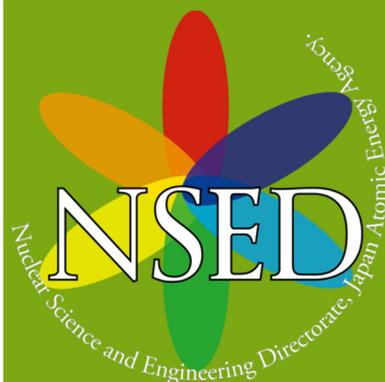




GE検出器を用いたJ-PARC/ANNRIでの ^{244}Cm 及び ^{246}Cm の 中性子捕獲反応断面積測定

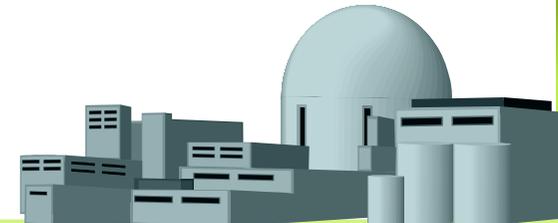
木村敦*、大島真澄、太田雅之、北谷文人、金政浩、小泉光生、後神進史、藤暢輔、
中村詔司、原かおる、原田秀郎、廣瀬健太郎、古高和禎、井頭政之、片渕竜也、
水本元治、木野幸一、鬼柳善明、高宮幸一、福谷哲、藤井俊行、堀順一



研究の背景→J-PARC/MLFを利用する事の意味
検出器・データ収集系
測定内容・測定結果
測定された断面積
まとめ

研究の背景

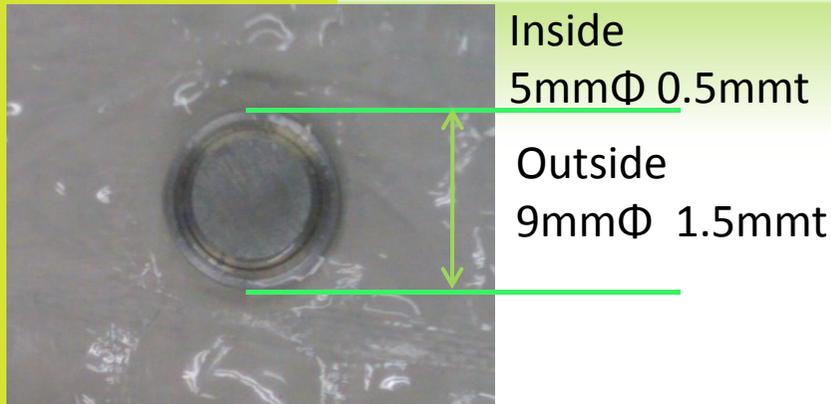
- ウラン燃料の有効利用による経済性向上
 - 高レベル放射性廃棄物の削減
- による環境負荷低減の評価の為には、
マイナーアクチノイド(MA)や
長寿命核分裂生成物(LLFP)
の高精度な核データが必要



MAやLLFPの核データ（特に中性子捕獲反応断面積）
には誤差が数十%と大きいものや、
データが皆無の核種も数多く存在

本発表ではMA核種の測定の一例として
 ^{244}Cm 、 ^{246}Cm の測定例について紹介

何故J-PARCなのか？



多くのMAは短半減期
(例えば ^{244}Cm は 18.1y)

