

<b>Title</b>	近代自然科学における質と量 : 主観・客観・主観
<b>Author(s)</b>	標, 宣男
<b>Citation</b>	キリスト教と諸学 : 論集, Volume14 : 110-137
<b>URL</b>	<a href="http://serve.seigakuin-univ.ac.jp/reps/modules/xoonips/detail.php?item_id=2720">http://serve.seigakuin-univ.ac.jp/reps/modules/xoonips/detail.php?item_id=2720</a>
<b>Rights</b>	

聖学院学術情報発信システム : SERVE

SEigakuin Repository for academic archiVE

# 近代自然科学における質と量

— 主観・客観・主観 —

標 宣 男

## 一 はじめに

現在、大学の政治経済学部で「リスク対策論」なる講義をもっている。リスク対策とかりスク管理とかいう概念は、危機管理として政治の世界では昔からあったであろうし、経済界でも数理的なリスク評価は保険業界の業務遂行上不可欠の要素であろう。工業界において最初リスク評価の考えを取り入れたのは航空機産業であったと記憶しているが、より組織的に大規模に取り入れる様になったのは、一九七五年、米国MITのラスムッセン教授のグループが“Reactor Safety Study—an assessment of accident risks in US commercial nuclear power plant, WASH-1100”なる浩瀚なレポートを米国の原子力規制当局に提出したのが最初である。その後、他の産業プラントにも使われるようになったが、さらに近年リスク評価は環境アセスメントの手法として重要な役割を担っている。筆者とリスクとの関わり合いは、このラスムッセン・レポートの翻訳から始まった。これが後の長く原子炉の安全性解析（原子力の分野ではリスク解析という名称の代りにその反対概念である、安全性解析という言葉を用いるのが

普通である)を主たる研究分野とする切っ掛けとなったのである。

さて「リスク」とは何か。それは決して単純に「危険」を意味するものではない。ある事象のリスクは危険の程度すなわち影響の大きさと、その事象の起こりやすさと言う要素により表現されることが多い。原子炉のリスク評価の場合、前者は事故時に原子炉外に漏れた放射能による死亡者の数により、後者は事故の発生確率により表わされるのが普通である。石油の二〇〇〇万倍と言う、ミクロの世界から現代科学が開放した巨大エネルギーと、可能な限りの事故対策による一〇〇万分の一と言う重大事故発生時の極小確率の組み合わせ、これが原子力のリスク評価を特異なものとする。その発生確率が無視しうるほど小さいということを知的には頭では分かっているけれども、開放されるエネルギーの大きさを前にして人間の肉体(身体性)の部分がそれを認めきれない様に思えるのである。それは、科学の力により量的に拡大した知的抽象的世界に対する身体を持った生身の人間の当然の反応であり、量的反応と言うよりむしろ質的反応、あるいは客観的反応と言うより主観的反応と言えるものである。客観的に示されたりスクの大きさを人間の主観が認めきれないのである。

数学と実験をその方法論的特徴とする近代科学は、ミクロにもマクロにもその対象世界を拡大してきた。物理的世界として何らかの方法により認識することができる範囲は、一〇〇億分の $1\text{m}$ ( $\text{\AA}$  オングストローム)という原子の世界から一二〇(一三五)億光年(一光年は一〇兆 $\text{km}$ )まで及ぶ広大な世界に広がっている。さらにこの宇宙の広がりや光年と言う単位によって示されている様に、その広さはそのまま我々が知りうる時間領域の最大のものである。それでは、短い時間のほうはどうだろうか。それはコンピュータの中で刻まれる時間間隔ナノ秒(一ナノ秒は一〇億分の一秒)であろう。この時空に渡った量的世界の拡大、それは十七世紀に始まった近代科学がアリストテレス的質の自然科学から量の科学へ展開したことにより生じた現象であり、それは又主観性を廃し

客観的に自然を記述しようと言う動きの中で生じたものである。しかし現在、科学の世界において、それに対する様々な反動的あるいは修正的動きが生じている。それは量から質へ、客観から主観へといった方向であるように思える。本稿ではこの客観的量的世界の拡大をもたらした近代科学の変遷の事情を、古代からの数学的自然観の変遷の中に、特に中世における「質の量化」の考えと近代における熱力学と確率論の歴史の中に見てみようと思う。さらに、その歴史の中に主観性の回復を主張する現在のファジィ (fuzzy) 理論を置き、その歴史の意味を考える。そして最後に、現代の我々の生活の中に侵入してきた量の世界の影響と意味を考えてみたいと思う。

## 二 質から量へ

(一)

自然を量的あるいは数的に認識しようと言う哲学的態度は決して近代科学の独創ではない。それは紀元前六世紀あるいは五世紀のギリシヤ人、特にピタゴラス学派の数の神秘主義にその淵源を持つている<sup>1)</sup>。もちろん数学はピタゴラス学派以前にも商業や建築などの実用的な面で使われており、この面の伝統はその後も絶えることなく続いた。しかしピタゴラス学派の第一の功績は数学をこの実用的面から切り離し、独立した学問にしたことであり、さらにこの学派は数学の原理を自然の理解に適用したのである。このことを彼らは、「事物は数である」と言い方によって表わした。彼らは幾何学でさえ空間と言う自然物の中に数が関係している現われとみなしたのである。このような数学の活用は、尺度の概念を持って行われたのであるが、尺度とは同じ本性を持つている物の他の大きさに対する比である。ピタゴラス学派では、「数と比は万物を支配する」と言うほど比が重要性なものとされた。それ故、無理数(通約不能性を持った数)が発見された時それによって彼らは混乱を来し、その後ギリシヤの数学として直

接数を扱わない幾何学が主流を占める切っ掛けとなった。もちろんこの数学的に自然を見ようと言うような考えが音楽と天文学（厳密には、必ずしも当時天体は自然学の対象ではなかったが）を除いていつも皆く言ったわけではない。しかし、自然を数学をもって理解しようと言う西欧近代科学の伝統（数学的自然観）の源がここにあるのである。ところで何故この様な学派が生じたのか。今日ではピタゴラス学派はミレトス学派（BC七世紀～五世紀）の補完的存在であったと理解されている。そのミレトス学派の自然研究では、極めて具体的に感覺的な物を優遇していた。

