

科学ルネサンスと計測の精神

三富照久 *1

Scientific Renaissance and Spirit of Measure

Teruhisa Mitomi *1

Abstract

This note gives a survey of scientific renaissance in Europe such is very close to spirit of measure. It is just a starting point for Scientific Revolution in 17's century.

§1 科学ルネサンスの起点

科学ルネサンスの起点となったのは、15世紀のアルベルティ、トスカネリ、クザーヌス、らによる数理科学の研究活動である。(彼らは交友関係があり、一種のサークルとして興味や知識を共有した) まず、この3人の業績について説明する。

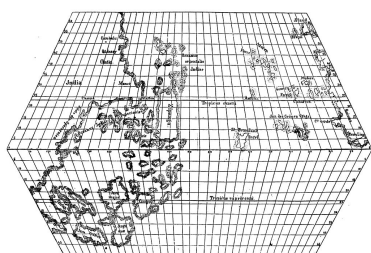
(a) パオロ・トスカネリ (1397~1482)

フィレンツェ出身で、パドヴァ大学で医学や数学を学び、1424年に医学博士となる。ギリシア数学の古典を研究し、当時現れた彗星の軌道をくわしく観測した。数ヶ月に渡る彗星の長期的な観測とその記録は、中世以降のヨーロッパでは初めてのものであり、ここにも“計測の精神”の萌芽が表れている。注1) 古典の研究という意味では人文主義者でもあり、ストラボンの「地理書」やプトレマイオスの「地理学」に興味を示し、地球球体説を唱え世界地図を作成した。注2)

注1) 山本義隆「世界の見方の転換3」みすず書房、2014

アリストテレス自然学では、生成変化しない天界と生成変化する月下の世界(地球)に二分され、消滅する彗星は地上の気象的現象と説明された。トスカネリに続くティコ・ブラーエ、ガリレオらの彗星観測は、彗星が遠く宇宙にある天体である事を示して、アリストテレスの見方を否定した。

<トスカネリの世界地図>



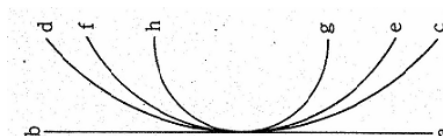
注2) トスカネリの地図は、コロンブスによる西廻り航海(アメリカ大陸の発見)に影響を与えたとされる。

(b) ニコラウス・クザーヌス (1401~1464)

南ドイツ出身、船主の子(平民)としてローマ教会の枢機卿まで出世する。(これは親交のあった人文主義者ピッコローミニが、教皇ピウス2世となった事による所が大きい) パドヴァ大学に学び教会博士となるが、トスカネリと親友となり、数学について論じ合う。後に教皇代理として、滅亡前のビザンチン帝国を訪れている。人間と神は有理性的な比例関係がない(人間:神=有限:無限)として、神を極限で表現する独自の神学「学識ある無知について」を著す。注3)

注3) クザーヌス「学識ある無知について」平凡社、1994

クザーヌスは下記の図において、円の半径を限りなく大きくすると、極限として円弧は(局所的に)直線に一致すると主張した。(数学的には接線の概念の誕生)



また「無学者との対話、計量実験について」(1450)では、植物・鉱物などの質的な差異が、重さや比重の正確な測定によって判定できる、という思想(計測の精神)を提唱し、錬金術の思想を現実離れた詭弁として批判している。注4)

注4) 山本義隆「磁力と重力の発見2」みすず書房、

ルネサンスの人文主義では、原典研究のためにラテン語能力が重視され、ラテン語教育を受けていない商人や職人は無学者とみなされた。クザーヌスの「計測」の重要性の主張は、自ら無学者と認めて「手仕事」の重要性を主張したレオナルド・ダ・ヴィンチとの共通性がある。

*1 東京工芸大学工学部工学科 非常勤講師 中央大学文学部 兼任講師
2023年9月21日 受理

(c)レオン・バッティスタ・アルベルティ (1404~1472)

フィレンツェから亡命した、裕福な商人の庶子として生まれる。豊かな教養教育を受け、パドヴァ大学で古典と数学を学び、ボローニャ大学で教会法の学位を取り、ローマ教皇庁の書記となる。14世紀に教皇庁のアヴィニョン移転により荒廃した、ローマ市の再建計画の参与となり、自ら開発した観測器具によって古代の遺跡を計測して「都市ローマ記」(古代ローマ市の地図)を著す。

