

High Energy Physics/KOTO

2013.4.16

南條 創

High Energy Physics

- 物質の究極を求めて→素粒子(Particle Physics)
 - $\Delta x * \Delta p \sim h \rightarrow$ High Energy
- 登場人物(素粒子)と人間関係(相互作用)
- 物語(Standard Model) ↔ 宇宙

フロンティア

- Higgs → 発見
- 階層問題
- 物質優勢宇宙とCP非保存
- Dark Matter
- Neutrino

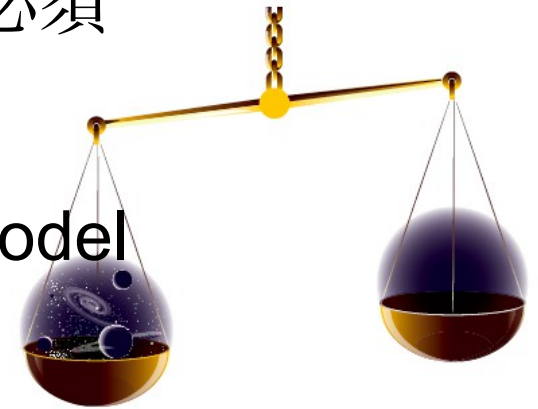
- 重力、Dark Energy...

階層性問題

- Higgs粒子は発見された
- 階層性問題
 - 標準理論を高いエネルギースケールに適用しようとすると、Higgs粒子の質量は2次発散し、非常に大きくなる。
 - 高いエネルギースケールからスタートすると、ここで与えられる巨大な質量が、異様に正確にあたえられないと、現在のHiggs質量が導けない。
 - 不自然 → 1TeVくらいでNew Physicsがあったらいいな。。。なかなかみつからない。

物質優勢宇宙とCP非保存

- 1967:サハロフ：物質優勢宇宙にCP非保存必須
- 1964:Cronin and Fitch: CP非保存の発見
- 1973:小林・益川：CP非保存 → Standard Model
- これでは物質優勢に不足



→ 必ず新しいCPを破る新物理があるはず！

In 1967, Andrei Sakharov [83] (the Nobel Peace Prize 1975) pointed out in a famous work that *CP* violation must be the cause of the asymmetry in the universe. It contains more matter than antimatter. The *CP* violation that the KM Model gives rise to is most probably not enough to explain this phenomenon. To find the origin of this *CP* violation we probably have to go beyond the Standard Model. Such an extension should exist for other reasons as well. It is believed that at higher energies other sectors of particles, so heavy that the present day accelerators have been unable to create them, will augment the model. It is natural that these particles will also cause *CP* violations and in the tumultuous universe just after the Big Bang these particles could have been created. These particles would have been part of the hot early universe and could have influenced it, by an as yet unknown mechanism, to be dominated by matter. Only future research will tell us if this picture is correct.

Neutrino

- Neutrinoの絶対質量がわかっていない。
- なぜ、これほど異様に小さい質量なのか？
- 粒子の型が不明
 - Dirac型 or Majorana型
- レプトンセクターでのCPの破れ
- いまだに未開の土地
 - Weak interactionのみで、検出がむずかしい。
 - 大強度neutrino beam、巨大検出器etc...

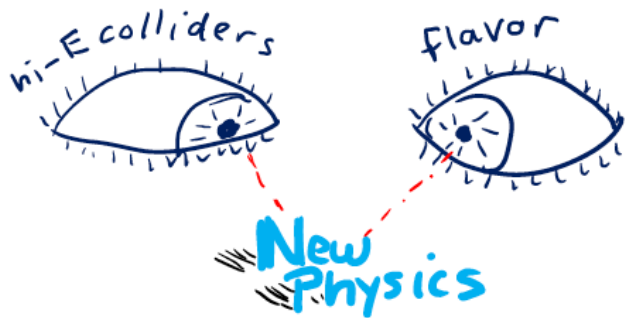
Dark Matter

- 宇宙からは、Dark Matterはある。
- 素粒子としての正体は不明。
 - 重力相互作用はあるが、他の相互作用は弱い。
 - 検出がむずかしい。
- 宇宙にあるDark Matter
 - あるのだから検出できないか？
- 素粒子として、colliderなどで、直接候補がみつからないか？

高エネルギーへのアプローチ

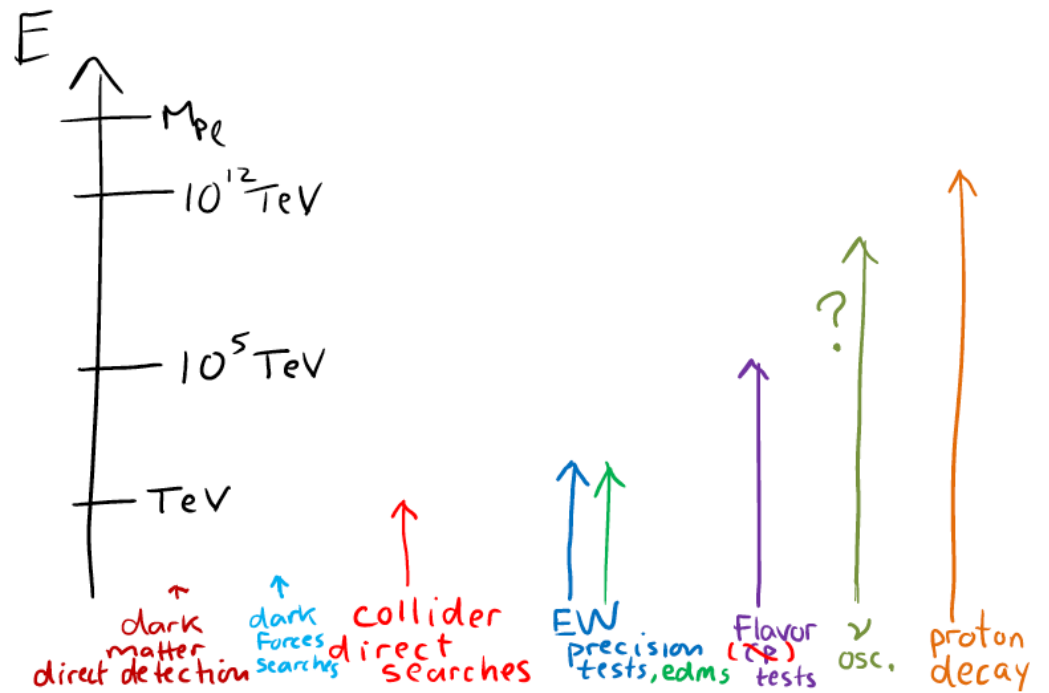
- 直接加速器で粒子を衝突 : High Energy Frontier
- $\Delta E * \Delta t \sim h$
 - 短時間の事象(稀事象)に、高いエネルギースケールの物理の寄与を探る。
 - 当然標準理論からの寄与は、強く抑制されていないと、見えない → 見つけにくいものをがんばって探すことになる。
 - Rare decay : 大強度ビーム : Intensity Frontier
 - B, D, K, tau, muなどの崩壊
 - Flavorを変える崩壊なので、Flavor Physicsとも呼ばれる。
 - Neutron etcのelectric dipole moment

- 理論屋さんのスライドから



Flavor expt. is tool for discovery & understanding of New Physics.

NOTHING YET?



