

ドームレス太陽望遠鏡第1光電案内装置諸定数の検定(I)

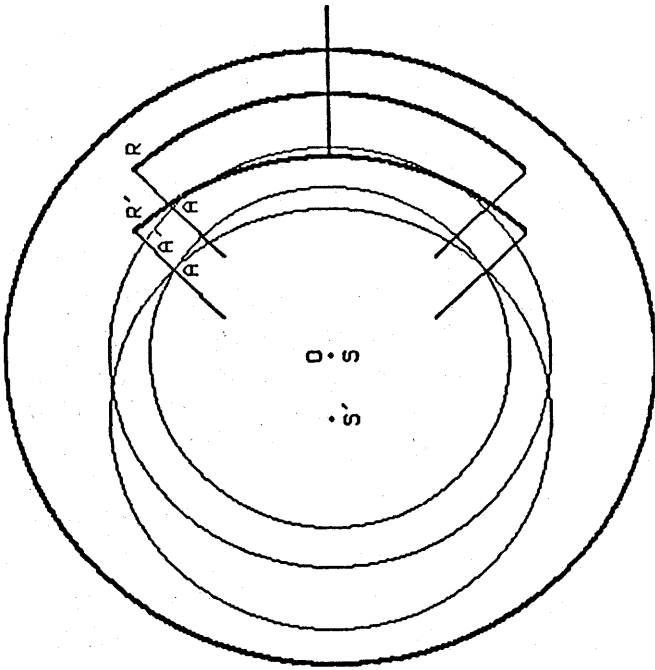
船越康宏(飛騨天文台)

1. はじめに

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡(DST)の第1光電案内装置(PG)は望遠鏡主鏡の焦点面直前にあり、機構的には図1-a.に概念的に示される様に、環状ベアリング(p-スライド)に支えられその動径方向に可動のr-スライドと、その先端にあつてr-スライド軸に対し ± 45 度の角で取り付けられ一次太陽像のリム上互いに約90度隔てた2点の光を取り込む一対のピックアッププリズム及びそれらに続く拡大再結像光学系と最終受光面の光電リニアアレイから成っている。PGには望遠鏡の視点を太陽面観測点の日面座標として読み出す事及びその視点を保持する事(ガイディング)の2つの主要機能があるが、協同観測やデータの相互比較等で最近特に要求の高まっている観測点の位置読み出しの精度を保証するには、PG-pに2個、PG-rに6個の位置とスケールに関する定数の正しい設定が必要である。DST駆動制御システムの更新により駆動中のDST各部諸量の定量的解析が可能となつたのを機会に現在これら基礎量の再検定を進めているが、本稿ではPG-rの6定数の検定の実際とその結果について報告する。

2. 検定定数

PG-rに関する決定すべき定数は(1)r-スライドのエンコーダファクター(エンコーダの1ディジットと天空角との対応付け)(2)r-スライドの原点位置(3,4)左右のアレイ面上での太陽像サイズ(アレイファクター)(5,6)左右のアレイ上の原点である。これら諸量は従前より個々に吟味され十分尤もらしい値に設定されていたが、刻々のエンコーダ値、太陽リム位置のアレイ番地が20Hzステップ毎に数値的に読み出せる様になつた現行システムでは、設計値や機械的組立精度の仮定無しに現状の姿としての総合的再検定が可能である。但し(1)のエンコーダファクターは計算値を十分良い精度で採用出来る。その理由は、DSTでは望遠鏡の入射瞳は主鏡筒内の主鏡焦点面に置かれているので主鏡以後一次焦点面を経てグレゴリー副鏡(S3)に至る間の主光線は全て光軸に平行である。従つて一次焦点面近傍での光軸に垂直な断面内でのPG-rの移動は、焦点面とPG平面との距離に依存せず、拡大率=1.0で一次太陽像の移動として反映される。主鏡焦点距離は最も精度良く測定されている基本量の一つであり、主鏡入射瞳間距離も主鏡を動かさず一次太陽像の合焦機構も無い我々のシステムでは最も高精度に設定され且つ機械的にも安定した量



