

すばる春の学校2010
2010.5.31.

データ解析概論

2. 可視（高分散）分光

国立天文台
青木和光

データ解析概論

2. 可視（高分散）分光

- 分光観測から何がわかるか
- 分光観測にもとめられる要素
- 分光データ処理の実際
- 高分散分光器での観測の実際

参考書

- 家正則ほか、2007年
シリーズ現代の天文学 15
宇宙の観測 I - 光・赤外天文学
- D. Gray, 2005
The observation and analysis of stellar photospheres

分光観測から何がわかるか

- 連続光の観測
放射機構、温度...
- スペクトル線の観測
速度情報
 ← 波長シフト、プロファイル
吸収線 / 輝線の強度
 → 組成、イオン化 / 励起状態

連続光の観測（例）

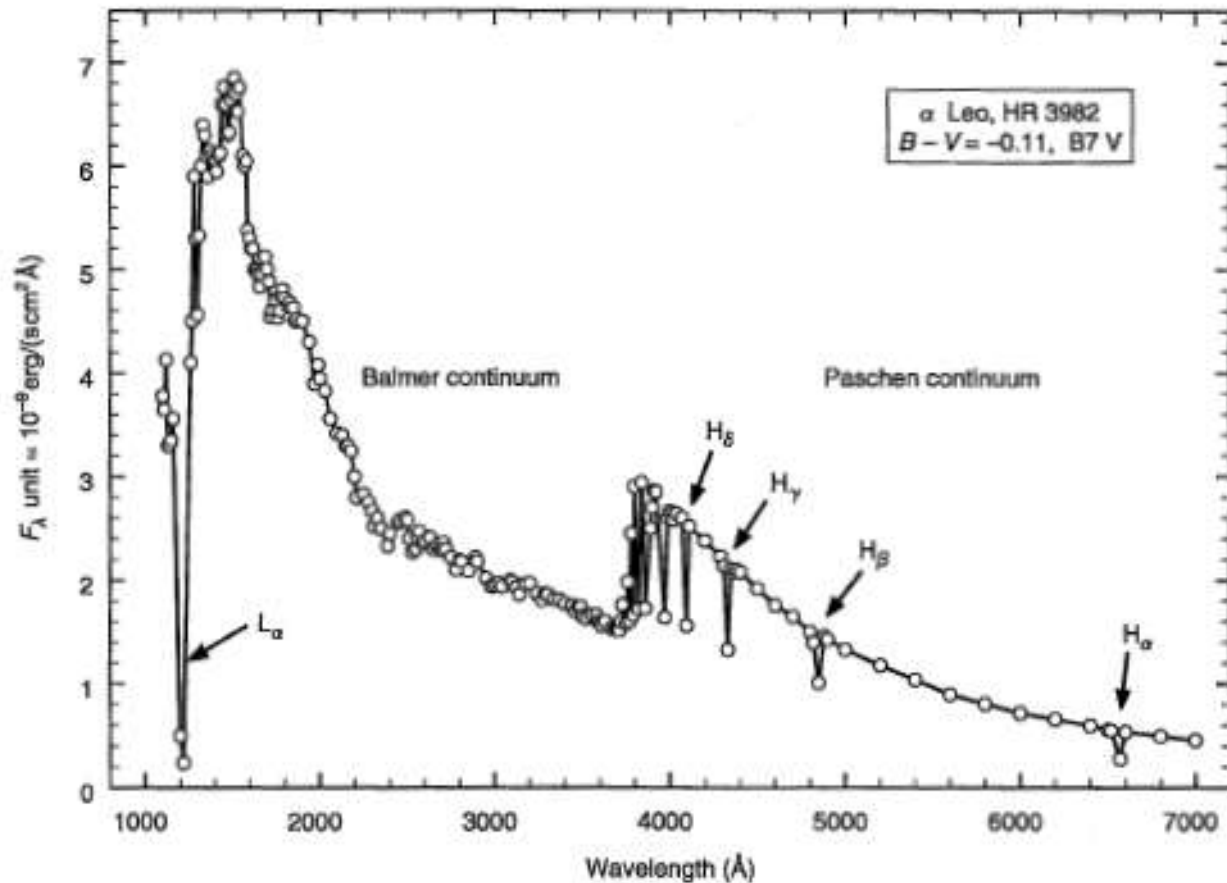
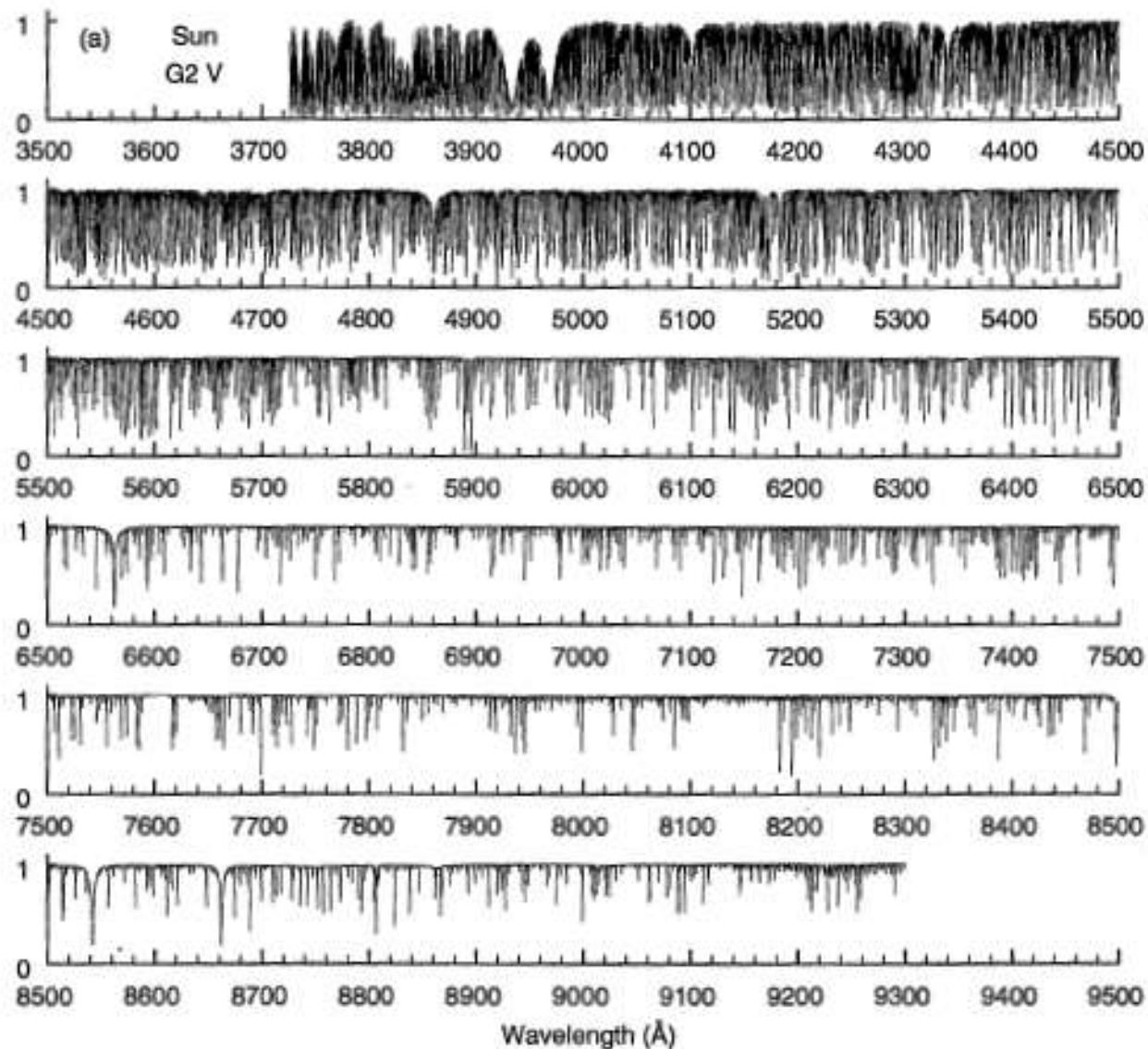


Fig. 10.7. The energy distribution of α Leo is strongest in the ultraviolet, and this portion of the spectrum is therefore very valuable in modeling the star. Even with low resolution, the hydrogen lines are prominent. Data from Code *et al.* (1976).

