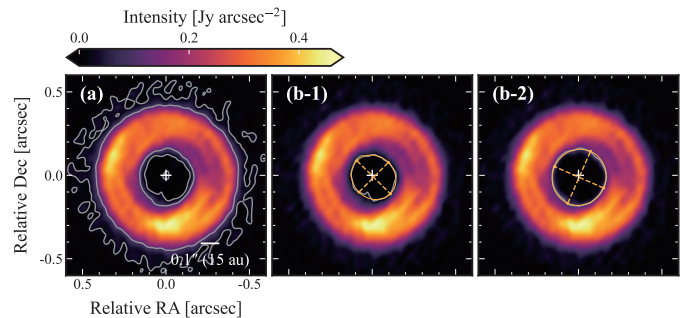


ALMA連続波画像に基づく CQ Tau ダスト円盤の三次元 warp 構造の定量化

石橋 志悠

若い星周囲にはガスとダストからなる原始惑星系円盤が存在し、ここが惑星誕生の場所となる。そのため warp (円盤面の傾きが半径とともに変化する三次元的なねじれ構造) は、惑星形成環境の三次元構造や円盤の力学的進化を理解するうえで重要な現象である。近年、ガス観測や散乱光観測を通じて、warp が複数の天体で発見されてきた。一方で、ダスト連続波画像をもとに円盤面の傾きが半径とともにどう変化するかを示した例はほとんどない。本研究では前主系列星 CQ Tau の ALMA 1.3 mm ダスト連続波画像を用いて円盤面の傾きを半径ごとに測定した。これによりダスト円盤全体にわたる連続的な warp 構造を明らかにした。本結果は、warp 構造に対する観測的制約を与え、warp の物理的起源の理解に向けた基盤を与えるものである。

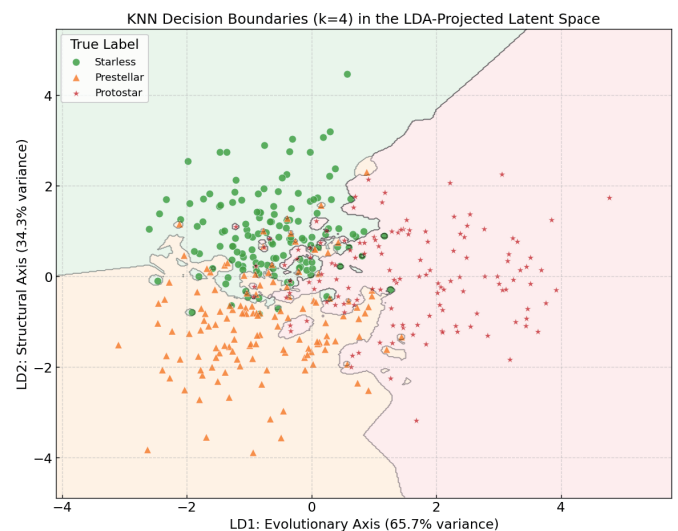


図：CQ Tau の 1.3 mm ダスト連続波画像。(a) 観測画像。(b-1),(b-2) 等輝度線に対する楕円フィット結果。楕円の向きが半径によって変化しており、円盤面が連続的に傾いている (warp) ことを示す。

Variational Autoencoderによる分子雲コアの分類

堂込 天太

本研究では、機械学習の一種である、変分オートエンコーダ (Variational Autoencoder, VAE) を用い、星形成に至るまでの分子雲コア (Starless, Prestellar, Protostar) の進化段階を自動分類する新たな解析手法の確立を試みた。本研究では定量的かつ効率的に分子雲コアの分類を可能とすべく、Herschel 宇宙赤外線望遠鏡で得られた大規模なダストの柱密度、温度マップに対して VAE を適用して、分子雲コアの分類を試みた。VAE は分子雲コアの各画像を 64 次元の潜在空間におけるパラメータに落とし込む。この次元削減されたデータに対して k 近傍法 (k-Nearest Neighbor, k-NN) を用いた分類を実施した結果、94.7% という高い分類精度を達成した。さらに、線形判別分析で潜在空間を二次元に圧縮すると LD1、LD2 それぞれで従来の物理的な傾向と一致する分布が見られた。



