



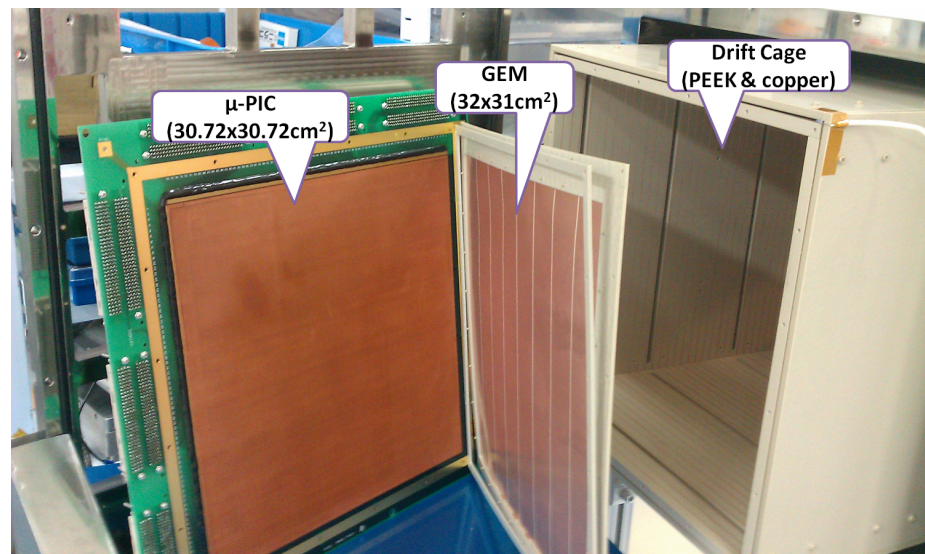
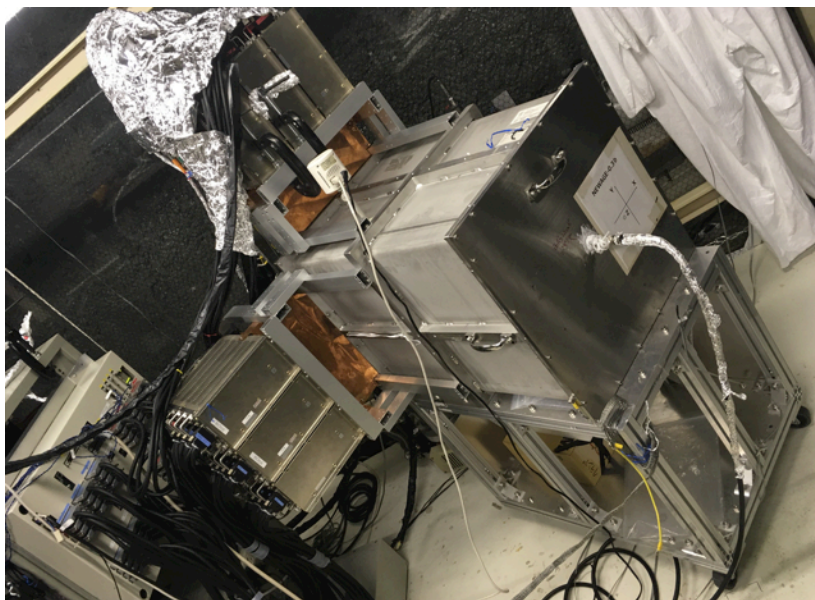
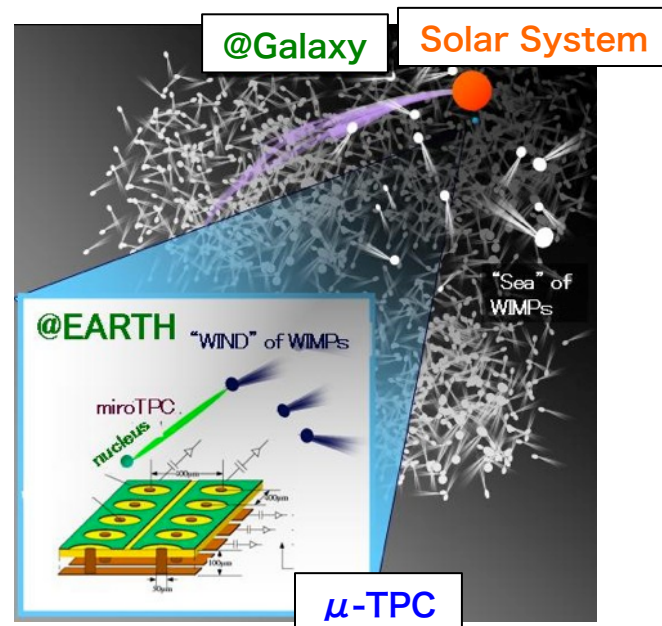
NEWAGE実験46: 前後判定手法を用いた暗黒物質直接探索

