

SPICAサイエンス検討 中間報告

長尾 透 (愛媛大学)

光赤天連 SPICAタスクフォース

光赤天連 スペース将来計画シンポジウム
26 Nov. 2014, 国立天文台三鷹

光赤天連 SPICAタスクフォース (STF)

第1期 SPICAタスクフォース (2008年11月～)

市川隆 (東北大, 委員長), 今西昌俊 (NAOJ),
泉浦秀行 (NAOJ), 川良公明 (東京大),
河野孝太郎 (東京大), 斎藤智樹 (愛媛大→東京大),
高見道弘 (ASIAA), 田村元秀 (NAOJ→東京大),
山下卓也 (NAOJ), 渡辺潤一 (NAOJ)

第2期 SPICAタスクフォース (2014年10月～)

小山佑世 (宇宙研, 幹事), 竹内努 (名古屋大),
長尾透 (愛媛大, 委員長), 野村英子 (東京工業大),
本田充彦 (神奈川大), 松田有一 (NAOJ),
宮田隆志 (東京大)

第2期 STF の任務

望遠鏡口径など主要な仕様や搭載する観測装置にまで踏み込み、2020年代後半に我が国のコミュニティが取り組むべきサイエンスに照らし、SPICAの果たすべき役割と装置仕様策定に関して、コミュニティの視点からSPICAチームの活動を支援すること。

短いタイムスケールでのタスク：

これまで“Plan-B” SPICA が検討してきた科学目標の重要性・独自性をレビューした上で、それらが口径 2m 級の (Plan-D) SPICA によっても実現可能かどうかを検討すること。また、更に検討が必要な事項について洗い出すこと。

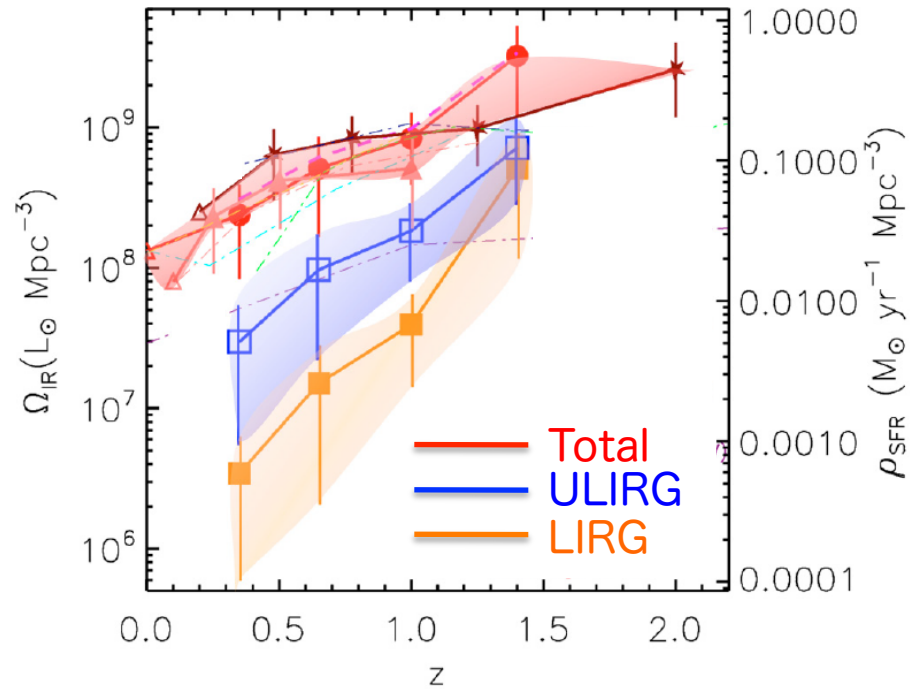
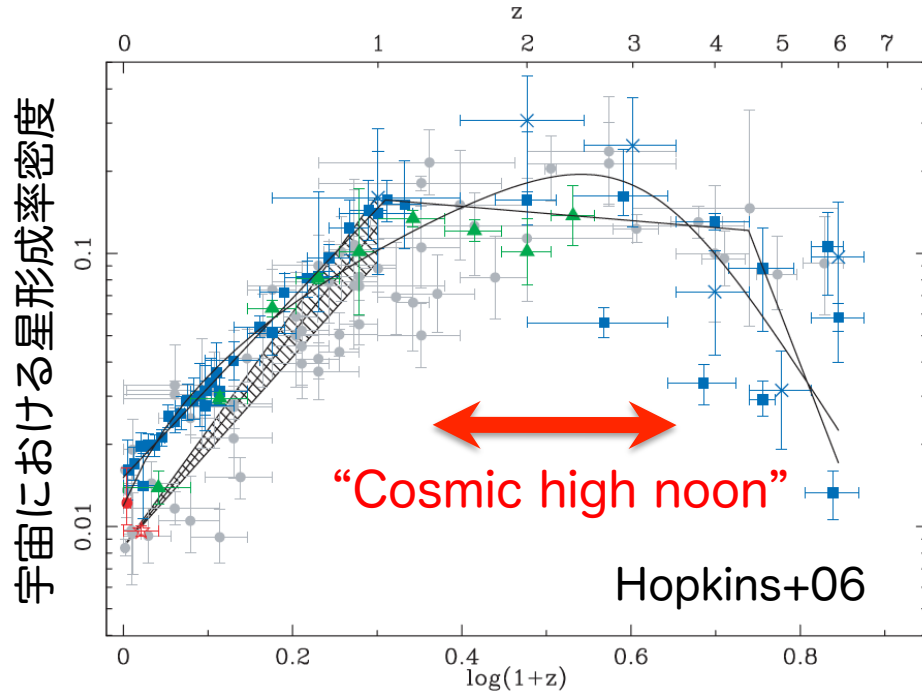
SPICAミッションの科学目的と意義

銀河形成と惑星系形成：
多様で豊かな宇宙を生んだ二大過程の解明

- 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
 - ～ 星生成と物質進化の相互作用
- 惑星系形成過程の解明
 - ～ ガスの精密定量による惑星形成シナリオ検証
 - ～ 惑星形成における水と氷の役割
 - ～ 惑星系外縁天体の起源
- 最高感度の冷却宇宙赤外線天文台の実現

ダストに隠された銀河成長最盛期

Goto+10



星形成率密度の進化
(可視光銀河サーベイの結果)

