

X線を用いた光子・光子散乱 光で探る真空

東京大学・ICEPP 難波俊雄

やってる人たち

難波俊雄、山道智博^A、稲田聡明^A、
山崎高幸、浅井祥仁^A、小林富雄、

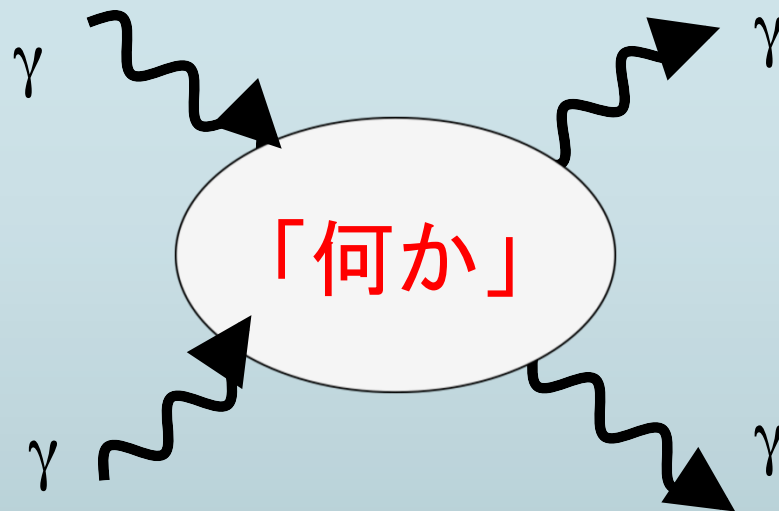
玉作賢治^B、田中義人^C、犬伏雄一^D、澤田桂^B、
矢橋牧名^B、石川哲也^B、

高橋忠幸^E、渡辺伸^E、佐藤悟朗^F

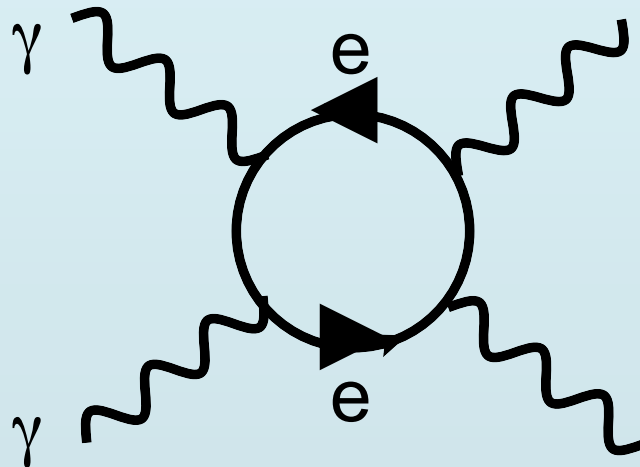
東大素セ、^A東大理、
^B理研/SPring-8、^C兵庫大院物質理、^DJASRI、
^EISAS/JAXA、^F早大理工

「真空」に潜むモノ

- ▶ 真空には、「何か」ある！
 - ▶ Higgs場 (スカラー場が実際に満ちていることを証明！)
 - ▶ インフロン? (Planckの結果は?)
 - ▶ 暗黒物質? (SUSY以外にもいろんな候補)
 - ▶ 暗黒エネルギー??
- ▶ 光子で真空を叩いてみよう
 - ▶ 「何か」を経由して光が散乱
 - ▶ 究極的には:
Photon-photon collider



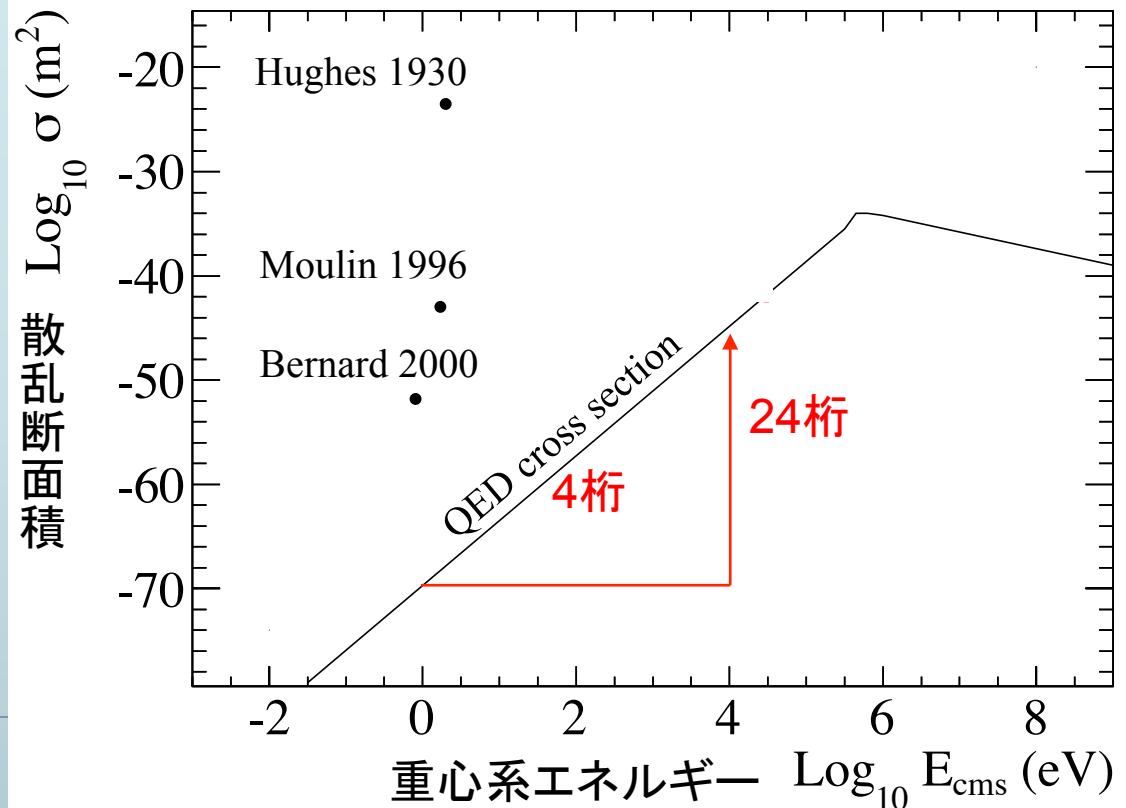
まずはQEDの検証 ～真空に潜む仮想電子対～



- ▶ QEDの予言する真空の非線形効果(Schwinger limit)
- ▶ 電荷を持たない光子同士が、電子のループを介して散乱
- ▶ 無偏極全断面積 σ (@ $\omega < 700\text{keV}$)
$$\sigma = 7.3 \times 10^{-70} (\omega/1[\text{eV}])^6 [\text{m}^2] \quad (\text{ちょう小さい!})$$
- ▶ 1936年に予言、いまだに観測されていない (主に可視/赤外レーザーで検証)

X線でやりましょう

- ▶ 断面積は ω の6乗依存性
→10keVのX線だと可視光(\sim eV)に比べて24桁もお得
- ▶ これまでに検証されていないエネルギー領域
→「何か」あるかも?



