

## 天体ビデオ画像における画像移動の測定

栄芳文<sup>1</sup>、横尾武夫<sup>1</sup>、黒田武彦<sup>2</sup>

1)大阪教育大学

2)兵庫県立西はりま天文台

### Measurements of Image Shifts in the Video of Planets

Yosifumi Sakai<sup>1</sup>, Takeo Yokoo<sup>1</sup>, Takehiko Kuroda<sup>2</sup>

1)Osaka Kyouiku University

2)Nisi-Harima Astronomical Observatory

#### Abstract

There are many factors that debase the quality of the astronomical picture with a telescope. In addition to the optical performance of the telescope, image shifts during the light accumulation that are caused by the seeing and also the defects of its mechanism give the serious effects to the quality of the photographic image. In order to investigate the behavior of a astronomical object in a image with the telescope (60cm reflector of Nishi-Harima Astron. Obs.), we use a high-sensitive video-camera and a image processing system, and measure the positions of the object (the planet Saturn) in the sequential frames of the video records. From the measurements, we found small image movements of various modes; fluctuations, secular movements and jumping shifts. The most of these causes come from the incomplete adjustments of the structure and the mechanism of the telescope. Using the image processing system, we re-produced the improved pictures of the planet in these image shifts are compensated. These pictures demonstrate that the image shifts during the exposure give the severe effect to the astronomical picture.

**Key Words:** Telescope; Data Analysis

#### 1. はじめに

天体の撮像観測において、天体画像の質を劣化させる要因として、さまざまな現象が考えられる(図1)。望遠鏡の光学的特性や観測地の環境条件が大きな要因であることは言うに及ばないが、天体の撮像では光エネルギーを時間積分しなければならないので、撮像面における像の時間的変動(像移動)が画像の質に大きく関わることは周知の事である。

像移動の原因には、大きくわけて、シーイングと大気差といった空気による光の屈折に関わる現象と、望遠鏡の機構的不正に分けられる。後者には、望遠鏡の構造的不正、極軸方向の不正、追尾機構の不正、機構の撓みや振動など、さまざまな要因があり、さらに建物の振動等がそれらに加わる(横尾, 1992)。

