

# 太陽電波の二次元記録と銀河からの 中性水素電波検出への試み

工藤 順次

〈〒063-0053 北海道札幌市西区〉



宇宙電波の観測を、身近な機器を利用して、自宅などなるべく手軽な環境で観測し、光学望遠鏡で見るのとはまた違った宇宙の姿を垣間見ることにはできないだろうか。筆者はこのような主旨のもとで活動してきた。本稿では直近の二つの実験を紹介したい。ひとつは、太陽の熱的電波のデータを、縦横の面積を持つ二次元グラフにをまとめて電波の軌跡を見やすくすること。もうひとつは、銀河系に満ちる中性水素の電波をとらえることへのチャレンジである。

## 1. はじめに

筆者はこれまでに何度か、当誌に電波観測について投稿してきた[1-4]。通信型受信機、アンテナなど通常市販されている製品を利用した電波望遠鏡を用いた天の川銀河からの電波（以下、「銀河系電波」）の観測や、太陽の電波観測などについてである。最初は1990年11月に50 MHz帯での銀河系電波と太陽電波バーストの観測[1]、1993年4月に50, 144, 780 MHzの3種類の周波数による銀河系電波観測[2]、1994年4月にBSアンテナを利用した太陽の熱的電波観測[3]、2012年10月にMicrosoft EXCELを使った銀河、太陽電波のデータ表示[4]についてレポートした。

今回はまず、1994年4月掲載の太陽電波データについて、少し進化させた観測と表示方法、それに付随した新しい体験について報告したい。もうひとつは銀河からの中性水素電波観測へのチャレンジを紹介する。この場合、簡単で単純な機器による実験であるから、得られたものが中性水素電波であったかどうかの同定はできていないがアマチュア活動の一つの試みとして見てもらえたらと考えている。

## 2. 太陽の熱的電波観測・記録の改良と予想外の体験

太陽電波の観測に使用したアンテナは、45 cm径の12 GHz（ギガヘルツ）帯の電波を受信できるBSアンテナであり、そこからの信号を通信型受信機のアンテナ端子入力にするまでは従来通りの方法である。前回、アンテナで受けた電波信号は受信機本体のデータ保存機能を利用した。

だがこの、受信機本体のデータ保存機能を使った処理方法で得られたものは、かなり大雑把なものであり太陽電波の全体像を表示するには不十分だった。

今回は入力された電波を受信機本体から外部機器へ取り出した。まず受信機をAM受信モードにしておく。入力された電波は高周波信号であり、そのままでは扱いきれないので、それを受信機内部で音声信号に変換させている。この音声信号はイヤホン端子から取り出すことができる。ここにイヤホンを差し込んで音を聞いてみるとザーッと雑音がある程度で聞こえるだけであるが、このようにAMモードという受信形態にしておくと、受信電波の強弱にしたがって雑音の音量も上

がり下がりする（といってもその変化の度合いは極微量なので耳で聞き分けることはできない）。この、音としてイヤホンを作動させる電流はアナログの交流電流である。その交流電流を、積分回路と呼ばれる簡単な回路によって直流電流に変換する（図1a）。その直流電流をデジタルマルチメーターと呼ばれるテスターへ導き、さらにその内部でデジタル化された信号データをパソコンに取り込んで表示させるというものである。パソコンに表示されるのは直流電圧という物理量の時間的変化である。前回と違う点は、受信機に入った電波信号を、受信機内最終段の出力信号である雑音信号としてイヤホン端子から取り出すこと。それをデジタルマルチメーターを中継してパソコンに取り込むという2点である。この方法であれば、0.1ミリボルト（1ミリボルトは1000分の1ボルト）単位で出力の電圧変化を読み取ることができるしパソコン上にそのように表示させることもできるようになった。（図1b）。

ここで、デジタルマルチメーターについて触れておきたい。従来のいわゆる一般に使用されてきた“アナログ”テスターは、メーター針の振れによって電流、電圧、抵抗値などを目視で読み取るようになっていたものだが、それぞれの値をメーター針の振れかたではなく直接数値で表示されるようにしたものである。時計の時刻を針の位置ではなく数字で表示するのと同様である。さらにこのデジタルマルチメーターには、入力された電流をデジタル化して、さらにその数値データを出力する端子がある。その端子からの信号を、専用のソフトを使ってパソコンに取り込み、保存してこれをグラフとして表示することができる。

