

2015年7月13日(月) - 14日(火) 木曾シュミット・シンポジウム2015@上松

# 近傍渦巻銀河領域の HII領域探査



西浦慎悟 東京学芸大学・教育・理科

宮野 彩 東京学芸大学・教育・自然環境

根本明宗 東京学芸大学・教育・理科教育

長谷川優子 東京学芸大学・教育・理科教育

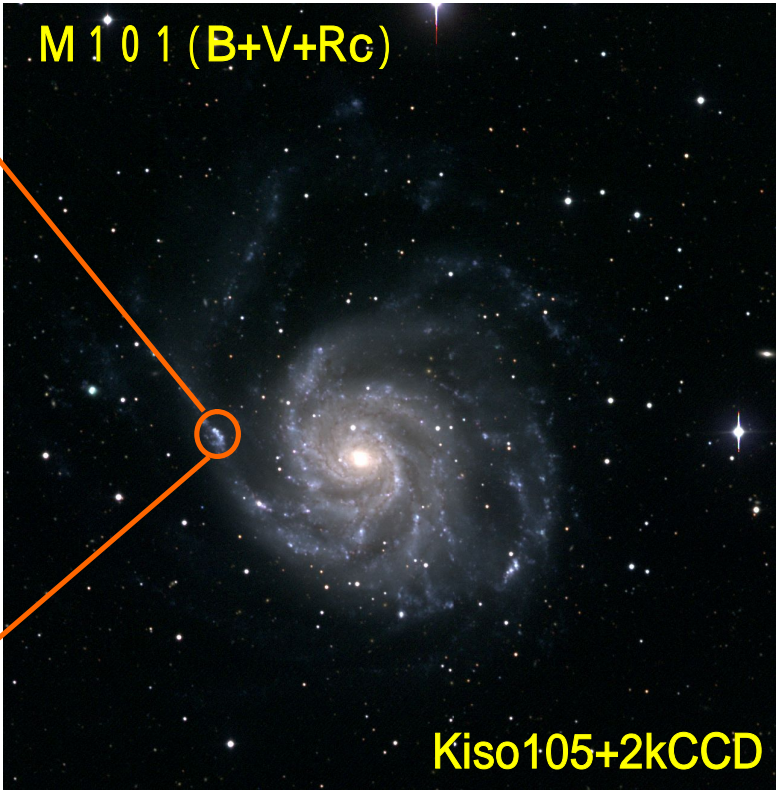
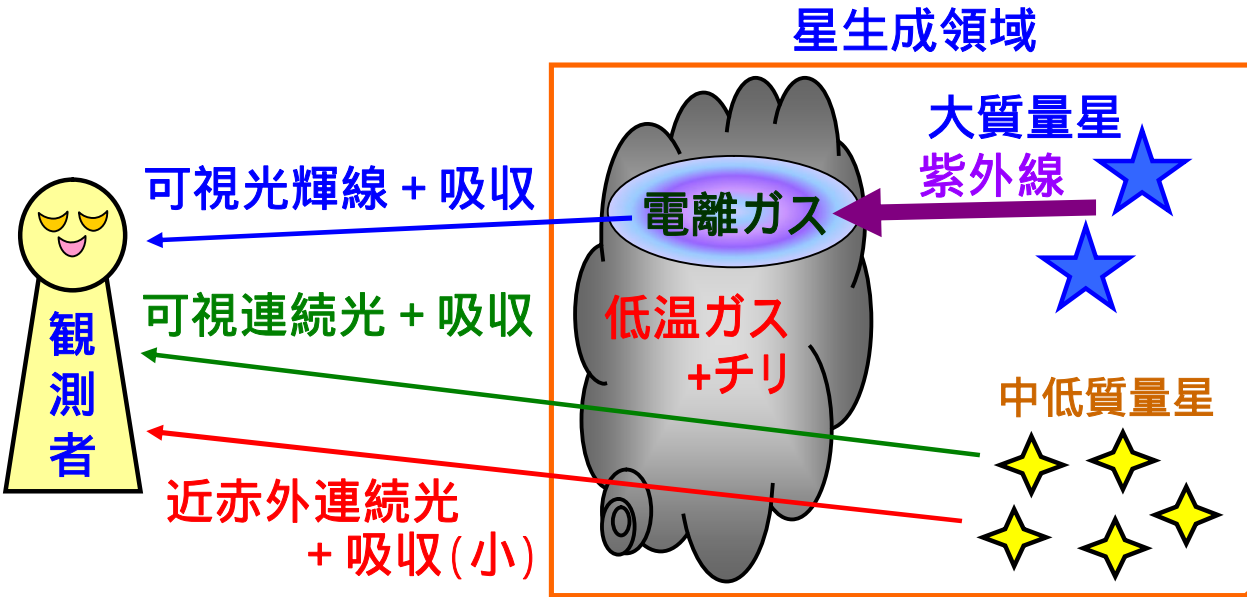
柏木雄太 東京学芸大学・教育・理科教育

他、みなさま

# 1. はじめに ~ 近傍渦巻銀河とHII領域

## 近傍銀河中のHII領域

**HII領域** : O B型星起源の紫外線によって、周辺の水素が電離している領域の総称で、**星生成領域**の一形態。様々なイオンからの輝線放射が特徴的。銀河系内のHII領域は、一般には散光星雲と呼ばれることが多い。反射星雲や暗黒星雲を伴うことも多い。

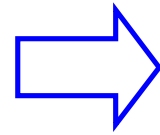


系外銀河では渦状腕中の**斑状構造**として確認される。

# 1. はじめに～近傍渦巻銀河とHII領域

HII領域 → 恒星の集団誕生の場

大質量星形成、初期質量関数、  
星生成史

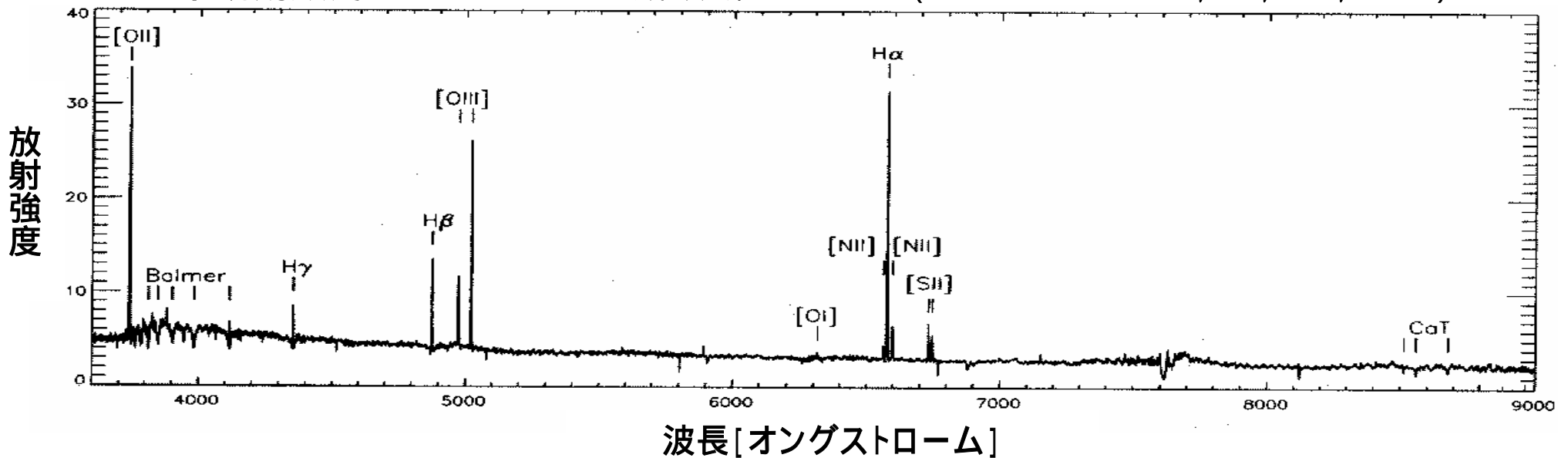


(西浦の目標) 星形成の観点から  
銀河の「形成・進化」と「環境」を  
理解したい。

銀河系内のHII領域 → 複雑なガス・ダストの空間分布を示す。 西浦には無理

系外銀河のHII領域 → 一見、シンプルな斑状構造なので統計的に議論できる？

不規則銀河NGC4449の星生成領域スペクトル (Boker et al. 2001, AJ, 121, 1473)

