

1. ニュートン焦点

イギリスの物理学者アイザック・ニュートンが1663年ころ光の色の研究に没頭したのは、色収差の問題に端を発したと伝えられている。有名なヘヴェリウスの大望遠鏡にみられるように、当時の望遠鏡は屈折型であり、長焦点単レンズのものが流行していた。当然、観測者ははげしい色収差に悩まされていたのである。ニュートンはこれを除去するためには色光の研究が大事であると考え、「白色光が最も基本であり、色光は闇との適度の混合によっておこる」というアリストテレス以来の学説を、1666年にプリズムによる太陽光線の分散の実験によってはじめて打破することができた。

しかしこのころ、凸レンズの代わりに凹面鏡を使って色収差を除くという考えが、ツッキ、カヴァリエリ、メルセンヌ、デカルトなどの幾何学的研究で展開され、ジェームス・グレゴリーは1663年、凹放物面の主鏡、凹楕円面の副鏡の組合せで望遠鏡を作った。ニュートンはプリズムの実験から、屈折現象には必然的に色光の分散が伴うことを確認し、望遠鏡の光学系としては反射鏡以外に色収差の除去は困難であると考え、凹放物面の主鏡、平面の副鏡との組合せである、いわゆる「ニュートン式」反射望遠鏡を発明した。金属製の反射鏡は1インチ余、単レンズのアイピースをつけた倍率30倍程度の簡単なものであるが、色収差、球面収差を全然伴わないすぐれた光学系であった。『春秋の筆法』をもってすれば、このニュートンのすぐれた発明が、色消しレンズの研究を一世紀おくらせたということになるが、また300年をへだてた今日、大望遠鏡の筒先の高所でわれわれに長時間の軽業を強いるといった結果になったということもできよう。

岡山の188センチ反射望遠鏡では、副鏡交換により、ニュートン、カセグレン、クーデの三焦点が使用できる。そのうちニュートン副鏡は外径54センチ、厚さ

* 岡山天体物理観測所
G. Ishida; The Anatomy of the 188 cm Telescope in Okayama Astrophysical Observatory (5).

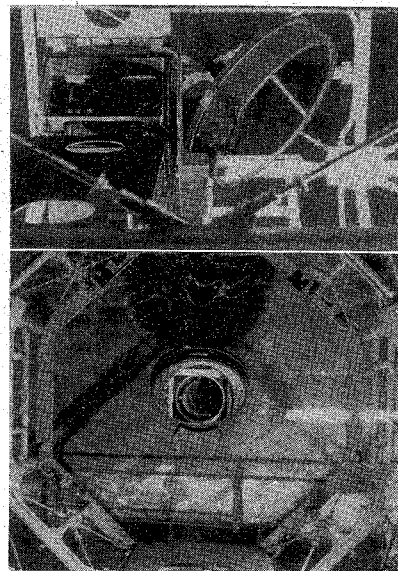
ニュートン観測

石田五郎*

8.5センチの円板で熔融水晶製、重さは40キログラムある。副鏡は鏡皿(ミラーセル)に入れ、吊具に3本のボルトで固定され、光軸に対し45°の角度で装着されるが、吊具自体も筒先の十字帯に8本のボルトで締めつけられる。吊具は十字帯の中心軸(つまり光軸)のまわりに360°回転が可能であり、クランプと微動ネジにより筒の側面のどの方向にも光束を反射することが可能である。

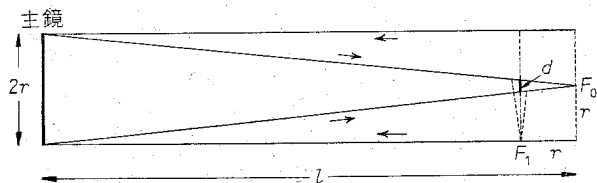
ニュートン焦点では、現在直接写真撮影と星雲分光器による小分散スペクトル写真の撮影とが可能である。筒の先端には、いわゆる「Hフレーム」とよばれるはしご形の取付枠があり、この枠にフォーカシング・ギヤ(焦点合わせ用の伸縮筒)が3本ビスでとりつき、さらにそのさきダブルスライド(XYの垂直両方向に微動可能)の撮影装置、あるいは星雲分光器が装着される。Hフレームは赤緯軸側、その反対側、ネコ板側(いわゆるネコ側)、とその反対側(ネズミ側)の四面にあり、空いている所には平衡錘の取付板を装着することができる。観測装置はこの四面のどれを使用してもよいのだが、現在ではいちばん便利なネコ側を主として使っている。

