

# ゲージ場の理論と電磁気学

阿部慶彦

慶応義塾大学理工学部物理学科 3 年

2015 年 5 月 23 日

## 1 はじめに

自然界には基本的な 4 つの相互作用——電磁相互作用, 弱い相互作用, 強い相互作用, 重力相互作用——が存在し, これらはすべて対応するゲージ場によって媒介される幾何学的な相互作用であることが知られている. つまり相互作用は適当なゲージ群に基づくゲージ理論として統一的に議論することができ, 今日, このゲージ理論は物理学・数学において非常に豊かで重要な内容をもつものとなった.

今回の講演では, 非可換ゲージ理論とくに Yang-Mills 理論への拡張は難しい方法ではあるが, 電磁気学の持つゲージ対称性 (ゲージ変換に対する対称性) という基本的な対称性を中心に, 電磁気学をゲージ場の理論として見てみようと思う.

## 2 講演内容

まず最初に電磁気学の基礎方程式である Maxwell 方程式について簡単に見て, その式が表す物理的な意味を考える. 次に, Maxwell 方程式をベクトルポテンシャル, スカラーポテンシャルと呼ばれる量を導入することで書き直し, ゲージ変換および電磁気学の持つゲージ不変性を見る. そして, Maxwell 方程式を相対論的な表式へ書き直し, 電磁気学の持つ基本的な 2 つの対称性——Lorentz 対称性とゲージ対称性——から来る性質などを見る. 最後に, この 2 つの対称性から電磁気学を解析力学的手法で見直して, その先に続く内容に簡単に触れるつもりである.

一見して難しい印象を受けるかもしれないが, 相互作用を統一的に記述する美しい理論の雰囲気だけでも感じてもらえれば幸いである.

## 参考文献

- [1] 九後汰一郎: ゲージ場の量子論 I (新物理学シリーズ 23, 培風館, 1987)
- [2] 砂川重信: 理論電磁気学 (紀伊国屋書店, 1999)
- [3] 内山龍雄: 相対性理論 (物理テキストシリーズ 8, 岩波書店, 1987)
- [4] 坂本真人: 場の量子論-不変性と自由場を中心にして- (量子力学選書, 裳華房, 2014)
- [5] L. D. Landau, E. M. Lifshitz: 場の古典論=電磁気学, 特殊および一般相対性理論= (恒藤敏彦, 広重徹訳, ランダウ=リフシッツ理論物理学教程, 東京図書, 1978)
- [6] 高橋康, 柏太郎: 量子場を学ぶための場の解析力学入門 (KS 物理専門書, 2005, 講談社)
- [7] 菅野礼司: ゲージ理論の解析力学 (吉岡書店, 2007)