われわれの武器 ～XFEL SACLA～



播磨サクラさん

- 学習及び自己進化能力を持った人工生命体
- 「G4型ピコロイド」

われわれの武器 ～XFEL SACLA～

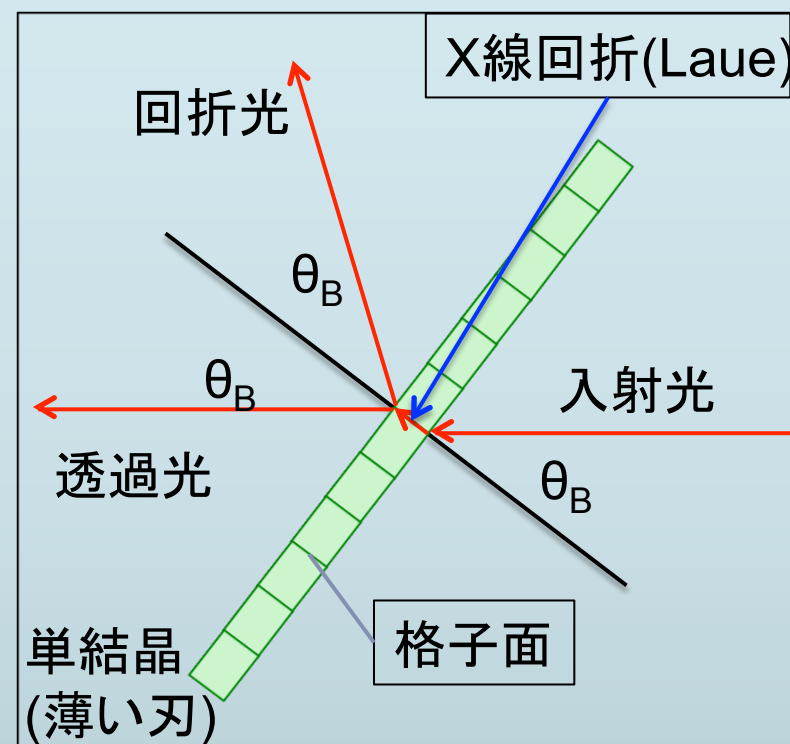


SACLA

- 世界最高強度のXFEL(水平偏光)を発振
- 光子数 1.2×10^{11} photons/pulse @ 11keV, パルス幅 10fs, 繰り返し30Hz
1パルス当たりの光子数が大きく、パルスが短い
- ビーム幅 : 200 μ m \times 200 μ m (FWHM)
- 1 μ mコヒーレント集光を利用
高いパルス強度・小さいビーム断面積 \rightarrow High Luminosity
- 入射光子エネルギー: 10.985keV

