

ICEPP研究紹介

- MEG実験
- ILC計画

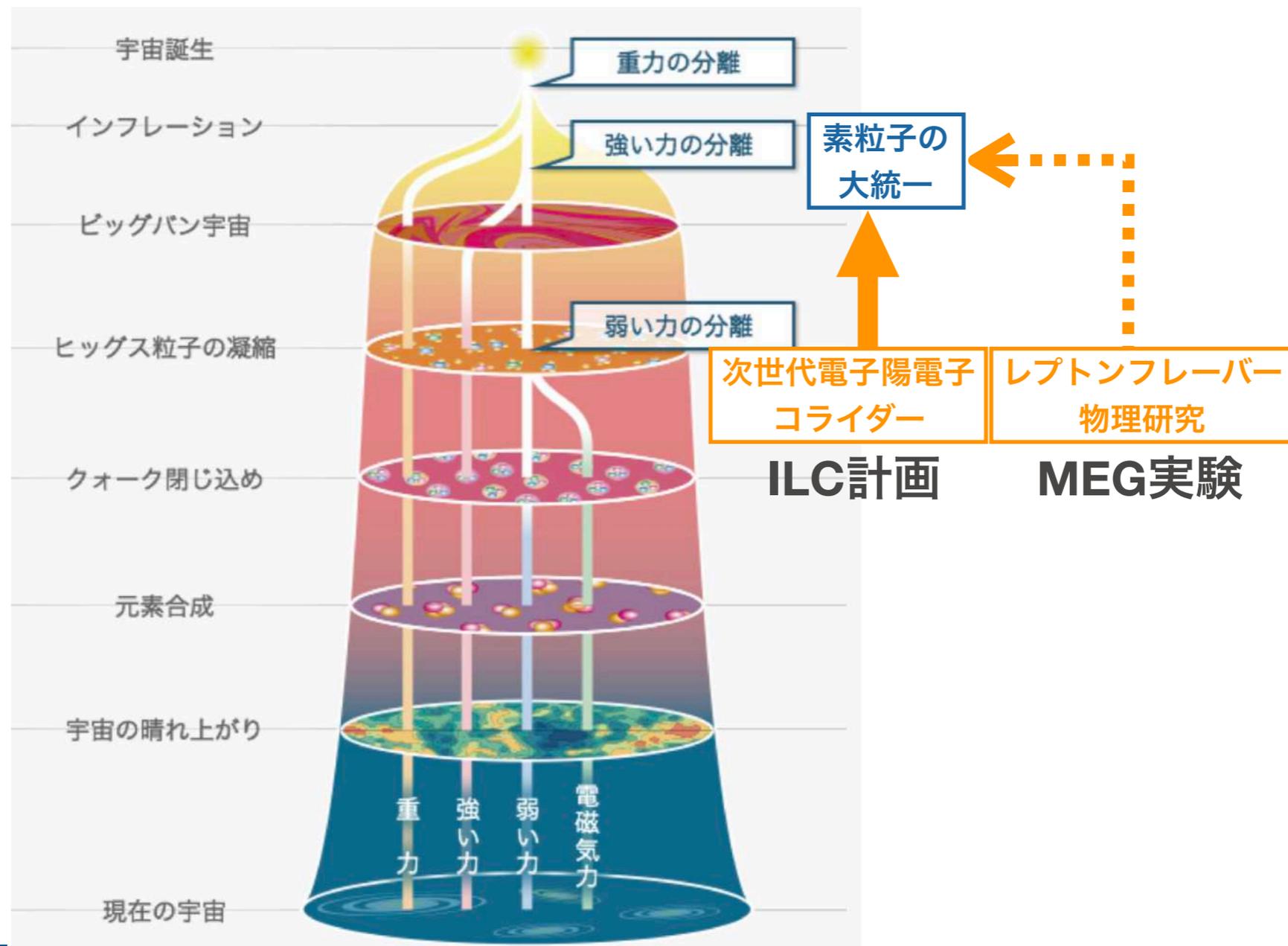
担当教員 森俊則・大谷航

2020年5月30日

MEG実験 & ILC計画

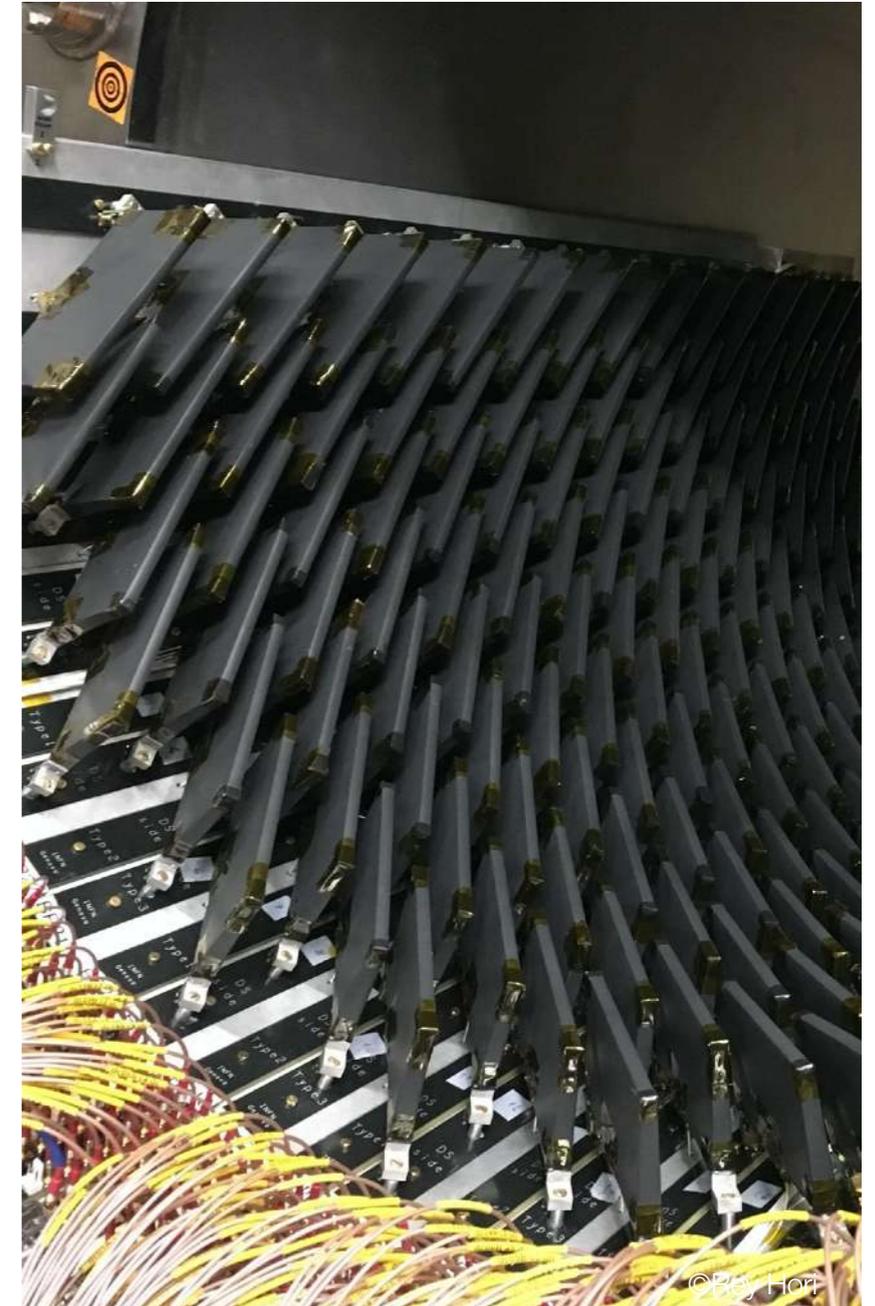
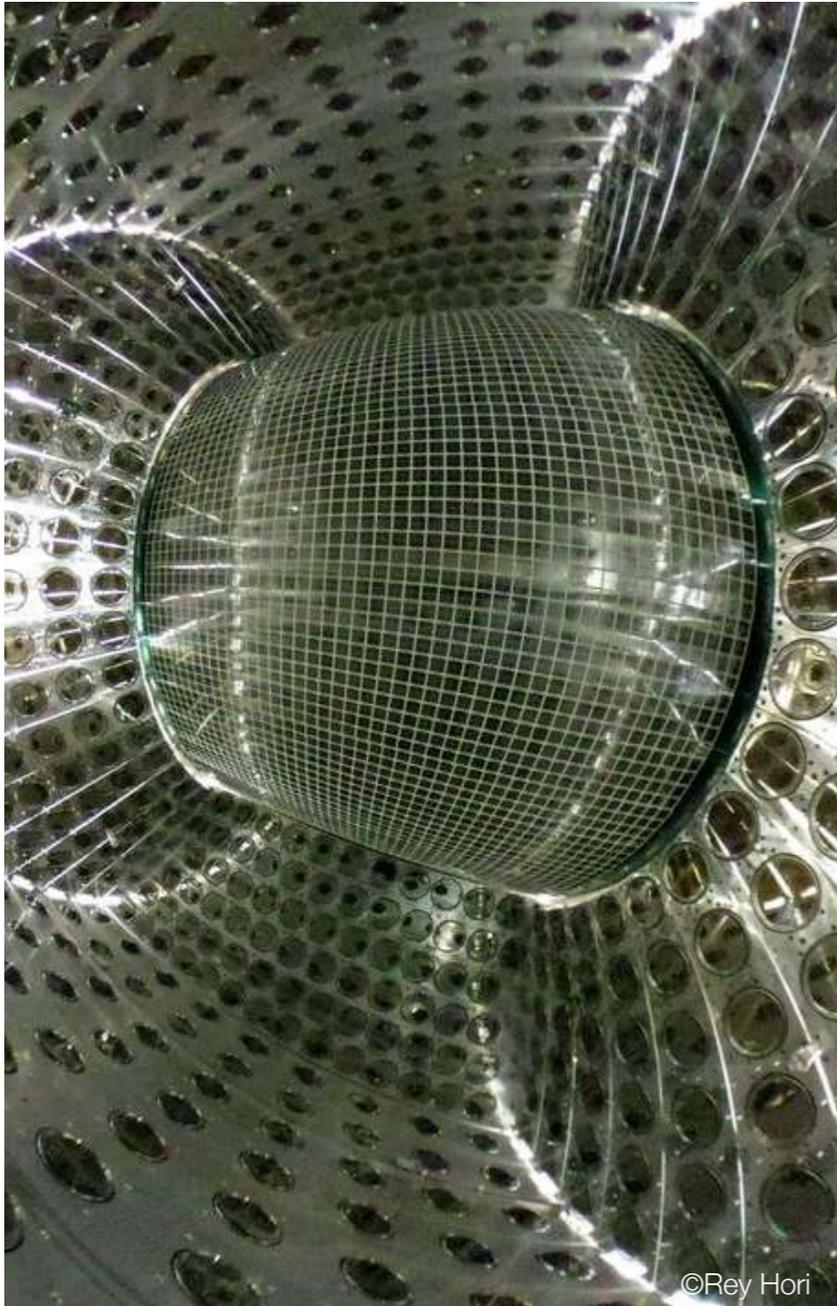
レプトンを用いた精密素粒子物理研究

- 超精密実験で標準理論のわずかなほころびを探索し、究極の素粒子の基本法則に迫る
- ツール = 「レプトン + 大強度/最高エネルギー加速器 + 革新的測定器」



ICEPP研究紹介

MEG実験



MEG実験

- ミュー粒子の稀な崩壊現象 $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ を世界最高感度で探索、その発見をめざす

• $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$

- レプトン世代数を保存しない崩壊
- 標準理論では禁止

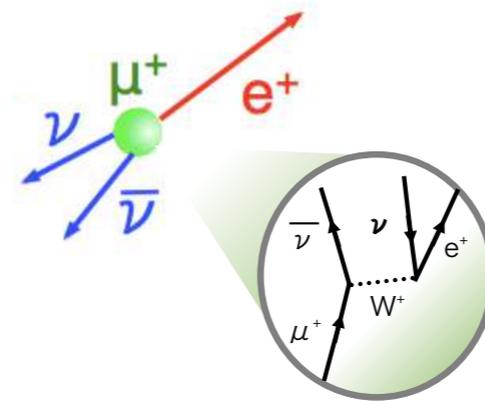
↔ 新物理では起こり得る

• $\mu \rightarrow e \gamma$ 事象の発見

= 新物理の決定的証拠

• 大統一理論を検証、宇宙創成の謎に迫る

通常崩壊(標準理論)