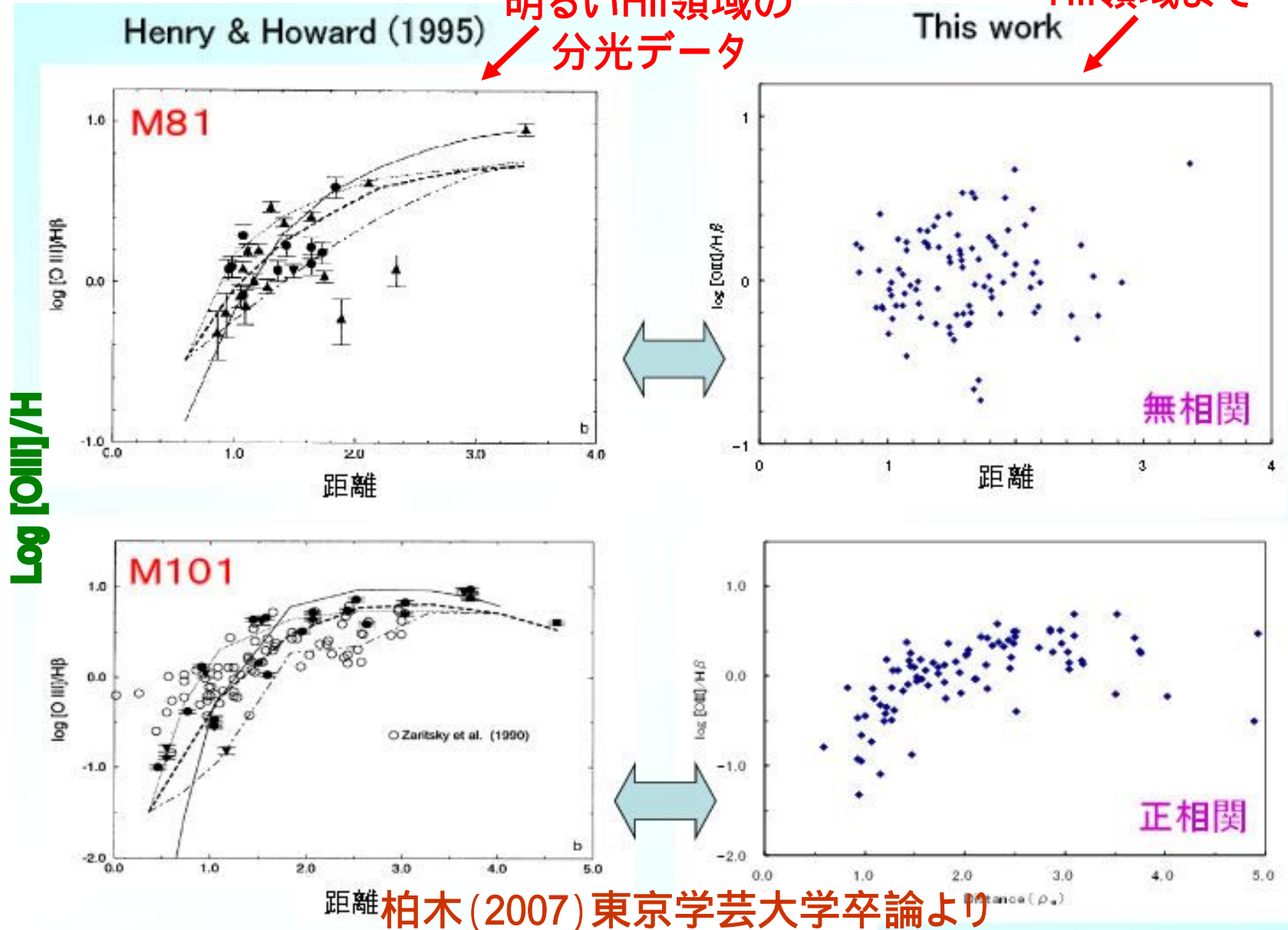


輝線成分を絞った狭帯域撮像によって、従来の分光観測では狙えなかった比較的暗いHII領域まで捕えたい。 → 近傍銀河が対象なので木曾105cmの広視野が活きる！

1. はじめに ~ 近傍渦巻銀河とHII領域

2 k CCDにて

狭帯域撮像で暗い  
HII領域まで



## 1. KWFCと超広視野狭帯域撮像

### 星生成と渦状腕形状

- ・グランド・デザイン型NGC 5457 (M101)とフロキュレント型NGC 4395で、HII領域のH $\alpha$ の等価幅の分布に違いがあり、**IMFの恒星質量の上限値の違いで説明可能**。 Cedres et al. (2005, ApJ, 634, 1943)

渦状腕形態と星生成条件に関係はあるか？

### 銀河外縁部の輝線源の検出

- ・M74 (NGC628)、NGC6946などの**外縁部にHII領域を検出**

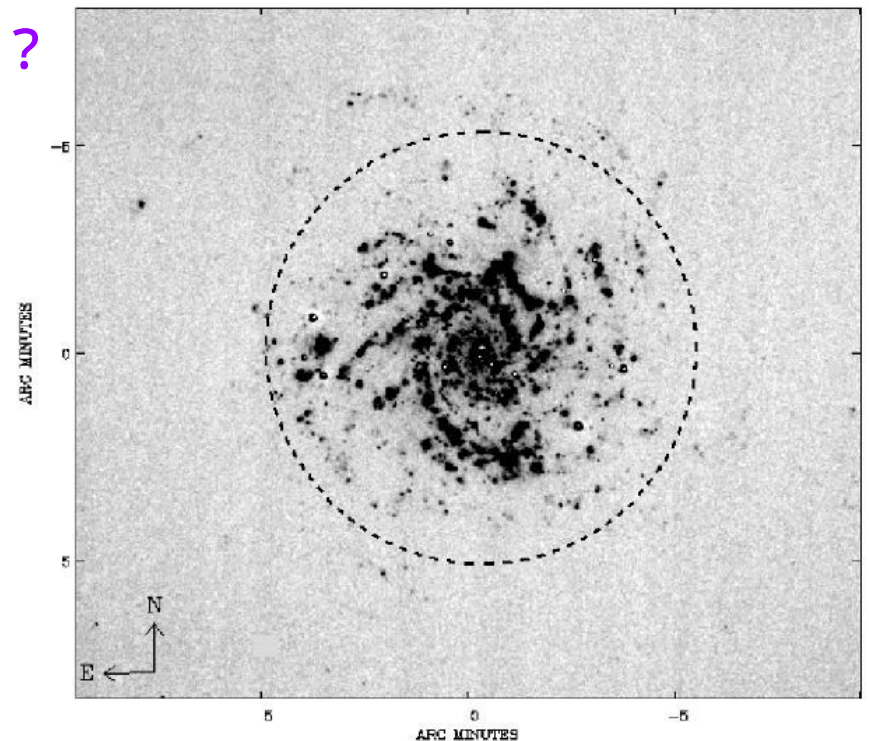
Ferguson et al. (1998, ApJL, 506, L19; 1998, ApJ, 116, 673)

- ・GALEXがM83の**最外縁部に紫外線源を発見** (CfA Press)

- ・**銀河系外縁部の分子雲中で大質量星形成**

Kobayashi & Tokunaga (2000, ApJ, 532, 423)

低密度・低金属量環境での星生成条件とは？

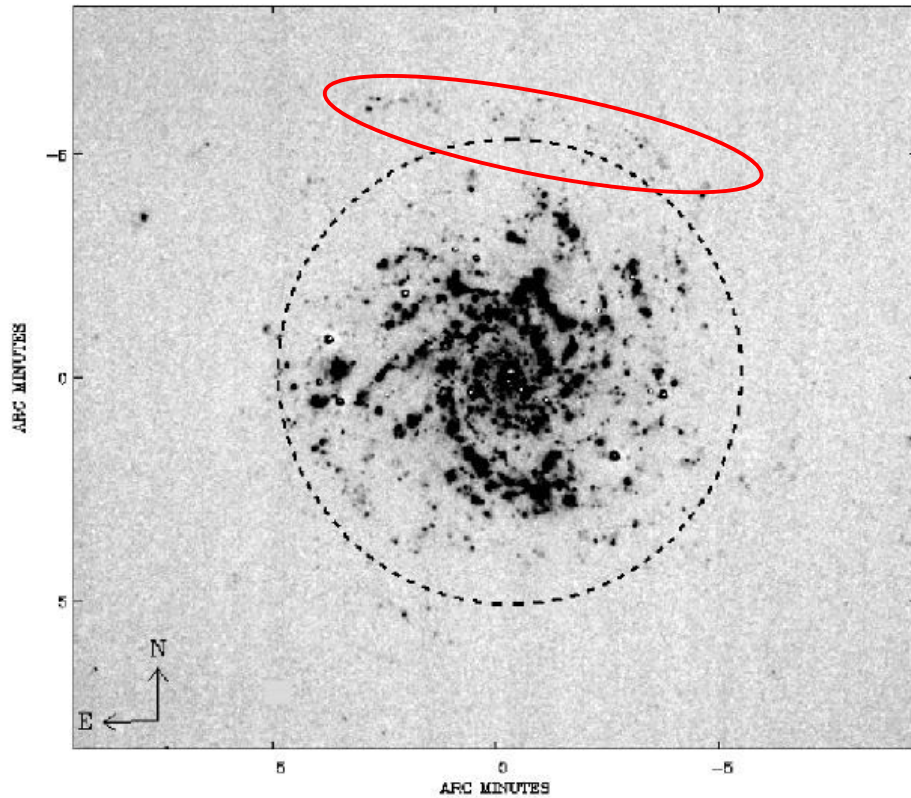


N628のH $\alpha$ 画像。点線はR25 (optical radius)

