

マクスウェルが書いたのは電磁場の方程式だったのだろうか？

有賀暢迪*

2008年科学史サマースクール†

現代の電磁気学理論の根幹をなしているマクスウェル方程式は、その名前が示しているとおり、十九世紀の物理学者ジェームズ・クラーク・マクスウェル (James Clerk Maxwell, 1831-1879) の仕事に由来している。けれども、今日マクスウェル方程式と呼ばれているものとマクスウェル本人が書いた方程式とのあいだには、見過ごせない違いがあるのもまた事実である。この講演では、マクスウェルの電磁気学研究の歩みをたどることで、彼が電磁気現象に対して抱いていた物理的イメージが現代とは大きく異なっていたことをお話ししたい。なお、物理学や数学の知識は特に前提としないので、気軽に聞いていただければ幸いである。

文献案内

この講演で電磁気学の歴史に関心を持ってくださった方、あるいは講演を聴けなかった方のために、参考になる書籍（主として日本語のもの）を紹介しておく。

電磁気学史に触れるのが初めてという方には、とりあえず夏目賢一「電磁気学」安孫子誠也ほか『はじめて読む物理学の歴史』（ベレ出版、2007年）、132-166頁をお勧めしておく。この分野の通史としてはほかにE. T. ホイッターカー（霜田光一・近藤都登訳）『電気とエーテルの歴史（上・下）』（講談社、1976年）があるが、様々な内容を詰め込んであるので初学者には読みにくい上、訳文もあまりよくない。また、太田浩一『マクスウェルの渦 アインシュタインの時計：現代物理学の源流』（東京大学出版会、2005年）は現代物理学の観点から理論電磁気学の古典を読み解く本で、個別には参考になる点も多いが、かなり高度な電磁気学の知識が要求される上、歴史の流れをつかむには向いていない。これらの二冊よりはむしろ、広重徹『物理学史（I, II）』（培風館、1968年）あるいはE. フント（井上健・山崎和夫訳）『思想としての物理学の歩み（上・下）』（吉岡書店、1982-3年）の関連する章にあたってもらう方がよいだろう。特に広重の本は、初版から40年を経てもなお、読む価値をほとんど失っていない名著である。このほか、マクスウェルが生きた時代である19世紀の物理学についてはP. M. ハーマン（杉山滋郎訳）『物理学の誕生：エネルギー・力・物質の概念の発達史』（朝倉書店、1991年）が本格的な解説書で、電磁気学のほか、熱力学なども扱われている。また、同じ著者によるPeter M. Harman, *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell* (Cambridge University Press, c1998) はマクスウェルその人の業績・思想を知る上で最良の本だが、残念ながら翻訳はない。なお、日本語で読めるマクスウェルの伝記としては、カルツェフ（早川光雄・金田一真澄訳）『マクスウェルの生涯』（東京図書、1976年）がある。

* 京都大学大学院文学研究科 博士後期課程 ariga_phs@yahoo.co.jp

† 2008年8月9日、立教大学

講演資料

1 現代のマクスウェル方程式

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} &= \mathbf{i} \\ \nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= 0\end{aligned}$$

2 マクスウェルが書いた「電磁場の一般方程式」(1864年)

$$\begin{aligned}p' &= p + \frac{df}{dt}, \quad q' = q + \frac{dg}{dt}, \quad r' = r + \frac{dh}{dt} \\ \mu\alpha &= \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}, \quad \mu\beta = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}, \quad \mu\gamma = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy} \\ \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} &= 4\pi p', \quad \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} = 4\pi q', \quad \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} = 4\pi r' \\ P &= \mu \left(\gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right) - \frac{dF}{dt} - \frac{d\psi}{dx}, \quad Q = \mu \left(\alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right) - \frac{dG}{dt} - \frac{d\psi}{dy}, \quad R = \mu \left(\beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right) - \frac{dH}{dt} - \frac{d\psi}{dz} \\ P &= kf, \quad Q = kg, \quad R = kh \\ P &= -\rho p, \quad Q = -\rho q, \quad R = -\rho r \\ e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} &= 0 \\ \frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} &= 0\end{aligned}$$

3 「電磁場の一般方程式」を現代的な記号で書き直したもの

$$\mathbf{C} = \mathbf{i} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\mu \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{A}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = 4\pi \mathbf{C}$$

$$\mathbf{E} = \mu (\mathbf{v} \times \mathbf{H}) - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \nabla \psi$$

$$\mathbf{E} = k \mathbf{D}$$

$$\mathbf{E} = -\rho \mathbf{i}$$

$$e + \nabla \cdot \mathbf{D} = 0$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{i}$$

4 マクスウェルの電磁気学研究の歩み

- 1854 電気・磁気について本格的に学び始める
...アンペール, ヴェーバー, ファラデー, トムソンなどを読む
- 1856 論文「ファラデーの力線について」発表
...「力線」の数学的取り扱い
- 1861-2 論文「物理的な力線について」発表
...電磁気の力学的モデル; 光の電磁理論
- 1864 論文「電磁場の動力的理論」発表
...「電磁場の一般方程式」
- 1873 著書『電気磁気論』出版
...電磁気学の集大成(本講演では特に触れない)

5 電磁気の力学的モデル (1861-2年)

