

# 赤外銀河分布の Power Spectrum 解析

名古屋大学 銀河進化学研究室  
鈴木智子

# Introduction ①

## ●宇宙の構造形成

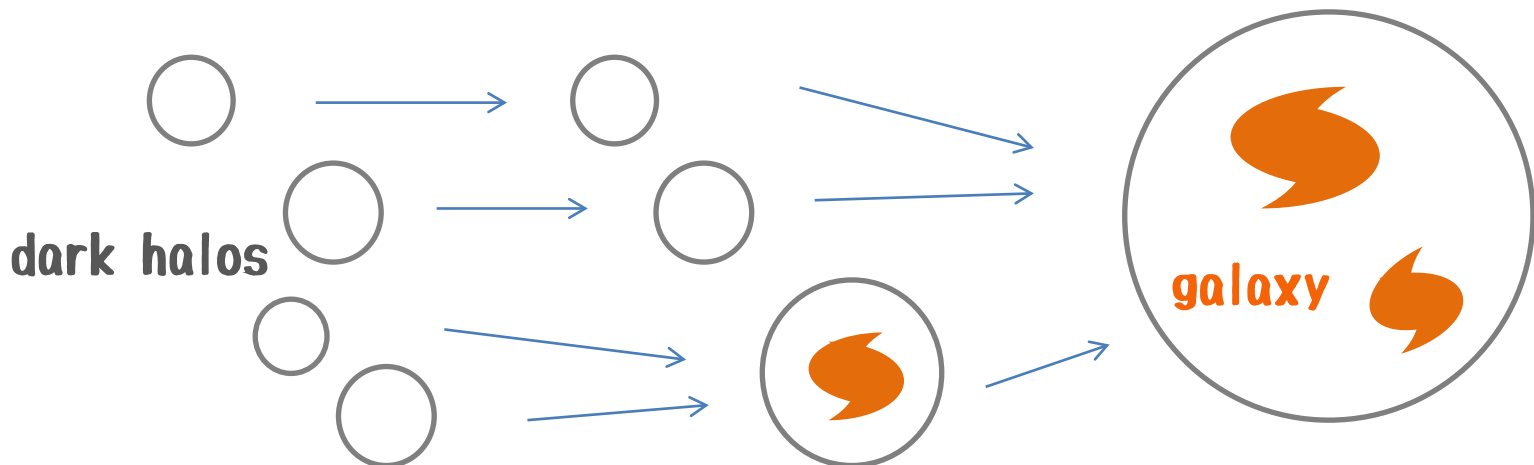
宇宙初期におけるほとんど一様な物質の分布から、重力によってゆらぎが成長し、ダークマターハローが形成される。

ダークハローは成長・合体をくり返し、その中で銀河が形成され、進化をしていく。



こうして、現在見られるような、銀河が非一様に分布している構造が形成されていった。(大規模構造)

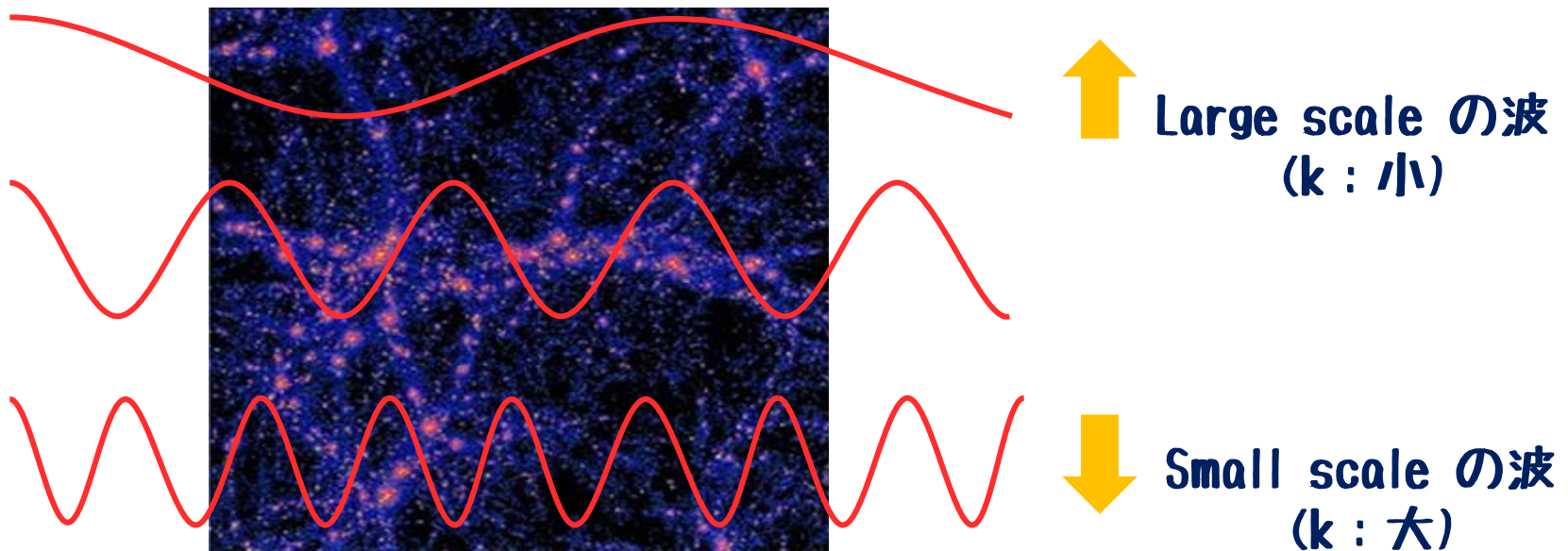
**この非一様性の性質を知ることは、宇宙の構造形成、銀河進化を理解する上で重要！！**



