

論文内容の要旨

Star Formation in the Orion A Molecular Cloud

(オリオン座 A 分子雲における星形成)

氏名 島尻 芳人

この論文はオリオン座 A 分子雲における星形成に関する研究について述べたものである。特に、私は次世代の星形成を誘発（誘発的星形成）する可能性のある外的要因とその誘発の物理メカニズムについて調査した。

星形成は現代天文学の重要課題の 1 つである。星の形成モードの 1 つとして、周辺の影響（外的要因）により星形成が誘発されるという誘発的星形成がある。超新星爆発、水素電離領域、双極分子流などが誘発的星形成を引き起こす外的要因であると考えられている。また、誘発的星形成は初期星質量関数と密接に関連しているコア質量関数、大質量星形成、星団形成など様々な星形成の形態と関係していると考えられている。そのため、誘発的星形成の研究は星形成の全貌を理解するためには重要である。しかしながら、誘発的星形成の詳細な物理メカニズムや誘発的星形成の普遍性などは未だに解決されていない。これらに答えるためには、様々な外的要因の影響が混在していると考えられる巨大分子雲全域を個々の分子雲コアを十分分解できる空間分解能で連続波や分子輝線の観測をする必要がある。近年の受信機が多素子化により、数十秒角の空間分解能で数平方度といった広域を観測することが可能となった。

そこで、巨大分子雲における外的要因とその物理的影響を調査するため、私は最も近傍（距離 = 400 pc）の巨大分子雲として知られるオリオン座 A 分子雲に着目をした。オリオン座 A 分子雲の北部に対して、1.1 mm ダスト連続波及び ^{12}CO ($J=1-0$) 分子輝線の広域、高感度観測を行った。1.1 mm ダスト連続波の観測では南米チリのアタカマ砂漠にあるサブミリ波電波望遠鏡 ASTE に搭載された 144 素子ボロメータカメラ AzTEC を用いた。 ^{12}CO ($J=1-0$) 分子輝線の観測では野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載された 25 ビーム受信機 BEARS を用いて、効率的に広域観測を行うことが出来る On-The-Fly (OTF)