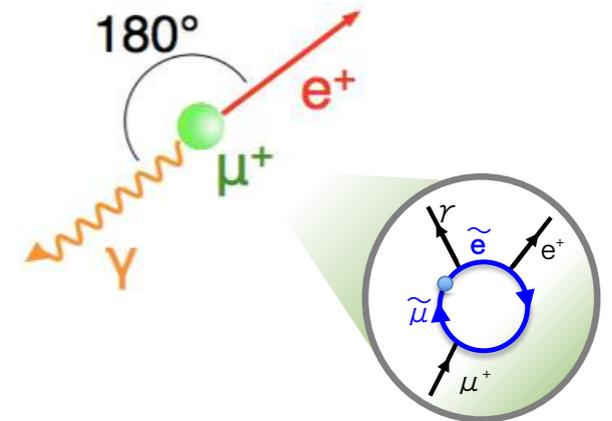


$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$0 = -1 + 1 + 0$$

$$-1 = 0 + 0 - 1$$

$\mu \rightarrow e \gamma$ 崩壊

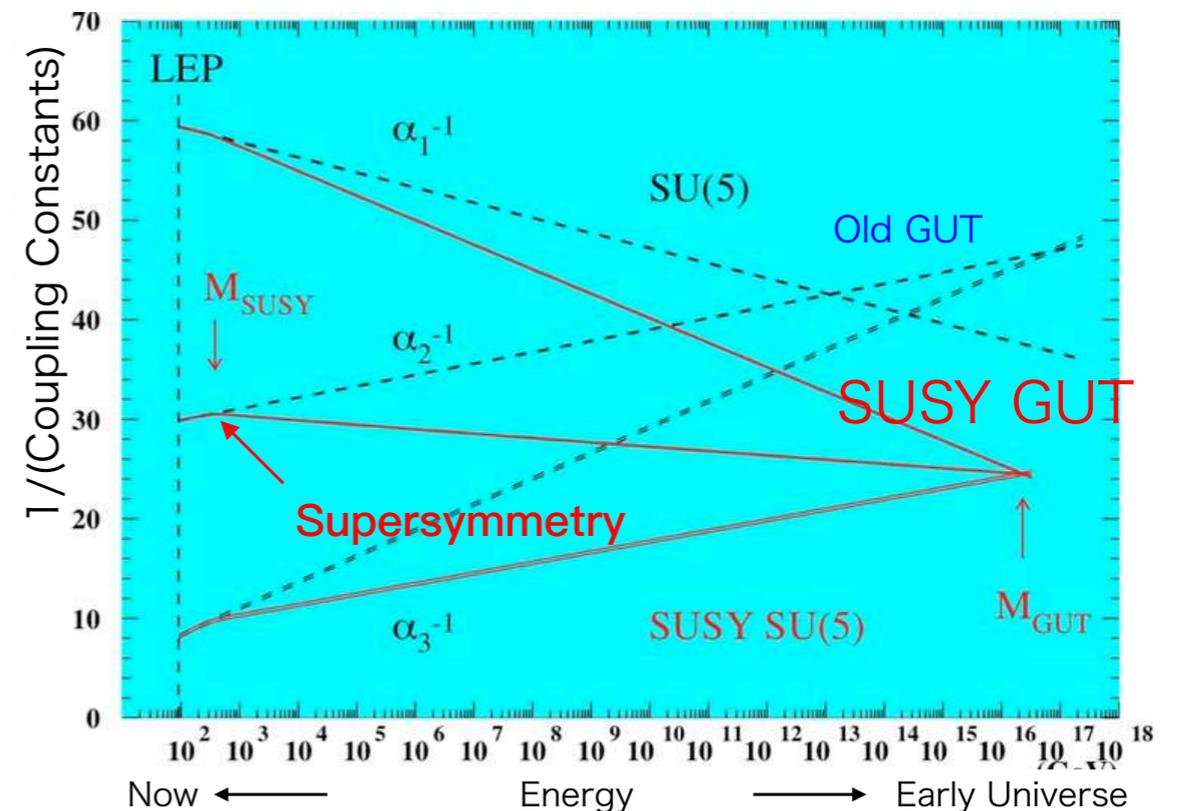


$$\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$$

$$0 \neq -1 + 0$$

$$-1 \neq 0 + 0$$

超対称大統一理論



MEG実験 → MEG II実験

- MEG実験は前実験の30倍の実験感度で探索を行ったが発見には至っていない

- 既に新物理予測領域に突入している
- いつ見つかってもおかしくない！

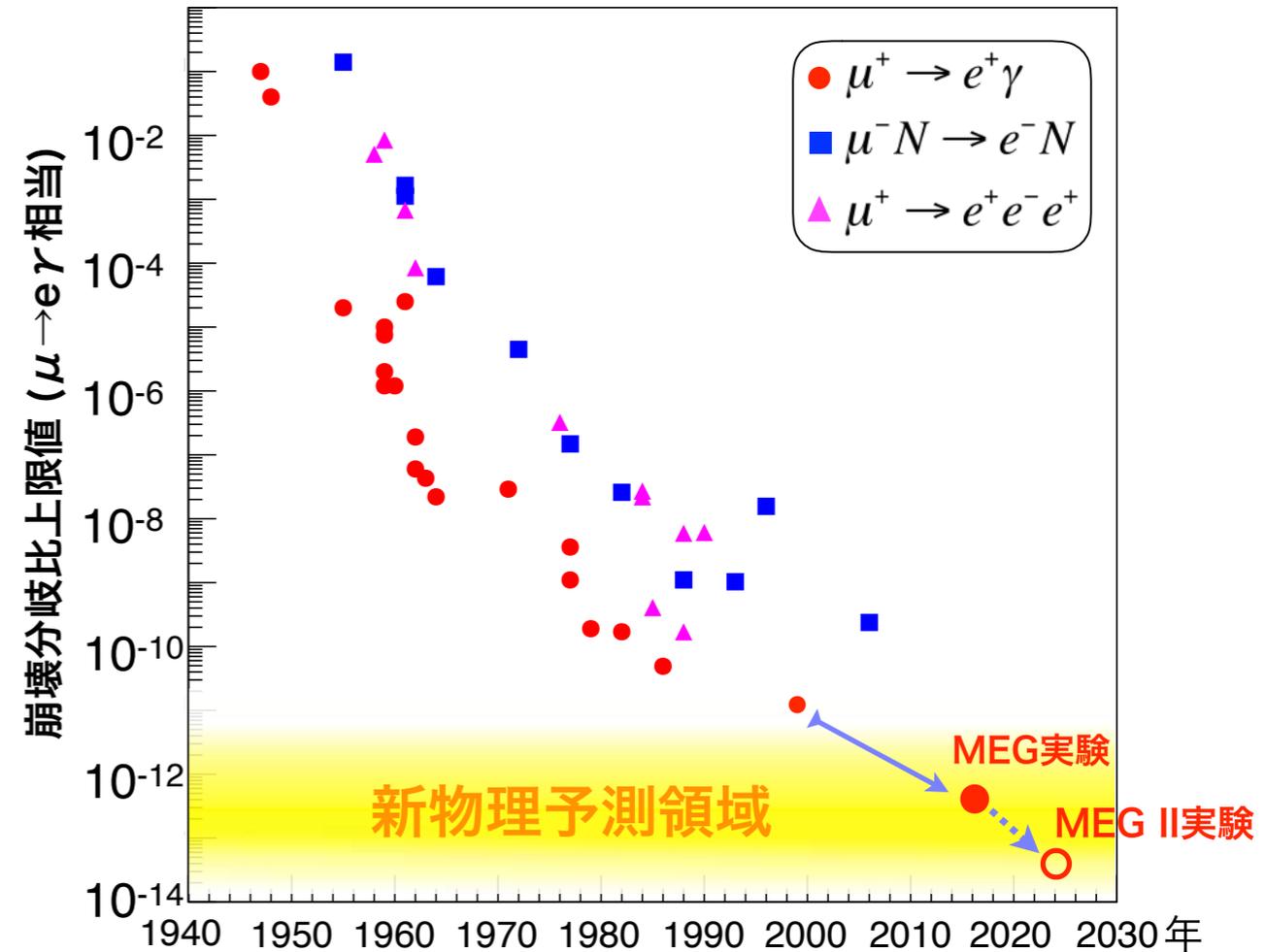
- アップグレード実験 **MEG II** を準備中

- 探索感度を10倍改善 ($\sim 6 \times 10^{-14}$)
- 2021年実験開始をめざしている

- 10倍の探索感度を実現するために

- より大強度のミュー粒子ビーム (2倍以上)
- より高性能な検出器

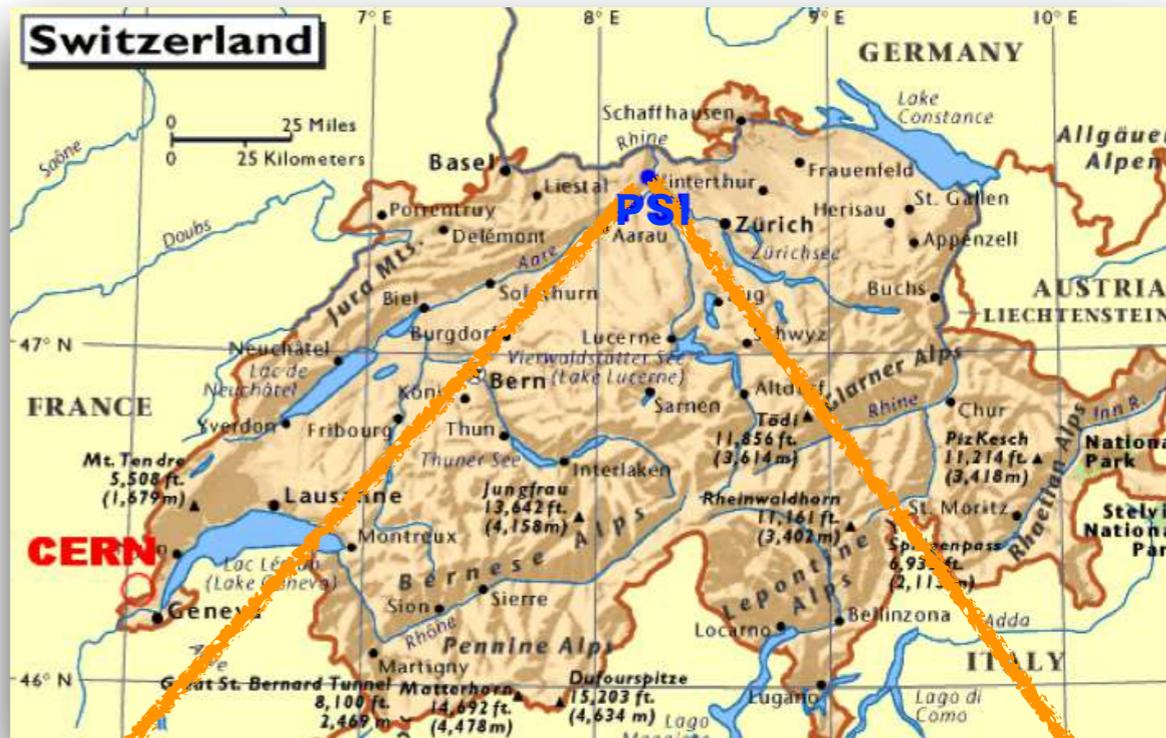
$\mu \rightarrow e \gamma$ 探索実験の歴史



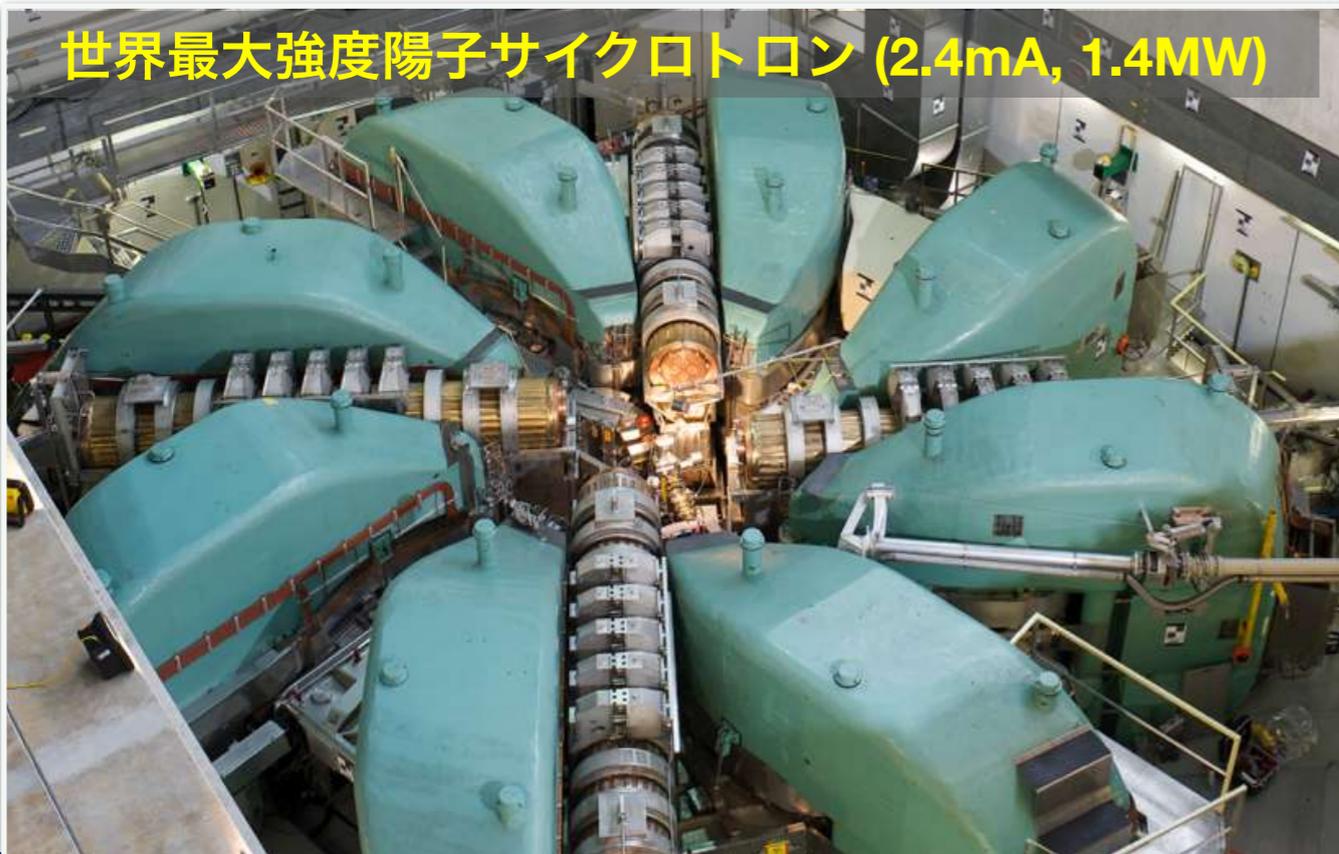
MEG実験 実験する場所

・スイス・ポールシェラー研究所(PSI)

