

# HST/WFC3 の画像を用いたバックグラウンドレベルの推定

JASMINE-C2-TN-R0-20220330-01-background

大澤亮

2022 年 3 月 29 日

---

JASMINE が観測する銀河中心領域における広がったバックグラウンド放射の強度レベルを見積もる。Hubble Legacy Archive (HLA) から銀河中心を赤外線チャンネルで観測したデータを取得し、ヒストグラムからバックグラウンド放射のカウントレートを求めて面輝度に変換する。2つの観測プロジェクトから2波長合計16枚の画像データを取得した。カウント値からエネルギーフラックスに変換して光子のレートに変換する。

---

## 1 検討の方針

JASMINE が観測する銀河中心領域は天体が密に存在しており、暗い星の重ね合わせによって広がったバックグラウンド放射を構成していると考えられる。地上観測では点源に分解できなかった放射は前景の大気からの放射と見分けがつかないため、放射レベルの絶対値を見積もることは難しい。そこで、宇宙からの観測でありキャリブレーションされたデータが公開されている Hubble Space Telescope の Wide Field Camera 3 (WFC3)<sup>1</sup>のデータを使用してバックグラウンド放射の強度レベルを見積もる。

## 2 使用するデータ

Hubble Legacy Archive (HLA)<sup>2</sup>で銀河中心から半径  $0.5^\circ$  に存在する観測データを検索した。図 1 に HLA のスクリーンショットを表示した。ここでは JASMINE の観測波長域に近い F127M ( $1.274\mu\text{m}$ ) と F139M ( $1.384\mu\text{m}$ ) のフィルタで観測がされていた2つのプロジェクトのデータを取得した。データの諸情報を表 1 にまとめた。いずれのデータもリダクション済みであり、複数枚の画像の足し合わせや明るさのキャリブレーションも完了している。HLA では DAOPHOT を使用して測光した結果も公開されている。参考のためこちらもダウンロードした。

### 2.1 Hubble Space Telescope/Wide Field Camera 3

WFC3 の装置仕様はウェブ上に詳細なドキュメントが公開されている。<sup>3</sup> WFC3 は紫外可視チャンネル (UVIS, two  $2k \times 4k$  CCDs,  $162'' \times 162''$ , 200–1000nm) と赤外線チャンネル ( $1k \times 1k$  HgCdTe,  $136'' \times 123''$ , 800–1700nm) をもつ撮像分光観測装置である。HLA から取得したデータはバイアス引き、ダーク引き、フラット補正、バッドピクセル除去、宇宙線除去、非線形性補正、Drizzle による合成が完了している。また、FITS ファイルにはサイエンスフレームに加えてキャリブレーションの情報を保存したフレームも含まれている。

サイエンスフレームのカウント値は  $\text{electron/s}$  で与えられている。WFC3 の測光システムについてはドキュメントの 9.1 Photometry で詳細に記述されている。WFC3 の instrumental magnitude は以下の式で定義されている。


$$m_{\text{inst}} = -2.5 \log F_{\text{count}}. \quad (1)$$

---

<sup>1</sup> <https://www.stsci.edu/hst/instrumentation/wfc3>

<sup>2</sup> <https://hla.stsci.edu/hla.welcome.html>

<sup>3</sup> <https://hst-docs.stsci.edu/wfc3ihb>



# Hubble Legacy Archive

Galactic Center  $r = 0.5$   
Examples: M101, 14 G3 12.6 +54 20 56.7 r=0.3d more...  
Requires Firefox, Safari, IE, or compatible browser

Inventory

Images

Footprints

24 files/0 datasets, ~653.40 MB

Grism Spectra (ST-ECF)

Help Center

Galactic Center  $r = 0.5$  RA = 266.415009 Dec = -29.066111  $r = 0.500000$  [17:45:39.602 -29:00:22.00]

Results 1-5 of 5 (209 before filtering)

Click column heading to sort list - Click rows to select

Add selection to cart

Show selected rows: 

First

Unselected

Only

Not

Select all

Reset selection

Text boxes under columns select matching rows

Filters: Spectral\_Elt=F127M PropID=12182

Display	PlotCat	Retrieve	RA	DEC	Level	Target	Detector	Aperture	Spectral_Elt	NExposures	ExpTime	StartTime	Dataset	PropID	VisitNum	PI_Name	DAOcat		
Display	PlotCat		17:45:49.7	-29:01:02.3	2	MW-NSC-V36	WFC3/IR	IR-FIX	F127M	8	3593.87	2011-05-21 12:35:38	hst_12182_46_wfc3_ir_f127m	12182	46	Do			
Display	PlotCat		17:45:30.54	-28:59:54.9	2	MW-NSC-V43	WFC3/IR	IR-FIX	F127M	8	3593.87	2011-05-20 12:36:40	hst_12182_47_wfc3_ir_f127m	12182	47	Do			
Display	PlotCat		17:45:53.87	-28:57:26.1	2	MW-NSC-V38-COPY-1	WFC3/IR	IR-FIX	F127M	4	1396.93	2011-02-12 00:28:23	hst_12182_48_wfc3_ir_f127m	12182	48	Do			
Display	PlotCat		17:45:36.28	-29:02:40.0	2	MW-NSC-V40	WFC3/IR	IR-FIX	F127M	9	4043.11	2011-05-21 16:08:40	hst_12182_a6_wfc3_ir_f127m	12182	a6	Do			
Display	PlotCat		17:45:45.68	-28:57:54.6	2	MW-NSC-V41	WFC3/IR	IR-FIX	F127M	9	4043.11	2011-05-20 16:10:37	hst_12182_a7_wfc3_ir_f127m	12182	a7	Do			

Results 1-5 of 5 (209 before filtering)

