

[論 文]

宇宙はなぜ存在するのか
—自然の構造と物理定数をめぐる考察とリベラル・アーツ教育について—

Why does the Universe exist?
— Concerning to the relationship between the structure of the nature and
the physical constants and also to the Liberal Arts Education —

佐治 晴夫

Haruo SAJI

Abstract

This paper describes one of the answers for the elementary question: "Why does the universe exist?" through the view point of 'the anthropic cosmological principle'.

Also was shown that the size of human body was entirely determined by the size of the earth, that is, its radius and mass, respectively. This fact means that the possibility of human-beings' existence cannot be separated from a certain fine-tuning of physical constants. And the reason why the universe is so is because human-beings exist at present, that is, the existence of human-beings make possible to exist the universe at present that we can observe now.

Finally, the author proposes the inter-disciplinary new field of science: "Mathematical Science of Art", as one of the Liberal Arts subjects.

1 はじめに

"D' où venons-Nous?"

Que sommes-Nous?"

Où allons-Nous?"

周知のように、これは1896年、パリ生まれの画家、Paul Gauguinが自らの芸術の集大成として、わずか100日たらずで描き上げたといわれる畢生の大作のタイトルである。この「われら

何処より来るや、われら何者なるや、われら何処へ行くや」という命題は、古今東西、時と場所を越えて人間が問い続けてきた究極的命題であろう。この問いかけを突き詰めていけば、宇宙の開闢にまでさかのぼり、宇宙論の根源的命題になってしまう。

ところで、従来の科学的思考法の特徴である演繹法とは、物理系の初期条件とその物理系に適用される自然法則を特定することから始められる。その後、その系が時間の経過とともにどのような状態になるのかを予測するものである。ところが、宇宙論に関する限り、とりわけ宇宙の開闢に関しては、この演繹法はまったく無力である。なぜなら、宇宙の初期条件は未知であり、宇宙創生の初期を記述する物理法則など、全くわかっていないからであり、あるいは物理法則そのものも、初期条件によっては、全く違ったものになったかもしれないからである。このような状況の中で、ただひとつ確実にいえることは、ある初期条件と物理法則によって、現在あるような宇宙が生成され、いまここに存在しているという事実であり、それに加えて、そのようなことを考えている我々、すなわち宇宙の観測者としての知的生命体が存在しているということを認容することくらいのものである。とすれば、宇宙の初期についての考察は、過去そのものの未来に基づいてその過去を予測する以外に方法はないということになる。これは、結果に対する基本的仮定から出発するという従来の演繹的または予測的論理、すなわち、未来は過去から演繹されるという思考方法と全く逆の方法論である。数学における”逆問題”に似た状況である。この考え方は R. H. Dicke や B. Carter などによって最初に提唱され、人間原理 (anthropic principle) の方法とよばれている^{1,2)}。

本論文では、そのような方法論を発展させ、この宇宙の観測者としての人間の存在そのものが、今あるような地球のサイズを決定したことを例にとりながら、今あるような宇宙を現出させたものは、ほかならぬ人間自身の存在そのものであるといういくつかの論拠を述べ、最小限の数学的記述にとどめながら、人間の存在を物理定数や宇宙の構造に還元することを(できる限り平易に)試みる。

2 物理定数と時空の構造

古典力学の世界では、空虚で一様な無限空間と無限時間があり、その中に物質が存在し、運動しながら、階層構造をつくるものであると考えられてきた。まず、宇宙があり、その中に銀河系があって、太陽系があり、そして地球があって、生物があって、それらのすべては原子、あるいは素粒子とよばれる基本粒子から成り立っているという考え方である。しかし、Einstein によって一般相対論が樹立されると、物質、エネルギーが宇宙の時空構造を決定すると考えられるようになり、物質の究極要素である quark や lepton の性質が宇宙のできごとのすべてを支配するものであると考えられるに至った。物質が宇宙を包含するという観点で、いわゆる「Mach の原理」である。

ところで素粒子が集まって原子が構成され、さらにそれらの集合体から生体高分子などがつくられていくが、それらの間には、機能からみると大きなへだたりと飛躍がみられる。生命を構成する物質はわかっても、それらを合成して生命を造り出すことなど未だ不可能な領域である。物質から生命へと向かうこの irreversibility は明らかに現在の科学の理解を越えた機能であるが、これを逆問題として捉えなおすと、生命体の自己認識は客観世界の認識を可能にするのであるから、自己の生命は宇宙を包含するとも言えるはずである。この包含関係は生命に関する「Machの原理」とでもよべるものである。

この関係を宇宙全体にまで extrapolate していくと、宇宙自身が生命、あるいは生命原理を有しているかもしれない、という観点にまでさかのぼることになるが、いずれにしても自己認識する生命と宇宙を、ある意味合いにおいて等価であるとする東洋古来の思想と相通じるところに行きつくのは興味深いことである。言いかえれば、宇宙のひとつかけらとしての自己という認識であり、同時に宇宙全体を包括する自己という認識である。

この microcosmos と macrocosmos との関係を、物理定数の立場から眺めなおしてみると、興味深い関係性が浮上してくる。

物理定数とは、自然法則を記述する基礎方程式に現れる定数のことで、重力理論にてでくる重力定数 $G (=6.67 \times 10^{-8} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-2})$ 、相対論における光速 $c (=3 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1})$ 、あるいは量子論におけるプランク定数 $h (=6.63 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec})$ 、陽子や電子の質量 $m_p (=1.67 \times 10^{-24} \text{ g})$ 、 $m_e (=9.1 \times 10^{-28} \text{ g})$ 、それらの電荷 $e (=4.8 \times 10^{-10} \text{ esu})$ などである。これらはいずれも単位をもつ量であるが、これらを組み合わせて単位のない量、すなわち無次元量を作ってみると奇妙な事実遭遇する。

