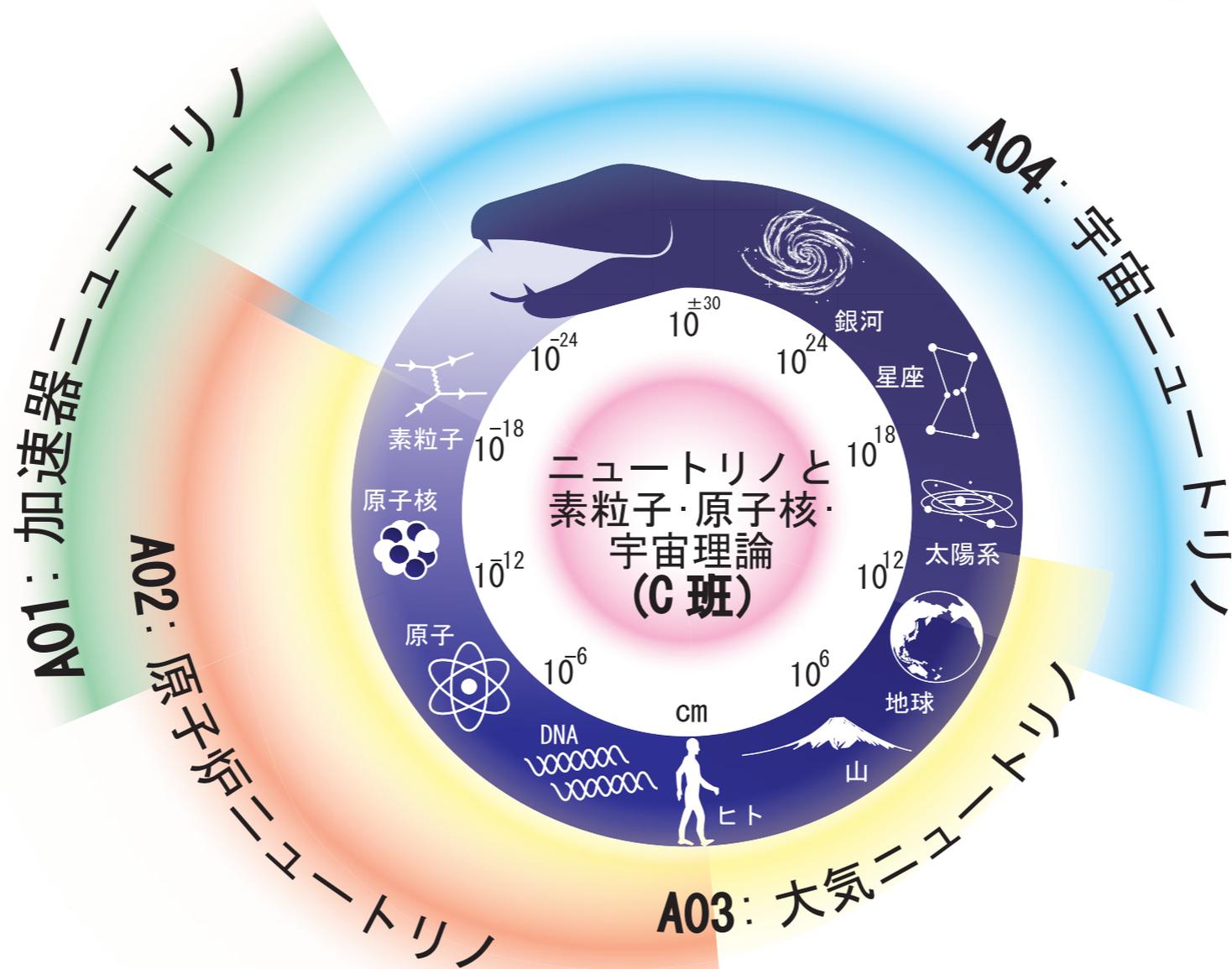


ニュートリノフロンティア の融合と進化

● 京大理・カブリIPMU
中家剛（領域代表）



by 池田 一得

写真乾板 & 画像解析 3次元イメージング検出器 超伝導測定器

新しい測定器技術 (B班)



母なるニュートリノ

村山 斉

(Kavli IPMU & Berkeley)

小柴ホール April 20, 2013



自然の深部の情報を伝えるメッセンジャー

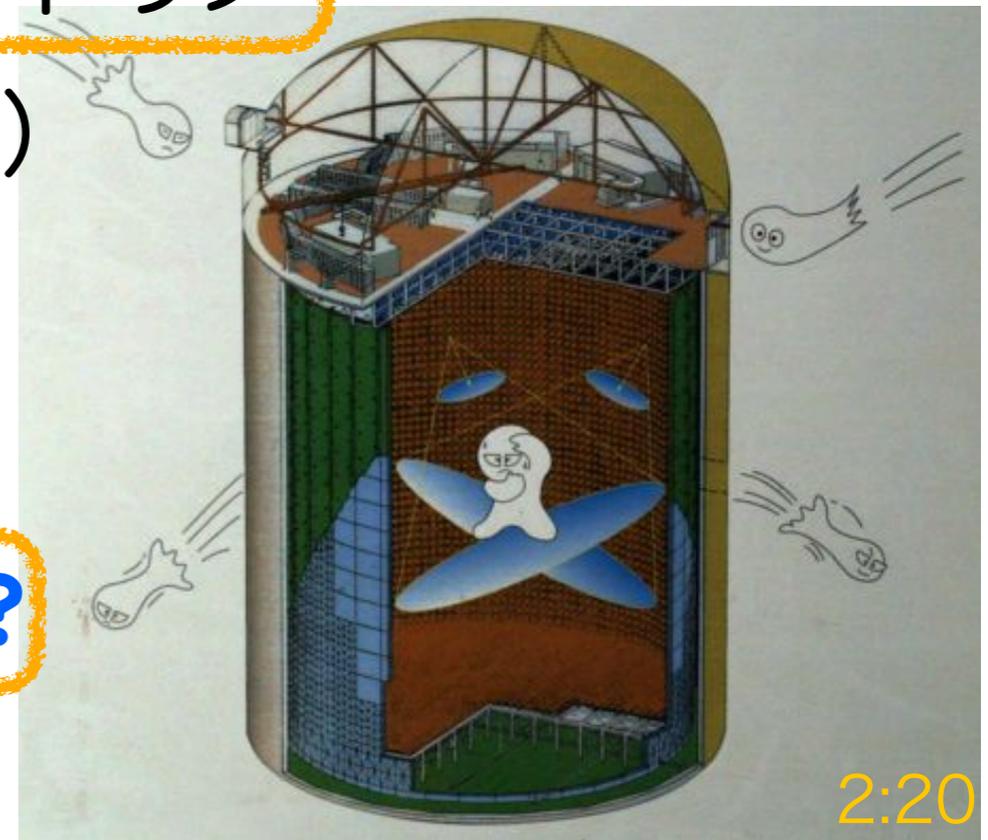
- 宇宙はニュートリノで満ちている。
- 宇宙背景ニュートリノ ($300\text{個}/\text{cm}^3$)
- 太陽からのニュートリノ ($600\text{億個}/\text{cm}^2/\text{秒}$)
- 大気、地球、超新星、宇宙 ニュートリノ

発見

• 相互作用が弱い (幽霊粒子と呼ばれる)
質量が存在。極端に軽い。

問題

- ニュートリノは混ざる。
- 粒子と反粒子の違い (CP対称性) ??



2:20

ニュートリノで観る自然

● ニュートリノの性質 (質量と混合)

- 極小の質量 ($0 < m_\nu < \sim 0.5\text{eV}$)
- ヒッグス粒子 + α ?
- 質量の順序? ($m_3 > m_1$?)

