

M17領域の赤外線暗黒星雲に おける雲衝突の役割

木下真一(東京大学)、中村文隆(国立天文台)、Nguyen-Luong(IBM Canada)、
竹村英晃(国立天文台)、ほか 星形成レガシーチーム

(i) 星形成と分子雲衝突の概要

- ▶ 星形成について
- ▶ 大質量形成と分子雲衝突

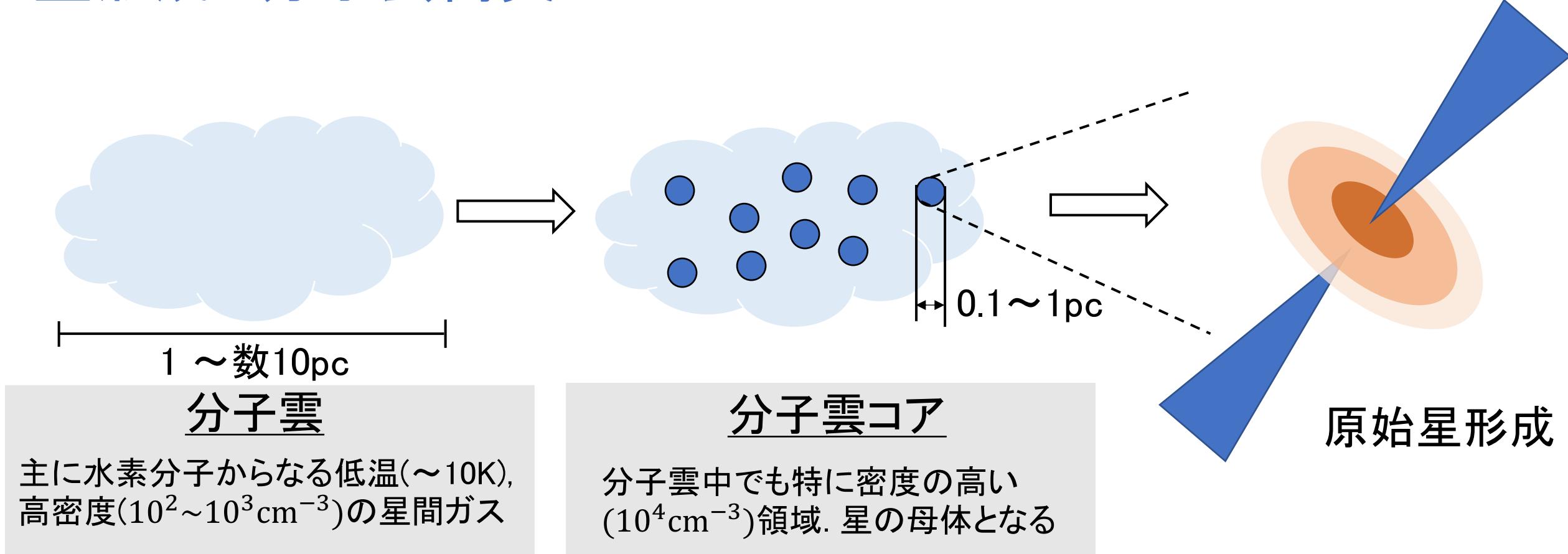
(ii) 観測領域とデータ

- ▶ 大質量星形成領域M17について/使用したデータ
- ▶ M17の柱密度の分布

(iii) IRDC領域での分子雲衝突の可能性

- ▶ Dendrogram, SCIMESによる同定
- ▶ 各分子ガスの距離の推定
- ▶ 分子雲衝突を示唆する証拠
 - ・P-V図上のブリッジ構造
 - ・輝線強度比

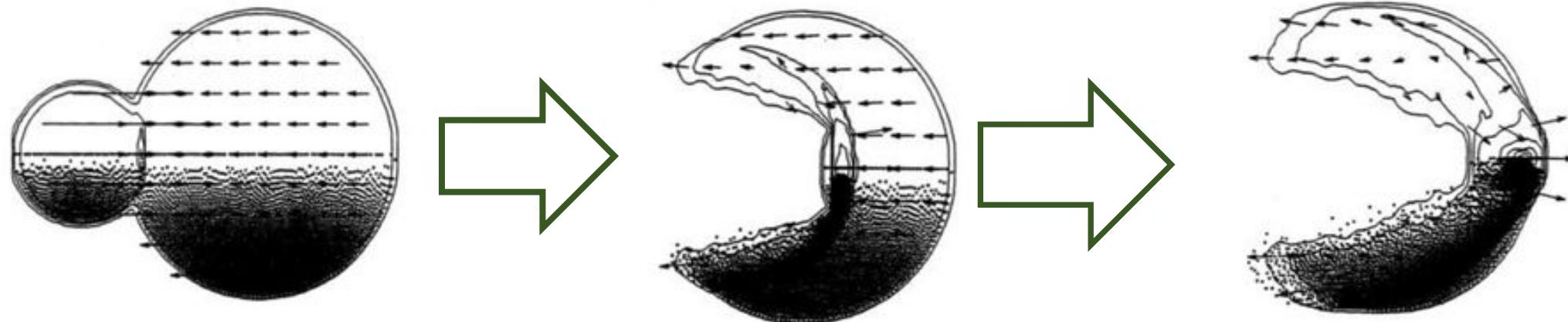
星形成と分子雲衝突



小質量星形成過程 → 大まかなシナリオが確立されている

大質量星形成過程 → 短時間で狭い領域にガスを集中させなければならず、
そのメカニズムは未解明な部分が多い

- 大質量星近傍に分子雲衝突の痕跡が存在することが多数報告されている
(e.g Furukawa et al 2009)
- 磁気流体シミュレーションによって分子雲衝突による大質量星形成の再現(Inoue & Fukui 2013)

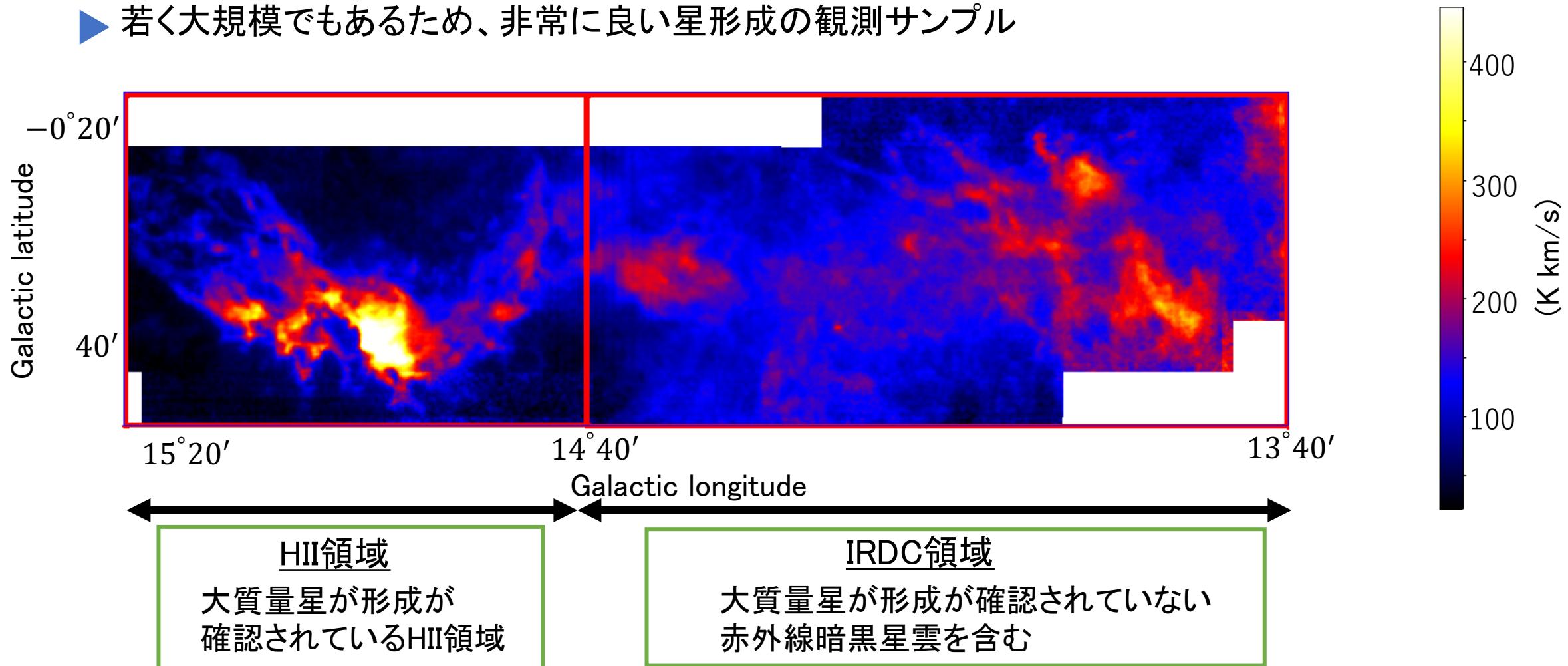


(Habe & Ohta 1992)

