

特集 「ガリレオの望遠鏡 精密復元」の調査記録

～400年前の望遠鏡作りへの誘い～

秋山 晋一 <(株) オプトワークス アキヤマ>

1. 世界天文年でガリレオの望遠鏡を精密復元

世界天文年では、日本委員会主催企画で、400年前にガリレオが製作し、フィレンツェの科学史研究博物館に所蔵されている、倍率が20倍と14倍の2本の望遠鏡を精密に復元した。

この企画では、復元したガリレオの望遠鏡を国内の科学館や天文台等で、世界天文年のメインの展示とした。さらに、14倍望遠鏡はレンズも復元し、遙か400年の昔、ガリレオによる人類初の望遠鏡での天体観測を、観望会等で多くの方に体験してもらう事が出来た。20倍・14倍の二つの望遠鏡は、各々30本・36本復元製作した(図1, 図2)。

ガリレオの望遠鏡を復元するため、精密復元プロジェクトチームが、本企画を立案した世界天文年日本委員会企画委員の井上毅氏(明石市立天文科学館)によって編成された。筆者は、14倍望遠鏡の光学系復元を担当し、レンズは菊池光学精工(株)が製作した。

2種類の鏡筒は(株)京都科学により復元製作された。なお、今回の復元した製法は、短期間で多数を製作するため、本稿で紹介するガリレオ時代の製法とは勿論異なる。

2. ガリレオ望遠鏡の調査について

古今東西、ガリレオが望遠鏡を作ったことは、多くの出版物にあるが、現存するガリレオの望遠鏡の詳細について、国内の資料は少ないようである。

筆者は、当時の望遠鏡製作の技法や、歴史的な背景について、内外の資料や製作現場を調査した。また、実際に望遠鏡を試作して、

ガリレオの観測記録の検証を行った。



図1 復元したガリレオの20倍望遠鏡[1]



図2 復元したガリレオの14倍望遠鏡[1]

この調査の詳細を、以下の3,4,5の各節で紹介し、みなさんを、400年前のガリレオの望遠鏡製作工房へ誘いたい。

3. 現存する2本の望遠鏡の由来
4. 望遠鏡を変革したガリレオの業績
5. 望遠鏡製作の技術と伝統的技法

また、世界天文年の「ガリレオの望遠鏡精密復元」の事業報告は、井上氏が天文月報2009年12月号に著した[2]。ガリレオ望遠鏡の復元製作については、筆者と井上氏、そし

て鏡筒の復元製作を行った（株）京都科学の清水浩次・西田省三両氏の4名の共著で、天文月報に寄稿している[3]。

これらと本稿を合わせて御覧下されば、世界天文年での本企画と、ガリレオが残した望遠鏡について詳しく知って頂けると思う。

3. 現存する2本の望遠鏡の由来

この節では、現存するガリレオが製作した20倍・14倍望遠鏡の各々の由来を、歴史的な背景とともに紹介する。

3.1 メディッチ家へ献上した20倍望遠鏡

図1は、復元した20倍望遠鏡で、メディッチ家のコジモ2世の依頼により、ガリレオが製作したと言われている[4]。

フィレンツェのメディッチ家は周知の通り、14～18世紀の500年の長きに渡り、ヨーロッパに君臨した大富豪であり、ローマ教皇(法王)を輩出した名門である。ルネッサンス発祥の地、フィレンツェでは、メディッチ家の手厚い庇護の下、ダ・ビンチ、ラファエロ、ミケランジェロをはじめ、芸術や科学の才能が百花繚乱であった。フィレンツェに育ったガリレオが、メディッチ家の支援が如何に重大かと感じていたかは、言うまでもない。

1609年に、弱冠19歳でトスカーナ大公を継承したコジモ2世は、豊かな教養と温厚な人柄で、芸術と科学の庇護に情熱を注いだ。ガリレオは、かつてはコジモ2世の家庭教師を務めたが、この年、大公になったばかりのコジモ2世は、ガリレオが望遠鏡を作ったことを知って、製作を依頼したのだった[5]。

20倍望遠鏡は、1610年頃の製作と言われている。第5節で製作技法を詳しく紹介するが、鏡筒の外装は、色彩豊かな革で被われており、金箔押しとマーブル紙による贅を尽くした華麗な装飾が施されている。幼い頃から絵画に秀でたガリレオが丹精した20倍望遠

鏡の復元した装飾を見るにつけ、メディッチ家とコジモ2世へ、ガリレオがどれほどの畏敬を持って献上したかを、偲ぶことが出来る。

そして、1610年5月に出版した「星界の報告」と、この優美な20倍望遠鏡をコジモ2世へ献上した結果、ガリレオは希望どおり、ピサ大学数学・哲学特別教授に任命された。ヨーロッパ中に伝わった名声とともに、ガリレオの人生における至福の時であった。