Raman Sundrum
University of Maryland

@CKM2012

世界の情勢

PSI
muon(MEG)

CERN(LHC etc)
High Energy p
High Intensity p
Higgs,NP(ATLAS,CMS)
B,D,..(LHCb)
Kaon(NA48,NA62)
Neutrino(OPERA)

J-PARC High Intensity p
Neutrino(T2K)
Kaon(KOTO)
KEK High Intensity e+e
B, τ (Belle2)

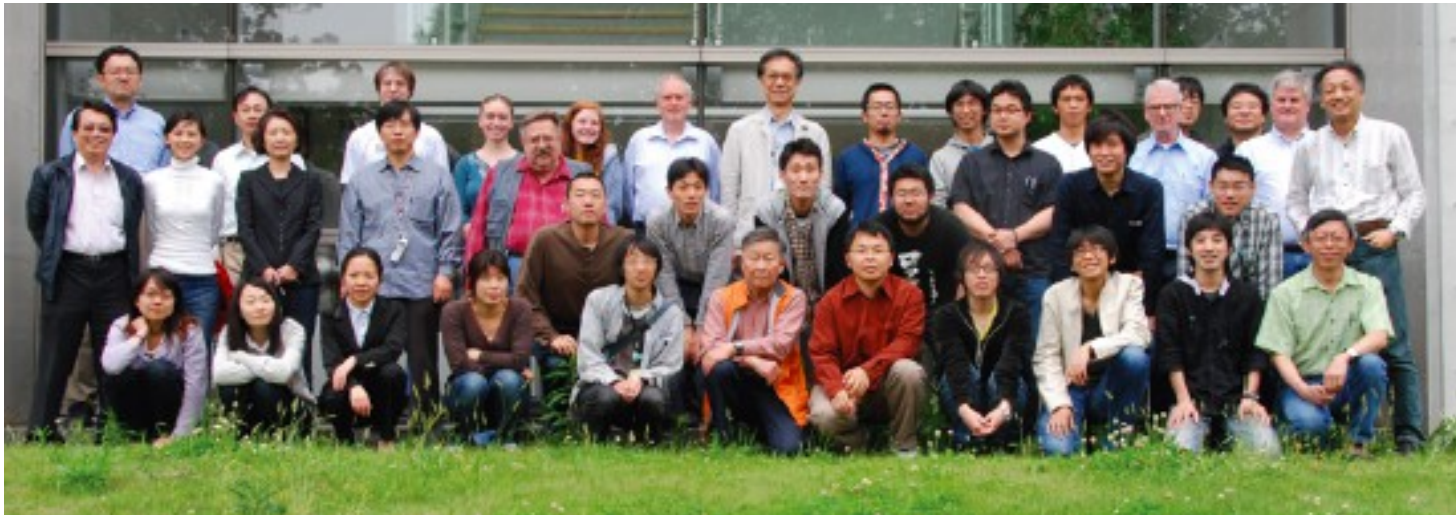
FERMILAB
High Intensity p
Neutrino(MiniBooNE,
MINOS,MINERvA...)

京都大学

- **ATLAS**
 - 石野(准教授), 隅田(助教)
田代, 加茂
- **KOTO**
 - 野村(KEK客員准教授), 南條(助教)
河崎, 増田, 内藤, 前田, 関, 日根野
- **Neutrino**(T2K, Super-K, Hyper-K, Mizuche, PIANO, ダブルベータ崩壊)
 - 中家(教授), 市川(准教授), 南野(助教)
池田, Phillip, Christophe, Walter, 久保,
家城, 木河, 鈴木, 高橋, 黄, 平木, 廣田, 長崎, 秋山, 立石

KOTO introduction

- Rare decayから、High Energyへ
- 物質優勢宇宙の鍵となるCPを破る新物理探索
- 国際共同の中規模実験
- 丁度よいタイミング!

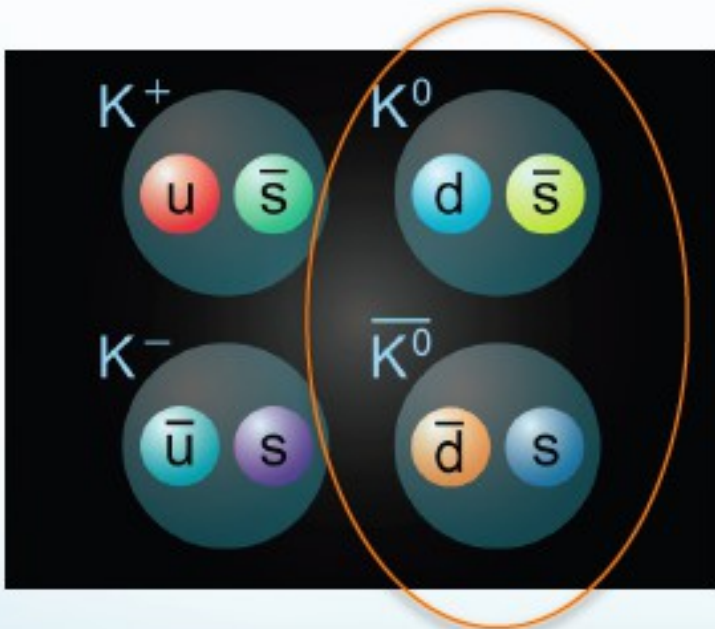


K中間子	+2/3	u	c	t
	-1/3	d	s	b

- sクォークを含む
- 崩壊時にsを消す → 弱い相互作用

弱い相互作用の固有状態: KL and KS

質量: ~500 MeV



重ねあわせ



K_S
短寿命: 0.1ns

K_L
長寿命: 51ns

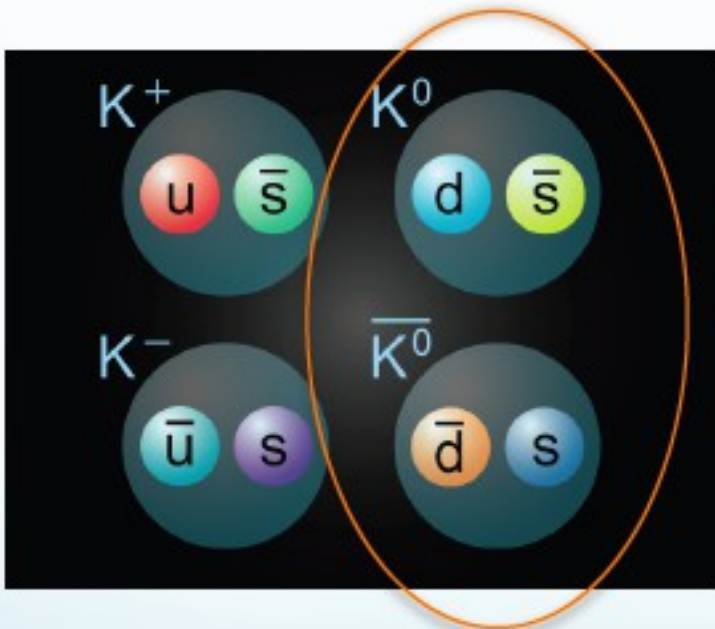
我々が使うのはこちら

K中間子	+2/3	u	c	t
	-1/3	d	s	b

- sクォークを含む
- 崩壊時にsを消す → 弱い相互作用

弱い相互作用の固有状態: KL and KS

質量: ~500 MeV



重ねあわせ

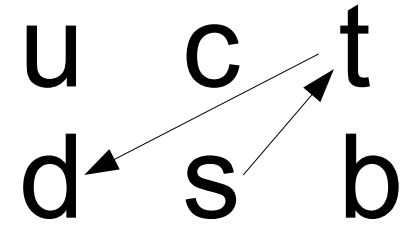


K_S
短寿命: 0.1ns

K_L
長寿命: 51ns

我々が使うのはこちら

$KL \rightarrow \pi^0 \nu\nu$ 崩壊



- CP非保存過程

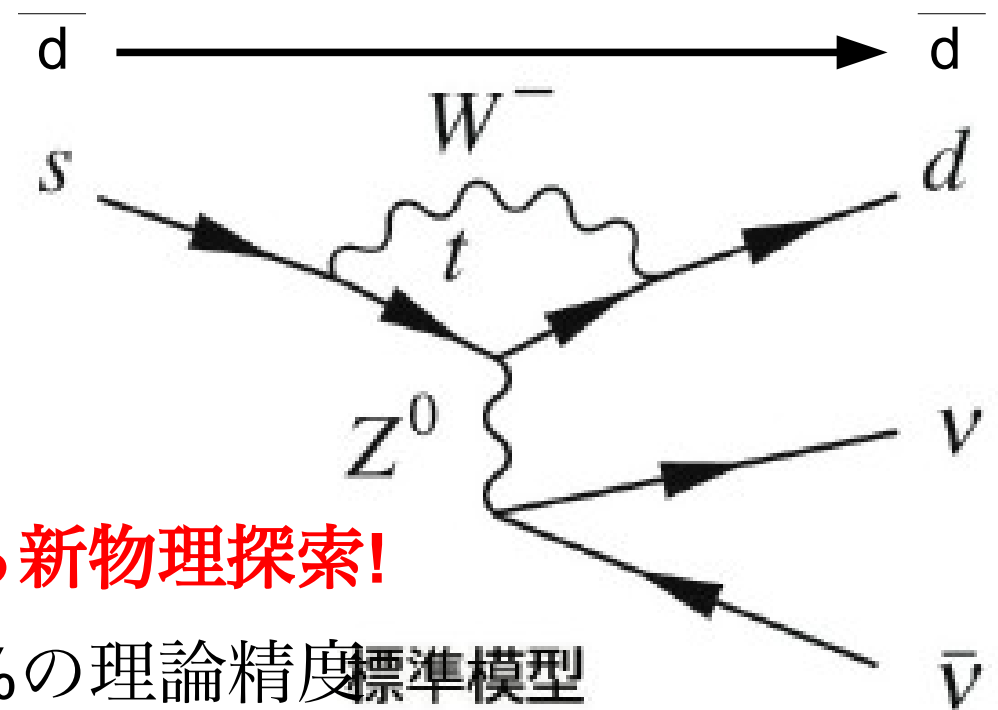
- Rare decay 崩壊分岐比 2×10^{-11} (500億に1回)

