

岡山大学理学部物理学科 宇宙物理学(作田・石野研究室)紹介

-宇宙からのニュートリノや電波を観測対象にした宇宙物理学実験-

平成21年7月4日

研究室メンバー(2009年6月現在)

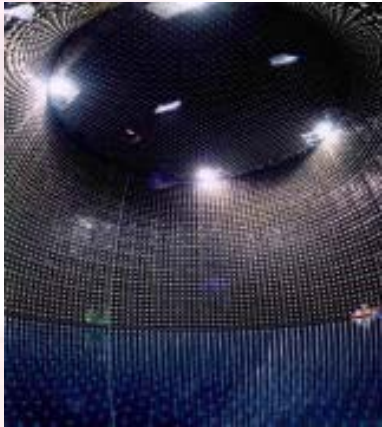
- 作田 誠 (教授)
- 石野 宏和 (准教授)
- 樹林 敦子 (研究員)

- 博士課程3年: 美馬 覚
- 修士1年: 三澤、森、豊田、三野、小倉、小野
- 4年生: 大塚、竹内、山田、泉

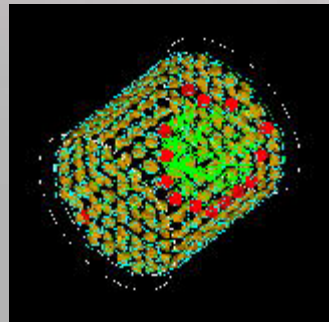


OB: 吉沢 忠尚(ヤマト開発), 池田 一得(修士後、東大D3),
杉原 真央(岡山県玉島高校講師), 出原 由規(小糸製作所),
那須 忠昭(トヨタ)、浜田 祐輔(広島市役所)、石垣真由美(岡山市役所)、
吉田健一(日本高圧電子)

岡山大学理学部物理学科 宇宙物理学実験グループ 作田・石野研究室



SK検出器



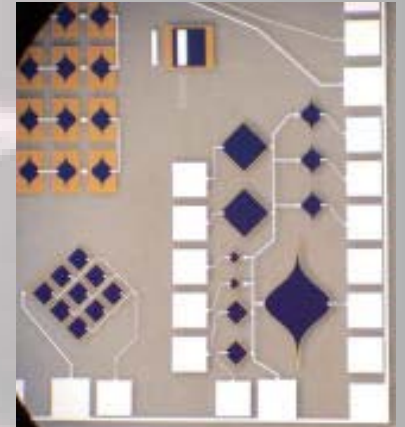
SK実験での中性子検出開発

■ ニュートリノで探る宇宙物理

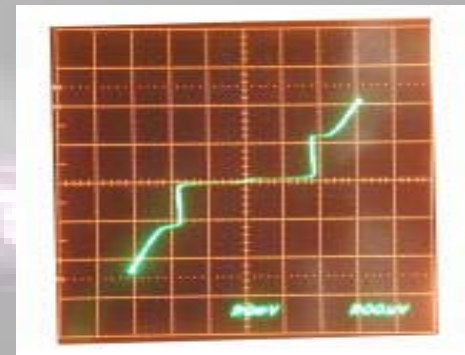
- 宇宙から飛来するニュートリノの観測から宇宙重元素生成過程と星・銀河発展の謎に迫る。関連するニュートリノ原子核反応の研究。

