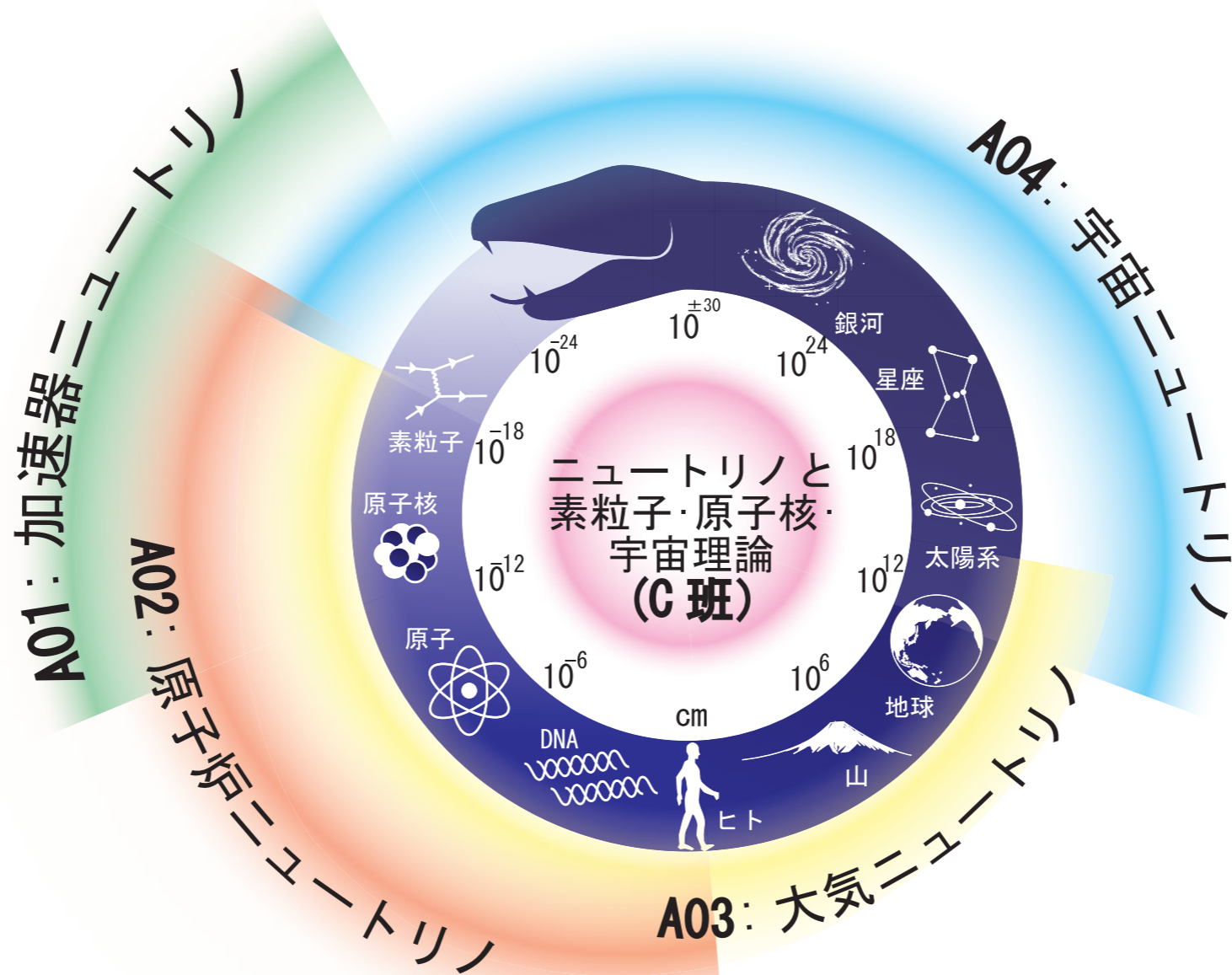


ニュートリノフロンティア の融合と進化

● 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

相互作用が弱い (幽霊粒子と呼ばれる)

