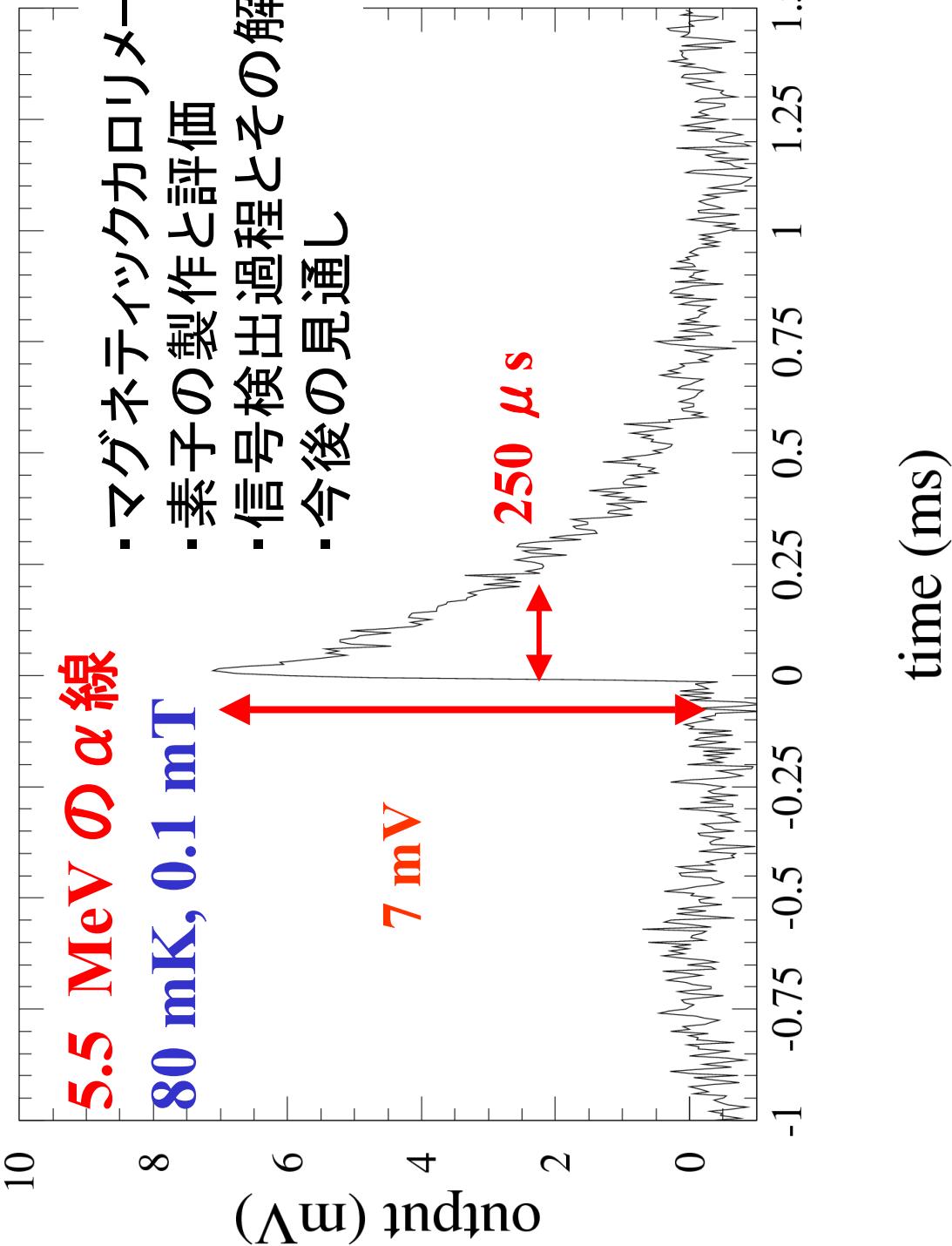


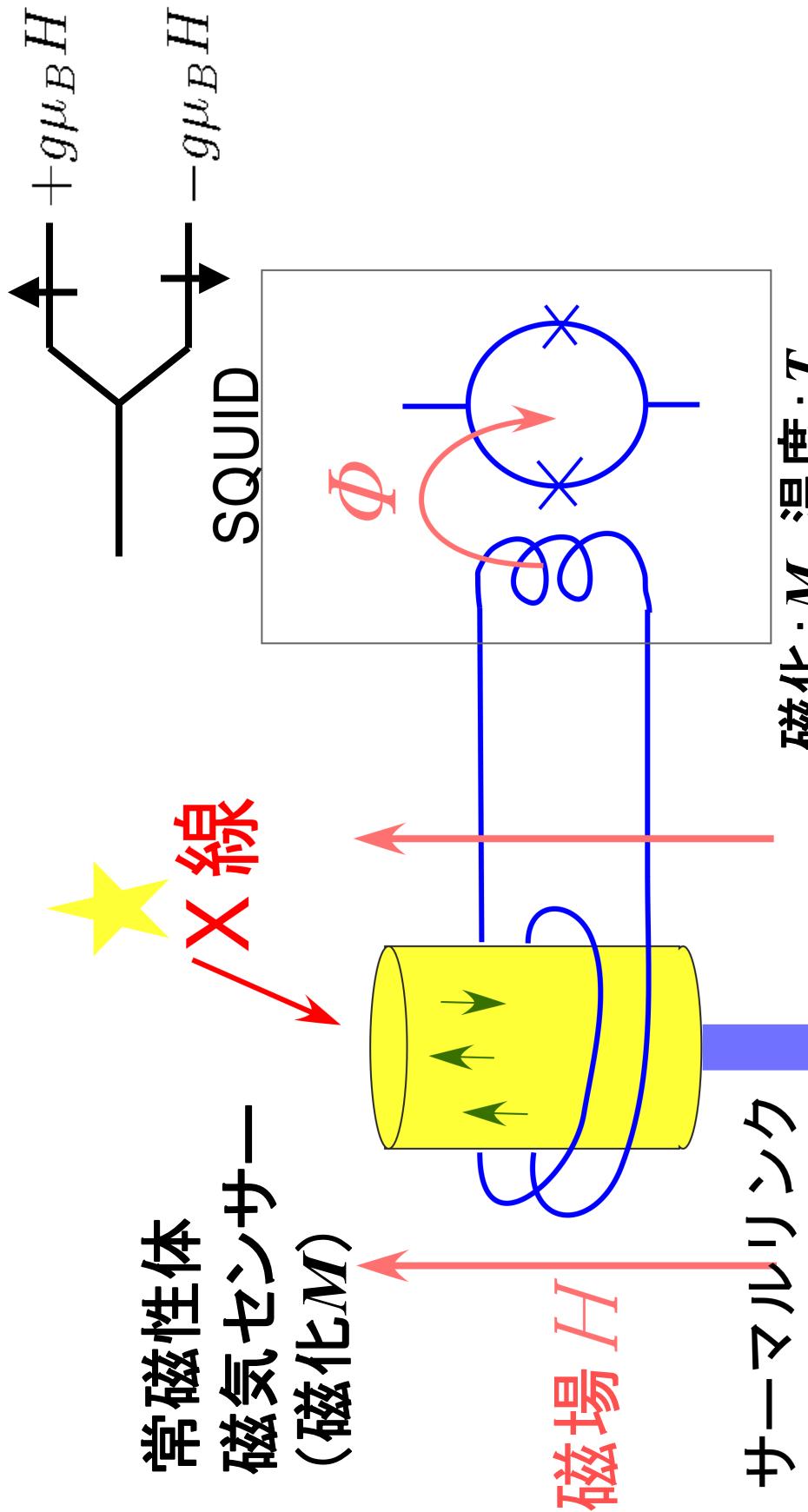
宇宙X線観測を目指した

マグネティックカロリメータの研究

宇宙物理実験研究室 佐藤浩介



マグネットイックカロリメータ(MC)の原理

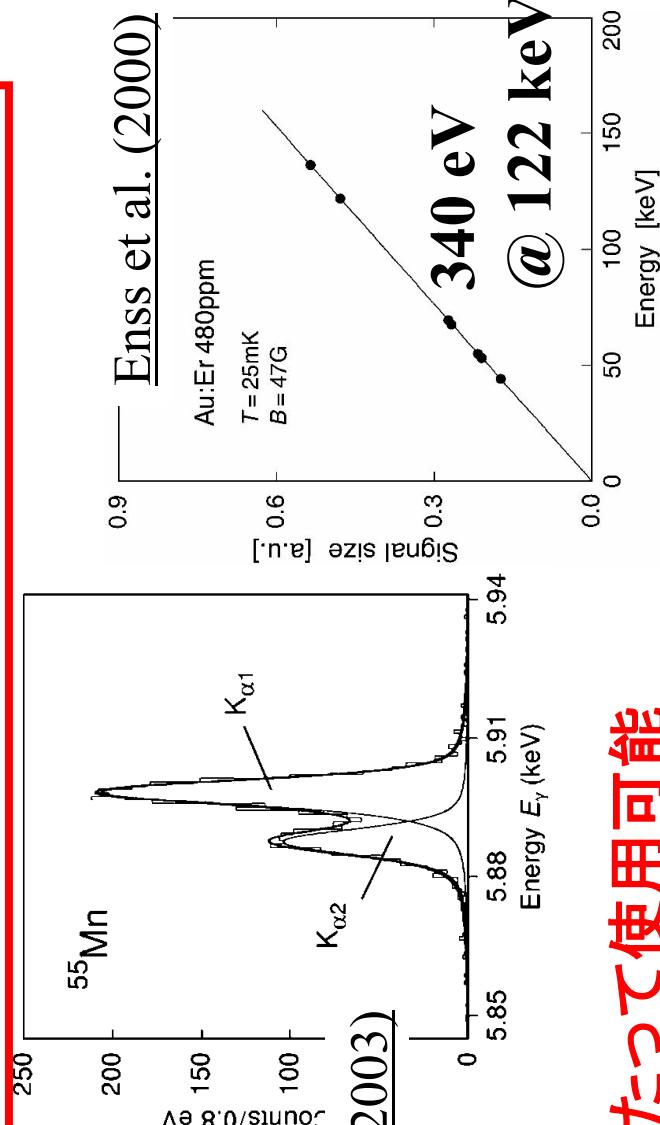
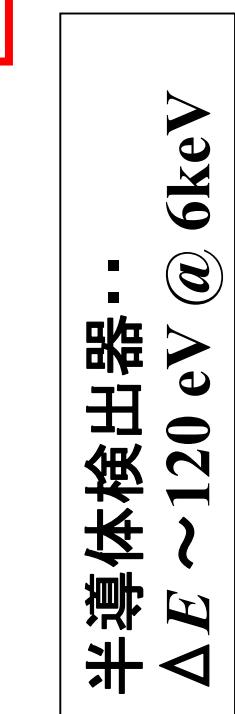


$$\Delta M = \frac{dM}{dT} \times \Delta T = \frac{dM}{dT} \times \frac{E}{C_{\text{total}}}$$

MCの利点と困難な点

- ・高エネルギー分解能

MCの世界記録 $\Delta E \sim 3.4 \text{ eV} @ 6 \text{ keV}$



・広いエネルギー範囲にわたって使用可能

・比較的大きな素子がつくり易い ($\Delta E \propto C^{1/3}$ 、TESは $\propto C^{1/2}$)

