

Satellite Missions in 2020's

SPICA

第1回銀河進化研究会@NAOJ

4th -6th 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 μ 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



Telescope Assembly
(STA)

Focal Plane Instrument Assembly (FPIA)

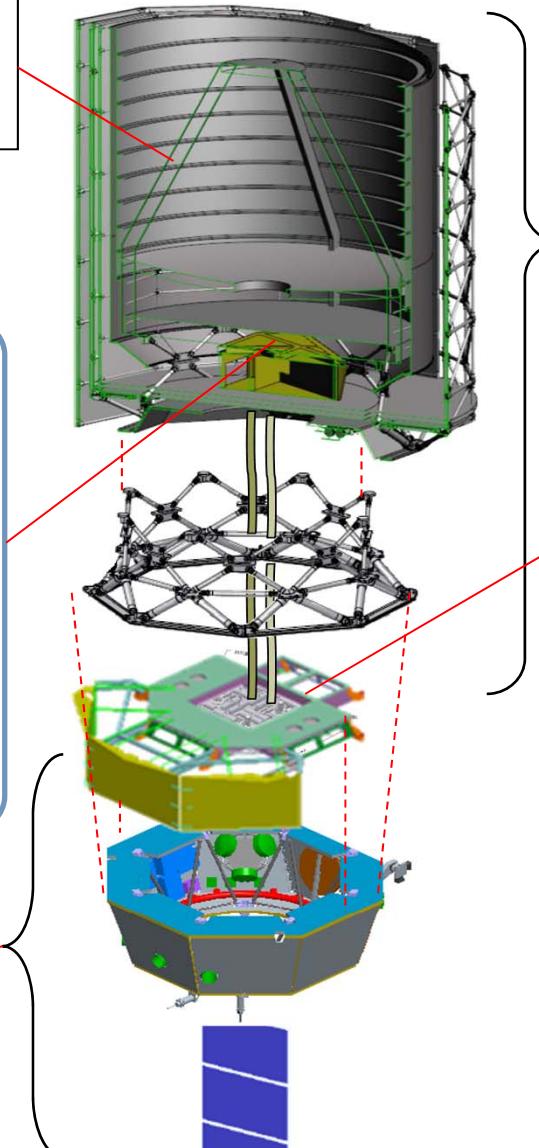


SPICA Far-IR
Instrument (SAFARI)
Netherlands & European
consortium (13 countries in
total)



SPICA Mid-IR
Instrument (SMI)

Bus Module (BM)



Payload Module (PLM)



Mechanical
Cryo-cooler
System (MCS)