矢ヶ部遼太、身内賢太郎、中村輝石、
橋本隆、池田智法、中澤美季、石浦宏尚、
他NEWAGEグループ

日本物理学会 2017年秋季大会

NEWAGE

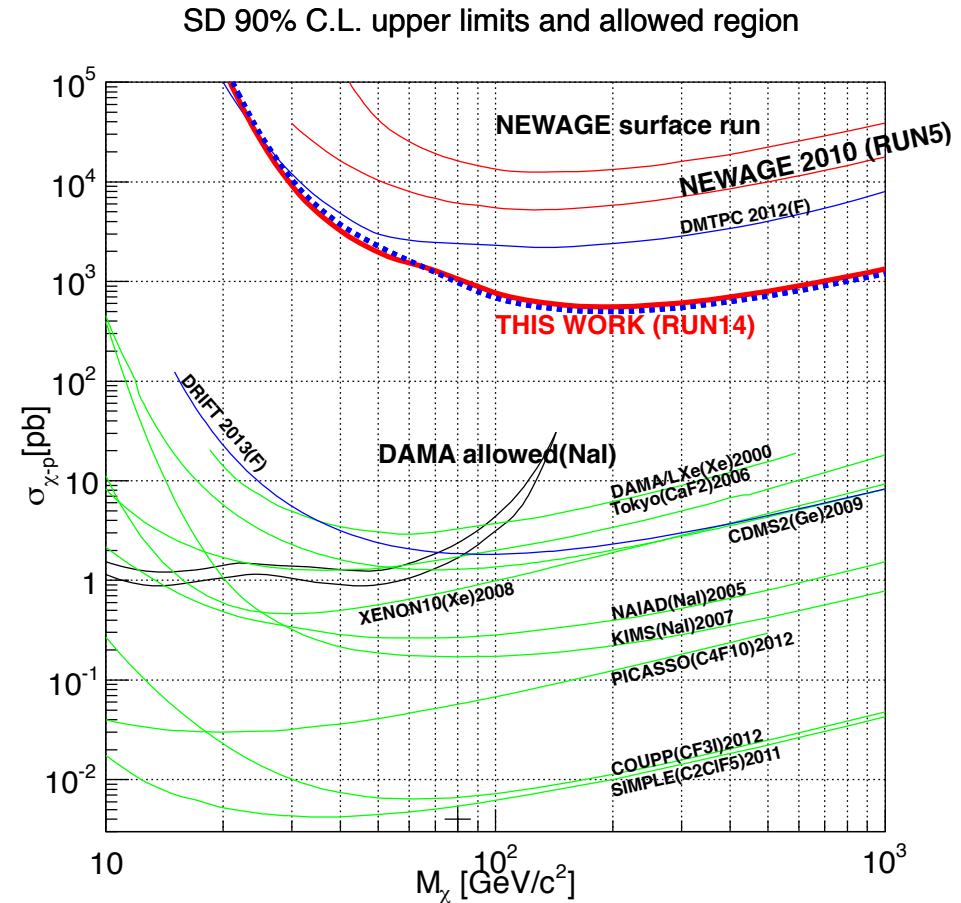
- 神戸大主導の暗黒物質直接探索実験
- 白鳥座の方向から吹く暗黒物質の「風」をとらえたい
- 岐阜県神岡の地下に暗黒物質探索用の3次元飛跡検出器 μ -TPCを設置して、探索を行っている
- 検出器NEWAGE-0.3b'
 - ・ CF₄ ガス 0.1 気圧、10.36 g
 - ・ 有感領域 : 30 × 30 × 41 cm³
 - ・ GEM : LCP100 μ m, ϕ 70 μ m, 140 μ m 間隔
 - ・ μ -PIC : 30.72 × 30.72 cm²、400 μ m 間隔
 - ・ ガスゲイン (μ -PIC + GEM) : 2500



■ 地下測定

● RUN14(-1,2)(NEWAGE2015)

- RUN14-1 : 2013/7/17 – 9/16
- RUN14-2 : 2013/10/17 – 11/14
- ❖ live time : 31.6 days
- ❖ exposure: 0.327 kg · days
- ❖ 方向感度ありの SD 断面積の上限
557pb@200 GeV/c²



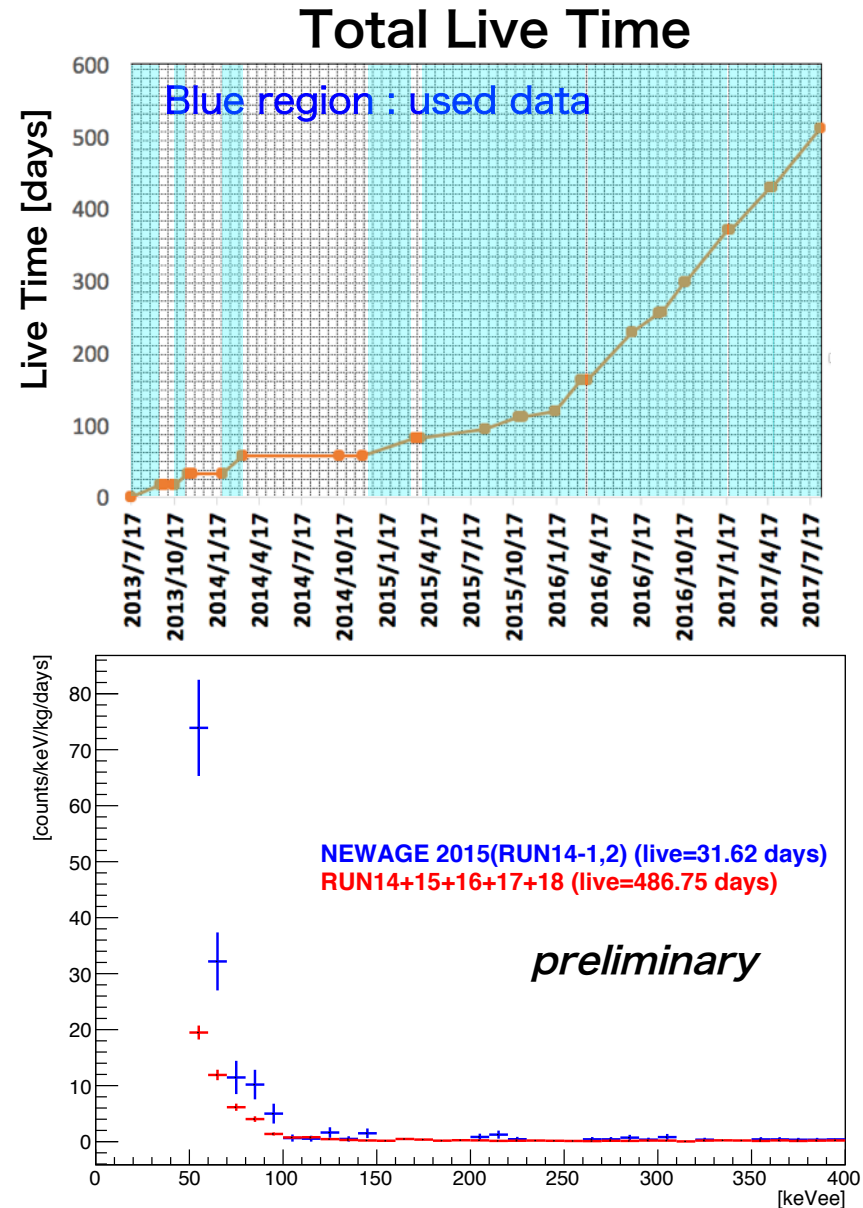
Prog. Theor. Exp. Phys. 2015, 043F01
K. Nakamura