■ 電波で探る宇宙物理

- 超伝導検出器を用いた宇宙背景放射偏光測定からインフレーションの謎に迫る。

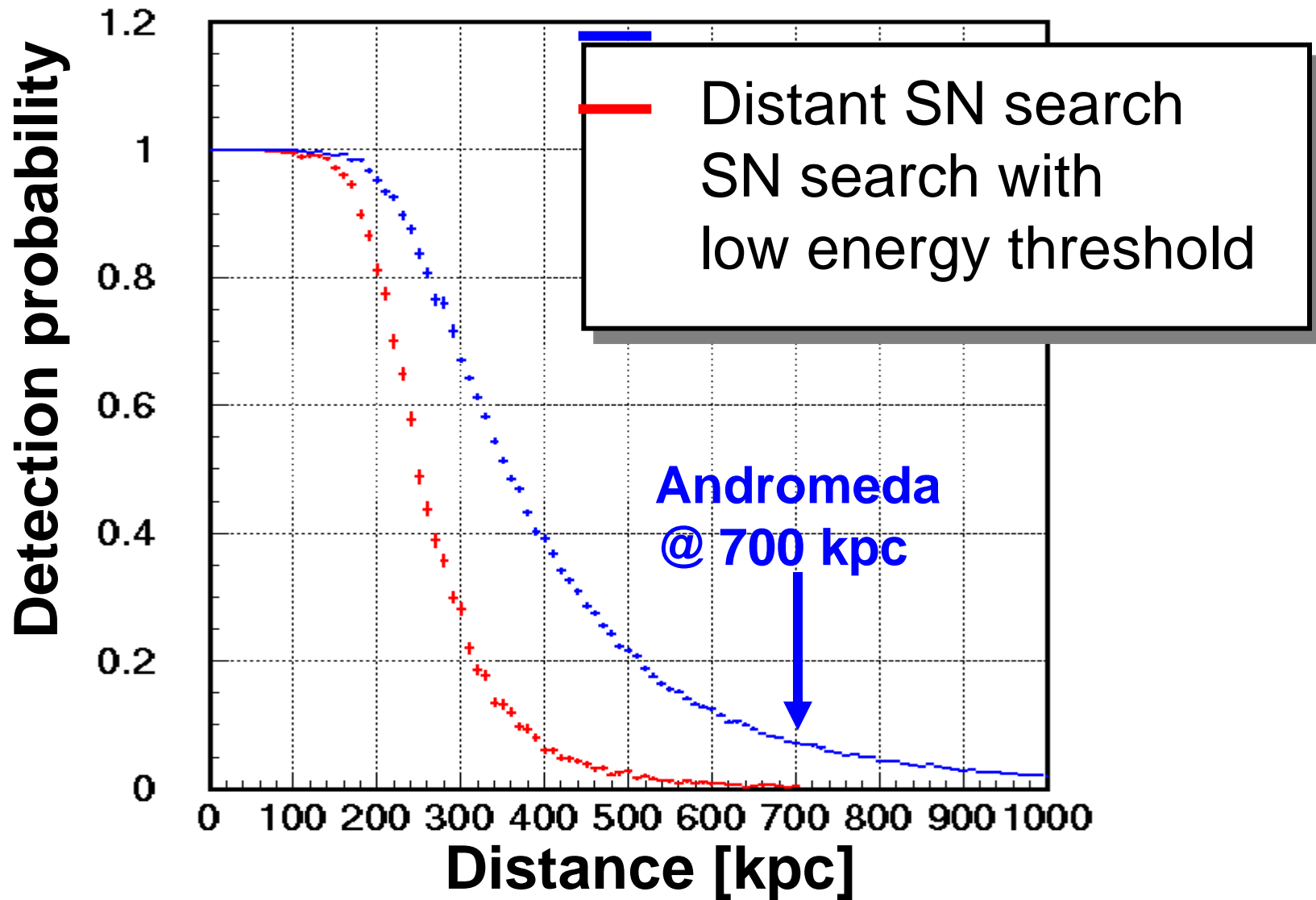


超伝導トンネル結合素子 (STJ) の顕微鏡写真。
一辺は約500ミクロン。



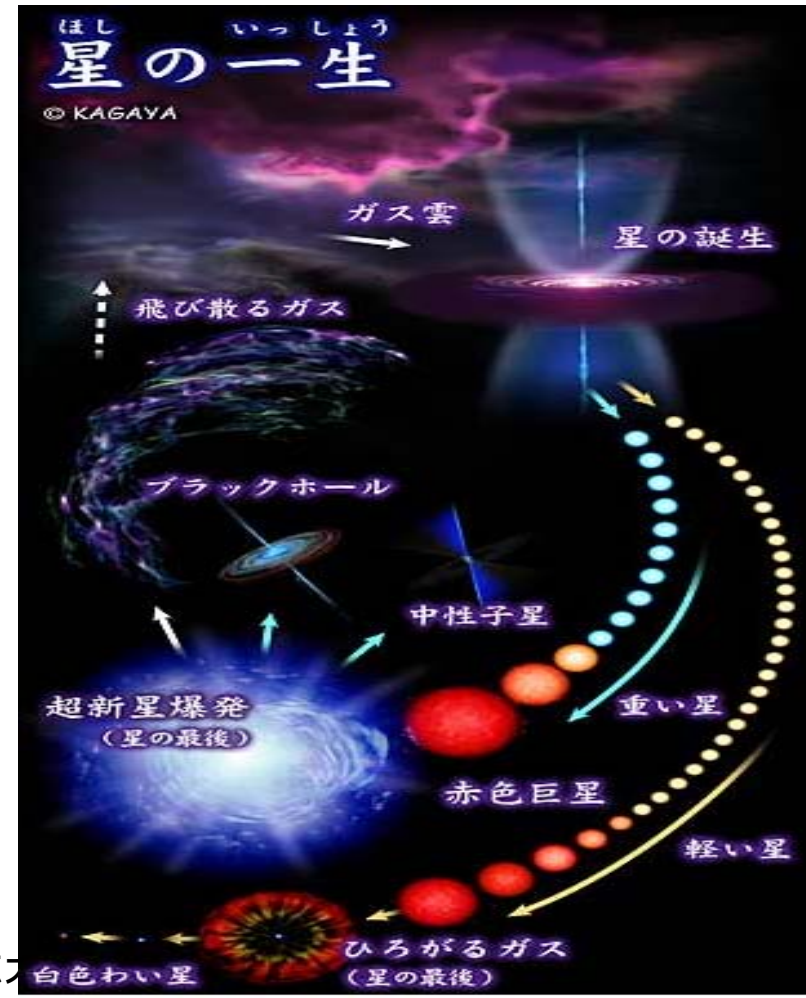
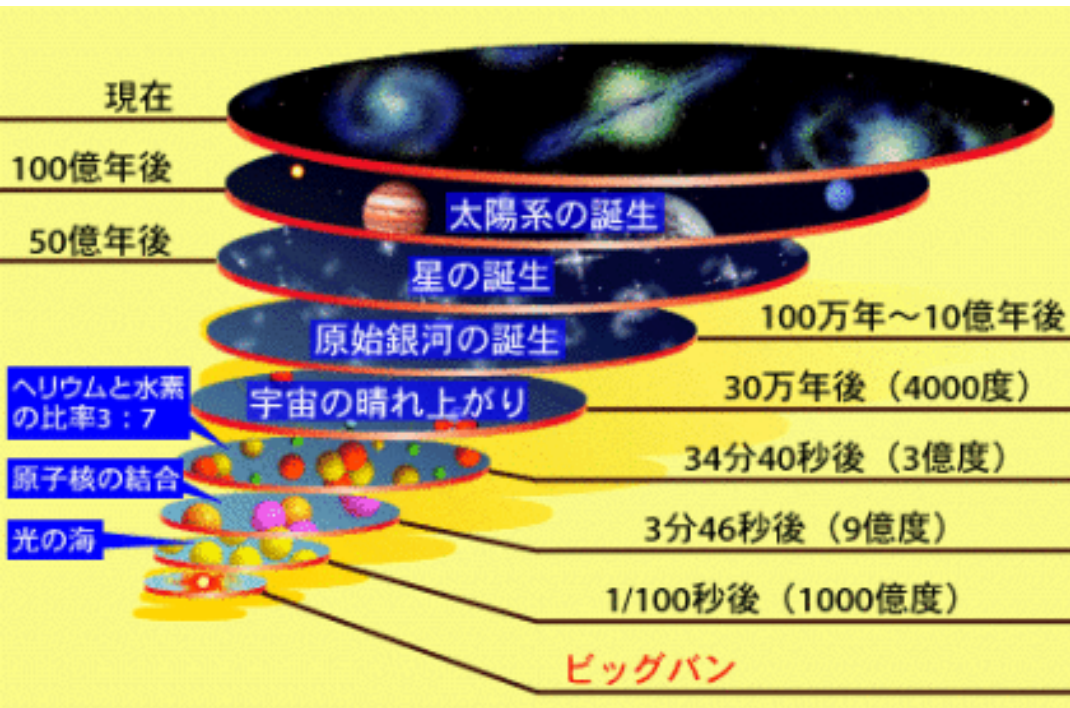
超伝導になっていることを示すアルミニウムSTJの電流電圧カーブ。

スーパーカミオカンデ実験: 世界一の超新星ニュートリノの感度



宇宙の歴史(左)と星の進化(右)

