

特集/物理における位相の世界

物理学における位相

青木 秀夫

1. はじめに

P 「『位相』の総論をしなくちゃならないだよ。」

S 「位相といえば、波動関数は絶対値と位相からなりますね。」

P 「それで済めば話は簡単なんだがね。そもそも、日本語で位相と言ったときには、実は2つのことを指すのが厄介だ。つまり、数学的に位相と言ったときにまずはイメージするのは、英語で言えば **topology** というやつで、定義口調で言えば「極限や連続の概念が定義できるように、集合に導入される数学的構造」だな。それから、物理でよく使われるのは、英語で言えば **phase** というやつで、『振動・波動のような周期的現象において、着目する時刻・場所において、振動がどの段階にあるかを示す変数』だ。この後の話の都合上、様々な概念の間の相関図(図1)を掲げておこう、この意味はおいおい分かってくる。」

S 「なるほど、波動関数の位相は phase のほうで、

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = |\Psi(\mathbf{r}, t)| e^{i\theta(\mathbf{r}, t)}$$

と書いたときの $\theta(\mathbf{r}, t)$ のことですね。しかし、ちょっと変だな、量子力学の教科書には、『磁場など時間反転対称を破るものがなければ、定常状態の波動関数は常に実にとることが可能』、と書いて

ありますね。」

P 「定常でも状態に縮退があれば、縮退状態の線形結合の取り方の自由度を利用して複素にできる。そうしなくても構わないけれど、電子の平面波のように、電流が流れている状態を作りたければそうせざるを得ないね、実際電流 j は

$$j \propto \nabla \theta$$

だから、波動関数が複素の場合しか生じない。

ここでちょっと面白い例をあげてみようか。物理で、メゾスコピック系とかナノ構造と呼ばれる、微視的サイズと巨視的サイズの間のサイズをもつ系の物理が最近良く調べられている。このような系では、波動関数の位相が系全体にわたって保た

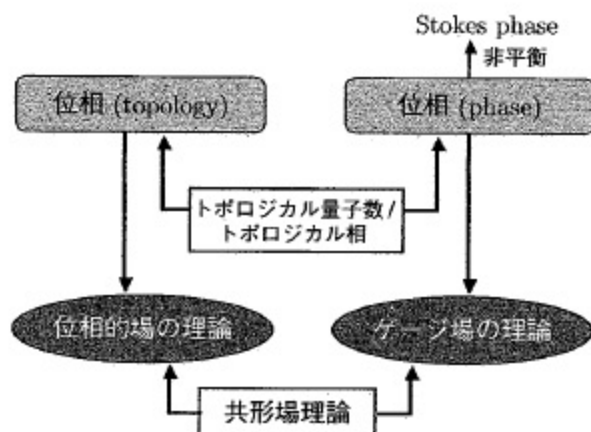


図1 位相にまつわる様々な概念の間の相関図。