

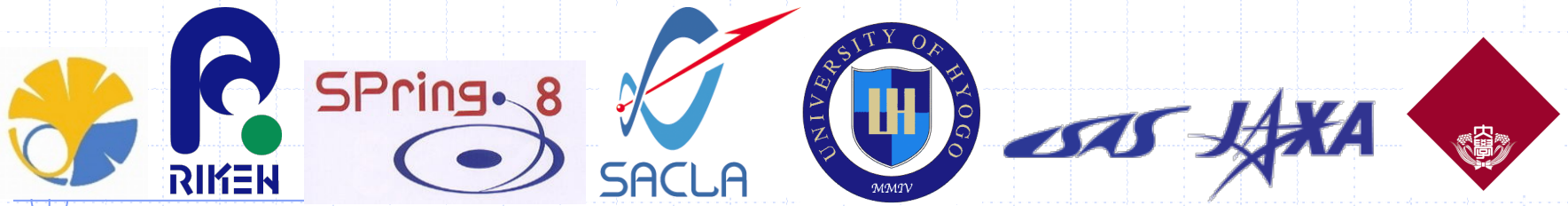
# X線を用いた光子・光子散乱 —光で探る真空—



難波俊雄

東大素粒子物理国際研究センター

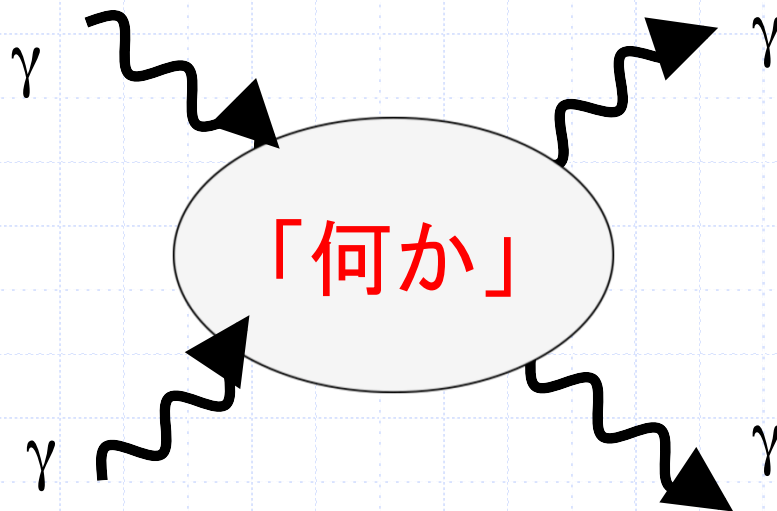
新学術領域 (研究領域提案型) 2303 テラスケール物理  
課題番号: 26104701 の助成を受けています



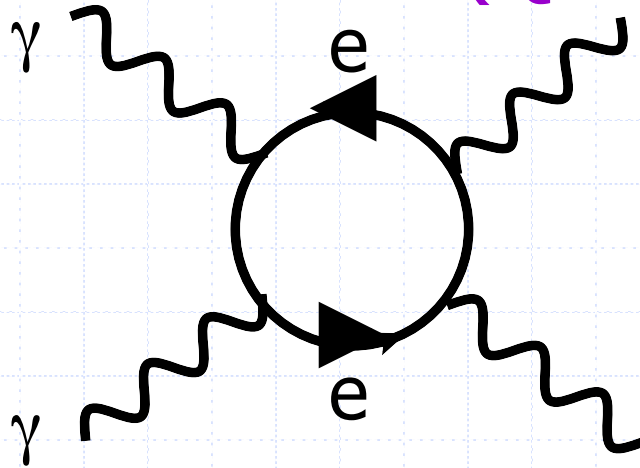
- 東大理 & ICEPP: 難波俊雄、山道智博、稲田聡明、山崎高幸、浅井祥仁、小林富雄
- 理研/SPring-8/SACLA & JASRI/XFEL & 兵庫県立大: 玉作賢治、田中義人、犬伏雄一、藪内俊毅、富樫格、大和田成起、澤田桂、矢橋牧名、石川哲也
- ISAS/JAXA & 早大理工: 高橋忠幸、渡辺伸、佐藤悟朗

# 真空中に潜む「何か」を探そう

- 真空中には「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！)
  - インフラトン?
  - 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」経由して光が散乱
  - 究極的には、  
Photon-photon collider



# たぶん最初に出てくる「何か」 ～真空に潜む仮想電子対(QED)～



- 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 $\sigma$  (@ $\omega < 700\text{keV}$ )  
$$\sigma = 7.3 \times 10^{-70} (\omega/1[\text{eV}])^6 [\text{m}^2] \quad (\text{ちょう小さい!})$$
- 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)