この方法をとれば、前回の方法から比べるとデータ解析の品質は随分向上したように思う。

さて、アンテナの位置調整は次のように行う。

電波源である太陽がちょうどアンテナの感度の中心にきたときが、最大の太陽電波強度を得られるわけだが、今回は、その電波が太陽の動きと

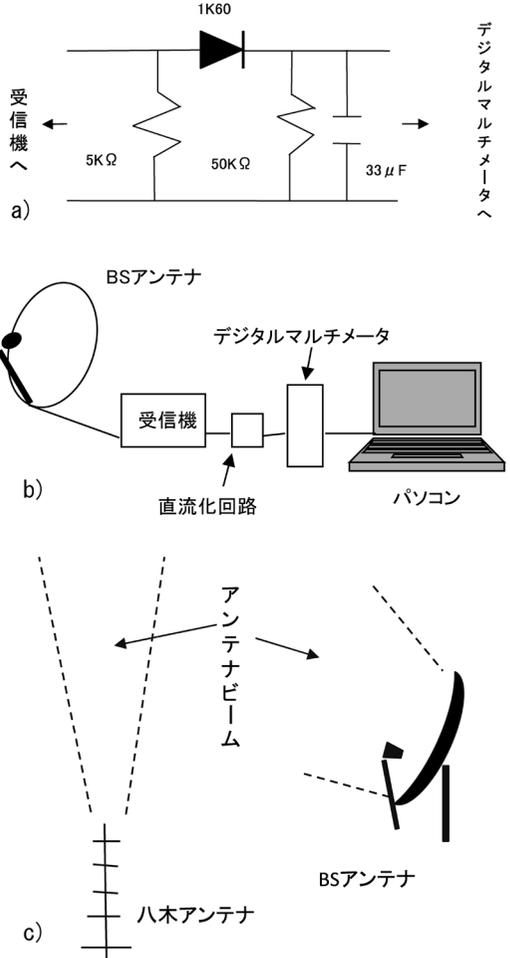


図1 a) 受信機から取り出した交流電流を直流電流に変換する回路。[1]より自作する。b) 電波望遠鏡の構成。c) 点線の内側がアンテナビームになる。その範囲内は電波感度が強くなりその外側が弱くなる。電波源が移動することにより、電波がビームに入ったたり出たりするので受信された電波は強くなったり弱くなったりする。

もにアンテナビーム（電波源からの電波感度が高くなる受信範囲）の外から範囲内に入り始める（図1c）参照）ように設定した。その後だんだんと中心部に移動し、さらに少しずつ中心部からはずれて遠ざかり、最後にはアンテナビームの外へ出て行く。この様子を日ごとに追い、二次元グラフとして太陽電波の軌跡を表示させるということ

を試みた。アンテナビームの仰角や方向の調整は面倒な作業だが、試行錯誤のうで何とかできるようになった。

図2はこのようにして観測した太陽電波データの強度変化を示したグラフであり11日間分の折れ線と同じグラフ上に重ね合わせてある。このことで、太陽電波の強度は時間的な変化だけでなく日によっても変わっていく様子がわかる。

図3は、さらにこの電波の時間変化とともに、日ごとの変化を合わせて二次元的に同時に見られるようにしたグラフである。色の濃い部分が電波の強かった部分である。太陽の時間的な動き、日ごとの動きと同時に、太陽電波がアンテナビーム内に入ってきて徐々にその強度が増し、最大強度になったあと、少しずつビームからずれていき、強度も弱まっていく軌跡が観察できる。

また今回の実験では、予想もしなかった太陽電波の振る舞いも見ることになった。アンテナは固定しており、仰角、方向とも変えてはいない。

太陽電波は時間とともにアンテナのビームの外から近づいてきて、ビームの中心にきたときに最大の強度を記録する。その後、時間の経過とともに徐々にビームから外れていき、太陽電波は記録されなくなる。図3の横軸はその時間変化である。そして、この強度は日によっても変化する。

