

ニュートリノ中性カレント反応 理解のための中性子・酸素原子核 反応に関する研究

田野智大、小汐由介、蓬萊明日、白石悠樹、芦田洋輔^A、中家剛^A、
WENDELL Roger^A、森正光^A、COLLAZOU Gianmaria^B、
IACOB Fabio^B、KONAKA Akira^C、嶋達志^D

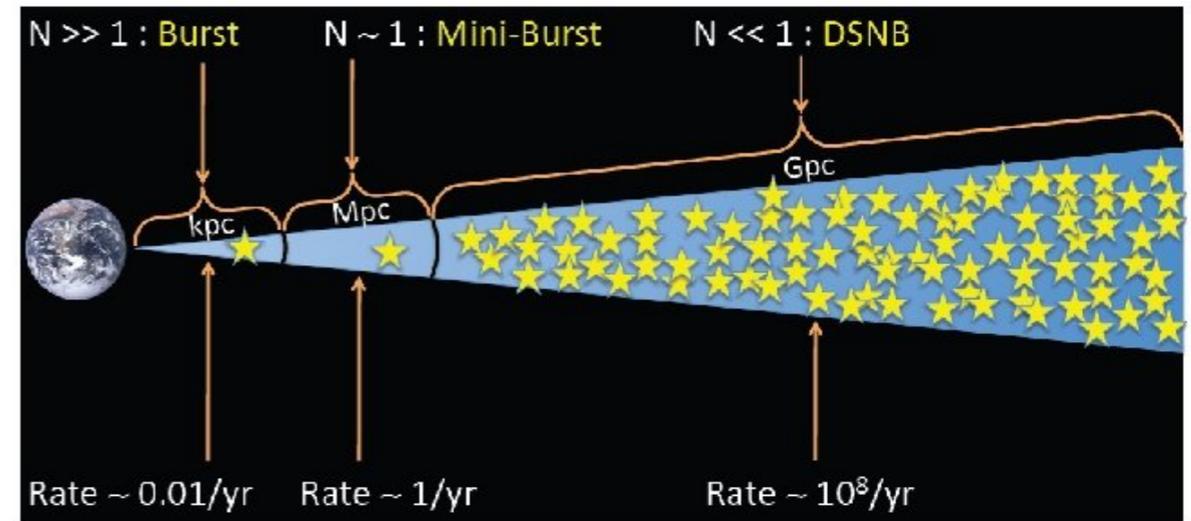
岡大理、京大理^A、Padova Univ.^B、TRIUMF^C、RCNP^D

1. 研究背景
2. E525実験
3. リマインダー
4. フィッティングの手法
5. フィッティング結果・考察
6. まとめ

スーパーカミオカンデ (SK) にガドリニウムを導入 → 中性子信号向上

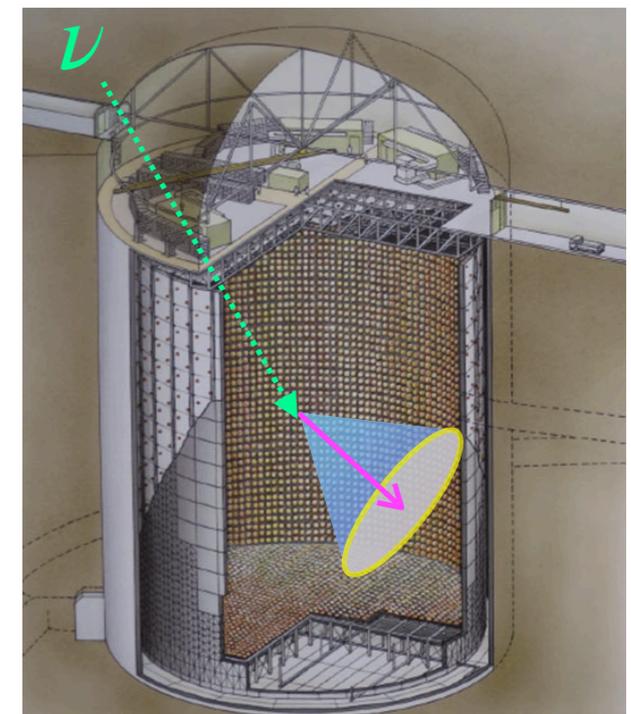
- 超新星背景ニュートリノ (SRN)

