

KASKA

θ_{13} measurement using reactor neutrino

2005年2月21日

東京都立大学

佐久間 清美

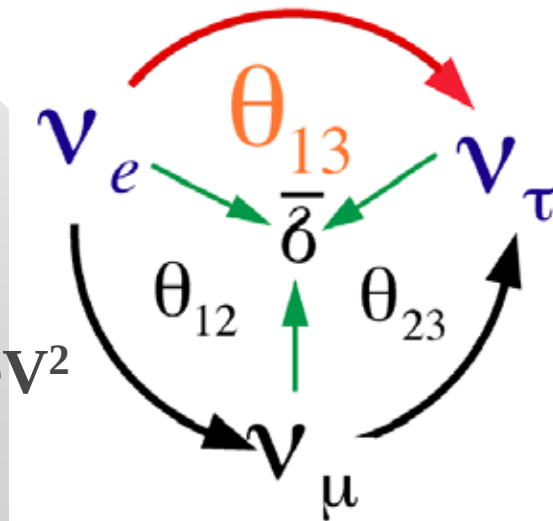
KASKA実験

新潟県柏崎刈羽原子力発電所で
核分裂時に生成される $\bar{\nu}_e$ を利用した、
ニュートリノ振動パラメーター θ_{13} の測定

KAShiwazaki KAriwa

KamLAND, SNO:

$$\Delta m_{12}^2 \sim 7.9 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$
$$\sin^2 2\theta_{12} \sim 0.8$$



$$|\Delta m_{31}^2| \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$
$$\sin^2 2\theta_{13} < 0.15 [\text{CHOOZ}]$$

SK, K2K:

$$|\Delta m_{23}^2| \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$
$$\sin^2 2\theta_{23} \sim 1$$

Collaborators(Feb 2005)

- **新潟大学**
田村詔生、谷本盛光、宮田等、中野博章、渡辺亮平、
岩渕龍也、佐々木真弓、青木勝
- **東北大学**
末包文彦、坂本泰伸、土屋泰
- **東京工業大学**
久世正弘、古田久敬、前田順平
- **東京都立大学**
住吉孝行、南方久和、安田修、松本崇博、中川尊、佐久間清美
- **神戸大学**
原俊雄
- **KEK**
石原信弘、杉山弘晃
- **岡山大学**
作田 誠
- **宮崎教育大学**
福田善之
- **広島工業大学**
長坂康史

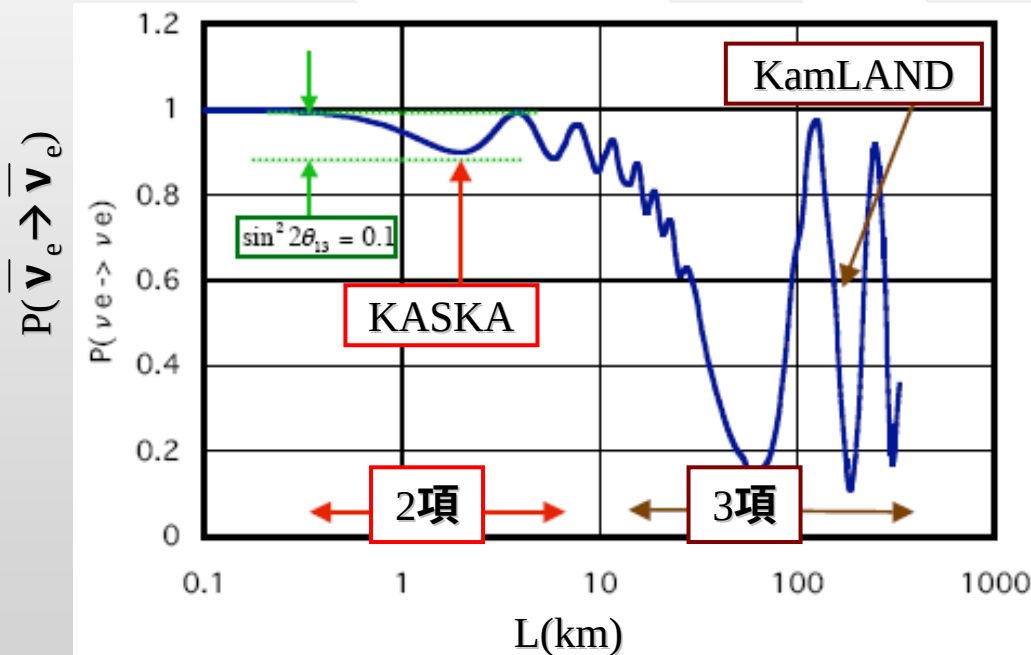
Outline

- ニュートリノ振動
- θ_{13} 測定
- KASKA実験
 - Detector
 - バックグラウンド
 - 誤差
- バックグラウンド測定
- まとめ

反電子ニュートリノ振動

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} + \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \frac{\Delta m_{12}^2 L}{2E}$$

$\sim O(10^{-3})$



● 反電子ニュートリノ振動

● 原子炉ニュートリノ $E \sim 4\text{MeV}$

● $|\Delta m_{23}^2| \sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$

$L \sim 1.8\text{km}$ で最大振幅

● CHOOZ 実験より
最大欠損 < 15%



測定誤差 1% 以下

θ_{13} 測定

- 残されたパラメータ θ_{13} 測定:

