

木曾105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラによる狭帯域撮像データの解析方法の再考

千葉督,石井菜摘,西浦慎悟,柏木雄太,三澤瑠花 (東京学芸大学・教育)
2018.7.10 - 11 木曾シュミットシンポジウム2018

概要

東京大学木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラ,狭帯域/広帯域フィルターを使用して近傍渦巻銀河NGC2903,M61のH α ,[S II]輝線源について狭帯域撮像観測を行った。連続光の作成について,狭帯域画像1枚を使用した場合,狭帯域画像1枚と広帯域画像1枚を内挿して使用した場合,広帯域画像1枚を使用した場合,広帯域画像2枚を内挿した場合,という4つの方法で行い,それぞれの場合について輝線源の検出数の比較と同一輝線源に対する輝線強度の比較を行った。
連続光を最もよく再現できるのは狭帯域画像1枚を連続光として使用した場合であったが,4つの方法のいずれも誤差は数%程度であった。また広帯域画像を連続光に使用した2例では連続光の再現性は狭帯域1枚を使用した場合に劣るものの,1等級ほど暗い輝線源まで検出できる可能性があることがわかった。したがって検出数を優先するのであれば広帯域画像で連続光を再現した方が効率が良いと考えられる。

目的

CCDチップの大型化の影響もあり大型狭帯域フィルターの制作費用が高価になった今日,輝線のオフ点に狭帯域フィルターを1枚使用する場合や広帯域フィルターを1枚使用する場合など様々な例が見られるようになった。
しかし輝線のオフ画像の作成方法によって,実際に検出率や輝線源の輝線強度が変化するか否かといった重要な基本的な調査・検証・議論の公表は皆無である。
そこで本研究は木曾シュミット望遠鏡に搭載した2kCCDカメラで撮影した近傍渦巻銀河NGC2903,M61の狭帯域および広帯域画像を用いて複数の方法で連続光画像を作成し,これによって得られた輝線画像の検出数や輝線強度を相互に比較・考察することで狭帯域撮像データの解析方法を再考することを目的とする。

はじめに

1つの系外銀河には数十から数千のH II領域が存在している。H II領域に対して複数の輝線情報を得るには分光観測が一般的であるが,一度に多数のH II領域に対して分光観測を行うことは不可能である。一方でいくつかの輝線情報を得るだけであれば狭帯域撮像観測の方が効率が良い。このために特定の輝線に対応した狭帯域フィルターが必要となる。
輝線成分の検出では連続光を分離するために,輝線成分の領域と輝線帯域に近いが輝線成分の無視できる領域を撮像観測する。輝線オンの画像から輝線オフの画像を差し引くことで輝線画像を作成することができる。

サンプル

H II領域を検出するために,比較的近傍にあり,銀河自身による内部吸収の効果の少ないface-on viewの渦巻き銀河であるNGC2903, M61をサンプルとした。

Name	RA(J2000)	Dec(J2000)	Hubble_type	Distance	V _{helio}
NGC2903	09h32m03s	+21d03m03s	SABbc	8 Mpc	550 km/s
M61	12h21m55s	+04d28m25s	SABbc	15 Mpc	1566 km/s

(NED)