このピタゴラス学派の数学的自然観は、紀元前四世紀のプラトン（BC四二七～三四七）の思想の中に引き継がれた。このことは、特に対話編「ティマイオス」によく現れている。例えばこの世界は土、水、空気、火の四元素により創られるが、それらは比例を媒介に結びつけられる。<sup>(2)</sup>さらに、それら四元素は各々立方体、正二十体、正八面体、及び正四面体の粒子によって造られていると理解されている。<sup>(3)</sup>これらの多面体は正方形と正三角形から出来ており、また後に正五角形の作図法が見出され、これから出来る正十二面体を宇宙に割り当てた。これら五つの立体をプラトンの立体と言う。地球を中心とした球状の宇宙もピタゴラス学派の天文学から受け継いだものである。ただし、プラトンに於いては、この自然世界は理想的なイデア世界の模倣として創られたものであり、従って完全な形の数学的なものがこの世界に存在するとは言い難いとされた。むしろ、紀元前三世紀のアルキメデス（BC二八七～二一二）の思想の中に具体的な自然的問題解明の手法としての数学の使用の好例が見られる。しかしながら、自然を思惟する方法また哲学的思惟の方法としての数学という考えはプラトンに入りプラトンから流れ出したと言われるように、西欧の哲学史の中でプラトン主義の哲学が復活する時はいつでも数学的自然観もまた復活するのである。ローマ時代三世紀にプロティノス（二〇五頃～二七〇頃）によって大成された新プラトン主義哲学が興っ

た時と同じ状況が生じた。

(二)

この様な新プラトン主義的教養を持ったローマ人がキリスト教を受け入れた場合、その持つ数学的思惟がキリスト教神学の中に入ってくるのは当然である。例えばアウグスティヌス(三五四―四三〇)の『創世記逐語的注解』第五卷十四節に「こうして神の言葉に服して地はこれらの草木をそれらが生える前に造ったが、この時地はこれらの草木の各々の類に従って、時間の経過を通して展開して行ったこれらの草木のすべての数を受け取っているのである。」とあるが、このヶ所に対する同書の翻訳者の注に「新プラトン派の哲学によると形相ないしイデアは、数と同じ存在である。ここで数 (numerus) といわれるものは同時に原因根拠 (ratio causalis) としての被造物の創造の一つのモメントをなしている。地上の草木のみでなく、大空、大地、海という世界の要素から造られた地上の動物についても、時間の経過についてその数が目に見えるように展開するのである。」とあるのはこのことを表わしている。さらに、神学の基礎に数学的の四科と言葉に関する三科からなる自由七科を取り入れたことは、キリスト教中世の学問世界に数学をはつきり位置付けたことを意味しよう。

中世初期から十二世紀まで、自然についての学問は、修道院とその付属学校等においてギリシヤ的知識の伝承として細々続けられたに過ぎなかつた。しかし、十二世紀ルネッサンスと呼ばれた世紀以降、クレモナのジェラルド(一一一四頃―一一八七)のような翻訳家により、ユークリッド(BC三〇〇年頃活躍)の『幾何学原論』やアルキメデスの数学的な技法などが翻訳されたが、中でも中世の知的社会に最も大きいインパクトを与えたのは総合的な大著作からなるアリストテレス(BC三八四―三二二)の哲学であつた。そしてこのアリストテレスの哲学の根

幹を成すのが「自然学」である。それゆえ、中世キリスト教神学がアリストテレス哲学を受け容れた時、自然の研究は重要な基礎学問となったのである。しかし、だからと言ってキリスト教中世が自然を数学的手法により積極的に探求したわけでは必ずしもない。アリストテレスは、出来事の原因はこの出来事が定義されたある実体の属性として叙述されるとし、これらの属性を「質」と「量」を含んだ十種のカテゴリーに分類した<sup>(7)</sup>。彼にあつては、数学の考察する対象は物質の抽象的量的な側面だけであり、数学だけでは実体についての十分な定義、あるいは「実体形相」と呼ばれる変化の原因を与えることは出来ないとした。特に彼は、質的な相違は数学的な相違に還元出来ないと考えたのである。アリストテレス哲学とキリスト教神学の総合を果たし、トマス主義スコラ哲学を大成したトマス・アキナス（一二二四―一二七四）においても、量の変化は連続的（長さ）あるいは不連続的（数）な同質の部分の付加によつてもたらされるのである。様々な強度で存在するある質、例えば熱、における強度の変化とは、熱のある属性を失つて他の熱の属性を得ることを意味した。すなわち「温」から「冷」への変化は量的な変化ではないのである。

上記のようなアリストテレス哲学が広がっていく一方、数学的に自然を探求しようと言う流れも存在した。その中で質的な強度の変化を量によつて表わそうとする動きも生まれた。多くの事柄がそうであるように、これもまた神学から始りその後自然学に拡大して行つた。この問題の火蓋を切つたのは、十二世紀の神学者ペトルス・ロンバルドスであり、彼は「愛と言う神学的な徳性は一人一人の人間の内にあつて増減し、時間が異なるとその強さも変化する」と主張した<sup>(8)</sup>。十三世紀にはアリストテレス主義哲学を奉ずる者を進歩派とすれば、むしろ旧守派に属するプラトン主義哲学に親近性を持つ者の中に数学を重視する傾向が強く、例えばロジャール・ベーコン（一二一九―一二九二）はすべてのカテゴリーが数学的量の量に依存していることを強調している<sup>(9)</sup>。このように、中世の数学的自然観

は、広くはアリストテレス自然学の中でそれへの批判あるいは修正の中で発達したものであり、特に十四世紀には関数関係と言う新しい数学的考え方が、原因と結果の随伴関係と言う体系的概念の補足物として生じた。<sup>(10)</sup> その第一はオックスフォードのトマス・ブラッドワードン(一二九〇―一三四九)による「語による代数学」である。彼はこの方法を力学の検討に用い、そこで変数に対して数字の代わりにアルファベットを用いて一般化した。この方法はマートン・カレッジの計算者たちに引き継がれた。関数関係を表わすのに考えられたもう一つの方法は、図表を用いる幾何学的方法である。この方法を開始させたのは「形相の強度と広がり」に関するものであった。形相とは自然界において任意に変化する量あるいは質のことである。十四世紀の初め頃までには、パリやオックスフォードでは質の強度の度合いや広がり(すなわち質の内包量の強度や広がり)を図表的に表すことは普通のことになっていた。広がり(水平線 (longitudo))で表し、強度の度合いを高さととしての垂直線 (latitudo vel altitudo)であるとし、これらの中 (latitudo) の頂点を結ぶ線は色々な形を取る。例えば、速さ(運動の強度)を時間(広がり)に対して記入するという具合であった。このような形相の弱化和強化を十全に展開したのは、パリ大学の神学者ニコル・オレム(一一三二〇―一三八二)<sup>(11)</sup>であった。彼は質の分布や速度変化を図形として捉え現象の説明に用い、質を図形化して得られる形が質の内的特性を表していると考えた。

