

# SeaQuest実験による120 GeV陽子ビームを用いたドレル-ヤン反応

東京工業大学 理学部 物理学科 柴田研究室 藤井 勇紀

## 研究の目的

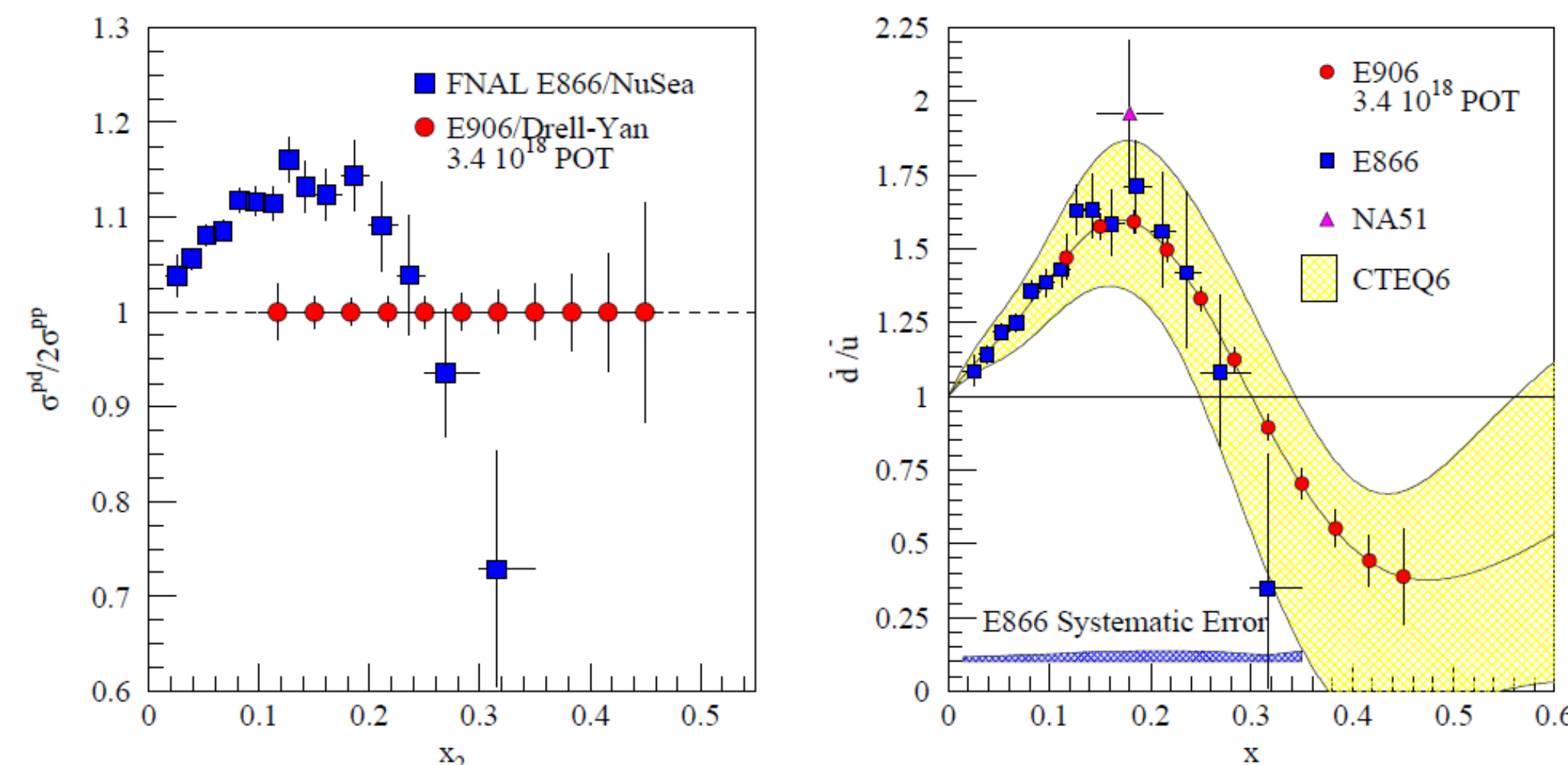
今回私が行った研究は、次のことを目的としている。

- SeaQuest実験のドレル-ヤン反応において、測定器のアクセプタンスを検討する。シミュレーションで生成した全ミュオン対と検出されるミュオン対の量を比較する。
- 実データとシミュレーションデータの比較を行う。

