

WISE-Planck far-infrared detection of Hyper Suprime-Cam protoclusters at $z \sim 4$

Mariko Kubo (NAOJ), Jun Toshikawa, Nobunari Kashikawa, Yoshiaki Ono (University of Tokyo), Yi-Kuan Chiang (JHU), Roderik Overzier (University of Sao Paulo), Hisakazu Uchiyama, Yuichi Matsuda, Kei Ito (NAOJ/SOKENDAI), David L. Clements, Tai-An Cheng (Imperial college of London), David M. Alexander (Durham University), Tadayuki Kodama (Tohoku University), Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University), SPICA サイエンス検討会銀河・BH 進化班

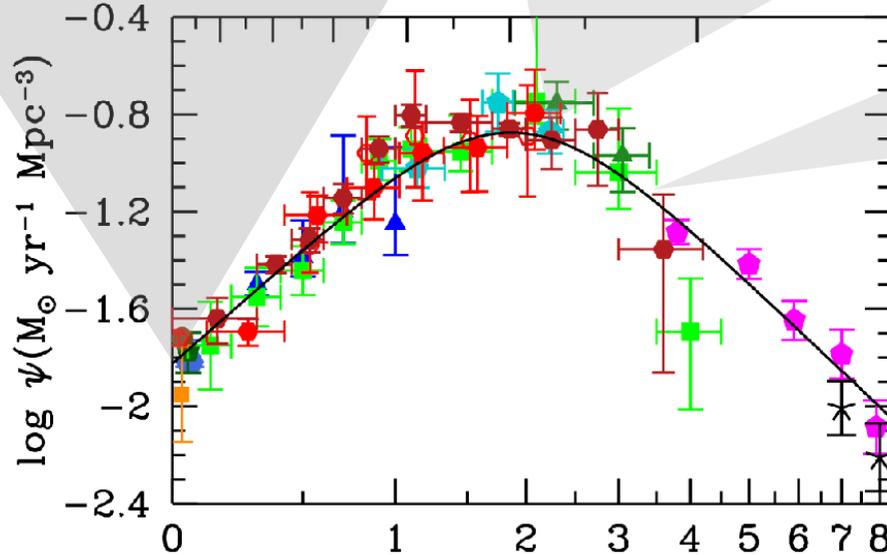
ABSTRACT

- 原始銀河団での活発な銀河形成・超巨大ブラックホール(SMBH)進化の全体像を把握するには、可視光だけではなく、ダストに隠れた活動性を見なければならぬ。
- すばる望遠鏡HSC-SSP可視光広域探査約120平方度から発見された180個の $z\sim 4$ 大規模原始銀河団について、Planck等赤外線全天サーベイ公開データのスタック解析を行い、原始銀河団総量の平均として初めて、中遠赤外線(観測波長12-850 μm)SEDを解明した。検出したSEDは、HSCで選ばれた銀河だけで説明できないほど強く、また一般的な星形成銀河の想定と比べると、中遠赤外線が非常に明るかった。
- この結果は、原始銀河団における星形成・SMBH進化史を解明するにはSPICAによる中遠赤外線観測が鍵であることを示唆している。

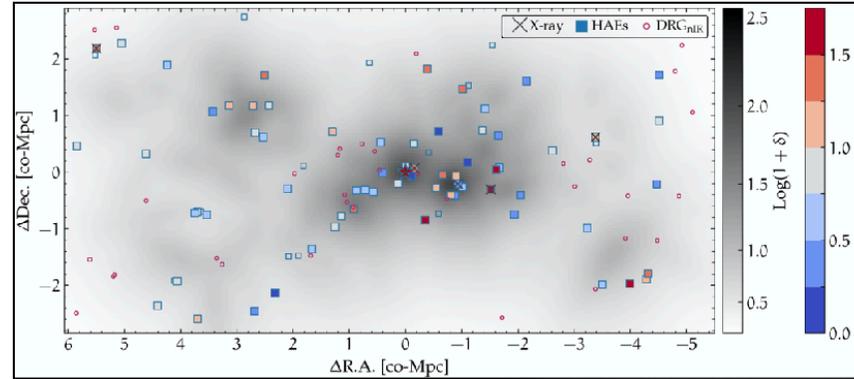
1. Introduction



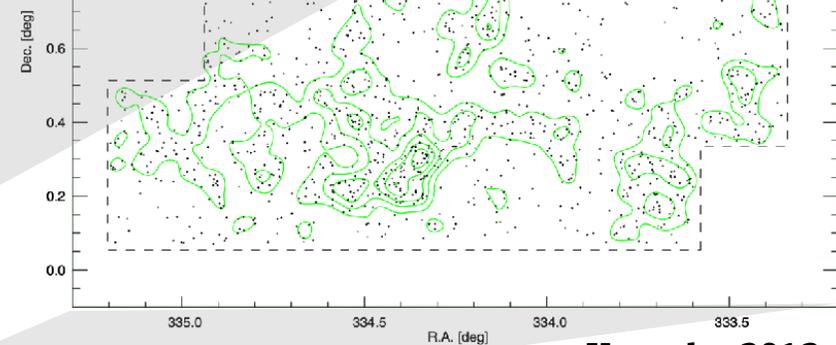
Abell 370 © Hubblesite.org lookback time (Gyr)
0 2 4 6 8 10 12