しかしながら、これら十四世紀のスコラ学的議論がそのままに十六、十七世紀の科学革命に結びついたわけではない。何故なら、まずマートン・カレッジの計算者達が行ったことは、自然そのものを数学化するより、スコラ的議論を数学化し観念的で精神的な存在者に関わる問題分析のための概念的道具を洗練することであった。すなわち哲学的あるいは神学的思惟の手法としての数学の洗練であったのである。その上、「マートン学派の物理的問題に対する量的アプローチは、自然の量化には結びついてはいなかった。マートン学派はただ定常的な項と可変的

な項との間に存在する「比例」の量化のみに関わったのであって、これらの項そのものの量的値を決定しようと試みたことはなかつた<sup>(12)</sup>のである。さらにオレムは、「性質の内包量の大きさの幾何学的な表現はすべて想像上の転化に基づいているが、それは温度、愛、速度は直接測定することが出来るような広がりを持たないからであると言ふ明確な意識を持つていた」のである。彼にとつては、「すべての性質の内包量の大きさは外延量にもとづいてのみ幾何学的に表わされるのであり、その性質の機能的な構造関係だけしか表現されないのである」<sup>(13)</sup>。

結局のところ十四世紀の神学者達の業績は科学革命の先取りのな点もあるものの、アリストテレスの質の自然科学の範囲を大きく出ることにはなかつた。それは尺度の概念に低い価値しか与えられていなかったことに現れている。アリストテレスによると、「尺度はそれによつて各々が知られる究極的なものであり、しかして各々のものの尺度は：略：一であると言われる。：略：尺度や原理は一にして不可分なるあるものである。：略：数の尺度が最も正確である。：略：その他のものの場合にかかる尺度が模倣されている」<sup>(14)</sup>のであり、従つて、連続量においては尺度の決定は、かなりの任意性を持つてゐる故に、中世のスコラ学者の関心をあまり引かなかつたと考えられる。さらに、前述のように内包量の量化にいたつてはその限界をオレムは明確に意識していた。この様な数学の使用に関する中世の制限ある態度は、彼らの自然に対する態度が基本的にはアリストテレスのそれと同様であり、「現にあるがまま、我々の知覚に自然にあるがままの自然に慈しみの関心をよせた」<sup>(15)</sup>からであると思われる。この様な自然を前にして彼らは、「世界を数学的尺度で厳密に規定することは不可能であり、人間の自然的本性の能力を超えてゐると固く信じていた」<sup>(17)</sup>のである。それゆゑ彼らの質の量化の努力も、数量化された現代科学のような客観的と言ふよりも、ある任意性を含む主観性の強いものであつたことは否めない。それはオレムの「質の図形化」に最もよく現れている様と思う。

自然に対する厳密な数学の適用可能性は、よく構成され、在るがままの自然とは切りはなされた人工的環境下にある実験か、あるいは天体のような比較的単純な体系において始めて証明出来ることであつた。前者は、ガリレイ・ガリレイ（一五六四〜一六四二）により後者はアイザク・ニュートン（一六四二〜一七二七）により十六、十七世紀の科学革命期に証明された。しかし、物質の密度や速度以外の質の内包量の厳密で客観的な量化の問題はこれほど単純にはいかなかった。

### (三)

科学革命の最大の成果は、近代科学の方法論を確立したことである。実験と数学よりなるその方法論が最もよく効力を発揮したのは物体の運動及び力学の分野であり、ガリレイに始まりニュートンにおいて完成したと言える。しかし、中世において質として分類されたものの中には近代科学的取り扱いには馴染まないものも有り、また科学革命期に考察の対象となつたものの近代科学としての成立が遅れたものも有る。それは、ガリレイやニュートンの物体の動力学とは異なつた考えを必要とした為である。前者の例としては「愛」が、後者の例としては「熱」が上げられよう。ここではこの「熱」の「量化」の問題を取り上げる。

もちろん、古代から熱と冷を数の度合いで表わすことは医者の世界では知られていた。<sup>(18)</sup>さらに冷熱の感覚に客観的な尺度を与えようと言う試みは、空気温度計を考案したガリレイ等によつてなされていた。<sup>(19)</sup>しかし、「熱」の科学が「熱力学」として確立したのは十九世紀になつてからである。何故遅れたのか。それは何よりも熱の本性の探求とともに、熱と言う「質」を厳密に量化する尺度を決めることが出来なかつた為である。科学革命期の自然観は機械論的自然観と言われ、その形は様々ではあるが根底に粒子論モデルを持つていた。熱についてもこの様な文脈

で理解がされたのは当然であろう。例えば、ガリレオは著書「偽金鑑識官」の中で、「熱とはこうゆう類のものであると信じたいのです。私たちが、一般にフォコ（火）と言う名で呼んでいる、私たちに熱を生み、熱を感じさせる物質は、様々な形を持ち、非常な速さで運動する無数の微粒子であることを、わたしはほとんど確信しています」と述べ、熱は火の元素である粒子の作用であるとしているのです。この様な考え方はこの時代に古代の原子論を復活させた、ピエール・ガッサンデイ（一五九二―一六五五）にも共通するものであり、多分デモクリトス（BC四六〇―三七〇）による古代の原子論を伝えたルクレチウス（BC九九―五五）によるものであろう。この点多少後に活躍したロバート・ボイル（一六二七―一六九一）は、彼の普遍的粒子哲学の帰結として熱の本質を「局的運動と呼ばれる物質の機械的作用」と定義している。これゆえに、ボイルを近代的熱運動論の先駆者とする見方もある。しかし、十八世紀中頃になると熱の他、電気や磁気もそれぞれに対応する物質粒子の固有の性質によるとする、物質論（materialism）の考えが出てきた。これらの物質粒子は極めて微細であるとされ、重量測定にもかからない不可秤（不可量と書くことも有る）性を持つものとされた。さらにこれらの物質は、その微細性の故にどのような小さい穴にも流入しまた流出できる流体とみなされ不可秤流体と呼ばれた。熱の場合この様な考えはすでに前記のようにその源をデモクリトスの原子論に持つが、もう一つは重力を伝達するものとしてニュートンが考えた空間に充滿しており重さを持たない物質であるエーテルに関する理論に有ると言われる。ここで熱としての不可秤流体を熱流体という。一方、物質としての熱の理解とは直接関係なく、実験的事実に重きを置く英国のジョゼフ・ブラック（一七二八―一七九九）等の研究により温度と熱の区別がなされ、近代的熱力学的諸概念の基礎が確立したのである。この中には、熱平衡の意味と温度概念との関係（熱平衡は実は温度平衡であること、及びこれにより温度が普遍的量となりうること）の明確化、後に物質固有の比熱として認識される熱容量（正確には熱容量比）

