

重い星の誕生のようす，また一步解明！

P141a W49N MCN-a: 自己重力円盤による大質量原始星への降着

【概要】

アルマ望遠鏡のデータを解析することで、重たく、暖かく、厚みのある円盤を通して、重い星が周囲のガスをかき集めながら形成されていくようすを明らかにしました。

本研究は、現在PASJ:Publications of the Astronomical Society of Japan（欧文研究報告）で審査中の研究です。

宮脇亮介（桜美林大学）

林正彦（日本学術振興会ボン研究連絡センター）

長谷川哲夫（国立天文台）

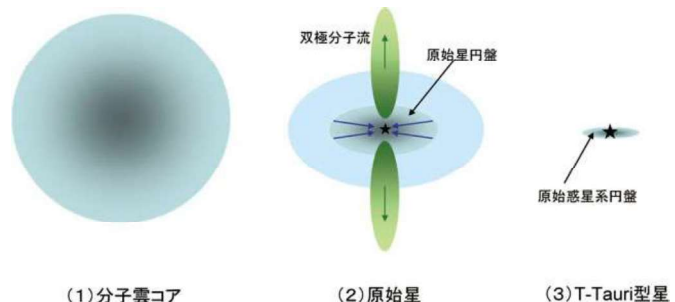
連絡先：宮脇（miyawaki@obirin.ac.jp）

zoomにて対応可能です。

注）本研究での円盤は厚みがあるので，トーラスとも呼ばれる。

星の形成

- 星の形成は、主として水素分子からなるガスが、重力の作用で一点に降り積もる（**降着**する）ことで起こる
- 太陽程度の質量（重さ）をもつ軽い星（中小質量星）の形成過程は、だいたい分かっている
 - ・ 暗黒星雲（分子雲）のあちこちに、重力の作用で「**分子雲コア**」ができ、そのなかで**数十万年**かけて水素ガスが中心星へと降り積もる
 - ・ 分子雲コアは、**半径が数万au**で**質量が太陽の数倍**ある水素ガスの濃い塊。質量の約1%のダスト（重元素からなる個体微粒子）を伴い、**冷たい**（絶対温度で10 K程度、摂氏-260度）
- 星の形成時には、角運動量の保存のために**原始惑星系円盤**が形成され、中心部では角運動量を外部に放出するために**双極分子流**が生じる
- 原始惑星系円盤から**惑星が形成**される



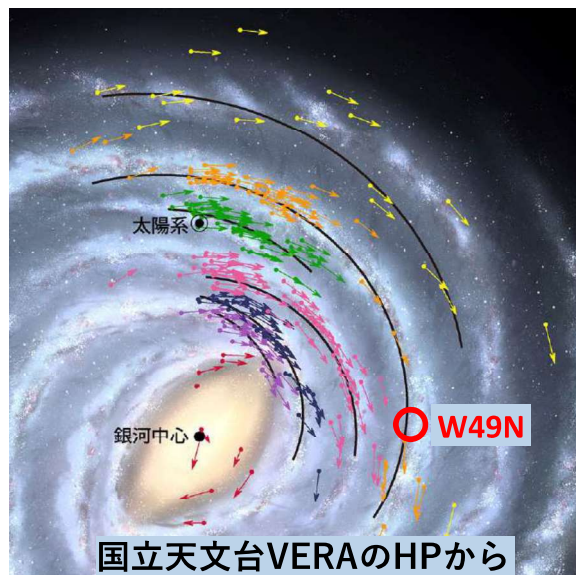
注）au (astronomical unit) は天文学で用いられる距離の単位。地球と太陽の間の平均距離にほぼ等しく、 $1.495978707 \times 10^{11}$ m (約1億5000万km)（天文学辞典から引用 <https://astro-dic.jp/astronomical-unit/>）

<http://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/~submm/sf/sf.html>

太陽系に最も近いおうし座の星形成領域までの距離は約500光年

重い星の誕生は異なる？

- 大質量星（概ね太陽の8倍以上の質量をもつ重い星）は中小質量星に比べて**進化が速い**
 - **降着が終了しない段階で中心星の核融合が始まる**
 - 中小質量星の**分子雲コア**に対応するものは**ホットコア**。その大きさは分子雲コアとほぼ同じで数万auだが、**質量は分子雲コアの1000倍**
 - 詳しく観測できる領域が太陽付近に少ない（オリオンで約1500光年）
- 誕生のようすがよく分かっておらず、専門家の間でも議論あり
- 大質量星の形成も、円盤を通して起こるのか？
 - その円盤は、どのような性質（**回転、質量分布**）をもっているのか？



重い星の誕生は異なる？

- 大質量星（概ね太陽の8倍以上の質量をもつ重い星）は中小質量星に比べて**進化が速い**
 - **降着が終了しない段階で中心星の核融合が始まる**
 - 中小質量星の**分子雲コア**に対応するものは**ホットコア**。その大きさは分子雲コアとほぼ同じで数万auだが、**質量は分子雲コアの1000倍**
 - 詳しく観測できる領域が太陽付近に少ない（オリオンで約1500光年）
- 誕生のようすがよく分かっておらず、専門家の間でも議論あり
- 大質量星の形成も、円盤を通して起こるのか？
 - その円盤は、どのような性質（**回転、質量分布**）をもっているのか？

G34.43+00.24 MM3



参考：ALMA望遠鏡プレスリリース（2013..10.04）
アルマ望遠鏡が発見した、赤ちゃん星を包む大きな温かい繭
https://alma-telescope.jp/news/press/mt-post_513
Sakai et al. 2013, ApJ, 775, L31

W49Nとは

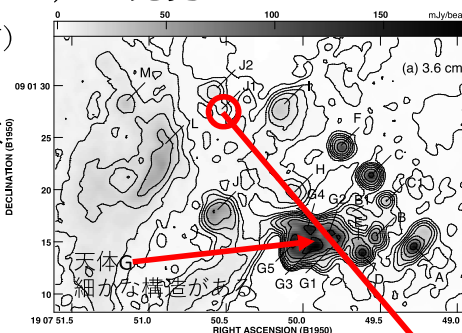
- W49は、Westerhout (1958)が電波で発見した49番目の天体。その後AとBに分解された（Bは距離の異なる別天体で、超新星残骸）
- W49Aは**わし座**にある大質量星の形成領域
- W49Nは、W49Aの北部にある**HII領域**（大質量星の紫外線によって電離された領域）の**クラスター**
- 距離は**11キロパーセク**、36,000光年（最も近い大質量形成領域オリオンの20倍以上）
- 水素分子ガスの総質量は太陽の約100万倍（巨大分子雲）。**大きさ1パーセクのコア部分の質量は太陽の10万倍**
- HII領域のひとつ（天体G）は銀河系内で**最も明るい水蒸気レーザー**を放射している



W49N MCN-aとは

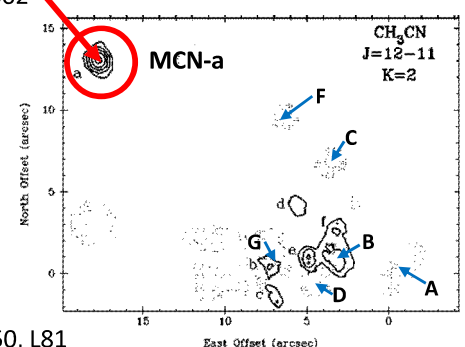
- MCN-aは、Wilnerら（2001）がシアン化メチル（ CH_3CN 、methyl cyanide、アセトニトリル）で発見した**ホットコア**のうち、一番東にあるもの（J1に対応：J2の南）

