

国友望遠鏡の反射光学系とその製作に関する考察

坂井 義人

中村和幸

廣瀬一實

(元・中村特殊光学)

(国友鉄砲研究会)

1、はじめに

我が国の戦国時代以降、滋賀県近江長浜の国友地域に発達した鉄砲鍛冶集団は、幕末前期に一人の技術者を輩出し、天体望遠鏡その他をまでも製作して、現代にその優れた技術力は多くの謎の部分を残し、我々を魅了し続けて今日に至っている。2017年春、国友一貫斎製作のグレゴリー型反射望遠鏡・国友ご本家伝承実機の、光学性能の検証の機会が与えられ、それらについては2017年研究会集録拙稿に僅かな概要を報告したが、今般は、それに基づく光学系製作方法の推論とその他を披瀝し、些かなりともそれに報い得れば幸いである。なお、今回はいわゆるフーコー影の試験法と称する古典的測定方法を駆使し、そのような方法の存在と、またそれに因らずして、当時の先端的な放物面光学系の製作方法解明を主とし、比較論考を展開するものである。また、18世紀前後の世界の反射光学系の性能評価比較論の端緒をも視野に入れ、些かなりとも、その論議も展開できれば望外の幸である。

2、18世紀に至るまでの反射光学系について

反射望遠鏡の来歴は、イギリスのジェームス・グレゴリーとアイザック・ニュートンに始まると言われる。本来は地上成立像の光学形式を目指して、グレゴリーの発案が始めといわれるが、結局はニュートン式の倒立像を示す光学形によって、反射光学系の発明に至った事は、よく知られる事実である。そして、以下に示す時代的光学技術者も多くが存在し、色々な議論などがあったものと伺われる。加えて、既に当時より理論的には、グレゴリー形式による主鏡は放物面、また副鏡としては楕円面の構成による光学系が示されたが、全く製作は成功せず、ニュートンですら簡易型として主鏡は球面、光路を外に導くための方式としては、副鏡は平面に落ち着いたと考えられ、これは合理性の結果として、その後の天体科学発展には欠くべからざる成果を残している。なお、ニュートンに相前後して、カセグレン、フック、ショート、そしてドイツからイギリス移民後に、天体科学の発展をもたらしたハーシェルなどに繋がり、反射鏡光学系は全盛を確かに迎えていくことになる。但し、それらはすべて金属を用いた光学系であり、ここに、未だ多くの明らかにすべき事象も存在する。一言で言えば、如何にして『放物面反射鏡』を製作しえたのか、また時代的にそれらの技術は何時成立し、各国では伝承されたのか、多分これらは未解明のままと言えるであろう。よく言われることに、ウィリアム・ハーシェルは多数の口径の大きい金属反射望遠鏡を製作したと言われるが、しかしながら、短時間でその光学表面は合金ゆえの「曇り」が生じ反射率を低下させ、何度も研磨し直おすという宿命を抱えていた。即ち、それはその都度に光学性能は変化を来とし、安定しなかったという事を意味するものであろう。ましてや、ハーシェルすら経験則的には、よく見えるという放物面を製作したのではとは想像しえるが、それも、多分確証は得られていないのではと感ずる。(よく知られたことではあるが、光学系の口径比がF10以上は、球面でも焦点はほぼ一点に集まることは知られており、ハーシェルは明るく広い光学系を求めて、放物面的な光学性能に達してはいたのではないかと、今は迷妄するのみである。その疑問は今後も課題として続く。)

