

SPACE JAPAN BOOK REVIEW

衛星通信研究者が見た

Reviewer 編集顧問 飯田尚志

イアン・スチュアート, 水谷淳訳: "世界を変えた 17 の方程式", ソフトバンククリエイティブ, 2013.

Ian Stewart: "Seventeen Equations That Changed the World", Joat Enterprises, 2012.



<http://www.amazon.co.jp/>

まず、本欄の例に倣って、本書を選んだ理由を書こう。本書は人類文明を牽引した 17 の方程式が記述されているが、その中に電磁気学の集大成であるマクスウェル方程式が取り上げられており、これは現在の無線通信の基本中の基本であり、当然、衛星通信の基礎でもある。そのようなことから、Space Japan Review の取り扱う範疇に入ると考えたからである。それでは、本書の紹介を始めよう。

本書の著者のイアン・スチュアート (Ian Stewart) 氏は英国のウォーリック大学数学部教授で、英国の第一線の数学者であり、2001 年に王立協会のフェローとなっている。ポピュラーサイエンス書の著者としても有名で、新聞や雑誌の記事の執筆、テレビの科学番組への出演なども積極的に行っているということである。

本書では、直角三角形の 3 辺の長さの関係 $a^2+b^2=c^2$ を示すピタゴラスの定理から始まって、アインシュタインの相対理論、量子力学のシュレーディンガー方程式、カオス理論に至る 17 の方程式について、その背景、発展の過程、将来の展望が解説されている。取り上げられている方程式の中で、我々に最も関係のあるのは、何と言ってもマクスウェル方程式である。本書の表紙にもマクスウェル方程式とともにパラボラアンテナがイラストとして描かれている。そこで以下では、マクスウェル方程式に関する話題を中心に紹介する。

マクスウェル方程式の章においては、まず、現在のように電気の利用による社会的及び技術的な革命のきっかけとなる主な発見を行った科学者としてファラデーを挙げ、彼は電気と磁気という別々の現象だったものを分かち難く結びつけ、電磁気の基本的な物理学を確立したと紹介している。彼の電磁誘導の発見がボルタ電池に代わる電源の研究を促し発電機の開発に結びつき、電気文明が開く基礎となった。ファラデーは数学の教育を受けていなかったため、彼は実験成果を機械的比喩に基づいて説明した。彼が電磁誘導を発表した年に生まれたマクスウェルは、数学の学位を取得し、ファラデーの実験研究を読み、彼の実験と理論の数学的基礎を確立するという研究に取り組み、ファラデーの機械的な理論を数学の方程式としてのマクスウェル方程式を導出した。このとき、ファラデーの独創である「場」をどう表現するかであったが、マクスウェルは電氣的な流体の流れとして数式化し、ベクトルの体系として表現することに成功した。そして真空中での電場、磁場の振る舞いを方程式で表した際に出てくる波動方程式の係数の値を求めると光速に等しいことに気が付いた。これが、光は電磁波であるという仰天の発見に結びついた。その後、ヘルツが実験により電磁波の存在を裏付け、マルコーニは 1.5km の無線伝送の成功に発展させた。ラジオ、テレビ、レーダ、携帯電話、X 線、テラヘルツ波の利用といった 100 年以上に亘る発展により電磁波が人間活動のあらゆる分野での利用に至っているのは、マクスウェルの 4 つの方程式と何行かの基本的なベクトル解析に端を発していることを指摘している。マルコーニの発明は無線通信の道を開き、我が国では日露戦争のときに「敵艦見ゆ」の暗号情報をいち早く伝えて戦況有利のきっかけを作ったことで有名であるとおおり、軍事通信として注目されたのが大きいと思うが、本書では特にレーダへの応用を軍事利用として述べるに止まっている。本章の最後は、マクスウェル方程式は世界を変えただけでなく新たな世界を開いたと結んでいる。

新しい世界とはアインシュタイン理論への発展である。まず、マクスウェル方程式で予測された電磁波を伝えると考えられたエーテルについての興味深い記述がされている。19 世紀

末に光の速度がエーテルに対して一定であるなら、直交する2方向で光の速さの違いを検出しようとする実験が行われた。しかし、実験で光速の違いは見い出されず、エーテルの存在は否定された。マクスウェル方程式の電磁波理論は動いている基準座標系に対し、相対的に振る舞うのではないことが示され、光速度が不変のものであることが分かったことから、アインシュタインの登場の舞台が整ったとされる。アインシュタインは、電磁気に対してだけでなくすべての物理法則に当てはまる特殊相対理論、即ち重力のない場合の空間、時間、物質に関する理論を創出した。また、マクスウェルによって光は波であり電磁波としての性質を持っていることが示されたが、20世紀初頭には光が粒子として振る舞うことが明らかとなり、アインシュタインは光子が発せられたことによる物体のエネルギー変化と相対論的質量の変化を関連付ける数式として、 $E=mc^2$ の方程式 (E : エネルギー, m : 質量, c : 光速) を与えた。さらに、彼は特殊相対理論だけで満足せず、重力の要素も含め、重力が存在すると時空が歪むとする一般相対理論に発展させた。

アインシュタインに続いて、シュレーディンガー方程式が述べられている。同方程式は粒子である光が波動であるなら、電子も波動の性質を有するとして導き出された。量子の重ね合わせや半導体技術との関連にかなりのスペースが割かれているが、記述内容が私には少々難しいと感じた。シュレーディンガー方程式については文献[1]が私にとって非常に理解しやすい。また、シュレーディンガー方程式から始まって以後の素粒子物理学上の数式はヒッグス素粒子の発見まで展開されているとのことであるが[2]、本書では書かれていないのが惜しまれる。さらに、アインシュタインの一般相対理論から宇宙の誕生の解明を追及する物理学の動向[3]にも触れてあればより望ましいと感じた。

通信に関する方程式としてシャノンの情報理論も紹介されている。さらに、カオス理論とブラックショールズ方程式が記述されている。カオス理論では、ランダムと思われる事象が実はカオス理論による決定論的振る舞いから生成されることを述べている。また、ブラックショールズ方程式に関連して、リーマンショックに関しても言及されている。

興味のあるのは、最後に書かれている17の方程式の次は何かということである。次は、従来のような連続的な方程式でなく、方程式を解く代わりにアルゴリズムを走らせてこの世界をデジタル的にシミュレートする離散的でデジタルな構造や系を基礎とした新たな自然法則が見つかることは間違いないとしている。

以上のように本書は難解と思われる方程式について俯瞰的に見ることができ、非常に感化されるものであり、方程式に纏わるエピソードなども豊富に記述されており興味深い。ただ、平易にはあるが、内容はかなり高度であり、理解するのは骨が折れるところもあることと、各方程式について20数ページにわたり一気に記述されており、もう少し小さな節立てとしてあればもっと読み易いものになあと思った。なお、本書の書評が文献[4]にあり参考になることを述べて本書評を閉じることとする。

参考文献

- [1] 村上雅人: "なるほど量子力学 1", 海鳴社, 2006.
- [2] "NHKスペシャル: 神の数式 第1回 この世は何からできているのか ~天才たちの100年の苦闘~", NHK総合テレビ, 2013.9.21.
- [3] "NHKスペシャル: 神の数式 第2回 宇宙はなぜ生まれたのか ~最後の難問に挑む天才たち~", NHK総合テレビ, 2013.9.22.
- [4] 吉永良正: "世界を変えた17の方程式 イアン・スチュアート著 人類の進歩を支えた数学の歴史", 日本経済新聞(朝刊), 2013.6.9.