

2019年 10月 16日(水) - 18日(金)
名古屋大学 宇宙地球環境研究所 共同館II 3F 大ホール

4th Workshop on Youth Meeting for AstroParticle

第4回 宇宙素粒子若手の会 秋の研究会

[Home](#) [Program](#) [Registration](#) [Venue](#) [Contacts](#)

太陽反電子ニュートリノ探索

伊藤博士(東大宇宙線研)

自己紹介

伊藤 博士(ひろし)

東大宇宙線研 特任研究員

趣味：ドライブ、**麻雀**、漫画、
アニメ、ボードゲーム、etc

1990年生まれ 千葉出身

千葉大学 ~2017年9月

シリカエアロゲルを用いた環境ストロンチウム放射能測定
静止K中間子を用いたe- μ レプトン普遍性破れ探索(J-PARC E36)

神戸大学 2017年10月~2018年3月

アルファ線イメージ分析装置 (AICHAM) の開発
放射能データベース(MARACAS)

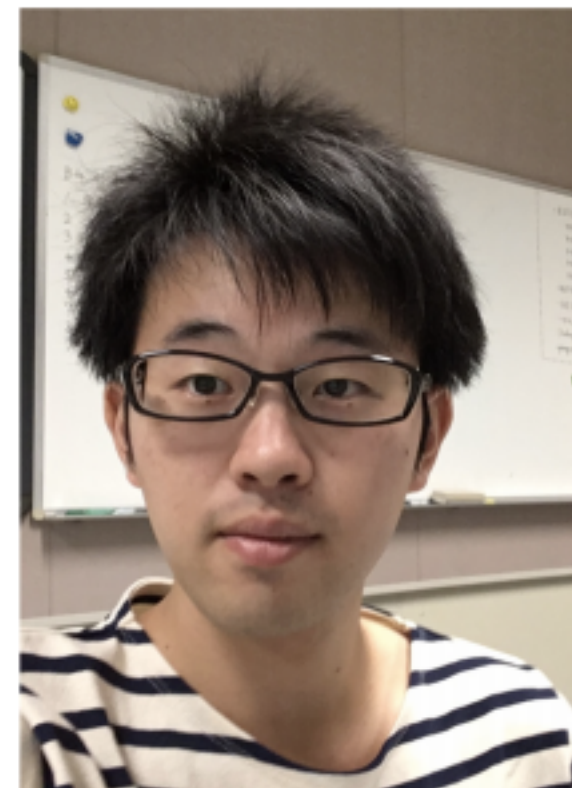
東大宇宙線研 2019年4月~

スーパーカミオカンデ実験

太陽反電子ニュートリノやっています



今日はこの話



SOLAR ANTINEUTRINOS

ROBERT A. MALANEY AND BRADLEY S. MEYER

Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory

AND

MALCOLM N. BUTLER¹

Tri Universities Meson Facility, Vancouver, Canada

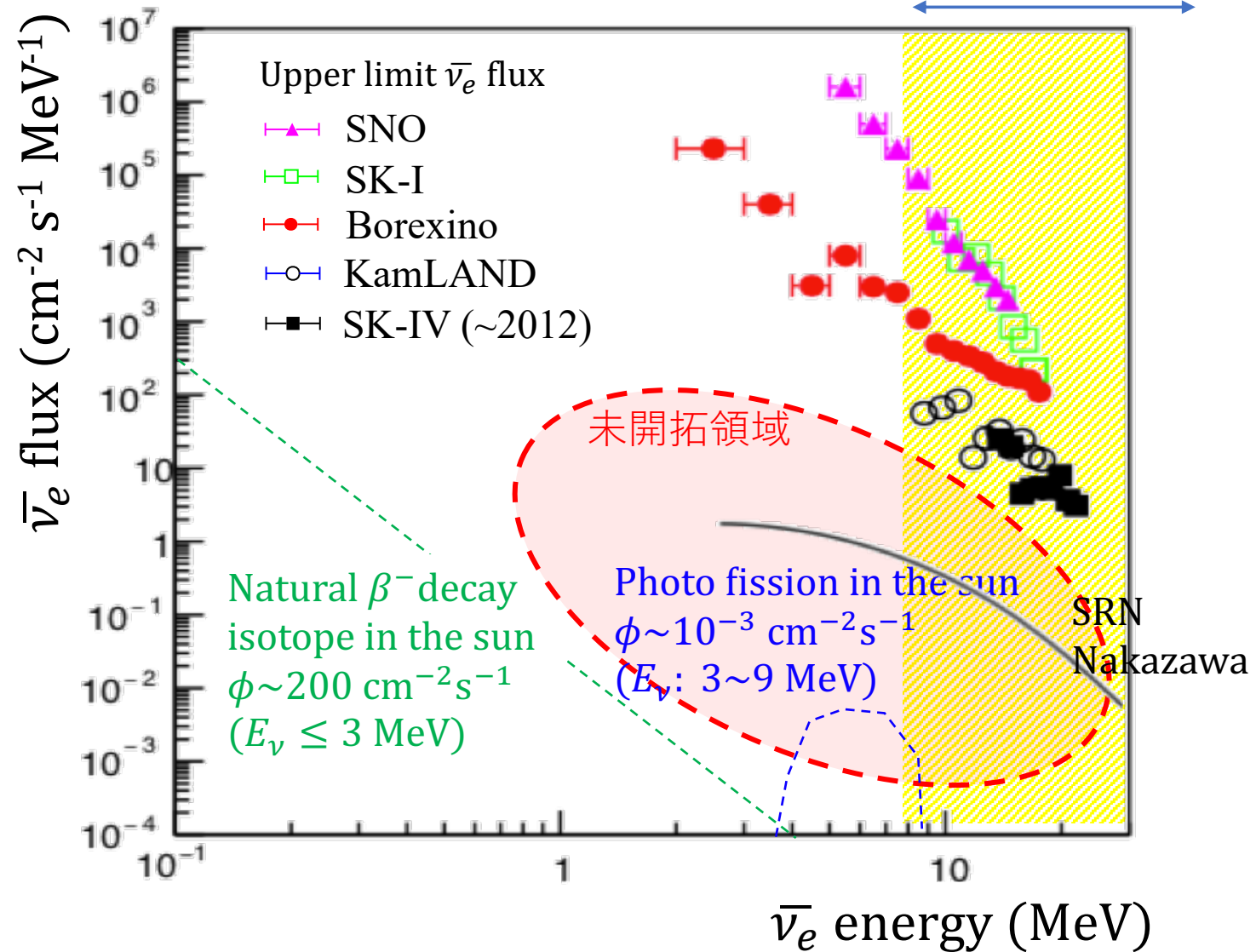
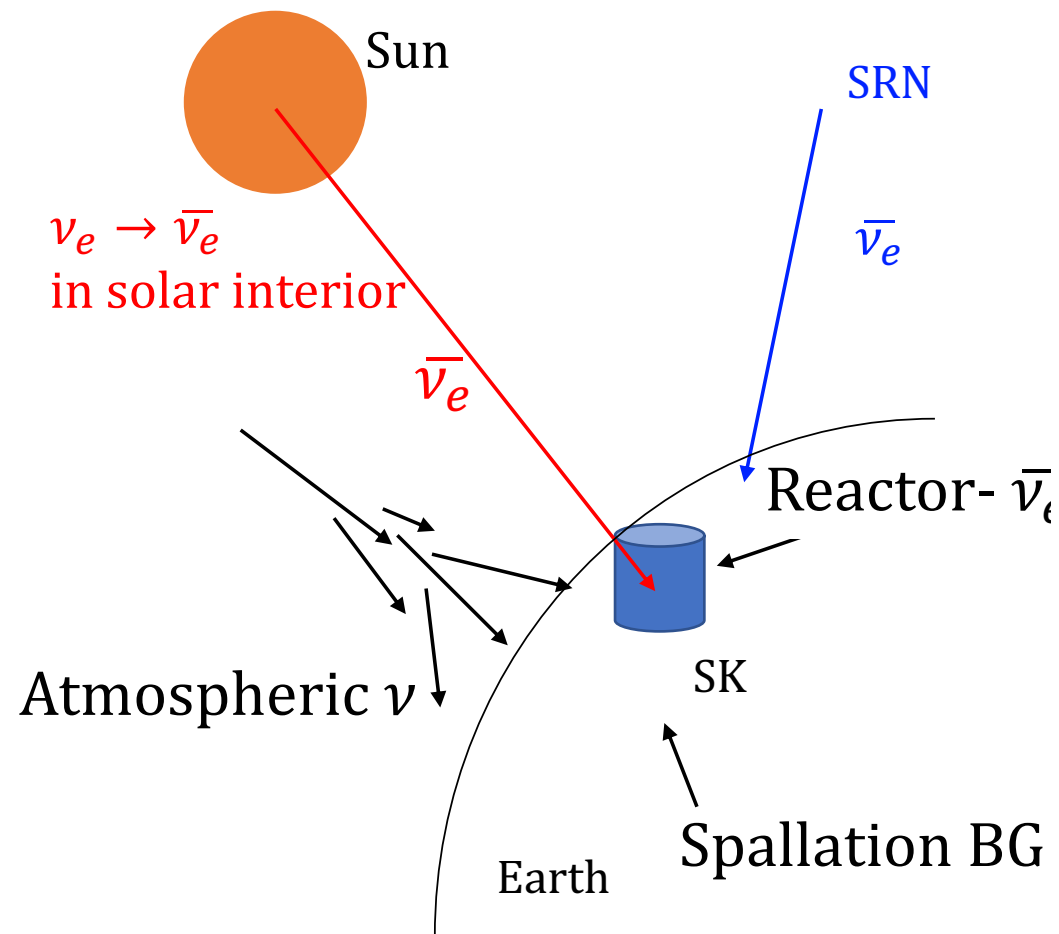
Received 1989 April 24; accepted 1989 September 28

