

# ミリ波大強度光源を用いた弱結合未知粒子の探索

ミリ波：波長  $\sim 1\text{mm}$ 、周波数  $\sim 200\text{GHz}$ 、エネルギー  $\sim 0.8\text{eV}$

大和田健太、末原大幹<sup>A</sup>、宮崎彬、山崎高幸<sup>A</sup>、難波俊雄<sup>A</sup>、  
浅井祥仁、小林富雄<sup>A</sup>、酒井剛、立松芳典<sup>B</sup>、出原敏孝<sup>B</sup>

東大理、東大素セ<sup>A</sup>、福井大遠赤セ<sup>B</sup>

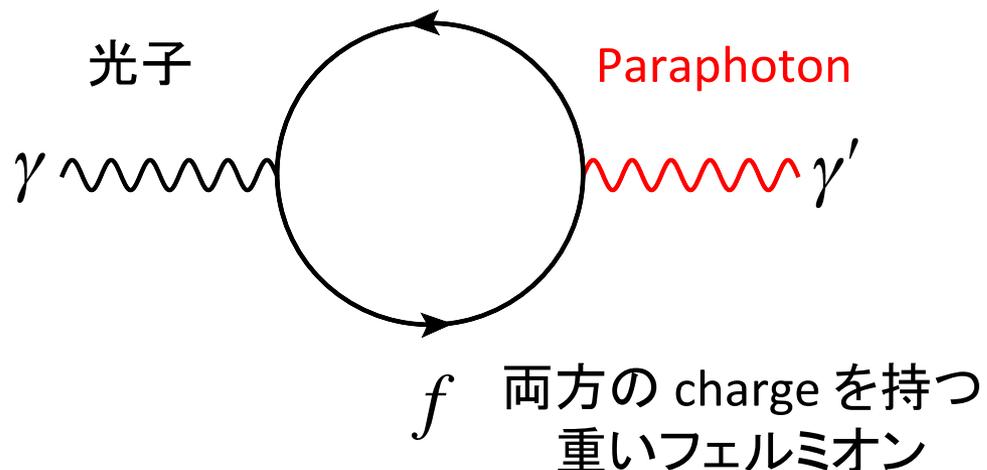
日本物理学会 2013年春季大会

広島大学

# 光子と弱く結合する未知粒子

## Paraphoton

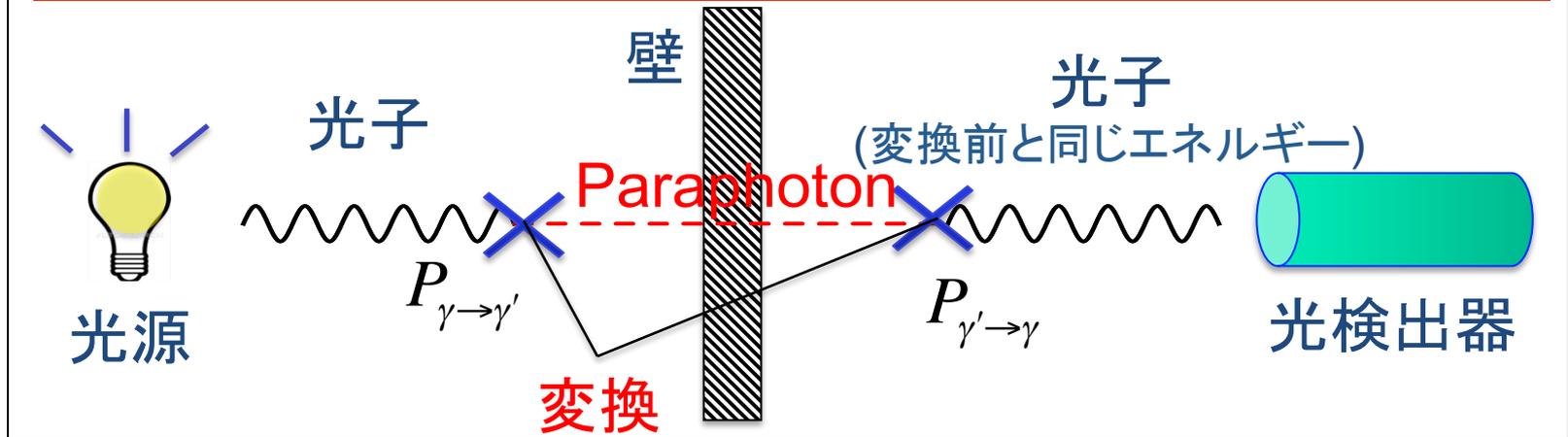
- 標準理論を超える多くの理論から自然と予言される  
Extra U(1) Gauge Boson
- 光子と paraphoton の両方と結合するフェルミオンが存在すると、光子とparaphoton のmixingが起こる



