

図 16・107 レシオイメージング応用  
例—カルシウムイオン分  
布(ヒトフィブロblast)

さらに近年、2次元光子計数撮像装置も開発され、顕微鏡下でのモレキュラカウンティングイメージングも可能となってきた。図16・108に化学発光を利用した受精に伴い発生するカルシウムイオン分布の光子計数撮像例<sup>10)</sup>を示す。

ビデオマイクロスコープはますます多様に用いられ、成果をあげているが、ごく最近テレビレイトを超える撮像技術および画像処理も要望されている。その代表的なニーズが神経活動の光学的測定であり<sup>11)</sup>、並列処理を取り入れた総合システムの出現が期待されている。

(早川 裕)

### 6・3 天文応用

#### 6・3・1 天文学と不可視情報

天体からの放射は $\gamma$ 線、X線、紫外線、可視光、赤

外線、マイクロ波、電波など、電磁波の全波長域に及んでいる。可視光以外の波長域で撮影した天体画像でも2次元のデジタルデータの形式になれば、画像処理の段階では、基本的には写真画像と同じ扱うことができる。

天文学では天球面上の放射強度分布に対応する天体写真画像のほかにも、電磁波のスペクトルや天体の運動速度などに対応させた次元を付け加えた位相空間での画像を扱うことが多い。

以下では、光学観測と電波観測での画像処理の実例を紹介する。

#### 6・3・2 光学観測における画像処理

〔1〕写真からCCDへ 天体写真の撮影には写真乳剤を用いた観測が19世紀中頃から行われてきた。ところが、最近はCCD(電荷結合素子)などの2次元半導体撮像素子を用いた観測が天文学では主流になってきた。写真乳剤は光化学反応を利用したものであり、その量子効率は約1%程度である。一方、CCDは内部光電効果を利用したもので、その量子効率は最大で約80%にも達する。また、入出力比例性や再現性も極めてよく、読み出し雑音も $10e^-$ 程度と小さいので、1画素当たり入射光子数が数百個以上あれば、原理的には光子数統計雑音でSN比が決まる精度のよい観測が可能である。

〔2〕低輝度天体画像の可視化の実例 図16・109は、東京大学木曾観測所の口径105cmシュミット望遠鏡で撮影した銀河北極の写真である。冷却CCDカメラをつけて、同じ天域を観測した生画像が図16・110であ

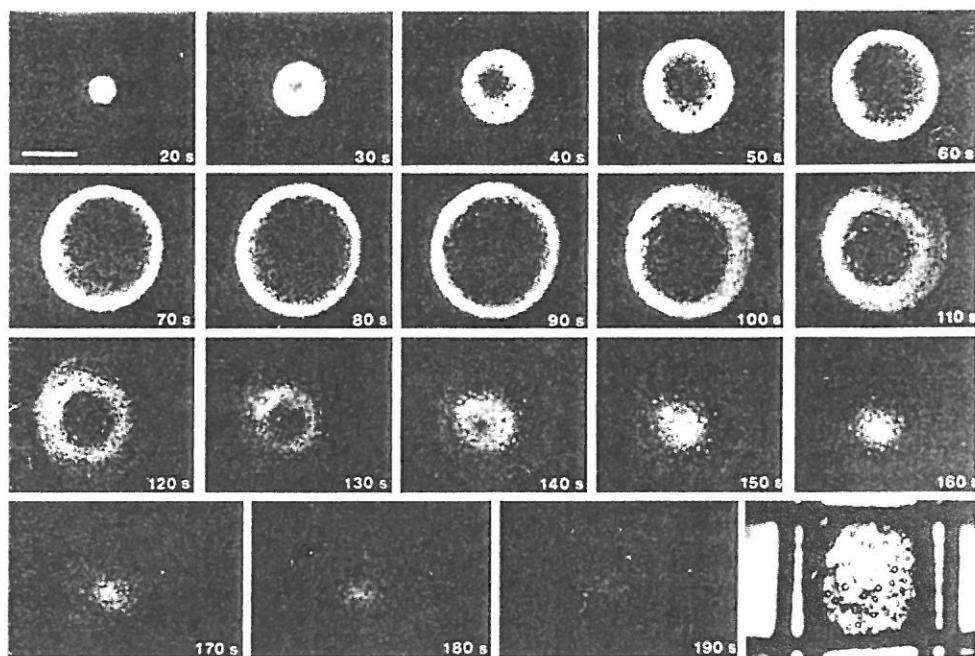


図 16・108 化学発光応用例—受精時カルシウムイオン分布(メダカ卵)(Y. Hiramoto, 1986<sup>10)</sup>  
より)

