

Title	偏極HD標的を用いた核子中のストレンジネスの研究
Author(s)	郡, 英輝
Citation	大阪大学低温センターだより. 146 p.3-p.6
Issue Date	2009-04
oaire:version	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/8460
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

偏極HD標的を用いた核子中の ストレンジネスの研究

核物理研究センター 郡 英輝 (内線8861 or 8932)

1. はじめに

自然界の物質は原子からできており、その中心部分には原子の大部分の質量を担っている原子核が存在する。その原子核は、核子（陽子や中性子）から構成されている。さらに細かく核子の中を見ると、陽子は u クォーク 2 個と d クォーク 1 個から成り、中性子は u クォーク 1 個と d クォーク 2 個から成る。表 1 に示しているのは、これまでに発見されている 6 種類のクォークであり、自然界に存在するのは、 u と d クォークの 2 種類ということになる。

Charge \ Generation	1	2	3
+ 2/3e	u	c	t
- 1/3e	d	s	b

Charge \ Generation	1	2	3
- 2/3e	\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
+ 1/3e	\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}

表 1：これまでに発見されている 6 つのクォーク（左）とその反粒子クォーク（右）。クォークにはそれぞれに対応する反粒子クォークが存在する。

ところが近年の様々な研究から、核子は隠れた構造として $s\bar{s}$ クォーク対を内部に含んでいると考えられる。例えば、偏極 μ 粒子と偏極陽子標的を用いた深非弾性散乱実験の結果では、 $s\bar{s}$ クォーク対の持つスピンの量は、 u 、 d クォークの持つスピンの量に匹敵することを示した^[1]。また、 $\bar{p}p \rightarrow \phi X$ 実験の結果は、Okubo-Zweig-Iizuka (OZI) ルールが大きく破れていることを示し、陽子中に s クォークが存在していることを示唆した^[2]。

1990年代からこうした理解が有力であったが、2007年にアメリカのジェファーソン研究所が発表した実験結果によって、大きく状況がかわってきた。電子と核子の弾性散乱によるパリティの破れの非対称度の高精度測定の結果では、核子の内部には s クォークの寄与はほとんど存在しないという驚きの内容だった^[3]。また、ドイツの HERMES グループによる新しい semi-inclusive 深非弾性散乱の結果では、核子スピンに対する s クォークの寄与はほとんどゼロだった^[4]。図 1 に示すように、はたして核子の真の姿はどうなっているのだろうか？

2. 計画している実験

我々は、SPring-8の偏光光子ビームと偏極核子標的を用いて、核子の真の姿を知るために新しい実験ができることを思いついた。

我々は、兵庫県西播磨の大型放射光施設SPring-8を用いて、素粒子・原子核実験を行うために、図2のようなビームラインを建設した(BL33LEP)^[5, 6]。この実験施設では、最高エネルギー2.4 GeVの偏光光子ビームが $10^6 / \text{s}$ の強度で作られている。ビームのエネルギーが高くなると、光子の波長が短くなり微小の世界を見ることが出来る。

図3のように、円偏光光子ビームを用いて、陽子中の $s\bar{s}$ クォーク対成分をknockoutして、 ϕ 中間子として検出する。 ϕ 中間子はピュアな $s\bar{s}$ クォーク対から成り、2つのK中間子へ崩壊する。光子ビームの偏光の方向と標的の偏極の方向を変えて、偏極方向が平行の時($\sigma(\rightarrow)$)と反平行($\sigma(\leftarrow)$)の時の生成断面積の非対称度を測定することによって、核子中の $s\bar{s}$ クォーク対成分を調査する。非対称度(C^{BT})は式1のように表される。

$$C^{BT} = (\sigma(\leftarrow) - \sigma(\rightarrow)) / (\sigma(\leftarrow) + \sigma(\rightarrow)) \dots\dots\dots (1)$$

この反応の ϕ 中間子生成非対称度は、核子中の $s\bar{s}$ クォーク対成分に非常に敏感で、たった1%の成分が存在しただけでも、大きな非対称度として測定できる^[7]。また、これと同様の実験を重水素が偏極したHD標的に対しても行い、中性子中の $s\bar{s}$ クォーク対成分を調査する。