1-b. Parallel Offset:
 R : Reset Position of PG-r
 R' : Offset Position of PG-r
 S, S' : Solar Disk Center for R, R'
 A' : Offset Array Address for S

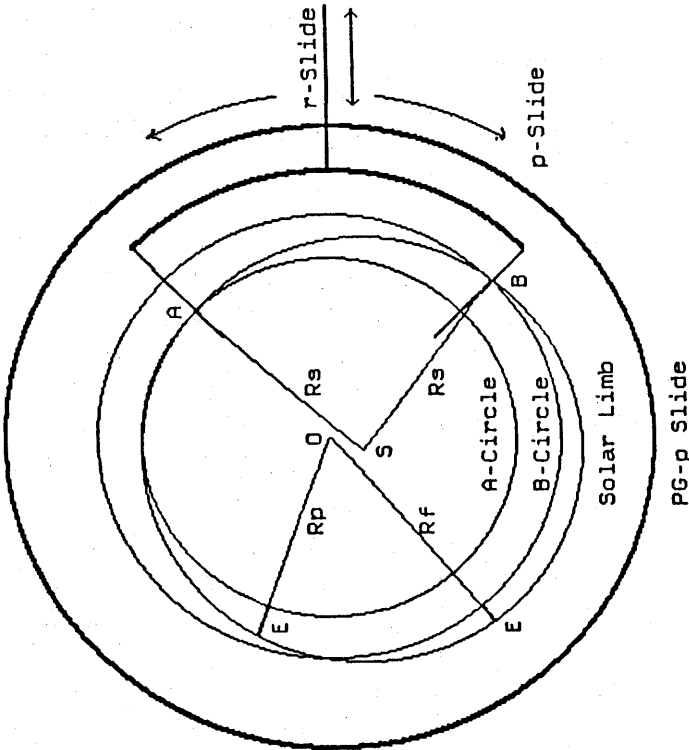


Figure 1-a. Geometry for PG Circle Test:
 O : PG Center
 S : Solar Disk Center
 E : Solar Limb Position on Array
 A, B: Appointed Array Address
 Rp, Rf: Array Radius of A, B
 Rs : Solar Radius

図1. PGのサークルテスト及びパラレルオフセットの幾何概念図。
 正しい設定では、太陽半径Rsの値によらず常にO=Sである。

である。最も大きな誤差要因はPG-rスライド下面の光軸直交性であるが、この利きは悪く、例え30分傾いていたとしても、1000秒のシフトに対し最大誤差0.08秒でr-エンコーダの分解能 0.256秒より十分小さい。これに対しアレイファクターの方は、多数の微小光学素子を離散的に配置した再結像系を前置する為、組立誤差蓄積の可能性があり左右夫々に再検定を要する量である。

