

Satellite Missions in 2020's

# SPICA

第1回銀河進化研究会@NAOJ  
4<sup>th</sup> -6<sup>th</sup> June 2014

H. Matsuhara (ISAS/JAXA)  
SPICA Team



SPiCA  
Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics



## Next-generation, Large, Cooled, Infrared Space Telescope for core science objectives

- ◆ Understanding the physical processes driving the formation and evolution of galaxies and Active Nuclei
- ◆ The life cycle of gas and dust in galaxies
- ◆ The formation of planetary systems near and far

# SPICA Mission Specifications

- Telescope diameter: 3.2m
- Telescope temperature: <6K
- Wavelength: 20-210 $\mu$ m

*Concentrating on the unique range of the cooled telescope*

- Total mass: 3.7t
- Orbit: Halo orbit around libration point S-E L2
- Launch: aimed in FY2025, by JAXA

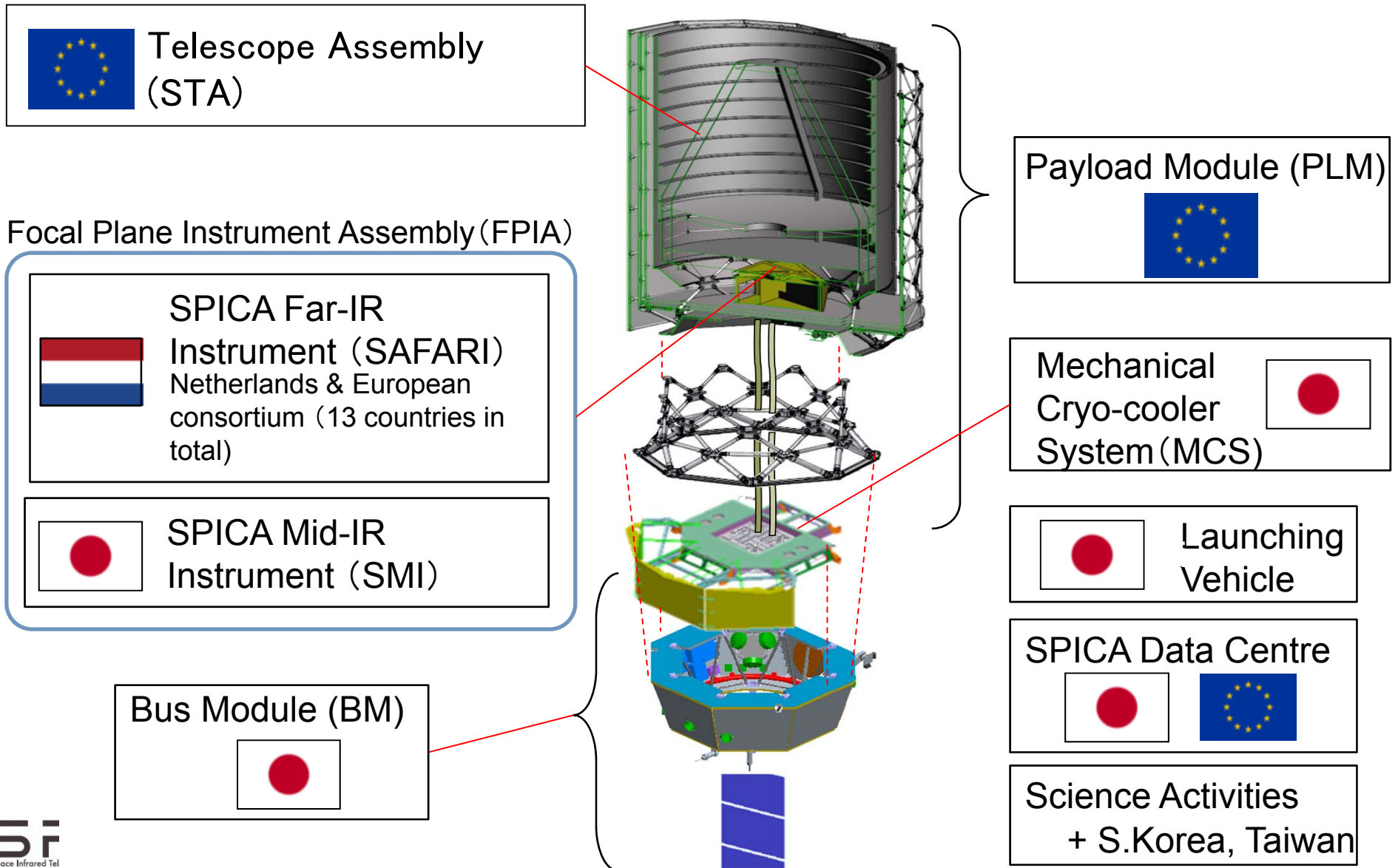
***Major Purpose of SPICA Mission is to provide community with a Space Infrared Observatory with unprecedented Sensitivity!!***

# Background

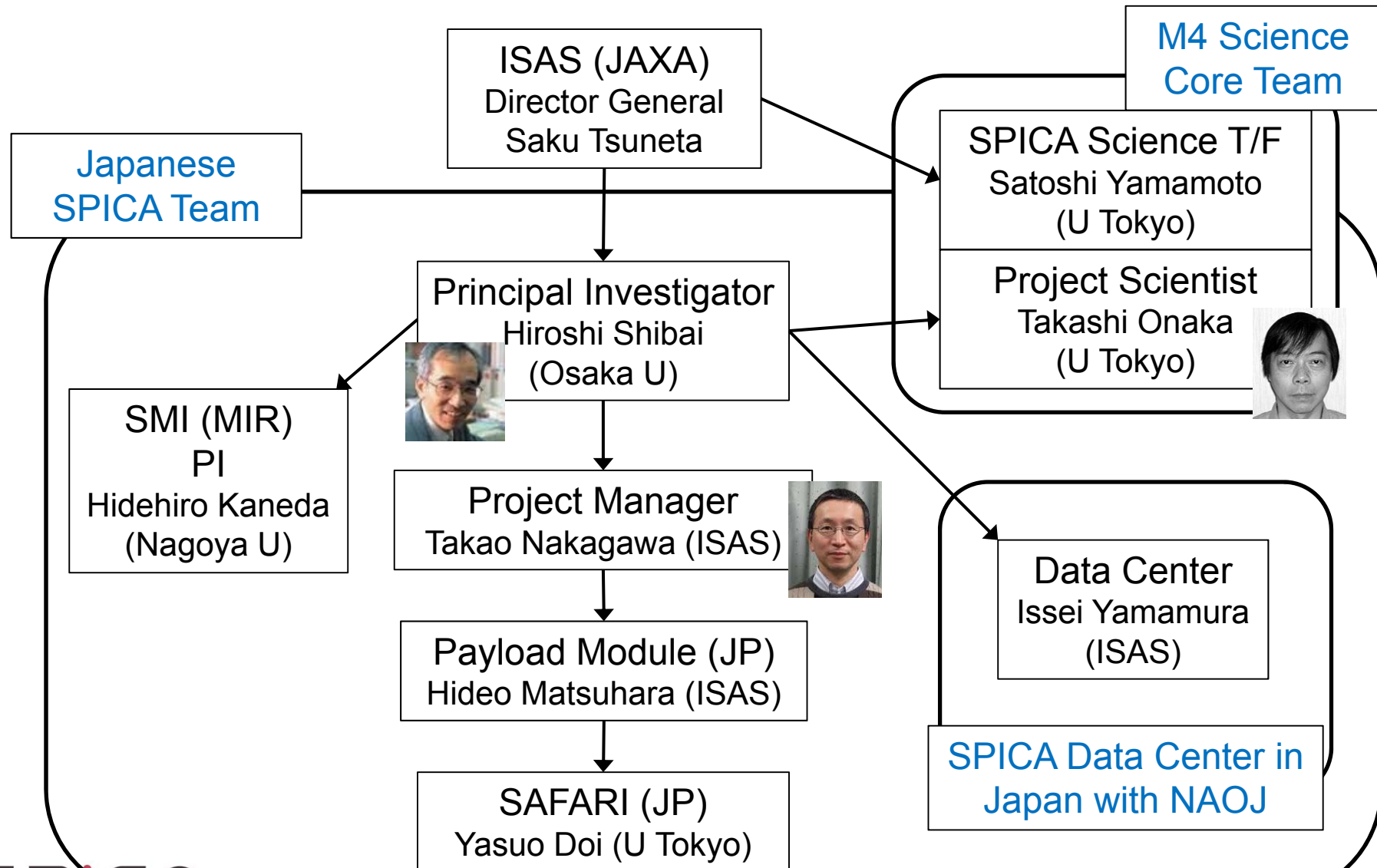


- SPICA has been a pre-project of JAXA since 2009. We had been working toward the project approval in 2014, but failed mainly due to budgetary situation in Japan.
- Therefore, in 2013, the framework of the international collaboration was changed by increasing the European contribution compared to the original plan.
- SPICA now enters into the open competition of the ESA Cosmic Vision program (4th M-class mission, M4).
- An international science task force has been organized in order to make the science goal of SPICA much stronger.
- The science requirements and the specifications of the focal plane instruments are now being updated.

