

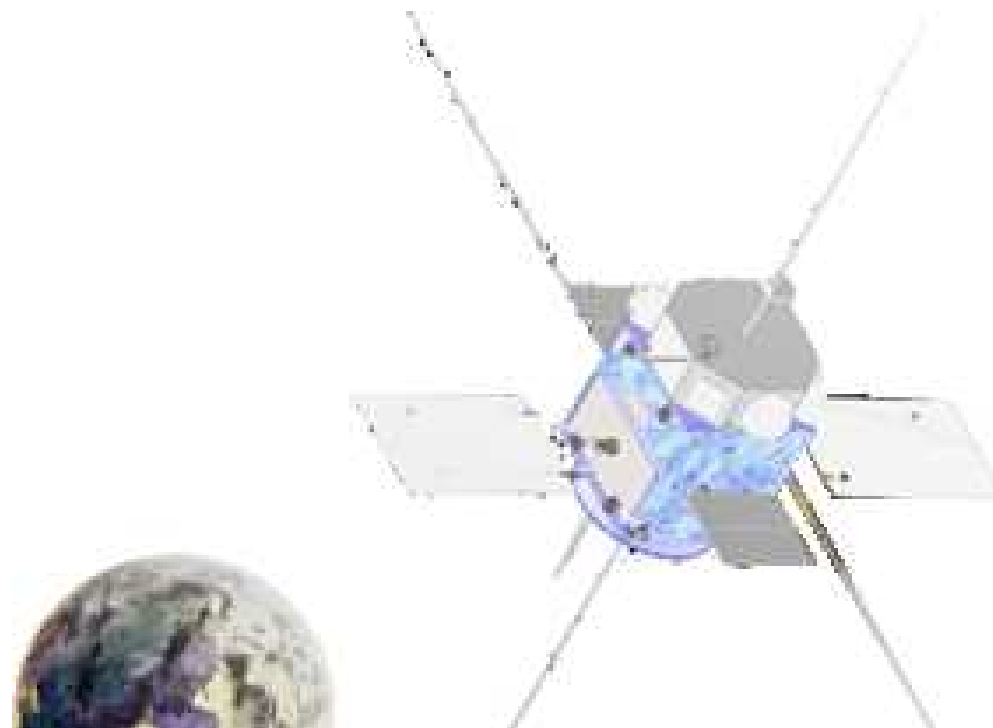
ERG/MEP-eのための 大面積APD開発

笠原 慧
プロジェクト研究員

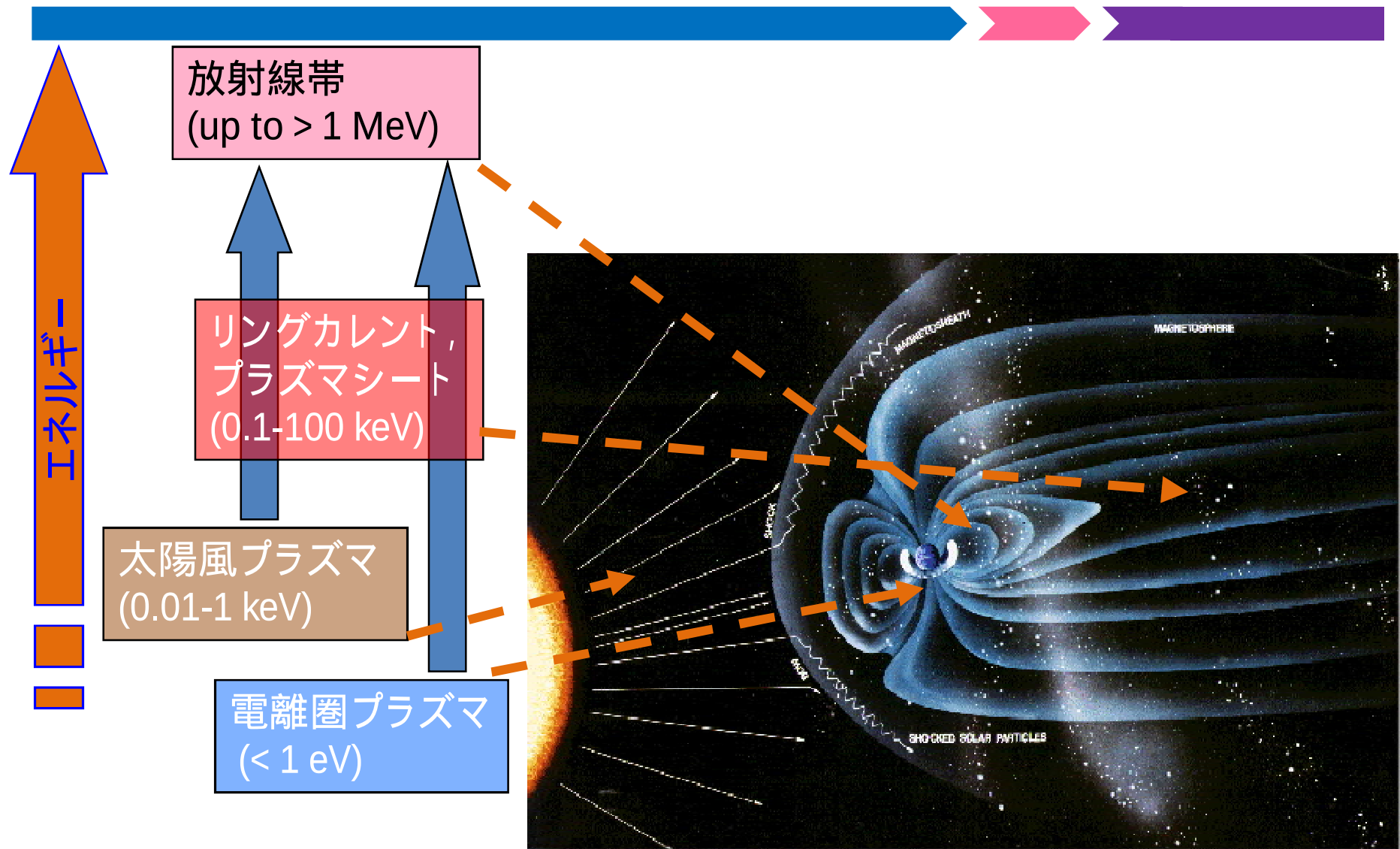


内容

- ERG/MEP-e紹介
- APD試験結果
- 展望



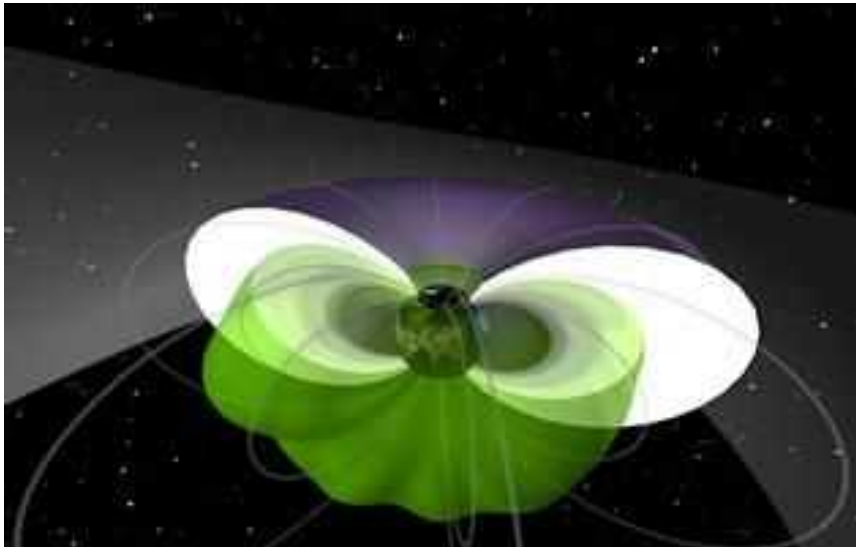
