

【注意事項】

1. 試験開始に先立って、以下のものが配布されていることを確認してください。
 - (1) 本冊子(1部)
 - (2) レポート用紙(3枚)
 - (3) グラフ用紙(2枚)
 - (4) 下書き用紙(1枚)
 - (5) 電卓(1台)
 - (6) 定規(1本)

2. 試験開始後に、(1)の本冊子を開き、合計11枚であることを確認してください。
この冊子には、以下の(7)、(8)、(9)、(10)、(11)が含まれています。
 - (7) 提出用レポートの表紙(1枚)
 - (8) 方法を含むページ(1枚)
 - (9) 課題シート(2枚)
 - (10) 図1、図2と図3-1から図3-4を含むページ(5枚)
 - (11) 表1のページ(1枚)

3. 解答中に、レポート用紙、グラフ用紙、下書き用紙が不足した、あるいは電卓に不具合がある等の場合には、無言で挙手してください。

4. 本試験問題の題材は高校物理で直接取り扱うものではありませんが、科学的取扱を問うものであり、予備知識なしで取り組みます。なお、本題材では実際の物理現象をもとに作成した擬似データを使用しています。

5. 本試験は、次ページ以降に示された作成中のレポートに続き、データの解析、考察などを追加し、レポートを完成させるものです。レポートは、全5章から構成され、1章「実験の背景と目的」、2章「方法」が示されています。3章「結果」、4章「考察」、5章「結論」を作成してください。

令和4年度 鹿児島大学理学部理学科

物理・宇宙プログラム

AO 入試提出レポート

受験番号 _____

氏名 _____

1. 実験の背景と目的

(1-1) 背景

太陽のような星になる前の、若い星の周囲には気体が大量に存在している。この気体の主成分は水素分子 H_2 であるが、一酸化炭素分子 CO など様々な分子も存在している。この分子から放出される電波を「分子輝線」と呼ぶ。電波望遠鏡により分子輝線を観測することで、星の周囲の気体分子の分布や気体分子がどのように運動をしているのかを調べることができる。

若い星の周囲の気体の運動として、太陽系の惑星の公転運動と同様の回転運動が考えられる。回転運動が円運動の場合、気体分子の速さ v_{rot} は、

$$v_{rot} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (1)$$

と表される。ここで r は星からの距離、 G は万有引力定数、 M は星の質量を表す。

(1-2) 目的

分子輝線の観測データから、若い星の周囲に存在する気体の分子の分布や運動について調べる。

2. 方法

電波望遠鏡により、若い星周囲の気体の中の、一酸化炭素 CO の同位体 $C^{18}O$ が放出する分子輝線を観測した。以降、観測した分子輝線を $C^{18}O$ 分子輝線と呼ぶ。図 1 は観測から得られた若い星の周囲の $C^{18}O$ 分子輝線の強度分布を図示したものである。つまり図 1 は、電波で見た天体写真といえる。図の上部が北側、下部が南側に対応する。この観測データを用いて、図 1 に示すように、星を中心とし北側及び南側のそれぞれ 7 つの地点の解析を行った。それぞれの地点の間隔は 10 天文単位（地球の公転の軌道長半径の 10 倍の長さ）である。

観測者に対し $C^{18}O$ 分子が静止している場合、観測される $C^{18}O$ 分子輝線の電波の周波数は 329331 MHz である（1 MHz = 10^6 Hz）。この周波数を静止周波数と呼ぶ。実際には個々の分子は運動をしているため、音波と同様に電波においてもドップラー効果が起こって、個々の分子から観測される分子輝線の周波数は、静止周波数からずれる。この静止周波数からのずれ Δf は、分子の視線方向の速度（ここで視線方向とは観測者から分子への向き）を v とすると、

$$\Delta f = f_{\text{obs}} - f_{\text{rest}} = -f_{\text{rest}} \frac{v}{c} \quad (2)$$

と表される。ここで f_{obs} は観測で得られた周波数、 f_{rest} は静止周波数である。また、 c は光速を表す。以降、分子の視線方向の速度を視線速度と呼ぶ。若い星周囲の個々の $C^{18}O$ 分子が異なった視線速度を持つため、 $C^{18}O$ 分子輝線が観測される周波数はある範囲に渡っている。

分子輝線の電波強度は、温度の単位 [K:ケルビン] で表す（専門的になるため説明は省く）。分子輝線の電波強度 [K] を縦軸に取り、周波数 [MHz] を横軸にとってグラフとして表したものをスペクトルと呼ぶ。図 2 にスペクトルの読み取り方を図示した。図 3-1 から図 3-4 に、星の北側、南側で観測された $C^{18}O$ 分子輝線のスペクトルを示す。ここで、それぞれのスペクトルの横軸は、観測した周波数そのものではなく、静止周波数からのずれの周波数 Δf で表されていることに注意せよ。