の基礎となった温度と熱量の関係、さらに水の温度を上げるのに要する熱量との比較から熱量測定法も確立した。ここに、「熱という値の内包量」をあらわす温度という概念が厳密に成立し、又単位質量の水を単位温度上げるのに必要な熱量を基礎とした熱量測定の尺度が出来上がったのである。またブラック等の研究は潜熱の測定を通し熱量の保存則にも導かれたが、この保存則は、物質としての熱の理解には馴染み易いものであり、ブラックによる前記の研究の内には既に暗黙裏にこの保存則の概念が入っていたと思われる。<sup>(23)</sup>このようにブラックが熱学史上で果たした役割は非常に大きく、彼を力学におけるガリレオに相当すると言う評価すらある。ここにようやく熱の量化的正しい基礎が作られたと言えよう。しかし、熱の本性については、熱物質説の一つであり、A・L・ラヴォワジエ(一七四三—一七九四)が提唱した元素としての熱素説(caloric theory of heat)が長い間支配的で、これに基づいて熱の理論が發展した。特に、十八世紀後半からのイギリスにおける蒸気機関の普及とそれに伴う熱効率改良の要求は熱の研究を促進させ、十九世紀の半ばには熱量と力学的仕事との等価性(熱の仕事当量)の発見に導き、エネルギー保存則発見の一つの契機となった。このエネルギー論の發展の中で内部エネルギー概念の確立と共に熱素説も克服され、近代科学としての熱力学が完成されたのである。後に熱力学に対し統計力学による分子運動論的基礎が与えられ、結局あのロバート・ボイルの考えに戻ったように見える。しかし熱力学と言うマクロな科学の成立には熱物質説と共に素朴な粒子論的な考えも、一度は克服されなければならなかったのである。なお、この熱力学の發展の中で、理想的な熱機関と言う概念と仮想的な熱平衡の想定が、熱力学の数学的体系化に大きな役割を果たしたことを付け加えなければならない。

ところで「熱と言う質の内包量」は、熱の仕事当量概念とエネルギーの保存の法則を用いることにより、結局「力学的仕事」と言う目にみえる物理量として表わされ得るものであることが示されたが、熱そのものは理論の發

展の中でどのように理解されるようになったのであろうか。熱はエネルギーの一つの形態と理解されるようになったのかというと、そうではなく、「エネルギー流れの一つの形態」であると言うのが熱力学の結論である。「熱」を一つの実在する物理量のように表すのはあくまで熱を物質として考えていた時代の名残りであり、本論での記述もそのような歴史的表現によった。ではエネルギーとは何であろうか。フランスの数学者アンリ・ポアンカレ（一八五七―一九一三）はエネルギー保存の原理について、「個別の場合にはエネルギーとは何であるかよく分かる。そして少なくともその一時的な定義を与え得る。しかし、その定義を一般的な定義と認めることは不可能である。もしその人がこの原理の一般性を發揮させて、これを宇宙全体に適用するものとして表現しようとすれば、この原理はいわば消えてしまつて、何か恒常的なままでいるものが存在すると言うだけのこととなる。」と述べている。さらに現代の物理学者リチャード・P・ファイマンは有名な物理学の教科書の中で、「エネルギーとは何だろうか。それについては現代の物理学では何も言えない。このことは頭に入れておく必要がある。エネルギーは……略……数量を計算する式が有つてそれをみんな加えると……略……いつも同じ数になるのである。……略……エネルギーと言うのは抽象的な量なのである」<sup>(26)</sup>と述べている。我々は「エネルギー」と言う言葉を日常何気なく使用しているが、物理学上の「エネルギー」と言う概念は、実は「エントロピー」という概念と同程度に分かり難い抽象的概念なのである。「熱」と言う「質」の量化の探求は、結果として数量としてしか表わせない抽象的な物理的存在に帰着したのである。ここに、「熱」に関する科学革命が完了したと考えられる。

### 三 量から質へ

(一)

蓋然性 probability あるいは偶然性 contingency とは何か。前者に対し手許の哲学辞典を引くと、「…現象にしても知識にしても絶対に確実な法則性を貫徹し得ぬ局面が有り、そこに必然性に似た法則性ないし確実性としての蓋然性の思想があらわれる。……略……蓋然性が数量化される場合を確率と言う」とある。さらに、後者に対しては必然性との関連で、「ある事柄が必然とは、ある事柄の前提を認める限りで無条件に受け容れられねばならない事を示している。……略……一定の物理的理論と関連して物理的必然性が主張される。……略……物理的必然性を持たぬものを物理的偶然性と言う。……略……確率論と偶然性・必然性の問題は一定の予測にもとづいて起り得べき事象に対して起る事象の比が一より小さい時、起る事象は偶然的といいうる。これを数学的に扱うのがいわゆる確率論である」とある。<sup>(28)</sup> 何れにせよ蓋然性あるいは偶然性の数量的取り扱いは、確からしさの度合いとしての確率論(probability theory)によるのである。

蓋然性あるいは偶然性という、事象の生起に關係する概念を数量化し、確率論へと發展せしめたその源は、これまで述べてきた中世から近代至る質から量へという自然科学の正規の歴史の中にはない。しかし、その後の確率論の成立と發展は、量の問題とはとても捉えられなかったことまでも数量化し、客観的に表わそうとする近代科学の特性を最もよく表わしているのではなからうか。

確率的考えの萌芽は、さいころ賭博の中に在った。ヨーロッパ中世では原則的に禁止されていた(実際には行われていた)賭博もルネサンスになると盛んになり、どのような目が出るかと言う推定はさいころ賭博をする者の大

きな関心事であったので、目の出方の研究も盛んになった。賭け事に関する問題を最初に数学の中に入れたのは、イタリアのルカ・パチョーリ（一四四五―一五一七）であるとされ、理論的研究をした最初の人としてジェローム・カルダーノ（一五〇一―一五七六）があげられている<sup>(29)</sup>。確率論そのものは、やはりさいころやカード賭博に関連してブレイズ・パスカル（一六二三―一六六二）やピエール・フェルマ（一六〇一―一六六五）などによりフランスに始まったとされる。ただし、彼等の研究は確率と言うよりむしろ、起り得べき全ての「場合の数」の計算と言ったほうが相応しいものであった。確率論を、古典的確率論として確立したのは、フランスのピエール・ラプラス（一七四九―一八二七）であった。さらにルベীগ測度を基礎に公理系としての数学的な体裁を整え、近代的確率論として完成したのはアンドレ・N・コルモゴロフ（一九〇三―一九八八）であり、比較的最近の一九三三年のことであった<sup>(31)</sup>。