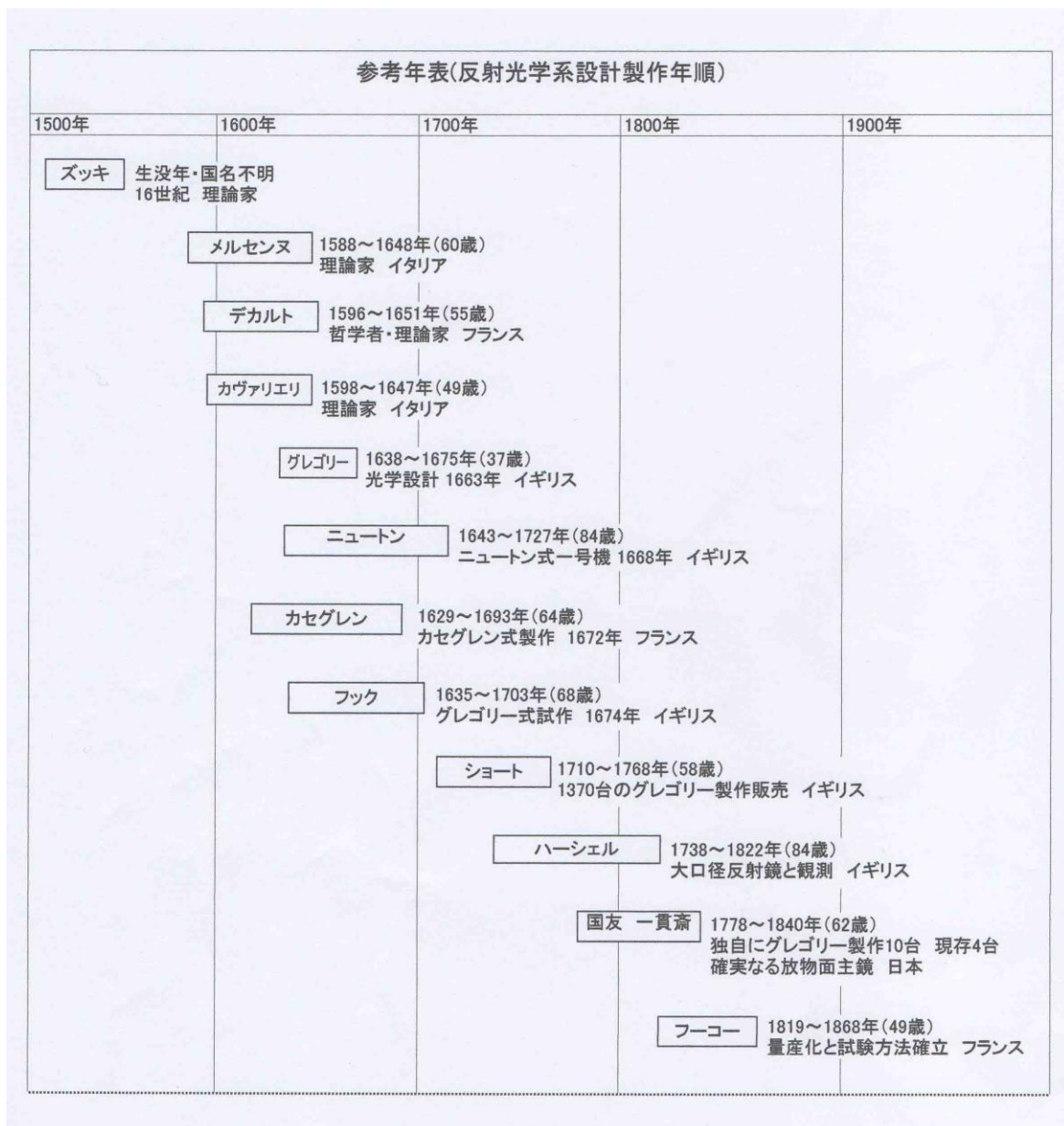


図1 年表「反射光学系設計製作年代表」

上記の表中、注目すべき点は以下の如くであろう。ニュートンから始まった反射望遠鏡は、カセグレンによる倒立像の合成光学系製作、またフックによるグレゴリー式正立像の望遠鏡の試作、また、同様にショート(一天文単位の測定者)による1700年代半ばを跨ぐ、人生を捧げたと思しき1370台にも及ぶグレゴリー式望遠鏡の市場への供給である。ショートの望遠鏡は、正立像ゆえか、一般人士それも貴婦人等が好んで購入したとも伝えられている。お隣の模様や動物そして鳥などを、好んで垣間見たのであろうかと、下世話な想像もしたくなるほどの様相である。そして少し遅れて、観測技術開発としてのハーシェルの存在と、その他に活躍した関係者も多数存在する。驚くことにハーシェルと時代を同じくした国友一貫斎(1778~1840)は、突如として時代に出現したという印象にすら囚われる。続けて、以下は国友望遠鏡についての優秀光学系の再検証と、また謎のままとも言うべき、金属放物面鏡の製作方法についての推論、そしてその他にも検討されるべき内容に歩を進める事としよう。

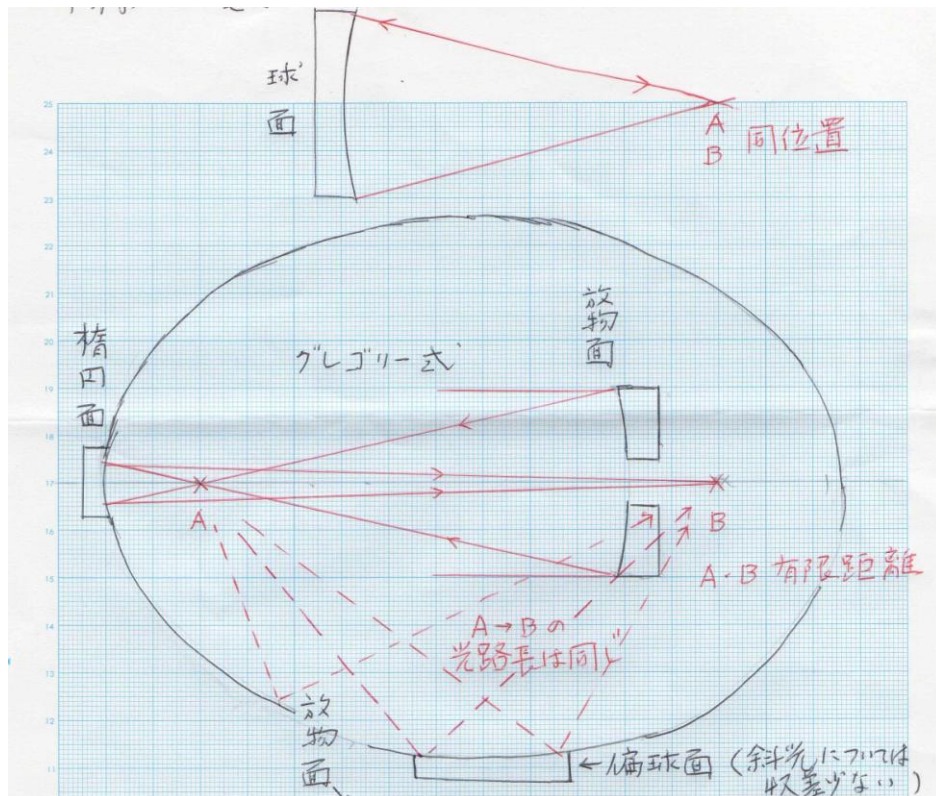


図2 グレゴリー式光学系説明模式図 中村和幸作図
(この図は、楕円面を副鏡とする理由を簡易説明)



写真1 ショートのグレゴリー反射



写真2 口径3cm 放物面フーコー像

写真1は1700年台半ばに製作されたと思しき、ショートによるグレゴリー式望遠鏡である。口径は6センチ程度。放物面鏡か否か不明。写真2は、口径3cm ガラス放物面フーコー像である。15cm グレゴリー中央部開孔時の残余部鏡。このような小さい反射鏡を用いてのニュートン式などを製作することも大変興味深い。

3、国友本家 4 号鏡反射光学系について

2017 年 4 月 22 日、4 号望遠鏡光学試験については、先ず以下の写真をご照覧願わしい。当日はご本家当代様のご好意により、全員 6 名にて、その検証を実施した。主鏡は放物面、また副鏡は球面であり、それらは既に測定された他に準じた高性能光学系で、系統的に製作され、放物面化は偶然の産物ではあり得ない事を示唆する結果となった。主鏡は一定の方法にて、必然的に放物面研磨されたと推論する。

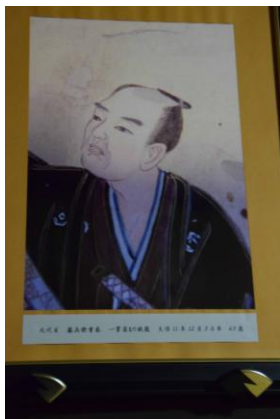


写真 3 国友一貫斎
(1778~1840)



写真 4 国友望遠鏡格納箱
(望遠鏡本体ほか一式収納)



写真 5 廣瀬一貫・当代本家様
(フーコーテスト実施)



