

# 大型回折格子の必要性について

京大理学部附属天文台  
中井善寛

## I. はじめに

1988年夏、ドール太陽望遠鏡の垂直分光器用の308×408mm (632g/mm、57°) 回折格子が完成しインストールされた。これによって 14m 分光器は  $m=6$  次において 0.1Å/mmの分散を示す。この回折格子の製作は1973年に始まり15年の歳月を経ている。現在エッチング格子の研究が進められているが実用化にはほど遠いものである。この15年間に得られた資料、その他普通では到底知る由もない機械精度、製造の実際面などを記して置く。新しく大型回折格子を手にいれる必要に迫られたときにどうすれば良いかのヒントに成れば幸いである。

## II. 天文学的要求

回折格子に対する要求は、実験室で分析機器に使用されるものと望遠鏡に取り付ける星用の分光器に使用されるものでは、大幅に異なる。前者は主として高分解能輝線スペクトルを利用する事から、入射光量は充分とれるので高分解能を要求しており、後者は主として暗い天体の吸収線スペクトルを対象としているので、分解能は二の次として(良ければ良いに決まっているが)、分光器の明るさ(Luminosity)を特に要求している。<sup>1)</sup>

スペクトルの限界等級は、望遠鏡の口径、サイトのシーイング(星像の大きさ)、分光器の光特性・検出器効率、回折格子の特性により決定され、定量的に解を得る事が可能である。<sup>2)</sup>

スペクトルの限界等級の内、回折格子に関する条件項  $m_g$  を取り出すと、

$$m_g = C + 2.5 \log (D \varepsilon / \phi^2) \quad (1)$$

ここで、 $D$ =コリメタービーム直径、 $\varepsilon$ =フック効率、 $\phi$ =角分散 (Å/radian) である。分光器が最適効率を得るためには、回折格子に付いて  $(D \varepsilon / \phi^2)$  を最大にする必要がある。勿論、コリメタービームは円形で回折格子のルールドエリア(Ruled area, 溝の線引部分)を照射しており、入射条件は リットロウ(Littrow)条件を満たしているものとする。

$(D \varepsilon / \phi^2)$  は次のように書ける。

$$(D \varepsilon / \phi^2) = (4W \varepsilon / \lambda^2) \left[ \frac{1 - \cos^2 \theta_B}{\cos \theta_B} \right] \quad (2)$$

ここで、 $\theta_B$  = ブレズ角、 $W = D / \cos \theta_B$  は線引方向の長さ（幅）である。  
(2)式から、波長 $\lambda$ が短くなると（大気の吸収などを考えにいれずに）分光器内の明るさが良くなる事が分かる。また、 $\theta_B$  が大きくなると大括弧内の値は  $[1 / \cos \theta_B]$  で近似される。従って、明るさを向上させるためには、「高いブレズ効率を持つように作られた、大きいブレズ角 (Blaze angle) の、しかも出来る限り大きな寸法の回折格子が必要である」事が分かる。

図1にブレズ角と  $[\sin^2 \theta_B / \cos \theta_B]$  の関係を示す。<sup>1)</sup> 図中、大きい  $\theta_B$  を明記するために  $\tan \theta_B = r$  とおき、ブレズ角度の代わりに  $r$  で示している。 $r \geq 2$  の回折格子を  $\text{エッセル}$  (echelle) という。

普通の回折格子は、ブレズ角がおよそ  $\theta_B = 15^\circ$  にある。 $\text{エッセル}$  は一般に  $r = 2$  従って  $\theta_B = 63^\circ$  にある。この例からみて、 $\text{エッセル}$  は、リトモードの配列で、分解能において約 3.2 倍 ( $\sin \theta_B$  の比)、分散において約 7.3 倍 ( $\tan \theta_B$  の比) 普通の回折格子に優れていることが分かる。

飛騨天文台の 14m 垂直型真空分光器には 2 個の回折格子がある。ルーレットは  $308 \times 408 \text{mm}$ 、溝本数は  $632 \text{g/mm}$  である。ブレズ角は、夫々  $15^\circ$  と  $57^\circ$  である。同一効率で製作されているとすれば、 $57^\circ$  の回折格子が 1.8 倍明るい事になる。

### III. 実際に生ずる問題点

#### 1) ブレズ角の問題

Babcock のルーリング (Ruling) は殆どが  $r = 1.2$  ( $\theta_B = 50^\circ$ )、Harrison のルーリングは殆どが  $r = 2$  ( $\theta_B = 63^\circ$ ) 付近にあった。両者の明るさの比は 2 倍になる。更に 2 倍向上させるためには  $\theta_B = 76.5^\circ$  にする必要がある。

$\theta_B$  を大きくすると、フリースペクトラルレンジ (Free spectral range) が狭くなり、オーダーソーター (Order sorter) 等を分光器の設計要素として付加する必要が出てくる。但し、 $\text{エッセル}$  回折格子は溝数が  $30\text{--}300 \text{g/mm}$  と少なく、フリースペクトラルレンジは波長  $\lambda$  に比例し、 $\text{光学的深さ}$  (Optical depth)  $t = d \sin \theta_B$  に反比例する。ここで  $d$  は格子常数 (溝の間隔) である。 $\text{エッセル}$  分光器の設計に当たって、クロスエッジ等共々これらのパラメータの良い組み合わせをとることにより希望の次数、逆分散、波長範囲、イメージサイズ等を得る事が出来る。

更に、 $\theta_B$  を大きくすると、ルーリングの場合に、溝の断面形状を塑性変形に依り成形するので、ダイヤモンドツールの形状、圧力、更に加工されるアルミ蒸着面として、面精度がよく、均質でしかも厚い蒸着層を必要とするので困難が倍加する。

(注  $30 \text{g/mm}$  の  $\text{エッセル}$  の山の高さは、 $17 \mu\text{m}$  になる。実際の蒸着膜厚はこの 2 倍以上必要で、面精度も  $1/20$  fringe 必要とされている。)