しかし、数学としての学問体系は完成したが、確率とは何かというその意味を問う哲学的問題はラプラス以来今日でも完全に決着しているとは言えない。まず、ラプラスは確率をどのように考えていたのであろうか。彼の著書『確率の哲学的試論』中の「確率計算の一般的原理」の章において、確率の定義を、第一の原理として次のように述べている。「第一の原理は確率の定義に他ならない。既に見たとおり、確率とは、すべての可能なる場合の数に対する好都合な場合の数の比である<sup>(32)</sup>」。この様な確率の定義は、前述のパスカルやフェルマの研究の延長上に入り、これを「頻度説」による確率の定義と言う。もし、確率がこの頻度説のみから成り立っているとすれば、確率論は他の科学と同様な性質を持った、蓋然性について<sup>(33)</sup>の客観的科学と言えよう。もちろん、確率的に物事を考えようとすると多くの場合に、対象となる事象の数が非常に多く、それゆえ我々は全ての可能なる場合の数を知ることが出来ないし、又全ての好都合なる場合の数を知ることが出来ない。従って、実際の確率を厳密に知ること

は出来ない。しかし、シメオン・D・ポアソン（一七八一—一八四〇）等による「大数の法則（Law of Large numbers）」により、経験の数が増すに連れ正しい値に（確率）収束することが主張されている。それゆえ確率論は、有限個の実験の結果から理論の正当性を実証することによって成立している他の近代科学と原理的には同様な蓋然性を持った一科学である<sup>(33)</sup>と言う意見にも妥当性が有るのである。

しかし、一方近代科学の特性とは異なる特性が、ラプラスが「事象からその原因へと溯る推論の分野での基本原理である」と言う第六原理<sup>(34)</sup>に含まれている。此の点がラプラスはともかく後世の確率論の研究者の中に一大議論を巻き起こした。第六原理は通常ベイズの定理と呼ばれるものであり、英国の非国教系の牧師でもあったトーマス・ペイズ（一七〇二—一七六一）が最初に提出し、ラプラスによって再発見されたものである。この定理の具体的形を、注(35)に示しておく。この定理には三種の異なった確率が出てくる。一つは「ある原因から問題の事象の生じる確率」（条件付き確率、あるいは予測確率）、二番目は「その事象が起こってしまった後にその原因である確率」（事後確率）、さらに「原因自身の事前確率」（事前確率）である。

ところで、この事前確率とは何であろうか。もし頻度説のみが確率の定義だとすれば、この事前確率もまた何らかの過去のデータからの頻度により求めなければならない。しかしラプラスの第六原理の例題の中に、「嘘をつく証人<sup>(36)</sup>」の例がでてくるが、この例について「確率の哲学的試論」の訳者は次のように述べている。「証言が真である」と言う仮説の事前確率は「経験によりこの証人は十回に一回嘘をつくことが分かっており、彼の証言が正しい確率は9/10であると仮定しよう」と言つて、サラリと決められている。これは「十回に一回嘘をつく」という平均的相対頻度からその仮説の確率への移行であるから、頻度説に近い立場を示唆すると考えられるかもしれない。しかし、そうではない。問題の仮説は、「壺から取り出された数字は七十九であると言う証言は真である」という、

内容の特定された個別命題であることに注意しなければならない。……略……この個別命題は真か偽か決まっております。『この命題が真である』ことの頻度』は意味をなさないからである。……略……問題の仮説の事前確率は、その確率に基づいて得られた当の仮説の信憑性という別種の確率であるとみなさざるを得ない』とあり、信憑性の度合い」と言う主観性の強い意味合いを持つものになっている。さらに、多くの場合都合よくデータがあることは希で有り、特にめつたに起こらない事象の確率を頻度から求めることは非常に困難である。現代の確率論において、この様な場合用いられるのが「主観確率」である。主観確率は過去のデータが利用できず、頻度説に馴染まない所謂一回限りの意思決定の問題において重要な役割を果たしているのである。主観確率の対象になっている事柄は、認識の対象の持っている蓋然性ではなく、認識主体の側に主観的に存在する不確実性なのである。ここに、厳密な量的概念に馴染まない質的な物が含まれているように思える。<sup>(38)</sup>

(二)

近代科学における主観性の復権は、一部はこれまで述べてきた主観確率の中に現れているようにみえる。しかし主観確率といえど、その設定にはある合理性をもち、例えば前記の一回限りの問題についてその確率を求めようとする場合にも、確率的に等価な「賭けの問題」を人に比較させ、その人の主観確率を得るといった方法を取られることがあり、主観と言ってもある程度の合理性を持った主観である。合理的人間の判断がいくつかの前提を常に満足するとすれば、前提から導かれる主観確率は、数学的に扱うことが出来るのである。<sup>(39)</sup>

一方、この人間の主観を大胆に取り入れたのが一九八五年にカリフォルニア大学のL・A・ザデイ教授によって提唱されたファジイ理論である。<sup>(40)</sup> ファジイ理論のファジイネス (fuzziness) とは新しい言葉であるが、様々な

不確かさのカテゴリ<sup>(4)</sup>の内、言葉の意味や判断のもつ曖昧さを表すものとして定義されている。このファジイ理論は言語に含まれるこの曖昧さの様相を数学的に扱うものである。ただし、「言葉といっても『平和』……などのような総合的、あるいは多次元的概念ではなく『若い』、『大きい』、『暖かい』……など、一次元的意味内容を持つものを主として扱<sup>(4)</sup>う」ものである。

数学としてのファジイ理論は、ファジイ集合とファジイ測度等よりなる。ファジイ集合は普通の集合とは異なり、集合の個々の要素自身がその集合に属するその度合いを持つているのである。逆にいえば、その度合いは集合の要素の関数とみなすことが出来る。それをメンバーシップ関数という。その関数上の個々の度合いを示す数値を、その要素に対するグレードといい0から1までの大きさで表す。0は要素がその集合に全く属していないと思われることを表し、1は要素が完全に集合の要素であると考えられていることを示している。言い替えると、このグレードの値は、しばしば文脈依存と考えられる言葉の意味の曖昧さの程度を、数値によって表わしたものである。なお、メンバーシップ関数の定義域「0、1」は、確率との形式的類似性より想定されたものであり、ここの数値自体の意味よりも、相対的な大小関係とこの関数が有限な大きさを持つものであるということを意味するに過ぎない。メンバーシップ関数の一例を注(43)に示しておく。このようにファジイ集合が言葉の意味と言うばやけた境界の持つ曖昧さを扱うのに対し、ファジイ測度は、好き嫌い、良い悪い及び可能不可能等の、判断や評価に伴う曖昧さのような、多くの可能性のうち特定できない曖昧さを扱う。ファジイ測度は確率測度の加法性を単調性に置き換え、より一般化したものとなっている。ファジイ測度の一種である可能性測度は確率測度に最も関係が深く、確率論における確率分布が何らかの客観性を持った方法により定義されるのに対し、可能性分布はある事柄についての全く個人の主観に依存したメンバーシップ関数により定義される。注(44)の論文はこの可能性理論の応用の一例である。