スペクトル線の観測（例）

太陽の吸収線スペクトル



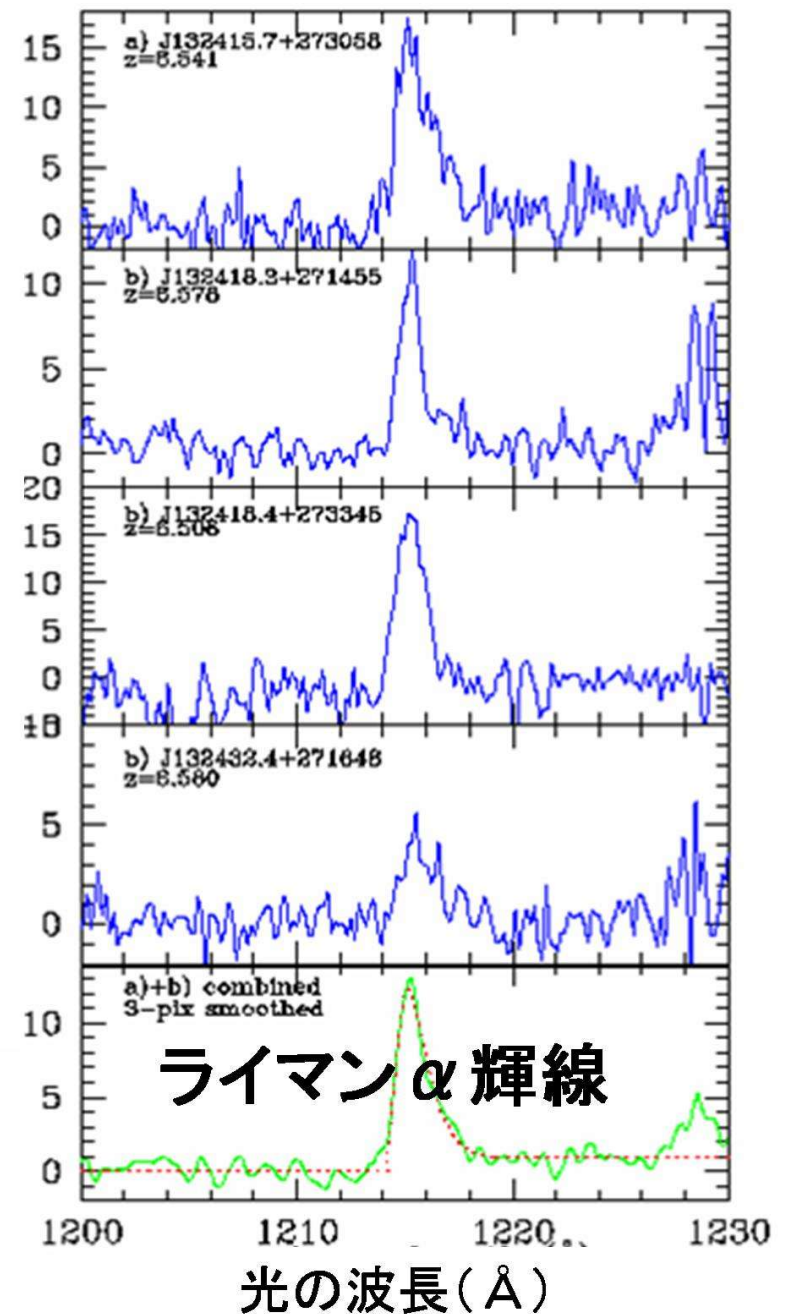
(Gray 2005)

スペクトル線の観測 (例)

赤方偏移の測定

FOCASによる
スペクトル

フラックス密度



スペクトル線の観測（例）

AGNからの輝線の強度比

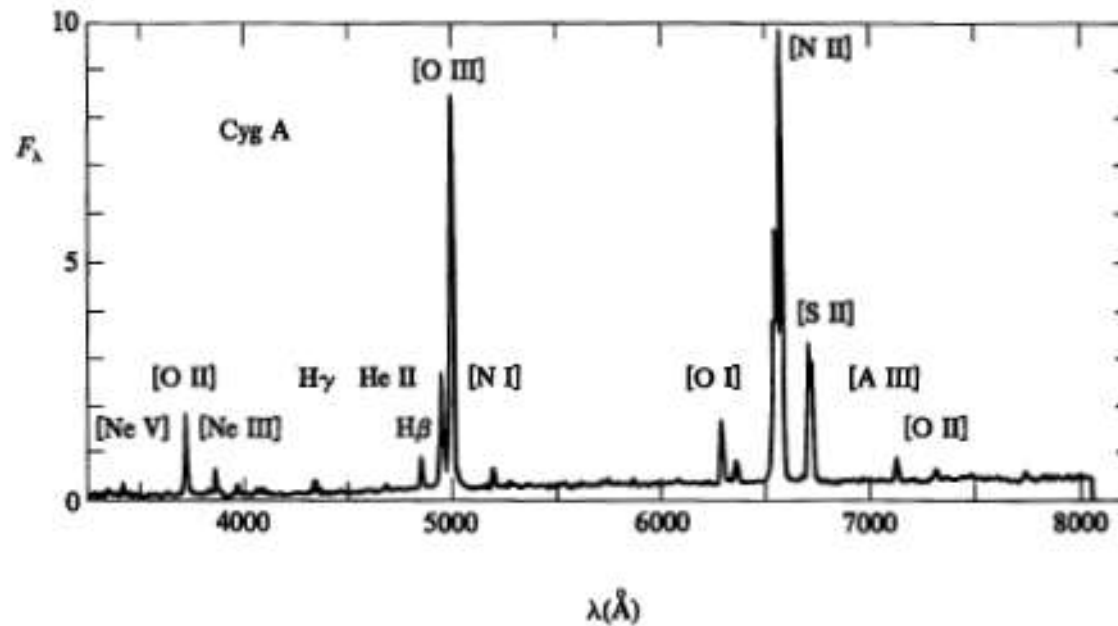


FIGURE 11.5

Spectral scan of 3C 405 = Cyg A, a narrow-line radio galaxy. Axes as in Figure 11.4.

