円筒鏡アナモルフォーズの作図法について

―歴史的見地から種々の作図法についての検証を主として―

井　村　俊　一

1．はじめに

今まで種々のアナモルフォーズについて研究、解析をしてきた。その中で、ダイレクトタイプの平面アナモルフォーズ[1]については、線遠近法（透視図法）の理論により、作図法とともに、既に解決済みである。反射光学型アナモルフォーズについては、円錐鏡[2]、ピラミッド鏡アナモルフォーズ[3]は、幾何光学の理論と、透視図法の理論で作図法とともに、これらもやはり、解決済みである。円筒鏡アナモルフォーズだけが、理論とそれに伴う作図法とともに、解決済のような、そうでないような曖昧な形で、17世紀の前半頃から、いろいろな作図法が提案され、それらに基づいて円筒鏡アナモルフォーズが創作され、現在に至っている。

本報では、アナモルフォーズの中でも、円筒鏡アナモルフォーズが、何故、上述のような事情にあるかを、《アナモルフォーズの研究については、古今、東西、殆ど全てにわたっての収集や、研究の集大成と、筆者が考えている大作》、バルトルシャイティスの『アナモルフォーズ』[4]。その中に挿入されている幾種類かの作図法の基本的な図版を出発点として、それぞれの作図法の過程を、筆者独自の図版で展開した。また、図版の解説文では、詳しく説明されていなくて理解が困難なもの（図版の多くは、理論的に明確に説明されていない）については、補足のため、説明用の図版を準備して、一般的には、幾何学に詳しくない美術家や学生にも理解し易いよう工夫をした。筆者が、作図法を多数の図版で、丁寧に追跡、検証を試みた理由の一つは、円筒鏡アナモルフォーズの作図法の曖昧さと種々の作図法の優劣は、理論とともに、実践法の容易さとその効果が大きな要因となっていたからである。また、アナモルフォーズの一般的な対象は、歪んだ絵画（歪画）と正常な絵画の対応関係の不可思議さであるので、厳密さといっても絵画の持つ曖昧さと視点の位置の曖昧さ、透視図法が適用されている、といっても実際は、単眼ではなく、両眼で鑑賞する。以上のように、円筒鏡アナモルフォーズには、本質的に曖昧さが内在する。容易な理論に、容易な実践的作図法が可能であればともかく、やや複雑な理論背景、それに忠実であれば、煩雑な実践作図法が伴う、このアナモルフォーズに、必要以上の厳密さを追求することは、無益と考えられる。本論で、必要以上の“必要”の度合いを検討するのも理由の一つである。アナモルフォーズの作図法を“実践的”を念頭に検証することは、この結果により、円筒鏡アナモルフォーズをコンピュータで、自動化するプログラム[5]の開発を試みる場合の重要な指針となることが予期される。

2．円筒鏡アナモルフォーズ作成の基本関係

以下に円筒鏡アナモルフォーズの基本関係を示す。

① 透視図法の理論
正方格子（正しい絵画）〔透視画〕 ⇔
台形格子（透視画の原画）〔円筒鏡の虚像〕

② 幾何光学の理論（円筒鏡）
台形格子（透視画の原画）〔円筒鏡の虚像〕 ⇔
扇形状セグメント格子(歪画)〔台形格子の原像〕

以上の二つの理論を組み合わせて展開するのが通常の作図法である。即ち、正しい絵画を正方格子上に描き、それが透視画となるような台形格子を透視図法の逆作図法で作図し、その台形格子を円筒鏡の虚

［キーワード］正方格子　台形格子　扇形状セグメント格子

像とする、扇形状セグメント格子を作図する。そして、扇形状セグメント格子と正方格子との対応関係で歪絵を描く。これがアナモルフォーズの作図である。また、前節で指摘したように、視点の位置の融通性と両眼で鑑賞することから、実用的作図法として、①の透視図法による歪みが小さい視点の位置を選択するか、あるいは透視図法の関係を無視した簡単な作図法も提案される。これは、視点を無限遠方に設定した、平行投影法である、正投影法に相当する方法である。

3．ヴォールザールの作図法

Fig. 1にヴォールザールの円筒アナモルフォーズの幾何学の図版を示す。この図版は、視点（V）による正方格子（透視画）の原図になる台形格子の作図方法（透視図法の逆作図法）を示している。そして、幾何光学の原理（入射角と反射角が等しいこと）による入射光線と視点の平面図、点Tに集中する反射光線の作図方法を示し、明確ではないが台形格子の点（円筒鏡による虚像）のアナモルフォーズの作図法を暗示している。

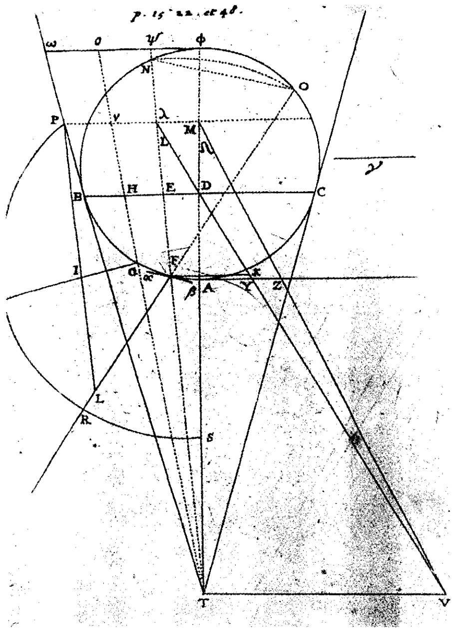

Fig. 1　I・L・ヴォールザール、円筒アナモルフォーズの幾何学、1630年頃

Fig. 2に、台形格子に対応する、正方格子上の元絵（ここでは、透視画）を示す。

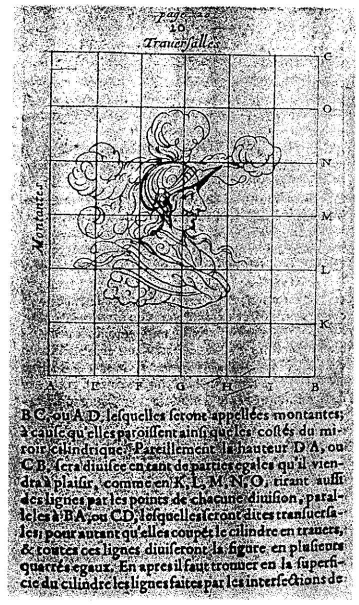

Fig. 2　I・Lヴォールザール、円筒アナモルォーズの方眼区画化された基絵、1630年

Fig. 1のヴォールザールの作図法を容易に理解ができるように、2種類の入射光線と反射光線の作図例を示す、Fig. 3の図版を作成した。

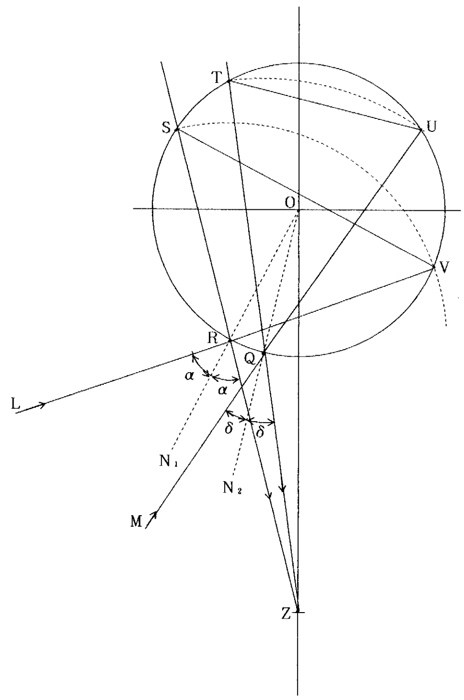

Fig. 3　入射光線と反射光線の作図例

Fig. 3の作図法を証明するため、Fig. 4を作成した。最初にZ点から円筒鏡のQ点に反射光線を描き、その延長線が再び円筒鏡と交わる点をT点とする。Qを中心として半径QTの円弧を描き、円筒鏡と交わる点をUとする。△QTUは、二等辺三角形となる。UQを延長した線が入射光線（M）となる。

図中の△QOTと△QOUで

QT=QU、QO：共通、OT=OU　故に、

△QOT≡△QOU　、　∠OQT＝∠OQU=δ

即ち、入射角と反射角が等しくなる。

次に、反射光線ZQを延長して点P'（円筒鏡による虚像）を設定し、Qを中心として、半径QP'の円弧（破線）を描き、入射光線（M）との交点をPとすれば、点Pがアナモルフォーズとなる。

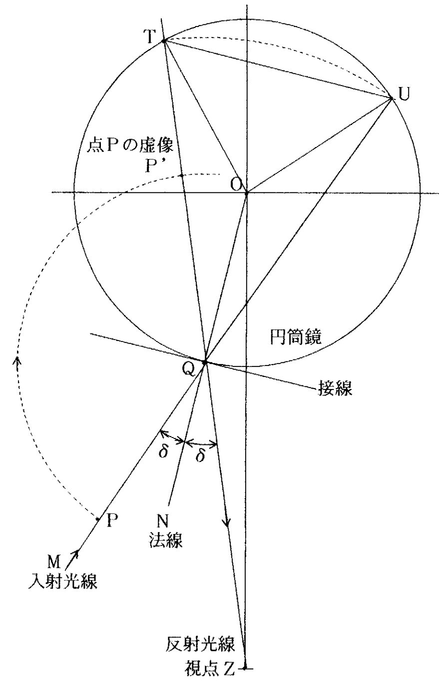

Fig. 4　入射角（δ）と反射角（δ）の証明図

以上でヴォールザールの作図法の原理が解明されたので、円筒鏡アナモルフォーズの作図法として、Fig. 5に示すようにZ点から円筒鏡に接光線（接線）ZM,ZNを引くと円弧MPNが有効鏡部分となる。そこで、有効鏡部分の弦（MN）を、6等分に分割し、それぞれの点とZ点を結ぶ。その線群の円筒鏡の内部の部分は、台形格子（円筒鏡の虚像）の縦線を含む。横線群は視点Yからの台形格子の対角線[1]で作図する。これはダイレクトタイプの平面アナモルフォーズの作図法である。台形格子の各格子点の作図例を示す。