- ▶ 過去の超新星爆発によるニュートリノの重ね合わせ
- ▶ 爆発機構・重元素合成過程の解明につながる



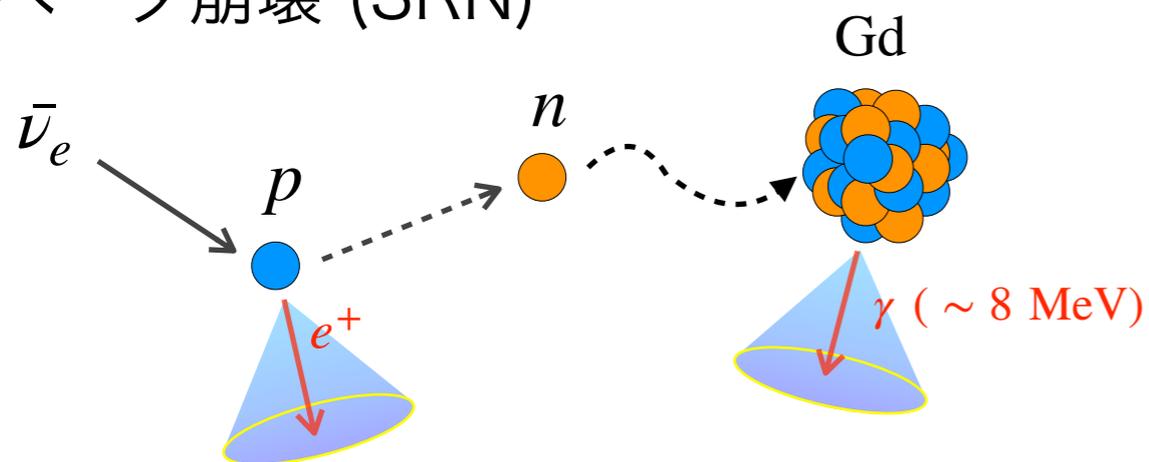
- SK-Gd実験におけるSRN探索

- ▶ 逆ベータ崩壊 ($\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$) を探索
- ▶ e^+ と $Gd(n, \gamma)$ の同時遅延計測
→ 背景事象との識別
- ▶ 中性子を放出する反応は取り除くことが難しい
 - 大気ニュートリノのNCQE反応

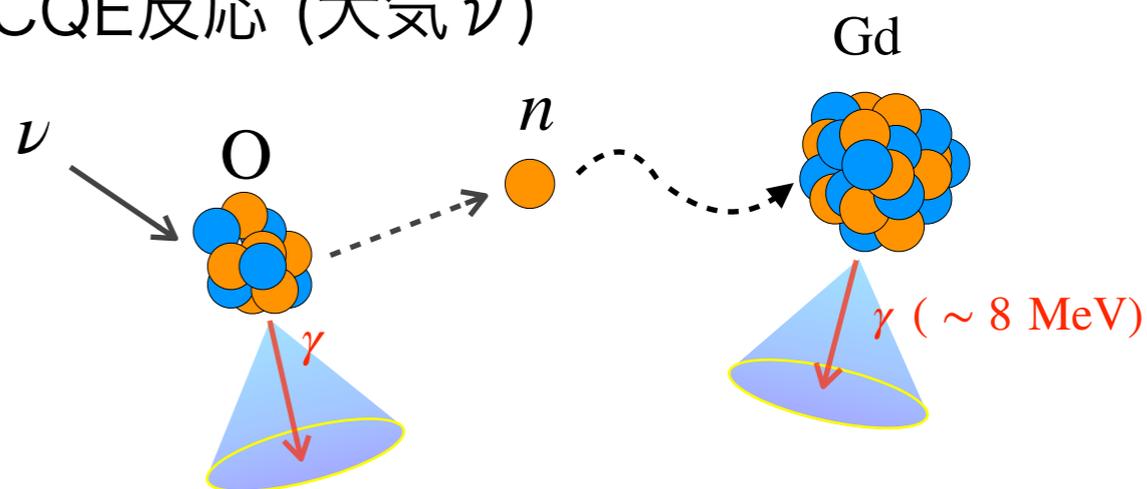


大気ニュートリノのNCQE反応

逆ベータ崩壊 (SRN)



NCQE反応 (大気ν)

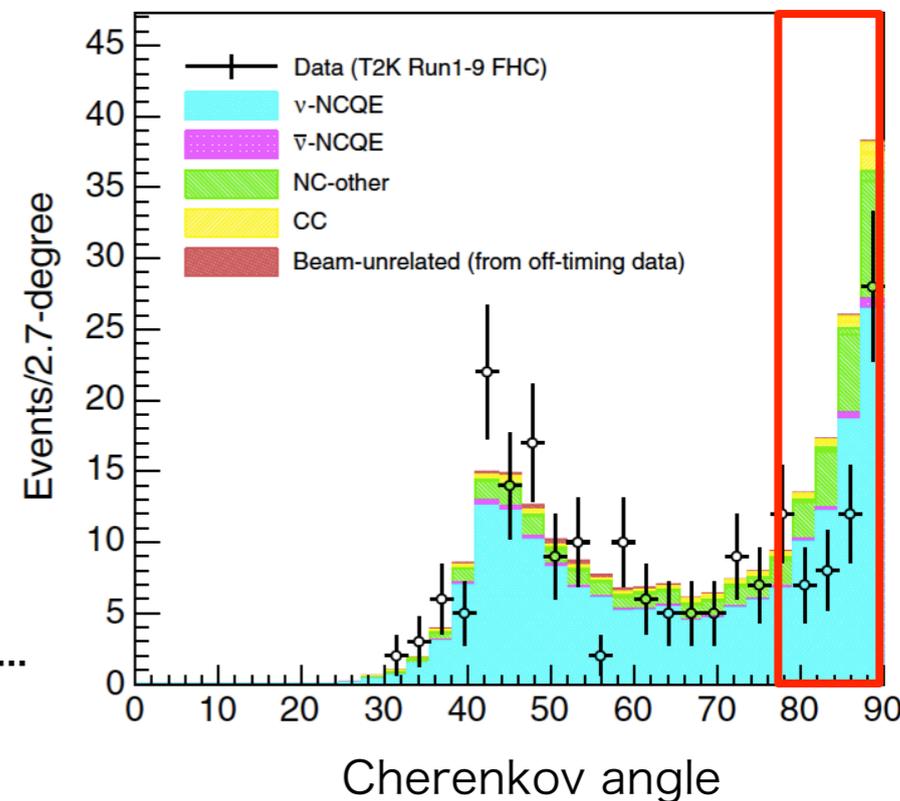
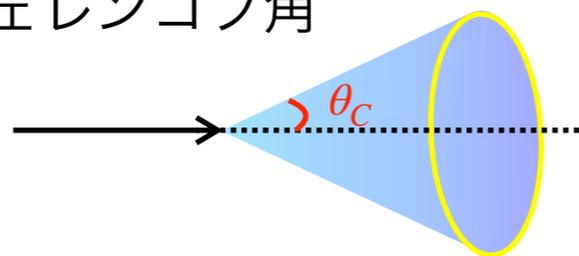