後にアルベルティ家は亡命を許されてフィレンツェに戻ったので、アルベルティはメディチ家や遠近法を開拓した建築家ブルネレスキなどと親交を結び、古代ギリシア・ローマ芸術を研究して、ルネサンス芸術の理論書である「絵画論」「彫刻論」「建築論」をラテン語で著した。そこでは、古代ギリシア芸術におけるシュンメトリア(部分と全体の美しい数的比例関係)の概念が重視されている。「絵画論」では幾何学的な遠近法を導入し、「絵画(画面)は眼を頂点とする視覚円錐の断面である」という定義を与え、絵画は自由学芸であるという新しい考えを示した。(それまで画家は単なる職人であり、その地位は低かったが、ルネサンスの文芸活動により画家は「芸術家」となり地位が向上した)「絵画論」は俗語にも訳され、後のレオナルド・ダ・ヴィンチらに大きな影響を与えた。レオナルドは、アルベルティの絵画の理想を、独自の理論と技術(手の熟練)によって完成した、と見ることができる。

＜遠近法の図＞

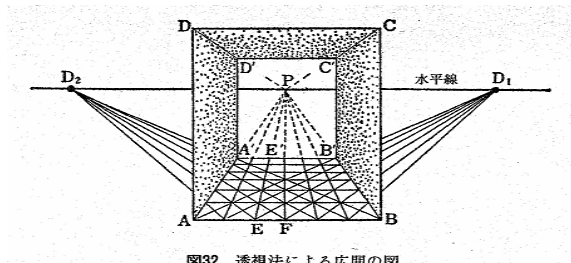


図32 透視法による広間の図

(「数学の文化史」モリス・クライン、2011、より)

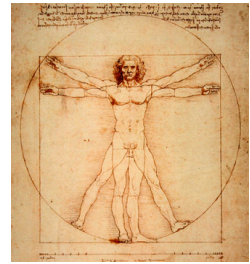
アルベルティが研究したウィトルウィウスは、古代ローマ共和制末期のユリウス・カエサルに仕えた建築家(技師長)であり、実際に橋・時計・武器なども製作していた。その著作「建築十書(アルキテクチュラについて)」では、「建築家は自由学芸や哲学や自然学なども学ばなければならない」と述べて、ギリシア由来のシュンメトリアの理論も伝えている。注5)

注5)「ウィトルウィウス建築書」東海大古典書庫、1969

ラテン語のアルキテクチュラとは、直訳すれば大技術という事であり、土木・建築・時計・武器などの制作技術全般を指す。アリストテレスの学問分類では、制作学は理論学より低い地位にあるので、ウィトルウィウスの上の言葉は、ローマ的とも言える。

下図は、レオナルド・ダ・ヴィンチが「建築十書」の人体比例に基づいて描いた素描である。(いわゆる黄金比が使われている)

現在ではレオナルドは画家として有名であるが、人体の解剖図も多く描いている。当時は、大学の医学部でも人体解剖は実施されておらず、医学書がラテン語で読まれているだけであ



った。人体の研究が、画家や彫刻家にとっても必要であることはアルベルティも述べているが、レオナルドの解剖図は、脳室の形状や内臓や血管などの精密な図像表であり、まさにそれは自然の探求としての解剖学の始まりであった。注6)

それらは、ラテン語やギリシア語の古典の解読のみを「学問」と考える当時の風習に対する批判であり、実験や観察や経験を重んじる新しい自然探求を身をもって実践していった、と見ることができる。

注6) 山本義隆「16世紀文化革命1」みすず、2007 (p189~202) 第3章に詳しい解説がある。

§2 計測の精神 (16世紀文化革命)

トスカネッリ、クザーヌス、アルベルティには、共通して“計測の精神”が感じられる。その背景には12世紀ルネサンスにおいて、ピサのレオナルド(フィボナッチ)が移入した、10進法のインド・アラビア数字の普及がある。例えばローマ数字のDCCCCLXXXVIIは987を表すが、ローマ数字はそのままでは複雑な計算や精密な分数表現には向いていない事がわかる。