#### 2) ルーレットの寸法の問題

ルーレットの寸法はブレズ角とコリメタービーム直径が決まれば確定するものである。但し、大型分光器の場合には、設計に当たって Milton Roy 社 (旧

Bausch & Lomb社)の製品 *カウグ* と首っ引きで希望に近い格子を探すわけだが、希望とかけ離れた既製回折格子の使用を余儀なくされるのが実状である。

分光器要素から *ブレス* 波長、格子常数、*ブレス*角が決まり、溝の長さ (Groove length = コリメタービーム 直径) を選択し、満足する線引き方向の幅 (Ruled width,  $W = D / \cos \theta_B$ ) が表中から見つければ問題がない。無ければ特別注文するか *ダブルイット* 回折格子から選択するか、最悪の場合は *モザイク* 状に数枚の回折格子を合成する事により解決する事になる。

#### IV. モザイク回折格子の歴史

以上で分かるように、*モザイク* 回折格子は最悪の選択であり技術的な *レベル* が要求を満たす事が出来ないときに利用される苦肉の策である。この技術を使用すると同時に、1mm でも大きい回折格子を製作する技術を開発する必要がある。

歴史的に有名なモノとして、Hale 望遠鏡の *カセグレン・クーデ* (Cassegrain-Coude)  $f/30$  焦点に 4 枚合成の回折格子が使用されていた。コリメタービーム 直径は 30cm である。技術的背景として、開所式は1948年6月3日である。<sup>3)</sup>

( 後日、MIT-C イソソの第 2 番目製作の回折格子 300×320mm, 452g/mm, *ブレス*角:15° に取り替えられた。<sup>6)</sup>)

また 1989 年に完成した Canada-France-Hawaii 3.6 m 望遠鏡の *クーデ* (Coude)  $f/4$  分光器に使用されている 300×600mm *エシル* は、150×300mm, (312g/mm) の 4 枚の回折格子を *モザイク* 状に合成したものである。<sup>4)</sup>

上記の *モザイク* 回折格子は、それぞれ 2 軸の微調整装置を持ち、回折格子台の回転軸に平行な *y* 軸回りの回転及び溝面にあつて溝に直交する水平軸 *x* 軸回りの揺みで夫々 0.1 秒角、1.2 秒角の精度で調整可能である。焦点面にて *ハルママスク* を併用して相互の関係を調整する事が可能であるが、溝配列の位相の調整が行われていないので、分解能は 1 面単独の場合に比べて劣る事になる。なお、上部右の回折格子の *ハルママスク* は焦点調整のため 2 分割されている。

トニオ天文台の 1.2m 望遠鏡の *クーデ* 分光器 (視線速度測定用) に 4 枚の 150×150mm (831g/mm) 回折格子から成る *モザイク* 回折格子が使用されている。架台装置は Hale 望遠鏡と同じであるが、特徴として、1 人で約 10 分間で調整できるよう、潜望鏡式の光学系と 4 開口を持つ *マスク* が別途用意されている。<sup>5)</sup>

#### V. 製作上の問題

*モザイク* 回折格子は、1 枚の回折格子で コリメタービーム を *かゝ* 出来ないときの便宜的な方法で、出来れば *かゝ* 出来る大きい回折格子を使用する事が望ましい。使用に当たっては充分な配慮が必要である。以下に現存する *ルリク*

エンジン、人的問題及び将来の大型回折格子製作の可能性について考えたい。

## 1) ルーリングエンジン (Ruling Engine) (光波干渉制御型超精密刻線装置) の問題 (ルーリング可能な寸法その他)

世界には、現在実働可能なルーリングエンジンとして、MIT-B と MIT-C の 2 台のエンジンがある。MIT-B エンジンは D.G.Harrison により 1968 年に設計製作された。このエンジンの能力は  $204 \times 408\text{mm}$  で、Bausch & Lomb 社が購入し Rochester の工場地下室に設置され 1971 年よりエシールのルーリングを開始した。その後、溝の長さ (stroke=Groove length) を  $306\text{mm}$  に延長し、溝間隔をエシールの  $316\text{g/mm}$  より細かくできる様に制御装置を改良した。現在、ワールドエリア  $306 \times 450\text{mm}$  まで可能である。このエンジンは一時郊外の工場に移転されていたが、再び元の建物に持ち帰り、ダイヤモンド駆動装置とエンジン間の振動防止装置、リードスクリューの駆動にかかる Harrison の気圧補正装置付きレーザ測距駆動補正システム、 $1/100^\circ\text{C}$  温度制御システム等が稼働している。大気中の光波長は、気圧・湿度・温度以外にも、水蒸気量、炭酸ガスの圧力にも敏感に反応し変化するので、ルーリングが長期に亘り気象変動が大きいときには補正する必要がある。<sup>6)</sup>

MIT-C エンジンの能力は  $460 \times 813\text{mm}$  で、最初に試験的に Bausch & Lomb 社の  $309 \times 370\text{mm}$  ( $316\text{g/mm}$ 、 $11^\circ$ 、 $1.25\mu\text{m}$ : ブレース波長) マスターを製作した。これは KPNO の 84-inch 等大型望遠鏡のクーデ (Coude) 分光器に使用する事を意図しての作品である。第 2 作は  $300 \times 320\text{mm}$  ( $452\text{g/mm}$ 、 $15^\circ$ 、 $1.15\mu\text{m}$ : ブレース波長) で、Hale 望遠鏡のクーデ分光器用のものである。第 3 作は  $310 \times 408\text{mm}$  ( $632\text{g/mm}$ 、 $15^\circ$ 、 $8000\text{\AA}$ : ブレース波長) で、ファイブピッチでしかもダイヤモンドがなぞる距離が  $76\text{km}$  に及ぶ偉大なる芸術作品である。<sup>7)、8)</sup>

リトモードにおいて、与えられた波長に対する分散は  $\tan \theta_B$  に比例し、分解能は  $W \cdot \sin \theta_B$  に比例する。分散・分解能に付いて溝間隔は関与しない。従って、高分散、高分解能を得るためには大きくしかもブレースアングルの大きい回折格子が必要である。選択に当たっては、ファイブピッチは低次で使用し、粗いのは高次で使用する。エシール分光器では、高次の分散を使用するのでリースペクトラムレンジが狭くなる。ワールドエリアが大きくなり、ピッチが細かくなり、ブレースアングルが大きくなるほどルーリングは困難になる。

