

低周波電波天文学の輪：大阪教育大学の場合

藤川 雅 康*・福 江 純*

1. 都会で銀河電波を受けよう！

星の見えないときでも天体が観たい、と思ったことはないだろうか？ 可視光以外の波長の光でみた宇宙はどのような姿をしているのだろうか、と想像したことはないだろうか？ そんなことが手軽に観測できれば楽しそうだし、また教育的にも大きな意義があるだろう。

「電波を使えば、曇っていても、雨が降っていても、天体を観ることができるけど、誰かやってみない？」電波の「で」の字も知らないスタッフの一言と、異にはまってしまった気の毒な学生によって、大阪教育大学における電波天文学の幕が開いた。ジャンスキーに遅れること半世紀あまり、1988年春のことである。

その年、卒業研究で「簡単な電波望遠鏡による宇宙電波の観測」をテーマに選んだ和島 満君は、早速、兵庫医科大学の前田耕一郎氏のもとへ丁稚奉公に出された（奉公はしていないのだが）。我々の天文学研究室のある大阪教育大学天王寺分校は、JR 環状線の内側に位置しており、都会のど真ん中であるといっても過言ではない。そのような悪電波環境のもとで、実際に宇宙電波を受けることができるのかどうか、一番の心配はその点だった。が、前田氏の指導のおかげで、1年後には、都会では見ることのできなくなった天の川を電波で観ることができたのである。さらに、和島君の研究を引き継いだ形で電波観測の魅力にとりつかれた筆者の一人（藤川）が、「簡単な電波干渉計による宇宙電波の観測」を修士論文のテーマとして選び、やはり前田氏の指導のもとでシステムを発展させてきた。その間、電波観測を実践してもらえる、横浜子ども科学館の渡辺秀夫氏から A/D 変換ボードについて教えていただき、現在では、バックエンドは A/D 変換ボードとコンピュータというハイテク機器に身を固め、アンテナ側は八木アンテナによる 2 素子の干渉計と化している。

大阪教育大学で電波天文学がはじまってはや 3 年。石の上にも 3 年というが何とか形も整ってきたので、これまでの経緯と現在の観測システムについて簡単に紹介したい（和島他 1989 年）。

2. 大阪教育大学の電波観測システム

電波望遠鏡は、その大きさによらず、基本的には、ア

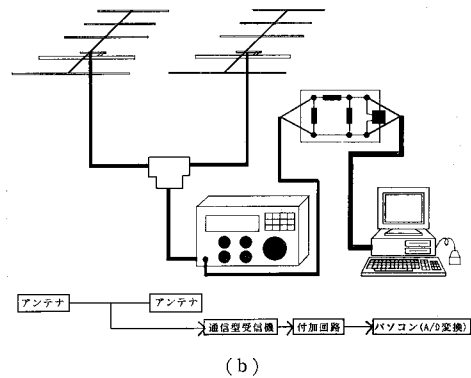
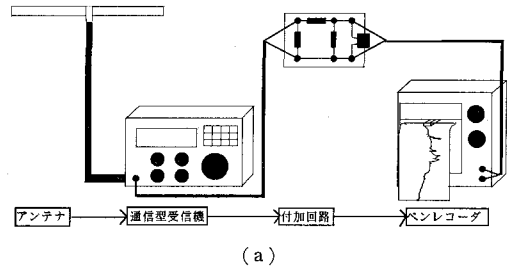
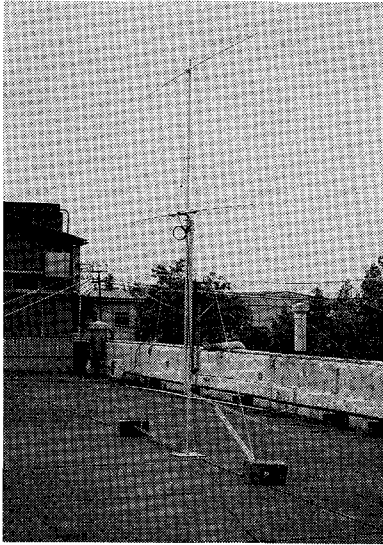