特に北イタリアの商人達は、アラビア由来の複式簿記をインド・アラビア数字で使いこなす様になり、商人や職人の算数学校が14世紀頃から都市に設立されていた。そして数多くの物品を扱う商人達は、すべての物に価格をつける(数値による評価)という価値観をもつ様になっていった。また14世紀頃に発明された機械時計は、一日を正確に24時間に分割する、まさに計測装置としての側面をもっていた。また15世紀に登場した大砲は、鉱山業や冶金術の発展をうながし、軍事技術や築城術や軍隊の編成に多大な影響を与えた。(騎士階級の没落も招いた)それらの分野でも、実験や正確な計測が必要とされた。

このような社会的雰囲気の中で、トスカネッリやクザーヌスやアルベルティやレオナルドは育ったのであり、計測の精神を感じさせる精密な図像表現が、絵画のみではなく人体の解剖図や機械装置の素描でも現れていた。特に15世紀末の活版印刷の発明によって、高級

職人や独学の学者らによる様々な技術や研究が、俗語（ラテン語ではない各地の言葉）で出版されていった。例えば、学問として認められていなかったピサのレオナルドが紹介した10進法のインド・アラビア数学（代数学）や複式簿記は、ルカ・パチョリによる「算術大全」（1494年）でイタリア語で出版された。このルカ・パチョリを教皇に紹介したり、大学の教師となるように後押ししたのがアルベルティであった。

この様な計測の精神による実験や研究およびそれらの精密な図像表現による16世紀の文化的変革を山本義隆は「16世紀文化革命」と呼んだ。例えばアルブレヒト・デューラーは、画家・版画家として有名であるが、「定規とコンパスによる測定術教則」（1525年）をドイツ語で出版して、ドイツ語圏の職人たちに計測の精神を広め、数多くの人体の比例を実際に測定した「人体均衡論」（遺稿）では、ギリシア以来の普遍的な人体比例を否定し、人体比例の美の基準は相対的であるという測定による真理を優先した。またニコロ・タルターリアは大砲の弾道を測定して「新科学（Nova scientia）」（1537年）をイタリア語で出版した。その本の中で「仰角45°のときに大砲の弾は最も遠くまで飛ぶ」ことを実験と数学で示そうとした。当時、弾道学などは全く学問とは考えられていなかった。上の結果を、力学的な原理から数学的に論証したのが、やはりイタリア語で書かれた、17世紀のガリレオ・ガリレイ「新科学対話」（1638年）である。（まさに計測の精神が、科学革命の前提となっている事がわかる）また放浪の医者パルケルススも、「大外科学」（1536年）をドイツ語で出版した。それまで外科学は大学で実践的に講義されていなかったが、この本では外科学の必要性や実践的な外科手術の処置法が述べられている。またパドヴァ大学で外科と解剖学の教授となったヴェサリウスは、豊富な人体解剖図を載せた「人体の構造について（ファブリカ）」を1543年に出版した。ヴェサリウスによって外科・解剖学は大学で認められていった。（1543年は、コペルニクスが太陽中心説を理論化した「天球回転論」が出版された年でもある）またアグリコラ（ゲオルグ・バウアー）は、ライプツィヒ大学やフェラーラ大学で医学を学んだ後、鉱山で医師として働きつつ、鉱山の技術や金属について20年以上研究し、「金属について（メタリカ）」（1556年）著した。鉱山・冶金業の機械装置などの精密な図像や、天秤による鉱物の精密な測定など、が詳細に述べられており、それは錬金術の神秘性を排して、まさにクザーヌスが提起した計量実験の重要性を、徹底して実践したものになっていた。注7)

注7) 山本義隆「16世紀文化革命1、2」みすず、2007

計測の精神という言い方そのものも、この本の中で本質的に用いられている。

§3 科学ルネサンスの概念

科学ルネサンスについては、アメリカ科学史学会で一般向け科学史書として賞を受けた「知識と経験の革命」ピーター・ディア、みすず書房、2012（原著2009）の中でも短く述べられている。科学ルネサンスとは、ギリシア・ローマ文化の復興としてのルネサンスの中でのヘレニズム科学（アルキメデスやプトレマイオスなど）の読解や専門研究を意味する。特に、ポイルバッシュとレギオモンタヌスによる「プトレマイオス天文学摘要」（1496年）は、12世紀ルネサンス以降初めての本格的なプトレマイオス天文学の研究として重要であり、後世に多大な影響を与えた。コペルニクスやガリレオは、この本によってプトレマイオス天文学を学んだのであり、コペルニクスはプトレマイオスの地球中心説と太陽中心説の数学的同値性を発見して、太陽中心の天体理論を完成させるのである。（「天球回転論」1543年）