## 2) 回折格子はどのようにして作られるか。

さきに述べた通り、回折格子の製作と、レプリカ (Replica) の製作は技術の域を越えて経験と勘に頼った職人芸の域にある。私が回折格子の製作に関わった 1973 年は MIT-C エンジンがルーリングテストを終えて MIT から KPNO に移転され Dr. Don Hall によって意欲的に大型回折格子を製作しようとしていた時期で、Bausch & Lomb 社の Dr. Loewen も C エンジンを何とかモノにしようとか

なりの時間を割いていた頃である。マスター・プラックの蒸着も均質なアルミニウムの層が出来ず、アモルファスな面を作るために金、プラチナ等の貴金属を蒸着したりしていた。マスター・プラックの用意からダイヤモンドの設定まで実務面はBaush & Lomb社のR. S. Wileyに頼っていた。この一連の計画の中に大型天文用回折格子の計画があり、ドーム太陽望遠鏡の垂直型真空分光器の高分散用にマッチした回折格子 300×400mm (632g/mm、57°) も含まれていたので参画した。後に、同一仕様で寸法が小型のレプリカを希望するグループが世界中で3組もある事が分かった。(東京天文台, Meudon Observatoire, KPNO/Pierce)

Baush & Lomb社でも、大型回折格子は自社のBエッジンよりもむしろ寸法的に余裕のあるCエッジンで製作しようと努力した。この計画は1981年までに数回の試みがなされた。この年の夏のトライアルでは、原因不明の「水平方向のバンドとヘリンボーン(Herringbone)状の模様」が表面にみられた。ダイヤモンドのジャックやスキップに因るものと思われる。これは、速度、セッティング、アルミ蒸着面の状況等の相互作用による系の共振が原因と思われる。速度を下げる事で現象は消えた。このヘリンボーン模様は、Dr. D. Hallと話し合ったが原因がはっきり解明できなかった。その後、Cエッジンはスケジュール通り小型のエッジンの製作や、大型の試作に使用されている。原寸より小さなレプリカを希望する者は出来る限り悪いところを避けてレプリカを作り多少の我慢をして実用に供している(上記の前二者)。大型のルーリングには、工期短縮のためダイヤモンドの速度を早くしても熱や振動の問題が発生するため高々10ストローク/分程度であり、一面終了までにおよそ18日掛かる事になる。現在では、親シの送り誤差を補正するレーザー装置に温度、湿度、気圧等の外乱補正をしているが、実際には完全に補正しきれないので、作業期間中の周囲の環境変化の記録として表面模様(溝幅の斑、変化等)が現れる。

1984年、Dr. Loewenと協議の上、大型回折格子のルーリングが可能のようにCエッジンの性能を向上し、57°太陽回折格子をスケジュールに再度組み込むようにKPNO台長Prof. J. T. Jefferiesに申し入れた。彼は、過去の記録を調べ、暴風雨の通過後の高湿度時に溝間隔の増減が起こる事を知り、その対策としてDrs. D. Schrage, K. Pierceとも相談して大型の除湿器の設置を行った。また、K. Pierceはこの格子の完成のために、フレズ角と溝数の減小を提案してきたが、2,3のテスト後仕様変更無く試作するように依頼した。その後、大幅な改造がルーリングエッジン本体にも加えられ我々のグレーティングのルーリング予定は11月分のスケジュールに組み込まれた。

1985年は、画期的な年である。Baush & Lomb社の解析機器部門がMilton Roy社に合併された。Bエッジンも郊外の工場から元のRochester市街地の煉瓦作りの建物の地下実験室(DAVID RICHARDSON GRATING LABORATORY, 1966)に搬入され、温度制御(1/1000°C)、振動対策、駆動制御装置、レーザー干渉装置等が一新された。

1987年、5月にKPNOにて再度且つ最終的なスケジュールが確定した。また、5月を以てDr. LoewenがMilton Roy社を定年退社する事になった。その後

名誉副社長として指揮を取り事務室も同じ所にあった。少しは時間的余裕が出来て Rochester 大学で教鞭を取ったりして悠々自適の日々を送っている。11 月には再度京都を訪れ更なるトライアルの申し出があり、熟慮の末、翌年のトライに同意し計画を進める事とした。

1988 年、3、4 月の 2 回のルリグ (B エンジンによる) の結果、8 月、15 年に亘るプロジェクトは成功裡に MR-105 回折格子 [308×410mm (632g/mm、ブレス角:57°)] の完成に依って幕を閉じた。検査の上、カルツァイス・オーバーコッパン本社に送られ (写真 6)、セルに支持されるためのソケットが接着され飛騨天文台に送られた。ここで最終的にセルに組み込まれ垂直真空分光器に設置された。<sup>9)</sup>

以上のように、新しい回折格子を製作するのはエンジン、人間関係、会社の経営方針、職人の有無その他諸々の要素が有機的に絡み合っておりこんがらがった綾取りのように難しいモノである。今一度同じ条件で MR-105 を B エンジンでルリグしても成功するかどうかは未知であると言うのがルリグの難しさで、又、リソグラフィ製作に当たって 100% 成功の保証は何処にもないと言うのが回折格子製作の実状である。未だに C エンジンの調子は大型回折格子の製作に適当かどうか分からない。移転の時の何かは尾を引いているのかも知れない。しかし、製作に当たって、ただ言える事は、忍耐力と時間が無限に近く必要という事である。これに耐えられる者のみが最後に勝利を得る事が出来る。

### 3) MR105-1-1-2 大型回折格子の検査結果

回折格子のルリグは 308×410mm である。ブレス角は 57°、632g/mm である。この回折格子は、Milton Roy 社からカタログ番号 73-45-571 として販売される。