# Introduction ②

## ● 銀河分布のPower Spectrum

銀河分布のゆらぎ → 様々な波数 $k$ をもつ波の重ね合わせと考える。



各波の振幅が、Fourier係数  $F(k)$

Fourier 係数の絶対値の2乗で表されるパワースペクトルは、波数 $k$ をもつ波が銀河分布のゆらぎに対してどれくらいの寄与をしているのかを表している。

➡ パワースペクトルから、銀河分布の性質を知ることができる。

# Introduction ③

## ● 密度ゆらぎの成長

密度ゆらぎが十分に小さいとき

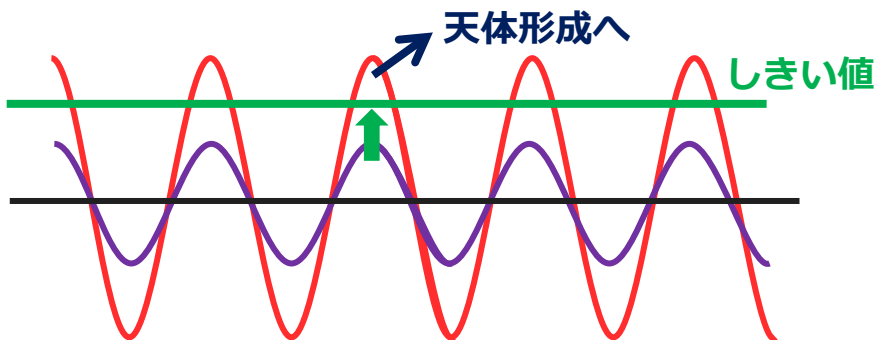
→ ゆらぎは線形成長する

このとき、ゆらぎの成長は波数  $k$  に依存しないので、各波数をもつゆらぎは  
一様に増加する

パワースペクトルも  $k$  によらず一様に増加

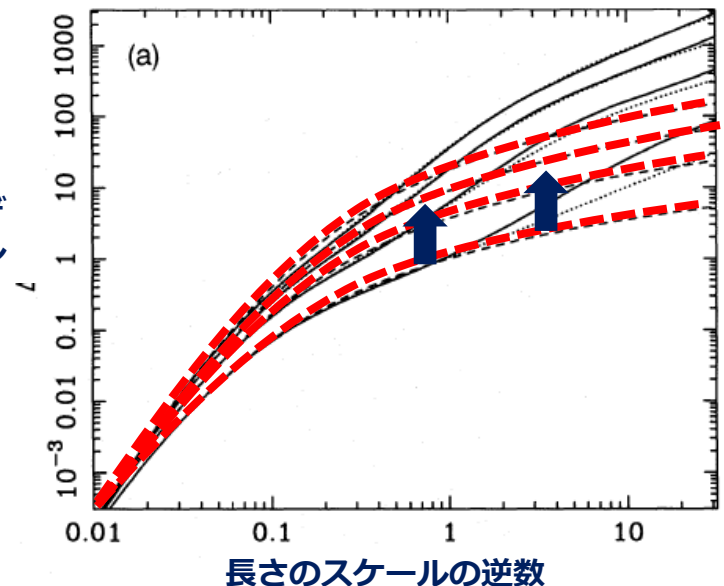
→ 密度ゆらぎがある閾値をこえると、天体(ハロー)が形成されるようになる

→ 非線形成長へと移行



ある波数  $k$  をもつ波の成長のイメージ

質量ゆらぎ  
スペクトル



Peacock & Dodds (1994)

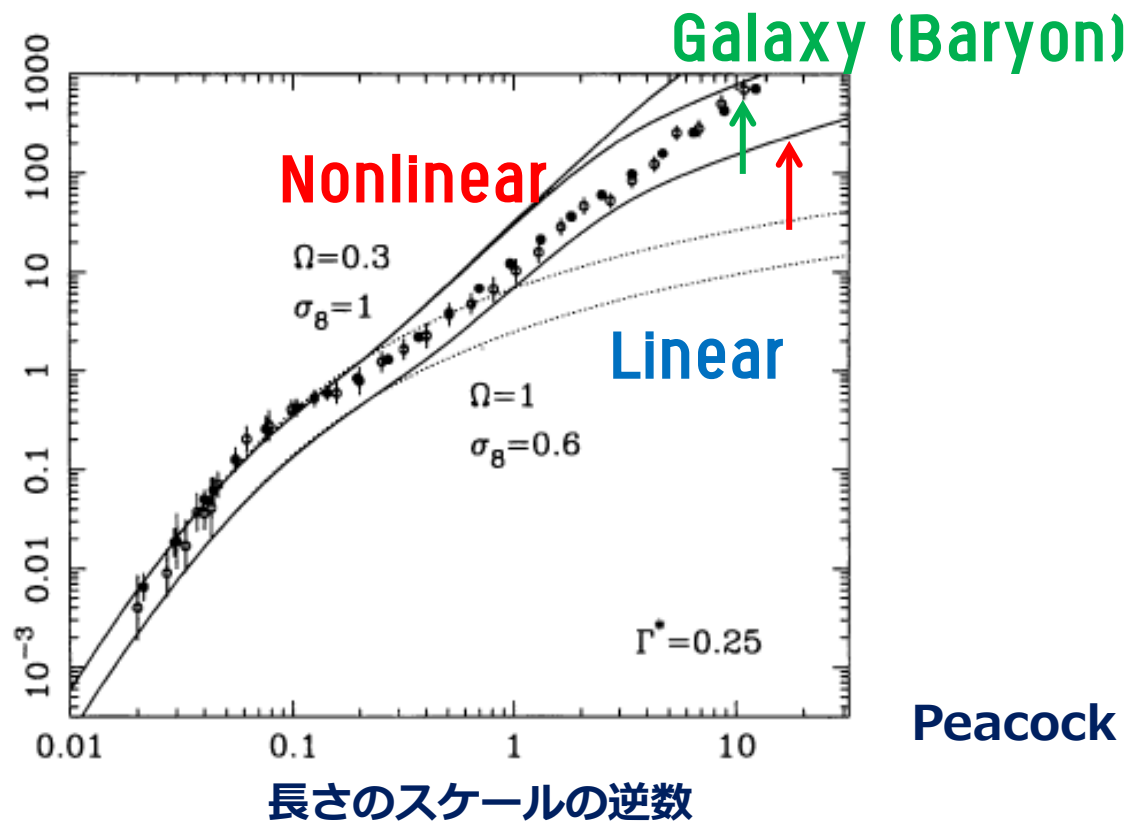
# Introduction ④

## ● 非線形成長

ゆらぎが大きくなり天体形成がはじまると、スモールスケール側から非線形領域へと移っていく。

銀河分布の非一様性を理解するためにはこの非線形成長の理解が重要。パワースペクトルを求めることで、非線形成長による影響をみてとることができる。

質量ゆらぎ  
スペクトル



Peacock (1997)