ただしピーター・ディアは、計測の精神には全く触れてはいない。計測の精神を前提として科学ルネサンスの内容について詳細に記述したのが、山本義隆「世界の見方の転換1〜3」みすず、2014である。この著作は、レギオモンタヌスからコペルニクスを経てケプラーに至るドイツ天文学の発展を、近代的な「物理学的な天文学」の誕生として描いている。それはアリストテレスの自然学としての天体論が解体する過程でもある。

しかし山本自身はピーター・デュアの科学ルネサンスの概念には疑義を表明しており、科学ルネサンスという言い方も積極的には使っていない。その理由は明らかにしていないが、考えられる点は「計測の精神そのものは必ずしも古代ギリシア・ローマ文化の復興とは関係がない」という事ではないだろうか？ いわゆるペトラルカを祖とする人文主義の流れでは、フィッチーノによるプラトン、プロティノス、ヘルメス文書など、数多くの哲学・神学・歴史の古典の翻訳・研究が行われたが、それらは計測の精神とは無関係である。山本がルネサンスにおいて強調するのは、パノフスキーが用いた「区分撤去」という言葉である。それは、本質的には古代ギリシア以来続いた、自由学芸（教養人）と機械的技芸（無学な職人）の壁が、撤去されていくという事でもある。その区分撤去による16世紀における大きな変革が、山本の「16世紀文化革命」という事になる。注8)

確かに山本の指摘は重要ではあるが、古代文献の研究はルネサンスの特徴であり、レギオモンタヌスらのプトレマイオス研究は、確かにヘレニズム科学の原典からの批判的研究ではあるので、ここでは科学ルネサンスという言葉を使いたい。

注8) パノフスキー「芸術家・科学者・天才」（木田元訳）

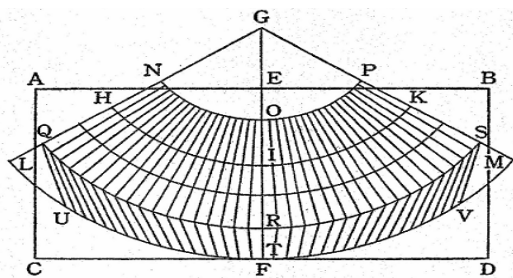
現代思想、1977、6月号（原著1962）

§4 プトレマイオス地理学・天文学

プトレマイオスはローマ帝政時代の2世紀に、アレクサンドリアで活躍した学者であり、ヘレニズムの数理学(マテマタ)全般に渡り、それまでのギリシア以来の研究を総合する優れた著作をギリシア語で残した。数理天文学の「数学集成」(後の「アルマゲスト」)、占星学の「4巻の書」、光学実験を取り入れた「視学(光学)」、音楽の楽理書「ハルモニア論」、数学的な「地理学」など。特に「地理学(ゲオグラフィア)」は、15世紀始めにラテン語訳され、世界の位置情報を含むことから、ポルトガル、スペインなどの“大航海時代”を前に、注目を集めていた。オスマン帝国の勃興により北イタリアの東方貿易は縮小し、地中海交易を超えた、世界の大洋での知識が望まれていたのである。(トスカネリらも着目していた)

プトレマイオスの「地理学」は、世界の各地点での位置を(緯度、経度)の座標で表すという数学的なものであり、球面上の地球の位置を、平面の地図に正確な比例で投影する、数学的な作図法が考えられている。注9)

＜地図投影法の純円錐図法＞



上図で、円弧NOP、円弧HIKなどは同じ緯度を表し、円弧QRSは赤道を表す。赤道以南は世界地図に含まれない。

注9) 山本「世界の見方の転換1」p83～p93

「プトレマイオス地理学」中務哲郎(訳), p13～p16

プトレマイオスは、正しい(緯度、経度)の観測には天文学が必要であると述べているが、「地理学」の位置情報の多くは、観測ではなく旅行記や古地図などに基づいており、15世紀の学者・探検家達は、古代人の誤りを発見しつつ、新たに観測・検証が必要である、という“観測の精神”を持つ様になっていった。

