

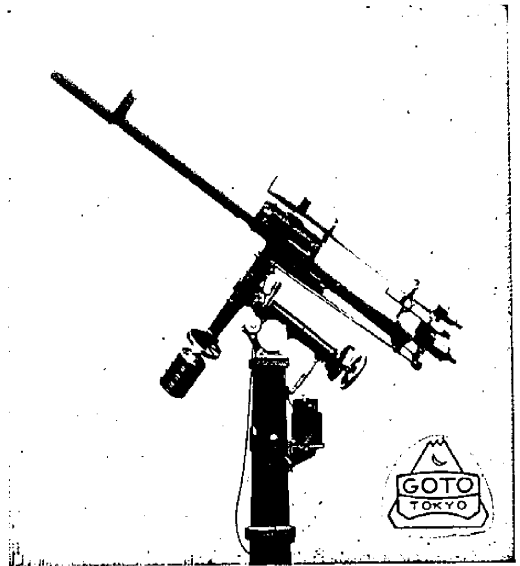
# 五藤式天体望遠鏡

☆

専門家・天文台用各種  
学校向（理振法準拠品）各種  
アストロカメラ・スペクトロ  
スコープ等、各種付属品

当社は大正 15 年創業以来一貫して天体望遠鏡の研究製作に当り、我が国で最古且つ最大のメーカーであります。特に学校向には国内需要の 80% は当社の製品によつて賄つており、輸出もまた飛躍的に伸び、特に 6 インチ据付型の赤道儀は輸出された赤道儀として最大のものであり又その優れた性能も高く評価されています。

カタログ呈（本誌名記入の事）



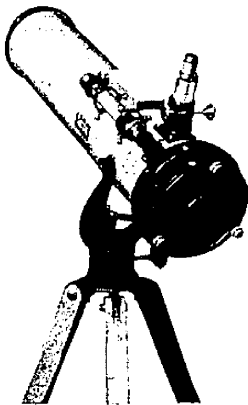
株式会社

## 五藤光学研究所

東京・世田谷・新町・1-115  
電話 (421) 3044・4320・8326



### カンコー天体反射望遠鏡



新発売!!  
十五徑ミヤノン天体反射望遠鏡  
C・G 式焦点距離二段切換  
(焦点距離一三五〇耗及び二四〇〇耗  
鏡筒長九〇〇耗)

- ★ 完成品各種
- ★ 高級自作用部品
- ★ 凹面鏡、平面鏡
- ★ アルミニウム鍍金

(カタログ要 30 円郵券)

関西光学工業株式会社

京都市東山区山科 Tel. 山科 57

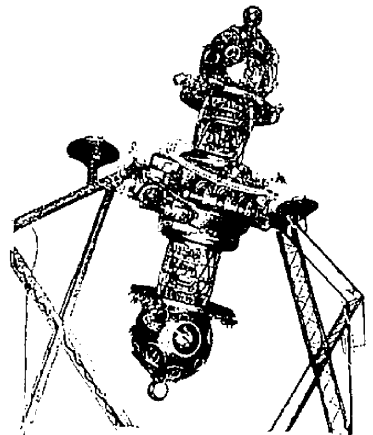


### 天文博物誌

## 五島プラネタリウム

6 月の話題 時と星——時のはかりかた

投影時間 午前 11 時、午後 1 時、3 時、5 時  
(土・日には午後 7 時も投影、月曜日は休館)



東京・渋谷・東急文化会館 8 階  
電話 青山 (401) 7131, 7509

### 特別会員各位

昭和 34 年 4 月の評議員会ならびに 5 月の総会におきまして、昭和 35 年度より特別会員の会費を年額 1600 円に値上げすることが認められましたので今年 4 月より実施致します。特別会員各位におかれましては、学会の現状を御賢察の上、よろしく御協力のほどをお願い申し上げます。

目 次

緯度観測所事業の将来.....服 部 忠 彦..... 120

質問ポスト——z 項 ..... 124

雑報——1960~80 年に対する惑星表..... 124

月報アルバム——多重星雲, パーナム彗星, NGC 4496 の中の超新星 ..... 126

天象欄——球状星団 M 3 ..... 128

非球面アブラナート・レンズについて.....吉 田 正 太 郎..... 129

——表紙写真説明——

ソビエトのプルコワ天文台に設置された大天頂儀で口径 180 mm, 焦点距離 236 cm で、  
同じ型の器械が 8 台ソビエトで製作されて、それぞれ緯度観測の第一線に活躍している。

ロケット・月の表面・宇宙旅行

話題に答える恒星社の天文書

ロケット宇宙旅行

村上忠敬著 ロケットによる宇宙旅行はいまや現実の問題となった。このロケットの構造・燃料から月・火星旅行へのプランまで。定価 230 円

月面とその観測

中野 繁著 月ロケットの到着は晴の海ときく。この晴の海とはどんな形をしているのか。月面誌研究で著名な著者の解説。定価 380 円

人工衛星の観測法

関口直甫著 中学・高校生にもできる球面天文学の応用として人工衛星の位置予報と光度測定など観測法の解説。定価 230 円

東京新宿区三栄町 8 恒 星 社 Tel(351)1003  
振替東京 59600 2747

日 本 天 文 学 会

入 会 御 案 内

日本天文学会は専門家アマチュアの区別なく、星と宇宙の知識に興味をもつ人々の集りです。通常会員は毎月天文月報の配布を受けますが、この雑誌は天体や宇宙に関しての内外の最新の知識や興味ある問題について、高校生にもわかるように平易に解説してあります。

ひろく天文に興味をもつ方々の入会を歓迎します。

通常会員として入会御希望の方は、住所氏名職業および生年月日を書き(用紙随意)、会費1年分400円をそえて下記へ御申込み下さい。

東京都三鷹市大沢, 東京天文台内  
社 法 日 本 天 文 学 会  
人 団  
振替口座東京 13595

## 緯度観測事業の将来

服 部 忠 彦\*

1. 序 本年7月下旬にヘルシンキにおいて国際天文連合と国際測地学及び地球物理学連合との共同主催で“緯度観測事業の将来”という題目のシンポジウムが開かれる予定である。その目的とする所は

- (a) 国際共同緯度観測事業を続けるべきかどうか、
- (b) もし続けるとしたらどう改変すべきか、
- (c) もしやめるとしたら極軌道算出のためどんな国際協力の機構を作ればよいか、
- (d) 緯度観測事業の将来の発展のためには、観測器械、観測所の位置、観測プログラム、整約方法等はどうかあるべきか、

というような点について理論的、観測的立場から討議をするというのである。このことは国際共同緯度観測事業が現在のままで続けられるべきではないという前提の上に立っている。論議されるべき問題はたくさんあるが、何と云っても一番の焦点は観測器械を何にするかということと現在の  $39^{\circ}08'$  線を固執するかどうかということにあると思う。この二点について少し述べてみたい。

2. 緯度観測用器械 緯度の観測は多くの地点の経緯度を決定するための野外観測と、固定観測所で連続した観測を行い緯度の変化を求めることに分けられる。したがって観測器械、方法もおおのずから違ってくるわけであるが、ここで問題にするのは後者に関してである。

(a) 天頂儀 本来緯度観測専用で作られた眼視用経緯儀式望遠鏡である。眼視という意味でここでは VZT と略称する。現在国際共同緯度観測事業 (ILS) や国際緯度速報事業 (IRS) に使われているのは口径 108 mm, 焦点距離 130 cm のワンシャフ天頂儀 (カルフォルテ, ゲイザースバーク, ユカイヤ), または口径 110 mm, 焦点距離 129 cm のパンベルヒ天頂儀 (水沢, キタブ, ベルグラード, ボルタワ) とである。ボルタワでは特にツァイスの口径 135 mm, 焦点距離 176 cm の天頂儀を使って前述のパンベルヒ天頂儀と平行観測を行っており、ブルコワではボルタワと同じく 135 mm のツァイス天頂儀で緯度の観測をやっている。

天頂儀による緯度の眼視観測がその精度の限界にきているということは、これまでしばしば云われたことであるが、これには二つの考え方がある。一つは現在共同観測所で使っている程度の大きさのものでは不充分である

という考え方と、天頂儀の機構それ自身が現在要求される精度に追いつけなくなったという考え方である。

ゲイザースバークの観測者であるウィリアムスは現在の天頂儀に対して色々な改良案を提出したが、どちらかというと天頂儀そのものを捨てるべきだと考える人が多かったのであまり問題にならなかった。一方ソ連では天頂儀そのものをすててはならず、IGY 用として口径 180 mm, 焦点距離 236 cm という超大天頂儀を作りあげた。しかも合計 8 個同型のものを作り、ブルコワ, モスコウ, カザン, イルクーツク, キタブ等の既設観測所に配置し、また新設されたブラゴベシチェンスクや  $39^{\circ}8'$  線上におかれた天津の観測所にもおいた。残りの 1 個はブラッセルの万国博覧会に出品された。この超大天頂儀による観測結果はまだ日が浅いので充分とはいえないが、ブルコワでの 135 mm ツァイス天頂儀との比較結果が発表されている。それによると一つの星の標準誤差は前者が  $\pm 0^{\circ}140$ , 後者が  $\pm 0^{\circ}179$  であるという。他の超大天頂儀も大体同様だそうで、この結果からみると、135 mm ツァイス天頂儀よりかなり優れているといえる。

(b) 浮遊天頂儀 イギリスのクックソンの考案になるものでこれまで世界で 2 台しか作られなかった。最初のものははじめイギリスのケンブリッジに置かれ、後にグリニッジで 1940 年まで観測が続けられた。もう一つは水沢に作られ、これは 1940 年から観測をはじめ今日にいたっている。この器械の構造、性能などについては本誌にも何度か述べられているので<sup>(1)</sup>ここでは省略する。前述の通り現在では水沢だけで観測されており、IRS のため VZT の結果と共に毎週その結果を中央局に速報している。以下 FZT と略称する。

(c) 写真天頂筒 通称 PZT は世界の通用語である。この器械についても本誌にしばしば書かれているので<sup>(2)</sup>くわしいことは省略する。この器械の大きな特長は 1 個の星の観測で時刻と緯度が同時に求められることで、しかも時刻観測に関しては現存するあらゆる器械より卓越した精度をもっていることである。緯度を求める際に、前のべた 2 種の器械はタルコット法で緯度を求めるため、一対の星の観測から一個の緯度の観測値が求められるのに対して、この器械では一個の星の観測から一つの緯度値が求められる点に特長がある。これを逆に利用すれば微光星の固有運動をきめるのにひじょうに有

