

学 位 論 文 の 要 旨	
氏 名	下井倉 ともみ
学位論文題目	オリオンKL水メーザー源スーパーバースト現象の研究
<p>本論文は、スーパーバースト現象の起源の解明に向けて、バーストを起こしたメーザースポットの運動をミリ秒角スケールで研究した結果をまとめたものである。</p> <p>第1章では、宇宙空間におけるメーザー放射の概要及びスーパーバースト現象の概要について述べ、本研究の目的について述べた。</p> <p>1979年から1986年にかけて、Orion KL領域でH₂Oメーザー放射の強度が莫大に上昇するというスーパーバースト現象が起きた。そして、同じ領域で1997年の終りに再びH₂Oメーザーのバースト現象が出現した。今回バーストを起こした場所は、前回と1秒角程度の誤差で一致することがわかっている。</p> <p>強度が10⁶ Jyを超える超大型のバースト現象は、この領域で過去に1度観測されているだけであり、このような強力なフラックス密度をもたらすスーパーバースト現象が発生する機構についてこれまでも研究されてきた。しかし、電波領域での観測的研究は主に単一電波望遠鏡によるものであり、バーストを起こしている微細な領域の構造を明らかにしたものは無く、そのためスーパーバーストの起源は解明されていなかった。バースト現象の機構を解明するためには、メーザーをスポットとして分解できる高分解能観測でこの現象を観測することが重要であり、今回バースト現象が発生したのを受け、我々は、バースト現象のメカニズムを調べるために、VLBAを用いて約1年間に渡って高分解能観測を行った。</p> <p>第2章では、鹿児島6m単一鏡観測概要及びその結果と、VLBA観測の概要を示した。</p> <p>鹿児島6m単一鏡観測により、ピークフラックス密度の時間変化からバースト現象の長期的な変動が明らかになった。観測は、1998年3月25日から1999年6月5日まで、平均3日に1度の頻度で計73回行った。バーストを起こした成分は、ほぼ直線的な増光を続け、約500倍の4.5×10⁶Jyにまで達した。その後は単調に減少を続け、バーストが起きた約1年後の観測末期には0.25×10⁶Jyにまで下がった。</p> <p>VLBA観測は、鹿児島6m観測で強度2.2×10⁶Jyであった1998年5月10日から、強度0.65×10⁶Jyであった1999年2月20日までの約2週間おきに、全16回行った。これは、バースト現象の初期から末期にあたっている。</p>	

第3章では、VLBA観測の結果を述べた。この観測から、バーストフィーチャーの空間構造、速度構造を明らかにすることができた。

バーストを起こしたのは、4ミリ秒角程度の領域である。各エポックで形状に違いがあり、全観測期間を通じて構造の変化が見られた。バーストフィーチャーは、強度の変動とともにその構造が変化した。この空間構造とスペクトル構造からバーストをおこしたメーザーフィーチャーが空間的に独立した、少なくとも2つのメーザー成分から成っていることを明らかにした。この2成分は、モニター観測が行われた287日間に3.5ミリ秒角変位し、1つの成分が他方に重なり、やがて追い越していくという相対的な運動を示した。このことからメーザー雲が我々の視線上で重なることで強度の増大、すなわちスーパーバーストが起こることを明らかにした。

第4章では、観測によって得られたバーストフィーチャーの形状および位置の解析結果について述べ、バーストの発生機構について議論した。

観測結果を元に、スーパーバーストが発生する領域について以下の考察を行った。バーストしている状態では、放射相互作用によりメーザー電波は、ごく小さい立体角内に集中して放射されるビーム状態となる。観測されたメーザーの線幅、励起状態から推定される物理温度、観測された輝度温度から、ビームの立体角は 10^{-6} ステラジアンと考えられる。