Columns

Show all columns Restore original column order

Name	Unit	Datatype	Description
URL		char[*]	Link to data
RA	deg	double	RA (J2000)
DEC	deg	double	Dec (J2000)
Level		int	Processing level: 1=exposure 2=combined 3=mosaic 4=color 5=HLSF
Target		char[*]	Proposal target name
Detector		char[*]	Detector
Aperture		char[*]	Instrument aperture or slit
Spectral_Elt		char[*]	Filter or spectral element name
NExposures		int	Number of exposures combined in this image
ExpTime	s	double	Total exposure time
StartTime		char[*]	Start time of first exposure
Dataset		char[*]	Name of image
PropID		char[*]	HST proposal number (or "multi" for combined images)
VisitNum		char[*]	Visit number within proposal
PI_Name		char[*]	PI last name
DAOcat		char[*]	Processing status for DAOcat catalog
SEXCat		char[*]	Processing status for SEExtractor catalog
Mode		char[*]	Data collection mode
DBCreationDate		char[*]	Date when this dataset was added to database
Source		char[*]	Source for this dataset (one of HLA, ECF, CADC, DADS, HLSF, HSTCACHE)
Wavelength	0.1nm	double	Characteristic wavelength for bandpass
Format		char[*]	Format of image
ReleaseDate		char[*]	Date when these data are made public (GMT)
NReleaseDate		long	Date when these data are made public (seconds since 1970)
Title		char[*]	Summary title
naxis		int[*]	Image size (pixels)
scale	deg/pix	double[*]	Pixel scale
naxes		int	WCS info
crpix	pix	double[*]	WCS info
crval	deg	double[*]	WCS info
cd_matrix	deg/pix	double[*]	WCS info
filename		char[*]	Filename (comma-separated list for color)
regionSTCS		char[*]	STC/S footprint region description

Instructions

To change the order of the columns, drag rows in the table to the left. To change which columns are shown, drag them above or below the gray dividing bar, or drag the dividing bar itself. Add or remove one column at a time using the arrow links (← →) at the end of the column headings in the table above. See the [help](#) and [FAQ](#) for more information on sorting and filtering the inventory table.

HOME

HELP CENTER

CONTACT US

ACKNOWLEDGMENT

STScI ST-ECF CADC

図 1: Hubble Legacy Archive のスクリーンショット

表 1: 使用したデータの概要

Filename	Object	Filter	$T_{\text{exp}}$ (s)	Prop ID	PI name
hst_11671_04_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	ARCHES	F127M	7190.786	11671	Ghez
hst_11671_04_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	ARCHES	F139M	3492.327	11671	Ghez
hst_11671_05_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	QUINTUPLET	F127M	7190.786	11671	Ghez
hst_11671_05_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	QUINTUPLET	F139M	3492.327	11671	Ghez
hst_11671_06_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	SGRA	F127M	7190.786	11671	Ghez
hst_11671_06_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	SGRA	F139M	3492.327	11671	Ghez
hst_12182_46_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	MW-NSC-V35	F127M	3593.868	12182	Do
hst_12182_46_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	MW-NSC-V35	F139M	2193.086	12182	Do
hst_12182_47_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	MW-NSC-V43	F127M	3593.868	12182	Do
hst_12182_47_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	MW-NSC-V43	F139M	2193.086	12182	Do
hst_12182_48_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	MW-NSC-V38*	F127M	1396.930	12182	Do
hst_12182_48_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	MW-NSC-V38*	F139M	996.927	12182	Do
hst_12182_a6_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	MW-NSC-V37	F127M	4043.102	12182	Do
hst_12182_a6_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	MW-NSC-V37	F139M	2193.086	12182	Do
hst_12182_a7_wfc3_ir_f127m_run_1_drz	MW-NSC-V41	F127M	4043.102	12182	Do
hst_12182_a7_wfc3_ir_f139m_run_1_drz	MW-NSC-V41	F139M	1993.854	12182	Do

\* 正確な観測領域名は MW-NSC-V38-COPY-1.

2

表 2: HST/WFC3 等級原点リスト (WFC3 ISR 2020-10; Bajaj et al., 2020)

Filter	$\lambda_{\text{pivot}}$	$\Delta\lambda$	$M_{\text{AB}}$	$M_{\text{Vega}}$	$M_{\text{ST}}$	$C_{0,\lambda}^*$
F127M	12740.29	249.56	24.6246	23.6572	26.4584	$9.452 \times 10^{-20}$
F139M	13837.62	278.02	24.4663	23.3815	26.4796	$9.313 \times 10^{-20}$

\* electron/sec から  $\text{erg/s/cm}^2/\text{\AA}$  に変換するための係数.