→ 銀河成長のピークは $z \sim 1-3$

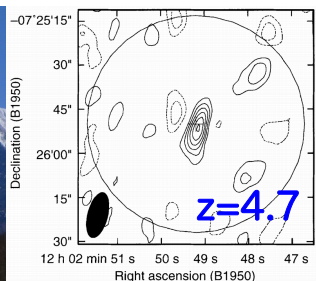
銀河成長ピークの時代では
星形成は塵に覆われていた

→ 何が起きていたのか不明

遠方天体「探査」から「物理」へ：電波・可視光



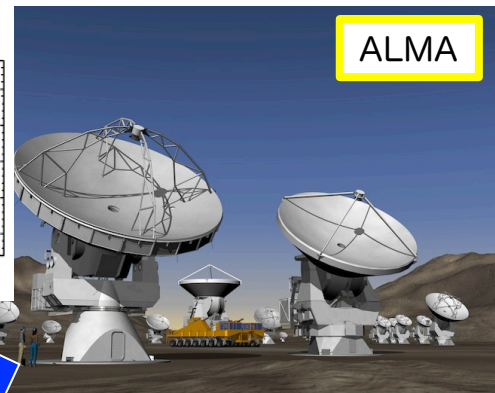
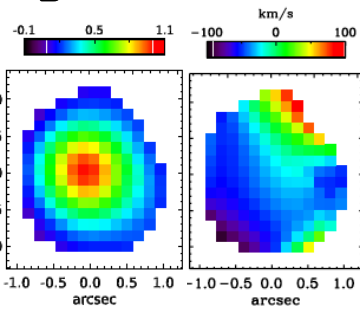
野辺山



First high-z CO (Ohta+96)

詳細観測

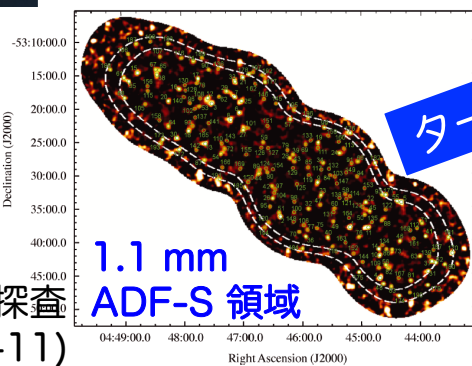
輝度,速度マップ (Carniani+13)



ALMA



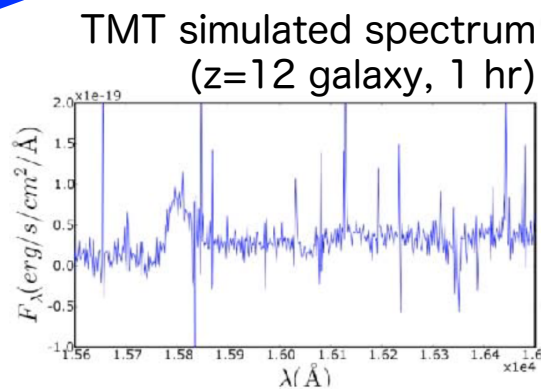
ASTE



high-z SMG探査 (Hatsukade+11)

1.1 mm ADF-S 領域

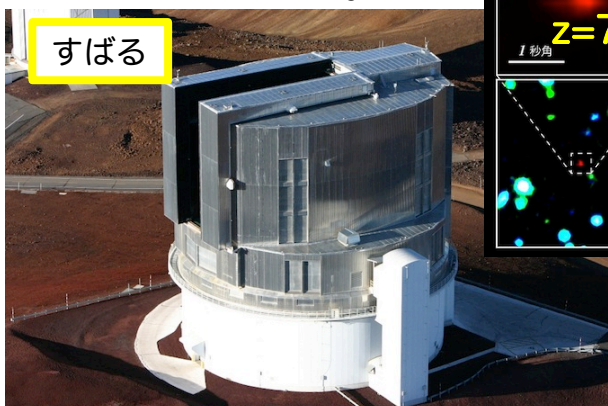
ターゲット供給



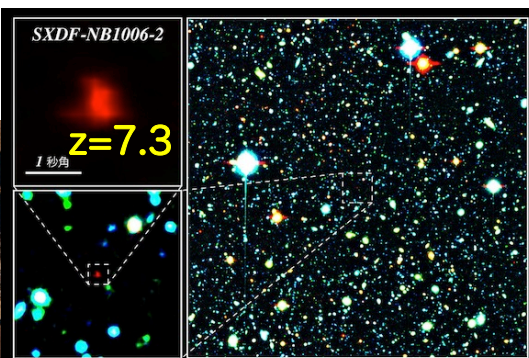
TMT simulated spectrum (z=12 galaxy, 1 hr)

多波長協力

high-z 星形成銀河探査 (Shibuya+12)