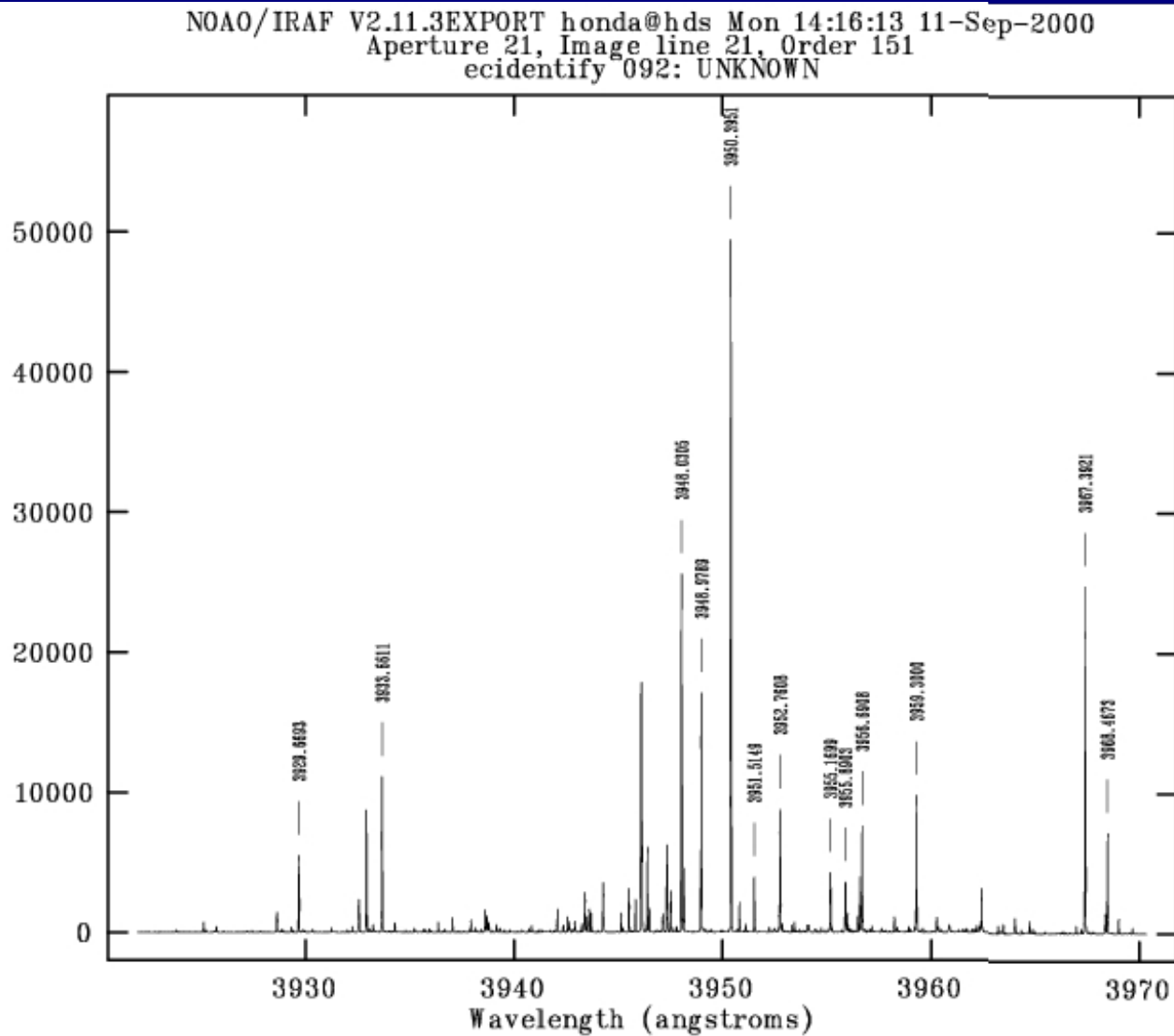
観測／解析で求められる要素

	連続光	速度情報	強度情報
波長分解能	低	中- 高	中- 高
波長決定精度	低	重要	低
フラックス校正	重要	低	場合による

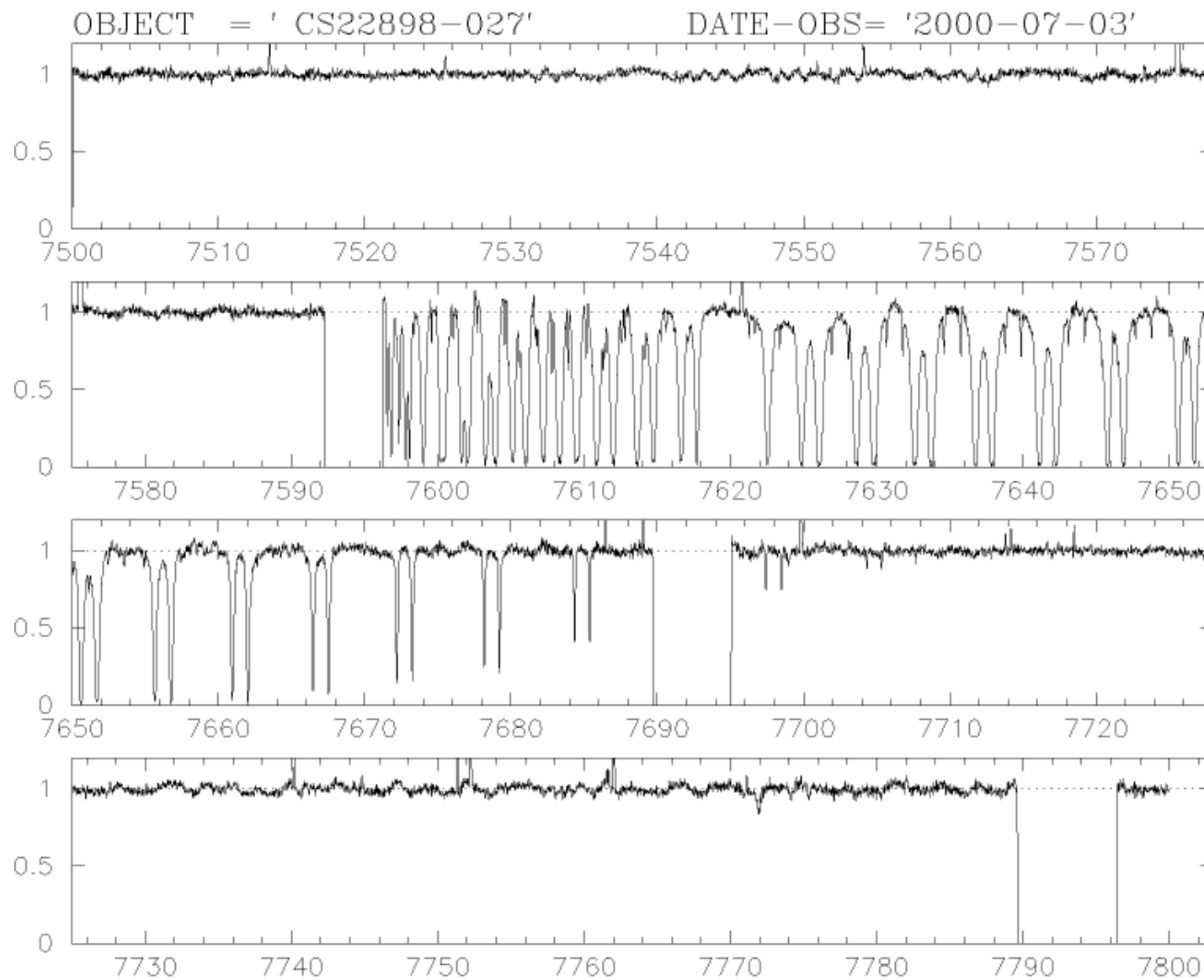
速度情報を得るには： 波長較正の手法と精度

- 分光器を天体観測と同じ設定にして比較光源を「観測」
(例) Th-Arランプ
- 大気の輝線／吸収線を利用
(例) OH夜光、酸素の吸収線
- ガスフィルターを通して観測
(例) 沃素ガスのセル