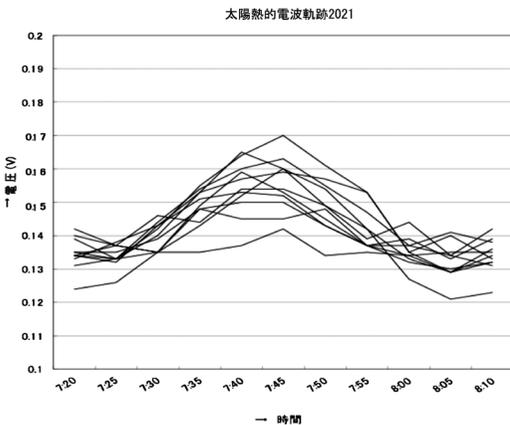


図2 太陽電波強度11日間分の日別データを同じひとつのグラフ上に重ね合わせたもの。

図3の縦軸はその日変化を表している。この図では、5/21から6/13までの記録であり、色の濃いところが電波の強い部分である。このことから、縦軸の一番下の日付、5/21の時点ではまだ強度変化は少ない。その後、日が経つにつれ（縦軸の上のほうに進むにつれ）、その強度変化は大きくなり、縦軸の上方（軸の下から5分の4あたりの位置）で最大となっている。その後さらに日が進むにつれて強度は弱まっていき、ついには太陽電波は受からなくなるはずだった。

ところがこのとき、太陽電波は日が進んでもなかなかゼロにはならず再び強度が増し始め、さらに日が経つと、それにつれて再び同じように強度が増し、ピーク日をすぎて徐々にその強度が減少していった（図4、図5）。アンテナは固定したまま変えてはいないから、図5で示したように

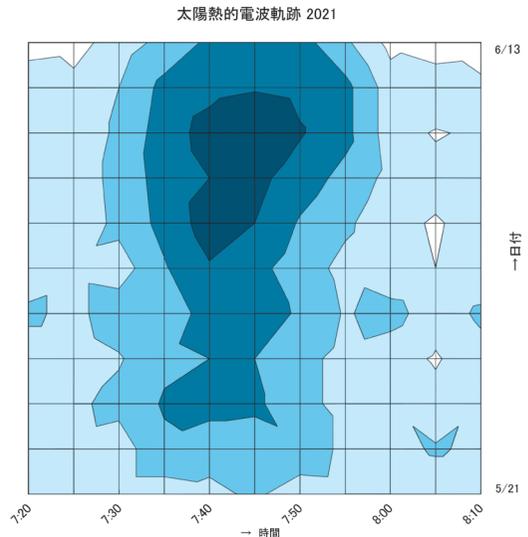


図3 図2のデータを時間別、日別に二次元グラフにした。太陽の時間的な動き、日ごとの進行とともに太陽電波がアンテナの受信範囲内に入ってきて徐々に強度が増し、最大強度になったあと、受信範囲からずれていき強度も弱まっていく様子が二次元的に観察できる。ところどころに島のように描かれている部分は、観測された電波、または受信機自体の性能による不安定性、あるいは目的外の不要な人工雑音などの混信ではないかと思われた。

太陽熱的電波軌跡 2021

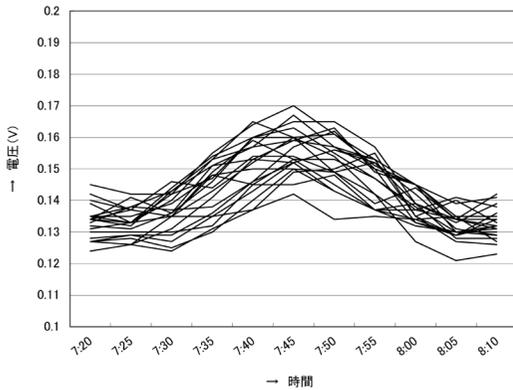


図4 図1の太陽電波強度の記録をさらに10日増やし、21日間分の日別でデータを同じひとつのグラフ上に重ね合わせた。これだけではわかりにくいのが図5のような二次元グラフすると予想外の結果が見られた。