すばる



詳細観測・ターゲット供給

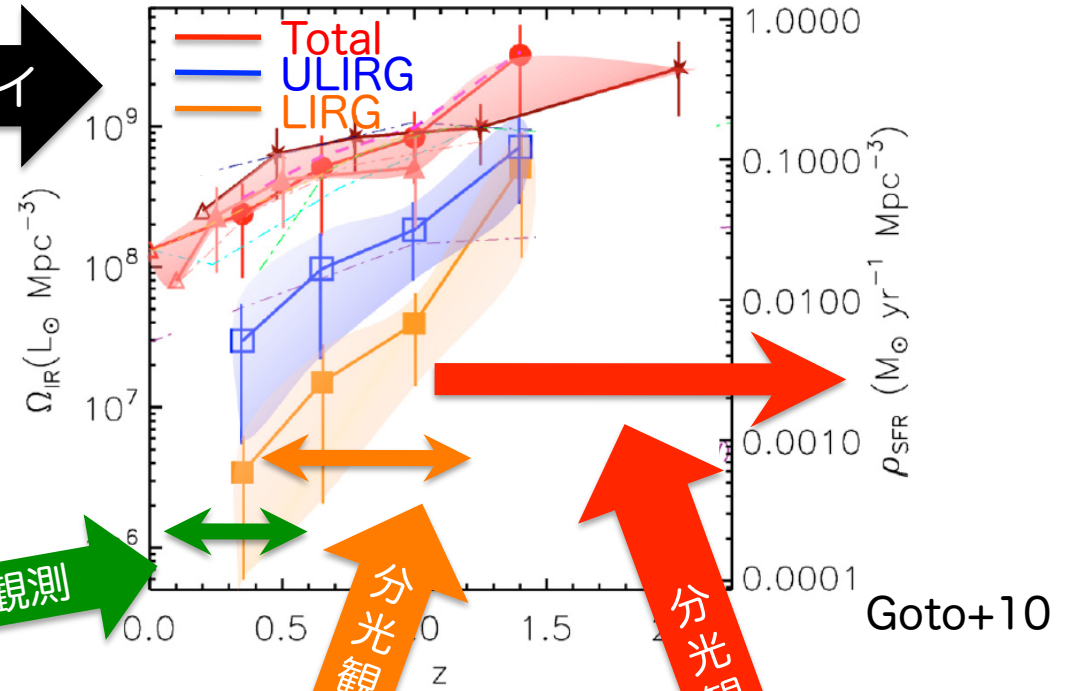


TMT

遠方天体「探査」から「物理」へ：赤外線では



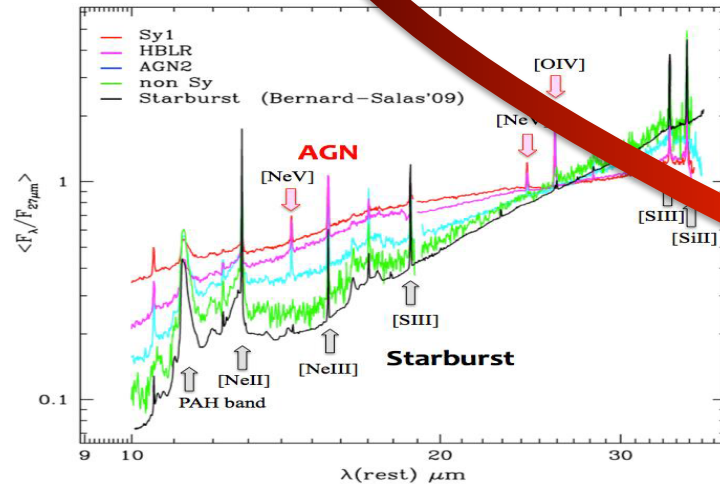
撮像サーベイ



分光観測

分光観測

分光観測

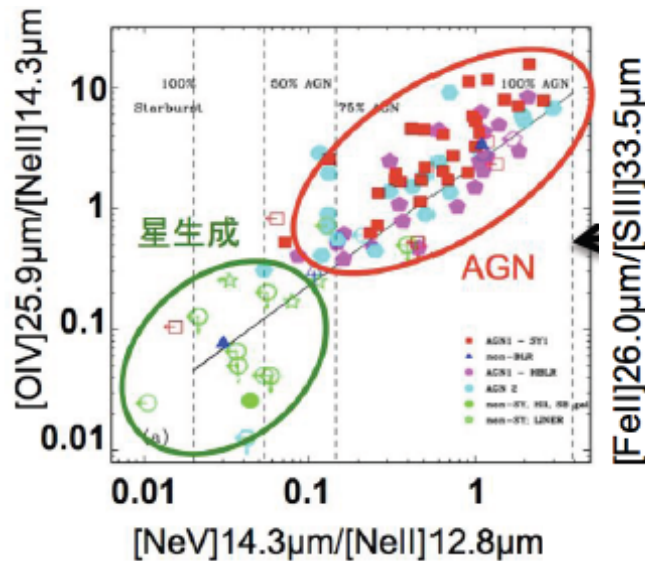


Tommasin+10

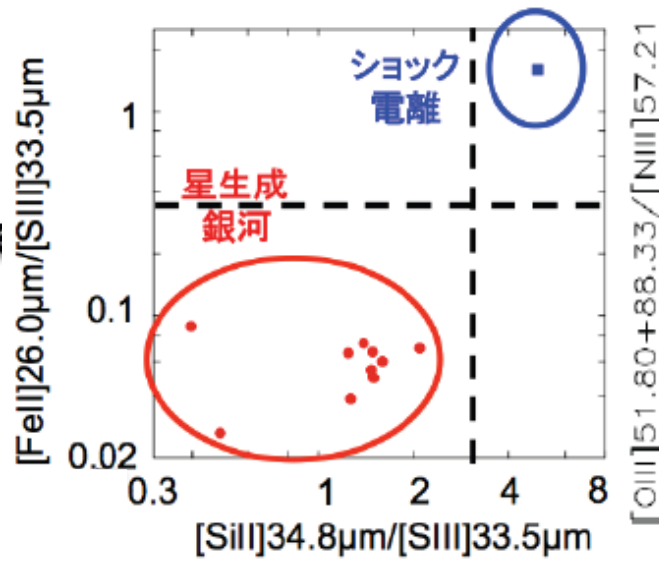


SPICAによる遠方銀河研究: フルサクセス基準

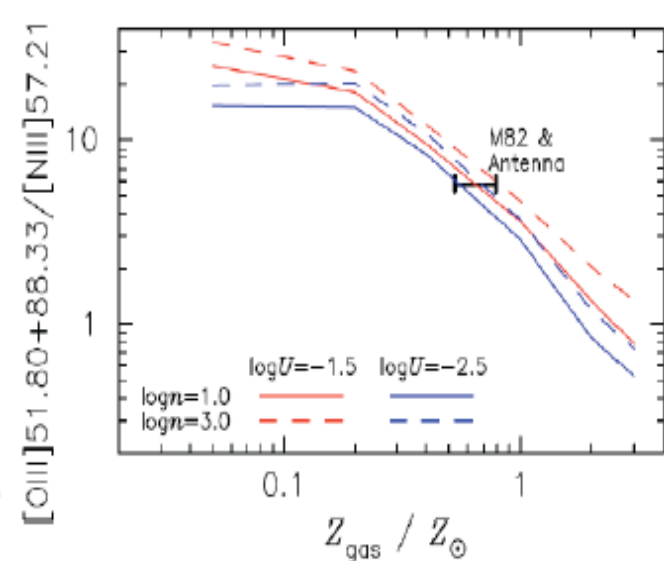
1. $z=1-3$ の範囲で、 $\Delta z=0.5$ ごとに50個以上のULIRGsを観測し、MIR-FIR 分光観測によるガス輝線診断を行う。これにより大規模星生成現象の実態と変遷を知る。
2. $z=0-4$ の範囲で、 $\Delta z=0.5$ ごとに100個以上の赤外線銀河を検出し、星生成率密度とAGN光度密度の変化を測定し、銀河成長史の全容を知る。