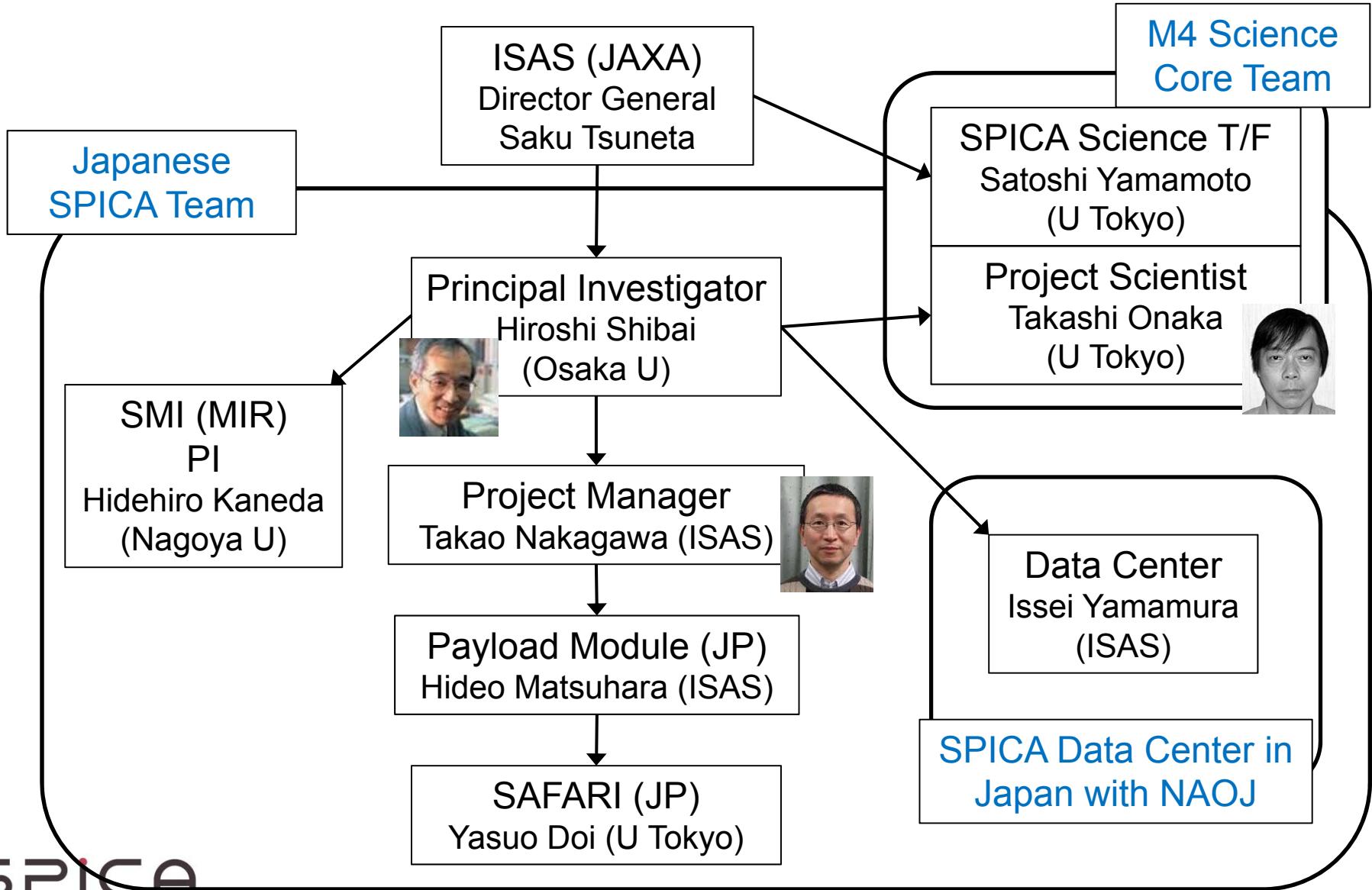
Launching
Vehicle

SPICA Data Centre

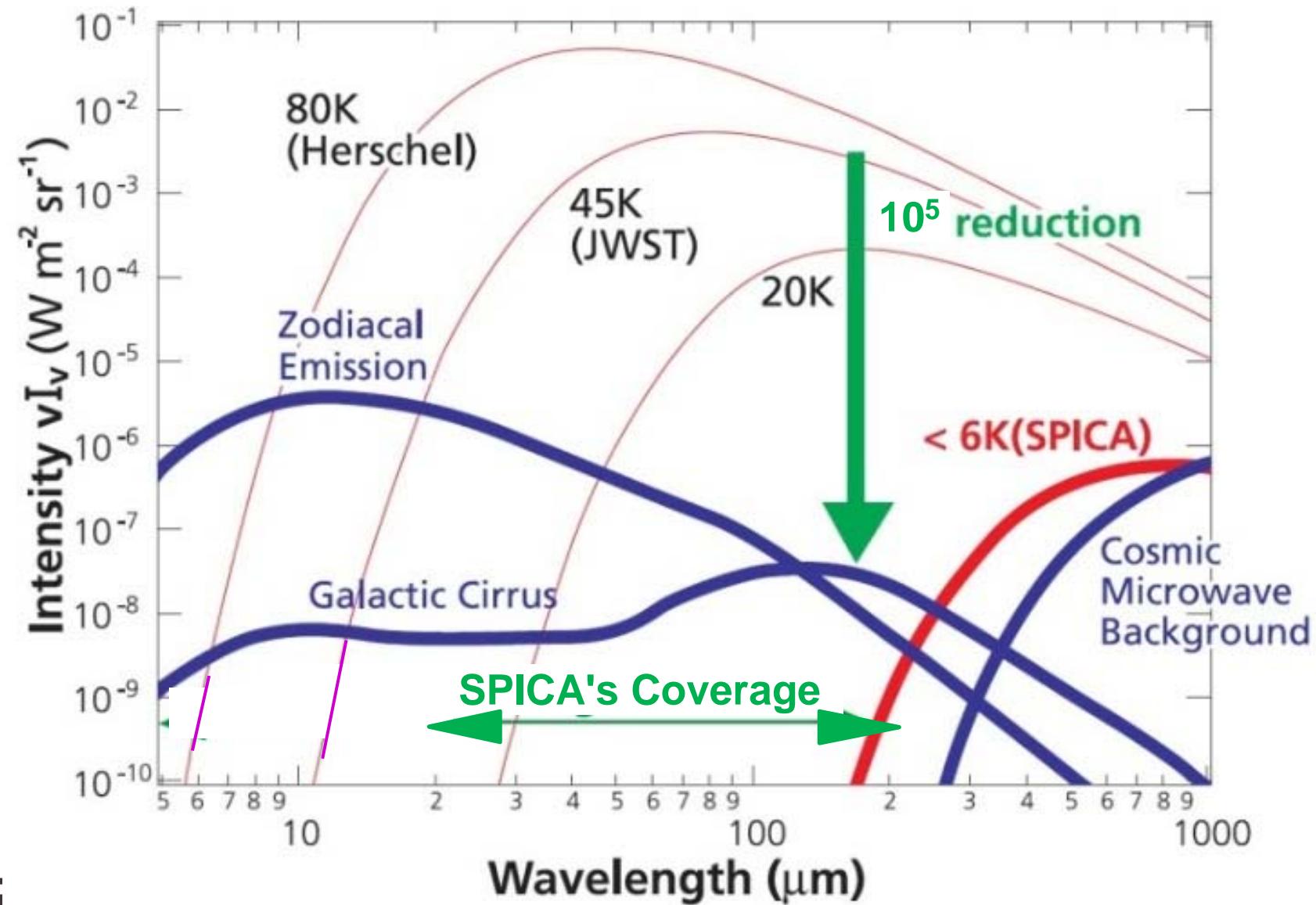


Science Activities
+ S.Korea, Taiwan

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



Suppression of Fore/Background

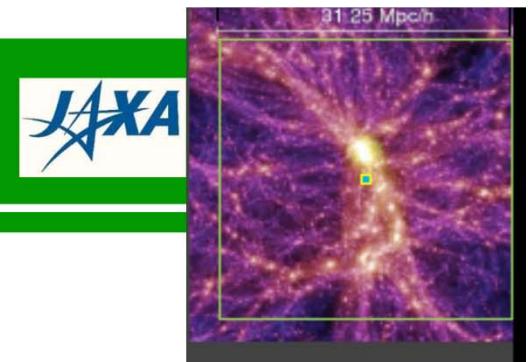


Focal Plane Instruments

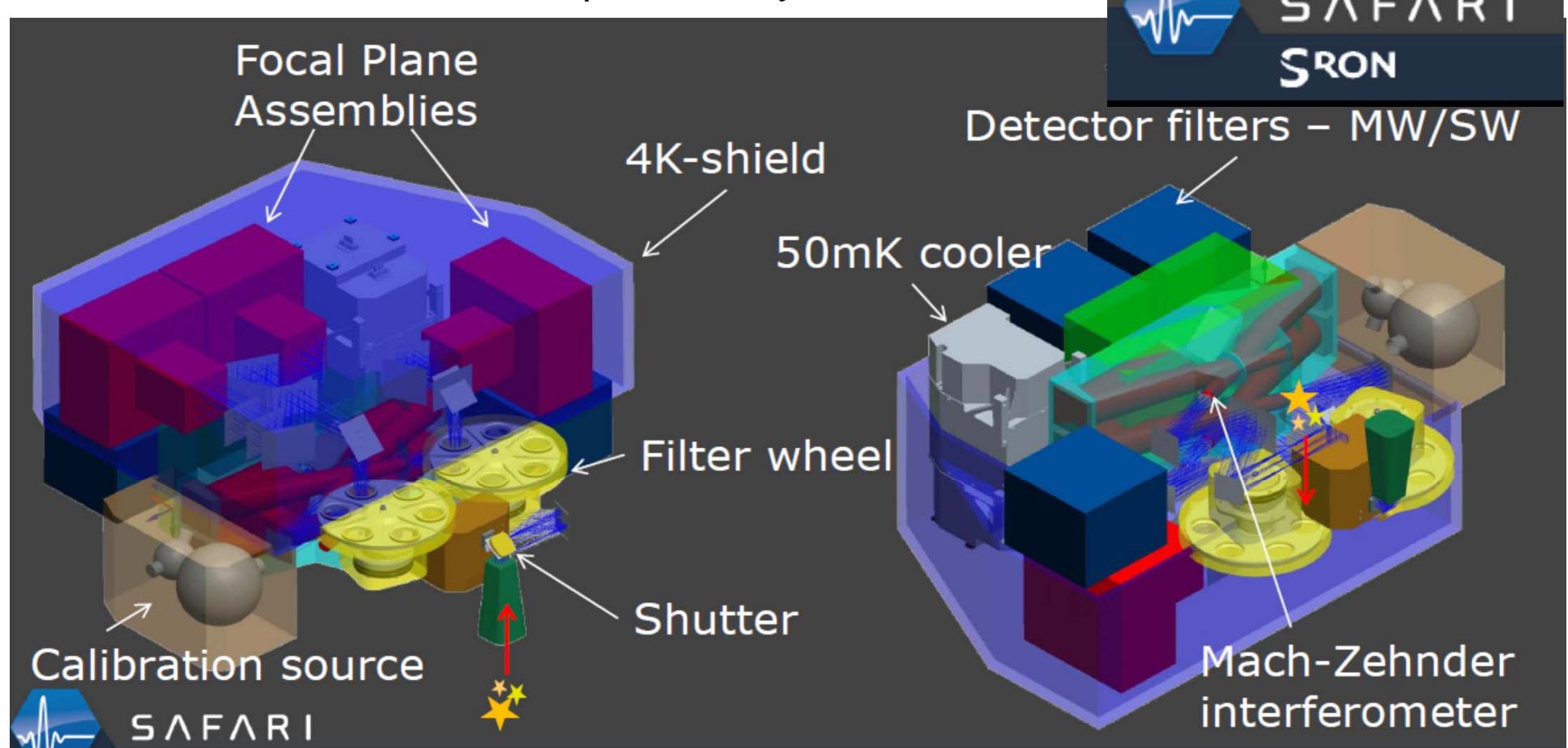


	SMI SPICA Mid-Infrared Instrument	SAFARI SPICA Far-Infrared Instrument
Wavelength	20-37 μm	34-210 μm
FoV	5' \times 5' (Imaging) 2.5' \times 3" (Spectroscopy)	2' \times 2'
Spatial Resolution (FWHM)	1.4" @ 20 μm 2.6" @ 37 μm	4" @ 47 μm 7" @ 85 μm 13" @ 160 μm
Imaging	R~20 9-50 μJy	34-60, 60-110, 110-210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

SPICA Far-Infrared Instrument (SAFARI)

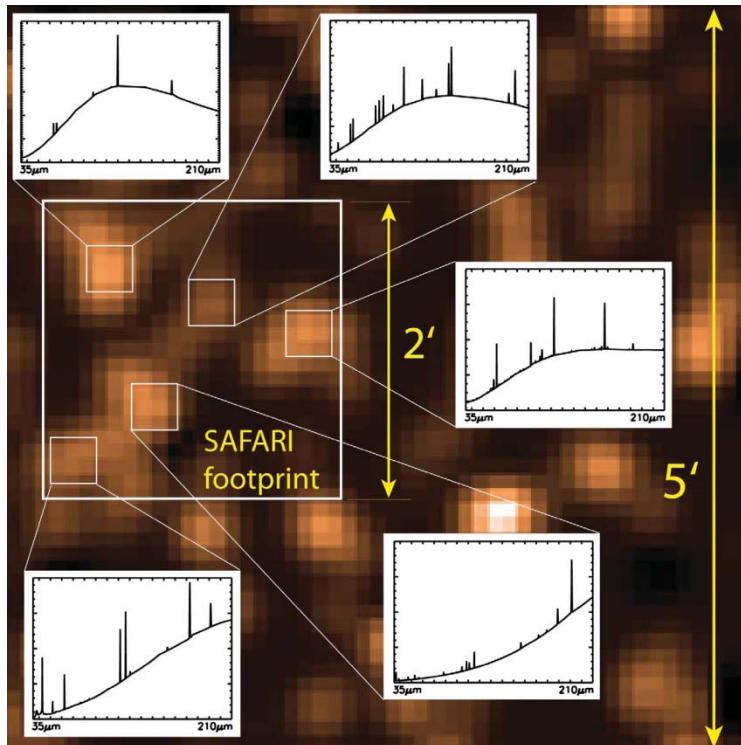
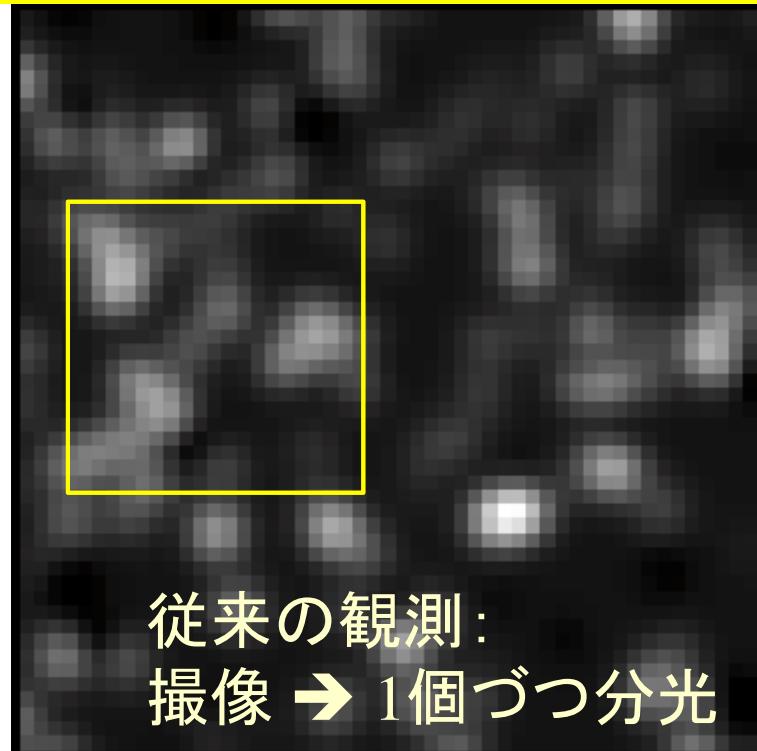


- Three band Fourier transform spectrometer
- Continuous spectroscopic capability from 34-210 μm
- Simultaneous broadband photometry in three bands



SPICAの「威力」: 高感度な多天体同時分光を実現

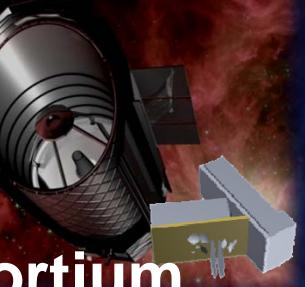
撮像と共に、34-210 μm の波長範囲を一挙に分光



2分 × 2分の視野 → 数個以上の天体を無バイアスに分光
→ 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 μm FoV: 5'x5' R = 5 & 50
Mid-R Spec	12 – 37 μm FoV: 12" x 8" R = 1000–3000
High-R Spec	12 – 18 μm Slit size: 6"x1" R = 20000

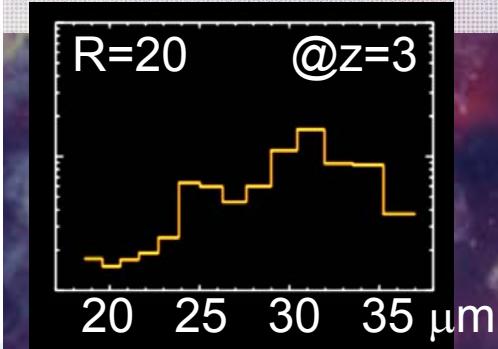
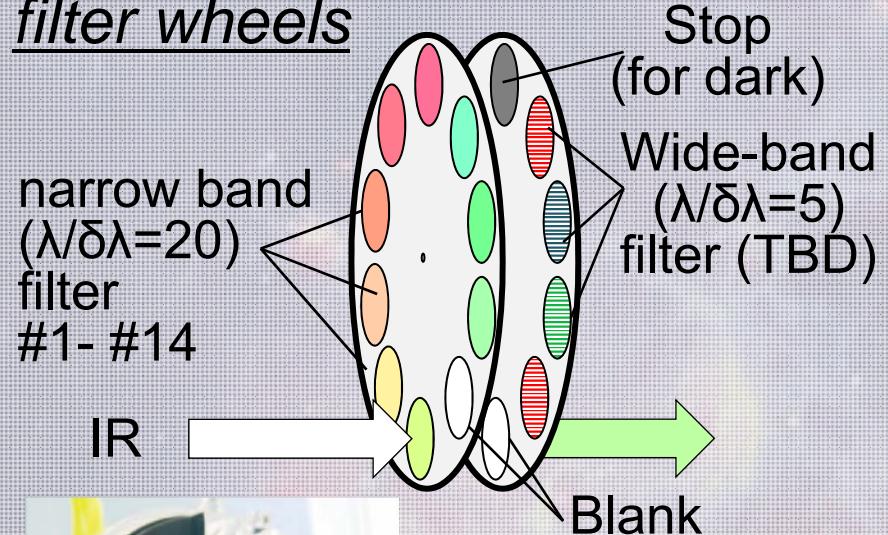


SMI	
20 – 37 μm	Cam
FoV: 5'x5'	Spec
R = 20	
20 – 37 μm	
slit size: 150" x 3"	
R = 1000	
N/A	
under discussion	

Focused on longer wavelengths and higher mapping efficiency.

