

素核宇宙融合レクチャーシリーズ 第13回

“なぜ最高エネルギー宇宙線？”



長瀧天体ビッグバン研究室

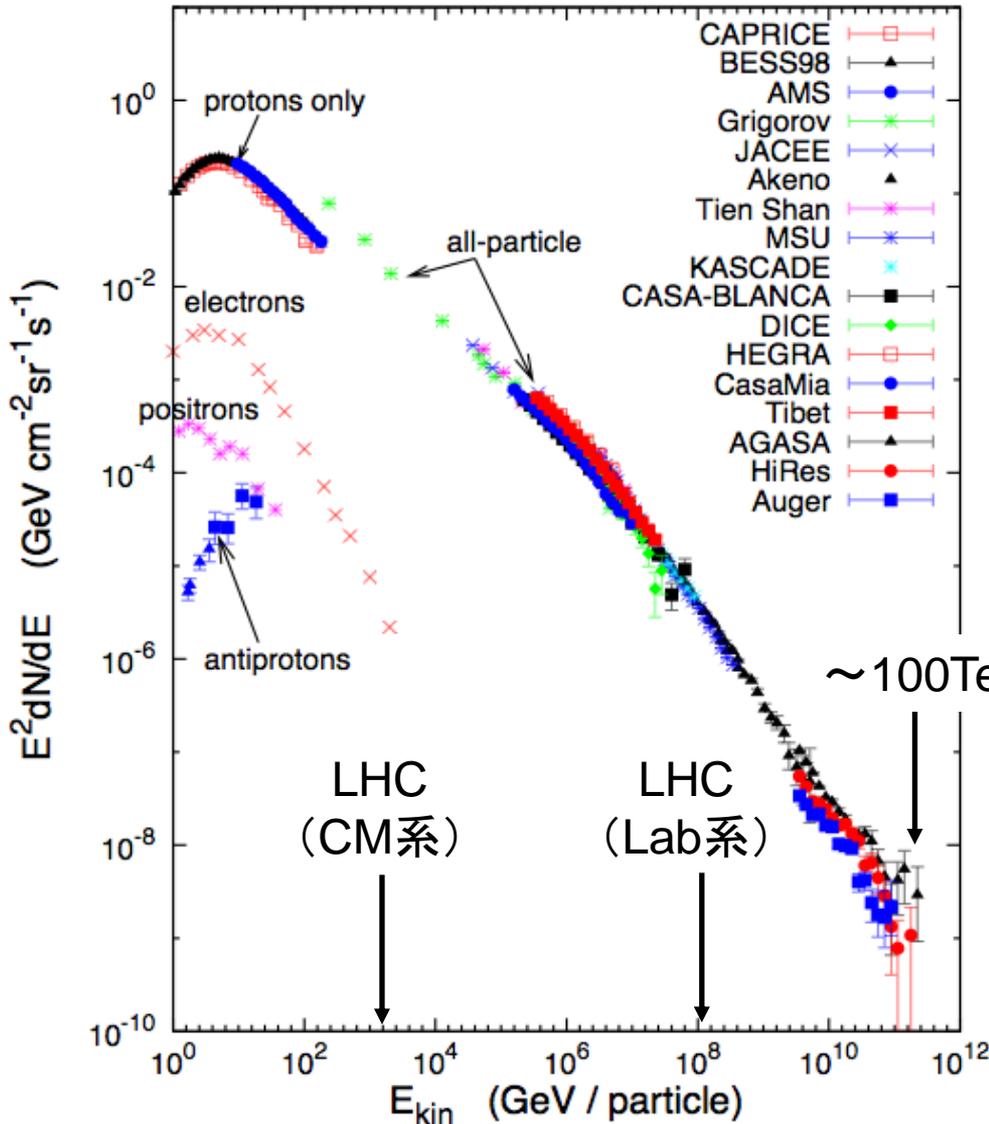
理化学研究所
准主任研究員

長瀧 重博

主催：計算基礎科学連携拠点 (JICFuS) HPCI戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」
共催：理化学研究所 iTHESプロジェクト 2014年11月27日-28日、理研和光キャンパス

地球には宇宙線が降り注いでいる

Energies and rates of the cosmic-ray particles



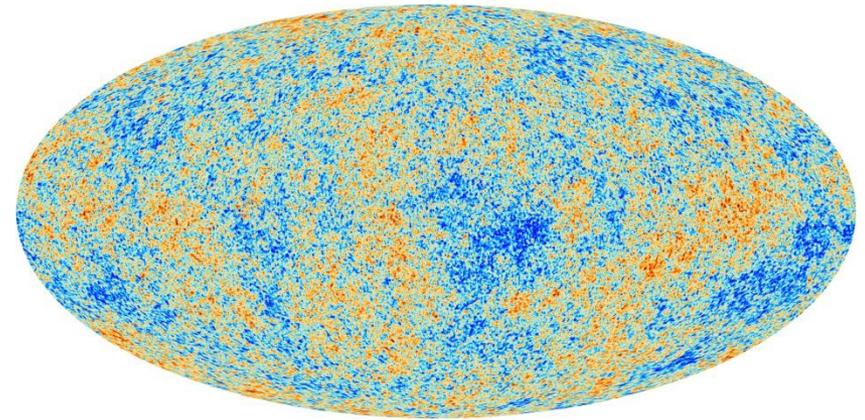
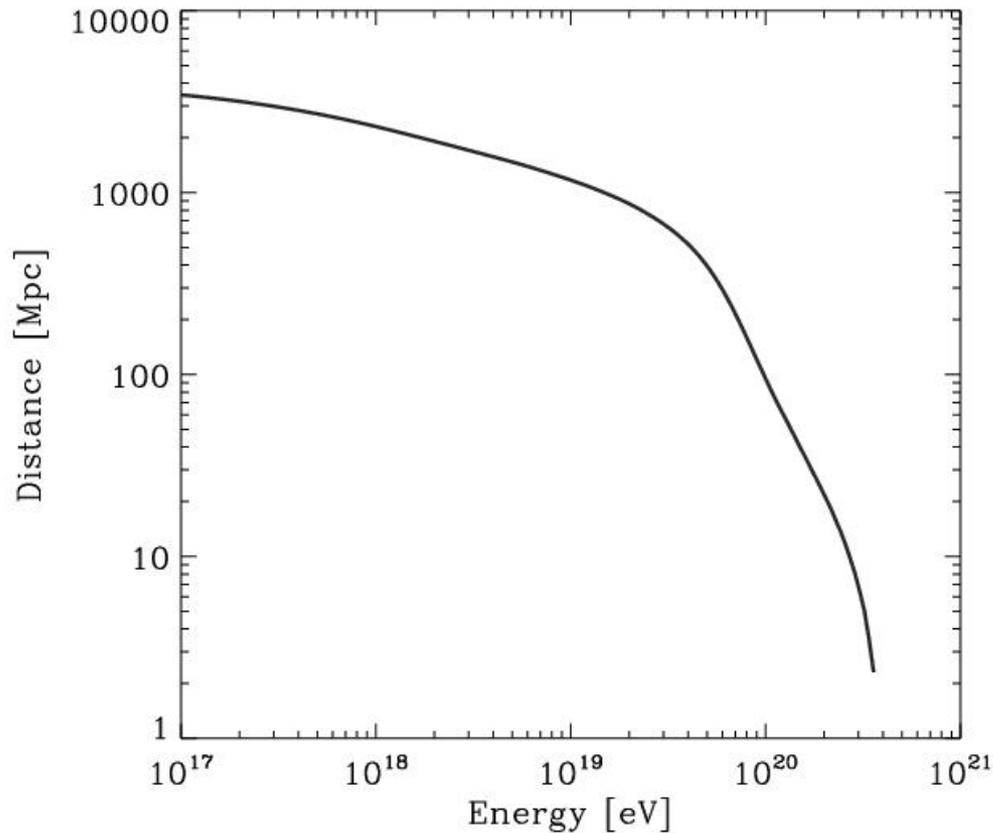
大体 10^6GeV 位までは
超新星残骸起源なのではないか
(最有力説)?

その証拠を掴むことは重要。

10^6GeV 以上については起源謎。
ガンマ線バースト?