# 「何か」をあぶり出す武器 X線自由電子レーザー SACLA

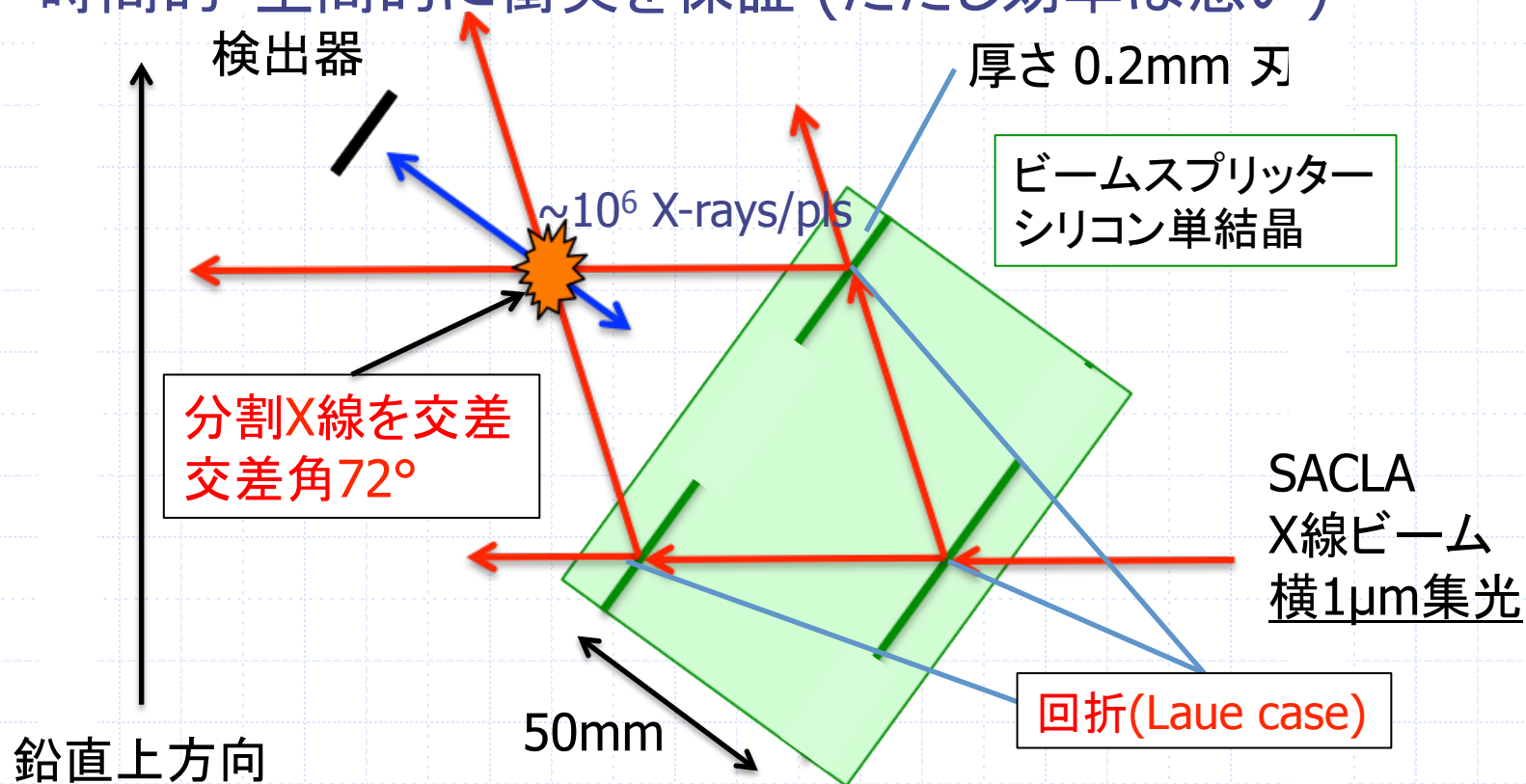


## SACLA

- 世界最高強度のXFEL(水平偏光)を発振
- 光子数 $1.2 \times 10^{11}$ photons/pulse@11keV
- パルス幅<10fs, 繰り返し30Hz
- ビーム幅: 200 $\mu$ m  $\times$  200 $\mu$ m (FWHM)
- 1 $\mu$ 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  
→High Luminosity
- 入射光子エネルギー:10.985keV