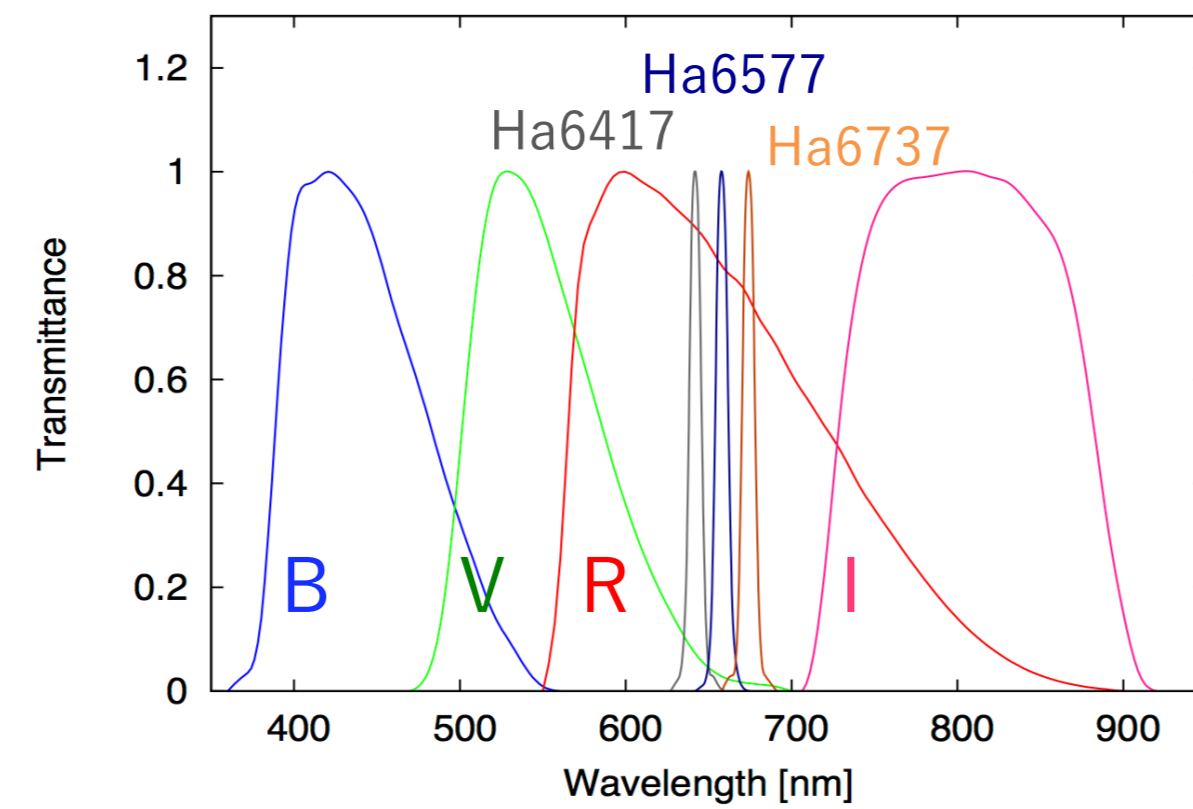
観測機器・観測

観測機器は東京大学木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラを使用した。狭帯域フィルターとしてH α 輝線オフ点/オン点用のHa6417/Ha6577,[S II]オン点用のHa6737を使用し,また2kCCDの広帯域フィルターとしてJohnson-CousinsシステムのB,V,R,Iフィルターも使用した。

フィルター名	ピーク波長[nm]	半幅幅[nm]	帯域[nm]
Ha6417	642	8.0	638.0 - 645.9 H α + [N II] オフ点
Ha6577	658	8.2	653.8 - 662.1 H α + [N II] オン点
Ha6737	674	8.3	669.9 - 678.2 [S II] オン点
B	445	101	
V	551	83	
R	659	167	
I	806	154	

↑ 2kCCDフィルターシステム

観測日は2007/4/15, 3/8, 2009/5/1である。宇宙線やバッドピクセルによる影響を軽減するためにデザイン観測を行った。
また各夜でバイアス画像を20枚ほど,バンドごとにドームフラット画像も6枚ほど撮影した。



サンプル	観測日	フィルター	露光時間[s]	枚数	総積分時間[s]
NGC2903	2007/4/15	Ha6417	60	6	360
		Ha6577	60	6	360
		B	210	6	1260
NGC2903	2008/3/8	V	80	6	480
		R	25	6	150
		I	80	6	480
		B	300	6	1800
M61	2009/5/1	Ha6417	300	6	1800
		Ha6577	300	6	1800
		Ha6737	300	6	1800
		B	300	3	900
M61	2009/5/1	V	300	3	900
		R	180	3	540
		I	180	3	540

解析方法

IRAFによりリダクションを行った画像から連続光画像を作成する。輝線画像と連続光画像の組み合わせは以下のCase A~Dとなる。
Case B,Dについて,輝線オン点画像をHa,隣接する2つの波長帯をX,YとしてHa,X,Yのi番目の星のフラックスをI_{Ha,i},I_{X,i},I_{Y,i}とおくと[1]式が成り立つ。フラックス比を考慮した最小2乗法によって画像を内挿した。