・磁気バイアスを用いるので、バイアス配線が不要。

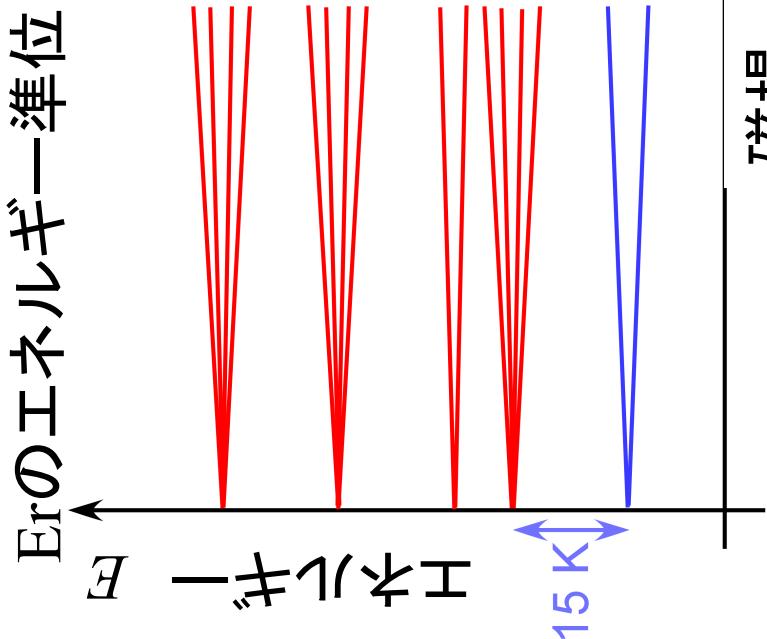
→ SQUIDは磁場に弱い

・スピニン系の熱緩和が遅い

↑ 磁性体(エルビウム)を金属(金)で希釈し熱化を速める

磁気センサー(Au:Er系)の特徴

センサーに要求される特徴

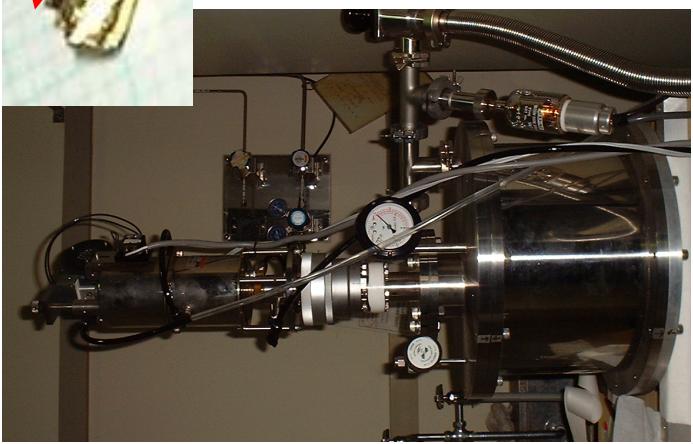


- ・磁性体には、RKKY相互作用などの要求から4f系元素が望ましい。
- ・磁性体を希釈するものとしては熱伝導がよく、熱化が速いものが金属 or 準金属 ⇒ 文献も多いことから、Au:Er系とする。

Er : エルビウム 4f系元素

全角運動量の量子数 & 磁気モーメント
 $\Rightarrow \text{Er}^{3+} : J = 15/2 \Rightarrow 16$ 準位
 \Rightarrow 今は実質 2 準位