## SeaQuest実験

- 陽子の電荷やアイソスピン等の量子数はアップクォーク2個とダウクォーク1個の計3個のバレンスクォークによって決定される。陽子中にはこのほかに、海クォーク(sea quark)と呼ばれるクォーク-反クォーク対が存在している。この海クォークは、より高エネルギーの事象において重要となる。

- SeaQuest実験は、陽子中における反クォークの分布比の測定を目的としている。これまでの実験で反ダウクォークと反アップクォークの比が測られている。 $x_2 > 0.2$ の領域では、誤差が大きい。



## ドレル-ヤン反応とは

- Sea Quest実験はドレル-ヤン反応を用いて反クォークの分布比を測定している。
- ドレル-ヤン反応は下図のように一方の陽子中のクォークと他方の陽子中の反クォークが対消滅し、一度仮想光子となり、ミュオン対ないしは電子-陽電子対が生成される反応である。反クォークが必ず反応に関与するため、反クォーク分布の測定に適している。
- ドレル-ヤン反応の反応断面積は次式で表される:

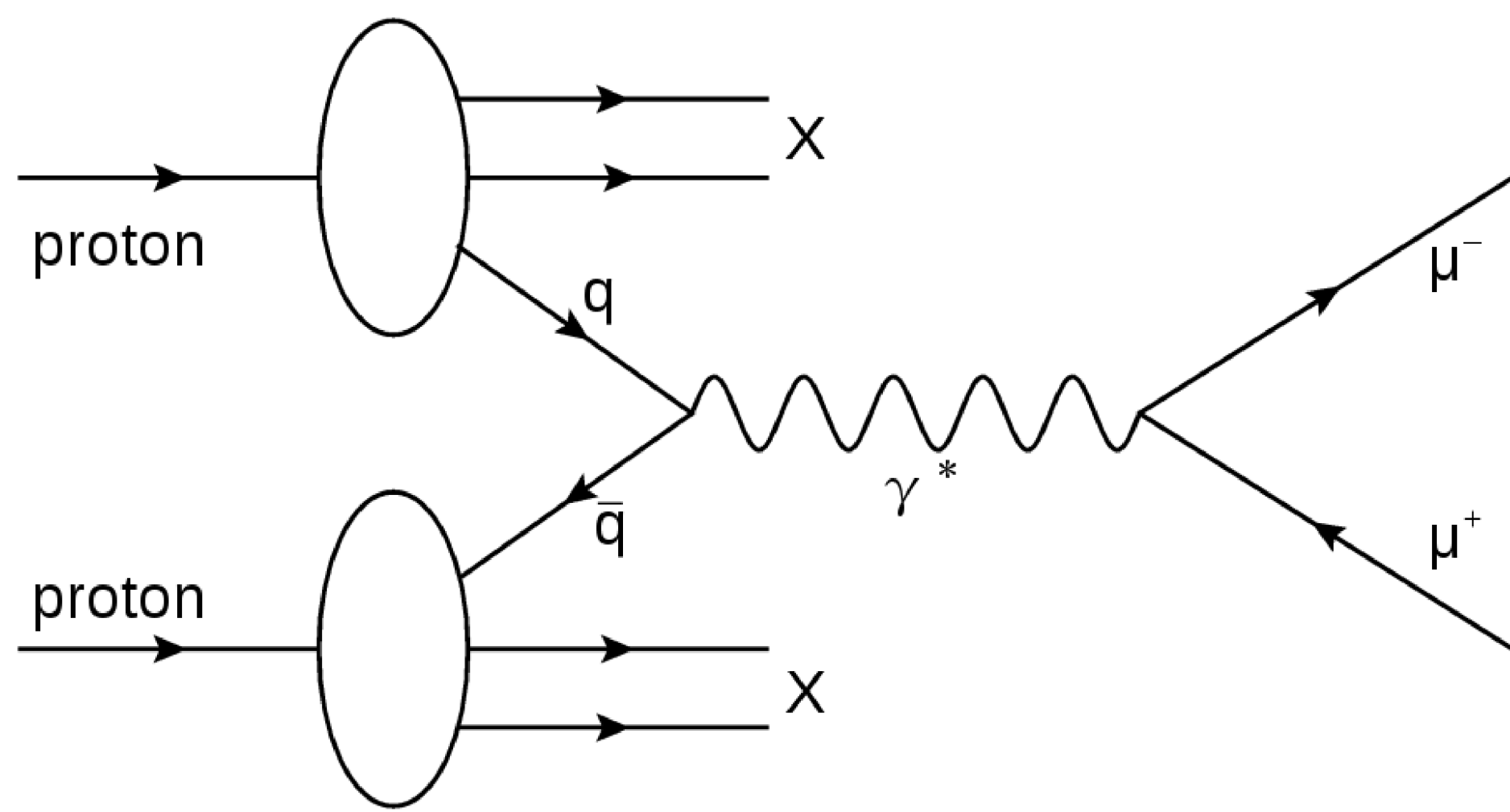
$$\frac{d^2\sigma}{dx_1 dx_2} = \frac{4\pi\alpha^2}{9M^2} \sum_i e_i^2 [q_i(x_1)\bar{q}_i(x_2) + \bar{q}_i(x_1)q_i(x_2)]$$