Across the Universe



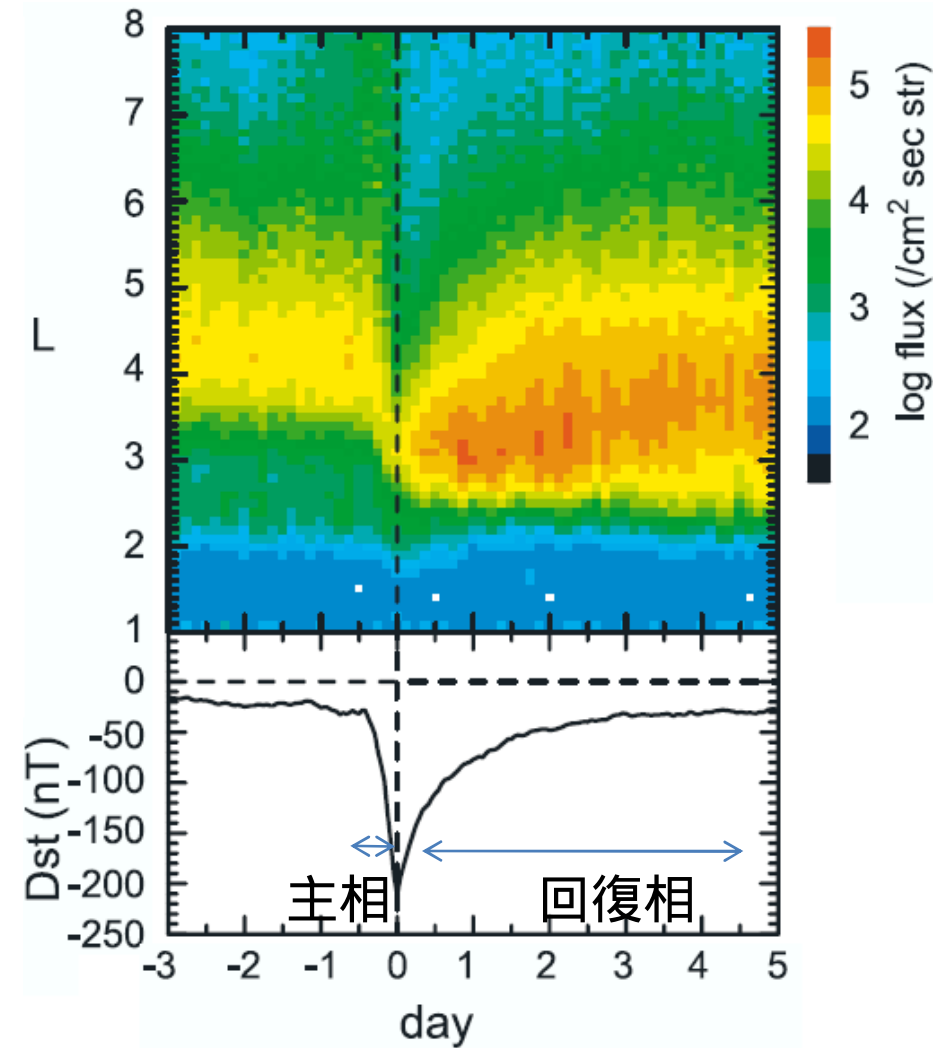
- 磁気圏プラズマのエネルギーレンジは大体 eVからMeV

磁気嵐と放射線帯

>300 keVの電子フラックス→



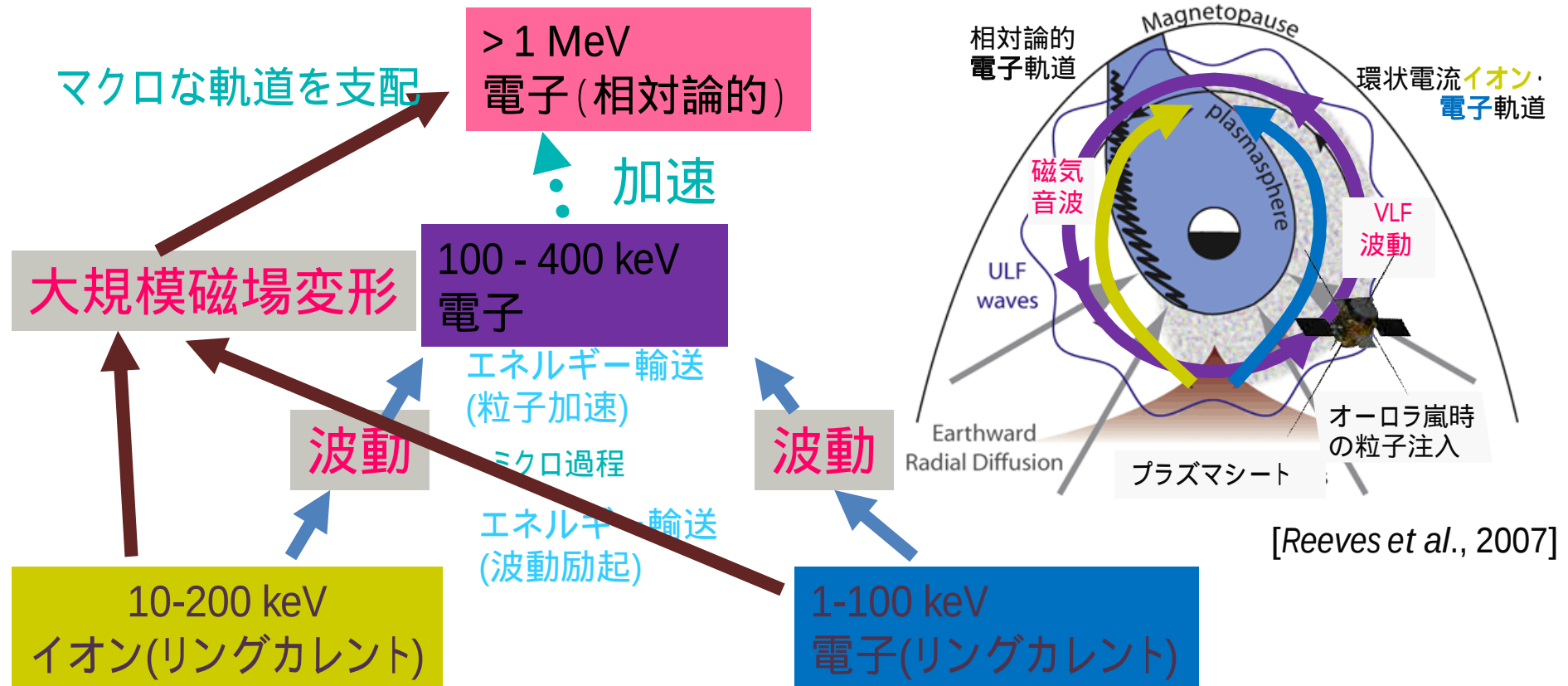
Dst指数: 磁気嵐の指標→



- 放射線帯を増強する仕組みは?

