

Super-Kamiokande検出器における ラドン濃度に関する研究

2017年10月16日(月)

第2回 宇宙素粒子若手の会 秋の研究会

東京大学 宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

研究所研究員 中野 佑樹



発表の内容

- 研究の背景と目的
 - Super-Kamiokande検出器
 - 太陽 ν 観測
 - SKの目指す物理とラドン **重め**
- Rn injectionによる研究
 - ラドン水の作製
 - Rn injectionの実施
 - 解析結果
- 議論と今後
- まとめ

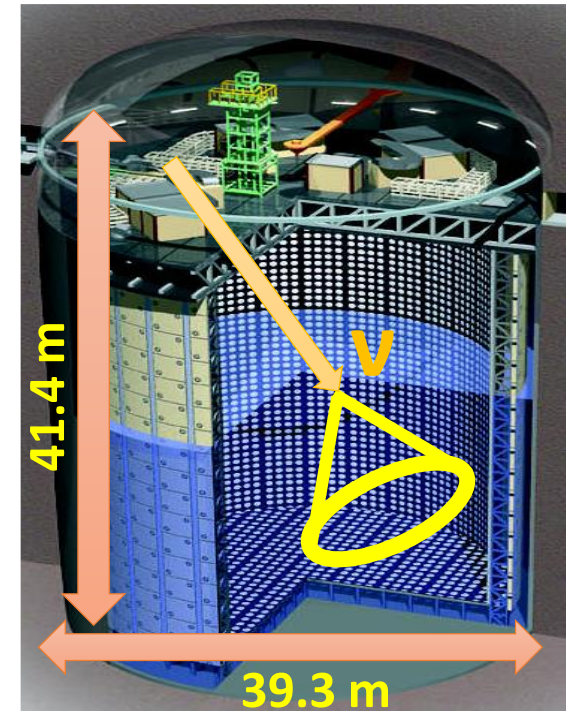
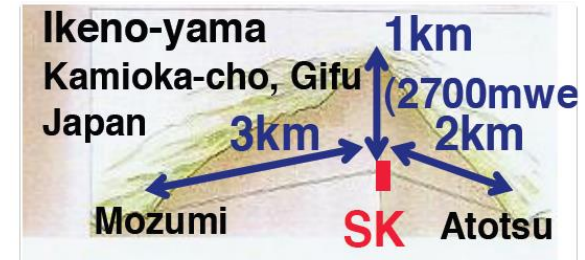
Super-Kamiokande検出器

検出器の特徴

- **50 ktonの純水**の水槽
 - 約**11,000本の20-inch PMTs** (内水槽)
 - 22.5 ktonの有効体積
- **水チェレンコフ**による観測
 - エネルギー、方向の再構成
 - 粒子の識別 (particle ID)

多様な物理観測 (探索)

- 天体現象起源の ν (**太陽**, 超新星爆発)
- 大気 ν 観測
- 陽子崩壊探索
- 長基線実験 (T2K)
- 間接的な暗黒物質探索 etc...