よく一般の見学者から「筒の前方に副鏡をおいて、光がかくされて損をしないか」ときかれるが、たしかにこ



第1図

ニュートン副鏡 (上) 鏡皿、吊具部分。
(下) 主鏡方向より眺める副鏡の中に補正レンズ映ってがみえる。



第 2 図

の分だけは損をしていることになる。ニュートン焦点では明るい主鏡（口径比 f の値の小さいもの）ほど損失が大きい。

副鏡が星からの光束をなるべくさげざらないためには、できるだけ筒先に近く光束の収斂した所におくのが得策である。が同時に反射した収斂光束の焦点が少なくとも側面よりも外に出なければならない。そしていま直接焦点 F_0 の代りにニュートン焦点 F_1 を使った場合には

$$(\text{損失の割合}) = (d/2r)^2 = (1/2f)^2$$

という結果になる。実際には副鏡の形が楕円でなく円であること、ガラスの厚み、金枠、吊具などがかさばるので損失はもっとずっと大きな値になるが、それでも口径比の自乗に反比例して損失が増大することは間違いない。188 センチ望遠鏡の場合 $f=4.9$ で実際の損失は 10% もあるから、シュミットカメラのような明るい光学系ではニュートン焦点は事実上使用不可能になる。またパロマー山の 500 センチ望遠鏡が、直接焦点を使っているのは人間が入れるほど巨大であること以外に、 $f=3.3$ という光学系の明るさによるのであろうと推察するのである。

2. 観測台

筒先の高所で、露光、乾板・フィルムの交換などの作業をするために、ドームに付属して黄色の観測台がつくられている。

これは幅 6 メートルあるドーム・スリット（開孔部）の両脇に高さ 6 メートルのガイドレールが並び、ここに鋼鉄フレームのブリッジが橋わたしになり、その上に鉄フレームの腕がのび、その先にある鉄板でぐるりをおおわれた Gondra がニュートン観測者の定位置である。

（定員 3 名）

観測台自体には次の 4 種の電動動作がある。

- (イ) 昇降 範囲 5.4 メートル
- (ロ) 横行 範囲 3.5 メートル
- (ハ) 旋回 範囲 140°
- (ニ) 伸縮 範囲 1.6 メートル

この 4 種の動作で、筒先がどの方向をむいているときでも、観測者は Gondra にのって接近することができる。これらの動作はすべて危険防止のために毎分 2 メートルの速度におさえてあるから、せっかちの人にはもどかしく感じられるようである。この外、筒先の Gondra

部が手動 60° の範囲で首ふりをする。これは望遠鏡から急ににげる時など非常に便利である。

Gondra 部には(イ)が 1 組、(ロ)が 1 組と「ベントー箱」形のスイッチ箱が二組ある。前者は角ボタン、後者は丸ボタンで、暗やみで手さぐりで押しても間違えることはない。もうひとつ大形の「ベントー箱」には、スリット扉、風防ブラインドの開閉、ドーム回転、非常停止のスイッチが組込んである。望遠鏡が動いて、スリットのふちにかくれたとき、あわててドーム回転のボタンをおすことは大禁物で、ドームと同時に観測台が望遠鏡に激突し、なんらかの被害はまぬがれることはできない。ドームを回転するときにはあらかじめ、横行・旋回でにげておいて、そして接触の 50 センチくらい手前で停止し、再び横行・旋回で近よることが観測者のたしなみである。ドーム回転は 360° を 5 分でまわるから毎分 10 メートル程度の高速度で動き非常に危険であり、特に「回転」という言葉を使い、旋回動作とは本能的に区別することも必要である。

また、回転・横行・旋回の方向に「右・左」という言葉は無意味である。このドームでは外に向って左側に、観測台に昇るための鉄梯子が固定されてあるので、「ハシゴ」あるいは「ハシゴナジ」となることにしている。またスイッチ・ボックスにも片方には梯子の絵をかいたプレートがはりつけてあるので、麻雀の上手な人なら絶対に間違いをおかさないだろう。