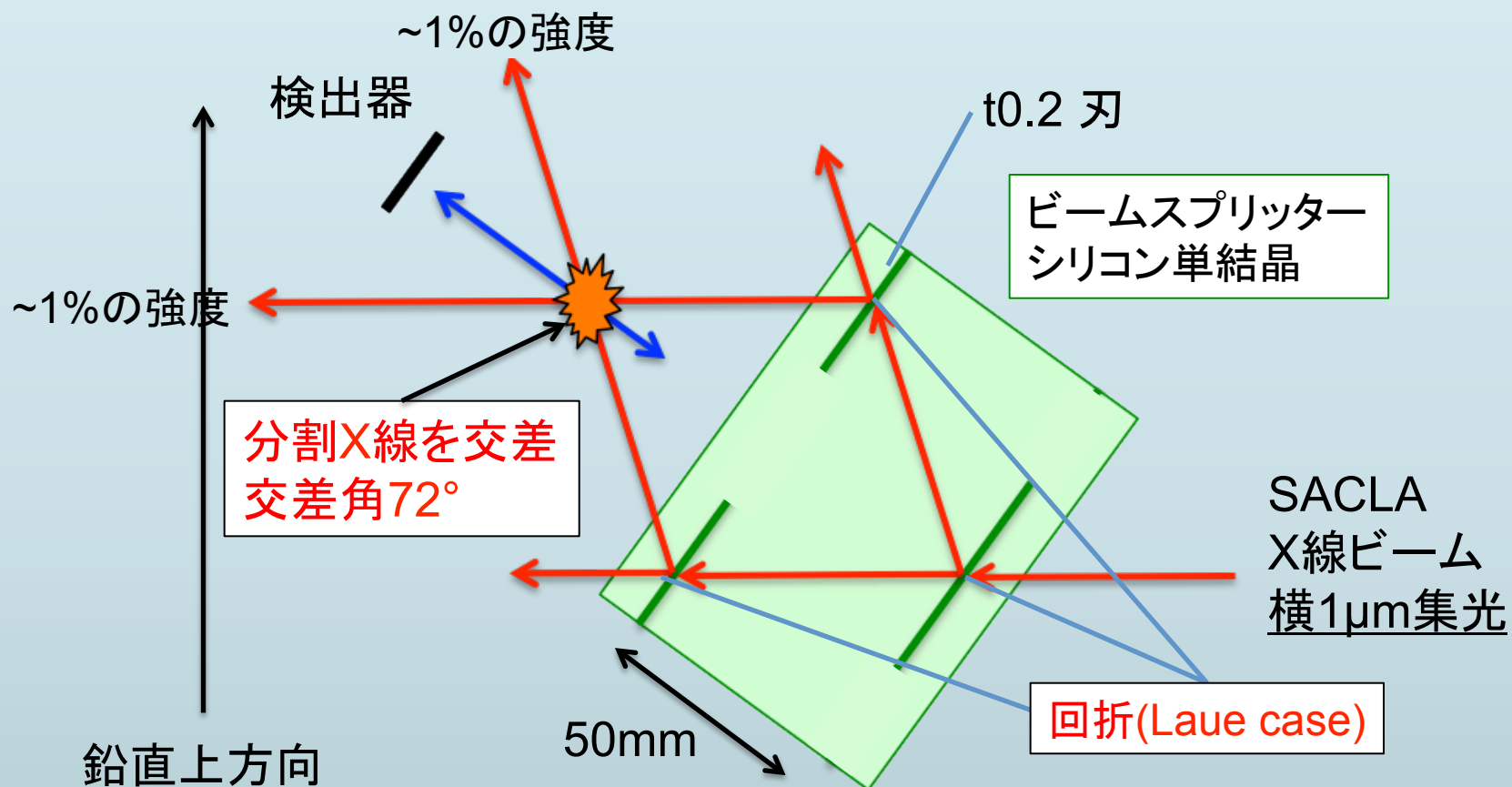
1本のX線をぶつける方法

- ▶ X線の回折を利用して分岐
 - ▶ そのまま透過→透過光
 - ▶ 結晶でラウエ回折→回折光
- ▶ 今回の実験では、
 - ▶ 0.2mm厚のシリコンの刃を使用
 - ▶ シリコン(4,4,0)格子面
 - ▶ 10.985keVのX線に対して、 $\theta_B = 36^\circ$
 - ▶ 透過、回折の効率~1/10



