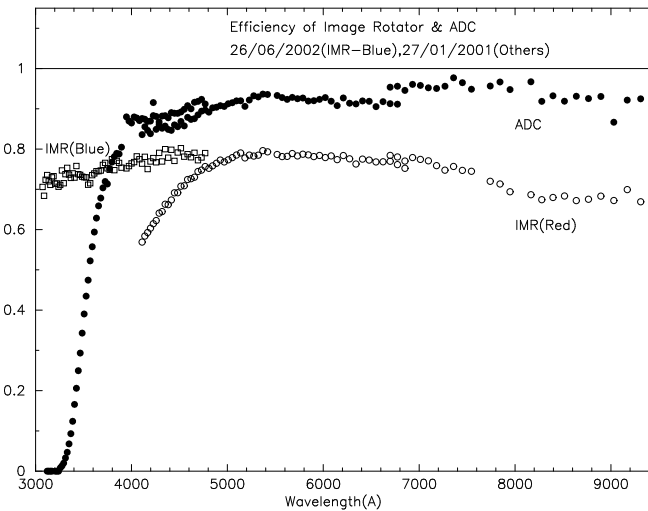
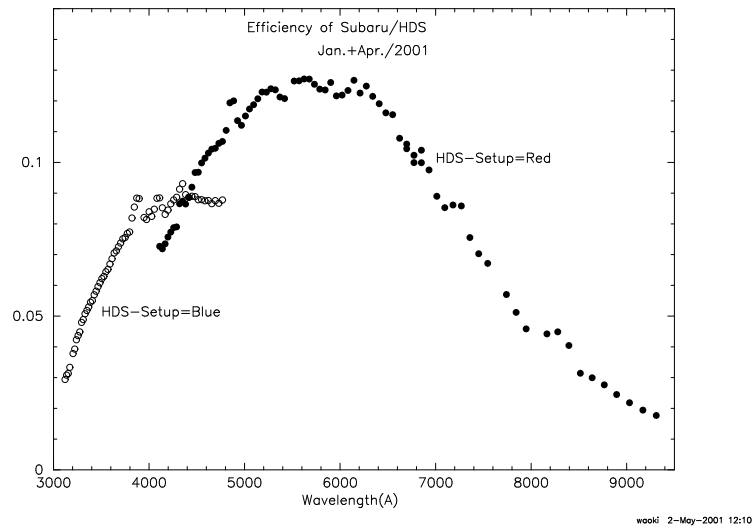


図 2: 標準星による望遠鏡・分光器の効率測定の結果:

上: HDS の効率。地球大気と望遠鏡の透過率も含む。イメージローテータ、ADC は通していない。
 下: イメージローテータ (赤用、青用) および ADC の透過効率。ADC について、4000-4500Å でデータ点が揃っていないのは、複数回の測定のずれによるもので、2-3%程度の測定誤差がありうることを示している。

補遺の図9,10に示したように、一回の露出によって、標準的な青用の設定では約1700Å、赤用の設定では約2500Åがカバーされる。ただし、二つのCCDの接合部分はデータが取れないため、データに欠落が生じることに注意が必要である。また、7200Åより長い波長域では、検出器がフリースペクトルレンズをカバーできないため、一回の露出では連続したスペクトルを取得することはできない。

- 空間方向のカバレッジ

スペクトルの空間方向（スリット方向）のカバレッジは、スリットの長さによって決まる。隣のオーダと重ならないためのスリット長の最大値（用いるクロスディスペーザと波長による）は、3.1.3節に示す。

一方、特定のオーダに限って、クロスディスペーザではなく狭帯域フィルタによってオーダ選択を行い、長いスリット（最大60秒角）で観測を行うことも可能である。この場合には、クロスディスペーザのかわりに平面鏡が用いられる。狭帯域フィルタとしては、現在H α の波長域のものが使用可能である。

- スペクトルフォーマット再現性

スペクトルフォーマットは、エシエルグレーティングの回転により主分散方向に、クロスディスペーザの回転によりスリット長方向に変動する。また、コリメータの交換により、スペクトルフォーマットが変動する可能性がある。グレーティングおよびコリメータを交換・駆動し、再びもとの設定に戻した場合の、検出器上に結像するスペクトルフォーマットの変動量は、CCDの1ないし2ピクセル程度以下であることが確認されている。

- スペクトルフォーマット安定性

分光器の設定を変えない場合でも、スペクトルフォーマットは変動する。この変動はナスミス室内（分光器本体）の温度に依存することが確認されている。主分散方向についての変動量は、1度Cの温度変化に対し約1.4ピクセルである。ナスミス室内の温度安定性については、積極的な温度コントロールを行っていないため外気温の変動に依存するが、外部とはある程度断熱されているため、観測中に急激な温度変化は起こらない（0.1度C/時間程度以下）。

- 連続光プロファイルの安定性（フラックス校正の精度）

連続光プロファイルは、エシエルグレーティングのブレードプロファイルをおおむね反映した形になっているが、このプロファイルが観測によって変動することがわかっている。これによって、標準星をもちいたフラックス校正の精度が制限される。これまでの例では10%以上の変動も記録されており、フラックス校正の精度もその程度ということになる。原因については現在調査中であり、対処できるのは来年以降になる見込みである。

- スペクトル安定性

検出器の温度制御の精度は高く、CCD面によるフリッジのパターンなどのスペクトルの特徴は極めて安定している。このため、フラット補正のための校正データは、天体の観測と離れた時刻に取得しても通常は問題ない。ただし、上述の連続光プロファイルの変動に起因する問題はありうる（これはフラットの取得時刻には関係ない）。

- 検出器

読みだしノイズは $8-9e^-$ である。バイアスレベルに $2-4e^-$ 程度の変動があるが、これはオーバースキャン領域の平均値により補正可能である (4.7節参照)。ダークレベルは、検出器そのもののレベルとしては 1800 秒で $1e^-$ 以下であるが、ナスミス室内での発光ないしは室外からの光漏れで約 $10e^-$ /時間のレベルになっている (検出器上でほぼ一様)。なお、読みだしのゲインは約 $1.7e^-/ADU$ であるが、読みだし口によって若干異なる (詳細は 5.2節参照)。

直線性は、約 60,000ADU ($100,000e^-$) まで確認されているが、32,000 ADU 付近のデータに問題があり、データはこれ以下で取得する必要がある。

2.4 周辺光学系

様々な観測モードやデータの較正を実現するために、スリット以前にいくつかの光学系がおかれている。その配置の概要を図 3 に示す。

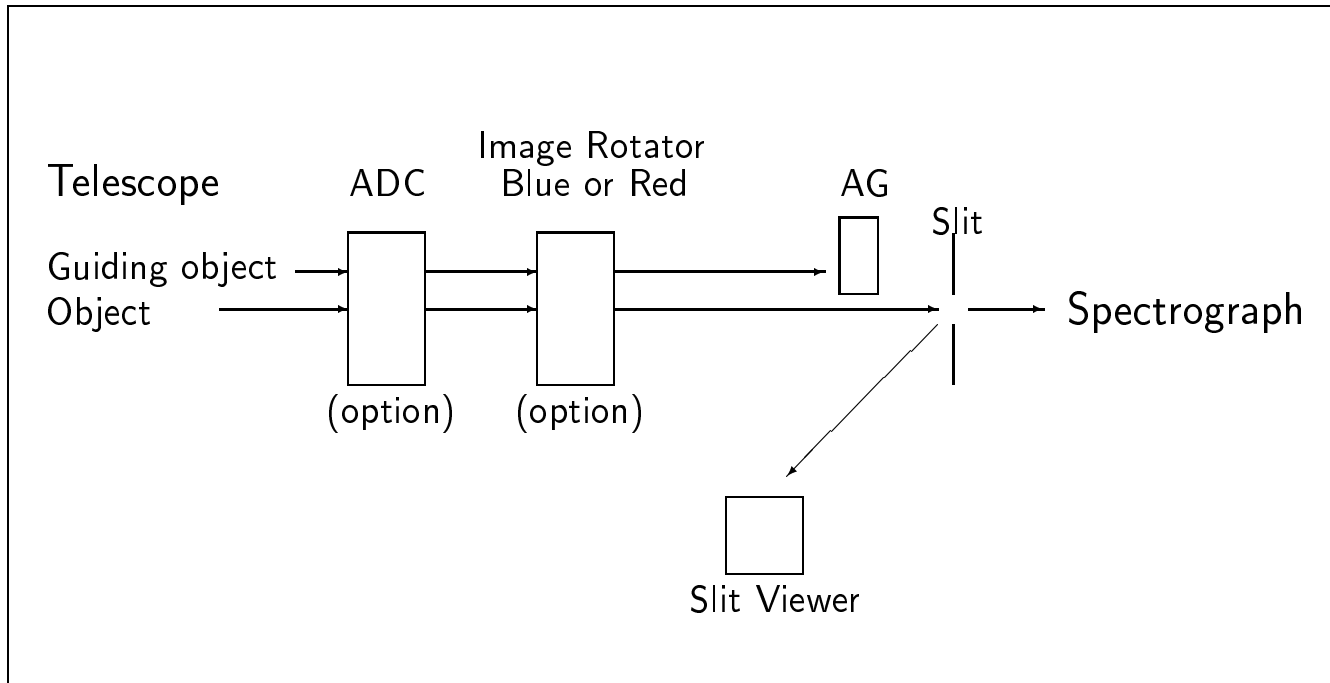


図 3: 周辺光学系の配置図

- スリットビューワ (SV)

スリット内に落ちずに反射された光を受けるカメラであり、観測天体の位置を確認し、スリット内に導入するために用いられる。R=18 等程度までは検出可能であり、ND フィルタを用いることで

R=1 等程度の明るい天体も導入可能である。フィルタとしては ND フィルタのほか、V、R の二種類が使用可能である。

- 天体ガイド

天体追尾については、オープントラッキングでは短時間しか精度がでないため、ガイドシステムが必要である。自動ガイドは目的天体の近傍(約 1 分角程度)のガイド星を用いて行うことができる(AG)。ガイド星は、天体導入の際に望遠鏡システムにおいて自動的に選択される(15 等級程度のガイド星までガイド可能である)。

スリットビューワ上の天体を用いたガイドは現時点では行えない。

図 3 にみられるように、ガイダーはイメージローテータの後(スリット側)におかれているため、ローテータを用いた場合には、目的天体に対するガイド星の位置は変化しない。これに対し、ローテータを用いない場合には、視野回転がおこるため、ガイダーが光軸のまわりを回転することによって、視野回転を補償するようになっている。しかし、ガイダーの回転の精度が十分でなく、ローテータ無しの場合には、ガイドの精度が低下する。精度は視野回転の程度によるが、場合によっては 1 時間で 1 秒角程度のガイドのずれが起こる。このずれは露出中に補正可能であるが、それでもローテータを用いた場合の方がガイドの精度はよい。したがって、点光源の観測であっても、ガイド精度を重視する場合には、ローテータを使用することを推奨する。

また、紫外域では ADC は効率が非常に低く、ADC 無しで観測を行う必要がある。そこで、目的とする紫外域の波長をスリットに落とすために、SV で天体検出に用いている波長との大気差分を考慮したガイドができるようになっている。露出中の大気差の大きさ、およびスリットとの角度の変化は補正できないが、露出の中間時刻の大気差を補正量として与えることは容易に可能である。

- イメージローテータ (IMR)

スリット像の天空上での角度は、天体の位置によって異なり、日周運動によってその像は回転する。この像を制御するためにイメージローテータが用意されている。広がった天体の観測にはイメージローテータは有用であることが多い。点光源の分光観測の場合には、像の回転は直接には影響しないが、天体のガイドや大気差の大きい場合の観測(3.5 節参照)のためには、天体の像の回転を制御する必要がある場合があり、これはイメージローテータによって実現される。イメージローテータの角度設定は、スリットのポジションアングルを指定することによって行う。

イメージローテータも、赤用、青用の二種類が準備されている。それぞれの効率の比較については、2.3 節を参照。

- ADC

波長による大気差(3.5 節参照)を補償するために、ADC が使用可能である。3600Å 以上では高い効率をもっており、高度の低い天体の観測にはとくに有用である。高度 30 度以上の天体観測に対して設計されており、それ以下の低い天体の観測の場合には、大気差の補償の機能は低下する(高度 30 度の場合の大気差分だけが補償される)。

- 較正用光源 (CAL)

フラット補正用光源としてハロゲンランプが、波長較正用光源としてホロカソードランプ(Th-Ar, Fe-Ar)が用意されている。色変換フィルタ、ND フィルタが使用可能である。

2.5 制御

制御は、光学系、冷凍機、CCD の各ブロックに分けて、制御計算機から行われる。その構成を図 4 に示す。

光学系の制御は、ナスミス台上の制御室に設置されるボード計算機によって行われ、冷凍機については同じくナスミス制御室におかれる専用コントローラによって制御される。CCD 制御には Messia IV が用いられている。

観測の際の制御は、制御棟におかれる観測装置制御計算機 (OBCP) からの通信で行うことができる。さらに、ユーザに必要な作業 (分光器および周辺光学系の設定、データ取得) は、より上位の観測統合制御計算機 (OBS) からのコマンド (抽象化コマンド) によって実行可能である。なお、OBS からは、望遠鏡や環境などについて必要な情報が装置に配布される。また、OBCP によって取得されたデータはデータ管理用計算機 OBC に自動的に転送され、データベースに格納される。