この観測台で到達できない点が一カ所ある。それはドームの中心上（いいかえると極軸・赤緯軸の交点の真上）に観測装置がきたときで、赤緯+38° の星が、望遠鏡 W の時には南中 1 時間前、（望遠鏡 E の時には南中 1 時間後）のときおこる。これはもちろん望遠鏡を反対側にかえせば問題はないが、長時間露出の場合に上記の状況をはさむようなことがないように注意しないと、観測途中でガイド不能という事態にたちいたるのである。

また、星の高度が 15° 以下のときには、観測台を最低位置まで下げてもまだ足りず、鉄フレームから手長猿（あるいは正月の出初め式）のような軽業をしなければならぬこともある。観測装置はいまネコ側についているから望遠鏡 W の時には天頂より北の星、望遠鏡 E の時には天頂より南の星に対して、乾板が筒の上側にあることになるが、Gondra が筒の上に馬乗りになってしまって操作することができない。横行・旋回の高速度は非常におそいから、接近の仕方を感じいとすると案外に暇をくってしまう。また南中前では筒先は速さがるような動きをとり、南中後は Gondra に近よる動きをとる。だから Gondra のふちに手をおいて、常に望遠鏡の接近を触覚で警戒することもまた武士（？）たるものたしなみのひとつである。

それから、観測台へゆく梯子に昇るときには、ポケットからこぼれやすい小物は机の上においておくのが安全である。

3. 直接写真

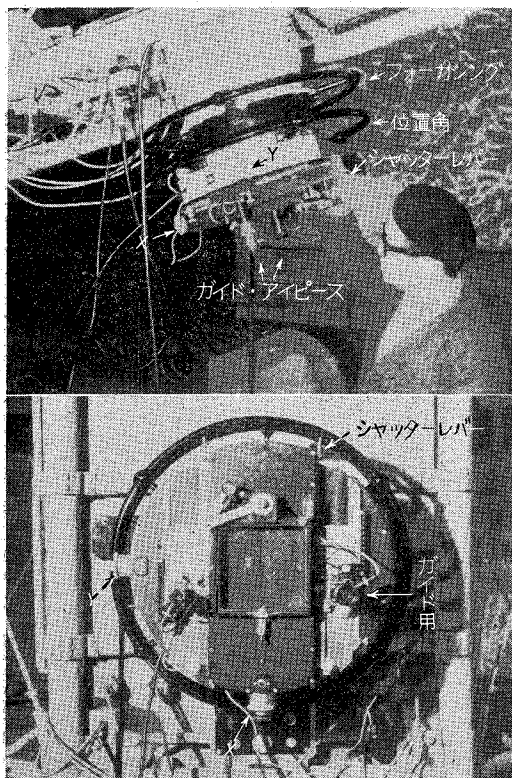
フォーカシング・ギヤの調節範囲は 70 ミリある。これは自動車についているような丸ハンドルの回転によって直進ヘリコイドが前進後退する。ハンドル 1 回転は 10 ミリの移動となるが、筒のドラムは 20 等分してあり、1 目盛が 0.5 ミリ、目分量で 0.1 ミリまで焦点を定めることができる。

フォーカシング・ギヤにはダブルスライド撮影装置がとりつく。これは X 軸、Y 軸と垂直にスライドするフレームの上に乾板取枠がのるもので、両方向ともマイクロメーターにより 20 ミリ移動させることができる。移動量は副尺を使って 0.01 ミリまでよみとることができる。

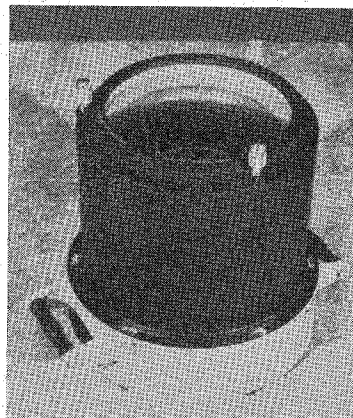
乾板取枠は 3 本足で支えられ、これを撮影装置にある 3 個の穴におしあて上からバネどめする。足の高さはノギスにより同一に揃えてあるので、取枠ごとに焦点が狂うということはない。

乾板は標準が 164×164 ミリで、われわれはこれを大角(ダイカク)とよんでいる。この取枠が 2 個あり、この他に手札版(107×82 ミリ)専用の取枠が 2 個ある。