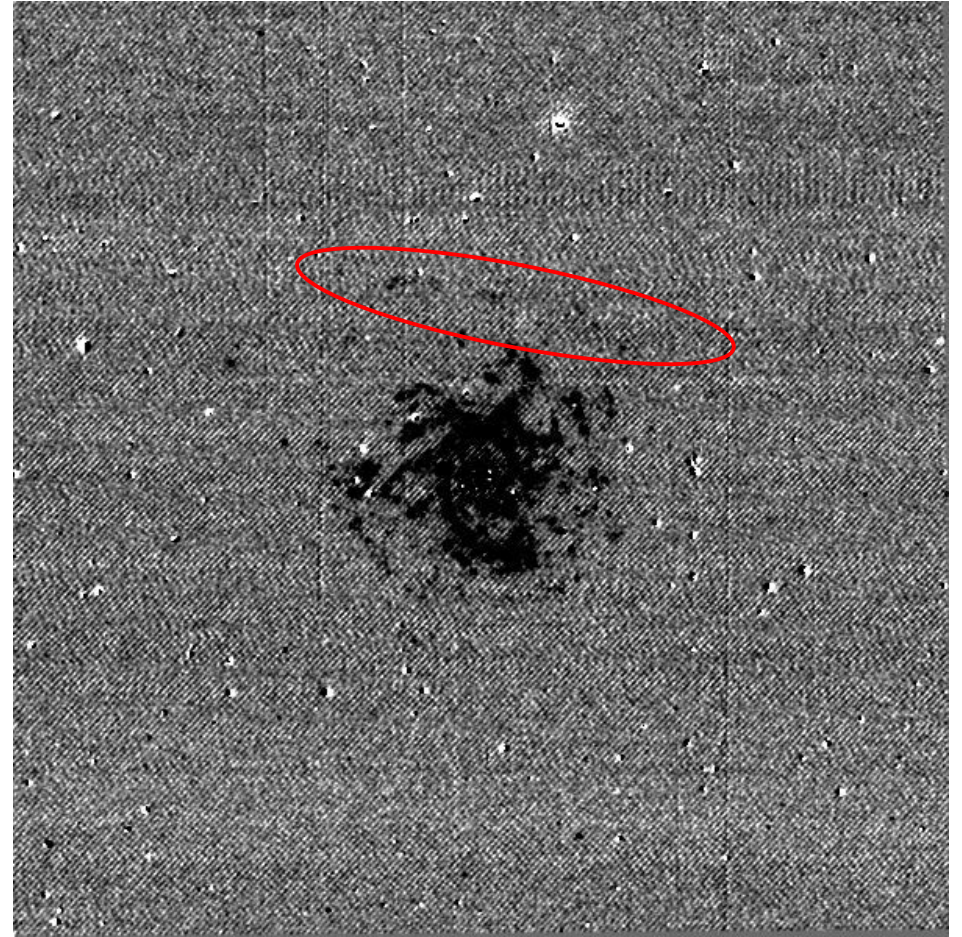
渦巻銀河「領域」の狭帯域撮像

# 1. KWFCと超広視野狭帯域撮像

## 木曾105cmシュミット+ 2kCCDによるH $\alpha$ 輝線撮像



Previous Ferguson's work



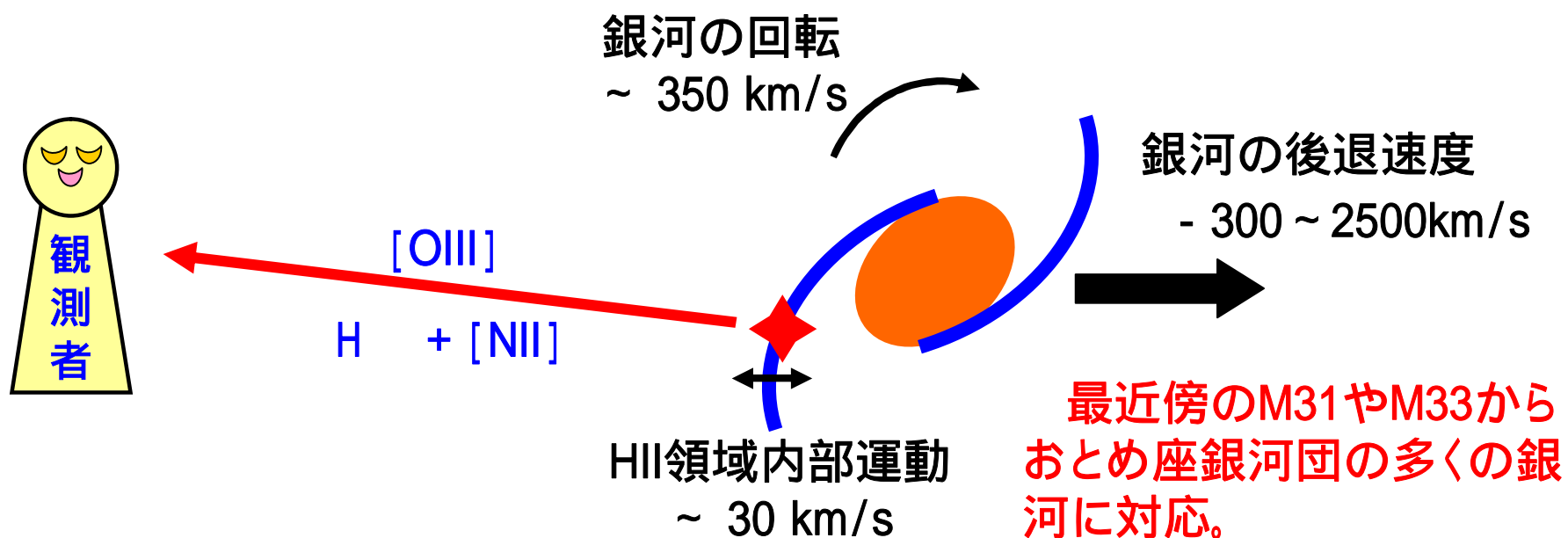
- (Q1) HII領域のIMFやSFHのバラエティは？ This work with 2kCCD
- (Q2) 銀河外縁部のどこまでどのようなHII領域が存在し得るのか？
- (Q3) 銀河外縁部のHII領域と親銀河の関連は？

## 2. KWFC用H および[OIII]フィルター

HII領域の検出 → 輝線強度が強いH と[OIII]の両方での検出を狙う

### H および[OIII]フィルターのターゲット

- ・ 系外銀河・系内天体を問わず、汎用性が高い狭帯域フィルターを目指す。
- ・ それぞれ、H +[NII] 6548,6583 と [OIII] 4959,5007 を帯域内に捕える。

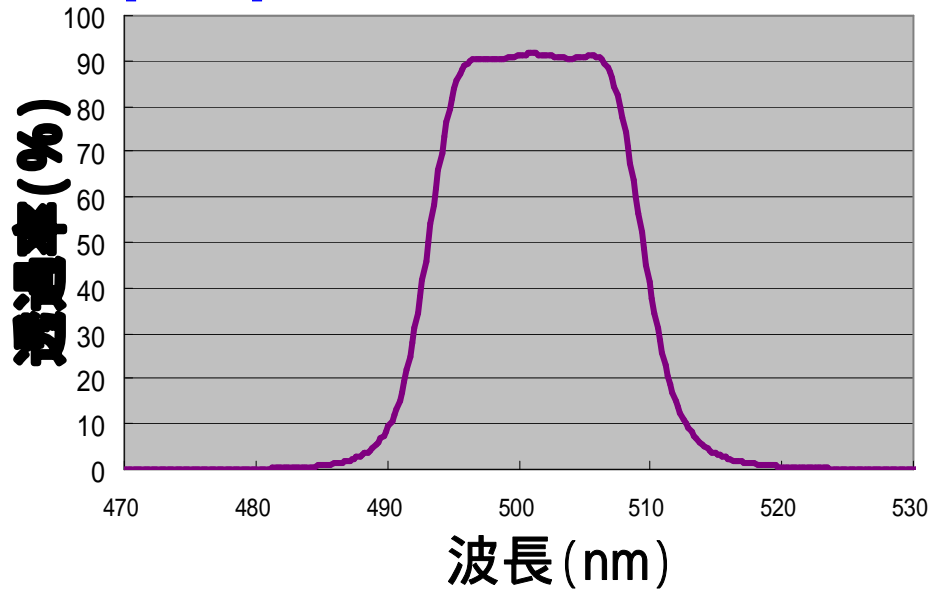


## 2. KWFC用H および[OIII]フィルター

フィルター名: N5013

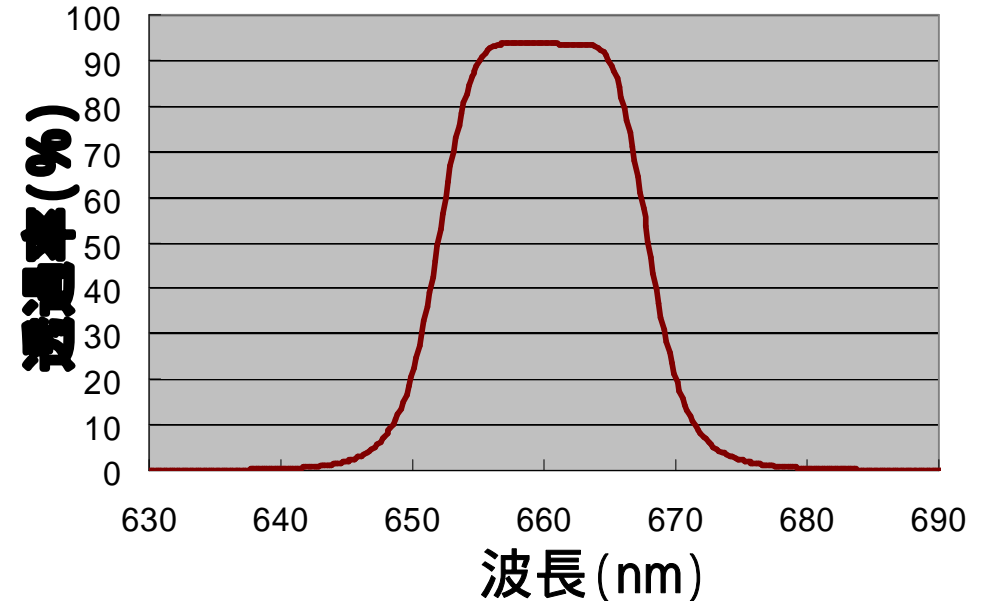
いずれも朝日  
分光(株)製

[OIII]輝線対応



フィルター名: N6590

H + [NII]輝線対応



- ・ ピーク波長 : 501.1 nm
- ・ 中心波長 : 501.3 nm
- ・ 半値幅 : 16.8 nm
- ・ 帯域 : 492.9nm - 509.7nm

( 透過率  $\geq$  50 % となる波長帯 )

- ・ 最大透過率 : 91.6 %

- ・ ピーク波長 : 658.5 nm
- ・ 中心波長 : 659.9 nm
- ・ 半値幅 : 16.3 nm
- ・ 帯域 : 651.8nm - 668.1nm