# Introduction ⑤

## ●赤外銀河 → 赤外線で明るく輝く銀河

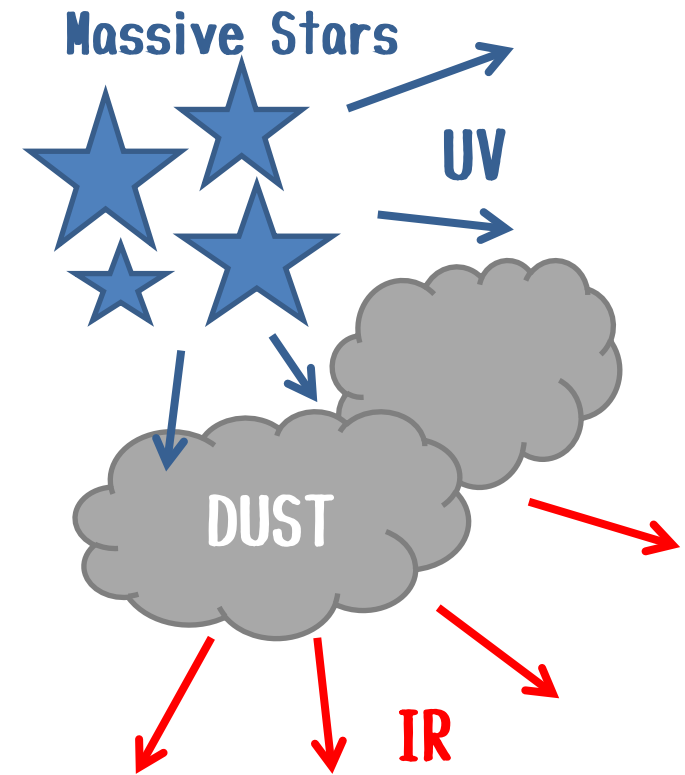
### ★ダスト

宇宙空間に存在する $1\mu\text{m}$ 以下の固体微粒子。  
星の進化過程で生成される。  
紫外線光子を吸収し、赤外線光子として再放射する。

### ★星形成領域

大質量星とダストが多く存在  
→ 多くの赤外線が放射されている。

ダストから放射される赤外線は、星形成の良いトレーサーとなっている。



赤外銀河の空間分布を調べることで、星形成銀河の分布の統計的性質を知ることができる。

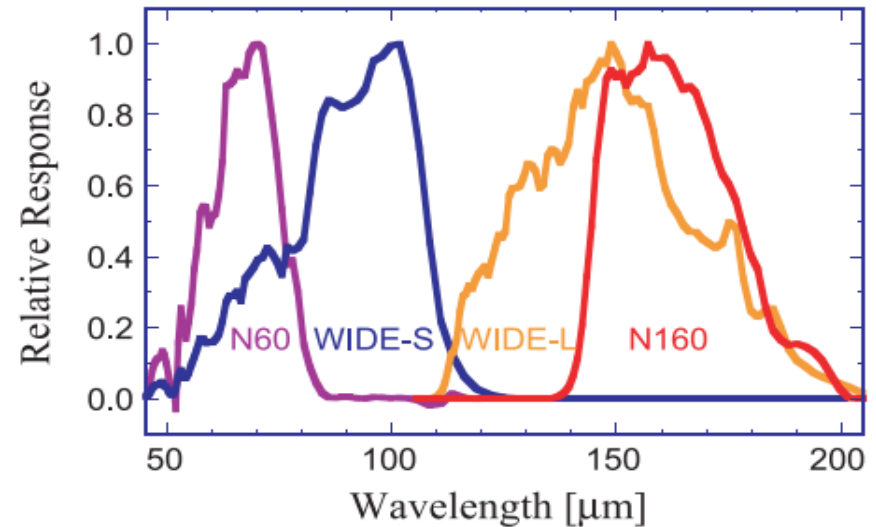
# Data

## ★赤外線天文衛星AKARI

遠赤外線の観測を行うFISの全天サーベイのデータを使用。

観測波長帯は、

- 65 $\mu\text{m}$ (N60)
- 90 $\mu\text{m}$ (WIDE-S)
- 140 $\mu\text{m}$ (WIDE-L)
- 160 $\mu\text{m}$ (N160)