分子雲衝突が大質量星形成に大きく寄与している可能性がある

■大質量星形成領域M17

- ▶ 銀河系内の大質量形成領域(距離2kpc)
- ▶ 若く大規模でもあるため、非常に良い星形成の観測サンプル



観測/解析手段



野辺山45m電波望遠鏡

- ・世界最大級の単一鏡型電波望遠鏡
- ・分子ガスからの輝線を捉えるのに長けている

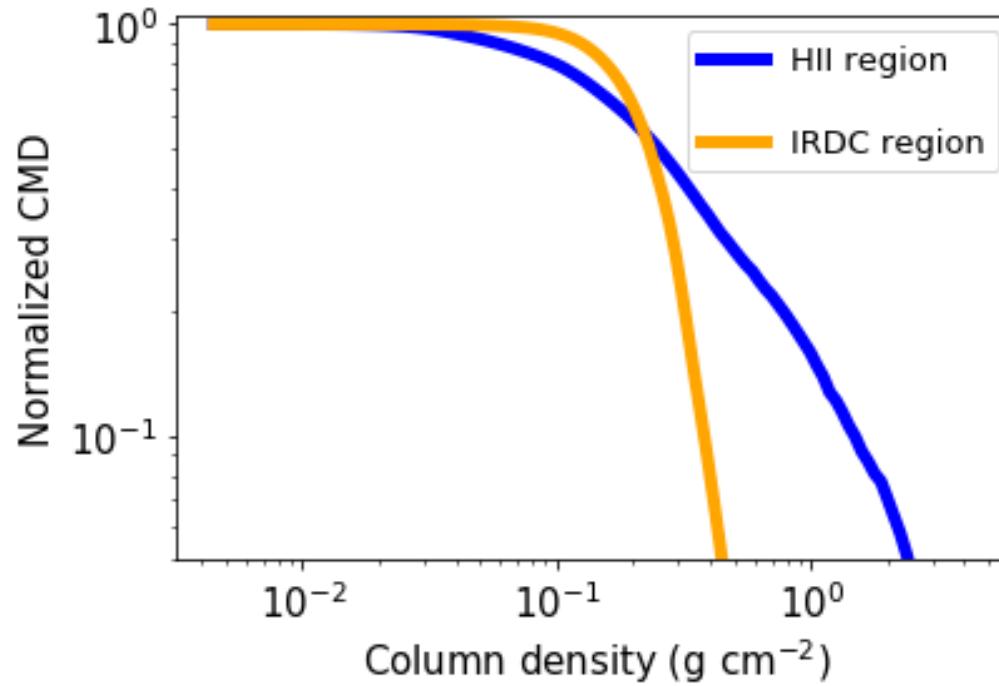
■ 野辺山45m電波望遠鏡によって得られた
 ^{12}CO ($J=1-0$), ^{13}CO ($J=1-0$)

(Nakamura et al. 2019)

■ JCMTによって得られた ^{12}CO ($J=3-2$)

以上のCOの回転遷移の分子輝線データを用いて観測/解析をおこなった

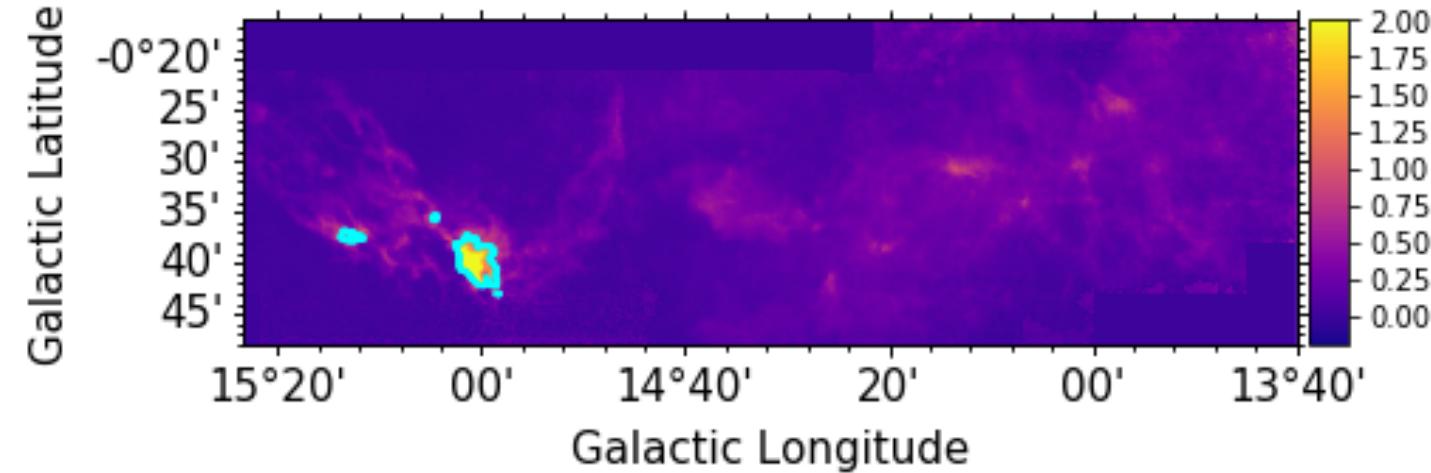
柱密度の分布



Cumulative Mass Distribution

$$M(> N_{H_2}) = \int_{N_{H_2}}^{N_{H_2, max}} N_{H_2} dA(N_{H_2})$$

柱密度が N_{H_2} 以上となる領域の Mass



柱密度 1 g cm^{-2} 以上の高密度領域(青いコントア内)

- ▶ 理論的考察から 1 g cm^{-2} が大質量星形成に必要な柱密度の閾値だと予想されている
(Krumholz & McKee(2008))

