

ロバート・ボイルの実験室

—ボイル著『空気ばね論』(1660)と『空気ばね論 続編第1部』(1669)の分析を中心に—

Robert Boyle's Laboratory

—through analyzing Boyle's *'New experiments physico-mechanical'* (1660) and *'Its Continuation the Part first'* (1669) mainly—

松野修

MATSUNO Osamu

Boyle wrote a lot of papers on the experiments he performed using his pump. In these papers, he gave full details on what experiments he did and how he carried them out. I've carefully read Boyle's articles again and again. As a result, I realized a certain atmosphere which filled his laboratory.

His laboratory was crowded with many people at any time. He needed a hand of secretaries, assistants and craftsmen with planning, performing and recording. Moreover Boyle had many visitors in his laboratory almost every day. What did they come for? The idle rich came there to see something novel, the scientific experiments. Actually, watching scientific experiments was a type of entertainment for them. In answer to their requests, Boyle himself offered many enjoyable performances. He hoped that science would become popular and spread throughout high society. He wanted to involve the upper classes in scientific activity. Thus, enjoyable performances were essential for his friends and for Boyle as well. Then what was an atmosphere in his lab like? It must have been pretty delightful. Boyle showed us how modern experimental science was born in his laboratory. In his lab, his pump must have been set at the center creating a lively atmosphere. Thus, experimental research and science education was born at the same time at Robert Boyle's Laboratory.

1. はじめに

S. シェイピンはロバート・ボイルが真空ポンプを使って行ったさまざまな実験を詳細に検討したうえで、ボイルのこの研究が複数の者によって遂行されたことを指摘している。そのうえでシェイピンは、ボイルの実験に携わった助手たちについて、1600年代における英国階級社会の文脈の中では「見えない技術者」として扱われる他なかったと説明し、反対に実験立会人たちの名前が『空気ばね論』に明記されているのは、実験事実の信憑性を担保するための著述技術であったとしている¹。しかし筆者は (a)Boyle, Robert, *New experiments physico-mechanical: touching the spring of*

the air, and its effects, 1660, (ロバート・ボイル著『空気ばね論』1660年刊)と(b)Boyle, Robert, *A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical. Touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects. The Part. I*, 1669 (同著『空気ばね論 続編第1部』1669年刊)を丹念に読み返した結果, (1) ボイルは上記の文献において, 実験助手がその場にいたことを何ら隠し立てしていないこと, それどころか熟達した助手たちの助けがあった事実を随所に記していること, (2) ボイルの実験記録には, さまざまな実験を行なった際に見物人と覚しき者たちが同席していたことが数多く記されているにもかかわらず, 立会人たちの名前はほとんど記されていないことを明らかにしたⁱⁱ。つまりボイルが真空実験を行った際, 彼の実験室にはつねに複数の助手や見物があり, ほぼすべての実験はそれらの人びとの前で行われたと考えてよい。そしてボイルはその事実を何ら隠し立てしていない。ではボイルはなぜ多くの立会人の介入を許したのか。そしてそれらの立会人はボイル実験にどのように関与したのか。本稿では上述の2本の実験報告の分析を通じて, ボイルの実験室に漂っていたであろう雰囲気の復元を試みる。

【凡例】以下, ボイルからの引用は M. Hunter and E. Davis ed., *The Works of Robert Boyle*, Vol.1, Vol.6, 1999 により, 資料 (1) からの引用は「Boyle, 1660, p.」, 資料 (2) からの引用は「Boyle, 1669, p.」と表記する。

2. 実験室の中の立会人たち

(1) 実験に干渉する立会人たち

ボイルの実験に立ち会った見物人たちは, 実験が行われる様を無言のままに観察していたのではなかった。彼らは時にボイルの実験に協力し, 実験の証人として名前を証した。のみならず時にボイルが説く理論に疑問を呈し, ボイルの実験計画に容喙し, それを妨げすらした。

1600年に発表された実験集では, 呼吸に対する空気的作用がひとつの研究主題になっており, 小鳥をレシーバ(排気鐘)に入れて空気を抜く実験がいくつも報告されている。この実験は立会人たちの間でたいへん人気があったのだが, その反面, あまりにも残酷だとして実験が妨げられることもしばしばだった。ボイルはそのようすを次のように記している。「この種の実験はとても不思議なので, 高貴な地位にあるさまざまな方がた, いろいろな専門家や紳士淑女に何度もご覧いただく光栄を賜りました(その中には貴婦人や貴族だけでなく博士や数学者もおいででした)」(Boyle, 1660, p. 286)。レシーバから空気を抜かないでいたら, 小鳥がどれだけの時間生きているか確かめようとしていたときのこと。「小鳥はレシーバの中で10分ほど生きていました。おそらくもっと長く生きていたにちがひありません。しかしこのときは, 実験に立ちあっていたある気高い紳士が鳥を救ってやろうと言いだしたので, 実験が中断されてしまいました」(Boyle, 1660 p. 287)。小鳥を入れたレシーバから空気を抜こうとした矢先に妨害されたこともあった。「このときも(貴君ともつながりがある)ある貴婦人が哀れんで, すぐに空気を入れるようわたしに命じました。このため激しくあえいでいた鳥はすぐに元気になって, このご婦人の哀れみを享受できる状態にまで回復したのでした」(Boyle, 1660, p.287)。逆にレシーバから空気を抜いてみせてほしいと懇願さ

