

広島大学学術情報リポジトリ

Hiroshima University Institutional Repository

Title	パスカルの物理学における水中実験の意味 : 遺作『大気の重さについての論文』を中心に
Author(s)	永瀬, 春男
Citation	フランス文学 , 33 : 27 - 40
Issue Date	2021-06-01
DOI	
Self DOI	
URL	https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00051033
Right	
Relation	



パスカルの物理学における水中実験の意味 — 遺作『大気の重さについての論文』を中心に —

永瀬 春男

パスカルの物理学論文中、遺稿として死後に刊行された2論文は、水中実験を多用するという点に大きな特徴がある。一方、著者生前に刊行された2つの著作において、その種の実験が取り上げられることはほとんどない。ピュイ・ド・ドーム山での実験報告を主題とする『流体の平衡についての大実験の話』（1648年10月頃；以下、『大実験』と略記¹⁾）に言及がないのは当然として、最初の著作の『真空に関する新実験』（1647年10月；『新実験』と略記）においても、本来的な意味で水中実験と呼びうるものは1例を除いて登場しない。

『新実験』で紹介される8つの実験のうち、最初の注射器の実験は確かに器具を水中に浸して行なわれる。しかし、見かけ上の真空を生じさせるのに無限の力など必要ないことを示すためのこの実験は、両手を水槽に浸せば実行可能であり、実験の後半では注射器の先端と片手の指だけが水中に残っているにすぎない²⁾。第2のふいごの実験が辛うじて水中実験と呼びうるかもしれない。しかしこの場合も、狙いは見かけ上の真空が容易に生じることを示す点にあり³⁾、遺作2論文におけるような、大掛かりな装置を水中深く沈める実験とは、様相も目的も大いに異なっている。

つまりパスカルは、遺作論文においてはじめて、水中実験の真に効果的な使用方法に思い至り、これを存分に活用することになった。それは内容と装置においてパスカル独自の「新」実験⁴⁾と呼びうるのみならず、論証と説得法の観点からも注目すべき成果をあげることになる。本稿ではそうした点について明らかにしてみたい。

¹⁾ 原著の表題、判型、頁数等について、詳しくは本稿末尾の著作リストを参照。引用等に当たっては、ジャン・メナール編集のパスカル全集に準拠し、OCMと略記、巻数をローマ数字で添える。また、本稿におけるパスカルの物理学論文の和訳には、原則として赤木昭三訳（未発表、近刊予定）を使用する（若干の字句を変更する場合がある）。

²⁾ OCM, II, p. 502.

³⁾ *Id.*

⁴⁾ パスカルが最初の著作を『新実験』と名付けたのは、「これらの実験が私の創案によるもの」、「私独自の、私自身の天分によるもの」であるからと述べている(*ibid.*, p. 501)。とすれば、遺作論文の水中実験は、いっそうその名にふさわしいかもしれない。

なお、以下で考察の対象とする遺作論文とは、パスカルの死後、義兄フロラン・ペリエが刊行した『流体の平衡と大気の重さについての論文』（1663年11月刊⁵⁾）と題する著作に収録されたもので、次の2篇の論文とその結論からなる。

『流体の平衡についての論文⁶⁾』（『流体の平衡』と略記）

『大気の重さについての論文⁷⁾』（『大気の重さ』と略記）

『以上の2つの論文の結論⁸⁾』

これら3篇は、連続する一つの著述として構想されたものの、おそらくは「決定的回心」によって、未完成のまま放棄された。特に『大気の重さ』には、多くの未整理な箇所が残っている。

1. 『流体の平衡についての論文』における水中実験

2つの遺作論文が、水中実験に大きく依拠している事実は、原本に折り込まれた2葉の実験図集（図1と2）からも容易に見てとれる⁹⁾。図1が『流体の平衡』に、図2が『大気の重さ』に対応し、それぞれ多くの実験装置もしくは実験の様子を、上中下3段に分けて掲載している。『流体の平衡』のための図版では、下段に掲載の9つ