- $s \rightarrow t \rightarrow d$

- High Energy Scale

W, Z, t

ex) SUSY contribution



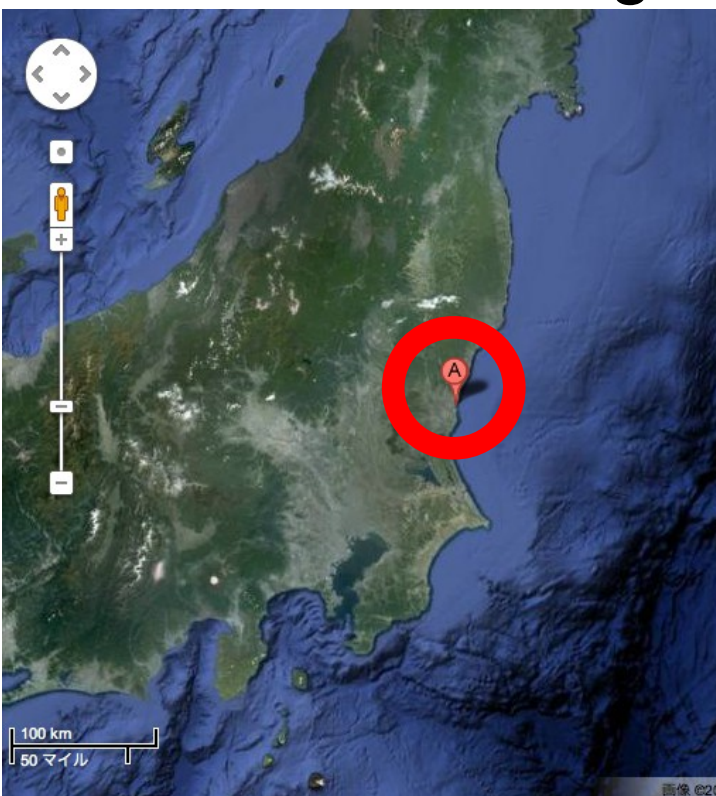
→ **物質優勢宇宙の鍵となる新物理探索!**

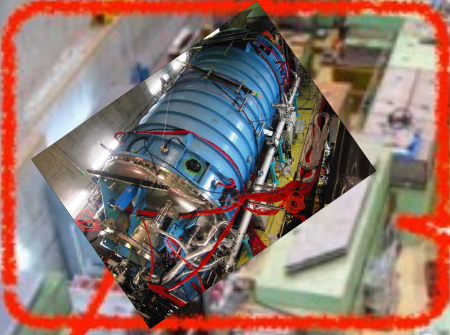
- 精密な理論予測 1-2%の理論精度標準模型

→ ちょっとのずれでも感度がある

KL \rightarrow $\pi^0 \nu\nu$ 崩壊探索

- KLを大量に作る。
- J-PARC大強度陽子加速器施設
 - 30GeV High intensity proton beam

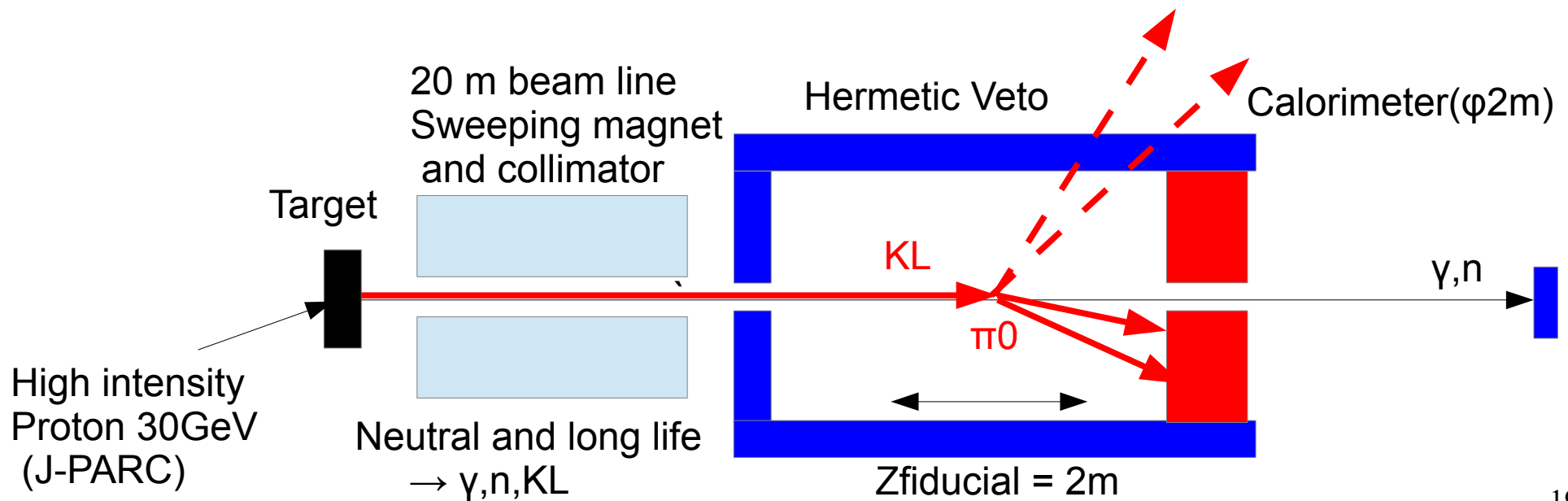




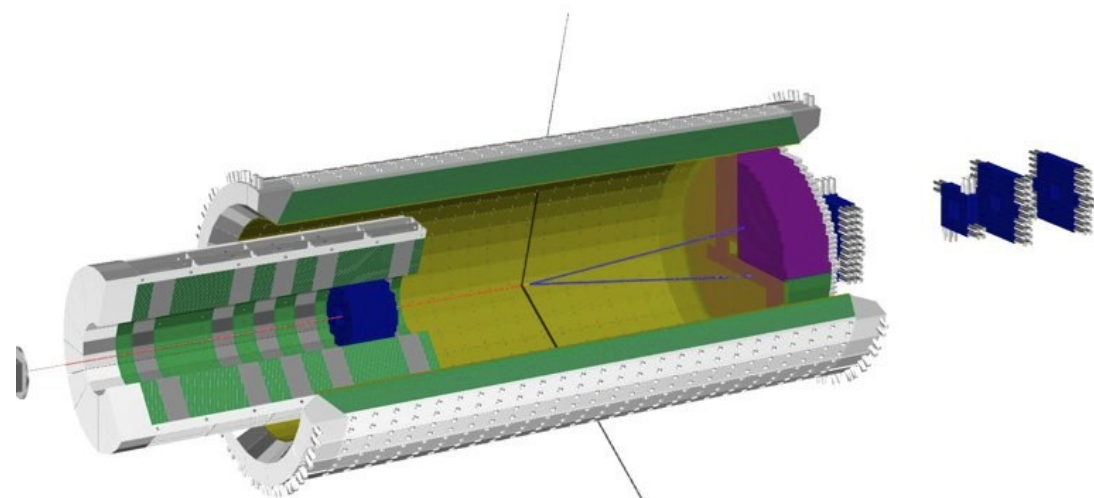
KOTO実験エリア

KL

- 30GeV陽子ビームを、Auターゲットに当てる
- 出てくる2次粒子
 - 荷電粒子は磁石で曲げて捨てる
 - 中性が残る
 - 短寿命: 20mのコリメータ中で崩壊
 - 長寿命: ガンマ、中性子、KL → 崩壊
- $KL \rightarrow \pi^0 \nu \nu$: π^0 は2ガンマ崩壊 → only 2 gamma from π^0