分光器の始動、終了、特殊な設定や、メンテナンスの一部は観測装置制御計算機 (OBCP) から行う。

望遠鏡と周辺光学系の制御は、制御計算機 TSC から行うことができる。観測時に必要な制御については、OBS から抽象化コマンドによって実行することができる。

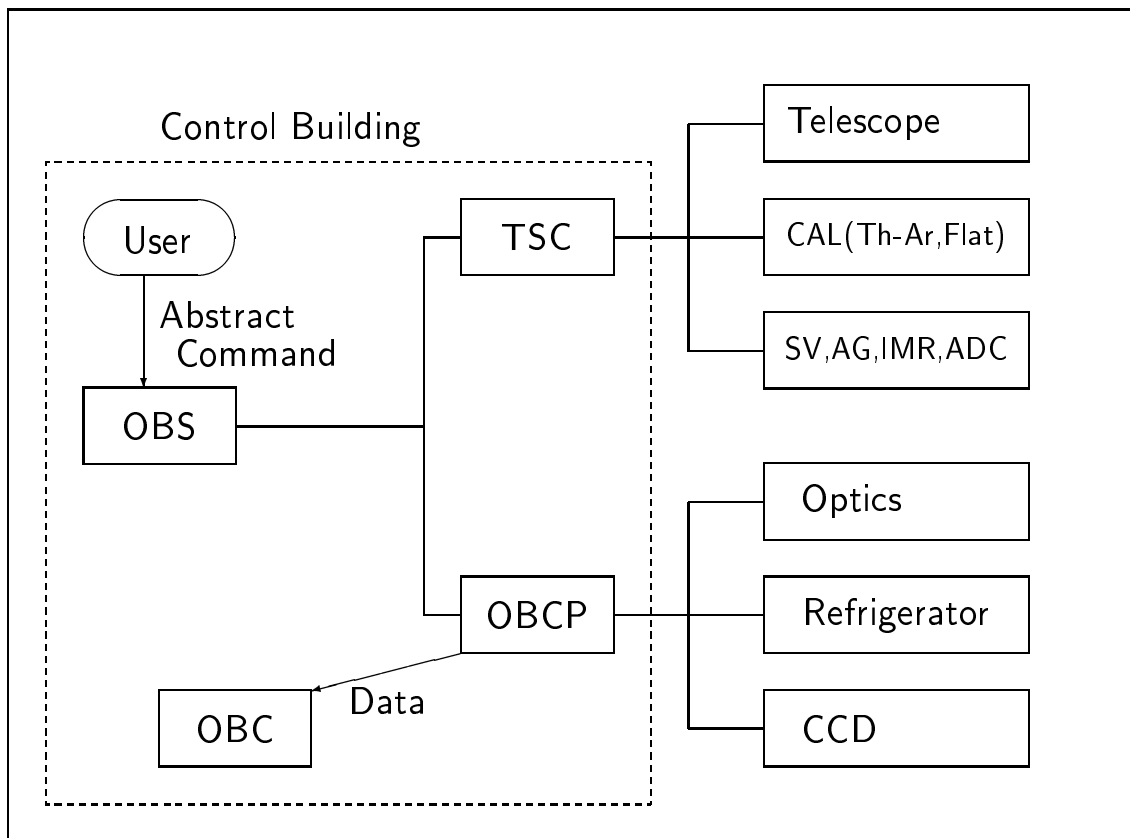


図 4: 望遠鏡・HDS の制御システム。OBC, TSC, OBCP, OBC はいずれも制御棟に置かれる計算機。ユーザがアクセスするのは OBS

2.6 I₂ セル・光量モニタ

- 目的

本装置は、天体の視線速度の精密測定を行うために使用される。I₂ セルをスリットの後部に挿入することによって、星のスペクトルにヨウ素の吸収線 (500nm-620nm) を重ね合わせて観測し、両者のスペクトルの相対的な位置変化をみることで観測時の器機的な影響をできるだけ取り除き、天体自体の運動によるスペクトルの視線速度変化を精密に測定する。また、光量モニタで星からの光量を刻々モニターすることで実質的な露出時間の中心を導き出し、地球の運動などによる視線速度の変化の補正を精確に行う。

- 機能と構成

I₂ セルは、主に、セル本体が収められている「真空容器」とセルの温度を調節する「温度コントローラ」から構成される。真空容器は角度調整台を介して HDS 本体側の I₂ セル用ステージに取り付けられており、光軸への挿入・退避が可能となっている。また、真空容器内外の温度は、HDS 全体の温度をモニターするデータロガーによってモニターされる。真空容器の中には、ヒーターが巻かれた銅枠で覆われた、I₂ セル本体が収められている。セルは、直径約 55mm、厚さ約 38mm の円柱形をしており、これを約 55 度 C に温めることによって、内部のヨウ素が気化し、紫色の気体となる。セルの回りを真空にするのは、熱効率良くセル本体を温めるためである。

I₂ セルの性能に関しては、現在短時間内での安定性などのテストしか行われていないが、明るい太陽型星の観測では相対的に 2-3m/s の精度で視線速度変化が求められている。しかしながら、これは保証値ではなく、すばる本体の安定性なども含めて今後さらにテストしていく必要がある。

光量モニタは、主に、「光量モニタ装置本体」と「パルスカウンタ」から構成される。光量モニタ装置本体を光軸上に挿入すると、スリットを通過してきた光の約 1% がビームスプリッタによって光量モニタ内に導かれ、主鏡像位置にある光電子増倍管で光量が測定される。光電子増倍管は、HDS 本体から供給される低圧 5V 電源によって動作し、パルスカウンタに GPIB 経由でカウント情報を送る。

3 観測準備

3.1 HDS 設定パラメータの決定

本節では、観測者の行うことができる HDS の設定およびそのパラメータについて説明する。観測はこれらのパラメータを駆動可能な範囲で自由に組み合わせて行うことが可能であるが、観測およびデータ整約の効率化のため、3.3節で述べる標準的な設定での観測を推奨する。なお、グレーティングの設定によって決まるスペクトルフォーマットは、3.2節で説明するシミュレータによって計算できる。

3.1.1 エシエルグレーティング

エシエルグレーティングの角度設定は、スペクトル分散方向についてのデータ取得波長域を決定する。各オーダーのブレイズ波長やフリースペクトルレンジ等については 6.1節を参照。

エシエルグレーティングは 1 種類のみで、回転角を変更することができる。ブレイズ波長が検出器のほぼ中央にくる角度 (設定値で 0.4 度) を標準的な設定とする。

近赤外域では、一次数のフリースペクトルレンジが広くなり、検出器からはみだす。このような場合、注目している波長が検出器上の適切な位置にくるようにエシエル角度を設定しなければならない。

3.1.2 クロスディスパーザグレーティング

クロスディスパーザは青用、赤用の二種類があり、観測効率にもとづいて選択する。効率の逆転する波長は約 4500Å (2.3節参照)。また、青用のクロスディスパーザのほうが分散が高いため、同じ波長についてはよりスリット長を広げることができる (3.1.3節)。

クロスディスパーザの角度設定によって、観測するスペクトルの次数を選択する。

3.1.3 スリット

望遠鏡からの入射光を決めるのがスリットである。

スリット幅は、基本的に波長分解能を決定する。スリット幅と波長分解能の関係は以下のとおり。ただし分解能の上限値は、検出器のピクセルサイズの制限により約 16.5 万である。

$$\text{スリット幅 (mm)} = 1.8 \times 10^4 / \text{分解能 (R)}$$

$$\text{(例) 分解能 } R = 90,000 \Leftrightarrow \text{スリット幅} = 0.2\text{mm}$$

一方、スリット長は、天体および背景の空について、データとして取得される空間的な範囲を決定する。ナスミス焦点では、2.0 秒角/mm、すなわち 1 秒角あたり 0.5mm という関係になっている。

この関係はもちろんスリット幅についても同様に成り立つ。

また、スリット長をむやみに長くすると、隣の次数のスリット像と重なってしまう。そうならないためのスリット長の最大値は、表 2 のとおりである。

3.1.4 フィルタ

目的とする波長域以外の光をカットするのに用いられる。主に、赤領域のスペクトルを取得する場合に、青領域の二次光が混入するのを防ぐために用いる。

表 2: 隣のオーダと重ならないためのスリット長最大値

波長	クロスディスペルザ	スリット長最大値 (mm)	(arcsec)
3100Å	Blue	2.2	4.4
3500Å	Blue	2.9	5.8
4000Å	Blue	3.8	7.6
4500Å	Blue	4.9	9.8
4000Å	Red	2.4	4.8
4500Å	Red	3.1	6.2
5000Å	Red	3.8	7.6
7000Å	Red	7.4	14.8
10000Å	Red	15.1	30.2

フィルタの種類と透過波長については、表 3 を参照。以下に標準的な赤用、青用の設定の例を示す。

(例) 赤領域 (510-780nm) : Filter 1=Free, Filter 2=SC46

(例) 青領域 (340-510nm) : Filter 1=SQ, Filter 2=Free

フィルターを入れることによって光路長が変わるため、コリメータの焦点位置が変化する。標準的なコリメータ前後位置の設定は、2つのターレットのうち一方のみフィルタ (厚さ 5mm) を入れた場合に対応している (ND フィルタの厚みは無視可能)。上の例で、青領域の場合でも素通しガラス (SQ) を入れているのはそのためである。フィルター無し、もしくは特殊な厚さのフィルタを用いる場合には、コリメータ前後位置を補正する必要がある。

3.1.5 検出器

CCD 読み出しの際に、ピンニングが可能である。これにより、読み出しノイズをおさえることができ、読み出し時間も短縮できる。各設定の CCD 読み出し時間は表 4 のとおりである。ただし、飽和レベルはピンニングの結果として足し合わされた複数のピクセル分のカウントで決まるので、一回の露出で達成できる最高の S/N 比は小さくなる。明るい天体で高いカウントを得ることを目指す場合には、注意が必要である。

3.1.6 検出器部回転

スリット像を CCD 並びに合わせるために検出器 (支持部) を回転させることができる。エシエルのブレード波長を検出器の中央にもってくるときには、設定角を -1 度にすると、検出器中央付近でスリット像の傾きが小さくなる。長スリット観測でスリット像を精度よく CCD ならびにそろえるにはさらに微調整が必要である。

一方、エシエルのブレード波長から大きくはずれた波長域を観測する場合 (近赤外域の場合など) には、スリット像が CCD ならびから大きくずれるので、検出器部回転による調整が必要である。

表 3: フィルターの種類と透過波長

フィルター名	ターレット	透過波長データ *	推奨観測波長域
SQ	1	(素通しガラス)	
ND1	1	(10%透過)	
ND2**	1	(1%透過)	
ND3**	1	(0.1%透過)	
OG530	1	590-980nm	590-980nm(Red)
KV408	1	434-774nm	434-774nm(Red)
H α	1	654-659nm	654-659nm
SC46	2	485-896nm	485-896nm(Red)
GG495	2	550-900nm	550-900nm(Red)
SC42	2	456-796nm	456-796nm(Red)
KV389	2	410-746nm	385-746nm(Red)
KV370	2	394-680nm	394-680nm(Blue)
WG335**	2	393-606nm	393-606nm(Blue)
RG610**	2	660-1120nm	660-1120nm(Red)
RG715**	2	780-1200nm	780-1200nm(Red)

* 短波長カットフィルタについては、99%透過波長と 1%透過 (カットオフ) 波長の 2 倍の波長を示した。SC フィルタについてはカタログ値、他のフィルタについては tolerance 値である。

** 標準ではターレットに入っていないが、他のフィルタと交換して使用可能。

表 4: CCD 読みだし時間等

ビンニングの設定 (スリット方向、波長分散方向)	読み出し時間 (秒)	ワイプ、データ転送等含めた 全オーバーヘッド (秒)
1 × 1	約 70	約 110
2 × 1	約 45	約 85
2 × 2	約 30	約 70
4 × 1	約 30	約 70

3.2 スペクトルフォーマットの決定

スペクトルフォーマットは、露出時間の見積もりとあわせて、以下の Web ページで計算可能である：
<http://www.naoj.org/Observing/Instruments/HDS/>