写真 6 副鏡と取り付け金具
(副鏡は回転球面)

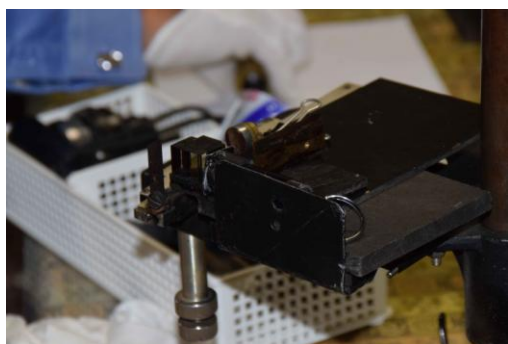


写真 7 副鏡のフーコーテスト
(球面鏡を確認)



写真 8 筒先より見た光沢金属主鏡
(光沢あり錆びもほぼ無し)



写真 9 中村和幸による国友 4 号主鏡のフーコー試験（主鏡は内装保持）

写真 3 より写真 9 は、当日の長浜市・国友ご本家にて実施した光学試験(フーコーの影の試験法)の様式である。全てを分解したり、また実寸計測その他は一切実施してはしていない。あくまでも金属主鏡及び副鏡の光学性能の確認を目的としたものである。今回も、過去の二機の測定時に得られた光学性能に勝るとも劣らない優秀なる光学である事が確認された。三機全ての測定は中村和幸による同一条件方法にて実施し、その客観性は担保されうるものと思慮する。また主鏡は筒よりの分解等は実施せず、副鏡の部分のみの取り外しによって、筒の奥の金属鏡を、目視により測定値を取得し、また同様に写真撮影を試みた。

過去の写真撮影はいわゆる銀塩フィルム写真での表面像の取得であったが、今回多分初めてのデジタルカメラによる撮影を実施した。極めて驚くような撮影結果がえられて、特によく問題とされる鏡表面の「滑らかさ」の画像が取得され、その結果は、2017 年 3 月 17 日に実施された国立天文台第 6 回天文学歴史研究会にてカルヴァー望遠鏡報告と併せ、末尾に速報的説明と写真を、後日発行の集録に掲載した。併せてご高覧願わしい。なお、レオン・フーコーによるこの「フーコー影の光学試験方法」については、集録内の中村和幸説明をご参照賜れば幸いである。今回の測定で得られた光学性能等は、以下の結果である。

- ・ 国友本家 4 号鏡は精度 3 分の 1λ の放物面鏡であり、重要な要素の表面の滑らかさと傷の発生も錆びも殆ど見られない。(デジタル写真と測定表等参照)
- ・ なおこの主鏡については、特に測定値に基づき、元・日本光学の技術ご担当様に詳細計算検討を願った。結果は、10 分の 1λ という高性能鏡との指摘があり、今後、実測と計算との差異の評価が必要。
- ・ 副鏡については、球面鏡であることが確認された。(実用上は球面で許容される)
- ・ 以上より、現存 3 機ともに主鏡は放物面、副鏡は球面であり、主鏡は何等かの必然的方法による放物面化達成の、高い技術力の存在が伺われる結果となった。

表2 ゾーンテスト法による主鏡の収差測定結果 (単位mm)

	R	球面収差 Δs					ϵ
		12mm	13mm	21mm	27mm	28mm	
長浜歴博	500	0.31	—	1.01	—	1.68	1.07
上田市博	500	—	0.16	—	0.69	—	0.47
放物面	500	0.29	0.34	0.88	1.46	1.57	1.00

国友 520 0.23

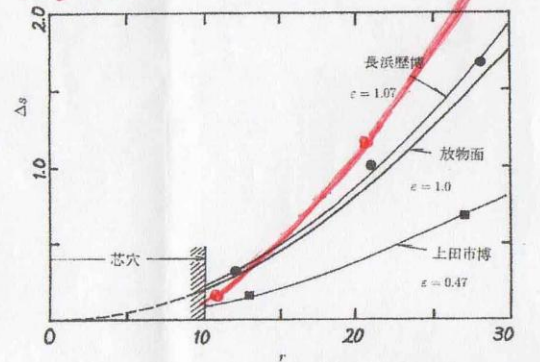


図11 ゾーンテスト法により測定した主鏡の球面収差。横軸は鏡面中心からの距離 r (mm)、縦軸は球面収差 Δs である。●印は長浜歴博の主鏡の測定データ、比較のために理想的な放物面を太線で、上田市博の主鏡の測定データを■印で示す。

図3 国友金属主鏡の測定比較表・全て中村和幸による同一条件の測定結果

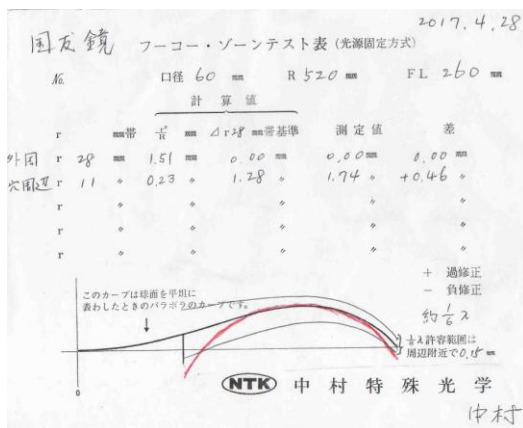


図4 国友4号鏡試験表

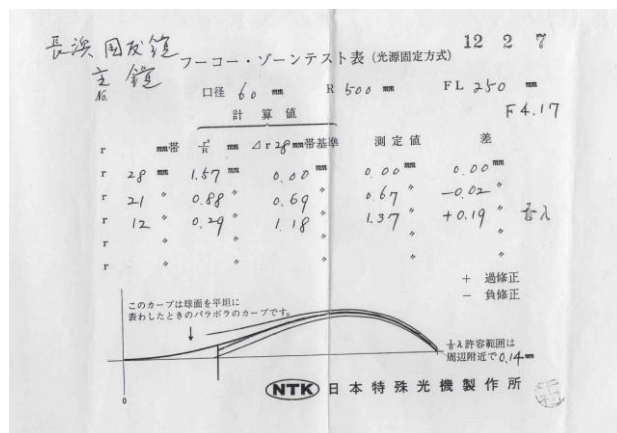


図5 国友3号鏡試験表

図3は、今回測定した4号鏡を含む、過去2機の国友望遠鏡主鏡フーコー試験結果性能比較表である。最も優秀なる鏡は長浜市所有の3号鏡であり、理想的放物面に最も近い。また今回の国友ご本家の鏡は、鏡中央付近に多少の欠点が残存するものの、やはり予想の如くの優秀光学系である。2号機(彦根市)は未測定ながら、結果は優秀鏡とこれも推測される。図3は、図4と図5の個別の収差量を表す模式図を元としてあり、それを見ても明らかになる結果となっている。4機中3機までがこの結果ということで、残り一機も同様と推量され、伝承される製作数が8機とか10機存在したとすれば、同様の結果を髣髴とさせ、近世の反射望遠鏡製作という事実に、工業的量产化の萌芽という事実も意識なくてはならない。誠に驚嘆の一言である。



