

■ 私は前著『一六世紀文化革命』で、一四・一五世紀のルネサンスと一七世紀の科学革命にはさまざま谷間のように見られていた時代に「文化革命」とも言うべき知の世界の地殻変動が生じていたことを明らかにした。その大筋は、大学アカデミズムとは無縁で文字文化の世界から疎外されていた職人・技術者や、当時は職人と見なされていた芸術家や外科医、そして商人や船乗りたちが生産や流通や各種の職業的営為の過程で習得し蓄積してきた経験知が、自然と世界の理解にとって有効なことに気づき、主張しはじめたことであつた。それは、それまで大学で教育されていた中世スコラ学に対置されるものであり、さらには古代文芸の復活に人間性の回復を求めた後期ルネサンスの人文主義運動をも乗り越える、知のあらたな可能性を示唆するものであつた。

それまでは、学問ひいては文字文化一般は、高等教育を受けたきわめて少数の知的エリートに独占されていた。彼らは労働や商業を賤しいものと見なす古代ギリシャの知識人の心性を継承し、職人の手仕事や商人の金勘定を理論的学芸の低位において蔑み、生産や流通の世界で営まれていることに関

心を向けようとしなかった。数学的計算ですら狡猾な商人のための技術と見なされ、大学教育では重きをおかれていなかったのである。

他方、職人や商人の世界では、精密な測定や込み入った動力機械のような高度な技術が考案され、商品や資本の管理のための複式簿記あるいは共同経営における利益配分等の手の込んだ計算手法が開発されてきたものの、それらの理論的基礎が明確にされていたわけではかならずしもなかった。そのうえ、商人や職人たちの世界は閉鎖的なギルドに細分化され、蓄積された知識や技術は門外不出の秘伝として、もっぱら徒弟制度による実地訓練で経験主義的に教育され伝承されていた。いづれにせよ、ラテン語が支配する学者や僧侶の世界と俗語で語られる職人や商人の世界は別世界であった。

大学における多くの講師や学生たちは、理論、たとえばユークリッドの幾何学の基礎を学んでいるけれども、実際に土地や城壁や容器を測定することもなければ、実用にかかわることに手を染めようとはしない。逆に、実務にたずさわる測量師たちは、自分たちが使っている規則を鵜呑みにし、その根拠や証明を明確に吟味することなく信じ込んでいる。

こう嘆いたのは、10進小数の発案者として知られる一六世紀のネーデルラントの技術者シモン・ステヴィンであった。⁽¹⁾

このように、大学で教育されていた理論知と各種のギルドに継承されていた経験知は厳然と分け隔

てられていた。その分断状況に風穴があげられるのが一六世紀であった。美術史の研究者Erwin Panofsky^{*1}が「区分撤去」と名づけたその過程⁽²⁾は、市井の習字教室や算術教室で俗語による読み書き能力を身につけ計算技術を習得した商人や職人・技術者や芸術家たちが、一五世紀の中期に誕生し急速に発展し普及していった印刷書籍の助けをかりて、それまではたこつぼ的なギルドに閉じ込められていた知を公にし、ひいては自然にたいする新しい見方の有効性を主張しはじめたことで特徴づけられる。私は、職人・技術者や商人や船乗りや軍人たちによって担われた知の世界のこの地殻変動を、前著で「一六世紀文化革命」として描きだした。

この私の提起にたいして、いくつかの批判が展開されてきた。その中心的な論点は、拙著にたいする高橋憲一の『科学史研究』における「紹介」に代表されるもので、それは「こうした構想の下では、学者と職人の二つの乖離した伝統が接近するにあたって、職人側のイニシアティブが強調される結果になる。学者の側から接近してきた人々は、無視されるか、軽視されるか、黙視されるか、別な文脈に位置づけされることになる」という主張に集約されるであろう⁽³⁾。

伊東俊太郎は、村上陽一郎、広重徹というわが国の科学史研究の第一人者との共著『思想史のなかの科学』で、一五世紀から一六世紀にかけての時代を「二つの創造的な時代の谷間」すなわち「ビュ

*1 本書では、日本人と中国人をのぞき、歴史上の人物（大体一九世紀前半までの人物）の氏名はカタカナで、後代の歴史家や研究者（大体一九世紀後半以降の人物）のはアルファベットで表記する。そして敬称は略させていた。

リダンやオレームらの一四世紀のいわゆる「ガリレオの先駆者」の時代と、ガリレオ、ニュートンの活躍する一七世紀の「科学革命」の時代のあいだに横たわるひとつの中休みの時期」と特徴づけたのち、補足している。

それまで学者と職人とをわけへだてていた社会的障壁がとり除かれ、両者の伝統が融合する機会が与えられた。ここにギリシヤ以来の学者の合理的な理論と、ルネサンスの職人の手工的な実証的実践が結びつき、合理的にしてかつ実証的な近代科学が生みだされる基盤がつくられた。数学的方法と実証的方法の結合という「科学革命」の特有の方法論的産物も、この両者の接近融合の産物である。