発見

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

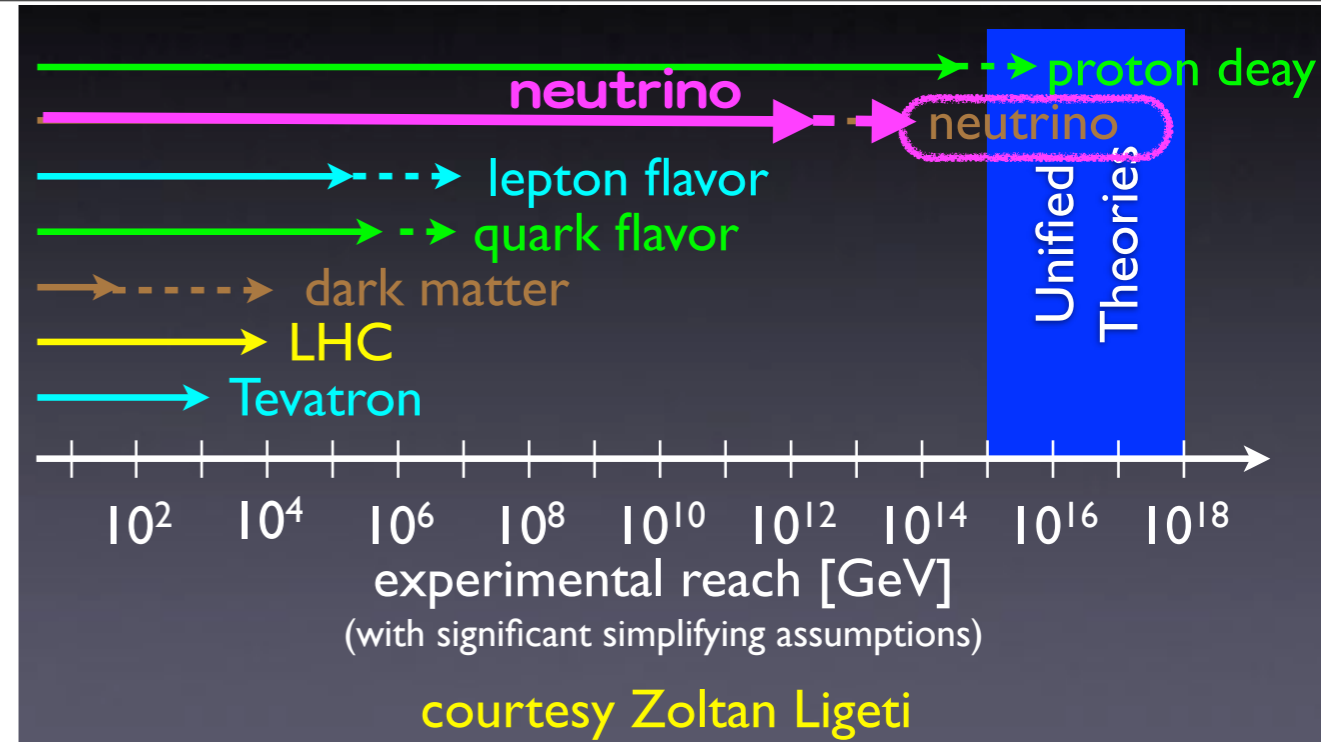
• 力 (電磁力、強い力、弱い力) の統一、クォークとレプトンの対称性

• 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

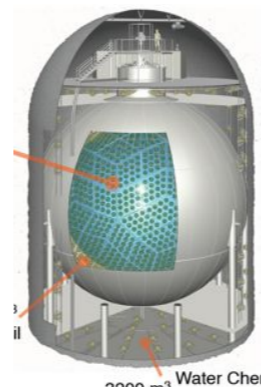
日本のニュートリノ研究の実績

ニュートリノ振動 (質量) の発見

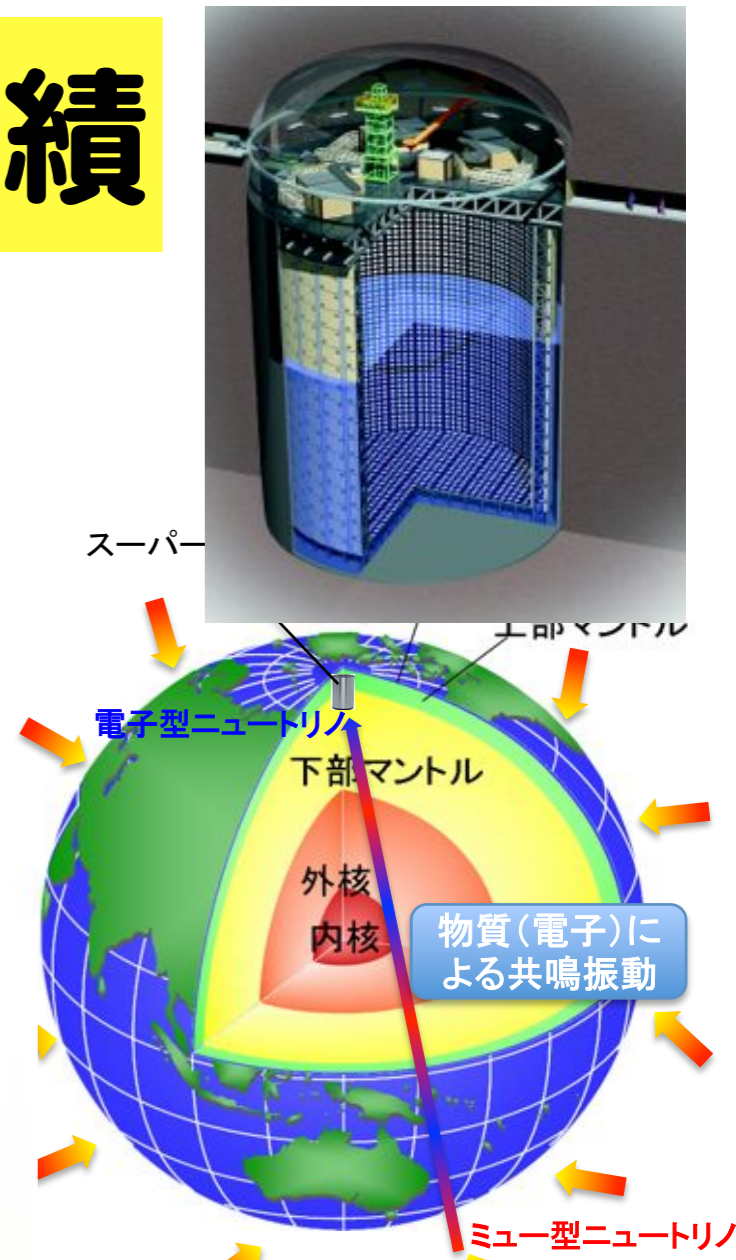
- 質量差 : $\Delta m^2_{12}, \Delta m^2_{32}, \Delta m^2_{31}$
- 混合角 (割合) : $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}$ ← 2012年
- これから → CPの破れ : δ_{CP}