この研究は、望遠鏡による天体のビデオ

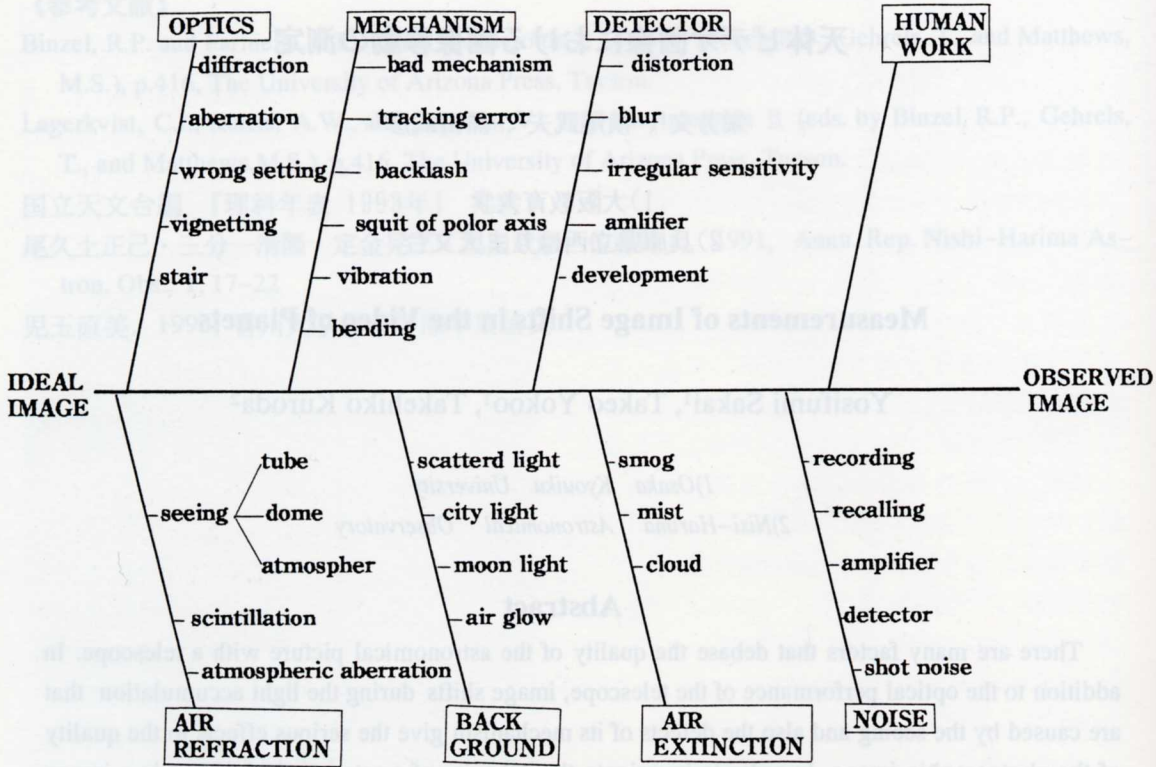


Fig. 1 Factors of the debasement of astronomical pictures.

撮影を行い、時系列としてのビデオ画像を解析して、天体の撮像時における像移動の特性を明らかにしようとするものである。このような測定により、特に望遠鏡の機構的精度が検証できることを示したい。第2章で惑星のビデオ観測とその画像測定法を、第3章で像移動の時間的特性について述べる。第4章では、像移動の補正が有効な画像改良となることを示す。

## 2. 惑星のビデオ撮影と画像測定

西はりま天文台の60cm反射望遠鏡を今回の調査の対象とした。この望遠鏡のカセグレン焦点に高感度ビデオカメラ（東芝製、モノクロ）を取付け土星を撮像した。使用したVTRは松下AD6370である。測定の

対象とした画像は1992年8月31日午前0時30分頃に撮影したもので、観測時には、土星はほぼ南中しており、シーイングは良、透明度は中であった。

ビデオ画像の計測と、第4章で述べる画像処理には、大阪教育大学天文学研究室にある専用画像処理装置LA525（PIAS社製）を用いた。ビデオ画像の再生にはタイムラプスビデオ（松下製AG6370）を使用した。土星の画像の大きさを画像処理装置で測定した結果、赤道半径が36ピクセルであった。理科年表によれば、その時の赤道視半径は9.2秒角であるので、1ピクセルのスケールは0.256秒角となる。

画像移動の測定は、サンプリング間隔の違う2種の画像取り込みを行ったもの、それ

それぞれについて行った。第一の測定では、2分30秒間の画像を約5秒の間隔で30枚の画像を取り込み、フレーム上での土星像の相対的な位置変化を測定した。第2の測定では、5秒間の画像の全てのフレームを取り込み、同様な測定を行った。PIASの画像は横512画素×縦480画素からなり、前者の取り込みでは、通常の方式を取っているので、フルフレームとなっている。後者の画像取り込みでは、VTRのコマ送り機能を使用したため、インターレース走査により、画像データは1行おきに間引きされている。従って、サンプリングは1/60秒間隔に対応し、フレーム数は300に達する。

画像処理装置を用いた画像移動の測定には、次のような方法を取った。時系列画像群の最初の画像を基準画像とし、それぞれの画像と基準画像との明度の引き算を行う。もし土星像が2つの画像の座標上でずれていれば、引き算画像において土星像の周縁に白黒のフリッジパターンが現れる。そこで、測定画像を縦方向と横方向にフレーム移動を行い、同様に引き算を行う。フリッジパターンが無くなるか最も弱くなるまでこの操作を繰り返すと、最終的な画像でのフレーム移動を

した量が像移動の座標を与える。

このような画像移動の測定に恒星像を用いる方法が考えられ、予備的な測定で恒星の測定を試みた。ビデオの画像は1/30秒または1/60秒の露出時間に対応し、このような短時間露出では、恒星像はいわゆるスペckルとなる。すなわち、シーイングのため恒星像は非対称の不規則な形状、または数個の破片の集まりとなるため、像の座標の移動量を正確に測定することは困難であることが分かった。シーイングによる像移動の解析を目的とするには、恒星像を用いることが望ましく、その場合は画像データを数量的に扱って星像の重心を求めるなどの方法がある。本研究のように望遠鏡の機構性能を検査する目的には、スケールの大きい惑星像を用い、シーイングの影響を平滑化する方法が適している。