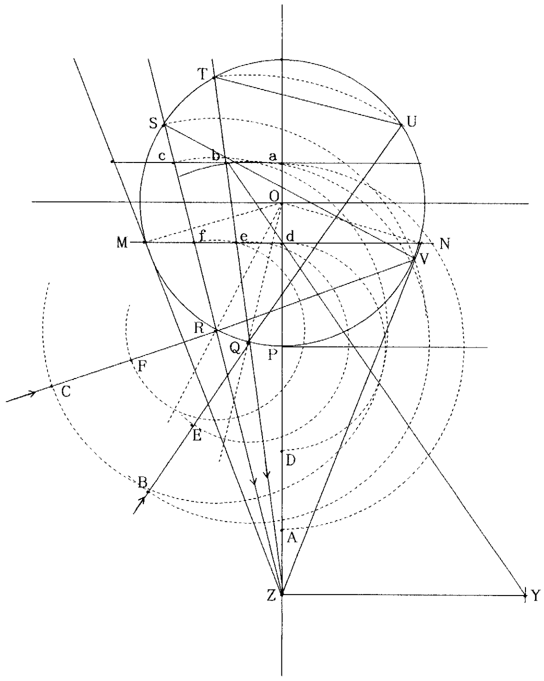

Fig. 5　台形格子と対応アナモルフォーズの作図法

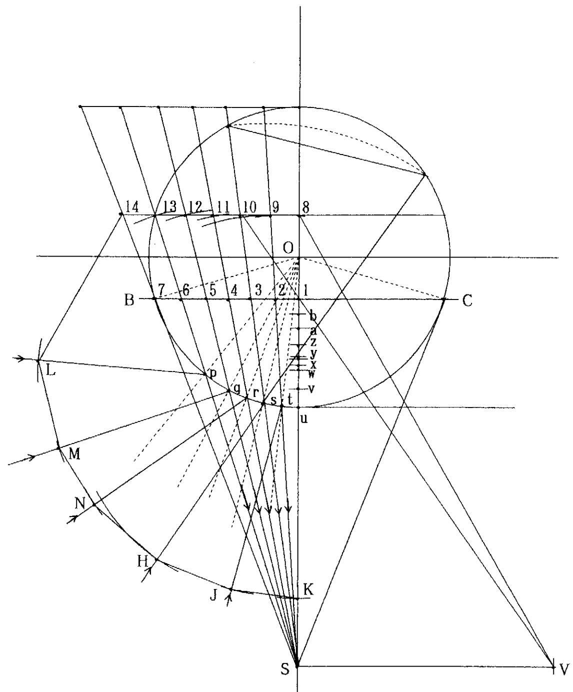

Fig. 6　円筒鏡アナモルフォーズの作図例 I

有効鏡部分（MN）を細分割（12等分）して、多くのアナモルフォーズ点の作図（各点を見やすいように直線で結ぶ）をしたのがFig. 6である。
Fig. 7に、各点を円弧の連続で結んだ、扇形セグメント格子の曲線部分の作図を示す。

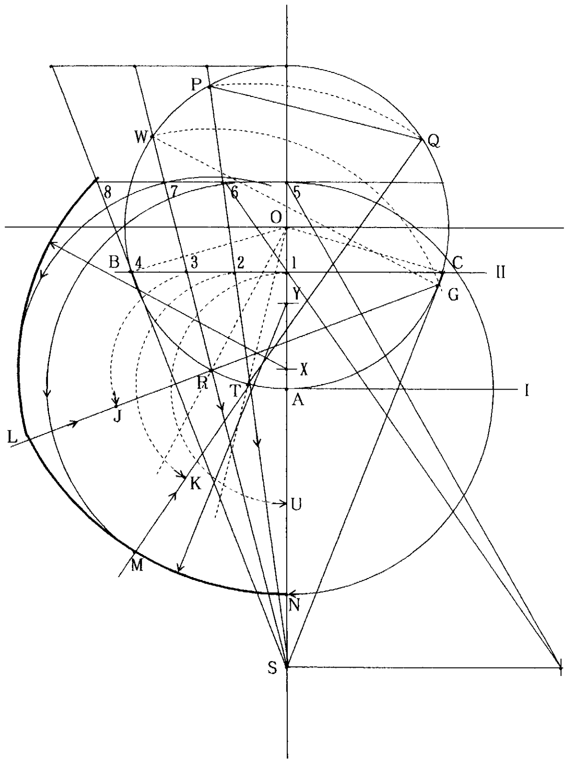

Fig. 7　円筒鏡アナモルフォーズの作図例Ⅱ

4．P・エリゴーヌの作図法

Fig. 8に、エリゴーヌの円筒アナモルフォーズの幾何学の図版を示す。この方法は、ヴォールザールの方法を基本として、精密さを多少犠牲にして作図法の容易化に配慮している。ところが、現代図学の立場から検証すると、興味深い内容を含んでいる。検証作業の便宜のため、エリゴーヌの図版の基本部分を図学に普通用いられる記号に変更し、作図線を追加した図版をFig. 9に示す。視点（V）、停点（S）、視心（Vc）、地平線（HL）、そして停点から円筒鏡の平面図（円）に接光線SM,SNを引き、接点をM、Nとする。すると、停点側円弧MNは、円筒鏡の有効鏡部分を示す。弦MNは基線（GL）とする。このように図学の用語を説明用に追加して、図を見ると、これはまさしく透視図法の直接法の作図法である。停点（S）と点5，a, b, c, dを結んだ直線は、足線であり、点5は、足点である。視心（Vc）と点a'，b'，c'，d'を結んだ線は、目線である。即ち、正方格子（透視画）の原画としての台形格子の作図法（透視図法の逆作図法）を示している。

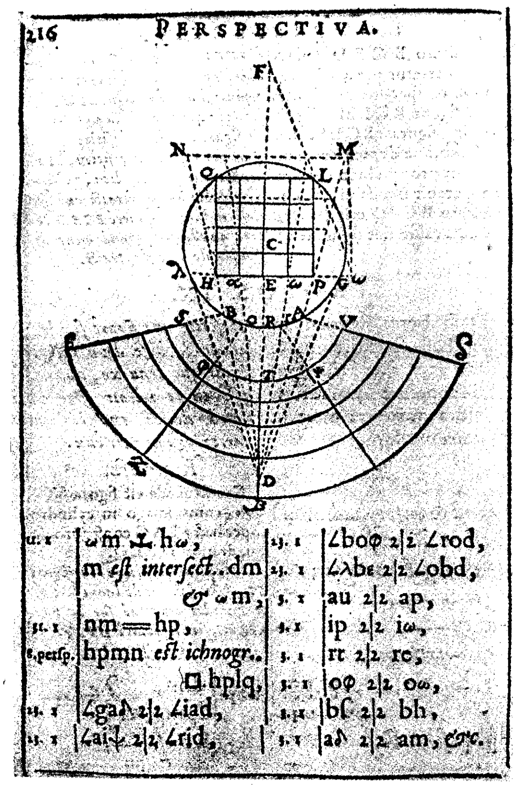

Fig. 8　P・エリゴーヌ、円筒アナモルフォーズの幾何学、1637年

続いて、Fig. 10を示す。この図は、ヴォールザールの方法を踏襲している。円筒鏡の虚像である台形格子を、入射光線が、放射状線（台形格子の縦線に対応）となる扇形状セグメント格子に移す作図法を示している。隣接放射状線の各点（格子点）を円弧で結ぶと、図に示されるように食い違いが目立つ。即ち、これらの各点の連結は、理論的に同心円弧にならないことを示している。エリゴーヌは、作図法の簡単化の為に扇形状セグメント格子の曲線群を同心円の円弧で代用することを試みたようである。