# 探索方法：LSW実験

LSW = Light Shining through a Wall

Paraphotonに変換した場合だけ壁を通り抜ける



- 光源の強さ、検出器の感度 → 探索感度を決める
- 光子のエネルギー → 探索領域を決める

変換確率

$$P_{\gamma \rightarrow \gamma'} = 4\chi^2 \sin^2 \left( \frac{m_{\gamma'}^2 L}{4E_\gamma} \right)$$

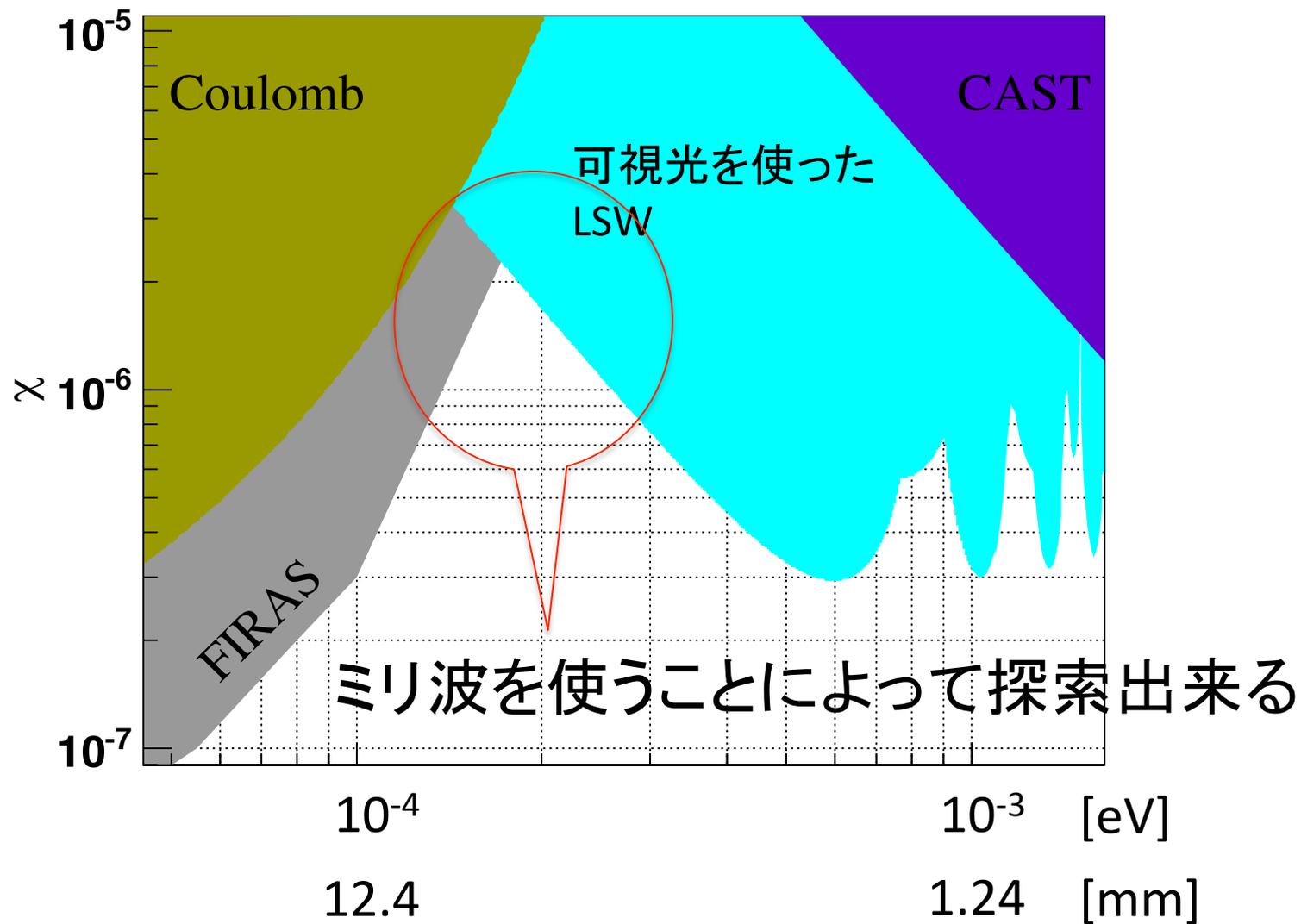
