

アングラ

神戸大学

身内賢太郎

2012年5月18日 高エネルギー春の学校

内容

アングラ①

ダブルベータ

アクシオン

ダークマター

参考文献

アングラ②

暗黒物質直接探索

XMASS・NEWAGE



結論

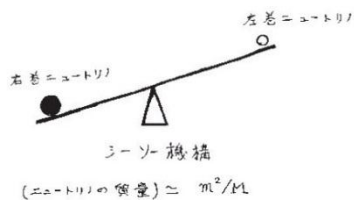
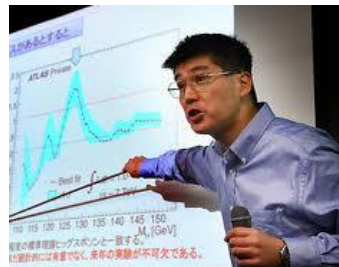
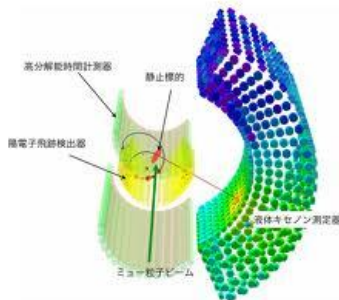
$0\nu\beta\beta$ は未検出
アクシオンは未検出
暗黒物質は未発見

オーバービュー

THE UNKNOWN

加速器：
正規軍 (0~10³)

ニュートリノなど：
別働隊 (0~10²)



地下実験：
地下組織(0~10)



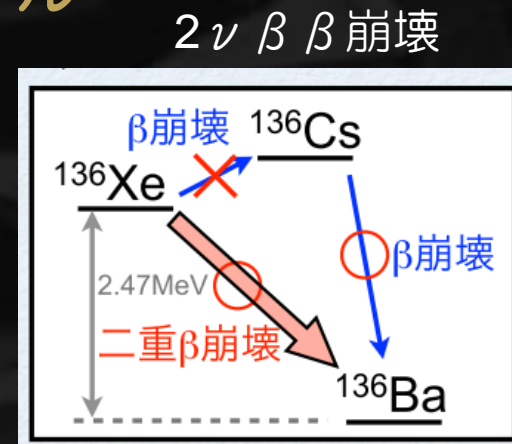
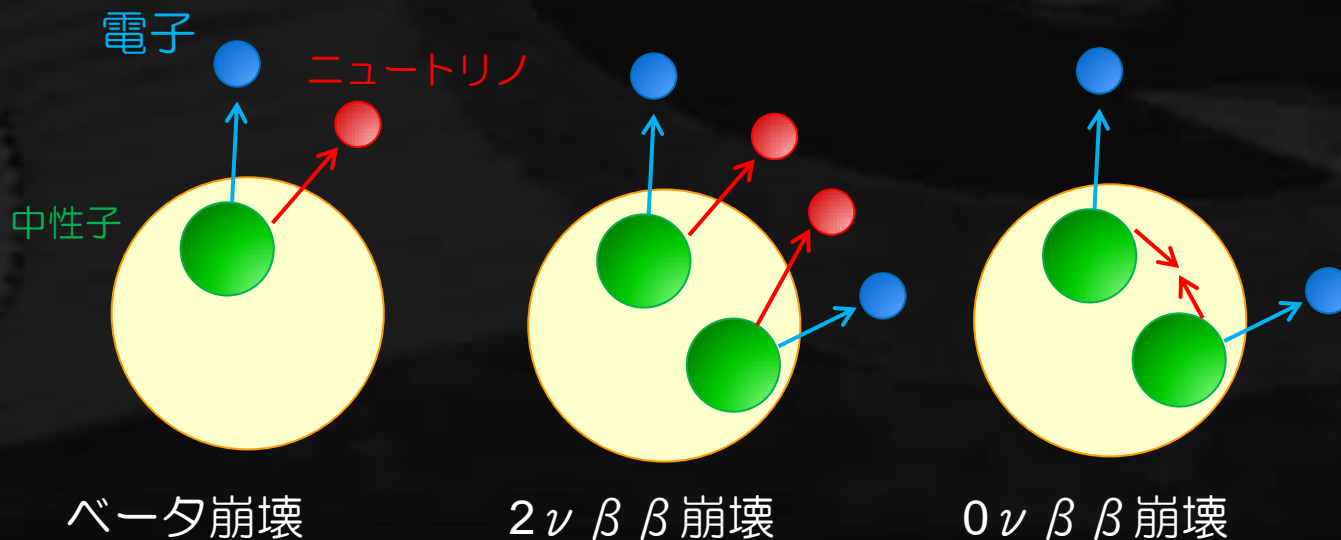
(比較的) 動きが軽い。
(若干) 博打要素あり。
(教育的) 全部できる。

アングラ①

ダブルベータ

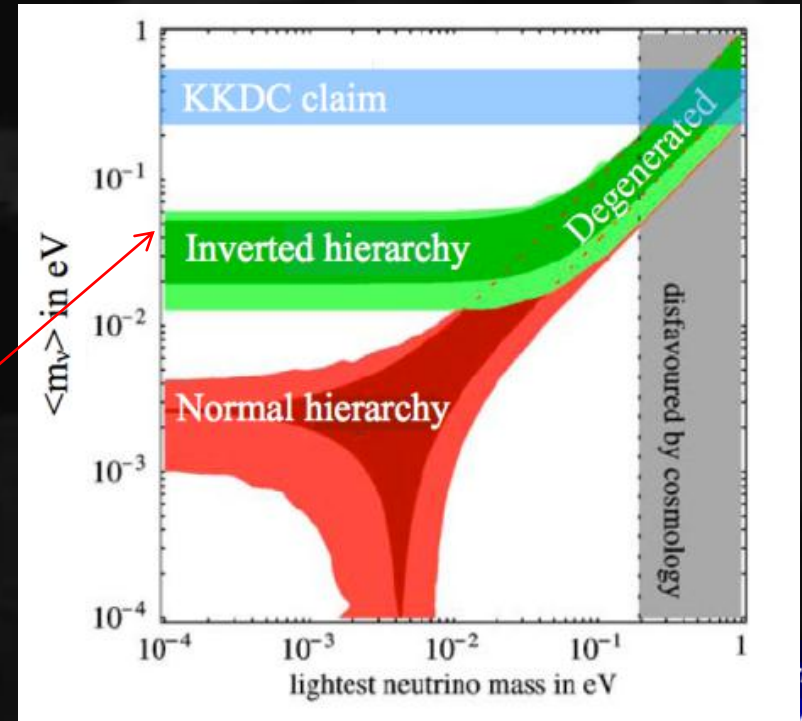
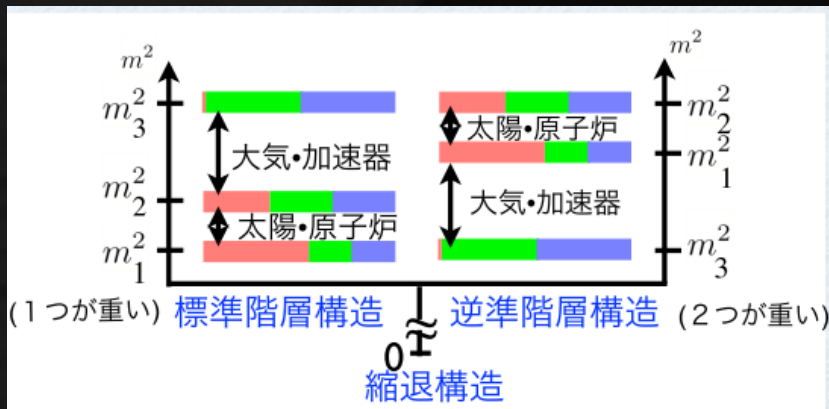
ββ崩壊

- β崩壊 電子とニュートリノを放出。
 - ・ 電子のスペクトルは連続
- 通常のβ崩壊は起こせないが、ββ崩壊は可能。
な原子核が存在。観測済み。
 - ・ ニュートリノ2ヶを放出 連続スペクトル
- もしνとνが対消滅可能なら
0νββ崩壊が起きる。 探索対象。



0νββ崩壊

- ニュートリノが対消滅可能：
粒子=反粒子 のマヨラナ粒子
- 寿命と質量に直接的な関係
(ニュートリノ振動からは質量²の差)



多くの実験が50meVを
mile stoneとしている。

◆ 世界の0νダブルベータ実験

(to be updated in NDM2012, June, NARA)

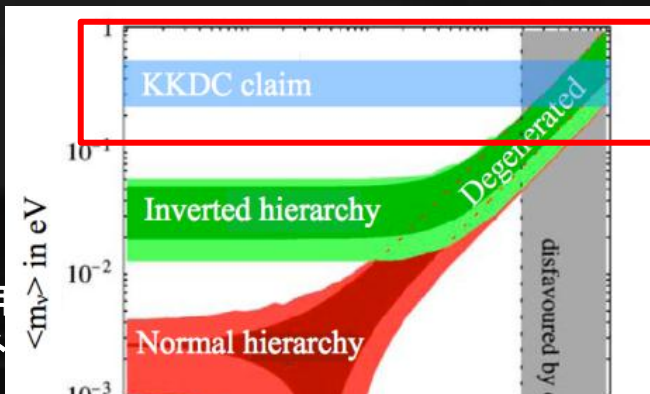
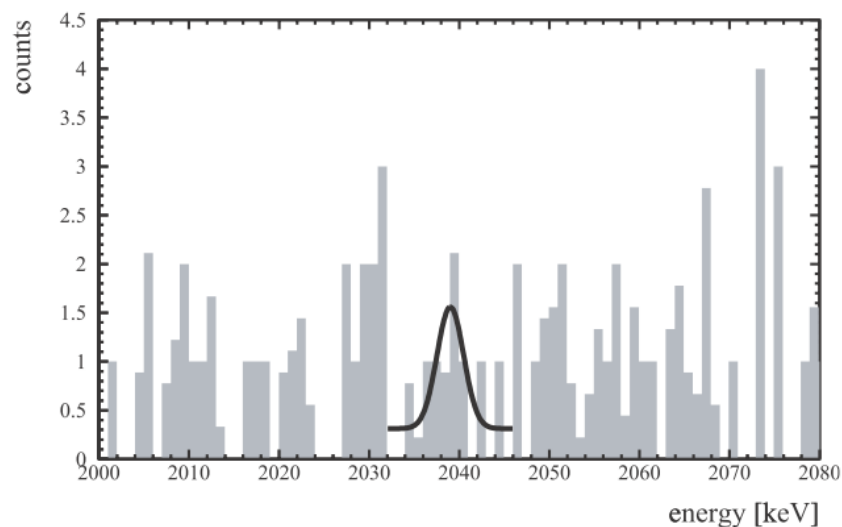
- KKDC
- EXO
- KAMLAND-ZEN
- CANDLES

◆ KKDC : 唯一の「検出」主張

- 11.5kg Ge 半導体検出器
- $0\nu\beta\beta$ 半減期 $(0.88-22.38)10^{25}$ 年



Foundations of Physics, Vol. 32, No. 8, August 2002 (© 2002)

