

XMASS

森山茂栄

2017/1/27

darkon_2017

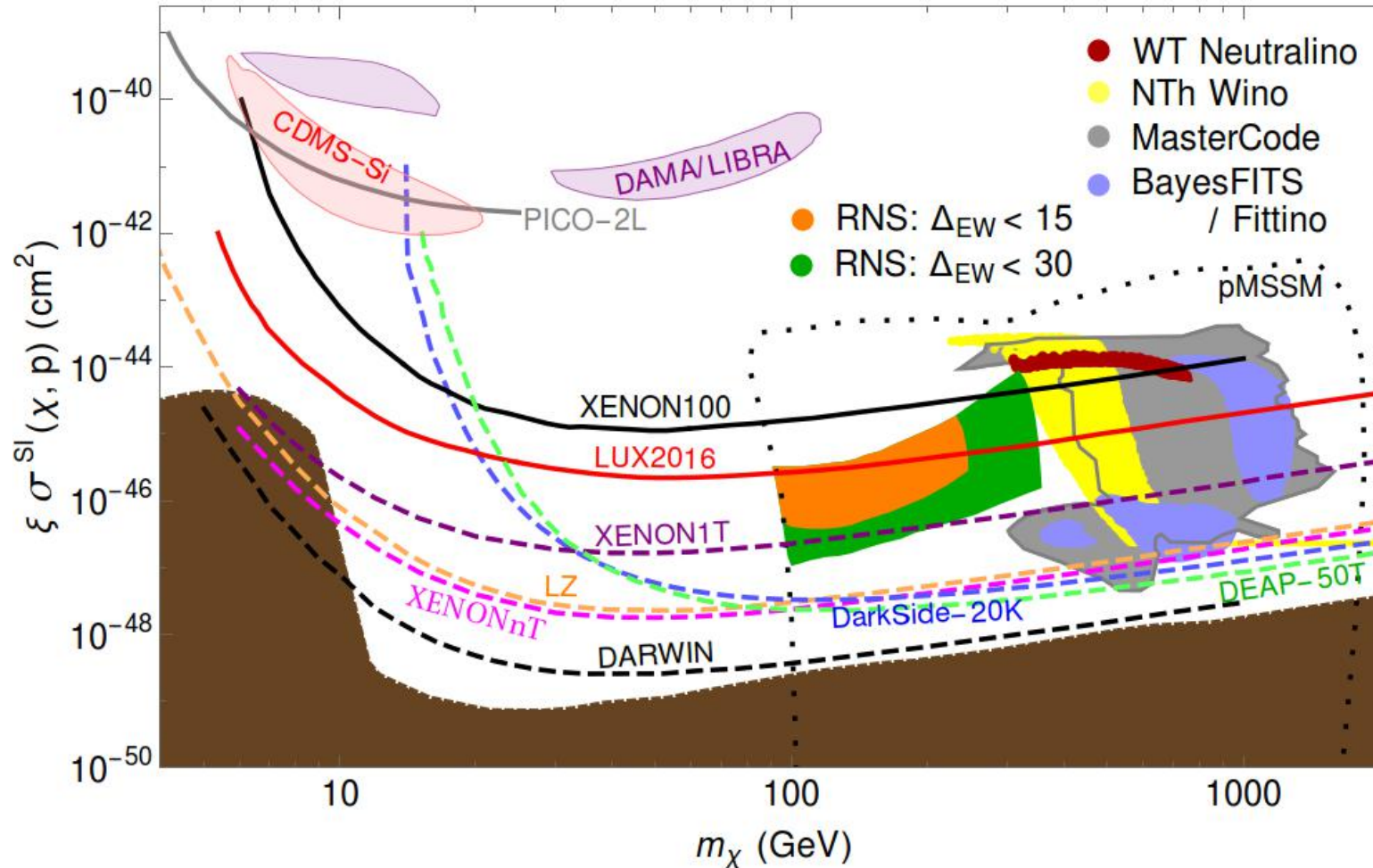
何を狙うか：私見

- Heavy WIMPs
 - 直接探索で見つからない、LHCでも見えない。
 - 現状見えないこと自体は十分ありうる。
 - 着実に遂行してたい一方、多様性も重要。
- Light WIMPs
 - DAMAをきっかけに探索が始まった。ある意味ほかに探すところとしてもっとも手近。
 - Electron scatteringでの探索法など、多数提案あり。
- Non WIMPs
 - axion, axion like particle, hidden photonなど広範囲

Heavy WIMPsの感度を着実に向上し、light WIMPsやALP, hidden photonなど広く探索する戦略が必須。

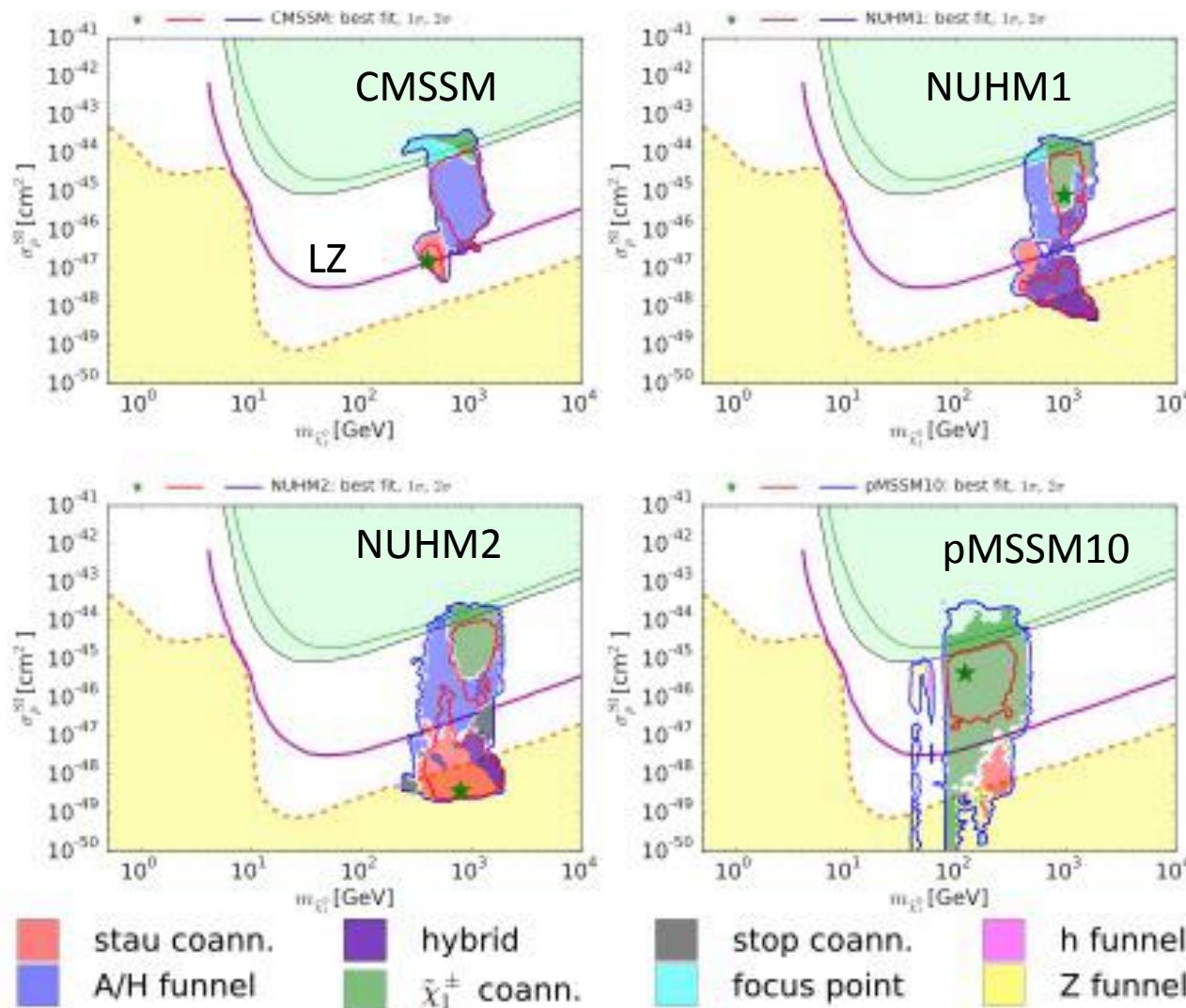
最近よく見る図：下が切れてる

arXiv:1609.06735v3 [hep-ph] 29 Nov 2016



from their plots). These projections overlap since we present both groups expectations for the case of the CMSSM model. The Fittino preferred regions largely overlap with the results from

制限をきつくしなければこれ



E.A.Bagnaschi
et al.,
1508.01173
*Supersymmetric
Dark Matter
after LHC Run 1*

Although we have no strong hints at this point, we must keep seeking/thinking beyond the Standard Model!



picture from <http://www.vecteezy.com>

Don't give up, we don't know how near we are with new physics!