\* 緯度観測所, T. Hattori: The Future of the International Latitude Service



力な器械である。現在使われているものは口径 25 cm のグラブ・パーソンズ製のもの（ハーストモンソー、ニューシャテル、オタワ、キャンベラ）と 20 cm のもの（ワシントン、リチモンド、東京、水沢）とがある。ソ連でもブルコワとモスコワに PZT を設置しつつある筈であるが、その後の経過は明かでない。観測誤差については観測所によってかなりまちまちであり、一個の星から求めた緯度の値の標準誤差はオタワでは  $\pm 0''.17$ 、ニューシャテルでは  $\pm 0''.12$ 、ハーストモンソーでは  $\pm 0''.08$  に達するという。しかし誤差を求める方法にも問題があるのでこれらの数字が果してそのまま精度をあらわしていると考えるのは早計であろう。だが少くとも一つの目安にはなると思う。

(d) アストロラーベ アストロラーベというとは何か前時代の観測器械のような感じを与えるが、最近の時刻測定法の急速な精度の向上と、ダンジョンの天才的な改良とによって時刻、緯度の測定用器械として第一級のし上ってきたのである。くわしくは本誌の坪川家恒氏の記事<sup>(4)</sup>を参照されたい。パリ天文台の口径 10 cm 焦点距離 100 cm のものは 1 星の標準誤差  $\pm 0''.17$  で 28 個の星を 1 セットとした場合の平均緯度の標準誤差が  $0''.05$  であるという。

この器械も PZT と同様、時刻と緯度が同時に測定できる点に大きな特長がある。その上天頂儀や PZT と違って広い範囲の星を観測することができるので、FK 3 のように数が少くて精度のいい星表を使うことができる。パリやニューシャテルでは FK 3 の星を使って観測をつづけ、逆に FK 3 星の赤経赤緯誤差を算出している。

第 1 表 ボルタワにおける二つの天頂儀の比較 (0''.01)

|        | ツァイス<br>-パンベ<br>ルヒ | 年周項<br>補正後 |        | ツァイス<br>-パンベ<br>ルヒ | 年周項<br>補正後 |
|--------|--------------------|------------|--------|--------------------|------------|
| 1950.0 | - 8                | - 4        | 1952.0 | - 2                | + 2        |
| .1     | - 6                | - 2        | .1     | - 2                | + 2        |
| .2     | - 1                | + 1        | .2     | - 3                | - 1        |
| .3     | - 1                | - 1        | .3     | + 1                | + 1        |
| .4     | 0                  | - 1        | .4     | + 1                | 0          |
| .5     | + 1                | 0          | .5     | + 2                | + 1        |
| .6     | + 3                | + 1        | .6     | + 3                | + 1        |
| .7     | + 3                | 0          | .7     | + 2                | - 1        |
| .8     | + 4                | + 2        | .8     | 0                  | - 2        |
| .9     | + 3                | + 5        | .9     | - 2                | 0          |
| 1951.0 | - 6                | - 2        | 1953.0 | - 2                | + 2        |
| .1     | - 5                | - 1        | .1     | + 1                | + 5        |
| .2     | - 1                | + 1        | .2     | - 3                | - 1        |
| .3     | - 2                | - 2        | .3     | + 2                | + 2        |
| .4     | + 1                | 0          | .4     | + 3                | + 2        |
| .5     | + 2                | + 1        | .5     | + 1                | 0          |
| .6     | + 2                | 0          | .6     | + 2                | 0          |
| .7     | + 2                | - 1        | .7     | + 7                | + 4        |
| .8     | + 3                | + 1        | .8     | - 3                | - 5        |
| .9     | - 1                | + 1        | .9     | - 7                | - 5        |

アストロラーベで IRS に参加しているのはパリ、アルジェー、ポツダムなどであるが、きわめて優秀な成績を示している。

3. 観測器械の比較 以上のべたような器械が固定観測所用として使用し得る器械であるが、現在国際共同緯度観測事業に使っている 110 mm 程度の天頂儀をやめて、さてどの器械を採用するかということになると、相当大変な議論になることであろう。精度については前にのべたような誤差の数字を比較すればいいかも知れない。しかし前述のようにこの数字をそのままのみにすることは危険である。また国際共同観測ということになると精度だけが唯一の因子ではない。観測方法や整理方法の難易、どれだけ人手を要するか、通信方法など考えなければならない要素はたくさんある。また複雑な器械になればなる程、原因のつかみにくい器械の欠点があるときどき現われる可能性がある。

違った場所で行われた違った器械での観測結果の比較は器械差と同時に局地差ははいてくるので、あまりいい比較材料にはならない。同じ場所で違った器械で行われた観測は精度比較の上で有力材料を与えるであろう。

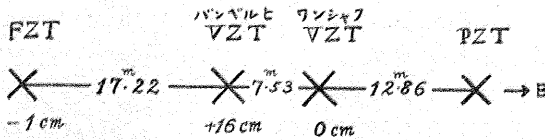
(a) 天頂儀どうしの比較 ボルタワでは 1949 年の暮以来ツァイスの 135 mm 天頂儀とパンベルヒ 110 mm 天頂儀とで同時観測をおこなっている。第 1 表の第 2 行はツァイスからパンベルヒを引いた値である。ただしこれはスムーズした曲線から 0.1 年毎の値を讀取り、オルロフの方法で出したそれぞれの平均緯度を引きさった後の値を比較したものである。この差をそのまま器械差と考えると 4 年間の平均の標準誤差は  $0''.033$  となる。しかし第 2 行をみると年周あるいは半年周の項があるように見えるので 4 年間の平均で解析してみると

$$\Delta\varphi = -0''.002 + 0''.030 \sin(2\pi t + 239^\circ) + 0''.011 \sin(4\pi t + 263^\circ)$$

となる。ここに  $t$  は 0.0 年を元期とした年の分数である。いわゆる Z 項といわれるものと同じ程度の年周差が

第 2 表 ブルコワにおける 180 mm 天頂儀と 135 mm 天頂儀との比較 (0''.01)

|         | $\Delta\varphi_1$<br>180mm | $\Delta\varphi_2$<br>135mm | $\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2$ |
|---------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1957.57 | + 28                       | + 24                       | + 4                                 |
| .65     | + 28                       | + 28                       | 0                                   |
| .78     | + 27                       | + 23                       | + 4                                 |
| .86     | + 11                       | + 12                       | - 1                                 |
| .95     | + 1                        | + 1                        | 0                                   |
| 1958.05 | - 18                       | - 17                       | + 4                                 |
| .20     | - 31                       | - 33                       | + 2                                 |
| .25     | - 33                       | - 29                       | - 4                                 |
| .33     | - 28                       | - 18                       | - 5                                 |
| .45     | - 18                       | - 7                        | - 11                                |
| .50     | - 10                       | - 7                        | - 3                                 |



第1図 水沢における観測器械の位置

注 バンベルヒ VZT の +16cm はワシヤフ VZT の位置より 16cm 北にあることを示す

ある。これを引き去ったものが第1表の3行目で、この場合には平均の標準誤差は  $\pm 0.022$  となる。

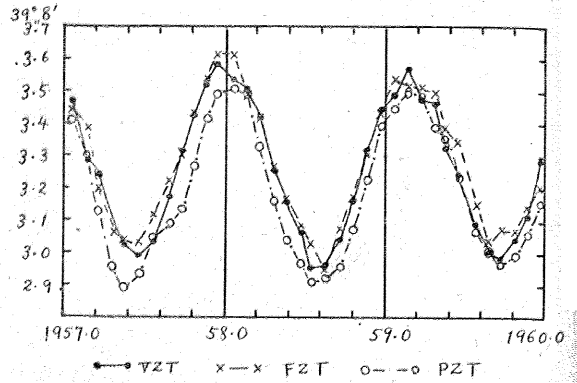
特に興味を以て期待されているのは最近作られた口径 180 mm の超大天頂儀であるが、まだ観測年数が浅いため十分な材料は得られていないようである。I.A.U. のモスコウ会議のときプルコワで行われた1年間の結果が報告されているが、それによると第2表の如く 135 mm 天頂儀との差が  $0.11$  に及ぶときがある。しかし1対の星の標準誤差は前にもいったように 135 mm よりは秀れているようである。今後の結果に期待したい所である。

(b) 違った種類の器械比較 1911年から1919年まで国際共同観測所の一つであるゲイザースバーグで行われた PZT と天頂儀による緯度の比較は PZT それ自身が今日とは比較にならない原始的なものであるためここでは述べない。

PZT ははじめロスが考案したときは緯度観測専用の器械であったが、現在では主として時刻観測に使われ緯度の方はどちらかというと副産物の感じである。した

第3表 水沢における緯度観測値

|        | PZT<br>39°8' | FZT<br>39°8' | VZT<br>39°8' | P-F<br>0.°01 | F-V<br>0.°01 | P-F<br>0.°01 | P-V<br>+.°07 | F-V<br>-.°02 | P-F<br>+.°09 |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1957.1 | 3.33         | 3.42         | 3.41         | - 8          | + 1          | - 9          | - 1          | - 1          | 0            |
| .2     | .17          | .25          | .27          | -10          | - 2          | - 8          | - 3          | - 4          | + 1          |
| .3     | 2.95         | .08          | .12          | -16          | - 4          | -12          | - 9          | - 6          | - 3          |
| .4     | .90          | .03          | .01          | -11          | + 2          | -13          | - 4          | 0            | - 4          |
| .5     | 2.97         | .05          | .00          | - 3          | + 5          | - 8          | + 4          | + 3          | + 1          |
| .6     | 3.04         | .15          | .08          | - 4          | + 7          | -11          | + 3          | + 5          | - 2          |
| .7     | .13          | .23          | .24          | -11          | + 2          | -13          | - 4          | 0            | - 4          |
| .8     | .24          | .44          | .40          | -16          | + 4          | -20          | - 9          | + 2          | -11          |
| .9     | .43          | .55          | .55          | -12          | 0            | -12          | - 5          | - 2          | - 3          |
| 58.0   | .50          | .02          | .08          | - 8          | + 4          | -12          | - 1          | + 2          | - 3          |
| .1     | .50          | .56          | .54          | - 4          | + 2          | - 6          | + 3          | 0            | + 3          |
| .2     | .38          | .43          | .45          | - 7          | - 2          | - 5          | 0            | - 4          | + 4          |
| .3     | .15          | .31          | .28          | -13          | + 3          | -16          | - 6          | + 1          | - 7          |
| .4     | 3.02         | .17          | .16          | -14          | + 1          | -15          | - 7          | - 1          | - 6          |
| .5     | 2.93         | 3.06         | 3.03         | -10          | + 3          | -13          | - 1          | + 1          | - 4          |
| .6     | .91          | 2.95         | 2.95         | - 4          | + 1          | - 5          | + 3          | - 1          | + 4          |
| .7     | 2.95         | 3.03         | 3.01         | - 6          | + 2          | - 8          | + 1          | 0            | + 1          |
| .8     | 3.08         | .17          | .16          | - 8          | 1            | - 5          | - 1          | - 1          | 0            |
| .9     | .24          | .32          | .32          | - 8          | 0            | - 8          | - 1          | - 2          | + 1          |
| 59.0   | .41          | 3.46         | .46          | + 5          | 0            | - 5          | + 2          | - 2          | + 4          |
| .1     | .48          | .53          | .53          | - 5          | 0            | - 5          | + 2          | - 2          | + 4          |
| .2     | .49          | .53          | .54          | - 5          | - 1          | - 4          | + 2          | - 3          | + 5          |
| .3     | .42          | .50          | .47          | - 5          | + 3          | - 8          | + 2          | + 1          | + 1          |
| .4     | .30          | .33          | .32          | - 2          | + 7          | - 9          | + 5          | + 5          | 0            |
| .5     | .18          | .25          | .20          | - 2          | + 5          | - 7          | + 5          | + 3          | + 2          |
| .6     | 3.05         | .08          | 3.05         | - 1          | + 2          | - 3          | + 6          | 0            | + 6          |
| .7     | 2.97         | .04          | 2.99         | - 2          | + 5          | - 7          | + 5          | + 3          | + 2          |
| .8     | 2.99         | .07          | 3.02         | - 3          | + 5          | - 8          | + 4          | + 3          | + 1          |
| .9     | 3.03         | .15          | .11          | - 5          | + 4          | - 9          | + 2          | + 2          | 0            |
| 1960.0 | .29          | .23          | .21          | - 1          | + 5          | - 6          | + 6          | + 3          | + 3          |