Miyoshi&Kataoka 2005GRL

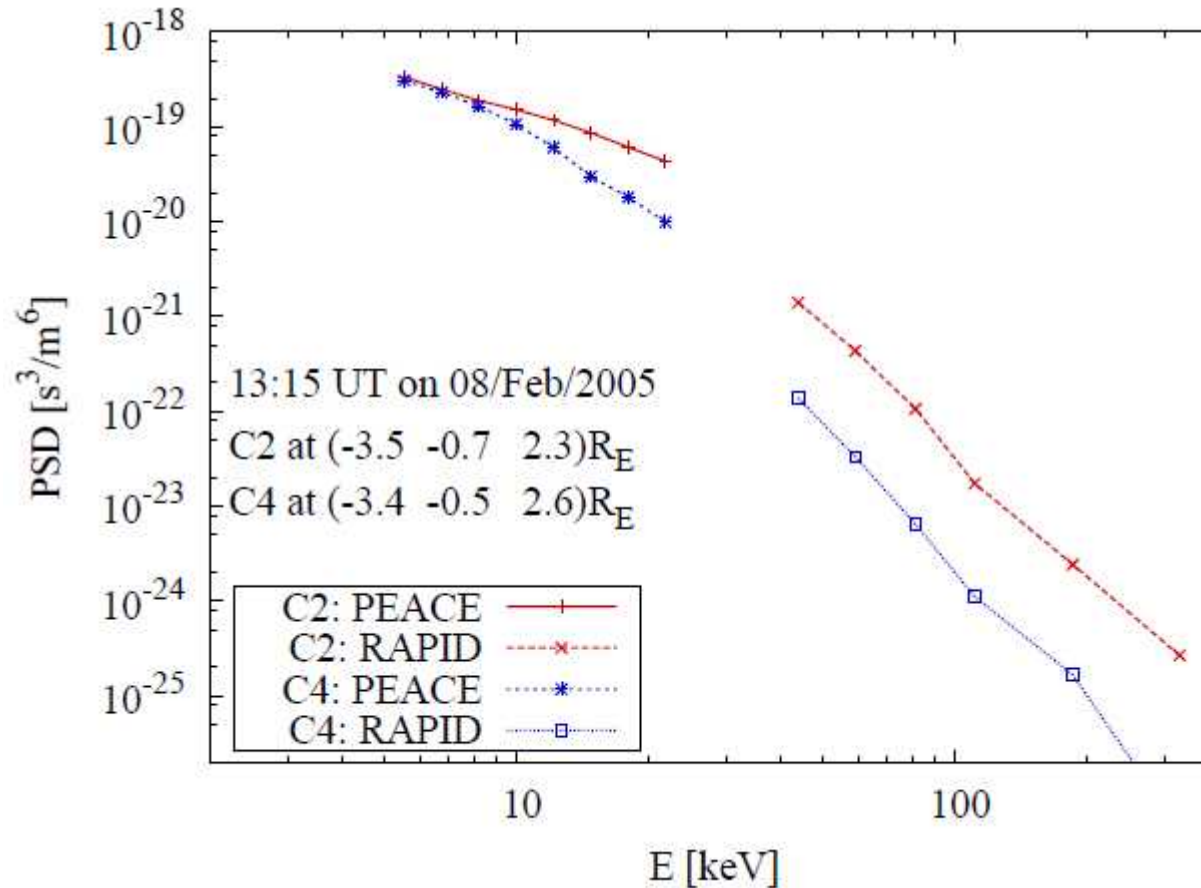
放射線帯ダイナミクスのパラダイム



- 中間エネルギー粒子や電磁場を計測することで詳細の理解・全体像の把握が可能になる→**ERG衛星計画**

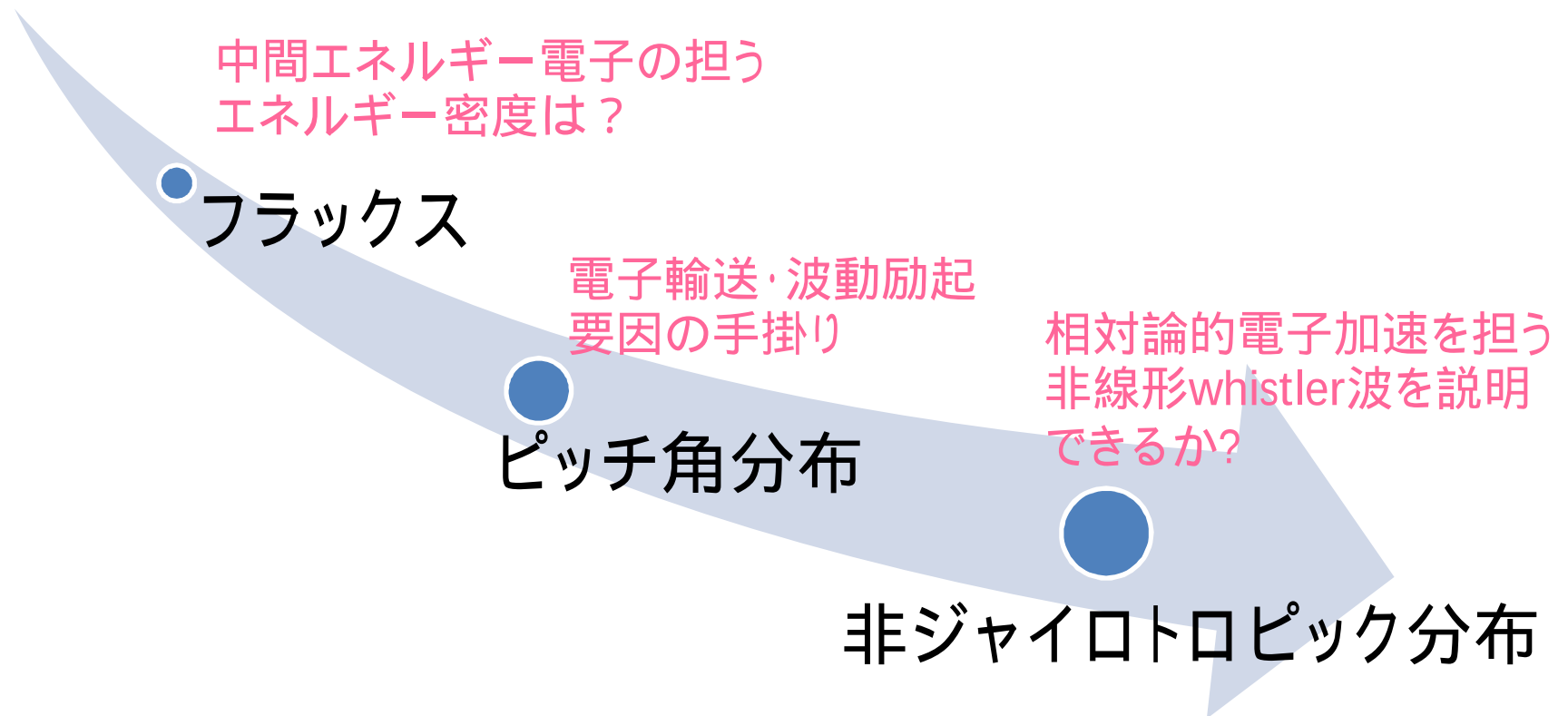
However popular a particular theory is, it will eventually fail. (Akasofu, 1996JGR)

Bridge over trouble water



- これまでの観測では中間エネルギー帯にギャップ
 - 低エネルギー側と高エネルギー側が合わないことも多々ある

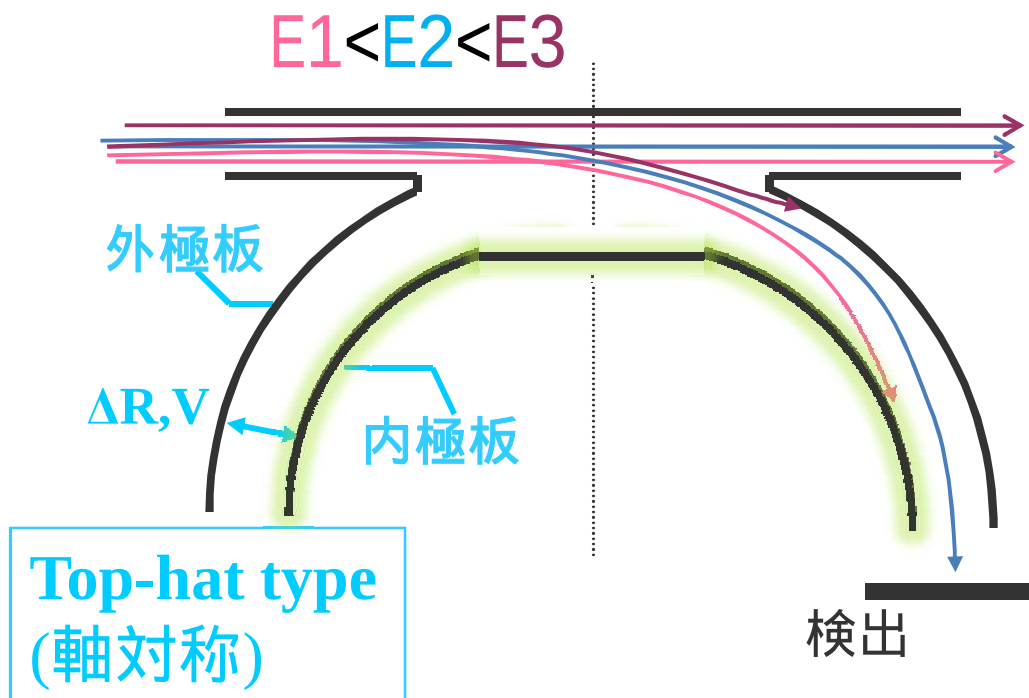
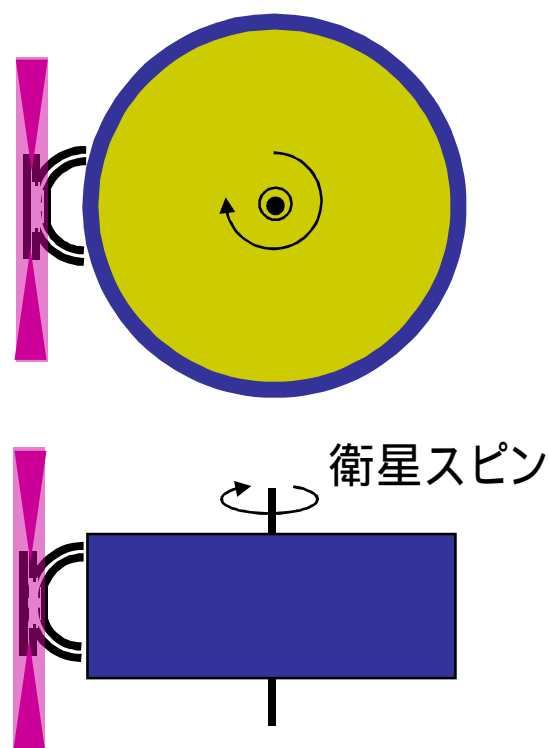
Top of the world