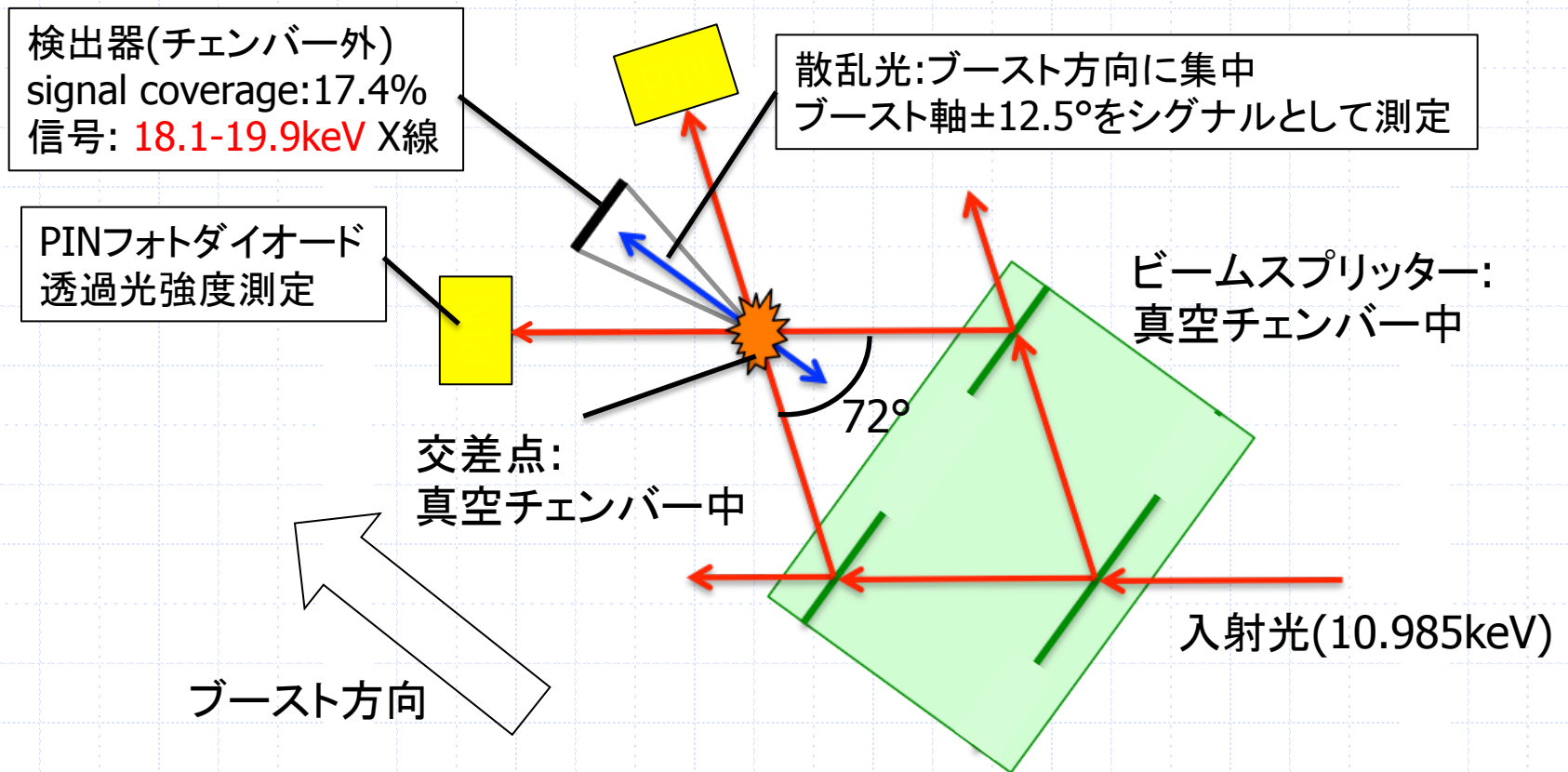
# ビームは一本しか無いので、 分岐して衝突

- X線光学の技術を利用 (Laue回折)
- 時間的・空間的に衝突を保証 (ただし効率は悪い)