互いの距離が r だけ離れている陽子、電子の間に作用する静電力 e^2 / r^2 と重力 $Gm_p m_e / r^2$ との比は

$$e^2 / Gm_p m_e = 0.2 \times 10^{40} \quad (1)$$

この値は電子の古典的半径

$$a = e^2 / m_e c^2 = 3 \times 10^{-13} \text{ cm} \quad (2)$$

と陽子が Black hole になったとしたときの半径、すなわち Schwarzschild 半径：

$a_g = Gm_p / c^2$ との比としてもでてくる。

一方、陽子の波動性を記述する Compton 波長 $\ell (=h / m_p c)$ と a_g との比も

$$\ell / a_g = hc / Gm_p^2 = 1.5 \times 10^{38}$$

となって、およそ(1)と同程度の巨大数になる。

さらに原子核の大きさ (10^{-13} cm) と宇宙半径 L ($=10^{28}$ cm) の比も 10^{41} で(1)と同程度の大きさである。

一方、時間で考えると宇宙年齢 (10^{18} 秒) と原子核の大きさ程度の距離を光が通過するのに要する時間 (10^{-23} 秒) との比も 10^{41} で、これも(1)と同程度の大きさである。またイギリスの著名な天文学者 Eddington³⁾ は先に述べた宇宙半径 L と電子の古典的半径 a との比もおよそ 10^{41} であることに気がついていた。

この 10^{40} という巨大数が、宇宙の中に存在する基本粒子数 10^{80} の平方根で与えられるというのも奇妙な符合である。統計力学の立場から考えれば、粒子数のゆらぎは、平方根で与えられるが、そこに常に生成消滅を繰り返している素粒子の世界を重ねてみるのもまことに興味深いことである。この 10^{80} という巨大数は、宇宙半径 L と、さきののべた陽子の Schwarzschild 半径との比からも得られ、さらに宇宙の質量 M ($=2 \times 10^{60}$ g) と陽子の質量 m_p ($=1.67 \times 10^{-24}$ g) との比も 10^{80} である。

そのほか、 10^{40} の平方根である 10^{20} という数値や、あるいは 10^{40} の $3/2$ 乗に相当する 10^{60} という巨大数が、物理の基本的定数から得られることもわかっている⁴⁾。すなわち、我々の宇宙の構造を支配する物理定数の間には 10^{20} 、 10^{40} 、 10^{60} 、 10^{80} という巨大数がかかわっていることがわかってきた。この事実が単なる偶然性によるものなのか、それとも宇宙の根源的性質を反映しているものなのか議論がわかれるところであろうが、これらの論考は無次元数のかたちで行われており、したがって単位系のとり方には無関係で、しかも原子分子のサイズから宇宙スケールのサイズまでを広く包括しているところから考えると、少なくとも宇宙の基本的性質を反映するものの一部であると思ってよい⁵⁾。

ところで Mach は慣性系を物質分布の一様性が実現される広い空間領域で定義すべきだと提案した。つまり、力学法則は、物質の存在形態と結びついていて、慣性系の存在は空間の一様性の原理に基づくとしている。この視点から Newton の運動の第2法則を解釈してみると、宇宙の中に存在する物質の質量分布が一様であれば、いま着目している物体に作用する重力の合力は消え、その物体の加速度はゼロとなる。この空間の一様性を仮定すると、空間をずらす操作に対応するのが運動量であるから、そこから運動量が不変量として定義できることになる。この一様性を Olbers の paradox と組み合わせると宇宙の膨脹が予測されることになる⁶⁾。

そこで、この空間の一様性に対して、時間の定常性があると仮定するならば、時間をずらすという操作がエネルギーを与えるということになるから、エネルギー保存についてのひとつの知見が得られることになる。

周知のように、我々の宇宙は膨脹しており、その膨脹速度は観測者からの距離に比例している (Hubble の法則) ので、遠方では光速に近づいていく。そのために、宇宙の地平が存在す

ることになる。膨脹によって物質は絶えず宇宙の地平の彼方に沈みこんでいく。質量 m の物質が地平に消えると、特殊相対論が要求するとおり、我々の宇宙からエネルギー mc^2 が消える。その一方で、質量 m に作用する重力エネルギーも消える。宇宙の全質量を M 、宇宙半径を L 、重力定数を G とすれば

$$mc^2 = GmM / L \quad (3)$$

が成り立つことが示され、これはエネルギー保存を意味している。(3)の関係は物質の生成に対しても成り立つので、物質の生成消滅はエネルギー保存則とは矛盾しないことになる。

さて、宇宙の大部分の領域では物質は plasma 状態で存在する。しかも宇宙が安定に存在するためには正、負の電荷量は等しいであろう。そこで物質が消滅するとき、例えば陽子と電子が同時に消滅してくれれば問題はおこらないが、どちらかの一方が消滅したとするとたちまち電荷の不均衡が生じ、そこに静電エネルギーが生まれる。このエネルギーを相殺するものとして質量エネルギーを考えると、microscopic な物理定数と macroscopic な物理定数との間の関係式が得られる。

いま、宇宙の地平内に存在する全電子数を N とすれば、その数は生成消滅のために \sqrt{N} 程度、“ゆらく”であろう。ゆらぎのために生じる静電エネルギーが電子の質量エネルギーに等しいと考えれば

$$e^2 \sqrt{N} / L = m_e c^2 \quad (4)$$

と書けるが、ここで、それぞれの値を入れてみると、おおよそ成り立っていることがわかる。

こうして考えてみると、原子分子の世界を記述する物理定数と宇宙を記述する物理定数の間には、密接な関係があり、これは単なる偶然というより、それを超えた何らかの意味があるとすれば極めて興味深いことである。

さきに述べたように、宇宙半径が電子などの大きさにくらべて 10^{40} 倍も大きいという事実は、重力が電気力にくらべて 10^{40} 分の1の弱さであることに起因している。