今回 ^{244}Cm の試料では
300mgのAlケースの中に
 ^{244}Cm : 1.8GBq, 0.6mgを封入。

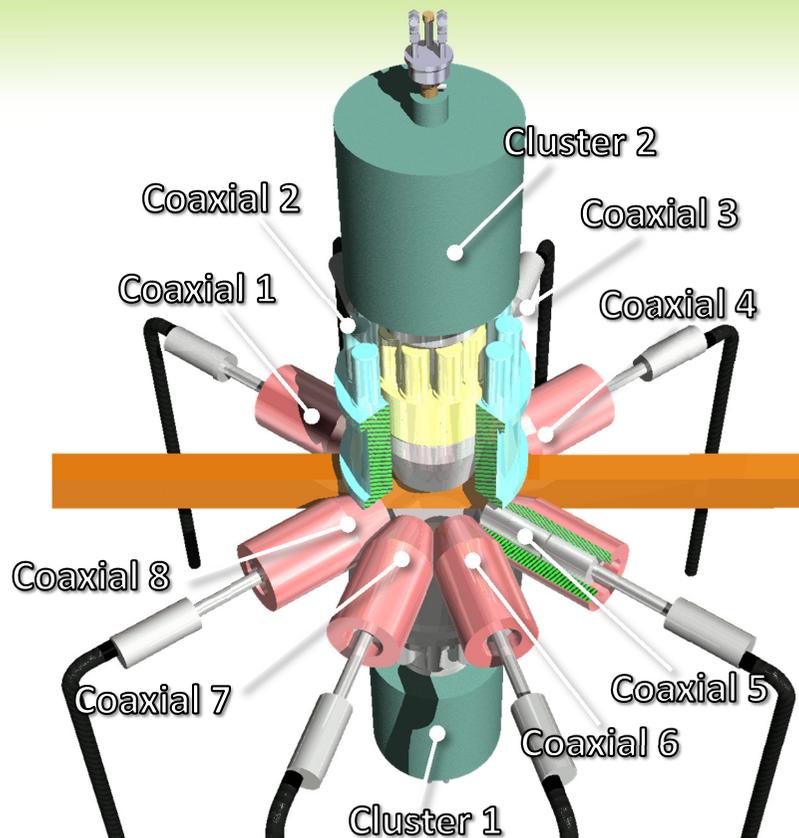
実験では試料の即発 γ 線を測定するのだが、
 α 崩壊からの γ 線が多数あり測定が非常に困難

- ^{244}Cm 、 ^{246}Cm の中性子捕獲反応断面積の過去の測定データは1969年に行われた原爆実験の1例のみ。
- CERN n-tofにおける、最短の半減期の測定は ^{151}Sm の90年

J-PARCでの大強度パルス中性子を用い、
S/N比の良い実験を行う

検出器

～GEスペクトロメータ～



2台のCluster型Ge検出器：

$$2 \times 7 \text{ ch} = 14 \text{ ch}$$

8台のCoaxial型Ge検出器：

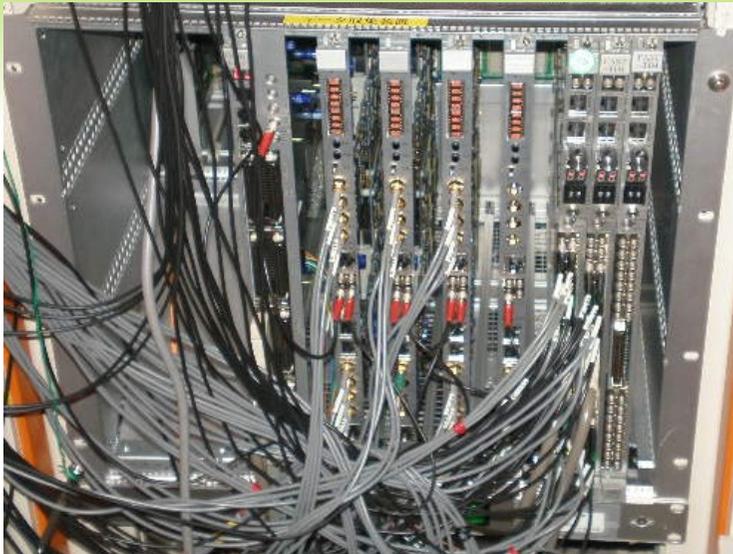
$$8 \times 1 \text{ ch} = 8 \text{ ch}$$

合計： 22ch

- エネルギー分解能@1.33MeV:
5.5keV (On beam)
2.4keV (Off beam) [1]
- ピーク検出効率@1.33MeV:
3.64 ± 0.11 %

[1] T. Kin et. al., *the 2009 NSS-MIC Conf. Rec.*, N24-2, (2009).

データ収集装置



開発したデータ収集システム

- エネルギー分解能
(2.5keV@1.33MeV 6.8keV@5.3MeV)
- 温度依存性 0.1LSB @7000ch /°C
- 時間依存性 2LSB@7000ch/day以下
- 最大イベントレート300kevents/s以上
- 時間分解能 10ns (最大167ms)

不感時間の補正のために
Random Pulserを入力



測定条件

エネルギー分解能

4MeV	Max	運転停止	Pulser 無	2.2~3.2keV@1.33MeV
16MeV	Max	運転停止	Pulser 無	4.5~5.5keV@1.33MeV
16MeV	Max	運転中	Pulser 無	5.5~7.5keV@1.33MeV 11~16keV@7.72MeV
16MeV	Max	運転中	Pulser 有	8.2~10.1keV@1.33MeV 18~24keV@7.72MeV