Case	輝線オン	連続光画像
A	Ha6577	Ha6417
B	or	Ha6417 & I
C	Ha6737	R
D		V & I

$$\frac{I_{Ha,i}}{I_{Ha,i}} = \alpha \frac{I_{X,i}}{I_{Ha,i}} + \beta \frac{I_{Y,i}}{I_{Ha,i}} \dots [1]$$

$$\frac{I_{Ha,i}}{I_{Ha,i}} = J_{Ha,i} = 1, \quad \frac{I_{X,i}}{I_{Ha,i}} = J_{X,i}, \quad \frac{I_{Y,i}}{I_{Ha,i}} = J_{Y,i} \quad \text{と} \quad \text{おいて}$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N J_{X,i} \cdot \sum_{i=1}^N (J_{Y,i})^2 - \sum_{i=1}^N J_{Y,i} \cdot \sum_{i=1}^N J_{X,i} J_{Y,i}}{\sum_{i=1}^N (J_{X,i})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (J_{Y,i})^2 - (\sum_{i=1}^N J_{X,i} J_{Y,i})^2} \dots [2]$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^N (J_{X,i})^2 \cdot \sum_{i=1}^N J_{Y,i} - \sum_{i=1}^N J_{X,i} \cdot \sum_{i=1}^N J_{X,i} J_{Y,i}}{\sum_{i=1}^N (J_{X,i})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (J_{Y,i})^2 - (\sum_{i=1}^N J_{X,i} J_{Y,i})^2} \dots [3]$$

