

# Evidence of Dust Grain Evolution from Extinction Mapping in the IC 63 Photodissociation Region (Van de Putte et al.)

## Abstract

Photodissociation regions (PDRs) are parts of the ISM consisting of predominantly neutral gas, located at the interface between H II regions and molecular clouds. The physical conditions within these regions show variations on very short spatial scales, and therefore PDRs constitute ideal laboratories for investigating the properties and evolution of dust grains. We have mapped IC 63 at high resolution from the UV to the NIR (275 nm to 1.6 μm), using the *Hubble Space Telescope* WFC3. Using a Bayesian SED fitting tool, we simultaneously derive a set of stellar ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log(g)$ , distance) and extinction ( $A_V$ ,  $R_V$ ) parameters for 520 background stars. We present maps of  $A_V$  and  $R_V$  with a resolution of 25 arcsec based on these results. The extinction properties vary across the PDR, with values for  $A_V$  between 0.5 and 1.4 mag, and a decreasing trend in  $R_V$ , going from 3.7 at the front of the nebula to values as low as 2.5 further in. This provides evidence for evolution of the dust optical properties. We fit two modified blackbodies to the MIR and FIR SED, obtained by combining the  $A_V$  map with data from *Spitzer* and *Herschel*. We derive effective temperatures (30 and 227 K) and the ratio of opacities at 160 μm to V band  $\kappa_{160}/\kappa_V$  ( $7.0 \times 10^{-4}$  and  $2.9 \times 10^{-9}$ ) for the two dust populations. Similar fits to individual pixels show spatial variations of  $\kappa_{160}/\kappa_V$ . The analysis of our *HST* data, combined with these *Spitzer* and *Herschel* data, provides the first panchromatic view of dust within a PDR.

Unified Astronomy Thesaurus concepts: [Interstellar medium](#) (847); [Photodissociation regions](#) (1223); [Interstellar dust extinction](#) (837)

## Overview

光解離領域 (PDR) でのダスト進化 (変性) に減光曲線から得た HST の観測で IC 63 の背景にある星の UV to NIR SED を取得  
 SED から星と減光のパラメータを得るコード (BEAST; Gordon+2016) を使用  
 PDR front と inside で  $R_V (= A_V/E(B-V))$  が異なることを示唆  
 Herschel, Spitzer の観測と比較, 得られた  $A_V$  等が妥当であることを検証

## BEAST code

(HST の測光データから星と減光のパラメータを導出する計算コード)  
 恒星進化, 恒星大気スペクトルの grid を内部に持っており fitting に用いている  
 減光曲線は 2 成分のモデル化をしている

$$k_\lambda(R_V, f_A) = f_A k_{\lambda,A}(R_V) + (1 - f_A) k_{\lambda,B}$$

$f_A$ : 温度化された減光量  
 $k_{\lambda,A}$ : MW-like 減光曲線 ( $R_V$  にパラメータを持つ)  
 $k_{\lambda,B}$ : SHC-like UV bump のない減光曲線  
 type A と type B の混合比