- 加速器ニュートリノ測定 → T2K, MINOS, OPERA
- 原子炉ニュートリノ測定 → DCHOOZ, Diablo Canyon, [KASKA](#)

- 加速器ニュートリノ測定 ($\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$)

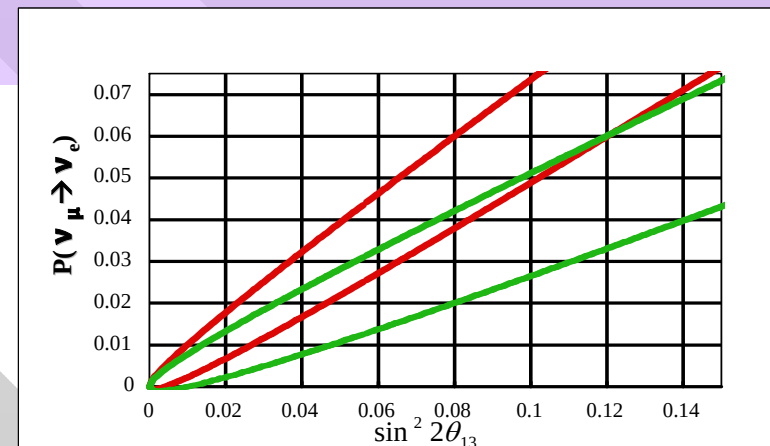
$$P(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e) \simeq \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \theta_{23} \sin^2 \Delta_{31} \mp \Delta_{31} \frac{\Delta m_{12}^2}{\Delta m_{23}^2} \sin 2\theta_{13} \sin \delta \cos \theta_{13} \sin 2\theta_{23} \sin^2 \Delta_{31}$$

$$\sim \frac{1}{2} \sin^2 2\theta_{13} \left(1 \pm \frac{0.08}{\sin 2\theta_{13}} \sin \delta \right)$$

- パラメータが複雑

- Unknown $\sin \delta$ による ambiguity
- $\sin \theta_{23}$ の degeneracy

$$2 \sin^2 \theta_{23} = 1 \pm \sqrt{1 - \sin^2 2\theta_{23}}$$

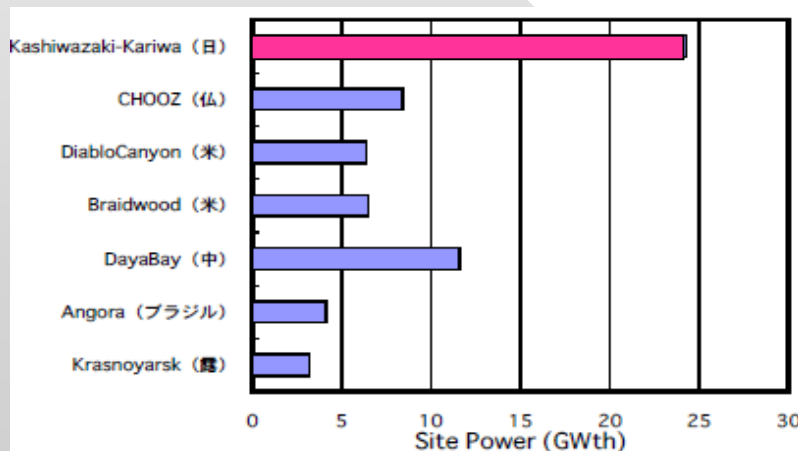


原子炉ニュートリノ測定

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) = 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{\Delta m_{13}^2 L}{4E} + O(10^{-3})$$

