

空間のイメージの変遷*

佐野正博

1	現代人の空間イメージ 1 --- 「関係としての空間」と「広がりとしての空間」	1
2	古代における「空間」論争 --- 空虚の問題をめぐる争い	1
3	近代における「空間」論争(1) --- 運動記述の相対性	2
4	近代における「空間」論争(2) --- 絶対空間と運動の絶対性	3
5	近代における「空間」論争(3) --- 「関係としての空間」	4

* 本原稿の初出は、佐野正博(1990)「空間のイメージの変遷」『数理科学』1990年9月号,pp.15-19である。デジタル化に際して、表記の一部を変更した。

1 現代人の空間イメージ 1 -- 「関係としての空間」と「広がりとしての空間」

「空間とはどんなものですか」と聞かれた時に現代人の多くがイメージするのは、たぶんx、y、z軸からなる三次元座標空間であろう。この座標空間としての空間というイメージは近代科学の一つの成果として形成されたのであるが、よく考えてみるとそのイメージの中には二つの空間概念が入り混じっている。

その一つは、物体の空間的位置座標に表現されている空間概念、すなわち、関係としての空間というものである。座標原点を空間中のどこに置くにしろ、座標原点がどこかに置かれていなければ物体の空間的位置を論じることはまったくできない。そして物体の空間的位置座標はその物体が座標原点から見てどの方向にどれだけの距離だけ離れているのかということによって表現される。すなわち、物体の空間的位置は座標原点との関係で与えられるのである。

もう一つの空間概念は、第一の空間概念の考察において「座標原点を空間の中のどこかに置く」という操作の中に前提されているもの、すなわち、広がりとしての空間である。論理的には座標原点も座標軸も存在しない空間的広がりそのものが存在すると考えられる。実際、われわれが空間的位置座標を図示しながら幾何学の問題を解こうとする時には座標原点や座標軸を書き込むための白紙が必要である。座標原点や座標軸が書き込まれる白紙に対応するものが空間的広がりなのである。

「関係としての空間」と「広がりとしての空間」というこうした二つの空間概念が混じりあって座標空間というわれわれの空間イメージを構成している。このことは空間に関する古代からの数多くの歴史的議論の反映でもある。そのことをこれから見ていくことにしよう。

2 古代における「空間」論争 -- 空虚の問題をめぐる争い

古代において空間の問題は空虚が存在するのかもしれないのかということをめぐる論じられた。パルメニデスやメリッソスらのエレア派の古代ギリシア哲学者たちは、「空虚は無であり、無であるものは存在しない」として空虚の存在を否定した。そして彼らは世界がいたるところで等質な連続体によって満たされていると考えていた。

これに対してデモクリトスやエピクロスやルクレティウスらの古代の原子論者たちは空虚が実在すると主張した。というのも彼らによれば、空虚がなければ運動は不可能だからである。世界がすき間なしに物体でぎっしりと詰まっているのであればどの物体も動くことはできない。ところが物体の運動は存在する。したがって空虚が存在する、というのである。

このことは、人がほとんど乗っていない早朝の始発電車の中では自由に動き回ることができるのに、乗車率が200%を超えるようなすし詰め状態の満員電車の中では身動きもままならず目的の駅で降りられないことさえもあるということを考えてみれば理解できよう。

しかし当然のことながら、こうした原子論者たちの主張に対しては空気の存在を理由とした批判があった。日常感覚的には空虚と思える空間、すなわち、見たり触ったりすることができるような物体が何一つない空間といえども、空気という物体で満たされている。原子論者たちは空気で満ちている空間を空虚と思っているのだというように原子論を批判する人々が古代にもいた。

こうした批判に対して原子論者は空気の中にも空虚が存在すると反論した。空気の中に空虚が含まれることは空気が収縮したり膨張したりするという経験によって証明されている。例えば、空気を吹き込んで膨らませてからヒモできつく縛った皮袋を水の中深くに沈めれば、その皮袋から空気が少しも漏れ出なくとも皮袋がしぼむ。そしてまた再び水面近くにその皮袋をもってくれば、皮袋の中に何も入らなかったにも関わらず元通りの大きさ

にまで膨らむ。こうしたことは空気がモノのぎっしりと詰まった連続体ではなく、それを構成する物体の間に空虚が存在すると考えなければ説明できない。すなわち、空気が圧縮される時には原子が互いに接近するために空気の中の空虚の割合が減少し、空気が膨張する時には原子が互いに離れるので空気の中の空虚の割合が増大するとしか考えられないと、原子論者は反論した。