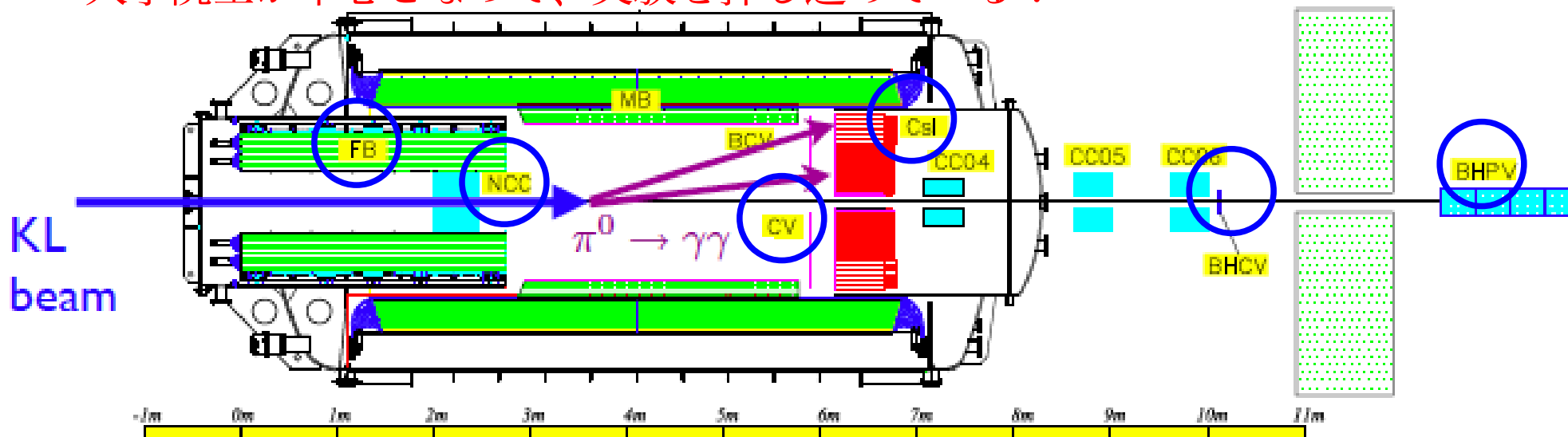


- NCC 河崎、関、日根野
- HINEMOS 日根野
- CV 内藤、前田
- CSI PMT電圧供給システム 増田
- BHPV 前田



さらに現場での運用、解析
 FB 日根野
 LCV 前田
 BHCV 前田

大学院生が中心となって、実験を押し進めている！

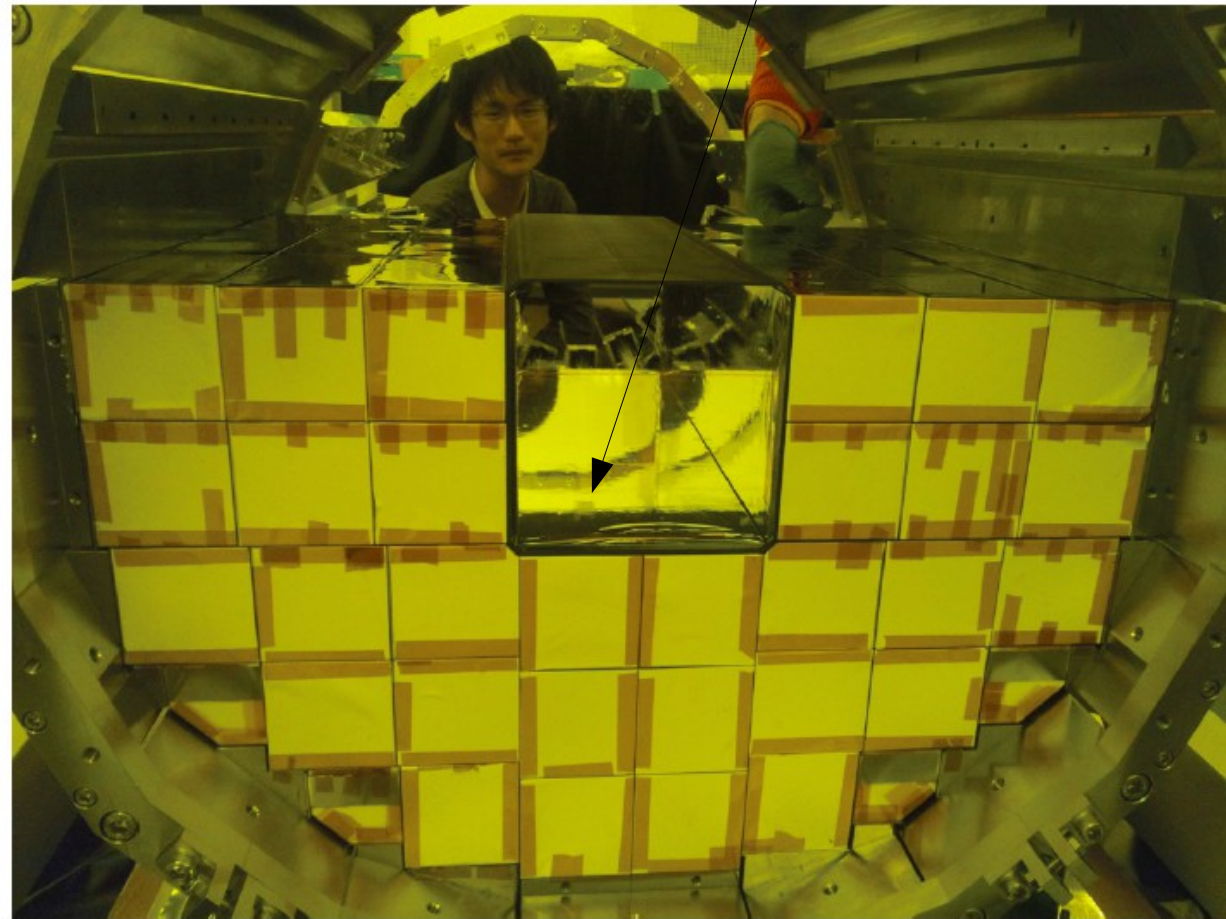


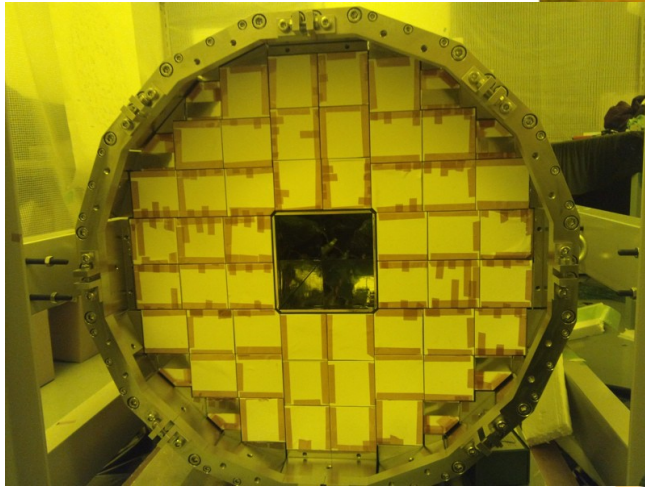
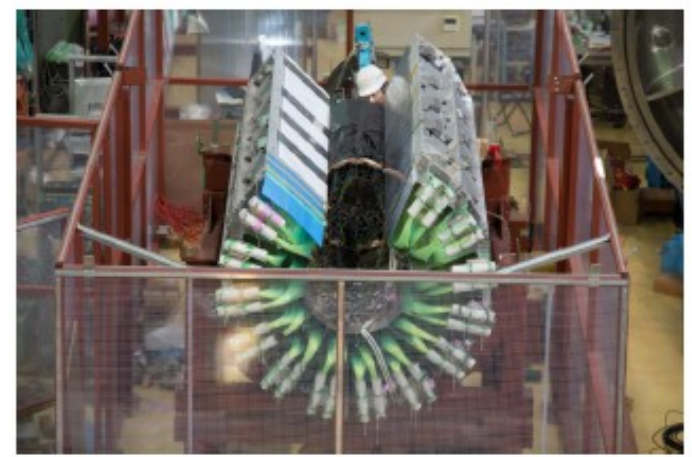
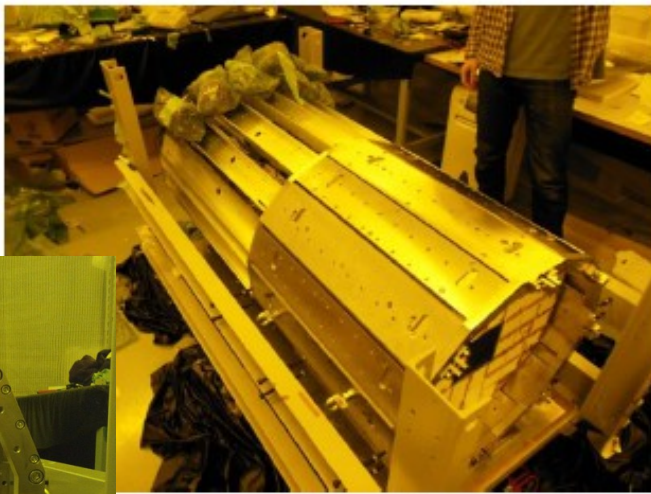
NCC, HINEMOS