- SRNの逆ベータ崩壊と区別できない
→ シミュレーションを用いた事象数の見積り

T2K実験での断面積測定

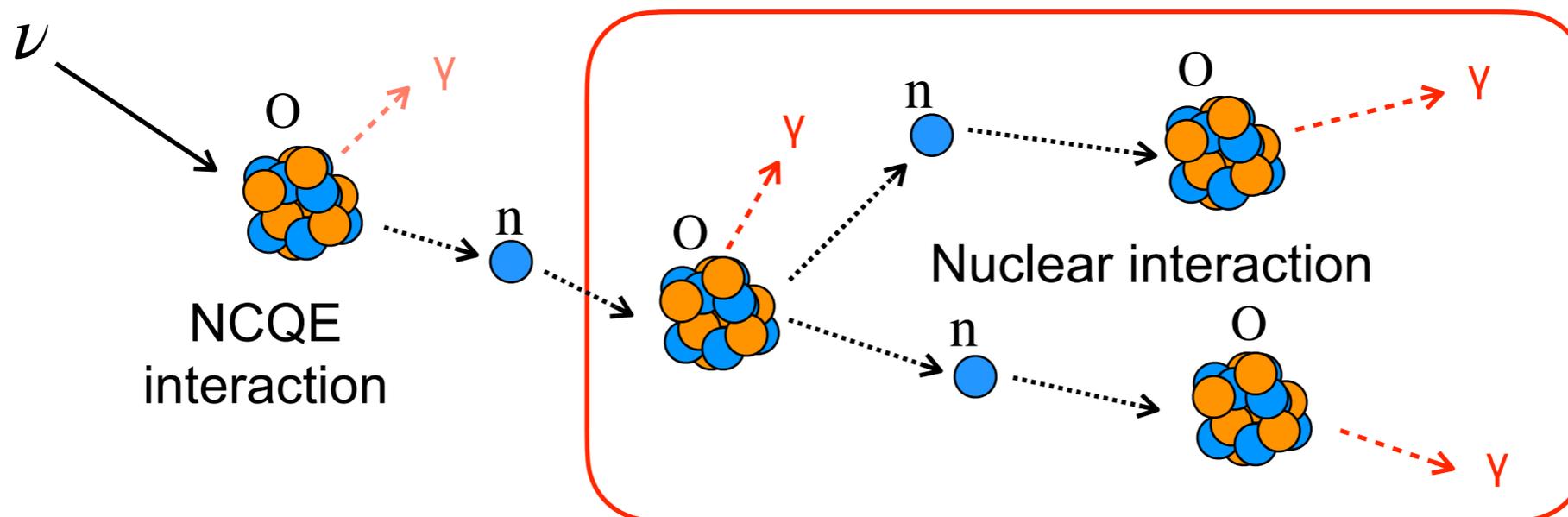
- チェレンコフ角分布に不定性あり
- 大角度部分は水中での原子核反応によるガンマ線が影響

チェレンコフ角



原子核反応によるガンマ線

5



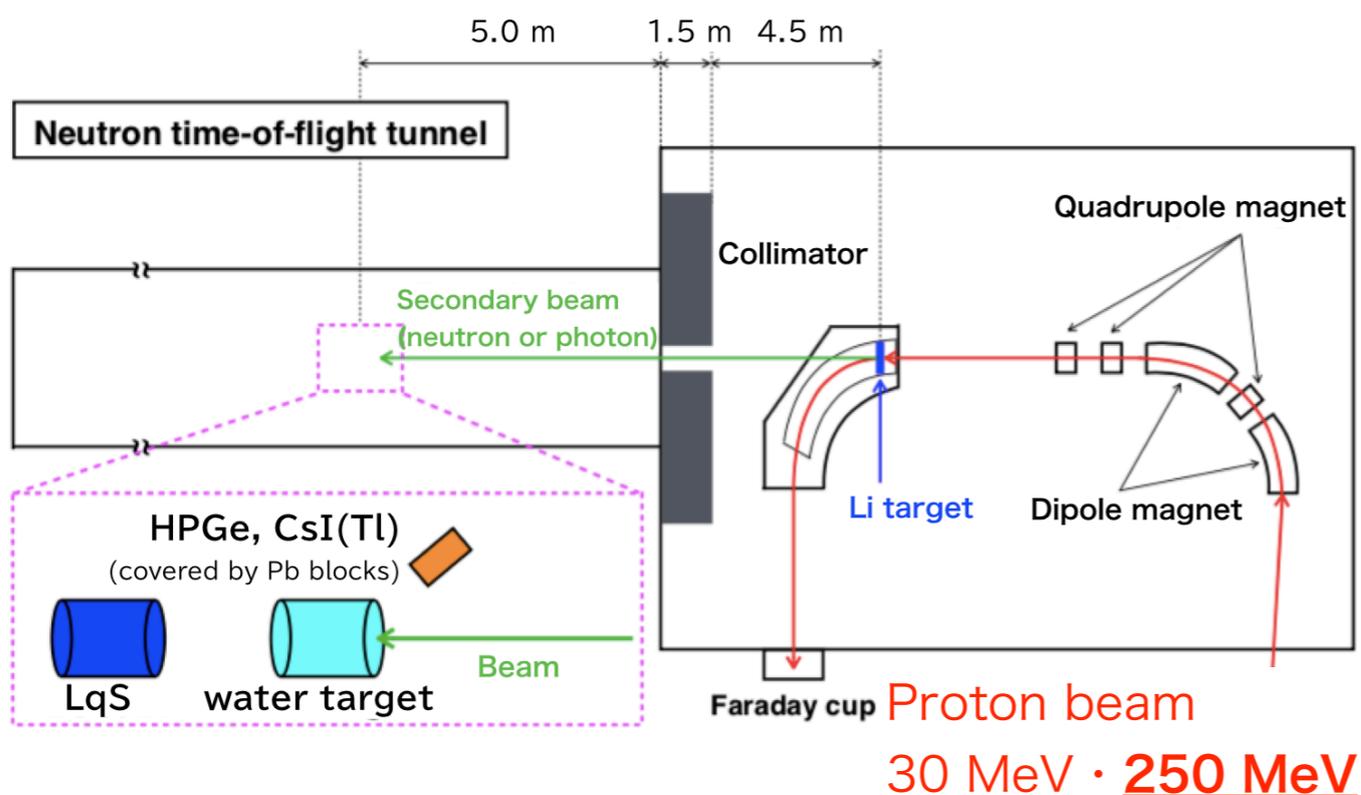
- NCQE反応後の中性子と酸素原子核の反応によるガンマ線
- 複数のガンマ線が同時に放出
→ チェレンコフ角は大角度に再構成される
- 中性子と酸素原子核の反応は詳細に理解されていない

