

原子炉反ニュートリノ実験による 質量階層性への感度とその課題



高江洲 義太郎
KIAS/KNRC



共同研究者: S.F. Ge、岡村直利、萩原薫
JHEP 1305:131,2013

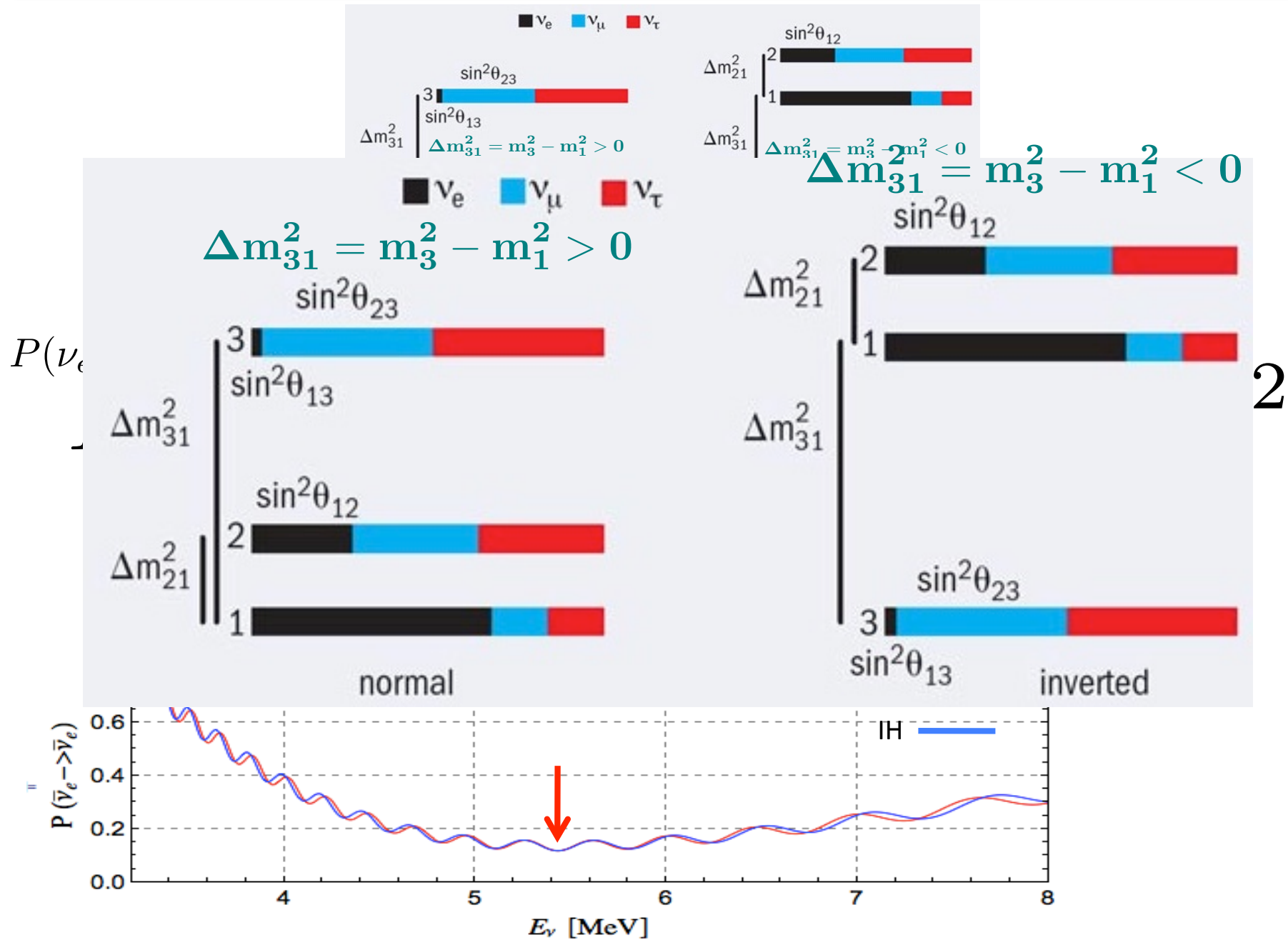
Outline

- イントロ：質量階層性と原子炉実験の関連
- 質量階層性決定への実験感度
- エネルギー分解能の影響
- 干渉効果
- 階層性決定へのスケジュール

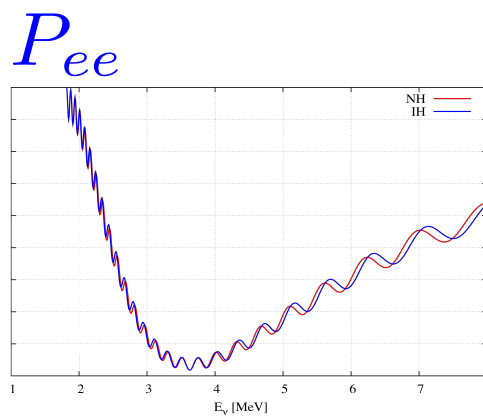
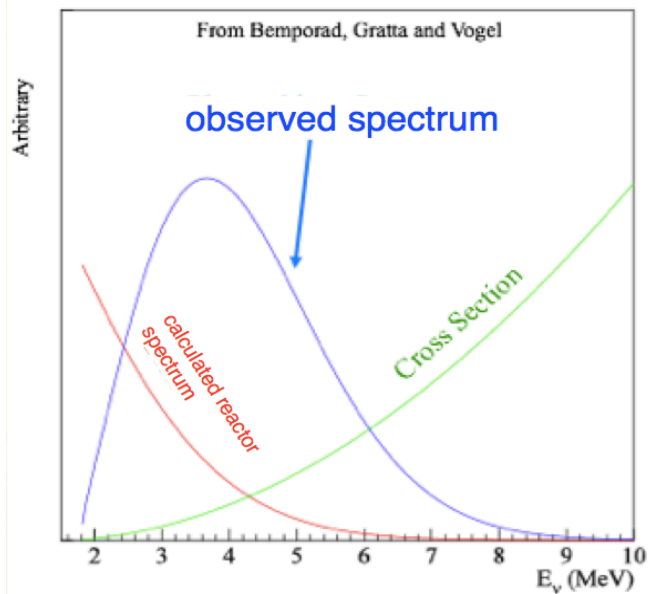
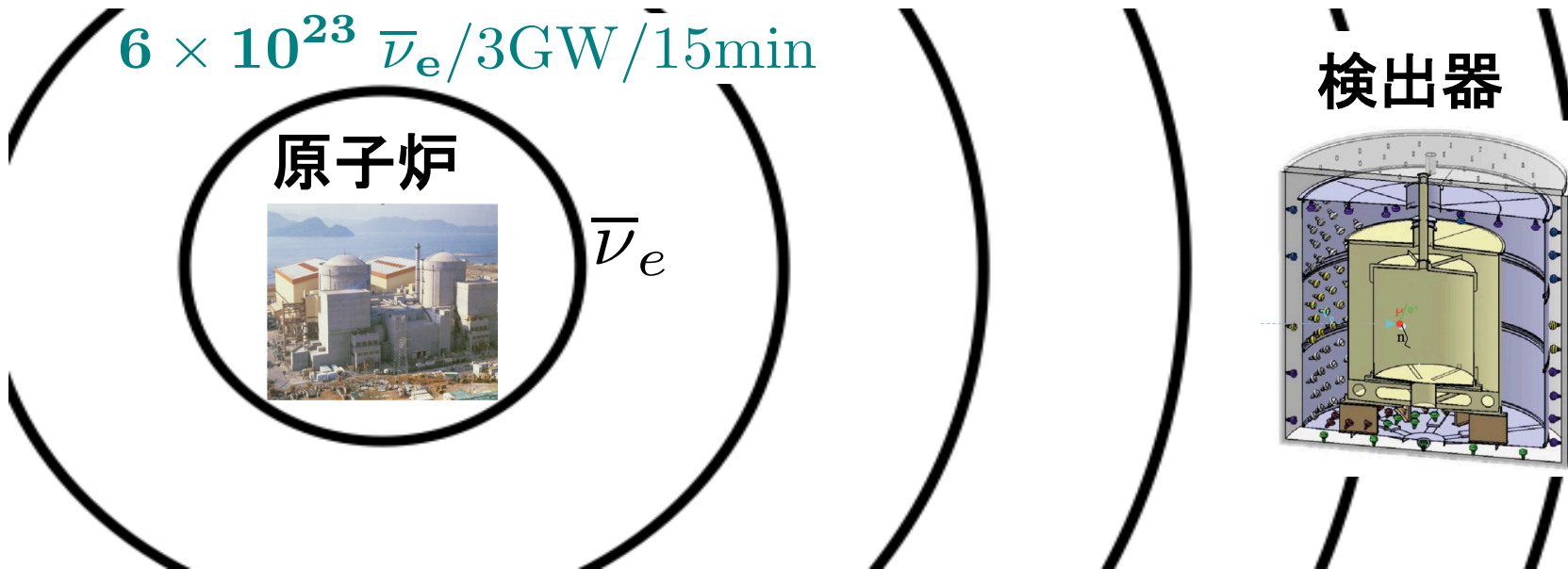
- おまけ

