

Clustering the Orion B giant molecular cloud based on its molecular emission

Emeric Bron^{1,2}, Chloé Daudon³, Jérôme Pety^{4,3}, François Levrier³, Maryvonne Gerin³, Pierre Gratier⁵, Jan H. Orkisz^{6,4,3}, Viviana Guzman⁷, Sébastien Bardeau⁴, Javier R. Goicoechea¹, Harvey Liszt⁸, Karin Öberg⁹, Nicolas Peretto¹⁰, Albrecht Sievers⁴, and Pascal Tremblin

2018/6/13

原田遼平

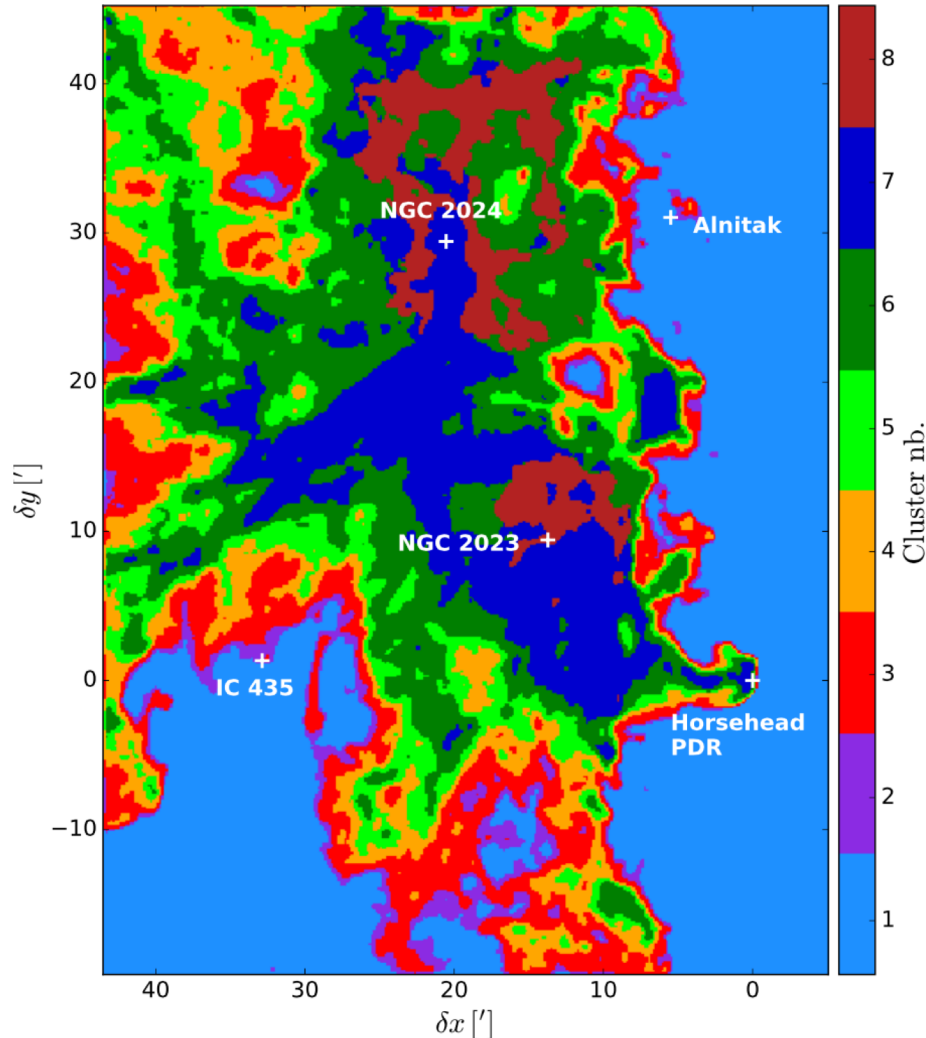
Abstract

- 複数のトレーサーを用いて分子雲を物理的/化学的に類似した領域に分割することを目的とする。
- 機械学習クラスタリング法(“Meanshift”アルゴリズム)を使用。
- クラスタリング解析によって明らかにされた物理的性質を解釈するために単純な放射輸送モデルを用いた
- $J=1-0$ の3つのCO同位体のみに基づくクラスタリング分析は、明確な密度/柱密度領域($n_H \sim 100 \text{ cm}^{-3}$ 、 $\sim 500 \text{ cm}^{-3}$ 、および $> 1000 \text{ cm}^{-3}$)を明らかにするのに十分
- UV照射領域は、 HCO^+ 、 CN で明るい。
- 最も高密度($n_H \sim 7 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ 、 $\sim 4 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$)の細かい区別も CN および $\text{HCO}^+(1-0)$ の高い臨界密度に関係する