SMI-Cam

filter wheels

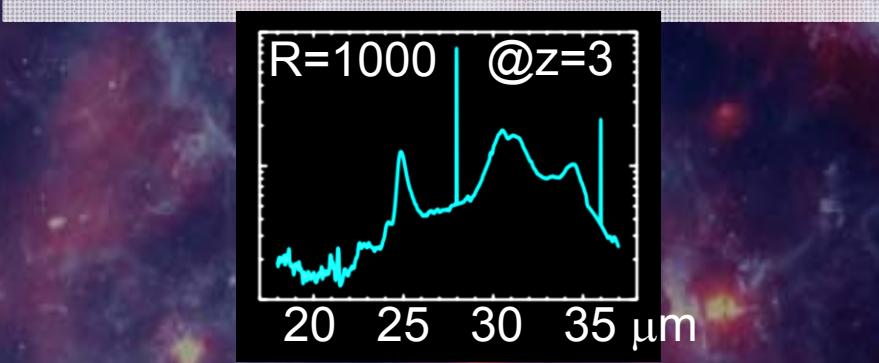
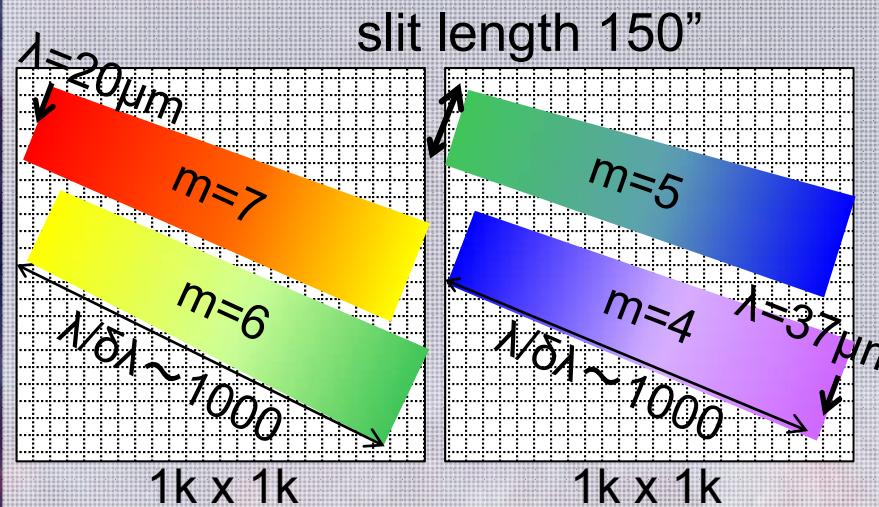


AKARI heritage

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

SMI-Spec

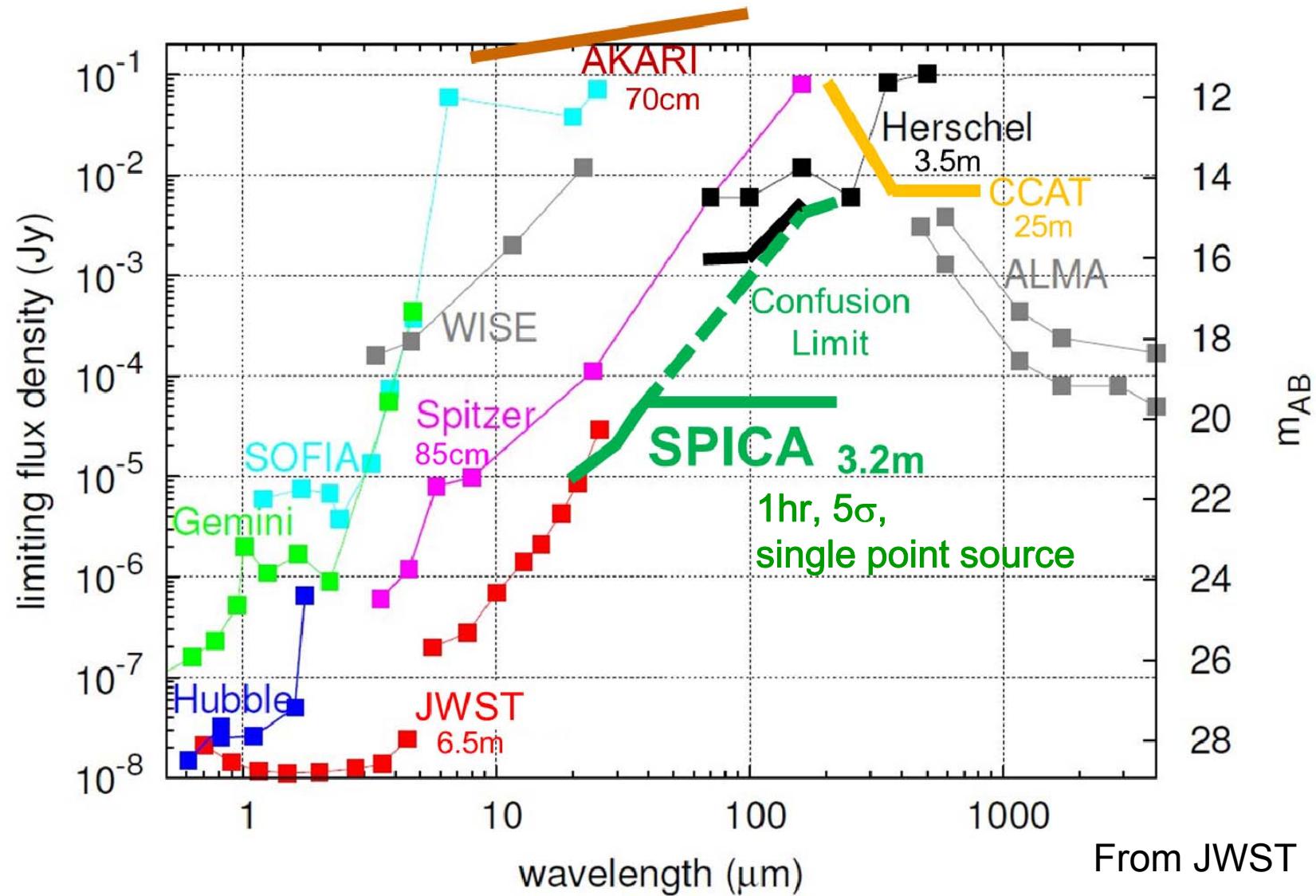
grating with cross-disperser



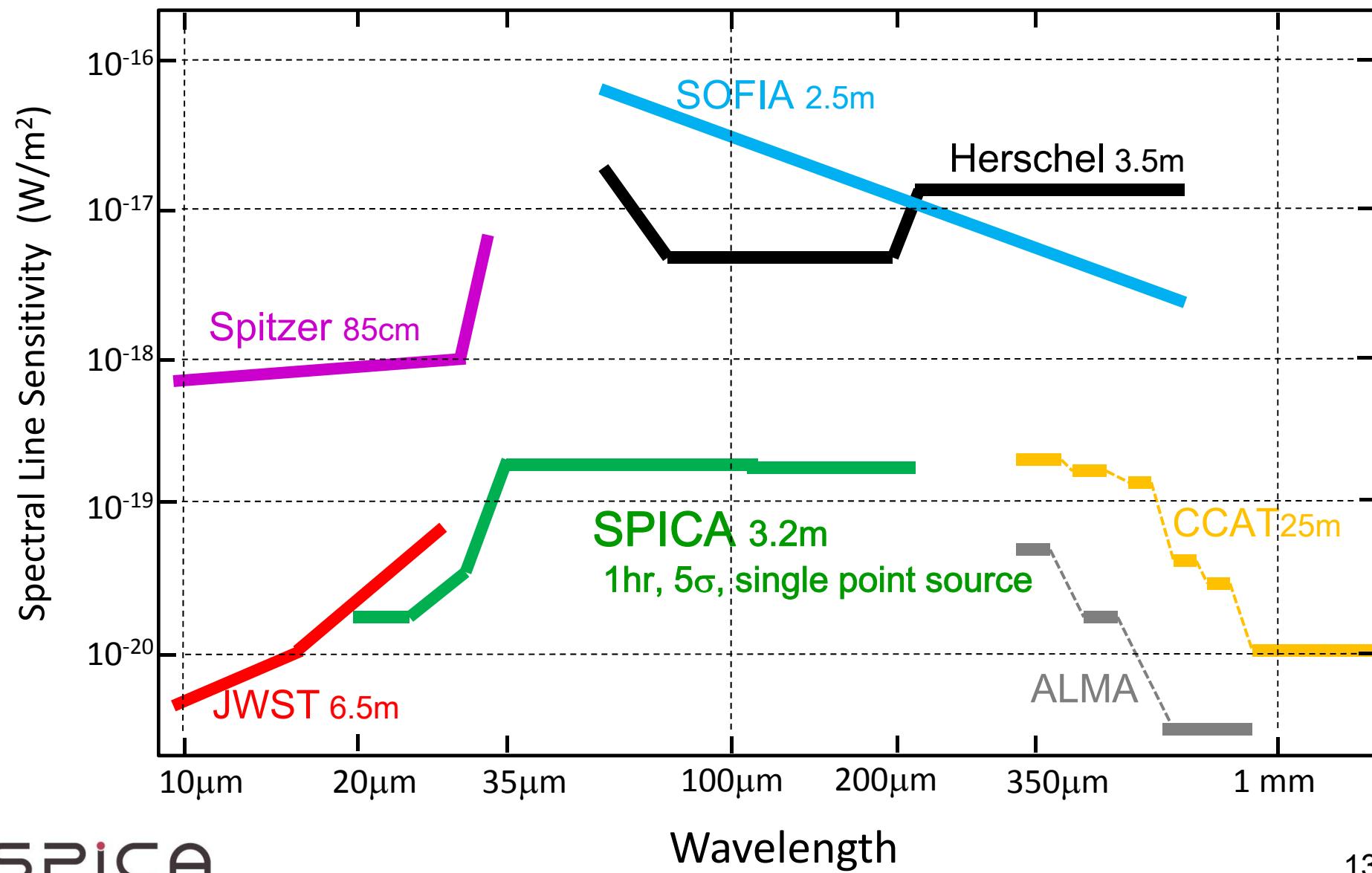
Survey → Spitzer/IRS-type scan

For detailed diagnostics using both gas lines & dust bands.

