

中村要氏の11cm Triplet に就て

淺 野 俊 雄

1. 中村要氏のレンズ設計

故中村要氏は、天文學者として我國の天文學界に特異な存在であつたことは言ふまでもないが、實際的な光學者としても、其の獨自な見解と技術とによつて、一つの大きな光であつたことは、今日に至つてますます明かである。特に後者として、レンズ及び反射鏡の設計製作技術にかけては普通の光學家の不思議とさへする洞察力と勇氣のあつたことは、その在世中の「天界」誌上に散見する記事によつてうかゞはれる。今茲で、私には氏の研磨技術に就て論ずる資格は全く無いから、私が最も興味をもつてゐた氏のレンズ設計に就て少し體かく書いてみたいと思ふ。尙、それには、氏の作品そのものに就て論ずる方が具で興味があるから、氏の後期の作品中で最も複雑な理論を含んでゐる“11cm Triplet anastigmat”を引合に出してみたいと思ふ。之によつて氏のレンズ設計なるものゝ輪廓を知ることが出来ると思ふからである。

氏の所謂レンズ計算なるものが如何なるものであるかといふ事に對しては、多少とも天體用レンズに興味を有つ人々には常に大きな好奇心の對象となる筈のものであつた。そのレンズ計算が決して本格的なそれでないことは、例へば天界第161號、416頁を見ても判る。正しい意味でのレンズ計算は甚だしく煩雜な光路追跡即ち trigonometrical ray-tracing によつてのみ完成されるものであつて、凡そこの計算を省略しては決して正確な收差の量を知る事は出来ない。従つて、之は本當の意味の設計とは稱し得ない筈であるに拘らず、斯の如き粗雜な設計から完成したレンズそのものゝ結果は、本格的な設計を経たレンズをして瞠若たらしむるものがあり、その由て來る所以のものは、實に氏の異彩を物語るものであると同時に、光學専門家が之を異端者流として默殺するには餘りに多くの示唆的なものを含んでゐるのである。

氏のレンズ計算は單に粗雜な近似に過ぎない所謂「ザイデルの領域」即ちザイデル氏が演繹した理論に於ける收差計算すら省略されたものであつて、一般

に光學計算から、光路追跡と、ザイデル領域の計算とを除けば、後には單に初歩の物理學書に載つてゐる程度のレンズの公式しか残らないのである。中村氏が用ひた算式は全く此の程度のものであつて、11 cm Triplet anastigmat の如き相當に野心的なレンズにさへ、私が次に豫想するやうな簡単な計算のみで打ち切り、最も重要なレンズの收差そのものは全く氏の透徹せる第六感と、最も自信のあつた研磨技術に委ねられたものである事が判る。然し、既に記したやうに、光路追跡を行はないで優秀なレンズが完成されるといふ事は、少くとも此の種のレンズでは不可能に近いから、中村氏の行はれた程度の計算では、勢ひ或る既存の型の模倣に終るのは已むを得ない。即ち一步も創作の域に進出出来ないのは固よりであるが、或る完成した型を正しく模倣すれば、中村氏の流儀のレンズ設計で事足りるとも言へるのである。此の點は天體用レンズの自作を期企されるアマチュアの見逃し得ぬ點である。そこには別に神秘はないのであつて、學理的にも斯の如き簡単な計算だけで専門工場の作つたものと殆んど差のないものを作り出し得る理由を説明し得るのである。然し此の簡単な設計方法は、畢竟模倣であるから、新しい一つの型を創作する事にまで此の流儀を適用するのは、一概には言へぬけれど、稍冒險と言はねばならぬ。

此の 11cm Triplet は、英國クック會社のテラ・ラ・氏が、フランクリン・アダムス氏の爲に作つた有名な 25cm Triplet の設計を、或る程度まで模倣したものである。テラ・ラ氏は此の 25 cm の設計の根柢をなす理論に就て M. N. R. A. S., 1904年5月號に發表するところがあり、中村氏の Triplet に對する理論と設計の大略が此の記事から得られたものである事は氏の記される所である。中村氏が「理論を理解すれば或る程度まで似たものが出来る」と言はれたのは事實であるが、また餘り像が鋭過ぎても困ると言はれたのは少々の外れである。決して、理論を理解しただけでは、像が鋭過ぎて困る程立派なレンズは出来ない筈である。

