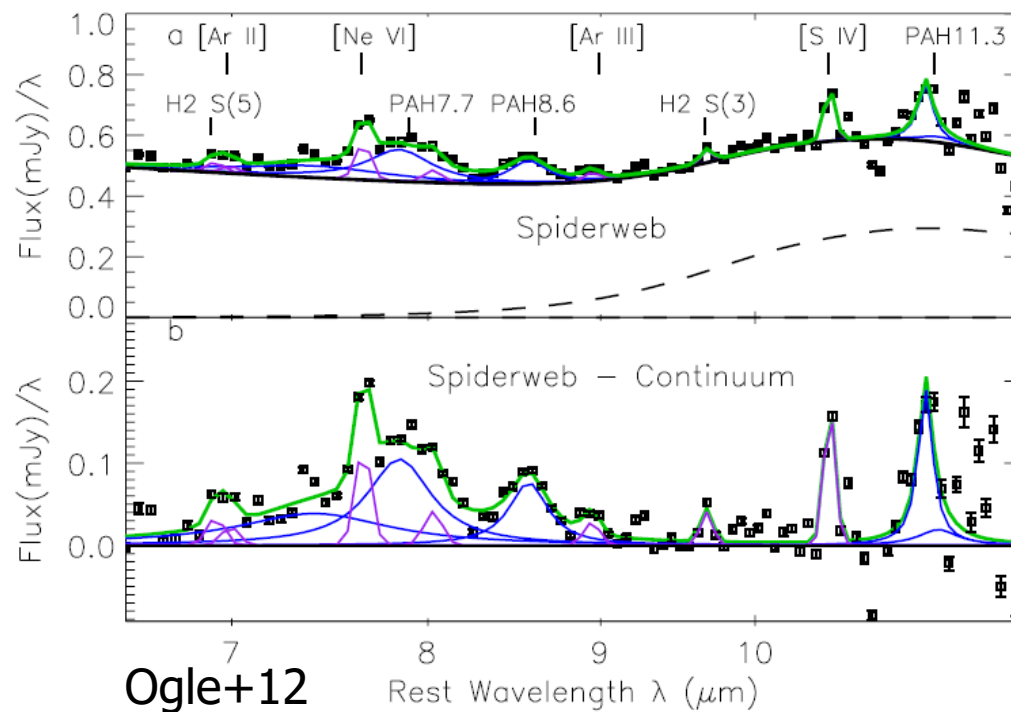
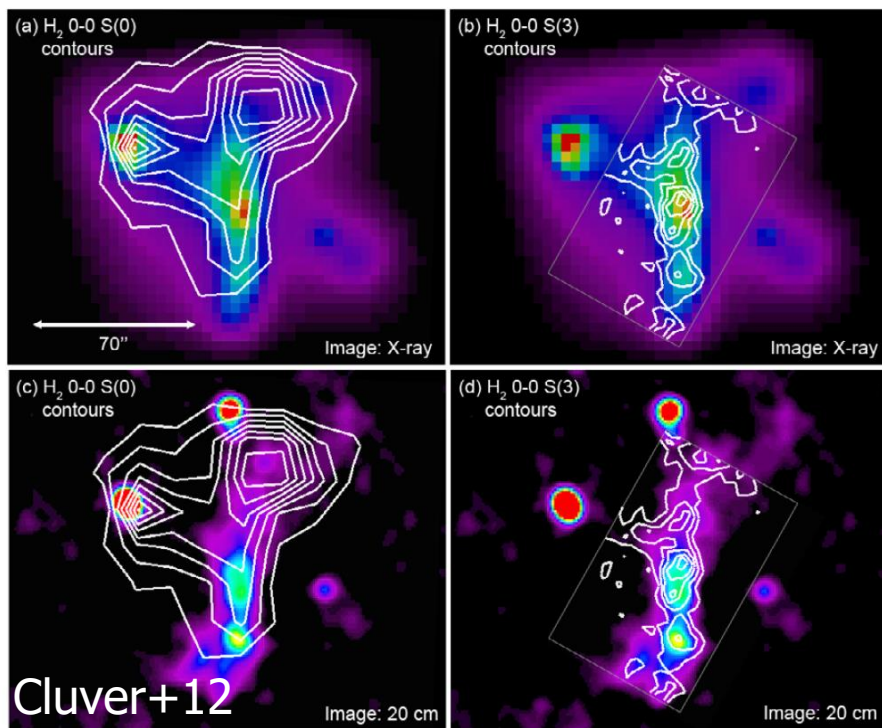