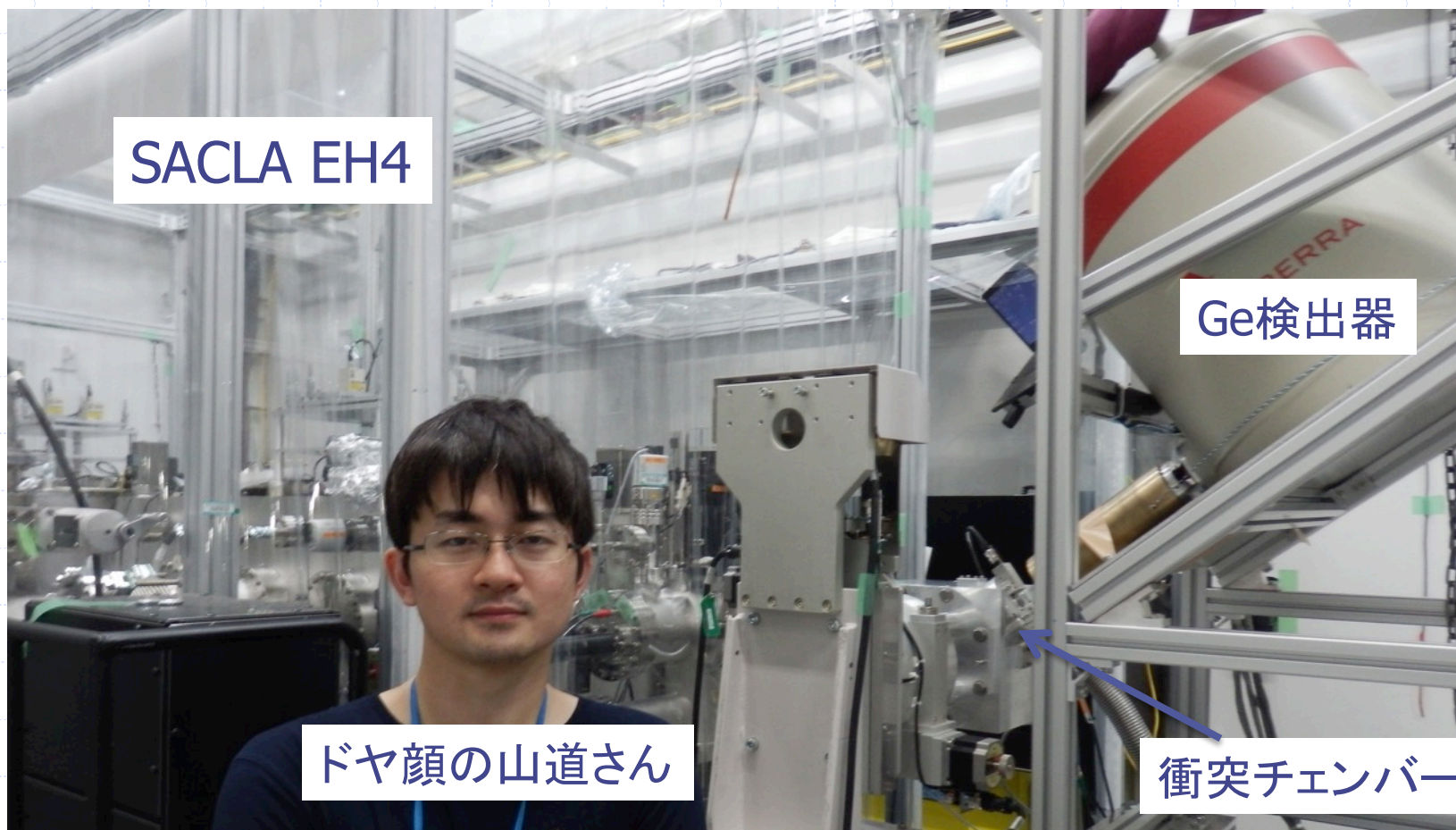


# 期待される散乱シグナル ～前方にブースト～

- $\omega_{cm} = 6.46\text{keV}$ の系でほぼ等方散乱

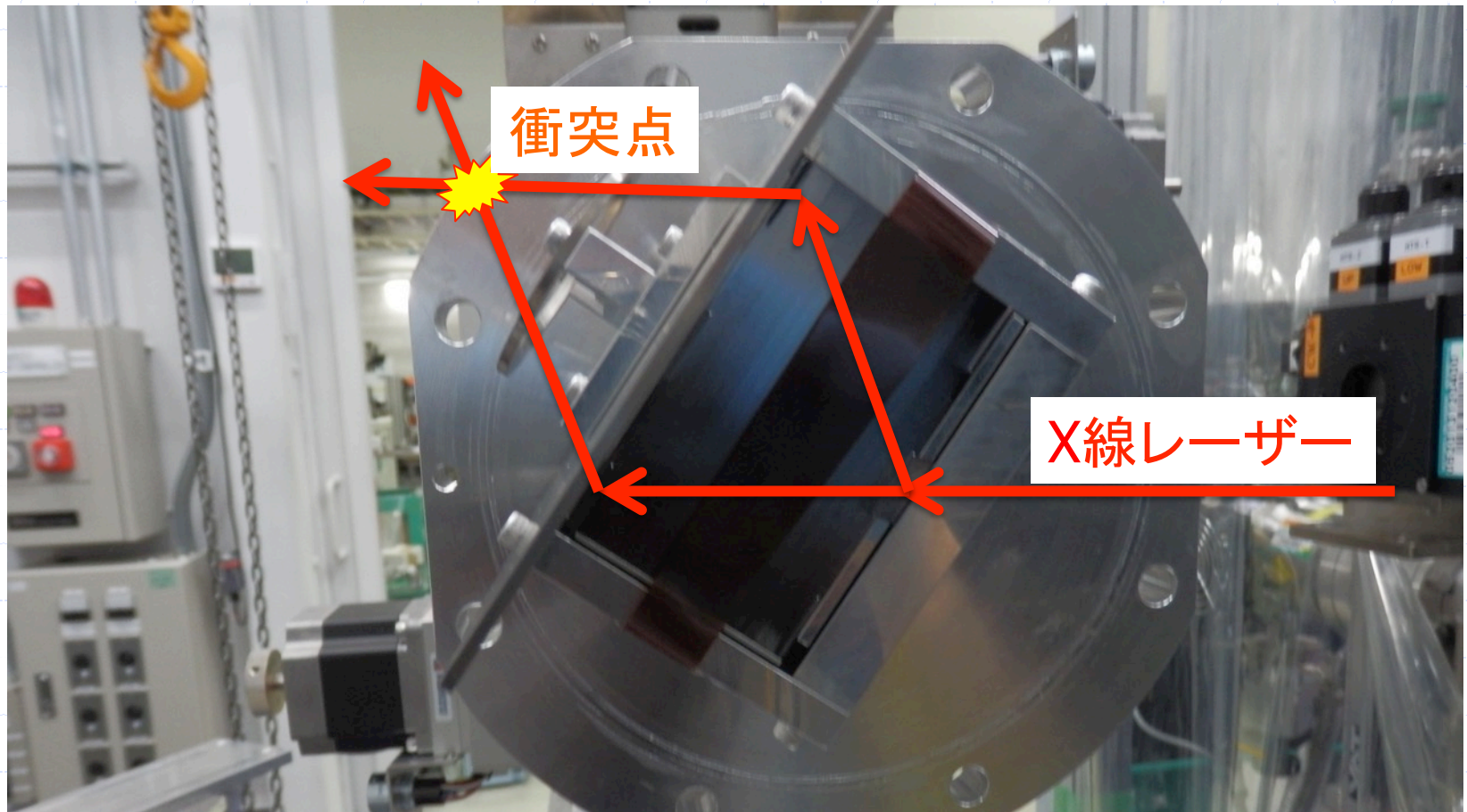


# 今年の測定: 2015/11/10~13 (ビームタイム 2.5days、run 39hours、 $\sim 4 \times 10^6$ パルス)



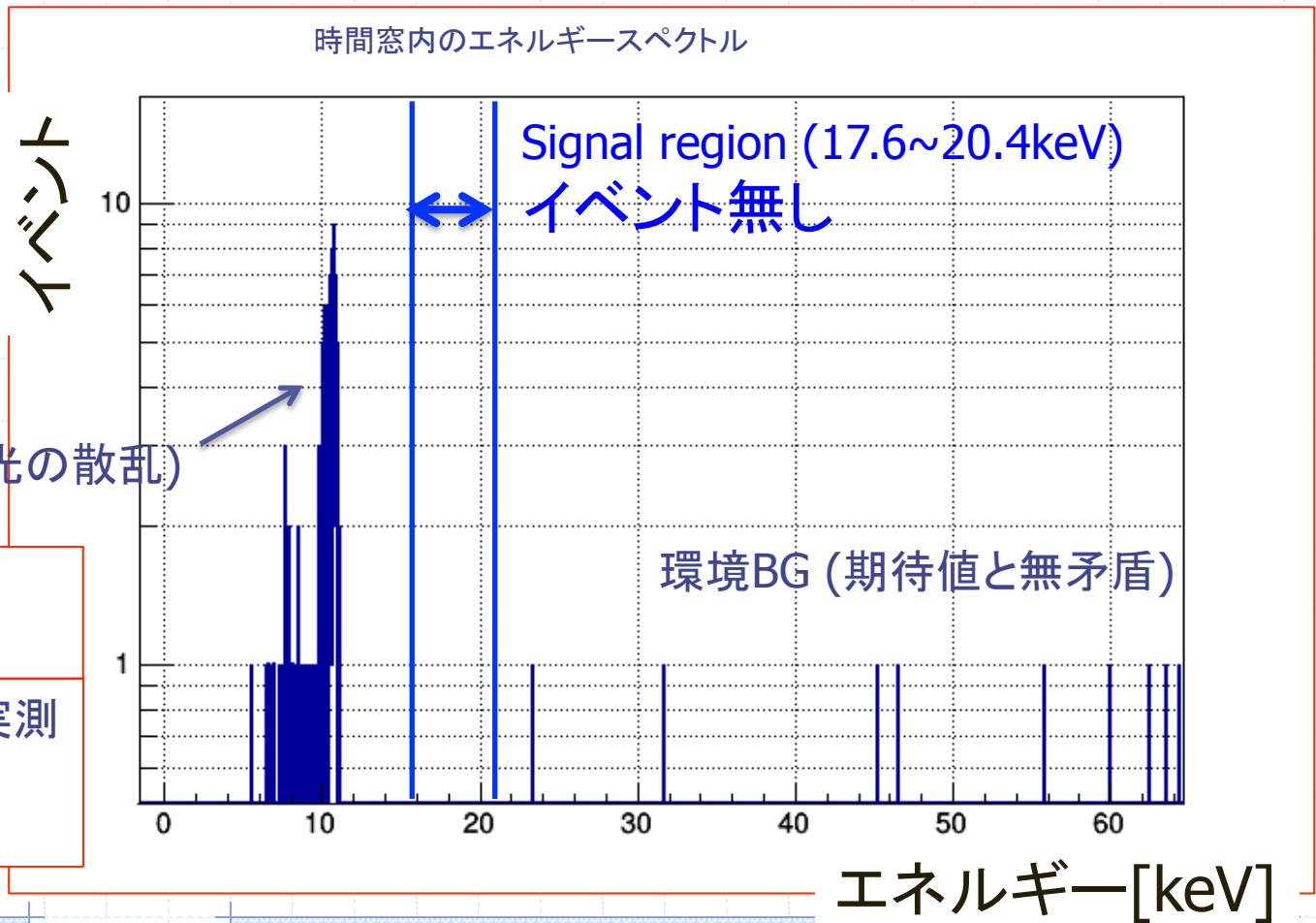