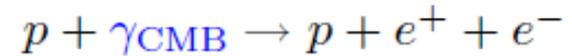
最高エネルギー宇宙線と
地球大気の相互作用は
LHCを大きく超えた地上実験室。

最高エネルギー宇宙線は近傍宇宙から。



宇宙背景放射 (Planck HPより)

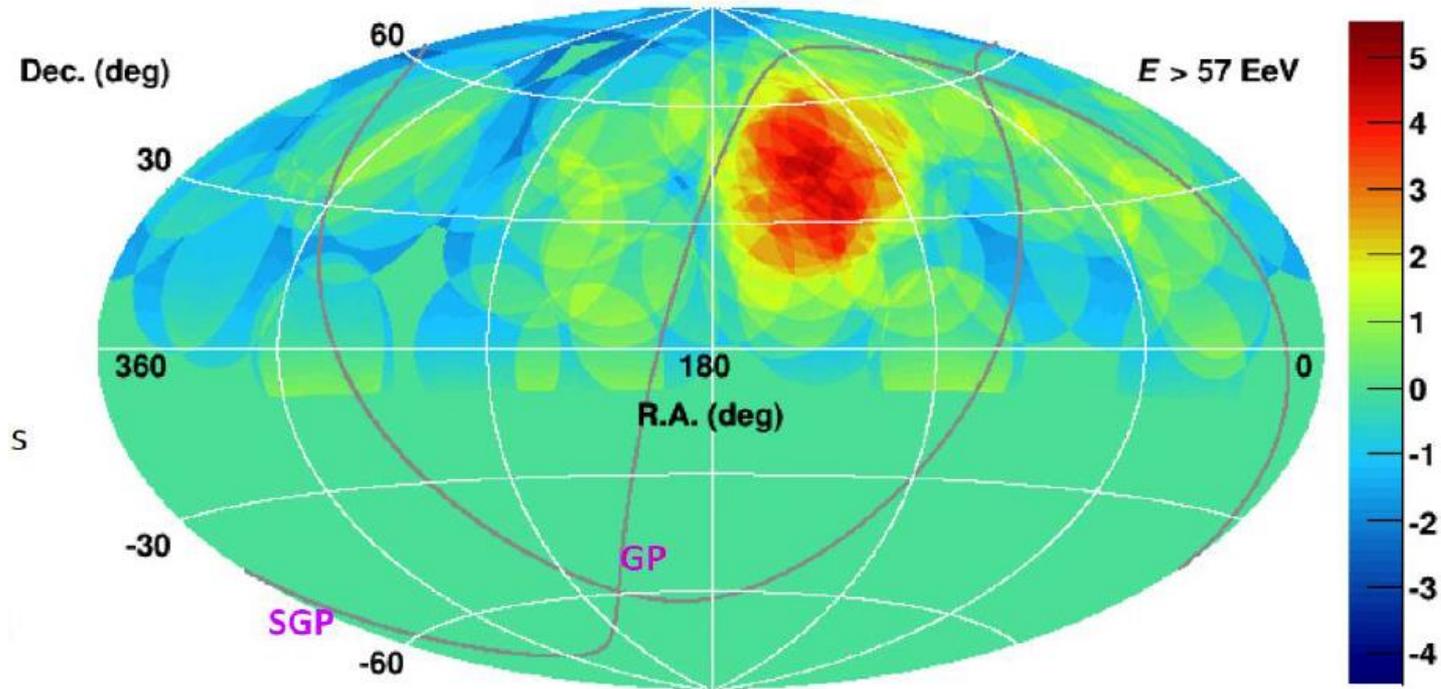
Protons



GZKカットオフと呼ばれている。
Greisen 1996, Zatsepin and Kuz'min 1966

それでも起源が分からない！

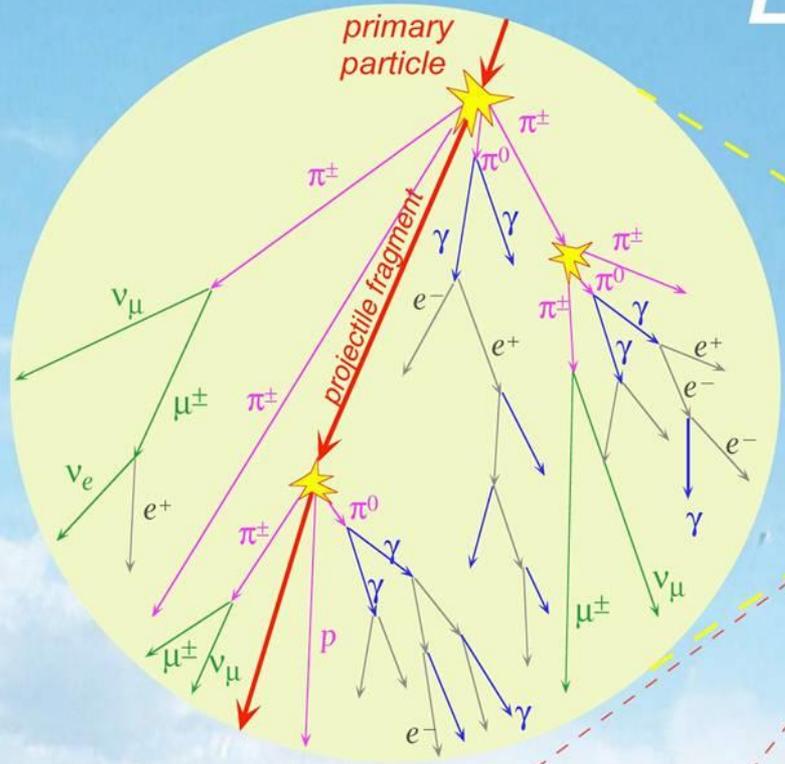
地球の北極



ホットスポットの発見は起源同定に向けた極めて重要な一歩。

Telescope Array Team (Japan-the US) 2014.

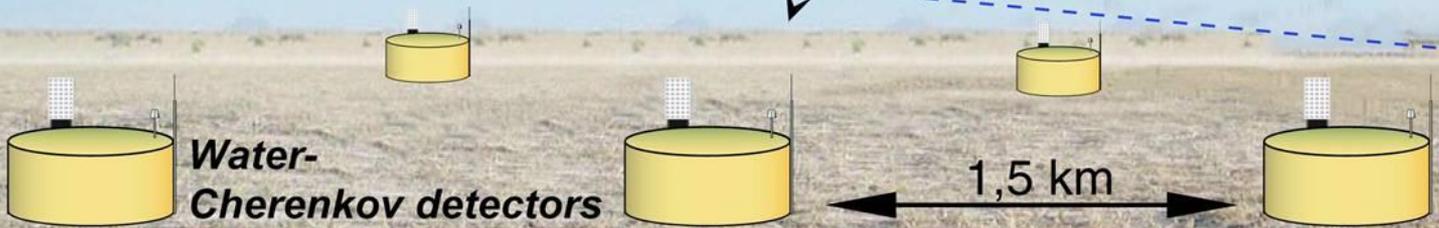
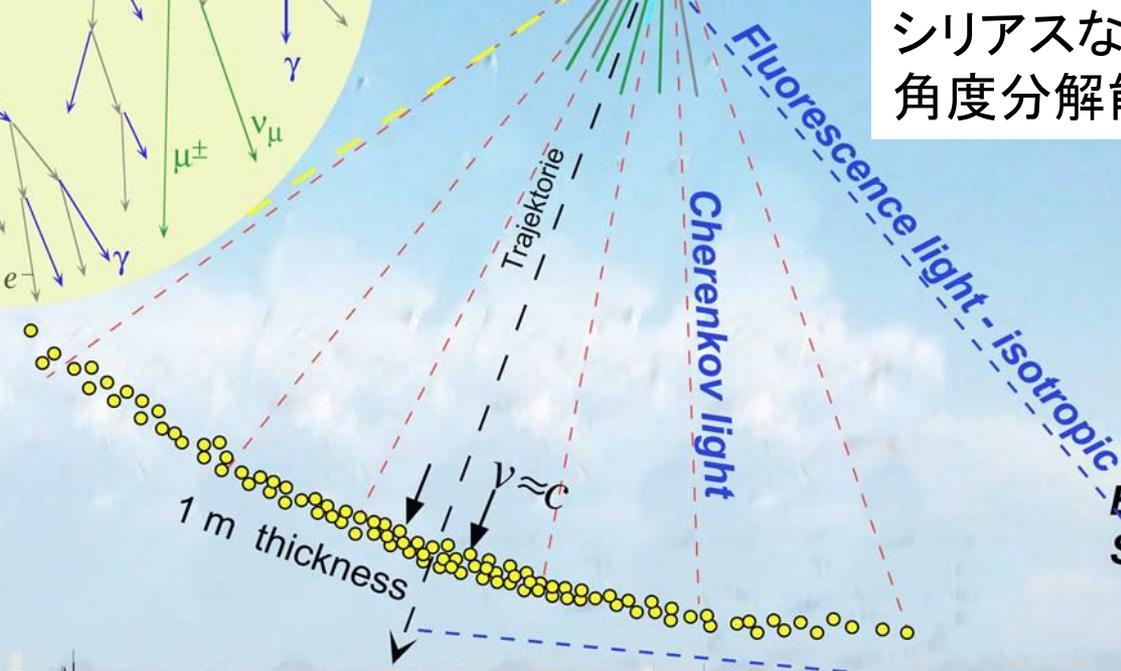
Extended Air Showers



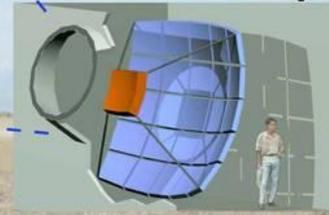
primary particle

Pierre Auger Observatory:
 $10^{19} \text{ eV} < E < 10^{21++} \text{ eV}$

シリアスな問題のひとつ:
角度分解能 \sim degree.