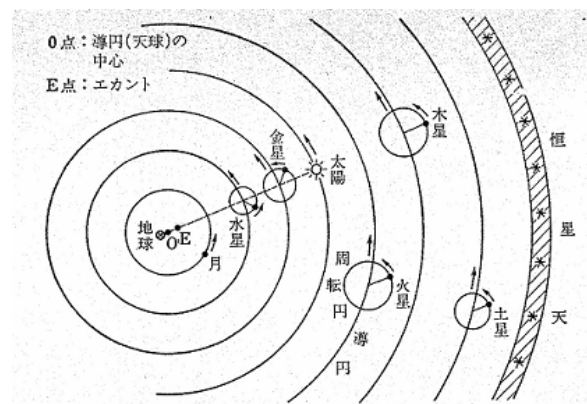
一方、プトレマイオス天文学は、ギリシア由来の幾何学的天文学(天球論)と、バビロニア由来の観測天文学を総合したもので、アポロニウスの周転円・導円の理論やヒッパルコス(ヒッパルコス)の弦の表(三角比)や歳差の理論を統合して、「数学集成(アルマゲスト)」(全13巻)が書かれた。それは、惑星軌道の逆行問題をかなりの程度

解決し、惑星のほぼ正確な運行表を与えるものであった。

＜「数学集成(アルマゲスト)」の特徴＞

- (1) アリストテレスの自然学・天体論を一応前提とし、宇宙は静止する地球を中心とする巨大な天球であり、地球・月・水星・金星・太陽・火星・木星・土星・恒星天球の順に並ぶ。
- (2) 数学として平面幾何(三角法)、球面三角法を証明に運用し、弦の表も完成した。(誤差が少ない)
- (3) 惑星軌道の数学理論として、導円・周転円を利用したが、導円の中心は地球ではなく、周転円の中心点の等角速度運動の中心としてエカント点(擬心)を導入した。(下の図)

＜プトレマイオス宇宙＞



＜問題点＞

- (1) アリストテレス自然学体系(4原因の探求)としての地球中心同心天球宇宙とは、数学的に異なる。
 - (2) エカント点の導入により、導円上の周転円の中心点の運動は等速な運動ではなくなった。
 - (3) 惑星の距離や順序の正しさについて、完全に検証されていない。
- (理由) 観測値は地球から見た惑星の角度であり、惑星の逆行現象の説明として、惑星の順序や絶対的な距離はどうしても必要というわけではない。数学的に複雑な惑星理論は、“現象を救う仮説(虚構)”という伝統的な解釈(プトレマイオス自身が述べている)を生み出した。注10)

注10) 山本「世界の見方の転換1」p18～p71

§4 ドイツにおける科学ルネサンス

ドイツにおける人文主義(原典研究)は、クザヌスと親交があったシエナ出身のピッコローミニ(後の教皇ピウス2世)が、神聖ローマ帝国(ドイツ語圏)皇帝の側近として、ウィーン大学で講義を行ったのが端緒とされる。このウィーン大学で人文主義に触れ、イタリアでアルベルティらと交友関係を持ち、プトレマイオス天

文学を原典から翻訳・研究して、数理科学のルネサンス（科学ルネサンス）を実現したのが、ポイルバッハやレギオモンタヌスであり、この路線上にプトレマイオス天文学の完成者として、コペルニクスが登場するのである。まずポイルバッハとレギオモンタヌスについて解説する。

(a) ポイルバッハ (1423～1461)

ドイツのリンツに生まれる。ウイーン大学で天文学を学び、イタリアに遊学してクザーヌスやトスカネリらと交わり、天文学の研究を賞賛される。ウイーン大学に戻り、西欧では中世以降初めて本格的にプトレマイオス天文学を研究し、「惑星の新理論」を著す。(1472年に出版) この本は、後でガリレオも称賛する天文学の標準的テキストとなり、コペルニクスが学んだクラクフ大学でも、天文学者ブルジェフスキが「惑星の新理論」を研究して注釈を書いていた。

ポイルバッハはビザンツ帝国出身でローマ教会の枢機卿になっていたベッサリオンの知遇を得て、その所有するギリシア語原典の「アルマゲスト」を、ラテン語に翻訳・研究する仕事を始める。そしてポイルバッハの死後、その仕事を引き継いで完成させたのが、レギオモンタヌスである。

(b) レギオモンタヌス (1436～1476)

本名ヨハネス・ミューラーは、南ドイツ出身で早くから数学の才能を発揮し、ウイーン大学で天文学をポイルバッハに学び、21才で修士号をとりポイルバッハの共同研究者となる。