また宇宙の大きさは、ちょうど宇宙がひとつの Black hole であるかのような値をとるのも面白い。つまり

$$L = GM / c^2 \quad (5)$$

が成り立っているのである。もし、この宇宙が巨大な Blackhole であるとするならば、宇宙の

中に生息する何者も、宇宙の外の情報を得ることはできないし、また宇宙の外に知性が存在したとしても、彼等は我々の宇宙の中のことを知ることはできないであろう。我々にとって宇宙はすべてであり、宇宙の外という概念は存在しないと考えるとき、(5)は、その数学的表現であると考えてよい。また

$$N = M / m_p \quad (6)$$

であることを考慮すると、(1), (2), (5), (6)式から

$$\begin{aligned} & (\text{宇宙半径} / \text{電子の古典的半径}) \times (\text{電子, 陽子間の電気力と重力との比}) \\ & = (L / a) \cdot (e^2 / G m_p m_e) = 10^{80} \end{aligned}$$

という関係が導かれることも興味深い。

3 人間のサイズと地球のサイズ

つぎに、物質の集合体としての人間の物理的サイズが地球の物理的サイズと深くかかわっていることについて述べる。

地球上にある物質はすべて、静電引力と縮退した電子の圧力との平衡状態にある。この状態の電子密度を n とすれば、電子間の平均距離 Δx は

$$\Delta x = n^{-1/3}$$

したがって、電子間の静電エネルギーは、

$$e^2 / \Delta x = e^2 n^{1/3}$$

一方、Heisenberg の Uncertainty principle を考慮すると、電子の運動量は、 $\Delta p = h / \Delta x$ であるから縮退した電子のエネルギーは

$$(1 / 2 m_e) \cdot (\Delta p)^2 \sim (h^2 / 2 m_e) \cdot (1 / \Delta x)^2 \sim (h^2 / 2 m_e) \cdot n^{2/3}$$

である。静電エネルギーと電子の縮退エネルギーとが平衡状態にあるとして

$$e^2 n^{1/3} \sim (h^2 / 2 m_e) \cdot n^{2/3}$$

あるいは

$$n \sim e^6 m_e^3 / h^6$$

そこで地球上の物質の密度 d を見積もってみると、

$$d \sim n m_p \sim e^6 m_e^3 m_p / h^6 \sim 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \quad (7)$$

の程度になり、これは実際の測定値に近い。(7)から、地球の半径 R と質量 m との間には

$$R \sim (m / d)^{1/3} \sim (m / m_p)^{1/3} (h^2 / m_e e^2) \quad (8)$$

という関係があることがわかる。

つぎに人間が存在できるための地球質量の下限を求める。人間は気体状態の空気を吸い、それらが体内に入って生化学反応を起こすことにより生命を維持する。そのためにはある限られた範囲の温度が必要であり、その温度をもつ気体分子を引き止めておくだけの重力が必要となる。適切な温度とは、分子間相互作用の大きさに近い熱エネルギー E_m に対応する温度ということである。すなわち、地球の環境温度 T は

$$T = E_m / k$$

k は Boltzmann 定数 ($= 1.38 \times 10^{-16}$ erg/deg) である。ここで、イオン化エネルギー E_0 を $e^4 m_e / h^2$ 程度と仮定し、 E_m を $E_0 (m_e / m_p)$ 程度であるとすれば

$$T = e^4 m_e^2 / \kappa h^2 m_p \sim 300\text{K} \quad (9)$$

という値が得られ、これは実際の地球の気温に近い。

次の段階は、いま求めた程度の温度をもつ気体分子を拘束するのに必要な重力をもつための地球質量の下限を求めることである。そのための地球質量は

$$G m m_p / R > \kappa T \quad (10)$$

を満足するくらいに質量は大きくなければならない。(8), (9)を用いて書きかえると

$$m > e^3 m_e^{3/2} / G^{3/2} m_p^{7/2} \sim 4 \times 10^{25} \text{g} \quad (11)$$

となり、これが人間が地上に存在するために必要な地球質量の下限値である。

その次に考えなければならないことは、地球質量の上限値を求めることである。

人間は地球の上で運動し、そのために人体には常に力が作用している。人間もイヌも象も同じ哺乳類に属していて、おおざっぱに言えば、骨や筋肉の構造は似たようなものであろう。しかし、体全体の形からみると、足の太さと体の大きさとの比はそれぞれ異なっており、質量の大きい生物ほど、体全体に占める足の太さの割合は大きい。地球の重力に抗して、体重を支えなければならないからである。

計算を単純化するために、人体を直径Hの球体であるとしよう。単位体積中にある原子数をnとすれば、単位表面積をもつ二つの面で相互作用する原子対の数はおよそ $n^{2/3}$ である。このときそれぞれの対が相互作用のエネルギー E_0 （イオン化エネルギー）を有している。

人体に力が加わると、その影響を受ける領域の面積をSとして

$$S = H^2$$

したがって、人体がばらばらにならないようにするためのエネルギー E は、おおざっぱにみて

$$E = H^2 n^{2/3} E_0$$

である。

ここで、通常、人間が動いたりするときに、関与するエネルギー ΔE は、人体にかかる重力のポテンシャル・エネルギーの1/20程度であると推測されるから

$$\Delta E = m_0 g H / 20 \quad (12)$$

ここで、 m_0 は人体の質量、 g は地上の重力加速度で

$$m_0 \approx H^3 \rho \quad (13)$$

$$g \approx Gm / R^2 \quad (14)$$

である。ここで ρ は人体の密度である。

そこで人体がこわれてしまわないためには

$$\Delta E < E$$

あるいは

$$m / R^2 < (20 n^{2/3} E_0) / (\rho H^2 G)$$

という条件が課せられる。

ここで(8)を考慮すると

$$m < \frac{20^3 n^2}{\rho H^6} \cdot \frac{h^6}{G^3 m_e^3 m_p^2} \quad (15)$$

がえられる。

人体の物質密度は、 $\rho = 1 \text{ g cm}^{-3}$ 、原子の数密度は、 $n = \rho / m_p = 1 / m_p$ である。ここで人間の身長を $h = 100 \text{ cm}$ 程度として(13)を計算すると

