

## 実習【ハッブルの法則】（銀河までの距離）

教師用ガイド

### ■ねらい

実習【ハッブルの法則】（ハッブル定数・宇宙年齢の決定）で決定したハッブル定数を利用し、銀河までの距離を求める。

### ■前提とする知識

実習【ハッブルの法則】（ハッブルの定数・宇宙年齢の決定）あるいは他の教材でハッブルの法則を理解していること。他の教材を使用している場合はハッブル定数を決定しておく。

参考 研究論文の  $H_0$  は以下の値が公表されている

HST Key Project : (2001)  $H_0=(72\pm 8)$  km/s · Mpc

WMAP : (2005)  $H_0=(71\pm 4)$  km/s · Mpc

WMAP+ $\alpha$  : (2008)  $H_0=(70.5\pm 1.3)$  km/s · Mpc

HST : Hubble Space Telescope

WMAP : Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

### 光のドップラー効果

光のドップラー方程式については、高等学校の教育課程から削除されているが、必要に応じ指導することで対応する。

※ 新指導要領の高等学校理科の解説には、課題研究の中に「すばるのデータを用いた距離はしご」の例があり、導入も可能と思われる。(次の式は  $v \ll c$  の時にのみ有効)

$$v = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$c$  : 光速  $v$  : 光源の速度

$\lambda_0$  : 基本波長 ( $H\alpha = 656.3\text{nm}$ )

$\lambda$  : 移動している光源の  $\lambda_0$  に対する波長

※ 光の波長については、データによって  $\text{\AA}$  (オングストローム) を使用しているものもあるが、ここでは  $\text{nm}$  を使用した。  $1 \text{ nm} = 10 \text{ \AA}$

※ この教材での基本波長は原則として [ $H\alpha = 656.3\text{nm}$ ] を用いる

### ■必要とするデータ

距離測定銀河データセット……… 銀河の距離を求めさせるセット

■授業展開

1. さまざまな銀河の距離を求める。

自分が求めたハッブル定数を使い、東広島天文台で観測された銀河と美星天文台で観測されたクウェーサー3C273の距離を求める。

(取り組める時間を見ながら自由に選択させるとよい)

【参考】

galaxy	データセット	距離(Mpc)	備考
Mrk3	距離測定用	56.0	独自観測(東広島天文台)
NGC3393	距離測定用	56.8	独自観測(東広島天文台)
Mrk1	距離測定用	62.3	独自観測(東広島天文台)
NGC7469	距離測定用	62.7	独自観測(東広島天文台)
Mrk6	距離測定用	78.4	独自観測(東広島天文台)
Mrk590	距離測定用	107.0	独自観測(東広島天文台)
NGC7603	距離測定用	118.9	独自観測(東広島天文台)
Mrk10	距離測定用	124.0	独自観測(東広島天文台)
3C120	距離測定用	138.2	独自観測(東広島天文台)
NGC985	距離測定用	180.0	独自観測(東広島天文台)
Mrk376	距離測定用	241.6	独自観測(東広島天文台)
3C59	距離測定用	484.9	独自観測(東広島天文台)
3C273	距離測定用	734.6	独自観測(美星天文台)(クウェーサー)

※ 上記データの参考距離については NED の Cosmology-Corrected Quantities の値で、各天体の Z の値と仮定された  $H_0$  の値から求められた数値である。

注 クウェーサーとは

非常に遠方にあるにもかかわらず、われわれの銀河の百倍以上の莫大なエネルギーを放出しているため明るく見える「準恒星状天体」で、非常に明るい銀河の中心核といわれている。3C273 はその中で最初に発見されたクウェーサーである。

参考教材

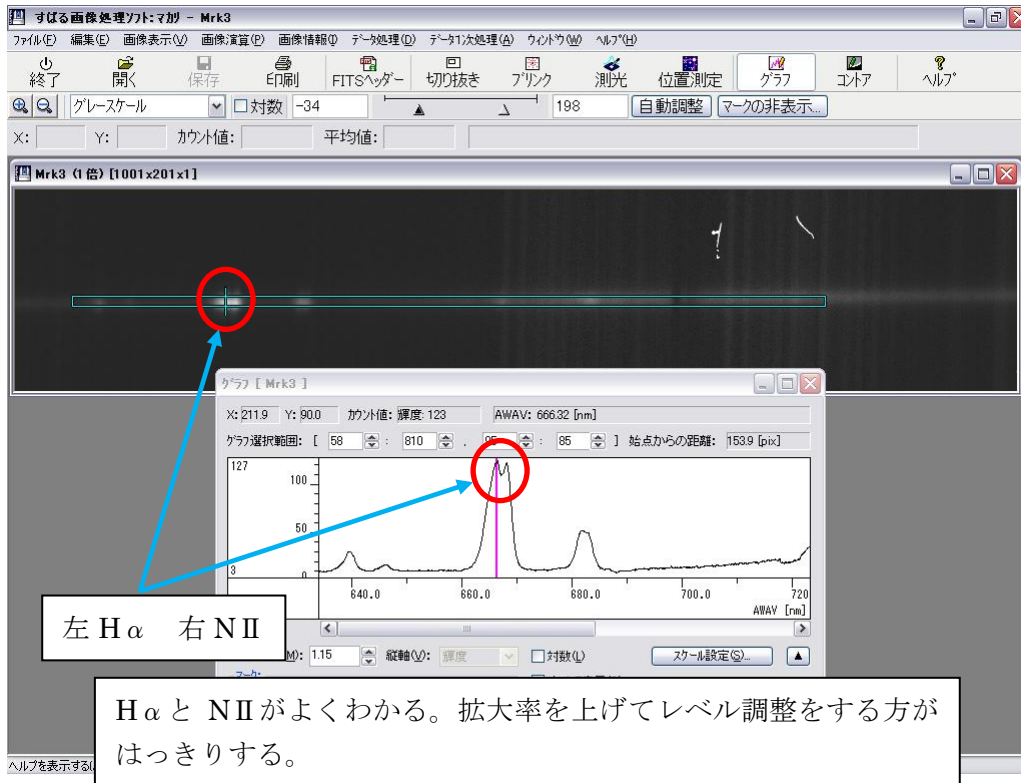
Sky Server (日本語) (<http://skyserver.sdss.org/edr/jp/>)