やはりイタリアに遊学してトスカネリやアルベルティらと親交を結ぶ。ベッサリオンにギリシア語を学び、ポイルバッハを引き継ぎ「アルマゲスト」を翻訳・研究して、ラテン語で「プトレマイオス天文学の摘要」(1463)を著す。(以下「摘要」と略す) それは単なる翻訳ではなく、理論を整理し多くの図版を載せ、疑問点を明らかにした意欲的なテキストであった。また実際の天体観測により、「アルマゲスト」の観測データを検証し、一部に誤りがある事も発見した。注1 1) 後のコペルニクスの天文学研究(太陽中心説)も、ポイルバッハやレギオモンタヌスの著作を学んだ成果である、とも言える。この著作によって、レギオモンタヌスはヨーロッパ中に天文学の権威としての名声を得た。

レギオモンタヌスは他に、「三角形総説」や惑星の運行表である「運行経度表」や「エフェメリス」を執筆した。またプトレマイオスの弦の表よりくわしい、7桁の正弦表を計算した。注1 2)

ポイルバッハやレギオモンタヌスは、イタリア人の様に古代を熱狂的に崇拝する事なく、プトレマイオス天文学の結果も、観測によって検証しようとした。ここに、ガリレオやケプラーに繋がる「計測の精神」による、近

代の観測天文学の始まりがある。

注1 1) 山本「世界の見方の転換1」p206～p228

注1 2) 山本「世界の見方の転換1」p198～p206

レギオモンタヌスは、1464年にパドヴァ大学に招かれて、数理科学の意義についての歴史的講演を行う。それは「千年経ってもエウクレイデスの価値(真理)は変わらない」として、数学を基礎とする天文学・地理学・光学や重さの学などの数理科学について、それらの翻訳・研究と出版の意義を高らかに宣言するものであった。

後年、レギオモンタヌスは、パドヴァ講演で述べた数理科学書の出版計画や、長期に渡る天体観測を実現させるために、ニュルンベルグに居を構え、商人ヴァルターの協力で計画を実行に移した。当時ニュルンベルグはドイツの交易の中心都市で、多くの数理技能者がいた。(後に活版印刷の中心地となり、デューラーが活躍する) しかしレギオモンタヌスは、暦の改訂の会合の為にローマを訪れて、ペストにより夭折する。

(c) なぜ科学ルネサンスがドイツで起こったのか?

12世紀ルネサンスの後に、ボローニャ大学やパリ大学が設立されるが、イタリア以北では大学の設立は遅れていた。ウイーン大学は、1365年にルドルフ4世(ハプスブルグ家)によって設立されたが、ハプスブルグ家は占星術を信奉しており、ポイルバッハもレギオモンタヌスも占星術で協力した。占星術は、正確な惑星の運行表を必要とするので、天文学と密接に結びついていたのである。この様にイタリア以北の大学は、皇帝や国王などの世俗権力との結び付きが強かった。

イタリアで盛んとなった人文主義は、ドイツ語圏でも一種の“流行”(野蛮からの解放?)として尊重されたが、元々ドイツ語圏はローマ帝国に属さないゲルマン人を祖とする地域であり、ゲルマン人は古代ローマ人から“野蛮人”と見なされていたのである。ポイルバッハやレギオモンタヌスが数理科学の普遍性を愛好し、古代の知識を検証しようとした背景には、イタリアと異なるドイツの後進性があったのである。(後進性は先進性と結びつく?)

イタリアの人文主義でも、トスカネリやアルベルティらは、古典を通じて数理科学の重要性を認めていたが、それまでの大学では数学や数学教師の地位は低く、人文主義(ローマ文化の賞賛)とルネサンス芸術の高揚の中で、数理科学に専念できる環境ではなかった。彼らがポイルバッハやレギオモンタヌスらを優遇したのは、彼らの才能に数理科学の研究・発展を託した、と解釈する事もできよう。

§ 5 コペルニクスの天球論

コペルニクス(1473～1543)は、ポーランド王国に生

まれ、ポーランド王が1364年に設立したクラクフ大学で学ぶ。(クラクフは当時ポーランド王国の首都) ポーランド王国は14世紀にローマ教会に改宗し、15世紀には大国になっていた。