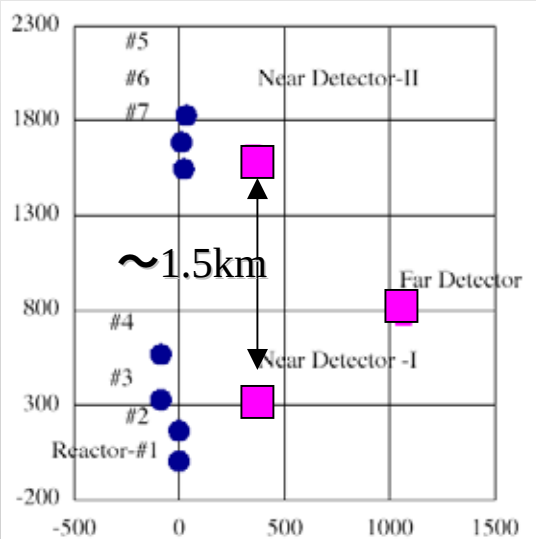
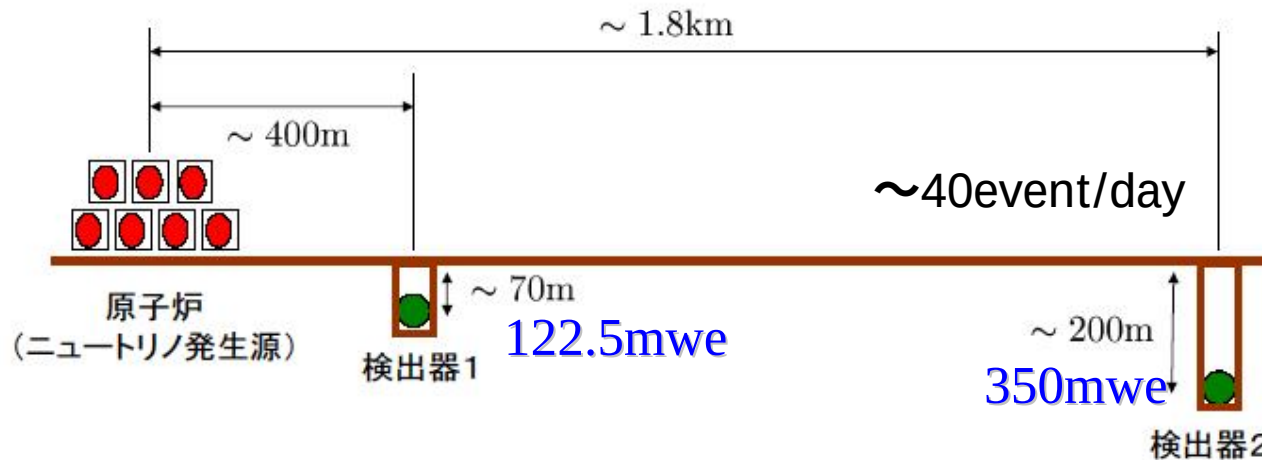
- Disappearance測定なので、CP phase (δ) がでてこない
- パラメータによる不確定性がほとんどない
- 値段も実験期間 (3年) も比較的小規模に収まる
KASKA $\rightarrow$ 60,000 event/3year
- 加速器ニュートリノ測定と組み合わせて
物質効果やCPの破れなど有用な物理が観測可
($\sin^2 2\theta_{13} > 0.01$ の場合)

柏崎刈羽原子力発電所



- 新潟県柏崎市、刈羽村
- 世界最大のパワー
- 7基、24.3GWth
- $\sim 6 \times 10^{20}$ v/s/reactor

Detector位置



- 原子炉の配置により、2つのNear Detector
- Far Detector
- Detectorは系統誤差を減らすため identical
- NearとFarで信号と宇宙線レートの比率を同じにするように深さを設定

検出方法

● 逆β反応

Event Selection

$$0.7\text{MeV} < E_{\text{prompt}} < 9\text{MeV}$$

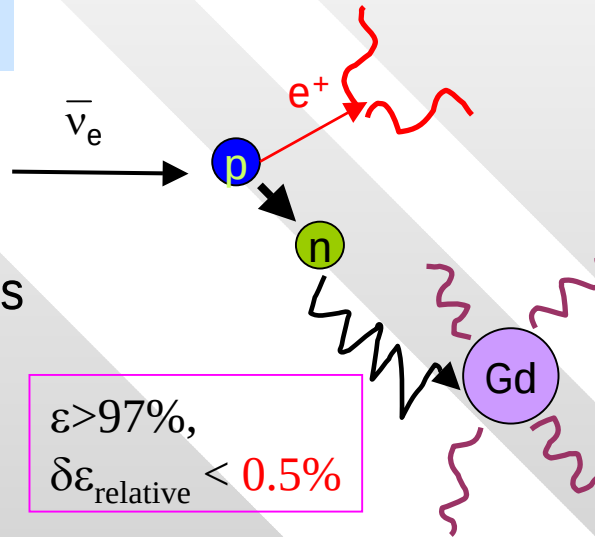
$$5\text{MeV} < E_{\text{delay}} < 11\text{MeV}$$

$$1\mu\text{s} < \Delta t < 200\mu\text{s}$$

Prompt signal

$$e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$$

$$E_{\text{prompt}} = E_{\nu} - E_{\text{th}}(1.8\text{MeV}) + 2m_e$$



$\sim 30\mu\text{s}$

$$\varepsilon > 97\%,$$

$$\delta\varepsilon_{\text{relative}} < 0.5\%$$

Delayed signal

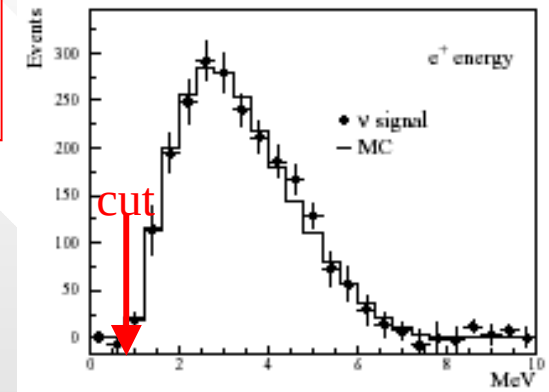
$$Gd + n \rightarrow Gd^* \rightarrow Gd + \gamma$$

$$E_{\text{delay}} \sim \Sigma 8\text{MeV}$$

$$\varepsilon > 99\%,$$

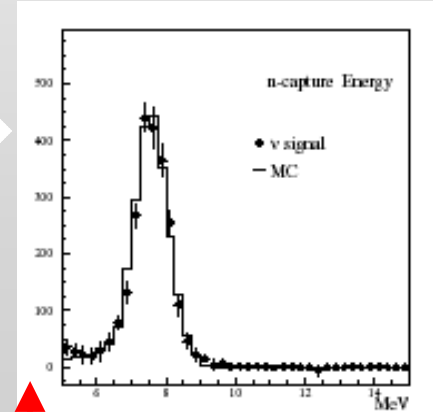
$$\delta\varepsilon_{\text{relative}} \sim O(0.1\%)$$