技術としては

- 様々な技術を探るのは面白い
- 独自性があり将来が楽しみ
- やっている時はワクワクする
- 実際に始めるとだいぶ違う
- それでもとことんやってゆく。

両方が必要で両方にまたがると良いか

運転中の実験の人 → 開発実験
開発実験の人 → 運転中の実験

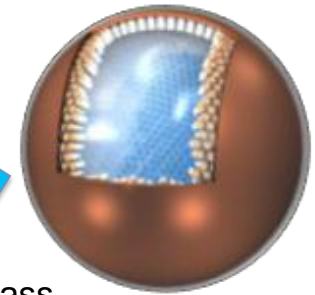
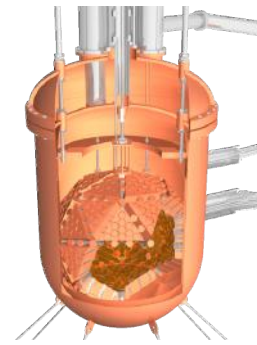
それも、長期的視野にたった熟慮も必要。

XMASS-1.5 ($^{124-136}\text{Xe}$)

- Single phase liquid xenon detectors
- XMASS-1.5: 6 ton of LXe and 3 ton of fiducial mass
- Low background in electron channel as well.
- $2 \times 10^{-47} \text{cm}^2 @ 50 \text{GeV}$
- e-scatt. pp solar neutrino observation (not nuclear recoils) \Leftrightarrow background
- Next step: need particle identification method

XMASS-I

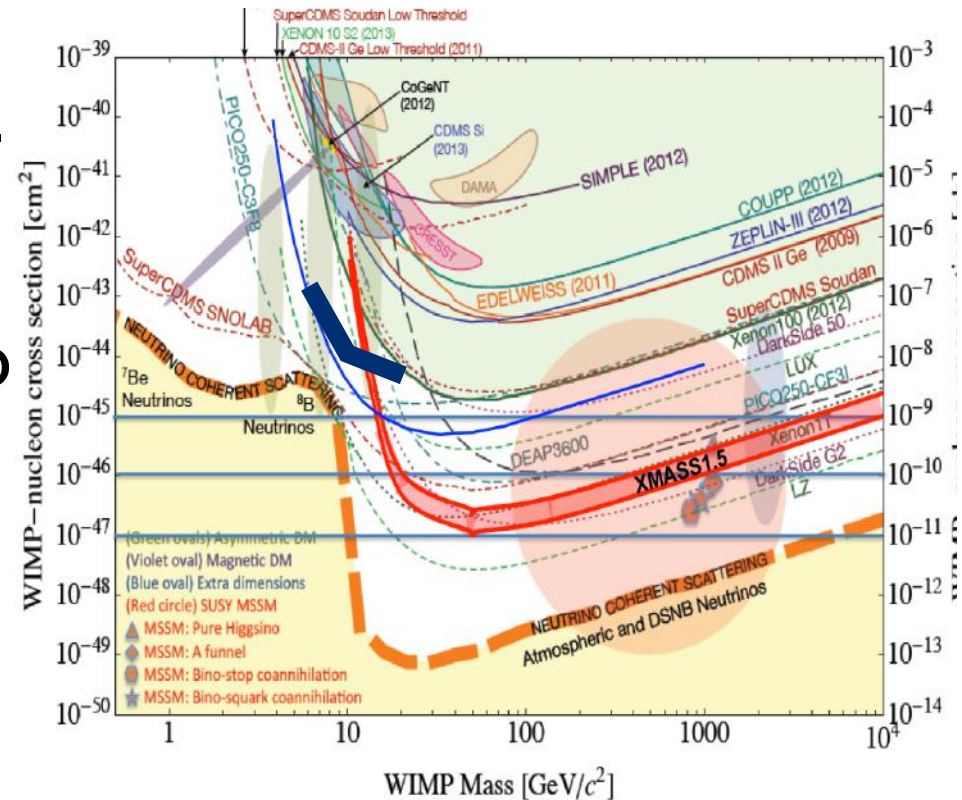
XMASS-1.5



x10 mass

Phase I: 0.1t fiducial mass (Total 835kg)

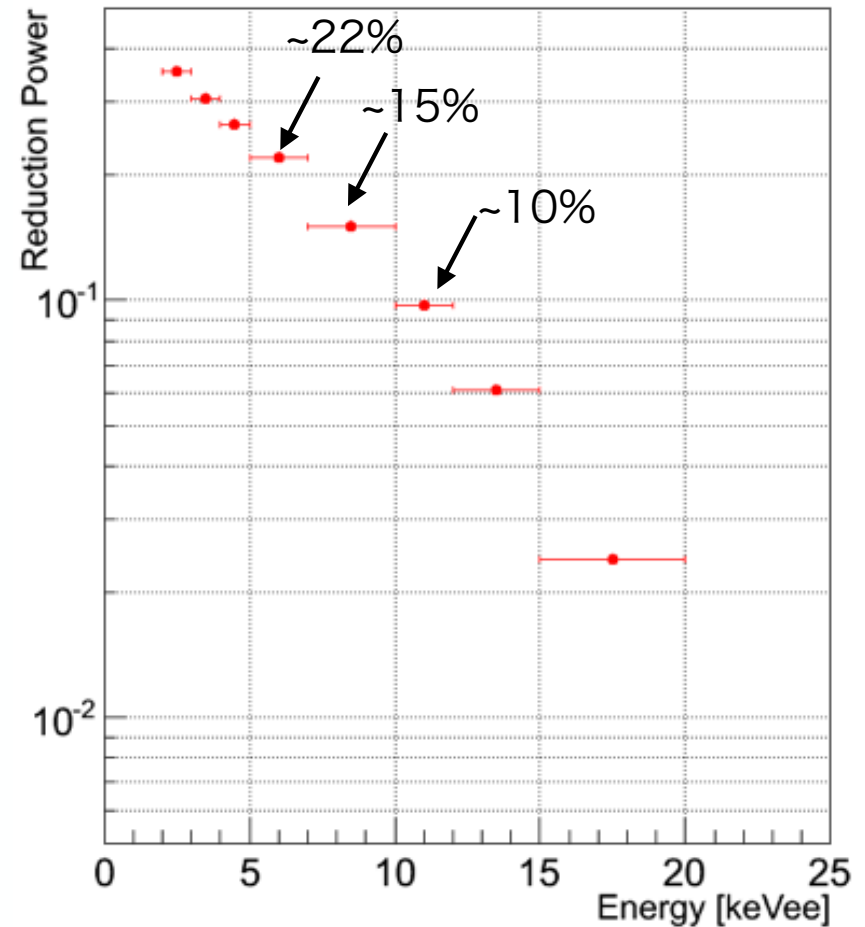
3t fiducial (total 6t)
 $\sim 10^{-47} \text{cm}^2$



