

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成19年度採択分

平成22年4月27日現在

研究課題名（和文）

光子ビームによるクォーク核物理の研究

研究課題名（英文）

Quark Nuclear Physics with a Photon Beam

研究代表者

清水 肇 (SHIMIZU Hajime)

東北大学・電子光物理学研究センター・教授



研究の概要： 光子ビームを用いたクォーク核物理の研究を推進する。特に、重水素を標的とする  $\eta$  メソン光生成反応の全断面積に現れた幅の狭いバリオン共鳴の素性を明らかにすることを目指す。これらの目的達成のため、全立体角を覆う電磁カロリメータ FOREST を建設し、データ収集・解析を行う。これらの経験を踏まえ、次期電磁カロリメータ BGOegg を建設する。

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード： クォーク核物理、カイラル対称性、ペンタクォークバリオン

### 1. 研究開始当初の背景

私たちは、SPRING-8/LEPS で発見した5つのクォークで構成されるペンタクォークバリオン  $\Theta^+$  とは別のペンタクォークバリオンの候補を東北大学電子光物理学研究センター（旧核理研）の実験で見つけた。それは、ストレンジネスを露わに含まない幅の狭いバリオン共鳴  $N^*(1670)$  である。

### 2. 研究の目的

光子ビームを用いて幅の狭いバリオン共鳴  $N^*(1670)$  の素性を明らかにし、ペンタクォークバリオンに関する研究を深めると共に、光子ビームによる特徴的なクォーク核物理の研究を推し進め、原子核を形成するクォークの謎に迫る。

### 3. 研究の方法

まず、既存の検出器を組み合わせで大立体角電磁カロリメータ FOREST を建設し、これを用いて、バリオン共鳴  $N^*(1670)$  の崩壊によって放出される  $\eta$  メソンの測定を行う。このメソン光生成反応実験の使用に耐える固体/液体水素・重水素標的を新たに開発する。 $N^*(1670)$  は、 $\pi^0$  と結合すると予想されるので、 $\pi$  チャンネルのデータもとる。これらのチャンネルでは、これまで複数の  $\pi^0$  によるバックグラウンドが大きな問題となっていた。FOREST のエネルギー分解能は良くはないが全立体角を覆っているので、 $\pi^0$  及び  $\eta$  チャンネルのデータはこれまでとは比べものにならない程 S/N 比がよくなる見通しである。又、重水素のみならず

水素標的を用いて  $\eta$  メソン光生成反応の詳細なデータを取り、このバリオン共鳴と陽子との結合の強さについても調べる。

次に FOREST の経験を踏まえ、次期電磁カロリメータ BGOegg を導入し、エネルギー分解能、及び立体角の向上を図り、これまでにない精密なクォーク核物理の研究を推進する。

### 4. これまでの成果

(1) 図1は FOREST の全体像で、附属の検出器も含めこれは予定通り完成している。



図1 完全装備した FOREST

(2) 固体/液体水素・重水素標的の開発は、数々の困難を乗り越えて達成された。最終的には、長さ 1m 外径 65mmφ の純アルミパイプを手作りし、これにより冷凍機から約 1m 離れた標的点で 4.7K を達成し、径 61mmφ、厚さ 40mm の安定した固体/液体水素・重水素標的を実現した。

〔4. これまでの成果 (続き)〕

(3) FOREST 用に新たにデータ収集 (DAQ) システムを開発した。FOREST の建設は段階的に行われるので、そのような状況下で柔軟に対応する DAQ システムの構築が必要であった。そのために、DAQ システムをネットワーク分散型とした。データ収集、データ構築、データの記録をネットワーク上に分散した複数のプロセスで並行的に行うシステムである。このことにより、収集するデータ量が増加しても複数のサブシステムを用意することができ、又、サブシステムの追加が容易で DAQ システム全体に大幅な変更を加える必要がなく、検出器の建設状況に応じて柔軟に対応することが可能となった。目下のところ、1 事象当たり平均 2.6 kByte のデータに対して、データ収集速度が 2kHz のとき、データ収集効率は 76% である。