これとは別に、設定パラメータを決定するために、スペクトルフォーマットを計算するためのソフトウェアが準備されている (HDS_SPFv20.f または HDS_SPFv20wopg.f)。ソースは Fortran 77 で書かれ、図の表示 (オプション) のためには PGPLOT を用いている。ソースは以下の URL から取得可能である。

http://optik2.mtk.nao.ac.jp/HDS/index_J.html

詳しくは同ページの README_SPjp を参照。結果として得られるスペクトルフォーマットの例を図 5 に示す。

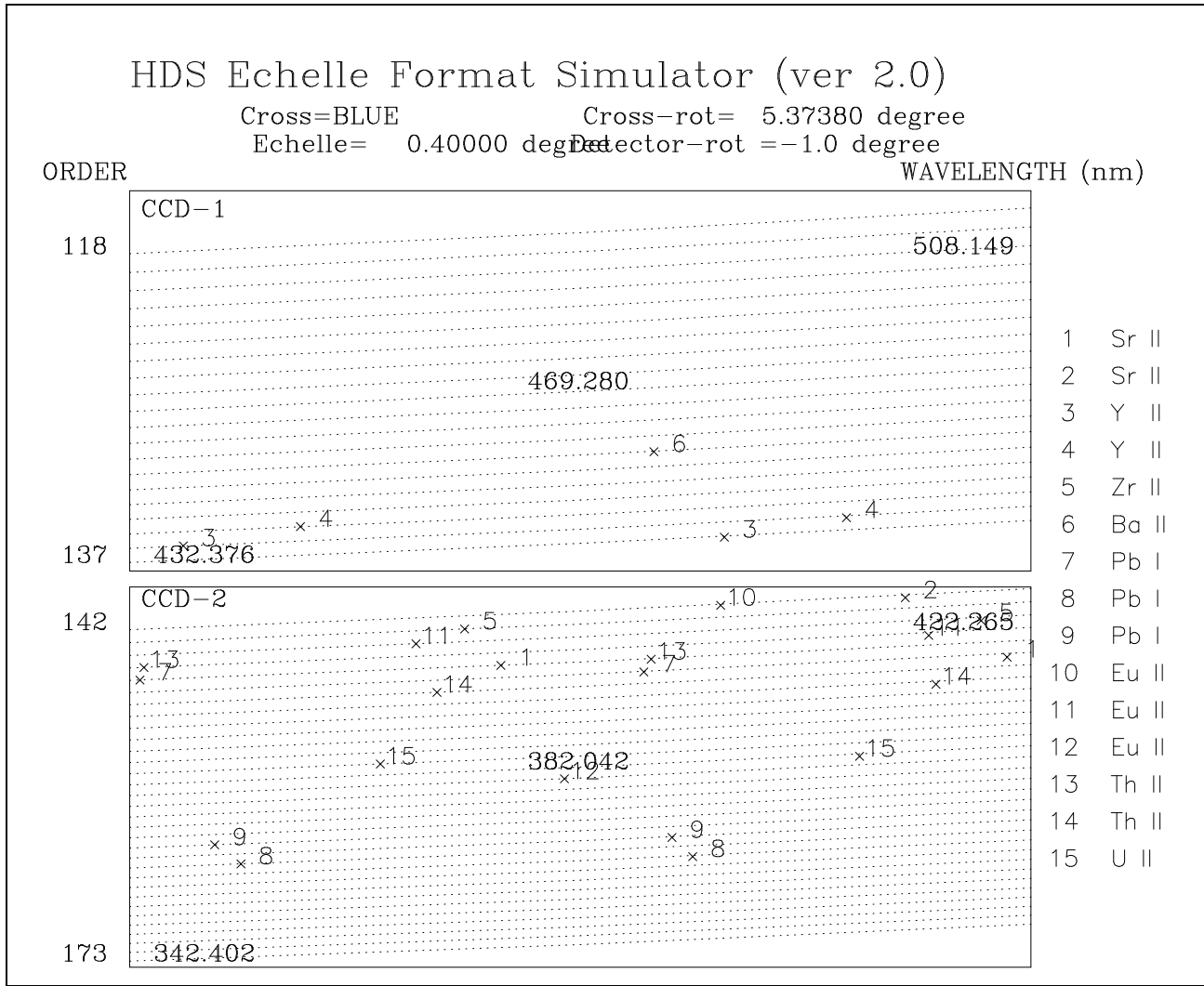


図 5: シミュレータで計算されたスペクトルフォーマットの例

3.3 分光器の標準設定

上述のように、グレーティングの選択および角度設定は任意に行うことができるため、スペクトルフォーマットはユーザが自由に指定できる。しかし、観測と解析を効率的に進めるには、何種類かの標準的なスペクトルフォーマット(テンプレート)を用いることが望ましい。表5に、HDSの標準スペクトルフォーマットおよびそのための設定を示す。これらは今後必要に応じて追加される予定である。

表 5: 分光器の標準フォーマット・設定

	波長 CCD2(nm)	波長 CCD1(nm)	クロス	クロス角度 (秒角、度)	コリメータ	フィルタ (1,2)
StdUa	308-387	397-476	Blue	17820 (4.95)	Blue	Free(SQ),Free
StdUb	297-374	384-464	Blue	17100 (4.75)	Blue	Free(SQ),Free
StdBa	342-419	429-508	Blue	19260 (5.35)	Blue	Free(SQ),Free
StdBc	354-435	445-521	Blue	19890 (5.526)	Blue	Free(SQ),Free
StdYa	400-480	490-566	Blue	21960 (6.19)	Blue	Free(SQ),Free
StdYb	411-540	553-681	Red	15730 (4.37)	Red	Free,KV370
StdYc	437-566	581-705	Red	16500 (4.583)	Red	KV480,Free
StdRa	510-638	650-779	Red	18455 (5.126)	Red	Free,SC-46
StdRb	534-659	673-800	Red	19080 (5.30)	Red	Free,SC-46
StdNIRa	750-869	897-1016	Red	25200 (7.00)	Red	OG530,Free
StdNIRb	665-789	811-937	Red	22860 (6.35)	Red	OG530,Free
StdNIRc	617-740	759-882	Red	21360 (5.933)	Red	OG530,Free
StdI2a	493-618	637-759	Red	18000 (5.00)	Red	Free,SC-46
StdI2b	352-479	493-618	Red	14040 (3.90)	Red	Free(SQ),Free
StdHa	-	654-659	Red	0 (0.00)	Red	Free(SQ),Free

3.4 露出時間の評価

各波長域 (U,B,V,R,I) において期待される光子数 (N_{photon}) は、以下の式で計算される。

$$N_{\text{photon}} = a_{\text{band}} \times 10^{-m_{\text{band}}/2.5} \times T_{\text{exp}} \times f$$

ここで、 a_{band} は各波長域ごとの定数 (表 6)、 m_{band} はその波長域での天体の等級、 T_{exp} は露出時間 (秒)、 f はスリットに落ちる光の割合 (スリット幅、シーイングサイズに依存) である。

表 6:

波長域	a_{band}
U (3670Å)	5.4×10^5
B (4360Å)	6.3×10^5
V (5450Å)	8.5×10^5
R (6380Å)	8.0×10^5
I (7970Å)	2.7×10^5

上の式で、 f の値はスリット幅がシーイングサイズと同程度であれば $f \sim 0.75$ となるが、実際には空の状態や天体追尾の精度等も影響するので、これよりもやや小さい値となる。

これらのデータをもとに、天体の明るさ、種類、スリット幅等と露出時間を与えて、各波長での S/N 比を計算するツールが、以下のページに用意されている (前出のスペクトルフォーマット計算と共通)。

<http://www.naoj.org/Observing/Instruments/HDS/>

3.5 天体の高度および大気差

天体からの光は、大気分散により、波長によって高度が異なって見える。天体のガイドをある波長帯 (V バンドなど) を中心に行うと場合、目的とする波長では天体がスリットにのらない場合がある。図 6 には、マウナケア山頂を想定した場合 (気温 0 度 C、気圧 625hPa) の、各波長と 5500Å との間の大気差を、天頂角の関数として示した。紫外域では大気差の影響が非常に大きいことがわかる。

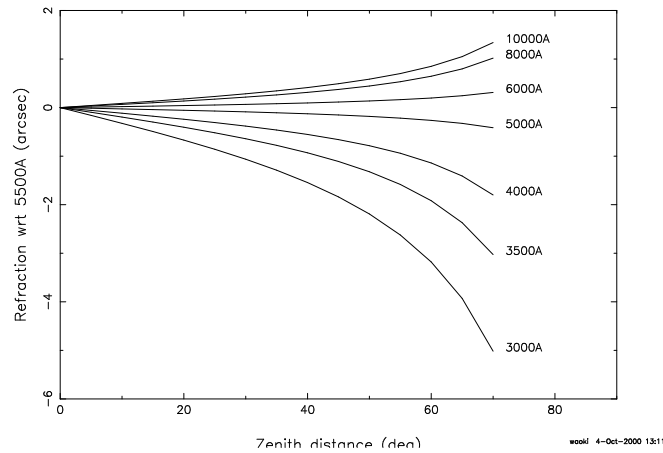


図 6: 大気差 (波長 5500Å と各波長での大気分散の差) と天頂角の関係

ADC を用いれば大気差の影響は除去できるが、ADC は 3500Å 以下では効率が極めて低い。大気差の影響を避けるもう一つの方法 (点光源の場合) は、イメージローテータを用いて、大気分散の方向 (天頂方向) にスリットを向けることである。これにより、大気差があってもスリットに天体の光を落すことができる。現時点では、常時スリットを天頂方向にむけながら天体を追尾するようには準備できていないが、観測開始時にスリットのポジションアングルを適当に与えることで、観測時間中にスリットがほぼ天頂に向くように設定することが可能である。

スリットが天頂方向を向くようなポジションアングルを、時刻の関数として任意の天体に対して計算するためのプログラム (Fortran 77、PGPLOT) が準備されている (CALCPA.f もしくは CALCPA-wopg.f)。以下の URL から取得可能である。

http://optik2.mtk.nao.ac.jp/HDS/index_J.html

詳細は同ページの README_PAjp を参照。結果の例を図 7 に示す。

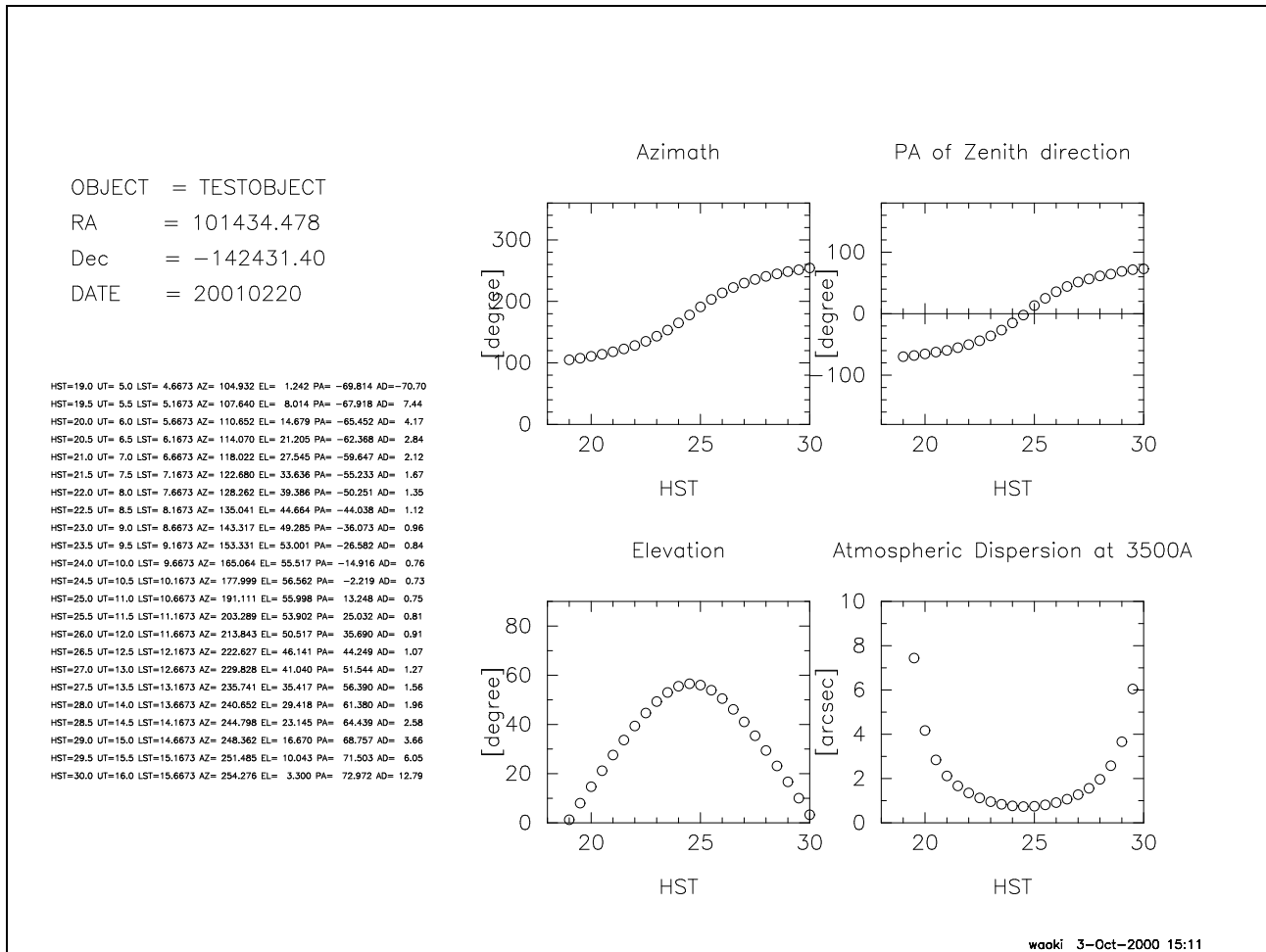


図 7: スリットのポジションアングルの計算結果の例。HST はハワイ標準時、AZ と EL は望遠鏡の方位角と高度角、PA はポジションアングル、AD は大気差を意味する。

3.6 I₂ セル・光量モニタ

I₂ セルの観測準備で、他の観測の準備と大きく異なる点はないので、本章の他の節を参照されたい(3.3 節に示した標準設定を用いることが望ましい)。露出時間の見積もりに関しては、I₂ セル全体で約15%程度の光量ロスがあることを考慮しておく。

観測手順を考える上では、I₂ セルや光量モニタの挿入・退避のタイミングなどを充分考えて効率良い観測が行えるようにすべきである。

3.7 チェックリスト

観測準備の項目リストを以下に示す。

- 分光器の設定: (*:標準フォーマットから選択することを推奨する)
 - スリット (幅、長)
 - フィルター (ターレット 1、2)*
 - 青/赤領域選択 (クロスディスペーザ、コリメータ)*
 - クロスディスペーザ角度 *
 - エシエルグレーティング角度 *
 - 検出器回転角
- CCD の設定:
 - ビンニング (1 × 1, 2 × 1, 4 × 1, 2 × 2)
- 露出時間
- 天体位置、ポジションアングル