$$m < 10^{28} \text{ g} \quad (16)$$

となる。これが、地上に人間が存在するために地球の質量に課せられた上限値である。

(11)と(16)を組み合わせることによって

$$10^{25} \text{ g} < M < 10^{28} \text{ g} \quad (17)$$

が得られるが、この値は実際の地球質量 $6 \times 10^{27} \text{ g}$ にきわめて近い。

ところで、(17)で与えられる拘束条件は、すべて宇宙の性質を規定する物理定数に依存している。これらの定数のうち、どれかひとつがいまあるような値と違っていたとしたら、(17)の条件は成立しなくなる。ということは物理定数がある特定の値をとったときに、人間の存在は許されることになる。言いかえれば、人間は宇宙の物理定数の微妙な調整のもとに存在できたのであり、逆にいえば、人間の存在が、いまあるような宇宙を存在させているのだともいえる。なぜならば、そのような宇宙を認識する知性がある、はじめて宇宙は存在すると言えるからである。これらの議論が、すべての宇宙論研究者に受け入れられるとは思わないが、少なくとも

も、人間存在の意味と、宇宙のひとかけらとしていかに生きるか、などということを考えるにあたっての新しい視点になることは否めないであろう。

さて、この節を締めくくるにあたり、太陽と地球との関係についてふれておこう。あらためて述べるまでもなく、地球の環境の温度は太陽によって維持されている。そのひとつのパラメータは、地球と太陽との間の距離である。現在の距離、およそ 1.5×10^{13} cmが10%増減したとすれば、生命の存続は危ぶまれることになる。もうひとつのパラメータは恒星としての太陽の進化の様相である。恒星の進化論によれば、星の誕生から終焉に至る過程は、いわゆる Hertzsprung-Russell diagram とよばれる図の上での軌跡として示される。我々の太陽は現在主系列とよばれる安定な段階にとどまっている。原始的な生命から人間に至るまでには、少くとも太陽が数十億年くらいは、主系列上にとどまる必要がある。この要請から重力定数Gの大きさが決定される。もし、Gが大きすぎれば、太陽はすぐに高温期に入り、早く燃えつきて主系列に長くとどまることはできない。もし、Gが小さすぎれば、主系列に到達することができず、低温期のままで、いずれも生命をはぐくむことは不可能である。生命の存在のために許されるGの許容範囲は、現在の値の近傍で、およそ数%である。つまり、Gの値の微調整によって人間の誕生と存在が許されていたのである。

そのほか、人間の進化に必要な元素を生み出すためには、宇宙初期において、陽子と中性子の個数がコントロールされていなければならず、そのためには弱い相互作用の定数が微妙に調整されていることが知られているし、あるいは大統一理論の話題である陽子崩壊の時間を支配するパラメータも、現在あるような値に巧妙にあわせられていることに注目しておきたい。もし、陽子崩壊がたやすく起こるとすれば、我々の体の中にあるおよそ 10^{28} 個の陽子崩壊による放射線で生命はたちどころに抹消されるであろう。

4 宇宙はなぜ理解可能なのか

以上のように、我々の宇宙の性質を規定する物理定数の値が、いかに critical に調整され、我々の存在とかかわっているかについて述べてきた。

かつて、Copernicus はギリシャや西欧中世の宇宙論の中核をなしていた天動説をくつがえし、宇宙の中心を地球から太陽に変更した。この立場をさらにすすめたのが G. Bruno であった。知識と理性的判断力さえあれば、地球が、宇宙の中で特別な位置にあるとは思わないという彼の主張は、きわめて重要な哲学的発見であったが、どちらかという、詩的、心理的、宗教的、さらに政治的な真理としての意味合いで述べられていた。しかし、宇宙が一様で等方的であるという考え方は現代宇宙論の基本であり、“cosmological principle” とよばれているものである。この考え方には人間がこの世にあって、選ばれた存在ではなく、偶然の産物であるという意味もふくまれており、まさに近代科学の基本的立場であるといえる。

これに反して、今まで述べてきた“anthropic principle”とは、ある意味での人間の主体性復権をはかる考え方であるともいえる。

ところで、量子力学で中心的になっている哲学的課題は、波動関数の確率論的解釈と観測による決定論的結果をいかに調和させるかという点にある。これは量子力学における多世界的解釈とも関連するが、それは観測によって、無限の範囲にわたる可能性の中から一つの世界が選択されるということを主張する。この解釈は量子力学における波動関数の連続性と、測定過程にみられる非連続性とを調和させる効能をもっている。

じつは“anthropic principle”の考え方と、この多世界的解釈の間には相通じるものがあり、B. Carter が指摘しているように、それらを融合することから、新しい実在原理が導かれるかもしれない⁷⁾。すなわち量子力学における H. Everett が示しているような多世界の無限的全体像から、生物学的必要性を満たすような条件、すなわち、「観測者によって記述される何らかの有機体の存在」を可能にするような世界だけが現実の世界であると考えるのである⁸⁾。かつて、観測の理論における実在性をめぐっての大論争が、Einstein や N. Bohr などまきこんで展開されたことは有名な話であるが、それはいうなれば”月をみる人がいないときに、月は存在しているといえるのか“という命題をめぐってのことであった。本論文で述べてきた“anthropic principle”の考え方は、観測者の存在こそが宇宙を現実のものにしている、という意味において、観測者としての人間の復権なのである。それは宇宙の初期状態、あるいは何らかの基本的数値にほんのわずかの違いがあったとしても生命は誕生しなかったことを主張する。

しかしながら、どのようにして宇宙は存在するようになったのか、という疑問については依然として答はない。おそらく、多くの科学思想家たちは、このような疑問は科学的に無意味であるとして拒絶するにちがいない。その論拠は、科学の構造、またそれを記述する物理法則は Big-bang という宇宙の創生とともに生じたものであるから、このような疑問に答えること自体が知性の限界を超えると考えられるからである。しかし、J. A. Wheeler も述べているように⁹⁾、無意味であると認めるには、無意味であることの証明がぜひとも欲しくなる。それにしても宇宙によって生みだされたものが、宇宙のことに思いを馳せ、自身の行く末について考えはじめていることは、まことに奇妙なことである。