- 野辺山45m望遠鏡および野辺山ミリ波干渉計（NMA）の観測により、この領域では**分子雲どうしの衝突によって大質量星の形成**が起きていると考えられる（本年会P122b）



De Pree et al. 1997, ApJ, 482, 302

天体A,B,C,D,F,G等はHII領域領域を示し、すでに大質量星が形成していることを示す



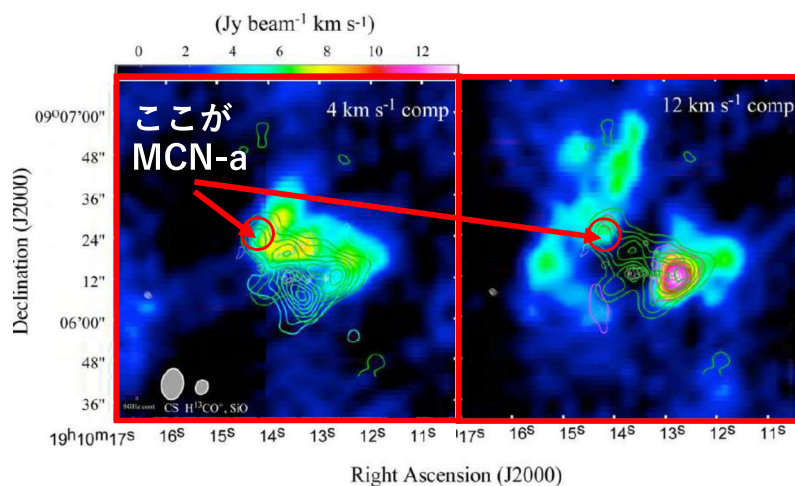
Wilner et al. 2001, ApJ, 550, L81

W49N MCN-aとは

- MCN-aは、Wilnerら（2001）がシアン化メチル（ CH_3CN 、methyl cyanide、アセトニトリル）で発見した**ホットコア**のうち、一番東にあるもの（J1に対応：J2の南）

- 野辺山45m望遠鏡および野辺山ミリ波干渉計（NMA）の観測により、この領域では**分子雲どうしの衝突によって大質量星の形成**が起きていると考えられる（本年会P122b）

野辺山ミリ波干渉計による結果



カラーはCS, コントア：緑SiO, 青H¹³CO⁺

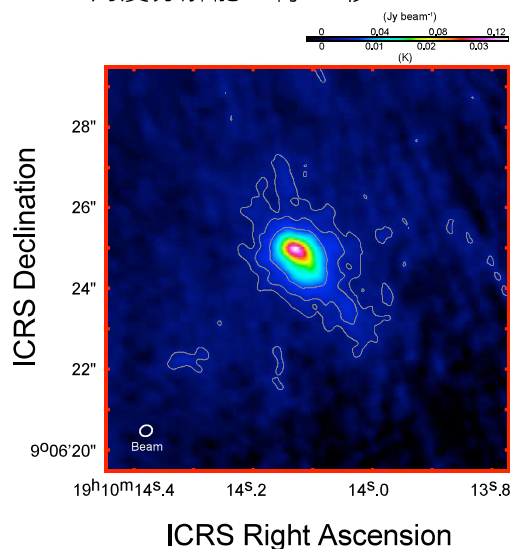
Miyawaki et al. 2022 PASJ, 74, 128

今回はALMA望遠鏡のアーカイブデータを解析

219～235GHzの連続波

ダスト粒子からの放射

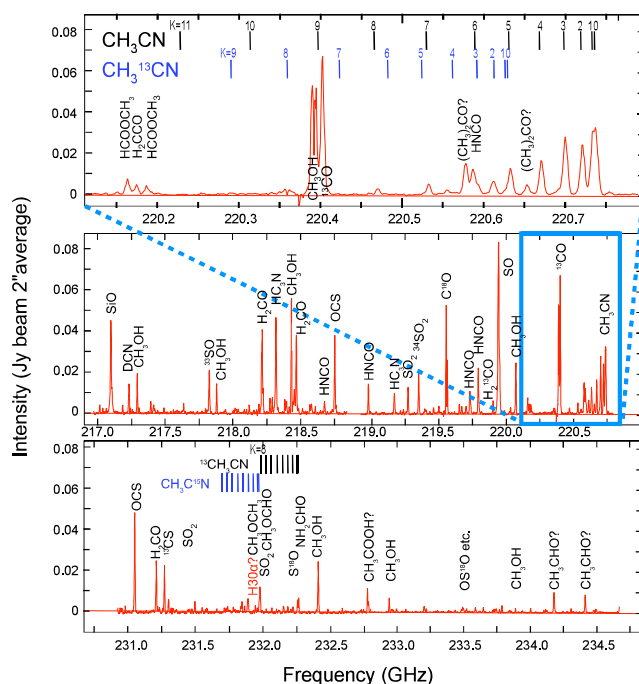
角度分解能 約0.3秒



多くの分子の**回転輝線**

速度分解能 2km/s

角度分解能 約0.3秒



本研究の成果

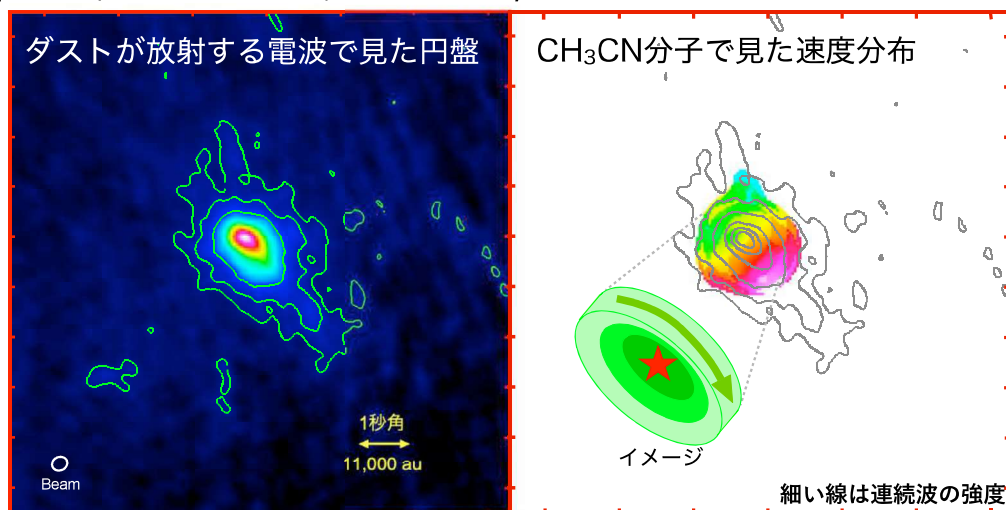
連続波の強度分布は扁平 => ダスト円盤からの放射

1."40 × 0."95 (PA=43.5°) 半径7,800 auで傾き47.5° ± 2.4°

多数の分子輝線から、円盤の回転法則が分かった

回転は $V(R) \propto R^{0.32}$ と表せる

(半径3,000 auから17,000 auまで)