ワシントン大学 The Hubble Law: An Introductory Astronomy Lab (英語)

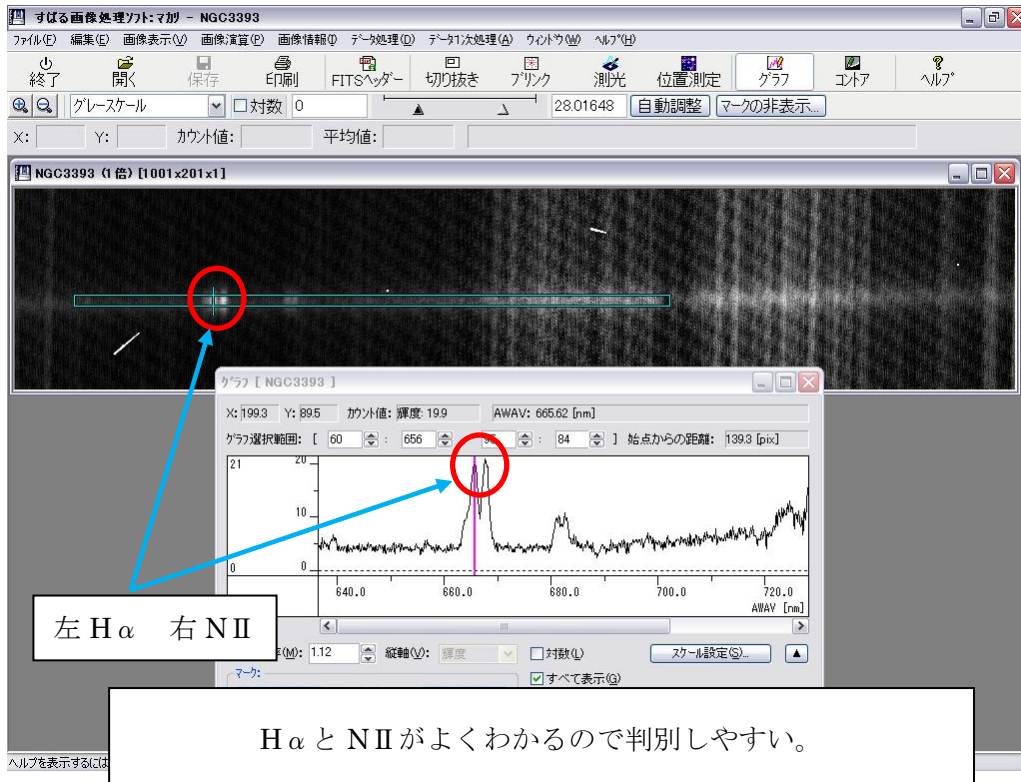
(<http://www.astro.washington.edu/labs/hubblelaw/hubbltitle.html>)

