

ど す え - ダブルアール

# DOSUE-RR

**Dark-photon Observing System  
for Un-Explored Radio-Range**

**Shunsuke Adachi, 2022/04/27 HE meeting**

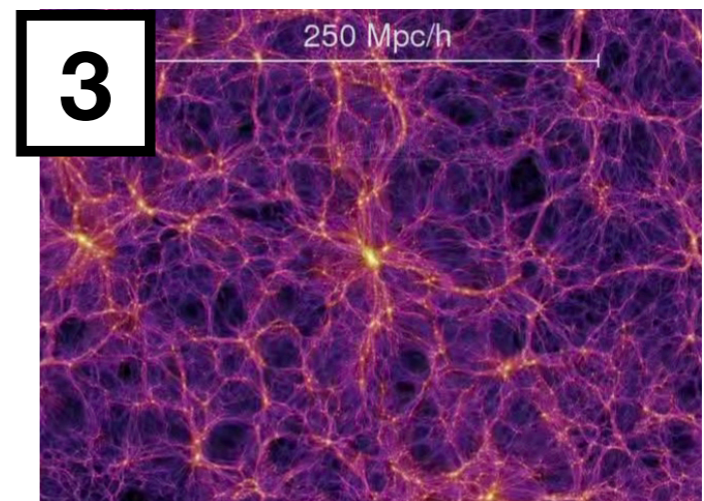
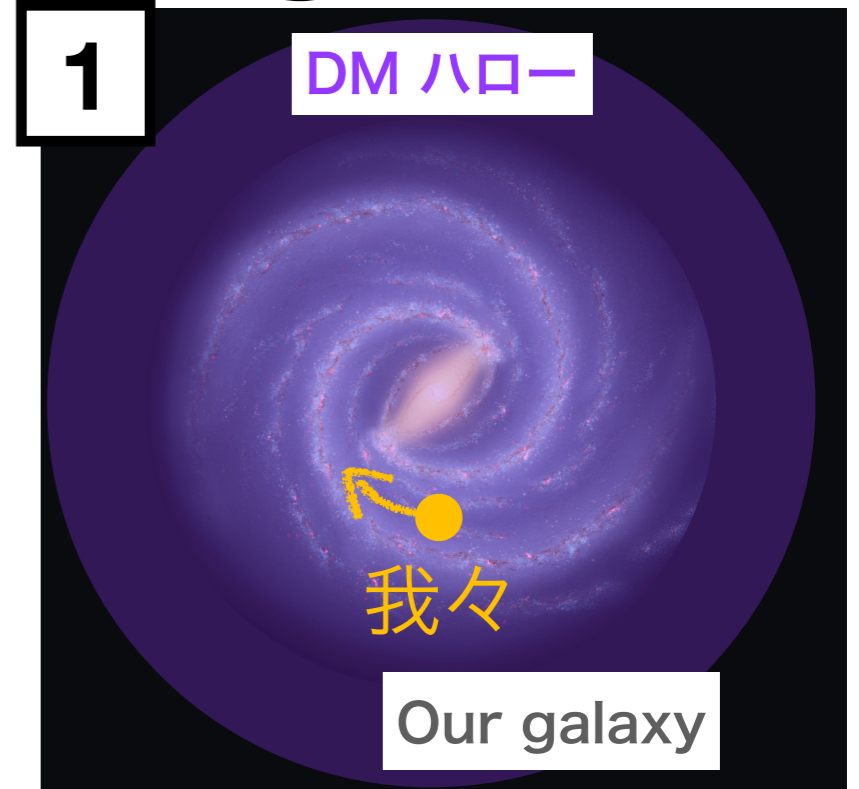
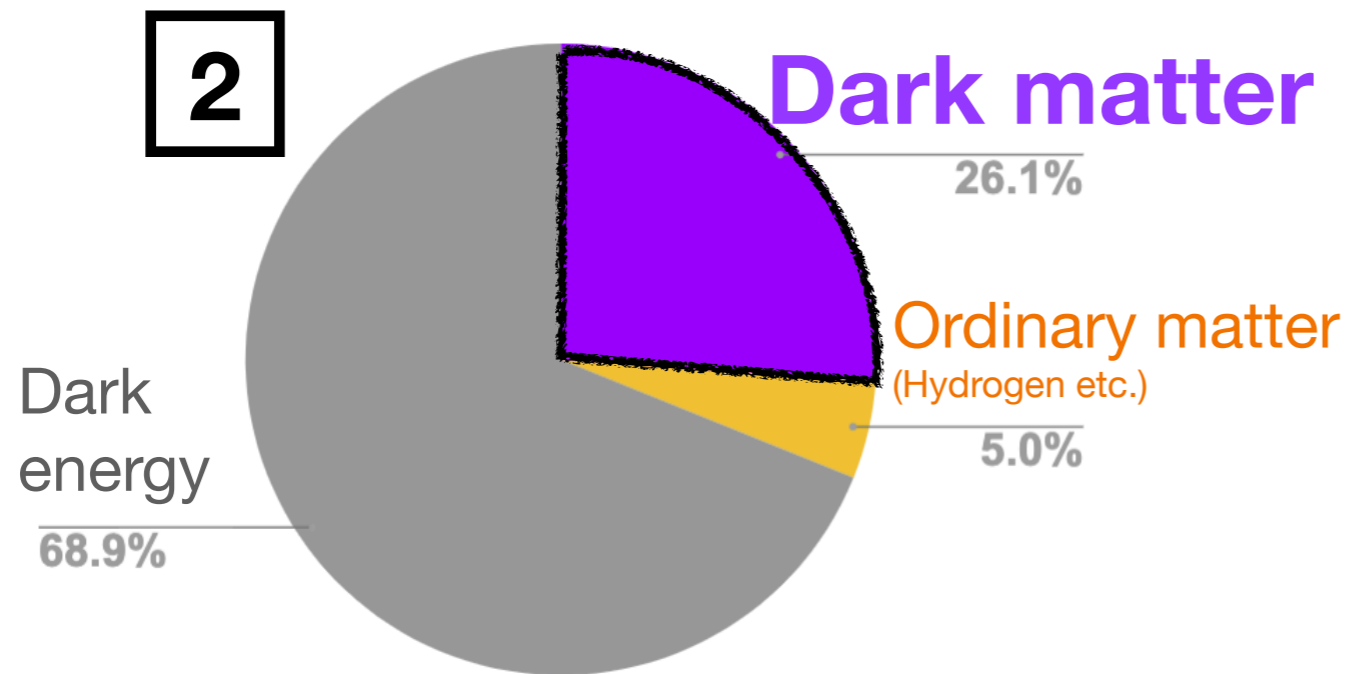
# ダークマターのわかってきていること

1. 銀河周りに集まっている.“ダークマターハロー”

- 質量密度(@地球) :  $\rho_{\text{DM}} = 0.39 \text{ GeV/cm}^3$   
⇒ 我々を常に通過している!!?

2. 宇宙の 1/4 の energy を占める

- CMB より宇宙の割合がわかっている



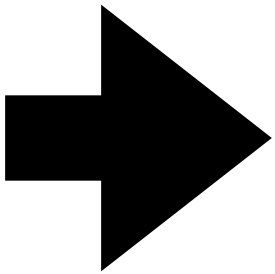
3. 今の宇宙の大規模構造を形成するには、“Cold” DM (**CDM**)であるのが嬉しい

- Cold = 粒子の平均速度が遅い  
→ 宇宙の構造をかき乱さない(構造形成を妨げない)

# ダークマターのわからないこと

ダークマターを表す素粒子は素粒子標準模型に存在しない

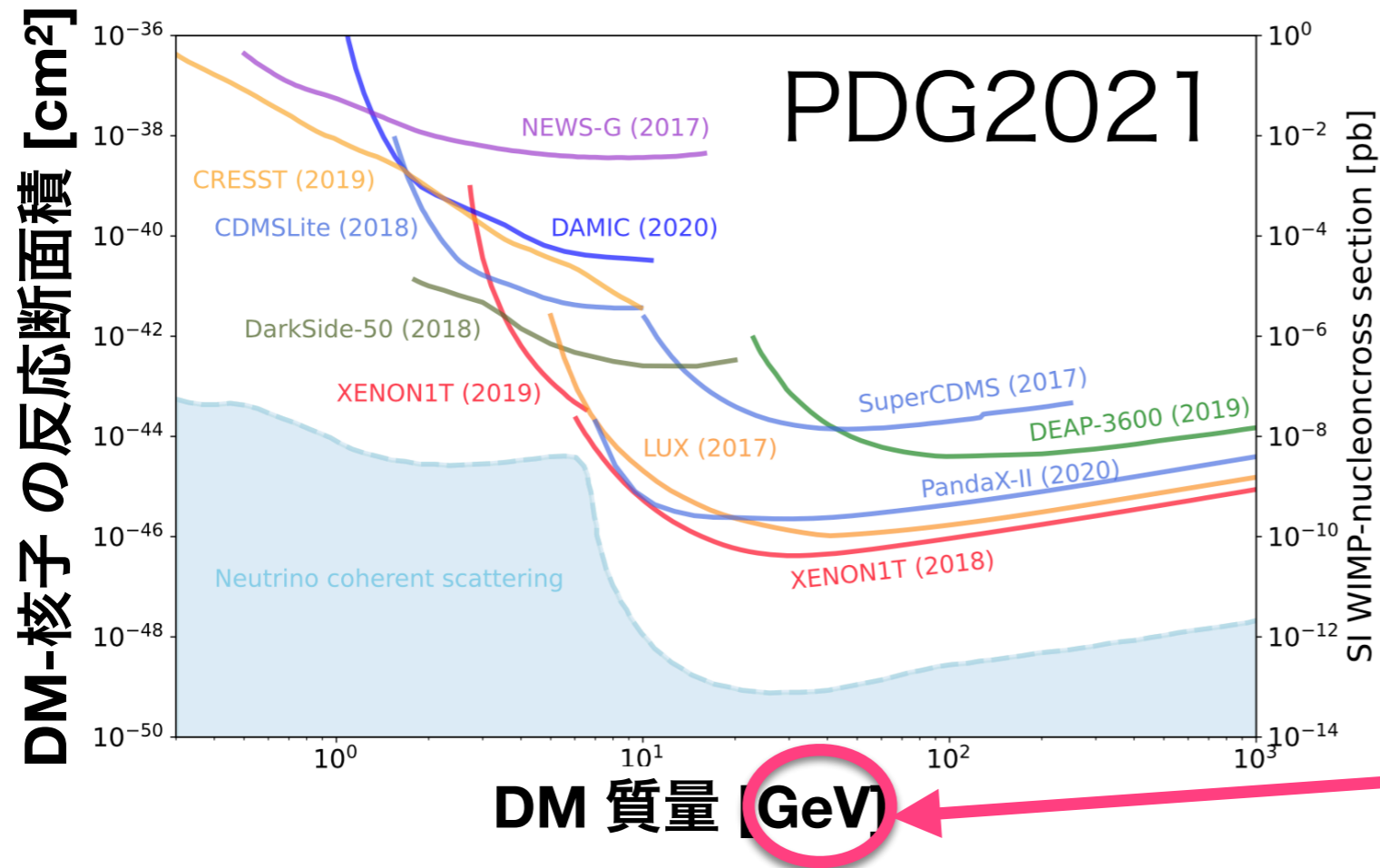
- ダークマターの1個の質量  $m_{\text{DM}}$  が不明
- 重力相互作用以外にどういう相互作用をするのかも不明
  - もしかすると無い？
  - 少なくとも我々が簡単には検出できないほど弱い  
“Weakly” interaction