混合parameter

Paraphotonの質量

変換領域の長さ

光子のエネルギー

# ミリ波を用いた場合の領域

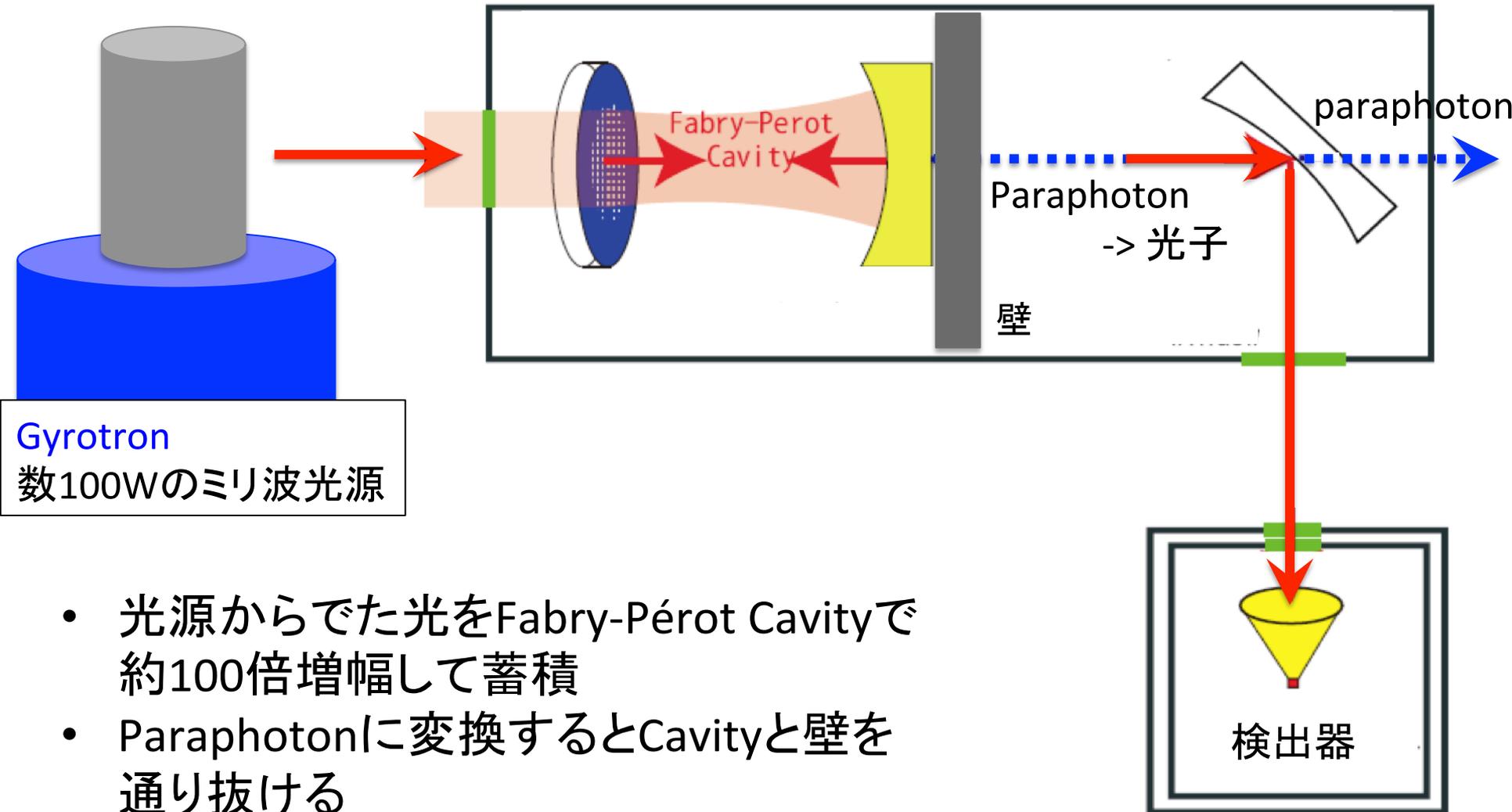


# ミリ波を使う利点

## ミリ波を用いる2つの利点

1. ミリ波は素粒子でまだ使われていない波長域
  - 未だに探されていない領域の探索が可能
2. 単位エネルギーあたりの光子数が多いので高感度の探索が出来る
  - 単位エネルギーあたりの光子数  $10^{22}$ [コ/W]  
(可視光の約1000倍)

