

ニュートンの『光学』と錬金術：覚書

大野 誠

はじめに

第二次世界大戦直後にイギリスの経済学者ケインズが、ニュートン生誕300周年記念の学術集會に寄せた論文で述べた有名な言葉、すなわち「ニュートンは理性の時代を幕開けした最初の人物ではなく……、最後の魔術師であった」¹⁾は、確かに新しいニュートン研究の出発点になった。この言葉はニュートン手稿の検討に基づいていたが、その手稿は1937年に競売にかけられるまで、長らくポーツマス侯爵家に所蔵され、一般の歴史研究者が目にすることはできなかった。競売の結果、ニュートン手稿はイギリス国内だけでなく、イスラエルやアメリカ合衆国の図書館など世界に拡散したが、現在、その大半はマイクロフィルムに取められ、また一部はデジタル画像で公開されて、世界中の研究者が利用できるようになっている²⁾。この言葉にある「魔術」とは実質的には錬金術のことを指しているが、1970年代以降、ウェストフォール、ドップズ、フィガラらの研究によって、ニュートンによる錬金術研究の実態がある程度解明された。しかし、1990年代後半になって、ウェストフォールとドップズが、またその後フィガラも他界し、現在、ニュートン錬金術に関する研究は、ニューマンが孤軍奮闘しているもの³⁾、かつての活力を失っているように見える。国際的なレベルでの錬金術研究の最前線もニュートンからボイルに移りつつある。このような研究状況において、本稿はニュートン錬金術研究の再活性化を目指す。

最初にこれまでの研究成果の要点を確認しておこう。大まかに言えば、次の通りである。ニュートンの錬金術研究は、ケンブリッジ大学の数学教授に就任した1670年頃から始まり、ロンドンに定住し、ロイヤル・ソサエティの会長に就任する1700年代初期まで続けられた。ニュートンの錬金術に対する関心は、一時的な好奇心や気紛れからのものでも、隠居した学者の余技のようなものでもなく、むしろこれらとは逆に、学究として最

も充実した時期に持続的に行われた活動であった。ニュートンはトリニティ・カレッジの自室の一部を錬金術・化学の実験室にあて、各種の酸と金属を反応させたりするなど、多数の実験を行っていた。したがって、彼の錬金術への関心は、文書を読むという段階をはるかに越え、実践的なものであった。また、残された自筆の手稿の中には、手控えとして用いられた錬金術用語集があるほか、錬金術師の間だけで流通していたと思われる手書きの文書も存在する。上で述べた実験は、当時の化学実験と考えられるものを含むため、ニュートンが行っていたのは一種の化学実験であり、また物質観としても機械論の立場をとっているため、錬金術のような魔術とは無関係だとする研究者もいるが、ニュートンには「プリスカ・サピエンティア」(古代の叡智)を重視する態度が見られるし、生長や生命、あるいは光に関するニュートンの考えは、錬金術のなかに見られる思想と連続性があるとする見解もある⁴⁾。

本稿は原点に立ち返る形で印刷史料の点検から手稿へと話を移し、今後解明すべき点を指摘したい。具体的には、ニュートンの公刊された著作のなかで錬金術と最も関係が深いと考えてよい『光学』を取り上げる。最初に、この著作の成り立ちを見た上で、この著作に残されている錬金術・化学研究の痕跡を明らかにする。その後、ニュートンの「実験ノート」として知られる手稿の分析に移る。しかし、筆者による手稿の分析作業はまだ始まったばかりであり、現時点では全容解明に至っていないが、今後の研究にとって重要になるとと思われる知見も得られたため、本稿を「覚書」としてまとめることにした。

本稿の前提になるので、錬金術と化学の関係に触れておきたい。この時代において化学は主に病気治療のための薬剤調合に関する実践的な知識であり、一方錬金術は究極的には永遠の生命を可能にする「賢者の石」を化学実験によって得ようとする営みであった。両者は概念上、このように区別できるが、ニュートンが錬金術・化学研究に乗り出した17世紀後半のイングランドにおいて、化学と錬金術は、とりわけ実験においては重なり合っており、両者を明確に区別することはできない。とはいえ、錬金術には特有の知識観が随伴していたことも確かであり、ニュートンはそれを十分認識していた。次のような事例がある。

1676年4月26日にニュートンはオルデンバーグに送った手紙で、ボイルが同年の『フィロソフィカル・トランザクションズ』に報告した水銀の

処理方法を取り上げているが、これに関して彼は、「水銀をこのように浸透させる（孕ませる）方法については、それを知っている他の人たちが隠しておいた方がよいと考えてきたし、それは何か一層高貴なもの——つまり、もしもヘルメスのな著者達に真理があるならば、世界に大きな被害をもたらすために伝えることができないもの——への入り口であるかもしれないので、高貴な著者はその偉大な知恵により……沈黙を保つということを私は疑わない」と述べているのである⁵⁾。この事例は、ニュートンが公表する知識と隠秘な知識を区別し、後者に価値を置いていたことを示している。つまり、ニュートンも錬金術の「隠秘の術」の知識観を少なくとも自覚していた。

以下で見ると、ニュートンは現代化学の基礎にもなっている「物質の階層構造論」を構想していたが、この見方は薬剤調合の化学であるよりも、物質転換の様々な理論が提起されている錬金術研究から引き出されたと考えることができる。ニュートンがかなり長期にわたって持続的に行った化学反応を伴う実験は、今日の日からすれば「化学研究」にみえるが、この営みはニュートン時代にあっては「化学」というよりも「錬金術」に近かったので、本稿では広く「錬金術・化学」というべきものを簡単に「錬金術」と称する。これゆえ、たとえばニュートンの「物質の階層構造論」は、ニュートン以降の18世紀の人からすると、われわれと同様に、「ニュートン化学」の成果であろうが、本稿ではニュートンの錬金術研究の成果として扱う。

1. ニュートン『光学』の成立について

『プリンキピア』（1687年）の場合と比較すると、ニュートンのもう一冊の名著『光学』（1704年）の「成立過程はよくわかっていない」とされる⁶⁾。この状況は今でも基本的に変わっていない。『光学』の刊行に関わる新たな史料が最近発見されたというようなことはないからである。『光学』を刊行するに当たった経緯について、ニュートン自身は第1版への序文（1704年4月1日）で次のように述べている。