「近傍銀河・銀河系」班：銀河円盤外の ガスやダストについての検討

金子 紘之(国立天文台), 本原顕太郎 (東京大学/国立天文台)他、
SPICAサイエンス検討会近傍銀河班

銀河間空間の温かいガス

- 銀河衝突・銀河群・銀河団における温かいガス：
 - 銀河間空間にショックで暖められたH₂の存在
(Appleton+2006, 2017, 2018, Cluver+10, Lisenfeld+2014, Alatalo+2015)
 - z=2.15のプロトクラスター内にある熱いH₂ガス
→AGNジェットによる加熱?(Ogle+12)



水素分子輝線

• H₂の回転遷移: “温かい” (数100K程度)ガスのプローブ

- H₂(0-0) S(0) : 28.2μm
- H₂(0-0) S(1) : 17.0μm
- H₂(0-0) S(2) : 12.3μm
- H₂(0-0) S(3) : 9.7μm
- H₂(0-0) S(4) : 8.0μm
- H₂(0-0) S(5) : 6.9μm
- H₂(0-0) S(6) : 6.1μm

⇔ NIRのH₂(1-0), H₂(2-1): >1000Kの熱いガスのトレーサー

Stephan's QuintetのH₂輝線観測例

- 現在、唯一のマッピング観測
- 2温度モデルによって輝線比をかなり良く説明できる
- $M_{H_2} = 1.1 \times 10^9 M_{\odot}$
- コンパクトグループではAGNジェット、銀河衝突の両方でガスを温めている？

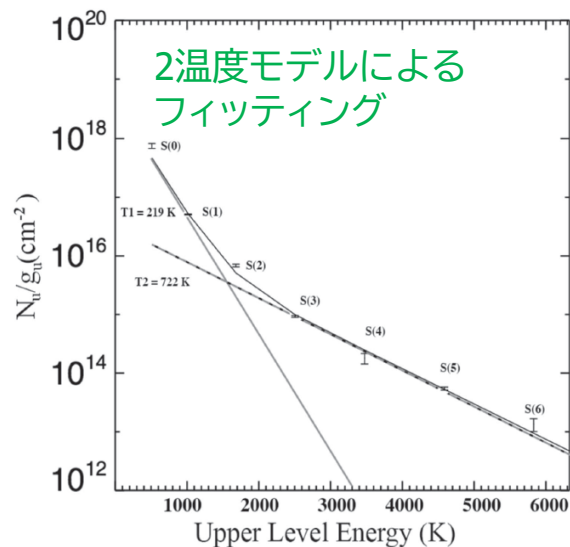


Figure 4. A fit of the excitation diagram of warm molecular hydrogen with two temperatures for position 105 in the center of the the Quintet filament. The gray

Stephan's QuintetのH₂の温度分布 (Appelton+17)