第2図 水沢の緯度変化

がって PZT と天頂儀とをならべて観測しているのは現在のところ水沢だけであるが、ニューシャテルとワシントンでは PZT とダンジョンのアストロラーベで平行観測をやっている。ニューシャテルでは両者の観測結果を比較した結果、時刻や緯度は PZT を基準にするとはっきりのべている。その理由として精度のよいこと、すべて自動的に処理され人手を要しないことなど挙げている。ここではアストロラーベは FK 3 の星を観測して、その赤経赤緯の誤差を決定しようという方向に持っている。

4. 水沢における三器比較観測 水沢では国際共同緯度観測所の一つとして 1927 年までは 108 mm のワシヤフ、それ以後は 110 mm のバンベルヒ天頂儀で観測を続けてきたが、1940年にFZTを、1955年にPZTを同じ緯度の上において平行観測をしている。その配置

は第1図の通りでほとんど東西線上に置いてある。PZT の位置はまだ精測していないが、ワシヤフ天頂儀のあった位置と少くとも数 cm 以内の差で同一緯度線上にある筈である。これらの3種の器械による結果の一部、1957年のはじめから1958年の終りまでの分は IGY 報告として既に出版されているが<sup>(4)</sup>、第2図は更に 1959 年の末までのばしたものである。ただ赤緯補正の求め方が IGY 報告と違っているので多少の差がある。ここに掲げた結果は中央局から発表された ILS の結果を基準とした赤緯補正をほどこしたものである。第3表はそれぞれの器械について第2図から続めとった0.1年毎の緯度の値である。それぞれの器械の差をとったのが次の3行で、最後の3行は3年間の差の平均値を補正したものである。標準誤差は P-V= $\pm 0.043$ , F-V= $\pm 0.026$ , P-F= $\pm 0.039$  となる。FZT と VZT の方が PZT よりも差が少

第 4 表

| 器械  | 内部誤差        | 外部誤差        |
|-----|-------------|-------------|
| PZT | $\pm 0.069$ | $\pm 0.081$ |
| VZT | 0.074       | 0.081       |
| FZT | 0.050       | 0.066       |

という結果になる。一晩の緯度の平均値と、それぞれの星または星対から出した緯度の差から出した一晩の平均値の標準誤差を内部誤差とし、スムーズした曲線からの一晩の平均緯度値のずれから出した標準誤差を外部誤差と名づければ、その値は第 4 表のようにになる。これから判断すれば FZT が一番精度がよいことになる。一晩完全に晴れると PZT は 22~24 星、VZT が 18 星対、FZT が 24 星対観測できるわけであるが水沢では天候が不安定なので完全観測のできる日は少ない。第 4 表を計算するのに使った 1956 年 7 月から 1958 年 12 月までの一晩の平均観測数は PZT 10 星、VZT 10 星対、FZT 12 星対である。FZT の誤差の少ない原因の一部はこういう所にもあると思う。しかし 3 種の器械ともその精度については大差ないと結論するのが一番穏当であろう。一星または一星対の標準誤差は PZT =  $\pm 0''22$ , VZT =  $\pm 0''23$ , FZT =  $\pm 0''17$  であるから PZT の成績としてはあまり香しくないようである。水沢の大気状態の不安定なことなども考えられるが頭部回転の問題、温度による焦点の位置の変化など検討すべき点は色々残されている。

5. 赤緯補正と Z 項 子午線内で星の天頂距離を測定して緯度を出す場合には赤緯の誤差が直接はいつてくる。現在要求されている程度の精度をもった緯度の値を出すためには、現行のどの星表も赤緯誤差なしとして取扱うわけにはいかない。赤緯誤差を  $\Delta\delta$  とすれば  $k$  なる観測所の緯度変化は、 $\lambda_k$  をその観測所の西経として

$$d\varphi_k = x \cos \lambda_k + y \sin \lambda_k + \Delta\delta \quad (1)$$

であるから、3 個処以上の観測所で同じ星を観測すれば極の位置  $x, y$  と  $\Delta\delta$  が同時に求められる。この方法を仮りに ILS 法と名づけると、ILS 法と連鎖法による赤緯補正には系統的な差ができる。第 5 表は  $39^\circ 8'$  線上に

第 5 表 連鎖法と ILS 法との赤緯補正の差 ( $0''001$ )

| 星群   | 水沢  | キタブ | カルロフ<br>オルテ | ユカイア |
|------|-----|-----|-------------|------|
| IV   | +58 | +30 | +17         | +50  |
| V    | -6  | +31 | +20         | +55  |
| VI   | +21 | +68 | +8          | +16  |
| VII  | +40 | +4  | +50         | -3   |
| VIII | +25 | -5  | +27         | -5   |
| IX   | +2  | -29 | -35         | -32  |
| X    | -58 | -42 | -24         | -37  |
| XI   | -54 | -58 | -54         | -22  |
| XII  | -23 | -46 | +11         | -40  |
| I    | -2  | -20 | +14         | -5   |
| II   | -22 | +44 | -27         | +12  |
| III  | +29 | +25 | -3          | +11  |

ある国際共同緯度観測所で 1955.0 から 1958.0 の間に観測された材料から、それぞれの観測所毎に連鎖法でといたものと ILS 法でといたものとの差をとったものである。これがいわゆる Z 項であると考える。それで  $i$  なる時期に観測された  $j$  群の赤緯誤差を  $\Delta\delta_{i,j}$  とすれば

$$\Delta\delta_{i,j} = \Delta\delta_j + \sum_{m,n} a_{mn} \sin(m\odot_i + n\alpha_j + A_{mn}) \quad (2)$$

とおく。ここで  $\odot_i$  は  $i$  なる時期の太陽の黄経、 $\alpha_j$  は  $j$  群の平均の赤経である。この時期に  $(j+1)$  群が同時に観測されているとすれば

$$d\varphi_{i,j} = \varphi_{i,j} - \varphi_{i,j+1} = \Delta\delta_{i,j} - \Delta\delta_{i,j+1}$$

普通の連鎖法では全天を  $\alpha$  によって  $N$  等分し、観測時期もまた  $N$  等分されるから  $\odot_{i+1} - \odot_i = \alpha_{j+1} - \alpha_j = 2\pi/N$  である。今  $\alpha_{j+1} - \alpha_j = 2\Delta\alpha$  とおいて 1 年間の和をとれば

$$\sum_{i,j} d\varphi_{i,j} = -2 \sum_{i,j} \sum_{m,n} a_{mn} \sin n\Delta\alpha \times \cos \{m\odot_i + n\alpha_j + A_{mn} + n\Delta\alpha + i(m+n) \cdot 2\Delta\alpha\}$$

ここで  $m+n=0$  の場合には

$$\sum_{i,j} d\varphi_{i,j} = -2 \sum_{i,j} a_{mn} N \sin n\Delta\alpha \times \cos(m\odot_i + n\alpha_j + A_{mn} + n\Delta\alpha)$$

となり  $n=0$  以外では 0 にならない。これがクロージング・エラーである。

次に  $m+n \neq 0$  のときは普通の連鎖法にしたがってクロージング・エラーを等分してそれぞれの星群の赤緯誤差を求めると、途中の計算を省略して

$$\Delta\delta_{i,j} = \Delta\delta_j + \sum \frac{a_{mn} \sin n\Delta\alpha}{\sin(m+n)\Delta\alpha} \times \sin(m\odot_i + n\alpha_j + A_{mn} - m\Delta\alpha) \quad (3)$$

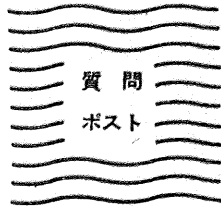
となる。ここで  $m=0$  の場合は

$$\Delta\delta_{i,j} = \Delta\delta_j + \sum a_{mn} \sin(n\alpha_j + A_{mn})$$

となるから全くもとと同じ形となりしかも  $i$  によらない。したがって  $\Delta\delta_a$  のようなものは連鎖法によっても、ILS 法によっても同じものが求められる筈である。一方例えば  $n=0$  の場合には  $\Delta\delta_{i,j} = \Delta\delta_j$  となり、連鎖法によって (2) の右側の第 2 項は消滅してしまう。また一般には (3) と (2) との差が二つの方法の差として出てくるわけである。

一口で結論をいえば、同一緯度上で 3 個処以上の観測所が同じプログラムで観測することが最も望ましい。しかし必ずしも固執する必要はないが、計算の手続が面倒になり色々な誤差のはいり込む可能性がひじょうに多くなるということである。

(1) 天文月報第 44 巻第 10 号 150 頁; 第 46 巻第 12 号 188 頁; 測地学会誌第 2 巻第 2 号 59 頁。(2) 天文月報第 48 巻第 11 号 117 頁; 第 48 巻第 3 号 85 頁; 第 49 巻第 1 号 6 頁。(3) 天文月報第 52 巻第 2 号 29 頁。(4) IGY Data on Longitude and Latitude, part I, Nov. 1959, National Committee for IGY, Science Council of Japan.