半径：分子ごとの分布の違いから

分子輝線ごとに分布の半径が異なる



分子ごとに、密度や温度の異なる領域から放射されている

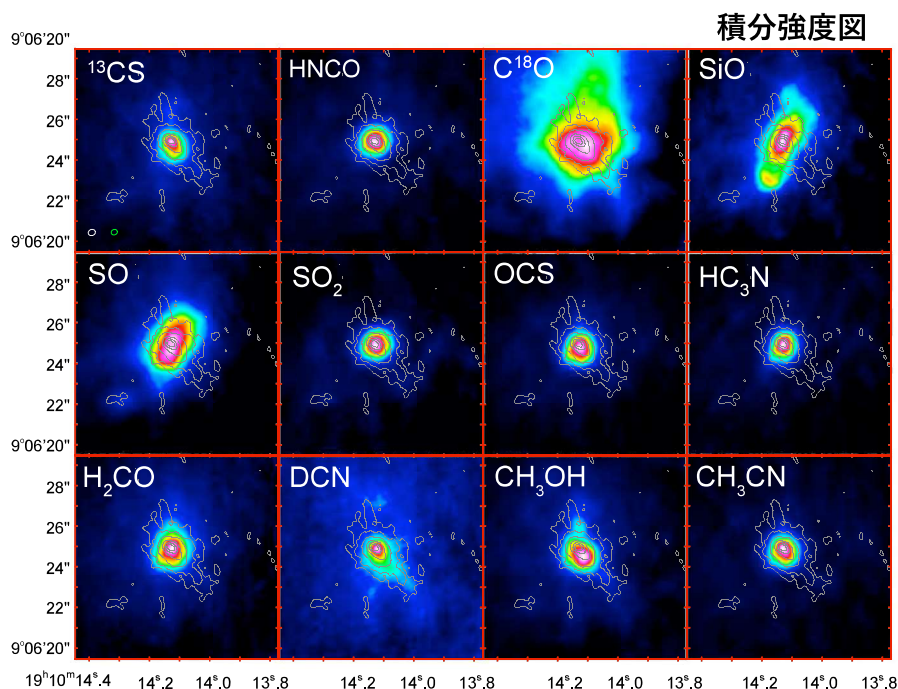
同一分子の複数の遷移を使って温度を求めると

CH₃CN $T_{rot}=278$ K

HNCO $T_{rot}=297$ K

CH₃OH $T_{rot}=127$ K

ICRS Declination



ICRS Right Ascension

色は強度を表し、白→赤→黄→黄緑→水色→青になるにしたがって弱くなる。細い線は連続波の強度

300 K (摂氏27度、地球の表面温度程度)

円盤の回転

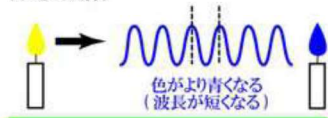
分子輝線ごとに回転速度が異なる

↓
分子ごとに別々の半径と回転速度をもつ

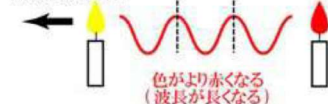
ドップラー効果

電磁波(光)の場合

(1) 近づく場合



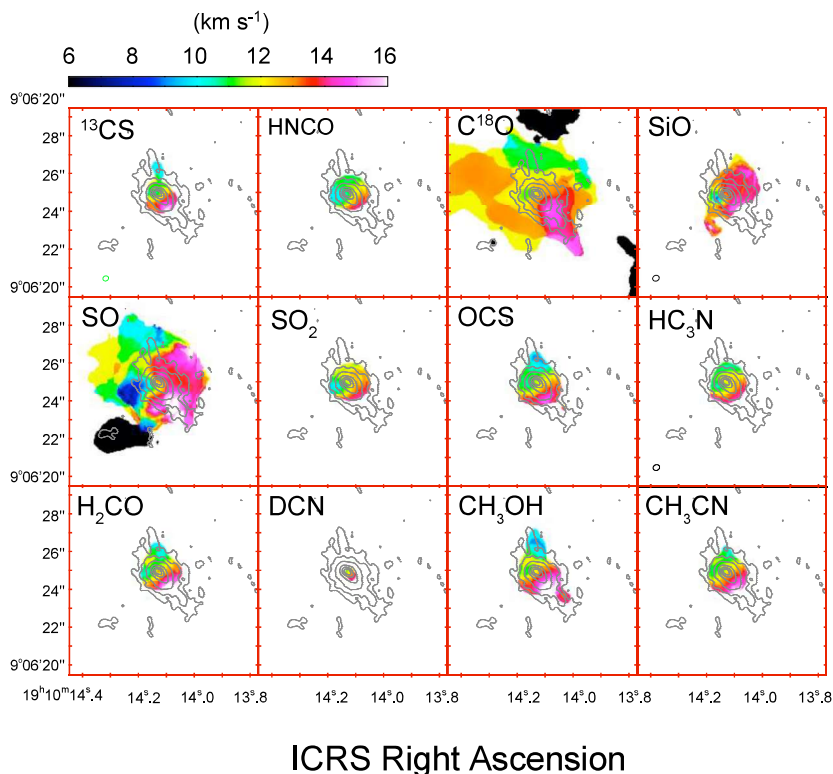
(2) 遠ざかる場合



ICRS Declination

天体が運動している場合、視線方向の運動はドップラー効果で線スペクトルの波長がずれることにより、視線速度として観測することができる

https://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/InfraRed.html



色は速度を表し、青→水色→黄緑→黄→赤になるにしたがってわれわれから遠ざかる。細い線は連続波の強度

注) SiOとSOは円盤からの放射ではない

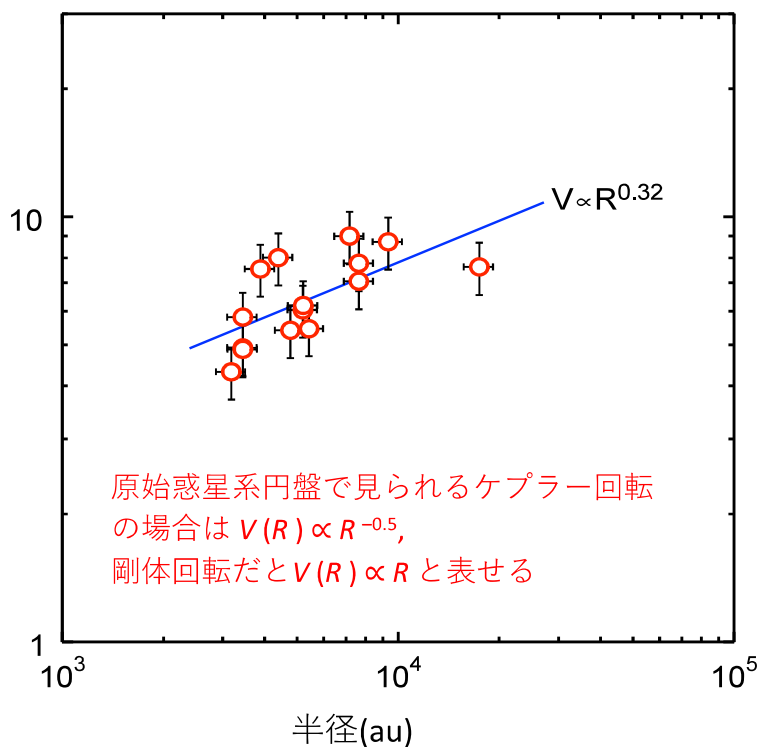
円盤の回転

- 各分子で計測した半径と回転速度から回転則を求めた
- このような手法で速度分布則を正確に決めたのは初めて
- $V(R) \propto R^{0.32}$ の意味？
 - 半径が小さくなるにしたがって回転速度が遅くなる
 - ケプラー回転ではない
 - 剛体回転ではない