中性子・酸素原子核反応を理解して
原子核反応由来の不定性を削減する

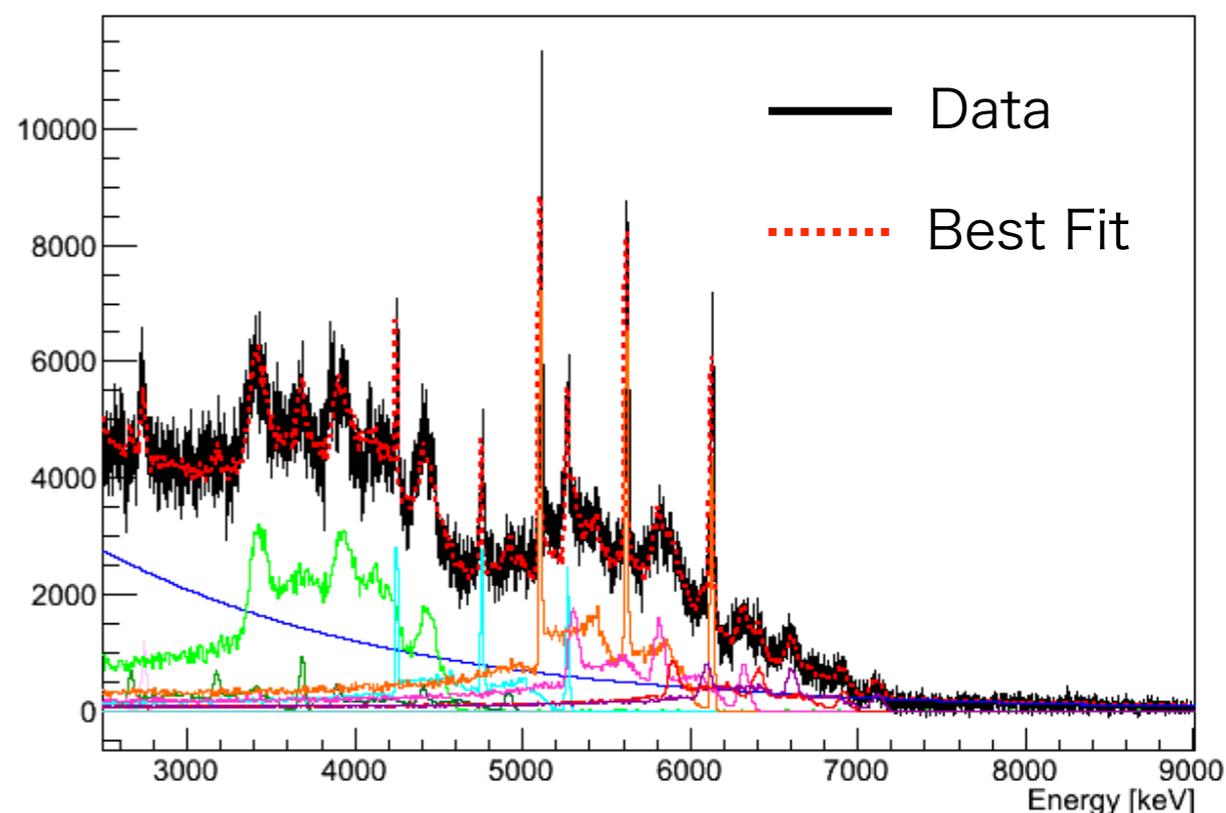
E525実験

- ・ 中性子ビームを水標的に入射し、放出されるガンマ線を測定
- ・ 各ガンマ線の生成断面積を算出

RCNP N0コース



ガンマ線スペクトル (30 MeV実験)