# 衝突チェンバー内 (真空容器を開けたところ)



# 得られたスペクトル

- ビームと同期した $0.4\mu\text{s}$ に来たイベント



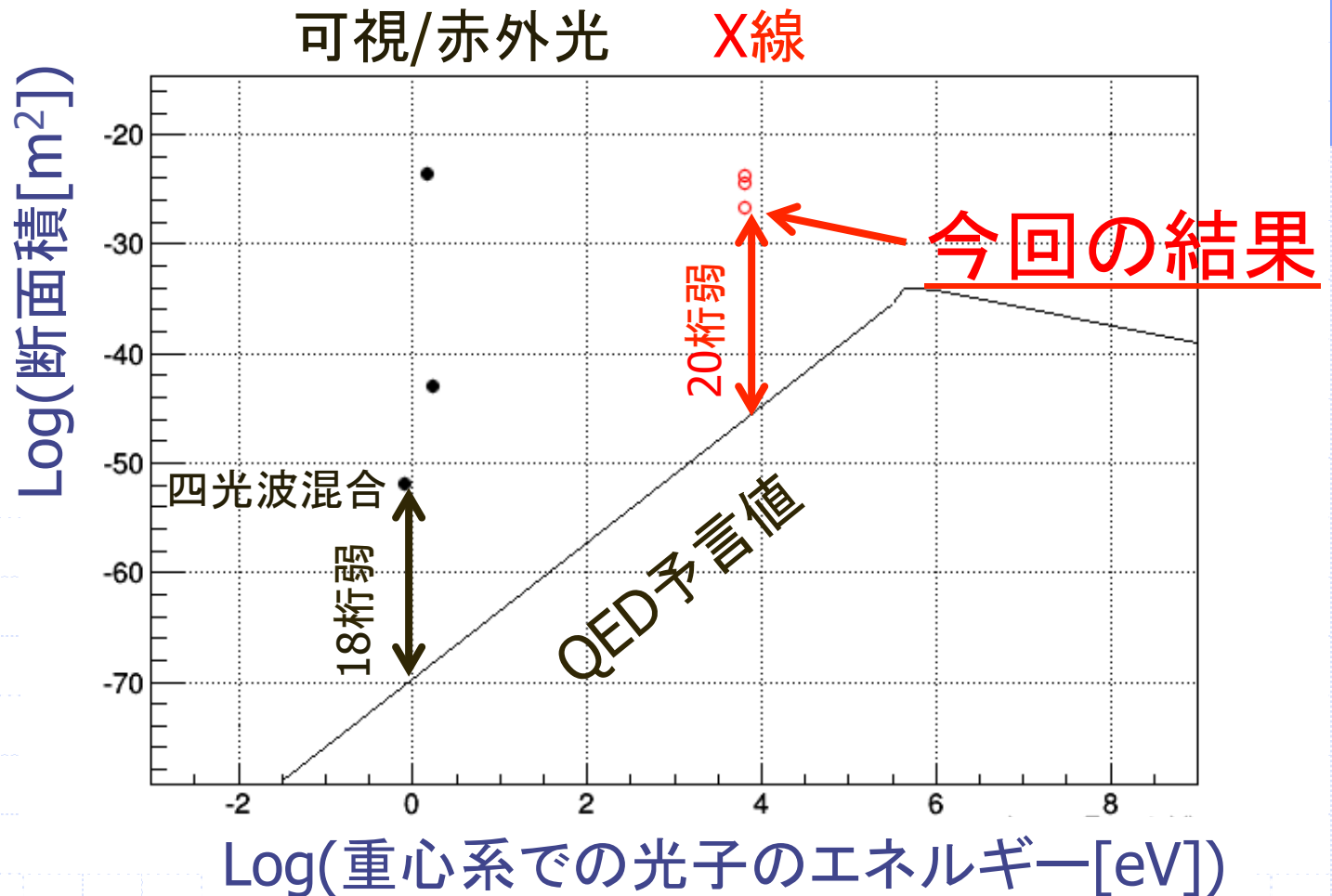
回折ビーム強度は  
全パルスPINで実測

ビームサイズは別途実測  
縦:  $134 \pm 7 \mu\text{m}$   
横:  $0.977 \pm 0.028 \mu\text{m}$