Electronic
Schmidt telescope



シリアスな問題のもうひとつ：
磁場による到来方向の喪失
～degree(以上)。

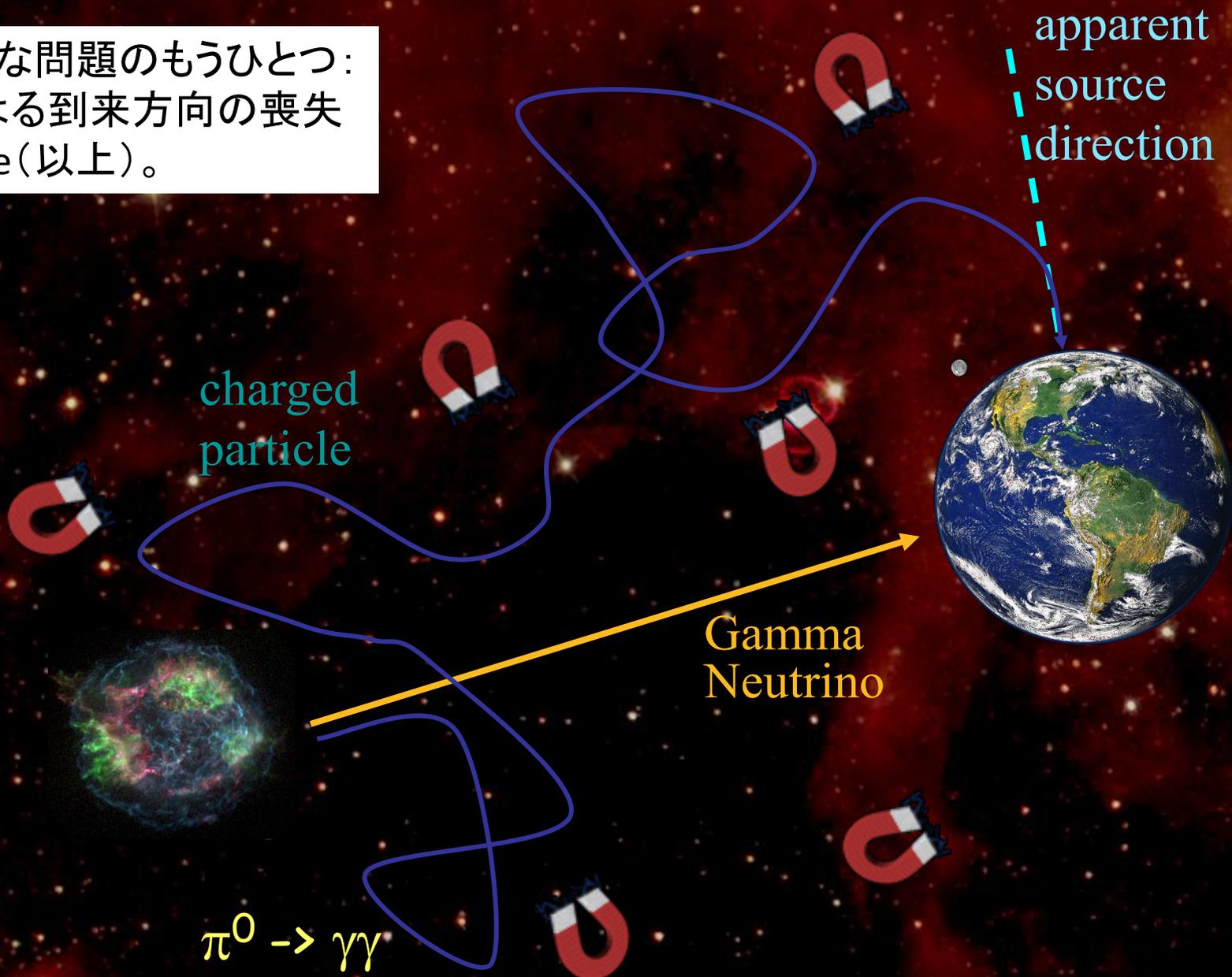


Figure from Hoffman

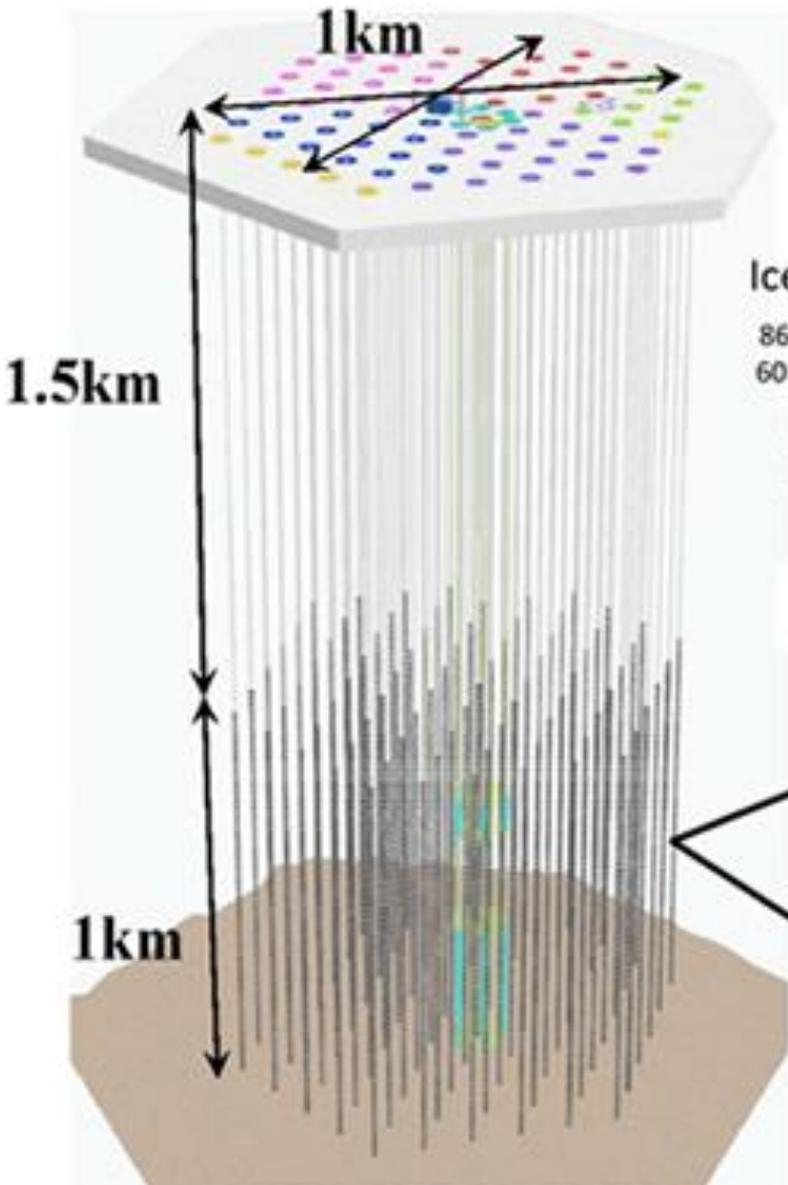
§ 超高エネルギーニュートリノ (TeV-PeV-EeV)



IceCube実験

IceCube HP

The IceCube Neutrino Telescope

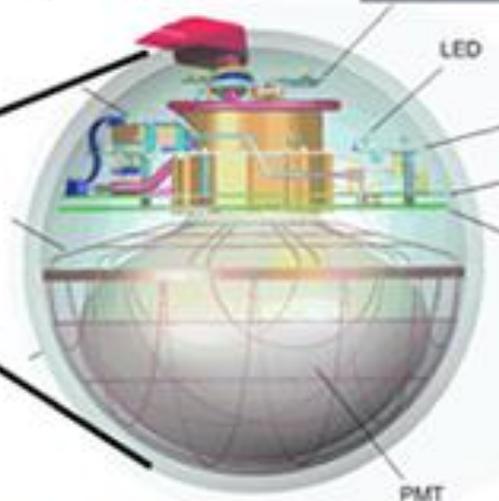


IceCube Array

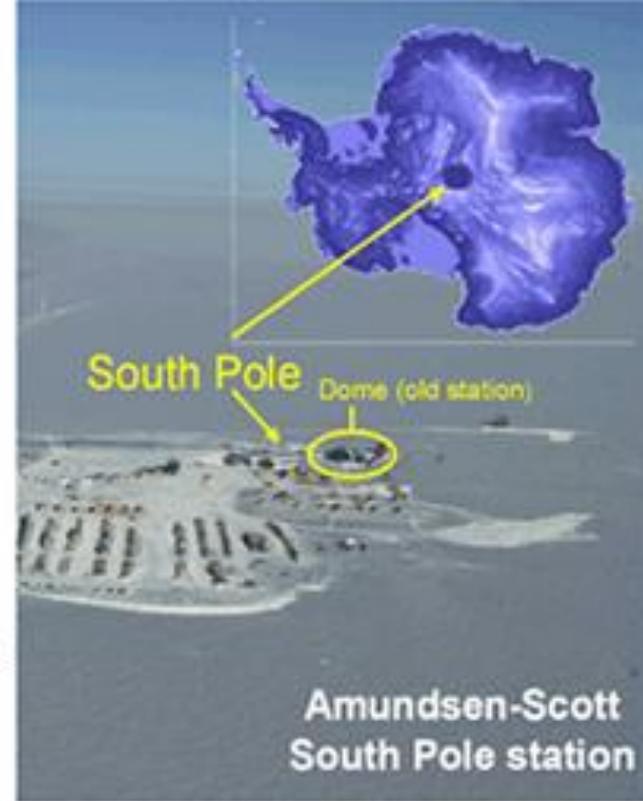
86 strings including 8 DeepCore strings
60 optical sensors on each string