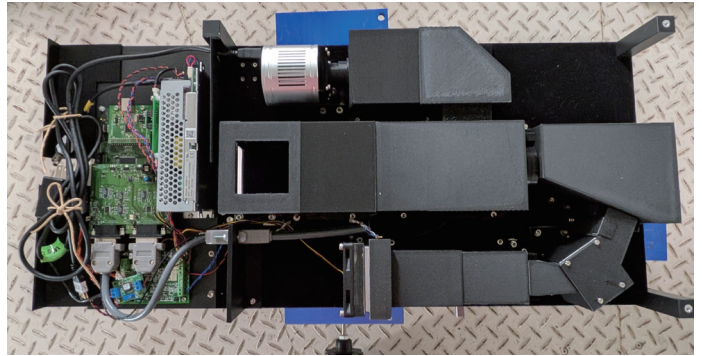
図：VAE で構築した潜在空間 $z=64$ を線形判別分析により二次元に圧縮した図。LD1 は進化軸と解釈でき、LD2 は形態的な軸と解釈できる。

超新星の型判定を目的とした鹿児島大学1m望遠鏡用可視光分光器の開発

中本 幸成

鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡で超新星の迅速な型判定を目的とした可視光プリズム分光器を開発した。設計目標は、限られた搭載空間への実装、波長分解能 $R \geq 100$ 、1m 望遠鏡で可能な限り深い限界等級（1200 s、 $S/N \geq 10$ で 17 等級）の 3 点である。実験室試験後、2025 年 12 月 22 日に 1m 望遠鏡でファーストライトを達成し、搭載状態でスペクトル取得を確認した。望遠鏡搭載状態での波長分解能は $R=194-908$ の範囲にあり、設定した波長域（450 ~ 850nm）全体で設計要求 $R \geq 100$ を満たした。一方で、波長分散の設計値より大きいこと、スリット面・分光検出器面・撮像系の合焦条件が一致しないという課題が浮き彫りとなった。今後は、スルーput および限界等級の実測評価に加え、追観測による合焦ずれの再現性を定量化し、その結果に基づいて再調整と再評

価を進める予定である。最終的には、超新星本観測に必要な S/N を満たす実用装置として、1m 望遠鏡での安定運用の実現を目指す。



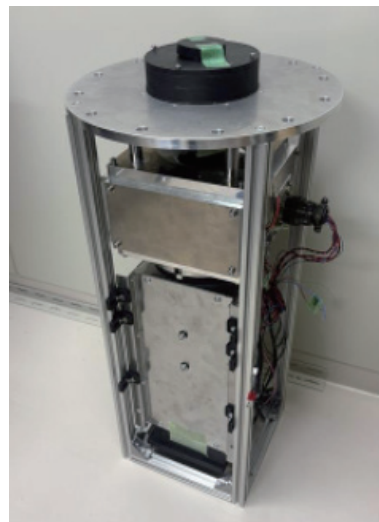
図：開発を行った可視光プリズム分光器の外観

鹿児島大学 1 m 望遠鏡用大面積多画素赤外線イメージセンサー評価カメラの開発

岩本 大雅

鹿児島大学永山研究室では、国立天文台および浜松ホトニクスと共同で大型赤外線イメージセンサーを開発している。実用化に向け、1m 望遠鏡へ搭載する新たな赤外線カメラを製作した。既存装置ではオーバーサンプリングとなるため、F4.6 の F 変換レンズを採用し、シーイング 1.5" ~ 2.0" に対し像を 2 ~ 3 ピクセルに抑え、14.35' × 14.35' の視野を確保した。また、1 m 望遠鏡固有の像面湾曲も F 変換レンズによって補正している。私は組立、真空・冷却系、光学評価を担当した。F 変換レンズのフォーカススキャンとハルトマンテストの 2 つの手法で光学評価を行った。全測定位置でシーイングリミットを満たし、最適焦点位置も良好に一致していることを確認でき、像面湾曲が補正されていることを確認できた。焦点位置が光学シミュレーション結果と比較して約 2.8 mm ずれていることが分かった。この焦点位