図 1 大阪教育大学における電波観測装置の基本構成図
(a) 旧システム (b) 現システム

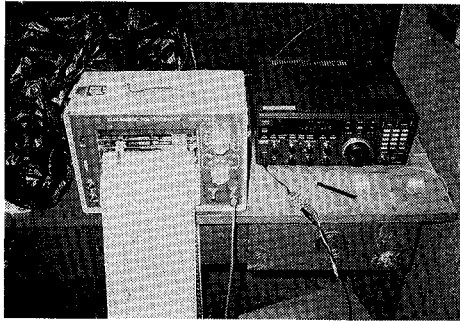
ンテナ、受信機、記録装置の 3 つの部分から構成されている。図 1 に大阪教育大学（以下、本学）で用いている観測装置の構成図を示す。機器の構成や観測方法については前田（1988 年）にしたがった。以下、簡単に本学の電波観測システムの概要について述べるが、観測方法については、これまでに発表されている記事（前田 1989 年、1990 年、工藤 1990 年）も参考にさせていただきたい。

本学で電波観測を始めた当初は、ダイポールアンテナ（自作、13,045 円）あるいは 30 MHz 帯用 3 素子八木アンテナ（ナガラ電子工業、A-310、18,500 円）と通信型受信機（日本無線、NRD-525、オプションとセットで約 18 万円）、および記録装置としてペンレコーダ（東亜電波工業、EPR-2T、研究室にあったもの）でシステムを組んでいた（以下、旧システムと呼ぶ）。このとき新しく揃えたのは、アンテナと受信機だけである。受信機はアマチュア無線用で、オプション機器を取り付け、受信範囲が 0.09 MHz~60 MHz、114 MHz~174 MHz、423 MHz~456 MHz としてある。受信機とペンレコーダの間には、受信機から出力される AF 信号の検波と平滑化

* 大阪教育大学 Masayasu Fujikawa, Jun Fukue: Radio Astronomy Circle



(a)



(b)

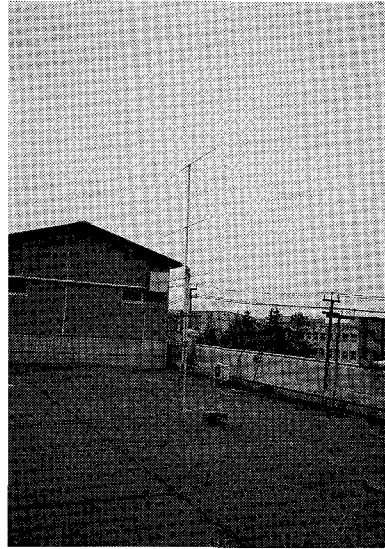
図 2 旧システムの概観

- (a) 3素子八木アンテナ
(b) 受信機とペンレコーダ

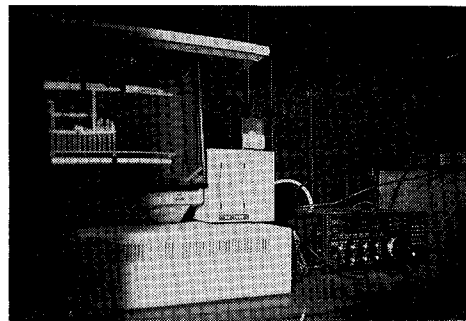
をするために、付加回路が入れている。図2に旧システムの概観を示す。

その後、1990年5月頃から、記録装置としてパソコンを使用するようになった(現システムと呼ぶ)。記録装置としてパソコンあるいはペンレコーダを用いた場合の利点と欠点については後で述べる。パソコン(日本電気、PC-9801 初期型、研究室にあったもの)には、拡張スロットに A/D 変換ボード(カノープス電子社、アナログプロ I, 83,300 円、A/D 変換ボードについては後述する)と増設 RAM ボード(日本電気、研究室にあったもの)を挿入し、外付けの 3.5 インチフロッピーディスクドライブ(日本電気、PC-9831-VW2, 約 150,000 円)を取り付けた。

またアンテナとしては、1990年10月から、50 MHz 帯用 5 素子八木アンテナ(ナガラ電子工業、SS-56,



(a)



(b)

図 3 現システムの概観

- (a) 5素子八木アンテナ(2本で干渉計を構成している)
(b) 受信機と A/D 変換ボードを登載したパソコン

21,500 円)を2つ使用して、電波干渉計としてシステムを組んでいる。アンテナ間の距離(ベースライン)は観測波長(6 m)の10倍にあたる60 mとした。受信機とパソコンの間には、検波と平滑化のための付加回路が入っている。観測周波数は手に入りやすいアマチュア無線機器を使用しているため、必然と限られてくる。アマチュア無線帯の近くで使用が割り当てられていない隙間(分離帯)として、観測波長を6.006 m(観測周波数49.95 MHz)に設定した。図3に現システムの概観を示す。