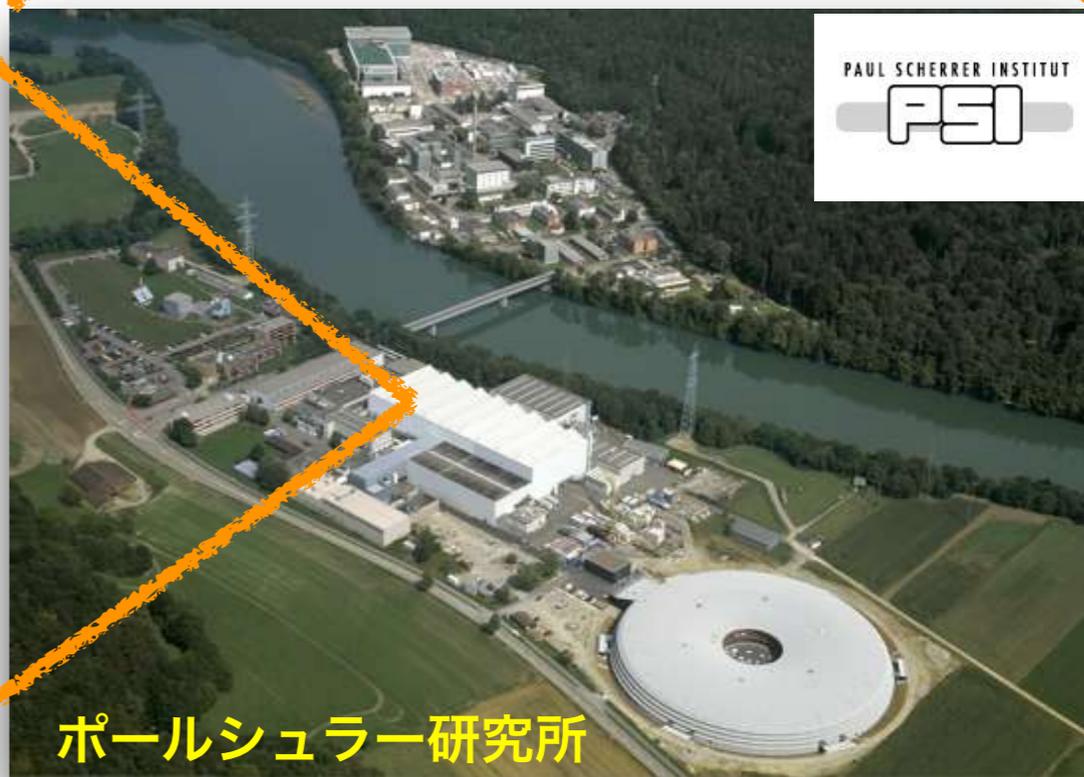
- 世界最大強度の直流ミュオン粒子源 (毎秒 10^8 個以上！)
- 最高感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 事象探索実験はここでき不出来ない



世界最大強度陽子サイクロトロン (2.4mA, 1.4MW)



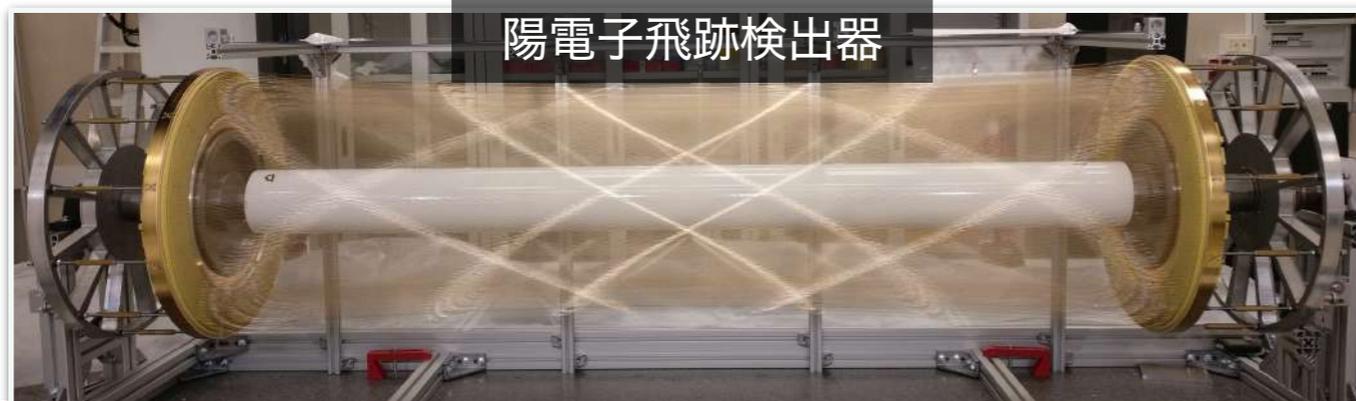
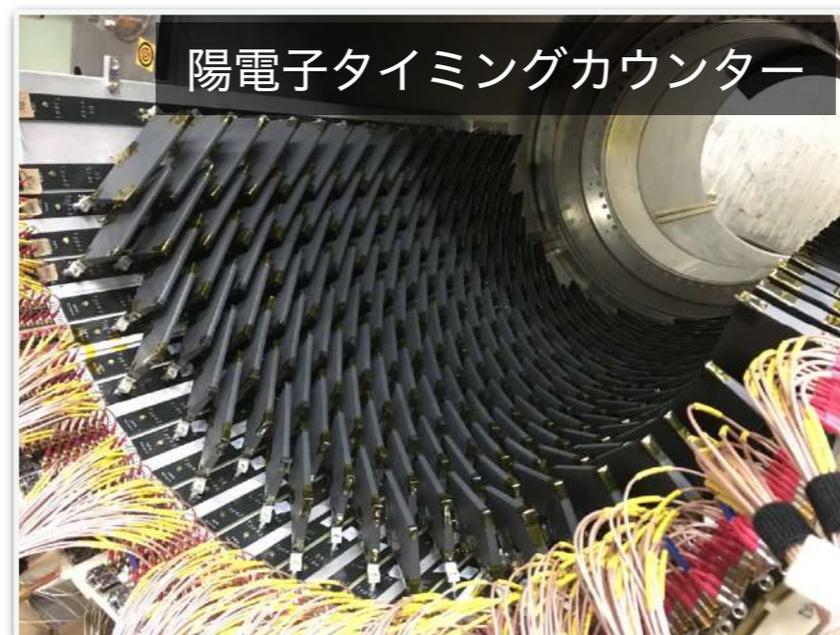
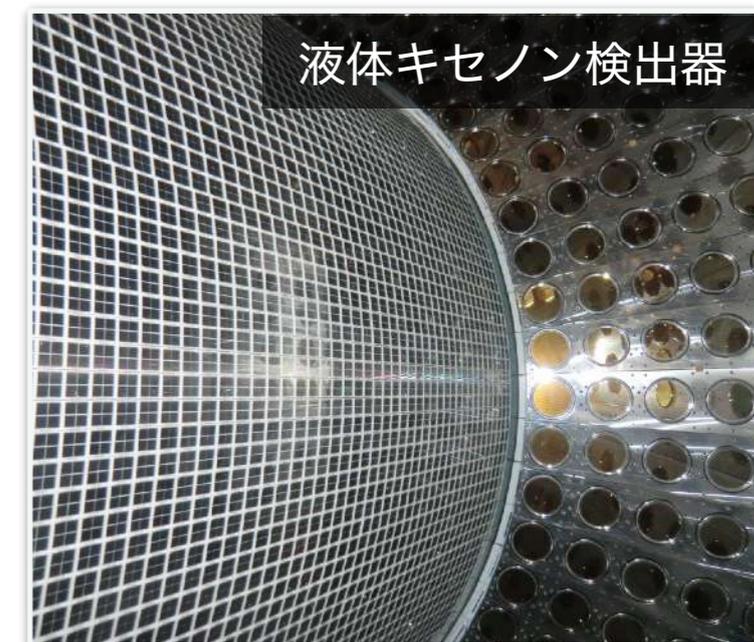
590MeV ring cyclotron



ポールシェラー研究所

MEG実験 測定器

- 世界最高感度の実験には世界最高性能の測定器が必要！
- 既存の測定器では不十分
 - 独創的で巧みなアイディアに基づく高性能測定器を開発・建設
 - ICEPPが中心となり考案、開発



→MEG II実験の準備は整いつつある!

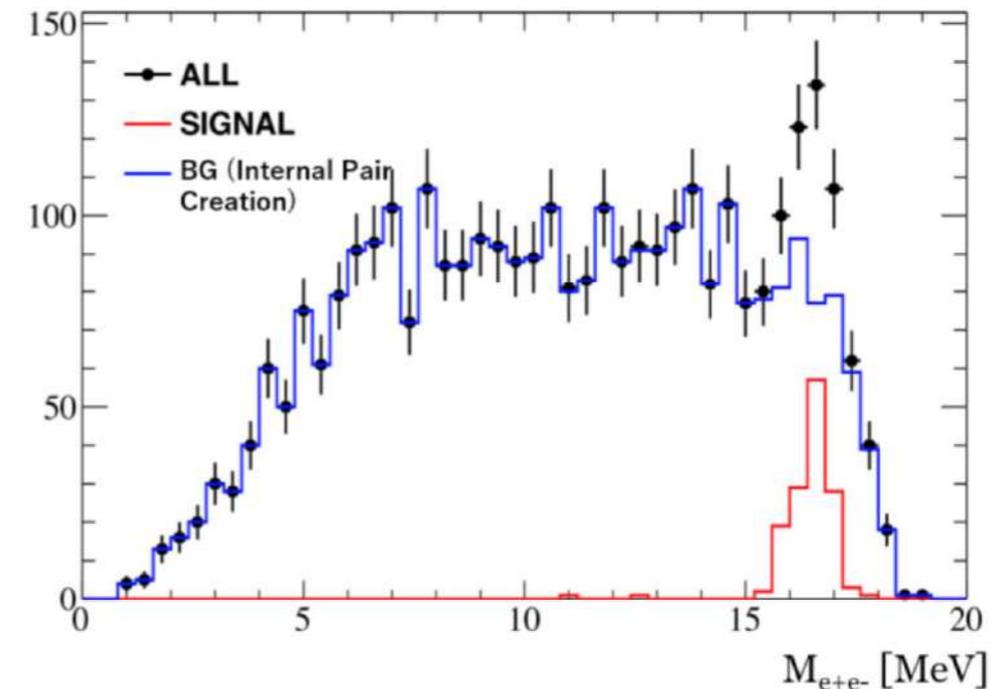
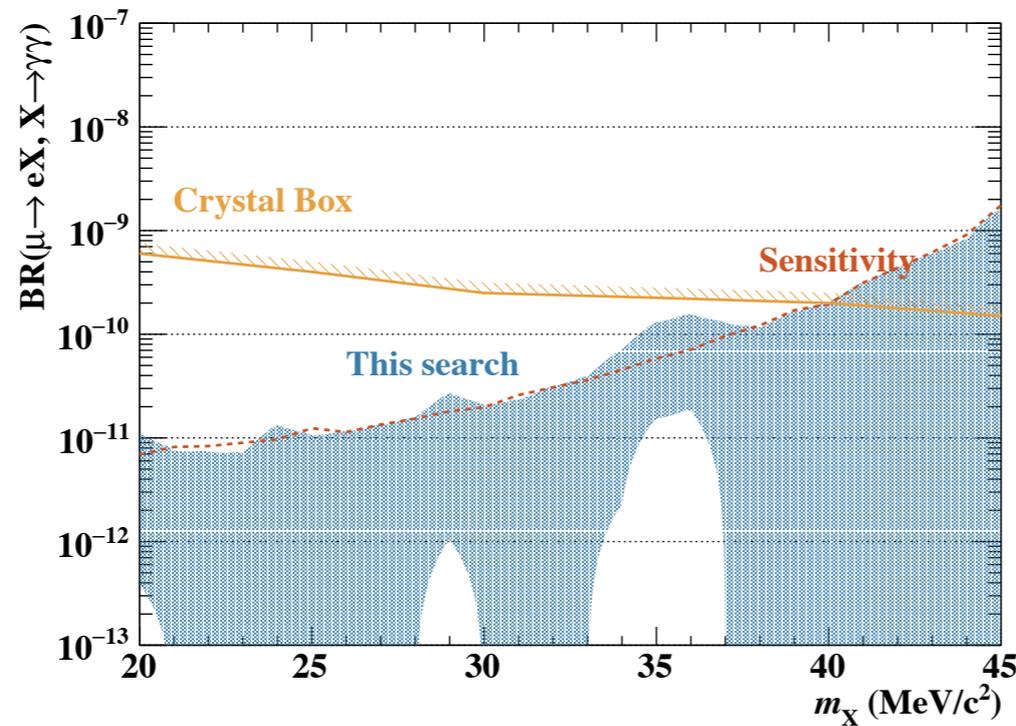
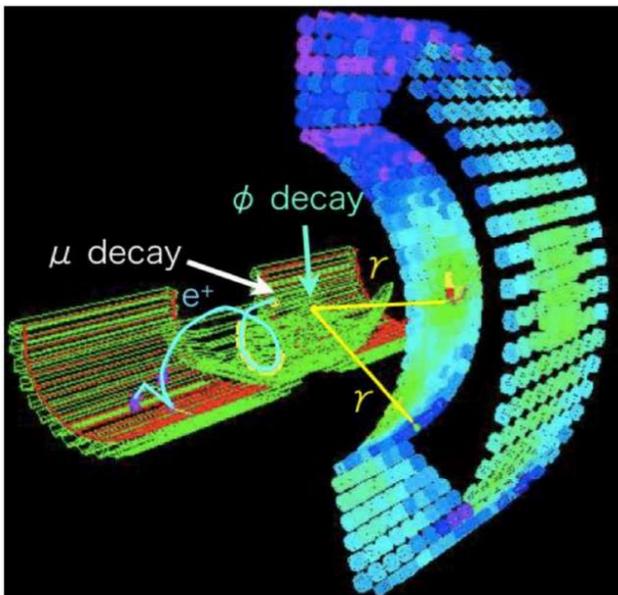
$\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊以外の物理

