

十年先を俯瞰した  
高エネルギー物理学の将来展望

森 俊則

東京大学素粒子物理国際研究センター

# 本シンポジウムの趣旨

- 現在高エネルギー物理学分野において  
将来計画の検討が進行中
  - 将来計画検討小委員会
  - 各種タウンミーティングを開催
- 現時点でのスナップショットを紹介

# 将来計画検討小委員会

- 2009年春の高エネルギー物理学研究者会議（JAHEP）総会での議論を経て、高エネルギー委員会により任命。
- 任務：
  - 10年以上の将来を俯瞰してわが国の将来計画を検討し、2年後を目途に答申を高エネルギー委員会に提出する。また世界的な状況の変化に応じて中間答申やテーマを絞った提言などを行う。将来計画としては、物理の重要性、国際的な動向を踏まえ、加速器を用いた実験は勿論のこと、非加速器素粒子実験も含むものとする。

<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/hecsubc/>

# 委員の構成

- 浅井祥仁（東大）、飯嶋徹（名大）、石井恒次（KEK）、井上邦雄（東北大）、後田裕（KEK）、大西幸喜（KEK）、久野純治（名大）、栗木雅夫（広大）、小林隆（KEK）、田窪洋介（KEK）、中家剛（京大）、野尻美保子（KEK）、野村正（KEK：幹事）、羽澄昌史（KEK）、花垣和則（阪大：幹事）、村山斉（東大）、森俊則（東大：委員長）、諸井健夫（東大）、山下了（東大）

理論・加速器も含む広い分野の若手 < 50歳

(委員会発足時)

# 過去の将来計画検討小委員会

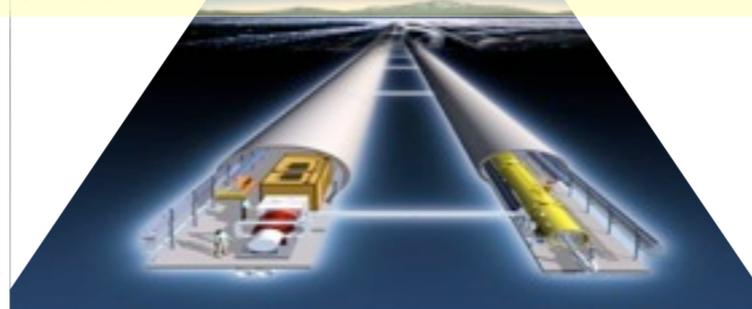
- 1986年答申（長嶋委員会）
  - TeV領域の電子リニアコライダーR&D
  - SSCによる国際協力
  - TRISTANの増強、スーパー神岡の推進
- 1997年答申（駒宮委員会）
  - 次期基幹計画は電子リニアコライダー（第一期250～500GeV、LHCと同時期目指す）
  - KEKB（建設中）の遂行

→ コミュニティの次期計画推進の指針となってきた

宇宙の創成・進化  
の謎の究明

物質と力の究極像  
の探究

国際リニアコライダー(ILC)