れたこともある。「[ネズミは]そのままにしておいたらもっと長く生きていたにちがいありません。ところがこのとき、たまたまある優れた好学者がわたしを訪れていて、空気を抜いたらほんとうにネズミが死ぬかどうか見せてほしいと強く望まれました」（Boyle, 1660, p.286）。立会人たちからのたびたびの干渉を免れるべく、彼らは深夜になってから実験を行うこともあった。「これとは別のときに、他人にじゃまされないよう夜中に実験をやったことがあります」（p. 287）。

1669年に発表された実験報告集では、実験装置そのものを見物人たちに持っていかれてしまったと書かれている。ボイルらは毛細管現象を観察するために細いガラス管を用意し、管のいっぽうの端にリネンのぼろきれを結びつけた。次に慎重にそしてできるかぎりぎっしりと管に酸化鉛を詰め込んだ。この管をまっすぐ立て、管の下端をくそれほど深くない、口の開いたガラス容器の中に立てた。「わたしたちが期待したとおり、こうやって用意した管の中に水が少しずつ浸み込んでいきました」。水はとうとう高さ30インチにまで達したⁱⁱⁱ。ところがボイルによれば「わたしたちの学会の人びとは好奇心からこれをぜひ見たいと言い出し、けっきょくこの装置をほかのめずらしいものといっしょに陳列してしまったので、わたしはこの特別なガラス管を使った観察をそれ以上つづけられなくなってしまいました」とある。そのため、ボイルは別の管と酸化鉛を用意し、改めて準備を整えてから実験にかからねばならなかった（Boyle, 1669, p.106）。

（2）実験室での歓声

とはいえボイルは立会人たちのこうした干渉を迷惑がっているようには書いていない。彼は立会人たちが実験に参加することを歓迎していたし、新奇な実験を目の当たりにしたときの参加者たちの驚きの声を伝えようともしている。

ボイルは最初空気ポンプを使って、レシーバの中から空気を抜くようすを見物人たちに見せた。まずシリンダー内の空気をピストンで追い出し、次にレシーバの中にある空気を空になったシリンダーに導くためにコックをまわす。するとそのとたん、いつでも鋭い音がした。レシーバからさらに多くの空気を抜いてからハンドルから手をはなすと、ピストンはシリンダーのてっぺんに向かって跳ねあがった。ボイルはこれらの一連の動きをく空気にはばねのような性質があることによって説明しているのだが、その説明はともかくとして、「実験1」の最後をこう結んでいる。「貴君にとっては少し余計なことかもしれませんが、わたしたちのエンジンを使ってこの現象をはじめて見せたとき、学識ある人びとですらたいへん不思議そうな顔をしていたことを余談ながらつけ加えておきましょう」（Boyle, 1660, p. 170）。

「実験25」では浮沈子を使った実験を試みている。小さなガラスびんにおもりをつけ、開口部を下にして水槽に沈める。この水槽をレシーバに入れて空気を抜く。レシーバから空気を抜くにしたがってガラス小びんの中の空気が膨張するので、小びんが水面に浮いてくる。しかしこの時には小びんが浮いて泡を吐き出したあと、いくら空気を抜いても底に沈んだままいっこうに変化がなかった。ボイルはそのあとのようすを実験者の気持ちとともにこう記している。「それからあともしばらくポンプを動かしつつつけましたが、小びんに何か特別な作用がはたらいているようにはまったく

見えませんでした。〈びんが浮くようすは見られそうもない〉と失望しかかりながら、それでもポンプを動かしつつづけていると、とうとう小びんが水面にあがってきました。(中略)このようすに元気づけられて、わたしたちはまたポンプを動かしつつづけました。するとうれしいことに、わたしたちが開閉栓をまわすたびに、びんの中の空気は大きく膨らみました」(Boyle, 1660, p. 226)。びんは水面で泡を放出しては沈下する運動を繰り返した。ボイルはこの実験の意義について「くものは自分と同じ体積の水より軽いときには水に浮く」という水力学の基本法則は、液体と物体にかかる大気の圧力がほぼ完全になくなったときでも同じようにあてはまるということが明らかになりました」とまとめている(Boyle, 1660, p. 227)。しかしそれと同様に、実験室の歓声が聞こえきそうな記述にも注目すべきであろう。