「理論を理解して或る型を模倣しさえすれば次の如き簡單至極な計算だけで第一級の寫眞レンズが完成するか」といふに、決してさうではない。其處には必ず中村氏の有せられた整形技術と、レンズの收差に對する深い直觀とが必要である。尤も、本格的な設計法が無力である譯では決してない。中村氏の如き類

ひ稀なレンズ・マンと、有能な光學者との結合があれば、更に優れたものが生れる事は言ふまでもなからう。

2. テーラー氏の 25cm Triplet

既に記した如く、11cm Triplet は、能ふ限り、フランクリン・アダムス氏の 25cm Triplet を模倣したものであるから、先づ前記テーラー氏の論文に含まれるデータの總てを蒐集して次に記する。

J. Franklin-Adams 氏の 25 cm Triplet に關し發表された data (時は總て耗に換算して用ひた)

$$\text{有効口径 } 10\text{in.} = 254\text{mm} \quad F/1 = 4.5$$

$$\text{焦點距離 } 44.6\text{in.} = 1132.84\text{mm}$$

Triplet を構成する三個のレンズを、天體に對する方から順に呼んで、各々の焦點距離を f で表はすと

$$f_1 = 25.442\text{in.} = 646.22\text{mm}$$

$$f_2 = -10.577\text{in.} = -268.65\text{mm}$$

$$f_3 = 17.118\text{in.} = 434.79\text{mm}$$

各レンズの厚さ、レンズ間の距離及び各面の曲率半徑 (r) 等に就ては、直接の數字は全く發表されてゐない。

硝子の屈折率に就ては、之を n で表はせば

D-line ($5893 \text{ \AA}$) に對して

$$n_1 = n_3 = 1.57, \quad n_2 = 1.623$$

G'-line ($4341 \text{ \AA}$) に對して

$$n_1 = n_3 = 1.5853, \quad n_2 = 1.64615$$

即ち、第一レンズと第三レンズには同一の硝子を用ひてある。硝子に就ては之だけしか發表されてゐない。但しテーラー氏はクラウンの方を heavy barium silicate crown と記し、フリントの方を單に flint glass と記してゐる。

以上がテーラー氏の公表してゐる數字の總てであつて、各レンズの厚さ、間隔、各面の曲率半徑等を、間接にでも算出し得るやうな記述はない。

次に此のテーラー氏の論文に含まれてゐる Triplet の理論の内、直接に計算

に關係のある部分を摘録して、中村氏の計算が上記の公表された數値以外の如何なる事柄から由來してゐるものであるかを示さう。

1. 球面収差

テララ氏は、先づ、二つの凸レンズ、即ち、第一レンズと第三レンズの焦點距離の割合に就て規定し、第一レンズの焦點距離を、第三レンズのその約 1.5 倍ならしめた、即ち上記の數値によれば

$$\frac{f_1}{f_3} = \frac{646.22\text{mm}}{434.79\text{mm}} = 1.4863$$

となつて、略 1.5 の比に近い。テララ氏が斯く選んだ理由は Zonal spherical aberration を可及的に小ならしめ、figuring によつて之を除く事を容易ならしめた所にある。テララ氏は此の 25cm レンズを作る以前に、15cm のものを作つた時に、 f_1 、 f_3 を等しからしめた爲、Zonal spherical aberration が甚しくなり、 $F/1=5$ 以上の天體用對物レンズとしては殆んど絶望に近い程 figuring が困難になつた事を理由として、 f_1 の f_3 に對する比を 1.5 ならしめたものであると述べてゐる。中村氏は、勿論、此の焦點距離の撰び方に追隨された譯であるが、計算で残つてゐる球面収差の量と、figuring の難易には大きな關係があることは容易に理解されるが、テララ氏の言ふ如く必ずしも $f_1 = f_3$ なる場合には製作が不可能になるといふ理由はない。

2. 歪曲(distortion)と光軸外の星像の色消

光軸上の星像が色消である爲には、二つの凸レンズと中央の凹レンズとの焦點距離と、間隔を適當に選ぶことによつて目的を達し得るが、同時に光軸外にある星像も色消であることを考慮せねばならぬ。此の條件は、第一の近似即ちザイデルの理論の範圍では歪曲と同時に満足し得るものであつて、次の條件を満足させればよい。