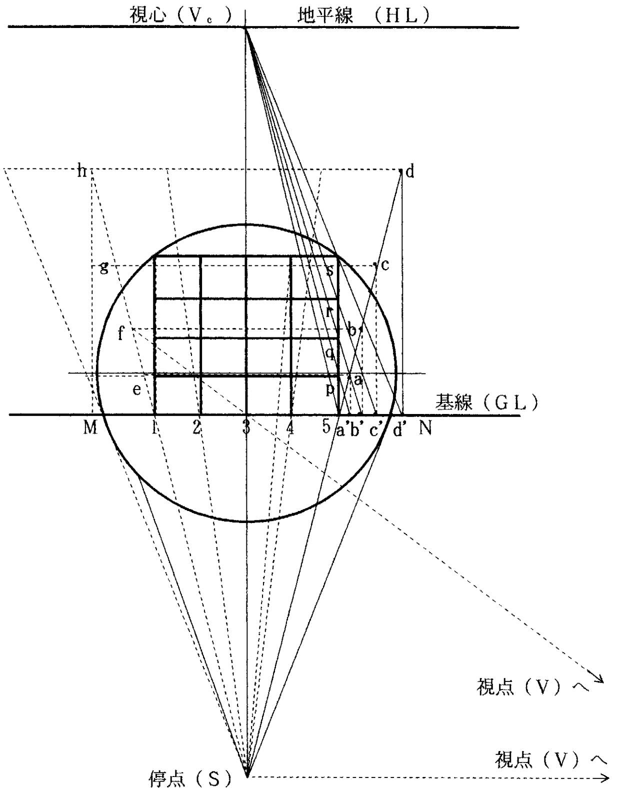

Fig. 9　エリゴーヌによる正方格子から台形格子の作図法

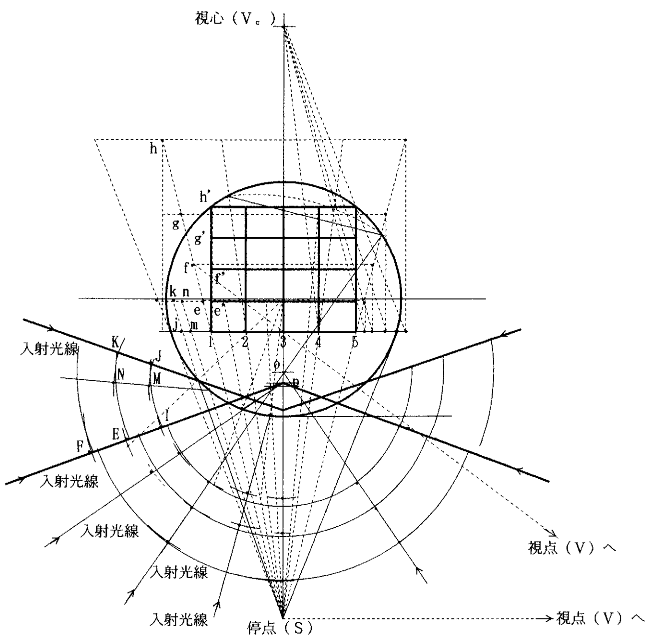

Fig. 10　エリゴーヌによる円筒鏡アナモルフォーズの作図例Ｉ

Fig. 11は、彼の試みを再現したもので、同心円弧の誤差をできるだけ小さくするために、放射状線を円筒鏡前面のi, j, k, l, mにとどめている。　同心円弧群の中心は、図中の点oである。Fig. 10のように放射状線を円筒鏡の前面から少し、後方まで設定し、その部分も含めて、同心円の円弧で代用すると、全体の誤差が大きくなる。それで、円筒鏡前面でとどめたのであろう。

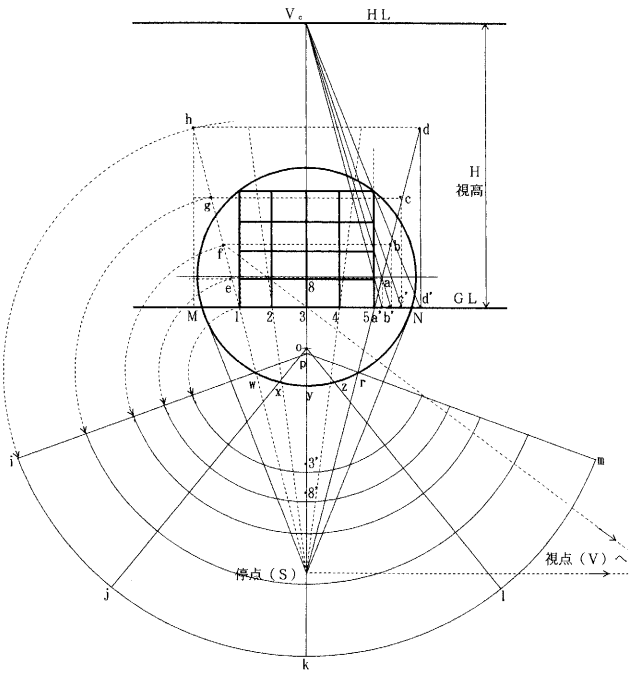

Fig. 11　エリゴーヌによる円筒鏡アナモルフォーズの作図例Ⅱ

5．J=F・ニスロンの作図法

Fig. 12にニスロンの円筒アナモルフォーズの幾何学の図版を示す。ニスロンもヴォールザールの作図法に賛意を示しながら、エリゴーヌと同様に実践を重要視して、作図法の単純化に工夫をこらした。

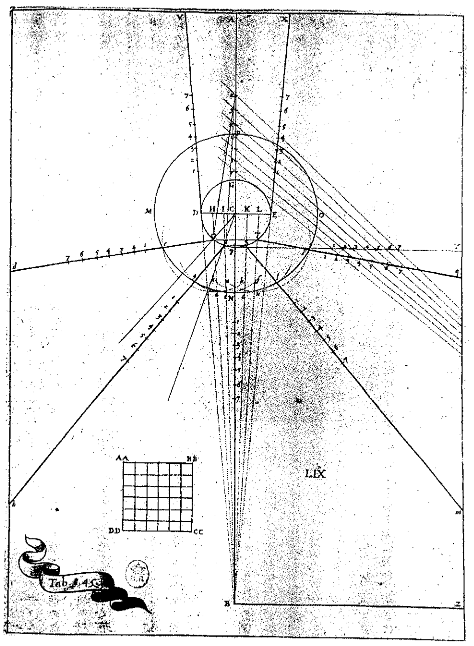

Fig. 12　J=F・ニスロン、円筒アナモルフォーズの幾何学、命題Ⅳ、1638年

ニスロンは、入射光線と反射光線の作図法に、ヴォールザールとは別の作図法を用いているのが、図版に観察される。その分析図をFig. 13に示す。円筒鏡の円と同心の任意の半径の作図円を描く。停点（S）から円筒鏡に反射光線を引き、作図円との交点をQ、円筒鏡との交点をPとする。P点を中心として、半径PQの円を描く。作図円との交点をRとする。P点とR点を結び延長した直線が入射光線となる。

△POQと△PORは、対応三辺が等しいから合同となる。故に、入射角と反射角はαで等しくなる。

次いで、Fig. 14に示すように、S点から円筒鏡に接光線を引く。その接点M,Nの前部が有効鏡部分となる。円の弦にあたるMNをニスロンに従い、6等分する。点Sと各分割点（1，2，3，4，5，6，7）を結ぶと、反射光線を表しているので、弦MN部は台形格子（虚像）の最初の横線を示している。

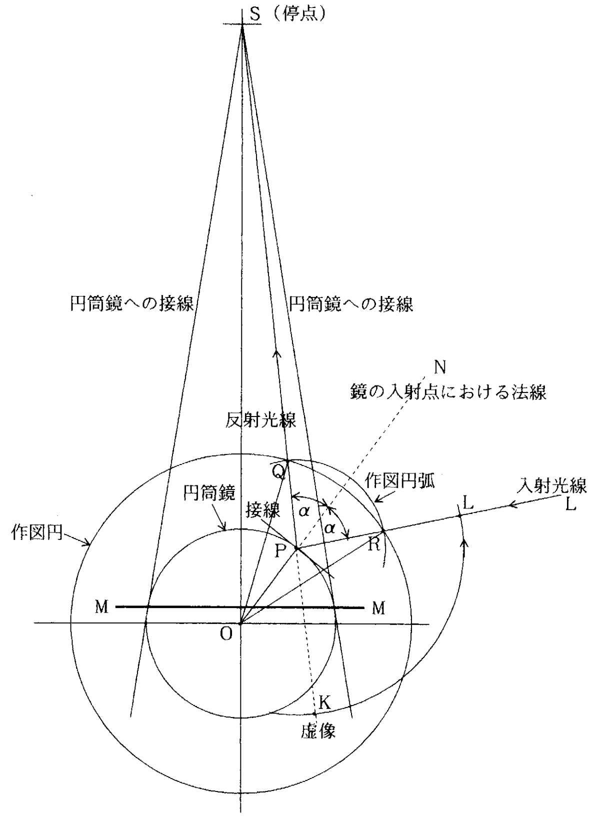

Fig. 13　ニスロンの入射光線と反射光線の作図法

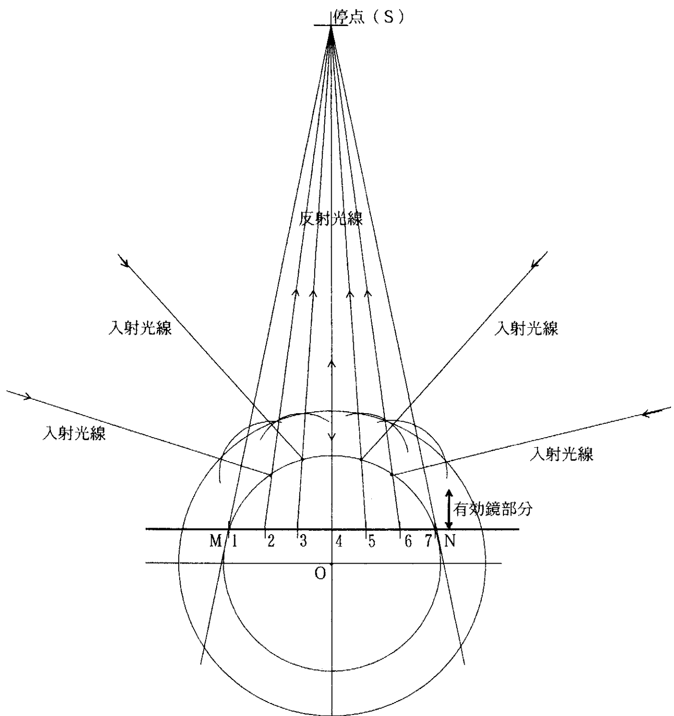

Fig. 14　ニスロンの円筒アナモルフォーズの作図法Ⅰ

次いで、Fig. 15は、円筒鏡最前部Rに接する垂直な仮想投影面（透視図法の画面）を考え、それを第1投影面とし、$\overline{R1}$の高さを下端とする正方格子（透視画）の格子点を平面上にラバット（折り返す）した図である。