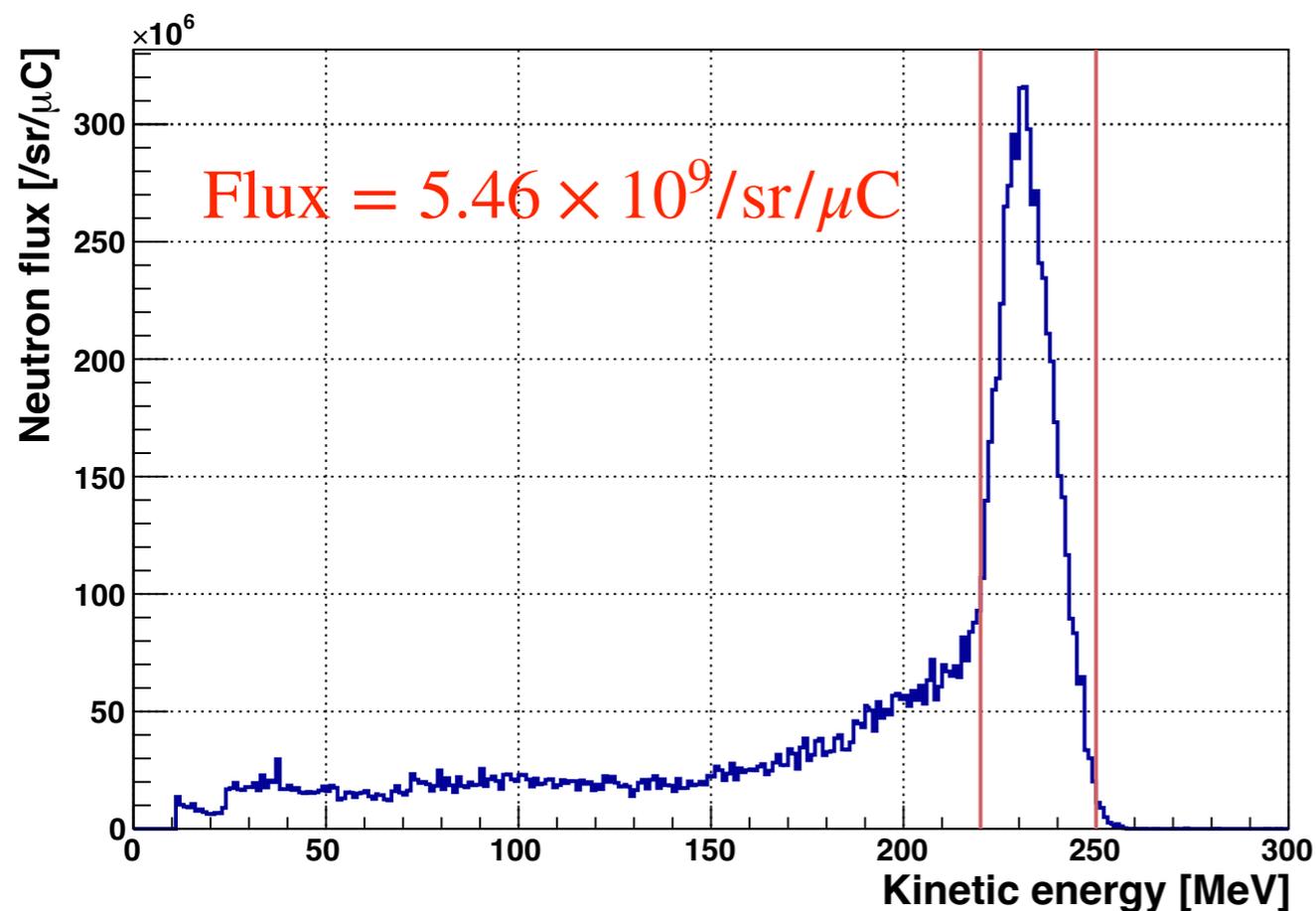
検出器

- 液体シンチレータ (LqS) : 中性子
- ゲルマニウム検出器 (HPGe) : ガンマ線

本研究

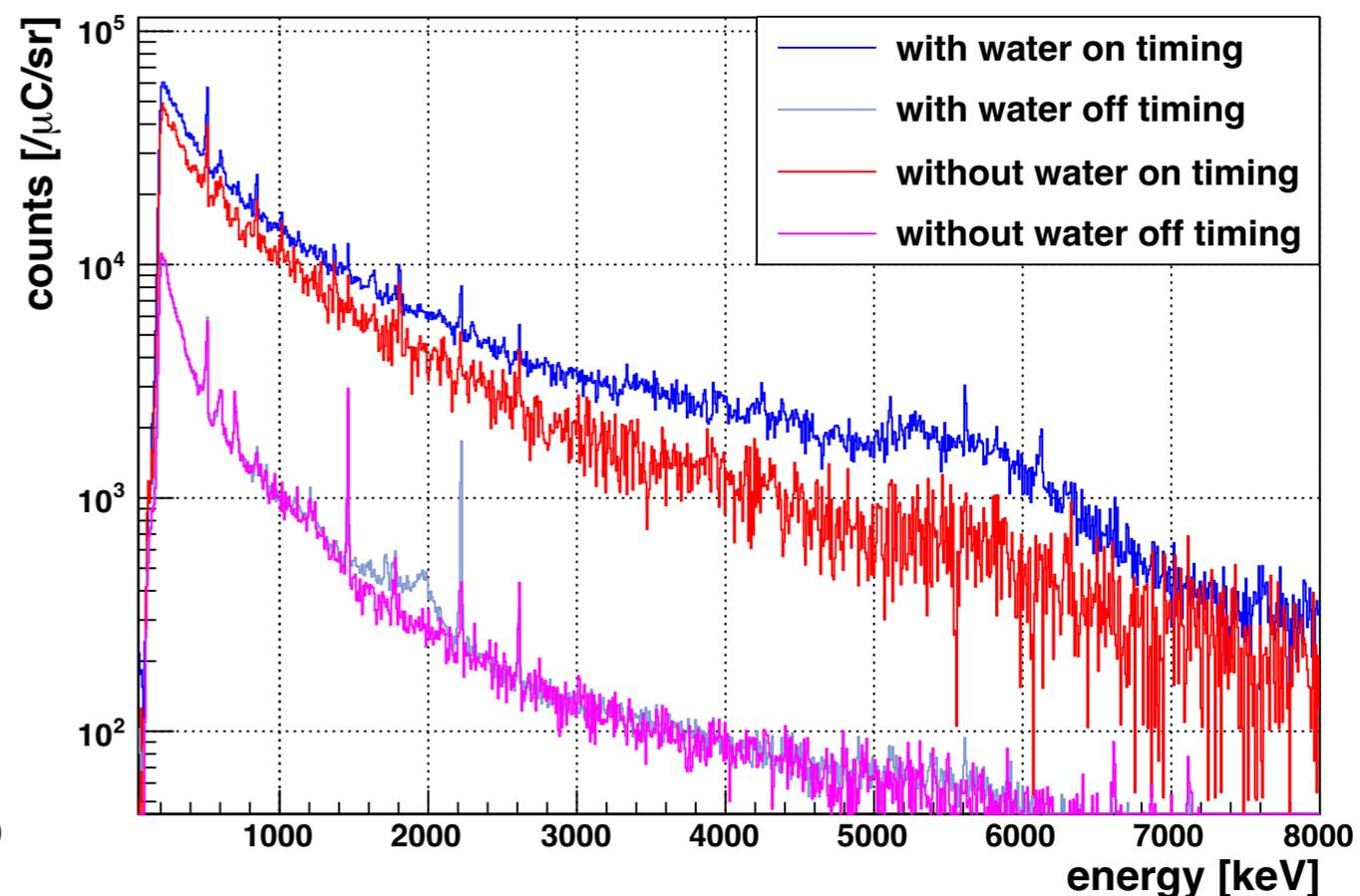
250 MeV実験のデータ解析

中性子フラックス



- 230 - 250 MeVにピーク
