

異次元空間と超ひも理論



研究ノート

橋本幸士*

Extra dimensions and superstring theory

Key Words : Particle physics, Superstring

1. 異次元空間はポピュラーな研究分野

異次元空間、高次元空間という言葉を知れば、あたかもSFのような言葉に聞こえる。しかし、じつのところ、素粒子物理学分野では、この20年ほどで最も深く広く研究されている課題が、「異次元空間」なのである。

我々の住む世界、宇宙、は空間が「たて・よこ・たかさ」の3次元、それに時間を加えれば3+1の4次元時空ということになっている。この「入れ物」に、物質や力を導入してその性質を調べるのが物理学である。さて、では誰が空間は3次元であると決めたのだろう。もし4次元だったらどうだろうか。もしくは、異次元空間がもっと次元が高く、9次元だったらどうだろうか。

荒唐無稽に聞こえるこの問いも、最も基礎的な物理学である素粒子論分野では根源的な問いである。実際、全ての素粒子が「ひも」から出来ているという仮説「超弦理論（超ひも理論）」においては、ひもが運動する空間の性質が規程されてしまい、数学的な理論構造の無矛盾性から、空間の次元が9と決まってしまう。超弦理論は、量子力学と重力という20世紀の物理学の金字塔を融合する「統一理論」の候補であることから、究極理論とも呼ばれて来た。その超弦理論が、高次元空間の存在を予言しているのである。このことから、高次元空間における物理

学は、ポピュラーな課題となって来た。

2. 空間の次元の数え方

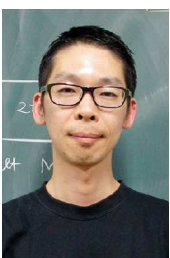
1998年に、空間次元の数え方について大きな変革が起こった。J. Maldacenaの予想によると、3次元空間上の素粒子の理論（量子力学）が、曲がった4次元空間上の古典重力理論と、等価である、という主張が成されたのである。この主張はその後膨大な数の数理的検証を受け、正しいことが認識されるに至った。すなわち、異なる次元の空間における全く異なる物理理論が、互いに同じであるということが発見されたのである。この現象を素粒子物理学分野では「ホログラフィー」と呼んでいる。

ホログラフィーは、空間の次元の数え方を、根本的に変えてしまった。つまり、空間は「入れ物」ではなく、考えている状況によって様々に変化する概念であり、創発するものなのである、という結論である。

3. ホログラフィー：異なる空間次元の理論の等価性

新しいホログラフィー原理は、素粒子クォークの力学を与える量子色力学の研究、強相関物質系の研究、ひいては近年では量子情報分野の研究へと、応用は大きな発展を遂げている。これらの近年活発な応用分野においては、ある空間次元における理論の計算が、高次元空間の重力理論の計算で置き換わる。特に、元々の次元の理論で量子的効果が強く計算が困難な場合、高次元重力側での計算が簡易になるという恐ろしい状況になり、新しい計算ツールとしての高次元重力理論が確立しつつある。

この高次元重力理論は何を隠そう（正確には）超弦理論であり、さまざまな超弦理論と高次元時空が、低い次元の量子力学的な物理と等価であるというこ



* Koji HASHIMOTO

1973年3月生
京都大学大学院理学研究科物理学第二専攻 (2000年)
現在、大阪大学大学院理学研究科 教授
博士(理学) 素粒子論
E-mail : koji@phys.sci.osaka-u.ac.jp

とになる。このように、超弦理論はもはや統一理論としての意味だけではなく、様々な物理学と関連しながらその数理構造が応用される数理体系としての意義を獲得した。

4. 超弦理論の研究と将来

重力の量子論の問題は、超弦理論の数理が豊穡に発展しているとはいえ、未解決である。すなわち、曲がった時空上での量子力学をどう計算するか、ブラックホールの蒸発と情報喪失の問題、これらは、一般的な重力理論の量子力学的問題であるが、超弦理論に依拠しても未解決である。ホログラフィー原理が応用的に確立しつつある現在、様々な物理分野

と素粒子論分野・量子重力分野の間の橋が出来つつある。この橋を渡ったり、また新しい橋を架けたりすることで、量子重力の究極的な問題が解決される日をめざし、現在も研究が進んでいる。

著者注：ホログラフィーを含む超弦理論の分かり易い解説としては、

* 「大栗先生の超弦理論入門」大栗 博 著（講談社ブルーバックス）

著者による更に初歩的な解説は

* 「超ひも理論をパパに習ってみた：天才物理学者浪速阪教授の70分講義」橋本 幸士 著（講談社）