• 超高エネルギー (10^{22}eV 、 10^{-28}m) の物理へのアプローチ

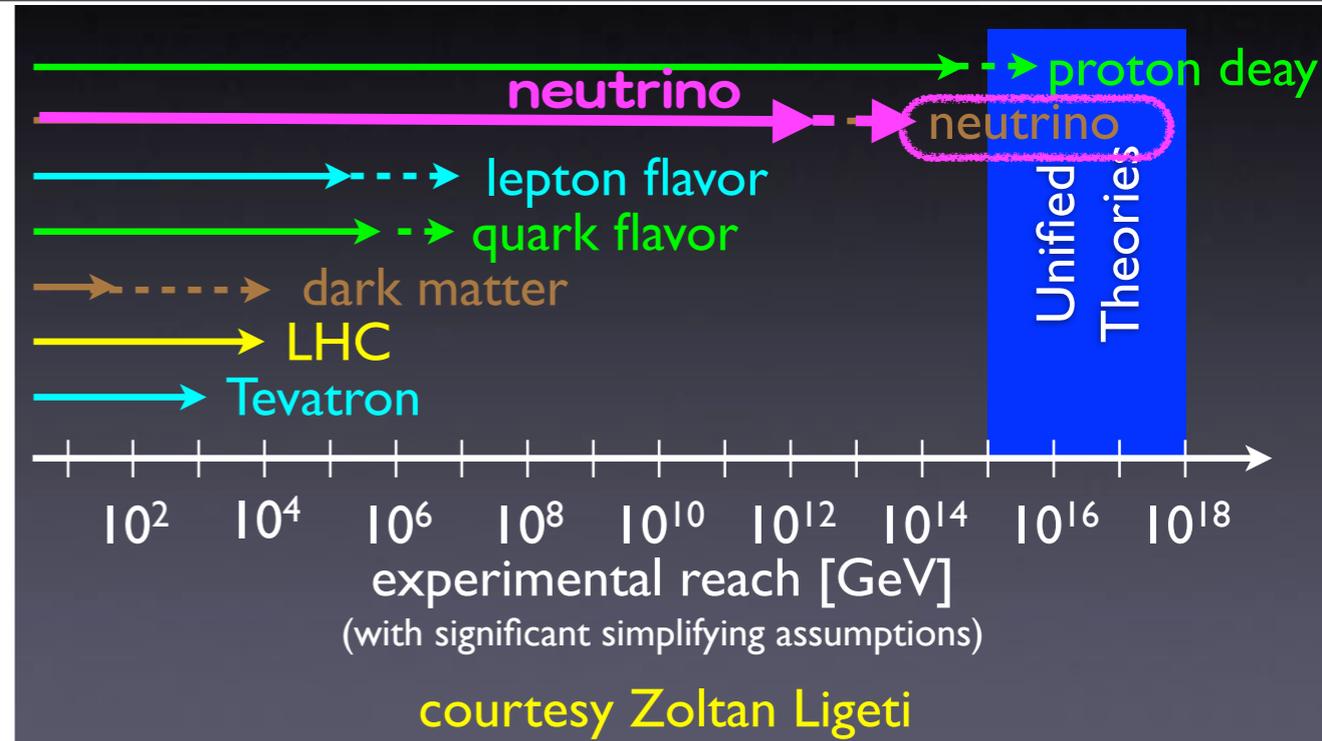
• 力 (電磁力、強い力、弱い力) の統一、クォークとレプトンの対称性

• 粒子と反粒子の違い (CPの破れ)

• 物質優勢宇宙誕生の鍵

● ニュートリノで観る自然の構造

- 素粒子の構造 (10^{-28}m)
- 原子核 (10^{-15}m) { $10^9\text{ eV } \nu$ }
- 原子炉、核分裂 ($\sim 1\text{m}$) { $10^6\text{ eV } \nu$ }
- 地球内部 ($\sim 10^7\text{m}$) { $10^{10}\text{ eV } \nu$ }
- 宇宙・天文 ($\sim 10^{26}\text{m}$) { $10^{19}\text{ eV } \nu$ }



3:30

日本のニュートリノ研究の実績

ニュートリノ振動 (質量) の発見

- 質量差 : Δm^2_{12} , Δm^2_{32} , Δm^2_{31}
- 混合角 (割合) : θ_{12} , θ_{23} , θ_{13} ← 2012年
- これから → CPの破れ : δ_{CP}

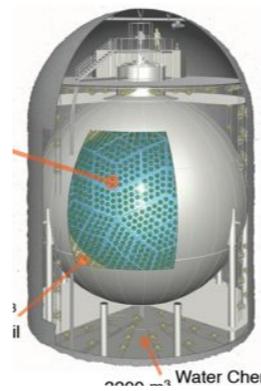
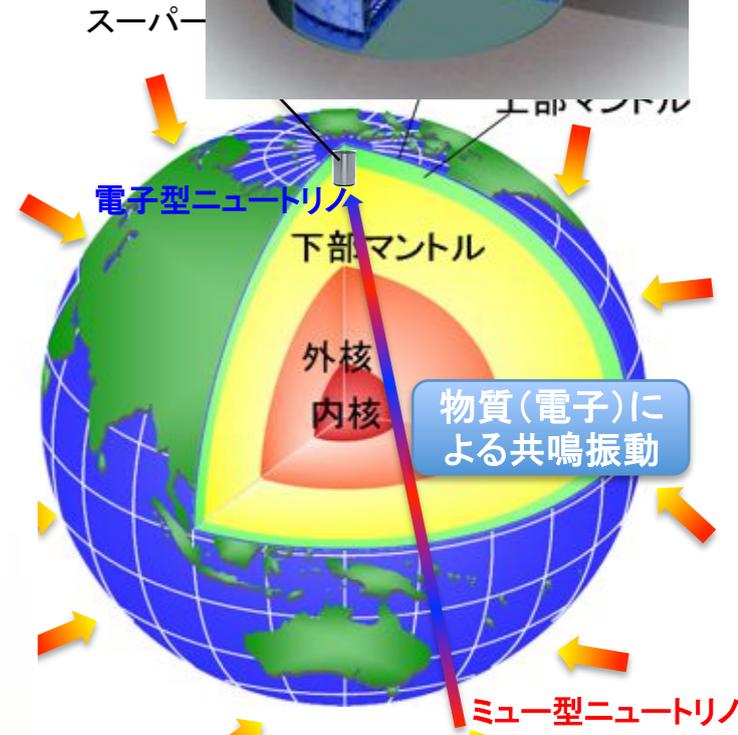
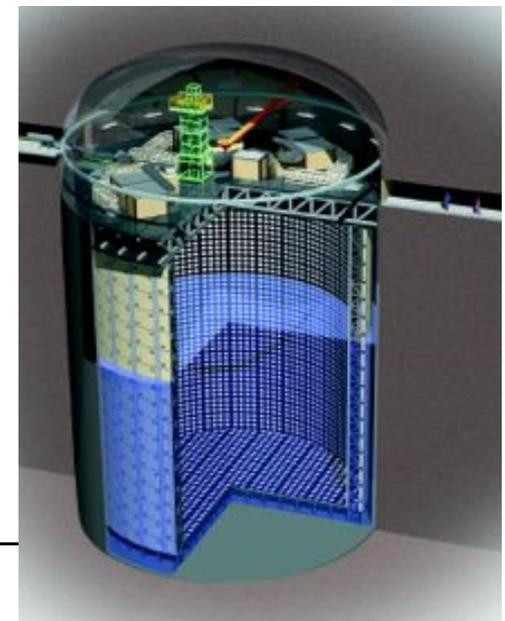
自然ニュートリノ観測

- 超新星ニュートリノ
- 太陽ニュートリノ
- 大気ニュートリノ
- 地球反ニュートリノ

- 宇宙高エネルギーニュートリノ ← 2012年

人工ニュートリノ測定

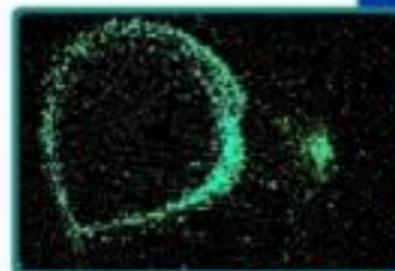
- 加速器ニュートリノビーム
- 原子炉反ニュートリノ



原子炉



KEK



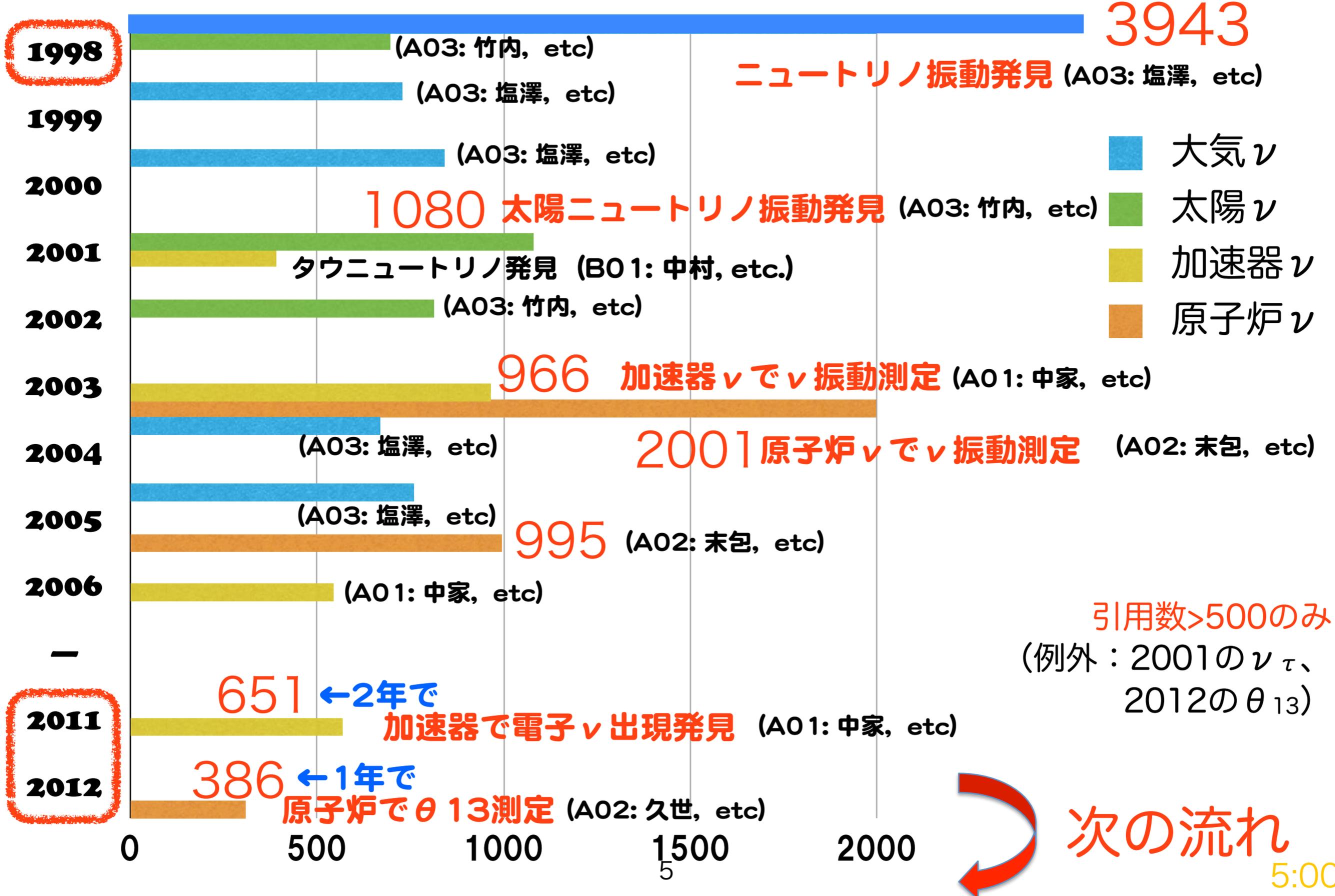
Super-KAMIOKANDE



加速器ビーム

日本のニュートリノ研究の成果 (一部)