CHOOZ hep-ex/0301017v1



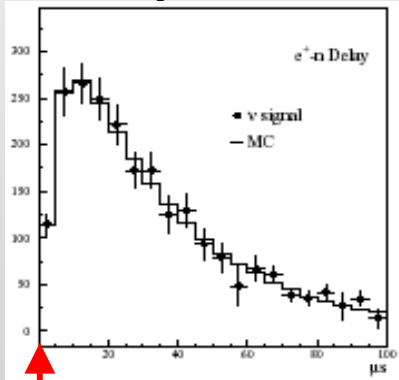
E_{prompt}

CHOOZ hep-ex/0301017v1



E_{delay} 10

CHOOZ hep-ex/0301017v1



Δt

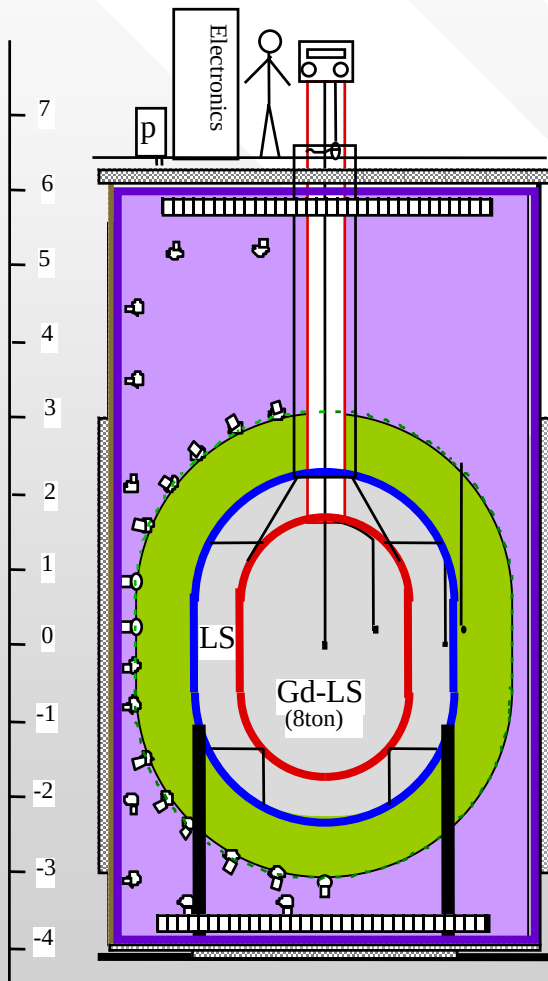
$$\varepsilon > 98\%,$$

$$\delta\varepsilon_{\text{relative}} < 0.2\%$$

SAKUMA

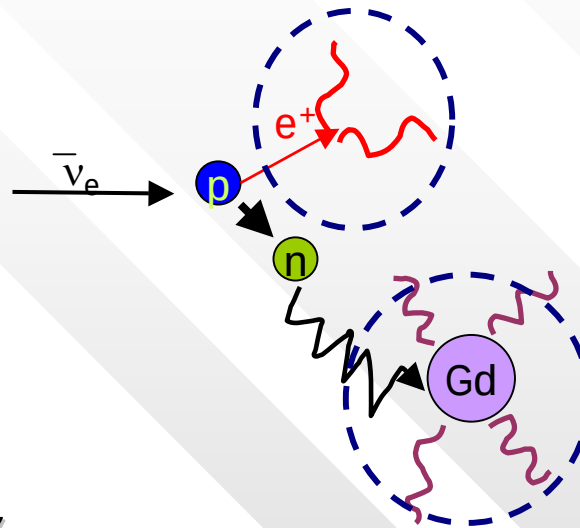
ICEPP Symposium@Hakuba

Detector



- [Region I] 0.1%Gd液体シンチレーター
 - 8ton
- [Region II] 液体シンチレーター
- [Region III] バッファーオイル(発光なし)
 - PMTガラスからの γ 線を防ぐ
- [Region IV] 弱い液体シンチレーター
 - 宇宙線のveto (1ms)
 - Near $\sim 100\text{Hz}$
 - Far $\sim 10\text{Hz}$
- 宇宙線トラッカー
 - Spallationの見積もり

Accidentalバックグラウンド



- γ 線 $\sim 6\text{Hz}$
 - PMT中の放射性物質からの γ 線 $\sim 3\text{Hz}$
 - 外部からの γ 線 $< 1\text{Hz}$
 - 液体シンチレーター $\sim 1\text{Hz}$
 - アクリル容器 $\sim 1\text{Hz}$
- 中性子 $\ll 1/\text{min}$
- Accidental BG negligible