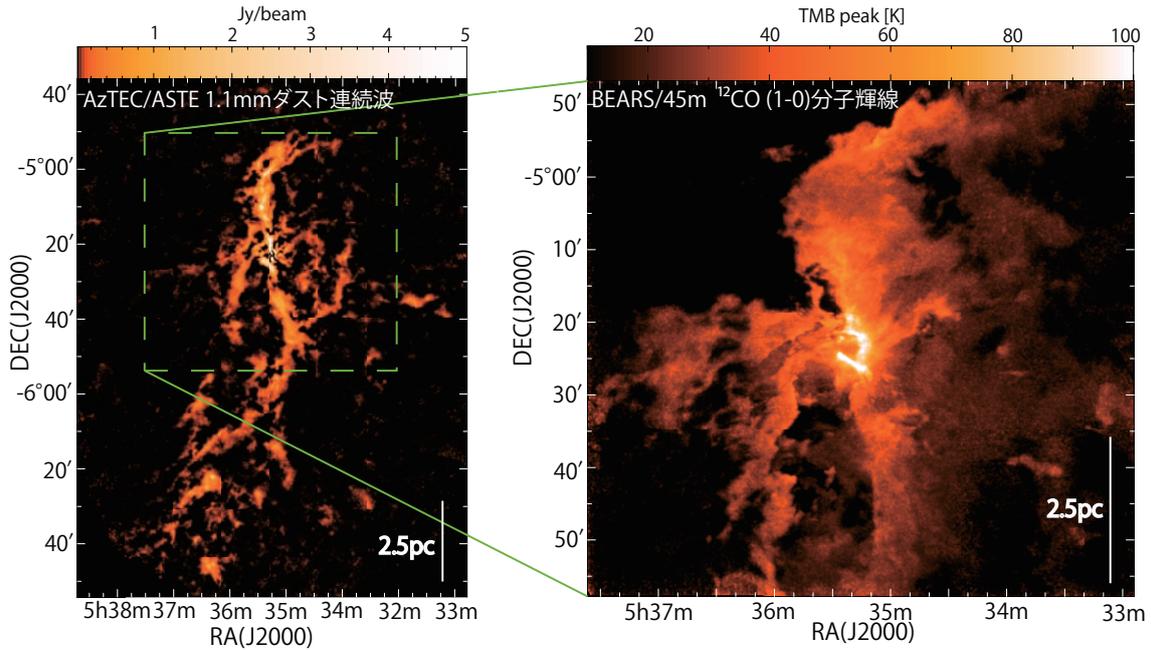


図 1 左図：AzTEC 1.1 mm ダスト連続波マップ。右図：NRO 45m $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 分子輝線のピーク強度図

という観測手法により行った。結果、1.1mm ダスト連続波では空間分解能 40 秒角で広域 (1.7 度角 \times 2.3 度角 \sim 12 pc \times 17 pc)、高感度 (~ 9 mJy beam $^{-1}$)、 ^{12}CO 分子輝線では広域 (1.2 度角 \times 1.2 度角 \sim 9 pc \times 9 pc) の観測を達成した。これらのデータと MSX 8 μm 、Spitzer 24 μm 、2MASS データを用いて我々はオリオン座 A 分子雲に付随したガスの構造と運動を調べることで、星形成を誘発する可能性がある外的要因が混在していることを発見した。この研究では、4 つのタイプの外的要因を発見した。

1. 分子雲の表面と希薄なガス成分との衝突。
2. OB 型星から放出された紫外線が周辺にシェル構造やフィラメント構造を形成。
3. OB 型星から放出された紫外線が Ori-KL の東側にあった高密度コアを圧縮。
4. OMC-2/3 と OMC-4 領域において双極分子流と高密度ガスが相互作用

次に、これら外的要因がどのように次世代の星形成を引き起こすかを明らかにするため、私は外的要因の 1 つとして双極分子流に着目をし、オリオン座 A 分子雲の北部に位置するオリオン座分子雲 2 領域 (OMC-2) にある FIR 4 をターゲットに選んだ。この領域では原始星 FIR 3 から放出された双極分子流と原始星候補天体 FIR 4 とが形態学的に相互作用をしている。野辺山ミリ波干渉計 NMA とサブミリ波電波望遠鏡 ASTE のそれぞれの特徴を活かし、高密度領域を調べるの適した H^{13}CO^+ ($J=1-0$) 分子輝線と 3.3 mm ダスト連続波、双極分子流の検出に適した ^{12}CO ($J=3-2$, $1-0$) 分子輝線、相互作用という物理過程を通じて生成される CH_3OH ($J_K=7_K-6_K$) 分子と SiO ($v=0$, $J=2-1$) 分子の輝線を用