## Results & Discussion

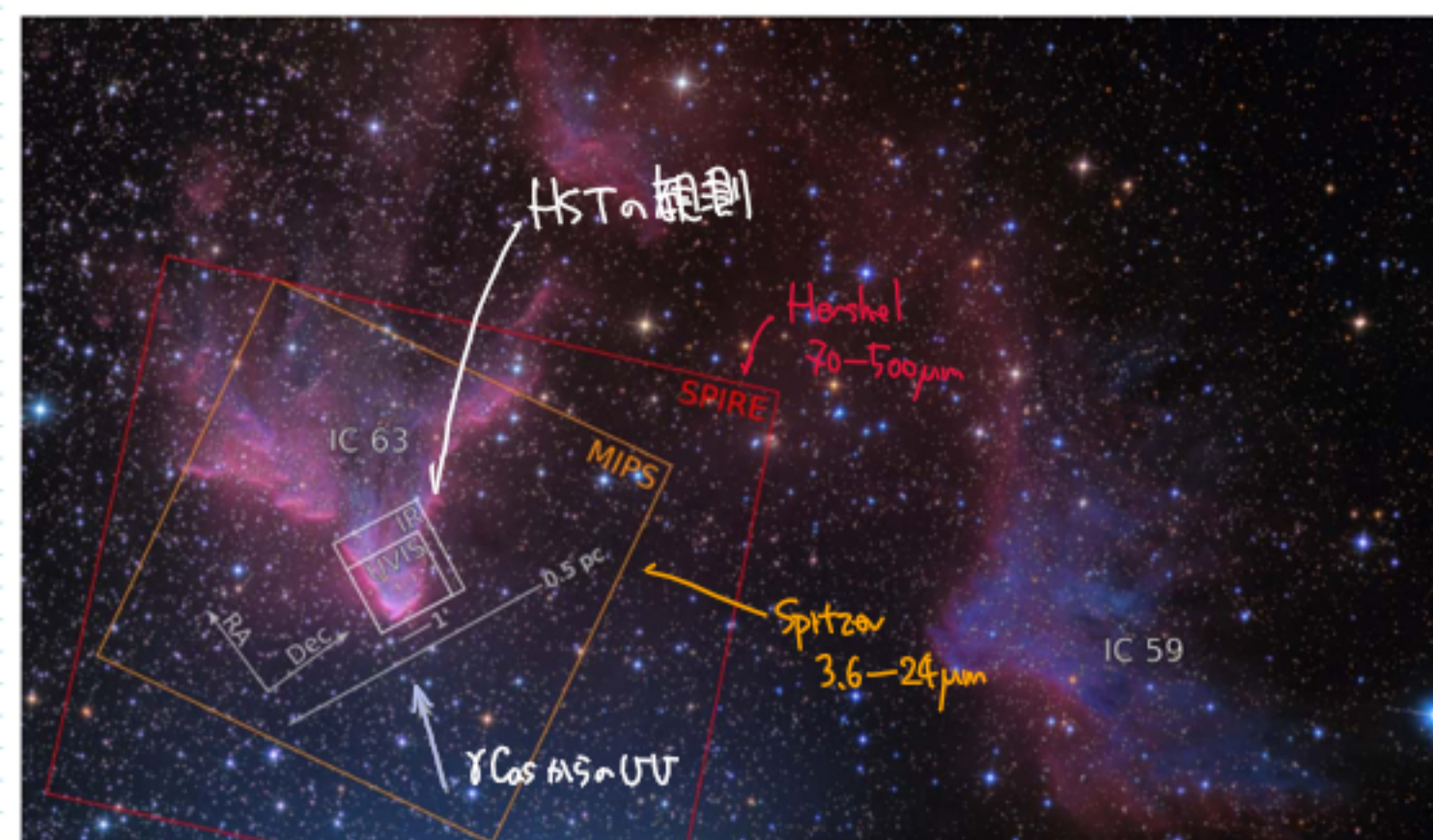
IC 63 の  $A_V$  と  $R_V$  のマップを作成することに成功. (25" x 25", ~0.023 pc)  
 星雲内で  $A_V$  は 0.5-1.4 mag. 程度,  $R_V$  は PDR front で 3.7, 内部で 2.5 程度.  
 PDR front でダストが大きくなっていることを示唆している (high gas density によるダスト成長?)

MIR-FIR でも空間分解してダストの特性を調べた.  
 $\tau_{160\mu m}$  と  $A_V$  の比 ( $\kappa_{160}/\kappa_V$ ) が IC 63 の South Edge で excess を示した.  
 物理的な原因は同定できていない (PDR front 近くでダストに変化が生じている?)

