

2021年7月8日

大阪府立大学

世界初！

宇宙空間の多くの分子からの電波を同時に 受信するシステムの開発に成功

— 宇宙の進化や星・惑星が形成されるメカニズムの解明に向けて —

大阪府立大学（学長：辰巳砂 昌弘）大学院 理学系研究科の宇宙物理学研究室と、国立天文台のアルマプロジェクト・先端技術センターは、星が生まれる現場にある様々な分子から放出される電波を、今までと比べて**数多く同時に観測できる新しい受信システムの開発・試験観測に世界で初めて成功**しました。このシステムを応用することにより、宇宙の進化や星・惑星が形成されるメカニズムの研究に大きな進歩がもたらされると期待されます。



図1：大阪府立大学の1.85m電波望遠鏡。
現在、国立天文台野辺山宇宙電波観測所で運用されている。

<研究のポイント>

- ◎ 観測できる電波の範囲（周波数帯域幅）を従来の数倍に大きく広げた受信システムの開発に成功
- ◎ その受信システムを大阪府立大学の1.85m電波望遠鏡に搭載し、実際の天体からの電波の試験観測に初めて成功

<研究・開発を主導した学生のコメント>

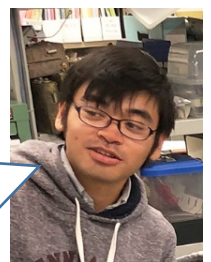


理学系研究科物理科学専攻・宇宙物理学研究室 D2：増井 翔

本広帯域受信機の開発の初期から観測の成功までに携わることができて、非常に貴重な体験をすることができました。お世話になった多くの方々には大変感謝しております。これらの経験を活かし、今後も装置開発の観点から、さらなる天文学の発展に向けて精進していきたいと思っております。

理学系研究科物理科学専攻・宇宙物理学研究室 D1：山崎 康正

自分達で作りに上げた受信機でオリオン座からの電波を初めて受信し、メンバーと喜びを分かち合えた瞬間は感無量でした。この成果は関係する多くの方々の協力によって成し遂げられたものだと感じています。皆様に心より感謝するとともに、これからも天文学に貢献できるよう精進したいと思っております。



＜研究内容＞

宇宙に浮かぶ星の間には、星や惑星のもとになる星間物質（ガスやチリのあつまり：星間分子雲として観測されます）が存在し、その中には数多くの分子が含まれています。分子はその種類ごとに異なる周波数の電波で輝いており、様々な分子が放つ電波は非常に広い周波数範囲にわたって検出されています。様々な分子が放つ電波を観測することで、星間分子雲の性質や化学組成を知ることができ、星や惑星が生まれる様子を明らかにすることにつながります。このため、広い周波数範囲を一度に観測できる受信システムの開発が追求されてきました。

一般に、電波望遠鏡で一度に観測できる電波の範囲（周波数帯域）は、ごく一部に限られています。これは、電波受信機を構成する様々なコンポーネントの特性に起因します。本研究では、電波受信機へと電波を取り入れるホーンや、電波を伝搬させる導波管（中空の金属管）回路、電波の周波数変換部など、様々なコンポーネントの広帯域化を行いました。それを受信機システム全体として結合することにより、受信できる電波の周波数帯域を従来よりも数倍に拡大することに成功しました。さらに、この受信機システムを大阪府立大学の1.85m電波望遠鏡（国立天文台野辺山宇宙電波観測所内に設置）に搭載し、実際の天体からの電波をとらえることに成功しました。これは、本研究成果が実際の天文学観測においても極めて有用であることを示すものです。

多様な分子が放つ様々な電波を一度に検出できるこの技術により、1.85m電波望遠鏡を用いて天の川銀河に沿った星間分子雲を一層効率的で詳細に観測することが可能となりました。また、これまでに様々な成果を上げてきた巨大電波望遠鏡「アルマ」の性能をさらに向上させるための「アルマ望遠鏡将来開発ロードマップ」や「アルマ2計画」においても受信機の広帯域化が重点項目として取り上げられており、本成果はアルマ望遠鏡や他の大型電波望遠鏡への応用が期待されます。これにより、銀河の進化や星・惑星系の形成メカニズムなど、宇宙の進化の解明に大きな貢献をもたらします。