それでは、人間にとって宇宙は理解可能なのだろうか。“anthropic principle”の立場からいえば、答は YES! である。なぜなら、知性を持ち、理解したいと思っている人間が存在することによって、宇宙が存在しているのであるから、宇宙は必然的に理解可能でなければならないということになる。もし、宇宙が理解不可能であれば、我々はなぜ宇宙が理解可能かという問題を設定することさえできないだろう、という考え方である。同義反復のようにも見えるが、そのような考え方によって宇宙に対する謙虚さが失われないのであれば、きわめて魅力的な考

え方である。いずれにせよ、いまあるような宇宙が存在するのは、それを認知できる知性そのものがあるからであり、その宇宙の性質をいまあるように規定したのはほかならぬ我々自身の存在である。すなわち、“宇宙はなぜあるのか”という問いかけをしている我々自身が、このような宇宙を現出させていたのである。言葉を変えれば、人間の知性は宇宙によって造られたという意味において、我々自身は宇宙の“ひとかけら”であるが、それと同時に我々自身が宇宙そのものであるということである。この視点は宇宙の階層構造としてのfractal構造を彷彿とさせるが、microからmacroまで、生物、無生物という枠を越え、あらゆる自然現象を包括する“fluctuation（ゆらぎ）”とならんで、人類にとっての新しい自然観、人間存在の価値観を構築するのに大きな役割をになうであろうことは確かである¹⁰⁾。万物は移ろい、けっして留まることをしない。しかし、移ろいゆくことのなかに、移ろいゆくことをしない自然の根源的性質が見えかくれしていることに現代の知性は気づきはじめている。それは考える主体の存在そのものが、それらを取りまく環境としての自然、宇宙を偶然の産物としてではなく、ある意味での必然としてとらえ、そのことのなかに自然の本性が鮮やかに投影されているということの発見である。

5 夢見るLiberal Artsをめぐる

以上、純粹に宇宙論の立場から、宇宙と人間とのかかわりを考察してきたが、その目ざすところは、いわゆる理系、文系という枠を越えて、“人間の存在とは何か”を問うことを目的としたものである。そこで、本稿の後半では、大学教育についての私見を述べてみたい。

教育とは一言でいえば、知の扉を開くことである。その意味からすれば、大学とは「知識の殿堂」でなければならない。しかし、明治期のわが国における学問事情は、自然科学に関していえば、西欧諸国のレベルとは余りにもかけ離れ、遅れをとっていたために、その基礎となる学問をやるよりは、当時の諸外国に追いつくために、最先端の技術を選んで教える方が手っとり早いという考えに立って、教育行政が行われた。その結果、でてきたのが理系・文系という分割教育であり、それはたしかに工業大国としての現代日本を構築するという意味においては成功した。しかしその一方では、理系から瑞々しい感性を奪い、文系からは美しい論理の言葉を抹消し、ひいては豊かな人間性の喪失を招くにいたった。

ところで、これらの考え方の根底には、いつも学力イコール“知識の量”であるという構図が見え隠れしている。容易に推測できるように、「知識の殿堂」とは百科辞典を意味しているのではない。教育とは、百科辞典からより多くの情報をとりだすことによって、無知の減少を図ることではない。“知る”ということは、単に情報を受け取るのではなく、理解が伴わなければならない。理解とは、知り得た情報を基礎にして推測できる能力のことである。それは、“考える”能力の習得である。そして、正しい推測とは、自分に備わっている知識のネットワーク

の中に、新しく取り込んだ情報を位置づけることによって可能になる。

しかし、ここで留意すべきことは、“知る”という行為は個人的なものであると同時に社会的なものでもあるということ、つまり共通の理解において知るということではなければならないということである。ここに教育の原点があるのであって、この共通の理解こそ、現代における知の“paradigm”の構築であり、その根底には、共通言語による自然や人間への理解がなければならない。いかえれば、自分たちの知識のネットワークを前提として、他の知識のネットワークの中に身をおき、真の知り方を学ぶことが教育の目的であって、ここに真の意味における“Liberal Arts 教育”の真髄がある。これらは幼、小、中、高、大学を通しての一貫した教育プロセスの中で行うべきものであり、けっして、それぞれのレベルに応じた分割教育ではなしえないことであるということを強調しておきたい。大学が「知の殿堂」でありうるためには、大学がまさしくそのような多様な知のネットワークの存在と出会える場所であることが前提となる。

ところで、あらためて、紹介するまでもないことではあるが、“Liberal Arts”とは、中世における教養の7教科、すなわち、文法、論理、修辞の3科 (trivium)、それに代数、幾何、音楽、天文の4科 (quadrivium) を加えた教科体系の総称である。近代以降の大学では、一般的な基礎学力を与え、広く知的能力を発展させることを目的とした語学、自然科学、哲学、歴史、芸術、社会科学などの総合的教育内容を指すようになった。ここで、あらためて、“Liberal”という言葉の語源をたどってみると、それは“liberate (解き放つ)”ということであり、さらにいえば、既存の伝統や慣習による考えから自己を解き放ち、自由かつ柔軟な思考によって、他と self-consistent な新しい価値観を構築するということであろう。したがって、従来の大学で考えられてきた、いわゆる一般教育課程、あるいは総合教育科目など、専門教育の前座となる教育とは一線を画するものである。

さて、筆者の専門分野である理数系の科目、たとえば、物理学、数学を例にとってみれば、それらの源泉は、あらためて述べるまでもないことではあるが、ギリシャ時代にまで溯る。いかえれば、現在、我々が手にしている物理学や数学の知識は、人類が何千年にもわたって、思考し、試行錯誤をつづけてきた結果、手にいれたものである。人知がかくも長い時間をかけて培ってきた知識の集積を、たとえば、半年、あるいは通年の授業で、講述するなどということはまったく不可能なことである。そこで、ある程度の暗記、抽象化はやむなしということになり、それらの知の習得の時系列にそって、授業を行うというのが通常の風景であった。ところが、その冗長で難解な授業プロセスが、理科離れの傾向を促進した一因であることも否めない。