3. サークルテスト

検定の出発点は、r-オフセット=0の状態 で一次太陽像の日面中心とPG-pの回転中心とを合致させる事で、もし設定が正しければ、r-オフセット=0の状態 でガイディングを切つてPGを旋回しても左右各アレイ上の太陽リム位置は夫々一定番地に止まったままである。図1-a.はPG近傍の模式図で、一次太陽像はガイディングにより当日の指定されたアレイ番地A(とB;以下特に併記無き限りAはBと読み替え可)上にリムを捕捉され、日面中心(=S)は全ての設定が正しくない限りPG-pの機械的回転中心(=0)とは一致しない。この状態でガイディングを切りPGをダイレクトモードで旋回すれば、各アレイ上に落ちるリムの位置は図2.の14組の何れかのパターンを描く。この時旋回開始時の左右のアレイ番地に対する所要補正量は、幾何学的に $dA=(E_{max}+E_{min})/2-A$ で与えられる。但し、 E_{max} , E_{min} は夫々のアレイ曲線の上下の極値である。左右アレイの指定番地にこの補正を施しサークルテストを繰り返せばアレイ曲線の振幅はシーイングの程度に小さくなる。ここで注意を要するのは、この測定はアレイファクターが小さい($\sim 0.1''$)ので非常に鋭敏だが最終精度は測定時のシーイングとトラッキング精度に依存し、ガイディングを切る直前のシーイングが悪いと最後のガイディング出力が、またトラッキング出力の移行期には移行過程でのフラクショナルな蓄積誤差が太陽像を僅かにオフセットさせる為、指定番地と旋回開始時のリム位置とが必ずしも一致しない事である。後者の効果はサークルテストの1スキャンに要する時間が2分程度と短い上、連続するスキャンに対してもほぼ一樣だから補正は容易だが、前者の影響を小さくしようとガイディング出力を過小に抑えるとガイディングレベルの確定精度が悪くなる。従つて最良結果を得るには好シーイング下での反復測定が必要である。なお、p-スライドの回転の真円度からのずれ及び駆動に伴うガイダー素子の振動はいずれもシーイングに埋没して検出されていない。

4. パラレルオフセット

サークルテストにより可成の程度($R_p \approx R_f \approx R_s$)に振幅が小さくなれば、パラレルオフセットを併用して統計的に処理するのが得策で

PG/SG Circle Test : E = Solar Limb Position on Array
 R0 = Correct r-Reset Position
 R = Incorrect r-Reset Position

A = Preceding Array Guiding Level
 B = Following Array Guiding Level
 Rs = Solar Radius
 Rp = Preceding Array Radius
 Rf = Following Array Radius

