

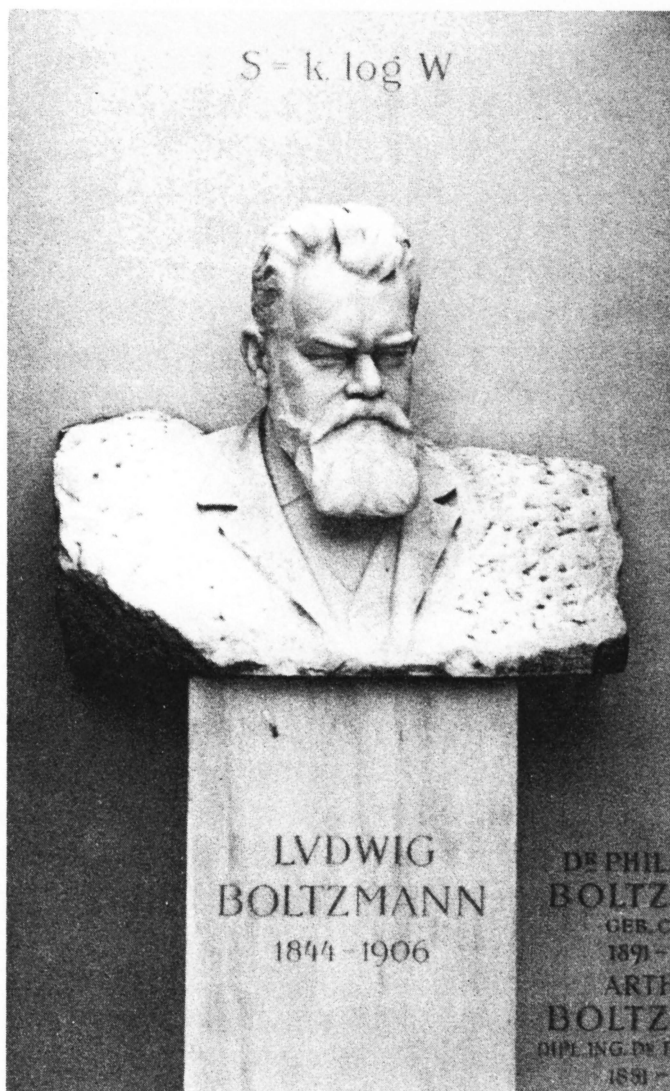
自然科学と信仰

自然科学についても信仰についてもう
 くに知識を持たない私がこのような表題
 で文章を書くことには抵抗があるが、こ
 こで私が言いたいことが、この全く正反
 対であるとも考えられるこの二つのもの
 が意外にも同居していることが多いこと
 であるので表題として選んだにすぎない。

木越 邦彦*

ボルツマンの墓

墓石に $S = k \log W$ と書かれている。(小島稔氏撮影)



はじめに

私が熱力学第二法則に興味を持ち、力の場にある所での気体の平衡状態についての仕事を十数年前から始めて以来、科学者が何を真実と考え何を誤りと考えるかについて疑問を生じてきた。自然科学がどのようなものか、人によりかなり異なった意見があるが、私は自然現象についての人類の持っている知識の集積と理解している。この知識の集積は人類が書き残す技術を得て急速に増大し、量的計測技術を得てこれらの知識の中に規則性を見いだして現在の科学の体系がつくられてきたものと私は理解している。

殆どの動物は生活環境の自然現象について自己の経験で得た知識を蓄積して、生活の知恵として活用している。互いに知識を伝える手段をもつ人類は、他人が経験で得た知識も自分で得た知識に加えることが出来る。このとき、他人からの知識が事実であるか否かの判断をして選別している。

科学的事実とその真偽

自然科学の知識の集積は誤りのない知識を選んで集積し、その集積をもとにしてその先の自然についての知識を求めて集積されたものである。事実だけを多くの情報の中から選び出すことが、今日の科学を作り出した重要な要因であろう。