☆ 各銀河の  $H\alpha$ 、 $NII$

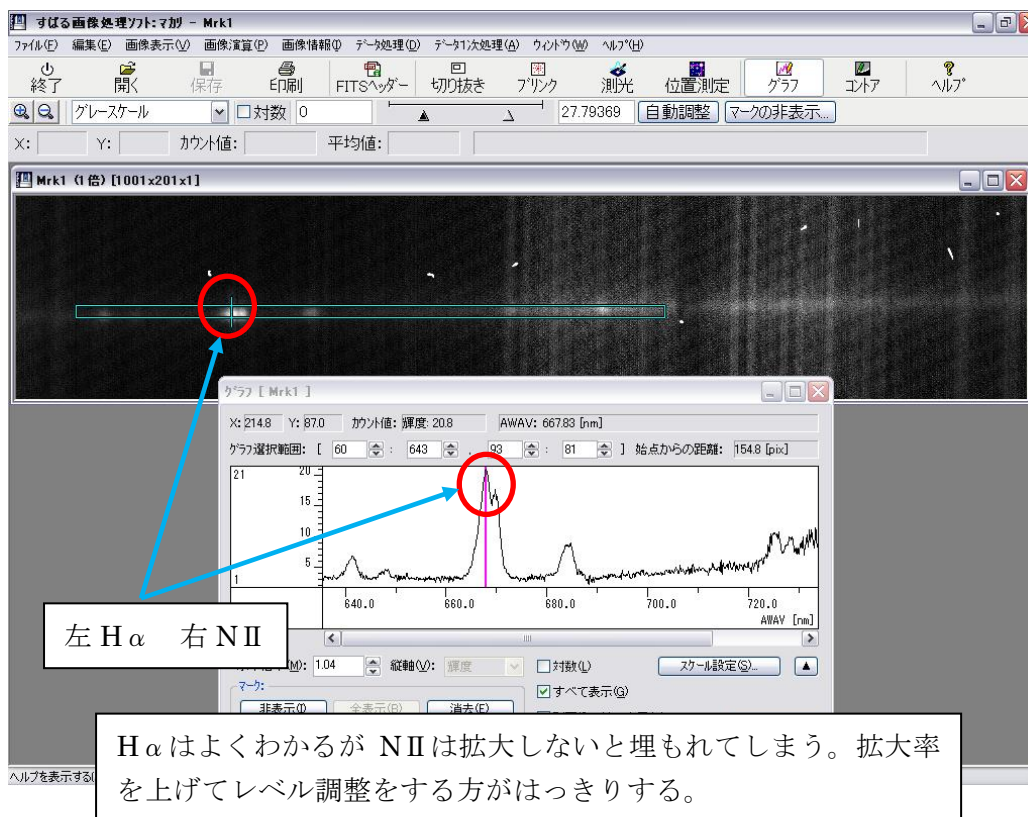
Mrk3



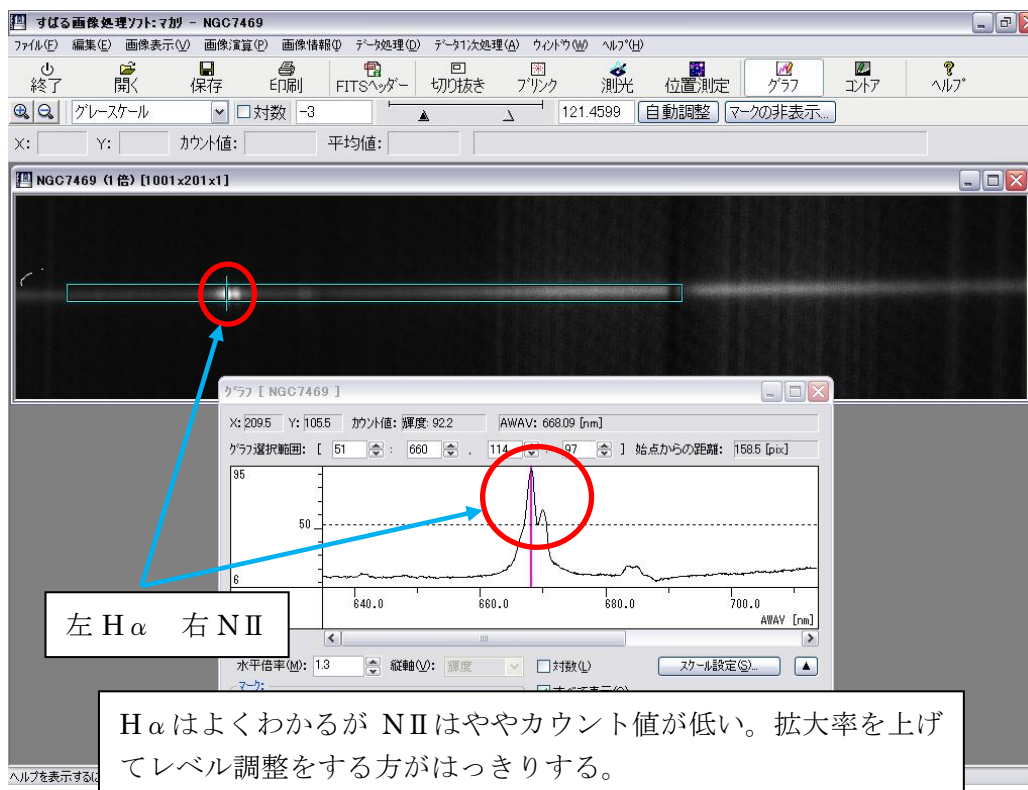
NGC3393