……これが現実のものとなったのは、ルネサンスにおいて学者的階層と職人的階層とが、おなじ市民社会というルツボのなかで相合したのちにおいてである。⁴⁾

同様に、デンマークの科学史家 Olf Pedersen と物理学者 Mogens Piil による科学史書『初期の物理学と天文学』には、この時代に「科学は旧来の大学の伝統から解放され、インターナショナルな活動としての科学というスコラのエートスを保持しながらも、芸術家や技術者や建築家たちとの実り豊かななかかわりを確立した」とある。⁵⁾

最終的には、厳密な論証の技術を身につけた知的エリートの一部が、職人の世界で培われてきた経験主義的で実証的な研究方法の有効性と、そうして得られる認識の有用性を認めることで、近代科学

への道は開けていった。古代ギリシヤ以来の思弁的な学問の方法に習熟している彼らは、同時に、商業の世界で発展してきた数学と計算技術をわがものとし、手仕事にたいする蔑視と偏見を克服し、みずから道具や装置を設計・製作し、それらを操作して観測や実験に取り組み、こうして、自然についての新しい科学を生みだし、知の世界の主導権を取り戻していった。一七世紀にロンドンの王立協会の Boyle と Fックが真空ポンプを自作して大気の圧力を調べ、ケンブリッジの数学者ニュートンがプリズムを手に光学の実験をおこない、ガリレオが斜面と水時計をつかって落体の法則を検証したことが知られている。

しかし一七世紀の「科学革命」に先行する一六世紀の知の世界の地殻変動においては、大学教育を受けた学者・知識人と学習意欲に富んだ職人・技術者たち双方向からの接近が見られる。たとえば磁針の偏角と伏角の発見と測定は、ロンドンのロバート・ノーマンとニュルンベルクのゲオルク・ハルトマンによる。ノーマンは大学教育と無縁な船乗りあがりの職人であるが、ハルトマンは大学教育を受けたのちに聖職につきながら自身で天体観測機器や磁気コンパスの製作に従事した技能者であった。それまで文字文化の世界でほとんど語られることのなかった鉱山業・冶金業の全貌をはじめて明らかにしたのは、大学教育と無縁のイタリヤの技術者ヴァンノッキオ・ピリンググッチョの俗語の書物と大学教育を受けたドイツの医師ゲオルギウス・アグリコラのラテン語の書籍であった。いずれも一六世紀中期に出版されている。のちにガリレオに影響をおよぼすことになった一六世紀イタリヤにおける機械学の興隆をもたらしたのは、貧困のうちに独学で数学を身につけた市井の数学教師タルターリア

と貴族の軍人で大砲の時代の新しい軍事技術のために力学を学んだガイドバルト・デル・モンテであった。タルターリアは3次方程式の解法の発見でも知られるが、それを公表して方程式論を新しい数学分野として確立したのは大学教育を受けたカルダーノであった。

本書で詳述するように、この時代にヨーロッパで本格的な観測天文学を復活させたのは、大学教育を受けたがしかし大学をはなれて科学書の出版事業にのりだしたヨハネス・レギオモンタヌスと、ニユルベルクの人ベルナルド・ヴァルターの共同作業であった。一六世紀後半にデンマークのティコ・ブラーエとならんで中部ヨーロッパに天体観測の拠点を建設したヘッセン方伯ヴィルヘルムIV世を支えたのは、大学教育を受けた観測者クリストフ・ロスマンとスイスの職人ヨスト・ビュルギであった。高等教育とは無縁に育ったビュルギはまた、エディンバラの貴族でアマチュア数学者ジョン・ネイピアとならんで、天体観測に必要とされた対数計算を独立に考案したことが知られている。

およそ思弁の人であり、観念的な自然学を語ったデカルトですら、一六二〇年代の屈折光学の研究において「私がこれから述べること〔屈折光学の実験〕を実行しようとすれば、普通は研究など一度もやったことのない職人の技巧に頼らねばならない」と語っているのである。

つぎのように言ってもよい。二〇世紀の量子力学の形成と解釈の過程で、物理学者Niels Bohrは「相補性 (complementarity)」という概念を提唱した。ひらたく言えば、すべての素粒子が波動の性質と粒子の性質の両面を呈するように、すべての事物は、事(こと)であれ物(もの)であれ、相互に補完しあう両面性を有し、その双方を捉えてはじめてその全容を知ることができるという意味である。この概念を援用

するならば、一七世紀の科学革命を準備することになる一六世紀の知の世界の地殻変動には、読み書き能力^{リテラシー}を向上させた職人のサイドからの「文化革命」に相補的な、高等教育は受けているが、しかし脱アカデミズム化した知識人技能者たちのサイドからの接近があったと見ることができよう。とすれば、その両側面をふくめて、広義での「一六世紀文化革命」と言うこともできるであろう。