■ 地下測定

● 追加した測定データ

- RUN14-3 : 2014/1/29 – 2014/3/12
- RUN15 : 2015/3/30 – 2016/1/14
- RUN16 : 2016/1/14 – 2016/6/28
- RUN17 : 2016/6/28 – 2016/8/24
- RUN18 : 2016/8/24 – 2017/8/8

- ❖ live time : 486.75 days
- ❖ exposure : 5.03 kg · days
- ❖ 統計は NEWAGE2015 から約15倍増加
- ❖ BG : 1/4@50keV
- ❖ energy threshold : 50 keVee
- ❖ Run14-17 までの解析は、2016年秋季の矢ヶ部発表で行った
- ❖ 今回は、エネルギースペクトルに加え、前後判定を含めた暗黒物質探索を行った



■ 前後判定

現行の解析：

- ・ 飛跡に向きの情報は無し
- ・ $|\cos \theta|$ 分布が得られる

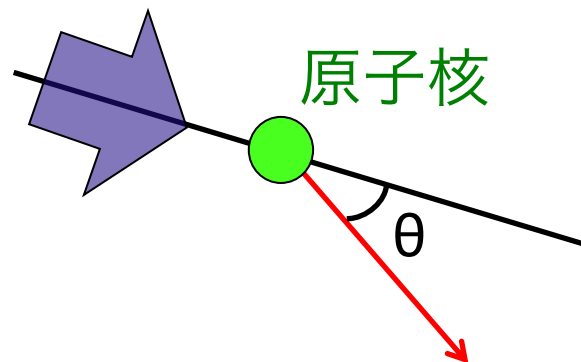
前後判定を含めた解析：

- ・ $\cos \theta$ 分布が得られる
- ・ 前方散乱がより明確、感度はおよそ3倍

θ ：暗黒物質の到来方向に対する
反跳原子核の散乱角

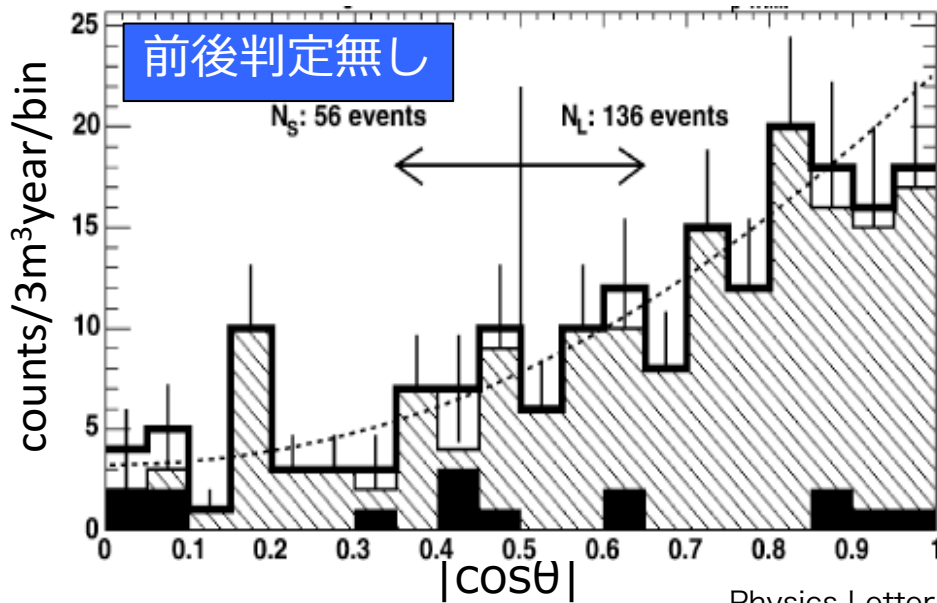
暗黒物質

原子核

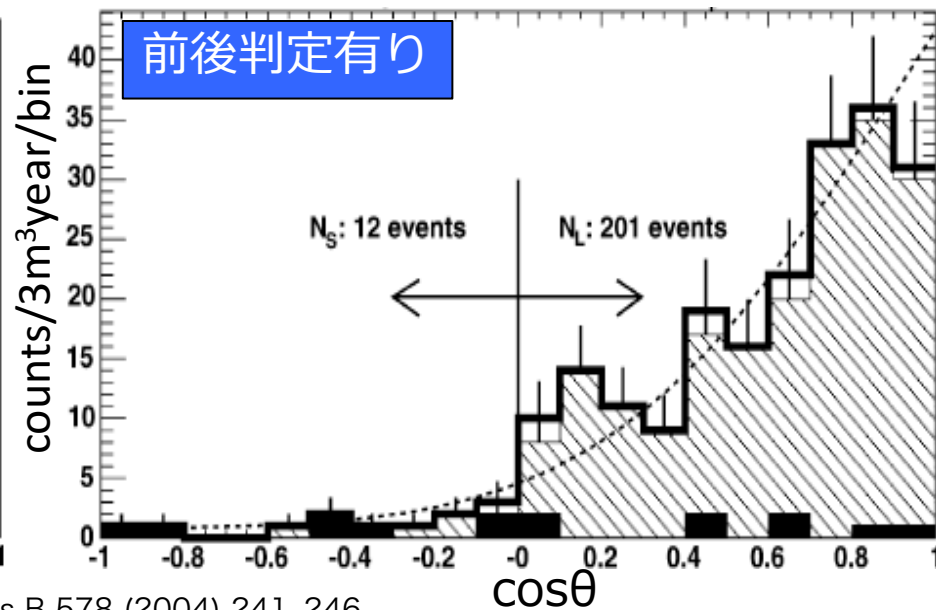


$$M_{\text{DM}}=80\text{GeV} \quad \sigma_{\text{p-DM}}=0.1\text{pb}$$

予想される $\cos \theta$ 分布



Physics Letters B 578 (2004) 241-246



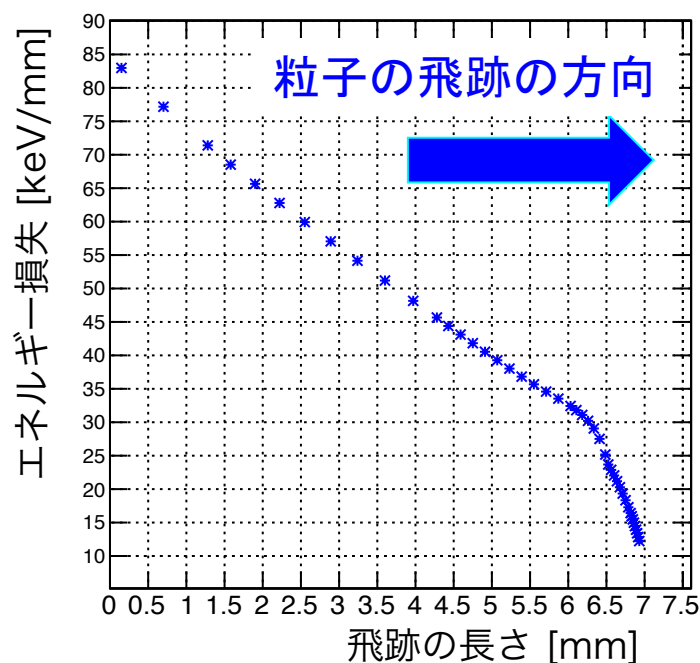
- 前後判定の手法

- ❖ 低エネルギー領域でのブラッグ曲線を利用する
反跳原子核の飛跡に沿ってエネルギー損失は減少する。
始点：エネルギー損失(大)、終点：エネルギー損失(小)