Au:Er素子の製作と評価



Au:Er

溶融前

2 mm

厚さ 0.3 mm

溶融した後、
叩いて延ばして分割



素子#34

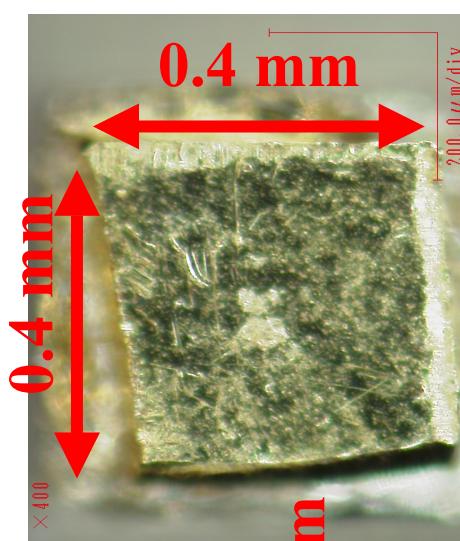
都立大共用rf-SQUIDで測定



2 mm

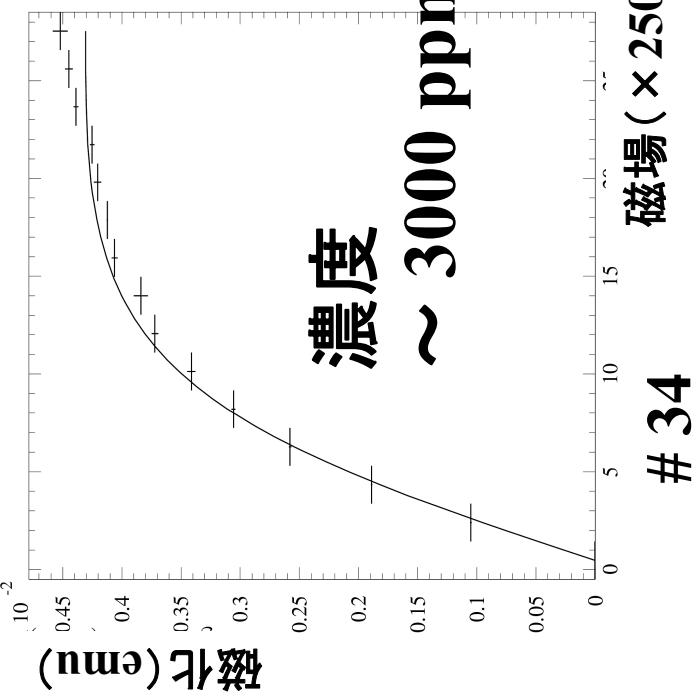
厚さ 0.3 mm

再び叩いて分割



厚さ 0.08 mm

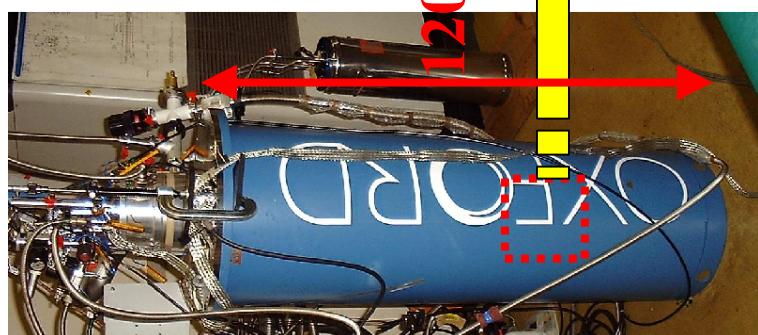
0.4 mm



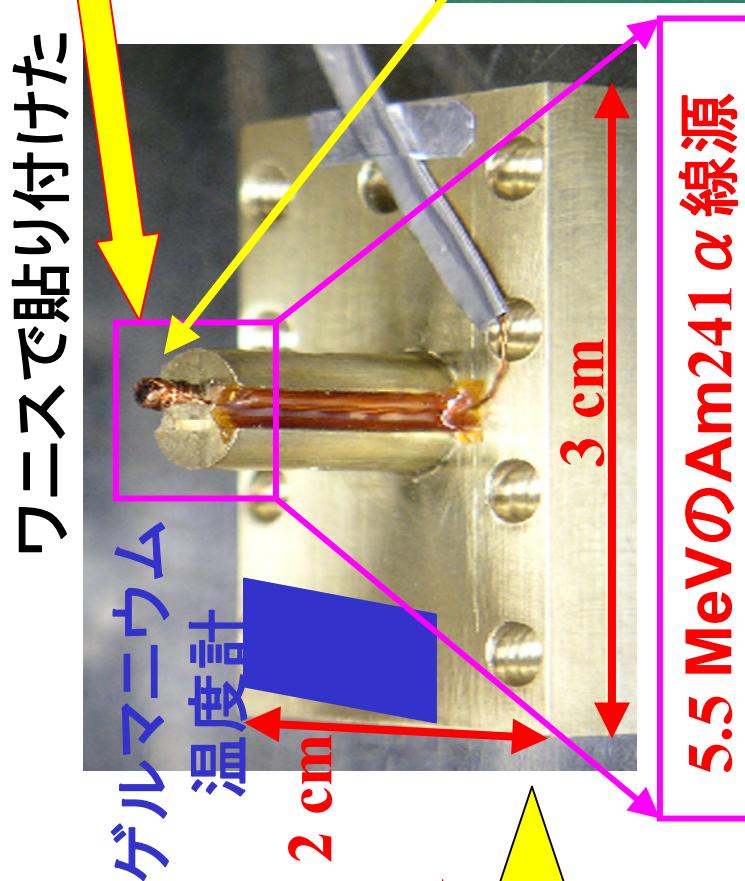
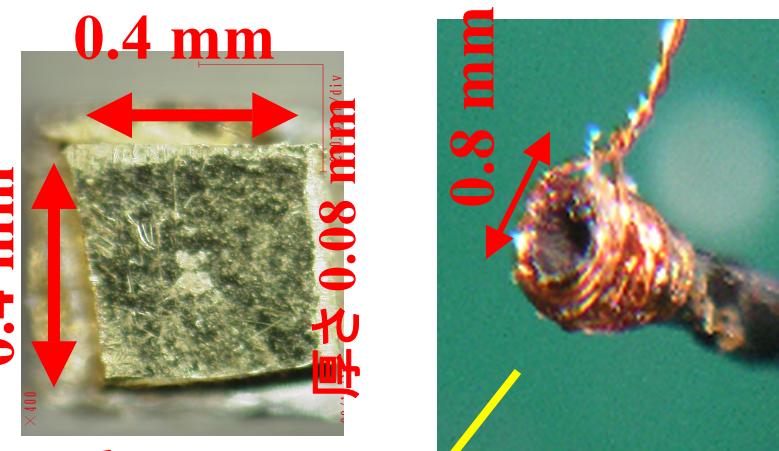
34

磁場 (× 250 mT)

実験装置とセッタアップ



希釈冷凍機
(1 Aで10 mTの
磁場を印加可能)