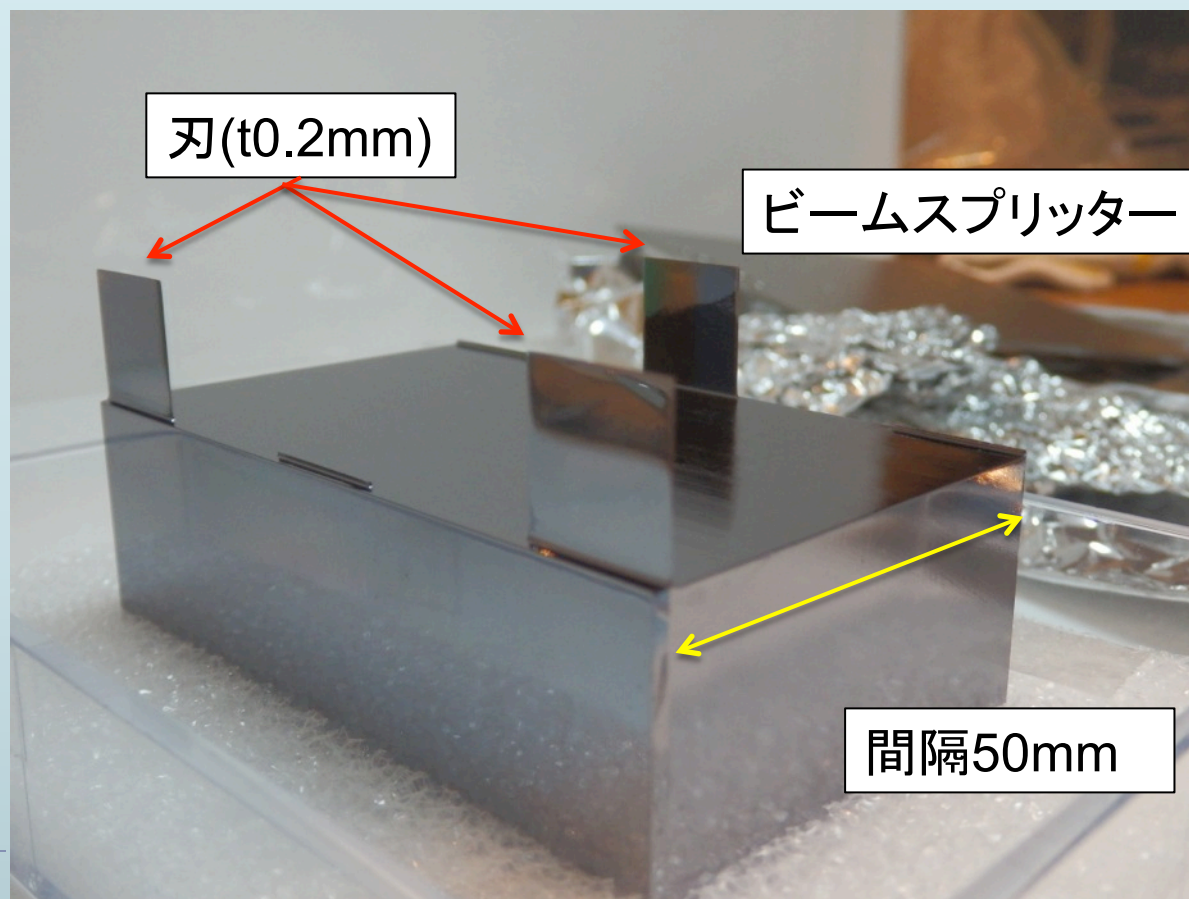
2回繰り返すと、

- ▶ 透過・回折ビームと、回折・回折ビームが、中心で交差し、衝突する



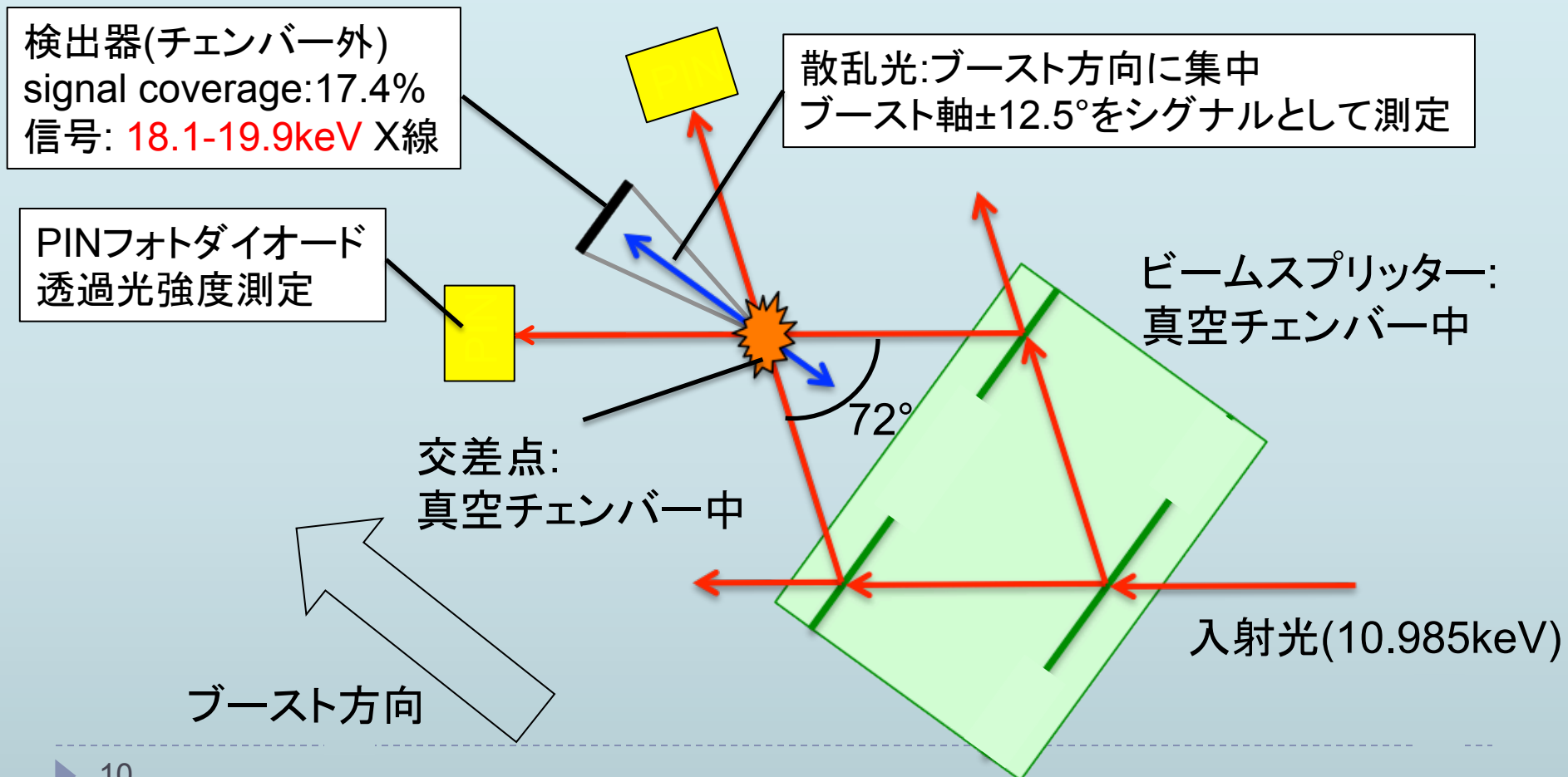
キモは、単結晶から刃を切り出すこと

- ▶ Laue回折用の刃をシリコン単結晶から切り出す
→ビームの衝突を時間的・空間的に保証



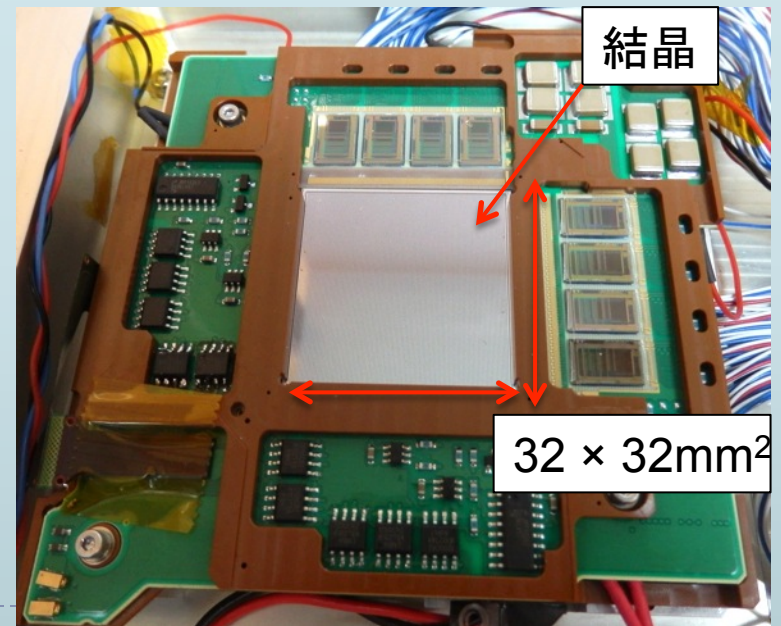
期待される散乱シグナル ～前方にブースト～

- ▶ $\omega_{CM}=6.46\text{keV}$ の系でほぼ等方散乱
- ▶ 72° の交差系では、前方に 19keV 程度のブーストシグナル



X線検出器: シリコン両面ストリップ検出器 (DSSD)