イントロ

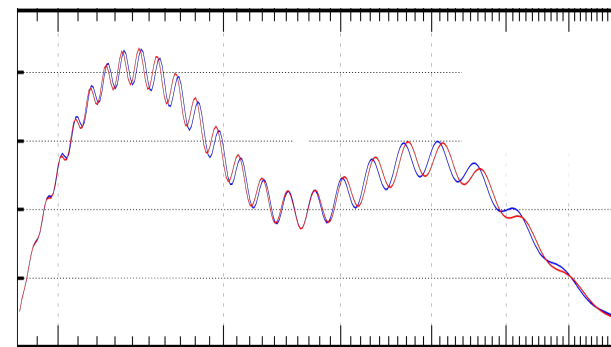
質量階層性



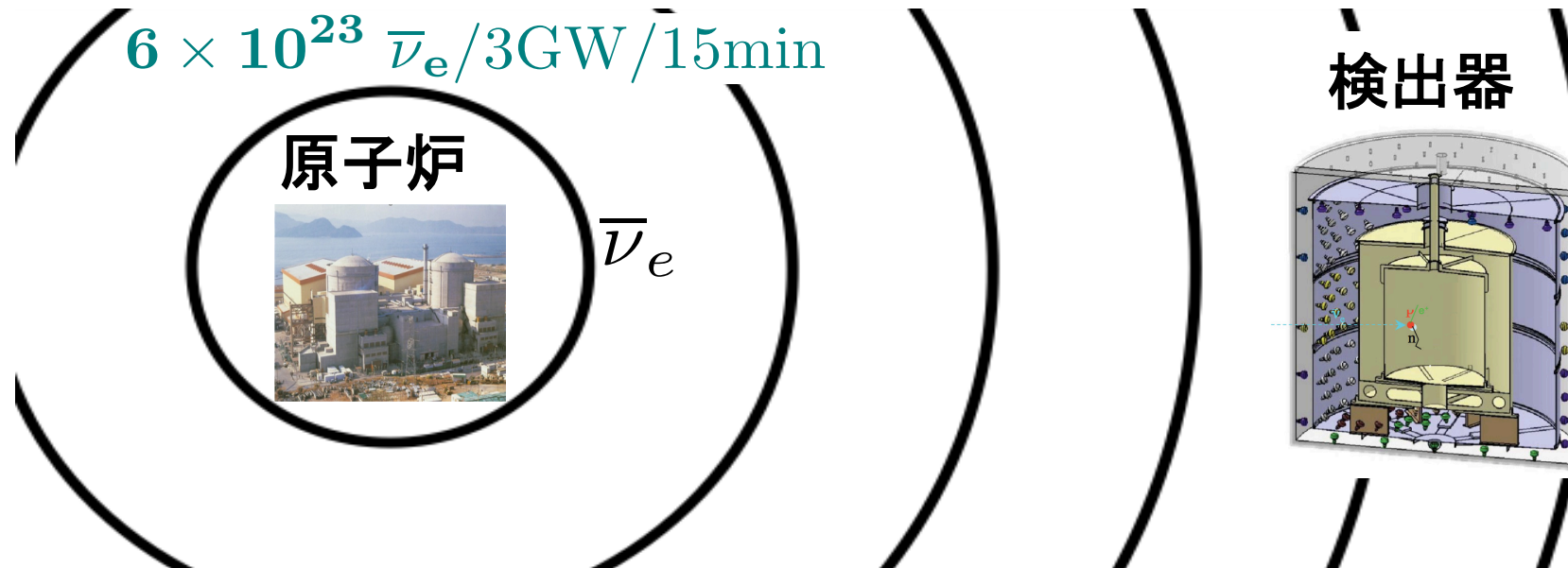
原子炉反ニュートリノ実験



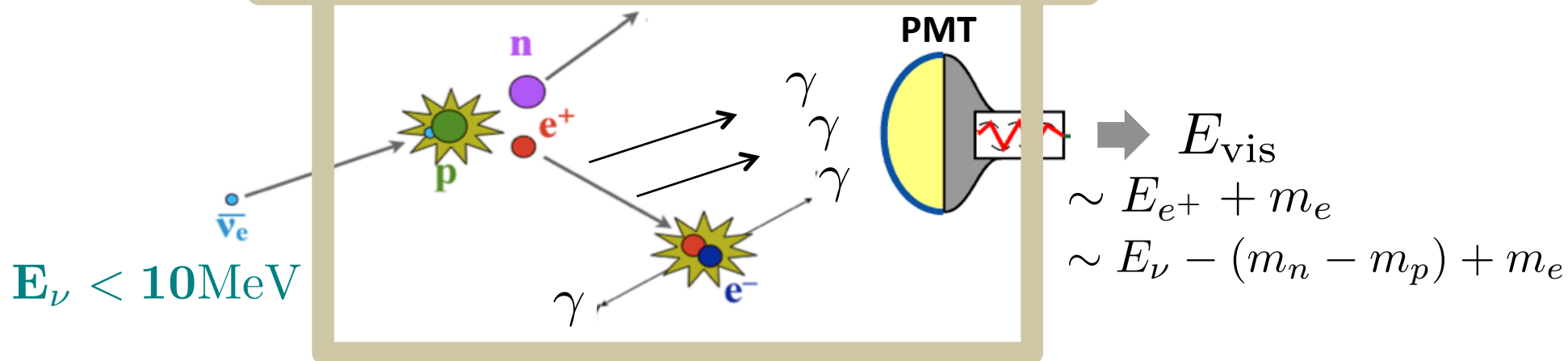
$\bar{\nu}_e$ @ 検出器



原子炉反ニュートリノ実験

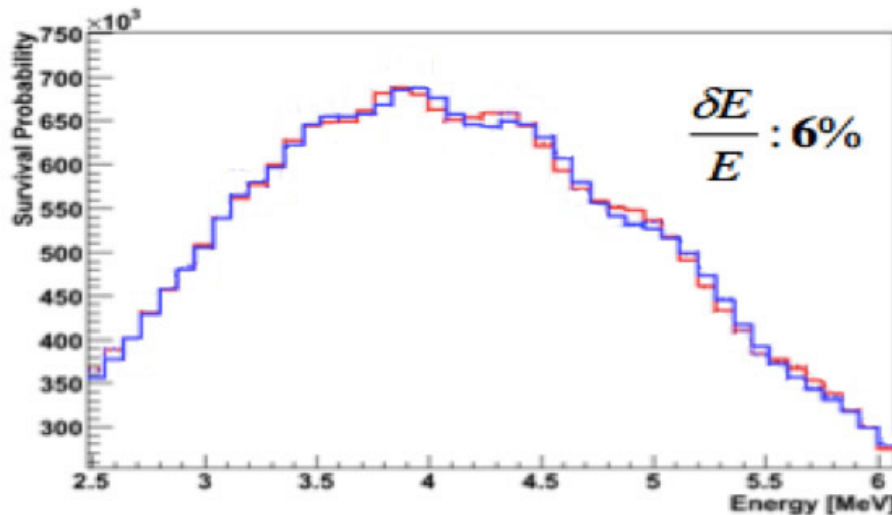
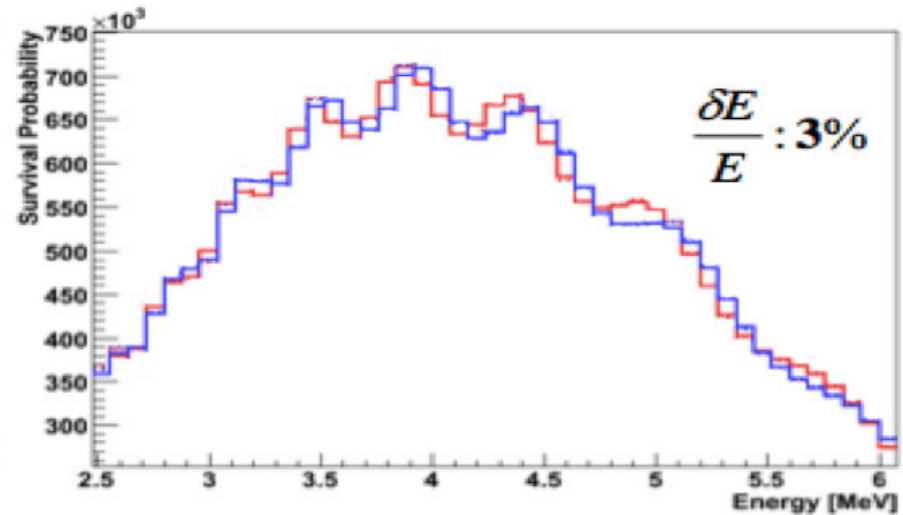
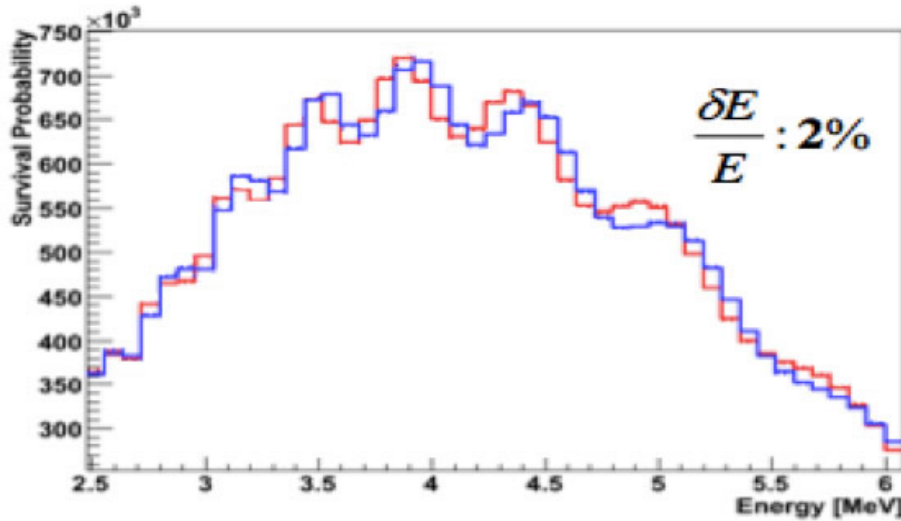