ここで注目すべきことは、メンバーシップ関数の決め方である。ファジイ理論におけるメンバーシップ関数の大まかな特徴は、言葉が本来持っている意味の幅の範囲内あるいは人間の判断が持つ共通の傾向の範囲内では、定義する人あるいは集団によって、あまり変わらないだろうという点にある。しかし、グレードの数値そのものの詳細は全く個人の主観に依存する。ファジイ理論では、メンバーシップ関数の大まかな形により、言葉本来が持つある集団に共通の主観的傾向（あるいは質的傾向）を表わし、グレードの数値の微調整により個人の主観に基づく差異を表わすと言えよう。結局ファジイ理論において重要なのは、主観を表現するメンバーシップ関数のおおまかな「形」である。菅野はこれを、特にファジイ集合を「意味の定量化」<sup>(45)</sup>と言ったが、むしろ「意味の幾何学化」あるいは「意味の図形化」と捕らえるほうが相応しいのではなからうか。

(三)

近代科学の歴史は自然の定量化の歴史であり、定量化を実現するための厳密な尺度の歴史である。本論では触れなかったが、近代物理学の中心的な概念である「力」は質量と速度の積の時間変化を尺度として定義されているのである。また、本論で示した様に、最終的に熱量は力学的仕事量あるいは温度（正確には温度と比熱の積の示すエネルギー量）エネルギー量を尺度として計られる。さらに無次元量である確率でさえ第一義的には「場合の数」の比の概念に帰着する。先に述べたように、菅野はファジイ集合を「意味の定量化」<sup>(46)</sup>と言ったが、この定量化は近代科学の歴史の中で見た場合特異なものである。なぜなら、この定量化には近代科学を特徴付ける厳密な尺度の定義がないのである。それは、ファジイ理論が対象とする人間の主観、とりわけ個人の主観が、直接測定することが出来るような広がりを持たないからである。ファジイ理論は、言葉の意味の持っている曖昧さに入り込むわれわれの

主観を、在りのままに認めることを基本的思想とする。この主観は、その個人が意識しようとする無意識であろうと、文化的歴史的経験に由来する様々なものから成り立っており、とても解析の対象とはなり得ない複雑なものと考えられる。それゆえファジイ理論は、その開発者ザデーの「複雑な現象を厳密なモデルで表そうとすると、かえって不正確なものになる。曖昧な現象を表すには曖昧なモデルが適している」と言う考えをよく表す手法なのである。ファジイ理論は、在るがままの主観を在るがままに受け入れ、それを図形化するが、その複雑さを知るゆえに厳密な数学的尺度による規定を最初から放棄している点、すなわちその主観的大小関係（主観的比の値）のみを問題にしている点、オレムの「質の図形化」と類似の問題意識にあるようにおもえる（これについてはより詳細な検討が別に必要であるが）。そうであるならば、ファジイ理論の思想は、菅野が言う「繊細な精神を持ったパスカル」ではなく、複雑な自然を分析的でなく現実そのままに理解しようとした中世末期の自然哲学者、あるいはアリストテレスの思想に求めるべきではなからうか。ここでは当然「質」が優位となる。ザデーのファジイ理論が、現実をそのまま取り扱わなければならない工学の現場から発生したことは、このようなことを考えると必然的であったようにおもえる。理想的状態のもとでの実験と厳密な尺度を持った数学理論からなる客観的「量」の科学の優位性は動かないとしても、ファジイ理論のような主観的「質」の科学の立場は主流の科学に対し異端ではあるがいわゆる相補的なものとしての意味があると言うのが現在におけるファジイ理論の位置であろう。

#### 四 結 論

「量」の科学の行き着いた現代は、それに対する様々な反対の動きを引き起こした。近代科学の中におけるその

ような動きの一つは本論で述べたフアジイ理論であるがその他にも、構成要素をブラックボックスとして簡略化し、全体の繋がりを重視するシステム理論、二十年ほど前に現れたルネ・トムのカタストロフ理論<sup>(50)</sup>や、近年のカオス・フラクタル理論および複雑系理論などがある。フアジイ理論やシステム理論は、科学的説明方法としての能力はともあれ、工学の現場から発生した故に今後も一つの技術として生き残っていくであろう。カタストロフ理論は一時もてはやされたもののその説明方法としての有効性の限界によるのか、今ではあまり話題にならなくなってしまった。カオス理論等への評価は今後に残されている。

分析的客観的な「量」の科学への批判論は、当然科学の外の方が盛んである。伝統的科学のすぐ外では、地球を一つの有機体と見るガイヤ思想<sup>(52)</sup>や今西錦司の「自然学」<sup>(54)</sup>などがあり、さらに環境問題を媒介として様々な自然観が満ち溢れ、その中にはずいぶん如何わしいものも混入しているように思える。しかし、いずれにせよ共通していることは、分析的近代科学思想に対する全体思考的思想の回復と言う点である。このような視点は、科学技術が隔々まで及んだ人工的環境に対する自然環境回復の主張や、当然自然の中における人間の位置の批判的見直し、さらに自然的(?)人間性の回復への主張にもつながるものである。しかし、量の世界の影響は我々の生活の中に深く入ってきてしまい、簡単にはそれを制御克服できないように思う。

解剖学者、養老孟司は著書『唯脳論』の中で「進化の過程で脊椎動物は『脳化』と呼ばれる方向に進んできた。：略：しかも脳の中では大脳化が進む。人では、それが新皮質の増大として、きわめて顕著になる。この進化傾向の成れの果てが、現代の都市である。そこには脳の産物以外何も存在しない。：略：人工物以外のものはそこから排除される。：略：社会とは脳の産物である。：略：社会は暗黙のうちに脳化を目指す<sup>(54)</sup>」と言う。養老の言う脳化が歴史的、いやもっと広く進化的傾向であったとしても、現代における脳の最高の産物としての科学技術が作り出