- このエネルギー領域の中性子を断面積計算に用いる

ガンマ線スペクトル



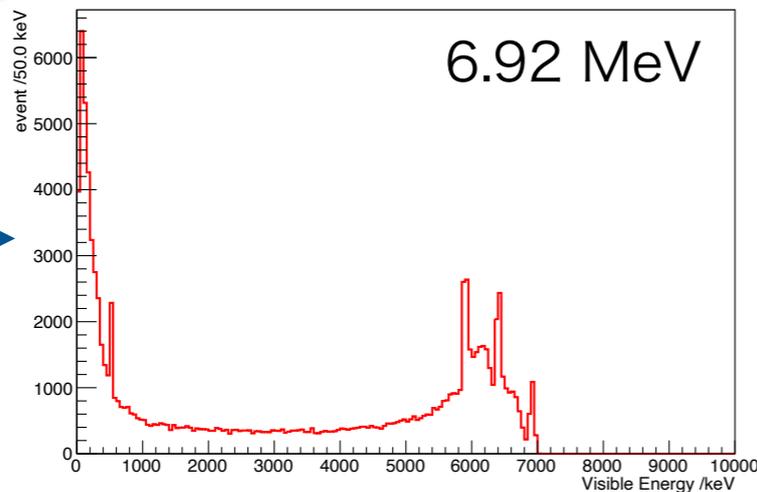
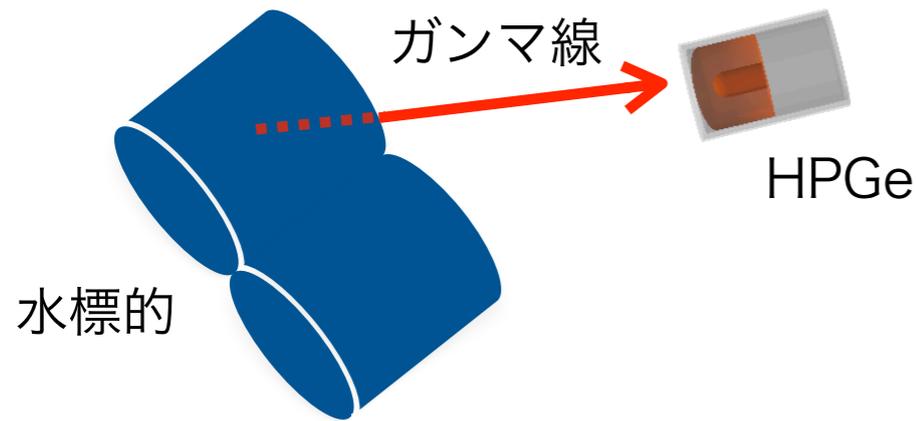
- 水あり (on / off timing)
- 水なし (on / off timing)
- 背景事象を差し引く