世界を置き去りにする電子観測を行う

今はまだ海外には秘密

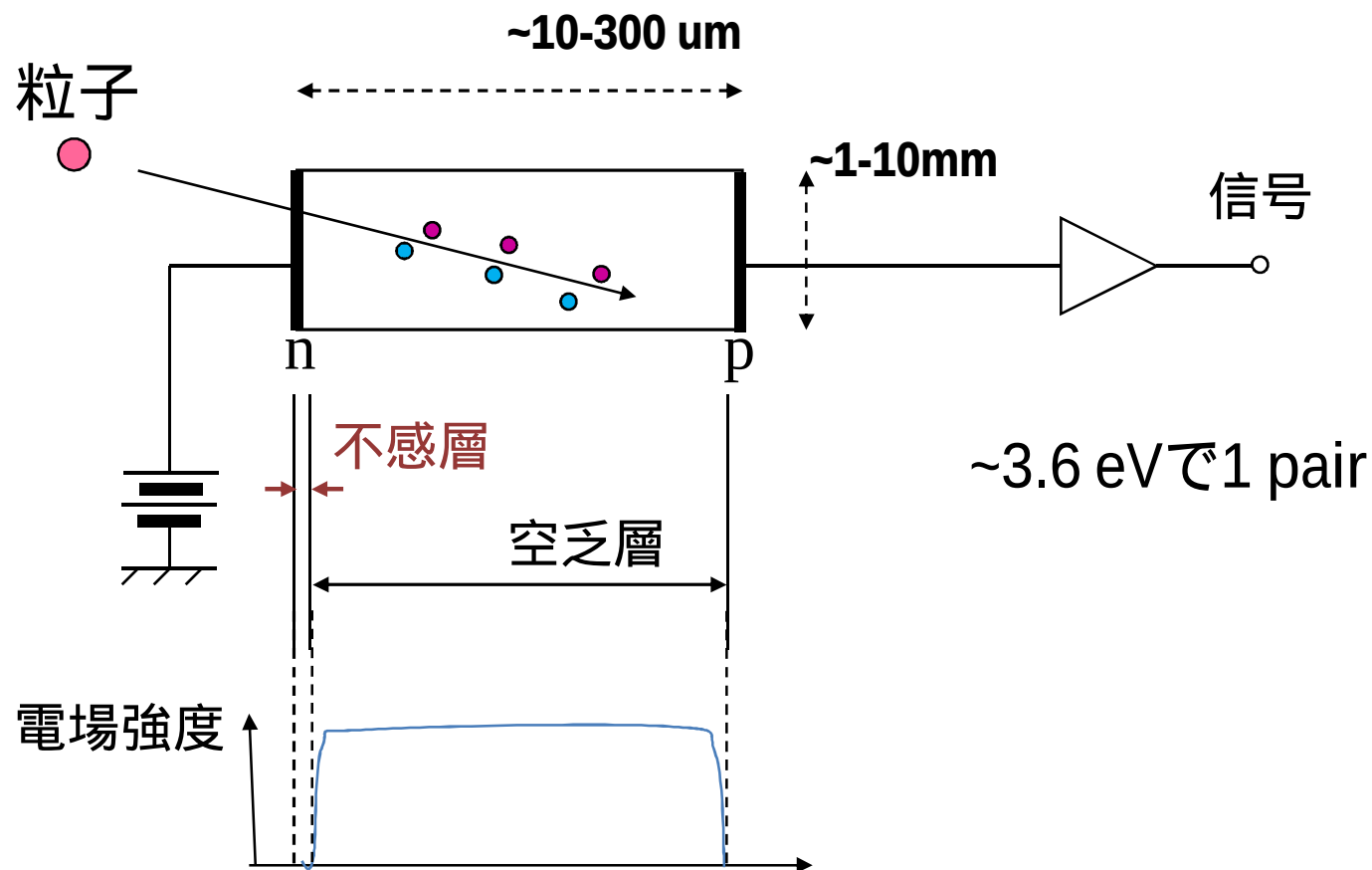
低エネルギー計測原理：静電分析器



$$\frac{mv^2}{R} \approx \frac{qV}{\Delta R} \Rightarrow \frac{E}{q} \approx \frac{V}{2\Delta R} R$$

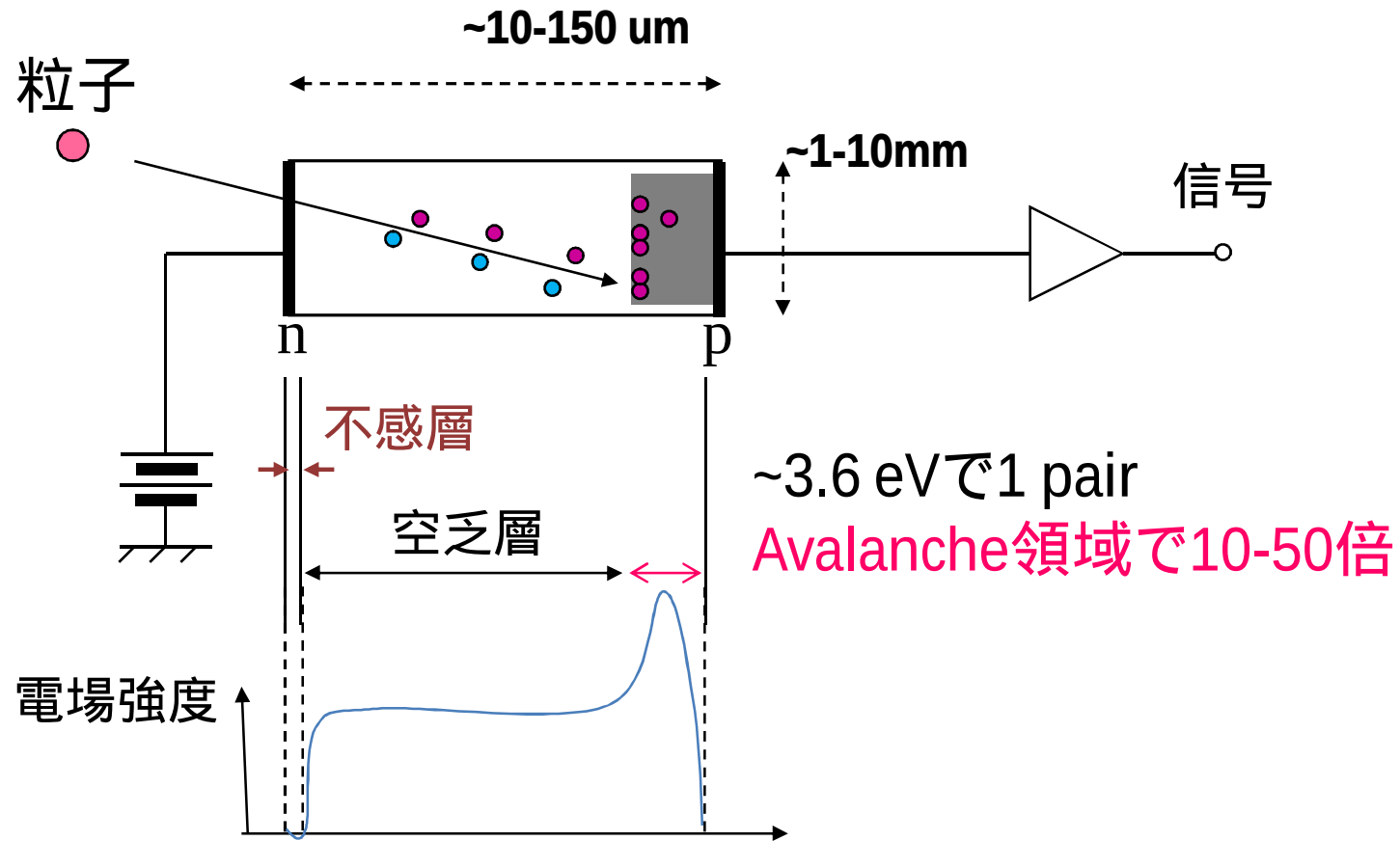
- 問題点：計測のエネルギー上限がサイズに依存
 - 通常は30-40 keVまで計測