■ そもそもヨーロッパにおいては「一六世紀はもつとも広範囲にわたる、もつとも目覚ましい転換の時代であった⁽⁷⁾」。一六〇二年のトマゾ・カンパネッラの書『太陽の都』には「今世紀（一六世紀）において、百年のあいだに世界が四千年のあいだに得たよりも多くの歴史を生みだし、この百年のあいだに五千年のあいだに出た本よりも多くの書籍が刊行された」とある⁽⁸⁾。そして二〇世紀のフランスの歴史学者Lucien Febvreは語っている。

一七世紀とは要するに何であるのか？ それは一六世紀が併呑した相矛盾する思想や異質の事実のすべてを、百年近くかかって消化し、ゆっくり同化した時期以外の何ものでもないのではないか？⁽⁹⁾

その過程の最終局面に登場し、真の意味で太陽中心理論をはじめて語り、新しい天文学の法則を見いだしただけではなく、天文学を物理学（動力学）に基礎づけることで天文学それ自身に革命をもたらしたドイツのヨハネス・ケプラーは、大航海時代の幕が上がり、ヨーロッパ人の活動範囲が地球規模

に拡大し、火器とりわけ大砲の開発が戦争のあり方を一変させ、それまでの封建領主の力が衰え近代国家の姿が見えはじめ、印刷術が発明されて大衆のリテラシーが向上し、人文主義がひろまりスコラ学の権威が低下し、そして宗教改革を経験したその一世紀半を活写している。一六〇六年のことである。変革の当事者が変革の深さと広さをいかに自覚していたのかを示すこの一節はたいへん興味深い。管見のおよぶかぎりこれまで日本語の書籍には書かれたことがないようなので、少し長いが主要部分を引用することにしよう。

世界は一四五〇年に覚醒することで、古代の活力を取り戻した。……過去百五十年におよぶ驚くべき変化を、今日私たちは目のあたりにしている。第一に、帝国、なかんずくドイツの法は改善された。公共の秩序は確立され強化された。街道での強盗事件は減少している。裁判所が設置された。有益な慣行、とりわけ宅配便や飛脚の導入が制定された。トルコの人たちでさえ、その野蛮さを脱ぎ捨て、文明化にむけて学んでいる。ヨーロッパは、とりわけコンスタンチノープルの喪失とビザンチン帝国の崩壊以降、おのれの力を計算し理解しはじめ、癡猛さではなく巧妙さを用いたのである。戦争のための機械が発明され、多くの手が加えられることで、それはより有用なものとなっている。トルコの人たちは用心深さや力強さや勇敢さにおいて格段の進歩を示し、他方でギリシャ人は無気力になっているか、さもなければヨーロッパ人と同様に仲間内で争いをしている。スペイン人はムーア人を駆逐した。最大の熱意をもって彼らは航海に献身し、何年にもわたる遠征の努力の結果として、つい

には東インドへの航路を見いだした。それはアフリカ遠征に始まり、その後、船でアフリカをまわる航海の後になしとげられた。このような熱心な活動はまた、西インドの発見という幸運をもたらすことになった。これらの発展の結果として、ヨーロッパの交易はおどろくほどの飛躍をとげて、最高の高みへと到達した。……

印刷技術 (*ars typographica*) だけを見ても、どれだけわずかな人手でどれだけ多くの部数が作りだされるのかに思いをめぐらすならば、……この時代に言葉で言い表せないくらいに人が有能になったことが十分に証明される。印刷技術の発明以来、書籍はひろく普及した。爾来、ヨーロッパ中で誰もが著述されたもの (*libera*) の学習に励んでいる。こうして多くの学園 (*Academia*) が創設された。

学識に富む人たちが突如として数多く登場し、その結果、「中世的な」野蛮に固執する権威が短期間に退場させられていった。宗教的秩序のほとんどすべての権威は新しい秩序に席を譲り……航海と交易は、以前には知られていなかった国々や未開の民族にもキリスト教の信仰をあまねくひろめる機会を、ヨーロッパ人に提供した。他方では、学問の自由と多くの書籍と印刷の便宜を有する大学、そしてまた疑いもなく知識と社会全体の不満は、ヨーロッパの多くの部分でローマの教皇庁からの地滑り的に永遠に記憶されるべき離脱をもたらすことになった。……

当今の機械的技術 (*ars mechanica*) については、その数においてははなはだ豊富にして、巧妙な設計の難解さをおいて、それ以上言うこともあるまい。今日私たちは印刷技術によって古代の著述家の、現存するかぎりですべてに光を投げかけたではないか。私たちの多くの批判によって、キケロ自身が、ラテン語をいかに正しく語るべきかをあらためて学んだのではないか。毎年のように、とりわけ「土

星と木星が近く接近した」一五六三年このかた、いずれの問題においても、その著述が印刷された著者の数が過去一千年のすべての著者の数を上まわっている。彼らをとおして、新しい神学、そして新しい法が今日創られている。パラケルススの後継者たちは新しい医学を、そしてコペルニクスの後継者たちは新しい天文学を、創りだしている。¹⁰⁾