なお図2、図3を見てもらうとわかるように、アンテナは校舎屋上に設置しているため、杭を打ちつけて支えるわけにいかない。そのため小さな支柱の台に乗せ、四方に支線を張って支えている。当初は何も考えず針金を支線として使用していたが、アンテナの利得に影響を

及ぼすことがわかり、まもなくグラスファイバーで作られたロープ（グラスファイバー工研，テベグラスロープ 直径 4 mm, 60 円/m）に変更した。

3. ペンレコーダの利点と欠点

ペンレコーダは、記録用紙（ロール紙）にペンで記録をとる装置である。研究室で遊んだままとなっていたペンレコーダを引っ張り出し、カートリッジペンが使えるように、ペン先を少し改造して使用した（Shimadzu の R-11 レコーダ用取り付けパーツ 221-18354 とカートリッジサインペン 080-82550-13 を組み込んだ）。使用できるようになるまでかなり苦労したが、なんとか動きだした。

さて、ペンレコーダを使用する利点は、

- ①価格が安い（中古なら 2～3 万円であるようだ）。
- ②取り扱いが簡単である（パソコンを扱うなど特別な知識がいらぬ）。
- ③停電した場合でも勝手に復帰して、続けて記録をとることができる。
- ④暑さでダウンしない（パソコンやディスクドライブは、真夏にはダウンしたことが再々ある）。

などが挙げられるだろう。

一方、欠点としては、

- ①時間や強度などの記録が正確ではない。
- ②というより、記録を読みとり、処理するのが大変である。また記録紙を整理して保存するのめんどろやかいな仕事である。
- ③突然のインク切れにより白紙の記録紙が生ずることがある。
- ④多湿時にはインクの消耗が早い。また多湿時にインクが多量にでることにより、記録紙の美観が損なわれることがある。
- ⑤データ処理を行なうとき、記録紙を切るか、ロールの最後まで紙が送られるのを待つしかない。また紙の交換時には記録がとれない。
- ⑥紙送り速度や電圧のスケールがスイッチにより固定される。そうすると、簡単なアンテナを使用していることで指向性が大きいため同時にいくつもの低周波電波源を観測対象にできるのだが、個々の電波強度や現象の生じる時間尺度の違いに対応することができない。
- ⑦ペンレコーダもたまに紙送りにドジって暴走することがある。

などが挙げられる。一番困る点は、記録の処理が大変だということであり、また、複数の電波源を同時に観測できないという点である。

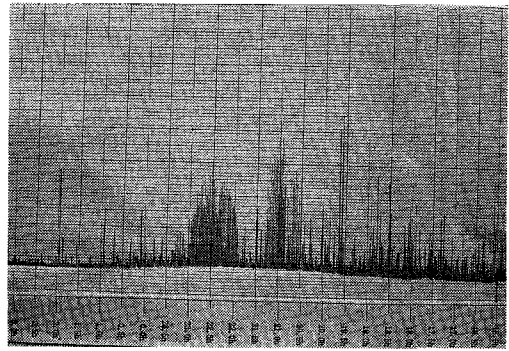


図 4 銀河電波の観測例

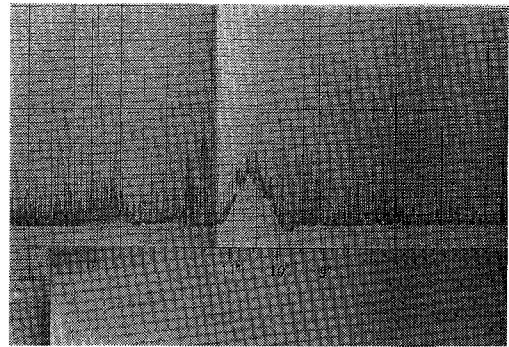


図 5 太陽電波バーストの観測例

4. ペンレコーダによる観測例

図 4 と図 5 にペンレコーダによる観測例を挙げておく。ただし、ペンレコーダによる記録は構造上の制限により、時間の向きが右から左になっている（この当りも不便な所である）。

図 4 は 3 素子八木アンテナを使用したもので、周波数 29.91 MHz における観測記録である（1989 年 8 月 20 日 16 時から 21 日 3 時まで）。図中央付近は雷雨による雑音だが、最小レベルの変動を見ていくと、銀河電波（銀河背景放射のこと、以下同じ）が受信できているのがよくわかる。ただし、最初に述べたように、本学は都会の真ん中に位置するため、人工の混信により最低レベルすらわからないことがままある。