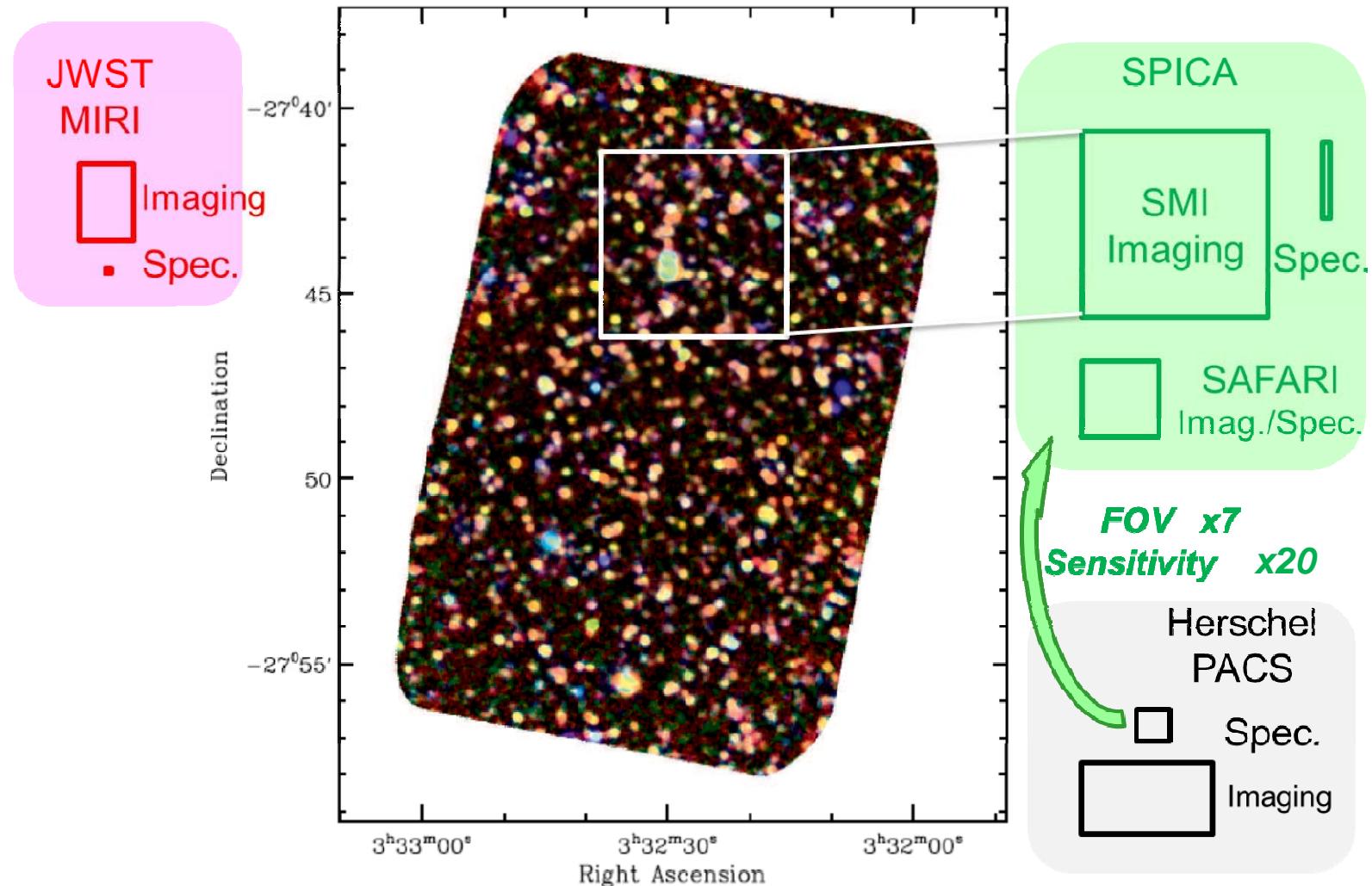
Continuum Sensitivities



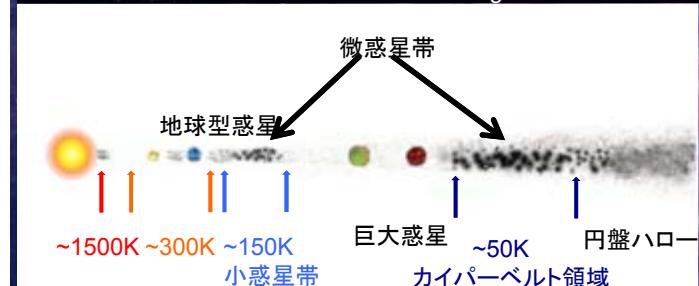
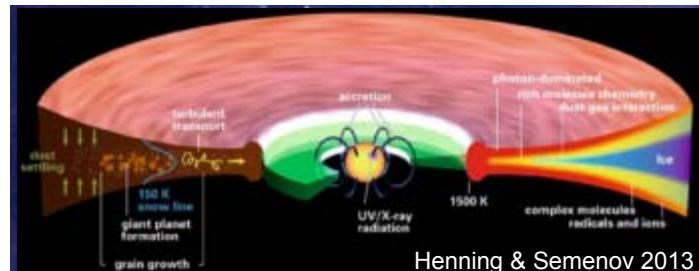
Spectral Line Sensitivities



Field of Views (Survey Speed)



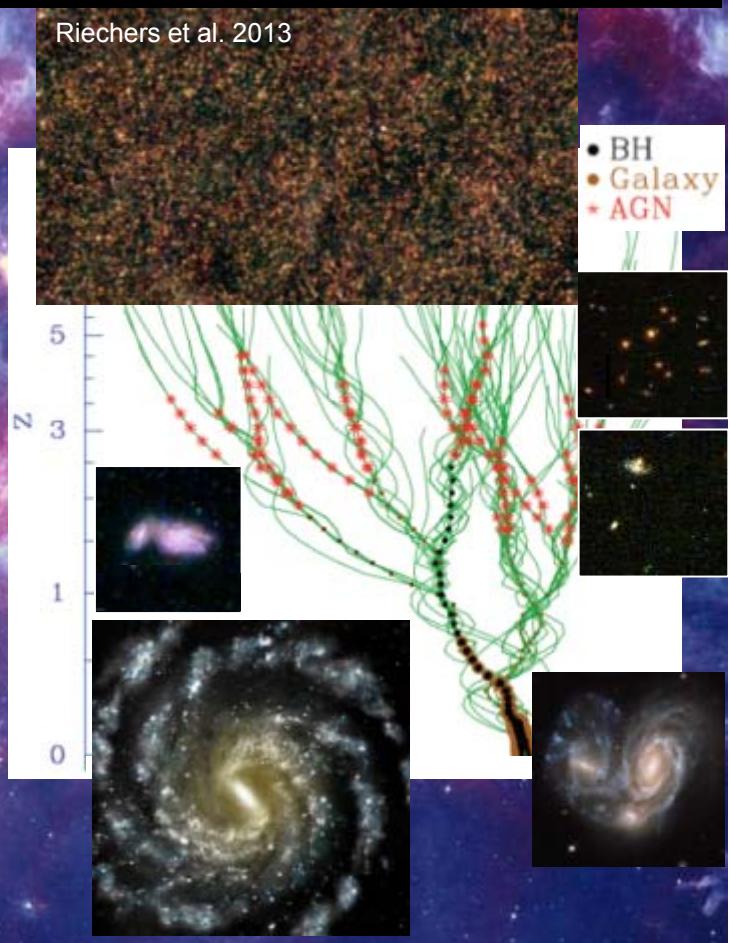
Far-Infrared Deep Survey of GOODS-S Field by Herschel PACS, 200hrs Integration,
False-color Image made with MIPS 24 μm , PACS 100 μm , 160 μm , Magnelli et al. (2013)



「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」

1. 銀河成長・物質進化過程の解明

Riechers et al. 2013



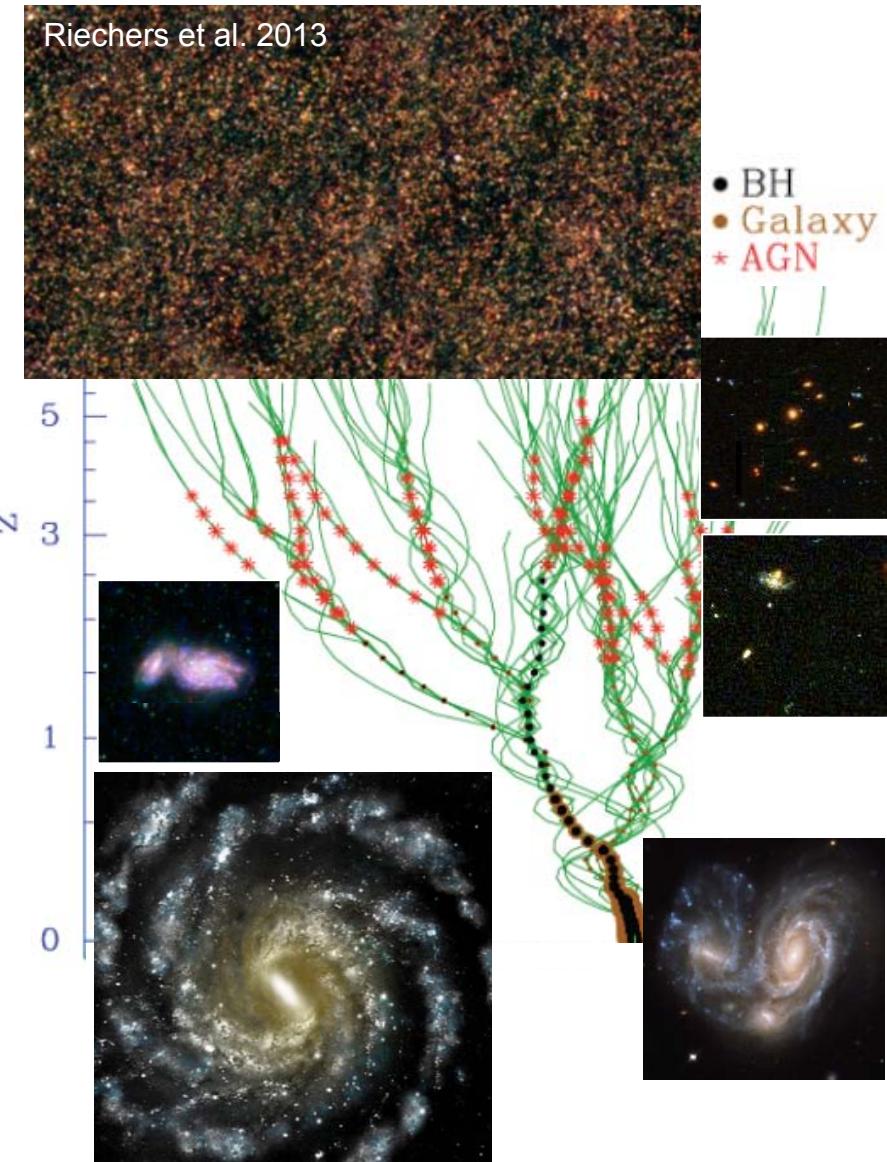
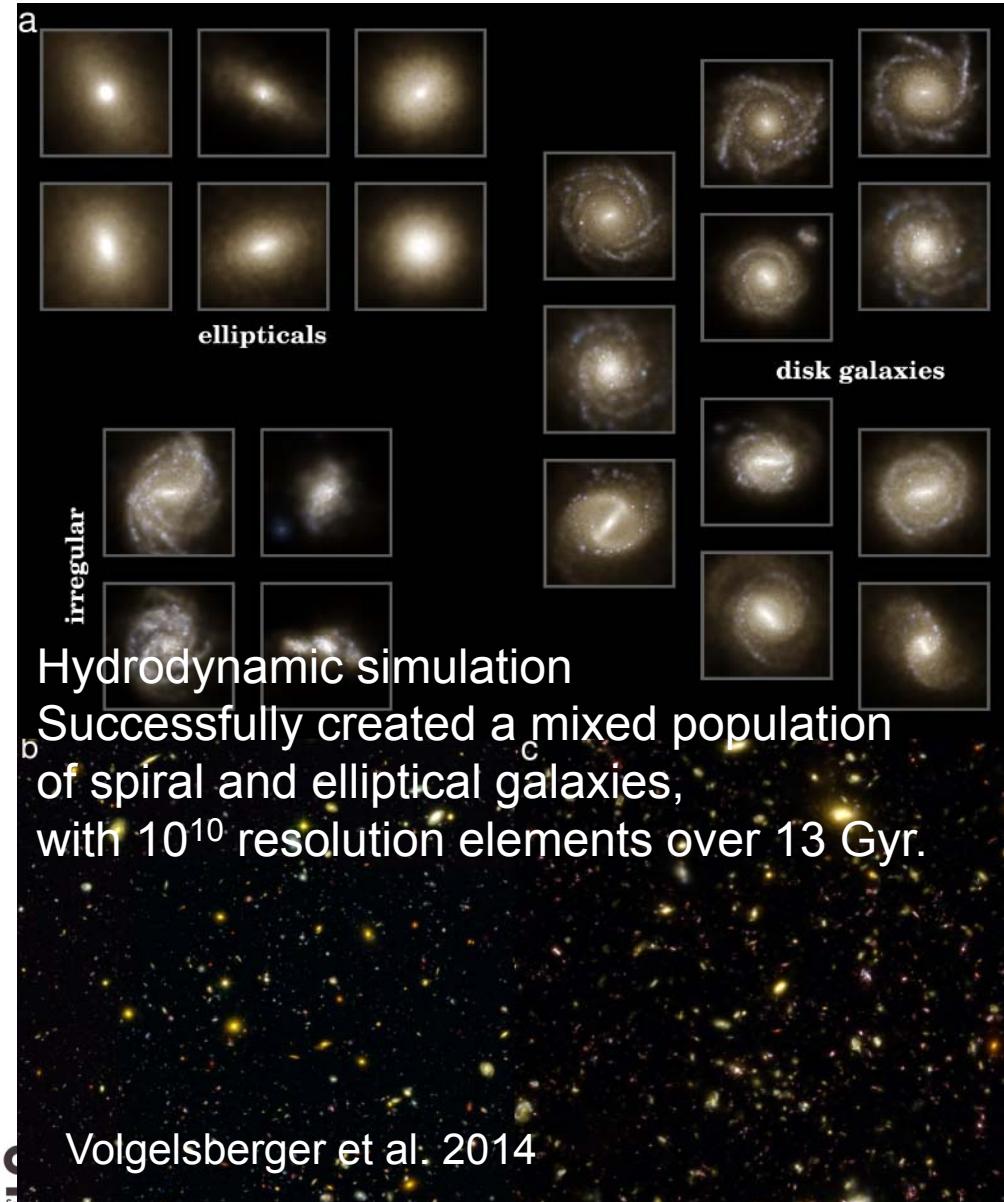
2. 惑星系形成過程の解明