Au:Er素子
ワニス
ピックアップコイル
カプトン管

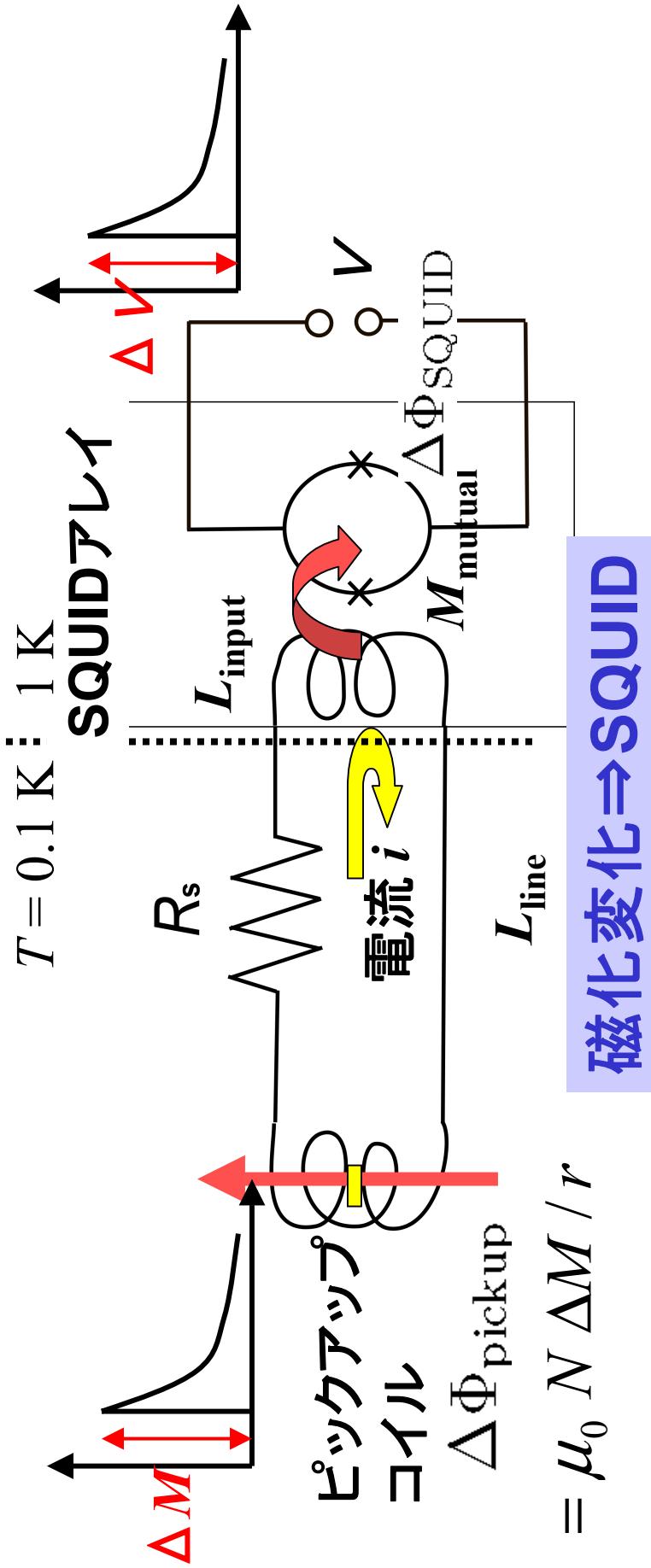
5.5 MeVのAm241 α 線源

素子台は真鍮製
素子台

カプトン管

素子台

信号の読み出し系



L_{input}	190 nH
L_{line}	10 nH
M_{mutual}	58 pH

- 回路に直列抵抗 R_s ($1.78 \text{ m}\Omega$)を入れて、信号の時定数を調整 ($\sim 200 \mu\text{s}$)。

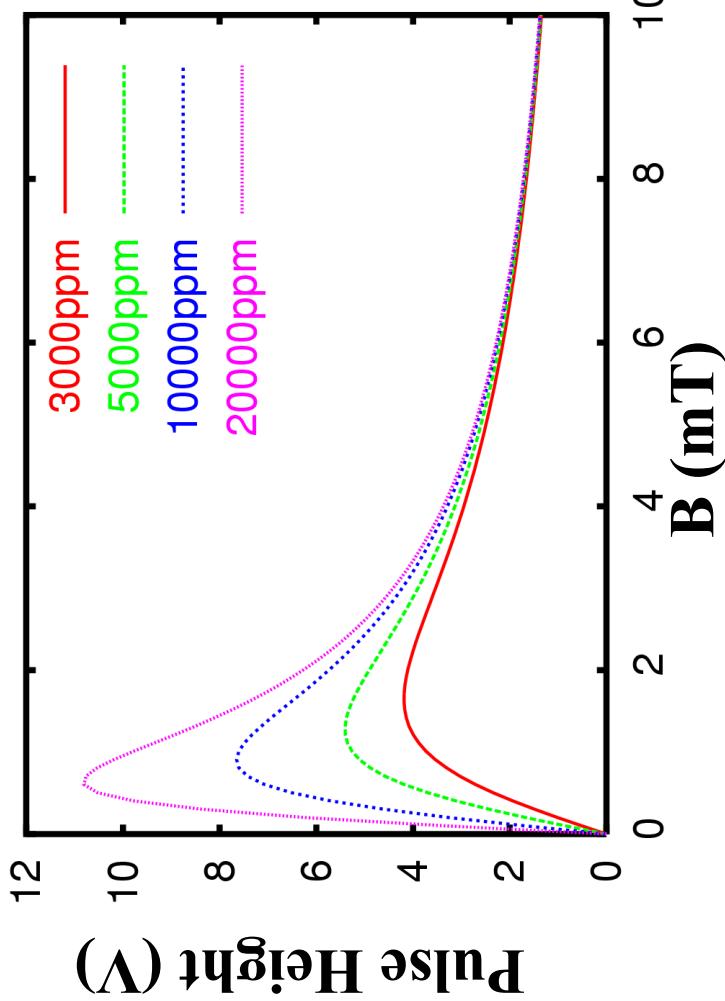
- 現状では伝達効率は悪い。

$$\Delta\Phi_{\text{SQUID}} / \Delta\Phi_{\text{pickup}} = \frac{M_{\text{mutual}}}{L_{\text{input}} + L_{\text{line}}} = 3 \times 10^{-4}$$