また、図 5 は 3 素子八木アンテナを使用した、周波数 29.91 MHz における観測記録である（1989 年 8 月 14 日 午前）。9 時半頃に銀河電波レベルの低下があった後、強い電波が受信されている。国立天文台豊川観測所のマイクロ波の記録をみると、同じ時間帯に太陽マイクロ波バーストが観測されている。マイクロ波バーストはフレアの発生を示しているのだから、銀河電波レベルの低下は、フレアからの X 線により電離層下部の電子密度が上がったことによる銀河電波の異常吸収と考えられる。その後の強い電波は太陽電波バーストと考えられる。

5. A/D 変換ボードの利点と欠点

A/D 変換ボードとは、入力されたアナログ信号を、デジタルデータに変換するためのオプション周辺機器である。デジタルデータは 12 ビットバイナリデータなので、アナログ入力信号の A/D 変換範囲（ここでは、0 V~10 V）を 4096 分の 1（すなわち約 2.5 mV）に分割する分解能を持っている。A/D 変換ボードの制御には、MS-DOS 上の N 88 BASIC 言語を用いている（1秒に 1 回程度の変換なので、処理速度にはあまり問題はない）。

A/D 変換ボードを搭載したパソコンでデータ処理する際の利点は、

- ① 時間や強度などのデータが正確に記録される。
- ② データのいろいろな処理ができる。
- ③ 観測小屋への見回り回数が減り、時間に余裕ができた。
- ④ 次の日にはデータ処理ができる（外付けディスクドライブは 2 ドライブあり、偶数日、奇数日によって A、B 両ドライブを交互に使用しているため）。

などである。

一方、欠点は、

- ① 価格が高い（パソコンとセットにすると 40 万円程度になる）。
- ② パソコンや A/D 変換ボードに対する知識が必要になる。
- ③ 入力電圧が限られる。

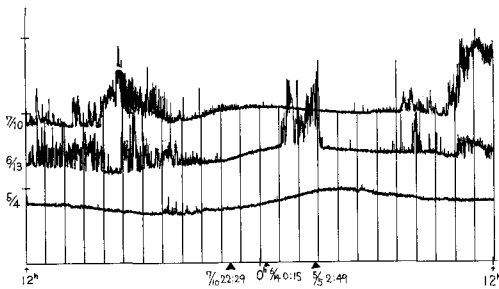


図 6 銀河電波の日変化の観測例

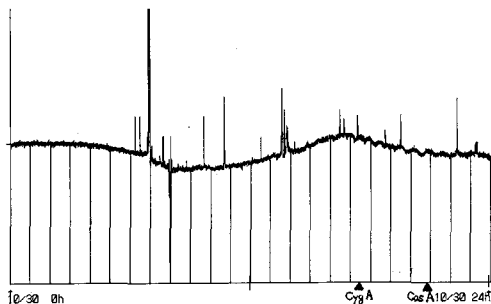


図 7 はくちょう座 A とカシオペア座 A の観測例

- ④ 様々な理由により、パソコンが暴走することがある。
- ⑤ 停電すれば、人の手によらなければ復帰できない。
- ⑥ 記録されるフロッピーディスクが壊れることがある。
- ⑦ 暑さ、寒さに弱い。
- ⑧ 配線ミスは許されない。

などである。大阪では、昨夏は近年になく暑い日が続き、観測小屋は蒸風呂のようであった。そのためパソコンがオーバーヒートしかける事故があり、そのおかげで、約 2 ヶ月間ほど観測を休止せざるを得なかった。

6. A/D 変換ボードによる観測例

図 6 は 5 素子八木アンテナを使用した、周波数 49.95 MHz における観測記録である（下から順番に 1990 年 5 月 4~5 日、6 月 13~14 日、7 月 10~11 日、それぞれの時間は正午から次の日の正午まで、時間の向きは左から右）。図中の ▲ 印は、それぞれの日の銀河中心の南中時刻を示す。銀河電波が恒星日にしたがって変化しているのがわかっていただけるだろうか。なお A/D 変換は 1 秒に 1 回行い、10 秒に 1 回、その 10 秒間の最低値をフロッピーディスクに記録するようにしている。