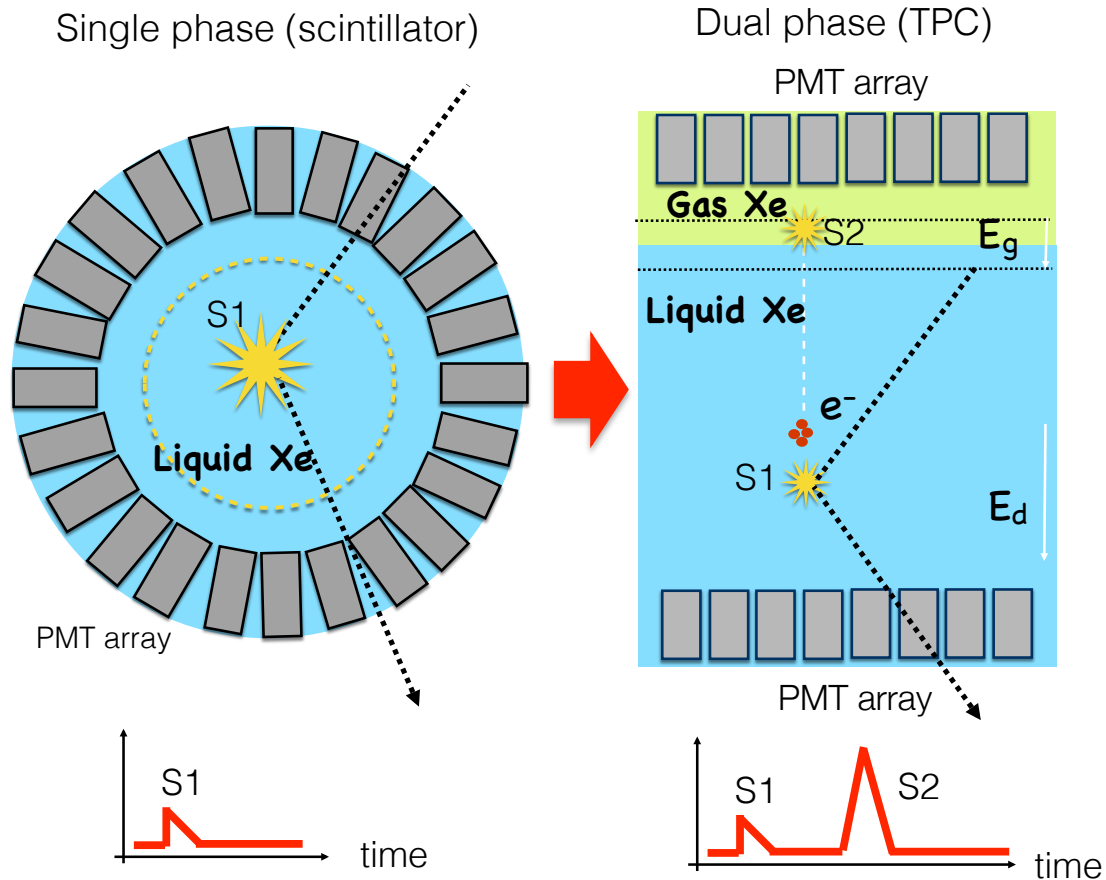
particle ID

- LXe: 波形弁別ができる
- ただし S/\sqrt{N} が良くならないと無駄。
- エネルギーが高いとより弁別能力は高いが、事象数は減る。
- これらをトータルに評価した場合、ほとんど効果が得られないのが現状。→ pp ν BGを超えられない。 $\sim 10^{-47} \text{cm}^2$

50% 原子核散乱 acceptanceでの
電子散乱の Reduction Power



XMASS future: applying merits of single phase detectors to dual phase detectors?

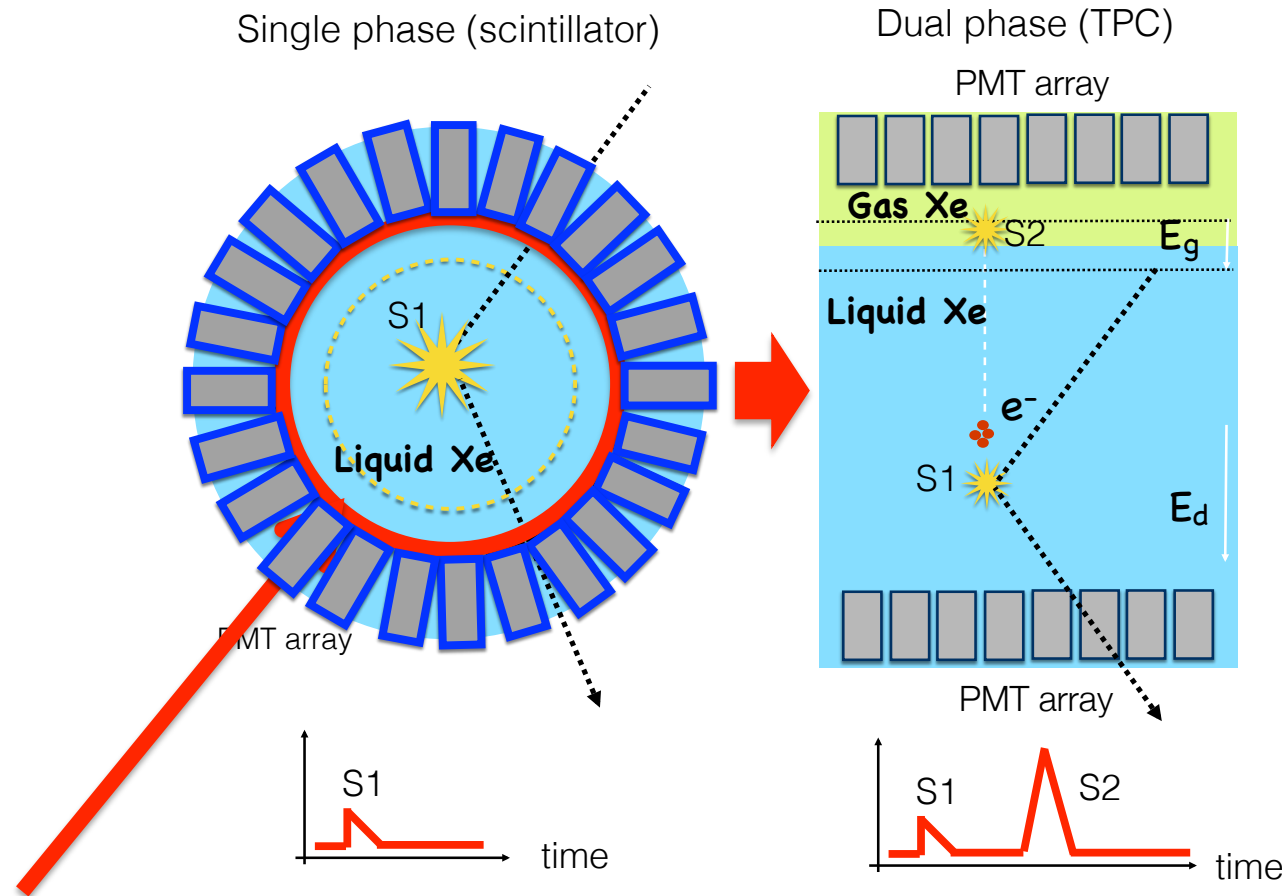


- Low Radon/Krypton background: separated target volume
- Improvements of light yield (discr. power): larger coverage by PMTs
- by-products: Light WIMPs search?

神岡グループの強み

- PMTの開発能力
- ラドンに対する徹底的な体制
- ダスト大嫌い
- 水
- キセノンの純化
- 綺麗なガドリニウム
- ○○○

XMASS future: applying merits of single phase detectors to dual phase detectors?