HII領域

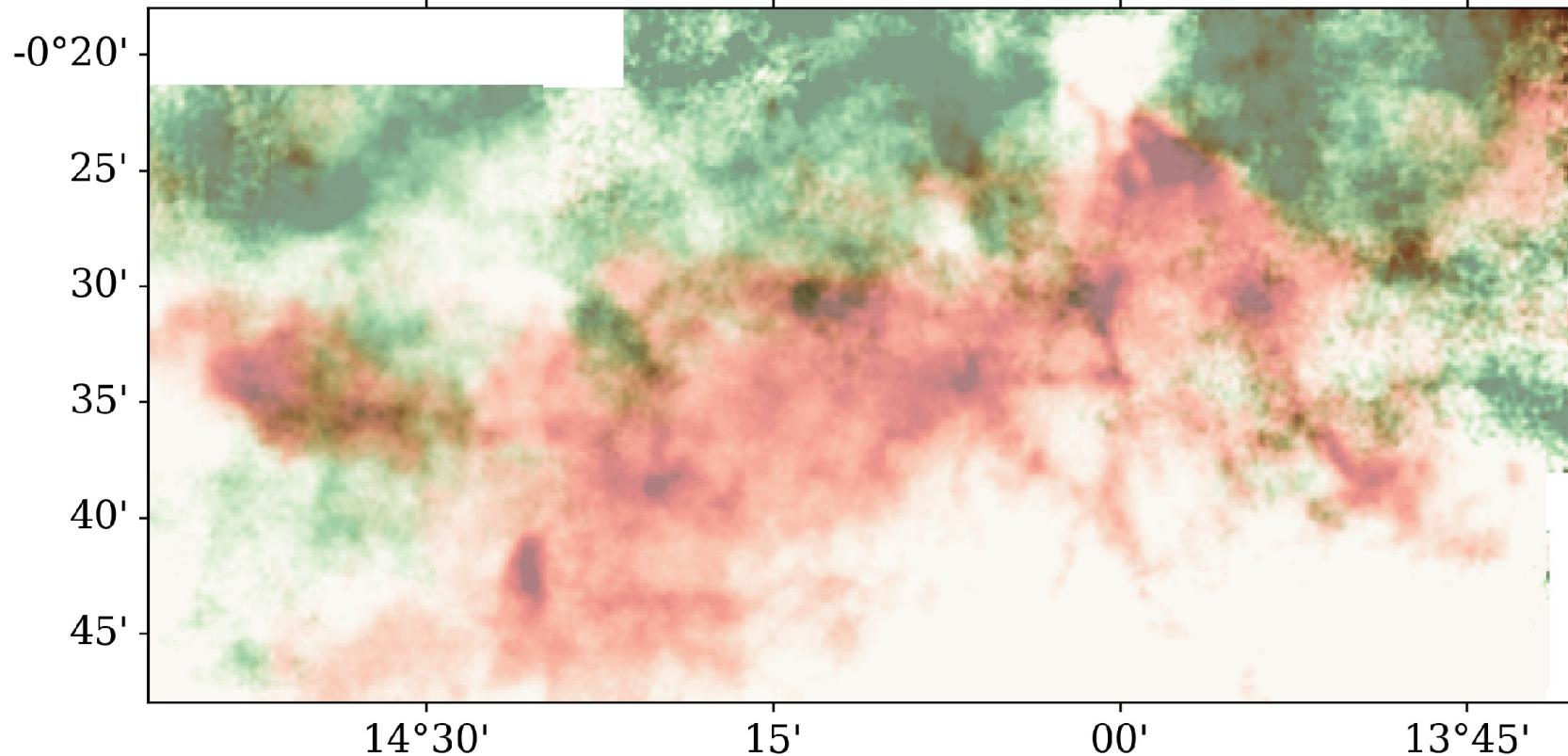
高密度で大質量星形成が進行している

IRDC領域

分子雲ガスが十分に凝縮しておらず
現在は大質量星星形成があまり進行していない

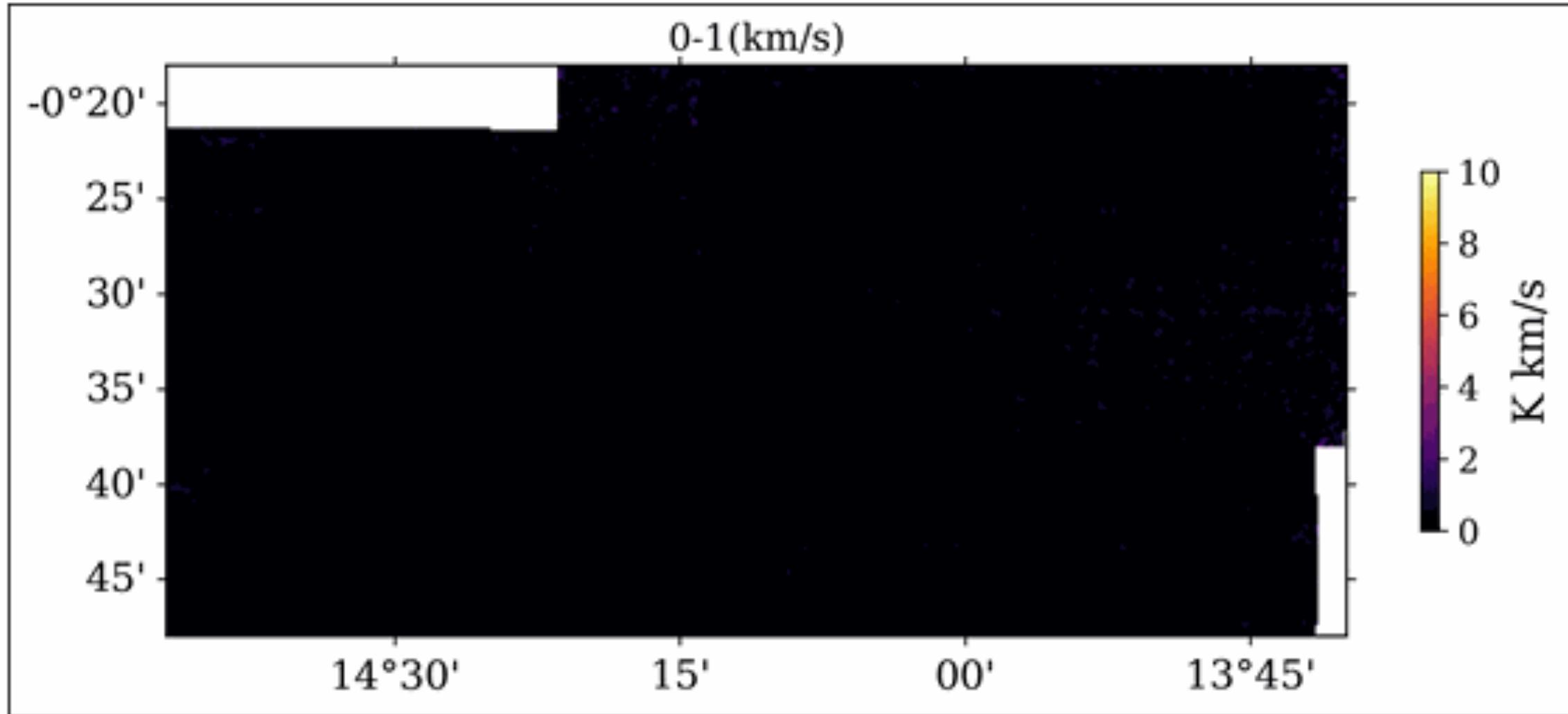
IRDC領域での分子雲衝突の可能性

- IRDC領域では分子雲衝突の可能性が指摘されている
(Sugitani et al. 2019)



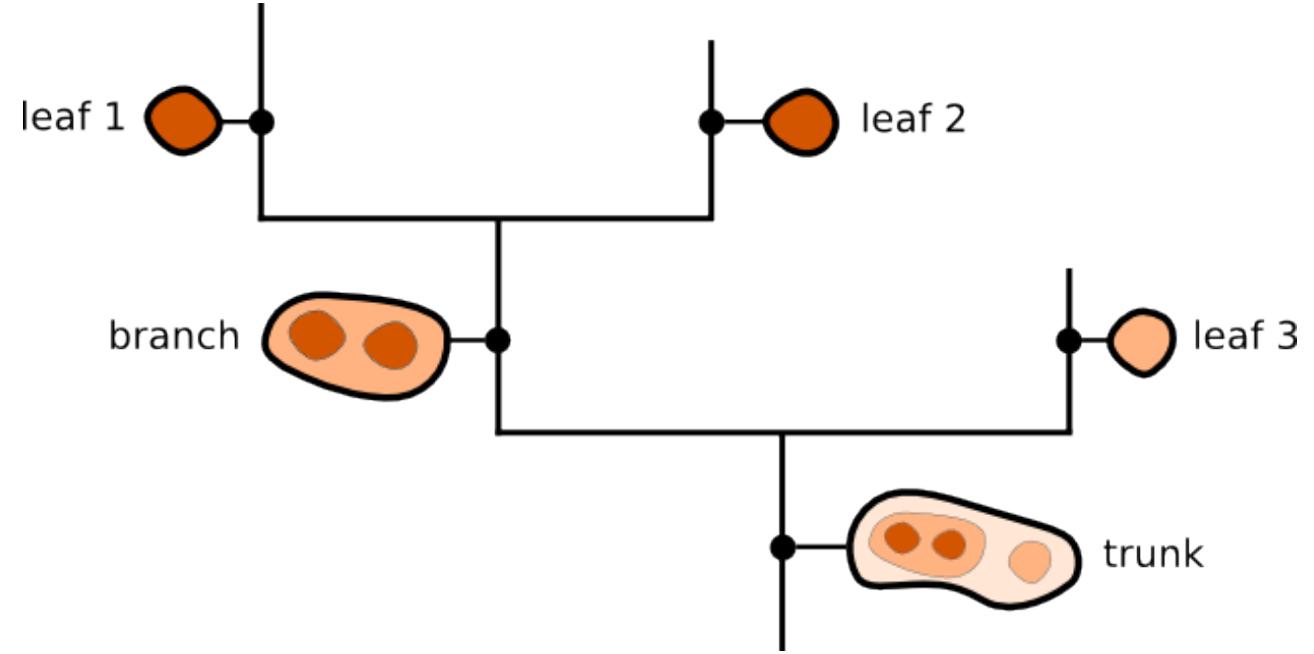
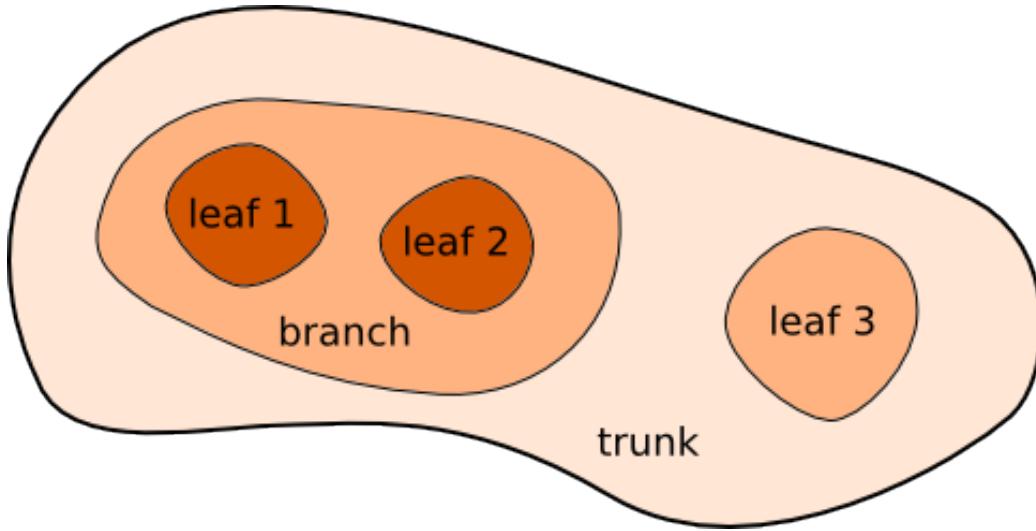
10-30km/sと30-50km/sの積分強度図(^{13}CO (J=1–0))を重ねたもの
速度の異なる構造が形状に沿って重なるように分布している