回転しながら中心に落ちていく過程で、このような速度分布ができたのだろう

回転速度 (km/s)



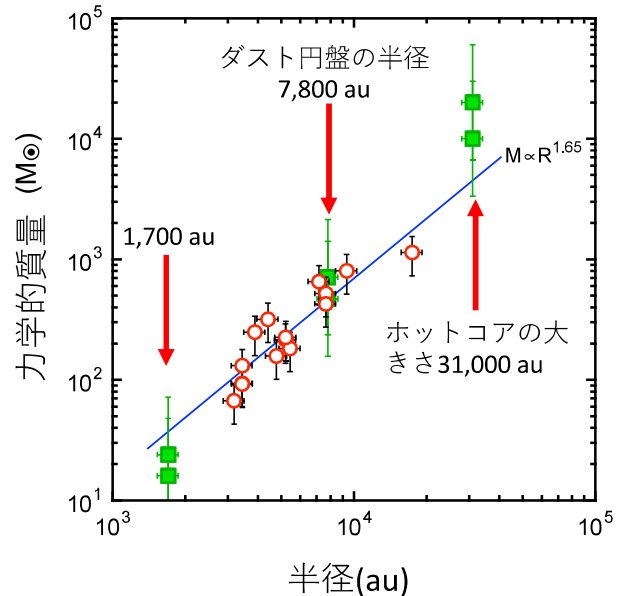
円盤の質量分布

- この回転則から万有引力の法則を使って導出される円盤の質量分布は、半径 R 以内に存在する質量を $M(R)$ としたとき

$$M(R) = 95 \times (R / 3,000 \text{ au})^{1.65} M_{\odot}$$

と表わせる ($M_{\odot}$ は太陽質量)

- このような質量分布則を導出したのは初めて
- これは **ダスト放射から求めた質量** とよく一致する
- この質量分布を半径 1,000 au まで外装すると、 $15.5 M_{\odot}$ となるが、これはほとんど中心星の質量 $\Rightarrow$ **円盤は半径 1,000 au 以内ではケプラー回轉的** になるだろう
- この質量分布をホットコアの半径 (31,000 au) まで外挿すると $4,500 M_{\odot}$ となり、分子の輝線放射から推定されるホットコアの質量と一致 $\Rightarrow$ **今回得られた MCN-a の質量分布則は、半径 1,000 au から 31,000 au までの質量分布を正しく表している** と考えられる

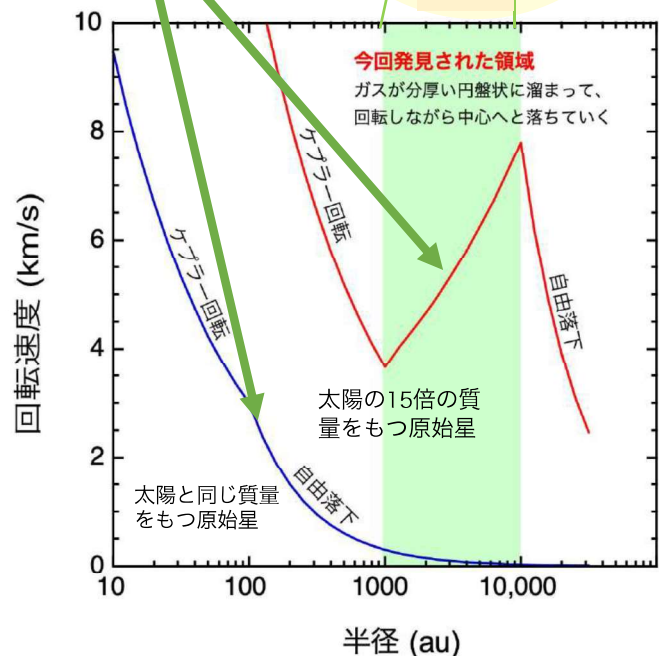
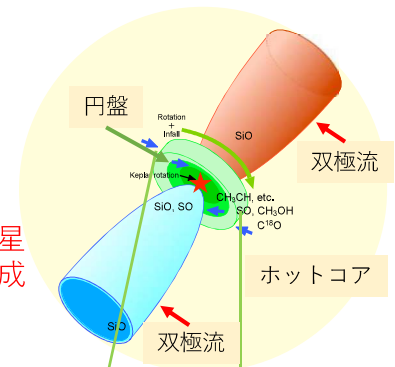


まとめ

大質量星を形成するホットコア全体にわたって、今回のような回転速度則と質量分布が**明らかになったのは初めて！**

- 今回観測された大きなガス円盤は不安定で、円盤内で渦巻きが生じたり塊に分裂したりして、ガスが円盤の内側へと落下していくものと考えられる
- その速さ (質量降着率) は、毎年太陽の 1% に相当する質量が中心へと落ちこむ程度だと推定される
- さらにその 1 割程度の質量 (水素ガス) が、実際に星に降り積もるものと推定される

この違いが大質量星と中小質量星の形成の違いか！？



超解像画像から見えてきた巨大ブラックホールジェットのらせん状運動

出席者：笹田真人（広島大学）、福満 翔（東京大学/国立天文台）

共同研究者：池田思朗（統数研）、秋山和徳（MIT）、森山小太郎（Goethe University）

概要

広島大学他日米研究者からなるグループは、スパースモデリングによる画像化技法によって取得した超解像画像から、巨大ブラックホールジェットのらせん運動を発見しました。電波干渉計によって取得された活動銀河中心核から噴出するジェットの観測データに対して画像化を行い、**ジェットの超解像タイムラプス動画**を得ました。この動画から噴出するジェット流の運動を調べた結果、中心コアから出ていく**ジェット流が直線的な移動をせず、南北方向にぶれながら移動していることがわかりました**。これはジェット流がらせん状に運動することで説明ができ、中心核からのびるらせん磁場にそって運動していることを示唆します。

