

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19540243

研究課題名(和文) アンモニアの吸収スペクトル線を用いた系外銀河中心部の運動、及び分子組成の研究

研究課題名(英文) Study of gas motion and molecular abundance in the central region of external galaxies using the absorption lines of ammonia

研究代表者

高野 秀路 (TAKANO SHURO)

国立天文台・野辺山宇宙電波観測所・助教

研究者番号：222084

研究成果の概要(和文)：銀河の中心部の運動を研究することは、中心に存在する可能性があるブラックホール及びその周囲の状態を調べるために重要である。そのための手段として、アンモニアの吸収スペクトル線に着目した。活動的なことで知られている銀河 Arp 220 について、得られたデータを解析した。データ取得及び解析にあたっては、吸収スペクトル線の線幅について、信頼性を高めることを考慮した。(J,K)=(3,3)遷移について特に詳しく検討し、その結果、全線幅は約 600 km/s となった。この値は銀河においては特に大きくはなく、アンモニアで検知できる限りでは、Arp 220 の中心部で特に激しい運動が起こっているわけではないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：It is important to study gas motion in the central region of galaxies to understand the possible existence and environment around the central black hole. We selected absorption lines of ammonia for this purpose. In Arp 220 known as an active galaxy we analyzed obtained data. During data acquisition and analysis we considered to increase the reliability of the line width of the absorption lines. The (J,K)=(3,3) line was analyzed in detail, and as a result the full width was derived to be about 600 km/s. This value is usual in galaxies, and we concluded that there is no significant violent motion in gas detectable with ammonia in the central region in Arp 220

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	300,000	90,000	390,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,300,000	390,000	1,690,000

研究分野：電波天文学、星間化学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：電波観測、銀河、アンモニア

1. 研究開始当初の背景
私たちの銀河系の中のガスや塵が多い場所

では、各種の分子が存在している。これまでに私たちの銀河系で、主に電波の観測によっ

て約130種類の分子が見つかった。また、系外銀河でも、やはり多くの分子が存在している。これらの分子のうちで存在量が多いものは、銀河内でのガスの運動や分布を調べるのに使われており、また、化学反応の研究にも使われている。

銀河のガス運動で最も興味を集めているのは、中心部での運動である。銀河の中心部には、一般的に巨大ブラックホールが存在すると考えられている。そこに周囲から大量のガスが落ち込んでいる場合には、その重力エネルギーが解放され、活動的銀河核 (AGN: Active galactic nucleus) として明るく輝く。しかし、濃いガスや塵に埋もれている場合には、観測的に活動的銀河核を見出すことは容易ではなく、その存在を調べる方法はまだ発展途上である。

活動的銀河核の存在に関心が持たれている1つの例として、赤外線天文衛星 IRAS によって発見された非常に明るい赤外線銀河 (ULIRG: Ultra-luminous infrared galaxies) があげられる。その高い赤外線光度 (太陽高度のおよそ 10^{12} 倍) のエネルギー源について、活動的銀河核によるものか、または爆発的な星形成によるものかに興味を持たれている。そのため、活動的銀河核の存在の証拠となる可能性がある中心部での (高速) ガス運動に関して、観測的に調べる手段を持つことが非常に重要である。電波観測は、濃いガスや塵の影響を受けにくいと、有望な波長域である。

水メーザー ガス運動を調べるために、これまでに使われている方法として、巨大ブラックホール周囲の降着円盤が放射する水メーザーの電波を用いるものがある (e.g., Nakai et al. Nature, 361, 45 (1993), Miyoshi et al. Nature, 373, 127 (1995))。この手法の長所と短所を以下にまとめた。

◎長所 メーザーなのでスペクトル線が細く、複数のメーザーの速度差から、速度を明確に得やすい。また、強度が大きいので VLBI 観測を適用し、天体の構造を詳細に調べるために有利である。

◎短所 水メーザーを放射しない銀河も多く存在する。水メーザーは、降着円盤のほぼ真横方向に放射されると考えられ、円盤をほぼ真横から見る状態の銀河しか観測対象にならない。

アンモニア 一方、私たちはさまざまな分子の中でも特にアンモニアに興味を持って、これまで系外銀河での観測を続けている。その結果、ガス運動の観測にも有用であり、また、水メーザーの短所をカバーできると考えるようになってきた。アンモニアに着目した主な理由は、下記の通りである。

●濃いガス中に多く存在する基本的な分子である。

●低い周波数帯 (23-24 GHz、波長 1.3 cm) にエネルギー的に異なるスペクトル線が多く存在し [(J,K)=(1,1), (2,2), (3,3), (4,4) など、J, K は回転の量子数]、温度などの物理量や、存在量を求めやすい。

●近傍銀河では、M 82 の分子組成が特異であることが知られており、アンモニアなどの存在量が少ないことが知られている。従って、銀河での分子組成を特徴づける分子の1つである。(Takano, Nakai, & Kawaguchi, PASJ, 54, 195 (2002))

