

平成 22 年 11 月 21 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：平成 17 年～平成 21 年

課題番号：17070004

研究課題名（和文） 大強度光子ビームを用いたエキゾチックバリオンの研究

研究課題名（英文） Study of Exotic Baryon with High Intensity Photon Beam

研究代表者

中野 貴志 (NAKANO TAKASHI)

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号：80212091

研究成果の概要（和文）：シータ粒子は、SPring-8 のレーザー電子光ビームを原子核に照射した実験で初めて実験的に存在の可能性が示されたペンタクォーク粒子である。本研究では、レーザー電子光ビームと重陽子標的を用いたシータ粒子探索実験を行った。新たに開発したシータ粒子の質量測定に対するフェルミ運動の効果を削減する方法を編み出し、シータ粒子の存在を示す肯定的な結果を論文にまとめ Physical Review C 誌上に発表した。

研究成果の概要（英文）：We, the LEPS collaboration, first reported the evidence for the Θ^+ pentaquark production from a nuclear target by using Laser-Electron Photon beam. To confirm the existence of the Θ^+ , we carried out further experiments with a deuterium target. By correcting the Fermi motion effect, the Θ^+ peak was seen in the mass spectrum and reported on Physical Review C.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	71,400,000	0	71,400,000
2006年度	63,900,000	0	63,900,000
2007年度	39,800,000	0	39,800,000
2008年度	49,000,000	0	49,000,000
2009年度	12,800,000	0	12,800,000
総計	236,900,000	0	236,900,000

研究分野：ハドロン物理学

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：シータ粒子、ファイ中間子、ペンタクォーク、レーザー電子光ビーム

1. 研究開始当初の背景

シータ粒子は、SPring-8 のレーザー電子光ビームを原子核に照射した実験で世界初めて実験的に存在の可能性が示された 5 クォーク粒子である。2002 年の SPring-8 での観測に引き続き、アメリカの Jlab、ロシアの ITEP、ドイツの DESY 研究所等の 10 近くの研究グループからシータ粒子の存在をサポートする

結果が発表された。しかし、2004 年になって、主に高エネルギー領域での高統計実験で、シータ粒子の生成が確認出来ないという報告が相次いだ。混沌とした状況を打開するため、高統計の再実験が行われることが世界のハドロン物理学者にのぞまれていた。

2. 研究の目的

(1) 大強度レーザー電子光ビームを用いた高統計のシータ粒子探索実験を行い、シータ粒子が実在するのであれば、その存在を実験的に確立する。

(2) 実在が確認された場合は、理論グループと協力してシータ粒子生成の反応機構を解明し、スピンやパリティをはじめとするシータ粒子の性質について新たな知見を得ることである。

(3) シータ粒子生成反応と関係が深いと考えられる、他のストレンジ・反ストレンジクォークを含んだバリオンやメソンの光生成反応を測定し、その反応機構を理解する。

3. 研究の方法

(1) レーザーの同時並行入射によりレーザー電子光ビームの強度を改善することにより高統計のシータ粒子探索実験が可能になるようにする。

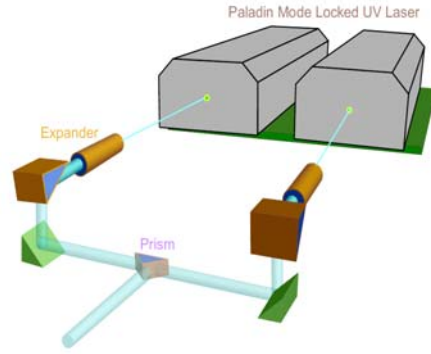
(2) 検出器系の測定可能範囲を改善することにより、統計量を改善するとともに、様々な反応過程でシータ粒子探索が出来るようにする。