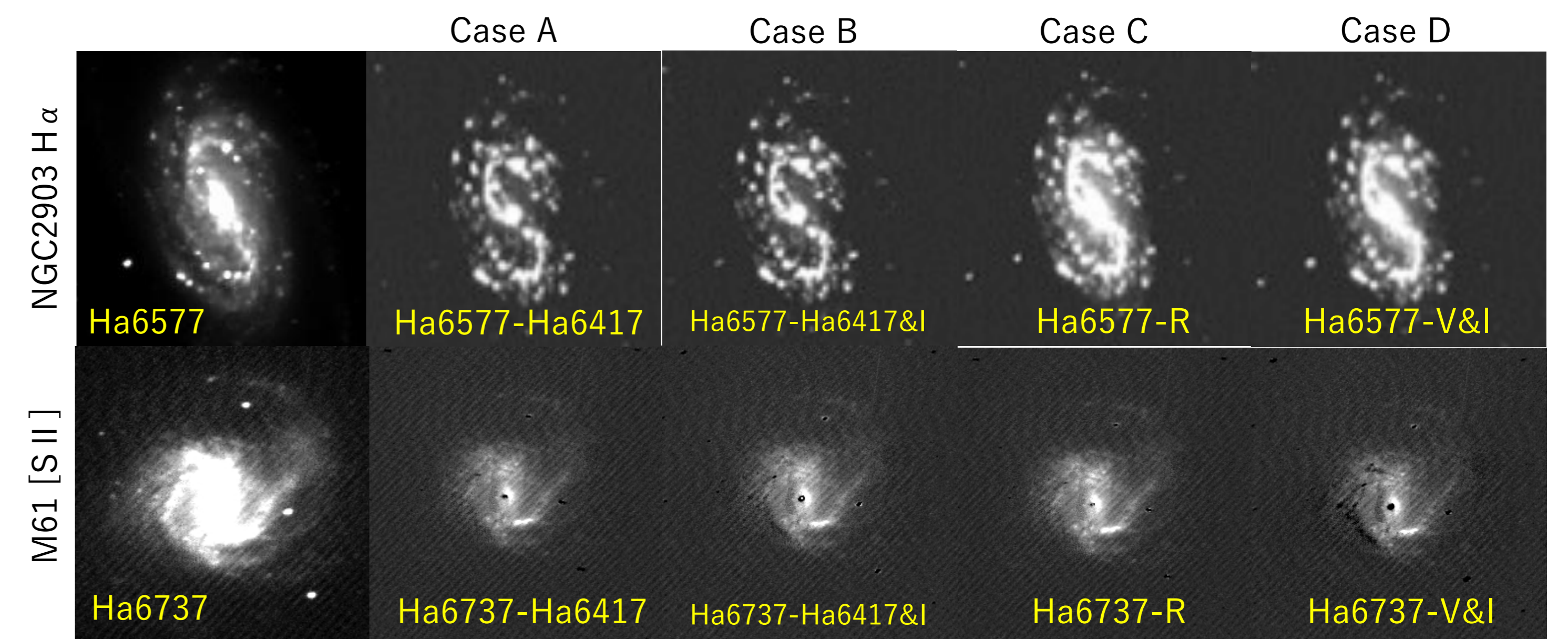
結果・議論

検出数の比較

CaseA~DにおいてH α 輝線画像はNGC2903,[S II]輝線画像ではM61の画像を以下に示す。輝線源の検出にはSExtractorを使用した。検出条件は背景ゆらぎの1.5 σ 以上かつ9ピクセル以上として,輝線強度を器械等級で表した。また各銀河に付随した輝線源を抽出するために,NGC2903は銀河中心から275pixel(=6.9', 16pc)の円内,M61はRC3のD25とR25で定義される楕円内の輝線源であることを条件とした。またそれぞれの検出数を右表に示す。

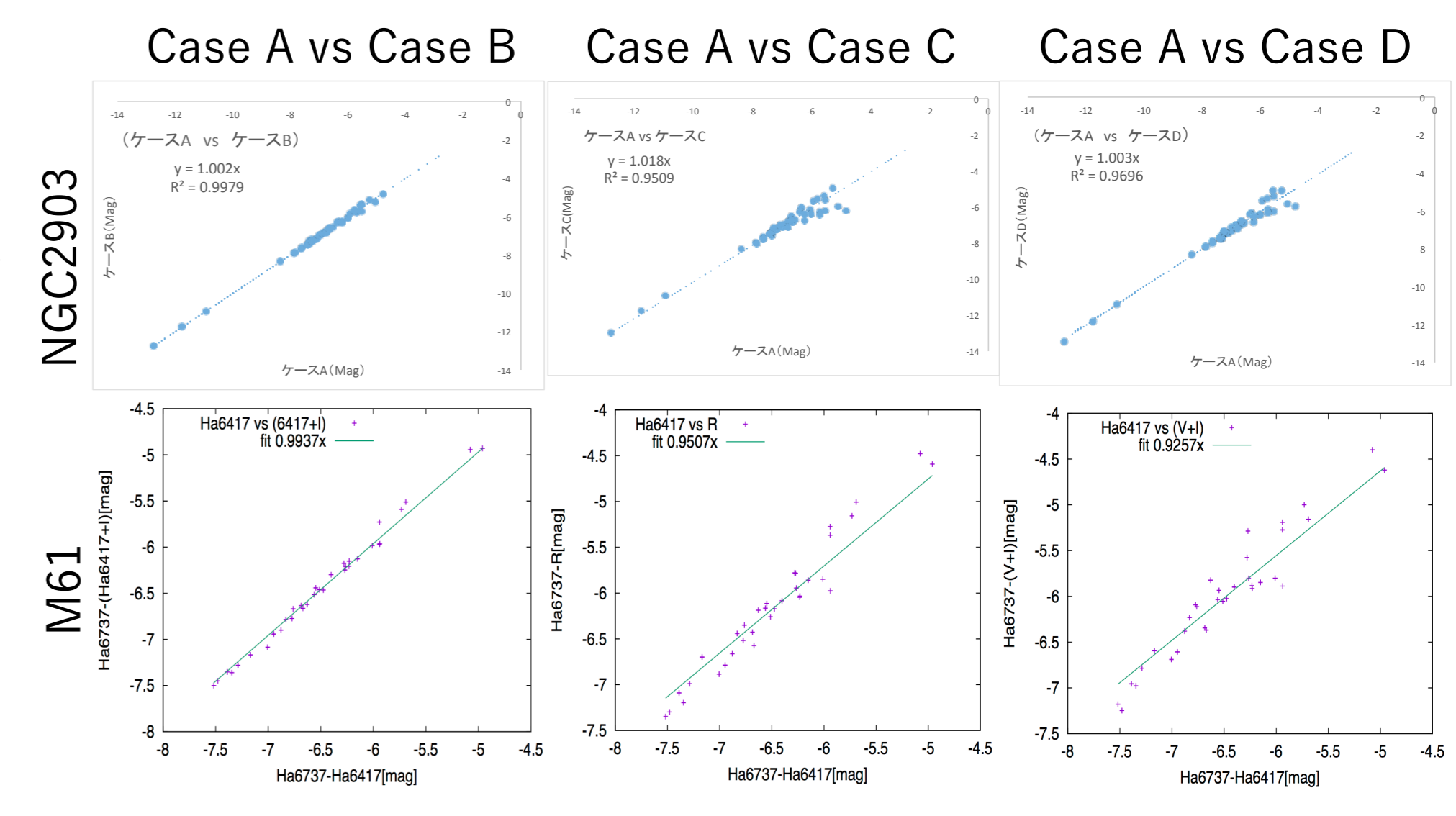
Case	NGC2903	H α	[S II]	M61
A	90	130	74	
B	102	100	118	
C	105	144	150	
D	122	198	168	