(河崎、関、日根野)

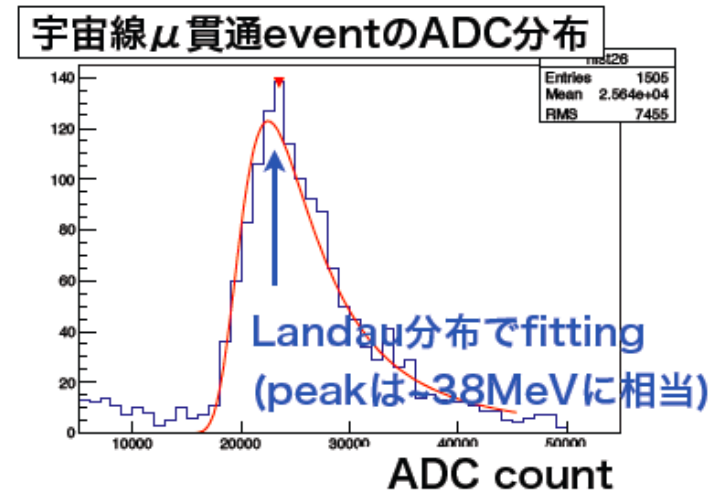
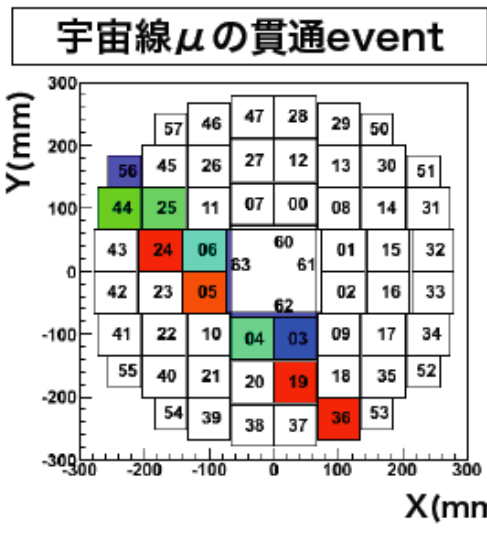
- 上流部ガンマ線、中性子検出器
 - Pure CsI結晶の波長変換ファイバー読み出し

HINEMOS



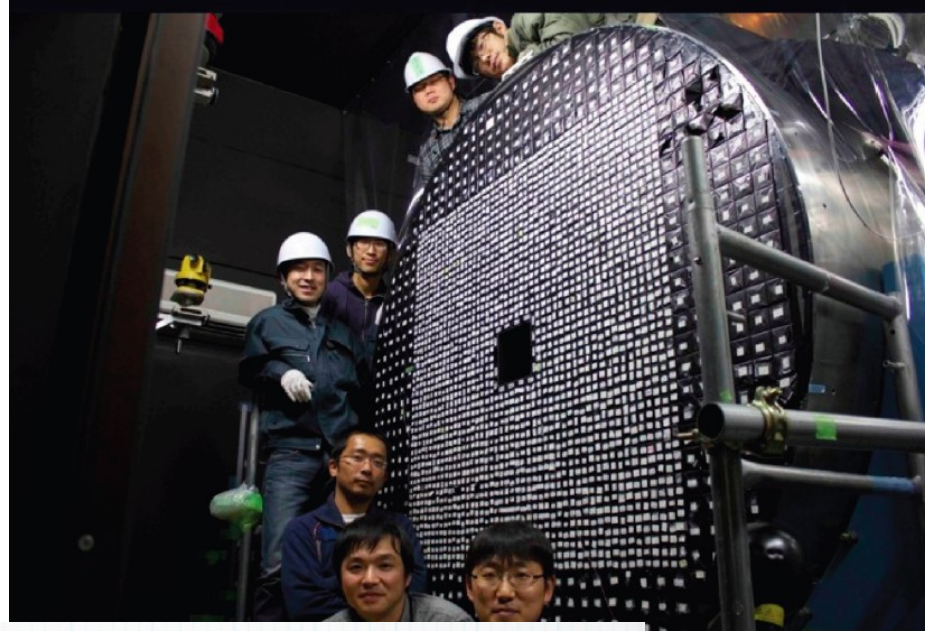


FB



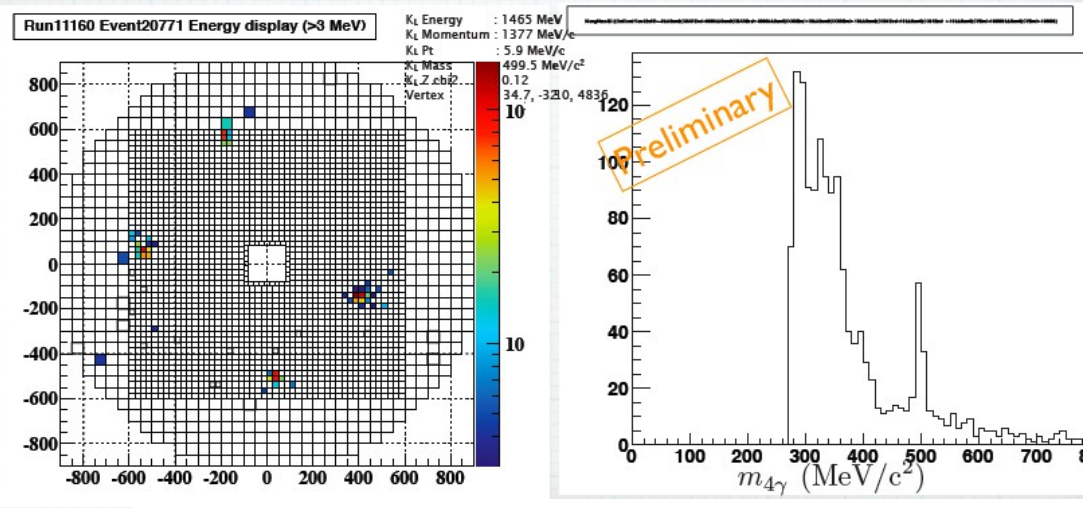
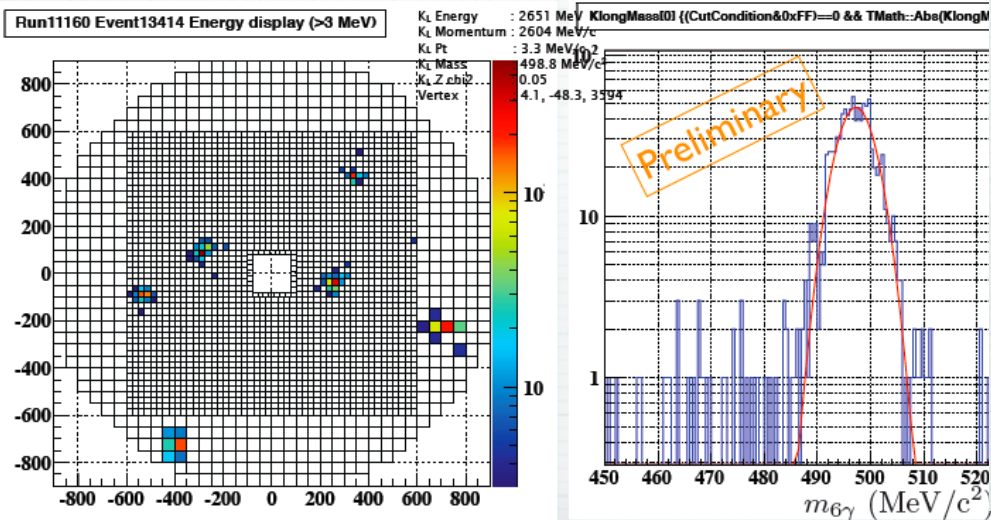
CsI(増田)