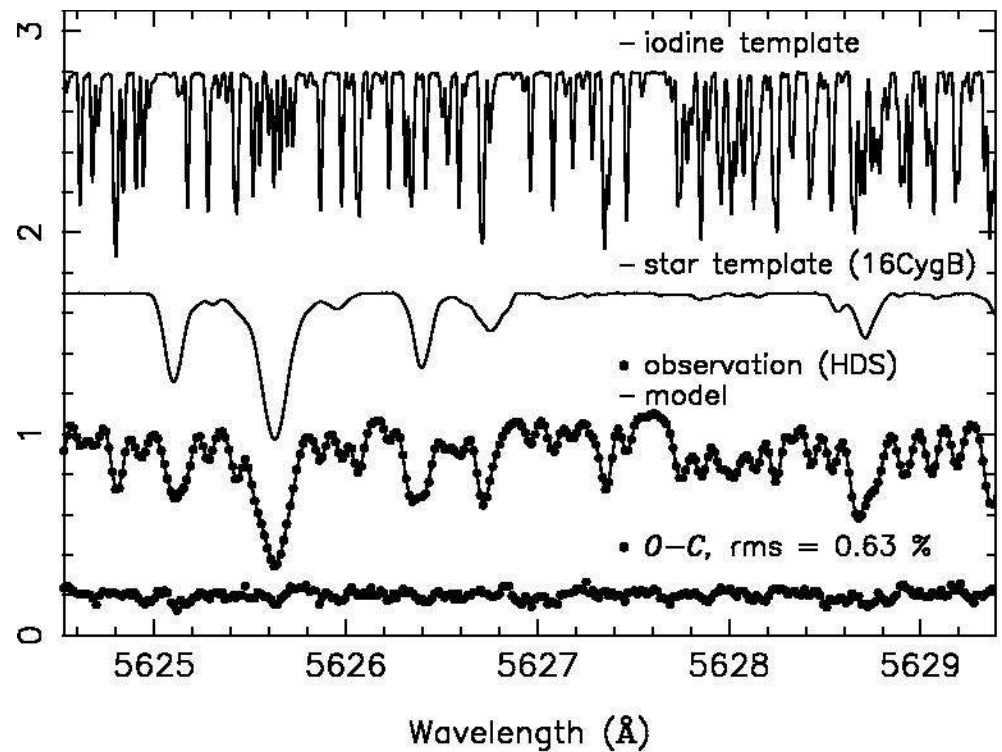
比較光源 (Th-Ar) のスペクトル



大気吸収線（バンド）の例



ガスフィルターを用いた 較正用スペクトルの取得



スペクトル線の強度測定

- 輝線強度の測定

- 一般にフラックス校正が必要

- フラックス密度が既知の「分光標準星」の観測により校正

- 輝線強度比の測定

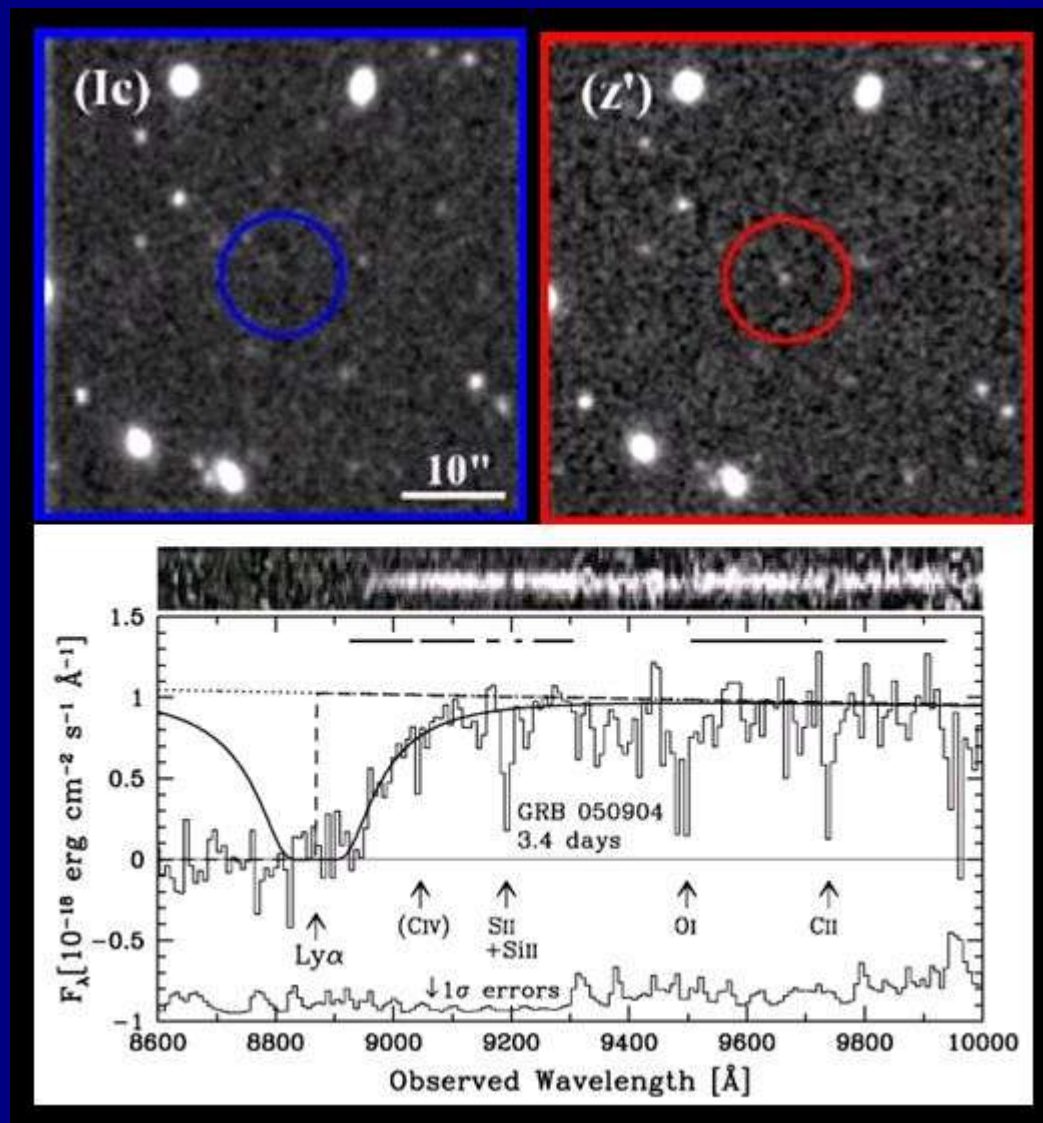
- フラックス校正は必ずしも必要でないが、装置の特性は理解しておく必要がある

- 吸収線の測定

- 連続光成分で「規格化」を行うことが多い

- 吸収の量を「等価幅」で表すことも多い

フラックス較正を行った例



吸収線測定と等価幅

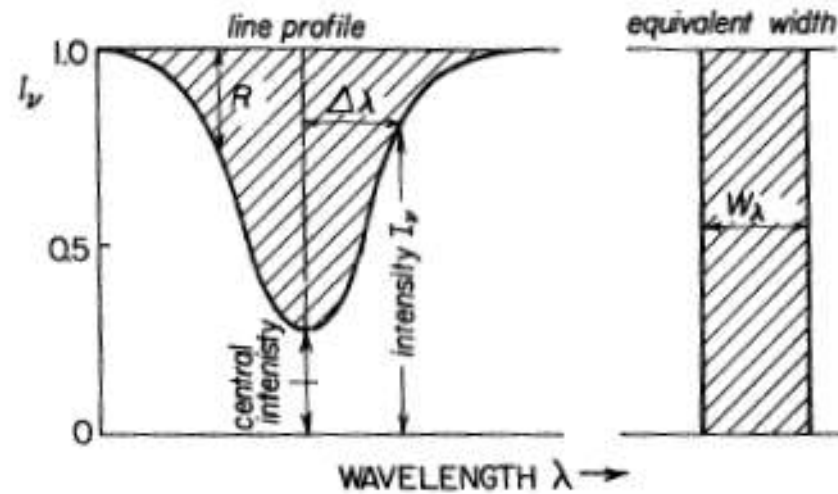


Fig. 3.4. Definition of equivalent width.