アンモニアが中心部のガス運動を調べるのに有用と考えるきっかけとなった観測は以下のものである。これまでに私たちは、近傍銀河 (距離 3 Mpc 前後) でのアンモニア観測を進めてきたが、かなり観測を行ったため、さらに遠い銀河で、かつ ULIRG である Arp 220 (距離 77 Mpc) においてアンモニアの観測を試みた。その結果、(J,K)=(3,3) 遷移において、線幅が非常に広いことを見出した (Takano, Nakanishi, Nakai, & Takano, PASJ, 57, L29 (2005))。しかし、その吟味が必要であると考えている。

2. 研究の目的

(1) アンモニアの吸収スペクトル線を用いてガスの内部運動を調べる手法を確立するため、線幅を精度よく測定する方法を確立する。この際の観測対象は Arp 220 で、この銀河には活動的銀河核があるかどうか不明なため、その判定を目指す。

(2) 私たちの観測により、アンモニアの吸収線が検出され、かつ ULIRG である Mrk 231 に対してもこの手法を適用する。この銀河には活動的銀河核があることが知られており、線幅が広いかどうか注目する。

(3) この手法を他の興味ある銀河に応用し、活動的銀河核の存在の有無及び活動性と、線幅の大小との関連を明らかにする。

(4) アンモニアの観測により、ガス温度、及び存在量を求めることができる。銀河の中心部の活動性と比較することにより、ガス温度、及び存在量に与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

主に銀河 Arp 220 でのアンモニアの吸収スペクトルの線幅の測定法を確立させることを目指す。そのため、下記のような工夫、及び注意をしながら観測を実行する。

(1) 電波分光計として、これまでに帯域幅 250 MHz のものを用いてきたが、この帯域幅では幅広い吸収線を観測する場合に、必ずしも十分なベースラインを確保することができない。そこで、最近使用が可能となった 2

倍の帯域幅(512 MHz)を持つデジタル型の分光計を使用する。

(2) スペクトルのベースラインをより平らにするために、観測中にシステムに与える影響を最小限にする。具体的には、受信機の局部発振器の周波数の更新の頻度を必要最小限に抑える。すなわち、地球の公転及び自転によって生じるドップラーシフトの影響を除くために、局部発振器の周波数は現在およそ1分に1度更新しているが、線幅が広い場合にはドップラーシフトは相対的に無視できるので、更新の頻度を下げるか、または行わない。

(3) 天体がないブランクスカイの観測も行い、スペクトルがない状態でのベースラインの性質を把握しておく。

線幅の測定に影響を与える人為的な要因が見出された場合には、観測装置、及びデータの解析方法の両面から検討を行い、影響を取り除くように努める。研究代表者は、野辺山宇宙電波観測所に属しており、線幅に影響を与える要因を取り除くにあたって、装置及び解析の両面から手を加えやすく、その有利さを活用する。その結果、線幅の精密測定法が確立すれば、Arp 220での結果を取りまとめる。

4. 研究成果

(1) 観測データの整備と修正

活動的なことで知られている銀河 Arp 220 について、得られたデータを解析した。データを得る際には、上記の方法に記された点について考慮を行った。すなわち、

①分光計については、バンド幅 512 MHz の広い周波数をカバーするデジタル型のものを用いた。この周波数幅は約 6500 km/s の速度幅に対応し、広い線幅のスペクトル線に対しても十分なベースラインを確保できる。また、ベースラインのうねりがあった場合でも、その性質を把握しやすく、ベースラインフィットの信頼性が向上する。

②局部発振周波数の更新は、各観測開始時の1回のみとした。

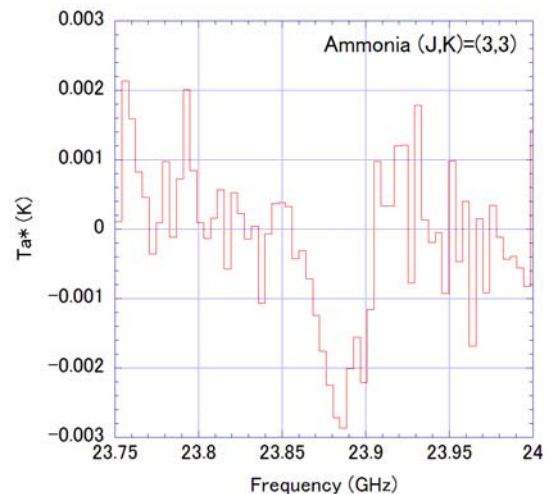
③ブランクスカイの観測も実行した。

一方、観測後に判明した予期しなかったこととして、(観測装置の一部である)電波をスペクトルに分解するためのデジタル型の分光計において、特にスペクトルの両端部の強度に場合によっては問題があることがわかった。これについては、ハードウェア的な原因が根本にあるが、その原因は十分には明らかになっていない。受信機の性能が、観測した周波数範囲において一定であると仮定すると、ハードウェアから出力された生データを用いて、強度を手計算で修正することが原