光についての以下の論述の一部は王立協会の幾人の方々の方々の望みにより1675年に書かれ、王立協会の書記に送られ、その会合で詠まれたもの

であり、その他は理論を完成するために約12年後に付け加えられたものである。ただし、第3篇、及び第2篇の最後の命題だけは散逸していた諸論文をその後まとめたものである。わたしが今まで出版を延ばしてきたのはこれらの内容について論争に巻き込まれるのを避けるためであり、友人たちのしつこい懇願が私を説伏せなかったならばもっと延ばしたであろう。⁷⁾

この引用に先行研究が明らかにしたことも加味すると、ニュートンの『光学』成立状況は次の通りである。

『光学』も『プリンキピア』と同様に、ニュートンが自発的に刊行を計画したわけではなく、フック、ライプニッツ、ホイヘンスらに対して自説の優先権を確保しようとして、また友人たちの強い勧めがあり、いわば外部との関係からやむを得ず出版した作品であった。これにかかわるのは、論争を少しでも避けようとして、ニュートンと対立していたフックの死(1703年)の翌年まで『光学』の刊行が延ばされたこと、加えて、第2版以降では光学に関係しないという理由で削除されたが、初版には曲線の求積法など2編の数学論文が付録として掲載されていたことである。なお、ニュートンに出版を勧めた友人とは、具体的には、ジョン・ウォリス、デヴィッド・グレゴリー、フランシス・ロバーツ、ファシオ・ド・デュイリエ、エドモンド・ハリリーであったことが今日では知られている。このうち、ファシオはニュートンの数学だけでなく、錬金術にも深くかかわった人物である。

『光学』の内容については、第3篇の後半を占める一連の「疑問」を別にすれば、新しいものはほとんどなく、1670年代の「光学講義」や複数の論文に基礎をおくものであった。なお、刊行段階で最終的には削除されてしまったが、1690年代には第4篇が計画されていた。「疑問」については、以下の表1に示すように『光学』が改訂されるたびに追加され、最終的にはその数が31になった⁸⁾。

表1. ニュートン『光学』の改訂版と「疑問」

改訂版	最終版 (= 4 版) による疑問
『光学』 英語初版 (1704年)	「疑問1-16」
同ラテン語版 (1706年)	「疑問25-31」
『光学』 英語2版 (1717年)	「疑問17-24」
同英語3版 (1721年)	些細な訂正のみ
同英語4版 (1730年)	些細な訂正のみ

* 出典 A. Thackray, *Atoms and Power* (1970), p. 12 による。

以上のように、ニュートンの『光学』は、二つの異なった時期に執筆されたものであった。すなわち、第1篇と第2篇（ただし、最後の命題を除く）は1670年代、第2篇の最後の命題と第3篇は1690年代以降であった。このことは、ニュートンの錬金術研究の痕跡が『光学』のどの箇所に見られるか、したがって、長期にわたるニュートンの錬金術研究のどの時期に注目してわれわれが分析を進めるかについて重要な手掛かりを与えることになる。すなわち、痕跡が第3篇に限られるのであれば、1690年代以降を重点的に検討すればよいし、そうでなければ1670年代から見ていかねばならない。

2. 『光学』における錬金術研究の痕跡

(1) 「疑問31」

ニュートンの錬金術研究の痕跡は『光学』第3篇後半の「疑問」、特にその31にはっきりと残されている。この「疑問」は、ニュートン自身が「疑問」(query)と断った上で、様々な自然現象を取り上げて、自分の解釈を示した箇所である。ニュートン以降の自然研究者は、重力の法則を確立したあのニュートンが解説を付けて研究テーマを提示してくれているのがこの箇所、後は自分たちで実験を工夫すれば何らかの成果が得られると考えた。このため、この箇所は『光学』の本論以上に、ニュートン以降の18~19世紀科学に広範な影響を与えた⁹⁾。このうち「疑問31」には化学現象に関わることが多数記載されているので、本稿はまずここを検討する。

これまでの研究成果から、それらは次の3点に要約される。

- (A) 粒子間力と物質の階層構造論
- (B) 能動的原理

(C) アンチモン

以下では、これらについて順次検討する。

(A) 粒子間力と物質の階層構造論

ニュートンによれば、「自然は、極めて自らに似かよっており、極めて単純であり、天空の物体の大きい運動すべてをこれらの物体を仲介している重力の牽引によって遂行し、物体粒子の小さい運動のほとんどすべてを、粒子を仲介している何か他の牽引能と反発能とによって遂行する。」¹⁰⁾として、天体という巨大な物体どうしの間には重力が働くように、微視的な粒子どうしの間には粒子間力が存在するのであった。この粒子間力の作用は次のようなものであった。

物質の微小粒子はある能力、性能、あるいは力をもっており、それにより距離を隔てて光の射線に作用し、それを反射、屈折、および回折させるだけではなく、相互間にも作用しあって、自然現象の大部分を生じさせるのではないか。¹¹⁾

そしてこの粒子間力は次のように化学反応を引き起こす。

潮解した酒石塩は、任意の金属の溶液中に注がれると、金属を沈殿させ、それを泥状にして液の底に落下させる。このことは、酸性粒子が金属によってよりも酒石塩によって強く牽引され、この強い引力によって金属から酒石塩に移っていくことを証拠だてているのではないか。同様に、硝酸による鉄の溶液が菱亜鉛鉱を溶解して鉄を遊離し、あるいは銅の溶液がその中に浸されている鉄を溶かして銅を遊離し、あるいは硝酸による水銀の溶液が鉄、銅、錫、または鉛の上に注がれると、それらの金属を溶解して水銀を遊離するとき、このことは硝酸の酸性粒子が鉄によってよりも菱亜鉛鉱によって一層強力に牽引され、銅によってよりも鉄によって一層強力に、銀によってよりも銅によって一層強力に、水銀によってよりも、鉄、銅、錫、または鉛によって一層強力に牽引されることを証拠だてているのではないか。¹²⁾

この粒子間力は「物質の階層構造論」と密接に関係していた。この理論

は、現代科学が物質の成り立ちを、原子→分子→……→目で観察できる物体と考えるのと同じ発想である。ニュートンによれば、原子に相当する硬い単純な粒子が集まり、次の階層の基本粒子を形成し、これらが複数集まって、さらに次の階層の粒子となる。このように述べている。