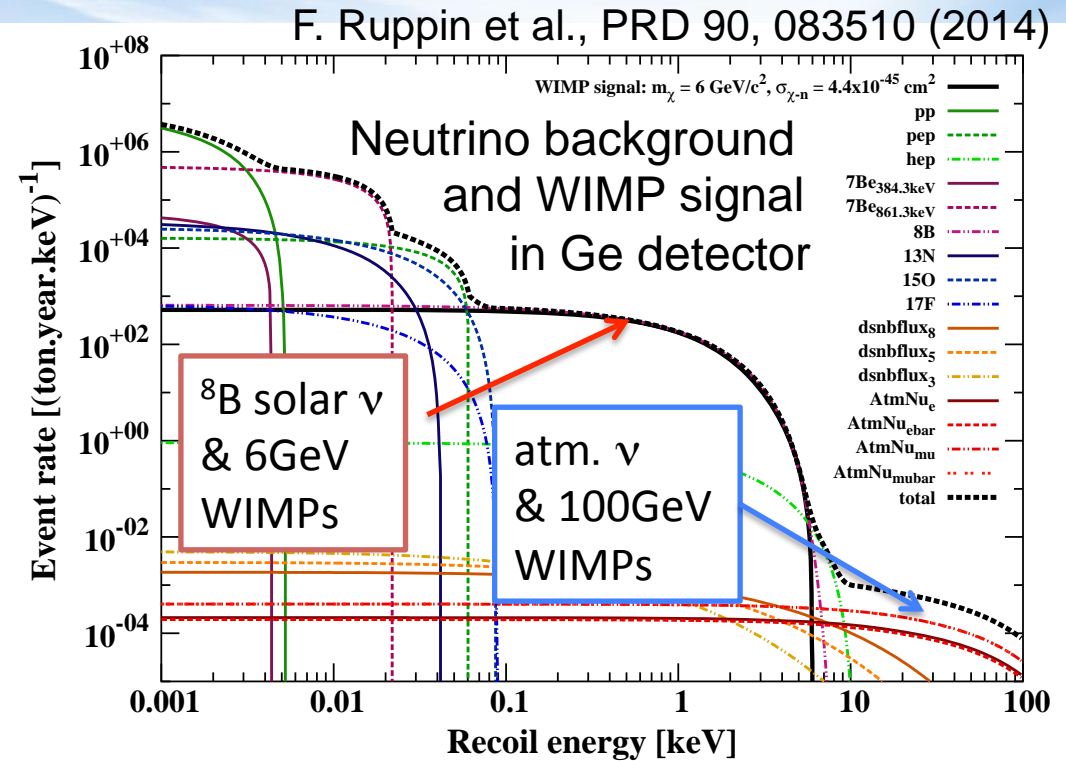
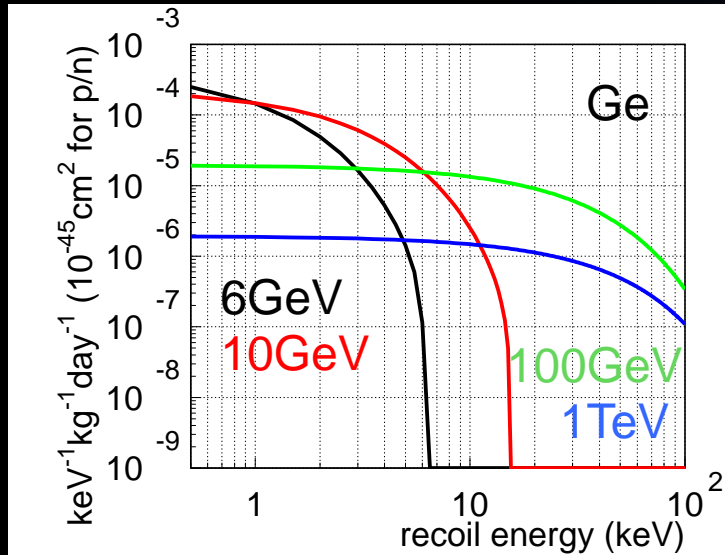


いつこの手の技術を選ぶかはこれから決める予定。

- Low Radon/Krypton background: separated target volume
- Improvements of light yield (discr. power): larger coverage by PMTs
- by-products: Light WIMPs search?

究極の検出器はどこに
10-20年後？

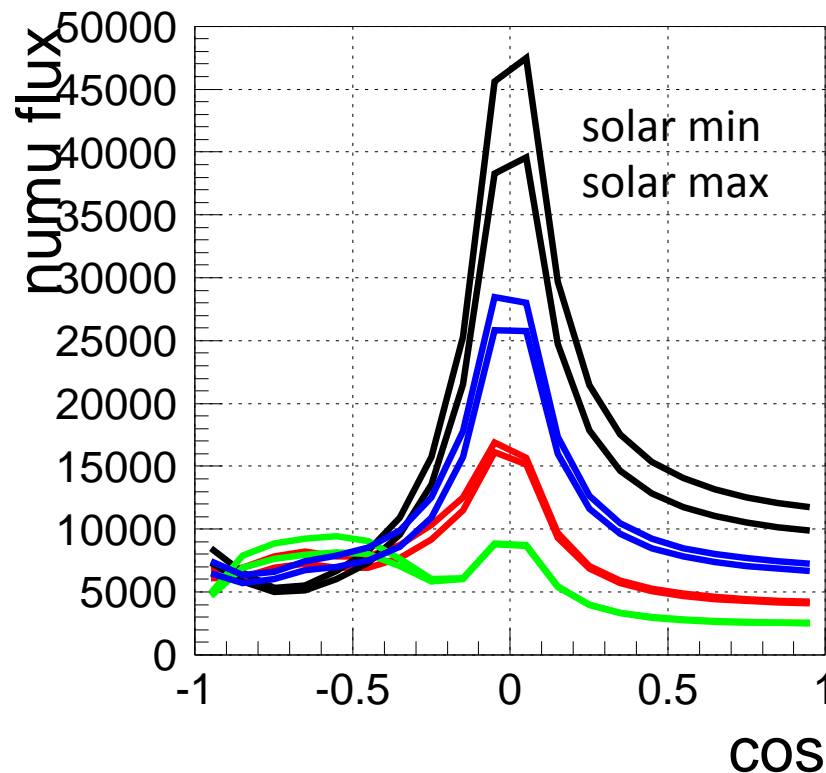
Larger detector: solar ν and atm. ν



- Coherent ν -nucleus scattering will be observed soon!
- High mass WIMPs $>10\text{GeV}$: atm. $\nu \sim 1\text{ev}/30 \text{ ton yr}$ ($>4\text{keV}$)
- Low mass WIMPs $<10\text{GeV}$: solar ${}^8\text{B} \nu \sim 1\text{ev}/1 \text{ kg yr}$ ($>3\text{eV}$)
- Directional information is useful if technology available.
- Precise determination of atm. ν flux $\ll 20\%$ important.
 - Precise study on CR flux, interactions, experimental site important!

大気 ν BG

1. 究極のBGは、少ないほうがいい。
 - さっぴいて評価したいから
2. 系統誤差も少なくあるべき。
 - fluxそのものの, solar modulationによる影響



100MeV neutrino flux
HKKM 2014

Homestake/SNO (LZ)

Gran Sasso (XENONnT)

Kamioka (XMASS)

India

実際の差はより広いエネルギー
レンジで積分し、正しい評価が必要

1、大気ニュートリノBKGの量： 弾性散乱断面積

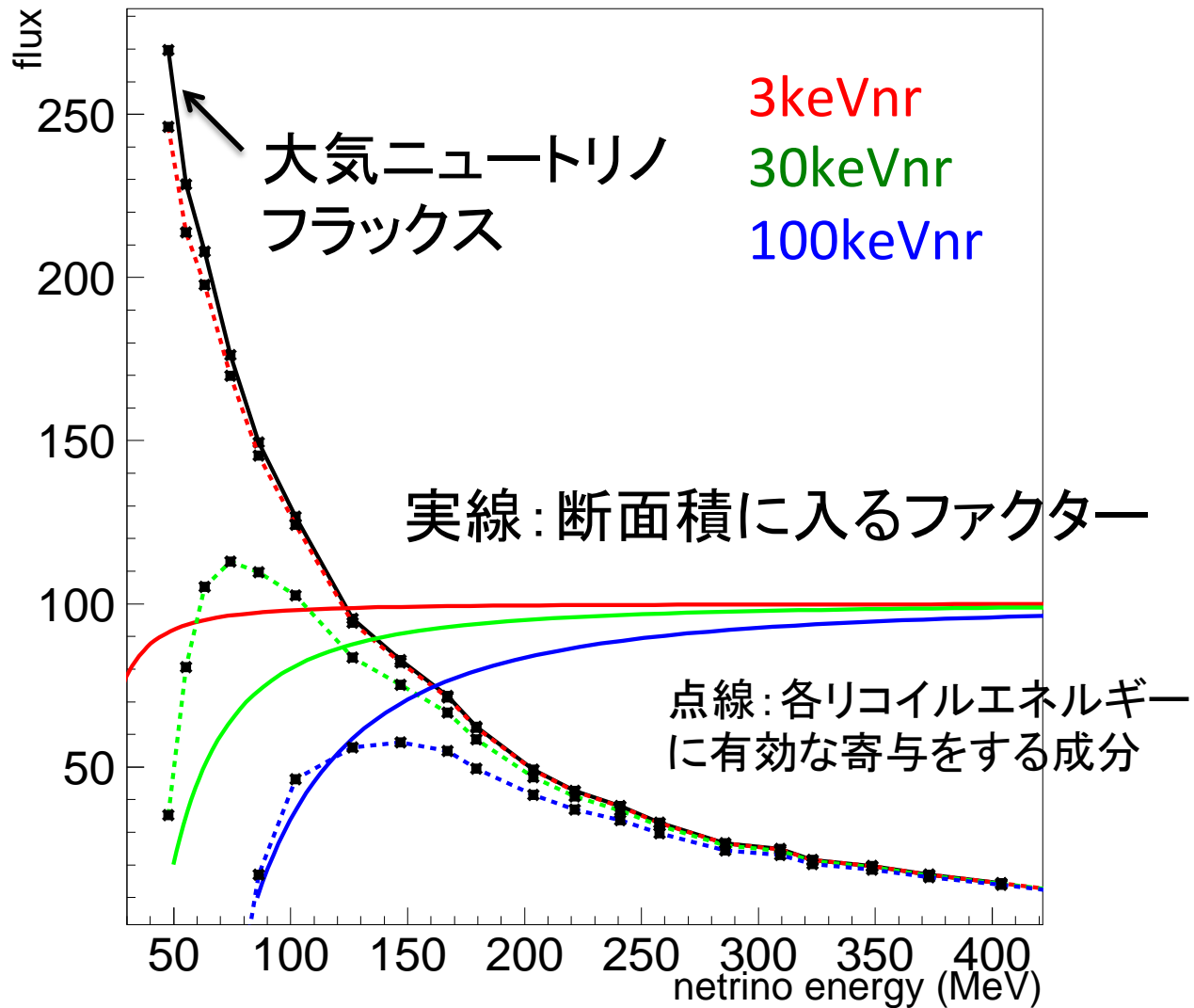
- リコイルエネルギー E_r を与えるニュートリノエネルギー E_ν に対する断面積。