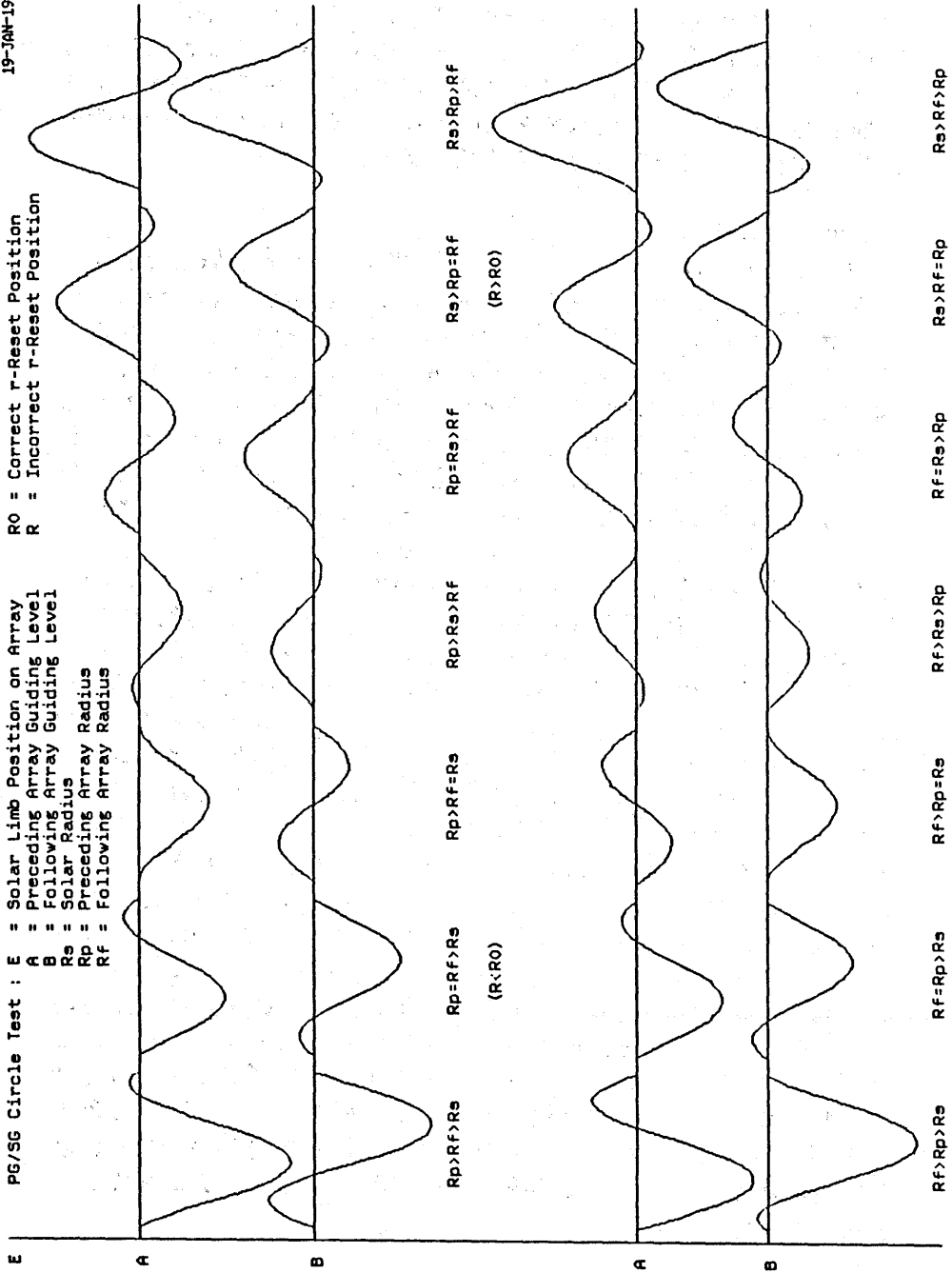


図2. サークルテスト(旋回角360°)により得られるアレイ曲線.

ある。図1-b.に於いて、ガイディングONにてr-スライドを仮定したエンコーダ原点(=R)からdRだけ押し込み $R' = R + dR$ とすると一次太陽像はSからS'に移動する。この状態でガイディングを切りサークルテストを行うと図2.のガイディング半径過小($R_s > R_p = R_f$)の状況に対応し、変移量dRの効果をアレイオフセットの量dAとして読み出す事が出来る。即ち、dRをアレイサイズの許す範囲内で広範に変えて、左右アレイ別にdAをdRに対しプロットし、大きなスパンで両者の関係式を求めれば、dR軸切片の値からr-スライドの原点が、またdAをアレイ番地の形で与えておけば、エンコーダファクターが既知であるから、勾配からアレイファクターが決定される。この時左右アレイによるdRの不一致はアレイの指定番地不良を示すもので、先ずdRに最適整数解を与えてサークルテストを繰り返しアレイ番地を修正する。また勾配の相違は左右のアレイファクターに差異のある事を示すもので、その程度により個別の定数として登録する必要がある。PG平面内での両者の幾何学的関係は、我々の設定条件下では十分良い近似で、 $dR = \sqrt{2} * dA$ である。