ABSTRACT

As a consequence of natural radioactivity, the flux of low-energy ($\lesssim 3$ MeV) solar antineutrinos predicted by the standard solar model is $\sim 200 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. This solar antineutrino flux, however, is overwhelmed by the large antineutrino background arising from terrestrial radioactivity. We show here that as a consequence of photofission reactions occurring in the solar interior a more energetic (3–9 MeV) flux of solar antineutrinos of $\sim 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ should exist. Although orders of magnitude below current detectability levels, a future directionally sensitive detector, with a low energy threshold to eradicate background terrestrial decays, could enable the energetic solar antineutrino flux to be measured. The consequences of such a detection could have ramifications for our current understanding of neutrino physics and physical processes occurring deep in the solar interior.

Subject headings: neutrinos — nuclear reactions — Sun: interior

1. 太陽反電子ニュートリノ



2. $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動

標準ニュートリノ振動

$$|\nu_\alpha\rangle = \sum_i U_{\alpha i} |\nu_i\rangle$$

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \beta) = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{1.27 \Delta m^2 (\text{eV}^2) L (\text{km})}{E_\nu (\text{GeV})}$$

ニュートリノ振動ハミルトニアン摂動計算

Phys. Rev. D 80, 076007 (2009)

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \\ \bar{\nu}_e \\ \bar{\nu}_\mu \\ \bar{\nu}_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H + dH \\ (6 \times 6) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \\ \bar{\nu}_e \\ \bar{\nu}_\mu \\ \bar{\nu}_\tau \end{pmatrix}$$

標準 ν 振動
ハミルトニアン

H

CP破れ+ロー
レンツ破れ項

dH

$$P_{\bar{\nu}_b \rightarrow \nu_a}^{(0)} = P_{\nu_b \rightarrow \bar{\nu}_a}^{(0)} = 0.$$

$$P_{\nu_b \rightarrow \bar{\nu}_a}^{(1)} = P_{\bar{\nu}_b \rightarrow \nu_a}^{(1)} = 0.$$

$$P_{\nu_b \rightarrow \bar{\nu}_a}^{(2)} = t^2 |\mathcal{H}_{\bar{a}b}^{(1)}|^2,$$

$$P_{\bar{\nu}_b \rightarrow \nu_a}^{(2)} = t^2 |\mathcal{H}_{a\bar{b}}^{(1)}|^2,$$

$$\frac{P_{\bar{\nu}_b \rightarrow \nu_a}^{(2)}}{L^2} \equiv |\mathcal{H}_{a\bar{b}}^{(1)}|^2$$

Non-zero => Lorentz violation

$$\begin{aligned} &= (P_{\mathcal{C}}^{(2)})_{a\bar{b}} + (P_{\mathcal{A}_s}^{(2)})_{a\bar{b}} \sin \omega_\oplus T_\oplus \\ &+ (P_{\mathcal{A}_c}^{(2)})_{a\bar{b}} \cos \omega_\oplus T_\oplus + (P_{\mathcal{B}_s}^{(2)})_{a\bar{b}} \sin 2\omega_\oplus T_\oplus \\ &+ (P_{\mathcal{B}_c}^{(2)})_{a\bar{b}} \cos 2\omega_\oplus T_\oplus + (P_{\mathcal{D}_s}^{(2)})_{a\bar{b}} \sin 3\omega_\oplus T_\oplus \\ &+ (P_{\mathcal{D}_c}^{(2)})_{a\bar{b}} \cos 3\omega_\oplus T_\oplus + (P_{\mathcal{F}_s}^{(2)})_{a\bar{b}} \sin 4\omega_\oplus T_\oplus \\ &+ (P_{\mathcal{F}_c}^{(2)})_{a\bar{b}} \cos 4\omega_\oplus T_\oplus. \end{aligned}$$

理論計算は複雑だが、つまり $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動したら
標準ニュートリノ振動を逸脱する