• MEG実験の高性能測定器を使って $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊以外の稀崩壊現象の探索も

- $\mu \rightarrow e\Phi$, $\Phi \rightarrow \gamma\gamma$ (軽い新物理粒子を媒介とするレプトンフレーバーの破れ)
- Be原子核の脱励起反応における17MeVボソン探索 (ダークフォトン)
- $\pi^0 \rightarrow \mu^+e^-$ (荷電レプトンフレーバーの破れ)
- 液体キセノン検出器を用いたレプトン普遍性の破れの検証実験

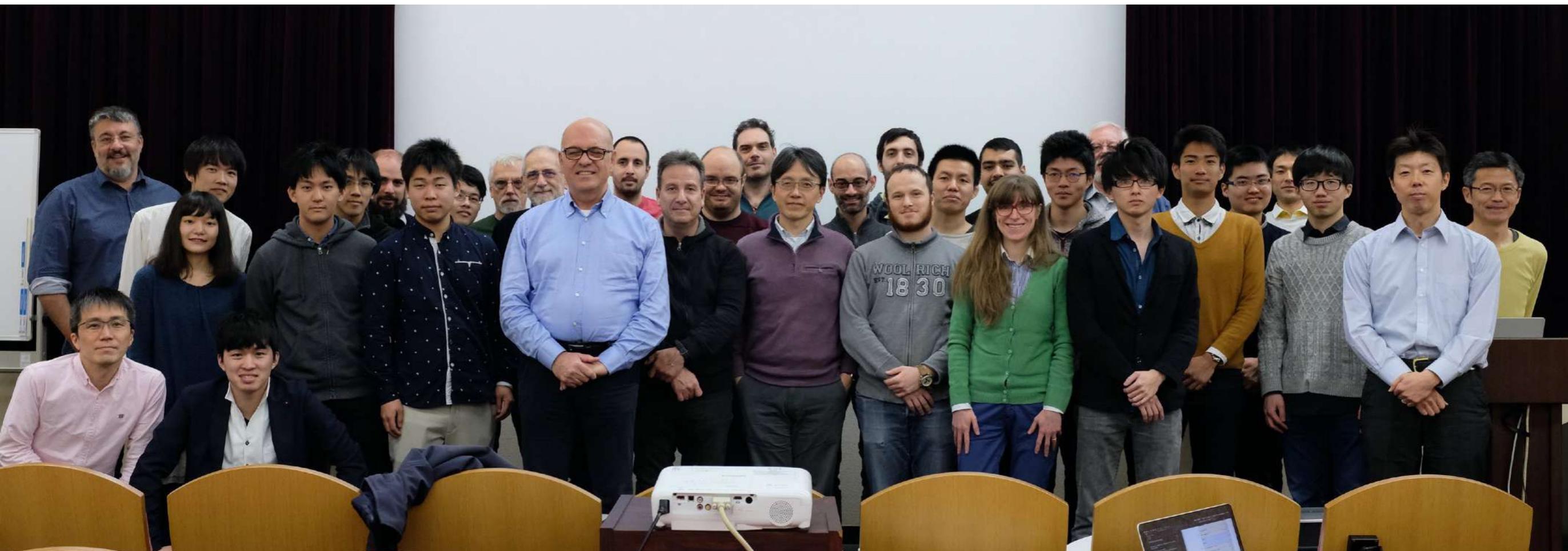
$\mu \rightarrow e\Phi$, $\Phi \rightarrow \gamma\gamma$ 探索@MEG実験データ

17MeVボソン探索(シミュレーション)



• MEG II後の将来実験に向けた研究開発 (MEG III?)

MEG実験 国際コラボレーション

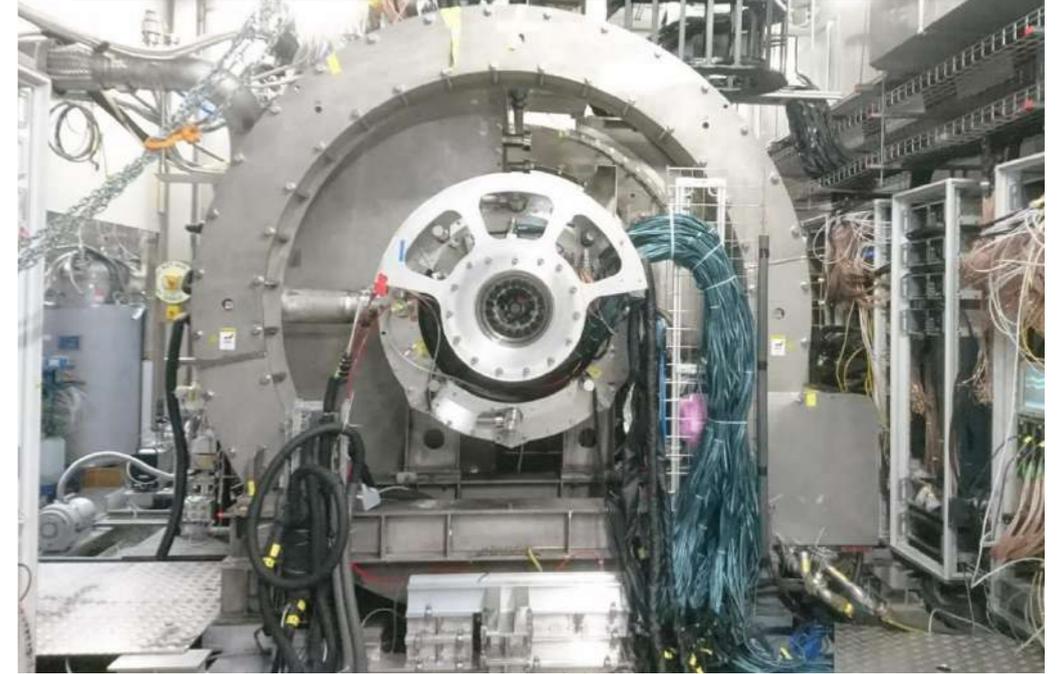


5ヶ国13研究機関から総勢約70名の研究者



MEG実験 まとめ

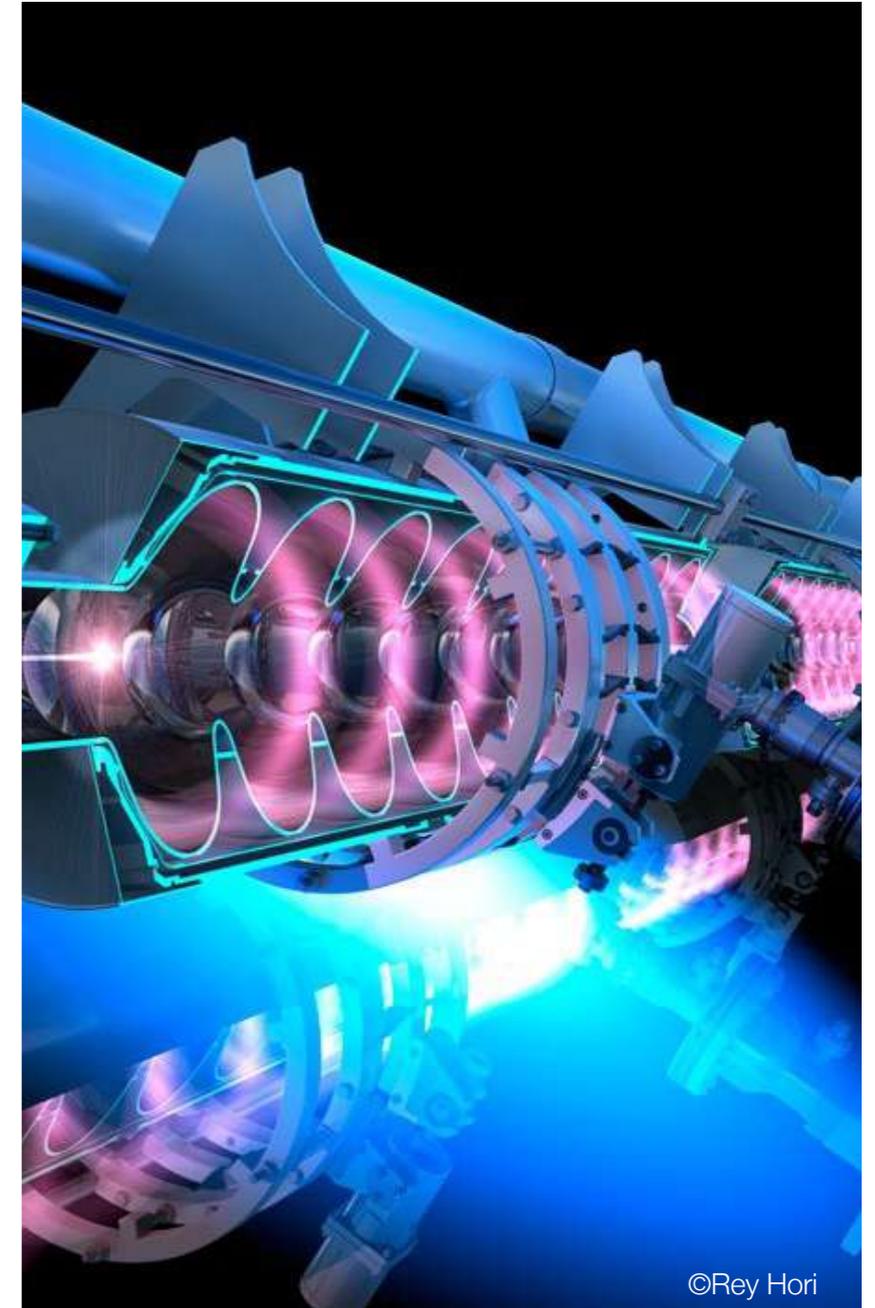
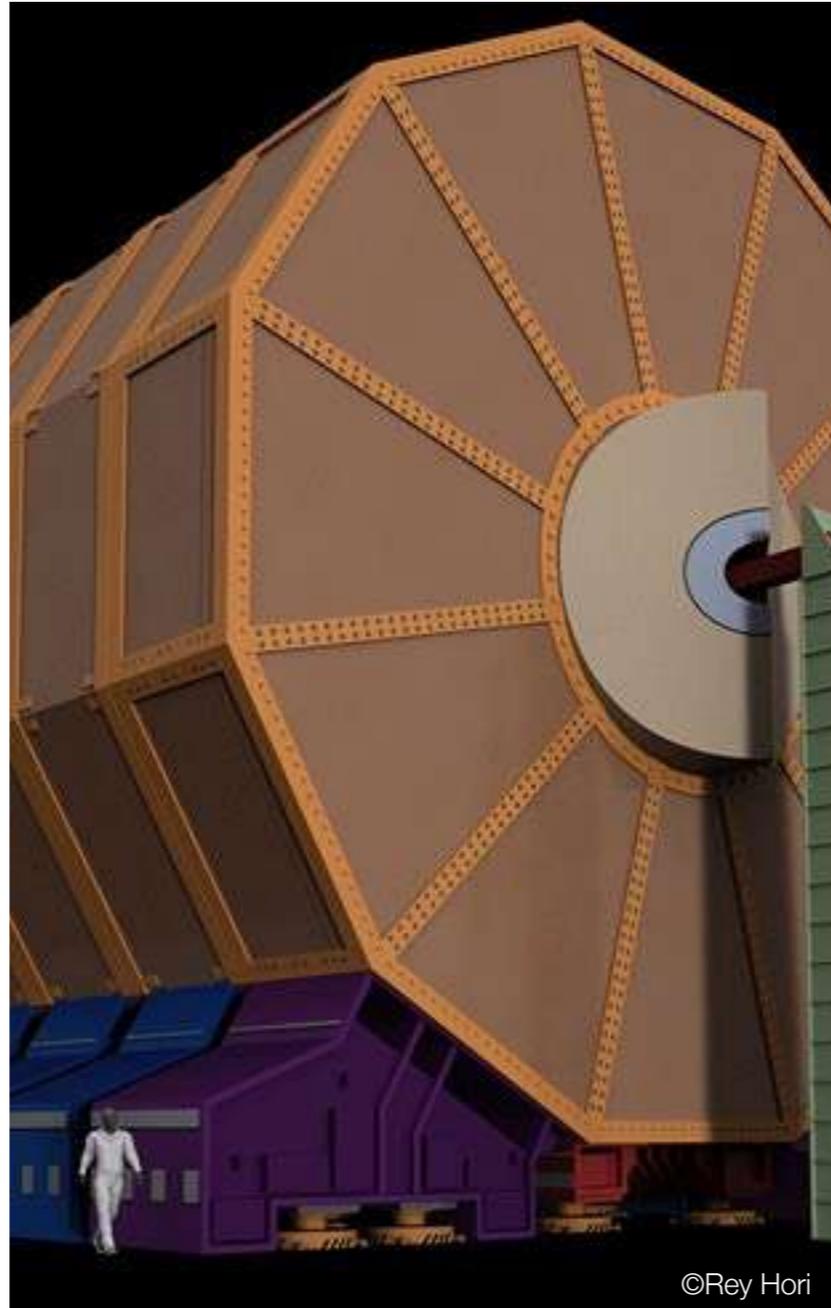
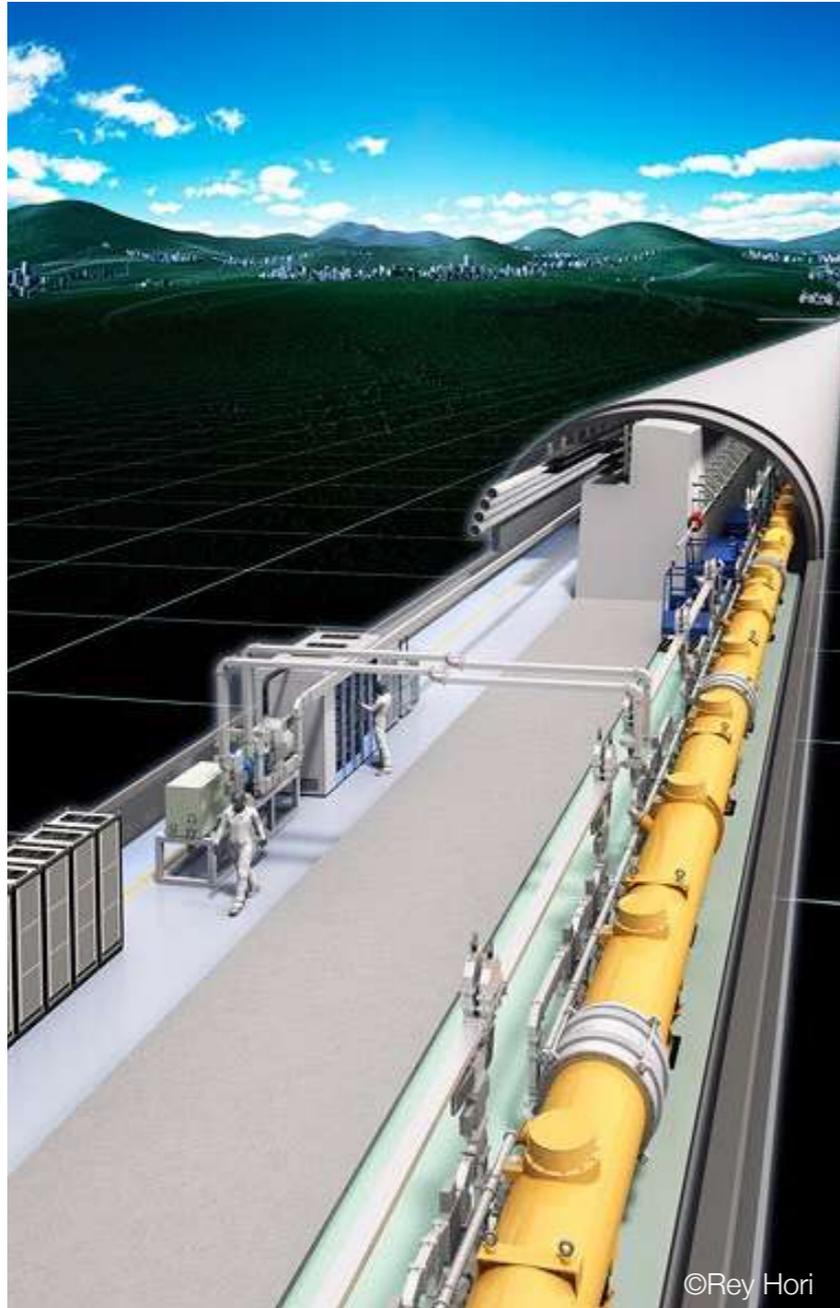
PSI実験エリアに設置されたMEG II測定器