Tommasin+10



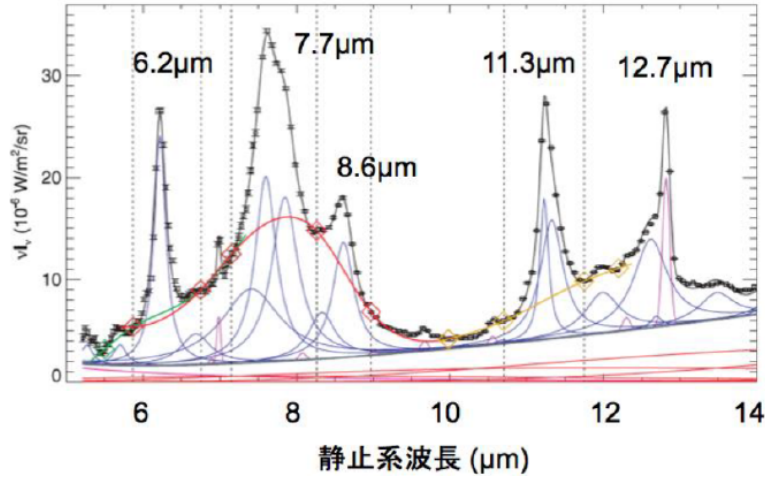
Oliva+99, Verma+03



Nagao+11

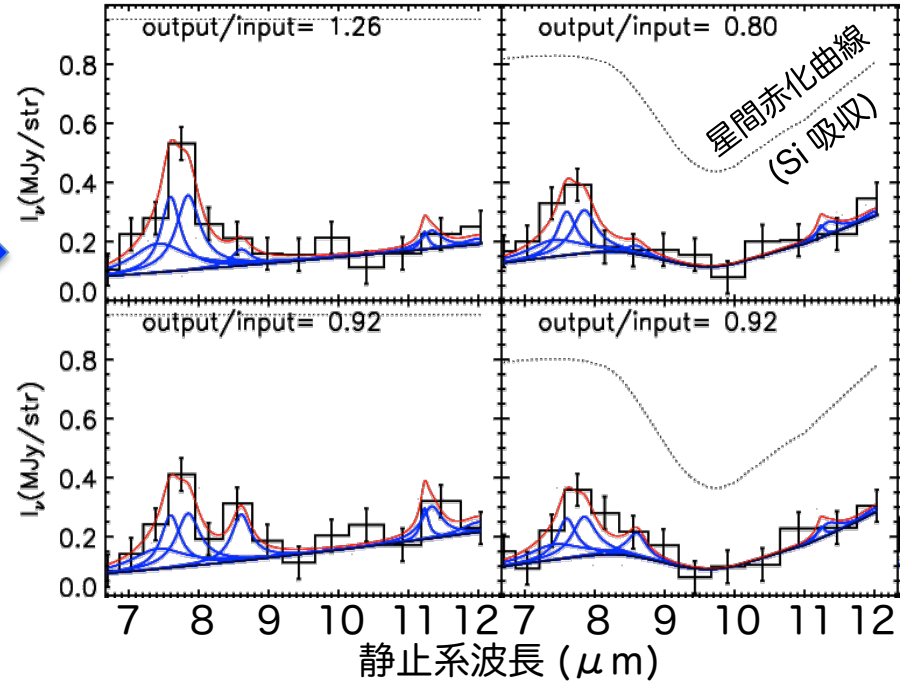
SPICAによる遠方銀河研究: PAHサーベイ

星形成銀河の PAH 放射スペクトル

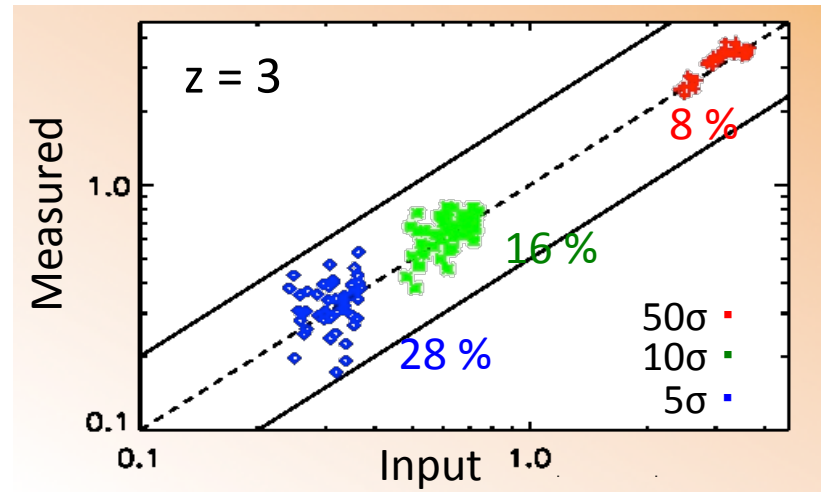
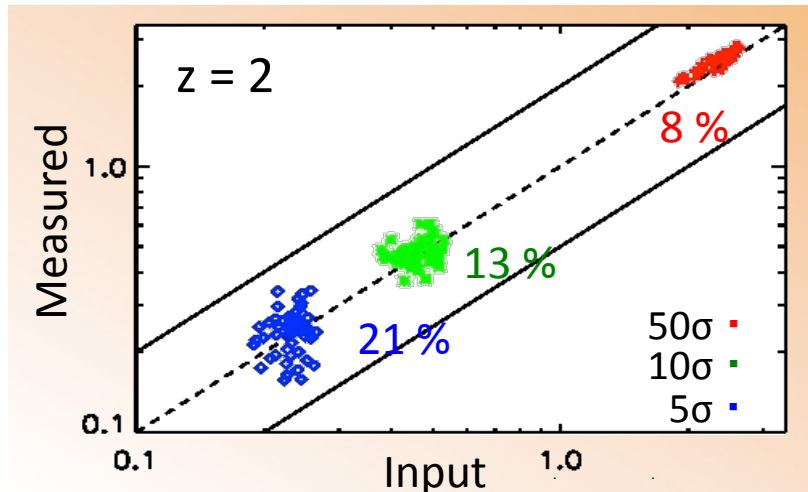


PAH スペクトルの形状や等価幅から紫外線強度や AGN のエネルギー的寄与の度合いを計測する事ができる。

SMI による R=20 測光の simulation



R=20 SMI survey



SPICAによる遠方銀河研究: Plan-D でも遂行可能

同じ総観測時間で観測できる天体数は減少するが、口径比の2乗 $(2\text{m}/3\text{m})^2$ ほどには減少しない。これは、集光力が低下する一方で視野が広がるため。感度を維持するためのグリズム搭載も検討されている。

Baseline (no grism mode, telescope 3m), Total observational time = 486 days

z	0-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Galaxies for gas line diagnostics (SAFARI)	4370	1653	797	469	298	373				
PAH galaxies (SAFARI, SMI)	2300	3900	4700	3000	2100	2500	570	110	47	21

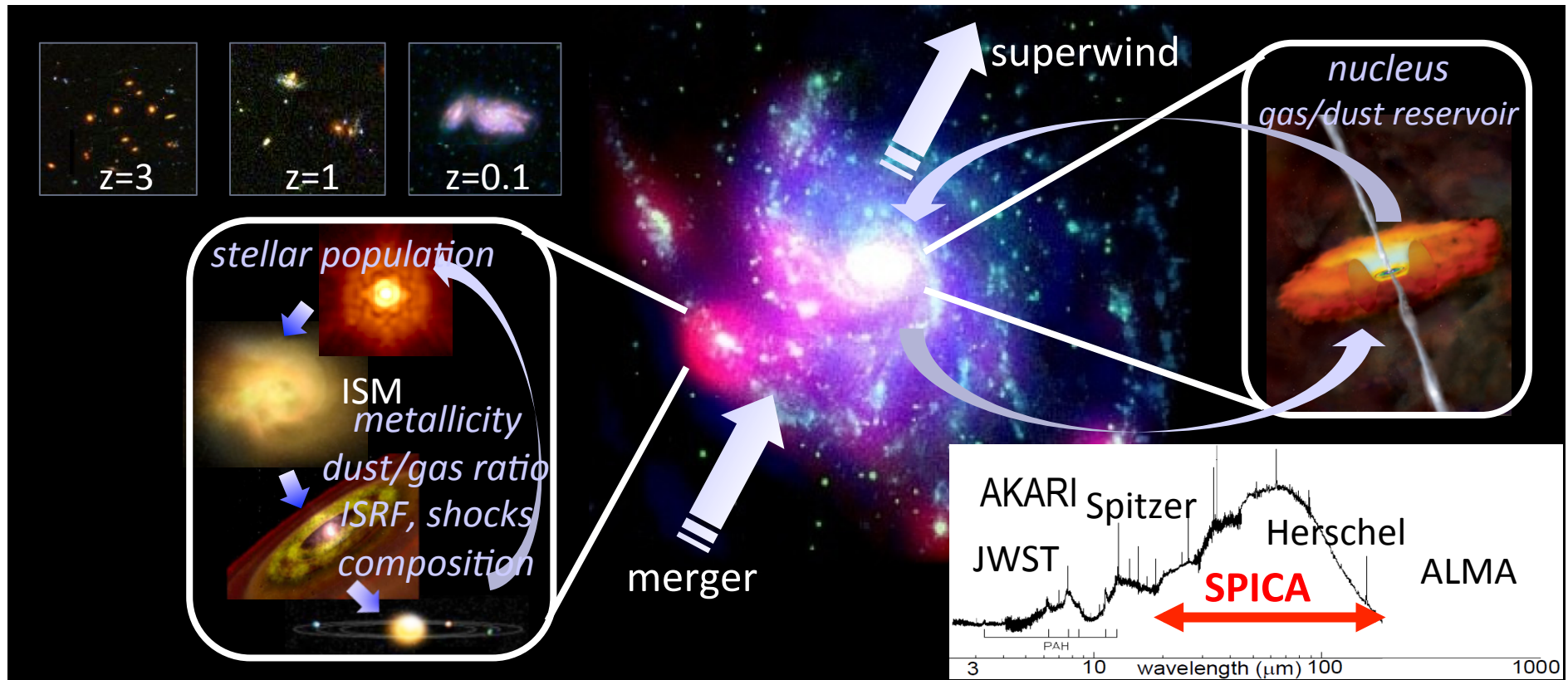
Case 2 (no grism mode, telescope 2m), Total observational time = 486 days