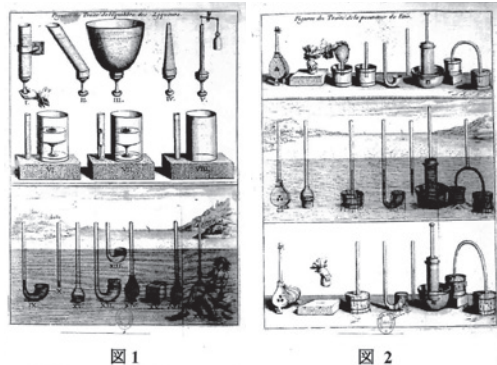


図 1

図 2

が水中の実験であることは、河川の風景描写からも一目瞭然である。『大気の重さ』に対応する実験図集では、中段に集められた7つの装置が、いずれも水中に置かれている¹⁰⁾。両論文に占める水中実験の重要性は明らかと言えよう。

⁵⁾ 遺作2論文とその結論が占めるのは原著の140頁までであるが、著作はほかの作品も含み、最終頁は232頁である。

⁶⁾ *Traité de l'équilibre des liqueurs*, pp. 1-44 (*OCM*, II, pp. 1043-1061).

⁷⁾ *Traité de la pesanteur de la masse de l'air*, pp. 45-123 (*Ibid.*, pp. 1062-1094).

⁸⁾ *Conclusion des deux précédents traités*, pp. 124-140 (*Ibid.*, pp. 1095-1101).

⁹⁾ メナール版パスカル全集(*OCM*)では、初版にあった実験図集が、第2版では2つとも脱落している。

¹⁰⁾ 本稿に掲載の図は原図をかなり縮小したもののため、不鮮明な部分については、以下の訳書・研究書に付された図版で確認されたい。『パスカル科学論文集』岩波文庫、『パスカル全集』第1巻、人文書院（本稿末尾の著作リストを参照）、小柳代『パスカル 直観から断定まで—物理論文完成への道程』名古屋大学出版会、1992年。なお、図1と2では、水中実験はすべて川のなかで行なわれるように描いてあるが、本文中では「川」と書く場合、「水槽」と書く場合、単に「水中」と書く場合と、3通りの記述が見られる。

ただし、『流体の平衡』と『大気の重さ』とは、水中実験の利用法に大きな違いがある。前者においては、それらの実験は、専ら章ごとの主題—例えば「流体と流体の平衡」、「流体と固体の平衡」など—を実例によって示すためのものであり、その使用には格別特異な点は見当たらない。そこでは、説明すべき1現象に対して1実験が用意され、論証内容と論証手続きのあいだには直接的・一元的な対応関係があるにすぎない。ところが後者の『大気の重さ』において様相は一変し、水中実験はきわめて戦略的な観点から、組織的かつ包括的に利用されることになる。証明すべき主題が十全に読者の腑に落ちるよう、提示方法と器具・装置の仕掛けに特別な工夫を凝らすことで、水中実験は説得の手段として、その真価をいかに発揮するのである。2つの論文のあいだには、論証法に関してあたかも大きな態度の変更、方針の転換があったかのごとくなのである。

そこでまず、第1論文『流体の平衡』における、水中実験の提示例2点を簡単に検討しておこう。第3章「流体の平衡のさまざまな実例と理由」では、両端が開放され、下の端が円く曲がった管（角笛型の管）に水銀を満たして水中に沈める実験、次に直管を使った同種の実験（いずれの場合も、上端は水面より上に出してある）が提示される（図3）。

パスカルたちが1646年にトリチェリの実験の再現に成功した段階では、まずもって見かけの空所が真空か否かが問題であった。『新実験』では、「真空嫌悪説」に反して、こうした空所（真空）が簡単に生じうることを示す実験例が集められている。そうした例においては、結果的に大気と水銀、もしくは水の平衡が示されることになった。これに対し、『流体の平衡』においては水と水銀の平衡が問題となる。目に見えない大気かわりに水を用いることで2種の流体の平衡現象を明瞭に可視化したいと望む実験者にとって、これは必然的な経過であったろう。こうして、水銀を大気中ではなく水中に沈めることが要請される。水中実験の多用、これがパスカルの物理学がたどり着いた新たな一歩である。

『流体の平衡』第3章の実験は、トリチェリの水銀柱にかえて、はるかに単純な1本の角笛型の管を採用している。管の水中での位置によって水銀の高さに変化が生じ、その高さは水と水銀の重さの比によって決定されるため、読者は平衡の事実を明確な数値によって納得させられることにもなる。パスカルは14ピエ（約4.5メートル）の深さに沈めたこの装置において、管内の水銀は1ピエの高さまで