2. $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動

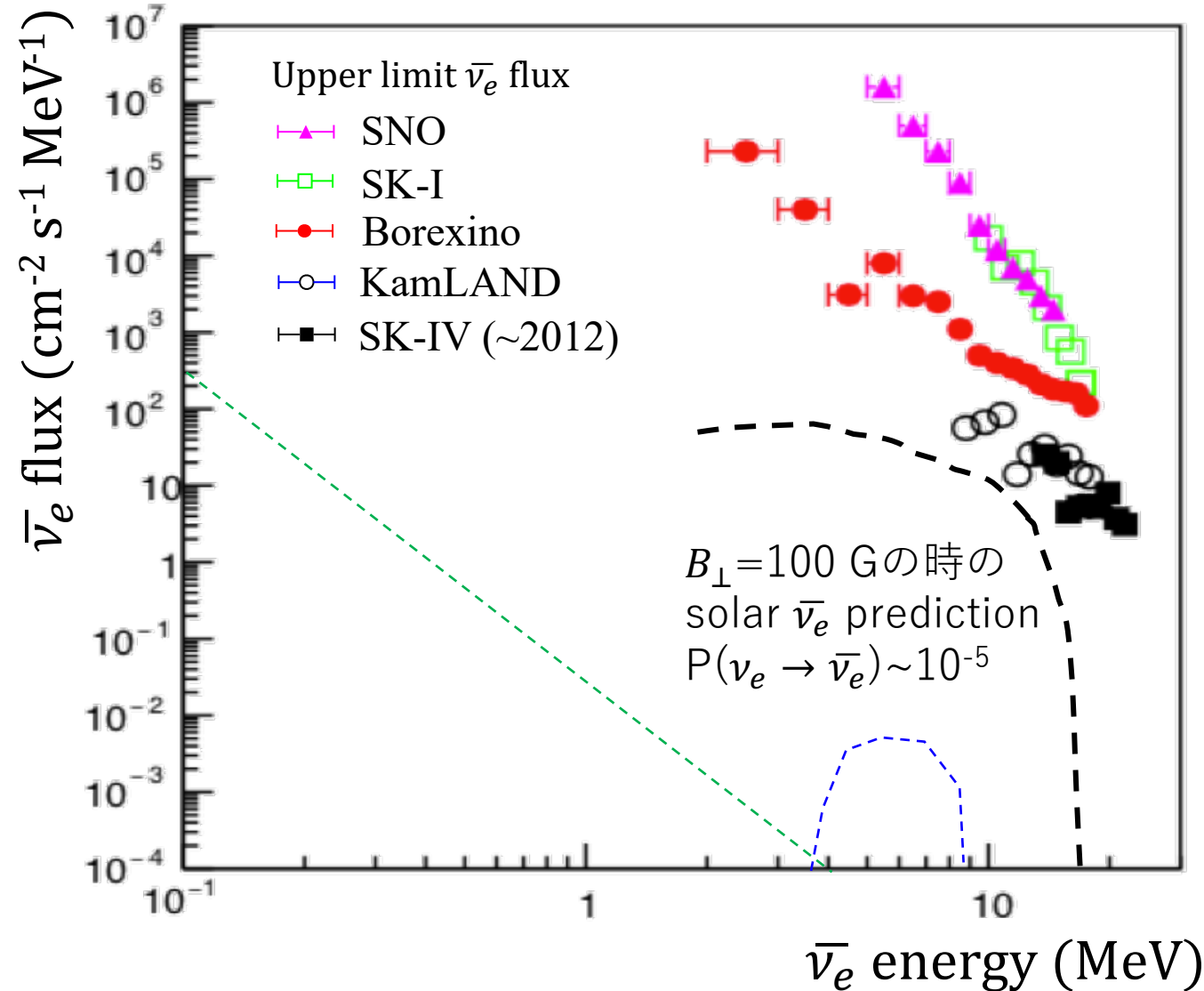
スピン・フレーバー振動モデル

Phys. Lett. B 553 (2003) 7.

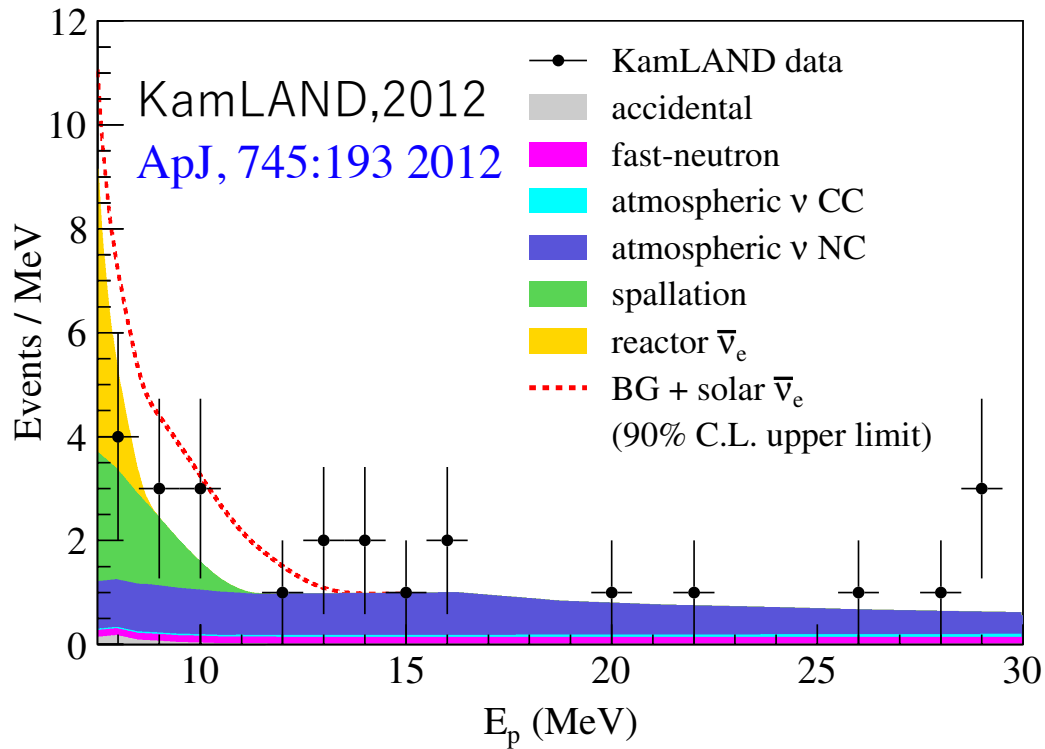
太陽内部の強磁場によって ν_e が $\bar{\nu}_\mu$ に変わり（スピNFLフレーバー振動）、地球へ到達するまでに通常の振動で $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ に変わる過程を経て $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動するモデルが预言された。 $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動の確率は

$$P(\nu_{eL} \rightarrow \bar{\nu}_{eR}) \simeq 1.8 \times 10^{-10} \sin^2 2\theta \left[\frac{\mu}{10^{-12} \mu_B} \frac{B_\perp (0.05 R_\odot)}{10 \text{ kG}} \right]^2,$$