ニュートリノの  
CP非対称の検証

J-PARC/T2Kの増強



J-PARC

研究成果・技術開発・人材育成

小林・益川理論を超える  
クォーク理論の探求

Super-KEKB

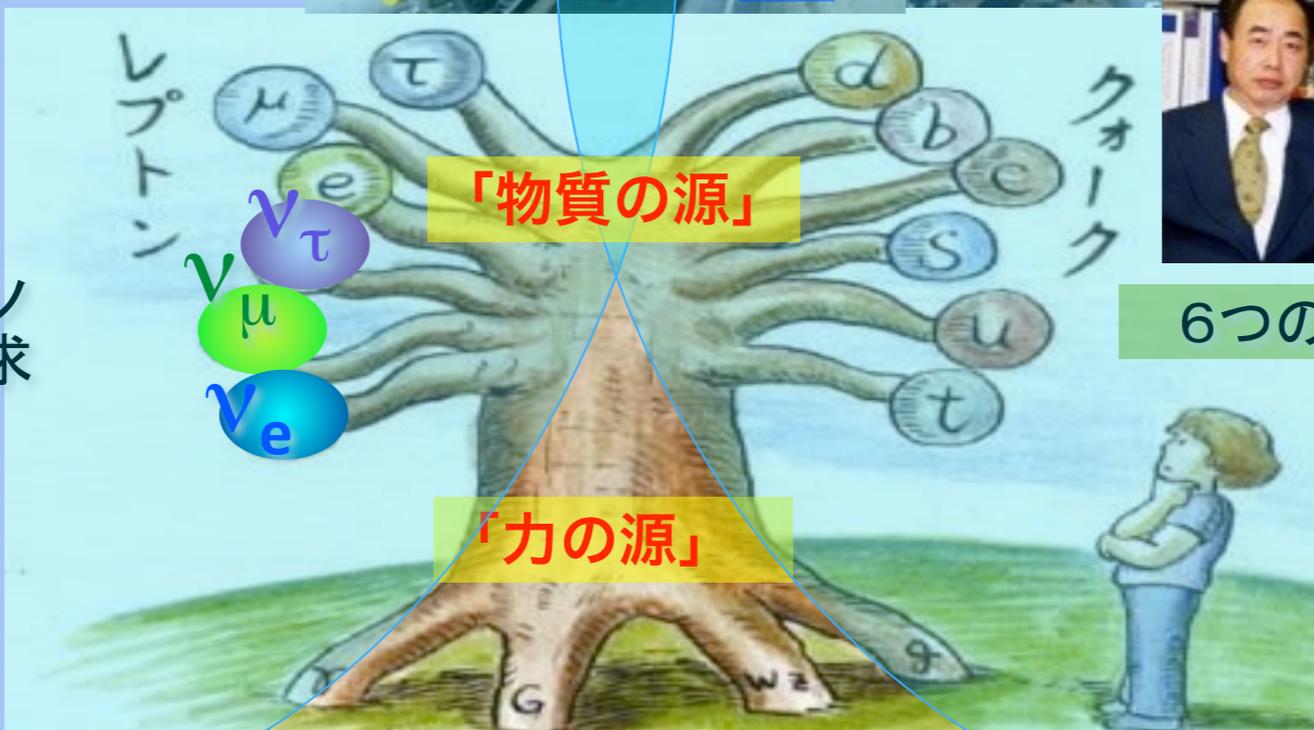


KEK-B

クォークの  
CP非対称の検証