もし複合物体があるものに見出されるように、きわめて硬く、しかもきわめて多孔質であり、諸部分の単なる寄せ集めから構成されているならば、細孔のない、未だ分割されたことのない単純な粒子は、はるかに硬いはずである。なぜなら、このような硬い粒子が積み重ねられると、互いに数箇所の点でしか接触できず、したがってそれらは、粒子がそれらの間のすべての空間で接触していて、その凝集を弱めるいかなる細孔も空隙もない、一つの固い粒子を破壊するのに必要な力よりも、はるかに小さい力で分割されるはずだからである。¹³⁾

注目すべきは、ニュートンの階層構造には次のようにして粒子間力が働いていたことである。

物質の最小粒子は最強の牽引によって凝集しており、それよりも性能の弱いもっと大きい粒子を構成するであろう。そして、後者の多くが凝集して、さらに性能の弱いさらに大きい粒子を構成するであろう。このようにして何段階も経て、ついには化学における作用や天然物の色が依存し、凝集することによって感知しうる大きさの物体を構成する最大粒子に至って終わるのである。¹⁴⁾

酸に溶解した金属は少量の酸しか牽引しないから、それらの牽引力はそれらから小さい距離にしか到達しえない。そして、代数学において正の量が消えてなくなるところから負の量が始まるように、力学においても牽引がなくなるところから、反発能が続くに違いない。¹⁵⁾

18世紀後半に「点原子論」を唱えたボスコヴィッチは、明らかにこの箇所に着想を得て原子の中心から目で観察できる物体に至るまでを対象として、横軸を距離、縦軸を力の大きさとして、粒子間力の曲線を描いて見せた（もちろん、想像の産物である）¹⁶⁾。ニュートンは図に描くことまで

はしなかったが、もちろん同じことを考えていた。この発想と同様のものは縦軸を力でなく、たとえばポテンシャル・エネルギーにかえれば、現代の科学雑誌にいくらでも見いだせよう。この発想は、少なくともある範囲では実験によって検証できそうに思えた。たとえば、それはある段階の粒子に組み換えが起こる化学反応である。本節の冒頭の引用に述べられていたように、ニュートンは幾つかの酸と幾つかの金属の反応から、今日なら「イオン化傾向」を決めるような実験結果を報告している。化学反応は究極的には粒子サイズが粒子間力の相対的な順番を決める手掛かりを与えるものであった。

(B) 能動的原理

「疑問31」には自然界の秩序を構成する2つの原理について述べられている。それが、能動的原理 (active principle) と受動的原理 (passive principle) である。これらの用語自体は錬金術文書のなかでよく見られたものであったが、ニュートンは次のように述べている。

慣性力は受動的原理であり、それによって物体は運動もしくは静止を持続し、運動させる力に比例する運動を受けとり、さらに抵抗されると同じだけ抵抗する。しかし、この原理だけでは世界にはいかなる運動も存在しえなかったであろう。物体を運動させるには何か他の原理が必要であった。そしてすでに物体が運動している以上、その運動を保存するために、何か他の原理が必要であった。……それゆえ、われわれがこの世界に見出す運動の多様性が常に減少しつつあることを考慮すれば、能動的原理によって運動を保存し補充する必要がある。たとえば、重力という原因によって、惑星および彗星は軌道上の運動を維持し、物体は落下中に大きな運動を獲得する。そして、発酵という原因によって動物の心臓および血液は恒久的な運動と熱を維持する。地球内部は常に温められ、幾つかの場所では非常に熱くなる。物質は燃焼して輝き、山は噴火し、地の洞窟は爆発され、太陽は強烈な熱と光を保持して、万物をその光によって温める。このように、われわれはこの世界においてこれらの能動的原理のおかげをこうむっているもの以外の運動にはほとんど出会わない。そしてもしこれらの原理がなければ、地球、惑星、彗星、太陽およびこれらの中にあるすべての事物は、冷たくなり凍結し、無活動

の塊となるであろう。そして、あらゆる腐敗、発生、生長、および生命は停止し、惑星と彗星はその軌道上にとどまっていないであろう。¹⁷⁾

このように、ニュートンは能動的原理を運動の保存と補充の原理と考えていた。これに関してドップズはこう解釈している。「ニュートンにとって錬金術は最初から、世界内で働いている能動的原理、すなわち神の意志の自然界における担い手たる原理であり、受動的物質の微細粒子を活性化し導いて、変化に富んだ鉱物、植物、動物へと仕立て上げる原理を研究することであった。」¹⁸⁾この解釈は当を得ているが、同時に指摘しておかねばならないのは、ニュートンの「能動的原理」と錬金術のそれとは言葉は同じでも、ニュートンの方は内容がかなり限定されていた点である。錬金術の「能動的原理」とは、「硫黄」のことであり、したがって、金属の父であるがゆえに「男性原理」であり、「熱」や「可燃性」などの原理として、ニュートン以上に多様な現象を説明するものであった¹⁹⁾。

今見た引用の中には、「発酵」という言葉が述べられていた。この発酵はもちろん、今日の「アルコール発酵」とは全く関係がなく、ニュートンにあっては動物の体熱の原因である。この言葉も錬金術ではよく見られたもので、一般には「鉱物界における生命の兆候」²⁰⁾と考えられた。ここにおいても、ニュートンによる錬金術用語の借用と独自の意味づけがみられる。

(C) アンチモン

ニュートンは『光学』の随所でアンチモンに言及している。「疑問31」では、たとえば、次のように述べている。

そして、塩酸は、単独では水とほとんど同様に揮発性であり、アンチモンは単独では鉛と同様に不揮発性であるにもかかわらず、昇汞がアンチモンから、あるいはアンチモンの鉞から昇華されるとき、塩酸は水銀を遊離して、一層強くそれを牽引するアンチモン金属と結合し、両者とともに上昇させるほど熱が大きくなるまでアンチモン金属のもとに留まり、熱が大きくなると金属をアンチモン・バターと呼ばれる非常に融けやすい塩の形でともに運び上げること、これらも相互の牽引によるのではないか。

