

## 画像処理と天文学への応用〔II〕

岡村 定 矩\*

### V デジタル処理とその例

これまで、画像処理が、どのような方法と装置を用いて行われるかについて述べてきた。ここでは、デジタル方式で実際にどのような処理が行われるかということを示しながら説明する。

対象としては、1枚または2枚の濃淡のある画像を考え、ノイズや歪みなどによって画質低下を受けている画像の質を向上させ、人間の目に見やすいような処理をしたり、2枚の画像の和や差をとって有効な情報を抽出する過程に用いられる処理を考える。

自動計測や、解析などの具体的な作業については、それぞれの応用分野によって異なっているので、ここでは触れない。

#### 1. 前 処 理

与えられた画像に種々の操作を行う前に、画像の欠陥を補正しておくことが必要である。この処理をここでは前処理と呼ぶことにする。前処理は、ノイズの除去、歪みの補正、シェーディングの補正などからなっている。

##### 1-1 ノイズの除去

ノイズの種類には、写真に見られるような粒状性ノイズ、電送写真に見られるような霜降りノイズ、テレビの

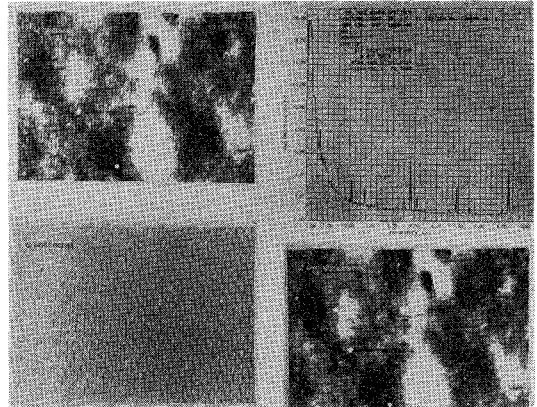
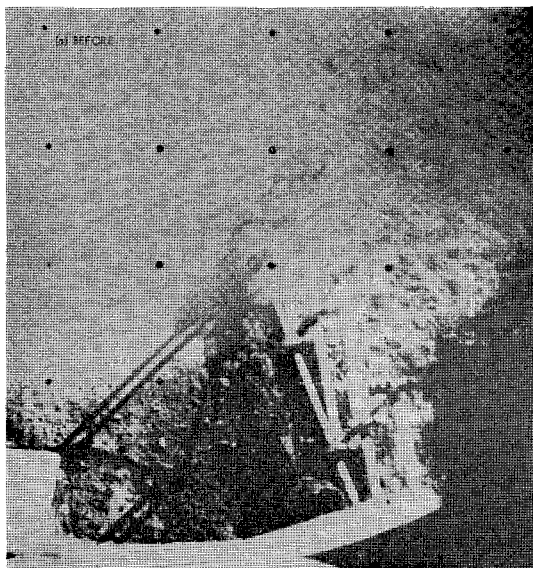


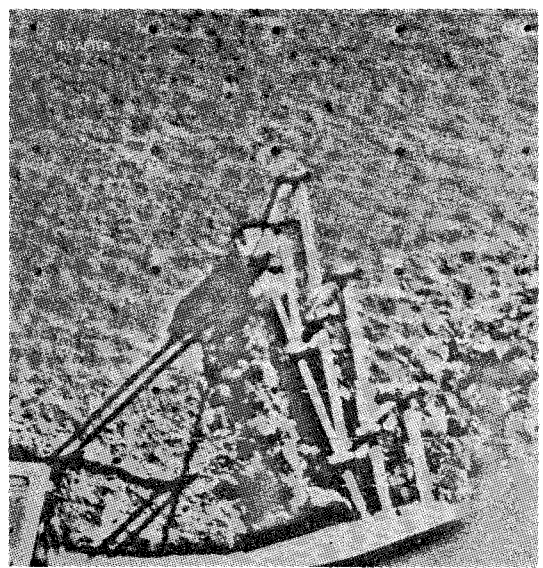
図 11 正弦波的ノイズの除去 (JPL)

像に見られるような正弦波的ノイズ、写真のかぶり、及びランダムノイズといったものがある。これらは主として、空間フィルタ処理または平均化処理でとり除くことができる。

例えば、粒状性ノイズでは、ノイズのパワースペクトルは高い方に集中しているし、かぶりでは、そのスペクトルは低い方に集中している。したがってこれらのノイズに対応するスペクトル域を除去するような空間フィル