太陽 ν
3.5-20 MeV

超新星 ν
20~100 MeV

大気 ν , 陽子崩壊, 暗黒物質...
~100 MeV GeV TeV PeV

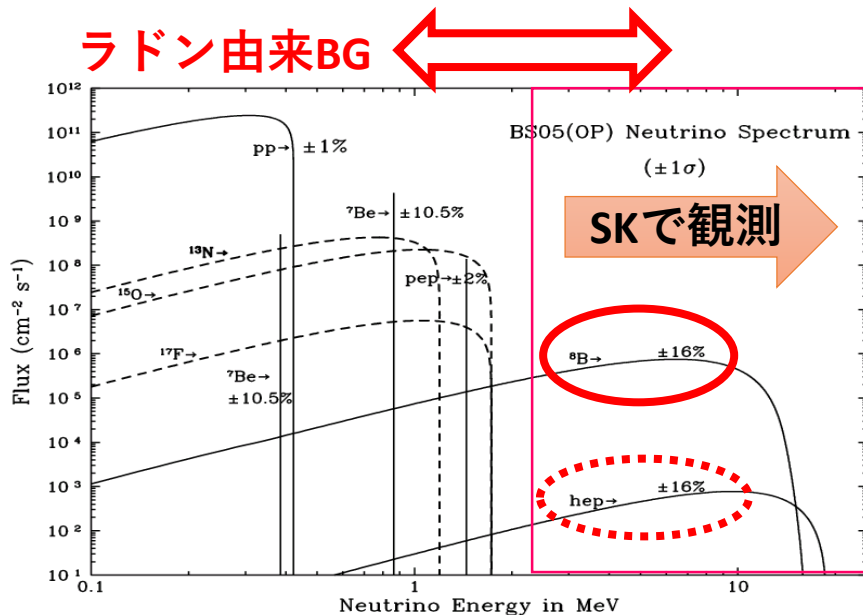
SK検出器における太陽ν観測

■ 太陽νの観測

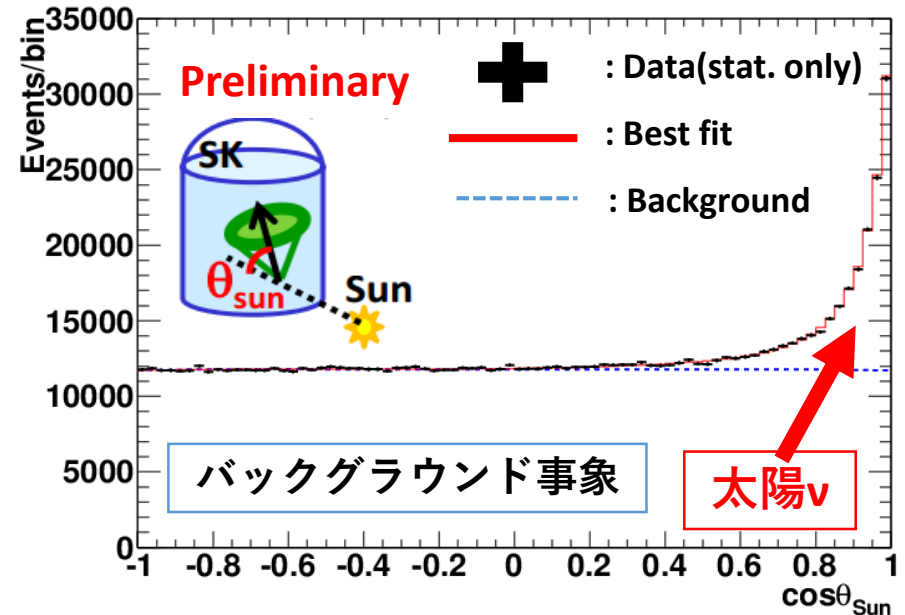
- エネルギーの高い⁸Bニュートリノが観測対象 (< ~14 MeV).
- ニュートリノと電子の弾性散乱 ($\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$).
- 電子が太陽方向に反跳 → 太陽方向に観測事象の超過.

■ バックグラウンド事象

- ランダムな方向にBG事象 → BG源の理解が必須.
- ラドン由来の²¹⁴Bi (β崩壊)が主要なBG. (Q値が3.27 MeVで太陽νと重複)



Astrophys. J. 621 85 (2005).



SK実験の目指す物理とラドン

■ 太陽内部でのニュートリノの物質効果 (MSW効果)

- 電子ニュートリノが物質中の電子と荷電カレント反応。
→ ニュートリノ振動のパターンの変化。
- 生存確率のUp-turn探索 ($E_\nu < \sim 6$ MeV).
- エネルギースペクトルの精密測定が必須。

Sov. J. Nucl. Phys. 42, 913 (1985)