したこの人工環境の特異性は、それによつて弱められるものではない。科学技術が作り出した世界は、直接五感により感じる事が出来る環境のみではない。それは序論でも述べたように、五感では直接感じ取れないマイクロからマクロに及ぶ広大な客観的量の世界を人間の知的世界の中に出現せしめた。養老に従つて、世界を計る物差しを身体とする<sup>(55)</sup>（本論では日常的な物差しと言おう）ならば、我々の身体が存在する日常的世界に対し、この物差しでの度では計りきれない超マクロと超ミクロの世界は、全く別の知的抽象世界である。一二〇億光年彼方の世界がどのような意味を我々の日常生活に直接持つているのであるか。それは正に脳の中の世界にのみ存在し、知的な営みの中にその意味を持つていゝ事柄である。ミクロの世界でも本来的に同じはずであった。我々の身体は六十兆個の細胞から成つてゐる。六十兆と言ふ数はすでに日常的物差しを超過しており、天文学的な数である。六十兆が、かたまりとして一つの物差しと考へられてゐる世界で六十兆分の一がいかなる意味を持つてあろうか。又更にその各細胞は天文学的数の各種分子からなる。さらに分子は多くの場合多くの種類の数の原子から成る。そして、その様な原子の世界は一〇〇億分の一mの大きさの世界である。原子力発電は、物質変化としてマクロのレベルに現れるほど多くの原子の改変を、科学技術の力により人工的に起こさせたものである。しかし、このような分子の世界いわんやその下の原子の世界の一つや二つの出来事が我々の日常的世界に直接どんな影響を持つと言ふのであろうか。それは脳の中の全く別の世界の出来事である。そこには身体はない。養老は先に注(54)で引用した文章に引き続いて、このような内外に拡大した脳的世界において起こることは、「身体性の抑圧」であると言ひ、そしてその「身体が反逆する<sup>(56)</sup>」と言ふ。

近頃我々の日常は、この脳の中のみ存在するはずの世界からの情報により脅かされてゐるように思へる。しばらく前は、旧ソ連で起きたチェルノブイリ事故により世界に拡散した微量放射能であつた。放射線の計測技術は極

限まで進歩しておりほとんど一個の電離イオン化をも計測可能である。現在問題に成っているダイオキシンの安全摂取量は体重1kg当たり一日四pg(ピコグラム)すなわち一兆分の一グラム(一〇〇〇兆分の1kg)であると言つ。これまでこの量についてどのような計測法によつた結果か、どの程度の誤差を含むのか必ずしもその詳細が各種調査と共に公表されているわけではない。大小関係についての人間の感覚は重さよりも距離のほうが分かり易い。そこで兆の感覚を得るために1mの一兆倍がどの程度かを考えてみるとそれは、太陽と地球の間の距離の六倍程度になる。天文学的とまでいえなくても太陽系の規模の大きさである。それをひっくり返した一兆分の1mの大きさがどのくらい小さなものか此方は適切な比喩を思い付かないが、日常の物差しで計られるものでないことは確かである。ピコグラムの量のダイオキシン、それは脳の作り出した抽象的世界の産物のはずであつた。それが、日常生活へ進入し恐怖を与えている。我々の環境を調べるとダイオキシンのような内分泌攪乱物質の影響が見られると言つが、巻貝類など一部を除いては、はっきりした因果関係が分かつていない<sup>(57)</sup>。特に人間に対して、科学的検査をしても取りたてて特徴的な影響が我々の身体に確かに発見されているわけではない。身体もまた何にも感じていない。そして脳の中の恐怖のみが増大する。これはどう言うことであろうか。脳が身体能力を超え、身体がそれに對し自身を減ぼすことで反抗しているのであるうか。何かが異常である。その異常なのは、この様なミクロの世界が身体的日常の世界に直接影響すると考える我々の脳自身なのか、あるいは本当に一兆倍のスケールを超えてピコグラムの世界が音もなく日常の世界に影響していることのか。もしそうならば、我々は生きるために、ナノ秒の時間の経過を感じ取ると言う最先端のコンピュータ技術のように、日常性の物差し<sup>(58)</sup>の尺度を脳の世界にあわせて変えなければ成らないだろう。そして、その時は新しい主観的世界が現れ、それを表現するための新しい(フアジー)理論が造られるかもしれない。しかしそのようなことが実際に可能であろうか。もしこのピコグラムの単位

の日常的世界への進入が脳のもたらす幻想であることが分るならば、それは脳の作り出したこの環境に置かれた我々の身体が、まだ我々に反逆していない証拠かもしれない。

注

- (1) 例えば、アンドレ・ピシヨ（中村 清訳）『科学の誕生』（下）、pp.110～199、せりか書房（一九九五）
- (2) プラトン（種山恭子訳）『ティマイオス』、プラトン全集12、pp.47、岩波書店（一九九九）
- (3) 前注（2）の書、pp.95
- (4) アウグステイヌス（清水正照訳）『創世記逐語的注解』、pp.140、九州大学出版会（一九九五）
- (5) 前注（4）の書、pp.435
- (6) 五世紀以後ギリシャ哲学を修道院で伝えたのは、ラテン編纂家といわれる人々である。代表的な者として、ユークリッドの幾何学の一部を伝えたポエティウス、百科全書の知識の収集に努めたイシドルス、「質論」を表わしたペーダなどが挙げられる。十二世紀まではこれらの人々の業績が主なものであった。
- (7) アリストテレスは実体を表わす述語形態（カテゴリー）として、次の十種類を考えている。  
実体、量、質、関係、場所、状態、時間、所有、能動、受動  
なおこの場合の実体とは個物が属する種、種が属する類などの第二実体を意味する。また、より大きいより小さいなどは量のカテゴリーではなく、関係のカテゴリーに属する。特に量については、連続的な物、線、面、立体、時間、場所などの連続量と数（1,2,3 etc.）等の非連続量を考えている。質については、徳とか認識とか永続的に保持している状態、硬さや柔らかさのような自然的力を前提にするもの、熱さ、冷たさ、味、青白さ、赤面、白さ、黒さのような受動的性質、直とか曲のような形態的性質を考えている。
- (8) A・C・クロムビー（渡辺正雄、青木靖三訳）『中世から近代への科学史』下、pp.86、コロナ社（一九六八）
- (9) ロジャー・ベーコン（高橋憲一訳）『大著作』、pp.88～94、科学の名著3『ロジャー・ベーコン』朝日出版社（一九八〇）

彼はこの著書第四部、第一編、第二章において要点を次のように指摘している。

「従って、カテゴリーはすべて数学の関与する量の認識に依存している。従って論理学の持つ力全体が数学に依存している」。

この時代、医学上の著作においても、熱と冷とは数の度合いによって表わさねばならぬと言うガレノスの示唆を論じるのが当たり前のこととなった。

(10) 前注(8)の書、pp.89

また、この原因と結果の随伴関係を表わした言葉として、「原因が止めば結果もまた止む (cessante causa, cessat effectus)」がある。

(11) ニコル・オレム(中村 治訳)「質と運動の図形化」、中世思想原典集成19 『中世末期の言語・自然哲学』平凡社(一九九四)所収

この著作において言及されている質の種類は、色、熱、愛、外的感覚(快不快)、内的感覚、知的能力、運動、速さ、時間、音、魂の付帯性(把握、欲求、情念)等。

(12) カロルス・ステイル「学の対象としての自然——自然科学に対する中世の寄与」pp.208~209、小山宙丸編『ヨーロッパ中世の自然観』創文社(一九九八)所収

