

電波望遠鏡による観測的研究

金光研究室

初等教育教員養成課程理科選修

名越 遥

はじめに

夜、空を見上げると、星々が瞬いている。私たちは星からやってくる光を感じることで、その存在を知ることができる。光（可視光）は、電磁波の一種であり、波長域 360~830 nm のことをいう。つまり、星は電磁波を出しているといえる。同様に、電波は電磁波の一種であり、 10^{-4} m よりも長い波長のことを電波と呼ぶ。

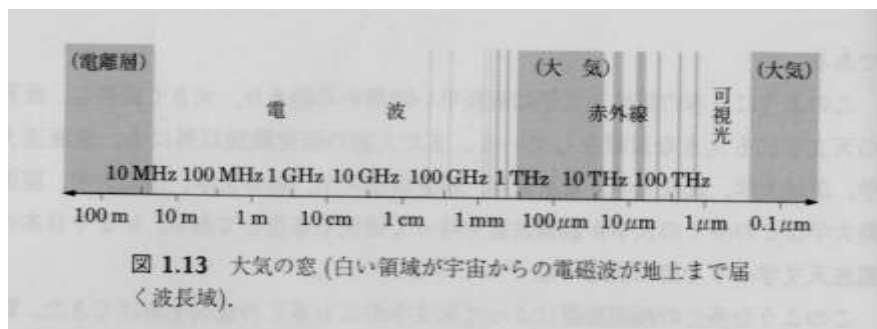
電波天文学は 1933 年に、カール・ジャンスキーによって宇宙電波が発見されたことに始まる、宇宙から来る電波を観測・分析することで天体の特徴を明らかにするという天文学の一分野である。電波による観測では、可視光では観測できない領域の観測や、天体の物理状態を知ることができる。また、天候によって観測の可不可が左右される可視光観測とは異なり、電波観測では分析の工夫によって、天候によらず天体の観測を行うことができる。

本研究における観測天体の M17 は、H II 領域と呼ばれる高温のプラズマ領域であり、新しい恒星が誕生しているとされる天体である。この領域のスペクトル線を観測することで、領域の温度や密度、またはガス雲の運動を知ることができる。

本研究では、山口 32m 電波望遠鏡を用いて、再結合線観測を行い、M17 の物理状態を推定することを目指す。

電波観測（単一鏡観測）

電波の全波長域のうち地上から観測可能なのは電波と可視光と赤外線の一部だけである。



電波領域でも、波長が 40m 以上の電波は電離層を通らないため、地上では観測できない。また波長が 3cm 以下の電波でも、大気中の酸素や水蒸気によって吸収されやすいので、標高が高く、乾燥した砂漠地帯か気温が非常に低いところに望遠鏡を設置して観測する必要がある。しかし、これらの間の波長域では、観測・分析の条件を工夫することによって、比較的いつでも観測を行うことができる。

電波観測とは、天体からの電波をアンテナを使って集め、受信機で増幅し、ペンレコーダーに出力したり、電算機を使って数字やグラフ化して表示することである。

電波強度の空間分布を観測すれば電波源の構造が分かり、振動の向きによって異なる強度を観測すれば偏波が求まり、波長別強度をきめ細かく観測すれば線スペクトルを観測することができる。

単一開口すなわち一つのアンテナでつくられるビーム幅は $\sim \lambda/D$ であるので、分解能は良くても1'程度であり、多くの電波源についてその構造を観測するには向いていない。しかし、銀河系内のH II領域や超新星残骸、特に大きく広がった銀河系外電波源の場合単一開口が有効である。構造を知るためには、位置とそこでの電波強度が分かれば良く、観測したい電波源をその大きさより広い範囲にわたってアンテナをスキャンすればよい。このスキャンで得られるデータは地表にたとえるなら、ある断面で切った地形の高低に相当する。従ってこのスキャン方向を順次平行にずらしデータを取ると、地形図を描くのと同じように電波源の地図を等電波強度線で描くことができる。