その一方で、身近な現象にだけ焦点を定め、通り一遍な説明で濁すという授業もある。しかし、そのような教育現場では、けっして味わうことができないものが、知ることによる豊かな

驚きであり、自然がもつ力への畏怖の念でもあろう。フランスの哲学者、G. Bachelard がいつているように“ものごとは知られる前にまず夢見られる”ものであり、人間の知的活動の基礎には“夢見る”ということがまず先行する。実は、現代の教育に欠けていることは、“夢を語る”ことがなくなったということではないか。もちろん、夢ばかり語っていて、実利が伴わなければ何にもならないが、しかし、夢なくしては、何も生まれえないというのも事実であろう。人類が数千年という時間をかけて構築してきたことのすべてを語りつくすことはできない。しかし、それらの人類の歴史の中で、いかに彼らが夢を追い求め、また、現代の我々もまた、生きる上での夢を追い求めているというのも現実である。極言すれば、“教えるとは夢を語る”ことだといいかえてもいいのではないか。そして“学ぶとは真理を胸に刻む”ことだとも。

“夢を語る”ということは、見方を変えれば、“驚きの種をまく”ということでもある。学習者にとって、それぞれの年代とは関係なく、驚くことは、学習の動機づけとなる。教える側は、学習する側よりもすでに多くのことを学んでいる。とすれば、たとえば、日常の中に非日常を見てとることは容易であろう。

たとえば、「夜はなぜ暗いのか」といったような日常的な事実 (Olbers のパラドックス) の裏に、宇宙が有限であること、宇宙が膨張していることが見え隠れしていることを導くことは容易である¹¹⁾。このように、身近なことから、深遠な真理にまで、学習者を導いていくことこそ、彼らに驚きをもたらし、学ぶことへの関心を喚起するきっかけとなるに違いない。前述のとおり、歴史が辿ってきたとおりの道筋をそのまま追っていきながら、理解へ到達するには、あまりに時間がかかりすぎるし、実際、不可能である。

さらに別の例をあげれば、力学を、落体と単振動だけにしぼって教えることも不可能ではない。たとえば、円運動は、ある中心力によって、永遠に落ち続けることだと考えることで、落体問題の延長として解けるし、その事例から、相対論、量子論にまでも話題を広げることができる。そこに授業の工夫の面白さがあるのだが、そのためには、教える側の他分野にわたる広い知識の体系、それにかかわる学際的考察能力が不可欠となる。

数学の講義にしても然りである。たとえば、ユークリッドの第5公準から Lobachevskii-Bolyai の世界まで、曼荼羅の世界を例に引いて講述することもできよう¹²⁾。これらの発想に基づく授業は小学、中学、高校それぞれのレベルにおいても有効である。それには、教える側に高度な知識と洞察力、それらの知識を包括して平易に纏めあげる能力が求められる。それは、理系、文系などという枠を超えた広い教養がベースとなり、今、まさに教育現場において求められているものは、そのような視座からの実践であろう。先ほど、例に引いた Olbers のパラドックスを、小学校低学年レベルの学習者にたいしても、実験で示すことは容易である。くりかえすが、“教育とは夢を語ること”。いかに夢を語るができるかが、教育に携わる者の価値を決める。教育の現場は“夢見る場所”ではないという反論もあろう。しかし、“夢なくして教育

はありえない”ことは万人の認めるところであると確信する。

6 数理芸術学への試み¹³⁾

1977年、8月と9月に、アメリカ、フロリダ州の宇宙基地から、太陽系探査を目的とした探査機、Voyager 1号、2号があいついで打ち上げられた。すさまじい轟音と叩きつけるような衝撃波を残して、まばゆいばかりの光に包まれて、紺碧の青空に吸いこまれるように遙かなる未知の宇宙へと旅立っていった。そのときの情景を思い出すたびに、今でも胸がいっぱいになるのは、Voyager に搭載されていた一枚の録音盤のことを思い起すからかもしれない。そこには、世界54ヶ国の言葉で“はじめまして。ごきげんいかがですか”という挨拶の言葉とともに、筆者の提案で、J. S. Bach の平均率クラヴィア曲集、第1巻から、第1番、Prelude C-Dur が収められていた。では、なぜ Bach の Prelude だったのだろうか。本論文の性格から、詳細ないきさつを紹介する余裕はないが、一言でいえば、この曲は人類の文化遺産としての音楽という形の中に、宇宙の普遍的言語としての数学的構造を、もっとも単純なかたちで内包していたからである。つまり、音の変動を”ゆらぎ”の視点からみた場合、自然界に深くかかわっている根源的な“1/f ゆらぎ”の様相を示し、楽曲全体の構成の中に、“fractal 性”を強く感じさせる要素があったからである。

ドイツの代表的なロマン派詩人の一人、R. M. Rilke が、“An die Musik (音楽によせて)”という詩の中で“Du Sprache wo Sprachen enden (音楽は言葉がたえたとき、はじめて響く言葉である)”と述べているように、音楽は日常の言語を超えた領域で威力を発揮するコミュニケーション手段としての意味をもっている。つまり、音楽は世界の共通言語なのである。このことは、我々、哺乳類にとっては、母胎の中で、成長の極めて初期段階に聴覚が形成され、いいかえれば、聴覚が脳を育てるということと関連している¹⁴⁾。音楽療法における最近の研究によれば、アルツハイマーの高齢者は、病状進行によって、まず、歌の歌詞が忘れられ、次いで旋律が忘れられ、人生の終焉まで、活着ている感覚は“リズム”だという。その人固有のリズムを見つけることで、最後の時まで、コミュニケーションが可能であることがわかっている。音楽は、民族、年齢などを越えて、人類の普遍言語となりうるのである^{14, 15)}。