重要な結果を発表した論文の引用数



2013年

—新しいニュートリノ科学の幕開け—



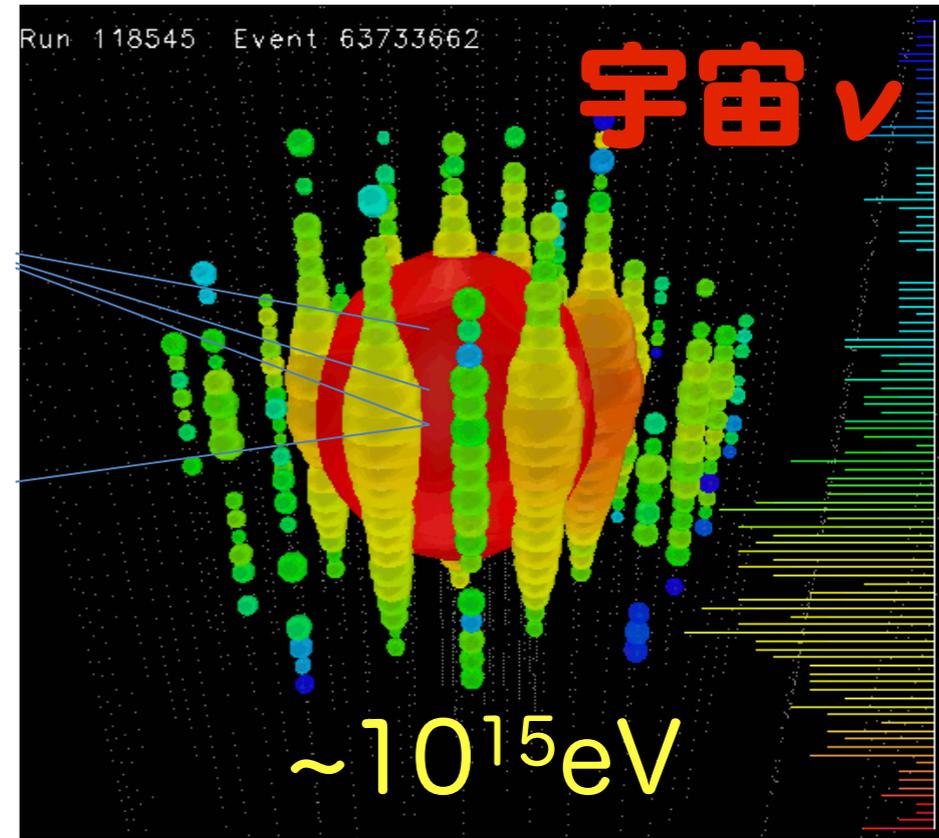
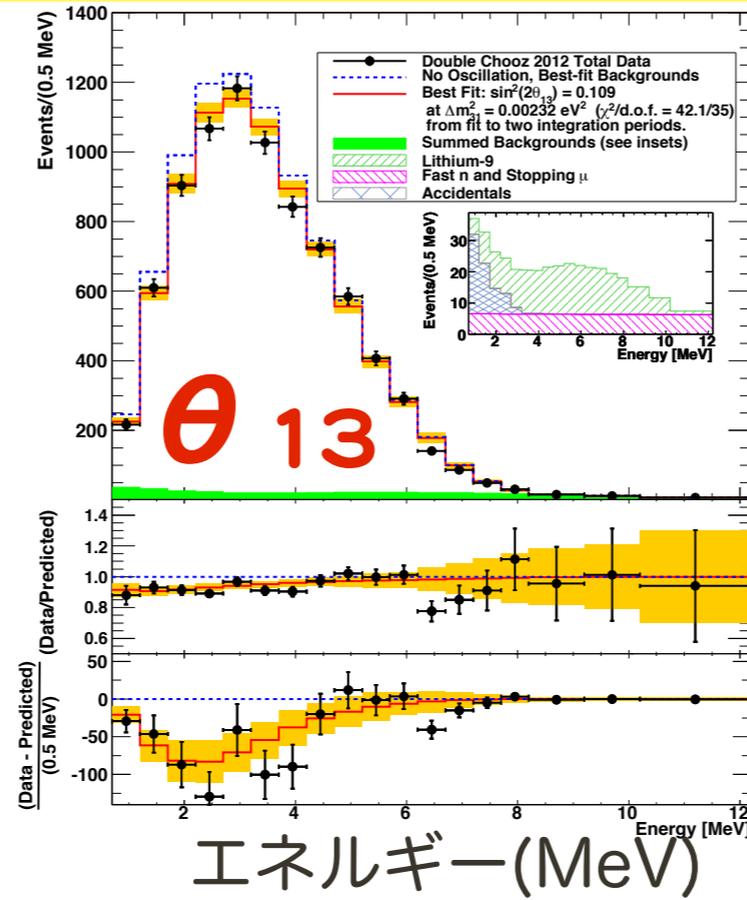
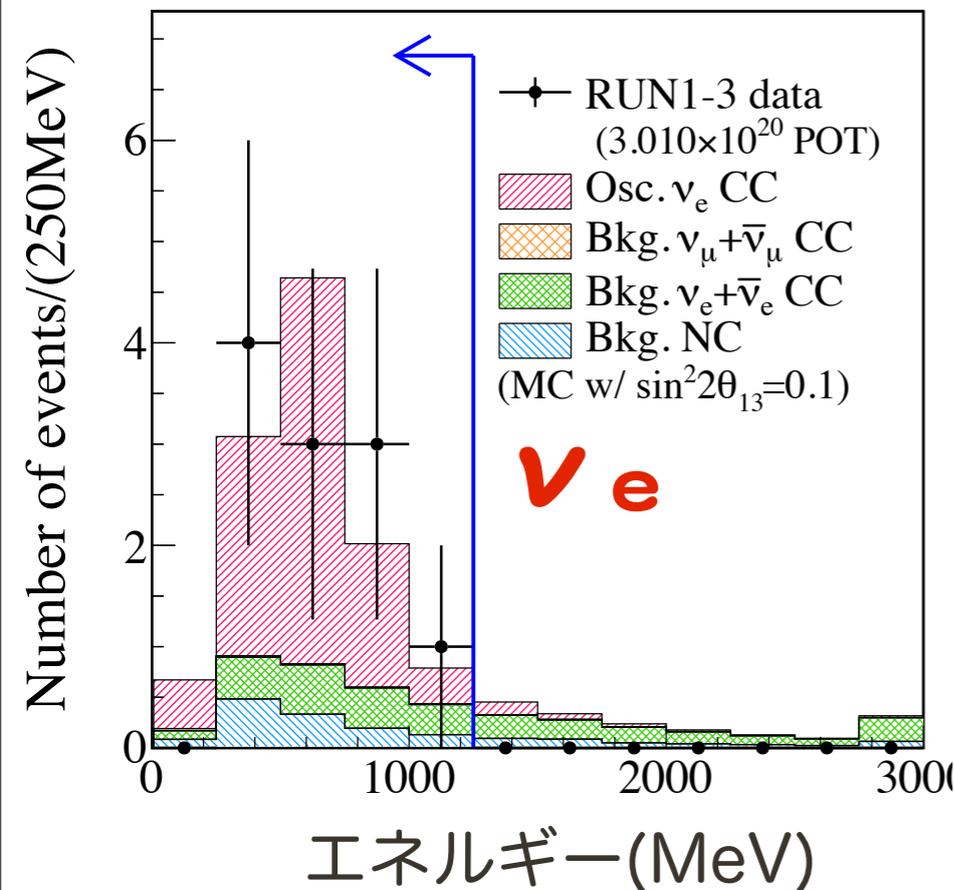
第25回ニュートリノ・宇宙物理国際会議 2012年6月3-9日@京都



5:40

ニュートリノ科学の幕開け

“Bert”



- $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 発見 (A01 : T2K)
- θ_{13} の精密測定 (A02 : Double Chooz)
- 超高エネルギー宇宙ニュートリノ初観測 (A04 : IceCube)

- ◆ ニュートリノ振動の究明 → 素粒子統一理論の構築
- ◆ ニュートリノCPの研究 → 物質優勢宇宙 (消えた反物質) の解明
- ◆ 新しいニュートリノ天文学 → 未開拓の高エネルギー宇宙像確立

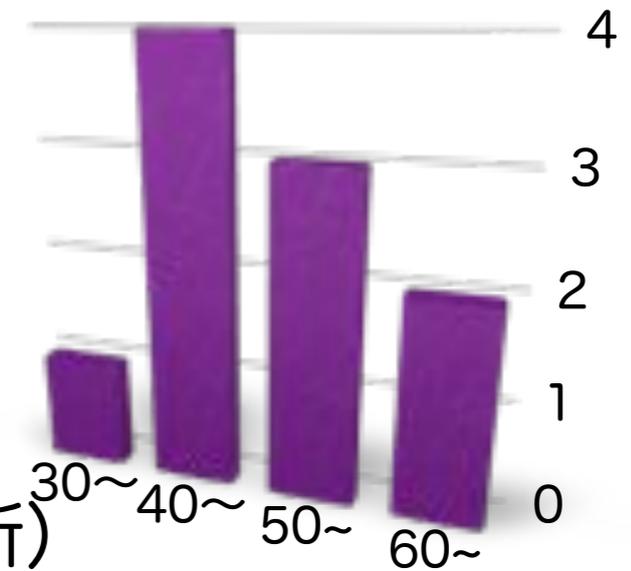
領域組織

- 領域代表・総括班代表 中家 剛 (京都大学)

