

SDSS銀河カタログを用いた 銀河系ダスト減光マップの検証

○柏木俊哉、須藤靖、樽家篤史（東大理）
加用一者（東邦大学）、矢幡和浩（キヤノン）

銀河系ダスト減光

- 銀河系ダスト

- 主に紫外～可視光を吸収し、赤外光(FIR)を放射する

- 減光量：
$$A(\lambda) \equiv -2.5[\log I(\lambda) - \log I_0(\lambda)]$$
$$= 2.5 \log_{10} e \tau(\lambda) \quad (\tau(\lambda) : \text{optical depth})$$

- ダストの多い方向ほど、銀河系外の天体は本来の明るさより暗くなって見える

- どの方向にどれだけダストがあるのか？(≡ **ダストマップ**)

- あらゆる観測に影響を及ぼす、天文学・宇宙論において

- 最も基本的なデータ**の一つ

- ダスト減光の補正なしには、天体の本来の明るさや色など、基本的なデータさえ得られない。

今後の精密宇宙論では、正確なダストマップが**必要不可欠**

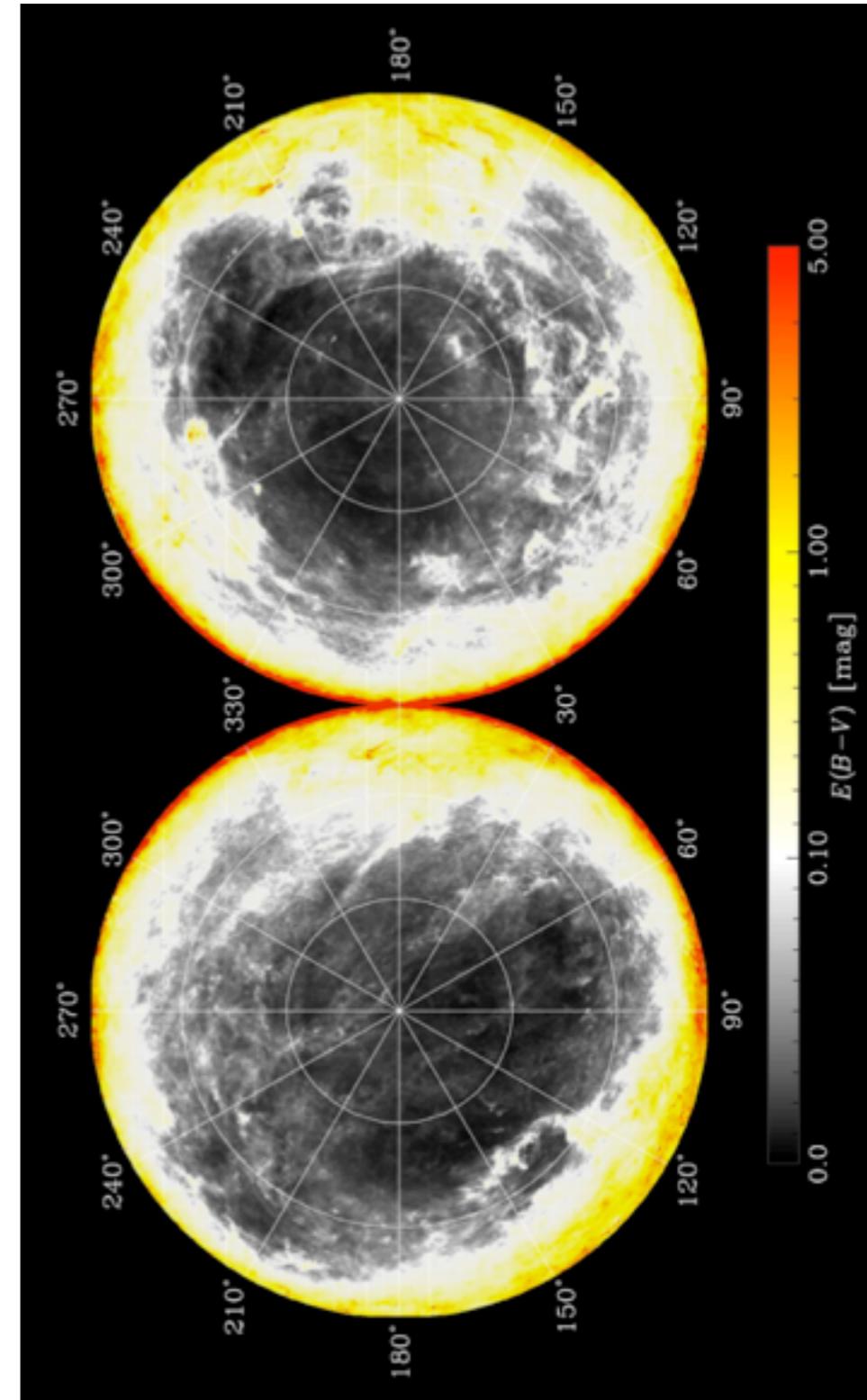
SFDダストマップ

- Schlegel, Finkbeiner, Davis (1998)によって作られた、現在最も良く使われている減光マップ。 (SAO/NASA論文中、引用数1位)
- SDSSでもこのマップが用いられている。
- COBE, IRASから得られた FIR($100\mu\text{m}$)放射量から各方向のダストの減光量を見積もっている