スペクトルフィッティング

フィッティングを行い、各ガンマ線の生成断面積を求める

Signal template

- シミュレーションを用いて作成

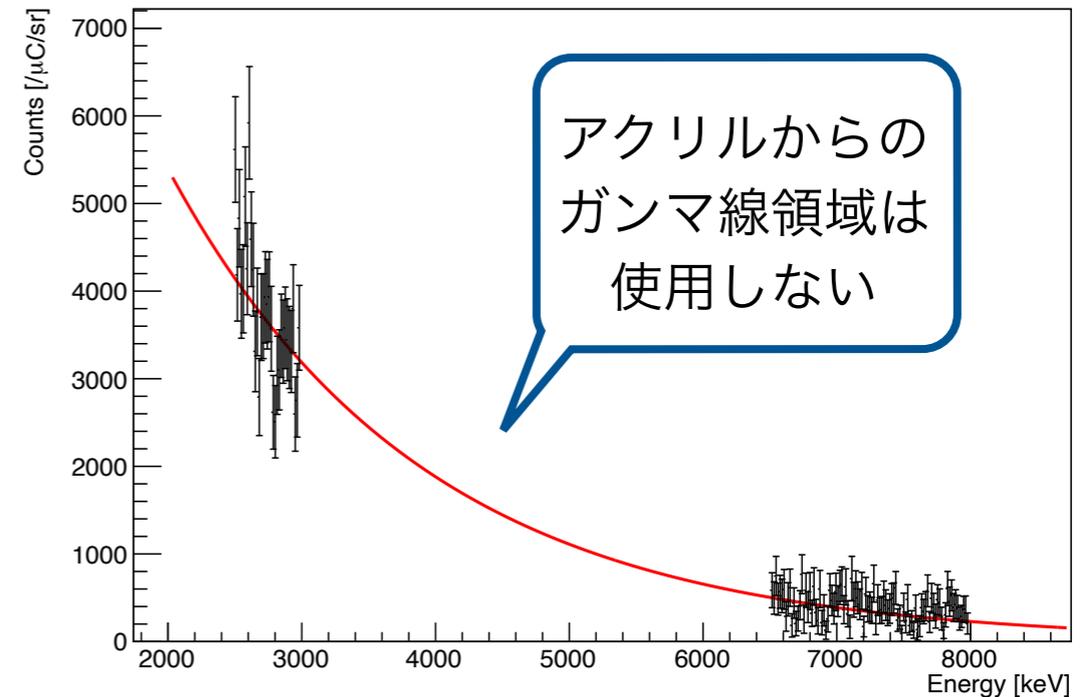
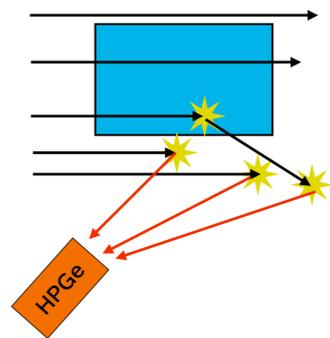