回折格子は、Milton Roy 社にて検査された。インターフェログラム検査はもっとも単純で、ルリグの質をはっきりさせる重要な検査である。この検査で、回折格子は干渉計の中で、使用する最大の角度に設置される。第一の検査では平均的なフリッジパターンが溝に直交するようにしてある。溝の長さに沿っての各部の分散方向への移動 (誤差) は溝と平行な方向へのフリッジの移動となって現れる。第二の検査ではフリッジパターンが溝の長さ方向に平行になるようにしてある。この検査は溝の直線性と溝の深さの変動について判定できる。理論値に近い結果を得るためには、溝の直線性と平行性を  $< \lambda / (20 \times \sin \theta_B)$  以下にする必要がある。ここで  $\lambda$  は使用する最短の波長とする。実際には 53.1° にセッティングされ、4 次のオーダーにて波長 6328Å のインターフェログラムが撮影された。写真 1、写真 2 に第一の検査の結果を、写真 3 に第二の検査結果を示す。

これらの写真から得られた波面誤差は、ルリグの誤差だけでなく、マスターブラックとルリグした表面コートの不完全さ等すべてから発生するものである。

干渉縞の揺れの誤差を  $0.3 \lambda$  とすると、平行度の誤差はおよそ  $1000 \text{ \AA}$ 、即ち、 $1/6 \lambda$  となる。

$\lambda/4$  は、カルツァイス (ドイツ) にて平面度の検査がなされた。インターフェログラムを写真 4 に、ホログラムを第 2 図に示す。

#### 4) 今後の大型回折格子入手の可能性

回折格子製作の世界的な環境は以下の通りである。

1) 現在利用できる エンジン で、安定しているのは Milton Roy 社の MIT-B エンジンである。ルーラーは最大  $306 \times 408 \text{ mm}$  である。線引きの方向は  $17^\circ$  であるが、ダイヤモンドの設定やブラックのテスト・ルーラー用に幅を見込んである。

2) マスター・ブラックの表面蒸着は、純度の高いアルミニウムを高真空中で制御しながら蒸着する。現在、 $30 \mu\text{m}$  厚まで可能である。ピッチの粗い高ブレース角のエンジェルでも可能な厚さである。

3) ブレース角は、 $76^\circ$  まで技術的に可能である。但し、現在関与している関係者は 59 才以上の年令で、完成までに余裕がないかも知れない。しかしこれを得る事に依って効率は Harrison の 2 倍になる。トライの価値は充分にある。

4) KPNO は、Dr. Wolf によって C エンジン を運用しているが、アクビティは以前より下がっている。1999 年を目標に KECK 望遠鏡の分光器用の 3 枚のエンジェルを合成した  $2.6 \text{ m}$  幅のモザイクが計画されていた。詳細は不明であるが、ピッチは相当粗いモノと思われる。

5) モザイク格子の製法として、大きな Zerodur の上板の上に一つずつ相互の関係を調整しながら楔状の Zerodur で保持し固定していくのがベストである。機械的な調整は長時間の観測中に安定性が保てない。<sup>9)、10)</sup>

6) ホログラフィック・レーティングに付いては 1967 年頃から研究が行われており、レーザー光線とフォトリソ材料の改良に依ってその後一段と改良が加えられた。1972 年には Goettingen 大学天文台で  $200 \text{ mm}$  幅の反射平面回折格子が製作試験されている。<sup>11)</sup>

イオンビーム加工法によるブレースド・ホログラフィック・レーティングが島津製作所から製品化されて発売された。現在は最大寸法  $58 \times 58 \text{ mm}$  と小さい。<sup>12)</sup> Milton Roy 社でも大型のものを目標に研究を続けている。<sup>10)</sup> この方法によると、原理的にルーラー溝間隔の周期的誤差が無くなりそれに伴う Satellites, Ghosts, Grass, Scattered light が減少するので将来性に期待したい。

## VI. あとがき

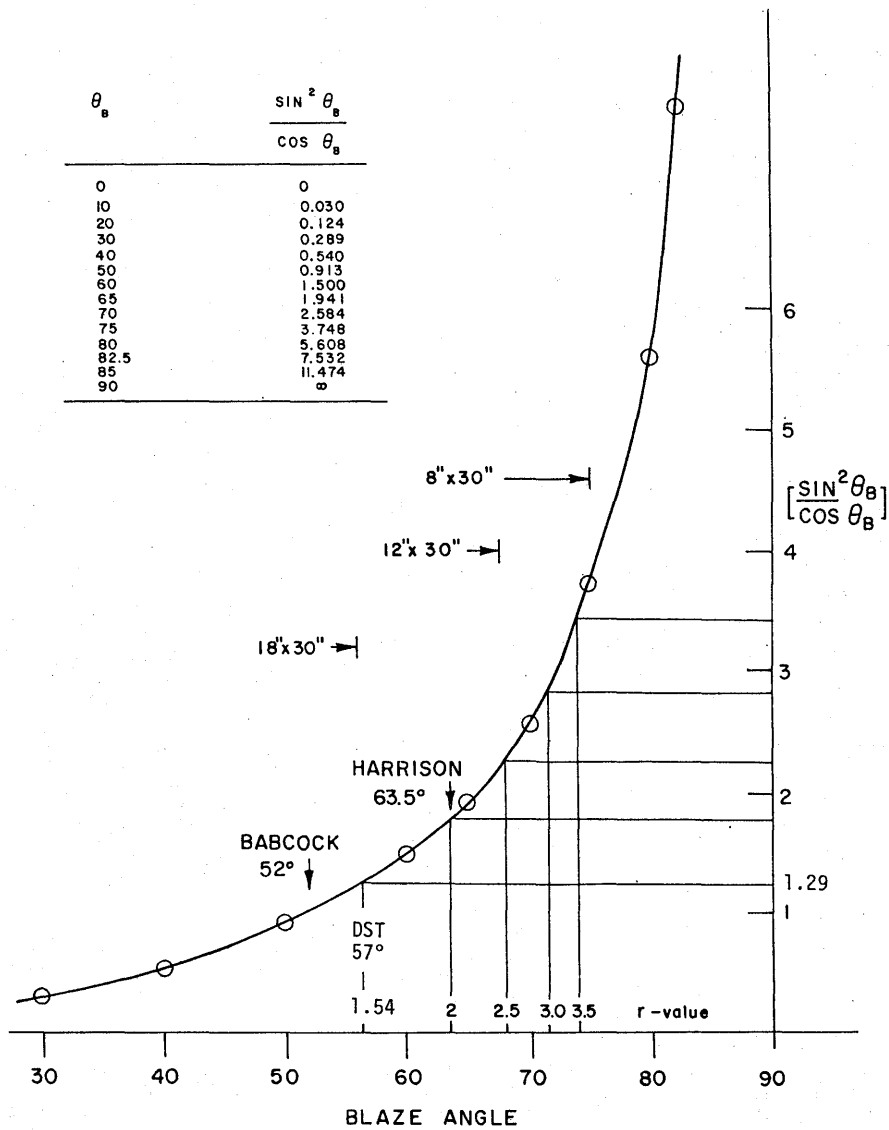
回折格子の製作が非常に困難である事は、アルミニウムの皮膜にダイヤモンド・ツールにより正確な溝を塑性変形にて作る事と知る事により分かる。また、溝の形状、直線性、面精度が波長以下の精度を持って  $80 \text{ km}$  も続くことを知れば