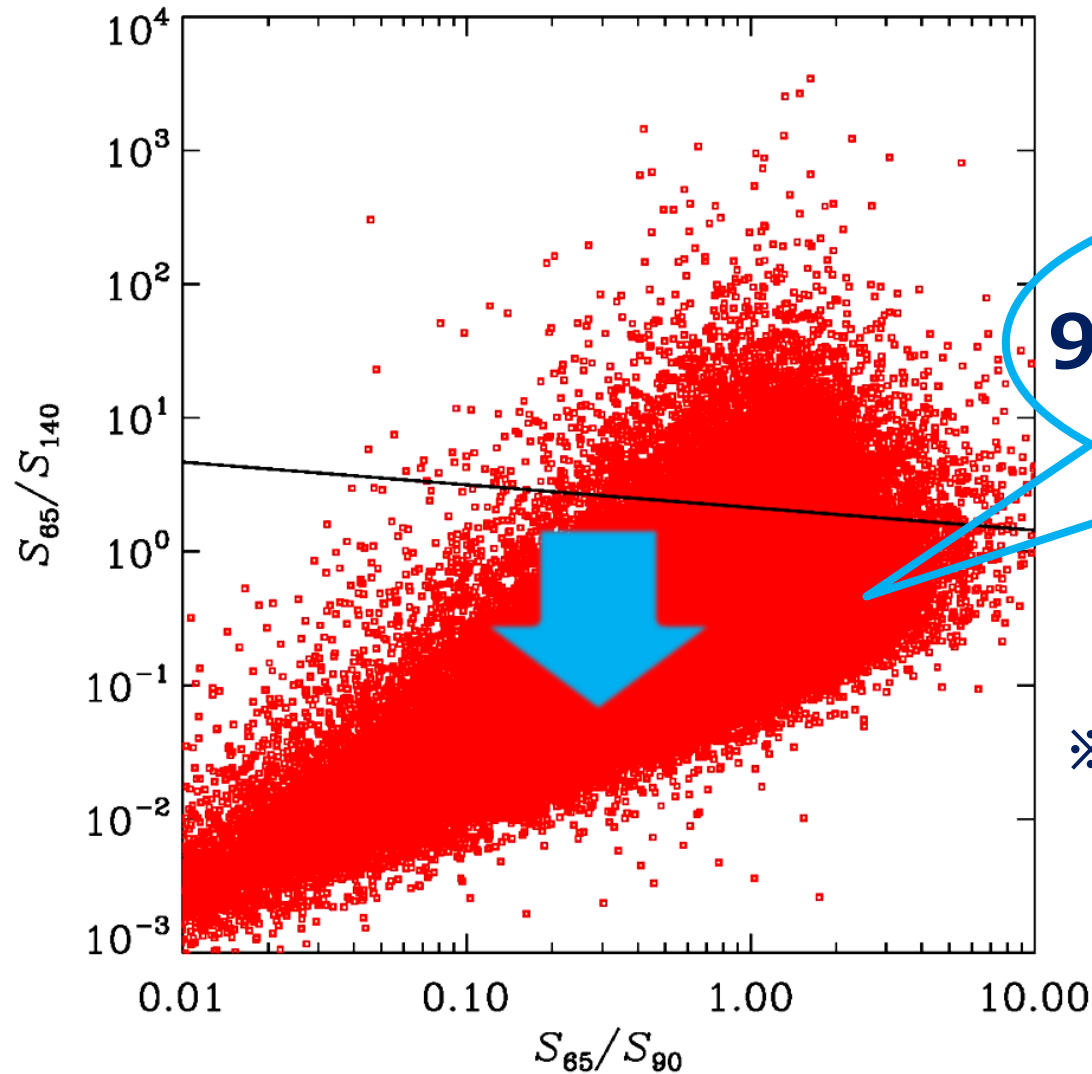


AKARI/FISのフィルターの波長感度特性  
(Kawada et al. 2007)

## ★Dataのセレクト

- ① AKARIがスキャンした回数が90 $\mu\text{m}$ のバンドで3回以上のものを選択。
- ② color-color diagram によるセレクト。
- ③ Schlegel Map によるセレクト。

# Data Selection : Star - galaxy Separation



96.3% of galaxies

※直線よりも下に位置するデータを銀河のデータとしてセレクト

$S_{65} / S_{90} - S_{65} / S_{140}$  のcolor-color diagram  
(Pollo et al. 2010)