Madau & Dickinson 14 redshift



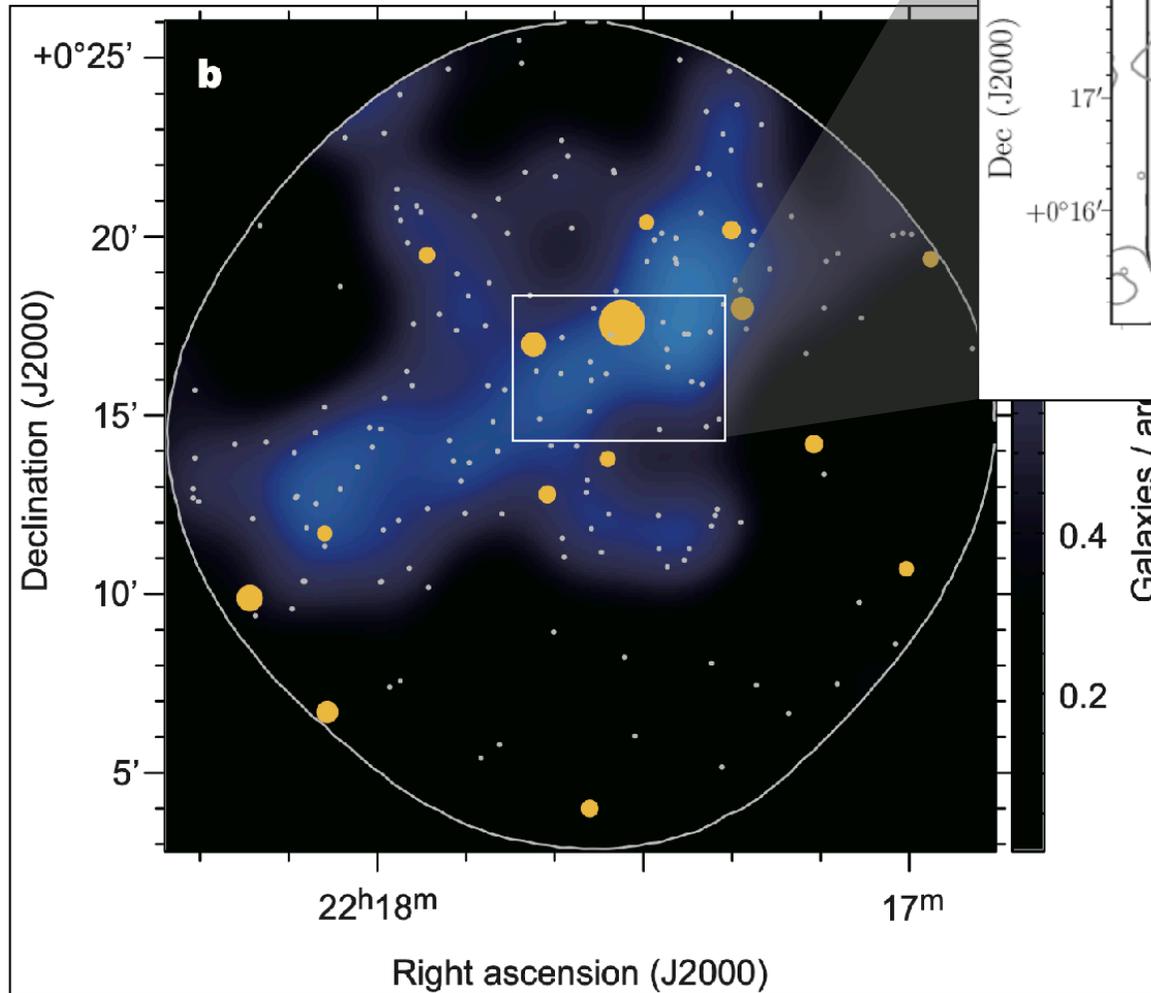
Shimakawa+2018



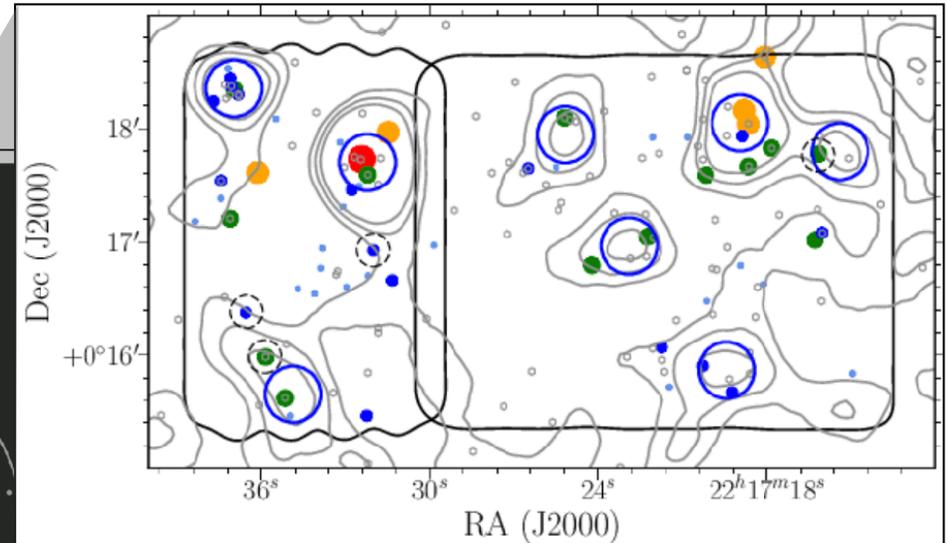
Yamada+2012

原始銀河団=現在の銀河団の祖先と考えられる、遠方の銀河高密度領域。銀河団を占める大質量楕円銀河がどのように形成されてきたか解明するための重要なターゲット

1. Introduction



SMGs in SSA22 protocluster (Tamura+09)