硝酸は銀を溶解するが金を溶解せず、王水は金を溶解するが銀を溶解しないとすれば、硝酸は金の中へも銀の中へと同様に浸透しうるほど微細であるが、牽引力の不足のために金の中へ入ることができず、王水は銀の中へも金の中へと同様に浸透しうるほど微細であるが、牽引力の不足のために銀の中へ入ることができない、と言えないであろうか。……そして、水がアンチモンと塩化アンチモンとの昇華物から、またはアンチモン・バターからアンチモンを沈殿させるとき、それは水が塩化アンチモンまたは塩精分を溶解して、それと混合し、それを弱め、アンチモンを牽引せずに、おそらくはそれを反発することによってなされるのではないか。そして、水と油、水銀とアンチモン、鉛と鉄とが混合しないのは、これらの物質の構成要素間に牽引能が不足しているからではないか。²¹⁾

この引用では粒子間力の存在を示す例としてアンチモンが取り上げられている。ここからは、アンチモンが錬金術のなかで特異な役割を果たす物質と見なされていたことが全く読み取れない。アンチモンは化学物質の一つにすぎない。ドップズによれば、ニュートンは1670年代にアンチモンの錬金術的な研究に血道をあげており、「アンチモンから「水銀」をつくらうとしていた。」²²⁾。そもそもアンチモンは、「錬金術原材料物質のうち、神的な能動的原理に通じる唯一の物質」²³⁾と考えられたし、あるいは金から「硫黄」を抽出するのに利用されたのであった²⁴⁾。

こうして『光学』の刊行の頃には、アンチモンは特異な役割を失ったが、ニュートンがこの物質を実験で頻繁に用いていたことは明らかである。

(2) 『光学』の本論

これまでの研究において、ニュートンの錬金術・化学研究に関わる痕跡はもっぱら「疑問」に求められ、『光学』の本論に錬金術は関係がないと暗黙のうちに仮定されてきた。ただし、これには一つ例外があって、それは物質の階層構造論を述べた次のような記述であった。

物体のこれらの微小部分が相互に次のように配列されていると想像してみよう。つまり、それらの間の空隙もしくは空虚な空間は、微小部分すべてを合わせたものと等しい大きさである。そして、これらの微小部

分は他のさらに小さい微小部分から構成されており、それらのさらに小さい微小部分の間にもそれらすべてを合わせたものと等しい大きさの空虚な空間がある。そして同様に、これらのさらに小さい微小部分もまた他のさらにはるかに小さい微小部分から構成されており、それらすべてを合わせたものは、それらの間の細孔もしくは空虚な空間全体に等しい。このようにして、内部に細孔もしくは空虚な空間を持たない固体の微小部分に達するまでどこまでも続くのである。そこでもし任意の大きい物体の中に、たとえば微小部分の階層が三つあり、その最小のものが固体であるならば、この物体は固体部分の七倍の細孔を持つだろう。²⁵⁾

この箇所は、第2篇第3章命題8「反射の原因は、一般に信じられているように、物体の固体的または不透の部分への光の衝突ではない。」の注釈の終わりにある。

しかし、これ以外にもまだあるのである。その手掛かりは、これまでに見てきた「疑問31」の引用のなかにある。粒子間力と物質の階層構造論の繋がりを述べた次のような文があった。「このようにして何段階も経て、ついには化学における作用や天然物の色が依存し、凝集することによって感知しうる大きさの物体を構成する最大粒子に至って終わるのである。」

ここで注目したいのは、化学作用と天然物の色とが物質階層の同じ段階にあるとニュートンは考えていることである。化学反応によって粒子間力の相対的な大きさが決められるのであれば、天然物の色からも同様の決定が可能かもしれない。では、ニュートンは天然物の色について、どのような見解をもっているだろうか。あらためて『光学』を読み直してみると、次のような箇所があることに気づく。第2篇第3章命題7「自然物の構成要素の大きさはその色から推測されうる。」である。ニュートンはこの命題文に引き続いて、具体的にどのように色から天然物の構成要素の大きさを推定できるかについて述べている。

……これらの構成要素の大きさを決定するためには、任意の色を展示する水またはガラスの厚さが示されている前表を頼るだけでよい。このように、もしガラスと等しい密度を持ち、第3序列の緑を反射する微粒子の直径を知りたいのであれば、数 $16\frac{1}{4}$ がそれは $\frac{16\frac{1}{4}}{1000}$ インチであると示している。²⁶⁾

ここで前表とは第2篇第2章に掲げられているもので、それによると第3序列の緑の値は $16\frac{1}{4}$ となっている。このように、物体の色と第2篇第2章の表から粒子の大きさを推定できるのであった。この推定法は新しく得られた物質についても適用された。次のような例がある。

金あるいは銅がそれらの半分以下の重さの銀、または錫、またはアンチモンの銕と融解されて混合されたもの、あるいはごく少量の水銀とアマルガム化されたものは白くなる。このことは、どちらの場合もホワイトメタルの微小部分が、金および銅の微小部分よりもはるかに多くの表面を持っており、したがって一層小さいということ、またそれらは金および銅の微小部分がそれらを通して輝くことを許さないほど不透明であることを示している。さて、金および銅の色が第2および第3序列の色であることだけはほとんど疑いえない。それゆえ、ホワイトメタルの微小部分が、それらに第1序列の白を反射させるのに必要な以上にはなほだしく大きいということはあるまい。²⁷⁾

このように金と銀などからアマルガム化された白い物体の大きさが色から推定されるのである。

さらに、光学的な性質（具体的には屈折能）から物体の構成要素を見積もることも可能であった。第2篇第3章の命題10「もし光が真空中におけるよりも物体中において、その物体の屈折の尺度となる正弦に比例して、迅速であるならば、光を反射および屈折する物体の力はその物体の密度にほぼ比例する。ただし、油性および硫黄質の物体は同じ密度の他の物体より大きく屈折する。」と、ニュートン自身が測定した様々な物体の屈折能力と密度の表をもとにすれば、たとえば、次のような判断が可能であった。

塩および塩酸は土質の物質と水との中間の度合の屈折能を持っており、したがって、これら2種類の物質から構成されている。なぜならば、それらの精剤の蒸留および精留によって、それらの多くの部分が水となり、また多くの部分がガラス化する乾いた不揮発性土類の形態であとに残るからである。²⁸⁾