クラクフ大学には、天文学者のブルジェフスキがおり、ポイルバッハやレギオモンタヌスの観測天文学を引き継ぎ、天文学の中心は、ウィーン大学からクラクフ大学に移っていた。

コペルニクスは聖職者になる為に、イタリアに游学しボローニャ大学やパドヴァ大学で、教会法や医学を学ぶ。クラクフ大学在学中から天文学に興味を示し、ボローニャではレギオモンタヌスに教えを受けた天文学者ノヴァラと、共同で天体観測を行った。教会法の学位を取得した後に、ポーランドに戻り親戚の司教の秘書・侍医となり、晩年までポーランド北端のフロンボルク市の聖堂参事会員を務めるが、天文学の研究も続け、ローマ教会では天文学者として認められていた。

1510年頃に最初の論文「小論考(コメンタリオス)」を著すが、そこには「摘要」によるプトレマイオス天文学批判研究の成果として、太陽を中心とする天球論(仮説)の構想が述べられている。

「小論考」は印刷されず写本として伝わり、天文学者や聖職者の注意を引く事になった。注13)

注13) 高橋憲一の「コペルニクス・天球回転論」1993と

「完訳・天球回転論」2017、に「小論考」と注・解説が載っている。

＜「小論考」の7つの要請(仮説)＞

- (1) あらゆる天球の同一の中心は存在しない。
- (2) 地球の中心は宇宙の中心ではなく、重さ(重力)と月の天球の中心に過ぎない。
- (3) すべての天球は太陽の周りを回転し、宇宙の中心は太陽の近くにある。
- (4) 恒星天球の大きさは非常に大きく、それに対して地球は点の様に小さい。
- (5) 恒星天球は日周運動せず、地球が軸を固定して日周運動している。
- (6) 太陽の運動の観測現象は、地球の回転運動が反映している。
- (7) 惑星の逆行・巡行運動の現象は、地球の運動の方

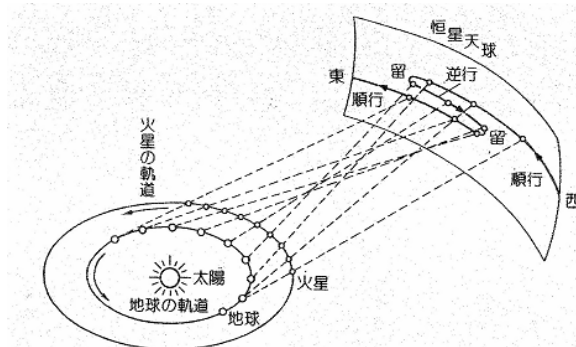
に原因がある。

最も重要な着想は、“地球が運動する(自転・公転)”という仮説により、より完成度の高い宇宙全体の数学モデル(天球論)を構成できる、という事である。

「小論考」を読んだヴィッテンベルグ大学の天文学者レティクス(1514～1574)は、コペルニクス天文学の意義に感動して、1539年にコペルニクスを訪れ、2年間そこに滞在して天文学を学び、より完成された「天球回転論」(1543)の出版を勧める。そして自らコペルニ

クス天文学の概要の紹介である「第一解説」(1540)を著し、説得に成功して「天球回転論」の出版を準備する。

＜太陽中心説による惑星の巡行・逆行の説明＞



(渡辺正雄「文化としての近代科学」講談社学術文庫、2000より)

コペルニクスが出版に消極的だったのは、太陽中心説がローマ教会の教義(地球中心説)に反するからであった。そして「天球回転論」が出版される直前にコペルニクスは死去する。「天球回転論」は、やはり太陽中心説によってローマ教会から禁書になりかけますが、レティクスから出版業務を引き継いだ神学者オジアンダーが、コペルニクス説は伝統的な“現象を救う数学的な仮説”である、という解釈を「読者への序」として(勝手に?)付ける事によって出版が可能となった。コペルニクス自身は「天球回転論」の序文において、太陽中心天球論はプトレマイオス天球論の難点(以下の3つ)を解決した、と述べている。

＜コペルニクスの序文から＞

- (1) 太陽と月の運動の理論・観測が不十分であり、太陽の回帰年(公転周期)が正確ではない。
- (2) アリストテレス以来の同心天球論(天球が等速度で回転する)と、プトレマイオスの複雑な数学的天球理論(周転円・導円など)は矛盾している。
- (3) 惑星全体の順序や距離などの、宇宙全体の数学理論が構築されていない。