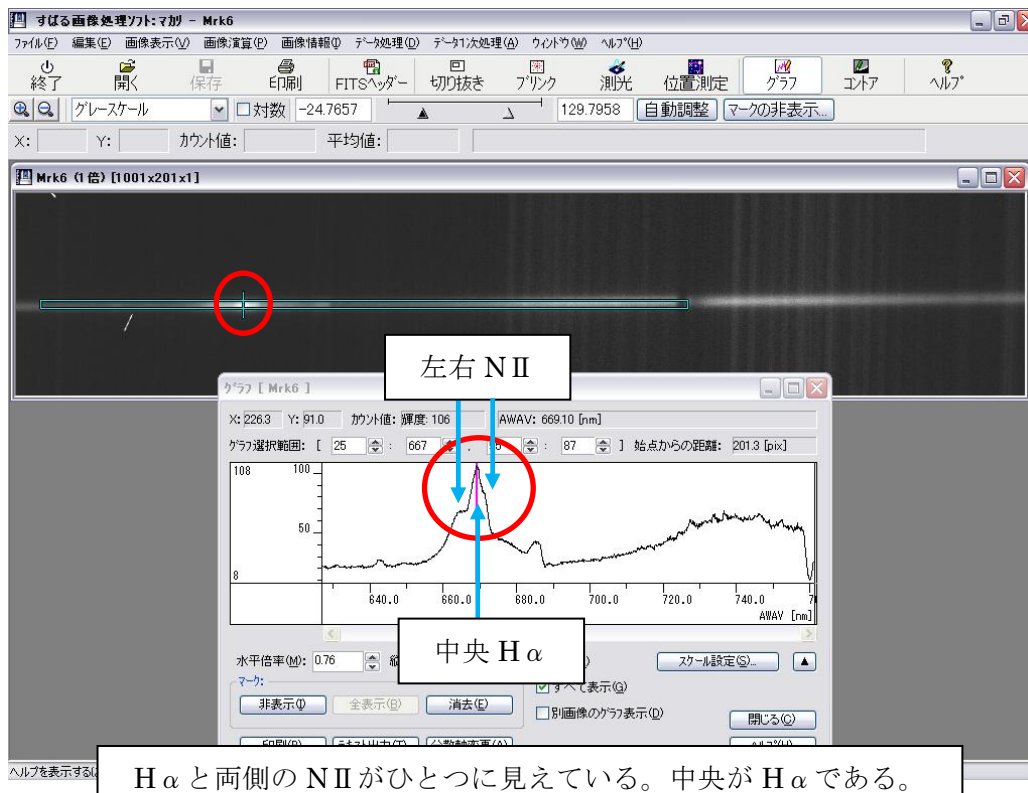
Mrk1



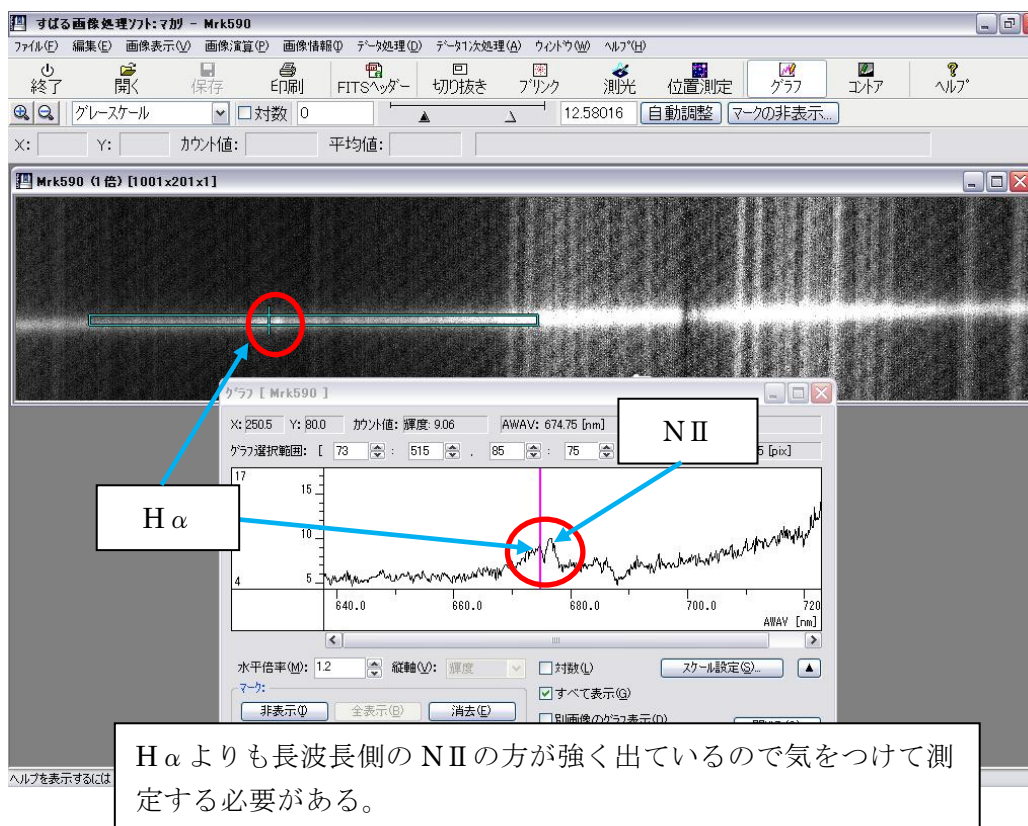
NGC7469



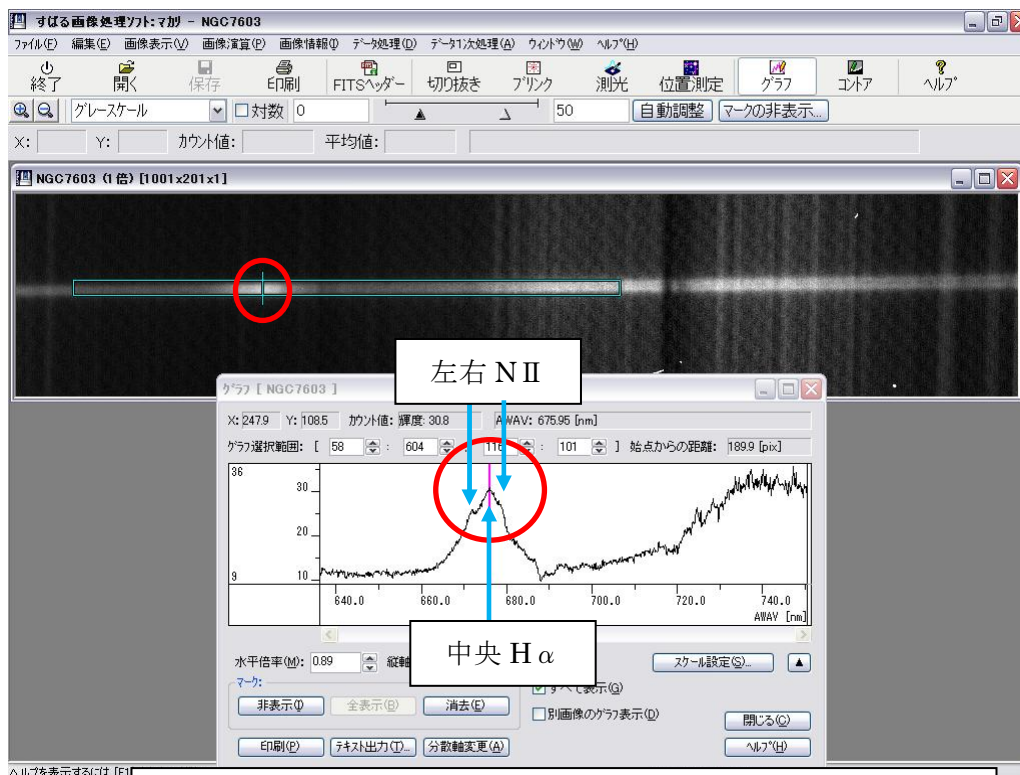
