

ハイパーカミオカンデに向けた20インチPMTのラドン放出率測定

1. ハイパーカミオカンデ (HK) 計画

HK計画概要

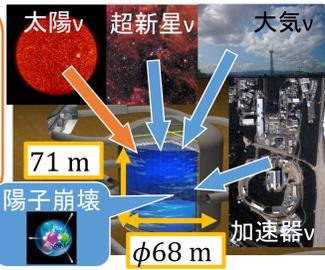
- スーパーカミオカンデ(SK)を継承する大型水チェレンコフ検出器実験の計画
- 2020年4月に建設開始、2027年に観測開始予定
- 有効体積: SKの約8.4倍(約19万トン)

HKの研究トピック

- SKでは分からなかったことを有効体積、exposureの面からupdateし、探索・検証

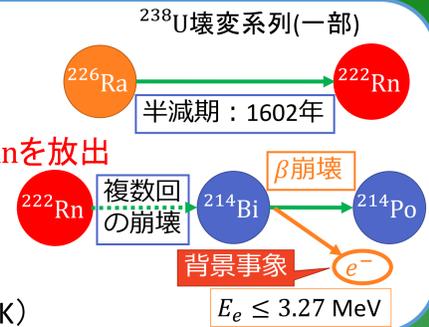
HK用に新たに開発されたPMT

- 検出効率: SK用PMTの約2倍
- 時間分解能: SK用PMTの約2倍
- 耐水圧性能: SK用PMTの約2倍
- 使用数: SKの約4倍



2. ラドン

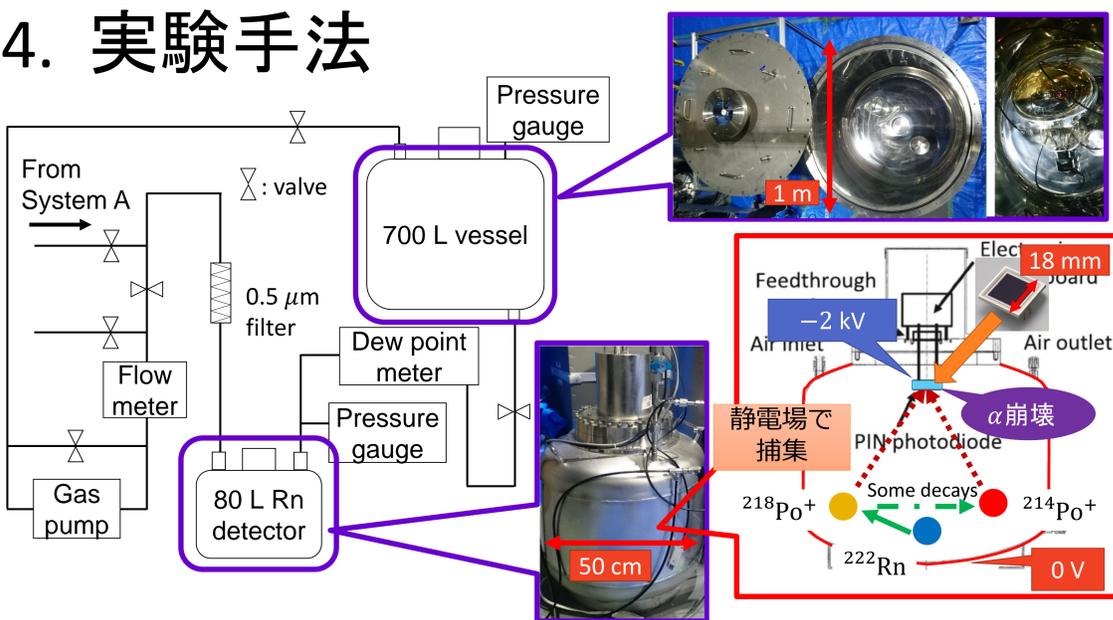
- ^{226}Ra は自然に存在
検出器建造時に混入すると常時 ^{222}Rn を放出
- ^{222}Rn は崩壊過程で最大3.27MeVの電子を放出
⇒太陽ニュートリノ観測の背景事象となりうる(太陽νの E_{\min} =数MeV@SK, HK)