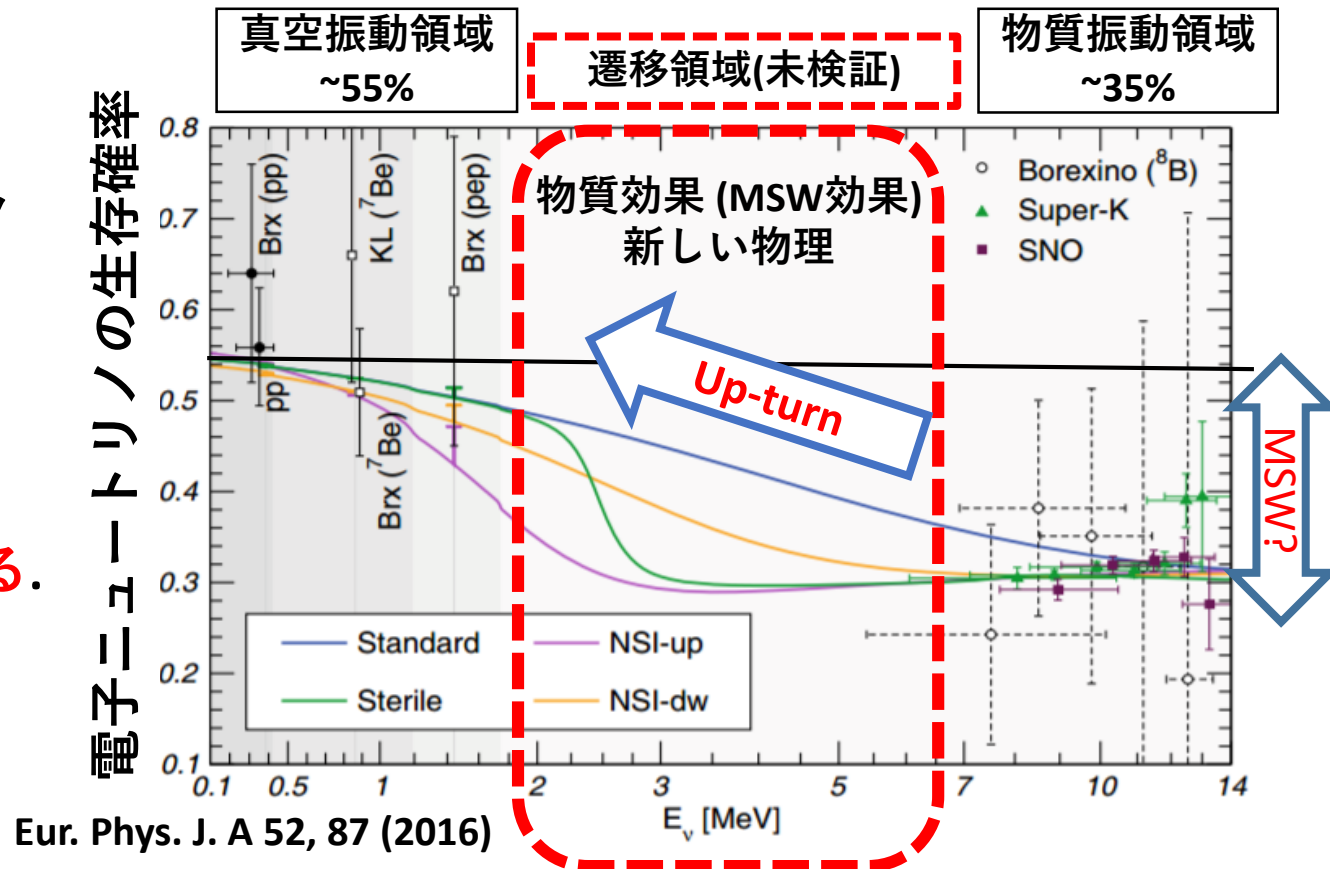
Phys. Rev. D 17, 2369 (1978)

■ 新物理の可能性

- (1) 非標準相互作用
 - (2) Sterileニュートリノ
 - (3) Mass varying ν
- など

■ ラドンの影響

- 高感度化を妨げている。
- 縦軸方向: BGの低減
- 横軸方向: 低閾値化



ラドン由来のバックグラウンドの理解

■ 本研究での目的

- SK検出器における**純水中のラドン濃度を評価**.
- 太陽観測におけるラドン由来のバックグラウンドを定量的に評価.

■ 理解へのアプローチ

- 純水中に含まれる $\sim \text{mBq/m}^3$ オーダーのラドン測定は難しい.
- 2つのアプローチから複合的に理解を進めている.

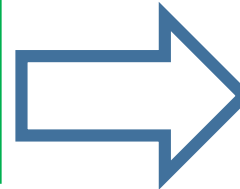
アプローチ	大まかな手法
(1) 純水中のラドン濃度測定 [中野 博士論文 (東大院 2016)]	高感度ラドン検出器 + 活性炭 + 脱気装置 → 実際に純水をサンプリング して濃度測定
(2) SK観測データからの推定 [Nucl. Inst. Meth. A 421, 334 (1999)]	ラドン濃度をコントロールした水をSKに入れる → 本研究 (Rn injection study)

■ Rn injection study

- ラドン水を作製, SK検出器の純水に流し込む.
- SK検出器における応答を評価 → 通常時のラドン濃度を評価する.