4 観測

観測中に行う作業は、大きく分光器の設定、天体導入、データ取得にわけられる。通常の観測であれば、すべて観測統合制御計算機 (OBS) から実行可能であり、実際の作業は、オペレータによって行われる。観測者は、分光器の設定や観測天体、露出時間をあらかじめ決めて、「観測手順書」(後述)を準備しておき、当日の状況を判断しながら露出時間等について指示を出すことになる。本節では、観測時の作業について整理して説明する。また、取得されるデータの構造についても若干の説明を加える。

4.1 分光器の設定

3節の観測準備で決定した分光器各部の設定値は、OBS から発行する抽象化コマンド SetupOBE のパラメータとして与える。パラメータとその範囲・単位は表 7のとおり。これらのパラメータは、変更の必要なもののみ指定する (指定しないものについては変更されず、それまでの設定がそのまま用いられる)。なお、抽象化コマンドでは一般に、コマンド名、パラメータ名、パラメータ値について、大文字/小文字の区別はしない。

(例 1) スリット幅 200 μm 、フィルターは素通しガラス、クロスディスパーザ角 18000 秒角の場合：

```
SetupOBE OBE_ID=HDS SlitWidth=200 Filter1=SQ CrossScan=18000
```

(例 2) Setup-Ra (表 5参照) の場合：

```
SetupOBE OBE_ID=HDS Filter_1=Free Filter_2=SC-46 Cross=Red CrossScan=18455
Collimator=Red
```

観測者は、分光器の設定に関して、表にあるパラメータの値を事前に決めておく。グレーティングの角度やフィルタについては、前節で紹介した標準フォーマットから選択することが望ましい。

表 7: SetupOBE のパラメーター一覧

パラメータ名	内容	範囲/パラメータ値
Slit_Width	スリット幅	10-2,000 μm
Slit_Length	スリット長	1,000-30,000 μm
Filter_1	フィルター (ターレット 1)	ND1 / ND2 / SQ / OG530/ KV408
Filter_2	フィルター (ターレット 2)	SC46 / SC42 / KV389 / KV370 / GG495
Collimator	コリメータ種類	BLUE / RED
Cross	クロスディスパーザ種類	BLUE / RED / MIRROR
Crros_Scan	クロスディスパーザ角度	(14000-26000)arcsec または StdUa 等
Echelle	エシェルグレーティング角度	(-3600-7200)arcsec
Cam_Rotate	検出器支持部回転角	(-7200-7200)arcsec

4.2 天体のスリット上への導入とガイド

天体の位置と分点は、抽象化コマンド `SetupField` のパラメータとして与える。このコマンドでスリット近くに天体を導くことができれば、コマンド `SetupField_Fine` で位置を微調整する。

このコマンドのパラメータとしては、他に、イメージローテータの有無、スリットのポジションアングルの指定、等がある。

4.3 観測手順書

観測手順書は、上で説明したような抽象化コマンド等を、観測の手順にそって準備しておくファイルである。補遺に例を示す(6.2節)。その作成については、サポートアストロノマと相談し、観測が始まるまでに作成しておくことが望ましい。

4.4 データ取得

データ取得の一連の動作は、以下のように整理できる。

- ・ CCD ワイプ
- ・ 露出 (シャッター開閉 : バイアスデータの場合は無し、ダークの場合はシャッター開閉は無し)
- ・ 露出中およびその前後で各種ステータスの取得
- ・ CCD 読みだし
- ・ フレーム ID 取得 (4.7節参照)
- ・ FITS データ形式として完成
- ・ データ転送 (OBC へ)
- ・ 取得データ表示 (OBS 上)

天体および較正用データの取得は、以下のコマンドで実行できる。較正用データの取得のタイミングについては、4.5節を参照。

表 8: データ取得コマンド一覧

コマンド名	内容	パラメータ
<code>GetObject</code>	天体データ取得	<code>ExpTime</code> (露出時間) [sec]
<code>GetStandard</code>	標準星データ取得	<code>ExpTime</code> (露出時間) [sec]
<code>GetComparison</code>	波長較正用データ (Th-Ar) 取得	<code>ExpTime</code> (露出時間) [sec]
<code>GetOBEFlat</code>	フラットデータ (ハロゲンランプ) 取得	<code>ExpTime</code> (露出時間) [sec]
<code>GetDark</code>	ダークデータ取得	<code>ExpTime</code> (時間) [sec]
<code>GetBias</code>	バイアスデータ取得	無し

データは二つの CCD について別々の FITS ファイルとして取得される。データの特徴については、4.7節で説明する。

4.5 較正用データの取得

通常、較正用データとして取得するのは、バイアス、ダーク、フラット、波長較正用データ (Th-Ar) の4種類である。データ取得のコマンドは 4.4 節を参照。

較正用データを取得する頻度は、要求されるスペクトルの精度に依存するが、以下、目安として較正用データを取得すべきタイミングを述べる。

- 波長較正用データ (Th-Ar)

スペクトルフォーマットは、分光器の設定を変えた場合に多少変化する。また、分光器の設定を変更しなくても、ナスミス室内の温度変化によっても変動する (2.3節参照)。そこで、夜間の観測中に波長較正用データは取得する必要がある場合が多い。

- フラットデータ

フラットデータは、スペクトルフォーマットの再現性、スペクトルの安定性 (2.3節参照) の範囲内で、同じ設定ならば天体データと時間をあけて取得しても問題ない。したがって夜間観測開始前もしくは終了後に取得する。

- ダーク

2.3節で示したように、ダークは大きくないので、短い露出時間のデータについては補正は必要ない。ダークデータを取得する場合でも、夜間観測の前後に行えば十分である。

- バイアス

2.3節で示したように、バイアスレベルは変動することが明らかになっている。この変動については、各データにつけているオーバースキャン領域を用いて補正可能である (補正方法については 5 節参照)。したがって、バイアスデータは夜間観測の前後に取得すれば十分である。

Th-Ar データについては、スリット幅 $200\mu\text{m}$ 、ピンニング無しの場合、電流値は 15mA に設定し、20 秒程度の露出でとればおおむね適当な輝線強度となる。

一方、ハロゲンランプのデータ取得の際の、光源および露出時間の設定の目安を以下に示す (スリット幅 $200\mu\text{m}$ 、ピンニング無しの場合)。注目する波長域により、これらの設定は変える必要がある。なお、表中の 'Filter' は、光源側のフィルタの名称である²。

なお、標準的な設定についてのフラットデータは、質の高いものを別途準備し、提供する予定であり、必ずしも観測のたびに取得する必要はない。

4.6 I₂ セル・光量モニタ

I₂ セルと光量モニタの制御は、現時点では、OBCP からのみ可能である。観測の際には、オペレータやサポートアストロノマと相談すること。

²紫外域 (U) のフラット用フィルタ U340 は、現在は分光器側に入っている。将来的には光源側に入れる予定

表 9: 標準的なフラットの設定パラメータ

Setup	CCD:	Lamp	Filter	Exposure
StdR	CCD-1:	3A	ND1	10sec
	CCD-2:	3A	B390	8sec
StdB	CCD-1:	4A	ND1	12sec
	CCD-2:	4A	T42A	4sec
StdU	CCD-1:	4A	ND1,B390	24sec
	CCD-2:	4A	U340	16sec
stdYb	CCD-1:	3A	ND1	15sec
	CCD-2:	4A	ND1	7sec
stdI ₂ b	CCD-1:	4A	ND1	4sec
stdNIR	CCD-1:	3A	ND1	10sec
stdHa	CCD-1:	3A	ND1	15sec

4.7 データの特徴

- フレーム ID

取得されたデータには通し番号 (フレーム ID) がつけられる。二つの CCD それぞれに対して FITS ファイルが作られるため、一回の露出に対して二つのフレーム ID が割り当てられる。フレーム ID は、'HDSA' につづく 8 桁の通し番号である (2001 年 1 月末現在 'HDSA00002480')。番号は遡ることはなく、データ取得を途中でキャンセルするなどした場合には欠番になる。ファイル名は、これに '.fits' をつけたもの (HDSA00002480.fits 等) になる。

- FITS データの特徴

取得される FITS データには、通常のヘッダ部、データ部に加え、アスキー拡張テーブル (これもヘッダ部、データ部に分けられる) が添付される。テーブルには、取得されたスペクトルのフォーマット (回折次数、波長、CCD 上での位置) が記録される (いずれもグレーティング等の設定からの計算値)。6.3 節にヘッダ部およびテーブルの例を示す。

また、光量モニタを用いた場合には、二つめのアスキー拡張テーブルが添付され、そこに光量のデータが記入される。

4.8 取得されたデータの取り扱い

- データベース、データの公開

取得されたデータは、OBCP のディスク上に蓄えられるほか、自動的に山麓施設に転送され、データアーカイブシステム (STARS) に保存され、管理される。ユーザなど、アクセスの権利をもった者は、STARS からデータを引き出すことができる。

データベースで管理されるデータは、観測者の優先使用期間 (1 年半) を過ぎると公開される。

- データの受け渡し

観測データは、山麓のデータベースに自動的に保存される。データは申請にもとづいて、観測終了後に山麓観測所にて、DAT テープもしくは DLT テープで受け取ることができる（申請書は来所時に渡される）。これらの媒体が使えないときは観測所もしくはサポートアストロノマに相談すること。データの受け渡しの際には、共同利用報告書 (Open Use Report Form) の提出が求められる。山頂でのデータ引き渡しは行わない。

- データの早見

取得されたデータの質を観測中に判断するために、OBS および 解析用計算機上で、以下のツールを用いることができる。

- OBS 上 : QDAS

二次元画像の表示、画像上の任意の直線に対するプロファイル (断面図) の表示などが可能。取得されたデータのカウンタなどはすぐに確認できる。

- 解析用計算機上 : Ozeki

二次元画像の表示、画像上の任意の直線に対するプロファイル (断面図) の表示などのほか、オーダトレースをして一次元にしたデータを見ることができる。オーダトレースは、データに添付されたアスキー拡張テーブルの情報をもとに機械的に行われる (T.B.D.)。

5 データ整約

5.1 データ形式の特徴

FITS ファイルの構造と特徴については、4.7節で述べたので、ここではデータ部の特徴にしぼって説明する。

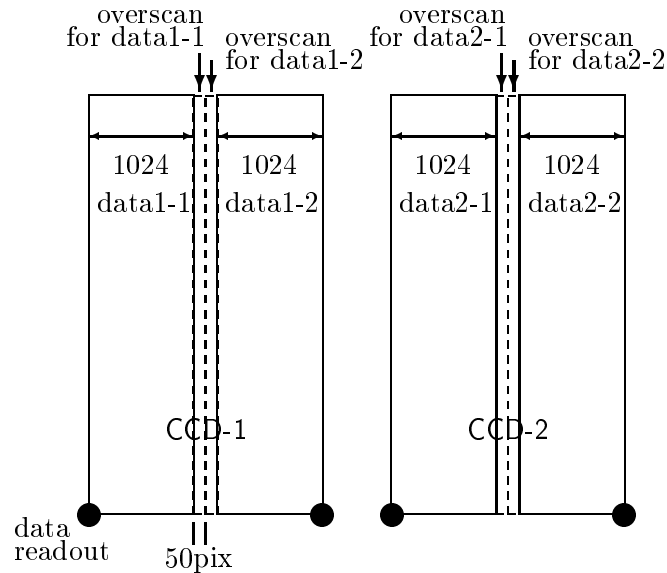


図 8: CCD データ形式の概念図。縦がスペクトル分散方向、横がスリット方向

データ部は、分散方向 4100 ピクセル、スリット方向 2048 ピクセルのデータ (ビンニング無しの場合) に加えて、オーバースキャン領域がつけられている。オーバースキャンとは、光のあたった部分のデータ読みだしに加えて余分に読みだしを行うことで、そのデータを取得した際のバイアスレベルを記録できる。

データの読みだしは、それぞれの CCD について 2ヶ所ずつで読みだしているため、データとしては 4100×1024 ピクセルがひとつのユニットとなる。これにそれぞれオーバースキャン領域が 50 列 (4100×50 ピクセル) つけられる。これにより、図 8 のようなデータが得られることになる。なお、以上ではビンニング無しの場合のデータ形式について説明したが、ビンニングを行った場合でも、オーバースキャン領域は 50 列ずつつけられる。

2節で述べたように、バイアスレベルの変動がある程度存在するため、データ整約の際には、オーバースキャン領域のデータを用いて変動分を補正することがのぞましい。整約の行い方については、5.2節で説明する。

5.2 HDS データに特有な処理

1. アスキー拡張テーブルの処理

IRAF によってデータを処理する場合、アスキー拡張テーブルがついていることにより、FITS ファイル名を指定しただけでは直接には処理できない。これは FITS ファイルを読み込むタスク `rfits` によって処理可能なファイルにできる。

(例) `rfits input.fits 0 output.fits`

また、ファイル名に `[0]` をつければ (`HDSA00000001.fits[0]` 等) 直接処理することができる。

2. オーバースキャン領域の処理

6.3節で説明したように、HDS のデータにはオーバースキャン領域が付けられている。これは以下のような手順によって有効に処理できる。なお、バイアスレベルの変動が無視できると考えるならば、オーバースキャン領域を切り捨ててしまうこともできる。

- 各読みだし口に対応するオーバースキャン領域 ($50 \times 4100\text{pix}$) の平均をとる。
- 各読みだし口ごとに、データから、上で計算したオーバースキャン領域の平均値を差し引く。
- 各読みだし口に対応するデータごとに、それぞれのゲインをかける。ゲインの値は表 2 のとおり。
- データ領域だけ切りだし、各 CCD ごとにひとつのファイルになるようにつなげる (オーバースキャン領域のない $2048 \times 4100\text{pix}$ のデータになる)。

以下に、読みだし口ごとの CCD ゲインの値を示す。なお、この値は、FITS ヘッダにも記載されている (長波長側: `H_GAIN1`、短波長側: `H_GAIN2`)。

表 10: CCD ゲイン

読みだし口	ゲイン (e^-/ADU)
CCD1, 左側 (長波長側)	1.628
CCD1, 右側 (短波長側)	1.615
CCD2, 左側 (長波長側)	1.782
CCD2, 右側 (短波長側)	1.665

この手順で処理を行う IRAF のスクリプト `overscan.cl` が、以下の URL から取得できる:

http://optik2.mtk.nao.ac.jp/HDS/index_J.html

使用方法は、

```
cl>task overscan=overscan.cl
```

とタスクの定義を行ったうえで、以下のように実行すればよい。

```
cl>overscan input.fits output.fits
```

3. 以下の処理は通常のエシエルスペクトルデータの処理と同様である。
IRAF を使う場合は、以下のページの「IRAF によるデータ解析の手引き」を参照。

http://optik2.mtk.nao.ac.jp/HDS/index_J.html

5.3 I₂ セルデータの整約

T.B.D.