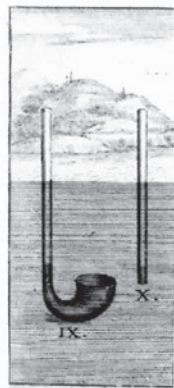


図 3

下降して宙にとどまると述べ、その理由を「管のなかの水銀の重さと管の外の水の重さとは、この2つの流体がそれぞれの重さに比例した高さをもっており、しかもそれぞれの広さは平衡には無関係であるがゆえに、互いに平衡を保っているからである¹¹⁾」と説明する。ただし、この記述からもわかるように、水中実験に特有の条件として、どうしても長い管が必要になるという不都合は生じる。それ以外の点において、この実験は、2つの流体の平衡を示すために、巧みに工夫されているが、通常の方法と目的を超え出るものではない。

ここで注記すれば、小柳氏が説得的に述べているように、この実験の考案者はパスカルではなく、トリチェリその人であったと思われる。トリチェリは弟子のリッチに宛てた手紙（1644年6月28日付）のなかで、パスカルの上記の実験図（図3）と類似した装置を掲げ、実験内容を略述している¹²⁾。これとパスカルの実験を比較するならば、「パスカルがトリチェリからアイデアを借りたとしか考えられない¹³⁾」という指摘は同意できるものである。

また、この実験をめぐる記述には、パスカルによる実行を疑わせかねない奇妙な部分があるが、紙幅の関係でそれについては省略し、直管による同趣旨の実験（図3の右側）に対する英国の科学者ロバート・ボイルの批判を紹介しておこう。

ボイルは、パスカルの原著刊行の翌年（1664年）の講演において、上の角笛型の管の実験に続く2つ目の実験（図3の右）を不可能と見なしている。直管中の水銀は自らの重みによって降下するが、途中で止まることなく、その勢いによってすべての水銀を管の外に引き落としてしまうというのである¹⁴⁾。そもそも、装置を深い水中にどのように沈め、水銀の高さをどうやって観測するのか、実行者はどうやって水中に一定の時間とどまりうるのか、実験器具の調達はあるのかなど、パスカルの別の実験にも触れてボイルは実行上の難点を指摘している¹⁵⁾。ボイルは必ずしもパスカルを非難しているわけではないが、実行可能性に関するこれらの疑念に答えるのは容易ではあるまい。それ以外にも、水中に流失する高価な水銀は回収可能なのかといった問題もあり、1つ目の角笛型の管の実験も含めて、思考

¹¹⁾ OCM, II, p. 1050. パスカルは水と水銀の比重を1対14と見なしている。

¹²⁾ 小柳、前掲書、257頁。

¹³⁾ 同書、408頁。また、409-410頁によれば、この事実を指摘しているのは、ミドルトンの次の論文（筆者未調査）のみであるという。W. E. Knowles MIDDLETON, « The Place of Torricelli in the History of the Barometer », in *Isis*, vol. 54, Part 1, No. 175, 1963.

¹⁴⁾ Robert BOYLE, *Hydrostatical Paradoxes*, 1666, p. 63; Cf. OGE, III, pp. 158-159 et p. 174; 小柳、前掲書、416頁。略記のOGEについては、本稿末尾の著作リストを参照。

¹⁵⁾ BOYLE, *op. cit.*, pp. 5-6. ボイルは『流体の平衡』のみを論評しているが、そのなかの3つの実験について実行不可能としている。これらの点についても、小柳、前掲書、414-418頁を参照。

実験という可能性を捨てきれない。こうした疑念は、パスカルが提示する水中実験の多くにつきまとうものであるが、この問題には本稿では深入りせずにおく¹⁶⁾。

2. 『大気の重さについての論文』における水中実験—<転移>と<類推>

1) 第2章の構成

遺作第2論文『大気の重さ』において、水中実験の演ずる役割は大きく変化する。その第2章において、水中実験はもはや現象の単なる説明のために呼び出されるのではなく、論証と説得のための独自の役割を担うことになる。その点を論ずるに先立って、まずこの章の構成について簡単に見ておこう。

先立つ第1章において、著者は、大気には重さがあり、大気中のすべての物体を自己の重さで圧しているという事実を、総論的に提示する。続いて、海水が海底という地球の一部だけでなく地球全体を取り巻いているとすれば、その重量によって地球の表面全体を圧するであろうように、地球全体を覆う大気の重さは、地球のすべての部分を圧しているのだと述べる¹⁷⁾。ここには空気の総体と海水の総体、大気と水との間の類比関係が、明確に提示されている¹⁸⁾。続く第2章の論理展開は、この類比関係によって導かれることになる。