FIR放射量が多い=ダストも多い

- この見積もりが正しいかどうかを見るには、別の観測データによる検証が必要

今回はSDSS銀河カタログを用いて検証



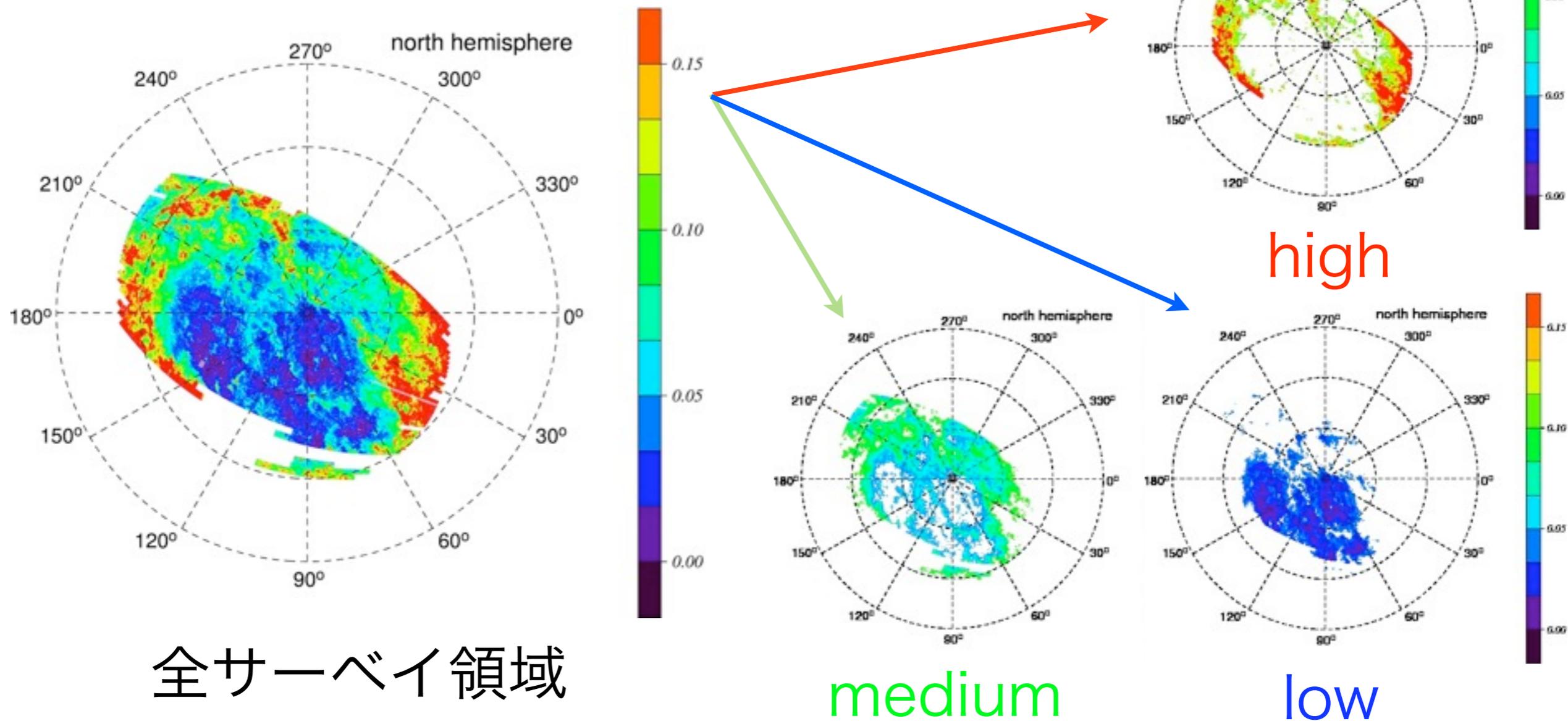
先行研究

- Yahata et al.(2007)
 - SDSS DR4の銀河カタログを用いて検証を行い、SFDマップの系統誤差を発見した.
- 本研究では、
 - サーベイ領域が約2倍に増えた最新のDR7のデータを用いて、Yahata et al.(2007)の結果をより詳細に解析.
 - 系統誤差の起源について定量的に検証した.