つまり、屈折能の実測値から、物体の大まかな構成を推定しえたのであ

る。このように、ニュートンにおいて物体の光学的性質は、化学反応と共に物質の内部構造への手掛かりを与えるものであった。要するに、ニュートンにとって光学と錬金術は密接に関係しており、物質の階層構造を探るための切り口の異なる二つのメスのようなものであった。

これまでにほとんど指摘されてこなかったこの新しい知見が意味することは実に大きい²⁹⁾。ニュートンの光学研究と錬金術研究は、『光学』の本論が書かれた1670年代からつながりをもっているのであり、われわれは特にその実験的基盤についてまず解明すべきである。

3. ニュートン手稿「実験ノート」の検討

上記のように、ニュートンのなかで光学と錬金術が研究の初期段階から、つまり1660年代末以降、密接な関係にあったとするならば、その様子を詳細に知るためには二つの方法が考えられる。一つはニュートンの錬金術・化学関係の「実験ノート」とされる手稿史料を分析すること、もう一つはニュートンの「光学講義」(手稿)を検討することである。後者については、現在詳細な研究がシャピロによって進められており、活字に移された原稿が刊行されつつあるので、その成果をしばらく待つことにしたい³⁰⁾。前者についてはケンブリッジ大学が所蔵するポーツマス・コレクションのAdd. MS. 3973と3975がある。これらは、もちろんこれまでの研究でも取り上げられてきたが、その扱いは体系的でないように筆者には思えるので、改めて検討したい。というのも、ニュートンの実験ノートでは理論や目的は語られず、経験的な事柄(たとえば、反応に用いた材料とその量、加熱の有無、生成物の様子など)しか記録されておらず、また彼の取り上げた反応のほとんどは現代化学では意味を持たないとされるためか、一部のわかるところだけがクローズアップされて解釈されてきたように思われるからである³¹⁾。なお、両手稿には内容が重複している箇所があるが、今回は全体像を理解するのにより適切であると思われる3975を取り上げる。これは、現在、William R. Newmanのウェブ・サイト Chymistry of Isaac Newton で活字に直されて公開されている。

なお、ニュートンの手稿史料を取り上げる際に、あらかじめ留意しておくべきことがある。それは、手稿の性格の判定(端的に言えば、それがオリジナルなものであるか否か)を慎重に行わなければならないということ

である。2000年近くまでニュートン錬金術研究の世界の第一線にたっていたドップズは、ニュートン錬金術研究の初期段階を扱った著作において幾つもの重要な点を指摘し、この方面の研究を大いに前進させたが、重大なミスの一つ犯した。それは、「鍵」と題されているニュートン自筆の原稿を、ニュートン自身のオリジナルな作品と見なして著作の結論を導いたことである。この「鍵」は、ニュートン自筆の原稿ではあっても、実はロバート・ボイルの所蔵文書に典拠があり、作者はボイルと親交のあったアメリカの錬金術師ジョージ・スターキーであったことが、ニューマンによって明らかにされたのである³²⁾。

ドップズほどの研究者でもこのようなミスを犯すということは、手稿史料の扱いの困難さを示している。ニュートンのどの手稿であっても、それをニュートンのオリジナルと結論するためには十分な根拠が示されねばならないのである。

Add. MS. 3975はニュートンの「実験ノート」としてこれまでに知られてきたものだが、今日の科学者が記しているような実験日誌をイメージしてはならない。年月日が記載されているところもあるが、むしろそうでない方が多いし、古い方から順に記載されているわけでもない³³⁾。また、実験の記録もあるが、ニュートンが読んだ文献の抜き書きも含まれている。体裁は、皮革の表紙をもつ自由記載の本といったものである。それぞれの文書を今日のルーズリーフのようにバラバラにすることはできない。こうしたことから、この史料は実験記録を含む「備忘録」と考えた方がよい。

今回検討したこの史料の前半の三分の一くらいまでの内容は次の通りである(以下の表2を参照)。最初は宝石の色と硬さを扱った他人の論文の抜き書きから始まり、「色彩について」と題されたプリズムを用いた実験の記録があり、その後「冷と熱について」などと題して、20枚以上にわたってロバート・ボイルの1660年代の3冊の著作からの抜き書きが続く。

この後に(41vから)、ドップズの見るところでは、ニュートン自身による「最初の」化学実験の記録がある。それは次のような記述である。

1 オンスあるいは溶ける限りの量の水銀を強水 [硝酸] 2 オンスに溶かせ。それから箔状かやすり屑状の鉛1 オンスをそこに少しずつ入れよ。鉛は腐食され、水銀 [溶液] に溶ける。さらに、泥のように白い沈殿が

落ちてくるが、これは鉛の硫黄によって沈殿した水銀である。1オンスの鉛から3分の1オンスの水銀が得られる。残りの液体を蒸発させると、昇昇のように強烈な味の赤味がかった物質が残る。³⁴⁾

ただし、ドップズによると、この前半の箇所とほぼ同じ内容がボイルの *Certain Physiological Essays* (1661) に記載されているので³⁵⁾、「最初」とは見なせないかもしれない。加えて、他人の論文からの抜き書きとニュートン自身による実験結果とを明確に区別できる判定基準を筆者は現在提起できないので、この記述が「最初の化学実験」であるか否かの判断はここでは差し控えたい。この問題はニュートンの特に実験手稿全体に関わるため、すでに述べたドップズのミスと同じ轍を踏まないように、解答は今後の検討課題としたい。

表2から明確に見て取れるのは、若きニュートンに対するボイルの影響の大きさである。もちろんボイルの影響についてはこれまでも気づかれており、たとえば、ドップズはそれがボイルの『形相について』であったことを指摘している³⁶⁾(41vの直前の手稿はこの著作からの抜き書きであった)。しかし、ニュートンが参照していたボイルの作品はこれにとどまらないだけでなく、筆者には「化学実験の指南役」といってよいくらい、ニュートンの初期の活動に重要な役割を果たしたように見える。科学史研究者ならば、同じ国の先輩研究者であるボイルがニュートンに影響を与えたのは、機械論という新しい自然観であったことを知っている。ただし、この機械論はやがてニュートンによって別のもの（「新機械論」と称する研究者もいる）に変えられていく。これまでの研究者は、機械論という包括的な表現で済ませてきたが、上記の手稿から浮かび上がってくるのは、ボイルが機械論の意義を論じながら示していた化学物質などの変化をニュートンはノートに書き留めていたという点である。1660年代のボイルの著作を通してニュートンは、機械論とともに化学実験の世界にも引き込まれていった。ボイルの著作の中には色彩を扱った作品 (*Experiments and Considerations touching Colours* (1664)) があり、ニュートンはこれについても多数の抜き書きを作成していたことが明らかになっているので³⁷⁾、これも含めて、今後初期ニュートン (1660年代後半～1670年代) へのボイルの影響について、全面的な検討が必要である。