置のずれは、1 m 望遠鏡の副鏡移動によって十分に補正可能である。

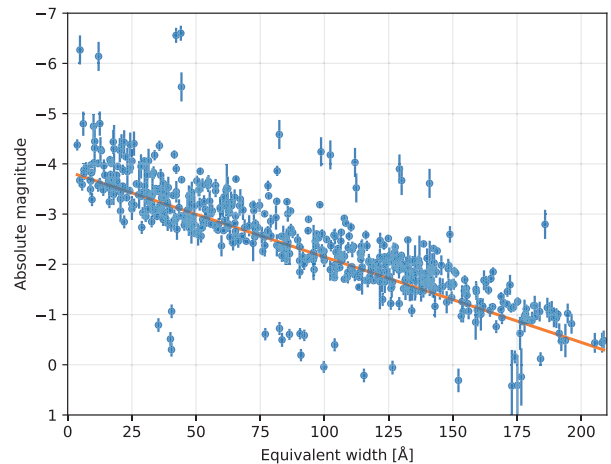


図：赤外線カメラ外観

ミラ型変光星の変光フェイズと酸化バナジウムの吸収線の関係

奥田 智也

本研究では、O-rich ミラ型変光星におけるVO吸収線の等価幅と可視・近赤外等級変化の関係を調べ、等価幅から光度・距離を推定できる可能性を検証した。鹿児島大学1m望遠鏡で取得した近赤外分光データからVO吸収線の等価幅を測定し、KWSのV・Icバンド測光データを内挿して分光観測時刻の等級を導出した。各天体ごとに回帰解析を行った結果、多くで正の相関が得られ、特にIcバンドでより強い相関と小さな残差が確認された。さらにGaiaおよびVERAの年周視差から絶対等級を求めて検討したところ、個々の天体では距離不定性10%以下が期待される一方、全天体を合わせると約32%の散らばりが見られた。外れ値の扱いには慎重な検討が必要であり、今後は同時観測データの拡充や系統誤差の評価を通じて散らばりの要因を明らかにする必要がある。



図：全天体におけるIcバンド絶対等級とVO吸収線(1.05 μm)等価幅の関係。横軸に等価幅、縦軸にGaiaおよびVERAの年周視差から算出した絶対等級を示す。

近赤外線ドップラー分光器SANDの検出器部分の開発

林 麗美

本研究では、南アフリカ・サザーランド観測所に設置予定の近赤外高分散分光器SANDに搭載される赤外線検出器HAWAII-2RG(H2RG)の性能評価を目的として、鹿児島大学のクライオスタットを用いた検出器評価システムを構築し、基礎特性の測定を行った。真空冷却環境下で検出器カセット、熱パス、温度制御系および読み出し回路を統合した評価環境を整備し、コンバージョンファクター、読み出しノイズ、フルウェル容量、飽和電荷量、暗電流およびホットピクセル数の測定を実施した。その結果、コンバージョンファクターとフルウェル容量から見積もられる飽和電荷量はメーカー公称値内に収まった。一方で、読み出しノイズ、暗電流、ホットピクセルはメーカー公称値を超える値となり、バイアス電圧の設定が