これ以降、「課題シート」の課題の内容を取り入れながら、「3. 結果」「4. 考察」「5. 結論」について、表、グラフ用紙、レポート用紙にまとめ、レポートとして完成させなさい。その際、「読む人にわかりやすく伝える」ということに配慮して、レポートを作成しなさい。提出するレポートは、前ページのレポートの表紙、本ページに続いて、表 1 のページ、グラフ用紙、レポート用紙、図 1、図 2 と図 3-1 から図 3-4 を含むページの順にまとめよ。

【課題シート】

以下の課題の内容を取り入れながら、「3. 結果」「4. 考察」「5. 結論」を付け加えてレポートとして完成させなさい。

なお、表やグラフを作成するときには、それぞれ、表の上端の□内や、グラフの下端に題目を付け、各物理量には単位を明記しなさい。また、記入した数値について、なぜその桁数まで書いたのか、理由を述べよ。

3. 結果

課題1：

図2に基づき、図1中のそれぞれの地点(S1-S7、N1-N7)での、スペクトルのピークの電波強度、及びそこでの Δf を読み取り、表1に記入せよ。

課題2：

上記の Δf を気体分子の視線速度 v に変換し、表1に記入せよ。このとき光速 c は、299792 km/sを用いよ。

課題3：

星の位置を原点として、横軸に南北方向の座標 [天文単位]、縦軸にそれぞれの地点でのスペクトルのピークの電波強度 [K]をとり、観測結果をグラフにせよ。これをグラフ1とする。グラフの題目、縦軸と横軸の名称、および単位も記入すること。

課題4：

星の位置を原点として、横軸に南北方向の座標 [天文単位]、縦軸にスペクトルがピークとなる視線速度 v [km/s]をとり、観測結果をグラフにせよ。これをグラフ2とする。グラフの題目、縦軸と横軸の名称、および単位も記入すること。

4. 考察

課題5：

スペクトルの電波強度は、気体分子の密度や温度を反映している。とりわけ、今回観測した $C^{18}O$ 分子輝線の電波強度は、気体分子の密度をよく反映していると考えられている（専門的になるため説明は省く）。このことからグラフ1より読み取れることを考察せよ。

課題6：

気体の密度とともに、この観測により気体分子の視線方向の運動を調べることも可能である。(1-1)の背景で説明した内容に留意して、グラフ2の結果について考察せよ。

課題7:

そのほかに、実験結果からわかったことや、考えられることについて考察せよ。

5. 結論

課題8:

今回の観測を通じて、わかったことを結論としてまとめよ。

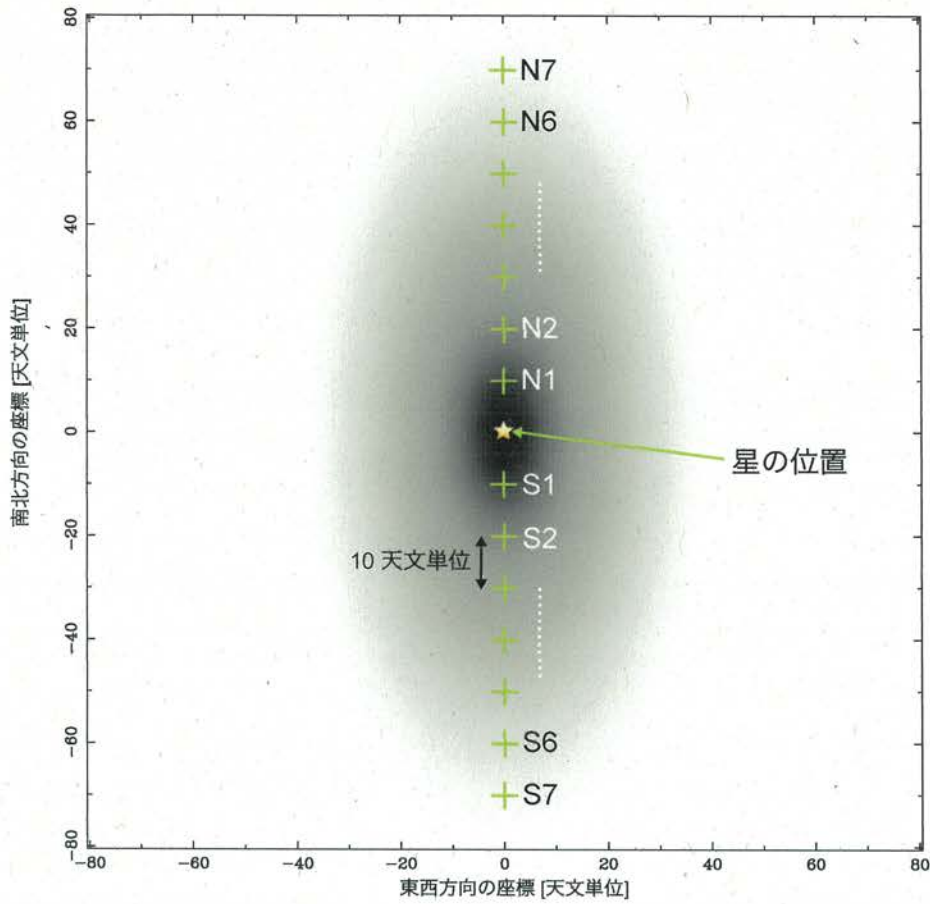


図 1. 若い星の周りの $C^{18}O$ 分子輝線の電波強度の分布 (グレー) とスペクトルを測定した場所 (+印)。グレーの色が濃いほど電波が強いことを表す。☆は星の位置を示す。図では、東西南北の空の座標を、星までの距離を考慮して実際の長さに変換している。

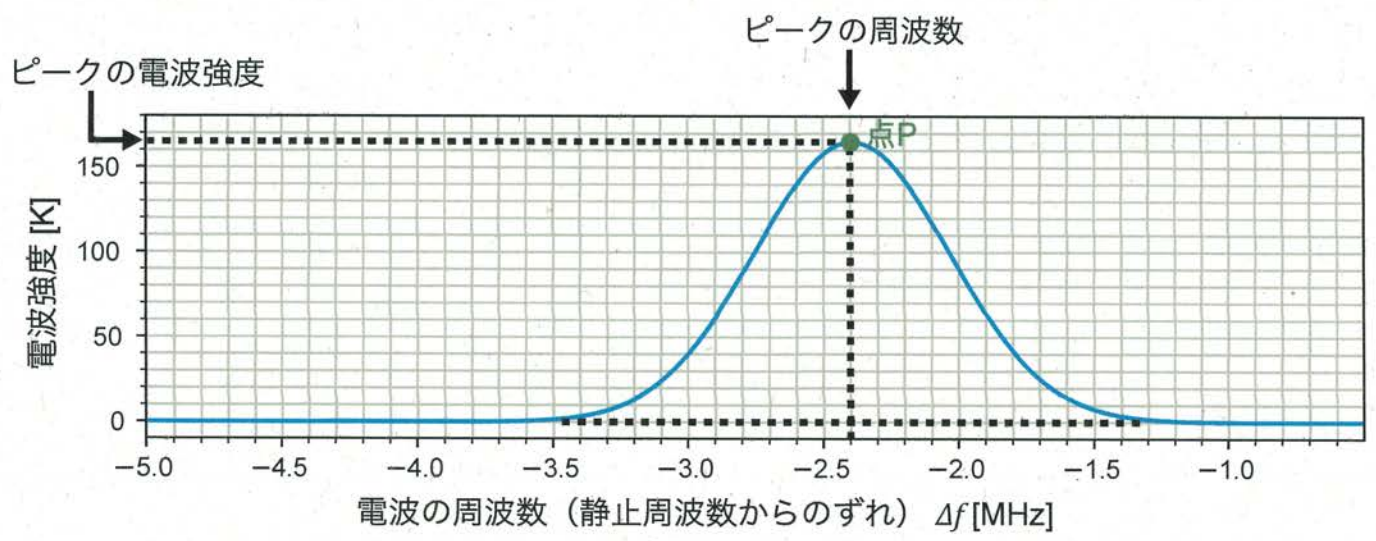


図 2. スペクトルの読み取り方。縦軸においてスペクトルの頂上 (ピーク) 点 P での電波強度がピークの電波強度であり、横軸においてその周波数がピークの周波数である。ピークの周波数は、(2) 式により、視線方向の速度に変換できる。