Rn injection 研究の概略

① 検出器にラドンをぶち込む
(Rn injection)

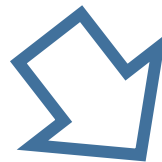


② XXX mBq/m³あると
YYY event 観測される



通常の観測データ
BGが ZZZ event 観測

③ 変換パラメータ

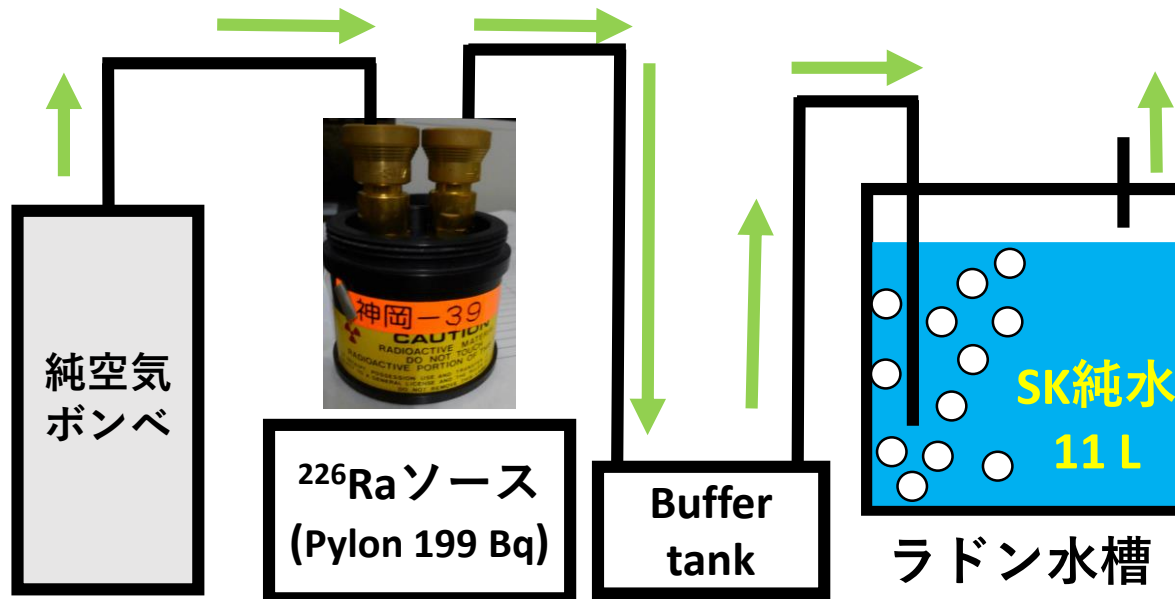


純水中のラドン濃度
(知りたいこと)

ラドン水の作製

■ ラドン水の作製 [Nucl. Inst. Meth. A 421, 334 (1999)].

- Pylon製 ラジウム(^{226}Ra)ソース(199 Bq)を使用.
- ラジウムガスをSK純水中に**バブリング**.
- 数日間、密閉状態で放置.



■ ラドン水中のラドン濃度

- 作製時: ~ 8 Bq/L, 10日程度で ~ 1 Bq/Lが期待. (先行研究: 神戸大学 大西)
- 岐阜大学のRIセンターで濃度測定, 実施時刻での濃度は 0.88 ± 0.11 Bq/L.

Rn injectionの実施とその経過

■ 実施日時

- 2016年5月18日(水).
- 18時51分.
- 動画は64時間まで表示.