なおのことである。ドーム太陽望遠鏡のプロジェクトを開始したときに天文学的な要求から  $0.1\text{\AA}/\text{mm}$  の分散が必要となった。当然光路の真空化が必要だし、低分散にしてハリグラフとして使用する事からも、スリット高最小 60mm の要求が出た。分解能からビーム径 300mm $\phi$  が確定した。ここでエッチ回折格子の使用を断念した。この時点では、300mm高の回折格子は $15^\circ$  の回折格子（しかもウチカ製作時の事故で表面が化粧品をぶちまけたような汚れのある）しか存在しなかった。途中DST完成間近になっても、 $57^\circ$  の 150 $\times$ 200mm の回折格子を 2 枚張り合わせる案やダブルグレイティングを使用する案、焦点距離を短くする案などが提案された。関係者でも、この回折格子が完成するとは誰も信じていなかった。夢の[Big Solar Grating] と多少の皮肉を込めて愛称されていた。これが実現したのは、ひとえに Baush & Lomb 社（後の Milton Roy 社）副社長 Dr. Loewen、カルツァイス 社副社長 Dr. Dantl（当時、現スイカルツァイス社社長）、技術部長波木泰雄氏のバックアップ、直接製作に当たった Bausch & Lomb 社の Mr. Wiley の努力によるものである。また、KPNO の C エンジンのスケジューリング調整、使用に当たっての便宜供与などに台長 Dr. Jefferies、Dr. D. Hall（当時）等が多大の努力を尽くされた。以上の方々及び直接間接的に支持して頂いた方々に改めてここにお礼を申し述べる次第である。

## VII. 参照文献

- 1) Learner, R. C. M., AURA Engineering Technical Report No. 39, 1972.
- 2) Baum, W. A., Astronomical Techniques, Ed. Hiltner, W., p13-17.  
Vol. II of Stars & Stellar Systems, Chicago Univ. Press, 1962.
- 3) King, H. C., The History of the Telescope, p. 412, 1955.
- 4) Grundmann, W. A., Moore, F. A., Richardson, E. H., Proceedings of SPIE, Vol. 1235, p577-586, 1990.
- 5) Richardson, E. H., ESO/CERN Conference on Auxiliary Instrumentation for Large Telescopes., GENEVA, May 2-5, 1972. p285-290.
- 6) Stroke, G. W., Encyclopedia of Physics, Ed. Fluegge, S., Vol. XXIX, Optical Instruments p. 701., Springer-Verlag, 1967.
- 7) Loewen, E. G., The Advent of Large Gratings for Astronomy, Bausch & Lomb.
- 8) Harrison, G. R., Applied Optics, Vol. 12, p. 2039-2048, 1973.
- 9) Loewen, E. G., Letters and discussions.
- 10) Wiley, R. S., Discussions on acceptance test.
- 11) Schmahl, G., Rudolph, D., ESO/CERN Conference on Auxiliary Instrumentation for Large Telescopes., GENEVA, May 2-5, 1972. p. 209-215.
- 12) Sano, K., Koike, M., エレクトロニクス, p. 98-104, Nov., 1985.