重い星は超新星爆発で終わり、超新星爆発のエネルギーの99%はニュートリノが持ち去る。(小柴:超新星1987Aからのニュートリノ検出)



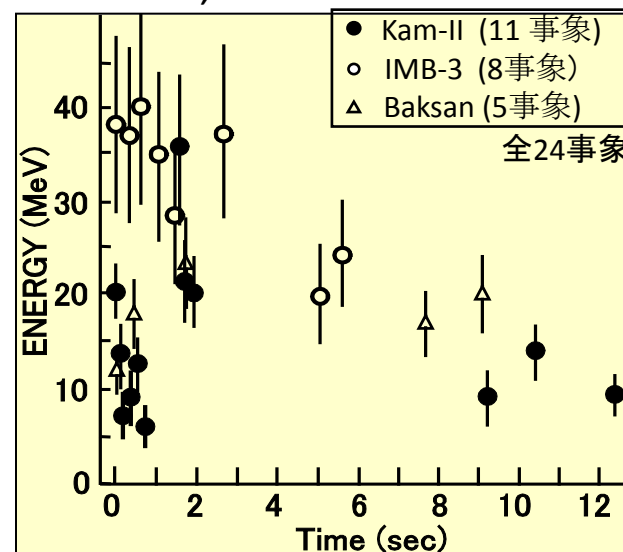
超新星爆発でのニュートリノの学術的な意味

太陽の8倍以上の質量を持つ星は、星の進化の最終過程で超新星爆発をおこす。爆発で発生するエネルギーの99%はニュートリノによって放出される。世界初のカミオカンデによるSN1987Aの観測。

超新星SN1987a



Feb.23, 1987 at 7:35UT



個々の爆発を捉えられる頻度は数十年に一度程度。(ニュートリノ強度の関係から、我々のごく近傍の銀河に限られるため。)