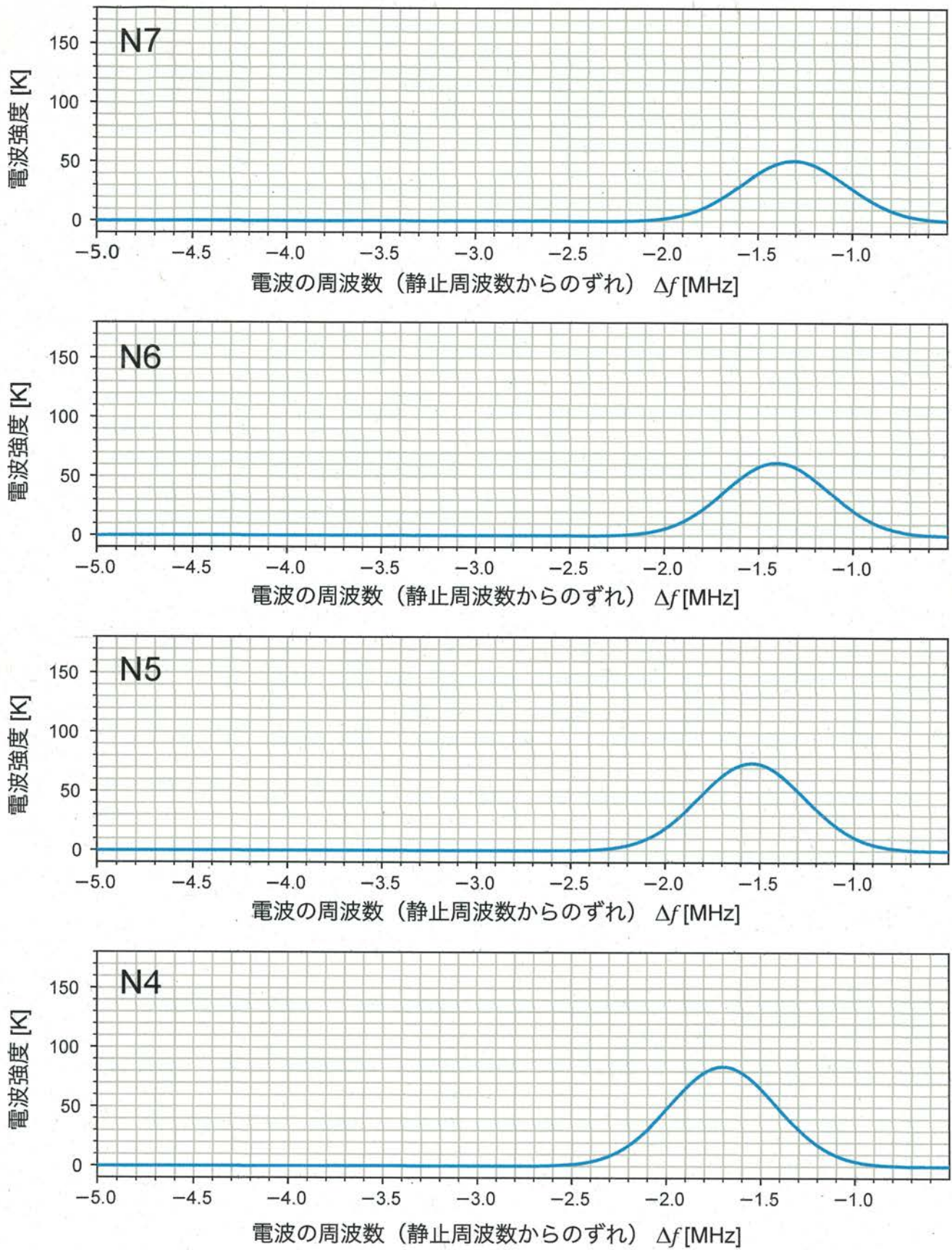


図 3-1. 星の北側(N4 から N7)で測定したスペクトル。

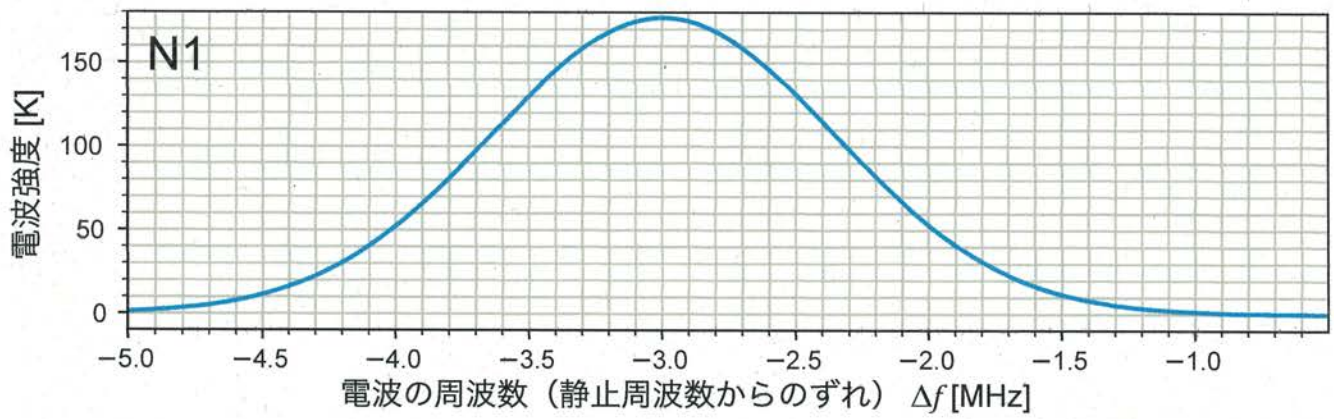