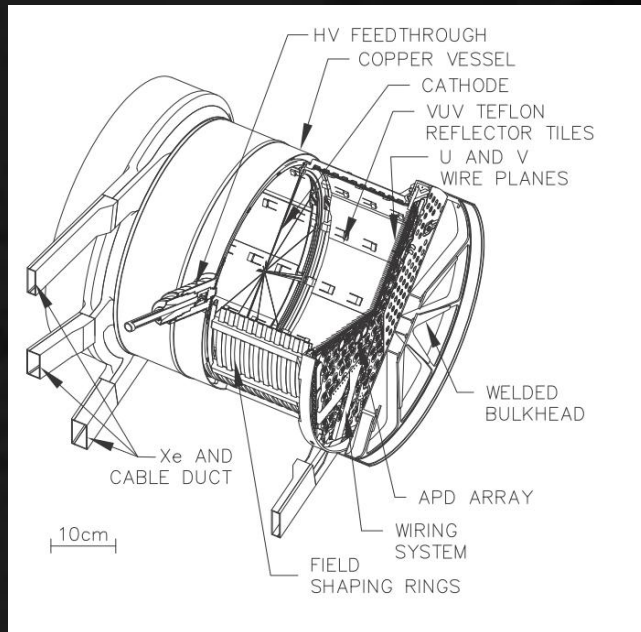


Direction Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

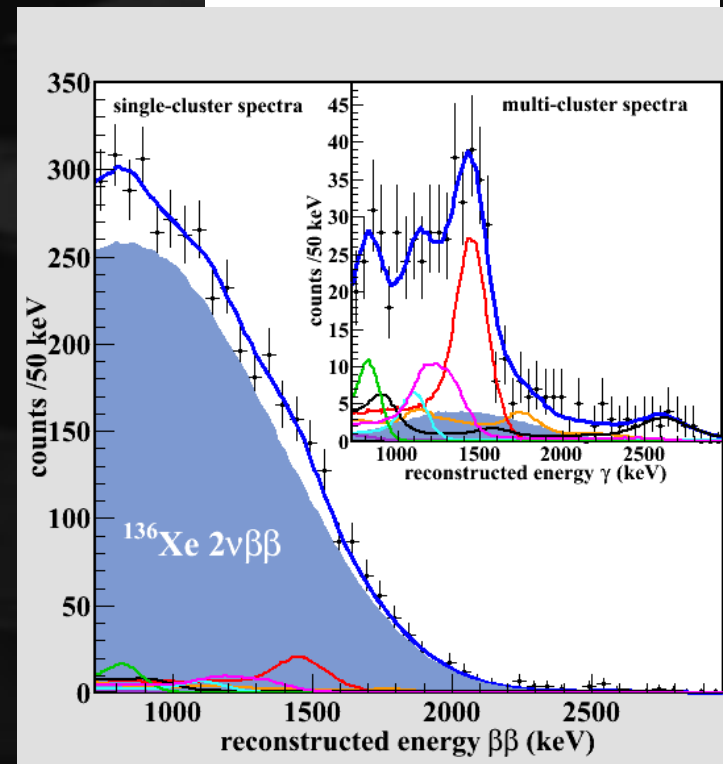
EXO-200

arXiv:1108.4193

- 175kg 液体キセノンTPC
- $2\nu\beta\beta$ の寿命 2.11×10^{21} 年
- $0\nu\beta\beta$ は未発表



$$Q_{\beta\beta} = 2458 \text{ MeV}$$



2012年 5月18日
高エネルギー春の学校 身内賢太郎

NEWAGE

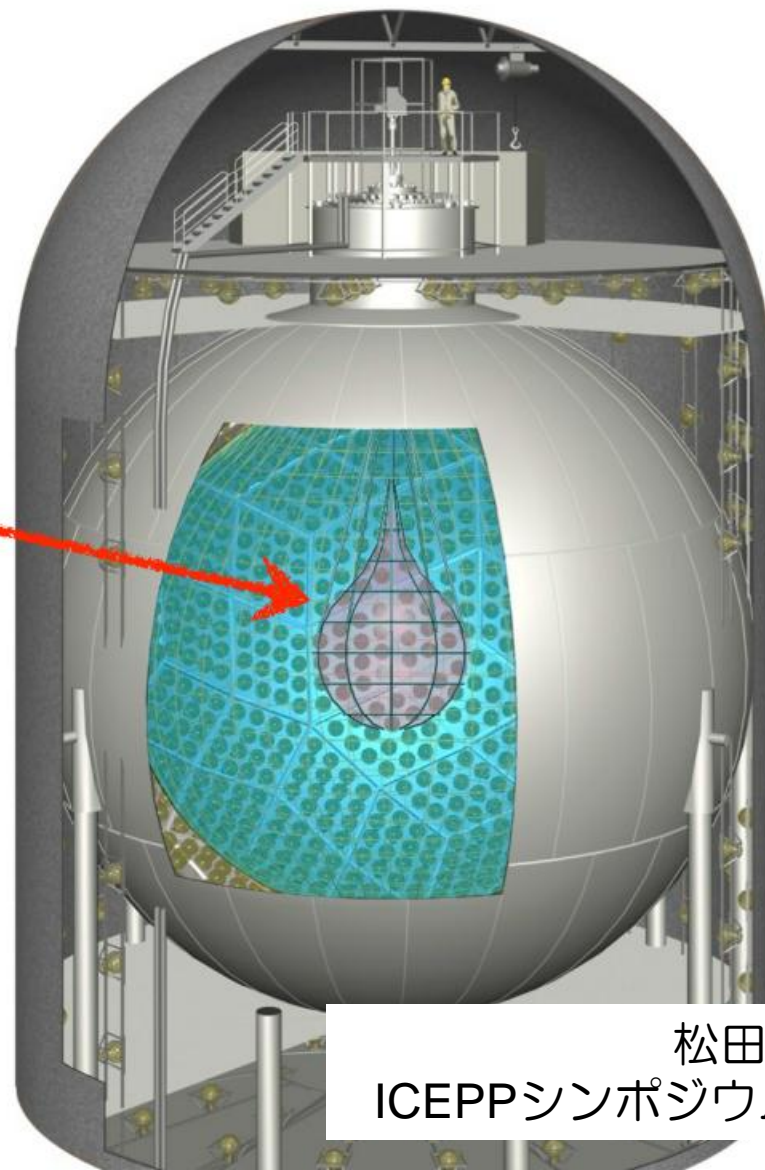
◆ KAMLAND-ZEN

KamLAND-Zen実験

2011年10月実験開始

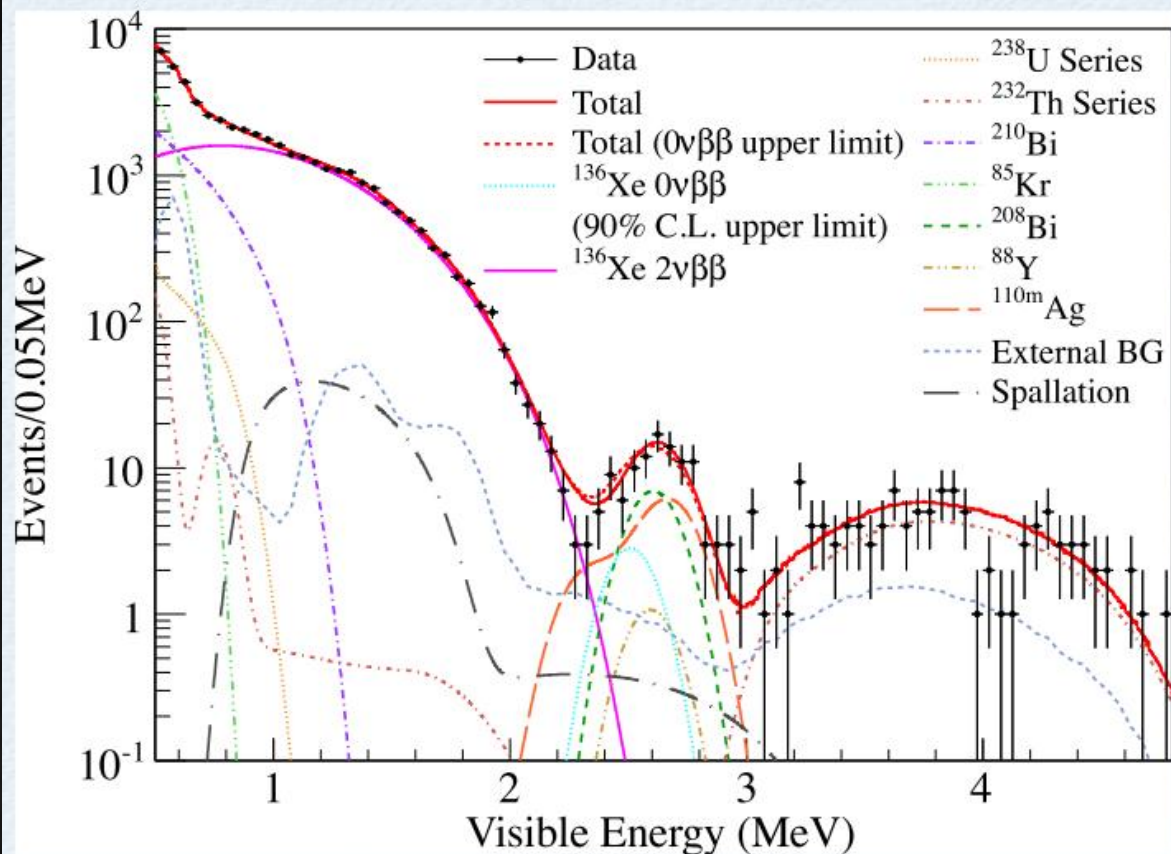
KamLAND
with Zero Neutrino
double beta decay
search

- ミニバルーン(ナイロン製)
半径1.54m, 厚さ25 μ m
- **Xe-LS**
82%: デカン Xe¹³⁶ 300kg
18%: プソイドクメン
2.7g/l: PPO
(2.52 \pm 0.07)wt% 濃縮Xe
(90.93% ¹³⁶Xe, 8.89% ¹³⁴Xe)



松田さゆり
ICEPPシンポジウム2012

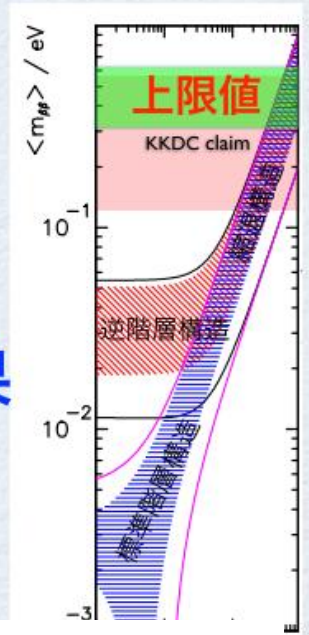
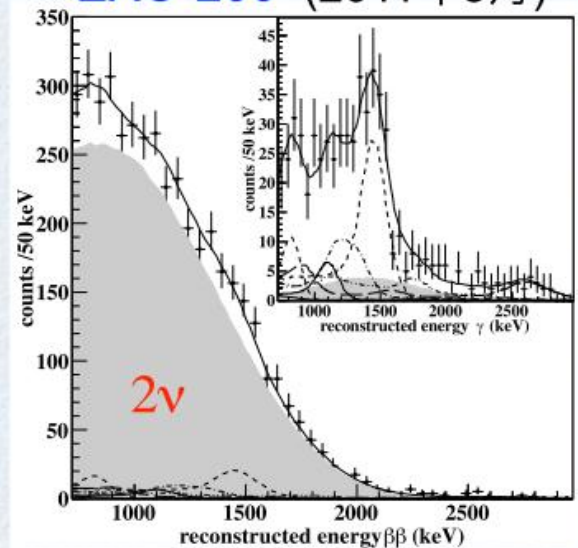
全体のエネルギースペクトル



$T_{1/2}^{2\nu} = 2.38 \pm 0.02(\text{stat}) \pm 0.14(\text{syst}) \times 10^{21} \text{ yr}$
 $T_{1/2}^{2\nu} = 2.11 \pm 0.24(\text{stat}) \pm 0.21(\text{syst}) \times 10^{21} \text{ yr (EXO-200)}$
 $T_{1/2}^{0\nu} > 5.7 \times 10^{24} \text{ yr (90\% C.L.)} \rightarrow \langle m_{\beta\beta} \rangle < 0.3 - 0.6 \text{ eV}$
 QRPA(CCM SRC)モデルを使用 Phys. Rev. C 79 055501(2009)

EXOの結果
と一致!

EXO-200 (2011年8月)

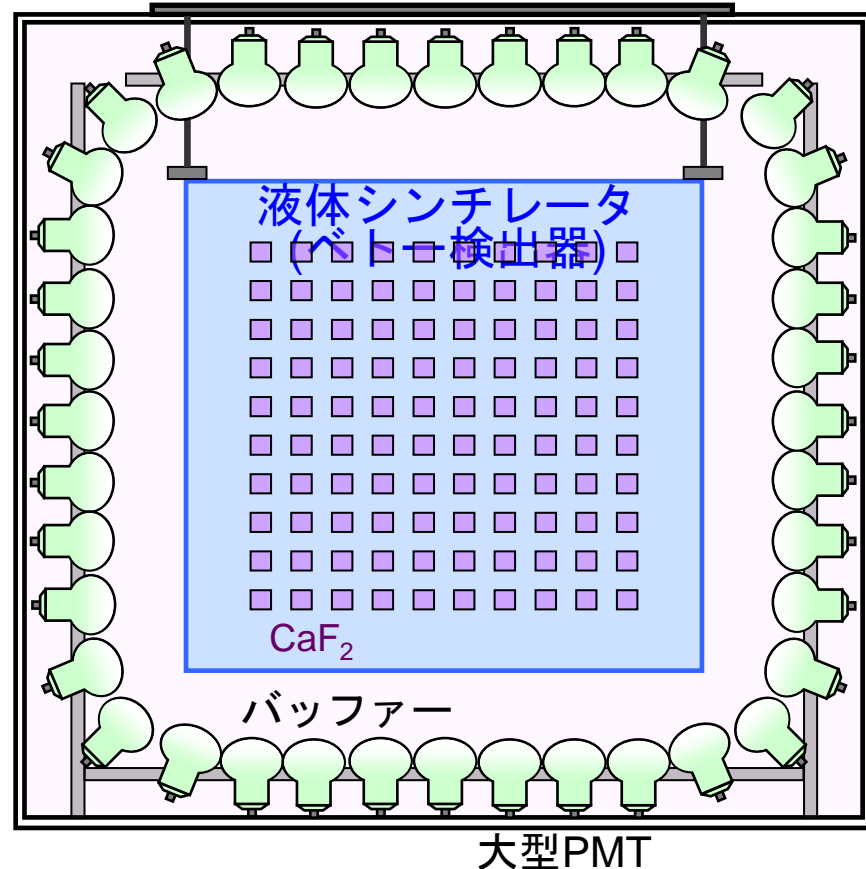


松田さゆり
ICEPPシンポジウム2012





CANDLESプロジェクト

CANDLES -二重ベータ崩壊測定-

CANDLES概念図



CANDLES システム

-  ^{48}Ca
 ($Q_{\beta\beta}$ 4.3MeV, 自然存在比0.187%)
-  CaF₂ シンチレータ
-  4 π アクティブシールドによる
バックグラウンドフリー測定
-  濃縮 ^{48}Ca

測定感度

-  $\langle m_{\nu} \rangle$ 50meV
 (5年測定、CaF₂シンチレータシステム)



現状

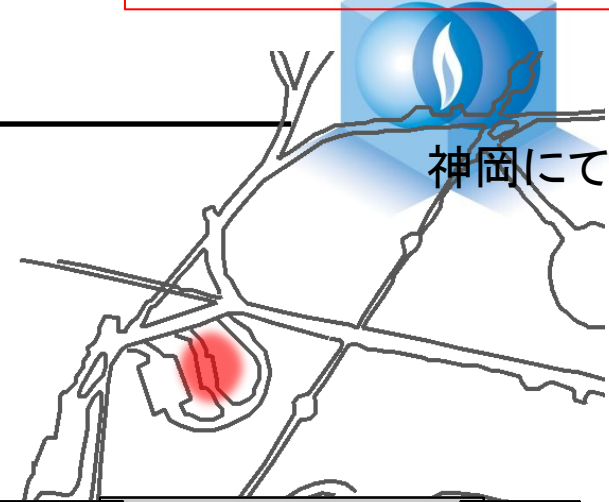
CANDLES III (神岡実験室)

96 CaF_2 (305kg, 0.187% ^{48}Ca)

+ 液体シンチレータ

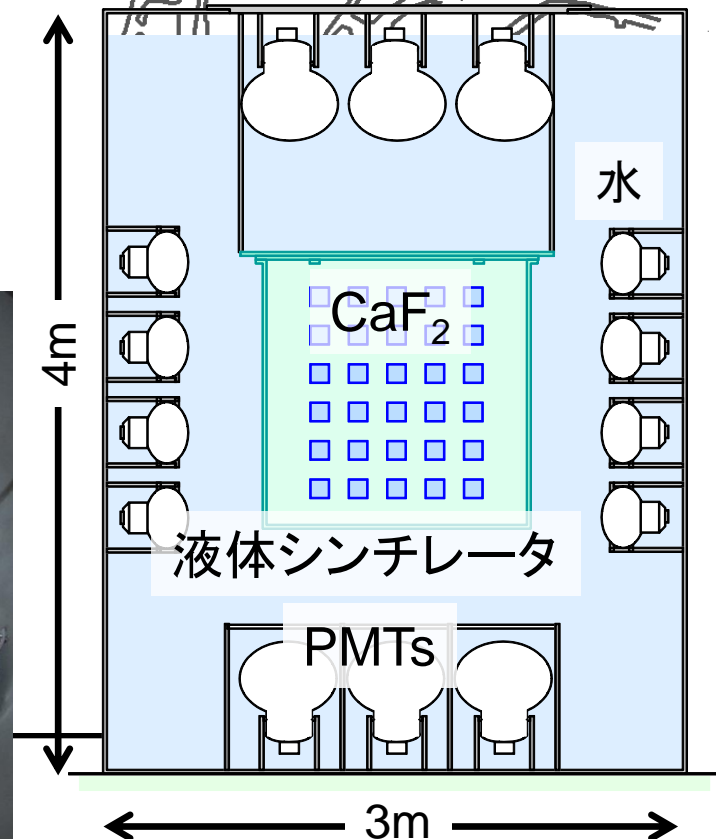
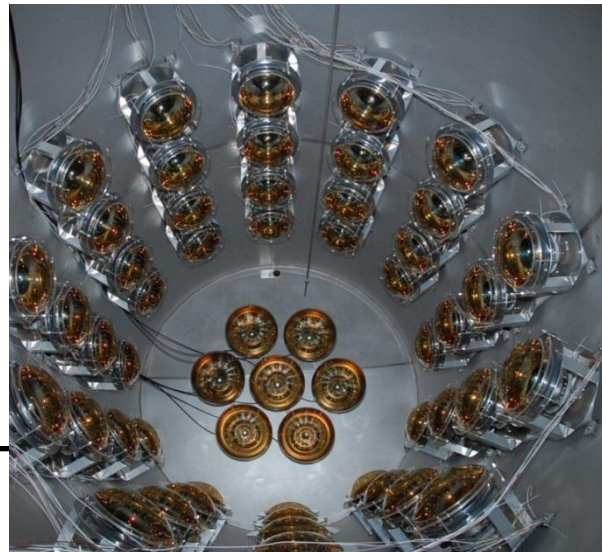
2011年6月測定開始

CANDLES III



内部構造
(CaF_2 シンチレータ)

本体タンク内側



今後

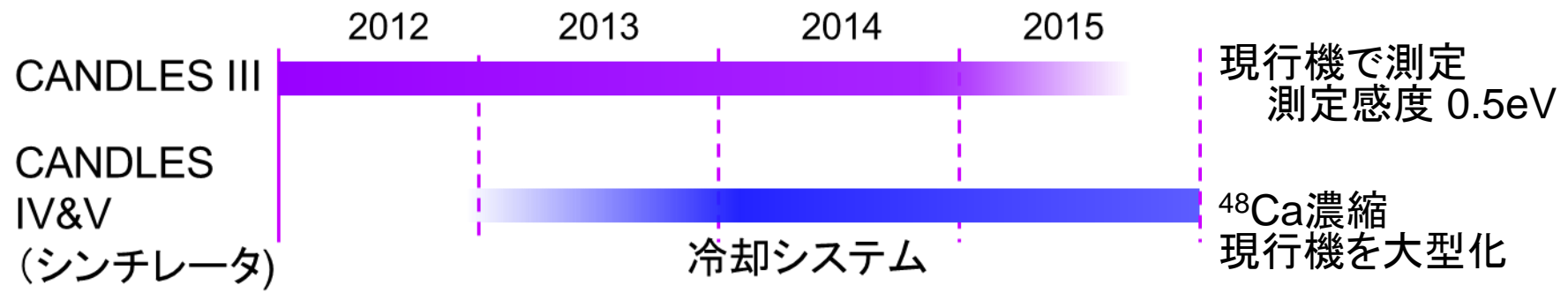
⁴⁸Ca濃縮

- 次期CANDLESのためのR&D
- クラウンエーテル使用
- 大量濃縮にむけて開発中

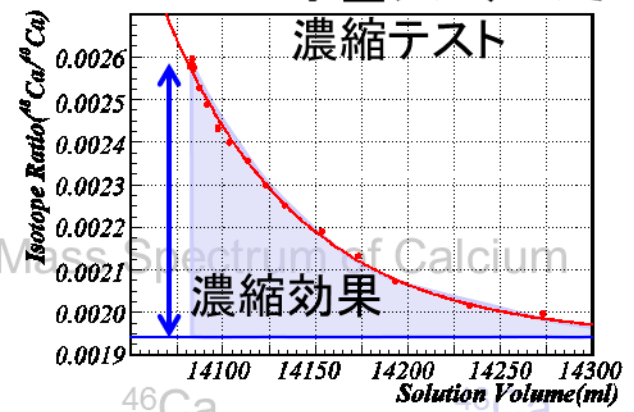
CANDLES IV & V

- ⁴⁸Ca濃縮
 - 冷却システム (~0°C)
- エネルギー分解能向上

スケジュール



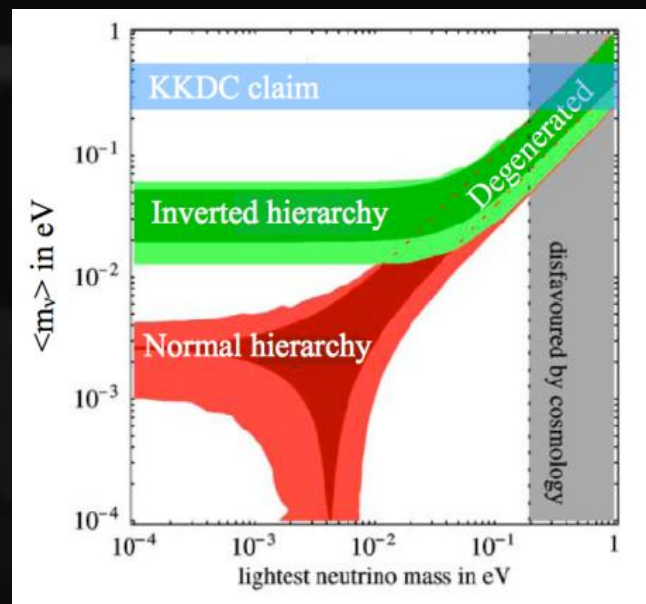
小型システムでの濃縮テスト



×10 ×0.1 ×0.1 ×0.1 ×0.001 ×0.1

◆ $\beta\beta$ 現状

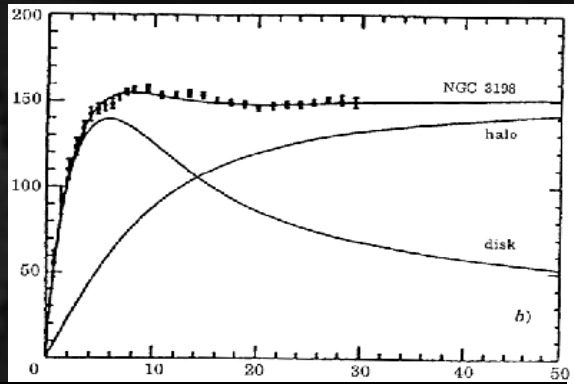
- $2\nu\beta\beta$ の寿命を測定しながら、
KKDM → 逆階層へ