Φ : 磁束、 M : 相互インダクタンス、 L : 自己インダクタンス

予想される出力

$T = 80 \text{ mK}$ の時に予想される
磁場と出力の大きさの関係



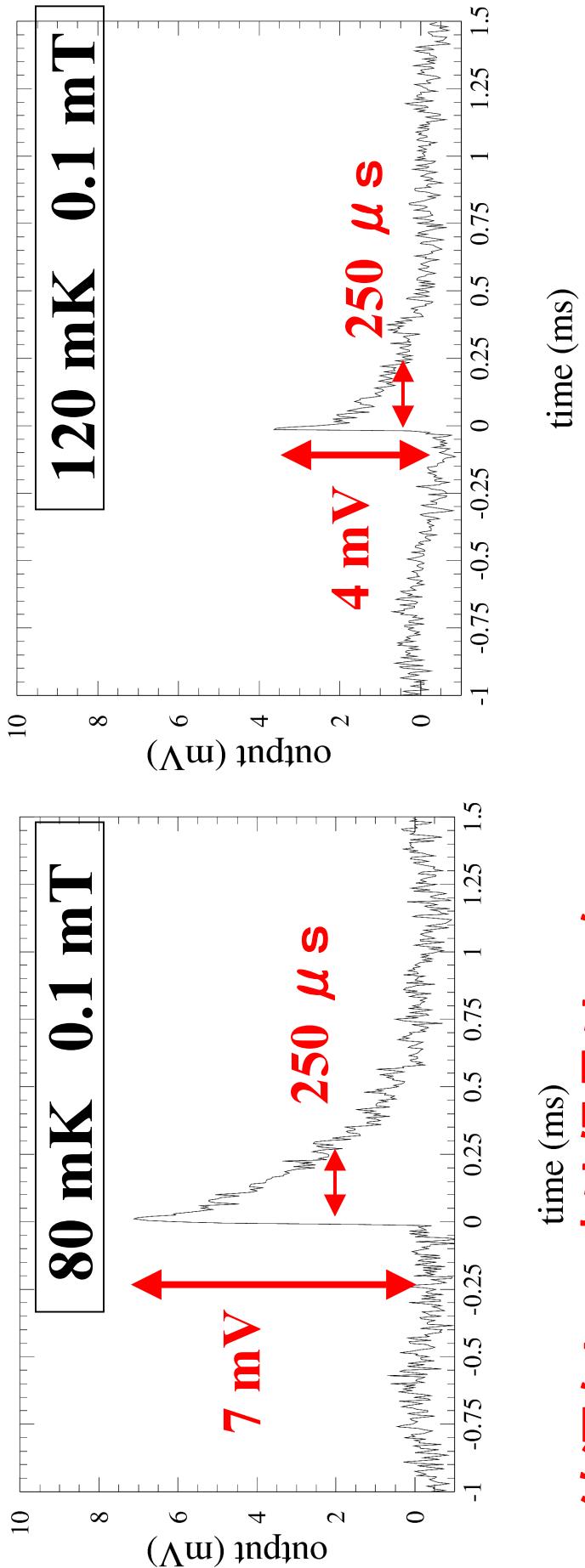
$$\Delta M = \frac{dM}{dT} \times \Delta T = \frac{dM}{dT} \times \frac{E}{C_{total}} = -\frac{E}{H} \times \frac{C_{spin}}{C_{spin} + C_{host}}$$

今回使用する素子は 3000 ppm であるので、
予想される出力は、温度 80 mK、5.5 MeV の α 線が入射してときには

$$PH_{max} = 4 \text{ V} @ B=2 \text{ mT}$$

測定結果(1)

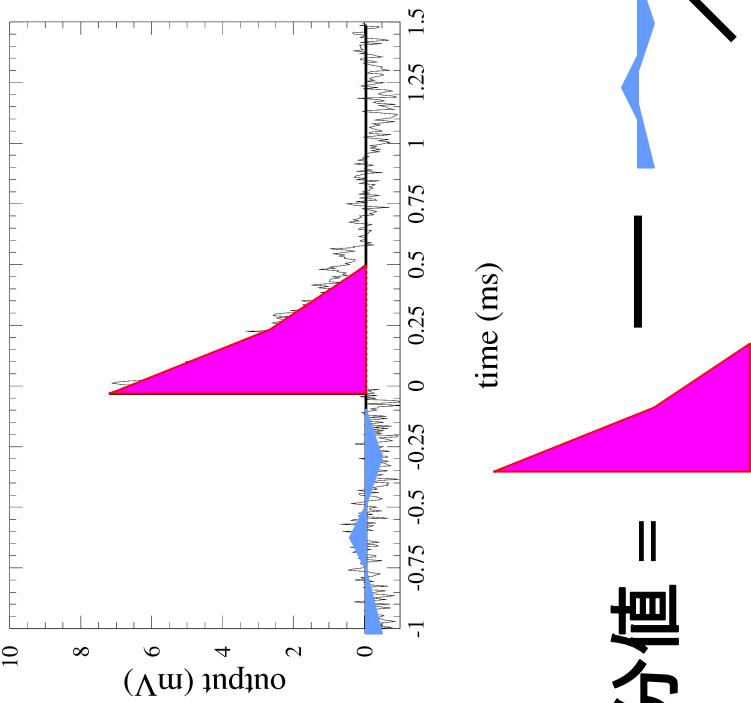
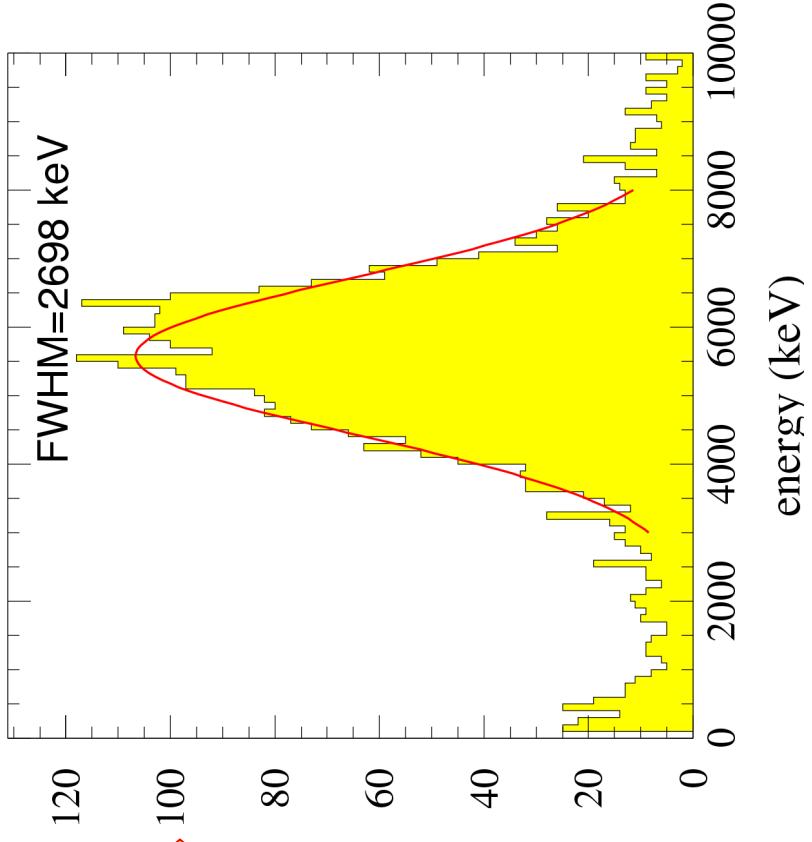
- 5.5 MeV の α 線で温度Tと印加磁場Bを変化させて測定。
 $T=80, 120\text{ mK}$ 、 $B=0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5\text{ mT}$ で信号取得。
- 典型的な信号波形



