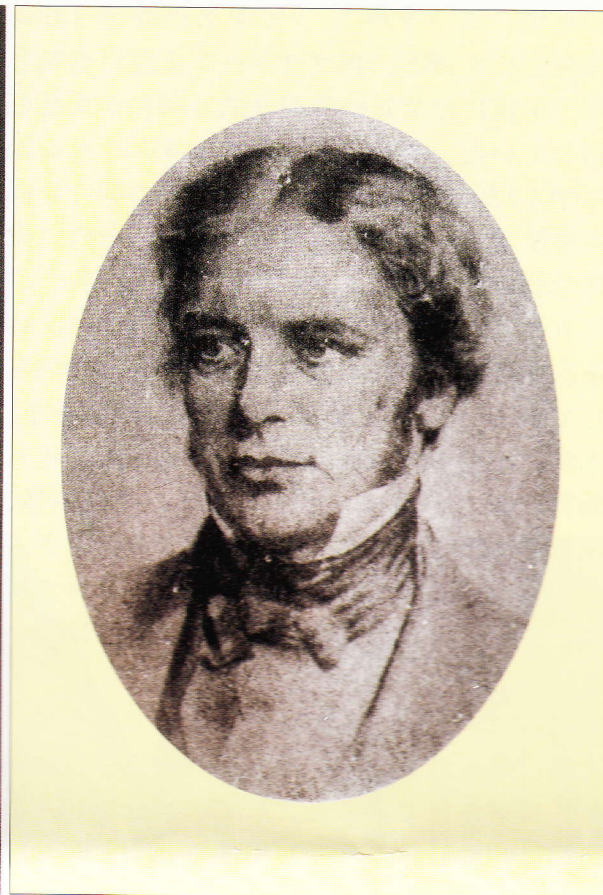


「科学の道」 2003.

科学的思考の背後にあるもの



ヨハネス・ケプラー（1571年ヴァイル・デア・シュタットに生まれ、1630年レーゲンスブルクに没す）



マイケル・ファラデー（1791～1867年）

1. はじめに

もう30年近く前のことになるが、理論物理学の国際会議が、幸いインドのカルカッタで開かれて、佛跡を巡り、かの地の仏像を拝む機会に恵まれたのだった。その折、釈尊の像が多いのは当然のこととして、そのほとんどが、成道を控え、右手で大地に触れて、地母神を呼ぶ、いわゆる、触地印（降魔印）の印相に造られているのを知り、深い印象を受けたのであった。さすが仏教誕生の地と言わなければなるまい。悟りをひらかれた釈尊はもちろんありがたいが、成道の予感に胸打ち震わせたであろう釈尊に、何か懐かしい親しみを覚えてしまう。我が国には、この印相の釈尊像が見当たらないのは寂しいことだ。

出来上がったものよりも、そこに至るまで

に心惹かれる。創造の秘儀を垣間見たいと願う。いつの間にか身にしみついてしまった性ととも言うべきだろうか。

さて、それでは、科学者のアイディアはどこから生まれるのであろうか。その源泉はいずこに求められるのであろうか。自然科学における創造の過程に迫るため、ここでは、先ず、ドイツの天文学者ケプラーの仕事を振り返ってみよう。