Correlatedバックグラウンド

- Correlated BG

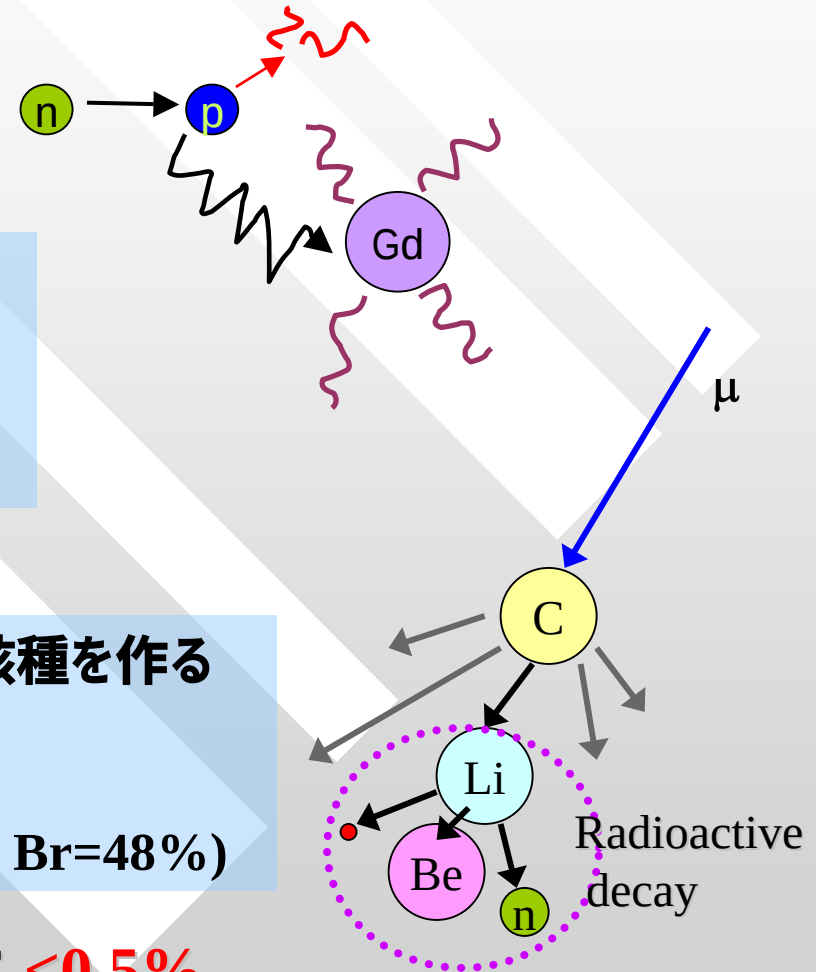
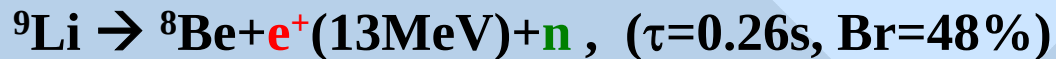
- 高速中性子 $\sim 1 \pm 0.2\%$

土中で宇宙線が高速中性子を発生

1. 液シン中でrecoilされた陽子
2. 減速した中性子のGd捕獲

- Spallation $\sim 0.4 \pm 0.2\%$

液シン内の原子核を粉砕し、放射性核種を作る



- NearとFarの比よりCorrelated BG $< 0.5\%$

誤差

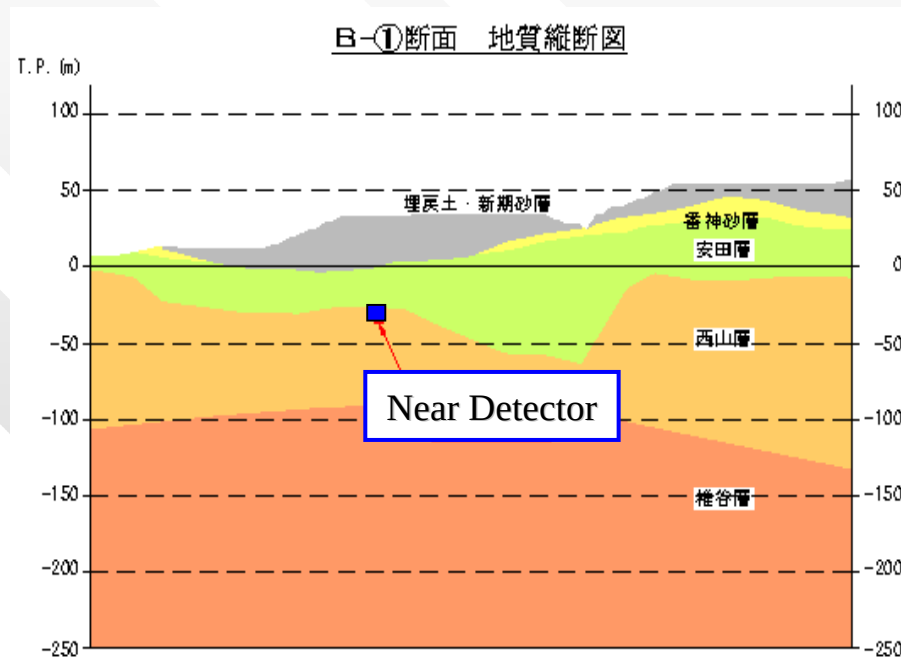
- Far/Nearの比の測定を行なうこと
- efficiencyの依存性の少ないカットを行なうこと
→ 系統誤差を小さくする