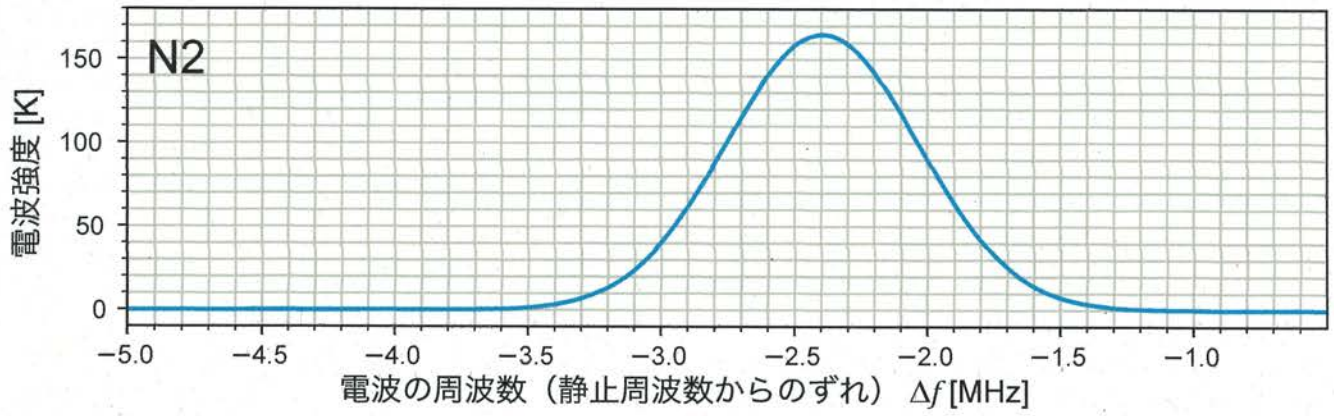
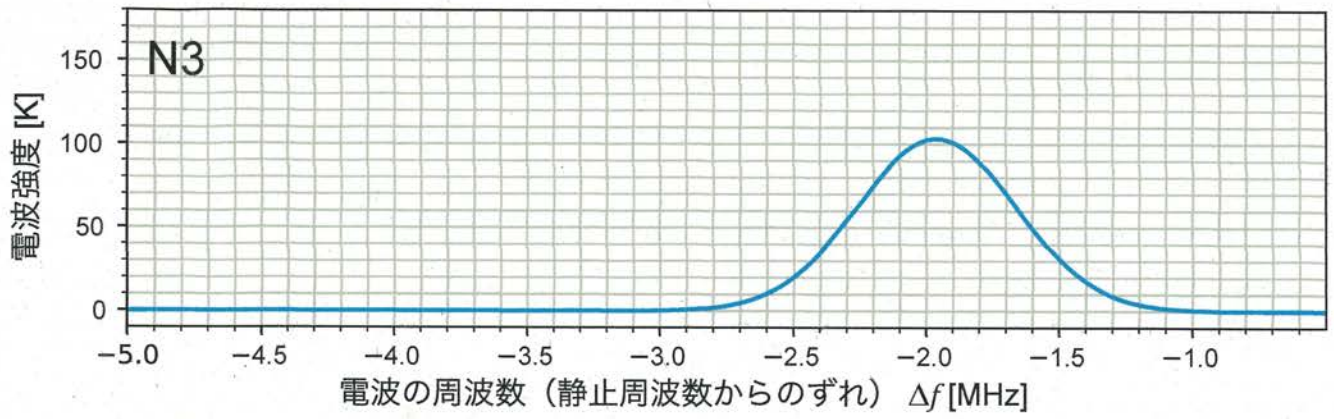