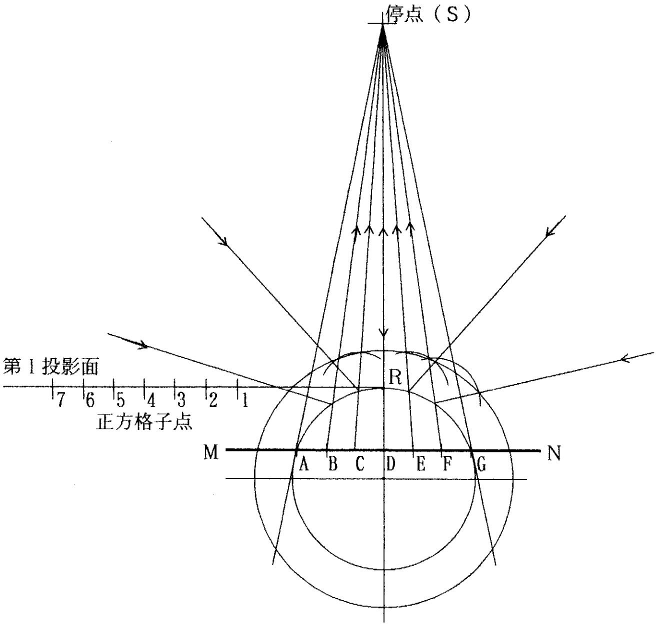

Fig. 15　ニスロンの円筒アナモルフォーズの作図法Ⅱ

続いて、Fig. 16に示すように、視点（V）と第1投影面上の各等分割点（正方格子点）を結んだ線の延長は、投影線となる。そこで基面上の投影点は、a, b, c, d, e, f, gとなる。

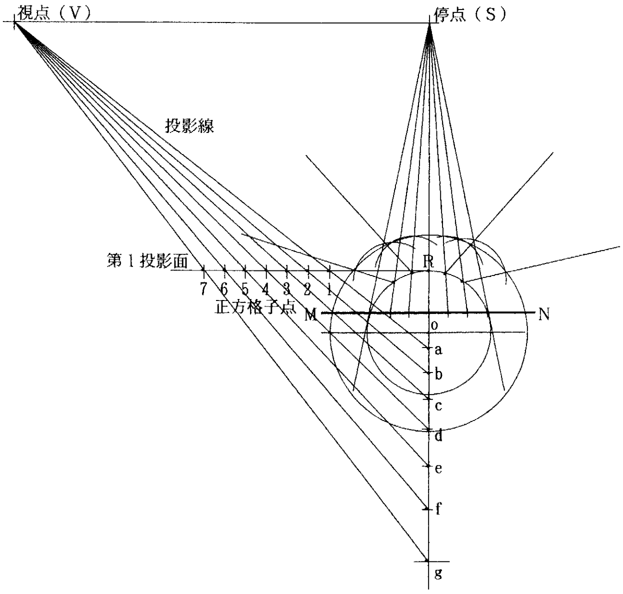

Fig. 16　ニスロンの円筒アナモルフォーズの作図法Ⅲ

Fig. 17は、ニスロンのFig. 12を検証して作図した図版である。

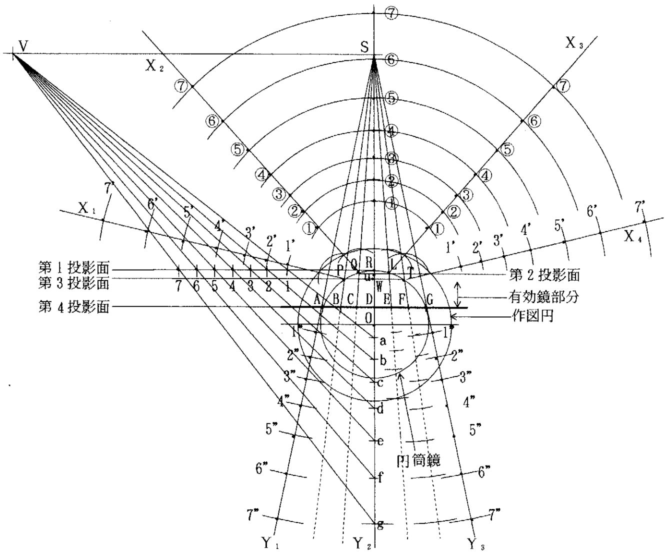

Fig. 17　ニスロンの円筒アナモルフォーズの作図法Ⅳ

Fig. 17に示すように、入射光線X_1、X_2、X_3、X_4、RSの5本の入射光線を円筒鏡前面に設定し、鏡の背面に接光線（Y_1、Y_2）を作図線として、設定している。入射光線RSに対しては、第1投影面が想定される。入射光線X_2、X_3には仮想投影面として第2投影面（LQ）が想定される。入射光線X_3、X_4に対しては、第3投影面（PT）が想定される。Y_1、Y_2に対しては、第4投影面が想定される。本来、第1投影面～第4投影面と、それぞれに正方格子点を設定し、視点から投影線を引き、投影点を求めるのが理論的な考え方だが、あまりにも煩雑である。それでニスロンは、第1投影面での投影点のみを求め、それを全ての入射光線に移す方法を行ったと検証される。ただし、各入射光線上の起点には、各投影面の位置とa点との距離がとられている。例えば、第1投影面ではRS上に$\overline{Ra}$の距離で①をとり、以後投影点を②、③、----------というように作図していく。第2投影面では、L点とQ点を起点として、$\overline{ua}$の距離でX_2、X_3上に投影点を①そして以後、②、③、----------と作図する。第3投影面では、P点とT点を起点として、$\overline{wa}$の距離でX_1、X_4上に1'、そして以後、

2’、----------と作図する。第4投影面では、A点とG点を起点として、$\overline{Da}$の距離でY_1、Y_2上に1”、そして以後、2”、3”、----------と作図する。これがニスロンの理論的方法である。ニスロンの図版をみると、視距離に比較して円筒鏡の直径が小さく、このような条件下では、一つの投影点列のみを採用したニスロンの選択も、充分妥当性があると考えられる。次いで、Fig. 18に隣接投影点を円弧で連結した図を示す。作図法としては、隣接点を直線で結び、その垂直二等分線（JK）を作図し、視軸の平面図（SY_2）との交点を円弧中心として作図したものである。扇形状セグメント格子の形状の特徴として、入射光線X_2とX_3の間は近似的に同一中心の円弧で代用できるようである。ニスロンは、理論と実践の研究で、Fig. 12のように理論を重視した作図法を発表しながら、最終的作図法として、視点位置や幾何光学の原理を無視したような簡便な作図法Fig. 19を提案している。

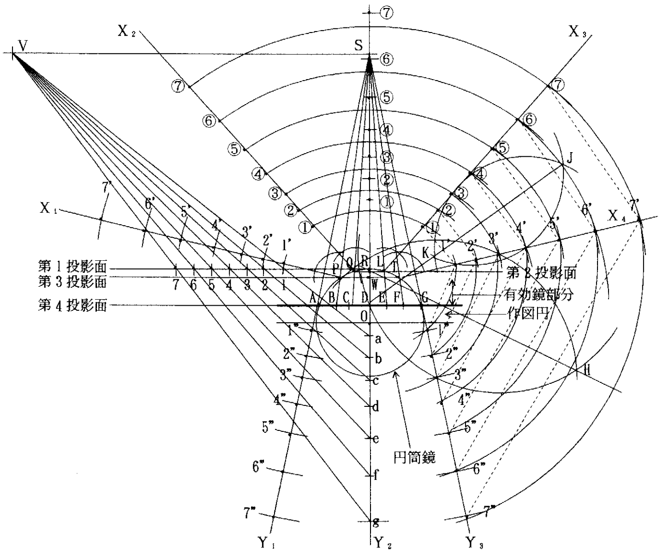

Fig. 18　ニスロンの円筒アナモルフォーズの作図法V

Fig. 19の方法を説明するためにFig. 20を準備した。この作図法は、円筒鏡の中心O点に集中する、等しい角度の間隔で作図される放射状線群と円筒鏡の半径の3/4の位置（P）を中心とする同心円弧群で扇形状セグメント格子を構成している。（何故3/4かは、不明）同心円弧群の間隔は、投影理論により、

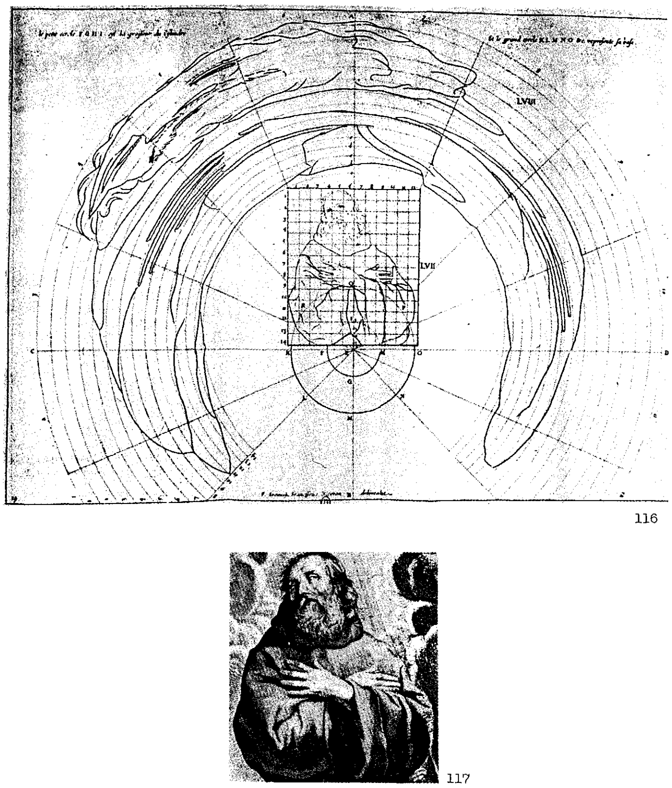

Fig. 19　J=F・ニスロン、パオラの聖フランチェスコの円筒アナモルフォーズ、命題III、1638年

周辺にいくに従い大きくなるが、それは目測で決めるという。ただし、円筒鏡の背後の部分は、当然除かれる。これは、非常に簡単な作図法である。この方法は、アタナシウス・キルヒャーにも受け継がれた。このことは、Fig. 21に示される。