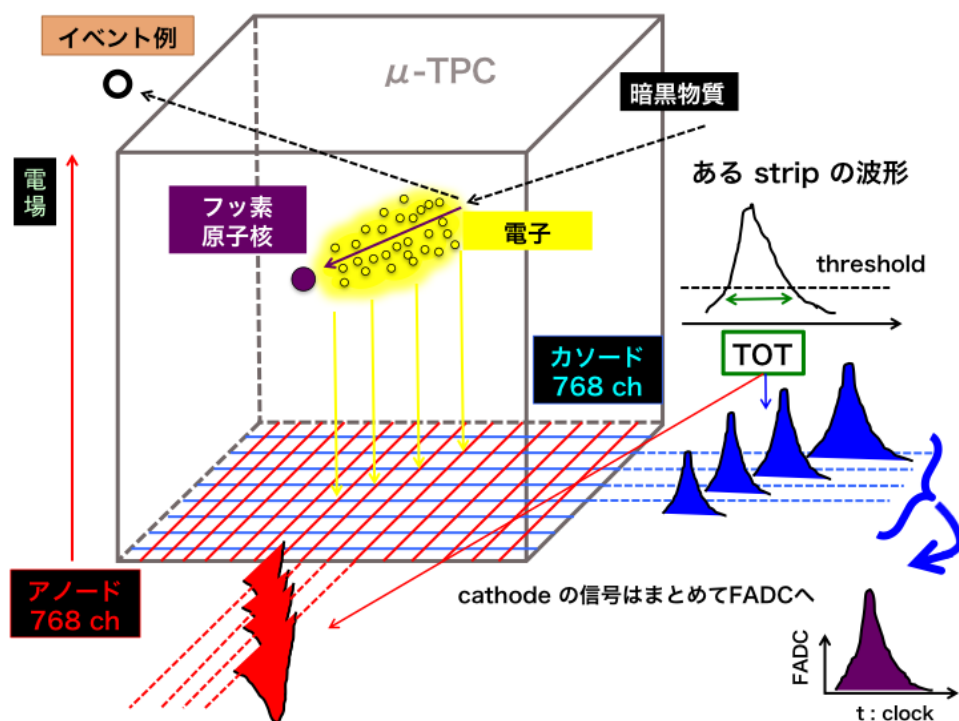
- エネルギー損失の情報源

- ❖ 読み出し面に対して水平方向：2次元の読み出し位置での電荷情報
- ❖ 読み出し面に対して垂直方向：各時刻での電荷(FADCの波形)情報

SRIM シミュレーション
CF₄ : 0.1 気圧、フッ素イオン 500keV

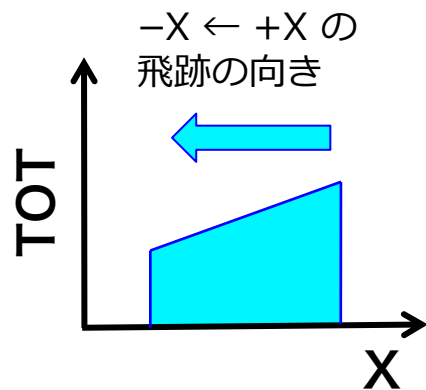


- 各 strip でのエネルギー損失 $\propto$ TOT



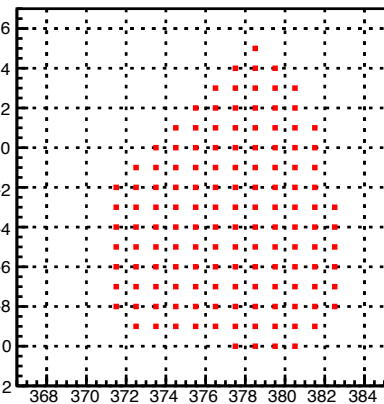
■ イベント例

- 252Cf run : +X 方向から中性子を照射した時のデータ

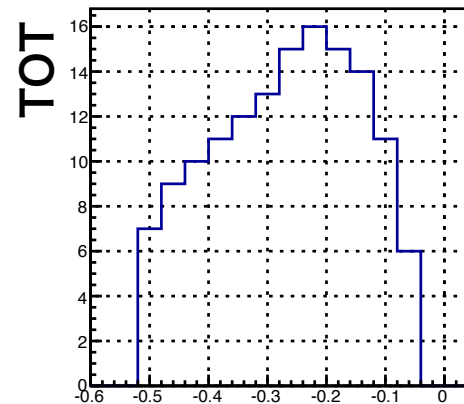
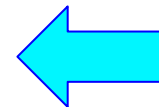


20161020/Eff_Plus_X_3
input=936, file=11, event=163
ene_low = 107.628900 [keV]
length = 0.740584 [cm]
TOT - sum = 297
roundness = 0.060699
headtail flag : xz = 4, yz = 1
skewness X = -3.853
skewness Y = -0.377

クロック数(10nsec)

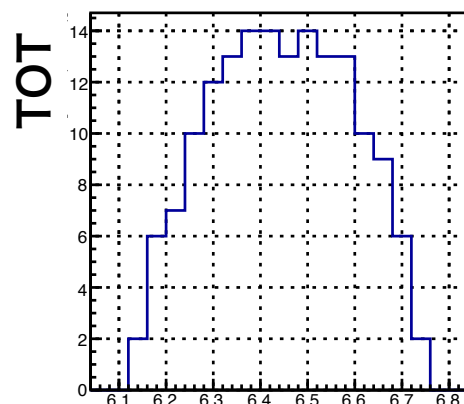
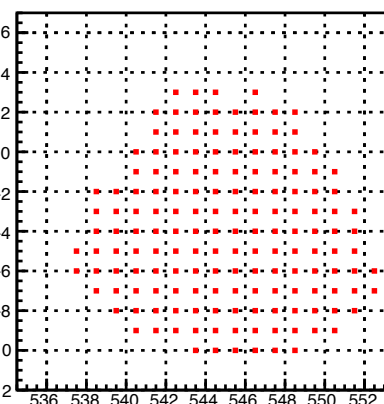


飛跡の向き



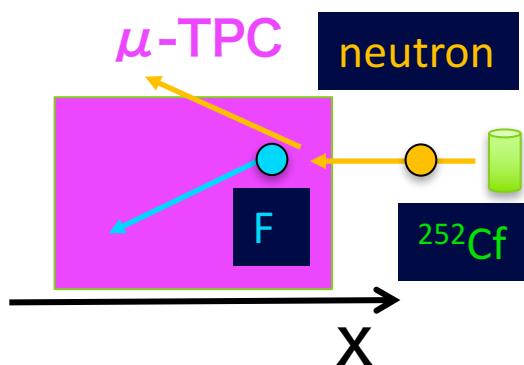
アノードストリップ

クロック数(10nsec)