「KEKロードマップ」

ニュートリノ  
の謎の探求



「物質の源」

「力の源」

ヒッグス粒子「質量の源」



6つのクォークの探求



# 「高エネルギー分野」の現状

- TeVスケールの物理

- LHC, (Super)KEKB, MEG, KoTo, etc

- ニュートリノ

- T2K, Double-Chooz, KamLAND-Zen, etc

- 宇宙観測

- XMASS, QUIET, SuMIRe, etc

# TeVスケールの物理

- 「ヒッグス」：標準理論の予言する新物理

- LHC, Tevatron

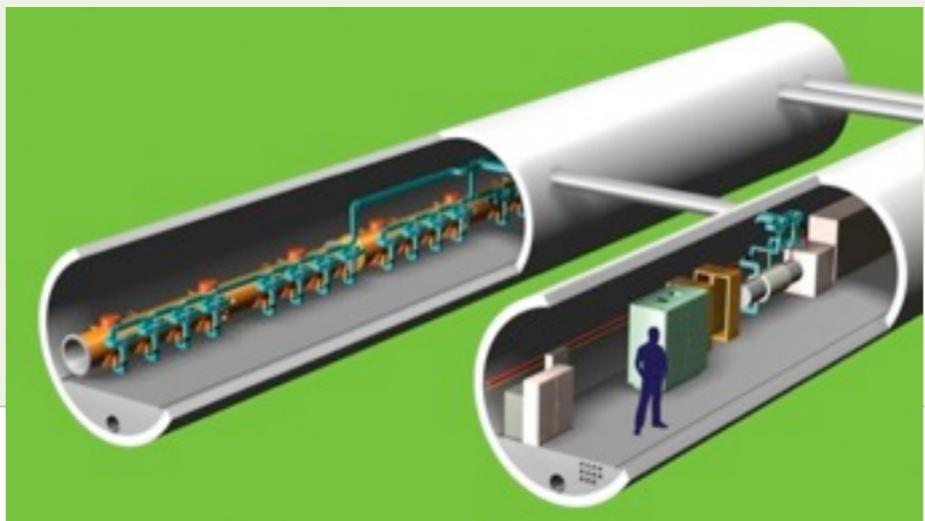
