

学位論文の要旨

氏名

Chibueze James Okwe
チブエゼ ジェームス オクウエ

学位論文題目

Panoramic Interstellar Gas & Dust Observational Study of Massive Star-forming Regions Based on Accurately Estimated Distances

本論文は、超長基線干渉計(以下、VLBIと略記)によるメーザー電波源の3次元運動と大質量星形成領域の位置天文観測をまとめたものであり、進化初期段階での大質量の初期段階恒星(YSO)の高分解能サブミリ波観測も含んでいる。OBアソシエーションでの大質量星形成シナリオについても、1977年に発表されたElmegreenとLadaによる連鎖的星形成シナリオの真偽に迫る研究を行った。本研究によって、大質量星はその周囲にある小質量星の形成をトリガーするものの、大質量星は自発的星形成シナリオにしたがって形成されることを示唆することがわかった。以下に各章の概要を示す。

第1章は、大質量星形成に関する現在の理解と問題点を概観した。

これは大質量星に対する理解の歴史的進展と関連する諸問題について簡潔にまとめたものである。大質量星形成には現在、[1]1998年のBonnell, Bate, & Zinneckerによる非大質量星の合体説、[2]2006年のBonnell & Bateによる初期段階恒星(YSO)の星団での競争的降着説、[3]2002年のYorke & Sonnhalter、2003年のMcKee & Tan、2005年及び2009年のKrumholzらなどが示す、円盤が補助することによって輻射圧を凌ぐコアへの急速な降着を含む重力崩壊説の3つの理論的予想がなされており、本章ではこれらについても説明している。位相補償や他の特殊な手法を含むVLBI観測技術を天体メーザーの基礎と共に記述している。最後に、本博士論文の目標とそれを達成するための手法について記述した。

第2章は、VLBIのデータ整約について記述した。

単一開口鏡のデータ整約とは異なり、VLBIデータは相関処理の後でも最終的な画像が得られる前に多数の鍵となる校正手順を要する。本章のいくつかの部分では、振幅校正・バンドパス校正・位相校正・自己校正法と像合成など、これら校正手順のいくつかについて紙面を費やした。これらの手順の基礎は異なるデータ整約パッケージ(例えば、天体画像処理システムAIPSやMIRIADやCASA)のいずれを使用した場合でも同じである。

第3章は、大質量星形成領域ケフェウスAの空間的運動学的研究についてVLBIを用いた水メーザー電波源の複数時期観測の結果について詳細に記述した。

この研究はVERAと略称される国立天文台の広域精測望遠鏡を用いて行われた。本章では領域全体でのメーザーの運動についての一般論の記述とともに、ケフェウスAのHW3d天体をより重点的に記述した。大質量YSOのHW3dに付随する水メーザー電波源の固有運動をはじめ追跡することに成功した。このメーザー電波源の固有運動はこの天体からの双極ガス流をトレースしていたのである。この結果により、米国立電波天文台の大電波干渉計(VLA)による波長1.3cm連続波で見られた長く伸びた構造をうまく説明できるようになった。この確定的な研究成果により、HW3dの内部に励起源があることがはじめて明らかとなった。このメーザー電波源の結果は位置-速度の分散共分散行列解析法を用いて客観的に確かめることができる。さらに、膨張ガス流モデルを観測されたアウトフローに適用することでHW3d内部には複数のエネルギー源が存在する可能性を示唆した。

第4章は、大質量星形成領域NGC6334I(N)のVLBIによる複数時期観測について記述した。

天文学において正確な距離見積もりは決して軽視できない重要課題である。星形成領域の場合、距離が不正確だと、それに依存して見積もっている塵質量などの物理量の見積もりが不正確になる。現在、最も正確な距離見積もりの方法はVLBI観測法による年周視差の高精度観測がもたらしている。NGC6334I(N)の場合、VERAの2ビームシステムのおかげで年周視差0.89ミリ秒角を得ることができ、距離を1.12kpcと見積もることができた。さらに、全領域の水メーザー源の運動と空間分布について、日本VLBIネットワーク(JVN)を用いた複数時期観測を行った結果も示した。特に注目すべきは、水メーザー源の固有運動でトレースできる興味深い構造を示す天体、SMA1天体である。ケフェウスAのHW3d天体の場合と同様に位置-速度の分散共分散行列解析法を用いて客観的な解析も行っている。

第5章は、サブミリ波干渉計(SMA)を用いたNGC6334I(N)の高分解能サブミリ波観測の結果について記述した。

この観測はミリ波の連続波および輝線を共に検出すべく計画した。その結果、YSO候補天体の全てを連続波で分解したばかりでなく、YSOを高温および低温コアに分類する際に輝線観測の結果が大いに役だった。新たに分解されたYSOであるSM2は約60Kのコアを持ち、NGC6334IとNGC6334I(N)との境界領域で見つかったものである。本章では、この天体で検出されたミリ波輝線の森とその意味するところについて記述している。