Galaxies for gas line diagnostics (SAFARI)	3004	1011	460	259	158	179				
PAH galaxies (SAFARI, SMI)	740	1200	2200	1300	860	900	130	50	20	8

Case 3 (grism mode, telescope 2m), Total observational time = 443 days

Galaxies for gas line diagnostics (SAFARI)	3286	1133	533	291	187	212				
PAH galaxies (SAFARI, SMI)	740	1200	2200	1300	860	900	130	50	20	8

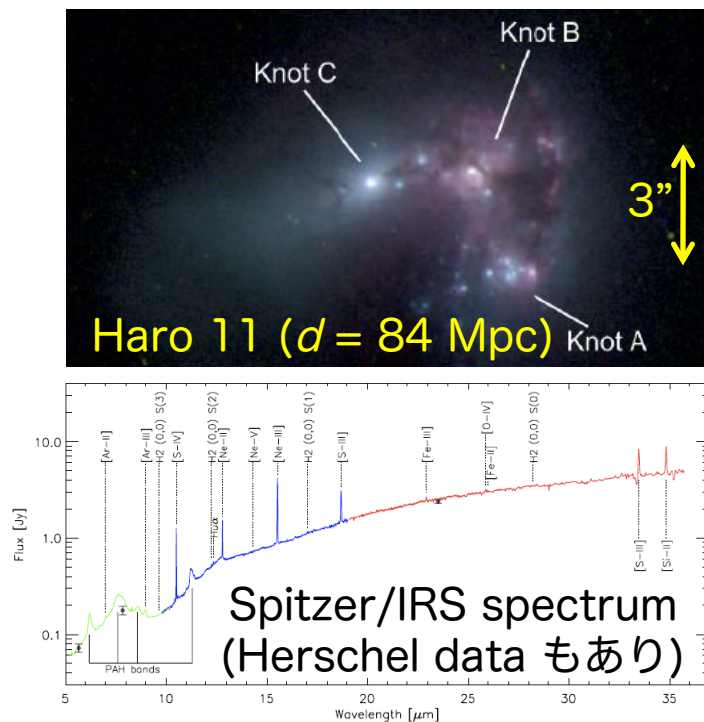
SPICAによる近傍銀河観測



銀河を空間分解して分光観測したい。そのことにより、場所ごとに輝線強度比と運動のようすを観察したい。Spitzer (口径85cm) やHerschel ($\lambda > 55 \mu\text{m}$ only) では困難。銀河の中でどのように重元素やダストが進化するかに迫りたい。

SPICAによる近傍銀河研究: フルサクセス基準

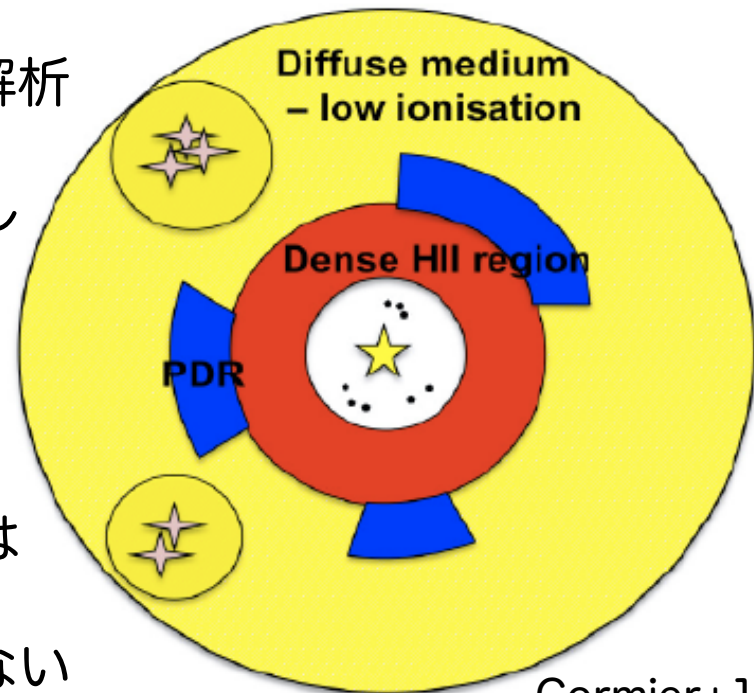
1. 距離100 Mpc以内の4000個の銀河に対し、空間分解したMIR-FIR スペクトルを取得する。これにより、金属量とSFR が大きく異なる領域でのダスト進化の状況を知る。
2. 距離10 Mpc以内の100個の銀河に対し、100 pcまでの構造を空間分解したスペクトルを取得する。これにより各点の物理状態を求め、星形成とダスト進化の関係を知る。