さて、こうした空虚をめぐる論争それ自体は空間の問題とは直接には関係ないと思われるかも知れない。しかしこの論争の中で空間の実在性が暗黙のうちにあるにせよ問題となっていたのである。空虚の存在を否定した人々は空間と物質とは互いに切り離しえないものと考えていた。物質がなければ空間もない。それゆえ空虚な空間、すなわち、物質のない空間は存在しえない。宇宙の全空間は物質で満たされているのである。したがってこうした立場に立ち、なおかつ、物質の量が有限であると考えたアリストテレスのような哲学者たちは宇宙が有限であるとも主張した。

これに対して空虚の存在を肯定した人々は、空間が物体とは独立にそれ自体として存在すると考えていた。空虚が実在するとすれば、空虚とは物体がまったく存在しない空間にほかならないのであるから、空間は物体依存的なものではなくそれ自体として実在することになる。こうして原子論者は物質と空間を区別し、それらが異なる基本的存在物であると主張した。例えばエピクロスは、空虚を自体的なものと考えて「空虚とか空間とか不可触的な実在とか呼ばれるもの」という表現を用いたし、自然全体は物体と空虚とから構成されているとも述べている⁽¹⁾。

しかし古代原子論者たちは、現代人の座標空間イメージがそうであるように、空間の広がりは無限であると考えていた。彼らは物質と空間を区別することによって、物質の量がたとえ有限であるとしても空間は無限であるとした。すなわち宇宙には端がないのであり、有限な物質空間の外に無限の空虚空間が広がっていると想定した。

というのも、ルクレティウスが宇宙の端での槍投げということで論じたように⁽²⁾、かりに物体が宇宙の端からその外へ運動できないとすれば、物体の運動を妨げるモノが宇宙の端の外に存在するということになる。またその反対に宇宙の端からさらにその外へと物体が運動できるとすれば、宇宙の端の外側に空間があることになる。どちらにしても、宇宙の端と考えられたものが実際には端でなかったことになる。このように古代原子論者たちは、物体の運動可能性ということによって空虚の実在性ととも、空間の無限性が保証されると考えたのである。

こうして古代原子論において、「万事がなされる場である場所」としての空間、すなわち、世界に存在するすべてのモノをその中に包括する容器としての無限の「広がりとしての空間」というイメージが形成されたのである。

3 近代における「空間」論争(1) --- 運動記述の相対性

古代における「空間」論争が空虚の問題として展開されたとすれば、近代における「空間」論争は運動の相対性の問題として展開された。すなわち、ある物体の運動が空間的位置座標を用いて論じられている時に実際にわれわれが行なっているのは、座標原点という基準物体に対するその物体の相対的運動の記述である。とすれば、ある物体が本当に動いているのかどうかはどのようにしてわかるのかということが問題になる。言い替えば、座標原点自体が運動しているのか静止しているのかどうかということが問題になる。このことが近代の

(1) エピクロス (出隆・岩崎允胤訳) 『エピクロス』岩波文庫 1959年、p.12、p.107。

(2) ルクレティウス(岩田義一・藤沢令夫訳) 「事物の本性について」『世界古典文学全集 第21巻』筑摩書房、1965年、p.310。

問題であった。運動の記述が相対的であること自体は古くから認められていた。例えば、同心円的天動説の完成者である紀元後2世紀のプトレマイオスも星の日周運動の記述に関する限り、地球が静止していると考えようと、地球が自転していると考えようとまったく同じようにうまく記述できることを意識していた。また地球の自転という考えがキリスト教的立場からも論理的には容認できることを示した14世紀の神学者ニコール・オレムも運動の相対性を地動説擁護の根拠としていた⁽³⁾。

しかし地動説の積極的主張のためには、地動説でも天動説でも天文現象が同じようにうまく記述できるというような運動記述の相対性だけでは論理的に不十分であり、地球が本当に動いていることを示す必要があった。例えばガリレオは『天文対話』において、潮汐現象が地球の自転運動と公転運動の合成によってしか説明できないと考え、その現象が地球運動の絶対的証拠となると主張した。

デカルトは最初その『世界論』の原稿に見られるように地動説が正しいと考えていたが、地動説の主張に対する弾圧を意図したローマ・カトリック教会によるガリレオ裁判の有罪判決を聞くや、『世界論』の出版をとりやめるとともに、地動説と天動説の対立を取り扱わないですむように自らの運動概念を変えた。

