

17世紀の科学者バスカルにおける「真空論争」と その実験的手法について

文学研究科歴史学専攻博士前期課程一年

四倉 武士

はじめに

17世紀において様々な現象を証明する方法はスコラ哲学的な証明方法であった。スコラ哲学的証明方法とは様々な現象を哲学的に証明することである。またアリストテレスの提唱した論理を基本とした学問のため、アリストテレスが提唱した論理以外は批判的に扱う傾向がある。そのためコペルニクスやガリレオが実験や観察で発見した事実も哲学的証明で論破されてしまった。この時代では実験や観察よりも哲学証明の方が有利な立場であったことがわかる。

私はそんな時代に、いかにして現代科学の基本である実験による証明方法を確立させたのかをバスカルに焦点を当てて追求していく。

バスカルを選んだ理由は17世紀に「真空嫌悪説」（自然は真空を嫌うため自然界には真空は存在できないと、いうアリストテレスの理論）を論破するために現代科学の基本である実験による証明を確立させた先駆者であるからである。

バスカルの実験を通してバスカルらしい実験や理論を追求していく。

第一章 真空中の真空実験

スコラ哲学とはなんだろうか。最初にそれについて言及していく。スコラ哲学の基本であるアリストテレスの理論によると、この世界に真空は存在できないとしている。そのことについて以下のよう説明している。

水中に物体Xを沈めたとする。物体Xを動かすとその場所を水が満たす。仮に真空が存在するならば、物体Xを動かした場所に全く何もない空間が生じてしまう。しかし、そうはならない。なぜなら自然は真空を嫌うからである。その現象は地上でも起こっており、物体を動かすとそれがあつた場所を空気が満たす。結果、真空は存在できない。その他にも真空は何か？という問題があつた。真空とは何も無い状態である。何も無い状態とはどういった状態であるか？というような定義上の問題があつた。

以上のように科学の話であるのに哲学によって証明するのがスコラ哲学である。バスカルはそれを論破するために真空を実験的に作りだした。

バスカルの真空実験をするきっかけになった出来事は1646年の秋に「トリチェリの実験」を知ったことから始まる。

この実験は10mの試験管の中を水で満たし逆さまにする。逆さまにする際に開いている口は封をする。逆さまにした状態で封をした口を水の張った器の中に入れる。そして封を外す。すると通常微動

だにしない水は落下し、水が外に出る。と、いった実験水が銀を使うことよって1mの試験でその結果がみられるといったものである。(水銀は水の11倍の重量があるため、10mの試験管を使わなくても1mの試験管で良い。)

この実験を行うと逆さまにした試験管の最上部に空間が生まれる。この空間こそが真空なので。と、いった実験であった。しかしこの実験もスコラ哲学派から「試験管自体に我々には関知することのできないほどの小さな穴があいている。そこから空気が入っているため、真空ではない。」と、論破されてしまった。

そのためこの実験以外の実験で証明しなければならなかった。その実験として、真空中の真空実験が考えだされた。その実験は先ほどの実験でできた空間の中に同じような試験管を入れ、その試験管内でも同じような現象が起きるかどうかを検証するものであった。しかし、そのような実験器具を作らなくとも他の実験器具で真空中の真空は作れるとパスカルは考えた。(そもそも、この実験でいっている試験管の中に試験管を入れるということが不可能に近いため、実現不能だった。そのため別の実験をパスカルが考えたのであった。) パスカルの考えた新実験とは図1のような実験器具であった。パスカルは真空中の真空実験として下記のようにすると説明している。

一つは下方の曲げられているガラス管で、Aの端が塞がっていてBの端が開いているのと、いま一つは真っ直ぐなガラス管で、Mと

Nの二つの端が開いているのを、用意しなければならぬ。ただし、上の図に見られるように、一方のガラス管のMの端を、他方のガラス管の曲げられている端にはめこみ、両者を接合させておく。

第一のガラス管の曲げられている端の入り口であるBを、指或いは豚の膀胱のようなもので塞いでおかなければならぬ。さてこの二つのガラス管にはたがいに中が通じているのであるから、二つだとは言いながら、実はまさに一つであるわけであるが、この全体を逆さまにして、これに水銀を満たす。次いでAの端を上にし、Nの端を水銀の満たしてある鉢にいれて、これを元通りに立てる。すると、上の方のガラス管の水銀はことごとく下に落ちるであろう。そうして、一部分がMの孔を通して下のガラス管に流れ込む以外には、その水銀は、全てのガラス管の湾曲部に溜まるであろう。けれども下の方のガラス管の水銀は、ただ部分的にのみ下降して、その幾分かは宙に留まるであろう。そしてその高さは、実験を行う時と場所にもよるが、大体26または27プースぐらいのところである。

さて、この相違の理由はどこにあるかというに、下の方のガラス管の端の、鉢の中にある水銀の上には、空気がその重さを及ぼしており、したがって宙に停止した内側の水銀は空気によって支えられ、それと均衡を保っているけれども、上の方のガラス管の曲げられている端にある水銀の上には、空気がその重さを及ぼしてはいない。なぜなら、そこを塞いでいる指もしくは膀胱にさきぎられて空気の入る道がないからである。したがって、そこには、この場所に重さを及ぼす何らの空気も存在しないから、ガラス管の中の水銀は思い

