

2 自作アンテナを用いた電波望遠鏡の製作と銀河電波の検出

1 研究の動機・目的

恒星や太陽などの天体を観測する方法として、高校では光学望遠鏡を用いた観測が一般的である。しかし、天体からは可視光線以外にも、X線や電波などの波長の異なる電磁波が放射されており、電波による観測も行われている。

そこで、私たちは平成10年度から電波による天体の観測を行っている。始めは、最も身近で放射する電波が強い太陽に注目し、電波望遠鏡を製作して、太陽電波の観測を行った。その結果、太陽電波の検出に成功し、フレアに伴う太陽電波の変化の観測や太陽温度の測定に成功した。しかし、現在太陽は極大期を過ぎ、徐々に活動を弱めてきているため、私たちが行ってきた感度の低い電波観測では、大きな変化をとらえることが次第に困難になってきた。

ところで、太陽電波の観測を行っていたとき、太陽が出ていない夜中でも、電波が観測されていることに気がついた。この電波について、文献で調べてみると、銀河電波らしいことが予想された。

そこで、この銀河電波に注目して研究することにした。銀河電波に着目した理由は次のとおりである。

- (1) 銀河電波は比較的強い電波で、背景として常に観測されるので検出が容易であるため
- (2) 太陽電波の観測で得た知識や観測機器がそのまま利用できるため
- (3) 銀河電波の性質を知っておくことは、カシオペアAや以前研究した太陽などの点状の電波源の観測する際にも必要であるため

以上の動機をふまえて、目的を以下に設定した。

- (1) 銀河電波望遠鏡を製作し、銀河電波の検出を試みる。
- (2) 銀河電波の観測結果より、銀河系の形状や性質を考察する。

2 銀河電波とは

何億個もの星の大集団である銀河の中には、超新星の爆発などによって高エネルギー電子が存在しており、これらの電子が螺旋運動することによって、電波を放射している。この電波が銀河電波である。銀河電波は、前述したように太陽系が銀河系の中にあるので、背景として、常にどの方向からも到来している。特に銀河電波は銀河面の方向（天の川）に沿って強く、また、銀河面の方向でも銀河中心方向に近づくほど強くなる。

3 銀河電波望遠鏡1号機の製作と銀河電波の検出

(1) アンテナの形状

銀河電波を容易に受信できるアンテナを文献を調べたところ、ダイポールアンテナが適していること知った。ダイポールアンテナとは、2本の導体棒から成るアンテナで、2本の導体棒を合わせた長さが波長の半分になる時、最も効率よく電波を受信できる。このようなアンテナを半波長ダイポールアンテナと呼ぶ。そこで、このアンテナを製作し、観測することにした。

(2) 周波数の決定

ここで、受信する電波の周波数帯が問題となるが、今回は30MHz付近に定めた。30MHz付近における銀河電波の観測を取り上げた理由は次の三つである。一つ目は、宇宙からやってくる電波の中でもこの周波数帯の強度が非常に高いので、簡単なアンテナでも必ず受信できるためである。二つ目は、この30MHz付近は無線の使用が禁止されている周波数帯なので、アマチュア無線の混信がほとんどなく、また船舶、漁船、航空機の無線の雑音も少ないからである。三つ目は、銀河電波の受信装置に市販のアマチュア無線受信機がそのまま流用でき、新たに専用の高価な受信装置を準備する必要がないためである。

(3) アンテナの長さ

まず周波数から波長(λ)を求める。

[波長]=[電波の速さ]/[周波数]より

電磁波の速さ 300,000,000 m/s を代入すると
 $\lambda = 300,000,000[\text{m/s}] / 30,000,000[\text{Hz}] = 10[\text{m}]$

よって波長λは10mと求められる。

高周波電流は導体棒の表面近くのみを流れるので、普通アンテナ材料としては金属パイプが用いられる。今回は軽量で腐食しにくいアルミパイプを用いることにした。このアンテナ用パイプとして、外径17mm、肉厚1mmのアルミパイプを2本用い、波長λの電波に共振させるため、パイプ2本を合わせた長さをλ/2より若干短くした。この短縮率はパイプの太さに関係するが、外径17mm程度のパイプの場合、約3%であるので、

$$(1-0.03) \lambda / 2 = 0.97 \cdot 10 / 2 = 4.85[\text{m}]$$

さらに2本は数mm離して設置するため、

$$4.85 / 2 \div 2.43[\text{m}]$$

とし、2.43mのアルミパイプ2本を用いることにした。

(4) アンテナを設置する高さの算出

アンテナの設置場所はできるだけ人工の雑音が少ない場所が望ましいが、観測の利便性を考え、校舎の屋上とした。また、屋上の床面を反射板として利用した。このようにすると、アンテナビーム(アンテナの感度のよい方向)を天頂に向けることができる。この場合、高さは波長λの1/4にすると最も効率がよい。