$^{13}\text{CO}(J=1-0)$ チャネルマップ



構造の同定

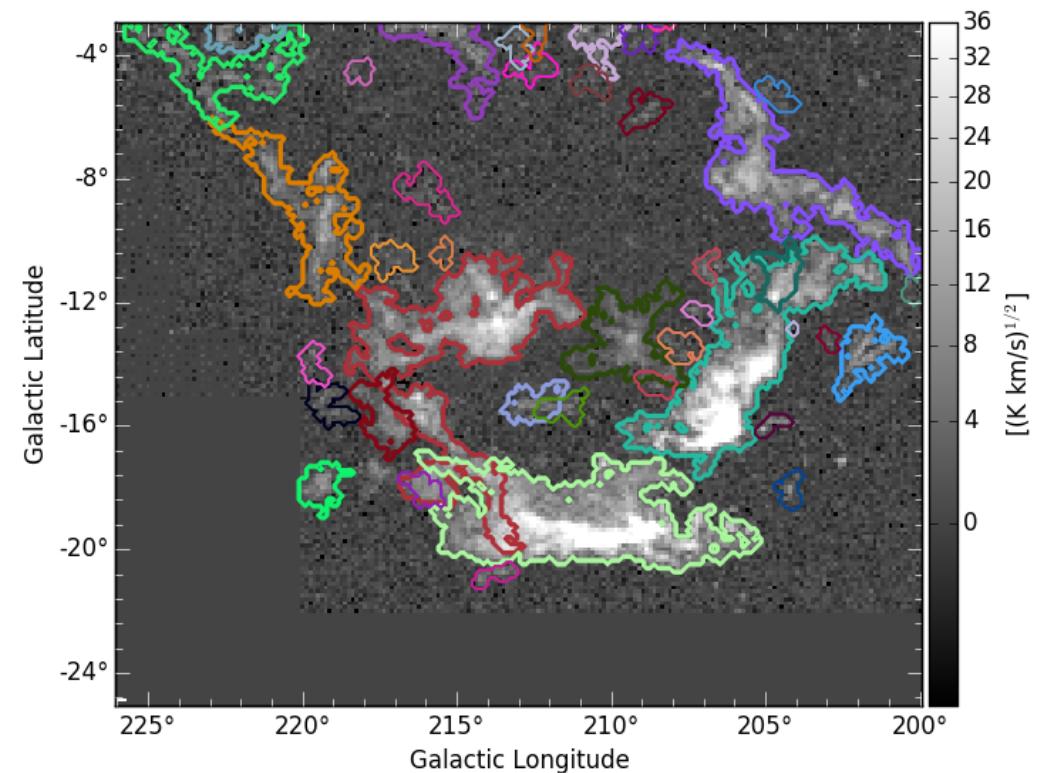
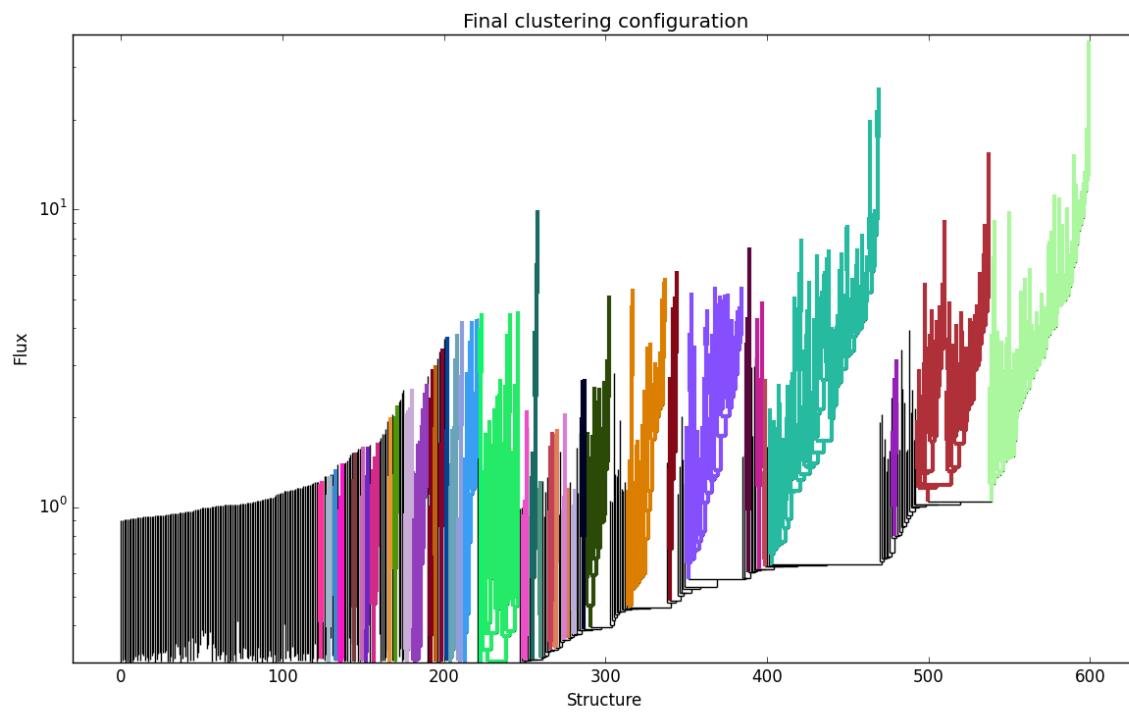
Dendrogram(Rosolowsky et al. 2008)



構造の同定にはまず,階層構造解析アルゴリズムDendrogramを用いた.
用いたデータは $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ の3次元(位置-位置-速度)キューブデータである.

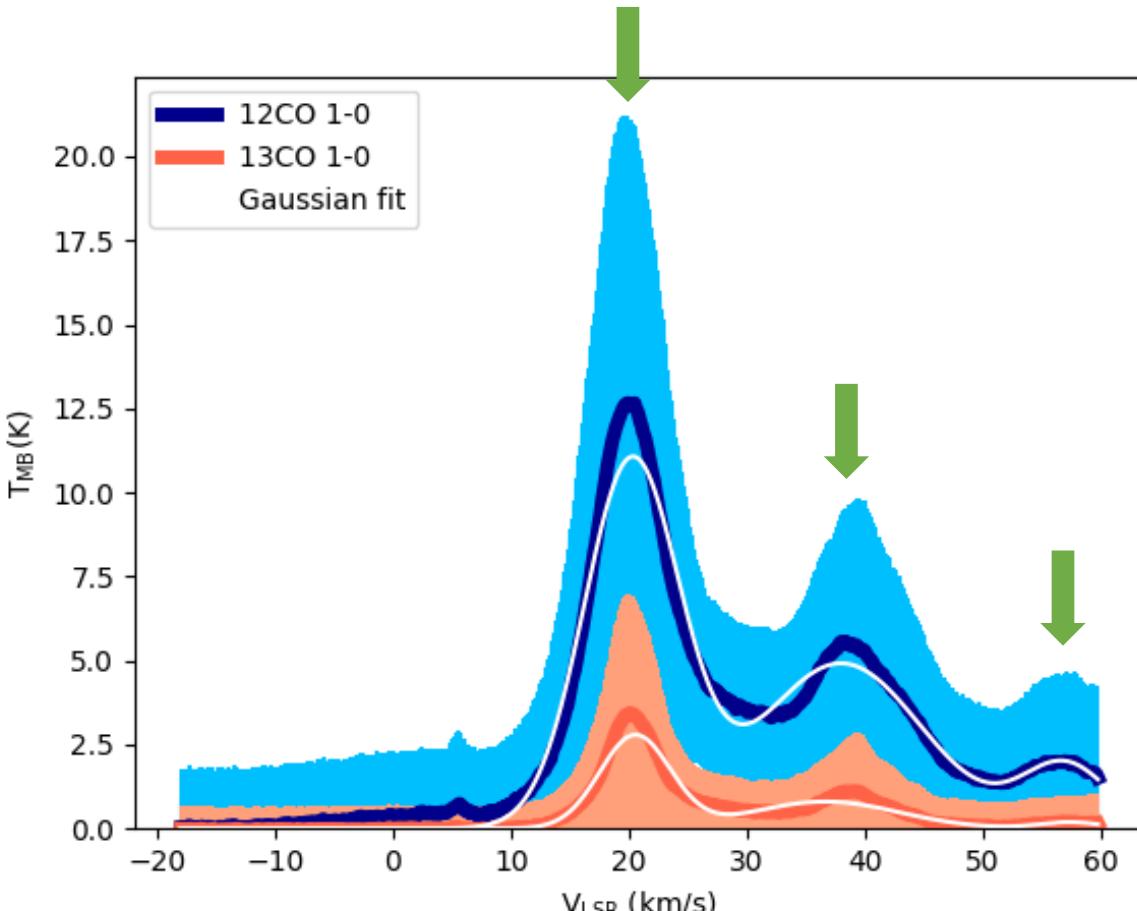
SCIMES (D.Colombo et.al 2015)

オリオン座いつかくじゅう座分子雲複合体の (Orion–Monoceros complex) $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ の例



Dendrogramの結果に、SCIMESを適用して各構造を分類

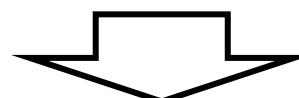
各Cloudの距離の推定



M17領域の平均プロファイル

- ~20km/s --- Sagittarius arm
(M17が属する)
- ~38km/s --- Scutum arm
- ~57km/s --- Norma arm