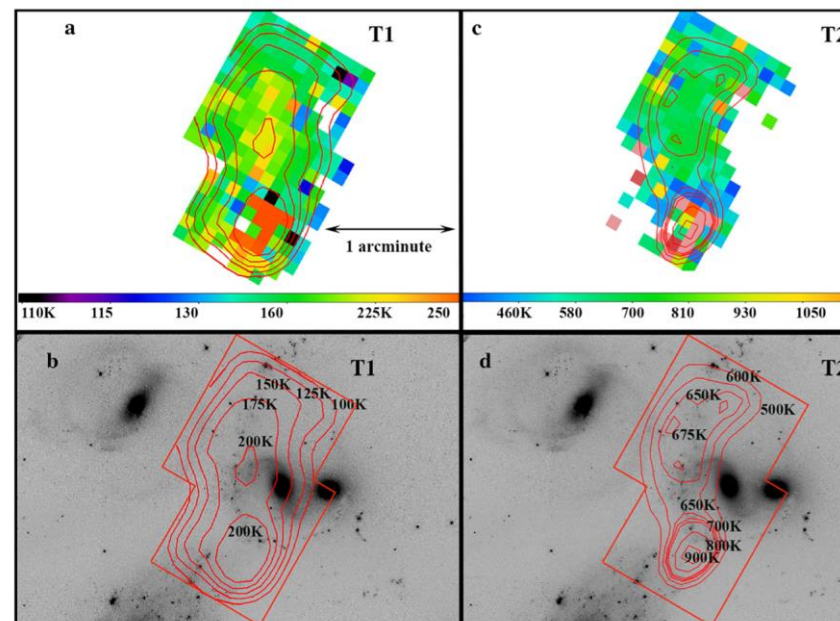


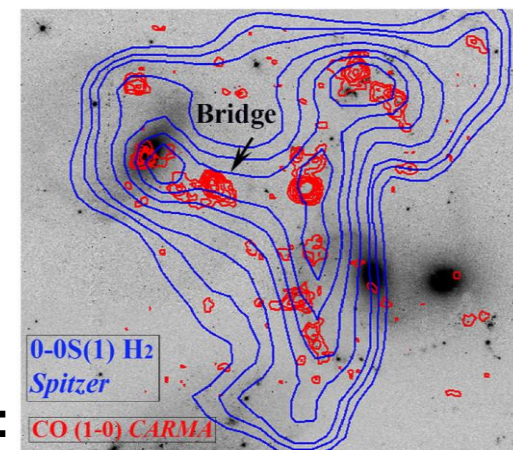
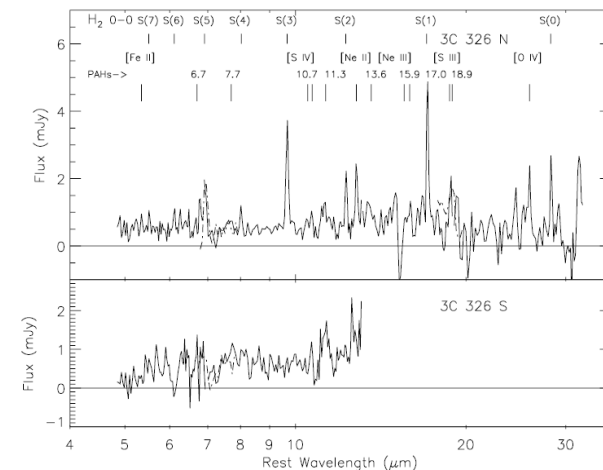
Figure 7. Map of the temperature distribution of the warm H₂ gas derived from a two-temperature fit to the H₂ excitation diagrams at each sampled position. (a) Image of the lowest temperature (T_1) map, with contours in K; (b) the same map superimposed on the F665N *HST* image of the Quintet; (c) image of the higher temperature component (T_2) with contours; (d) the T_2 contours superimposed on the F665N *HST* image. The contour representation includes some spatial averaging to show general trends.

現状の問題点1：観測の絶対数

- 観測例が極めて少ない
 - Stephan's Quintet
 - 近傍の3CR電波銀河 (Ogle+07), ×空間分解
 - Z=0.3 銀河団 (Egami+06), ×空間分解
 - Z=2.15 プロトクラスター (Ogle+12), ×空間分解
- 低温の分子ガス(low-J CO)や星形成領域と共存できているが原因不明 (e.g., Appleton+17, 18)