表2. Newton ADD. 3975の前半3分の1の概要

ニュートン手稿		引用文献の出典
頁	概要	
<1r>-<1v>	「宝石の硬さ・色」	Pliny commentator Lib. 37
<2r>-<12v>	「色について」(プリズムによる実験)	
<13r>	「インクの製法」	
<13v>	白紙	
<14v>	「冷と熱」	⑧ 69-70, 6, 9-11頁
<15r>	「冷と熱」	⑧ 6, 7, 15-16, 50-53頁
<15v>	「冷と凍結」	⑧ 60-61, 49, 6, 108-132頁
<16r>	「凍結」	⑧ 113, 181, 134-5, 137-9, 140-8頁
<16r>	「冷と凍結」	⑧ 161, 168頁
<17r>	「冷と凍結」	⑧ 607, 222-244頁
<17v>	「凍結」	⑧ 245-327, 587, 345-363, 389, 329頁
<18r>	「凍結、地下蒸気」	⑧ 364-394, 396-412頁
<18v>	「凍結、地下蒸気」	⑧ 777, 502, 778, 412-463, 741-803頁
<19r>	「冷と凍結」	⑧ 511, 464-520, 824, 520-549, 550, 483, 579, 581, 583-4, 594, 458, 615, 621, 627, 635, 649頁
<19v>	「冷と凍結」	⑧ 688, 663, 665, 657, 691, 737, 739頁
		⑩ 4, 6, 9, 12-13, 29, 48頁
<20r>	「冷と凍結」	⑩ 8, 11, 48, 21, 40, 44, 51頁
		⑩ 理論篇「生成・消滅・変質」55, 77頁
<20v>	3月27日 Thermoscopでの観測記録	
	クリスマス、1669年1月28, 29, 30日	
<21r>, <21v>	Thermoscopでの観測記録	
<21v>		Boyle Philos. Part2. p. 44
<22v>-<23v>	白紙	
<24r>	「希薄性、密度、弾性等」	① 実験43, 24
		① 形相の起源, 169頁
	私の体温 1693年3月10日	
<24v>	気圧計の実験を2回行った	
<25r>-<25v>	白紙	
<26r>	「火、炎……呼吸」	① 実験41, 40
<26v>-<27r>	「火、炎……呼吸」	
<27v>-<31v>	白紙	
<32r>	「水銀の変化」	① 理論篇「生成・消滅・変質」72頁
	「樟腦の変化」	① 理論篇「生成・消滅・変質」73頁
	「鉛の変化」	① 形相の起源, 173頁
	「サンゴの石化」	① 形相の起源1, 実験I 形相の再生, 245-8頁
<32v>	「明礬の変化」	① 形相の起源, 実験II 物体の再結合, 261頁
	「アンチモンの変化」	① 同上265頁

ニュートンの『光学』と錬金術：覚書

ニュートン手稿		引用文献の出典
頁	概要	
	「テレピン油の変化」	◎ 同上268頁
<33r>	「樟脳とヴァイトリオール油」	◎ 自然誌篇, 実験 I, 271頁
<33v>	「水の土への転換」	◎ 自然誌篇, 実験IX, 388頁
<34r>	「塩の硫黄への転換」	G. Starkey Pyrotechny, p. 116
<34v>	「ペルーの水」	スペイン語の「Art of metals」第12章
<35r>-<36v>	白紙	
<37r>	「地下の熱と鉱物」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 208頁
	「朱の生成」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 209頁
	「砂と塩粒子の結合」	◎ 形相の起源, 183頁
<37v>	「礬類」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 209頁
	「強水金属塩の結晶」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 209頁
<38r>	「強水銀塩の結晶」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 224頁
	「ヴェネチア礬砂」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 234頁
	「パーバリー硝石」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 233頁
	「尿精塩」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 237頁
<38v>	「硝酸銀溶液中の銅」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 233頁
	「火の作用と塩結晶」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 229頁
	「灰汁と硝石精の塩」	◎ 形相の起源, 実験 I 形相の再生, 塩の形, 250頁
	「ヴェネチア昇汞」	◎ 自然誌篇, 実験II, 283-9頁
<39r>	「角銀の調整」	◎ 自然誌篇, 実験III, 303頁
	「酒石油」	◎ 自然誌篇, 実験III, 306頁
	「異常な塩」	◎ 自然誌篇, 実験IV, 311頁
<39v>	「海塩+硝酸」	◎ 自然誌篇, 実験V, 321-25頁
<40r>	「濃い灰汁」	◎ 自然誌篇, 実験V, 326頁
	「グラウバーの驚異の塩」	◎ 自然誌篇, 実験VI, 337頁
	「海塩+硫酸」	◎ 自然誌篇, 実験VI, 341頁
<40v>	「過激な溶媒」	◎ 自然誌篇, 実験VII, 351頁
<41r>	「揮発性の金」	◎ 自然誌篇, 実験VII, 370頁
<41v>	「甘い礬」	◎ 自然誌篇, 実験VIII, 380頁
引用された著作		
<p>① Robert Boyle, <i>New Experiments physic-Mechanical, Touching the Spring of the Air and its Effects</i> (1660) [M. Hunter and E. B. Davis (eds.), <i>The Works of Robert Boyle</i>, vol. 1 (Pickering & Chatto, 1999)]</p> <p>② Robert Boyle, <i>New Experiments and Observations Touching Cold</i> (1665), [<i>The Works of Robert Boyle</i>, vol. 4]</p> <p>③ Robert Boyle, <i>The Origine of Formes and Qualities</i> (1666-7) [The Works of Robert Boyle, vol. 5] 翻訳：伊東俊太郎・村上陽一郎編赤平清蔵訳『ボイル：形相と質の起源』（科学の名著第II期8、朝日出版社、1989年）</p> <p>④ Christopher Merrett, <i>An Account of Freezing made in December and January, 1662</i> [<i>The Works of Robert Boyle</i>, vol. 4]</p>		