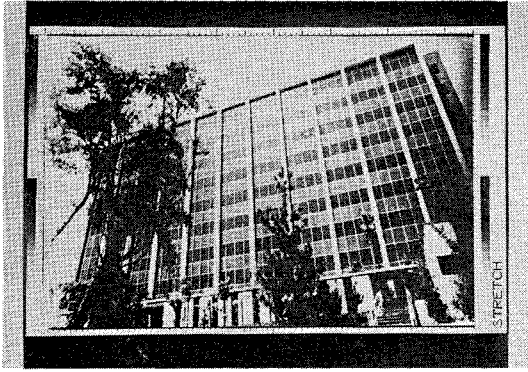
a)



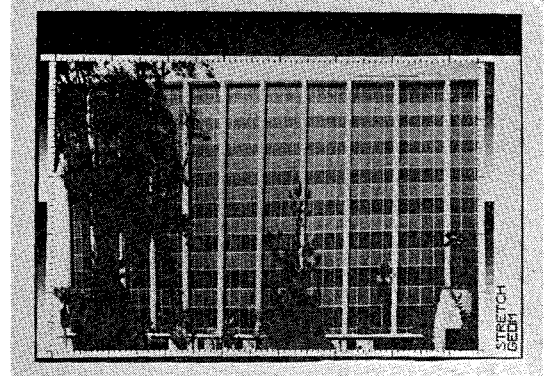
b)

図 12 かぶりの除去

\* 東京大学天文学教室, S. Okamura: Image Processing and Its Application to Astronomy [II].



a)



b)

図 13 あおりの補正 (JPL)

タをかければ良い。ランダムノイズは、ある近傍内の平均値をとることによって減少させることができる。

図 11 (前頁) は、正弦波動的ノイズの除去の例である。左上がもとの画像で、縦縞の模様はかなり目立っている。右上がそのパワースペクトルである。所々に鋭いピークがあるのがノイズの成分である。このノイズ成分だけをとり出したものが下左である。原画からこのノイズをとり除くと下右のように、きれいな画像が得られる。

図 12 は、低周波成分を除去するフィルタによってかぶりを除いた例である。a) が原画で、b) が処理した画像である。

### 1-2 変形処理

一般に画像は、入力装置の光学系やブラウン管による歪み、カメラアングルによる歪みなどの幾何学的歪みを受けている。これらの歪みは、2枚の画像を対応させて、和や差を求めたい時には重大な影響を与える。これらの歪みを補正して、正しい幾何学的位置関係にするのが変形処理である。簡単なものでは、画面の縦横の比を補正したり、全体を拡大、縮小したりするものから、局所的に変形させてゆくものまでである。

図 13 は、変型処理によるあおりの補正の例である。

### 1-3 シェーディングの補正

入力装置、あるいは出力装置として、ビジコンやテレビジョンのようなものを用いると、シェーディングがあ

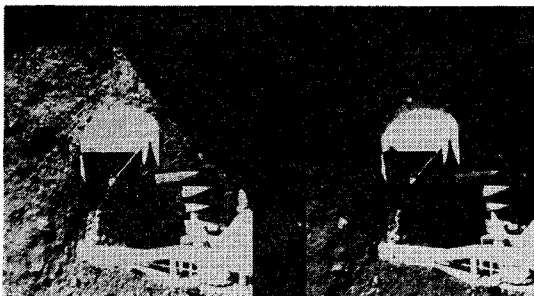


図 14 シェーディングの補正 (JPL)

るので、これを補正しないと真の明るさが得られない。そこで、あらかじめ明るさの様な面を何種類か走査して、その装置のシェーディング特性を計算機に記憶させておけば、実際に処理する画像に対してその補正が行える。これは次に述べる階調処理の局所的なものといえる。

図 14 は、アメリカの衛星サーバイヤーのカメラ特性を補正した例である。

## 2. 階調処理

画像の濃淡の階調を変化させて、画像の中に含まれる情報を人間の目に見易いようにするのが階調処理である。

### 2-1 ガンマ補正その他

入力階調と出力階調の関係は、計算機を用いれば全く任意に与えることができるので、さまざまな形のものと考えられる。図 15 に、いろいろの形のことを挙げてあるが、a) のように、入力と出力のコントラストを変化させるものは、ガンマ補正と呼ばれていて、写真のネガをポジに焼付ける時にもこのような現象がおこる。また図に示されているように、特定部分を除去したり、抽出したり、階調を量子化したり、等濃度線を書いたりすることができる。このような処理は、画面全体に一律に施すばかりでなく、局所的に行うこともできる。