Cm同位体試料と実験条件



Outside
9mmΦ 1.5mmt

Inside
5mmΦ 0.5mmt

•Sample :

^{244}Cm 試料 (^{244}Cm : 1.8GBq, 0.6mg 同位体比91.6%)

^{244}Cm - ^{246}Cm 混合試料

(^{244}Cm : 1.7GBq, 0.6mg 同位体比 : 29.0%、

^{246}Cm : 12.1MBq, 1.1mg 同位体比 : 58.0%)

•J-PARC運転状況 : 120kW 25Hz
ダブルバンチ

•ビームダクト : Heガス置換

•コリメータ : 7mmφ

不感時間補正用にRandom Pulserからのランダムタイミングパルスを検出器のテスト入力に入力

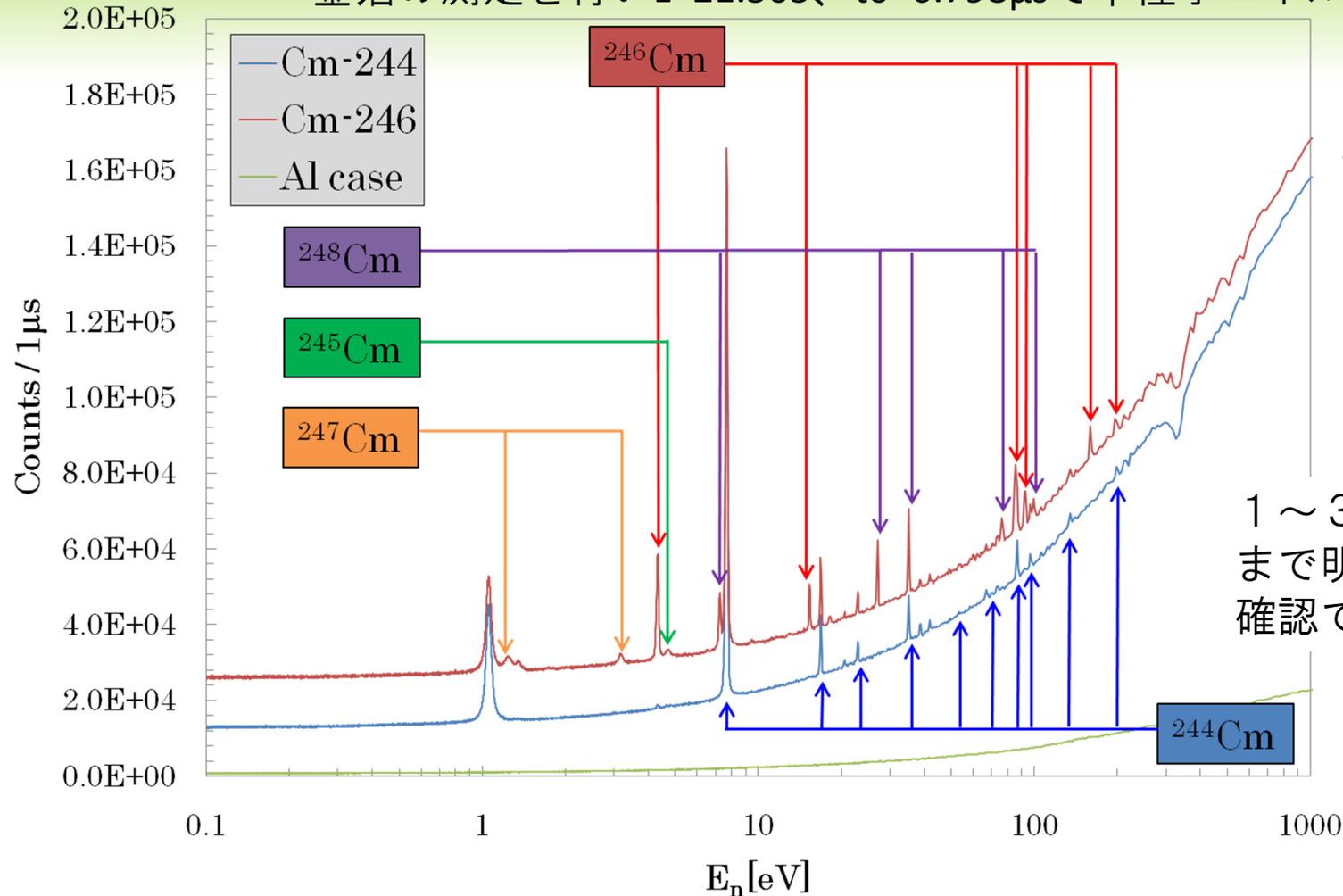
	^{244}Cm sample (%)	^{246}Cm sample (%)
^{244}Cm	89.57±1.68	27.52±0.45
^{245}Cm	2.66±0.34	1.06±0.28
^{246}Cm	7.08±0.33	59.40±1.29
^{247}Cm	Not Detect	2.86±0.36
^{248}Cm	Not Detect	9.10±0.24