検出器内部 (Inverse Beta Decay)



$\bar{\nu}_e$ エネルギー分布

$$\frac{dN}{dE_{\text{vis}}^{\text{obs}}} = \frac{N_p T}{4\pi L^2} \int_{E_{\text{thr}}}^{\infty} dE_{\nu} \phi(E_{\nu}) P_{ee}(E_{\nu}, L, \text{MH}, \dots) \sigma_{\text{IBD}}(E_{\nu}) G(E_{\text{vis}} - E_{\text{vis}}^{\text{obs}}, \delta E_{\text{vis}})$$



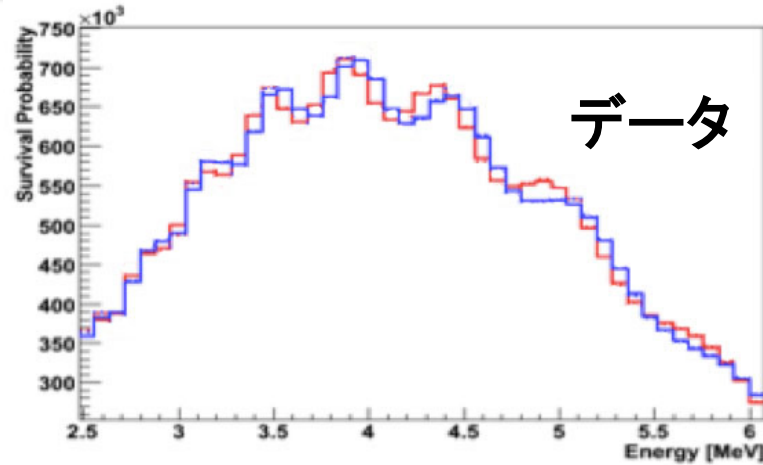
$$\frac{\delta E}{E} = \frac{a\%}{\sqrt{E}}$$

NH ——— (red line)
IH ——— (blue line)

実験感度

解析手法

χ^2 fit



$$\chi^2(\text{NH/IH}) = \sum_{i=1}^{\text{nbin}} \left(\frac{N_i^{\text{fit}}(\text{NH/IH}) - N_i^{\text{data}}}{\sqrt{N_i^{\text{data}}}} \right)^2 + \sum_{i=1}^{\text{nparam}} \left(\frac{Y_i - Y_i^{\text{input}}}{\delta Y_i} \right)^2$$

フィット関数

$$\frac{dN}{dE_{\text{vis}}^{\text{obs}}} = \frac{N_p T}{4\pi L^2} \int_{E_{\text{thr}}}^{\infty} dE_{\nu} \phi(E_{\nu}) P_{ee}(E_{\nu}, L, \text{MH}, \dots) \times \sigma_{\text{IBD}}(E_{\nu}) G(E_{\text{vis}} - E_{\text{vis}}^{\text{obs}}, \delta E_{\text{vis}})$$

パラメーター

Y	$\sin^2 2\theta_{12}$	$\sin^2 2\theta_{13}$	$\Delta m_{21}^2 \text{ eV}^2$	$ \Delta m_{31}^2 \text{ eV}^2$	f_{sys}
Y^{input}	0.857	0.089	7.50×10^{-5}	2.32×10^{-3}	1
δY	0.024	0.005	0.20×10^{-5}	0.1×10^{-3}	0.03

MH (質量階層性) = NH/IH

解析手法

$$(\Delta\chi^2)_{\min} = \chi_{\min}^2(\text{IH}) - \chi_{\min}^2(\text{NH})$$

NH が真: $(\Delta\chi^2)_{\min}$ は **正值** を取りやすい

IH が真: $(\Delta\chi^2)_{\min}$ は **負値** を取りやすい

$(\Delta\chi^2)_{\min} > 0 \implies$ IH を棄却

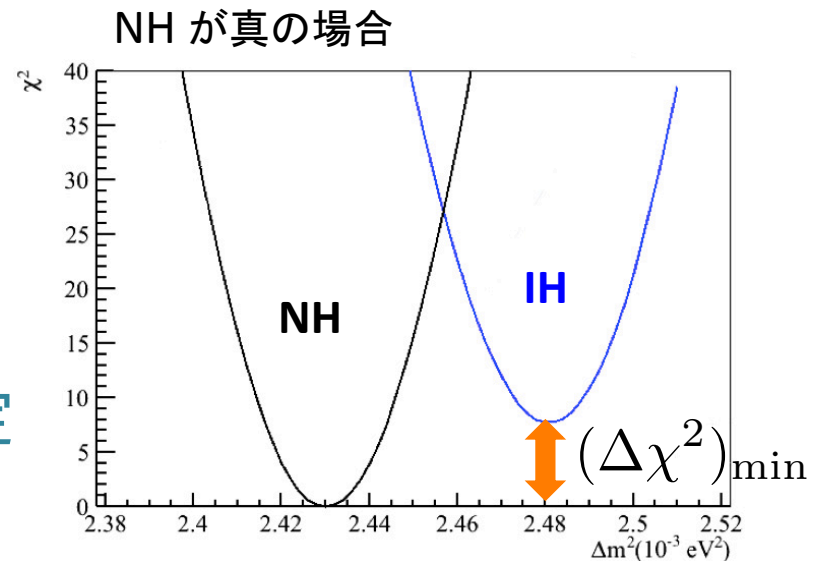
$(\Delta\chi^2)_{\min} < 0 \implies$ NH を棄却

棄却されない方の階層性が実験結果をよく記述している場合 ($\Delta\chi_{\min}^2 \sim 1$)