( 透過率  $\geq$  50 % となる波長帯 )

- ・ 最大透過率 : 94.0 %



## 2. KWFC用H および[OIII]フィルター

### [OIII] (N5013)、H (N6590) フィルターの波長特性

N 5 0 1 3			
波長 (nm)	透過率 (%)	波長 (nm)	透過率 (%)
483	0.00	502	1.00
485	0.01	503	0.99
488	0.03	504	0.99
489	0.06	505	0.99
491	0.18	506	0.99
492	0.32	507	0.95
493	0.53	508	0.83
494	0.74	509	0.63
495	0.91	510	0.43
496	0.98	511	0.26
497	0.99	512	0.16
498	0.99	513	0.09
499	0.99	515	0.04
500	1.00	519	0.01
501	1.00	522	0.00

N 6 5 9 0			
波長 (nm)	透過率 (%)	波長 (nm)	透過率 (%)
640	0.00	661	1.00
643	0.01	662	1.00
646	0.03	663	1.00
647	0.05	664	0.99
649	0.14	665	0.95
651	0.37	666	0.86
652	0.54	667	0.70
653	0.73	668	0.52
654	0.87	670	0.22
655	0.95	671	0.13
656	0.99	673	0.05
657	1.00	674	0.03
658	1.00	678	0.01
659	1.00	680	0.00
660	1.00		

### 3. KWFCによる狭帯域撮像に向けて

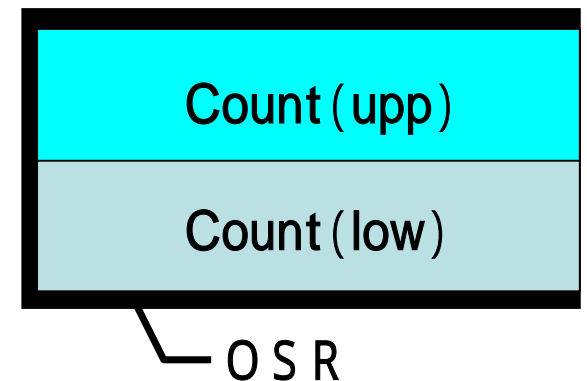
#### 解決すべき問題

- ・ a) 各チップ上下のレスポンスの違い  
フラット・フィールドニング処理を行っても、同一チップの上下でレベルの差が生じる(峰崎氏コメント in 諸隈 2013, 木曾シュミットシンポジウム2013)。
- ・ b) KWFC画像データ解析用スクリプトの作成 → 手作業ではもう無理
- ・ c) フラックス較正の方法確認
- ・ d) 限界輝度の測定
- ・ e) 連続光成分画像の作成 → 連続光用の狭帯域フィルターまで用意できない。

#### a) チップ毎の上下のレスポンスの違い

快曇時に様々な照度(NDフィルター + 露光時間)で、V, SDSS-i, N6590, N5013のドームフラットを取得した。

- (画像処理) バイアスを引き、上下に分けてそれぞれOSRを引いた
- $\text{count}(\text{low})$  に対する  $\text{count}(\text{upp}) / \text{count}(\text{low})$  を調査



### 3. KWFCによる狭帯域撮像に向けて

#### Count (low) に対する Count (upp) / Count (low)

MITチップ (#0 ~ #3)

: N5013

: N6590

: V

: SDSS-i

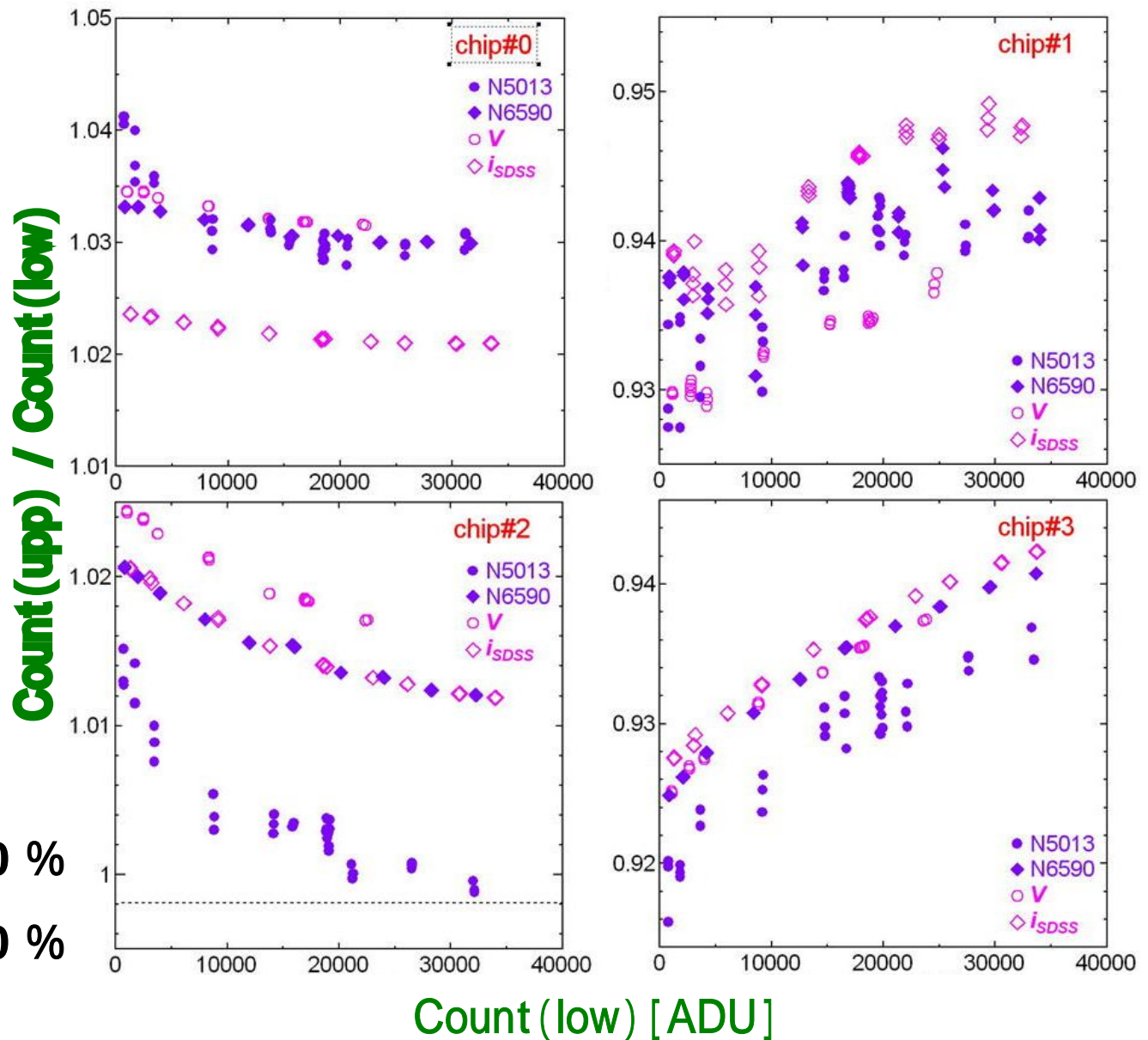
・ 照度が大きくなるほど、レスポンスの比は大きくなる。

・ 一見、フィルターで差があるように見える。

・ レスポンスの比は最大で、

#0: 約 0.5 %、#2: 約 2.0 %

#1: 約 1.5 %、#3: 約 2.0 %



### 3. KWFCによる狭帯域撮像に向けて

- Count (low) に対する  $\text{Count (upp)} / \text{Count (low)}$

SITeチップ (#4 ~ #7)