図 3-2. 星の北側(N1 から N3)で測定したスペクトル。

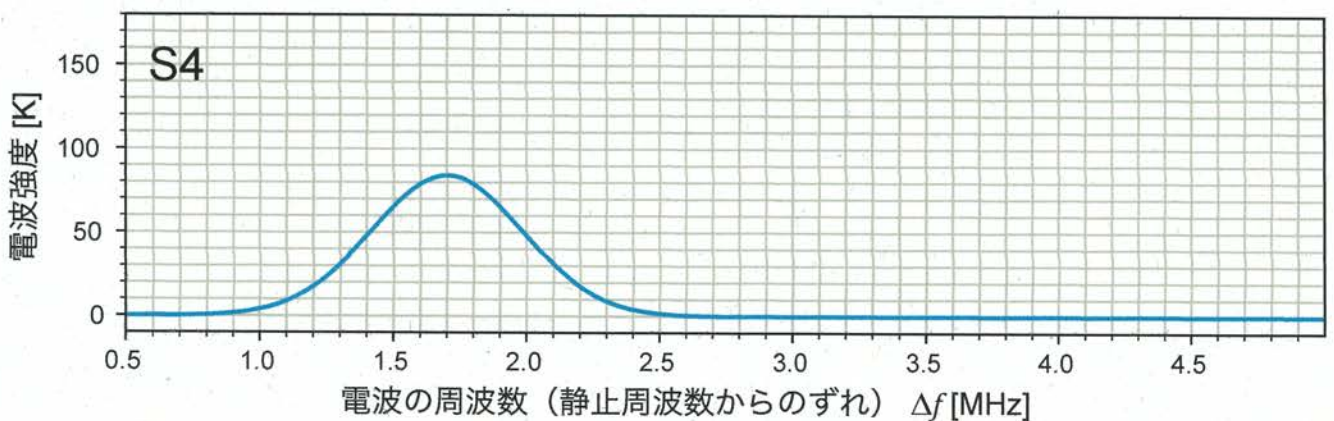
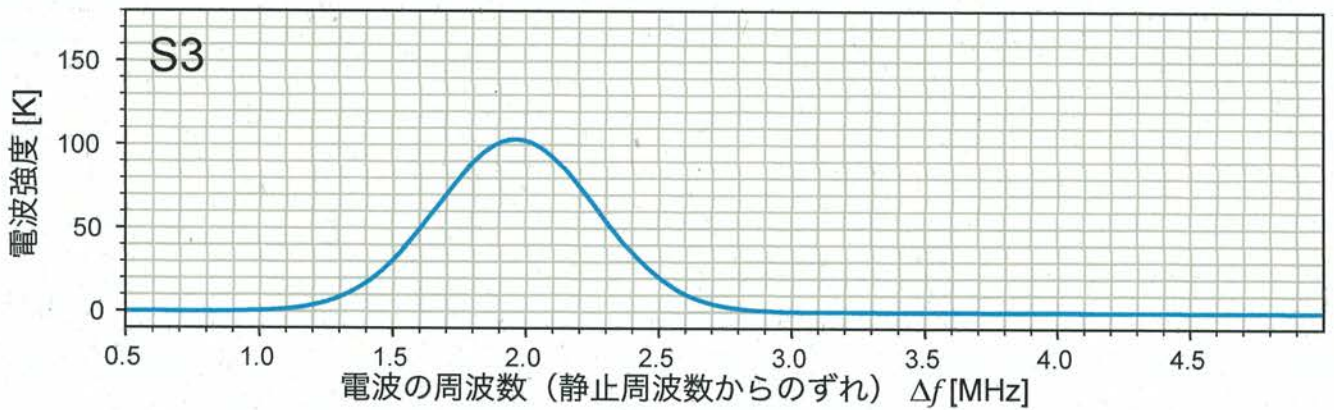