天文学の変革者ケプラーが変革の時代をどのように捉えていたのかが、彷彿として浮かびあがってくる。ケプラーの伝記を書いたArthur Koestlerは、ケプラーが中世と近代の分水嶺を夢遊病者のように跨いだと書いているが、なかなかどうして、ケプラーは同時代のフランシス・ベーコンにもけっして劣らない明敏な時代認識を有していた。

その期間の科学について、天文学史の研究者Noel Swerdlowは、一四六四年にレギオモンタヌスがパドヴァ大学でおこなった数学と天文学にかんする講演についての論文で語っている。

科学の歴史においてルネサンスを否定すること、ルネサンスの不在を説くことは、深刻な誤りであると私は信じている。……科学の歴史においてルネサンスは他と区別された時代であると受け取られなければならない。その時代は、人文主義およびその時代の学問と密接に関連し、通常そして正當にも科学革命と称されているもっと近い時代とも異なっているのと同様に、中世とも異なるところの、それ自身の特徴を有している。……この科学のルネサンスは、すくなくとも私が知っている分野では、

レギオモンタヌスに始まり、レギオモンタヌスと同様にスコラ学を拒絶し、しかしレギオモンタヌス以上に包括的かつ野心的に科学と学問およびその応用を称賛したケプラーとベーコンにまでおよんでいる。「四六四年の」レギオモンタヌスのこの講演と「二六二七年のケプラーの」『ルドルフ表』への序文のあいだの類似性、あるいはこの講演と「二六〇五年のベーコンの」『学問の進歩』とのあいだの類似性すら、見落ししようもなく顕著である。それらはルネサンスをもっとも特徴づける科学と人文主義の同盟の初めと終わりを刻印しているのであり、その後は、それらそれぞれ、科学と古典学の特定の研究への道を歩むことになる。⁽¹⁾

これは、一五世紀末から一七世紀はじめまでを「科学ルネサンス」として一七世紀の「科学革命」と区別した科学史家Peter Dearの所説⁽¹²⁾とほぼ一致している。「科学のルネサンス (the Renaissance of science)」ないし「科学ルネサンス (scientific Renaissance)」といったものを特定できるのか、またそもそもそれを「ルネサンス」概念に結びつけるのがよいのか、等については、私はやや否定的である。またベーコンが数学的科学的理解していなかったことは周知で、ここにケプラーと並べることに疑問は残る。しかし、一五世紀中期から一七世紀初頭までの、つまりレギオモンタヌスからケプラーまでの天文学の展開が、それ以前のものとは異なり、しかも一七世紀のいわゆる「科学革命」とも区別されるべき独自のものであるとの主張には、賛同することができる。レギオモンタヌスが一四六四年の講演で数学的科学的復興を高らかに宣言し、以来、コペルニクスからティコ・ブラーエそしてケプ

ラーにいたるまで、スコラ学とはほとんど無縁のところ、精密な観測にもとづき込み入った計算によつて論証される新しい科学としての天文学が形成されていったのであり、ひいてはガリレオやボイラーやニュートンに先んじて世界と学問の見方の転換がなしとげられたのである。

実際、天文学と地理学の変革は、大学教育を受けつつも、なおかつ人文主義の洗礼をも受けてスコラ学にたいする批判をも身につけた人たちのなかから、観察や測定的重要性を認め、みずから天体観測や土地測量のための装置や計器を設計・製作し、観測にたずさわり、フィールド作業に従事する者たち——いわゆる数学的技能者たち (mathematical practitioners) ——が中央ヨーロッパに輩出することで達成されたのである。

■ もともと天文学は、古代ギリシャの哲学や西欧中世のスコラ学の伝統からすれば特殊な学問であった。それは古代でほとんど唯一の精密数理科学であり、古代・中世をとおして、計算による定量的予測や観測による検証の可能な唯一の仮説検証型の実証的学問であった。というのも、近代ヨーロッパにおける天文学のルーツは古代メソポタミアそしてエジプトあたりに求められるが、その時代の天文学は、宗教や農事に必要とされた暦算のための、あるいは初期の星占いをふくむ占星術のためのデータを供給する実学であったからと考えられる。

それがギリシャに伝えられたとき、プラトンやアリストテレスの思弁的な学問の洗礼を受けるが、それでも実学としての性格を失うことはなかった。それゆえ、天あるいは宇宙についての学問は、哲