アングラ②

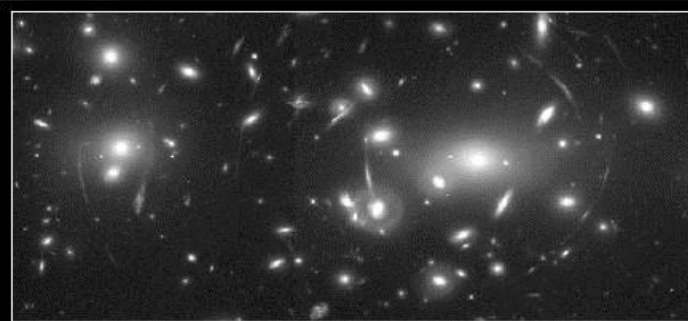
暗黒物質

暗黒物質の歴史



Annu. Rev. Astron. Astrophys. 29(1991)409

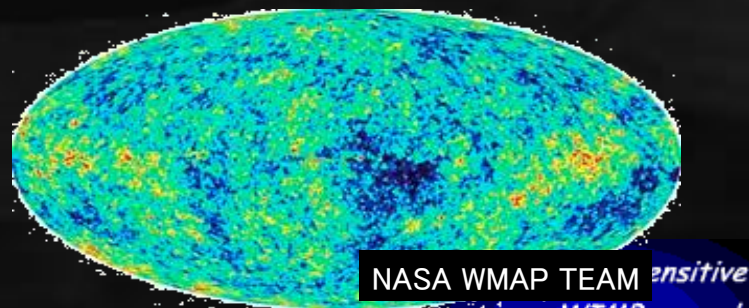
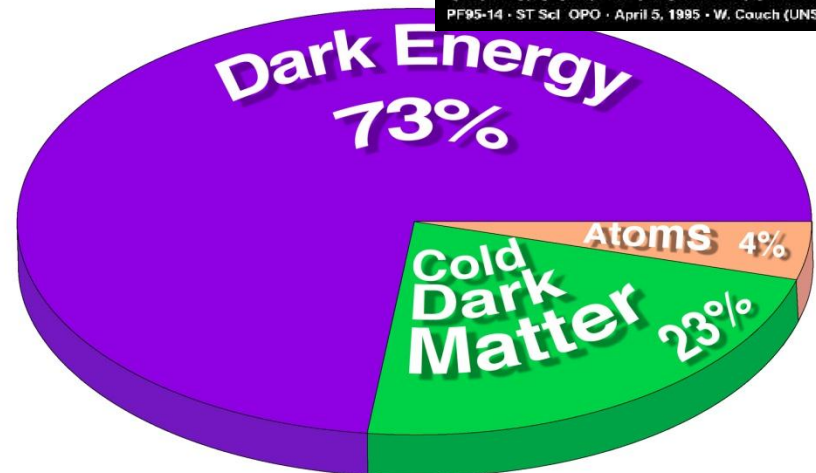
- 銀河の回転曲線 (1930s~)



Gravitational Lens in Abell 2218
PF95-14 • ST ScI OPO • April 5, 1995 • W. Couch (UNSW), NASA

HST • WFPC2

- 遠方銀河の重力レンズ効果 (1990s~)



- 宇宙マイクロ波背景放射 (2002~)

最近では

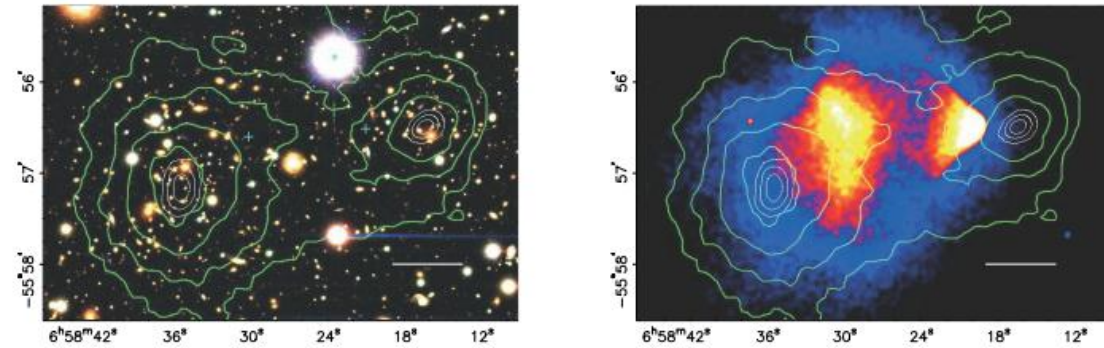


FIG. 1.—*Left panel:* Color image from the Magellan images of the merging cluster 1E 0657–558, with the white bar indicating 200 kpc at the distance of the cluster. *Right panel:* 500 ks *Chandra* image of the cluster. Shown in green contours in both panels are the weak-lensing κ reconstructions, with the outer contour levels at $\kappa = 0.16$ and increasing in steps of 0.07. The white contours show the errors on the positions of the κ peaks and correspond to 68.3%, 95.5%, and 99.7% confidence levels. The blue plus signs show the locations of the centers used to measure the masses of the plasma clouds in Table 2.

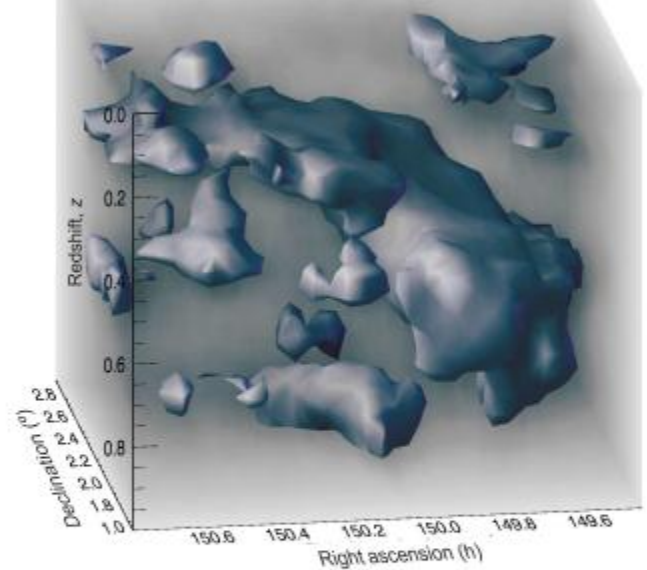


Figure 5 | Three-dimensional reconstruction of the dark matter distribution. The three axes correspond to right ascension, declination and redshift: with distance from the Earth increasing towards the bottom. The redshift scale is highly compressed, and the survey volume is really an elongated cone. An isodensity contour has been drawn at a level of $1.4 \times 10^{13} M_{\text{Sun}}$ within a circle of radius 700 kpc and $\Delta z = 0.05$. This was chosen arbitrarily to highlight the filamentary structure. The faint background shows the full distribution, with

もっと最近では

暗黒物質、太陽近傍には存在せず？

ナショナルジオグラフィック 公式日本語サイト 4月20日(金)15時16分配信

写真を拡大



暗黒物質の分布予想を示した天の川銀河のイラスト。暗黒物質は青色のハローとして描かれている。

(Illustration courtesy of Caltech ESO)

◆研究結果の“アキレス腱”

とはいえ、今回の研究結果には懐疑的な声もある。ハーバード大学の天文学部長で、今回の研究には参加していないアヴィ・ローブ (Avi Loeb) 氏によると、それはこの研究が単純化のために用いている10項目の仮定に原因があるという。

例えば研究では、動きを計測した恒星が天の川銀河中心部の周囲を回る平均速度について、恒星が中心部からどれだけ離れていても速度は一定で変わらないと仮定している。恒星の動きに影響を及ぼす因子の全体像を示す上で、この速度を知っていることは重要だ。

「重力を修正しない限り、この仮定自体が、暗黒物質がなければ成り立たない」とローブ氏は電子メールでの取材に対して述べている。

暗黒物質が存在すると考えられる理由の1つは、銀河の外縁部にある恒星が、より内側にある恒星と同じ速度で銀河中心部の周囲を回っているとみられることだ。重力の法則に従えば、銀河の外縁部をこれほど高速で移動している恒星は、宇宙空間に放り出されるはずだ。しかし、暗黒物質の質量が加わることで、恒星は銀河にとどまっていると考えれば筋は通る。

最新研究によると、太陽の周辺では、なぜか暗黒物質(ダークマター)の存在を示す観測結果が得られなかったという。目に見えない暗黒物質など幻想にすぎないという懐疑派には有利な情報になるかもしれない。

「この結果を受けて、だから暗黒物質など存在しないと主張する人が出てくるだろう」と今回の研究を指揮したチリ、コンセプション大学の天文学者クリスティアン・モニ＝ビディン (Christian Moni-Bidin) 氏は話す。「今回の観測結果だけでは、暗黒物質が存在しないことの証明にはならない。それでも、われわれが予想していた、必要としていた場所に見つからないことは確かだ」。

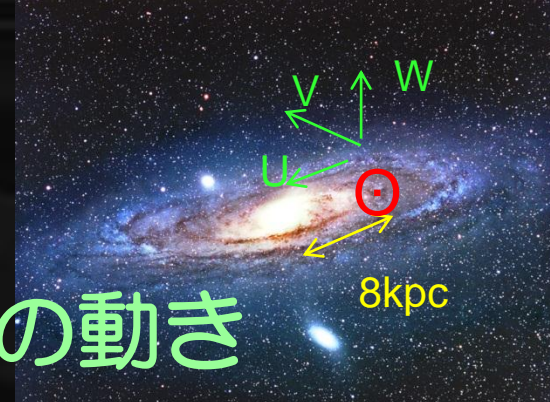
暗黒物質の粒子は現行の技術では検出できないが、銀河や銀河団などの目に見える物質

が
恒星

2011年 4月14日

高エネルギー天文学 身内賢太郎

sensitive
search
NEWAGE



太陽系近傍(高さ1.5~4kpc)の恒星の動き (U,V,W)、その分散を観測

観測量+10の物理的仮定+3つのパラメータ+複雑な式

$$-2\pi G\Sigma(R, Z) = \frac{\partial\sigma_W^2}{\partial Z} - \frac{\sigma_W^2}{h_{Z,\rho}} - \int_0^Z \frac{\sigma_U^2}{Rh_{R,\rho}} dz + \int_0^Z \frac{\partial^2\sigma_U^2}{\partial R^2} dz + \int_0^Z \left(\frac{2}{R} - \frac{1}{h_{R,\rho}}\right) \cdot \frac{\partial\sigma_U^2}{\partial R} dz - \frac{1}{R} \int_0^Z \frac{\partial\sigma_V^2}{\partial R} dz + \overline{UW} \left(\frac{2}{R} - \frac{1}{h_{R,\rho}}\right) + 2\frac{\partial\overline{UW}}{\partial R} - \frac{1}{h_{z,\rho}} \int_0^Z \frac{\partial\overline{UW}}{\partial R} dz. \quad (13)$$

求めたもの： 質量密度のz依存

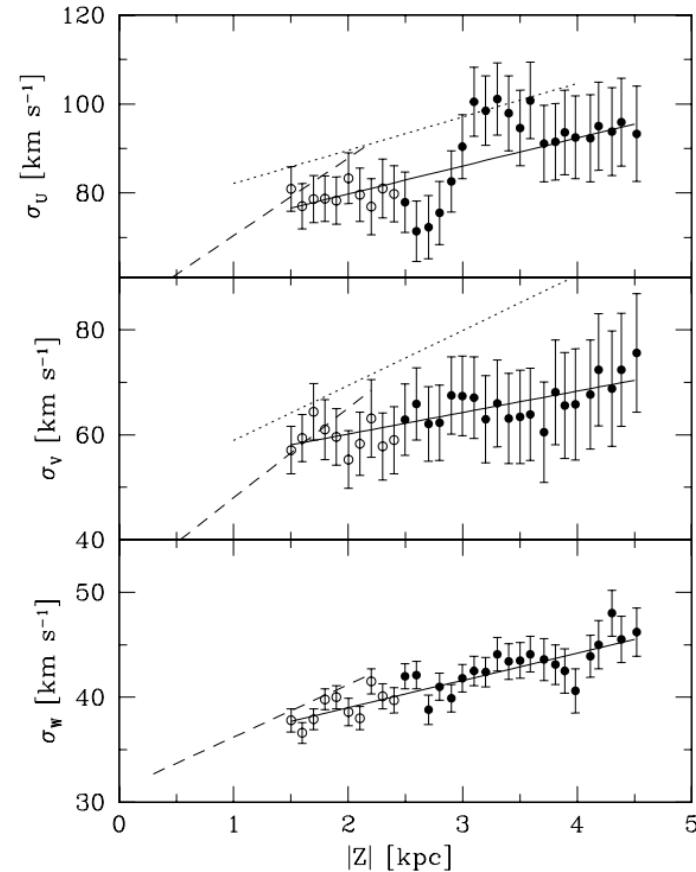
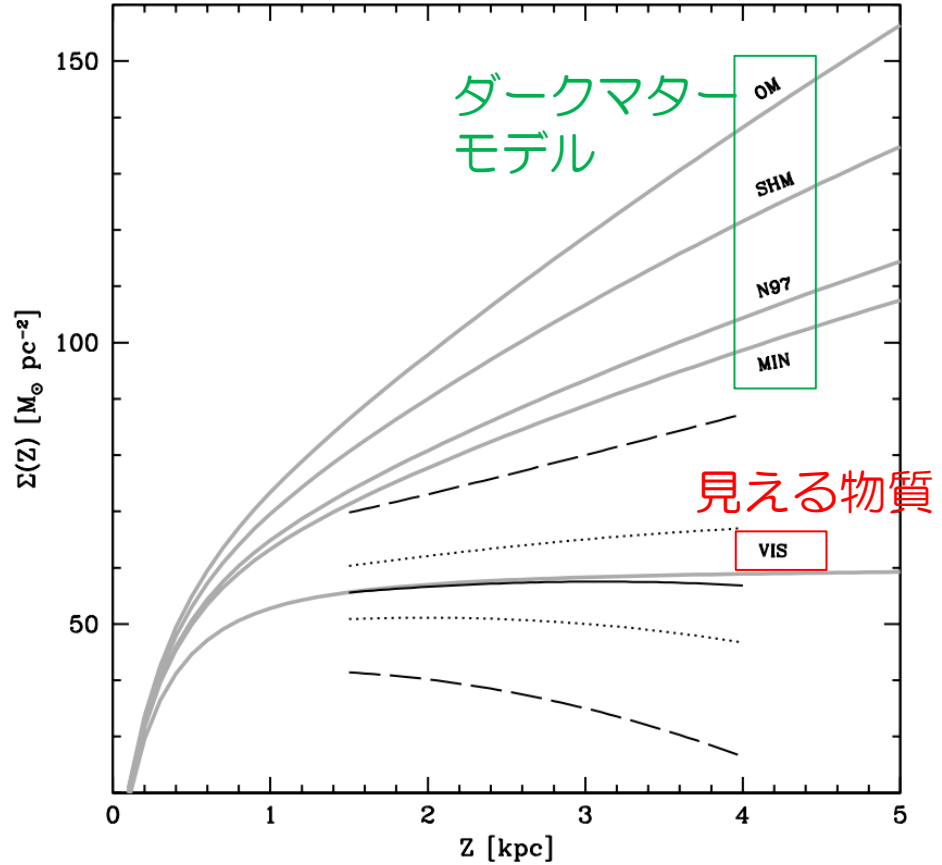


Figure 6. Velocity dispersion as a function of distance from the plane (from top to bottom: radial, rotational, and vertical velocity dispersion). The thick curve indicates the linear fit of the data given in Equations (3)–(5). The empty dots and dashed and dotted lines are as in Figure 4.