(4) 平成 22 年度より、本格的データ解析モードに突入している。現在までに得られたデータは、水素、重水素標的に対してそれぞれ約  $2 \times 10^9$  イベントである。図 2 は、2つの  $\gamma$  線のみが FOREST で検出された場合の  $2\gamma$  不変質量分布である。ここでは欠損質量が陽子に対応する事象を選んでいる。

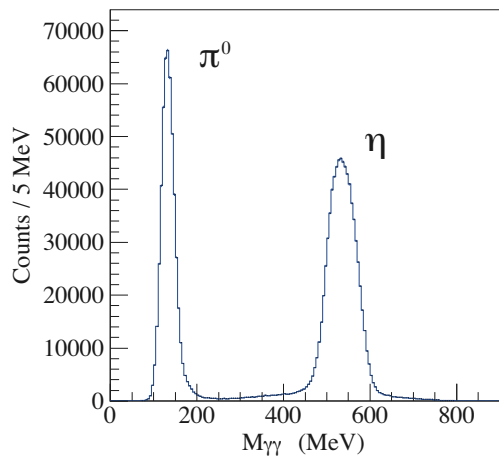


図 2  $2\gamma$  不変質量分布

$\pi^0$  と  $\eta$  の間のバックグラウンドは著しく減少している。なお、このデータ解析モードに入る前年度までは、その時点のデータを用いて電磁カロリメータのエネルギー校正や位置決定関数を決める作業を行ってきた。あらゆる準備研究は、「解析ノート」に随時まとめられている。今日までに積み上げられた解析ノートは、No. 170 を数え、10 編ずつ適宜印刷製本して誰もが使えるようになっている。現時点で、No.149 までの 15 冊が製本されている。

5. 今後の計画

(1) 現在の FOREST-DAQ では、1 日に検出される  $\eta$  メソンの総数は水素標的の場合約 40,000 事象である。この大量のデータを用いて角分布を導出し、 $N^*$  のスピン・パリティを決定することを目指す。

(2) ペンタクォークバリオンの特徴に照らして、FOREST を駆使して様々なチャンネルを調べる。

(3) SPring-8/LEPS に BGOegg を組み上げ、 $N^*$  のパートナーを探索する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

(1) T. Ishikawa,

$\eta$  photo-production on the deuteron at LNS, Tohoku University, Proceedings of the Sendai International Symposium on Strangeness in Nuclear and Hadronic Systems (2009) 101-107.

(2) N. Muramatsu, H. Fujimura,

T. Ishikawa, H. Shimizu et al., Near-Threshold Photoproduction of  $\Lambda(1520)$  from Protons and Deuterons, Phys. Rev. Lett. 103 (2009) 012001.

(3) F. Miyahara, T. Ishikawa, J. Kasagi,

H. Shimizu, H. Yamazaki et al.,  $\pi^0$  photoproduction on the deuteron for photon energies from 0.58 to 1.15 GeV, Nucl. Phys. Rev. 26 Suppl. (2009) 104-108.

(4) K. Suzuki, H. Fujimura, T. Ishikawa, J. Kasagi, H. Shimizu, H. Yamazaki et al., EM calorimeter complex FOREST for  $\pi^0$  and  $\eta$  photo-production experiments at LNS Sendai, Modern. Phys. Lett. A24 (2009) 978-981.

(5) K. Hicks, H. Fujimura, T. Ishikawa,

H. Shimizu et al., Cross Sections and Beam Asymmetry for  $K^+\Sigma^{*-}$  Photoproduction from the Deuteron at  $E_\gamma=1.5-2.4$  GeV, Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 012501.

(6) H. Shimizu, T. Ishikawa, J. Kasagi,

H. Yamazaki et al.,  $N^*(1670)$  observed at LNS, Sendai, 11th Workshop on the physics of excited nucleons (NSTAR2007), Proceedings: SIF and Springer-Verlag (2008) pp.65-69.

ホームページ等

<http://www.lns.tohoku.ac.jp/research/index.htm>