Mrk6



Mrk590

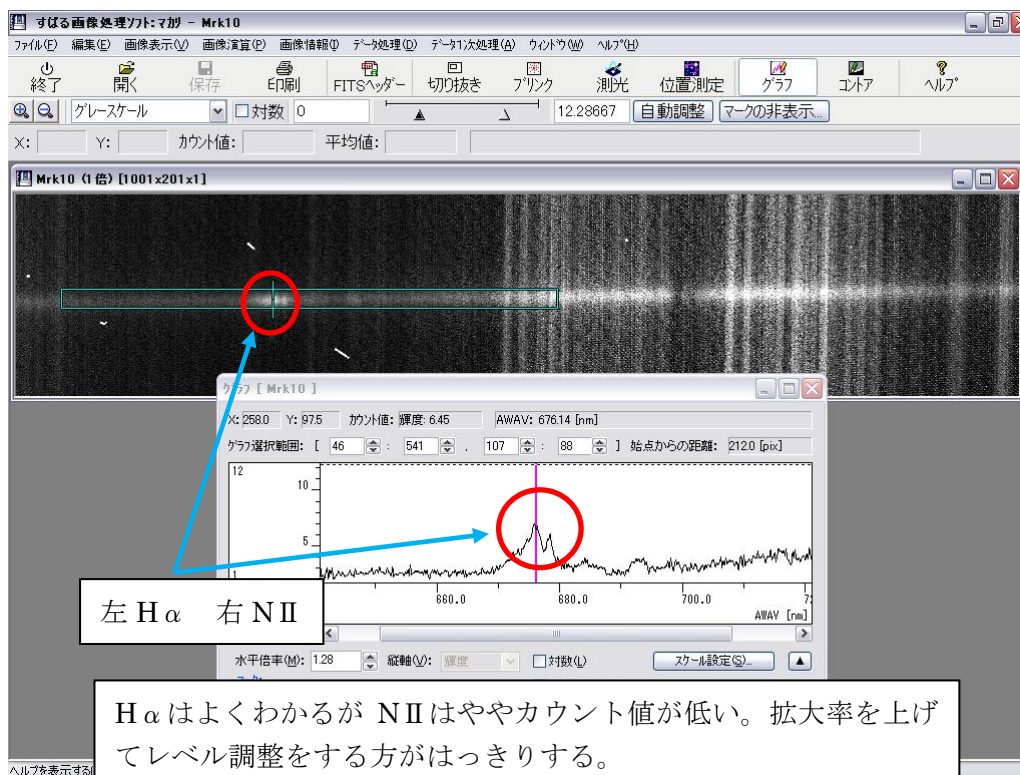


NGC7603



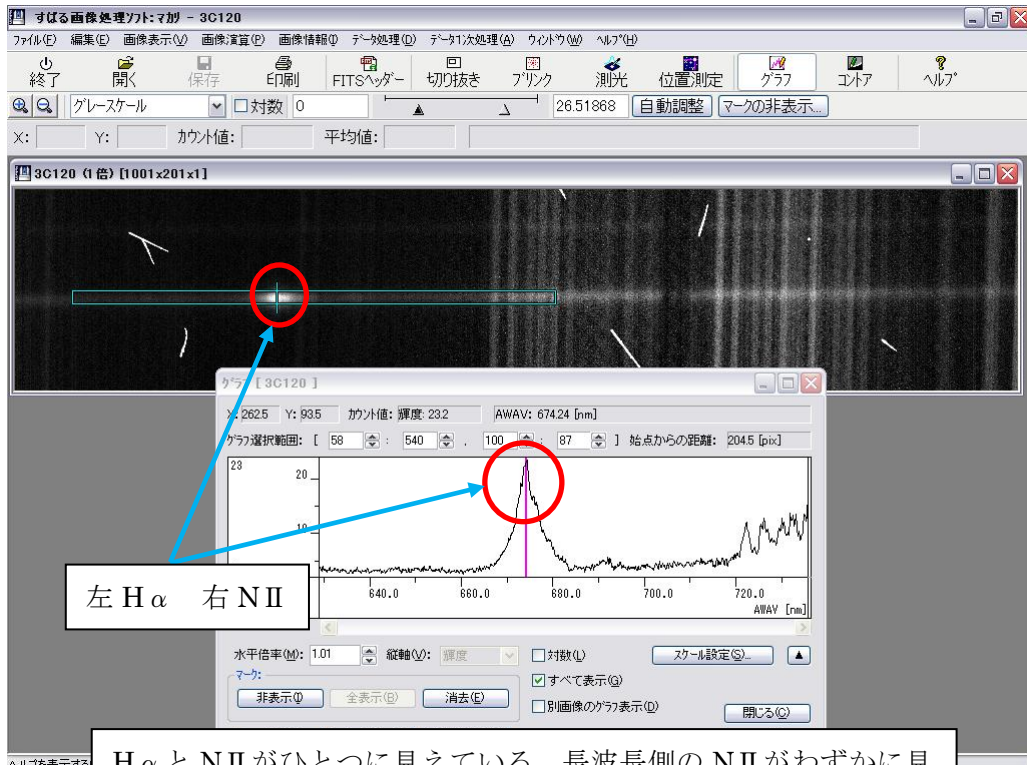
H $\alpha$  と両側の NII がひとつに見えている。