■ Injectionの場所 (×)

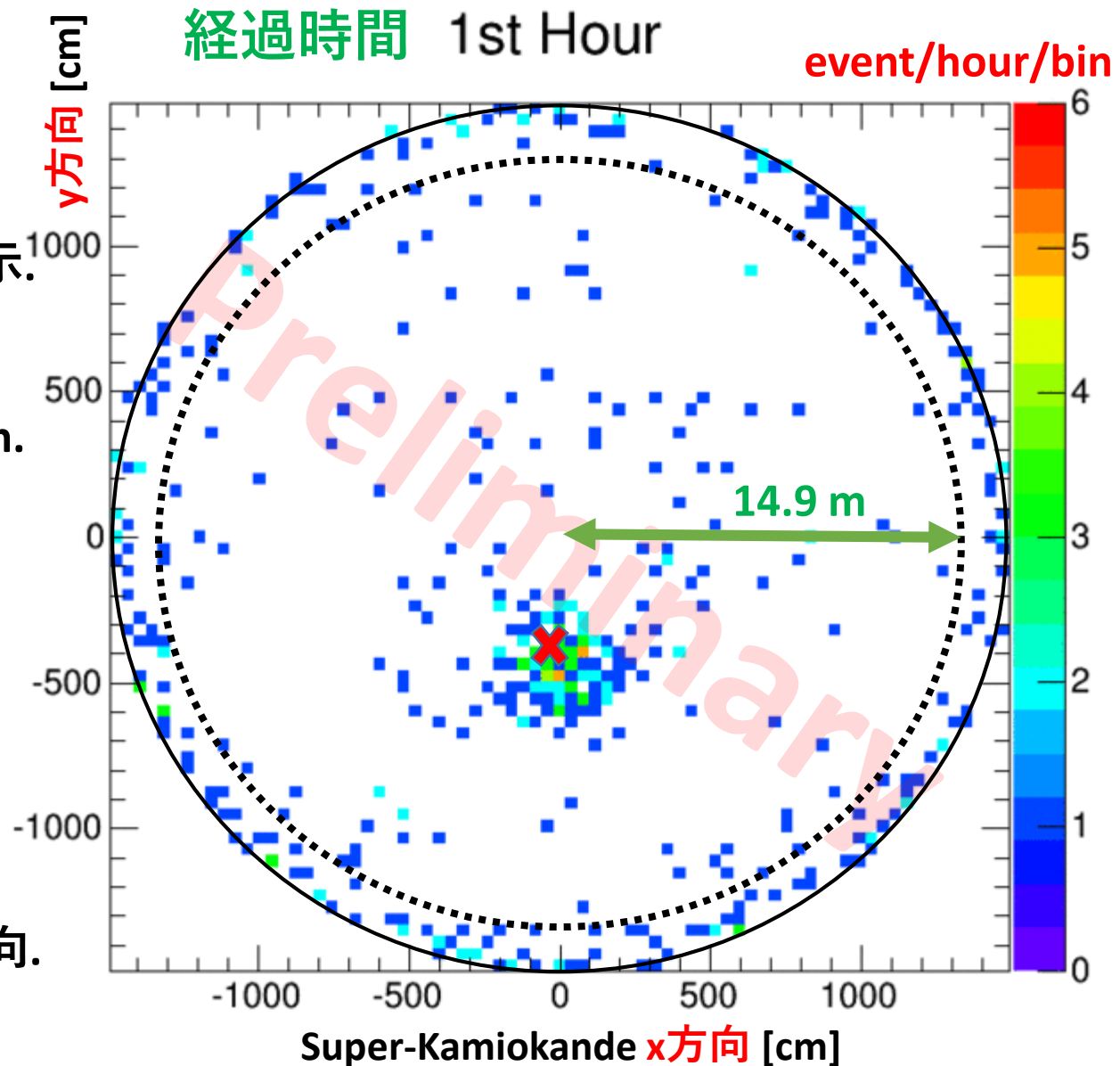
- $(x,y) = (-35.5, -350.0)$ cm.
- z方向: ± 0.0 cm.

■ ラドン水

- $4\text{L} \times 0.88 \pm 0.11 \text{ Bq/L}$.
- $3.53 \pm 0.44 \text{ Bq}$.

■ 水の流れ

- 時計方向 (1日で半周?)
- コリオリ力とは逆方向.