第2章の眼目は、これまで真空嫌悪によると考えられていた現象が、すべて大気の重さを原因とすることを証明する点にある。この章は、未整理な部分が目立つ『大気の重さ』全体のなかで最も詳しく書き込まれた部分であり、原著で全79頁中、およそ53頁を占めることからそれは知られる。この論文は章ごとの長さにかなりのばらつきがあり、例えば原著でほぼ2頁、あるいは1頁強の章もあって、未整理な状態を留めている。一方、最長の第2章は2つの節からなっており、こうした2部構成をとるのは、遺作論文中でこの章のみである。『大気の重さ』の水中実験は、この章に集中的に登場する。以下で明らかにするように、これは水中実験の新しい利用法を手に入れた著者の意図が、その2部構成と内容とに存分に生かされた結果なのである。

章の冒頭には、「第1節では、真空嫌悪によるものと考えられていた主な現象が語られ、第2節では、これらの現象が空気の重さから起こることが示される」と、2つの節の対応関係が覚書のように記されており、実際の章の記述もそのように進行する。ただしその記述も完成されたものとはいえず、未整理な箇所が散在する。

¹⁶⁾ パスカルにおける思考実験の問題については、稿をあらためて論じる予定である。

¹⁷⁾ OCM, II, pp. 1062-1063.

¹⁸⁾ 小柳、前掲書、389-390頁参照。同書は、パスカルが空気の海というイメージをトリチェリから借用したのではないかと示唆している。

その顕著な例は、第1節では、従来「真空嫌悪によるものと考えられていた現象」として5つの項目があげられているのに対し、第2節では、「空気の重さから起こることが示される」現象は8項目にわたっている。つまり、2つの節は厳密に1対1の対応を示していず、統一を欠いた状態にあると言える。それは別として、第1節で取り上げられる5つの項目については、ほぼ覚書に示された計画に沿って、論述は進んでいく。

紙幅の関係から、水中実験が関わってくるすべてのケースを取り上げることはできないため、〈ふいごの実験〉(第I項)と〈注射器の実験〉(第III項)の2つに絞って検討する。いずれの場合も、まず第1節において従来、真空嫌悪説の例証とみなされていた実験が提示され、第2節において巧みに工夫された改良実験と、独創的な説得法によって旧来の謬説が打破されることになる。

2) ふいごの実験

第1節第I項として最初に取り上げられるのは〈ふいごの実験〉であり、その説明は次のように簡潔なものである。

そのすべての穴がしっかりふさがれたふいご(soufflet)は、開けるのが困難である。そしてこれを開けようとすると、まるでその両翼が張り付いているかのような抵抗を感じる¹⁹⁾。

ふいごは空気中に置かれており、その口は革か何かを縛り付けてふさいである(図4)。説明によれば、同じように本体の穴もすべてふさがれている。

これに続き、従来、人々がこの現象をどう理解してきたかが述べられる。これが真空嫌悪説による説明になる。

この抵抗は、真空に対して自然が抱く嫌悪から起こるとされている。もしふいごが広げられると、そのなかに真空が生じるというのである。その証拠に、ふいごの口を開けると、たちまちこの抵抗はやみ、ふいごを広げると、空気がそのなかに入り込んで、これを満たすことができる²⁰⁾。

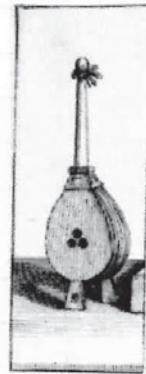


図 4

¹⁹⁾ OCM, II, p. 1066.

²⁰⁾ *Id.*

パスカルはこの説明が自説とは異なることを示すために、イタリック体で表記している。この処理は、以下、第2章全体を通して同様である。

パスカルにとってふいごは、注射器やサイフォンとともに馴染みの道具の一つで、本稿冒頭で見たように、最初の著作『新実験』においても、提示される実験中の2番目に使われていた²¹⁾。そこでは、穴を密閉されたふいごは水中に置かれ、力を加えてこれを開くと内部に見かけ上の真空が生じ、いかなる物体も空所を満たしに入ってくるようには見えなかった。哲学者たちの主張に反して、真空を生み出すためには無限大ではなく、「中程度の力」で十分であり、自然は、真空が生じるのを全力を挙げて阻止するわけではない、というのが実験の帰結するところであった²²⁾。『大気の重さ』では、この同じ装置がもう一度大気中に戻され、ひとまず真空嫌悪説による（誤った）説明の対象となるのである。