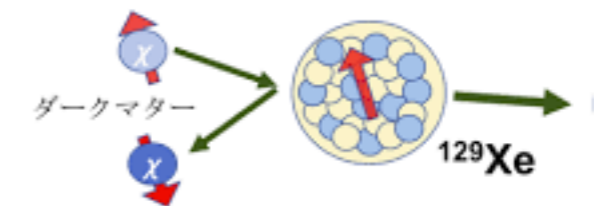
地上で我々の周りの DM を何かしらの相互作用を  
仮定して検出したい: “直接探索実験”  
(直接というより地球上探索?)

# これまでの DM 直接探索実験

- WIMP (Weakly-interacting massive particle) という DM を仮定
  - 他の粒子と弱く相互作用し反跳する(衝突散乱する)



DMの原子核との  
散乱事象を探索



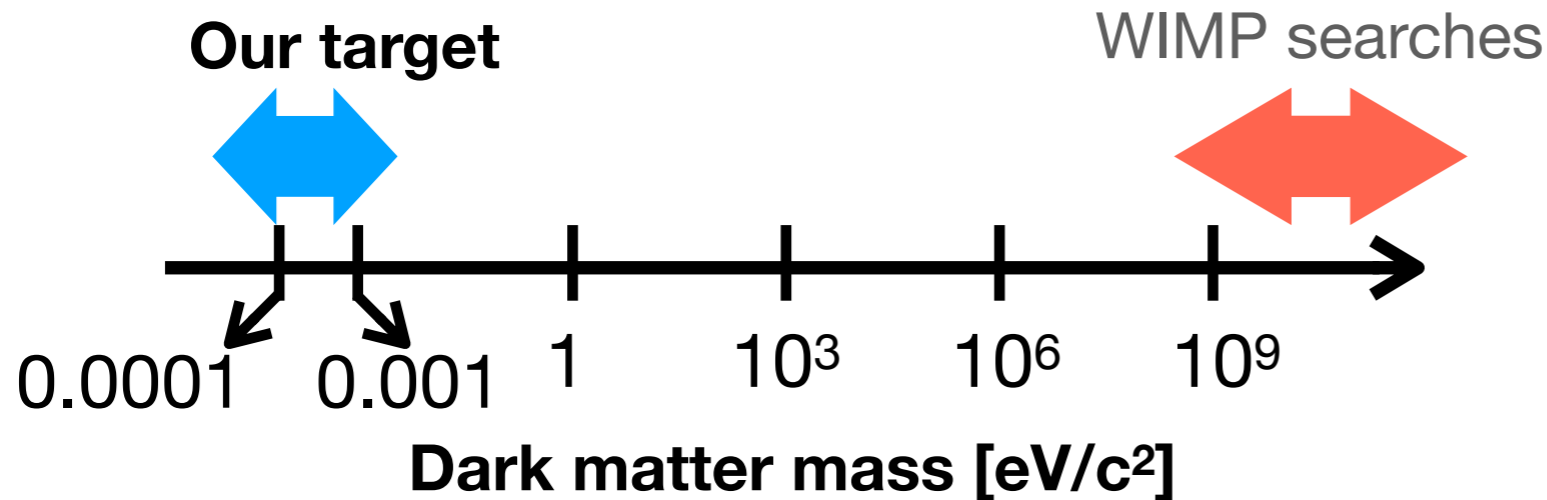
質量が  
GeV~TeV

数十年経っても、なかなか見つからないのが現状

⇒ 他の質量領域には本当にいないのか？

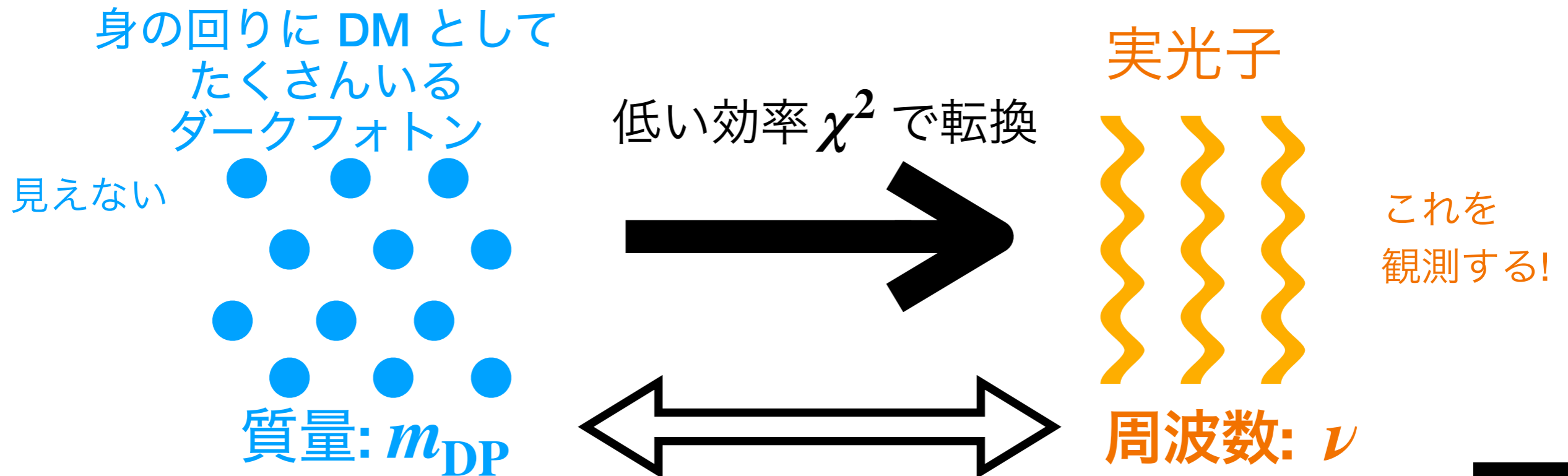
# 我々のターゲット: ダークフォトン

## 1. 超低質量ダークマター



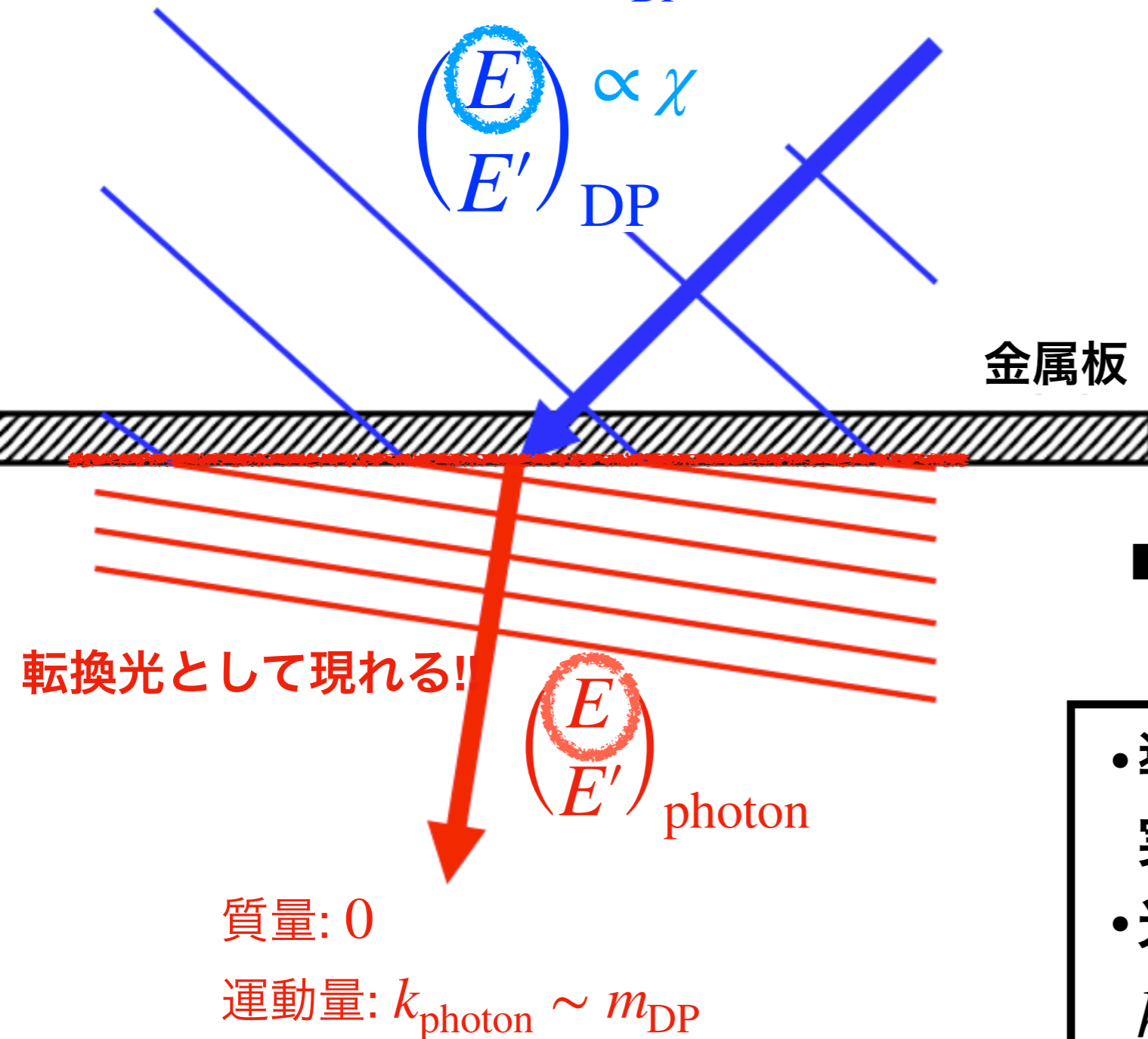
- 超弦理論のモデルもあり、  
 $m_{\text{DP}} > 10^{-4} \text{ eV}/c^2$
- High scale inflation model  
 $m_{\text{DP}} = 10^{-4} \text{--} 10^{-3} \text{ eV}/c^2$