得られたリミット:  $\sigma < 1.9 \times 10^{-27} \text{ m}^2$  (95%CL)

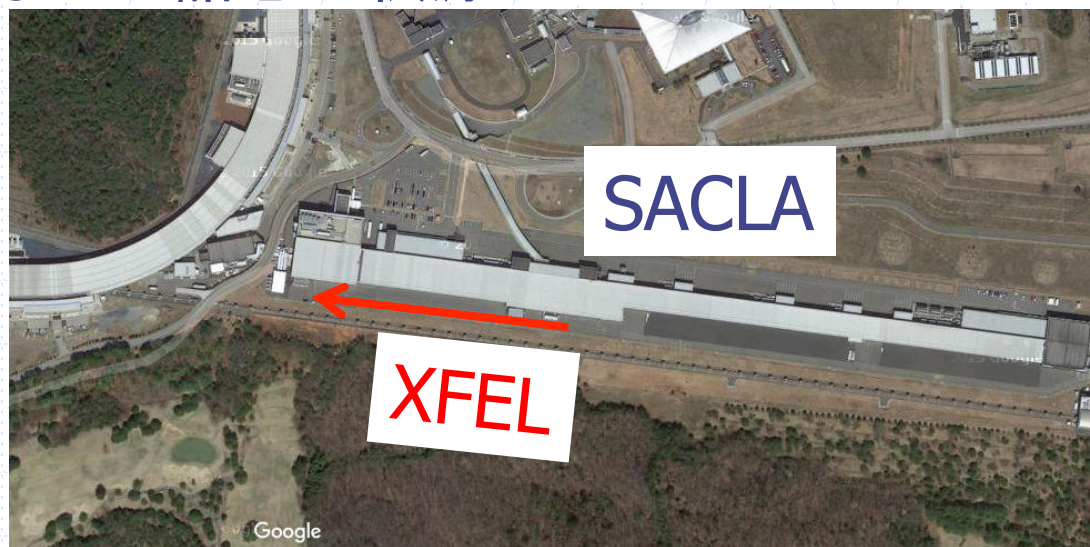
- 昨年の測定と比較して、大幅に感度向上 (200倍)
  - ビームスプリッターの最適化
  - セットアップの段取りの効率化 → 測定時間1.5倍
  - ビーム強度の向上 (SACLAの調子(強度、線幅)、真空中のチャンネルカット) → 光子数の積 ~100倍