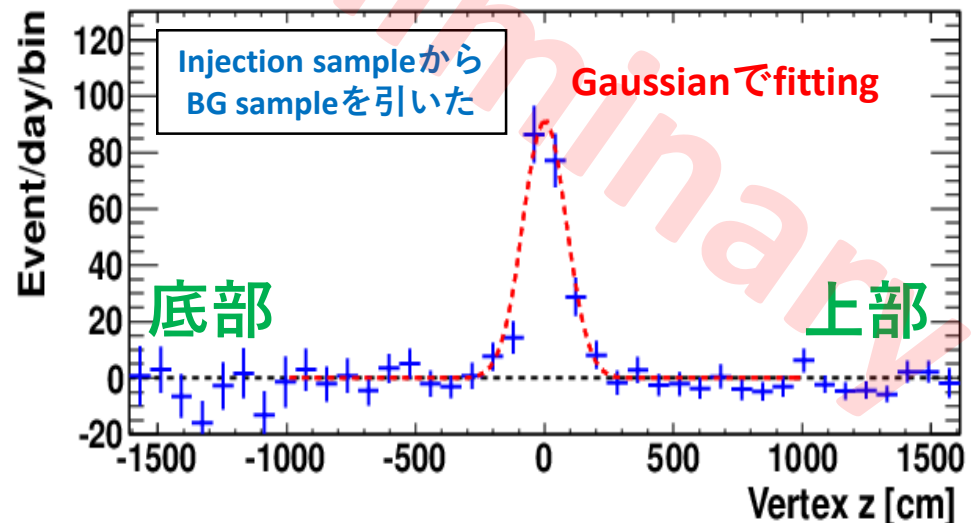
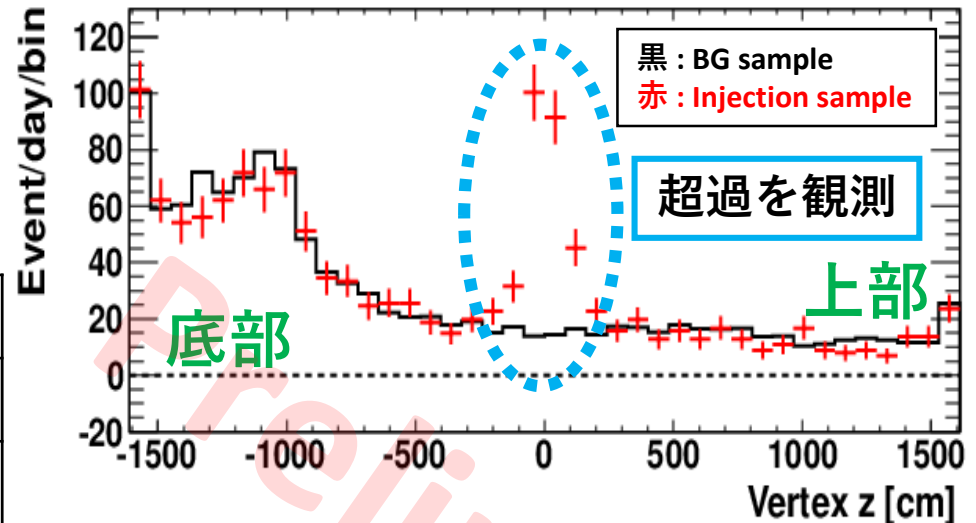


Rn injectionの前後のvertex分布

■ 観測データの解析

- 太陽ν解析のプログラムを使用.
- Injectionの前後で同じカット.
- エネルギー: 3.5-5.0 MeVkin.