- ~2700本のCsI結晶+PMT+preAmp+高電圧供給



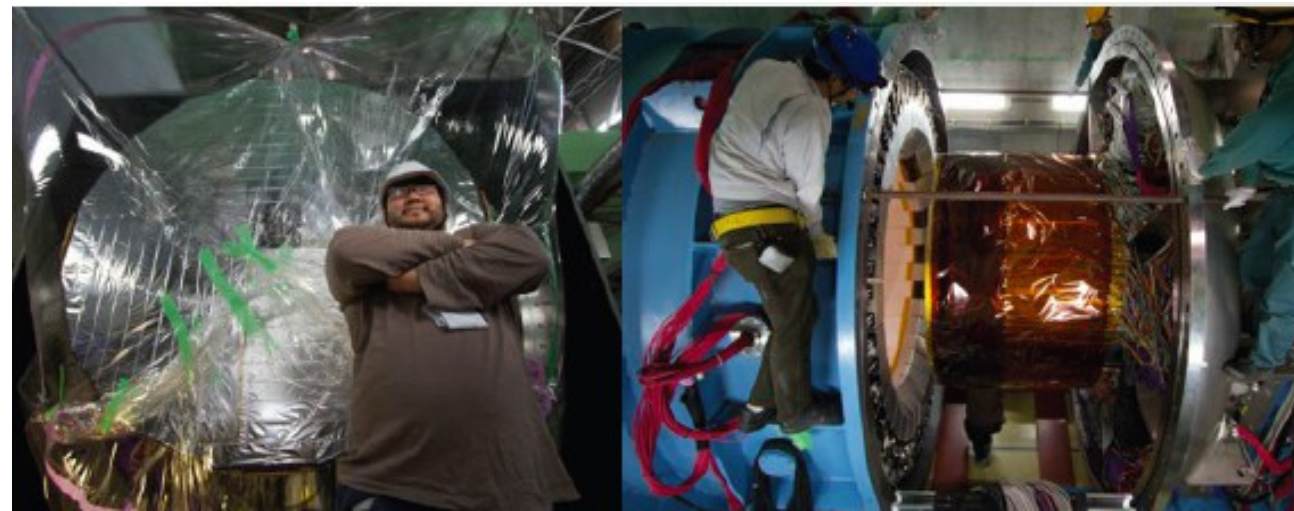
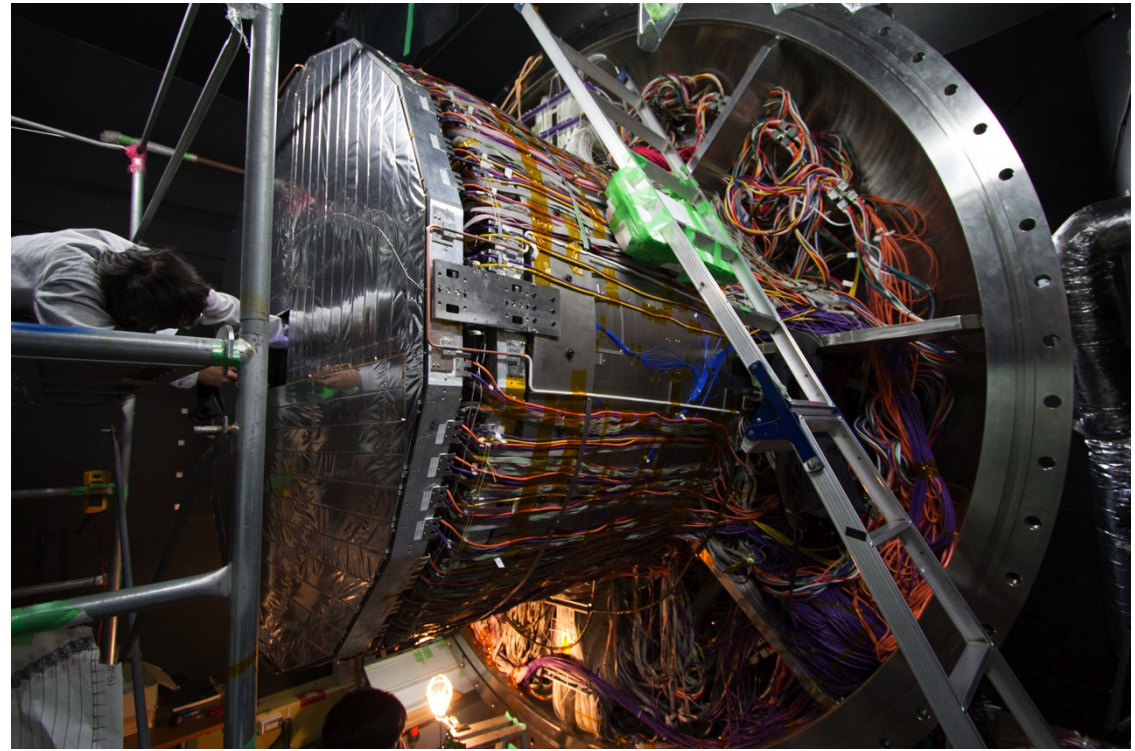
$$K_L \rightarrow 3\pi^0$$

$$K_L \rightarrow 2\pi^0$$

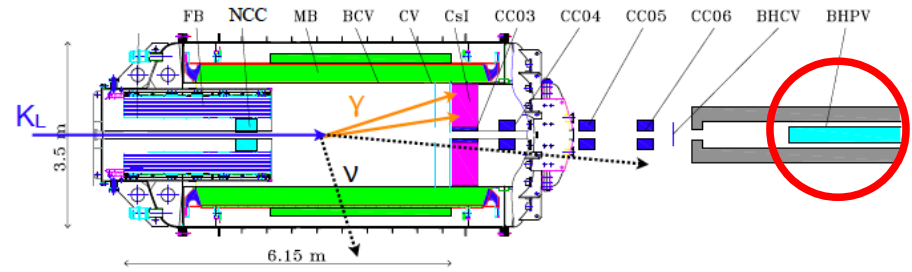


CV(内藤、前田)

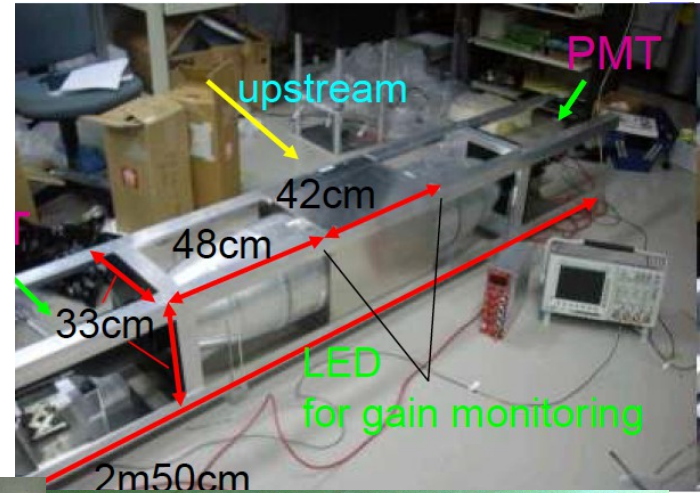
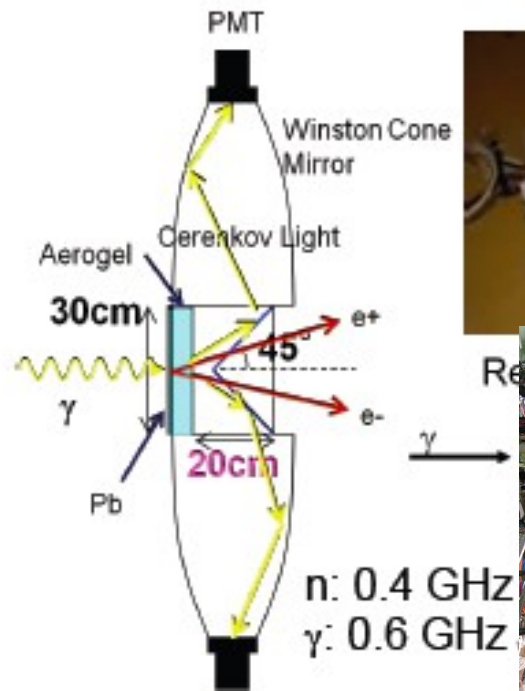
低物質質量高感度
荷電粒子検出器
100keVの検出
3mm厚プラシン
波長変換ファイバー
MPPC