$$\frac{d\sigma(E_\nu, E_r)}{dE_r} = \frac{G_f^2}{4\pi} Q_\omega^2 m_N \left(1 - \frac{m_N E_r}{2E_\nu^2} \right) F_{SI}^2(E_r)$$

ニュートリノエネルギーが
大きければ一定値となる

敷居値エネルギーもある。

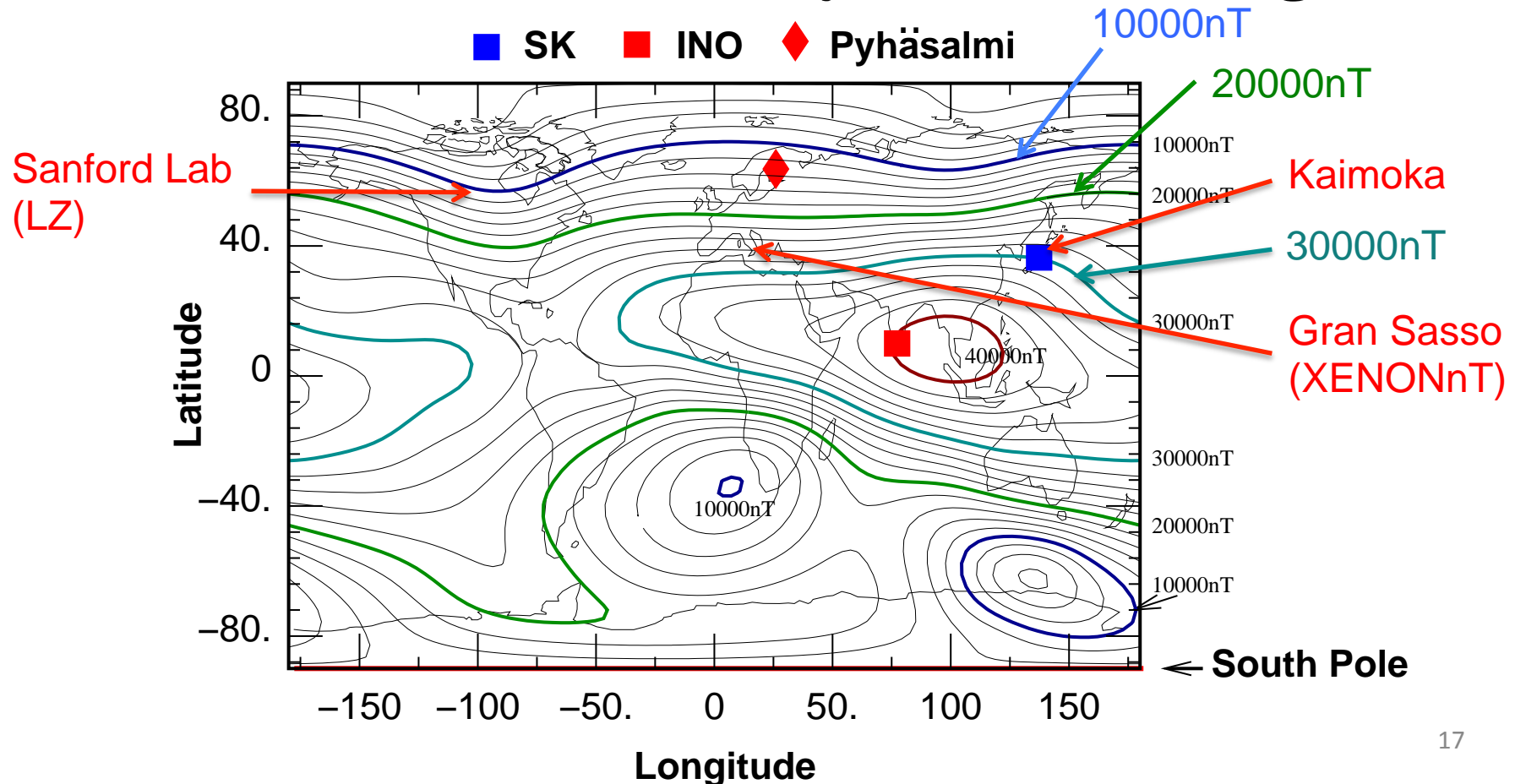
大気ニュートリノの寄与



- 低いエネルギーが効くが正確な積分が重要

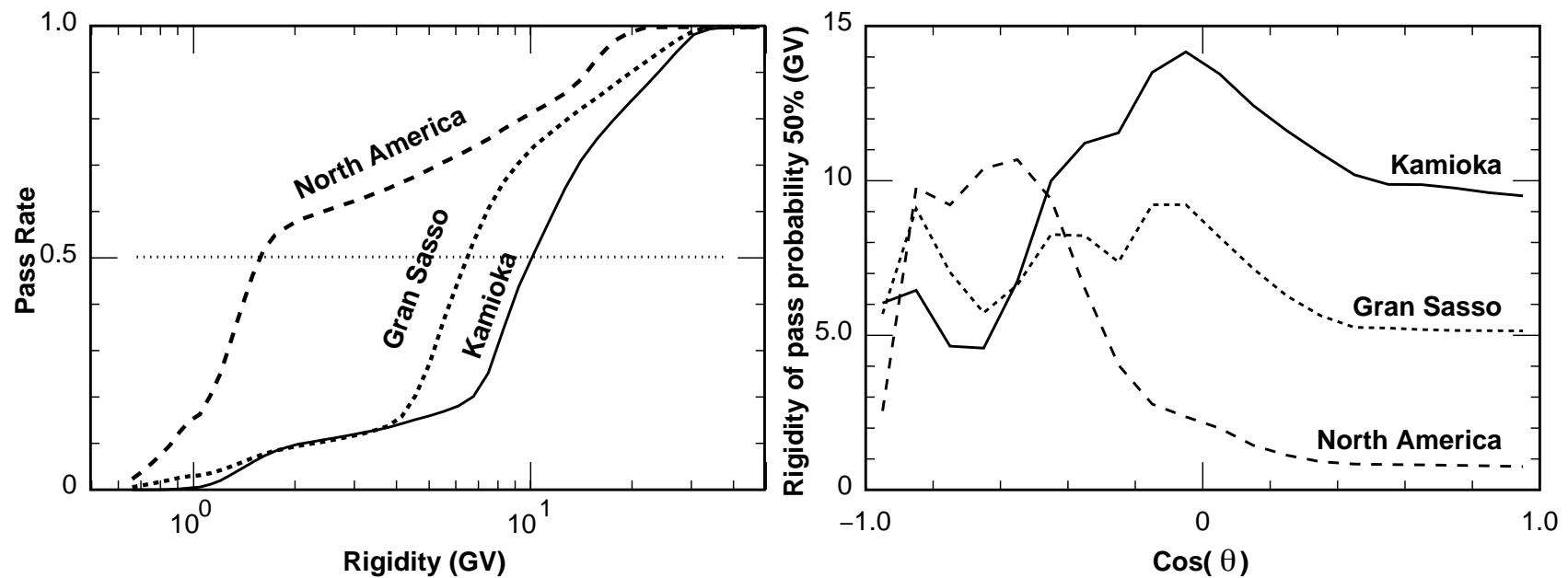
地球磁場と入射できる宇宙線(p)

- Higher magnetic field above the Kamioka site.
- Sanford lab is under very low cut off region.