すなわちデカルトは、「運動には静止以上に能動性が必要であるのではない」⁽⁴⁾として運動状態と静止状態の絶対的区別を否定するとともに、物体の運動は他の物体との相対的な関係によってしか語れないとして運動の相対性を主張した。デカルトによれば、「物体の位置を決定するためには、不動と思われる他の何らかの物体に着目しなければならない」のであるが、どの物体に着目するかに応じて、「同じ一つの物が同じ時に、場所を変えるとも変えないとも言えることができる」⁽⁵⁾。例えば、海を進んでいる船のデッキに座っている人は、船を基準にして考えれば静止しているのであるが、海岸を基準にして考えれば動いていることになる。

これと同じことは、地球が本当は静止しているのか運動しているのかという議論の場合にもあてはまる。ところが、「真に不動な点は宇宙のどこにも見いだされない」⁽⁶⁾がゆえに、地動説が正しいのか天動説が正しいのかという問いは論理的に無意味である。デカルトによれば、絶対的な意味では静止も運動も語るができない。あくまでも相対的な静止や相対的な運動しか論じられないのである。

4 近代における「空間」論争(2) --- 絶対空間と運動の絶対性

こうしたデカルト的思考に反対したのがニュートンであった。ニュートンは「どのような外的事物とも関係なく、常に同じ形状を保ち、不動不変」の絶対空間の存在を主張し、地球が本当は運動しているという主張に意味を与えようとした⁽⁷⁾。

ニュートンによれば、空間は神の構成物である。神は空間そのものではないが空間的に遍在している。神はそのことによって、「無限の空間において、あたかも彼の感覚中枢におけるように、事物そのものを奥底まで見、それをすっかり知覚し宇宙のすべての出来事を知る」のである。この意味で無限の宇宙空間はいわば神のセンソリウム(感覚器官)である⁽⁸⁾。

ニュートンは空間を神の遍在と結びつけることによって絶対空間が確固たる存在であり、運動と静止に関する絶対的な基準となるとした。絶対空間は絶対的に静止している。絶対空間は、デカルトがその存在を否定した

(3) ニコール・オレム(横山雅彦訳)「天体・地体論」『中世科学論集』(科学の名著 第5巻)、朝日出版社、1981年、pp.333-335。

(4) デカルト(三輪正・本多英大郎訳)「哲学原理」『デカルト著作集 第3巻』白水社、1973年、p.95。

(5) 同上書、p.88。

(6) 同上。

(7) ニュートン(河辺六男訳)「プリンキピア」『ニュートン』(世界の名著 第26巻)中央公論社、1971年、p.65。

(8) ニュートン「光学」『ニュートン』(科学の名著 第6巻)朝日出版社所収、p.230。

「宇宙の中において真に不動なモノ」なのである。絶対空間から見ることによって、物体が本当は運動しているのか静止しているのかということを語ることができる。

ニュートンによれば、プトレマイオスやオレムやデカルトらが主張した運動記述の相対性にも関わらず、また不動の絶対空間はわれわれの感覚によって捉えられるようなものではないにも関わらず、物体の絶対運動を経験的にも知ることができる。ニュートンは、真の運動と単なる相対運動が「運動をひき起こすため物体に及ぼされる力」によって区別されるとした⁽⁹⁾。例えば地球の自転運動や公転運動といった回転運動が本当に存在しているのかわかるとは、遠心力の効果によって判断できる。というのも、単なる見かけ上の相対的な回転運動では遠心力は働かないからである。

ニュートンはこのことを有名な回転バケツの例によって説明している。バケツの中に水を入れた時にバケツも水も絶対的に静止していれば、水面は平らである。そしてバケツを回転させると、最初はバケツだけが回転運動して水はまだ絶対静止の状態にある。この時にバケツから見て中の水は相対的に回転運動をしていることになるが、水面は平らなままである。バケツを回転させ続けるとやがてその中の水が摩擦のためにバケツと同じ角速度で回転するようになる。この状態の時にはバケツから見れば、その中の水は回転前と同じく相対的には静止している。ところがこの場合にはそうした相対的静止にも関わらず、水面はバケツの回転中心を頂点とする凹面になっている。