第7章は、この研究のまとめと、水メーザーの固有運動やサブミリ波観測に基づく、大質量星形成の進化系列を記述する試みについて記述した。

この論文で示された興味深い結果に基づいて、モンキーヘッド星雲で見つかったのに類した研究を他の天体にも広げようという将来計画について述べ、それによって現在の連鎖的星形成史なりを荷改善を迫ることができるのではないかと、記述している。

第8章は、この研究の延長たるべき、将来計画について記述した。

これにはALMAによる追求観測や、VERA/KVN(韓国VLBIネットワーク)を用いたメーザー観測によって、モンキーヘッド星雲以外の電離水素領域についての観測を行い、OB型星は、連鎖的星形成と自発的星形成のどちらが主流なのかを明らかにしたい。

論文審査の要旨

報告番号	理工研 第 382 号	氏名	Chibueze James Okwe
審査委員	主査	半田利弘	
	副査	中西裕之	亀野誠二

学位論文題目 **Panoramic Interstellar Gas & Dust Observational Study of Massive Star-forming Regions Based on Accurately Estimated Distances**
(精密距離測定に基づく大質量星形成領域の全容に亘る星間ガスおよび塵の観測的研究)

審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文はについて述べたもので、全文8章より構成されている。

第1章は、導入として、大質量星形成に関する現在の理解と問題点を概観している。

第2章は、以下の章で論じている天体の全てに対して共通して用いられている距離測定法とその基礎になる超長基線干渉計（以下VLBIと略す）のデータ整約について記述している。

第3章は、大質量星形成領域ケフェウスAについて、VLBIを用いた水メーザー電波源の複数時期観測から得られた空間的運動学的研究について記述している。

第4章は、大質量星形成領域NGC6334I(N)SM1のVLBIによる複数時期観測による距離見積もりとメーザー源の3次元運動について記述している。

第5章は、ハワイにあるサブミリ波干渉計SMAを用いたNGC6334I(N)SM2の高分解能サブミリ波観測から得られた対象天体の物理状態について記述している。

第6章は、モンキーヘッド星雲S252に付随する星形成領域での若い星の分布と分子ガス雲の温度分布について記述した。これにより、この領域では従来言われていた連鎖的星形成が起こっていないことを観測的に示している。

第7章は、この論文のまとめである。大質量星形成の進化系列の中で、この研究が占める位置について記述している。

第8章は、この論文に記述された研究に関する将来の展望が述べられている。

以上本論文は、超長基線干渉計(以下、VLBIと略記)によるメーザー電波源の位置天文観測、サブミリ波観測、センチ波観測による複数の天体の観測に基づいて行った大質量星形成領域に関する研究で、これまでに提唱されていた、いくつかの星形成シナリオについて検討を行い、原始星周囲で見られるガス流の発生時期や、連鎖的星形成シナリオが観測的には妥当でないことを明らかにした。これは、大質量星形成の理解に大きく寄与するとともに、このような研究における年周視差に基づく正確な距離測定が重要であることを実例として示した。

よって、審査委員会は博士（理学）の学位論文として合格と判定する。

最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第 382 号	氏 名	Chibueze James Okwe
審査委員	主 査	半田利弘	
	副 査	中西裕之	亀野誠二

提出された学位論文の内容について以下の6つの質疑応答が行われた。

- 1) メーザー源となる濃い星間ガスを駆動する力は何かという質問に対して、高速のジェットが摩擦によって周囲のガスを巻き込む過程を考えていると答えた。
- 2) 連鎖的星形成シナリオを否定する観測結果を示しているが、同様の観測を行える候補天体はあるのかという質問に対して、選定済みであり、既に国立天文台野辺山45m電波望遠鏡による観測を今年頭から開始していると答えた。
- 3) 学位論文で述べている全ての観測結果を踏まえると、冒頭で紹介した大質量形成についての3つの理論モデルのうちどれに見込みがありそうかとの質問に対して、それぞれに該当する例が発見されたので母胎となるガス雲の性質によると予想していると答えた。
- 4) SM2コアの温度導出法についての質問に対して、黒体放射と分子輝線で見積もったと答えた。
- 5) モンキーヘッド星雲で電離水素領域とガス雲とが見かけ上、重なって見えるだけではないとなぜいえるのかとの質問に対し、視線速度が一致していることと電波連続波観測で電離ガスの広がりを確認しているそのような可能性はないと答えた。
- 6) 自発的星形成が起こるきっかけは何かとの質問に、観測データとしてはきっかけを示唆する現象は発見されていないので、きっかけがなくとも星形成が起こると予想するが、結論づけるためには今後の研究が必要であると答えた。

これら全ての質問に対し、妥当かつ迅速に答えることができた。よって、審査委員会は最終試験に合格であると判定する。