太陽熱的電波軌跡 2021

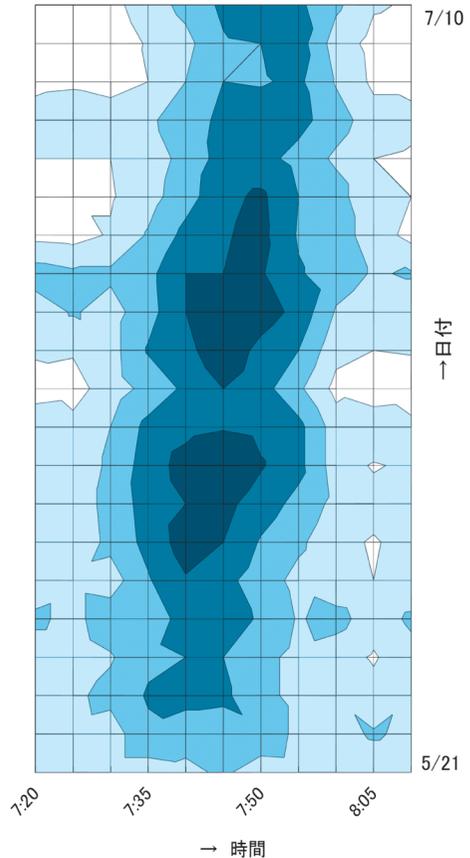


図5 図の縦軸は日の進行であり、下から上に向かって日が進んでいく。図3のように観測開始後、太陽の軌道はアンテナのビームの中心に向かって移動し、徐々に強度変動が増し、ピーク時を迎えた後に少しずつ強度変動が小さくなっていく。しかしその後、日が進んでもなかなかゼロにはならず、さらに日を追うと再び強くなっていき、同じようにピークを迎え、その後減少していった。アンテナの仰角と方向を固定したままの状態、5/21～7/10の間に、一旦離れた電波源が再び戻ってきたように同じ軌跡を描いた。

5/21～7/10の間に太陽電波がピークを迎えたあと一旦弱まり、その後再びアンテナビーム内に無い戻って二度同じことを記録した。

筆者にはこのような現象を理論的に記述することはできないが、観測期間が夏至を挟んでいることによる影響を検証中である。なお天文月報2012年10月号にレポートした太陽電波は3/18～3/24までの短い期間のものであるが、その前後の観測でもこのような経験をした記憶はない。今回のような現象が起きなかった理由、原因も今のところわからないが今後検証してみたい。

### 3. 中性水素電波への実験I・自作アンテナでの観測

全宇宙内で水素は最も豊富に存在し約90%を占めている。そして、1個の陽子と1個の電子からできている中性水素原子からは、それ自体の持つエネルギーの状態が変化するとき波長21 cmの電波が放射されていることを知った。厳密には波長21.106114 cmであり周波数にすると1420.40575 MHzに相当する。かねてから、この電波を簡単なアンテナと受信機でなんとか捉える

ことができないかと考えていた。

前用いた受信装置は、前項で述べた太陽電波観測に使ったものと同じ通信型受信機を使い、そこからパソコンに導くまでの方法もまったく同様である。アンテナであるが、1420 MHz帯専用のもの

のは市販されていないので自作してみた。UHF帯のTVアンテナと同じ形状の、魚の骨の形をした八木（やぎ）アンテナと呼ばれるものである。アルミパイプ（1 cm 径）を20本並べた。この本数が多いほど目的の方向に対する感度が上がる（ビームが鋭い）が、設置環境や重量などを勘案して20本とした。メインとなる給電器（受信部分）のアルミパイプの長さは、波長の2分の1が効率がよいとされるので、約10.6 cmとした。このパイプをさらに半分に切り、2 mmほど離して設置。左右のパイプに同軸ケーブルの芯線と網線をそれぞれ接続してある。この給電器のすぐ後ろに反射器（電波を反射させるパイプ）を1本とりつけた。これは受信電波を後ろに逃がさずに反射させて給電器へと導く役割を持つ。パイプの長さを給電器より10%ほど長くしてある。次に給電器の前方には導波器（給電器まで電波を誘導するパイプ）をハシゴのように18本並べて取り付けた。パイプの長さは給電器より10%ほど短くしてある。これを使ってどこまで受信できるかはわからなかったが、実験してみることにした。図6はアンテナの概念図と、図7は自作したアンテナの写真である。

水素ガスが銀河系の形と同じように分布している様子を画像でみたことがある。そこでこの場合もアンテナの向きは、以前に低い周波数（50 MHzなど）で銀河系電波を観測したときと同じように、天頂方向に向けて固定した。こうし

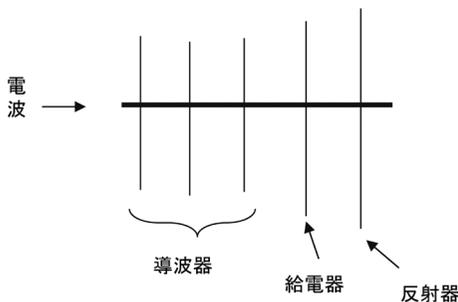


図6 アンテナの概念図。

ておいて受信機、記録装置を長時間作動状態にしておけば、銀河系（天の川）から絶え間なく放射されている電波が地上でも受信できるはずだ。そして天の川が天頂付近に近づくにつれて、この電波はこのアンテナビーム内に捉えられ、その電波強度が最も強くなるはずだと予想した。ただしこの場合のアンテナビームは鋭くはない。電波の到来方向に向かって扇形状に広がっていくので、銀河電波の強度変化はゆっくりとしたものになるはずだ。強度が上がり始めてピークを迎え、また下がりきるまでには数時間前後かかる。

