

AKARI Deep Field South(ADFS)におけるサブミリ波銀河の解析

秋山, 駿平 / Akiyama, Shumpei

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

64

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2023-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00026417>

AKARI Deep Field South(ADFS)における サブミリ波銀河の解析

Analysis of submillimeter-wave galaxies
in AKARI Deep Field South (ADFS)

秋山 駿平

Shumpei Akiyama

指導教員 佐藤 修一

法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻創生科学系修士課程

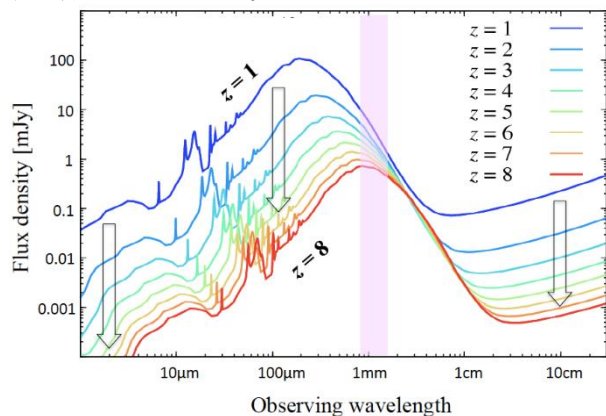
Galaxies with large amounts of dust, bright at submillimeter wavelengths, and explosive star formation in the early universe are called "submillimeter-wave galaxies. What is the importance of observing these galaxies? First of all, the rate of star formation, which is not observable in visible or infrared light, increases rapidly as we move back in time. In other words, to obtain a complete picture of star formation activity in the universe, it is essential to search for star-forming galaxies in the early universe and study their number and brightness to determine how they have changed over the course of history. Analysis of the ADFS(AKARI Deep Field South) data detected several spectra that could be considered CO emission lines.

Key Words : submillimeter, galaxies formation, high-redshift, deep field

1. 研究概要と目的

宇宙には惑星や恒星があり、そのような天体の集団である銀河、さらにその集団の銀河団がある。このような天体も元をたどれば、冷たいガス(数 K~数 10K ほどの主に水素分子や水素原子のガス)や塵(固体の微粒子)から誕生したと考えられている。

こうした宇宙空間のガスや塵は星間物質と呼ばれる。低温状態の星間分子ガスは可視光や赤外線などの波長では放射を出さないが、ミリ波・サブミリ波帯での観測では様々なスペクトル線が観測され、新たに生まれる星の情報を得ることができる。



上の図はダストを多量に持つ爆発的星形成銀河の多波長のスペクトルである。多くの波長帯で天体が遠くなるにつれて見かけの明るさが暗くなっていくが、ミリ波サブミリ波帯では距離によらずほぼ一定となっている。

ダストを多量に持つ爆発的星形成銀河では若い星が放射する紫外線によって星の周囲のダストは温められる。この時、熱平衡にあるダストは波長 $100 \mu\text{m}$ から $50 \mu\text{m}$ 付近に放射のピークを持つ。遠い天体ほどピーク波長が長くなっていくので長波長での観測では、遠い天体であっても見かけの明るさはあまり変わらない。このためミリ波サブミリ波での観測は初期の宇宙を見通すことができるとされている。

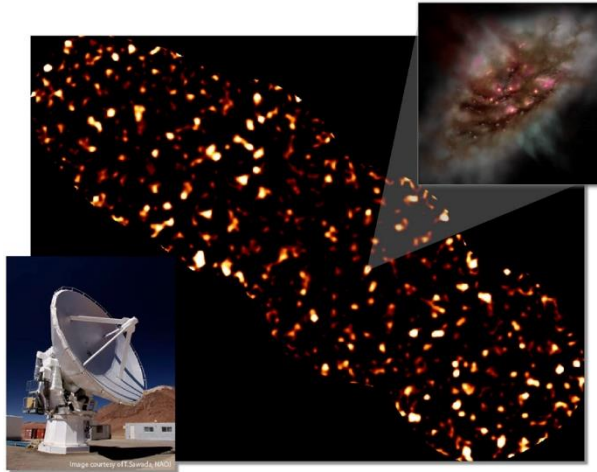
このようにミリ波サブミリ波で明るく大量のダストを持ち、初期宇宙にて爆発的に星形成を行う銀河は「サブミリ波銀河」と呼ばれている。この銀河を観測することにはどのような重要性があるのか。まず宇宙をさかのぼり、過去の宇宙に行くにつれてダストに覆われ可視光、赤外線では観測できない星形成の割合は急速に増えていく。すなわち宇宙において星形成活動の全貌を明らかにするためには、初期宇宙における星形成銀河を探し、その数や明るさを調べて歴史の中でどのように移り変わっていったのかを突き止めることが必要不可欠である。ミリ波サブミリ波帯での観測がこの先、決定打になる可能性が高い。