る。カ  
る。CC  
縞模様  
で、一  
れば、面  
うな補  
である。  
は前景  
光を検出

#### 6・3・3

(1)  
する望遠  
向けた方  
きない、  
めであ

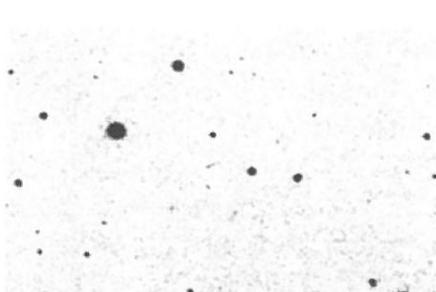


図 16・109 北銀極の星野写真

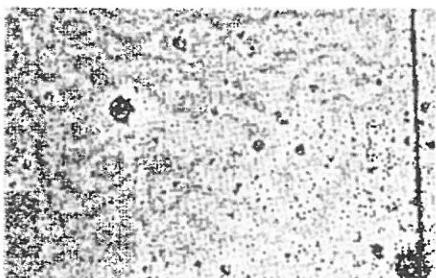


図 16・110 同一星野の CCD 生画像（画面右のスジは人工衛星の軌跡）

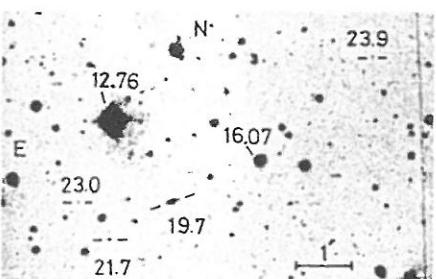


図 16・111 同一星野の CCD 合成画像（感度ムラ補正などの画像処理後）。数字は等級を示す。24等級の天体は遠方の銀河と思われる。

る。カメラを冷却するのは熱雑音を低減するためである。CCD の画素間の感度ムラがあるため、生画像には縞模様が見える。しかし、この縞模様は再現性がよいので、一様な光を照射して CCD の感度ムラの様子を調べれば、画像処理の段階で除去することができる。そのような補正を行った 9 枚の画像を合成したのが図 16・111 である。赤色等級で 24 等級の天体が確認できる。これは前景光となる地球大気の発光輝度のわずか 0.3% の増光を検出することに相当する<sup>13)</sup>。（家 正則）

### 6・3・3 電波観測における画像処理

**(1) 電波望遠鏡** 電波望遠鏡は電波で天体を観測する望遠鏡であるが、光学望遠鏡と違って、ある方向に向けただけではその方向の像を「写す」ということはできない。電波の波長が光のそれに比べて数万倍も長いいためである。観測対象の周辺をイメージスキャナのよう

に、電波望遠鏡を 2 次元的にスキャンさせて受信強度分布からのみ像が得られる。分解能はアンテナのビーム幅によって決まり、ほぼ波長とアンテナ開口直径の比で与えられる。現在最も分解能の高いアンテナでも角度で数十秒が限界で、光学望遠鏡の分解能にはるかに劣っている。しかし、広がった電波源の観測には今でも有効に用いられている。

**(2) 開口合成法** 1 基のアンテナでは上に述べた理由から分解能に制限がある。そこで、複数のアンテナ開口を合成して分解能を向上する開口合成法が考えられた。アメリカのニューメキシコの VLA がその代表的なもので、百分の 7 秒という高分解能を達成している<sup>14)</sup>。この方法では、各アンテナで受信した信号の振幅と位相をフーリエ変換することで天球上の電波像を得ている。

**(3) VLBI** 開口合成法で得られる分解能は、合成するアンテナ間の最大距離を直径とする電波望遠鏡の分解能にはほぼ等しい。つまり、合成するアンテナ間隔を長くとればとるほど分解能は向上する。開口合成アンテナの極限として VLBI (very long baseline interferometry) が登場した。VLBI ではアンテナどうしはもはやケーブルで結ばれておらず、それぞれの素子アンテナは全く独立に電波を受信し、信号を磁気テープ上に記録する。独立に受信した信号を合成するには、各アンテナで受信する信号の周波数を常時一定値に保つ必要があるが、このため超高安定な標準周波数源が必要とされる。また、いったんデータを記録し、それを 1 箇所に集めて合成して像を得ることから高密度磁気記録装置も必要となる。VLBI 観測が可能になったのは、こういった高度な電子技術が確立されたためであるといえる。像を得る方法は次節で述べるが、開口合成法とほぼ同じである。ただ、アンテナ間隔が大きく（サンプルする空間周波数が高い）、素子アンテナの数が少ない（サンプル間隔が大きくまばら）ということで、像を合成する困難性が増している。

**(a) 像再生** サンプルする空間周波数成分はアンテナ群と電波源の相対位置関係で決まり、一般に  $(U, V)$  という 2 次元量で表現される。地球の回転によってこの相対位置関係は変化するので、サンプルデータは  $(U, V)$  面上の複数の橢円状の軌跡に沿って得られる。各  $(U, V)$  点で得られた複素観測値（振幅と位相）を 2 次元フーリエ変換することで、天球上の電波像が再生される。点波源をある最高空間周波数までもなく観測した場合と、地球の回転を利用して二つのアンテナだけで空間周波数成分をサンプルした場合の像合成例を図 16・112 に示す。図の左は、多くのアンテナを使って空間周波数をもれなくサンプルした理想的な開口合成結果、図