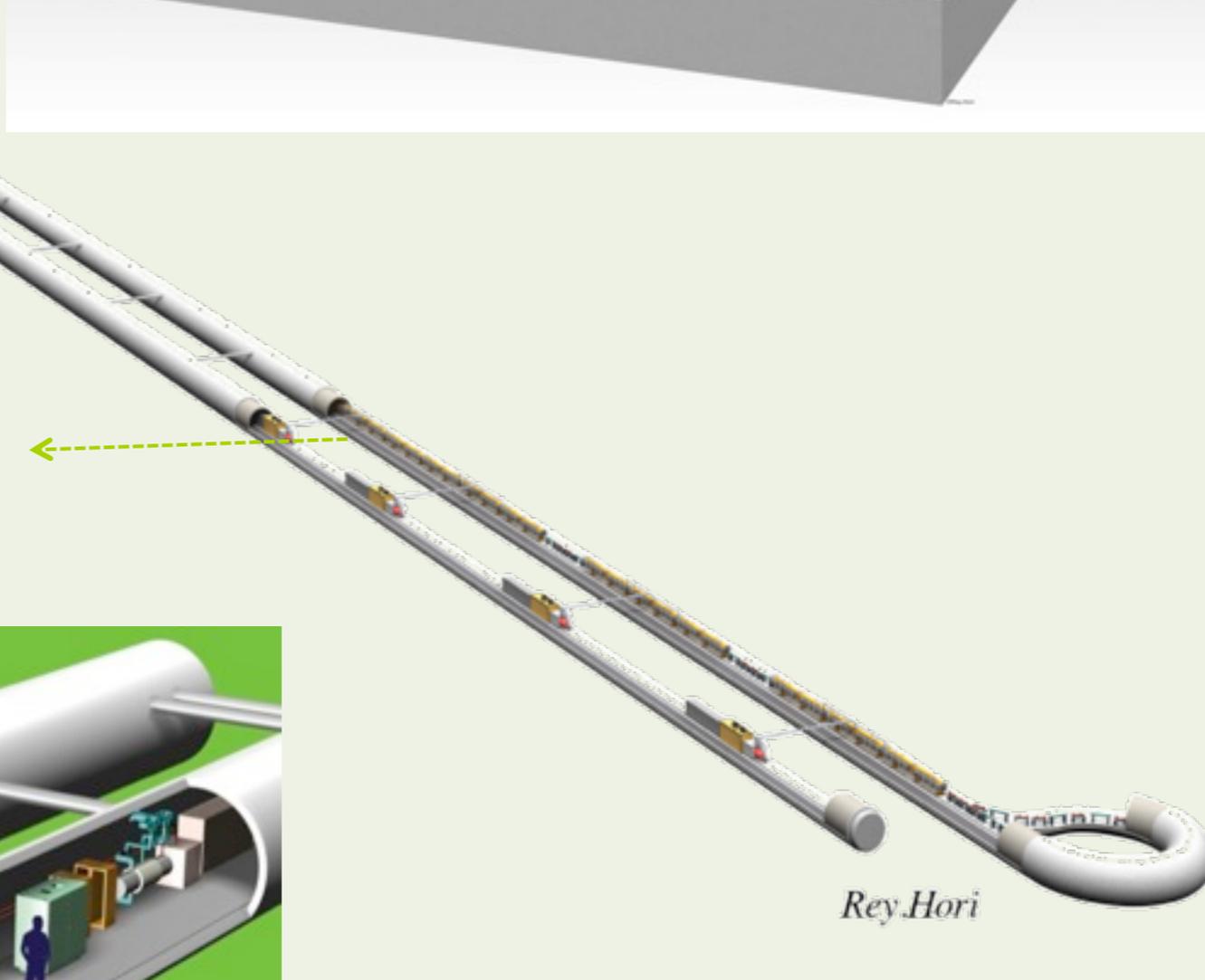
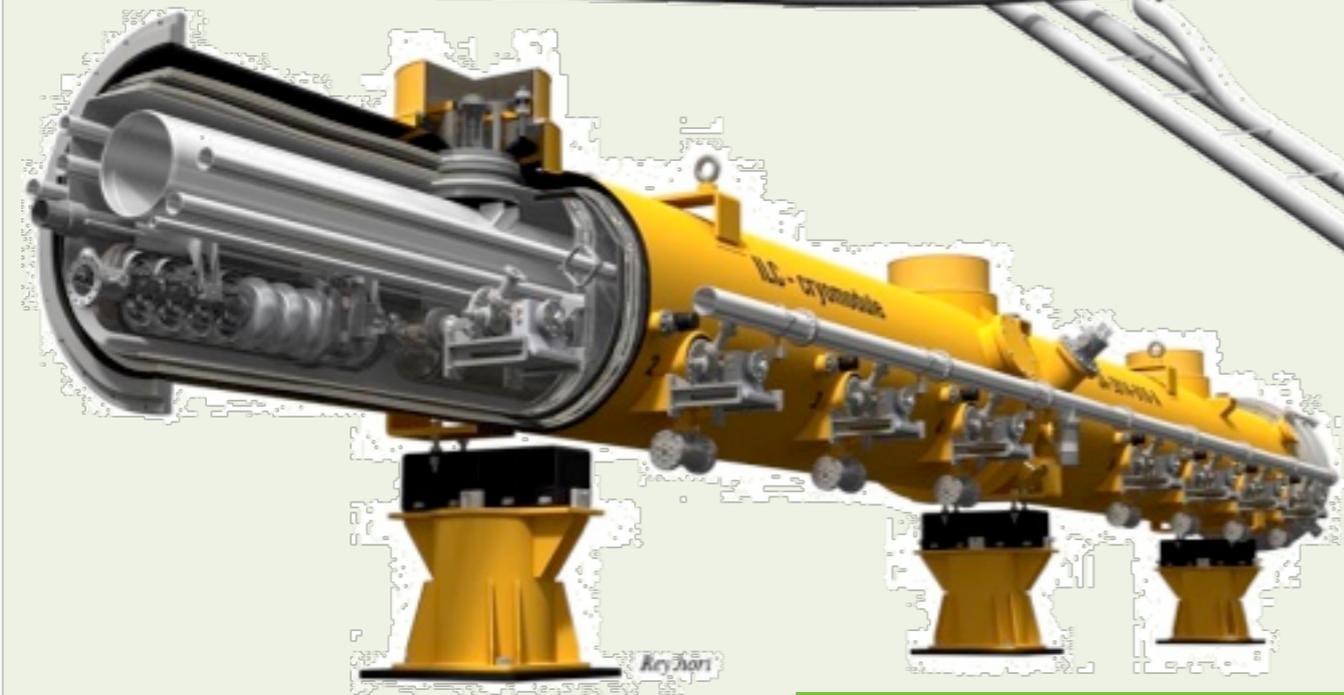
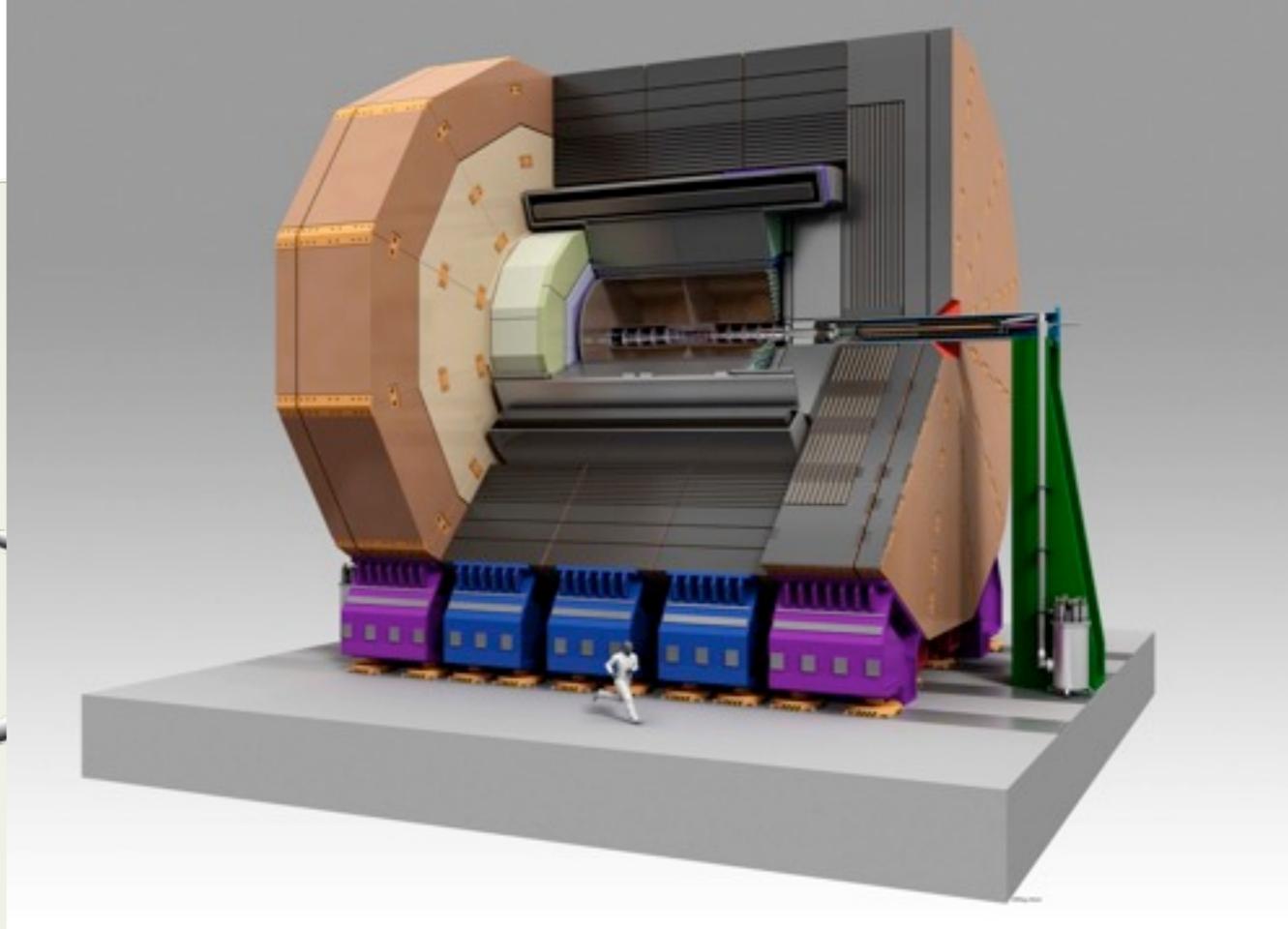
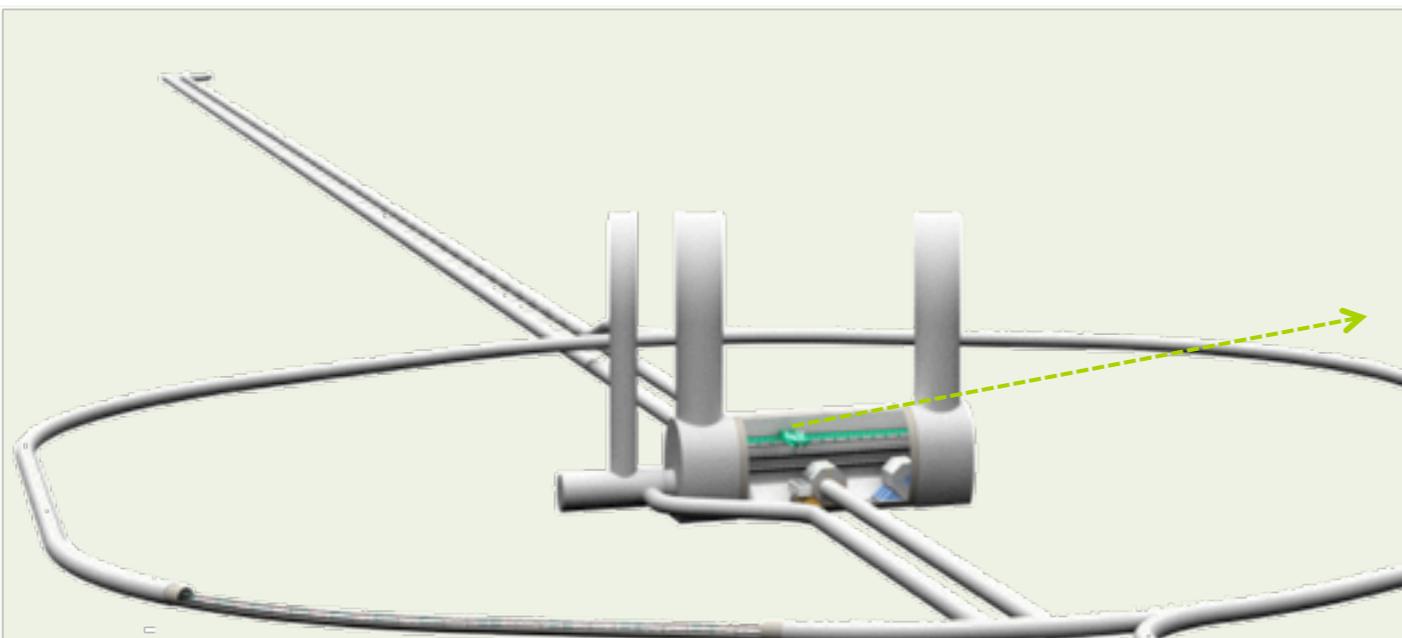
- 標準理論を超える新物理