銀河数密度カウントによるSFDマップの検証

- サーベイ領域を減光量に応じて、 100deg^2 程度の領域に分割
→ 各領域内の銀河数密度を計算する

(この図は北半球を3つに分割した例)



銀河数密度カウントによるSFDマップの検証

原理

減光補正前

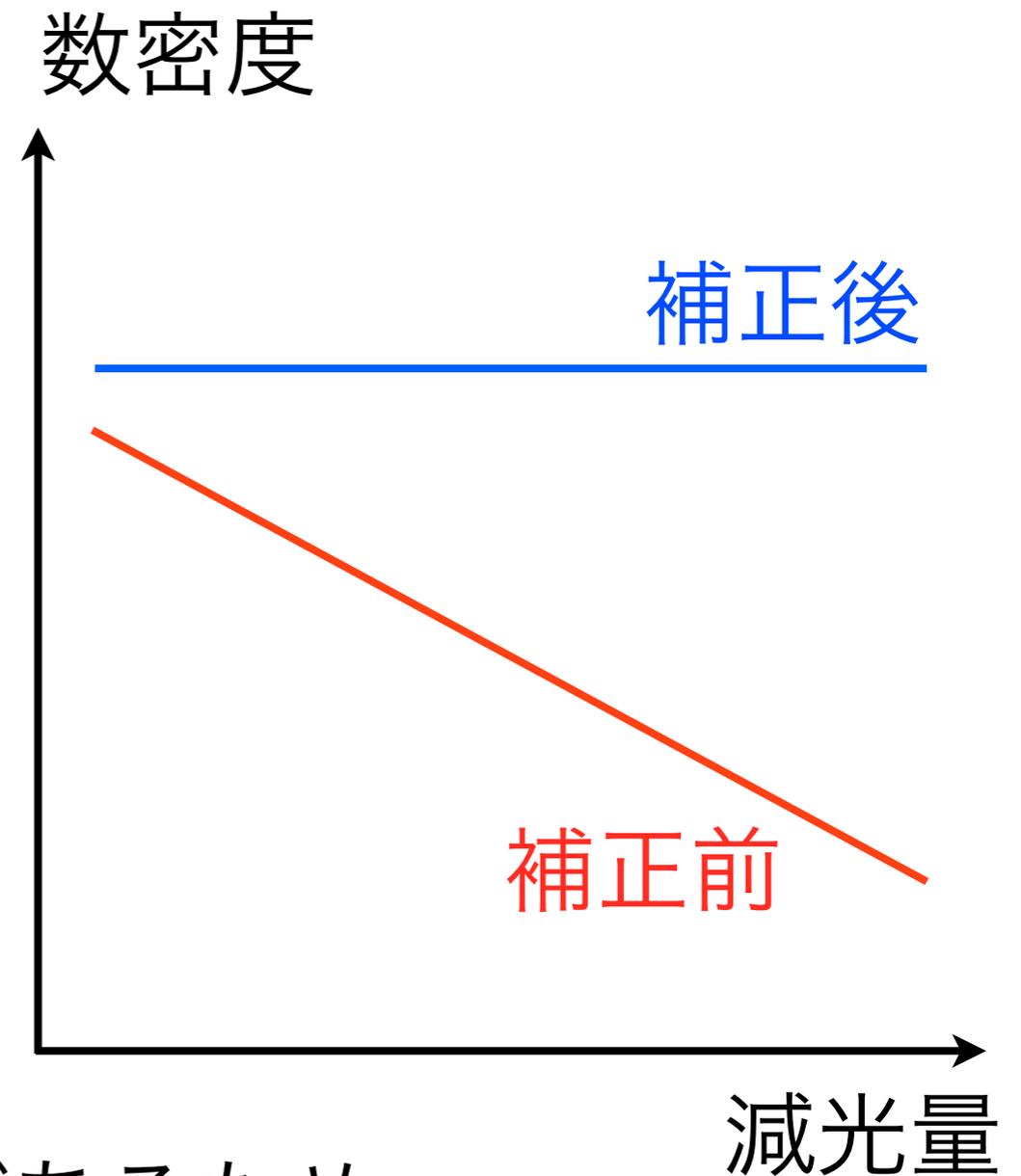
減光が強いほど、銀河は暗く見える

→ 数密度は**小さくなる**

減光補正後

補正が正しければ、

数密度は**一定になるはず**



(ただし、元々のクラスタリングがあるため、大スケールでの平均数密度を使う必要がある。)

測光銀河での解析結果

- 約400万個の測光銀河カタログ
($17.5 < m_r < 19.4$ のサンプル)

