

# VERA 電波望遠鏡の 13 万分光点データを用いた宇宙電波輝線 及び人口電波輝線の分析

濱江勇希<sup>\*1</sup>

Email: k7319438@kadai.jp

\*1: 鹿児島大学理学部物理科学科 宇宙コース 3年

◎Key Words 電波天文学, アプリケーション開発, 13 万分光点データ

## 1. はじめに

電波天文学分野では、非常に多くのデータを扱う。そのため、人間の手だけでの解析は非常に困難なものとなる。そこで、本研究では、電波望遠鏡で観測されたデータを半自動でPCを用いて解析した。

## 2. 研究の動機・目的

私が本研究を行おうと思った動機は、2つある。

1つ目は、天文学に興味があったからだ。私が在籍している大学は電波天文学に力を入れており、国立天文台が主導している VLBI 観測、VERA<sup>1</sup>にも参加しているため、VLBI 観測で実際に使われている単一鏡を使って観測ができるという恵まれた環境にある。そのこともあり、私が在籍する大学では学生でも VERA で観測された電波輝線の情報を得ることができる。私は天文学に興味があったこともあり、せつかく現在の大学に在籍しているからには、天文学を研究したかった。そのため、大学で行っているサイエンスクラブというプログラムに参加した。そこで、4年生になったときに行う卒業研究の参考にし、天文学がどのような手法で研究されているのかを知るために本研究をしようと思った。

2つ目は、わたしはプログラミングにも興味があったため、実際に自分で研究をするのであれば、既存のアプリケーションだけを使うのではなく、自分で新たなアプリケーションを作ることによって、天文学のデータの分析の方法を詳しく知ることができるとともに、自分がほしいデータを得ることができるようなアプリケーションを開発しようと思ったから本研究を行った。

VERA 入来局では 2.2~44.5GHz の範囲で観測可能であり、この範囲では 22235MHz の水の輝線や 22924MHz のアンモニア輝線が観測可能である。今回の観測では、今まで分光する範囲が限られていたのに対して、分光する前に、VLBI 方式で記録した。そのため、従来に比べてより広い周波数帯を観測可能であった。そこで、観測可能な範囲が広いという特徴を活かした研究がしたいと思い、今回の研究では VERA 入来局の単一鏡がもっている特徴を最大限に活かした研究を行った。

現在、VERA 入来局の 20m 望遠鏡では主に水の電波輝線を中心に観測されている。今回の観測はミリ波の 2GHz に及ぶ観測周波数帯の電波を観測したのだが、これは、VERA で

は初めての試みであった。そのため、今回観測された広い周波数帯を見たときに、どのような電波輝線が見えるのかについてはあまりデータがない。また、今回観測された周波数帯ではどのような人工の電波放射輝線が観測されるのかもよくわかっていない。そこで今回は次のような4つの目的をもって本研究を行った。

1つめは、国立天文台の VERA 入来局の 20m 電波望遠鏡で観測されたスペクトル強度のデータを自作のプログラムを用いて処理し、観測している天体が発している輝線を検出することである。2つめは、今回は、そのことを生かして、観測した複数の天体ごとの違いや、普段わざわざ見ることができないような周波数帯で輝線を見つけることである。3つ目は、広い範囲を観測した際に、観測したスペクトルデータに混ざる人工電波放射や、観測機器のノイズを発見することである。4つ目は、作成したプログラムで、自動的に輝線を判別し、それをピックアップすることである。

## 3. 方法

本研究では、VERA 入来局にある 20m 電波望遠鏡を用いて天体を観測したスペクトルデータを用いて研究を行った。望遠鏡で観測されたデータは、望遠鏡で受信された電波を電気信号に変換し、信号の自己相関スペクトルをとることによって、周波数ごとに分解している。使用したデータは、2016年1月1日に 21GHz~23.8GHz の周波数帯で観測されたものを使用し、観測している天体は、W-Hya, W49, W30H, Ori-KL, R-LEO である。この周波数帯では、有名な輝線では 22235MHz の水 22924MHz のアンモニアなどの電波輝線を観測できる。