### 3. 画像移動の時間的特性

#### 3-1. 長いタイムスケールの像移動

まず最初に長いタイムスケールの測定結果を見てみよう。すなわち、5秒間隔で画像を32枚サンプリングし、2分40秒間おける土星像の位置変化を測定した結果を図2に

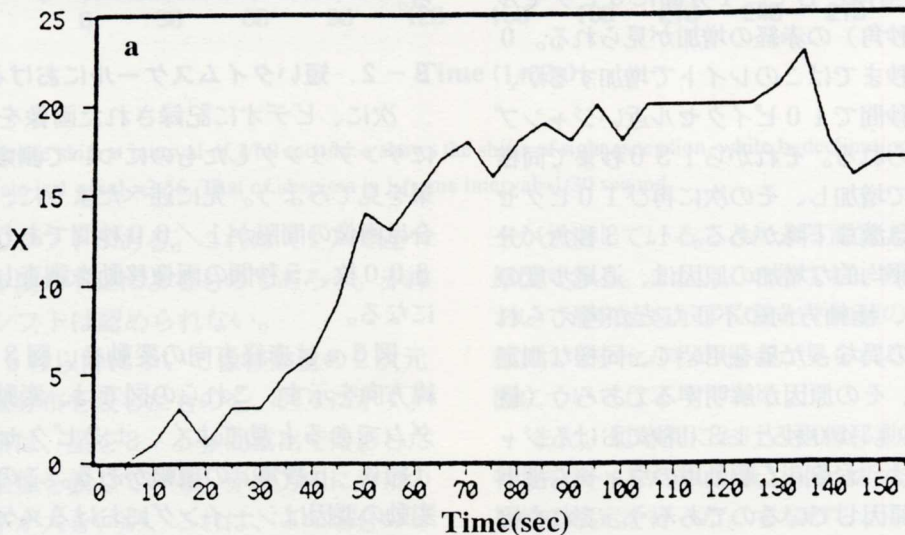


Fig.2. Image shifts at an interval of 5 seconds. a shows the shifts of right ascension, and b, declination. The unit of ordinate is 1 pixel=2.56 sec. of arc. The unit of abscissa is 1 second.

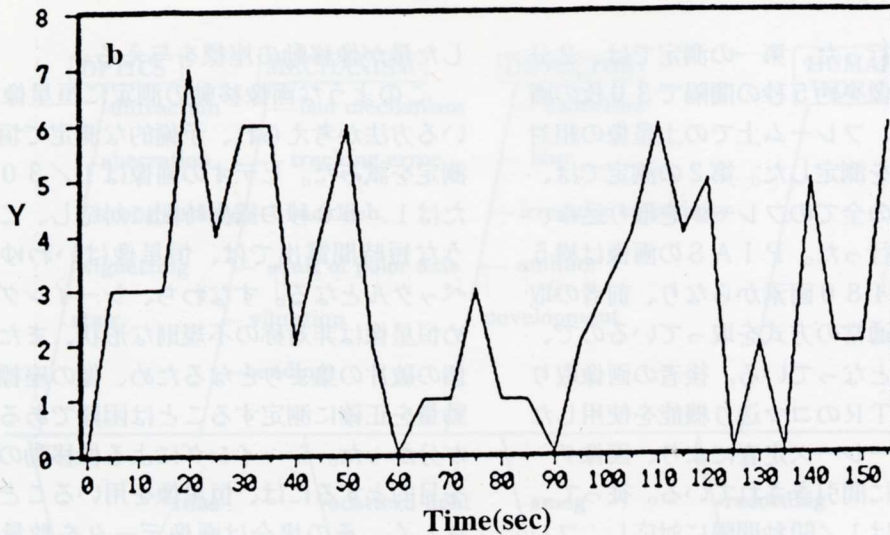


Fig.2. (Continued)