不適切である可能性が示唆された。今後、運用条件の最適化を行うことで、SANDでの使用要求を満たしうるかの検討が必要である。



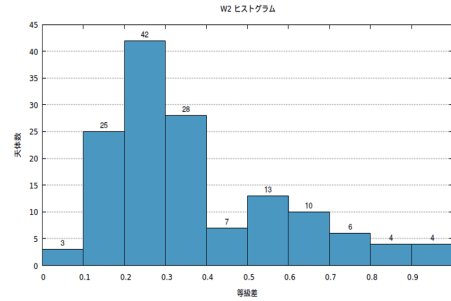
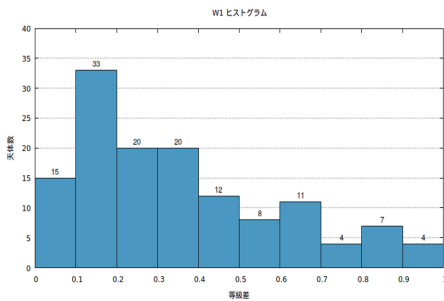
図：検出器に文字の影を映した動作確認画像。右図で暗くなっている部分が文字の影になっている。

WISE unTimelyカタログを用いた長周期OH/IR星および非変光OH/IR星の識別

米田 怜士

太陽質量の0.8～8.0倍の質量をもつ中小質量星は進化の最終段階である漸近巨星分枝(AGB)段階において激しい脈動による大規模な質量放出を行う。また、脈動によって300日～3000日という周期で変光がおこる。さらに進化が進むと天体は脈動のためのエネルギーを失うため、質量放出は終わりを迎えほとんど変光しなくなると考えられている。こうした天体は「非変光OH/IR星」と呼ばれている。一方、このような質量放出の停止がいつ、どのように起こるかというメカニ

ズムはまだ解明されていない部分が多い。そのため、本研究では中間赤外領域で約10年間にわたる長期観測データを持つWISE unTimelyカタログを用いて812天体にわたるOH/IR星および赤外線源に対する定量的な変光解析を行った。その結果、変光周期が1000日を超える長周期OH/IR星を85天体、等級差が1.0等以下かつ周期性が見られない天体を非変光OH/IR星としてW1バンド(3.4 μ m)で134天体、W2バンド(4.6 μ m)で142天体識別した。



図：等級差が1等以下の天体のW1, W2バンドそれぞれの振幅分布のヒストグラム。

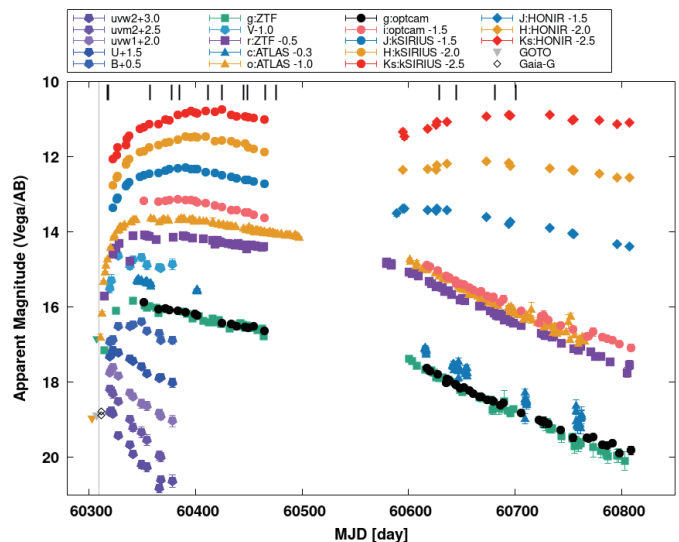
緩やかな進化を示すII型超新星SN 2024dyにおけるダスト形成とその観測的性質

後藤 颯太

大質量星の進化の果てに起こる重力崩壊型超新星のうち、水素が豊富な星周物質(CSM)との相互作用で輝くものをII型超新星と呼ぶ。このII型超新星は爆発前の恒星の進化を知るうえで重要な情報を提供するが、いまだに謎が多い超新星であるため、詳細な観測例を増やすことが求められている。我々はこのII型超新星の一つであるSN 2024dyという超新星の紫外線から近赤外線の波長での観測を約500日に渡って実施した。