本研究では南黄極付近の AKARI Deep Field South(ADFS)と呼ばれる領域を ALMA(アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)で観測したアーカイブデータ(2013.1.00781.S)を用いて、サブミリ波銀河までの距離(赤方偏移)を一酸化炭素ガスの観測から測定し、水素分子ガス質量を導出することを目的とする。これらの事柄から

銀河の誕生した時期、規模や寿命を推定する。

2. 研究背景

宇宙における星形成、銀河形成過程の解明は、天文学における最も大きな課題の一つである。国立天文台の甘田出文洋研究員、東京大学の河野孝太郎教授等を中心とする国際研究チームは、2010年に南米チリのアステ望遠鏡を用いて AKARI Deep Field South(ADFS)の探査を行い、爆発的に星形成を行う銀河を約 200 個発見した。しかし観測限界もあり、ごく一部の明るい銀河しか検出できず、数年後に改めて ALMA 望遠鏡によって改めて観測が行われた。



本研究ではそのデータを用いて約 200 個の銀河について検証を行う。

3. 方法

(1)ALMA アーカイブデータの解析

ALMA (アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計) はチリ共和国北部にあるアタカマ砂漠に建設された干渉計方式の巨大電波望遠鏡である。ミリ波・サブミリ波は、地球の大気に含まれる水蒸気によって激しく吸収されてしまうため、年間降水量が 100mm 以下で、世界でもっとも乾燥した場所のひとつと言われるアタカマ砂漠は、ALMA 望遠鏡設置に理想的な条件を備えた地球上で究極の場所である。本研究では ALMA にて波長 1.1mm で観測された AKARI Deep Field South(ADFS)にある約 200 個の銀河の候補のデータを扱っていく。解析には CASA (Common Astronomy Software Applications) を用いる。CASA は C++ ベースのソフトウェアで、データ解析を行う際には対話型の iPython インターフェースを用いて操作する。

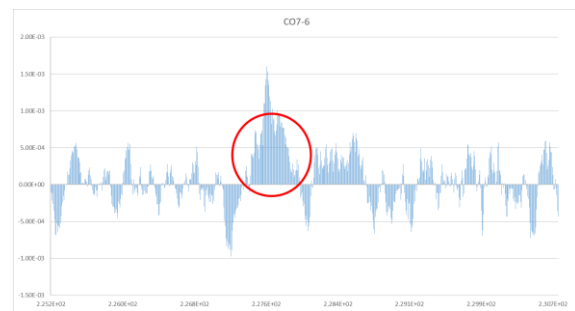
まず連続波マップとチャンネルマップを重ねて表示し、範囲を選択して信号強度を 1ch ごとに計測していく。これを周波数ごとのスペクトル強度のグラフとしておこし、一酸化炭素分子の検出の兆候が見られるものを精査していく。集まった候補の S/N 比を求めて、それが輝線であるのかノイズであるのかを判断していく。数値が大きいものほど信号が有意であることを示している。

$$S/N = \frac{\int (S'_{co} - Ave.) dv \sqrt{n}}{(SD \cdot n)} \dots (1)$$

(S'_{co} : 輝線強度の値、
 n : 選択した範囲のチャンネル総数)

(2) ASPECS データの利用

ASPECS(HUDEF(ハッブル・ウルトラディープフィールド)における ALMA 分光調査)によって赤方偏移の特定されている遠方銀河の CO 輝線データを利用して型紙を作成する。使用する ADFS のデータは赤方偏移が特定されていないため、他の銀河の CO 型紙と照らし合わせて同様なスペクトル強度のパターンを見つけ出す必要がある。