そのほか、画像の濃淡の分布を求めて、その分布が一律に近くなるように補正して、画像を見やすくすることも行われる。普通に見られる月面写真や惑星表面の写真などは、大抵このような処理を行ったものである。このような写真では、電送されてきた原画は、濃淡があまりなく、画面全体が一律に灰色で、表面のディテールがほとんどわからないものが多い。これらの画像の濃度分布のヒストグラムは、狭い領域に集中しているが、これを一律に近い分布に補正すると、見ちがえるように画像が見やすくなるものである。図 16 にこのような例を示す。画像の下に2つのヒストグラムが書かれているが、左が

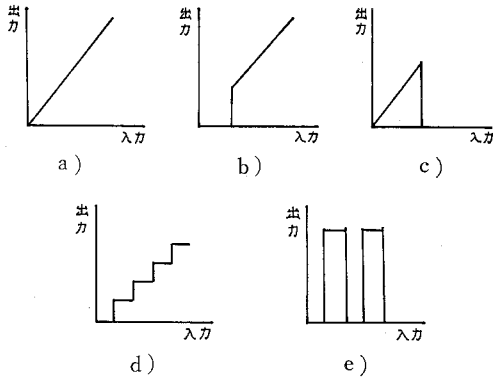


図 15 入力階調と出力階調の関係

原画のもの、右が補正したものである。これはマリナー9号による火星表面の写真である。

## 2-2 擬似カラー表示

黑白画像をいくつかの濃度レベルに分割し、それぞれのレベルにある色を割当ててカラー表示するという擬似カラー表示の手法は、テレビを用いたアナログ的画像処理で良く用いられているものであるが、計算機とこの種の出力装置をつなぐと、単に濃淡レベルに色を割当てるだけでなく、計算機で種々の処理をした結果をカラー表示することができる。

例えば、マルチ・スペクトル領域で撮影された、資源衛星の黑白写真の組から、各スペクトル領域での反射率の違いを調べることによって、対象の性質がある程度解明できる。大気汚染によって枯れかかっている緑地帯、汚染されていない緑地帯、湖沼地帯、コンクリートの都市、アスファルトの道路、工場排水の流出域などがわかるわけであるが、これらに色を割当てて地図を書けば、まさに一目瞭然ということになる。

色分けという方法は、人間に直覚的に情報を伝達するのに特に有効な方法であるので、これから色々な分野で利用されることになる。

図 17 に、カリフォルニア星雲の擬似カラー表示の例

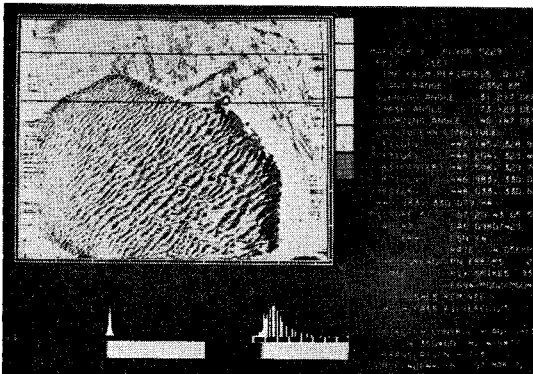


図 16 濃度分布の補正による階調処理 (JPL)

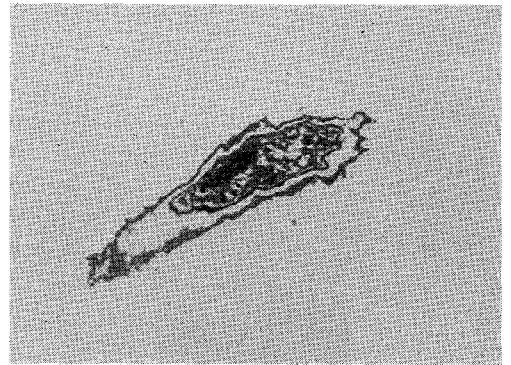
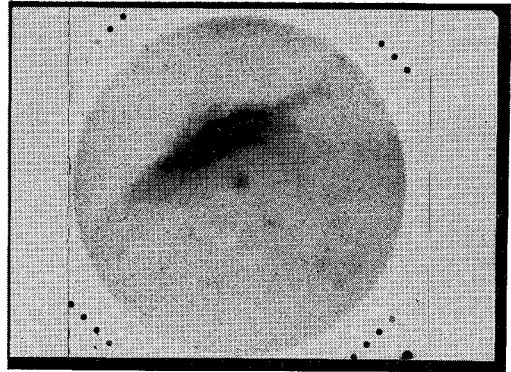