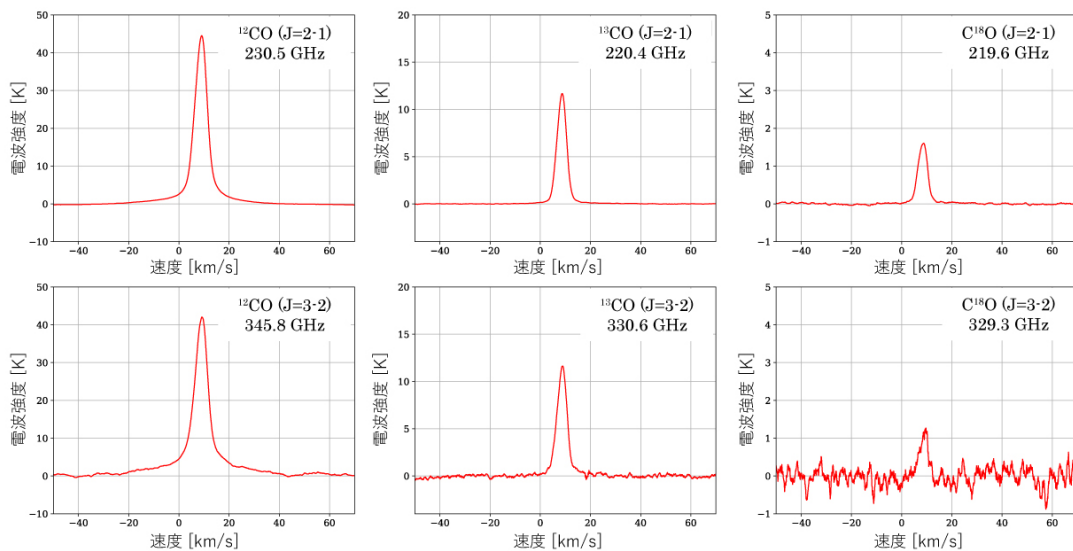


図2：今回開発された広帯域受信機で同時に観測された、一酸化炭素分子とその同位体分子からの6つの電波輝線。観測した天体は、オリオン大星雲内の「オリオンKL」と呼ばれる領域です。