ここで、 μ はニュートリノ磁気モーメント、 μ_B はボア磁子、 B_\perp は太陽内部磁場、 $\theta_{12} \sim 34.5^\circ$ は振動パラメータ。



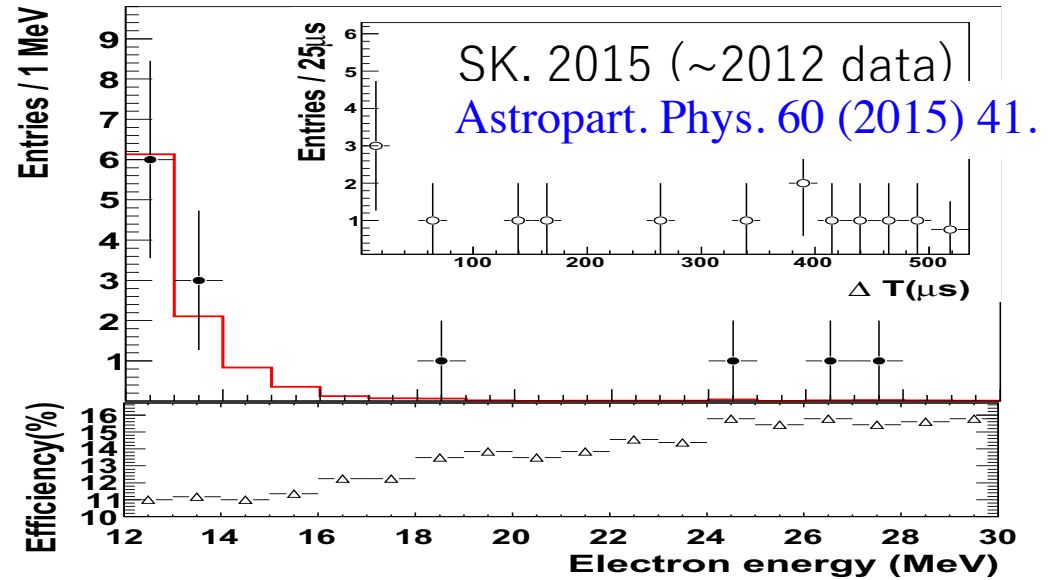
3. Review of solar $\bar{\nu}_e$ search



$$P(\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e) < 5.3 \times 10^{-5} \text{ (90\%CL)}$$

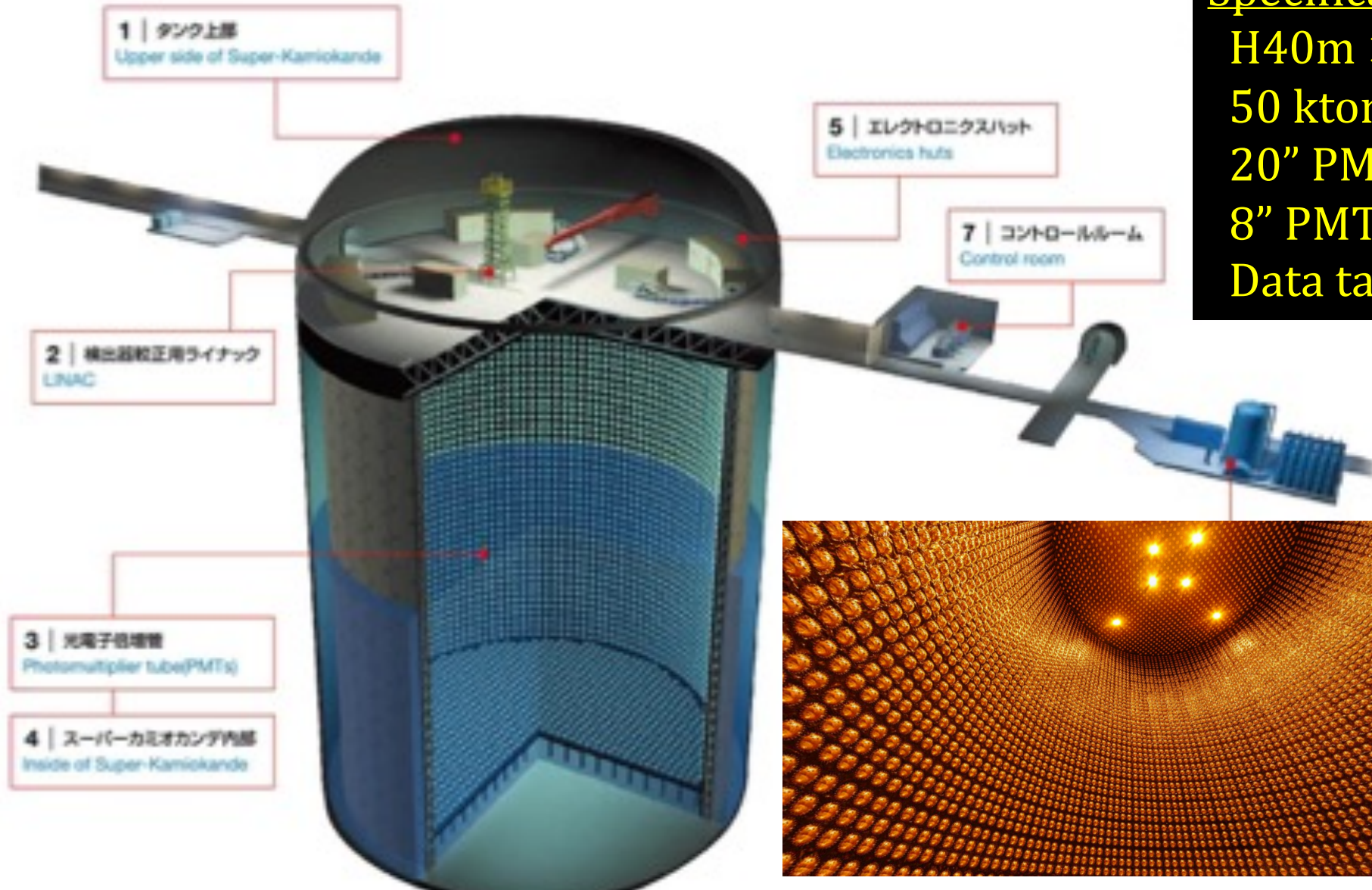
SK 2008~2018 dataを使えば感度改善するか?