若手がリーダー

計画研究代表者： 各分野における国際的リーダー

- A01 (加速器) 中家 剛 (京都大学)
- A02 (原子炉) 久世 正弘 (東京工業大学)
- A03 (大気) 塩澤 真人 (東京大学宇宙線研究所)
- A04 (宇宙) 吉田 滋 (千葉大学)
- B01 (位置) 中村 光廣 (名古屋大学)
- B02 (エネルギー) 金 信弘 (筑波大学)
- B03 (3Dイメージ) 丸山 和純 (KEK)
- C01 (素粒子論) 安田 修 (首都大学東京)
- C02 (原子核論) 佐藤 透 (大阪大学)
- C03 (宇宙・素粒子) 北野 龍一郎 (東北大→KEK)



■ 代表者年齢構成

構成員総数：64名

参加機関数：21

北海道大、岩手大、東北大、筑波大、東大宇宙線研、KEK、東大、東工大、東京理科大、首都大、千葉大、埼玉大、東邦大、JAXA、新潟大、福井大、名古屋大、京大、神戸大、大阪大、広島工業大

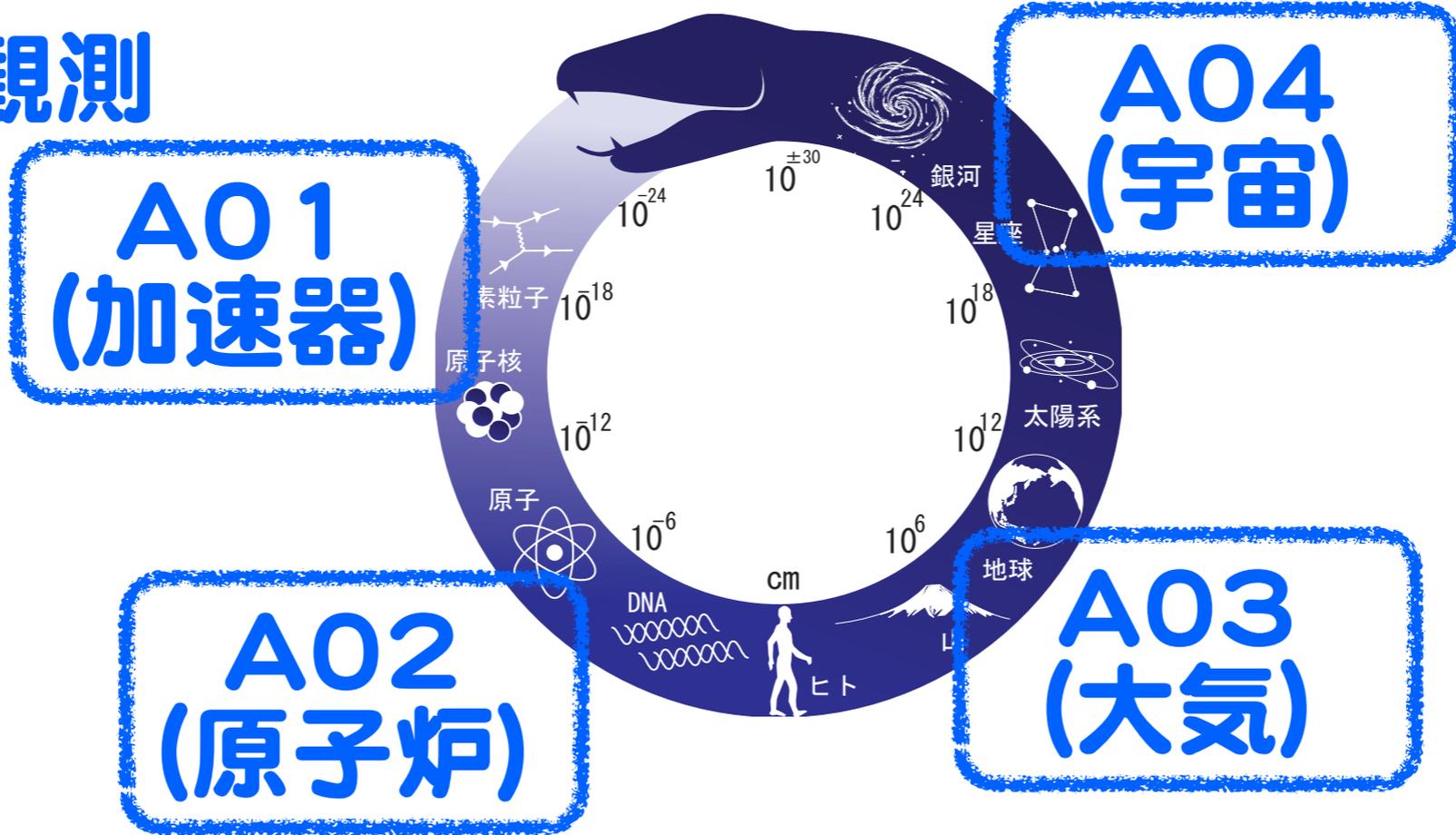
$$\begin{aligned}
P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = & 4C_{13}^2 S_{13}^2 S_{23}^2 \cdot \sin^2 \Delta_{31} \\
& + 8C_{13}^2 S_{12} S_{13} S_{23} (C_{12} C_{23} \cos \delta - S_{12} S_{13} S_{23}) \cdot \cos \Delta_{32} \cdot \sin \Delta_{31} \cdot \sin \Delta_{21} \\
& - 8C_{13}^2 C_{12} C_{23} S_{12} S_{13} S_{23} \sin \delta \cdot \sin \Delta_{32} \cdot \sin \Delta_{31} \cdot \sin \Delta_{21} \\
& + 4S_{12}^2 C_{13}^2 (C_{12}^2 C_{23}^2 + S_{12}^2 S_{23}^2 S_{13}^2 - 2C_{12} C_{23} S_{12} S_{23} S_{13} \cos \delta) \cdot \sin^2 \Delta_{21} \\
& - 8C_{13}^2 S_{12}^2 S_{23}^2 \cdot \frac{aL}{4E_\nu} (1 - 2S_{13}^2) \cdot \cos \Delta_{32} \cdot \sin \Delta_{31} \\
& + 8C_{13}^2 S_{13}^2 S_{23}^2 \frac{a}{\Delta m_{13}^2} (1 - 2S_{13}^2) \sin^2 \Delta_{31}
\end{aligned}$$

ν振動
CPの破れ

C01 (素粒子) C02 (原子核) C03 (宇宙素粒子)

理論

ν測定・観測



νによる
宇宙像

B01 (位置) B02 (エネルギー) B03 (3Dイメージ)