一方、遙かなる E.T. (地球外知性) が存在しているとして、彼らの言語がどのようなものであるかはまったく未知のことである。しかし、コミュニケーション手段としての言語が存在するとすれば、それは数学的な論理構造を有しているであろう。しかも音楽は、先ほども述べたように、我々のような炭素型の生物に関していえば、脳の前原始的な深いレベルのところ働きかけると考えられる。

以上の観点から、厳密な議論をすれば、問題点も多々あるとは思いますが、とりあえず [数学+音楽⇒Bach] という図式がでてくる¹⁶⁾。つまり、アメリカ航空宇宙局では、理系、文系(芸

術)の融合から新しい試みがすでになされていたのである。

ところで、筆者はここ30数年にわたって、Liberal Arts 教育というものに携わってきた^{17,18)}。前にも述べたように、もともと、Liberal Arts とは、中世ヨーロッパにおいて、職業教育とは大きく異なる人格形成を目的とした教養基礎科目として設定されていたものである。戦後の日本では、専門教育とは別に一般教養という科目を設定してきたが、考えてみれば、真の専門教育は、豊かな教養人としての基礎教育、さらには全人的教養なしでは達成されえない。なぜならば、みずからの専門分野のみならず他の分野への関心なくしては、極めて視野のせまい専門でしかなく、普遍的な学問としての存在理由が希薄になるからである。宮城大学の建学理念として“実学”重視ということがあげられているが、これも、普遍的な教養、広く総合的な基礎学力なくしては、意味をもたない。小学校の教科を考えてみても算数の真の理解は、たとえば国語の学習なしではありえない。つまり、国語で表現しえないことを表現しうるのが算数という分野であり、また逆に、算数では表現しえないことを国語では表現することができる。そこにこそ独立した専門分野としての意味がある。そのような視点から考えれば、狭い意味での専門分野のみを偏重する教育は、学問の進展そのものを阻害するばかりではなく、それらの閉鎖的な感覚は世の中にとって危険な存在ですらある。最近になって、人々は、ようやく技術偏重、間違った意味での実学偏重がもたらす弊害について気づきはじめている。どうして、文系と理系が、たがいに補完し合いながら、新しい学問への第一歩をふみだせなかったのか。それらの要因は、すべて、目先の利益を追うことに終始する近視眼的発想を優先するあまり、全人的教養を軽視してきたことにある。学際的、interdisciplinary なアプローチなしでは学問の真の発展はありえない。このような視点から、理系と文系との間に風穴を開けることを目的として、提案したのが、Liberal Arts としての“数理芸術学”という分野であった。

イギリスの世紀末劇作家、Oscar Wilde は、“Nature imitates Arts (自然は芸術を模倣する)”と逆説的、かつ挑発的な言葉を残しているが、考えてみれば、人類が造りあげてきた芸術とは、自己表現の一様式であり、それらはさまざまな自然の様相と対峙することをとおして、自然の中に内包されている論理を抽象化することによって創造されたものである。いいがえれば、芸術をとおして、自然をより深く理解してきたともいえる。一見すると、無造作に変動しているかのような自然現象の中にも、たしかに内在する美しい数理的構造があり、それらの直観的な理解が芸術というかたちで表出したという場合も少なくない。これも“数理芸術学”という分野を提起したことのひとつの理由である^{19,20)}。

そのような状況の中で、音楽を物理的な音の変動現象としてとらえたとき、その中に自然界に広く見られる“ $1/f$ ゆらぎ”がふくまれていることの発見は、“数理芸術学”を提起する上での重要なきっかけとなった。さらに、それらの研究が、“ゆらぎ扇風機”や“ゆらぎのコタツ”などに代表される“快適な”家電製品の開発や、ゆらぎのパルスを利用した“除痛”とい

う医療機器の開発にまで発展したことは、それらの製品の開発者の一人として感慨無量のできごとでもあった^{20,21)}。これらは、いずれも Liberal Arts という視点からのアプローチの産物であったといえる。古代中国の思想家、荘子がいつているように”天地の美に基づき万物の理に至る”ということであろう。

#7 宇宙の研究が目ざすこと

現代は technology と情報の時代だといわれるが、人類の歴史を見ると、それは、いつも戦いの歴史だったともいえる。人はなぜ戦うのだろうか。Oxford 大学の R. Dawkins によれば、“戦う”ということが、遺伝子の中にプログラムされているという、いわゆる“利己的遺伝子”だという説明もなされているが、ほんとうにそうなのだろうか。だとすれば、何故、そうなのか？その理由について、筆者は、ヒトの早産も原因のひとつではないかと考えている。つまり、地球上の哺乳動物の中で、ヒトが唯一、未熟児として出産する。他のいかなる哺乳動物をみても、出生後、ただちに自力で行動できる。ヒトはある程度の年齢まで、母親のケアが必要であり、そのために、進化論的にいえば、ヒトのメスは群れからの離脱を余儀なくされる。そこに、オスの個別的援助が芽生え、集団の最小単位が構成される。外敵からの防衛に対しては、より大きな集団を構成した方が有利であるために、集団は大きく成長していくが、集団ができると、その集団の中でだけ通用する価値判断基準、さらには善悪の判断基準までが生まれることになる。戦いとは、まさに、これらの集団間の、価値基準、善悪の判断基準の違いによる衝突であると考えられる。

とすれば、戦いの回避には、どのような手段があるだろうか。安易な結論は避けねばならないが、あえていえば、それぞれの集団、ひいては国家、民族間における考え方の違いをすべて包括するような新しい価値基準を捜すことであろう²²⁾。ここで、アメリカ航空宇宙局 (NASA) を中心として、行われている地球外生命 (E.T.) 探査 (Search for Extraterrestrial Intelligence, 略して SETI) 計画は、単なる好奇心からだけの理由で行われているのではなく、宇宙における生命の位置づけ、ひいては、戦いの原因をつきとめるという目的とも無関係ではないということをつけ加えておきたい²³⁾。

