



宇宙と人生は、 数学の言葉で書かれている

村山 斉 (理論物理学者)

我々の世界にはさまざまな物質が存在するが、それらを構成する粒子の最小単位は原子ではない。原子は陽子と中性子と電子からなり、さらに陽子も中性子も「クォーク」という素粒子からできている。そして素粒子物理学の扱う世界を支配する法則は、数式でしか表現することができない。東京大学カブリIPMU初代機構長の村山斉が、宇宙を支配する数式の魅力を語る。

ペースに数学者や物理学者が集まり、黒板やホワイトボードに数式を書きながら、お互いの研究について語り合っています。数学と物理学は、昔からそうやってお互いに密接に関係しながら発展してきました。

数学と物理学の相性の良さ

でも、物理学はどうして数学の言葉で語れるのでしょうか？ これは決して当たり前前のことではありません。

1963年にノーベル物理学賞を受賞したユージン・ウィグナーは、「自然科学における数学の説明不可能な有用性」という論文を書きました。役には立つがその理由は説明できない、というわけです。同じくノーベル物理学賞(1979年)受賞者であるステイヴン・ワインバーグも、『科学の発見』(文藝春秋)の中で「自然とは何の関係もない理由で発明された数学が、物理理論に役立つのはなぜなのか」という謎は残っている」と述べています。

私は以前、カリフォルニア大学バークレー校の同僚でもある数学者エドワード・フレングルに、こんな質問をしました。

「宇宙人がいたとしたら、彼らは地球人と同じ数学を持っていると思いますか？」

物理学にとって重要な言葉といえば、やはり「数式」です。自然界を支配する物理法則は、どれも数式で書かれてきました。ガリレオ・ガリレイも「宇宙という書物は数学の言葉で書かれている(L'universo è scritto in lingua matematica)」という有名な言葉を遺しています。

2007年に発足し、私が初代機構長を(2018年まで)務めた東京大学カブリIPMU(数物連携宇宙研究機構)の交流スペースには、このガリレオの言葉をイタリア語で刻んだ柱を設えました。毎日、午後のティータイムにはその交流ス

もし数学が本当に自然界を表す言葉であるならば、それは宇宙の共通語になるはずだからです。エドワードはこう答えました。

「そうであってほしいけど、自信がないね」
大きな真理は宇宙共通の数学で表現できるだろうが、自分たちはまだその真理の表面をなでているだけなので、「地球人特有の数学」になっている可能性はある——ということです。

たぶん、単純な数学であれば、宇宙の共通言語として通用するでしょう。もし私が宇宙人に出会ったら、まずは直角三角形を地面に描いて、ピタゴラスの定理の説明を試みます。そこで「三角形」「斜辺」「2乗」などの概念を共有していることが伝われば、きつとコミュニケーションが広がることでしょう。

でも、もっと深い数学の話になると、それぞれの知的生命体に特有の背景や条件に縛られてしまい、共有できない部分が出てくるかもしれません。宇宙の共通語としての数学が、「地球人の数学」とはまったく違うパラダイムを持っている可能性は高いと思います。

しかしいずれにしろ、数学ほど物理学の役に立つ言葉はありません。物理学は、私たちの日常感覚とはかけ離れた現象も扱います。そうした世界の法則は、日常的な事柄を表現する自然言語では語れません。抽象度が高く、普遍性を持つ言

葉が必要で、数学はまさに抽象的な世界なので、物理学とは相性が良いのです。

自然現象を表す数式の美しさ

私たちの日常世界には、さまざまな「物」が存在します。あなたが手にしているこの雑誌や、座っている椅子、着ている服、その下にある身体などなど、「物」の姿形はさまざまです。でも私の専門分野である素粒子物理学は、それらの具体的な「物」を別々には扱いません。物質としての普遍性を抽出して、その世界を支配する法則を探る学問なのです。

どんな物質も、どんなバラバラにしていくと、どれも「原子」でできています。その点で、雑誌も椅子も服も身体も違いはありません。その原子は原子核(陽子と中性子)と電子でできており、陽子と中性子はクォークという素粒子から構成されています。また、これらの粒子をくっつけたり壊したりする「力」も働いています。

そうやって抽象化された物質世界を支配する法則は、やはり数式でしか表現できません。その世界を表した「素粒子の標準模型」と呼ばれる式(図1)は、この宇宙の姿を記述した「数学の言葉」の代表例といえるでしょう。

図1 素粒子の標準模型の式

$$\mathcal{L} = 8\pi G_0 R$$

$$-\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

$$+ \bar{\psi} i \not{\partial} \psi$$

$$- \bar{\psi} \not{A} \psi$$

$$+ i D_\mu \phi^\dagger - \nabla_\mu(\phi)$$

- ①重力
- ②電磁気力など重力以外の力
- ③クォークや電子などの物質
- ④クォークや電子が質量を持つ仕組み
- ⑤ヒッグス粒子

上から順に、①重力、②電磁気力など重力以外の力、③クォークや電子などの物質、④そのクォークや電子が質量を持つ仕組み、⑤その質量を物質に与えるヒッグス粒子を、それぞれ表しています。2012年に加速器実験でヒッグス粒子が発見されたことで、「素粒子の標準模型」は完成しました。ただし、それで宇宙のすべてがわかったわけではありません。宇宙全体のうち、「原子」でできている世界はほんの一部、たったの5%にすぎないからです。残りの95%は、見えないけれどたしかに存在する謎の重力源「ダークマター」と、宇宙