学的な宇宙論と数学的な天文学の二つに分裂した流れで遂行されることになった。学のも方法も、またその正しさの判定基準もその両者で異なっていた。ひらたく言えば、前者の宇宙論は定義と論証にもとづき恒星天と太陽系全体——つまり当時の宇宙全体——の構造を説明する学問であり、後者の天文学は暦算や占星のために観測と計算にもとづいて天体の運動を予測する技術であった。前者は、地球をとりまく諸惑星と恒星天に剛体的地球をわりあてるアリストテレスの宇宙像にその集約的表現を見いだした。それはアリストテレス自然学の壮大な体系の一部を形成する、ある意味で整合的体系であったが、惑星運動の定量的な予測においてはきわめて劣っていた。他方、後者は、古代天文学の最高到達地点としてのヘレニズム期のプトレマイオスの『数学集成』^{*2}において、離心円・周転円モデルという数学的に精巧で予測能力に秀でた体系に仕上げられたが、その離心円や周転円という数学的デヴァイスの自然学的身分は不明確であった。前者の正しさは、用いる言葉の正確さと論証の厳密さに求められ、後者の正しさは観測との一致に求められた。

しかしその分裂は並列的なものではなく、実際には、古代より近代初頭にいたるまで、自然学の原理にもとづいて厳密に論証される宇宙論は上位にあり、不正確で主観的と見られていた観測と経験にもとづく天文学はその下位に置かれていた。しかし両者は、土・水・空気・火の四元素からなる月下

*2 プトレマイオスの『数学集成』は、藪内清による邦訳や Toomer による英訳 (*Almagest*) のように、通常はそのアラビア語訳の標題より『アルマゲスト』と記されている。しかし本書ではその原義に忠実に『数学集成』とする。巻末の注記で文献の頁を指示する場合も同様。

の世界と第五元素エーテルよりなる天上世界を区別する二元的世界像を基本とする点においても、また地球を世界の中心に静止させ、天の物体すなわち月や太陽をふくめ惑星や恒星のおこなう運動はすべて円であるとする点でも一致していた。そのことは、下位の天文学が上位の宇宙論に従属し、上位の原理としてのアリストテレス自然学の原理に拘束されていたことを意味する。

西欧がイスラム社会經由で古代ギリシャの学芸を再発見した一二世紀ルネサンスとその後の大学の創設は、たしかに西ヨーロッパに新たな知の覚醒をもたらした。しかしそこでの教育や研究は、古代の文献や初期教父の書き残した文書の積義に終始していた。中世の大学について書かれた書物によれば、医療実践と不可分なはずの医学でさえ「神学や法学と同様に書物で研究された」とある。¹³⁾「あるテキストのなかで薬草と指摘されている草の名称について疑問が起こると、その疑問は、この草なのか別の草なのかを実際に試し検証することによって解決されるのではなく、いろいろなテキストや典拠を注釈し比較検討したり、言葉について論議したりして解決される」のであった。¹⁴⁾

中世後期には、オクスフォードのマートン学派やパリのビュリダンやオレームたちは、アリストテレス運動論にたいする批判を数学的に展開していた。しかしそれらは、しばしば恣意的な想定にもとづく純粹に形式的で仮説的な議論——論証のエクササイズ——であり、その仮説的な結論を「実在」世界に照らして検証するということは、ほとんどおこなわれていなかったし、興味も持たれていなかった。¹⁵⁾そして論証にもとづく哲学的宇宙論と観測にもとづく数学的天文学の分裂も引き継がれた。思弁的な宇宙論は、数学的天文学における周転円や離心円といった人工的な数学的概念のプラグマティ

ツクな使用を哲学的に根拠づけられないものとして批判し忌避していた。そのうえ当時の数学教育のレベルでは精密なプトレマイオス天文学の高みを理解しうる者がきわめて少なく、西欧では数学的天文学も観測天文学も衰退を免れなかった。

それだけに、一五世紀の後半にポイルバッハとレギオモンタヌスは数学的で精巧なプトレマイオス天文学とともに、天体観測の伝統をも西ヨーロッパに復活させた。それは、その時代に拡大する遠洋航海、そしてなによりもルネサンス期に隆盛をむかえる占星術のためのものであり、天文学者はそのために必要なエフェメリデス（天体位置推算暦）やカレンダー（暦）を作成し自身で印刷した。この時代になっても、天文学は実学としての性格を色濃く残していたのである。

したがって当時の天文学の担い手の多くは、学者というよりは、数学に精通し、しかも観測にたずさわる実務的な技能者 (practitioner) であった。彼らは、自身で観測機器を設計し、製作し、操作し、計算し、必要なら三角関数表を作成し、そして占星術にもかかわっていた。実際、レギオモンタヌスは、一方では天体観測やエフェメリデスの製作にたずさわりながら、他方では都市の裕福な商人と提携し新興産業としての印刷出版業に参入するベンチャー起業家であり、同時に占星術の理論家としても知られていた。レギオモンタヌスの師であるウィーンのポイルバッハは、大学ではラテン文学を講じる人文主義者であったが、同時に占星術師として君主に仕えていた。ポーランド人のコペルニクスはイタリアの大学で教育を受けたものの、当時の学問の中心からは遠く離れたポーランドの最北の地で、聖堂参事会員つまり教会組織の行政官としての生涯を終えた。ネーデルラントのゲンマ・フリシ