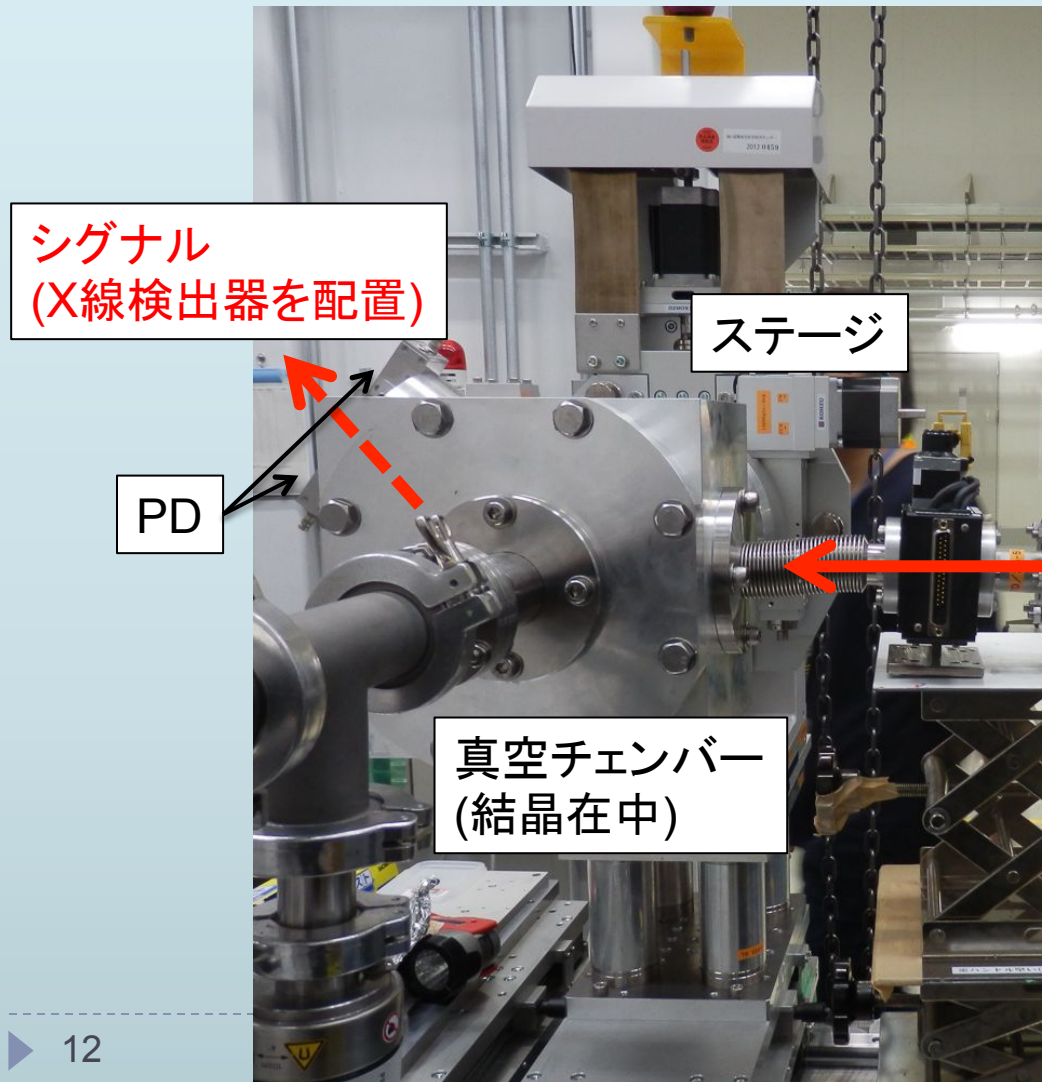
- ▶ 周囲の物質による一次X線のパイルアップが大きなBG候補 (10fsのバンチで群れてやってくる)
 - ▶ 位置分解能/高エネルギー分解能が必須
- ▶ DSSD (Astro-H用に開発されたもの)を使用
 - ▶ 32mm×32mm×t0.5mm厚
 - ▶ 128ストリップ×両面
(250 μ mピッチ)
 - ▶ エネルギー分解能(FWHM) :
1.1keV@22keV
 - ▶ 検出効率 : 40% @ 20keV



(発表済: PLB732(2014)356)

(今回の新しい結果)

測定: 2013年7月(9時間)+2014年11月(29時間)

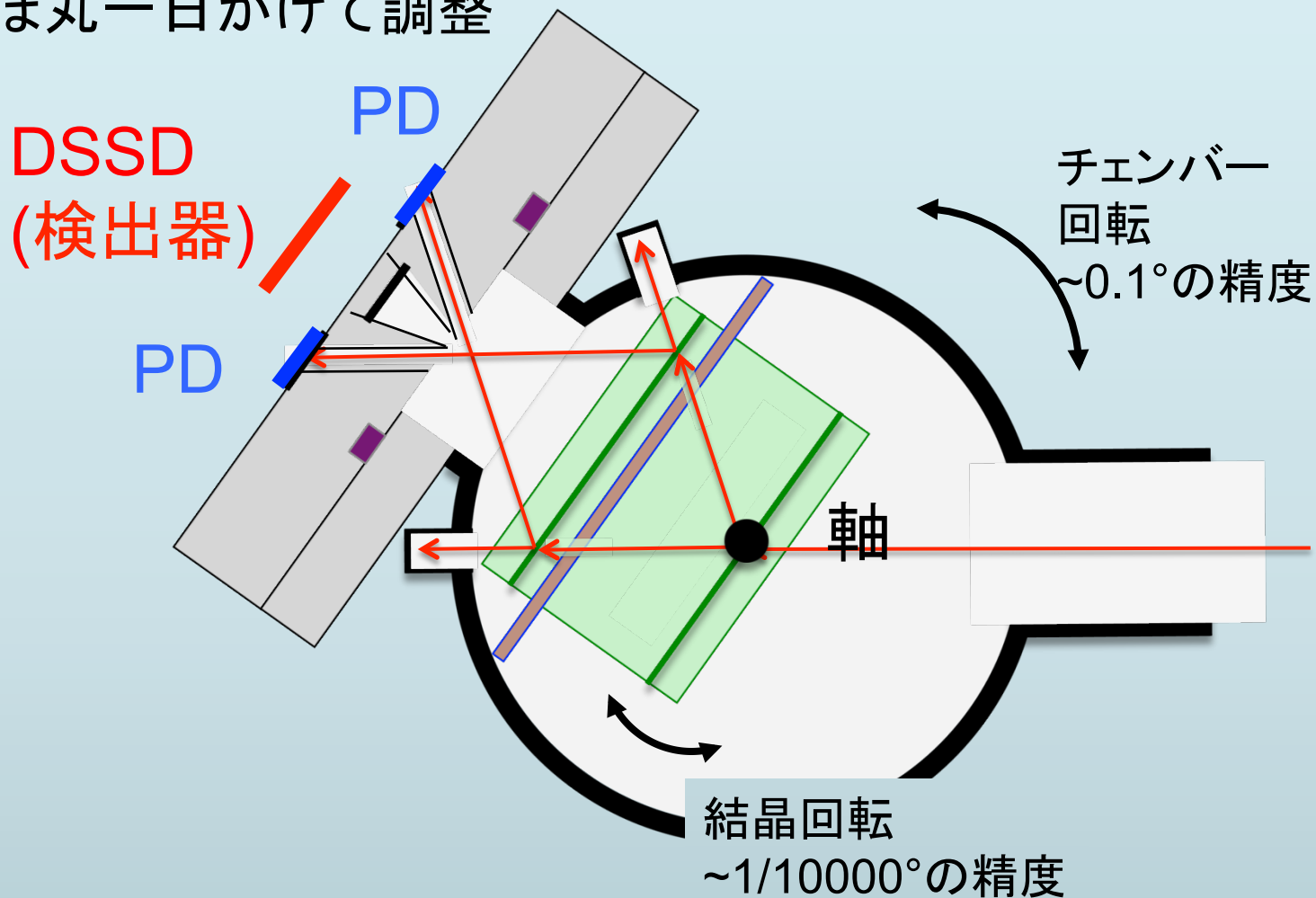


- ▶ 調整中の真空チェンバー
- ▶ 結晶軸・チェンバー軸・x・y・zの5軸を調整)
- ▶ パルス毎に強度はPDでモニタ
- ▶ ビームの大きさは別途ワイアスキャンで測定

