

巻頭言

無限、複雑性科学とスーパーコンピューター

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 理事
三浦 幸俊



最近のスーパーコンピューターの能力を示す1秒間の演算回数は、ペタフロップスのスケール(1 PFlops=1,000,000,000,000,000)であり、一般の人にとってはほとんど無限の大きさを持つ数である。それでも実現できる計算処理はまだまだ限られており、世界一のスーパーコンピューターでなければ短時間でできないことたくさんがある。短時間で処理する能力が高まれば、通常では困難な数値実験が可能になり、科学的な理解を飛躍的に向上させるだけでなく、創薬、新奇材料等の開発等において産業界にも革命的な貢献がなされると期待されており、熾烈な開発競争が繰り返されている。

ところで、その無限について考えてみよう。紀元前のギリシャで無限の概念が議論されている。ゼノンのパラドックスである。有名なのは「スタート地点にハンデをつけて、古代世界最速のアキレスと亀が競争する。アキレスが亀のスタート地点に達する頃には、亀はさらに先に進んでいることから、これが無限に繰り返されると、俊足のアキレスでも亀に追いつくことができない。」とする話である。このパラドックスは無限級数が収束することが分かっているならば、その矛盾は解消する。しかし、ヒルベルトのホテルの話では状況が異なる。それは次のような内容だ。「無限ホテルには客室が無限にある。ある日、そのホテルに泊まろうとする客人は、客室係に満室であ

ると言われてしまった。客人は無限の客室があるのでしょと食い下がっても、客室係は無限であるが満室であるという。そこで、客人は、ルーム1の客にルーム2に移動してもらい、ルーム2の客にルーム3に移動してもらいたい。そしてこれを3→4, 4→5のようにならずと繰り返してほしいと提案した。するとルーム1が空いて、無事に泊まることのできた。」このことは、今考えている無限の数に1を加えても無限であることを示している。実は、ルームnの客にルームn²に移動してもらうことを繰り返せば、無限の数の空室だって手に入れることが可能である。このように無限の概念は我々を戸惑わせるような概念である。このような無限の概念に対峙して、数学の世界で無限の性質を我々に示してくれたのが、ロシア生まれの数学者ゲオルグ・カントールである。ヒルベルトのホテルの部屋の数の概念は、その要素を数えられることから部屋に自然数を一対一対応させることができる。これは、可算無限と言われているが、カントールはそれ以上の概念を示した。つまり、自然数と実数との関係を対角線論法により、実数に自然数を一対一対応させることは困難であり、実数の無限の濃度は自然数の濃度をはるかに超えていることを示した。次にカントールは、集合論を駆使して、自然数と実数の中間の無限の濃度が存在するか?あるいは、自然数の集合の要素の基数を \aleph_0 とし、実

数の集合の要素の基数を \aleph_1 として、 $\aleph_1 = 2^{\aleph_0}$ (二進法の実数から連想される) が成り立つかどうかを考えた。しかし残念ながらコントロールは存命中に証明することはできなかった (これは連続体仮説と言われているが、現在は決定不可能であることが示されているそうである)。スーパーコンピューターの処理能力が実数の濃度になることはないが、その能力は可算無限に近づいていくであろう。

さて、数としては、無限大ではなく有限ではあるが、大きな数であることから現象が複雑となり、我々の身近に未知なるものをたくさん示してくれる。例えば、我々にとって身近な現象である天気の詳細な未来予測は困難であり未知であるということがある。つまり、巨視的な惑星や彗星の動きは長期にわたって詳細かつ精密に予測可能であるのに対して、天気の予測には「中国での蝶の羽ばたきが、アメリカの天気を変える」と言われているバタフライ効果があると比喻されており、精密な予測は数日先でも困難である。これは、気体分子が1立方メートルあたり 10^{25} 個のオーダー存在し、衝突、摩擦などによる非線形性等が生み出す現象である。自然科学、特に物理学の研究では、長い間このような複雑な自然現象に目をつむっていたように思う。特に一般相対性理論、量子論が発見されてから、

空間スケールや時間スケールにおいて、我々が感知できないところに真の崇高な物理学があり、我々が常に見ている複雑性のことは崇高な物理学と比較すると劣ったものであるように考えられていたように思う。しかし、最近は、「複雑系の物理学」などの本を書店でよく見かけるし、著名な論文誌でも複雑性の理解に対する研究結果が多く取り上げられている。自分の経験でも、核融合プラズマの不安定性の発生周期の不思議な振る舞いは、心臓の不整脈の振る舞いと同様であるとして論文誌に掲載を拒否されたりもしている。

物理学は、単純化した世界を理解してミクロな法則を積み上げ、そして原子核を破壊してその詳細な理解をどんどん進めていく還元主義的研究とともに、身の回りの複雑な自己組織化する現象に含まれる「基本的な法則」を理解しようとするが進められており、ラプラスの悪魔が全てを知り尽くしていないと考えて研究が進められていて興味深い。この複雑な自己組織化する現象の理解に向けてもスーパーコンピューターが限りなくその能力を発揮し、我々に未知なることの姿を教えてくださいと思う。物理学の未来、スーパーコンピューターの未来が教えてくれるものが楽しみである。