観測をしながら、次のようなテストも行った。アンテナが電波を受けているかどうかを確認するため、受信機の周波数表示を1420.40575 MHzに合わせ、アンテナを接続したままで受信記録した。次にアンテナを外して受信、そして再びアンテナを接続して受信してみた。それぞれの時間は約30秒程度で記録した（図8）。アンテナを外した時には記録レベルがかなり下がり、その時の成分はほとんど受信機本体の内部雑音であろう。その後再びアンテナを接続すると、また記録レベルは元の状態に戻った。この時の差分が到来電波の成分であろうと考えた。図9はこのようにして観



図7 自作したアンテナ。

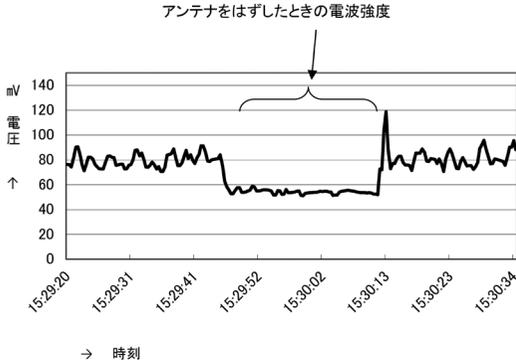


図8 電波受信の確認. 受信機にアンテナを接続した時と外した時のレベルの差分で電波の存在を確認. 外した時の雑音はほとんど受信機の内部雑音と考えられる.

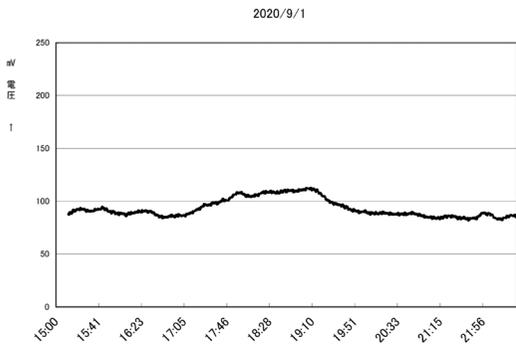


図9 自作アンテナで観測した1420 MHz帯の電波.

測, 記録されたものである. だが観測の成功率は低かった. 前述のように, 中性水素は銀河系に沿って多く分布しているので, 銀河系電波と同じような時間的変化を見せるはずだ. つまり, 地球の自転により銀河系が移動して天頂方向を通り過ぎる時間帯に, 中性水素電波もその強度がもっとも強くなり, その後はまた時間とともに弱まっていくはずだ. だが, このような予測どおりの結果になって記録された例は少ない.

色々な原因によりおかしなグラフ, 使い物にならないデータも多かった. 2ヵ月間に22回観測して, 記録結果を目視しながら自己評価した結果, ほぼ予想に近い, またはまあまあ予想に近いといったものは全体の45%程度だった.

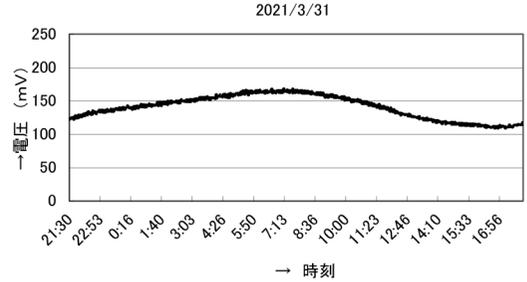


図10 アマチュア無線1200 MHz帯用アンテナで観測した1420 MHz帯の電波. 水素電波か.

ここで使用した自作アンテナは単純にアンテナケーブルをアルミパイプにつないただけのものであるから, その性能, 品質に自信は持てなかった. その品質, 性能が原因で観測の成功率が低いのではないかと考え, 次にはアンテナメーカー製で市販のアマチュア無線用アンテナであり, 水素電波周波数に近いものを代用して試すことにした.

#### 4. 中性水素電波への実験II・アマチュア無線アンテナでの観測

アンテナはアマチュア無線・1200 MHz帯専用のものである. このアンテナが水素電波の周波数に近いので利用することにした. 取り扱う周波数の違いはあるが, アンテナメーカーのものであり自作のものよりは品質が高く, 性能の良さも期待された. 早速, このアンテナを自作アンテナと取り替えて実験を始めた.