2009年からの主な計画

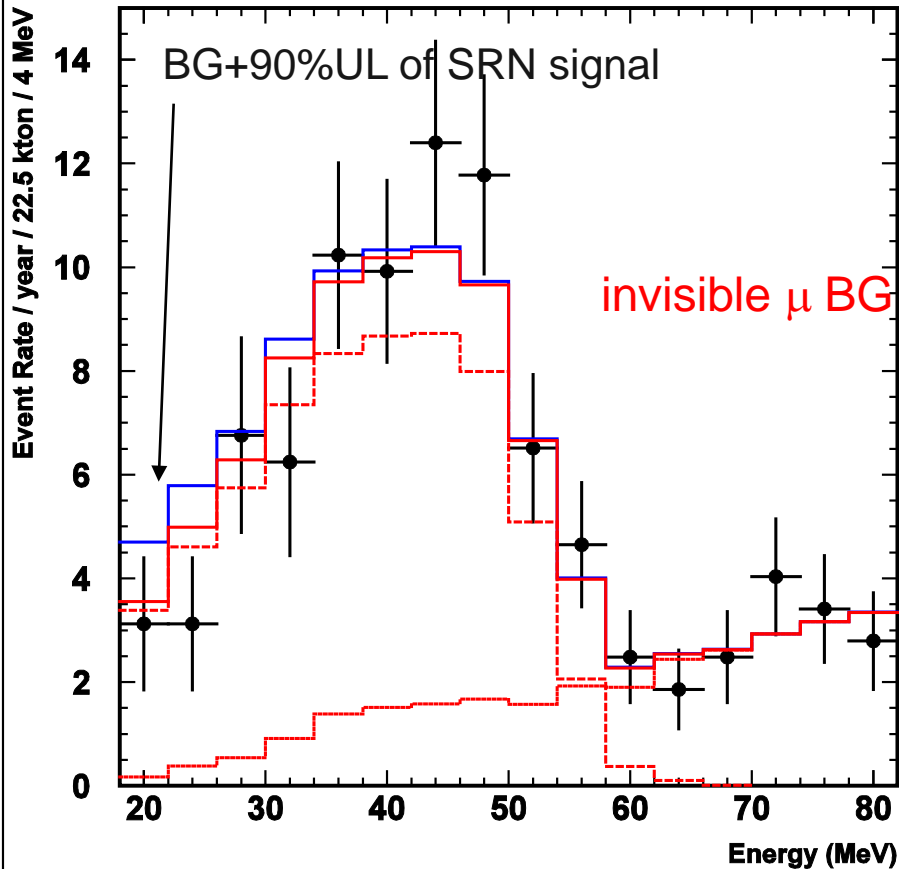
「超新星背景ニュートリノの発見」を目指す

- この銀河や隣の銀河での超新星爆発は10－20年に一回だが、宇宙全体では、過去の星形成以来、平均して約1秒に1個の超新星爆発が起こっている。それからのニュートリノは、我々の体を1秒に10万個通過する。それを超新星背景ニュートリノという。
- 世界一の感度を持つSK実験の測定感度ぎりぎりまで来ている。
- 「超新星背景ニュートリノ」を発見するため、**中性子に感度のある水チェレンコフ検出器**を開発が必須。