6 補遺

6.1 エシエルスペクトルフォーマット

青用クロスディスペルザの場合：

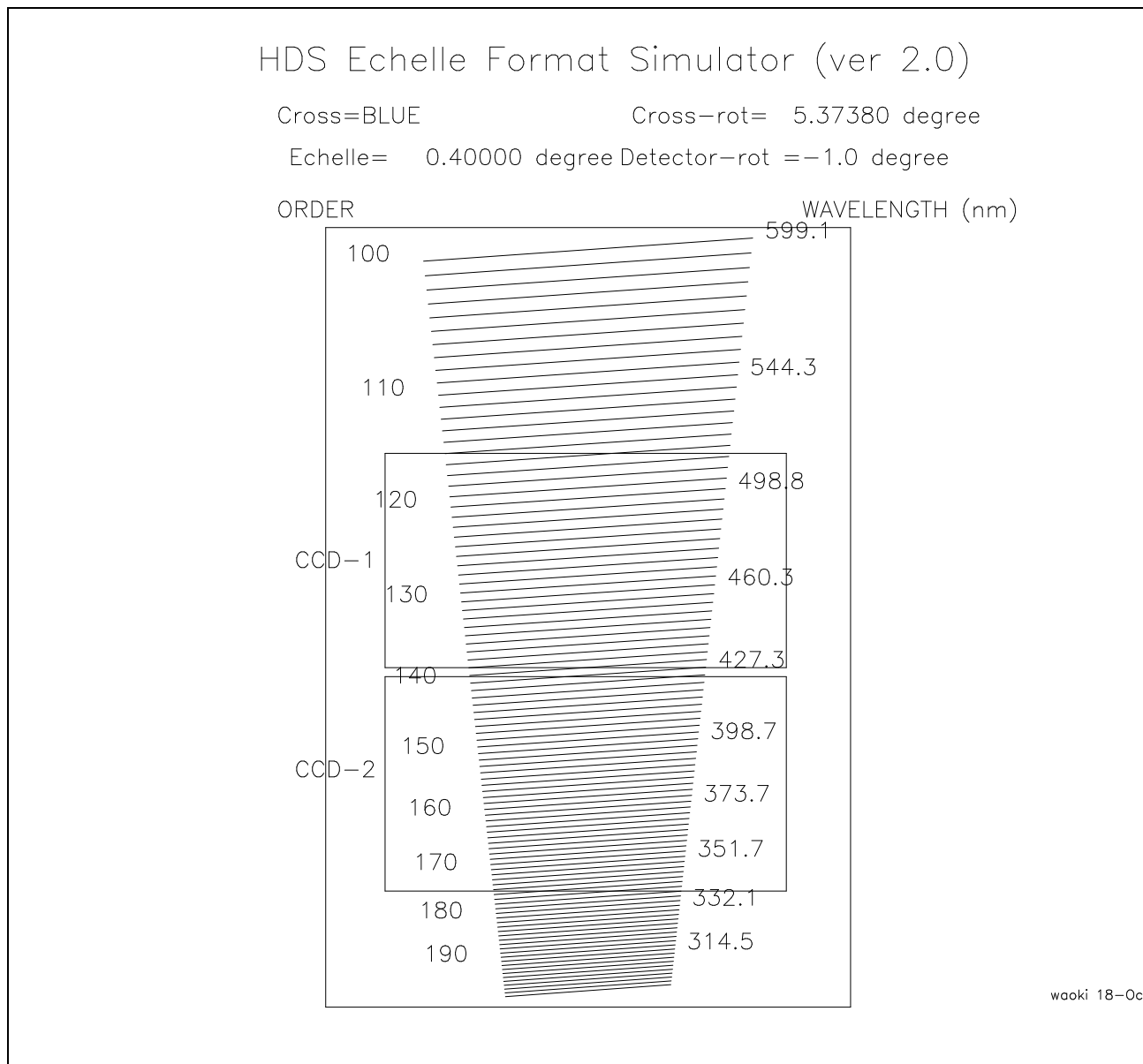


図 9: 青用クロスディスペルザを用いた場合のスペクトルフォーマットの例

ORDER	WAVEMIN (nm)	WAVECEN (nm)	WAVEMAX (nm)	FSR (nm)	LD (nm/mm)	CDMIN (mm)	CDCEN (mm)	CDMAX (mm)	ORDSEP (mm)
199	298.782	299.535	300.287	1.505	0.0660	0.000	0.759	1.546	-
198	300.287	301.047	301.808	1.520	0.0663	0.485	1.246	2.036	0.490
197	301.808	302.576	303.343	1.536	0.0667	0.975	1.738	2.531	0.495
196	303.343	304.119	304.895	1.552	0.0670	1.469	2.236	3.031	0.500
195	304.895	305.679	306.463	1.568	0.0673	1.969	2.738	3.536	0.505
194	306.463	307.254	308.046	1.584	0.0677	2.474	3.245	4.046	0.510
193	308.046	308.846	309.647	1.600	0.0680	2.984	3.758	4.561	0.515
192	309.647	310.455	311.264	1.617	0.0684	3.500	4.276	5.082	0.521
191	311.263	312.080	312.897	1.634	0.0688	4.021	4.800	5.609	0.526
190	312.897	313.723	314.549	1.651	0.0691	4.547	5.329	6.141	0.532
189	314.549	315.383	316.217	1.669	0.0695	5.079	5.863	6.678	0.538
188	316.217	317.061	317.904	1.686	0.0698	5.616	6.404	7.221	0.543
187	317.904	318.756	319.608	1.705	0.0702	6.160	6.950	7.770	0.549
186	319.608	320.470	321.331	1.723	0.0706	6.709	7.502	8.325	0.555
185	321.331	322.202	323.073	1.742	0.0710	7.264	8.060	8.886	0.561
184	323.073	323.953	324.833	1.761	0.0714	7.825	8.624	9.454	0.567
183	324.833	325.723	326.613	1.780	0.0718	8.392	9.194	10.027	0.573
182	326.613	327.513	328.413	1.800	0.0722	8.965	9.770	10.607	0.580
181	328.413	329.323	330.232	1.819	0.0725	9.545	10.353	11.193	0.586
180	330.232	331.152	332.072	1.840	0.0730	10.131	10.942	11.785	0.593
179	332.072	333.002	333.932	1.860	0.0734	10.724	11.538	12.385	0.599
178	333.932	334.873	335.814	1.881	0.0738	11.323	12.141	12.991	0.606
177	335.814	336.765	337.716	1.903	0.0742	11.929	12.750	13.604	0.613
176	337.716	338.678	339.640	1.924	0.0746	12.542	13.367	14.223	0.620
175	339.640	340.614	341.587	1.946	0.0750	13.162	13.990	14.850	0.627
174	341.587	342.571	343.556	1.969	0.0755	13.789	14.620	15.485	0.634
173	343.555	344.551	345.547	1.992	0.0759	14.423	15.258	16.126	0.642
172	345.547	346.554	347.562	2.015	0.0763	15.065	15.903	16.775	0.649
171	347.562	348.581	349.600	2.038	0.0768	15.714	16.556	17.432	0.657
170	349.600	350.632	351.663	2.063	0.0772	16.370	17.217	18.096	0.664
169	351.663	352.706	353.750	2.087	0.0777	17.035	17.885	18.769	0.672
168	353.750	354.806	355.862	2.112	0.0782	17.707	18.561	19.449	0.680
167	355.862	356.930	357.999	2.137	0.0786	18.387	19.245	20.137	0.688
166	357.999	359.081	360.162	2.163	0.0791	19.076	19.938	20.834	0.697
165	360.162	361.257	362.352	2.189	0.0796	19.773	20.639	21.539	0.705
164	362.352	363.460	364.568	2.216	0.0801	20.478	21.348	22.253	0.714
163	364.568	365.689	366.811	2.243	0.0806	21.192	22.066	22.976	0.723
162	366.811	367.947	369.082	2.271	0.0811	21.914	22.794	23.708	0.732
161	369.082	370.232	371.382	2.300	0.0816	22.646	23.530	24.448	0.741
160	371.382	372.546	373.710	2.328	0.0821	23.387	24.275	25.198	0.750

159	373.710	374.889	376.068	2.358	0.0826	24.137	25.030	25.958	0.760
158	376.068	377.262	378.456	2.388	0.0831	24.896	25.794	26.727	0.769
157	378.456	379.665	380.874	2.418	0.0836	25.666	26.568	27.506	0.779
156	380.874	382.099	383.323	2.449	0.0842	26.445	27.352	28.295	0.789
155	383.323	384.564	385.804	2.481	0.0847	27.234	28.146	29.094	0.799
154	385.804	387.061	388.318	2.513	0.0853	28.033	28.950	29.904	0.810
153	388.318	389.591	390.864	2.546	0.0858	28.842	29.765	30.724	0.820
152	390.864	392.154	393.444	2.580	0.0864	29.663	30.590	31.555	0.831
151	393.444	394.751	396.058	2.614	0.0870	30.494	31.427	32.397	0.842
150	396.058	397.383	398.707	2.649	0.0875	31.336	32.274	33.251	0.853
149	398.707	400.049	401.392	2.685	0.0881	32.189	33.133	34.116	0.865
148	401.392	402.753	404.113	2.721	0.0887	33.054	34.004	34.992	0.877
147	404.113	405.492	406.872	2.758	0.0893	33.931	34.886	35.881	0.889
146	406.872	408.270	409.668	2.796	0.0899	34.819	35.781	36.782	0.901
145	409.668	411.085	412.503	2.835	0.0906	35.720	36.688	37.695	0.913
144	412.503	413.940	415.377	2.875	0.0912	36.633	37.607	38.621	0.926
143	415.377	416.835	418.292	2.915	0.0918	37.559	38.540	39.560	0.939
142	418.292	419.770	421.248	2.956	0.0925	38.498	39.485	40.512	0.952
141	421.248	422.747	424.246	2.998	0.0931	39.450	40.444	41.478	0.966
140	424.246	425.767	427.288	3.041	0.0938	40.416	41.417	42.457	0.980
139	427.287	428.830	430.373	3.085	0.0945	41.396	42.403	43.451	0.994
138	430.372	431.937	433.502	3.130	0.0952	42.390	43.404	44.459	1.008
137	433.502	435.090	436.678	3.176	0.0958	43.398	44.419	45.483	1.023
136	436.678	438.289	439.901	3.223	0.0966	44.421	45.450	46.521	1.038
135	439.901	441.536	443.171	3.271	0.0973	45.459	46.496	47.574	1.054
134	443.171	444.831	446.491	3.320	0.0980	46.513	47.557	48.644	1.069
133	446.491	448.176	449.861	3.370	0.0987	47.582	48.634	49.729	1.085
132	449.861	451.571	453.281	3.421	0.0995	48.667	49.728	50.831	1.102
131	453.281	455.018	456.755	3.473	0.1002	49.769	50.838	51.950	1.119
130	456.755	458.518	460.282	3.527	0.1010	50.888	51.965	53.086	1.136
129	460.282	462.073	463.864	3.582	0.1018	52.024	53.110	54.240	1.154
128	463.864	465.683	467.502	3.638	0.1026	53.178	54.273	55.412	1.172
127	467.502	469.349	471.197	3.696	0.1034	54.350	55.454	56.602	1.190
126	471.197	473.074	474.952	3.755	0.1042	55.541	56.654	57.812	1.209
125	474.952	476.859	478.766	3.815	0.1051	56.750	57.873	59.041	1.229
124	478.766	480.705	482.643	3.877	0.1059	57.979	59.111	60.289	1.249
123	482.643	484.613	486.583	3.940	0.1068	59.228	60.370	61.558	1.269
122	486.583	488.585	490.587	4.005	0.1076	60.497	61.649	62.848	1.290
121	490.587	492.623	494.659	4.071	0.1085	61.787	62.950	64.160	1.311
120	494.658	496.728	498.798	4.139	0.1094	63.098	64.272	65.493	1.333
119	498.798	500.902	503.007	4.209	0.1103	64.432	65.617	66.849	1.356
118	503.007	505.147	507.288	4.281	0.1113	65.788	66.984	68.228	1.379
117	507.288	509.465	511.642	4.354	0.1122	67.167	68.374	69.631	1.403