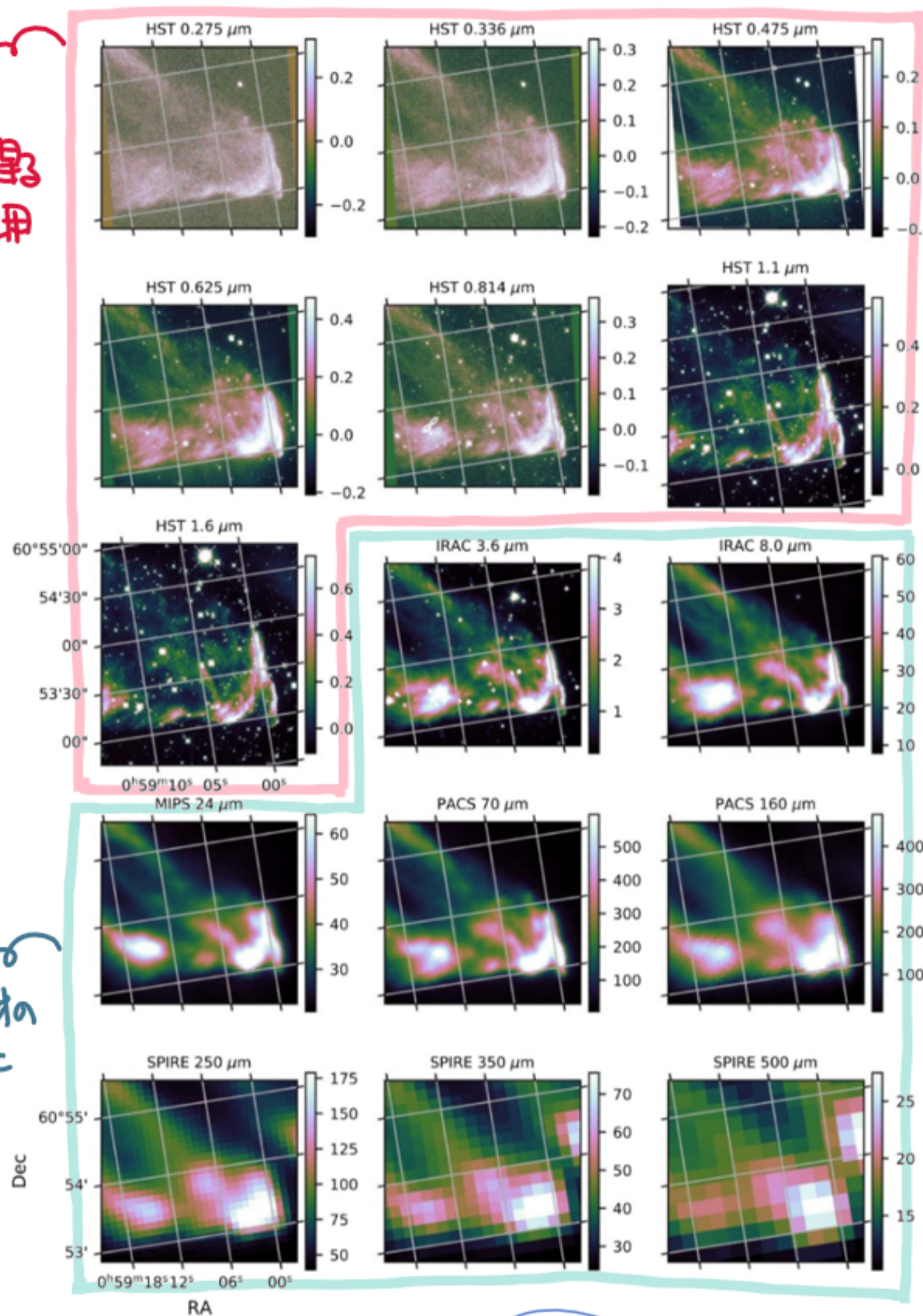
## Comments

似たようなサイエンスをもっと dense な cloud でできると  
 銀河スケールでの dust budget 問題は好影響がある  
 結論を議論と合わせて話そう?

It is the first time that this type of measurement has been made for a PDR. This approach was possible for IC 63 because of its low optical depth, making this PDR transparent for a sufficient number of detectable background sources. This same technique would therefore also be applicable to IC 59. Most other PDRs, such as the Horsehead nebula, the Orion bar, and NGC 7023, have much higher optical depths and would not allow a sufficient amount of background stars to be measured.