このアンテナで観測記録したものが図10である. だがこのアンテナでの観測結果も, 自作アンテナの時と同様に成功率は低かった. 観測回数64回に対して, 自己評価で「まあまあOK」以上の結果のものは17%程度だった.

この成功率は自作アンテナの時よりもさらに低い. アンテナメーカーの製品であるから, 自作のものよりは性能, 効率ともによいはずだとの考えでいたので予想外の結果だった.

その要因として考えられたのは, アンテナ各部

のサイズであろう。自作のアンテナは各部のサイズは目的とする受信電波の波長21 cmに合わせて作ってある。それに対して1200 MHz用アンテナは電波の波長23 cmに合わせて作られている。したがって1420 MHz帯の電波を受信するのには無理があったのかもしれない。

一般に、電波を送信する場合、アンテナの調整は非常にデリケートなものであるが、受信に対してアンテナはおおらかである。放送電波や無線通信電波は専用のアンテナがなくても、適当な針金一本をくっつけるだけでも受信できるものだ。

そのようなことから、1200 MHz用のアンテナでも多少扱う周波数が違っていても観測できるのではないかと考えていた。しかし放送や通信電波から見ると、宇宙電波という桁違いに微弱な電波を捉える時には通用しないことを思い知った。

また筆者にはここで観測・記録された電波が天の川銀河の中性水素電波であるということを同定するすべはないが、ひとつの体験としてまとめてレポートしておきたい。

## 5. おわりに

最後に、筆者が33年前に電波観測を始めようとした動機と経緯について述べたい。

1930年代初頭にアメリカの通信技師であるカール・G・ジャンスキーが、通信電波や雑音の調査中に、銀河系から到来する規則的な電波を発見した。筆者がこのことを知ったとき直感的に思ったのは、1930年代という、半世紀以上昔の通信機器で宇宙電波を捉えることができたということだ。当時はもちろん、通信機器には真空管を使ったものであるが、この当時から比べると現代の電子技術、通信技術は格段に発達したものであるはずだ。そうであれば現在の、一般に使われている通信機器などを利用すれば、ジャンスキーが捉えた銀河系電波を捉えることがきっとできるはずだと思った。筆者はアマチュア無線家でもあり日常的に通信機器に接していたことから特段にそれを感じていた。電波望遠鏡という言葉も漠然と知っていた。『最新宇宙論』、『最新天体論』（共に学習研究社）などの天文雑誌を読み、さらに興味を深めた。ある天文台の関係者に、手持ちの通信機器を利用して宇宙電波を観測できないものかと問い合わせたこともあったが、「宇宙電波は粉雪が舞い落ちるくらいの小さなエネルギーなので到底無理」との回答だった。その後、前述の雑誌編集者に同じ質問をしたところ、そういう研究活動をしている人がおり、雑誌『天文月報』（日本天文学会）でその内容が紹介されていることを知らされた。そこには具体的な実験方法と観測結果が細かく記されており、使用機器も一般に市販されているような入手しやすいものだった。この時から、この方法で電波望遠鏡を使った宇宙電波の観測が自宅内でスタートした。

『天文月報』で読んだ記事は、「簡単な電波望遠鏡による低周波電波天文学」として隔月連載されていた[5-9]。執筆されたのは兵庫医科大学・物理教室（当時）の前田耕一郎氏である。氏には大変お世話になった。記事に掲載された方法を真似て実験を繰り返しながら度々具体的に、また親切丁寧にご指導をいただいた。筆者が今日まで電波観測を続けてこられたのは氏のおかげであり、また氏を紹介してくれた雑誌編集の方共々、今日でも深く感謝している。

## 参考文献

- [1] 工藤順次, 1990, 天文月報, 83, 333
- [2] 工藤順次, 1993, 天文月報, 86, 154
- [3] 工藤順次, 1994, 天文月報, 87, 155
- [4] 工藤順次, 2012, 天文月報, 105, 631
- [5] 前田耕一郎, 1989, 天文月報, 82, 179
- [6] 前田耕一郎, 1989, 天文月報, 82, 230
- [7] 前田耕一郎, 1989, 天文月報, 82, 287
- [8] 前田耕一郎, 1990, 天文月報, 83, 12
- [9] 前田耕一郎, 1990, 天文月報, 83, 72