SN 2024dyは非常に長い時間スケールと高い放射エネルギーを持つlong-lived II型超新星に分類され、我々の解析によってダストからの放射を伴うことが判明した。近赤外線による長期観測と可視光の分光観測の結果から、このダスト放射はCSM相互作用に伴い形成される、高密度な領域において形成されるダストを起源を持つことが示唆された。また、近赤外線観測を用いたダスト質量の見積もりに関して、

形成されたダストの一部のみを見ており、ダスト形成の全体像を捉えられていない可能性を提案する。



図：SN 2024dyの多バンド光度曲線。横軸は爆発からの時間、縦軸は見かけの等級。近赤外線バンドにおいて、ダスト放射由来の超過が見られる。

Verification of the Scientific Validity of the ALMA High-Resolution Imaging Technique: Sparse Modelling

板垣 奎柁

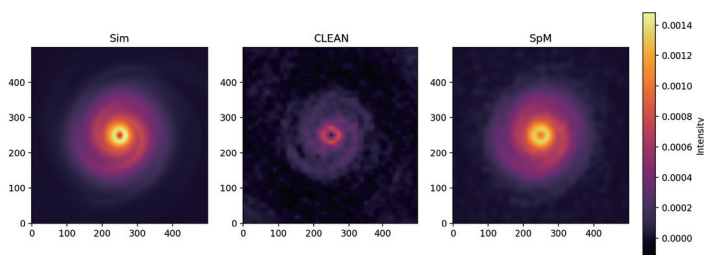
本研究は、電波干渉計による画像再構成において、従来の CLEAN 法を凌駕する超解像能力を有することが期待されているスパースモデリング (SpM) の有用性と、その物理的限界点を検証したものである。

検証の結果、観測対象のモデルに対する忠実度を示す指標 Fidelity において、SpM は CLEAN 法を一貫して上回り、極めて高い構造再現性を有することを定量的に証明した。特筆すべきは、解像度を極限まで高めた条件で出現する高周波な振動現象の解析である。この現象を通じ、「観測データによる物理的裏付け」と「正則化による数学的推論」が入れ替わる有効分解能の閾値を可視化することに成功した。

これにより、正則化パラメータと平滑化スケールの相関関係を物理的に解釈する道筋が示された。この知見は、SpM の高い解像ポテンシャル

を維持しつつ、科学的妥当性を担保するためには適切な平滑化制御が不可欠であることを示唆している。

本成果は、超解像が描き出す構造の根拠がどこで物理から数理へと移り変わるかを露わにし、手法の盲信を排して「実証的な物理描像」を確立するための土台を築くものである。



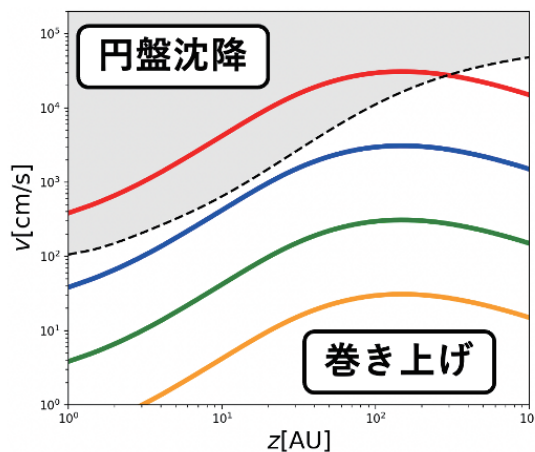
図：シミュレーション (Sim), CLEAN 画像 (CLEAN), SpM 再構成画像 (SpM) の比較の一例。すべての画像は同一のカラースケールで表示。このような3枚の画像セットを条件の異なる24通り作成し、Fidelityの比較を行った。