# 比較してみると、、、



# 次、どうするか

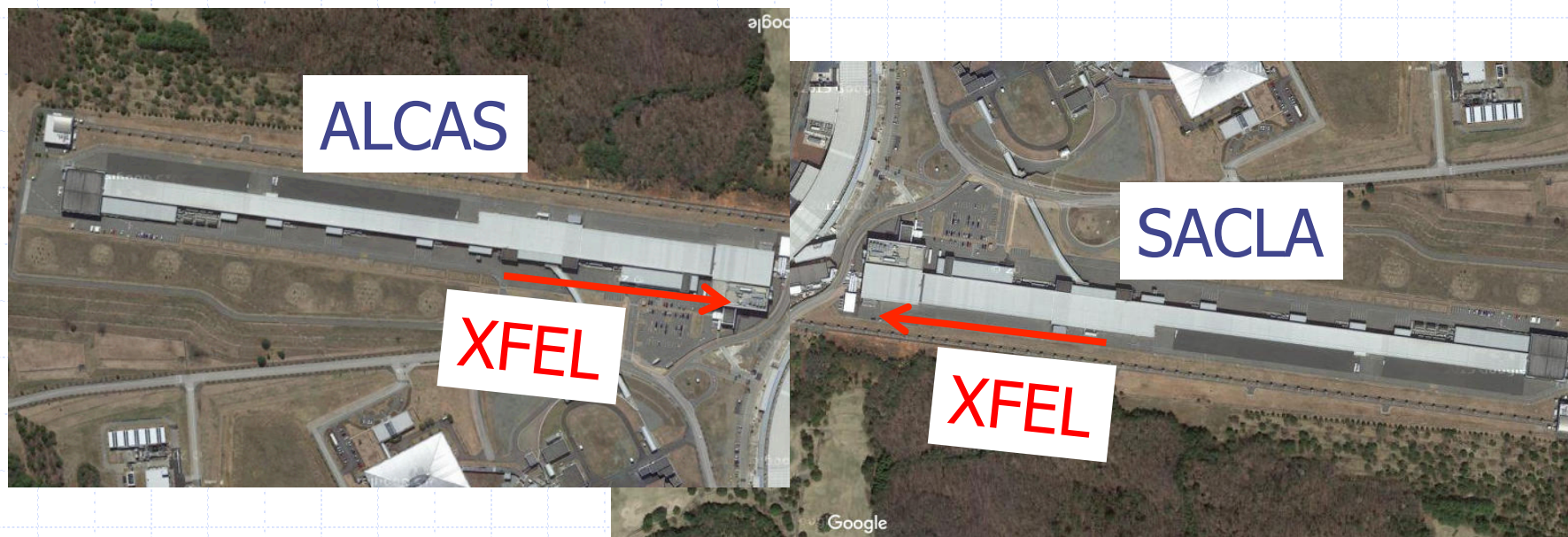
- 現在、X線の分岐、衝突のところが効率が悪い(X線の数で5~6桁落ち、結果に2乗で効く)
- Braggの利用等で効率up
- ただし、ビームが1本なのが諸悪の根源



SACLA空撮(by Google)

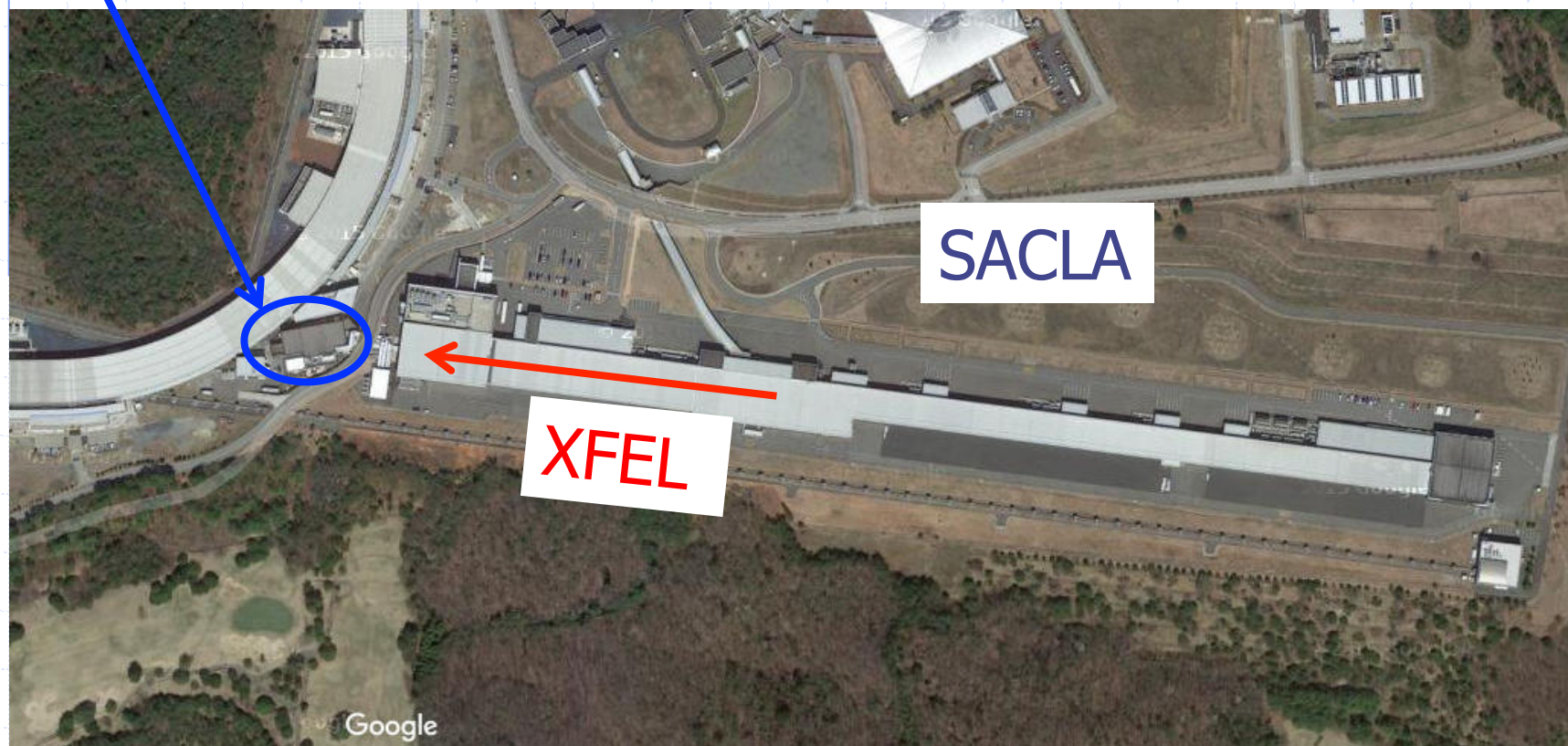
# 次、どうするか

- もう一本増やす???