## 2. 光とのみ弱く相互作用する粒子: “ダークフォトン”



# ダークフォトンの変換原理

周りに満ちているダークフォトン  
 質量:  $m_{DP}$   
 運動量:  $k_{DP} \sim 0$  (CDM なので)



金属板表面でダークフォトン場の微小な実電場成分において、電場の境界条件(板に並行方向)が合うように転換光が生じる

$$E_{DP, \parallel} + E_{\text{photon}, \parallel} = 0$$

$\propto \chi$

$$\rightarrow \begin{cases} k_{\text{photon}, \perp} = \sqrt{m_{DP}^2 - k_{DP, \parallel}^2} \sim m_{DP} \\ k_{\text{photon}, \parallel} = k_{DP, \parallel} \sim 0 \end{cases}$$

- 導体境界面で  $\chi$  に比例して実光子が垂直に発生!
- 光子エネルギーは質量に対応!

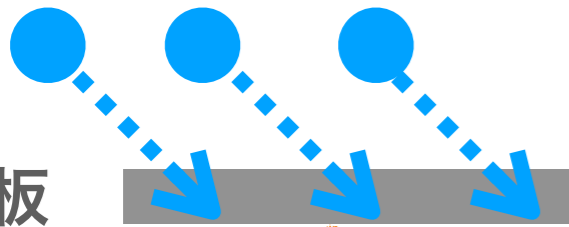
$$h\nu = m_{DP}$$

# 検出原理

ダークマターとして身の回りに無数に存在する  
ダークフォトンの転換光を探す!!

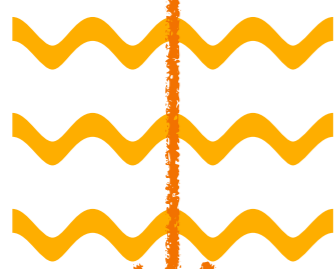
ダークフォトン

質量:  $m_{DP}$



金属板

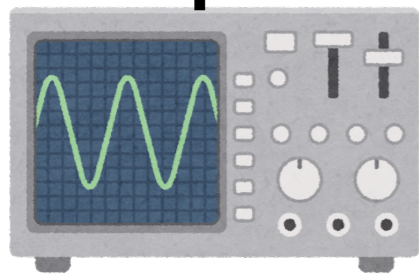
転換光



ホーン  
アンテナ

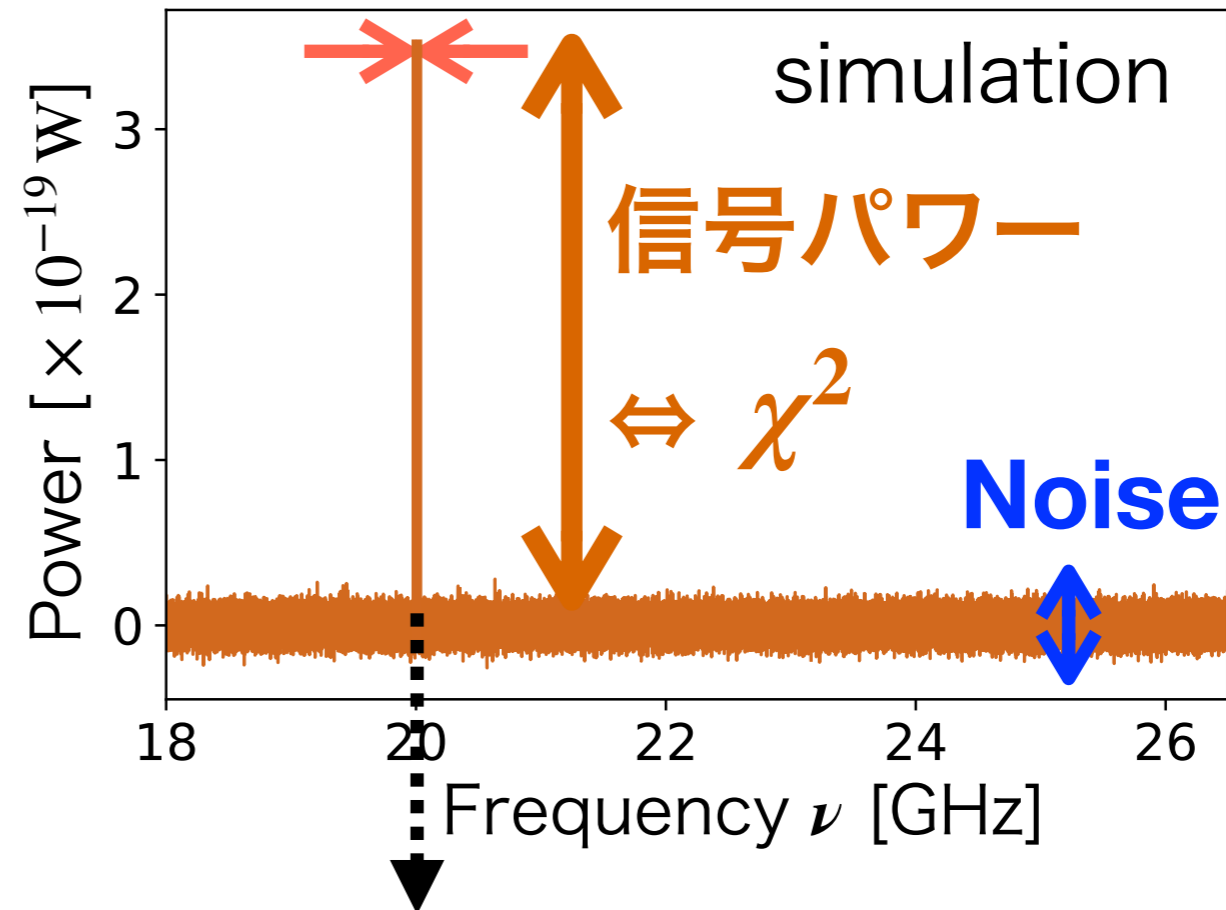


アンプ



スペクトルアナライザ  
(FFT, フーリエ変換)