- 標準理論を越える新物理の決定的証拠となる $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ を世界最高感度で探索、発見を目指す
- いよいよ究極感度のアップグレード実験 MEG IIが始まろうとしている
- MEG実験における大学院生の役割
 - ICEPPが中核グループとして測定器、解析両面で実験を主導
 - 大学院生が測定器の建設・運用からデータ取得、物理解析まで実験の全ての段階に主体的に関わることが出来る→学生の活躍の場が多い
 - 修士課程：担当するMEG II測定器の運用、解析アルゴリズムの開発、アップグレードのための研究開発
 - 博士課程：究極感度で $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 事象探索。発見の偉業で博士論文？ $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 以外の稀崩壊現象探索
- 担当研究室：森俊則研究室、大谷航研究室
岩本敏幸(助教)、内山雄祐(特任助教)、家城佳(特任研究員)

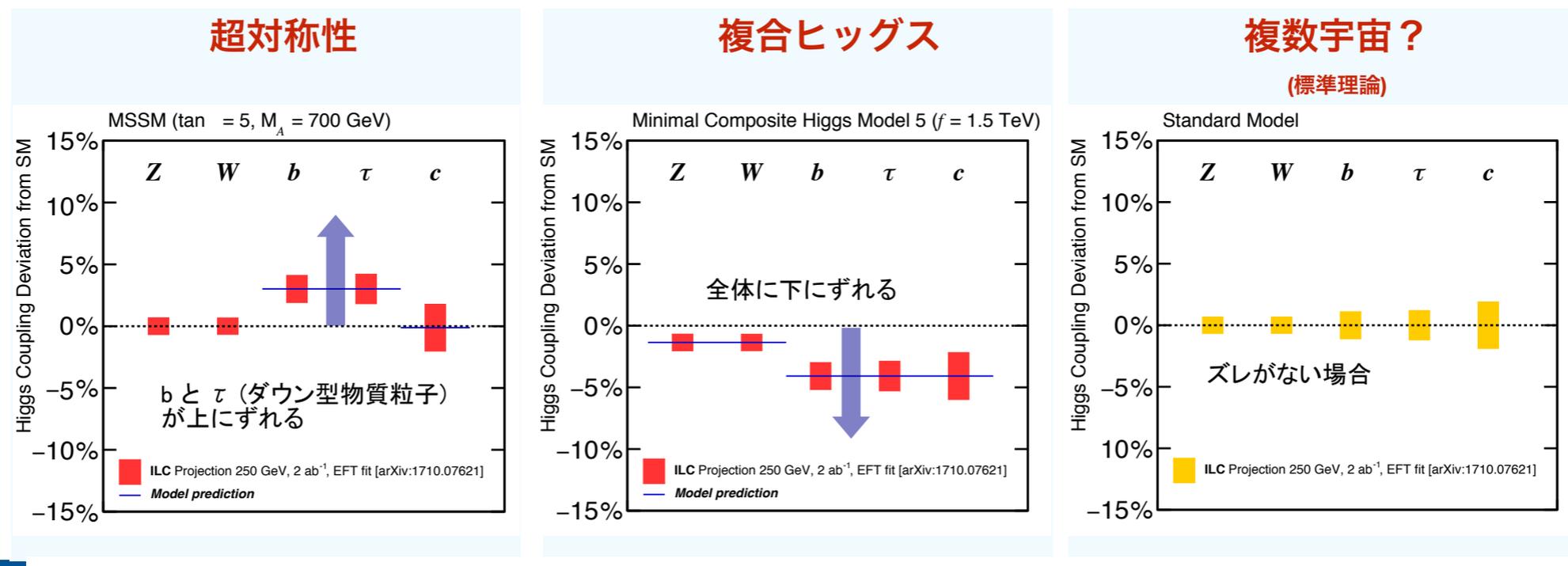
ICEPP研究紹介

ILC計画



素粒子物理学のこれから

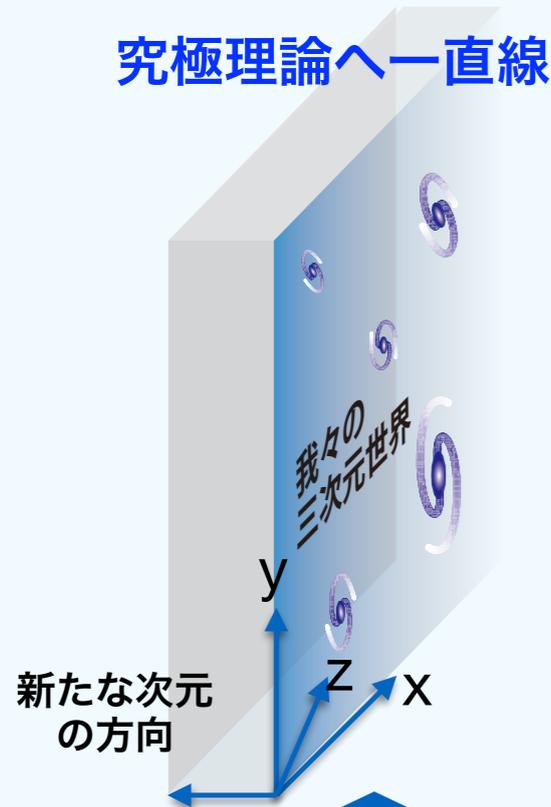
- ヒッグス粒子＝新たに手に入れた新物理探索の強力なツール
 - ヒッグス粒子を生んだ電弱対称性の破れ(真空の相転移)は新物理で理解されるべきもの
 - 新物理の効果はヒッグス粒子の性質の標準理論からのズレとしてあらわれる
→ ヒッグスの精密測定が極めて重要
- ヒッグスの精密測定が素粒子物理学の今後の進むべき方向性を明らかにする
 - ヒッグス研究は今後取り組むべき最も重要な「物理」のひとつ！