# よく見ると、何かある

相互利用施設 (500TWレーザー×2本=1PW!を整備中)



# SACLA同期ハイパワーレーザー

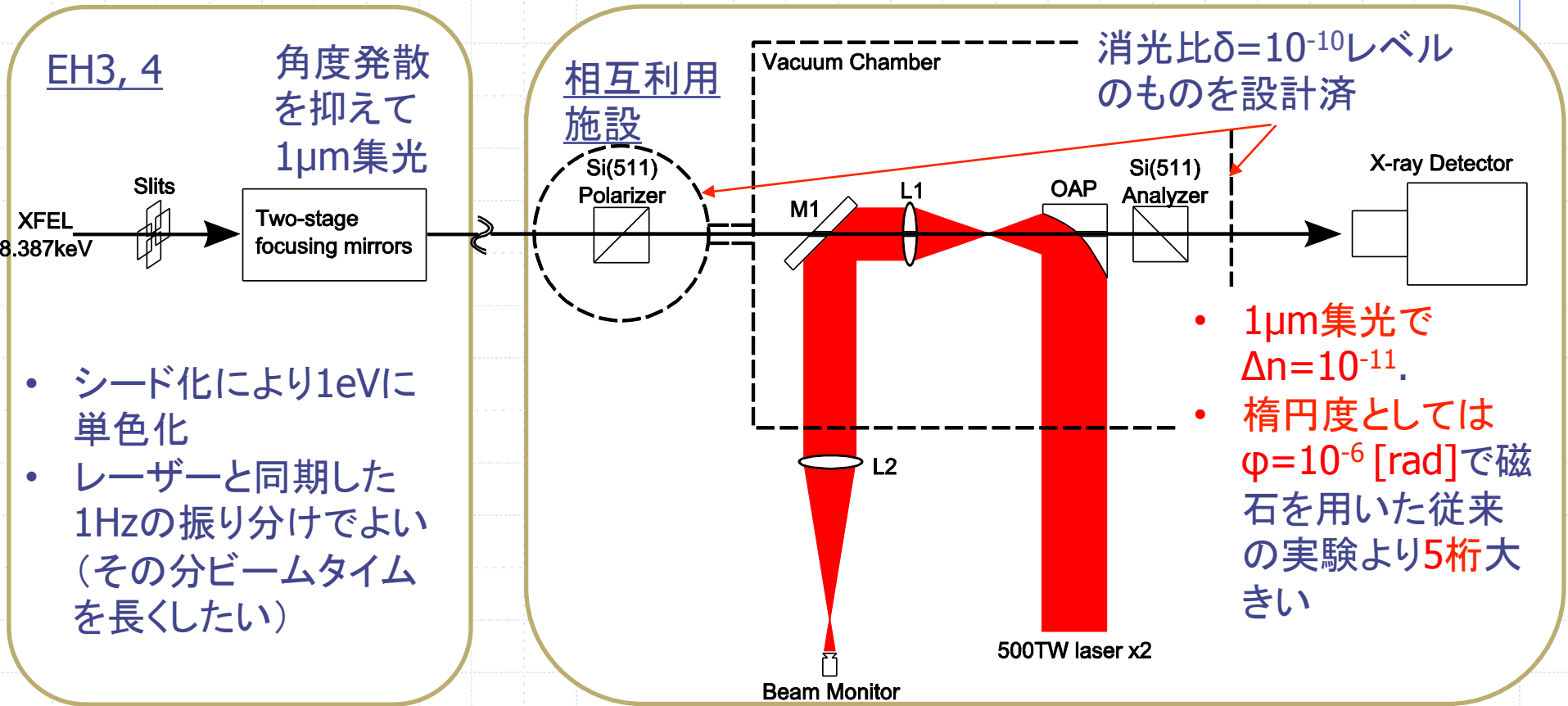
- 昔の偉い人の格言「一本の矢では折れやすいが、云々」
- レーザーの光子単体では貧弱だが、コヒーレントな場として利用 (1 $\mu$ m集光で、 $I=3.2\times 10^{22}$ [W/cm<sup>2</sup>]、磁場換算で $1.6\times 10^6$ [T]相当)
- X線とぶつけると、互いに微少角度散乱、**偏光が変化**



	THALES 500TW x2
波長	800 nm
パルスエネルギー	12.5 J x2
パルス幅	25 fs
繰り返しレート	1 Hz



# 想定しているセットアップ



- (SACLAの性能向上にも依存しますが)うまくいけば、数日のビームタイムでQED理論値まで到達
- 500TWレーザーは、来年から本格的に試験運転開始 (まずはもっと弱いレーザーで練習)

# まとめ

- 真空中に潜む「何か」を、XFEL(SACLA)を用いて叩き出す実験
- 「何か」のベンチマーク: QEDの予言する光子・光子散乱、真空の複屈折
- 今年の測定で、昨年より200倍感度が向上
- 更なる高感度化:
  - X線の分岐・衝突系の改良
  - 500TW×2レーザーとの組み合わせ