3. 最高感度の宇宙赤外線天文台の実現

SPICA
Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics

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

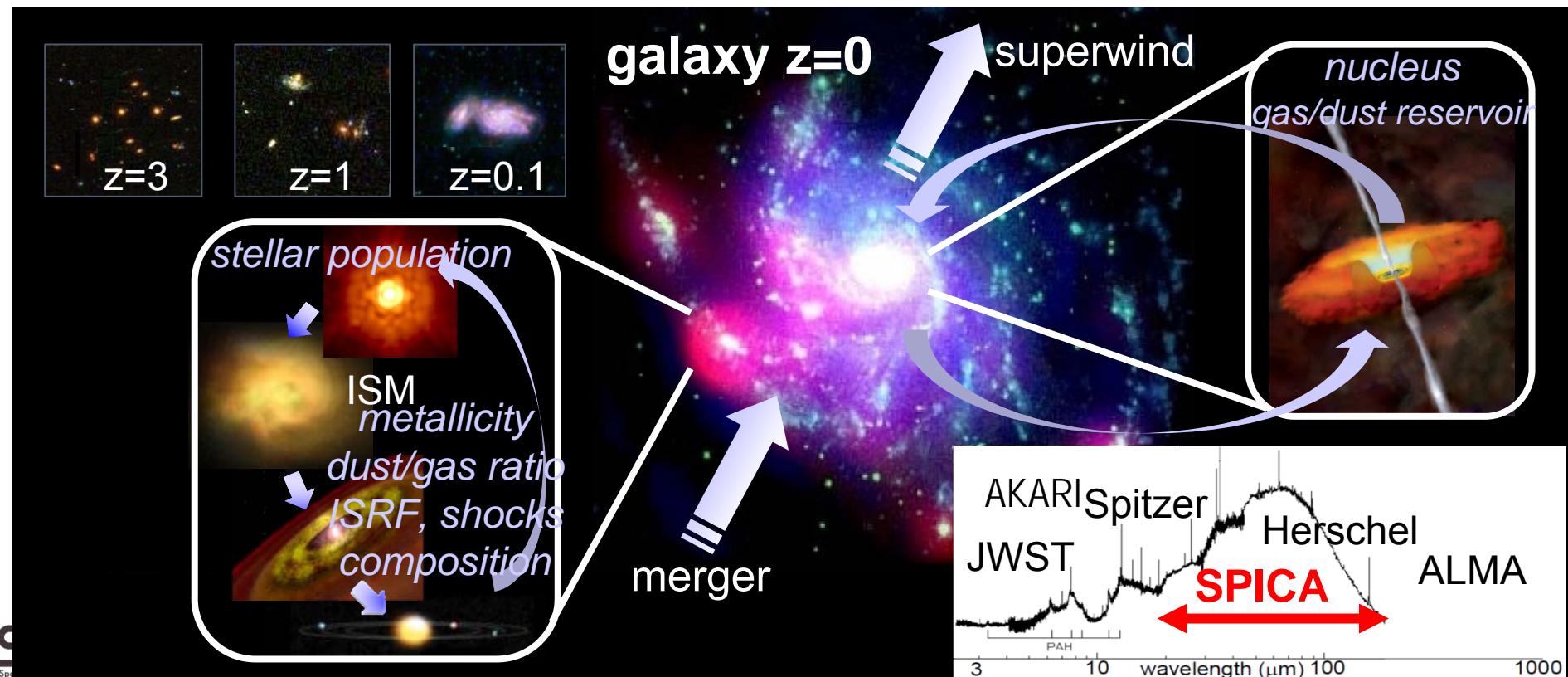


近傍(距離<100 Mpc, $z<0.02$)の銀河を対象とすることで、

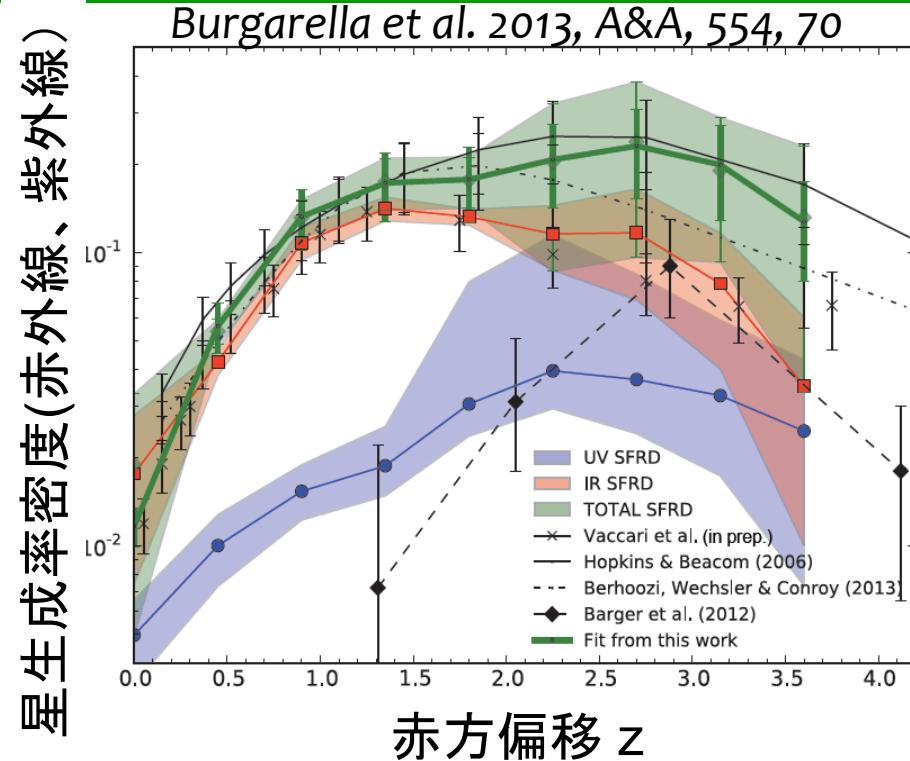
1. 銀河の**局所領域**(nucleus, spiral arm, bulge, inter-arm, halo, intergalactic regions)中の物理的条件を知る。

2. **暗い銀河**(矮小銀河、橢円銀河)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。

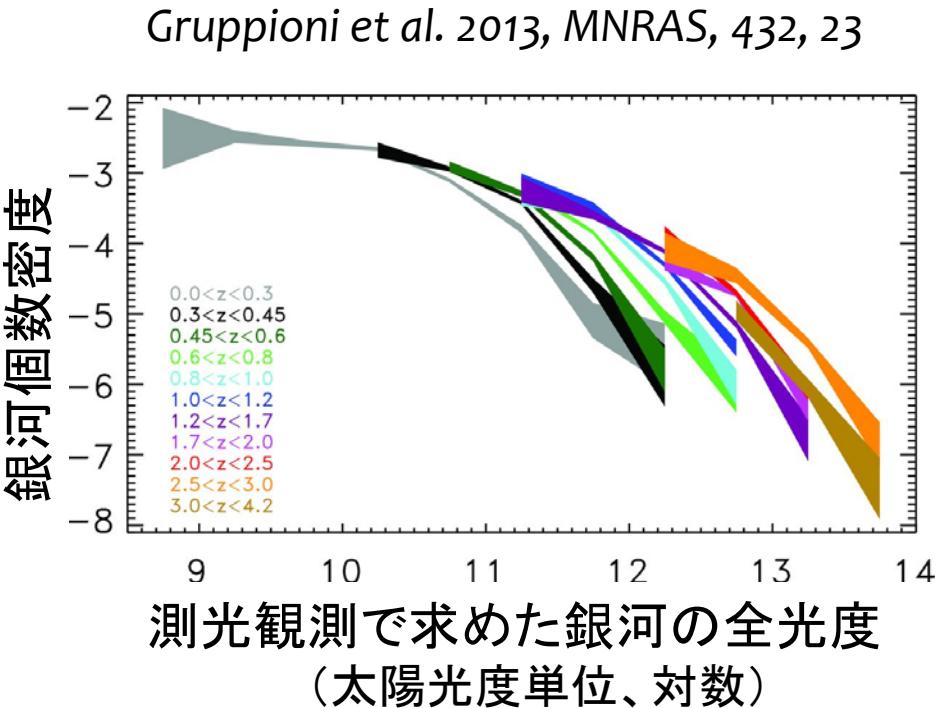
(主指標: ガス進化⇒**金属量**の増加、ダスト進化⇒**ダスト・ガス質量比**の増加)



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、 $z=1\text{--}3$ 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
LIRG = 大光度赤外線銀河

$10^{12} L_{\odot} < L_{\text{IR}} < 10^{13} L_{\odot}$
 $10^{11} L_{\odot} < L_{\text{IR}} < 10^{12} L_{\odot}$

これまでの観測結果から、以下の説がある。

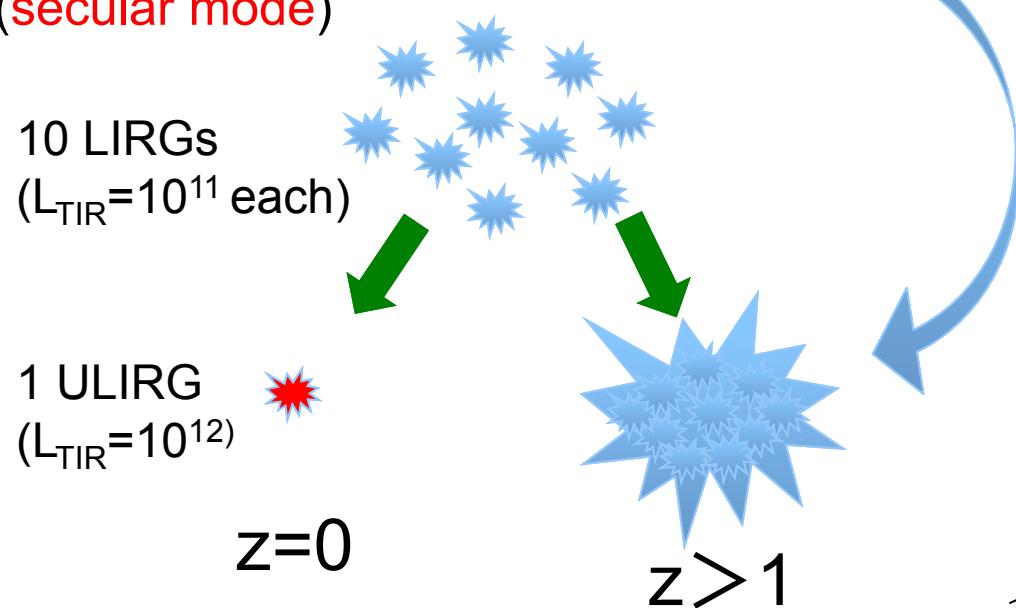
現在の ULIRG \neq 過去($z>1$)の ULIRG

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なため、銀河の**各所で継続的に**激しい星生成が起きている (**secular mode**)