- LHC, (Super)KEKB, MEG, etc



十年先の将来プロジェクト

HL-LHC, ILC, Hyper-KEKB?, COMET, etc



# ニュートリノ

- 混合角 $\theta_{13}$ の測定

- T2K, Double-Chooz, etc



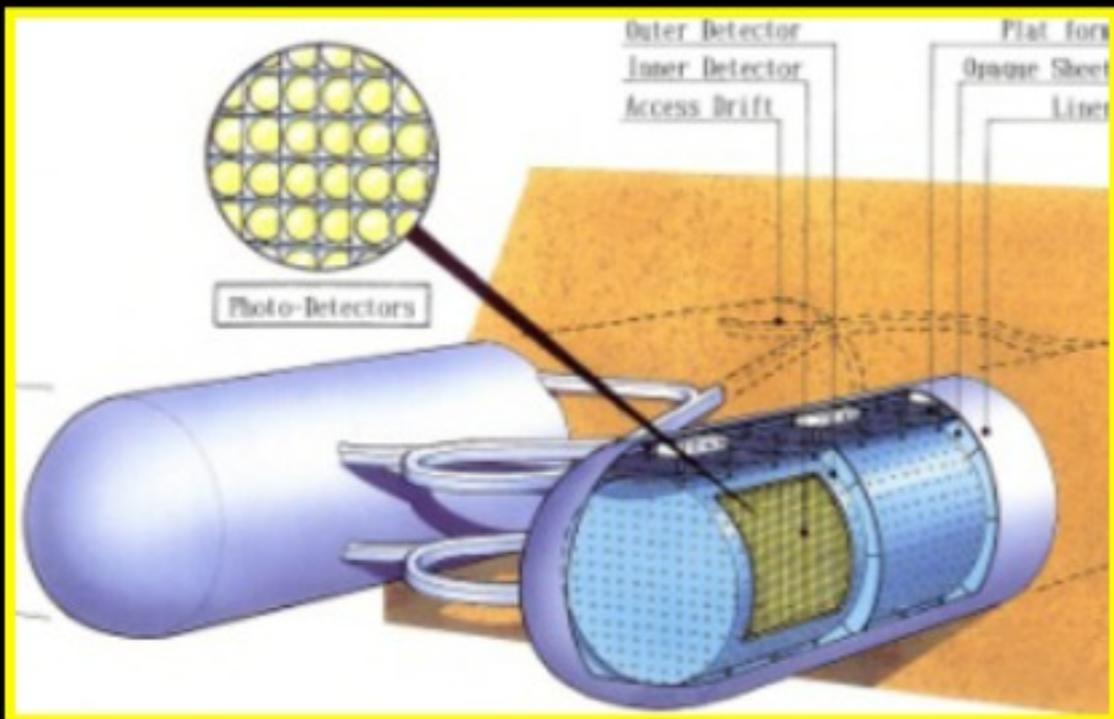
十年先の将来プロジェクト

> MW long baseline experiment for CPV  $\delta$   
+ 陽子崩壊探索

- マヨラナニュートリノ: double beta decay

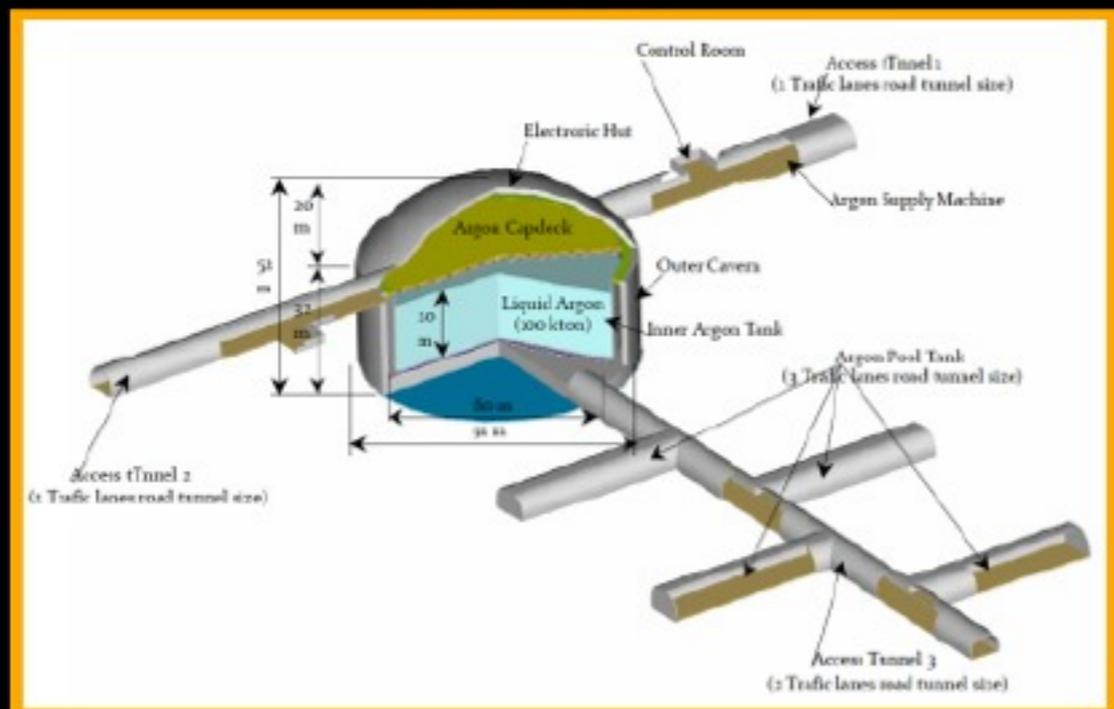
- KamLAND-Zen, etc

# J-PARC+HK @ 神岡 L=295km OA=2.5deg



(Sep 2011) arXiv:1109.3262

# J-PARC+LAr @ 隠岐 L=658km OA=0.78deg



P32 proposal (Lar TPC R&D)  
Recommended by J-PARC PAC  
(Jan 2010), arXiv:0804.2111

J-PARC  
w/ 1.7MW



# 宇宙観測

- **ダークマター** : TeVスケール物理？
  - XMASS, etc
- **宇宙背景輻射B偏光** : インフレーション宇宙
  - QUIET, POLARBEAR, etc
- **ダークエネルギー**
  - SuMIRe (すばる), etc



十年先の将来プロジェクト？

# 「高エネルギー分野」の現状

- TeVスケールの物理
  - Higgs, SUSY, extra-D, etc
- ニュートリノ
  - CPV  $\delta$ , proton decay, majorana mass, etc
- 宇宙観測
  - Dark Matter, CMB pol, Dark Energy