メーザーを励起するメカニズムを考察する際、放射が等放的であると仮定するか鋭くビームしているかと仮定するかによって、必要な励起エネルギーは大きく異なる。過去の研究では等方的な放射を仮定しており、励起に必要なエネルギーを過度に見積もっていた可能性が高く、そのエネルギーを説明するためにOrion KL - IRc2からのアウトフローが起こす衝撃波が重要視されていた。しかし、今回の結果から、実際には十分低いエネルギーによる励起でも、放射相互作用によってスーパーバーストが起きることが証明されたと言える。

第5章では、バーストを起こした領域がどのような環境であるのかを調べるために、周辺スポットの検出を行った結果を述べた。この結果、バーストフィーチャーの周辺には、120ミリ秒角という非常に狭い領域に、バーストフィーチャーを含め、ほぼ同じ視線速度の5つのスポットが、南東から北西へ一直線上に並び、系統的な速度勾配をもつことがわかった。また、これらのスポット群の相対的な速度構造と固有運動を明らかにした。このことから、バーストフィーチャーは、500ミリ秒角の大きさで系をなしていることがわかった。

第6章では、バーストフィーチャーの周辺領域のスポット群の速度構造と固有運動からバースト領域の構造について議論した。

今回の結果より、バーストフィーチャーピーク成分に対してスポット群は、大きな運動はみせなかった。しかし、バーストフィーチャーの第2成分のみ大きく動いた。そこで、バーストフィーチャーとスポット群は、バーストフィーチャーピーク成分をエネルギーソースの中心として同じシステムで運動しているとするモデルを考え、スポット群の運動と速度場についての考察を行った。これらの結果から、バースト現象は、原始星周辺のガス円盤において発生し、その円盤面内にいる観測者によって観測される可能性が高いと結論した。

第7章は、本研究のまとめである。これまでの結果をもとに、本研究の成果をまとめる。

論文審査の要旨

報告番号	理工研 第234号	氏名	下井倉 ともみ
審査委員	主査	面高 俊宏	
	副査	鍵山 茂徳	中村 昭洋

学位論文題目 オリオンKL水メーザー源スーパーバースト現象の研究

(Studies on super burst phenomenon of water maser in Orion KL)

審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等をもとに学位論文審査を実施した。本論文は、VLBAを用いてバーストを起こしたメーザースポットの運動をミリ秒角スケールで研究したもので、全7章より構成されている。

第1章では、宇宙空間におけるメーザー放射の原理及びスーパーバースト現象の概要について述べ、本研究の目的について述べている。筆者らはバースト現象のメカニズムを調べるために、VLBAを用いて約1年間に亘って高分解能観測を行った。

第2章では、鹿児島6m単一鏡観測の概要及びその結果と、米国のVLBA観測の概要を示している。鹿児島6m単一鏡観測によるピークフラックス密度の時間変化から、バースト現象の長期的な変動を明らかにした。VLBA観測は、この長期的変動にあわせてバースト現象の初期から末期までモニター観測している。

第3章では、VLBA観測の結果と現象の原因を論じている。今回の観測から、バーストメーザーの空間構造と速度構造が明らかとなった。全観測期間を通じて強度の変動とともに構造の変化が見られ、この空間構造とスペクトル構造からバーストをおこしたメーザーが空間的に独立した、2つの成分から成りたっていることが明らかになった。筆者は、この2成分のメーザー雲が視線上で近づくにつれて強度が増大し、重なり合ったときに強度のピークを迎える、すなわちスーパーバーストが起こることを明らかにした。

第4章では、バースト現象の起こるメカニズムについて説明している。バーストしている状態では、メーザー源の重なり合いによりメーザー電波がごく小さい立体角内に集中し、放射はビーム状態となる。観測されたメーザーの線幅、励起状態から推定される物理温度、観測された輝度温度から、ビームの立体角は 10^{-5} ステラジアンと考えられる。この結果から、実際には十分低いエネルギーによる励起でも、放射相互作用によってスーパーバーストが起きることが証明された。