116	511.642	513.857	516.072	4.430	0.1132	68.569	69.789	71.058	1.427
115	516.071	518.325	520.579	4.507	0.1142	69.996	71.228	72.510	1.452
114	520.578	522.872	525.165	4.587	0.1152	71.448	72.693	73.987	1.477
113	525.165	527.499	529.833	4.668	0.1162	72.925	74.183	75.491	1.504
112	529.833	532.209	534.585	4.752	0.1172	74.429	75.700	77.021	1.531
111	534.584	537.003	539.422	4.838	0.1183	75.960	77.244	78.580	1.558
110	539.422	541.885	544.348	4.926	0.1194	77.518	78.817	80.167	1.587
109	544.348	546.857	549.365	5.017	0.1205	79.105	80.418	81.783	1.616
108	549.365	551.920	554.475	5.110	0.1216	80.721	82.049	83.429	1.646
107	554.475	557.078	559.681	5.206	0.1227	82.367	83.710	85.106	1.677
106	559.681	562.334	564.986	5.305	0.1239	84.044	85.403	86.815	1.709
105	564.986	567.689	570.393	5.407	0.1251	85.753	87.128	88.556	1.742
104	570.392	573.148	575.903	5.511	0.1263	87.495	88.886	90.332	1.775
103	575.903	578.712	581.522	5.619	0.1275	89.270	90.678	92.141	1.810
102	581.521	584.386	587.251	5.729	0.1287	91.080	92.505	93.987	1.845
101	587.250	590.172	593.094	5.843	0.1300	92.925	94.369	95.869	1.882
100	593.093	596.074	599.054	5.961	0.1313	94.807	96.270	97.789	1.920

赤用クロスディスペーザの場合：

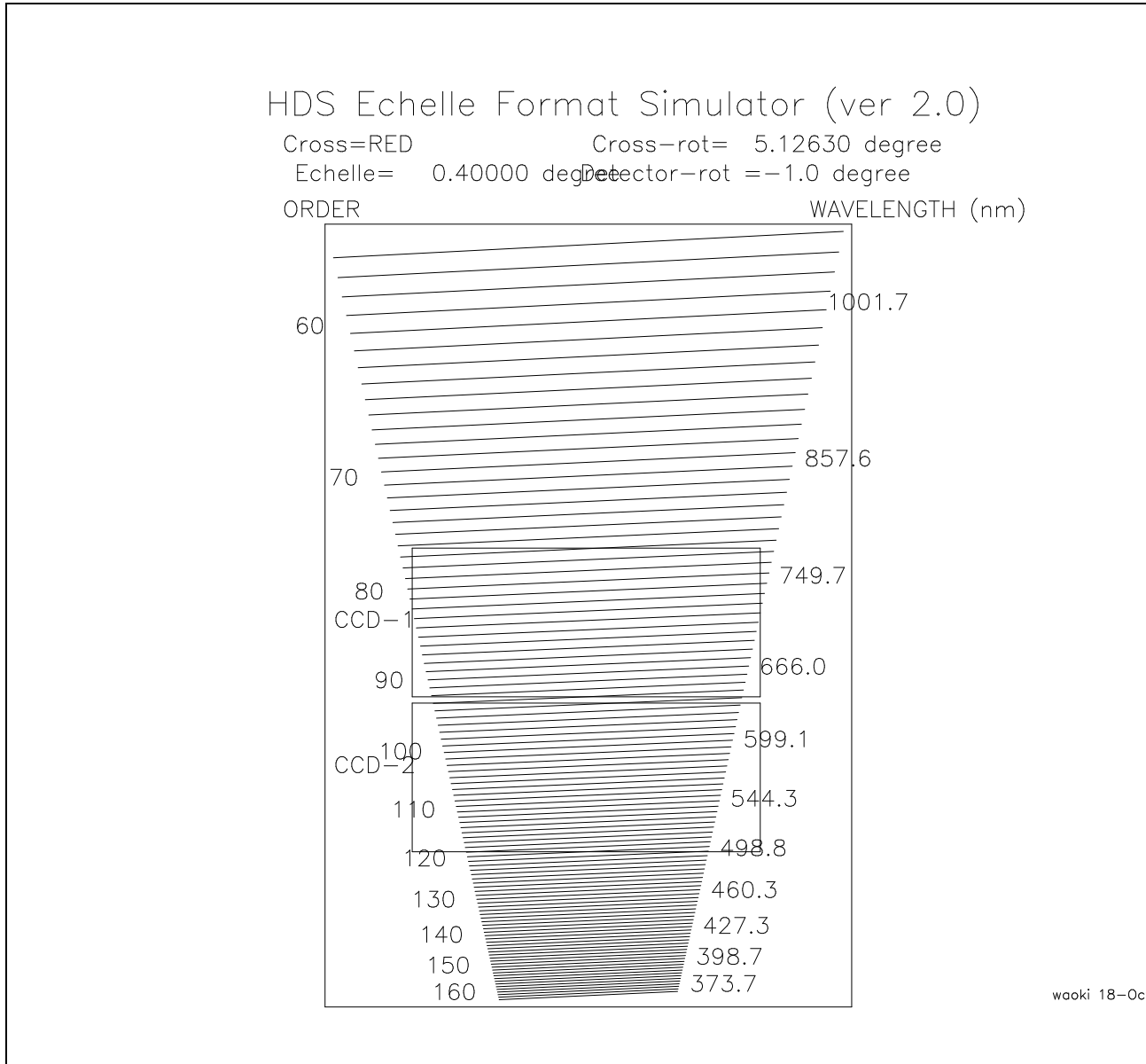


図 10: 赤用クロスディスペーザを用いた場合のスペクトルフォーマットの例

ORDER	WAVEMIN (nm)	WAVECEN (nm)	WAVEMAX (nm)	FSR (nm)	LD (nm/mm)	CDMIN (mm)	CDCEN (mm)	CDMAX (mm)	ORDSEP (mm)
149	398.707	400.049	401.392	2.685	0.0881	20.124	20.913	21.726	0.541
148	401.392	402.753	404.113	2.721	0.0887	20.664	21.457	22.274	0.548
147	404.113	405.492	406.872	2.758	0.0893	21.212	22.009	22.829	0.556
146	406.872	408.270	409.668	2.796	0.0899	21.768	22.568	23.393	0.563
145	409.668	411.085	412.503	2.835	0.0906	22.331	23.135	23.963	0.571
144	412.503	413.940	415.377	2.875	0.0912	22.902	23.710	24.542	0.579
143	415.377	416.835	418.292	2.915	0.0918	23.481	24.293	25.129	0.587
142	418.292	419.770	421.248	2.956	0.0925	24.068	24.884	25.725	0.595
141	421.248	422.747	424.246	2.998	0.0931	24.663	25.483	26.328	0.604
140	424.246	425.767	427.288	3.041	0.0938	25.267	26.091	26.941	0.612
139	427.287	428.830	430.373	3.085	0.0945	25.879	26.708	27.562	0.621
138	430.372	431.937	433.502	3.130	0.0952	26.501	27.334	28.193	0.630
137	433.502	435.090	436.678	3.176	0.0958	27.131	27.969	28.832	0.640
136	436.678	438.289	439.901	3.223	0.0966	27.771	28.613	29.481	0.649
135	439.901	441.536	443.171	3.271	0.0973	28.420	29.266	30.140	0.659
134	443.171	444.831	446.491	3.320	0.0980	29.078	29.930	30.808	0.669
133	446.491	448.176	449.861	3.370	0.0987	29.747	30.603	31.487	0.679
132	449.861	451.571	453.281	3.421	0.0995	30.425	31.287	32.176	0.689
131	453.281	455.018	456.755	3.473	0.1002	31.114	31.981	32.875	0.699
130	456.755	458.518	460.282	3.527	0.1010	31.814	32.686	33.586	0.710
129	460.282	462.073	463.864	3.582	0.1018	32.524	33.402	34.307	0.721
128	463.864	465.683	467.502	3.638	0.1026	33.245	34.129	35.040	0.733
127	467.502	469.349	471.197	3.696	0.1034	33.978	34.867	35.784	0.744
126	471.197	473.074	474.952	3.755	0.1042	34.722	35.617	36.540	0.756
125	474.952	476.859	478.766	3.815	0.1051	35.478	36.379	37.308	0.768
124	478.766	480.705	482.643	3.877	0.1059	36.247	37.153	38.089	0.781
123	482.643	484.613	486.583	3.940	0.1068	37.027	37.940	38.882	0.793
122	486.583	488.585	490.587	4.005	0.1076	37.821	38.740	39.689	0.806
121	490.587	492.623	494.659	4.071	0.1085	38.627	39.553	40.509	0.820
120	494.658	496.728	498.798	4.139	0.1094	39.447	40.380	41.342	0.834
119	498.798	500.902	503.007	4.209	0.1103	40.281	41.220	42.190	0.848
118	503.007	505.147	507.288	4.281	0.1113	41.128	42.075	43.052	0.862
117	507.288	509.465	511.642	4.354	0.1122	41.990	42.944	43.929	0.877
116	511.642	513.857	516.072	4.430	0.1132	42.867	43.829	44.821	0.892
115	516.071	518.325	520.579	4.507	0.1142	43.759	44.728	45.729	0.908
114	520.578	522.872	525.165	4.587	0.1152	44.667	45.644	46.652	0.924
113	525.165	527.499	529.833	4.668	0.1162	45.591	46.576	47.592	0.940
112	529.833	532.209	534.585	4.752	0.1172	46.531	47.524	48.549	0.957
111	534.584	537.003	539.422	4.838	0.1183	47.488	48.490	49.523	0.974
110	539.422	541.885	544.348	4.926	0.1194	48.462	49.473	50.515	0.992
109	544.348	546.857	549.365	5.017	0.1205	49.454	50.474	51.526	1.010

108	549.365	551.920	554.475	5.110	0.1216	50.464	51.493	52.555	1.029
107	554.475	557.078	559.681	5.206	0.1227	51.493	52.532	53.603	1.048
106	559.681	562.334	564.986	5.305	0.1239	52.542	53.590	54.672	1.068
105	564.986	567.689	570.393	5.407	0.1251	53.610	54.668	55.760	1.089
104	570.392	573.148	575.903	5.511	0.1263	54.699	55.767	56.870	1.110
103	575.903	578.712	581.522	5.619	0.1275	55.809	56.888	58.002	1.131
102	581.521	584.386	587.251	5.729	0.1287	56.940	58.030	59.155	1.154
101	587.250	590.172	593.094	5.843	0.1300	58.094	59.195	60.332	1.177
100	593.093	596.074	599.054	5.961	0.1313	59.271	60.384	61.533	1.200
99	599.054	602.095	605.136	6.082	0.1326	60.471	61.596	62.757	1.225
98	605.135	608.239	611.342	6.207	0.1340	61.696	62.833	64.007	1.250
97	611.341	614.509	617.677	6.335	0.1354	62.945	64.096	65.283	1.276
96	617.676	620.910	624.144	6.468	0.1368	64.221	65.385	66.585	1.302
95	624.144	627.446	630.748	6.605	0.1382	65.524	66.701	67.915	1.330
94	630.748	634.121	637.494	6.746	0.1397	66.854	68.045	69.274	1.358
93	637.494	640.939	644.385	6.892	0.1412	68.212	69.418	70.662	1.388
92	644.385	647.906	651.427	7.042	0.1427	69.600	70.821	72.080	1.418
91	651.427	655.026	658.625	7.198	0.1443	71.018	72.254	73.529	1.450
90	658.625	662.304	665.984	7.359	0.1459	72.468	73.720	75.011	1.482
89	665.983	669.746	673.508	7.525	0.1475	73.950	75.218	76.527	1.515
88	673.508	677.357	681.205	7.697	0.1492	75.465	76.751	78.077	1.550
87	681.205	685.142	689.080	7.875	0.1509	77.015	78.318	79.663	1.586
86	689.079	693.109	697.139	8.059	0.1527	78.601	79.923	81.285	1.623
85	697.138	701.263	705.388	8.250	0.1545	80.224	81.564	82.947	1.661
84	705.388	709.612	713.835	8.448	0.1563	81.885	83.245	84.648	1.701
83	713.835	718.161	722.487	8.653	0.1582	83.586	84.967	86.390	1.742
82	722.487	726.919	731.352	8.865	0.1601	85.329	86.730	88.176	1.785
81	731.351	735.893	740.436	9.085	0.1621	87.114	88.538	90.005	1.829
80	740.435	745.092	749.749	9.314	0.1641	88.943	90.390	91.881	1.876
79	749.748	754.524	759.299	9.551	0.1662	90.819	92.289	93.804	1.923
78	759.298	764.197	769.096	9.797	0.1684	92.742	94.237	95.777	1.973
77	769.095	774.122	779.148	10.054	0.1705	94.715	96.235	97.801	2.024
76	779.148	784.308	789.467	10.320	0.1728	96.740	98.286	99.879	2.078
75	789.467	794.765	800.063	10.597	0.1751	98.818	100.392	102.013	2.134
74	800.062	805.505	810.948	10.885	0.1775	100.951	102.554	104.205	2.192
73	810.947	816.539	822.132	11.185	0.1799	103.143	104.776	106.458	2.252
72	822.131	827.880	833.629	11.498	0.1824	105.396	107.060	108.773	2.315
71	833.628	839.540	845.453	11.825	0.1849	107.711	109.408	111.154	2.381
70	845.451	851.534	857.616	12.165	0.1876	110.092	111.823	113.604	2.450
69	857.615	863.875	870.135	12.520	0.1903	112.542	114.308	116.125	2.521
68	870.134	876.579	883.024	12.891	0.1931	115.063	116.866	118.721	2.596
67	883.023	889.662	896.302	13.279	0.1960	117.659	119.500	121.394	2.674
66	896.300	903.142	909.984	13.684	0.1990	120.332	122.214	124.150	2.755