切りよく下に落ちてしまふ。というのも、何一つとして、これを支えるなり、その落下を妨げてくれるものがないからである。

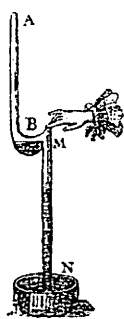
けれども、自然にあつては何一つ失われるということがないのであるから、湾曲部にある水銀が空気の重みを感じないのは、その入り口を塞いでいる指が、空気の侵入を防いでいるせいであるとすれば、その場合どういふことが起きるかというに、身代わりとして、この指はかなりの苦痛をこうむることになる。なぜなら、この指は、上方からこれを圧している空気の全体の重みを一つに引き受けているのであるが、下からは何ら自分を支えてくれるものがないからである。それゆえ、指はガラスに向かって仰せられ、あたかもガラス管の中に引きつけられ吸い込まれてでもいるかのように感じ、吸いふくべをあてがった時のような膨らみがそこに生じる。というのも、空気の重みは、この人の指や手やその全身をあらゆる方向からお推しているのである。それゆえ、指はガラスに向かって圧せられ、あたかもガラス管の中に引きつけられ吸い込まれてでもいるかのように感じ、吸いふくべをあてがったときの膨らみがそこに生じる。というのも、空気の重みは、この人の指や手やその全身をあらゆる方向から圧しているのであるが、ただ一箇所、どこからも空気の入りようが無いこの口にあつている部分だけは圧せられないので、さきに述べた理由によって、この部分の膨らみ、痛みを受けるわけである。

さて、この口にあてがっている指を退けるとどうなるかというに、湾曲部に溜まっている水銀は、一挙にガラス管の中へ26または

27ブースぐらいの高さまで上昇するのであろう。というのも、空気が水銀の上に突如として落ちて来たために、この水銀は、ただちに空気との平衡の得られる高さまでに、押し上げられるからである。しかも、空気の落下する勢いがあまり激しいために、水銀はこの限界の少し上までも上昇させられる。けれども次には少し低めのところまで落ちるのであろう。次いでまた上がるであらう。こうして、糸の先に吊るした重りのように、幾たびか行きつ戻りつしたあとで、やがて、一定の高さにじっと留まるであらう。これはまさしく、水銀が空気と平衡する高さである。

以上のことからわかることであるが、空気の重みが、湾曲部にある水銀の上に及んでいない時には、ガラス管の中の水銀は、ことごとく下に落ちてしまふ。したがって、もしもこのガラス管を空気の存在しない場所に、或いはもし可能であるならば大気の圏外にまで、持っていっただとしたならば、水銀はことごとく下に落ちてしまふに相違ない。

図1



しかし、このままではこの説明文と図は成立しない。それについて考察する。

1. パスカルの説明が正しく、図が誤りである場合

パスカルの説明では逆さまにした時、Aの部分とMの部分には水銀の重さを空気が支えられず真空が出来る」と説明している。更にMを塞いでいる指を離すとMから空気が入りMN間に入っている水銀は落ちてしまう。AB間ではMから空気が入り水銀を押し上げてしまう。しかしA部分は真空なので水銀を支えることが出来ないため一度上がった水銀は再び落ちてしまう。BからMに水銀が押し上げられた過剰部分がAの水銀とつりあおうとして再び押し下げる。これをしばらく繰り返し返したためAB間を行ったりきたりする、と述べている。

パスカルは上記のように説明しているがこれにはある問題点がある。図のような形の実験器具では逆さまにして指を離した時、AB間の水銀はAまで一度は上がるのだが空気が水銀を支えることが出来ず落下する際、ガリレオの提唱した振り子の原理により同じ位置まで上がろうとする。そのためA地点の高さまで水銀は上がろうとする。しかしM地点はA地点よりかなり低い、そのため水銀はMから零れ落ちてしまう。

説明文どおり水銀を再びA地点付近まで上げるためには下図のような実験器具でなければならない。



図のようにAとMの位置を同じ高さにすることによって一度上がった水銀が再び落ちて上がろうとしても、Mの地点がA地点と同じ高さのためこぼれることは無い。そのため説明文どおり、A地点とM地点を行ったりきたりを繰り返し最終的にビタリと止まる。

2. 図が正しく、説明文が誤りである場合

1でも説明したようにAとMの高さが違う場合M口から水銀が零れ落ちてしまう。パスカルの実験どおり最初の実験器具を使い同じ手順で実験すれば、A地点から落ちてくる水銀はMから零れ落ちてしまう。すると図のように試験管の湾曲した部分にのみ水銀は残る。更に水銀の残った部分の上の部分には若干の隙間が出来、空気が入ってくる。つまりこの試験管には真空の場所は存在しなくなるのである。

最初の実験図は図のような実験器具を用いた実験すると、図のような結果になると如実に現れているのである。

3. 疑問点

1, 2の考察より、説明文が正しいと図が誤りであり、図が正しいと説明文が誤りであることが言える。

しかしここに疑問点が生じる。私の描いた図の湾曲部分ほどの地点でも太さは同じである。しかしパスカルの実験図に描かれている湾曲部分は膨らんでいる。仮にこの試験管を作成するのならばわざわざ膨らみを作るほうが難しいのではないだろうか。

これは思うに、落下してくる水銀のクッションになつていのではないだろうか。水銀が落下してくる時、膨らみがあるがためにある程度の勢いが軽減され、Mから飛び出してしまう水銀の量を減らしたのではないだろうか。もしかしたらMから飛び出す水銀の量は少ないのかもしれない。パスカルはそれも想定してわざと膨らみを作ったのではないだろうか。まだまだ検証する必要がある。

今後の研究について

パスカルの真空中の真空実験について色々考えさせることも多く課題も多い。自分の中での結論もまだ出ていない。しかし、この実験にだけ固執するわけにもいかなないので今後は真空中の実験以外にも研究していこうと思う。パスカルは思考実験が多いので私自身も

パスカルの行った思考実験を行い、本当にそうなるのかを検証していきたい。

またパスカルの実験を再現し、批判している研究もあるので私もできる限り再現実験を行い、その人と同じ結果が得られるかを研究していきたい。