## z 項

問 緯度変化の z 項をわかり易く説明していただけないでしょうか。  
(岩手県, 大宮万三)

答 まず z 項の発見の由来から申し上げた方が理解が早まると思います。z 項は観測値と計算値との差, これをよく (O-C) と申しますがそれを緯度観測所の初代所長であった木村栄 (ひさし) 博士が苦心して解析された末に 1920 年に発見されたものです。ここで計算値というのは緯度変化がすべて地球自転軸の地球自身に対しての移動即ち極運動によるものと仮定して求めたものです。木村博士は最初の z 項論文には  $\alpha$  を用いてなく, 鉛直線偏倚をよく用いられていた  $\xi$  を用いて発表しました。ところが極の座標を通例  $x, y$  で表わし, ある観測所の緯度変化,  $\Delta\varphi$  は

$$\Delta\varphi = x \cos \lambda + y \sin \lambda + \alpha$$

という形式で表現するのが木村博士の提唱によるもので右辺の最初の二項は極運動にもとづく緯度変化で, 上に述べた計算値で, 実際の観測値と計算値 (理論値) との差が  $\alpha$  にあたるわけです。x, y に次いで  $\alpha$  を用いた方が  $\alpha$  のギリシャ文字  $\xi$  を用いるより混同を避けるという意味で自然な過程だったのでしょう。z 項は発見されると殆ど同時に, その原因についての研究がいろいろの面から発表されました。先づ, 緯度観測に用いた星の年周視差, 木星, 土星による光行差の修正, 光行差定数,

章動定数等の天文定数の吟味等, 位置天文学の根本問題がくわしくしらべられました。この意味では z 項の追究はまず大きな位置天文学への反省を促がし, 貢献して, 歴史的役割をすでに果たしてしまったと現在完了の形で言える程です。その後, z 項のありのままの実態の研究にすすんで, 次第に z 項というのはかなり観測所毎に固有な, 局地的 (local) なものも含み, 観測所全体に共通な common z と区別した方がいいという見方に進んで来ました。前にのべた初期の研究はほとんど common z に関係したもので, local z の方は気象的要素が大きくとりあげられて参りました。こうなると z 項の取扱は緯度観測の整約そのものに影響して, 発見者の木村博士自身ライフ・ワークとして z 項のありのままの解析, 整約方法の吟味に苦心をつくされました。木村博士の時代以後 z 項の見方は三転して, もっとすっきりと common z は大部分緯度観測に用いた星の赤緯誤差によるものとして, 赤緯誤差を求める最も適した方法だという評価になって現在に至り, 局地 z は気象要素の影響が物理的に考察されて, 等密度層の傾斜にもとづく異常屈折という見方に統一されつつあります。ところがいかに見方が統一されても, まだまだ z 項を完全に量的に説明するには程遠い現状です。

これにはもはや新しい時代, 即ち精度のより向上した緯度観測の器械, 例えば写真天頂筒, アストロラーベ, 大天頂儀等の登場によって, ことなつた数種の器械による同時比較観測にまつ外ない現状です。又, 最近 39°08' の国際共同緯度観測事業のほかにも各国の自由な協同観測, 即ち国際緯度観測速報事業への拡張にともない, z 項が広義に見直され, 緯度観測の方法そのものによつても再検討の新しい時代を迎えつつあります。z 項の究明は緯度観測と共に始まり, 緯度観測のつづくかぎり, 問題として残されてゆく根本課題のように思われます。どうぞやお答えしている方が z 項とはなにかかわらなくなってきました。  
(C.S.)

切手の説明: パロマ天文台の外観。世界最大の 200 吋反射鏡がパロマ天文台 (南カリフォルニア) の中におさめられた 1948 年に, アメリカで 3セント切手 (日本の円相場で約 11 円) を発行した。大きさは 26 ミリ×30 ミリ, 色はにぶ青色 (dull blue)。尚その器械が完成するのに 20 年位かかった。

## 雑 報

### 1960~1980 年に対する惑星表

この出版物は, 1933 年に出た 1800~1940 に対するものや, 1939 年に出版された 1940~1960 に対するものの続きである。内容は標題に示されたように, 1950.0 の分点によつた惑星の日心座標が, Julian 日の 10 日毎に与えられている。黄道系座標としては; 黄経, 黄緯, 距離及び距離の 3 乗の逆数が, 赤道系のものとしては; 直交座標と太陽への引力 (摂動計算のための) が示されている。

先の 2 巻と異つて, 火星に冥王星の直交座標や, 4 つの内惑星と太陽の barycentre の座標が新しく加えられている。もともとこの出版物は, 彗星や小惑星の摂動計算のためのものなので, その目的のために便利な上のような座標が増えており, 細部にもいくらか改訂を行なっている。特に注目すべきことは, Introduction と公式集の頁が相当多くなり, Introduction では文章だけで数式

は使っていないが, 種々の特別摂動計算法の特徴を簡単に要領よく紹介している。

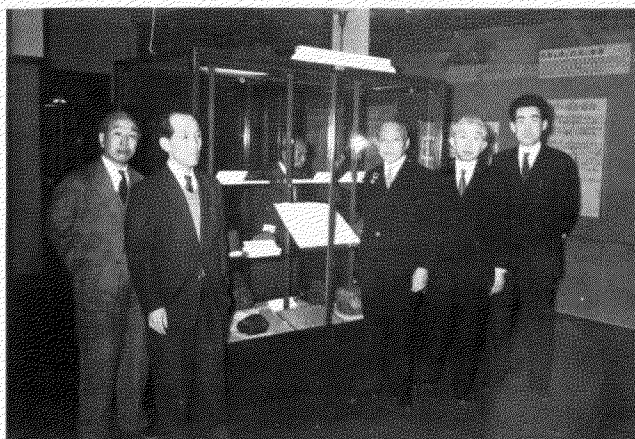
その他いままでのものにも含まれていたが, 巻末に集められた種々の表, 例えば歳差の計算表や, 数の 2 乗から 3 乗の逆数を求める表などは, 摂動計算以外にも利用する機会が多いことと思う。

各惑星の座標を示した頁の印刷は, 最近外国で流行の card-controlled typewriter のものになっており, その他の部分はいままでのものをそのままのせているので, この出版物の価値には関係のないことではあるが, 何となくチグハグな感じがする。

これまで専門家でないアマチュアの人達にとつても, 各惑星の日心座標を知るだけでなく, 地球の座標と組合わせて簡単な計算で地心座標も求められるから, 将来 20 年分の天体暦を座右にそなえるのと同じと云えよう。

(H.M. Nautical Almanac Office 編; Planetary Coordinates for the years 1960~80, referred to the equinox of 1950.0, H.M. Stationery Office, London 出版; 約 1800 円)  
(古川)





## ◇科学博物館の隕石展

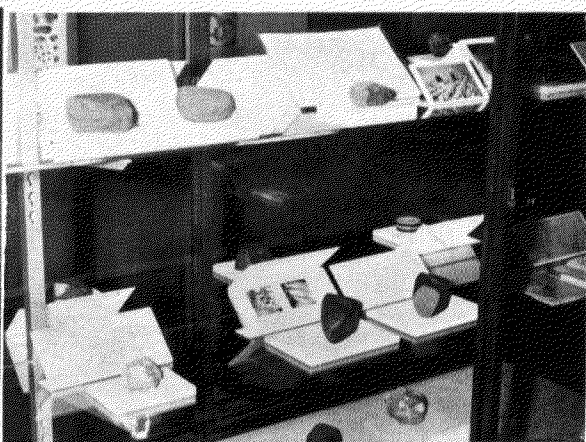
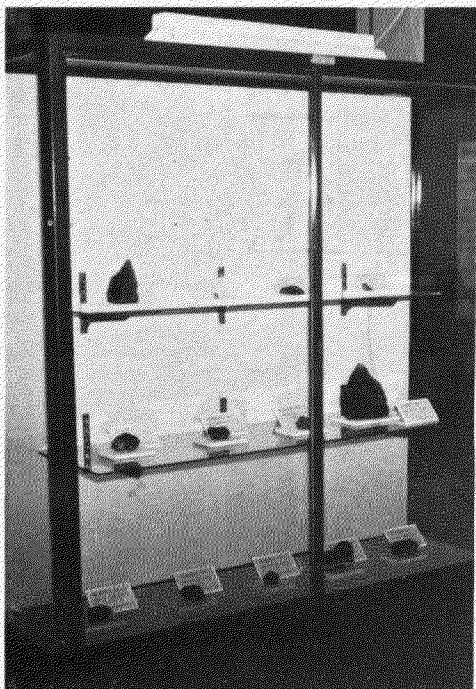
本年 4 月 5 日～5 月 15 日にわたって科学博物館において隕石展が開かれた。この特別展覧会は従来科学博物館に所蔵するものの外、全国の篤志家の出品を加えて行われたもので、一般の隕石に対する関心を高めようとするのが目的であった。

上は 4 月 17 日 特別講演会が行われ、神田茂、南英一両氏の講演があった際、陳列場にて撮影したもの

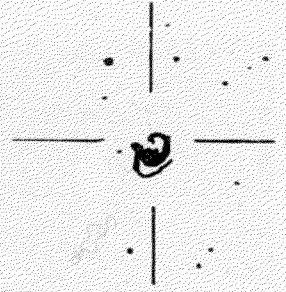
左より安田辰馬、広瀬秀雄、神田茂、南英一、村山定男の各氏。

右上は日本で一番重い田上隕鉄の組織をルーペでのぞく子供達、左方は気仙隕石。

右下は陳列の一部。上段は日本で最も古い笹ヶ瀬隕石（2 つある中、左は模型、右は実物）。その右は最も新しい岡部隕石、中段左は在所隕石、中央は家屋に当たった笠松隕石。



左下は明治 42 年に落下した美濃隕石の 13 個の標本（これは 27 個拾われている）。



左の写真は銀河系外星雲 NGC 4496 (中央やや左) の中に出た超新星。上の図はパロマーの写真星図を見て NGC 4496 と附近の星を画いて超新星の位置を示した。これは 12.0 等の渦巻星雲で中心から北東へ  $0.9'$  の位置に出たこの超新星は、NGC 4496 自身と同じ位の明るさを持っている。ここは乙女座の中で附近には銀河系外星雲がむらがるようにある。

下の写真は 4 月 23 日にとったパーナム彗星 (1959 k)。光度 4 等 (3 月号走査線参照)。上下共に東京天文台ブラッシャー天体写真儀による。







上 海蛇座の多重星雲で

PA 694 の Nos. 5-9.

左下 牡羊座の多重星雲

PA 443, Nos. 21, 22.

右下 かみのけ座の NGC

4676.