2kpcの距離にあるCloudと別のarmにあるCloudの区別が難しい

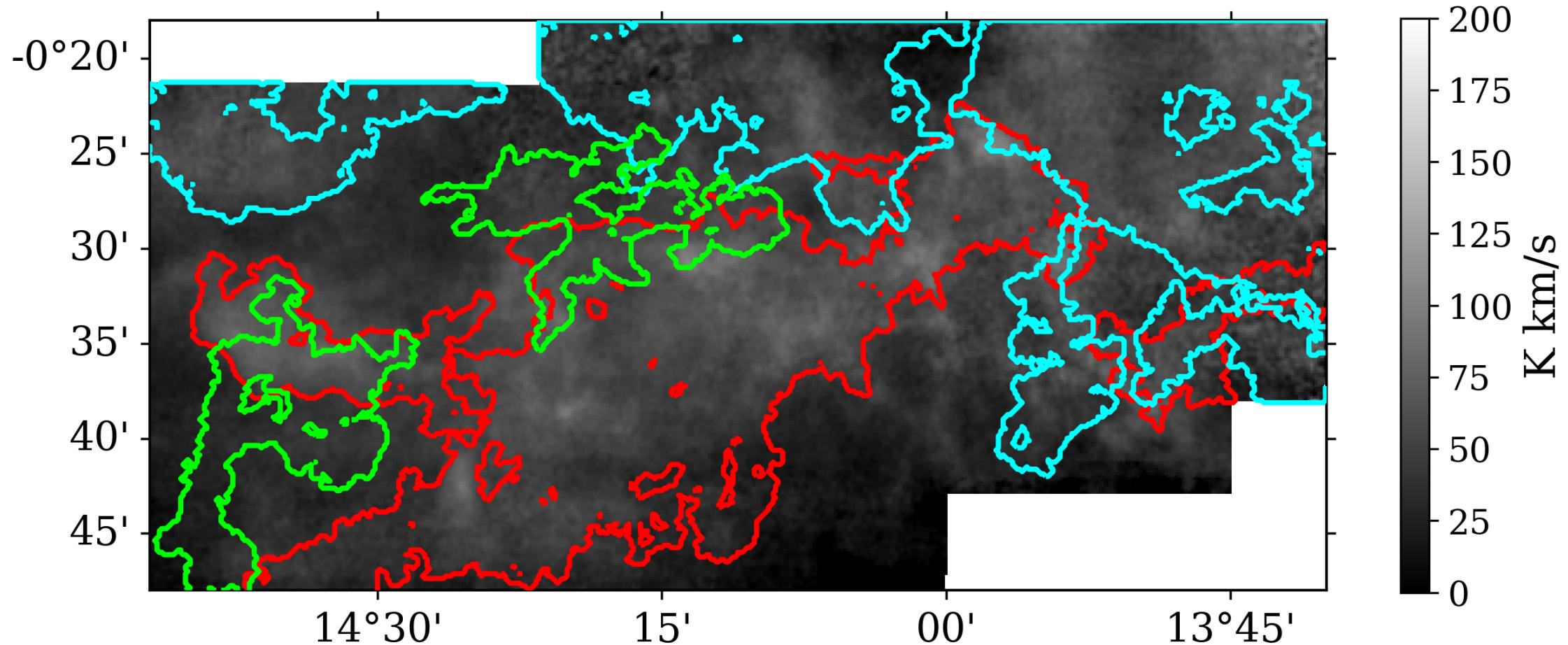


Atlasgal(Urquhart et al . 2018) のクランプのリストを利用して距離を推定

SCIMESを用いた構造同定

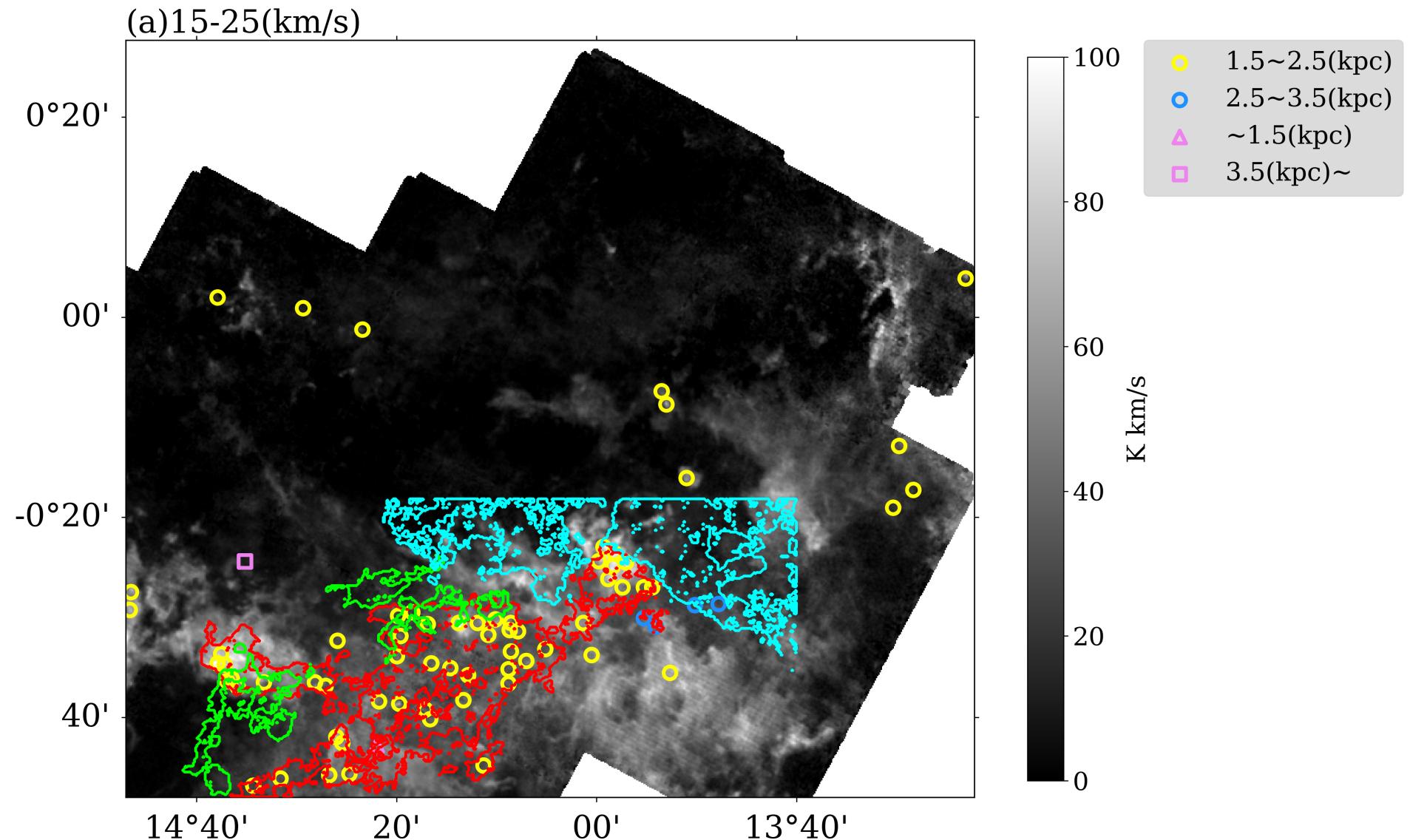
サイズが1pc以上の構造

* 全てのcloudが2kpcにあるといったん仮定

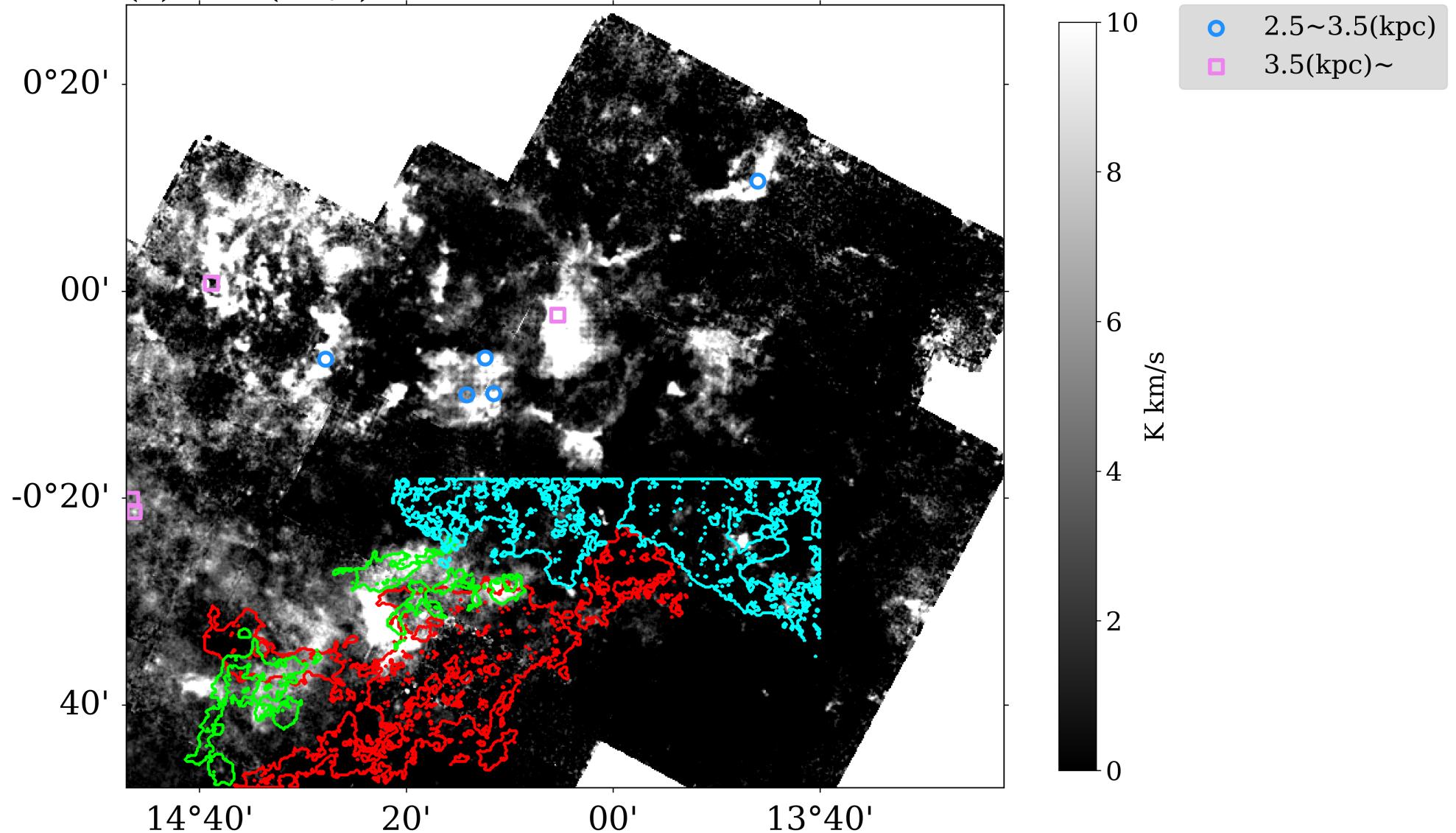