- 線源なしの時は信号はない。
- 磁場を反転させると、信号の極性が変わる。
- 信号の減衰の時定数が回路から予想されるものと一致。
- カウントレートが予想(0.38 cts/s)とフアクターで一致。

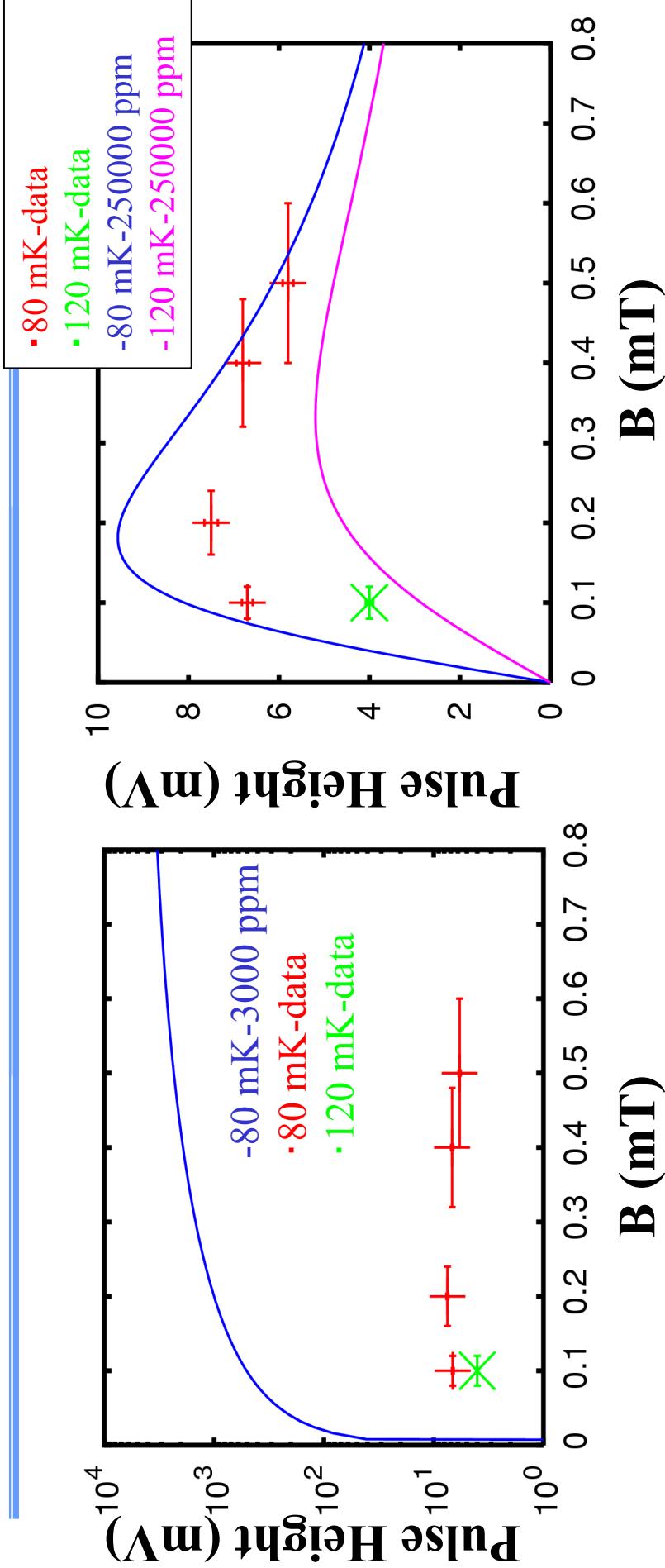
測定結果(2)