カソードストリップ

-方向に裾を持つので、
skewness は負



■ 前後判定パラメータ

- 1次元の前後判定パラメータ

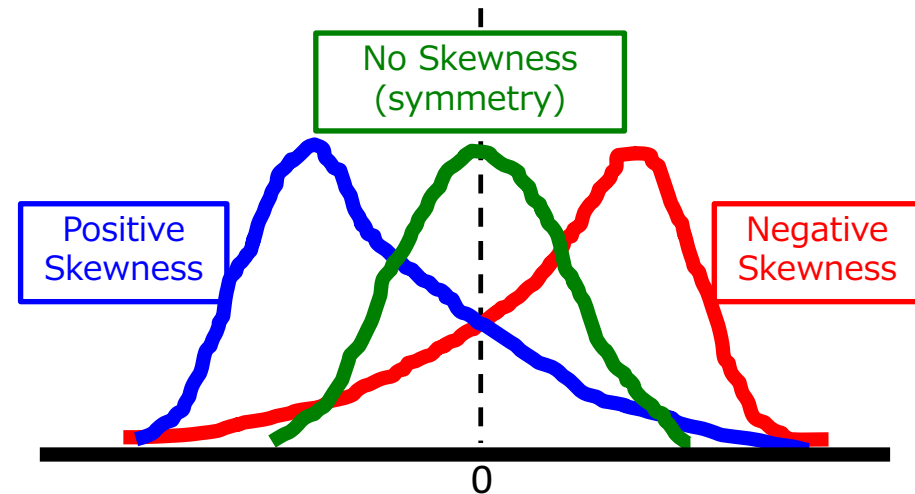
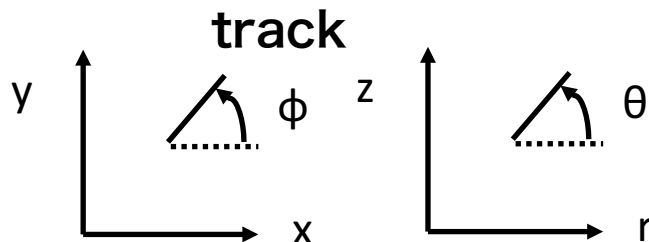
$$skewness = \frac{m_3}{m_2^{3/2}} \quad m_n \equiv E[(x - \langle x \rangle)^n] = \int_{min}^{max} dx (x - \langle x \rangle)^n \cdot \frac{TOT(x)}{\int TOT(x) dx}$$