3.2 ガリレオ製作の記録が無い14倍望遠鏡

図2は、復元した14倍望遠鏡だが、ガリレオがこの望遠鏡を作ったことを示す、文献や記録は無いようだ。所蔵館の図録によると、由来は次の通りである。

望遠鏡を分解した時に、筒の中に貼られた紙片が見つかった。この紙片に書かれた文字を調べたところ、ガリレオの筆跡と一致した。この事がガリレオ製作の根拠となった。

さらに、製作年代が、紙片に残されたメモ書きより推定された。紙片には「focal distance」(英訳:焦点、間隔あるいは距離)という文字と、「piedi 3p」と書かれていた。「piedi」とは、古代ローマ時代からイタリアで使われた長さの単位だった。

「1piedi」は約29cm(piedi 伊語:足)。

しかし、その当時、フィレンツェで使われていた長さの単位は、「braccia」だった。

「1braccia」は約59cm(braccia 伊語:腕)。従って、紙片に記された長さの単位「piedi」が使われていたのは、フィレンツ以外の地方であると解釈された。

1610年の夏以降、ガリレオはフィレンツェに定住したので、14倍望遠鏡の製作時期は、ガリレオがヴェネチア共和国のパドヴァで望遠鏡を作っていた、1609～1610年頃ではないかと考えられている[6]。

4. 望遠鏡を変革したガリレオの業績

オランダで発明され特許申請した望遠鏡の構造は、2枚のレンズと筒だけであった。この単純な構造のため、すぐにヨーロッパ各地で模倣されたが、殆どは、倍率が低い上にレンズの精度も悪い物だった。本節では、性能の低かった望遠鏡を、高性能な天体観測機器に変革した、ガリレオの業績を紹介する。

4.1 望遠鏡の倍率を解明

ガリレオは、望遠鏡を作り始めた時、まずレンズの構成を考えた。幾何学的に対物レンズは凸レンズ、接眼レンズは凹レンズに決めた。次に望遠鏡で重要な倍率について、肉眼と望遠鏡との比較により測定した。そして、倍率は、対物レンズと接眼レンズの焦点距離の比であるという、自身の屈折理論を導いた。この解明により、高い倍率を設計する事が可能になった。但し、焦点距離といっても、実際にガリレオが考えたのは、幾何学的なレンズのカーブ（曲率半径）のようだ[7]。

実際に、最も単純な例では、平凸レンズと平凹レンズにおいて、原理的に、屈折率が同一ならば、片面のレンズカーブによって、焦点距離は近似的に決めることが出来る。

4.2 レンズの絞りを発明

1609年7月には倍率が3倍、翌8月には8倍の望遠鏡を作った。そして、更に高倍率を目指したガリレオであったが、高い倍率の望遠鏡のレンズ製作は、ことのほか難しかった。

当時、レンズ製作に苦心した点は、次の3点が考えられる。

- ① ガラス素材の欠陥
- ② 研磨の技術と精度
- ③ レンズの収差

②の研磨技術は、後にガリレオが習熟したので飛躍的に改善されて、ヨーロッパ随一の性能を誇るレンズを製作した。①のガラス素材



図3 14倍望遠鏡対物レンズの絞り[1]
直径26ミリの絞りが、対物レンズ（外径51ミリ）に取付けてある。

表1 14倍望遠鏡の光学スペック
単位mm（屈折率を除く）

対物レンズ			
焦点距離	外径	有効径	屈折率
1330	51	26	1.5284
接眼レンズ			
-94.0	26	11	1.5156

は良いものが無く、その後も探したようだ。①と②は技術的なものだが、③の収差については、単レンズの望遠鏡では、色収差や球面収差が大きいため、現代のレンズでもかなり絞らないと、使い物にならない。

現存する2本の望遠鏡で、特筆すべき構造は、いずれも対物・接眼レンズに、それぞれ「絞り」が設けられている点である[8]。

図3は、復元した14倍望遠鏡の対物部分で、直径51mmのレンズを26mmに絞っている（表1）。この「絞り」の発明がなければ、望遠鏡の進歩は遅れたかもしれない。ガリレオは、1609年12月～翌年1月頃には「絞り」を設け、20倍という高倍率の実用に成功した。レンズの収差や光学理論が未知な時代に、「絞り」を発明したガリレオに驚嘆する[9]。

それでは、如何にして「絞り」を発明した

のか？その答えはガリレオ自身の眼にあったようだ。ガリレオは若い頃からの眼病のため、明るい光を見ると、その周りにハレーションが起きたようだ。例えて言うと、夜の明るい灯火が、月に傘がかかったように見えると、想像して頂ければよい。眼の疾患で、例えば、硝子体や水晶体などの混濁、或るいは眼圧が高い緑内障でも、この症状が見受けられる。ハレーションを軽減するためには、眼を細めて見たり、指の間をスリットの様にし、これを通して見れば、改善されることが多い。

ガリレオは1610年1月に書簡で、「対物レンズの絞りは、卵型が良い」とその効果を記している。卵型が眼の形を意味したかの確証はないが、ガリレオは、自身の体験から、「絞り」を発明した可能性が指摘されている[10]。