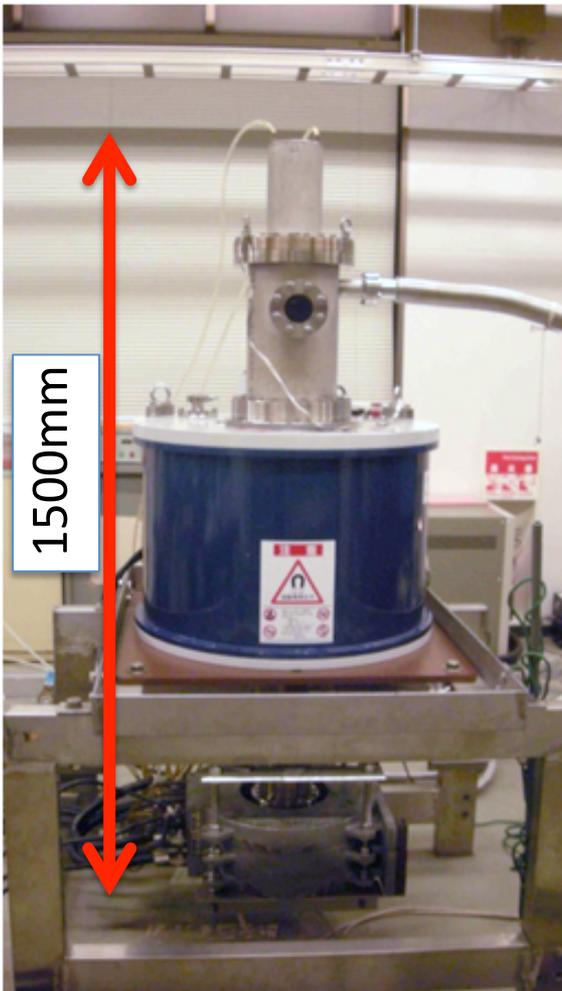
# 実験セットアップ



- 光源からでた光をFabry-Pérot Cavityで約100倍増幅して蓄積
- Paraphotonに変換するとCavityと壁を通り抜ける
- 通り抜けて再び光子に再変換した物をミラーで反射して検出器で検出する

# ミリ波光源:Gyrotron

@ 福井大学



- Gyrotron FU CW G1
- Peak power ~ 200 W  
2.5Hz(duty 15%) on/offで引き算
- 203 GHz (波長 1.48mm)
- 線幅 約1MHz
- モードコンバータを内蔵しており、窓からはガウスビームが出力される

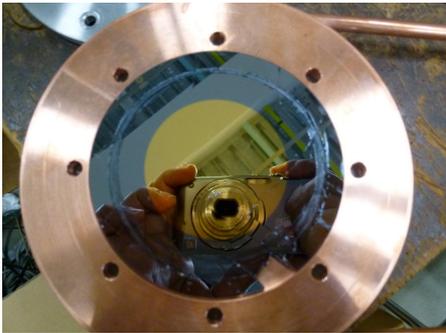
# Fabry-Pérot cavity

## 一次元のとじこめ(光学技術)

高いパワー密度 (光学的収束)