7. 加算型電波干渉計の観測例

図 7 は、5 素子八木アンテナ干渉計（加算型）を使用した、周波数 49.95 MHz における観測記録である（1990 年 10 月 30 日 0 時から 24 時）。単純に二つのアンテナからの出力信号を足し合わせる加算型干渉計（前田 1990 年）の場合、銀河電波は広がっているのだから、銀河電波の成分は干渉パターンを描かず、強度のゆっくりとした日変化のみが記録される。一方、個別の小さい電波源は、銀河電波の上に乗るようにして、干渉パターンを描く。図 7 に見られるのは、はくちょう座 A とカシオペア座 A と呼ばれる電波源の干渉パターンである。図 7 にはそれぞれの電波源の南中時刻を ▲ 印で示している。一番強い『山』の付近に ▲ 印があるのがわかっていただけるだろうか。

また図 8 および図 9 は、図 7 と同じ日のデータの一部に対し、フーリエ解析を行ったものである。解析には高速フーリエ変換を用いたので、データの数は 2 のべき乗でなければならない。ここでは 4096 (2^{12}) 個、約 11.5 時間分のデータを使用した。

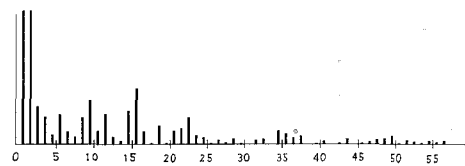


図 8 パワースペクトル

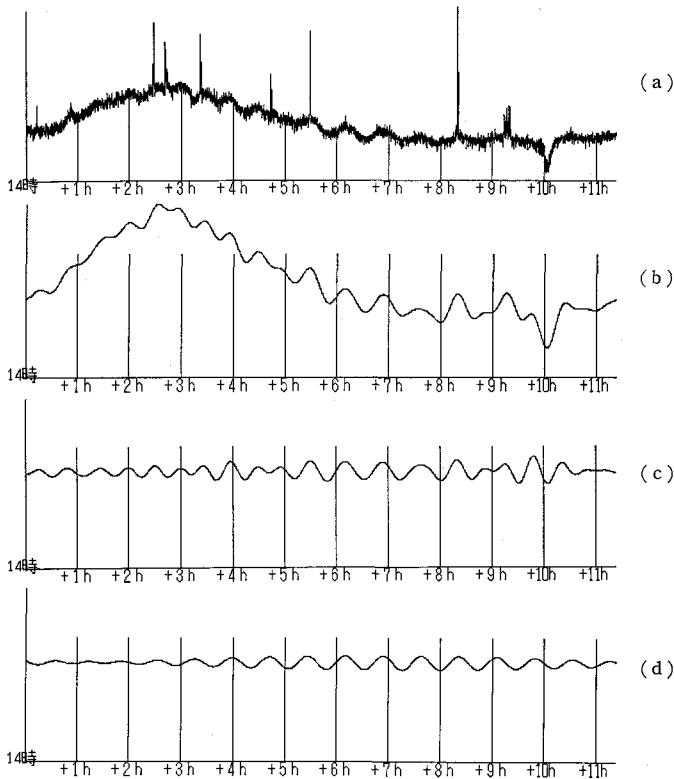


図 9 フーリエ変換による干渉パターンの再現

- (a) 観測データ
- (b) 高周波成分を除去したもの
- (c) 高周波成分と低周波成分を除去したものの
- (d) カシオペア座Aの干渉パターンの再現

フーリエ解析を行なう意味は、

- ① パワースペクトルをとって高周波成分を除くことにより、雑音成分が消去できる。
- ② 同じく、低周波成分を除くことで、銀河電波成分が消去できる。
- ③ パワースペクトルの周波数の違いから、赤緯の異なる電波源(今の場合、はくちょう座Aとカシオペア座A)の分離ができる。

などである。

最初にどの周波数成分が強い振幅を持っているのかみるために、パワースペクトルをとった(図8)。図8の横軸はパワースペクトルの周波数で、縦軸は強度である。図8をみると、周波数が1から4ぐらいの低周波で強いパワースペクトルが表れていることがわかるが、これは銀河電波の成分と考えられる。また9から12ぐらいと、15~16、21~25 ぐらいにもピークがみられる。このうち9~12のものには対応する成分はない。一方、以下示すように、15~16のピークがカシオペア座Aに、21~25のピークがはくちょう座Aに対応する。

図9はパワースペクトルを考慮して、干渉パターンを再現してみたものである。まず図9(a)は観測の生データである。つぎに図9(b)は、周波数25以上の高周波成分を除いて再現してみたものである。雑音成分が