原始星アウトフローがダスト運動に与える影響の解明

内村 迅渡

惑星形成の現場である原始惑星系円盤の外側には、エンベロープと呼ばれる円盤の数10倍のスケールで広がるガス構造が存在する。従来の理解では、ダスト(惑星の種)成長は円盤内部で完結すると考えられていたが、近年の観測からエンベロープでもダスト成長が起きていることが明らかになってきた。一方で、理論的にはダスト成長は困難であると考えられているため、この矛盾を解消する新たなシナリオが必要である。このギャップを解消する1つのモデルとして、アウトフローと呼ばれるガス流によって円盤から大きく成長したダストが巻き上げられ、エンベロープへ還流されるというものがある。これは、近年の観測結果を説明し得るが、ダストの巻き上げがどれだけ普遍的な現象なのかは不明である。そこで、本研究では、計算コストがほぼゼロの解析モデルを用いて、ダスト巻き上げの一般化を目指した。その結

果、近年の観測で示唆されるサイズ帯のダストを巻き上げるのに必要なパラメータ範囲を明らかにした。

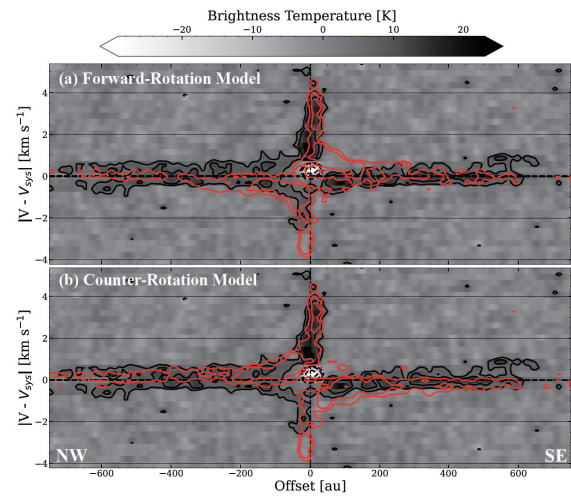


図：ガスの巻き上げ速度(破線)と重力速度(実線)の比較

Class 0原始星 B1-c における円盤・エンベロープの逆回転

篠崎 愛翔

本研究は、ペルセウス座分子雲に位置する Class 0 原始星 B1-c を対象に、ALMA の高分解能データ (~27 au) を用いた解析を行った。H¹³CO⁺ 輝線によりエンベロープ (~600 au) と円盤 (~30 au) を同定し、両者が逆回転 (Counter-Rotation) している可能性を発見した。この可能性を検証するために 3 次元輻射輸送モデルを作成し、観測との比較を行った。モデルは逆回転、順回転モデルを作成した。その結果、逆回転モデルが観測とより一致していることが明らかになった。起源としては磁場や乱流が考えられる。化学組成では低質量原始星では極めて稀な CH₃OH vt=2 (E_{upper} > 600 K) を検出し、中心星近傍に極めて高温な環境が存在することを示唆している。



図：長軸に沿ったH¹³CO⁺(4-3)輝線の、観測データ(黒色contour+グレースケール)とモデルデータ(赤色contour)によるPV図の比較。パネル(a)は、円盤とエンベロープが同じ方向に回転しているモデル、パネル(b)は逆回転(counter-rotating)しているモデルのPV図を示す。contourレベルは -20, -10, -5, -3, 3, 5, 10, 20σ (1σ = 2.5 mJy beam⁻¹)。中央の横破線は天体系の静止速度(V_{sys} = 6.12 km s⁻¹)を示し、縦破線は中心星位置を示す。

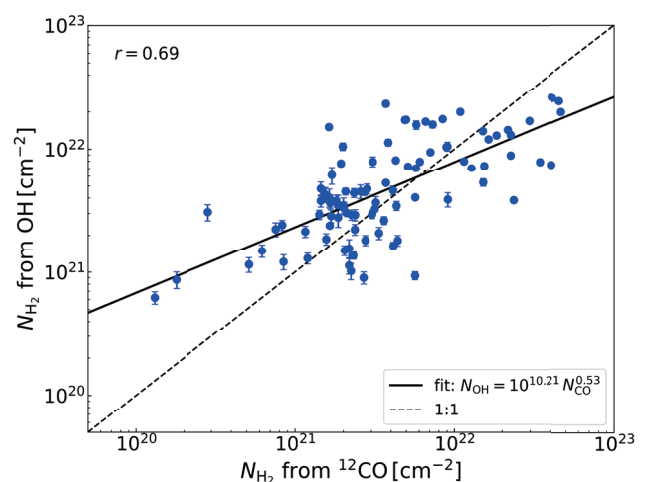
Early GASKAP-OH Absorption Science: Exploring the "CO-dark" molecular gas