背景星の SED を得るために使用



PDR 放射のモデルに使用

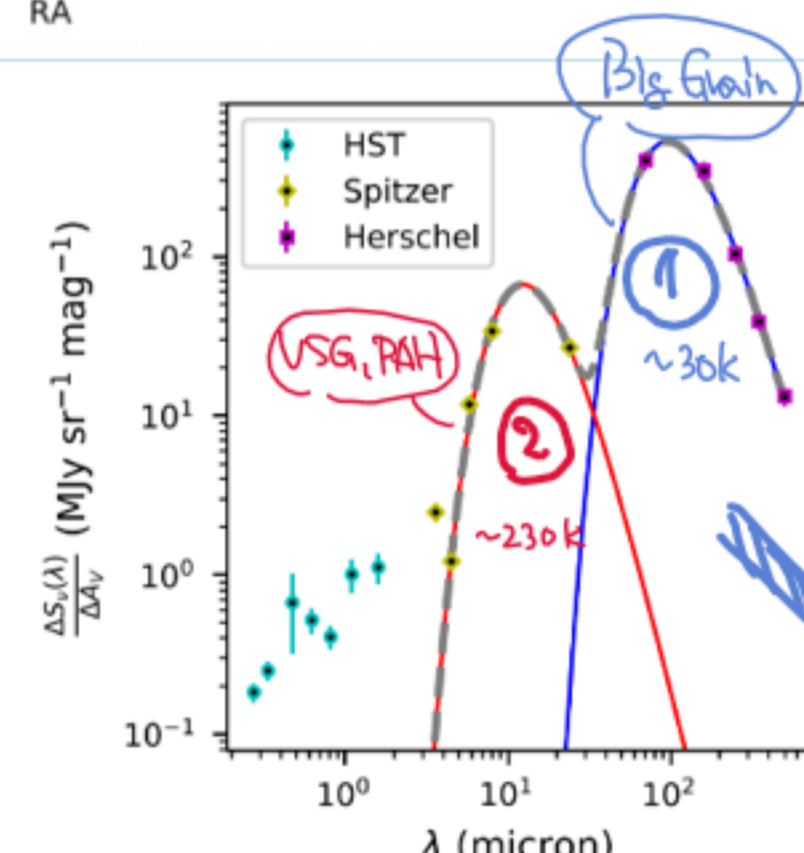


Figure 17. Surface brightness per  $A_V$  unit for each of the MIR and FIR observations provided by *Spitzer* and *Herschel*, and modified blackbody fits to these data. The points for the *HST* data are added for completeness, but are not used in the blackbody fits. The data points are calculated by fitting slopes to the scatter plots in Figures 14-16. Red: fit to the IRAC and MIPS 24 points, ignoring the IRAC 3.6 point. Blue: fit to the PACS and SPIRE points. Gray dashed: combined model, fitting both sets of points.

## 右上図. IC 63 の平均的な SED

IC 63 の MIR-FIR emission は VSG+BG gray body で説明可能.  
 gray body の  $\beta$  は固定した結果を議論する ( $T$  の degeneracy の存在)  
 星雲を横断する方向の温度変化は ~5 K 程度しか見えない (→ Orion bar).  
 減光の程度  $A_V$  と比較 (比較) して IC 63 の South Edge での excess?  
 $R_V$  の enhance が見られる場所と一致.  
 ある程度まで可視光線は  $\beta$  の空間分布... 今日までと解明は未達成

## 右図. BEAST の fit 結果

出力は 距離 (d), 金属量 (Z), 年齢 (t), 初期質量 ( $M_{\text{ini}}$ )  
 減光曲線のパラメータ ( $f_A, R_V, A_V$ )  
 ● fit がうまくできている星, ○ fit が BEAST 固有の問題で  
 fit ができなかった星に付いていると思われる星.

## 右下図. 25"-grid での減光マップ

上段は  $A_V$ , 下段は  $R_V$  のマップ (左), 誤差 (中) は各カラムの  
 標準偏差から計算している.  
 右の gray scale は PACS 350 μm の画像 (dust emission).  
 grid size は 25" x 距離 ~ 190 pc と仮定すると 0.023 pc に相当  
 pixel 単位の誤差は  $A_V$  に対して 350 μm の標準偏差と一致.  
 ⇒ BEAST による分布を正しく得ていることが示唆  
 IC 63 の外側で  $A_V \sim 2.5$  mag. (foreground 成分), IC 63 の  
 寄与は  $\Delta A_V \sim 0.5-1.4$  mag. 程度.

