

放射線は生命を解く鍵

京都大学名誉教授 渡邊 正己

万物は、放射線エネルギーで作られていることを理解する

まず、放射線の生体影響を知る前に、しっかりと理解しなければならないことは、放射線と生命は、切り離すことのできない存在ということです。このことをしっかりと理解しておかないと、自然放射線を必然的に浴びながら生きていることを忘れてしまい放射線ゼロの世界があることが前提になって放射線影響を理解してしまうことになるからです。この間違いが、福島原発事故後、一般の方々を一番不安に追い込んでいるのです。

人類が原子力の存在を知ってから高々一世紀を経たにすぎませんが、原子力の本質を見極めようとする人々の知的活動によって、人間の長い歴史に比べて極めて短期間の間に、原子力の源はエネルギー（放射線）であることが明らかにされ、エネルギーが宇宙万物の源であることが明らかにされました。この発見によって、私達は、人、植物、鳥、星など宇宙にあるあらゆるものがビッグバンで解放されたエネルギーで作られた原子でできていることを知ることができたのです。物理学の分野では、エネルギーは、 mc^2 あるいは $h\nu$ と示されます。 $E=mc^2$ は、有名なアインシュタインの**特殊相対性理論**にある「質量とエネルギーの等価性」を示す式で、 $E=h\nu$ は光のエネルギーを表す式です。こんな難しい話をすると頭が痛くなると嫌われそうですが、簡単にいえば、物質とエネルギーは同じもので相互に変換できることを意味しています。

その意味で、質量のある物質を”色”、質量のない光（エネルギー）を”空”と表し「色即是空空即是色」と説いた般若心経の一説は最先端の原子物理学そのものといえます。なぜなら、万物は、エネルギー（空）と物質（色）の間を行き来することができ、どちらが主体であるということはないということを示すとともに、ビッグバンに始まりブラックホールに終える宇宙の一生を表わす言葉なのです。古きに自分を見つめた賢人が、その思考のなかで辿り着いた結論と近代的実証科学の論が同じであったことに感動を覚えます。この現象に関してシュールリアリズム派の画家サルバドール・ダリが興味深い絵を残しています。その絵は、「ラファエロの頭の爆発」と名付けられ、人間のからだがり頼り無さげな小さな断片になって剥がれてゆくように描かれています。そして、人間の頭のとっぺんに、ヨーロッパの古い教会のドームらしき屋根の頂上に丸い孔が空いているのが見てとれます。これは、教会建築によく見られる構造ですが、そこにはステンドグラスが嵌め込まれ、そこを通して虹色の光が教会に差し込みます。あたかも天国から美しい光が地上に降り注いでいるように見えます。この絵には、「Human being is more powerful than cyclotrons and cybernetic calculators」という説明が添えられています。「人間は、サイクロトロンやコンピューターよりもっと力がある」ということなのです。ダリは、ひとの身体は、一見、独立して存在するように見えるけれど、実は、原子のレベルで見れば、宇宙と境界がなく、かつ、途方も無いエネルギーが秘められているという「物資の本質」を見抜いていたということです。ついでに、もう一つ、面白い話を紹介しましょう。皆さんは、ベートーベンといえばなにを思い出しますか？ 多くの方が、交響曲

第九番を思い出されることと思います。日本では、第九として親しまれ年末になるとあちこちで演奏されますが、この曲は、ベートーベンが宇宙創成をイメージして作ったものということです。その第一楽章の第一小節は、「宇宙創成のカオス」をイメージして演奏することが指示されているといわれています。そこで使われている和音は「ド・ミ・ソ」の和音から「ミ」がぬけた、長調なのか短調なのかさえ判然としないという特異なもので、専門家たちからは「空虚5度の和音」と表現されているようですが、ビッグバンの直後のもやもやとした混沌のなかから、秩序のある世界が作られてゆくことを表現しているというのです。そこで、そのイメージをもっともよく表現できる指揮者は誰か?と考えたときに、その指揮者は、小沢征爾でもヘルベルト・フォン・カラヤンでもなくヴィルヘルム・フルトヴェングラーだろうというというのが私の答えです。交響曲の演奏は、一度、静止した指揮者のタクトが動くことで始まるのですが、フルトヴェングラーのタクトは、どうした訳かしっかりと停止しないので、各楽器が演奏を始める時期に微妙なずれを生じ、混沌さを良く表現できるのです（信じますか?）。