- KamLAND = 1kton, 4.53 kton-year
- SK = 22.5kton, 2970 days = 183 kton-year

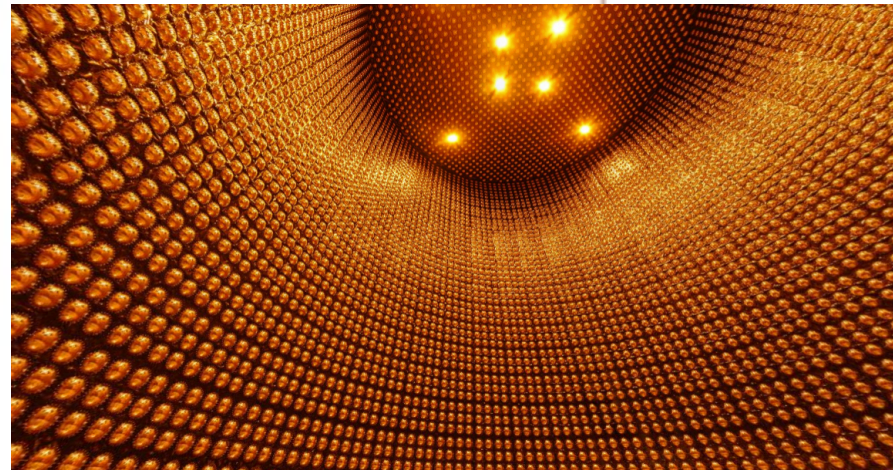


Confidential

4. スーパーカミオカンデと反電子ニュートリノ検出



Specification
H40m × φ40m
50 kton pure-water
20" PMTs ID: 11,129
8" PMTs OD: 1,885
Data take from 1996



Tank open 2018 8

4. スーパーカミオカンデと反電子ニュートリノ検出

Direction distribution $\cos\theta_{\text{sun}}$

Phys. Rev. D 94, 052010 (2016)

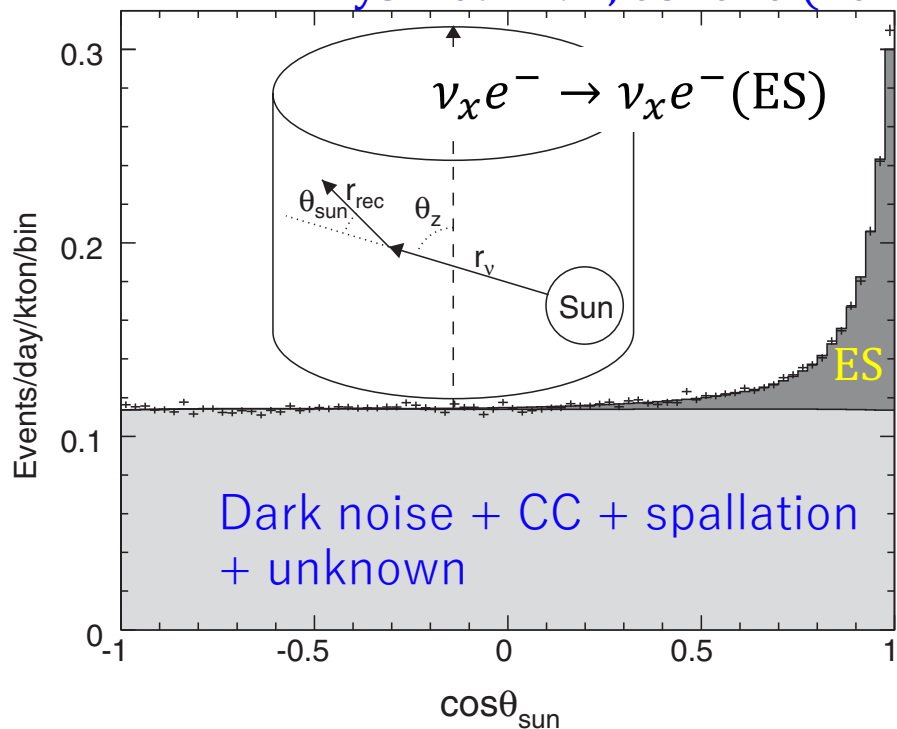
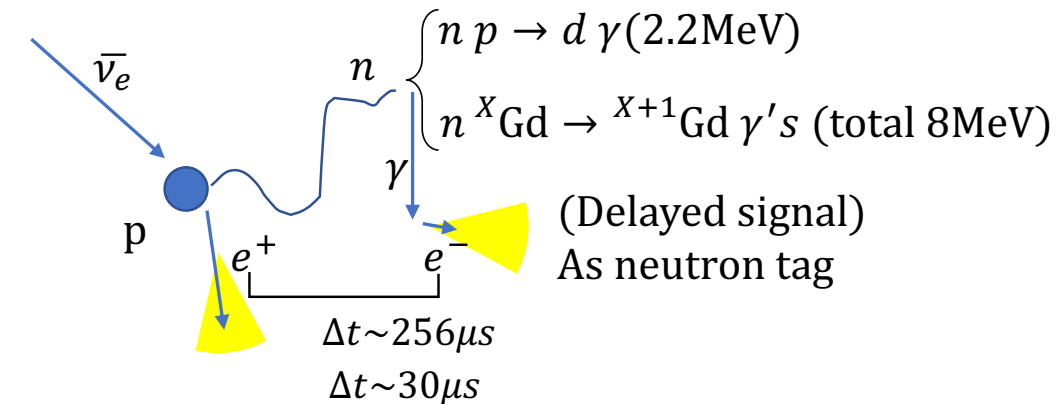
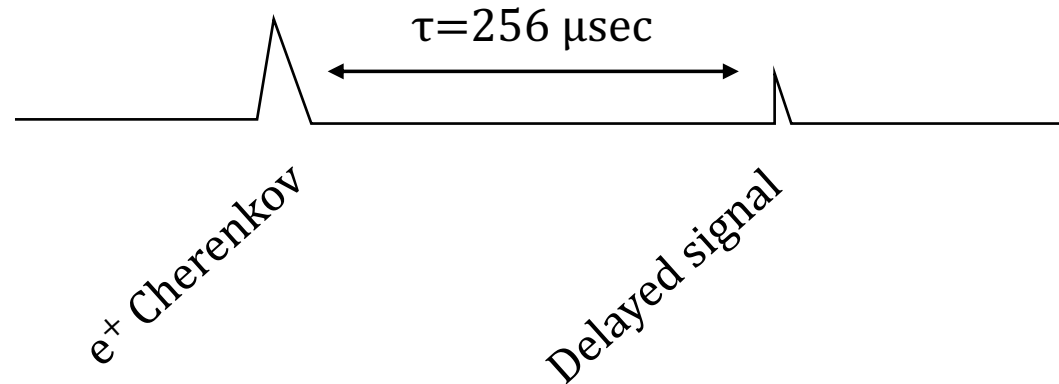


FIG. 17. Solar angle distribution for 3.49 to 19.5 MeV. θ_{sun} is the angle between the incoming neutrino direction r_ν and the reconstructed recoil electron direction r_{rec} . θ_z is the solar zenith angle. Black points are data while the histogram is the best fit to the data. The dark (light) shaded region is the solar neutrino signal (background) component of this fit.