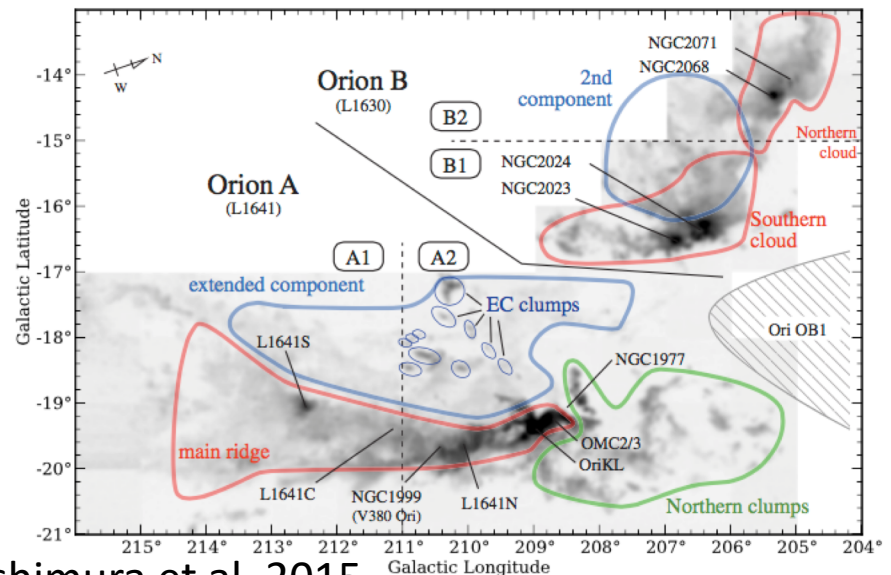
Method

- データセットは $D + 2$ 次元
- データ点を空間的な近接度ではなく、分子輝線放射のみに基づいてクラスタリングすることを目指している。
- 第1のfamilyは、データPDFが、ある与えられた関数形式の構成要素に自然に分解できると仮定
- 自由パラメータの数が次元に応じて急速に増加する問題がある
- ガウス成分をすべて同じスカラー共分散行列にすると、最もよく使用されるクラスタリングアルゴリズムの1つであるK-means algorithm になる
- <http://tech.nitoyon.com/ja/blog/2009/04/09/kmeans-visualise/>
- 第2のfamilyは、データPDFのローカル最大値の周りにクラスタを定義することによって、data-driven approachを採用
- 各クラスターは、ライン空間内で高密度の領域であり、低密度の領域によって他のクラスタから分離される
- 有名な2つのアルゴリズムを使用
- DBSCAN algorithm (Ester et al. 1996) ... a graph-based approachを使用
- **Meanshift algorithm** (Comaniciu & Meer 2002) ... kernel-based approachを使用しPDFの最大値を検索
- $D = 5$ 、 $k = 500 \sim 2000$ の 10^5 データ点のクラスタリングは、標準CPUで10～20時間の計算時間
- k と比較して非常に小さいピクセル数を含むクラスターは、最も近いクラスターとマージされる