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

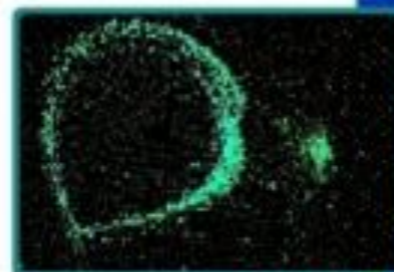


原子炉



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



Super-KAMIOKANDE



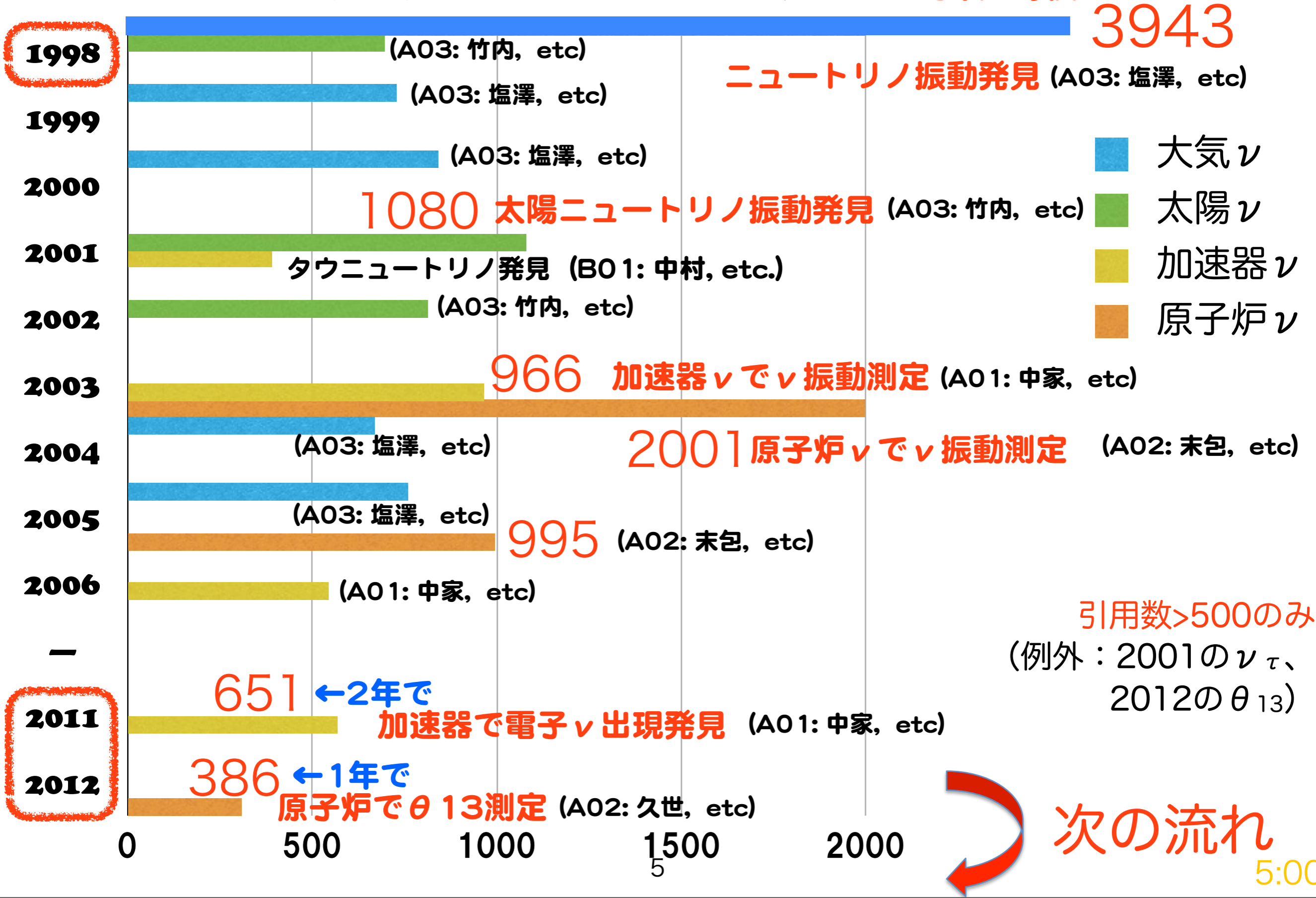
加速器ビーム



KEK

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—



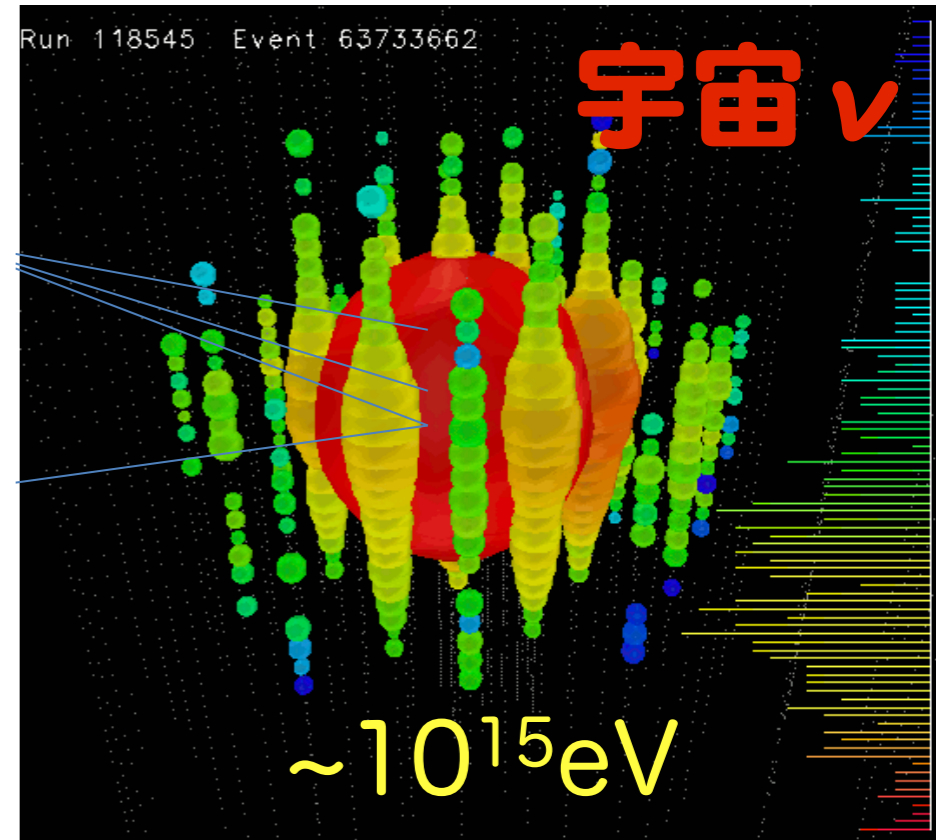
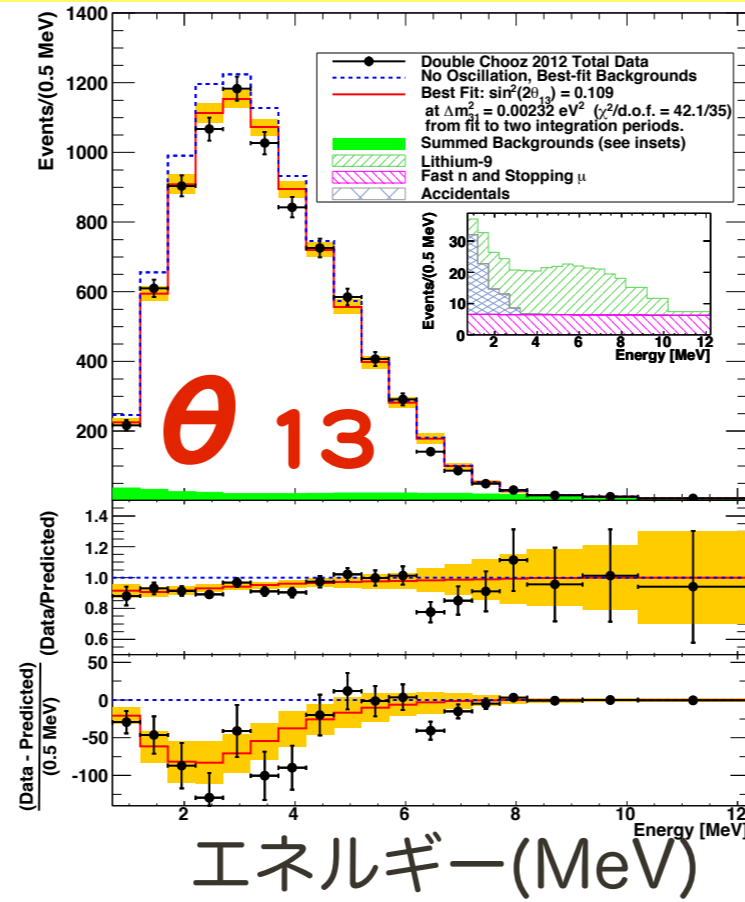
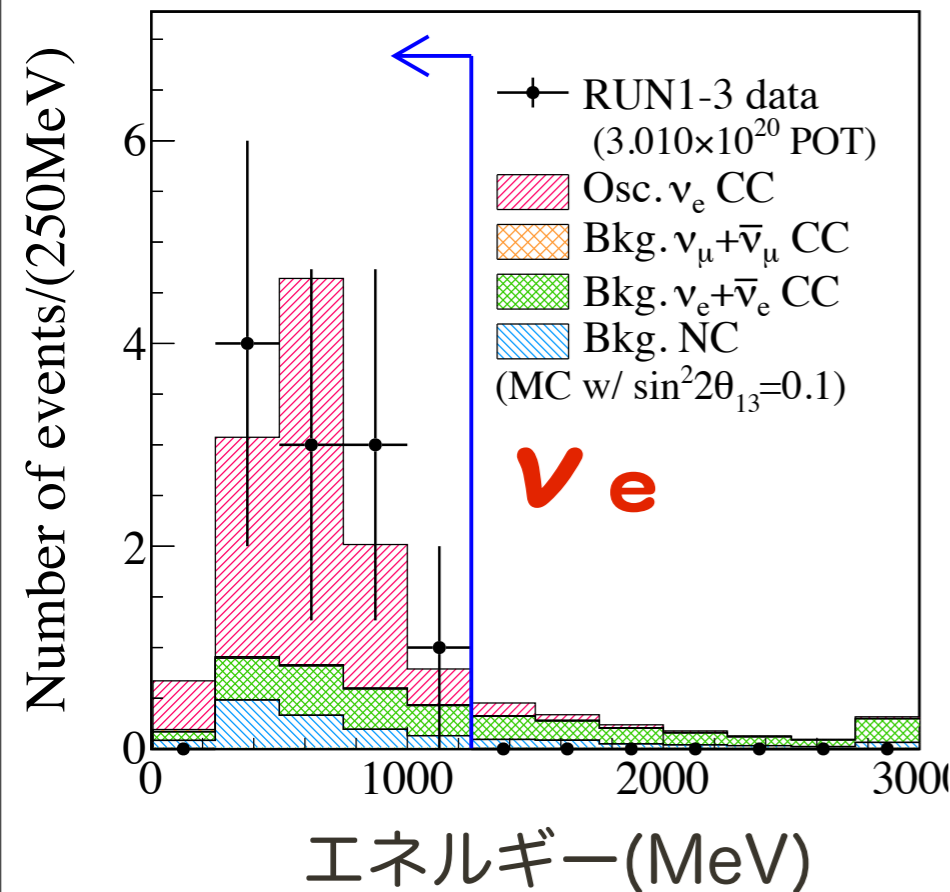
第25回ニュートリノ・宇宙物理国際会議 2012年6月3-9日@京都



