

核子構造WG 第2回オープンミーティング

@理研東京連絡事務所

2010年12月21日(火)

これまでの理解と現状

陽子衝突実験

- 偏極陽子衝突実験

- 陽子散乱による核子構造の研究は、歴史的に核子の構造、相互作用の理解に重要な役割を果たして来たが、ここで行われてきたのは主に非偏極の実験であった。偏極実験は、より詳しい理解を得るために必要であるが、これまで技術的困難からできなかった。しかし近年、偏極ビーム、偏極ターゲットの進歩により、BNLのRHIC実験においては偏極陽子衝突実験が行われ、核子の偏極構造に対して新たな知識が得られるようになった。
- 核子スピンに対するグルーオンのスピンからの寄与は、パイ中間子やジェットなどの A_{LL} 測定により調べられる(図1)。実験の感度のある x_{Bj} 領域において、グルーオンスピンからの寄与の大きさに制限がかけられてきている。

陽子衝突実験

- 偏極陽子衝突実験

- フレーバー毎のクォーク、反クォークのスピンの寄与は、Wボソンの A_L 測定により調べられる。2010年、最初の測定が行われた(図2)。2011年より本格的データ収集が開始される。
- 前方の粒子生成に対する大きな横スピン非対称度 A_N がFNAL-E704実験やRHIC実験により測定されている(図3)。Sivers効果、Collins効果、Higher-twist効果等による説明がなされているが、これらの効果の寄与を分離して理解する必要がある。