: N5013

: N6590

: V

: SDSS-i

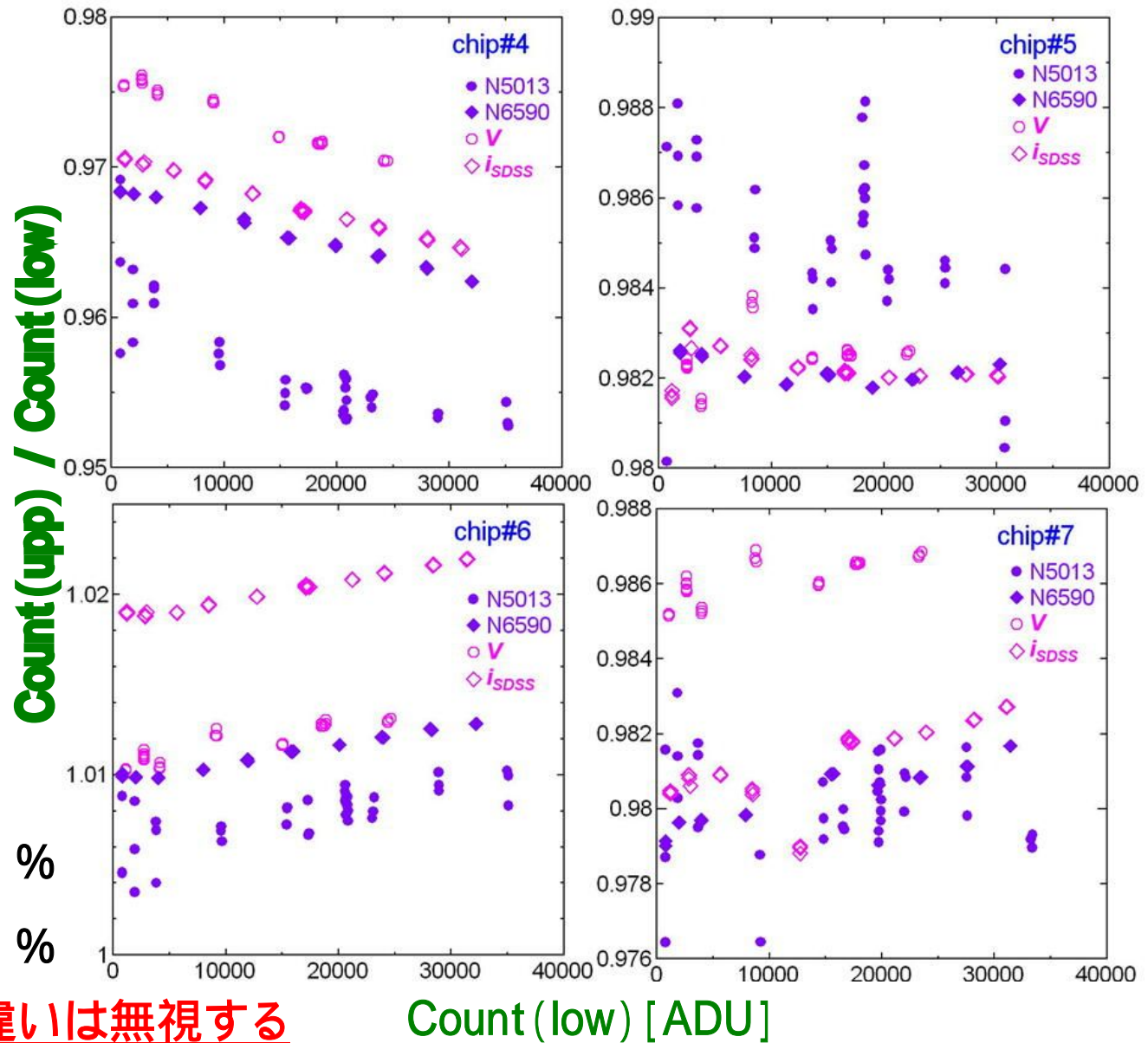
- 照度が大きくなるほど、レスポンスの比は大きくなる。

- 一見、フィルターで差があるように見える。

- レスポンスの比は最大で、

#4: 約 1.5 %、#6: 約 0.5 %

#5: 約 0.5 %、#7: 約 0.5 %



→ 今回、上下のレスポンスの違いは無視する

Count (low) [ADU]

### 3. KWF Cによる狭帯域撮像に向けて

#### b) 画像解析用スクリプトの作成

典型的な西浦の観測 → 1晩で20-30GB

チップ8枚 = 異なる撮像データ8個分

同一チップ上下でのレスポンスの違い

最初に上下分割して16枚のチップとして  
画像処理。背景光除去後に再合一化。

- ・ シェルからIRAFにコマンドを流し込み、FITS画像リストを作成し、それを用いた画像処理を行う。
- ・ Configurationファイルを一つ用意し、画像ファイルのバイアスの値の上限値、処理後のファイルのprefix や保存先のディレクトリ名、背景光処理時のパラメータ、などの設定をこれに書き込み、読み込ませる。
- ・ 現段階としては、バイアス合成、バイアス引き、OSRによる補正、フラット合成、フラット・フィールドディングなど個別なスクリプトを作成し、それを順次実行することで背景光除去まで行える。

→ 今後、位置合わせ、シーイング合わせ、レベル合わせ、複数画像合成、などをスクリプト化したい。

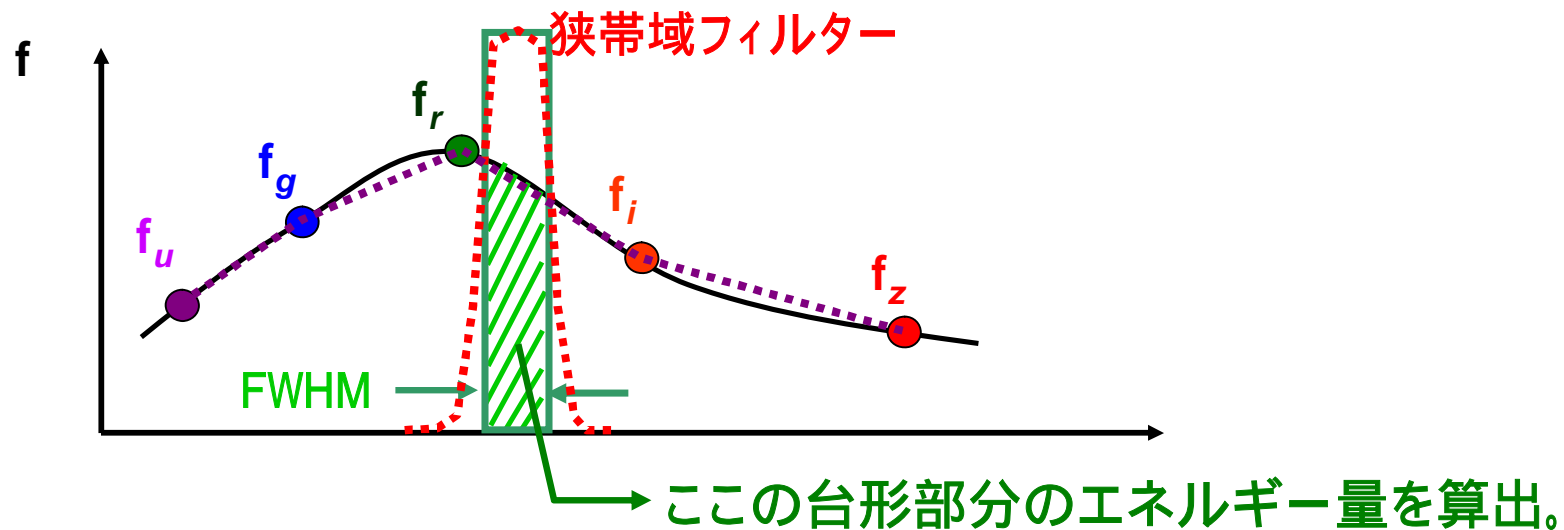
### 3. KWFCによる狭帯域撮像に向けて

#### c) フラックス(等級)較正方法の確認

通常：分光測光標準星の狭帯域撮像 → 全天にそこまで多くない。  
そもそも気象条件が不安定

(提案) 目標天体と同一視野の恒星のSDSSデータを使用。

SDSS ( $u, g, r, i, z$ ) 測光データを線形内挿して恒星のSEDとする  
ガウス型に近いフィルター関数をFWHMの幅を持つ矩形波型に簡略化



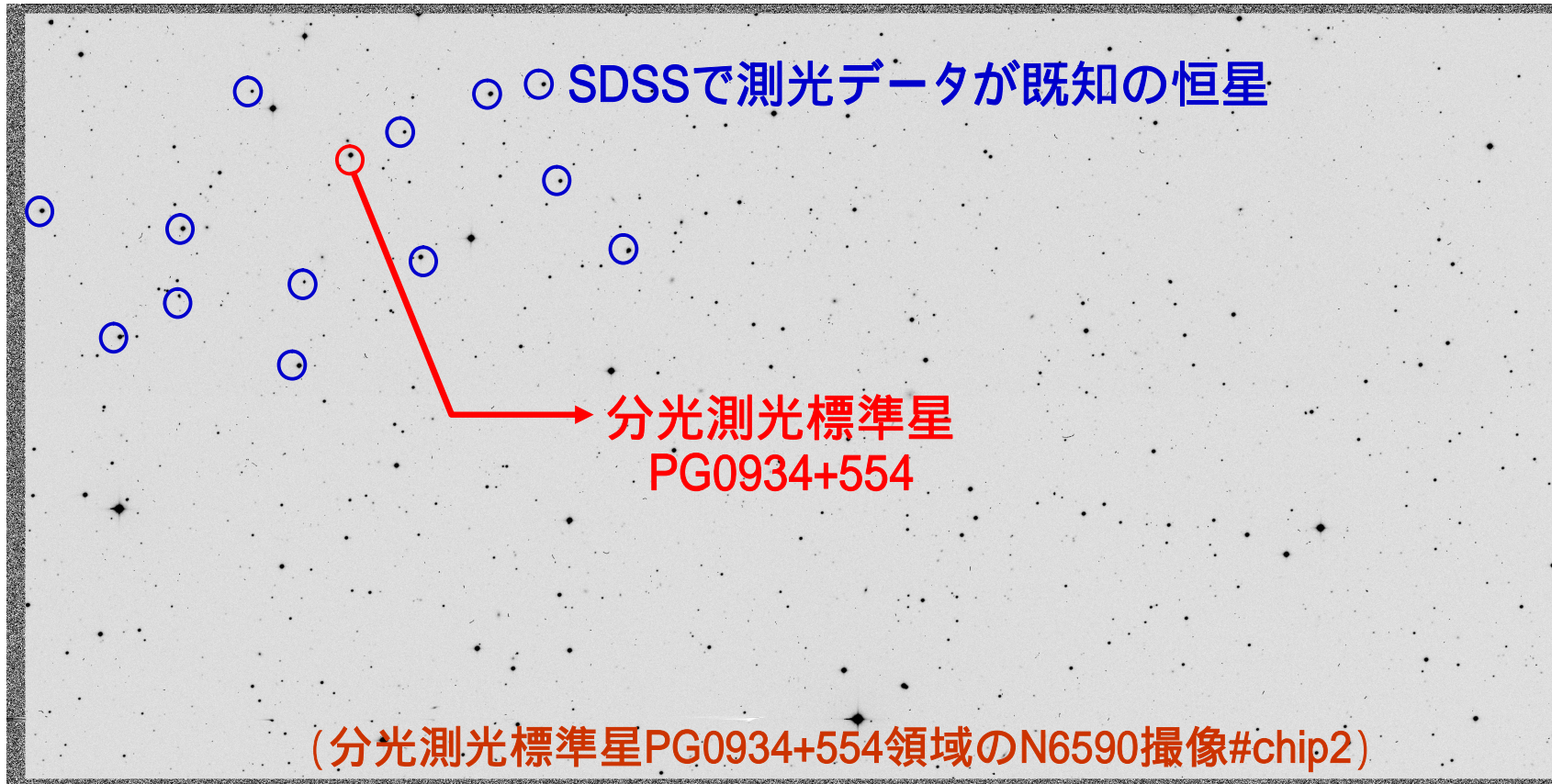
広帯域によるSEDから狭帯域フラックスを求めても大丈夫なのか？

・2014年03月27日にPG0934+554領域のN6590撮像観測、2014年11月19日にBD+28 ° 4211領域のN5013撮像観測を行う。

### 3. KWFCによる狭帯域撮像に向けて

#### ・等級のゼロ点を比較 (PG0934+554@N6590の場合)

Massey et al. (1988, ApJ, 328, 315) のSEDと狭帯域フィルターのフィルター関数をコンボリューションして、659nm帯の  $AB_{N6590} = 12.522 \text{ mag}$  を算出。