2. ケプラー

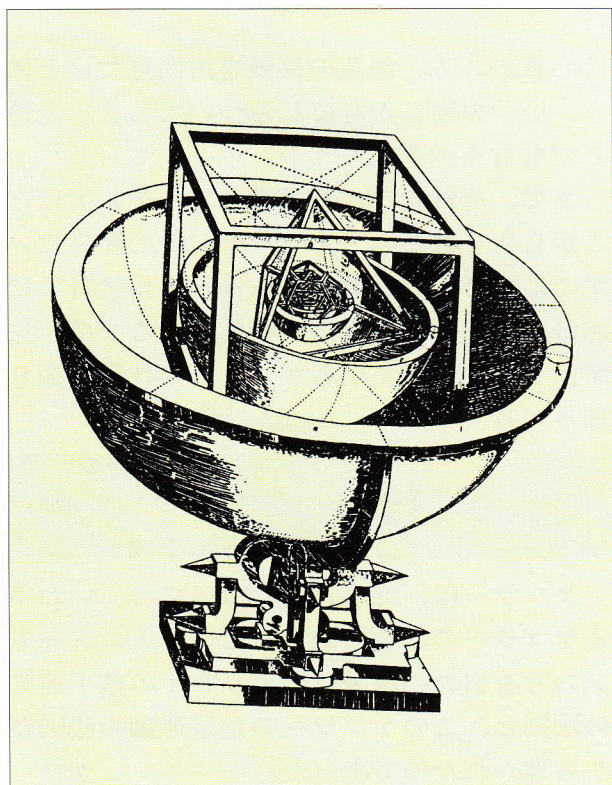
ケプラーは、惑星運動についての、いわゆるケプラーの法則で知られている。ニュートンの万有引力の仮説は、ガリレオの落下運動の法則と、このケプラーの惑星運動の法則とから導かれたのであった。

ケプラーは、チュービンゲン大学に学んで

いた頃、ニコラウス・クサヌスの著書『知ある無知』を読み、新プラトーン主義に共鳴して、宇宙には美しい幾何学的な調和があると信じていた。そして、大学の師メストリンから学んだ、地動説によれば、太陽の周りを回る惑星は六つであることに注目し、それに幾何学的な意味を与えようとする。

五つしかない図形、それは正多面体だ。いま、惑星は、それを載せた球面とともに回転しているとして、水星、金星、地球、火星、木星、土星の各球面の間へ、それぞれ、正八面体、正二十面体、正十二面体、正四面体、正六面体、を嵌め込んでみよう。そのとき六つの軌道球面の半径の比は、コペルニクスによって与えられた値とほぼ一致するではないか。

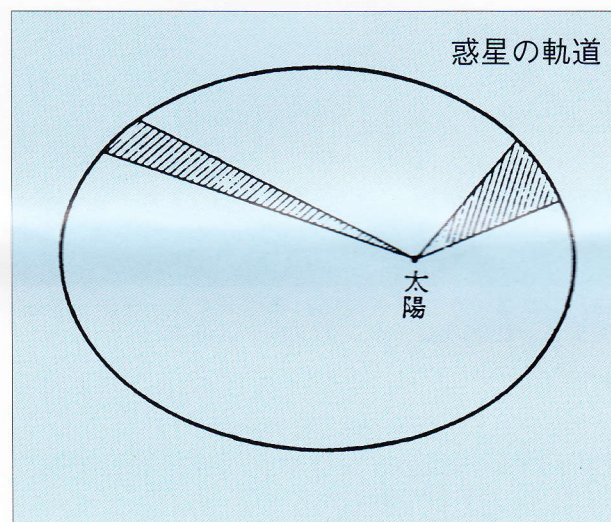
これは、ケプラーが、グラーツで教えていた頃に著した処女作、『宇宙誌的神秘』（1596年）に記されているところで、自分の好みを自然に押し付けようとしていると言っても言い過ぎではあるまい。



「宇宙誌的神秘」における、ケプラーの宇宙系

ブラハへ移ったケプラーの前に、皇帝ルードルフ二世に仕えていた、デンマークの天文学者ティコ・ブラーエの精密な観測資料が積まれる。そして、数的調和と観測資料との、永く、厳しい闘争は、第二の主著『新天文学』（1609年）に、いわゆるケプラーの第一法則、第二法則として結晶する。

- 1) 惑星の軌道は、太陽を焦点とする楕円である。
- 2) 惑星の速さは、太陽からの距離が近いときほど速く、遠いときほど遅く、太陽と惑星とを結ぶ線分は、同一時間に、常に、同一面積を掃く。



ケプラーの第一、第二法則

ケプラーこそ、天文学を物理学として捉え、天体の運動を力学によって説明しようとした最初の人であった。なるほど、彼の力学は完成されたものではなく、力についての仮説も正しくはなかった。しかし、彼以前の人々には、それが天動説の人であれ、地動説の人であれ、天文学はあくまでも幾何学であった。天体は、本性として、一様、連続、永遠な、等速円運動を行うものとされ、その運動に力学的な説明が必要だとはまったく考えられていなかったのである。そして、天文学を幾何学とみなす限り、円以外の軌道や、速さが一様ではない運動を導入することは不可能であったろう。