$\implies \Delta\chi_{\min}^2$ の有意性で**階層性の決定**

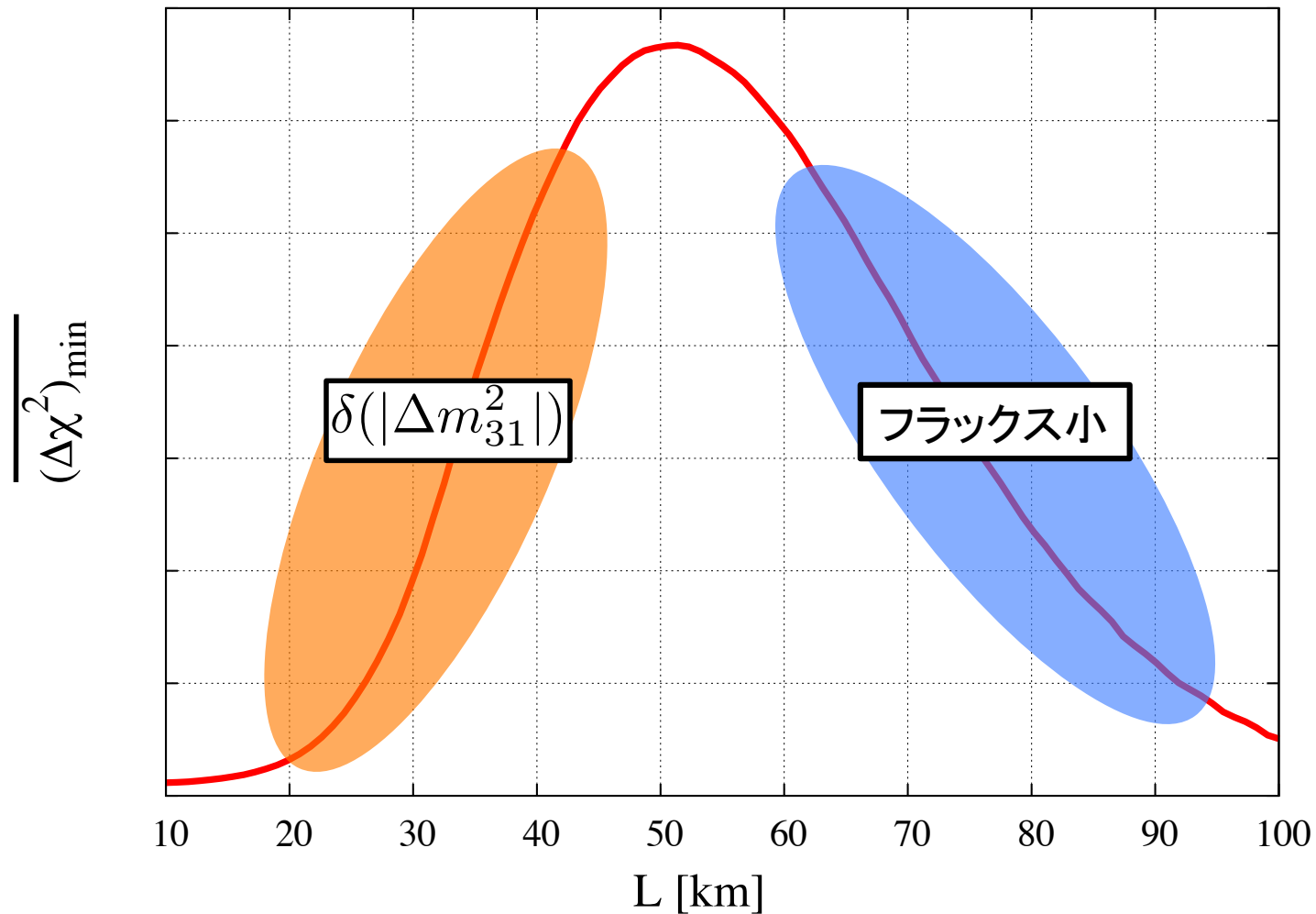
棄却されない方の階層性が実験結果をよく記述しない場合 ($\Delta\chi_{\min}^2 \gg 1$)

\implies **実験のミス? or New Physics?**

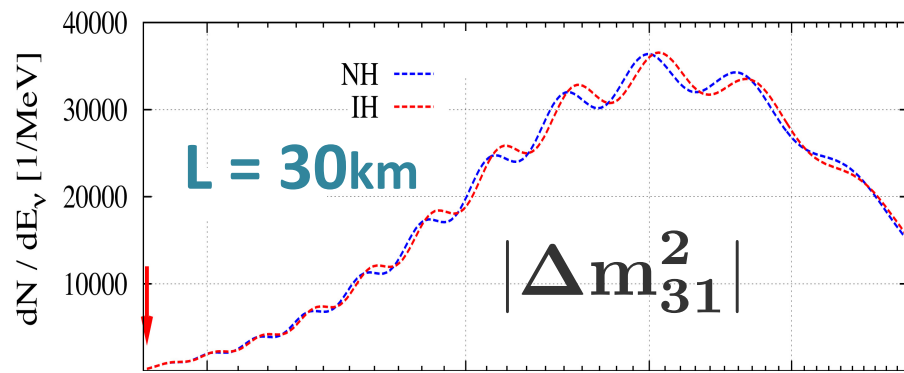


質量階層性への感度

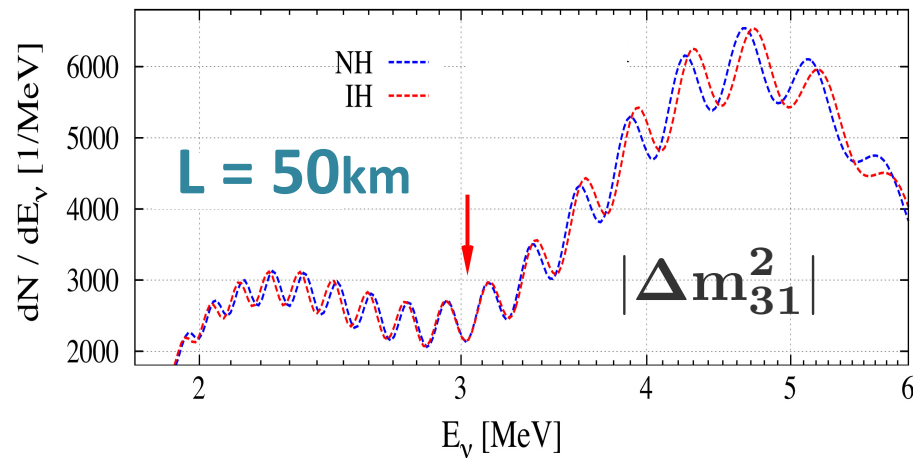
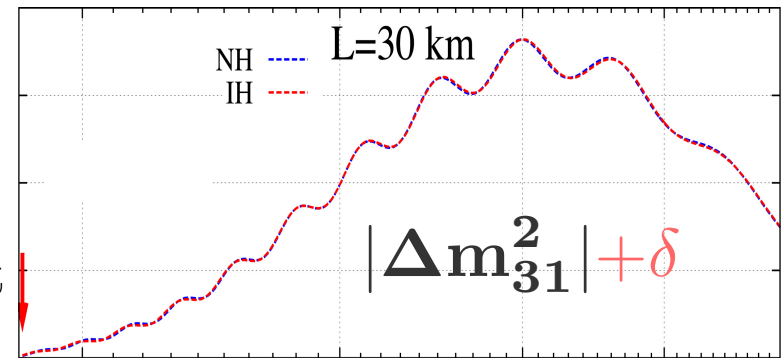
原子炉実験における典型的な 感度—基線長 曲線



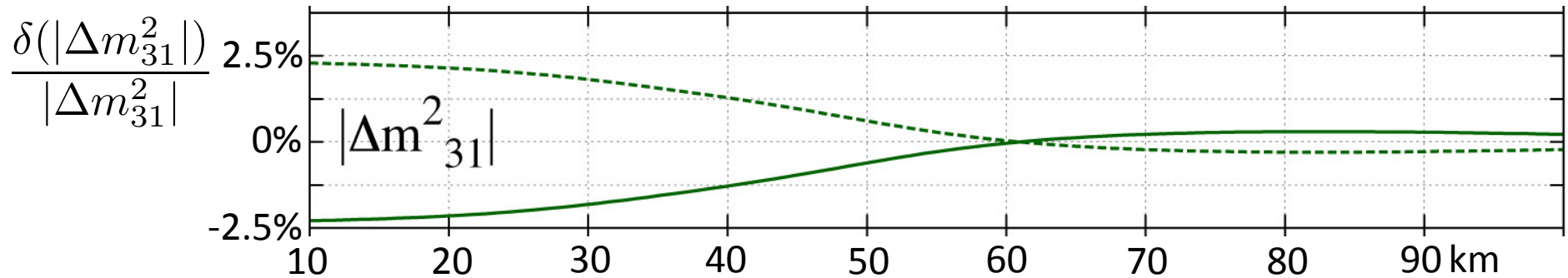
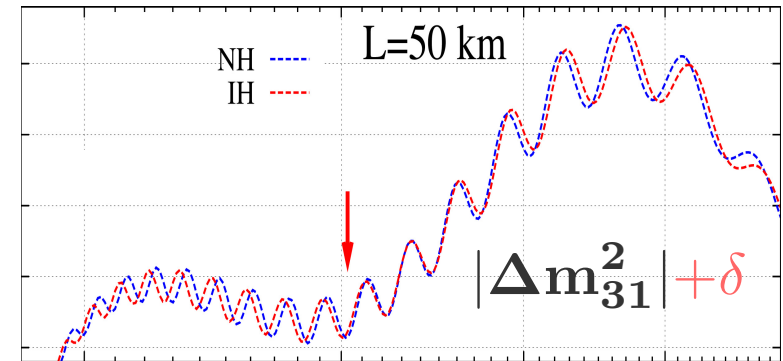
$\delta(|\Delta m_{31}^2|)$ の感度への影響