これらのプトレマイオス天球論の弱点は、プトレマイオスがアリストテレスの自然学・天体論を尊重して、地球を宇宙の中心(近く)に静止させた事によって、(当時の観測データに適合させる為に)各惑星ごとに複雑な天球構造を設定してしまった事に由来する。(地球から測った各惑星の角度は、距離関係が相似なら同じである)

しかしコペルニクス天球論も、天球が回転するという点では数学的構造は同じであり、コペルニクス理論を可能にした原理は、“プトレマイオス天球構造は、数学的にコペルニクス天球構造に書き換えが可能である”という事なのである。(下の図を参照、この点については、レギオモンタヌス「摘要」もある程度示唆している)

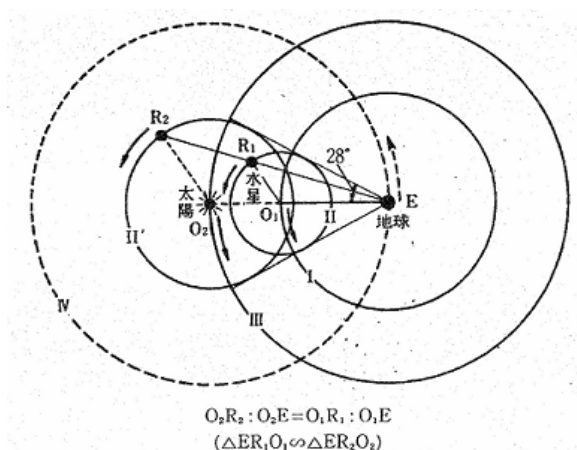


図9 太陽中心(地動)モデルと、地球中心(天動)モデルの等価性

＜村上陽一郎「宇宙像の変遷」講談社学術文庫、1996 より＞

またコペルニクス天球論では、三角測量で太陽と各惑星との距離が計算可能であり、惑星の順序や距離の根拠が明らかになるのである。(下図)

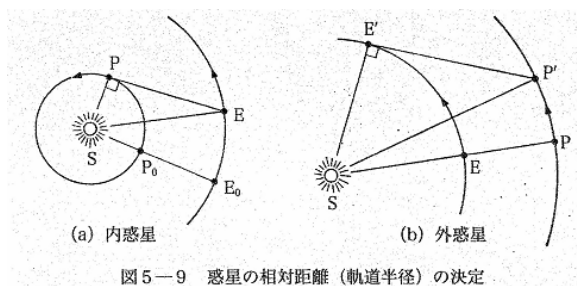


図5-9 惑星の相対距離(軌道半径)の決定

＜中山茂「天の科学史」講談社学術文庫2011 より＞

§6 ケプラーの到達点(結び)

プトレマイオス天球論も、当時の観測データにかなり適合する事は、プトレマイオス自身が「アルマゲスト」で述べている。(第12巻)

ポイルバッハ・レギオモンタヌスらによって、古代の観測データを“検証”する新しい観測天文学が始まり、プトレマイオス天文学は部分的に見直されていたが、コペルニクスの太陽中心説を裏付ける決定的証拠は、当時まだ存在しなかった。

つまりコペルニクスは、アリストテレス以来の“天球の等速円運動”に原理的に固執し、プトレマイオス天球論の数学的不完全性を解決する事を目標にして、太陽中心天球論を構築した、と言えるのである。(後のガリレオも、まだ神聖な？円運動に固執している)

観測天文学の成果に基づいて、正しい惑星の楕円軌道とその法則(ケプラーの3法則)を提唱したのが、20年以上に及ぶティコ・ブラーエの観測データを解析できたケプラー(1571~1630)である。ケプラーこそ、ポイルバッハ・レギオモンタヌスに始まる、“計測の精神”による観測天文学の終結と見なされるのである。

＜結語＞

以上見てきたように、コペルニクスやケプラーの成果は、ポイルバッハ・レギオモンタヌスに端を発する“科学ルネサンス”、つまり古代の数理科学の批判的検証と新たな観測天文学の始まり、に負うところが決定的に大きい。天文学は暦の作成や占星術と結びついており、古代から精密な天体観測を必要としていた。日食などの現象の予測・確認によって、天文学は初めから仮説演繹法の側面をもっていたとも言える。科学ルネサンスこそ、科学革命に至る数理科学の復興の原点なのである。