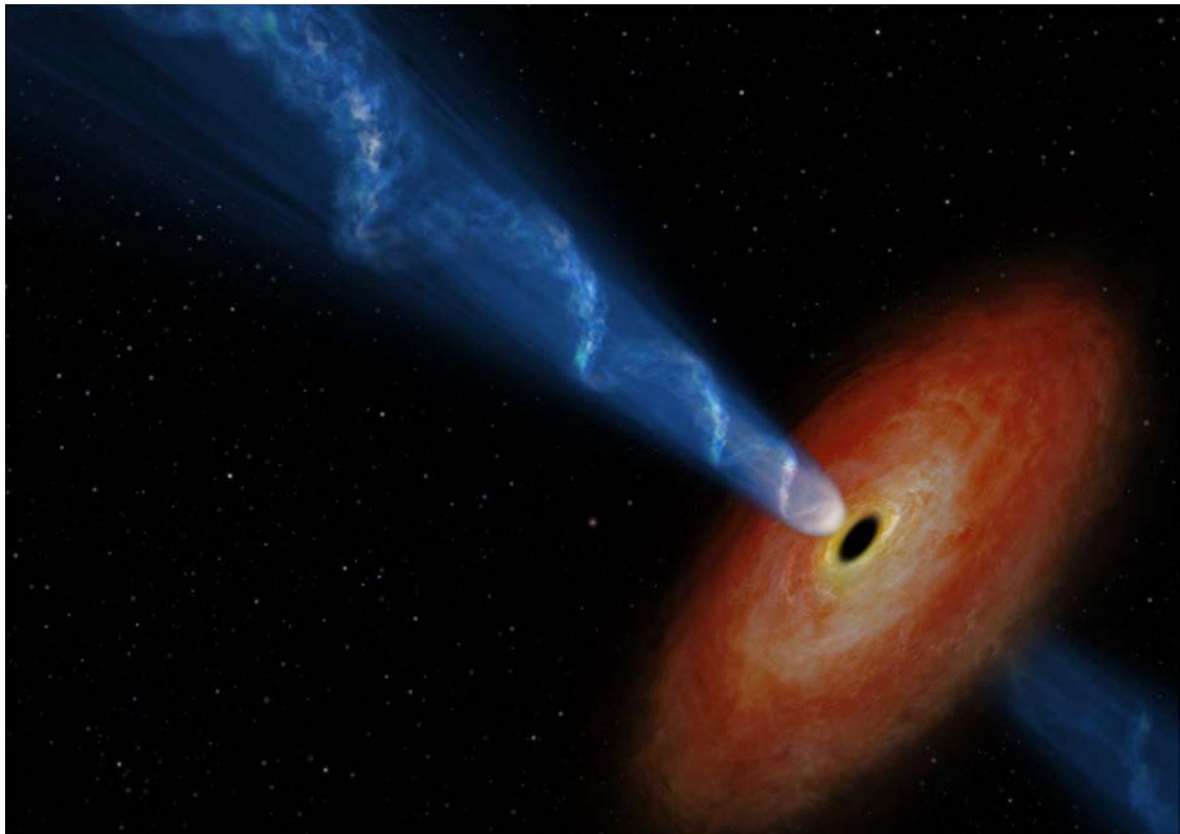


図1：ジェットの中をらせん運動しながら進行するプラズマの噴流の想像図。ブラックホール近傍から噴出したジェット流は降着円盤に垂直な方向に噴出すると考えられています。(Illustration by Shinichiro Kinoshita)

1. ブラックホールジェットの謎

銀河全体に匹敵する明るさをもつ活動銀河の中心核の中には、ジェットと呼ばれるほぼ光の速度で噴出するプラズマ流が存在します。このジェットは中心核にある巨大ブラックホール（質量が太陽の

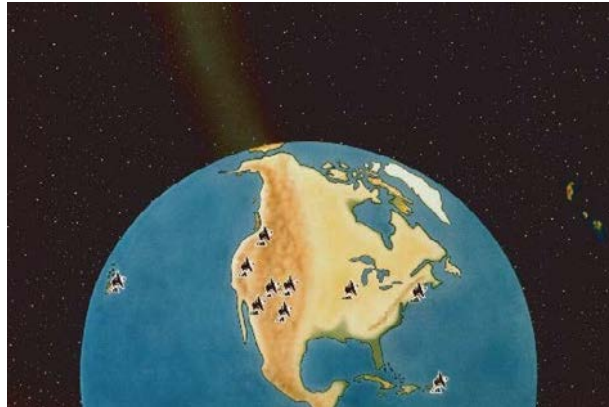


図2：VLBAの地球上での位置。

（出典：[http://legacy.nrao.edu/epo/aoc/puente/whatisvlba/TheVeryLongBaselineArray\(VLBA\).html](http://legacy.nrao.edu/epo/aoc/puente/whatisvlba/TheVeryLongBaselineArray(VLBA).html)）

10億倍以上に及ぶことがあります）の極近くから出ていることがわかっていますが、どうやって噴出するかについてはいまだわかりません。

ジェットの噴出には磁場が大きな役割を担っていると考えられています。ジェットの根元のブラックホールには降着円盤があり、ブラックホールの周囲にある磁場は降着円盤に引きずられてぐるぐる巻きになります。ジェットから噴出するプラズマは磁場から力を受けるため、ジェットと磁場の構造の間には密接な関係があります。

2. 電波干渉計データのスパースモデリングによる画像化手法

研究グループはアメリカ国立電波天文台によって運営されている電波干渉計装置のVery Long Baseline Array (VLBA)によって取得されたジェット天体の観測データを画像化することで、ジェット流の動きを調べました。対象天体はペガサス座の方向にある3C 454.3という天体であり、この天体は電波からガンマ線までの幅広い波長帯で観測されています。

電波干渉計観測は複数の望遠鏡を組み合わせ、これらで検出した電磁波信号間の干渉を利用することで一台の電波望遠鏡を構成する観測方法です。図2はVLBAにおける各望遠鏡の地球上での配置を示しています。最大基線長（望遠鏡間の距離）は8000kmにもおよび、1ミリ秒角を切る解像度で画像を描くことが可能です。

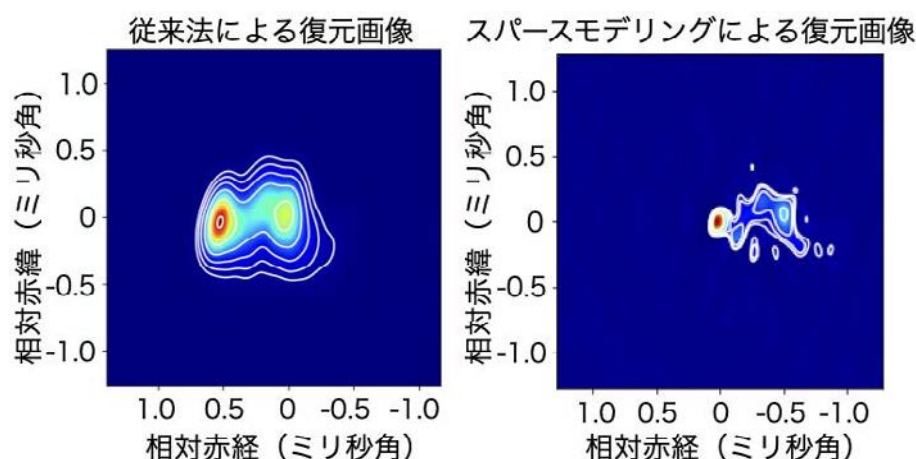


図3：従来法とスパースモデリングの手法による電波干渉計データの画像化の比較。従来法による画像に比べ、新手法による画像の方がシャープであることがわかります。

電波干渉計によって取得されるデータは天体画像の情報の一部であり、写真のように画像がそのまま得られることはありません。そのため画像を取得するためには一部しかない観測データから全体像を構築する「画像化」が必要となります。しかしデータは一部しかないので、全体像を構築する画像化は得られる画像に不定性を持ち、実際の天体画像と異なる可能性もあり得てしまいます。そこで天体画像の大部分からは信号（電波）が来ないことを利用することで、研究グループはスパースモデリングによる観測データに即した画像化をおこないました。この新たに開発された手法は従来の画像に対して数倍解像度が良い超解像画像を作成することも可能であり、今回得られたジェット画像は従来法の画像に比べ高い解像度を達成しています（図3）。