中央が H $\alpha$  である。

Mrk10



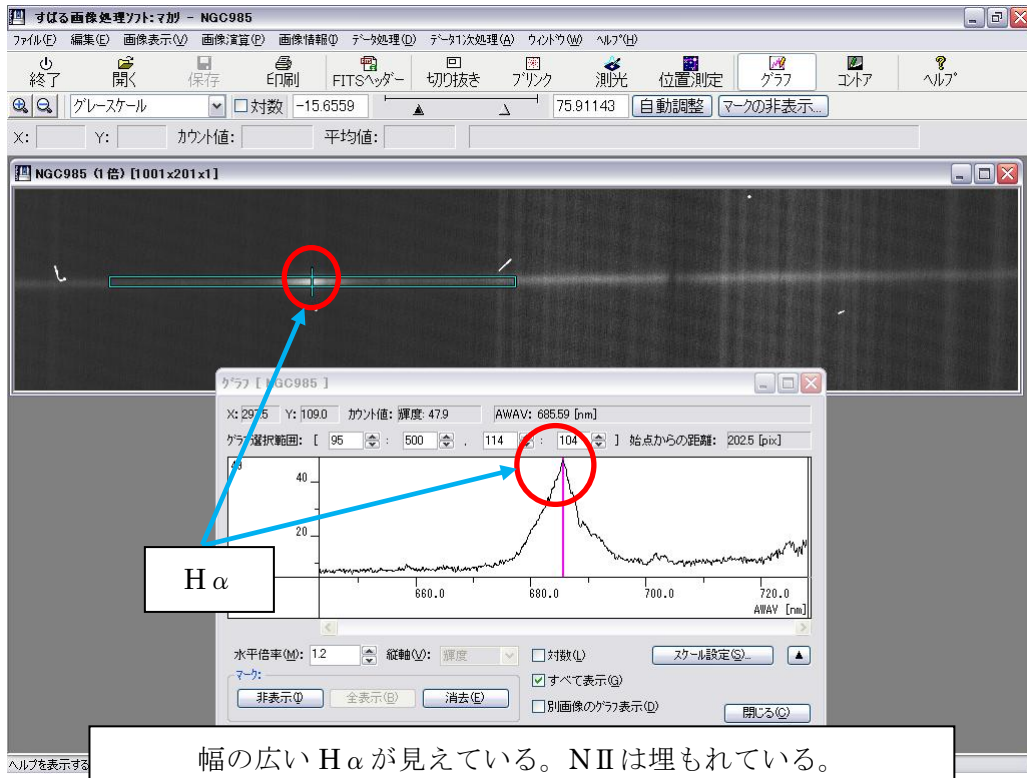
H $\alpha$  はよくわかるが NII はややカウント値が低い。拡大率を上げてレベル調整をする方がはっきりする。