各構造の区別

$^{12}\text{CO}(J=3-2)$ の積分強度図とAtlasgalのクランプ

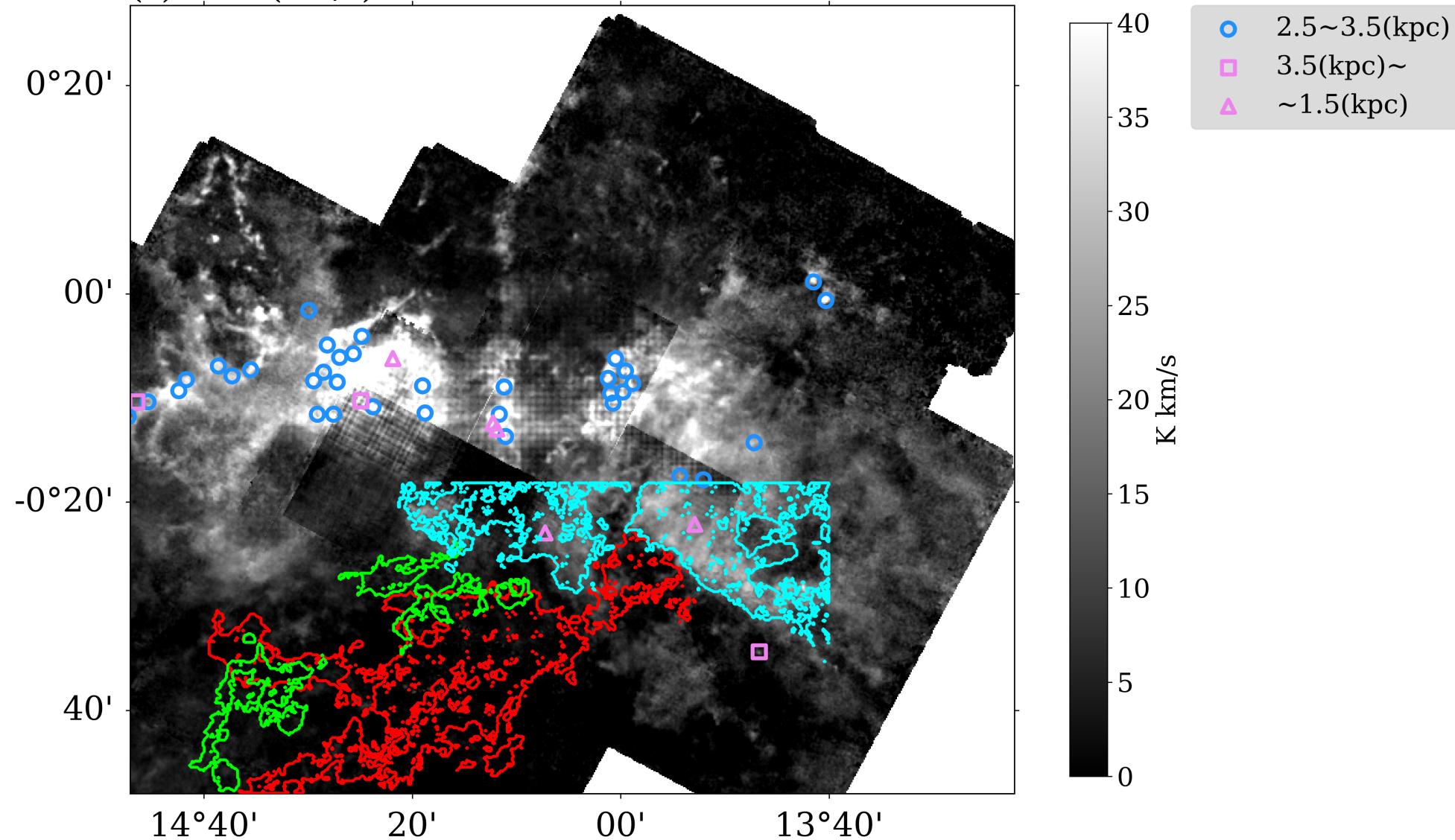


(b)30-36(km/s)



～35km/sの構造に付随するclumpはない

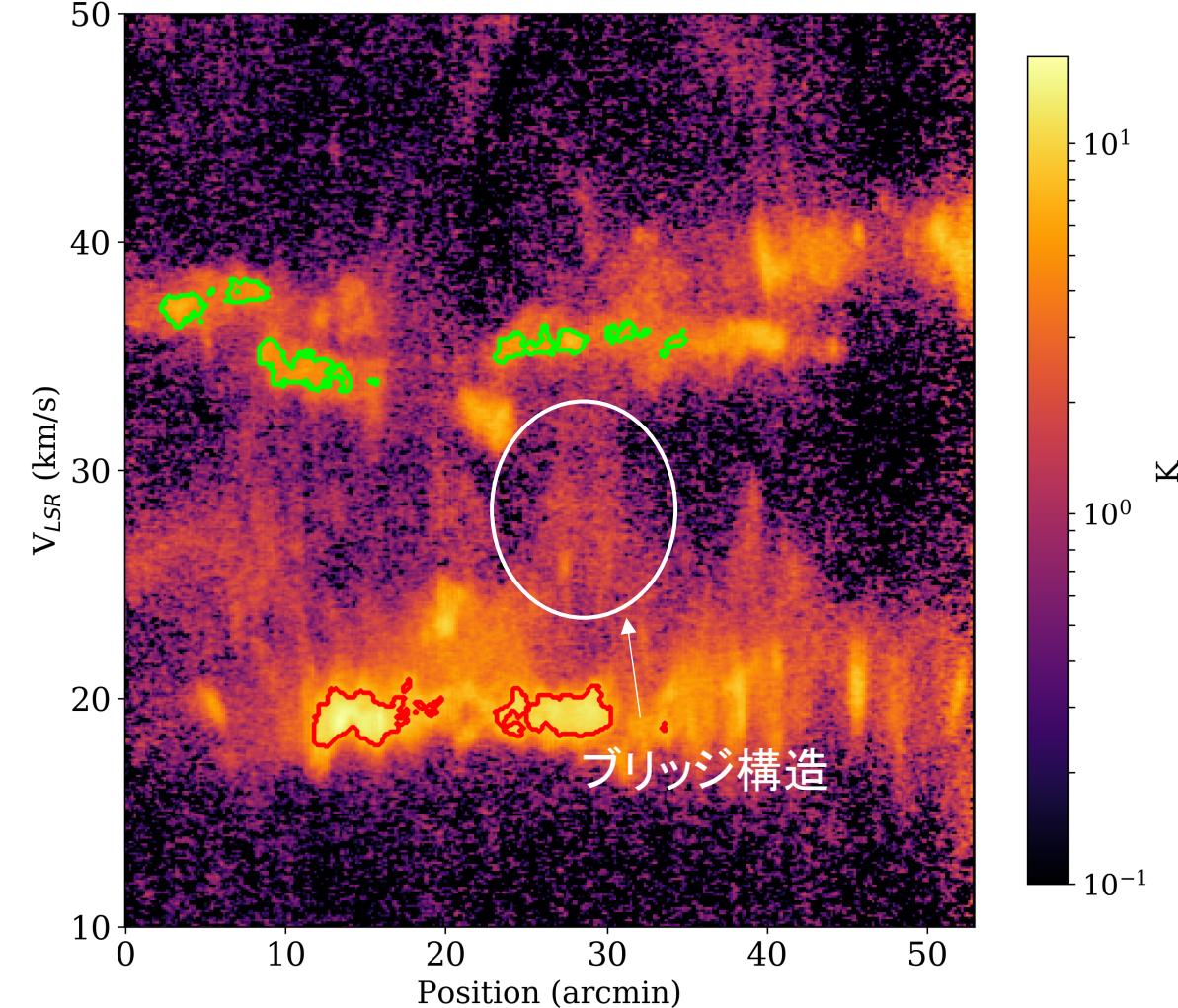
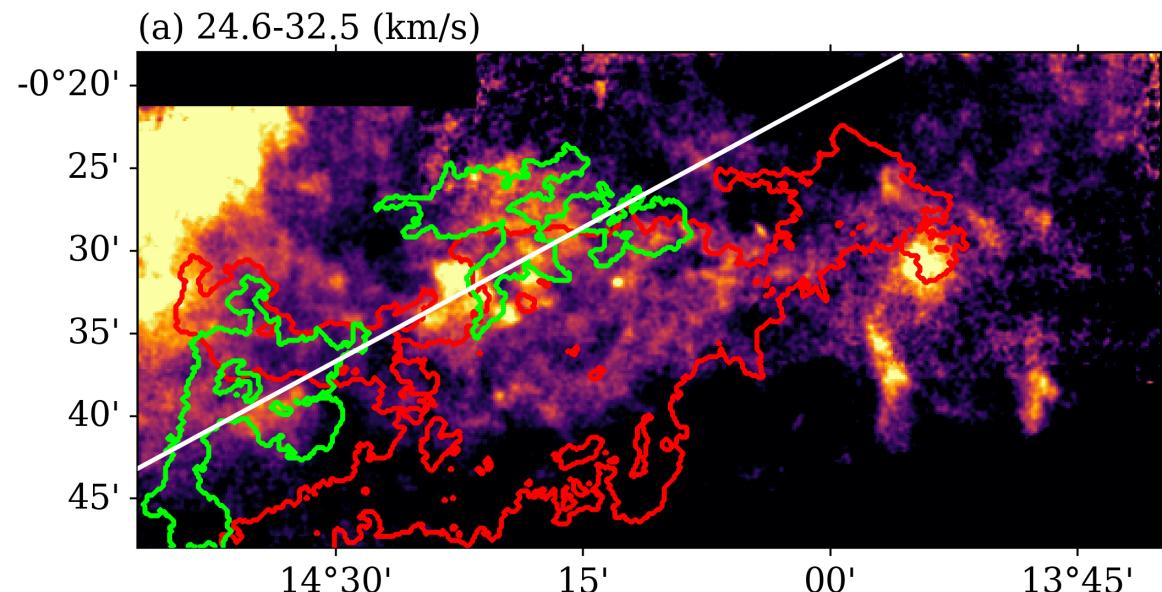
(c)38-45(km/s)