笠井 梨名

星間空間に広がる水素分子ガス雲の一般的なトレーサーとして、CO (一酸化炭素) 輝線が広く用いられている。しかし近年、CO ではトレースできない、希薄な「CO-dark gas」が豊富に存在する可能性が指摘されている。このようなガスの有力なトレーサーとしてOH (水酸基) が挙げられるが、これまで実施されてきたサーベイは角分解能や観測領域に制限があった。

本研究では、これらを改善できるASKAP望遠鏡によるGASKAP-OHプロジェクトのOH吸収線データと、Mopra望遠鏡によるCO輝線データを用いて両者の柱密度を比較した。その結果、OHとCOの柱密度の間にはおおむね相関が見られ、OHのみが検出される領域を確認できた。

これらの結果は、GASKAP-OHプロジェクトの観測領域である天の川銀河の第4象限においてもOHはCOに比べて、より低密度で薄く拡がった分子ガス領域を検出できる有効なトレーサーである可能性を示唆する。

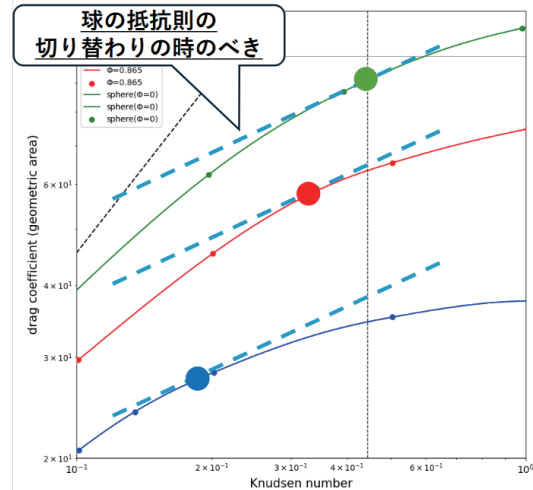


図：COから推定したH₂柱密度N_{H₂}とOHから推定したH₂柱密度N_{H₂}の相関図。実線は両者のべき乗フィットを示し、破線は1:1の関係を示す。両者の相関係数はr=0.69である。

ダストアグリゲイトにかかるガス抵抗の性質

森川 翼

原始惑星系円盤では、ダストの成長が惑星形成の最初のステップである。先行研究では、合体成長におけるダストの空隙率の進化を考慮することで、その空気抵抗則の変化を通して、ダスト落下問題を解決できることが提案されている。一方で、ダストアグリゲイトの空気力学的性質については明らかにされていない部分がある。本研究では、希薄流体の計算手法である DSMC 法を用いた大規模並列シミュレーションコード、SPARTA を利用し、抵抗則が切り替わる遷移領域における、ダストにかかるガス抵抗について調べた。その結果、抵抗則の切り替わりは空隙が大きくなるほど遅れることがわかった。