惑星の運動は、円軌道から離れるとともに、等速運動からも別れを告げた。しかし、そこには、力学に支えられた新しい調和が見出される。そして、太陽も、宇宙の幾何学的中心から、力学的中心へと変貌するのである。

このような、天界も月下の世界と違ったものではなく、同じ力学に従うとする、ケプラーの考えにも、汎神論的な新プラトーン主義の影響を見ることができる。ニコラウス・クサヌスによれば、例えば、円も、その半径を無限に大きくすれば、直線と一致するように、感覚や理性には反対に見えるものも、より上位の叡智により、無限なるものの展望の下に見れば、一つのものである。このような反対の一致という立場からは、天界も月下の世界と一つのものであり、どちらの運動も同じ力学によって説明されなければならないであろう。そして、楕円も、また、本質的には、円と変わりはないのである。

さて、ケプラーの第一、第二法則は、個々の惑星についての調和であった。残された問題は、諸惑星相互の間に存在すべき調和を見出すことでなければならない。すでに、ティコ・ブラーエの観測資料と対決し、経験的なものによって鍛えられたケプラーは、自信に満ちて、彼の故郷、数的調和の世界へ帰って行く。

彼は、数的な調和を、調和音を発する弦の長さの比として捉える。例えば、ドミソは長三和音で、ドミの音程は長三度だが、長三度の音程は、振動数で4:5、弦の長さで5:4の比をなしている。諸惑星の間に協和音程の美しい整数比を持つ関係を探し求め、ついに、ケプラーは、第三法則に到達するのである。

3) 諸惑星の周期の2乗は、太陽からの平均距離(楕円の長半径)の3乗に比例する。

この法則は、ケプラーがリンツで教えていた頃に著した、第三の主著『世界の調和』(1619年)に記されている。

このように、ケプラーには、幾何学ばかりではなく、音楽についての素養もあったこと

を忘れてはなるまい。彼が、ガリレオの父、ヴィンチェンツォ・ガリレイの著した、『古代と現代の音楽についての対話』を読んでいたことも知られている。

アインシュタインの言葉を引用しよう。「ケプラーの驚異的な功績は、知識が経験から生まれ出るものではなくて、ただ知性の発見したところを、観察された事実と比較することからのみ得られる、という真理の、とくに美しい例証である」。



ケプラーの生家(シュトゥットガルトの西約30km、ヴァイル・デア・シュタットにある)

3. ファラデー

もう一人、イギリスの化学者にして物理学者、ファラデーについて考えてみよう。

ファラデーが、1831年、電磁誘導を発見したことはよく知られている。永久磁石を、コイルの中へ差し込んだり、引き抜いたりするとき、電流が流れるのを発見したのであった。すなわち、磁気から電気が生じたのである。

ファラデーは、電磁誘導の外にも、1833年、電気分解の法則、1845年、いわゆるファラデー効果（磁場による光の偏光面の回転）や反磁性（常磁性とは逆に、磁石を近付けると、引き寄せられる向きにではなく、斥けられる向きに磁化する性質）など、多くの重要な発見を成し遂げた。ベンゼンを発見し、それが炭素と水素との化合物であることを確かめたのもファラデーであった（1825年）。「彼は真理を嗅ぎつける」と言われたのもっともなことであろう。

ファラデーは、自然界のさまざまな力は互に関係し合っている、という強い予想を抱いていた。先に、1820年、デンマークの物理学者エルステッドは、電流の流れている針金に、磁針を近付けると、それが振れることを発見していた。すなわち、電気から磁気が生じていたのである。したがって、電気から磁気を得られるならば、磁気から電気も得られるに違いない。これが電磁誘導であった。そして、光と磁気との関係を求めたのが、ファラデー効果であった。