以上の、第1節における真空嫌悪説による現象の説明に対し、対応する第2節の第1項は「口をふさいだふいごを開きにくくしている原因は、大気の重さにある」と題され、詳細な反論が加えられる。旧来の説の誤りを正し、真の原因が大気の重さにあることを示すために、パスカルが考案した装置と論理展開こそは、彼の物理学における説得法の特徴をよく示すものである。

まず用いられる装置の特殊さ、あえて言えば異様さに注目したい(図5)。ここでは、通常のふいごの先に20ピエ(6.5メートル)もの長大な管を取り付け、装置全体を水中に沈めようというのである。ただし長管の先端は開いた状態にして、水面の外に出しておく。実はこの装置は、『流体の平衡』のなかで一度登場したものである(第6章初め)。そこでは、水が水中にあるすべての物体に四方八方から圧力を加え、そのためにふいごを開くのに骨が折れること、またふいごを深く沈めるほど開くのが困難になるのは、それだけ大きい高さの水を支えるためであることが論じられていた²³⁾。



図 5

この装置を、パスカルは『大気の重さ』において再利用する。しかしここでは、同じ装置に新しい意味が与えられている点に注目したい。前の図4のように、大気中に置かれた通常のふいごの口をふさいだ場合と異なり、論敵も今回は真空嫌悪をもちだすことができなくなる。開放された上端の口から空気が自由に出入り

²¹⁾ 少数の装置を趣向を変えて繰り返し使うこと、読者に対するその教育的目的について、次を参照。Dominique DESCOTES, « Aspects littéraires des œuvres de Pascal sur le vide et l'hydrostatique », *Equinoxe*, n° 6, été 1990, Rinsen Books, p. 41.

²²⁾ OCM, II, p. 502.

²³⁾ *Ibid.*, pp. 1055-1056.

きるため、自然が真空を避けようとしてふいごの抵抗を生みだすとは、もはや主張できないからである。ふいごの抵抗が「ただ水の重さからのみ起こることは、絶対に確実²⁴⁾」なのである。こうして、真空嫌悪説は依拠すべき足場を失ってしまう。

真空嫌悪説を破壊したのちに、パスカルは議論の次の段階に進む。水の重さについて述べたことは、葡萄酒、牛乳、油、水銀など、他のあらゆる流体についてもあてはまることであり、水中に置いたふいごに関して確認したことは、「流体の重さの一般的法則、その必然的結果」に他ならない。この一般的法則を空気という特殊なケースに適用すれば、口をふさいだ空気中のふいごを開こうとして感じる抵抗が、大気全体を持ち上げるために生じていることは明らかであろう。それは、水中のふいごを開くために、その上にある水の総体を持ち上げるのと、完全に合致することである²⁵⁾。

以上で、ふいごの実験をめぐる議論が完結する。読者は、空気中に置かれ口をふさがれたふいごから、水中に置かれ、開口部をもつ長い管を取り付けたふいごへと導かれ、そこで納得した論理をもって再び最初の実験に回帰する。そのときにはもはや真空嫌悪という謬説から解放され、「大気の重さ」という正しい理由によって現象を理解できるのである。空気中から水中へ、水中から再び空気中へと進む巧みな論理展開のなかであって、水中実験は、正しい理路へ至るために通過する1階梯として、その新しい役割を見出すのである。

以上のふいごの実験をささえる論理を、次のようにまとめることができよう。

- 1) パスカルは、空気中で通常のふいごに生じる「現象の理由(*raison des effets*)」を理解させるために、これを水中に移すという特別な1段階を加える。この過程を仮に<転移>と呼ぶことにしよう。
- 2) ふいごに特殊な装置(上端の開いた6mの長管)を加えることで、「真空嫌悪説」を否定する。空気は長管から自由に入り込めるので、嫌悪説は根拠を失ってしまう。
- 3) 水中実験は、流体の重さという一般的法則の必然的帰結である。大気中の実験は、それを空気という1特殊ケースに適用したものにすぎない。
- 4) 水中実験において水の重さが「現象の理由」であることが理解できれば、読者は<類推>の働きによって、大気中では空気の重さが理由であると知ることになる。

²⁴⁾ *Ibid.*, p. 1069.

²⁵⁾ *Ibid.*, pp. 1069-1070.