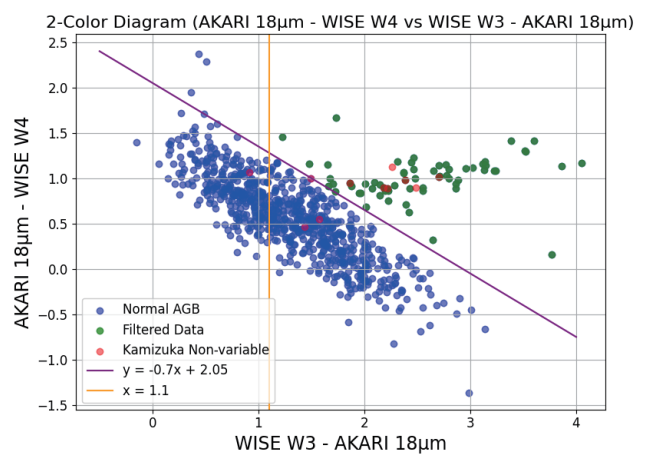


図：抵抗則の遷移領域におけるダストアグリゲイト抵抗係数

AKARI, WISEデータとVERA, TNRTを用いたメーザー観測による非変光OH/IR星選出法の提案

松尾 たま希

中小質量星 (0.8–8M \odot) は進化晩期に AGB 段階へ到達し、その多くは星周に H₂O・SiO・OH メーザーを不随する変光星となる。その後、post-AGB 星へ遷移する段階には、変光振幅が小さい「非変光 OH/IR 星」が存在する。本研究では、AKARI18 μ m, WISEW4, W3 を用いた赤外線 2 色図を基に新たな非変光 OH/IR 星候補 63 天体を選定し、VERA, TNRT でメーザー観測を実施した。H₂O メーザーは 5 天体、OH メーザーは 55 天体で検出され、検出率に顕著な差が確認された。これは、星近傍と外層の間で、脈動減衰に伴うメーザー消失にタイムラグが発生することを示唆する。さらに unTimely による光度変動解析では、55 候補天体のうち約 52.7% が 0.3 等級未満の小振幅天体であり、提案した 2 色図選出法の妥当性を支持する結果となった。

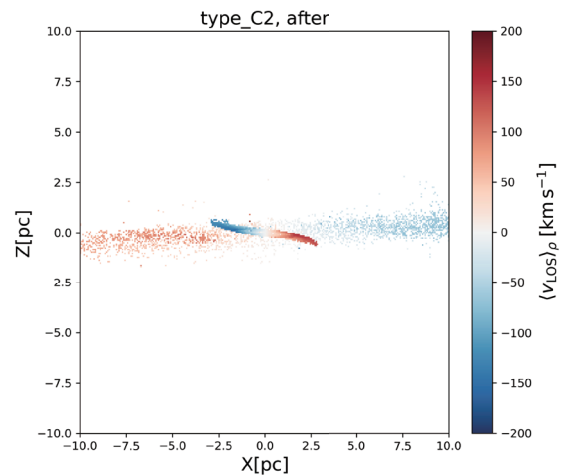


図：[AKARI18 μ m-WISE All-Sky W4(22 μ m)]vs[W3(12 μ m)-AKARI18 μ m]の2色図。
これを基準として、既存の非変光 OH/IR 星 (赤) と同様の色分布を示す 63 天体を観測対象とした (緑点)。

活動銀河核トラスにおける逆回転ガス流入過程の再評価

神宮司 麗珠

活動銀河核 AGN 中心の数 pc 分子雲トラスは、さらに中心の SMBH への質量供給を担う重要な構造である。角運動量輸送過程の解明は、AGN 活動の重要な課題である。近傍銀河 NGC1068 のトラスは外側領域と内側領域で回転方向が異なる「逆回転トラス構造」が観測されており、これは小規模銀河合体によるガスクランプ流入によるものと仮説が立てられている。この仮説を、3次元流体計算コードを用いて検証した。先行研究ではトラス回転円盤同一平面から、本研究では、非同一平面（面から中心軸に 45° 傾けた位置）からガスクランプ流入を想定したモデルを使用している。検証の結果、トラスより角運動量が多いガスクランプが、同一平面でトラス半径程度の軌道で流入するモデルで逆回転トラス構造形成を確認できた。構造形成にはトラス回転軸周りの角運動量を効率的に輸送するようなガスクランプ流入作用が必要である。



図：逆回転構造形成モデルの視線速度マップ。赤が奥向き。内側と外側の構造で回転方向が異なることがわかる。