右の絵より

- 質量密度は見えるものだけで説明可能

質量密度



仮定のひとつ

VIII The rotation curve is locally flat in the volume under study:

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial R} = 0.$$

この論文の意味するところ：

- 回転速度は外までフラット（ダークマター）でも8kpcあたりにはDMは無い
コンシステントな解釈はまだ。

◆ 暗黒物質の候補

- バリオン
MACHO(Massive Compact Halo Object)
- 非バリオン
アクシオン
WIMPニュートラリーノ
その他有

アクシオン

QCDで中性子の電気双極子を計算 $\sim 10^{-16}$ ecm

実験値 $< 10^{-25}$ ecm

⇒ 強い相互作用のCP問題

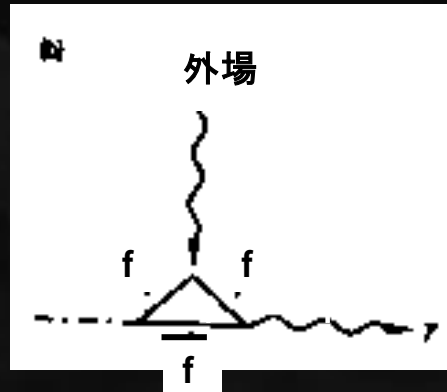
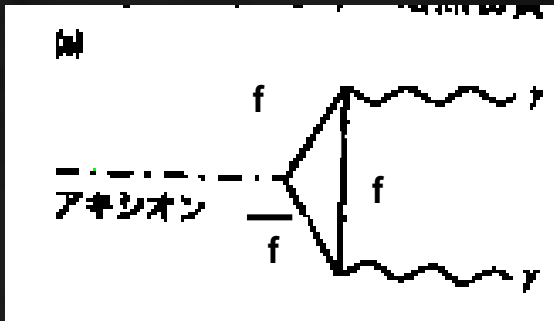
Peccei & Quinn PRL38 (1977) 1440

アクシオンを導入することで、自然に解決

アクシオンと光子2個との結合

光子2つが見える / 磁場によって光子に変換

$$g_{a\gamma\gamma} = \frac{\alpha_{EM}}{\pi} \frac{C_a}{f_{PQ}}$$



α : 微細構造定数

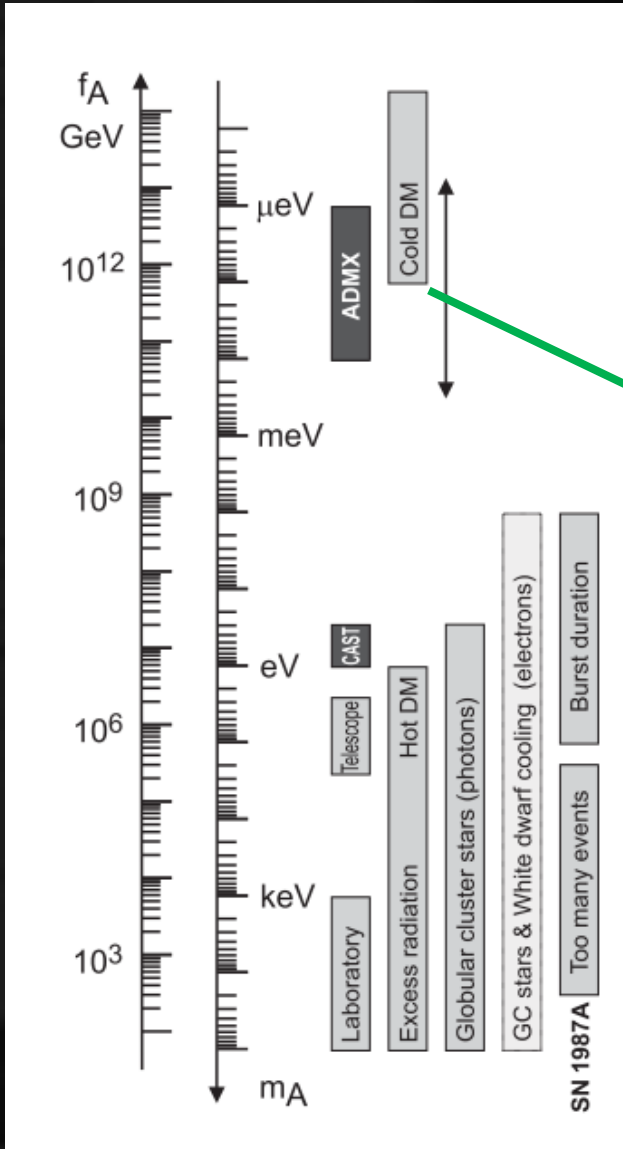
C_a : アクシオンモデルによる定数 (0~1)

アクシオン

アクシオンの質量 (理論)

$$m_a = 0.6 \text{eV} \frac{10^7 \text{GeV}}{f_{\text{PQ}}}$$

f_{PQ} : 新しい対称性の破れのスケール



これよりも重たい「CDMとしての」アクシオンは
超新星爆発1987Aの観測によって制限

重いとニュートリノの放出時間が短くなる
: 観測と矛盾

DMアクシオン探索

質量 $\sim \mu\text{eV}$

PHYSICAL REVIEW D 69, 011101(R) (2004)
Improved rf cavity search for halo axions

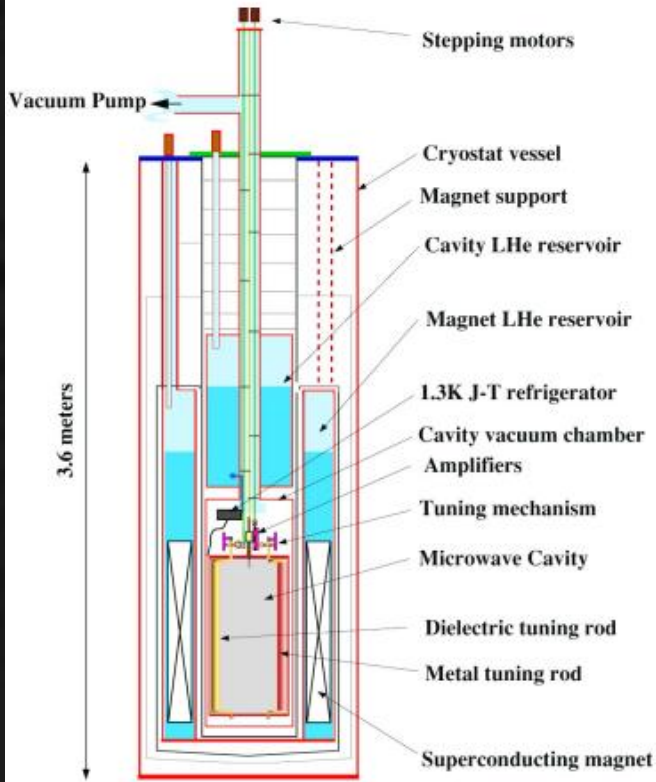
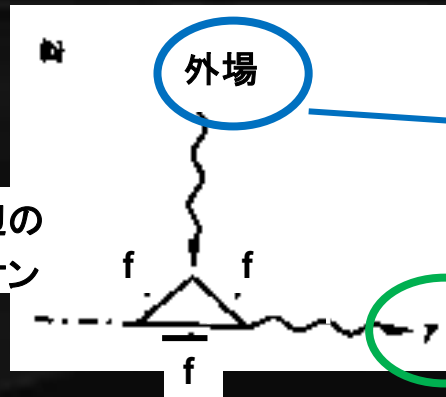


FIG. 1. Sketch of the rf cavity axion detector.

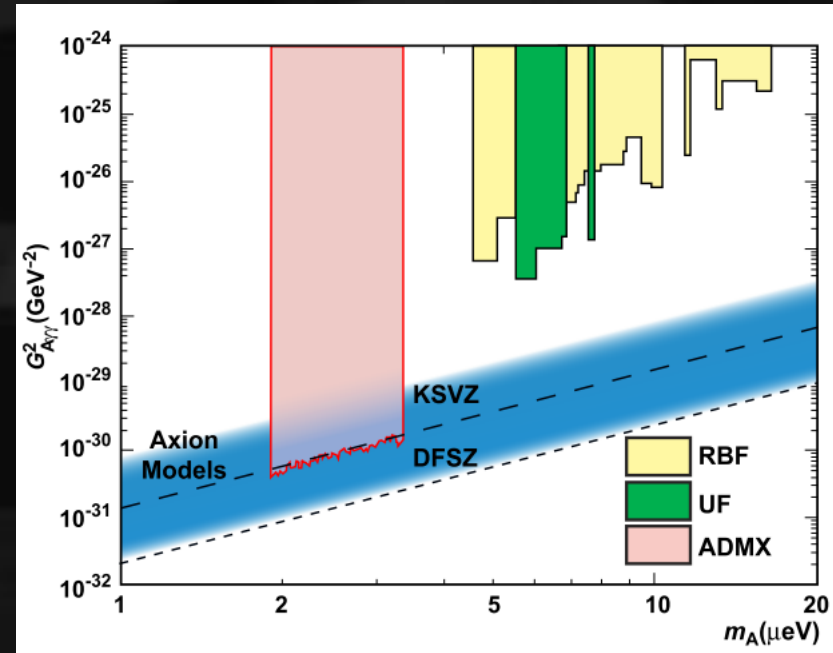
そこら辺の
アクシオン



マイクロ波
を入れる

光子を検出

PDG 2010review

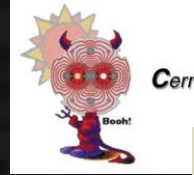
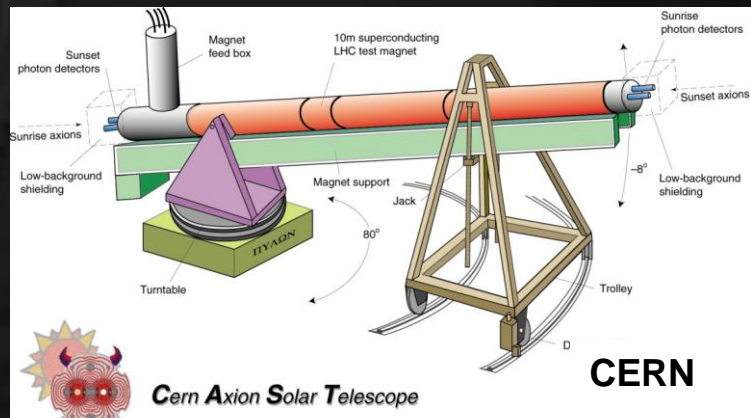
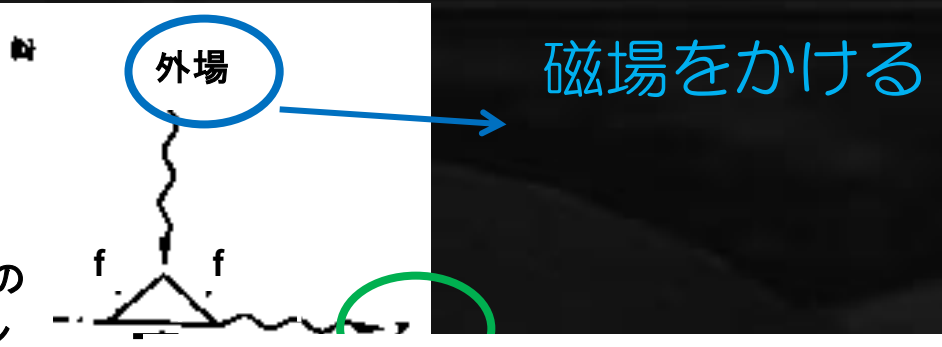


理論に触り始めたが、
現在までのところ 未発見

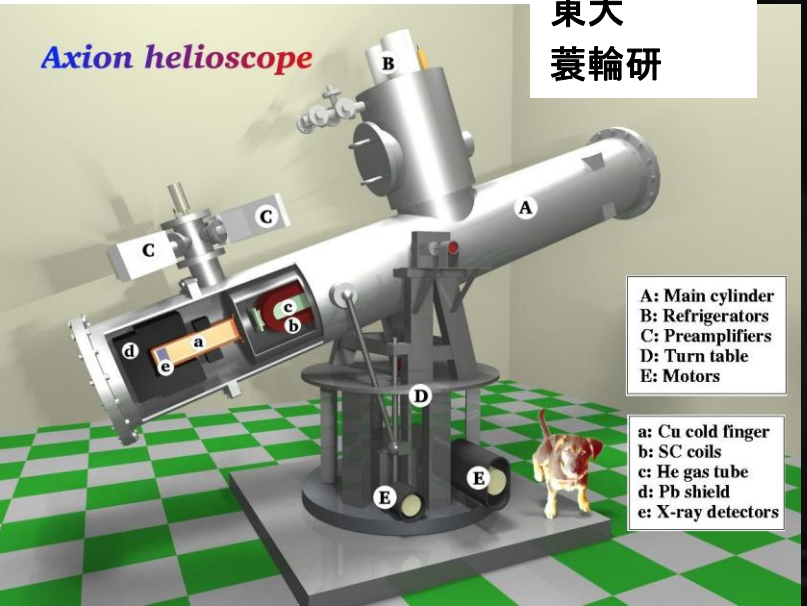


重いアクシオン探索

- 太陽中の磁場でできる
アクシオンを検出
- 質量 $\sim eV$
- CERNや東大



東大
蓑輪研



Axion helioscope

- A: Main cylinder
- B: Refrigerators
- C: Preamplifiers
- D: Turn table
- E: Motors

- a: Cu cold finger
- b: SC coils
- c: He gas tube
- d: Pb shield
- e: X-ray detectors

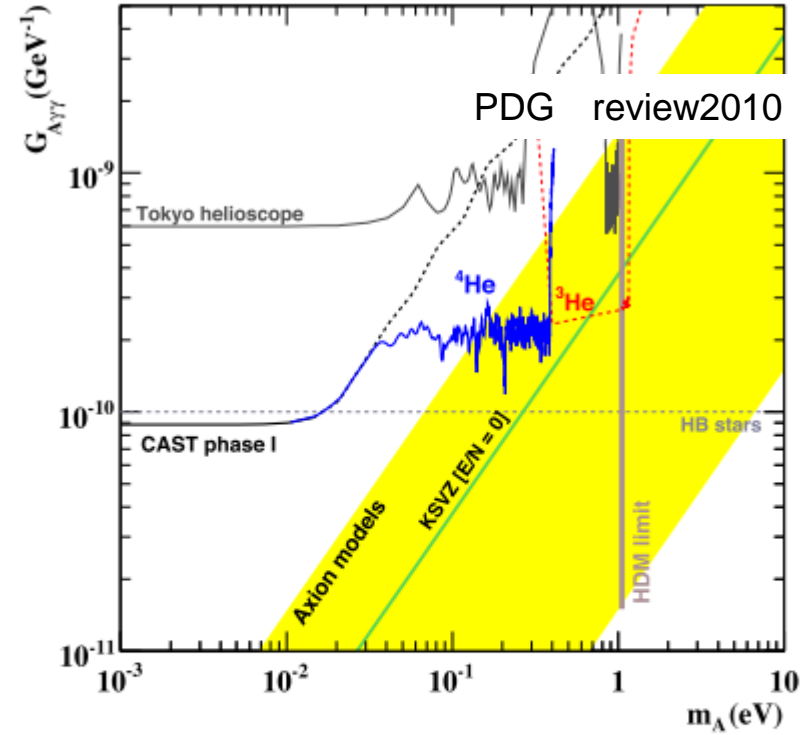


Figure 2: Solar exclusion plot for axion-like particles [50]. The red dashed line is the sensitivity of the ongoing ^3He phase of CAST. The vertical line (HDM) is the hot dark-matter limit [59]. The yellow band represents models with $0.07 < |E/N - 1.92| < 0.7$, the green solid line corresponds to KSVZ axions.

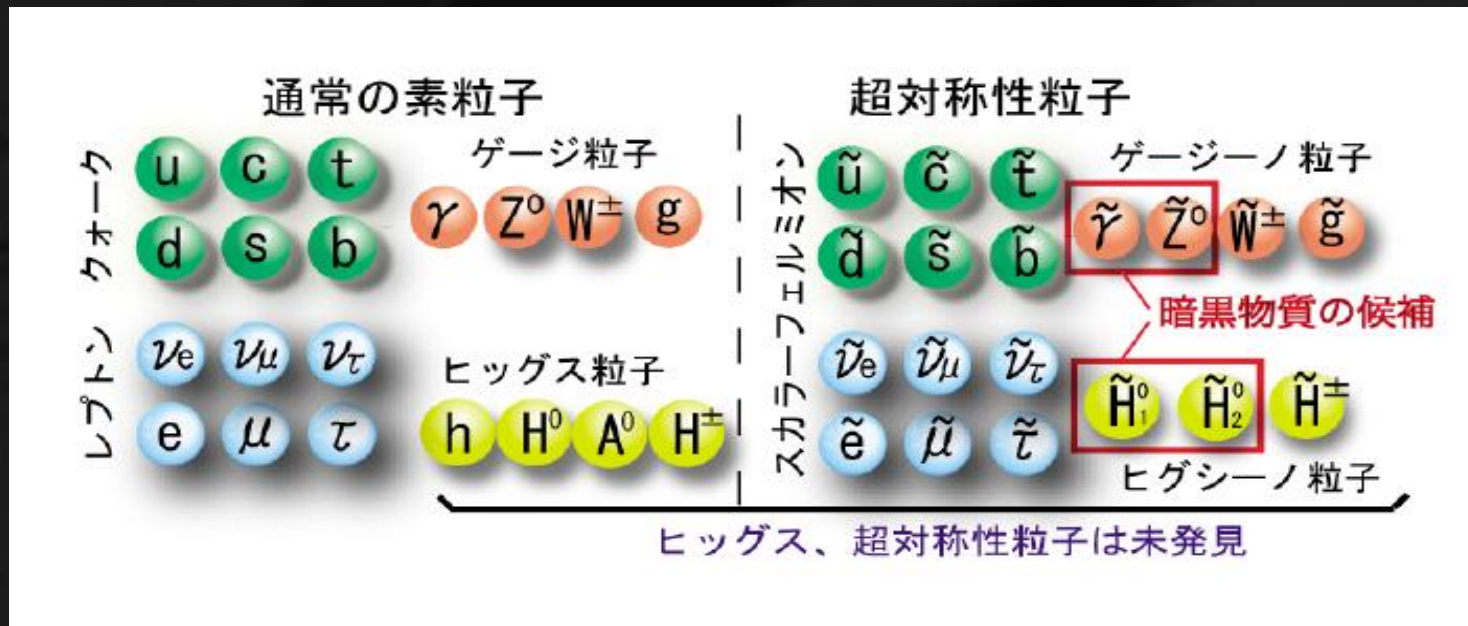
WIMPs その中でも超対称性粒子(SUper SYmmetry)

・ スピンが1/2違うSUSY粒子 (ボゾン \leftrightarrow フェルミオン)

・ 階層性問題 (大統一エネルギー/電弱エネルギー $\sim 10^{14}$)