3. 研究目的

- 太陽ニュートリノ観測にBGの原因となるラドン濃度の見積もりが必要
- 新たなPMTが開発されたが、全体として外部に放出されるラドン放出率は未測定
(SK用PMTの先行研究の値(1.7±0.9 mBq/PMT/day)程度を期待)
⇒PMTからのラドン放出率を評価したい

4. 実験手法



80 Lラドン濃度測定器

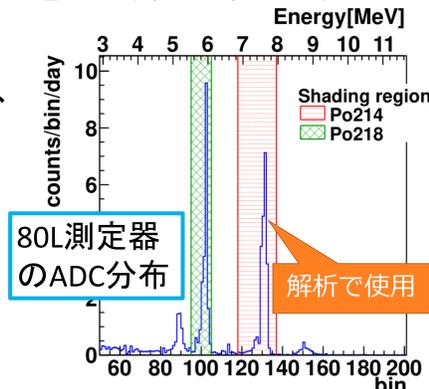
- ポロニウムは崩壊で生じるα粒子の数で計測
↑PINフォトダイオードでα粒子のエネルギー測定
- ポロニウムは陽イオンの形で生じる
⇒測定器内に高電圧(-2.0 kV)をかけ、検出部に収集

系全体

- 測定対象は700L容器に入れ、ラドン濃度測定器で計測
- 全体は空気ポンプで循環

測定内訳

- HK PMT, SK PMT
- PMTに取り付けのカバー類
- PMTのガラスバルブ

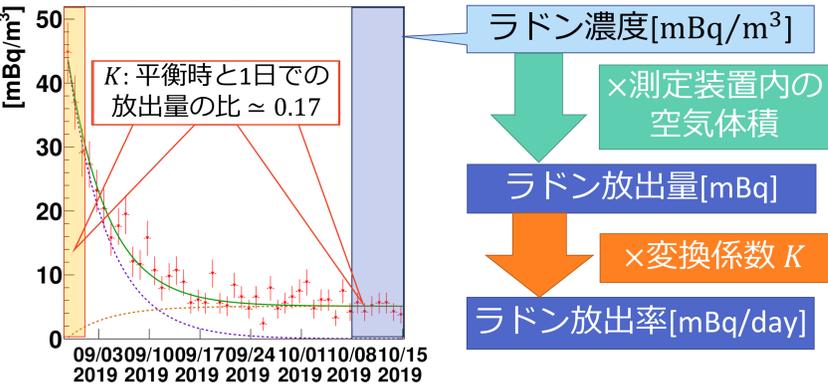


5. 実験結果

解析手法

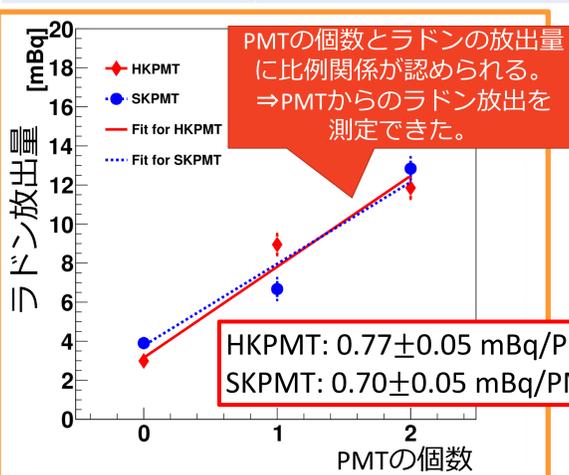
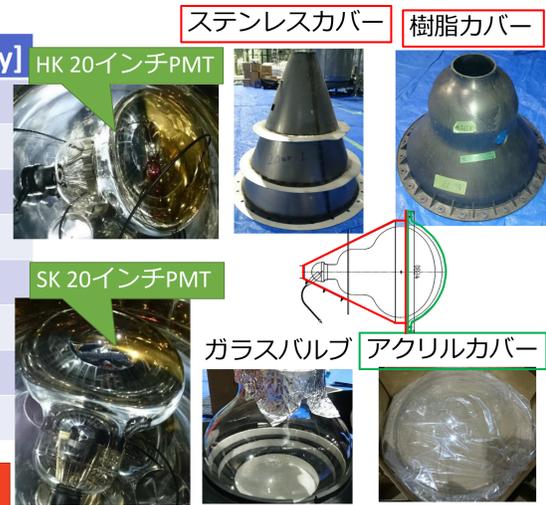
- 基本的に各測定2週間以上のカウントレートのデータを使用
 - データは次式でフィット * 十分時間が経ったとき: $f(t) \rightarrow C$
- $$f(t) = C \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{\tau_{\text{Rn}}}}\right) + D \cdot 2^{-\frac{t}{\tau_{\text{Rn}}}}$$
- ✓ C: 測定装置由来のBGと測定対象物からのラドン放出
 - ✓ D: パージ後の残留ラドンの崩壊
 - ✓ t: 測定時刻、 τ_{Rn} : ^{222}Rn の半減期(3.82日)