試料名	測定時間[h]
Cm-244線源	約32時間
Cm-244,246 混合線源	約48時間
Cm用アルミダミーケース	約16時間
Blank(Holder+Film)	約11時間

Cmの測定（1）

～TOF線スペクトル～

金箔の測定を行い $L=21.505$ 、 $t_0=6.798\mu\text{s}$ で中性子エネルギーを算出

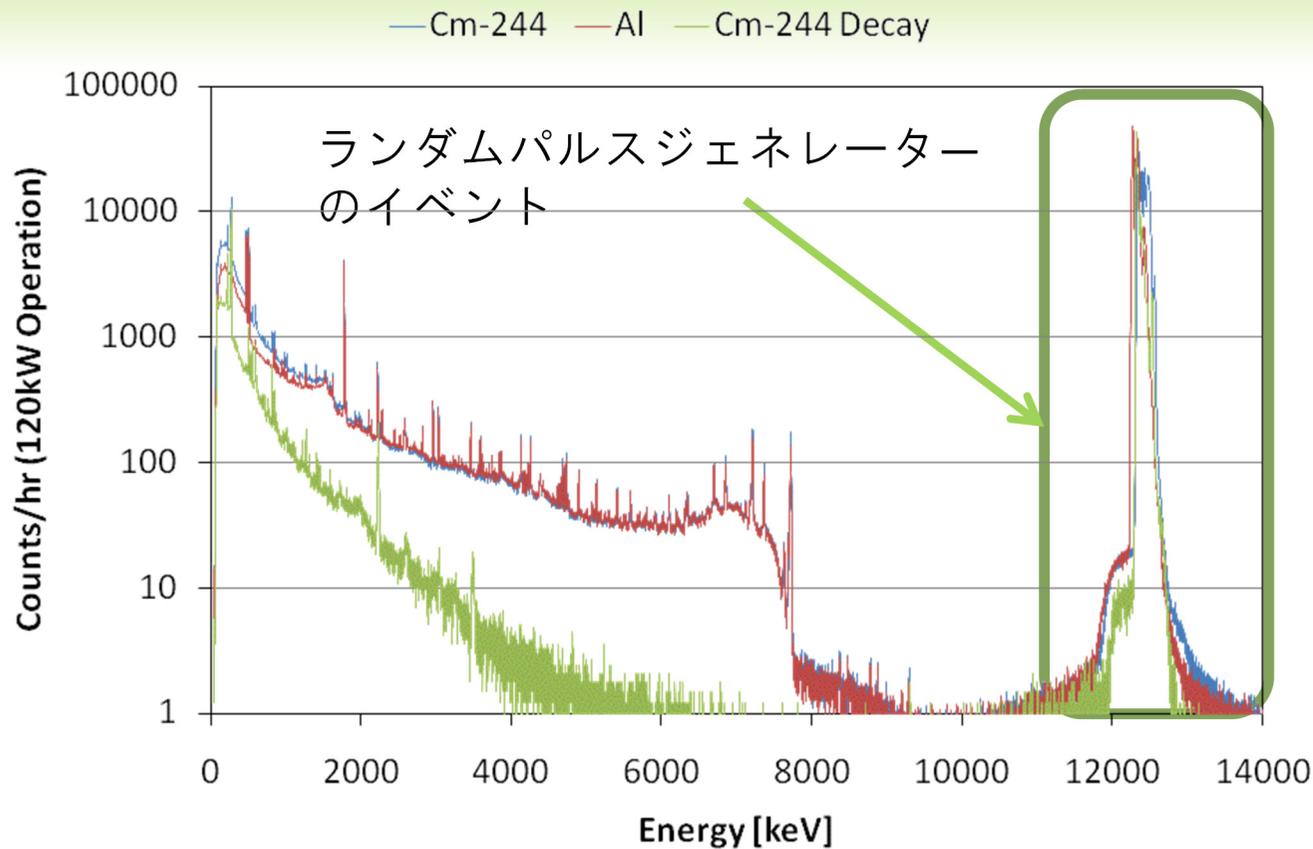


80eV程度から
ダブルバンチ
の影響で双山
になる。
(以降の解析は
1 μs 単位で実施)