—ニュートリノ検出器の革新—

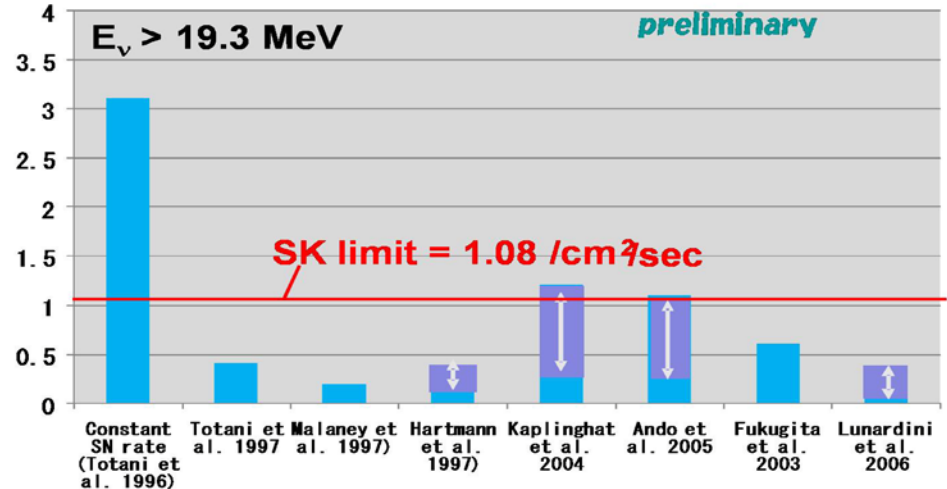
超新星背景ニュートリノ あともう少し

Supernova Relic Search -- Event Rates



SK-I 1496days

PRL90 (2003) 061101

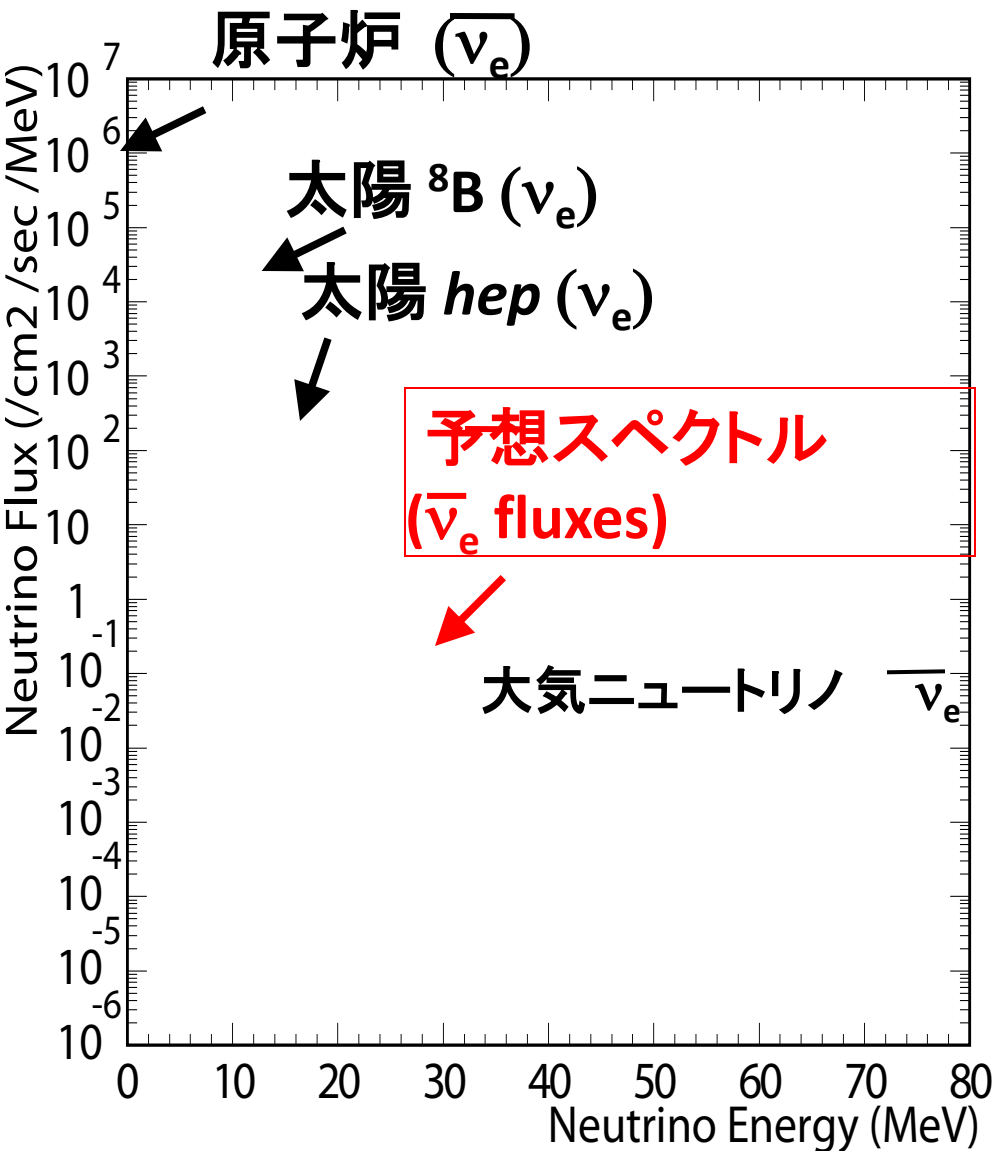


SRN flux < 20~130 ν_e /cm²/sec ($E > 18$ MeV, 90%UL)