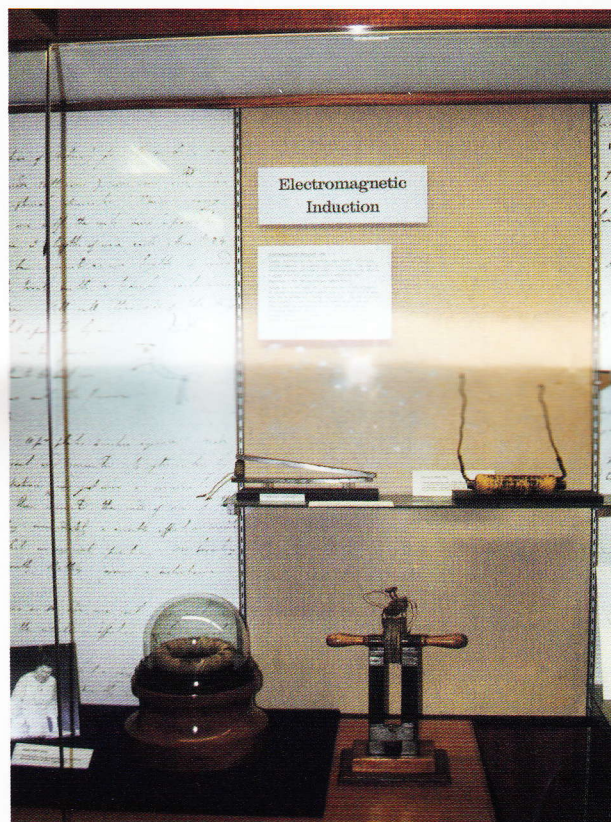
彼は、なお、重力と電気との関係をも見出そうと試みたのだが、結果は否定的であった。しかし、理論や実験の進歩とともに、この予想の肯定される時が来るかもしれない。

さらに、ファラデーは、これら電気、磁気の研究を通して、場の概念に導かれ、そして、それを発展させていったのであった。

いま、例えば、砂鉄を紙の上に撒き、下に磁石を置くと、砂鉄は二つの磁極を結ぶさまざまな曲線を描いて並ぶことはよく知られて

いよう。これは、磁石の周りの空間には、磁力が潜在していることを示している。このような空間は磁場と呼ばれる。同じように、電気を帯びた物体があれば、その周りには電気力が潜在していて、電場が形成される。

このような場の概念の導入は、空間の概念にも変革を齎す。空間は、もはや、単なる延長、広がりではなくて、場の担い手となる。幾何空間から物理空間へと変貌するのである。



ファラデーが電磁誘導を発見した実験装置（ロンドンの中心街ピカデリーに近い、王立研究所にはファラデーの実験室をはじめ、彼の実験装置や実験日誌が展示されている）

4. 科学者のアイディアの源

さて、それでは、科学者のアイディアの源は何であろうか。それは、大きくは、彼らの世界観に深く根差しているのではなかろうか。ケプラーは、宇宙の幾何学的な調和と力学的自然観とに導かれ、ファラデーは、諸力の関連と場の概念とに導かれたのであった。

それに、科学者のアイディアは、細かくは、それぞれの分野における技術的なものであることはいうまでもないが、それもまた、ケプラーにおける正多面体や和音のように、彼らの世界観を支えている、広い範囲の、さまざまな知識から生まれ出るように思われる。ファラデーも、彼の言葉を借りれば、人が聞けば気が狂ったのではないかと思うであろうほど、あまりにも異常なところまでも思いを及ぼしたのであった。