即ち第一レンズと中央の凹レンズとの間隔を d_1 とし、第三レンズと中央の凹レンズとの間隔を d_2 とするとき

$$\frac{d_1}{d_2} = -\frac{f_1}{f_2} \quad (A)$$

であり、且つ二つの凸レンズの形を相似にし、其の向を反對にすれば此の二つの収差を同時に除き得るとされる。即ち此の primary aberration の理論から

して二つの間隔の比は大概決定出来るから、之から直ちにテラ 1 氏の 25cm Triplet の二つの間隔を推算出来る。即ち三個の單レンズ (thin lens) を離して置いたときの焦点距離 F を求むる次の公式を用ひる。

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \left\{ \frac{d_1(f_2 + f_3) + d_2(f_1 + f_2) - d_1 d_2}{f_1 f_2 f_3} \right\} \quad (B)$$

此の式に於て

$$F = 1133\text{mm}$$

$$f_1 = 646.22\text{mm}$$

$$f_2 = -268.65\text{mm}$$

$$f_3 = 434.79\text{mm}$$

で、總て既知であり、 $d_1 = 1.5d_2$ を代入すれば容易に 25cm レンズの二つの間隔が求められる。但し、式 (B) は thin lens の公式であるから實際の厚さの有るレンズのときは、當然、此の式で求めた間隔とは相違する譯である。従つて、テラ 1 氏の 25cm レンズの d_1 , d_2 を正確に計算から求めて、比例で正しく模倣することは不可能である。

3. 光軸上の星像の色消

之は普通に言ふ所の色消であつて、テラ 1 氏の論文には三個のレンズを離して置いたときの光軸上の色消に就ては、計算法式は勿論、何等設計上に参考となるべき記述はない。二個の單レンズを密着するか、或は離したときの色消の公式は甚だ簡單であるが、三個のレンズを分離したときの色消公式を解くことは、比較にならぬ程面倒であるから、中村氏も亦 11cm Triplet には全然色消の公式を使用せず、單にテラ 1 氏の發表した上記の屈折率から硝子を豫想して用ひられたのである。

4. 非點收差(astigmatism)と映像面の彎曲(field curvature)

此の二つの收差に就て、中村氏の計算に直接必要となつた事柄では、レンズの絞り(diaphragm)が中央の凹レンズに一致すると考へられるときには、此の凹レンズの正しく中央を或る傾角で通過する細い光束の非點收差は此のレンズの兩面の曲率半徑の撰び方には無關係である。次に、光軸と或る角度をなして凹レンズの丁度中央を通過する光束は、第一レンズと第三レンズを eccentric に通過することは明かである。此の場合には非點收差は當然之等凸レンズの兩面

の曲率半径の撰び方によつて影響される。然るに、前に記した如く、歪曲及び光軸外の星像を色消にする爲に、二つの凸レンズの形は既に定まつてゐるから残された問題は凸レンズの両面の曲率半径の比を如何に撰定するかに存するのみであるが、テララ氏の論文には此の比の撰び方に就ては書かれてゐない。

3. 11cm Triplet の製作要素

中村氏は、大體以上を根柢として、製作に必要な一切の数値を求められたものと考へられる。仍て、次に花山天文臺 Bulletin No. 178 (1930年9月18日)に發表せられた 11cm Triplet の製作要素を轉記し、次に之等の數値が如何なる計算から出て來たかを推察してみる。

有効口径	109mm
焦點距離(計算値)	490mm
同 (出來上り)	505mm
焦點比 (F/1)	4.6

硝子	曲率半径	厚さ	間隔
L ₁ : Medium barium crown n _D 1.57379	$\begin{cases} r_1 + 186.1\text{mm} \\ r_2 - 1377 \end{cases}$	14.5mm	82.1mm
L ₂ : Dense flint n _D 1.62143	$\begin{cases} r_3 - 144.9 \\ r_4 + 154.9 \end{cases}$	3.1	54.5
L ₃ : Medium barium crown n _D 1.57379	$\begin{cases} r_5 + 927.1 \\ r_6 - 125.3 \end{cases}$	14.6	

先づ、硝子に就ては、テララ氏の 25cm の硝子の屈折率は既に記した通り D-line と G'-line に對する概略の値が發表されたのみで、クラウンの方を heavy silicate barium crown と記されてゐるが、之は其の屈折率から現今の medium barium crown であつて、ショット型録の Bak 1 に相當し、フリントは普通の dense flint であつて、ショット型録の F 2 に相當するものである事が明瞭であるから、中村氏は、もとのパルソンス會社へ、MBC 1 及び DF 4 を指定注文せられたものと考へられる。