「超新星背景ニュートリノ」信号の予想

世界一の感度を持つSK実験の測定感度ぎりぎりまで来ている。

中性子に感度のある水チェレンコフ検出器の開発が必須



期待される信号の数

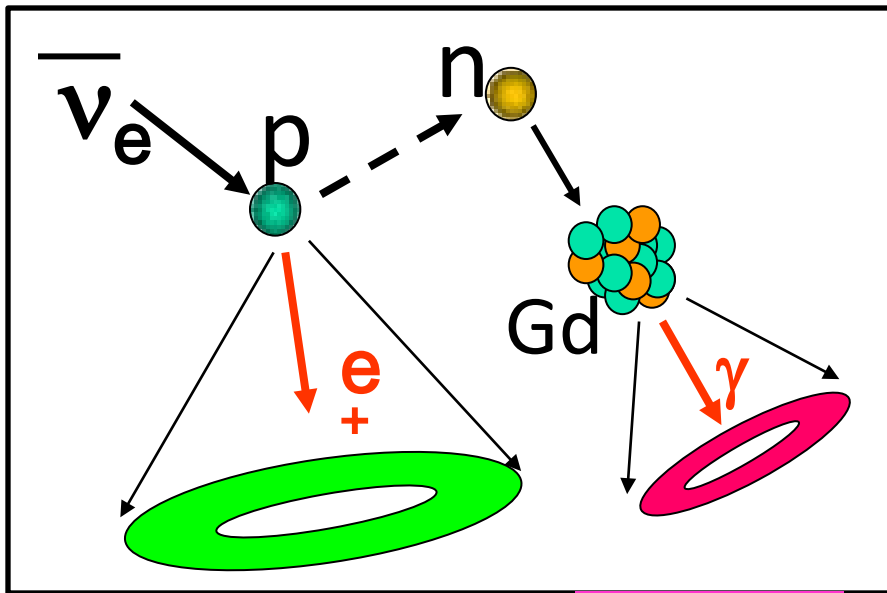
0.8 - 5.0 事象/年/22.5キロトン

➤ 10-30MeVが開かれた観測のエネルギー窓

➤ スーパーカミオカンデ (SK) が世界で唯一検出可能。

新しい反ニュートリノ検出方法 (陽電子と中性子の同時計測)

20cm大検出器では既にうまく行った(ー2008)。本計画(2009ー2013年)では、数百トンクラスで実証する。



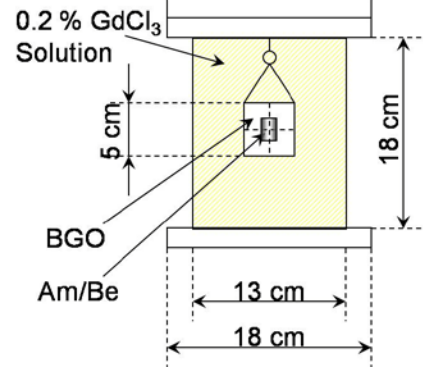
従来の信号

新しい信号

従来の方法: 陽電子の信号のみ
新たな方法: 陽電子および中性子の信号を捕える
(ガドリニウムを0.2%水に溶かすことによって、中性子をガンマ線に90%の効率で変換できる。)