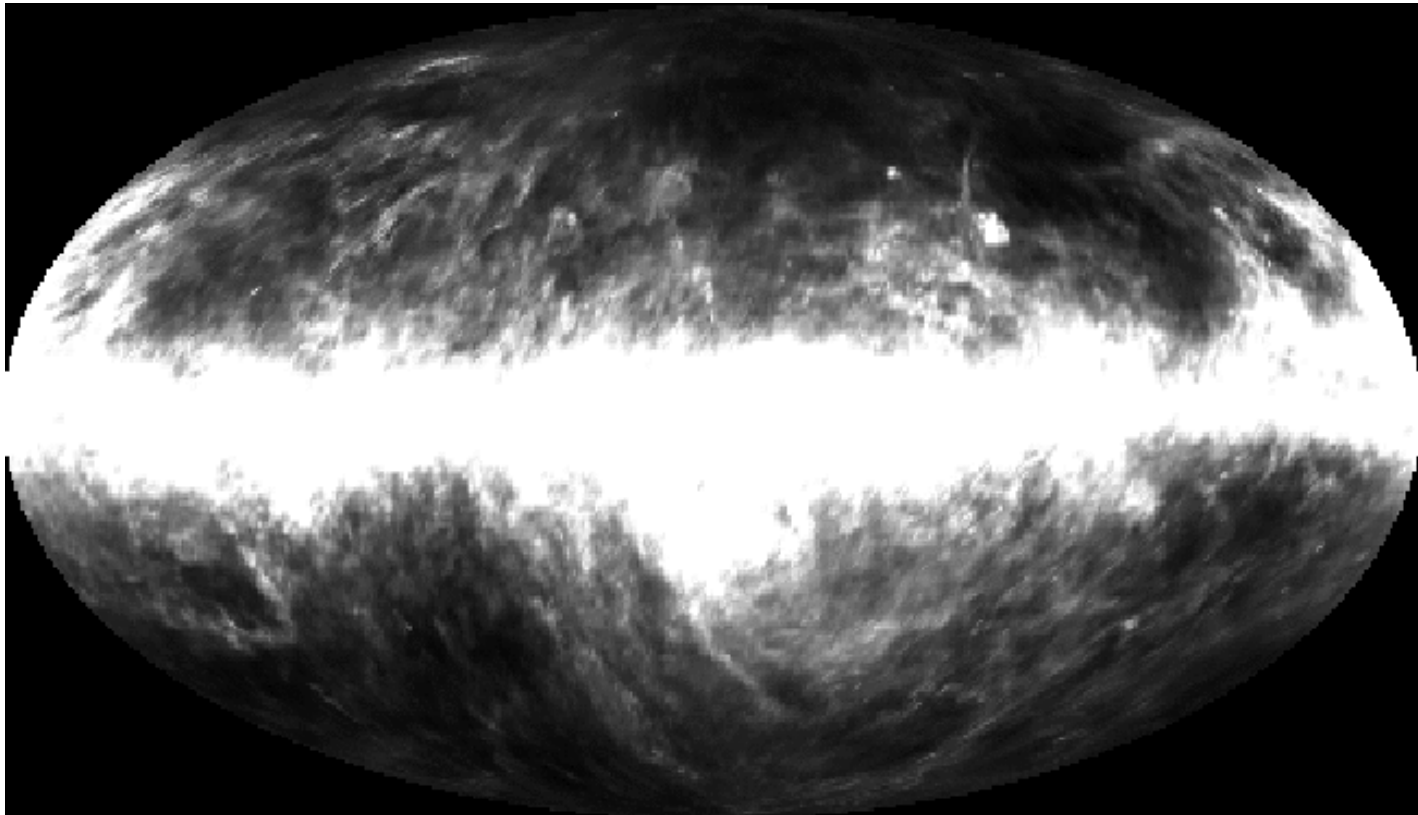


# Data Selection : Selection by Schlegel map

- Schlegel map

波長 $100\mu\text{m}$ の遠赤外線領域で観測された全天マップ。

銀河面のダストの放射が強い領域は除く。

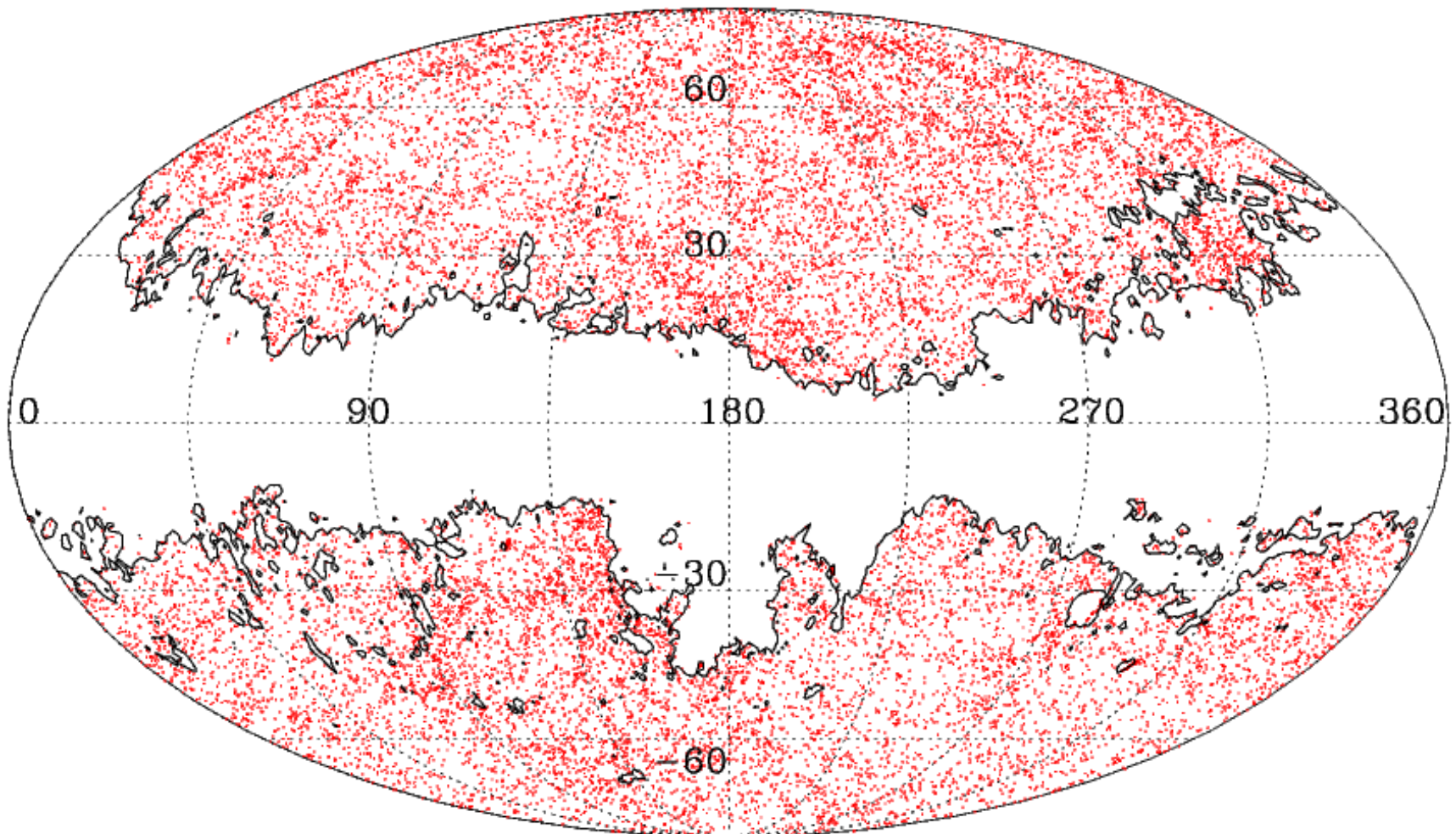


# Distribution of far-infrared galaxies

- 天球面上でのAKARIのデータの分布図

赤のプロット点 : データ

黒の等高線 : Schlegel map で、Flux の値が 5 [MJy/sr] となる位置

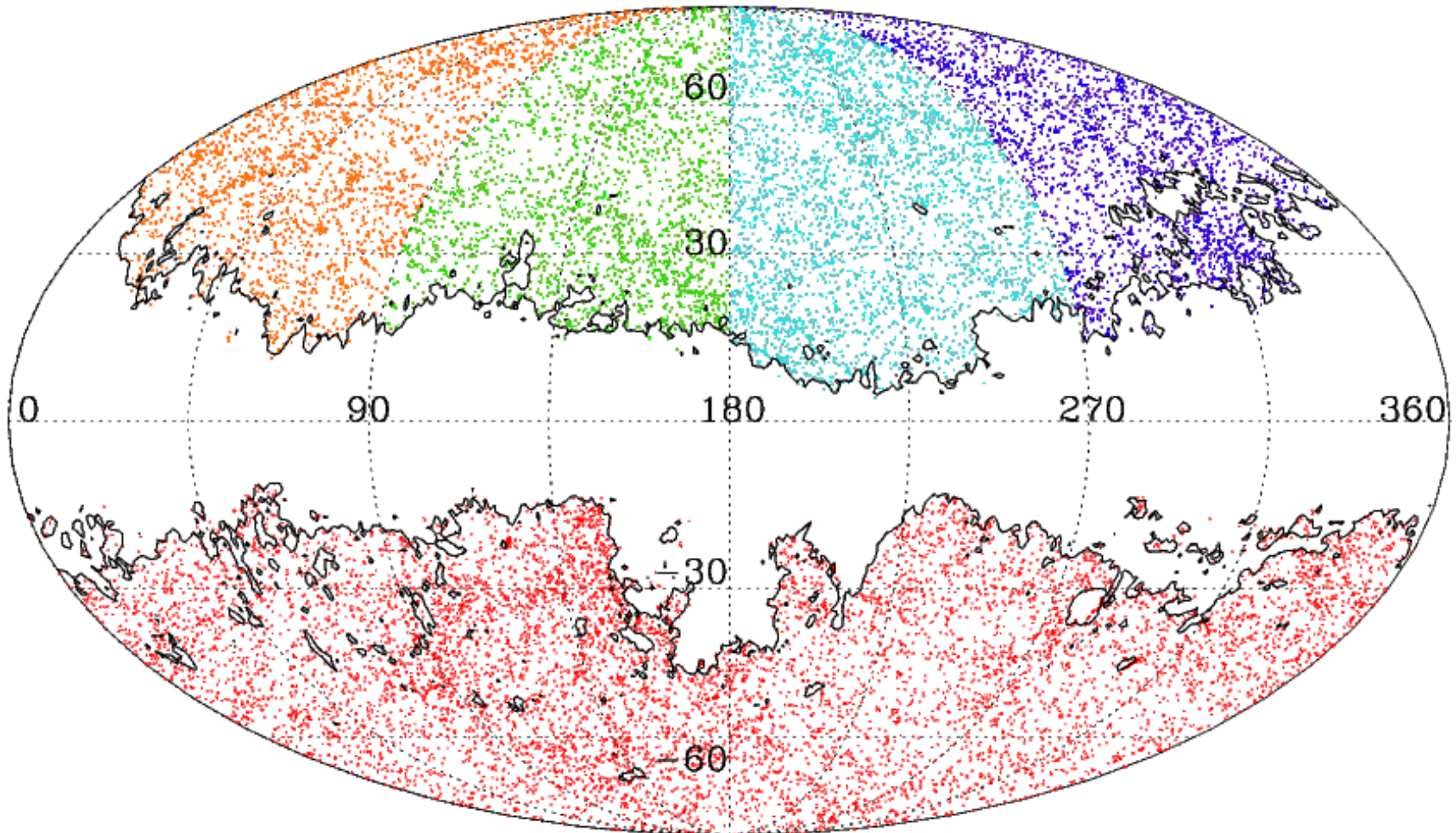


# Distribution of far-infrared galaxies

## ●天球面上でのAKARIのデータの分布図

赤のプロット点：データ

黒の等高線：Schlegel map で、Flux の値が 5 [MJy/sr] となる位置



# Calculate Power Spectrum

- 各領域について密度ゆらぎ  $\delta(x,y)$  を計算

$$\delta(x, y) = \frac{n(x, y) - \bar{n}}{\bar{n}}$$

- $\delta(x,y)$  を2次元離散Fourier変換

$$f_{xy} = \sum_{u,v} F_{u,v} \exp[2\pi i(ux + vy)]$$

$$F_{uv} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x,y} f_{xy} \exp[-2\pi i(ux + vy)]$$