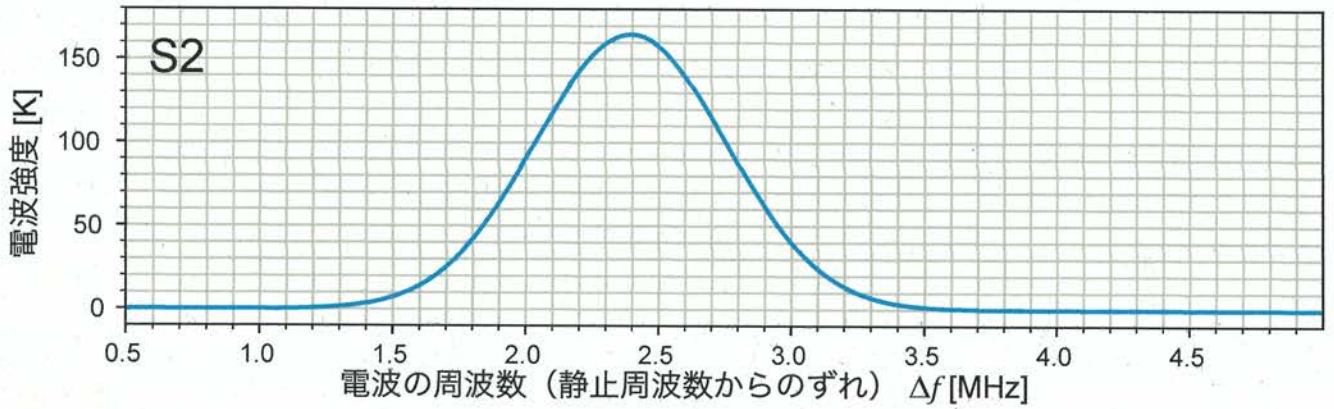
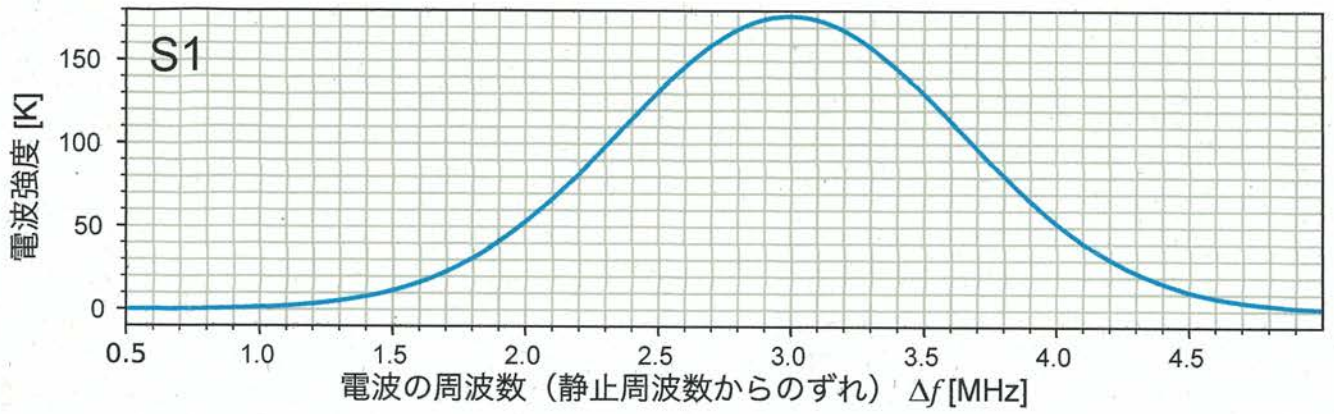