2004: Project Start 1 string
2011: Project completion 86 strings

5160 optical sensors

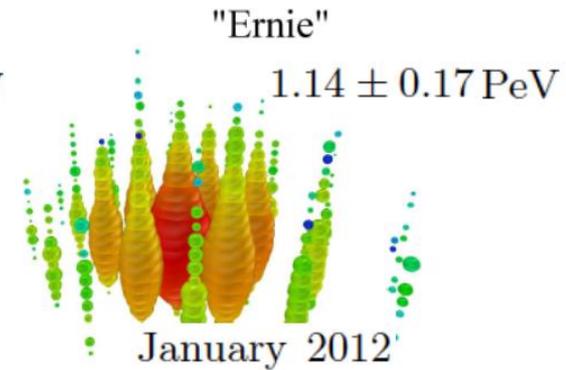
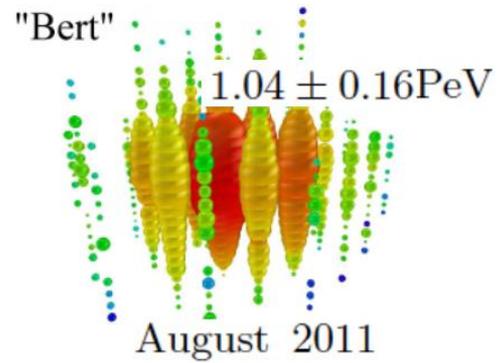
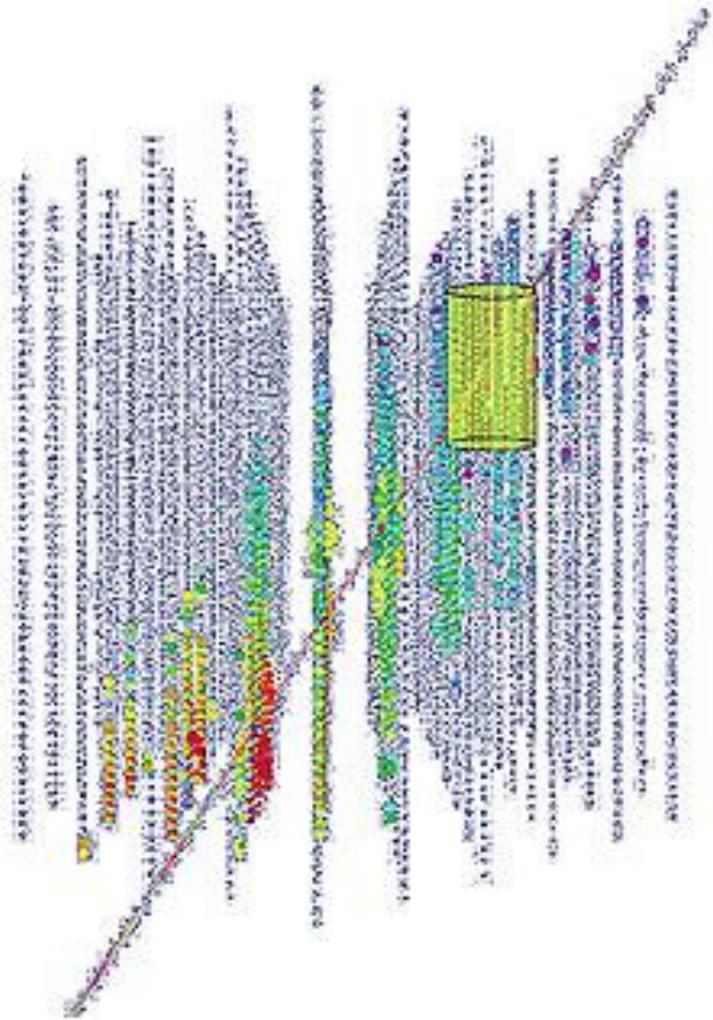


Digital Optical Module (DOM)



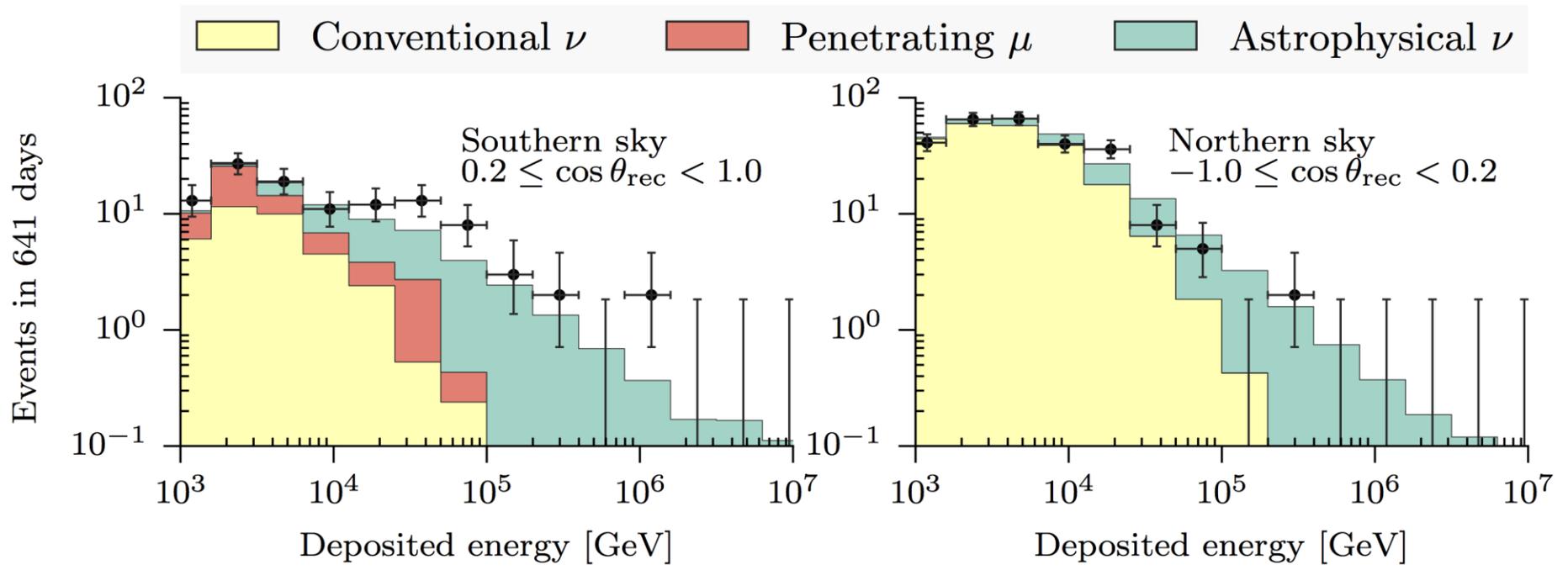
Amundsen-Scott
South Pole station

PeVニュートリノ発見！



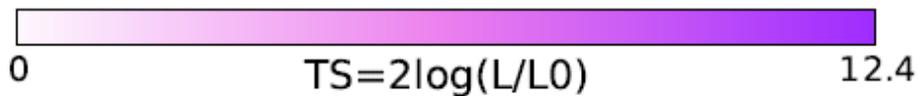
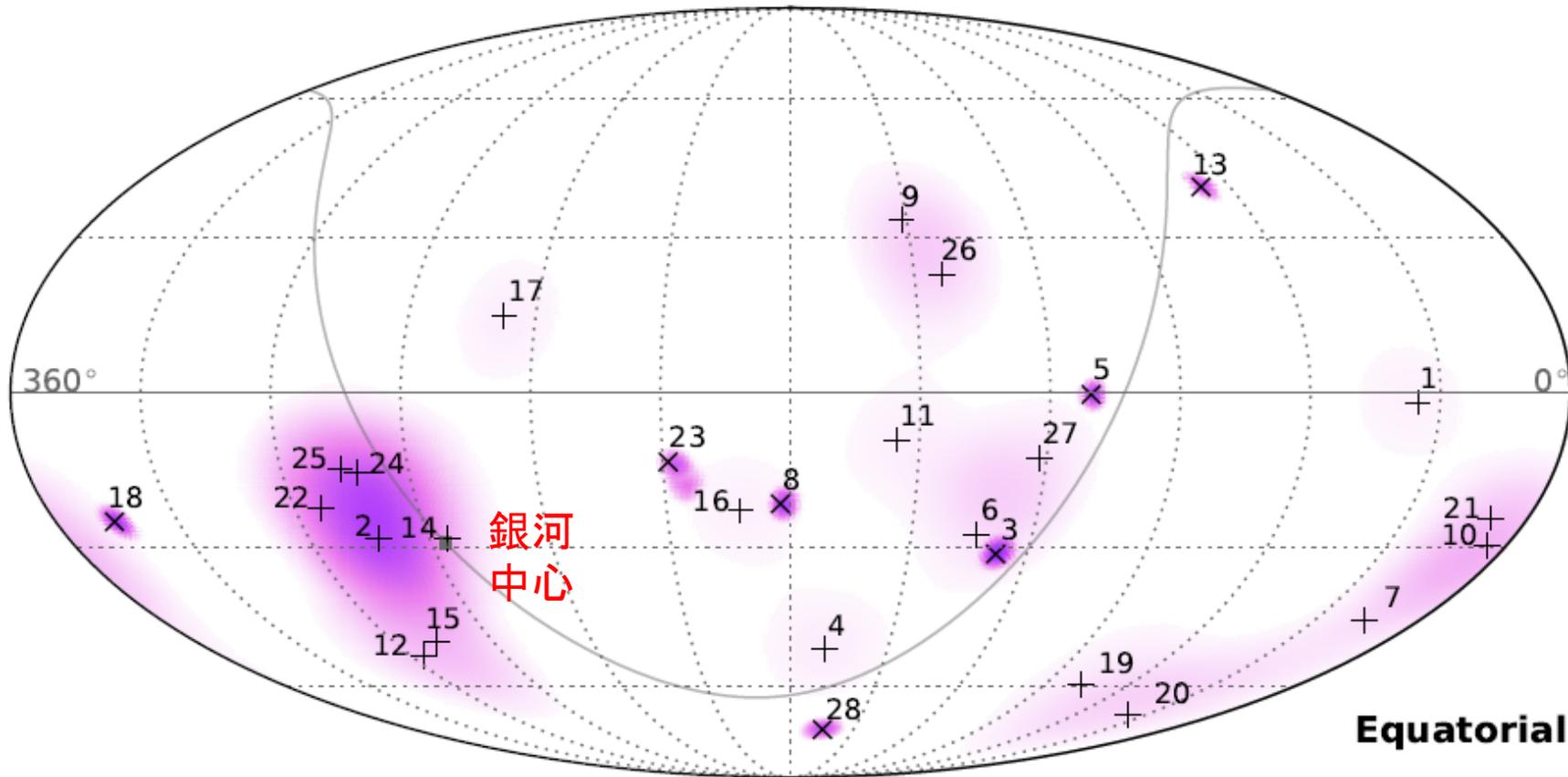
角度決定精度はDegree(以上)。