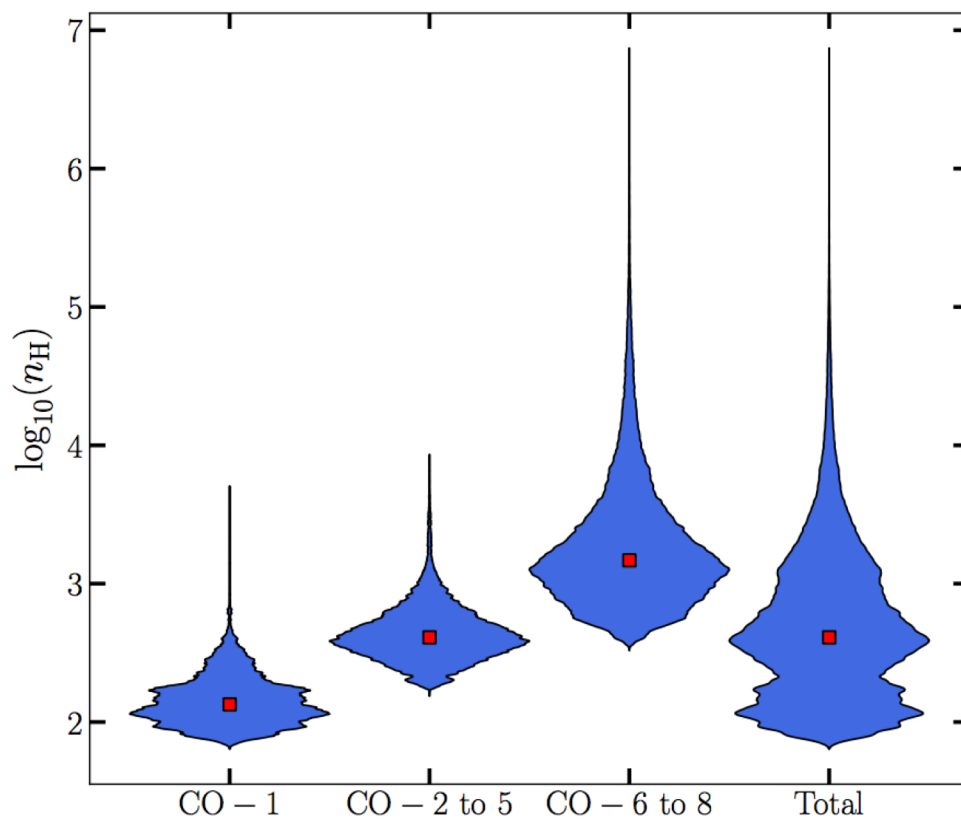
4. The CO isotopologue emission enables us to separate the diffuse, translucent, and denser gas regimes



- ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O の臨界密度は同様で ($\sim 2 \times 10^3$) で光学的厚みが強度比を支配する主要な原因
- クラスターCO-1からCO-7は、クラウドの表面から内側に層をなしている
- 西側(FUVに照射された側)の方が層が薄い
- FUVはCO強度勾配に影響を強く与える



バイオリンプロット



- 3つのピークが存在
- Cluster CO-1 :diffuse gas ($n_H \sim 100 \text{ cm}^3$)
- CO-2 to CO-5 :translucent gas ($n_H \sim 500 \text{ cm}^3$)
- CO-6 to CO-8 :denser gas ($n_H > 1000 \text{ cm}^3$)

