

マヨラナニュートリノ系でのCPの破れとその検証法

大阪大学名誉教授 高杉英一

1. はじめに

1980年頃、マヨラナニュートリノ系でのCPの破れの仕事は重要な問題だとの興味をもって取り組めばそれほど難しくはなかったろう。しかし、ニュートリノの質量は標準理論やSU(5)大統一理論ではゼロであり、SO(10)大統一理論に至って初めて質量を持つといった状況であり、むしろ質量はゼロであると考えるのが自然に思えた。ニュートリノ混合とマヨラナニュートリノ系でのCPの破れを考えるには、基礎知識によって高められた問題意識が必要であった。

その後、1998年にニュートリノ振動が観測され、ニュートリノの質量がゼロでないことが判明した。さまざまな考察からニュートリノはマヨラナ粒子である可能性は高く、このことを検証するニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の実験は以前に増して重要となり、現在沢山のグループで実験が行われている。この崩壊が発見されると、ニュートリノはマヨラナ粒子と確定し、マヨラナ粒子特有のCPの破れの位相も観測できる。提案から40年以上たつてようやく検証の実現性を感じさせられる時が来たかと思うと心から喜びを感じる。

2. マヨラナニュートリノ系でのCPの破れについて

この問題はちょっと考えるとすぐに答えを得ることができるであろう。マヨラナ粒子は位相の自由度がないので、小林・益川の場合の位相に加えて粒子の数から1だけ引いた数の新しい位相が現れる。(1引くのは全体の位相は意味がないからである。)したがって、3世代の場合には2つのマヨラナ粒子であることによる特有のCPの破れの位相が現れる。

簡単な問題ではあるが、この問題の面白さに気づくためにはいくつかの基礎知識を積み重ねることが必要である。私事になるが、どのようにしてこれらの知識を蓄えたかを説明したい。

私は、1973年にメリーランド大学大学院(東大には大学に在籍しながら留学する制度ができこれを利用した)に留学した。大学のスタッフのPatiやMohapatraはSU(4)統一理論を盛んに研究しており、クォーク系のCPの破れは W_L と W_R の混合に現れる位相が原因と主張し、この理論が大流行していた。私はこれに触発されCPの破れの起源に興味を持った。1975年にオハイオ州立大学の研究員になった頃Ellis達による小林・益川のCPの破れをもちいた素粒子の崩壊に関する論文を読み感銘をうけた。1978頃になると小林・益川理論は大盛況となり、国際会議で実験屋さんがCPのやぶれの位相の数の説明をするのを何回も聞いた。こうして小林・益川理論は私の頭に焼き付いた。

私は、1980年3月に大阪大学助手に採用された。5月頃になってボスの小谷先生から研究室のグループで一緒に研究をしようとの提案があった。どんなテーマが適切かと聞かれ、私はそれまでの研究経過からファミリーであったニュートリノについて研究をしようとの提案した。グループの仲間は、小谷先生その他、客員の土井勝(大阪薬大)さん、博士コース

にいた西浦宏幸さん、修士2年の奥田和子さんだった。まず参考文献として Pontecorvo のレビュー(Physics Report に掲載)を読み始めた。丁度その頃、ロシアからニュートリノに質量があるとする報告が届き(この実験結果は間違いであったが)、ニュートリノについての関心がさらに深まった。私は小林・益川のCPの破れからの連想から、ニュートリノをマヨラナ粒子とするとCPの破れに関して何か新しいことができるのではないと考えた。

私は帰国の前に Paschos と1ヶ月ドルトムント大学に滞在する約束をしており、7月半ばにドイツに向けて出発した。CPの破れに関しては私がドルトムントで研究内容を詰めることになった。当地に着いてまもなくCPの破れの研究を論文にまとめ阪大に送った。論文は大阪のグループで検討され、8月には世界の研究機関にプレプリが送られた。小谷先生達は大変手際よく進めた。

さて、私はドルトムント大学にいたので、8月に論文を Physics Letters の欧州の編集者に送った。その後、マックスプランク研究所に1週間ほど滞在した。そこではアメリカにいた時に行っていた研究の話をしたが、Peccei は私達のニュートリノに関する研究をすでに知っていたらしく、ニュートリノの仕事を続けるのかと聞かれた。私はニュートリノの研究に専念すると伝えると、Are you a neutrino man?ときかれ、Yes と答えたのを覚えている。また、滞在していた近重さんから、CPの破れの話をするよかったのと言われたのは今も覚えている。次いでDESYに1週間ほど滞在した。プレプリの棚に Bilenky 達の論文が並んでいるのを知った。内容は私たちの論文と同様なものであった。私はセミナーでCPの破れの話をし、その後帰国した。

3. マヨラナ位相を実験検証する方法

私がヨーロッパに行っている間、大阪のグループは、ニュートリノがマヨラナ粒子だとするとどのような現象が起こるのかを調べていた。小谷先生は原子核の崩壊に造詣が深く、ニュートリノを伴うモード、ニュートリノがマヨラナ粒子でなければ起こらないニュートリノを伴わないモードに関する論文を集め、それらの検討を行っていた。西浦君の行った計算の結果は、以前の論文では同一粒子の発生に関する統計ファクターの見落としがあることが分かった。私は、これらの作業が終わった頃帰国し、グループは本格的に二重ベータ崩壊の研究に邁進した。二重ベータ崩壊のニュートリノの質量による寄与にはマヨラナ特有のCPの破れの現れることから詳しく調べた。実際、ニュートリノ混合のある場合、質量には混合行列とそれを通してマヨラナニュートリノ特有のCPの破れの位相が現れる。この論文を12月に投稿した。

これらの仕事が一気呵成にできたのは、小谷先生をはじめ、土井さんや西浦さん達研究室一丸で行った成果であった。

4. その後の話

CPの破れの論文を8月に Physics Letters の欧州の編集者に送ったとの話を書いたが、

これは私がドイツにいたことから勘違いした結果ある。9月に入り編集者から、日本からの論文は米国の編集者が扱うことになっているので、そちらに転送したとの手紙を受け取った。私は欧州の編集者が受け取った8月の日付を受け取った日付にしてほしいとの手紙を欧州の編集者に送ったが、結局9月2日が受け取った日付となり、1ヶ月ほど遅れることになった。この不注意さは残念なことだったと今でも思っている。

私たちの夢であったニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊の観測精度が、運がよければ、いつ観測されてもおかしくないところまでに進歩してきている。近い将来に発見できることを心から願っている。