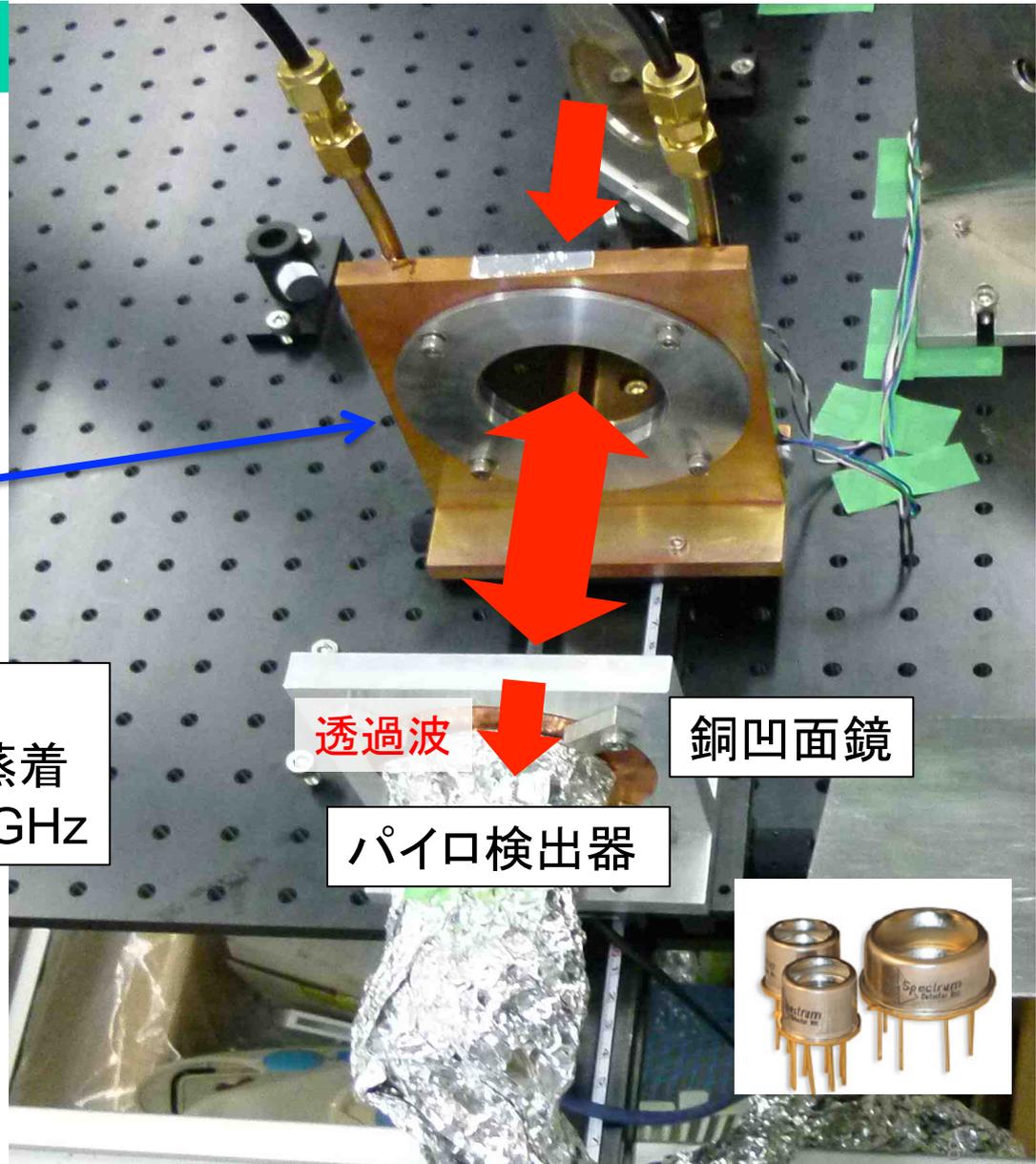
- 共振器長が自由に変えられる

金メッシュミラー



シリコン基板上に幅200um,  
周期360umの金薄膜(1um厚)を蒸着  
→99% 反射, ~0.7% 透過 @ 203 GHz

25kWの蓄積を達成



透過波

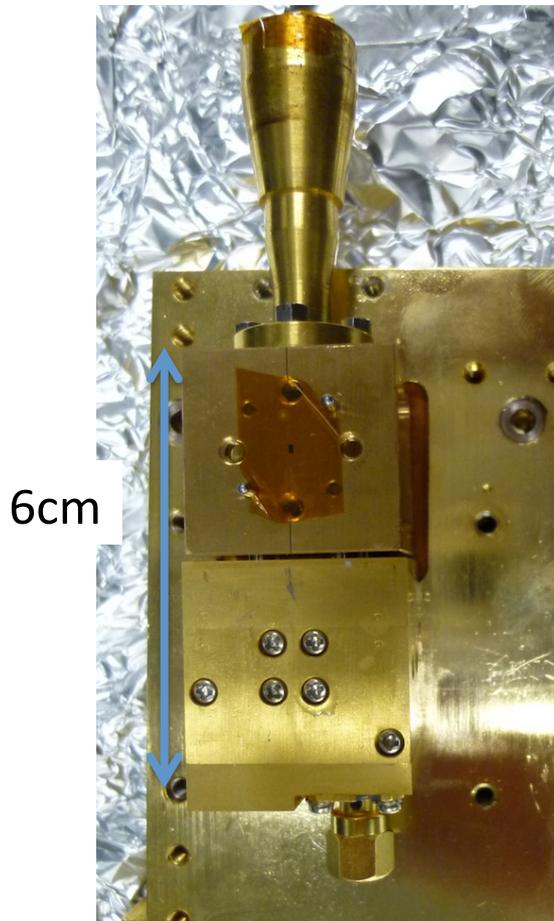