20cm大検出器

GdCl₃ test vessel



BGO



岡大グループの担当

◆タンク的设计、製作

- 2008年よりコンピュータシミュレーションによる実証機の性能評価を行い、設計を行ってきた。今年はず実証機の入れ物の製作を行う。→

◆検出器内(光電子増倍管等)材料に対する化学的試験

- ガドリニウム化合物の水溶液中での化学的性質、長期安定性を調べ、化合物の選択を研究する。UV透過性、腐食性等を期間内に吟味する。→

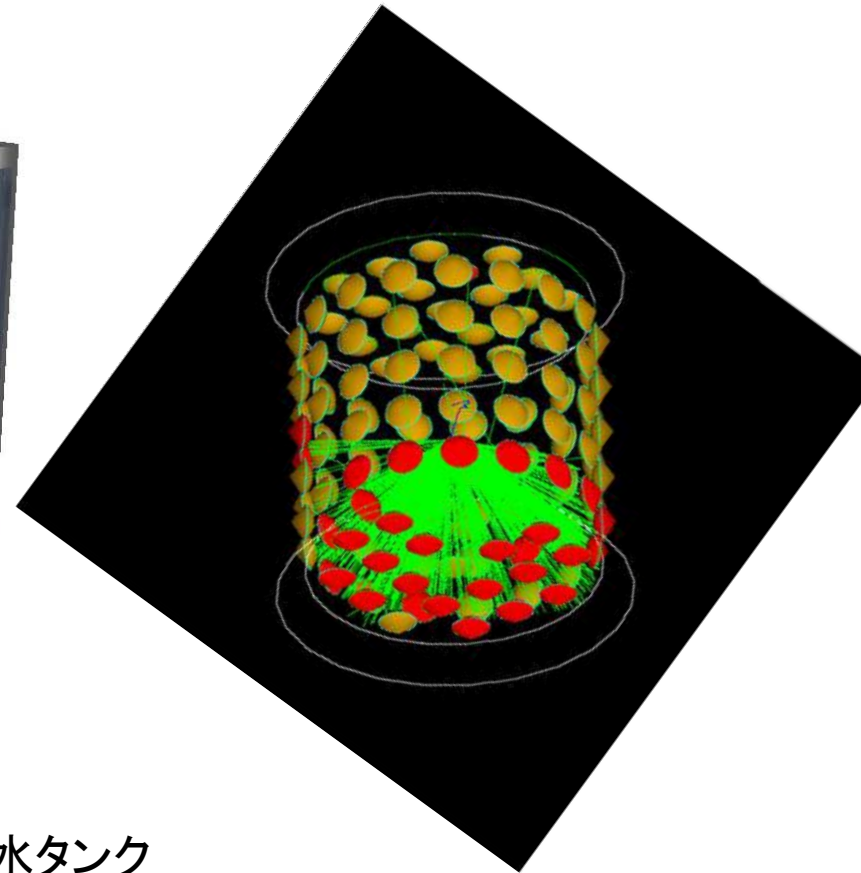
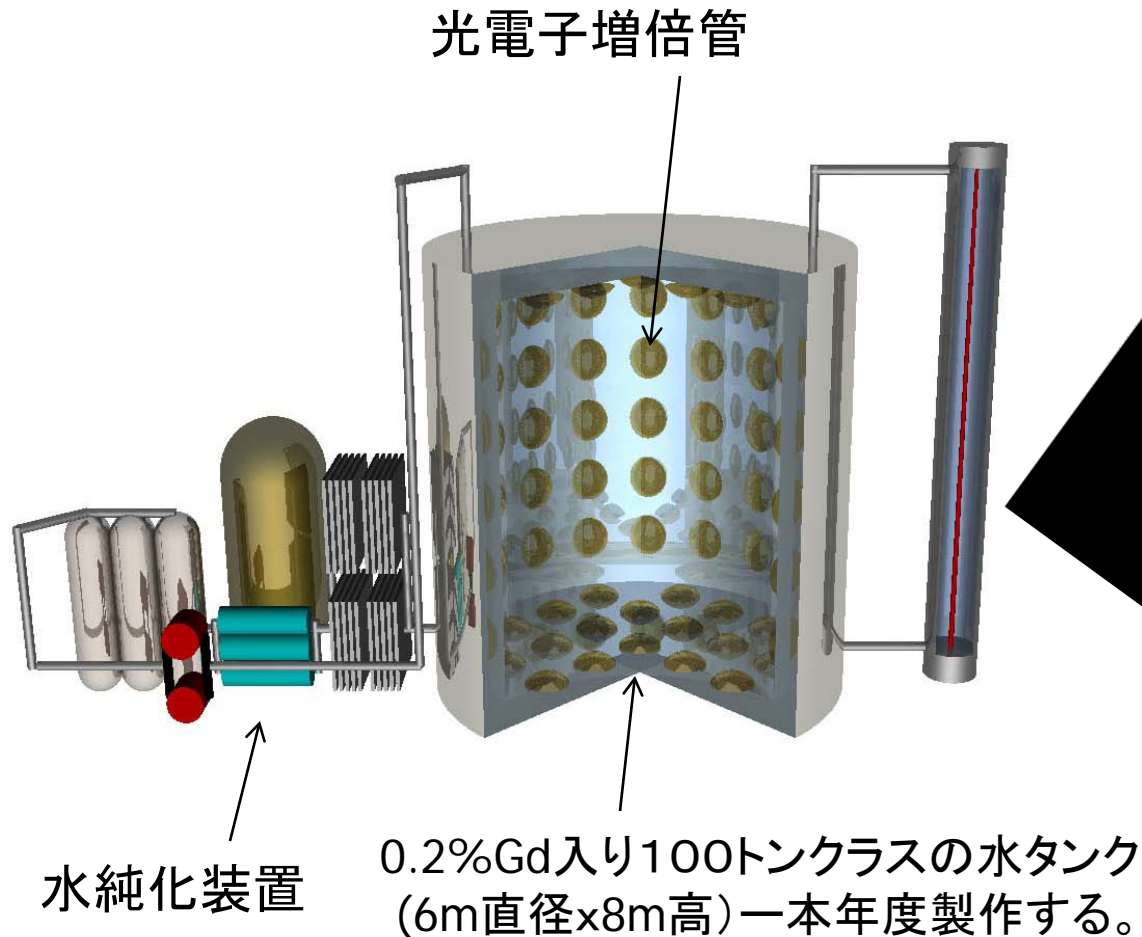
◆中性子の検出効率の評価