最後に

本稿では、ニュートンの『光学』と錬金術研究の関係を検討した。錬金術研究の痕跡は『光学』にはっきり残されていた。それは特に、『光学』の付録とも見なされながらも18世紀以降の化学に多大な影響を及ぼした「疑問31」であった。そこには、(A)粒子間力と物質の階層構造、(B)能動的原理といった理論・概念に加えて、(C)アンチモンの多用が見られた。しかし、これ以上に重要なのは、『光学』の本論に残された痕跡である。物質の階層構造論を構想するようになったニュートンは、化学反応と物体の色を同じ階層に位置するものと考え、色や屈折能から物体の構成要素やその大きさを推定していた。物質の階層構造論にとって、化学反応と物質の光学的性質は、粒子や粒子間力の相対的な大きさ(つまり、大小の順)を決めるための重要な指標であった。したがって、光学研究と錬金術研究は相互補完的な関係にあったと考えられる。これまでのニュートン研究において両研究領域は相互にほとんど参照されずに研究されてきたが、今後は手稿レヴェルでも両領域を視野に取めて検討していく必要がある。

筆者によるニュートン手稿の検討はまだ始まったばかりであり、Add. 3975の一部にすぎないが、それでも今後に向けての課題を2点提示しておきたい。第1は、若きニュートンに対するロバート・ボイルの影響である。詳しい分析は今後の検討に委ねるしかないが、手稿史料から浮かび上がってくるのは、機械論にとどまらず、研究のもっと実践的なレヴェルでの影響の大きさである。

第2はニュートン自身が行った実験とは何かである。化学関係の「実験ノート」とこれまで考えられてきたAdd. 3975のうち、どれが本当にニュートンによるものか。そしてその根拠は何か。「鍵」という手稿をニュートンのオリジナルな論文と解釈するという決定的なミスを犯したドップズの二の舞にならないためにも、この点の検討は極めて重要である。これに対する何らかの解答を得るには、「錬金術・化学実験の指南役」であるボイルの著作やスターキーの錬金術実験ノート³⁸⁾との相互検討が望まれる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費21500979 [日本学術振興会科学研究費補助金による研究課題「ニュートンの『光学』と錬金術」(基盤研究(C)、課題番号21500979)]

の助成を受けて行われたものです。記して謝意を表します。

付記

本稿は、次の①と上記の科研費の交付を受けている期間に行った②～④の学会発表を基礎としている。

- ①ニュートン『光学』「疑問31」と錬金術
(2005年度化学史学会年会報告、発表要旨：「ニュートンの『光学』「疑問31」と錬金術」、『化学史研究』、**111** (2005) : 117)
- ②ニュートン錬金術手稿の研究現状
(2010年度化学史学会年会で報告した後、『化学史研究』、**136** (2011) : 143-153に掲載)
- ③ニュートン『光学』の成立
(化学史学会2011年度年会報告、発表要旨：「ニュートン『光学』の成立について」、『化学史研究』、**135** (2011) : 104)
- ④ニュートン手稿史料の検討
(化学史学会2012年度年会報告、発表要旨：「ニュートン化学実験ノートの研究(1)：ボイルの寄与」、『化学史研究』、**139** (2012) : 108)

注と文献

- 1) John Maynard Keynes, 'Newton, the Man', *The Royal Society Newton Tercentenary Celebrations 15-19 July 1946* (Cambridge U.P., 1947), p. 27. 邦訳：(大野忠男訳)『ケインズ全集』第10巻(東洋経済新報社、1980)、480頁。なお、以下の注すべてにおいて、特別の事情がなければ、邦訳書がある場合にはそれを利用する。
- 2) ニュートン錬金術手稿の来歴や研究状況については、拙稿「ニュートン錬金術手稿の研究現状」、『化学史研究』、**136** (2011) : 143-153を参照されたい。ケンブリッジ大学に所蔵されている手稿のうち、代表的なものはデジタル画像で公開されている。ケンブリッジ大学のホームページにアクセスし、大学図書館→デジタル・ライブラリー→ニュートン・ペーパーズで閲覧できる。この情報を教示くださった和光大学内田正夫氏に謝意を表します。
- 3) ニューマンはニュートン錬金術研究ではウェブ・サイト *Chymistry of Isaac Newton* を開設し、ニュートン錬金術手稿のうち重要度の高いものを活字に直して公開している。ニューマンのこれまでの主な研究成果は、中世においてゲーベルの書として伝えられた『金属貴化大全』の研究 (William R. Newman, *The Summa Perfectionis of Pseudo-Geber: A Critical Edition, Translation*