Statistic Error: $60,000/3\text{years} \Rightarrow 0.6\%$

Systematic Error:	e^+ cut	<0.1%
	n cut	<0.5%
	timing cut	0.2%
	LS volume	<0.5%
	ν flux	0.2%
	BKG	<0.5%
=====		
	Total	<1.0%

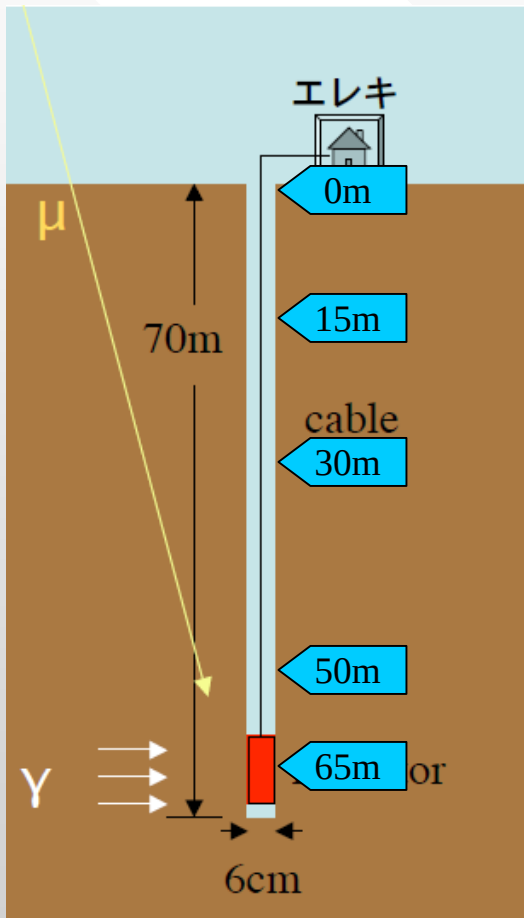
バックグラウンド測定

- 2004年10月25~29日
- 柏崎刈羽原子力発電所
Near Detector建設予定地
- 目的:バックグラウンド評価
 - 宇宙線
 - γ 線
 - 地質調査