大気ニュートリノを超えて、確かにシグナルが受かっている。



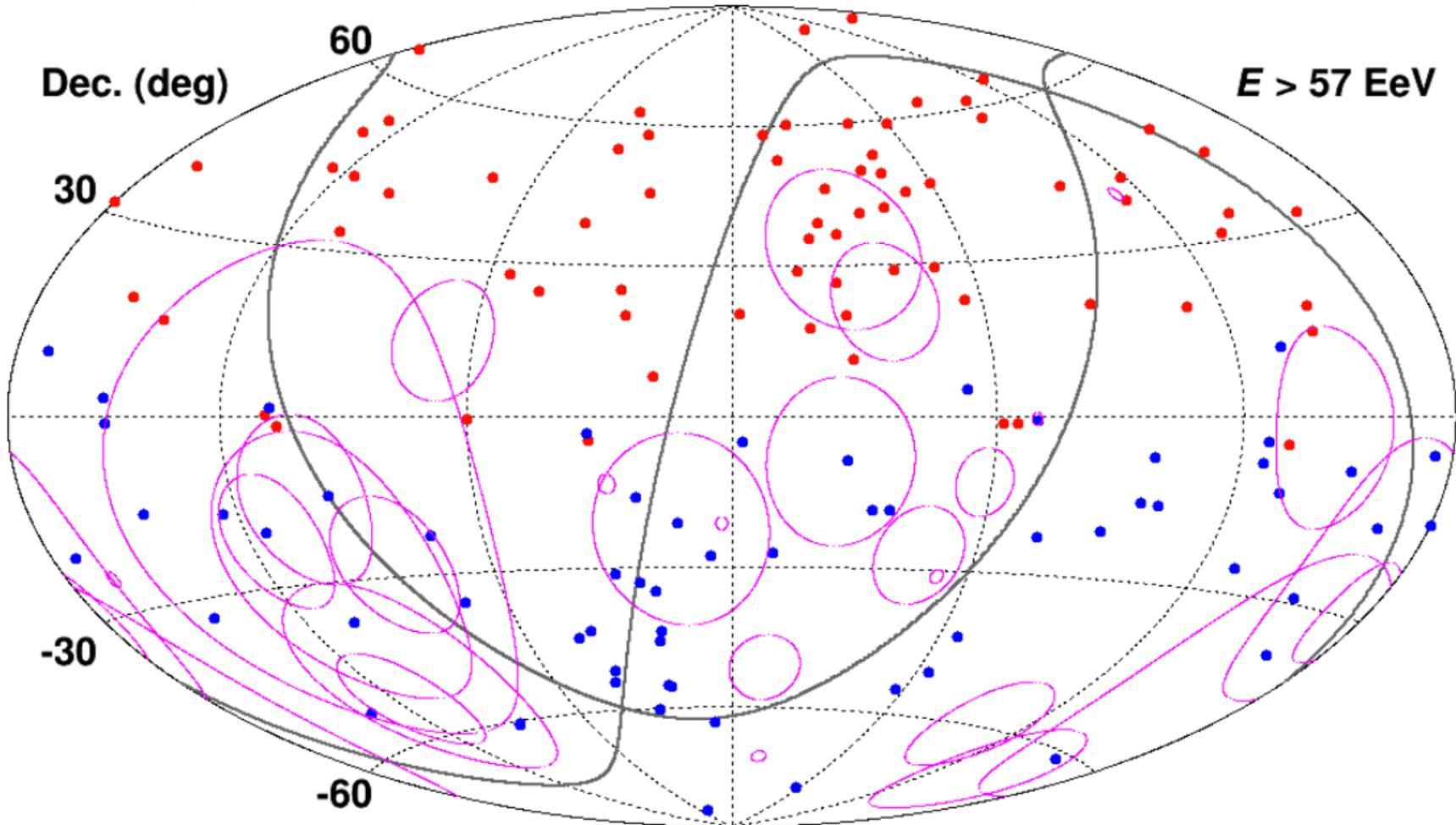
IceCubeが見つけた $\nu > 30$ TeV Neutrinos

地球の北極



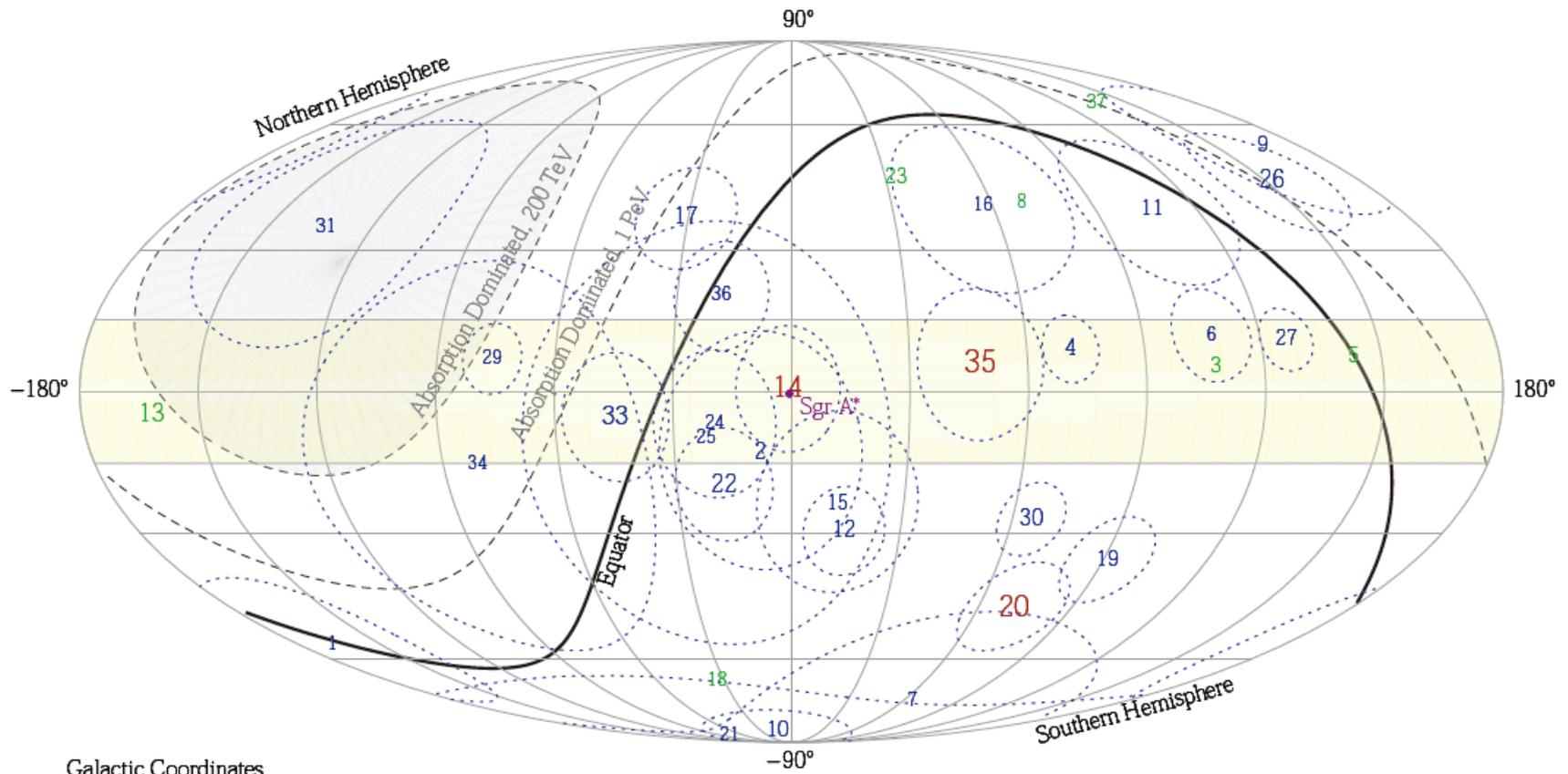
Comparison with IceCube $\nu > 30\text{TeV}$

Red:TA Blue:Auger Purple: IceCube with median angular error HotSpotからも
Loose cut ニュートリノが?