3. ジェットの超解像画像と南北のふらつきの発見

この研究では噴出するジェット流の時間変化からジェットの構造を調べることを目的に、2018年7月から2019年6月までに取得されたデータからジェットの超解像画像群を作成しました。図4はジェットの噴出成分が1年間かけて東から西方向（左から右方向）へ移動している様子を表しています。

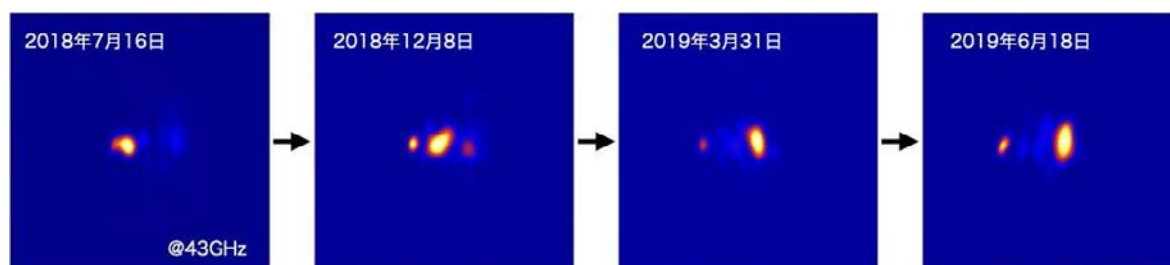


図4：VLBAによって取得されたジェット天体3C 454.3のスパースモデリングによる超解像画像の時間変化。ジェット流が東から西（左から右）へ移動する様子を捉えています。

1年間で取得されたジェット画像群から平均画像を作成し、ジェット流の明るさの分布とジェット流の動きを調べました（図5）。ジェット流は東から西へ移動するとともに南北（上下）方向にもふら

ついていました。ジェット流が宇宙空間を単純に移動する場合には、直線的に進行するはずですが、このジェット流は進行方向とは垂直な方向へも移動していることがわかりました。

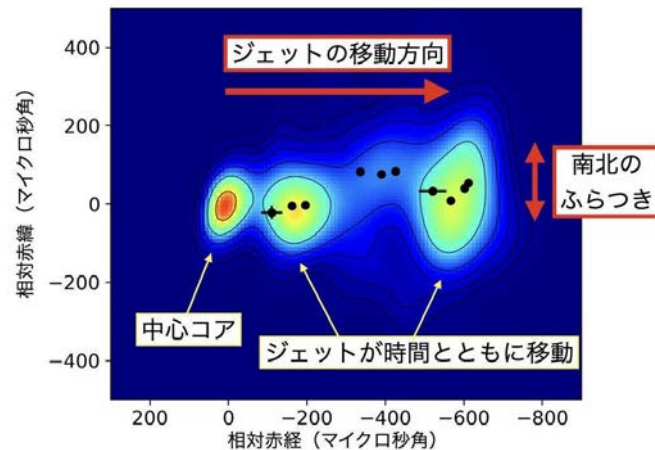


図5：複数期間のジェット画像を平均した画像。各観測で推定されたジェット流の位置を黒丸で表しています。ジェット流は南北方向にふらつきながら移動している様子を示しています。

4. ジェット流のらせん運動

ジェット流はブラックホール近傍の中心コアから噴出しています。プラズマであるジェット流は磁場から力を受けるため、ジェット流のふらつきも磁場が何らかの作用をしていることが考えられます。さらに磁気流体シミュレーションによってブラックホール近傍を再現すると、降着円盤によって巻き上げられた磁場はジェットに巻きつくようにしてらせん状に分布することが予測されています。今回観測されたジェット流のふらつきはこの巻き上げられたらせん状の磁場から力を受けることによって発生していることが考えられます。

研究グループは中心コアかららせん状に運動するジェット流をモデル化し、観測されたジェット流の動きを再現できるか検証しました。ジェット流は光速に近い速度で移動しており、その場合特殊相対性理論による効果でジェット流がこちら側に向かっているときは明るく、遠ざかるときは暗く見えます。図6の右図のモデル画像もこちら側に進行する場合と遠ざかる場合で明暗が現れています。ジェットの平均画像にはらせん運動モデルと同様に明るい場所と暗い場所があり、南北のふらつきと併せてジェット流はらせん運動していることが示唆されました。

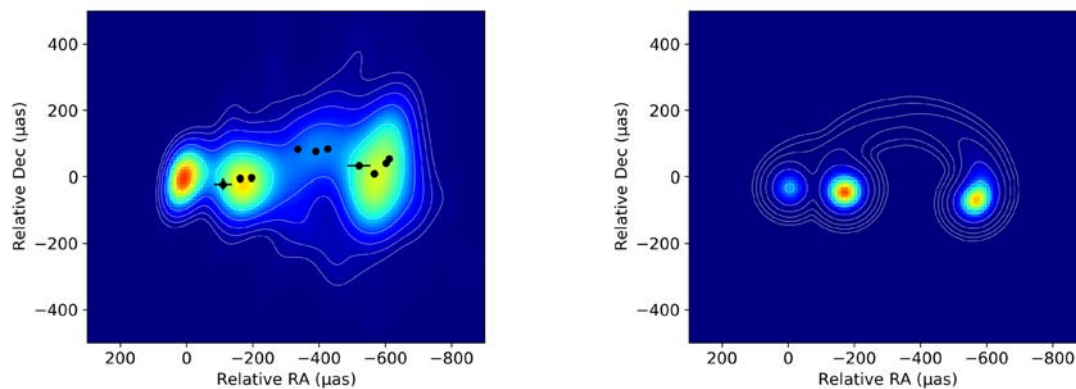


図6：取得されたジェット流の1年間の平均画像（左）とらせん運動する光源の平均画像（右）。両方の画像で中心コアの他に2箇所あかるいスポットが確認できます。これはほぼ光速で移動するジェット流がこちらを向いているときに明るく光るために局所的に明るくなります。

5. 結論と今後の展開

VLBAによる電波干渉計観測データを用いてジェット天体 3C 454.3 のジェット流の動きを超分解画像によるタイムラプス動画により調べました。その結果**ジェット流が直線運動ではなく南北にふれながら移動する様子を捉えました**。これはジェット流がらせん運動をしていることを示唆しており、らせん状の磁場がジェットにある証拠と考えられます。このらせん状の磁場はブラックホールの周囲にある降着円盤によって磁場が引きずられて一緒に回転することで形成されます。今回の結果は磁気流体シミュレーションによって予測されたらせん磁場とジェットの実証するものとなり、観測と理論を結びつける重要な結果となりました。

この研究では電波干渉計データに対して統計技法を使い画像化することで、従来法に比べ詳細な画像を得ています。このスパースモデリングによる画像化手法の適用は、原理的にはVLBAデータのみならず他電波干渉計データ全てに適用可能です。そのため、既存のデータに対して新手法で画像化することで得られる詳細画像から、新たな発見が生まれることが期待できます。