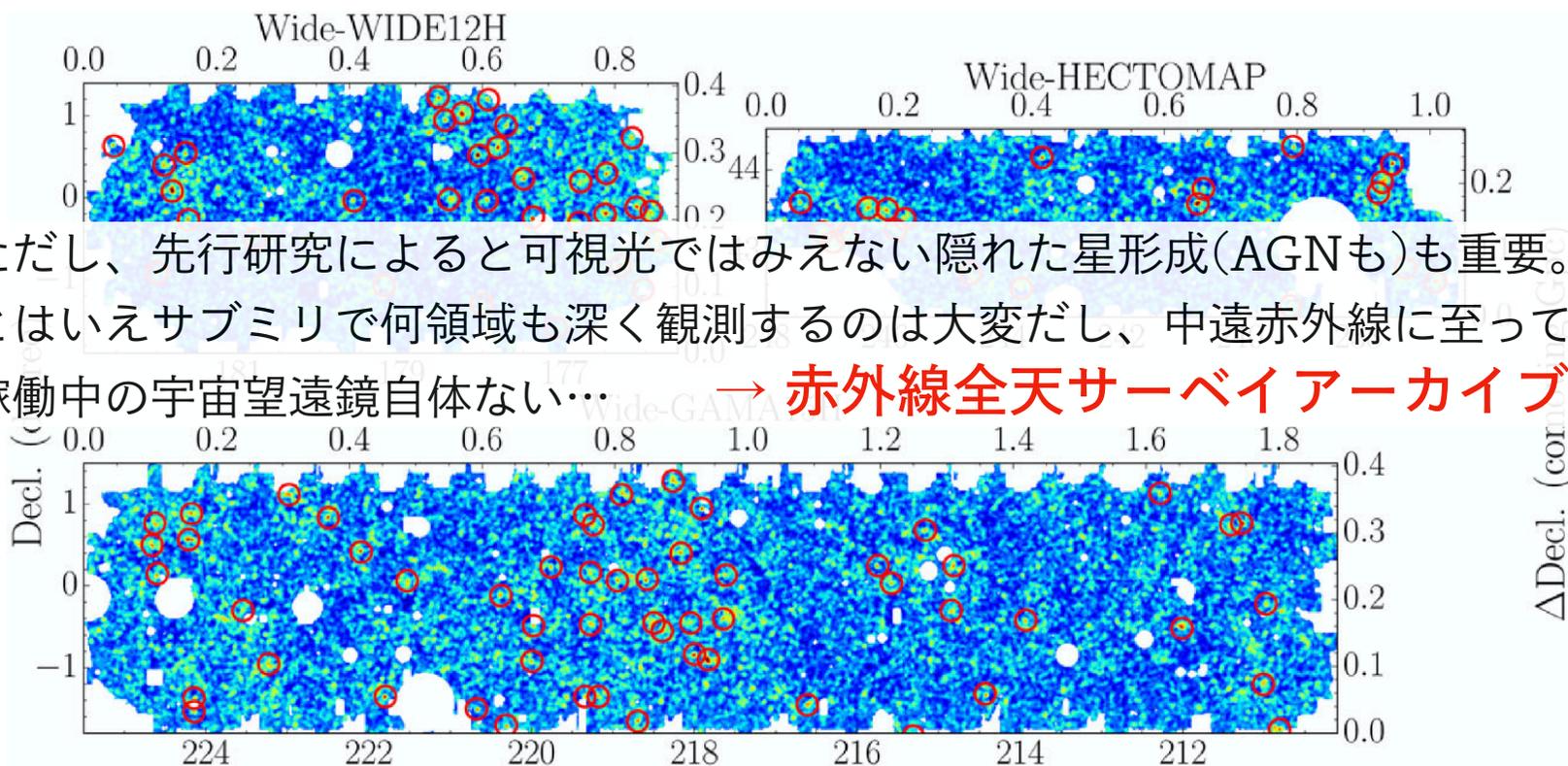
Umehata+2018

原始銀河団では中間赤外線(Kubo+13)、サブミリ (e.g., Tamura+09, Umehata+18)等でダスティな爆発的星形成銀河・AGN の超過が検出されている。

HSC-SSP+IR archive

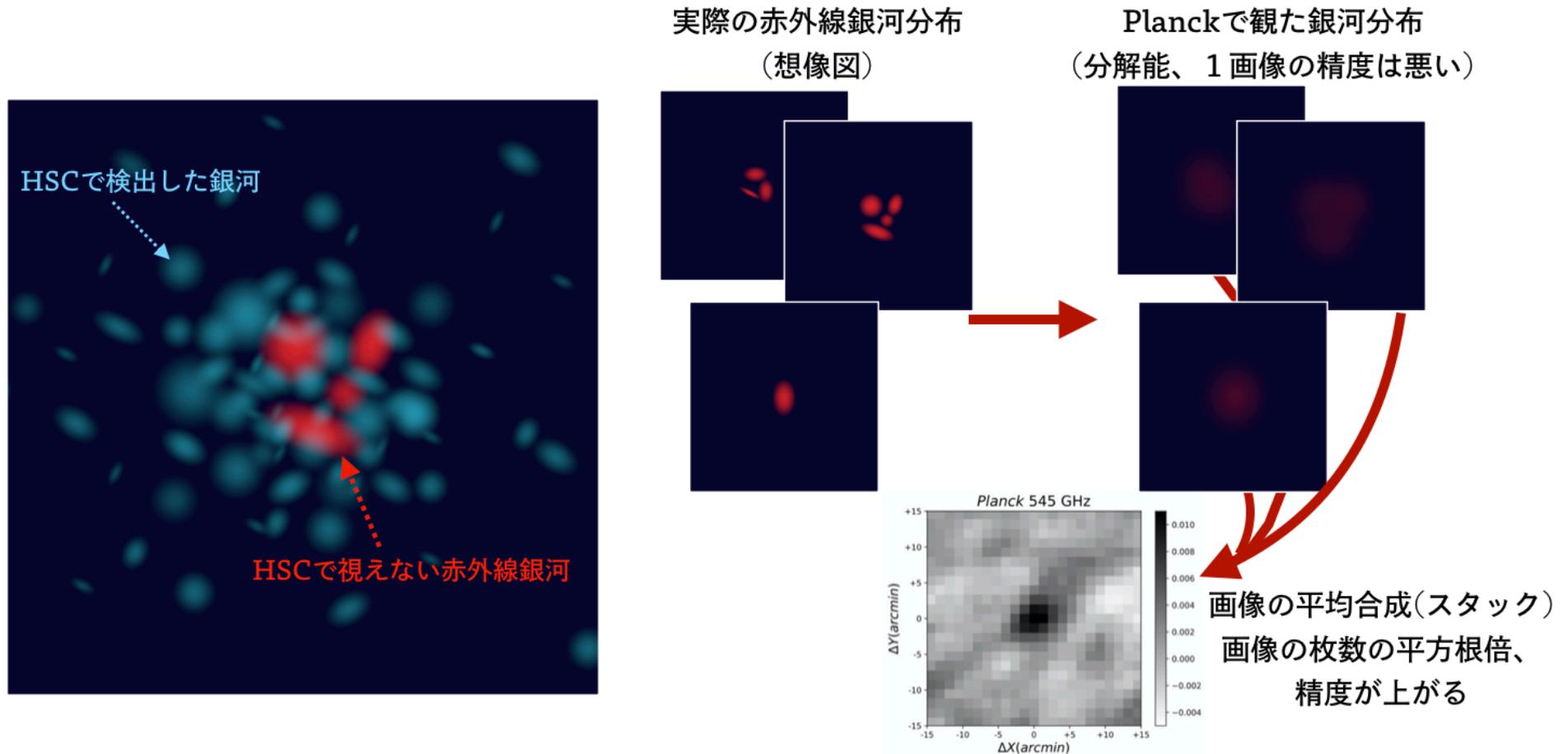
Kubo et al. (2019)

- **原始銀河団の統計的研究の必要**：急激な銀河進化の時代で、ばらつきが大きく、何領域も観測しないとその時代の典型値がわからない。ただし、原始銀河団の面密度は1~数個/deg²
- Toshikawa+18: すばる望遠鏡HSC-SSP初期の約120平方度のz~4 LBG探査から、約180個のz~4原始銀河団候補を発見した。初めての原始銀河団大規模カタログ。



- ただし、先行研究によると可視光ではみえない隠れた星形成(AGNも)も重要。
- とはいえサブミリで何領域も深く観測するのは大変だし、中遠赤外線に至っては稼働中の宇宙望遠鏡自体ない… → **赤外線全天サーベイアーカイブ**