Fig. 6

Clusters # 1–8:

$$N_{\min}({}^{12}\text{CO})/N({}^{13}\text{CO}) = 22,$$

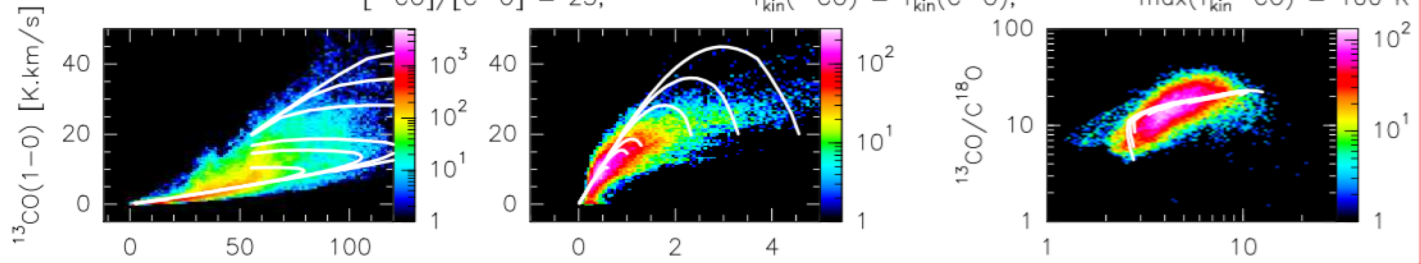
$$[{}^{13}\text{CO}]/[{}^{12}\text{CO}] = 23,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO})/T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = 2.2,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO}),$$

$$\min(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 10 \text{ K}$$

$$\max(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 100 \text{ K}$$



Clusters # 1–6:

$$N_{\min}({}^{12}\text{CO})/N({}^{13}\text{CO}) = 22,$$

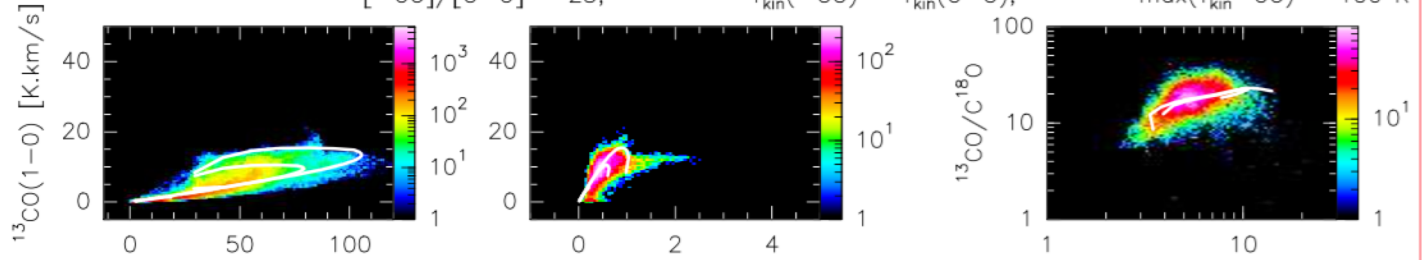
$$[{}^{13}\text{CO}]/[{}^{12}\text{CO}] = 23,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO})/T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = 2.2,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO}),$$

$$\min(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 6 \text{ K}$$

$$\max(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 100 \text{ K}$$



Clusters # 7–7:

$$N_{\min}({}^{12}\text{CO})/N({}^{13}\text{CO}) = 8,$$

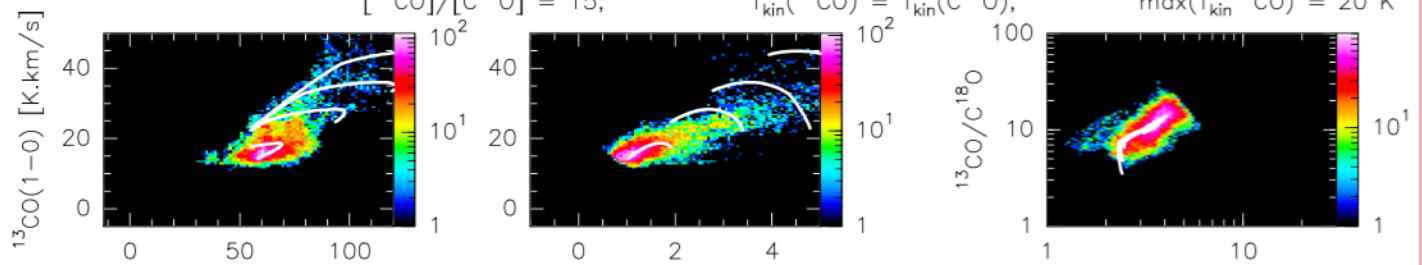
$$[{}^{13}\text{CO}]/[{}^{12}\text{CO}] = 15,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO})/T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = 2,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO}),$$