5. 望遠鏡製作の技術と伝統的技法

ガリレオが望遠鏡を製作した17世紀は、手工業の時代だった。望遠鏡の材料や製作技術は、むろん、その手工業のインフラを利用する以外に方法はなかった。

本節では、当時、ガリレオが望遠鏡製作に用い、現代まで伝承されている技術を紹介するとともに、望遠鏡製作に注いだガリレオの技術を、歴史的背景を交えて解説する。

5.1 17世紀のガラス製造技術

(1) 中世のガラス素材

中世のヨーロッパでは、各地でガラスが製造されていた。ガリレオは、1610年まで18年間ヴェネチア共和国のパドヴァ大学にいたが、首都であったヴェネチアは、中世から高級なヴェネチアングラスが有名で、現代でも高品質なガラス製品が製造されている。

13世紀、ヴェネチアは十字軍遠征の際に、イスラムの優秀なガラス職人を連れて帰り、すぐ北にあるムラーノ島で、ガラス作りを始めた。やがてヨーロッパ貴族の憧れの的となった、ゴブレット(大杯)などのガラス器や、

シャンデリア、鏡など、贅沢な品々を輸出していた[11]。おかげでガリレオは、容易にガラス素材を入手が出来たのだろう。

しかし、如何に優秀なヴェネチア製といえども、当時のガラスは、望遠鏡のレンズ素材として、品質が劣っていた。その原因は、ガラスの製造技術に問題があった。

当時のガラス製法と共に、この点を説明する。日本の陶器を焼く窯に似た、石で作られた窯を熱し、原料である珪砂や石英等とソーダ灰を、窯の中の坩堝で溶かしてガラスを抽出し、その後、ゆっくりと冷ました。ところが、熱する窯の温度が低かったため、ガラスの中には、気泡や異物が残った。また、歪みや脈理という、不均一な部分が発生した[12]。

このように、ガリレオの時代のガラスは、望遠鏡の光学レンズには不十分な品質だったため、良いガラス素材の入手にガリレオは苦心した。そこで、透明度に優れたガラスを製造していた、フィレンツェ産も使った[13]。

(2) ガラス素材の分光透過率を測定

ガリレオの時代のガラスと、今回復元したレンズのガラスの特性を調べた。

図4は、波長による透過率を示したグラフで、実線は、17世紀の望遠鏡製作者、イタリアのカンパーニ(1635~1715)が作ったレンズの分光透過率である。350~400nm付近で透過率が落ちているが、ガラスに鉄分が含まれている事を示す。17世紀の、他の望遠鏡製作者のガラスも、概ね似た傾向である[14]。

図4の点線は、今回復元した対物レンズの分光透過率で、筆者が測定した。点線では可視光線の全域で、透過率が均一であることが分かる。このガラス素材は、鉛や砒素などの有害成分を含まない、環境問題に対応した最近のエコガラスである。

なお、反射防止コーティングの無いレンズでは、片面で4~5%の反射があり、点線の復元レンズでは、理論値通り、透過率は両面合わせて10%近く落ちて90%程度である。

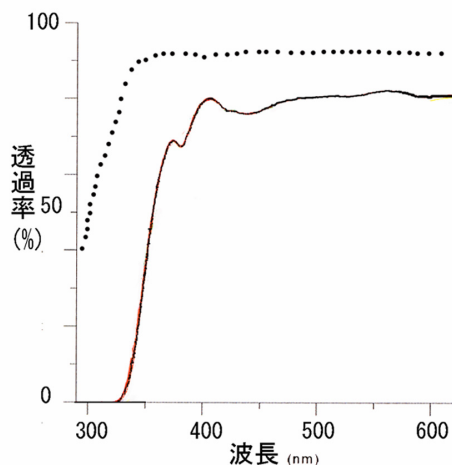


図4 17世紀のレンズと復元望遠鏡レンズの分光透過率[14]

実線：17世紀の有名なイタリアの望遠鏡製作者カンパーニのレンズで、350～400nmが落ちているのは鉄の含有を示す。点線：復元望遠鏡のレンズで、可視域で透過率は均一。素材は鉛等を含まないエコガラス。

5.2 難しかったレンズ研磨技術

ガラス素材と並んで、当時、殆どの望遠鏡は、レンズ研磨技術が未熟なため、高倍率・高精度の生産が難しかった。この時代、レンズは眼鏡等に多く使われたが、その精度は、望遠鏡に使うには、随分劣っていた。これは現代でも同様で、光を一点に収束して拡大する望遠鏡では、高い精度が必要だが、眼鏡では、水晶体に届く光の角度を単に変えるだけで、眼には調整力もあり、高い精度は要求されない。従って研磨機械や製作技術も異なる。

高倍率の望遠鏡製作に困難な問題点は、長い焦点距離の対物レンズの研磨と、短い焦点距離の接眼レンズの研磨だった。

対物レンズは、平凸レンズ、(または平凸レンズに近い両凸)だが、1メートルを越す長い焦点距離では、レンズのカーブが浅い(曲率半径が大きい)ため、研磨精度が大変難し

い。レンズの研磨は、平面に近づく(曲率半径が大きくなる)ほど難しくなる。

一方の接眼レンズは、14倍望遠鏡では平凹レンズを作ったが、高倍率には強度の近視眼鏡より短い焦点距離のレンズが必要だった。この凹レンズでは、対物レンズとは逆に、強いカーブ(曲率半径が小さい)の研磨皿を用いるが、適当なものは無かったようだ。そこで、ガリレオは、研磨皿の代わりに小さな球を用いた[15]。さらに、20倍望遠鏡の接眼レンズには、焦点距離の短い、両凹レンズを作った[16]。