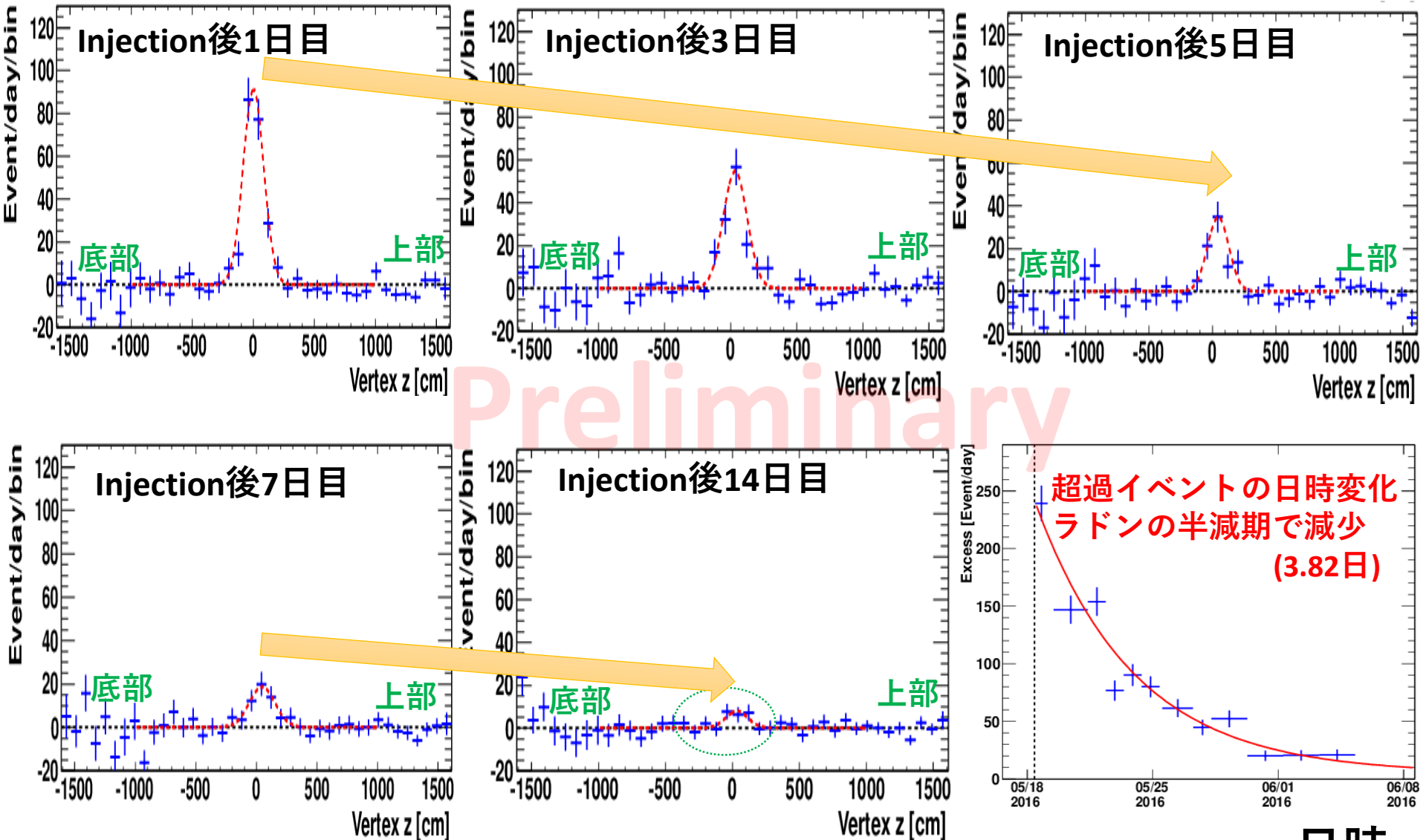
データの種類	データ取得時間
BG sample	7.83 日 (188.0 時間)
Injection sample	1.02 日 (24.4 時間)



■ 解析の結果

- Injectionした場所に**超過**を観測。
→ 初日: 239.2 ± 15.5 eventsの超過。
(統計誤差のみ)
- **ラドン由来のBGが観測にかかる。**