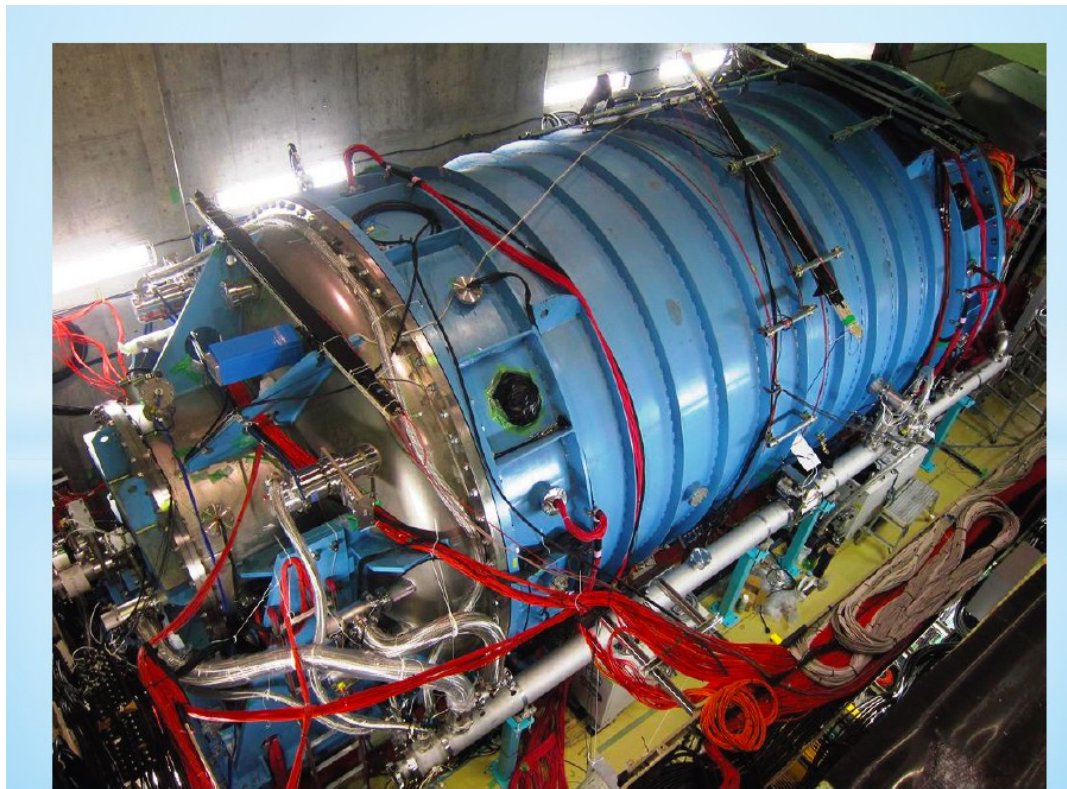
Beam Hole Photon Veto (BHPV) (前田)



- ビーム中に設置 (中性子、ガンマが大量)
- 鉛コンバータ+エアロゲル チェレンコフ検出器
 - 中性子不感型



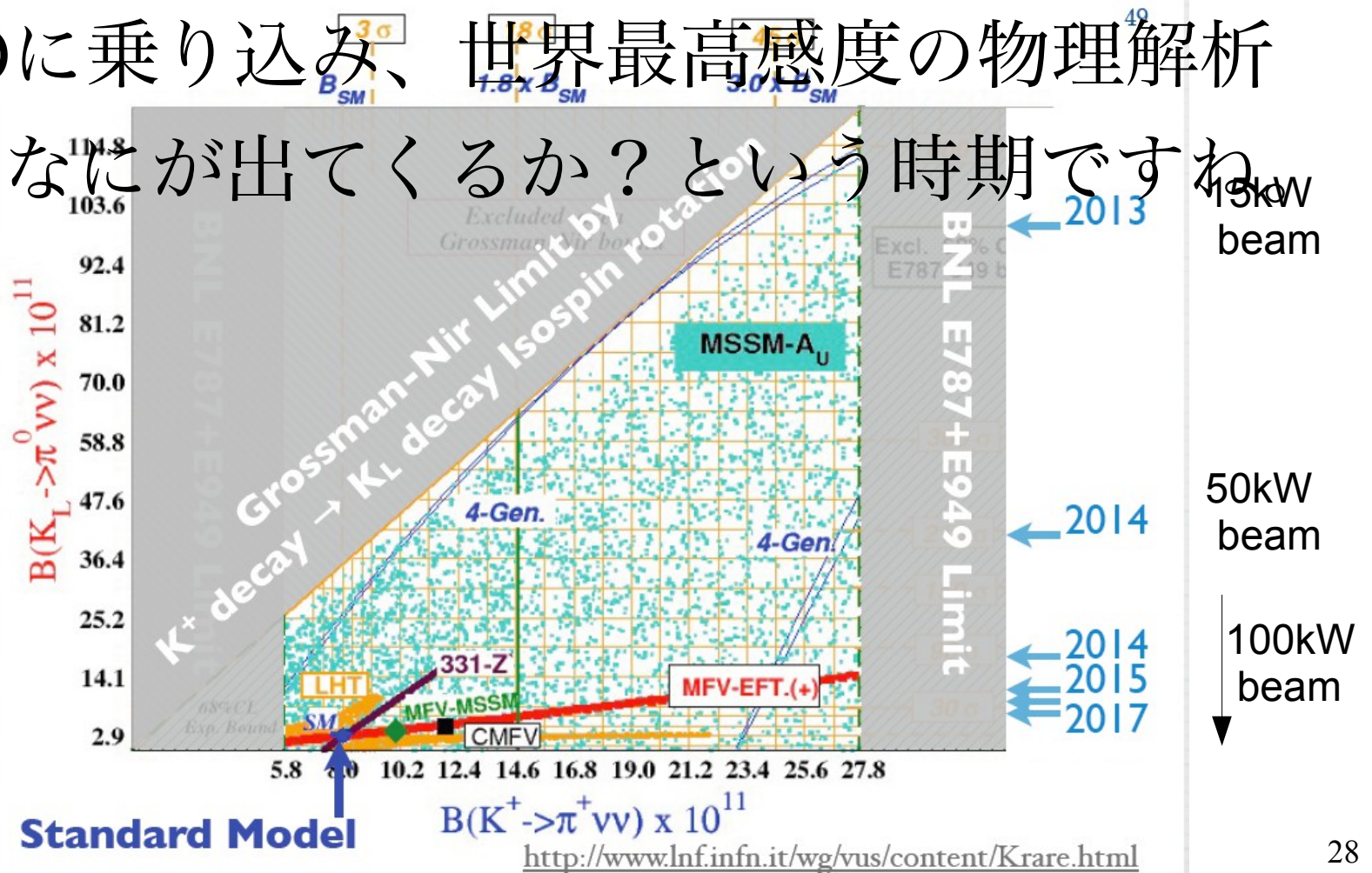
- 現在のlimitを10倍更新する検出器セットをインストールした。
- 1月にエンジニアリングを終え、
ちょうどこれから、世界最高感度での実験を開始し、物理データを取得するところ。



スケジュール

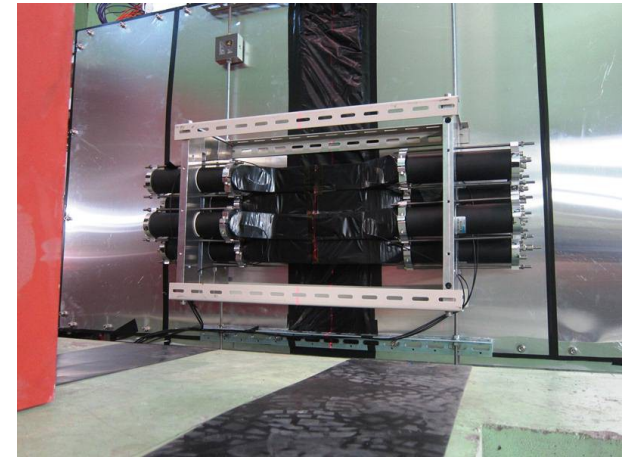
- JFY2013
 - 4月末に1週間弱
 - 5月中旬から1ヶ月 物理Run
 - 世界最高感度 → ~10倍の向上
 - Summer shutdown (線形加速器のupgradeで長期)
 - 解析 → いつNew Physics or BG が見えるか？
 - Inner MB建設/真空メンブレン製作
 - BHCV/BHPV/LED systemなどの準備
- JFY2014
 - 前半: new detectorの調整/物理Run
 - 後半: 物理Run → 何がみつかるか？
- JFY2015以降
 - 物理Run → 何がみつかるか？