いずれもマクドナルドの  
82' でとったもので上が北  
左が西。1mm=2"7 の大き  
さ。

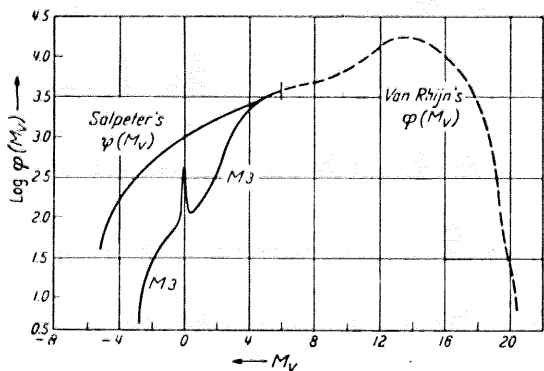


6月の天文暦

| 日  | 時刻      | 記事                      |
|----|---------|-------------------------|
| 3  | 時 分     | 上弦                      |
| 6  | 1 48    | 芒種                      |
| 9  | 22 2    | 満月                      |
| 10 |         | RR Sgr(5.6)極大光度         |
| 16 | 13 35   | 下弦                      |
| 19 | 23      | 水星 東方最大離角               |
| 20 | 11      | 木星 衝                    |
| 21 | 18 42   | 夏至                      |
| 22 | 14 28.4 | $\alpha$ Tau (1.1)月に潜入  |
| 22 | 15 7.0  | $\alpha$ Tau (1.1)月より出現 |
| 23 | 1       | 金星 外合                   |
| 24 | 12 27   | 新月                      |

球状星団 M 3

牛飼座のアークトウルス (0.2 等星) と 獵犬座の一番明かるい星 (2.8 等星) の丁度中間位に小望遠鏡でも見える (写真等級 7 等) 直径 20' の天体がある。これは、実直径 60 pc の中に太陽の質量の  $2.45 \cdot 10^5$  倍位の質量の星が球状に密集しているもので、M 3 (NGC 5272) と呼ばれる球状星団である。散開星団や星組合 (アソシエーションの事) が円板状の銀河面の中に分布しているのに対して、球状星団は銀河系の中心に対して、点対称に集っていて、現在 118 個が確認されている。球状星団の中の変光星については計画的な掃索が現在行われていて、90% は RR Lyr 型変光星である事がわかった。しかし半数の球状星団には全くありそうもない事がわかっている。M 3 は最も変光星の多い球状星団で 186 個もあるが、球状星団の 3/4 は 20 個以下の変光星しか含まない。左下の M 3 の光度函数は、サンデーが 44500 個の星の光度をしらべて作ったもので、サルピーターが散開星団から求めたものに比べて明かるい星の数が甚しく少い



が、中で RR Lyr 附近絶対光度 0 等の星の数が多くなっているのがわかる。本欄 1 月号で述べたように、絶対光度の明かるい星は質量が大きいため、暗い星に較べて甚しくはやく進化するので、すでに星になってから  $10^9$  年以上もたったとすれば、このような光度函数の差を説明する事が出来る。球状星団全体の絶対等級はだいたい超巨星 1 個の明かるさに相当し、M3 は写真等級で -8.2 等とされる。それで球状星団は遠くの銀河系外星雲にも見つける事が出来るわけで、最もすばらしいのは M 87 で、それを取り巻く球状星団は 1000 個にも達すると思われる。銀河系には先に云ったように 118 個しか認められていないが、全部で 200 個位あるものと思われる。

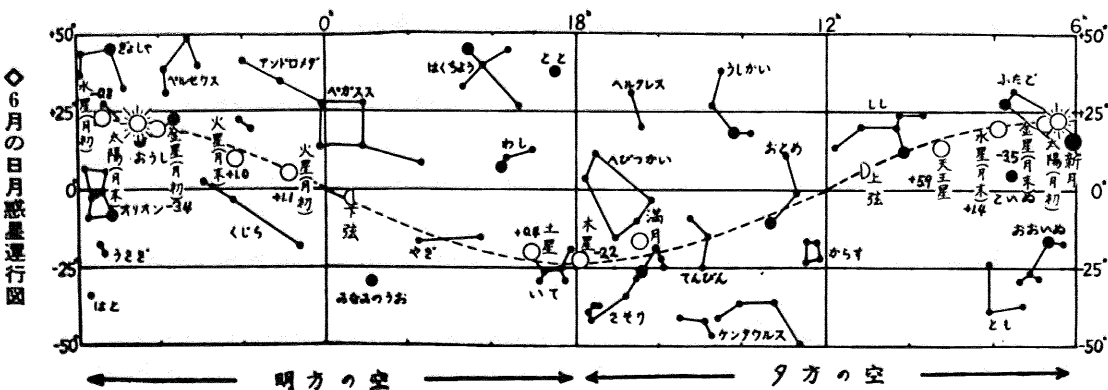
東京に於ける日出入および南中 (中央標準時)

| VI月 | 夜明   | 日出   | 方位    | 南中    | 高度   | 日入    | 日暮    |
|-----|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 1日  | 時 分  | 時 分  |       | 時 分   |      | 時 分   | 時 分   |
|     | 3 50 | 4 27 | +27.9 | 11 39 | 76.2 | 18 51 | 19 27 |
| 10  | 3 47 | 4 25 | +29.4 | 11 40 | 77.3 | 18 56 | 19 34 |
| 20  | 3 47 | 4 25 | +30.0 | 11 42 | 77.8 | 19 01 | 19 38 |
| 30  | 3 50 | 4 28 | +29.8 | 11 44 | 77.6 | 19 11 | 19 39 |

各地の日出入補正值 (東京の値に加える)

(左側は日出, 右側は日入に対する値)

| 分       | 分   | 分       | 分   |
|---------|-----|---------|-----|
| 鹿児島 +47 | +26 | 鳥取 +22  | +21 |
| 仙台 -12  | +2  | 福岡 +43  | +31 |
| 大阪 +19  | +14 | 青森 -20  | +12 |
| 広島 +33  | +25 | 名古屋 +12 | +10 |
| 札幌 -30  | +16 | 高知 +31  | +18 |
| 新潟 -4   | +9  | 根室 -48  | 0   |





## 非球面アプラナート・レンズについて

吉田 正太郎\*

天文月報から原稿を依頼されたので、この機会に、私が現在研究している非球面レンズを簡単に解説することにする。読者諸氏が何等かの新しい興味を発見して下さいれば幸である。

普通の天体望遠鏡の対物レンズは、凸レンズと、凹レンズと、2枚のレンズを組合わせてある。接眼鏡は、ハイゲムやラムスデンは2枚、ケルナーは3枚、オルソスコピックは4枚の単レンズから出来ている。写真レンズではツァイスのテッサーF4.5は4枚、フォクトレンダーのヘリヤーF4.5は5枚、ライツのヘクトールF4.5は6枚の単レンズから成り立っている。もっと口径比の大きい写真レンズでは、ライツのズマレックスF1.5が7枚、アンジュニューのF1.2は8枚、そして日本光学のニコールF1.1では9枚のレンズから構成されている。後に第10図に示すレンズに至っては、実に10枚構成である。

何故こんなに沢山のレンズを組合わせるのか。それは要するに、明るくて鋭い像を得るためである。しかも鮮明な像が出来る範囲は、なるべく広い方が良いのである。

しかしながら一方に於ては、レンズ枚数の増加は別の困難を引き起す。第1に、レンズを作るのに手数がかかるから、それだけ高価になる。第2に、レンズを組立てるとき各々の単レンズの光軸を正しく合致させることが困難になり、もし少しでもズレれば肝心の映像がボケてしまう。

第3の、そして最大の困難は、レンズ枚数がふえると表面反射やガラス内部での吸収のために透過光量が少なくなって、かえって映像が暗くなることである。最も損失の少ない垂直入射の場合でさえ、ガラスと空気の界面1個について、それぞれ4ないし8%の光量が失われる。近頃は増透処理をするので事態はかなり改善されたが、それでも構成枚数の多い写真レンズなどでは、光量の損失は数十%に達する。

すなわち、レンズの構成枚数は、なるべく少ないに越したことはない。出来るだけレンズの枚数を少なくして、しかも出来るだけ明るくて鮮鋭な像を、広い視界にわたって作らせることは、昔も今も、すべての光学器械に共通な研究目標なのである。

但ここで常に忘れてならないことは、実際の製作方法

である。いくら設計が良くても、実在の材料を使って本当に作ることが出来るのでなければ、あまり意味がないわけである。

改めて云うまでもなく、今まで用いられているレンズの大部分は、球面の組合わせである。球面は比較的容易に、しかも高精度に研磨できるからである。

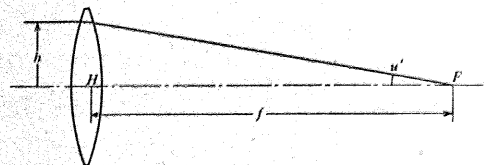
しかしながら、いつまでも球面だけを考えていては進歩はない。現に反射望遠鏡には放物面鏡や双曲面鏡が古くから用いられており、特殊な非球面補正板を用いるシュミット・カメラも既に実用化している。非球面を無暗に恐れる必要はない。そこで私は非球面レンズの計算を始めたわけで、それは終戦後まもない昭和23年のことである。私は世界の誰もが未だ手を付けていない問題に、全力をあげてぶつかって見たかった。

写真レンズに於ては、レンズの口径（正確に云えば入射瞳の直径）を焦点距離で割った値を口径比と云い、その逆数をF数と云う。第1図で、口径比は $1:f/2h$ であり、F数は $f/2h$ である。同じ焦点距離に対して、レンズの口径が大きいものほど「口径比が大きい」又は「F数が小さい」または簡単に「明るい」と云っている。

他の条件は同一とすれば、写真撮影の場合の露出時間はF数の2乗に比例する。F8で200分の1秒で写る被写体は、F0.5なら50000分の1秒で写るわけである。

現在用いられている一般用の写真レンズで最も明るいのはニコールF1.1とズノーF1.1であるが、X線映画用の特殊レンズとしては、コダックのフルロ・エクターF0.75がある。

顕微鏡対物レンズでは、第1図で $n \sin u'$ に相当する値を鏡口径または開口数と云う。但、 $n$ は見ようとする



第1図

\* 東北大学科学計測研究所, S. Yoshida: Aspheric Aplanatic Lens

物体のまわりの物質の屈折率である。顕微鏡対物レンズの金棒の外側に記してある N.A. と云う数字はこれである。顕微鏡に於ては、像の分解能が開口径 N.A. に正比例するので、極めて重要な量である。

写真レンズで云う F 数と、顕微鏡対物レンズで云う開口径数とは、本質的には同種の量で、互に換算することが出来る。

天体望遠鏡の対物レンズでは F 数をたいして重視しないが、これは天体の大部分が点光源なので、極限等級も分解能も口径そのものだけで定まると、天体望遠鏡の多くは据付式で、重量や長さを、やかましく云わないからである。写真望遠鏡や携帯用の望遠鏡では、矢張り対物レンズの口径比を大きくすることが必要になってくる。

かようにレンズの口径比を大きくすると云うことは、像を明かるくする、または分解能を良くするために、極めて必要なことであるが、これを実現するに当って最大の障害となるのは、収差である。収差とは要するに、実際の光学系で生ずる像が理想的な像と異なることを指しているが、これには単色光の場合に生ずる 5 収差と、種々の単色光が混合している場合に生ずる色収差とがある。

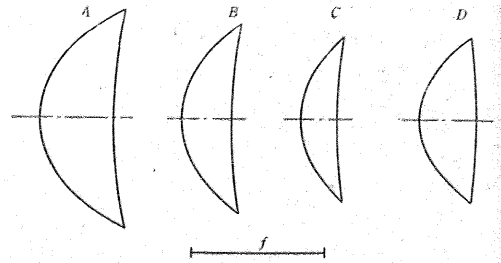
球面レンズまたは球面鏡の光軸に平行に、太い光束が入射すると、この光束は 1 点には集まらない。従って像がボケるわけでこの現象を球面収差と云う。我々が明かるい恒星を見るとき放射状の線が四方八方に発射して「星形」に見えるのは、眼の球面収差のためである。