図 3-3. 星の南側(S1 から S4)で測定したスペクトル。

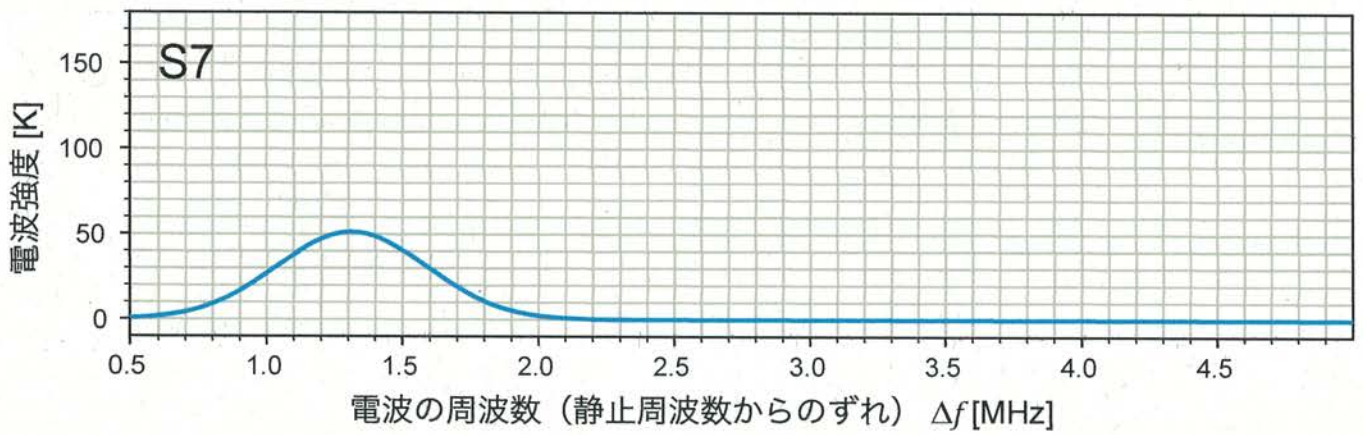
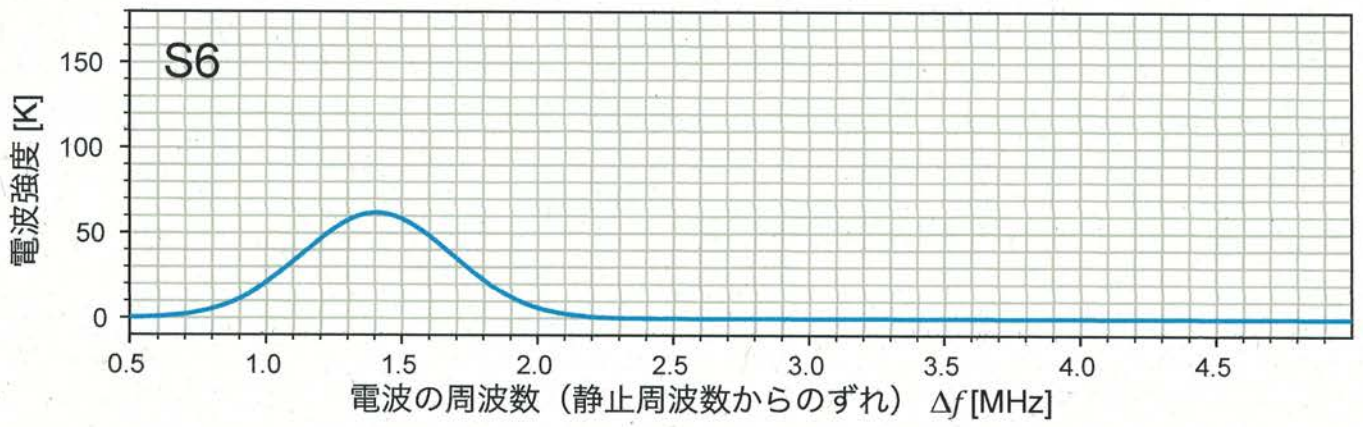
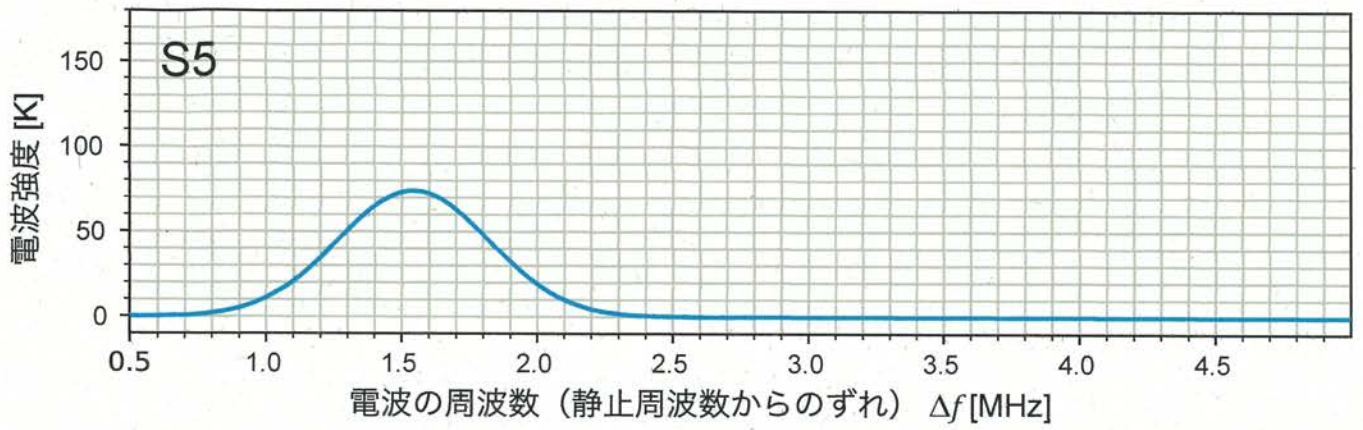


図 3-4. 星の南側(S5 から S7)で測定したスペクトル。

表 1.



スペクトルの地点	星を原点とした 南北方向の座標 [天文単位]	$C^{18}O$ 分子輝線の ピークの電波強度 [K]	$C^{18}O$ 分子輝線のピ ークの Δf [MHz]	$C^{18}O$ 分子輝線のピ ークの視線速度 v [km/s]
N7	70			
N6	60			
N5	50			
N4	40			
N3	30			
N2	20			
N1	10			
S1	-10			
S2	-20			
S3	-30			
S4	-40			
S5	-50			
S6	-60			
S7	-70			