データの処理においては電波望遠鏡で観測され、自己相関スペクトルを取ったデータを AIPS を使って時間ごとに積分した。このとき、グラフは図1のようになっている。その後、処理されたデータを自分で作ったプログラムを用いて処理をし、最終的に校正スペクトルデータにした。(図2) 自作したプログラムは、図3に示すような流れになっている。一定時間ごとに分かれているデータを周波数や天体ごとに時間方向に積分し、時間ごとに分かれないスペクトルのデータにした。その後、実際に天体の

<sup>1</sup> 国立天文台と大学が共同でやっている VLBI(複数の距離が離れた電波望遠鏡を1つの大きな電波望遠鏡とする

ことで、電波望遠鏡単体で運用するより解像度を上げる観測手法)観測プログラム

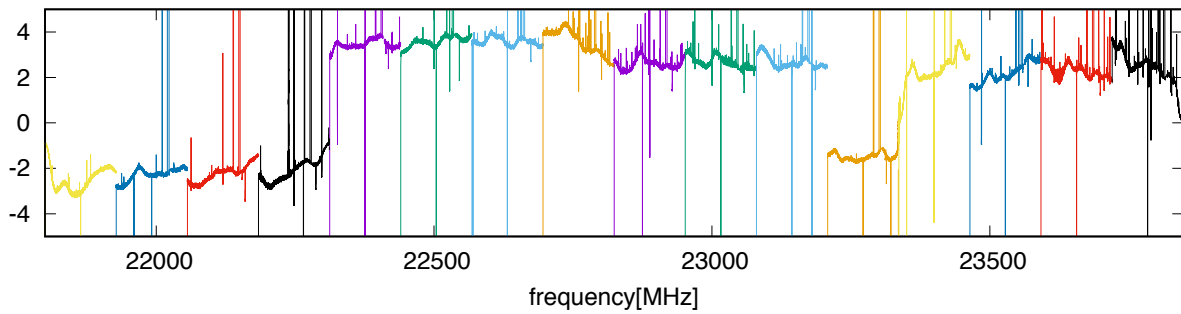


図 1: 校正前のスペクトル(縦軸は無次元のパワースペクトル係数)

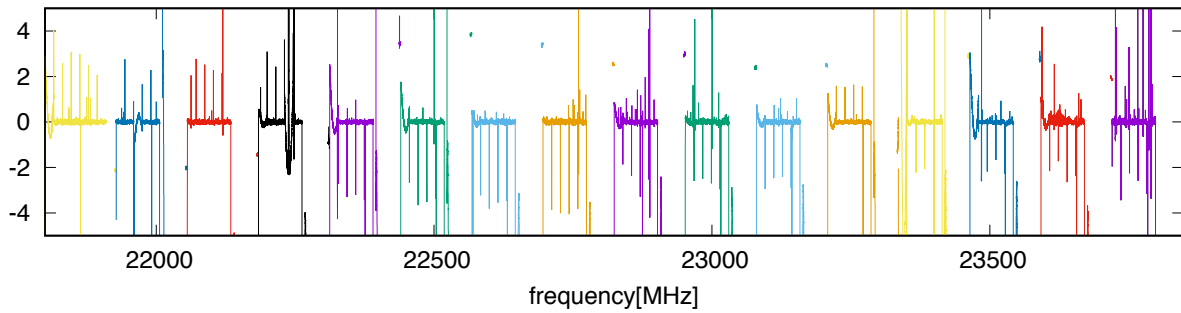


図 2: 校正後のスペクトル(縦軸は無次元のパワースペクトル係数)

方に望遠鏡が向いている時のデータ on point から、天体のすぐそばを望遠鏡が向いている時のデータ off point を引いた。しかし、on point と off point はほぼ同じ時間に観測しているものの、観測時間が異なっている。今回の観測では、その時間の差は7倍であったため、off point の前後 7ch 分を足し合わせ、観測時間の違いの問題を解決した。

