

放射線生物学は生命を解く鍵

京都大学名誉教授
京都大学放射線生物研究センター
特任教授 渡邊正己

人類が原子力の存在を知ってから高々1世紀を経たにすぎません。しかし、人間の長い歴史に比べて極めて短期間に、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原子力の源はエネルギー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判ってきました。この活動によって、私達は人も植物も鳥も星も宇宙にあるあらゆるものが同じものでできていることを知ることができました。放射線と生命を切り離して考えることはできないのです。

そのことは $mc^2 = hv$ の公式で示されます。この公式の左辺は、物質の運動エネルギーを表す式で、右辺は光のエネルギーを表す式です。こんな難しい解説をすると頭が痛くなると嫌われそうですが、簡単に言えば、形ある物質はいつか光に、光もいつか形ある物質に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。“色即是空”は、万物が光と物質の間を行き来するエネルギーだということを示した言葉であるとともにビックバンに始まりブラックホールに終わる宇宙の一生を表しているのです。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結論が同じであったことに感動を覚えます。

この原子力を巡る研究の流れは、科学をすることの意味を示す好例でしょう。そして、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です。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、分子は様々な物質を作っており生命もその例からもれません。そして生命が尽きると生体は、分子、原子と分解しエネルギーに戻ってゆきます。生命が存在するということは、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36億年の間、温度、圧力、放射線といった様々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かと断言できます。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”ことに他ならないと表現できるでしょう。とすれば、生命が存在するということは、様々な周囲の要因とのエネルギーのやり取りであると言うことが臆げながら想像が付くのではないのでしょうか？もっとも、生命は細胞膜で囲まれた極めて狭い空間に宇宙の法則に逆らった自立的な環境を作り出すために様々な進化を遂げてきたと理解できます。しかし、未だその能力を獲得できていないといえます。おそらく永遠に到達できない望みであると思います。しかし、こうした意味から考えると放射線（エネルギー hv ）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、恐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は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。

私の研究室では、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行っています。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、生活の様々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2~4mSv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 Gy 程度)を被ばくした際と致死効果が現れない線量(数 10cGy 以下)を被曝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明らかにされてきました。我々の研究室では、2~5cGy の X 線を照射された細胞は、細胞の増殖が活性化して、erk1/2 遺伝子が活性化され、引き続きクロマチン H3 ヒストンのアセチル化を引き起こしクロマチンのリモルディングを生じ遺伝子の転写や DNA 損傷の修復を促進することを明らかにしています。我々の結果は、細胞は、明らかに数 cGy レベルの放射線と Gy 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、Gy レベル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為、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、ある程度を越える線量の放射線を被曝した細胞では、細胞周期抑を一時的に抑制し、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、低線量の放射線被曝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が、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、放射線生物学は私にとって極めて魅力的な分野なのです。

一方、放射線のリスクは、放射線による遺伝子損傷の程度が、Gy レベルの致死線量範囲から自然放射線レベルの放射線領域まで物理学的確率に従って生ずるという LNT (直線非閾値) 仮説の是非に論点が置かれています。しかし、その視点では、放射線リスクについて万人が納得できる解決は永遠に得られないでしょう。福島における原発事故以来、国民は 100mSv の放射線のリスクを巡って飛び交う科学者からの情報に翻弄されています。こうした状況を受けて、私は、半世紀近く放射線生物学を専門として教育と研究に携わってきた経験と知識を使って、日本放射線影響学会の若い研究者とともに福島原発事故対応 Q&A 活動をおこなってきました。その経験から、私が過去学んできた“リスクコミュニケーション”のスキルが全く役立たないことを実感しています。“安全”という概念で“安心”は得られません。私は、安心への扉は、放射線をブラックボックスから日のあたる表舞台に登場させ、人々がその実態を理解することによって初めて開くものだと思っています。原子力が辿った人類最大の悲劇の記憶と積み重ねられた不信のバールは、容易に取る去ることはできないでしょうが、それを乗り越えなければ、真の“安心”すなわち“平

和”は訪れないのではないのでしょうか。そのためには、放射線に対する正しい知識を教育すること以外の妙案はないのではないのでしょうか。しかし、全国の国立大学は平成3年頃から活発化した大学改革のなかで、放射線を冠する講座がことごとく消え去ってしまいました。そして、今年4月から実施された国立大学の独立行政法人化とそれに伴う経済的価値観にだけ染まった競争環境で全く息の根を止められてしまうことを憂えています。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。