高エネルギー計測原理：固体検出器



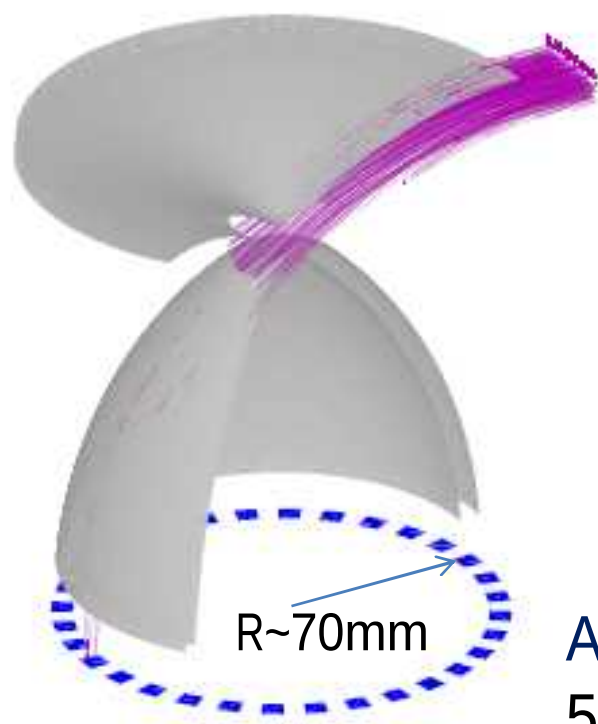
- 問題点：不感層と電気ノイズがエネルギー下限を決定
 - 通常, 30 keVが下限

APDはここが違う



- 電気ノイズに対して信号強度が強くなる
 - $< 10 \text{ keV}$ でも検出可能

中間エネルギー：静電分析器+APD



Cusp-type electrostatic analyser

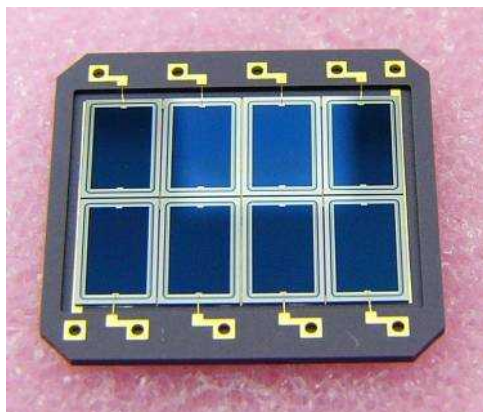
中間エネルギーに特化した
静電分析器と固体検出器
(5-80 keV, 4π -steradianの視野)

Avalanche photodiode (APD)
5mm x 5mm を並べると~40個必要

[Kasahara et al., 2009ASR]

- 問題点：これまでの電子計測APDは面積が小さすぎる
 - たくさん並べると(1)実効面積が減少, (2)校正・読出しが大変

We can work it out



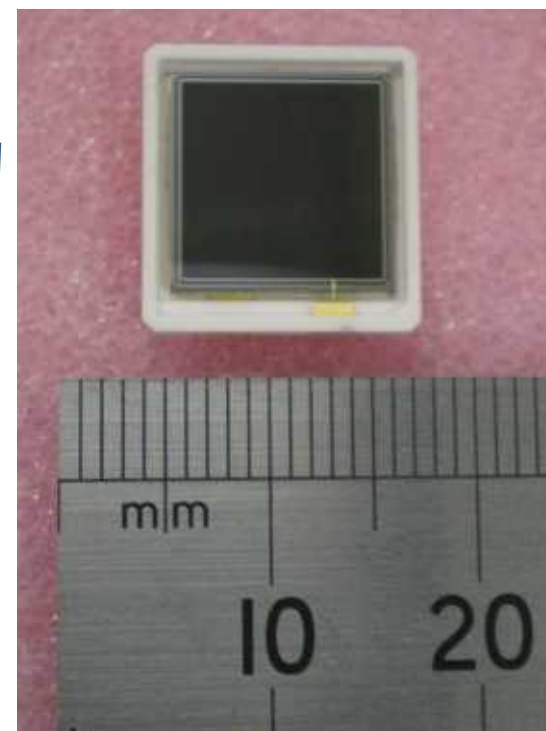
SPL7614 →
3mm x 5mm x8
t150 um

(Courtesy of K. Ogasawara)



SPL3987 →
有感領域は青丸
の部分だけ
φ3mm
t30 um

↓s10937X
有感領域は1cm x 1cm
t30um

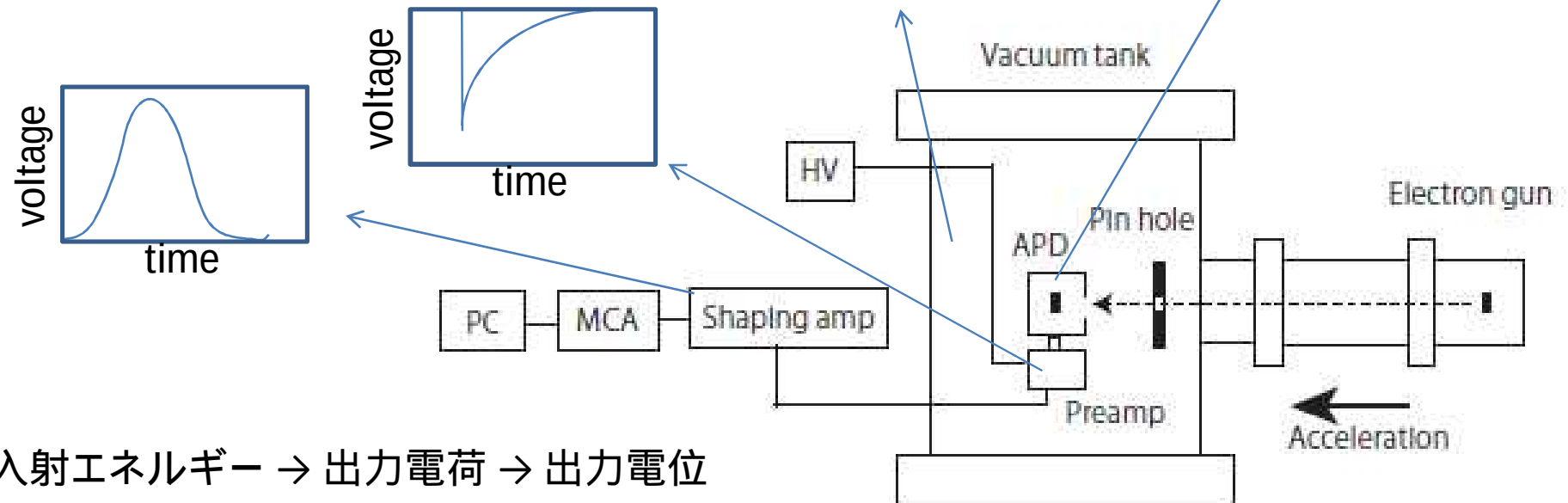
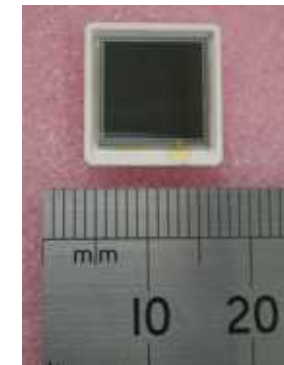


チェックポイント



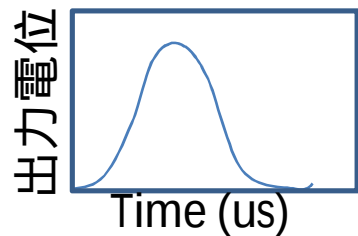
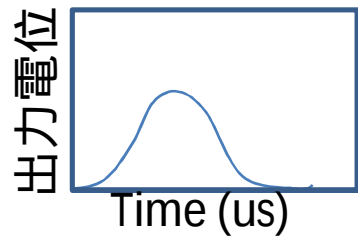
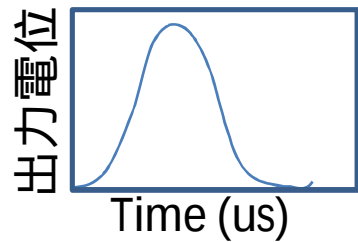
- エネルギー範囲: 5 keV?
 - Low-energy instrumentとのオーバーラップ範囲に影響
- エネルギー分解能: <30%?
 - コンタミ除去に影響
- ゲイン, 不感層の非一様性
 - 検出効率, エネルギー分解能に影響