示す。

図2 aは赤緯方向の変動を表している。変動はランダムであると見て良く、変動量は最大 $\pm 3$ ピクセル程度であり、角度にして約 $0.8$ 秒角である。この赤緯方向の変動の要因として、シーイングにおける大きなスケールの成分、望遠鏡の機構の振動、測定値の揺らぎ等が考えられる。

図2 bは赤経方向の変動を示す。こちらの方は、赤緯方向に比べ大きな時間変化が見られる。全体として、1分間に5ピクセル( $1.3$ 秒角)の赤経の増加が見られる。0から40秒まではこのレートで増加するが、次の10秒間で10ピクセル近いジャンプ変化が見られる。それから130秒まで同様のレートで増加し、その次に再び10ピクセル程度の急激な下降がある。 $1.3$ 秒角/分の赤経の平均的な増加の原因は、追尾歩度の調整不正、極軸方向の不正などが考えられる。方向の異なった星を用いて、同様な測定を行うと、その原因が解明するであろう(横尾, 1992)。40秒と130秒におけるジャンプ変化は、おそらく駆動用のウォーム歯車の不正が原因しているであろう。これを検証するには、測定の時間スパンを広げて、こ

のジャンプ現象が周期的に起こるかどうかを調べる必要がある。追尾機構が原因でなく、構造の撓みなどが原因であれば、その取り扱いが困難となる。この点は、さらに調査を進める必要があるだろう。

以前から、この望遠鏡で冷却CCDカメラによる撮像を行った時、長い露出時間では星像が流れるという現象が時々起こることが知られていた。この現象は、ここで見る赤経のジャンプ変化と関係していると思われる。

### 3-2. 短いタイムスケールにおける変動

次に、ビデオに記録された画像を連続的にサンプリングしたものについて測定した結果を見てみよう。先に述べたように、この場合は画像の間隔が $1/60$ 秒間であり、総計300枚、5秒間の画像移動を調査したことになる。

図3 aは赤経方向の変動を、図3 bは赤緯方向を示す。これらの図では、変動はランダムであると見てよく、 $\pm 2$ ピクセル程度(約 $0.5$ 秒角)の振幅がある。このような変動の要因はシーイングにおけるスケールの大きい成分であると考えられる。ただし、図