第1図 フレズ角と効率係数  $\left[ \frac{\sin^2 \theta_B}{\cos \theta_B} \right]$  の関係を示す。

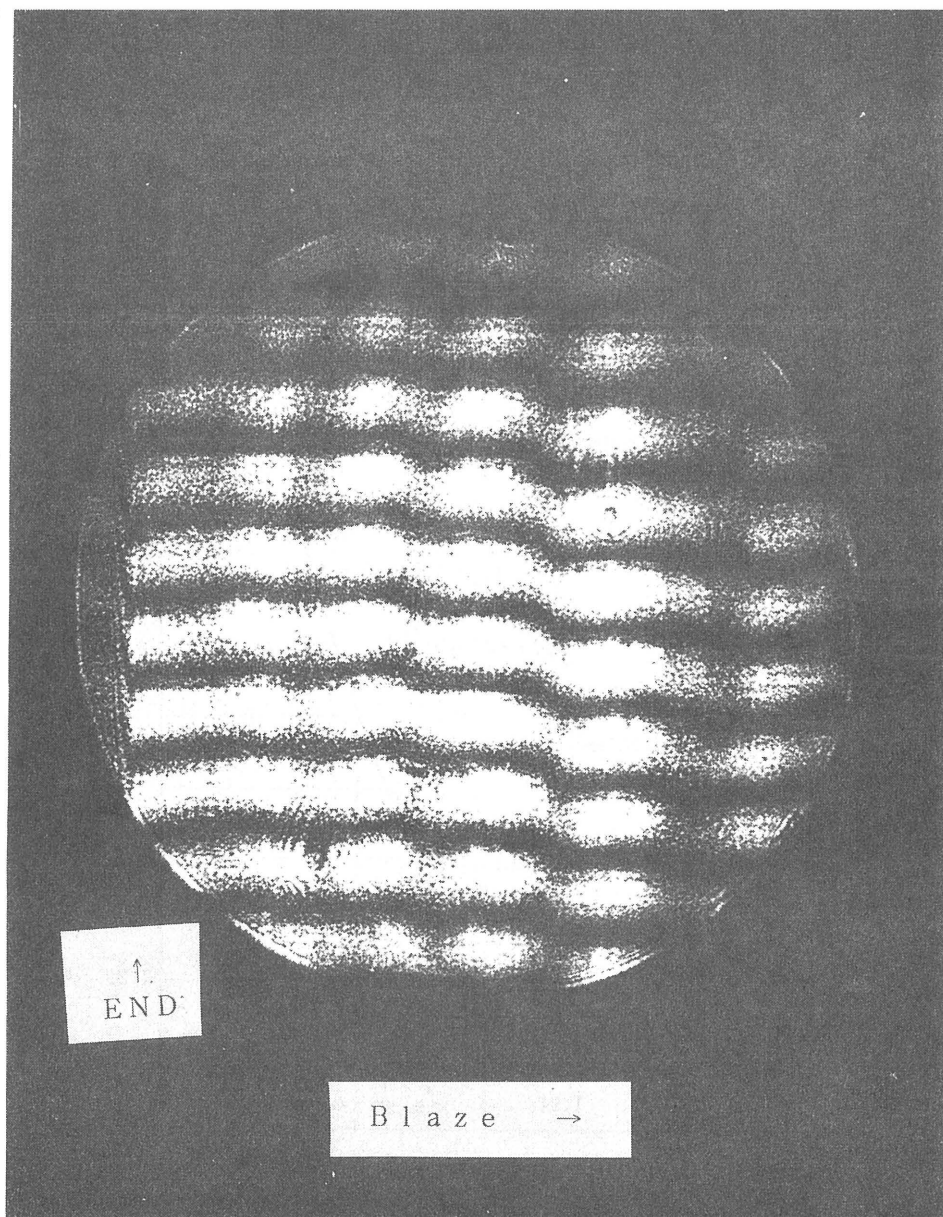


写真1. ミトROI社にて撮影された回折格子 MR105-1-1-2 のイタ-フrogram。  
写真1～3は同一の設定条件で取られた。即ち、波長6328Å、4次のホ-グ-でブ  
レ-ズ角53.1° にセツする。干渉計の光束が小さいので左右を2枚に取り分けて  
ある。フリヅパター-が溝に直交しているもの。(左側)

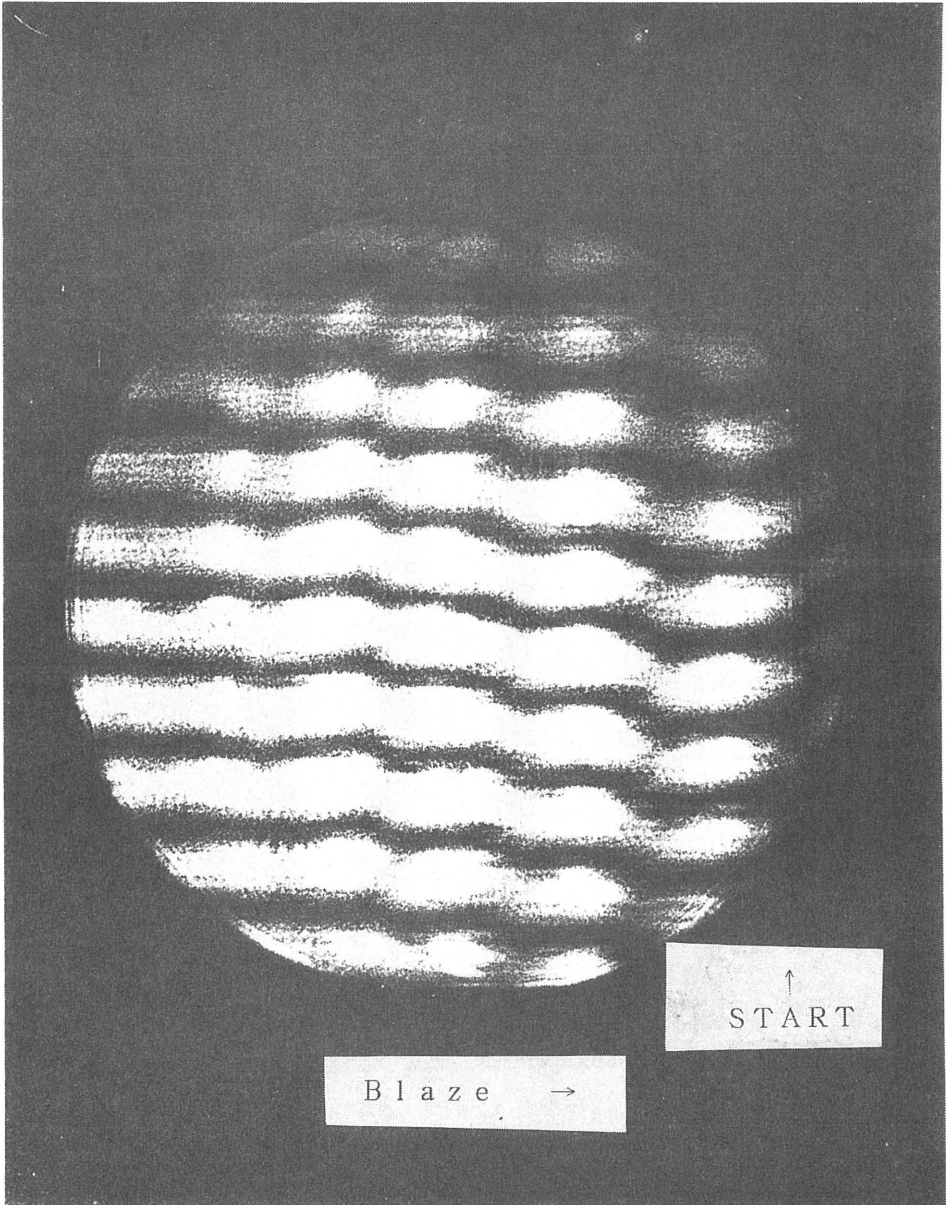


写真2. ミルпой社にて撮影された回折格子 MR105-1-1-2 のインターフェグラム。  
写真1～3は同一の設定条件で取られた。即ち、波長 $6328\text{\AA}$ 、4次のホーダーでブレイズ角 $53.1^\circ$ にセットする。干渉計の光束が小さいので左右を2枚に取り分けてある。リッツパターンが溝に直交しているもの。(右側)