電子検出試験セットアップ



ヒストグラム

個々の入射粒子
の出力↓



・
・
・

集める

↑
縦軸：カウント



横軸：出力電位(入射エネルギーに対応) →

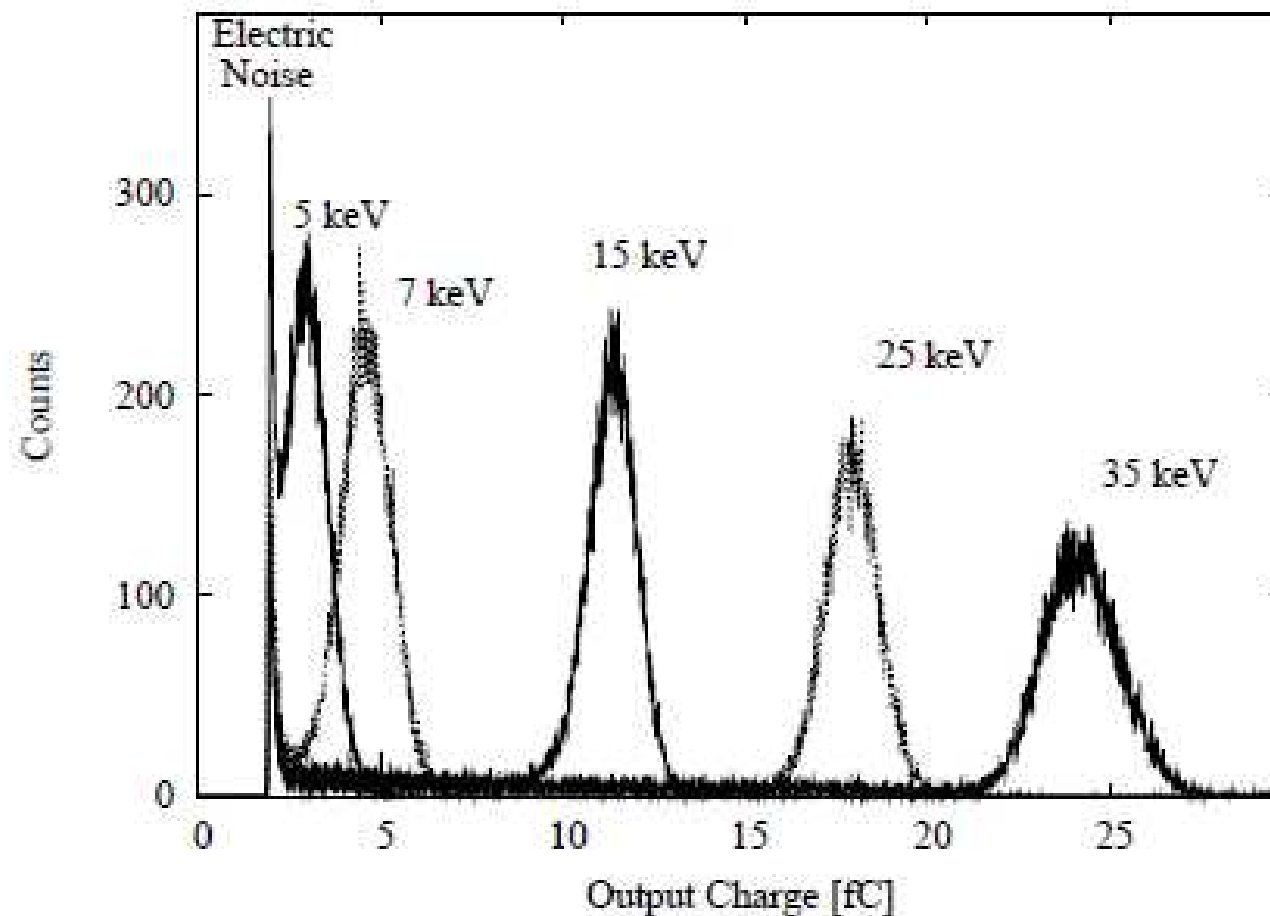
- 単一エネルギーの入射でも出力は揺らぐ
 - 例えば $N \sim E/\varepsilon$ は $\Delta N \sim \sqrt{N}$ の偏差を持つ

チェックポイント



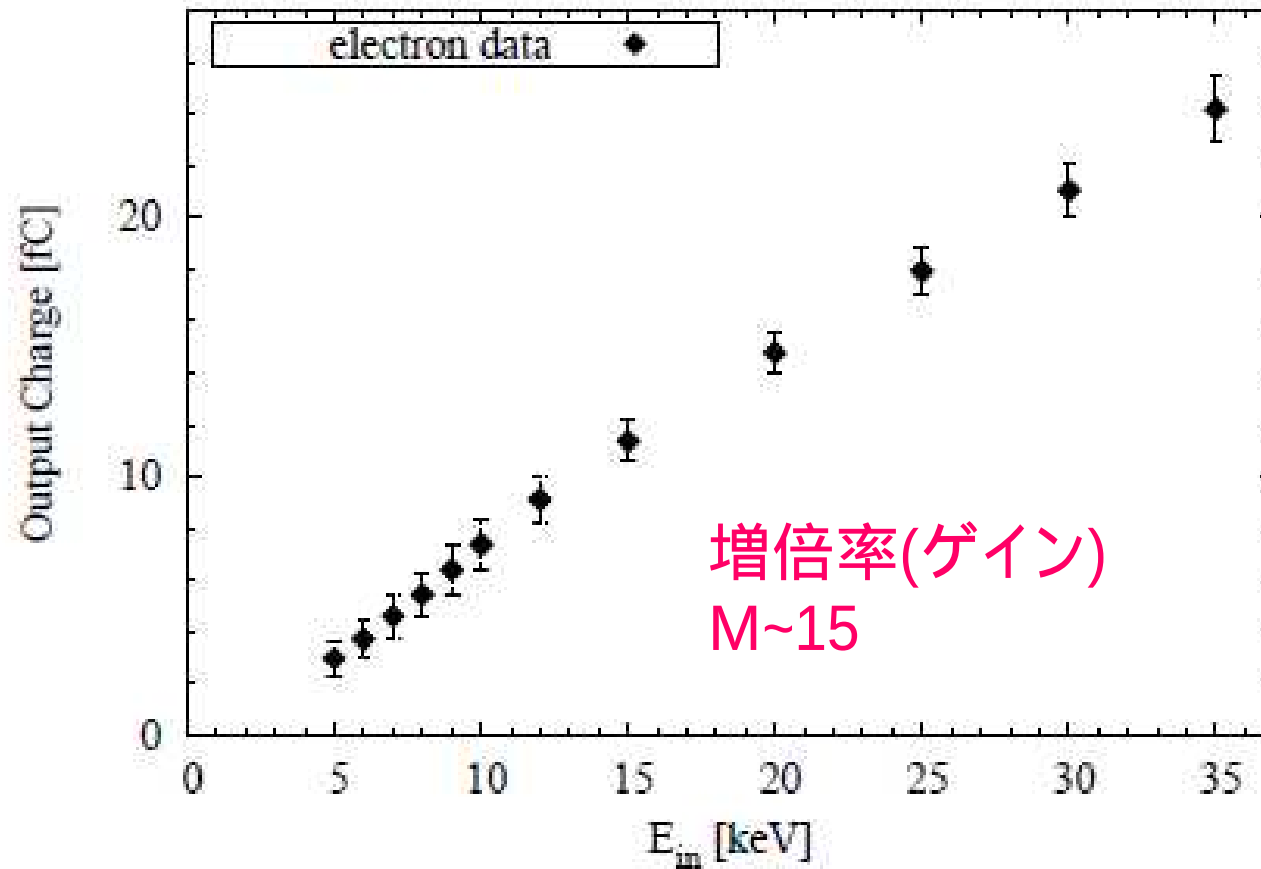
- エネルギー範囲: 5 keV?
 - Low-energy instrumentとのオーバーラップ範囲に影響
- エネルギー分解能: <30%?
 - コンタミ除去に影響
- ゲイン, 不感層の非一様性
 - 検出効率, エネルギー分解能に影響