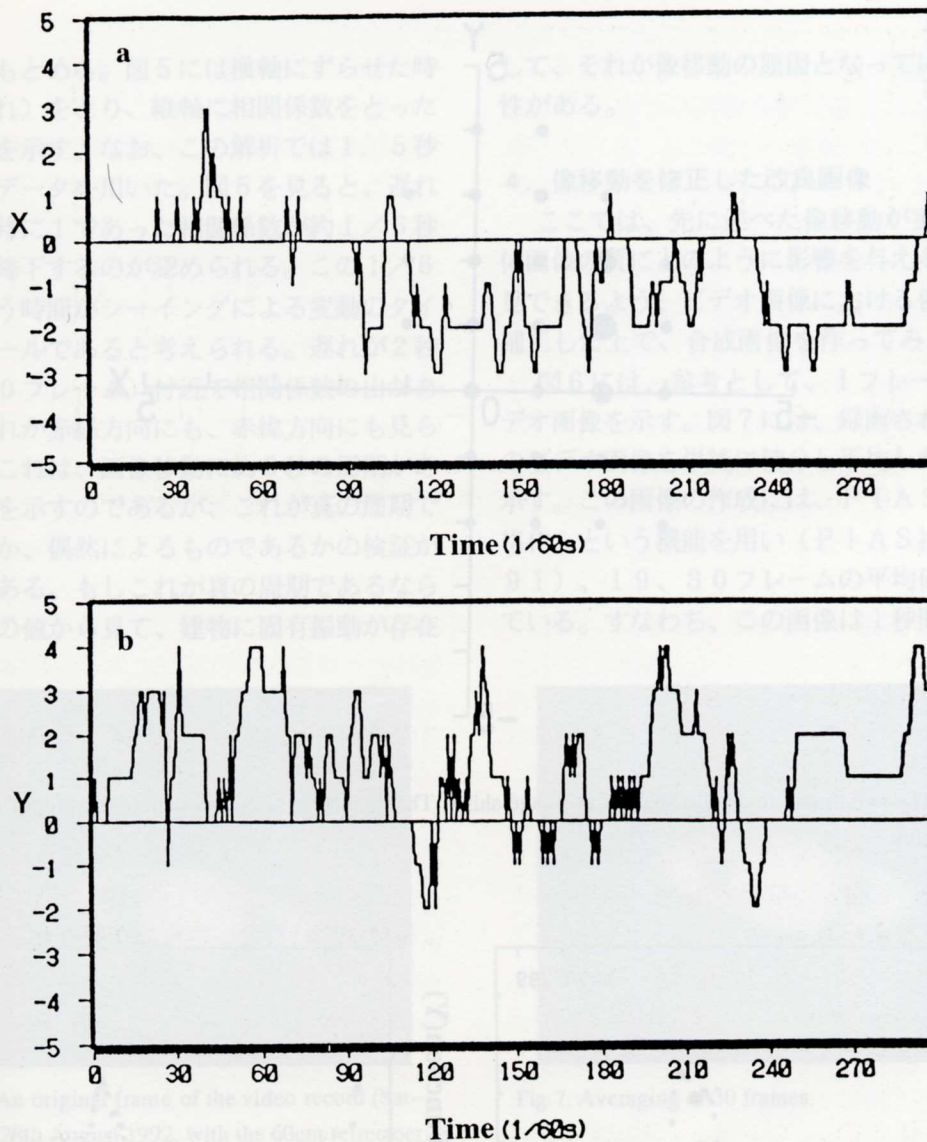


Fig. 3. Image shift at interval of 1/60 second. a shows the shifts of right ascension, while b, declination. the unit of ordinate is 1 pixel = 2.56. That of abscissa is 1 frame interval = 1/30 second.

クセルのシフトがある。これは(1)で述べた追尾歩度の不正によるものであろう。赤緯方向のシフトは認められない。

1. 5秒以降について像移動量の2次元的な頻度分布を表したものを、図4に示す。この分布は、星を3.5秒間露出で撮影した場合の星像を表している。赤緯方向に分布のバラツキが大きい。これは、この場合のビデオ画像の1コマが縦方向に1行間隔でデー

タが欠損していることによる測定上の誤差が原因である。また、この図では、頻度分布において最頻値を示す位置と平均値の位置の座標に1ピクセル程の偏奇が見られる。この原因については不明である。

また、短時間における画像移動の時間的特性を調べるため、自己相関分析法による周期性の検定を行った。すなわち、もとの数列と、ある時間間隔をずらせた数列の間で相関

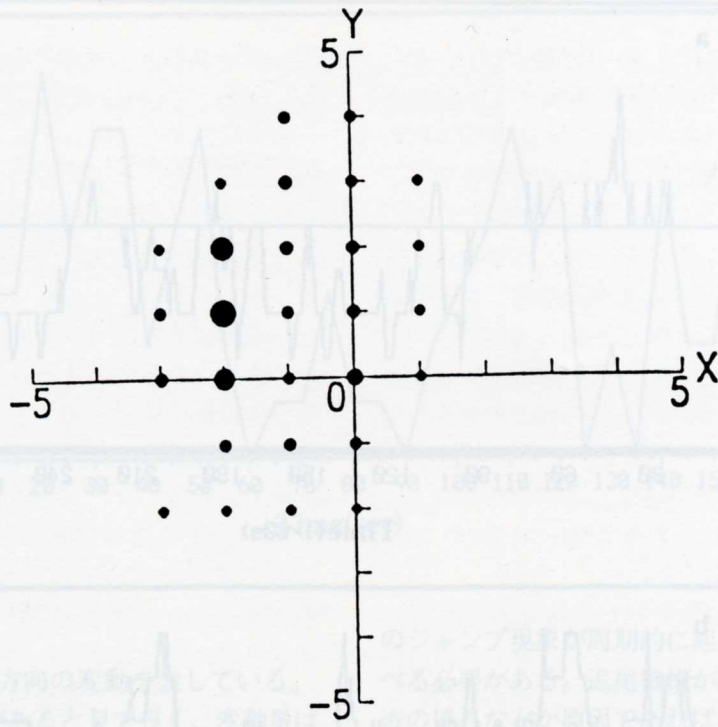


Fig. 4. The two dimensional distribution of image shifts. The diameters of circles denote the proportions of frequencies.