科学の進歩の途上で誤った事実が公表されたため多くの研究者がふりまわされた例はかなり

* Kigoshi, Kunihiro / 学習院大学理学部

ある。たとえば、1970年代にScience誌上にをにぎわせたPolywaterについての実験、1910年代にドーソン氏が製作したとされているピルトダウン人などがある。前者は石英毛細管を放置してそこにたまった水の物性と構造が通常の水と異なることを見いだしたことに端を発している。この水には、実験室内の微量の有機物が水と共に凝縮して混入したため誤った観測事実の報告となったことが判明して決着がついた。後者は、数万年前より新しい人類の頭蓋骨に現生に近いオランウータンの顎の骨をかみあわせて作られたものである。1940年代に偽物であることが明らかとなるまで数十万年前の人類として大英博物館に展示されまた多くの教科書に写真が載せられていた。偽物とわかるまで、人類の進化の道程が、脳の発達、直立歩行、発声のうちいずれが先行するかの議論にこの頭蓋骨化石が大きな影響を与えてきた。今年の始めにNature誌上でこの問題の学説を出した人と偽物作りとの関連が取り上げられ再び話題を提供している。最近では、直立歩行によって複雑な発声が可能になるという生理学的根拠が人類への進化を考える重要なものの一つとされている。これと共に、発声によって他人の経験を自己の経験で得た生活の知恵に加えることができるようになる。この他人から伝えられた事実の真偽を考えることは通常の動物とかけはなれた複雑な思考を必要とするであろう。これが、脳の発達に関連している可能性も考慮に入れる必要があるであろう。

真偽の判定

読んだり聞いたりして得た情報の真偽を人がどのような方法で判定しているかは、科学論文の通常の型式である、題名、著者名と所属、序論、本文、結論の中によく反映している。日常生活では誰からその話を聞いたかによって、嘘か本当かの見当がつくことが多い。事実を伝える人の信頼性はその人と、時によってはその所属できまる。著者名とその所属の記載が必要になる。序論は伝える事実についての今迄の報告あるいは一般の見解を記載して、伝える事実の環境を読者に示す役割をしている。本文は伝える事実を著者がどのようにして知りえたか、また読者がどのようにして同じ経験をして事実を確かめることができるかを記載できれば申し分ない。伝える事実が論理的に導き出されたものなら、著者の納得した論理と同じ論理を読者にも辿ってもらって納得してもらうことになる。しかし、必ずしもそれが可能ではない事実の報告もある。火山噴火、隕石の落下など再現不能の自然現象の記載は、その真偽の判定の手がかりを結論あるいは考察の部に持ちこすことになる。論文のおしまいの部分では、結論あるいは考察といった項目で、著者の得た事実とそれに関連する今迄に知られている事実との間に矛盾があるか否かについての考察が行われる。自然現象が矛盾のない合理的な自然観で理解するという仮定の下で、著者の得た事実の真偽が検証される。

話の真偽の判定は、自分でそれを経験して確かめる以外は、①話をした人の信頼性、②その事実を自分で経験して確かめることができるような説明がされているか否か、③今迄知られている事実と両立しうるものか否かの3点について検討するより致し方ない。物理や化学の投稿論文は報告されている事実の真偽の判定を上述の②と③について第三者が行い、誤った報告を排除して雑誌に公表されるようになっていく。論文の蓄積によって確からしい事実の数が増加し、③の判断の材料が時代と共に増加するので、真偽の判断も時代と共に確実性が高くなることになる。宗教的世界観から自然科学的世界観へと多くの人の考え方が次第に変化するののもこのためであろう。

真偽の判断の誤り

もし真偽の判断が上記の3点でされていれば、かなり正確な判断が下されると思われるが、実際には真偽の判断がその人が信じこんでいること、あるいは思いこみやこだわりに基づいて下されることが多い。

人が信仰と呼んでいるものは、上述の3つの判断の根拠のうち①のみに頼り、特定の人の言葉を真実と思いこんでつくられたものと言えよう。信仰に近い“思いこみ”の中に、多くの人

がこう考えているからという理由で、あることを信じてしまうことがある。この場合には、意識してかあるいは無意識で“みんなで渡れば怖くない”とか、その道の権威に従っていれば安全といった複雑な要素もからまっている。またこの“思いこみ”が、考えることに対する無精あるいは拒否反応に由来することも多い。この場合は、特定の人の意見に従う、あるいは多くの人の意見に従うことで、上述の真偽の判定に必要な②と③のことを考えることを避けているにすぎない。考えることの拒否反応は一種の生理現象とみるべきで、体の調子の悪いとき体を動かすことが無精になるのと同じようなものと私は想像している。いずれにせよ、信仰と同じような“思いこみ”が事実の真偽の判断に関与すれば自然科学の発展が阻害されることは確実である。