$$\langle x \rangle = \int_{min}^{max} dx \frac{x \cdot TOT(x)}{\int TOT(x) dx}$$

- X: ストリップ位置(Yに関して同様)
- Z: TOT(x) → FADC(t)

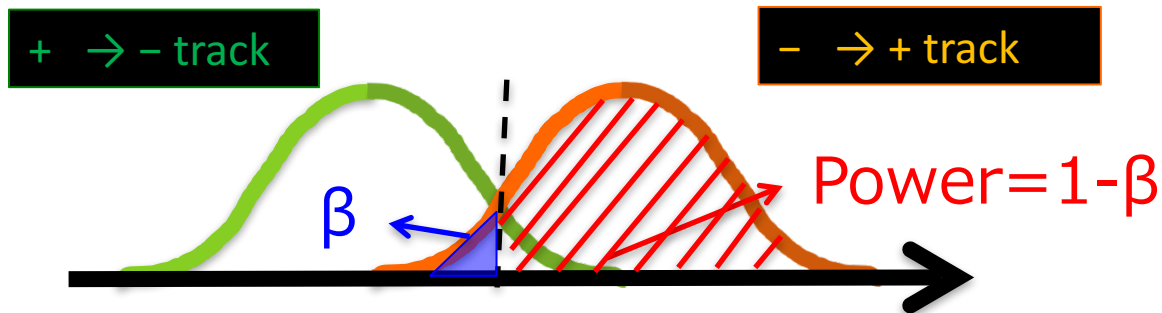
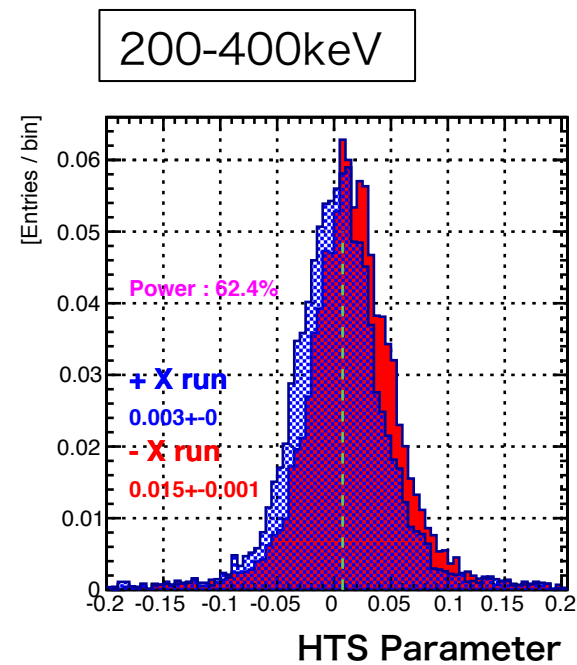
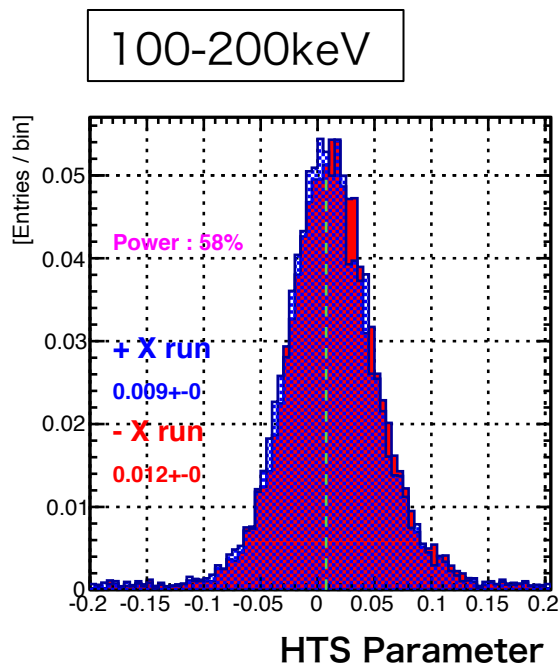
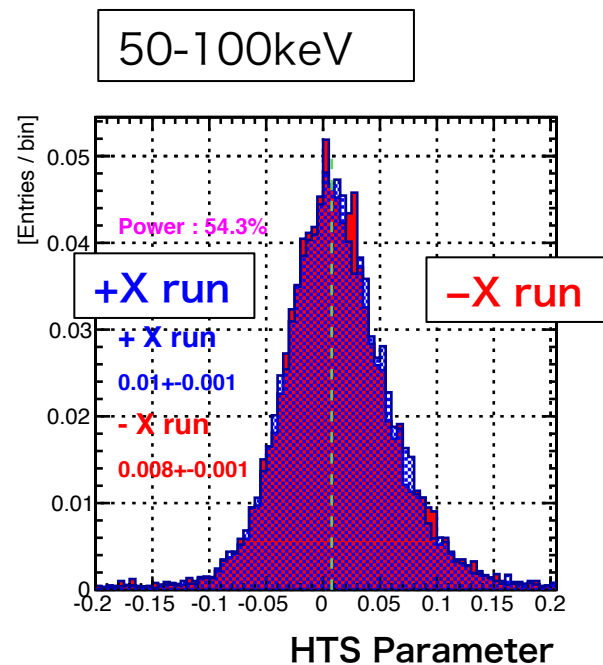
- 3次元の前後判定パラメータ
 - 飛跡の角度に関して線形に重み付け