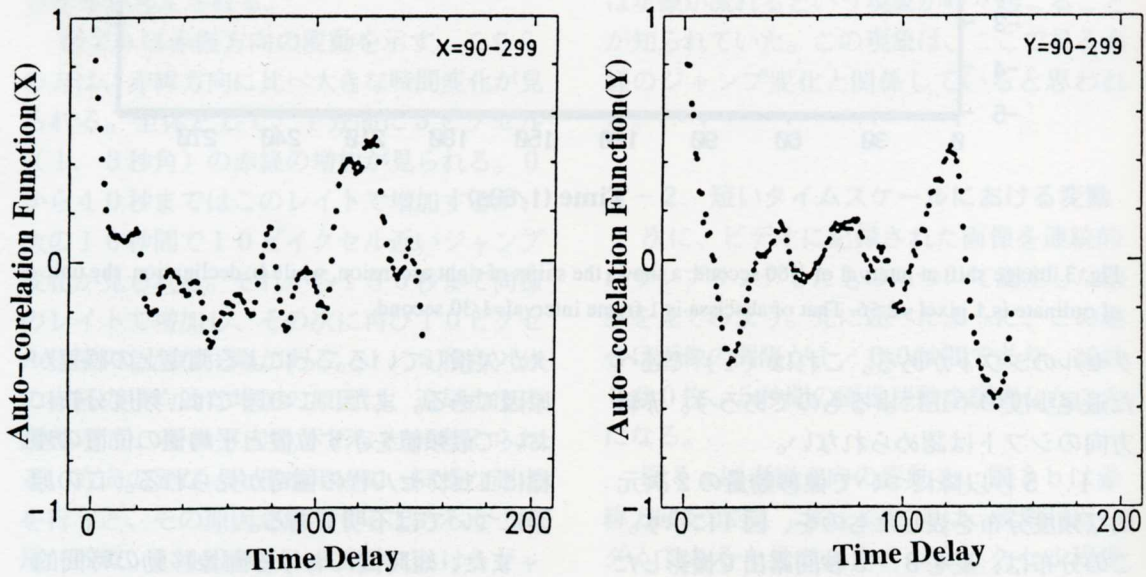


Fig.5. The auto-corelation of the image shifts in the data of figure 3. The right shows the shifts of declination, the left, right ascension. The unit of abscissa is 1 frame interval=1/30 second.

係数をもとめる。図5には横軸にずらせた時間(遅れ)をとり、縦軸に相関係数をとったグラフを示す。なお、この解析では1.5秒以降のデータを用いた。図5を見ると、遅れが0の時に1であった相関係数が約1/6秒で0に降下するのが認められる。この1/6秒という時間がシーイングによる変動のタイムスケールであると考えられる。遅れが2秒(120フレーム)付近で相関係数の山があり、これが赤経方向にも、赤緯方向にも見られる。これは、画像移動に約2秒の周期があることを示すのであるが、これが真の周期であるのか、偶然によるものであるかの検証が必要である。もしこれが真の周期であるならば、その値から見て、建物に固有振動が存在

して、それが像移動の原因となっている可能性がある。

#### 4. 像移動を修正した改良画像

ここでは、先に述べた像移動が実際の天体画像の質にどのように影響を与えるかを実見できるように、ビデオ画像における像移動を補正した上で、合成画像を作ってみた。

図6には、参考として、1フレームのビデオ画像を示す。図7には、録画された土星のビデオ画像を単純に積分し平均した画像を示す。この画像の作成には、PIASの「規格化」という機能を用い(PIAS社; 1991)、19、30フレームの平均値を表している。すなわち、この画像は1秒間の露出



Fig.6. An original frame of the video record (Saturn on 28th August 1992, with the 60cm refractor of Nishi-Harima Astronomical Observatory).