球面収差を減らすには、レンズの口径を絞るか、または 1 枚のレンズの代りに薄い 2 枚以上のレンズで置き換えればよい。球面収差による像のボケは、大体に於て口径の 3 乗に正比例するからである。

球面収差を全くゼロにするには、非球面が必要である。反射鏡の場合は、物点が無限遠にあれば放物面鏡、物点が有限距離ならば楕円面鏡を用いればよい。レンズの場合も、前面を楕円面にし後面を球面にしたメニスク・レンズ、或は前面を平面にし後面を双曲面にした平凸レンズを用いれば、無限遠の物点に対して球面収差をゼロにすることが出来る。物点が有限距離にあれば、デカルトの 4 次曲面レンズである。これらの非球面鏡や非球面レンズの理論は、既に 17 世紀中頃に知られていた。楕円面レンズは、例えば分光器のコリメーター・レンズに用いられている。

ところが、このように球面収差だけを除去した非球面レンズや非球面反射鏡は、視界の中央から少し離れると像が急に悪くなる。例えばパロマー山の反射鏡は口径 5 m、焦点距離 16.3<sup>m</sup>5 であるが、鮮鋭な像が出来る範囲は直径約 3 cm に過ぎない。

かように光軸外の像がボケるのはコマのためである。コマとは、光軸と少し傾いた平行光束が、光学系を通



第 2 図 前面非球面アプラナート単レンズ FA

たのち 1 点に集らない現象である。天体望遠鏡で低倍率を使って散開星団などを見るとき、視界周辺部に近い星像が外方に向って延びているように見えることがあるが、それがコマである。

何等かの方法で既に球面収差を除去した光学系が、そのうえ更にコマをも生じないためには、第 1 図に於ける  $h = \sin u'$  なる値が、レンズのどの部分についても、焦点距離  $f$  に等しくなければならない。これを正弦条件と云い、1879 年にアッペが発表した大切な関係式である。但、物体が近距離にあれば、式の形は少し変わる。

次に光軸と大きな角度で傾いた平行光束は、レンズを通ったのち、空間に於て互に相はなれた、しかも互に直角な、2 本の短い直線の上に集まる。これを非点収差と云う。人間の眼で云えば、乱視のようなものである。非点収差については、もっと詳しく説明しないと判り難いと思うが、紙幅の関係で省略する。

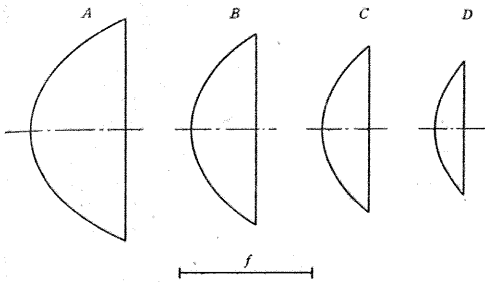
単色光に対する収差としては、このほかに、像面の彎曲と映像の歪曲がある。

球面収差、コマ、非点収差、彎曲、歪曲のことをザイデルの 5 収差と云う。1856 年に彼がアストロノミッシュ・ナハリヒテンの第 1027-1029 号に発表したものである。

以上のべたように、望遠鏡にしても、顕微鏡にしても、写真レンズにしても、像の鮮鋭度を害する原因は、視界中央部に於ては球面収差であり、視界中央から少しはなれた部分ではコマである。従って、実用的な光学系に於ては、先ず球面収差とコマを同時に除去することを考えなければならないわけで、これは昔から幾何光学における基本的な課題である。

球面収差とコマと双方を同時に除去した光学系をアプラナートと云う。正弦条件から判るように、アプラナートに於ては第 1 図の  $h$  の最大値は  $f$  を超えることは出来ないから、明かるさは F 0.5 が最大限である。

望遠鏡対物レンズや顕微鏡対物レンズは色消アプラナートである。天体写真の撮影に屢々利用されている人眼鏡玉と云うレンズも、矢張りアプラナートである。但、これらは何れも球面レンズだけの組合せである。球面レンズだけでは厳密な意味でのアプラナートにはならない



第3図 前面非球面アプラナート平凸レンズ FAP

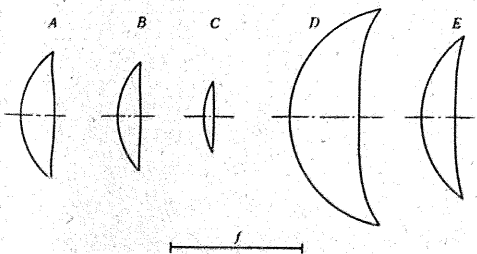
が、実際は、望遠鏡では光波の廻折、顕微鏡では肉眼の視力、写真レンズでは写真乳剤の粒状性と云うような限界があるから、実用的に差支えない程度に、球面収差とコマを除去しているのである。

非球面を導入して、構造簡単なアプラナートを得ようと言う考えは多くの人々によって試みられたが、その中で最も成功したのが有名なシュミット・カメラ(1930年)である。これは球面反射鏡と非球面補正板とを併用するもので、球面収差は皆無であり、コマ及び非点収差も殆んどない。その改良型のスーパー・シュミットと称せられるものでは F 0.65 に達するものもある。然るに、像面が球面になること、カメラの全長が焦点距離の約2倍になること、取柄自身が入射光線を遮ること等は、大きな欠点である。

一方、非球面を用いたアプラナート・レンズの方は、1905年にツァイスのリンネマンが始めて研究して顕微鏡の照明系に用いたと云うが、具体的な詳細は文献に見出されない。

1925年にコダック研究所のシルバースタインが発表した非球面レンズは、光軸近傍に於てはアプラナートであるが、明かるさは F 2.2 に過ぎない。これは前面が楕円面、後面が4次曲面の単レンズである。実際に製作したかどうかは疑わしい。

さて、私が計算している非球面レンズは、正確に云えば「特に口径比の大きい非球面アプラナートレンズ」である。すなわち、極端に明かるくて、しかもかなり広い視界にわたって鮮鋭な像を生ずる、構造簡単な非球面レンズ系である。特に口径比が大きくなると展開式は無意味であるから、私は厳密な方程式を作って、数値計算で



第4図 後面非球面アプラナート単レンズ BA

解いている。その方程式を作ること自体が今まで誰も試みたことのない仕事である。レンズの設計は実現化を常に念頭に置かなければならないから、材料はすべて実在するガラスを採用している。正直のところ、始めは海のものとも山のものとも見当がつかなかったが、計算を進めるに従って、色々の新事実が判明した。

私が今までに計算したレンズは数百種に達するが、その例を次に掲げよう。

第2図は前面非球面アプラナート単レンズである。以下これを FA と略称する。左の3個は重フリント SF 6 を用いたレンズで、A が F 0.6, B が F 0.7, C が F 0.8 である。右端の D は硼珪クラウン BK 7 を用いた F 0.8 のレンズである。これらのレンズの前面は、代数式では表わせない超越曲面である。強いて数値的に展開式で表わすとすれば、少くとも 30 次以上である。

レンズの後面は何れも球面である。各レンズとも d 線(ヘリウムの黄線,  $\lambda$  5876) に対して球面収差を皆無にしてあり、正弦条件は実用的に差支えない程度に満足している。

多くの計算の結果によれば、前面非球面アプラナート単レンズ FA における正弦条件の不満足量の最大値は、口径比の約4乗に正比例し、屈折率の約10乗に反比例する。

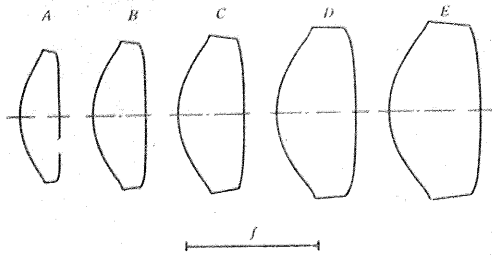
第3図は前面非球面アプラナート平凸レンズである。これを FAP と略称する。これは FA に於て屈折率が  $(\sqrt{5+1})/2$ , すなわち 1.618034 の場合である。この屈折率は重クラウン SK, 特重クラウン SSK, ランタン・クラウン LaK 等の諸ガラスに於て実現される。図は左から右へ順に F 0.6, F 0.7, F 0.8, F 1.0 である。これも d 線に対して球面収差が皆無である。

第4図は後面非球面アプラナート単レンズ BA で、ガラス材料は BK 7 の場合である。左から右へ、F 1.0, F 1.2, F 1.8 で、何れも前面は球面、後面は非球面である。矢張り d 線に対して球面収差皆無とし、正弦条件は実用的に差支えない程度に満足している。後面アプラナート単レンズの場合も、正弦条件の不満足量の最大値は、口径比の約4乗に正比例するが、屈折率は約6乗に反比例する。

第4図 C のレンズの実物(口径 111 mm, 焦点距離 200 mm) を製作して試験した結果では、直径約 20° の範囲は大体満足な映像が得られた。このレンズは、球面平凸レンズの平面側に、厚さ 0.7 mm の非球面板(片面は平面)を、バルサムで貼り付けて作った。

第4図 D は F 0.6, 第4図 E は F 0.8 の後面非球面アプラナート単レンズで、屈折率は 1.85 である。

以上は単レンズの一方の面だけを非球面にして球面収差を完全に除去し、正弦条件は実用的に差支えない程度



第5図 両面非球面完全アプラナート単レンズ AA

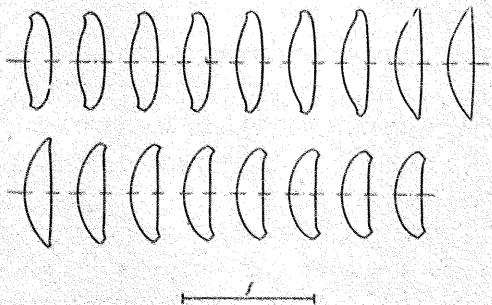
に満足させたレンズであるが、理論上は、単レンズの両面を非球面にして球面収差とコマとを双方とも皆無にすることが出来る筈である。つまり厳密な意味での完全アプラナート単レンズが可能な筈である。この種のレンズを AA と称えよう。

第5図はその1例で、ガラスは重フリント SF5 の場合である。左から右へ、肉厚が 30, 40, 50, 60, 70 と次第に増加している。(焦点距離を 100 として)。かようなレンズの形状の計算は甚だ困難で、私は微分方程式を含んだ 10 元連立の方程式を数値的に解いた。