5. 実測例と結果

図3.は90年07月28日の実測時のリプレイ画面の一例で、 $dR = +60$ 及び $dR = -40$ のサークルテスト曲線(旋回角420度)が各2例づつ示されており、図2.の $R > R_0$, $R < R_0$ の特徴を良く表している。また更に拡大展開されたリプレイ画面から読み取られた極値の値も記入されている。表1.はその素データで、Rはr-スライドのエンコーダ値、dRは仮定した原点 $R_0 = 62377$ からのオフセット量、dAは当日のガイディングレベルからのオフセット量である。なお当日のガイディングレベルは、 $A = 1099$, $B = 679$ である。図4.は表1.を図示したもので、明らかに雲の影響と思われる異常点($dR = 160$)を除いてフィットした直線も示されている。結果は $dA = 7.4 + 1.748dR$, $dB = 3.5 + 1.785dR$ で、いずれの変数も整数解しか許されない事を考慮して $dR = +2$, $dA = -11$, $dB = -7$ とするのが望ましい。エンコーダ原点とアレイ原点とは互いに独立ではないが、11ビットのアレイの中央付近に原点があり太陽半径変化をカバー出来る事、 $+18'$ 以上のr-オフセットが可能である事が束縛条件である。具体的にはまずエンコーダ原点を設定し、これと組をなす左右のガイディングレベルを見出し、曆から測定時の太陽半径 R_s を得て、平均半径との差/アレイファクターが $\Delta A = A - A_0$ となる様に左右別々に A_0 を定める。なお図4.では勾配が左右アレイで僅かに異なり、その差異は太陽半径の年変動32秒に対し $\Delta A = 310$, $\Delta B = 316$ ピクセルで最大6ピクセル($0.6''$)の誤差に相当するが、今回の測定精度では敢えて個別のアレイファクターを導入せずとも両者の平均値を採れば最大誤差 $0.3''$ で、r-リセットの精度 ± 1 ディジ