SACLAからのX線
(10.985keV)

断面図のマンガ

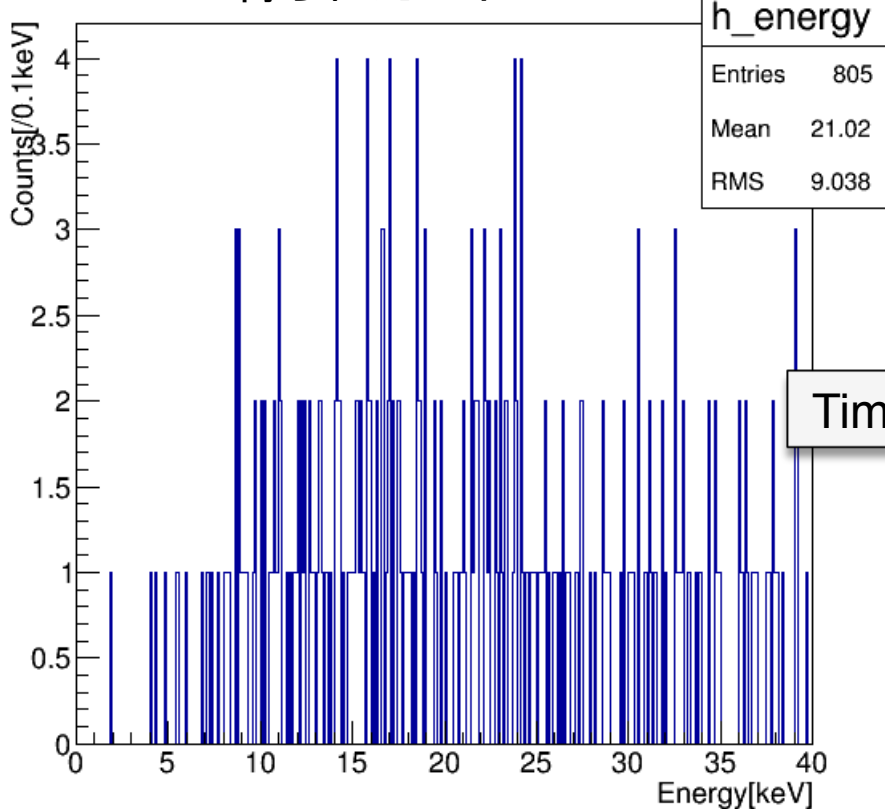
ほぼ丸一日かけて調整



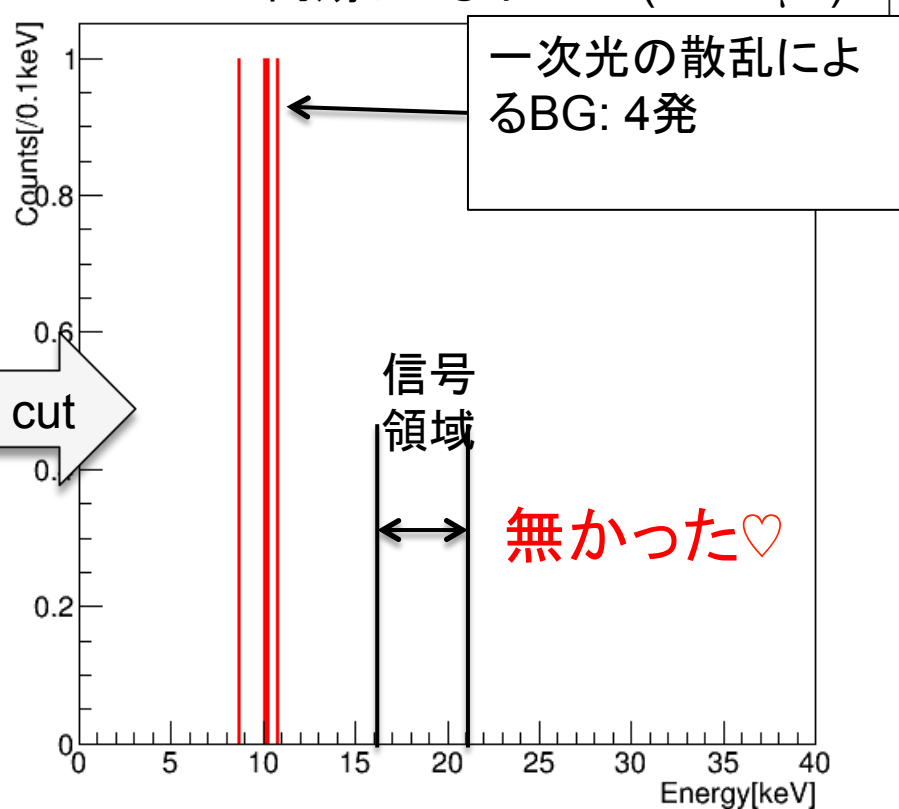
測定で得られたスペクトル

▶ 2014年データ(29時間分)

得られた全イベント



ビームと同期してるイベント($\pm 2.5\mu\text{s}$)



ルミノシティ&検出効率 (2014 run)

$$L = \frac{I_{TR} I_{RR}}{4\pi\sigma_x\sigma_y}$$

- ▶ 2本の衝突するX線の強度
PDでパルス毎に観測
共に平均で $\sim 3 \times 10^5$ γ /pulse程度
- ▶ ビームの大きさ
ワイヤースキャンで別途測定
 $\sigma_x = 0.8 \mu\text{m}$ 、 $\sigma_y = 195 \mu\text{m}$