Credit: 大阪府立大学/国立天文台

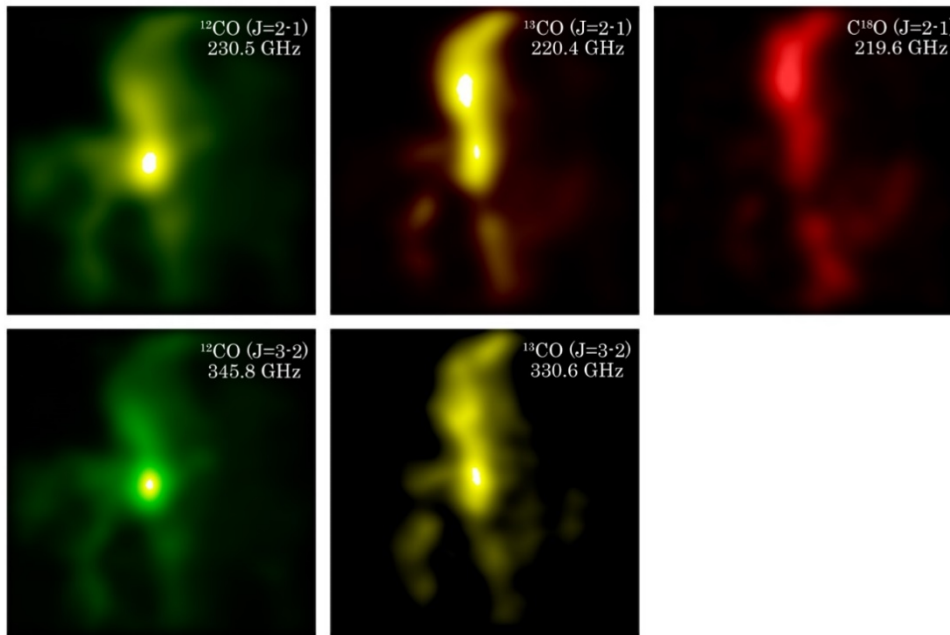


図3：今回開発された広帯域受信機で同時に観測された、オリオン座分子雲のガスの広がり。同位体分子によって広がりが異なることがわかります。C¹⁸O (J=3-2)輝線の観測も行われましたが、画像を得るには電波の強度が弱かったため、表示していません。

Credit: 大阪府立大学/国立天文台

<発表雑誌>

本研究成果は、以下の2本の論文として、日本天文学会の欧文研究報告 (Publications of the Astronomical Society of Japan) で公開されます。

<雑誌名>

日本天文学会欧文研究報告: Publications of the Astronomical Society of Japan (PASJ)

<論文タイトル・著者>

1. Development of a new wideband heterodyne receiver system for the Osaka 1.85-m mm-submm telescope: Receiver development and the first light of simultaneous observations in 230-GHz and 345-GHz bands with an SIS-mixer with 4–21 GHz IF output

Masui, S., Yamasaki, Y., Ogawa, H., Kondo, H., Yokoyama, K., Matsumoto, T., Minami, T., Okawa, M., Konishi, R., Kawashita, S., Konishi, A., Nakao, Y., Nishimoto, S., Yoneyama, S., Ueda, S., Hasegawa, Y., Fujita, S., Nishimura, A., Kojima, T., Uemizu, K., Kaneko, K., Sakai, R., Gonzalez, A., Uzawa, Y., Onishi, T.,

2. Development of a new wideband heterodyne receiver system for the Osaka 1.85-m mm-submm telescope – Corrugated horn & Optics covering 210–375 GHz band —

Yamasaki, Y., Masui, S., Ogawa, H., Kondo, H., Matsumoto, T., Okawa, M., Yokoyama, K., Minami, T., Konishi, R., Kawashita, S., Konishi, A., Nakao, Y., Nishimoto, S., Yoneyama,

S., Ueda, S., Hasegawa, Y., Fujita, S., Nishimura, A., Kojima, T., Kaneko, K., Sakai, R., Gonzalez, A., Uzawa, Y., Onishi, T.

・筆頭著者の増井 翔、山崎 康正の両名は、宇宙物理学研究室に所属する博士後期課程の大学院生です。

<論文へのリンク>

- Masui et al.: <https://academic.oup.com/pasj/advance-article-abstract/doi/10.1093/pasj/psab046/6297291>

- Yamasaki et al.: <https://academic.oup.com/pasj/advance-article-abstract/doi/10.1093/pasj/psab062/6311394>

<SDGs 達成への貢献>

大阪府立大学は研究・教育活動を通じて SDGs17 の目標への貢献および地球全体の持続可能な発展に貢献しています。

本研究は SDGs17 の目標のうち、「4：質の高い教育をみんなに」、「9：産業と技術革新の基盤をつくろう」等に貢献しています。



<研究助成資金等>

本研究は、新学術領域研究・計画研究「巨大分子雲における星団形成機構の観測的解明（研究代表：大西利和）」（科学研究費助成事業（科研費）JP18H05440）の成果です。