- $A_{r,\text{SFD}} > 0.1$ では、

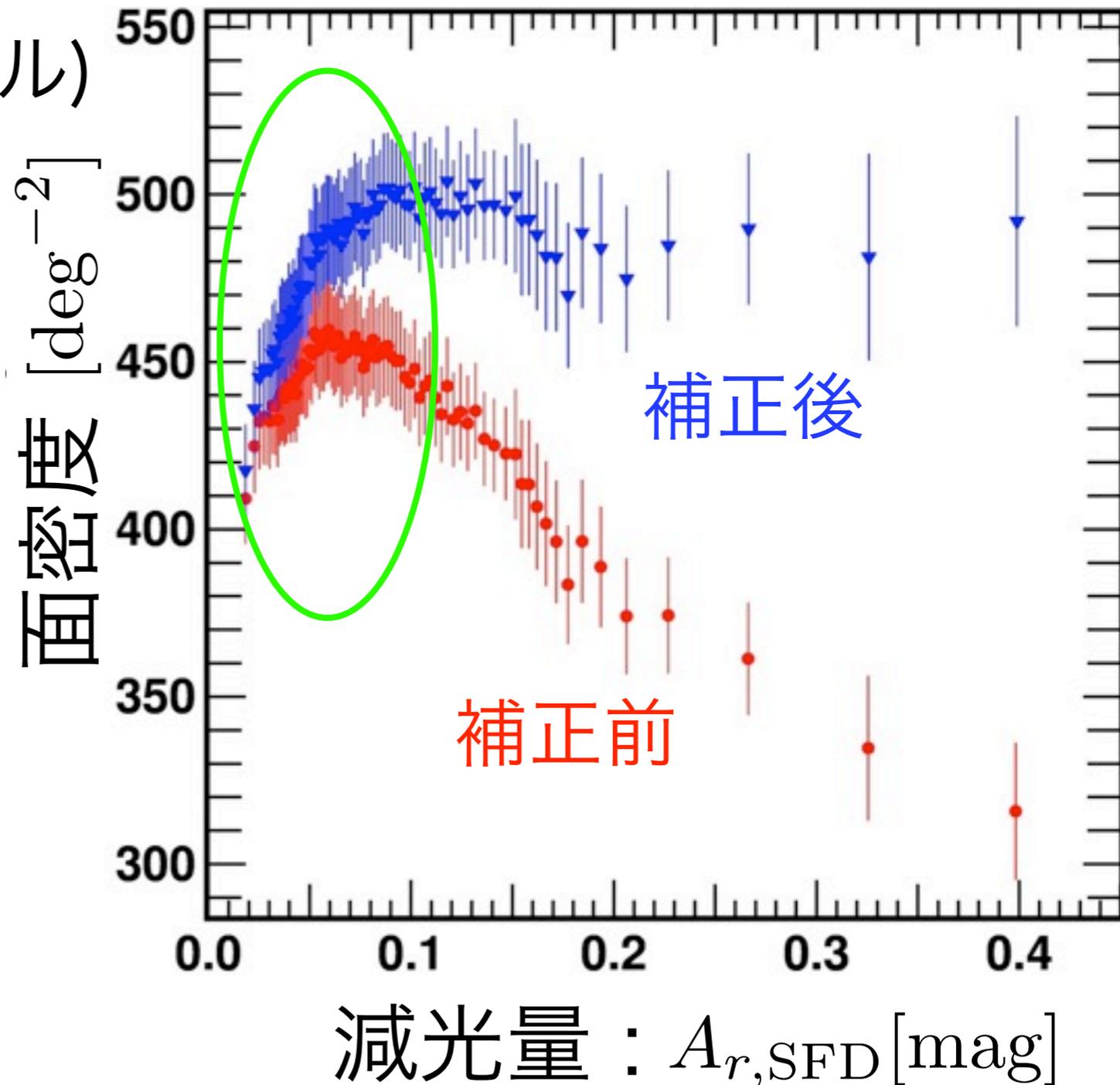
補正前：数密度は減少

補正後：数密度はほぼ一定

= 正しく補正できている

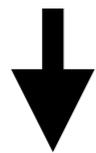
- 一方、 $A_{r,\text{SFD}} < 0.1$ では

補正後：数密度が大きく
増加している！

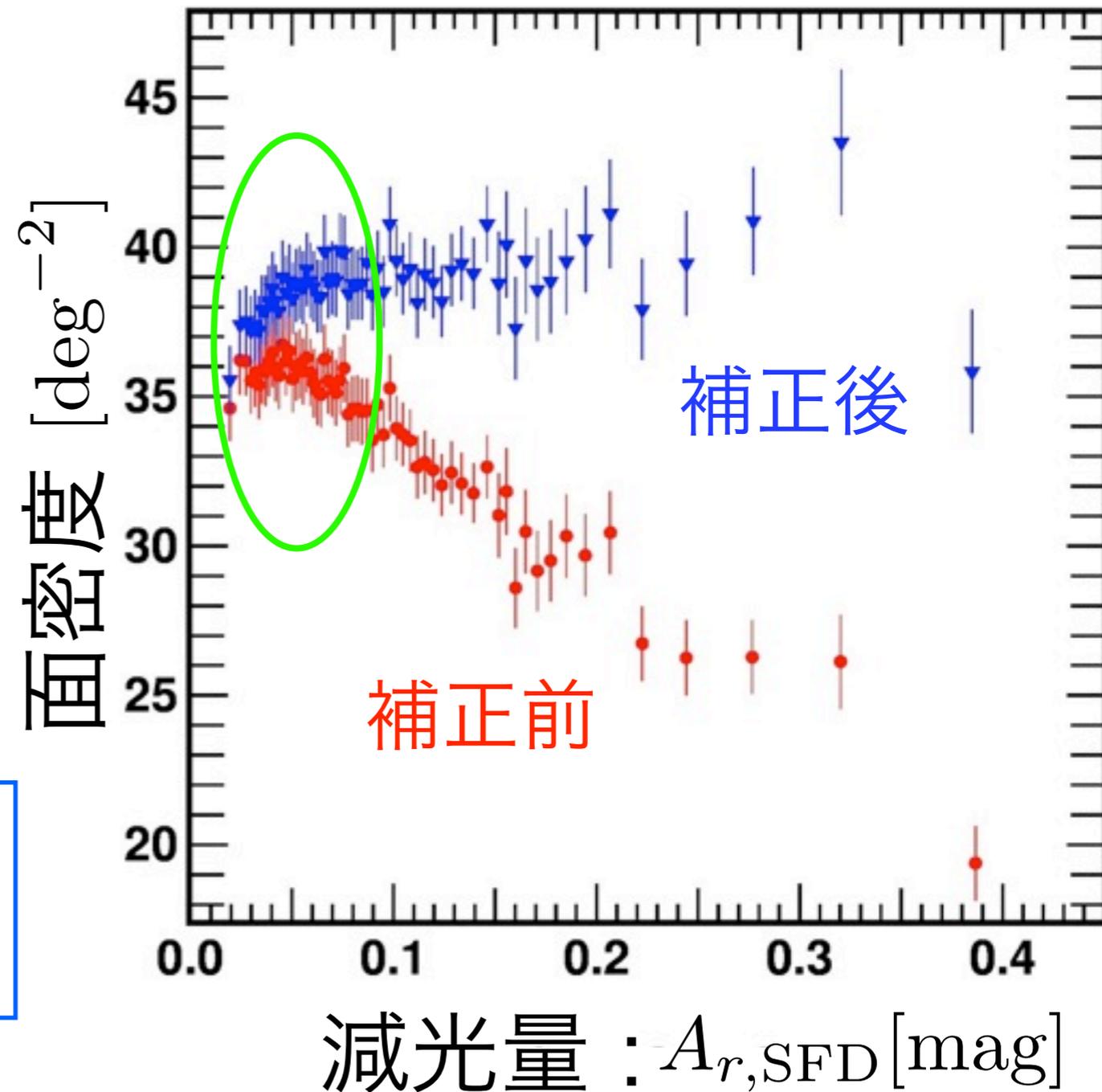


測光クエーサーでの解析結果

- 約30万個の測光クエーサーカタログ (Richards et al. 2009)
- 測光銀河と比べて小さいが、やはり同様の増加傾向が見られる。