実は、宇宙の研究の目的はといえば、究極的には、“Where am I?”, “Who am I?”, つまり、「ここはいったいどこなのか？」そして「わたしとは何者なのか」という問いかけを求める旅であるといってもよい。先に述べたように、現代宇宙論は、人類は宇宙による創造物であることを明らかにした。つまり、ヒトとは宇宙の一部であり、しかも、その宇宙を認識しているのは、脳であって、あくまでも人間の意識が中心になっている²¹⁾。

そのような意味合いからすれば、すべての人類に共通な宇宙的意識に目覚めることは、平和への第一歩になるかもしれない。それを論理の立場から助長できるのは、科学である。現代人

のほとんどは、我々の宇宙が、今からおよそ137億年の遠い昔、かぎりなく熱くまばゆい小さな光のひとつぶから生まれたことを知っている。Big-bangである。しかし、その事実を、記憶しているだけでは、知っていることにはならない。“知る”とは、Big-bangの痕跡を観測事実として認知することだけでなく、その事実を認知することによって、その人の人生観がいかに変わるかということの意味する。たとえていえば、そのことを“知る”ことが、平和への想いを喚起することになるかもしれないということである。ここに、教育の原点がある。“わかる”とは、“わ”と“か”を入れ替えて“かわる”ことなのである。

この節を締めくくるにあたり、本論文の前半で、宇宙とヒトとのかかわりを、現代宇宙論、とりわけ量子力学に代表される最先端の物理学の言葉で考察した理由は、ややもすると、宇宙とヒトとのかかわりなどといえば、宗教的、あるいは倫理的雰囲気なきにしもあらずで、真の理解に及ばないのではないかという誤解を回避するためでもあったことをつけくわえておきたい²⁴⁾。

結びにかえて

筆者は、平成9年(1997年)宮城大学開学時から、2年半を非常勤教員として、その後、4年半、常勤教員として勤務し、本年度末をもって定年退官するが、その間、本論文で述べたような視点に立って、授業をすすめてきた。また、Liberal Artsの一端として、ベネズエラ、トルコ、サイパンでの日食観測、ハワイ・マウナケア山、国立天文台見学、アラスカでのオーロラ観測、アメリカ航空宇宙局(NASA)見学などを実施してきたが、概ね、学生たちからの評価は高かったようである。ただ、県立大学という縦割り組織の中で、設置者としての県当局や学内の一部の事務部門の考え方、物事の進め方と、実際に教育に携わる現場の教員との間には、かなり深い溝があったことも事実で、意見の擦り合せも難しく、建設的な教育が抹殺されてきたこともなかったとはいえない。

これは、おそらく、行政と教育現場との基本的な視座の違いから生じたものであるとも理解できるが、これらの問題は、県民のための教育機関という設立の趣旨に立ち返り、それぞれの立場を保持しながらも、たがいに歩み寄ることによって、解決できるはずである。

また、宮城大学に奉職させていただいた6年間に、仙台白百合学園をはじめとして、宮城教育大学、そして、東北大学などからは、多大な援助をいただいた。これらの学外からの暖かい援助なしでは、Liberal Artsの講義も、これほどまでには成果があらなかったと思う。心からの謝辞を申し上げたい。

最後に、これまで宮城大学関係者各位からいただいた多大なるご好誼に深謝し、宮城大学のこれからの発展を祈念して本稿を閉じることにする。

Alles Vergängliche / Ist nur ein Gleichnis;
Das Unzulängliche, Hier wird's Ereignis;
Das Unbeschreibliche, Hier ist's getan;
Das Ewig-Weibliche/ Zieht uns hinan.

Schlußszene aus Goethe's "Faust II"

参考文献

- 1) R. Dicke : Nature 192, 440 (1961)
- 2) J. Barrow and F. Tipler: "Anthropic Cosmological Principle" Oxford University Press (1986)
- 3) A. S. Eddington : "The Mathematical Theory of Relativity" Cambridge University Press (1923)
- 4) 松田卓也 : 天文月報, 77, 203 (1984)
- 5) P. C. W. Davies : "The Accidental Universe", Cambridge University Press (1982)
- 6) F. L. Zhi and L. S. Xian : "Creation of Universe" World Scientific Publishing Co. London (1989)
- 7) B. Carter : "Confrontation of Cosmological Theories with Observation" ed. M. S. Longair, Reidel Dordrecht (1974)
- 8) H. Everett: Rev. Mod. Phys. 29, 454 (1957)
- 9) J. A. Wheeler : "Some Strangeness in the Proportion", A Centennial Symposium to Celebrate the Achievement of Albert Einstein, ed. H. Woolf, Addison-Wesley, Reading, Mass. (1980)
- 10) 佐治晴夫 : 日本ファジィ学会誌, 6, 620 (1994)
- 11) 佐治晴夫 : 「宇宙はささやく (PHP 文庫)」 p31 (2000)
- 12) 佐治晴夫 : 「ゆらぎの不思議 (PHP 文庫)」 p144 (1997)
- 13) 佐治晴夫 : 数理科学, No. 459, p78 (2001)
- 14) 佐治晴夫 : Musica Nova 別冊, "音楽療法" 87 (2000)
- 15) 佐治順子 : 日本音楽療法学会誌 3 卷 2 号 (2003)
- 16) 佐治晴夫 : 「星へのプレリュード (黙出版)」 (2000)
- 17) 佐治晴夫 : 成城文芸 111, 126 (1985)
- 18) 佐治晴夫 : 成城文芸 117, 101 (1986)
- 19) 佐治晴夫 : 日本ファジー学会誌 9, 861 (1997)

- 20) 佐治晴夫：日本応用物理学会誌 60, 247(1991)
- 21) 佐治晴夫：日本ファジー学会誌 6, 620(1994)
- 22) 佐治晴夫：「宇宙はすべてを教えてくれる (PHP 研究所)」(2003)
- 23) 佐治晴夫：ゆらぎ現象研究会編, 「ゆらぎの科学 (森北出版)」9, p119(1999)
- 24) Haruo SAJI : Tamagawa University Research Rev. 1, 65(1995)