新学術領域研究のホームページ：<http://star-planet.jp>

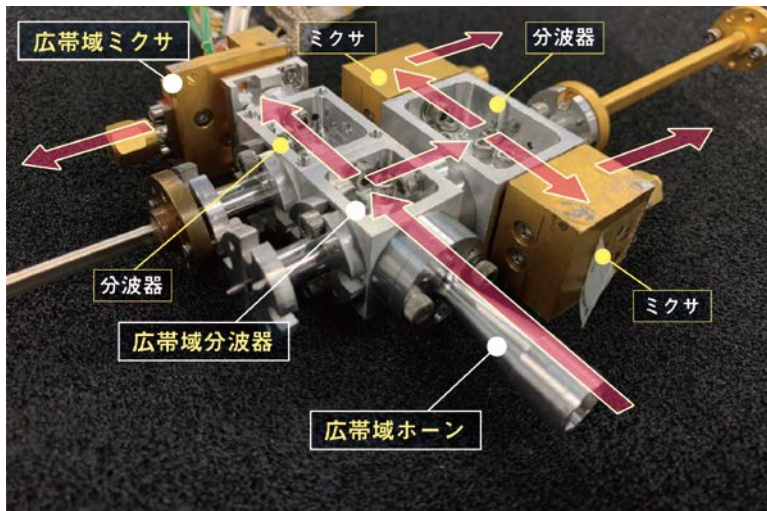
また、本研究の一部は、科学研究費助成事業（科研費）（JP20J23670, JP15K05025, JP26247026）、自然科学研究機構国立天文台研究交流委員会からの支援も受けて行われました。

<解説>

・電波（ミリ波・サブミリ波）の受信システムについて

今回対象となる電波は波長 1mm 前後のミリ波・サブミリ波（テラヘルツ波）に相当します。望遠鏡のパラボラで集められた電波は、ホーンにより導波管（波長程度の大きさを持つ中空の金属管）回路の中に導かれ伝搬します。その後、ヘテロダイン受信（対象となる電波に近い周波数の参照電波を重ね合わせることにより、その差周波成分を取り出す方法）により低い周波数に変換され（中間周波数）、その後分光計に入力されます。分光計では、周波数ごとの電波強度を調べることができます。分子からは、分子ごとに特有の周波数の電波が放出されているため、どの分子からどのような強さの電波が放出されているかを調べることができるのです。

一度に取得できる周波数範囲＝周波数帯域、を広げるほど、たくさんの分子からの放射を一度に受信することが可能となります。周波数帯域を広げるためには、パラボラで受信してから分光計に入力されるまで、すべての経路の広帯域化が必要となります。本研究では、パラボラからホーンまでの電波導入経路、ホーン、導波管、ヘテロダイン受信を行うミクサ、のすべてのコンポーネントの広帯域化により、全体としての広帯域化も成功しました。