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

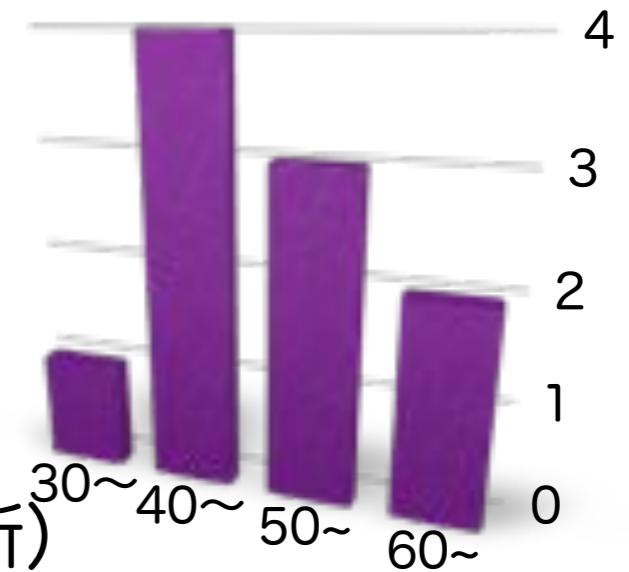
領域組織

- 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

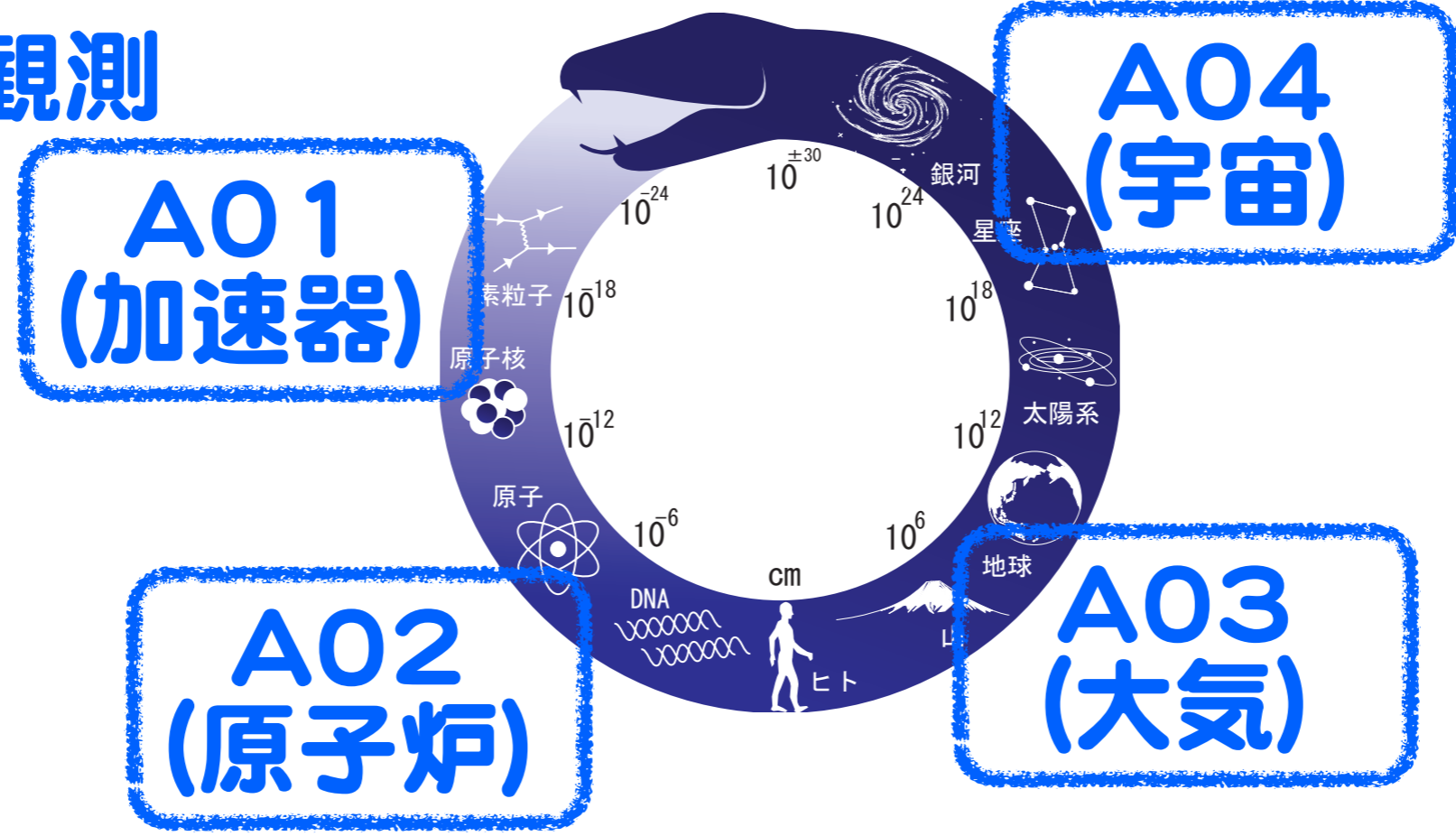
$$\begin{aligned}
P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = & 4C_{13}^2 S_{13}^2 S_{23}^2 \cdot \sin^2 \Delta_{31} \\
& + 8C_{13}^2 S_{12} S_{13} S_{23} (C_{12} C_{23} \cos \delta - S_{12} S_{13} S_{23}) \cdot \cos \Delta_{32} \cdot \sin \Delta_{31} \cdot \sin \Delta_{21} \\
& - 8C_{13}^2 C_{12} C_{23} S_{12} S_{13}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

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



A01 (加速器)

A04 (宇宙)

A02 (原子炉)

A03 (大気)

νによる宇宙像

B01 (位置) B02 (エネルギー) B03 (3Dイメージ)