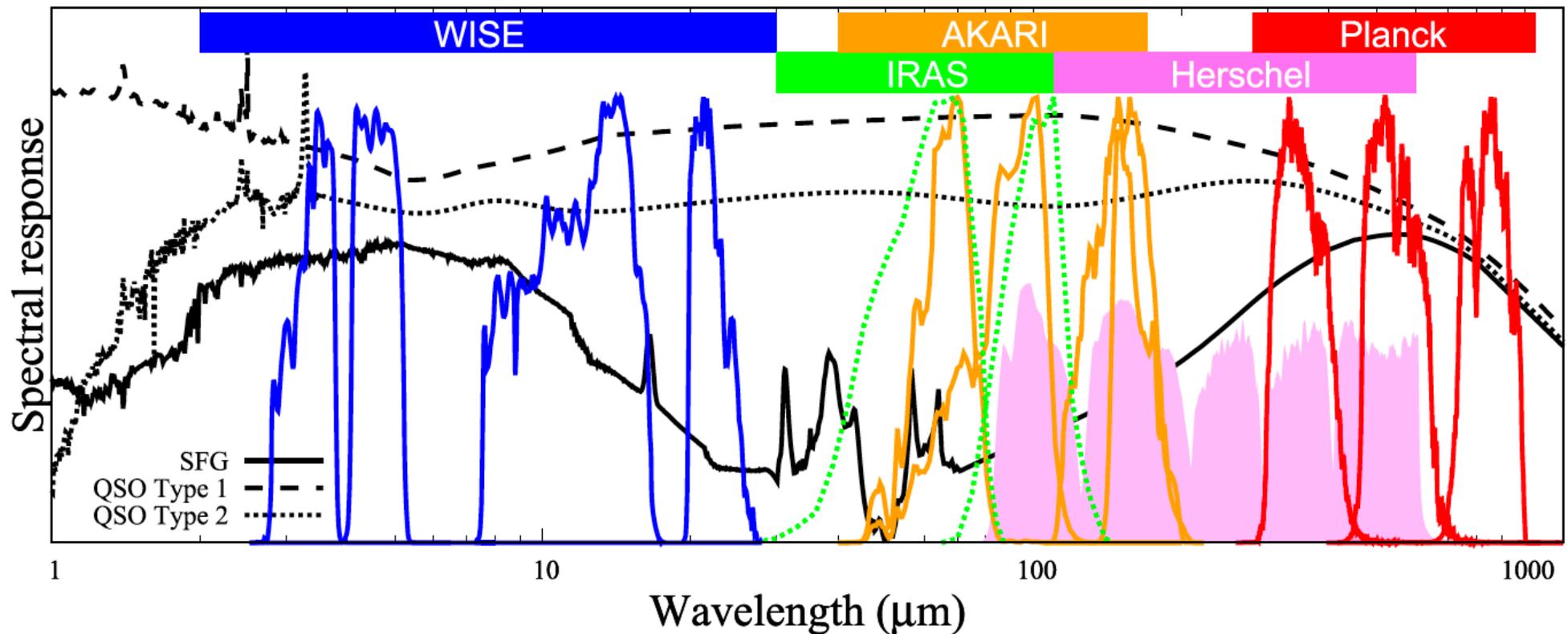
2. Method: Stacking analysis



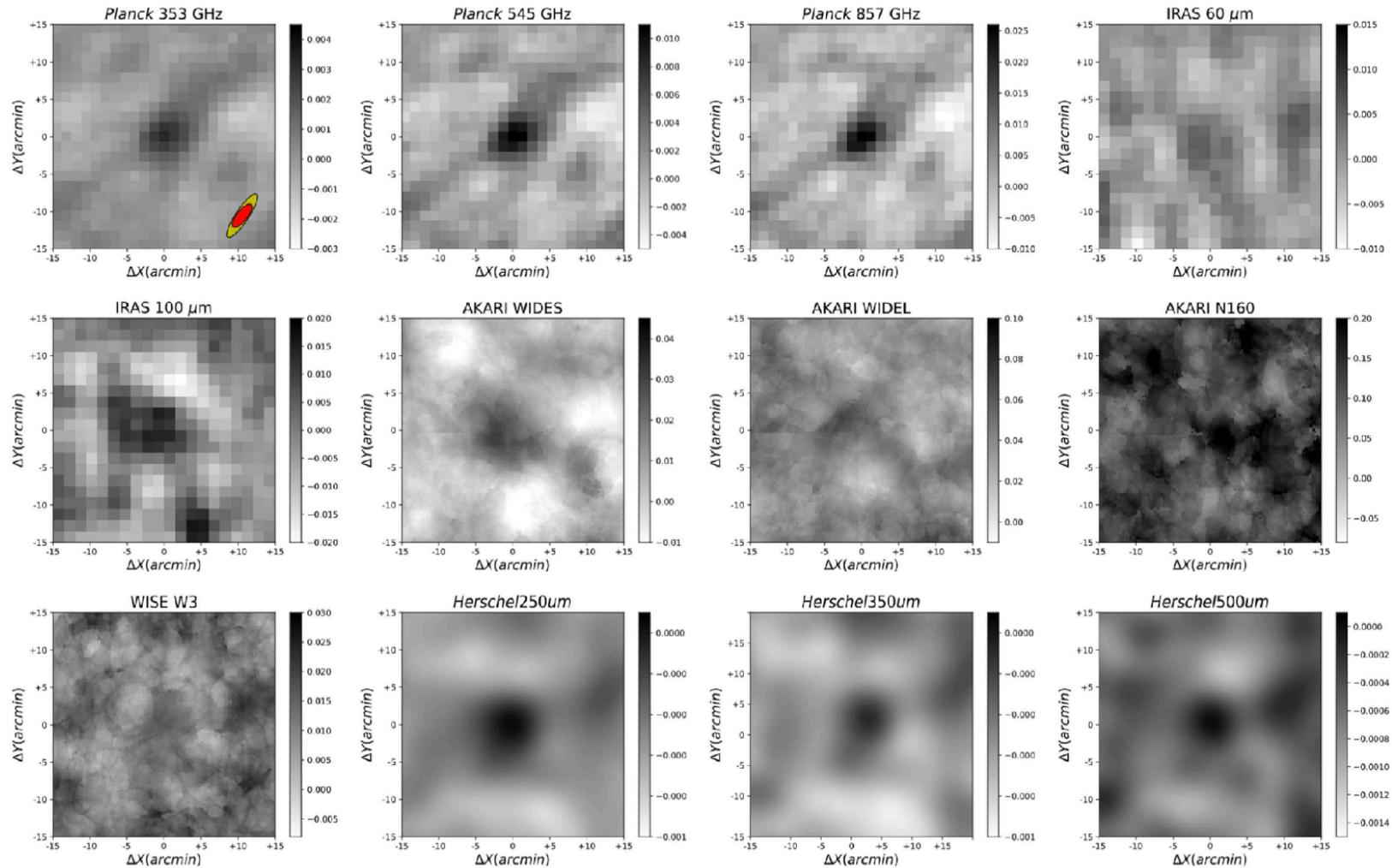
- Planck等の赤外線全天サーベイはHSC-SSPを全てカバーしてくれている。
- PlanckのPSF($\sim 5'$)が大体原始銀河団の大きさ。
- 各画像からGalactic dustをおおまかに引いて、PlanckとPSFを合わせてからスタックする。
- Herschelの高分解能スタック画像を使って、PSFでなまされた分のフラックスを補正。