IRAF/APPHOT でPG0934+554を開口測光。 と比較してゼロ点ZERO (SP) を導出。

前ページの原理に従って、SDSSで測光済みの恒星の  $AB_{N6590}$  を算出。

IRAF/APPHOT で周辺の恒星を開口測光。 と比較してゼロ点ZERO (PH) を導出。

### 3. KWFCによる狭帯域撮像に向けて

チップ毎に分光測光標準星から求めたZERO(SP)と周辺の恒星のSDSSデータから求めたZERO(PH)の差 ZEROを調べる。

同様の作業をBD+28° 4211領域のN5013撮像データで行う。

chip	ZERO = ZERO(SP) - ZERO(PH)	
	N5013撮像	N6590撮像
#0	- 0.007 mag	- 0.026 mag
#1	- 0.057 mag	- 0.029 mag
#2	- 0.020 mag	- 0.041 mag
#3	+ 0.012 mag	- 0.025 mag
#4	+ 0.019 mag	- 0.032 mag
#5	- 0.020 mag	+ 0.003 mag
#6	- 0.006 mag	- 0.044 mag
#7	- 0.036 mag	- 0.039 mag

全8チップのN5013撮像とN6590撮像のゼロ点決定において、ZERO(SP)とZERO(PH)に大きな差は無いと考えて良い。



## 4. 近傍渦巻銀河領域の狭帯域撮像

### 渦巻銀河M100とM101の狭帯域撮像観測

- ・ 限界輝度などの測定用：

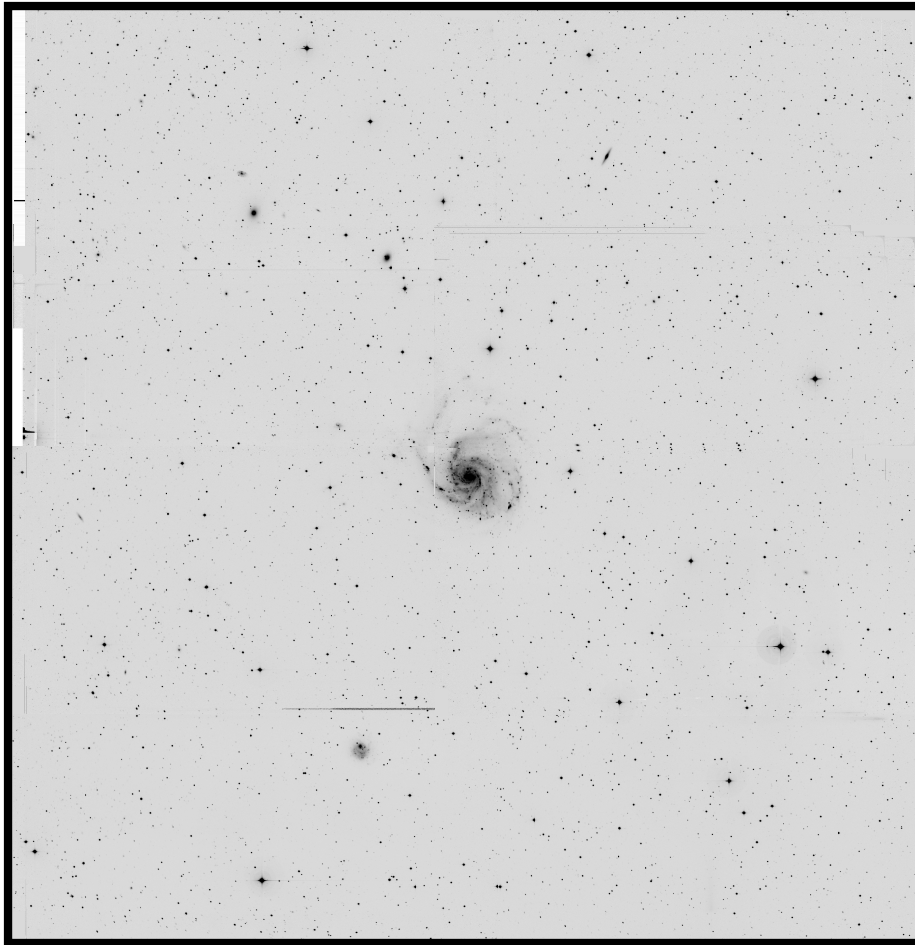
M101		
	N5013撮像	N6590撮像
観測日	2014年03月27日	2013年05月14日
積分時間	300秒 × 12枚 = 3600秒	240秒 × 8枚 = 1820秒

- ・ 連続光成分画像作成用： → 宮野(東京学芸大・2014年度卒論)

M100			
	SDSS-r撮像	N6590撮像	SDSS-i 撮像
観測日	2013年05月13日	2013年05月13日	2013年05月13日
積分時間	180秒 × 4枚 = 720秒	300秒 × 4枚 = 1200秒	180秒 × 4枚 = 720秒