除去できていることがわかる。図9(c)はさらに低周波の成分を除きデータを再現してみたものである。そうすると、混信等に加え、銀河電波の成分が除かれた。最後に、周波数が15と16のもののみ使って再現したのが、図9(d)である。図9(d)では、21時(図の+7h)付近を最も強いピークとするフリッジパターンが描かれていることがわかる。この時間に電波源が南中したとすると、計算より赤経がおよそ23時30分であることがわかり、干渉パターンはカシオペア座Aのものだと同定できる。

8. まとめ

観測面では、いろいろな低周波電波源が受信できるようになったが、都会の真ん中であること、実験系の研究室が階下にあることなどにより、それらが発生源と考えられる混信電波に悩まされる日々も少なくない。実際、予想されたようにかなりの混信が認められたが、本稿でも示したように、最小レベルの変動として銀河電波が同定できることが判明した。また悪電波環境のなかでも、普通の人々が長期休暇を楽しんでいるときなどは、比較的その環境がよくなる。太陽電波バーストの例はその典型である。

A/D 変換ボードの使用によって、観測記録の処理は

大変便利になった。従来は物差しと鉛筆と人力でもって対処していたのに対し、キーボードをたたきだけでよくなった上、計算までしてくれるのだから、ありがたいものである。ただし、パソコンは時々駄々をこねたり反乱を起こしたりするので、あやしてやらなくてはならない。

電波干渉計にしたことにより、混信電波が若干少なくなったように思われる。たまたま研究室周辺の電波環境に変化があった時期と重なった、アンテナの一方に入らないような近距離で発生した混信電波が多く、それらがキャンセルしあった、分解能が上がったなどの理由が考えられるが、詳しくはわかっていない。とにかく、はくちょう座Aやカシオペア座Aが識別できるようになり、観測対象が広がったのは大きな進歩である。

まだまだ一般の天体観望者が光の望遠鏡を用いるようにはいかないが、電波で宇宙を観ることにより、興味深い観測ができると思う。ただ、若干の電気知識が必要となるので、思わぬ所で失敗をすることもある。横浜こども科学館の渡辺氏によれば、RS 232 C に関するオプションを備えれば、パソコンで受信機も制御できるそうだ。そうなればまた一歩、本格的な電波望遠鏡に近づけるはずである。

低周波電波天文学は決して華やかな分野ではないが、未開拓な領域もあるので、低周波での地道な観測は必要ではないかと思う。また、最近では東京大学教養学部でも、前田氏および本学の資料にもとづいて銀河電波の受信を試み、成功している。天文教育的見地からみても、低周波電波天文学の輪を広げてゆきたい。

低周波電波天文学を御指導して下さいました前田耕一郎氏、助言をいただきました渡辺秀夫氏、さらに大切な研究時間をさいて協力をしてくれた横尾武夫氏をはじめ研究室の卒業生・学生のみなさんに感謝いたします。前田氏にはまた、原稿に目を通していただき多くの有益なコメントを頂戴いたしました。併せてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 工藤順次, 1990年, 天文月報, 第83巻, 第11号, 333頁.
- 2) 刀根 薫『BASIC』培風館(1981年)
- 3) 前田耕一郎, 1988年, 兵庫医科大学物理学教室研究報告, No. 8801.
- 4) 前田耕一郎, 1989年, 天文月報, 第82巻, 第7号, 179頁, 第9号, 230頁, 第11号, 287頁, 1990年, 第1号, 12頁, 第3号, 72頁.
- 5) 和島 満, 前田耕一郎, 藤川雅康, 横尾武夫, 福江 純, 1989年, 大阪教育大学紀要, 第III部門, 第38巻, 第2号, 123頁.

HAMAMATSU

天体観測のさまざまなニーズに……

「馬頭星雲」60cm F4.7 ニュートン直焦点 C3640 使用露出90秒(館山天文台にて)

浜松ホトニクスは、アマチュアからプロまでさまざまな天体観測にあわせたビデオカメラのラインアップをそろえています。

浜松ホトニクス株式会社

AVIS………ローコスト天体ビデオ撮影システム	システム営業部 ☎(053)452-2148
C3640………100万画素冷却CCDビデオカメラ	機器営業部 ☎(053)452-2141
C2741………フォトンカウンティングビデオカメラ	東京支店 ☎(03)3436-0491
	大阪営業所 ☎(06)271-0441