$$\min(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 11 \text{ K}$$

$$\max(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 20 \text{ K}$$



Clusters # 8–8:

$$N_{\min}({}^{12}\text{CO})/N({}^{13}\text{CO}) = 25,$$

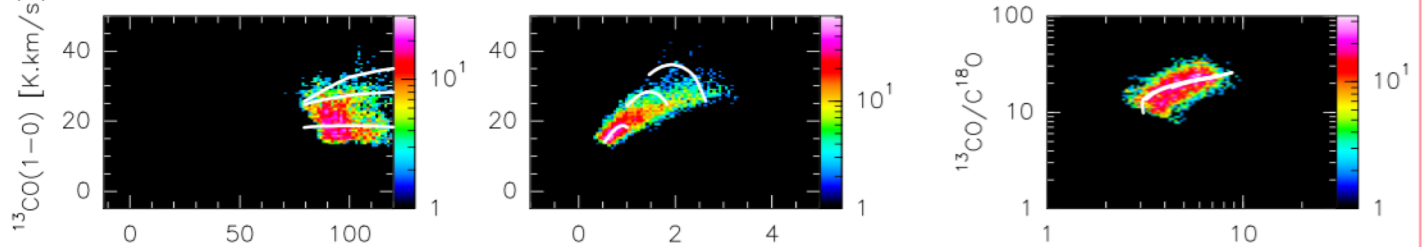
$$[{}^{13}\text{CO}]/[{}^{12}\text{CO}] = 28,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO})/T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = 2.5,$$

$$T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO}) = T_{\text{kin}}({}^{12}\text{CO}),$$