1～300eV程度
まで明瞭な共鳴吸収が
確認できる

Cmの測定 (2)

～ γ 線スペクトル(1)～



ピークのほとんどは
Al、 ^{73}Ge 、Fe、Pb
及び ^{244}Cm のDecay

明確なCmの即発 γ 線は
測定できなかった。

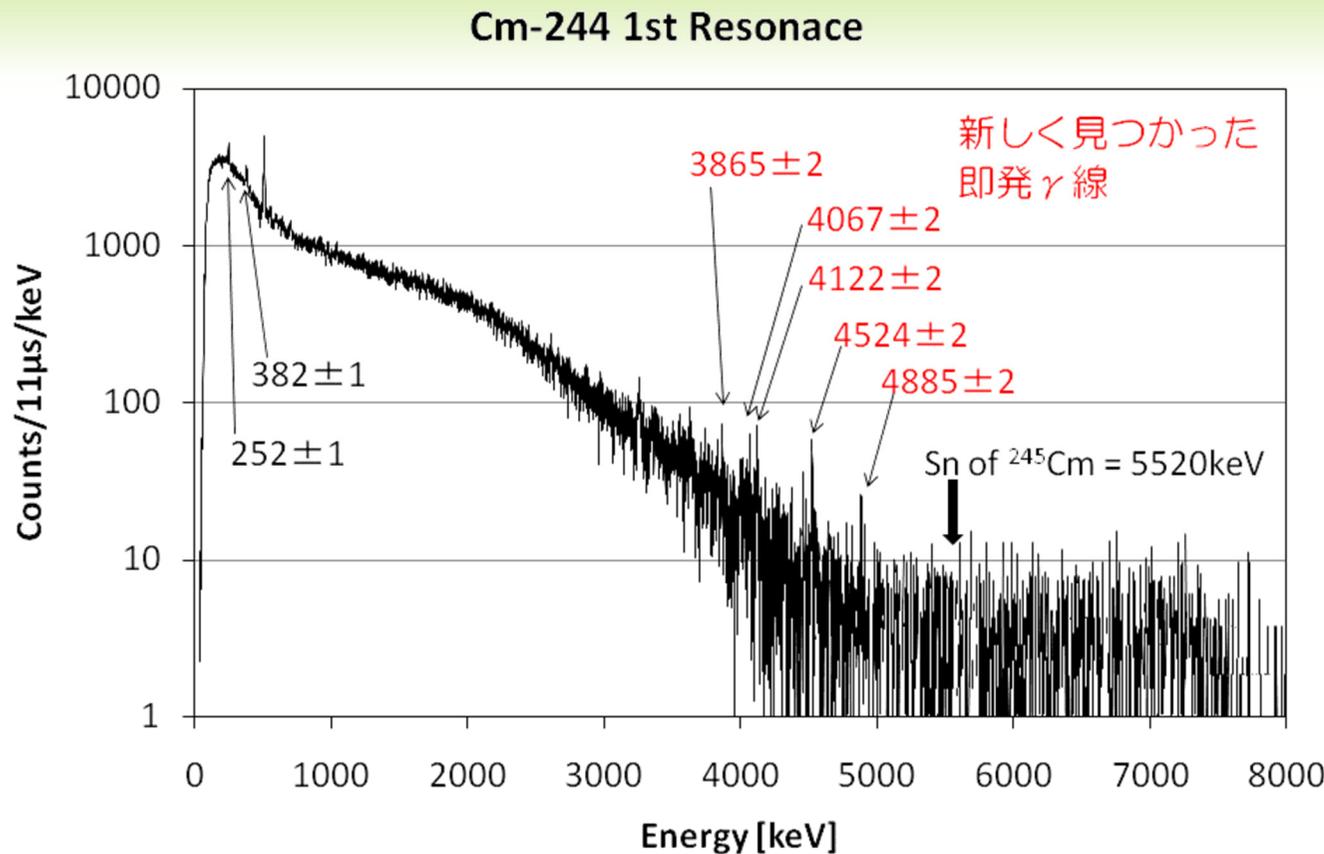


イベントのほとんどが、
B.G.であり、詳細な評価
が必要

単位時間で規格化した場合の γ 線スペクトル (^{244}Cm の場合)