# Role of International Partners in New Framework

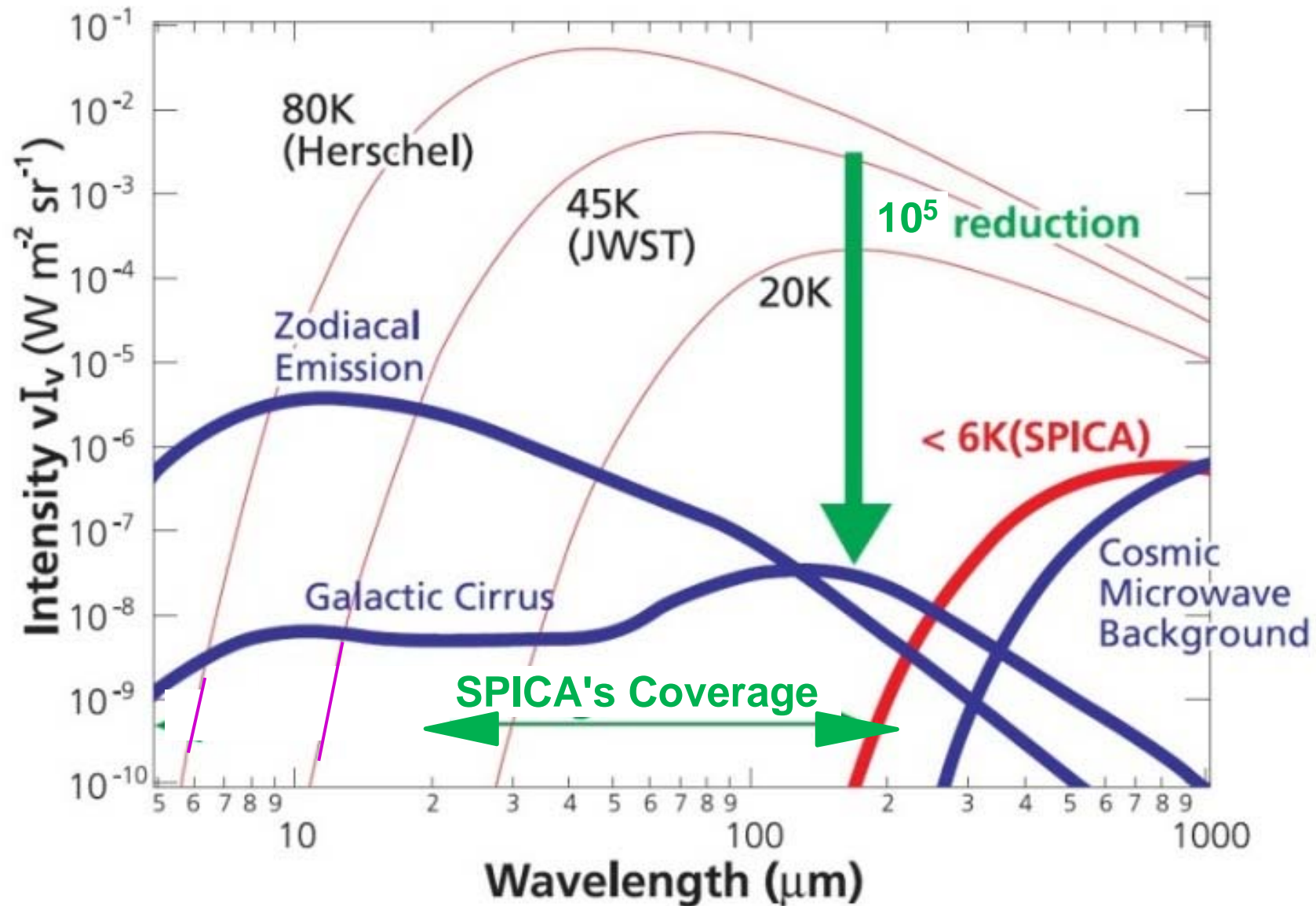


# SPICA Management Structure of Japanese side (2014-2017?)





# Suppression of Fore/Background



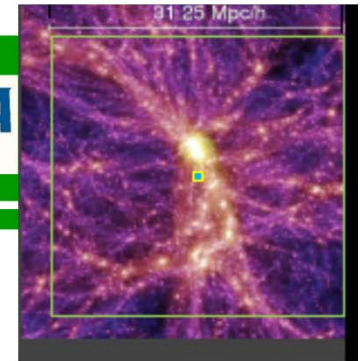
# Focal Plane Instruments



	<b>SMI</b> SPICA Mid-Infrared Instrument	<b>SAFARI</b> SPICA Far-Infrared Instrument
Wavelength	20-37 $\mu\text{m}$	34-210 $\mu\text{m}$
FoV	5' $\times$ 5' (Imaging) 2.5' $\times$ 3" (Spectroscopy)	2' $\times$ 2'
Spatial Resolution (FWHM)	1.4" @ 20 $\mu\text{m}$ 2.6" @ 37 $\mu\text{m}$	4" @ 47 $\mu\text{m}$ 7" @ 85 $\mu\text{m}$ 13" @ 160 $\mu\text{m}$
Imaging	R~20 9-50 $\mu\text{Jy}$	34-60, 60-110, 110-210 $\mu\text{m}$ 14 -32 $\mu\text{Jy}$
Spectroscopy	R=1000-2000 0.2-1 $\times 10^{-19}$ W/m <sup>2</sup>	R=1000 @ 210 $\mu\text{m}$ R=5000 @ 35 $\mu\text{m}$ 3-4 $\times 10^{-19}$ W/m <sup>2</sup> (R~50 mode)



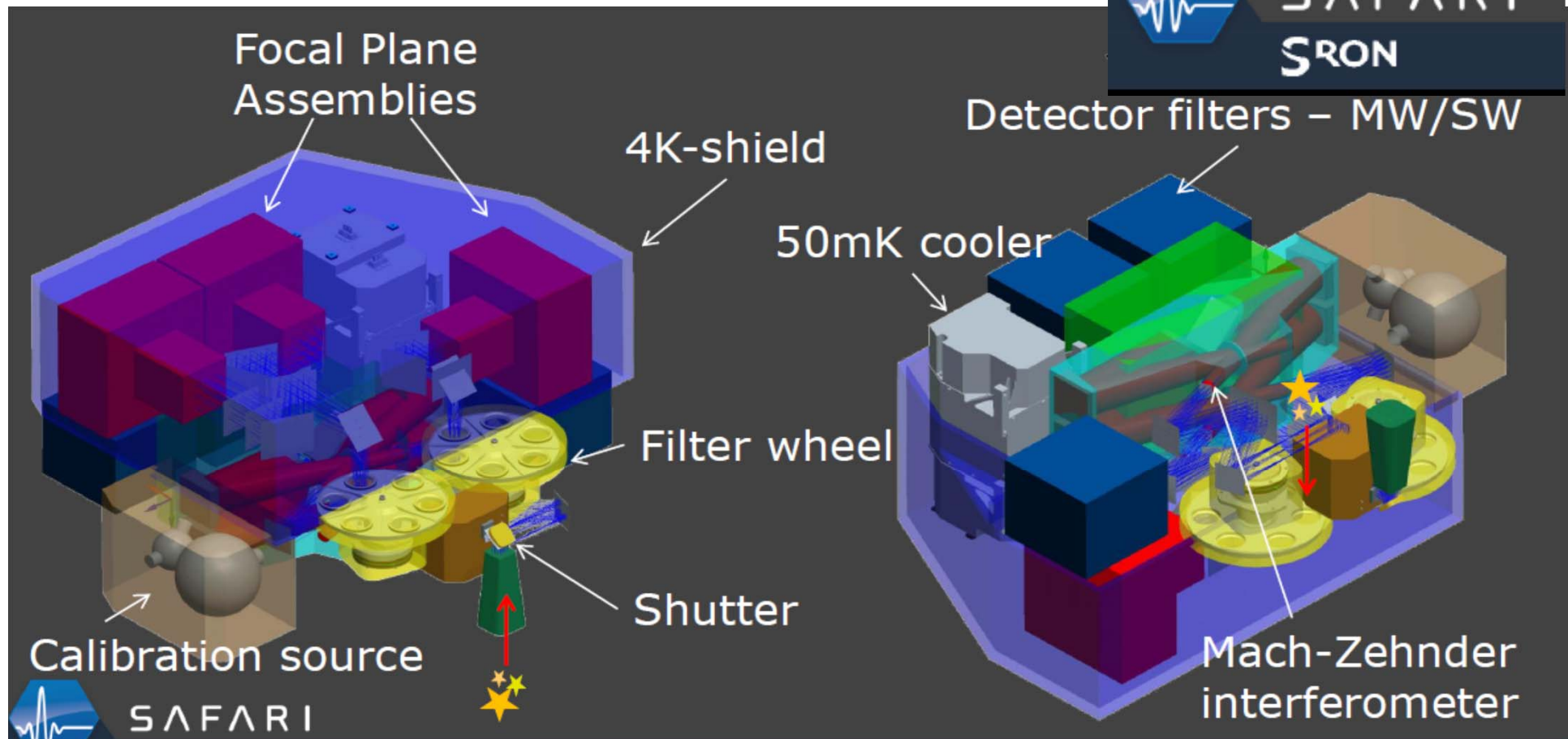
# SPICA Far-Infrared Instrument (SAFARI)



- Three band Fourier transform spectrometer
- Continuous spectroscopic capability from 34-210  $\mu\text{m}$
- Simultaneous broadband photometry in three bands

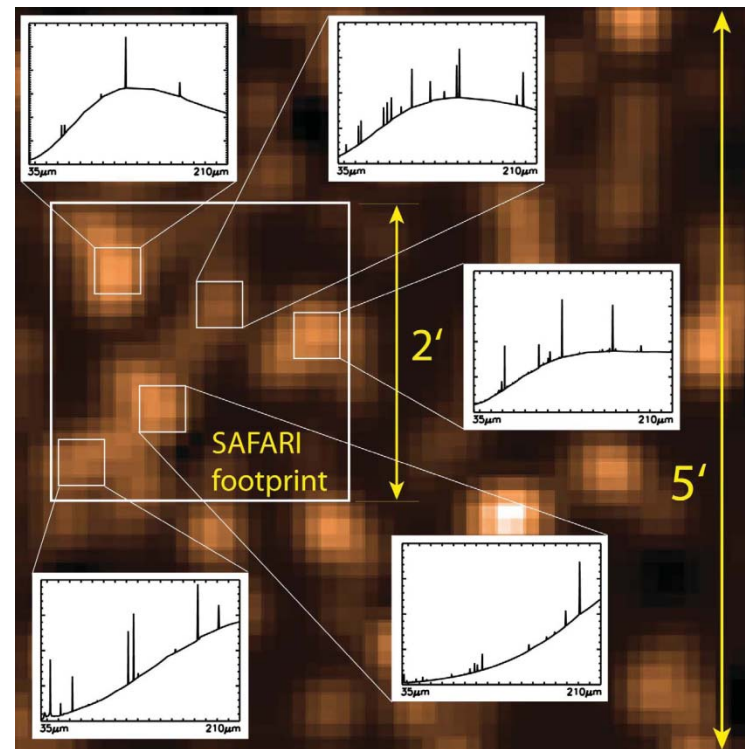
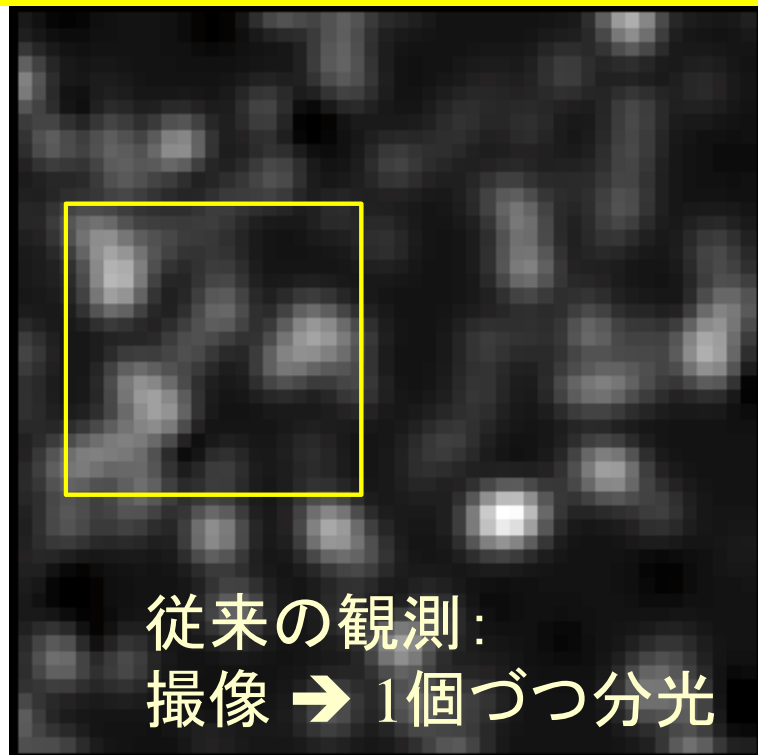


SAFARI  
SRON



# SPICAの「威力」: 高感度な多天体同時分光を実現

撮像と共に、34-210  $\mu\text{m}$ の波長範囲を一挙に分光



2分×2分の視野 → 数個以上の天体は無バイアスに分光  
→ スペクトルの違い → 天体の距離やエネルギー源診断

# SPICA Mid-infrared Instrument (SMI)

(SpicA Mid-infRARED Instrument: SAMRAI)



Hidehiro Kaneda (Nagoya Univ.), the SMI consortium

**SMI**: Japanese mid-infrared instrument, refined for new SPICA.

MCS for old SPICA	
Cam / Low-R Spec	5 – 37 $\mu\text{m}$ FoV: 5'x5' R = 5 & 50
Mid-R Spec	12 – 37 $\mu\text{m}$ FoV: 12" x 8" R = 1000–3000
High-R Spec	12 – 18 $\mu\text{m}$ Slit size: 6"x1" R = 20000

SMI
20 – 37 $\mu\text{m}$ FoV: 5'x5' R = 20
20 – 37 $\mu\text{m}$ slit size: 150" x 3" R = 1000
N/A under discussion

Cam

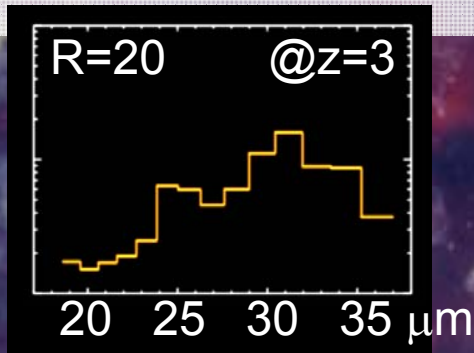
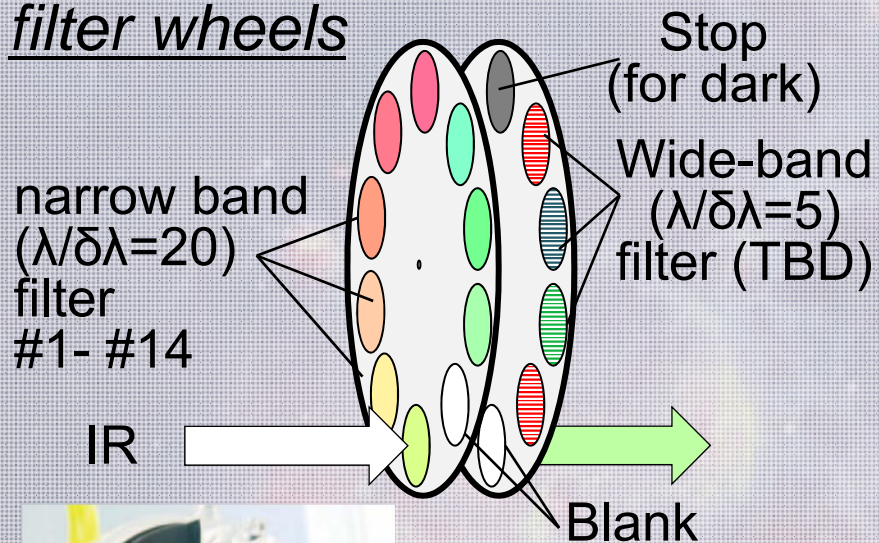
Spec

Focused on longer wavelengths and higher mapping efficiency.