ニュートンによれば、このようにして相対的静止と絶対的静止とが、相対的運動と絶対的運動とが区別される。そしてそうした区別が可能であることは、絶対静止空間の存在を論理的に根拠づけるものである。

5 近代における「空間」論争(3) --- 「関係としての空間」

運動が保存されるかどうかをめぐってニュートン派と争ったライプニッツは、空間論においてもニュートン派と対立していた。ライプニッツは、空間を神のセンソリウム(感覚器官)と考えるニュートン派を神学的に批判する中で、「広がりとしての空間」とは異なる空間概念を提示した。ライプニッツもデカルトと同じく絶対運動の存在を否定したが、物体の運動を他の物体との相対的關係でしか規定できないとすることは空間をも関係として規定することを暗に含意している。

デカルトは物質の本質を延長であるとすることによって、物質なき延長としての空虚空間の存在を否定した。この意味においてデカルトにとっての空間は、延長としての空間、すなわち、「広がりとしての空間」であった。その限りでデカルトは古代ギリシアにおいて定式化された空間概念の枠組の中で考えていたと言える。しかしデカルトの運動論はそうした伝統的空間概念とは異なるものをその中に含んでいた。

バークリが、宇宙に1個の物体しか存在しないとすればそこではどんな運動も考えられない、相対的な運動や静止を論じるためにもそれとの位置関係によって運動を決定するためのもう一つの物体が必要になる、と主張したように⁽¹⁰⁾、運動はすべて相対的にしか語れないという絶対運動否定論の立場からニュートンの絶対空間論を批判しようとするならば、単に絶対空間の存在の否定にとどまらず、空間そのものを相対化する必要がある。すなわち、運動だけではなく空間も何らかの基準物体との相対的關係によってしか語れないということを論理的に徹底化する必要がある。デカルトはこの点で不徹底であった。

確かにライプニッツも、デカルトと同じく、物質のない空間は無であるから空虚な空間は存在せず、世界は物体で充満していると考えていた。彼はトリチェリの実験における水銀で満たされたガラス管の上部の「真空」や、

(9) ニュートン「プリンキピア」同上書、pp.69-70。

(10) バークリ(大槻春彦訳)『人知原理論』第111節、岩波文庫、1958年、pp.132-133。

ゲーリケのポンプに作られた「真空」を知っていたが、それらの「真空」は「粗大な物質」を排除したものに過ぎず、その中を光線が通過することからわかるように「精妙な物質」がその「真空」中に存在するのであり、本当の空虚ではないとした。

しかしそれにも関わらずライプニッツは、それまでとは異なり、空虚空間の否定を「広がりとしての空間」イメージと関連させなかった。彼は論理的には、「自然内に空虚を仮定することは神が極めて不完全な生産をしたことになる」として自らの充足理由律や神の完全性と結びつけて空虚空間を否定しただけで、物質の「広がりとしての空間」ということによって空虚空間を否定したわけではなかった。彼は、空間を絶対的実在としないだけでなく物体の性質ともしなかったことによって、デカルトよりもさらに徹底して相対化を押し進めえた。

すなわちライプニッツは、空間を事物の「共在の秩序」であると考え、空間を「純粹に相対的なもの」とした。空間は、「秩序あるいは関係に過ぎず、物体がなければまったくの無であり、単に物体を入れる可能性に過ぎない」と主張したのである⁽¹¹⁾。

そして空間を事物の共在の秩序であるとしたライプニッツにとって、事物相互の関係が変化しない宇宙全体の運動という考えは無意味なものであった、というのもこの場合、彼の空間規定の立場からは運動と静止という2つの状態は区別できない。それゆえ彼は不可識別者同一の原理に基づき、宇宙全体に関してはそれが運動しているとも静止しているとも言うことはできないとしたのである。

さてこのように、古代における空虚の問題をめぐる「空間」論争と、近代における運動の相対性をめぐる「空間」論争を通じて現代人の空間イメージが形成されてきた。ニュートンの回転バケツ批判に示されたマッハのような空間概念も物体どうしの「関係としての空間」という規定に歴史的起源を持っている。

またアインシュタインは、一般相対性理論においてそれまでの空間概念を変革し「場としての空間」という考え方を打ち出したが、その空間イメージは原子論に反対したアリストテレスやデカルトらの「物体の性質としての空間」という空間概念に近いものと考えることができる。

(11) ライプニッツ(園田義道訳)『ライプニッツ論文集』日清堂書店、1976年、pp.60-61。