超細かいピーク ~20 kHz

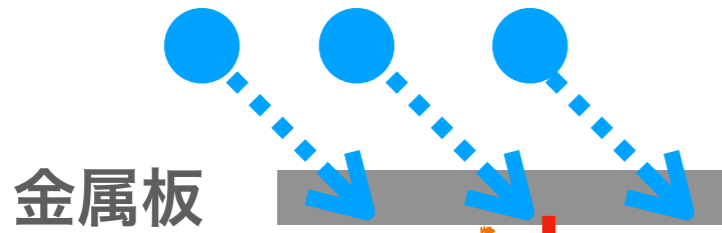


$$\nu = 20 \text{ GHz}$$
$$\Leftrightarrow m_{DP} = 80 \text{ } \mu\text{eV}$$

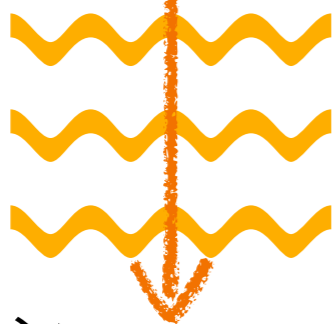
# 用いる道具

ダークフォトン

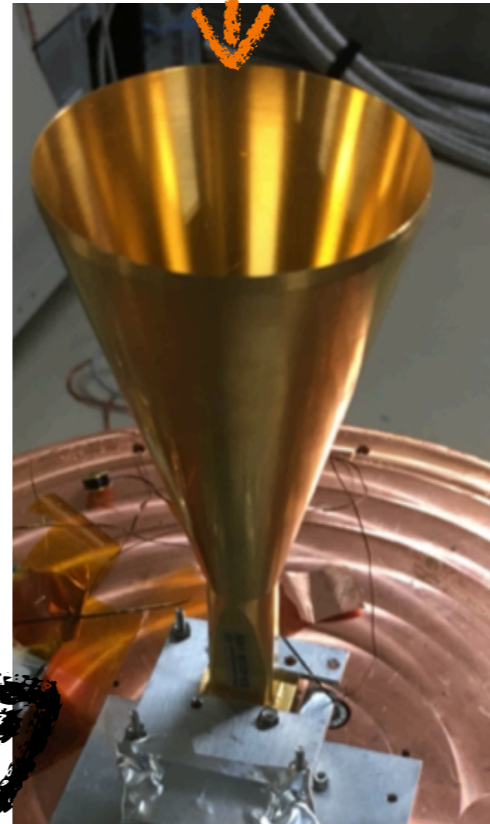
質量:  $m_{DP}$



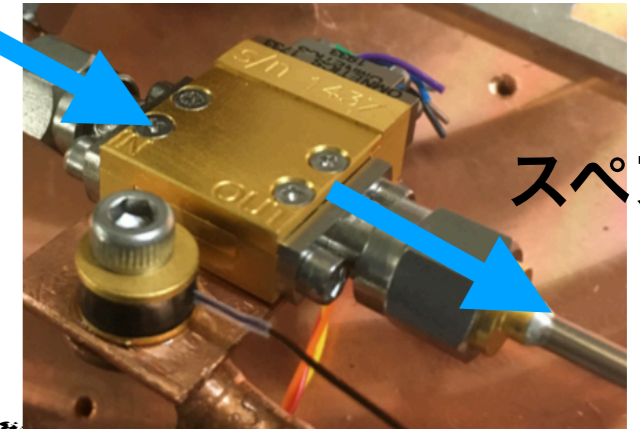
転換光



転換光



アンテナから

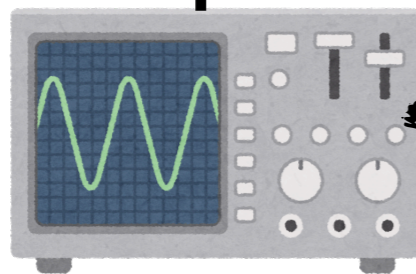


スペアナへ

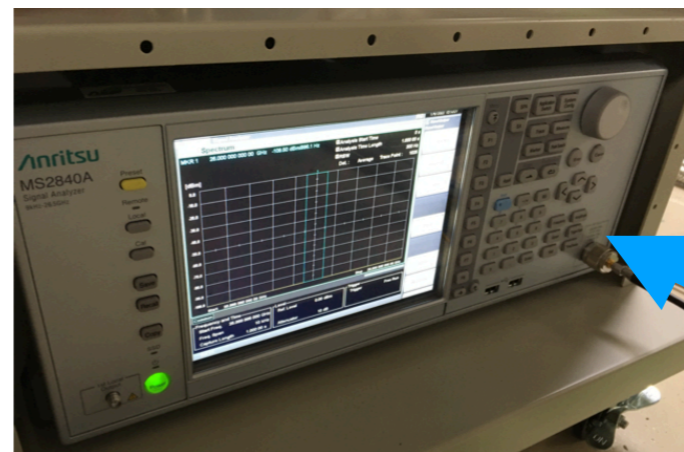
0(10) GHz が  
高周波(RF)用  
同軸ケーブル  
or 導波管  
で伝わる

ホーン  
アンテナ

アンプ



スペクトルアナライザ  
(FFT, フーリエ変換)



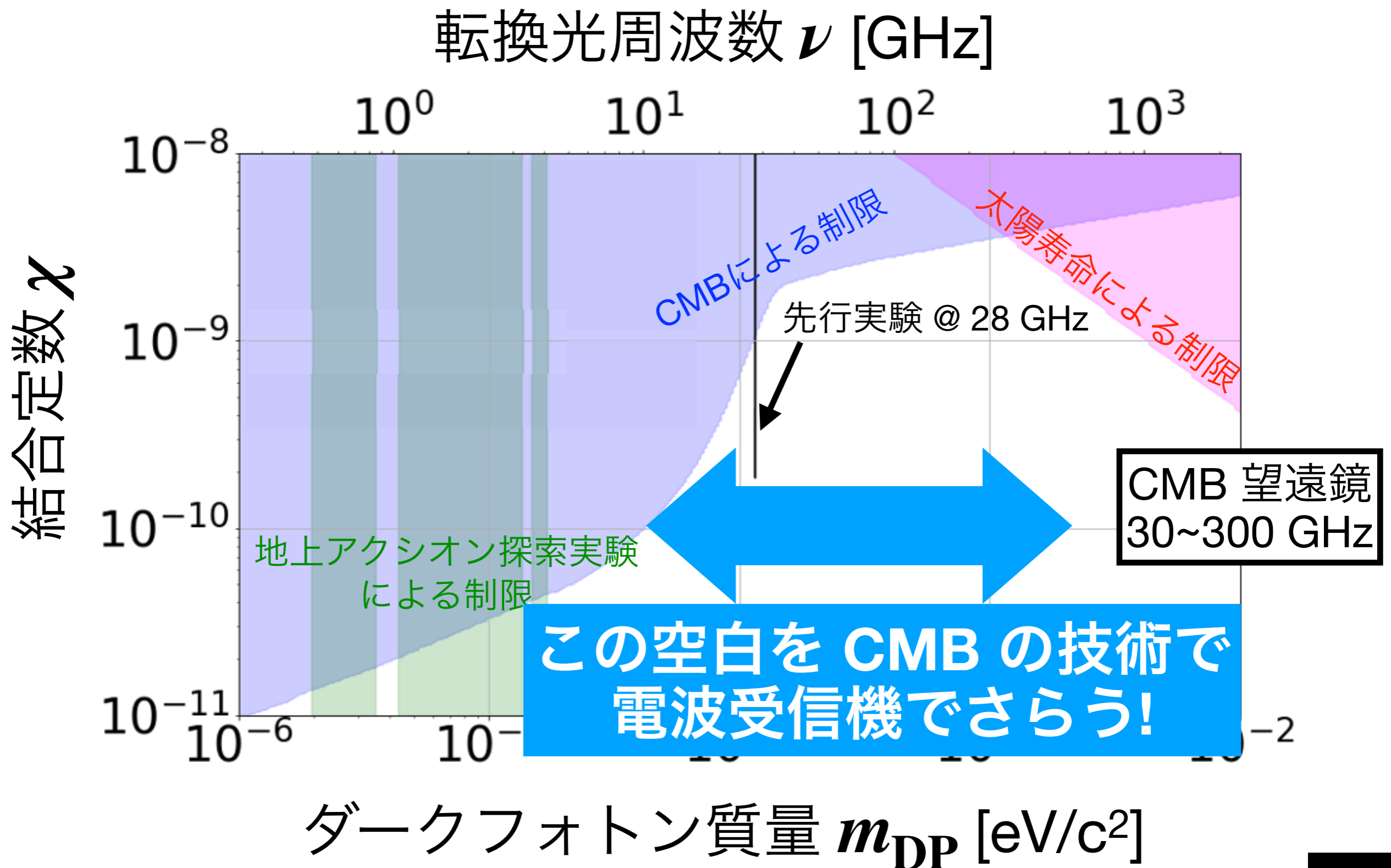
アンプから



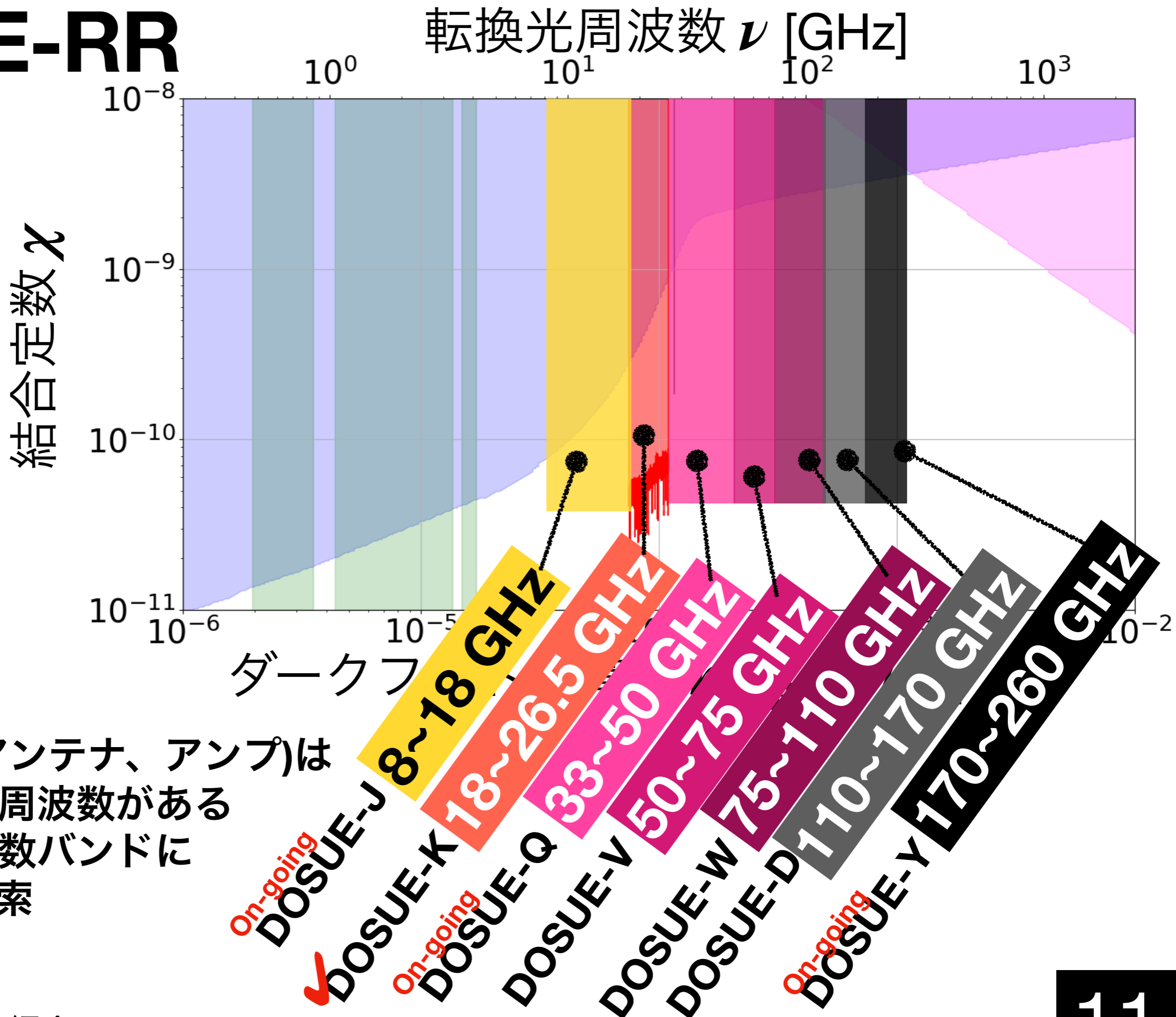
極限まで熱ノイズを  
減らしたいときは  
極低温(3K)までに冷却する  
クライオスタットを利用