- 中性子線源を作り、実証機でのガドリニウムによる中性子検出効率を測定する。

実証機のコンピュータによる性能設計

-実験室+入れ物タンクは本年度製作-

ニュートリノ信号発生
による性能評価



検出器内(光電子増倍管等)材料に対する 化学的試験、光透過性試験 @岡大

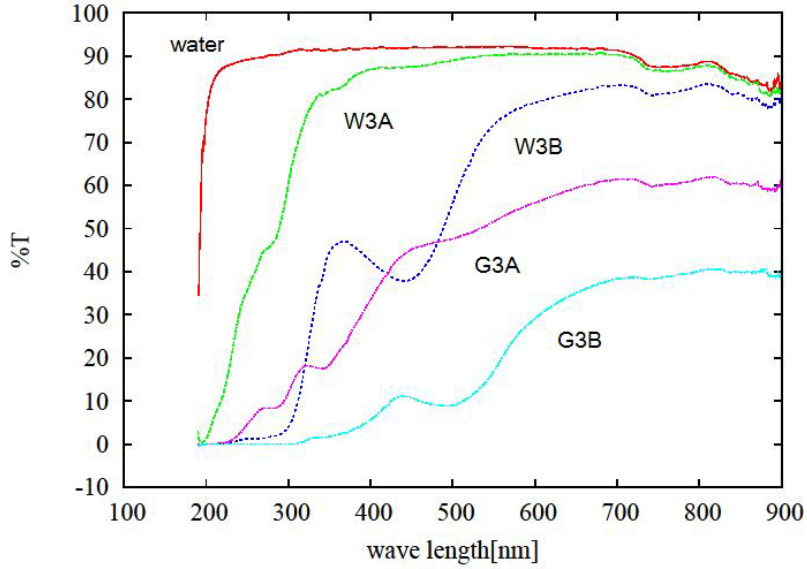


ガドリニウム水溶液中のサンプル

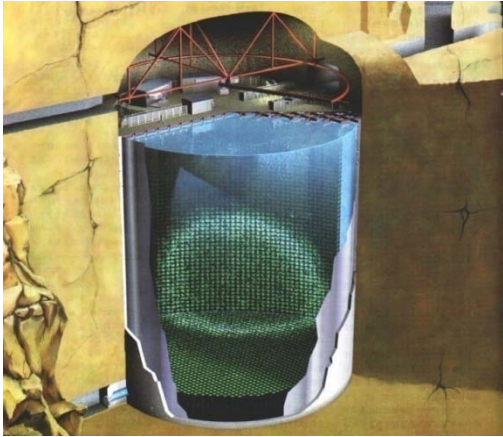


純水ちゅうのサンプル

UV-可視光透過度試験



本研究(平成21-25年)の結果、平成26年以降に期待できること



本研究により中性子検出の原理検証ができれば、SKタンクにガドリニウムを約100トン(0.2%溶液相当)加えることができる。

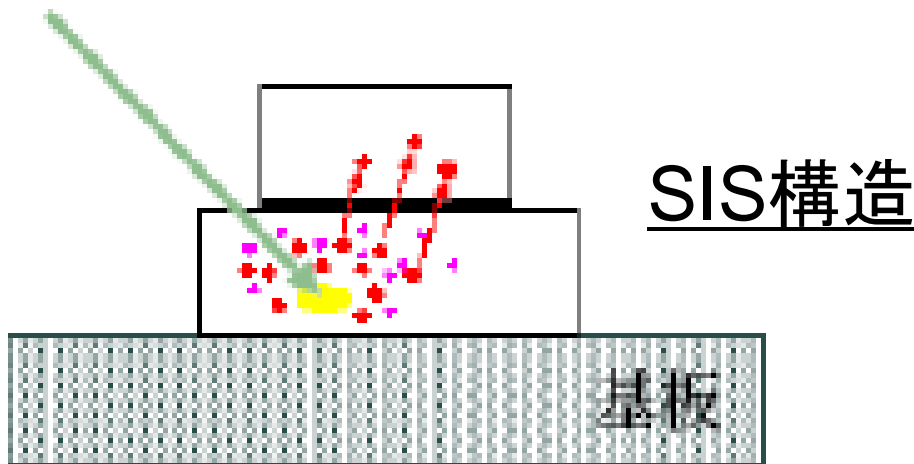
- ◆ 中性子検出が可能な水チェレンコフ装置が実現すれば、超新星背景ニュートリノの観測が世界で初めて可能となる。
- ◆ 超新星背景ニュートリノにより、宇宙の重元素合成の歴史を探ることができる。
- ◆ 水チェレンコフ装置における中性子検出は、原子炉ニュートリノ観測、陽子崩壊探索など、他の宇宙・素粒子研究にも応用でき、その影響は大変大きい。

CMB

STJ Overview

- Superconducting Tunneling Junction Detector
(超伝導接合検出器)
- meVの光子に対するphotoconductor
- 他の超伝導検出器よりノイズが小さく、高速、ダイナミックレンジが大きい: **最高の次世代検出器**

meV光子



クーパー対が壊れ、
電子に戻る。

量子物性理論的には
「準粒子が生まれる」

STJグループメンバー

青: AI STJ (ミリ波カメラ)

赤: Hf STJ (赤外スペクトロスコープ)

黒: 両方

* ミリ波カメラ代表

** 赤外スペクトロスコープ代表

岡山大学

: 石野宏和、樹林敦子、美馬覚

近畿大学

: 大田泉

KEK加速器研究施設

: 吉田光宏

KEK素粒子原子核研究所

: 石本茂、後田裕、佐藤伸明、住澤一高、田島治、
羽澄昌史*、長谷川雅也、樋口岳雄、山内正則

KEK超伝導低温工学センター

: 鈴木敏一、都丸隆之

KEK物質構造科学研究所

: 清水裕彦、森嶋隆裕

JAXA宇宙科学研究本部

: 池田博一

ソウル国立大学

: Soo-Bong Kim

筑波大学

: 金信弘**、武内勇司、武政健一

東北大学

: 服部誠

理化学研究所

: 有吉誠一郎、大谷知行、佐藤広海