3C120



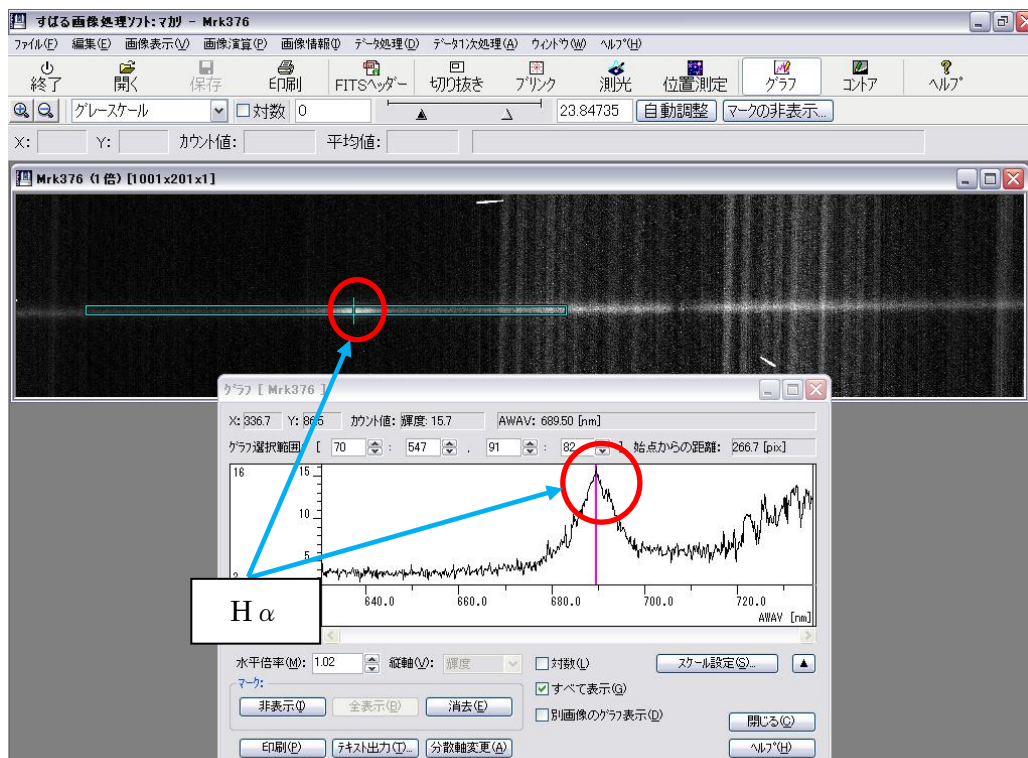
H $\alpha$ とNIIがひとつに見えている。長波長側のNIIがわずかに見てとれる。