第5章では、バーストを起こした領域の周辺のメーザー源について言及している。120ミリ秒角という非常に狭い領域に、バーストメーザー源とほぼ同じ視線速度を持つスポット群の存在が明らかとなった。このスポット群は、系統的に運動していることが示された。

第6章では、前章で明らかとなったスポット群の速度構造と固有運動からバースト領域の構造について述べている。筆者は、このスポット群の運動と速度場について考察し、過去の観測によって提唱されていたディスク・ジェットモデルは否定できることを示した。

第7章は、本研究のまとめである。

以上、本論文はバースト現象の起源の解明に関する研究であり、放射相互作用によりメーザー強度が増大し、スーパーバースト現象が起こることを微視的スケールで世界で初めて明らかにした。さらに本研究では、バーストメーザーのビームの立体角、形状について考察し、バーストメーザーの物理状態について新たに制限を設けることができた。これらは謎であったスーパーバースト現象の解明に大きな影響を与える結果である。以上より、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234号	氏名	下井倉 ともみ
審査委員	主査	面高 俊宏	
	副査	鍵山 茂徳	中村 昭洋

2006年2月14日（火）に行われた博士論文発表会において、審査委員を含む25名の教員及び学生の前で学位申請者 下井倉ともみ氏 による発表が行われた。その内容及び関連事項について質問が行われた。その一部を以下に示す。申請者はどの質問に対しても適切に対応し、満足すべき回答を得る事ができた。

Q：バーストの放射相互作用モデルの計算式に関して、Lとしてどのような量を用いたのか。

A：バーストメーザーの2成分の距離 10^{16} cmをLとしてモデルの計算を行った。

Q：バーストした成分の固有運動を議論する際に明るいスポットを基準としているが、基準点を変える事により、直線的ではない他の運動状態を考えることは出来ないのか。

A：例えばスポット群の回転運動は観測的に考えにくい。高い精度で電波強度ピーク成分の速度に変動がなかったために直線的な運動であると結論した。

Q：電波強度の時間変化に於いて、時間が経つにつれバースト強度がきれいに直線的に増大する様子は理解しにくい。この電波強度増大の様子はどのように理解したらいいのか。

A：電波強度が増大しピークをむかえ、やがて終息に向かう中で長期的な凸型の強度変動が明らかになった。強度の測定誤差は10%程度あるが、ほぼ直線的な強度増加が得られている。水蒸気メーザー源が接近し重なり合う面積が次第に増え、直線的な電波強度の増加に繋がったと考えている。

Q：想定したモデルから、強度が増大する様子を推定するところ出来るのではないのか。

A：この領域は平常時でも 10^4 Jyの強度を持つ。観測は2つのスポットの重なりが既に始まっていると考えられる時期からのスタートなので、もっと長い時間の強度変動を考えると違う様子が得られるかもしれない。今回の結果では、放射相互作用モデルにより2つの成分が視線方向と垂直な平面内で等速運動し重なり合う様子を見ている。直線的な変化が見えてもおかしくないと思う。

Q：視線上でメーザースポットの空間的重なりが今回の増光の本質的メカニズムだと結論しているが、そうであれば、重なり合う確率は少ないはずである。20年おきに起こっているのは理解しにくい。

A：例えば今回の現象が前回と同じ成分だとするならば、20年という周期性から回転円盤モデルなどが考えられる。しかし、今回の現象は前回と1秒角の誤差で一致との報告があるものの明確に同場所とは分からない。

Q：バーストの再現性についてどう考えるか。

A：単一鏡観測による定期的なモニターを継続すべきである。バーストが起こったらVERAで観測したい。

Q：別の天体であるW49Nでもバーストが起こったが、この天体との関連はどのように考えるか。

A：W49Nの観測結果では衝撃波モデルが有力視されている。本研究でもこのモデルによる解釈を試みたが、そのようには結論付けられなかった。

以上のような質疑応答の結果から、3名の審査委員は申請者が大学院博士課程修了者としての学力と見識を備えていると判断し、博士（理学）の学位を与えるに足る資格を持つものと判断した。