陽子衝突実験

図1

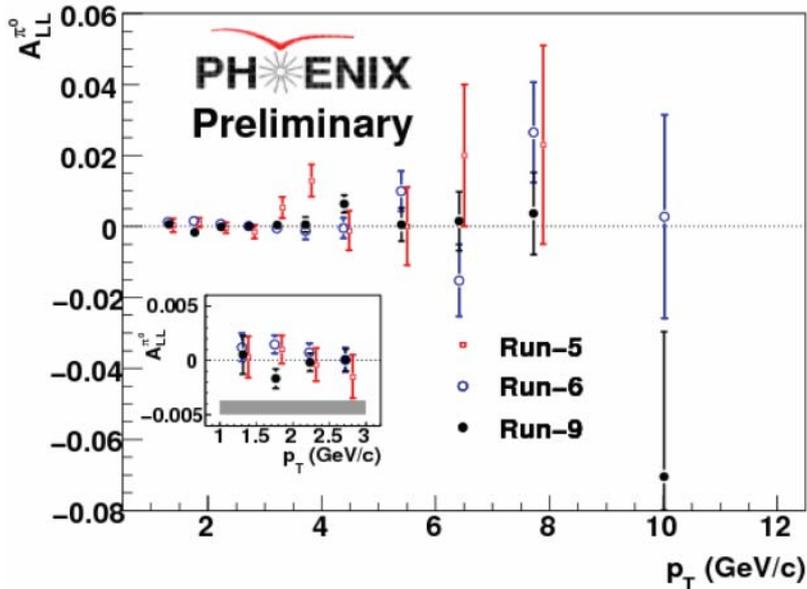


図2

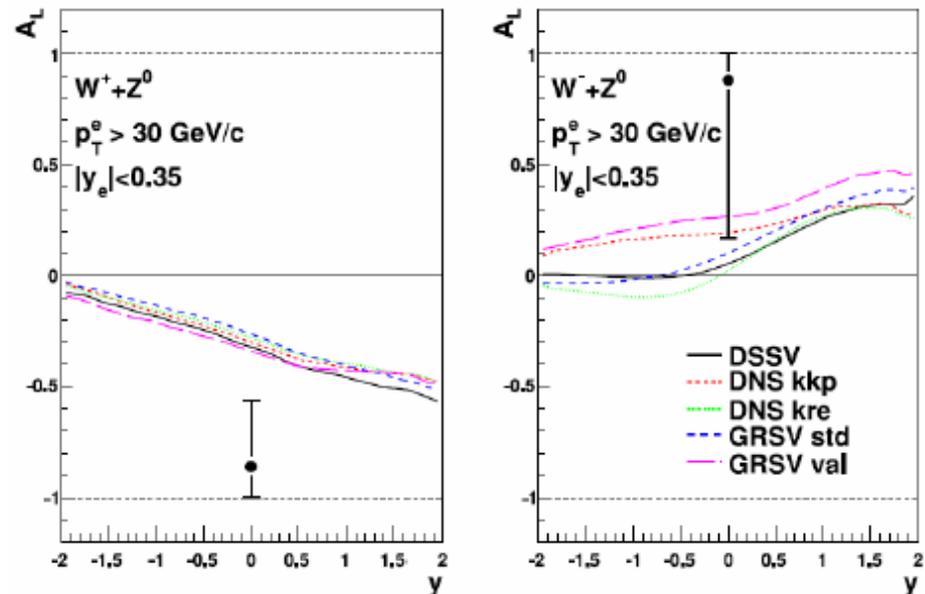
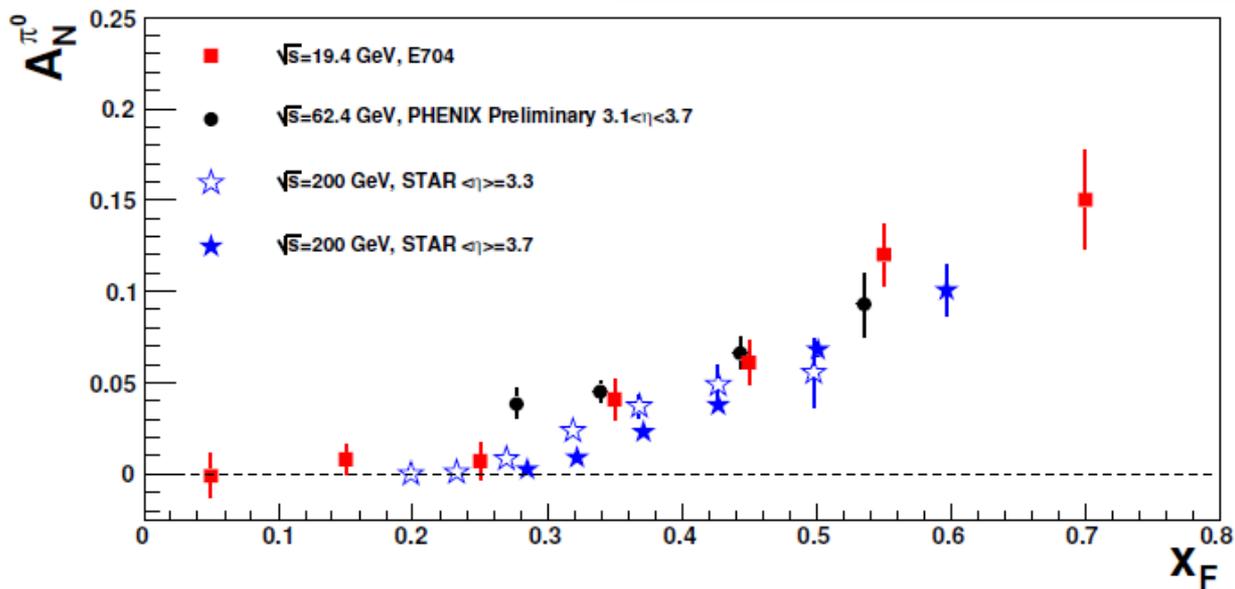


図3



陽子衝突実験

- ドレル・ヤン実験

- 非偏極の実験であっても、ドレル・ヤン実験のような生成断面積の小さな反応に対しては、大強度ビームを必要とする。FNAL-E866実験はTevatronから取り出された大強度陽子ビームを用い、ドレル・ヤン反応によるミューオン対の測定を行った。
- 陽子標的と重陽子標的を用い、反クォーク分布のフレーバー非対称性を高統計で得た。反アップクォークと反ダウンクォークの分布は著しく異なることが示された(図4)。