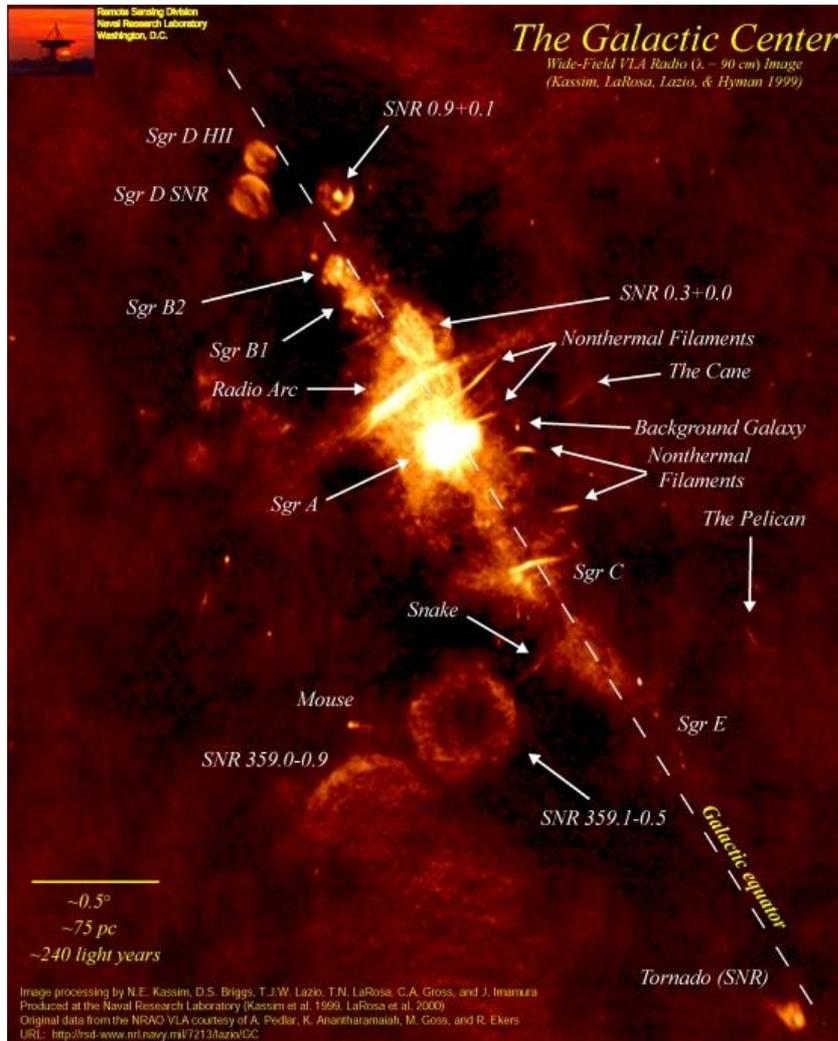


銀河中心からのニュートリノ？

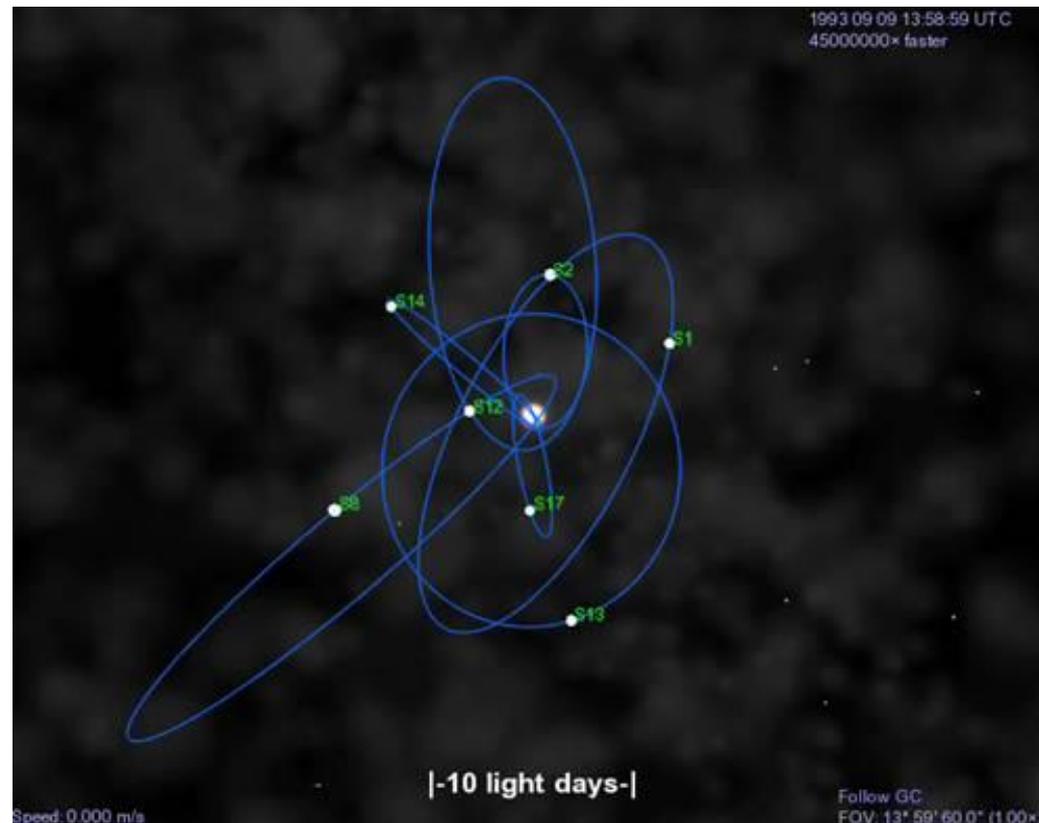
銀河の北極



銀河中心には巨大ブラックホール

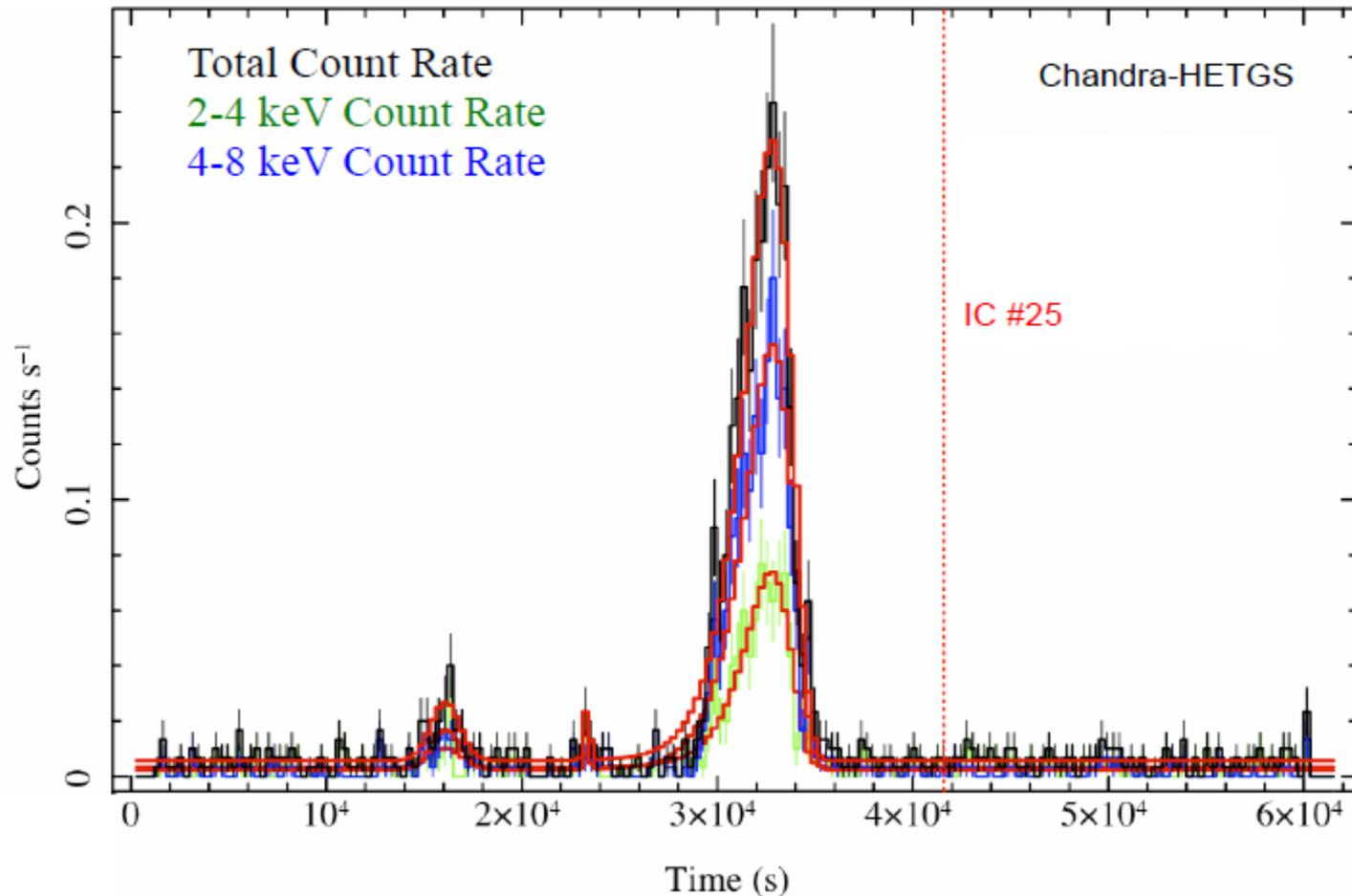


Radio Image (VLA)



天の川銀河中心の星の運動。
ブラックホールの存在を結論。
(マックスプランク研究所、2003年)