低減光の領域では、
SFDマップは間違っている？



系統誤差の原因は？

- SFDマップは低減光領域で間違っているのか？

- 単純に、面密度が一定になるようにマップを補正すると、減光の小さい領域では ~ 0.1 [mag] の補正が必要

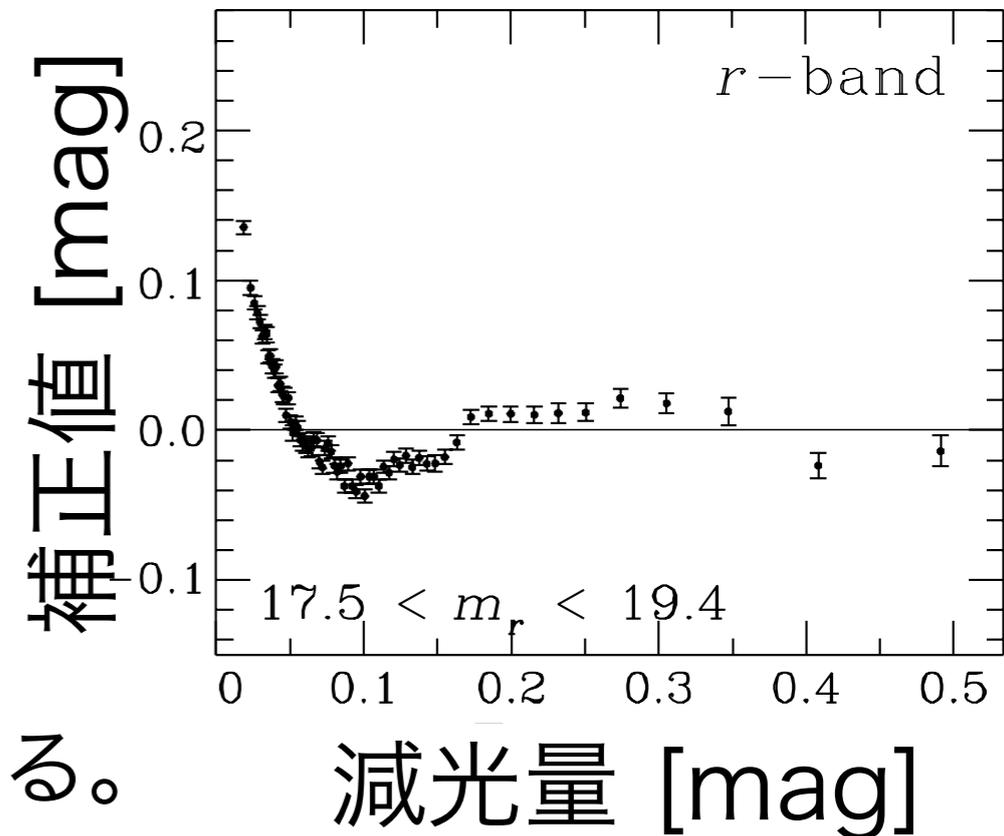
- (SDSSサーベイ領域を含む)高銀緯はほとんどが低減光領域なので、

SFDマップは**全く間違っていた**ことになる。

→ そんなことがあれば、

すでに他の検証によって見つかっているはず？

- また、銀河とクエーサーの結果の違いも説明できない。



(Yahata et al. 2007)

そこで今回は、

系外銀河からのFIR放射の影響

に着目。

系統誤差の原因は？

- SFDマップはFIR放射量に比例するように作られている
 - このFIR放射量には、銀河系外からの寄与も本来含まれているはず
 - SFDマップには系外銀河からのFIRが混入している
 - SFDで差し引かれているのは、背景FIR放射の**平均**だけ
 - **FIRのゆらぎ**は考慮されていない！
 - そのため、銀河からのFIRを誤ってダストからのFIRだと解釈してしまっている。
 - 平均より銀河が多い(少ない)領域ほど、ダストの量を過大(過小)評価している。
 - 銀河の数と、ダストマップの誤差に相関があるため、数密度が一定から極端にずれていたのでは？
- これが本当に系統誤差の原因なのかをシミュレーションで検証