素粒子物理学のこれから

時空概念の拡張
超対称性または余剰次元

究極理論へ一直線



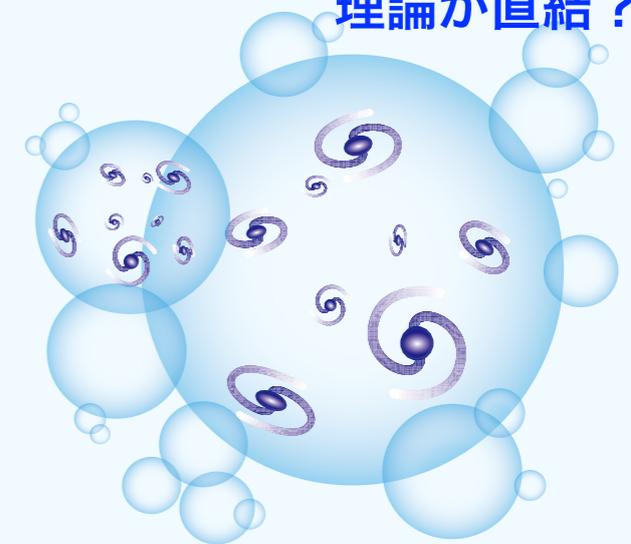
物質構造の拡張
複合ヒッグス

究極理論へ
新たな突破口



全く新しい原理？
複数宇宙+人間原理？

標準理論と究極理論が直結？



第二の道：「より深い階層」

標準理論からのズレが見られなかった場合

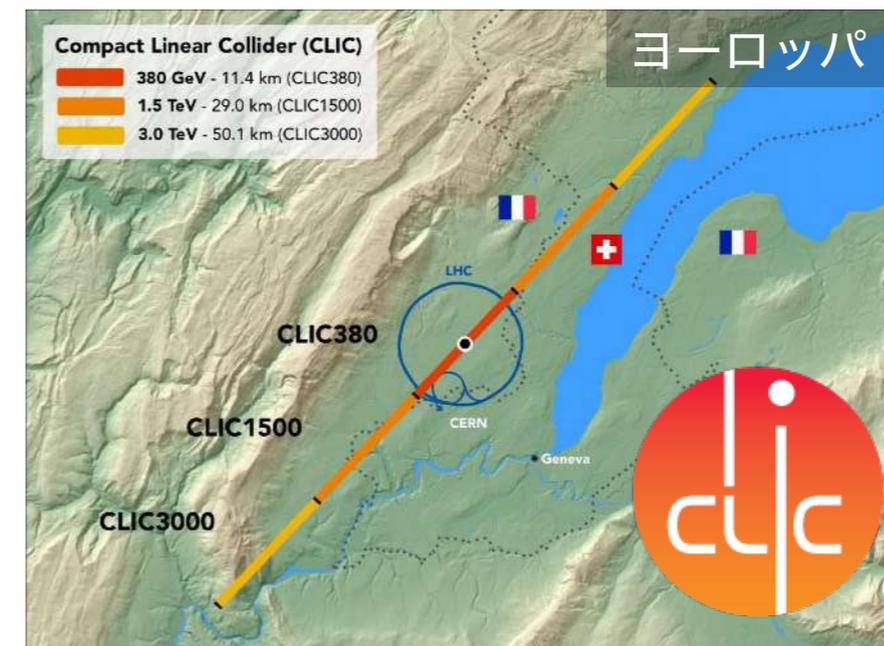
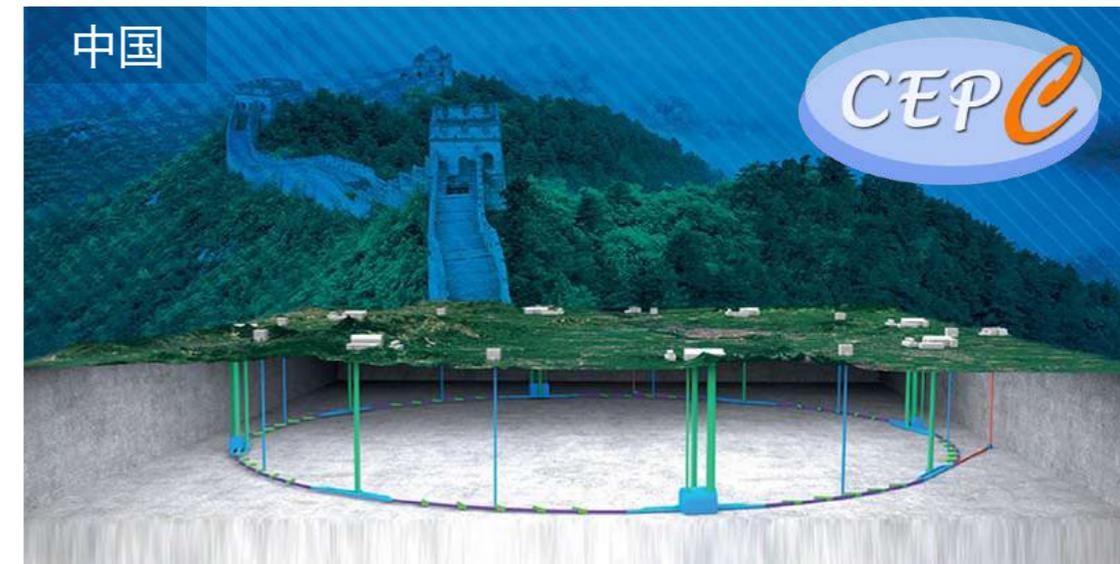
第一の道：「新たな次元」

ILC

第三の道：「複数宇宙？」

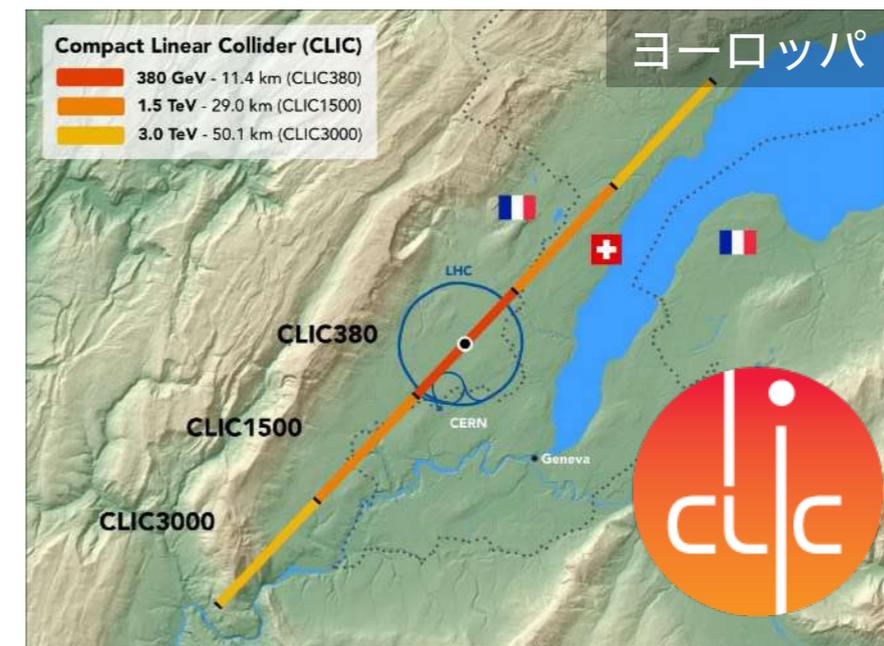
次世代最高エネルギー加速器

- ヒッグス粒子の精密研究で標準理論を越える新物理への扉を開く！
- 国際的な合意
 - 次に建設すべきエネルギーフロンティア加速器は電子陽電子衝突型加速器(ヒッグス生成工場)
- 世界中でいろいろな次世代電子陽電子加速器が提案されている
 - ILC, CLIC, FCC-ee, CEPC



次世代最高エネルギー加速器

- ヒッグス粒子の精密研究で標準理論を越える新物理への扉を開く！
- 国際的な合意
 - 次に建設すべきエネルギーフロンティア加速器は電子陽電子衝突型加速器(ヒッグス生成工場)
- 世界中でいろいろな次世代電子陽電子加速器が提案されている
 - ILC, CLIC, FCC-ee, CEPC



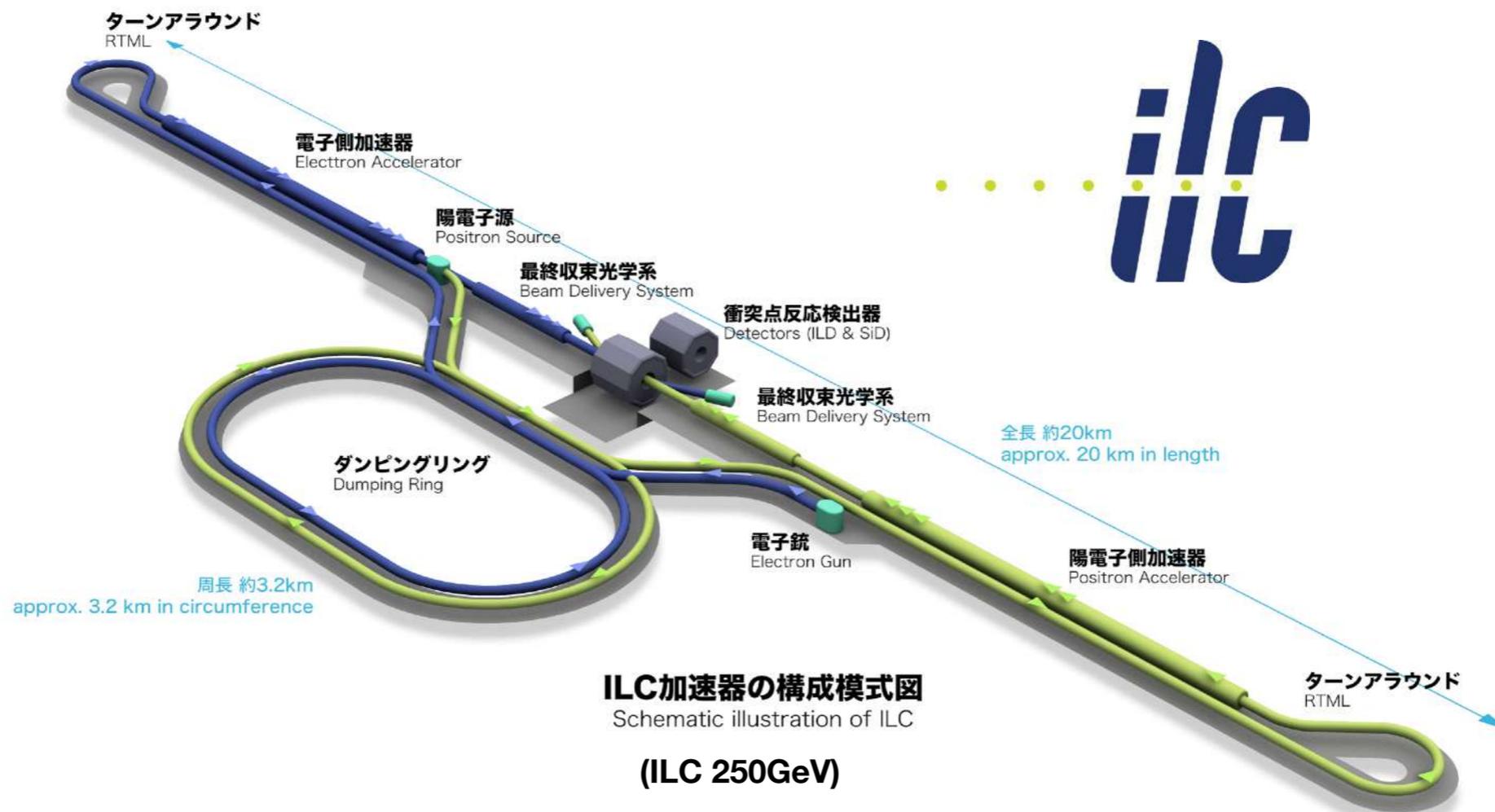
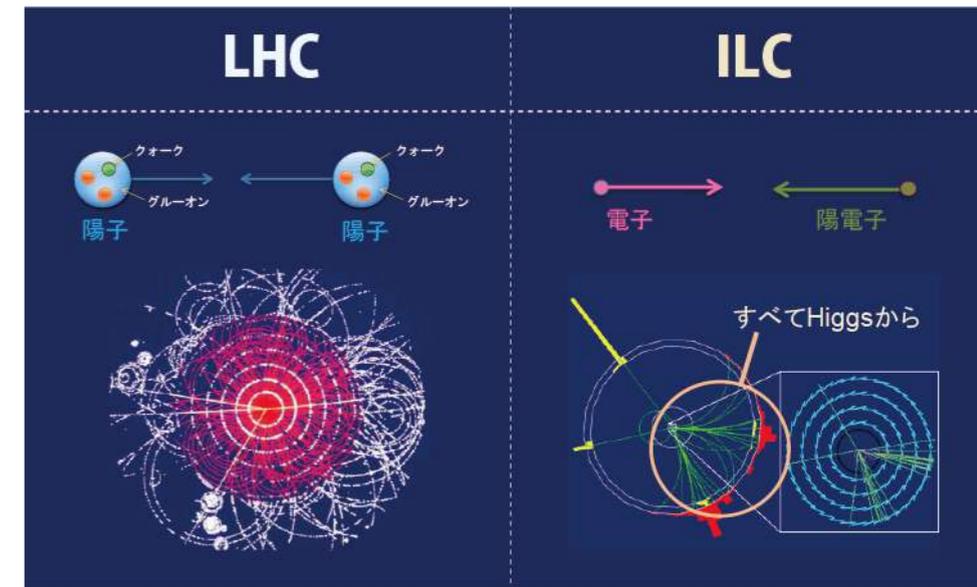
最も技術的成熟度が高く、実現に近いのがILC

国際リニアコライダー(ILC)計画

次世代最高エネルギー電子陽電子加速器

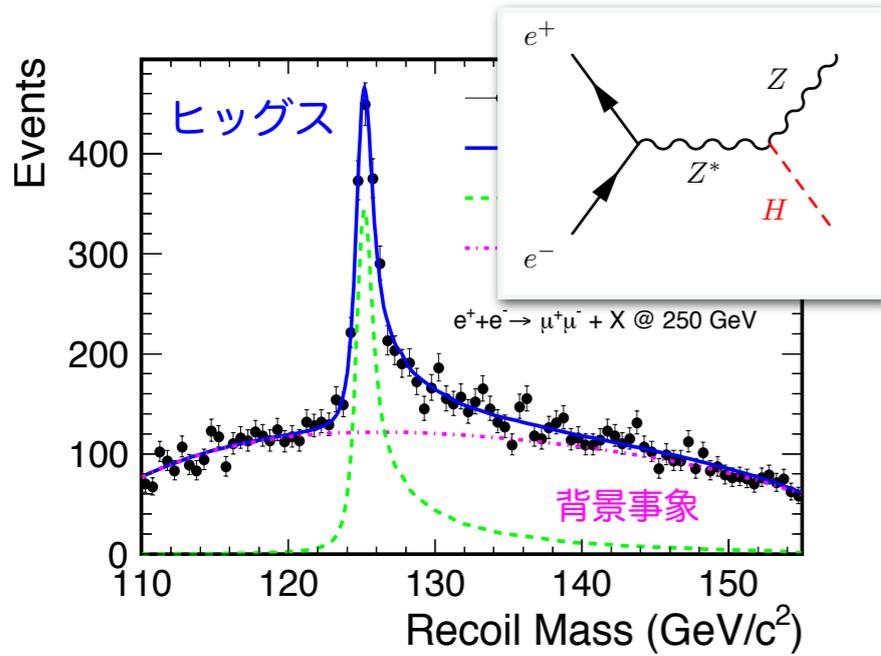
- 素粒子同士の衝突、全衝突エネルギーが反応に使われる
- クリーンな環境で圧倒的な精密測定
- エネルギー拡張性に優れる。250GeV→500GeV(1TeV以上の可能性も)
- 偏極ビームが利用可能