図 17 カリフォルニア星雲の擬似カラー表示

を示す。黑白写真であるから、もとのカラーが良く出ないのが惜しまれる。これはアナログ的処理によるものである。(東京天文台石田氏の提供)

## 3. 空間フィルタ処理

画像のフーリエ変換を作り、空間周波数領域でフィルタをかけさまざまな処理を行うものである。この処理がノイズの除去に有効であることはさきに述べた通りである。ここではそれ以外の応用について述べる。

### 3-1 分解能の向上

一般に、入力装置から画像データを入力する際には、有限な大きさをもつ点で走査したり、データをとる間隔が離散的であったりするために、あまり細かな変化は識別できない。この分解能はふつう、走査方向に垂直な無限小幅の理想的な直線に対する出力、あるいはそのフーリエ変換の振幅 (MTF, Modulation Transfer Function) で表わされる。理想的な場合には、MTF はどの周波数に対しても 1 である。

いま、系の MTF が図 18 の a) のような特性をもっていた場合、b) の実線で示すような特性をもつ空間フィルタ処理を行うと、c) の実線のように特性が改善されるし、また b) の破線に示すような空間フィルタ処理では、合成された特性は、c) の破線のように高周波成分が強調された形となる。これは画像で見れば、輪郭や細部が強調され、それが適度であれば主観的に非常に分解能

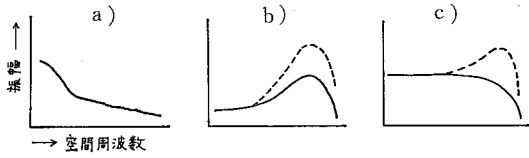


図 18 MFTの補正

が上った感じになる。図 19 にこの例を示す。

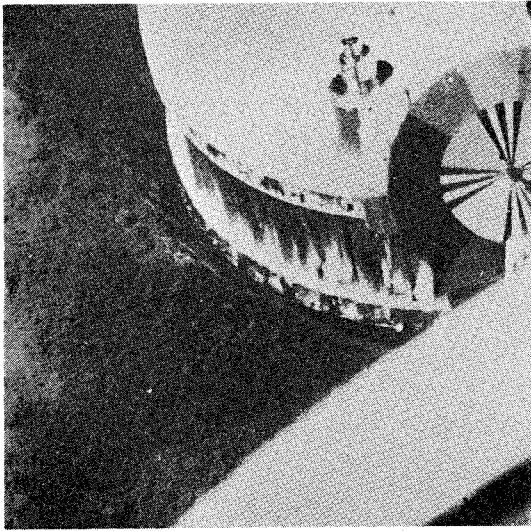
3-2 輪郭の抽出

高周波通過型フィルタで低周波成分を除去し、高周波成分だけをとり出す処理を行うと、図 5 で見たように、

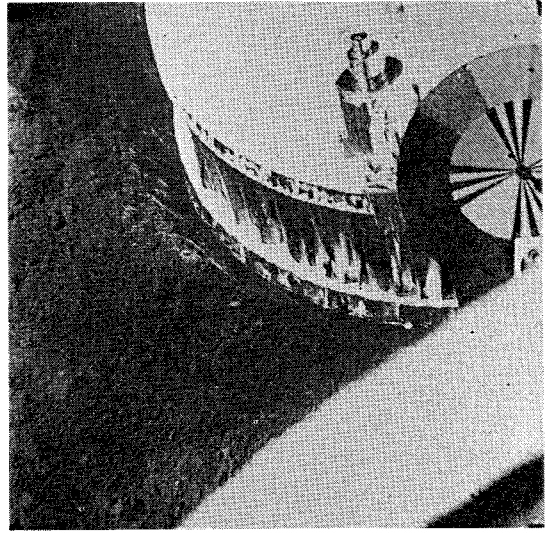
画像の輪郭を抽出することができる。輪郭の抽出は、自動計測やパターン認識を行う際に必要となることが多い。しかし、このように高周波成分のみを取り出すことによって、画像がザラザラした感じになることは避けられない。図 20 にこのような例を示す。

3-3 画像復元

ある画像が、いくつかの結像や透過の過程を経て、その画質が低下している場合、その画質低下を数学的に逆操作することができれば、もとの画像を復元することができる。このためには画質低下をある関数で表現し、画