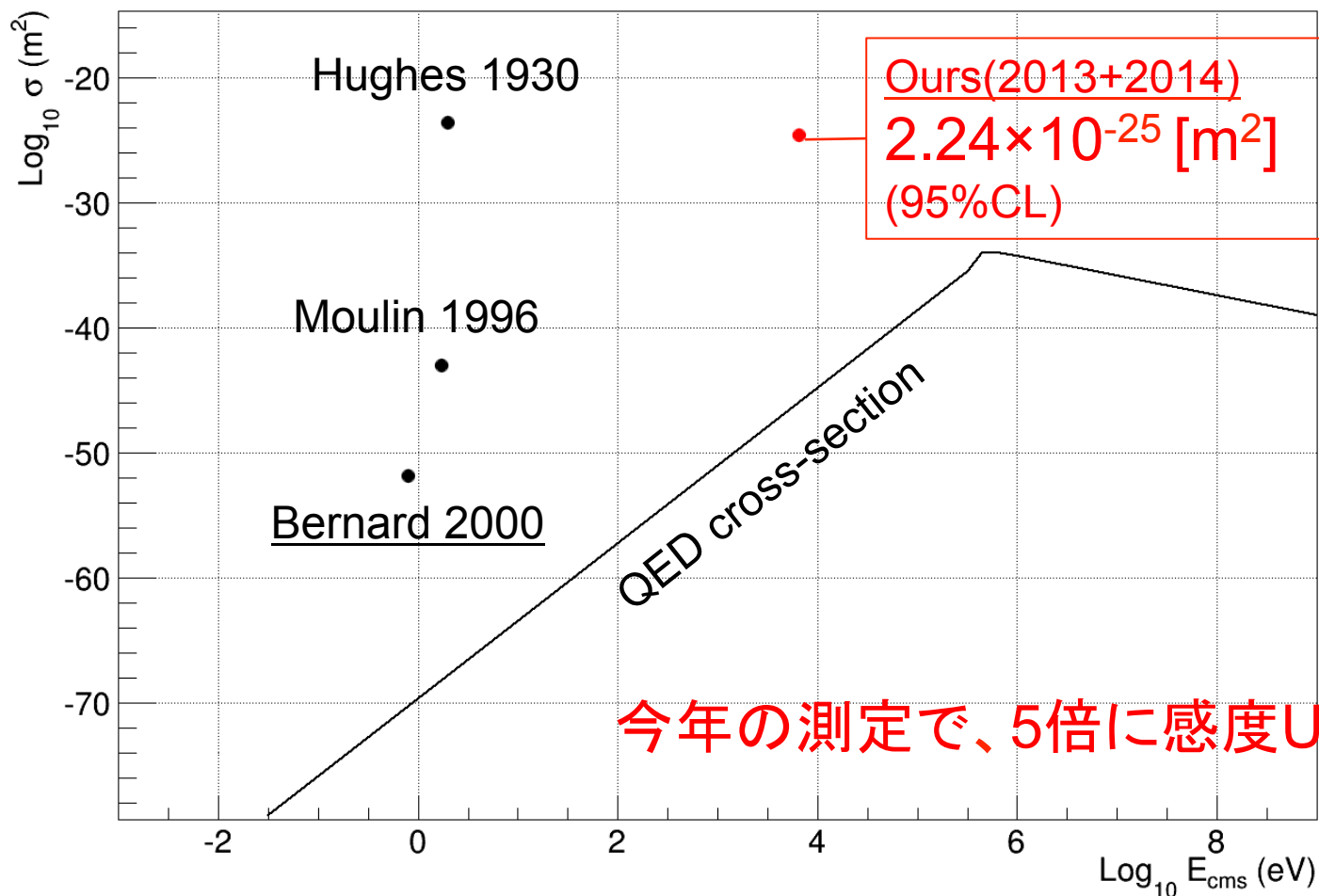


積分ルミノシティ

$$L = 2.24 \times 10^{26} \text{m}^{-2}$$

- ▶ シグナル検出効率: 3.8%

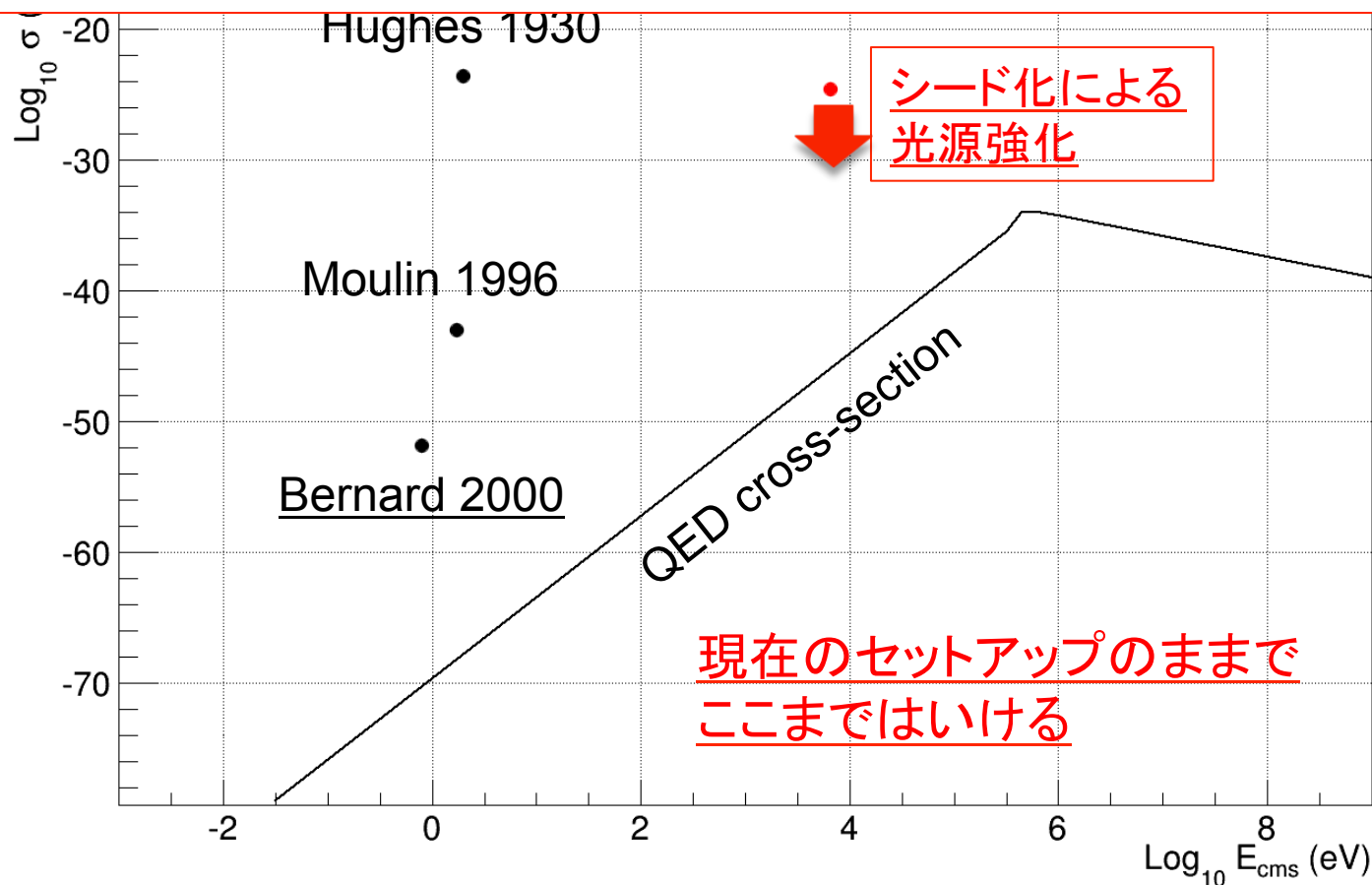
光子・光子散乱の上限に直すと、



SACLAのシード化

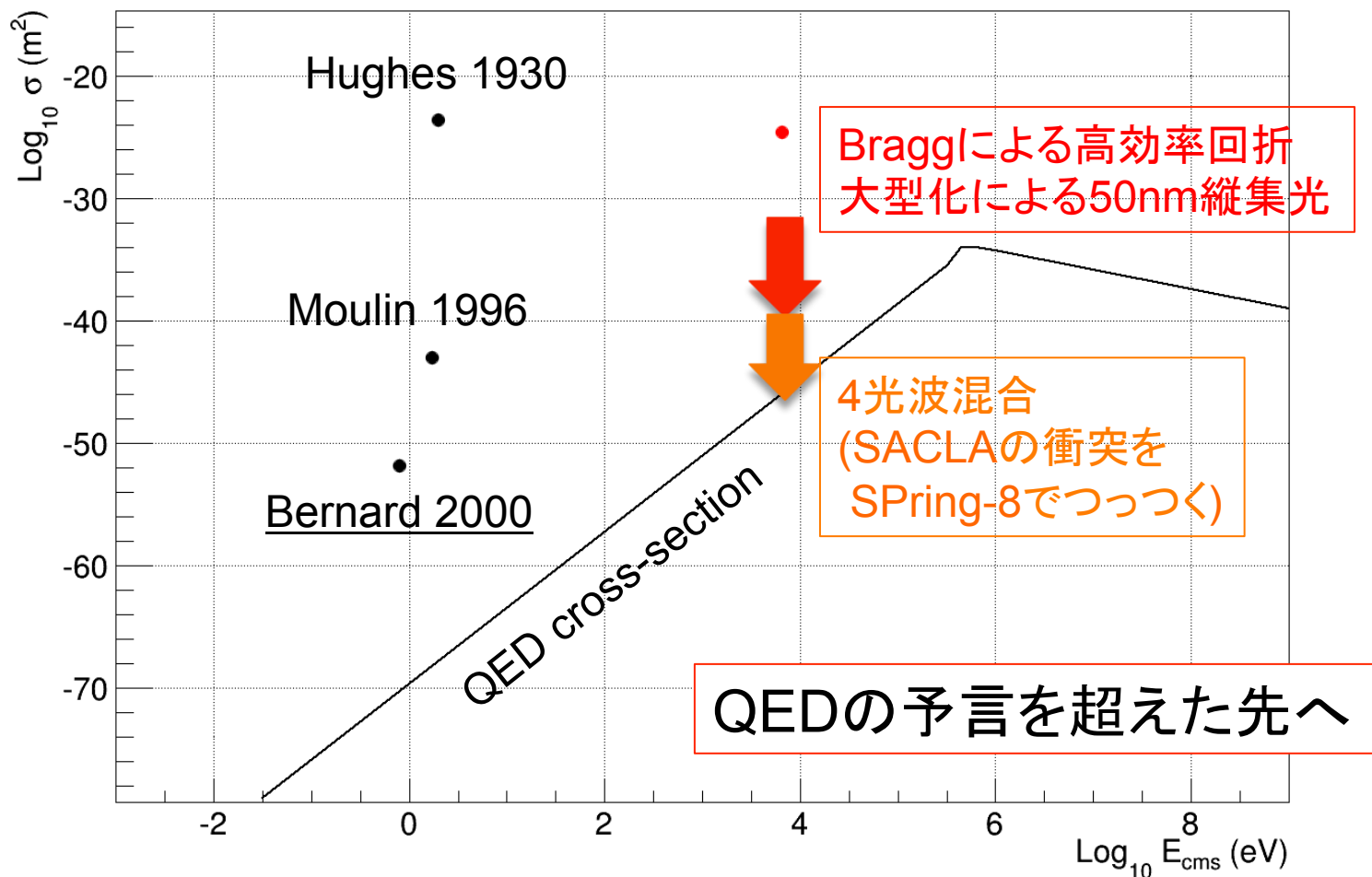
(本当は、今年やる予定だったのですが...)

- ▶ 「種光」を使って、XFELの単色性を2桁上げる技術
→実効的なビーム強度に直結し、感度が5桁以上向上



さらに将来

Braggミラー+50nm集光 & 4光波混合



まとめ

- ▶ 真空中に潜む「何か」を、X線を用いて叩き出したい！
 - ▶ 「何か」のベンチマーク: QEDの予言する光子・光子散乱
 - ▶ X線高輝度フロンティア: SACLA を使って、光子・光子散乱を探索中
 - ▶ 今年の測定では、感度を5倍にしただけできなかったが、SACLAシード化で5桁以上の感度向上が見込める
 - ▶ さらなる高感度化でQEDの検証を行うとともに、未知の物理を探索する
-
- ▶ 新学術領域 (研究領域提案型) 2303 テラスケール物理
課題番号: 26104701 の助成を受けています
ありがとうございます