2. Method: Data

- Planck, IRAS, AKARI, WISE (全天), H-ATLAS(カタログの半分をカバー)がカバーする波長帯と $z\sim 4$ にシフトさせた星形成銀河、QSO SEDs
- SEDの全体像に制限をつけられる。

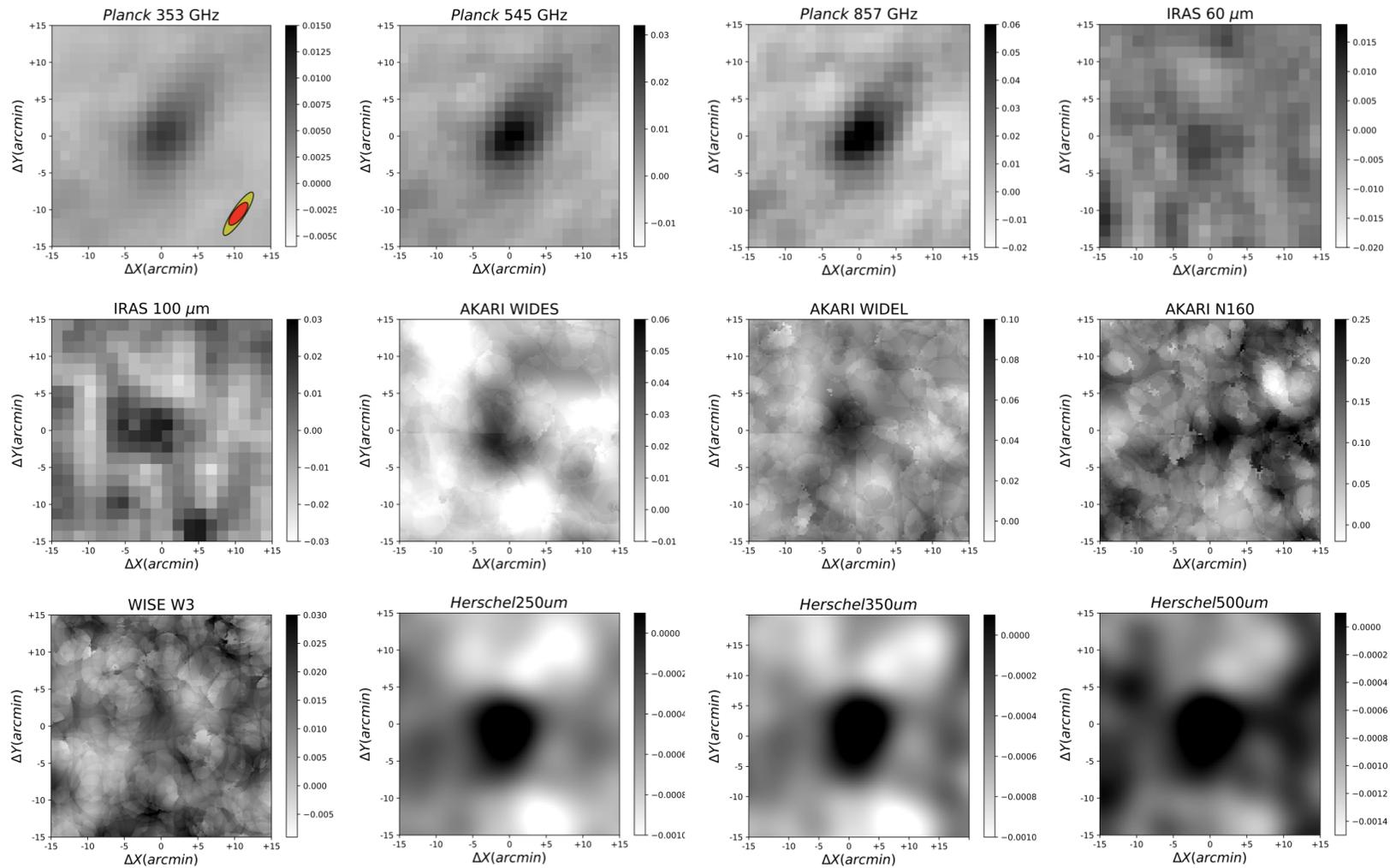


3. Results



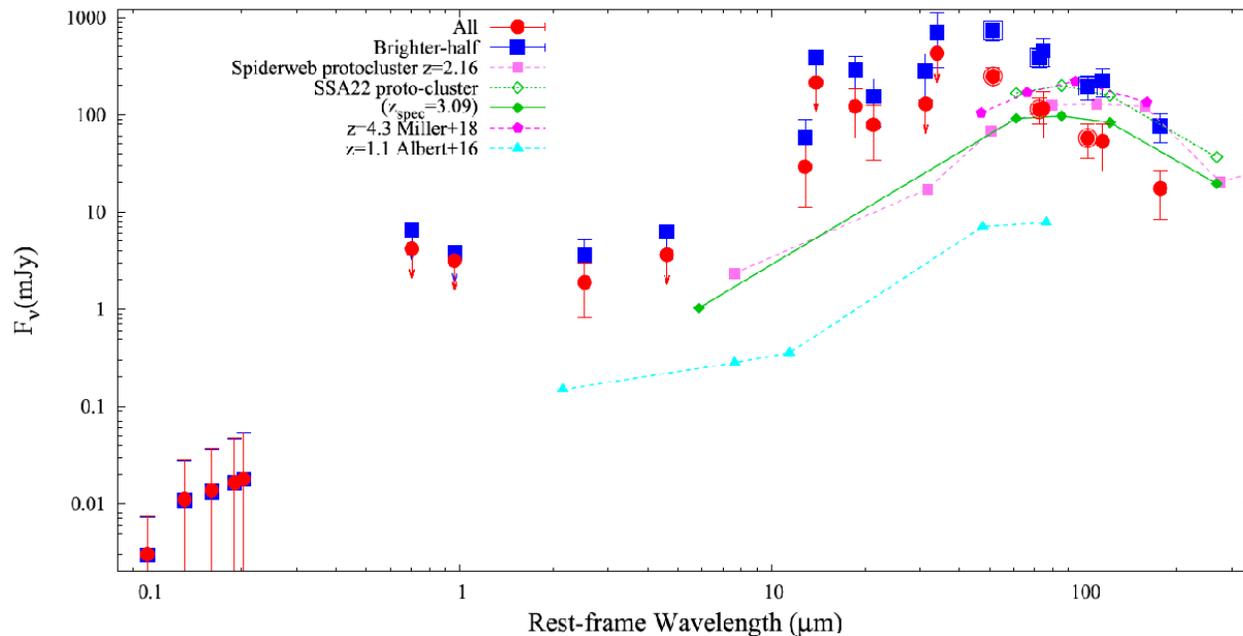
- Stacks of the all protoclusters
- Planck, IRAS, Herschel, AKARI(WIDES) and WISE (W3) detections over 2σ
- WISE~AKARIは上限値を得るつもりで解析したが、想定外に強い検出があった。更にPlanck, Herschelでも350 μm 以下が典型的な星形成銀河の想定よりも明るかった。