写真 10 国友 4 号主鏡

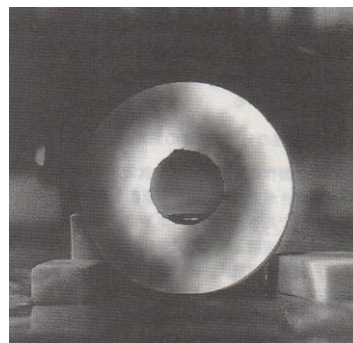


写真 11 国友 1 号主鏡



写真 12 レプリカ主鏡 No.1



写真 13 レプリカ主鏡 No.2



写真 14 国友球面副鏡

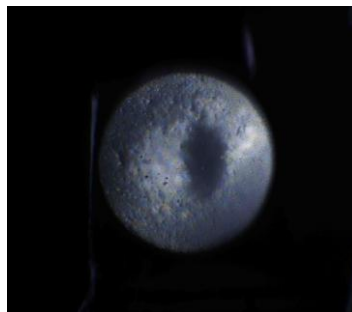


写真 15 レプリカ副鏡

今までに得られた金属鏡写真を参照のため掲載しておきたい。撮影は、過去に撮影された写真 11 と写真 14 の二枚以外は、全て中村和幸の最近の撮影技量によるもので、小型デジタルカメラを用いて実施された。この方法はアマチュア一鏡製作者も実施しているものと思われるが、しかしそれでも撮影はしにくいものであろう。特に直径の小さい副鏡は、焦点位置の短さのために、今回の国友ご本家のものは成功しなかった。再度の機会があれば、関係各位様にも提供の出来ることを前提に、再挑戦できれば幸いである。なお、今回の撮影像の青色がかった 4 枚の写真は、光源に青色 LED を用いたためであり、見た目の表面は全て光り輝いているので、ご留意願わしい。

写真 10 は国友ご本家の所有の高性能主鏡、そしてその表面には極微細凹凸は認められるが、全体としての放物面カーブは、誠にふっくらとした素直で素晴らしい形状と言える。写真 11 は 1 号鏡放物面あるが、銀塩フィルムによる撮影写真。写真 12 と 13 は、坂井義人所有のレプリカ金属主鏡である。なお写真 12 は、放物面カーブとなっており、精度も優秀と認められる。また写真 13 は、放物面カーブの影は全く認められず球面である。写真 14 は銀塩フィルムによる本物の国友一号機球面副鏡である。写真 15 は坂井所有のレプリカ副鏡であるが球面とは言え、凹状の欠陥が認められ、微細撮影の威力を示す好事例となった。検査光源に多少の改良を加えた結果でもある。現代先進手法とは異なる古典的な方法ではあるが、その妙味は語る価値があると言えよう。

4、国友金属鏡製作についての論証

前項の説明のように、現存4機の国友望遠鏡は、その3機までが全て大変に秀逸な放物面主鏡を採用した反射光学系である。これによって、その確率は75パーセントを達した事となり、既に偶然にとか、星を眺めつつなどの従来言われてきた製作方法のみでは達し得ないと準結論づけてよいであろうと思われる。勿論それでも、実際の景色を元とし、そして光学的には厳しい条件である、星を眺めつつの放物面修正作業化を絶対的に否定するものではない。それらは前提的に条件として、それでも放物面鏡製作には、測定的作業が必要とされるという意見と、上記のように実態物を眺めての製作可能という意見に分かれる。そのあたりの推論と関係者の拮抗的意見をここに紹介し、現在考えられるその国友鏡製作の方法論を検証する事としたい。なお、前項で写真紹介をした副鏡は本来「楕円面」を前提とするが、この場合の合成光学系では、鏡表面は凹球面で代用可能と理解されており、研磨方法も球面の場合は基本的には自然現象的に達成可能として、再現実験は必要ではあるが、一応の理解を示しておきたい。

@ 鏡面測定実施を前提とした研磨方法

通常、一般的に確立された円形ガラス材等による光学鏡製作方法では、鏡表面となる凹みを作るための回転荒擦り作業を経て、先ず焦点距離すなわち口径比 F を決定する。そして同様に中摺りと仕上げ摺りの研磨を行い、コータール材料と水溶性ベンガラまたは酸化セリウム材を主とする「ピッチ盤研磨作業」という特殊な仕上げ工程を辿り、先ずは球面化を図っていく。表面の光沢まで達した時点で、凡そ球面に仕上がっているものと考えて、その時点からフーコー試験を実施しつつ、放物面化への最終作業段階に至ることで、それらは達せられるとされている。放物面化の最終段階研磨は、特別に考案されたと思われる「横ずらし方」(オーバーハンギング法とも言う)に移行し、鏡中央部分をミクロン単位以下に削り下げていく。これによって中央部分と周辺部分の、球面より放物面への曲線が作られていくとされ、微妙なる各部位での反射角度の達成として、焦点は一点に集まるという放物面が得られると、レオン・フーコー以降は長く教えられている。ただし、ガラス材ゆえか、欠点とか傷等も発生しやすく、コツの必要な作業である。これらについては、著名研磨技術者の解説本が多く出されているので、ご関心ある方様は、参照を願わしい。原理等は簡単ではあるが、中々の奥の深さと歴史意義を感じて頂ける事を心より期待したい。なお、レオン・フーコーによる影の試験法・フーコーテストについては、既に2017年の研究集会拙稿にて概略を紹介してあるので、併せてご照覧を賜り得れば、望外の幸である。