(13) ヴォルフガング・ブライデルト「後期スコラ学」pp.191、ゲルノート・ベーム編(伊坂清司、長島 隆監訳)『我々は自然をどう考えてきたか』どうぶつ社(一九九八)所収

(14) アリストテレス(岩崎 勉訳)『形而上学』、一〇五二b一〇五三a、講談社(一九九四)

(15) 前注(13)の書、pp.119

(16) 佐々木 力「十三世紀の数学論争」pp.199、『自立する科学史学』北樹出版(一九九〇)所収

(17) 前注(12)の書、pp.209

(18) 前注(8)の書、pp.99

(19) 山本義隆「熱学思想の史的展開」、pp.2、現代数学社(一九八七)

(20) ガリレオ・ガリレイ(山田慶児、谷泰訳)『偽金鑑識官』、pp.506、豊田利幸編集『ガリレオ』世界の名著26、中央

- 公論社（一九九三）所収
- (21) ルクレチウス(樋口勝彦訳)『物の本質について』、岩波文庫（一九九八）
- (22) 前注（19）の書、pp.25
- (23) 前注（19）の書、pp.113～138
- (24) 前注（19）の書、pp.113
- (25) A・ポアンカレ（河野伊三郎訳）『科学と仮説』pp.160、岩波書店（一九七〇）
- (26) リチャード・P・ファイマン、ロバート・B・レイトン、マッシュウ・L・サンズ（坪井忠三訳）『ファイマン物理学、力学』pp.50、岩波書店（一九八七）
- (27) 荒川幾男他編集『哲学辞典』pp.215、平凡社（一九九七）
- (28) 山崎正一、市川 浩編『現代哲学辞典』、pp.518、講談社（一九八六）
- (29) 小杉 肇『統計学史』、pp.85、恒星社厚生閣（一九八四）
- (30) 確率論の初期の歴史については、次の文献がある。  
安藤洋美「確率論の生い立ち」現代数学社（一九九六）
- (31) A・N・コルモゴロフ（根本伸司・一條 洋訳）「確率論の基礎概念」東京図書（一九六九）
- (32) ピエール・S・ラプラス（内井惣七訳）「確率の哲学的試論」、pp.18、岩波書店（一九九七）
- (33) エミール・ボレル（三田博雄訳）「蓋然性の哲学」pp.152、創元社（一九四二）
- (34) 注（32）の書、pp.23
- (35) ベイズの定理は次のように表わされる

$$P(F_i | E) = P(F_i) \cdot P(E | F_i) / \sum P(F_j) \cdot P(E | F_j)$$

$P(F_i | E)$  : 事後確率

事象Eが起こってしまった後での $F_i$ が原因である確率

$P(F_i)$  : 事前確率

原因 $F_i$ 自身の事前確率

P(E<sub>1</sub>-E<sub>2</sub>) .. 条件付き確率

E<sub>1</sub>が原因となり事象Eが生ずる確率

n .. 考え得る原因の数

- (36) 前注 (32) の書, pp.26
  - (37) 前注 (32) の書所収, 訳者「解説」, pp.231~232
  - (38) 藤田恒夫、原田雅顕『決定分析入門』共立出版, pp.69~76 (一九九三)
  - (39) 菅野道夫『ファジィ理論の展開』, pp.98, サイエンス社 (一九八九)
- また主観確率が満たさなければならぬ条件の一つは、ルベীগ測度の加法性であるがこれについて、本文献 (pp.105) に次のように表わされている。
- 「主観確率の考えは逆に人間の判断が加法性を満たす為にはどのような仮定を設ければよいかと言う発想の下に組み立てられたものなどである」。
- (40) L.A.Zadeh "Fuzzy Sets and Applications", John Wiley and Sons (一九八七)
  - (41) 前注 (39) の書, pp.163 に不確かさのカテゴリとして以下の分類が示されている。

不確かさのカテゴリ	非明証性
1 a 存在	蓋然性
1 b 現象	計算不可能性、予測不可能性
2 認識	非判明性
3 言葉・概念	distinctness
4 感情・観念	曖昧性
5 意志・行動	意味的多義性
6 知識・情報	vague 観念感情がはっきりしない
7 a 論理	漠然性
7 b 形式	非決定性
	不確実性
	非合理性
	不完全性

- (42) 前注 (39) の書、pp.4
- (43) 「若い」を意味する年齢の集合 (2、5、10、20、30、40、50、60、70、80) を考えよう。この集合に対しどの年齢を若いと思うかは個人によってまちまちであろう。例えば六歳の子どもにとつて若いと思えるのは、十歳、せいぜい二十歳までで、三十、四十は小父さん、五十以上はおじいさんかもしれない。このような感覚をそれぞれの年齢に対するグレードの大きさで表し (1、1、1、0.8、0.5、0.5、0.1、0、0、0) などとする。
- (44) 標 宜男 「リスク認知傾向の数学的表現に関する試論——ファジィ理論の応用として——」、聖学院大学論叢、第十一巻 第二号 (一九九九)
- (45) 前注 (39) の書、pp.76
- (46) 標 宜男 「ニュートンの動力学とその世界」、『論集 キリスト教と諸学』、vol.12 (一九九七)
- (47) 中村雄二郎 「ファジィと新しい科学認識論」、中村雄二郎、菅野道夫他 「ファジィ——新しい知の展開——」日刊工業社 (一九八九) 所収の中で紹介されている。
- (48) 前注 (39) の書、pp.35
- (49) 前注 (39) の書、pp.20
- (50) 相補性の概念は、量子力学の成立に貢献したニールス・ボーアが、ミクロの世界を表す粒子性と波動性と言う相反する二種類の描像の関係を言い表したものである。菅野は近代科学における主観—客観の関係をこの意味で用いた。ルネ・トム、E・C・ジーマン (宇敷敦重、佐和隆光訳) 『形態と構造』みすず書房 (一九九五)
- (51) 多くの本が在るが、手軽な解説書として、たとえば、カオス理論とフラクタル理論について、山口昌哉 『カオスとフラクタル』講談社 (一九九五)
- (52) 複雑性の科学については、エドガール・モラン (古田幸男、中村典子訳) 『複雑性とは何か』国文社 (一九九四)
- (53) J・ラヴロック (スワミ・プレム・ブラブッタ訳) 『ガイヤの時代』工作社 (一九九三)
- (54) 今西錦司、『自然学の提唱』講談社 (一九九三)
- (55) 養老孟司、『唯脳論』、pp.256—267、青土社 (一九九七)
- (56) 養老孟司、『日本人の身体観の歴史』、pp.64、法蔵館 (一九九六)

- (56) 注(54)の書、pp.257  
(57) 日本化学学会編『ダイオキシンと環境ホルモン』、東京化学同人(一九九八)  
(58) J・リフキン(松田 銑訳)『タイムウォーズ』、pp.26(一九八九)