そして、世界観の形成には、思想的風土とともに、自然的風土、生まれ、育ち、学んだ土地が、大きな要因をなすであろうことは疑うべくもない。

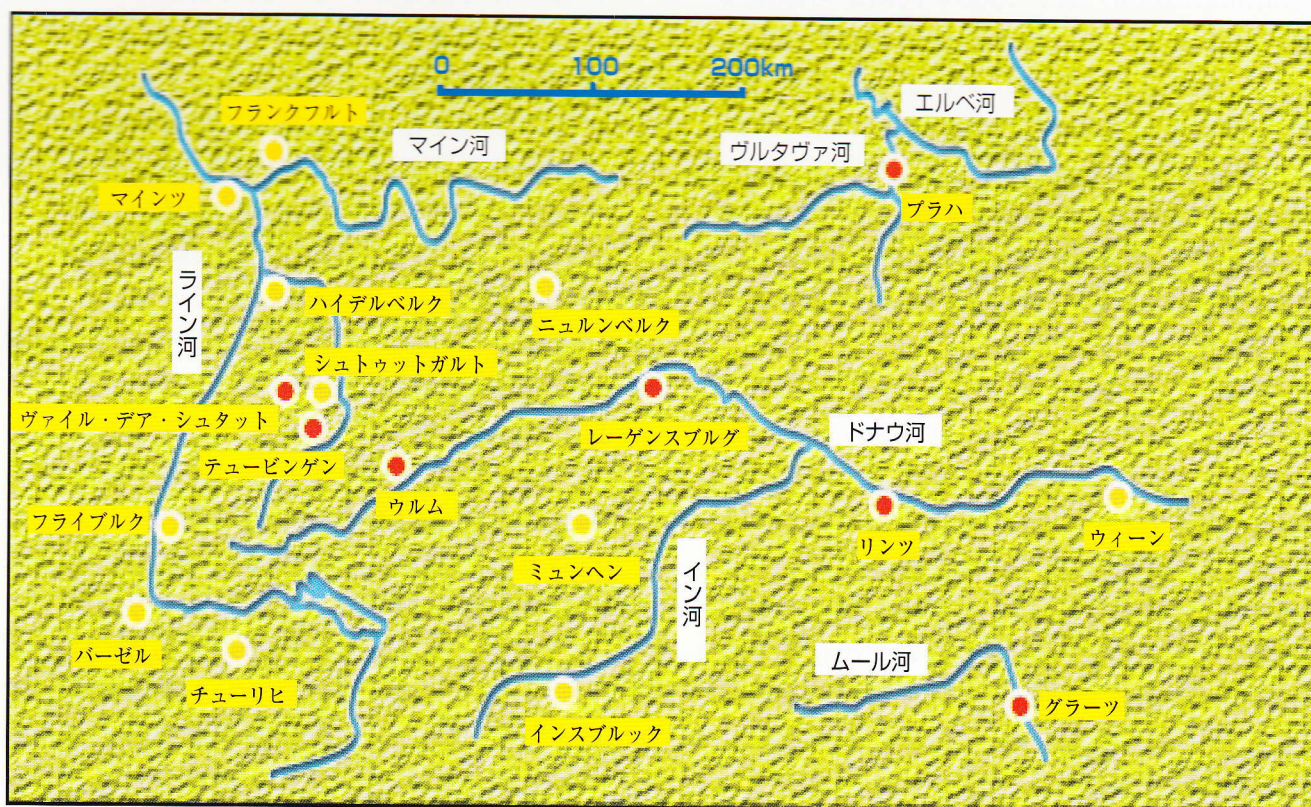
厳しい科学的思考の背後にも、それぞれの肌に触れた自然への親しみが息づいているのではなかろうか。空間のイメージをとってみても、やわらかく、潤いを帯びた私たち日本人の空間に比べ、乾燥した風土に住む人々にとっては、空間は実に透明なものであるかもしれぬ。

原子が空虚を運動する、原子論は、明るく、乾いた古代ギリシアに生まれ、場の理論は、湿潤なイギリスに生まれた。私たち日本の文化も、絵画の描かずに残された余白、語り芸の間など、時間、空間が大きな意味を持っているのではなかろうか。

5. おわりに

さて、この雑誌、SE117号には、「安全第一、品質第二、生産第三」という、USスチール社長ゲーリーの言葉が、福山郁生氏によって紹介されていて、深い感銘を受けた。先に基礎科学について論じたように、安全工学も、また、このような思想に支えられてこそ、それにふさわしいアイディアに恵まれ、社会に大きな貢献をなすことができるのであろう。

横浜国立大学名誉教授
理学博士 高野 義郎
(原案提供)



ケプラーゆかりの地 (●印)