写真 16 研磨ガラス材



写真 17 ピッチ盤



写真 18 整形作業・中村

写真 16 から 18 に、研磨の概略を示す。同じ直径のガラス材を用い、二枚の材料に研磨剤を加えて切削していくと、上側は凹面化されていく。そして仕上げには

盤用材にコールタール等を溶かして、ピッチ材を作る。整形作業では、水溶酸化セリウムを使い艶出しの後に球面に至り、横ずらし研磨法と鏡面検査を実施し放物面化を図る。古典的方法ではあるが、その鋭敏さを体得する事は素晴らしく、国友鏡理解にも資する。果たして、国友一貫斎先生は、何某かの始原的測定を考案しつつ、作業を進めたのか否か、古記録にも今に至る論証でも明確ではない。

その意味でフーコー試験を今回も重用する理由がここにある。ただ、一貫斎自筆の製作備録には、「鏡中央を減らしていけば、良く見えてくる」という記載はあるという。これのみでは良く理解には及ばないが、少なくとも、放物面研磨には、現代でも通用する見解ではある事を理解したい。ここに測定的な思考があったのかどうかという問題でもある。当時の蘭学者関係では、西洋の文献により、放物面の位置付けは理解していたとも言われており、それに従って独自に製作方法確立していたとするのが、自然な理解とも思われるが、果たして測定に準ずる試行が存在したのか否かは、それでも詳らかではない。

@ 鏡面測定不実施を前提とした研磨方法

上記に紹介した如く、鏡面研磨の製作法は全く同様である。異なるのは、あくまでもフーコー試験その他を一切経ずして、果たして放物面鏡が製作し得るかという大命題である。基本的には著者の一人である中村和幸は、測定等を全く実施せずに優秀なる光学研磨は不可能との意見で一貫した立場を堅持してきた。永年に亘り中村和幸は反射望遠鏡メーカーとして、鏡製作は 2000 枚余に及び、技量は定評ある評価を勝ち得ている。筆頭筆者の坂井も、中村氏にかねてその指導を仰ぎ、鏡作りの技量を体得してきており、その意見は合理的で、如何にしても工程途中で鏡面測定せずして優秀鏡は作りえないであろう立場を支持してきた。

しかし、本題である国友一貫斎の金属鏡製作は、おそらく光学測定技術は到底その試行には達し得なかったであろうとの予測のもとに、永く謎のままであり、敢えて実態物を眺めつつ「良く見える望遠鏡」を製作したとの推論に留まったままであったと言える。測定を絶対的に必要とする立場と、フーコー試験その他の光学測定技術を一切経ずしても秀逸鏡を作りえるという立場とは、双方ともに今ひとつ決定的なる証明も無く語られてきた事であり、特に製作実験の実技証明も聞き及ぶ事は過去には無い。果たしてその双方の立場をどのようにすれば埋められ得るのか、大問題のまま推移してきたと言っても過言ではないであろう。何とかして測定無く、放物面鏡に到達する方法論は、本当に謎として放置のままでよいのであろうか。自問がつづく。

しかし乍ら、ここに一つの光明にたどり着く可能性が、2017 年後半に筆頭筆者の下にもたらされつつあった。国友鏡の計算的精度の指摘を頂いた、元・日本光学の光学技術者 T 氏より経験的な指摘と意見を受けたのである。同氏は、国立天文台岡山天体観測所の 91 センチ反射鏡を始め、現・東京大学木曽観測所の 105 センチシュミット望遠鏡の製作総指揮を執られた方で、この分野における第一人者とも言うべき方である。そして同氏の岡山 91 センチ反射望遠鏡開発の最終段階では、その昔、イギリスのジョージ・カルヴァーのごとく、完成精度確認には夜空の星を肉眼で観察し、その見え方や収差量の推定等を日本光学でも当時実施したとの証言であった。アマチュア向けの解説には、小口径のカセグレン光学系などは、その凸副鏡の研磨確認に、遠い人工的な点光源とか、また実際の星像の肥大等を実視しつつ改良を進めるという説明があり、こうした五感的アナログ試験方法も意義ある事

を再認識した。また新旧に関わらず、よりよい光学系開発製造にも、未だ輝きを失う方法ではないと、再学習した次第である。これらの星を使った収差確認は、日本光学では「スター法」とか「ポイント法」とか呼称していたそうである。また勿論、フーコー試験を駆使して大きい主鏡の整形等も実施したといい、国友も日本光学も、ある意味同じ土俵であったと感じた次第でもある。

ではここから再び国友放物面鏡についての論証を再開すべきであり、果たして測定に因らずして、優秀なる光学系は本当に作り得る事が可能か否かという命題に戻る必要性に迫られた。一言で言えば、「神業といえるであろうが、多分測定を経ずして、放物面鏡は作り得る」という T 氏の提言意見は、傾聴に値するという結論でもある。では如何にすべきか、次項では問題点を含め、具体的考察を展開する事としたい。

5、国友鏡再現実験について

前項では、測定を経ずして放物面鏡を作成することが可能であるかという、問題提起をなした。これらは畢竟、当時の世界で初の放物面鏡を誰が製作したかという、余りにも漫然とした、果たして意味のある問いと言えるのかどうかという可能性すら内包している。この大問題には至らぬまでも、しかしながら一貫斎先生が、では如何にして放物面鏡を製作しえたかという変形問題としての問いは可能であり、また言及すべきである。しかし、これ以上を展開して、鏡製作の具体的論考にたつことは、この一年極めて困難であることを却って露呈した格好ともなっていた。推論どころか、全く取り付く島が無い状況と言っても許されるであろう大問題でもあったのである。とにかく近代的方法と測定方法も知る現代にあつて、こうした今に劣らぬ光学鏡製作は、いわゆるオーパーツ的命題でもあり、それなりの方法論は展開できても、何かしらもう一つ踏み込めない領域の存在することを自覚しなくてはならなかったという事でもある。もう一度改めて、気にかかる項目を列举してみたい。