図 山口 32m電波望遠鏡

電波強度は通常フラックス密度(S)で表し、その単位としてジャンスキー(Jy)を用いる。1ジャンスキーは $10^{-26} \text{ W/m}^2 \text{ Hz}$ に相当する。望遠鏡にとって、天体からやってくる電波は熱雑音として観測されるわけで、強度 $S(\text{Jy})$ の電波源は

$$\Delta T_a = \frac{\eta_A AS}{k} = 0.72 \times 10^{-3} \eta_A ASK$$

で表される。 k はボルツマン定数、 A はアンテナ開口面積(m^2)、 η_A は開口能率を表す。

電波の集光・検出は電波の波としての性質を維持したままで行われる、いわゆるコヒーレント検出である。電波は波長が長く、したがって振動数が比較的低いので、電気振動としてそのまま電子回路内で取り扱えるほか、検出器のサイズが波長程度の大きさになるので、波として扱わざるを得ない。

○On-off 方式

On は観測すべき天体に向いている時、off は天体を含まない近くの空に向いているときのことである。On・off を交互に観測し、on の値から off の値を差し引くことで、大気と望遠鏡の放射を補正し、天体の成分のみのデータを得ることができる。

○システム雑音温度

大気と望遠鏡の雑音を合わせたものである。観測されたデータには常にこの値が含まれている為、最終的な温度を求める際に補正を行う。

H II 領域

H II 領域は水素ガスが電離している星間空間領域のことで、可視光では散光星雲として観測される。中性水素原子は $\lambda < 912 \text{ \AA}$ の輻射を吸収すると電離する。質量の大きな主系列星は、表面温度が十分に高温で、大量の紫外線を放出する。このため、大質量星の周りにある水素ガスは 912 \AA より短波長の(13.6eVより高エネルギーの)紫外線によって電離し、H II 領域(電離水素領域)を形成する。

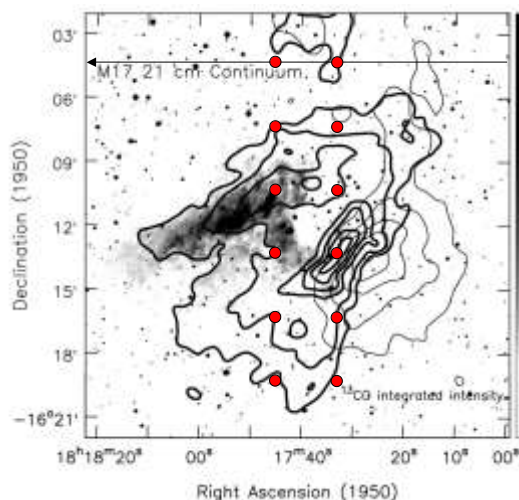
H II 領域では、吸収した紫外線のエネルギーのうち、原子核への電子の束縛エネルギー以上の部分は余剰分として自由電子の運動エネルギーとなる。この運動エネルギーにより、H II 領域のガスが加熱される。H II 領域の電子温度は電波再結合線や赤外線域の輝線を用いて求められ、その値はどのH II 領域でもおおそ 5000-10000K程度である。これは、H II 領域では加熱と冷却が同程度にはたらいって熱平衡が保たれているためである。そのため、H II 領域からの放射は、連続波、輝線放射などについて比較的共通の性質を示す。

観測

山口 32m 電波望遠鏡を用いて M17 の電波再結合線の 4ch 同時観測を行った。

○M17 の観測点は以下の 12 点である。

(灰色の丸 : 右列上 1~6、左列 7~12)



観測点	赤経 [J2000]	赤緯 [J2000]
M17-1	18h20m24.96198s	-16h03m07.0943s
M17-2	18h20m25.02487s	-16h06m07.0926s
M17-3	18h20m25.08780s	-16h09m07.0909s
M17-4	18h20m25.15075s	-16h12m07.0892s
M17-5	18h20m25.21374s	-16h15m07.0875s
M17-6	18h20m25.27677s	-16h18m07.0858s
M17-7	18h20m37.96030s	-16h03m06.1501s
M17-8	18h20m38.02319s	-16h06m06.1483s
M17-9	18h20m38.08611s	-16h09m06.1466s
M17-10	18h20m38.14906s	-16h12m06.1449s
M17-11	18h20m38.21205s	-16h15m06.1432s
M17-12	18h20m38.27507s	-16h18m06.1415s
M17OFF	18h32m00.00000s	-16h00m00.0000s

図 Brogan & Troland (2001)の VLA マップ

○観測日時

M17 観測点	2009 年 月日	開始時間 (UT)	終了時間 (UT)
1、2 半	11/13	04 : 30	07 : 29
2 半、3	11/19	04 : 00	06 : 59
4、5 半	11/20	04 : 00	06 : 59
5 半、6	11/22	04 : 00	06 : 59
7、8 半	11/24	03 : 45	06 : 44
8 半、9	11/25	03 : 45	06 : 44
11 半、12	11/28	03 : 30	06 : 29
10、11 半	11/29	03 : 30	06 : 29