中村氏は、此の硝子の D-line の屈折率しか發表されなかつたので、私は出來る限り多くの硝子の型を參考にして、他の波長に對する屈折率を次の通り推定した。

中村氏 11cm Triplet の硝子

$$\text{Medium barium crown} \left\{ \begin{array}{l} n_D \quad 1.57379 \\ n_F \quad 1.58082 \\ n_G' \quad 1.58649 \\ n_{405} \quad 1.59078 \end{array} \right.$$

(Bak 1-type)

$$\nu = 57.7$$

$$\text{Dense flint (F2-type)} \left\{ \begin{array}{l} n_D \quad 1.62143 \\ n_F \quad 1.63374 \\ n_G' \quad 1.64421 \\ n_{405} \quad 1.65252 \end{array} \right.$$

$$\nu = 36.1$$

この推定は、小数点以下 5 桁目で僅少な差を有する程度で一致してゐると信じられるもので、その誤差は、後に示す 11cm Triplet の諸収差に及ぼす影響を無視出来るものと思ふ。

4. 中村氏の計算法の推測

私は、次に、中村氏が如何なる経路で 11cm の製作に必要な data を求められたかを知らうとして、テ 1 ラ 1 氏の数値から單に比例計算のみによつて中村氏の發表された數値に到達した。勿論他の経路を経て同一の結果を出すことも有り得るかも知れぬが、恐らく私の計算の経路は中村氏のものと同じであるらう。

先づ中村氏の 11cm レンズを構成する各レンズの焦點距離を求める爲に、比例計算を行ふと、テ 1 ラ 1 氏 25cm レンズの合成焦點距離は前記の如く 1132.84 mm であり、11cm レンズのそれは 490.00mm であるから、比例常數 K を求めて

$$K = \frac{490.00\text{mm}}{1132.84\text{mm}} = 0.43254$$

之をテ 1 ラ 1 氏 25cm の各レンズの焦點距離に掛けると、11cm の各レンズの焦點距離が求められて

$$\left. \begin{array}{l} f_1 = 646.22 \times 0.43254 = 279.52\text{mm} \\ f_2 = (-268.65) \times 0.43254 = -116.20 \\ f_3 = 434.79 \times 0.43254 = 188.07 \end{array} \right\} \quad (1)$$

となる。然るに、厚さを計算に入れない薄いレンズの焦點距離を求める公式

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (C)$$

に、Bulletin に發表された 11cm の曲率半徑を用ひて、焦點距離を求めると

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= 279.53\text{mm} \\ f_2 &= -116.22 \\ f_3 &= 188.21 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となる。但し屈折率は G'-line を用ひた。之を、先に比例から求めた(1)と比較すると、殆んど完全に一致した結果が出てゐるから、中村氏はレンズの厚さすら計算に入れられなかつたことが判る。参考の爲に二つの凸レンズの焦點距離の比 f_1/f_3 を求めると

$$\text{テララ氏 25cm} : 1.4863$$

$$\text{中村氏 11cm} : 1.4852$$

となり、一致したと看做し得る。故に中村氏が先づ比例によつて各レンズの焦點距離を求められたといふ豫想的の中してゐるであらう。又、斯の如く全くテララ氏 25cm をそのまま縮小したのであるから、中村氏は全然色消に關する計算式に觸れなかつたことも明かである。

次に、各レンズの間隔を定めねばならぬ。之はテララ氏の論文からは知ることが出来ぬから、他の方法で間接に求めねばならぬ。故に、既に書た如く 3 個の薄いレンズを分離して置いたときの焦點距離を求める公式(B)を用ひると、此の公式に於て二つの間隔、即ち、 d_1 と d_2 のみ未知であつて、他は總て既知であるから、既に記した光軸外の星像の色消條件及び歪曲を除く爲の條件である式(A)即ち