⇒空間分解した観測をもっと増やしていかないと、本質的な理解には至らない

3C236 : Ogle+07



Stephan's Quintet :
Appleton+17

Figure 14. Red contours showing the CARMA CO (1-0) integrated emission

現状の問題点2: モデルの縮退

2温度モデル

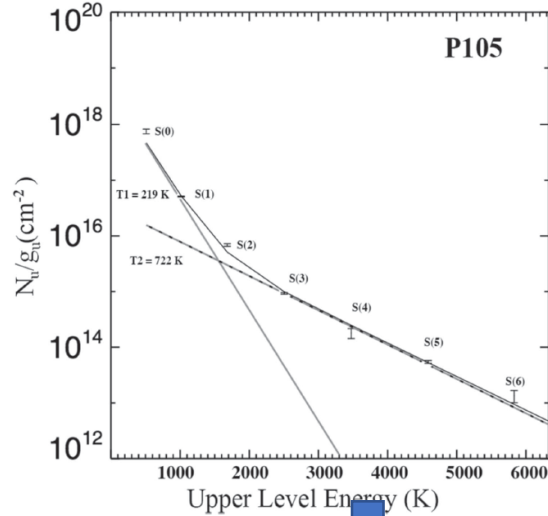
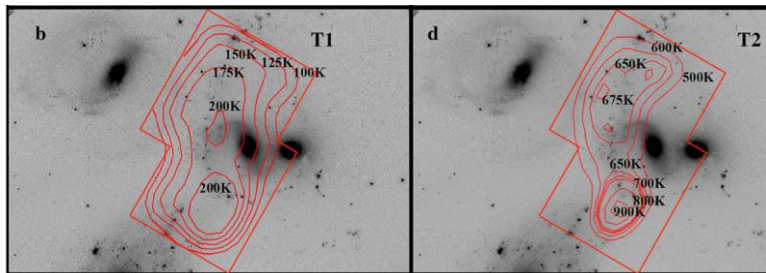


Figure 4. A fit of the excitation diagram of warm molecular hydrogen with two temperatures for position 105 in the center of the Quintet filament. The gray



Appleton+2017

MHD衝撃波モデル

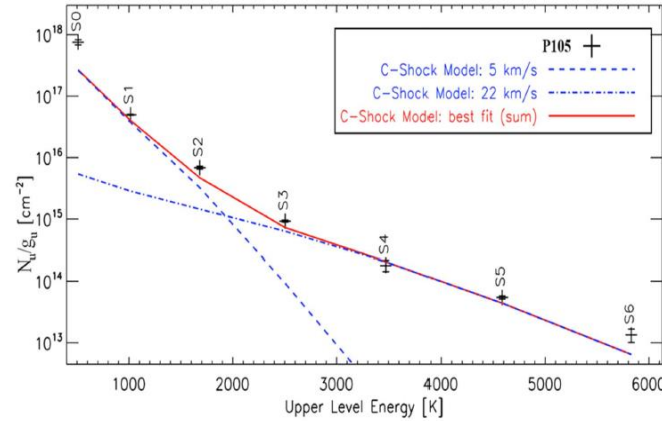


Figure 6. H₂ excitation diagram fitted with a combination of two models at 5 and 22 km s⁻¹. The pre-shock densities are 1 × 10⁴ and 1 × 10³ H cm⁻³ respectively.

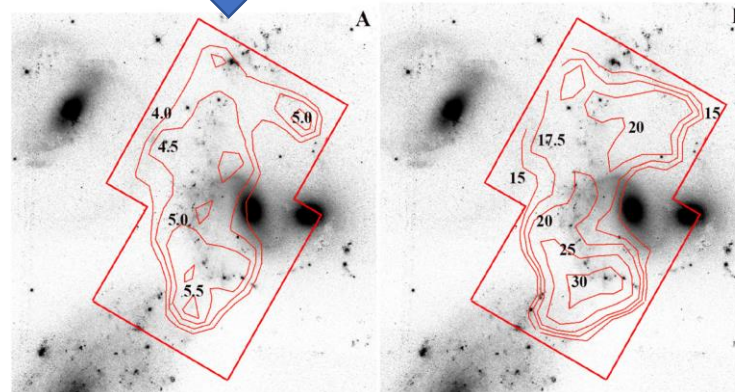


Figure 9. The velocity field (in km s⁻¹) of the low (A) and high (B) shock components required to fit the H₂ excitation diagrams superimposed on the optical HST image of the Quintet. The general trend of increasing shock velocity from the north to the south is evident, as well as a bulge in both components to the east toward NGC 7319 (see text). We also note that higher velocity shocks are seen in the northwest between the arms of the tidal filaments from NGC 7318a and 7318b.