出力電荷分布



- 5 keVまでピークを検出
 - 7 keV以上はほぼ完全に電気ノイズと分離

入力－出力 関係



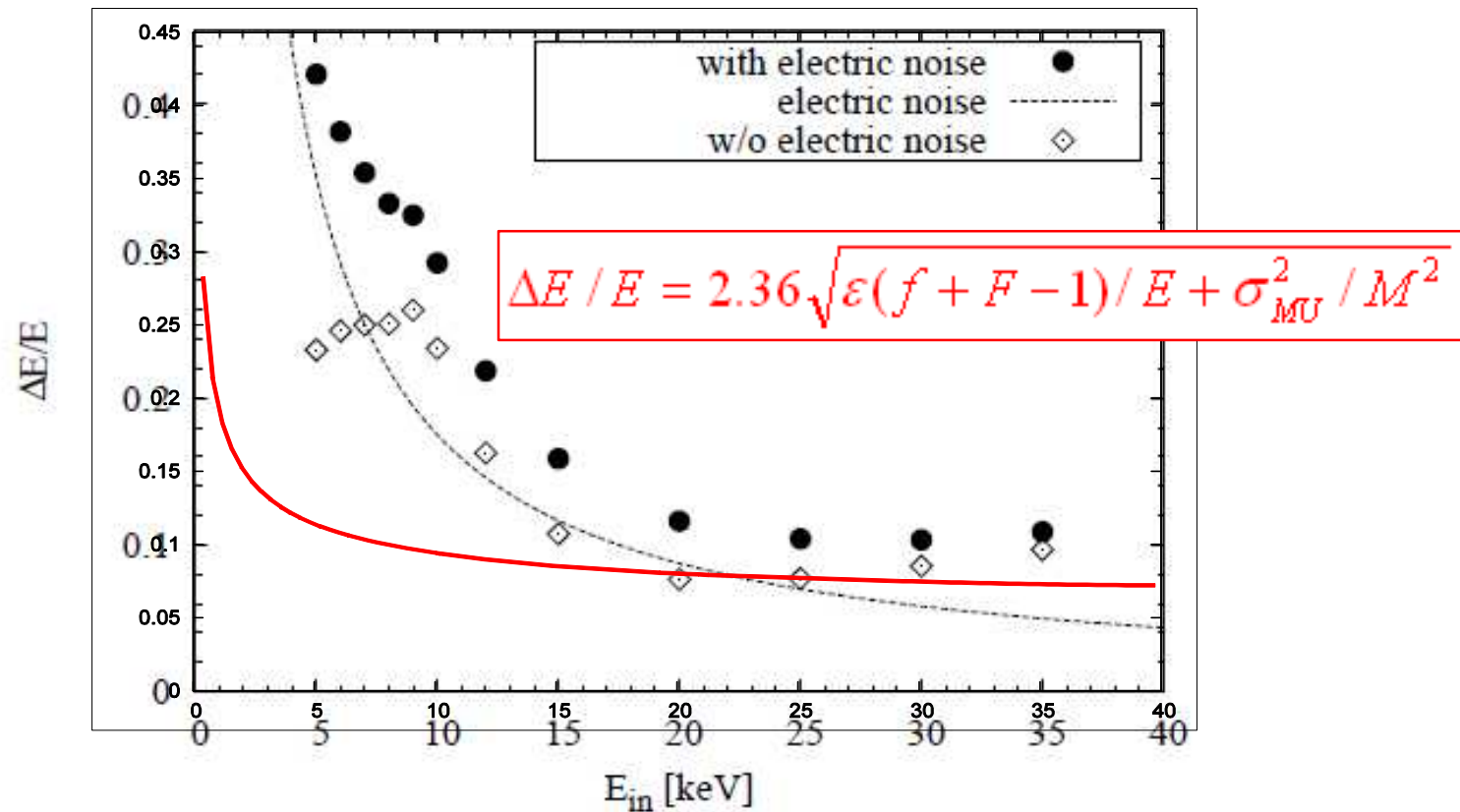
- < 15 keVで出力の低下, 5 keV電子は3 keV相当の出力
 - 不感層の影響, 厚みは200-300 nm (厚すぎる)

チェックポイント



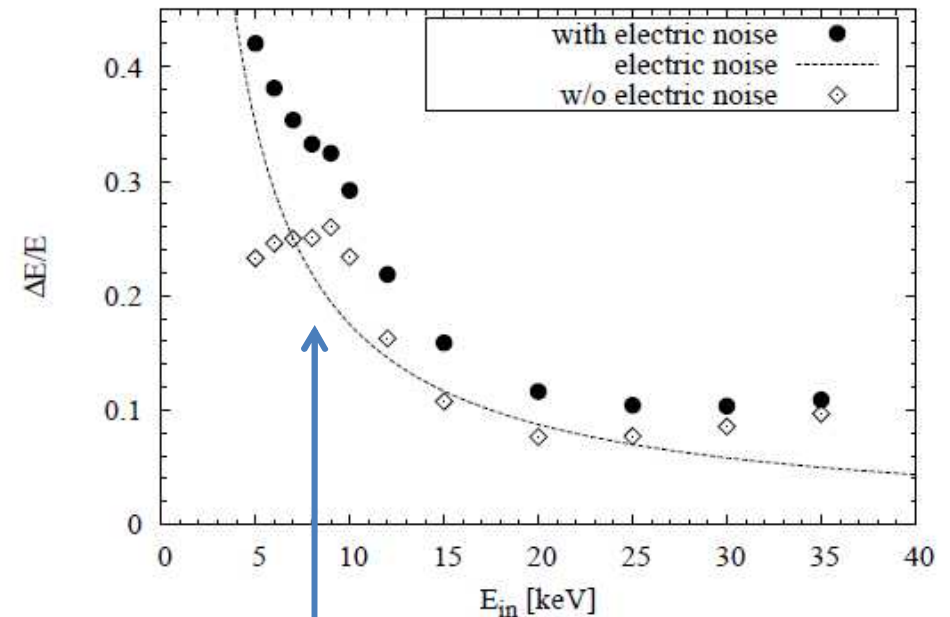
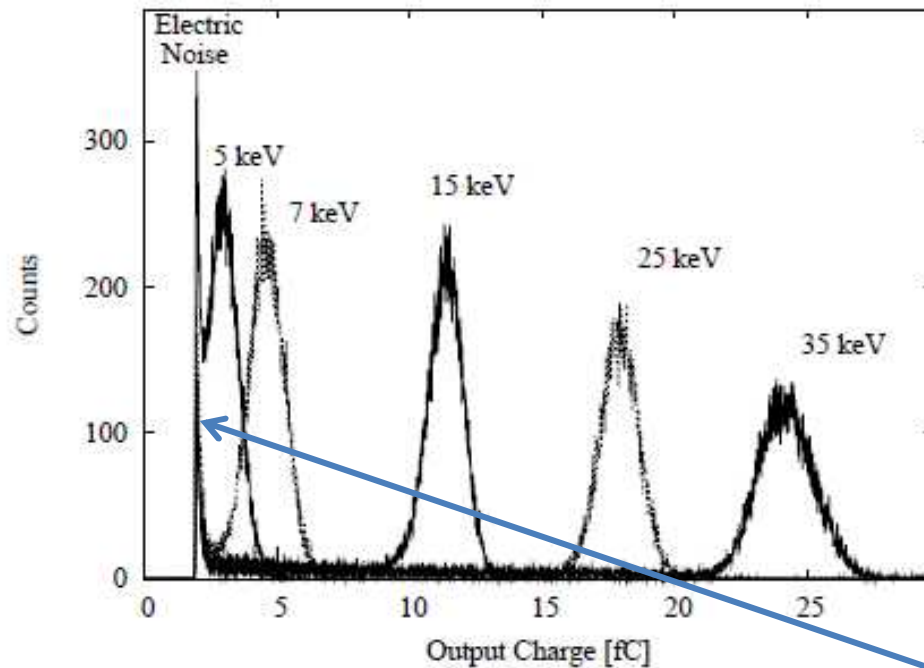
- エネルギー範囲: 5 keV?
 - Low-energy instrumentとのオーバーラップ範囲に影響
- エネルギー分解能: <30%?
 - コンタミ除去に影響
- ゲイン, 不感層の非一様性
 - 検出効率, エネルギー分解能に影響

エネルギー分解能



- 5 keVで~40 % , >20 keVでは~10%
 - 低エネルギー側は電気ノイズが支配
 - 理論予想とのズレは内部構造を反映(教科書的な構造でない)