(1) 月面画像によりレンズの精度を検証

ガリレオのレンズの研磨精度について、試作して検証した。表1の対物レンズを、一般の眼鏡レンズ研磨と、ベテラン反射鏡製作者による研磨で、精度の違いを比較し、ガリレオが観測に用いたレンズ精度を推測した。

図5は、眼鏡レンズ工場で作した、14倍望遠鏡対物レンズで撮影した月面である。ベテラン技師の製作だが、眼鏡レンズの製法ではアス(研磨誤差)が残って、大きなクレータも分解出来ていない。図6は、このレンズを反射鏡研磨のベテランが修正研磨し、フーコーテストで球面に仕上げた。小さなクレータまで鮮明に写っている。僅か26mmの小口径の単レンズだが、焦点距離1330mmでF50という長焦点比に助けられ、優秀な分解能を示した。

ガリレオは自身の著「星界の報告」で、クレータの影の長さの測定から、幾何学的に月面の山の高さを求めた。このことから、ガリレオの望遠鏡は、図6のような優れたレンズ精度である事が推測できる[17][18]。

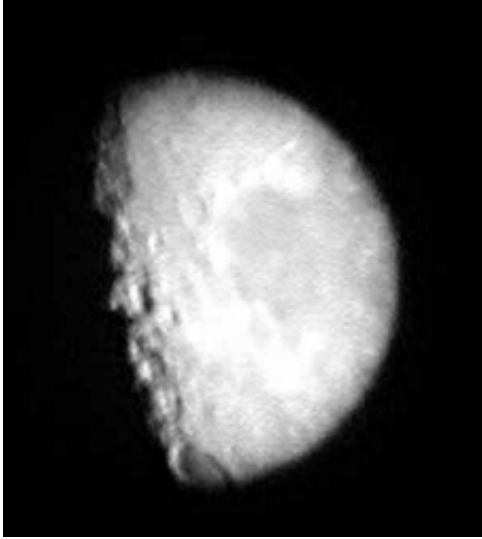


図 5 眼鏡レンズ工場の試作対物レンズで撮影した月面（14 倍望遠鏡）
大きなクレータも分解出来ていない。

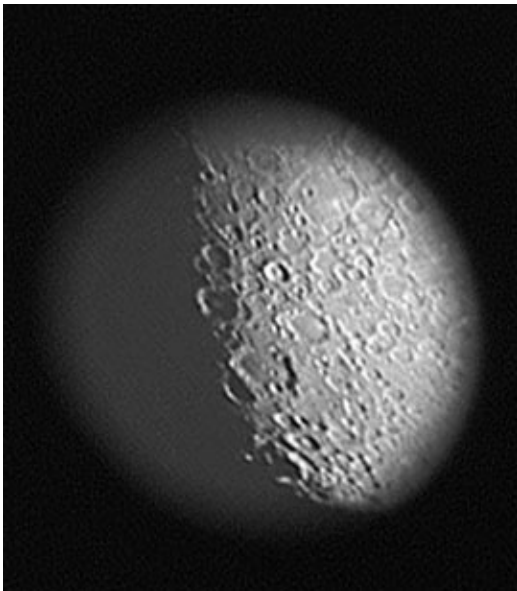


図 6 反射鏡製作のベテランが、図 5 のレンズを修正研磨して撮影した月面
解像力が改善し、小さなクレータまで鮮明。

さらに、近年、ガリレオや、17 世紀の望遠鏡製作者ディヴィーニ（1610～1685）の磨いたレンズは、干渉計による光学検査が行われ

た。その結果、干渉縞は概ね直線状に伸び、大変優秀なレンズである事が分かった[19]。

ガリレオは、1609 年の 12 月から僅か 3 ヶ月で 100 以上の望遠鏡を製作し、10 台ほどが木星衛星観測に使えた。この事から、研磨の技法をかなり習得したことが伺える。

しかし、ガリレオやディヴィーニのような高精度のレンズの製作者は、当時のヨーロッパでは大変少なかったため、彼らの望遠鏡は非常に貴重であった。

（2）レンズの外周加工を再現

ガリレオは、高性能のレンズを磨いたが、絞って使用したので、レンズの外周は現代のレンズのように、真円仕上げ加工がされていない。現存する 17 世紀頃製作した望遠鏡の中にも、やはり、外周の仕上げ加工がされていないレンズが見受けられる[20]。レンズの外周は、ガラスからヤットコで切り出して、円に近づけただけの、荒い仕上げだった。

図 7 は、筆者がヤットコで外周加工を再現している写真である[21]。ガリレオのレンズも、このように、外周はギザギザしたままである。この作業は、ガラスを数ミリずつ、ヤットコ