$R_V$  も誤差は大きい, PDR front (~3.7) と内部 (~2.5)  
 には  $R_V$  が大幅的に低下していることが見られる.  
 foreground の寄与を除くと 3.7 → 2.5 への変化になる.

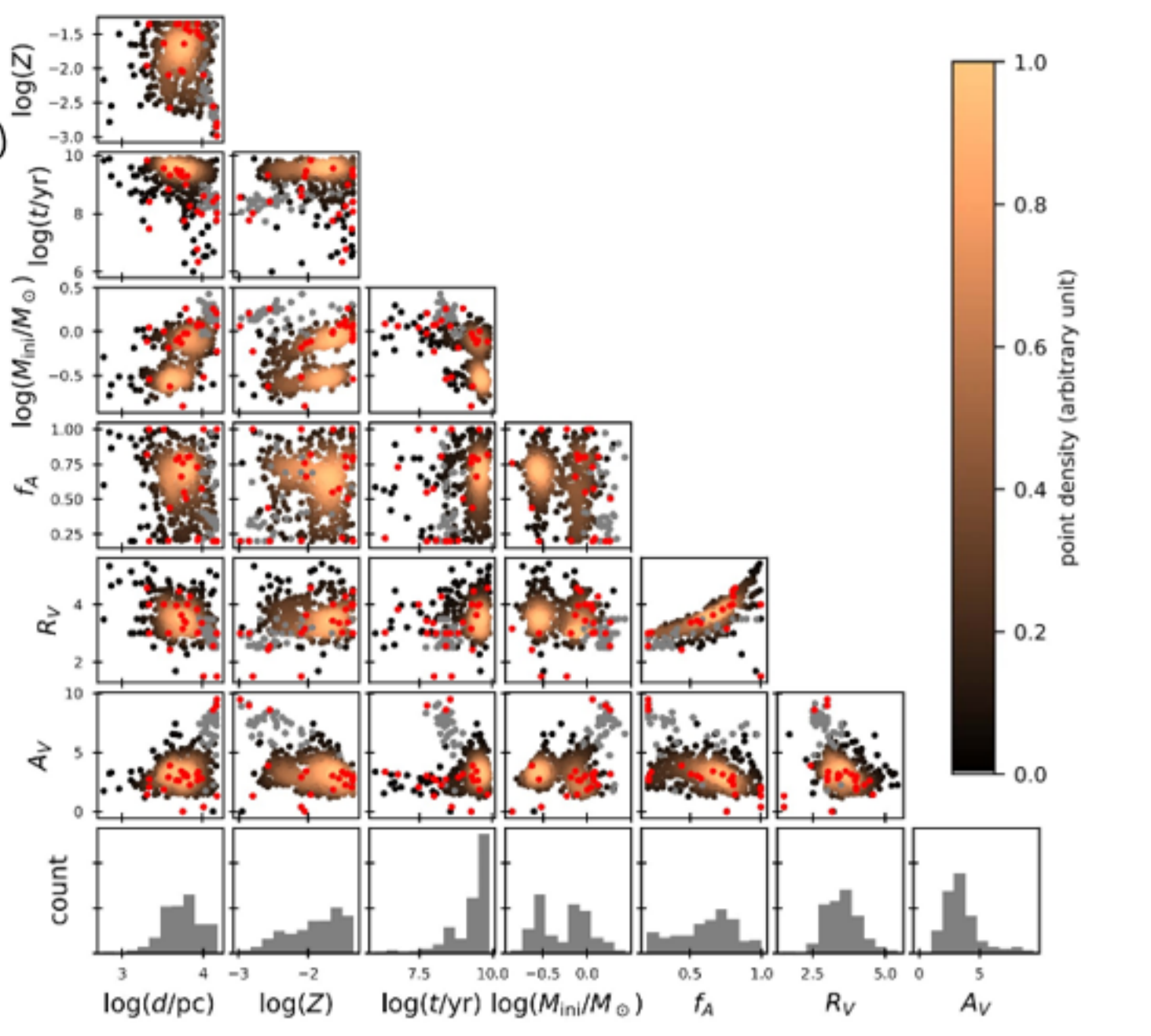
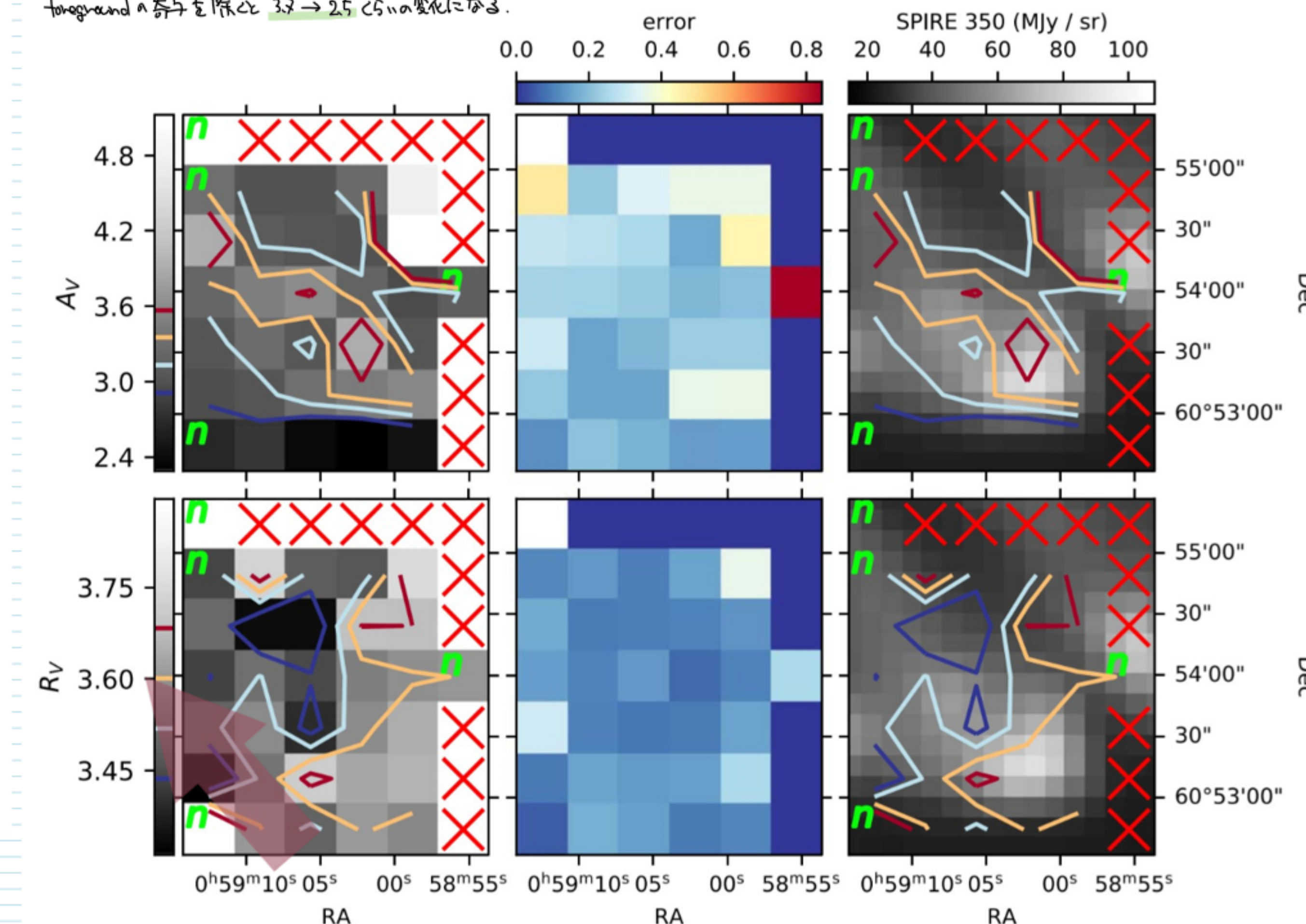