陽子の内部構造は？

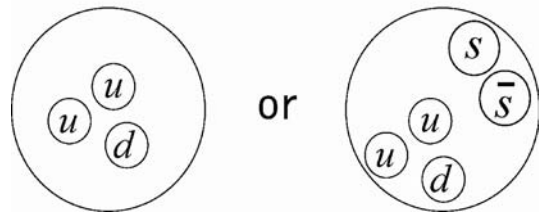


図1：陽子の内部構造は3クォーク状態？ それとも5クォークの成分を含んでいる？

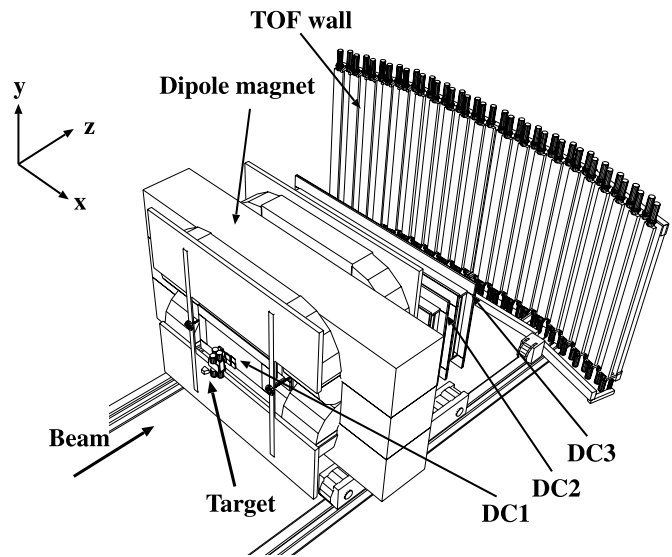


図2：SPring-8の実験ビームライン (BL33LEP)

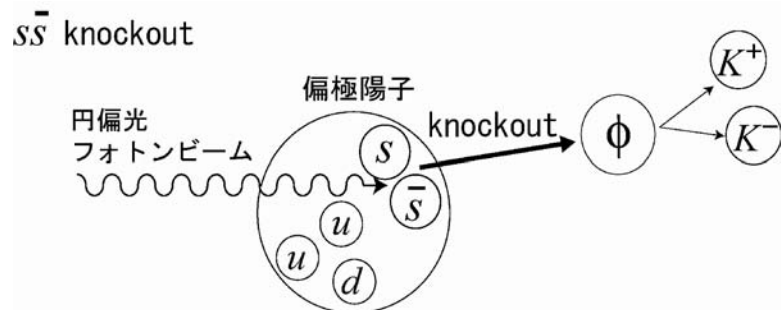


図3. 陽子中の $s\bar{s}$ クォーク対成分をノックアウトして、 ϕ 中間子として検出する反応。

3. 実験の準備

SPring-8の偏極フォトンビームは既に準備が整っているため、現在は主に偏極核子標的の開発を行っている^[8, 9, 10, 11]。我々は、偏極核子標的として偏極HD標的を選択した。偏極HD標的とは、水素(H)と重水素(D)が分子を作っているHDを高磁場(17 Tesla)と極低温(10 mK)に置き、静的な方法で2-3ヶ月かけて偏極凍結させるタイプの核子標的である。我々の計画よりも数年早く、アメリカのBNLとフランスのESRFの実験グループが開発を開始しており、改良点はいくつか残しているが既に実験に使用できている状態である。

図4に示すように、17 Teslaの磁場と10 mKの温度の場合、偏極度は陽子に対して90%で、その偏極を重陽子に移すことが可能で、重陽子に対して60%の偏極度を得ることができる。SPring-8での実験中に、標的を1 Teslaの磁場と200 mKの低温で保存することにより、偏極持続時間は1年程度が可能である。通常SPring-8で行う素粒子・原子核実験は1年以内に終了するので、この偏極持続時間はデータ収集には十分な長さである。

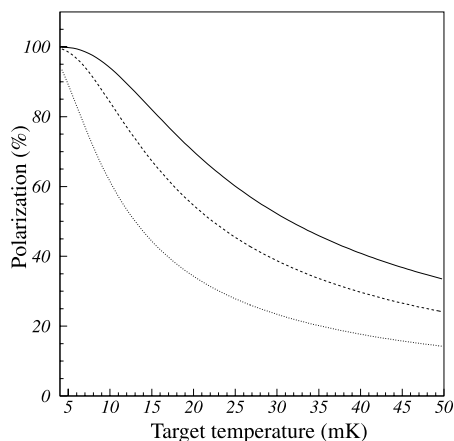


図4：静的な方法で得られる陽子の偏極度。Solid curve：17 Teslaの場合。Dashed curve：12 Teslaの場合。Dotted curve：7 Teslaの場合。