(3) 重陽子中の中性子が動いている影響（フェルミ運動）を取り除き、シータ粒子の質量を測定する際の分解能を向上させる。

4. 研究成果

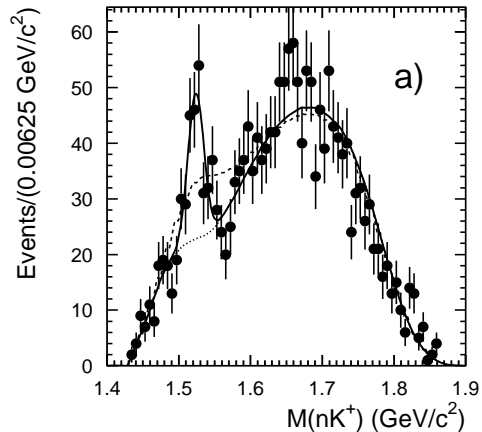
(1) レーザー電子光ビーム強度の改善

シータ粒子の探索など反応断面積が比較的小さい物理モードの解析を行なうには、ビーム強度の増加が必要である。レーザー光源としてコヒーレント社製のモードロック・レーザー「Paladin」を2台導入した。固体レーザー出力を三次高調波結晶に通すことにより、波長は355 nm になっている。80 MHz のパルス・レーザーで、2レーザー入射による干渉効果を避けている。レーザーの出力は、波長板を通して偏光の制御をした後、28倍または12倍のビーム・エキスパンダー（望遠鏡）を通してビーム径を拡大し、36 m 先の電子蓄積リング直線部で集光している。光軸の制御は、平行移動が可能のように2枚の鏡を使って行ない、ステッピング・モーターで動作させている。これらの光学系は2台のレーザーそれぞれに対して整備し、最終的に直角プリズムの2側面で反射させて、両光軸が電子蓄積リングへ向かうようにしている。光軸調整をできるだけ2つに分けることにより、36 m 先での電子ビームとの衝突点を探しやすくした。レーザーの2台同時入射により、 2×10^6 個/秒の強度のレーザー電子光ビームが得られるようになった。



(2) シータ粒子の研究

シータ粒子の存在を検証するため重陽子を標的とする再実験を2002-2003年と、2006-2007年の2回にわけて行なった。新たに開発したフェルミ運動の効果を1/2以下に減少させる補正を用いて、2002-2003年データの解析を行い、シータ粒子生成を強く示唆する実験結果が得られ論文に発表した。現在も進行中の2006-2007年データの解析では、シータ粒子生成のより強固な証拠を得るため、解析に人為的なバイアスがかかり難い blind analysis という手法を用いている。



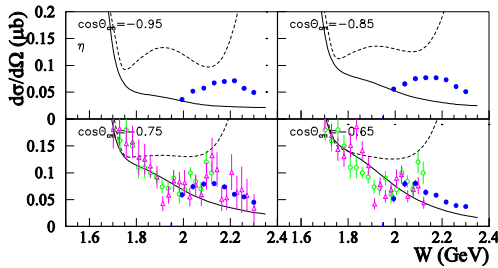
(3) ラムダ(1520)粒子の研究

シータ粒子の研究のために取得されたデータは、他の励起バリオンの研究のためにも有効である。特にストレンジネスが+1のシータ粒子と質量がほぼ同じでストレンジネスが-1のラムダ(1520)粒子については水素を標的とする実験と重水素を標的とする実験の比較を行い、陽子からのラムダ(1520)生成が中性子からの生成よりも遙かに大きいということがわかった。ラムダ(1520)光生成における強いアイソスピン依存性は、陽子を標的とする光生成実験でシータ粒子の生成率が小さいことと理論的に関連づけられており、

シータ粒子を取り巻く混沌とした状況を打開する鍵となる可能性がある。

(4) イータ粒子の研究

水素（陽子）を標的とした実験で、前方に散乱された陽子の運動量を精密に測定することで、質量欠損法により後方に生成された中間子の質量を同定することができる。この方法でアイソスピンがゼロでストレンジ・反ストレンジクォーク成分を多く含むイータ中間子の超後方での生成微分断面積のエネルギー依存性を調べた。入射ビームエネルギーが2.2 GeVを超える領域で、特異なバンプ構造が見られた。既存の理論モデルでは説明できずストレンジ・反ストレンジクォーク成分を含む新たなバリオン共鳴(N*)があることを示す興味深い結果が得られた。



(4) ファイ中間子の研究

ファイ中間子光生成では、2 GeV を超える領域で、微分断面積の急激な増加が見られるが、その原因は未だ解明されていない。水素を標的とする実験と重水素を標的とする実験を比較することにより、アイソスピン対称性が良く成り立っている（陽子からの生成率と中性子からの生成率に差がない）ことが明らかになり、微分断面積の増加が中間子交換によるものではないことが示された。多重グルーオン (0⁺グルーボール) 交換のようなエキゾチックな反応過程の可能性が残っている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. ‘Measurement of spin-density matrix elements for ϕ -meson photoproduction from protons and deuterons near threshold’, W. C. Chang, D. S. Ahn, J. K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, S. Daté, H. Ejiri, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Fukui, S. Hasegawa, K. Hicks,

K. Horie, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, K. Kino, H. Kohri, N. Kumagai, P. J. Lin, S. Makino, T. Matsuda, T. Matsumura, N. Matsuoka, T. Mibe, M. Miyabe, Y. Miyachi, N.

Muramatsu, T. Nakano, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D. S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, P. M. Shagin, Y. Shiino, H. Shimizu, Y. Sugaya, M. Sumihama, Y. Toi, H. Toyokawa, M. Uchida, A. Wakai, C. W. Wang, S. C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R. G. T. Zegers, Phys. Rev. C 82, 015205 (2010).