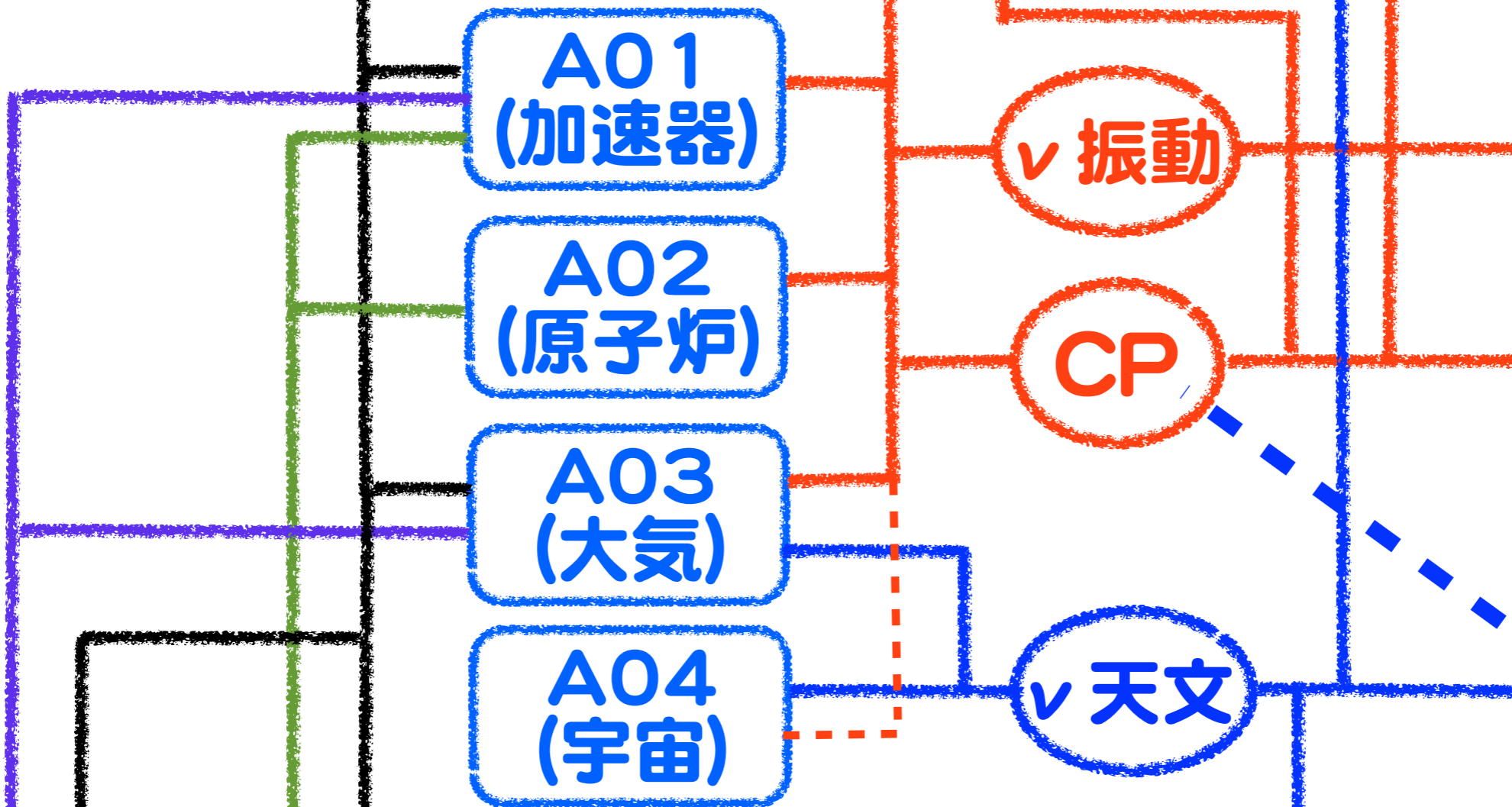
実験技術

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



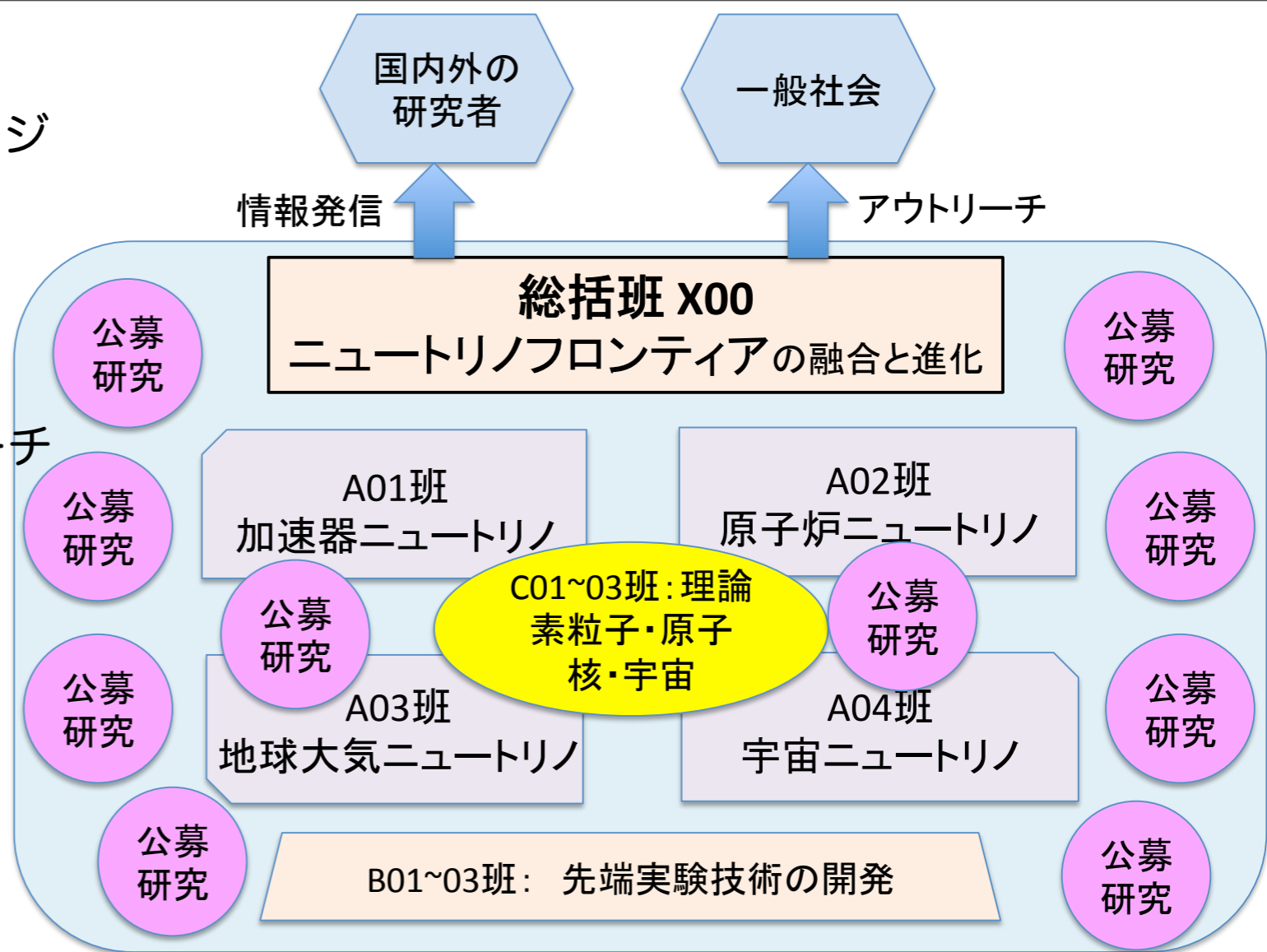
技術開発協力

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

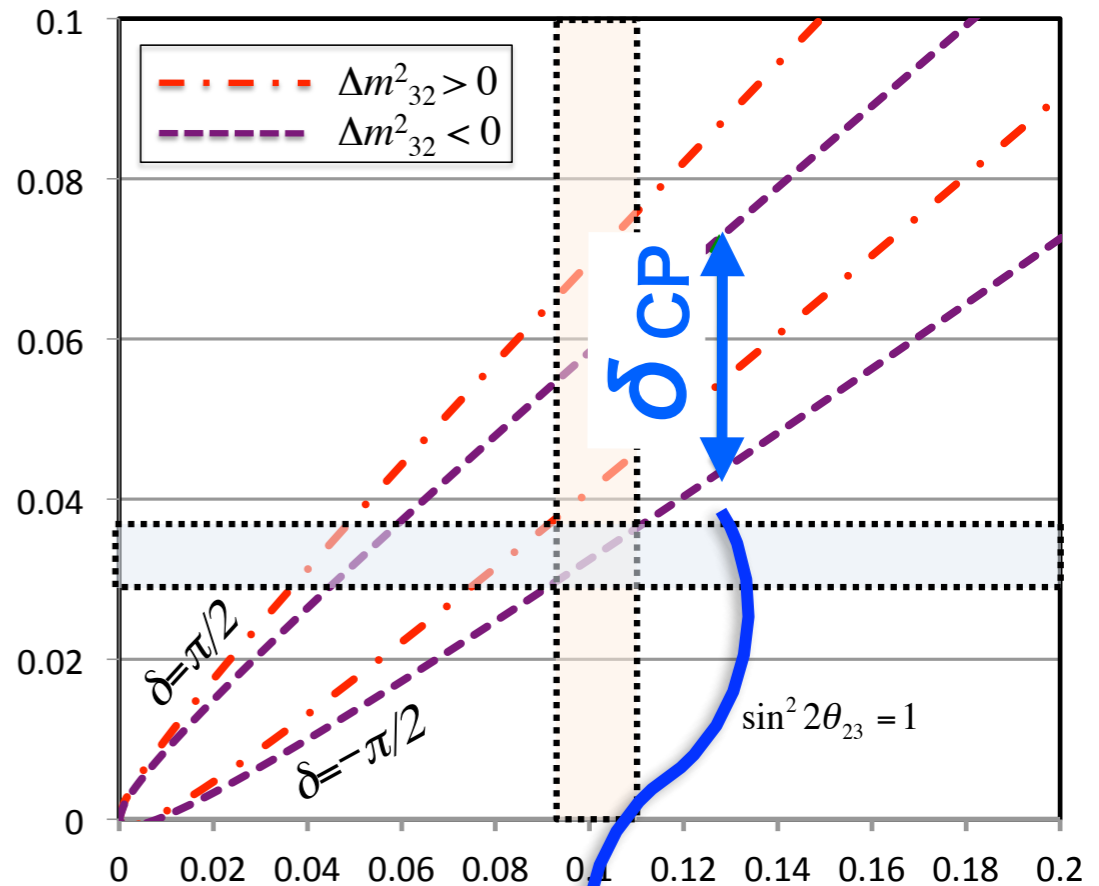
- **C01 (ニュートリノ振動理論)**

- 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。