Fig.7. Averaging of 30 frames.



Fig.8. Averaging after the corrections of image shift.



Fig.9. The enhanced image of figure 8, operated with a digital filter of Laplacian type.

時間で撮影した画像に対応するといえる。

図8には、像移動を修正して合成した画像を示す。この画像の作成には、3-2.の測定においてフレーム移動をした30枚の画像を用い、やはり画像処理装置の機能を用いて、それらを積分し平均したものである。画像移動を修正した改良画像では、像のコントラストが上がり、単純平均した画像では見られない、輪におけるカシニの空隙、本体に映った輪の影、本体の縞模様等が認められるようになった。天体の撮影において、ここで述べたような $\pm 1$ 秒角程度の像移動によっても、画像の質が大きく劣化することが、明白であろう。

ここで測定した像移動の変量は、土星の本体程度の大きさを平均した移動量であることに注意しよう。土星の視直径は20秒角程度であり、シーイングの影響は、このような大きなスケールでは $\pm 0.5$ 秒程度であることが分かった。シーイングによる像移動はもっと小さなスケールのものが優勢であり、ここで述べた画像改良によっては、このようなシーイングの影響を除去できない。図8の画像に、さらにデジタルフィルターを操作して、小さなスケールのシーイングの影響の補正をすることができる(横尾他, 1992)。図9には、図8の画像にラプラシアン型のデジタルフィルターを操作した例を示す。この画像では、土星像の濃淡がさらに強調され、模様が明瞭になっているが、強調の度合いが大きすぎて、輪と本体の一部で歪が生じている。デジタルフィルターによる画像改良を過信してはならないだろう。

## 5. 結語

ビデオによる天体の撮像観測の歴史はまだ浅い。ビデオは露出時間が固定しているため、微光天体の撮像はできないが、小さな口径の望遠鏡との組み合わせでも、月や惑星の撮像観測には十分の能力を持っている。撮影

や画像の再生が容易に行え、時系列画像として画像データが保存されていることが大きな特徴である。そして、画像処理装置を用いると容易にデジタル量に変換することができ、画像データを数量的に取り扱えることは、今後、天体観測のさまざまな分野での活用の道が開けることを示す。この特色を活かした基礎的な活用法として、望遠鏡の性能検査のための観測装置として、さまざまな利用法が考えられるであろう。小論では、惑星のビデオ画像における像移動の測定を行った。その結果、天体の撮像において、空間的・時間的なスケールがさまざまに異なったモードの像移動が存在することが分かった。露出時間の長い天体の撮像においては、その間の像移動が画像の質の良否に大きく影響し、望遠鏡の光学的性能の良否と同等な、もしくはより大きな影響を与える。

像移動の原因は、種々の要素が複合されたものであり、単純な測定だけでは究明できないものであろう。しかし、ここで述べた測定で、望遠鏡の機構的・機械的性能の重要性があらためて明らかになった。さらに、望遠鏡を設置する建物の構造もかなり厳密な管理が必要であることも分かった。

像移動を補正する方法が幾つか実用化されている。コンピュータによる追尾制御は、像移動の原因を知って変動の傾向や周期を装置に記憶させておき、その制御のもとに追尾を行う。オートガイダーによる方法は、目的天体の近傍ある星を監視して、サーボ機構により実時間で追尾する方法である。近年、赤外観測の分野で行われているアダプティブオプティクス的手法では、光の位相を合わせるレベルにまで制御のタイムコンスタントを短縮させる技術が用いられている。しかし、像移動の原因が複合的であり、さまざまなスケールの組み合わせであることを考えると、最も基本的な望遠鏡の機構と、それを設置する建物の構造の設計と製作において適切な配慮と



処置がなされていなければならない事はいうまでもない。

また、ここで述べた方法をさらに改善し

て、像移動の性質を解明し、その原因を明らかにすることが必要であろう。

《参考文献》

PIAS社編, 1991, 「LA-525ガイドブック」、PIAS社  
 横尾武夫編, 1992, 「宇宙を観るII」、恒星社厚生閣  
 横尾武夫、松原千敏、前川 文, 1992, 大阪教育大学紀要第三部門, 40, 201