χ^2 fit

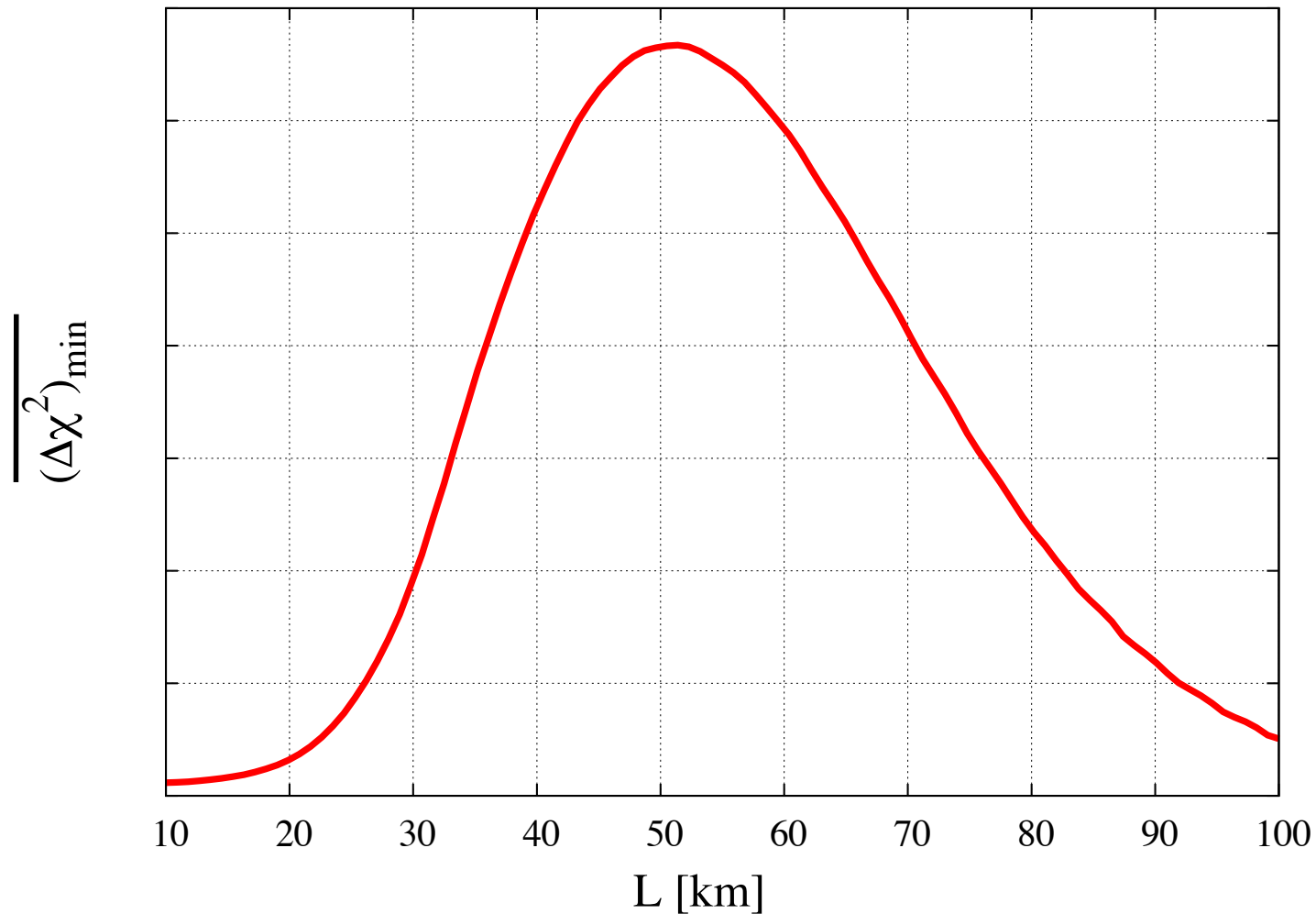


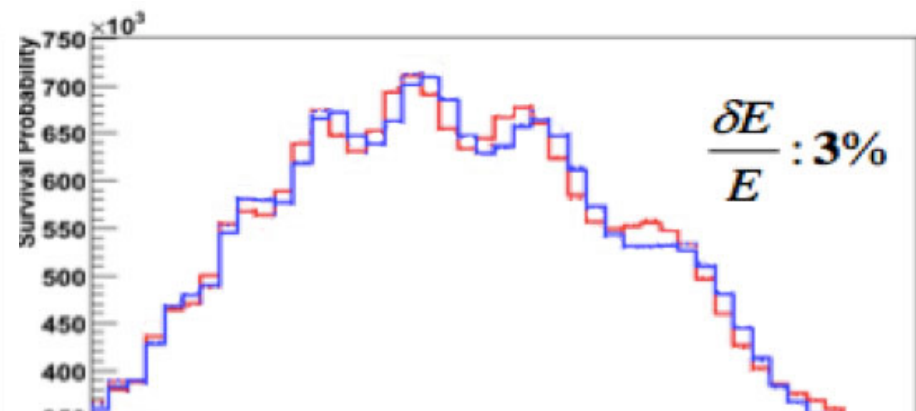
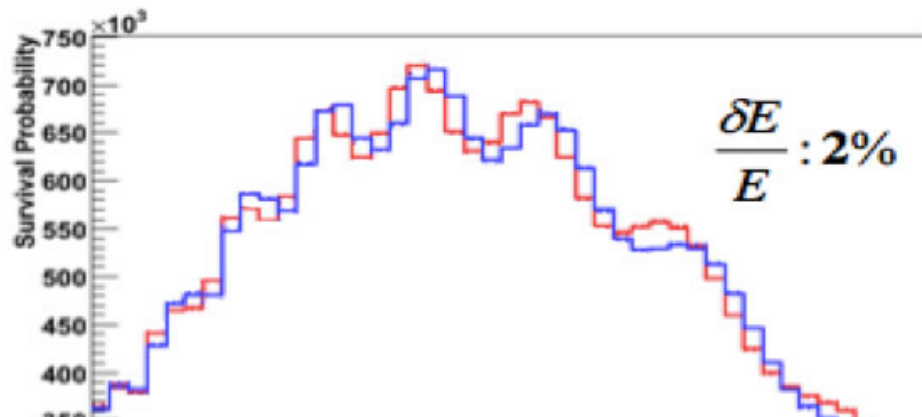
χ^2 fit