スペクトル解析
&
光電離モデル



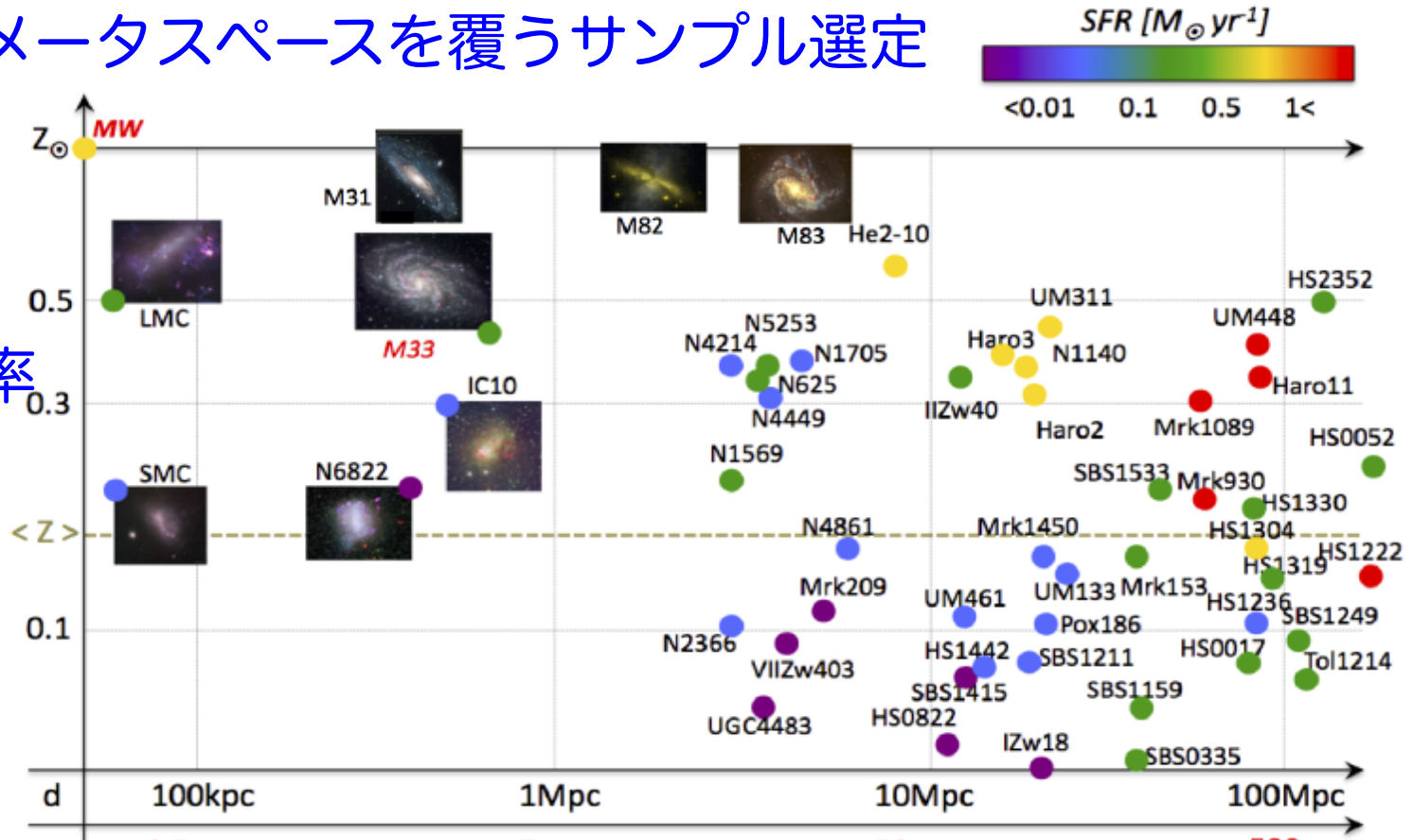
ただし
この研究では
空間情報が
得られていない



SPICAによる近傍銀河研究: Plan-D でも概ね可能

幅広いパラメータスペースを覆うサンプル選定

- ~ 形態
- ~ 光度
- ~ 金属量
- ~ 星形成率



20 μm での
回折限界:

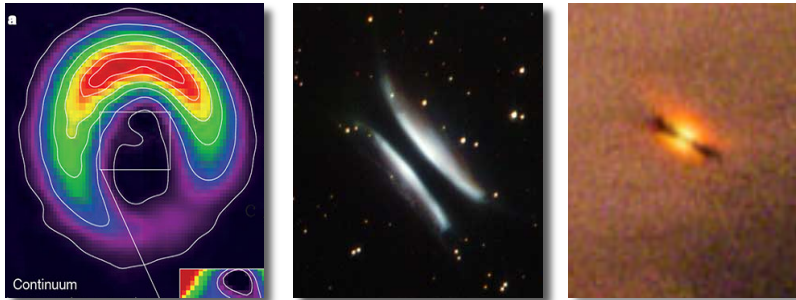
d	100kpc	1Mpc	10Mpc	100Mpc
1"	0.5 pc	5 pc	50 pc	500 pc
口径 3m: 2.4"	1.2 pc	12 pc	120 pc	1200 pc
口径 2m: 3.7"	1.8 pc	18 pc	180 pc	1800 pc

概ね kpc スケールで銀河を分解して輝線診断する事が可能
100 pc での分解は厳しい \rightarrow 200 pc なら数十天体 OK

SPICAによる星・惑星形成研究: フルサクセス基準

1. 100個以上の原始惑星系円盤の MIR-FIR スペクトルの観測を行う。これにより温度 50 K 相当で太陽質量の 1/3000 までのガス質量を測定する。水蒸気と氷の分布と量を測定し、水の状態を知る。
2. 距離 10 pc 以内にある 10 個以上の主系列星の FIR 撮像観測を行い、太陽系カイパーベルト程度の微弱な残存円盤を検出し、太陽系との比較を行う。
3. 太陽系外縁部 (30-50 AU) にある、直径が 30 km 以上の TNO 天体の熱放射を 100 個以上測定し、アルベドとサイズを導出し、残存円盤と太陽系外縁部の進化の関連を明らかにする。

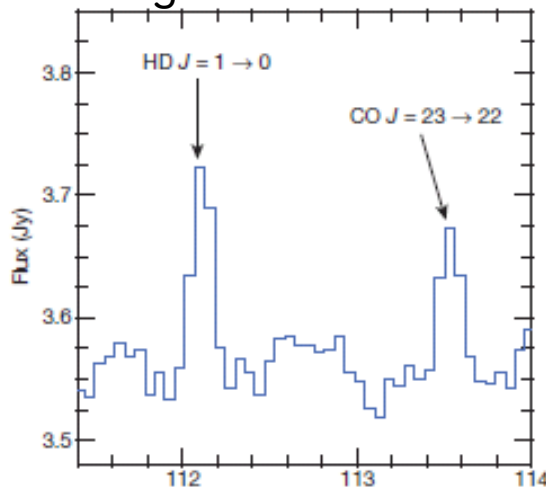
原始惑星系円盤のガス質量測定



Rpberge+10, Casassus+13

ALMAは ~ 1 AU スケールでの構造を分解。
JWSTは ~ 10 AU 以内の有機物を研究。
SPICAはHDを用いたガス質量を測定し、水蒸気と水の研究も行う。

Bergin+13



Herschel/PACSでのHD輝線の観測による円盤ガス質量の測定
(現在までで唯一の例)

原始惑星系円盤のガス質量測定には、光学的に薄く化学過程や構造に依存しないHD輝線が良い指標だが、TW Hyaでしか観測がされていない。SPICA/SAFARIではHerschelに比べてPlan Dでも7倍程度は感度が向上 \rightarrow Taurusの原始惑星系円盤でもHD検出が可能。ガス冷却率の測定に必要な[OI]63もTaurusで半数は検出が可能。