CERNを凌ぐようなグローバルな国際研究所に

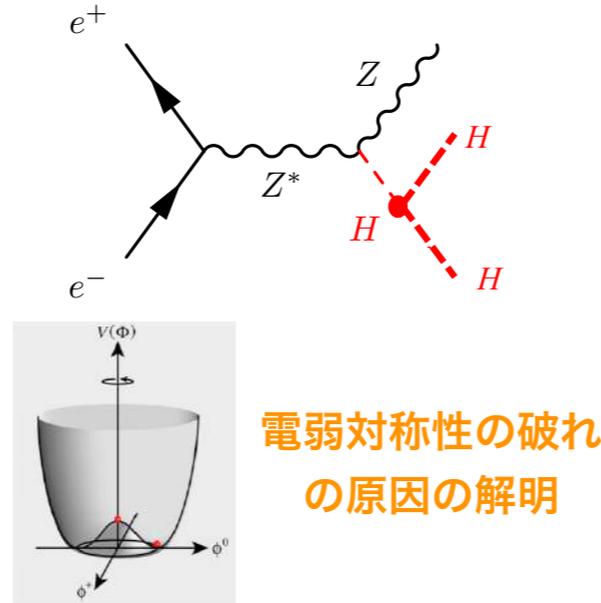


ILCでめざす物理(ヒッグス物理だけではない)

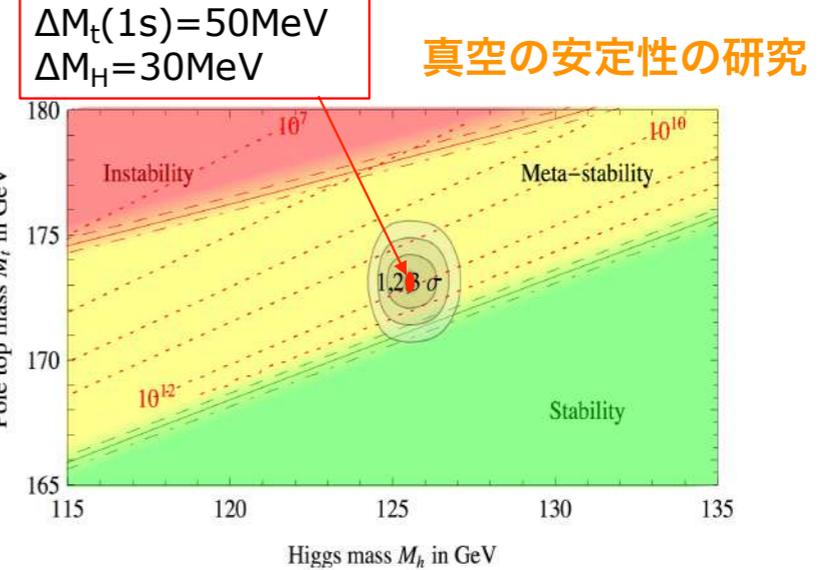
ヒッグス粒子の詳細研究



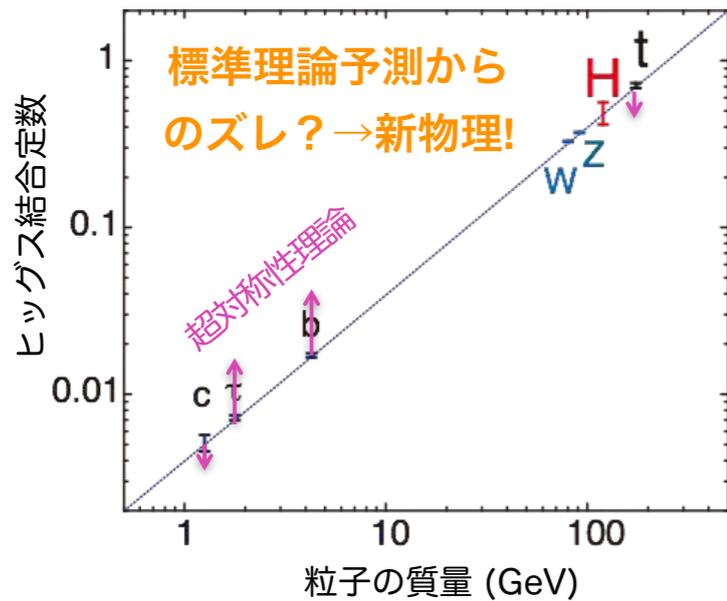
ヒッグス自己結合



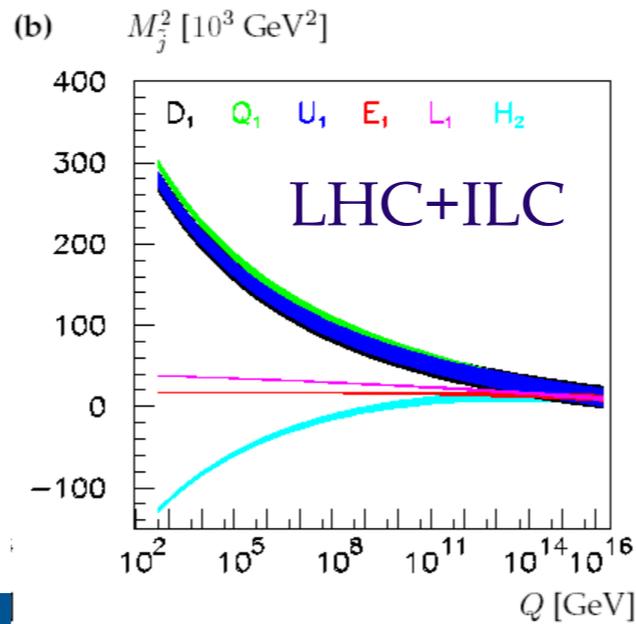
トップクォークの詳細研究



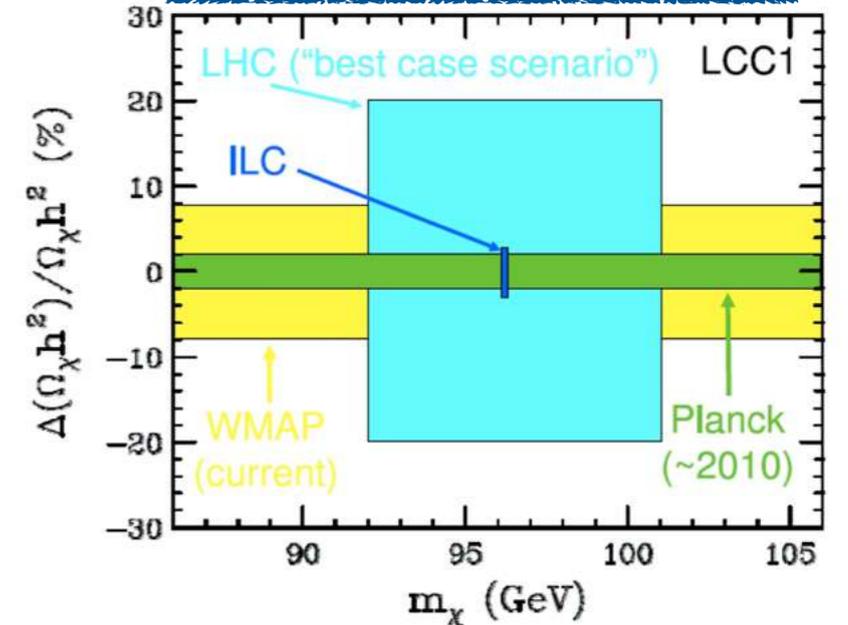
ヒッグス結合定数の測定



力の大統一の検証

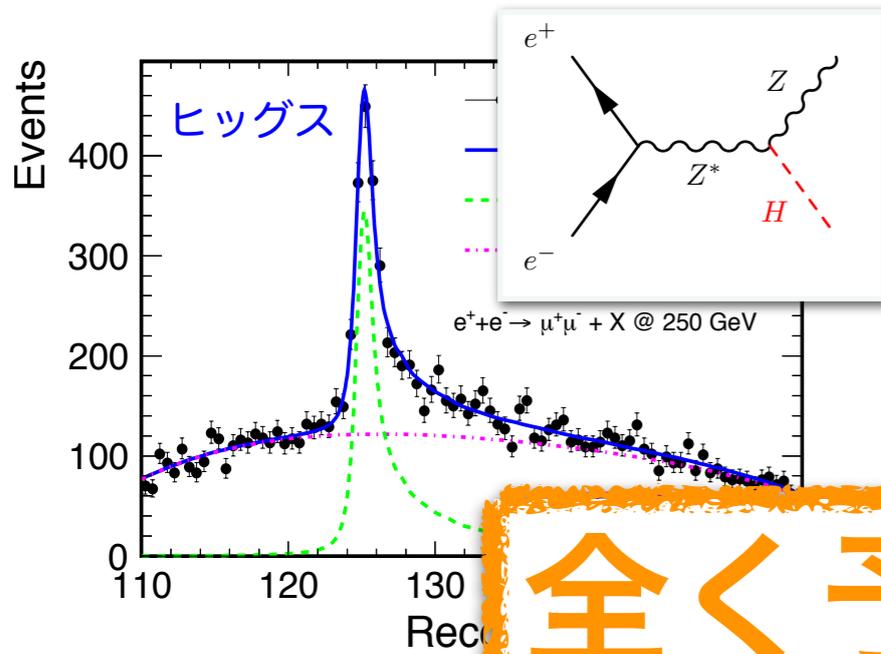


暗黒物質の正体解明

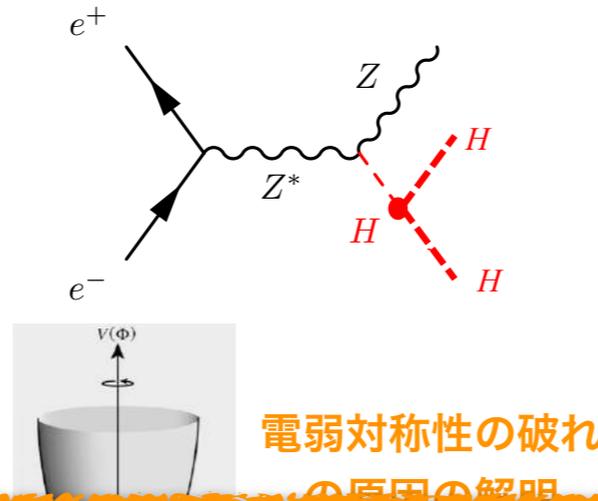


ILCでめざす物理(ヒッグス物理だけではない)

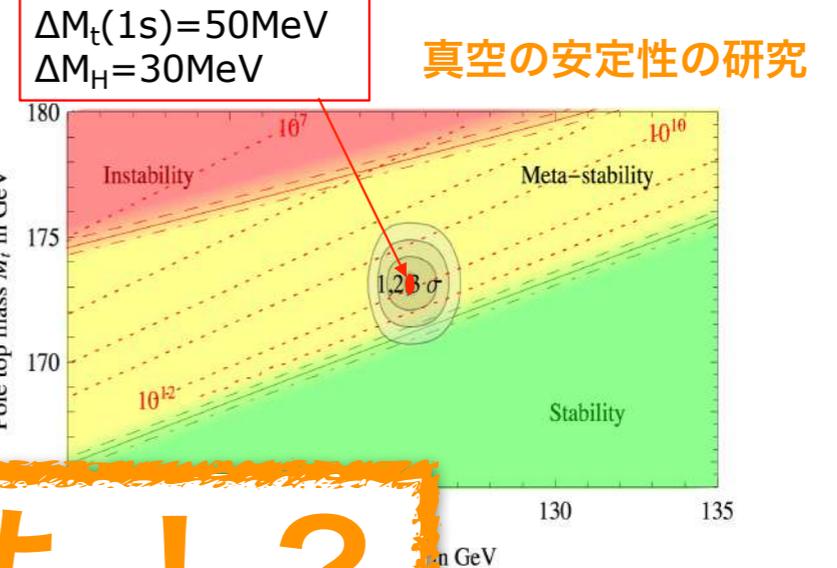
ヒッグス粒子の詳細研究



ヒッグス自己結合

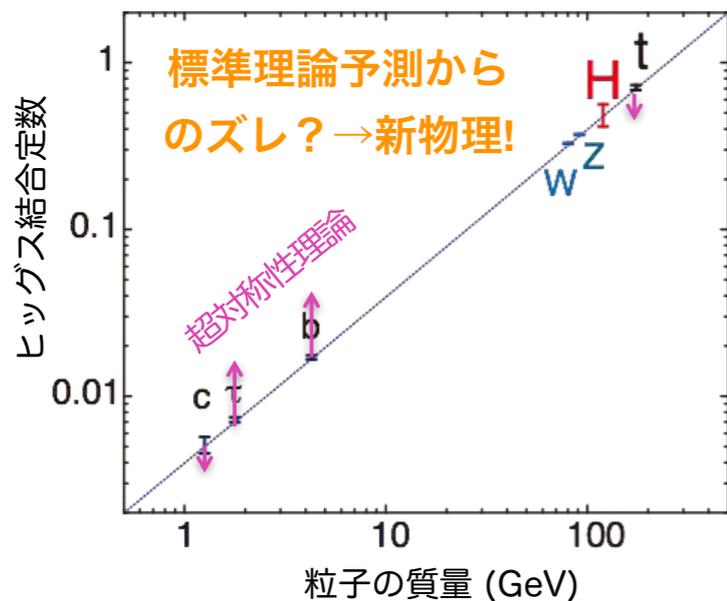


トップクォークの詳細研究

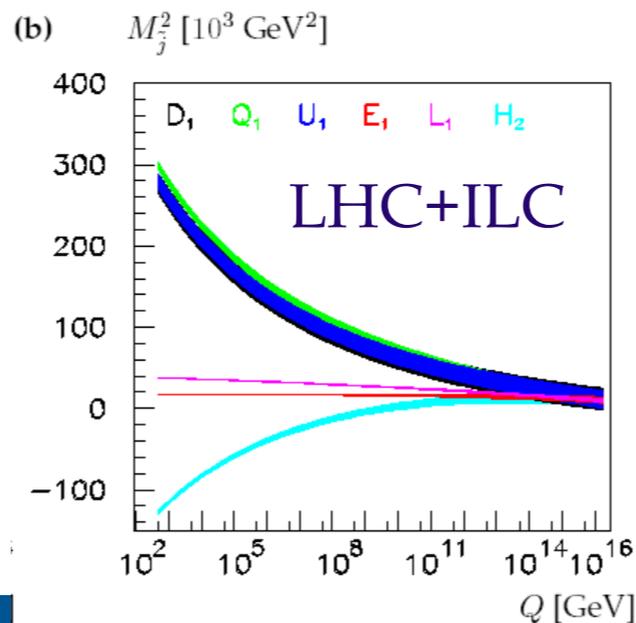


全く予期せぬ発見も!?

