

マヨラナニュートリノの研究の思い出

西浦宏幸 (現在 大阪工業大学名誉教授、大阪大学非常勤講師)

私はマヨラナニュートリノを研究テーマの一つとして研究を続けてきた。この研究が素粒子論グループに認められて、第12回「素粒子メダル」を小谷恒之先生、高杉英一先生、土井勝先生と共同受賞した。受賞の対象になった研究は「マヨラナニュートリノのCP位相に関する研究」、対象論文は“CP violation in Majorana neutrinos” M. Doi, T. Kotani, H. Nishiura, K. Okuda and E. Takasugi, Physics Letters 102B, 323--326 (1981)である。この研究をしていた1980年頃、私は大阪大学大学院理学研究科のドクターコースの院生で、所属先の阪大教養部小谷研において、ニュートリノがディラック型かマヨラナ型のどちらであるかというニュートリノの性質の問題を調べていた。その当時、ニュートリノ質量が世界的にも興味を持たれていて、その関連でニュートリノの性質の決定について大いに興味を持っていた。ニュートリノがマヨラナ型であればニュートリノ放出を伴わない二重ベータ崩壊（ニュートリノレス二重ベータ崩壊）が起こることは古くから知られていた。しかし、ニュートリノに質量があればニュートリノ混合があるはずなので、ニュートリノ混合を考慮して現代的にUpdateしたニュートリノレス二重ベータ崩壊の理論を構築しようとしていた。その手始めとしてマヨラナ場の量子化について過去の論文を調査し基礎から勉強し始めた。小谷研では小谷先生を中心とするメンバー数人で毎週火曜日の午後に小谷先生の部屋に集まり夕方近くまで議論していた。院生の人数が少なかったのでアットホームで恵まれた環境で研究できた。このような研究環境のなかで、ニュートリノがマヨラナ型の場合には、クォークセクターの小林-益川の議論と違って、ニュートリノがディラック型の場合よりもレプトン混合行列に含まれるCP位相の数が多いことを発見した。3世代の場合には、ディラック型ニュートリノの場合では出現するCP位相が1つなのに対し、マヨラナ型ニュートリノの場合では3つの独立なCP位相が存在する。さらに、このマヨラナ型ニュートリノの場合に出現する余分なCP位相はニュートリノ振動においては観測できず、レプトン数を破るニュートリノレス二重ベータ崩壊のような過程でのみ観測可能なことがわかった。このようにして、マヨラナ型ニュートリノの関わる新たなCP対称性の破れの問題を認識するようになった。その後、ニュートリノ質量の寄与だけでなくV-Aに加えてV+A弱カレントも考慮し、さらにニュートリノレス二重ベータ崩壊で放出される電子の相対論的な取り扱いも取り入れて二重ベータ崩壊の崩壊の理論計算を進めた。その結果、特に、V-A弱カレントのみの場合でも、ニュートリノに質量があれば、ニュートリノレス二重ベータ崩壊の崩壊確率にニュートリノ質量だけでなくニュートリノ混合行列（正確にはレプトン混合行列）の中に含まれるマヨラナ固有のCP位相の寄与や混合行列要素の大きさが観測量に入りこむことがわかった。ニュートリノレス二重ベータ崩壊が実験的に見つければニュートリノがマヨラナ型であると言えるが、それだけからはニュートリノ質量の絶対値を数値的に決定するのは難しいことが分かり、ニュー

トリノレス二重ベータ崩壊以外からの情報も併せて決定する必要があるとの認識に至った。マヨラナ型ニュートリノの場合に出現する余分な CP 位相の発見に刺激されて、その後、ミューオン崩壊においてディラック型ニュートリノの場合とマヨラナ型ニュートリノの場合でどのような差異があるかという問題を調べ、マヨラナ型ニュートリノ固有の CP 位相が関与する観測量の定式化も行った。

一方、二重ベータ崩壊の理論計算を行った際、ニュートリノレス二重ベータ崩壊を起こす原子核の核行列要素の理論計算をやり残していた。実際にはその計算をしなかった（できなかった）。小谷先生から核行列要素の計算もしてみませんかと勧められたことがあったが原子核理論に疎い私には手に負えなかったので辞退したことを記憶している。この点に関しては残念であった。核行列要素の理論計算が将来精度よくできるようになることを願っている。

最後に、今回このエッセイの執筆の機会を与えてくださった素粒子論研究編集委員会に感謝します。

2023年1月29日