・ ヒッグスの質量発散問題

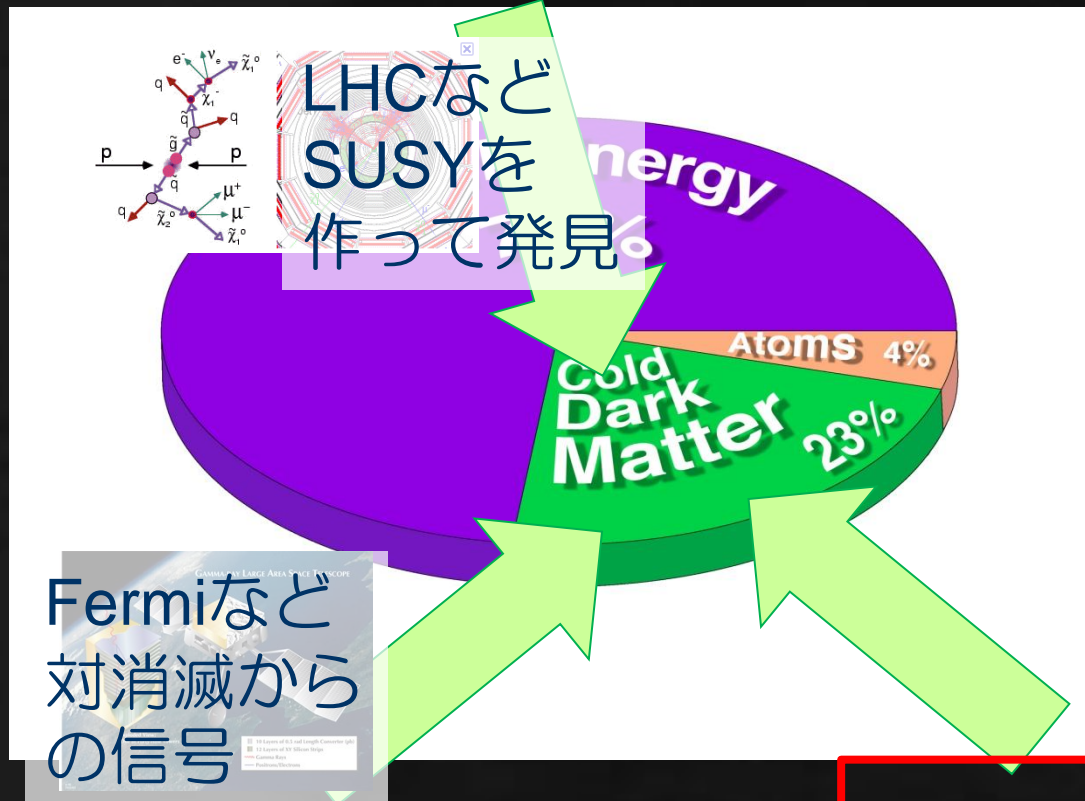
の解決の為に提唱



もっとも軽いSUSY粒子は安定
⇒ 暗黒物質の良い候補

直接探索実験

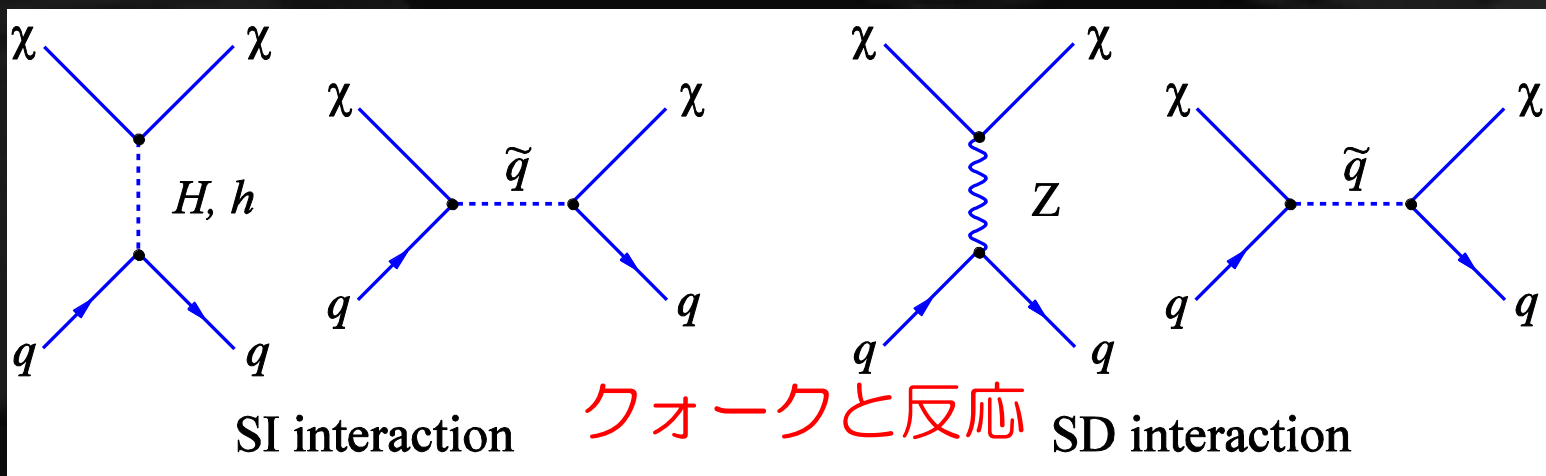
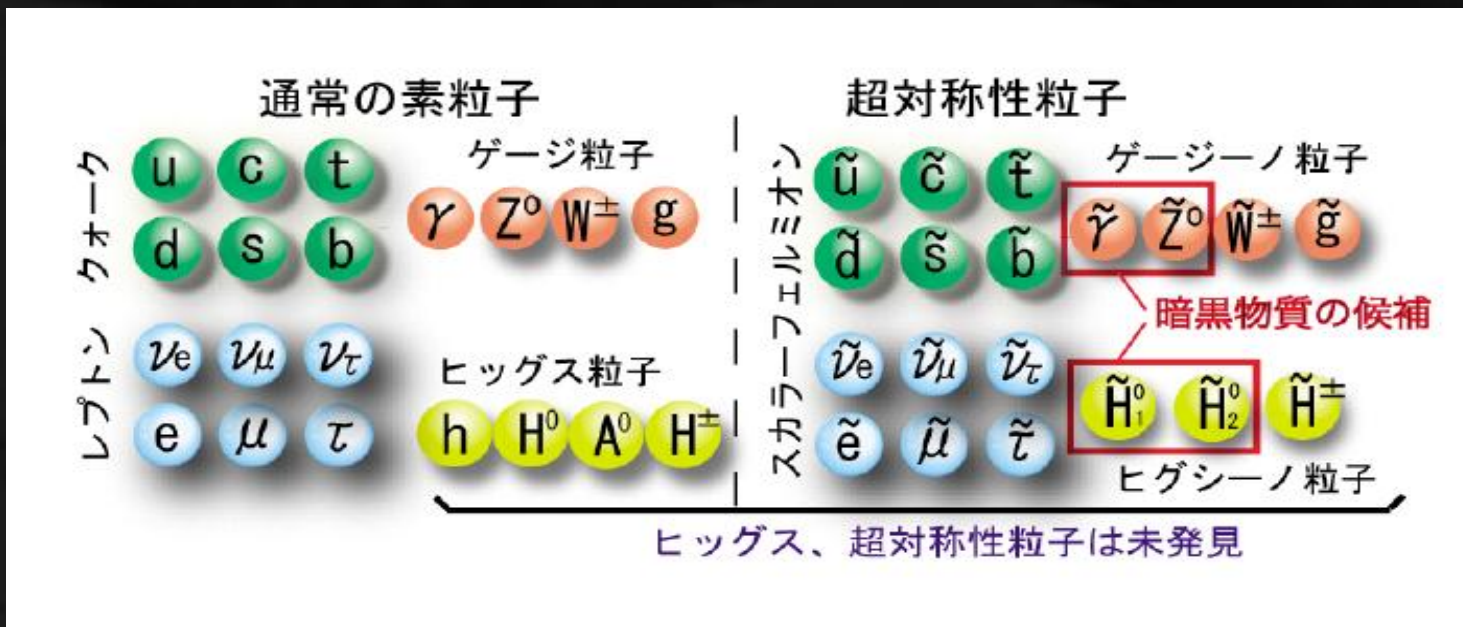
加速器実験



間接探索

直接探索

- WIMPs その中でも超対称性粒子



暗黒物質の直接検出

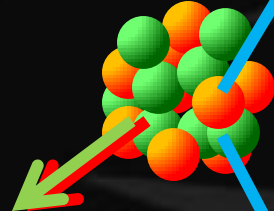
E_R 検出 (光)

DAMA (NaI)
KIMS (CsI)
XMASS (Xe)

(光+電離)

ZEPILINE II/III
XENON10/100 (Xe)
ArDM • WARP (Ar)

原子核



反跳
 $E_R < \sim 100\text{keV}$
暗黒物質

E_R 検出 (電離)

CoGent
HPGe

(光+温度)

CRESST
(CaWO₄)

E_R 検出 (温度)

ROSEBUD (LiF),
COUPP, SIMPLE, PICASSO
(CxFx)

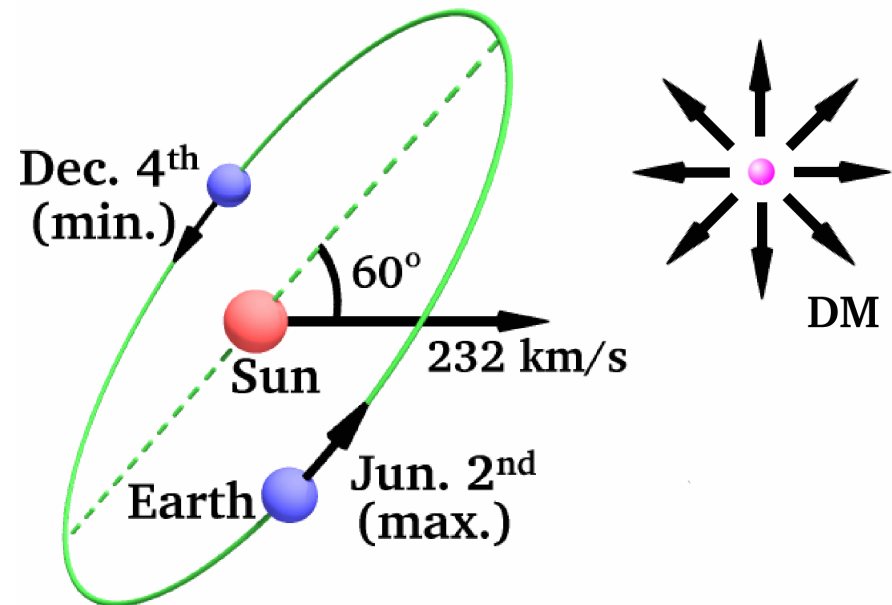
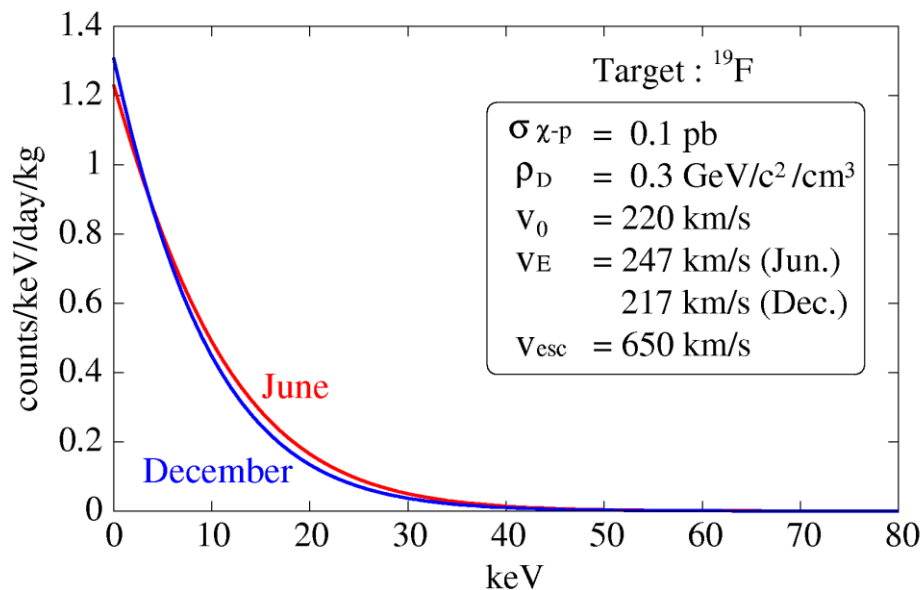
(電離+温度)

CDMS (Ge)
EDELWEISS (Ge)

ve
arch
AGE

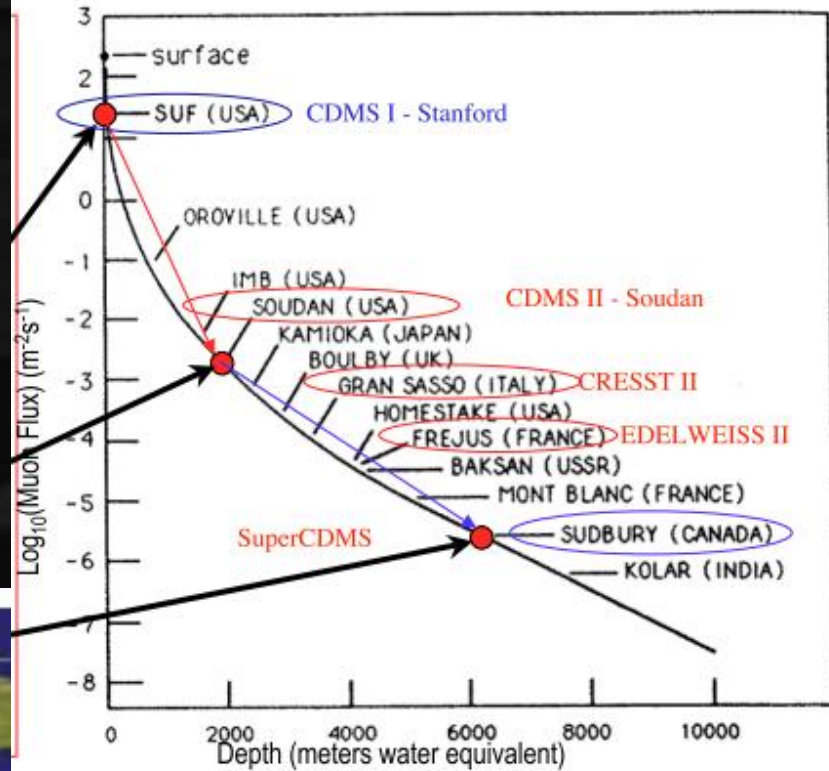
● 期待される信号

- その① スペクトル / 「**事象見つけた」
- その② 計数率の季節変動
- その③ 到来方向の検出



世界の地下実験室

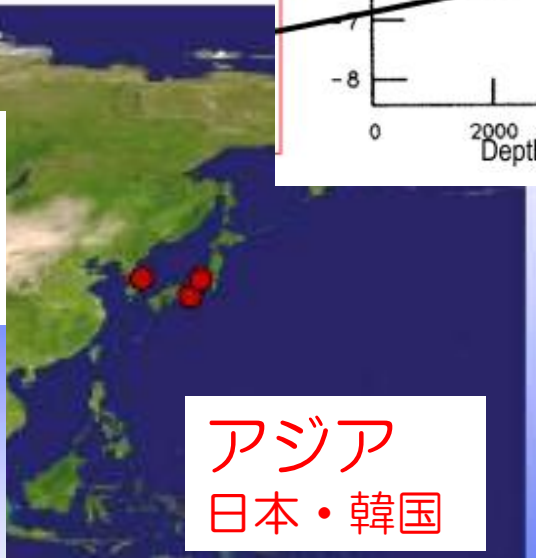
- 宇宙線起源のバックグラウンドを避けるために地下にもぐって実験
- 残りのBG: γ 線・中性子



ヨーロッパ
英国・フランス
スペイン・イタリア他



アジア
日本・韓国



北米
米国・カナダ



おもな実験の比較

	CDMS	XENON	DAMA/LIBRA
ターゲット	半導体 (Ge,Si)	液体キセノン	NaI
温度	10mK	~160K	常温
オペレーション	極難	難	易
質量	1kg	10kg	250kg
ガンマ線除去	適用	適用	不使用
最長データ取得	3ヶ月程度	3ヶ月程度	7年+4年

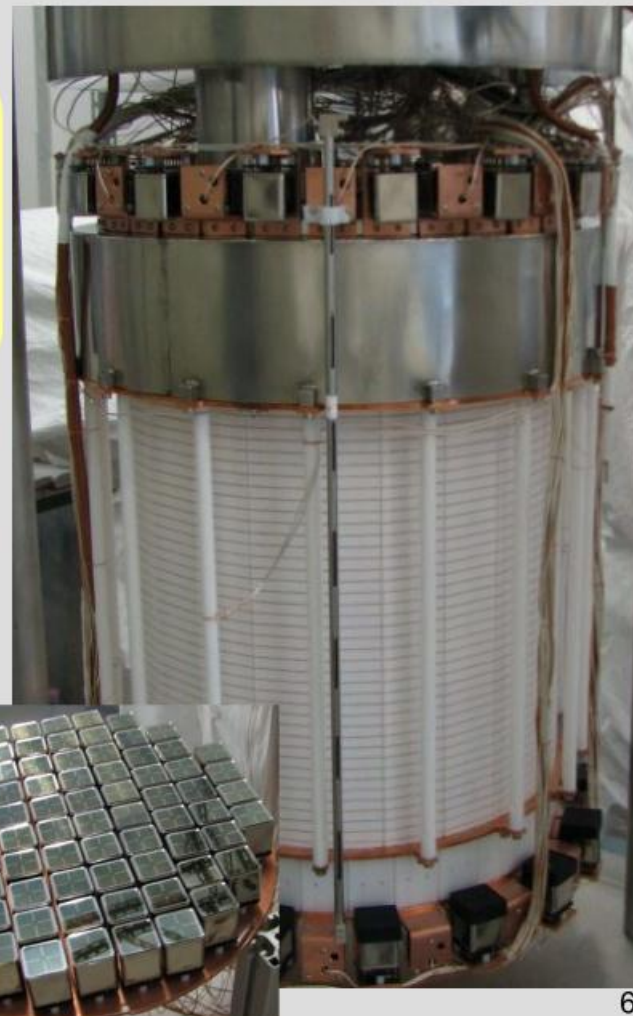
XENON100

Goal (compared to XENON10):

- increase target $\times 10$
- reduce gamma background $\times 100$
→ material selection & screening
→ detector design