↑ Case A~Dにおける検出数
↓ 銀河に付随するH α ,[S II]輝線源



連続光の再現性と同一輝線源に対する輝線強度の比較

1自由度あたりの残差平方和d²が最も小さくなるのはCaseAであり,これが最もよく連続光を再現できていた。続いてCaseBである。広帯域画像を用いたCaseC,DではCaseA,Bよりも1等級暗い輝線源まで検出できているため輝線強度の分布のピークが1等級程度有意に暗くなるのがわかった。
しかし輝線の強度分布の違いは同一輝線源を1等級程度暗く見積もっている可能性もある。
そこでCaseAとB,C,Dにおいて輝線強度の相関を調べるため,右図のように切片を0とする最小2乗法による一次近似を行った。傾き α と1自由度あたりの残差平方和の値を右表に示す。線形フィットによる傾きはいずれも1程度であった。したがって広帯域画像を連続光とすると,連続光の再現性は狭帯域に劣ると思われるが1等級程度暗い輝線源まで検出する可能性がある。



Case	H α			[S II]		
	α	d ² /(n-2)		α	d ² /(n-2)	
NGC2903						
A vs B	1.002 ± 0.001496	0.005035		1.008 ± 0.0009787	0.007380	
A vs C	1.018 ± 0.007071	0.1125		0.9577 ± 0.003453	0.05882	
A vs D	1.003 ± 0.005769	0.07486		0.9126 ± 0.006674	0.3292	
M61						
A vs B				0.9937 ± 0.001175	0.003015	
A vs C				0.9507 ± 0.003487	0.02387	
A vs D				0.9257 ± 0.003876	0.03795	

↑ Case A~Dにおける輝線強度の相関と1自由度あたりの残差平方和

本研究において,狭帯域フィルターから輝線画像を作成する際に最もよく連続光を再現できるのは輝線のオン点画像に隣接した狭帯域画像1枚を用いたケース(CaseA)であった。広帯域画像を1枚もしくは2枚用いて連続光を再現した場合(CaseC,D),連続光の除去精度はCaseAより劣ると思われるが,1等級ほど暗い輝線源まで検出できる可能性があることがわかった。ただしCaseA~Dのいずれも誤差は数%程度である。
したがって,検出数を優先するのであれば広帯域画像で連続光を再現した方が効率が良いと考えられる。

東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター助手の征矢野隆夫氏,同観測所研究員(当時)の富田浩行氏,本学教育学部(当時)の斉藤明日香氏には観測のサポートをして頂きました。心から感謝申し上げます。
また本研究は,学術振興会による科学研究費補助金(16K12750:代表者 西浦慎悟)および住友財団基礎科学研究助成(代表者:西浦慎悟)から支援を受けました。ここに深くお礼申し上げます。

Thank You for Your Attentions !!