マッハは著者“熱学の諸原理”の序説の筆頭に次のように書いている。“既往の業績を通じて得られた、ある時代の通念をなす思考様式というものは、科学の進歩に対して必ずしも助長の役はせず、それどころか、時には妨げの作用さえしてその行く手をふさいだりもする。”

自然現象の一つ一つは異なった姿をしているが、その中に関連するものがあり、その関連がどの程度の一般性をもつかが科学の主要テーマといってよいであろう。広い一般性を支持する多くの実験事実が報告されて、その時代の通念となる思考様式ができあがる。そのとき、通常広すぎる一般性が信仰のように信じられる傾向がある。18世紀の中頃ラヴォアジエは化学反応の前後で質量が保存されることを見いだした。この発見は現在では一般化されて、物質不滅の法則として多くの人の通念となっている。19世紀の初頭ドルトンが物質が姿を変える変化は、物を構成する分子の変化で、分子を構成する原子を不変のものと考えた。この原子の不変性は約100年の間強化され科学者の通念となってきた。これらの通念が崩れてゆくとき、原子が変化することを示す放射能の発見のとき、あるいは物質が消失してエネルギーに姿を変える現象が見いだされたときのことは、私には経験することのできなかった過去の出来事である。しかし、放射壊変の通念を覆した原子核分裂の発見は私の経験し得る時代の出来事になる。この当時日本で仁科先生と木村先生がどのような意図で研究を進められていたか、またフェルミが核分裂生成物の放射能に直面してどのような戸惑いを示したかについては、多少知ることができた。原子核分裂の現象をハーンがNaturwissenschaftenに公表した論文には、原子核が分裂するということは書かれていない。ウランに中性子を照射したものに、放射性の元素で原子番号の和が92となるpairが存在することだけが報告されている。既成の放射壊変の通念に反することに対する雑誌の編集者と読者の抵抗を考慮した結果であることは明白である。

熱力学第二法則について

外界から隔絶された均一な物質からなる系の定常状態では、物質は均一な分布を示す。不均一な分布があれば均一化の方向に物質の移動(拡散)が起こるからである。この均一化の一般則は場のある所まで拡張することはできない。地球上のように重力場のある所では、気体は高い所では希薄となり、下方で密度が大きくなり、物質の分布は不均一になる。熱に関しても、閉じた系(外界から隔絶された系)では温度(分子の運動エネルギーの分布)は均一となる。熱は高温の所から低温の所に流れて温度を均一化するからである。熱力学第二法則と呼ばれる通則である。この通則は力の場のある所でも成立すると、一般には拡張されて考えられている。場のある所まで拡張された熱力学第二法則の成立に私は疑問をもっている。

力の場の下で閉じた系となっている気体の定常状態の予測は気体分子運動論でも行われているが完全な解答は得られていない。熱統計力学による予測として教科書に書かれている通常の取扱いには、後に述べるような欠陥があると思われるが、場のある所でも均一な温度分布が出されている。実験的検証は、等温であることが明白であると考えられているためか、行われた痕跡すら私は見いだすことができなかった。

熱統計力学による閉じた系の定常状態に関する予測は、その系のエントロピーが極大値となる状態が定常状態に相当するとして行われる。1つのマクロの状態すなわち、考えている気体

の各部分の圧力・温度が指定された値をとっている状態のエントロピー(S)はそのマクロの状態を示すミクロの状態の数 W によって次の式で与えられる。

$$S = k \log W \quad (k: \text{ボルツマン定数})$$

エントロピーが極大となるときの W の値は他のマクロの状態の W の値からはかけはなれた大きな値をもっている。ミクロの状態が任意の状態をとるとすれば、100%に近い確率でこのマクロの状態をとることになり、この状態が定常状態となる。この話は気体が均一な環境にあるときの話で、環境が不均一の場合すなわち力のあるときには話が多少変わってくる。