$$HTS = (1 - 2/\pi * \theta)(1 - 2/\pi * \Phi) * skewnessX \\ + (1 - 2/\pi * \theta)(2/\pi * \varphi) * skewnessY \\ + (2/\pi * \theta) * skewnessZ$$



前後判定パラメータの理想的な振る舞い

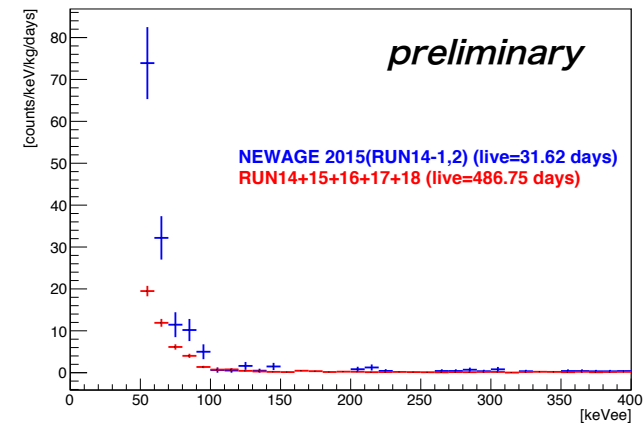
■ 前後判定



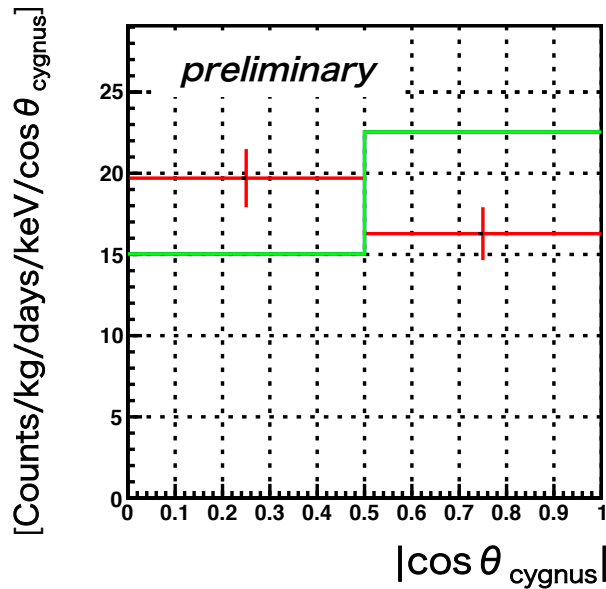
- 前後判定の精度
 - ~ 50% @50-200keV
 - ~ 60% @200-400keV