ボイルの著述には「意外な結果に居合わせた者たちがびっくりした」という記述が数多く見られる。そうした記述は『形相と質の起源』のような純理論的な著述にすら含まれているが、実験記録集にはさらに多く散見される。たとえば、これは空気ポンプを使った実験ではないが、別の機会にぼうこうに空気を入れて熱したことがあった。「しばらく火に近づけたらものすごく大きく膨らんでパンパンになりました。さらにそのまま火に近づけておいたら、突然大きな音とともに爆発したのです。おかげでそばにいた人たちもわたしたちも聴覚が麻痺して、しばらく何も聞こえなくなってしまいました」(Boyle, 1660, p. 176)。先に紹介した毛細管現象の実験を準備したときにも参加者を驚かせている。ボイルは手先の器用な職人に頼んで、ランプの炎でガラス管を何本か引き延ばしてもらった。そのうちの1本はとても細く、それを使うと水は5インチもの高さにまで(あたかもひとりで)上昇することがわかった。「管をできるだけ垂直に立てたのに、水がこんなに高くまでのぼったので、この実験を見ていた著名な数学者たちは少なからず驚きました」(Boyle, 1660, p.252)。別の実験では、「予期しない事故が起こってみなが驚いた」とも書いている。その実験の手順は以下のとおり。100ccほどの容量があるびんにガラス管に差し込み、びんの首の部分から空気が入りできないように塞ぎ、これをレシーバに入れる。このときびんから出ているガラス管はレシーバ上部の蓋を貫通して外気とつながるようにしておく。レシーバから空気を抜いたとき、つまりびんのまわりの空気を抜いたとき、びんの内部には外気による力だけがはたらくことになる。この状態でびんはその力に耐えられるかどうかを確かめるのがこの実験の目的である(Boyle, 1660, p .181)。ところが「空気を抜こうとしてピストンをシリンダーの下に押し下げたところ、ピストンがさがりきるより前にびんが割れ、手のひらの半分ほどもあるガラスの破片が飛び出し、ものすごい勢いでレシーバの側面にぶつかって粉ごなに砕け散りました。そればかりかレシーバ自体にもいくつも割れ目ができました。このときものすごい音がしたので、部屋にいた人たちはみなたいそうびっくりしました」(p .181)。びんは予想よりもずっと早く、しかも猛烈な勢いで破裂し、その破片が当たってレシーバにひびが入り、亀裂から空気が急速に侵入したので、一同は肝を冷やしたのだった。

別の実験のときにも、「居合わせた人だけでなく、実験を執り行った者も驚いた」とある。それはレシーバに入れたガラス玉を破裂させようとしたときである。『続編第1部』「実験9」では、ガ

ラスを溶かして封をしたガラス玉をレシーバに収め、レシーバから空気を抜いてこのガラス玉を破裂させようとした。この実験は1660年には「結局、うまくいかなかった」と報告されていた(Boyle, 1660, p.181)。ボイルはそのことについて「けれどもわたしたちはそれからあとになって、もっと小さなレシーバを使うことにしたので、それ以降はほとんど毎回成功させられるようになり、おかげで優れた好学者の人びとを大いに驚かせることになりました」と書いている(Boyle, 1669, p.58)。実験に先だってボイルは立会人たちを前に、自信満々にこう説いた。「わたしは実験をはじめに先だって同席していた人たちに向かってこう告げました。『わたしがこれまで何度も観察したところでは、こういうガラス玉は決してすぐには破裂しません。これが破裂するのはガラス玉のまわりにある空気を抜きおわって、それからしばらくたってからです』と」(p.58)。ところが実験をはじめてみると、いつものようにはうまくいかない。「わたしたちがポンプを使って空気を抜いてからかなりの時間がたっても変化はいっこうに現れませんでした。わたしたちは『このガラス玉はじょうぶすぎるのではないか』と疑い、『この実験はやっぱりうまくいかないのではないか』と諦めかけました。そこで別のガラス玉をレシーバに入れてみることにして、その用意にとりかかりました。はじめのガラス玉はポンプで空気を抜いたあと、4分ほどそのままの状態で放置されていたのですが、突然、中に閉じ込められていた空気のばねが激しくガラス玉を破裂させたので、わたしたちはびっくりしました」(p.58)。ここでも実験結果をただ簡潔に記すのではなく、事が成就するまでの過程を丁寧に記し、立会人たちの反応を伝えている。