必要な波長分解能とは？

$$R = \lambda / \delta\lambda = c / \delta\nu$$

- 自然幅：たいへん小さい
- 熱運動、乱流などによる線幅
 - 星間物質の吸収 → $R > 100,000$
 - 星の大気で最低数km/s → $R = 50,000 - 100,000$
- 星の運動によるひろがり → $R = 1000 - 10,000$
 - 星の自転：「高速自転星」では数百km/s
 - 銀河回転：数十--数百km/s

分光データ処理の実際

- CCDデータ一般の処理

バイアスデータ、宇宙線ノイズ、ダーク

- フラットフィールドディンク

感度に波長依存性がある可能性があるので、連続光を放つ人工光源（ハロゲンランプなど）を分光器を通して「観測」したデータを用いる

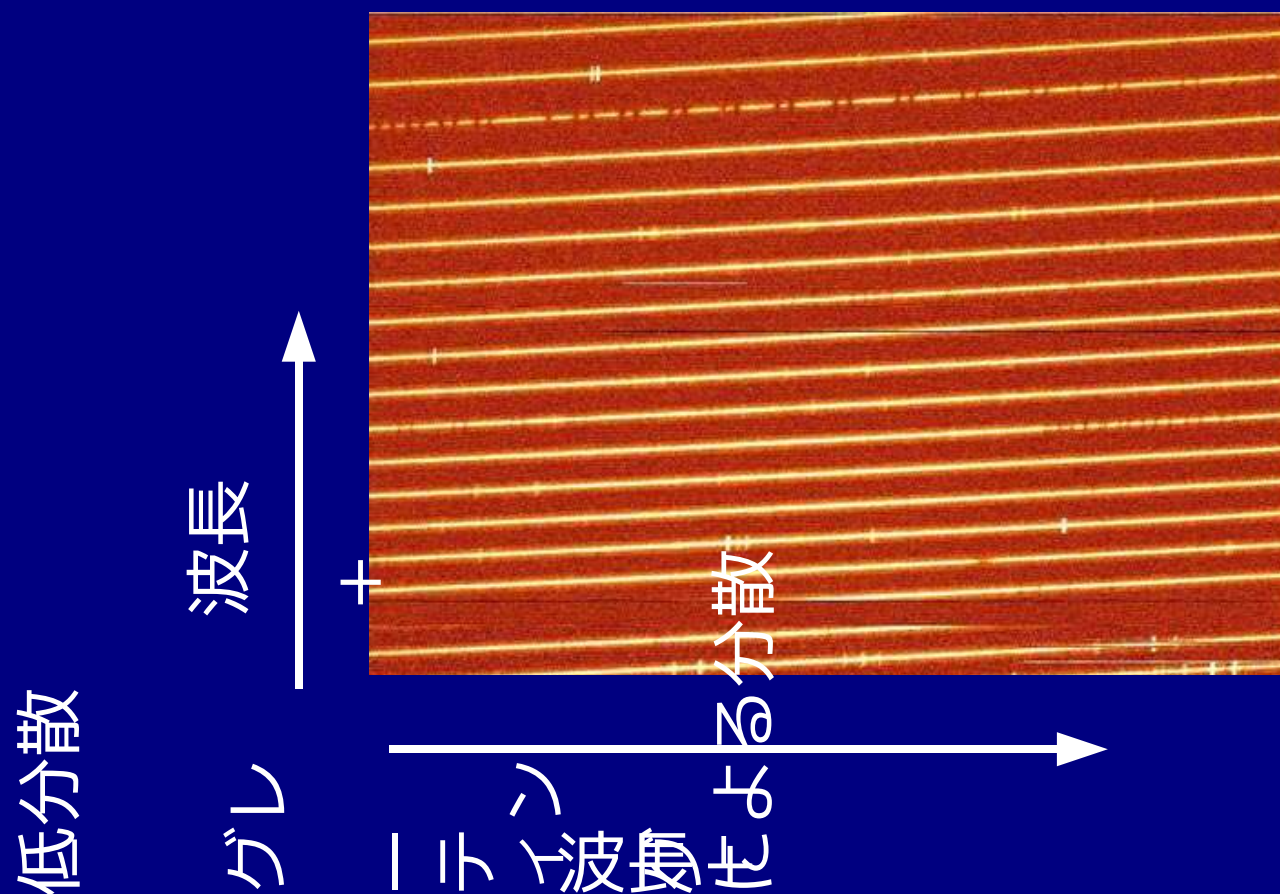
- 点光源の場合

- スペクトルの「抽出」。スリット長方向のデータは足し合わせてしまう
- 波長較正

- ひろがった天体で、位置情報を保持したい場合

- スリット像上の各点で波長較正
- 各点でスペクトルの「抽出」

<参考> エシエルスペクトルデータ

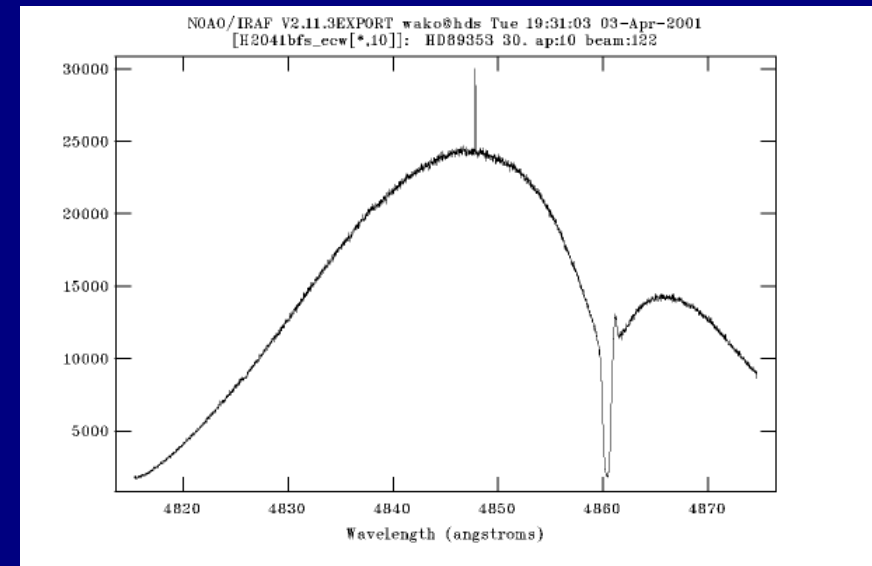
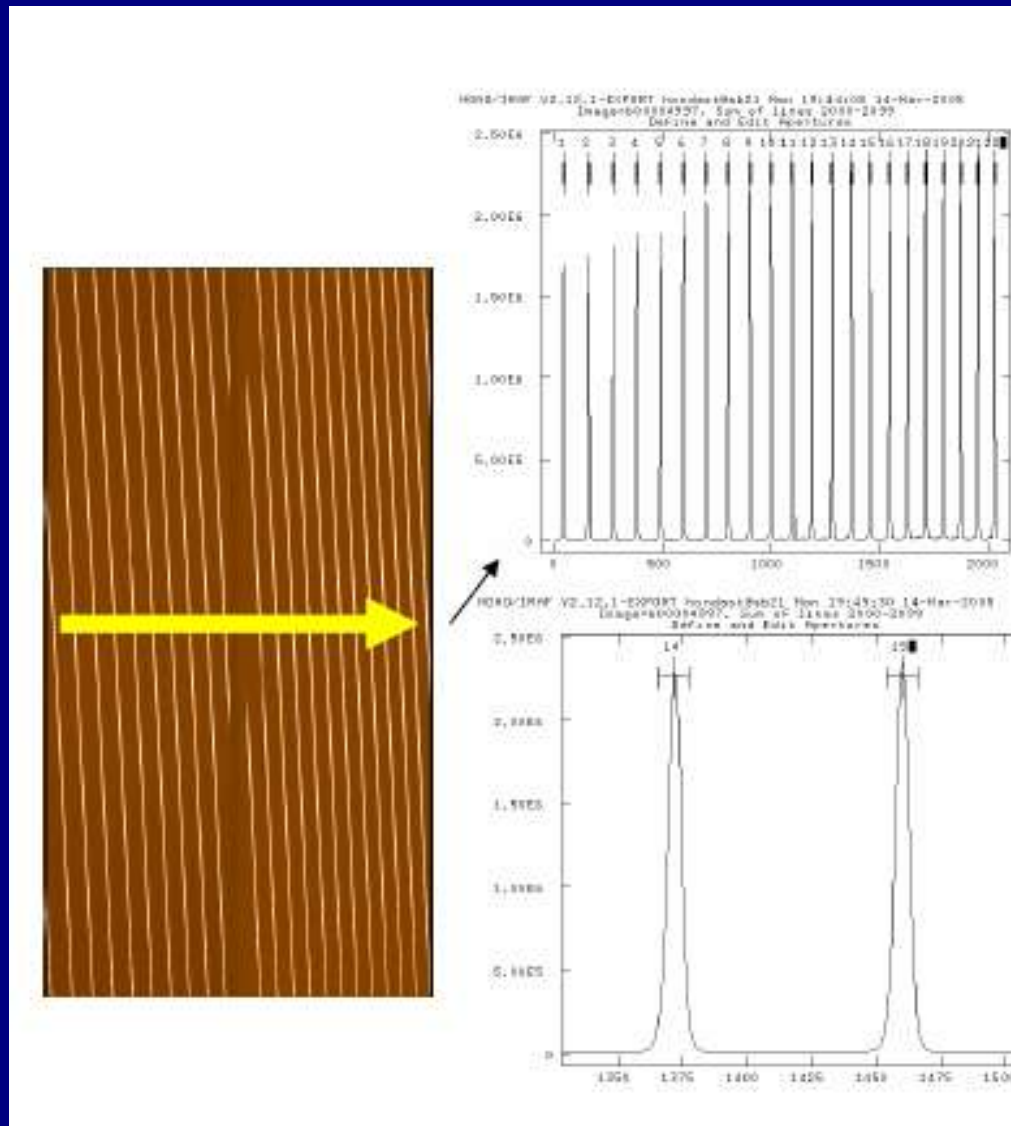


エシエルグレーティングによる（主）分散

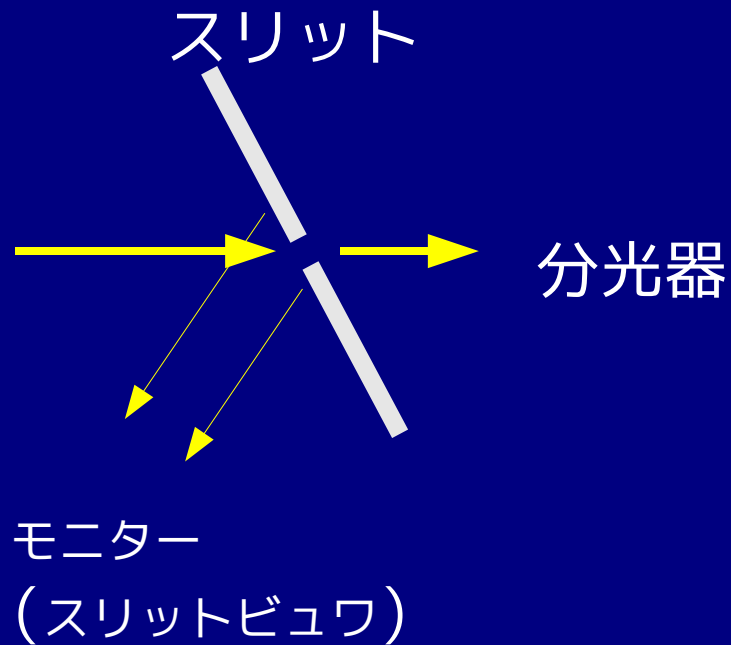
フラットデータの例 (エシエル分光器の場合)