$q_i(x)$ はクォークの分布関数、 $\bar{q}_i(x)$ は反クォークの分布関数、 $i$ はクォークのフレーバー、 $e_i$ はクォークの電荷、 $M$ はレプトン対の不変質量、 $x_1, x_2$ はそれぞれビームとターゲットのBjorkenスケール変数。

- 標的が陽子の場合の反応断面積 $\sigma^{pp}$ と重陽子の場合の反応断面積 $\sigma^{pd}$ の比から $d/\bar{u}$ を導出でき、フレーバー(d,u)非対称性を検証できる。

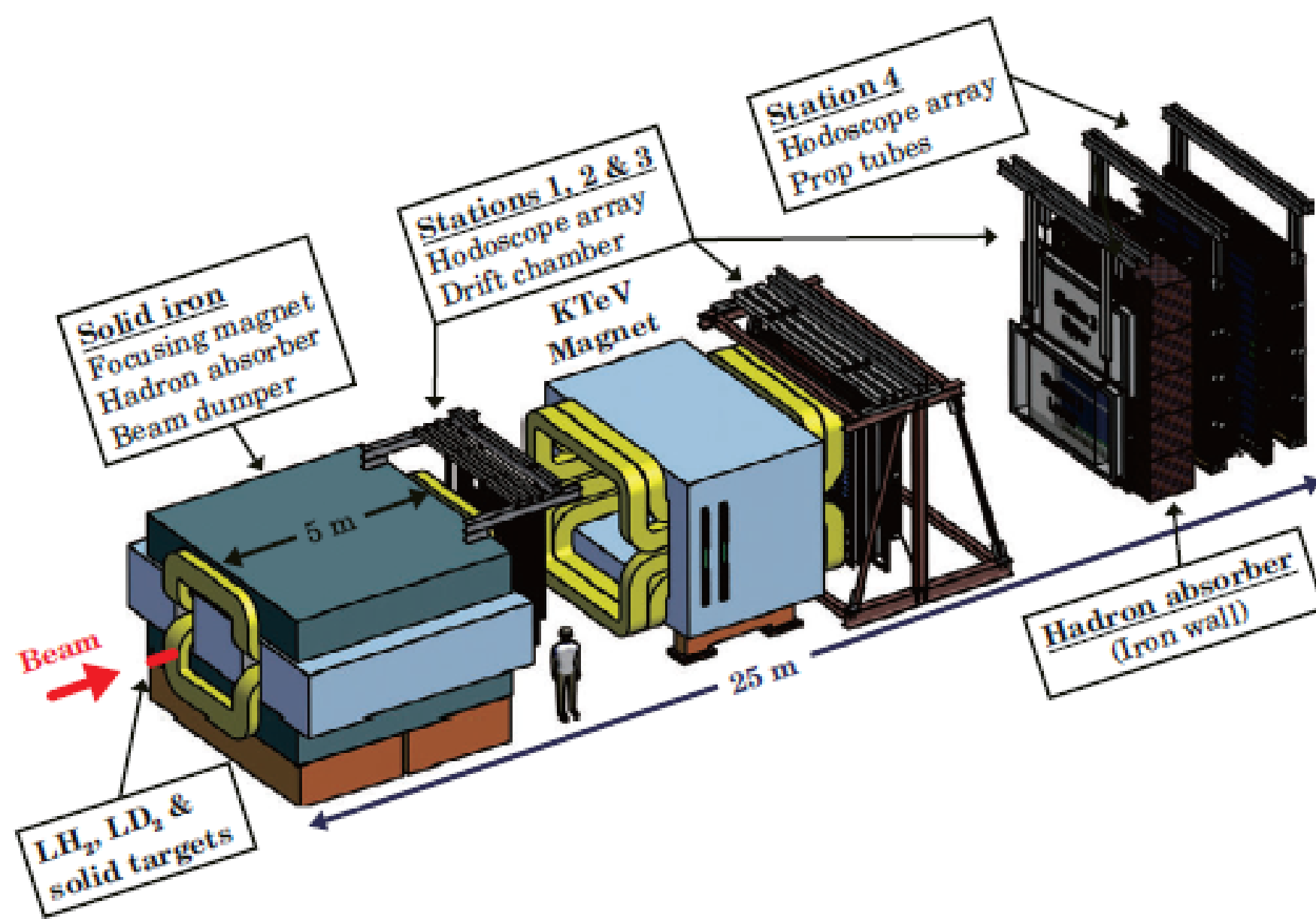
$$\frac{\sigma^{pd}}{2\sigma^{pp}} \approx \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\bar{d}(x_2)}{\bar{u}(x_2)} \right]$$