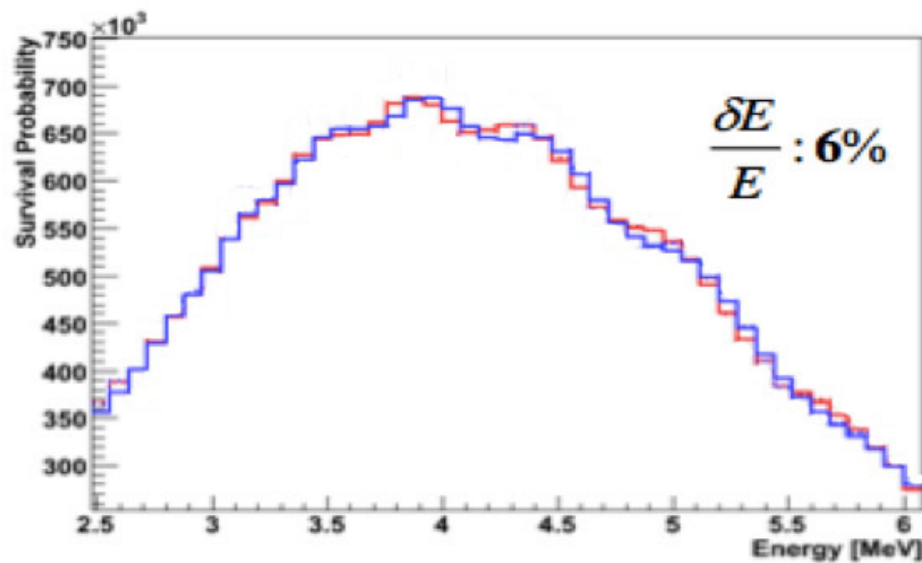
質量階層性への感度

原子炉実験における典型的な 感度—基線長 曲線





エネルギー分解能の影響

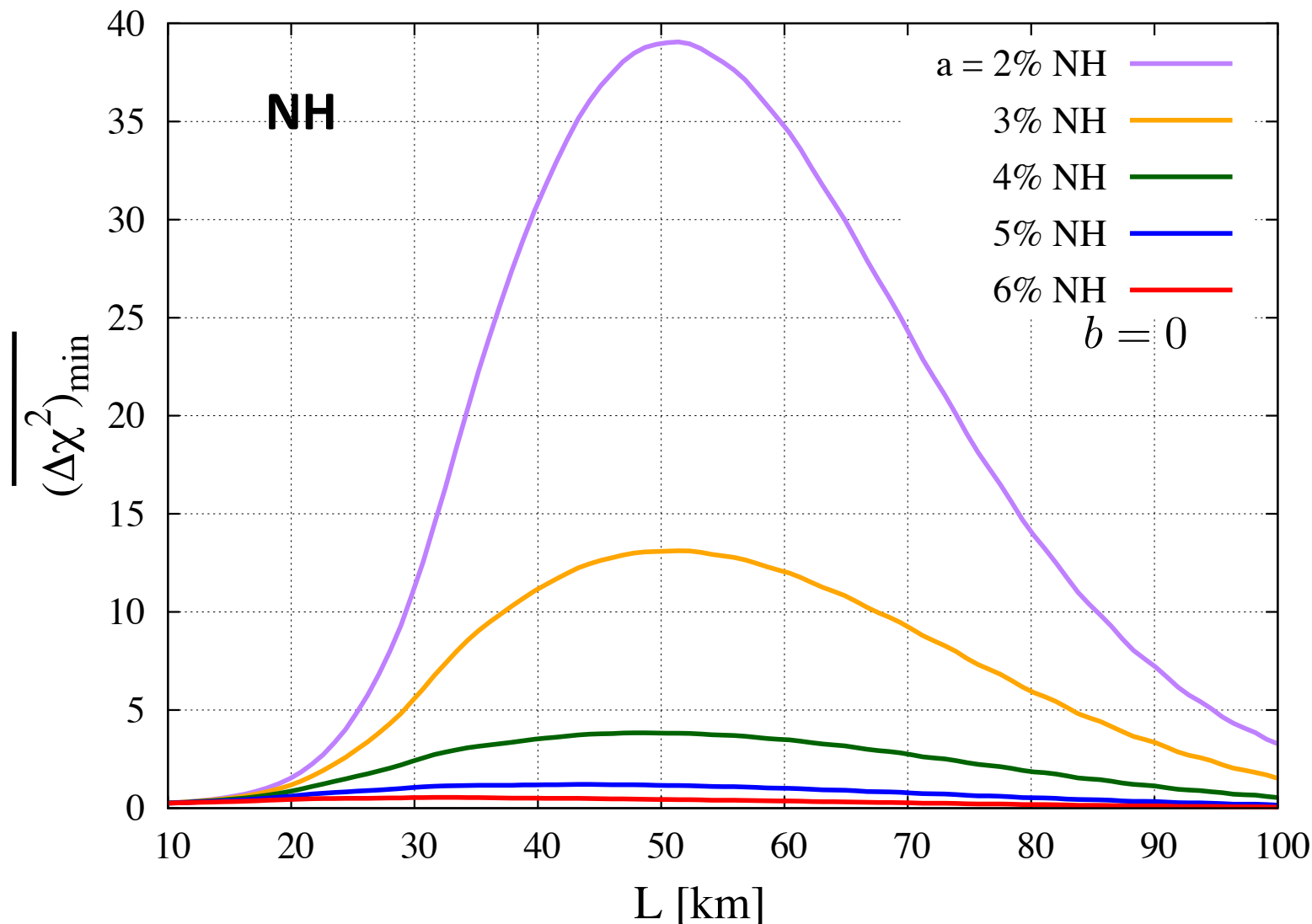


$$\frac{\delta E}{E} = \frac{a\%}{\sqrt{E}}$$

エネルギー分解能の影響 1

18kton 16.5GW 5yrs

$$\frac{\delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{a}{\sqrt{E/\text{MeV}}}\right)^2 + b^2}$$

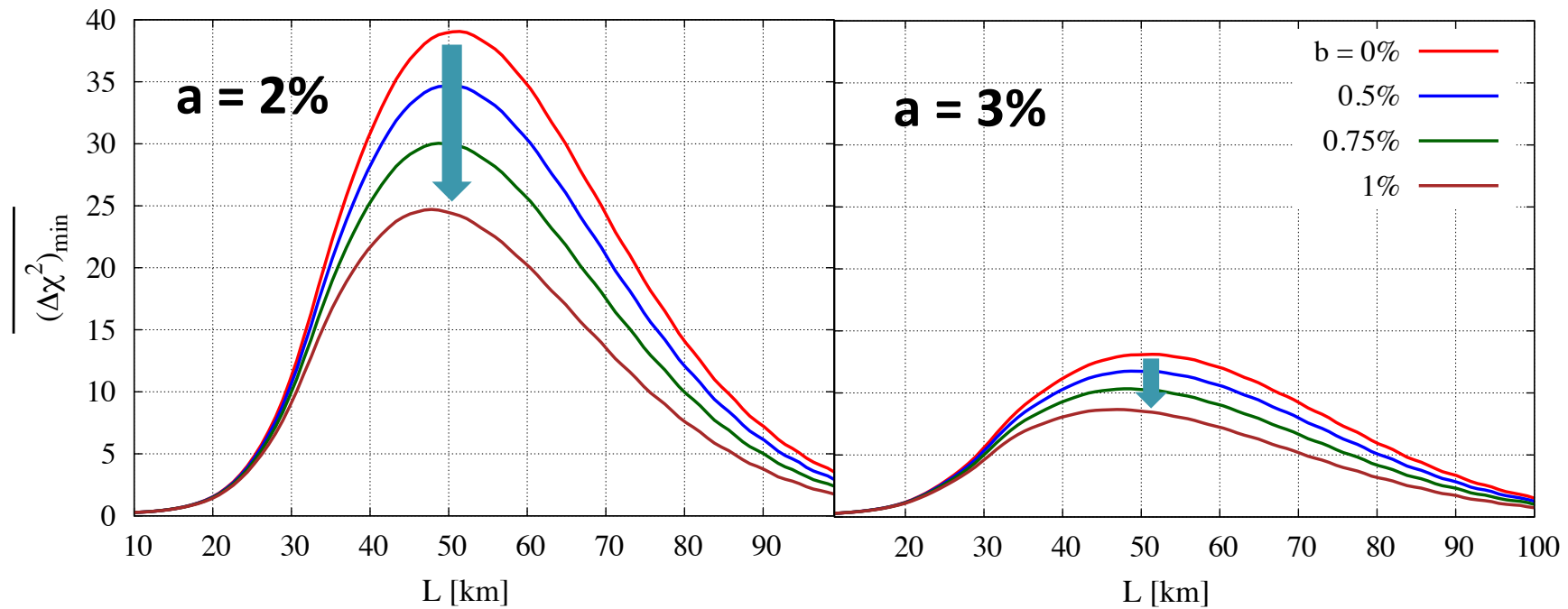


エネルギー分解能の影響 2

$$\frac{\delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{a}{\sqrt{E}}\right)^2 + b^2} \quad \text{現在の値}$$