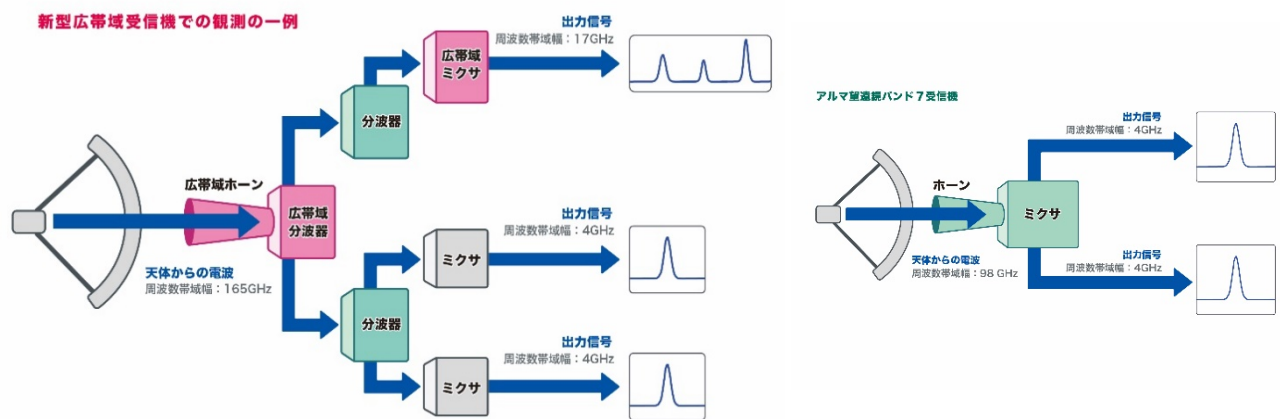


解説 図1：今回開発した受信機システムの写真

・今回の開発による「広帯域化」の詳細

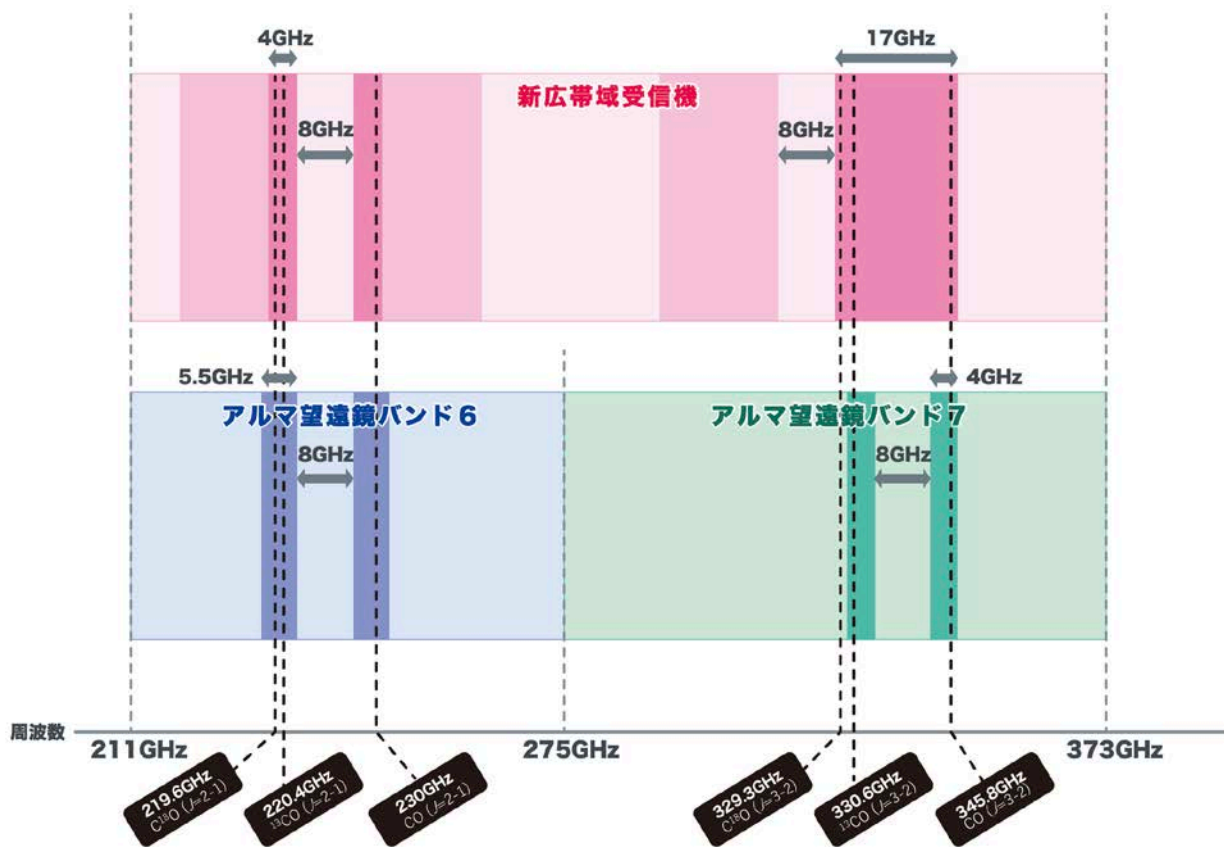
今回の開発では、ホーンでの電波受信の広帯域化(Yamasaki et al.)と中間周波数変換部の広帯域化(Masui et al.)を実現して、全体での広帯域化に成功しました。例えば、現在のアルマ望遠鏡では、Band 6 (211-275GHz), Band 7 (275-373GHz)は別々の受信機で受信していますが、本観測で Band 6+7 すべての周波数範囲(210-375GHz)を同時に受信できる