重力のある所にある気体は、気体に重さを生じるために圧力と密度の不均一が必然的に起こる。不均一な気体を小さな容積のセルに分割してその中では均一な圧力・密度と考えて、それぞれのセルのエントロピー S_i の和をとれば、

$$S = \sum S_i = k \log (\prod W_i)$$

となる。 W_i は i 番目のセルに指定された圧力・温度で気体があるときの取り得るミクロの状態の数で、左辺の S は分割した各セルにそれぞれ指定された圧力・温度で気体が分配されているときのエントロピーに相当することになる。エントロピーが極大値をとるときの各セルのマクロの状態がその気体の定常状態と考えられる。力の場のない均一な環境の下でエントロピー極大の状態が定常状態に相当する話から比べると、この議論には多少の疑問の余地が残されている。しかし、この定常状態を求める話は、通常の熱統計力学の教科書にも出てくる話で、実験的確認をするための予測として計算する価値は十分にある。

実際に力の場の下にある気体についてエントロピーの計算を実行する段になると、系が閉じた系、すなわち孤立系である条件について2つの可能性が生じてくる。孤立系であるためには、物質の出入りがないことは勿論必要であるが、エネルギーの出入りがないことも必要である。エネルギー保存則が成立するかぎり、系のエネルギーが変化すれば外界に変化が起こっているはずで孤立系とはならなくなる。力の場の下にある系のエネルギーにはポテンシャルエネルギーが含まれている。通常の熱統計力学の教科書には、ポテンシャルエネルギーを含めた全エネルギーが一定に保たれていれば孤立系となっていると考えてエントロピーの計算が行われている。しかし、重力場の場合、ポテンシャルエネルギーの変化は重力場の変動をとまうから、閉じた系であるためにはポテンシャルエネルギーは一定に保たれている必要がありそうである。他方、遠心力の場合には、遠心力のポテンシャルエネルギーを含めた全エネルギーが一定に保たれていれば孤立系となっているかもしれない。いずれにせよ、系が孤立系である条件としては

①ポテンシャルエネルギーと全エネルギーの両者がそれぞれ一定に保たれていること、

②ポテンシャルエネルギーを含めた全エネルギーが一定に保たれていること、

の2つの可能性が考えられる。①②のいずれの条件が系が孤立系であるため必要十分な条件であるかは、実験的事実で確かめる必要があると考えている。②の条件だけをとりあげて議論をしている通常の取扱い方には欠陥があると私は考えている。

①②それぞれの条件の下で気体の平衡状態をエントロピー極大の状態として求めると、①の場合、力の方向に z 軸をとると、 z 方向に温度勾配

$$dT/dz = -g/(C_v + R/M)$$

が平衡状態であることになる。ここで、 g は重力加速度、 C_v 、 M はそれぞれ気体の分子定容比熱、分子量で R は気体定数である。②の場合には温度は z 方向でも均一な状態が平衡状態となる。①の場合に平衡状態で期待される上記の温度勾配は、重力場にある気体が断熱膨張あるいは断熱圧縮で上下の圧力差に対応して移動したとき生じる温度勾配に等しく、ほぼ大気中の上下の温度勾配(1mあたり約1/100°C)に等しい。この程度の温度勾配は簡単に測定できそうに見えるが、対流の影響のないようにして実験室でこの温度勾配を検出することは意外にむづかしい。

容器に入れた気体の温度は、気体の熱容量の割に熱伝導度が大きいので、容器の壁の温度できまってしまう。容器の壁は、壁の熱伝導と熱放射によって温度の均一化が行われるから、温