@ 問題点・素朴なる疑問のままに・・・

- ・ 先ず、如何なる方法に因れば、優秀なる放物面が製作しうるか。
- ・ 果たして一貫斎先生は「放物線」とか「回転放物面」という概念を数学的にも理解していたと言いただけるのか。
- ・ 鏡面精度を決定する測定方法を考案発見していたのか。
- ・ ガラス研磨材料に良く見られるような、リング状の鏡表面の欠点とか、その他の欠陥が全く見られないのは、何故なのか。(フーコー試験の折の、鏡表面全体の金属的凹凸は、金属学の問題として、光学的には問わない)
- ・ また余りにも素直なる光学的に理想の表面のカーブを製作しており、不思議なる事この上ない。何か必然性の方法論に帰結するのではと予想させる。

上記の羅列的疑問は、素朴であることをお許し頂ければ、多分ある一点の方法論さえ確認すれば、一気に解決策を見出さう可能性のある事を示唆するのではないかと感じていた。その意味から、2018 年に入り、過去の先行的研究、昭和初期の時代のごく僅かなる記録の再確認に解決の糸口を見出すべく、手持ちの記録論集等に眼を通し始めた。結局、報告者の限界を示すこと意味するものでもあったが、何と眼の前の曇りを振り払うような記述が、僅か数文字に込められている事に辿りついた。一気に、諸問題を解決に導く可能性を理解することに至ったと言って良い。



写真 19 天文月報昭和 7 年 3 月版



写真 20 神田茂氏・国友解説記事

写真 19 は日本天文学会昭和 7 年 3 月発行の表紙写真である。また写真 20 は大先達たる神田茂氏の記載である。その P.43 の上段左端に「・・・金属鏡の面を磨くには楕円の砥石を用いたそうである」との記述を見つけた。当時の神田茂氏が、たぶん国友ご本家の二代前のご当主から直接に聞かれたものではないかと推量される。これには研磨経験のある拙稿報告者の誰もが全く予想もしていないことであり、只々驚く以外は言葉も無い。金属鏡の直径に等しい 6 センチ程度の長径と 4 センチ内外の短径の砥石を使い、研磨を施したということを示唆しているものと思われる。天文月報には研磨方法に関しては、この記述のみ以外の内容は語られてはいないのではあるが、鏡研磨の経験のある者にとっては、すぐさま放物面を磨き出す特別な方法ではないのかとの判断に至ることは可能であった。眼から鱗がという表現があるが、まさしくそれ以外の言葉は無い。思いもよらぬ『楕円砥石』を用いたという事から判断されるのは、以下の利点等である。

@ 楕円砥石を用いての金属鏡研磨について

- 通常の研磨による放物面化は、最終段階として、「横ずらし方法」（オーバーハング法とも言う）という鏡中央部分をピッチ材研磨によって、球面から放物面カーブに近似させつつ、微細なる変化を形成させるが、最初から楕円砥石を使い回転運動を与えれば、荒摺研磨の当初から「放物面」を目指す研磨を提供する事となる。砥石は、内曇という刀剣研磨仕上げ材として有名な砥石を使用し、時間がかかっても徐々に研磨を施していく。ただし仕上げの砥石を始めから使用の場合は、切削力が低く、どうしても研磨時間は長くなる。別方法としては、金属材料と同直径の荒砥石と仕上げ

砥石を交互に使い、同率の凸曲面を作り出して焦点距離を決定し、その後は仕上げ砥石の内曇砥を楕円に加工して、放物面化を図る。この場合は、多分鏡の中央部から徐々に外側に向かって光沢が出てくるものと思われ、全面的に光り輝くようになった時は、既に放物面に到達しているのではないかという推論である。勿論、フーコー試験等を行わず、自然現象的に回転放物面が出来上がるはずという、今は論理的ではあると思われるものの、丁寧なる再現実験を経て判断することではある。なお、場合によっては厳密なる測定は不用ではあっても、定性的に作製途上の放物面化の過程をフーコー試験で実見しつつ再現作業に取り組むことも、極めて意義あるものと観せられる。

- 楕円砥石を用いて、何ゆえ自然現象的に、また合理的に放物面が達成されうるかという点については、楕円砥石研磨方法は、現代の「横づらし・オーバーハング研磨方法」と、原理的には全く同様な工程に他ならないという事を意味する。回転を与えつつの鏡材の前後研磨運動は、鏡の中央部を優先的に深くさせていく事となり、その方法では 2 対 1 などの研磨運動率が確保されて、結果その周辺と中央部分の表面曲率に変化を与えて、必然的に放物線に至る事を示唆する。今回の金属鏡研磨については、初めから楕円砥石を用いる事も対象とすべきで、その場合は、研磨時間が長引くことは止むを得ない。また砥石の楕円比率についても、一考を要する。砥石について、特に仕上砥石の『内曇砥』は、大変な高額品も供給されており、どのような製品を使うべきかも、現状では決めかねる。とにかく手持ち製品を用いて、砥石研磨で光沢が出しうるか、また放物面が達成されるか、自省と多くのご批判も頂く必要もあるものと思われる。なお、横づらし研磨法については、以下の手書き図もご参照願わしい。また再現実験作業には、既に凹面研磨をしてある金属材料の裏側を使う予定である。
- ガラス材を使用し、またコールタールその他を混合したピッチ研磨剤は、放物面化の途中、よく凸とか凹の同心円リング状の欠陥が生じやすい。放物面に達していれば、星などの観望にはそれほど影響は無いが、それは美的要素の帰結とも言え、なるべく除去したいものである。ところが国友実機の 3 枚の表面は、そうした痕跡は見られない。到底フーコー試験的な検査は無かったものとの前提からすれば、不思議なる結果でもある。また「ふっくら」とした素直なる表面カーブも達成されている。余にも美しい表面模様なのである。これにも多分理由はあるはずで、中村和幸の意見によれば、金属鏡材も砥石も「硬い物質」のために、同心円状のリング欠陥などは、ピッチ盤研磨などとは異なり、基本的に両者には平均的硬度があるためか発生しにくいのではと推論している。これも果たして如何なる結果をもたらすかは、やはり再現実証によって知見を得る必要もある。金属材料と古くから用いられた砥石という材料には、まだ検討をすべき秘訣とか秘密が備わっているのかとも感じる次第である。筆頭筆者は日本刀剣にも若年時から関心を抱いてきたが、確かに刀剣の表面の輝きとか刃紋の美しさを際立たせる研磨方法には、国友鏡の謎の一面も内包しているようで、より興味が尽きないと改めて感じさせる。掲載写真の中の、刀剣用の「小柄・こづか」とその刃先（穂と呼称）の輝きをご覧頂きたい。
- 国友金属鏡に共通している光学的欠点は、鏡の中央穴の周囲と、鏡端の部分である。長浜市所有の 3 号機鏡は、理想とする計算値からの表面カーブは完全なる放物面に近く、理想的な鏡面である。1 号鏡と 4 号鏡は端と中央に計算値より外れる部分が存在する。これは、欠点も最も出やすい部分で現代鏡でも同様であり、納得できる。