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

を用ひ、且つ實際の $f_1/f_2 = 1.4862$ を 1.5 として、 $d_1 = 1.5d_2$ を用ひて、計算を試みると、テララ氏 25cm の二つの間隔として

$$d_1 = 232.63\text{mm}$$

$$d_2 = 155.08$$

を得る。但しテララ氏の論文によれば、條件式(A)は、物體と第一レンズの距離と、映像と第三レンズの距離との比も亦 f_1/f_3 に等しきときのみ成立するのであつて、若し物體が無限遠にあれば中央の凹レンズを約 9.91mm だけ前方へ移動しなければならぬことを記してゐるから、間隔に之だけの修正を施すと

$$d_1 = 222.72 \text{ mm}$$

$$d_2 = 164.99$$

となる。斯くして求められた二つの距離に、前に用ひた比例常数 $K = 0.43254$ を乗ずると、11cm Triplet の二つの間隔が得られて

$$d_1 = 96.336 \text{ mm}$$

$$d_2 = 71.366$$

となる。然るに、此の二つの間隔はレンズの主点を基準として測られるべきであるから、レンズの頂点から頂点までの距離は先づレンズの主点を求めて後に定めらるべきものである。然るに、中村氏は、簡単にレンズの基準点として所謂光心 (optical centre) を用ひて居られたことが多いやうに想像される理由があるので、此の場合にも單レンズの光心の間隔の基準点にしてみる。光心の位置はレンズの両面の曲率半径の比によつて至極簡単に決定出来る。即ち、第一レンズの光心は、此のレンズの第二面より前方へ 12.8mm の所にあり、第二レンズに於ては、此のレンズの第一面より後方へ 1.5mm の所、第三レンズに於ては此のレンズの第一面より後方へ 12.9mm の所にある。此の三つの光心を基準点として各レンズの頂点間の距離を算出すると

$$d_1 = 96.336 - (12.8 + 1.5) = 82.036 \text{ mm}$$

$$d_2 = 71.366 - (1.6 + 12.9) = 56.866$$

となる。之は Bulletin に發表された實際の間隔 82.1mm 及び 54.5 mm に可なり良く一致してゐるのが判る。即ち d_1 に於て約 0.06mm, d_2 に於て 2.5mm の差があるが、之は中村氏が實際にレンズを組立てゝ調整されるときに變更が加へられたのであらう。何れにしても、厚さを無視したレンズの公式による程度では、此の計算方法の豫想は、當らずとも遠からざるものであらう。而して中村氏の流儀の製作法を以てすれば此の程度の變更は全く茶飯時のことであつて何等問題とするに足らないであらう。

尙、以上は $d_1/d_3 = 1.5$ として推算したものであるが、之を正しく $d_1/d_3 = 1.4852$ として間隔を出すと、中村氏の發表された數字とは多少異なつた結果が出て、此の方が具合がよく、テラールのスケールに近い。

以上で、製作に必要なデータの内の、各レンズの焦点距離と實際の間隔が定

まつたから、次には六つの曲率半徑を求めねばならぬ。尤も計算の順序としては、thin lensとして、各レンズの焦點距離と間隔を定めた次に、各面の曲率半徑を定めなければ、各レンズの基準點(光心又は主點)は定められないから、頂點間の間隔を出すのは一番最後になる譯である。

次に、各レンズの曲率半徑の決定に移る。最初に、私は、中央の凹レンズの曲率半徑の撰び方は、絞りが此のレンズに一致すると考へるときには、既に記した通りザイデルの理論の範圍では、非點收差には影響はないから、中村氏が常に簡単な型を撰ぶといふ一つの傾向からして、兩面の曲率半徑の絶對値を相等しからしめたのではないかと考へた。即ちブレテンに發表された $r_3 = -144.9$, $r_4 = +154.9$ は、整数位二桁目の 4 か 5 が誤植ならんと想像したが、各レンズの焦點距離を比例で求めたものを比較すると、ブレテンの數字には誤植は無い。してみると、中村氏が如何にして此の二つの r を出されたかは、色々考へてみたが、結局、之は他のレンズを参考にでもして定められたもので、もともと單なる豫想を根據にして收差の量を嚴密に算定されたのではないと思はれるから、此の程度の設計では、之と同一の焦點距離を有してゐさへすれば、兩面を等曲率にするも、結果に於て大した差は生じない。次に外側の二つの凸レンズの曲率半徑の決定に就ては、既に記した如く、二つの凸レンズの形を相似にし、且つ其の向を反對にすれば歪曲及び光軸外の色收差、即ち此の光學系が波長によつて焦點距離を異にする缺點を除き得るといふ近似の理論に従つて、兩レンズの二つの曲率半徑の比は相等しい筈である。即ち 11cm に於ては