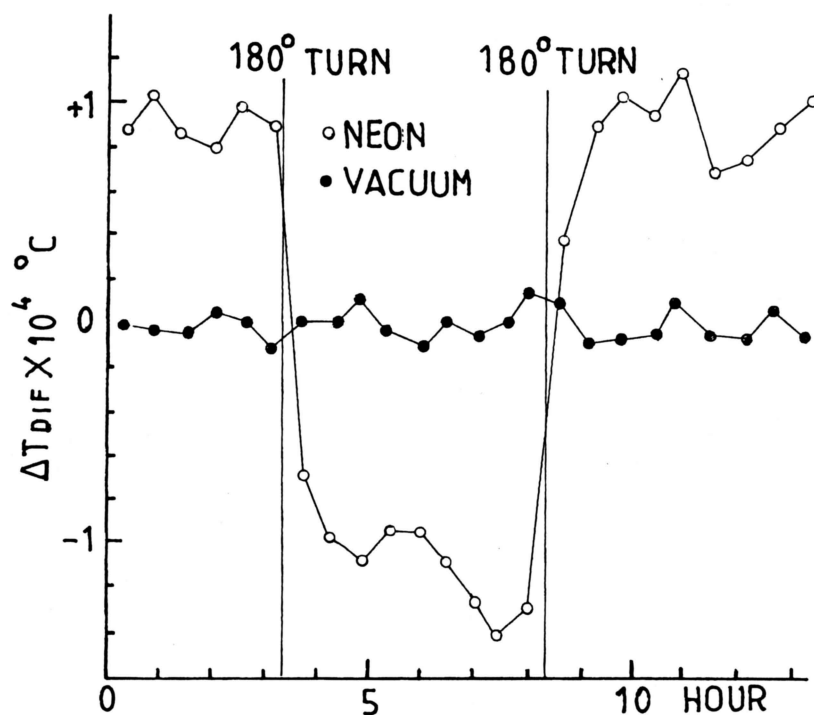


図1 真空中に置かれた直径20 cmのフラスコの上下の温度差の測定値
縦の実線の所でフラスコを180度回転してフラスコの壁につけた温度計の上下の位置を交換している。縦軸の値は、フラスコの上下につけた温度計(サーミスタ)の抵抗値の差を温度に換算した値(相対値)。○; フラスコにネオンガス(5 Torr)を封入した場合、●; フラスコを真空とした場合。

度差のある気体の平衡状態をそのまま実現することはできない。しかし、もし平衡状態で温度勾配があるなら、それに近づこうとする気体の中で、温度差をつくる方向に熱の流れを生じ容器の壁に僅かながらでも温度差を生じるはずである。この熱の流れが、その気体の中に現在ある温度勾配と平衡状態での温度勾配との差に比例し、その比例定数が通常の熱伝導度に等しいとすれば、壁面にでる上下の温度差は推定できる。

この容器の壁面の温度差を測定するため、高真空の中におかれたフラスコの上下にサーミスタをつけその抵抗値の差を測定した。熱平衡となっている状態でフラスコを180°回転して温度計の位置の上下を逆転して抵抗値の変動を測定して、この変動からフラスコの上下の温度差が算出される。④の条件の場合最も大きい温度差が期待されるネオンガスをフラスコに封入したときの測定値を、フラスコを真空としたときの測定値と比較して図1に示した。測定された温度差はほぼ予想された値で、重力場のあるところでは、気体は平衡状態で温度勾配を持っていることを支持する結果となった。

この測定結果は、重力場のある所という条件の下では平衡状態で温度差があり得ることを示している。これは通常の熱力学第二法則に反するので誤っていると判断されるのが普通である。今迄知られている事実とどのように矛盾するかを知ることが主な目的で実験結果の公表を数年来試みているが、未だに受け入れられていない。観測された事実が既存の法則に反するから誤っているという判断は、前述の真偽の判断が①②③で行われる話と全く相容れない。このような判断は、自然現象が何かの法則に従って起こっていると、意識してかあるいは無意識で思いこんでいるからとしか考えられない。

宗教が要因となっていてまだに多くの人が争いを続け命を失い続けている現状、またダーウィンの進化論ですらそのまま教育内容とすることが禁止されている地域が地球上にかなり広く存在する現状を考えると、神が自然現象を支配していると考えている人が人類の大半を占めていると見るべきであろう。自然現象が何かに支配されていると考えることに抵抗を感じないのが普通なのかもしれない。うっかりすると自然現象が自然科学の法則に従って起こっているのかのような教育も行われかねない。そのためか、自然科学の法則が自然を支配していると思いこんでいる人がかなり多いのではないかと、またこれは20世紀の新しい宗教(信仰宗教?)の一つなのかもしれない。