距離の異なるclumpが付随 → ~ 40 km/sの構造は別のarmの成分

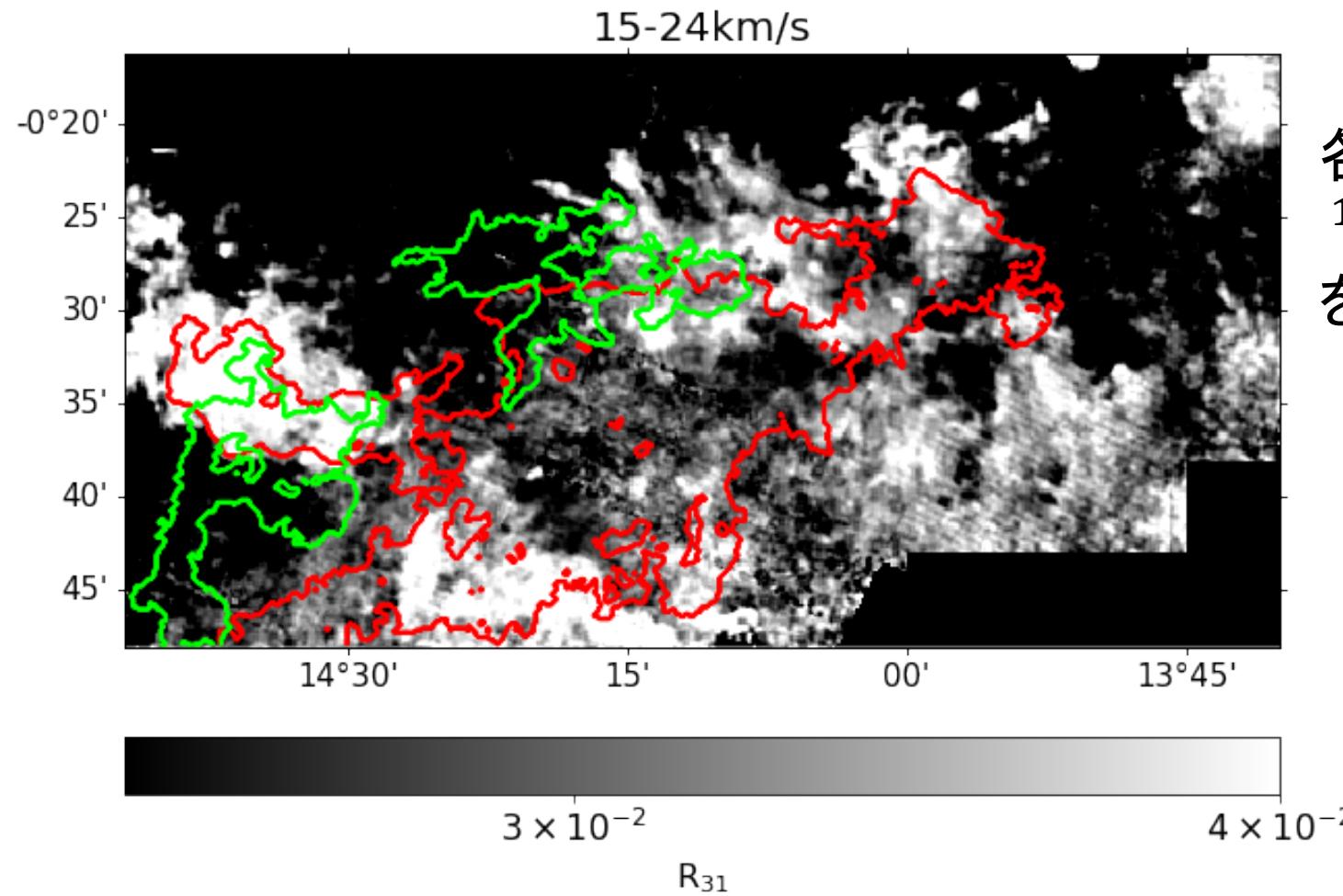
IRDC領域での分子雲衝突の可能性

白線でsliceしたP-V図



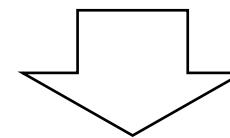
速度域が異なり,P-V図上でブリッジ構造が見受けられるCloudがある → 分子雲衝突の可能性
(Haworth et al. 2015a; Haworth et al. 2015b; Inoue & Fukui 2013)

■ 輝線強度比のマップ



$R_{31}(15\text{--}24 \text{ km/s})$

各pixel輝線での強度比
 $^{12}\text{CO}(J = 3 - 2) / ^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)$ (R_{31})
を求めた



Cloudの衝突面付近が高温/高密度になつていれば衝突の証拠になる？

■ Summary

M17のIRDC領域に速度の異なるCloudが存在が確認され
衝突している可能性がある

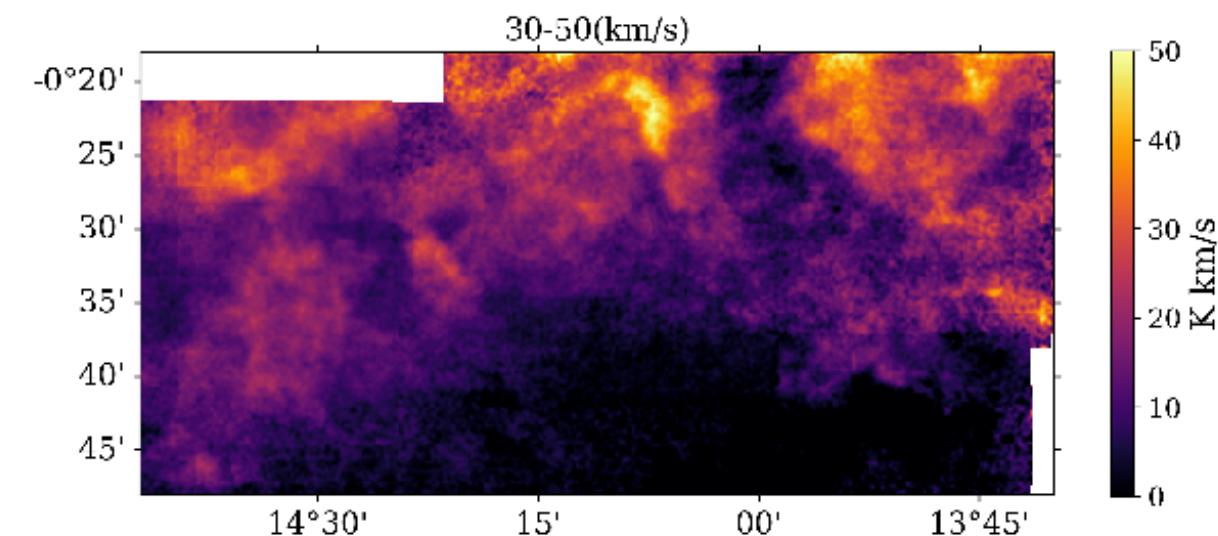
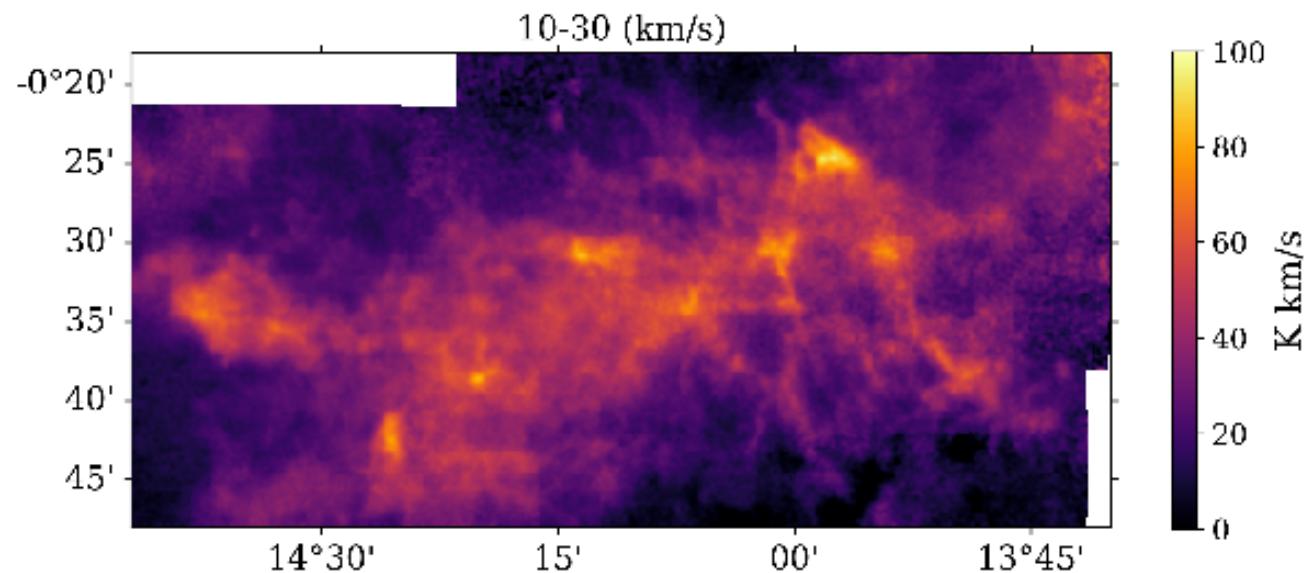
- Cloudの位置関係,形状
 - P-V図上のブリッジ構造
- *輝線強度比