Cmの測定 (3)

～ γ 線スペクトル(2)～

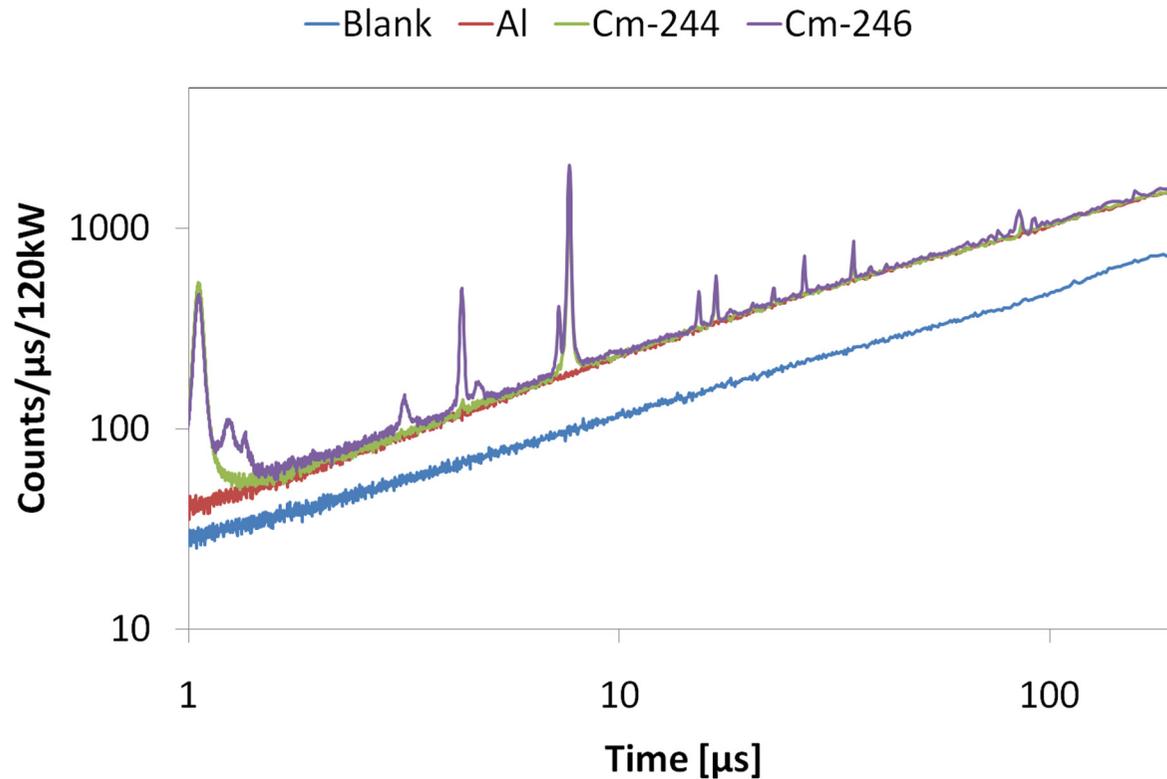


^{244}Cm の第一共鳴での γ 線スペクトル
(試料は300mgのAl中の0.6mgの ^{244}Cm)

見る事の出来なかった
即発 γ 線が7本観測され
ている。この内
252 ± 1 →252.8
382 ± 1 →380.8
 ^{245}Bk のEC Decay
で文献値有。