$$\text{アンテナの高さ} = \lambda / 4 = 10 / 4 = 2.5[\text{m}]$$

よって地上から、2.5mの高さにアンテナが来るように設置した。

すなわち、長さ2.43mのアンテナ2本を、地上から2.5mの位置で設置すると、効率よく電波を受信できることになる。通常のアンテナでは、アンテナビームの歪みを抑えるためにバランが必要とされるが、このダイポールアンテナにおいては、指向性が弱く、アンテナビームに影響が少ないので、バランは取り付けなかった。

(5) 指向性

このアンテナの指向性について、文献(前田,1989)をもとに調べてみた。図1は地面を反射板とした時の半波長ダイポールアンテナの指向

性を示すグラフである。図1左上はエレメント素子を含む平面内のアンテナパターンでアンテナビーム幅は天頂を中心に30°ずつ、図1左下はエレメント素子と直交する平面内のアンテナパターンでアンテナビーム幅は天頂を中心に60°ずつとなる。これをもとにダイポールアンテナの全天の指向性を示したものが図1右である。アンテナエレメントは東西方向に設置したので、天頂を中心に東西方向に狭く、南北方向に長い楕円形になる。このことから、このアンテナは天頂を中心に天の子午線に沿った南北方向に強い指向性があることが分かった。また、天頂を中心に比較的広い領域の電波を受信できることになる。

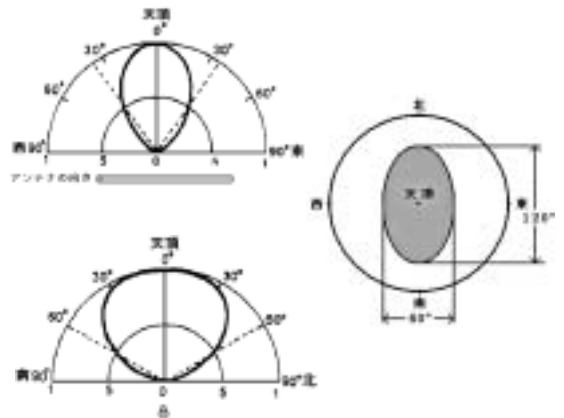


図1 指向性

(左上:南北成分、左下:南北成分、上:全天)

(6) 観測システム構築

アンテナが電波を受信してから、記録するまでの経路は以下のとおりである。

まず、私たちが製作した半波長ダイポールアンテナにより銀河電波を受信する。受信した電波はアンテナからコントロールユニットを経て増幅された後、受信機に入力されて、30MHzに選局される。この際、受信モードをAM(振幅変調)受信に設定しておく。この時点では信号は交流電圧だが、これではペンレコーダーで記録できないので、検波器で交流電圧を直流電圧に変換する。最後にその信号をペンレコーダーや打点レコーダーに出力し、記録紙に記録する。検波器については交流を直流電流に変換する回路を自作した。

写真1は実際に製作した望遠鏡の外観である。



写真1 銀河望遠鏡1号機
(ダイポールアンテナ型機)

(7) 1号機による観測記録

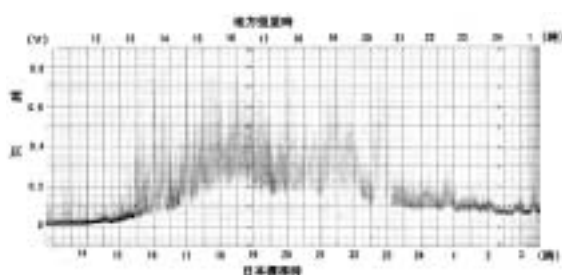


図2 2004年8月15日の記録

図2は観測を始めた頃の2004年8月15日の観測記録である。記録紙の最低値の増減を最優先し、全体を見通してなだらかな変化に注目すると、次のことを読み取ることができた。

- ・15時頃からゆっくりとレベルが上昇する。
- ・18時から23時の間が高くなり、19時前後で最大になる。
- ・23時以降ゆっくりとレベルが下降して、翌日3時頃ほぼ元にもどる。
- ・記録全体が山形になる。

なお、上に伸びるスパイク状の突起はノイズと判断した。

(8) 銀河電波であることの証明

始めこの電圧の高まりが銀河電波ではないかと予想したが、この記録だけでは判断できない。そこで仮説を立て、この記録が銀河電波によるものであることを検証することにした。