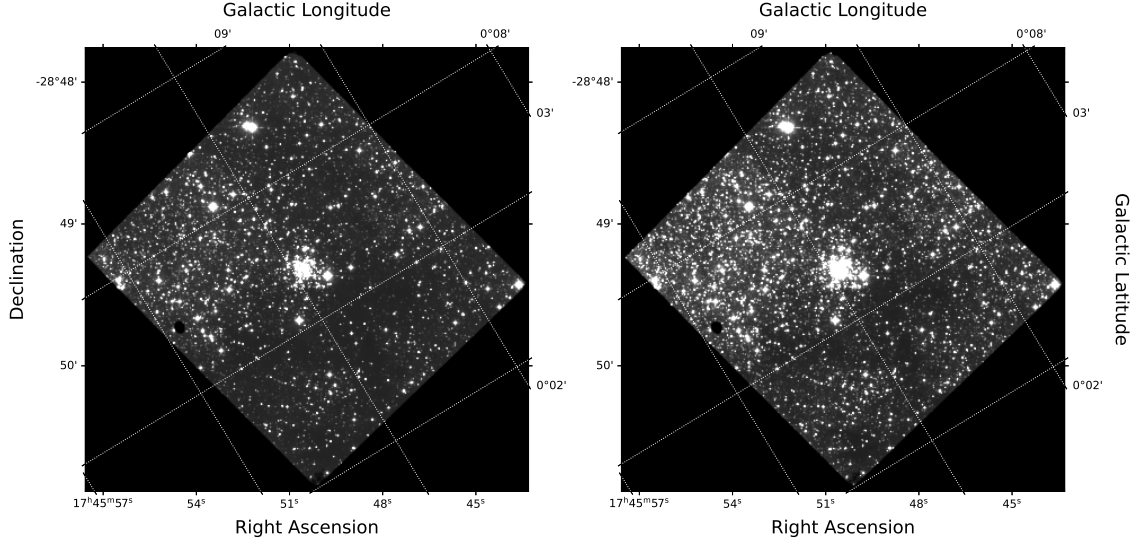


図 2: Arches (Prop ID = 11671) の画像データ. 左パネルは F127M の画像, 右パネルは F139M の画像でどちらもリニアスケールで表示している.

$F_{\text{count}}$  はカウントレート (electron/s) である. 物理的な値に変換するために WFC3 Instrument Science Report 2020-10 (Bajaj et al., 2020) にて報告された等級原点を使用する. 表 2 に今回使用するフィルタの等級原点と変換係数をリストした.

## 2.2 画像データ

サンプルとして Arches の画像データを図 2 に示した. 左右のパネルに F127M と F139M の画像をそれぞれリニアスケールで表示した. 画像のスケールはどちらも  $0.5\text{--}2.5\text{electron/s}$  としている. その他の画像は図 4, 5 に表示した. いずれの画像もピクセルスケールは  $8.10 \times 10^{-3} \text{arcsec}^2$  である. 画像の向きは ICRS 座標系準拠であり, 銀河座標系の座標軸を重ねている.

## 3 バックグラウンドレベルの評価

有効画素のヒストグラムからバックグラウンドレベルを評価する. 選定した領域は星の密度が高い領域ではあるが, 総面積としては明るい星以外の領域が大半を占める. そこで画素値のヒストグラムを作成し, ピーク位置から典型的なバックグラウンド放射の強度を推定する.

表 2 に記載された  $C_{0,\lambda}$  (PHOTFLAM) とピクセルスケール  $\theta$  を使用してカウント値を立体角あたりのエネルギーフラックス密度に変換する.

$$S_{\lambda} = F_{\text{count}} C_{0,\lambda} / \theta^2. \quad (2)$$

図 3 に Arches の画像データから作成したヒストグラムを示す. 上下のパネルはそれぞれ F127M と F139M の画像に対応する. ヒストグラムの幅はどちらも  $1 \times 10^{-18} \text{Js}^{-1} \text{m}^2 \mu\text{m arcsec}^{-2}$  から  $1 \times 10^{-12} \text{Js}^{-1} \text{m}^2 \mu\text{m arcsec}^{-2}$  までを等間隔に 400 等分している. ヒストグラムのピーク値を典型的なバックグラウンド放射の強度として見積もった. 計算したピーク位置をオレンジ色の破線で示している. 同じ

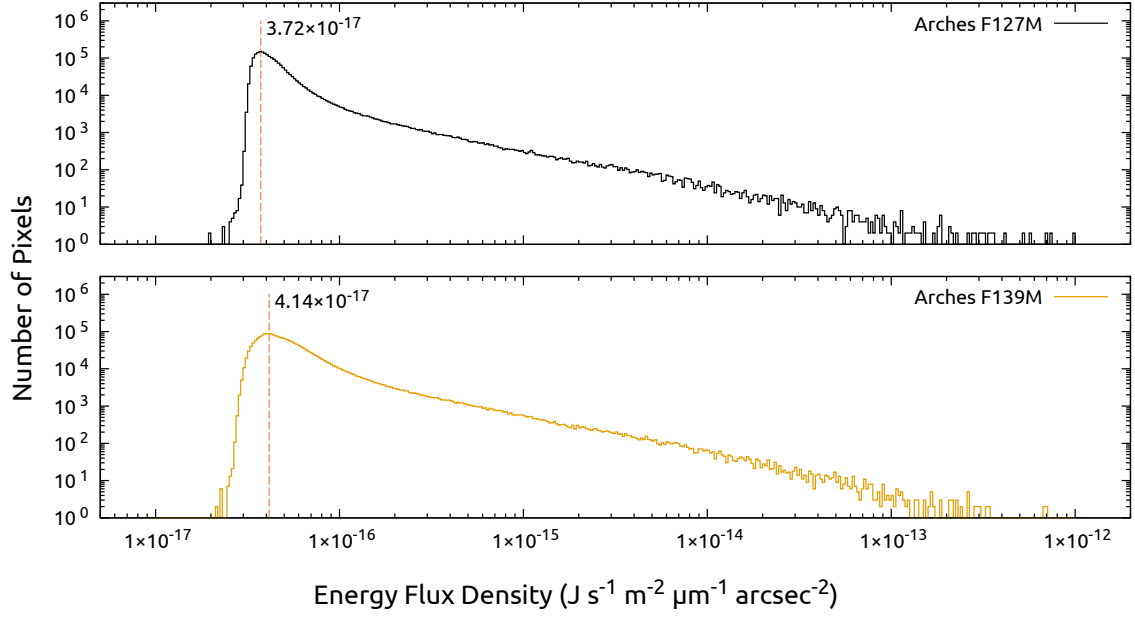


図 3: Arches の画像データを元で作成した面輝度のヒストグラム. 上下のパネルはそれぞれ F127M と F139M の画像を使用して作成した. 推定したピーク位置を破線で示した.