## SMI-Cam

### filter wheels

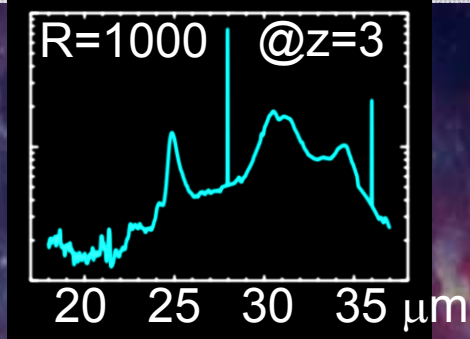
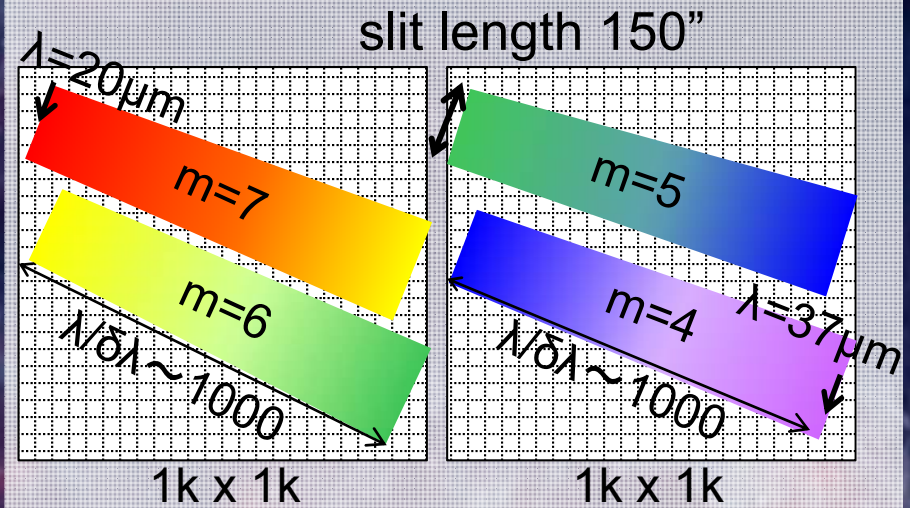


AKARI heritage

For detections of dust bands & continuum with high mapping speed & imaging quality.

## SMI-Spec

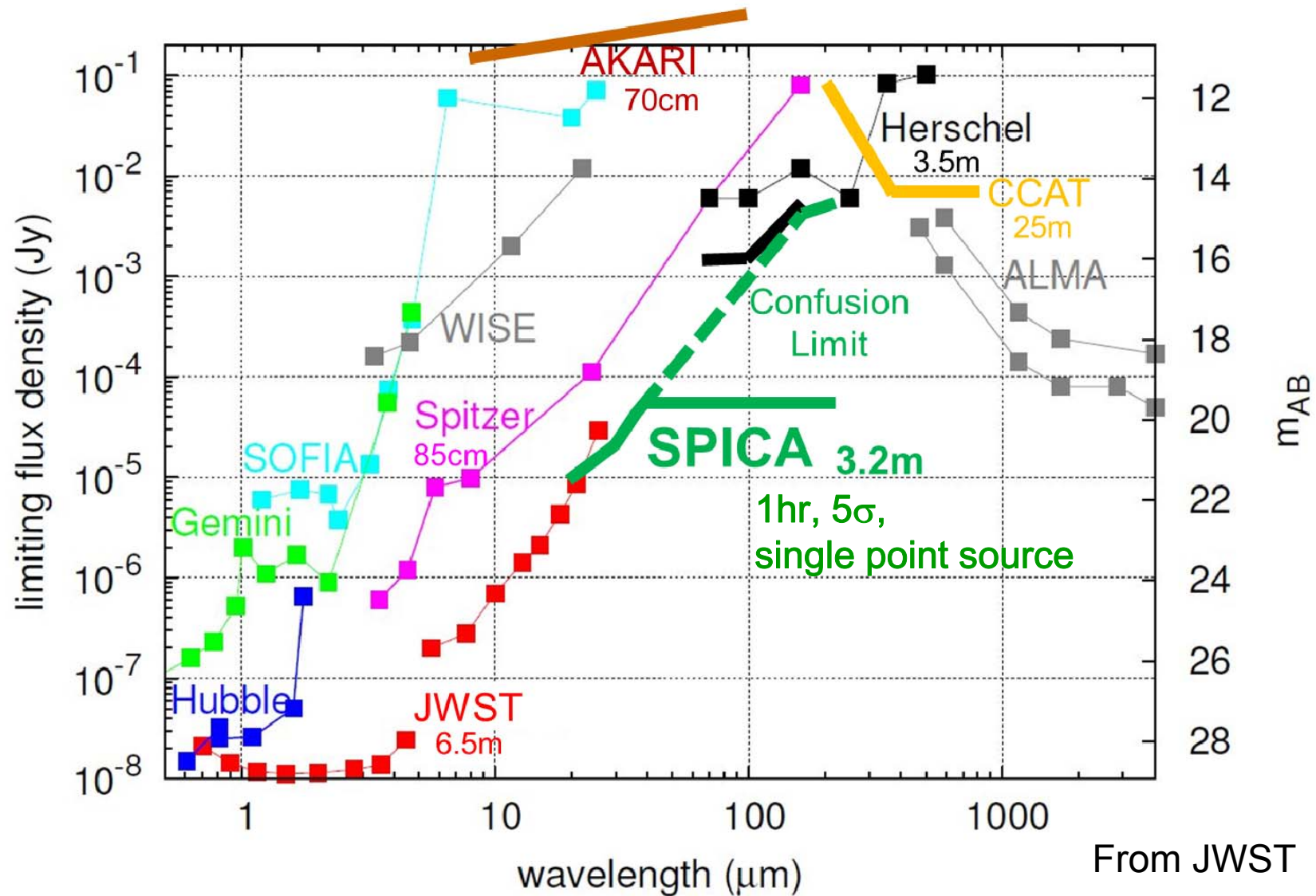
### grating with cross-disperser



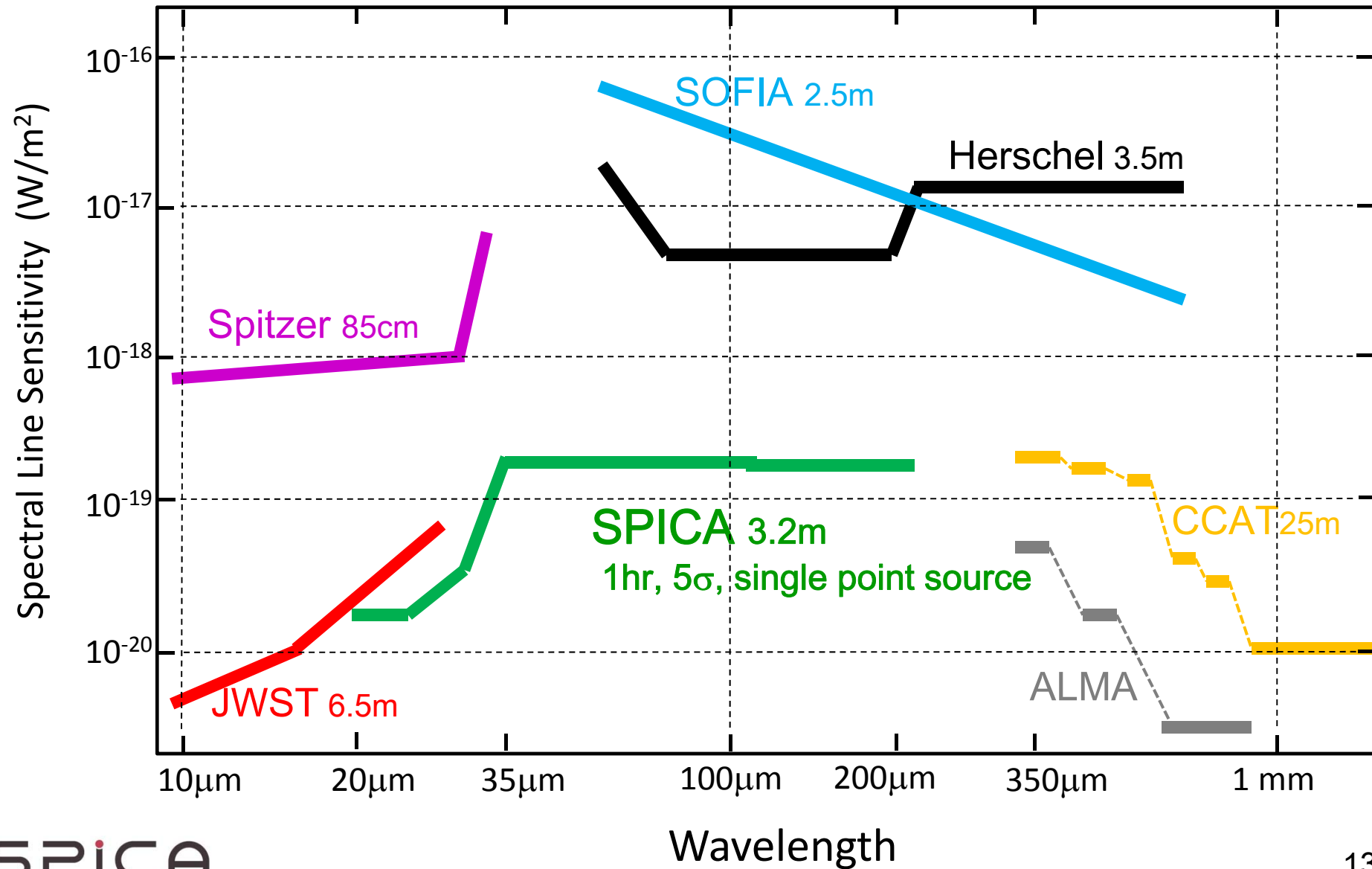
Survey → Spitzer/IRS-type scan

For detailed diagnostics using both gas lines & dust bands.