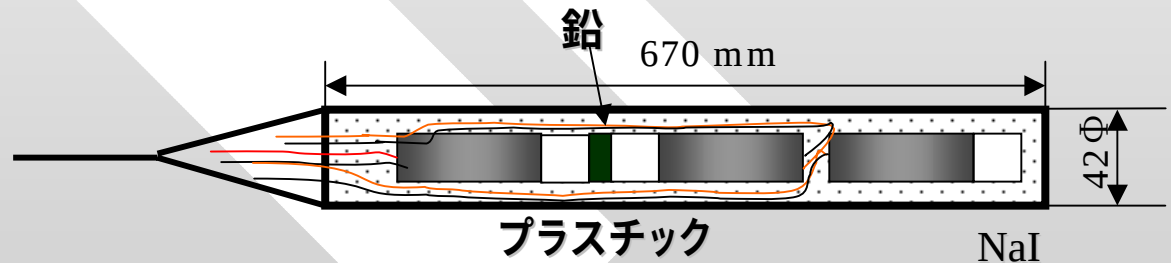


✧ 中越地震 (M~6.8) が10月23日に起こったが
測定に影響は無かった

Detector

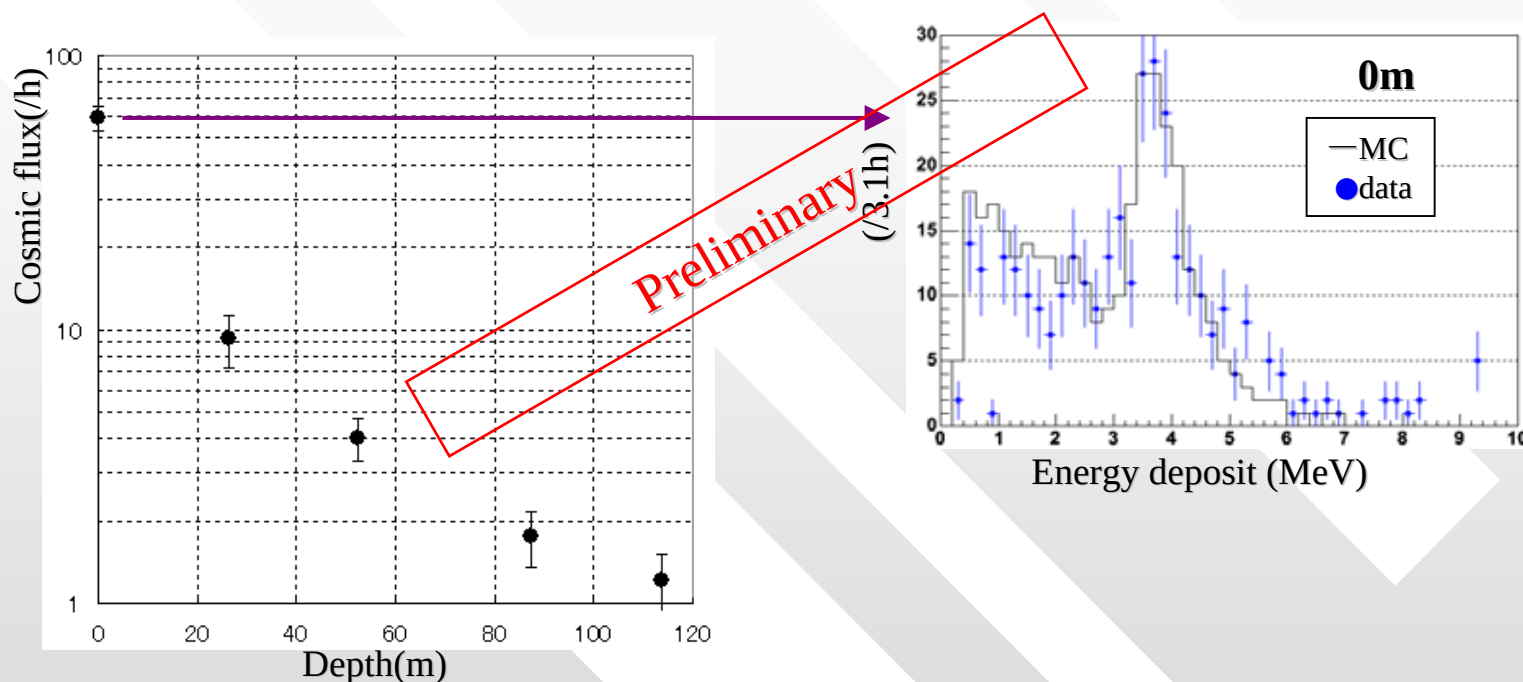


- 直径6.6cm、深さ70mのボーリング孔
- ステンレス製の圧力容器
 - 2つのプラスチックシンチレーター(1" Φ $\times$ 2cm)
 - プラスチックシンチの間に鉛(1" Φ $\times$ 1cm)
 - NaIシンチレーター(1" Φ $\times$ 2cm)



宇宙線は2つのシンチでcoincidenceをとった

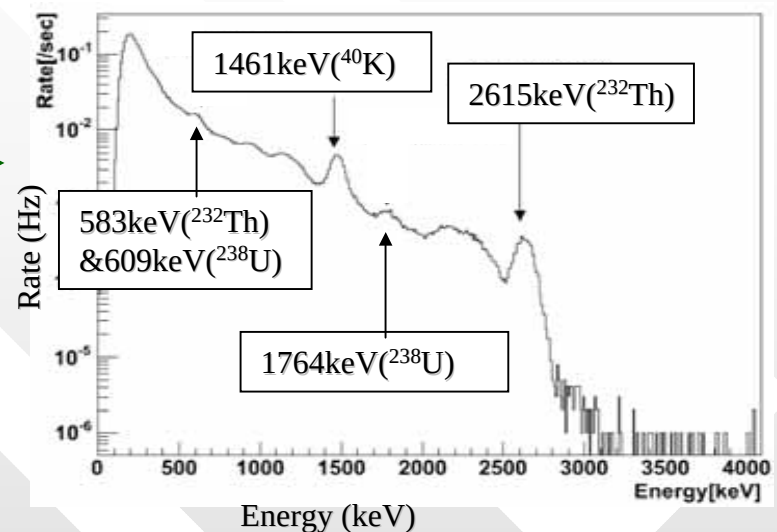
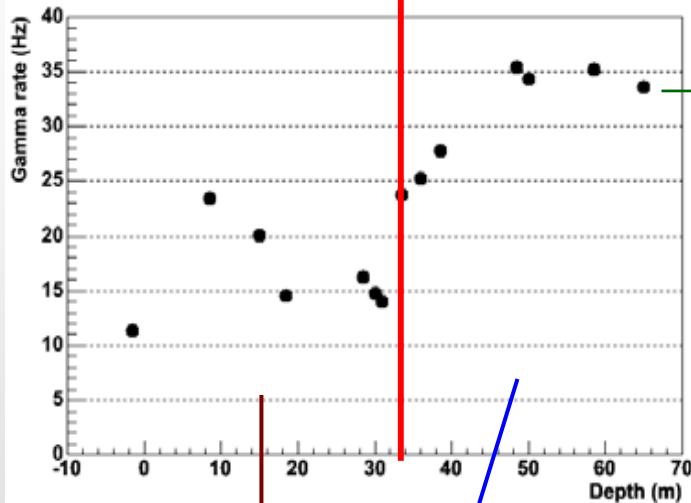
宇宙線



- 宇宙線レート 65m/0m $\sim$ 2% $\rightarrow$ ほぼ予測どおり
- シンチの厚さが2cm $\rightarrow$ MIPsピーク $\sim$ 3.8MeV
- Correlated BGもほぼ予測どおりと期待
 $\rightarrow$ simulationにより検証中