乾板は取枠内では 2 方向からスプリングによって片隅



第 3 図 ダブルスライド撮影装置



第 4 図 広視野用補正レンズ
この姿勢でフォーカシングギヤに挿入する

におしつけられていて動くことはないが、ひき蓋の開閉でわずかな移動の生ずることは考えられるから、露出中はひき蓋に手をふれない方がよい。

取枠取付部には、フィルター装着部、シャッターがある。シャッターは 2 枚扉の観音開きで、上部にある小形のレバーの上下で開閉される。取枠を装着する前に必ずシャッターをしめておく習慣をつけておくと、露出中にハンモンすることがなくなる。

フィルターは手札版では UBV 用と赤色 (R 60, 62) がそろっている。大角では B, R があるが、おいおい多色測光用のものを完備する予定である。(保谷製ソリッドフィルター) いずれも乾板直前にセットする。

コントロールデスクの目盛に従い QM (はやまわし) で入れた天体を画面の中央におくには、取枠と同型式のグラティキュール(十字格子線を刻んだガラス)で狙い、望遠鏡の筒先にあるハンドセットで SM (おそまわし) を作動させる。目的の天体を正しく光軸上におかないとコマ収差がでる。公式的には光軸中心から 5 センチ以内にはコマは現れないとあるが、厳密にいうと安心して使えるのは 3 センチ以内である。ニュートンの焦点距離は 9.15 メートルで、焦点面上で 1 ミリは 23' に当るから、直径 23' 以内は安心して使えることになる。

大角で撮影する場合には、周辺部のコマを消すためにフォーカシング・ギヤとダブルスライドの間に、補正レンズを挿入する。これは 2 枚玉構成だがロス・タイプではない。このレンズを使っても周辺部では色収差や逆コマ(補正しすぎて内側へ尾をひく)がみられる。

焦点を決定するには、マイクロメーターでスライドさせながら、同一乾板上に同一星を同一時間の露出で、つぎつぎと焦点目盛を変えて撮影し、星像の最小のものから決定するものひとつの方法であるが、ナイフエッジの方法(フーコーテスト)が最も簡便である。取枠と同じ台座に大角の四分の一を占めたナイフエッジをもつ 3 本

足の台があり、これで星像をカットして定める。目を焦点近くにおいて、マイクロメーターをまわすとき一面に輝く主鏡がナイフエッジのある方向からかげるときは焦点の内側に、反対方向からかげるのは焦点の外側にあり、全体が同時に暗くなる所が焦点位置である。しかしこれもシンチレーションのはげしい時には空気のゆらぎがそのままえて星像をかくしても、火の粉のように、あるいはぼたん雪のように明るい部分がゆれ動いてくる。だから少なくとも 30 秒くらいはじっと眺めていて空気の静まる時をまつとか、時間的に頭の中で積分し平均をとることが必要である。

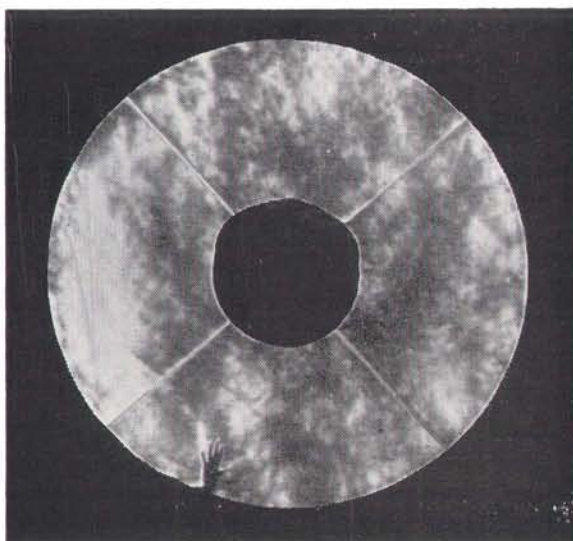
また、いたずらに筒の途中に手をさし入れると、不動明王の炎のようにゆらゆらとかげろうが上る。だから筒先の真下に温度の高い（精神的にという意味ではない）人間がうろろうしていることも禁物である。