昨年度修士卒業 小高くん開発の  
クライオスタット

# $(m_{\text{DP}}, \chi)$ に対する制限の現状



# DOSUE-RR の野望



# DOSUE の人々

- PI: 安達
- 実働部隊: 藤中(M2), 末野(D2), (+ 小高(卒) ), 隅田



- オブザーバー(Staff) : 田島, 鈴木, 清野, 本多(IAC→6月より筑波大)

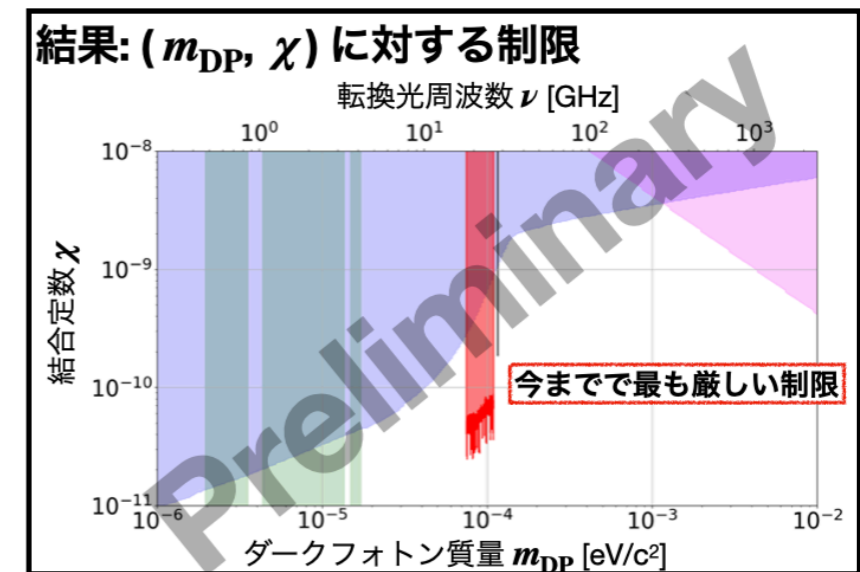


- オブザーバー(学生): CMB のその他学生

**今の所 CMB + 隅田さんだが、誰でも Welcome**

# 今の現状

- DOSUE-K (18~26.5 GHz) を完遂!
  - 小高くん(昨年卒)が受信機開発から解析までおこなった
    - P2+修士2年 = 3年間
    - 測定自体は2週間
    - 世界最高感度
    - 現在論文執筆中



## 周波数帯域の拡大

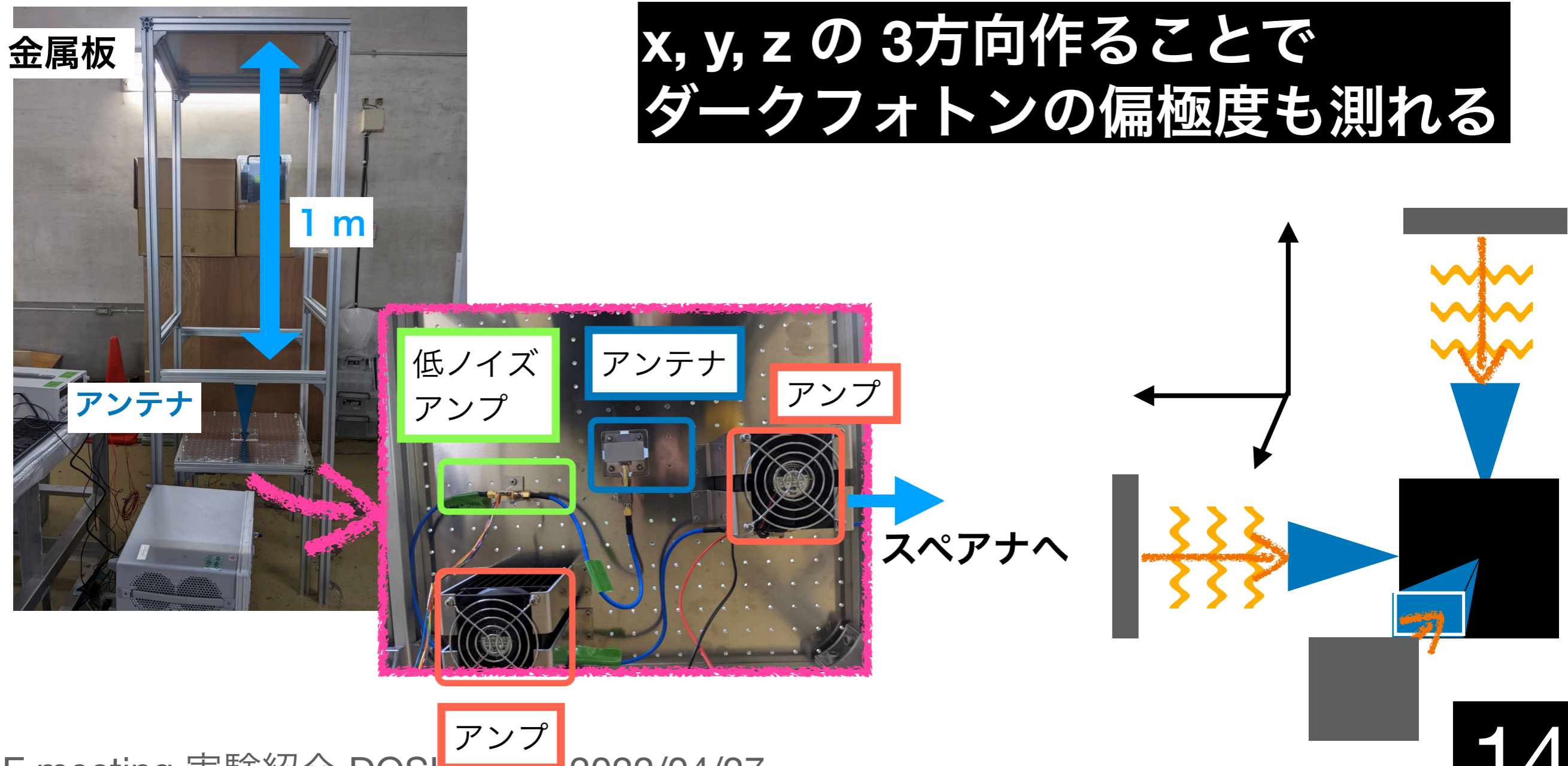
1. DOSUE-J (8~18 GHz): M2 藤中くん, D2 末野くん, 隅田さん
2. DOSUE-Q (33~50 GHz): 隅田さん, 私
3. DOSUE-Y (170~260 GHz): 私

## その他

4. スペアナの代わりにのエレクトロニクスの開発: 鈴木さん
5. DOSUE を応用した Axion 探索

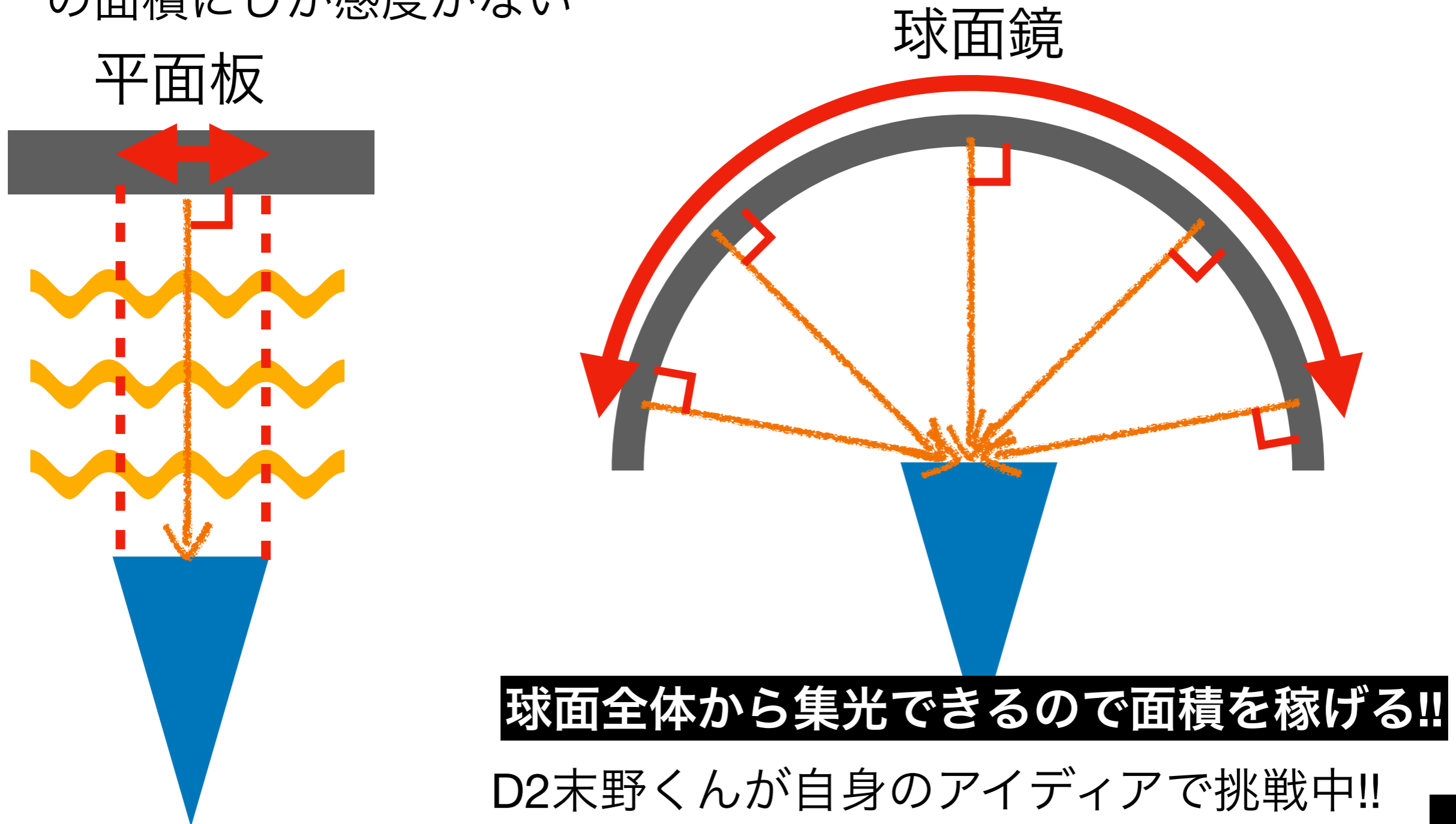
# DOSUE-J (8~18 GHz): 3方向受信

- 常温(クライオスタットを用いない) セットアップの開発
- Wifi (5GHz)などの身の回りのものが邪魔をする ⇒ 電波暗室の開発
- 常温であれば、複数受信機を作成することも容易