65	909.982	917.036	924.091	14.108	0.2020	123.088	125.012	126.991	2.841
64	924.089	931.365	938.642	14.553	0.2052	125.929	127.897	129.921	2.930
63	938.640	946.149	953.658	15.018	0.2084	128.859	130.874	132.945	3.024
62	953.656	961.409	969.163	15.507	0.2118	131.883	133.947	136.068	3.122
61	969.160	977.170	985.180	16.019	0.2153	135.006	137.120	139.293	3.226
60	985.177	993.456	1001.735	16.558	0.2189	138.231	140.400	142.627	3.334
59	1001.733	1010.294	1018.856	17.124	0.2226	141.565	143.790	146.075	3.448
58	1018.854	1027.713	1036.573	17.719	0.2264	145.013	147.298	149.643	3.568
57	1036.570	1045.743	1054.917	18.346	0.2304	148.581	150.928	153.337	3.694
56	1054.914	1064.417	1073.921	19.007	0.2345	152.275	154.688	157.165	3.827
55	1073.918	1083.770	1093.623	19.705	0.2388	156.102	158.585	161.132	3.968
54	1093.620	1103.840	1114.061	20.441	0.2432	160.070	162.626	165.248	4.116
53	1114.057	1124.667	1135.277	21.220	0.2478	164.186	166.820	169.521	4.273
52	1135.274	1146.296	1157.318	22.044	0.2525	168.459	171.175	173.960	4.439
51	1157.313	1168.772	1180.231	22.917	0.2575	172.897	175.701	178.574	4.614

6.2 観測手順書の例

<HEADER>

OBSERVATION_PERIOD=2001-07-25-19:00:00 - 2001-07-26-06:00:00

PROPOSALID=01403

OBE_ID=HDS

</HEADER>

<PARAMETER_LIST>

DEF_SPEC=OBE_ID=HDS OBE_MODE=SPEC

DEF_PROTO=OBE_ID=HDS OBE_MODE=PROTO

DEF_COMMON=OBE_ID=COMMON OBE_MODE=TOOL

Targets

TGT_CS30301_015=OBJECT="CS30301-015" RA=150625.200 DEC=+024144.00 EQUINOX=1950

TGT_CS30306_132=OBJECT="CS30306-132" RA=151151.500 DEC=+073809.00 EQUINOX=1950

</PARAMETER_LIST>

<COMMAND>

#SetupOBE

SetupOBE \$DEF_SPEC Filter_1=Free Filter_2=Free

SetupOBE \$DEF_SPEC SLIT_WIDTH=200 SLIT_LENGTH=2500

SetupOBE \$DEF_SPEC cross_scan=StdBc

FocusAGSequence \$DEF_COMMON

FocusAG \$DEF_COMMON

MoveToStar \$DEF_COMMON

ShowImage \$DEF_PROTO

#####

Observation

Blue with ADC

CS30301-015

SetupField \$DEF_PROTO \$TGT_CS30301_015 SVRegion=200 Exptime_SV=2000 IMGROT_FLAG=0

SetupField_FINE \$DEF_PROTO Slit_Length=2000 IMGROT_FLAG=0

GetObject \$DEF_SPEC Exptime=1800 \$TGT_CS30301_015

CS30306-132

SetupField \$DEF_PROTO \$TGT_CS30306_132 SVRegion=200 Exptime_SV=2000 IMGROT_FLAG=0

SetupField_FINE \$DEF_PROTO Slit_Length=2000 IMGROT_FLAG=0

GetObject \$DEF_SPEC Exptime=1800 \$TGT_CS30306_132

```
# Calibration #
### BIAS
GetBias $DEF_SPEC OBJECT=BIAS
GetBias $DEF_SPEC OBJECT=BIAS
GetBias $DEF_SPEC OBJECT=BIAS

#COMPARISON
SETUPCOMPARISON_HCT $DEF_PROTO OBJECT=HCT LAMP=HCT2 AMP=15.0 FILTER01=1 FILTER02=1
FILTER03=1 FILTER04=1 F_SELECT=NS_OPT
SetupOBE $DEF_SPEC SLIT_LENGTH=2000
GetComparison $DEF_SPEC OBJECT=Comparison Exptime=20.0
SHUTDOWNCOMPARISON_HCT OBE_ID=COMMON OBE_MODE=TOOL OBJECT=HCT F_SELECT=NS_OPT

### Flat
#Flat for Blue CCD1
SETUPCOMPARISON_HAL $DEF_PROTO OBJECT=HAL LAMP=HAL1 AMP=4.0 FILTER01=2 FILTER02=1
FILTER03=1 FILTER04=2 F_SELECT=NS_OPT
SetupOBE $DEF_SPEC SLIT_LENGTH=2500
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=12.0
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=12.0
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=12.0
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=12.0
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=12.0
#Flat for Blue CCD2
SETUPCOMPARISON_HAL $DEF_PROTO OBJECT=HAL LAMP=HAL1 AMP=4.0 FILTER01=1 FILTER02=1
FILTER03=2 FILTER04=2 F_SELECT=NS_OPT
SetupOBE $DEF_SPEC SLIT_LENGTH=2500
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=4.0 Display_Frame=!STATOBS.HDS.C2
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=4.0 Display_Frame=!STATOBS.HDS.C2
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=4.0 Display_Frame=!STATOBS.HDS.C2
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=4.0 Display_Frame=!STATOBS.HDS.C2
GetOBEFlat $DEF_SPEC OBJECT=Flat Exptime=4.0 Display_Frame=!STATOBS.HDS.C2

SHUTDOWNCOMPARISON_HAL OBE_ID=COMMON OBE_MODE=TOOL OBJECT=HAL F_SELECT=NS_OPT

SHUTDOWNCOMPARISON_HCTLAMP $DEF_PROTO OBJECT=HCT F_SELECT=NS_OPT
SHUTDOWNCOMPARISON_HALLAMP $DEF_PROTO OBJECT=HAL F_SELECT=NS_OPT
```

6.3 FITS ヘッダとアスキー拡張テーブルの例

Header unit

```

SIMPLE =                T / Standard FITS format
BITPIX =                16 / Number of bits for each pixel
NAXIS  =                2 / Number of axes in frame
NAXIS1 =                2148 / Number of pixels per row
NAXIS2 =                4100 / Number of rows
EXTEND =                T / There is a standard extension 1 (ASCII table)
BSCALE =                1.00000 / Real = (fits pixel value)*BSCALE+BZERO
BZERO  =                3.276700E+04 / Real = (fits pixel value)*BSCALE+BZERO
BUNIT  = 'ADU          ' / Unit of original pixel value
BLANK  =                -32768 / Value used for NULL pixels
DISPAXIS=                2 / Main dispersion axis in frame
CTYPE1 = 'pixel      ' / Pixel coordinate system
CTYPE2 = 'pixel      ' / Pixel coordinate system
CUNIT1 = 'pixel      ' / Units used in both CRVAL1 and CDELTA1
CUNIT2 = 'pixel      ' / Units used in both CRVAL2 and CDELTA2
CRPIX1 =                1 / Reference pixel in axis1
CRVAL1 =                1 / Physical value of the reference pixel
CDELTA1 =                1 / Size projected into a detector pixel in axis1
CRPIX2 =                1 / Reference pixel in axis2
CRVAL2 =                1 / Physical value of the reference pixel
CDELTA2 =                1 / Size projected into a detector pixel in axis2
PROJ1  =                0.0 / Projection type of the first axis
PROJ2  =                0.0 / Projection type of the second axis
PC001001= 1.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
PC001002= 0.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
PC002001= 0.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
PC002002= 1.00000000 / Pixel Coordinate translation matrix
BIN-FCT1=                1 / Binning factor in axis1
BIN-FCT2=                1 / Binning factor in axis2
N2XIS  =                2 / Number of axes for the slit projection
N2XIS1 =                2148 / Number of pixels per row for slit spectroscopy
N2XIS2 =                4100 / Number of scan lines for slit projection
C2YPE1 = 'DEC-TAN   ' / Type of projection used for #1 axis in 2nd WCS
C2PIX1 =                1024.0 / Reference pixel in X
C2VAL1 =                0.00 / Physical value of ref pix X for WCS
C2ELT1 =                0.00000 / Size projected into a detector pixel X
C2NIT1 = 'degree    ' / for C2VAL1 and C2ELT1
C2YPE2 = 'WAVELENGTH' / Type of projection used for #2 axis in 2nd WCS
C2PIX2 =                2050.0 / Reference pixel in Y

```

```

C2VAL2 =          562.30 / Physical value of ref pix Y for WCS
C2ELT2 =          0.00166 / Size projected into a detector pixel Y
C2NIT2 = 'nm      ' / for C2VAL2 and C2ELT2
P2OJP1 =          0.0 / Projection type of the first axis
P2OJP2 =          0.0 / Projection type of the second axis
P2001001=        1.00000000 / Pixel coordinate translation matrix
P2001002=        0.00000000 / Pixel coordinate translation matrix
P2002001=        0.00000000 / Pixel coordinate translation matrix
P2002002=        1.00000000 / Pixel coordinate translation matrix
PRD-MIN1=          1 / Start X position of partialy read out
PRD-MIN2=          1 / Start Y position of partialy read out
PRD-RNG1=        2148 / X range of the partialy read out
PRD-RNG2=        4100 / Y range of the partialy read out
OBJECT  = ' BD+28.4211 ' / Target Description
DATA-TYP= 'OBJECT  ' / Characteristics of this data
RA      = '21:51:12.055' / RA of the tracked pos. on the slit guide pos.
DEC     = '+28:51:38.72' / Dec of the tracked pos. on the slit guide pos.
RADECSYS= 'FK5      ' / The equatorial coordinate system
EQUINOX =          2000.0 / Standard FK5 (years)
RA2000  = '21:51:12.055' / Right accention (HH.MM.SS.SSS)
DEC2000 = '+28:51:38.72' / Declination (+/-HH:MM:SS.SS)
PROP-ID = 'o99007  ' / Proposal ID
OBSERVER= ' Aoki et al. ' / Name(s) of observer(s)
OBS-MOD = 'SPEC     ' / SINGLE-ORDER, MULTIPLE-ORDER
DATE-OBS= '2000-08-21' / Date of observation
EXPTIME =          150.0 / Exposure time in second
UT       = '10:38:28.865' / Typical Universal Time during exposure
UT-STR   = '10:37:13.575' / UTC at start of exposure
UT-END   = '10:39:49.764' / UTC at end of exposure
HST      = '00:38:28.865' / Typical Hawaii Standard Time during exposure
HST-STR  = '00:37:13.575' / HST at start of exposure
HST-END  = '00:39:49.764' / HST at end of exposure
LST      = '22:16:48.821' / Typical Local SideReal Time during exposure
LST-STR  = '22:15:33.324' / LST at start of exposure
LST-END  = '22:18:09.941' / LSR at end of exposure
TIMESYS = 'UTC      ' / Time System
MJD      =          51777.44432826 / Modified Julian Day
MJD-STR  =          51777.44432826 / MJD at start of exposure
MJD-END  =          51777.44432826 / MJD at end of exposure
SECZ     =          1.018 / typical sec(Zemith Distance) during exposure
SECZ-STR=          1.018 / secZ at start of exposure
SECZ-END=          1.018 / secZ at end of exposure
AIRMASS =          1.0180 / Typical air mass during exposure