そして、on point から off point を引いただけのスペクトルデータの人工電波を電波強度を分けることによって、自動的に輝線データを抽出した。on point から off point をひいただけのデータは図に示すような形のデータとなっているため、本研究では人工電波と、電波輝線を分ける方法として、図のような形のデータを幾つかの区間に分け、その区間のデータに対してコブの数+1次の近似曲線を求めようとした。しかし、ここで電波輝線が残るような範囲で4次以上の高次方程式を求めようとすると、プログラムがオーバーフローをおこしてしまい、うまく計算ができなかった。そのため、今回は3次の近似曲線を求めることにした。その後、ベースライン(人工的放射や、熱的ノイズなどの本来天体が発している電波以外を考慮した電波放射が0Jyのライン。1次曲線。)を求めて、スペクトルデータからさしひいた。これで最終スペクトルデータにした。

その後、最終スペクトルデータから電波輝線を見つけるためのプログラムを輝線全体が見れるで

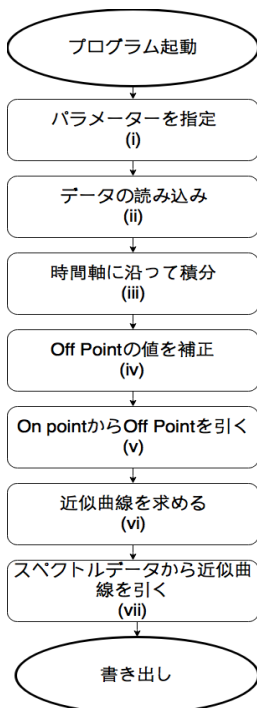


図 3: 自作したプログラムの流れ

あろう範囲を見積もり(今回の場合は 20ch)、その範囲の中でまた、ベースラインを求める。次に、その範囲の中のスペクトルデータにたいしてベースラインを差し引く。ベースラインに対しての信号雑音比を求めて、その値が3以上となっているものをピックアップし、輝線候補とした。そして、輝線候補周辺のスペクトルグラフをgnuplotを用いて表示し、輝線かどうかを確かめた。輝線である条件は以下のようにした。

- 先ほど求めた輝線の幅と一致していること。
- 輝線の周波数一覧[1]にその周波数があること。
- 少し広い範囲で見たときに定期的に同じような輝線が現れないこと。
- 輝線の両端が極端にベースラインより下回っていないこと。図4
- 信号雑音比が3以上であること。

ここで、信号雑音比は、MADFMを用いて標準偏差を計算し、それを信号対雑音比とした。MADFMを利用した理由は、標本となるデータ二は非常に値が大きかったり、小さかったりするアウトライヤーが存在するため、通常のアウトライヤーが存在するため、通常のアウトライヤーを用いた標準偏差では、そういったデータに影響され、

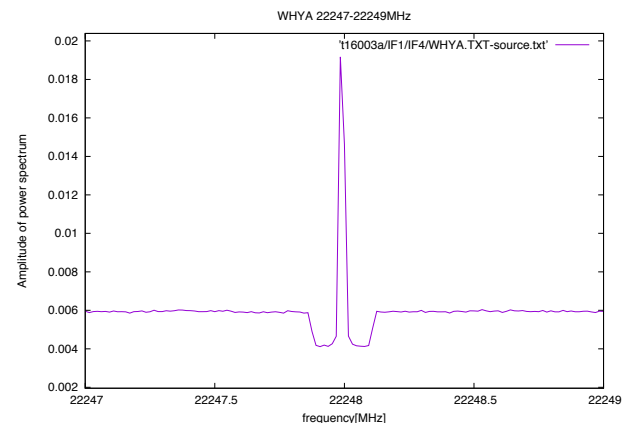


図 4: 検出された人工電波輝線の例

標準偏差が大きくなる。そこで、中央値を用いた MADFM を計算することによって、そういったアウトライヤーに影響されないようにした。

各天体が発している電波輝線を抽出した後は、今回観測した複数の天体ごとの輝線の違いを調べた。具体的には、輝線の形や幅、有無、赤方変移による輝線の周波数のずれを調べた。ここで、輝線の強度を比較しなかったのは、各天体と地球との距離が違い、単純には比較できないためである。