γ線

埋立土 安田層 (粘土質)



- 地層の変化
→ 15Hzから30Hzに増加
- 地質調査の結果
(65m)
U 1.4ppm
Th 5.1ppm
K 1.6ppm
- γ線のBK寄与は問題ない程度

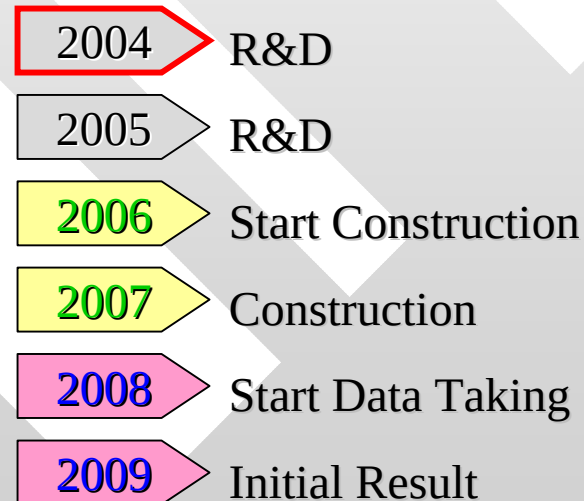
Summary

KASKA実験

- 費用が比較的少ない
- 3年間のrunで結果が得られる
- 加速器実験とは独立に θ_{13} が得られる
- J-PARCとの組み合わせによる重要な物理結果が期待
- θ_{13} を特定することで、KamLANDによる θ_{12} 精度がよくなる

今後の予定:

(平成18年度に予算がおりた場合)



The background of the slide features a series of parallel diagonal stripes. These stripes are composed of alternating white and light gray bands, creating a sense of movement and depth. The stripes are oriented from the top-left towards the bottom-right.

END OF TALK

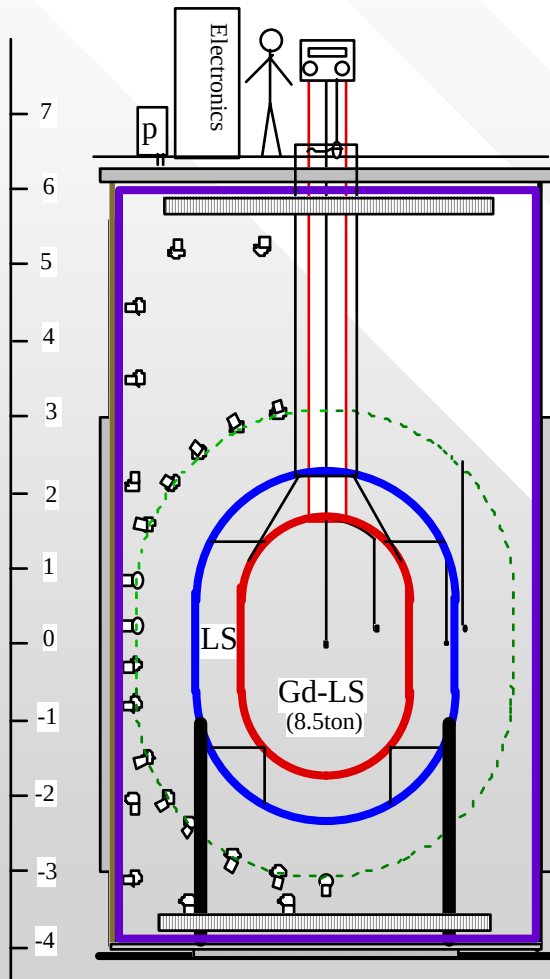
Detector

Event Selection

$$0.7\text{MeV} < E_{\text{prompt}} < 9\text{MeV}$$

$$5\text{MeV} < E_{\text{delay}} < 11\text{MeV}$$

$$1\mu\text{s} < \Delta t < 200\mu\text{s}$$



- [Region I] Gd液体シンチレーター
 - Gd [$\text{Gd}(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CO}_2)_3$] : 0.5%
 - Palo Verdeと同様 (0.5%BG521を希釈)
- [Region II] 液体シンチレーター
 - 1,2,4トリメチルベンゼン [$\text{C}_6\text{H}_3(\text{CH}_3)_3$] : 36%
 - n-テトラデカン [$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$] : 60%
 - イソパラフィン [$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$] : 4%
- [Region III] バッファーオイル
 - n-テトラデカン [$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$]
- [Region IV] 弱い液体シンチレーター

v 誤差

- Correlated誤差はbaselineの違いによらず3つのDetectorでキャンセルされる
- Uncorrelated誤差は baselineの標準偏差を原子炉数で割ったものの平方根がかかる h.sugiyama et al. hep-ph/0409109

$$\frac{\delta f_\nu}{f_\nu} \sim \left(\frac{\delta P^{un-corr.}}{P} \right) \times \sqrt{\frac{1}{7} \sum_r \left(1 - \frac{R_r}{\langle R \rangle} \right)^2} < 0.2\%$$

- P=原子炉の熱出力
- δP =uncorrelatedエラー (<2%)
- R_r =nearとfarのbaseline比

$$R_r = \frac{L_{r, far}^2}{L_{r, near}^2}$$