■ $\cos \theta$ 解析

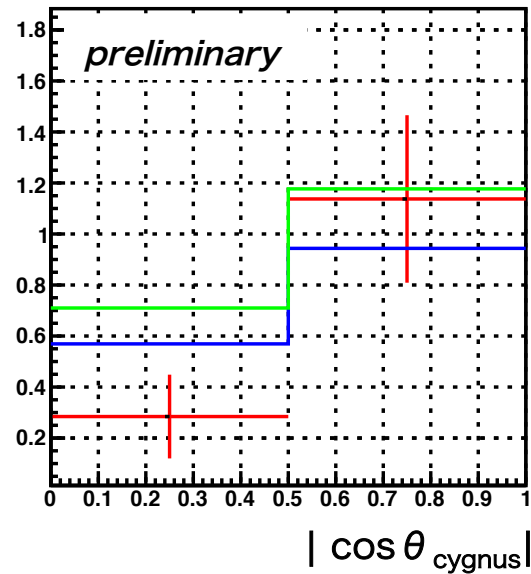
- Run14-18 の DM run のデータ (5.03 kg·days) を用いて解析を行った
- $\cos \theta_{\text{cygnus}}$ スペクトル



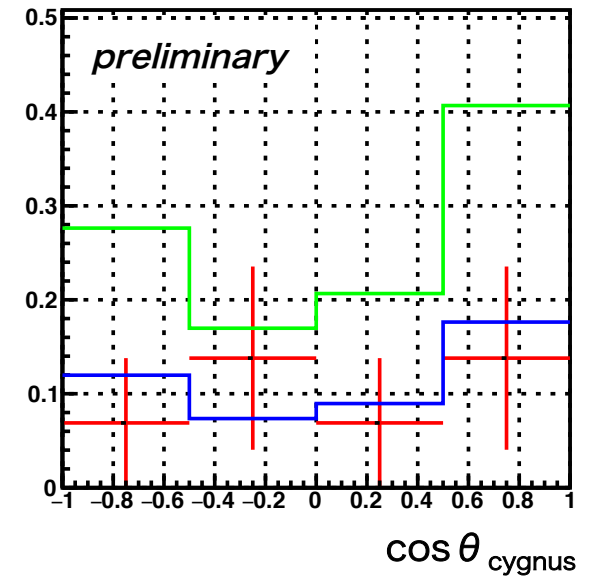
50-60KeV bin@100GeV/c²



100-110keV bin @200GeV/c²



200-210keV bin@400GeV/c²



- 50 keV ~ 200keV では、 $|\cos \theta|$ の情報を使った
- 200 ~ 400 keV では、 $\cos \theta$ の情報を使った

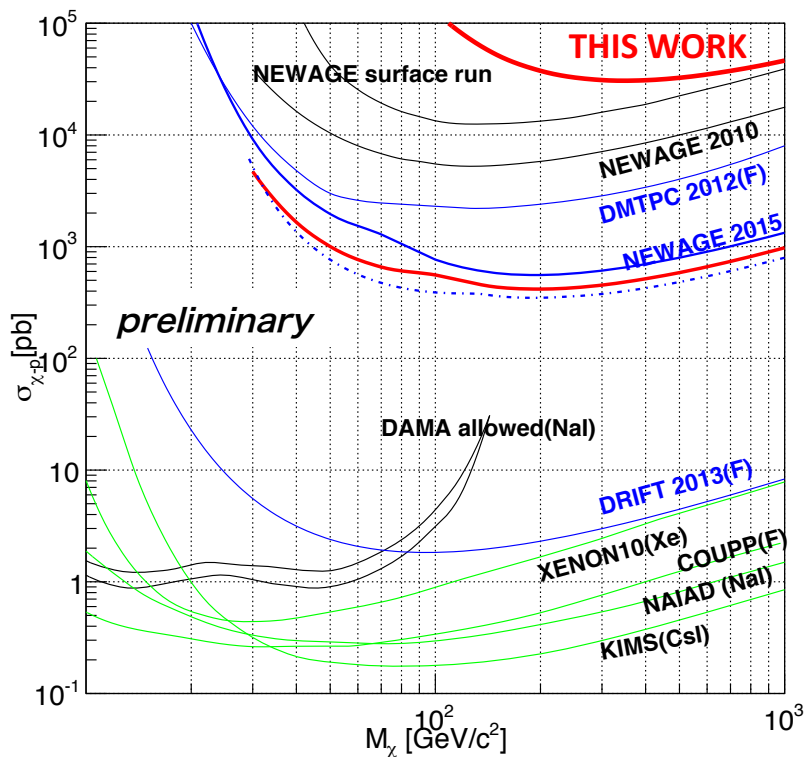
赤:測定データ

青: Expected(simulation,best fit)

緑: Expected(simulation,90%CL)

■ 解析結果

SD 90% C.L. upper limits and allowed region



- 200keV 以上の領域について、
前後判定を適用した解析を行い、SD断面積に制限をかけた。
上限値 : 3×10^4 pb
- 50 keV 以上の領域について、
前後判定を適用しない従来の解析で SD断面積を更新した。
上限値 : 417 pb

赤(太線):前後判定有りの directional な limit (THIS WORK)

赤(細線):前後判定無しの directional な limit

青(点線):エネルギースペクトルのみを使った limit

■ まとめ

- 3次元飛跡ガス検出器NEWAGE-0.3b' を用いて地下測定を行った
- 2013/7 – 2017/8 で取得した run14 -18 のデータを用いて暗黒物質探索を行った
- 新たに3次元の前後判定パラメータを導入して、反跳原子核の前後判定の解析を行った
- 前後判定の精度は、現行 約 50 - 60 %程度
- 従来の制限に加えて、200keV 以上の領域で、新たに前後判定を適用した解析手法で方向感度有りの制限をかけた

■ BACK UP