「銀河成長・物質進化過程の解明」

ダストに隠された銀河成長最盛期のULIRG



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: $z=0 \sim 3$ の各 z bin ($\Delta z=0.5$)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

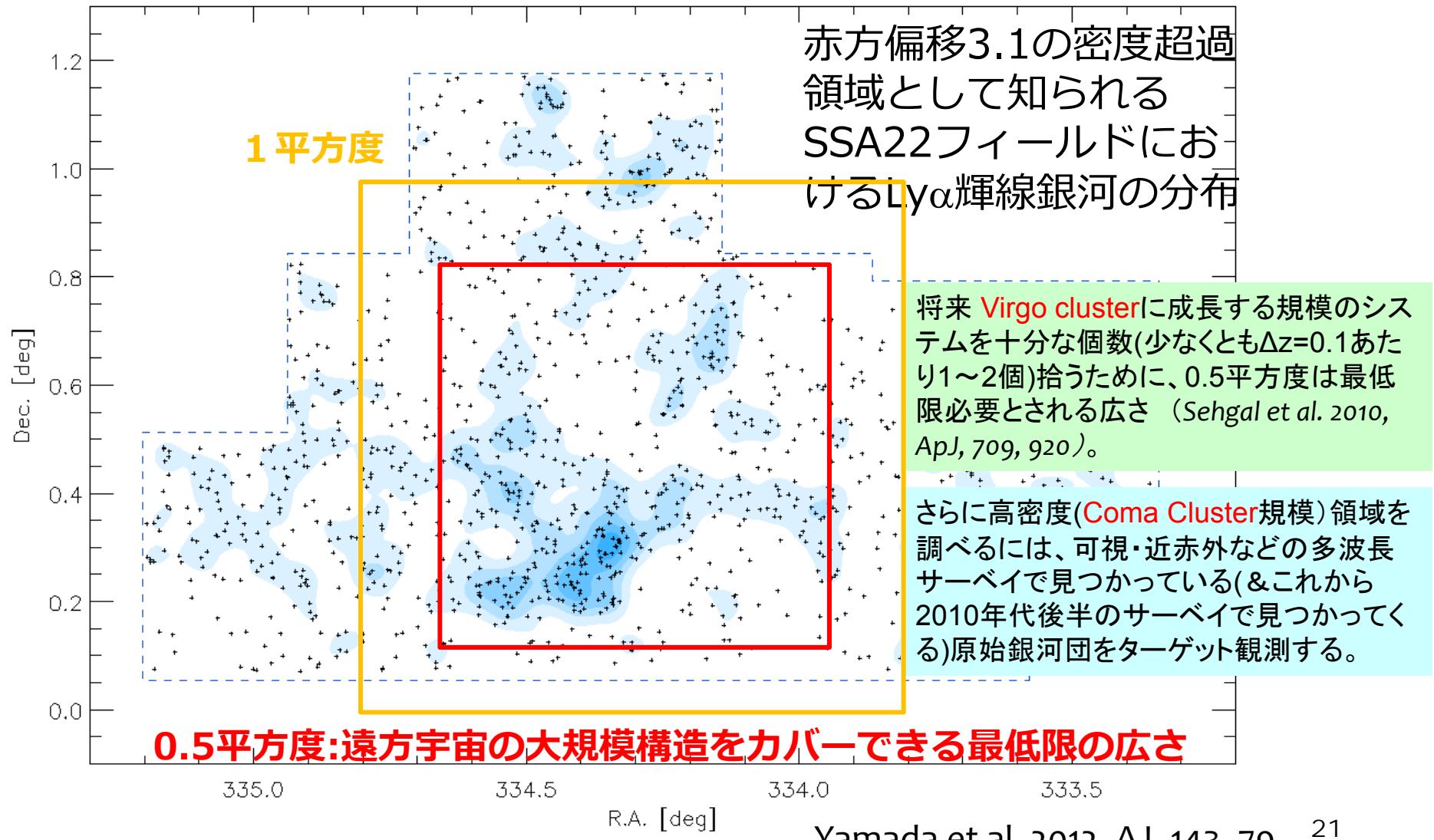
(2) 波長 $20\text{-}36\mu\text{m}$ で、 $z=3$ までのPAHバンド放射サーベイ

$R=20$ (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



- ピーグ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)－共生型	○	○	○	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

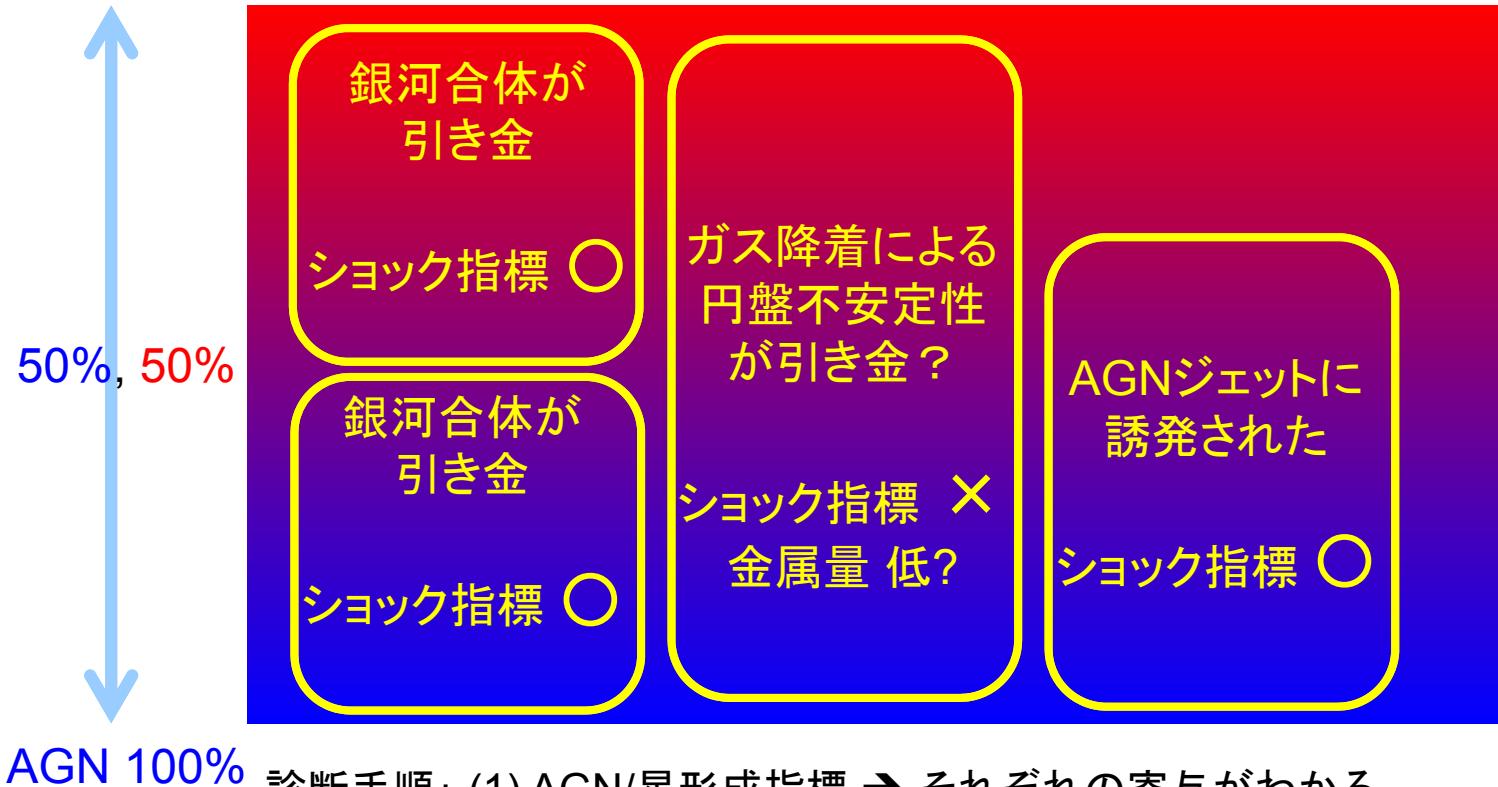
- ガス密度・放射場強度の測定も行うことで、A(Burst Mode)とB(Secular Mode)との識別にさらに役立てる。

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%



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。

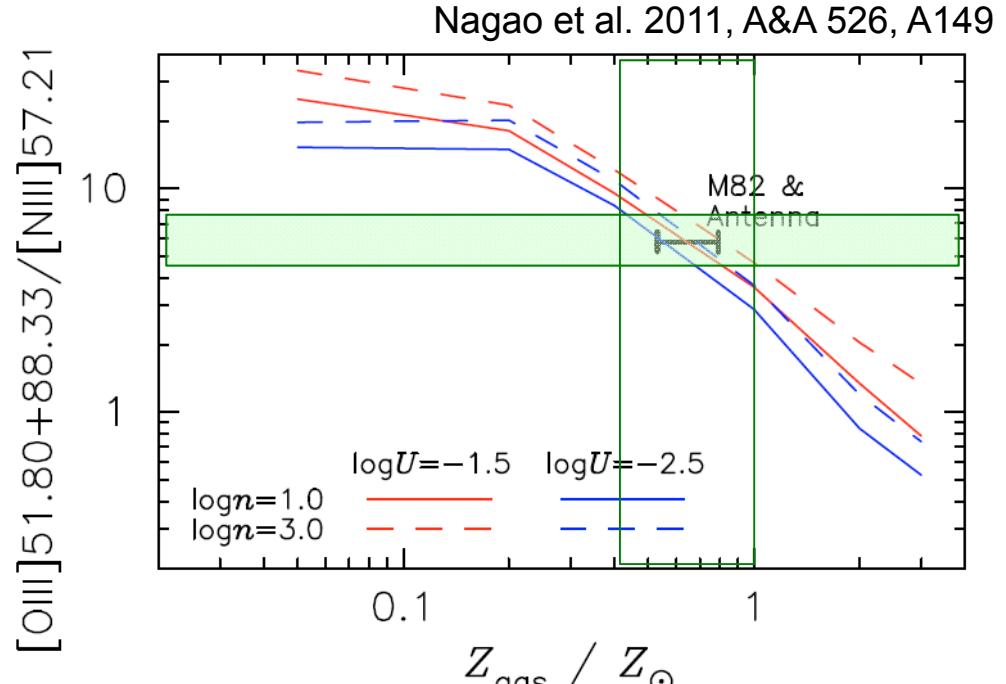
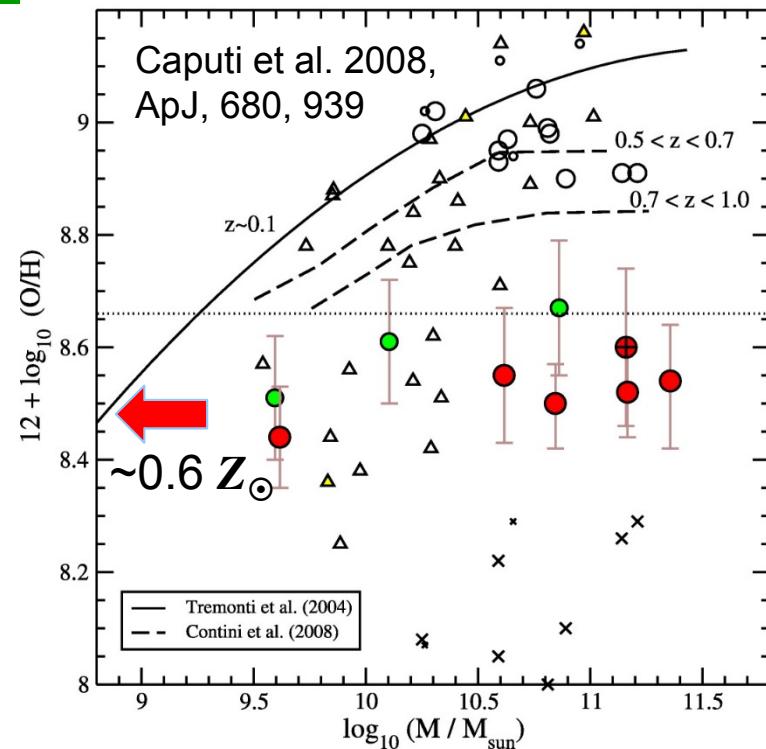
各指標となる観測量