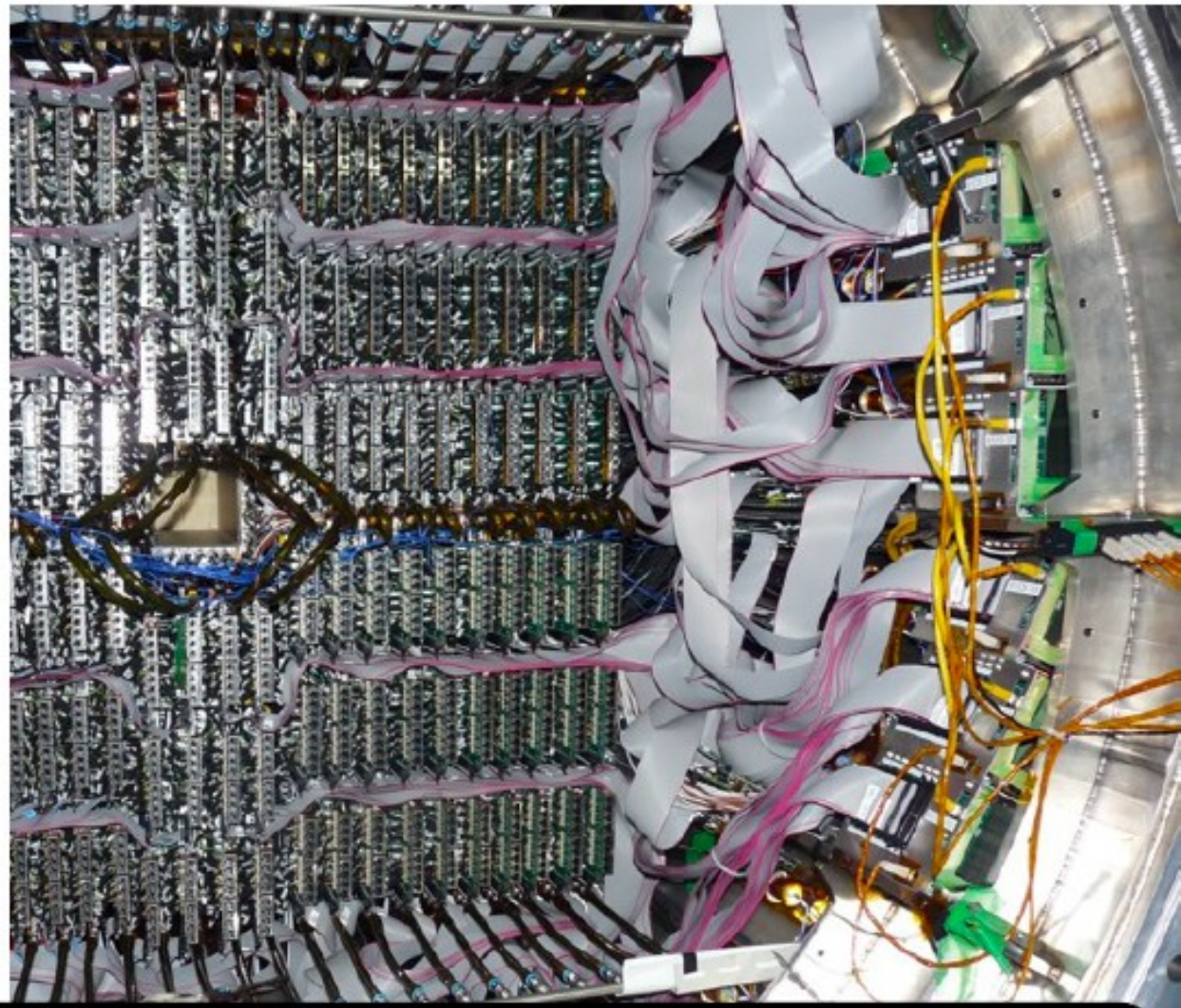
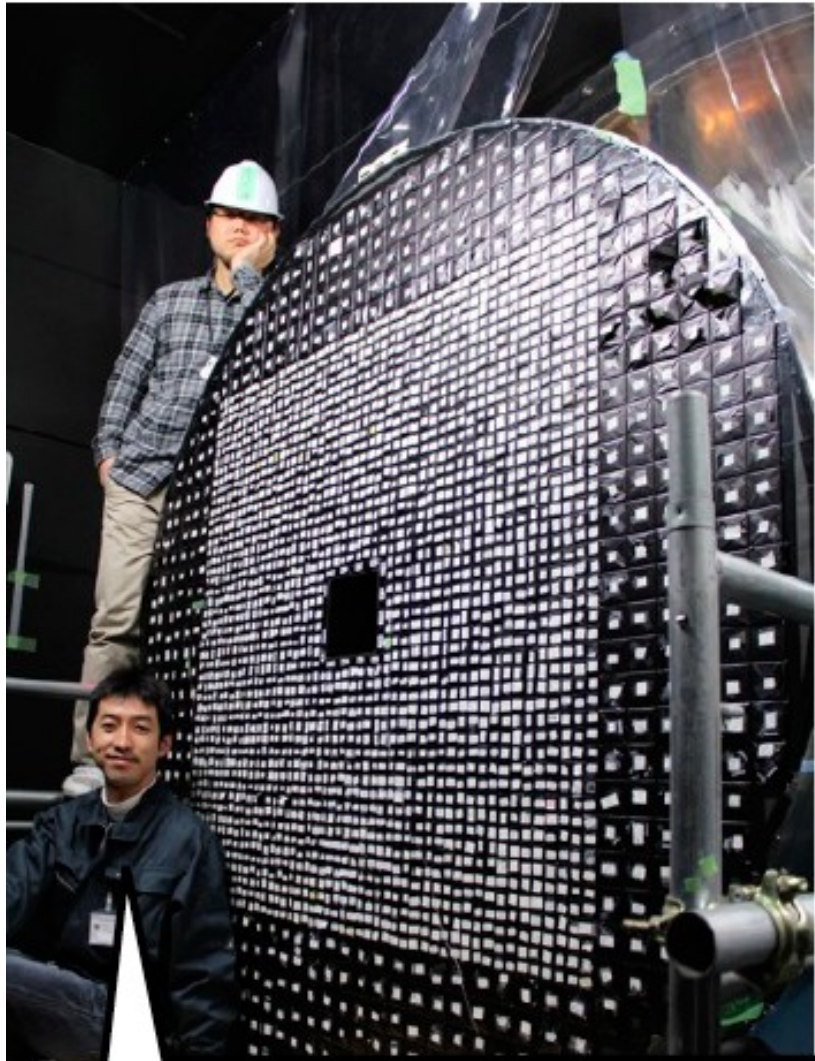
- 長期shutdown中に検出器を準備し、
KOTOに乗り込み、世界最高感度の物理解析
- いつ、なにが出てくるか？という時期ですね



M1のみなさんへ

- BHCV (ビーム中荷電粒子検出器)
 - 3mm厚プラシン
 - すでに悲鳴が聞こえ始めている。
 - ビームヒット時のPMTのgain変動
 - 鳴りすぎ: ゲートを開くと10回に1回はヒット
 - 実験の到達感度をlimitしそう
 - 新規デザインの低物質高感度荷電粒子検出器
 - My検出器で、実験をドライブするまたとないチャンス
- BHPV用エアロゲル製作とBHPV拡張
 - エアロゲル自体を製作(千葉大学とコラボレート)
 - 現在12台。これを倍増する。
 - このままでは、バックグラウンド源。このupgradeにより、バックグラウンドを決める。
- LED driver (エレクトロニクス)
 - 多チャンネル、光量個別コントロール可能な汎用モジュール
 - 検出器横断的に、キャリブレーションを担う。






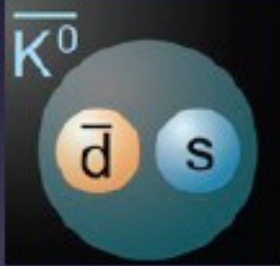
KOTO実験は常に人手不足で困っている。

君たちの力が必要だ。

自ら作り上げた検出器を駆使して、実験に没頭しよう!!



- CP変換(粒子、反粒子変換)

$K_S \sim \frac{1}{\sqrt{2}} (K^0 + \bar{K}^0)$

CP : even (符号正)

$K_L \sim \frac{1}{\sqrt{2}} (K^0 - \bar{K}^0)$

CP : odd (符号負)

- $K_S \rightarrow 2 \pi^0$ (CP even) 崩壊が主 (π^0 のCPはodd)
- $K_L \rightarrow 3 \pi^0$ (CP odd) 崩壊が主
 → 僅かに $2\pi^0$ (CP even) 崩壊 → CP破れの発見
- 弱い相互作用の固有状態 \neq CPの固有状態!