おもりを使った実験でも、立会人たちが驚いたことが報告されている。「実験33」では、直径約3インチの真鍮製のシリンダーを使って空気を抜いたあと、どれだけのおもりを吊したらピストンを引き上げられるかを試した。このときにはピストンの摩擦を打ち消すためにあらかじめ28ポンドのおもりをつけ、加えて112ポンドのおもりを足したらようやくピストンがさがった。次に28ポンドのおもりを14ポンドのおもりに変えると、ピストンは上に向かって動きはじめた。ボイルはこのときのようすをこう書いている。「さっき説明したようにピストンはときどきシリンダーの上の部分に引っかかって止まりましたが、ちょっと手を添えてやるとピストンはそれまでと同じようにのぼりつづけました。これを見た立会人たちはとても驚きました。彼らはどうしてこんな重いおもりがひとりであがっていくのか理解できなかったのです。何の力も働いていませんし、何かが吸いあげているわけでもないのに、どうしてピストンはあがるのかわからなかったのです」(Boyle, 1660, p.242)。

おもりを持ちあげて居合わせる人びとを驚かせたことは、『続編第1部』「実験48」でも触れられている。ボイルらは真鍮の筒の中に空気を少しだけ入れたぼうこうを収め、その上に鉄のおもりをのせた。これをレシーバに収めて空気を抜くと、ぼうこうの中の空気が膨らんでおもりを持ちあげる。ボイルはこの実験を企画した理由について、おおぜいの見物人たちに〈空気ばね〉の性質について納得してもらうにはこれほど適したものはないと説明している。「けれども考えてみると、わたしたちのエンジンを使ってできる実験のうちで、おおぜいの見物人たちをこんなにも不思議がらせる実験はほかにありません。しかもそういう人たちだって、空気のばねについてのわたしたち

の意見に賛同してくれるようになります。なんといってもこの実験では、見物人たちは堅い物体が持ちあがるのを目のあたりにするのですから」(Boyle, 1669, p. 155)。「こんな試みを見せられたら、たいていの見物人はとても不思議に思うにちがいません。そのことは貴君もきっと信じてくださるでしょう」(p. 156)。

(3) 知的な楽しみごととしての実験

実験を通して意外な事実に驚くことは知的な楽しみでもある。実験報告には単刀直入に「この実験を立ち会い人たちと楽しんだ」、「人びとはそのようすを見て不思議そうな顔をした」と書かれている箇所もたくさんある。

空気を抜いた大きなレシーバと小さなガラス球をつなぐ。そしてふたつの容器をつないでいる栓を開けると、小さなガラス球に入る空気は大きく膨張し、まるでミルクで満されたように白くなる。「わたしたちはこの実験をくり返しおこなっては、そのようすを眺めて楽しみました」(Boyle, 1669, p. 268)。〈純粋なワイン精製液〉と〈ふつうは金属性の物質とみなされる成分から抽出された、ひじょうに純粋で透明なエキス〉を混ぜ合わせた薬品を観察したときにも、「わたしたちは冬から春にかけて、毎日のようにこの液体が濁ったり、それから少しあとになって澄んだりするようすを何度も眺めて楽しみました」とある(Boyle, 1660, p. 270)。レシーバに昆虫を入れて空気を抜いたときにもそうだ。「わたしたちは働きバチと、ニクバエと呼ばれるふつうのハエの一種、それにキバガの幼虫と呼ばれるイモムシの一種をそれぞれ1匹ずつ捕まえてきました。3匹を小さなレシーバに入れて、見物人たちが不思議そうに眺めている前で観察をおこないました」(Boyle, 1660, p.293)。『続編第1部』「実験40」では背の高いガラス管から空気を抜き、その先端からコインと羽根とを同時に落としてその速度を比較した実験を行っている。これについても「この装置はそれ自体がなかなかゆかいな現象を見せてくれるので、こういったものを見慣れていない見物人たちを大いに喜ばせることでしょう」と書いている(Boyle, 1669, p. 140)。

ボイルは実験を楽しむために、物理学的には特段の意味はなくても、装置にわざわざ手を加えることもあった。『初版』「実験2」では、レシーバから空気を抜いたあと、レシーバの上部に設置した真鍮製の栓を引きあげられるかどうか、立ち会い人たちに実際に試みさせている。「それからもうひとつ、いつも同じように驚かされることとして、わたしが第2の実験をおこなったときに観察したことを述べておきましょう。レシーバをほぼ完全に空っぽにしたとき、ある立会人が『さっき説明したふたに差し込んである)真鍮の栓を持ちあげてみよう』と言いました。けれども容器からたくさん空気を抜いたあとでは、それはとてもむつかしいことが彼にもわかったのです」(Boyle, 1669, p. 170)。ボイルはこのあと、真鍮の栓にぼうこうをくりつけて引っぱる体験をさせている。「この栓にぼうこうを結びつけるだけで人びとがどんなに驚くか、そのようすを見るのはとても楽しいものです。(わたしたちはそういうことをしばしば余興としておこなったのです)。レシーバには空気のような軽いものしか入っていないのに、何かひじょうにどっしりした重さのあるものがぶらさがっているかのように人の手を強く引っぱるので、人びとはたいそう驚いた