$$\min(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 12 \text{ K}$$

$$\max(T_{\text{kin}}({}^{13}\text{CO})) = 20 \text{ K}$$



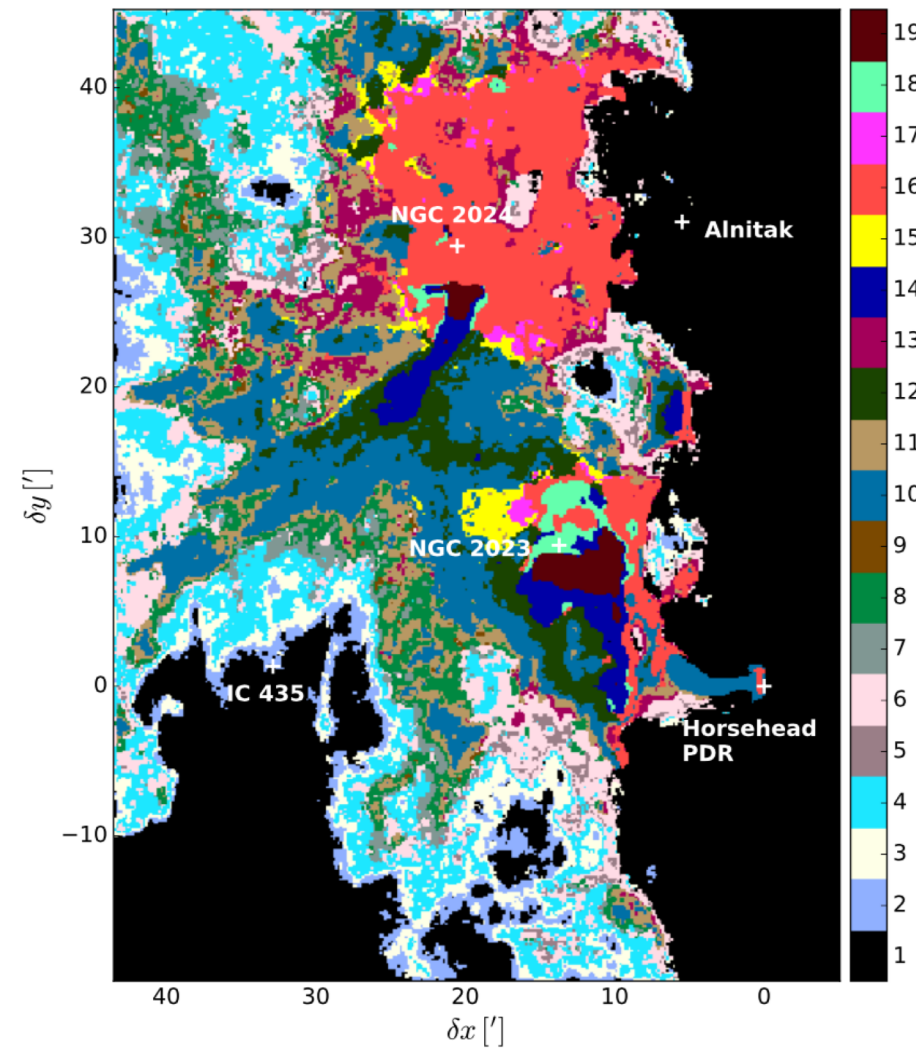
${}^{12}\text{CO}(1-0) \text{ [K.km/s]}$

${}^{13}\text{CO}(1-0) \text{ [K.km/s]}$

${}^{12}\text{CO}/{}^{13}\text{CO}$

- CO-8では12CO強度がCO-6やCO-7より高く、より暖かく濃い領域をトレース
- CO-8は13 CO/C18O 比がCO-7より高い
- 大質量星形成領域周りの暖かく照らされた高密度領域(クラスターCO-8)およびシールドされた高密度ガス(クラスターCO-7)に分かれる。

5. Adding HCO⁺ and CN to get a better clustering of high-density and high-FUV-illumination regimes



- Gratier et al. (2017)は、HCO⁺とCNがFUV照射に敏感であることを示している。
- これらの2本の輝線は、臨界密度が著しく高い(HCO⁺の場合は $2 \times 10^5 \text{cm}^3$ 、CNの場合は $2 \times 10^6 \text{cm}^3$)。
- より高い密度 ($n_H = 10^4$ および $5 \times 10^4 \text{cm}^3$) でより精密な区別が得られた。
- Pety et al. 2017は、観察された視野上のHCO⁺フラックスの約半分がdiffuseおよびtranslucentから来ていることを示しており、分解できていないGMC観測における高密度ガスのトレーサとしてHCO⁺強度を使用することは疑わしい。