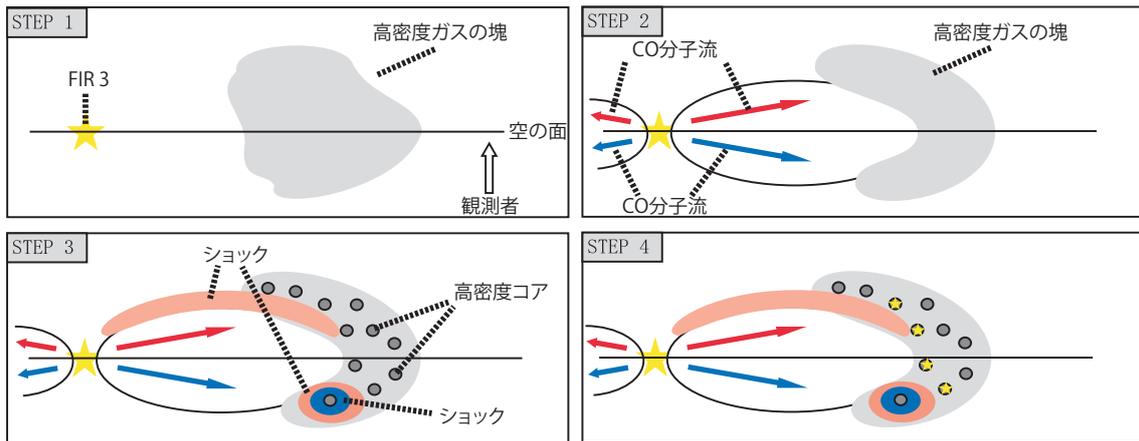


図 2 双極分子流による誘発的星形成シナリオの模式図。

いて、FIR 4 の周辺環境を調べた。結果、原始星から放出された双極分子流が高密度ガスに衝突（相互作用）していることをガスの分布（形態学的証拠）、ガスの速度構造（運動学的証拠）、相互作用という物理過程を通じて生成される分子の検出（化学的証拠）という 3 つの観点から示すことが出来た。さらに、双極分子流と衝突した高密度ガスは 11 個ものコアから成ることを初めて明らかにした。これらのコアへの分裂が双極分子流との相互作用によって誘発されたか否か、そして、これらのコアから星が生まれるかを明らかにするため、重力不安定性（コア間の離隔とジーンズ長との比較）、関連する物理過程の時間（相互作用時間と分裂にかかる時間との比較）、星形成の有無（ピリアル解析）の観点から検証した。その結果、原始星から放出されたガスと高密度ガスとの衝突が、高密度ガス内に重力不安定性を引き起こし星形成を誘発している可能性があることがわかった。私はこれらの結果から以下のような双極分子流による誘発的星形成シナリオを提唱した（図 2 参照）。

1. FIR 3 が双極分子流を放出
2. FIR 3 から放出された双極分子流と FIR 4 に付随した高密度ガスとが相互作用をする
3. 双極分子流と高密度ガスとの相互作用が高密度ガス内で重力不安定性を引き起こし、高密度ガスが複数のコアに分裂
4. 分裂して形成されたコアから星が生まれる。

OMC-2/FIR 4 領域に対する観測から、私は双極分子流と高密度ガスとの相互作用が高密度ガス内に重力不安定性を引き起こし次世代の星形成を誘発するというシナリオを提唱したが、このシナリオが普遍的に起きている現象なのか、又は、FIR 4 特有の現象なのかは明らかになっていない。そこで、私は双極分子流による誘発的星形成が起きている領域を探すため、OMC-2/FIR 6 領域に着目をした。FIR 6 領域は FIR 4 領域と同様に原始星 FIR 6c から放出された双極分子流が原始星候補天体 FIR 6a と形態学的に相互作用をしている領域である。NMA を用いて FIR 4 領域と同様の観測を行った。結果、FIR 6c から放出された双極分子流の先端に FIR 6a に付随した 3 つのコアが並んでいることが明らかになっ