超過イベントの時間経過



通常時のラドン濃度の評価

■ 観測データの解析

- 観測イベントの超過はラドン水起源
→ イベント数とラドン濃度の相関を評価

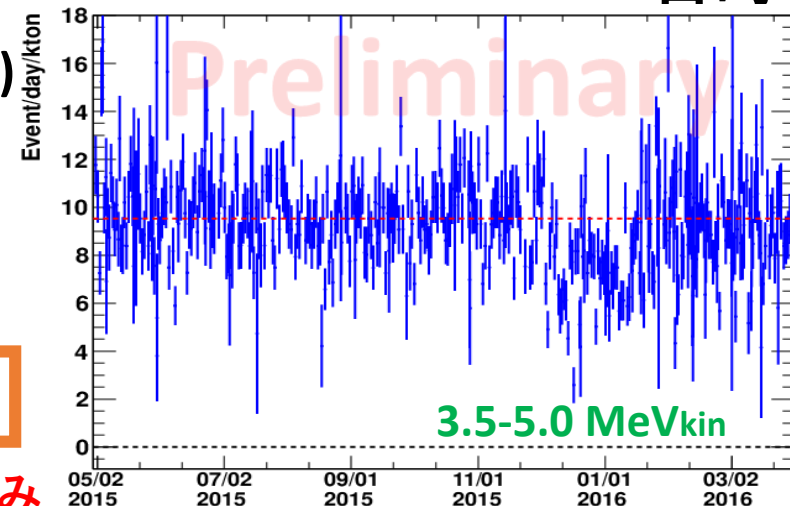
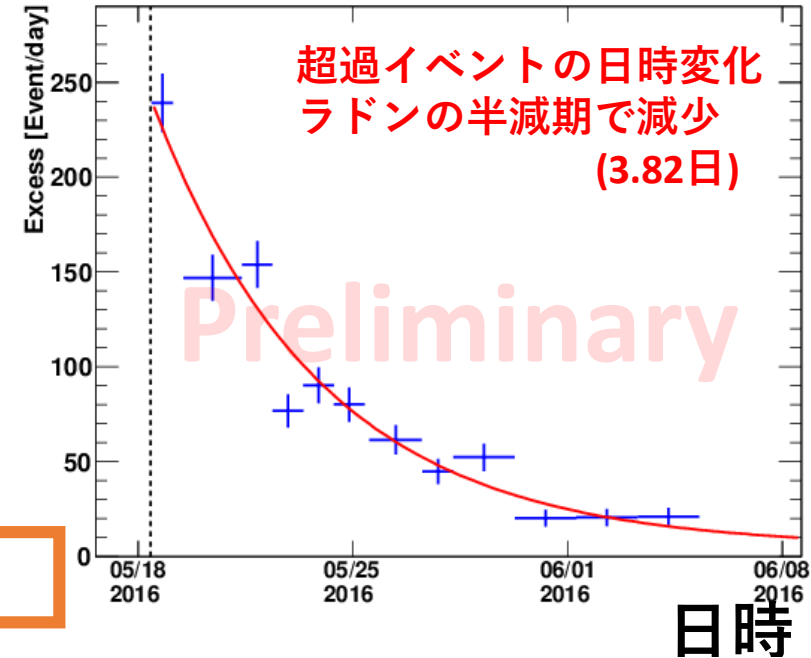
ラドン水	3.53 ± 0.44 Bq
観測された 超過イベント	237.04 ± 15.90 [event/day]

$$10 \text{ event/day/kton} = 0.15 \pm 0.03 \text{ mBq/m}^3$$

■ 通常時のラドン濃度の評価 (タンクの中心)

- Injection前1年分の観測数.
→ 9.53 ± 0.06 event/day/kton.
(太陽とは逆方向のイベントを2倍に規格化)

$$\text{通常時のラドン濃度: } 0.14 \pm 0.02 \text{ mBq/m}^3$$



統計誤差のみ

議論と今後

■ 2つの測定による比較

- SKタンクの中心付近の純水中のラドン濃度を比較した.

アプローチ	結果
(1) 純水中のラドン濃度測定	中心部分では 0.2~0.3 mBq/m ³ .
(2) SK観測データからの推定	0.14 ± 0.02 mBq/m³. (統計誤差のみ)

→ ~0.2 mBq/m³だとわかったが、Factor 2~3程度で差異がある.

■ 今後

- それぞれのアプローチで系統誤差を評価.
- 論文準備中 (本年度中に投稿予定).

アプローチ	系統誤差として評価する事項
(1) 純水中のラドン濃度測定	測定におけるバックグラウンド.
(2) SK観測データからの推定	位置再構成, エネルギー分解能の評価. 透過率やPMTのDark rateの影響を考慮.

まとめ

- SKでは**太陽νの物質効果(MSW効果)**を探索している.
 - 6 MeV以下での**Up-turnの観測**.
 - **標準理論を超える物理の実験的な検証**.
- **ラドン由来のバックグラウンドの理解が必要**.
- 2016年5月18日にRn injection を実施した.
 - 0.88 ± 0.11 Bq/Lのラドン水を作製した.
 - ラドン水をSKタンクに流し込んだ.
 - **イベントの超過を観測した**.
- 通常時のラドン濃度を推定した.
 - 中心付近で **0.14 ± 0.02 mBq/m³**.
 - 純水中の濃度測定とfactor 2~3程度の差がある.
 - 今後, 系統誤差を評価して論文投稿.