# Continuum Sensitivities

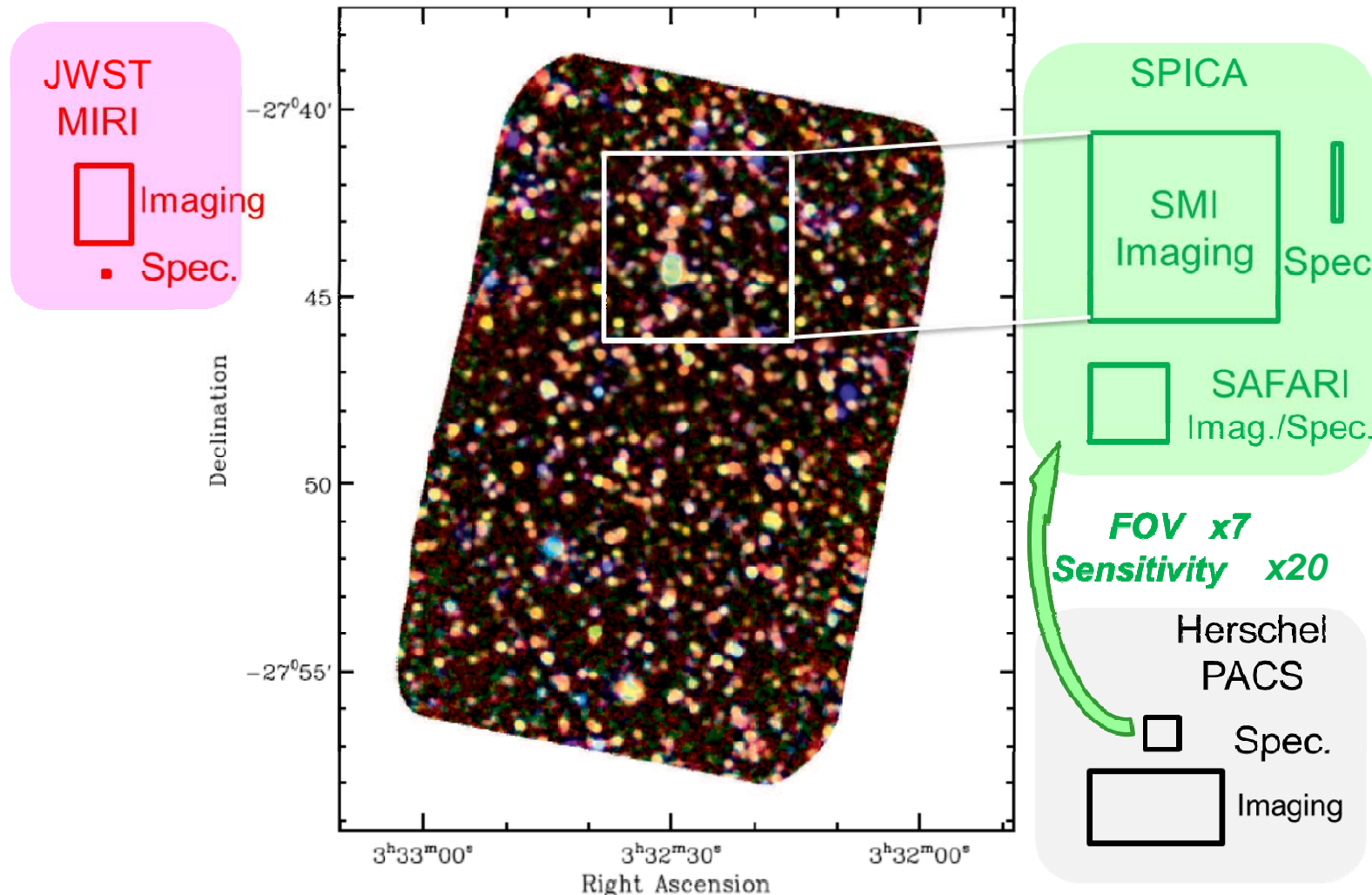


# Spectral Line Sensitivities



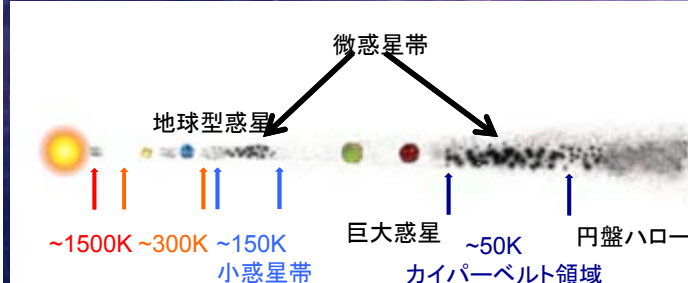
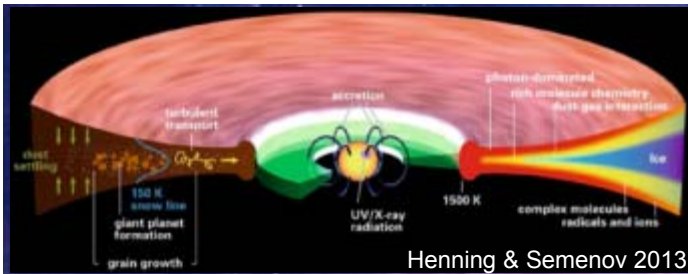


# Field of Views (Survey Speed)



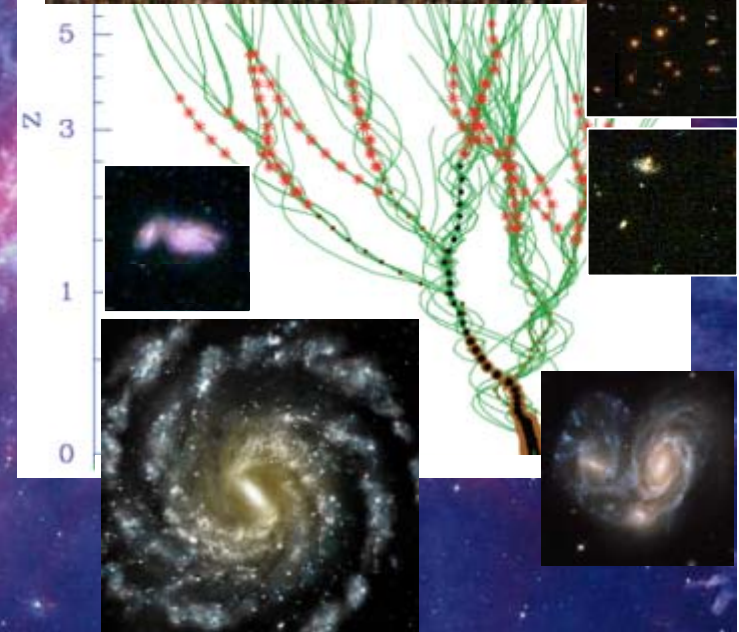
Far-Infrared Deep Survey of GOODS-S Field by Herschel PACS, 200hrs Integration,  
False-color Image made with MIPS 24 $\mu$ m, PACS 100 $\mu$ m, 160 $\mu$ m, Magnelli et al. (2013)

# 「銀河成長と惑星系形成： 多様で豊かな宇宙を生んだ 二大過程の解明」



## 2. 惑星系形成過程の解明

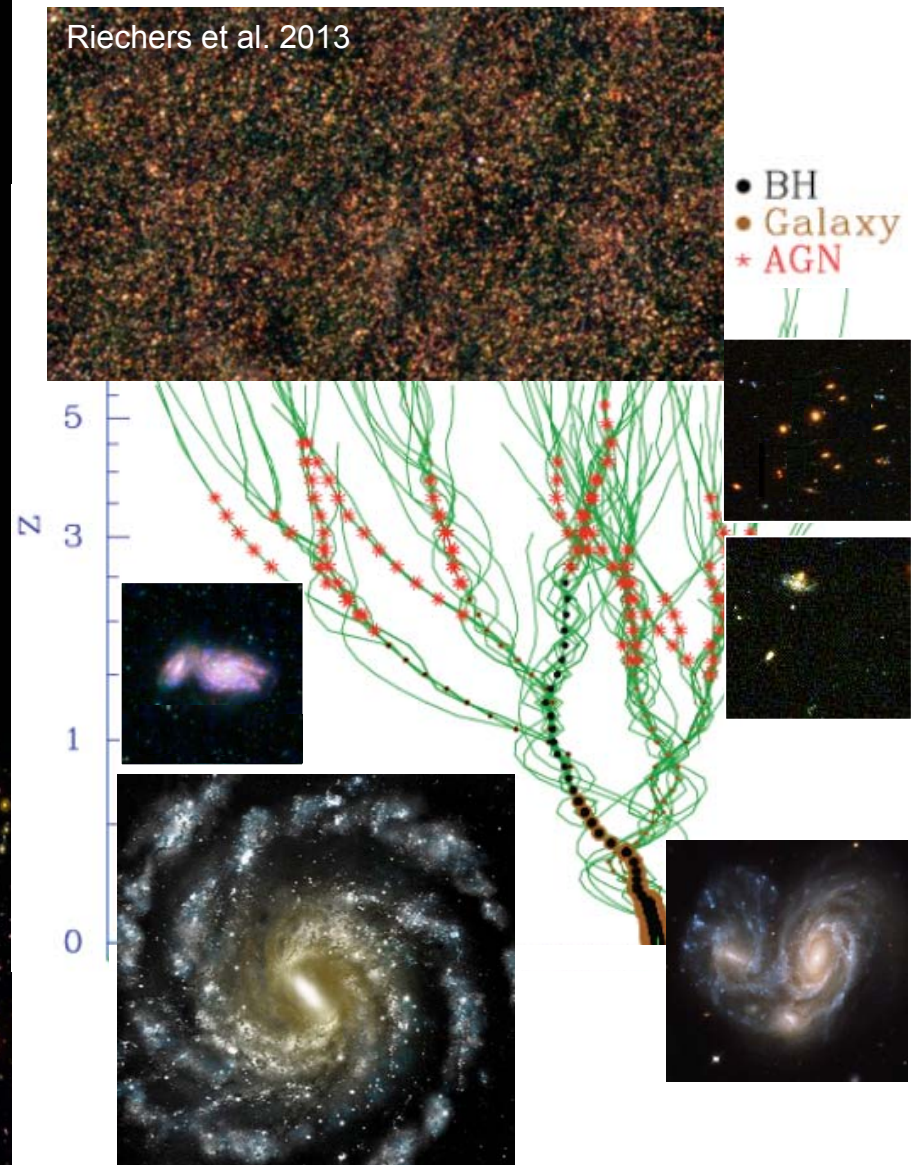
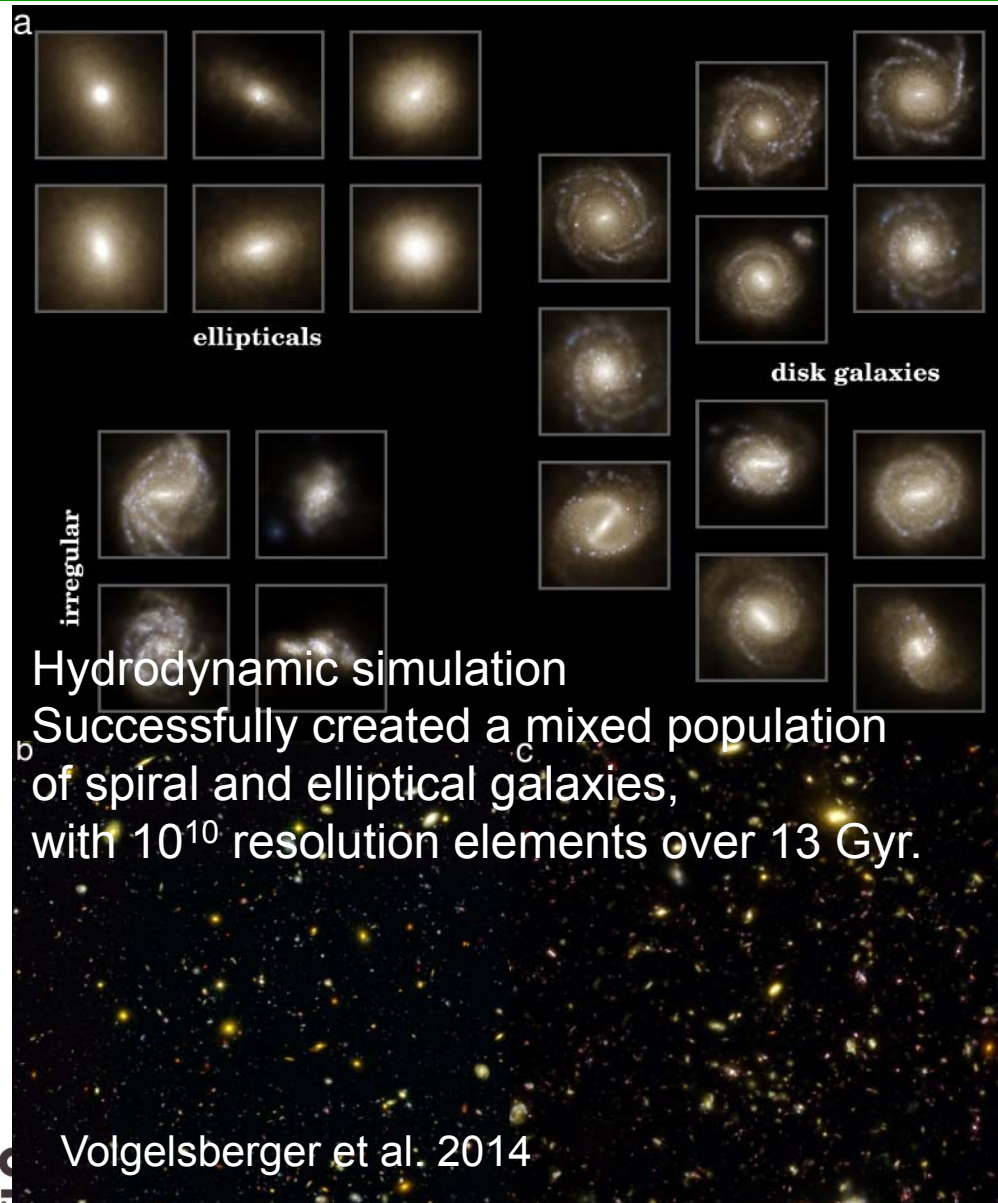
## 1. 銀河成長・物質進化過程の解明