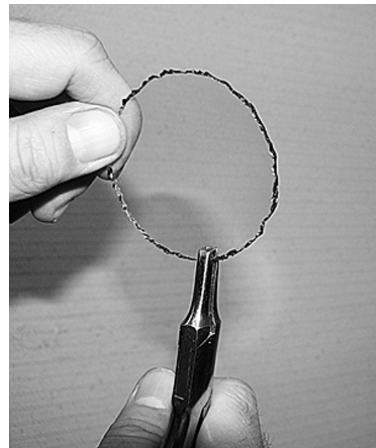


図 7 レンズの外周部をヤットコで円形に加工
ガリレオ望遠鏡のレンズは、絞っていたため再現した図のように外周は荒い仕上げだった。

で徐々に落として行くが、一瞬でも気を抜くとガラスを割ってしまうため、習熟を要する。現代では、ダイヤモンドのガラス切り等の発達により、この技術は少なくなった。

5.3 弦楽器製作に見る、鏡筒の木工技術

この時代の望遠鏡の多くは、鏡筒が木材で作られており、ガリレオが製作した 14 倍と 20 倍望遠鏡のいずれも木製の鏡筒である。

図 2 の 14 倍望遠鏡の 1.2m の木製鏡筒は、長い焦点距離を保持し、約 15 分という狭い視野のために精度も要した。さらに、400 年に及ぶ経年変化にも耐えてきた。

14 倍望遠鏡の木製鏡筒の構造は、半円筒を 2 つ合わせて作られている。木材を半円筒に削り出すには、刃先が曲線になったカンナを主に用いるが、均一に削り出すには、高い技術が必要である。優れた鏡筒を作るための、木工技術を調べてみた。まず熟練の木工製作者に尋ねたところ、手作業による、高い精度の長い木製鏡筒の製作は、難しい作業である事が分かった。

そこで、物理特性に優れ、中世から現代まで継承されている木工技術の中から、弦楽器の製作に着目した。中でも、1 m 以上の鏡筒の長さに類似したサイズを持つ、コントラバスの製作技術を調べた。

図 8 は、1800 年代にドイツで製作されたコントラバスで、矢印は、弦を押さえる部分（指板という）の先端で、断面がアーチ型である。この指板は、削り出しの技法によって、精巧な曲面に仕上げられている。

尋ねたのは、コントラバスをはじめ、バイオリンなどの弦楽器を 1930 年から 2 代に渡って修理・製作しておられる横野楽器さん(大阪市)で、14 倍望遠鏡の半円筒製作の可能性について教えて頂いた。氏の工房では、100 年から 200 年以上前にヨーロッパで作られた、



図 8 コントラバスの曲面の木工技法[22]
矢印の指板は精密なアーチ状に削り出され木製鏡筒の半円筒製作の技術が類推できる。

オールドと呼ばれる貴重なコントラバスが、蘇るため修復を待って並んでいた。横野氏によれば、高い精度の木製半円筒の製作は可能という事だった。ただし、貼り合わせに使うニカワ(天然素材の接着剤)の当時の素材は、現在では無くなったそうだ[23]。

ところで、ガリレオがいたパドヴァより西に約 100 キロ離れた山あいに、クレモナという小さな町がある。望遠鏡の発明より半世紀前、16 世紀中頃クレモナでは、アンドレア・アマティ (1511~1580) が、現代のバイオリンの形を完成させた。そして、彼の子孫や、弟子のガルネリ (1626~1698) とその子孫、さらに、有名なストラディバリウス (1644~1737) という名人達が輩出し、弦楽器の最高峰を生み出した。これらの名器は、多くのヨーロッパ貴族から垂涎された。100~200 年以上弾き継がれたオールドの音色は、現代の楽器では超えられない貴重品である[24]。

これらの弦楽器と同時代に、ガリレオの高

性能望遠鏡も、ケルン選帝侯やオーストリア・レオポルト大公をはじめ、各国の貴族から切望されたことは有名な話である[25]。

ルネッサンスが終焉を迎え、初期バロックが芽生え始めたこの時代、バイオリンを完成した名匠アマティ、望遠鏡を科学器械に変革したガリレオ、いずれも、唯一人で完成した、計り知れない機才を生んだ時代でもあった。

因みに、ガリレオの父ヴィンツェンツィオは、あまり有名ではなかったが、プロの音楽家で、ガリレオも幼い時から、父にリュート（ギターの先祖）を習って演奏していた。

5.4 20 倍望遠鏡 金箔とマープル紙の装飾

メディッチ家に献上した 20 倍望遠鏡は、フィレンツェの象徴とも言える、伝統的な技法により、華麗な装飾が施されている。ガリレオは、この装飾によって、メディッチ家への信義を表したのだろう。この節では、ガリレオが 20 倍望遠鏡の装飾に用い、現代に継承されている伝統的な技法を紹介する。

(1) 鏡筒を飾った革と金箔押し技法

20 倍望遠鏡の外装は、複数に染め分けた革で被われている。フィレンツェは古代より革製品が名産で、現代でもバッグや靴などでは、グッチやフェラガモ等のブランドが席卷しているのは、ご承知の通りである。