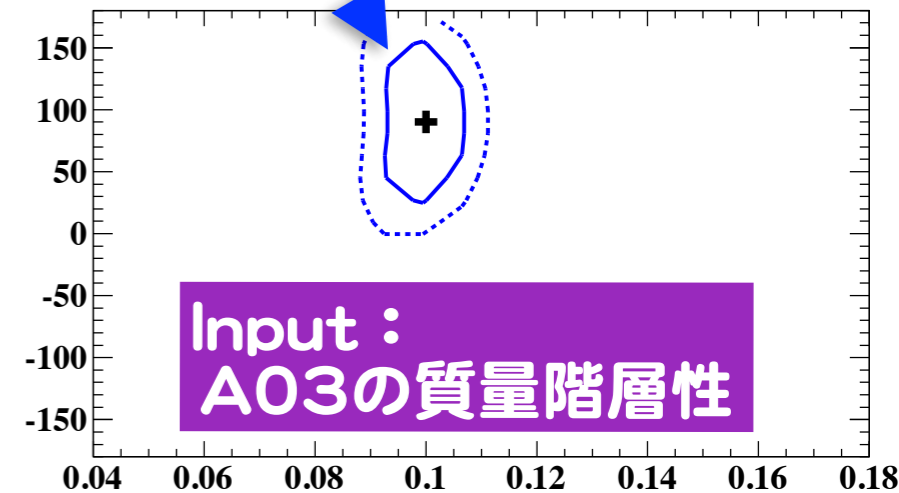
- 世界最高精度でニュートリノ振動パラメータの決定

A01 加速器 ν_e 測定



A02 原子炉 θ_{13} 測定

δ_{CP}

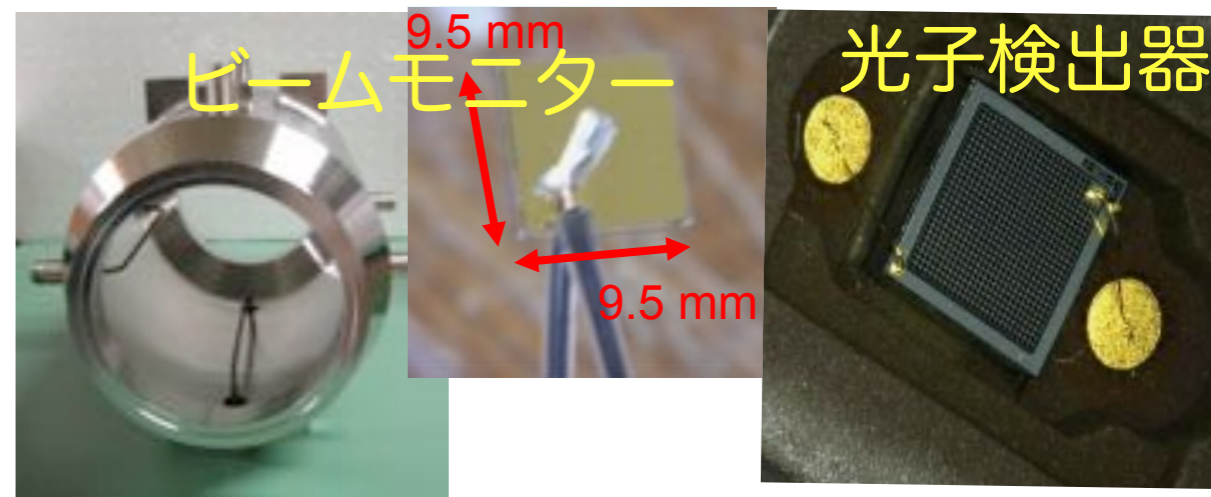


$\sin^2 2\theta_{13}$

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)**

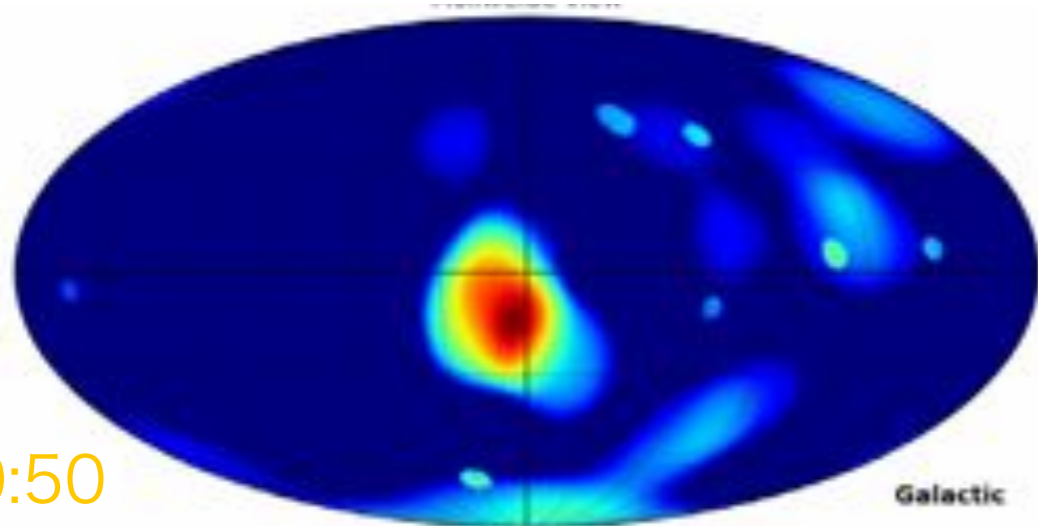
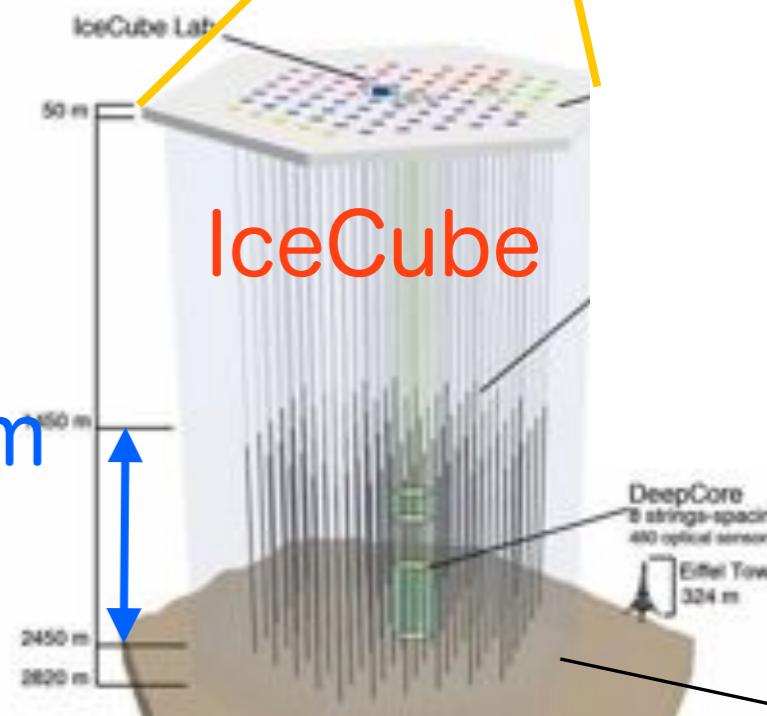
- ノイズとなる大気ニュートリノフラックスの精密測定