## 3. 最高感度の宇宙赤外線天文台の実現



# 科学目的1: 銀河成長・物質進化過程の解明



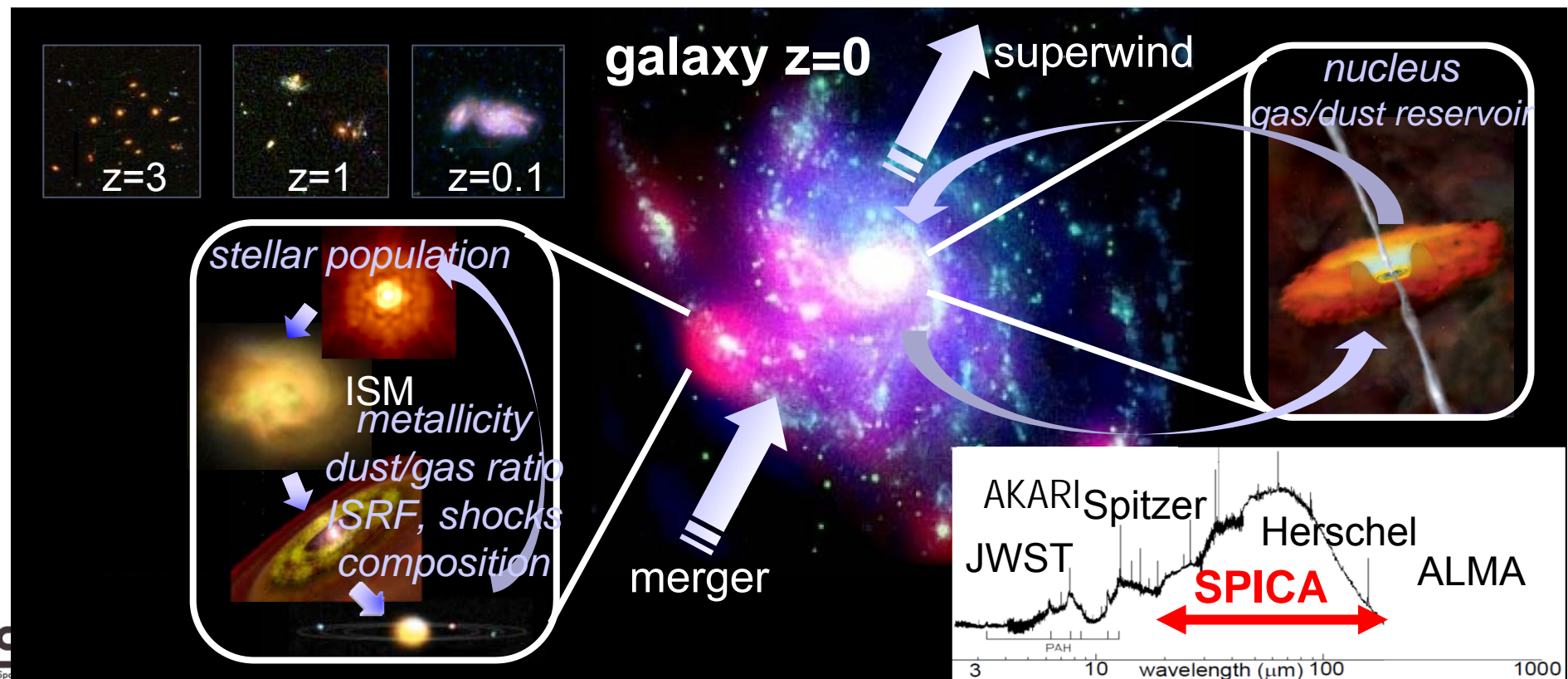
# 「銀河成長・物質進化過程の解明」における 近傍銀河の役割



近傍(距離<100 Mpc,  $z<0.02$ )の銀河を対象とすることで、

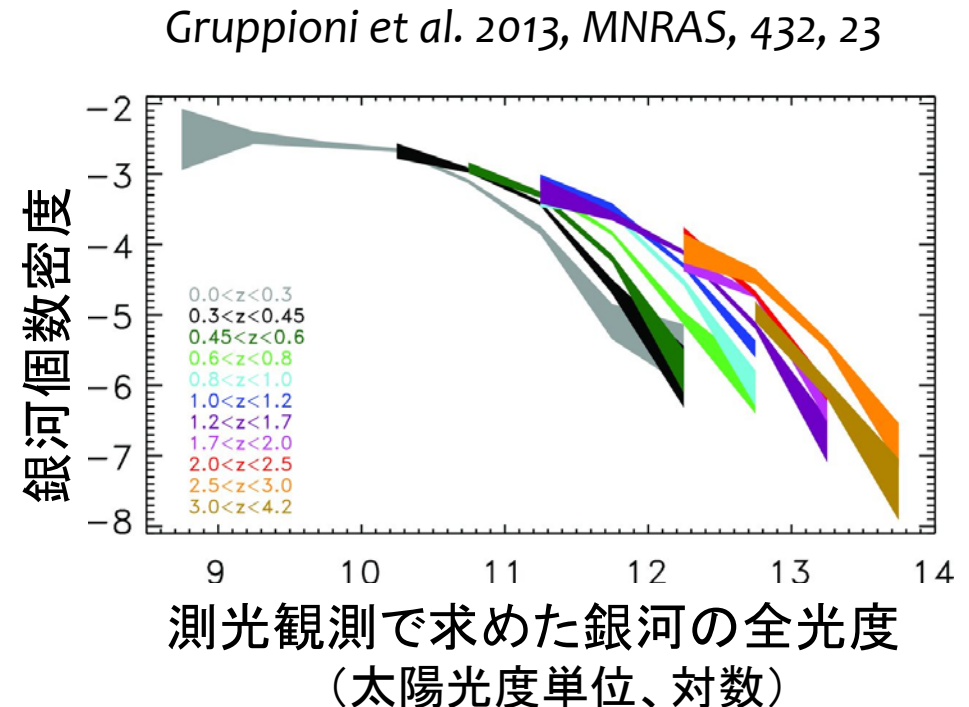
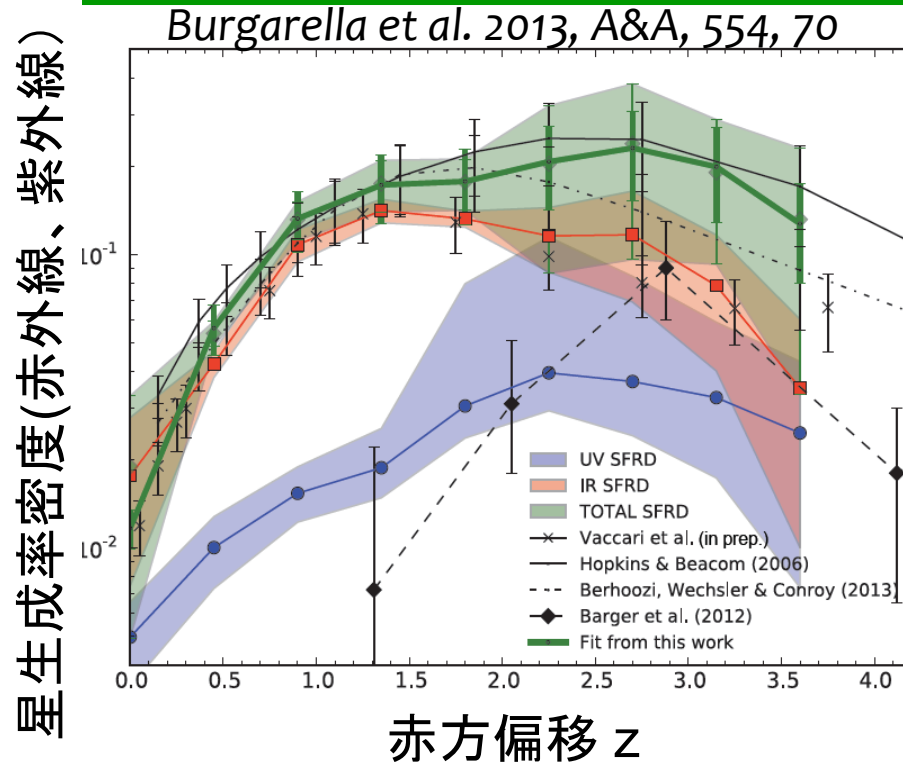
1. 銀河の**局所領域**(nucleus, spiral arm, bulge, inter-arm, halo, intergalactic regions)中の物理的条件を知る。
2. **暗い銀河**(矮小銀河、楕円銀河)を捉え、進化初期(ダスト生成)と終焉(ガス・ダスト消滅)を理解する。

(主指標:ガス進化⇒**金属量**の増加、ダスト進化⇒**ダスト・ガス質量比**の増加)





# 宇宙における星生成率密度の変化と銀河光度関数



Herschel、AKARI、Spitzerの観測より。  
星生成活動度は、 $z=1-3$ でピーク。 $z=0$ に向  
かって急激に減少する。AGNの寄与は取り除  
かれている(最大の不定要因)。

この星生成活動のピーク時に、  
大光度銀河の割合が増えている。

ULIRG = 超大光度赤外線銀河

$$10^{12}L_{\odot} < L_{\text{IR}} < 10^{13}L_{\odot}$$

LIRG = 大光度赤外線銀河

$$10^{11}L_{\odot} < L_{\text{IR}} < 10^{12}L_{\odot}$$



これまでの観測結果から、以下の説がある。

## 現在の ULIRG $\neq$ 過去 ( $z > 1$ ) の ULIRG

現在のULIRG:

銀河同士の**合体**によって分子ガスが非常に小さな領域(数百pc)に集中し、そこで**一時的に**爆発的に星が生成される(**burst mode**)。

- 過去 ( $z \geq 1$ ) のULIRG:

個々の銀河が非常に gas-rich のため、銀河の**各所で継続的に**  
**激しい星生成**が起きている (**secular mode**)

10 LIRGs  
( $L_{\text{TIR}} = 10^{11}$  each)

1 ULIRG  
( $L_{\text{TIR}} = 10^{12}$ )

$z=0$

$z > 1$





## 必要なデータ

- 複数の金属イオンスペクトル線とPAHのフラックスを $z=3$ までのULIRGについて取得する
- 必要なサンプル数:  $z=0\sim3$ の各 $z$ ビン( $\Delta z=0.5$ )で約100個以上
- 観測天域: 宇宙大規模構造の場所による差を考慮する。

## これを得るための観測計画

(1) 波長:  $20\text{-}210\mu\text{m}$  ガスからのスペクトル線サーベイ

$R=1000$  (ガスからのスペクトル線幅に最適化)

感度と天域広さ:  $4 \times 10^{-19}\text{Wm}^{-2}(5\sigma)$  0.5平方度  $\rightarrow$  1 平方度