理的に可能なことがわかった。そこで、このような修正をデータに施した。また、この問題の判明後に観測するデータに関しては、望遠鏡のソフトウェアを改修することで対応することとした。この改修は、研究代表者が責任者となっている観測所の計算機グループで行い、問題はほぼ解決した。

(2) 得られた線幅

(J,K)=(3,3)遷移について特に詳しく検討し、その結果、全線幅は約 600 km/s となった。この値は銀河一般の線幅としては特に大きくはなく、アンモニアで検知できる限りでは、Arp 220 の中心部で特に激しい運動が起こっているわけではないことが明らかとなった。



以前の論文で我々は全線幅が 1800 km/s 程度と報告しているが、これは当時用いた分光計の周波数幅が不十分でベースラインが十分に評価できていなかった可能性、または、線幅が時間変化する可能性が考えられる。特殊なことがなければ前者の可能性が考えられる。

(J,K)=(2,2)遷移についても、線幅について同様の結果が得られている。一方、(1,1)遷移については、検出を行うことができなかった。これについては、(1,1)遷移は励起が低いために、輝線が比較的強く出やすく、輝線と吸収線の強度の兼ね合いでこのようになった可能性がある。従って、アンモニアの線幅から系外銀河の中心部の情報を得るには、遷移の吟味も必要であることがわかってきた。

また、ブランクスカイの観測では、特にスペクトル線と混同するような可能性のあるベースラインのうねりは見られず、今回のアンモニアのデータの信頼性が高いことを示している。

(3) 今後の展望

Arp 220 での結果を受けて、この手法を他の銀河に対して適用する試みについて述べる。

①Mrk 231 については、データの取得を行ったが、解析に時間がかかることから、まだ最終的な結果を得られておらず、今後継続していきたい。

②その他の銀河に関しては、現時点ではまたデータ取得に至っていない。

今後 Arp 220 の結果を取りまとめ、22年度内に論文投稿を目指す。

また、参考事項として、本研究の元となっている Arp 220 でのアンモニア吸収線の検出を契機として、Arp 220 での他の分子のスペクトル線についても吸収線の検出を狙う試みを別途行った。しかしながら、検出には至らず、アンモニアの吸収線が比較的検出しやすく重要なスペクトル線であるという認識を強めている。

電波領域における吸収線は、輝線と比べて狭い領域の情報を選択的に得る優れた手段であることは原理的に変わらない。アンモニアの吸収線についても同様であり、今後の SKA などの新たな装置の登場とも相まって、さらに研究を進めていく必要があると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 高野秀路, 坂井南美, 山本 智, 河野孝太郎, 呂 聖元, 他ラインサーベイチーム、野辺山45m望遠鏡レガシープロジェクト：ラインサーベイ観測(II)、日本天文学会、平成21年9月16日、山口大学
- ② Takano, S., Aikawa, Y., Chen, V., Hirano, N., Hirota, T., Kamegai, K., Kobayashi, K., Kohno, K., Kuan, Y.-J., Liu, S.-Y., Ohashi, N., Ohishi, M., Ozeki, H., Sakai, N., Sakai, T., Shiba, S., Su, Y.-N., Sugimura, M., Takahashi, S., Takakuwa, S., Umemoto, T., Wang, K.-S., Yamada, M., Yamamoto, S., and Zhang, Q.-Z.、Nobeyama 45 m Telescope Legacy Projects: Line Survey、Workshop for Interstellar Matter 2008、平成20年9月4日、北海道大学
- ③ 高野秀路、Nobeyama 45m Legacy Project: Line Survey、The 10th Asian-Pacific Regional IAU Meeting、平成20年8月5日、Kunming,

China

- ④ 高野秀路, 酒井 剛, 坂井南美, 山本智, 河野孝太郎, S.-Y. Liu, 他ラインサーベイチーム、野辺山45m望遠鏡レガシープロジェクト：ラインサーベイ観測、日本天文学会、平成20年3月24日、東京
- ⑤ 高野秀路、Recent astrochemical studies with Nobeyama 45 m telescope and line survey projects from this winter、日本分光学会年次講演会、平成19年1月14日、東京工業大学(大岡山)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高野 秀路 (TAKANO SYURO)

国立天文台・野辺山宇宙電波観測所・助教

研究者番号：222084

(2) 研究分担者

中西 康一郎 (NAKANISHI KOICHIRO)

国立天文台・電波研究部・助教

研究者番号：60399277

(H20→H21：連携研究者)

中井 直正 (NAKAI NAOMASA)

筑波大学・数理物質科学研究科・教授

研究者番号：80192665

(H20→H21：連携研究者)

鷹野 敏明 (TAKANO TOSHIAKI)

千葉大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40183058

(H20→H21：連携研究者)

(3) 連携研究者

該当なし