生命は放射線エネルギーそのもの

さて、話を戻しましょう。原子力を巡る研究は、「科学」をすることの意味を示す好例となります。そして、放射線生物学の研究で得られる結果は、生命の存在の仕組みを理解するうえで極めて重要な知見になります。哲学者が命題とする“私はなに?”という単純な疑問は、最先端の生命学者が持つ疑問“生命はなに?”と全く同じものと言えるでしょう。それに対する解答は、“生命は、エネルギーそのものである”と答えることができます。エネルギーは、原子を作り、原子は分子を作り、分子は、さまざまな高分子を作り物質を形作るのですが、生命もその例から漏れません。そして、生命が尽きると、私達の体は、分子、原子と分解し、最終的にエネルギーに戻ってゆきます。生命が存在するという事は、一連のエネルギーの流れのなかでエネルギーの存在形態が物質化しているに過ぎないことが漠然と理解できるのではないのでしょうか。生命は、地球上に生まれ三十六億年の間、温度、圧力、放射線といったさまざまな物理化学的要因に満たされた環境で生き進化してきました。それらのストレスから切り離されて存在したことはないと言断できます。言い換えれば、そうした「環境要因との間でエネルギーのやり取りをする営み自体が生きていること」にほかならないといえるでしょう。とすれば、生命が存在するという事は、さまざまな周囲の要因とのエネルギーのやり取りであるということなのです。宇宙は、ビッグバンの後、膨張を続け、温度が絶対零度に近づいてゆきます。その状態を、エントロピーが増加するといいます。しかし、地球上の生物は、宇宙の法則に逆らって存在しています。すなわち、植物は、太陽から流れて来る光エネルギーを葉緑体でグルコースに変換し、細胞の中にエネルギーを溜め込みます。動物は、植物を摂取して植物に蓄えられたグルコースを分解して活動エネルギー(ATP)を作ります。この一連の現象をエルビン・シュルディンガーは、地球生物は、負のエントロピーを食べていると表現しています。

このように、生物は、細胞膜で囲まれた極めて狭い空間をつくって、宇宙の法則に

逆らった自立的な環境を作り出すために進化を続けているといえます。しかし、生命は、未だその完全能力を獲得できていません。おそらく永遠に到達できないと思います。しかし、こうした意味から考えると放射線（エネルギー： $h\nu$ ）と生命（物質 mc^2 ）は互いに切り離せない存在であり、生命の本質を知るためには、おそらく原子核物理や宇宙科学と同じように量子生物学といった視点での解析が必要になると思います。そうであることを理解された皆さんは、あるレベルの環境要因を生命に対するリスク要因として切り出すことはできないことに容易に気がつかれると思います。さらに、最近、注目されている自然放射線レベルに近い低線量の放射線に対する生体の応答反応の仕組みは、生命現象そのものと捉えるべきでありそのリスクを問うことに余り意味がないことに気づかれるでしょう。

生命は自然放射線を認知できる

私は、50年近い研究者としての活動のなかで、放射線、熱、圧力そして酸素の4つの物理化学的要因をストレスとして選び、生命とそれらの相互作用の仕組みを明らかにするための研究をおこなってきました。これらのストレスに対する応答機構を突き止めることによって、生命の基本的な仕組みを明らかにすることができると思っています。こうした物理化学的要因は、生活のさまざまな局面で利用され、特に、放射線宇宙や土壌、自分の体内などから年間2.4ミリシーベルトの自然放射線を浴びていますし、現在の医療では放射線診断や放射線治療によって年間自然放射線量を超える線量の放射線を被ばくするのは、通常起こりうることでしょう。問題は、線量がどの程度まで達すると、生体はその放射線を異常ストレスとして応答するかを見極めることにあります。

そして、最近の放射線生物学の研究によって、被ばくによって生命が死に至る程度の線量（数グレイ程度）を被ばくした際と致死効果が現れない線量（数十センチグレイ以下）を被ばくした際に観察される生体の応答反応が大きく異なっていることが次第に知られるようになってきました。

私の研究グループは5から10センチグレイの線量域のX線を照射された細胞は、クロマチン構造の変化を感知して、遺伝子転写やDNA損傷の修復を促進し、細胞増殖が促進されることを明らかにしています。二〇センチグレイの範囲の放射線を被ばくした時しかこうした反応は起きませんので、細胞は、明らかに数センチグレイレベルの放射線と、その十〜百倍にあたるグレイレベルの放射線を区別して認識できることを示しています。勿論、グレイレベルの大量の放射線を照射されると、細胞内に生ずるDNAなどの重要高分子の損傷は、細胞死の原因となるため、細胞周期の進行を停止させ、DNA損傷修復機構が活性化され損傷修復がなされねばなりません。そのために、ある程度を超える線量の放射線を被ばくした細胞では、細胞周期が一時的に抑制され、DNA損傷が修復される環境を整えるためにp53など一連の細胞増殖関連遺伝子が活性化されます。従って、細胞周期を停止したり、DNA損傷を修復するメカニズムを欠損する細胞は、放射線に高い致死感受性を示し、容易に死んでしまいます。勿論、低線量の放射線被ばくを受けた細胞の応答反応が、その細胞の運命にとってどのような意味があるかは、現在、総てが明らかにされている訳ではありません。しかしながら、自然放射線を生命から切り離すことができない限りその線量域におけ

る生体の応答反応は、生命のストレス応答現象そのものであり“生命とはなにか？”に迫る鍵となる生命反応であると考えられます。この意味で、私は、「放射線生物学は極めて魅力的な分野であり、まさしく生命の根源を解き明かす重要な鍵である」と思います。皆さんが原子力や放射線について興味を持って未来を開いてくれることを願います。

シーベルト (Sv) : ひとの身体に対する放射線の影響をあらゆる単位で、線量当量と呼ばれる。吸収線量に、放射線の種類に応じた係数を掛けて算出する。1 ミリシーベルトは、1 シーベルトの 1,000 分の 1。ひとが 1 年間に曝される自然放射線量は、およそ 2.4 ミリシーベルト (mSv) とされている (全世界の平均値)。

グレイ (Gy) : 放射線のエネルギーが物質にどれだけ吸収されたかをあらゆる吸収線量の単位。1 グレイは、物質 1 キログラムに、1 ジュールの仕事に相当するエネルギーを与えられる量である。センチグレイは、グレイの 100 分の 1。