$b \simeq 1\%$

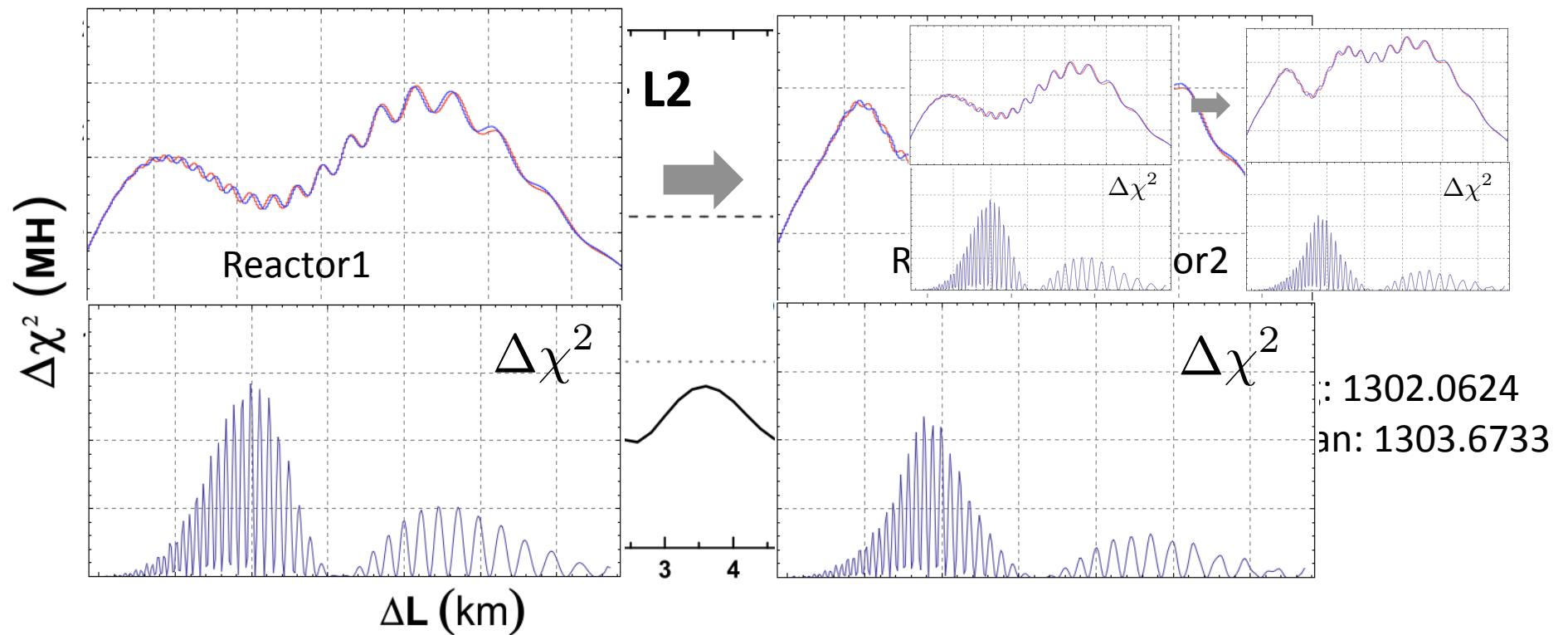
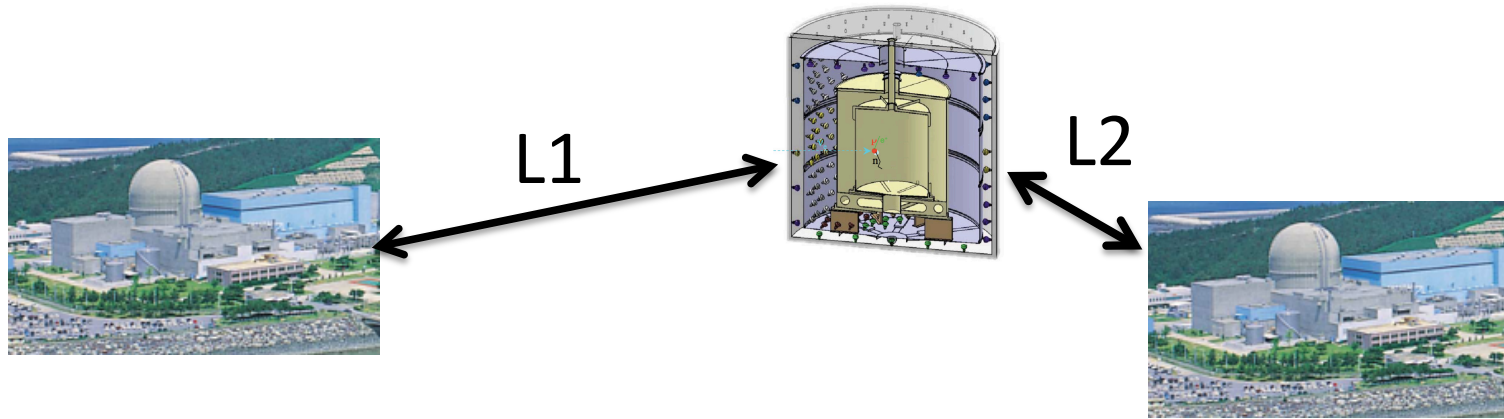
18kton 16.5GW 5yrs



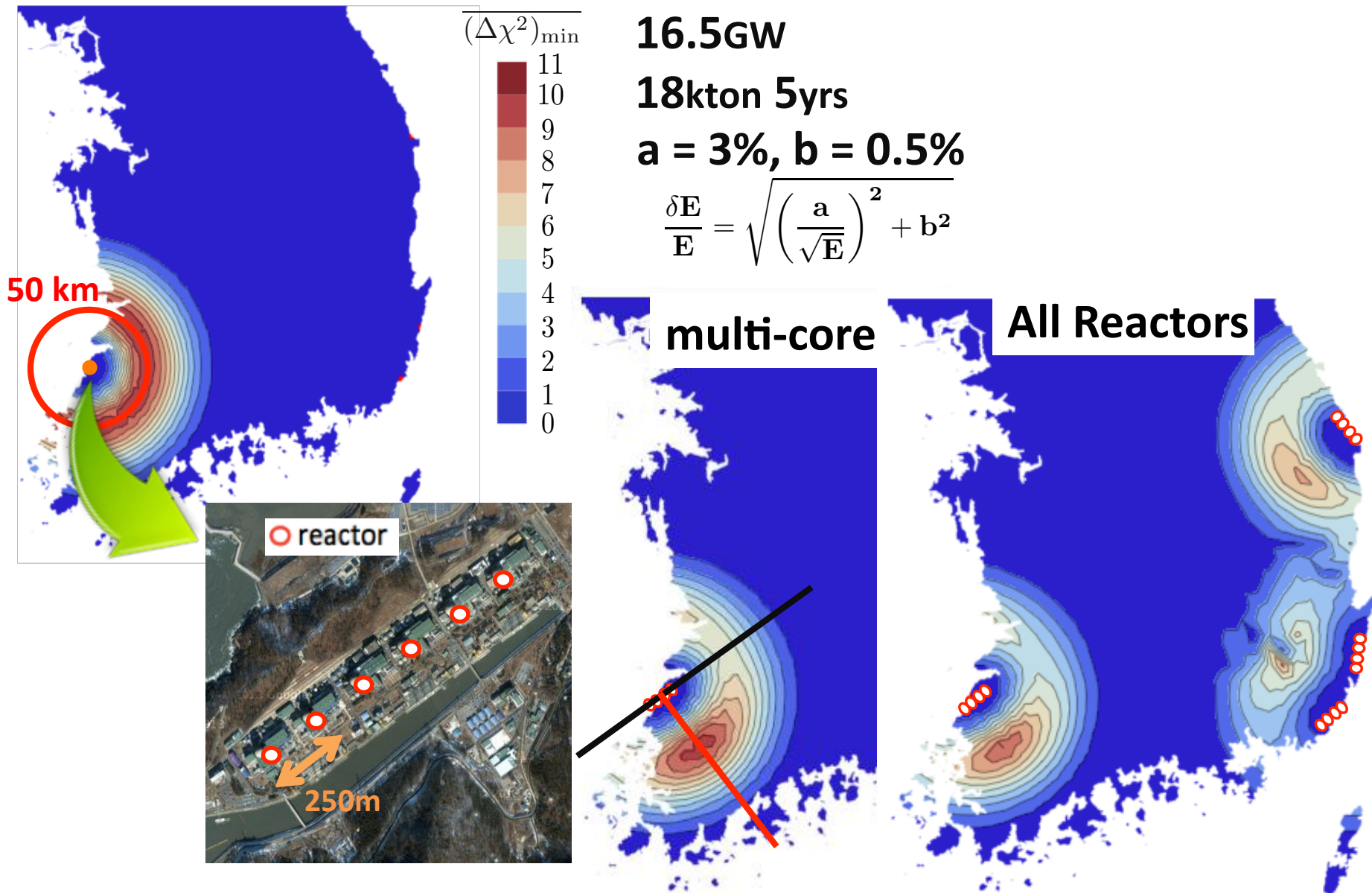
$b = 0 \rightarrow b = 1\% \rightarrow$ 感度 40% ↓