表 3: 推定したバックグラウンド放射強度

Object	Energy Flux Density*		Photon Flux Density†		Electron Count Rate‡	
	F127M	F139M	1.1–1.6 μm	0.9–1.6 μm	1.1–1.6 μm	0.9–1.6 μm
Arches	$3.72 \times 10^{-17}$	$4.14 \times 10^{-17}$	139.35	168.25	2.05	2.48
Quintuplet	$4.53 \times 10^{-17}$	$5.90 \times 10^{-17}$	203.12	227.15	2.99	3.35
SGRA	$5.46 \times 10^{-17}$	$1.03 \times 10^{-16}$	431.19	443.28	6.36	6.54
MW-NSC-V35	$4.09 \times 10^{-17}$	$4.73 \times 10^{-17}$	159.49	188.48	2.35	2.78
MW-NSC-V43	$5.28 \times 10^{-17}$	$7.79 \times 10^{-17}$	280.64	301.44	4.14	4.44
MW-NSC-V38	$6.78 \times 10^{-17}$	$8.21 \times 10^{-17}$	278.53	321.29	4.11	4.74
MW-NSC-V37	$3.91 \times 10^{-17}$	$5.39 \times 10^{-17}$	188.88	206.91	2.78	3.05
MW-NSC-V41	$4.88 \times 10^{-17}$	$6.85 \times 10^{-17}$	241.70	263.33	3.56	3.88

\* in units of  $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{arcsec}^{-2}$

† integrated over JASMINE's photometric band; in units of  $\text{photons s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{arcsec}^{-2}$

‡ integrated over JASMINE's photometric band; in units of  $\text{electrons s}^{-1} \text{pixel}^{-1}$

操作をすべての領域におこない、バックグラウンド放射の強度をそれぞれ導出した. 計算した結果を表 3 にまとめた. 他の領域のヒストグラムは図 6 にまとめて表示している.

推定したエネルギーフラックス密度を JASMINE の観測波長帯でのフォトンフラックスに換算する. 簡単のためにバックグラウンド放射が等級空間 (対数空間) で波長に対して線形であると仮定する. 表 3 に記載した  $1.274 \mu\text{m}$  と  $1.384 \mu\text{m}$  の推定値からバックグラウンド放射の SED を以下のように定義する.

$$S_{\lambda, \text{BG}}(\lambda) = \exp\left(\frac{\lambda_{\text{F135M}} - \lambda}{\lambda_{\text{F135M}} - \lambda_{\text{F127M}}} \log S_{\lambda, \text{F127M}} + \frac{\lambda - \lambda_{\text{F129M}}}{\lambda_{\text{F135M}} - \lambda_{\text{F127M}}} \log S_{\lambda, \text{F139M}}\right). \quad (3)$$

$\lambda_X$ ,  $S_{\lambda, X}$  はそれぞれは観測フィルタ X の有効波長とバックグラウンド放射強度である. 光子数に変換して JASMINE の観測波長帯域で積分することで, 実効的なフォトンフラックス面密度を計算する.

$$S_{\text{BG}}^{\text{photon}} = \int S_{\lambda, \text{BG}}(\lambda) \frac{\lambda}{hc} d\lambda \quad (4)$$

JASMINE の観測波長として  $1.1\text{--}1.6 \mu\text{m}$  を仮定したケースと  $0.9\text{--}1.6 \mu\text{m}$  を仮定したケースをそれぞれ

表 3 に記載した. 単位は  $\text{photons s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{arcsec}^{-2}$  である.

JASMINE の観測においてピクセルあたり検出する電子数を見積もる. ピクセルスケールを  $0.424 \text{ arcsec}$ , 主鏡の有効直径を  $40 \text{ cm}$  とする. 光学系の効率を  $0.97^5 = 0.86$ , フィルタの透過率を  $0.95$ , 検出器の量子効率を  $0.8$  とする. バックグラウンド放射から期待される電子の発生レートを表 3 にまとめた. 現在想定している InGaAs 検出器のダークカレントは  $15.5 \text{ electrons s}^{-1} \text{pixel}^{-1}$  である. 今回調査した中で最も電子の発生レートが高かったのは SGRA 領域の  $6.54 \text{ electrons s}^{-1} \text{pixel}$  である. これは検出器のダークカレントに対して  $40\%$  程度のレートであり, バックグラウンド放射の寄与はダークカレントを上回ることにはなさそうであるが, 無視できない程度の寄与になると考えられる.

## 付録 A 画像データ

### A.1 HST/WFC3 画像データ

この資料で使用した画像データを図 4, 5 に表示する. 画像の説明はいずれも図 2 と同様である.

### A.2 面輝度ヒストグラム

バックグラウンド放射強度の推定に使用したヒストグラムを図 6 に表示する. 画像の説明はいずれも図 3 と同様である.