シミュレーションによる検証

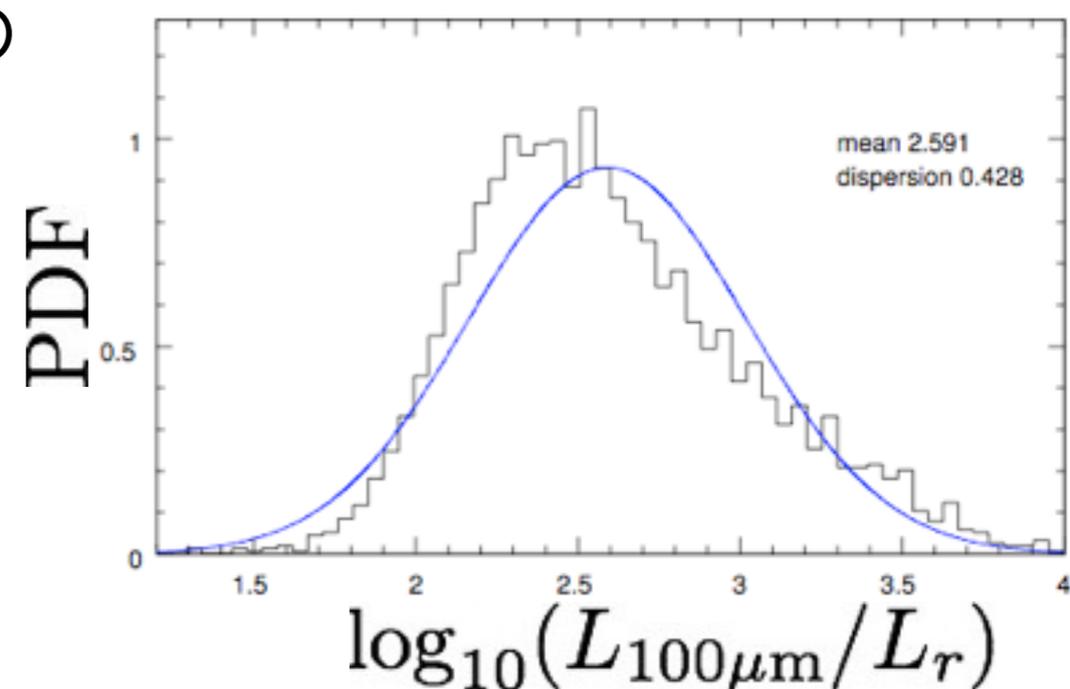
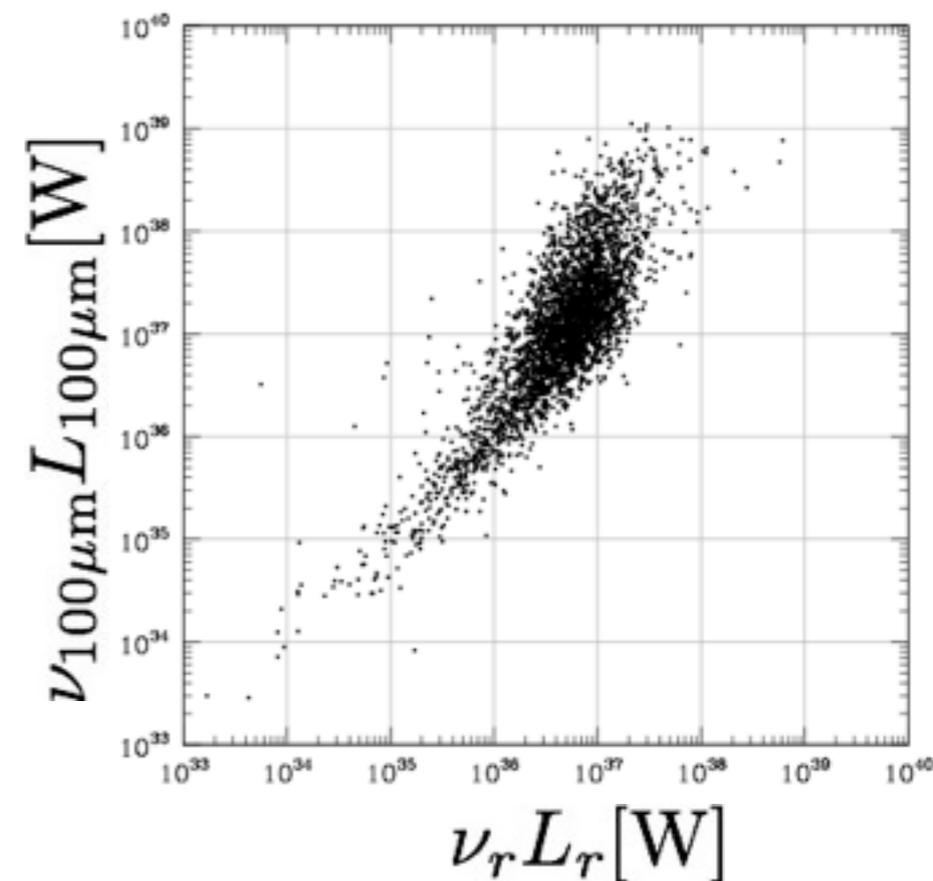
・シミュレーションの手順

- ①. 天球上に一様な擬似銀河カタログを生成.
- ②. 各銀河からのFIRをダストマップに加える.
(=意図的に間違ったマップを作る)
- ③. 間違ったマップを使って減光補正をし、
面密度を計算する.

・ (今はSDSS銀河を想定しているので、)