$\Delta R = \pm 50 (+60, -40)$

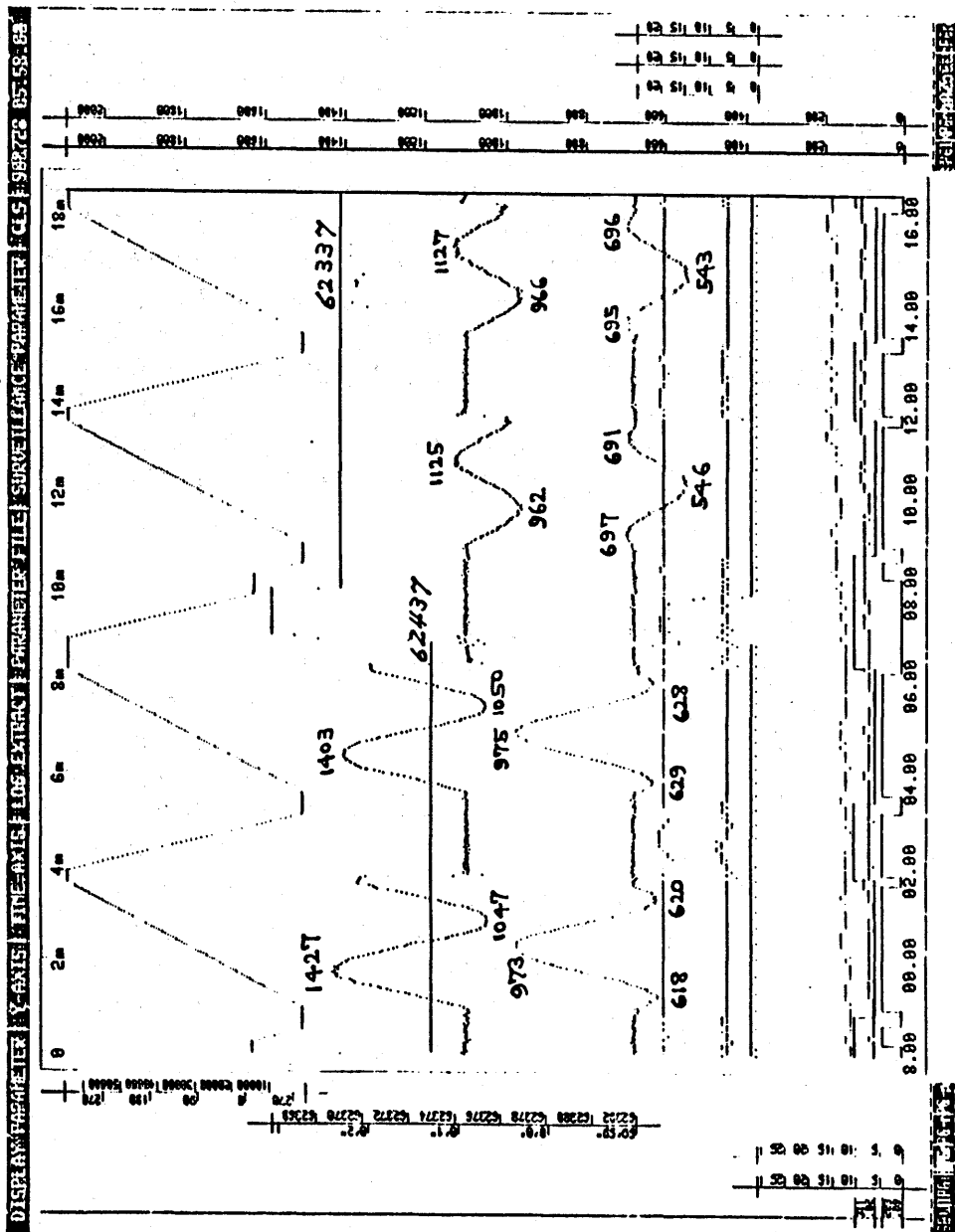


図3. 実測例. 中央の上下2本の曲線が左右アレイのアレイ曲線. 他に(上から)PG-p, -rのエンコーダ値, 方位・高度・PG-pのトラッキング出力, 左右アレイ上の天空輝度, ガイディング及びPG-pダイレクト駆動のON/OFF状態が記録されている.