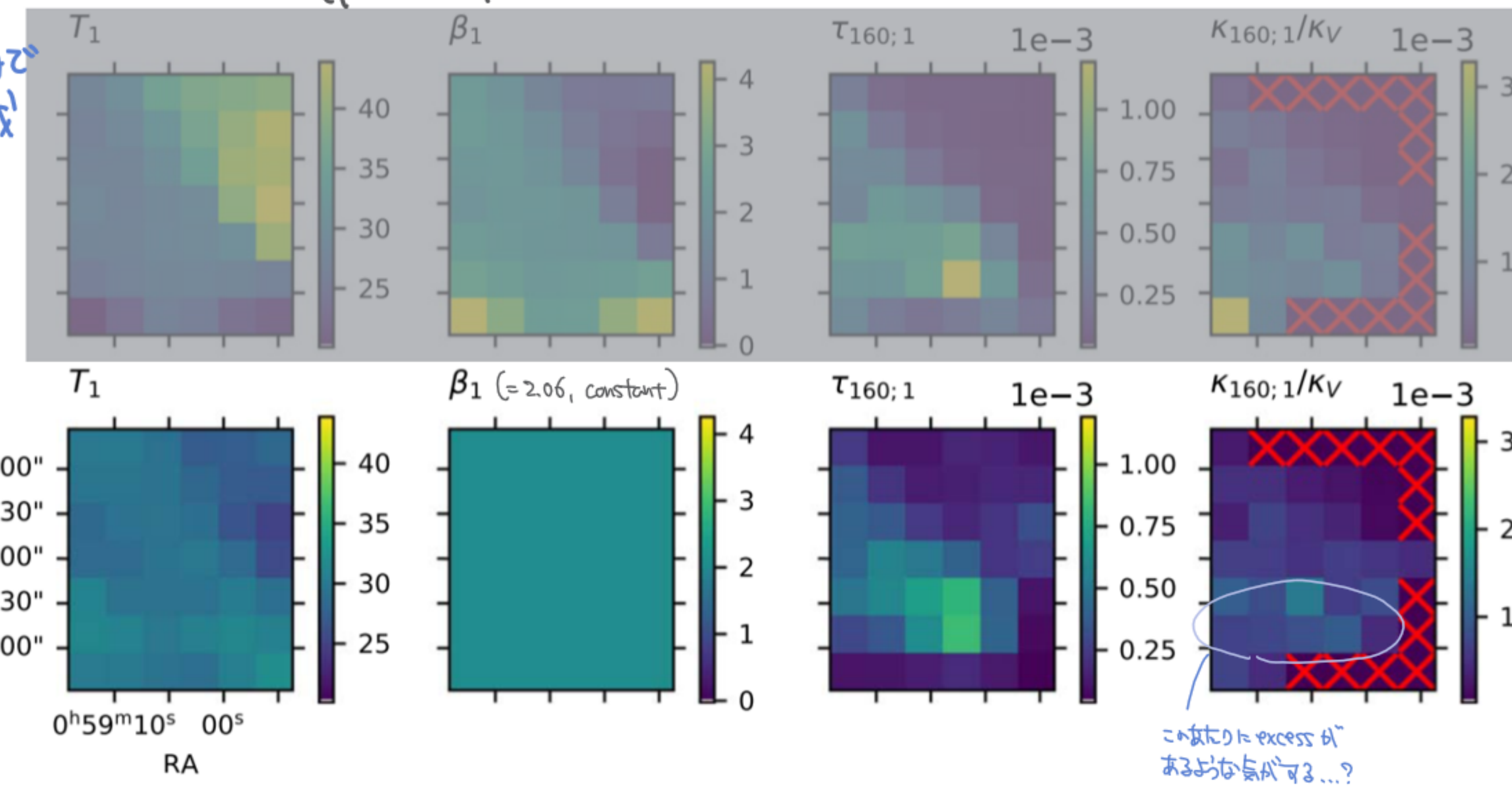


Figure 7. Distribution and correlation of the expectation values for the fit parameters, of all 520 sources. The density of the points is represented by the color scale. Red: stars with  $\chi^2 > 100$ . Gray: stars with  $\log T > 3.78$ . After applying these cuts, 462 stars remain.



今回, 上の段 ( $\beta_1$ : free parameter) は議論しない



このあたりの excess が  
 あるように見える...