ANNRIでは共鳴吸収を利用
する事により、
•微量の試料でも即発 γ
線の測定が可能
•極微量不純物の定量が
可能
になります。

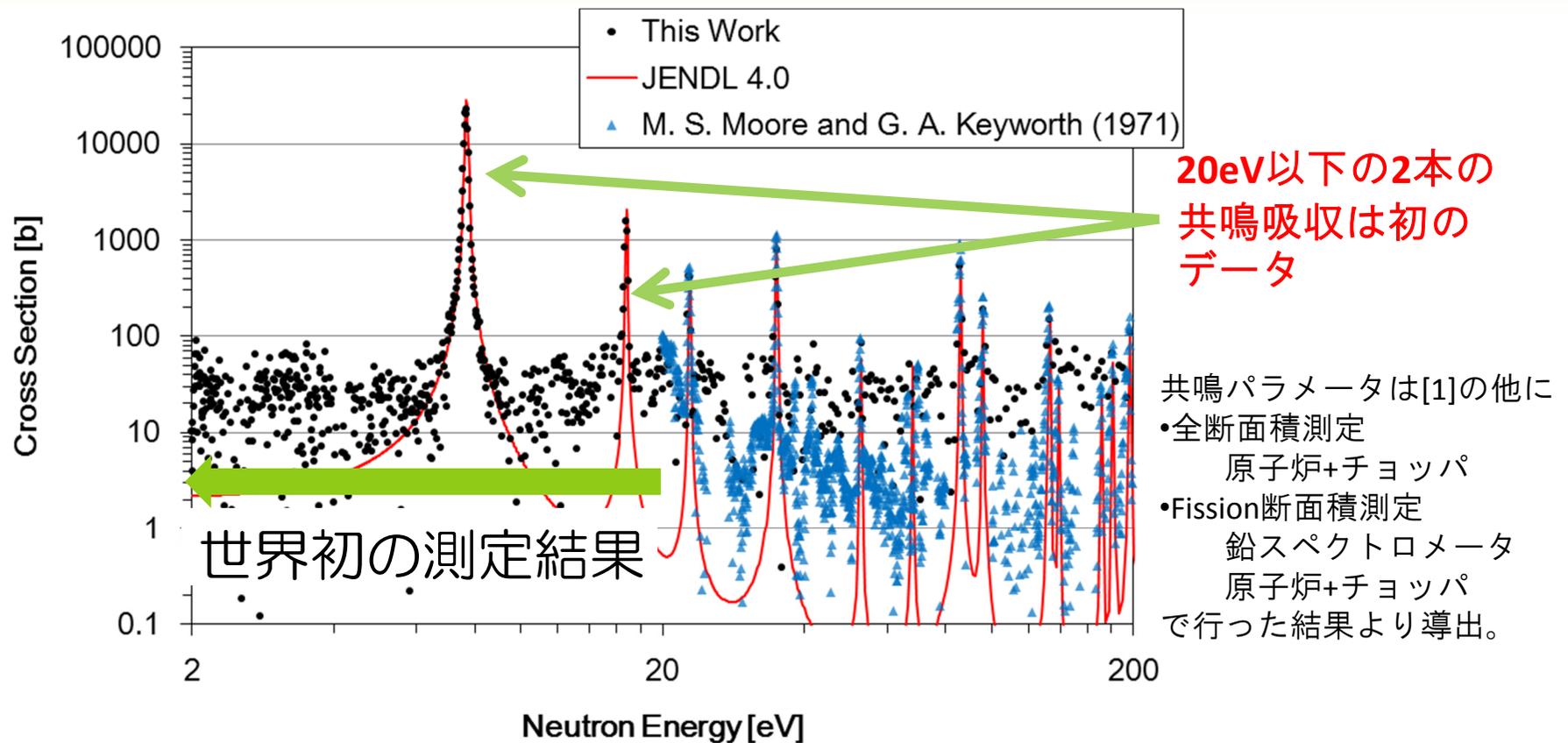
CMの解析 ～B.G.の評価～



図はCm試料、Alのダミーケース、BlankのTOFスペクトル（不感時間補正済み）
ダミーのサンプルを用いることにより、B.G.を導出する事が可能
→B.G.の半分は試料ケースによる吸収・散乱、
残りの半分はビームダクト中のHeガスでの散乱

^{244}Cm の断面積

$^{246}\text{Cm}(n,\gamma)$ 反応断面積の過去の測定データは1969年に行われた原爆実験のみ[1].



MA及びLLFPの中性子捕獲断面積測定の一環として、 ^{244}Cm 及び ^{246}Cm の断面積測定を行った。

その結果、

- 1～300eVの範囲で誤差付きで断面積を導出する事ができた。
- 導出された共鳴吸収のうち20eV以下の4本の共鳴吸収は直接測定データの無いピークである。

ANNRIでは

- 300mgの不純物中の1mg以下の放射性核種**
 - 半減期～15年程度までの短半減期核種**
- 等でも断面積の導出、即発 γ 線の測定が可能です。**

本発表は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、国立大学法人北海道大学が実施した平成22年度「高強度パルス中性子源を用いた革新的原子炉用核データの研究開発」の成果を含みます。