 - [count/day]→[mBq/m³]に既知の変換係数で変換

ラドン濃度の時間変化の例



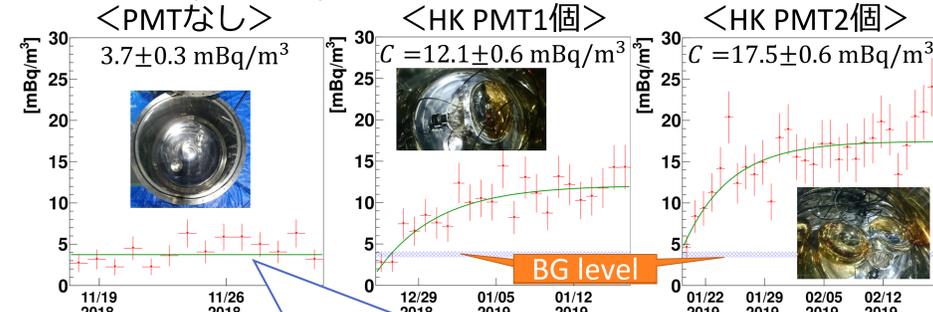
解析結果

測定対象物	ラドン放出率 [mBq/day]
HK PMT 1個	1.0 ± 0.1
HK PMT 2個	1.5 ± 0.1
SK PMT 1個	0.5 ± 0.1
SK PMT 2個	1.5 ± 0.1
ガラスバルブ	0.12 ± 0.09
ステンレスカバー	0.05 ± 0.07
樹脂カバー	-0.5 ± 1.0
アクリルカバー	0.03 ± 0.09



- PMTからのラドン放出率は個数を変化させて測定
⇒1個当たりの平均の放出率を求める。
- Hyper-Kamiokande design reportでは1.7 mBq/PMT/dayを要求
⇒PMTや取り付け予定の耐圧カバー類、ガラスバルブからのラドン放出は要求値以内であることが分かった。

測定例 (HKPMT)



パージ終了後から10日後以降を定数でフィット (安定した範囲) ラドン放出の測定ができた

6. 今後の予定

- 他の光センサーのラドン放出率測定
- PMTの主なラドン放出をしている部分の特定

7. 参考資料

- Hyper-Kamiokande proto-collaboration. Hyper-Kamiokande Design Report. arXiv:1805.04163v1 [physics.ins-det], 2018.
- Y. Nakano, et al. Measurement of radon concentration in super-Kamiokande's buffer gas. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 867 (2017) 108–114