現在～5年後

陽子衝突実験

- 偏極陽子衝突実験

- RHIC実験では、2013年までは $\sqrt{s}=500\text{GeV}$ でのWボソンの A_L 測定によるフレーバー毎のクォーク、反クォークのスピンの寄与の測定が優先的に行われる。
- 横スピン非対称度 A_N の測定や角分布測定をより選択的な反応過程(例えばドレル・ヤン反応)に対して行うことにより、Sivers効果を説明するTMD分布関数(Sivers関数)や他の理論的フレームワークの評価を行う。これらは核子内部の軌道角運動と関連があり、核子スピンに対する軌道角運動量の寄与に結びつく理解が求められている。

陽子衝突実験

- ドレル・ヤン実験

- FNAL-E906実験がMain Injectorから取り出される大強度陽子ビームを用いて2011年から開始される。
- 陽子標的、重陽子標的を用いて反クォーク分布のフレーバー非対称性をより高い x_{Bj} 領域で高精度で測定する(図5)。また角分布測定によりTMD分布関数のひとつであるBoer-Mulders関数を得る。
- 原子核標的を用いたEMC効果(図6、図7)、エネルギー減衰の測定も行われる。

陽子衝突実験

図4

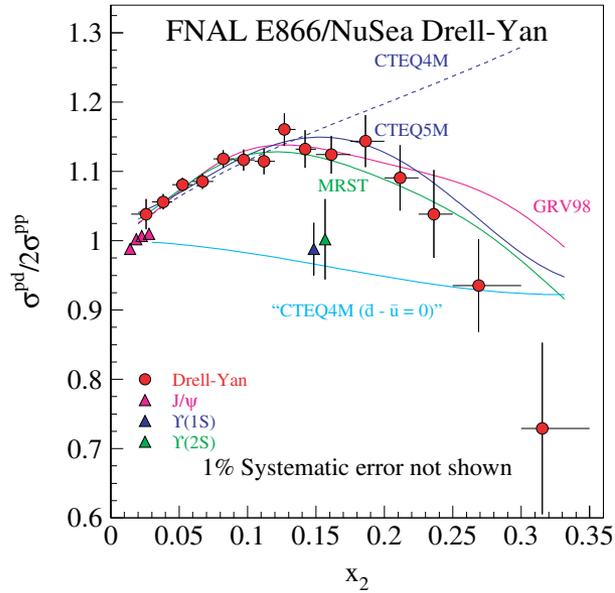


図5

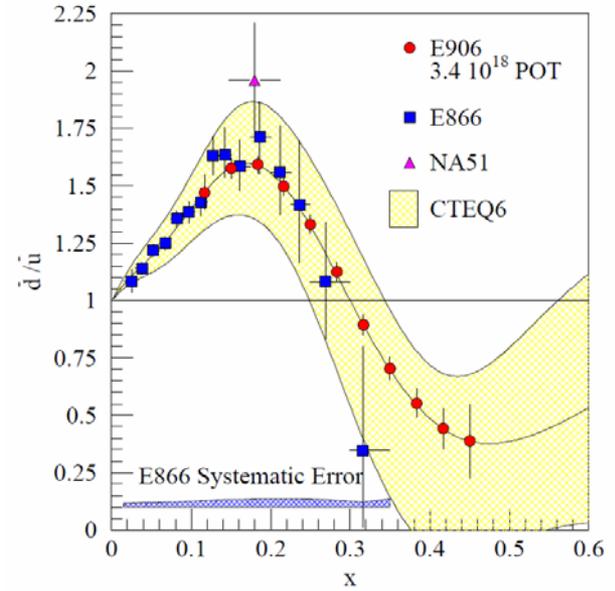


図6

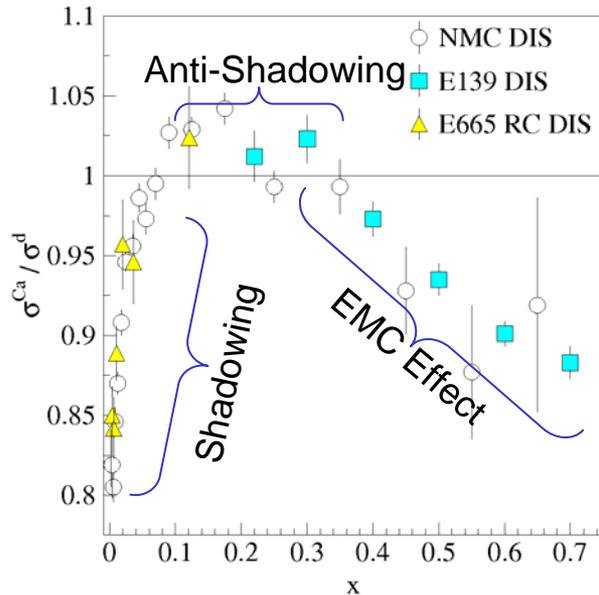
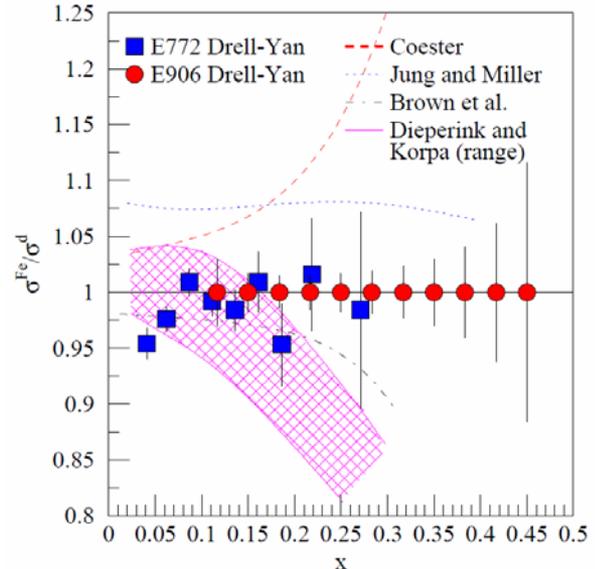


図7



陽子衝突実験

- 偏極ドレル・ヤン実験

- 横スピン非対称度や角分布の測定により、TMD分布関数 (Sivers関数、Boer-Mulders関数) やTransversity分布を測定し、またそのフレームワークの評価を行う。
- 反クォークの偏極に対するフレーバー非対称性を求める。
- 偏極ドレル・ヤン実験は、核子スピンの理解のための次の大きな目標として位置づけられ、偏極陽子ビームや偏極標的を用いた多くの偏極実験の計画が提案されている (表1)。

陽子衝突実験

表1

experiment	particles	energy	x1 or x2	luminosity
COMPASS	$\pi^{\pm} + p^{\uparrow}$	160 GeV $\sqrt{s} = 17.4$ GeV	$x_2 = 0.2 - 0.3$	$2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