のでした」（Boyle, 1660, p.171）。これは物理学的には特段、意味がない操作かもしれないが、「人が驚くようすを見るのはとてもたのしい」のである。

『続編第1部』「実験4」ではレシーバの中に〈噴水〉を設置した。この装置は高さが1メートル近くもあって、準備に手間のかかるたいへんやっかいな代物である。この装置の仕組みは以下のとおり。まず適量の水を入れたガラスびんを用意し、このびんに両端が開いた3フィートの細いガラス管を立てる。ガラス管の下端を水面より下にもってきて、管を垂直に立て、びんに通したガラス管のまわりを密封剤できっちり封をする。次にこの装置を洋梨型の大きなレシーバに収める。このレシーバの両端は途中で水平に切断されて、互いに平行になっている。このレシーバは、3フィートの長さがあるガラス管全部をおおえるほど背が高くできなかったため、このレシーバの上部に透明なガラスでできた小さなレシーバをつぎたした。〈容器に閉じ込められた空気は、まわりの空気がとり除かれると大きな力を発揮する〉ということは、たとえばぼうこうを使った他の実験ですでに確かめられているのだし、そのときの力の大きさについては直前の『続編第1部』「実験1」から「実験3」で、水銀を使って定量的な計測まで行っている。それなのにわざわざ水を使って実験をしようというのはどういう意図があるのか。ボイルの説明はこう続く。「このようにして、あとからかぶせた小さなレシーバのまん中あたりにガラス管の先端がくるようにします。こうすれば噴水が吹きあがるのにじゅうぶんな余地が確保されるので、噴水が動くようすをくわしく観察できるからです」（Boyle, 1669, p.52）。こうしておいて、水の吹き出し口にさらにちょっとした工夫を加える。「こんな便利な方法もあります。ガラス管の上端をうんと細くしておく（これはランプの炎で簡単にできます）、ごく小さな口からしか出られないので、水は少しずつゆっくりと噴出し、いつまでも実験をつづけられます。「ふたに〈針の先くらいの小さな穴〉をあけた細い枝管を取りつけ、穴のうちのひとつはまっすぐ上に向け、もうひとつは右側に、もうひとつは左側に向けておきます。こうすると水はいろんな方向に回転しながら噴出します。（フランス人は）庭園や人工の洞窟に枝管つきの噴水を設置したものを〈ジェデュ〉と呼んでいます、それと同じようなものを作ることができます。「それにびんを大きくすればこのゆかいな光景をもっと長く楽しむことができます。そのためには以下に記すようなちょっとした工夫を加えるものいいでしょう」（Boyle, 1669, p.53）。ボイル自身は「この実験はただ単にゆかいなことを見せるためではないのです」と断り書きをしているものの、「実験4」のはじめに「わたしはこの場に、前の実験の原理〔「実験1」から「実験3」〕を応用したものをつけ加えておきます。この場でそれについて述べるほどの価値があるとは思いませんが、しかし多くの好学者の方がたに少なからず喜んでいただけるでしょう」とも書いており、実験を楽しむためのものであることを認めている（p.50）。ボイルが報告している実験の中には、物理的機械的な意義は必ずしも明瞭ではないとはいえ、知的な好奇心を満たすパフォーマンスとしては大いに歓迎されたであろうものが多く含まれている。

3. 科学教育の場としての実験室

ボイルが設計したいろいろな実験は言うまでもなく人びとを驚かせ、喜ばせるためではなく、(当

時の用語法に則れば), 自然哲学的な関心から企画, 実現されたものであった。ボイルは『空気ばね論初版』の末尾で, 空気ポンプの製作に見通しがついたとき, 従来から疑問に思っていた自然科学上の課題を探究するためにこの装置を使ってどんな実験をするべきか, 一気にその構想がうかびあがったと書いている。「この装置がうまく作動することがわかったとき, わたしはすぐにいろいろな実験を考えつき, わずか1時間半のうちにその項目をメモとして列記したのですが, ここで試みることができたのはその一部でしかありません」(Boyle, 1660, p. 299)。その内容は〈空気のはねとしての性質〉, 〈大気の高さと高さ〉, 〈真空中における物質の物理化学的変化〉, 〈真空中における生物の反応〉, 〈大気圧の時間的変化〉など実に多岐にわたっている。ボイルらは自らのポンプを改良するとともに精神的にこれら分野を開拓し, それから10年もしないうちにほぼ同数の実験記録を公にするに至った。本稿で取りあげているこれらの実験報告を自然科学的な観点から分類整理したリストは本稿の末尾に掲げたとおりである。従来の科学史研究ではこうした自然科学的な観点にのみ関心が払われてきたのだが, しかし彼の実験報告を具に検討すれば, 実験を設計し実施するにあつてボイルは自然科学上の議論に必ずしも精通していない人たち, つまり初学者の存在をじゅうぶんに意識し, 彼らに対して特段の配慮をしていたことが見てとれる。