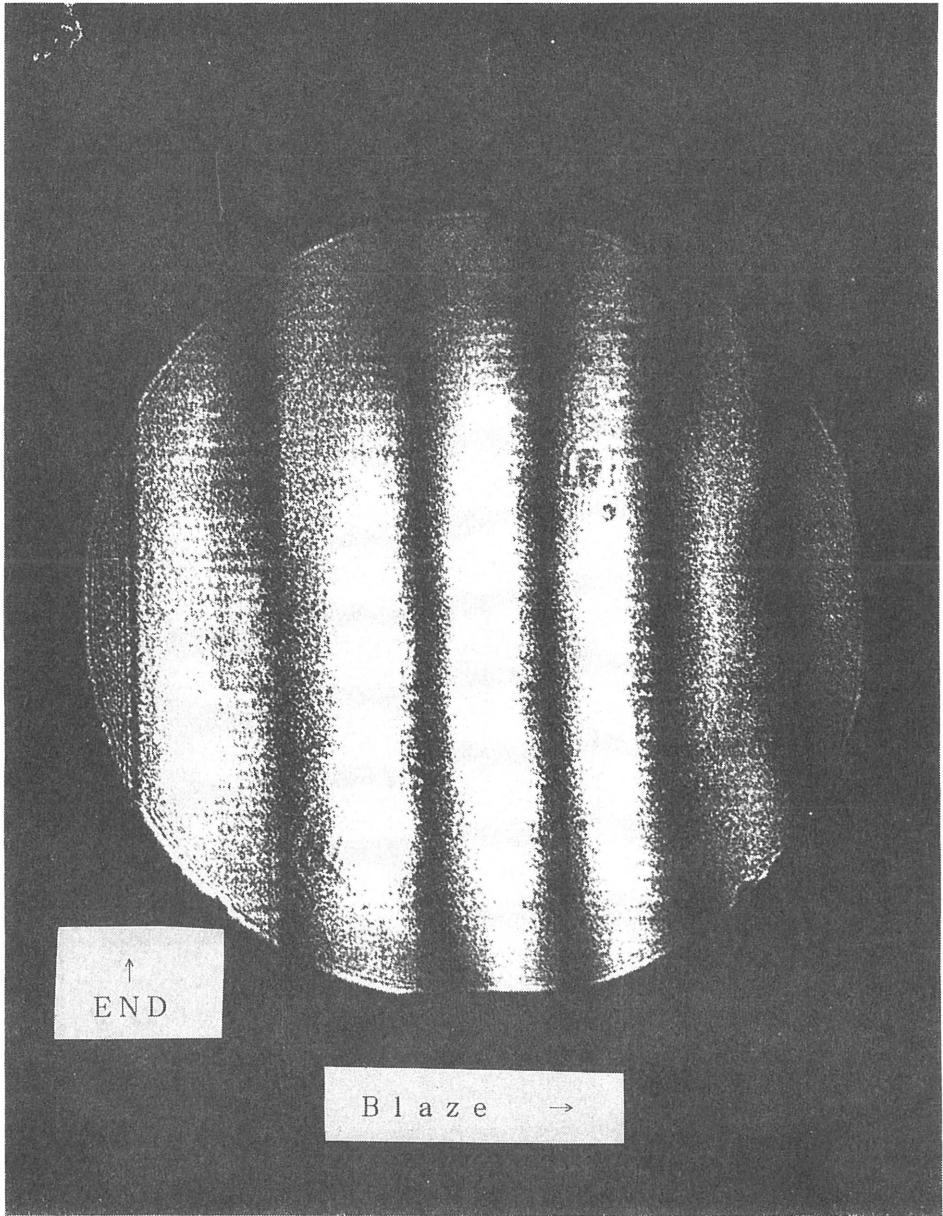


写真3. ミルトロイ社にて撮影された回折格子 MR105-1-1-2 のインターフェログラム。  
写真1～3は同一の設定条件で取られた。即ち、波長6328Å、4次のオーダーでブレイズ角53.1°にセットする。干渉計の光束が小さいので左右を2枚に取り分けてある。リッジパターンが溝に平行なもの。(左側) [註記 右側は割愛する。]

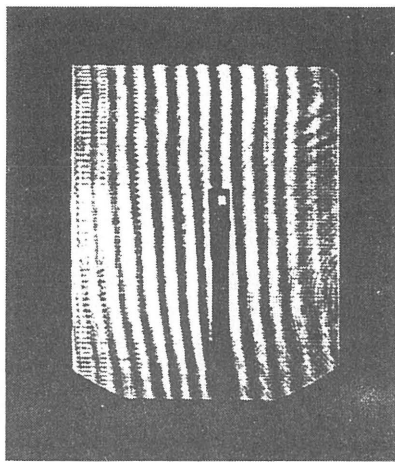
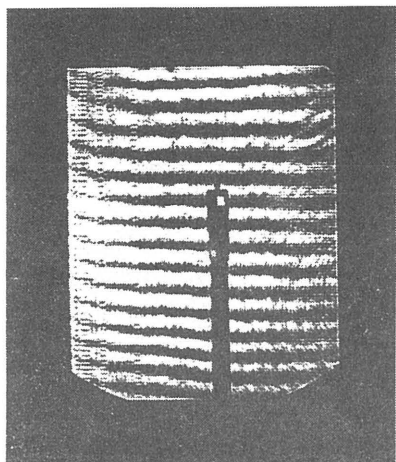
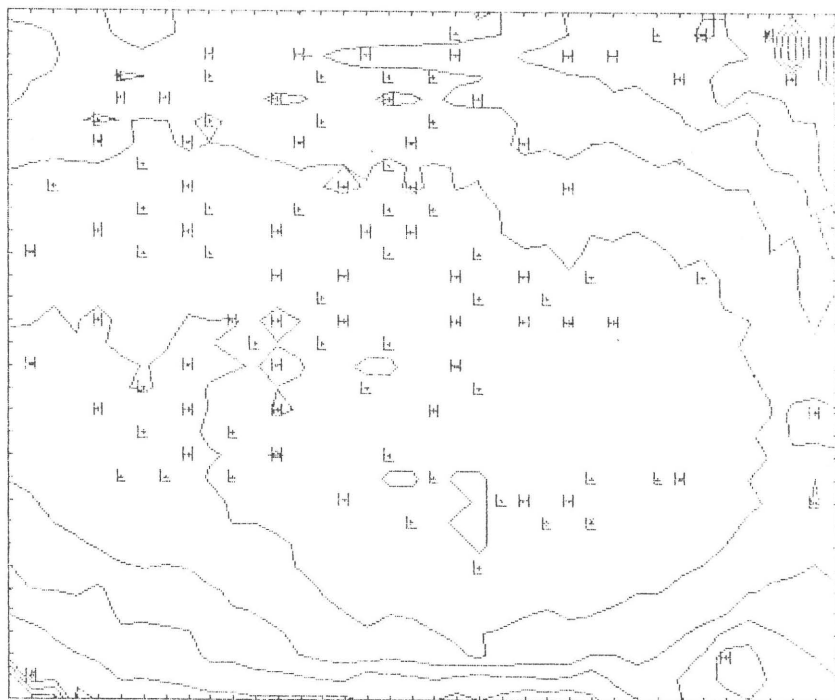