原始惑星系円盤の H₂O ice

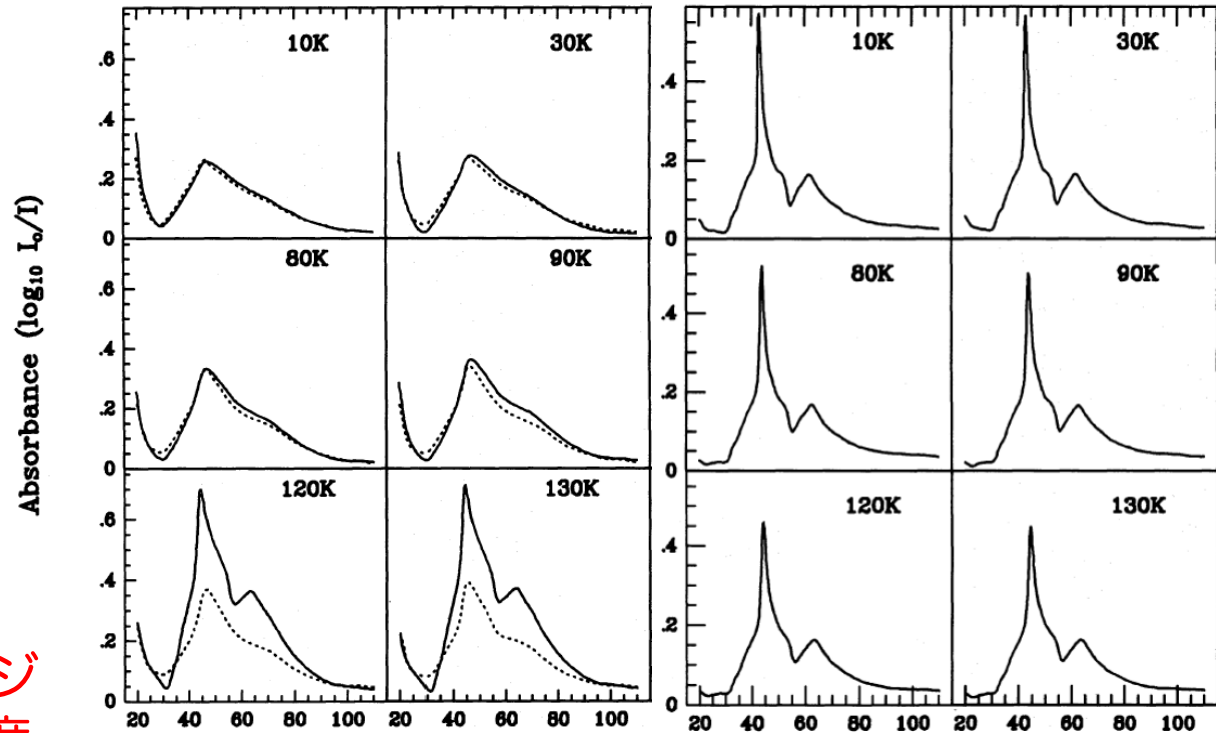
Smith+94

原始惑星系円盤に大量に存在すると予想される H₂O の直接観測は重要。

H₂O ice の 43, 62 μm でのバンド放射は熱史に敏感であるが、これまで未開拓の研究分野である。

SPICAでは波長カバレッジの広さと冷却望遠鏡の感度により、H₂O ice の系統的観測研究が初めて可能になる。

Plan D でも感度面での制約は厳しくない。

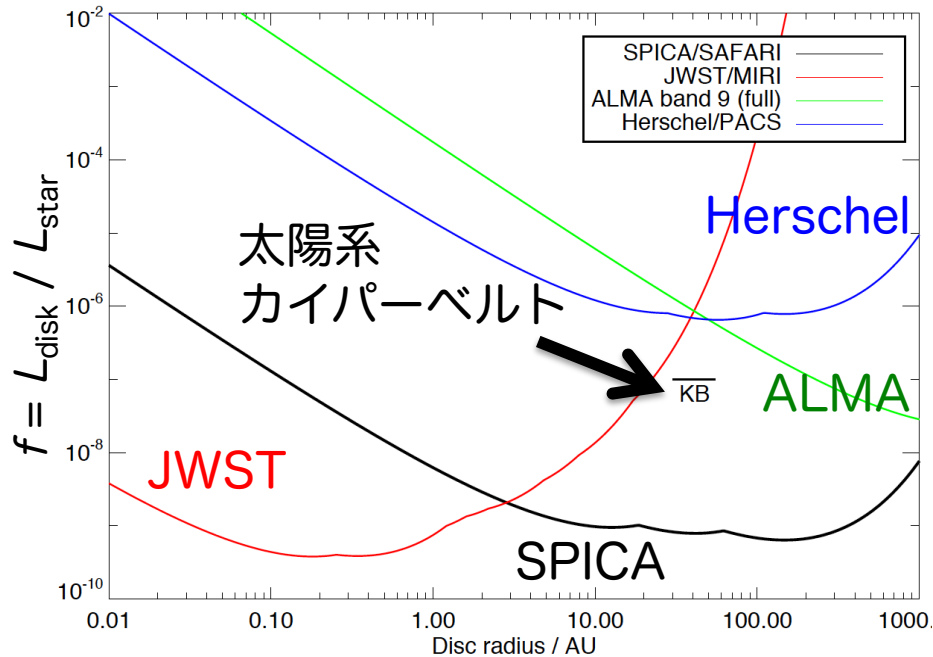


10Kで凝縮させた氷を徐々に温度を上げた場合のスペクトル形状のモデル予測。

140Kで凝縮させた氷の温度を冷却した場合のスペクトル形状のモデル予測。

※ 最も強い 44 μm feature は Spitzer, Herschel, JWST でカバーされない波長域にあり、ISO 以降 SPICA が唯一のアプローチ

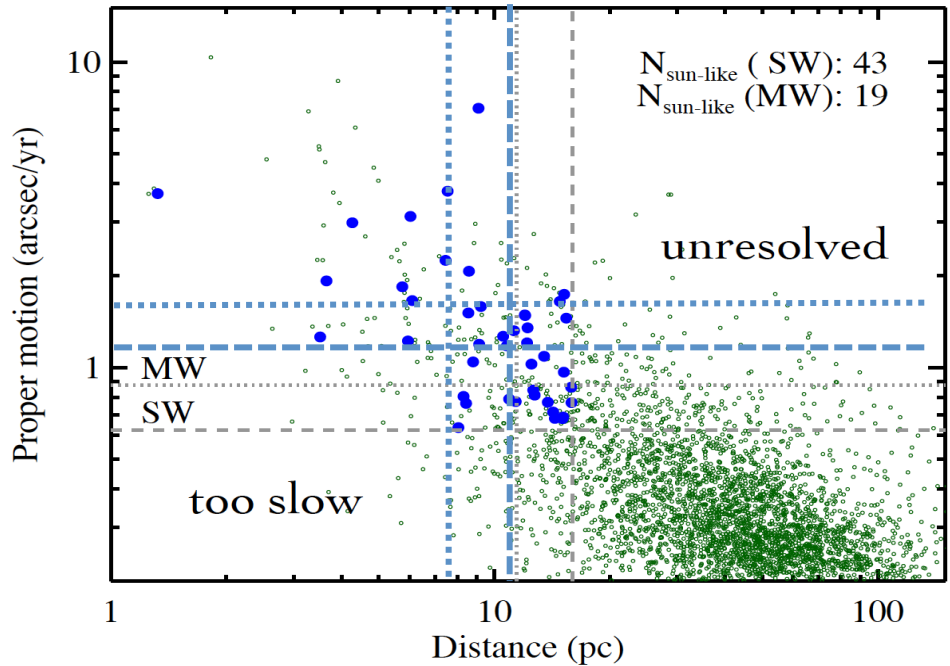
カイパーベルト的な残存円盤: 太陽系は普遍的か？



SPICAによるKBの検出 (@5pc)