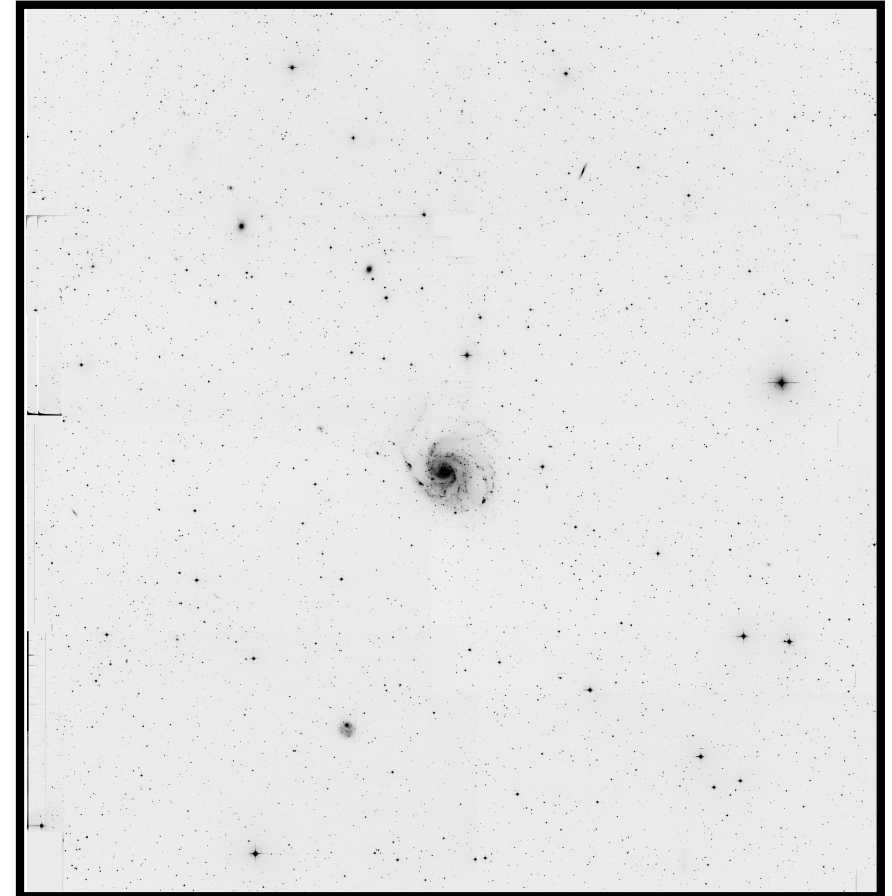
## 4. 近傍渦巻銀河領域の狭帯域撮像

M101領域のN5013([OIII]帯)画像



FoV = 約 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$

M101領域のN6590(H $\alpha$ 帯)画像

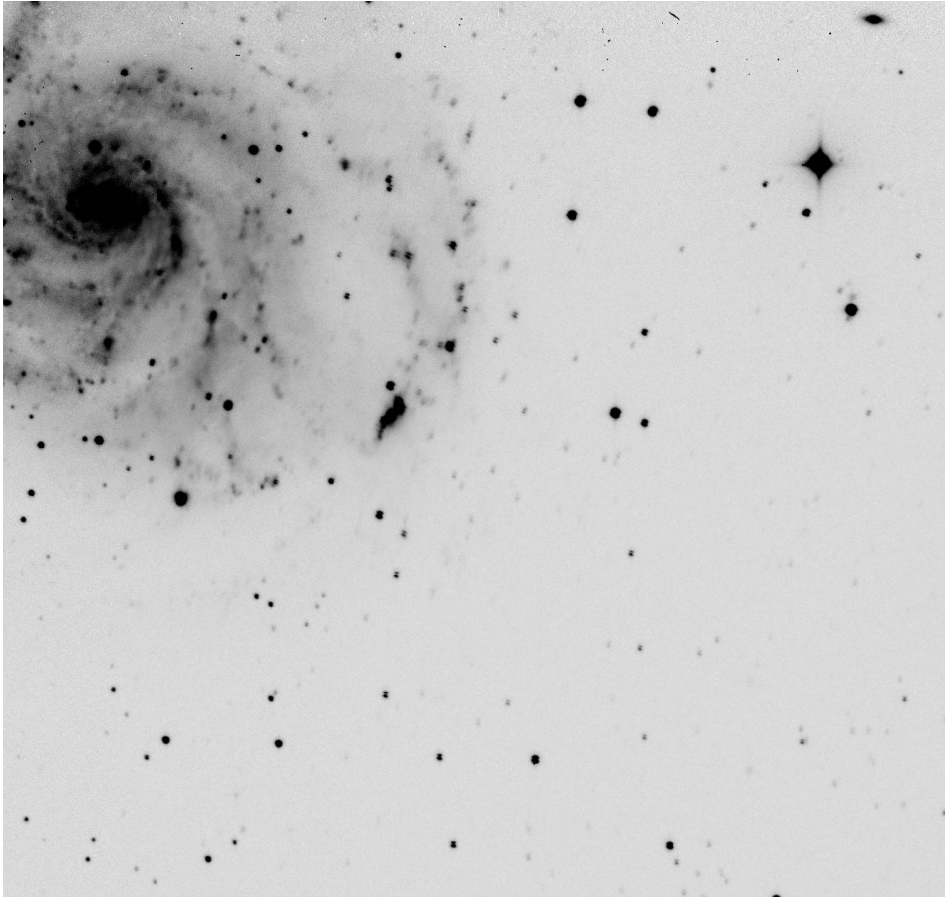


FoV = 約 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$

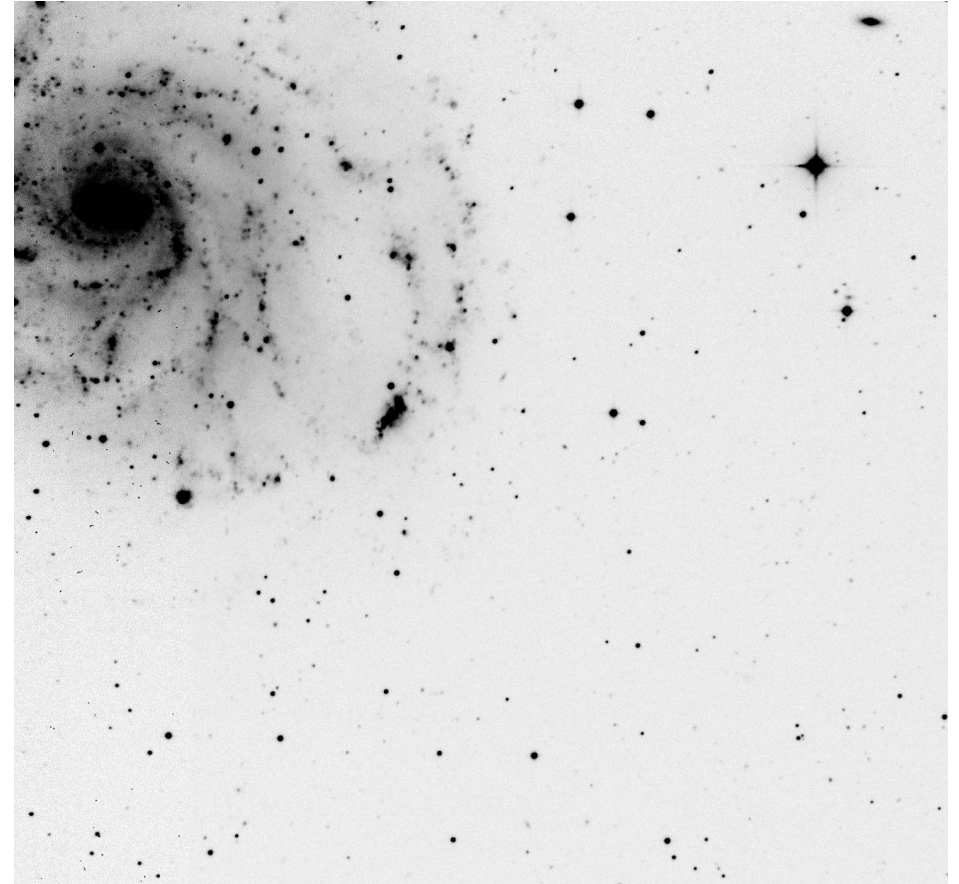
## 4. 近傍渦巻銀河領域の狭帯域撮像

- ・ M101本体の拡大画像

M101領域のN5013([OIII]帯)画像



M101領域のN6590(H $\alpha$ 帯)画像



渦状腕上の斑状構造(HII領域)が目立って観察される。

## 4. 近傍渦巻銀河領域の狭帯域撮像

### d) 限界輝度の測定

M101のN5013およびN6590撮像観測のデータを用いて、**限界輝度の目安**としてchip#0～#7の各チップの背景ゆらぎの1に相当する輝度を算出。

Chip	限界輝度 (ABmag/ )	Chip	限界輝度 (ABmag/ )
N5013撮像観測@積分時間 60 min			
0 (MIT)	$25.70 \pm 0.01$	4 (SITE)	$24.99 \pm 0.02$
1 (MIT)	$25.72 \pm 0.06$	5 (SITE)	$25.02 \pm 0.05$
2 (MIT)	$25.45 \pm 0.02$	6 (SITE)	$25.05 \pm 0.02$
3 (MIT)	$25.41 \pm 0.06$	7 (SITE)	$25.00 \pm 0.01$
N6590撮像観測@積分時間 32 min			
0 (MIT)	$24.96 \pm 0.06$	4 (SITE)	$24.39 \pm 0.05$
1 (MIT)	$25.04 \pm 0.05$	5 (SITE)	$24.53 \pm 0.05$
2 (MIT)	$24.91 \pm 0.06$	6 (SITE)	$24.31 \pm 0.02$
3 (MIT)	$24.86 \pm 0.02$	7 (SITE)	$23.99 \pm 0.03$

ピクセル間のゆらぎでは無く、シーイング・サイズのスケールで測定した方が良い (by Yagi さん) → 要検討 (昨年からの課題)

e) 広帯域フィルターによる連続光成分画像の作成

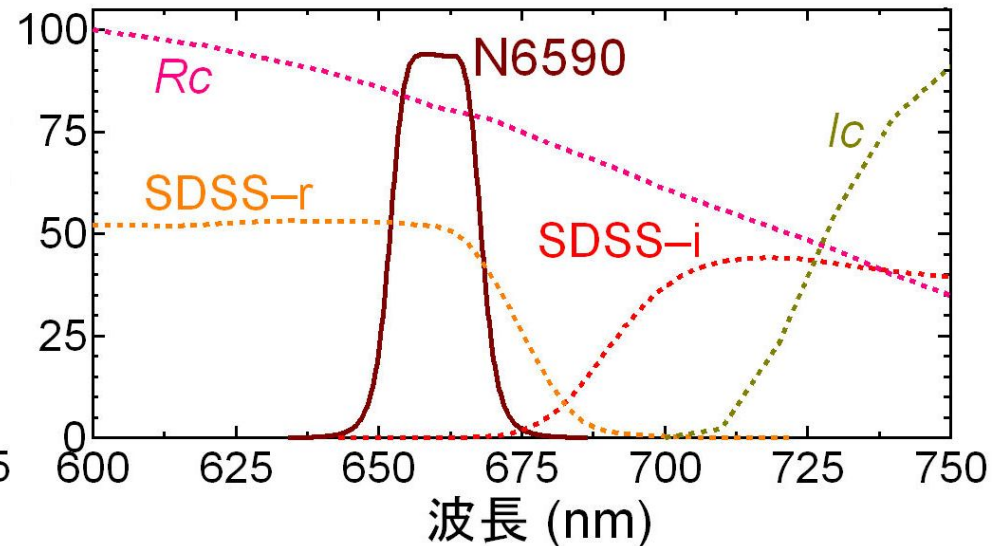
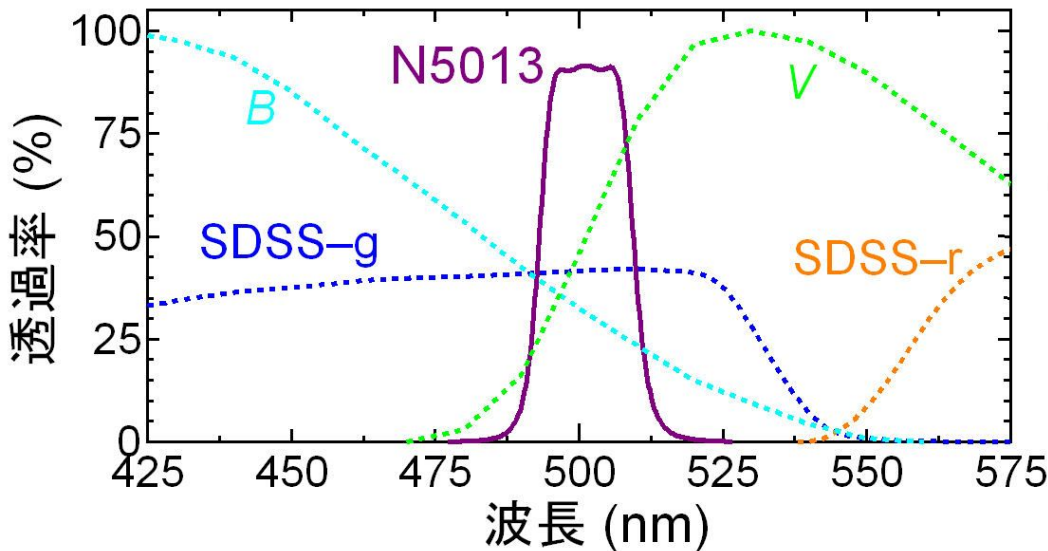
暗い輝線源を検出するため、少しでも高い精度で連続光成分を差し引きたい