6.92 MeVの
ガンマ線を
1億本発生

計10個のガンマ線について
同様にテンプレートを作成

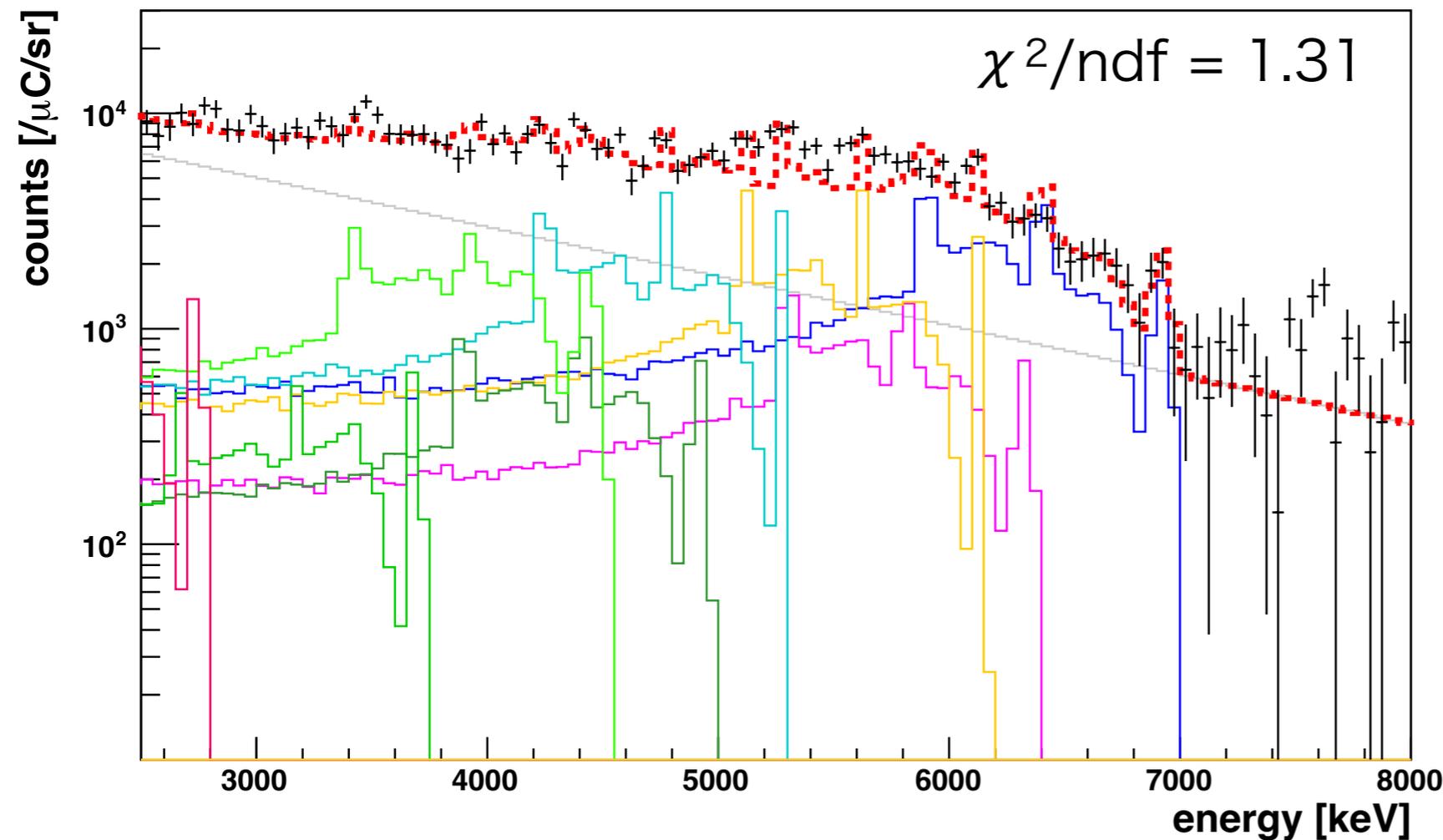
Background template

- 水標的で散乱された中性子が周辺物質と反応して生じるガンマ線
- 水なしランを用いて作成
- 指数関数を仮定



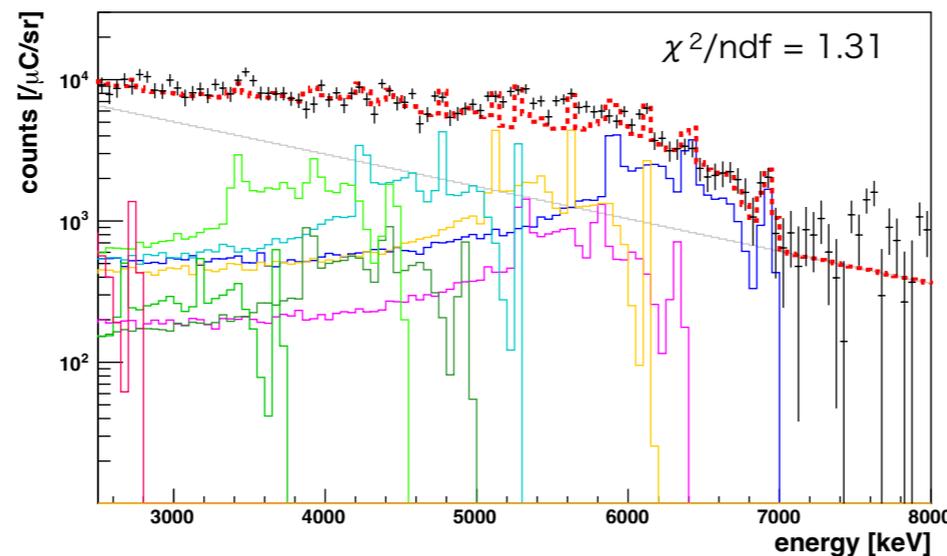
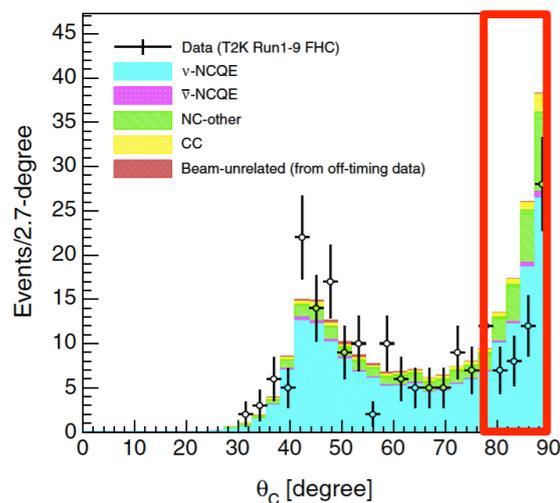
フィッティング結果

- 高エネルギー側から、光電吸収ピークを用いて χ^2 を計算
- 1億本のガンマ線を発生させて作成したテンプレートに対する強度を求めた



エネルギー [MeV]	テンプレートに対する強度
6.92	1.54 $^{+0.18}_{-0.23}$
6.32	0.52 $^{+0.19}_{-0.19}$
6.13	1.16 $^{+0.31}_{-0.19}$
5.27	1.22 $^{+0.33}_{-0.21}$
5.10	0.00 $^{+0.17}$
4.91	0.33 $^{+0.17}_{-0.17}$
4.44	1.08 $^{+0.20}_{-0.15}$
3.84	0.00 $^{+0.07}$
3.68	0.17 $^{+0.08}_{-0.12}$
2.74	0.29 $^{+0.14}_{-0.10}$

- 最も強いガンマ線：6.92 MeV
 - ▶ $^{16}\text{O}(n, n')^{16}\text{O}^*$ 反応
 $^{16}\text{O}^*$ の第三励起状態から放出される
- 非弾性散乱が支配的な反応
 - ▶ 現在使用されているモデルは
 ノックアウト反応が支配的
- これらの反応を正確にシミュレーションに導入
 → 原子核反応によるガンマ線由来の不定性の
 削減につながる



エネルギー [MeV]	テンプレートに対する強度
6.92	$1.54^{+0.18}_{-0.23}$
6.32	$0.52^{+0.19}_{-0.19}$
6.13	$1.16^{+0.31}_{-0.19}$
5.27	$1.22^{+0.33}_{-0.21}$
5.10	$0.00^{+0.17}$
4.91	$0.33^{+0.17}_{-0.17}$
4.44	$1.08^{+0.20}_{-0.15}$
3.84	$0.00^{+0.07}$
3.68	$0.17^{+0.08}_{-0.12}$
2.74	$0.29^{+0.14}_{-0.10}$

- 大気ニュートリノのNCQE反応は、SK-Gd実験でのSRN探索における主要な背景事象の一つである
- 中性子・酸素原子核反応を理解するために、RCNPでE525実験が行われた
- 現在、250 MeV実験の解析を進めている
- ガンマ線スペクトルをフィッティングし、各ガンマ線の強度を求めた
- フィッティングの結果、最も強いガンマ線は酸素原子核由来の6.92 MeVであり、非弾性散乱が支配的な反応であることが分かった
- 各ガンマ線の生成断面積を算出してシミュレーションに導入することで、不定性の削減が期待できる