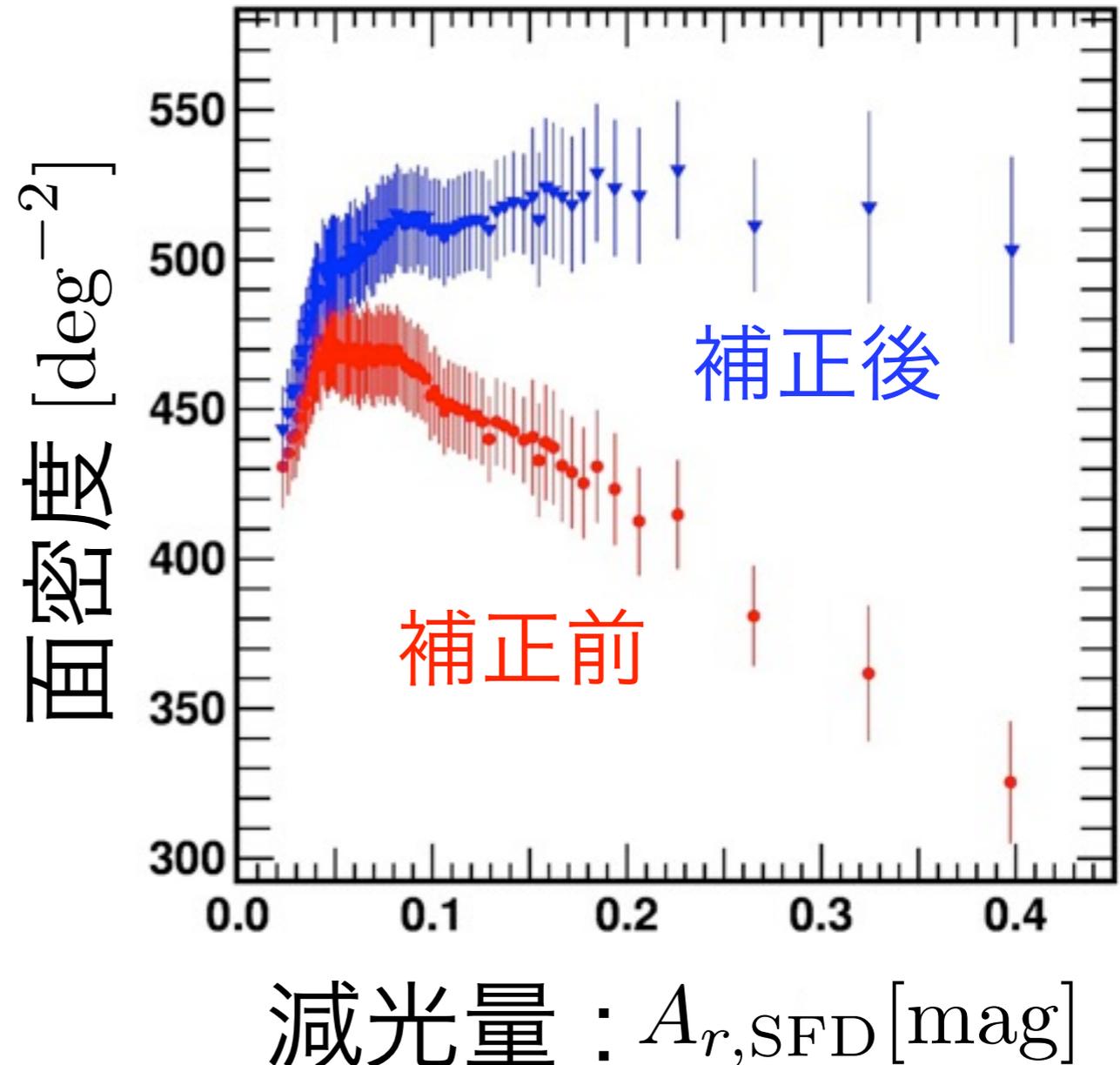
各銀河からのFIRを与えるには、可視光での明るさからFIR放射を推定する必要がある.

- IRAS/SDSS の両方で見つかった銀河のデータから、FIR/optical のflux比を統計的に推定する.



シミュレーション結果

- 観測に近い結果が得られた！
 - $A_r < 0.1$ での数密度の増加傾向を再現している.
 - ダストマップに生じた誤差は平均 0.003 mag 程度.
 - わずかな系統誤差で、観測結果を説明することができる.
- クエーサーの観測結果も説明できるかについては、現在研究中.



なぜこの系統誤差が重要？

- 背景FIR放射の平均は $A_{r,SFD} \sim 0.04\text{mag}$ (Finkbeiner et al. 2000)
 - ゆらぎの大きさは高々 $\sim 0.01\text{mag}$ 以下
(シミュレーションの結果では $\sim 0.003\text{ mag}$)
 - **各々の方向での誤差自体の値は小さいが、**
 - 本来の大規模構造を見かけ上強調してしまう。
 - 銀河が多い領域ほど、ダスト減光を過大評価する
 - 実際よりも銀河を明るく補正する
 - 銀河数がさらに多くなって見える
- **大規模構造解析に系統的な誤差が生じる**
- 特に、遠方天体(QSO, LRG)では減光補正の影響が大きい
 - 例えば、色を 0.005mag 間違えると、LRGに選ばれる天体の数は10%程度変わる。
(Abazajian et al. 2004)
 - また、 $A_{r,SFD} < 0.1$ だけでなく、全天のマップにこの誤差が生じている

今後の研究課題

- 大規模構造解析に与える系統誤差の評価
 - 相関関数、パワースペクトルなどの基本統計量に与える系統誤差
 - 遠方天体の分布に与える影響
 - 現在LSS解析に使われているQSO, LRGカタログは、一様なサンプルになっているのか？
 - 重力レンズ増光効果の解析結果に与える影響
 - 近傍銀河が多い方向でダストマップが間違っていると、その方向の遠方天体の明るさにも影響する。
 - 見かけ上、重力レンズによる増光が起こっているように見える。
- SDSSカタログを用いた補正ダストマップの作成
 - 可視領域のデータから個々の天体のFIR放射量を推定する
 - IRAS/SDSS データから構成したFIR estimatorの改良
 - 補正の妥当性を、どうやって独立に検証するか？