こととなります。また、中間周波数帯(実際に分光計で分光できる周波数範囲)は4-8GHzの帯域が一般的でしたが、今回は4-21GHzへの広帯域化に成功しました。これらの性能を持つ受信機を実際の望遠鏡に搭載して星間分子の電波を受信したのは世界で初めてです。この性能向上は、アルマ望遠鏡での天文観測能力の大幅な向上に貢献するもので、2030年にむけたアルマ望遠鏡将来開発ロードマップにも最優先項目として記載されています。この開発により、多くの分子からの電波の受信による効率化だけでなく、より高い感度での観測も実現できます。



解説 図2：今回開発された広帯域受信機システムの模式図。右図は、アルマ望遠鏡のバンド7周波数帯域の受信機システムの模式図。

Credit: 大阪府立大学/国立天文台



解説 図3：今回開発された広帯域受信機システムと、アルマ望遠鏡バンド6・7受信機の観測可能周波数帯の模式図。いずれも濃い色の部分が同時に観測できる周波数帯域を表しています。アルマ望遠鏡バンド6受信機を使えば5.5GHz幅の領域をふたつ、バンド7受信機を使えば4GHz幅の領域をふたつ同時に観測できますが、今回開発された広帯域受信機システムは4GHz幅の領域をふたつと17GHz幅の領域をひとつ観測でき、非常に広い周波数帯の電波を検出できることがわかります。

Credit: 大阪府立大学/国立天文台

・アルマ望遠鏡

アルマ望遠鏡（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計）は南米チリ共和国北部、標高5000メートルのアタカマ砂漠に建設された電波干渉計です。2011年に科学観測を開始し、日本を含む東アジア、北米、欧州南天天文台の加盟国と建設地のチリを合わせた22の国と地域が協力して運用しています。星や惑星の材料となる塵やガス、生命の材料になるかもしれない物質が放つ小さな電波を、「視力6000」に相当する圧倒的な性能でとらえることができます。惑星誕生のメカニズムや地球外生命の可能性を明らかにし、私たちのルーツを宇宙にたどります。

・大阪府立大学1.85m電波望遠鏡

国立天文台野辺山宇宙電波観測所に設置された、口径1.85mの電波望遠鏡。天の川に沿って分布する星形成の場＝分子雲の、非常に広い領域にわたる観測により、その物理的な性質を詳細に明らかにする事を目的としています。2009年にファーストライトを迎え、研究室の大学院生や4年生が中心となって開発・運用を続けています。受信機システムにはアルマ望遠鏡の技術などが応用され、短時間で広域の観測が可能となっています。

<参考 URL 等>

- ・ アルマ望遠鏡将来開発ロードマップ：The ALMA Development Roadmap
 - 2030 年にむけたアルマ望遠鏡の開発ロードマップ

<https://www.almaobservatory.org/en/publications/the-alma-development-roadmap/>

- ・ ALMA 2 計画

- 2020 年代にアルマ望遠鏡で期待される天文学研究の新展開を技術的観点も含めてまとめたもの。関連するセクションは、5.2.2.5, 5.2.3.1 など。

https://alma-telescope.jp/assets/uploads/2019/05/ALMA2Project_2ndEdition.pdf

【研究内容に関するお問合せ】

大阪府立大学大学院 理学系研究科
教授 大西 利和（おおにし としかず）
Tel: 072-254-9727
E-mail: [ohnishi \[at\] p.s.osakafu-u.ac.jp](mailto:ohnishi[at]p.s.osakafu-u.ac.jp)

【ご取材に関するお問合せ】

大阪府立大学 広報課
担当：塩根 春華（しおね はるか）
TEL：072-254-9103
E-mail: [opu-koho \[at\] ao.osakafu-u.ac.jp](mailto:opu-koho[at]ao.osakafu-u.ac.jp)

[at]の部分を@と差し替えてください。