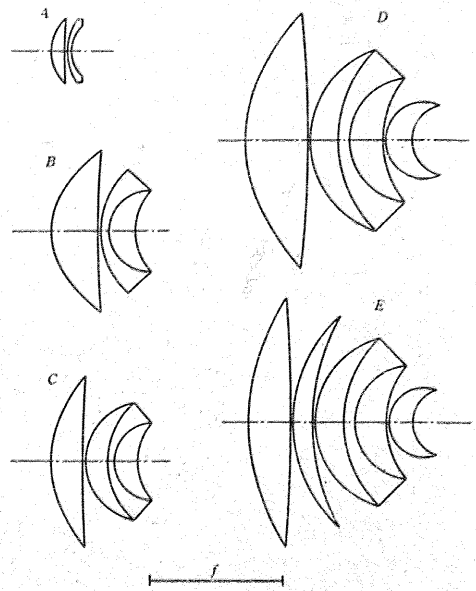
一般にレンズ設計に於ては、焦点距離を一定に保ったままで頂点の曲率半径を次第に変えて、光学的性能がどのように変わるかを調べる作業のことを bending と云う。第6図は完全アプラナート単レンズ AA に bending を行った一例で、ガラスは BK7, 肉厚は 20 の場合である。図で明らかなように bending に伴って口径比が変化している。しかし必ずしも口径比ばかりが問題ではない。これらの一連のレンズはみな完全アプラナート単レンズであるが、その中の何れかのレンズが非点収差極小になっているのであろう。

上記の両面非球面完全アプラナート単レンズに於て、ガラスの屈折率  $n$  と、レンズの肉厚  $d$  と、頂点の曲率半径  $r$  との間に特別な関係式が成立すると、レンズの前面と、その頂点の曲率球面とが4次の接触をする。 $n$  と  $d$  を与えると一般に3個の解が得られる。レンズの後面についても同様である。

$n$  と  $d$  と  $r$  との間に更にもう1個の条件が加わると、レンズ面と、その頂点の曲率球面とが6次の接触をす



第6図 完全アプラナート単レンズの bending

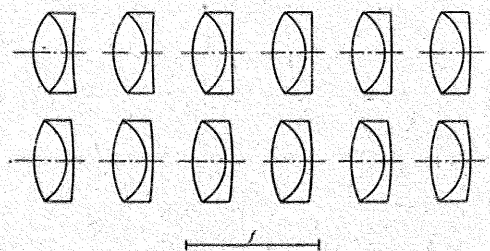


第7図 1-n 型前面非球面アプラナート色消レンズ

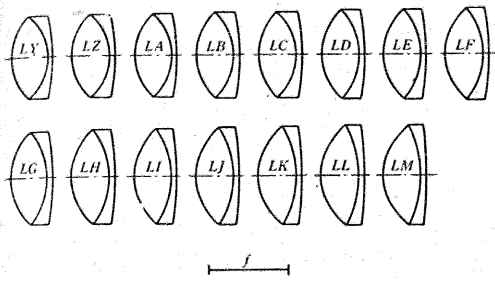
る。4 次の接触の場合は  $n$  と  $r$  と  $d$  のうちの2個を或る限界内で任意に選ぶことが出来るが、6 次の接触の場合は、 $n$  を与えれば  $d$  と  $r$  は定まってしまう。前面の6 次の接触では、 $n$  が 2.15 以下では解は3組、それ以上では1組である。AA 後面の6 次の接触では  $n$  が 1.879385 より大きければ2組の解があるが、それ以下の場合には解がない。非球面と球面とが6 次の接触をする可能性があると云うことは理論的に興味があるばかりでなく、レンズを実際に製作する立場から見ても非常に重要であるが、残念ながらどの場合にも、あまり口径比の大きな実用的な解は存在しない。

望遠鏡や顕微鏡の対物レンズにしても、写真レンズにしても、普通一般の使用目的には、どうしても色消レンズにしなければならないが、それには分散率の異なる2種以上のガラスを組合せなければならない。第7図は前面非球面アプラナート単レンズ FA の後に球面レンズ群を組合わせて色消にしたもので、私はこれらを 1-n 型と総称している。

第7図 A は F1.894 の色消レンズで、ガラスは凸レ



第8図 2枚貼合式前面非球面アプラナート色消レンズの bending



第9図 2枚貼合式前面非球面アプラナートレンズの色消程度の変更

レンズがランタン・クラウン LaK 3, 凹レンズが特重フリント SFS 1 である。

口径比を更に大きくするには、もっとレンズ数をふやさなければならない。第7図 B は F 0.817 のレンズ、第7図 C は F 0.775 のレンズの例で、何れも第1面だけが非球面である。

第7図 D は更にレンズを増して5枚にしたもので、明かるさは F 0.519 である。昨年 12 月始めに、朝日、産経、毎日等の各紙を始め、ロイテル通信を通じて世界各国にまで報道されたのは、このレンズである。ガラスは左から順に、弗珪クラウン FK 5, 特重燐酸クラウン PSKS 1, 特重フリント SFS 1, ランタン・クラウン LaK 3, 特重燐酸クラウン PSKS 1 である。私の理論的考察によれば、このような特別に口径比の大きいアプラナート・レンズに於ては、最終のレンズは必ず空中に独立した単レンズでなければならない。

第7図 E は、レンズがもう1枚ふえて6枚になっているが、明かるさは F 0.540 である。第1, 第2, 第3 及び第6のレンズが FK 5, 第4の凹レンズが SFS 1, 第5のレンズが LaK 3 で、使用しているガラスは、たった3種である。このレンズは第7図 D のレンズより、正弦条件を遙かに良く満足している。

第7図に記した5種のレンズの色消は、何れも C 線と F 線とに対して行われているが、他の波長に対して色消を施すとしても別段新しい困難はない。球面収差は d 線に対して皆無であるが、計算の結果によれば、他の波長に対する残存球面収差の状況もまた実用的に充分に満足である。

以上述べたように、非球面を応用すれば、他の方法では到達出来ない大きな口径比のレンズを得られることが判ったが、次に非球面の使用によって、レンズの構造がどの位簡単になるかを調べておこう。

色消レンズで最も簡単なのは、クラウンの凸レンズとフリントの凹レンズを貼合した構造である。例えば第8図は重クラウン SK 10 の凸レンズと、重フリント SF 5 の凹レンズとを組合した色消レンズに bending を施した例である。何れも前面は非球面で、球面収差は皆無で

あるが、下の列の最左端のレンズが正弦条件を最も良く満足している。明かるさは F 1.6 である。

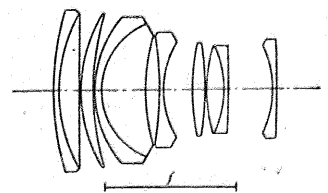
同様にして、LaK 3 の凸レンズと SFS 1 の凹レンズの組合せに bending を行なって見たところ、F 0.973 の前面非球面アプラナート色消レンズが得られた。

望遠鏡や顕微鏡の対物レンズでは C 線 ( $H_{\alpha}$ , 赤,  $\lambda$  6563) と F 線 ( $H_{\beta}$ , 青,  $\lambda$  4861) に対して色消にするのが普通であるが、写真レンズ等に於ては一般に、もっと短い波長の光線に対して色消が行われており、C 線と F 線の像点の位置の差  $\Delta S$  は (焦点距離を 100 として) +0.3 ないし +0.6 になっている。いわゆる色収差補正不足である。地上望遠鏡やプリズム双眼鏡に於ても、プリズムで生ずる色収差を打消すために、対物レンズは相当の色収差補正不足になっている。

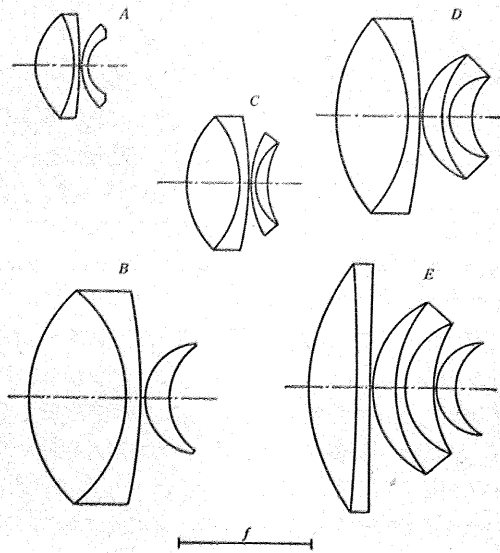
そこで非球面アプラナート・レンズに於ても色収差補正不足の程度を次第に大きくして行くと、或る程度までは口径比が増大して行くことが判明した。例えば第9図は、ランタン・クラウン LaK 14 の凸レンズと、SFS 1 の凹レンズとを貼合した、前面非球面アプラナート色消レンズで、LY から LM に向って次第に  $\Delta S$  の値が増加している。LA と記入してあるレンズが、C 線と F 線に対してちょうど正しい色消であり、LY と LZ は色収差補正過剰、LB 自至 LM は補正不足である。この図は、それぞれの色消程度について bending を行なって、正弦条件を最も良く満足するレンズを求めて、色消程度の順に並べて描いたものである。LY に於ては正弦条件を良く満足する部分は約 F 1.04 であるが、LM に於ては F 0.797 に達している。非球面を用いると、たった2枚のレンズを貼合しただけでも F 0.8 の色消レンズが可能なのである。本年 2 月 18 日付の毎日に出ていたのは、このレンズである。

第10図は富士写真フィルム株式会社が 1955 年に設計した X 線映画用のレンズである。このレンズは全部球面だけから出来ており、明かるさは F 0.85 である。図の通り 10 枚構成の色消アプラナートである。私のレンズで云えば第9図の中の LI が、これと同じ口径比である。非球面を用いると如何にレンズ構造が簡単になるかと云う、著しい例である。

前に記した 1-n 型アプラナート色消レンズと同様な考え方で、2-n 型も計算することが出来る。すなわち 2枚貼合の前面非球面アプラナート・レンズに、球面レンズ群を組合せて、全体を色消に



第10図



第 11 図 2-n 型前面非球面アブラナート色消レンズ

したレンズ系である。例えば第 11 図の A は F 1.287, B は F 0.670, C は F 0.98, D は F 0.686 の 2-n 型前面非球面アブラナート色消レンズである。レンズ数を増せば口径比を更に高めることが出来、そのうえ色消状態を 1-n 型より遙かに良くすることが出来る。例えば第 11 図 E は F 0.581 のアポクロマートである。これと似た構造で F 0.515 のアポクロマートも計算した。

後面非球面アブラナート単レンズ BA の後に、球面レンズ群を組合せた、非球面アブラナート色消レンズも可能である。この種のレンズは目下計算中であるが、簡単な構造で口径比を大きくすることは難しく、また、色収差の計算が厄介である。しかし実際に製作する立場としては多少有利な点もある。

同様に第 5 図のような両面非球面の完全アブラナート単レンズ AA に球面レンズ群を組合せれば完全アブラナート色消レンズが得られるわけであるが、製作は困難と思われる。また、第 8 図、第 9 図のような 2 枚貼合レンズの外側の両面を非球面にしても、完全アブラナート色消レンズが可能である。これは既に F 1.2 及び F 1.0 のレンズを計算したが、更に研究の余地がある。

従来知られていた非球面レンズは球面収差だけを除去した視界の極めて狭いものか、またはアブラナートでも口径比の小さいものだけであった。そこで私は特別に口径比の大きい非球面アブラナート・レンズを計算した。