→ 連続光成分用の狭帯域フィルターが無い場合、2つの広帯域バンド画像から連続光成分(輝線フリー)画像を作成する。

N5013、N6590

Johnson-Cousins システム (Bessell 1990, PASP, 102, 1181)

SDSS システム (SDSS Webページ)

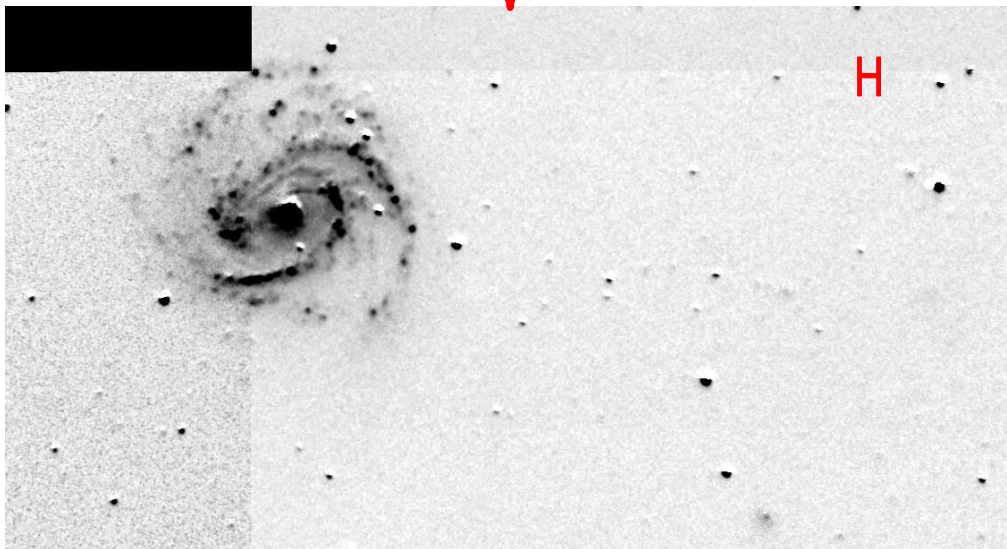
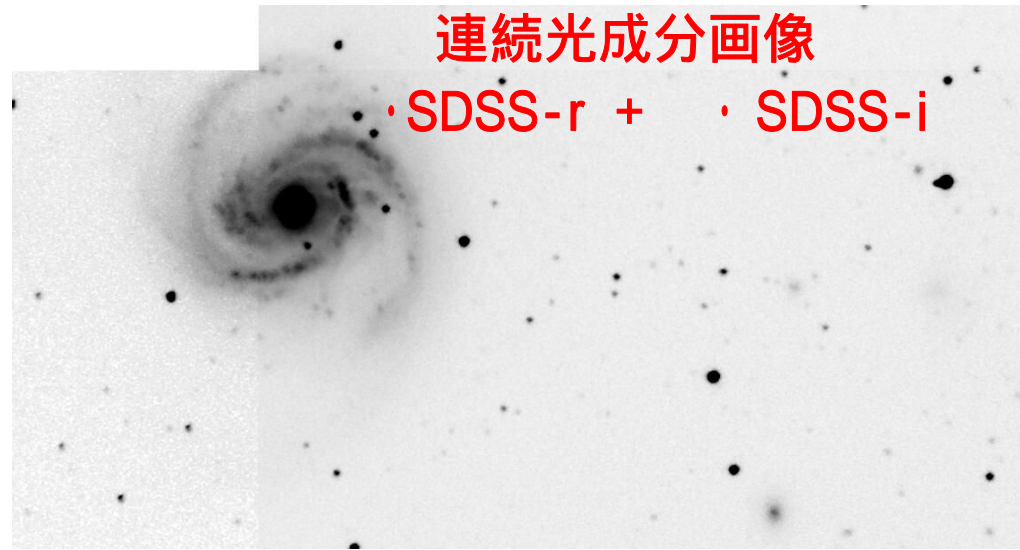
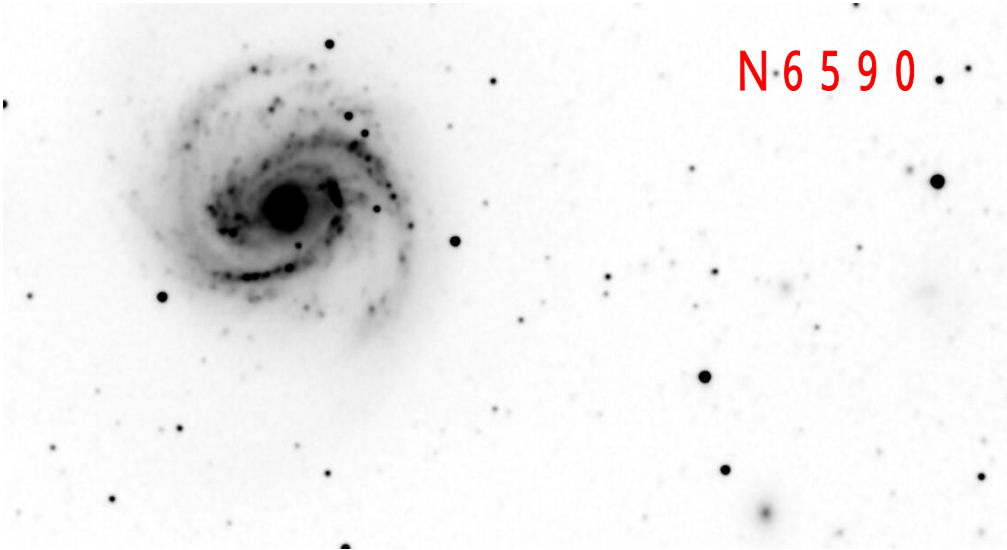


N5013 → B と V または SDSS-g と SDSS-r の組み合わせ? → 分析を急ぎたい

N6590 → M100領域において、SDSS-r と SDSS-i の組み合わせを試した。

#### 4. 近傍渦巻銀河領域の狭帯域撮像

22



N6590から連続光成分を差し引いたH 画像

N6590、SDSS-r、SDSS-i 画像から恒星を検出・測光して、SDSS-rとSDSS-i のフラックスからN6590のフラックスを再現する係数  $a$  と  $b$  を最小二乗法で決める。

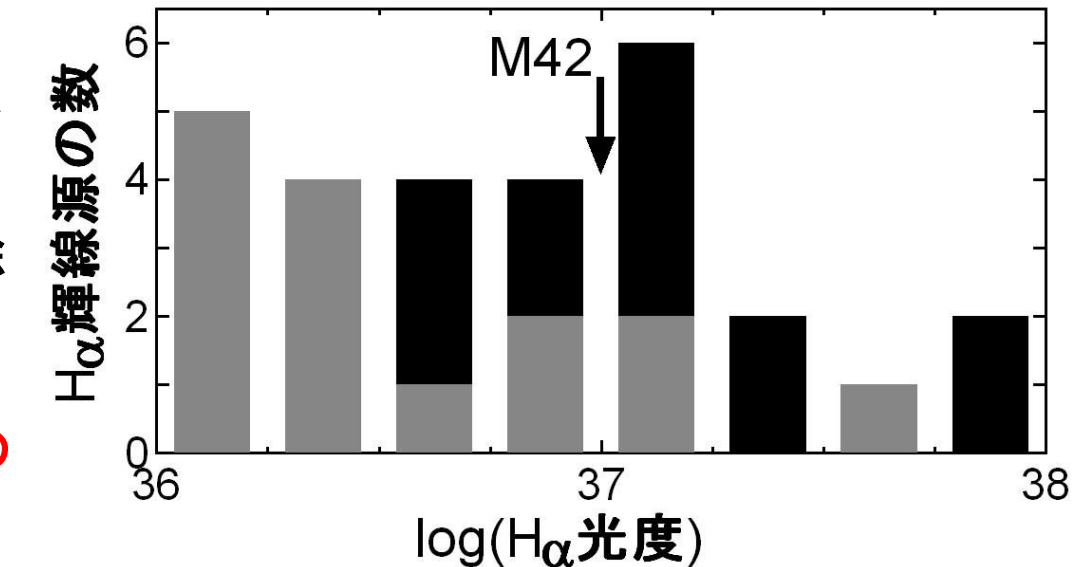
$$\frac{I_{N6590}}{I_{N6590}} = \frac{I_{SDSS-r}}{I_{N6590}} + \frac{I_{SDSS-i}}{I_{N6590}} = 1$$

と  $a$  の重みでSDSS-rとSDSS-i を合成。

Chip#0 ~ #7のH $\alpha$ 輝線画像に対して、SExtractorによるH $\alpha$ 輝線源(HII領域候補)の検出を行った。

眼視によって、恒星の引き残りを取り除き、NEDとの比較によって既知の銀河を除いた結果、全8チップから、計28個のH $\alpha$ 輝線源を得た。このうち15個がM100の $R_{25}$ 外のものである。

M100までの距離を16.6 MpcとしてH $\alpha$ 光度分布を作成した。



⇒ 実は、暗い恒星の引き残りの可能性が残っている… → 要確認

## まとめと今後

- ・ Kiso105+KWFC+NBF の分析環境がようやく整ってきた。
- ・ M100は想定する最遠銀河の一つ。要確認ながらHII領域候補は検出されている。
- ・ 解析スクリプトに、位置合わせなど、まだ作成すべき箇所がある。
- ・ [OIII]輝線用の連続光成分画像の作成が必要。
- ・ 他に N925、I 342、N2403、N6946 のデータを取得。これらの解析も進めたい。
- ・ 継続的にH $\alpha$ 対応狭帯域フィルターの資金獲得に挑みたい。