(1) 実験についての冗長な記述

ボイルは〈空気のはねとしての性質〉を説明するにあつても, 考えられるかぎりの反論を用意し, そうした反論に対して周到に実験を重ねながら論駁している。ここではその一例としてぼうこうを使った実験を採りあげよう。ボイルは『空気ばね論初版』の「実験1」から「実験3」までで, 空気を抜いたときのピストンとシリンダーの状態について説明し, 〈空気にはばねのような性質が備わっている〉と言う仮説を提示したあと, 「実験4」で初めてレシーバの中に試料を入れて空気を抜く実験を示している。子羊のぼうこうに少量の空気を入れて口をきつくしばり, これをレシーバに入れる。するとレシーバからせいじいばい空気を抜き出すまでもなく, ぼうこうはまるでストローで空気を吹き込んだときのように完全に薄く伸びきるまで膨張した。ボイルは, 「この実験は数年前にロベルヴァル氏によっておこなわれたものとほぼ同じだ」と解説したあと, この実験について次のような疑問が呈されている, とつけ加える。すなわち「このときぼうこうが膨らんだのはまわりの空気が弱くなったからではなく線維の構造のためではないのか」, 「この実験では線維を圧縮し, これをたわめていた周りの空気がなくなったので, ほかのばね状のものと同じように線維のばねがもとにもどったのではないか」という反論があった。そこでボイルは, さっき用意したのと同じ状態のぼうこうのほかに, ふたつのぼうこうを用意した。そのひとつは口はしばらずにおいて, 中の空気が出ていけるようにする。もうひとつは両側を引っぱってカップのような形に整え, 中の空気をしばりだしてから口をきつくしばる。この3つをいっしょにレシーバに入れて空気を抜いてみせ, 最初のものだけが膨れることを示した。さらにこれとは別に, 長細いぼうこうに少しだけ空気を入れ, じょうぶなひもでまん中をきつくしばったものをレシーバに入れた。そしてその結果, ひもでくくられて, 空気が出ていけなかった下の部分だけが膨れることを示した (Boyle, 1660, pp. 173-

175)。続く「実験5」では、ひもで口をくくられたぼうこうが破裂するようすを示している。もし「ぼうこうの線維を圧縮し、これをたわめていた周りの空気がなくなったので線維のばねがもとにもどった」というなら、破裂するはずがないではないか。ボイルは「だからこの実験をみれば、誰でもくぼうこうが破裂したのは線維組織のためではなく、その中に閉じこめられていた空気のためだ」と考えるだろう」と締め括る（Boyle, 1660, p. 175）。〈空気にはばねとしての性質が備わっている〉というボイルの理論が正当なものとして受け入れられた今となっては、これらはいかにも冗長な実験に思われるかもしれない。しかしこうしたボイルの丁寧な実験と説明に裏打ちされてこそ、その理論が正当なものとして受け入れられるのに成功したことを忘れてはならない。

空気を抜いたレシーバの中でぼうこうを破裂させる実験についてボイルは「この実験はとても不思議なので、大勢の見物人たちにいつも好評である」と書いており、その後何度も再演されたと思われる。これから9年後に公にされた実験報告では、この実験の結果だけでなく、「空にしたレシーバを使ってぼうこうを破裂させるとき、わたしたちがこれまでほとんど失敗したことのない方法」についても書き添えている。「入念に空気を抜いたレシーバの中で、どうやったらぼうこうをうまく破裂させられるか、そのコツと応急の処置を知っていることは時にはとても役にたつからだ」（Boyle, 1669, p. 56）というのだが、これはつまり〈実験をして見せる側の人物〉に宛てて書かれた註釈である。ボイルらはすでにこの時点で、自分たち以外の人びとによってこれらの実験が演示されることを想定していたのである。

（2）体感する立会人たち

ボイルは〈しろうと〉を積極的に実験に参加させ、その実験の意味を理解させようとしていた。たとえば『続編第1部』「実験33」では、シリンジの先におもりをつけ、これをレシーバに入れて周りの空気を抜いたとき、どんなことになるか示している。この実験の意図は、「ほとんどの見物人をこれほど深く納得させられる実験は、これよりほかに見あたらないから」である。「この実験では、見物人たちはとても重くて固い物体が（その物体の上にある空気の働きによって）上にあがっていくようすを目の前で見せられるのですが、しかしそのとき、それを押しあげているものはまったく見えないのです」（Boyle, 1669, p. 118）。