これを以ってしても、やはり光学試験は存在せず、星などで修正した傍証と言える。

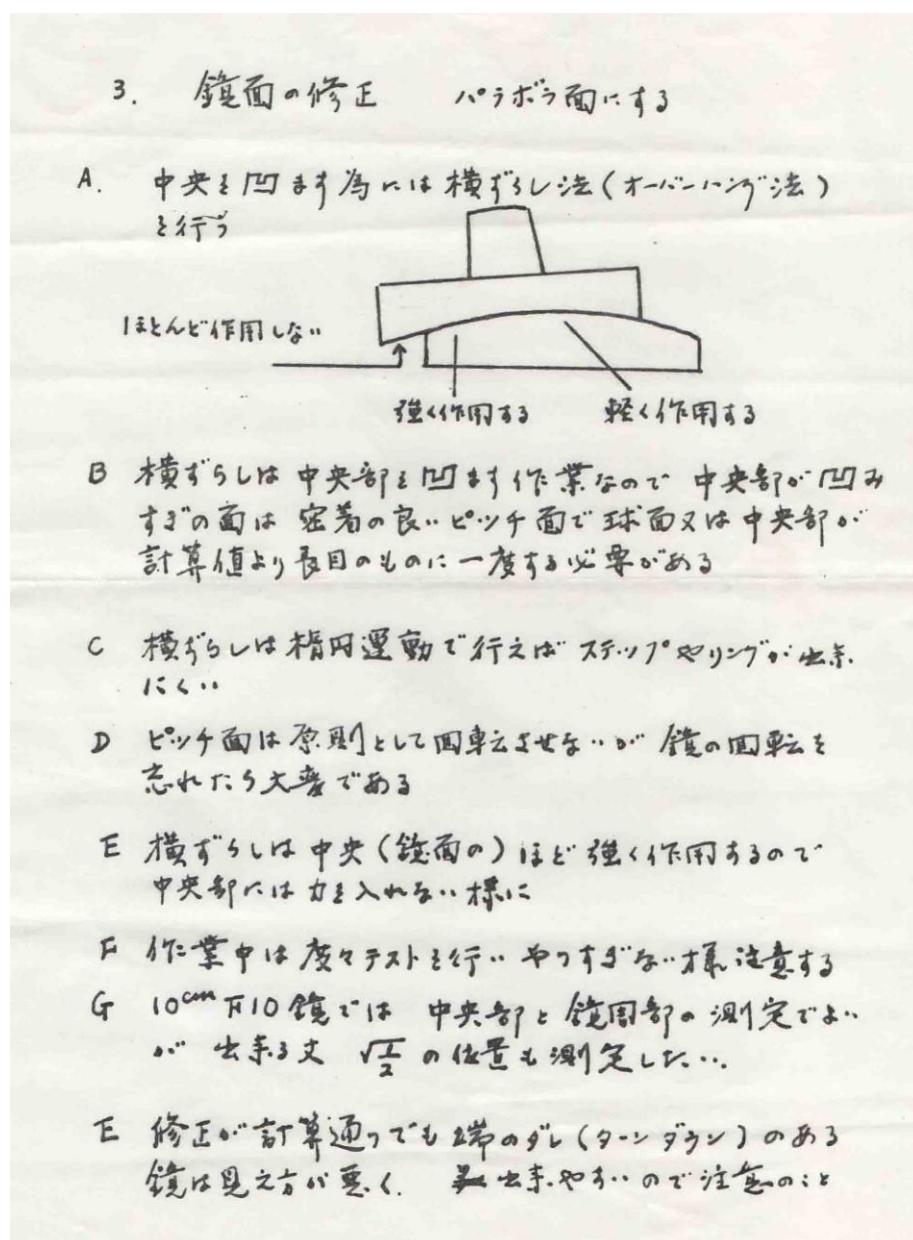


図6 横づらし方研磨説明(オーバーハング法)・中村和幸

図6は一般的なガラス材による放物面研磨製作の説明である。ピッチ研磨材に酸化セリウム剤を水溶きして、その溶液を継ぎ足しつつ、上側の鏡面材料に対して、球面に仕上がっている鏡面を、中央部分をより深く切削して、放物線面に近づけていくという研磨方法である。これが放物面鏡を製作していく最終過程である。早い場合は、球面から放物面に至る時間経過は、一時間もあれば到達する。この時はウキウキするような心栄えとなる事が最大の魅力でもある。大変に印象的な最終整形研磨段階であるが、国友鏡の場合は研磨の最初から楕円砥石を使ったと仮定すれば、それを意識して中央部分を減らしつつ焦点距離を決定し、全体に最大反射率に至る輝きを達成すれば、自然に金属放物面鏡が完成する事となる筈である。果たして、有意義なご批判と、真摯なる不信感をお教え頂ければ、心嬉しい限りである。



写真 21 砥石模型とレプリカ主・副鏡
(楕円砥石を使用して研磨)



写真 22 仕上砥石(中央)とレプリカ鏡
(切り出し前の内曇砥石 左は荒砥石)



写真 23 模型砥石上のレプリカ鏡
(下側の楕円砥石と金属鏡材料)



写真 24 模型楕円砥石上の研磨方法
(固定砥石と鏡前後運動の模様)



写真 25 模型楕円砥石とレプリカ鏡
(金属鏡回転研磨模様と前後運動)



写真 26 金属レプリカと刀剣小柄
(金属鏡と刀剣用の輝く小柄の穂)

写真 21 より写真 26 は、模型楕円砥石を用いた金属鏡研磨の模式写真である当然に研磨材は不要で、時折水を差しつつ金属材料を前後させ、同時に回転運動を与えることにより、自然に上側の鏡は凹面化を辿っていく。そして、焦点距離を決定し全体が輝いてくれば、自然現象的に「放物面」化に至るかどうかの問題提起実験である。この手法で、一応の放物面が製作しうれば、望遠鏡本体に取り付けて、星等の点光源の実視試験と追研磨を施し、完璧に近い放物面鏡となれば、一貫斎先生の製作方法は実証されたとと言える。小凹面副鏡は小さいため製作は困難を伴うが、再現実験で同直径の円形砥石にて輝きが発生すれば、球面に到達と仮定しておく。