干涉效果

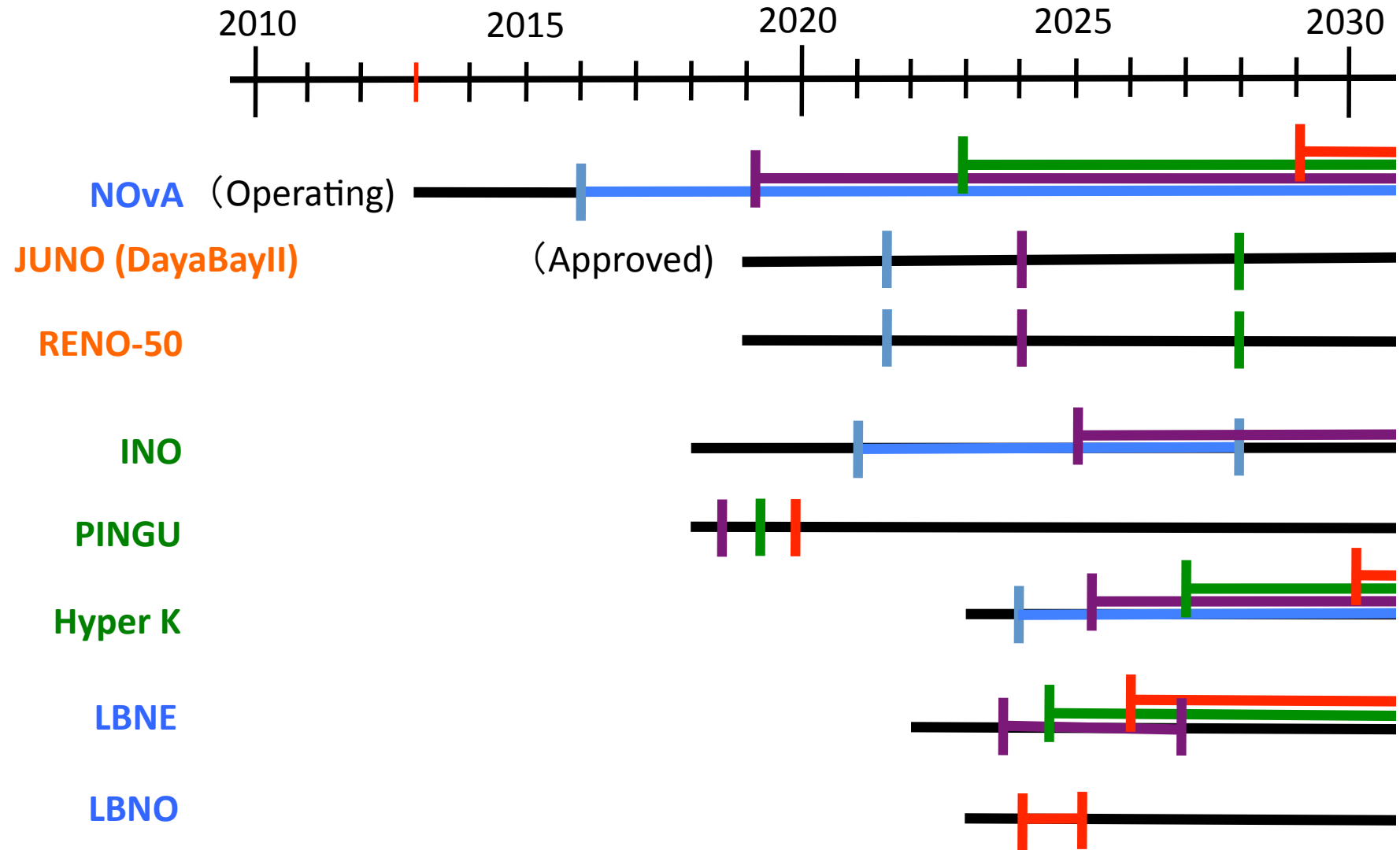
原子炉間の干渉効果



原子炉間の干渉効果 (感度地図)



質量階層性決定へのスケジュール

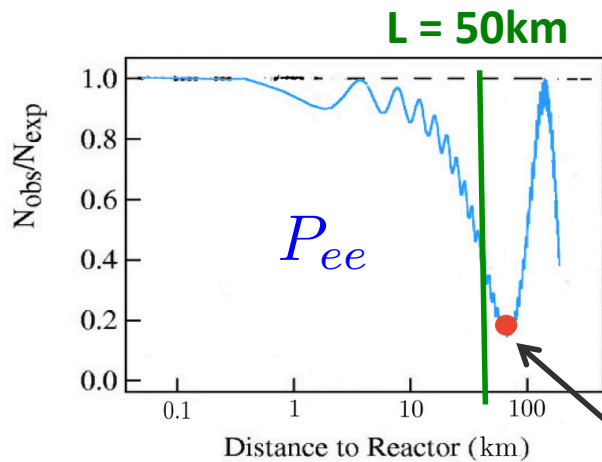


* rough estimate

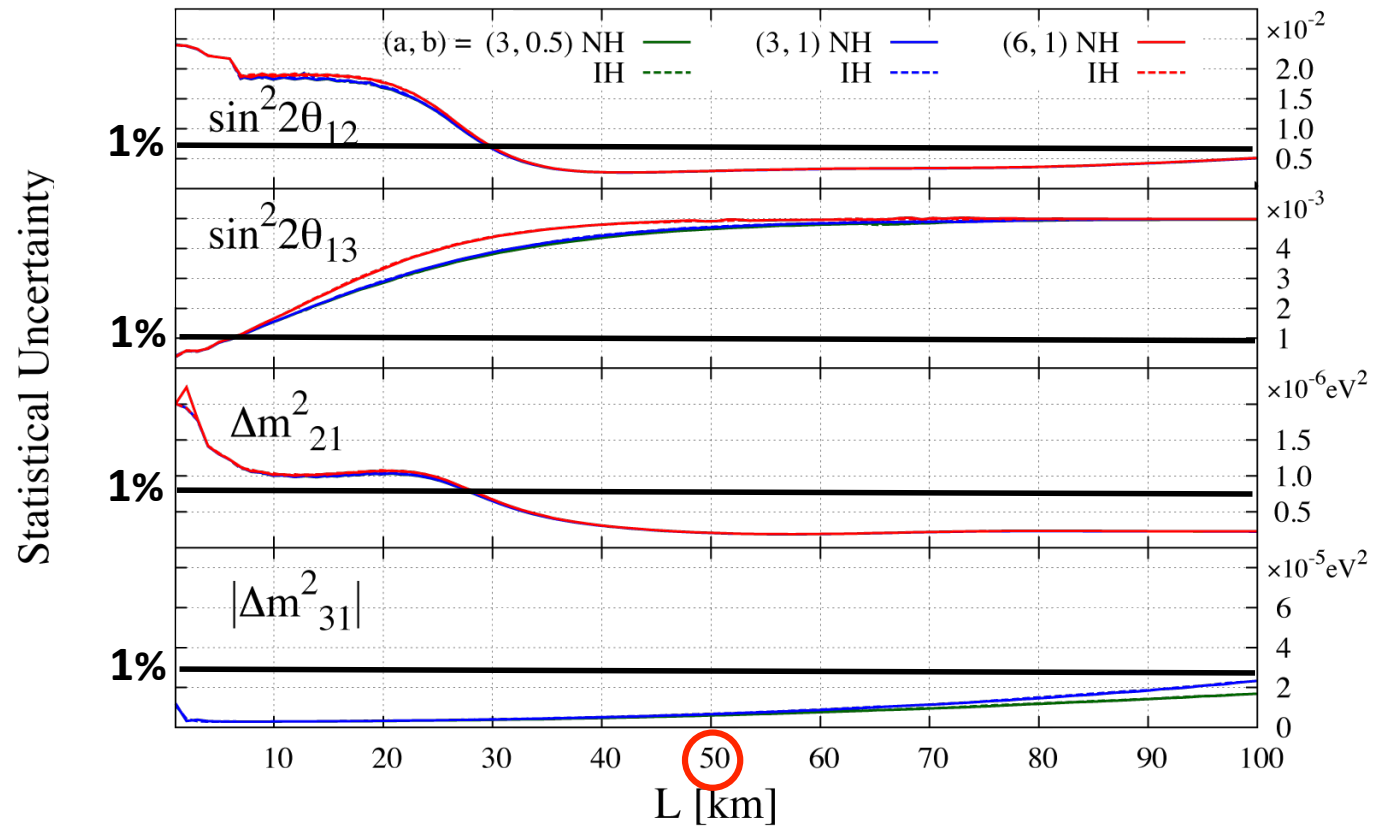
2 sigma 3 sigma 4 sigma 5 sigma

パラメータ測定

パラメータ測定



θ_{12} Oscillation Max.



* エネルギースケールの不定性は入れてない

$\sin^2 2\theta_{12}, \Delta m^2_{21}, |\Delta m^2_{31}|$ を精密に測定可能 @ $L \sim 50 \text{ km}$

< 1% 精度

まとめ

次世代原子炉反ニュートリノ実験での質量階層性決定について議論した

5年以内での3シグマの階層性の決定には

$a < 3\%$
 $b < 0.5\%$ } のエネルギー分解能が必要 (16.5GW 18kton)

検出器の最適な位置は原子炉間の干渉効果を考慮すると、ほぼ決まる

* 実際の実験ではエネルギースケールの不定性も重要なファクターとなりうる

arXiv: 0901.2976, 1208.1551, 1308.0591