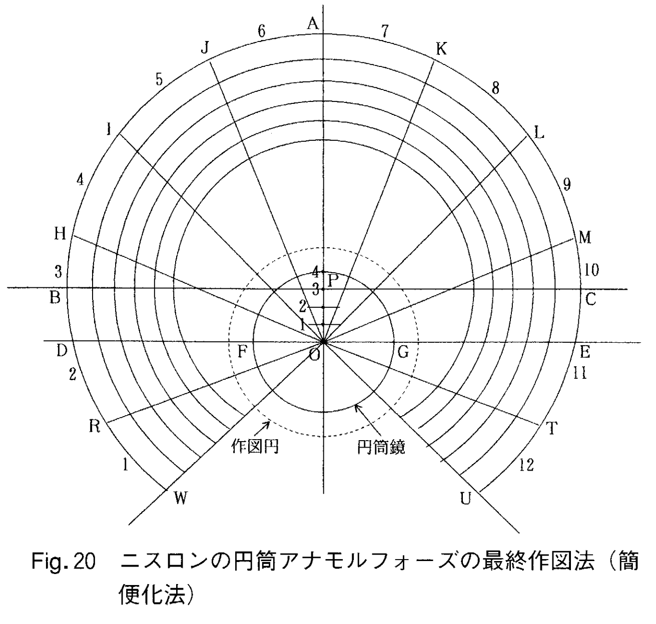

Fig. 20　ニスロンの円筒アナモルフォーズの最終作図法（簡便化法）

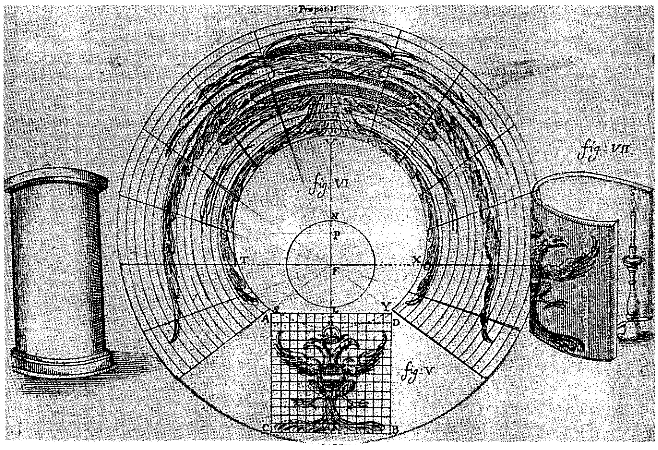

Fig. 21　アタナシウス・キルヒャーの円筒アナモルフォーズ、1646年

6．デュ・ブルイュの作図法

Fig. 22とFig. 23にデュ・ブルイュの円筒アナモルフォーズの幾何学の図版を示す。デュ・ブルイュは、ニスロンの方法ほど単純化せず、もう少し、正確さをもつ方法を模索したようである。彼の方法を検証するために、Fig. 24を作成した。

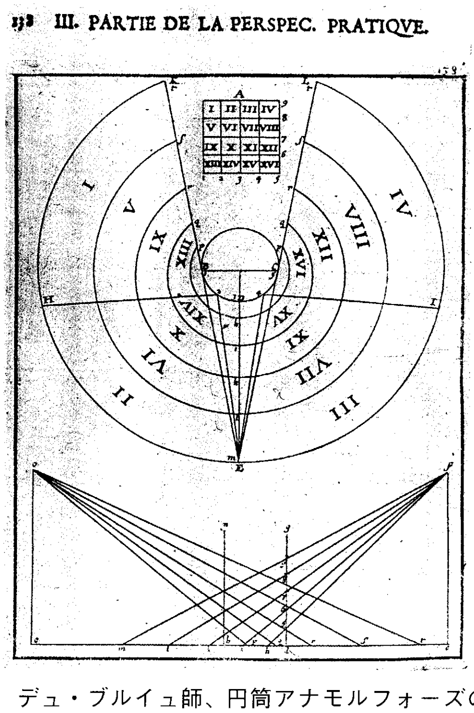

Fig. 22　デュ・ブルイュ師、円筒アナモルフォーズの幾何学、実践ＸⅡ、1649年

彼の方法は、透視図法の画面に相当する投影面を二枚想定していることである。１枚は、円筒鏡最前部に接し基面に垂直なⅠ投影面、もう１枚は、有効鏡部分を示す接光線に挟まれ、MNで表示されるⅡ投影面である。そして、両側に視点を配置して、Ⅰ投影面までの距離と、Ⅱ投影面までの距離に投影面を設定している。各投影面上に基面の位置から正方格子を立ち上げ、視点（V）よりの投影線で基面上に２種類の投影点列を作図している。ここでデュ・ブルイュの作成した図版、Fig. 23に描かれている破線円弧。Fig. 24では、P点、Q点を中心とした半径PM, QNの破線円弧（①、②）。筆者には、この作図線の意味がどうしても解明できなかった。彼の作図法では、目的が判然としない不必要な作図線であるからである。次いで、デュ・ブルイュの作図法の検証を進めるために、Fig. 25を作成した。