4. 結果

今回用いた観測データでは次の表 1 から表 5 にしめすような輝線が見つかった。

表 2 検出された輝線の一覧とその周波数 (MHz) と信号対雑音比 (括弧内)

	水	その他
W49	22236.593 (72.2) 22240.906 (279)	メタノール 23115.328 (11.3) 23116.359 (13.9)
W30H	22237.781 (105)	アンモニア 23725.500 (5.11)
W Hya	22232.531 (897)	
Ori-KL	22232.531 (795)	アンモニア 23096.156 (6.35)
R LEO	22236.156 (10.1)	

表 1-5 までが示すとおり、今回分析したデータでは、水の輝線以外あまり検出することができなかった。

原因としては、熱的ノイズが非常に大きかったと考えられる。そのため、天体の電波輝線が熱的ノイズに埋もれてしまい、本来見えるであろう輝線が見えなかった。熱的ノイズが大きい原因としては、観測時間が短かったことや、望遠鏡の口径が小さかったことが考えられる。この問題の解決方法としては、VERA 入来曲の望遠鏡をつかう場合においては、観測時間を長くすることで解決できる。熱的ノイズというのは、ランダムに発生するものであるため、ランダムに発生するものを長時間観測すると天体が発している輝線に対してどんどん小さくなる。一方で、輝線輝線は、観測時間を長くすれば長くするほどくっきりと浮かび上がってくる。これにより、今回観測できなかったような、電波強度が小さい輝線を観測することが可能になると考えられる。

また、人工電波放射と天体の電波輝線が重なったということも原因の 1 つだと考えられる。今回観測した、周波数帯は、天文学分野以外には使われていないのだが、図 1 に示すとおり、かなり多くの人工電波放射輝線が検出された。これは、天体を観測する過程が原因だとはないと考えられる。天体から放射された電波はまず望遠鏡で受信され、その後、受信された信号を 2 段階に分けてダウンコンバートされる。今回のような場合では、ダウンコンバートした後の信号の周波数とたまたま合致するよ

うな人工電波があったのでは

ないかと推測される。実際に、調べてみると、望遠鏡で受信し、ダウンコンバートされたデータの周波数は

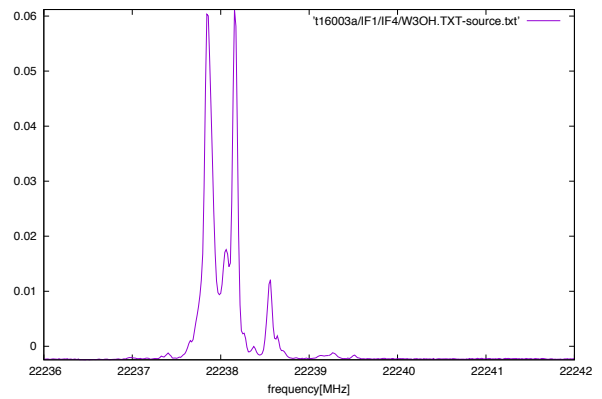


図 5: W30H で検出された水メーザー (縦軸は無次元のパワースペクトル係数)

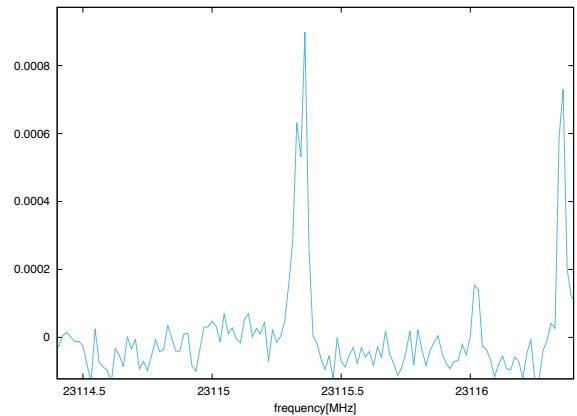


図 6: W49 で検出されたメタノールメーザー (縦軸は無次元のパワースペクトル係数)