謝辞：本研究はJSPS科研費 JP19K14761, JP19KK0081, JP19H01943の助成を受けたものです。

用語解説

● ブラックホール

強重力の天体であり、光すら逃げる事ができない天体です。銀河の中心には巨大なブラックホールがあると考えられており、その質量は太陽の10億倍以上にもなります。

● 活動銀河核

活動銀河で明るく光る中心核です。中心にある巨大ブラックホールの重力により物質が落ち

込み、その際重力エネルギーが解放されます。この重力エネルギーの解放の作用によって、活動銀河核は降着円盤やジェット、高速で運動するガスからなる広輝線領域など、複雑な構造を持ちます。

- ジェット

ほぼ光の速さで中心核領域から噴出するプラズマ流です。ブラックホールのごく近傍から噴出しており、非常に高いエネルギーをもつジェットからは電波だけでなく、赤外や可視光からガンマ線にいたる広い帯域での電磁波が放射されます。

- 降着円盤

ブラックホールに周囲からガスや物質が落ち込む際、角運動量をもっているガスはブラックホールにまっすぐに落ちず、ブラックホールの周りにリング状に広がる円盤を形成します。このように広がった円盤を降着円盤といいます。降着円盤では落下している物質の運動エネルギーが効率よく熱や放射のエネルギーに変換され、その解放されたエネルギーによってブラックホール周辺では複雑な構造が形成されます。

- スパースモデリング

少ない元情報から全体像を復元しようとする科学的モデリング手法の一種です。電波干渉計で観測される画像の全体像（解）がスパース（疎）であることを利用して、電波干渉計データの画像化などの解が一意に決まらない不良設定問題に対して尤度の高い解を推定します。

アルマ望遠鏡、129億年前の銀河から 窒素と酸素の電波をとらえる



アルマ望遠鏡（右、クレジット：ESO/C. Malin）と窒素と酸素の検出に成功した129億光年彼方にある銀河の想像図（左、クレジット：国立天文台）。手前の銀河（オレンジ色）の重力によって、背後にある129億光年彼方にある銀河が2つのアーカ状の天体として観測されています。

発表のポイント

- ▶ アルマ望遠鏡によって、129億光年彼方の銀河に存在する窒素や酸素からの電波を検出
- ▶ 宇宙誕生9億年後に窒素や酸素が存在し、既に太陽系での存在比率の50-70%に達していると推定
- ▶ 今回観測した銀河は現在の宇宙に存在する巨大楕円銀河の祖先だと考えられる

記者会見 発表者

但木 謙一（国立天文台・国立天文台フェロー）

辻田 旭慶（東京大学・大学院生）

なぜ窒素を観測するのか？

地球の空気の約99%を占める窒素と酸素は、138億年前のビッグバン直後には存在せず、星内部での核融合反応によって作られました。ここで作られた窒素や酸素などの重元素（ここではヘリウムより重い元素を指します）は、星が寿命を終える時の爆発や星風によって星間空間に放出され、重元素を含んだガスからまた新たな星が生まれ、これを繰り返すことで宇宙に存在する重元素は時間と共に増えてきました。同じ核融合反応でも、現在の宇宙に存在する窒素と酸素の起源は少し異なると考えられています。酸素は寿命の短い重い星で、宇宙誕生直後に存在していたヘリウムから作られるので、宇宙初期にすでに作られていたと期待されます。一方で窒素の多くは、比較的寿命の長い星で、炭素や酸素を含んだ一連の核融合反応の過程で作られるので、**窒素は酸素より遅れて増えてきた**と考えられます。従って129億年前の銀河から窒素を検出したことは、それよりさらに過去の宇宙で、すでに星の誕生と死のサイクルを繰り返し、重元素を作っていたことを示唆しています。

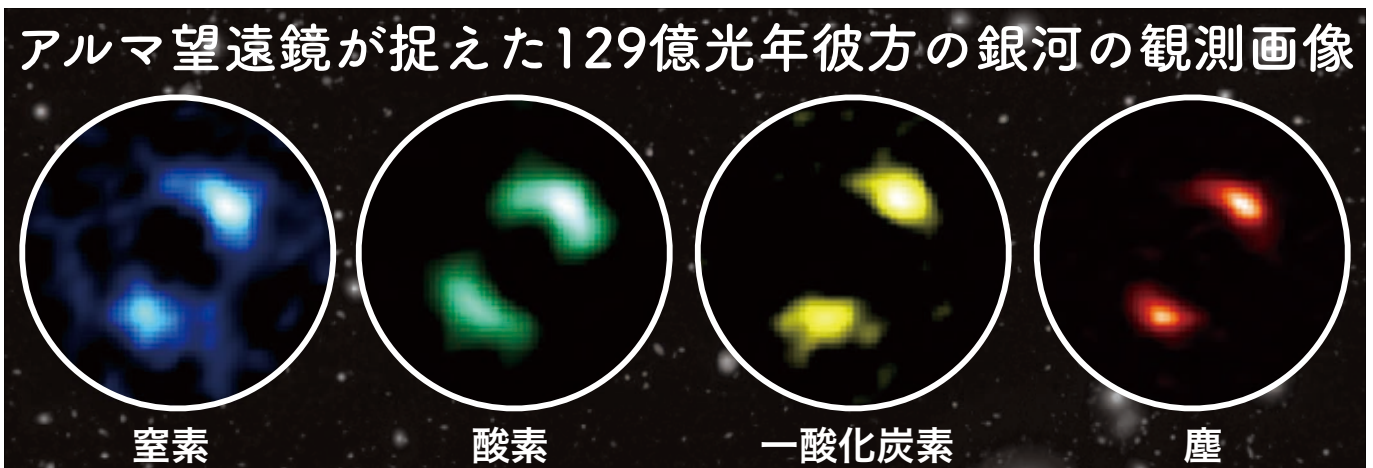
なぜアルマ望遠鏡なのか？

様々な時代にある銀河を観測し、その銀河内にある重元素の存在量を調べることは、138億年の宇宙の歴史の中で銀河がどのように進化してきたのか理解する上で重要です。これまでの多くの研究は、可視光の波長にある窒素や酸素の光を観測し、重元素の存在量を推定してきましたが、120億光年より遠い銀河では宇宙膨張の効果で波長が伸びてしまい、地球大気の影響で地上から観測できなくなってしまう。そこで国立天文台・東京大学・名古屋大学等の研究者からなるチームは、遠赤外線波長の波長にある別の窒素と酸素の光に着目し、アルマ望遠鏡を用いてうみへび座の方角の129億光年彼方にある銀河を観測しました。本来は遠赤外線波長の光も地上から観測できないのですが、可視光と同様に宇宙膨張の効果で波長が伸び、今度は電波として地上から観測できるようになるのは遠方銀河観測の面白いところです。

最近では宇宙初期の銀河にある酸素から発せられる電波の検出が多く報告されるようになりましたが、窒素に関してはその微弱な信号のせいで、ほとんど検出に成功していませんでした¹。今回、**世界最高感度のアルマ望遠鏡と重力レンズと呼ばれる自然の増幅効果を利用することで、129億年前の宇宙に存在している1つの銀河から、酸素と窒素、そして一酸化炭素と塵の電波も捉えることができた**。アルマ望遠鏡の画像では、手前にある銀河の重力の影響を受けて2つのアーチ状の天体に分かれて見えますが、これらは共に129億光年彼方にある1つの銀河です。