3. Results



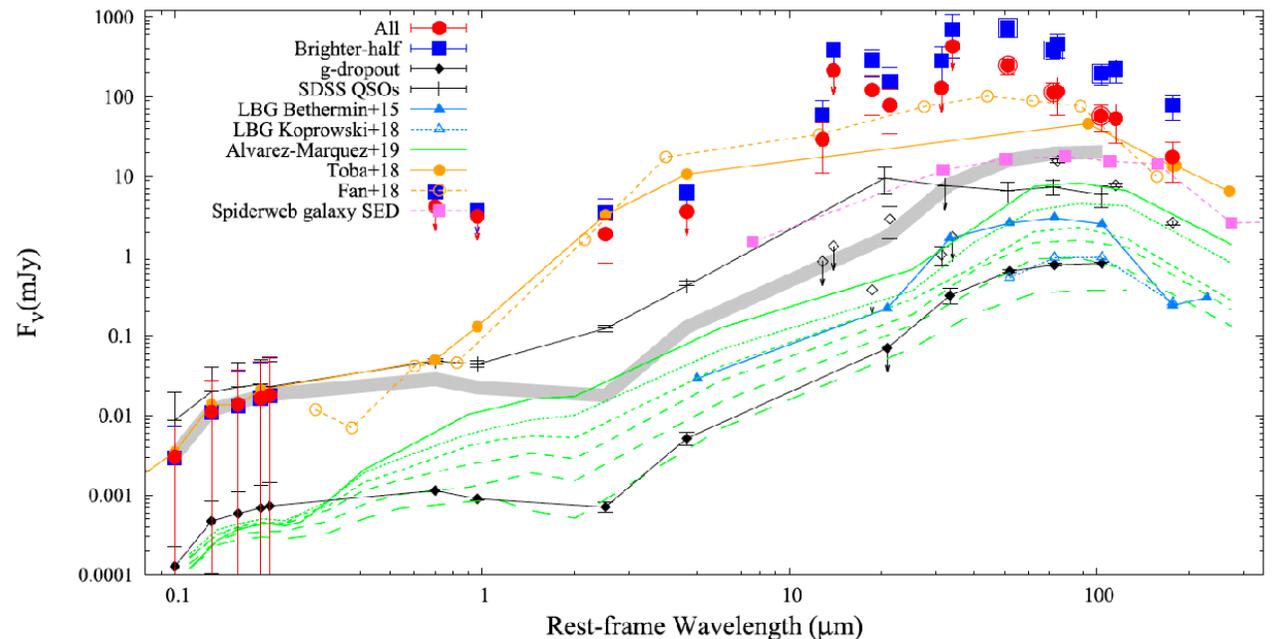
- Stacks of the brighter half (Planckで直接測ったフラックスが明るい半分) protoclusters
- Planck, IRAS, Herschel, AKARI(WIDES,WIDEL, N160) and WISE (W3) detections over 2σ

3. Results



- 特に顕著な原始銀河団とされる、 $z=2\sim 4$ 個別原始銀河団との比較。
- $z=2\sim 4$ の顕著な原始銀河団は、 $z\sim 4$ の典型的な原始銀河団と大差ない。
- 短波長側は $z\sim 4$ のほうが明るい($z=2\sim 4$ の場合、AGN的なSEDの天体がミスされている可能性も)。