上図は HUDEF のデータから作成したスペクトル強度図である。赤丸で囲んだものが CO(7-6)を示している。このような図を基に型紙を作成し候補を絞っていく。

(2) 水素ガス質量の推定

一酸化炭素分子ガスの輝線光度 (Luminosity) から、水素分子ガスの質量を求めるために、[Salomon & Vanden Bout 2005]で示された式を利用する。

$$L'_{co} = 3.25 \times 10^7 S_{co} \Delta v_{obs}^{-2} D_L^2 (1+z)^{-3} [Jy ms^{-1} pc^2] \dots (2)$$

$$M_{(H_2)} = \alpha L'_{co} [M_{sun}] \dots (3)$$

(L'_{co} : 修正を加えた一酸化炭素分子ガスの輝線光度、
 $S_{co} \Delta v$ [Jy kms⁻¹]: 積分強度、 v_{obs} [GHz]: 観測周波数、DL [Mpc]: 光度距離)

この 2 式に、解析で求めた各パラメータを代入する。また、放射のエネルギー状態は量子化しているため、一酸化炭素分子の回転準位によって周波数も対応した値を取る。実際には赤方偏移によって異なった周波数帯で観測されるため各パターンで推定する必要がある。

4. 結果

候補天体の一つである AzTEC1 の解析結果を示す。



図 1 : AzTEC1 の生データ

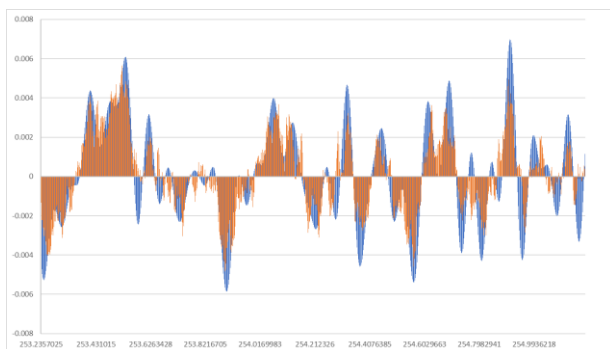


図 2 : AzTEC1 の移動平均をとったグラフ(橙)と
周期解析を行ったグラフ(青)

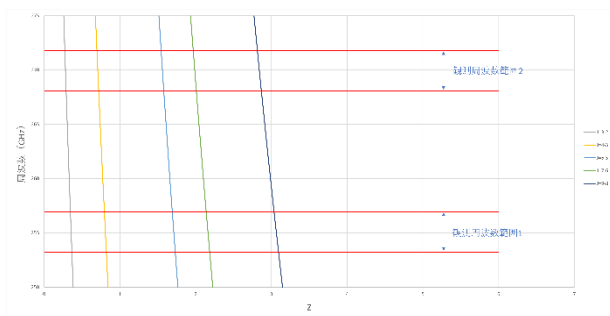


図 3 : 観測帯域を反映した CO 準位と z の関係図

周期解析や移動平均によって、生データから読み取りづらい情報を得るためにノイズの除去や輝線候補周りの平均化処理を施し、型紙を重ねた。

5. まとめ

ADFS に存在するいくつかの天体候補のデータを解析した結果、CO 輝線と思われる信号がいくつか検出された。現状の段階で当初の目的であった水素ガス質量の推定には至っていないため、引き続き候補天体のスペクトル強度を細かく見積もりデータの有意性を高められればと考える。

参考文献

論文

- 1) Salomon & Vanden Bout, 2005, ARA&A, 43, 677
- 2) Hatsukade Bunyo 2011 MNRAS. 411, 102H
- 3) Boogaard 2020 ApJ,902,109
- 4) González-López 2019 ApJ,882,139

Web ページ

- 1) 初期宇宙に大量のモンスター銀河を発見
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2010/39.html>
- 2) JVO Data Search
<http://jvo.nao.ac.jp/portal/alma.do>
- 3) ALMA Science Archive
https://almascience.nrao.edu/aq/?result_view=observation