# 「高エネルギー分野」の現状

- TeVスケールの物理

- Higgs, SUSY, extra-D, etc

- ニュートリノ

- CPV  $\delta$ , proton decay, majorana mass, etc

- 宇宙観測

- Dark Matter, CMB pol, Dark Energy



# 「高エネルギー分野」の現状

- TeVスケールの物理

- Higgs, SUSY, extra-D, etc

- ニュートリノ

- CPV  $\delta$ , proton decay, majorana mass, etc

- 宇宙観測

- Dark Matter, CMB pol, Dark Energy

# 「高エネルギー分野」の現状

- TeVスケールの物理

- Higgs, SUSY, extra D, etc

- ニュートリノ

- CPV  $\delta$ , proton decay, majorana mass, etc

- 宇宙観測

- Dark Matter, CMB pol, Dark Energy

GUT?

# 将来計画の策定について

- LHCなど現行実験でここ数年間に新しい発見があるだろうという大きな期待
  - 発見によって将来の研究の方向は変わる
  - しかし次期計画の準備には時間がかかる

2011

2012

2013

2014

2015

2016

SUSY <1TeV

SUSY <2.5TeV

Higgs

Higgs 5σ発見

ν振動  $\sin^2 2\theta_{13} \sim 0.1$

$\sin^2 2\theta_{13} \sim 0.04$

$\sin^2 2\theta_{13} \sim 0.02$

$\mu \rightarrow e\gamma$   $O(10^{-12})$

$O(10^{-13})$

二重ベータ崩壊 (縮退)