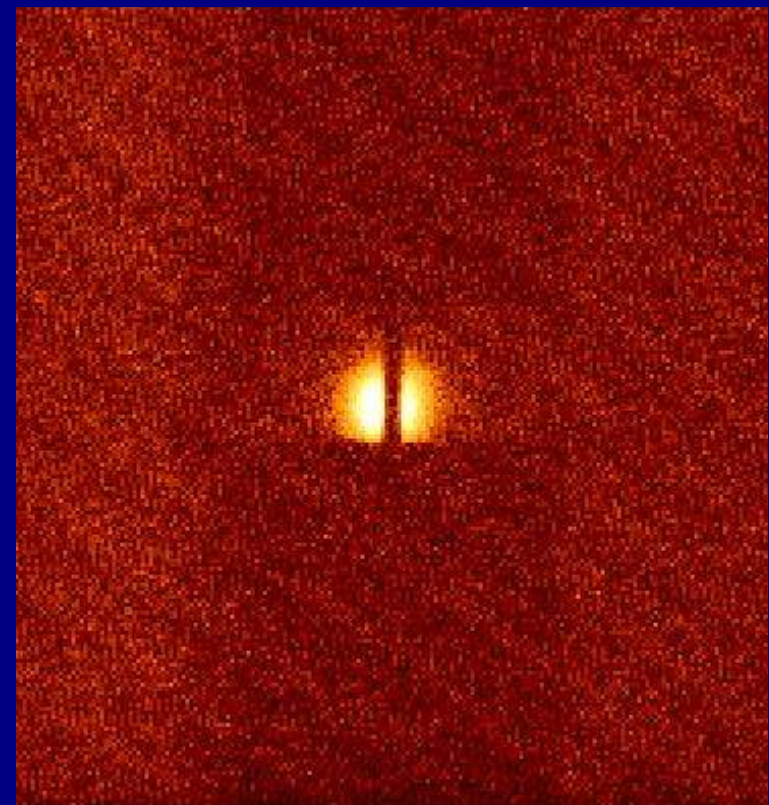
点光源のスペクトルの抽出



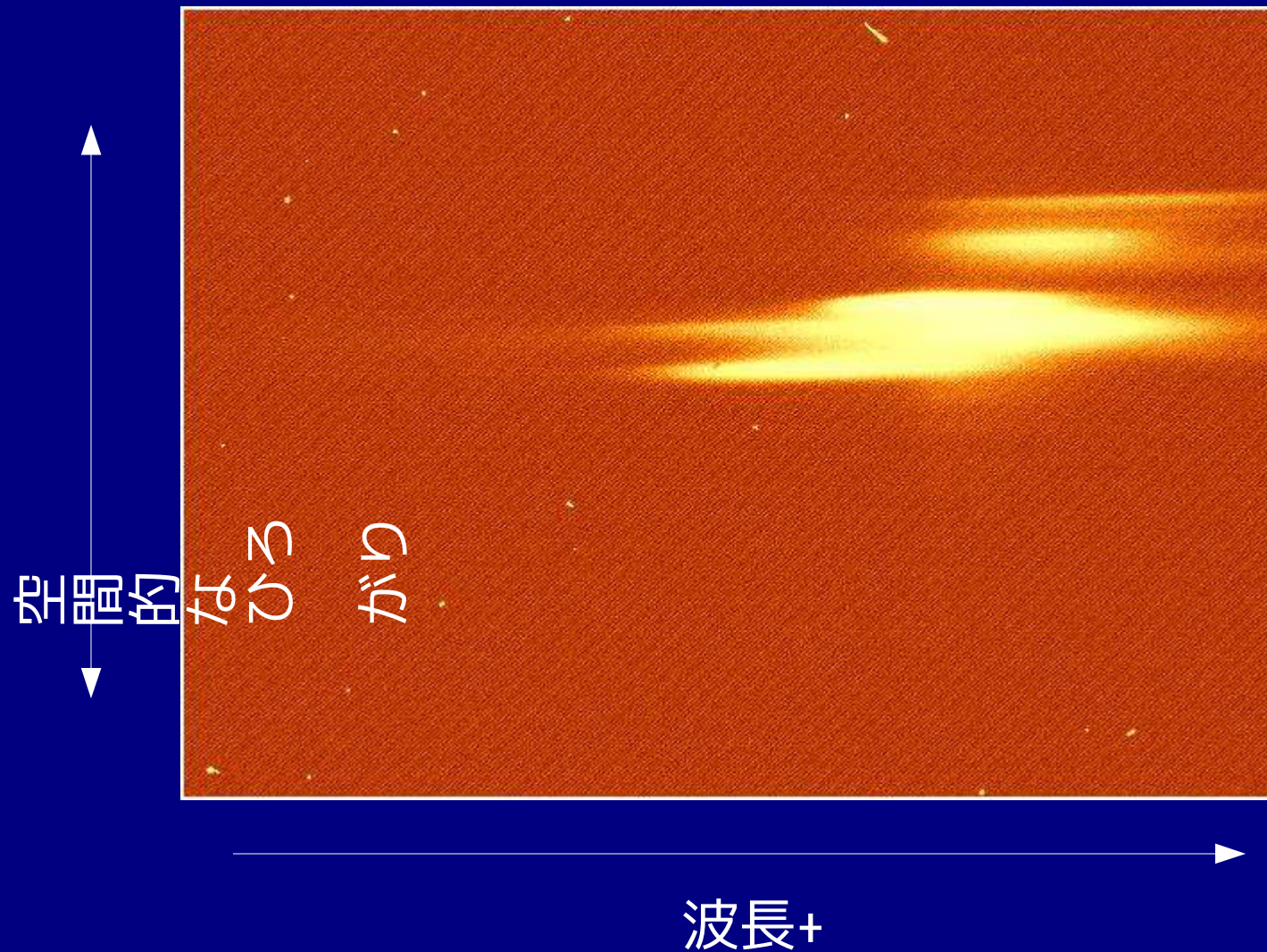
望遠鏡から分光器に光を導く仕組み



スリットビューワの画像



ひろがった天体のスペクトルの抽出



ひろがった天体のスペクトル