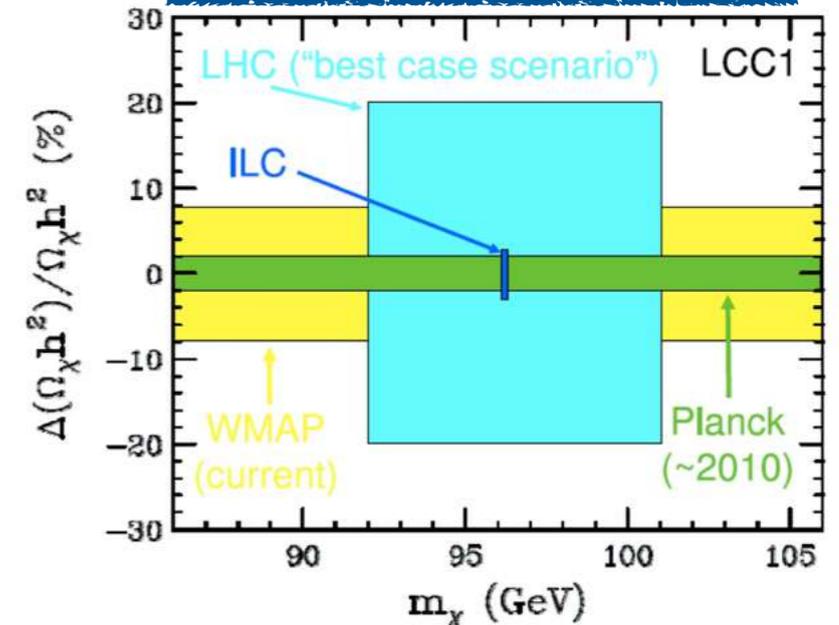
ヒッグス結合定数の測定



力の大統一の検証



暗黒物質の正体解明



ILC実現に向けた技術的挑戦

・ 加速器

- ・ 超伝導加速空洞による高電界加速
 - ・ 超低エミッタンス(ナノメートルビーム)の生成・制御
 - ・ 偏極ビームの生成
- 長年にわたる国際共同研究でついに要求性能を達成！

・ 測定器

- ・ ILCでの精密研究を可能にするこれまでに無い高性能測定器
 - ・ 新しいコンセプト：超高精細測定器+Particle Flow Algorithm (PFA)
- 最先端測定器技術を駆使して、国際的な研究開発が精力的に進められている

ILC測定器(ILD)



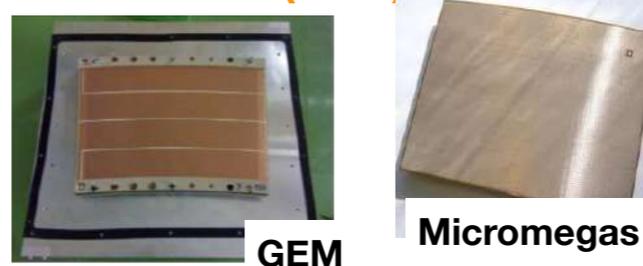
ハドロンカロリメータ



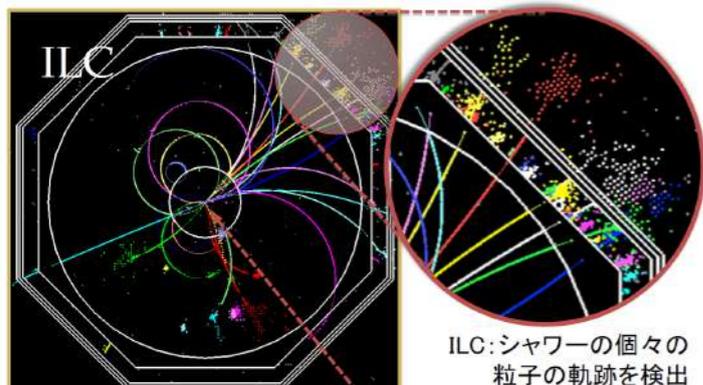
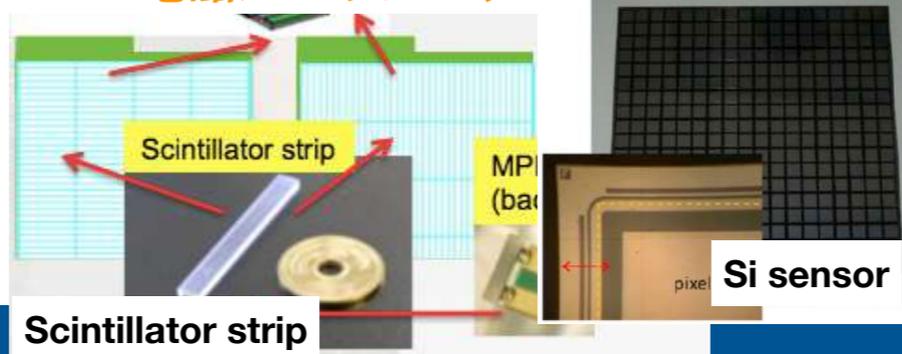
バーテックス検出器



飛跡検出器 (TPC)

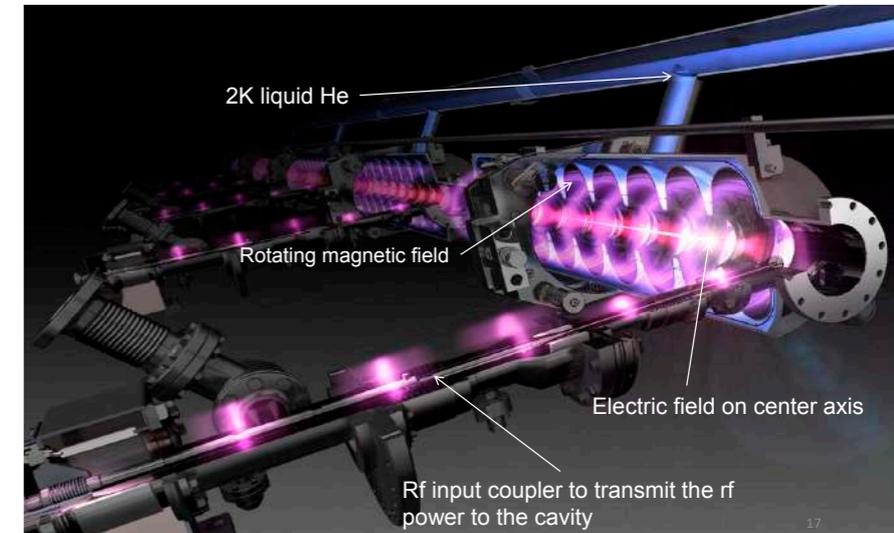


電磁カロリメータ

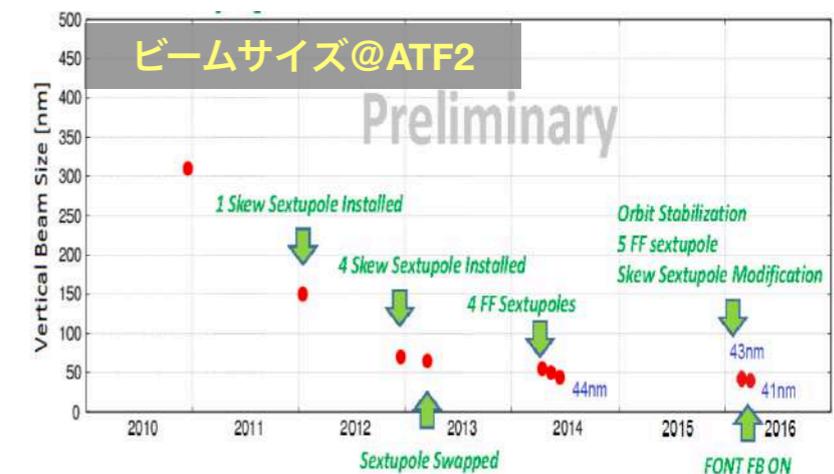


ILC:シャワーの個々の粒子の軌跡を検出

超伝導加速空洞の開発



ナノビーム技術の開発



ILC@素粒子センター

ILC計画実現に向け、活発な研究および推進活動を展開

- 加速器開発, 測定器開発, ILC物理研究, 建設推進活動

すべてが国際共同研究で進められている

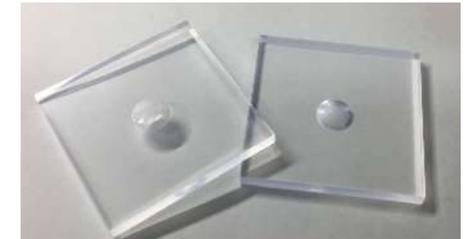
- 修士課程のうちから世界中いろんなところに行ける (行かされる)
- テストビーム実験、コラボレーションミーティング、国際会議での成果発表、...

世界を飛び回って研究！

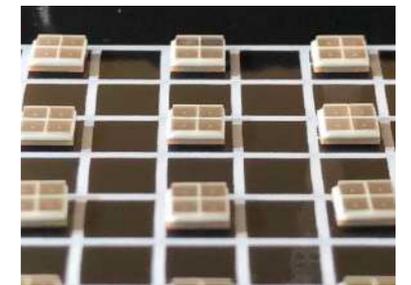


ILC測定器開発

高精細カロリメータ開発

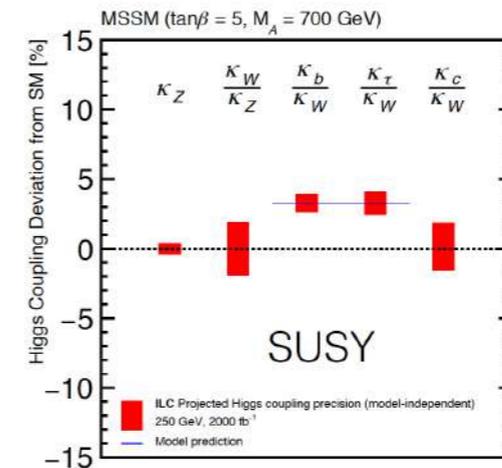


高性能シンチレータ材開発

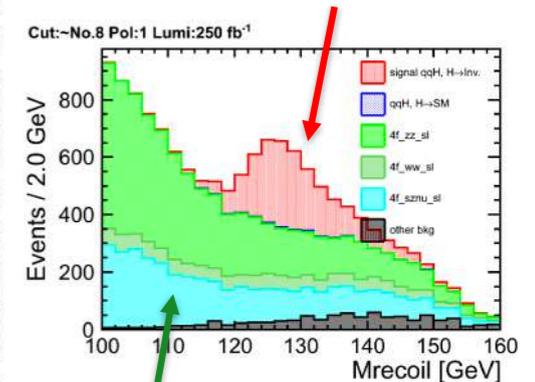


光センサー開発

ILC物理研究



ヒッグス粒子の未知の崩壊 (見えない) を捉える



緑・青・黒：標準理論で予想される背景事象

ILC計画の現状

• 2013年 技術設計報告書公表

→技術的には建設開始可能。残るは、日本政府・関係各国の政治判断

• ILCの日本での建設に向けて大きく前進している！

- 日本における建設候補地一本化 (北上山地@東北)
- 国際コミュニティからの力強い支持
 - 国際将来加速器委員会(ICFA)声明 @2020年2月25日
 - 欧州戦略アップデートでの議論
 - 米国政府からの強いサポート
- 2020年3月 ILCについての日本政府のからの前向きな見解表明

• 2030年代半ばの実験開始を目指す

- 建設準備(2021-2024)、建設(2025-2033)、運転開始(2034-)



ILC技術設計報告書公表

安倍首相との会合



ILC計画 まとめ

- **夢の最高エネルギー電子陽電子加速器ILC**を実現し、宇宙創成の謎を解き明かす
 - ILCを日本で実現する千載一遇のチャンスが巡ってきている！
 - 日本政府のポジティブな見解表明＋国際コミュニティーの力強い支持
→ILCは実現に向けて大きく前進！
 - 2030年代半ばの実験開始をめざす。皆さんが研究者として脂が乗った時期
 - 修士/博士過程：測定器開発、加速器開発、物理研究、...
- **究極の素粒子実験を目指す挑戦に参加しませんか？**
- 担当研究室：**森俊則**研究室、**大谷航**研究室
Junping Tian (助教)、田邊友彦(特任助教)