- 実際に測定されるのは、ドレル-ヤン反応によって生成されるミュオン対である。



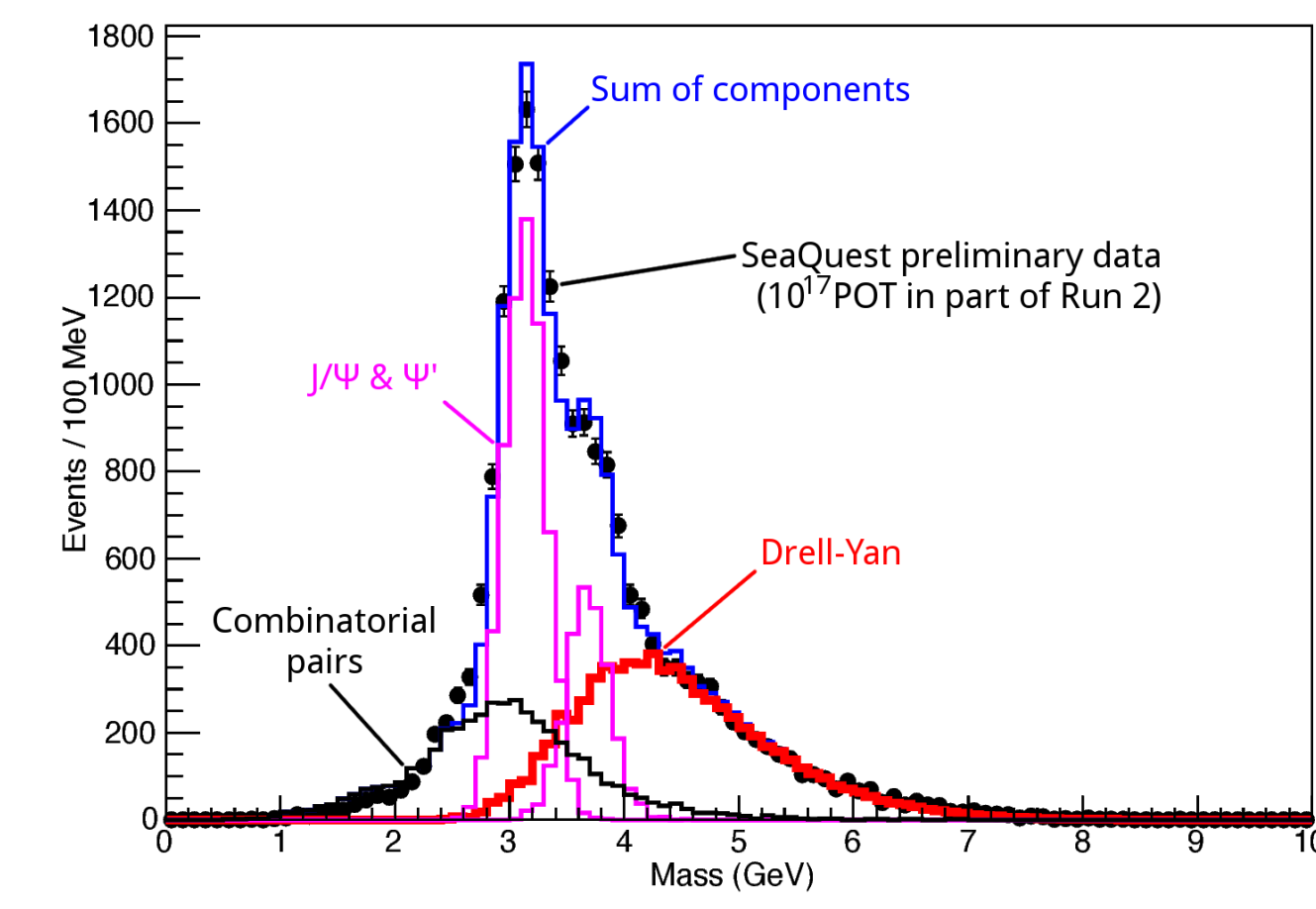
## 測定器

- 実験装置は、標的、2つの電磁石、4つの飛跡検出器、2つのハドロン吸収体によって構成されている。下図は実験装置の俯瞰図である。
- ビームは紙面左から入射され、標的にぶつけられる。標的のすぐ下流にはハドロン吸収体があり、ここでは標的と相互作用しなかった陽子や生成されたパイ中間子等を吸収する。ミュオンは4つの検出器群(Station)によって測定される。これらのうち、Station 1~3はドリフトチェンバーとプラスチックシンチレータによって構成されており、ミュオンの飛跡再構成に用いられる。