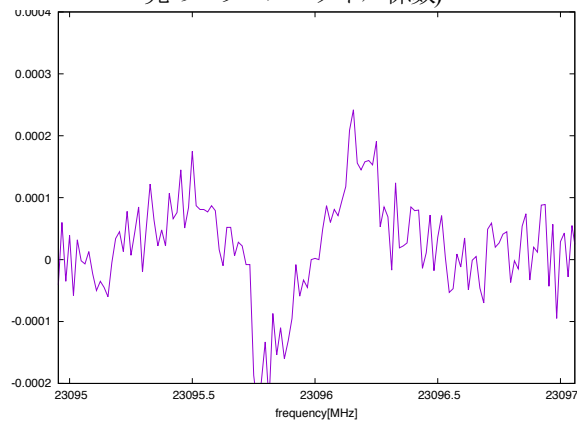


図 7: W30H で検出されたアンモニアメーザー (縦軸は無次元のパワースペクトル係数)

4. 2GHz $\times$ sim7Hz になっていた。総務省によると、この周波数帯は放送事業に使われているという。VERA 入来局では、テレビやラジオが受信可能であることを考えると、人工電波の原因はそれではないかと推測できる。そのため、ダウンコンバートの周波数を変えることで、影響を最小限にすることができるのではないかと考えられる。

5. 結論

本研究では、VERA 入来局の望遠鏡では、輝線の大

きさに対して、熱的ノイズが非常に大きいため、水以外の輝線は暗すぎてほとんど観測できないことがわかった。また、広い周波数帯を観測した際に、現れる人工電波放射も発見できた。そのため、VERA 入来局の電波望遠鏡を使って天体を観測したい場合、観測時間を非常に長くする必要があるということが判明した。更に、ダウンコンバートのやり方にも問題があることが判明した。

## 6. 今後の発展と展開の可能性

本研究によって、VERA 入来局の望遠鏡では、非常に強い水の輝線以外はあまり検出できないことがわかった。また、観測したデータに大量の人工電波放射が存在することもわかった。この問題の解決策として、ある天体の観測時間ごとに電波強度の移り変わりを分析することで、この問題が解決できるようになるのではないかと考えられる。熱的なノイズは、時間によって変動するが、天体の電波放射はそこまで時間に依存するものではない。したがって、時間軸にそってしてみると、天体が放出している電波を検出できているところは他の周波数とは違う変化をしているはずである。そのため、その違いがどのようなものかがわかればたとえ熱的なノイズが大きい場合でも輝線を検出できると思われる。

また、先程も述べたとおり、ダウンコンバートしたあとの周波数をあまり人工電波の影響を受けないような周波数にすれば観測される人工電波が少なくなるのではないかとということもわかった。

## 7. おわりに

あまり一般的に知られていない電波天文学ではあるが、本稿で紹介したように電波天文学にはテクノロジーが不可欠である。さらに、近年の電波天文学では、ディープレーニングなどの最先端のテクノロジーも導入されている。本稿を読んでいただいて、電波天文学というのがどのようなものか少しでも知っていただけたらありがたい。

## 参考文献

- (1) Matthew T. Whiting : "a 3D source finder for spectral-line data", Mon. Not. R. Astron. Soc. 000, 1-16 (2009).
- (2) Frank J. Lovas. "NIST Recommended Rest Frequencies for Observed Interstellar Molecular Microwave Transitions". <https://physics.nist.gov/cgi-bin/micro/table5/start.pl>. (参照 2017-11-15).
- (3) 総務省. "我が国の電波の使用状況". 総務省 電波利用ホームページ. <http://www.tele.soumu.go.jp/resource/search/myuse/use/ika.pdf>. (参照 2017-11-15).
- (4) kojo sugita. "C 言語関数辞典". <http://www.c-tipsref.com/>. (参照 2018-11-17).