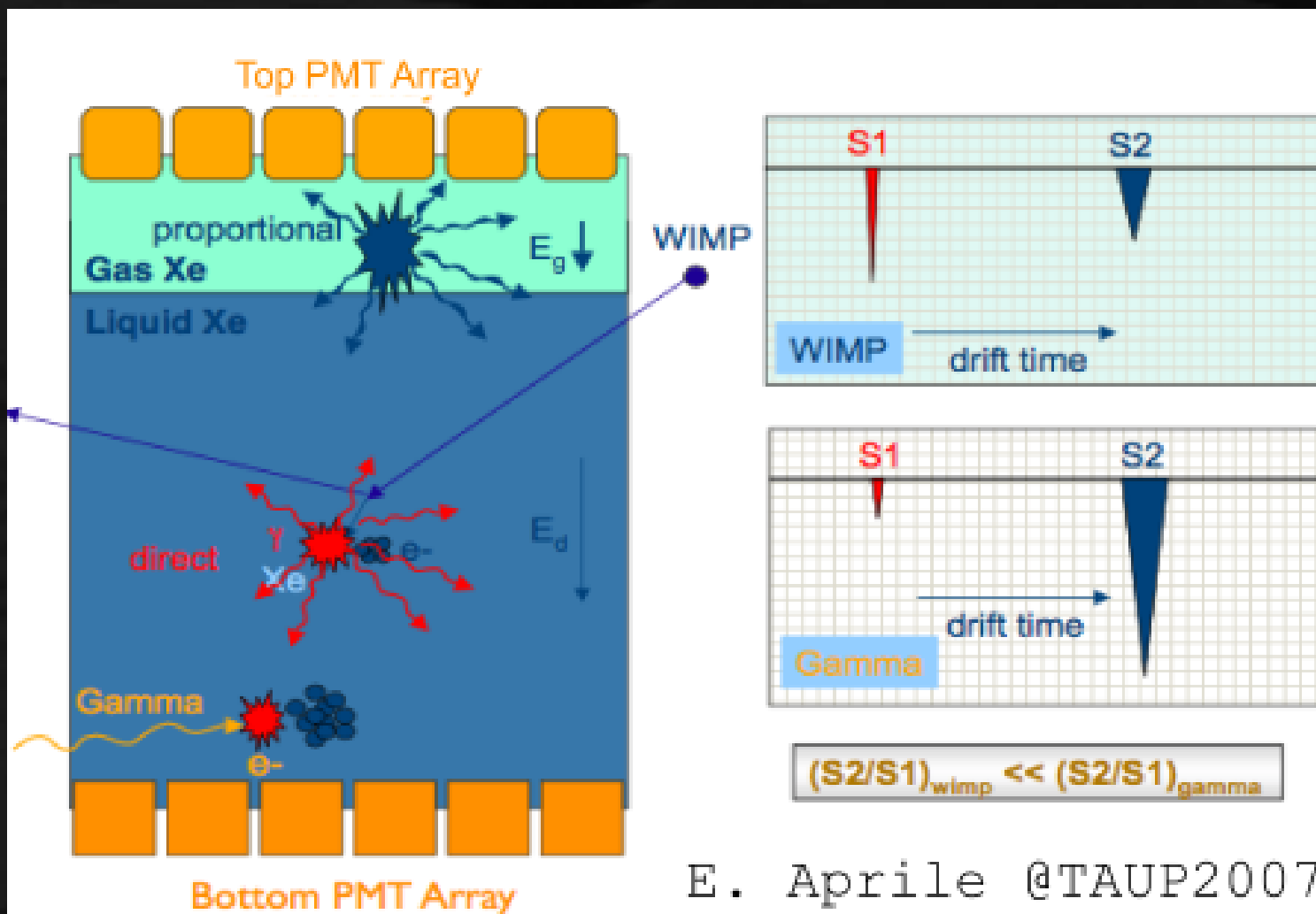
Quick Facts:

- 161 kg LXe TPC (mass: $10 \times \text{Xe10}$)
- 62 kg in target volume
- active LXe veto (≥ 4 cm)
- 242 PMTs (Hamamatsu R8520)
- improved Xe10 shield
(Pb, Poly, Cu, H₂O, N₂ purge)



XENON100

ガンマ線除去



E. Aprile @TAUP2007

DAMA/LIBRA

250kgのNaIシンチレータ

The new DAMA/LIBRA set-up ~250 kg NaI(Tl)
(Large sodium Iodide Bulk for RARE processes)

As a result of a second generation R&D for more radiopure NaI(Tl)
by exploiting new chemical/physical radiopurification techniques
(all operations involving crystals and PMTs - including photos - in HP Nitrogen atmosphere)

installing DAMA/LIBRA detectors

assembling a DAMA/LIBRA detector

filling the inner Cu box with
further shield

DAMA/LIBRA started operations on March 2003

detectors during installation; in the
central and right up detectors the new
shaped Cu shield surrounding light
guides (acting also as optical windows)
and PMTs was not yet applied

BELLI@
TAUP07

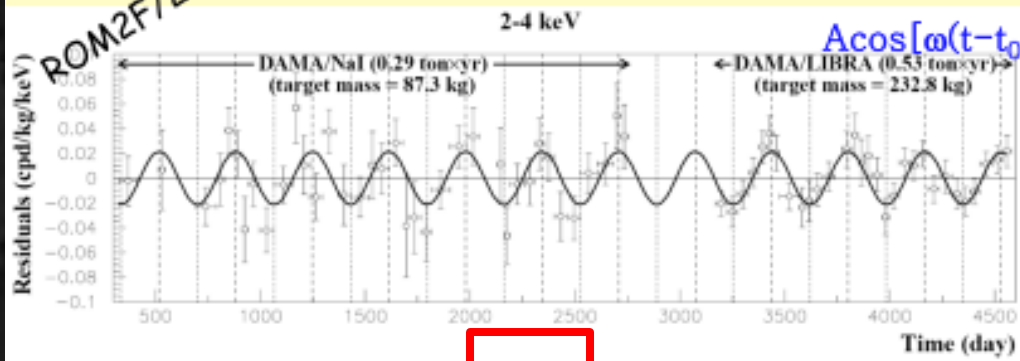
closing the Cu box
housing the detectors

view at end of detectors'
installation in the Cu box

Sensitive
P-search
AGE

Model Independent Annual Modulation Result

DAMA/NaI (7 years) + DAMA/LIBRA (4 years) Total exposure: 300555 kg×day = 0.82 ton×yr
 experimental single-hit residuals rate vs time and energy



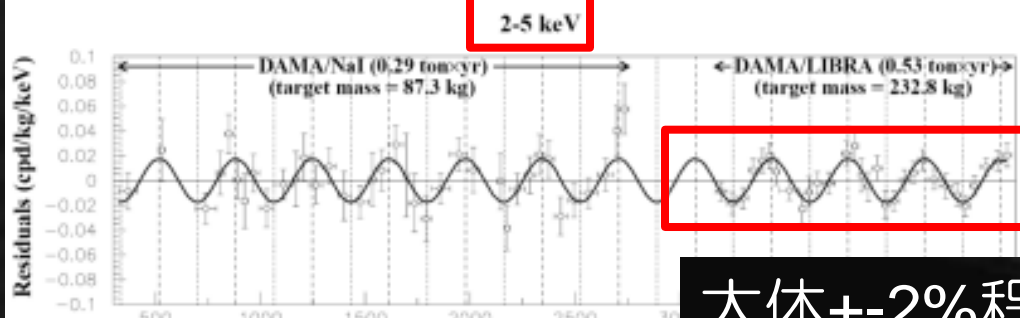
2-4 keV

$A = (0.0215 \pm 0.0026)$ cpd/kg/keV

$\chi^2/\text{dof} = 51.9/66$ **8.3 σ C.L.**

Absence of modulation? No

$\chi^2/\text{dof} = 117.7/67 \Rightarrow P(A=0) = 1.3 \times 10^{-4}$



2-5 keV

$A = (0.0176 \pm 0.0020)$

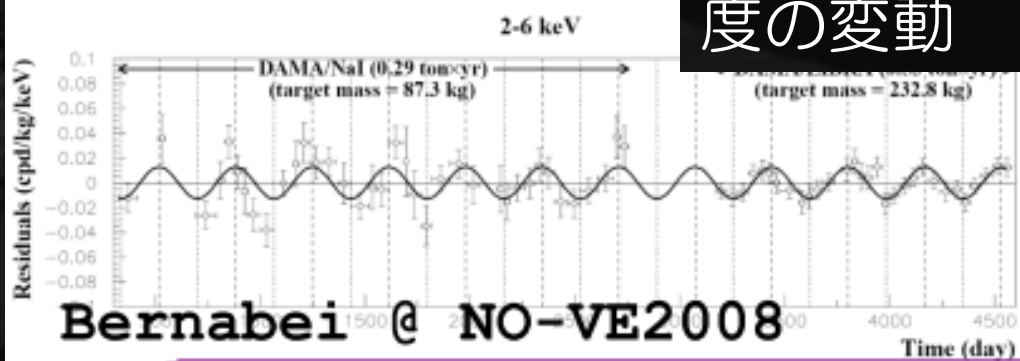
cpd/kg/keV

$\chi^2/\text{dof} = 39.6/66$ **8.8 σ C.L.**

Absence of modulation? No

$\chi^2/\text{dof} = 116.1/67 \Rightarrow P(A=0) = 1.9 \times 10^{-4}$

大体+-2%程
 度の変動



2-6

$A = (0.0129 \pm 0.0016)$ cpd/kg/keV

$\chi^2/\text{dof} = 54.3/66$ **8.2 σ C.L.**

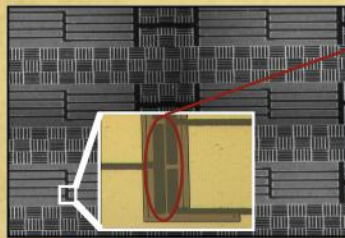
Absence of modulation? No

$\chi^2/\text{dof} = 116.4/67 \Rightarrow P(A=0) = 1.8 \times 10^{-4}$

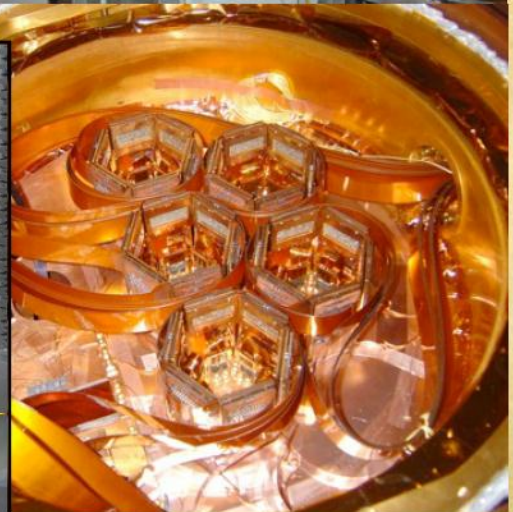
Bernabei @ NO-VE2008

CDMS

- ゲルマニウム 230g×19ヶ
- ガンマ線除去に優れる



This the
superconducting
thermometer
1x250 μm



Tarek Saab

@IDM2010

レッ
インテ

CDMS「12月17日に結果発表します」
世界中の憶測合戦。
結局2事象(両方BGである可能性は23%)

トップ ニュース スポーツ エンタメ ライフ

社会 ビジネス 政治 国際 文化 サイエンス 社説 コラム 大丸 文壇 動画 マイタボ English

現在位置: asahi.com > ニュース > サイエンス > 記事

宇宙の「暗黒物質」検出？ 本当ならノーベル賞級の発見

2009年12月11日14時29分

B 印刷 プログに利用する

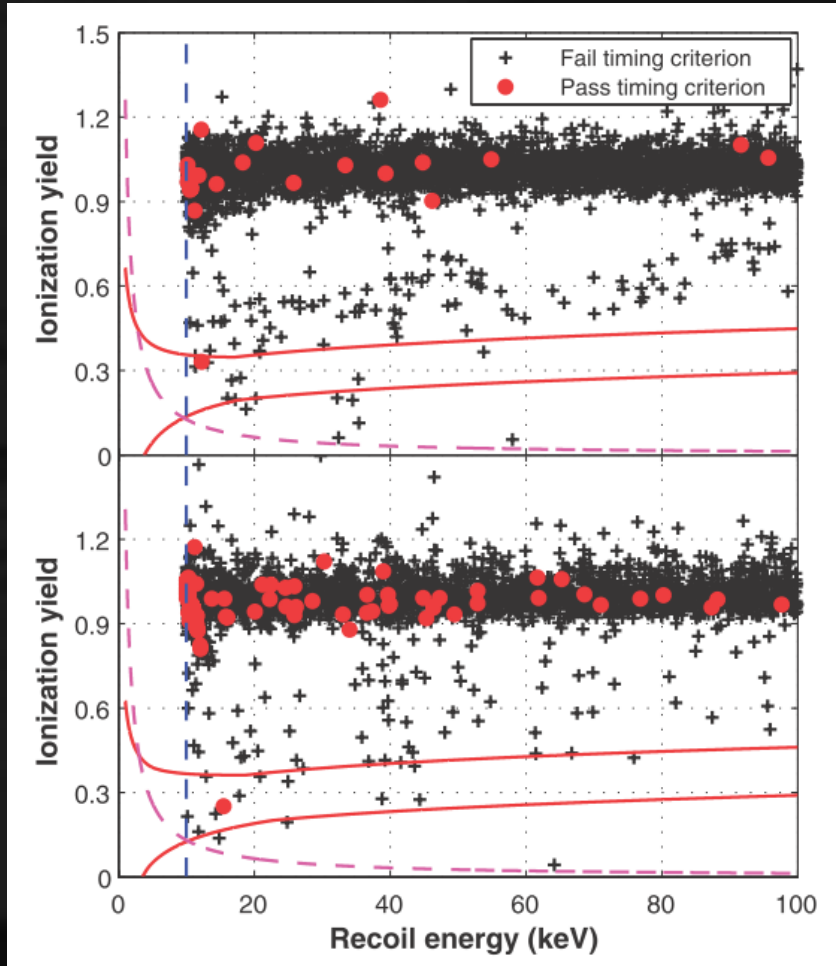
【ワシントン＝勝田敏彦】宇宙の「物質」の4分の1を占めるとされるが、影も形もない謎の「暗黒物質」の粒子が米国でついに検出されたらしい、との報道が英米の科学雑誌や研究施設の地元紙の電子版などで相次いでいる。暗黒物質の理解は宇宙物理の最も大きな課題の一つで、本当ならノーベル賞級の大発見となる。

宇宙の構成は、我々の世界を作っていると考えられている素粒子は数%に過ぎず、7割強を未知の「暗黒エネルギー」が、2割強をやはり未知の暗黒物質が占めているとみられている。

報道などによると、米ミネソタ大が運営する地下約700メートルにある施設CDMS2が暗黒物質の粒子を検出したという。17日ごろに「検出」を報告する論文を発表するという報道もあるが、研究チームはコメントを出していない。

この施設は、暗黒物質の粒子がぶつかってきたときに起きると予想されるわずかな温度上昇を極低温にした半導体で検出する。「検出」を示すには、まれにしか起きない反応を長期間観測する必要があるうえ、類似現象を確実に除外しなければならず、かなり難しいと考えられている。

暗黒物質は2007年、米航空宇宙局(NASA)のハッブル宇宙望遠鏡が、50億光年離れた銀河団に存在しているのを見つけたが、地上で

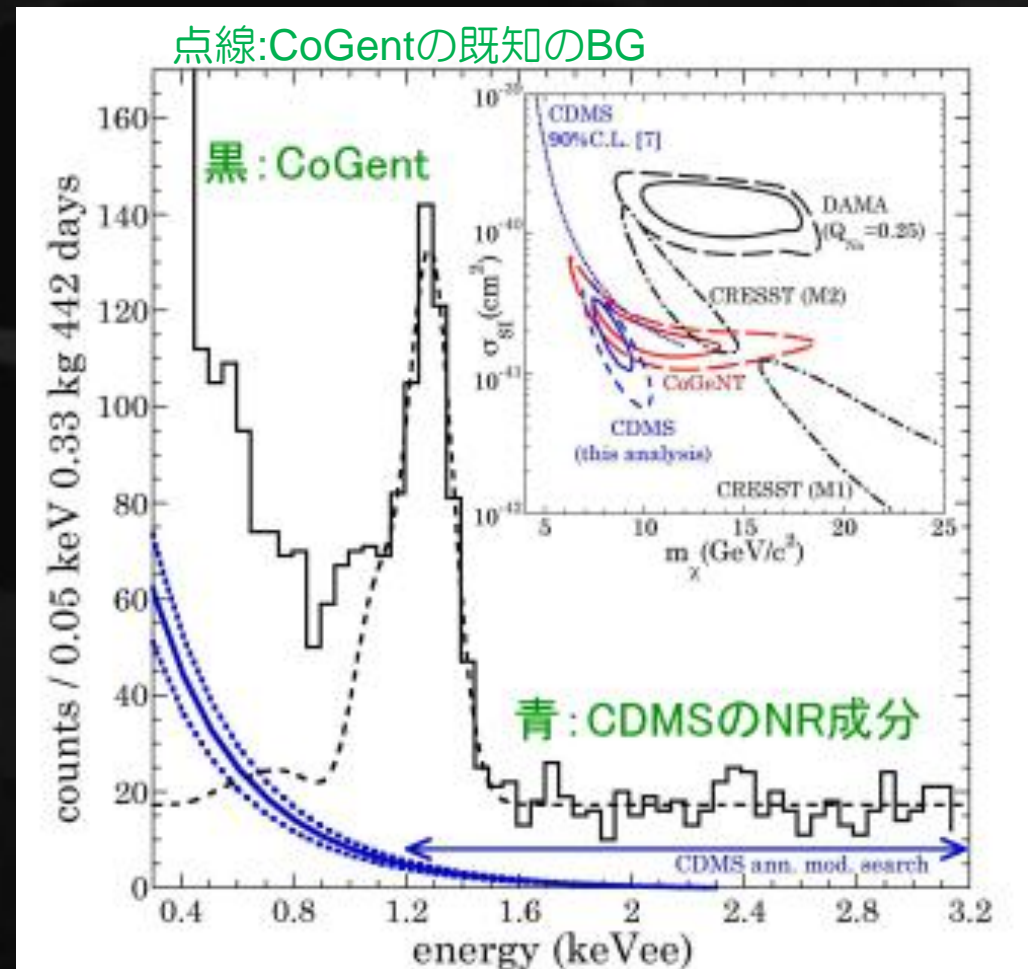


CDMSの2事象

◀ CoGent PRL 106, 131301 (2011)