電波の感度が最も強くなる方向は、アンテナの指向性で述べた通り、天の子午線に沿う方向であ

る。従って、銀河系（天の川や射手座）が天の子午線を通過する時刻に電波は最も強く観測されると考えられる。つまり、この変化が銀河電波によるものであるなら、記録紙には、銀河系が天の子午線を通過する時刻に電波強度が最大になるように記録されるはずである。そこで次の仮説を立てた。

仮説①「電波強度が最大になる時刻に、天の川

（銀河系）が天の子午線を通過する。」

この仮説を検証するために、8月15日の18時から22時の間に子午線を通過する天体を、天文ソフトや星座早見盤で探した。結果、天の川すなわち銀河系が子午線を通過していることがわかった。これにより、この山型の電波の原因は銀河電波である可能性が高いことが分かる。しかし A 人工の電波の可能性も完全には否定できない。そこで、新たな仮説を立て、これを検証してみることにした。もし電波源が銀河であれば、地方恒星時は、地球の公転に合わせて、日本標準時に対して1日約4分の割合で進む。従って、電波がピークとなる時刻（日本標準時）は、毎日約4分だけ早まるはずである。

仮説②「電波強度が最大になる時刻は、1日に4分ずつ早くなる。」

仮説②を検証するためには、長期間の継続観測が必要である。そこで、8月から9月にかけてこの継続観測を行い、その連続記録から、各日の日本標準時におけるピーク時刻を読み取った。図3はそれを示したものである。

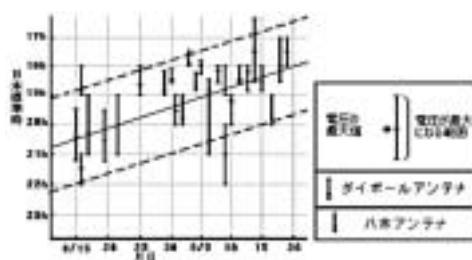


図3 最大電圧を記録した時刻の日変化

1ヶ月にわたる観測により全体を平均すると、電波が強まるピークの時刻が1ヶ月間で約2時間早まっていることがわかる。つまり、1日に4分早くなっていた。これにより、仮説②が証明された。すなわち、これらの記録は銀河電波であることが明らかになった。

4 銀河電波望遠鏡 2 号機の製作と銀河系の形状予想

(1) 2 号機製作の動機

1 号機は、全天に対して広く受信するアンテナなので、どの方向から強い銀河電波がやってくるのか不明であった。従って、私たちの目的である銀河系の形状や性質を考察するには適したアンテナとはいえない。そこで私たちは電波のやってくる方向がわかる指向性の高い新たなアンテナ 2 号機を製作して、観測を行うことにした。

(2) アンテナの形状

指向性が高いアンテナを調べたところ八木アンテナが最も適することを知った。八木アンテナとはテレビ用アンテナのようなブームに対して、直角に数本のエレメントが並んでいるものである。

電波の正確な指向性を知るために、アンテナの自作は避けて市販のアンテナを改造して用いることにした。

(3) エレメント長の算出

購入した 29MHz 八木アンテナの各エレメント長を 166mm だけ短縮し 30MHz の電波を受信できるようにした。

(4) 指向性

アンテナの性能や構造は重要な要素なので、取り扱い説明書やメーカーに問い合わせをして調べてみた。これによりわかったアンテナの指向性を図 4 に示す。

ここで重要なことは、アンテナの指向性が水平面に対して 30° 上方にあることである。よってアンテナを水平に保って観測すると、観測される赤緯は -25° 、アンテナを 30° 上方に向けると、観測される赤緯は $+5^\circ$ となる。この 2 方向について観測を行った。

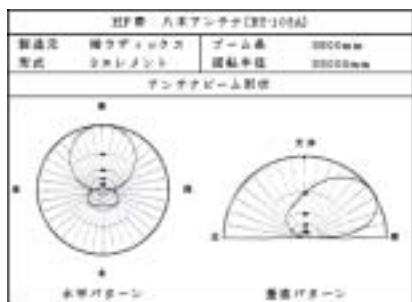


図 4 八木アンテナの指向性



写真 2 銀河電波望遠鏡 2 号機
(八木アンテナ型機)