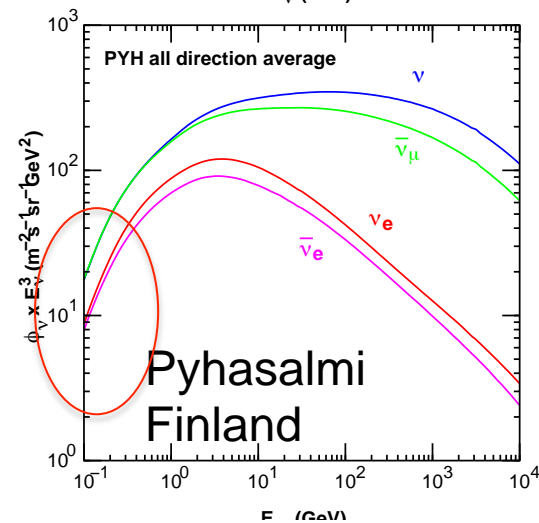
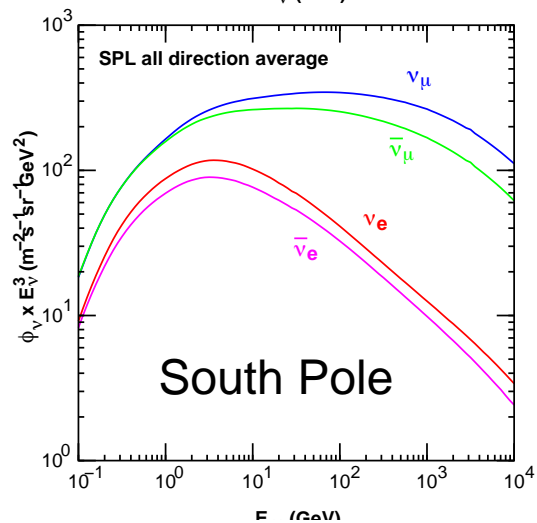
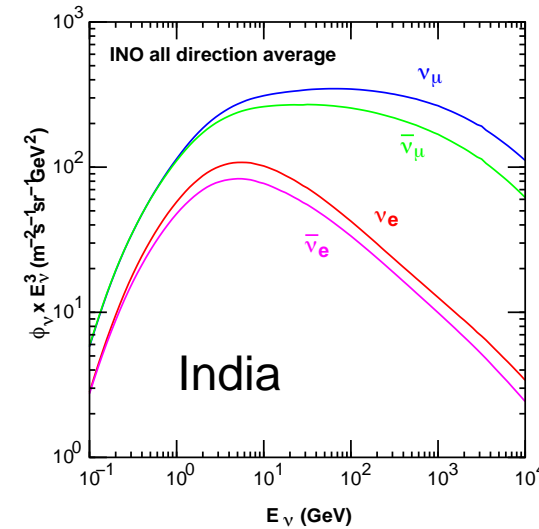
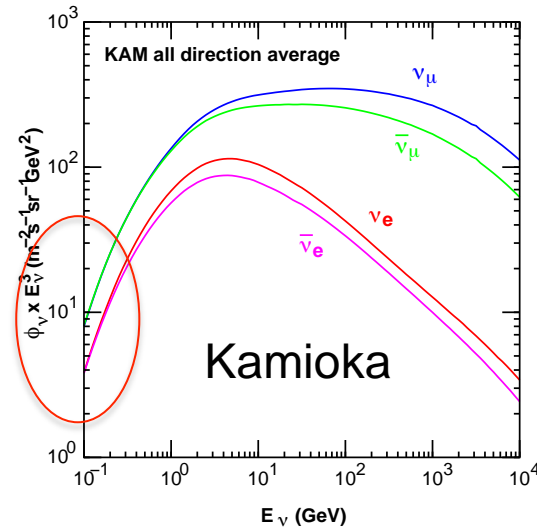
神岡の特徴

- 神岡サイトはrigidity cut offが大きく、低エネルギーのプロトンが入りにくい=>低エネルギーのニュートリノも少ない。



フラックスで見ても低い

- Lower flux at the Kamioka site ~ factor 2

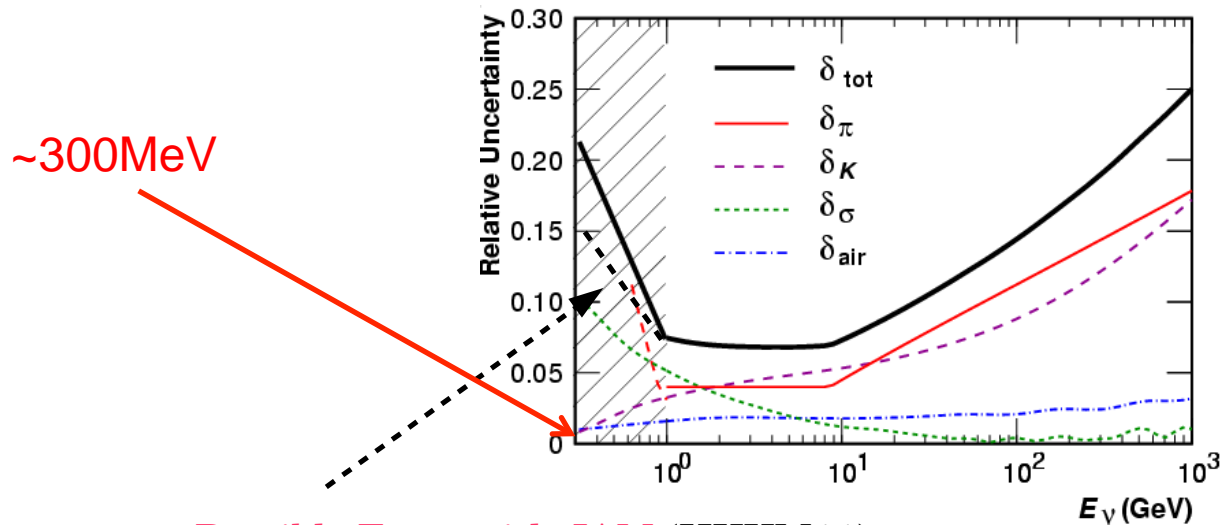


M. Honda et al.,
PRD 92, 023004
(2015)

2、系統誤差：ハドロンcross section

- Uncertainty of atm. nu is large at low energy.

Estimated Error in Atmospheric ν -flux Calculation (HKKMS07)