銅凹面鏡

パイロ検出器



# SISヘテロダイン検出器

SIS(Superconductor-Insulator-Superconductor)ヘテロダイン検出器



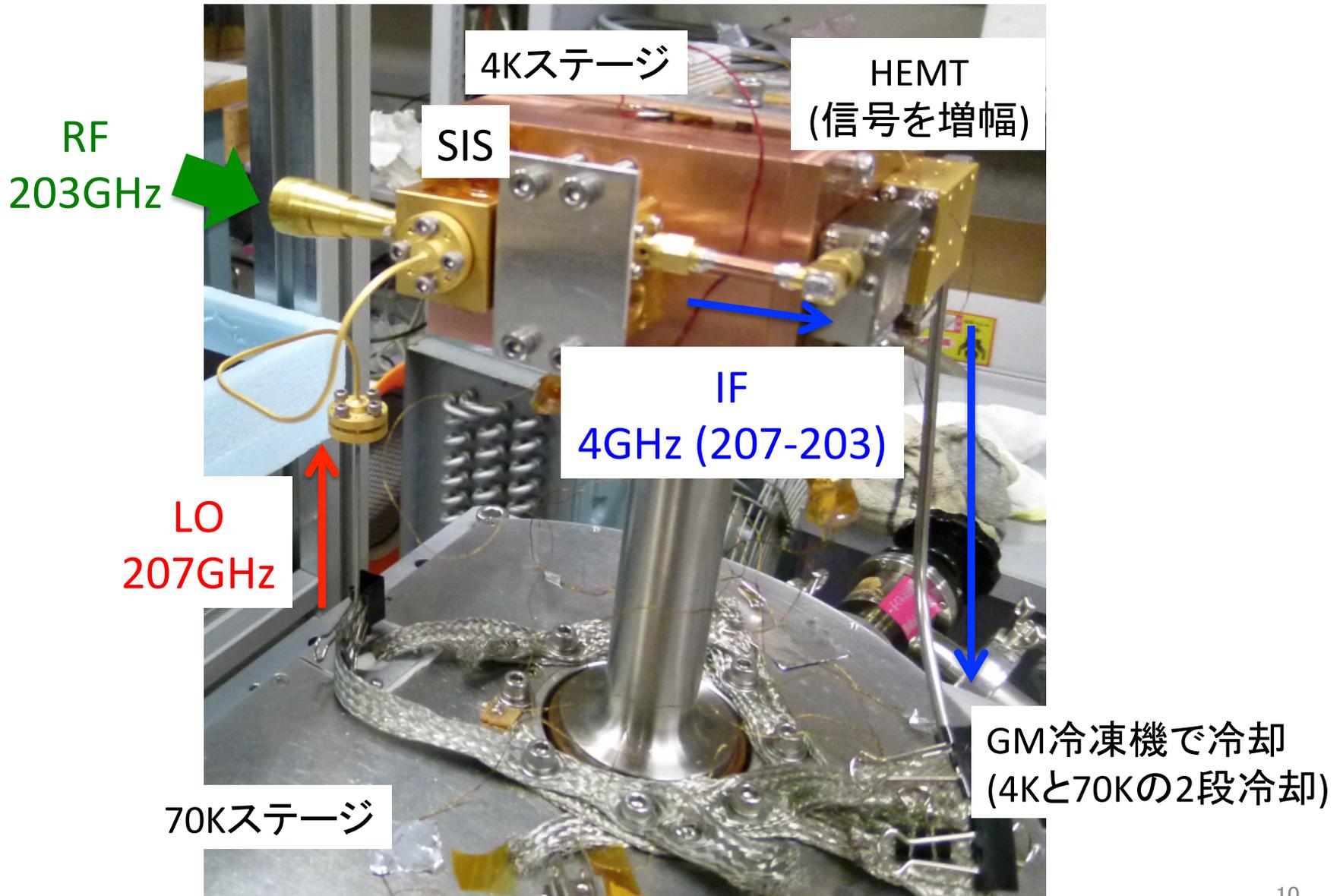
ジョセフソン接合による、電流・電圧特性の高い非線形性を利用した高感度なヘテロダイン検出器