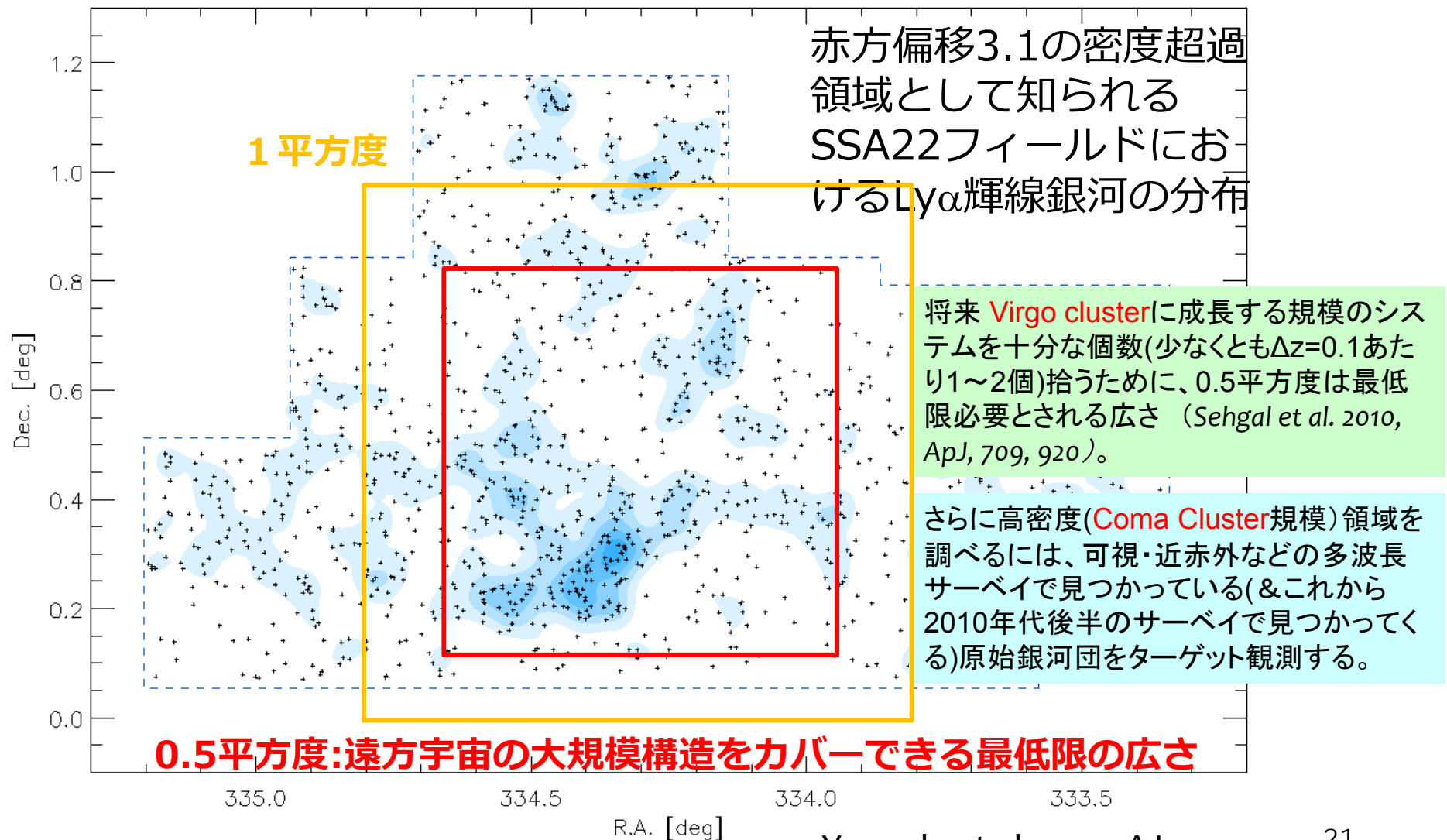
(2) 波長 $20\text{-}36\mu\text{m}$ で、 $z=3$ までのPAHバンド放射サーベイ

$R=20$  (PAHバンド幅に最適化)

感度と天域広さ:  $2 \times 10^{-19}\text{Wm}^{-2}(5\sigma)$  0.5平方度  $\rightarrow$  1 平方度  
(連続波で $25\mu\text{Jy}$ )

(3) (2)で検出された $z=1.5$ 以上のULIRGについて、波長 $40\text{-}210\mu\text{m}$ でのガスからのスペクトル線観測を $1 \times 10^{-19}\text{Wm}^{-2}$ まで行う。

## 2A サーベイ領域の広さ 「0.5平方度」のサーベイ面積の根拠



# 研究計画詳細 仮説と検証方法



- ピーク時における銀河形成・大規模星生成現象(+AGN活動)に4説あり。これを以下の指標で区別する。

	現象の種類	星生成指標	ショック指標	AGN指標	金属量指標
A	銀河の合体が引き金の大規模星生成 (Burst Mode, Major Merger)	○	○	×	多
B	ガス降着などにより円盤不安定で生じる大規模星生成 (Secular Mode, Cold Gas In-fall)	○	×	×	少
C	AGNジェットやアウトフローが引き金の大規模星生成 (AGN Induced Star Formation) – 共存型	○	○	○	多
D	AGNが発生したエネルギーが赤外線に変換されたULIRG。大規模星生成銀河ではない。	×	×	○	多

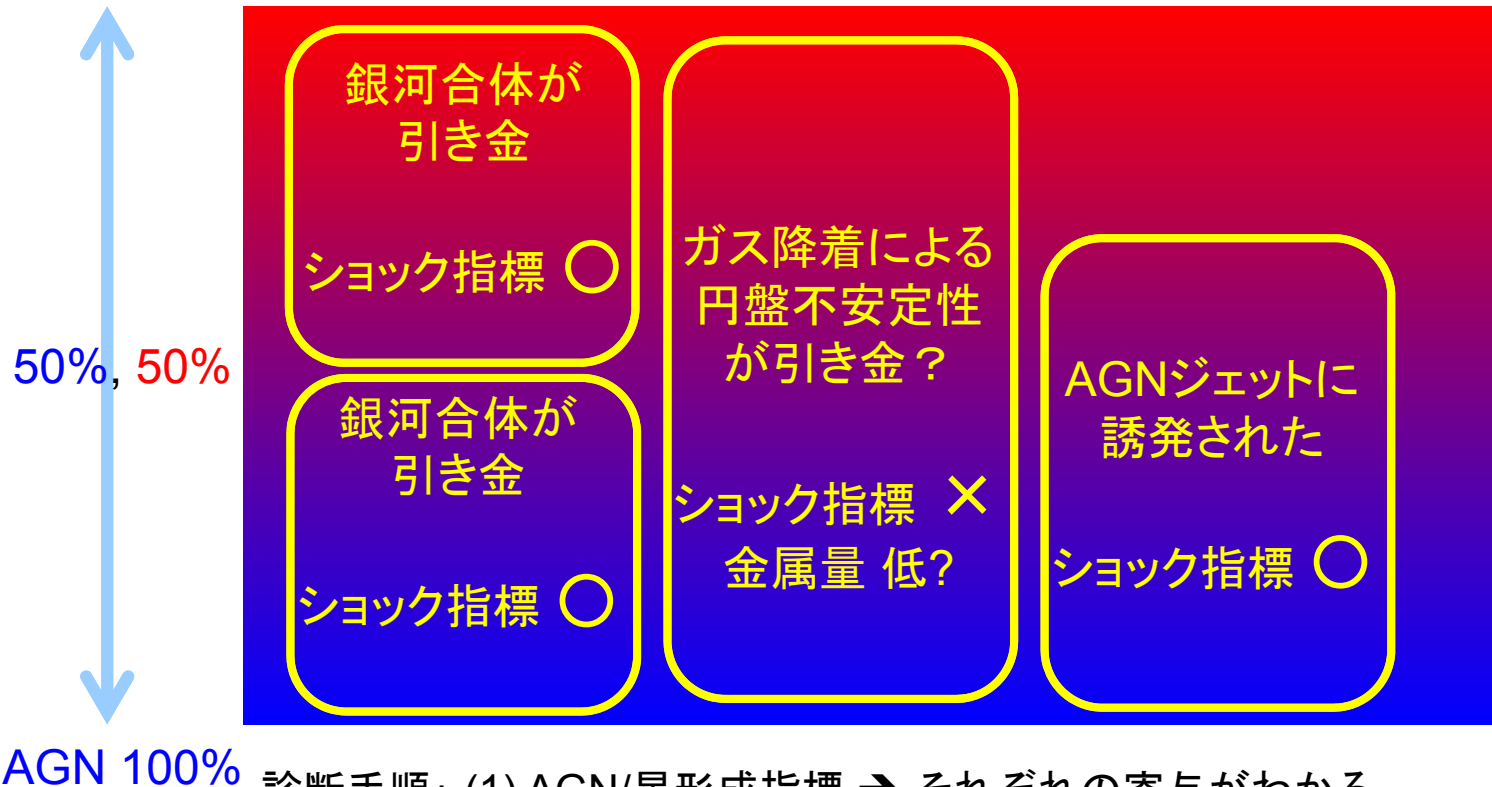
- ガス密度・放射場強度の測定も行うことで、A (Burst Mode)とB (Secular Mode)との識別にさらに役立てる。

# どのような物理過程が判別されるか？



全赤外線光度への寄与:

爆発的星形成 100%



AGN 100%

診断手順: (1) AGN/星形成指標 → それぞれの寄与がわかる。

(2) ショック指標 → 星形成が卓越&ショック有り → 銀河合体による星形成。

星形成の有無によらずショック無し → 円盤不安定性による星形成。

AGNが卓越&ショック有り → AGNジェットの有無により、「銀河合体が引き金」or 「AGNジェットに誘発された星形成」と判別。

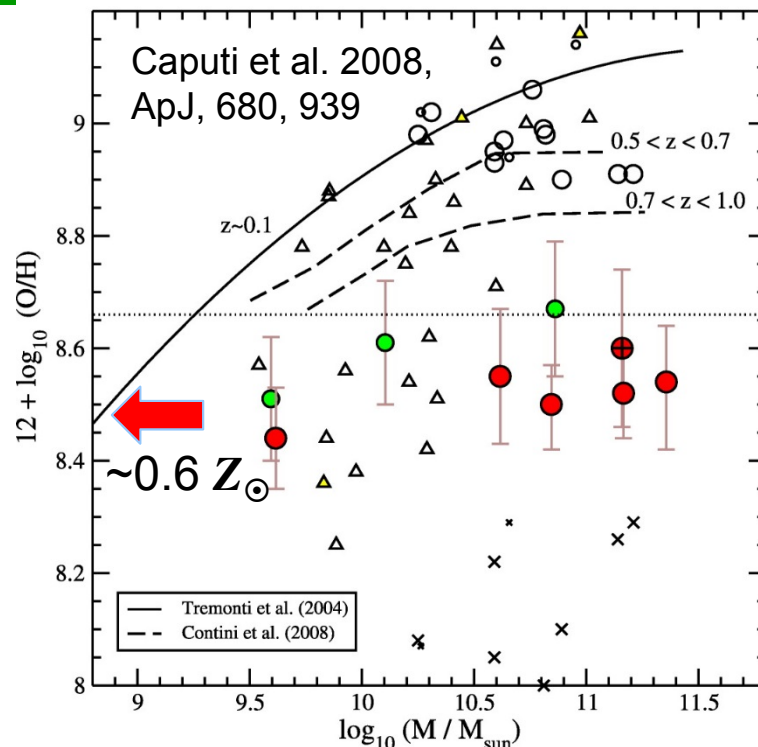
# 各指標となる観測量



z	星生成 指標	ショック 指標	AGN 指標	金属量 指標
0 - 1	[SIII]18, 33 $\mu$ m [OIII]52,88 $\mu$ m PAH EQW	[FeII]26 $\mu$ m [SiII]35 $\mu$ m	[O IV] 25.9 $\mu$ m [NeV]24 $\mu$ m PAH EQW	[N III] 57 $\mu$ m / ([O III] 52+ 88 $\mu$ m)
1 - 2	[SIII]33 $\mu$ m [OIII]52 $\mu$ m PAH EQW	[FeII]26 $\mu$ m [SiII]35 $\mu$ m	[NeV]24 $\mu$ m PAH EQW	[N III] 57 $\mu$ m / ([O III] 52+ 88 $\mu$ m)
2 - 3	PAH EQW	[FeII]26 $\mu$ m [SiII]35 $\mu$ m	PAH EQW	--