- エネルギースペクトル解析 … 今回は数百個貯めた信号波形を単純に積分することで、スペクトルを求めた。
⇒ 分解能は数MeV。



80 mK 0.1 mT

考察(1)



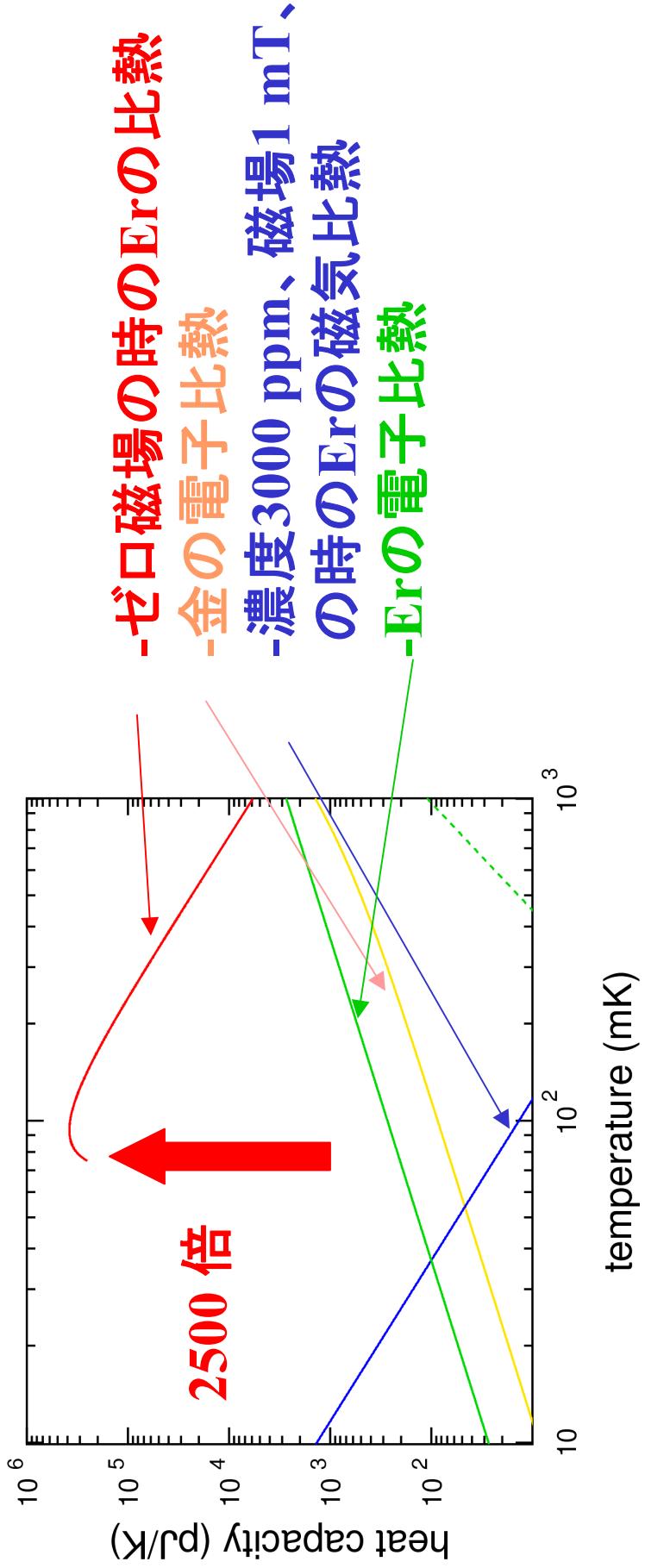
磁場とモデルの磁場依存性から予想される濃度 $\Rightarrow 25000 \text{ ppm}$
ただし、波高値に関しては、 $1/4000$ 程度に規格化している。

80 mKと120 mKとの波高値の比

得られたデータ、モデルとともに～2程度で一致している。
↑

考察(2)

- ・波高値が見積もりより小さい⇒比熱が大きい?
同位体Er167(組成比～23%)が核スピン $I = 7/2$ を持つ
ので、比熱が大きい。⇒**2500倍**。
- ・Erの濃度が高い⇒RKKY相互作用でスピノンが変化しにくい。



まとめと課題

成果

- Au:Er素子を製作し、評価をおこなつた。
- 5.5 MeVの α 線に対して信号波形を検出した。
(日本初。世界でも3番目)

課題

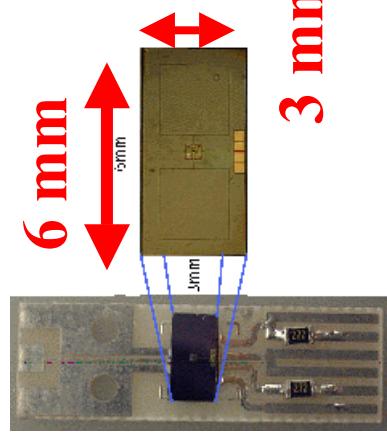
- 信号が見積もりよりもはるかに小さい。
- 素子の均一性や、濃度の決定に不定要素が多い。
- SQUIDへの伝達効率が非常に悪い。

素子開発

- Au:Er素子の製作を蒸着装置を用いて行うことと、メーカーに発注することを並行して検討中。
- ^{166}Er (核スピinnなし)のみを用いた素子を製作

SQUID

- 磁場に強く、現在のものよりも100倍伝効率のよいゲラジオメータタイプのものを評価中。



質問對策

将来に向けて

素子関連

- Au:Er素子の製作を蒸着装置を用いて行うことと、
- メーカーに発注することを並行して検討中。

SQUID

- 磁場に強く、現在のものよりも100倍伝達効率のよい
ゲラジオメータタイプのものを評価中。