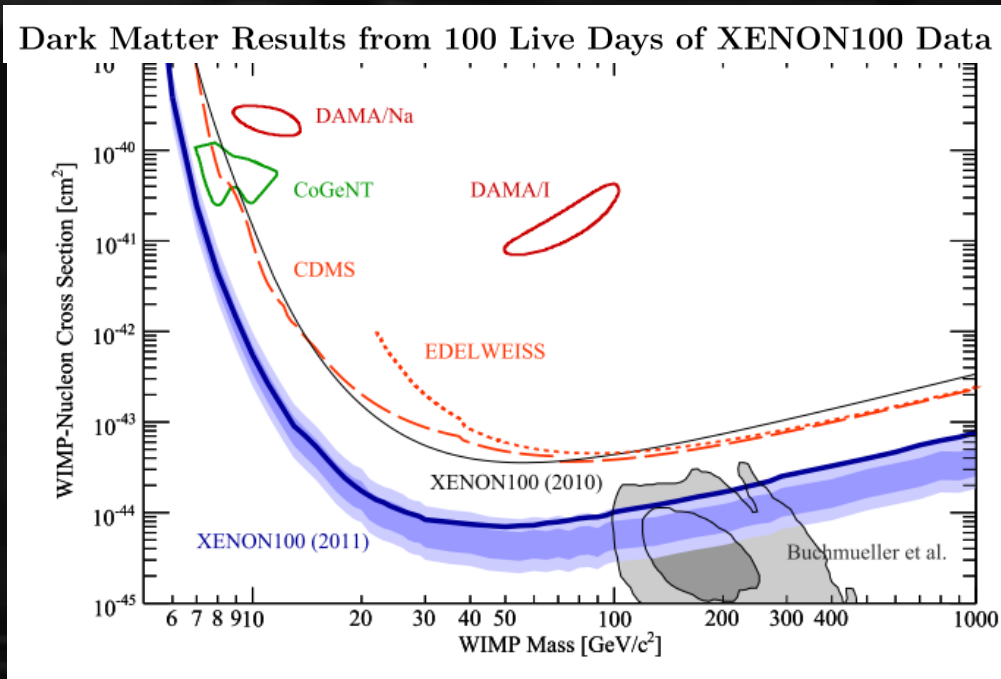
- 閾値の低い (0.4keV) Ge半導体検出器 (440g)
- 低エネルギースペクトルの立ち上がりを報告

- 10GeV付近を主張



戦いの歴史

- 1997～ DAMA : 「検出」を主張
- 2000～ CDMS等に否定される
- 2008年 LIBRAで再現!
- 2009年 CDMS 2事象
- 2010年～ その他の実験も (BGだろうが) 「**事象」を報告



世界の暗黒物質探索：今後は？日本は？

- 大質量の戦いに参戦：XMASS（東大+）
- 別の切り口で：NEWAGE（神戸大+）



← XMASS検出器

液体キセノン800kg
圧倒的な質量
2010年より稼働



ion Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

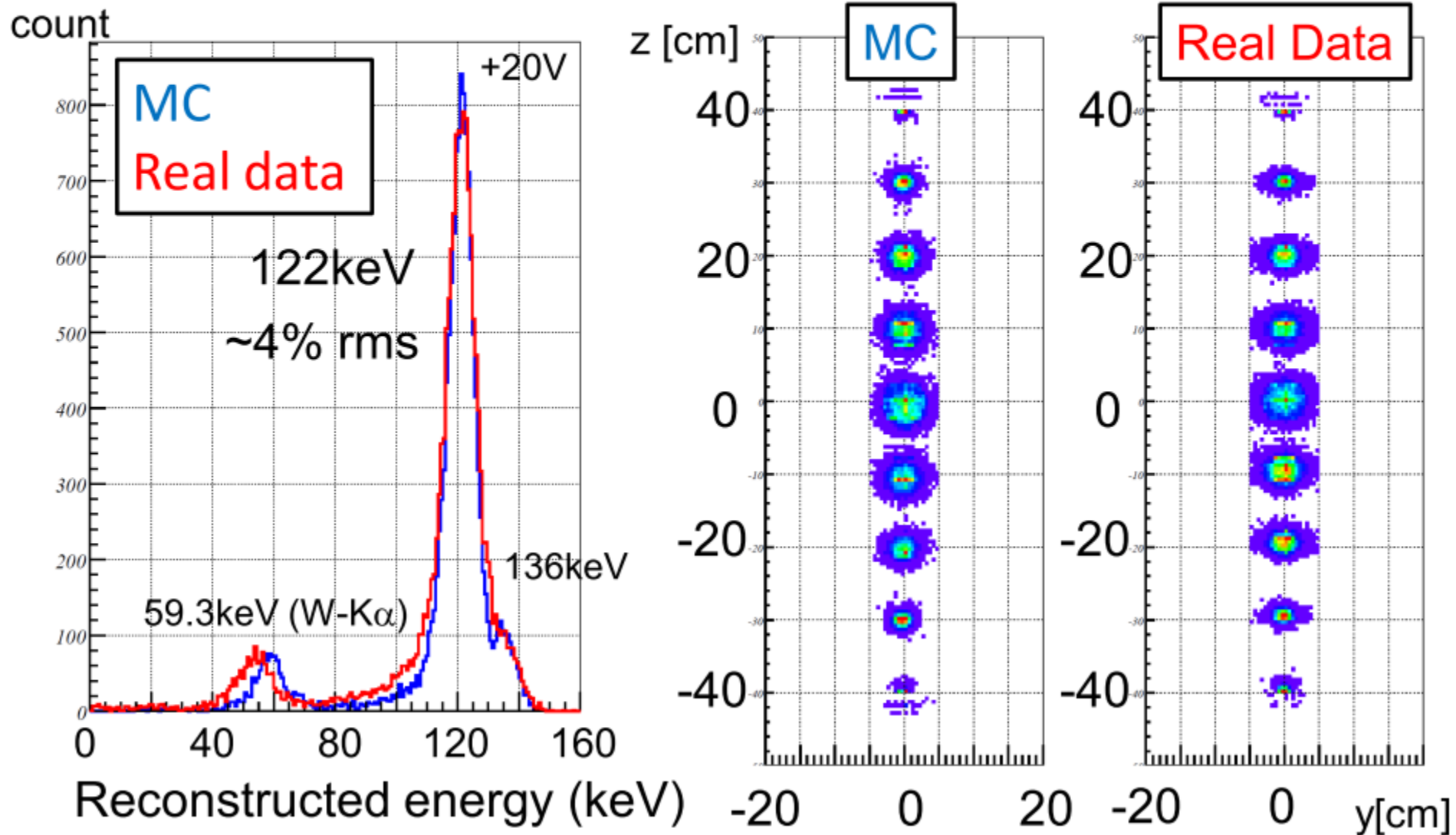
XMASS 800kg検出器のまとめ

- 2010年冬までに建設完了
- キセノン中クリプトン低減のための蒸留、液体キセノンの液化・ガス化を通じた純化作業を経てコミッショニングラン開始
- 検出器の高い能力を示した
 - 発光量はもくろみよりも大幅に高かった。
14.7p.e./keV。これは建設時のクリーン環境、純化作業等により達成された液体キセノンの透過率の良さのおかげ。Dark rateも低い。
 - 事象再構成の性能は、内部線源により確認された
 - 外部放射線による応答もほぼ期待通り
 - 内部バックグラウンドも目標に近い

ハイライト: Co57による校正データ

安部

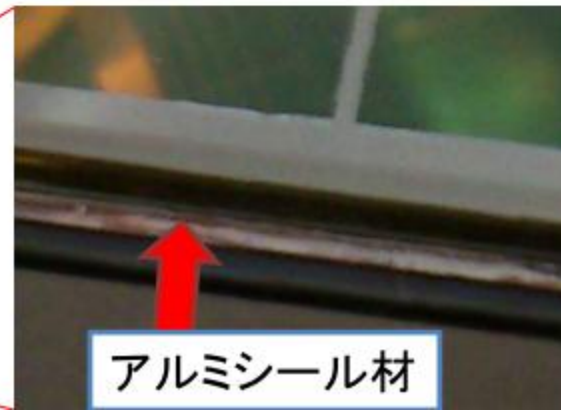
- 内部に挿入した γ 校正源による検出器の性能評価:
エネルギー分布と再構成vertex分布はMCで再現 森山2012春学会



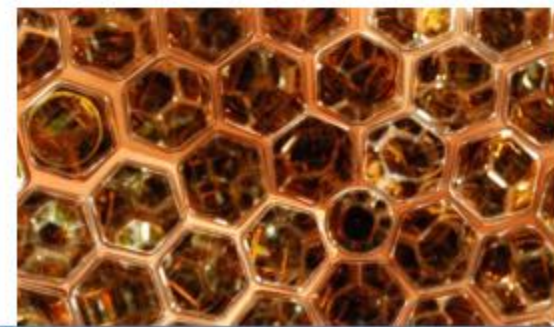
バックグラウンドの理解への努力

森山2012春学会

- 表面起源と思われるバックグラウンドが存在し、その理解に手間取った。
 - PMTの窓材とボディをシールするために用いられるアルミニウム材中のウラン、トリウム系不純物。
 - PMTホルダーに用いられている銅表面の鉛210より下流の付着
 - PMTとPMTホルダー間に使われているゴアテックス材。
 - 作業中に付着したその他の放射性不純物の可能性



アルミシール材



ホルダー表面、ゴアテックス

解析の現状

森山2012春学会

- これまで得られたデータを元に、暗黒物質探索を行う解析ツールの準備を進めてきた。
- **第一段階と言えるセレクションを適用した。**
 - 事象間時間 dT カット、 T_{rms} カット
 - PMT窓内で発生するチェレンコフ事象カット
 - 光電子数情報を基にした事象再構成によるfiducial volume cut (15cm)
 - ヒット時間情報を基にした壁近くで生じる事象の排除
- これらに加え、まだ十分に生かし切れていない光電子数の位置相関情報等を徹底的に絞り出すアルゴリズムの開発を行っている。

方向感度を持つ実験

PRL73(1994)1067



FIG. 2. A false color CCD image resulting from a ^{252}Cf neutron source. The colors black, blue, red, and white represent the order of increasing light intensity levels. The area displayed represents a 25 cm by 25 cm section of the detector plane. See the text for a description of image features.

博士課程の時に会った
「原子核の飛跡」

第四の情報：原子核飛跡

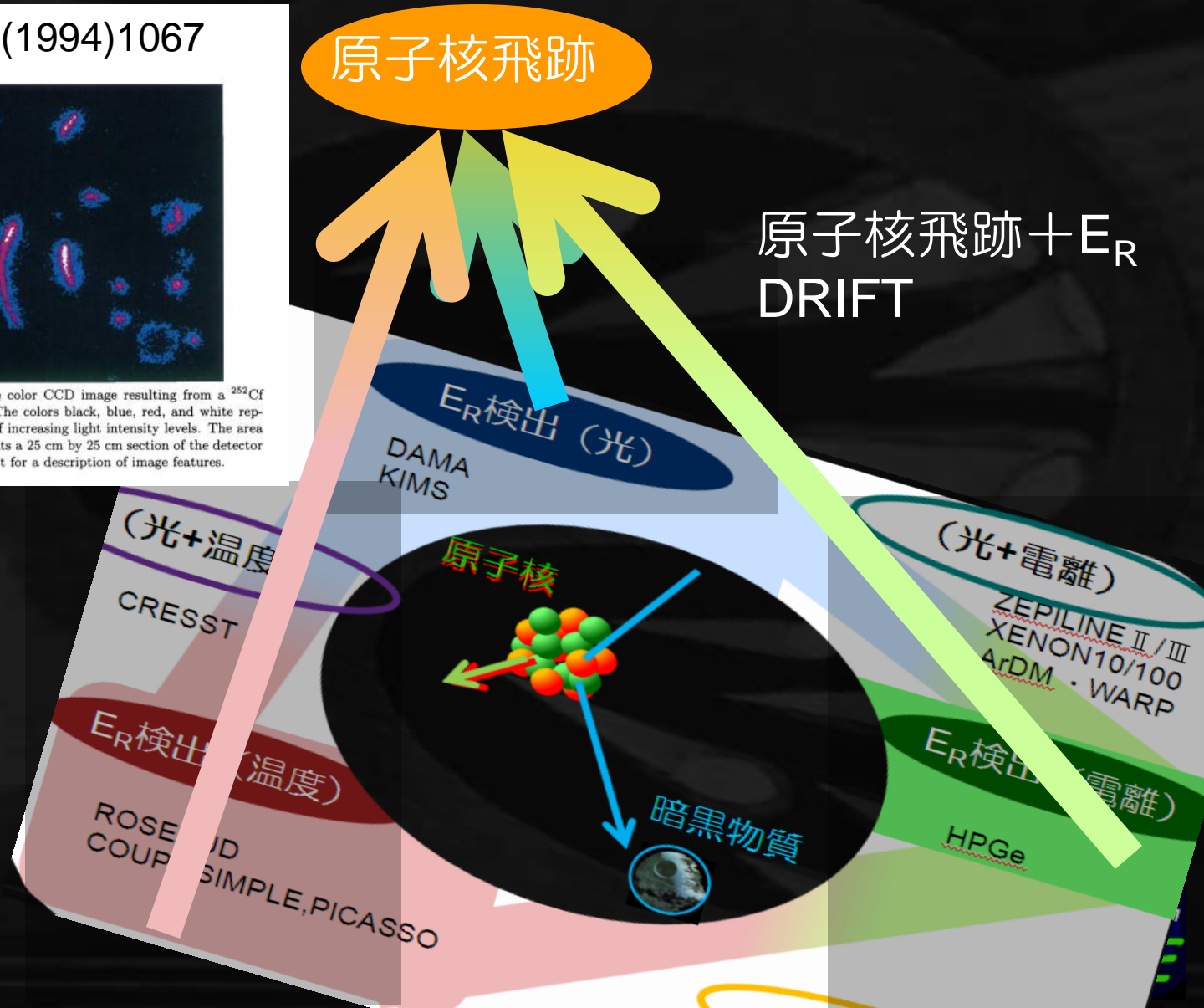
PRL73(1994)1067



FIG. 2. A false color CCD image resulting from a ^{252}Cf neutron source. The colors black, blue, red, and white represent the order of increasing light intensity levels. The area displayed represents a 25 cm by 25 cm section of the detector plane. See the text for a description of image features.

原子核飛跡

原子核飛跡 + E_R
DRIFT



「方向性」の重要性

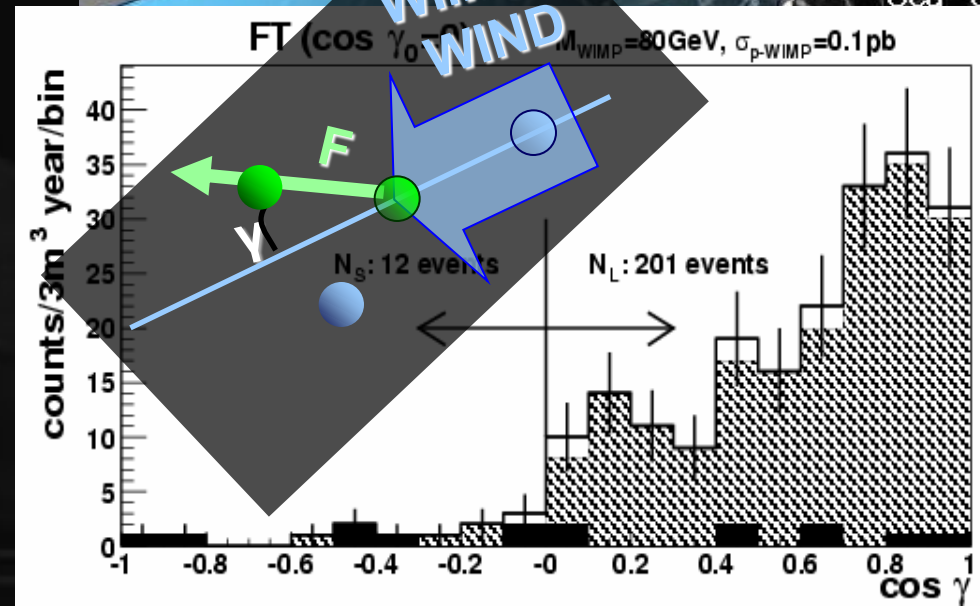
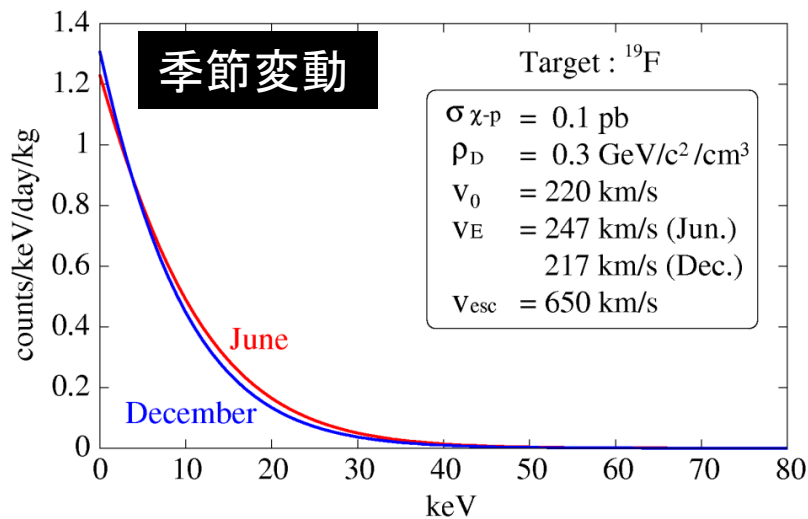