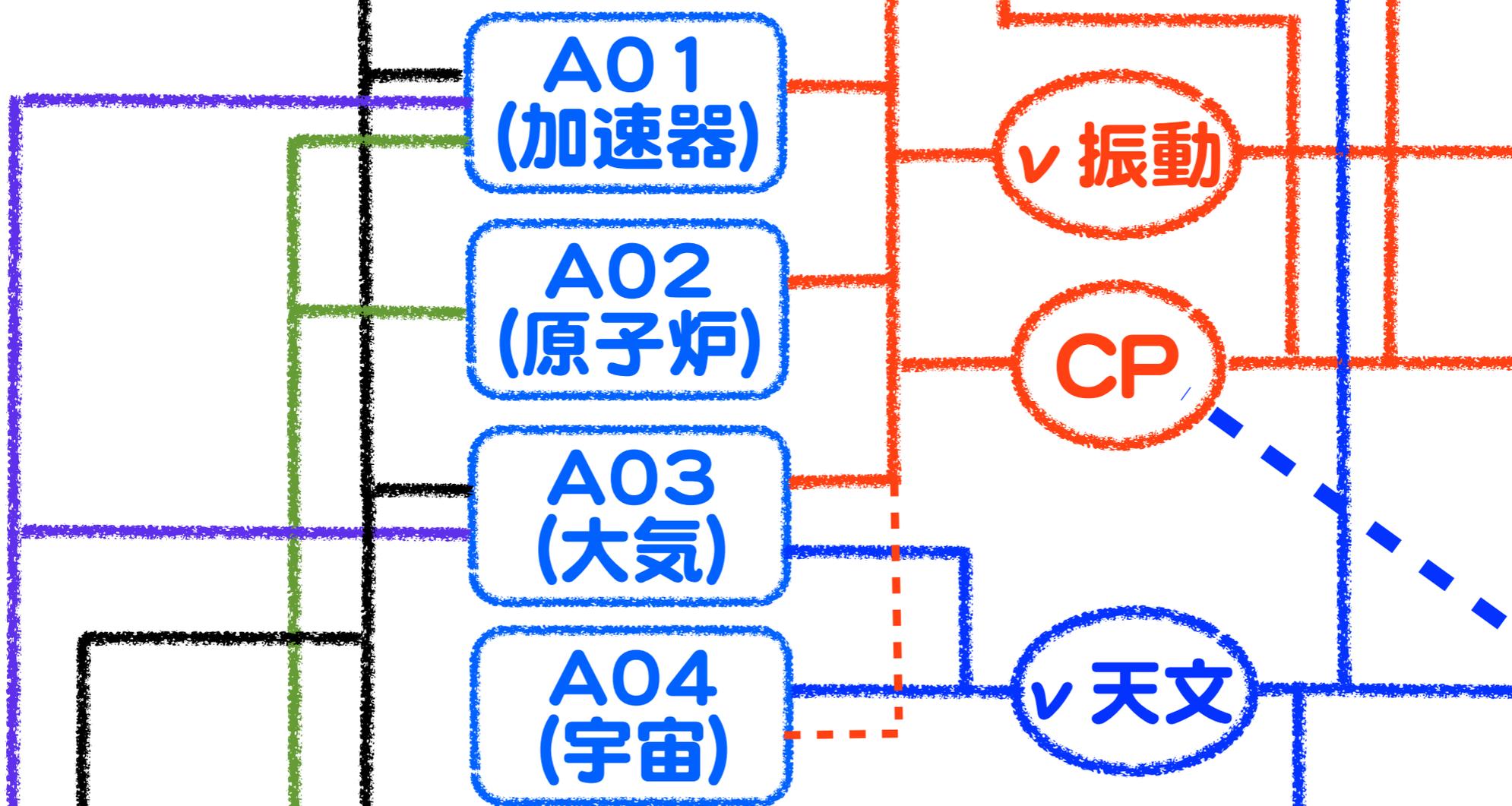
実験技術

領域内の連携

理論融合



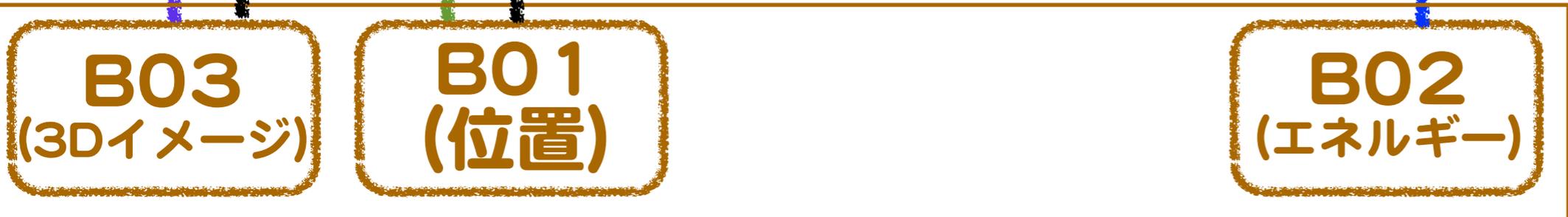
新アイデア



統一理論

物質優勢宇宙

宇宙進化

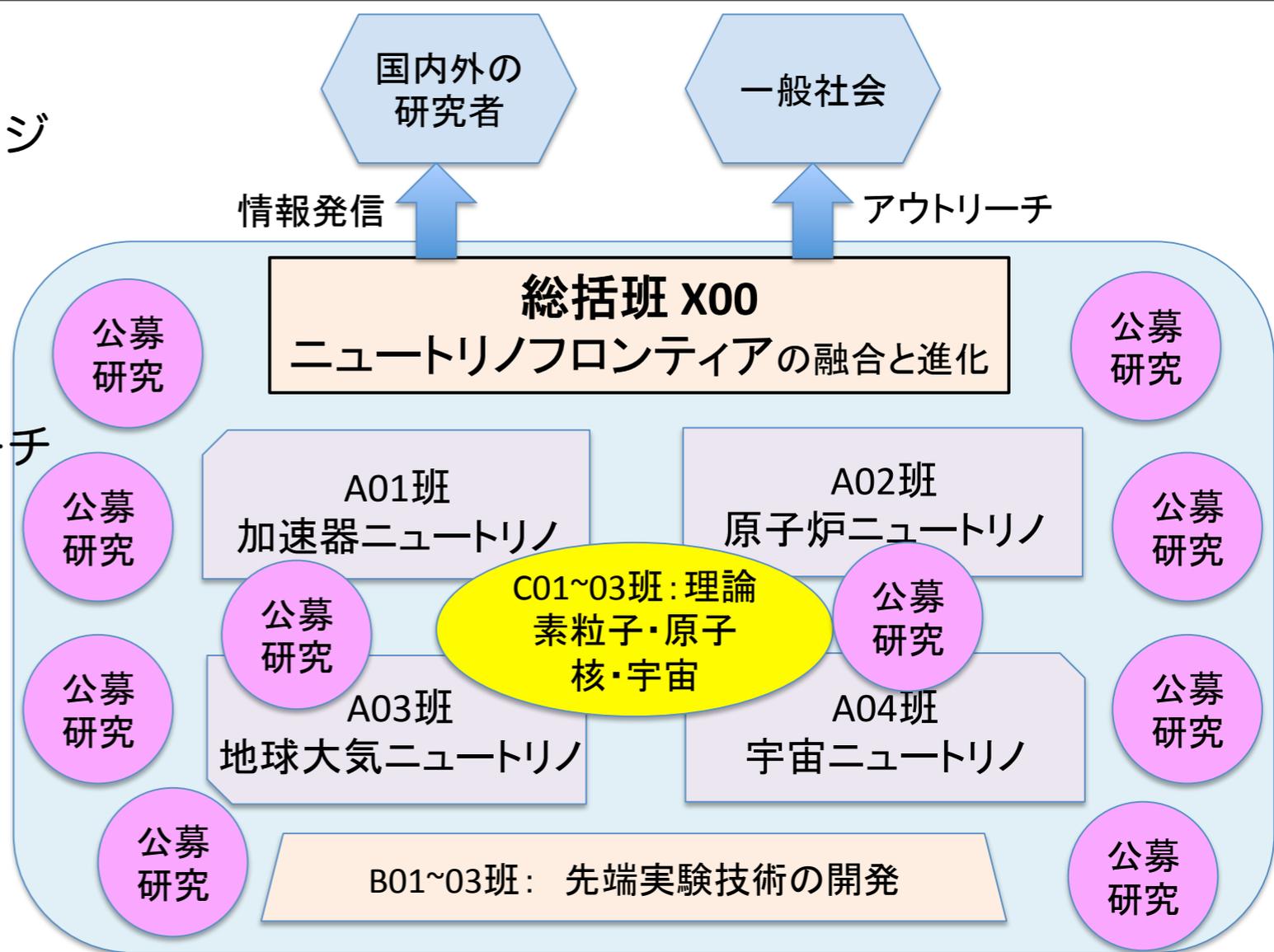


技術開発協力

領域運営

研究会：4月21日@東大

- ・ 領域事務
- ・ ホームページ
- ・ 研究会
- ・ スクール
- ・ 国際会議
- ・ アウトリーチ



領域全体の研究方針の策定と評価

・ **物理学会シンポジウム等で確認**

研究計画間の連携推進

・ 2013年4月に準備研究会開催。

~130名の参加があり、「ニュートリノ」領域への強い関心と期待を実感。

研究成果発表の促進と若手研究者支援

若手の育成

・ 研究会参加の半数以上が若手（大学院生、ポスドク）。大学の参加が多く（21研究機関）、若手が領域の原動力。

・ **代表者が若い** → 若手の目標、ライバル。

・ 若手自らが、世界をリードする研究成果の創出。グローバルスタンダード構築

計画研究 A—ニュートリノ振動—

- **A01 (加速器ニュートリノビーム測定)**

- ニュートリノ振動の精密測定

- θ_{13} 、 θ_{23} 、 Δm^2_{32}

- CPの破れ (δ_{CP})