酸素に対する窒素の電波強度が大きければ、それは星の誕生と死のサイクルを繰り返し、重元素が豊富に存在していることを意味しています。現在の宇宙にある銀河での経験則が129億年前の宇宙でも成り立つとすれば、観測された窒素と酸素の電波強度比は、太陽系での存在比率の50-70%ほどの重元素が129億年前の銀河にすでに存在していることを示唆しています。

アルマ望遠鏡が捉えた129億光年彼方の銀河の観測画像

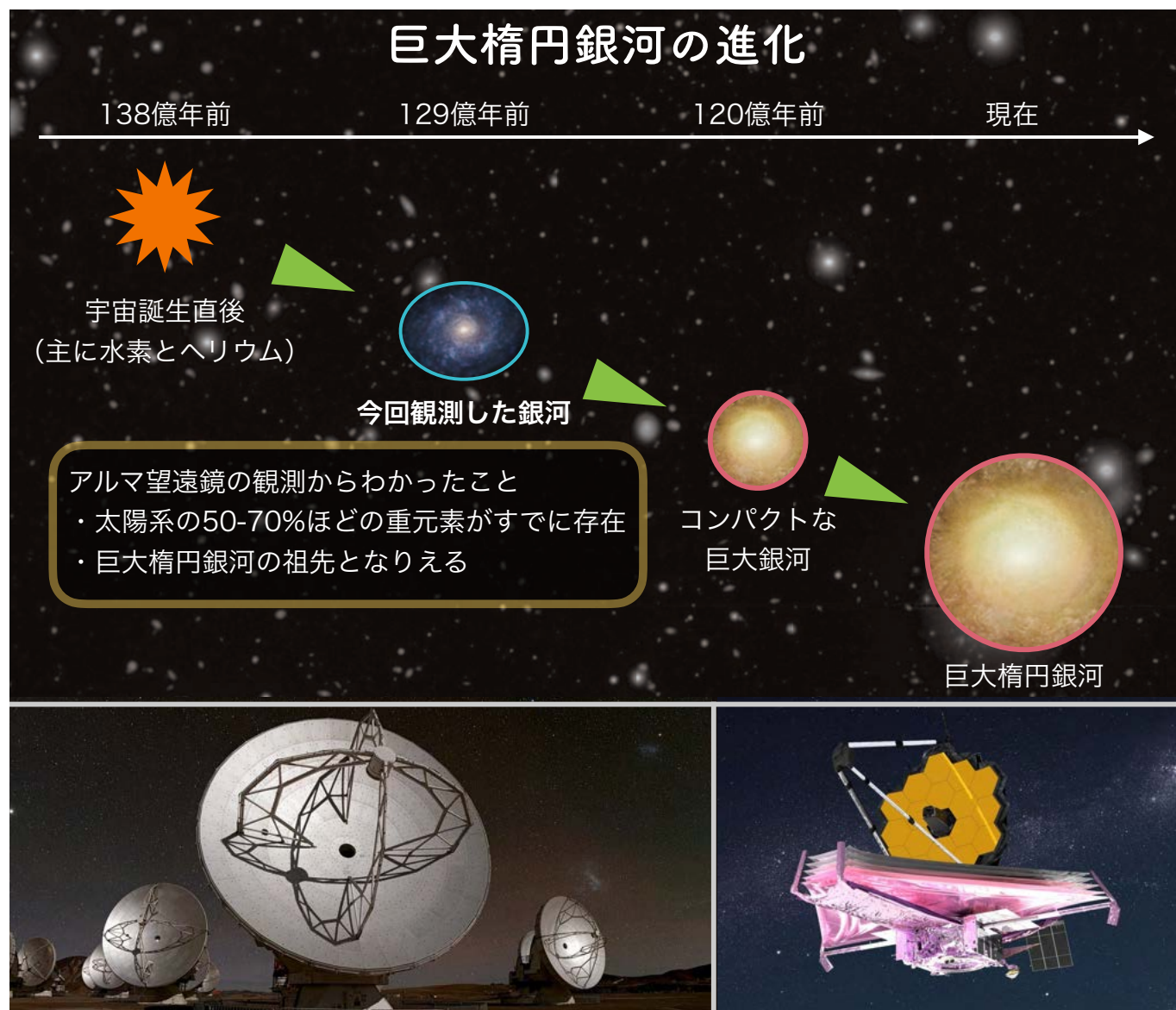


¹ 129億年前のような初期宇宙では、クエーサーと呼ばれる極めて珍しい天体でのみ窒素の検出が報告されています。

巨大楕円銀河の進化を遡る

今回観測した銀河は、太陽系のある天の川銀河より質量が大きく古い星が多い巨大楕円銀河の祖先だと考えられます。銀河はガスから星を作り、時間と共に星質量の大きな銀河へと進化し、やがて星作りをやめ、隠居生活に入ります。巨大な銀河ほど星作りを止めるタイミングは早く、120億年前の段階ですでに星作りを止めた巨大銀河も最近では発見されてきています。120億年前の巨大銀河の星の分布は非常にコンパクトで、半径がおよそ2000光年（天の川銀河の中心から太陽までの距離の1/10以下）の領域に集中しています。今回観測した129億年前の銀河の塵や一酸化炭素の分布は、激しく星作りをしている場所を反映しており、その半径もおよそ2000光年であり、120億年前のコンパクトな巨大銀河が星作りを止める前の段階に相当するのではないかと考えられます。

このような巨大楕円銀河の祖先となるような銀河では、宇宙誕生直後の主に水素とヘリウムしか存在しなかった宇宙からわずか9億年経過した段階で、すでに太陽系での存在比率の50–70%ほどの重元素が作られているということがわかりました。この9億年の間に銀河はどのようにして重元素を増やしてきたのでしょうか？その答え、つまり窒素や酸素の起源を遡るためには、さらに過去の宇宙の銀河での窒素の検出が待ち望まれますが、これはアルマ望遠鏡に加えて、今年から観測を開始する予定のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡によって明らかになるでしょう。



上：巨大楕円銀河が進化する様子。

左下：アルマ望遠鏡（ESO/B. Tafresh）。右下：ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（NASA）。

記者発表の対象となった学会講演

X10a 「ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z=6$ I: Detection of nitrogen (赤方偏移6にあるサブミリ波銀河のアルマによる観測 I：窒素の検出)」

但木 謙一 (国立天文台) ほか

また以下の学会講演も関連しています。

X11a 「ALMA observations of a submillimeter galaxy at $z=6$ II: Lens modeling, gas kinematics and CO excitation (赤方偏移6にあるサブミリ波銀河のアルマによる観測 II：レンズモデリング、ガスの運動、CO分子の励起状態)」

辻田 旭慶 (東京大学) ほか

研究チーム全員の氏名・所属

但木 謙一	国立天文台、総合研究大学院大学
辻田 旭慶	東京大学
田村 陽一	名古屋大学
河野 孝太郎	東京大学
廿日出 文洋	東京大学
伊王野 大介	国立天文台、総合研究大学院大学
Lee Minju	Technical University of Denmark
松田 有一	国立天文台、総合研究大学院大学
道山 知成	国立天文台、大阪大学
長尾 透	愛媛大学
中西 康一郎	国立天文台、総合研究大学院大学
西村 優里	国立天文台、東京大学
斉藤 俊貴	国立天文台、日本大学
梅畑 豪紀	東京大学
Zavala Jorge	国立天文台