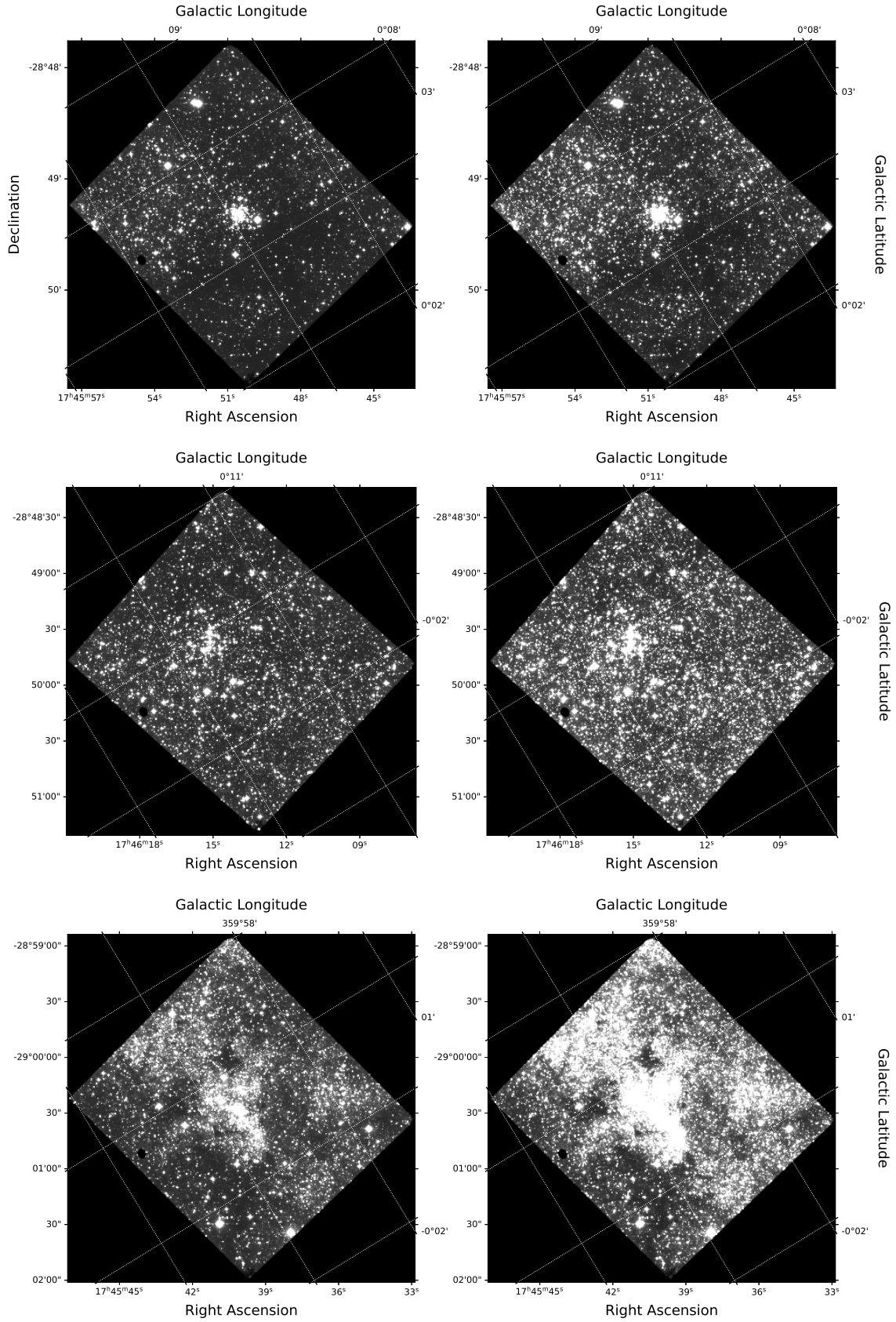


図 4: Proposal ID 11671 の画像データ. 左パネルは F127M の画像, 右パネルは F139M の画像でどちらもリニアスケールで表示している. 上から順番に Arches, Quintuplet, SGRA の領域を示す.