実に巧みな論理の運びと言えよう。この２段階にわたる論理の筋道を、本稿では仮に<転移>と<類推>という言葉で呼ぶことにする。『大気の重さ』第２章は、基本的にこの<転移>と<類推>という２段階の論理に支えられて展開する。その点を、もう一つの実験によって確認しておこう。

3) 注射器の実験

『大気の重さ』第２章第１節の第Ⅲ項は注射器を取り上げて、次のように始まる（図６参照）。

注射器 (seringue) を水に浸してから、ピストンを引っ張ると、水はまるでピストンに固着しているかのように、これについて上昇する。水が吸い上げポンプのなかで上昇するのも、これと同じである。吸い上げポンプはまさしく長い注射器にほかならないのであって、ポンプの水は、そのピストンを引き上げると、まるでポンプに固着しているかのように、これについて上がってくる²⁶⁾。

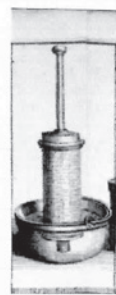


図 6

これに続けて、真空嫌悪説による現象の説明がイタリック体で提示されるのは、ふいごの実験の場合と同じである。

このような水の上昇は、真空に対して自然が抱く嫌悪から起こるとされている。もし水が上がってこなければ、空気はそこに入ることができないから、ピストンが離れた場所には真空が生じるというのである。その証拠に、空気が入ってこれるような隙間をつくると、もはや水は上昇しない²⁷⁾。

注射器もパスカルにとって『新実験』以来なじみの深い器具である。同所の第 6 実験は、水銀を入れた容器に注射器の先端部を浸し、ピストンを引き上げると水銀がそれについて上昇するというものであった。水銀の上昇は 2 ピエ 3 プース（約 73 センチ）の高さで止まり、それより上部には見かけ上は真空の空間が生じたのである²⁸⁾。『新実験』では空気中で水銀を引き上げる実験であったものを、ここでパスカルは、空気中で水を引き上げる実験にひとまず置きかえる。

その上で、真空嫌悪説による説明に対し、『大気の重さ』第 2 章第 2 節の第 Ⅲ

²⁶⁾ *Ibid.*, p. 1066. なお、赤木訳にも注記されているように、seringue と呼ばれている図 6 のような装置を「注射器」と訳すのは、必ずしも適訳でないかもしれない。

²⁷⁾ *Ibid.*, p. 1067.

²⁸⁾ *Ibid.*, p. 504. なお、パスカルは水銀柱の高さを一貫して 2 ピエ 3 プースと表記している。

項において、「注射器やポンプのなかで水が上昇する原因は大気の重さにある」として反論が加えられる。ここでも著者は、現象の理由が「どうして大気の重さにあるかを理解していただくために、水の重さについて生じるまったく同じような結果を示そうと思う」と述べて、ふいごの場合と同様、2段階からなる証明法（水中で水銀を用いる実験の提示→空気中での水の上昇という現象の理解）を用いるのである。

以下でパスカルが採用する論理は、前例にもまして目覚ましいものである。ここでも大気中での実験は水中へと<転移>されるが、そのための装置はいっそう手の込んだものとなる。彼が用意するのは、特殊な働きをする弁 (soupape) を備え、長さ3メートル以上の中空のピストンをもつ注射器である。弁の特殊な働きとは、流体が上から下へは通れるが、下から上へは通れないという仕掛けを指している。この装置の先端を水銀を満した容器に入れ、装置全体を水槽に浸す。ただしピストンの上部の開いた口は水の外に出しておく。ピストンを引き上げると、水銀はピストンに固着しているかのようにしばらく上昇する。

原図では注射器は外側から描かれるのみで、内部で生じている現象が見えないため、筆者が透視図風に描いた図8と9を参照されたい。水銀はある高さ（水深の14分の1相当）まではピストンについて上昇し、そこで停止する。水銀の停止後は、ピストンを引き上げると弁が開いて上から空気が入ってくる。注射器を深く沈めれば、水銀の上昇する高さは大きくなる。

こうした現象の原因は真空嫌悪ではありえない。パスカルは次のように書いている。

それゆえ、これ〔水銀の上昇〕は真空に対する嫌悪からではない。というのは、ピストンが離れた場所に水銀が上昇しないとしても、そこが真空になることは決してないからだ。

空気がそこに自由自在に入れるのだから²⁹⁾。

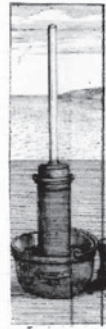


図 7

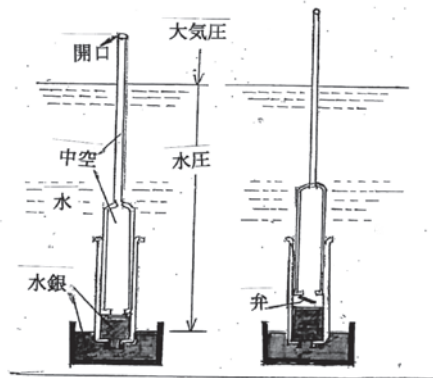


図 8

図 9

²⁹⁾ Ibid., p. 1072.