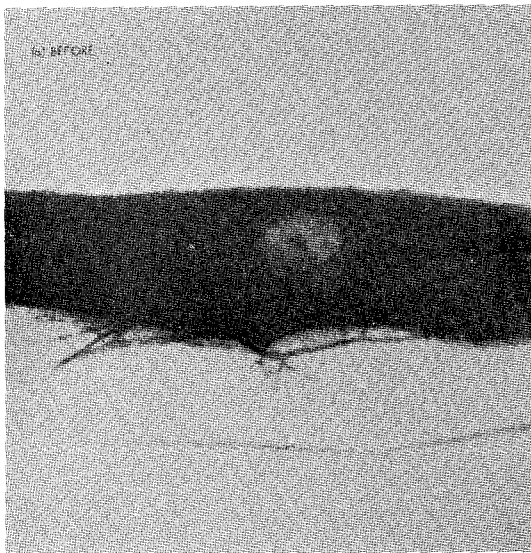


a)

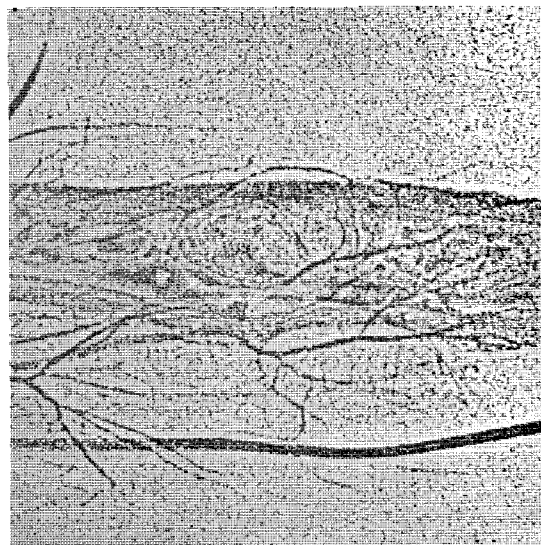


b)

図 19 高周波成分の強調による画像の鮮明化 (JPL)



a)



b)

図 20 低周波成分の除去による輪郭の抽出 (JPL)

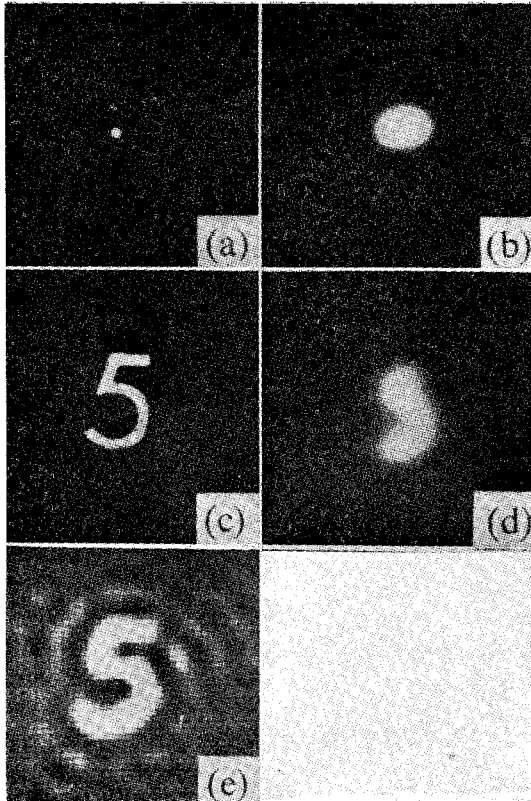


図 21 画像の復元

質低下を受けた画像のフーリエ変換を、この関数のフーリエ変換で割り算し、それを逆フーリエ変換するという方法が良く用いられる。

図 21 に文字 5 の復元の例を示す。a) と c) は、画質低下を受ける前の点像と文字 5 であり、b) と d) が画質低下を受けた結果である。e) が復元されたものである。

#### 4. 複数画像の処理

これまで述べたような処理を行った画像相互間にも、色々な処理が行える。

時間的に前後した 2 枚の画像の差をとれば、その間の変化がわかる。これは、地形変化の検出、病変部の検出、海水汚染の進展、交通量の調査などに利用される。また、スペクトル領域の異なった 2 枚の画像の差や商をとれば、対象の性質を知る手がかりになることは前に述べた。同じ画像の写しを複数枚加え合せて平均化することによってノイズを減少させることもできる。

このような場合には、2 枚の画像をいかに正確に重ね合わせるかということが大きな問題である。

## VI 天文学への応用例

### 1. はじめに

これまで述べてきたような処理を行った画像に対し

て、色々な解析が行われるわけであるが、それは応用分野によって異なる。

天文学において、画像処理と特に関連が深いのは、電波望遠鏡による電波強度の分布図を書くことと、光学望遠鏡による直接写真の解析であろう。更に、太陽の H $\alpha$  写真や、コロナの写真などにも応用の可能性があると思われる。