銀河中心のX線フレアと ニュートリノが(ほぼ)同期？



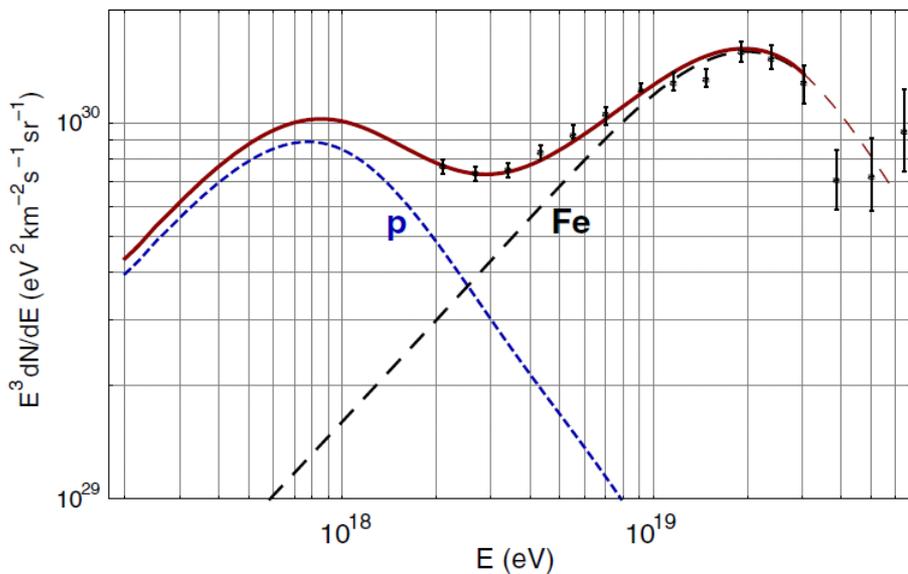
§ 理論！

ガンマ線バースト・極超新星は 最高エネルギー宇宙線加速器か？

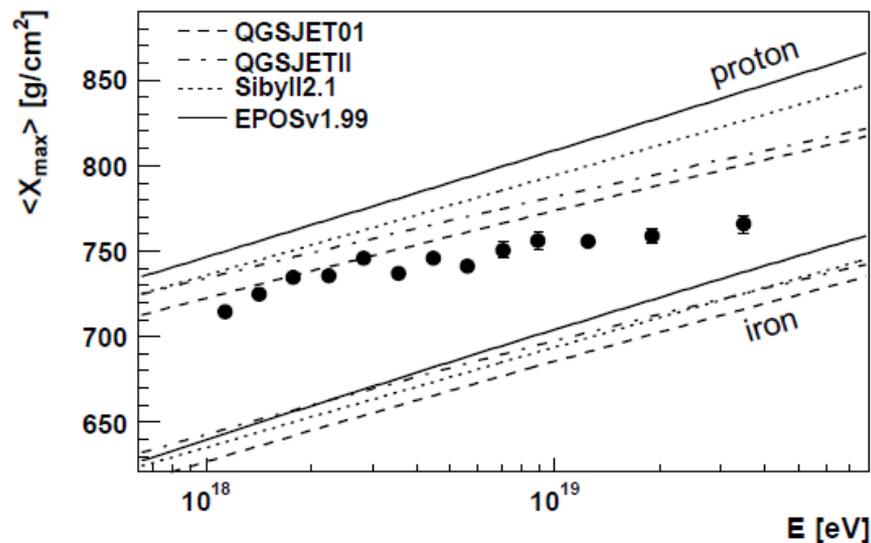
その他有力候補：
銀河中心BH(活動銀河核)
中性子星(マグネター)
など。

過去に天の川で起こったガンマ線バースト起源の 最高エネルギー宇宙線を今見てる？

Calvez, Kusenko, S.N. PRL 105 091101 (2010)



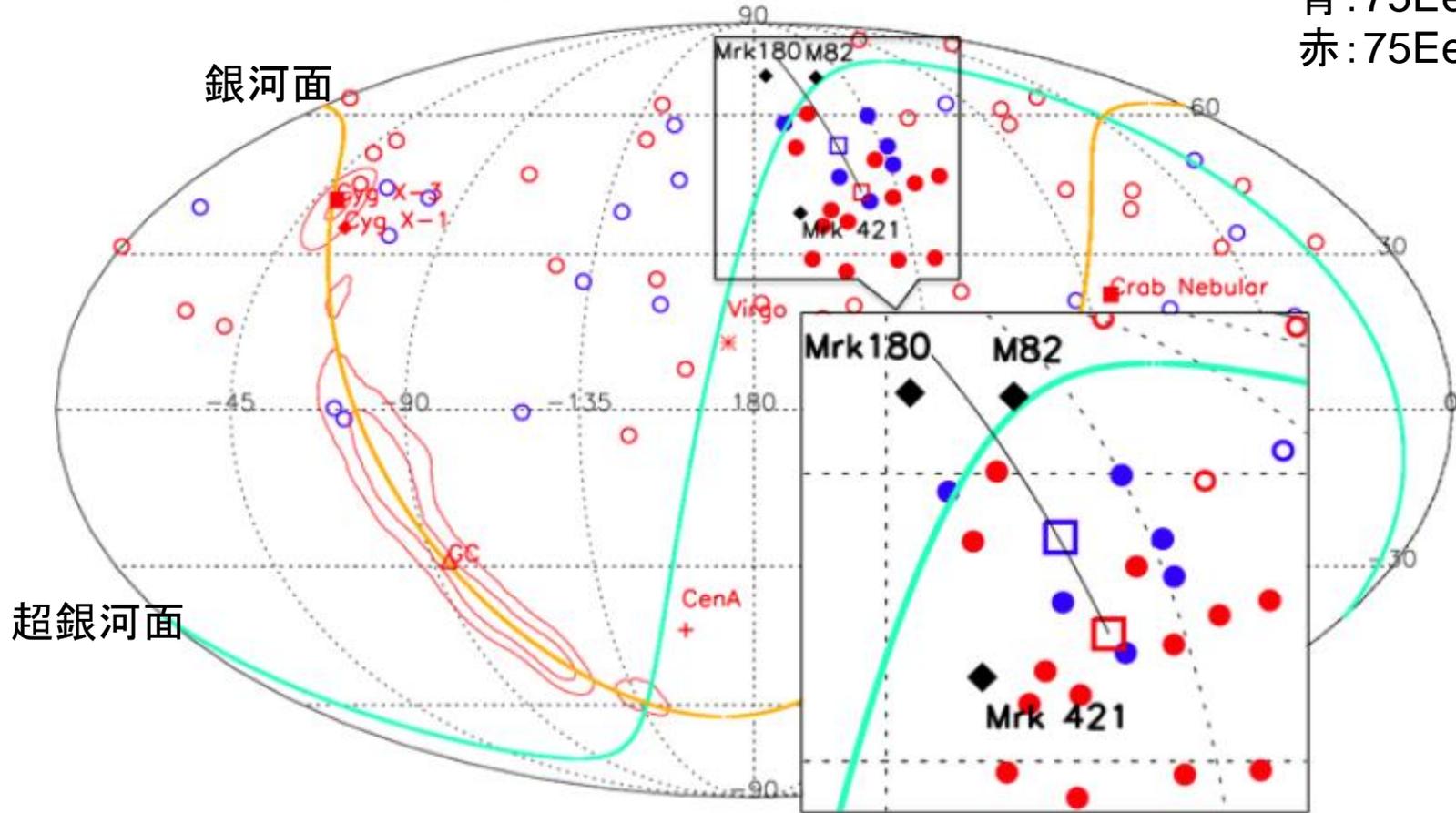
最高エネルギー宇宙線のスペクトル
Auger実験: データ点
理論: 実線・点線・破線:



最高エネルギー宇宙線の組成
(Auger実験)

ホットスポットにエネルギー依存性 見つけた！

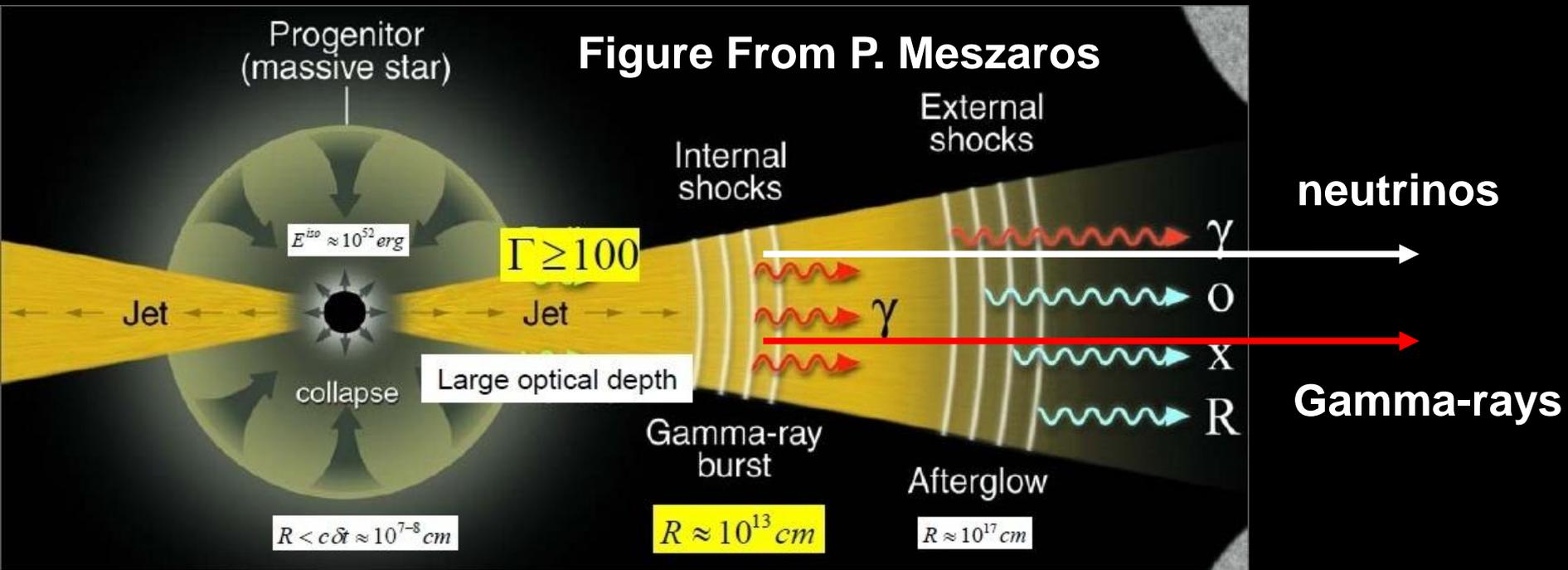
青: 75EeV以上
赤: 75EeV以下



Hao-Ning He,^{1,2} Alexander Kusenko,^{1,3} Shigehiro Nagataki,⁴ Rui-Zhi Yang,^{5,2} and Yi-Zhong Fan²