もはや論敵たちは、水銀上昇の原因を、真空嫌悪に帰することができなくなる。ピストンが離れたあとに生じる空間には、中空のピストン上端から空気が自由に入り込み、そこが真空になることは決してないのだから。つまり、水銀が上昇を続けたのは、真空を避けるためではなかったことになる。そうだとすれば原因は別のところに求めざるをえない。真空嫌悪説に対するこの批判は、実に面白い発想に立ち、読者の意表を突く議論である。敵の攻撃に正面から反論するのではなく、搦め手からする反撃とでも言えようか。

パスカルは上の引用に続けて、現象の真の理由を明らかにする。つまり、水の総体の重さを受けた容器中の水銀は、注射器の口の部分に押しやられ、そこから注射器のなかへ上昇して、「外部から加わる水の重さと平衡を保つのである³⁰⁾」。

こうして水中で水銀を用いるという、新たに加えられた実験の1段階において現象の理由を正しく理解したのちに、読者は、そこで手に入れた論理とともに、大気中で水を用いる当初の実験へ連れ戻される。つまり、「これらの結果の説明は、なぜ空気の重さが、ピストンをあげるにしたがって、通常の注射器のなかで水を上昇させるかを、きわめて容易に理解させるものである³¹⁾」。

最後に、注射器の実験例も、流体平衡という一般的法則の1特殊ケースであることが示されて、議論は締めくくられる。

ゆえに、注射器のなかにおける水の上昇は、ある流体が、何らかの他の流体の重さによって、ただその一部を除き、他のすべての部分において圧せられると、後者の重さが、前者を、それがまったく圧せられていない場所へ押しやるという一般的法則の特殊な1ケースにすぎないことは明らかである³²⁾。

<注射器の実験>についても、前例に倣って、それを支える論理をまとめておこう。

- 1) 第2章第1節では、通常の注射器による、空気中の水を用いた実験であったものを、第2節においては、新たに1段階を加え、水中での水銀を用いた実験に<転移>する。
- 2) このために特殊な装置（長大な中空のピストン、特殊な働きをする弁）を工夫し、「真空嫌悪説」を否定する。ピストン中に空気は自由に入り込めるからであ

³⁰⁾ *Id.*

³¹⁾ *Ibid.*, p. 1073. 「通常の注射器 (*seringues ordinaires*)」とは、特別な仕掛け（長大な中空のピストン、特殊な働きをする弁）を施さない図6のような器具を指す。パスカルの実験において、「通常の」装置と、彼の創意になる「特殊な」装置の2項対立は繰り返し登場する。

³²⁾ *Id.*

る。

3) 水中実験は、流体の平衡という一般的法則の帰結である。空気中で注射器内部の水が上昇する現象は、その一般的法則の1特殊ケースへの適用にすぎない。

4) 水中実験では水の重さが現象の理由（水と水銀の平衡）であるように、大気中では空気の重さが現象の理由（大気と水の平衡）となる。読者は<類推>の働きによって、前者の理解から、後者の理解へと進むことが可能となる。

ふいごの実験の場合と同じように、歴然と目に映じる水中の現象をまず理解させた上で、<類推>によって、目に見えにくい大気中の現象の理解へと読者を導いていく。本稿では2つの例を挙げるにとどめるが、以上の論理展開は、『大気の重さについての論文』第2章の、多くの実験についても適用されるものである。

3 まとめ—パスカルと思考実験

本稿では、パスカルの遺作『大気の重さについての論文』の第2章を中心に検討し、<ふいごの実験>と<注射器の実験>という2つの水中実験を取り上げ、科学的真理を読者の腑に落ちるかたちで納得させるために、著者が依拠する論理と説得法を考察した。そこに見られる創意に富んだ実験とその提示方法は、論理を突きつめて考え抜かれた結果であり、きわめて説得的な効果を生んでいると思える。