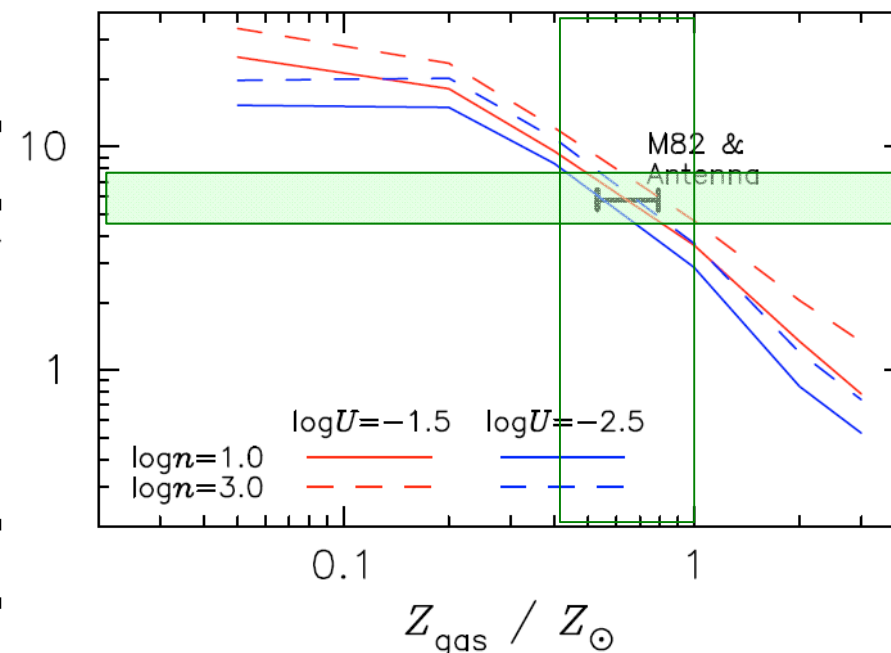
- すべてのケースでPAHバンド放射が検出されるので、赤方偏移を5%精度で決定する。他の観測手段で決定されていれば、利用する。

# 遠赤外スペクトル線の強度比で探る ダストに埋もれたULIRGでの金属量



$[OIII]51.80 + 88.33 / [NIII]57.21$

Nagao et al. 2011, A&A 526, A149



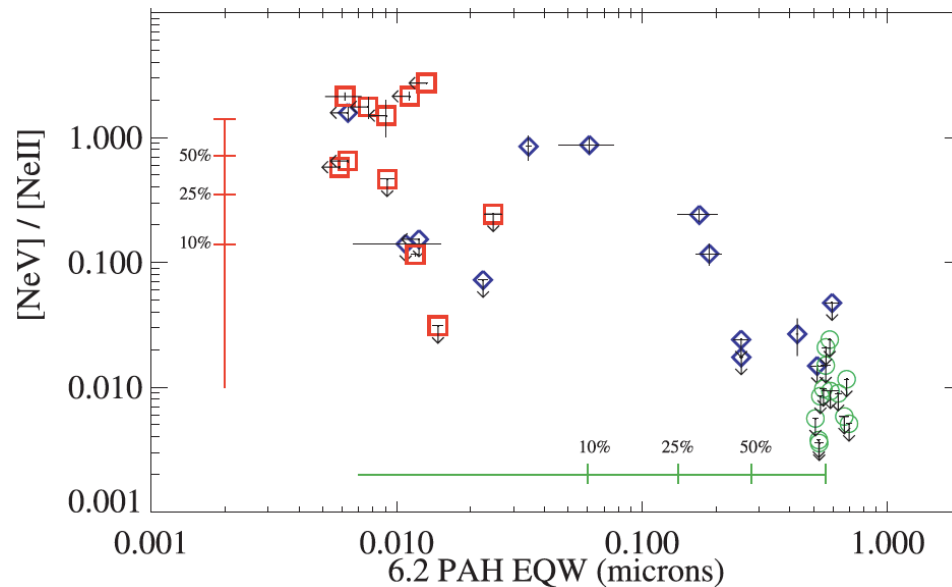
- 可視域の輝線比で診断すると、ULIRGは金属量が低いことが示唆される。→ 降着中の「若い」ガスを見ている？それとも、ダストで深い吸収を受けているため、可視域の診断では、金属量勾配の「裾」しか見えていない？（大きな課題）
- $([OIII]51.80 + [OIII]88.33) / [NIII]57.21$  強度比が測定できる赤方偏移の銀河であれば、より正確な金属量の診断が可能。 $(z < 1.3)$
- 各輝線が  $S/N=5$  であっても、可視輝線診断で示唆されるような低金属量 (sub-solar) なのかどうかの判定が可能。



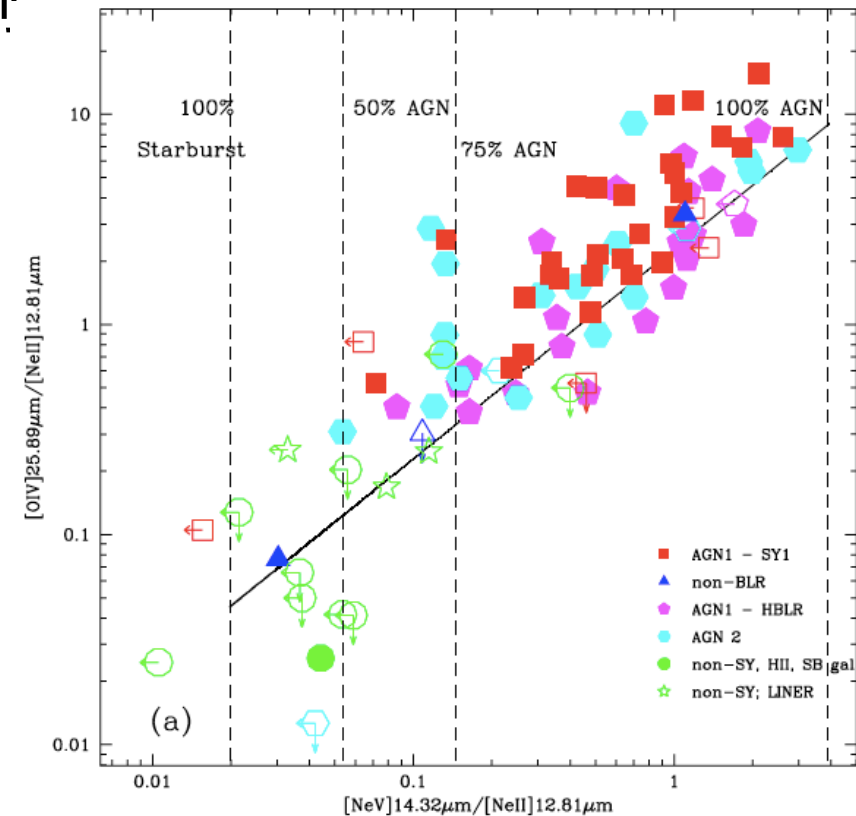
# AGNと星形成(SB)の定量的な切り分け



- ダスト減光の影響が殆ど無く、有用な診断輝線・featureが豊富に存在するユニークな波長帯(中間赤外線～遠赤外線域)で分光診断を行う。
- 比較的近傍にある銀河での診断例



Armus et al. 2007,  
ApJ, 656, 148

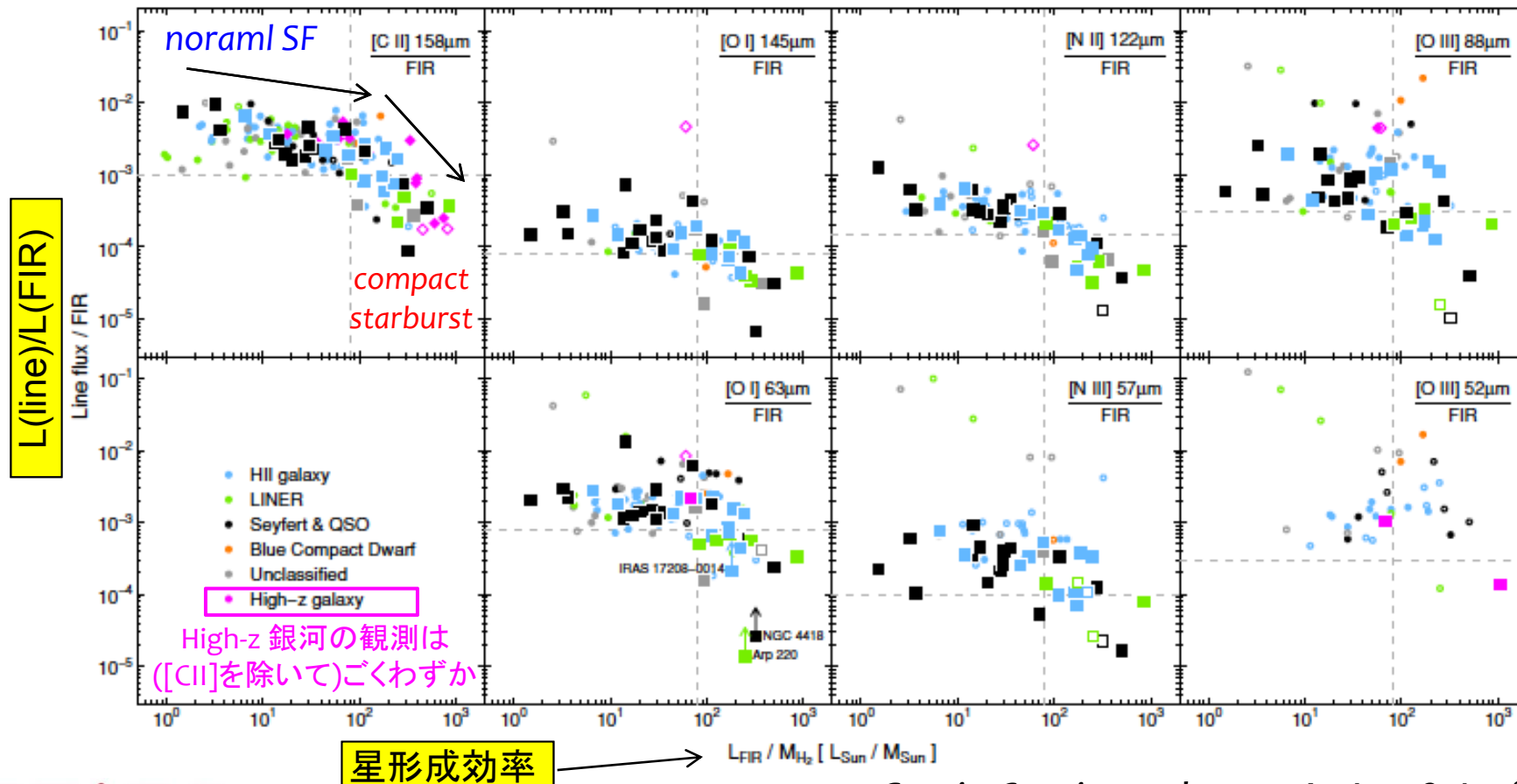


Tommasin et al. 2010, ApJ, 709, 1257

# 星形成のモードの定量的診断

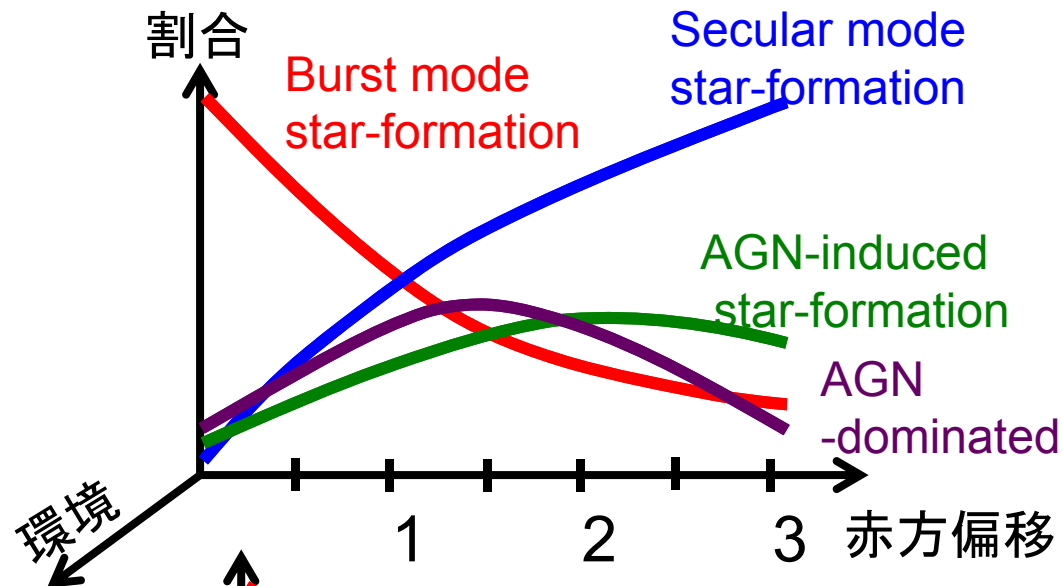


- Fine structure line強度とIR光度の比( $L_{\text{line}}/L_{\text{FIR}}$ )は「星形成効率 (SFE)」のトレーサーであり、銀河活動の「モード」を診断する有用なツールとなる。