今後の方針

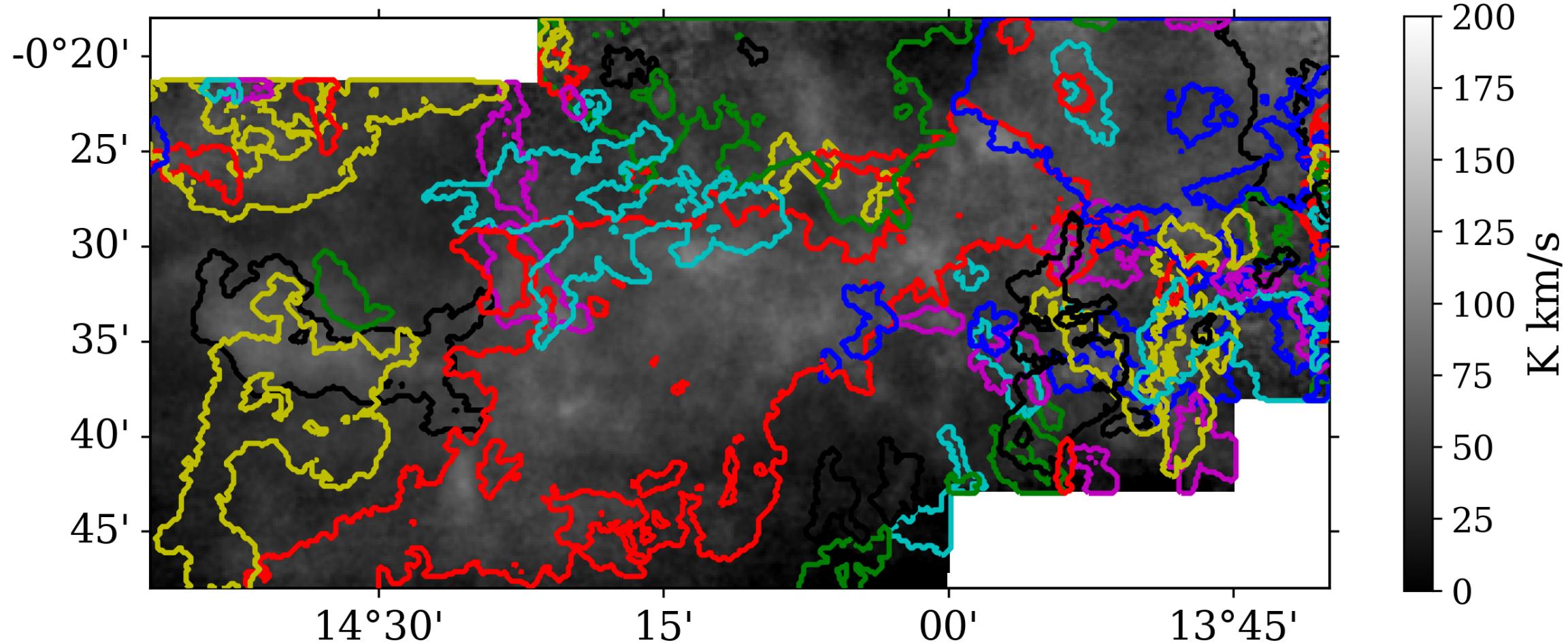
観測の結果を活かした分子雲衝突のシミュレーション,模擬観測

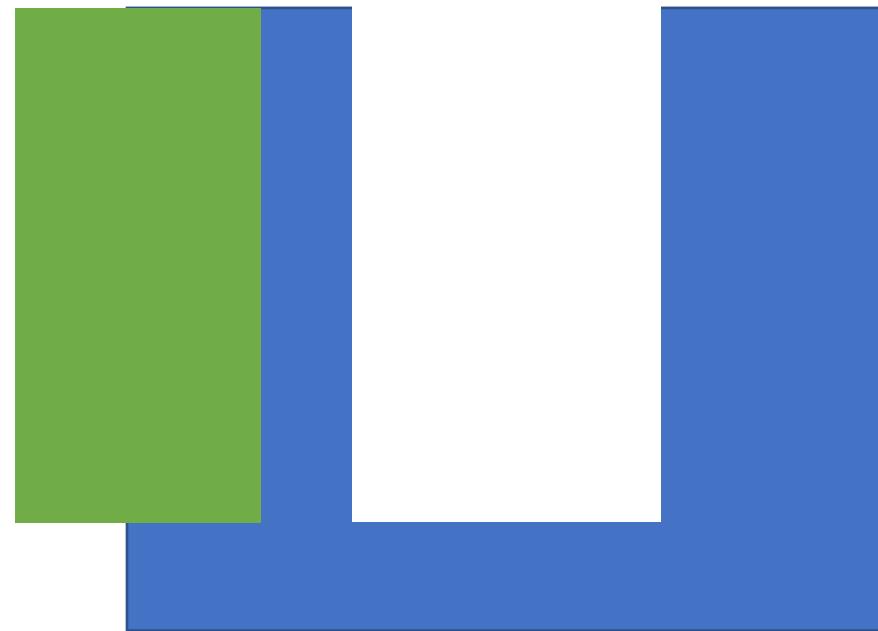
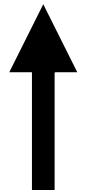
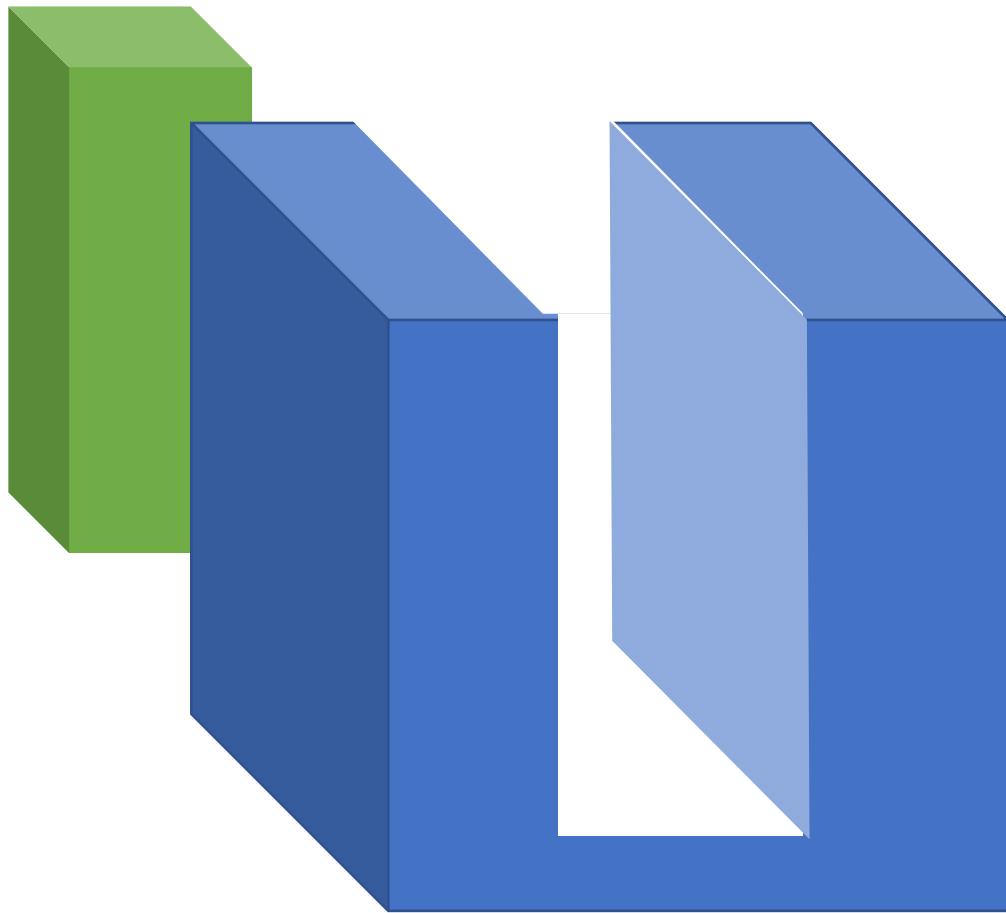
Appendix

^{12}CO ($J=1-0$) 積分強度図



SCIMESの同定結果





Dendrogram