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{-1377}{+186.1} = -7.399,$$

$$\frac{r_5}{r_6} = \frac{+927.1}{-125.3} = -7.399$$

となつて、完全に一致してゐる。唯、中村氏が此の比の値 -7.399 を如何なる理由によつて用ひられたか、問題である。私は、或る理由によつて、レンズの公式を用ひて、第三レンズと映像面の距離として 400mm に甚だ近い値を出し、之を第二の間隔で除して、此の數字を得られたのではないかと考へたが、恐らく他のレンズのカリヴを参考に於て此の比を用ひられたと考へる方が、當つてゐるであらう。

各レンズの直径及び厚さは全く硝子材の大きさの都合から出されたものと考へられる。尤も、第二及び第三レンズの有効径は不明であるが、Cooke Triplet の例からして、第二レンズは 95mm、第三レンズは 105mm 位であらうと想像する。勿論、之等は何も難しい計算を基礎にして定められたものではない。

以上で、11cm Triplet を製作するときに、必要な總てのデータが、如何なる計算方法で求められたかを推測してみた。約言すれば、先づ、全然比例でテララ氏 25cm Triplet から各レンズの焦点距離を正しく求める。之は極めて簡単である。次に、25cm の方の間隔は、發表されてゐないから、前掲の公式 (B) を利用して、間隔を求め、再び比例で之を 11cm のものに直す。之が、中村氏の行はれた計算の中で、一番長いものであらう。但し、之とても、ノートの一頁もあれば済む。次に、各レンズの曲率半径を求める。之も公式 (C) を用ひて、至極簡単である。次に、各レンズの厚さを適當に定めてから、各々の光心を求めると、實際のレンズ間の距離が決定出来る。之で中村氏の設計は終つた筈である。計算尺か對數表を使へば、ノートの三頁もあればよいし、時間にすれば、二時間もあれば十分に設計は終る筈である。まことに中村氏が言はれた通り吃驚する程簡単なものである。(天界第161號416頁参照)

5. 11cm Triplet の收差

之だけの計算で實際に 11cm Triplet が非常な好成績を發揮してゐるとすれば、一體それは何によるのであらうか？ 又、計算の中には全然收差に關する計算は含まれてゐないのであつて、收差そのものに關しては、全く、中村氏の豫想があるのみであるから、氏の勇氣はまことに大なりといふべきであつた。

以上で、私が今迄に興味をもつてゐた中村氏の設計なるものゝ本態が掴めたから、次にこの 11cm Triplet が上記計算通りのデータを用ひて正しく製作されたときには、どんなものが出來上るかを見よう。之は決して中村氏の設計そのものゝ優劣を批判するにあるのではなく、設計上の殘存收差と、實際にレンズに有終の美をなさしめた figuring との關係を、多少とも見透せればと思つたからである。實は、この、上の如き rough design と、殘存收差(residual aberration)を correct する figuring との關係は、設計の方法如何以上に重大な事柄なのではないかと思ふ。