図 9 のように、革の上には華麗な金箔柄が、鏡筒全体を飾っている[26]。金細工は、古代からローマやフィレンツェで盛んだった。そして現代では、優雅なフォルムでイタリアンジュエリーとして世界に威容を誇っている。フィレンツェでは、街の中心を流れるアルノ川にかかる、ヴェッキオ橋の上に建つ数々の宝飾店も高級ジュエリーと共に有名だ。

さて、鏡筒に施された革の金箔押しの装飾は、現代では数少なくなったようだ。しかし、伝統的に、本の装丁には用いられているので、これを参考に、金箔押しの技法を紹介する。

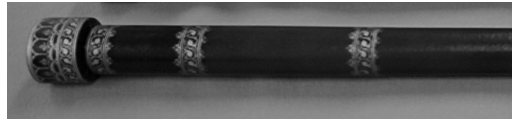


図 9 金箔押しの華麗な鏡筒の 20 倍望遠鏡
メディッチ家に献上した 20 倍望遠鏡は、外装の革に金箔押しで装飾されている。

まず、金箔のデザインを彫った金型を作る。次に、金型を専用の工具に取付け、これを熱して革の上の金箔に押し付けると、金の模様が鮮やかに描かれる。これが金箔押しである。

図 10 は、本の装丁で、金箔押しの作業の写真である。本を治具で固定して、革の背表紙に金箔を置き、上から熱した金型を押し当てているところである。この後で、工具を離すと、金箔はデザイン通り、革に描き出される。図 10 の本の装丁では、金箔押しには平面の金型を使っている。しかし鏡筒のような曲面では、カーブのある金型や、ローラー型の金型を回転して、鏡筒に押し当てて金箔を貼る。



図 10 本の装丁に伝わる革の金箔押しの技法
背表紙の革の上に金箔をのせ、熱した図柄の金型を上から押し当て、金の模様を描き出す
国立国会図書館での作業写真[27]。

(2) 接眼部にはマーブル紙の装飾

図 11 の、復元した 20 倍望遠鏡の左端の接眼部には、中世からフィレンツェの名産の、マーブル紙による装飾が施されている。

マーブル紙の製法は、糊の液面の上に数色の染料を流す。そして特製の楯で図柄を描き、この上に紙を載せると、染料は紙に写ってマーブル紙が出来る。



図 11 接眼部の先端にはマーブル紙の装飾

図 12 は、革にマーブル紙を貼った「しおり」で、現在もフィレンツェの土産として有名である。ガリレオは、このマーブル紙で接眼部を目立たせたのではと思わせる。

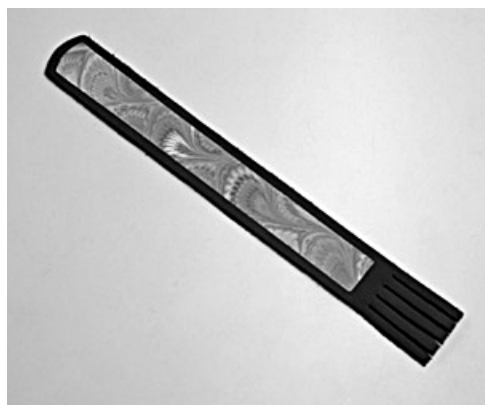


図 12 マーブル紙で装飾した革のしおり [28]
20 倍望遠鏡接眼部の装飾に使われたマーブル紙は、現在もフィレンツェの名産である。

6. ガリレオと望遠鏡の足跡を訪ねて

この節では、ガリレオと望遠鏡に関連した逸話を、イタリアに現在も残る史跡を交えて紹介する。

6.1 望遠鏡とヴェネチアの鐘楼

(1) 望遠鏡製作を始めた頃

話は、ガリレオが望遠鏡作りを始めた頃のことである。1609 年 7 月、ヴェネチアの政庁にて、オランダで望遠鏡なる器械が発明されたことを、初めて知人から聞かされたガリレオは、4.2 節の通り、まず倍率が 3 倍程度の小さな望遠鏡を作ってみた。次に作った物は大きくなって、倍率は約 8 倍、鏡筒の長さは 70 cm (又は 3 フィート) 程度だったという [29]。この記述から、対物レンズの焦点距離は、およそ 80cm ほどで、接眼レンズの焦点距離は、10cm 前後ではなかったかと推察する。これを元に、8 倍望遠鏡の全長を試算すると、対物レンズの焦点距離 80 cm + 接眼レンズの焦点距離 (-10 cm) = 70 cm とする。

(2) ヴェネチアに望遠鏡を売り込んだ背景

そして翌 8 月に、再びヴェネチアの政庁を訪れたガリレオは、政府の要職である総理府や元老院 (議員) の全員に、数日をかけて、持参した 8 倍望遠鏡の性能を披露した。先に、外国から望遠鏡の売り込みがヴェネチア政府にあったので、ガリレオは実況見分による披露に、一生懸命だったのかもしれない。

図 13 は、海から見た、ヴェネチアのサン・マルコ広場の鐘楼である。遠くを見渡せるこの鐘楼に、政府の要職者全員を昇らせ、ガリレオは望遠鏡で遥か彼方を見せて、その能力を彼らに確かめさせた。