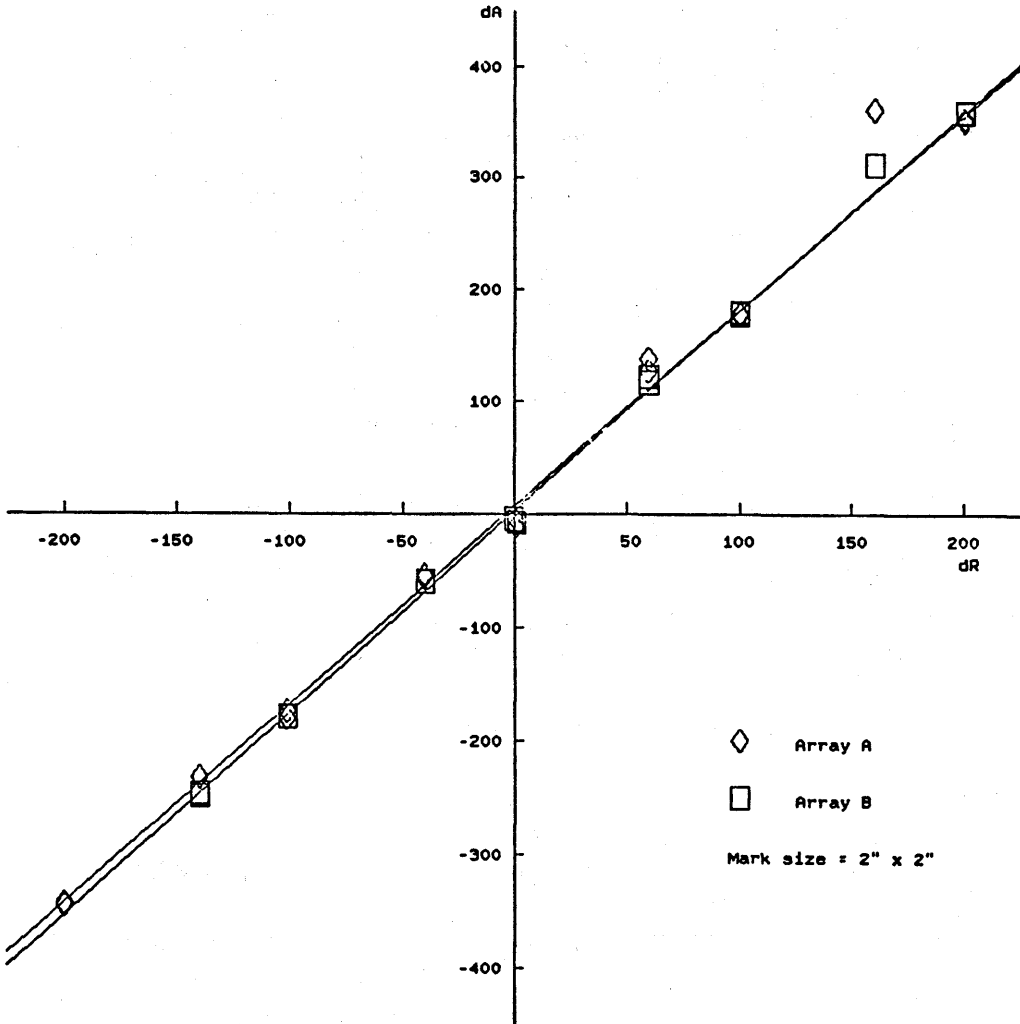


図4. dR-dA 図. dR軸の単位はr-エンコーダディジット, dA軸の単位はアレイ番地 (ピクセルナンバー) で, いずれも当日の指定位置からの変移で与えられている. 2本の直線は, dR=160の点を除いて左右別にフィットした最小自乗近似解.

ットと同程度となり、表示分解能 1秒より十分小さい。従ってPG-r
 による位置読み出し精度は表示分解能まで正しく、多くの場合シー
 ングリミテッドであると結論出来る。

R	dR	Array-A			Array-B			Remarks
		E _{max}	E _{min}	dA	E _{max}	E _{min}	dB	
62177	-200	1226	285	-343.5				hazy
		1207	301	-345				hazy
62237	-140	1204	530	-232	760	100	-249	hazy
		1198	534	-233	758	107	-246.5	hazy
62276	-101	1157	680	-180.5	728	272	-179	
		1165	685	-174	730	271	-178.5	
62337	- 40	1125	962	- 55.5	694	546	- 59	
		1127	966	- 52.5	696	543	- 59.5	
62377	0	1114	1080	- 2	690	660	- 4	
62378	+ 1	1105	1072	- 10.5	687	657	- 7	
62437	+ 60	1427	1047	+138	973	619	+117	
		1403	1050	+127.5	975	628	+122.5	
62477	+100	1516	1036	+177	1089	625	+178	
		1532	1023	+178.5	1107	610	+179.5	
62537	+160	1933	987	+361	1409	571	+311	cloudy
62577	+200	1963	942	+353.5	1543	534	+359.5	hazy
		1937	963	+351	1517	558	+358.5	

表1. 1990年7月28日の実測例

6. おわりに

DSTのPGや作業焦点直前にある類似機構の第2光電案内装置SGの
 検定法をマニュアル化する意味も兼ねて本稿を草した。PGの場合、
 一次太陽像半径に比しアレイサイズが大きいので、半径の周年変化
 はアレイ番地の変更で処理している。従って最良のアレイファクタ
 ー検定は、太陽半径最大最小の頃の半年毎に測定を繰り返し太陽半
 径そのもので確認する事である。しかしこれにはSG系をも含めた全
 システムの総合検定が必要で、目下の所は次善の策として $dR = R_s$ と
 してリムを視野中心に捉え、分光器入射口に置かれた参照十字線に
 リム像が接する様にクーデ鏡(S4)を微調整して、PG-pを回転した場
 合の相対ずれの有無からその妥当性を判定している。なお、ここ
 では触れなかったPG-pの検定法は別稿としたい。またVS用SGでは、都
 合6つの設定半径に対し計22個の定数の検定を要するが、これらに

ついても順次作業を進めたい。

参考文献

Nakai, Y., 1981, New Domeless Solar Tower Telescope in Hida Observatory, in Proc. Japan-France Seminar on Solar Physics, eds. F. Moriyama and J.C. Henoux, pp. 275-284.