- & Study, E. J. Brill, 1991)、ボイルやニュートンにも影響を与えたアメリカの錬金術師スターキーについての研究 (William R. Newman and Lawrence M. Principe (eds.), *George Starkey: Alchemical Laboratory Notebooks and Correspondence* (Univ. of Chicago Press, 2004)) などがある。
- 4) B. J. T. ドブズ (寺島悦恩訳) 『ニュートンの錬金術』(平凡社、1995年)。B. J. T. ドップズ (大谷隆昶訳) 『錬金術師ニュートン』(みすず書房、2000年)。リチャード・S・ウェストフォール (大谷隆昶訳) 「ニュートンの生涯における錬金術の役割」、M. L. R. ボネリ、W. R. シエイ編『科学革命における理性と神秘主義』(新曜社、昭和60年)、155-218頁。同 (田中一郎・大谷隆昶訳) 『アイザック・ニュートン I・II』(平凡社、1993年)。
 - 5) Isaac Newton, A Letter to Oldenburg 26 April 1676, in H. W. Turnbull (ed.), *The Correspondence of Isaac Newton*, vol. 2 (Cambridge U.P., 1960), p. 2.
 - 6) たとえば、吉田忠「プリンキピアとオプティックス——成立と普及」、吉田忠編著『ニュートン自然哲学の系譜——プリンキピアとオプティックスまで』(平凡社、1987年)、20頁。リチャード・S・ウェストフォール (田中一郎、大谷隆昶訳) 『アイザック・ニュートン II』(平凡社、1993年)、195頁。
 - 7) 渡辺正雄編・田中一郎訳『ニュートン 光学』(科学の名著6、朝日出版、1981年)、2頁。以下でのニュートンの『光学』からの引用はすべてこの邦訳書による。
 - 8) 注6の論文に加えて、田中一郎「ニュートン光学の成立」、渡辺正雄編・田中一郎訳、前掲書、pp. xiii-xxix。A. Rupert Hall, *Isaac Newton: Adventurer in Thought* (Blackwell, 1992), pp. 279-294など。A. Rupert Hall, *All was Light: An Introduction to Newton's Opticks* (Oxford: Clarendon Press, 1993)。Alan E. Shapiro, 'Newton's Optics and Atomism', in I. Bernard Cohen & George E. Smith (eds.), *The Cambridge Companion to Newton* (Cambridge U.P., 2002), pp. 227-255.
 - 9) 18世紀のニュートン主義化学についての文献は多数あるので、ここでは代表的な2点に留めておきたい。Arnold Thackray, *Atoms and Power: An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry* (Harvard U.P., 1970)。Robert E. Schofield, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in an Age of Reason* (Princeton U.P., 1970)。
 - 10) ニュートン、前掲書(注7)、246頁。
 - 11) 同上書、234頁。
 - 12) 同上書、236-7頁。
 - 13) 同上書、242頁。
 - 14) 同上書、244-5。
 - 15) 同上書、245頁。
 - 16) ボスコヴィッチの点原子論については、A. Thackray, 前掲書(注9)、pp.

- 150-155。粒子間力の曲線は p. 153。
- 17) ニュートン、前掲書（注7）、247-8頁。
- 18) ドブズ、前掲書（注4『錬金術師ニュートン』）、196頁。
- 19) 能動的原理の当時の一般的な用法については、たとえば、セルジュ・ユタン（有田忠郎訳）『錬金術』（白水社、1972年）、94-6頁を参照。
- 20) ドブズ、前掲書（注4『錬金術師ニュートン』）、227頁。
- 21) ニュートン、前掲書（注7）、238頁。
- 22) ドブズ、前掲書（注4『ニュートンの錬金術』）の、たとえば、207頁。
- 23) ドブズ、前掲書（注4『錬金術師ニュートン』）、149頁。
- 24) セルジュ・ユタン、前掲書（注19）、112頁。
- 25) ニュートン、前掲書（注7）、170-1頁。
- 26) 同上書、162-3頁。
- 27) 同上書、161-2頁。
- 28) 同上書、173-4頁。
- 29) ニュートンにおいて錬金術と光学研究が密接な関係にあり、特に色と粒子の大きさの関係についてはニュートン以降も議論されていたことを、これまでにおそらく唯一指摘しているのは、次の著作である。Alan E. Shapiro, *Fits, Passions, and Paroxysms: Physics, Method, and Chemistry and Newton's Theories of Colored Bodies and Fits of easy Reflection* (Cambridge U.P., 1993). ニュートンの色の理論については、たとえば、次のような論文がある。Richard S. Westfall, 'The Development of Newton's Theory of Color', *Isis*, **53-3** (1962): 339-358. Zev Bechler, 'Newton's Search for a Mechanistic Model of Colour Dispersion: A Suggested Interpretation', *Arch. Hist. Exact. Sci.* **11** (1973): 1-37.
- 30) Alan E. Shapiro (ed.), *The Optical Papers of Isaac Newton*, vol. 1 (The Optical Lectures, 1670-1672) (Cambridge U.P., 1984). 3巻本で出されたようである。ペーパーバック版で第1巻が2010年に刊行されたが、第2巻以降はまだである。
- 31) たとえば、Marie Boas and A. Rupert Hall, 'Newton's Chemical Experiments', *Archives internationales d'histoire des sciences*, **11** (1958): 113-152.
- 32) ドブズが「鍵」をニュートンの作品と見なした研究は、ドブズ、前掲書（注4『ニュートンの錬金術』）、437-8頁及び B. J. T. Dobbs, 'Newton's "Clavis": New Evidence on its Dating and Significance', *Ambix*, **29** (1982): 190-202. ドブズの誤りを指摘したニューマンの論文は、William R. Newman, 'Newton's Clavis as Starkey's Key', *Isis*, **78** (1987): 564-574.
- 33) たとえば、表2の<24r>に1693年3月10日の日付が記されているが、これは明らかに後から白紙の頁に挿入されたものである。したがってこれ以降の記述は1693年以降の時期のものではなく、1669年1月30日以降のもので

ある。このような挿入の可能性があるため、白紙の頁の存在には十分注意する必要がある。

- 34) Newton, Add. MS. 3975, 41v. ドブズ、前掲書（注4『ニュートンの錬金術』）、184頁の訳を参考にした拙訳。なお、この手稿を対象とした最近の研究成果を一つだけ挙げておくと、William R. Newman, ‘Newton’s early Optical Theory and its Dept to Chemistry’, in D. Jacquart and M. Hochmann (eds.), *Lumière et vision dans les sciences et dans les arts, de l’Antiquité du XVIIe siècle* (in print).
- 35) ドブズ、前掲書（注4『ニュートンの錬金術』）、363頁の注23を参照。
- 36) 同上書、164, 186–188頁など。
- 37) John Hendry, ‘Newton’s Theory of Colour’, *Centaurus*, **23–3** (1980): 230–251のp. 240.
- 38) William R. Newman and Lawrence M. Principe (eds.), 前掲書（注3）。

Newton’s *Opticks* and Alchemy

OHNO, Makoto

The trace of Newton’s alchemical research remains in his *Opticks* (1704). It can be found not only the Book III, Part I, Quarry 31 often quoted, but also the Book II, Part III, Propositions 7 and 10. These show that Newton was trying to estimate the sizes of particles from the color of bodies, and his optical research connected closely with his alchemical one. Since the Book I and Book II of *Opticks* were based on his “Optical lecture” and some articles in the 1670s, the relationship between the optics and the alchemy of Newton had started in late 1660s. As a result of examining Newton’s Add. MS. 3975, it turned out that Robert Boyle had had overwhelming influence on the Newton’s early alchemical experiments.