それらの実験は、元来、大気中で通常の装置を使った際に起きる現象について、その理解しづらさを減ずるために、著者が特別に手のこんだ、あるいは大掛かりな装置を考案し、しかもその装置全体を水中に沈めて観察するというものであった。こうして新たに付加された1段階・1工程は、きわめて大胆かつ巧妙なものであった。しかし同時に、こうして得られる結論が、正当な手順を踏んだ論理的な帰結に相当するという確信も、考案者にはあったと思われる。

その論理展開を、筆者は、仮に<転移>と<類推>という言葉で表現してみた。すなわち、(1) 実験の水中への<転移>と、(2) 歴然と目に映じる水中の現象を理解した上で、<類推>によって、目に見えにくい大気中の現象の理解へ進むという、この2段階からなる証明法は、パスカル物理学が読者説得のために案出した独創的な方法である。これによって、「真空嫌悪説」は、完全に息の根を止められることになる。

ところで、本稿中でも何度か触れたように、『大気の重さについての論文』が提示する水中実験の多くは、おそらく当時では実現不可能な、思考実験・仮想実験であったように思われる。ボイルの批判にもある通り、大規模な装置を作るこ

と、それを大きな水槽に沈めること、水中で正しく観測すること等々、どれをとっても実行の困難なことばかりである。

では、仮にパスカルの議論が事実に基づいたものでなく、紹介されている実験（の幾つか）が実行されていない仮想のものであるなら、それをまじめに検討することは無意味なことであろうか。これはパスカルのような思想家・文章家を対象とする場合、思いのほか重要な問題に思われる。この点については、パスカルの他の物理学実験をも参照しつつ、とりわけその説得術やレトリックとの関連からあらためて検討してみたいが、ここでは暫定的に以下の点を指摘しておきたい。

仮に思考実験であっても、正しい理路に従って考え抜かれ、論理を突きつめた先に姿を現す実験が、論証の1段階として十分に機能し、読者を説得して正しい結論へと導くことはありうるのではなからうか。そのような場合、それは完全に否定されるべき議論なのであろうか。

思考実験の中には、もちろん荒唐無稽なもの、ナンセンスなものも含まれていよう。一方、思考実験であっても、その時代には環境が整わず器具も不十分なために実行不可能だとしても、時代が進み必要な条件が満たされるなら、可能になるものもありえよう。

例えば、パスカルが美しい実験図を残した「真空中の真空実験」、実行の困難さが指摘されてきた名高い実験も、350年の時を隔てて、20世紀の日本において、少なくとも4度は再現に成功している³³⁾。無論パスカルが残した実験図とは相当に異なる装置、はるかに精巧な器具を用いてのことである。しかし実験の原理自体は、パスカルが考えたものにほかならない。

水中実験にしても、今日なら、精密な機械やロボットを使えば、実行上の困難は克服できるかもしれない。大気の重さも、流体の平衡も、すでに確固たる真理の列に加わっている現在、その必要がないだけのこともかもしれない。あらためてパスカルの思考の明晰と簡潔、その論理展開の精緻、実験の工夫の独創を、その将来（パスカルから見た将来）における実行可能性をも視野に入れつつ、正しく評価すべきと思われる。そうした検討は、物理学に限らず、パスカルの主要著作の理解にとっても、有意義な作業となるであろう。

³³⁾ 小柳、前掲書、第10章参照。

パスカルの著作と翻訳

Expériences nouvelles touchant le vide, Paris, Pierre Margat, 1647, in-8°, vi-31 pp.

Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs, Paris, Savreux, 1648, in-4°, 20 pp.

Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air, Paris, Desprez, 1663, in-12, f° non chiffré et 232 pp.

Œuvres, éd. L. BRUNSCHVIG et P. BOUTROUX, Hachette, « Grands Ecrivains de la France », tomes I-III, 1908 (*OGE* と略記).

Œuvres complètes, éd. Jean MESNARD, Desclée de Brouwer, tome II, 1970 (*OCM* と略記).

『パスカル科学論文集』松浪信三郎訳, 岩波文庫、1953年.

『パスカル全集』第1巻 (「物理学論文集」松浪信三郎訳・解説を収録), 人文書院, 1959年 [第2版, 1967年].

『メナール版パスカル全集』白水社, 第1-2巻, 1993-1994年.

『パスカル科学論文集』(「物理学論文集」赤木昭三訳・解説を収録. 近刊予定).