ここでは直接写真の解析を例にとって、画像処理技術の応用を考えてみる。直接写真でも、星野写真よりは、ガス星雲、ギャラクシーのような広がった天体の方が典型的な対象である。B 領域と V 領域の波長で撮影された 2 枚の乾板から、広がった天体の色指数、 $B-V$  を求めて分布図を書くことを考えてみる。

### 2. 入力装置

天体写真測光の分野で古くから用いられている測定装置はマイクロフォトメータである。これまでは、主としてアナログ的処理に利用されていたが、画像データの入力装置としても、安定度、解像度は非常に優れている。ただ、機械的走査であるために、走査速度が極めて遅いこと、位置精度があまり良くないことが欠点である。しかし、位置精度の問題は改良の余地があるし、デジタル装置をつければ、オフラインの画像入力装置としては十分に実用できるものである。

このデジタル装置のついたマイクロフォトメータで写真乾板を走査し、位置と濃淡の情報を紙テープ又は磁気テープに出力する。濃淡の情報は 6~8 ビット (64~256 レベル) が必要であり、フーリエ変換を行ったりするときは、8 ビット位ある方が望ましい。このテープを計算機へ入力とする。

### 3. 処 理

#### 3-1 ノイズの除去

直接写真に関わるノイズは、主として乾板の粒状性である。また測定の際に、マイクロフォトメータの光電管などによるショットノイズも入って来る。これらはスリット (走査点) の大きさによっても左右され、大きいスリットの方が、平均化作用が働いてノイズは少ないが、そのかわり分解能が低下する。

ショットノイズに関しては、同じ所を何回か走査し、その平均をとることによって減少させることができる。粒状性ノイズについては、粒子は 20 ミクロン程度の大きさであり、一方天体の方は、あまり高周波成分を含まないので、空間フィルタ処理によって、かなりの程度除去されることが期待される。また、同じ対象に対する乾板が 2 板以上あれば、それらの平均をとることによってノイズを減少させることができる。

#### 3-2 空間フィルタ処理 (画像復元)

直接写真の場合、画質低下の原因は、大気のゆらぎ (シ



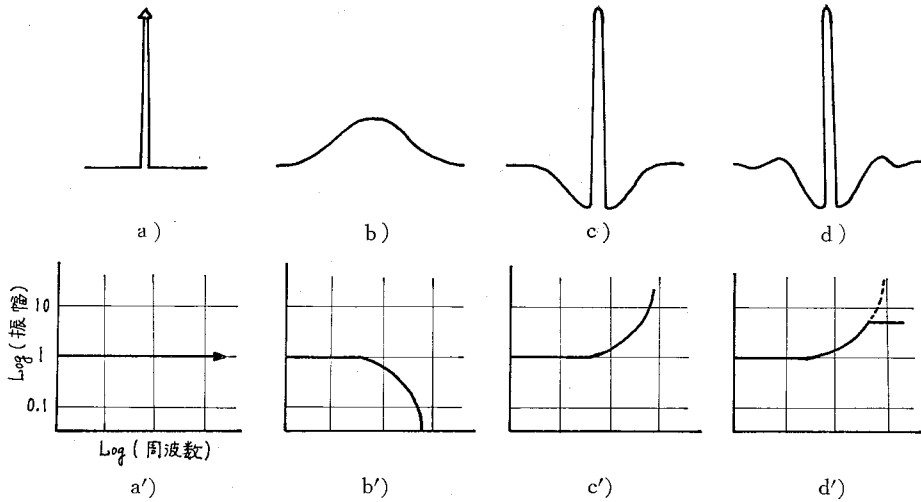


図 22 星像復元フィルタ

ーイング), ガイドエラー, 乾板内の光滲 (イラジエーション), 収差などである。

元来, 星は点光源であり, その光の分布は, 図 22 の a) に示すようなデルタ関数形のものである。a') はそのパワースペクトルである。しかし, 実際の乾板上の濃度の分布は, 画質低下を受けて b) に示すようになる。b') のパワースペクトルを見ると, 高周波成分がなくなっていることがわかる。これを復元するには, c') または d') で示される特性をもつ空間フィルタをかければよい。対応する空間領域での復元関数は c) と d) である。この復元は, 周波数領域の言葉でいえば, 失われた高周波成分をもとにもどすことであり, 空間領域の言葉でいえば, まわりに飛び散った星の光を, もとの一点にもどすことである。