```

```

AIRM-STR=          1.0180 / Air mass at start of exposure
AIRM-END=          1.0180 / Air mass at end of exposure
ALTITUDE=         79.09255 / Altitude of the telescope pointing (degree)
ALT-STR =          79.09255 / Altitude at start of exposure
ALT-END =          79.09255 / Altitude at end of exposure
AZIMUTH =          327.22178 / Azimuth of the telescope pointing (degree)
AZ-STR =           327.22178 / Azimuth at start of exposure
AZ-END =           327.22178 / Azimuth at end of exposure
OBSERVAT= 'NAOJ'    '      / Observatory
TELESCOP= 'SUBARU'  '      / Telescope
OBS-ALOC= 'Observation' / Allocation mode (OBSERVATION/STAND-BY)
TELFOCUS= 'NASMYTH-OPT' / Focus where beam is reachable
FOC-POS = 'NASMYTH-OPT' / Focus where instrument attached
FOC-VAL =          -0.037 / Focus position of the telescope
FOC-LEN =          104207.0 / Focal length of the telescope (mm)
F-RATIO =          12.71 / F-ratio of incident beam
INSTRUME= 'HDS'     '      / Name of instrument
FRAMEID = 'HDSA00001069' / Frame ID number issued by OBS
EXP-ID = 'UNKNOWN'  '      / Exposure ID number locally defined
DATASET = 'DS000'   '      / ID of observation dataset
DISPERSR= 'echelle' '      / Identifier of the disperser used
WAVELEN =          562.30 / Center wavelength of the center order (nm)
WAV-MAX =          624.63 / Maximum wavelength recorded (nm)
WAV-MIN =          502.06 / Minimum wavelength recorded (nm)
SLTCPIX1=         1064.00 / Pixel of slit center (Axis1)
SLTCPIX2=         2050.0 / Pixel of slit center (Axis2)
FILTERO1= 'SQ'     '      / Filter wheel No.1
FILTERO2= 'FREE'   '      / Filter wheel No.2
SLIT = 'SHORT'    '      / Identifier of the entrance slit used (SHORT/LON)
SLT-WID =          2.000 / Slit width (mm)
SLT-LEN =          2.000 / Slit length (mm)
SLT-PA =           0.00 / Slit position angle (degree)
SLT-PSTR=          0.0 / Slit position angle at start (degree)
SLT-PEND=          0.00 / Slit position angle at end (degree)
SLT-OBJP=          0.00 / Object position on the slit (arcsec)
DET-ID =           1 / ID number of the CCD in the detector unit
DETECTOR= 'EEV'    '      / Detector used to take this frame
DETPXSZ1=         0.0135 / pixel size in axis1 (mm)
DETPXSZ2=         0.0135 / pixel size in axis2 (mm)
DET-A01 =          0.000 / Rotation angle of the 1st detector (degree)
DET-A02 =          0.000 / Rotation angle of the 2nd detector (degree)
GAIN =             1.70 / Readout gain
DET-TMP =          156.9 / Nominal detector temperature (Kelvin)

```

```

DET-TAVE=          0.0 / Average detector temperature (Kelvin)
DET-TMAX=          0.0 / Maximum detector temperature (Kelvin)
DET-TMIN=          0.0 / Minimum detector temperature (Kelvin)
DET-TSD =          0.00 / Detector temperature fluctuation (Kelvin)
WEATHER = 'Clear   ' / Weather condition
SEEING  =          0.400 / FWHM of the star observed with Slit Viewer (arc)
NAS-TAVE=          0.00 / Average Nasmyth encl. temp. (Kelvin)
DOM-WND =          0.4 / Wind speed inside dome (m/s)
DOM-TMP =          277.55 / Atmospheric temperature inside dome (Kelvin)
DOM-HUM =          27.0 / Humidity inside dome (hPa)
DOM-PRS =          623.8 / Nominal atmospheric pressure in dome (hPa)
OUT-WND =          6.7 / Wind speed outside dome (m/s)
OUT-TMP =          277.05 / Atmospheric temperature outside dome (Kelvin)
OUT-HUM =          22.4 / Humidity outside dome (hPa)
OUT-PRS =          623.8 / Atmospheric pressure outside dome (hPa)
IMR-TYPE= 'BLUE    ' / Image Rotator (BLUE, RED, NONE)
IMGROT  =          -39.46 / IMR position during exposure (degree)
IMR-STR =          -39.46 / IMR position angle at start (degree)
IMR-END =          -39.46 / IMR position angle at end (degree)
ADC-TYPE= '#       ' / Atm. Disp. Compensator (BLUE,RED,NONE)
ADC     =          0.00 / ADC position during exposure (degree)
ADC-STR =          0.00 / ADC position angle at start (degree)
ADC-END =          0.00 / ADC position angle at end (degree)
DAQ-VER = '1.0.0   ' / Data Aquisition System
INS-VER = 'HDS-1.00/HDS-1.00' / hardware/software version
COMMENT revised on 1 Nov. 1999 by W. Aoki
COMMENT Sample header for HDS revised on 7 July 1998 by W. Aoki
COMMENT Sample header for HDS revised on 6 May 1998 by W. Aoki
COMMENT Sample header for HDS written on 27 November 1997
COMMENT by H.Izumiura, S. Kawanomoto, W. Aoki.
COMMENT Keywords specific to HDS
COMMENT
COMMENT /SLIT
H_S-INCL=          0.00 / Slit inclination angle wrt the horizontal plane
COMMENT /Detector
H_D-UNIT= '1       ' / ID number of the detector unit
H_D-OTHR= 'YES     ' / Use of the other CCD in this mosaic
COMMENT /SHUTTERS
H_SHUTTR= 'OPEN    ' / Entrance shutter (OPEN, CLOSE)
H_HARTMN= 'ALL-OPEN' / Hartmann shutter (U-OPEN,L-OPEN,ALL-OPEN,ALL-CL
COMMENT /COLLIMATOR MIRROR
H_COLLIM= 'RED     ' / Collimator (BLUE, RED)
H_CLPSTN=          0.00 / Collimator position (mm)

```

```

H_CLFOCL=          3396.51 / Collimator focal length (mm)
COMMENT /ECHELLE GRATING
H_ECONST=          31.60 / Ruling pitch (grooves/mm)
H_EBLAZE=          70.30 / Blaze Angle (degree)
H_EEPSRN=          6.00 / Offset Angle of the Incident Beam (degree)
H_EGAMMA=          0.00 / (degree)
H_EROTAN=          0.40070 / Echelle Rotation Angle (degree)
COMMENT /CROSS DISPERSER GRATING
H_CROSSD= 'RED      ' / Cross Disperser (BLUE, RED, MIRROR, NIR)
H_CCONST=          250.000 / Ruling pitch (grooves/mm)
H_CBLAZE=          5.000 / Blaze Angle (degree)
H_CEPSRN=          0.00 / Offset Angle at Blaze Wavelengths (degree)
H_CGAMMA=          45.00 / (degree)
H_CROTAN=          3.95679 / Cross Disperser Rotation Angle (degree)
COMMENT /CAMERA
H_CMRFL =          770.85 / Camera focal length (mm)
COMMENT /Detector Focusing Unit
H_FOCUS =          0.64999 / Focusing unit position (mm)
H_PITCH =          -0.00000 / Focusing unit pitching angle (degree)
H_YAWING=          -0.00000 / Focusing unit yawing angle (degree)
H_DETROT=          -0.99986 / Rotation angle of the detector unit (degree)
COMMENT /I2Cell and Light Monitor
H_I2CELL= 'NOUSE   ' / I2 Cell Mode (USE/NOUSE)
H_LM     = 'NOUSE   '
H_I2TEMP=          0.0
H_LMINTG=          0.0
H_I2POS = 'UNKNOWN '
H_LMPOS = 'UNKNOWN '
H_ETMP1 =          2.4 / Nasmyth Temperature 1 (Kelvin)
H_ETMP2 =          2.3 / Nasmyth Temperature 2 (Kelvin)
H_SUPER = 'NONE    ' / Super Resolution Mode (POS1, POS2, NONE)
COMMENT /Auto Guider (offset guider)
H_AG-OBJ= '      '
H_AG-ORA= '      ' / RA of the guide object
H_AG-ODE= '      ' / Dec of the guide object
H_AG-RA = '      ' / RA of the tracked pos. on the slit guide pos.
H_AG-DEC= '      ' / Dec of the tracked pos. on the slit guide pos.
H_GAIN1 =          1.628 / Readout gain of left (smaller X) side of CCD
H_GAIN2 =          1.615 / Readout gain of right (larger X) side of CCD
H_OSMIN1=          1025 / Start of overscan region for AXIS1
H_OSMAX1=          1124 / End of overscan region for AXIS1
H_OSMIN2=          1 / Start of overscan region for AXIS2
H_OSMAX2=          4100 / End of overscan region for AXIS2

```

HISTORY File modified by user 'hdsuser' with fv on 2000-07-11T04:42:41
 END

Header unit of ASCII extension table

```
XTENSION= 'TABLE'      / ASCII table extension
BITPIX   =              8 / 8-bit ASCII characters
NAXIS    =              2 / 2-dimensional ASCII table
NAXIS1   =             72 / width of table in characters
NAXIS2   =             23 / number of rows in table
PCOUNT   =              0 / no group parameters (required keyword)
GCOUNT   =              1 / one data group (required keyword)
TFIELDS  =             12 / number of fields in each row
TTYPER1  = 'ORDER'     / label for field 1
TBCOL1   =              1 / beginning column of field 1
TFORM1   = 'I3'        / Fortran-77 format of field
TUNIT1   = ' '         / physical unit of field
TTYPER2  = 'X-MIN'     / label for field 2
TBCOL2   =              5 / beginning column of field 2
TFORM2   = 'I4'        / Fortran-77 format of field
TUNIT2   = 'PIXEL'     / physical unit of field
TTYPER3  = 'Y-MIN'     / label for field 3
TBCOL3   =             10 / beginning column of field 3
TFORM3   = 'I4'        / Fortran-77 format of field
TUNIT3   = 'PIXEL'     / physical unit of field
TTYPER4  = 'WL-MIN'    / label for field 4
TBCOL4   =             15 / beginning column of field 4
TFORM4   = 'F8.3'      / Fortran-77 format of field
TUNIT4   = 'nm'        / physical unit of field
TTYPER5  = 'X-CEN'     / label for field 5
TBCOL5   =             24 / beginning column of field 5
TFORM5   = 'I4'        / Fortran-77 format of field
TUNIT5   = 'PIXEL'     / physical unit of field
TTYPER6  = 'Y-CEN'     / label for field 6
TBCOL6   =             29 / beginning column of field 6
TFORM6   = 'I4'        / Fortran-77 format of field
TUNIT6   = 'PIXEL'     / physical unit of field
TTYPER7  = 'WL-CEN'    / label for field 7
TBCOL7   =             34 / beginning column of field 7
TFORM7   = 'F8.3'      / Fortran-77 format of field
TUNIT7   = 'nm'        / physical unit of field
```



```

TTYPER8 = 'X-MAX'      / label for field 8
TBCOL8 =                43 / beginning column of field 8
TFORM8 = 'I4'         / Fortran-77 format of field
TUNIT8 = 'PIXEL'     / physical unit of field
TTYPER9 = 'Y-MAX'      / label for field 9
TBCOL9 =                48 / beginning column of field 9
TFORM9 = 'I4'         / Fortran-77 format of field
TUNIT9 = 'PIXEL'     / physical unit of field
TTYPER10 = 'WL-MAX'   / label for field 10
TBCOL10 =              53 / beginning column of field 10
TFORM10 = 'F8.3'     / Fortran-77 format of field
TUNIT10 = 'nm'       / physical unit of field
TTYPER11 = 'SLIT INCLINATION' / label for field 11
TBCOL11 =              62 / beginning column of field 11
TFORM11 = 'F5.3'     / Fortran-77 format of field
TUNIT11 = 'degree'   / physical unit of field
TTYPER12 = 'DISPERSION' / label for field 12
TBCOL12 =              68 / beginning column of field 12
TFORM12 = 'F5.3'     / Fortran-77 format of field
TUNIT12 = 'nm/PIXEL' / physical unit of field
EXTNAME = 'HDS_ASCII' / name of this ASCII table extension

```

END

Data unit of ASCII extension table

ORDER	X-MIN	Y-MIN	WL-MIN	X-CEN	Y-CEN	WL-CEN	X-MAX	Y-MAX	WL-MAX	SLIT INCLINATION	DISPERSION
I3	I4	I4	F8.3	I4	I4	F8.3	I4	I4	F8.3	F5.3	F5.3
	PIXEL	PIXEL	nm	PIXEL	PIXEL	nm	PIXEL	PIXEL	nm	degree	nm/PIXEL
96	70	4096	617.121	176	2048	620.876	281	1	624.630	0.000	0.002
97	168	4096	610.759	273	2048	614.475	378	1	618.191	0.000	0.002
98	263	4096	604.527	368	2048	608.205	472	1	611.883	0.000	0.002
99	357	4096	598.421	461	2048	602.061	565	1	605.702	0.000	0.002
100	449	4096	592.437	552	2048	596.041	656	1	599.645	0.000	0.002
101	539	4096	586.571	642	2048	590.139	745	1	593.708	0.000	0.002
102	627	4096	580.820	730	2048	584.354	832	1	587.887	0.000	0.002
103	714	4096	575.181	816	2048	578.680	917	1	582.180	0.000	0.002
104	799	4096	569.651	900	2048	573.116	1001	1	576.582	0.000	0.002
105	882	4096	564.225	983	2048	567.658	1084	1	571.091	0.000	0.002
106	964	4096	558.902	1064	2048	562.303	1164	1	565.703	0.000	0.002
107	1144	4096	553.679	1244	2048	557.047	1344	1	560.416	0.000	0.002
108	1223	4096	548.552	1322	2048	551.890	1421	1	555.227	0.000	0.002
109	1300	4096	543.520	1399	2048	546.826	1498	1	550.133	0.000	0.002
110	1376	4096	538.579	1474	2048	541.855	1573	1	545.132	0.000	0.002
111	1450	4096	533.727	1548	2048	536.974	1646	1	540.221	0.000	0.002
112	1524	4096	528.961	1621	2048	532.179	1718	1	535.397	0.000	0.002
113	1595	4096	524.280	1692	2048	527.470	1789	1	530.659	0.000	0.002
114	1666	4096	519.681	1763	2048	522.843	1859	1	526.004	0.000	0.002
115	1735	4096	515.162	1832	2048	518.296	1928	1	521.430	0.000	0.002
116	1804	4096	510.721	1899	2048	513.828	1995	1	516.935	0.000	0.002
117	1871	4096	506.356	1966	2048	509.437	2061	1	512.517	0.000	0.002
118	1937	4096	502.065	2031	2048	505.119	2126	1	508.174	0.000	0.001