- Nb超伝導  
動作温度 4K
- ノイズパワー  $\sim 50\text{K}$   
( $6 \times 10^{-14} [\text{W}/\text{MHz}]$ )  
ショットキーバリアダイオード  
より1~2桁良感度

SIS検出器

(国立天文台で使用されていたもの)

# 低温チェンバとSIS周り

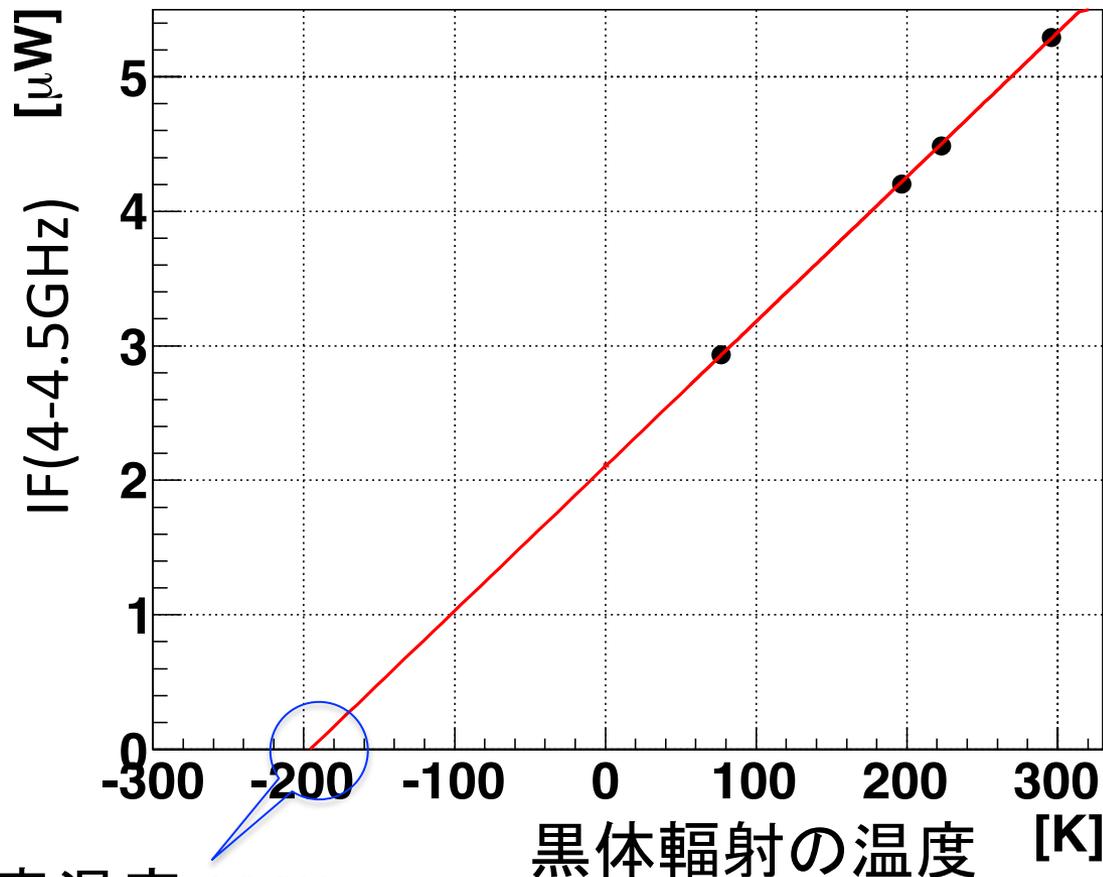


# SISの応答

SISの動作確認や雑音温度、検出効率の評価



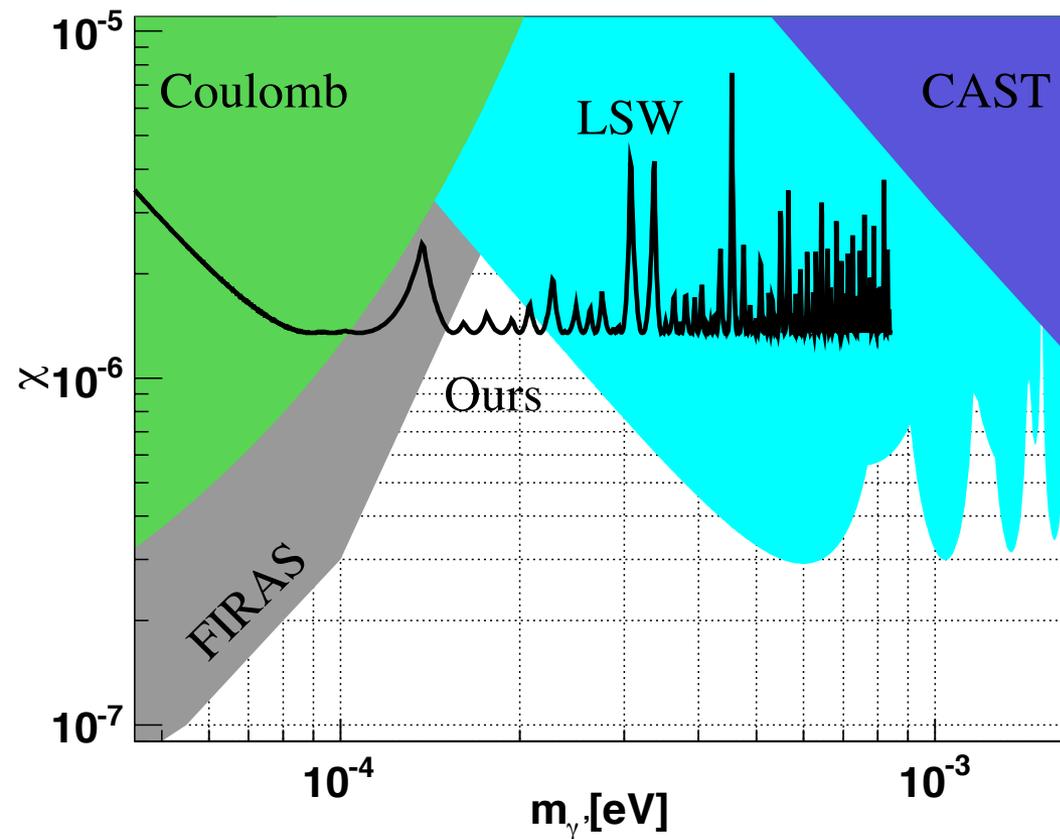
複数の温度の黒体放射(ミリ波源)を用いる



雑音温度 196K

- 動作温度  
6.4K
- bias電圧  
1.9mV
- LO  
207GHz
- 出力が入射黒体の温度に比例
- 検出効率 10%

# 到達感度



現在達成されている値

Fabry-Pérot 25kW蓄積  
線幅2[MHz]  
(LO 1.8MHz、Gyrotron1MHz)  
雑音温度 196K、  
検出効率10%

仮定

Livetime 8640[s]×3

現在の達成値でも0.2meV付近で最も感度の高い測定が出来る  
データ取得システムを改良し、livetimeを10倍にして感度を2倍よくする

# 予定

- ~5月 : SISの動作試験、データ取得システムの構築@東大
  - 黒体輻射を用いた動作試験
- ~6月 : 単色光源を用いた試験@福井
  - 単色光源への応答を調べる
- 6月 : 本測定 試験終了後1週間程度

# まとめ

- 標準理論を超える多くの理論から自然と予言されるparaphotonを探索する
- ミリ波を使うことにより、0.2meV付近のparaphotonを最高感度で探れる
- 強力なミリ波光源Gyrotronを使用
  - 200W、203GHz、Fabry-Pérot Cavityで25kW蓄積
- ミリ波を高感度で検出するため、SISヘテロダイン検出器を使用
- 6月中に結果を出すことを目指している