Station 4はプロポーションルチューブとプラスチックシンチレータによって構成されており、直前にハドロン吸収体があるため、ミュオン識別の役割を担う。



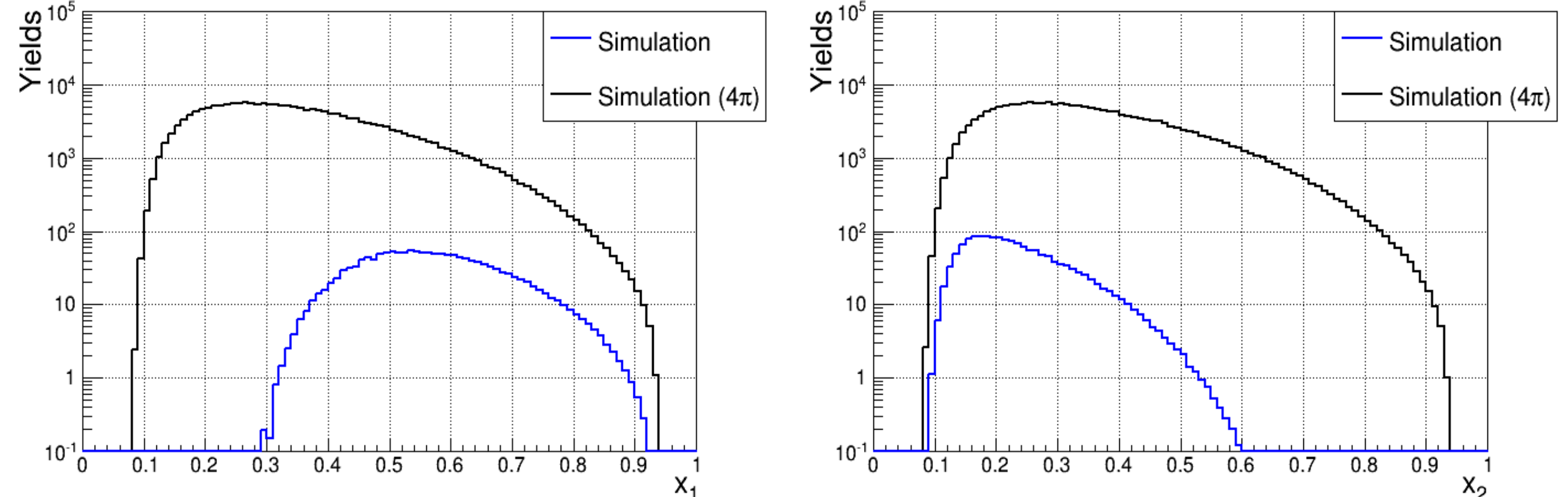
## 解析したデータについて

- 今回の解析で実データとして用いたのは、第2期ビームタイム(2013-2014年)の一部(陽子ビーム数: $1.4 \times 10^{16}$ )である。
- 右図は、実データとシミュレーションデータの不变質量の分布である。ドレル-ヤン反応由来のミュオン対は不变質量が4.2 GeV以上の領域において支配的であることが分かる。そのため、今回行った解析では不变質量が4.2 GeV以上のデータのみを選んでいる。