2. ‘Near-Threshold $\Lambda(1520)$ Production by the $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda(1520)$ Reaction at Forward K^+ Angles’, H. Kohri, D. S. Ahn, J. K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, W. C. Chang, S. Daté, H. Ejiri, S. Fukui, H. Fujimura, M.

Fujiwara, S. Hasegawa, K. Hicks, A. Hosaka, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, H. Kawai, Z. Y. Kim, K. Kino, N. Kumagai, S. Makino, T. Matsuda, T. Matsumura, N. Matsuoka, T. Mibe, M. Miyabe, Y. Miyachi, M. Morita, N. Muramatsu, T. Nakano, S. i. Nam, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D. S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, T. Sasaki, P. M. Shagin, Y. Shiino, A. Shimizu, H. Shimizu, Y. Sugaya, M. Sumihama, A. I. Titov, Y. Toi, H. Toyokawa, A. Wakai, C. W. Wang, S. C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R. G. T. Zegers, Phys. Rev. Lett. 104, 172001 (2010).

3. ‘Measurement of the incoherent $\gamma d \rightarrow \phi p n$ photoproduction near threshold’, W. C. Chang, M. Miyabe, T. Nakano, D. S. Ahn, J. K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, S. Daté, H.

Ejiri, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Fukui, H. Hasegawa, K. Hicks, K. Horie, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, K. Kino, H. Kohri, N. Kumagai, S. Makino, T. Matsuda, T. Matsumura, N. Matsuoka, T. Mibe, Y. Miyachi, N. Muramatsu, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D.S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, P.M. Shagin, Y. Shiino, H. Shimizu, Y. Sugaya, M. Sumihama, Y. Toi, H. Toyokawa, M. Uchida, A. Wakai, C.W. Wang, S.C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R.G.T. Zegers, Phys. Lett. B684, 6 (2010).

4. ‘Backward-angle η photoproduction from protons at $E_\gamma=1.6-2.4$ GeV’, M. Sumihama, D. S. Ahn, J. K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, W. C. Chang, S. Daté, H. Ejiri, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Fukui, S. Hasegawa, K. Hicks, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, K. Kino, H. Kohri, N. Kumagai, T. Matsuda, T. Matsumura, T. Mibe, M. Miyabe, N. Muramatsu, T. Nakano, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D. S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, P. M. Shagin, Y. Shiino, A. Shimizu, H. Shimizu, Y. Sugaya, Y. Toi, H. Toyokawa, A. Wakai, C. W. Wang, S. C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R. G. T. Zegers, Phys. Rev. C 80, 052201(R) (2009).

5. ‘Near-threshold photoproduction of $\Lambda(1520)$ from protons and deuterons’, N. Muramatsu, J.Y. Chen, W.C. Chang, D.S. Ahn, J.K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, S. Date, H. Ejiri, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Fukui, S. Hasegawa, K. Hicks, K. Horie, T.

Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, K. Kino, H. Kohri, N. Kumagai, S. Makino, T. Matsuda, T. Matsumura, N. Matsuoka, T. Mibe, M. Miyabe, Y. Miyachi, T. Nakano, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D.S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, P.M. Shagin, Y. Shiino, H. Shimizu, Y. Sugaya, M. Sumihama, Y. Toi, H. Toyokawa, A. Wakai, C.W. Wang, S.C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R.G.T. Zegers, Phys. Rev. Lett. 103, 012001 (2009).

6. ‘Evidence for the Θ^+ in the $\gamma d \rightarrow K^+ K^- p n$ reaction by detecting $K^+ K^-$ pairs’, T. Nakano, N. Muramatsu, D.S. Ahn, J.K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, W.C. Chang, S. Date, H. Ejiri, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Fukui, S. Hasegawa, K. Hicks, K. Horie, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, Z.Y. Kim, K. Kino, H. Kohri, N. Kumagai, S. Makino, T. Matsuda, N. Matsuoka, T. Matsumura, T. Mibe, M. Miyabe, Y. Miyachi, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D.S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, P.M. Shagin, Y. Shiino, A. Shimizu, H. Shimizu, Y. Sugaya, M. Sumihama, Y. Toi, H. Toyokawa, A. Wakai, C.W. Wang, S.C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R.G.T. Zegers, Phys. Rev. C 79, 025210 (2009).