図5は、核物理研究センターで初めに偏極を凍結させるために使用する希釈冷凍機である。図6は、HD標的周辺を拡大している。この希釈冷凍機はオランダのLeiden Cryogenics社製で、平成17年度に導入した。最低到達温度は6 mKで、冷却能力は120 mKにおいて2500 μ Wである。

希釈冷凍機の運転にかかる液体ヘリウムの消費量は、1日あたり約24リットルである。1度HD標的を偏極凍結させるのに必要な液体ヘリウムの量は、初めの冷却に必要な量と2-3ヶ月の運転に

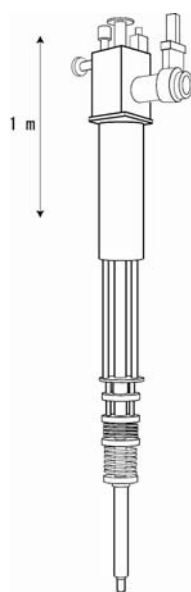


図5：Leiden Cryogenics社製希釈冷凍機

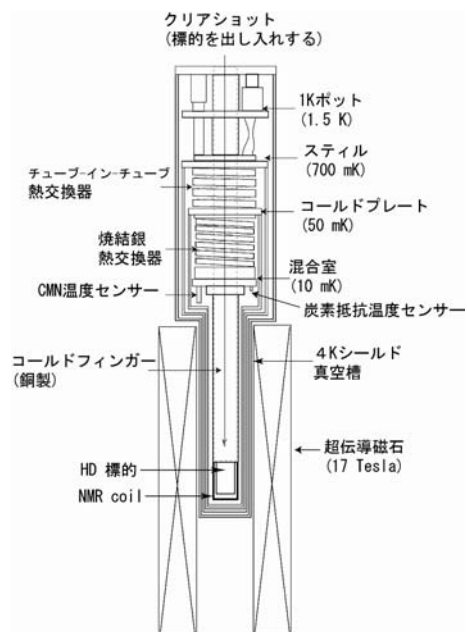


図6：HD標的周辺の拡大図

必要な量を加えて約2000リットルである。HD標的を偏極させる超電導磁石は日本のJASTEC社製であり、最高磁場強度17 Teslaにおいて永久電流モードで運転する。希釈冷凍機にはクリアショットと呼ばれるφ65 mmの穴が空いていて、偏極HD標的は偏極を保持したままHD標的引き抜き装置によって他の冷凍機に移動できる。

4 . 現在の状況と今後の計画

我々は平成20年8月に、1ヶ月の期間にわたって初めてHD標的を偏極凍結させる試みを行い、HD標的の偏極凍結を確認した。しかし、偏極は数日しか持続しなかった。原因は、HDの純度を十分高く（99.99%）まで高めることができなかった事と、約2－3ヶ月必要な偏極を凍結させる時間が1ヶ月と短かった事である。今後は、HDの純度を向上させる蒸留器の改良を行ない、偏極度を正しく測定するためのNMR装置の開発を行う。平成21年度中には偏極HD標的の開発は終了し、SPring-8での素粒子・原子核実験の準備にとりかかる予定である。

参考文献

- [1] J. Ashman *et al.* Nuclear Physics B328 (1989) 1.
- [2] J. Reifenrother *et al.* Nuclear Physics B267 (1991) 299.
- [3] A. Acha *et al.* Physical Review Letters 98 (2007) 032301.
- [4] A. Airapetian *et al.* Physical Review Letters 92 (2004) 012005.
- [5] T. Nakano *et al.* Nuclear Physics A684 (2001) 71.
- [6] H. Kohri *et al.* Physical Review Letters 97 (2006) 082003.
- [7] A.I. Titov *et al.* Physical Review Letters 79 (1997) 1634.
- [8] M. Fujiwara *et al.* Photoproduction experiment with polarized HD target at SPring-8, LEPS/RCNP proposal (2003).
- [9] H. Kohri *et al.* Annual Report of RCNP (2005) 16.
- [10] T. Ohta *et al.* Annual Report of RCNP (2006) 19.
- [11] C. Morisaki *et al.* Annual Report of RCNP (2007) 12.