6、結語に代えて

以上が、国友金属鏡の再現実験に至るまでの道筋である。余りにも放物面鏡を作り出すという命題の深遠さが感じられる。これについては、2018年度の報告者のテーマでもある。この続きの報告は、確かに測定も無く放物面鏡が製作しうると言う実験を経ての結論に至るまで、暫く時間を頂く事としたい。そして小型旋盤でも入手して、遅蒔きのレプリカ望遠鏡本体製作までは実施し、手磨きでの放物面の検証と、星での目視による鏡表面カーブの修正にも挑戦していくべきと考える。2016年秋から再開した、私共の調査行動は、これで一応の終息の峠を下るものと意識したい。今後は、国友望遠鏡に影響を与えたとされる、江戸末期オランダ渡り等のグレゴリー望遠鏡光学検証に向かえば、望外の幸である。

さて、これで凡その方向性は得られたと思われるので、筆頭報告者のかかる文化財に対する感慨と自己への厳しい戒めを述べておきたい。これは特に筆頭報告者の、過去の不認識等による自省とも言えるべきものであり、後進の人士にも資するべく、敢えての弁をご容赦賜りたい。これには自嘲を込めた内容をも申し述べることでもあるが、何卒かかる分野への提言ともお受け取り頂ければ、幸甚なる次第である。

この国友望遠鏡検証は昭和の初め頃から始まり、その後も関心を有した方々により世情に紹介されている。その後、今から20年前には今般の報告者三名を含めた、総勢10名余にも上る関係者によって、詳細なる検証が提示された。その時の地元各位様また関係者諸氏には、この場を借りて深甚の謝意を申し上げたい。また、2017年と2018年に天文学史研究会報告を目指して、久々の再度の国友光学検証を試みた。これは文中にて報告申し上げた如くである。日本には世界に誇る光学技術の論理的萌芽があったことは、否めないであろう。またそこには、単に技術的側面とか、天体観測への関心と興味ばかりではなく、当初より国友ご当地、そしてその末裔の方々の国友一貫斎先生への最大畏敬と尊敬も醸成された。これは、神業とも異称される国友一貫斎先生に対する、心底の尊厳から醸し出されたものである。少なくとも本稿の共同的報告者に共通する価値観であることは、確かな事として自覚される。具体的な内容は控えるが、一例として、ある歴史的物品を展示と調査検証のため、該当文化財を借用し、その部分品が行方不明となってしまったという、杜撰な事を伺った事がある。これは果たしてどのような経緯だったのかは、勿論真偽不明であるが、所有権者には遺憾以外の物ではなかった事と思われる。

また、これは筆頭筆者の理解度の浅さに起因するが、やはりある重要物品の調査等が可能か否かを打診するため、所有博物館へ伺った折、よほど正体不明なる奴腹とお感じになられたのか、「・・・遊びでやってもらっては困る」との叱正を頂いた。何の前触れも無く伺い、そのようなる申し出をしでかした自己に責があるものと、今も深く自省するのみである。全く若輩のみぎりの汗顔の至りを自覚をし、その稚拙さを今も記憶する。かかる場合は、勿論のこと事前連絡を経て、とりわけ書簡を用いての願い書の提出、またその関係者など地縁ある方様にご支援を願い、時間をかけての対応を心がけるように心している。そしてその折の仲介等を頂いた御方様には、当然その活動推移の報告と結果論考書等の提出を欠かさぬように自己を戒めている。勿論礼状を添えることも必須であろう。他分野でも、偽物を土中に埋め戻して、新発見を装ったなどの考古学愚事件もあったと記憶する。また最近では生物学の論文等の問題など、眼にあまる様相である。

上記の他分野の事案は、まだ関係者のみとか、その研究分野内の相互批判で処する事は可能であろう。正直なる気持ちとして、天文学などにも当てはまることである。たとえばプロポーザルを申請し、観測許諾を頂いた施設に何等かのご迷惑をかけたとしても、その範囲内で叱責されることが解決に向かわせる。

しかし乍ら、永い過去からの伝承と、保存保管されて続けてきた有形文化財等は、必ずしもその範疇には入りえない。そこには熱い地元意識と、また継承をされ続けた生きた人の心、そして矜持と対人関係が重く押し掛かる。この拙稿の筆頭報告者は、共同執筆者二名に対してはもとより、今回の論考に至るまでの幾人もの国友町ご関係者様、またとりわけ地元博物関係の方様に、果たしてご迷惑以外の何者でも無かったかを、絶えず省みて、そして内心その想いに揺れ続けている。

時代が発展すれば、そして諸人士が交われば、当然に隣接分野としての学問的価値観と意識が形成される。一貫斎先生の望遠鏡の継承はもとより、そこから世に問われた天体観測の結果も、富に科学的重要度が評価され始めている。そしてその分野に新たに参入される研究後輩諸氏も、優秀なる人士が輩出され始めている。大変に慶ばしき限りである。「敬して和さず」というのが研究精神とは言え、それでも「和を以って尊しとなす」の精神を貫いていただきたい。

日本のガリレオと一貫斎先生が謳われて久しいが、よりその周辺環境にお心を砕いて頂き、地元意識と地元人士の誇りを唯一最大に優先下さり、その上での輝かしい研究金字塔を打ち立てて頂きたいものと心より願うものである。

脱稿 2018/05/25

参考文献

- ・ 論説 天保年間国友氏製作の反射望遠鏡と太陽黒点の観測 理学士 神田茂
天文月報 昭和七年三月 第二十五卷 第三号
- ・ 国友能当の天文研究について 山本一清 及 故・中村要
天界 昭和八年（第十三巻） 第四百四十二号
- ・ 国友藤兵衛解説記事 村山定男（科学博物館・天文）
ENJOY SECTION 出典雑誌不明
- ・ Kunitomo and his astronomical activities in the pre-Meizi era .
Isis 26 (2) , 330 ~ 335 (1937)
Issei Yamamoto Kyoto , Kwasan Observatory