7. ‘Cross sections and beam asymmetry for $K^+ \Sigma^*$ photoproduction from the deuteron at $E_\gamma=1.5-2.4$ GeV’, K. Hicks, D. Keller, H. Kohri, D.S. Ahn, J.K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, W.C. Chang, S. Date, H. Ejiri, S. Fukui, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Hasegawa, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa,

T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, Z.Y. Kim, K. Kino, N. Kumagai, S. Makino, T. Matsuda, T. Matsumura, N. Matsuoka, T. Mibe, M. Miyabe, Y. Miyachi, M. Morita, N. Muramatsu, T. Nakano, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Oh, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, J. Parker, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, T. Sasaki, P.M. Shagin, Y. Shiino, A. Shimizu, H. Shimizu, Y. Sugaya, M. Sumihama, Y. Toi, H. Toyokawa, A. Wakai, C.W. Wang, S.C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R.G.T. Zegers, Phys. Rev. Lett. 102, 012501 (2009).

8. ‘Photoproduction of $\Lambda(1405)$ and $\Sigma^0(1385)$ on the proton at $E_\gamma=1.5-2.4$ GeV’, M. Niiyama, H. Fujimura, D. S. Ahn, J. K. Ahn, S. Ajimura, H. C. Bharg, T. H. Chang, W. C. Chang, J. Y. Chen, S. Daté, S. Fukui, H. Funahashi, K. Hicks, K. Horie, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, Y. Kato, K. Kino, H. Kohri, S. Makino, T. Matsumura, T. Mibe, K. Miwa, M. Miyabe, N. Muramatsu, M. Nakamura, T. Nakano, Y. Nakatsugawa, Y. Ohashi, D. S. Oshuev, J. D. Parker, N. Saito, T. Sawada, Y. Sugaya, M. Sumihama, J. L. Tang, M. Uchida, C. W. Wang, T. Yorita, and M. Yosoi, Phys. Rev. C 78, 035202 (2008).

9. ‘Forward coherent ϕ -meson photoproduction from deuterons near threshold’, W.C. Chang, K. Horie, S. Shimizu, M. Miyabe, D.S. Ahn, J.K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, S. Date, H. Ejiri, S. Fukui, H. Fujimura, M. Fujiwara, S. Hasegawa, K. Hicks, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, Y. Kato, H. Kawai, Z.Y. Kim, K. Kino, H. Kohri, N. Kumagai, P.J.

Lin, S. Makino, T. Matsuda, T. Matsumura, N. Matsuoka, T. Mibe, Y. Miyachi, M. Morita, N. Muramatsu, T. Nakano, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D.S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, T. Sasaki, P.M. Shagin, Y. Shiino, A. Shimizu, H. Shimizu, Y. Sugaya, M. Sumihama, Y. Toi, H. Toyokawa, A. Wakai, C.W. Wang, S.C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yoshimura, M. Yosoi, R.G.T. Zegers, Phys. Lett. B 658, 209 (2008).

10. ‘Backward-angle photoproduction of π^0 mesons on the proton at $E_\gamma = 1.5-2.4$ GeV’, M. Sumihama, J.K. Ahn, H. Akimune, Y. Asano, W.C. Chang, S. Daté, H. Ejiri, H. Fujimura, M. Fujiwara, K. Hicks, T. Hotta, K. Imai, T. Ishikawa, T. Iwata, H. Kawai, Z.Y. Kim, K. Kino, H. Kohri, N. Kumagai, S. Makino, T. Matsumura, N. Matsuoka, T. Mibe, M. Miyabe, Y. Miyachi, M. Morita, N. Muramatsu, T. Nakano, M. Niiyama, M. Nomachi, Y. Ohashi, H. Ohkuma, T. Ooba, D.S. Oshuev, C. Rangacharyulu, A. Sakaguchi, T. Sato, P.M. Shagin, Y. Shiino, H. Shimizu, Y. Sugaya, H. Toyokawa, A. Wakai, C.W. Wang, S.C. Wang, K. Yonehara, T. Yorita, M. Yosoi, R.G.T. Zegers, Phys. Lett. B 657, 32 (2007).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中野 貴志 (NAKANO TAKSHI)
大阪大学・核物理研究センター・教授
研究者番号：80212091

(2) 研究分担者

藤原 守 (FUJIWARA MAMORU)
大阪大学・核物理研究センター・准教授
研究者番号：00030031

清水 肇 (SHIMIZU HAJIME)
東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：20178982

堀田 智明 (HOTTA TOMOAKI)
大阪大学・核物理研究センター・助教
研究者番号：30332745

村松 憲仁 (MURAMATSU NORIHITO)
大阪大学・核物理研究センター・特任助教
研究者番号：40397766

與曾井 優 (YOSOI MASARU)
大阪大学・核物理研究センター・准教授
研究者番号：80183995

味村 周平 (AJIMURA SHUHEI)
大阪大学・核物理研究センター・准教授
研究者番号：10273575

(3)連携研究者

なし