最初に、球面収差に就ては、上記の如く、中村氏のカーヴの撰び方は全くおほまかなものであるから、總ての表面が設計通りの正しい球面であれば、相當な球面収差を有してゐるのは當然である。二枚合せの天體用對物レンズであれば、先づ計算は不必要と言つてもよい位に比較的球面収差は少しか残らないが、このやうな Triplet になると、二枚合せのやうに好都合にはゆかない。もともとテラー氏の論文には正確な間隔と各面の曲率半径が發表されてゐないので、この二つを完全に模倣することは出來ず、流石の中村氏も單なる豫想を唯一の手段とされるより他なかつたのであらう。氏も相當量の球面収差が残つてゐる事を豫期され、之を一舉に figuring の技術で取除くことを考へられたのは當然である。總ての表面を完全な球面とするとときに、どれだけの球面収差が残つてゐるかを知る爲に、有効徑を 109mm として ray-tracing を行つた結果は、最周縁の光線に就て 7.318mm の under correction である。之が如何に大量なものであるかは、焦點距離 490mm の約 1.5% であり、假に之と同一の口徑比と焦點距離を有つ平凸の單レンズ ($n_g' = 1.5865$) の球面収差が 5.47mm 程度である事を考へれば、その量の少なからざる事が判らう。中村氏はこの大量な球面収差を、auto-collimation 法を利用しながら figuring で強引に取除かれたのである。氏は、Cooke triplet も亦、球面収差は手で取るのだと思つてゐられたやうだが、之は誤りで、同じ球面収差ではあるが、テラー氏の所謂「figuring で球面収差を取る」といふ意味は、「一通り計算して、計算上ではどうしても残る僅な Zonal spherical aberration を figuring で除く」といふ意味である。尤も、大工場でも天體用レンズを扱ひなれない工場では、この Zonal spherical aberration すら figuring で取除き得ない。天體用寫眞レンズには、此の Zonal spherical aberration を去る爲の figuring は絶對的に必要なものであつて、然らざれば決して最上の星像にはならず、焦點の内外側で濃度が對稱的にならない。例へば、上野の科學博物館の 20 糎屈折鏡附屬の Triplet の如きは、優秀なレンズではあるが、惜しいかな相當ひどく此の缺點を有してゐる。専門の工場で作る天體用寫眞レンズの球面収差は、總て計算で出來得る限り取除き、Zonal spherical aberration だけを figuring で除くのである。斯くすれば、此の 11cm Triplet の場合のやうに著しい量の球面収差を除く爲に大變な

勞力を拂はなくとも済むのである。さもなくとも、figuring を施すといふことは、非球面の軸が光軸から外れ易いものであつて、星像の形が視野の中心に對になり易いのであるから、出来るだけ微量な figuring で済むやうに、豫め計算して非對稱的で球面収差を十分に取除いておくがよい。近頃有名な Ross-Fecker lens でも、球面収差は計算で除き、Zonal spherical aberration を figuring で取るやうにしてあるが、それでも視野の中心に對して相當著しい星像の非對稱性が認められるものがある。

前記 7.318mm の under correction は相當大量な球面収差であるが、此の程度でも figuring すれば何の心配もなく取去り得ることは此の 11cm によつて如實に示された所である。中村氏は第二面に最大の figuring を與へられたが、此の面が如何なる曲面を有すべきであるかを數値的に決定するのは甚だ困難な仕事である。實際的には、此の 11cm に用ひられた如く、オートコリメーション法、又はハルトマン法によつて、figuring するのが唯一の方法である。以上の事よりして、球面収差に關する限り、高級なアナステイグマート・レンズに於ても、球面収差の計算を省略して、單に figuring のみを武器としてレンズを完成出来ることが明かであるから、一部の人々には推奨してよい簡便な方法である。且又この事實によつて優秀な figuring の技術は天體用レンズの上には必須であるが、如何にも精密を誇示するが如き莫大なレンズ計算は必ずしも必要でなく、且つ前者は後者より此の場合には遙に高く評價されてよい事が判る。

光軸上の色収差を、F-line 及び h-line を用ひて、入射高 38.6mm に於て計算の結果は、0.641mm の under correction であるから、色消は満足とは言へない。この色消の状態は、非球面化によつて球面収差の如く著しい影響をうけないから、一層始末が悪い。色収差だけは、最初、よく計算しておかねばならぬ。このレンズには可及的短波長に感光度の大きな乾板を用ひればよい。この甚しい under correction は、テラ氏と中村氏の用ひた硝子の v -value に差のあつたことゝ、中村氏の lens separation の不適當に因るのである。

光軸外の色収差を示す chromatic difference of focal length は、F-line と h-line に對して 0.19mm の under correction であるが、焦點距離の 2 千分の 1 以下であつて比較的良好である。

次に光軸外の収差に就ては, figuring の影響は球面収差の場合よりも少しく考察が困難となるが, コマは figuring によつて, 球面収差と同時に, その大部分が除かれてゐるものと考へられる. 一般に多くのレンズを有する寫眞レンズでは, 一つの面を figuring することによつて, 球面収差とコマを同時に取除き得る好條件の場合が多いが, 然らざる場合もある.

非點収差及び歪曲も, 非球面化によつて影響をうけるから, 之等に就て實際の數量を算出することは, 非球面の data が知れない限り, 不可能であつて, 實際の収差を, ハルトマン検査器の如きもので測定し, 原設計のまゝのときの収差と比較して figuring の影響を知れば興味があらう. 茲では, 簡単に, 非點収差は, 第一主點に向ふ無限に細い光束に對するものゝ結果のみを記する. 尙非點収差には比較参考の爲にテトラ氏のクック・レンズの大體の値を附記した.