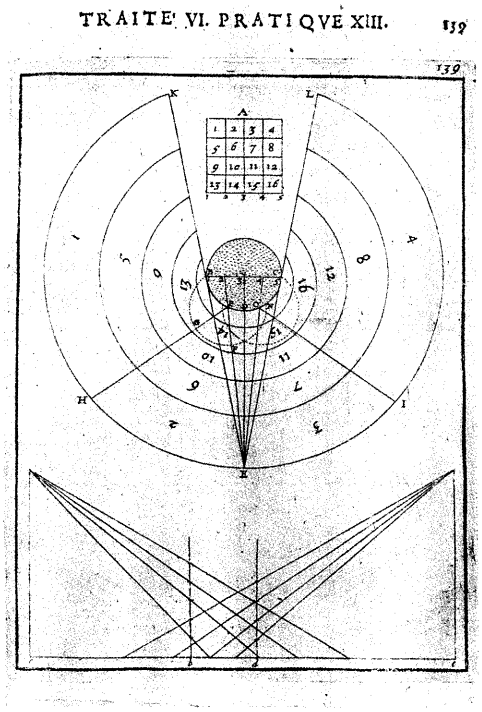

Fig. 23　デュ・ブルイュ師、円筒アナモルフォーズの幾何学、実践ＸⅢ、1649年

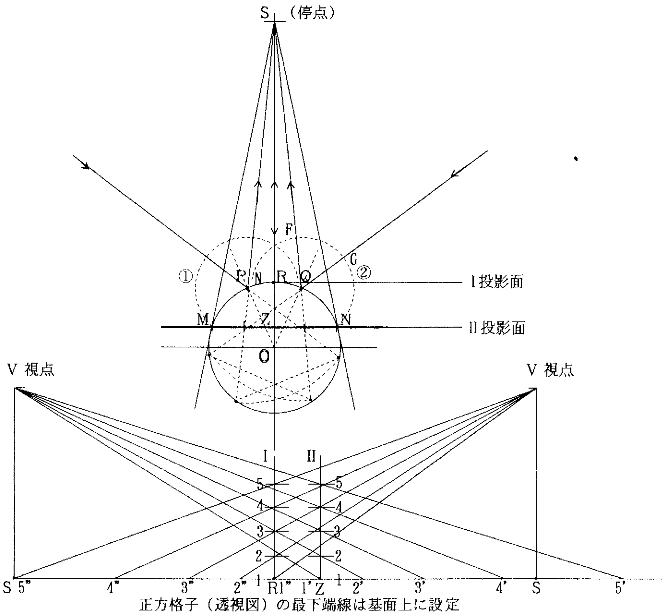

Fig. 24　デュ・ブルイユの作図法の分析図

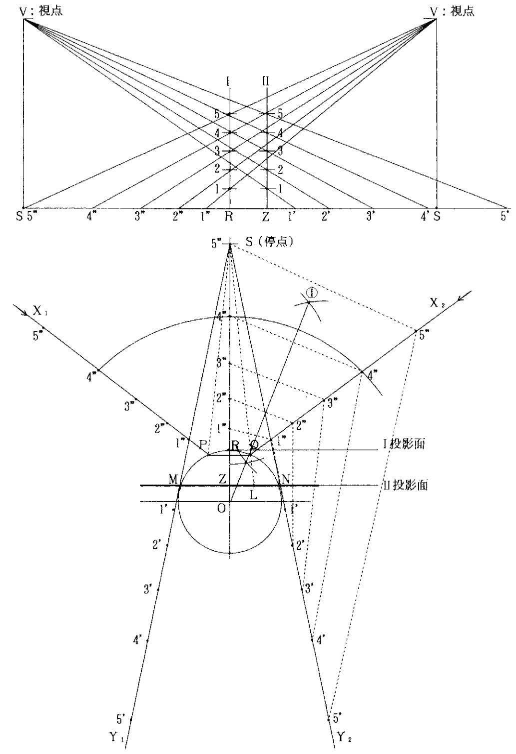

Fig. 26　デュ・ブルイユの作図法 II

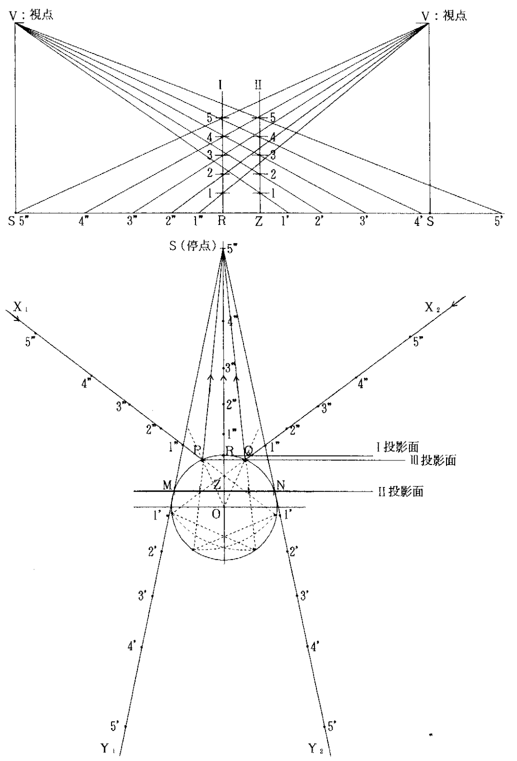

Fig. 25　デュ・ブルイユの作図法 I

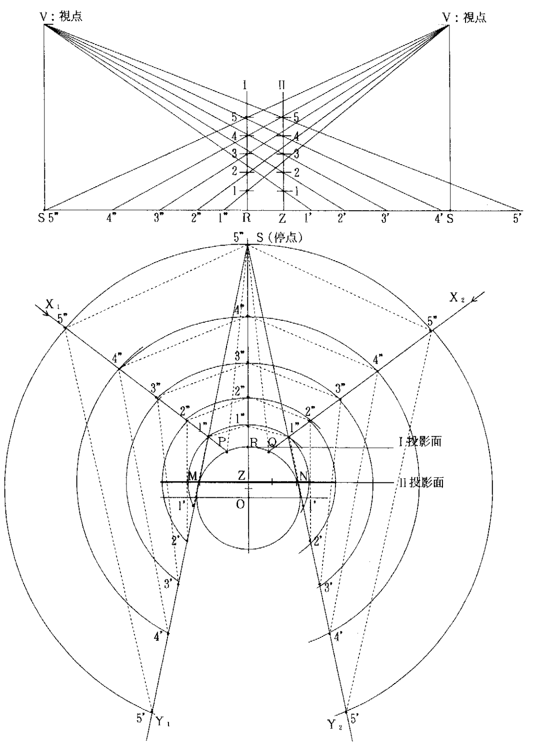

Fig. 27　デュ・ブルイユの最終作図法

この図は、２枚の仮想投影面上の正方格子への２種類の投影線。それの作図により求められる２種類の投影点列、そして入射光線RS、X_1、X_2上にⅠ投影面による投影点列を移行する作図（簡単化のため、Ⅰ投影面とⅢ投影面を同じと考える）。接光線（Y_1、Y_2）上にⅡ投影面による投影点列を移行する作図をしたものである。続いて、Fig. 26に入射光線X_1、X_2の間は、円筒鏡の中心Oを中心とした円弧で代用している。X_2とY_2の間、X_1とY_1は、隣接点を結ぶ直線の垂直二等分線と視軸の平面図との交点を中心とする円弧で結ぶ。このようにしてできたのが、図版Fig. 27である。

7．放物柱鏡の近似としての円筒鏡による作図法

本作図法は、筆者が、提案した作図法[6]である。前節までに解析、検証してきて理解されるように、円筒鏡に幾何光学と透視図法を忠実に適用して、アナモルフォーズの作図法を考案する作業は、理論と実践で相違する事実に妥協を重ねることである。そこで、筆者は発想を転換して、実用を重視した作図法の立場から、究極的には、視点の位置の工夫で透視図の歪みの影響を最小限にできる正投影的理論を考えることであった。それにどのような理論が対応するかが、放物柱鏡のアイデアである。Fig. 28に、放物柱鏡とそれに近似する円筒鏡と、その位置関係を示した。鏡による虚像が正方格子になるようなアナモルフォーズが、放物線の焦点を中心とする同心円弧群で、放射状線群も焦点に集中する。同心円弧群は、透視図法の適用がないので間隔が等しくなる。本方法は、ニスロンの最終作図法の考え方（理論的にあいまい）に似ているが、理論面では明解である。この方法で、視距離や視高を変え、透視図法の影響を徐々に加味したシミュレーション図[7]を、Fig. 29、Fig. 30、Fig. 31に示す。つまり、この理論を、近似円筒鏡に適用する作図法では、放射状線の直線性は保たれず、放射状線群が徐々に湾曲していくことである。（従来の方法では、放射状線群の直線性は保たれる）また、透視図法の影響が強く作用する視点位置では、円筒鏡の接光線の外側の後方までアナモルフォーズを作画する理由が理論的に明解になる。この作図法で、重要なことは、円と放物線の誤差が、どのようにアナモルフォーズに影響するかをあらかじめ、試行で確認しておくことである。円と放物線の誤差の検討は、当然、円筒鏡の有効鏡部分のみを対象とすればよい。

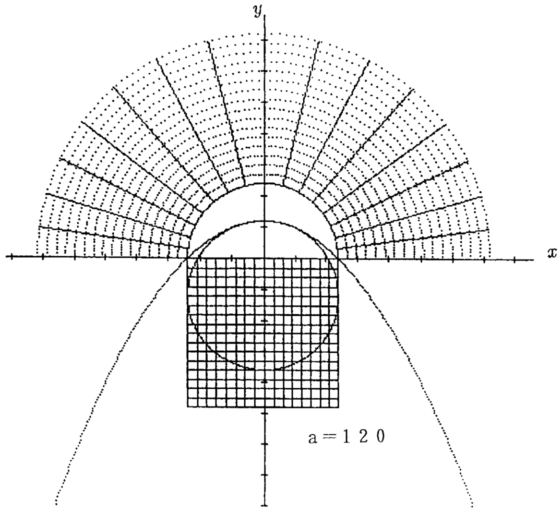

Fig. 28　放物柱鏡近似円筒鏡のアナモルフォーズ（視点設定：無限遠方）

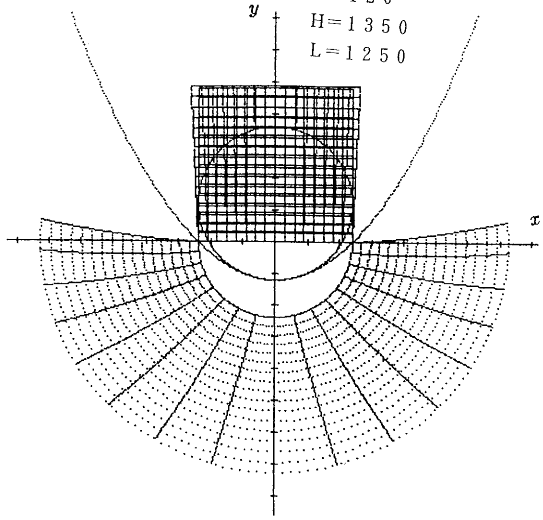

Fig. 29　放物柱鏡近似円筒鏡のアナモルフォーズⅠ（視点設定あり）

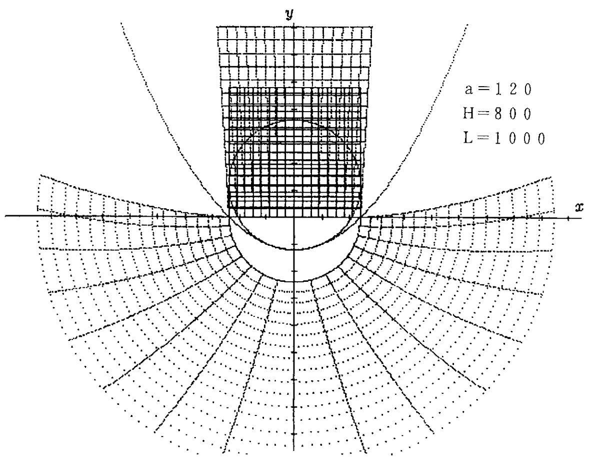

Fig. 30　放物柱鏡近似円筒鏡のアナモルフォーズⅡ（視点設定あり）

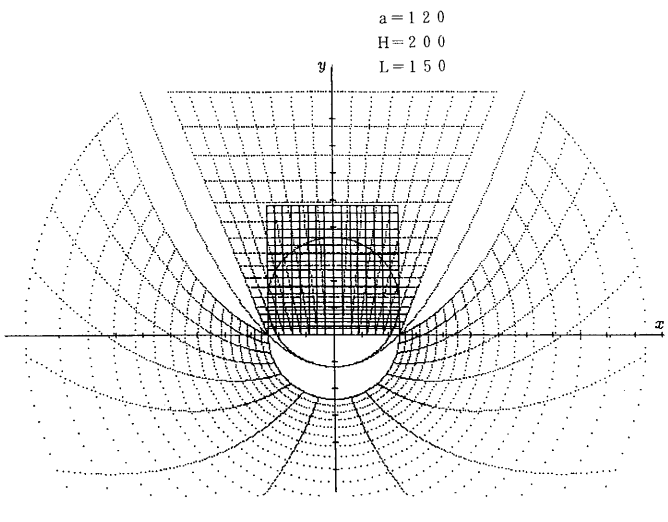

Fig. 31　放物柱鏡近似円筒鏡のアナモルフォーズⅢ（視点設定あり）

8．R・J・マスターズの作図法

マスターズは、ニスロンの方法を研究して扇形状セグメント格子の作成で、代用同心円弧群の代わりに、理論的に形成される曲線に、より近似した曲線として、パスカルの蝸牛線（リマソン）に到達した。Fig. 32にそれを示す。ただし、この曲線は、一般的に極座標系式で、