反電子ニュートリノ事象検出



2008年からAFT trigger回路が実装された

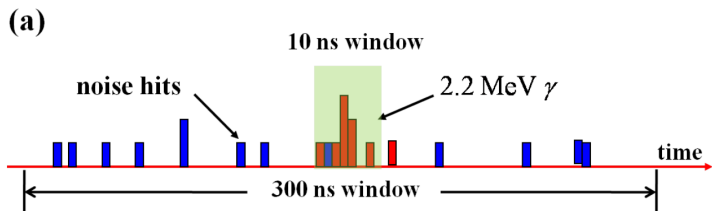


Confidential

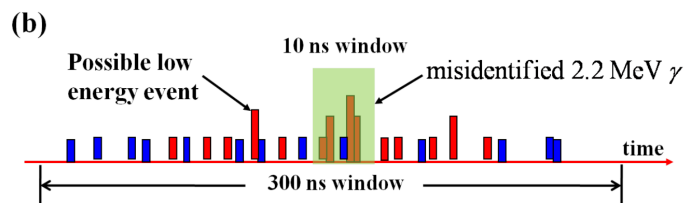
4. スーパーカミオカンデと反電子ニュートリノ検出

TMVA 機械学習によるlikelihood法

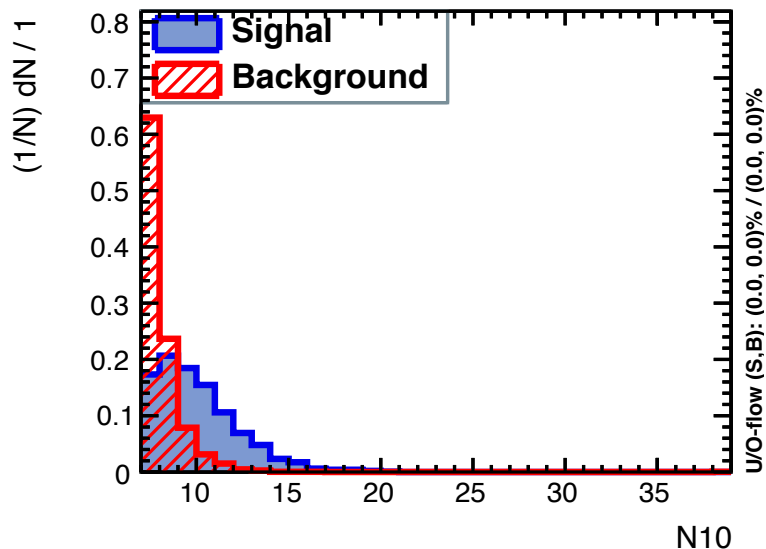
True



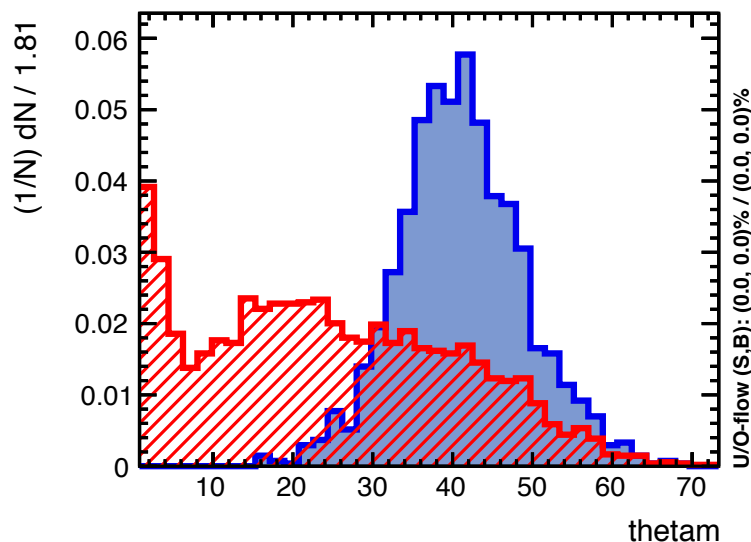
Missed



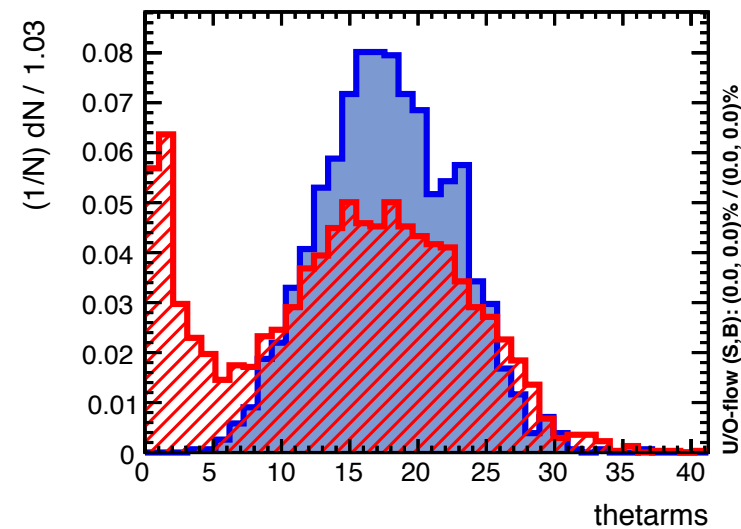
10 ns windowのhit数分布



10-ns-win hit-PMT間のvertex中心からの角度平均



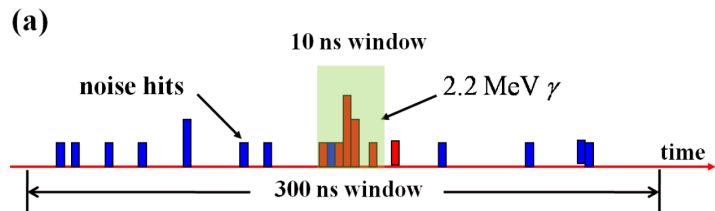
10-ns-win hit-PMT間のvertex中心からの角度のばらつき



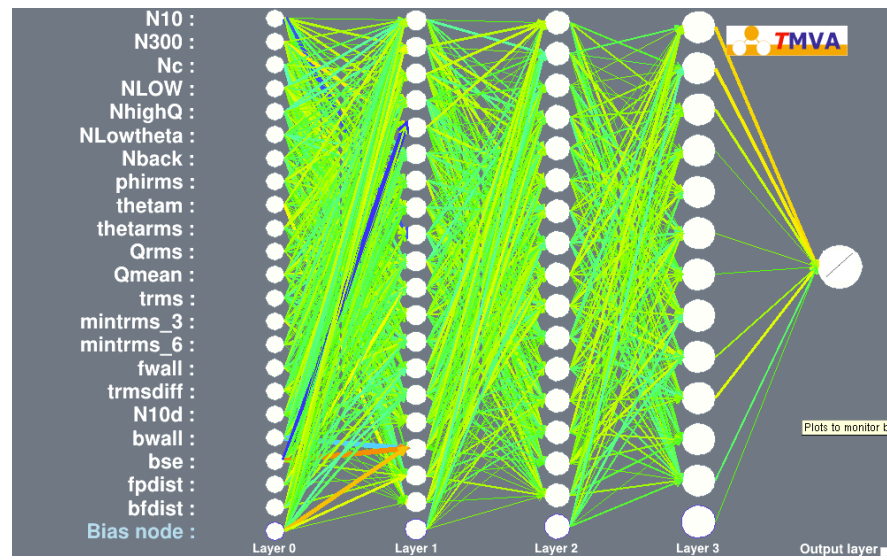
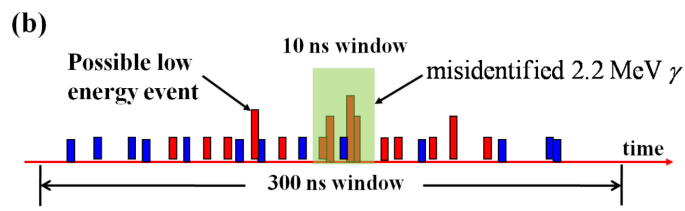
4. スーパーカミオカンデと反電子ニュートリノ検出