ウスは大学では医学を講じたが、実用数学の書を著し、三角測量の原理を考案し、天体観測機器の改良に努め、地球儀や天球儀の製作でも知られる。デンマークのテイコ・ブラーエは、封建貴族として居城に観測基地を建設し、生涯を天体観測と観測機器の改良に捧げた。ルターとならぶ宗教改革の指導者でヴィッテンベルク大学のギリシャ語教授フィリップ・メランヒトンは、大学教育の改革に力を発揮したが、それは実用数学と天文学を重視するものであり、かくしてヴィッテンベルク大学は、ドイツにおけるコペルニクス理論の通関所となった。そして聖職者になりそこねたケブラーは最初は州数学官、のちには宮廷数学官と呼ばれる仕事についていたが、それはようするに占星術師のことであり、年毎の暦の作成と占星術的予言を職務としていた。大学に籍をおくペトルス・アピアンヌやセバステイアン・ミュンスターのような人物も、著書の執筆だけではなく自身で印刷にたずさわり、観測機器を製作し使用マニュアルを作成し、日時計の製法や商業数学の書を著し、地図の作製ではフィールドに出て探査と測量に従事している。

こうして営まれた天文学や地理学は、経験的かつ数学的であり、中世のスコラ学はもとより中世末期のスコラ学内部におけるアリストテレス自然学批判とも一線を画していた。この時代の最大の観測者テイコ・ブラーエは、一五七八年に「アリストテレスとその追隨者たち」の誤りを指摘している。

彼らは、その「天にかんする」見解や知識を経験や注意深く考察された数学的な観測からではなく、むしろ頭のなかで考えた手の込んだ議論のなかから導きだすのであるが、このような「天文学上の」

問題では、それでは真理に近づくことはできない。かかる真理はむしろ適切な装置による観測でもって明らかになり、信じることのできるものは三角形の科学「数学」によって証明されるのである。⁽¹⁶⁾

かくして新しい天文学は、宇宙と自然にたいする新しい見方を生みだしただけではなく、観測と計算にもとづく新しい研究の方法を作りだし、自然に法則を読み取るという新しい研究の目的を設定した。ポイルバツハとレギオモンタヌスからコペルニクスとティコ・ブラーエをへてケプラーにいたる一世紀半の過程は、古代天文学の復活から太陽中心説にもとづく惑星運動の正確な法則を見いだすまでの過程でもあれば、自然科学的・哲学的宇宙論と数学的・技術的天文学の垣根が壊れ物理学的天文学が形成される過程でもある。

■ コペルニクスによる地動説の提唱は、たんに地球中心の世界像から太陽中心の世界像への転換というだけのことではない。それだけなら観測と記述のための座標系を変換しただけのことであって、相対的なものにすぎない。決定的な点は、地球を惑星に仲間入りさせたことにある。つまり地動説は、地上世界と天上世界は別種の物質からなり別種の法則の支配する別世界であるという、それまでのアリストテレス自然学と宇宙論全体の基本的枠組みに根本的に抵触している。したがって天文学が地動説を正しい太陽系像と主張することは、下位に置かれていた数学的天文学が上位に置かれていた哲学的自然学の原理を否定することであり、それまでの学問の序列を転倒させることであつた。そして同

時に、この重くて不活性に思われる地球の運動の自然学的原因がなんであるのかというまったく新しい問題を提起することもあった。

しかしコペルニクス自身はそのこの意義を十分にはわきまえてはいなかった。実際コペルニクス畢生の名著、一五四三年の『天球回転論』——以下『回転論』——は、天文学の転換点に位置するが、しかし旧来の自然学の概念で語られている。そのことを象徴しているのが、コペルニクスも囚われていた天体の円軌道と一樣運動というドグマであり、その円運動を生みだす剛体的天球という旧来の概念であった。コペルニクスはそれまで天の世界にのみ認められていた円運動を地球にたいしても負わせることで、過去の哲学の權威を受け容れ、あたらしい自然学の構築を先送りしてしまった。

その限界を越えたのは、ひとつには一六世紀後半のクリストフ・ロスマンとティコ・ブラーエによる剛体的天球の破棄であり、いまひとつには一七世紀初頭のケプラーによる楕円軌道と面積法則の発見、すなわち惑星運動の円形性と一樣性の放棄であった。二〇世紀の哲学者でもととは物理学者であったRussell Hansonは「コペルニクスの仕事は『プトレマイオスの』『数学集成』において案出された機構を再編成し鍛えなおしたものと見なしうる」のにたいして「理論天文学の歴史においては、ヨハネス・ケプラーはニュートン以前の巨人として屹立している」と評している。というのも「一六世紀にいたるまで、天文学は二つの原理、すなわち地球中心原理と円形性原理に依拠してきた」が、一方の地球中心原理には、古代にも異論があった。一五世紀にはニコラウス・クザーヌスも語っている。「しかし円形性原理は違う。天文学は二千年にわたってそれを疑問視したことはなかった」からであ