R=ACOSθ+B　　と表示される。

確かに、一定の視距離、視高の条件下では、理論結果に近似する曲線になる。それに、入射光線と反射光線をヴォールザールの方法で付加すると厳密味が増す。ただし、この曲線はあくまでも、アナモルフォーズの一定条件下での近似性のみという事で、幾何光学の理論や透視図法の理論とも直接関係がない。そこで、ここでは紹介にとどめる。

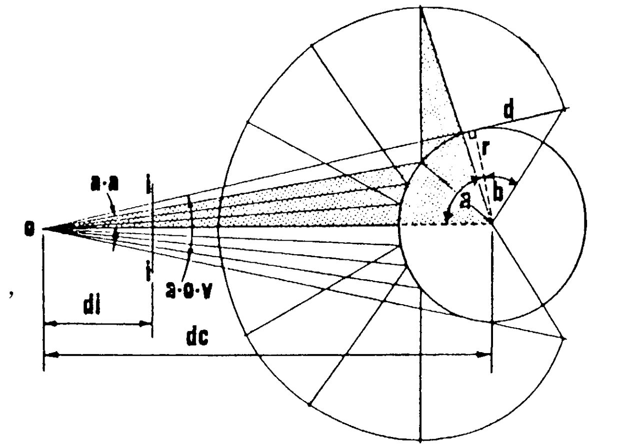

Fig. 32　円筒アナモルフォーズの幾何学、R・J・マスターズ、1981年

マスターズは、折角、理論に近似している、パスカルのリマソンに到達しながら、実際に彼が、計算機での作図に用いた方法は、放射状線群と円筒鏡の中心を一致させる、ニスロンの方法で、但し、同心円弧状群の中心について、ニスロンは、円筒鏡の半径の3/4、円筒鏡の中心から離して設定しているが、マスターズは、独自に円筒鏡の半径の約1/3，円筒鏡の中心から離した位置に変えて設定している。Fig. 33に、その図を示す。

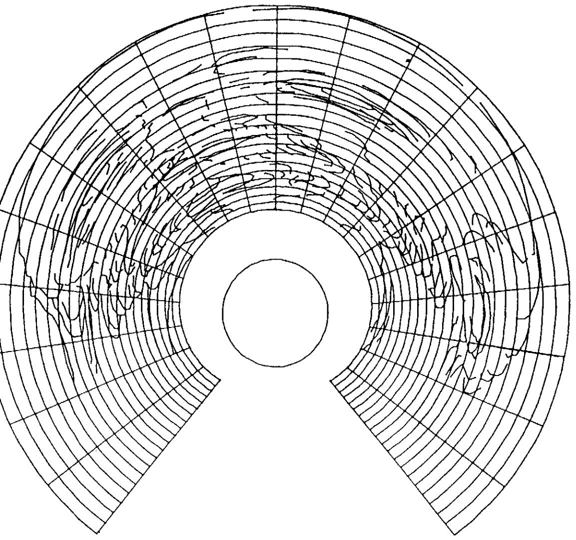

Fig. 33　R・J・マスターズ、計算機による円筒鏡アナモルフォーズ　1981年

9．結論

歴史的見地から、提案された代表的作図法を、実際の作図作業を追体験しながら、それぞれの作図方法の検証を行ってきた。特に、17世紀前半の研究者達による、厳密さを重視する作図法の理論と作業を簡単にしたいという実践法の葛藤は、当時のアナモルフォーズの描画作業に、直接携わっていた画家達に、複雑な気持ちを抱かせていたであろう。ヴォールザール、エリゴーヌ、デュ・ブルイュの作図方法は、なるべく理論を生かしながら簡便化をはかる方法であり、それに対してニスロンは、最初に彼が理論に熟達していることを周知させる方法を提案し、最終的には、実践法として理論の結果を充分に念頭に置きながらも、試行錯誤を重視し、結果に満足しているという、同心円弧群と１点に集中する放射状線群を利用した、非常に簡単な作図方法を提案している。この考え方は、現在にも広く利用されているアナモルフォーズの作図法に受け継がれている。
ニスロンが、彼の合理的な考え方を理論に向けて、視点位置を無限遠方、即ち、平行投影の考え方に発展させていれば、Fig. 34に示す作図法に至っていたであろう。Fig. 34では、反射光線群は、平行になる。即ち、無限遠方の視点では、透視図法は成立せず、幾何光学のみが成立する。故に、扇形状セグメント格子に対応する、円筒鏡の虚像は、正方格子となる。扇形状曲線群は、入射光線X_1からX_3まで中心ｋの円弧で代用、X_3からX_4までは、中心ｊの円弧で代用できる。もう少し、単純化をはかり中心ｋの一種類の円弧で代用すると、筆者の提案している方法にほぼ近づく。
円筒鏡アナモルフォーズの要諦は、正方格子（正しい絵）に対応する扇形状セグメント格子（アナモルフォーズ）の描き方である。即ち、扇形状セグメント格子の放射状線群と円弧状曲線の描き方である。
誤差が生じることは、理論的考察から承知しながら、

◎　円弧状曲線　⇒　同心円弧

◎　放射状線群　⇒　１点に集まること。

◎　透視図法の歪みをどう扱うか。

以上の３点が、実践作図法の簡便化の重要要素である。

ここで、筆者が敢えて新作図法を提案したのは、実践重視から、平行投影的立場をとると、同心円弧群、放射状線群の一点集中、且つ両方の点は放物線の焦点で、同一点となる。また、放物柱鏡に近似させる円筒鏡は、理論的に円筒の半径の1/2、焦点よ

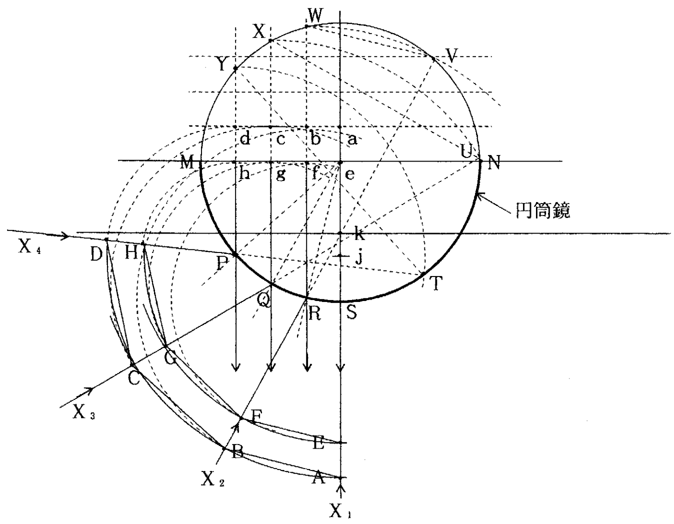

Fig. 34　平行投影による円筒鏡アナモルフォーズの作図法

り後退させて設定される。このことは、視点と、両側の接光線、そこに挟まれる円筒鏡の有効鏡部分を図示すれば、放物線近似が妥当であることが理解される。また、透視図法の歪みは、視点を設定し、その位置を変化させた、コンピュータシミュレーション[7]で確認できる。（放物柱鏡理論ではコンピュータプログラムが容易である）その上、既報[8]で考察したように、日本における円筒鏡アナモルフォーズ、即ち、“鞘絵”では、鏡に用いた漆塗りの鞘の断面は、円というより放物線形状に近い、そこで鞘絵にも適用できる。以上の利点の数々が過去の数ある作図法より有利ではないか。と考えたからである。
現在の状況を把握するため、愛好者達に、利用されている円筒鏡アナモルフォーズの制作のための作図法を調査した。その結果の代表的な作図法の例を以下に示す。