位置・速度図(Position Velocity diagram)

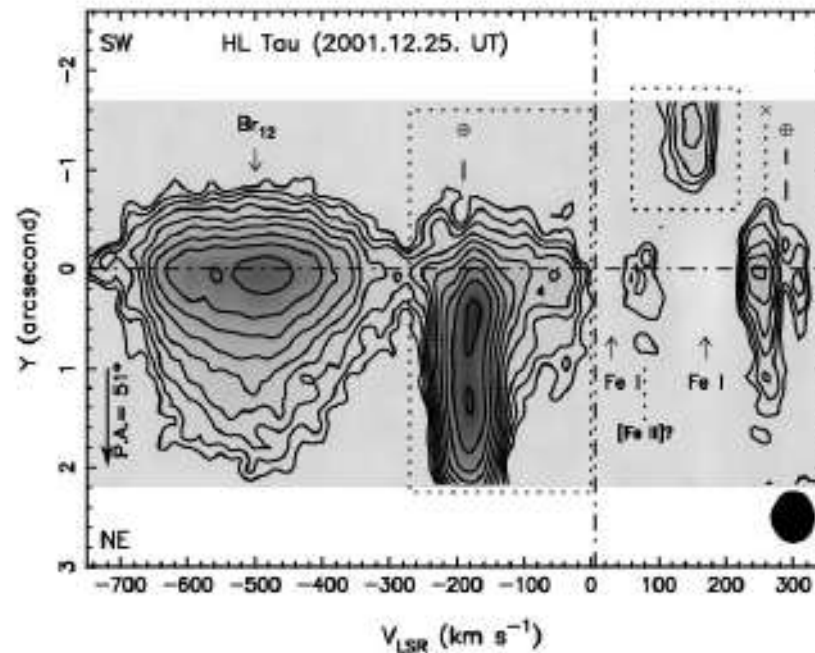
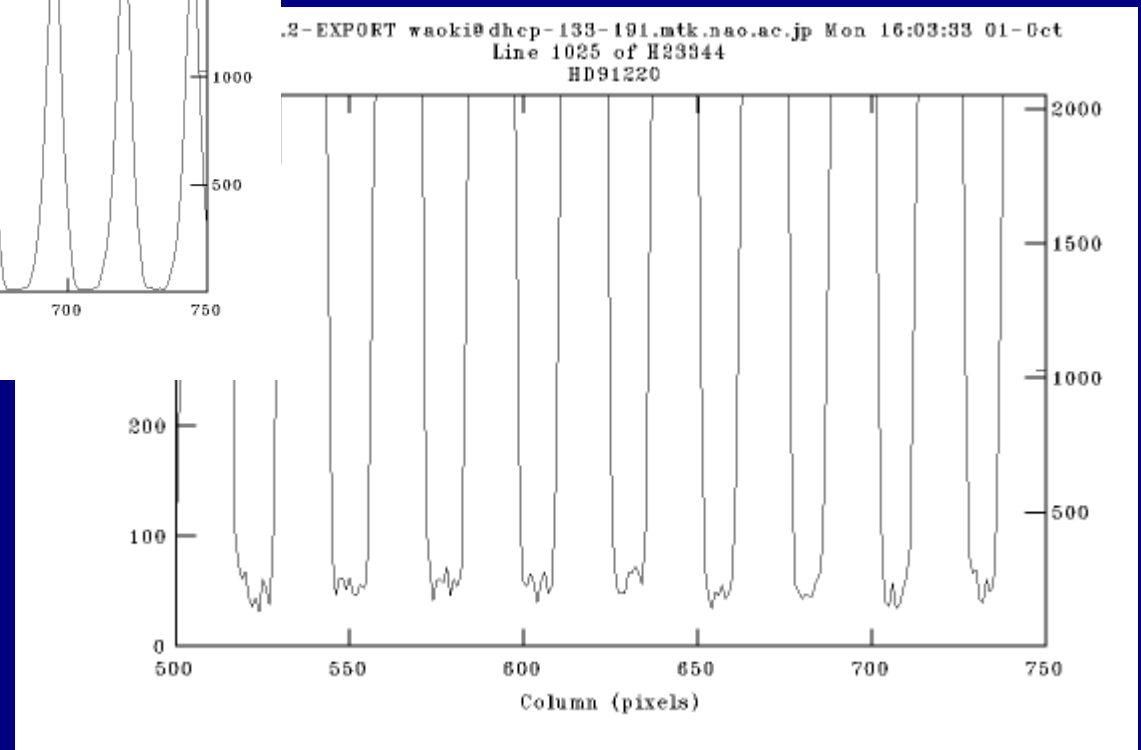
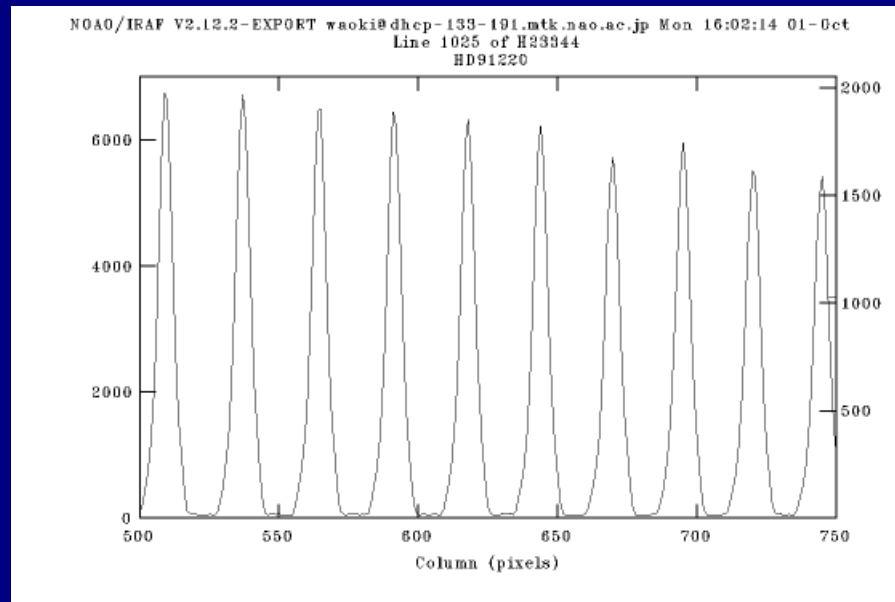