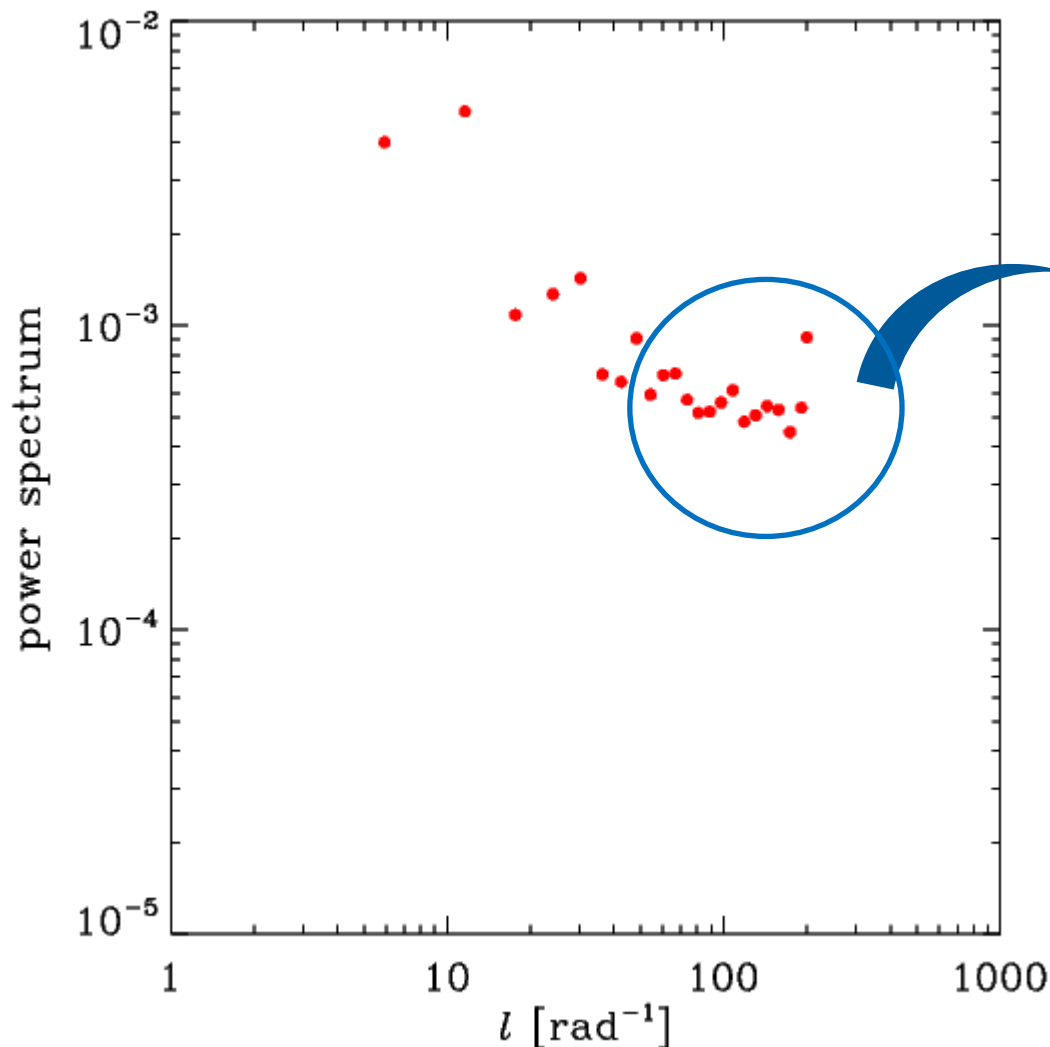
- Power Spectrum を求める

$$P_{uv} = |F_{uv}|^2$$

角度方向で平均をとり、 $P(\ell)$ とする。

# Result

銀経 : 0~90 の領域



Red : 結果のプロット

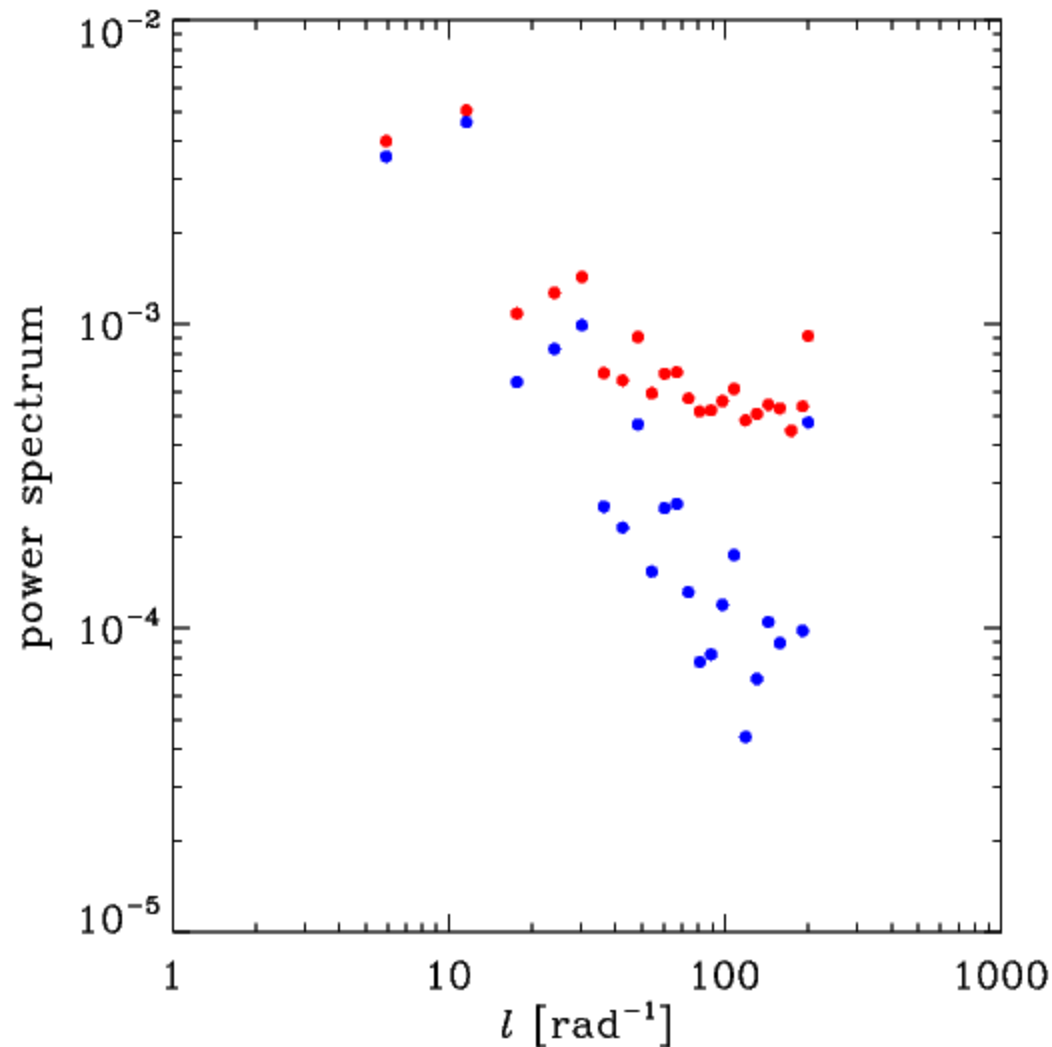
データの離散性から生じるノイズ (Shot noise) による影響が大きい。

各領域と同じ面積のところに同じ数の点をランダムにばらまいたサンプルを作成。

そのパワースペクトルの平均値をひくことでノイズの除去とする。

# Result

銀経 : 0~90 の領域



Red : 結果のプロット

Green : ランダムにばらまいたサンプルの結果のプロット

Blue : ノイズ除去後の結果

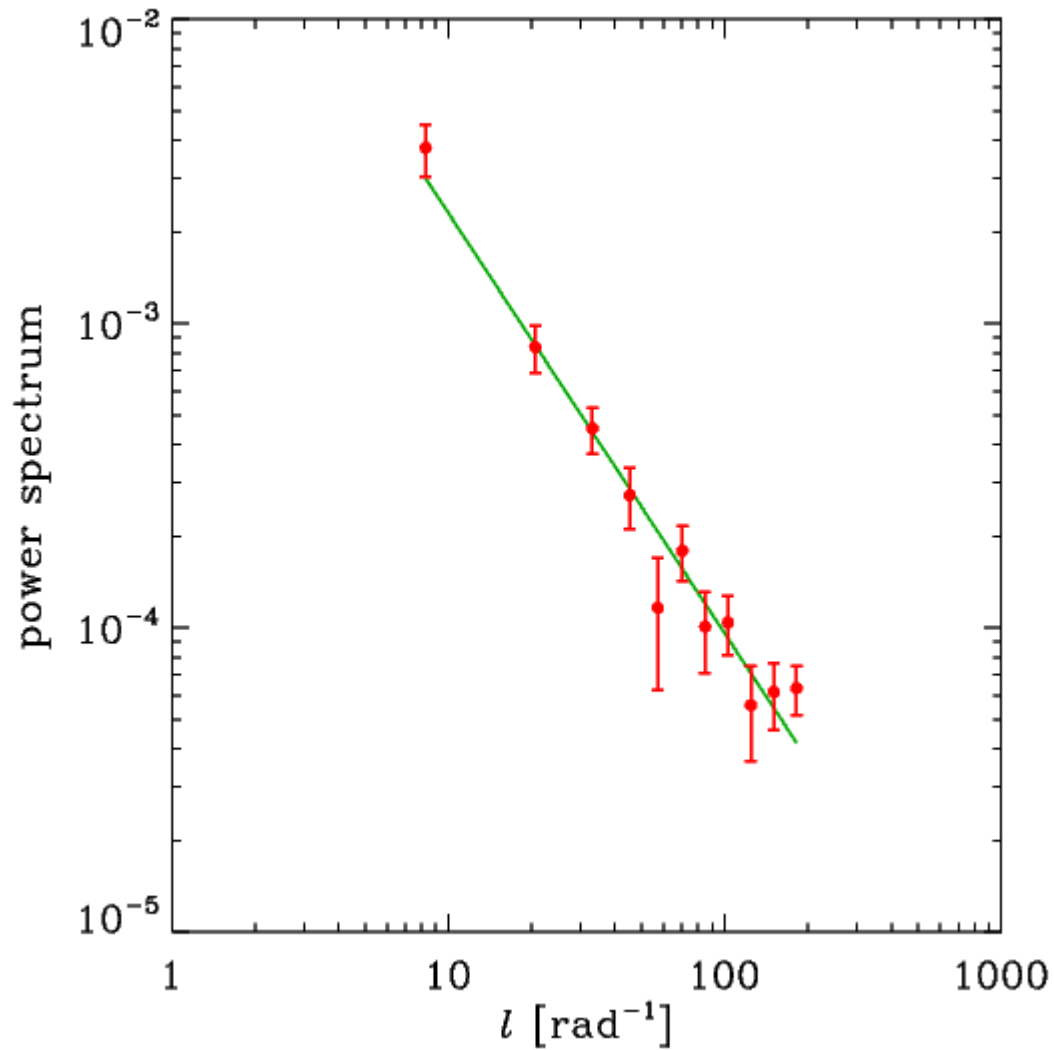
データの離散性から生じるノイズ (Shot noise) による影響が大きい。

各領域と同じ面積のところに同じ数の点をランダムにばらまいたサンプルを作成。

そのパワースペクトルの平均値をひくことでノイズの除去とする。



# Result



各領域の平均をとる。

直線で近似すると、  
傾きは

**-1.4**

となった。

# Discussion

## ★先行研究との比較

### ● Hamilton & Tegmark (2002)

…PSCz (赤外線衛星IRASの観測データによるサーベイ) のデータからパワースペクトルを求めている。

結果のパワースペクトルから調べた傾き → **-1.5 程度**