る。¹⁷

実際、プラトンやアリストテレス以来、天体運動は等速円運動であると牢固として信じられていた。一六世紀のコペルニクスやティコ・ブラーエにいたるまで、惑星の軌道は円ないし円の組み合わせであった。一五七二年に生まれたイングランドの詩人ジョン・ダンは、一方では「新しい学問が太陽を停止させ、受動的であるはずの地球にそのまわりを回れと命じた……」と謳い、地動説への理解を示している。しかしその後、「完全な運動は円を描くものだ」と続けている。一六〇九年のことである。そのおなじ一六〇九年にケプラーは火星の軌道を論じた『新天文学』において、惑星の軌道が楕円であるとするケプラーの法則（第1法則）を公表し「円運動の原理」を葬り去った。のみならず、そのことの持つ意義をケプラーは自覚していた。『新天文学』第一章冒頭には語られている。

諸惑星の運動が円形であるということは、その「運動の」永続性でもって確かなこととされている。その周回が完全な円であるということは、理性が経験にもとづいて短絡的に推論したことである。というのも、さまざまな図形のなかでは円が、さまざまな物体のなかでは天体が、もつとも完全と考えられているからである。しかし、注意深く観察する者にとつて経験がそれとは異なるように教えるならば、つまり、諸惑星「の運動」が単純な円形軌道から逸れていることを教えるならば、そのことは非常な驚きをもたらすことになり、そのことによって人は、ついにはその原因の追究へと促されるのである。¹⁸

円運動に囚われているかぎりで、惑星運動の原因はそれほど深刻な問題にはなりえない。しかし円運動を放棄すれば、原因の問題は避けられなくなる。のちにケプラーはおのれのなしたげた成果を『ルドルフ表』の「序文」で、あらためて「天文学全体の虚構の円から自然的原因への思いがけない転換 (translatio inopinabilis ab circulis fictis ad causas naturales)」と総括している。⁽²⁰⁾ 円軌道の放棄、つまりは対称性の破れの発見が、その物理学的な原因の追究へと向かわせるという二〇世紀物理学の見慣れたシーンが、ここではじめて演じられたのであった。このことへの先見性を見るには、二〇世紀の物理学者 Richard Feynman の三百年後の指摘と読みくらべてみるとよい。

私たちの心のなかには、対称性のある種の完全性と受け取る傾向がある。実際それは、円が完全であるというギリシャ人の古い観念に似ている。惑星軌道が円ではなく近似的にしか円ではないということを感じるのには、どちらかというところ恐ろしいことであつた。円であるということと近似的に円であるということとの差は、小さな差ではない。それは、考え方にかんするかぎり根底的な違いがある。円には完全性と対称性が顕われているが、円からわずかでも歪めば、途端に完全性と対称性はなくなってしまう。……惑星の現実の運動がもしも完全な円だったならば、説明しなければならぬことは何もないのである。それはまったく単純なことである。しかし、実際には近似的にしか円ではないのだから、説明すべきことが数多くあり、その結果は重要な動力学上の問題となる。⁽²¹⁾

こうしてケプラーは、私の前著『磁力と重力の発見』で詳述したように、磁力という古代以来知られてきた魔術的な遠隔力に導かれて、天体間に働く力という決定的な概念に到達した。

ケプラーは、楕円軌道の発見にいたる火星相手の苦闘の過程で、東フリースラントの牧師ダーヴィッド・ファブリキウスとたえず連絡をとっていた。ファブリキウスは知識も理解力もあり、率直な人柄で、ケプラーは彼に研究の進捗状況を逐一報告していた。実際、ファブリキウスはこの時点でのケプラーの数少ない理解者の一人であった。

ケプラーが楕円軌道に到達したのは一六〇五年の春ごろと考えられているが、その年の一〇月のファブリキウスへの長文の手紙でケプラーは惑星の軌道が「完全な楕円」であると自身の発見を通知している。⁽²²⁾ケプラーによる楕円軌道のはじめての表明である。これにたいする一六〇七年一月のファブリキウスの手紙には「天空における火星の運動があなたの新しい仮説にすべての点で合致していることはわかりました」と認めたらうで、異論を唱えている。

卵型ないし楕円によってあなたは運動の一様性と円形性を抹殺 (colere) されましたが、私にはそれは何にもまして、この先の考察には不都合のように思われます。……もしも完全な円を維持しつつ、他の小円を用いることで楕円を回避することが可能であれば、そのほうがより適切でしょう。運動を救う(惑星の位置を予測する)ことができるだけでは十分ではなく、同時に、自然の原理からの逸脱が

もっとも少ない種類の仮説と組み合わせるべきでしょう。⁽²³⁾

これにたいしてケプラーは、同年八月の手紙で端的に応えている。

惑星の運動が導きだされるべき原理が堅持されなければならないという点では、小生はあなたとおなじ意見です。唯一の違いは、その原理があなたにとっては円であるのにたいして、小生にとっては物力的な力だということです。⁽²⁴⁾