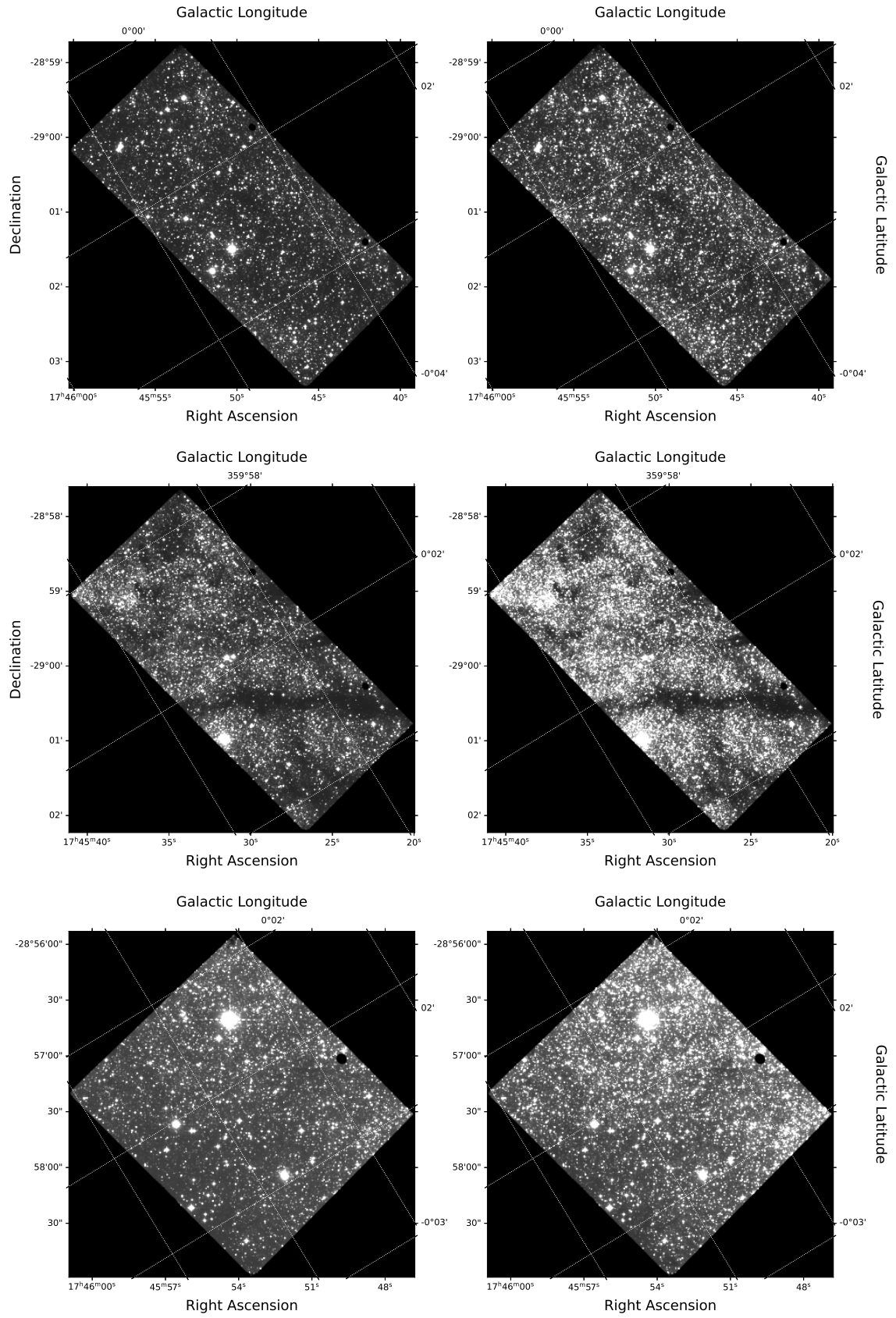


図 5: Proposal ID 12182 の画像データ. 左パネルは F127M の画像, 右パネルは F139M の画像でどちらもリニアスケールで表示している. 上から順番に MW-NSC-V35, MW-NSC-V43, MW-NSC-V38 の領域を示す.



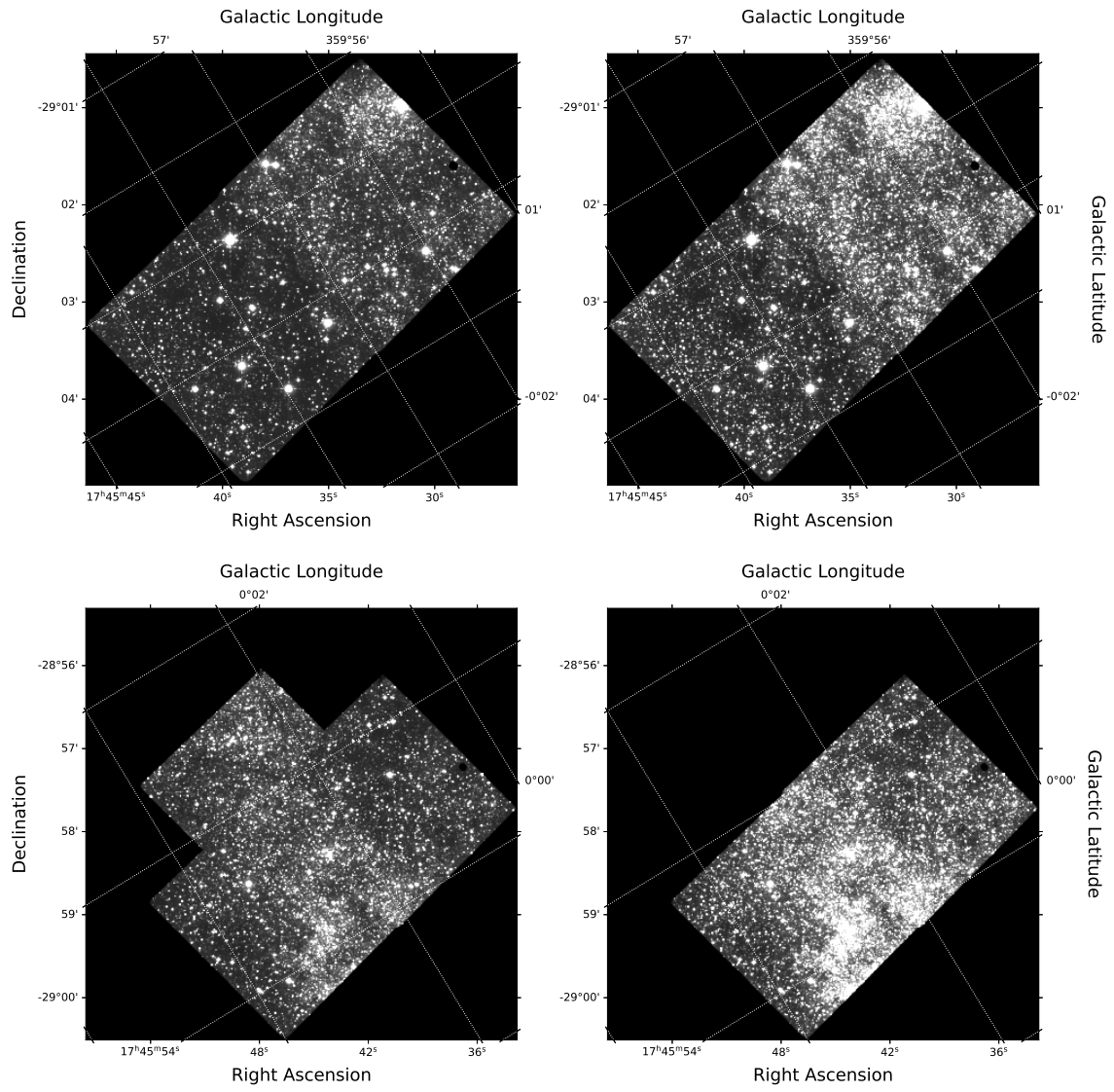


図 5: (cont.) Proposal ID 12182 のデータ. 上から順番に MW-NSC-V37, MW-NSC-V41 の領域を示す.