- **A02 (原子炉ニュートリノ測定)**

- θ_{13} の精密測定

- Δm^2_{31}

- **A03 (大気ニュートリノ観測)**

- θ_{23} 、 Δm^2_{32}

- 質量の順序 ($m_3 > m_1$ or $m_3 < m_1$) の決定

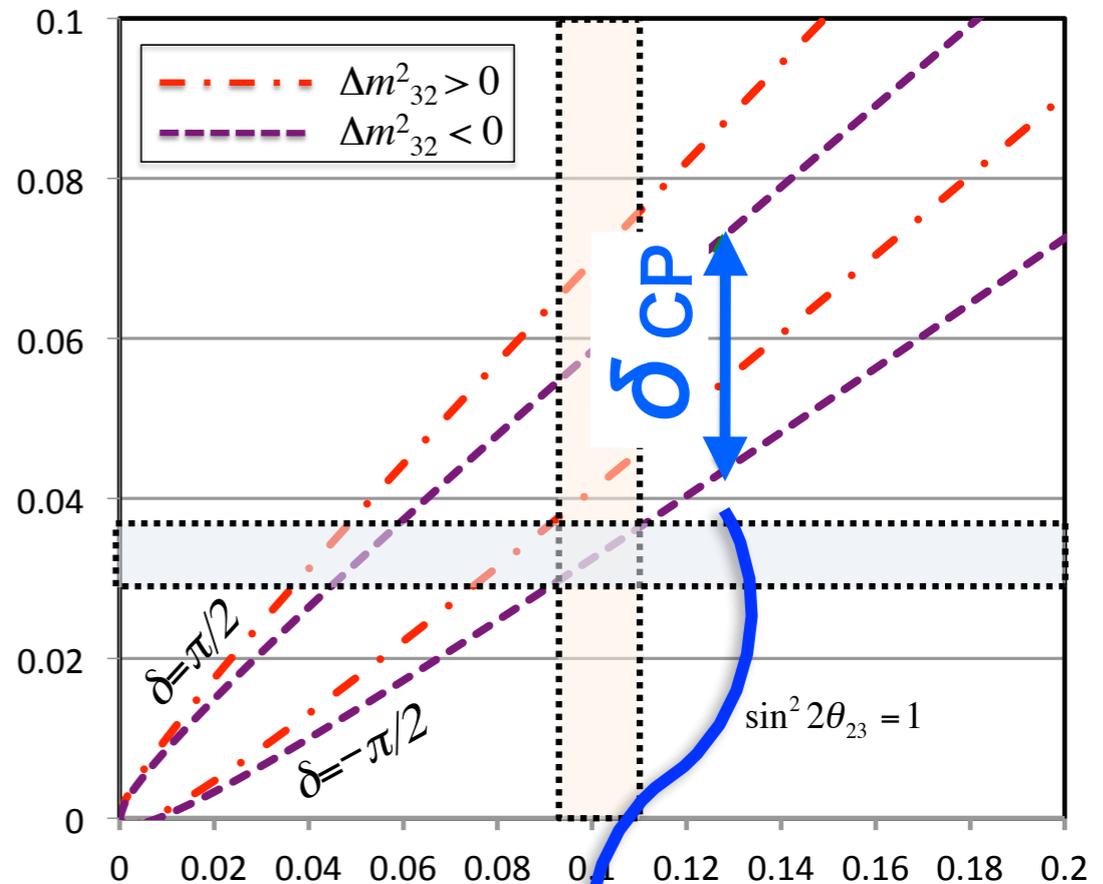
- **C01 (ニュートリノ振動理論)**

- データの総合解析と新物理探索

- 世界で最初に**質量の順序**、**CPの破れ**を探る。

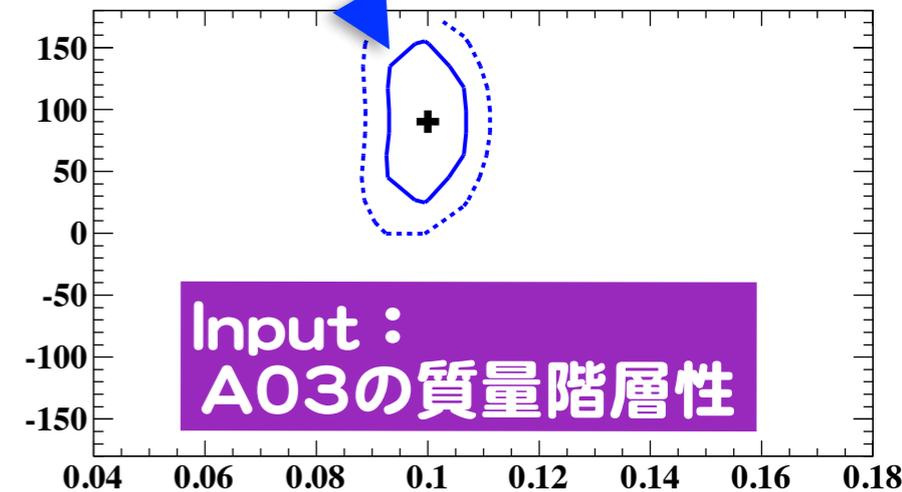
- 世界最高精度でニュートリノ振動パラメータの決定

A01 加速器 ν_e 測定



A02 原子炉 θ_{13} 測定

δ_{CP}

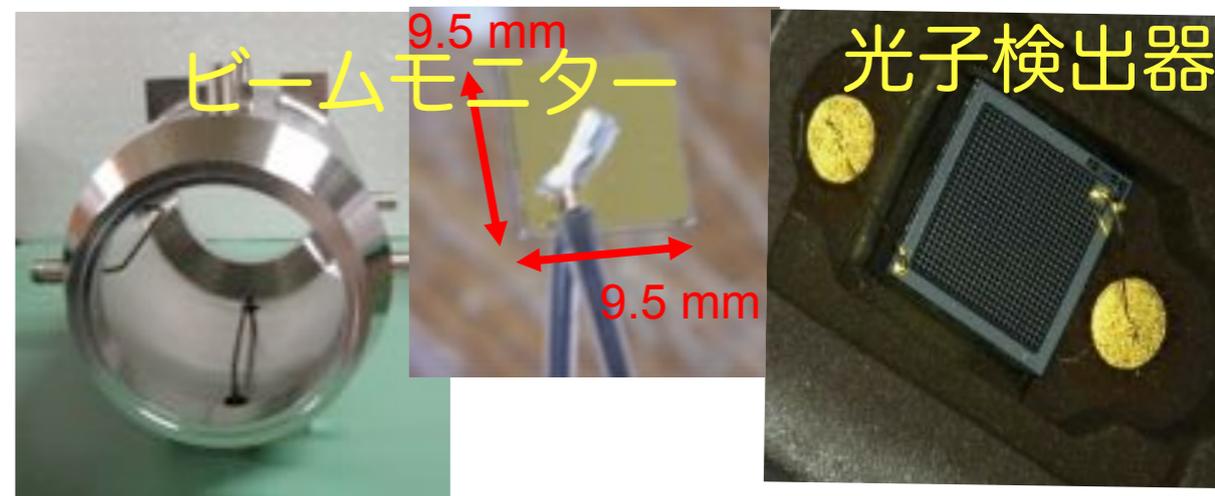


$\sin^2 2\theta_{13}$

挑戦すべき課題

- **A01 (加速器ニュートリノビーム測定)**

- 大強度ビーム
- 精密測定
- 反ニュートリノビーム



- **A02 (原子炉ニュートリノ測定)**

- 前置ニュートリノ測定器を**建設**し精密測定

- **A03 (大気ニュートリノ観測)**

- 大量データの高度解析
- 次期測定器Hyper-Kamiokandeの基礎開発と実施設計



- **C01 (ニュートリノ振動理論)**

- 優秀な若手人材



- 高度な実験を遂行し、斬新なアイデアにより、
質量の順序、CPの破れ、新物理の発見へ！

計画研究 A ー高エネルギーν天文ー

ARA

- **A04 (宇宙ニュートリノ)**

- 超高エネルギーニュートリノ観測 (2例を**初観測**)
 - 南極における長期間観測
 - 高エネルギーν観測網(ARA)の建設

- **A03 (大気ニュートリノ)**

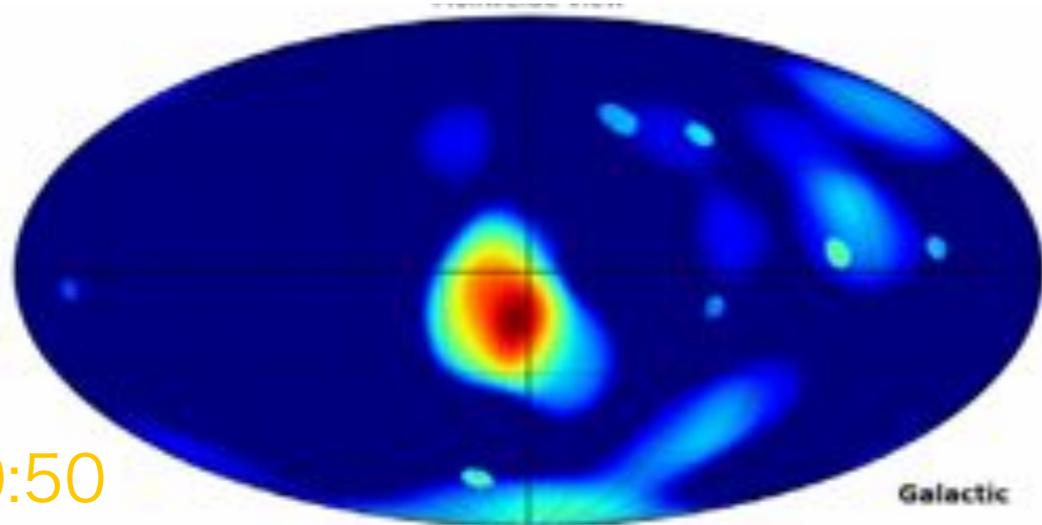
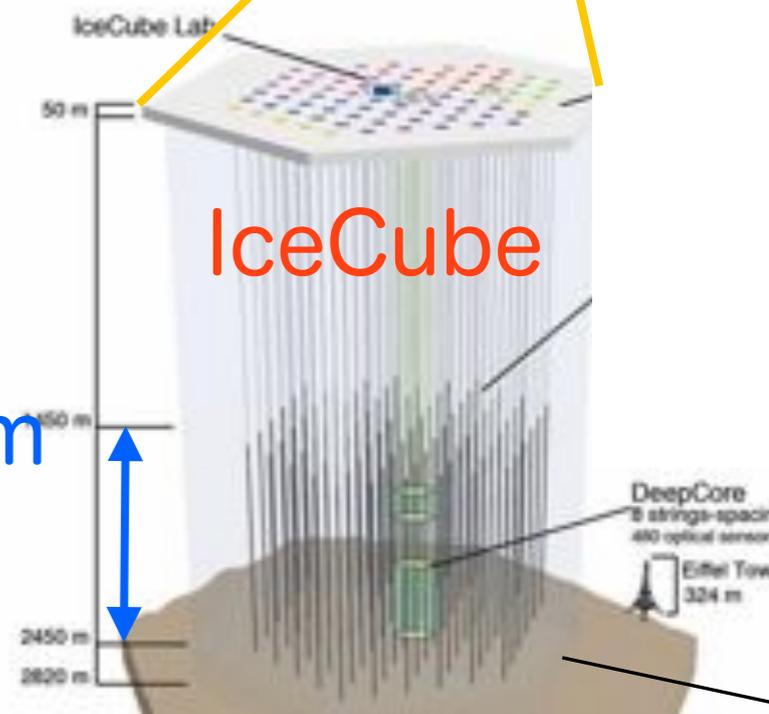
- ノイズとなる大気ニュートリノフラックスの精密測定