このようにして処理された B, V それぞれの乾板から, 適当な計算によって, 各画素に対応する B, V 等級

が求められる。この 2 枚の乾板の差をとることによって B-V の分布が得られる。

#### 4. 出力装置

こうして得られた B-V の画像をどのようにして表示するかが問題であるが, 今のところ, FSS を用いるのが最も良質の画像が得られる。また, 処理のパラメータを変えて計算し, その結果を見てまた計算するという会話型処理にはグラフィックディスプレイが適しているが, どちらもかなり高価であり, 簡単には利用できない。

ここでは, 筆者がラインプリンタを用いて出力した結果を図 23 に示す。対象は a) に示した NGC 7479 というギャラクシーである。b) が B 等級の分布, c) が B-V の分布である。ノイズの除去と, 画像復元の処理は行っていない。ラインプリンタでは, 濃淡の差が良く出ないこと (図のものは 9 レベル), キメが荒いので画像のイメージをなさないこと, 縦横比が 1 対 1 でないことな

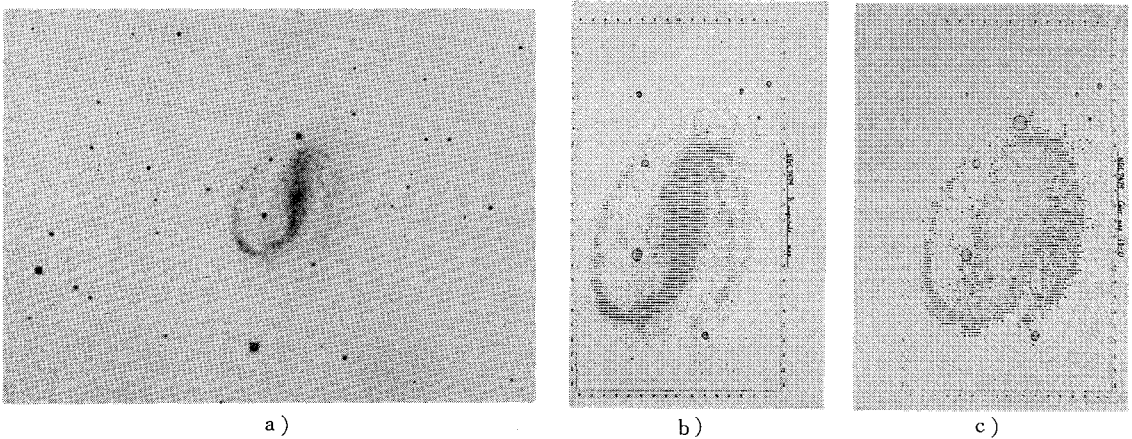


図 23 NGC 7479 の解析例

表1 アメリカの主な画像処理関係の研究所

研 究 所	入 力 装 置	出 力 装 置	計 算 機
南カリフォルニア大学 (USC)	FSS M	CRT TV	HP 2100 A, IBM 360/44 IBM 370/155
ジェット推進研究所 (JPL)	V, FSS M (顕微鏡スキャナ)	FSS (フィルム) FSS (ポーラロイド)	IBM 360/44 (128 K) IBM 1130 (顕微鏡用)
マサチューセッツ工科大 (MIT)	FSS (カラー) FSS	FSS FSS	PDP 9 (32 K)
アイビーエム (IBM)	FSS (透過) FSS (反射) イメージダイセクタ	FSS TV	IBM 1800 (32 K) IBM 360/67 IBM 360/91
ミズーリ大学	FSS イメージダイセクタ	TV 蓄積管	DEC 11/45 SEL 840 A IBM 360/50

M: メカニカルスキャナ, TV: テレビジョン

どの欠点が目瞭然である。

## Ⅶ 今後の問題

画像処理の問題点は、パターン認識を別とすれば、入出力装置が手に入りにくいことである。まだ、画像処理があまり各方面に浸透しておらず、画像処理専用の入出力

装置の既製品がほとんどないために、高性能のものは極めて高価なものになるし、適当な既製品で代用すると、性能が悪かったり、計算機との接続が難しかったりするような状態である。

参考のために、アメリカの画像処理関係の主な研究所の設備を表1に掲げてみる。日本とくらべて、FSSを中



カラーアルバム

# 星空の四季

藤井旭著

■B5変型判/148ページ/定価二,〇〇〇円(〒一四〇)

好評発売中!