今回の結果から求めた傾きは**-1.4程度**。  
スモールスケールの波からの寄与がより大きくなっている。

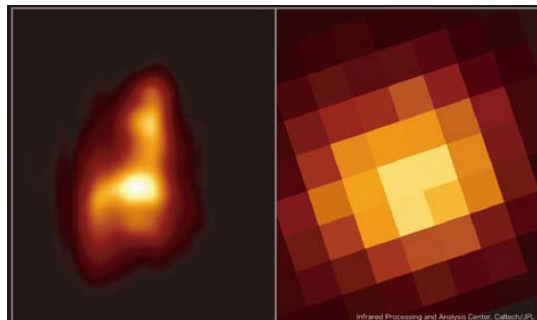
### ● AKARIとIRAS

#### ・ 角分解能の差

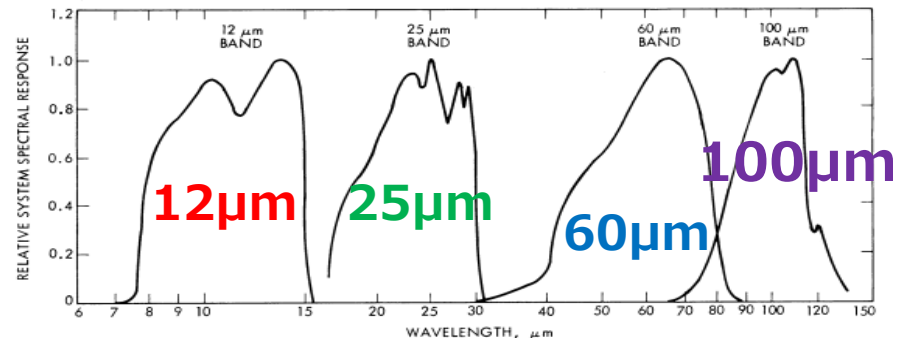
AKARIはIRASよりも角分解能がよい。(より細かく見える)

#### ・ 観測波長帯の違い

AKARIはより波長の長い側をカバーしている。(見ているものが異なる)



(左)AKARI (右)IRAS でみた  
反射星雲の遠赤外線での画像



IRASのフィルターの波長感度特性  
(Neugebauer et al. 1984)



# Summary

本研究では、星形成のよいトレーサーである赤外銀河の分布の統計的性質を知るために、銀河分布の数密度ゆらぎのパワースペクトルを求めた。

★得られた $P(\ell)$ は power-law となり、その傾きは -1.4程度であった。

★先行研究と比較すると、今回得られた結果のほうが、スモールスケール側の波からの寄与が大きくなっていることがわかった。

★要因としては、衛星の角分解能の向上と観測波長帯の違いということが考えられる。

# Future Work

- 他波長(可視光、紫外線、電波など)で観測された銀河や、ダークマターの分布についてパワースペクトルを求め、赤外線の場合の結果と比較。
  - 赤外銀河のバイアスを求める
- データのセレクトをより厳密にして、星形成銀河のみのデータを作成
  - 星形成銀河の空間分布の統計的性質