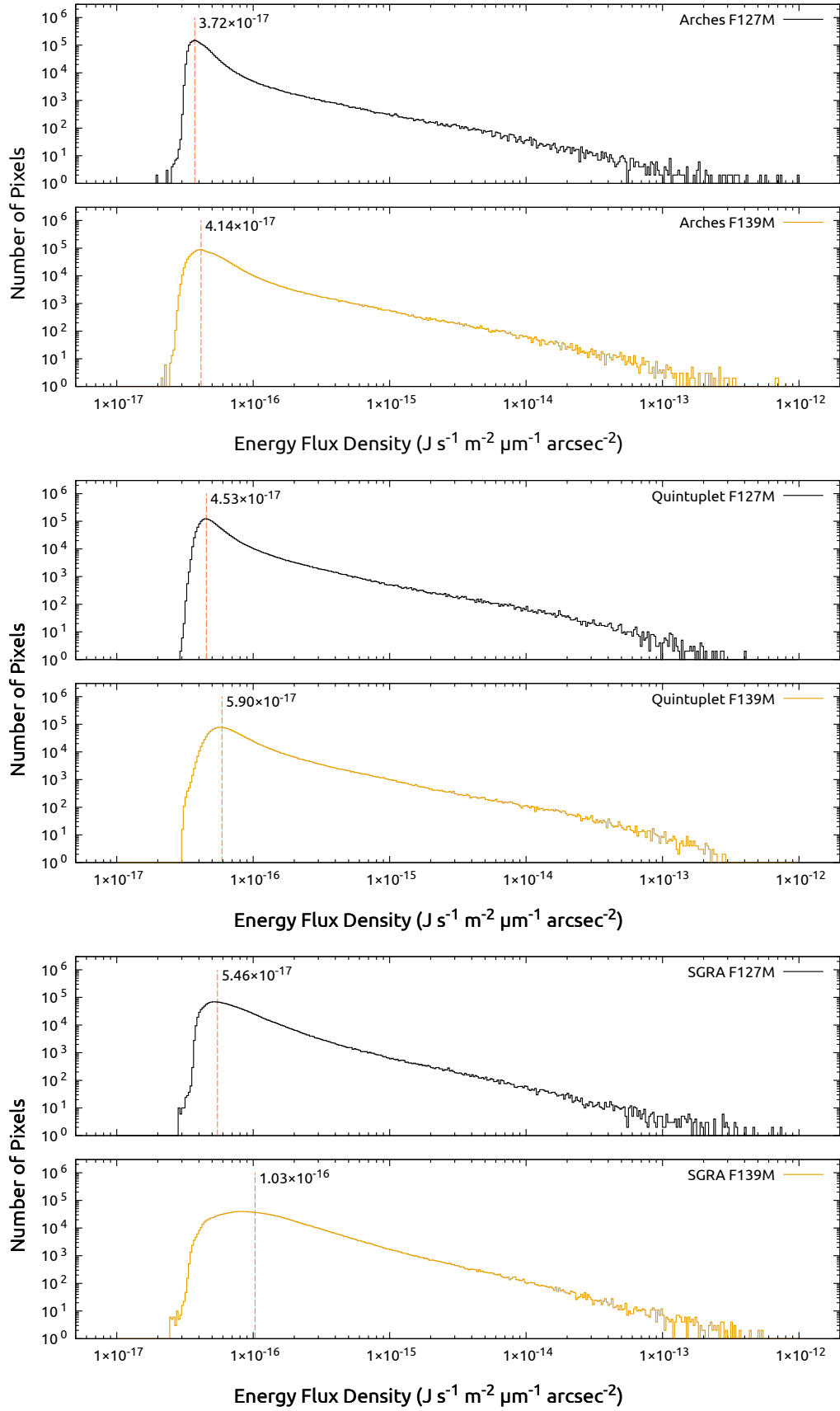


図 6: 画像データから作成した面輝度のヒストグラム. 上のパネル (黒) は F127M のデータ, 下のパネル (黄色) は F139M のデータから作成した. ヒストグラムのピーク値をオレンジ色の破線で示した.