Semi-angular field	Meridional Image		Sagittal Image		Distortion
	11cm	テトラ氏 クック・レンズ	11cm	テトラ氏 クック・レンズ	11cm
0°	mm	mm	mm	mm	mm
$2\frac{1}{2}$	- 0.187	-0.15	-0.115	-0.25	+0.013
5	- 0.630	-0.45	-0.383	-0.74	+0.050
$7\frac{1}{2}$	- 1.811	-0.72	-0.856	-1.25	+0.210
10	- 4.575	-1.05	-1.608	-1.95	+0.519
$12\frac{1}{2}$	-11.924	-1.50	-4.557	-2.50	+1.091
15	-21.095	—	-3.835	—	+2.016

但し field error の負號は lens に對して concave を示し,

distortion の正號は pin-cushion distortion を示す.

上の表によれば, semi-angular field 5° 位までは, このまゝでも大體良好である. 實際は, figuring によつて, meridional curvature error は之よりも減じてゐるから, テツサリ或はクック・レンズと同様に有効寫野 15° 位が得られることは, 此の表から十分納得出来る.

又, 歪曲は semi-angular field $7\frac{1}{2}^\circ$ の所では星像の位置が角度で約 $1' 29''$ だけ外方へ變移することを示すが, 之も, 第二面が figuring された爲に, 良好になつてゐる筈である. 果してどの程度になつてゐるかは, 簡単には判らない.

最後に、此の寫眞レンズの Seidel aberration の一覽表を掲げる。他の各種のレンズと比較するに便なるやう慣例にしたがひ、焦點距離を 1 とした場合のものである。

Seidel aberration of K. Nakamura's 11cm Triplet $F/1=4.5$

$f=1.000$; $s_1=\infty$

v	r_v	e'_v	n'_v	s'_v	$\frac{h_v}{h_1}$	A_v	B_v	Γ_v	P_v	$\square_v$
1	+0.3837	0.0299	1.5865	+1.0379	1.0000	+4.1250	+1.5827	+0.6073	+0.9635	+0.6027
2	-2.839	0.1690	1.0000	+0.5616	0.9715	+4.6744	-2.2331	+1.0668	+0.1302	-0.5718
3	-0.2988	0.0064	1.6442	+4.2072	0.6790	-17.731	+1.6379	-0.1513	-1.3115	+0.1351
4	+0.3194	0.1120	1.0000	-0.6152	0.6779	-8.4592	-6.2735	-4.6525	-1.2267	-4.3601
5	+1.912	0.0301	1.5865	-1.4845	0.8014	+1.4125	+1.8514	+2.4267	+0.1932	+3.4342
6	-0.2584	—	1.0000	+0.8180	0.8176	+18.989	+4.2825	+0.9658	+1.4207	+0.5405
Σ :		0.3474			$s_6=0.5193$; Σ :	+ 3.011	+0.8480	+0.2628	+0.1797	-0.2196
Construction data from Kwasan Bulletin No. 178				Z_1 ($\Sigma II=0$) =+0.2817		III	III	$\frac{III+III}{2}$	$\frac{III-III}{2}$	V
				ΣX :		+0.2514	+0.2036	+0.2275	+0.0235	-0.3576

此の表に就ての詳細な説明は、少し長くなるので、茲では割愛する。唯、image field は、meridional (Ⅲ) も sagittal (Ⅳ) も共に、レンズに向つて凹であり、従つて、best image field ($\frac{III+III}{2}$) も、天體寫眞に利用される寫野内では、レンズに向つて凹であることが示され、特に、平坦さ (flatness) を表はす所謂 Petzval sum (ΣP_6) が、+0.1797 の値を有してゐることは、フランクリン・アダムス氏 25cm の +0.1878 と殆んど相等しいが、天體寫眞用レンズとして、更に改善され得る餘地の残されてゐることを示す點は注目せねばならぬ。

何れにしても、figuring よろしきを得れば、その効果は實に大きいことゝ、此のやうなレンズ製作の一つの流儀の存在することを吾々に示された點に於ても故中村要氏は先驅者として讃へられてよいであらう。(終)