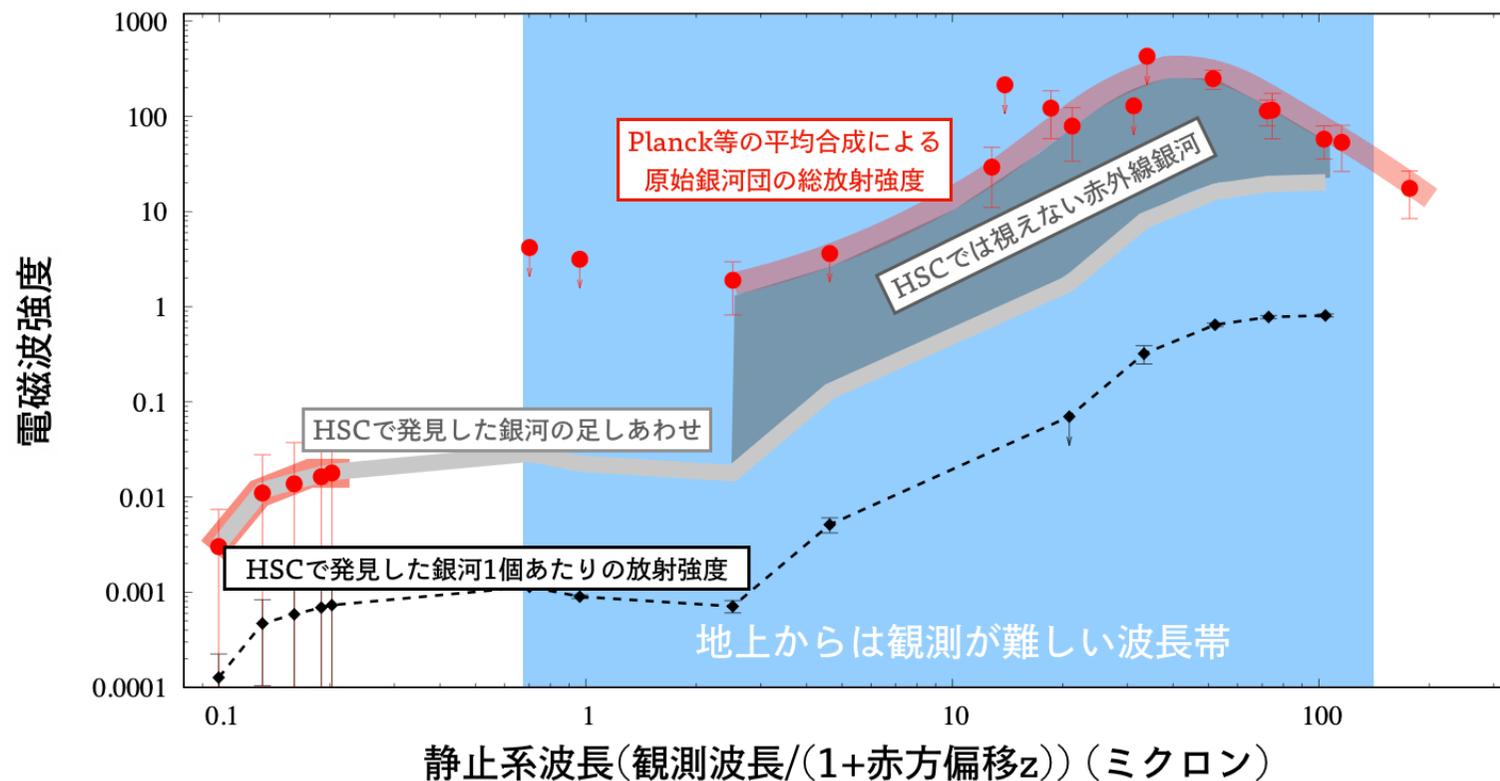
- $z=3\sim 4$ の色々なSEDの天体との比較。
- IR luminous DOG (Toba+18, Fan+18)1個でフラックスを説明できる。
- LBGとはSEDが異なる。LBGの密度超過(灰色線)だけでは説明できない。
- 可視光で検出できない天体+より温かいダストが必要



4. Discussion

ダスト放射の起源は？

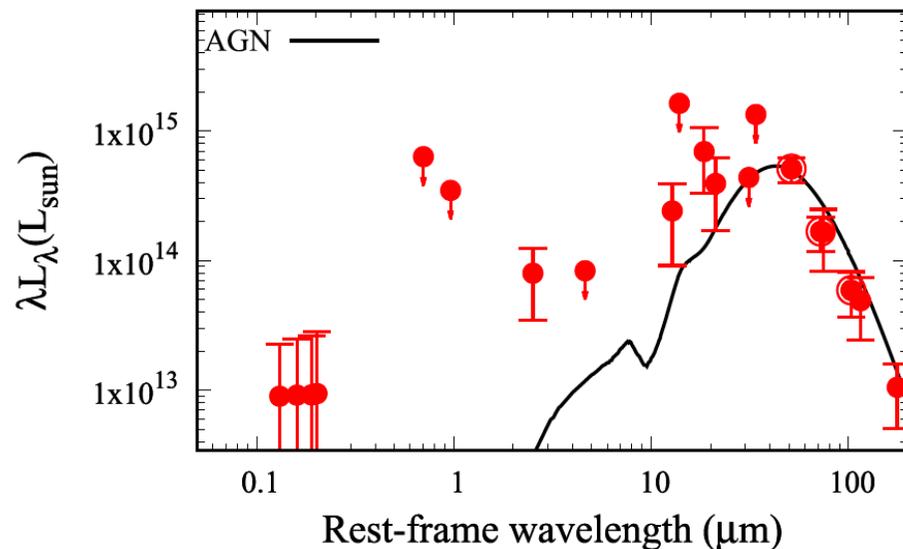
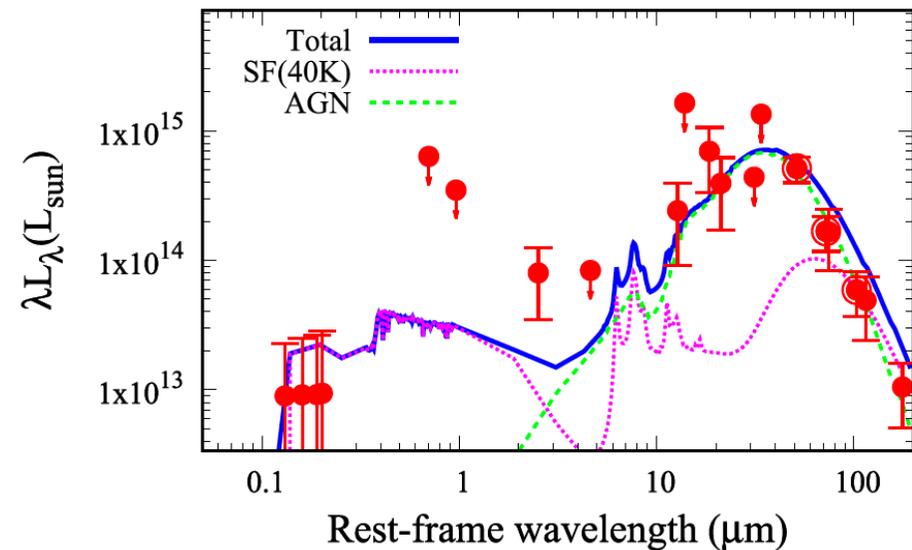
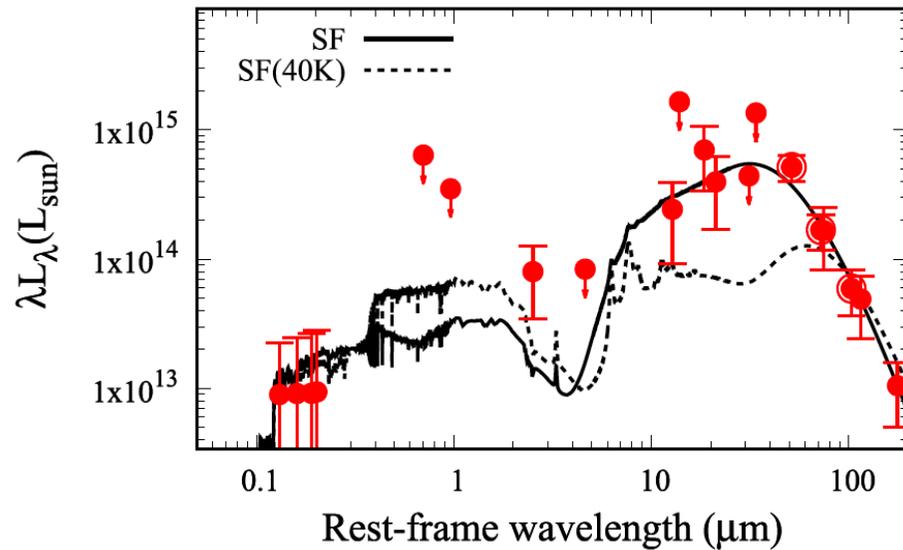
- 一般的な星形成銀河のSED ($T=20\text{-}40\text{K}$)では、短波長側が説明できない。 **地上から観測できない中遠赤外線帯が一番面白い！**
- (1)星形成銀河としてMAGPHYS ($T_{\text{dust}} < \sim 70\text{K}$)、(2)AGN、(3)MAGPHYS($T_{\text{dust}}=40\text{K}$)+AGNでSEDフィットをした。