(5) 2 号機による観測記録

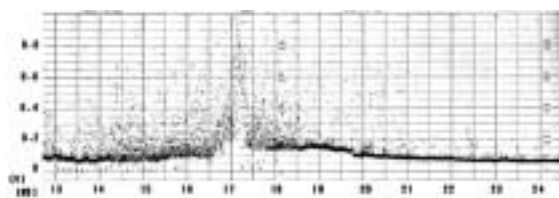


図 5-A 2004 年 9 月 15 日 アンテナの傾き： 30°

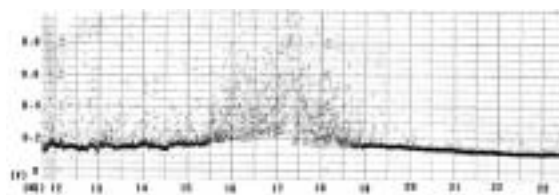


図 5-B 2004 年 9 月 20 日 アンテナの傾き：0

観測結果を上図に示した。この 2 枚の記録だけでは判断が難しいが、数日にわたる観測から、電圧強度のピーク時の平均をとると、アンテナの傾き 30° のほうが強い電波を受信していることが分かった。よって銀河系の中心方向は赤緯 -25° の方向に位置していると考えられる。

(6) マッピングの方法

マッピングとは、アンテナを空のさまざまな方向に向けて観測を行い、赤経、赤緯ごとに強さを調べ、その結果をもとに等値線を描いて強度分布図を作成することである。

そのためには電波を受信する赤経、赤緯を少しずつ変える必要があるが、地球が自転しているのでアンテナを真南に向けて固定しておけば、赤緯は変わらない。また、赤経は天体の日周運動とともに増加する。従って、アンテナの高度だけを変

えれば、赤経と赤緯を変えた観測と同じ結果を得ることができる。

(7) マッピングの結果

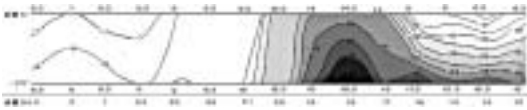


図6 銀河電波の強度分布

(数値は記録紙上の電圧の相対的な大きさを、色が濃いほど強い電圧であることを示す)

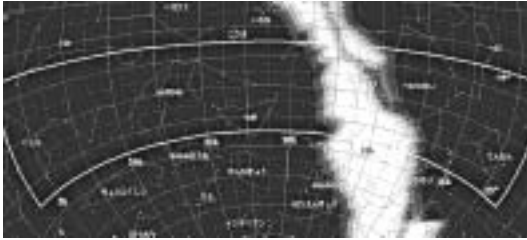


図7 天の川と恒星の分布 (ステラナビゲータより作成 灰色の分布：天の川 白い枠：観測範囲)

図6がマッピングの結果である。電波強度が高かったのは、赤経17h~19h、赤緯 -25° ~ $+5^{\circ}$ の範囲であった。特に赤経18時00分・赤緯 -25° の領域の電波強度が最高である。ここを中心に北に向かって山型の等電波強度線が描かれており、東西方向に弱くなっている。さらに、東西方向への弱まり方は、東側より西側の方が緩やかである。また、南北方向を比べると赤緯度 5° よりも南側の赤緯 -25° の方が強いことが分かる。また、実際の銀河の分布と比較するために、図7に天文ソフトによる天の川と恒星の分布を示した。2つの図を比べると天の川とよく対応していることが分かる。

5 結論

(1) 1号機の製作と観測

- ・アルミパイプと木材を加工して、30MHzの銀河電波を受信する銀河電波望遠鏡1号機を製作することができた。
- ・電波強度が最大になる時刻に天の川が天の子午線を通過すること、さらにこの時刻が1日4分ずつ早くなることから、銀河電波の受信が証明できた。
- ・電波強度の最大になる時刻が、射手座が南中

する時刻より1時間早かったことより、銀河電波の中心は射手座より赤経1hだけ西側にある事が分かった。

(2) 2号機の製作と観測

- ・市販の八木アンテナを加工・縮小して、30MHzの銀河電波を受信する銀河電波望遠鏡2号機を製作することができた。
- ・アンテナビームを考え、観測する方向の角度を算出できた。
- ・アンテナの高度角を変化させる装置を自作した。
- ・マッピングを行うことによって銀河電波強度が最大になる方向は赤経18時00分、赤緯 -25° 付近であり、これは 4° 南にある銀河の中心方向に続いていることがわかった。
- ・電波強度の分布は天の川の領域とほぼ一致した。

6 参考文献

- ・赤羽賢司・田原博人・海辺宜男, 1988, 共立出版, 「宇宙電波天文学」
- ・前田耕一郎, 2002, コロナ社, 「電波の宇宙」
- ・前田耕一郎, 1989, 簡単な電波望遠鏡による低周波電波天文学 1~4
- ・浜島出版編集部, 1995, 浜島出版, 「最新図表地学」 136
- ・ステラナビゲータ (C)1997-1998 AstroArts Inc.