- **C03 (宇宙素粒子)**

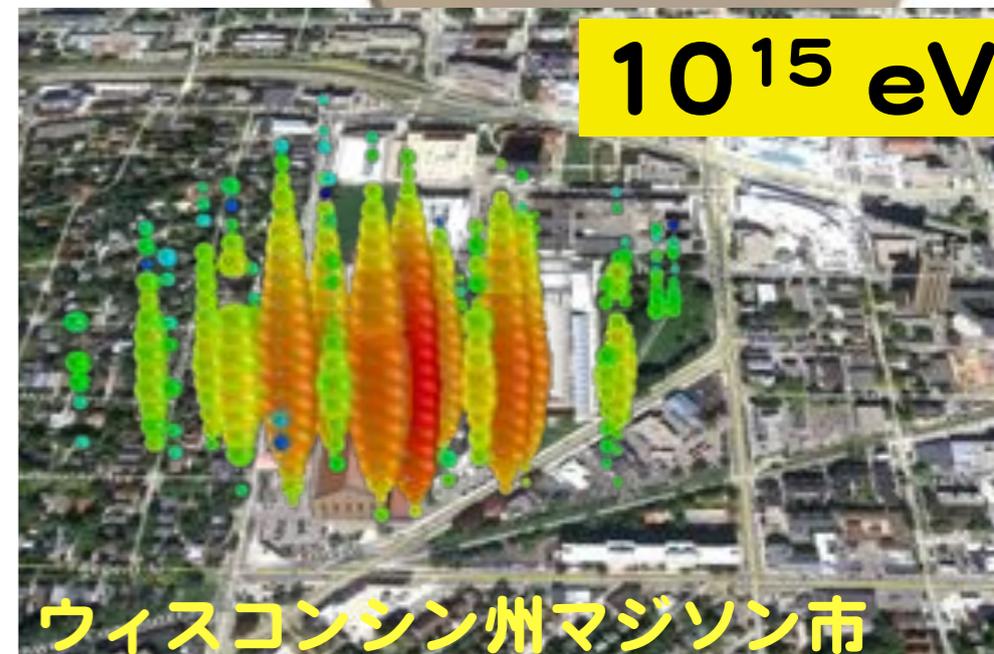
- 宇宙の構造と進化を究明

- 多数(>50)の**宇宙ニュートリノ**を検出し、**ニュートリノ天文学**を確立。宇宙の深部を探る。

- **宇宙の構造・進化モデル**を選定



30事象集まった場合の
模擬シミュレーション
検出された2事象は
含まれている



10:50

計画研究 B — 匠の実験技術 —



- 世界最先端の実験技術が新しい科学を開く

- **B01 (原子核乾板)**

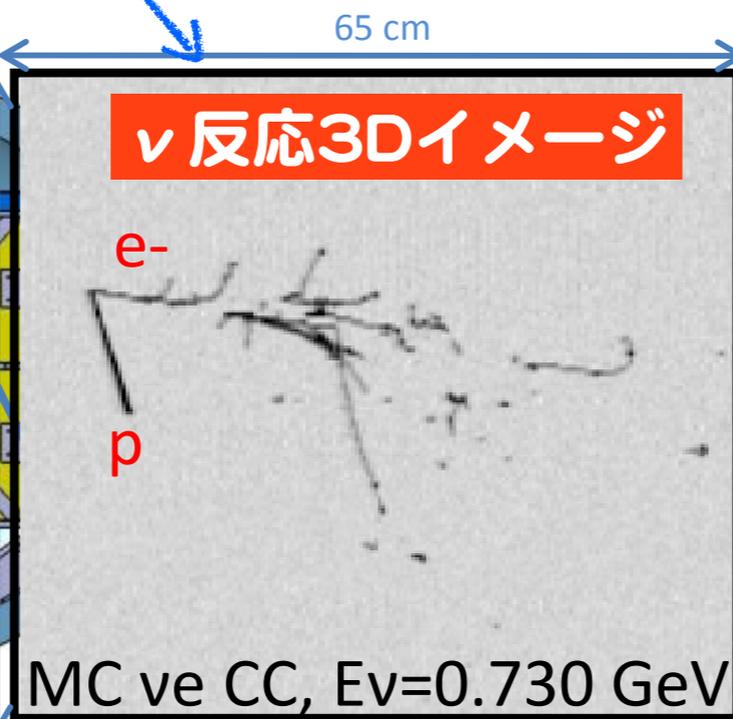
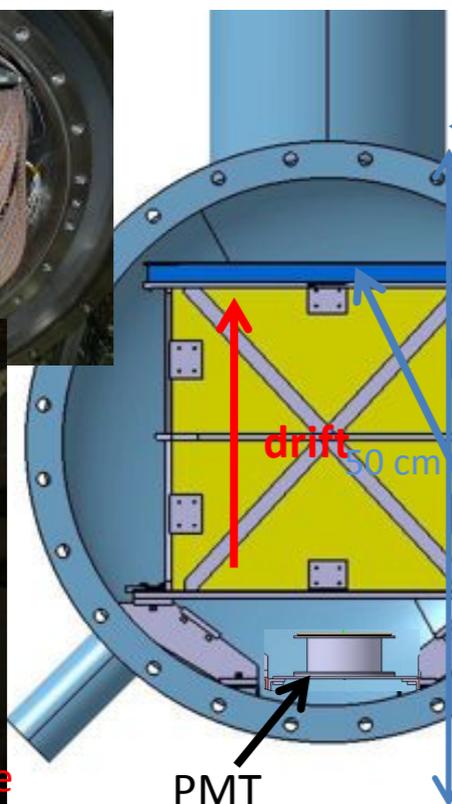
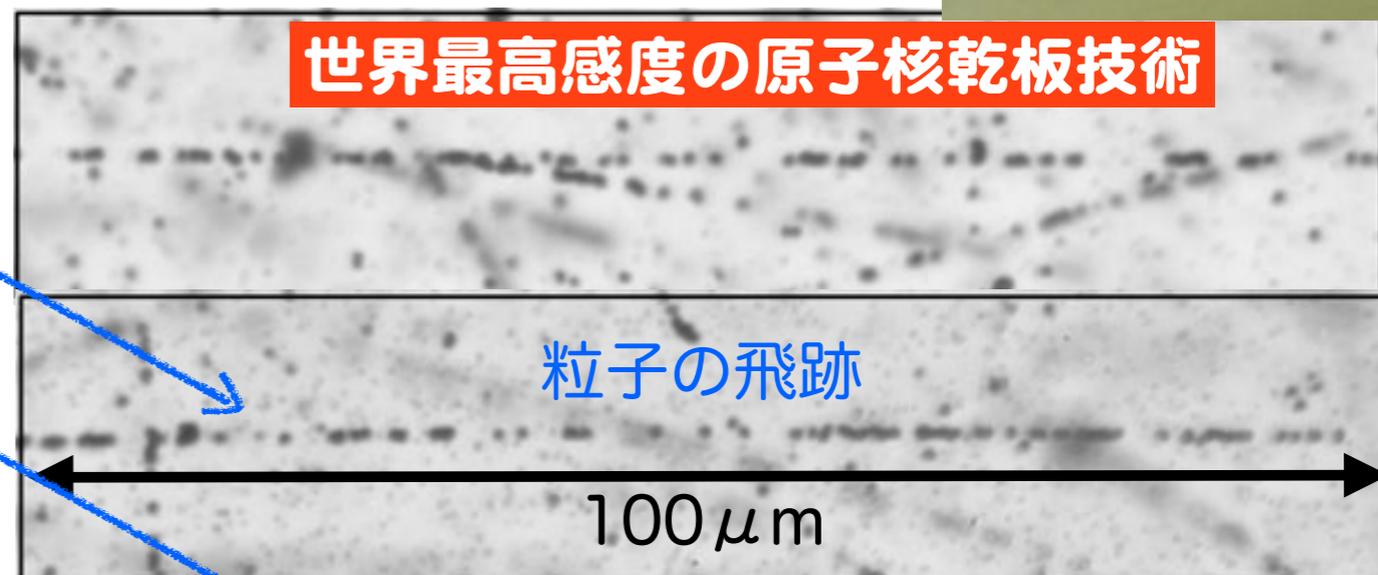
- **~10nm 位置分解能**