フィルターをはめた場合には、ガラスの厚みだけ焦点がのびるのであるが、その量はガラスの厚み d 、屈折率を n とすると焦点のずれ Δ は

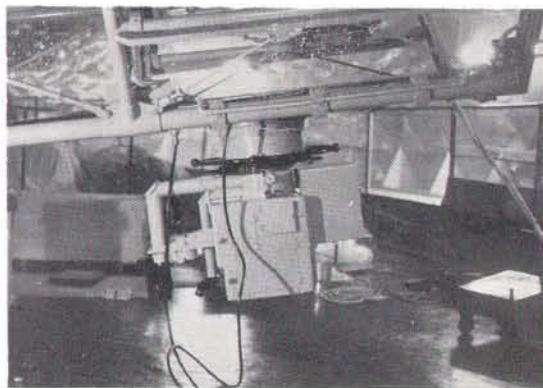
$$\Delta = d \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

であらわされる。大抵のガラスでは、 $n=1.5$ くらいであり、ガラスの厚みの三分の一だけ目盛をずらすのがおおよそ目安になる。

画面内の星像は、極軸設置の不整、運転時計の狂い、微分大気差の影響で次第にずれてくる。これを補正しなければ長時間露出で星像が小さく流れてしまう。このためには大角部分の両脇にプリズムをおき、アイピースで画面周辺にみえる星を監視する。画面中心から両脇約 8



第 5 図 シンチレーションによるナイフエッジ像のゆらぎ。筒の途中に手をさし入れると、不動明王の炎のようにかげろうが立上る。



第 6 図 ニュートン焦点に装着した星雲分光器

センチの所に目標星があるとよい。アイピースは X 方向には 100 ミリ、Y 方向に 20 ミリ移動ができ、1 ミリごとに目盛がきざんである。ここに適当な星を入れてガイドし、この星を追ってマイクロメーターをまわしながら、取枠を望遠鏡に対して手動的に微動させるのである。長時間露出の場合には微分大気差で像の回転が起こるはずであるが、2~3 時間程度ではその必要はない。

ダブルスライドは、2 本目のハンドルで 360° 位置角をかえることができ、クランプおよび微動でいかなる位置角にも固定することができる。位置角目盛は 1° である。ニュートンのガイドは一に注意、二に根気である。

4. 星雲分光器

ニュートン焦点用の小型分光器が日本光学の手で最近完成した。これは星雲分光器とよばれる明るい光学系で、星雲、小宇宙などの微光天体の分光観測に適した器械である。

すべて反射式で、スリットを入った光はすぐ小型の平面鏡（逆ニュートン鏡）で直角にコリメーターに当たり、平行光線となった光は回折格子で分散し、小型シュミットカメラで撮影する。

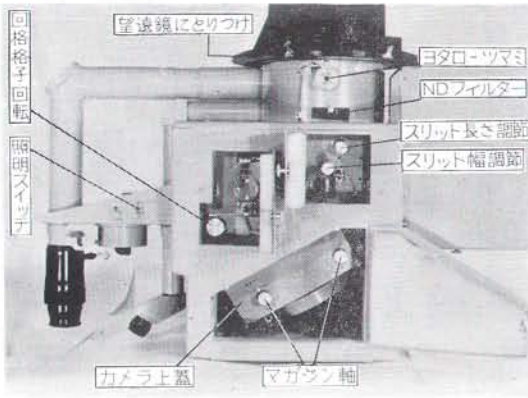
波長領域は $3000\text{\AA} \sim 8000\text{\AA}$ 、分散は $H\gamma$ で $270\text{\AA}/\text{mm}$ 程度、スリット長は比較光源のための対角線プリズムの端で限られるが 20 ミリまで開く。スリット幅は $0.01 \sim 20$ ミリ可動である。

コリメーターは $f=3$ 、焦点距離 34 センチで熔融水晶製、カメラの焦点はコリメーターの移動（範囲 ± 20 ミリ）で行なう。

回折格子はバウシュロム社製で反射型、1 ミリ 600 本、角度は $\pm 22^\circ 5'$ 回転できる。

カメラはシュミット型、 $f=0.7$ 、球面主鏡の口径は 50 ミリ、補正板 100 ミリで、主鏡の前面を走る幅 8 ミリのフィルム上に 4×11 ミリの横長の画面でスペクトルを鮮明にうつしだす。