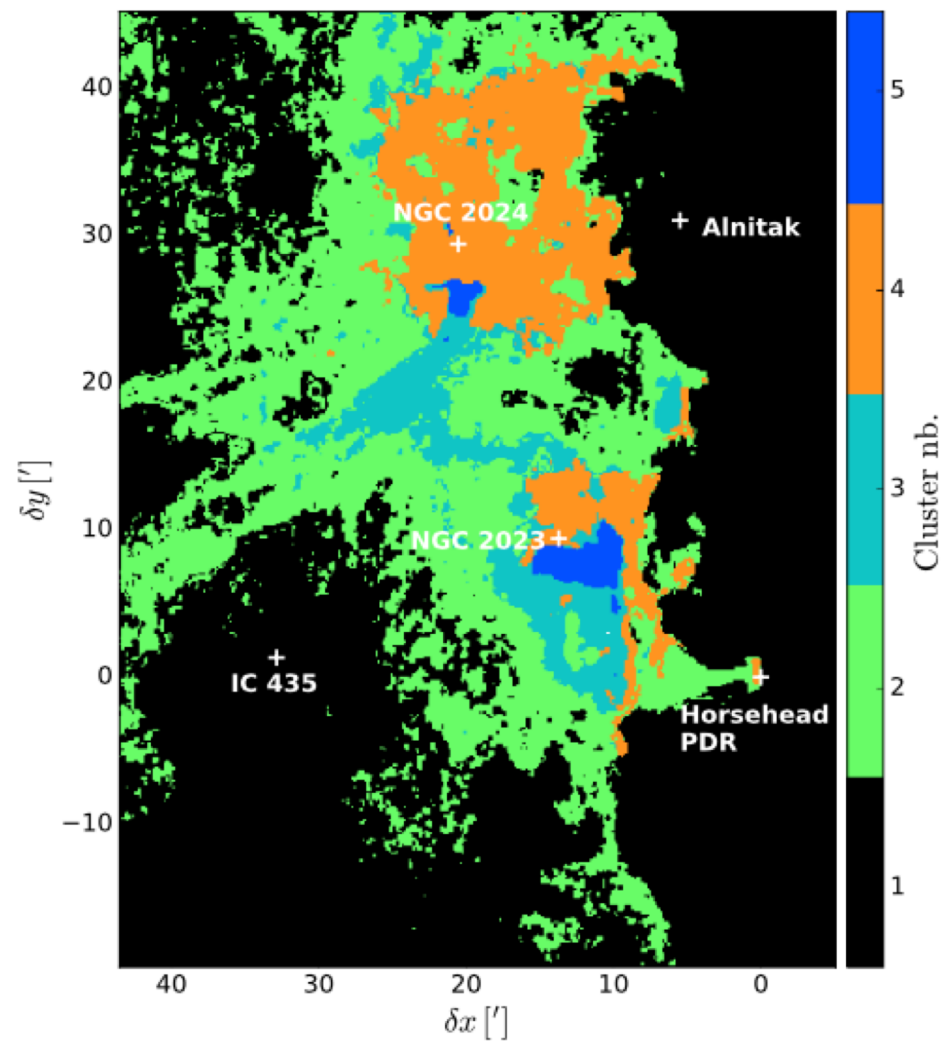


Fig. 15

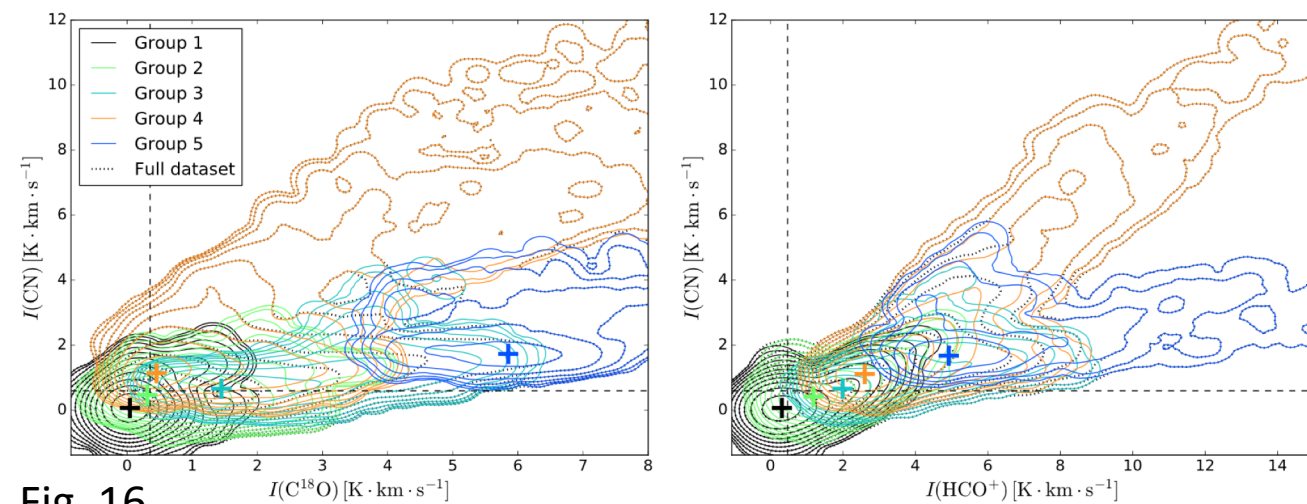


Fig. 16

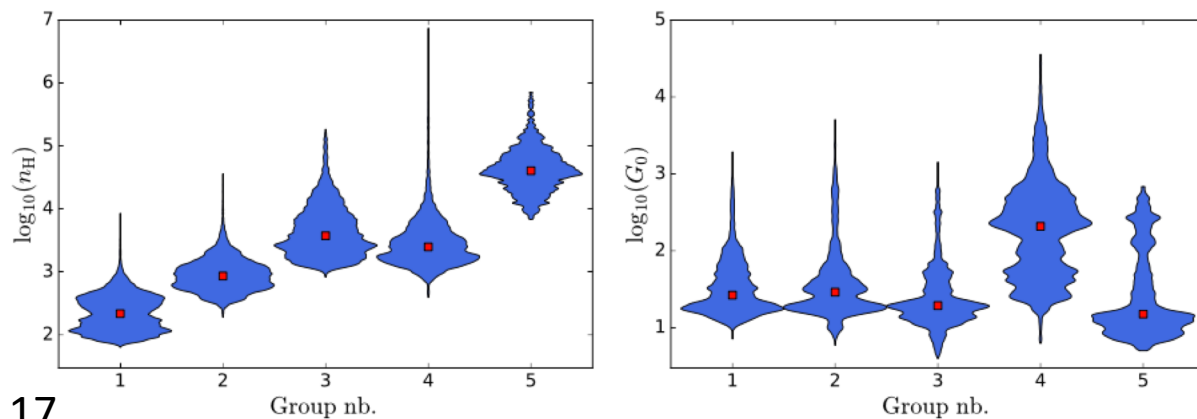


Fig. 17

- データの一部はC18O(1-0)に関して明るいCNおよびHCO+(1-0)を示す。
- このデータはまた、高いCN / HCO+強度比を示す。星形成領域NGC 2023とNGC 2024の周りの高密度のPDR領域を形成
- 一方、他の高柱密度は、CN / C18 O、HCO+ / C18 O、およびCN / HCO+の強度比が低い。これらの視線は、Orion Bの内部のFUVシールド高密度領域に対応する。

Summary

- 複数のトレーサーを用いて分子雲を物理的/化学的に類似した領域に分割することを目的とする。
- 機械学習クラスタリング法(“Meanshift”アルゴリズム)を使用。
- クラスタリング解析によって明らかにされた物理的性質を解釈するために単純な放射輸送モデルを用いた
- $J=1-0$ の3つのCO同位体のみに基づくクラスタリング分析は、明確な密度/柱密度領域($n_H \sim 100 \text{ cm}^{-3}$ 、 $\sim 500 \text{ cm}^{-3}$ 、および $> 1000 \text{ cm}^{-3}$)を明らかにするのに十分
- UV照射領域は、 HCO^+ 、 CN で明るい。
- 最も高密度($n_H \sim 7 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ 、 $\sim 4 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$)の細かい区別も CN および $\text{HCO}^+(1-0)$ の高い臨界密度に関係する
- ORION-Bプロジェクトの次のステップの1つは、ここで見つかった各クラスター内にスペクトルを積み重ね、3ミリバンドで利用可能な全情報を使用して各領域の分子の存在量をよりよく特徴づけること