

物理学と量子科学技術

永長 直人 国立研究開発法人理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長



最近量子力学に立脚した科学技術が21世紀の社会にとって不可欠であるとの認識が世界的に浸透しており、各国で多くのプロジェクトが立ち上がって巨大な予算が投入されている。量子情報、量子暗号、量子計測、量子マテリアル、等がその具体的内容であるが、対応して量子力学を早い段階から若者（あるいは子供）に教育する必要性も議論されている。重ね合わせの原理や不確定性原理、量子もつれ、確率解釈など日常生活とはかけ離れた概念を含み、高度に抽象的な数学で組み立てられている量子力学を「理解する」ことは至難の業であり、Feynmanによれば量子力学を「わかっている」人は居ないことになる。量子力学を「計算規則」として捉える立場も考えられるかも知れないが、深く物事を考える人には不満が残るであろう。一方、量子力学と並んだ20世紀の物理学の革命は相対性理論である。たとえば、原子力エネルギーの基本となっているのは良く知られているように相対性理論から帰結される質量とエネルギーの等価性である。 $E=mc^2$ という式は物理の公式で最も一般にも知られているものであろう。

私が本稿で述べたいのは、この量子力学と相対性理論がもたらした自然観の変革は物理や科学技術の枠を超えて人類社会の将来を左右する影響を与えるだろうということである。自然界でも社会でも基本となるのはエネルギー・物質・情報の3者である。生命現象を見てもこの3つの要素が絡み合っていて織りなされているし、経済現象でも喫緊の課題はこの3者に集約されるであろう。そしてこの3者は実は一つのことを違う側面から見ていることを量子力学と相対性理論は明らかにしているのである。まず、エネルギーと物質は上述の $E=mc^2$ が明確に関係付けている。一方、量子力学の基本公式 $E=h\nu$ (h :プランク定数、 ν :周波数)はエネルギーと情報を結びつける。なぜなら周波数は情報を表現しているからである。(FMラジオのFMはFrequency Modulationであることを思い出していただきたい。)この量子力学と相対性理論を融合して構築されている相対論的量子場の理論は素粒子の究極的理論の候補として考えられているが、そこでは「粒子」は場の励起として生成・消滅を繰り返す、いわば「出来事」として記述される。つまり物質は永劫不変の「もの」ではなくて寿命をもった「動的過程」であると考えられるのである。まさに「色即是空、空即是色」の世界に他ならない。Aharonov-Bohm効果の提唱者であるDavid Bohmはその著書”Wholeness and the Implicate Order”の中で、現代の科学の基礎を与えたデカルトの方法論は分割・解析・総合と因果律を基礎とし、自然と人間を明確に区別していると述べている。そして、この考えが「断片化」をもたらしており、それは名詞を主体として主語・動詞・目的語を構造として持つ言語を通じて我々の思考を深いレベルで支配しているとしている。この思考パターンが現代社会の分裂と混乱を引き起こしているので、世界をむしろ「流態」として捉える新しい言語が必要だという彼の主張は、バルクソンの「創造的進化」の文脈とも通じるものがある。21世紀は人類の生き残りをかけた時代になると予想するのは私だけではないと思う。量子科学技術が道具としての役割に加えて思想の上でも本質的な寄与をすることを期待したい。

Physics and quantum science and technology

Naoto NAGAOSA Deputy Director, RIKEN Center for Emergent Matter Science

Recently, there has been a worldwide recognition that science and technology based on quantum mechanics are indispensable for the society of the 21st century, and this growing interest has led to launching many projects and spending a huge amount of budget in each country. Quantum technology is comprised of quantum information, quantum cryptography, quantum measurement, quantum materials, etc., and early education in such fields for young people or children is also in discussion. It is much more difficult to “understand” quantum mechanics than we anticipate because it is composed of highly abstract mathematics including the concepts that are far from everyday life such as superposition principle, uncertainty principle, quantum entanglement, and probability interpretation. According to Richard Feynman, no one truly “understands” quantum mechanics. There might be some people who consider the quantum mechanics as a “computational rule” but it would be frustrating for those who think profoundly. On the other hand, the revolution of physics in the 20th century along with quantum mechanics is the famous theory of relativity. For example, the basis of nuclear energy is the equivalence of mass and energy resulting from the theory of relativity. The equation $E = mc^2$ is the most commonly known physics formula.

What I want to mention here is that the change in the view of nature brought about by quantum mechanics and the theory of relativity will make a decisive influence on the future of human society beyond the boundaries of physics and science and technology. The basics in nature and society are energy, matter, and information. It is not hard to find that these three elements are intertwined and woven in life phenomena. In addition, urgent economic issues will also come down to these three factors. In short, the quantum mechanics and the theory of relativity reveal that the three are actually one thing perceived as three from different aspects. First, the above-mentioned $E = mc^2$ is clearly related to energy and matter whereas, the basic equation of quantum mechanics $E = h\nu$ (h : Planck's constant, ν : frequency) connects energy with information as frequency expresses information. (Recall that FM of FM radio is Frequency Modulation.) The relativistic quantum field theory, which is constructed by combining quantum mechanics and relativity, is considered as a candidate for the ultimate theory of elementary particles. There, “particles” are described as “events” that are excitation of fields repeating generation and extinction, which means that matter is not an eternal “thing” but a “dynamic process” with a lifetime. This is the very world of “Form is emptiness; emptiness is form” in Buddhism. The proponent of the Aharonov-Bohm effect, David Bohm said in his book “Wholeness and the Implicate Order”, that the Cartesian method, which gave the foundations of modern science with the idea of division, analysis, synthesis, and causality where nature and human were clearly separated. This Descartes' idea brought about “fragmentation” and it came to dominate our thinking at a deep level through a language with its main components as nouns and the structure of subject, verb, and object. Since this thought pattern causes disruption and confusion in modern society, his assertion that we are in need of a new language that see the world as a rather “dynamical flow” has a link to the context of Bergson's “Creative Evolution”. I hardly think I'm the only one who predicts that the 21st century will be the era of destiny for humankind's survival. I hope that quantum science and technology will make an essential contribution through its idea as well as its role as a tool.