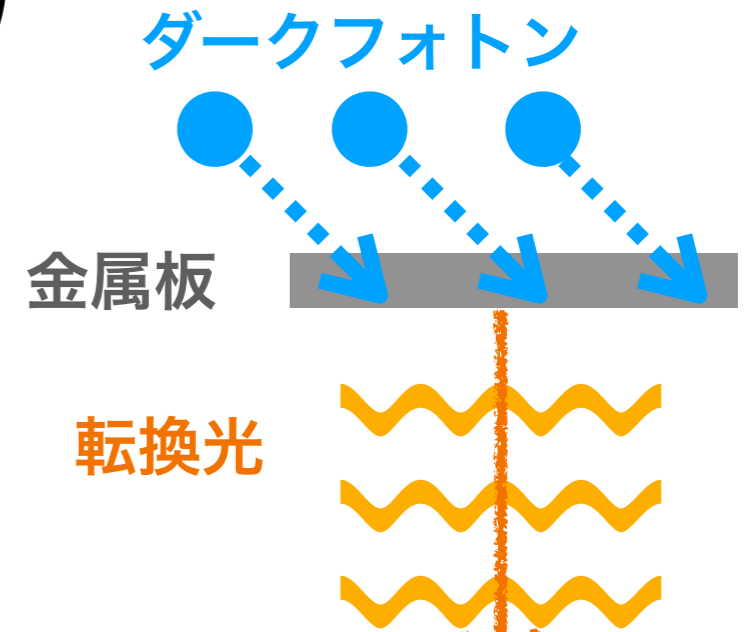
# DOSUE-J (8~18 GHz): 球面鏡

- 金属板の面積が大きければ信号は大きくなる!
- ただし、光は垂直に出るので平板の場合はアンテナ口径くらいの面積にしか感度がない



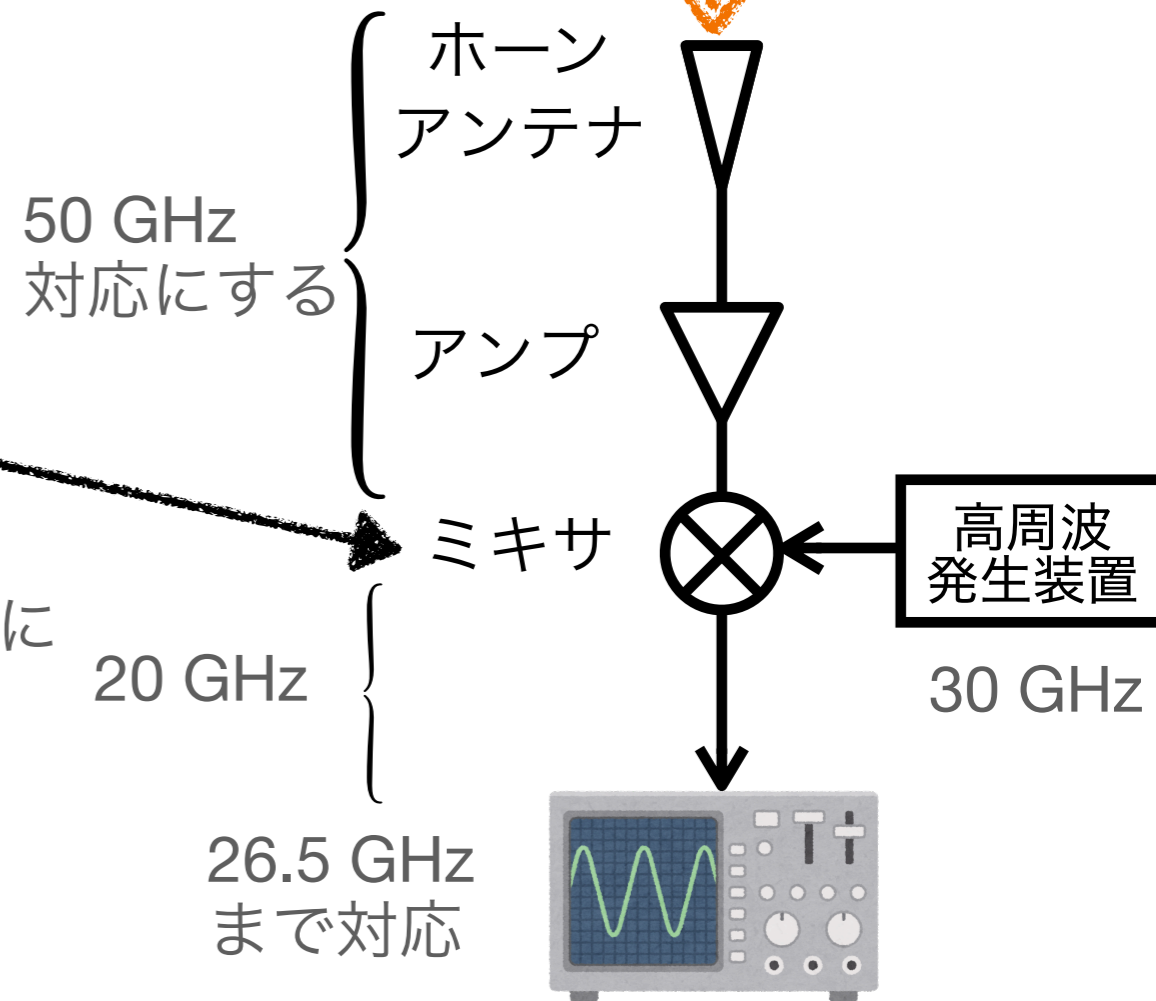
# DOSUE-Q (33~50 GHz)

- DOSUE-K クライオスタットを元に
- アンテナ、アンプなどの部品の選定・実装
- 50 GHz  $\Rightarrow$  20 GHz に低周波数化する高周波部品(ミキサー)の実装



ミキサーを追加:

50 GHz に 30 GHz の波を  
重ね合わせて 20 GHz の波に  
変換する (ヘテロダイン)



スペクトルアナライザ  
(FFT, フーリエ変換)



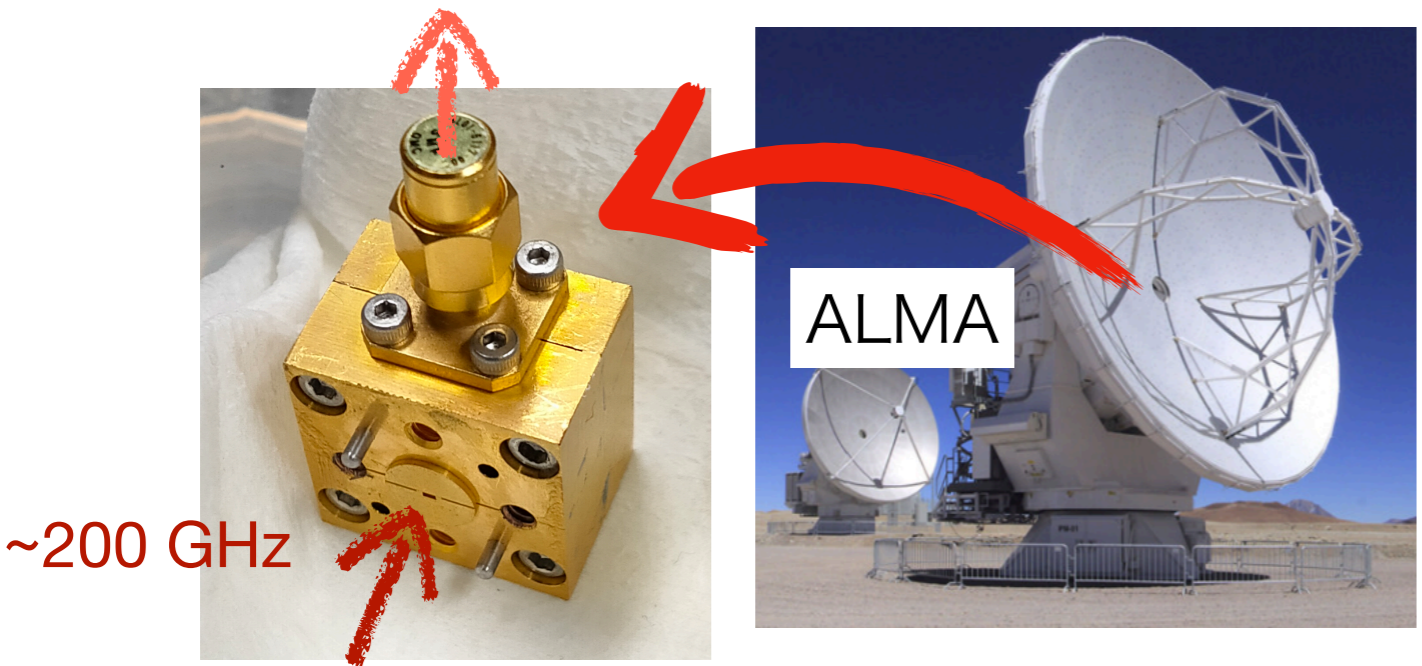
# DOSUE-Y (170~260 GHz): SISミキサ

- >110 GHz では低ノイズアンプがない
- ⇒ 低ノイズに周波数を落とせる  
超伝導デバイスを利用!!