TMVA 機械学習によるlikelihood法

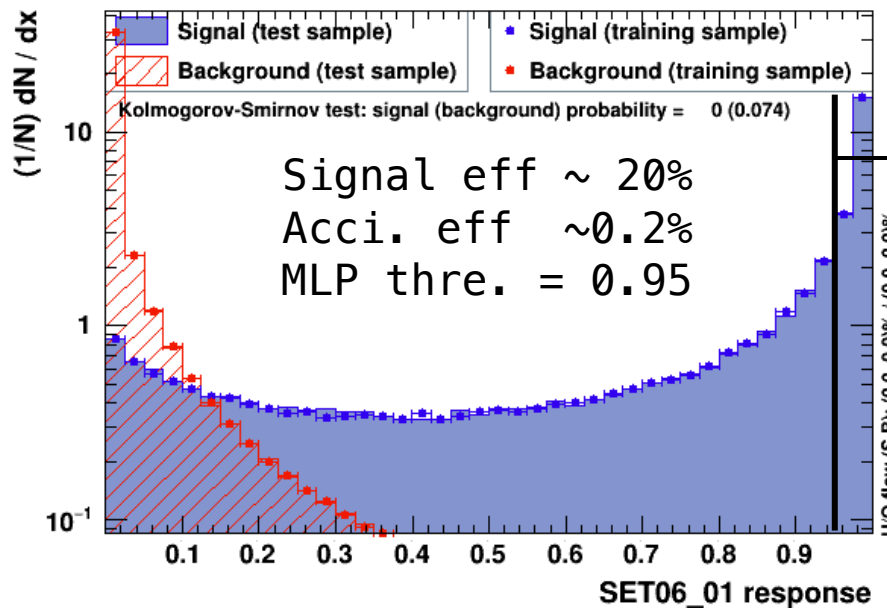
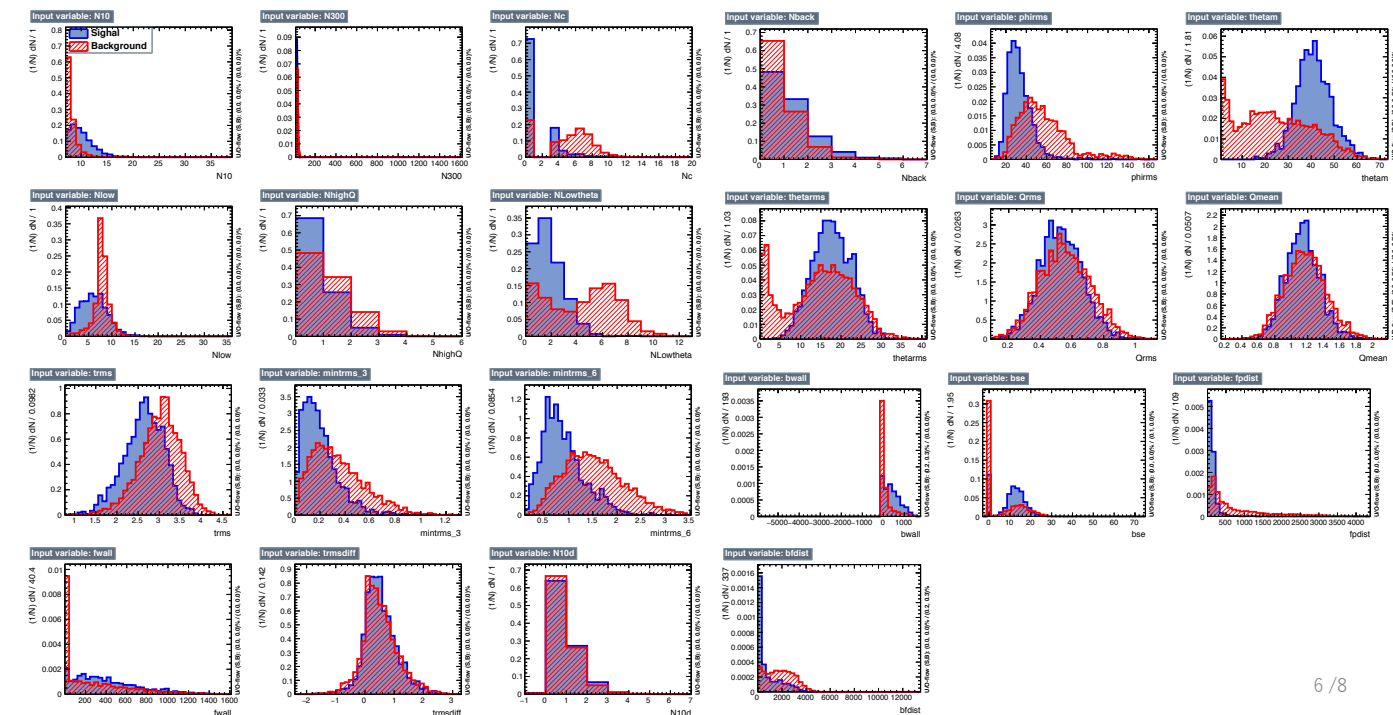
True