- **C03 (宇宙素粒子)**

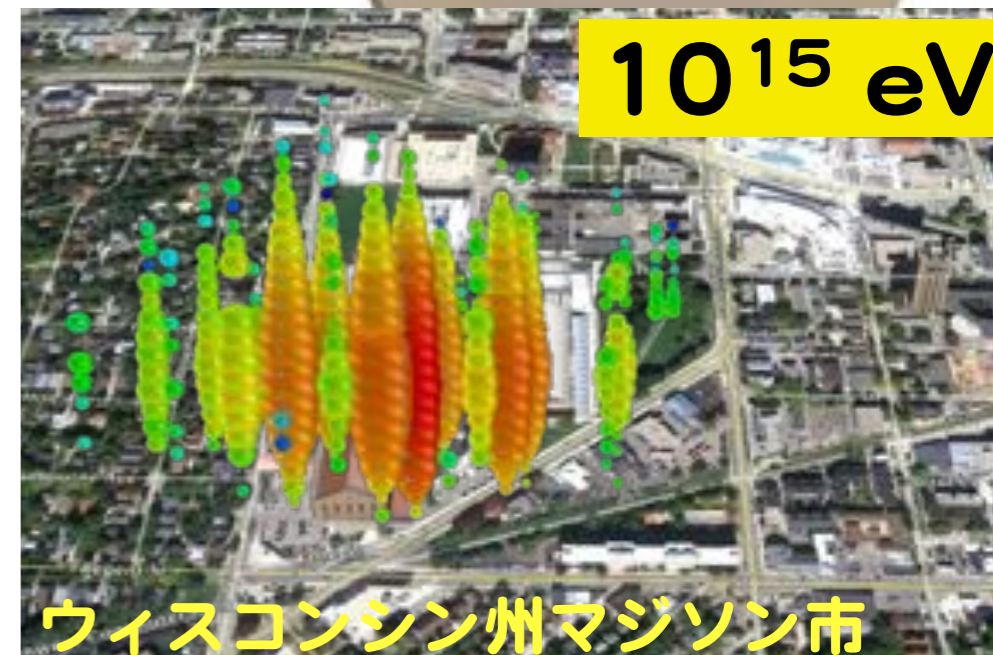
- 宇宙の構造と進化を究明

- 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



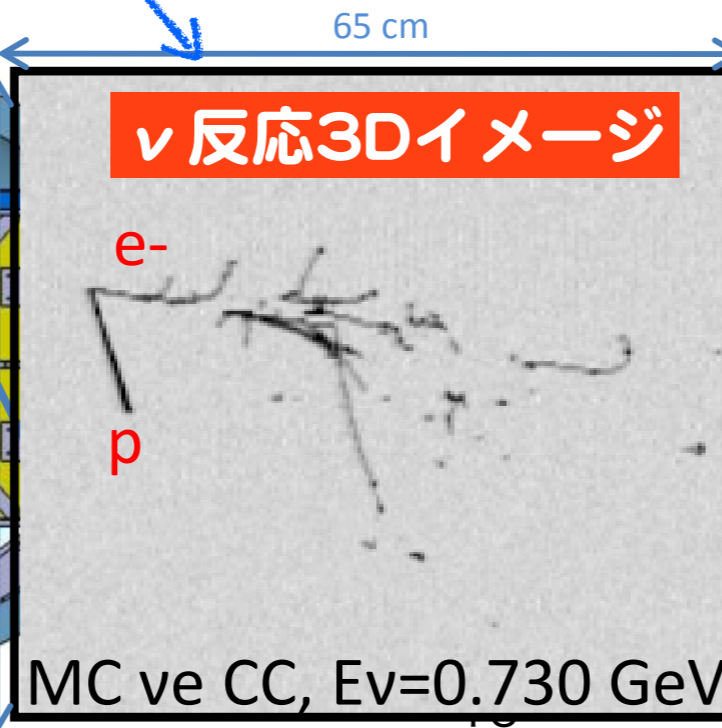
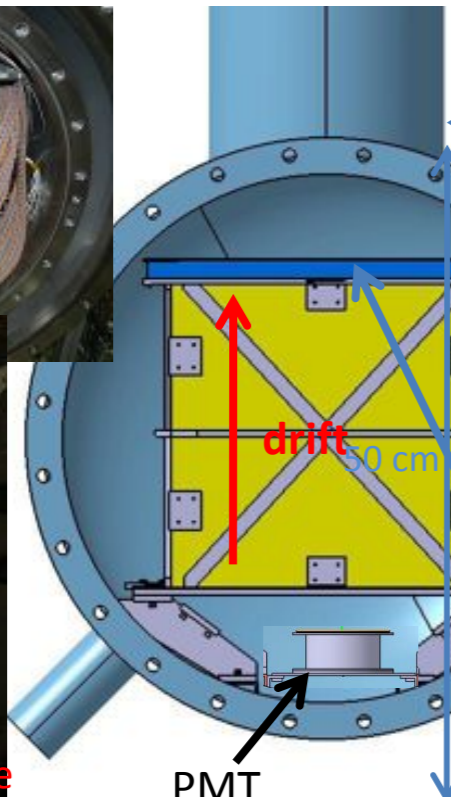
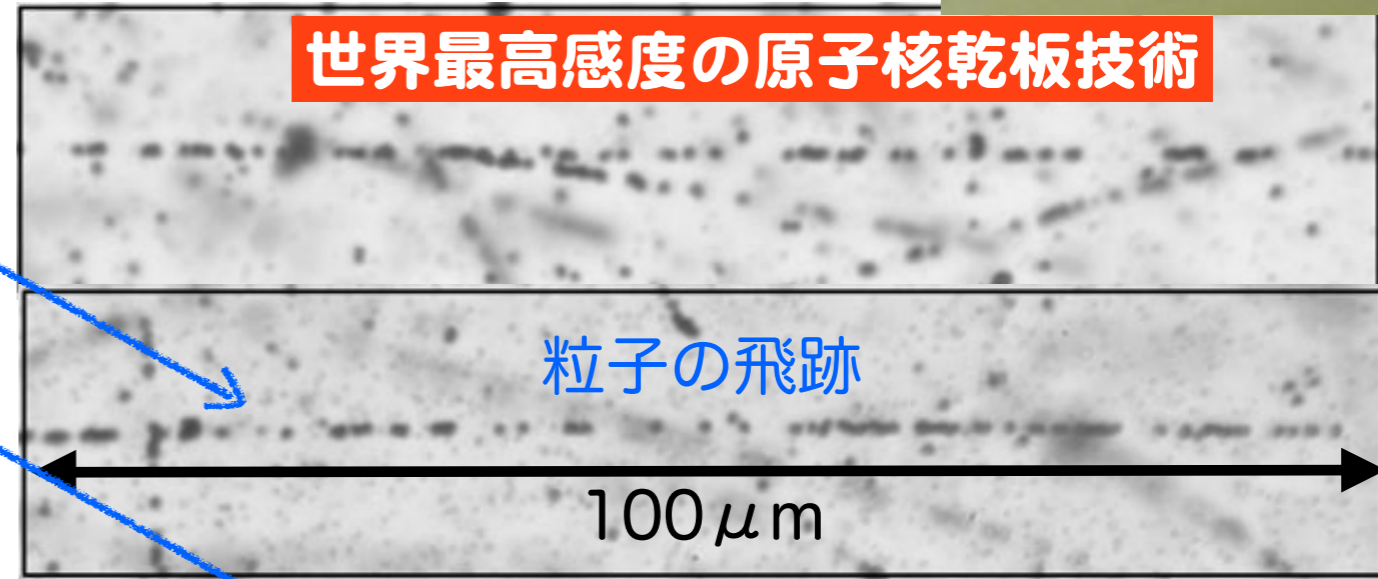
10:50

