修士論文要旨

z展開法による核子形状因子の解析

Model-independent analysis of nucleon form factors using the z-expansion method

東北大学大学院理学研究科 物理学専攻

塚本 夏基

陽子の大きさは古くから関心を持たれている話題であり、最近ではミューオンが水素に束縛され たミューオニック水素のラムシフトより極めて高い精度で陽子の電荷半径を測ることに成功し [1]、 同時によく知られていた電荷半径とは 7σ もの齟齬が認められた。

陽子の大きさはこれまで電子陽子 (ep) 散乱や水素原子のラムシフトによって矛盾することなく 見積もられてきた。そのため 7 σ の食い違いは大きな驚きを持って迎えられ、ミューオンが絡んで いることも手伝い、g-2の問題とともに標準理論を越えた物理との関連を期待する向きもある。 しかし、特に ep 散乱ではこれまでのデータからミューオニック水素で得られた電荷半径を説明で きる可能性もまた示唆されており [2]、目下必要とされているのは既存の実験の疑う余地のない再 解析、あるいは再実験である。

ep 散乱から得られるのは形状因子と呼ばれる、"チャージ"密度をフーリエ変換した運動量移行 の関数である。電気的な形状因子は電荷密度をフーリエ変換したものに相当し、そのため運動量移 行が0の点での傾きが電荷半径(電荷分布の平均自乗半径)にそのまま対応し、これを求めること は形状因子の運動量移行に対する依存性の当てはめ問題に帰着する。だが、この当てはめ問題から 電荷半径を評価することは容易ではなく、当てはめのモデルによっても大きく揺らぐことが言及さ れている [3]。

我々は形状因子の数ある解析法の内、z 展開法 [4] に着目した。この解析法では単純な Taylor 展 開が直面する収束半径の問題が等角写像の方法により回避され、展開係数は形状因子の時間的領域 の情報により制限される。2010 年の Mainz の実験データ [5] にこの z 展開法を適用し、異なるス ペクトロメータを使用したことに起因する散乱断面積の規格化因子の不定性も考慮した合理的な 解析を行った。この実験データは 0.004GeV² ほどの小さい運動量移行も含んだ全 1422 点のデー タであり、今現在もっとも理想的なものである。結果としてはやや既存の ep 散乱によりながらも ミューオニック水素より得られた値も 1σ に入っている (図 1a)。この結果が示すことは今までの ep 散乱のデータにはこの 2 つの陽子半径の差異を評価する精度はないということである。

また、*z* 展開の方法を格子 QCD より得られた形状因子のデータ [6] に適用し、ep 散乱と同じよ うに陽子半径を求めた (図 1b) [7]。PACS Collaboration により京コンピュータを用いて計算され た [8] このデータは非常に大きい格子サイズ (~ 8fm) と、実験値に近いパイオン質量を特徴として いる。これまでパイオン質量が軽いシミュレーションが行われながらもつい最近まで実験値を再現 する結果は得られていなかったが [9]、このシミュレーションより実験値と一致する結果が得られ たのは大きな成果であり、同時期に行われている実験値に近いシミュレーション [10, 11] と比べて も特に優れた結果になっている。

この2つの結果にはモデル非依存な解析である z 展開法が重要な貢献をしている。z 展開法は電磁気の形状因子のみならず axial vector 等の他の形状因子にも容易に応用が可能であり、実験や格



図 1: 得られた結果: (a) これまでの実験値と ep 散乱データの再解析で得られた結果の比較 (b) 格 子 QCD 計算より得られた isovector の電荷半径と対応する実験値

子 QCD シミュレーションの双方で必要とされる解析法であると考える。

参考文献

- [1] R. Pohl et al., Nature 466, 213 (2010).
- [2] I. T. Lorenz, U.-G. Meiner, H. W. Hammer, and Y. B. Dong, Phys. Rev. D91, 014023 (2015), 1411.1704.
- [3] E. Kraus, K. E. Mesick, A. White, R. Gilman, and S. Strauch, Phys. Rev. C90, 045206 (2014), 1405.4735.
- [4] R. J. Hill and G. Paz, Phys. Rev. D82, 113005 (2010), 1008.4619.
- [5] J. C. Bernauer, Measurement of the elastic electron-proton cross section and separation of the electric and magnetic form factor in the Q² range from 0.004 to 1 (GeV/c)², PhD thesis, Johannes Gutenberg-Universitt, Mainz, 2010.
- [6] PACS, T. Yamazaki, PoS LATTICE2015, 081 (2016), 1511.09179.
- [7] PACS, K.-I. Ishikawa et al., PoS LATTICE2016, 158 (2017).
- [8] PACS, K. I. Ishikawa et al., PoS LATTICE2015, 075 (2016), 1511.09222.
- [9] M. Constantinou, PoS LATTICE2014, 001 (2015), 1411.0078.
- [10] D. Djukanovic et al., PoS LATTICE2016, 167 (2017), 1611.07918.
- [11] Y.-C. Jang, T. Bhattacharya, R. Gupta, B. Yoon, and H.-W. Lin, PoS LATTICE2016, 178 (2017).