- **B02 (超伝導STJ)**

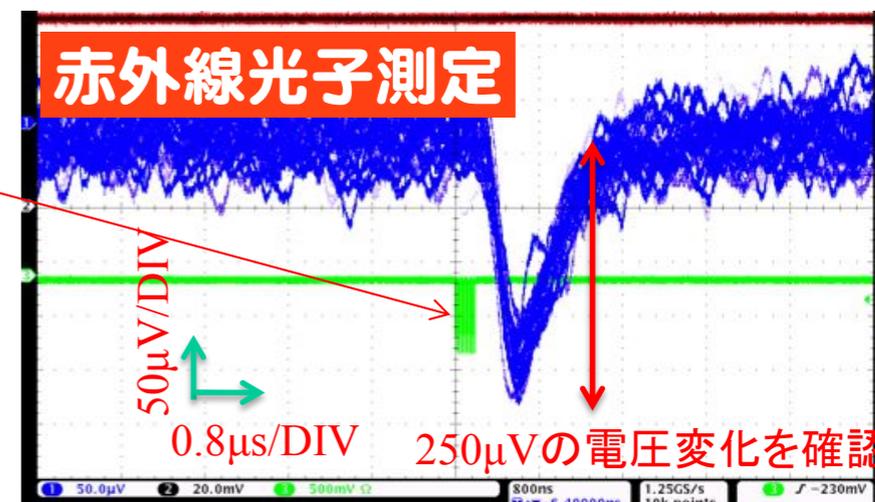
- **~meV エネルギー分解能**

- **B03 (液体アルゴンTPC)**

- **3Dイメージ放射線検出器**



赤外線レーザー(λ=1.31μm)に対する応答信号



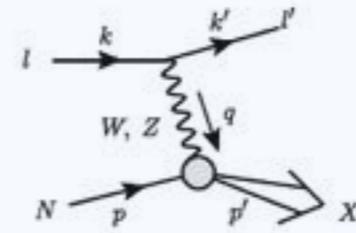
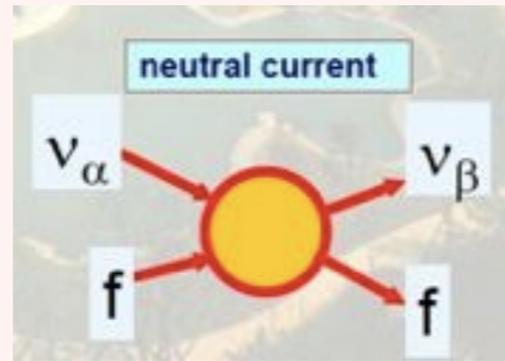
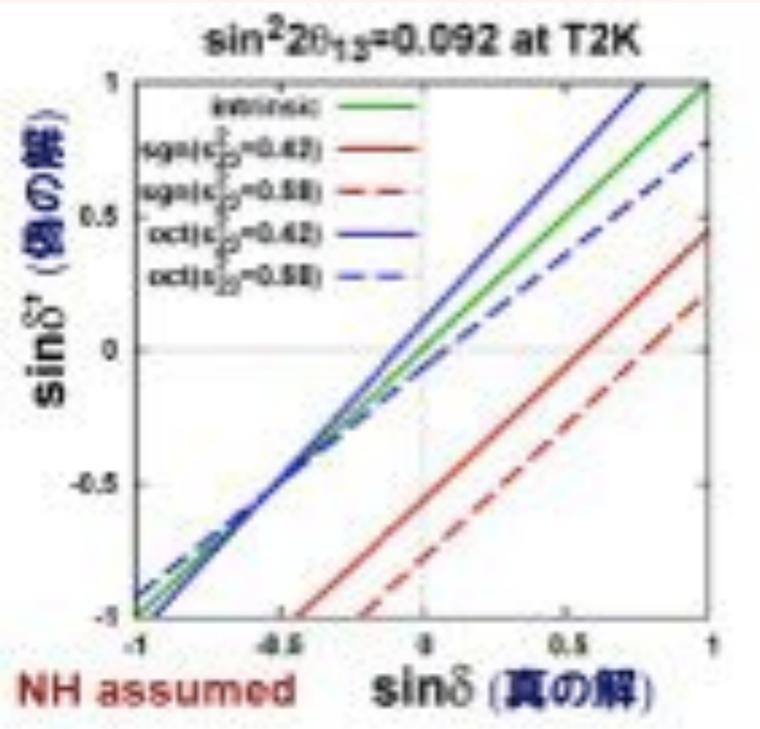
76 strips (1cm) anode

PMT

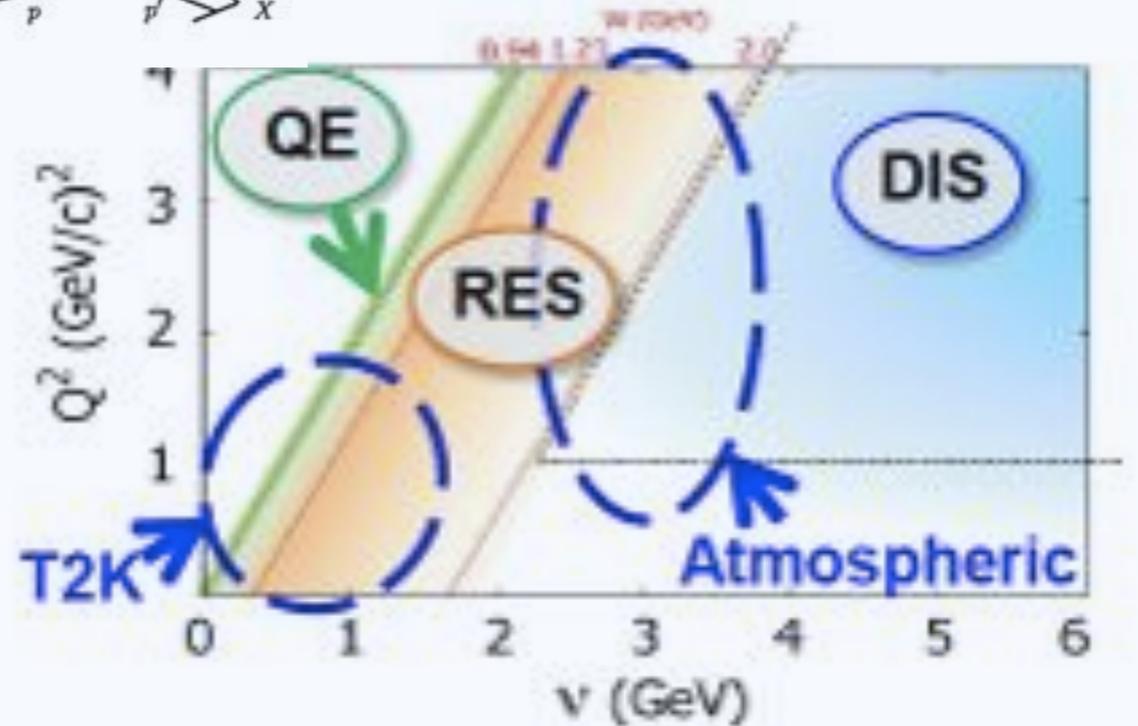
11:50

計画研究 C —理論の融合—

ニュートリノ実験からニュートリノ模型へ



ニュートリノで探る原子核
 原子核で探るニュートリノ



時空、宇宙、物質の起源を探る



12:20

期待される大成果 (引用数 > 1000件目標)

- **ニュートリノ振動理論の確定 → 素粒子構造の全貌解明**
 - CPの破れ： **発見**
 - 質量の順序 ($m_3 > m_1$)： **決定**
 - ニュートリノ振動パラメータ： 精密測定 $\delta \sin^2 2\theta_{13} \sim 10\%$ 、
 $\delta \sin^2 2\theta_{23} \sim 3\%$ 、 $\delta \Delta m^2_{32}$ (Δm^2_{31}) $\sim 3\%$
- **ニュートリノによる新しい宇宙像の確立**
 - 高エネルギー宇宙ニュートリノ天文 **開拓**： ~ 50 事象
 - 大気ニュートリノフラックス精密測定： $\sim 10\%$
- **ニュートリノによる素粒子—原子核—宇宙の融合**
 - **ニュートリノ質量起源の解明 ⇔ 素粒子・宇宙の究極理論へ**
 - 統一原子核模型の構築
 - 時空、宇宙、物質の起源に迫る
- **先端実験技術開発**
 - Only Oneの技術創出！
 - 原子炉モニター、等々

想定外 (Surprise!)

- 相対論の破綻 (ローレンツ不変性の破れ)
- 新しい相互作用の発見
 - 5次元以上の世界のヒント
- 宇宙背景ニュートリノ発見
- 新しいタイプのニュートリノ発見
- ニュートリノ質量の測定



**世界の最先端を走る日本のニュートリノ科学
だからこそ、予期せぬ発見に出会う可能性大。**

(注) 2011年 ニュートリノが光速を超えた。。。

ニュートリノはまだまだ分かっていない!

想定外 (Surprise!)

- 相対論の破綻 (ローレンツ不変性の破れ)
- 新しい相互作用の発見
 - 5次元以上の世界のヒント
- 宇宙背景ニュートリノ発見
- 新しいタイプのニュートリノ発見
- ニュートリノ質量の測定



**世界の最先端を走る日本のニュートリノ科学
だからこそ、予期せぬ発見に出会う可能性大。**

(注) 2011年 ニュートリノが光速を超えた。。。。

ニュートリノはまだまだ分かっていない!

皆さんで成し遂げたい（個人の勝手な）目標

- 現行プロジェクト（T2K, Double Chooz, SK, HK-prototype, IceCube/ARA）の確実な遂行
 - 当たり前前なことではあるが、容易なことではない。多くの人達の日々の弛まぬ努力が必要。
- ニュートリノ質量に関する新しい情報
 - 宇宙から？宇宙測定の意味は？どれだけ信じれる？有限の値を測定できるのか？
- ニュートリノCPについての情報
 - 今考えている方法（加速器ν実験）以外で引き出せないか？アイデアだけでも大歓迎。
- ニュートリノ質量の意味：ニュートリノとヒッグスの関係は？
- ニュートリノで見た宇宙像の解釈：新しい知見は何か？
- どんな些細なことでもいいので、新しい（今までにない）測定・観測。

最後に

- 幽霊のような存在でも、そこに明らかに存在する。**ニュートリノ**が無ければ、星も生物も我々も生まれてこなかった。

ふしぎだと思ふこと
これが科学の芽です
よく観察してたしかめ
そして考えること
これが科学の芽です
きうして最後になさかどける
これが科学の芽です
朝永振一郎



我々はどこから来たのか 我々は何者か 我々はどこへ行くのか

宇宙はどうやってできたのか 素粒子とは何か 時空とは

by 北野 龍一郎

ニュートリノフロンティア の融合と進化

加速器

宇宙

まったく新しい自然像が見えてくる

原子炉

地球大気



by 池田 一得

写真乾板 & 画像解析 | 3次元イメージング検出器 | 超伝導測定器

新しい測定器技術 (B班)

技術