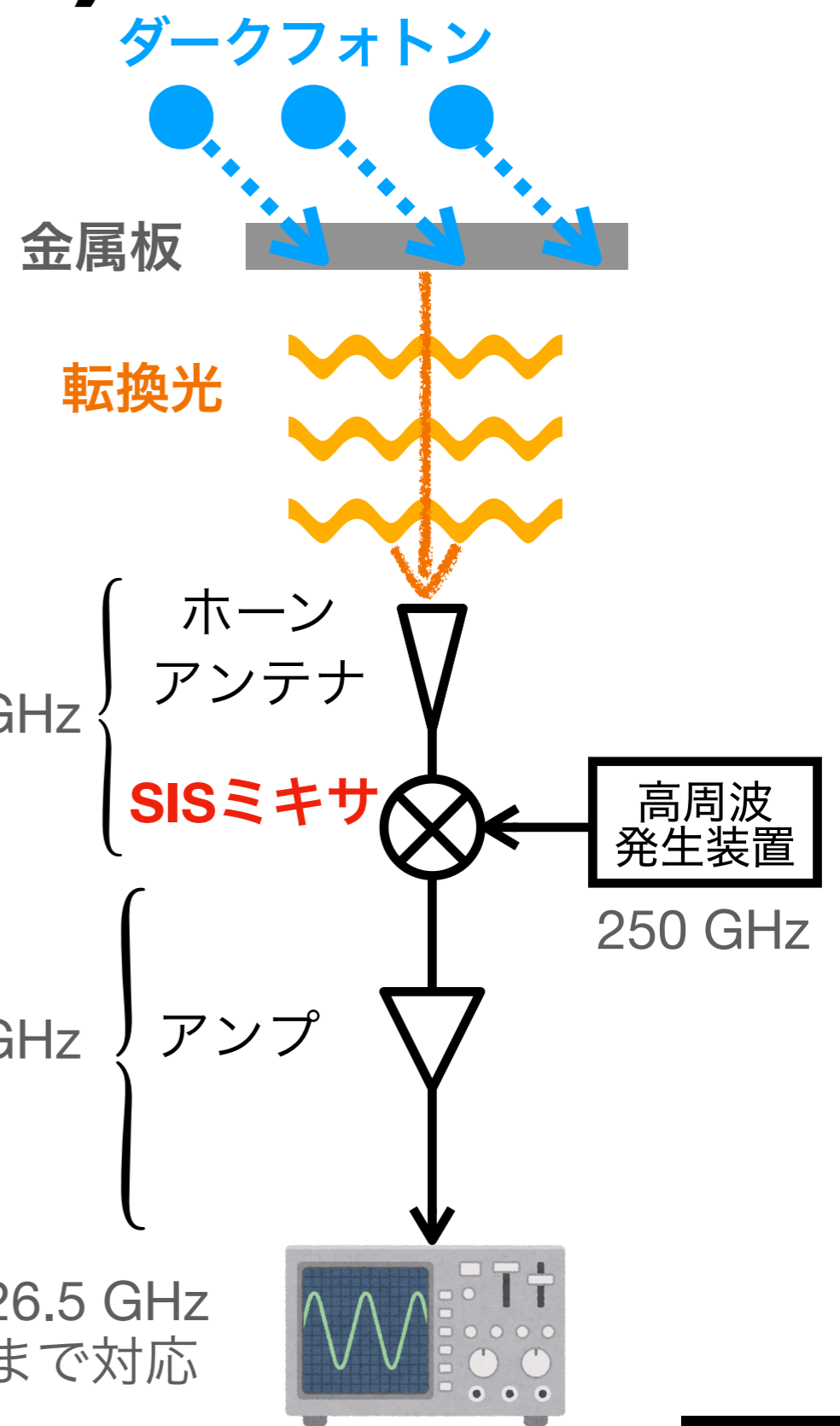
## SISミキサ

ジョセフソン接合 (超伝導体と絶縁体の境界) を利用した超伝導デバイス

低ノイズを誇り、ALMA 電波望遠鏡でも利用  
~10 GHz



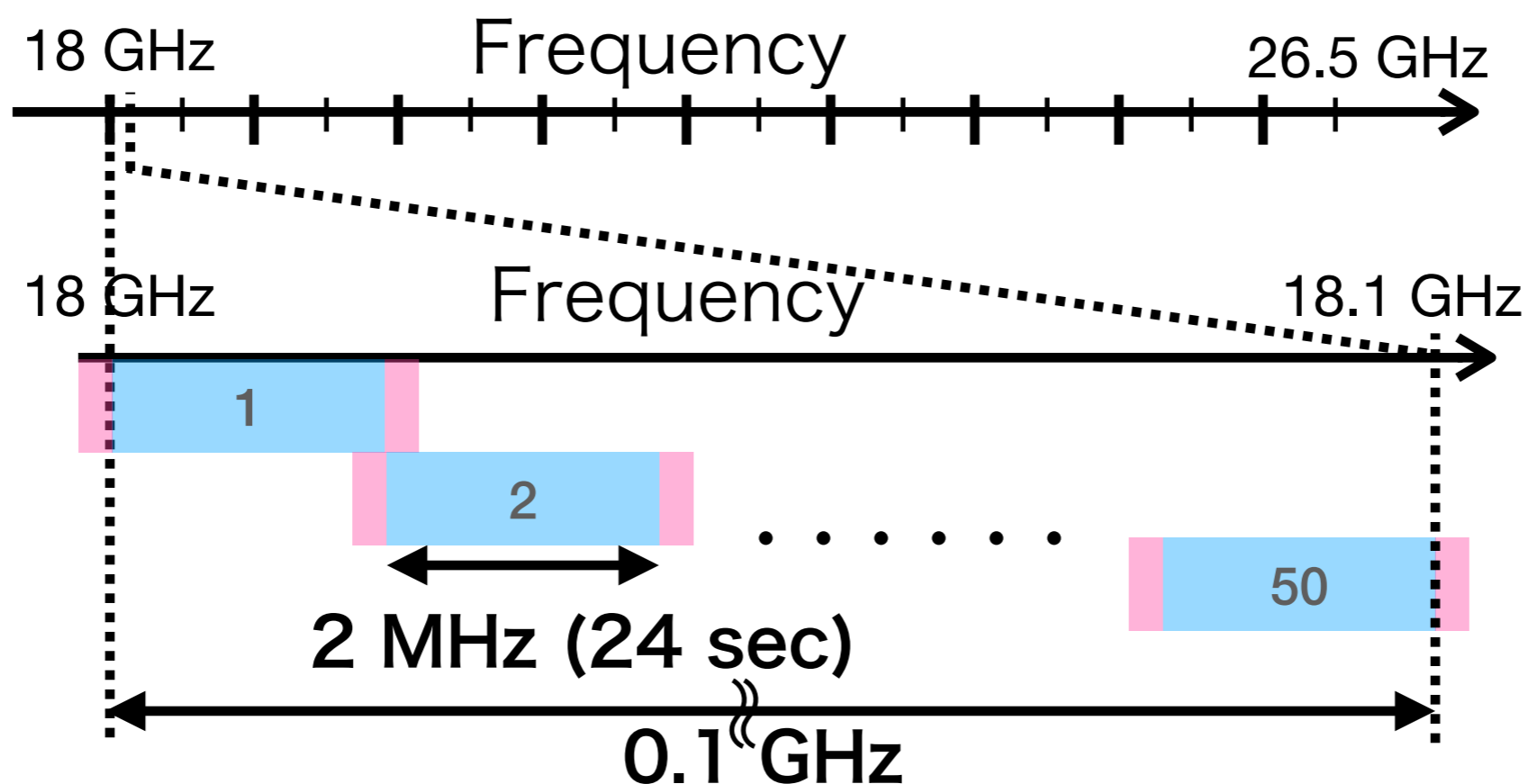
超伝導デバイスに興味があれば..  
我々も使ったことないので未知の技術



スペクトルアナライザ  
(FFT, フーリエ変換)