NGC985



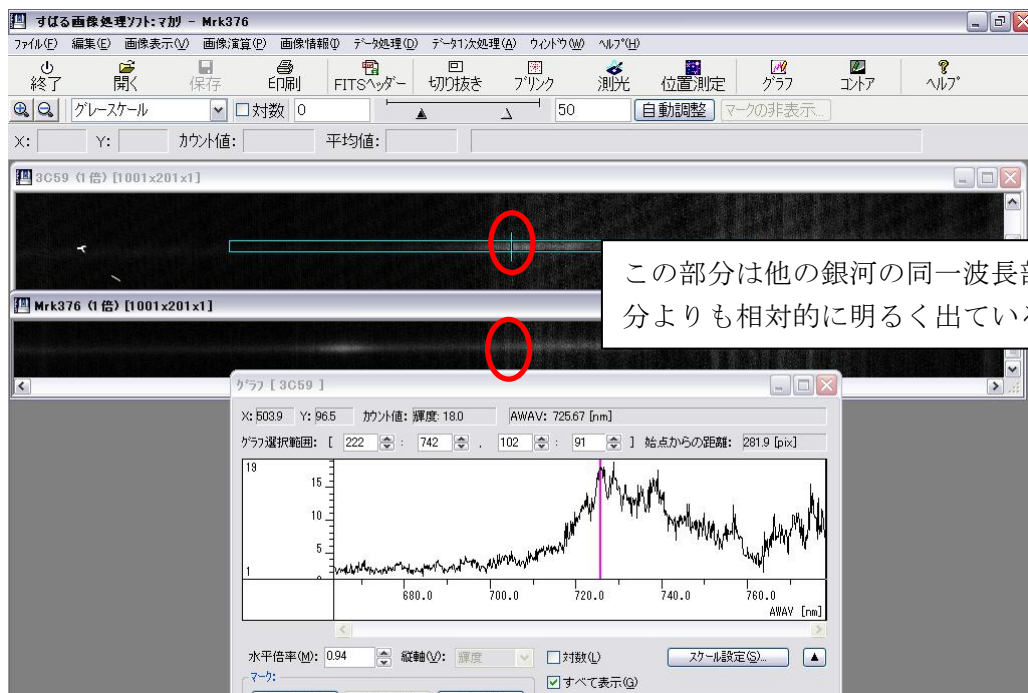
幅の広いH $\alpha$ が見えている。NIIは埋もれている。

Mrk376



幅の広い  $H\alpha$  が見えている。NIIは埋もれている。

3C59

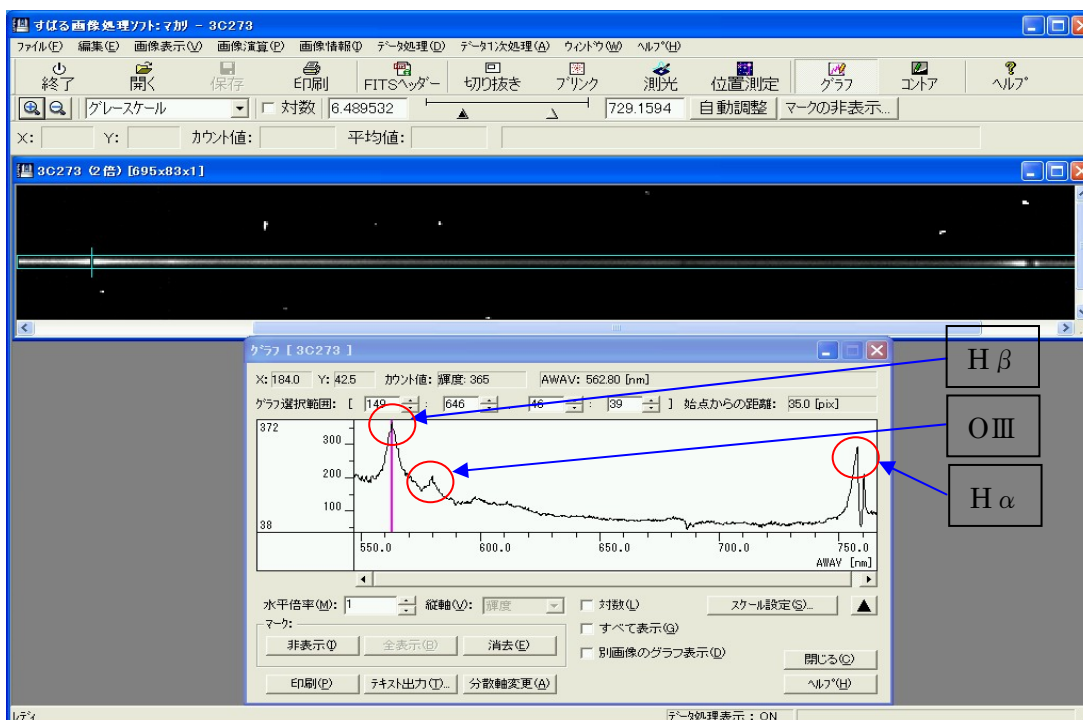


この部分は他の銀河の同一波長部分よりも相対的に明るく出ている。

バックグラウンドの輝線に埋もれているため非常に判別し難い。他の銀河のスペクトルのバックグラウンドと比べて判別する必要がある。



クウェーサー3C273

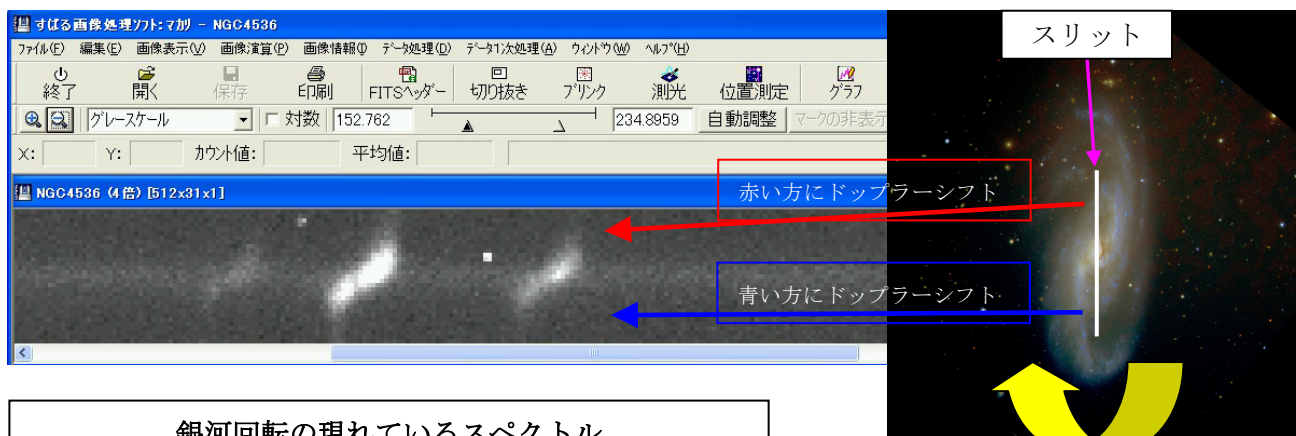


※ クウェーサーは、これまでの利用した銀河よりも遠方にあるため赤方偏移が大きい。そのため計測に使うスペクトル輝線はHβと[OIII]を使用するとわかり易い。

Hβの波長：486.1nm、[OIII]の波長：495.9nm

【参考】

スリットとスペクトルデータの見方



**銀河回転の現れているスペクトル**  
 銀河とスリットの向きによっては、銀河の円盤部の回転がドップラーシフトによって観測される。これを利用すると、地上光源の輝線か銀河由来の輝線か区別することができる。

NGC4536  
 IPAC Infrared Science Archive