計画研究 B —匠の実験技術—

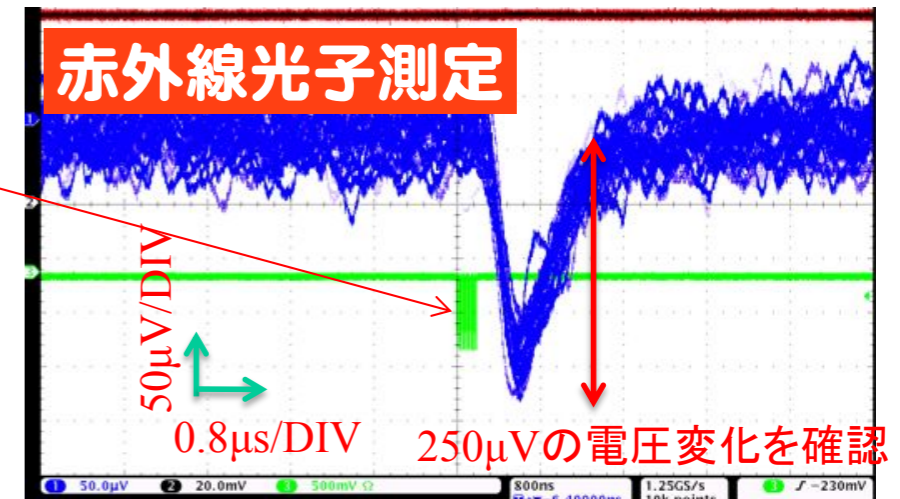


- 世界最先端の実験技術が新しい科学を開く

- **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



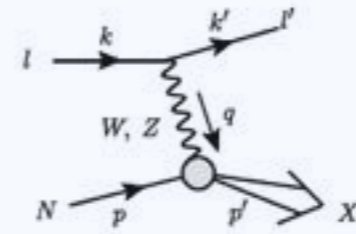
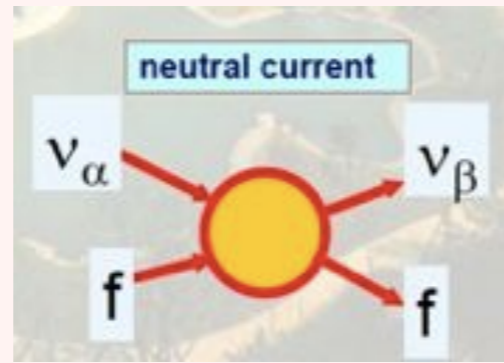
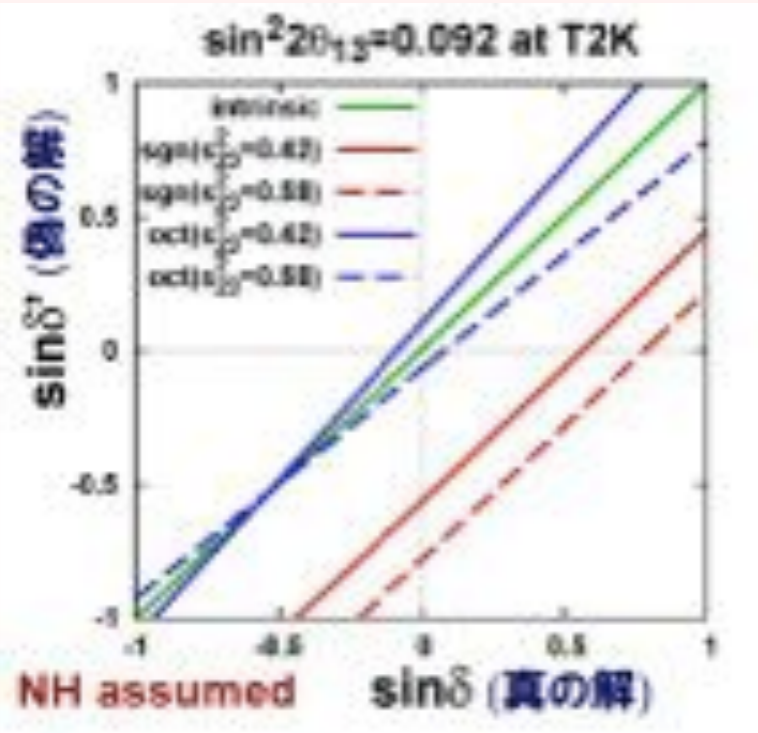
赤外線レーザー(λ=1.31μm)に対する応答信号



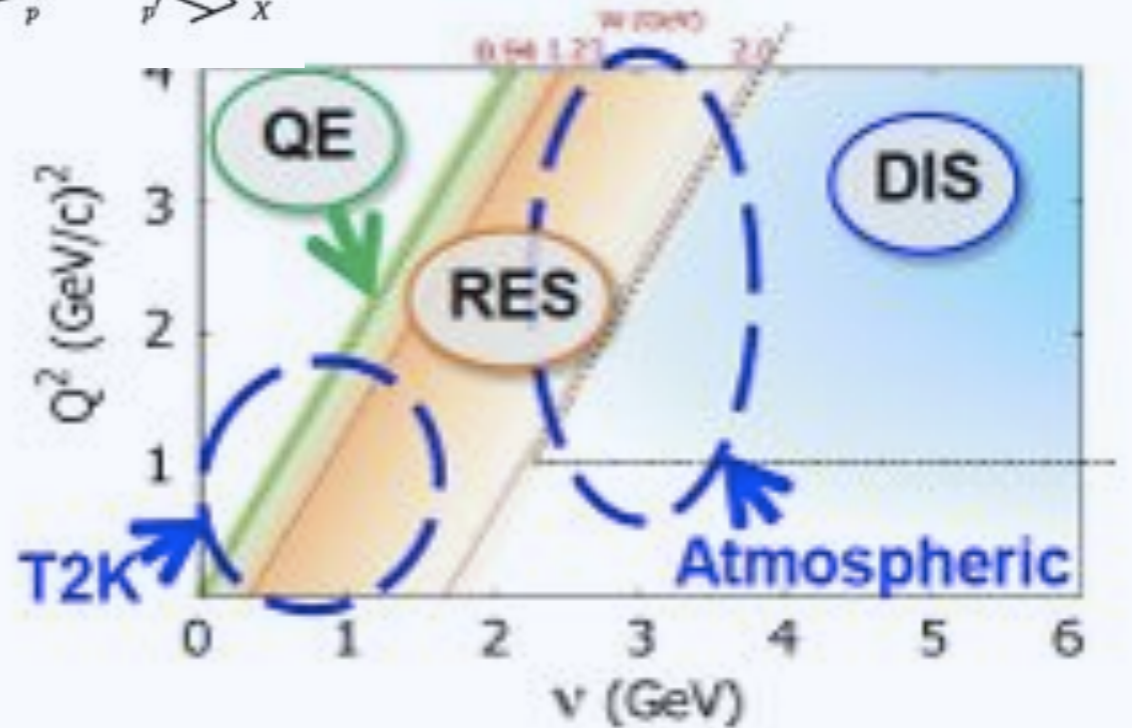
11:50

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

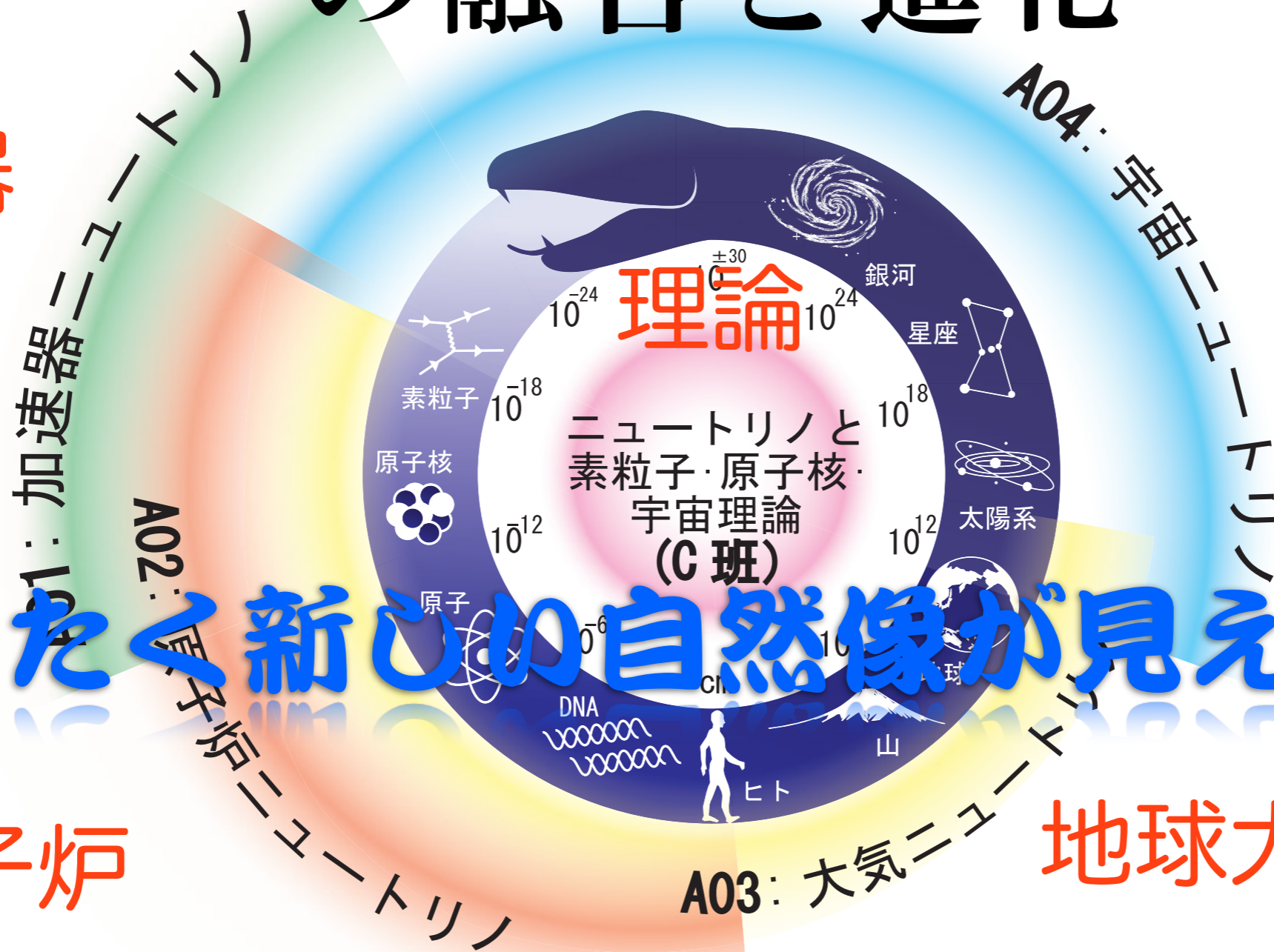
加速器

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