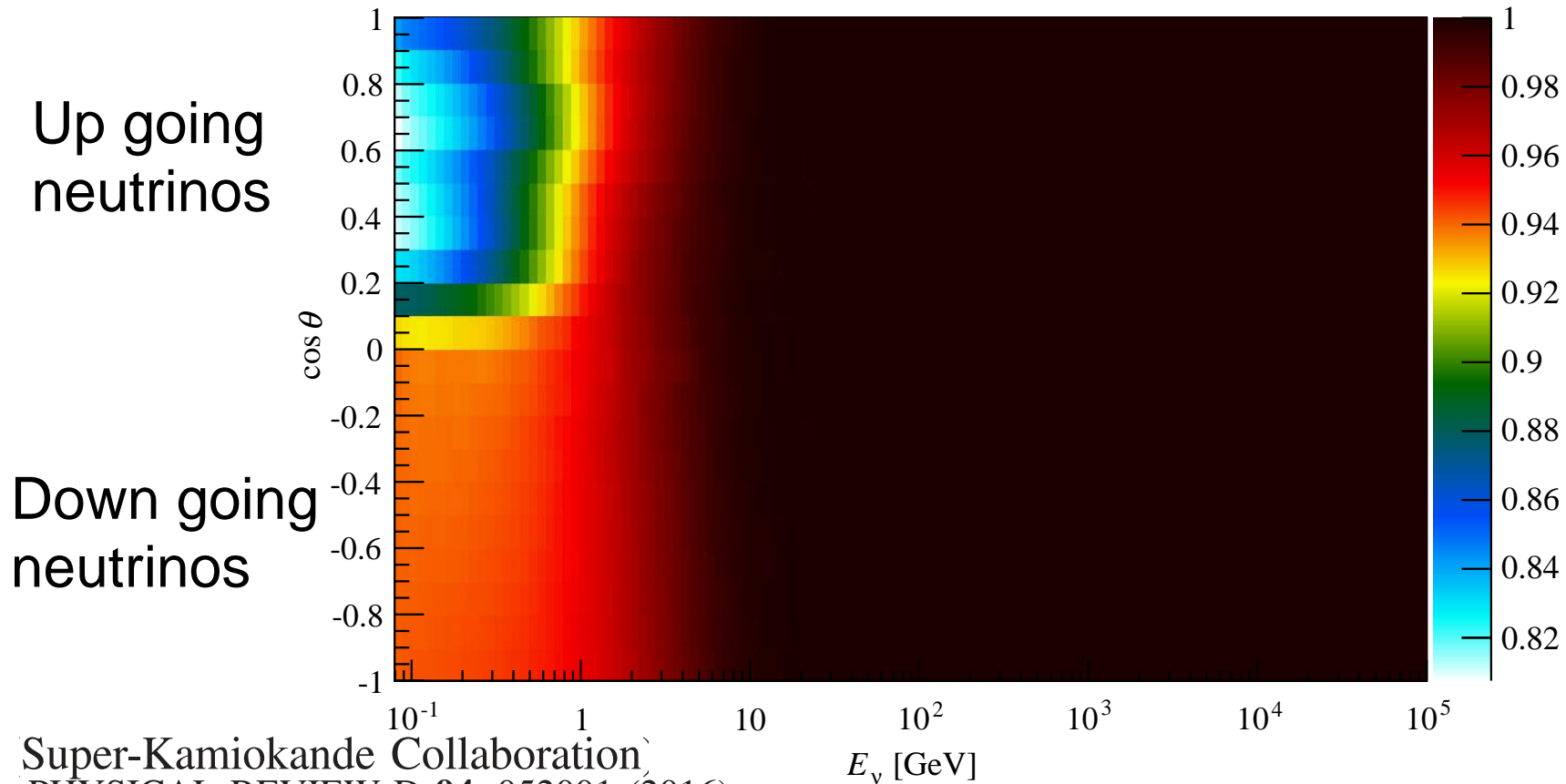


Possible Error with JAM (HKKM11)

- δ_π μ -observation error + Residual of reconstruction
- δ_K Kaon production uncertainty
- δ_σ Mean free path (interaction crosssection) uncertainty
- δ_{air} Atmosphere density profule uncertainty

系統誤差：太陽モジュレーション

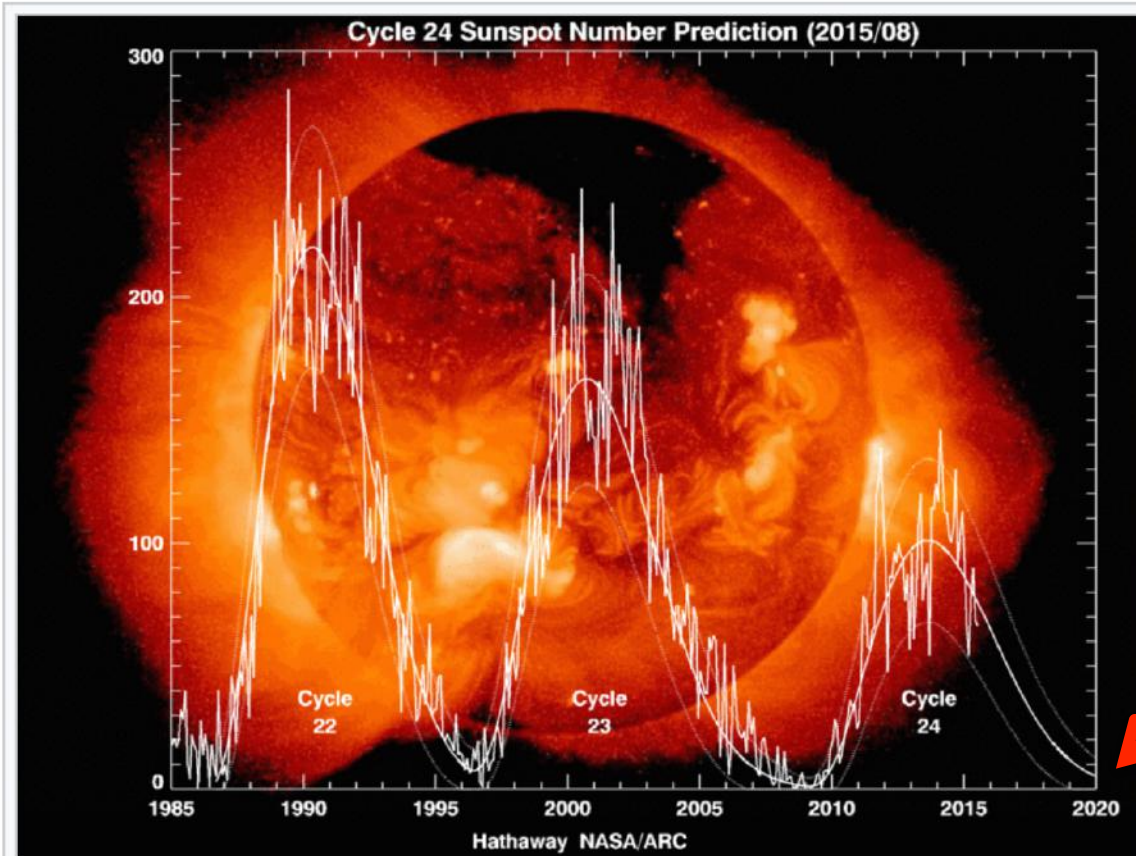
- solar max/solar min
 - 下向きは変化が少ない
 - 1GeV以上ではほとんど影響を受けない



太陽活動との関係

- だいたい $E_n \sim 100 \text{ MeV}$ は、 $E_p \sim 1 \text{ GeV}$ でつくられる

ちなみに太陽活動はLZ開始時に最大



現在の**第24太陽周期**の予測では、2013年9月に約66個で極大を ☐ 迎えるとされたが、2011年末に強いピークがあったため、2012年2月に既に黒点の数は67個に達し、少なくとも公式な最大値となっている。この数は、**第14太陽周期**の1906年2月に最大値64.2個だった時以来の少なさである。

- 太陽活動最小
=ニュートリノ
最大
- ちょうどLZの開
始される年20
20年は最大フ
ラックスが予
定されている。

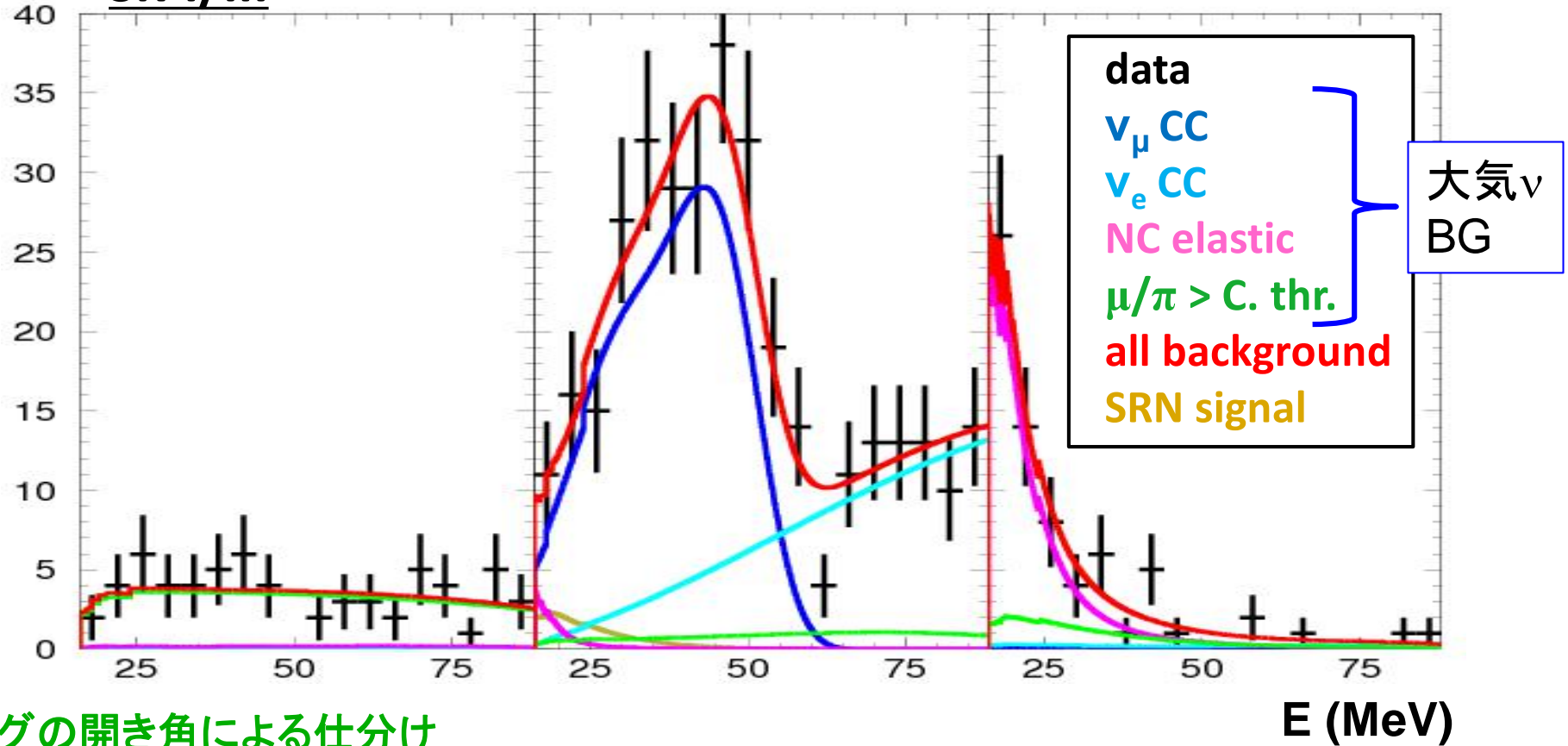
必要なこと (本田さんとのやりとりでの私の理解)