これとは別にボイルが文字通り、「この実験はしろうとの人たちにいちばんよく見せることのある実験」と呼んでいるものもある。それは真鍮製のリングを使う実験である。リングの高さは2と1/2インチから3インチ、内径は3と2/10インチある。このリングのうえに、丸いガラスの断片を何枚か順番につなぎあわせ接着剤で固定する。こうしてガラスの板と真鍮製のリングでもって「一種のレシーバのようなもの」を作り、リングの下部をポンプの台上に固定する。するとこのガラス板は、たいていはポンプを1度動かして空気を抜いただけで、ものすごい勢いで内側に向かって割れてしまう。ボイルは「これなら〈空気にはとてもつもない重さが上からのしかかっている〉ということを経験的に、しかもわかりやすく示して見せられます」としている（Boyle, 1669, p. 54）。

ボイルはわかりやすい実験をたくさん用意するだけでなく、参加者自らに空気のばねの力を体験させようともした。『続編第1部』「実験18」では、金属性の筒の上に掌を載せ、筒の中から空気を抜いて、外気の大きさを直接に感じとらせようとしている。ボイルがこの実験を計画したのは、できるだけ単純な装置を使って、空気の圧力の大きさを誰もが納得できるようにするためだった。「確かにわたしたちがおこなったいろいろな実験を示せば、合理的にものを考えられる人なら、空気の圧力がどんなに巨大であるかわかってくれるでしょう。しかしそういう実験をするには、特殊な形をしたガラス器具が必要になることがしばしばですし、ほかの実験器具だっていつでも手に入るとはかぎりません。それにほかのどんな方法であっても、けっきょくは自分自身で直接に感じなければ、圧力がどんなに大きくても、確かにそのとおりだと納得してくれない人もたくさんいます。そこでわたしはもっと簡単な実験を工夫することにしました。そういう人たちがもっぱらあてにしている自分自身の感覚に訴えるような実験、したがって広く誰にでも信じてもらえるような実験をやってみることにしました」(Boyle, 1669, p.83)。この実験はもっぱら教育的な観点から企画されたのだった。さらにそれだけでなく、参加者にケガを負わせないための留意点についてもふれている。真鍮の筒の口径が2インチないし2.5インチを超えると、あまりに大きな力がかかって、「実験に参加する人たちの手を傷つけたり、たいへんなケガを負わせたりすることになります」。それから空気を抜くときにはその旨を予告しないととても危険である。「実際わたし自身もすんでのところでも手に大ケガをすところでした。そのこと思い出すにつけ、わたしとしては、『このことについてぜひとも注意を喚起しておかねば』という切実な気持ちになるのです。そのときはポンプを管理していた人がたまたま誤って、わたしに何も告げないまま、ほかの目的のためにポンプ動かしはじめたのでした。ところがそのときわたしは、ひじょうに大きな口の開いた器具の上に、自分の手を載せていたのです」(p.84)。ここでもまた、自分たち以外の者によって教育的な実験がおこなわれるであろうことが想定されている。

4. ボイルの実験室の雰囲気

ボイルは彼の空気ポンプを使った数多くの実験について詳細な記録を残している。ボイルの報告にはどんな実験をやったのか、その実験をどんな装置を使って、どのような手順で行ったのかことが細かく書き込まれている。こうしたボイルの実験研究についてはこれまでどんな実験がなされたのかという点だけが注目されてきた。しかし以上詳しく見てきたように、ボイルはこれらの実験をしたとき、実験に立ち会っていた人たちがどんな表情だったかについても詳しく書き残している。彼の実験室にはいつも大勢の人たちがいた。ボイルは自分の実験を計画し、実行し、それを記録するために何人もの秘書や助手や職人に手伝ってもらわなくてはならなかったからである。そのうえボイルの実験室には、毎日のように大勢の客人がやってきた。これらの立会人はいったい何をしに来たのか？ ボイルは自らが着手した実験科学研究が広く世に普及すること、この活動が彼の属する上流社会に浸透していくことを強く望んでいた。ボイルは上流階級の人びとを科学的な研究活動に巻き込もうとしていた。だからこそボイルは社交界の人びとの実験への参加を許し、その人びとの

疑問に応え、これらの人びとに歓迎され、受け入れられようとした。当時の暇な金持にとって、ボイルが行っていた科学実験は、〈何か新奇なもの〉でしかなかったかもしれない。彼らにとって科学実験を眺めることは一種の娯楽であったにちがいない。それでもそうした彼らの求めに応じて、ボイルは楽しくてよくわかる実験を数多く用意し、繰り返してそれを実演して見せた。楽しい実験の実演は彼の友人たちにとって、のみならず科学研究の普及を意図していたボイルにとっても不可欠な要素だったのである。だとすればボイルの実験室の雰囲気はどんなだったろうか？ それはまちがいでなく、かなり楽しげなものだったにちがいない。かくしてボイルによって実験科学研究は、科学教育と共に誕生したのである