4. Discussion

ダスト放射の起源は？

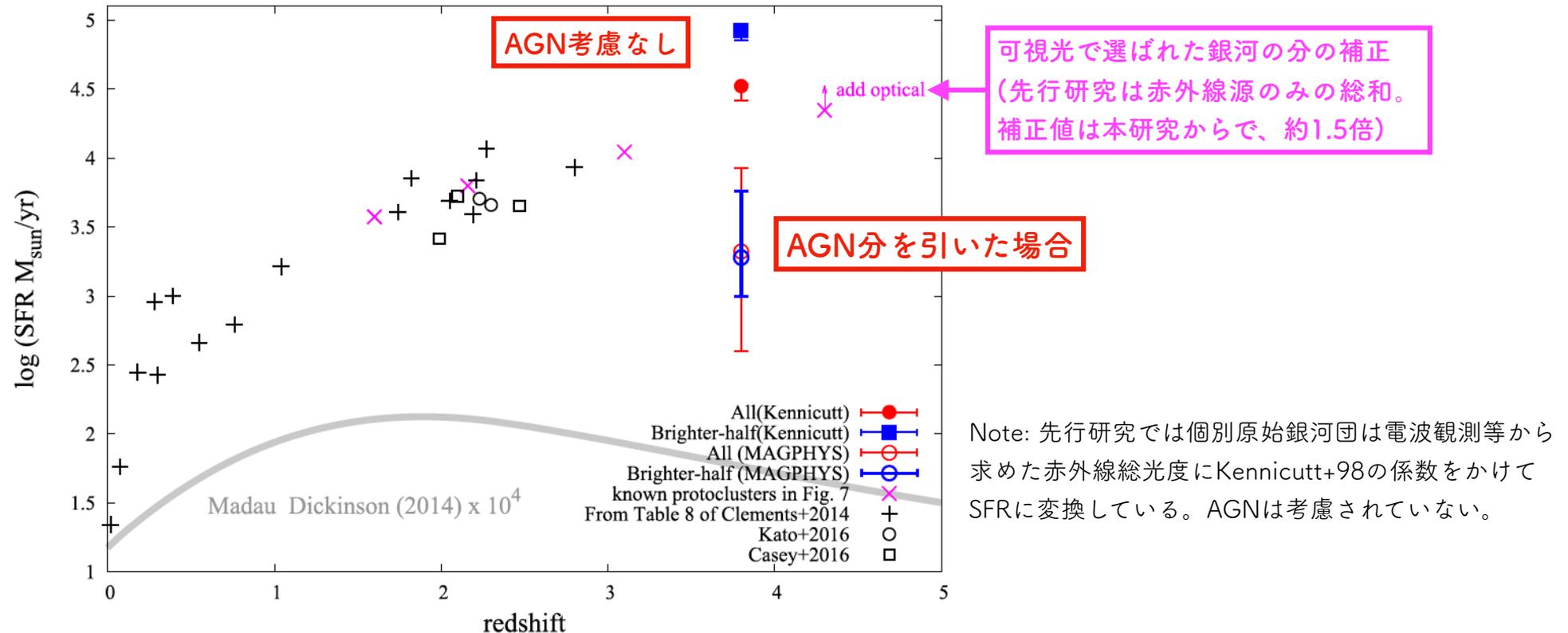
All



- Td~70 Kの非常に若い爆発的な星形成銀河もしくはAGN+典型的な星形成銀河のモデルで良くフィットできる(どちらがより良いかはわからない)。
- 前者の場合、SFR $\sim 16 \times 10^3 \text{ Msun/yr}$ 、後者の場合、SFR $\sim 2 \times 10^3 \text{ Msun/yr}$ となる。

4. Discussion

原始銀河団の星形成史



- 各時代の大質量原始銀河団とされるもの一つあたりの総SFR。おおよそ大質量銀河団の星形成史といえるものが描かれている(z~4のみ平均値)。
- AGNを考慮するか否かで結論が大きく変わる。
- 少なくとも総赤外線光度はz~4から進化し続けている。

5. Conclusion: for SPICA

- HSC-SSPと赤外線アーカイブデータによるスタック解析から、 $z \sim 4$ 原始銀河団一つあたりの平均的な総赤外線フラックスが初めて明らかになった。可視で検出された銀河から想定される約3倍明るく、大量の隠された星形成・AGNが潜んでいることを示唆している。
- 特に中遠赤外線では今までの想定以上に明るく、ダスト温度が高い。ただし、その起源はよくわからない。AGNかもしれないし、遠方では星形成銀河もダスト温度が高めであることも報告されている(e.g., Magdis+12)。
- **中遠赤外線源の正体を探るために、SPICAが必要である。**

5. Conclusion: for SPICA

- 原始銀河団には中遠赤外線で見える遠方天体が狭い領域(数分程度)に集まっていると考えられ、SPICAにちょうどいいターゲットである。
- **SAFARI imaging:** 原始銀河団に付随する個別の遠赤外線源の同定。z~4では $100\ \mu\text{m}$ での原始銀河団1個あたりの総フラックスの平均値が~100mJy程度と見積もられた。F $100\ \mu\text{m}$ ~10mJy程度の深さで観測すれば十分そう。SAFARIなら1バンド10分程度で可能で、10を超える原始銀河団を多色でも効率よく観測できる。
- **SAFARI & SMI spectroscopy:** 遠赤外線源の輝線診断によるAGN, 星形成の切り分け。
- **HSC(LSST)+WFIRST+Planck+AKARI and so on:** 原始銀河団のような環境依存性の検証には理想的には100平方度を超える探査が欲しいが、SPICAには不向き。赤外線アーカイブスタック解析による手法はSPICAを補完できる。