海洋国家であるヴェネチアでは、港に監視員を置いて、入ってくる船を見晴らせていた。そこで、ガリレオは、入港する船の発見を、監視員の鋭眼と、望遠鏡を競わせた。果たして結果は、ガリレオの目論見どおり、望遠鏡は、監視員の肉眼より 2 時間も早く船を発見した。こうして、ガリレオの望遠鏡は賞賛を浴び、ヴェネチア政府は、ガリレオの俸給を

約 2 倍に昇給することにした[30]。

資源のないヴェネチアは、海運貿易のため制海権を巡って、幾多の海戦を繰り広げた。16 世紀にはオスマントルコと大きな海戦で争った。入港する船の監視は、防衛のため重要な任務だった。

一方、早くに父を亡くしたガリレオは、弟妹や妻子を養うため、副業で、下宿屋や家庭教師を行った。さらに、職人を雇って作った軍用（砲撃の計算）に重宝した計算尺の販売が成功していた。望遠鏡を政府に売り込んだ背景には、海洋国家のヴェネチアで望遠鏡は索敵に最適と、ガリレオは考えたのだろう。



図 13 海から見たサン・マルコ広場の鐘楼[28]
ガリレオは、この鐘楼にヴェネチ政府の要職者を昇らせ、入港する船の監視に、望遠鏡が能力を発揮することを披露した。

(3) 失望の昇給と、望遠鏡にかけた転機

こうして、望遠鏡の披露により、ガリレオは 2 倍の昇給となったが、ヴェネチア政府からの通知には、「俸給は次年度からで、終身、同額である」と付け加えられていた。実質、その後の昇給は無いという事で、ガリレオは大変失望した。この件では、「給与が一生同じため、その後、望遠鏡製作でフィレンツェへの就職活動を行った」とも言われている。

しかし、別の面から、ヴェネチアでの状況は、もっと差し迫った史実もあったようだ。

5.1 節のように、ヴェネチアのムラーノ島

では、優れたガラス製品作られていたが、それは、ヴェネチア政府の厳重な監視の下であった。ヴェネチアに莫大な富をもたらしたガラス製作では、ガラス職人への恩賞は多かった。だが、製作方法が外部に漏れないよう、彼らは厳重な見張りが付けられ、島から逃げると死刑に処せられた。もし上手く逃げても、隠密に探し当てられて殺害された[31]。

こういった当時の背景から、筆者はガリレオの心情を、次のように推察してみた。

ガラス製品と同じように、望遠鏡の価値が高ければ高いほど、その製作技術はヴェネチアにとって重要になる。ガリレオは、2 倍の昇給にも拘らず、通知の「終身」という文言に、「ガラス職人と同じように縛り付けられるのでは？」と不安になったのでは。ヴェネチア政府が、昇給を次年度からと注釈を付けたのは、外国からも望遠鏡の売り込みがあり、性能を比較検討したかったのかもしれない。

しかし、3.1 節のように、運良くフィレンツェのコジモ 2 世からの望遠鏡製作依頼に、「九死に一生を得た思いだった」かもしれない。5.2 節にある、僅か 3 ヶ月間に 100 台もの望遠鏡を試作したのは、最良の望遠鏡を作ったコジモ 2 世に認められ、メディッチ家の庇護を受けようとした努力に思えてならない。

6.2 宗教画にクレータを描いた親友の画家

ガリレオは絵画に秀でていたが、親友には、有名な画家ルドヴィゴ・チーゴリ (1559-1613) がいた。チーゴリは、カラヴァッジオ (1571-1610) と同時代、初期バロックを代表する画家で、やはり、ガリレオと同じく、コジモ 2 世の庇護を受けた。

さて、そのチーゴリだが、友人と太陽黒点の観測を行っており、ガリレオは 1612 年に彼にアドバイスを送った[32]。そしてチーゴリは、何と、聖母マリアを描いた宗教画の三日月に、クレータを描いていた。この時代、月は滑らかで完全な球と信じられていたので、

宗教画にクレータを描くとは持つてのほかだった。チーゴリがガリレオに心酔していた事が伺える。この「無原罪の御宿り」いう宗教画は、ローマのサンタマリア・マッジョーレ聖堂・バオリーナ礼拝堂の天井画に描かれている[33]。

図 14 は、修復中のチーゴリの絵画で、フィレンツェで中世の絵画修復を行っている、イタリア文化財修復士・田中慧さんのアトリエで作業中の写真である。



図 14 ガリレオの親友の画家チーゴリの修復中の絵画[28] チーゴリはガリレオから太陽黒点の観測指導も受けていた。

所感

ガリレオの時代、イギリスのシェークスピアはイタリアを舞台にした「ロミオとジュリエット」や「ヴェニスの商人」を発表し、スペインのセルバンテスは「ドン・キホーテ」を書いた。また、オペラがイタリアで初演されたのも 17 世紀始めと言われている。現代の私達にも馴染み深い、これらの芸術が生まれた時代は、近世への変遷期というパラダイム