○観測手順

1. 観測する位置、時間のスケジュールファイルを作成し、解析ソフトにセットする。
2. アンテナを動かし、天体とシステム雑音温度を測定する。
3. 観測データを PC に取得し、FFT (高速フーリエ変換) を行い、「周波数に対するスペクトル」に変換する。
4. データ解析を行い、アンテナ温度、密度、ガス雲の運動を求める。

○観測の詳細

		H92 α	H116 β	He92 α	C92 α
観測 時間	(Freq-on)	209×16 秒			
	(Freq-off)	209×16 秒			
サンプリング 周波数帯域		4MHz			
周波数(MHz)		8309.382	8213.049	8312.768	8313.528
LO (MHz) (K4)		8307.40 (227.4)	8211.00 (131.0)	8310.80 (230.8)	8311.50 (231.5)

観測時間が 209×16 秒というのは、Freq-on、Freq-off でそれぞれ 209 秒間積分して得られたパワースペクトルのデータを 16 回分平均化したものをその点でのパワースペクトルの値としたことを表している。

結果

観測データを解析した結果を次に示す。

○左列 (H92 α の観測データによる)

	運動速度 [km/s]	ガス雲の 密度	アンテナ 温度(K)
M17-7	16.7269	24.14571	0.13225
M17-8	16.5403	24.90796	0.456225
M17-9	21.95815	32.60994	1.054027
M17-10	19.99335	29.46243	1.042375
M17-11	19.7404	27.69825	0.571406
M17-12	20.72465	28.12211	0.380565

○右列 (H92 α の観測データによる)

	運動速度 [km/s]	ガス雲の 密度	アンテナ 温度(K)
M17-1	16.392	25.04714	0.196888
M17-2	20.1817	30.14962	0.629942
M17-3	17.4582	27.71993	1.47207
M17-4	16.4195	26.21094	1.634482
M17-5	17.29975	25.02846	0.97272
M17-6	19.65005	26.33952	0.289424

観測では、H92 α ・H116 β ・He92 α ・C92 α の4 c h同時観測を行ったが、H92 α 以外は再結合線のラインが微小であったため、解析することが出来なかった。

考察

上記の結果から、12点の運動速度の値を平均すると18.59041 [km/s]となる。これはガス雲全体の運動速度と考えることが出来る。運動速度は、観測者から見た視線速度なので、速度の小さいほうが手前に進み、速いほうが後ろ向きに進んでいることが言える。各点での速度の違いに注目すると、ガス雲全体として、上側から手前方向に回転していることが分かる。ガス雲の密度はM17の中心付近で高く、その一部は可視光でも観測されている。アンテナ温度と合わせて考えると、ガス雲の密度の高い場所では、アンテナ温度も高く、粒子の活動が活発な部分と考えられる。Brogan & Troland (2001)のVLAマップを参照すると、M17-4付近が最も強い電波を出しており、今回の観測でも同様に、M17-4で最も高いアンテナ温度を得ている。さらに、M17-4、M17-5付近は手前に水素分子のガス雲があり、そのため温度が低くなっていると考えられる。これらのことから、M17-4付近では、ガス雲が活発に活動し、新しい恒星の生まれる場所となっていると考える。

まとめ

M17の物理状態を推定するために、山口32m電波望遠鏡を用いて、再結合線の4 c h同時観測を行った。その結果として、M17-4付近は可視光では手前側に暗黒星雲があるため観測することが出来ず全体の構造を知ることが出来ないため、今回の電波による観測は、非常に効果的であったと考える。また、Brogan & Troland (2001)のVLAマップでは、M17全体の電波強度分布を調べたが、本研究ではM17の各点における物理状態の推定を目的とし、M17についてのより詳しいデータを得ることができた。

一方で、再結合線を信頼できる精度で検出するにはベースライン補正の正確性が最も重要な作業となるため、本研究ではこの点が不十分であったといえる。また、本研究では4 c h同時観測を行ったが、H92 α 以外の周波数でははっきりとした値を求めることができなかったため、活かすことができなかった。さらに、精度の高い再結合線の観測には連続波の観測が必要となるため、今後の課題としたい。