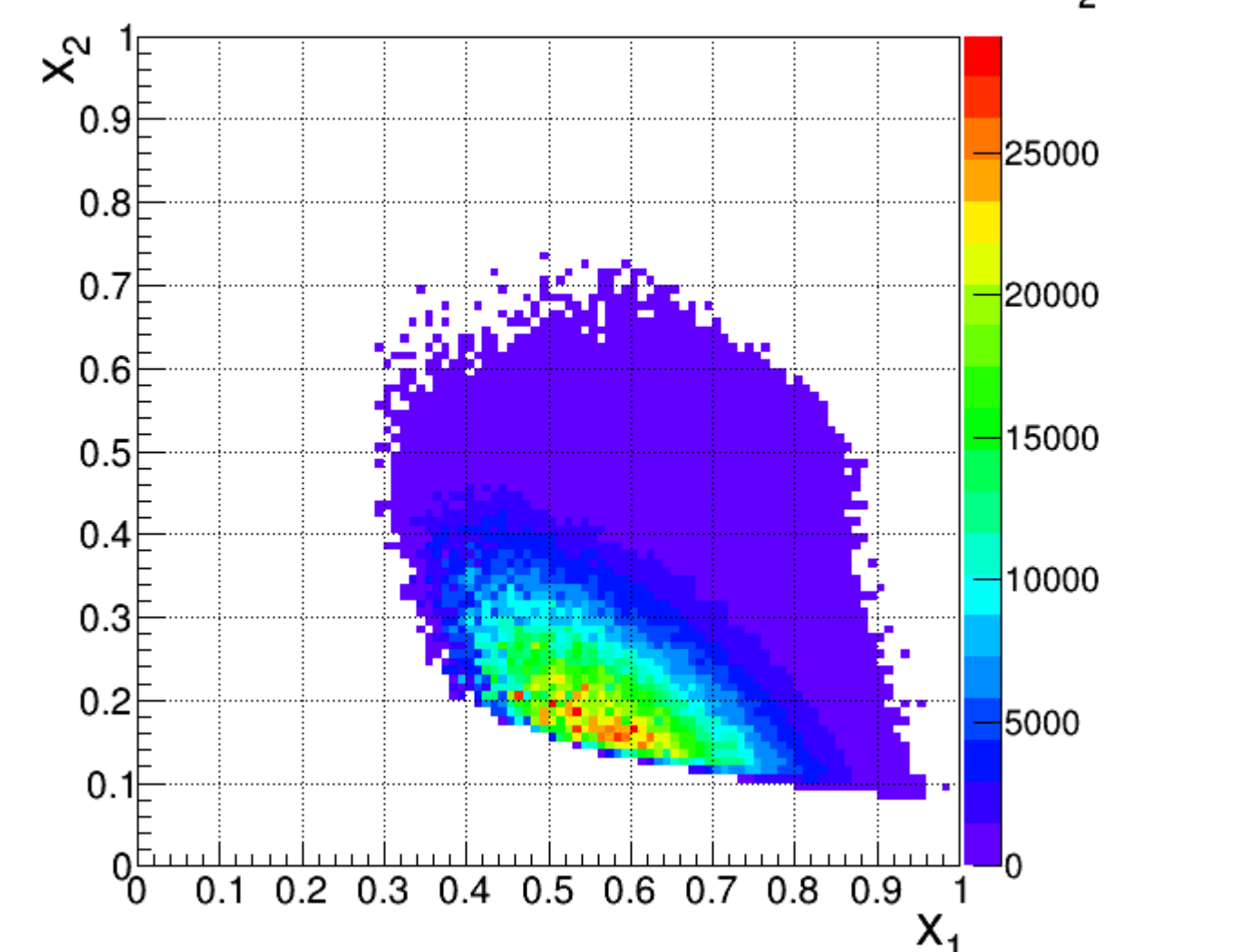


## 運動学的変数についての測定器のアクセプタンス

- ビームのBjorkenスケール変数は $x_1$ でターゲットのBjorkenスケール変数は $x_2$ である。
- $M > 4.2$  GeVでシミュレーションを行った。
- 黒線はシミュレーションにおいて生成された全ミュオン対、青線はシミュレーションにおいて検出されたミュオン対を表している。
- $x_1$ のアクセプタンスは0.3-0.9、 $x_2$ のアクセプタンスは0.1-0.6をカバーしていることがわかる。反クォークの $x_2$ 分布が測定できる。