日本の都市の夜空から星が消えつある今、紙上に美しい星空をカラー印刷で再現。春夏秋冬の星座と、よく知られている星雲星団を、順に追って紹介。

へ主な内容

冬の星座——こぐま座・北斗七星・おおぐま座・M82・りょうけん座M3・M51・しし座のさがま/他  
秋の星座——さそり座・M6M7・いて座・南斗六星・三裂星雲・M8とオメガ星雲・夏の銀河/他  
夏の星座——カシオペア座・カシオペア座と北極星・ケフェウス座の銀河・NGC6946・M31/他  
春の星座——オリオン座・オリオン星雲・プレアデス星座/他

心とした入出力装置が圧倒的に優れているのがわかる。計算機の方は、最近では我国でも次第に手軽に利用できるようになって来たが、入出力装置は皆無に等しい。今後は、FSSのような高性能入出力装置を、画像処理関係の各分野で充実させてゆくことが必要である。

## VIII おわりに

画像処理についての簡単な解説と、天文学への応用の可能性について述べた。これを書くにあたって、東京大学生産技術研究所の高木幹雄助教授に、色々と助言、御指導を戴いた。また貴重な資料や写真も数多くお借りし

た。写真に (JPL) とあるのは、JPL の研究成果であり、これらの写真は全て高木先生からお借りしたものであることを報告して感謝の意を表します。東京天文台の石田憲一、香西洋樹両氏からも写真の提供をいただいた。また以下の文献より写真や図版を転載させて戴いたことを付記し、併せて感謝致します。

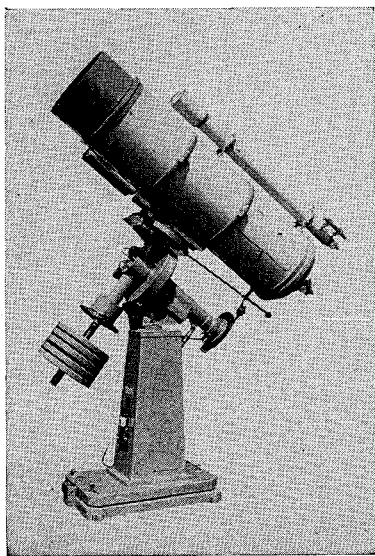
- 「電子計算機による画像処理」ローゼンフェルト著 石田晴久訳 (共立出版)。
- 「画像工学」滝 保夫他編。コロナ社。
- 「Composite Photography of Galaxies」Sharpless and Franz. PASP 75, 219, 1963.

## 雑 報

### 1974年6月20日の日食

1974年6月20日の西オーストラリア日食には、日本からもアマチュアを主体とした総員18名の観測団が、南部のウォールポールに出かけた。外国の専門家では、R. ジョバナリ博士らのオーストラリア本隊 (CSIRO) と、スイスの M. ワルドマイヤー博士の一行も、ウォールポールに観測陣を置いた。ペンベルトン、オーガスタ、ノースクリップなどでは雲の影響を受けることなく、理想的

な皆既日食を観測している。これに反し、最も多くの専門家と、日本からのアマチュアのグループが集まったウォールポールと、ウィンディ・ハーバーでは太陽の直前を覆った厚い雲のため、ほとんど観測不能であった。日本からのアマチュア観測団は、ウォールポールで2隊に分れ、近くのノエツとコンスピシャス・クリップに向った。ノエツでは第1接触は晴、第2接触の30分前から拡がり始めた雲のため太陽も見えないという状態であった。他方、コンスピシャス・クリップでは、第2接触の2分前から雲が太陽を覆い始めたが、ダイヤモンド・リングとコロナは、薄い雲を通して短時間ではあるが観測することができたようだ。(秦 茂・香西洋樹)



天体望遠鏡  
ドーム、製作

## 西村製の天体望遠鏡

### 40 cm 反射望遠鏡の納入先

- |        |                     |
|--------|---------------------|
| No. 1  | 富山市立天文台             |
| No. 2  | 仙台市立天文台             |
| No. 3  | 東 京 大 学             |
| No. 4  | ハーバート大学 (USA)       |
| No. 5  | ハーバート大学 (USA)       |
| No. 6  | 台北天文台 (TAIWAN)      |
| No. 7  | 北イリノイズ大学 (USA)      |
| No. 8  | サン・チェゴ大学 (USA)      |
| No. 9  | 聖アンドリウス大学 (ENGLAND) |
| No. 10 | 新潟大学高田分校            |
| No. 11 | ソウル大学 (KOREA)       |
| No. 12 | 愛知教育大学(刈谷)          |

606 京都市左京区吉田二本松町 27

株式会社 西村製作所

TEL. (075) 771-1570  
691-9580