写真4.

写真5.

平面度を検査するために、回折格子を $51^\circ$  波長  $6320\text{\AA}$  4次にセットし、干渉計にてイタワエカメラを撮影した。写真4はフリッジパターンが溝に平行、写真5は直交するものである。



第2図. 写真1、2から計算されたトポグラフィである。波面誤差は、  
 波面誤差  $982\text{\AA}$  RMS  
 $5250\text{\AA}$  peak to peak である。

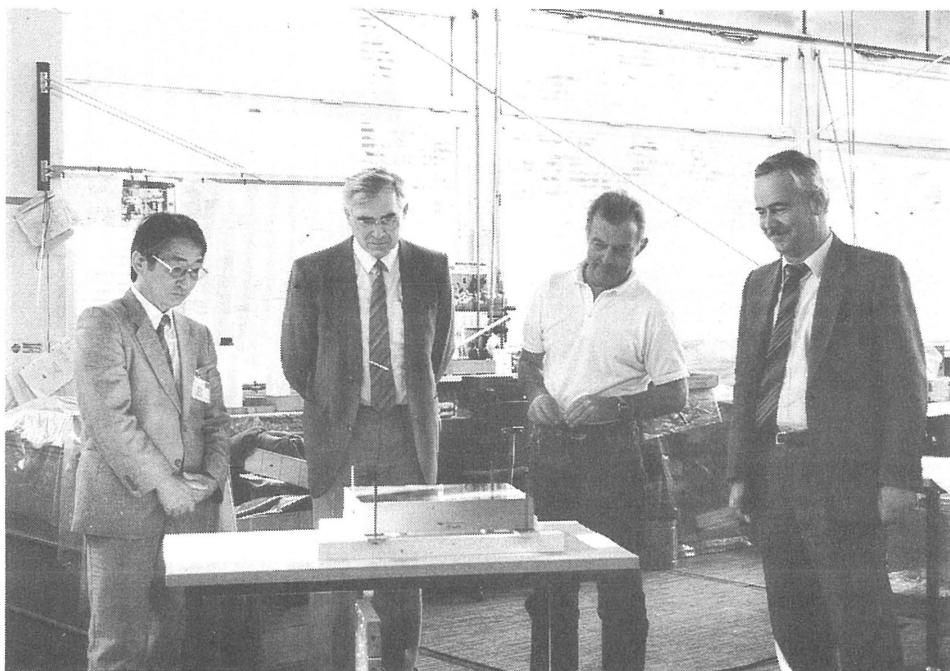
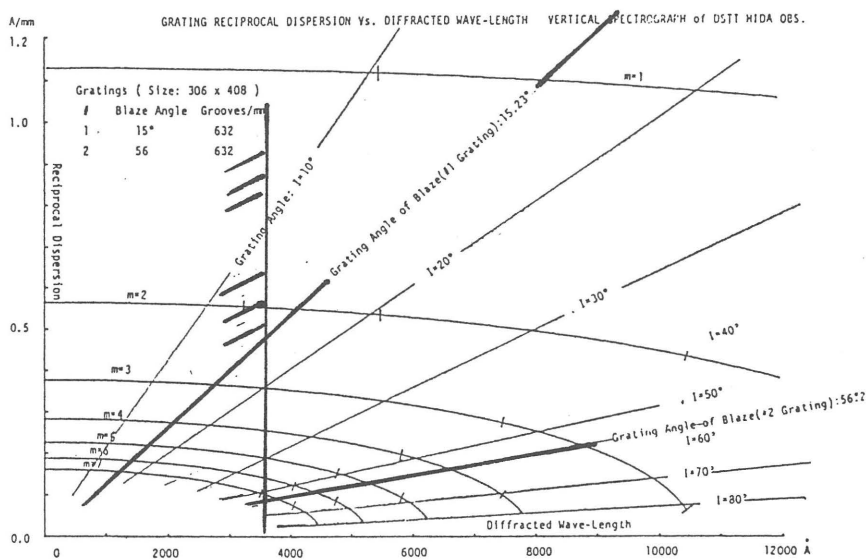


写真 6 . カールツァイス社オーパ<sup>®</sup>-コッハ<sup>®</sup>ン本社組立工場における30cm×40cm回折格子。検査の上セル内に支持するためのソケットが接着された。



第3図. ドーム型太陽望遠鏡 14m 垂直真空分光器にセットした場合の波長・線分散の関係を示す。15°の格子では短波長で0.5Å/mm、長波長で1.1Å/mmを示す。一方、57°の格子では6000Å以下では、0.1Å/mm、以上でも0.2Å/mmの分散を示す。