5. 実験内容の自然学的分類

（＊印は『空気ばね論初版』、『空気ばね論続編第1部』のいずれかのみで扱われていることを示す）。

『空気ばね論初版』1660年刊

1. 空気ばねの性質、空気ばねの圧力の大きさ

(1) 空気ばねモデルの説明「実験1」＊

(2) 〈大気の重さによって縮められている空気ばね〉が発揮する圧力の大きさ

「実験2」「実験3」「実験7」「実験8」「実験9」「実験32」「実験33」

(3) 大理石の粘着「実験31」

2. 大気の重さ、大気の高さ

(1) 空気（ばね）はどこまで膨張するか＊「実験4」「実験5」「実験6」

(2) 大気の重さ・大気の高さ「実験17」「実験19」

(3) 大気圧の時間的変化「実験18」「実験29」「実験30」

(4) 空気の粒子の重さ「実験34」「実験36」

3. 真空中における物質の物理的、化学的変化

(1) 真空中における燃焼＊「実験10」「実験11」「実験12」「実験13」「実験14」「実験15」

(2) 真空中の磁石「実験16」

(3) 地球上の空気はどこから発生しているのか？

「実験20」「実験21」「実験22」「実験23」「実験24」「実験28」「実験42」「実験43」

(4) 真空中における浮力の原理＊「実験25」

(5) 運動する物体（ふりこなど）に対する空気の抵抗「実験26」

(6) 真空中での音の伝播「実験27」

(7) 真空中のサイフォン・毛細管「実験35」

(8) 真空中での光の発生「実験37」

(9) 真空中での熱＊「実験38」「実験39」

(10) 真空中の生物＊「実験40」

(11) 空気と呼吸＊「実験41」

『空気ばね論続編第1部』1669年版

1. 空気ばねの性質, 空気ばねの圧力の大きさ

- (1) 大気ของความによって縮められている 空気ばねが発揮する圧力の大きさ「実験1」「実験2」「実験3」「実験4」「実験5」「実験6」「実験7」「実験8」「実験9」「実験10」「実験47」「実験48」
- (2) 大理石の粘着「実験50」
- (3) 空気の圧力の方向*「実験24」「実験25」
- (4) 真空中のふいご, シリンジ*「実験32」「実験33」「実験34」「実験35」「実験36」「実験37」「実験38」「実験39」ただし『空気ばね論』1660年「実験28」p. 231-232には「実験39」の構想が記されている

2. 大気ของความ, 大気の高さ

- (1) 大気ของความ・真空中の真空「実験11」「実験12」「実験13」「実験14」「実験15」「実験17」「実験18」「実験19」「実験21」「実験23」「実験26」
- (2) 空気の粒子の重さ「実験30」「実験49」
- (3) 大気压の時間的变化「実験22」
- (4) 静水力学に関する説明*「実験20」

3. 真空中における物質の物理的, 化学的变化

- (1) 真空中のばね*「実験16」
- (2) 真空中の磁石「実験31」
- (3) 地球上の空気はどこから発生しているのか?「実験46」「付論」
- (4) 運動する物体(ふりこなど)に対する空気の抵抗「実験40」
- (5) 真空中での音の伝播「実験41」
- (6) 真空中の毛細管「実験27」「実験28」「実験29」
- (7) <ルパート王子のガラス滴>の破壊*「実験42」
- (8) 真空中での光の発生「実験43」「実験44」
- (9) 真空中での摩擦熱*「実験45」

¹ Steven Shapin, Pump and Circumstance: Robert Boyle's Literary Technology, *Social Studies of Science*, November 1984, vol. 14 no. 4 pp.481-520. S. Shapin and S. Shaffer, *Leviathan and Air Pump*, 1985. Steven Shapin, The House of Experiment in Seventeenth Century England, *ISIS*, 79, 1988. Steven Shapin, The Invisible Technicians, *American Scientist*, Vol.77, 1989.

² 松野修「ロバート・ボイル『空気ばね論』(1660)における『実験立会人』」日本科学史学会発表, 2015年5月, 松野修「ロバート・ボイル『空気ばね論』(1660)における実験立会人」『愛知県立芸術大学紀要』No. 45, 2016年3月, 松野修「ロバート・ボイル『空気ばね論 続編第1部』(1669)における『実験立会人』」日本科学史学会発表, 2016年5月。

³ ボイルが付した「原註」には「この実験をおこなったのは(もし記憶がまちがっていなければ)1662年の末だった」とある。バーチ編『王認学会の歴史』には「1662年5月28日, ボイル氏はガラス管の中に詰めた白い砂の中を水が上昇するようすを見せた」とある。Birch Thomas, *History of the Royal Society of London*, 1968, rev. ed. p.84.