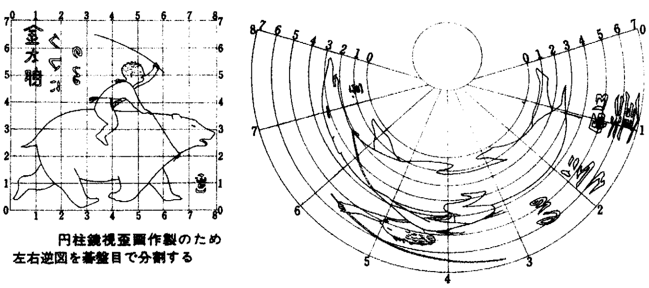

Fig. 35　碁盤目の円柱鏡像扇形図

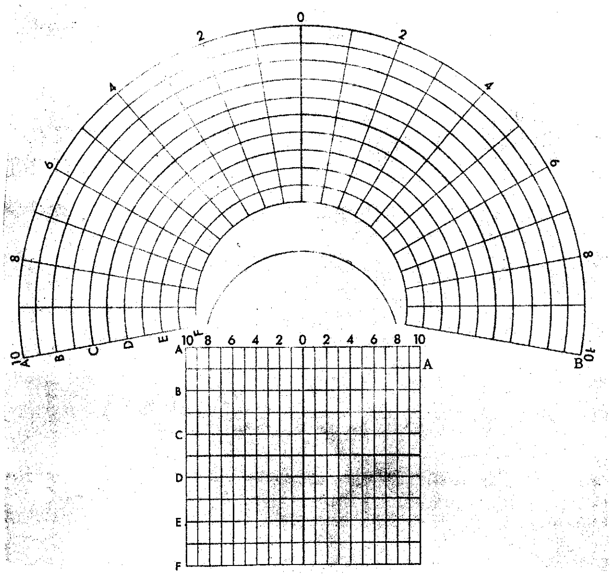

Fig. 36　ひずみ絵の方眼用紙

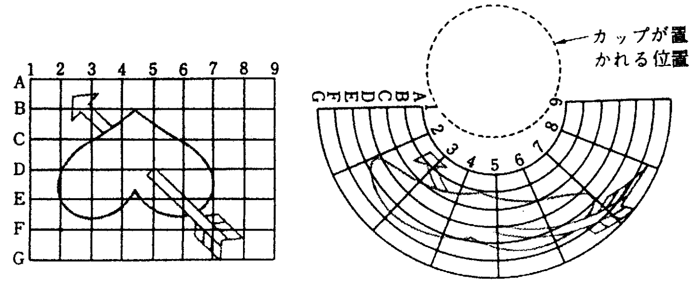

Fig. 37　恋の予感、生徒作品、円筒鏡アナモルフォーズ作図法

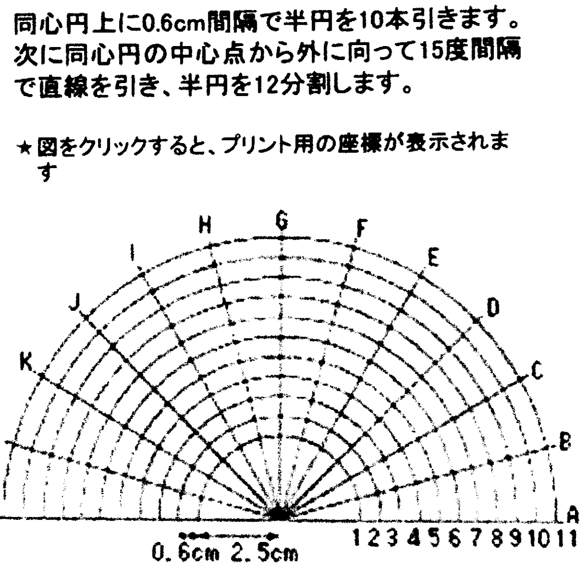

Fig. 38　NGK サイエンスサイト　円筒鏡アナモルフォーズの作図法

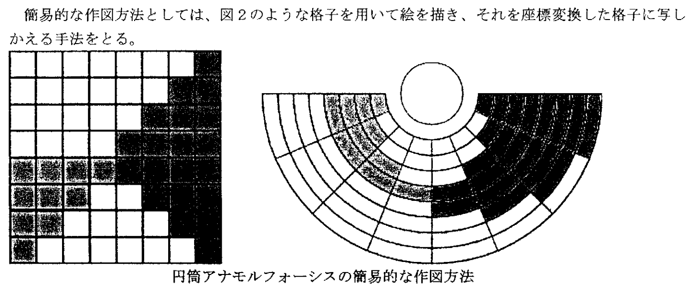

Fig. 39　円筒アナモルフォーシスの簡易的な作図方法

Fig. 35の方法では、放射状線群は1点に集まっていないが、円弧状曲線群は、同心円弧群としている。周辺に向かい大きくなっていく、同心円弧群の間隔

は経験的に決めたのであろう。この作図法は、エリゴーヌの方法を踏襲したものと考えられる。扇形状曲線群を、同心円弧群とし、放射状線群を１点に集中させ、しかも、両方の中心を同一とする作図法をFig.36に示す。この方法は、円筒鏡の設定位置が、僅かだけ扇形状セグメント格子に近くなっている他は、筆者の提案している作図法と同じである。ただ、この方法には、何故このようにするのかという説明、つまり、理論的な背景が明らかにされていなく、おそらくは、過去の方法の試行錯誤と実践より、経験的に到達した方法であろう。Fig.37の方法は、Fig.36の方法と同様である。Fig.38は、作図誤差を恐れず、思い切って単純化した、円筒鏡アナモルフォーズの簡易作図法で、小、中学生向きの制作用や、数学教育で、極座標の理解の教材などに利用されている。Fig.39は、Fig.38と同様な作図方法である。但し、この場合でも、既報[9]で考察したように、アナモルフォーズの位置に配慮すれば、誤差の影響を小さくし、実用上問題のないアナモルフォーズを楽しむことができる。

また、緩慢な透視図法を内在するアナモルフォーズを研究することで、今回は、エリゴーヌの方法に、現代図学における、直接法の足点、足線法の原点を見出したことは、思わぬ結果であった。次に、本研究のもう一つの目的である、円筒鏡アナモルフォーズを自動制作するコンピュータプログラムの開発の基本方針決定のための予備的データ収集であるが、本来、円筒鏡アナモルフォーズは、幾何光学と透視図法の理論で数式化し、それをプログラム化すれば終了となるわけである。（実際、筆者の今までの研究では、プログラムを作り、画像点の変換で簡単なアナモルフォーズを描いてきた。）しかし、円筒鏡アナモルフォーズ自体に内在する種々の曖昧さを考えると、絵画を画像点に分解し、その点毎に変換する方式は、研究目的ではよいが、作品制作が目的の場合、ふさわしくないと考えるようになり、方針転換した。つまり、絵全体を一つの図形として、その図形全体を円筒アナモルフォーズの形に変形する、プログラムの開発[5]に目標変更した。そのための基礎データを得ることに変わったが、この目的に対しては、有用な結果を得ることができた。

（あとがき）

バルトルシャイティスは、幾何学が好きだといわれていたので、収集した図版の数学的背景を理解して、著述したと推測できるが、著書[4]の図版説明では、理解不明のことも多い。図版原典の説明が不十分なことが原因であろう。そこで、筆者は、基本図版のみをたよりに、検証、作図を行い、その途中の過程を容易に理解し易いように、多数、図版化した。ただ、筆者の浅学の所為で誤りの存在を恐れる。読者の、御批判を乞う。

注

1　金沢美術工芸大学紀要第44号　「図学教育へのパーソナルコンピュータの利用について（７）－緩慢な遠近法によるアナモルフォーズの解析と作画法の提示－」2000年井村俊一　p33～p42
2　金沢美術工芸大学紀要第40号「図学教育へのパーソナルコンピュータの利用について（４）－円錐鏡アナモルフォーズの理論解析－」　1996年　井村俊一　p33～p40
3　金沢美術工芸大学紀要第41号「図学教育へのパーソナルコンピュータの利用について（５）ピラミッド鏡アナモルフォーズの理論解析とコンピュータシミュレーション」1997年　井村俊一　p107～p114
4　JURGIS BALTRUŠAITIS『ANAMORPHOSES ou Thaumaturgus opticus』（FLAMMARION, Paris 1984）『アナモルフォーズ　光学魔術』バルトルシャイティス（著作集）２　高山宏訳　1992年　国書刊行会
5　コンピュータプログラムについて、調査不足でイメージを変形するプログラム：フリーウエア [AnamorphMe！ (version 0.2)]（http://www.anamorphosis.com/）の存在を最近まで知らなかった。それで、詳しい内容は不明だが、筆者の開発イメージと同じ方向性を持つプログラムと推定される。今後、調査を予定している。
6　金沢美術工芸大学紀要第39号「図学教育へのパーソナルコンピュータの利用について（３）－歪絵の厳密解析についての考察－」1995年　井村俊一　p45～p55
7　金沢美術工芸大学紀要第45号「図学教育へのパーソナルコンピュータの利用について（８）－視点設定によ

る円筒鏡アナモルフォーズ－」2001年　井村俊一　p115～p123
8　金沢美術工芸大学紀要第42号「図学教育へのパーソナルコンピュータの利用について（6）－円筒鏡アナモルフォーズのコンピュータシミュレーション－」1998年　井村俊一　p37～p44
9　金沢美術工芸大学紀要第37号「図学教育へのパーソナルコンピュータの利用について（2）－歪絵とパーソナルコンピューター」1993年　井村俊一　p35～p39

図版出典

1　『アナモルフォーズ　光学魔術』バルトルシャイティス（著作集）2高山宏訳　1992年　国書刊行会より、

Fig. 1　I・L.・ヴォールザール、円筒アナモルフォーズの幾何学、1630年頃、p222
Fig. 2　I・L.　・ヴォールザール、円筒アナモルフォーズの方眼区画化された元絵、1630　　年、p223
Fig. 8　P・エリゴーヌ、円筒アナモルフォーズの幾何学、1637年、p226
Fig. 12　J=F・ニスロン、円筒アナモルフォーズの幾何学、命題Ⅳ、1638年、p228
Fig. 19　J=F・ニスロン、パオラの聖フランチェスコの円筒アナモルフォーズ、命題Ⅲ、1638年、p230
Fig. 21　アタナシウス・キルヒャーの円筒アナモルフォーズ、1646年、p240
Fig. 22　デュ・ブルイユ師、円筒アナモルフォーズの幾何学、実践ＸⅡ、1649年、p235
Fig. 23　デュ・ブルイユ師、円筒アナモルフォーズの幾何学、実践ＸⅢ、1649年、p236
Fig. 32　円筒アナモルフォーズの幾何学、R・J・マスターズ、パスカルの蝸牛線（リマソン）1981年、p303
Fig. 33　R・J・マスターズ、計算機による円筒鏡アナモルフォーズ、1981年、p303

2　『空間を描く遠近法』黒田正巳著　彰国社　1992年より、Fig. 35　碁盤目の円柱鏡像扇形図、　p216

3　『魔法使いのあいうえお』安野光雅、安野雅一郎著　童話屋　1998年より、Fig. 36、巻末付属、ひずみ絵の方眼用紙

4　『美術２・３創造の世界へ上』日本文教出版株式会社（教科書）より、Fig. 37、p33

5　サイエンスサイト日本ガイシ（NGK ホームページ）工作と実験の手順より、Fig. 38
（http : //www.ngk.co.jp/site/no 70/process.htm）

6　Fig. 39
奈良女子大学文学部附属中等教育学校　大西俊弘作成
（http : //www.t 3 japan.gr.jp/pdf 2003/onishi_e.pdf）

（いむら・としかず　図学）
（2005年10月31日受理）