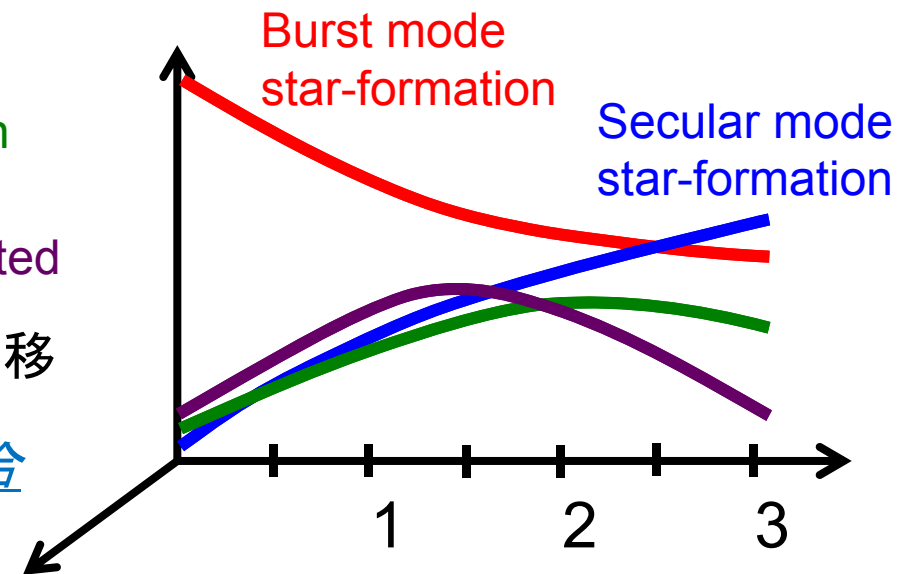




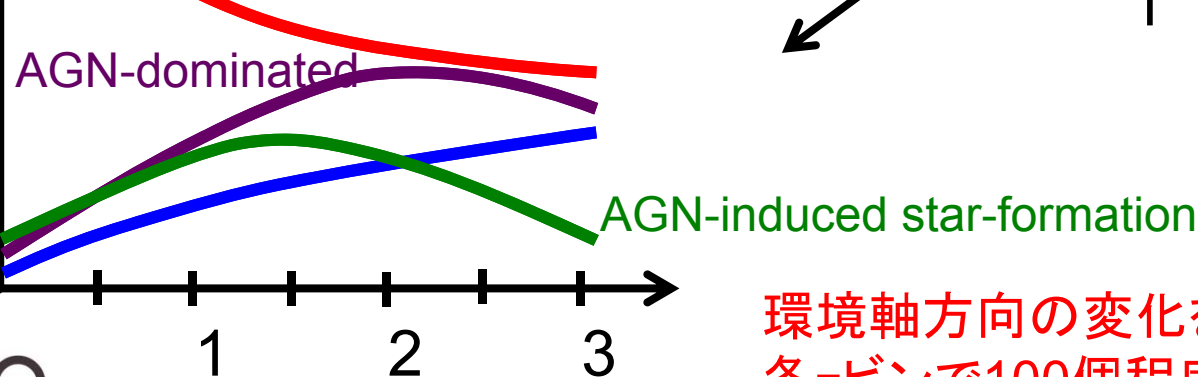
## 定常的ガス降着の役割が大きい場合



## 銀河合体の役割が大きい場合



## AGNの役割が大きい場合

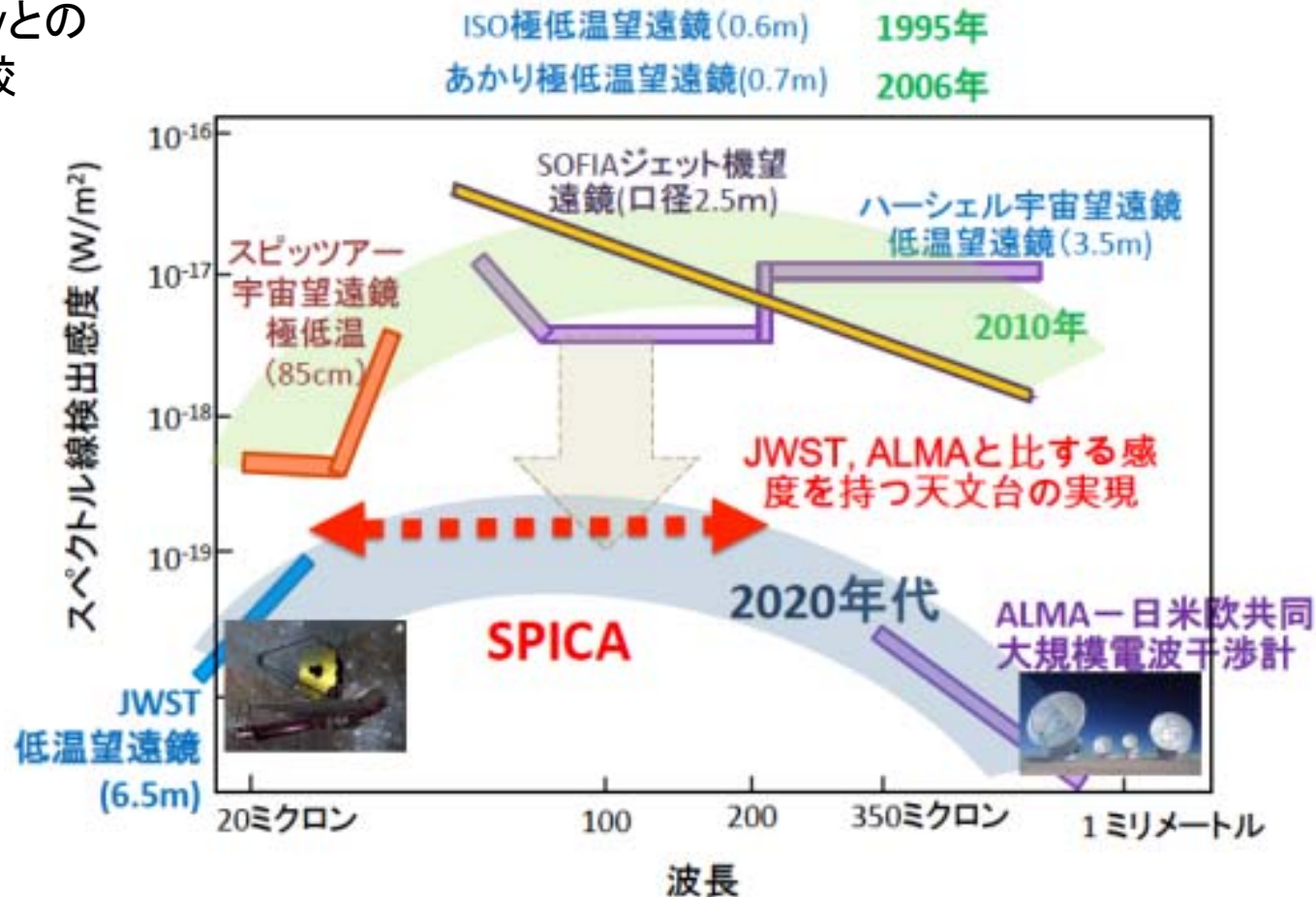


環境軸方向の変化を知るために  
各zビンで100個程度のサンプルが必要

# 最高感度の宇宙赤外線天文台の実現



他のfacilityとの  
感度の比較



20-210 $\mu m$ の波長帯はこれまで十分な感度の分光機能を持つfacilityがなく、2025年までに稼働が予定されているALMA, JWSTの感度と比べて1桁以上の隔たりがある。特に36-55 $\mu m$ 帯は、1995年に打ち上げられたISOの分光器の観測にほぼ限られており、さらに1桁以上感度に差がある(右図)。

# Time Allocation Plan (Tentative)



Program	Propriety Period	Fraction
Core Science Time	1 year	25-50 %
Guaranteed Time	1 year	TBD %
Open Time	1 year	TBD %
Directors Time	None	5 ? %
Calibration Time	N/A	10 ? %
Performance Verification	None	< 1 ? %

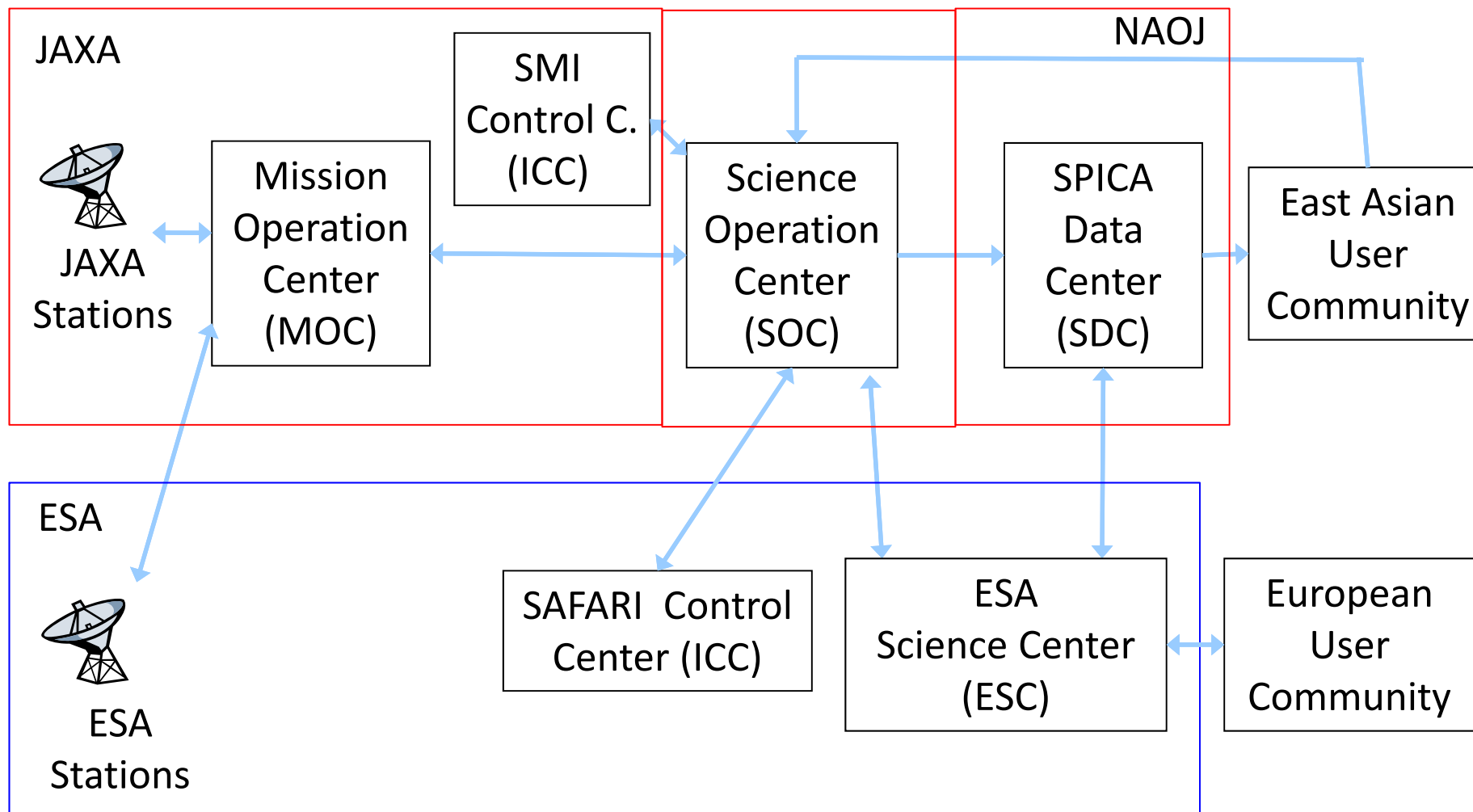
Operation: 3 years (nominal), 5 years (goal)

# Operation Plan (Tentative)



Operational Ground Segment

Science Ground Segment





# Long-term & Summary



- Assumptions
  - ESA project will be selected as a CV M4 program
  - JAXA project approval is expected prior to the final selection of the M4 mission
  - Telescope Assembly requires 6.5 years (TBC) from the ESA' approval to the FM delivery.
- Launch year
  - Nominal: 2025/2026
- *Science Interest/Case is the First Step, and it is always the Base of Our Activity*
- 光赤天連で新タスクフォースを設立していただきます。これからもよろしくお願いします。