Missed



TMVA overtraining check for classifier: SET06_01



4. スーパーカミオカンデと反電子ニュートリノ検出

Background estimation

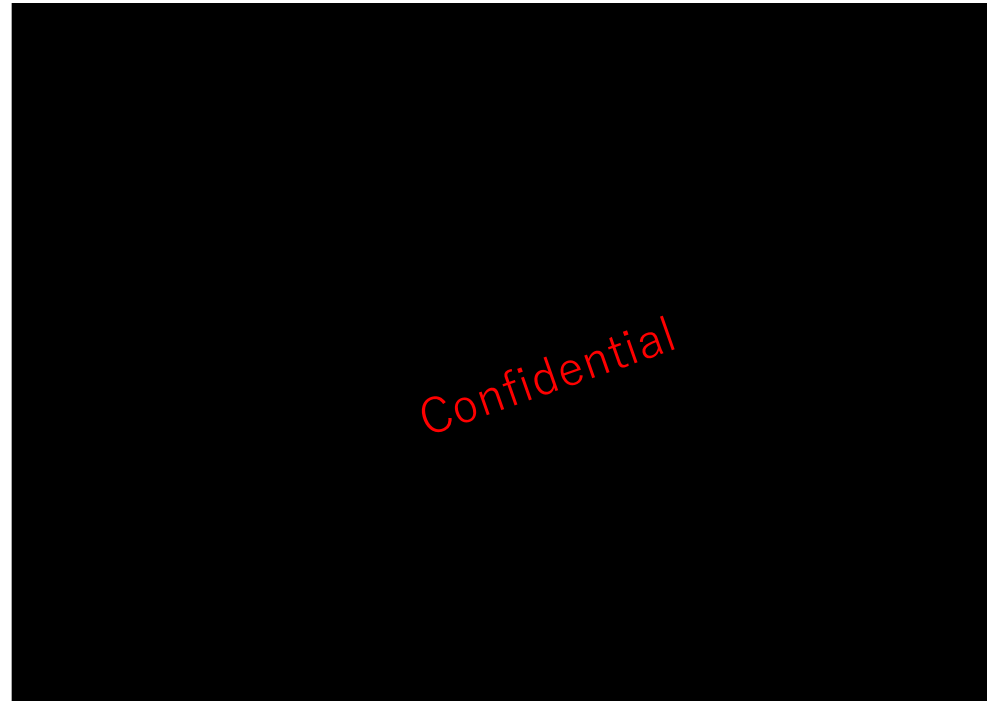
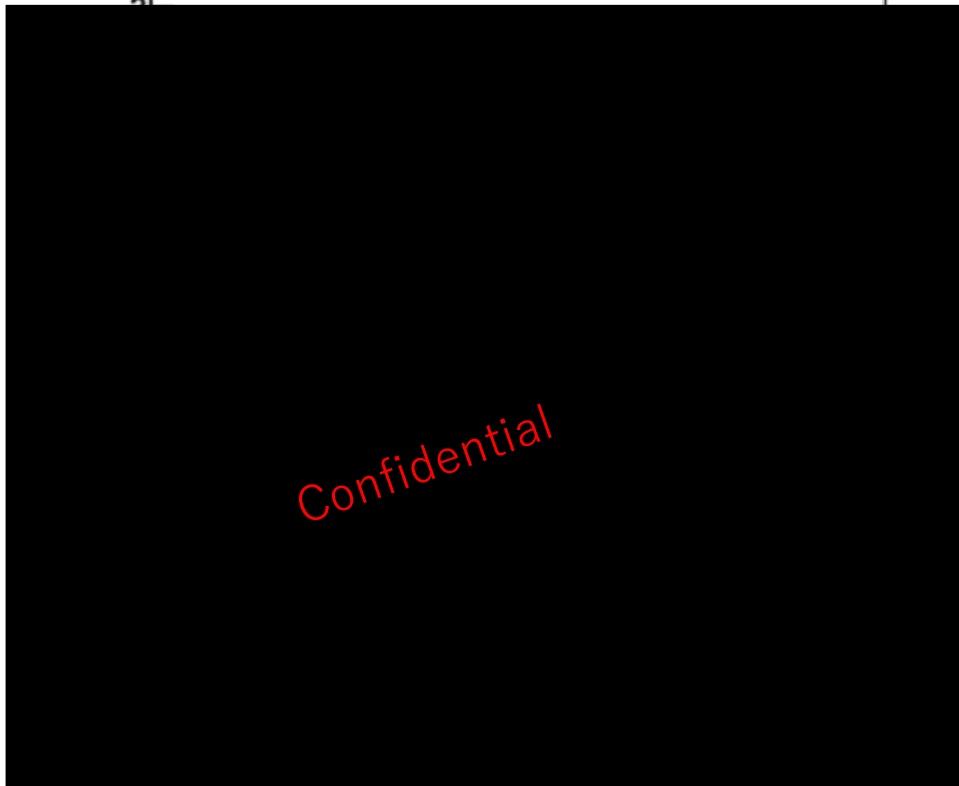
MLP threshold = 0.95

ntag efficiency = 20.6%

(in fact, ntag cut have been applied.)

This eff. is fixed to 20% for solar- $\bar{\nu}$.

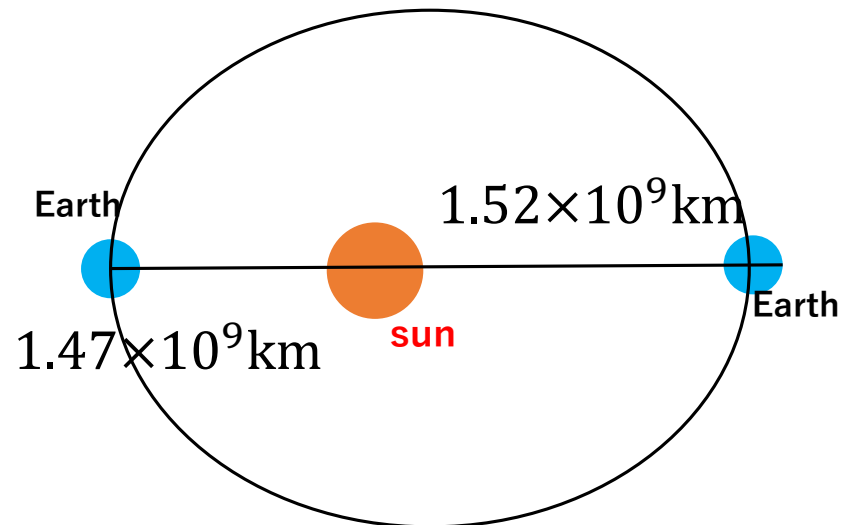
この閾値の最適化はするが...



ここでsensitivityを計算は、Accidental
とReactorが決まれば評価可能。

5. 今後の展望

- Solar $\bar{\nu}_e$ の結果はそろそろであるよ。Paperのスケールは年度末くらい
- SK-Gdで、 $\bar{\nu}_e$ 検出効率改善して、右図のみどり太破線の領域で $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動を探す。
- 有意な信号が検出された場合、年間の事象頻度の変動(太陽-地球間の距離より)から太陽由来の信号であることを裏付ける。



まとめ

- 太陽由来の反電子ニュートリノが $\sim O(10^{-1} \sim 10^{-0}) \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ のスケールで存在する場合 $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動が示唆される。ローレンツ不変性の破れ=>新物理
- もはや、超新星背景ニュートリノ(SRN)ですらBackground!
- Super Kamiokandeの中性子捕獲事象選択によって、 $\bar{\nu}_e$ 事象を検出する。TMVAによる機械学習を用いたlikelihood法(今流行りの)によって、効率よく、 $\bar{\nu}_e p \rightarrow n e^+$ 事象を抜き出した。
- MCシミュレーションでカット条件などもほぼ決まった。BG評価も、reactorとaccidentalくらが残っているだけ。Dataはそろそろ開示したいかな。

Confidential