FIG. 2.—Continuum-subtracted PVD of the [Fe II] $\lambda 1.644 \mu\text{m}$ emission toward the jet from HL Tau. The data were smoothed by a Gaussian with $\sigma_G = 1.1$ pixels. Contours are shown from 0.01 ($\sim 3 \sigma$) to $0.22 (\sim 73 \sigma) \times 10^{-18} \text{ W m}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$ with equal intervals in a logarithmic scale. The axis Y is along the slit with a position angle of 51° . The region with positive Y corresponds to the northeast of HL Tau. The [Fe II] emission features are indicated by dotted line boxes. The dash-dotted vertical line indicates the systemic velocity at $V_{\text{LSR}} \sim +6.4 \text{ km s}^{-1}$ (Hayashi et al. 1993). The dash-dotted horizontal line indicates the position of the continuum peak corresponding to the stellar position of HL Tau. The strong and extended emission at $V_{\text{LSR}} < -280 \text{ km s}^{-1}$ is the Br I 2 emission. Photospheric Fe I lines are indicated by arrows and telluric lines are shown by crossed circles. Non-[Fe II] emission is marked by a cross. The filled ellipse at the lower right shows the velocity and spatial resolutions of 60 km s^{-1} and $0.5''$, respectively.

Pyo et al. (2006)

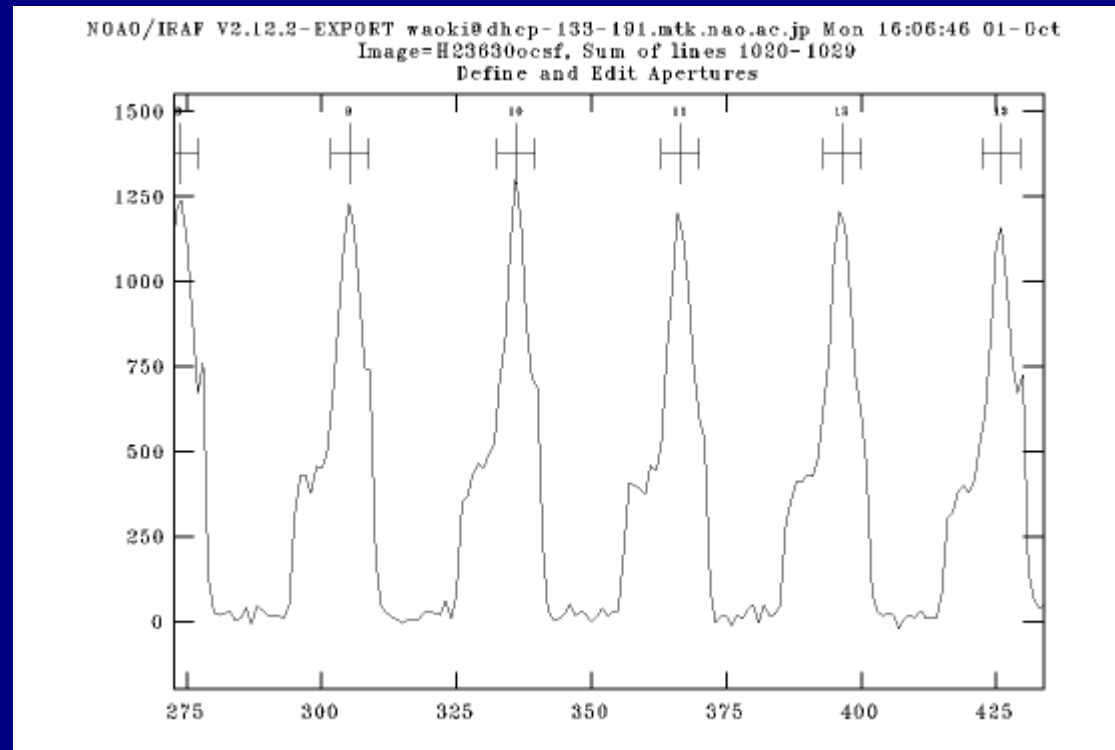
その他の問題

- 散乱光の除去



その他の問題（２）

- 背景光（スカイ）、夜光の除去



高分散分光器での観測手順（例）

観測開始前

バイアスデータ、フラットデータ、波長較正用データ取得

観測開始時

明るい星（標準星など）で望遠鏡、制御等のテスト
空が十分暗くなるまでは明るい天体の観測

観測中

目的天体の観測の間に、必要に応じて標準星、波長較正用データを取得

観測終了時

空が明るくなってきたら明るい天体の観測
必要に応じてフラットやバイアスデータ取得

高分散分光器での観測手順（例）： すばるの観測者は何をするか？

- 天候等を考慮して観測実施内容を決定
- 取得されたデータを（簡易）処理し、質を評価
→ 同一天体の観測を継続 or 終了／中止を決定
- 必要なキャリブレーションデータの取得