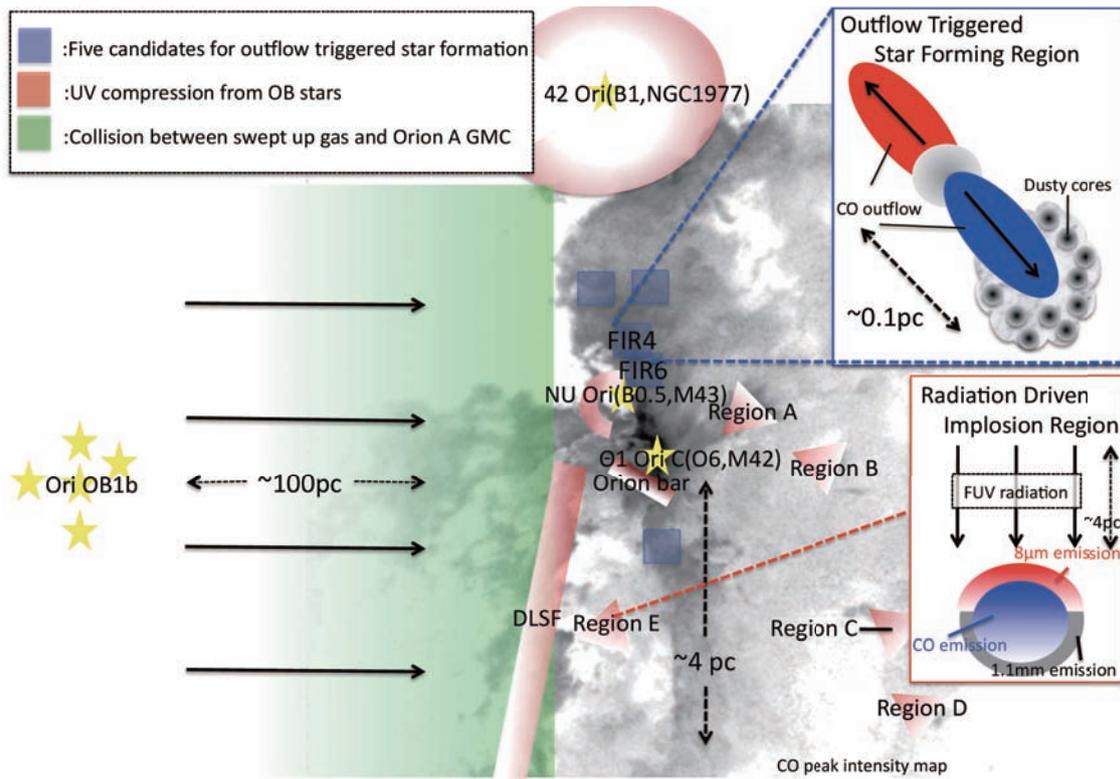


図 3 オリオン座 A 分子雲における誘発的星形成の模式図。グレースケールは NRO 45m 電波望遠鏡を用いて取得した ^{12}CO ($J=1-0$) 分子輝線のピーク強度図である。星印は OB 型星を示す。青印は双極分子流によって星形成が誘発されている可能性がある領域を示す。赤印はオリオン座 A 分子雲中に埋もれている OB 型星により圧縮されている領域を示す。緑印はオリオン座 A 分子雲の外側にある OB 型星の集団 (Ori OB 1b) によって履き寄せ集められたと考えられるガスを示す。

た。さらに、FIR 6c の双極分子流と FIR 6a に付随したコアとが相互作用をしていることを形態学的証拠、運動学的証拠、化学的証拠という 3 つの観点から示すことが出来た。これらのコアへの分裂が双極分子流との相互作用によって誘発されたか否かを明らかにするため、重力不安定性、関連する物理過程の時間の観点から検証した。その結果、原始星から放出されたガスが高密度ガスとの衝突が、高密度ガス内に重力不安定性を引き起こし星形成を誘発している可能性があることがわかった。FIR 6 領域における観測により、FIR 6 領域において双極分子流による誘発的星形成が起きている可能性を示唆するだけでなく、私が提唱した双極分子流による誘発的星形成シナリオが特定の領域で起きている現象ではないことを示唆することが出来た。

これらの研究により、次世代の星形成を誘発する可能性のある様々な外的要因を分子雲スケールで初めて明らかにし、巨大分子雲内の星形成活動は図 3 に示すように様々な要因が複雑に絡み合っていることを初めて明らかにした。さらに、外的要因の 1 つとして双極分子流に着目した OMC-2/FIR 4 領域に対する高空間分解能観測では、双極分子流による誘発的星形成シナリオを提唱し、OMC-2/FIR 6 領域への高空間分解能観測では、この双極分子流による誘発的星形成シナリオが FIR 4 領域特有の現象ではないことを示すことが出来た。