だった。

学術や芸術は、貴族社会の絶大な庇護により発展したが、ガリレオが、「望遠鏡」の有益性を彼らに認めさせ、ひいては、自身の研究を発展させた政治力は注目に値する。

また、ガリレオの人となりは、やはり今日もイタリア人に伝わる、物作りへのこだわりを強く感じた。ところで、ここでは伝統的な製作技法を紹介したが、特に若い方には、馴染みが無いので分かり難いと思うが、現在イタリア発信の流行やデザインも、そのルーツを辿ってみると、ガリレオの時代から盛んであった事は結構興味深い。

謝辞

望遠鏡に関する調査では、(株)京都科学の清水・西田両氏に、大変お世話になりました。木工技術を教えて下さった横野楽器さん、故児玉弘氏(広島県福山市)、試作レンズでは、(株)日研光学・靱田氏(大阪市)、修正研磨をお願いした熊森照明氏(堺市教育センター)、フィレンツェより現地の情報を教えて頂いたイタリア文化財修復士・田中慧女史、そして御指導頂いた横尾武夫・元大阪教育大学教授の皆様方に、改めて御礼申し上げます。

文 献

- [1] (株)京都科学の提供
- [2] 井上毅, 世界天文年 ガリレオの望遠鏡精密復元プロジェクト, 天文月報 2009 年 12 月号
- [3] 秋山晋一・井上毅・清水浩次・西田省三, 天文月報 2010 年 4 月号掲載予定
- [4] Giorgio Strano (2008) 'Galileo's Telescope', INSITUTO E MUSEO DI STORIA DELLA SCINZA, Firenze/Giunti, Editor S.p.A, 43-45.
- [5] 森田義之(1999)『メディッチ家』, 講談社現代新書, 318-320.

- [6] Alvert Van Helden (1999) 'Catalogue of Early Telescopes', INSITUTO E MUSEO DI STORIA DELLA SCINZA, Firenze, 32.
- [7] スティルマン ドレイク (田中一郎訳) (1985) 『ガリレオの生涯 2 木星の衛星と太陽点』, 共立出版, 181.
- [8] Alvert Van Helden, *ibid.*, 30-32.
- [9] スティルマン ドレイク, 前掲, 188-189.
- [10] スティルマン ドレイク, 前掲, 189-190.
- [11] 由水常雄(1970)『ガラス工芸』, ブレーン出版, 55-56.
- [12] Giorgio Strano, *ibid.*, 78-82.
- [13] スティルマン ドレイク, 前掲, 183.
- [14] Giorgio Strano, *ibid.*, 74, 図4はp.74のグラフより、カンパーニの1データから作図。
- [15] スティルマン ドレイク, 前掲, 181.
- [16] 20倍望遠鏡の接眼レンズは、オリジナルが18世紀末までに紛失。現在のレンズは、早くとも1800年頃に付けられた。
- [17] 秋山晋一, 「ガリレオ望遠鏡の復元と彼の天体観測を再現(続編)」, 天文教育普及研究会・年会集録2002年, 62-66.
- [18] ガリレオ ガリレイ(1976)『星界の報告(山田慶次 谷泰訳)』, 岩波文庫.
- [19] Giorgio Strano, *ibid.*, 69-70.
- [20] Alvert Van Helden, *ibid.*, 33.
- [21] ガラスカット用のヤットコは、筆者の仕事場では既に廃棄したため、写真は代用のヤットコで作業。
- [22] ジャズベーシスト小林マサル氏 提供
- [23] 秋山晋一, 「ガリレオ望遠鏡の復元と彼の天体観測を再現」, 天文教育普及研究会・年会集録2001年, 99-104.
- [24] 本稿記載の楽器製作者による大きなサイズの弦楽器製作はチェロまでで、コントラバスは記載以外の製作者によって作られた。
- [25] スティルマン ドレイク, 前掲, 207.
- [26] Giorgio Strano, *ibid.*, 16.
- [27] 国立国会図書館・許諾 インキュナプラ

- から西洋印刷術の黎明 箔押し作業の拡大写真
http://www.ndl.go.jp/incunabula/chapter4/c_hapter4_01_09.htm
- [28] イタリア文化財修復士 田中慧女史 提供
- [29] スティルマン ドレイク(赤木昭夫訳)(1993)『ガリレオの思想をたどる』, 産業図書, 167.
- [30] スティルマン ドレイク, 前掲[7], 182.
- [31] 由水常雄, 前掲, 56.
- [32] スティルマン ドレイク, 前掲[7], 228.
- [33] 藤田治彦(2006)『天体の図象学』, 八坂書房, 166-167.
- [34] 海外におけるガリレオ望遠鏡・復元製作のWebサイト: Jim&Rhoda Morris, Antiques of Science and Technology
<http://www.scitechantiques.com/resume/index>

秋山晋一



NHK 国際放送局は世界天文年ガリレオ望遠鏡精密復元プロジェクトを、鏡筒やレンズの復元製作現場を中心にNHKワールド News(英語放送)で海外へ紹介した。写真は筆者を撮影取材するNHKスタッフ(2009年3月)。