べき乗温度分布モデル

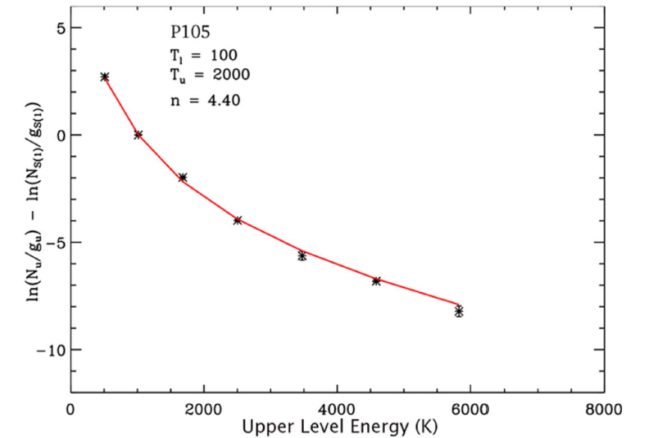


Figure 5. Power-law model fit (red solid line) to the observed H₂ line ratios

異なるモデルでも輝線比はある程度説明できてしまう

単純には解決できないが空間情報が増えることで現実的な解かどうかある程度制限

SPICA/SMI vs JWST/MIRI

- SPICA/SMI(MR)
 - 18-38 μm , $R \sim 2000$
 - 60" x 3.7" スリット
 - JWST/MIRIの約5倍のサイズ
 - …並べることで効率よくイメージング可能
 - 輝線感度：広がった天体 $1.0 \times 10^{-10} \text{W/m}^2/\text{sr}$ (1hr 5 σ)
点源 $3.0 \times 10^{-20} \text{W/m}^2$ (1hr 5 σ)
- JWST/MIRI
 - 4.9-28.8 μm , $R \sim 3000$
 - IFU($\sim 7" \times 7"$ FoV@28 μm)
 - 輝線感度：広がった天体 (現状公開情報なし)
点源 $\sim 15 \times 10^{-20} \text{W/m}^2$ (1hr 5 σ @28 μm)

SPICA/SMI

…より長い波長での高感度 & より広い空間をカバー

サイエンスケース

- 高密度な領域(銀河団や銀河群)の温かいガスの銀河間空間における進化を追う
 - 温かいバリオンのプローブ
 - AGNからのフィードバック
 - ある程度速度構造もわかる
- SPICA SMIではH₂(0-0)輝線を
 - 3本@z>0.4 (FoV: ~300 kpc x 20 kpc”@0.4, res.: ~8 kpc)
 - 4本@z>0.8 (FoV: ~450 kpc x 30 kpc”@0.8, res.: ~11 kpc)を同時観測可能
 - H₂(0-0) S(0) : 28.2μm
 - H₂(0-0) S(1) : 17.0μm (z>0 [LR]/0.059 [HR])
 - H₂(0-0) S(2) : 12.3μm (z>0.382/0.463)
 - H₂(0-0) S(3) : 9.7μm (z>0.752/0.856)
- より近傍ではz>0.1の銀河団、銀河団のスリット分光観測も行う
(JWSTではH₂(0-0) S(0) (28μm)は不可)

ざっくりとした感度見積もり

- 天体が広がっている場合、
感度はcosmological dimmingでのみ制限： $(1+z)^{-4}$
 - 例えば $z=0.5$ では、面輝度は $1/5$
- 先行研究のStephan's Quintet (Appleton+17)の典型的なフラックス (per $3.7'' \times 3.7''$)
 - $\text{H}_2(0-0) S(0) : 1.5 \times 10^{-19} \text{ (W/m}^2) \rightarrow \sim 4.7 \times 10^{-10} \text{ (W/m}^2/\text{sr)}$
 - $\text{H}_2(0-0) S(1) : 1 \times 10^{-18} \text{ (W/m}^2) \rightarrow \sim 3.1 \times 10^{-9} \text{ (W/m}^2/\text{sr)}$
 - $\text{H}_2(0-0) S(2) : 5 \times 10^{-19} \text{ (W/m}^2) \rightarrow \sim 1.6 \times 10^{-9} \text{ (W/m}^2/\text{sr)}$
 - $\text{H}_2(0-0) S(3) : 7 \times 10^{-19} \text{ (W/m}^2) \rightarrow \sim 2.2 \times 10^{-9} \text{ (W/m}^2/\text{sr)}$

→ $z=0.5$ でもSMIの感度($1.0 \times 10^{-10} \text{ W/m}^2/\text{sr}$)で十分観測可能