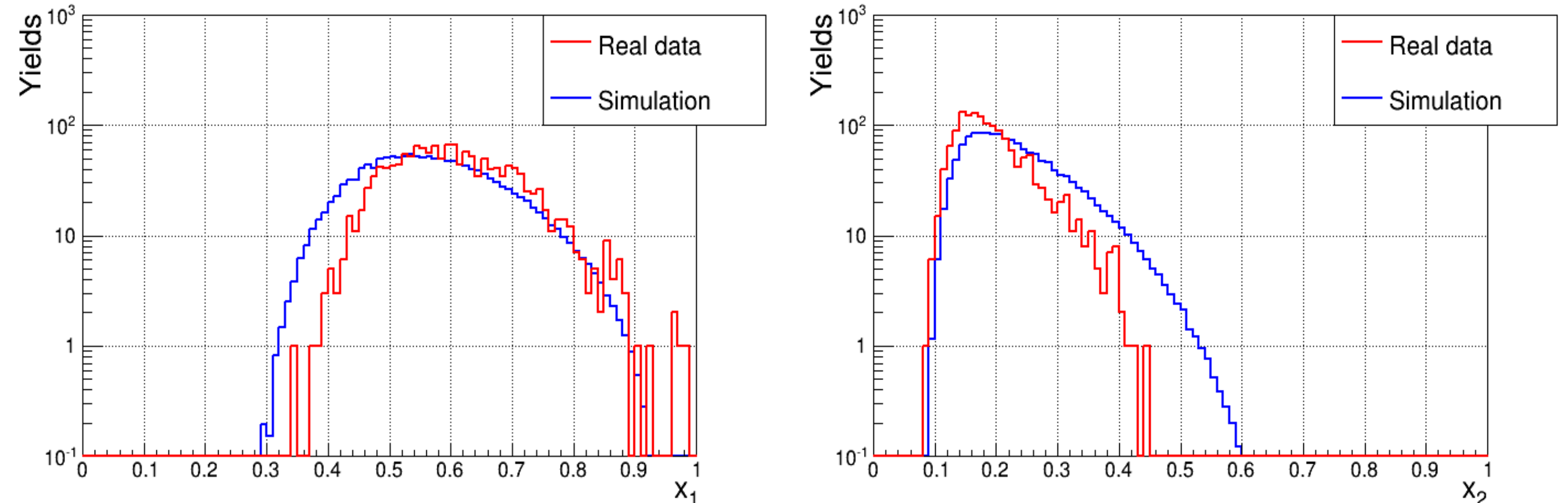


- 右図は、シミュレーションにおいて検出されたミュオン対を、縦軸が $x_1$ 、横軸が $x_2$ としてプロットしたものである。
- 検出されるミュオン対は $x_1 > x_2$ のものがほとんどである。
- 不变質量が4.2 GeV以上のデータのみを選んでいるため、 $x_2$ が0.1以下のデータはほぼ存在しない。



## 実データとシミュレーションの比較

- 下図はビームのBjorkenスケール変数 $x_1$ とターゲットのBjorkenスケール変数 $x_2$ の分布である。
- 青線はシミュレーションにおいて検出されたミュオン対、赤線は実データにおいて検出されたミュオン対を表している。
- 実データとシミュレーションデータはほぼ一致している。



## まとめ

- SeaQuest実験は、陽子中における反クォークのフレーバー(d,u)非対称性の測定を目的としている。
- ドレル-ヤン反応は一方の陽子中のクォークと他方の陽子中の反クォークが対消滅し、一度仮想光子となり、ミュオン対ないしは電子-陽電子対が生成される反応である。
- 標的が陽子の場合の反応断面積 $\sigma^{pp}$ と重陽子の場合の反応断面積 $\sigma^{pd}$ の比から $d/\bar{u}$ を導出できる。
- 実験装置は、標的、2つの電磁石、4つの飛跡検出器、2つのハドロン吸収装置によって構成されている。
- 検出されるミュオン対は $x_1 > x_2$ で、反クォークは標的のBjorkenスケール変数 $x_2$ の関数として測定できることがわかった。
- アクセプタンスの検討の結果、実データとシミュレーションデータ $x_1$ 分布、および $x_2$ 分布においてほぼ一致する。
- 今後は、実データとシミュレーションの比較を更に詳細に行う。