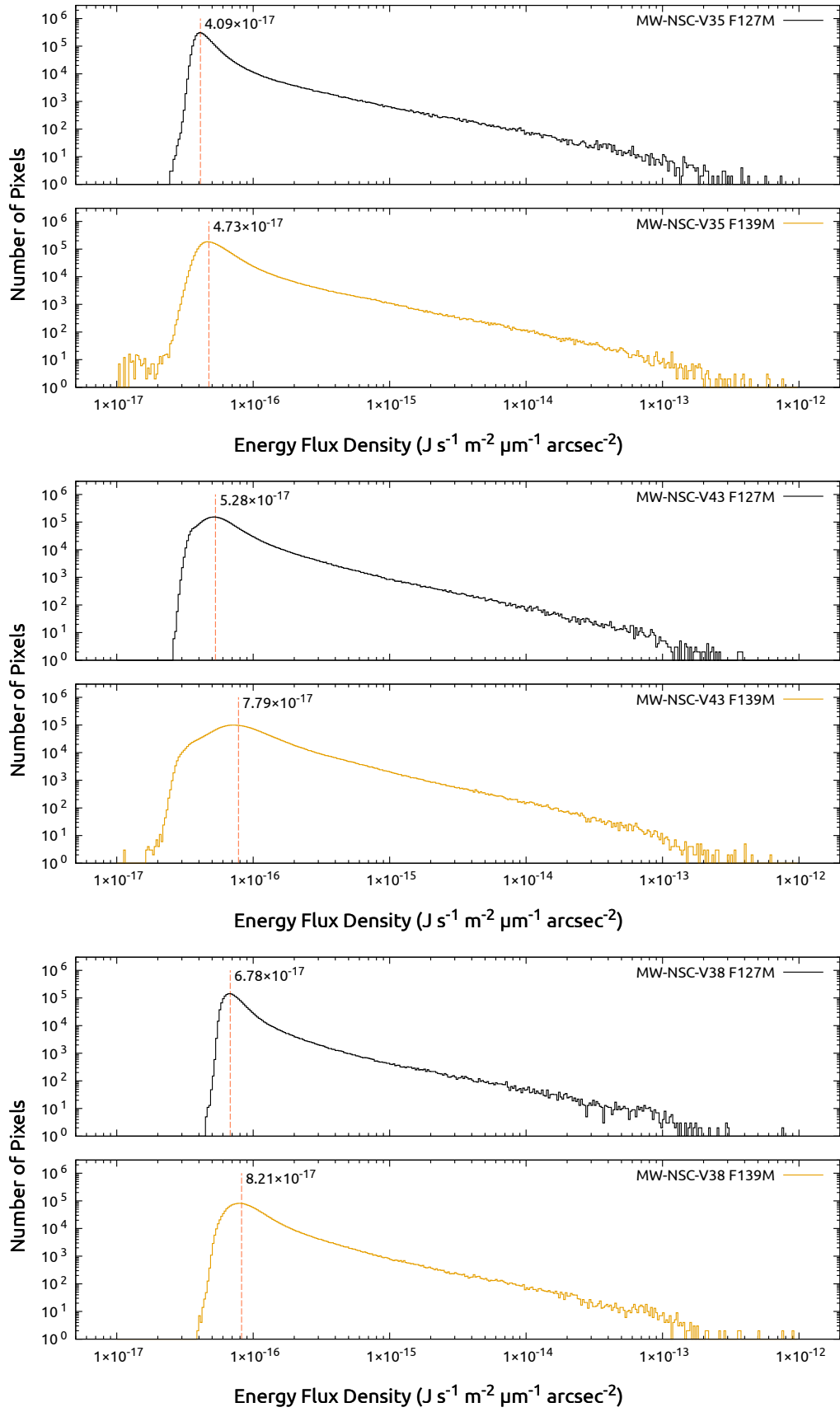


図 6: (cont.) 画像データから作成した面輝度のヒストグラム.

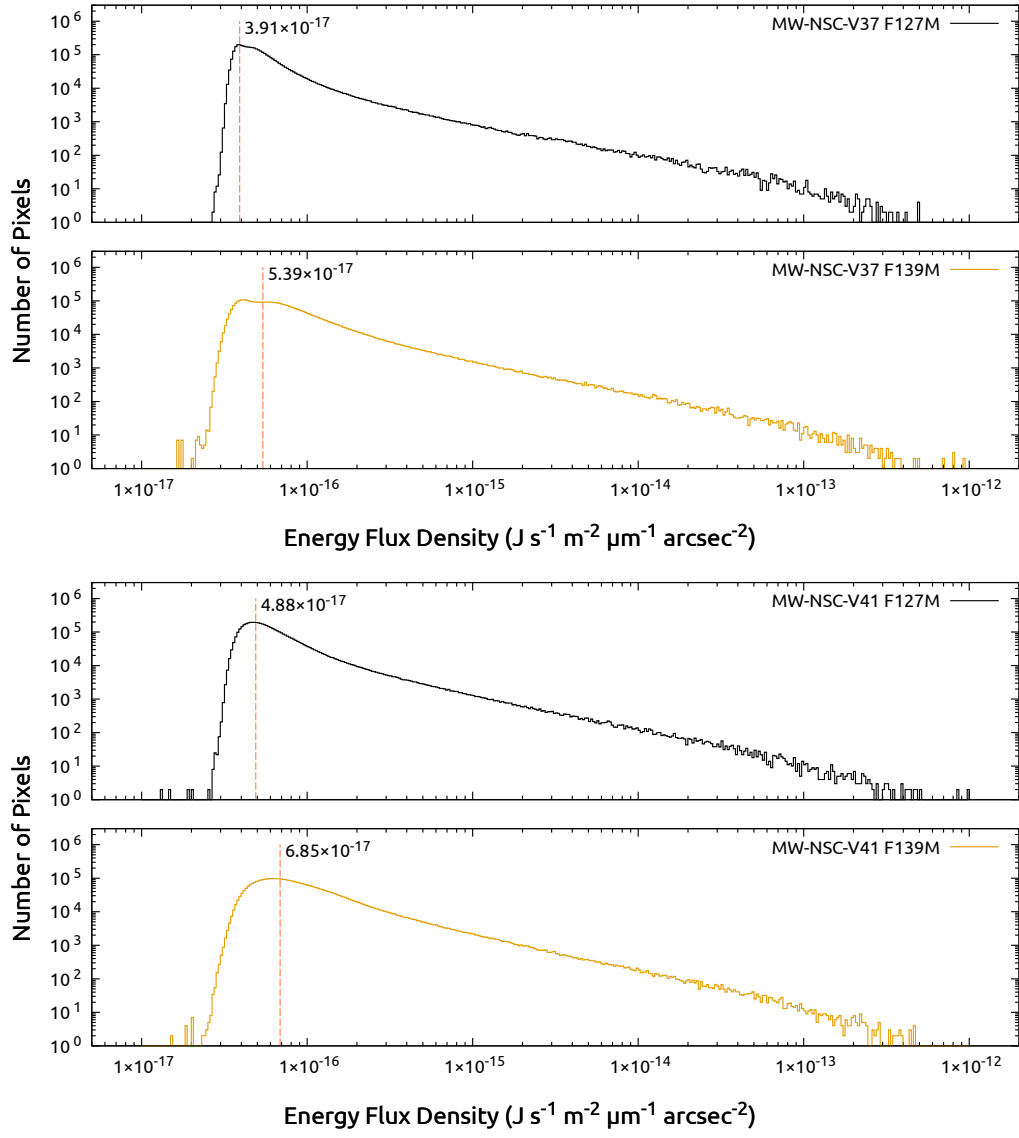


図 6: (cont.) 画像データから作成した面輝度のヒストグラム.