フィルムは 35 ミリフィルムを特殊カッターで 8 ミリ



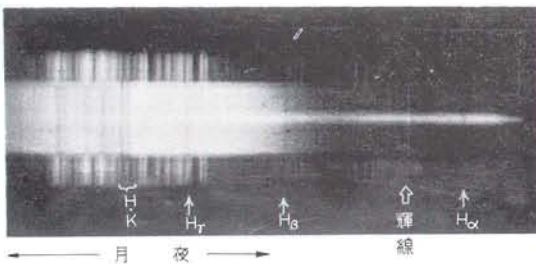
第 7 図 星雲分光器の側面

幅に切る。はじめは勿体ないので、35 ミリフィルムのパーフォレーションの内側を3等分するカッターを作ったが、結局切りにくくて3本がとも倒れの場合が多いので、両はじをすてる形式にした。Kodak で8ミリ幅のフィルムを作ってくれば一番楽である。

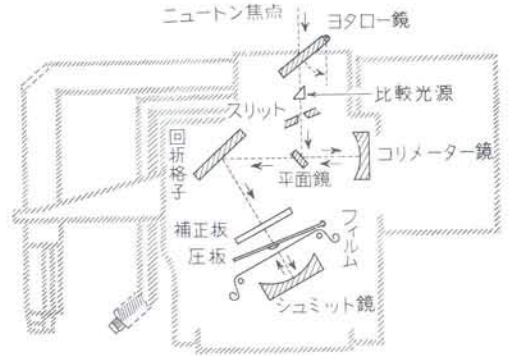
いままでに試写をした結果では、惑星状星雲は全体的に明るいのが多く、リングネビュラなどスリットレスでとると露出5分くらいできれいに写る。(表紙写真)

また、ひとつの例は月夜に4時間、小宇宙の中心部をうつしたのだが、月夜の空というのは月光の散乱光(青空)で、スペクトルは余り赤い方にのびず、おそらくは赤色巨星であろう中心部のスペクトルが4時間の長時間露出にもかかわらず、赤い波長域では月光にかぶることなくあざやかにうつっている。だから月夜でも赤フィルターで103aF やI-N などの乾板でとればあまりかぶらずに赤い星の直接写真がとれるのではないであろうか。

また観測所から東南15キロにある水島臨海工業地帯の上空15°の方向にむけたら、これは鮮やかな水銀輝線がくっきりとうつってしまった。これからは乙女座、射手座などの小宇宙、星雲の分光写真に自然に水銀の輝線がやきこまれるという恐るべき事態がひきおこされるのであろう。特に $H\gamma$ (波長 4340Å) に隣接する水銀輝線(波長 4347, 4358Å) は非常に邪魔になるものである。



第 9 図 星雲分光器でとった渦状小宇宙 M51 (犬座) の随伴小宇宙のスペクトル
(中央の細い帯、左半分の広い帯は月夜の空の散乱光)

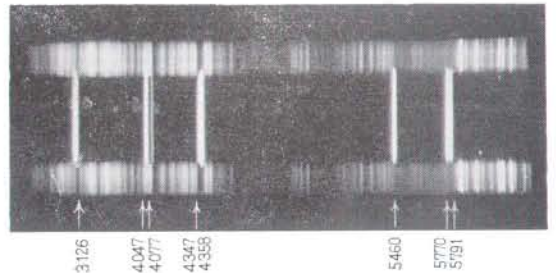


第 8 図 星雲分光器の光学系

5. ことわざ

われわれがたわむれにつくったいろはがるたの中に『クーデ極楽、ニュートン地獄』というのがある。もとより『きいてごらく、……』のパロディだが、夏は軽井沢の空気が、冬は眠気をもよおすほどの快適なクーデ室内にくらべて、冬は寒風、夏は蚊に刺されるニュートン観測のきびしさを示したものである。

しかし、ジリリ……、ジリリと星を追う望遠鏡の動きを身体に感じとりながら、星の光を見つめつづけるニュートン観測は『天体観測』という言葉にいちばんふさわしいものであるような気がしてならない。



第 10 図 水島臨海工業地帯上空の都市光のスペクトル
(中央の8本の輝線は、水銀燈の反射によるもの)

5月号に掲載された上条文夫氏の記事、「低温度星における固体粒子」中の訂正事項。

頁	左右	行	誤	正
87	左	13	1926	1962
88	〃	33	$r < r_{max}$	$r > r_{max}$
〃	〃	34	$r > r_{max}$	$r < r_{max}$
〃	〃	35	$r \leq r_{max}$	$r \geq r_{max}$
〃	〃	36	その数は…… ……ボルツマン の式から	その生成の割合 は
89	〃	10	黒丸	1.3 と書いてある丸