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

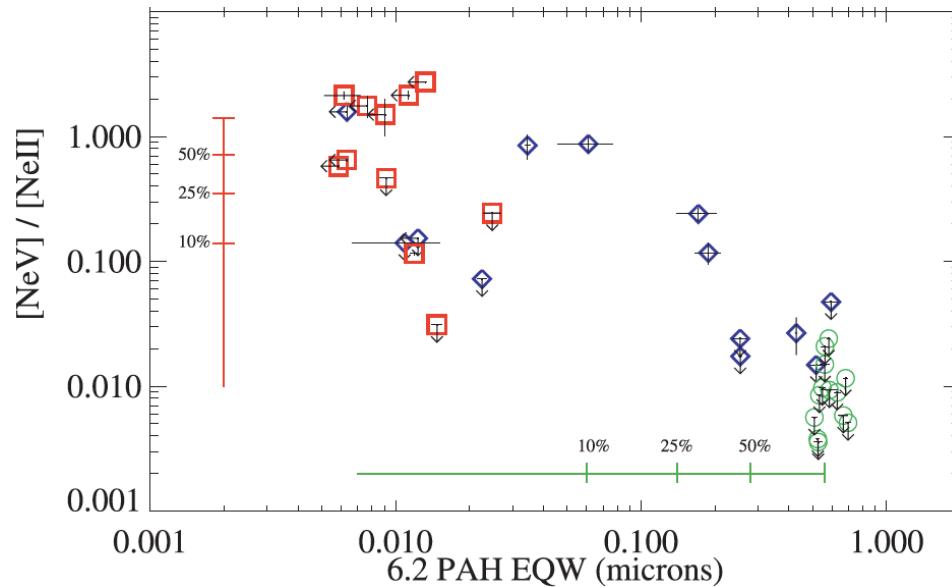


- 可視域の輝線比で診断すると、ULIRGは金属量が低いことが示唆される。→ 降着中の「若い」ガスを見ている？それとも、ダストで深い吸収を受けているため、可視域の診断では、金属量勾配の「裾」しか見えていない？(大きな課題)
- ([OIII]51.80+[OIII]88.33)/[NIII]57.21強度比が測定できる赤方偏移の銀河であれば、より正確な金属量の診断が可能。 $(z < 1.3)$
- 各輝線がS/N=5であっても、可視輝線診断で示唆されるような低金属量(sub-solar)なのがどうかの判定が可能。