ケプラーは、二千年にわたる円軌道のドグマから天文学を解放することにより、同時に、天文学を、たんに惑星の運動を幾何学的に記述するだけではなく、力概念にもとづいて因果的に説明する、すなわち動力学として展開すべきことを提唱したのである。ケプラーの『新天文学』の副題が「傑出したティコ・ブラーエの観測に基礎をおく、火星の運動にかんする注解でもって語られる、天体の物理学 (Physica Coelestis)」とあることは象徴的である。^{*3}

その過程を哲学者 Ernst Cassirer が簡潔に総括している。

近代初頭、ポイルバッハとレギオモンタヌスが幾何学的な考察様式と自然学的な考察様式を調停しようとしたが、この調停は、統一的で具体的な考え方を提示するようにはみえたものの、二つの見

方の欠陥を原理的に克服するにはいたらなかった。したがって、現象のたんなる「記述」への要求とその因果的「説明」の問題は、いまだ媒介されないままに対立していた。この二つの課題を論理的に厳密に区別するすべを心得ており、みづからの科学的業績によってそれを始めて統一的に理解したのは、ケプラーである。⁽²⁵⁾

レジオモンタヌスからケプラーにいたるまでの一世紀半で、ヨーロッパは物理学的天文学、ひろくは数学的自然科学というものはじめて創出した。その過程は、世界の見方としての地球中心の宇宙像から太陽中心の天文学への変革であるとともに、手作業による観測機器の製作、何年にもわたる継続的天体観測、そして桁数の多い数の膨大な計算、等の中世の大学ではあまり目にする事のなかつた職人的・商人的作業をベースとする、そして観測によりその正否が判定される、まったく新しい自然研究のあり方を生みだした。それはまた、観測と計算にもとづく天文学を定義と論証にもとづく自然学の上位に置くことで、過去の学問的序列を転倒させ、それまでの定性的な自然学を数学的な物理学に書き換え、物理的天文学すなわち天体力学という観念を生み出す過程でもあった。すなわち、天

*3 ラテン語の *physica* とその英語の *physics* は、アリストテレス以来の「自然学」と、現代の「物理学」の双方に用いられる。通常、古代以来の非数学的なものには「自然学」、現代の数学的なものには「物理学」の訳語が宛てられている。ケプラーがはじめてそれまでの非数学的自然学を数学的なものに改めたのであり、その意味でケプラーのものから *physica* にたいして「物理学」の訳語を用いる。

文学における認識の内容、真理性の規準、研究の方法、そして学問の目的、そのすべてを刷新する過程、端的に「世界の見方と学問のあり方の転換」であり、こうして一七世紀の新科学を準備することになる。

本書は、一五世紀中期から三十年戦争にいたるまでの、北方人文主義運動と宗教改革を背景として中部ヨーロッパを舞台に一世紀半にわたって展開された天文学と地理学、総じて世界認識全般、の復活と転換の物語である。それは前著『一六世紀文化革命』を補完するものとして、一六世紀文化革命と並走しておこなわれた天文学の改革の一部始終を追跡するものである。それはまた、私が『磁力と重力の発見』第3巻で記述したケプラーからニュートンにいたる万有引力発見の物語の前史を明らかにするものでもある。なぜ、そしてどのように西欧近代において科学が生まれたのかを問題意識にはじまった探索は、『磁力と重力の発見』『一六世紀文化革命』とあわせて三部作を形成する本書でもって、一応の完結を見ることになる。

なお、第1章では古代の宇宙論と天文学、そして西欧中世におけるその受容に簡単にふれるが、それは一五世紀に西ヨーロッパで復活した天文学が古代天文学のなにを継承し、なにを革新したのかを明らかにするためであり、古代から近代までの歴史を語るのが目的ではない。

以下の記述について

- (1) 本書の他の章と節を指示するときには「Ch.〈章番号〉.〈節番号〉」で記す。
- (2) 引用文中の強調は、とくに断らないかぎり山本による。
- (3) 頻繁に参照・引用する文献を注記するさいの略記号は、巻末のリストに記す。
- (4) 現代の文献を注記するときには、それが何年に公表されたものであるのが重要ゆえ、参照または引用したものが翻訳等の後からの版であっても、最初に公表された時の年代で記す。たとえば、Ernst Zimmer の『レギオモンタヌス伝』は、一九六八年にドイツ語で出版され、一九九〇年に英訳が出された。本書では一九九〇年の英訳版に依拠するが、たとえば引用箇所が英訳版の80頁の場合、注記にあたっては、Zimmer (1968), p. 80と記す。そのさい、参照または引用した版は、第3巻巻末の文献リストに Zimmer, 1968, 英訳 *Regiomontanus: His Life and Work*, tr. E. Brown (North-Holland, 1990) のように明記する。
- (5) 本書は『磁力と重力の発見』『一六世紀文化革命』とあわせて三部作を構成し、その第三部にあたるが、西欧とイスラム圏の人名と地名の表記については、前二著と若干の異同がある。