

究極の物理法則を求めて*

物理科学科 川村嘉春

奇跡には種がある！

むかしむかし、或るところに奇術師と支配者がいました。奇術師は支配者が撃った銃弾を歯で受け止めてみせると言いました。奇術師が支配者に銃を手渡し、対決が始まりました。支配者は引き金を引きました。次の瞬間、奇術師の歯の間に銃弾がしっかり挟まっていた!? (ある映画とおんなじオープニングやで?)

直感は時としてあやふや？

むかし、観測に基づいて「地球は回っている。」という結論に至った人がいました。その人は迫害されました。「宇宙は小さな火の玉状態から進化した。」と唱えた人がいました。彼の学説は大うその理論とからかわれました。現在、地動説もビッグバン理論も確立され、疑う人はほとんどいません。余剰次元はあるの？

「たて、よこ、高さのどれとも直交する新たな空間次元が存在するなんて馬鹿馬鹿しい！」というご批判は承知の上で、多くの研究者が余剰次元について探究しています。なんでもありのご時世のせいか何の迫害も受けていません。むしろ、余剰次元の発見は次期大型加速器による衝突実験の目玉の一つとして期待されています。ある理論によると、ブラックホールの生成や蒸発が実験で検証可能とのこと(ホンマかいな?) 余剰次元を学術的な対象とするためには、(1) その必要性、(2) 現在未確認である理由、(3) 検証可能性を探究する必要があります。

* 信州大学理学部同窓会誌再刊 5号 2005年2月28日に掲載された「研究紹介」pp.2-3に一部修正を加えたものです。

物理法則は整理整頓される！

時間と空間を 4 次元時空として統一的に扱うことにより電気現象と磁気現象を統一的に理解することができます。さらに、空間の次元を増やして、重力現象と電磁現象を統一的に理解しようと試みた人がいました。それが余剰次元の探究の始まりです。このように余剰次元を導入することにより物理法則が整理整頓される可能性があります。これが余剰次元の必要性に対する私の答えです。物理法則の究極の整理整頓（あらゆる現象を統一的に理解すること、すべての法則を基本的な法則から導くこと）を実現する最有力候補は「超弦理論・M 理論」です。（M 理論の M は Miracle の M と違いまっか？）これらの理論では、理論の無矛盾性からそれぞれ 10 次元・11 次元時空が要求され、余剰次元の存在は必然性を持っています。

大統一理論を救おう！

素粒子の標準模型を超える有望な理論は大統一理論です。この理論によれば、重力を除く 3 つの力（強い力、弱い力、電磁気力）はゲージ場の量子論と呼ばれる枠組みで統一的に記述されます。残念ながら、超対称性（ボーズ粒子とフェルミ粒子の入れ換えに関する対称性）を含む最も単純な理論は致命的な欠陥を持っています。その根源は「3 重項・2 重項の分離問題」で、2 種類の粒子の質量差を導くために 15 桁ほどの微調整が要求されます。具体的には、陽子崩壊が観測されていないことと弱い力に関する対称性の破れを説明するために 3 重項を組む粒子に比べて 2 重項の粒子の質量は近似的にゼロとみなせるほど小さくなくてはなりません。（どないして、こんなメチャきわどい分離が実現されるんやろ？）

余剰次元はおもしろい！

余剰次元が現時点で未確認である理由として (a) 余分な空間のサイズが非常に小さくて検出できない、(b) サイズは比較的大きいけれども特定の粒子以外は余剰次元方向に移動できないため感知されない、が考えられます。今仮に、高次元時空内に質量ゼロの粒子が存在したとしましょう。4次元時空では、その粒子は余剰次元のサイズの逆数を単位として量子化された質量を持つ無限個の状態（粒子たち）と解釈されます。余剰次元のサイズが充分小さければ、質量がゼロ以外の状態は重すぎて我々の世界には直接現れません。4次元時空で（近似的に）質量ゼロの粒子が存在するかどうかは余剰次元の性質に依存します。ここで、「近似的に」と付け加えたのは、多くの場合さらなる対称性の破れによってわずかな質量を獲得するからです。

微調整にも種がある！

奇術師は銃を手渡す直前に銃弾をそっと抜き取り、口の中に入れておいたというのが冒頭の奇跡の種明かしです。（子供だましのようなトリックやんか！）同じように、自然界は余剰次元に関する巧妙な境界条件を使って、4次元時空に移る際に3重項の質量ゼロの状態をそっと抜き取ったと考えたと「3重項・2重項の分離問題」が解決します。実際、余剰次元のサイズが 10^{-31}cm ほどであれば15桁の質量差が生じます。（余談：大学院生の時、超弦理論を研究していてよく似た機構に出会ったのが、このトリックを見つけた種明かしです。）

この他にも微調整に関する様々な問題が存在します。最も凄まじいものは「宇宙定数の問題」です。何を解明したら確実にノーベル賞が貰えるか？と人から質問された時、私はこの問題の正解を出すことと答えることにしています。ただ

し、120桁ほどの微調整の種明かしに挑むことになり、フェルマーの最終定理（十数年前に証明されましたが）と同様これだけに没頭することはあまりお勧め致しません。

自然界の究極の設計図を解読しよう！

この作業を遂行する上で必要なことは (i) 奇跡や偶然として片付けないこと、(ii) 直感や先入観に囚われないこと、(iii) 究極の法則の存在を信じること、ではないでしょうか。この作業に参加を希望する情熱を持った研究者が1人でも多く現れることを願っています。本年はアインシュタインの衝撃的なデビューから百年目の記念すべき年（世界物理年）です。彼の光電効果、ブラウン運動、特殊相対性理論に関する論文はいずれもその後の物理学の発展に著しく貢献しました。時代は大きく変わって、研究者の数も増え、毎日おびただしい数の論文が生産されています。氾濫する論文の中で混沌とした状況が続いています。個人的には、1篇の論文で現状を打開するようなファンタジスタの登場を密かに期待しています。アインシュタインのような天才物理学者が現れて、奇跡のような偉業を目の当たりにしたいものですね。

余剰次元の物理および大統一理論の現状に関するより詳しい内容を知りたい方は、以下の拙論を参照してください。

- ・川村嘉春 日本物理学会誌 Vol.57, No.9, (2002), p654, 「高次元時空の世界から4次元時空の世界を眺める」
- ・川村嘉春 数理科学 No.488, 2004年2月号 特集/幾何学的物理観, p32, 「大統一理論と幾何学」
- 「3重項・2重項の分離問題」の解明に関する原論文もよろしく！
- ・Y. Kawamura, Prog. Theor. Phys. Vol.105, (2001), 999, “Triplet-Doublet Splitting, Proton Stability and an Extra Dimension”[†]

[†] 同窓会誌編集部：川村先生は、この欧文学術論文により2003年度の日本物理学会第8回論文賞を受賞されました。