太陽系のカイパーベルトと同程度の明るさの残骸円盤を検出し、太陽系の一般性/特異性を議論する。

1年間隔で2回以上の観測を行い、銀河背景光の影響を除去し、カイパーベルト天体と同等の明るさの残骸円盤を検出する。

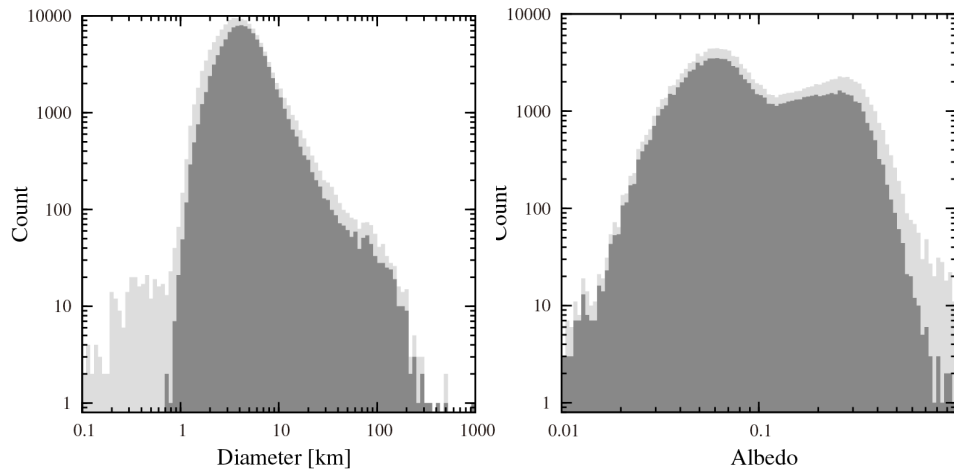


SAFARI@85 μm : 19 \rightarrow 8個

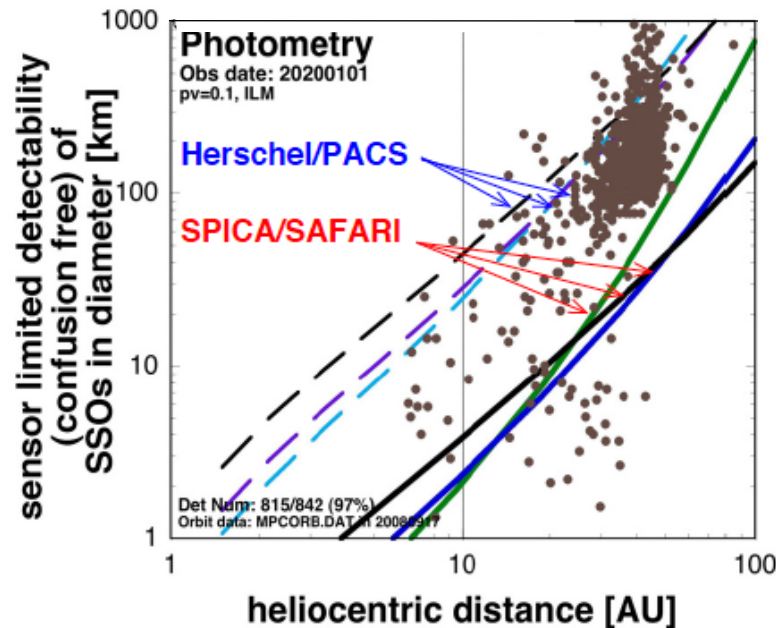
SAFARI@47 μm : 43 \rightarrow 20-30個

3m から 2m への変更でターゲットの個数が半減するが、依然やるべき(遂行可能な)テーマである。SPICAでしか実行不可能。

SPICAによる太陽系外縁部研究



小惑星帯天体の大きさ(左)とアルベド(右)の頻度分布 (Usui+, in prep.)



太陽系内小天体のサイズやアルベドの分布の理解は、小惑星帯天体については Herschel 等が進んできた。しかしカイパーベルト天体については、衝突進化を経ていない 100 km 以上の天体しか調べられていない。

太陽系外の残骸円盤との比較研究のためにも、より小さいカイパーベルト天体の観測を進める必要がある。

SPICAは 100 km 以下のカイパーベルト天体までアルベド計測を進める事が可能 (Plan D でも 50 km まで調査可能)。

SPICAによる星・惑星形成研究: Plan-Dでも概ねok

PPD, HDガス	○	KB残骸円盤	△
PPD, [OI], H ₂ O ice	○	TNO衝突進化	○

HD line 検出 (円盤ガス質量の測定)

J=1-0 112 μ m については、Herschelに比べて約7倍の感度の向上があり、Taurus分子雲中のPPDのガス質量の測定可能

[OI] (冷却率, 散逸過程), H₂O ice feature, ガス輝線 (円盤内の水の分布)

[OI] 63 μ mはTaurus PPDの半数は検出可 (145 μ mの検出は半数以下になる)
ice の検出: 感度による制限は少ない (連続光とのコントラストによる)

カイパーベルトレベルの残骸円盤の検出

2mとなると対象となる恒星が~20個程度になり計画の見直しが必須
氷、69 μ mバンドの検出は可能だが、空間分解することは難しい

太陽系外縁天体のアルベド

2mの場合、観測時間を固定すると検出限界サイズが30km → 50kmとなる
しかし、衝突進化を経た太陽系外縁天体の研究には大きな影響はない

STFによるSPICAサイエンス検討中間報告: まとめ

- ▶ Plan B 想定 of 科学目標の多くは Plan D でも達成可能
 - ~ $z=1-3$ では $\Delta z=0.5$ 毎に50天体以上で輝線診断を遂行。
 - ~ PAHによる星形成とAGNの調査は更に遠方まで可能。
 - ~ 近傍銀河では、空間分解能は低下するものの、空間分解してガス・ダスト・星の進化関係を調査可能。
 - ~ 星・惑星形成について、天体数は減少するものの、原始惑星系円盤中の木星質量相当のガス質量測定や、太陽系KB程度の残骸円盤の検出などは遂行可能。
- ▶ 今後 Plan D SPICA との関係で新たに検討すべき主な事項
 - ~ 遠方宇宙でのダストに覆われた銀河の実態調査のために輝線診断だけが有用なのか。視野が広がった Plan-D で MIR-FIR での広域撮像情報も組み合わせる可能性は。
 - ~ $5-20\mu\text{m}$ を $R=300$ でカバーする SPEChO 搭載により系外惑星研究にどの程度の新たな展開が有り得るか。またこの装置を銀河研究に応用できる可能性があるか。