PRL, submitted. (2014)

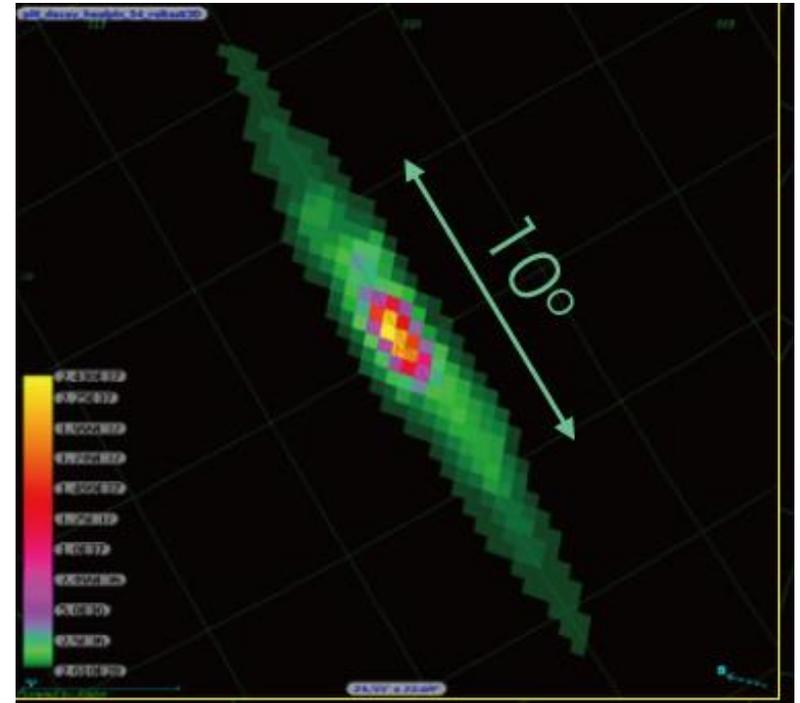
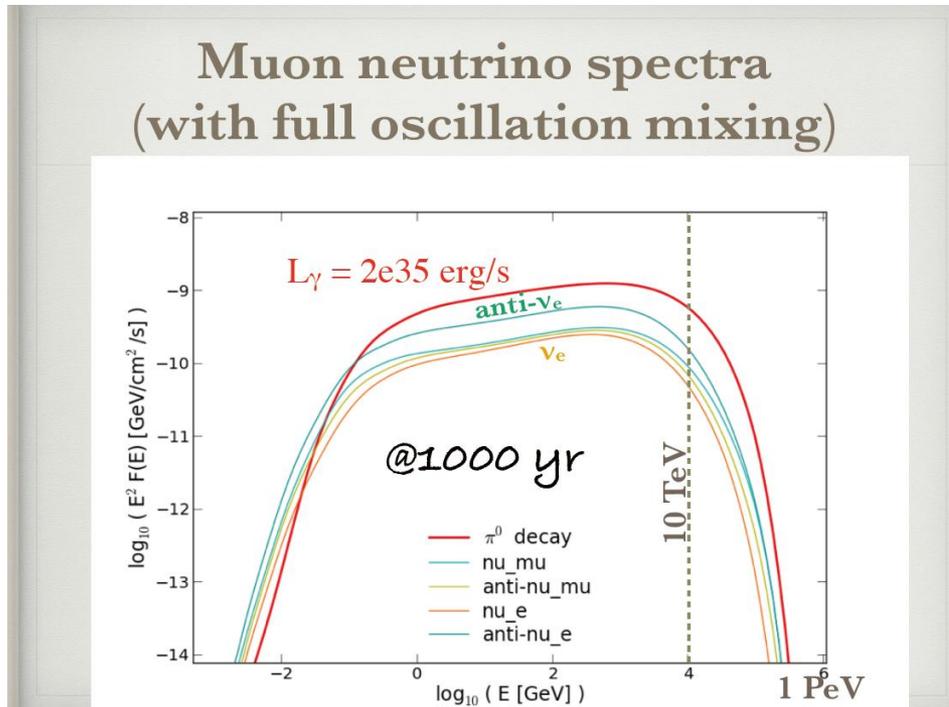
ガンマ線バーストとニュートリノは同時刻・ 同方向からやってくる筈！



E.g. Murase and S.N. PRL 2006

銀河中心ニュートリノは極超新星残骸起源か？

He, Lee, Kusenko, S.N. in prep.

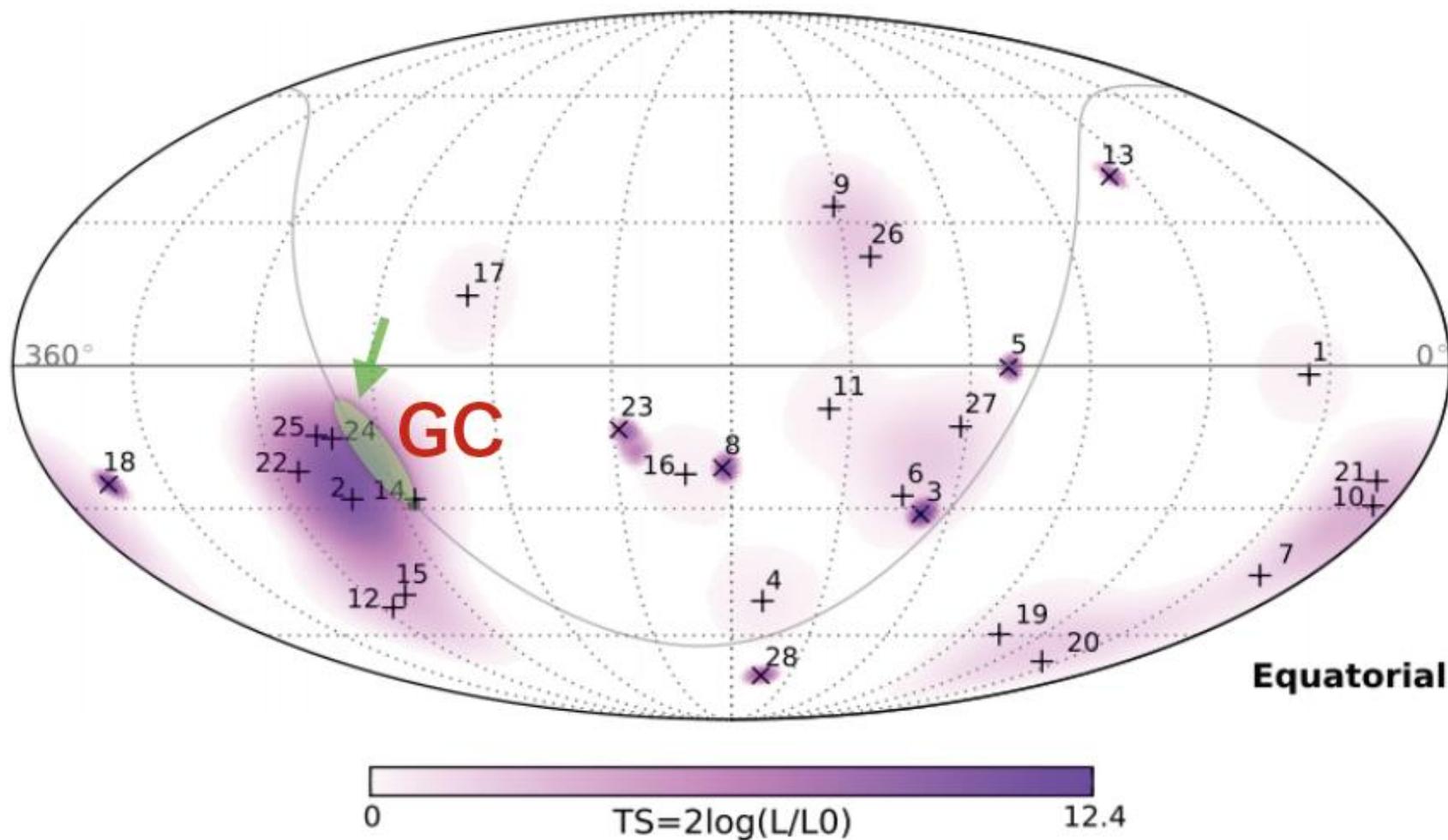


極超新星残骸に於けるニュートリノ生成

シミュレートされた
TeV ニュートリノのフラックス分布
(極超新星から逃げ出した宇宙線が
生成)

銀河中心ニュートリノは極超新星残骸起源か？

He, Lee, Kusenko, S.N. in prep.



完