COMPASS (low mass)	$\pi^{\pm} + p^{\uparrow}$	160 GeV $\sqrt{s} = 17.4$ GeV	$x_2 \sim 0.05$	$2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
PAX	$p^{\uparrow} + p\text{bar}$	collider $\sqrt{s} = 14$ GeV	$x_1 = 0.1 - 0.9$	$2 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
PANDA (low mass)	$p\text{bar} + p^{\uparrow}$	15 GeV $\sqrt{s} = 5.5$ GeV	$x_2 = 0.2 - 0.4$	$2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
J-PARC	$p^{\uparrow} + p$	50 GeV $\sqrt{s} = 10$ GeV	$x_1 = 0.5 - 0.9$	$10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
NICA	$p^{\uparrow} + p$	collider $\sqrt{s} = 20$ GeV	$x_1 = 0.1 - 0.8$	$10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
RHIC PHENIX Muon	$p^{\uparrow} + p$	collider $\sqrt{s} = 500$ GeV	$x_1 = 0.05 - 0.1$	$2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
RHIC Internal Target phase-1	$p^{\uparrow} + p$	250 GeV $\sqrt{s} = 22$ GeV	$x_1 = 0.2 - 0.5$	$2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
RHIC Internal Target phase-2	$p^{\uparrow} + p$	250 GeV $\sqrt{s} = 22$ GeV	$x_1 = 0.2 - 0.5$	$3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

10年後

Electron-Ion Collider

- eRHIC(BNL)/ELIC(JLab)
 - 偏極ep衝突
 - eA衝突
- LHeC(CERN)

20年後？

J-PARC ?

- 偏極陽子ビーム加速？
- 偏極核子構造研究？