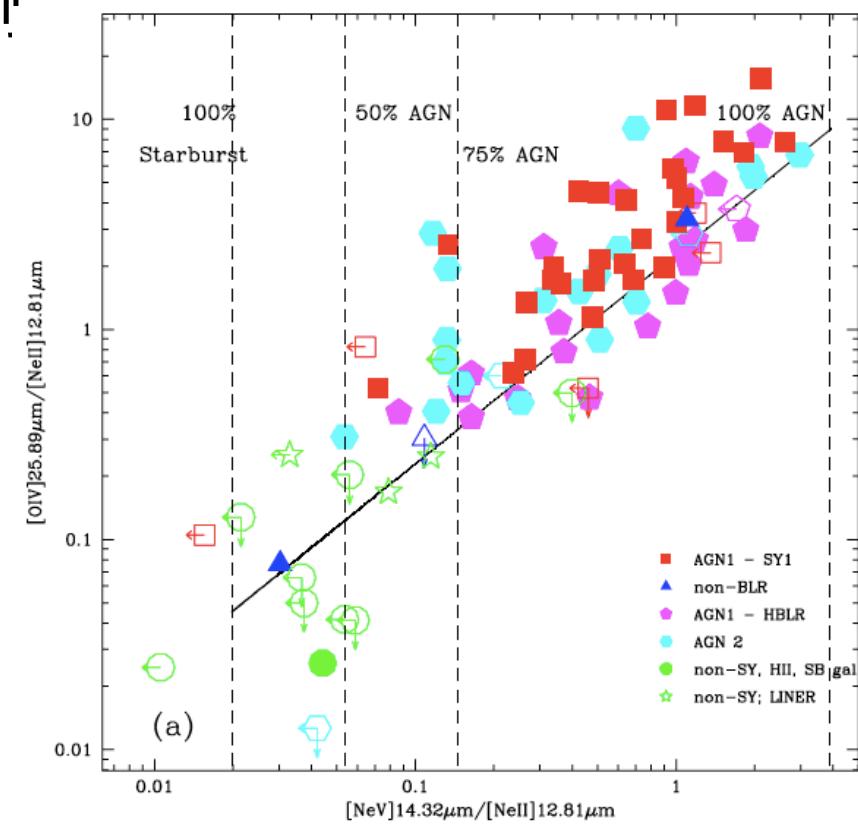
AGNと星形成(SB)の定量的な切り分け



- 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

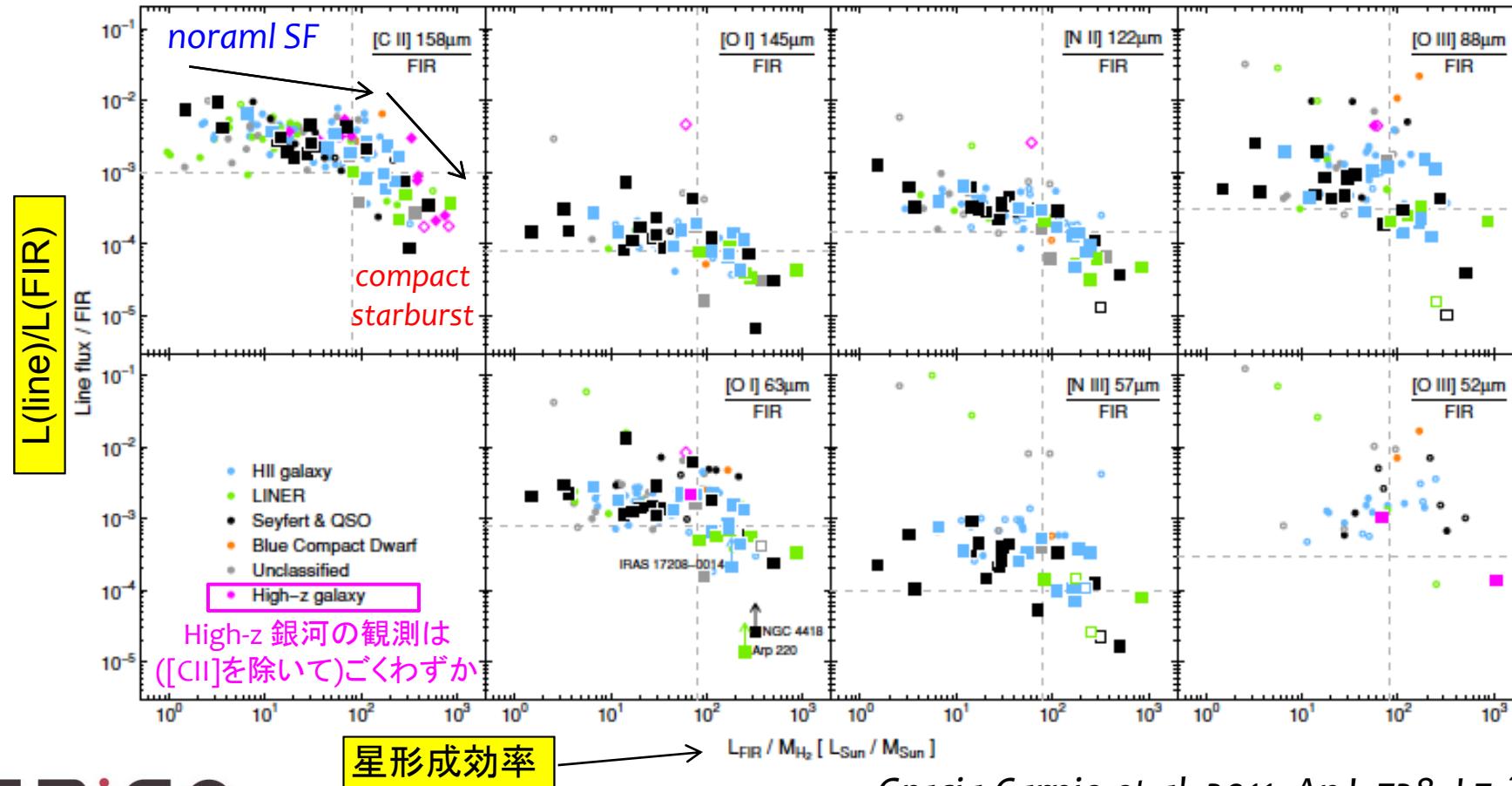


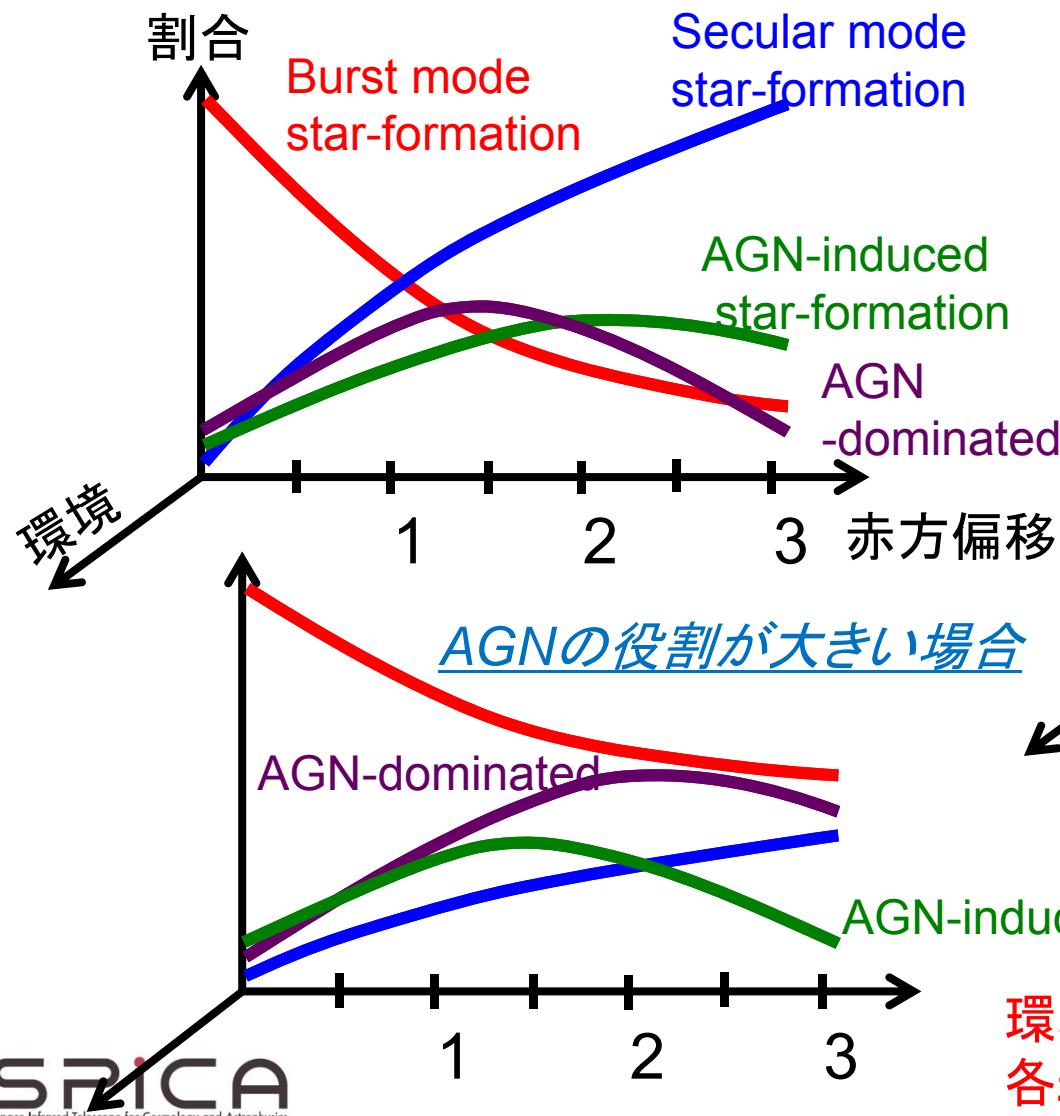
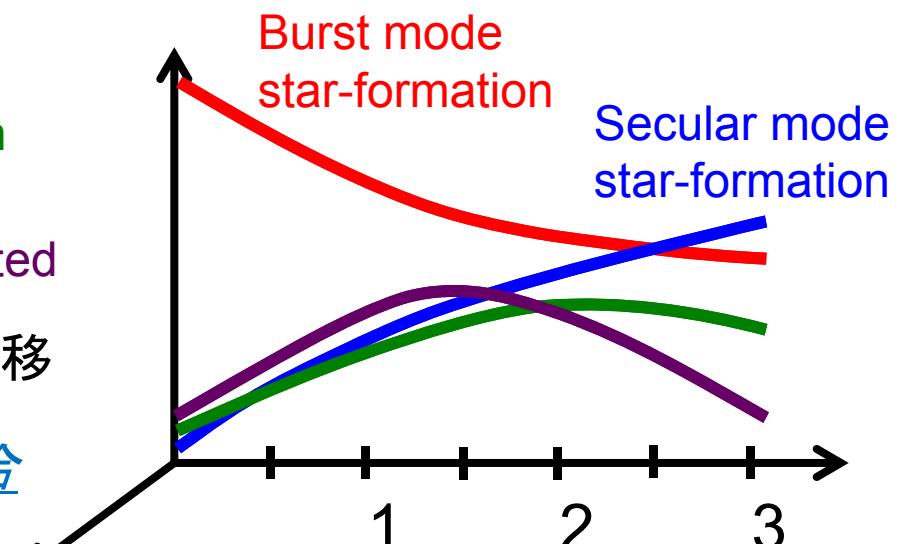
Tommasin et al. 2010, ApJ, 709, 1257

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。

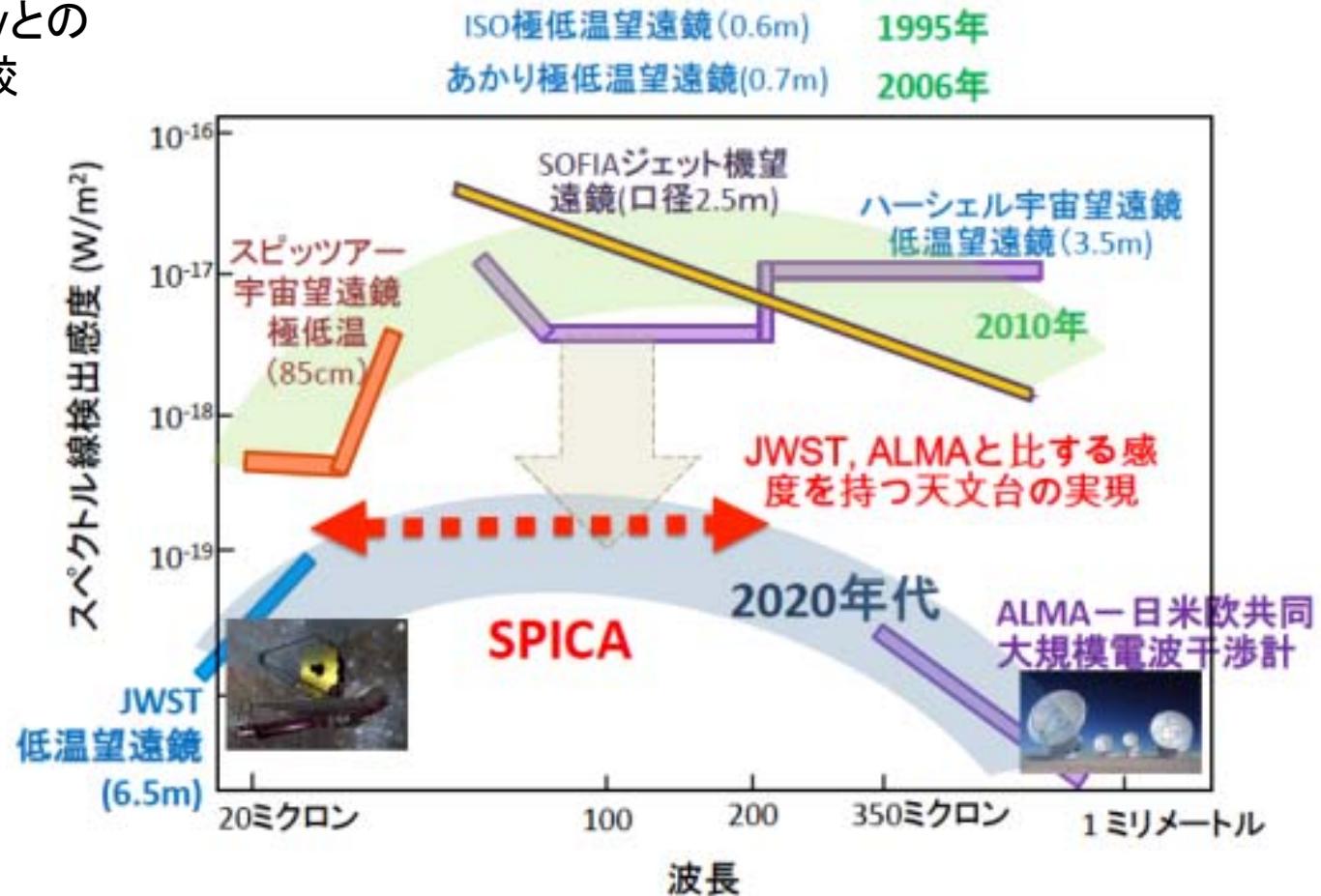


定常的ガス降着の役割が大きい場合銀河合体の役割が大きい場合

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



20-210μm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36-55μm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)。

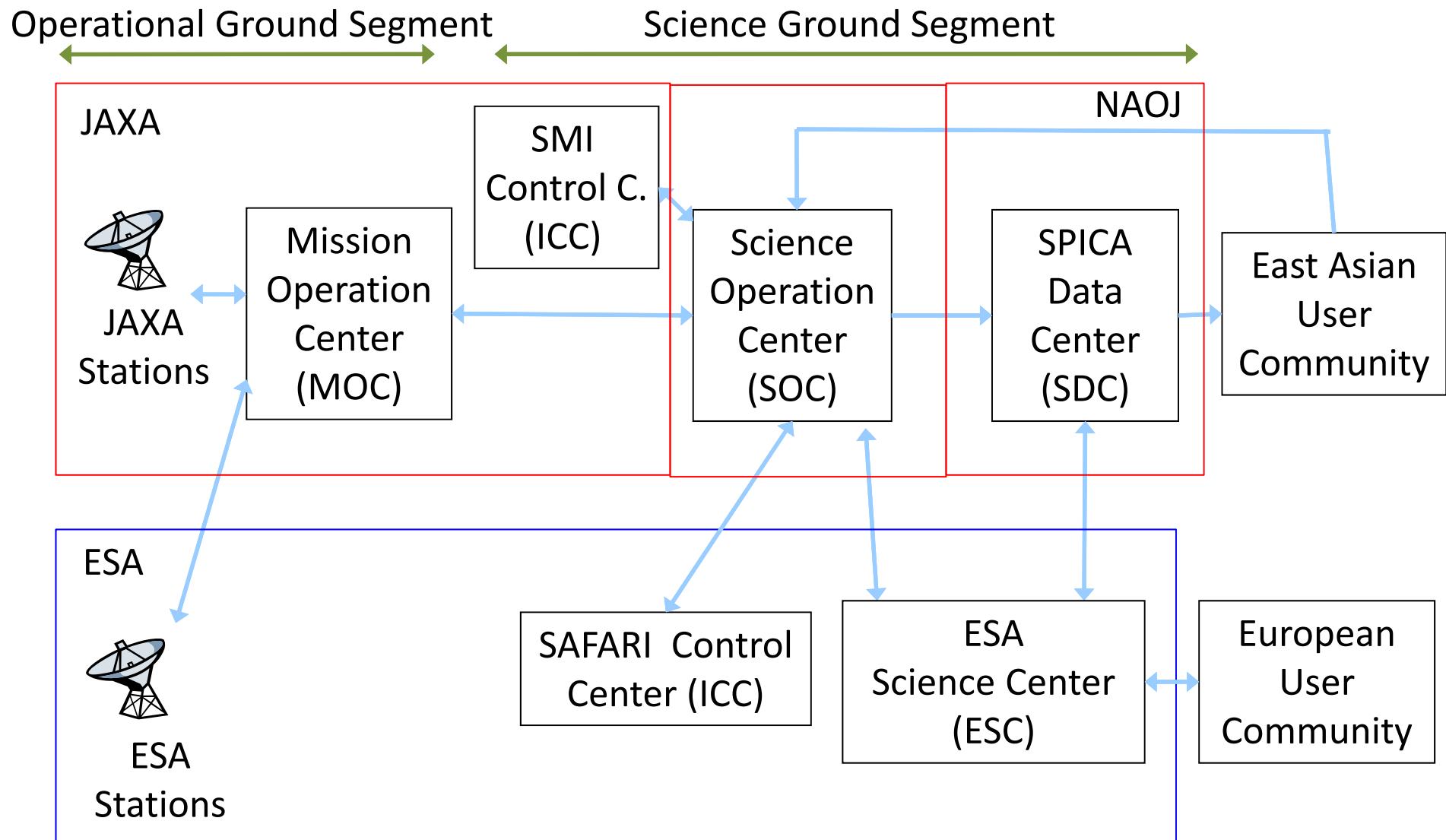
Time Allocation Plan (Tentative)



Program	Proprietary 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)



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ひします。