- 100MeV付近での大気ニュートリノフラックスの決定バルーンでの300MeV付近のミュオンフラックス
 - 加速器で3-10GeVでの精度の良いモデルを作る
- もっと低いところ
 - muon captureの影響があるが割合は小さいので100MeVまで決めればだいぶ抑えられる

他の実験との関係

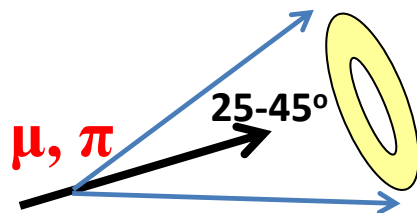
- ニュートリノ物理でも低エネルギーフラックスには興味を持っている: SK/HK
 - 超新星relic ν : $<100\text{MeV}$
 - 大気ニュートリノを用いたCP violationの研究:
100-1GeV

SK-I/III

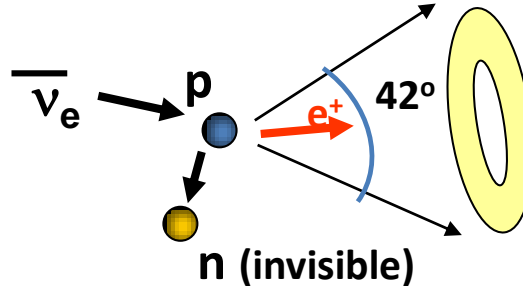


リングの開き角による仕分け

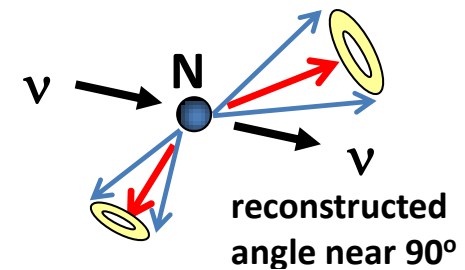
Low angle events



Signal Events

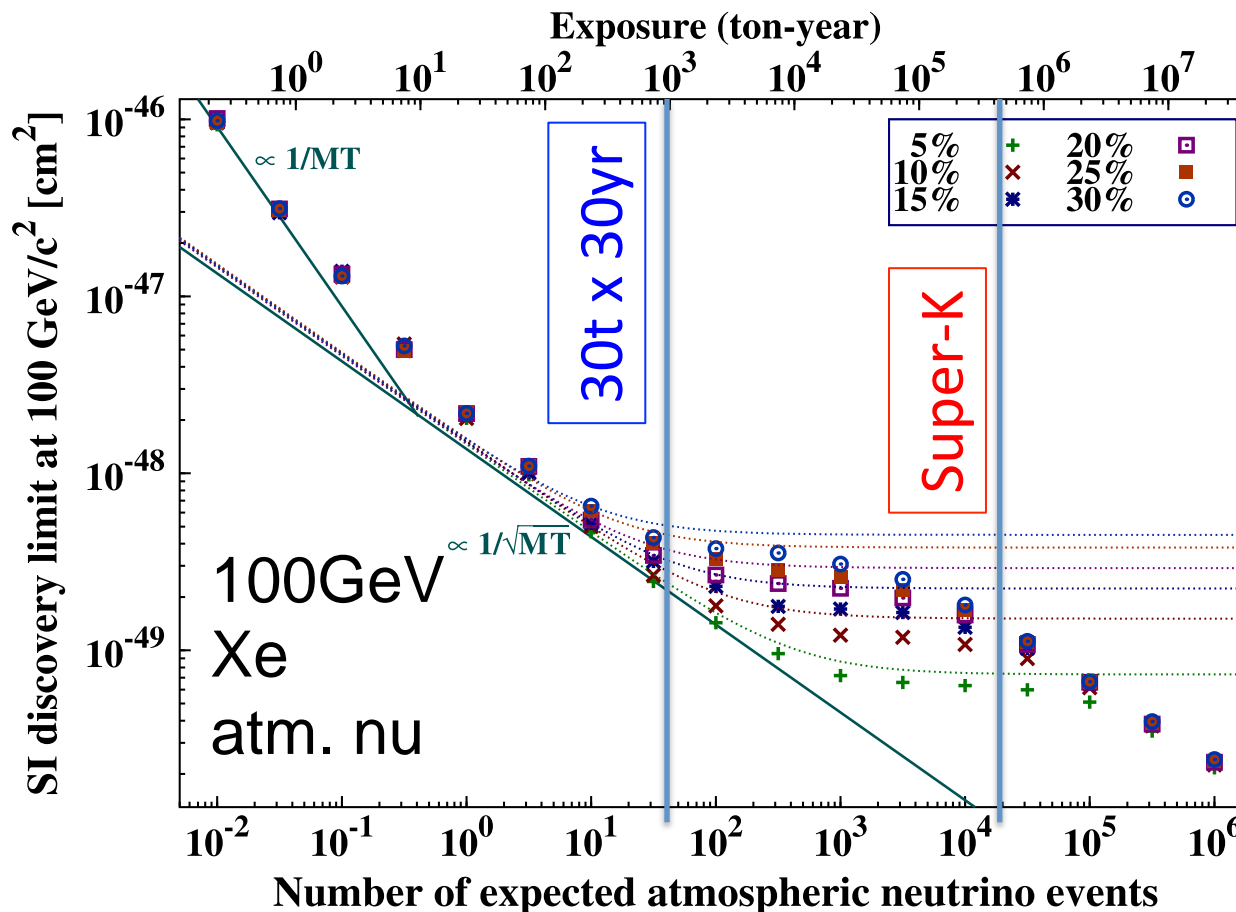


Isotropic Events



exposureがさらに大きいと proton decay並みになってきた

- Systematic uncertainty of atm. nu flux has an impact once we have $\sim 30\text{t} \times 30\text{yr}$ data.



F. Ruppin et al.,
PRD 90, 083510
(2014)

さらにexposureが
あがるとshapeを
使えるので
改善し始める

方向性を使うとBG下げられる？

expression for the scattering angle, β , between the neutrino direction, $\hat{\mathbf{q}}_\nu$, and the recoil direction, $\hat{\mathbf{q}}_r$,

$$\cos \beta = \hat{\mathbf{q}}_r \cdot \hat{\mathbf{q}}_\nu = \frac{E_\nu + m_N}{E_\nu} \sqrt{\frac{E_r}{2m_N}}, \quad (4)$$

with β in the range $(0, \pi/2)$, using a delta function,

$$\frac{d^2\sigma}{dE_r d\Omega_r} = \frac{d\sigma}{dE_r} \frac{1}{2\pi} \delta \left(\cos \beta - \frac{E_\nu + m_N}{E_\nu} \sqrt{\frac{E_r}{2m_N}} \right).$$

- kinematicsから決まる方向に飛ぶ。
- このへんは身内さんにお任せしたい。

まとめ

- どこを目指したいか：広いほうがよいが、特化するところは必要。
- XMASS single phaseは、XMASS-1.5とIIを目指す。
 - さらに将来には、electron BGを除去しないとWIMPsへの感度は上がらない。
- dual phase detectorに、single phase detectorの良いところを組み合わせ、液体キセノンの能力を最大に生かした実験を検討したい。
- この基礎技術をもって、発見および観測を行える検出器を建設したい。