その中には色々な形状や構造のレンズが含まれている。それは、単レンズの一方の面を非球面にするだけで実用的な意味でのアブラナートにすることが出来 (FA, FAP, BA), これに球面レンズ系を加えれば色消することも出来る。また、現在のガラスを使ってアブラナートとして理論的な限界に近い口径比に達することが出来、2 枚レンズだけでも F 0.8 の色消が可能である。非球面を 2 面使えば、本当の意味での完全アブラナート (AA) や、完全アブラナート色消レンズが可能であり、6 枚構成のアポクロマートも設計することが出来る。ペッツファール・レンズとかシュミット・カメラとか云う名称に対応して、私が計算している各種の非球面レンズは、「吉田レンズ」とでも総称すべきであろう。

私の非球面レンズを実際に製作する方法や、その利用範囲などの点は、大部分が将来の研究に属する問題である。また、設計そのものに就いても、球面収差、コマ、色収差は解決したが、他の非点収差、歪曲、彎曲の除去は、将来に残された課題である。

私の研究が新聞や雑誌で有名になってから、国内国外の多くの人々から手紙を頂いたことを深く感謝している。祝詞、照会、激励、意見、質問、珍案など内容は色々であるが、多忙のため御返事を差し上げない場合もあるのを申訳なく思っている。

紙幅の関係で説明が不十分な点も多いが、詳細は下記の文献を参照して頂きたい。これは東北大学の出版物で非売品であるから、原則として個人にはお分け出来ないが、国立国会図書館や文部省大学学術局をはじめ、全国の主な理工系の大学や研究所、特許庁、東京天文台、中央气象台、種々の学会協会、民間会社等約 270 カ所に寄贈している。御覧になりたい方は最寄りの図書室でお調べ願いたい。

なお、アサヒカメラ 1960 年 3 月号と 4 月号にも、簡単な記事がある。

## 文 献

吉田正太郎：特に口径比の大きい非球面アブラナート・レンズに関する計算

東北大学科学計測研究所報告

- |        |              |              |             |
|--------|--------------|--------------|-------------|
| (I)    | 第 5 巻第 2,3 号 | pp. 123~144. | 1957 年 3 月  |
| (II)   | 第 6 巻第 1 号   | pp. 19~114.  | 1957 年 10 月 |
| (III)  | 第 6 巻第 2,3 号 | pp. 125~226. | 1958 年 3 月  |
| (IV)   | 第 7 巻第 1 号   | pp. 43~123.  | 1958 年 8 月  |
| (V)    | 第 8 巻第 1 号   | pp. 75~113.  | 1959 年 7 月  |
| (VI)   | 第 8 巻第 2 号   | pp. 147~214. | 1959 年 11 月 |
| (VII)  | 第 8 巻第 3 号   | pp. 249~347. | 1960 年 3 月  |
| (VIII) | 第 9 巻第 1 号   | 印刷中          | 1960 年 7 月  |

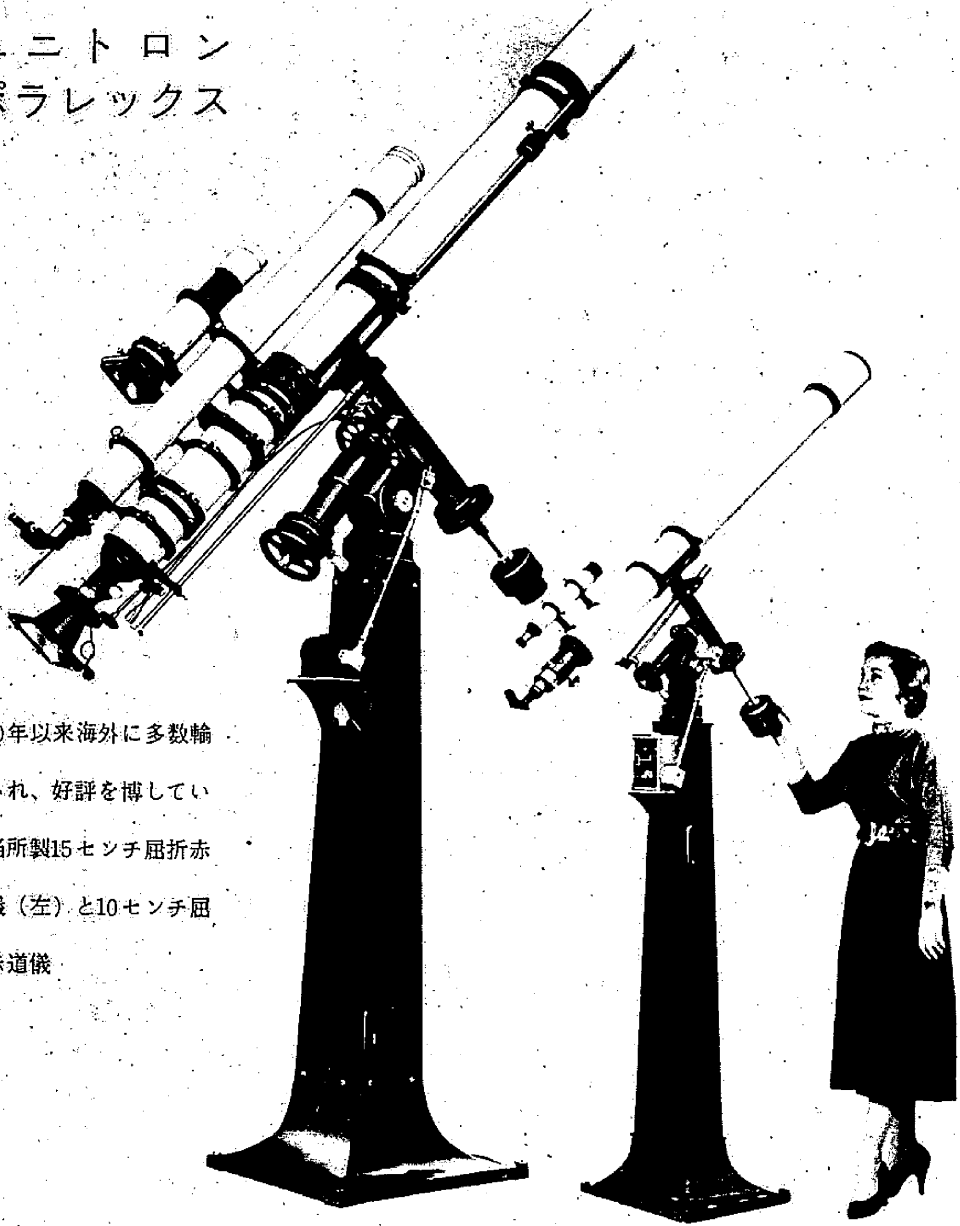
昭和 35 年 5 月 20 日  
印刷発行  
定価 50 円(送料 4 円)  
地方売価 53 円

編集兼発行人 東京都三鷹市東京天文台内  
印刷所 東京都港区芝南佐久間町一ノ五三  
発行所 東京都三鷹市東京天文台内

広瀬秀雄  
笠井出版印刷社  
社団法人日本天文学会  
振替口座東京 13595

ユニترون  
ポラレックス

1950年以來海外に多数輸  
出され、好評を博してい  
る当所製15センチ屈折赤  
道儀（左）と10センチ屈  
折赤道儀



ユニترون・ポラレックス天体望遠鏡製作  
株式会社 日本精光研究所

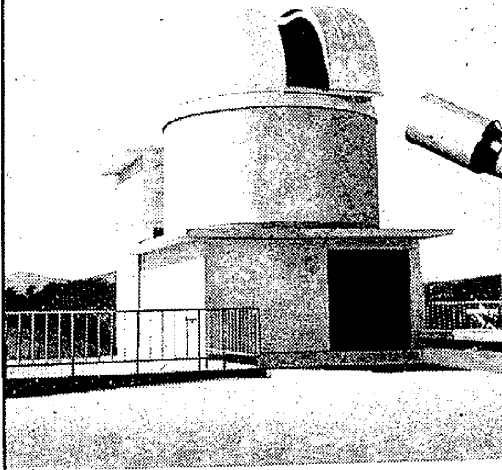
東京都世田谷区野沢町1-100

TEL. (421) 1685, 0995; 振替 東京 96074

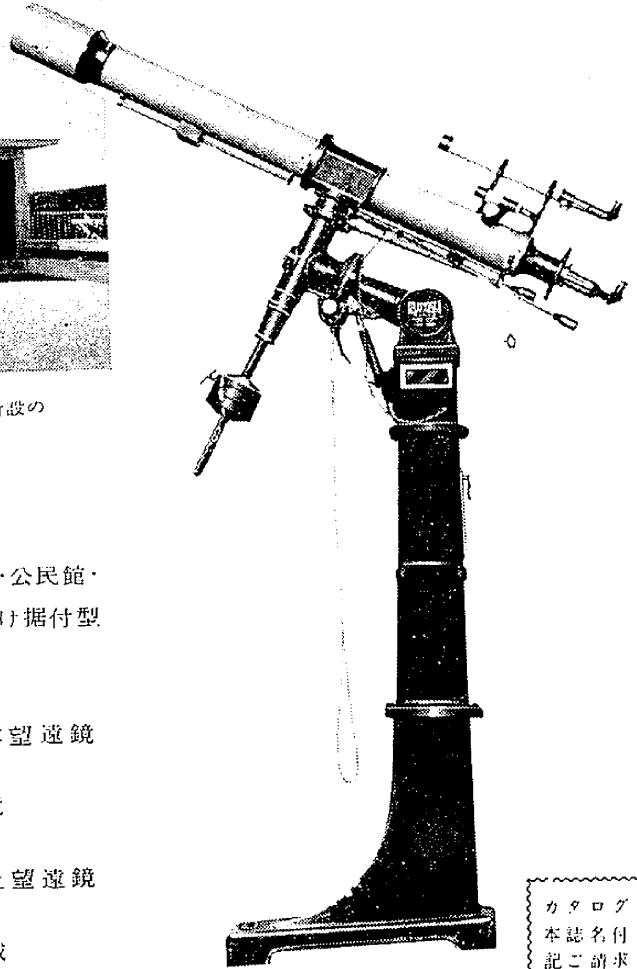
ROYAL  
TOKYO

ロイヤル

# 天体望遠鏡



写真は福岡県立小倉高等学校に新設の  
当社製 4.2m ドーム



- ☆ 専門家・アマチュア・学校・公民館・博物館等公共用天文台向け据付型 屈折・反射天体望遠鏡
- ☆ 理振法準拠学校向天体望遠鏡
- ☆ 人工衛星観測用望遠鏡
- ☆ 観光望遠鏡・各種地上望遠鏡
- ☆ 天体観測用光学諸器械
- ☆ 観測用ドーム

カタログ  
本誌名付  
記ご請求  
下さい

## P21-D 光学工業株式会社

本 社 東京都千代田区大手町 2-2 野村ビル Tel. (231) 0651・2000  
 工 場 東京都豊島区要町 3-28 Tel. (951) 4611・6032・9669  
 振 替 東京 52499 番