# エレクトロニクス開発

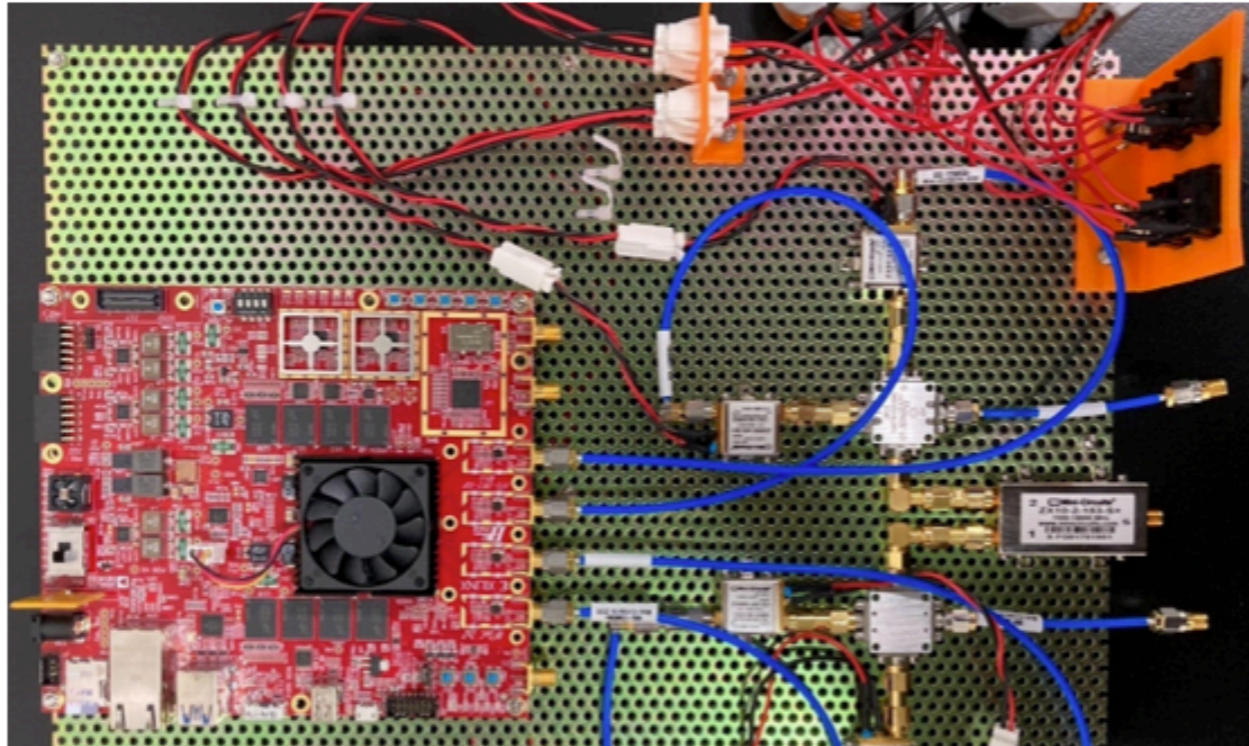
- スペアナの欠点
  - 対応周波数  $\leq 26.5$  GHz
  - 一度に測定できる周波数幅は **2.5 MHz のみ  $\ll$  我々の測定したい帯域 0(10 GHz)**
    - $\Rightarrow$  これが一番のネック
    - DOSUE-K では 2MHz ずつずらして **4250** 回測定



# エレクトロニクス開発

新しい FPGA を用いてスペアナの代わりに開発すれば、  
かなり効率的に!

⇒ **dSpec (ディースペック named by Suzuki)**

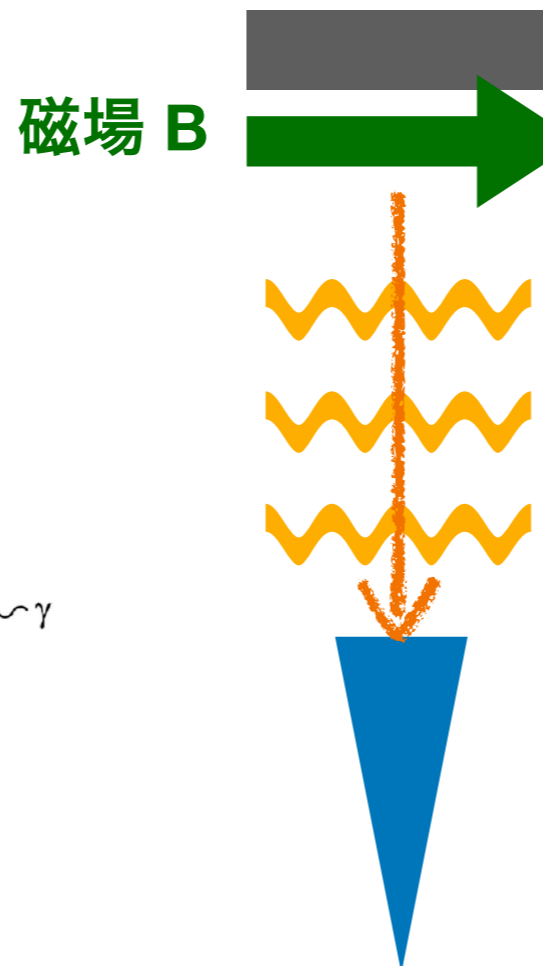
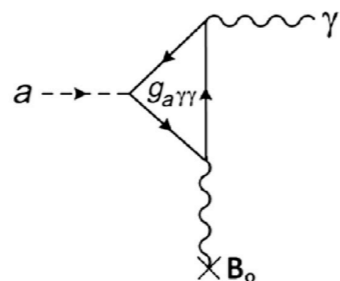
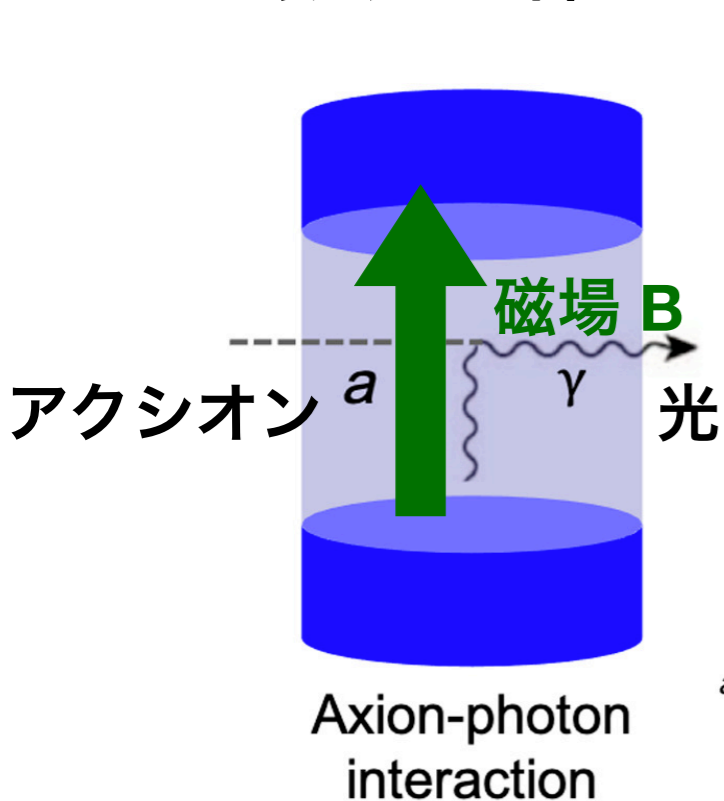


- 安い!!!: 30万 << スペアナ 400万
- 4G sampling / sec の ADC を内蔵
- **最大帯域 2 GHz が可能 ⇒ スペアナ 2MHz の 1000 倍!!**

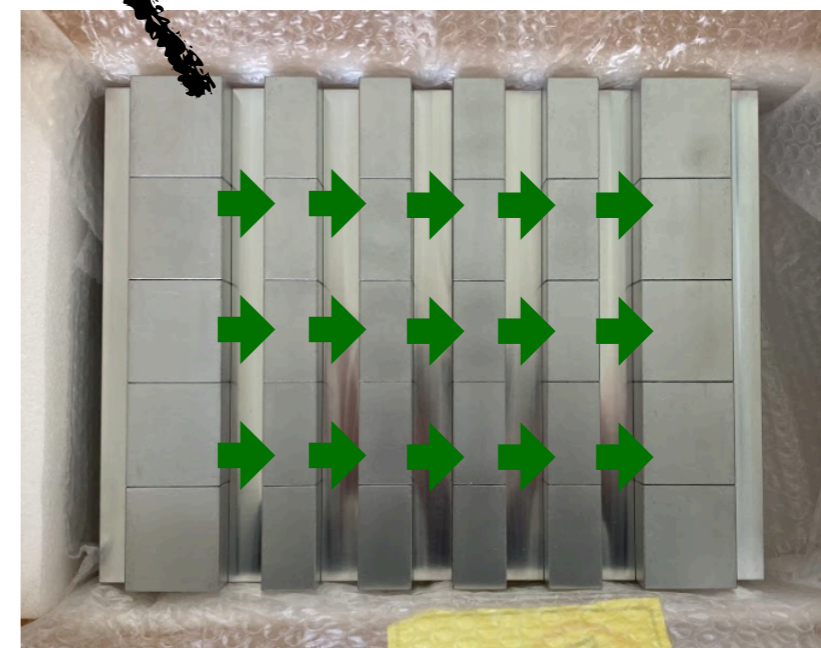
**CMB用に鈴木さんが開発したエレキをDOSUE用に改造・開発する  
(FPGA 内部のアルゴリズム開発, ミキサの導入)**

# アクシオン 探索

- 磁場と結合するダークマター候補としてアクシオンがある
- Strong CP 問題を解決してくれるなどのモチベーションがあり、正直ダークフォトンより well-motivated。
- 強磁場が必要で手が出せなかったが、東北大の岸本さんが磁場を作ってくれた



DOSUE の金属板  
のところに磁場をかければ  
アクシオンが生じるはず



岸本さん作磁石 (0.7T)

# やったら楽しいと思うこと

1. エレキの開発 + DOSUE-Q で効率の高い測定 & 手早い探索領域の拡大
  1. FPGA は就職にも有利？  
ATLAS など他実験でも有用
2. 超伝導デバイスを使いこなせる DOSUE-Y
  1. 最先端の望遠鏡技術を自分の手で利用
3. アクシオン探索で物理的意義の高い探索を
4. DOSUE-J の 3方向測定という大物を開発？

ネタは豊富! (⇔人不足)

小規模実験であり自分手で受信機開発から

世界一の探索まですべてを即座(~数年)に実現できる!!

さらに、自分で考えたアイディアで受信機開発も可能!

# ミーティング / Slack

- Meeting: DOSUE-meeting
  - 月曜 9:15~10:15
  - Zoom ONLY:  
<https://kyoto-u-edu.zoom.us/j/83006838902?pwd=M2VGaUI6RzNBSUIXb2JTOTBvUEtRQT09>
  - 学生にはできれば CMB group にも参加してほしい (他の望遠鏡技術やもろもろを学ぶために)
    - KUCMB meeting: 水曜 15:30~
- Slack
  - CMB group の slack を利用: #dosue-rr channel
- 連絡先  
安達 @ 302: adachi.shunsuke.5d@kyoto-u.ac.jp  
HE slack の “安達俊介”

# Backup