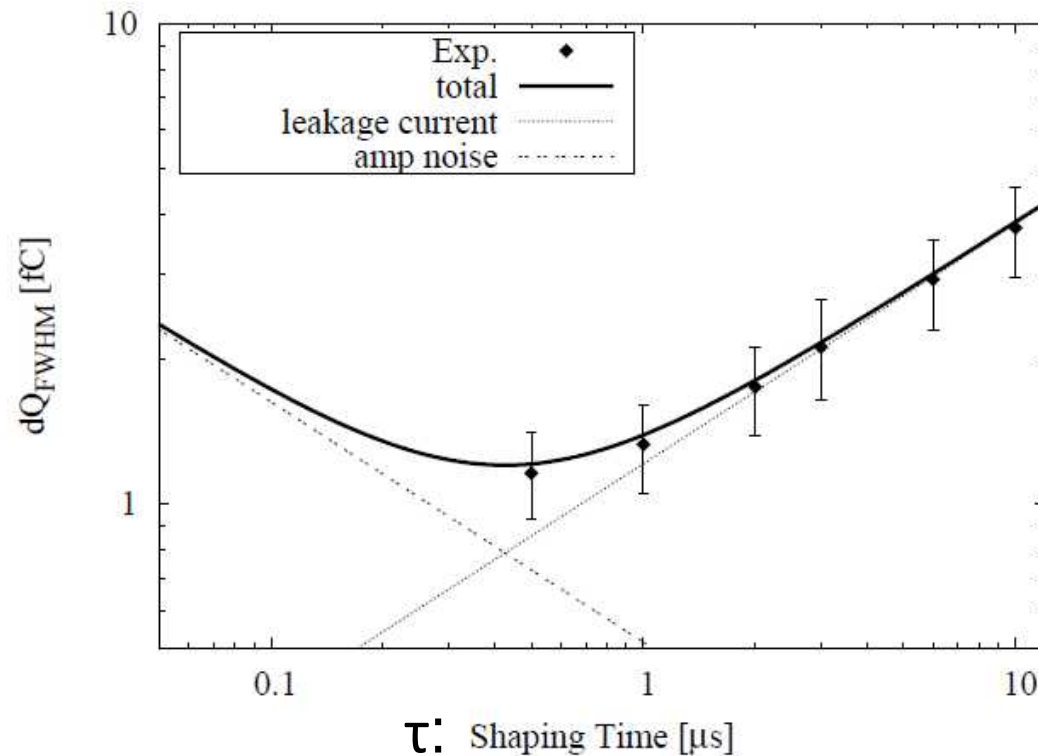
I can get no satisfaction



いずれも電氣的ノイズが影響

- 電氣的ノイズを落としたい
 - どうすれば?

電気ノイズの定量評価



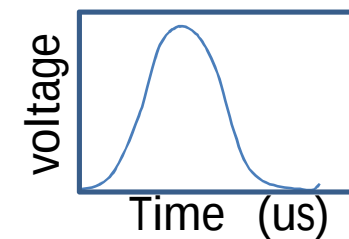
$$dQ^2 = k_1 I \tau + (k_2 + k_3 C)^2 / \tau$$

τ : shaping time

k_1, k_2, k_3 : constant

I : 漏電流

C : 素子容量



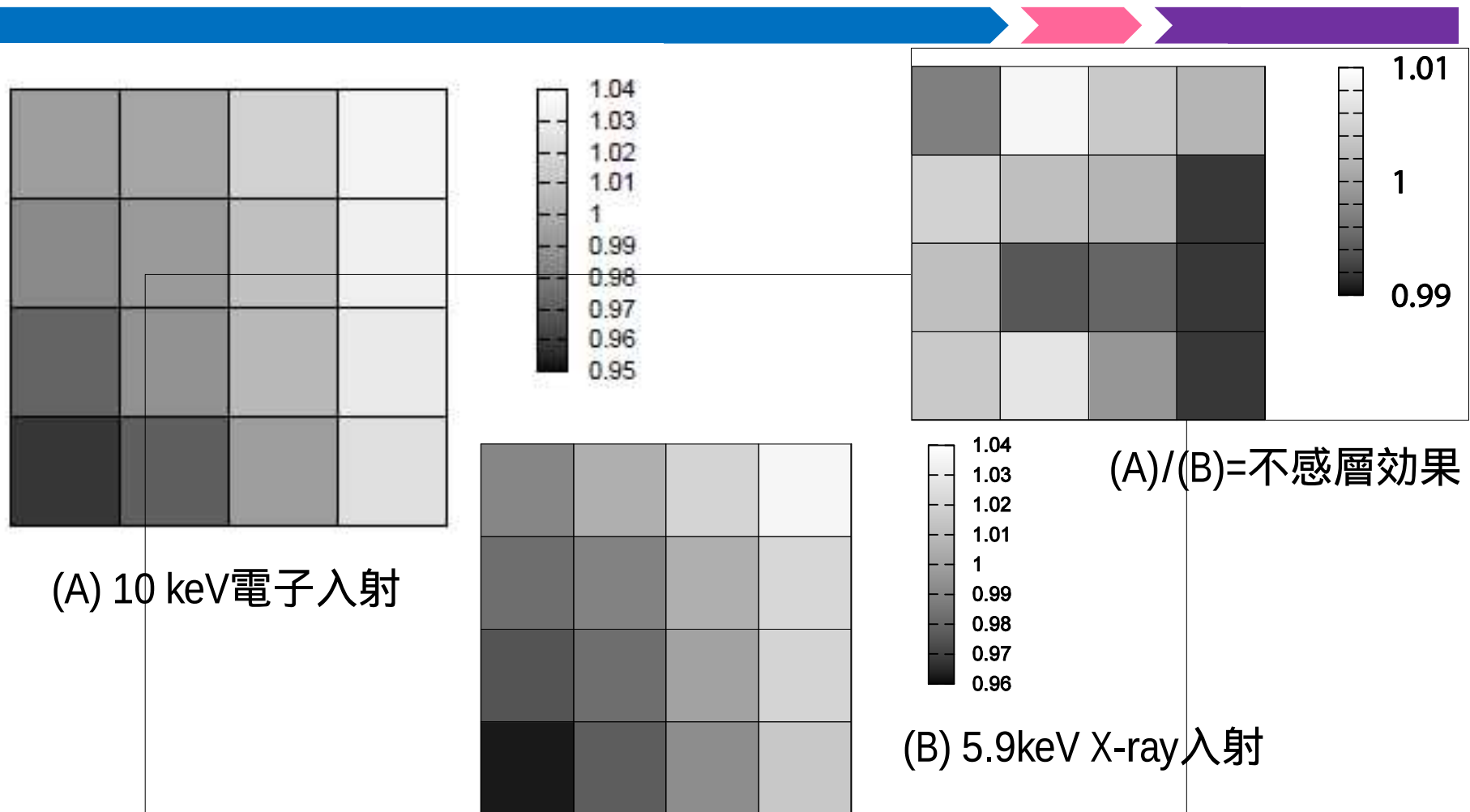
- 計測された電気ノイズは理論式からの予想とよく一致
 - 理論式を用いた最適化(サイズ, ノイズ等のトレードオフ)が可能

チェックポイント



- エネルギー範囲: 5 keV?
 - Low-energy instrumentとのオーバーラップ範囲に影響
- エネルギー分解能: <30%?
 - コンタミ除去に影響
- ゲイン, 不感層の非一様性
 - 検出効率, エネルギー分解能に影響

ゲイン, 不感層厚の一様性



- 出力のばらつきは殆どゲインで決まっている
 - ゲインの非一様性は $\pm 5\%$ 以下
 - 不感層の非一様性は $\pm 20\text{nm}$ 以下(250nmと300nmでは出力が2%違う)

性能纏め

- エネルギー範囲: 5 keV? → 7 keVはOK
- エネルギー分解能: <30%? → >10 keV までOK
- ゲイン, 不感層の非一様性 → $\sigma_M < 5\%$, $\sigma_{DL} < 1\%$

実はこの素子のままでも, それほどひどくはない

A Hard day's night

- 1cm x 1cm の大面積APDを試験した
 - 電子の5keVのピーク検出を確認した
 - 不感層の厚みは200-300 nm(厚すぎる), 空間偏差は<1%
 - 電氣的ノイズが低エネルギー側のエネルギー分解能を制限していることがわかった
- 電氣的ノイズを定量的に評価した
 - 素子の面積, 厚みを変数とした最適形状検討の指針ができた
 - 漏電流, 素子容量を減らす
- >60 keV電子の出力電荷分布については要定量評価
 - 数値シミュレーション, 東大実験

We've only just begun

- APD形状(面積, 厚み)最適化, 並べ方検討
- APD温度依存性試験
- APD高エネルギー陽子入射
- 放射線帯ノイズ評価

真冬のAPDに続く?