> 3σ発見

DM検出  $10^{-8}\text{pb}$

$10^{-9}\text{pb}$

→将来計画

CMB B偏光  $r \sim O(0.1)$

$r \sim O(0.01)$

注) 震災前に作成

# 将来計画小委員会の「提言」

- 1年以上をかけて現行および将来計画を俯瞰
- **提言**：コミュニティによる議論の叩き台
  - **早期発見の可能性**を考慮して、5つのカテゴリーに分けて、**将来計画のシナリオ**を提示
  - 将来計画策定の核となる**常設委員会の提案**

<http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/hecsubc/>

# 将来計画の策定

- 物理の観点から判断する
- 新しい発見に応じて機動的に素早く将来計画を策定、リードしていくべき
- 日本の特長を活かす
  - ILC R&D、ニュートリノ、フレーバー物理、など
  - 欧州は当面LHC→HL-LHC、米国はIntensity Frontierという既定路線

# 答申に向けて

- 6/25 全体タウンミーティング @東大 (キックオフ)
- 7/29 (金) 宇宙・地下タウンミーティング @IPMU (柏)
- 8/9 (火) J-PARCタウンミーティング @東海村
- 9/10 (土) コライダータウンミーティング @名古屋
- 9/17 (土) 物理学会シンポジウム @弘前大学
- (秋にもタウンミーティング?)
- 年内に答申内容をまとめ、来年早々に提出・公開
- 来年春の物理学会で、答申について説明・議論

# 本日のプログラム

- コライダー実験 (花垣)
- J-PARCにおける素粒子実験 (中家)
- 宇宙観測 (羽澄)
- 地下素粒子実験 (井上)

タウンミーティング (施設・方法) に応じた分類

お終い

# 常設の委員会について

- 新たな発見に応じて機動的に議論を行って将来計画を策定していく核となる委員会
- 若手研究者が中心
- 広い分野を網羅
  - 高エネルギー委員会を拡大した形
- 現小委員会が来年早々解散した後、活動開始

# 「次期計画」＝現LHC後

- エネルギーフロンティア・コライダー
  - LHCアップグレード、リニアコライダー
- 長基線ニュートリノ実験
  - J-PARCアップグレード／FNAL次期計画
  - 大型ニュートリノ検出器（陽子崩壊）
    - 国際的には双方とも推進の可能性
    - 日本のコミュニティとしての戦略

# エネルギーフロンティアに関する提言

- LHCにおいて1TeV位までにヒッグスなどの新粒子の存在が確認された場合には、ILCによる詳細研究が大きく期待され、新しい物理の解明に最適化した **ILCの早期実現に尽力すべき** である。特に軽い新粒子は比較的早期に発見される可能性があり、その場合低い衝突エネルギーでの研究が重要となる。今からその様な場合に適した加速器の設計研究を適宜進めていく必要がある。一方ILCのエネルギー範囲に新粒子・新現象が全く期待できない場合には、**LHCおよびそのアップグレード(HL-LHC)によって間断なく新しい物理の探究を続ける**と共に、必要とされるエネルギーに素早く到達可能なレプトンコライダーを実現するための電子加速技術などの開発研究を日本として重点強化していく。

# ニュートリノに関する提言

$\theta_{13}$ が発見された場合、ニュートリノにおける3世代間の混合が確立し、ニュートリノ振動を通じたCP対称性の研究と質量階層性の決定が重要なテーマとなる。発見初期は、T2K実験とDouble Choozなどの原子炉実験により $\theta_{13}$ を含むニュートリノ振動パラメータの測定精度を向上させ、CPの破れのヒントを掴むことを目指す。このために、J-PARC加速器の増強、反ニュートリノビームによる振動の測定、原子炉実験における系統誤差の更なる改善、等を行う。

更に、次世代ニュートリノ研究の中核となる**大型ニュートリノ測定器**

(Hyper-Kamiokande、大型液体アルゴンTPCなど) 実現のため、基幹技術の確立と全体設計を国際協力で推進し、測定器の建設開始を目指す。これらの計画は日米欧で競合、協力して進められると考えられるが、日本が主導することが期待される。

大型ニュートリノ測定器は、大統一理論の直接の証拠となる陽子崩壊探索に対し十分な探索感度を持つようにすべきである。**陽子崩壊の探索**は、LHC等での発見によっては大統一の機構解明のため、より緊要な課題となる可能性がある。