Sun
light

som
fysi
ma
R
for
fy
.
f

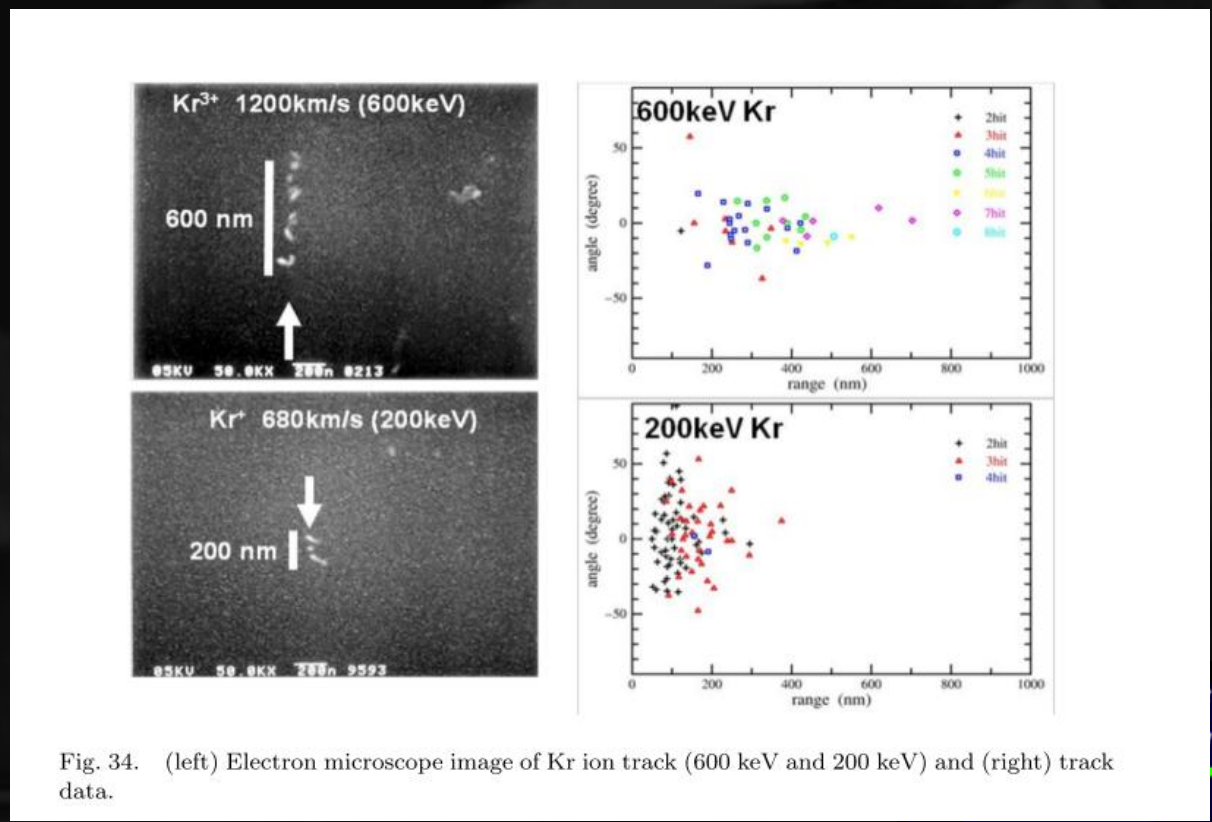
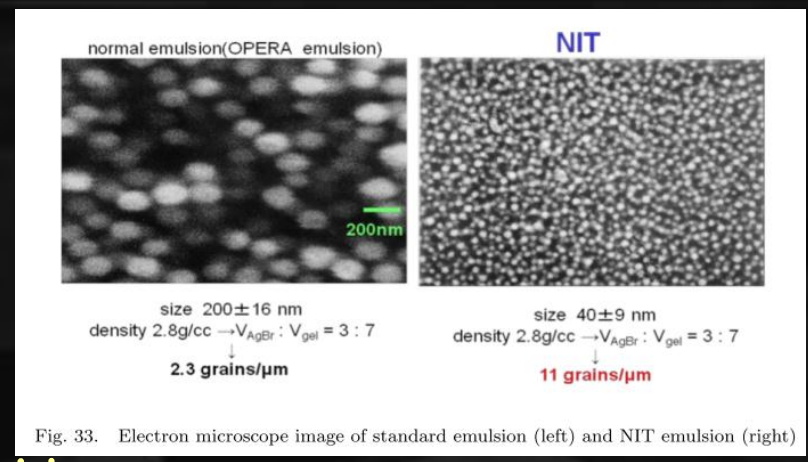
飛跡検出のメリット

- 季節変動(5%以下)と比較して確実な証拠となる
(前後の非対称度は最大で10倍。)
- 検出の後には暗黒物質の性質解明



◆ NIT (名大)

- エマルジョン
- 大質量◎
- 即時性 ×
- 角度分解能、エネルギー閾値△



NEWAGE

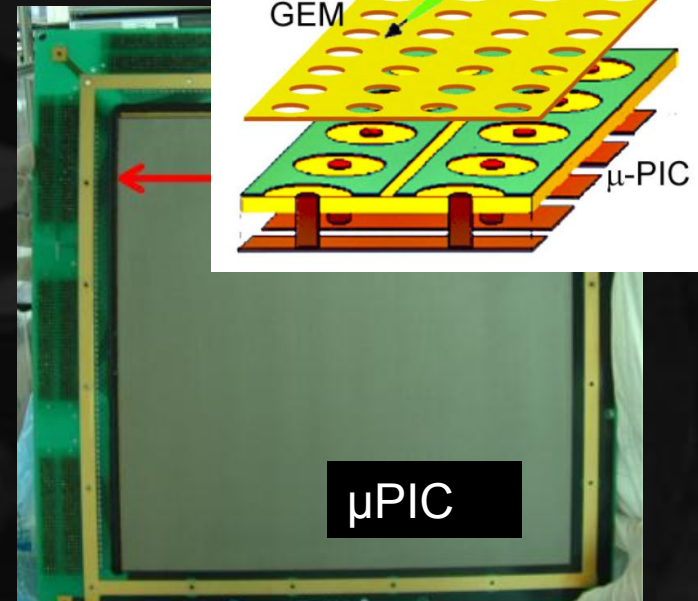
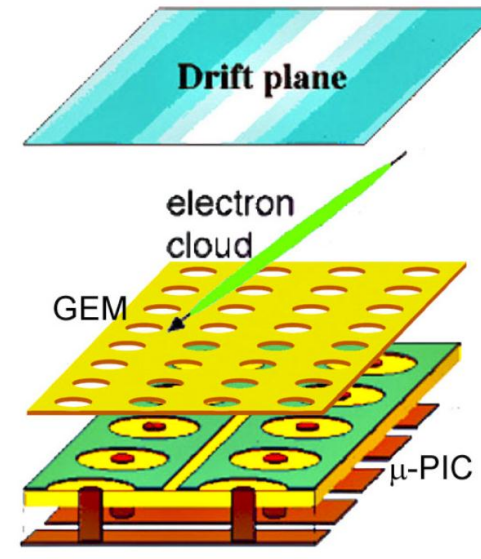
最新結果	Physics Letters B 686 (2010) 11
地上実験	Physics Letters B 654 (2007) 58
実験提唱	Physics Letters B 578 (2004) 241

NEWAGE

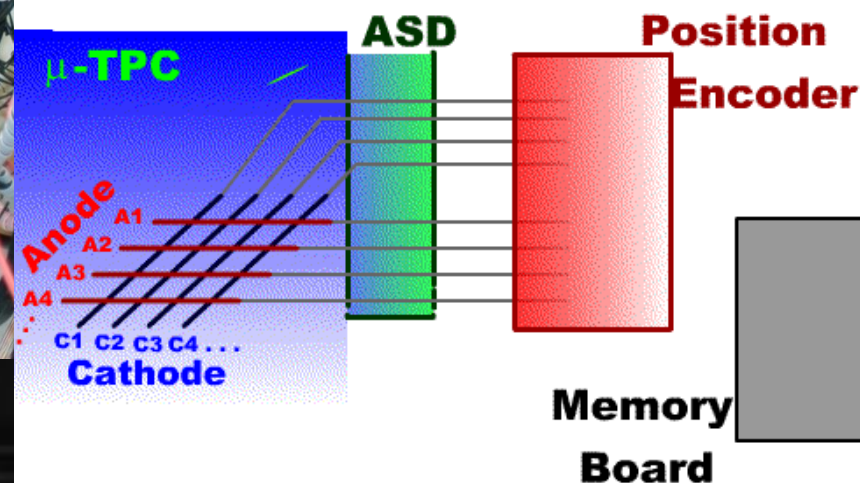
- 実用的なサイズのMPGD ◎
- 初の制限◎
- ガス循環システム ○
- 原子核の前後判定 △
- バックグラウンドレベル△

そしてNEWAGE

- 京大で開発した「 μ PIC」検出器
- 30cm角検出器で地下実験中
- CF₄ ガス SD探索



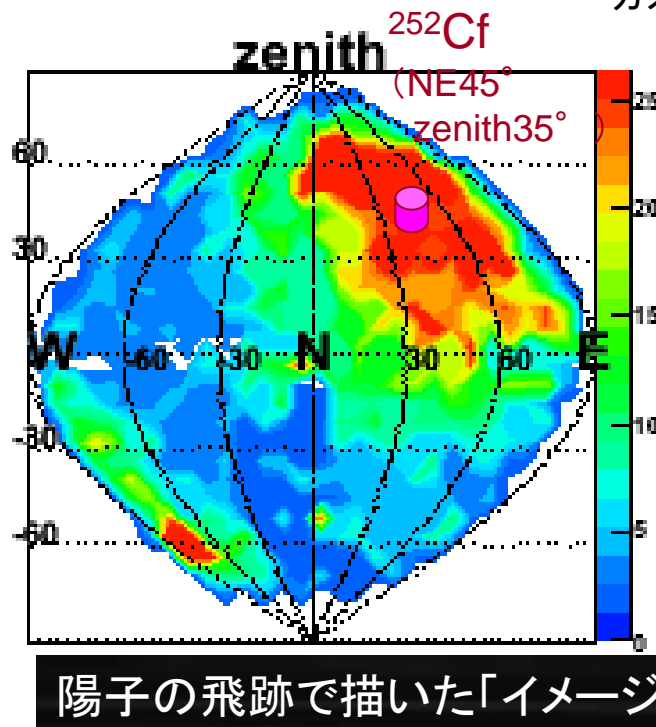
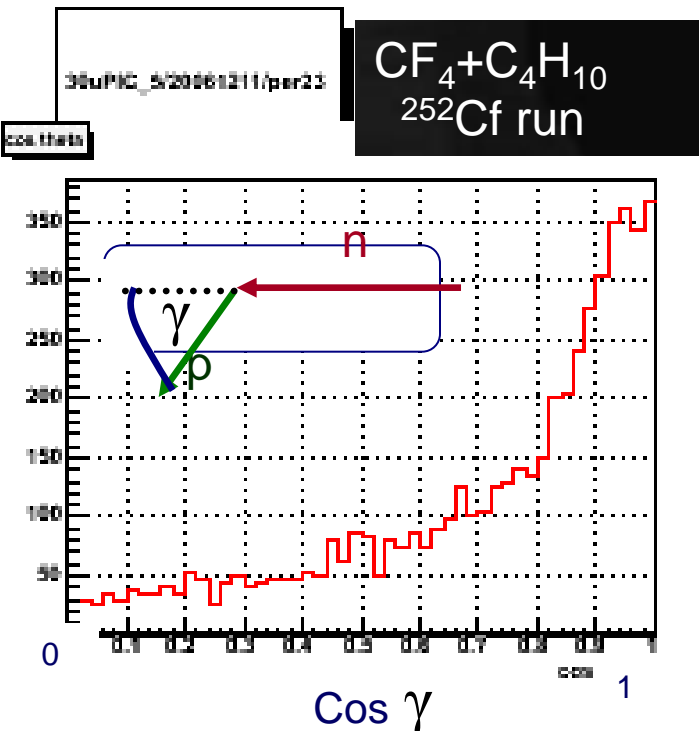
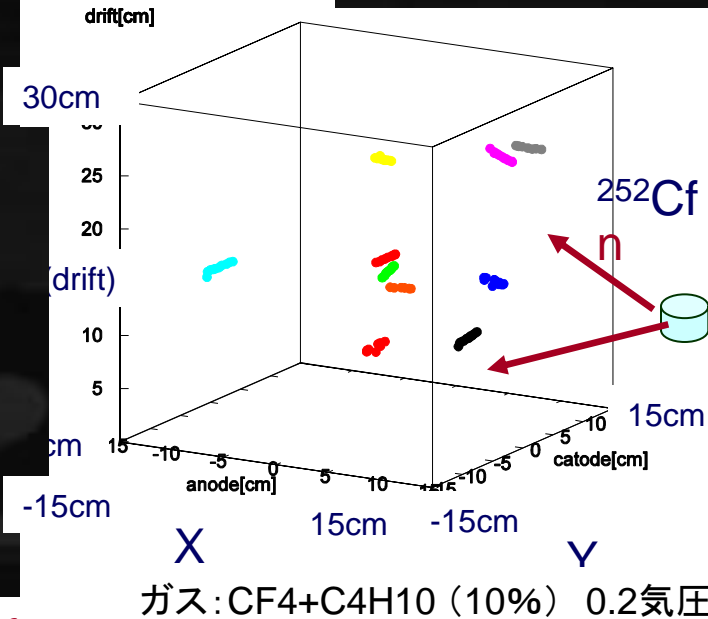
検出器
NEWAGE-0.3a



飛跡検出、イメージング

- 中性子に反跳された陽子を検出
- 前方に散乱される様子が見えている
- WIMP → フッ素の反跳で見たい現象をエミュレート

陽子飛跡の例

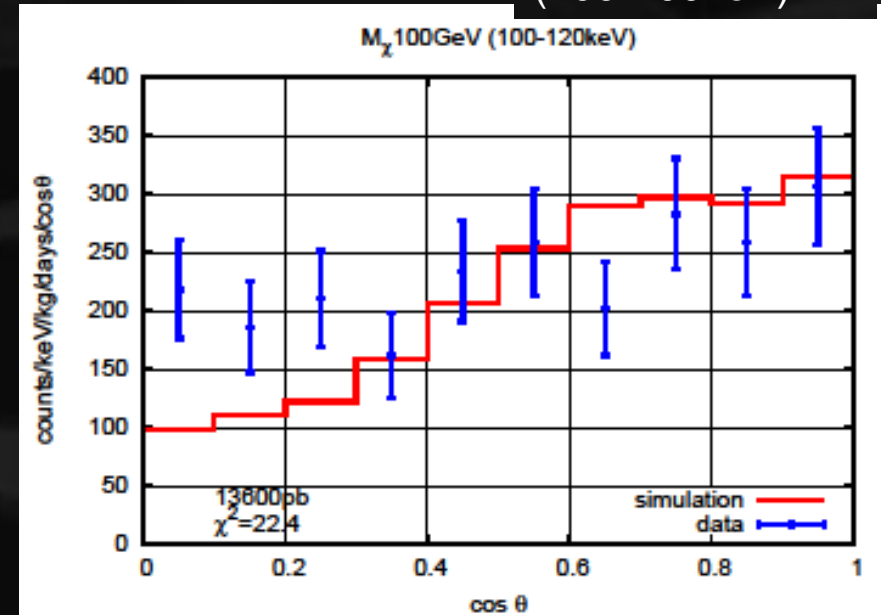
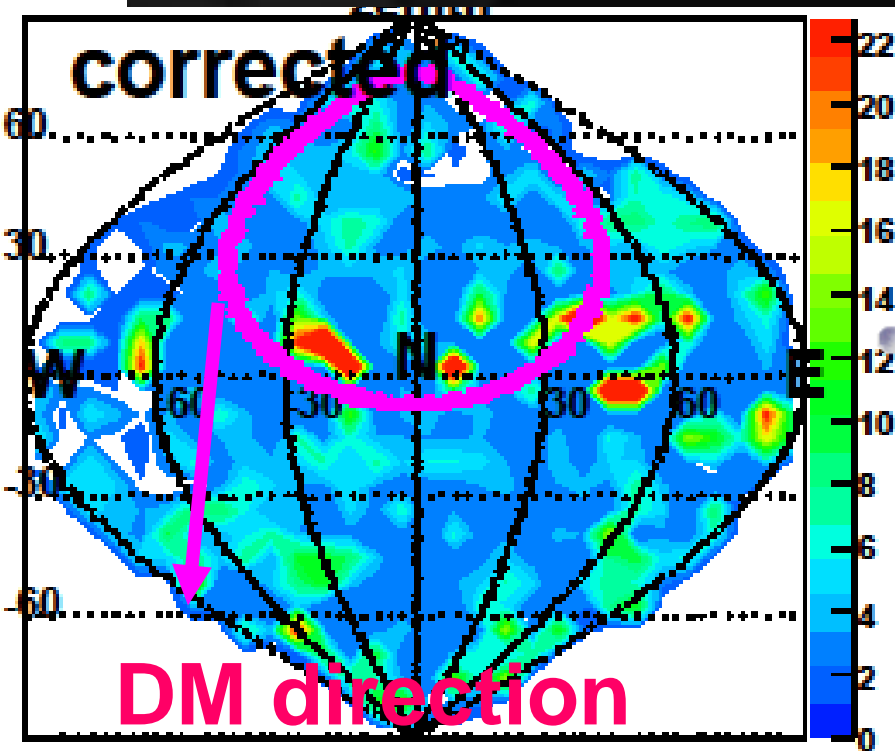


地上(京大)でのDM探索実験

- 原子核飛跡を用いた手法では初めて
- 2006 年測定
- exposure 0.15 kg days

Cosθ 分布
(100-400keV)

C、Fの原子核で描いた「スカイマップ」
(100-400keV)



結果

- DMの信号は χ^2 テストで排除
- 方向に感度をもった初の制限

● 地下実験結果 (2008年)

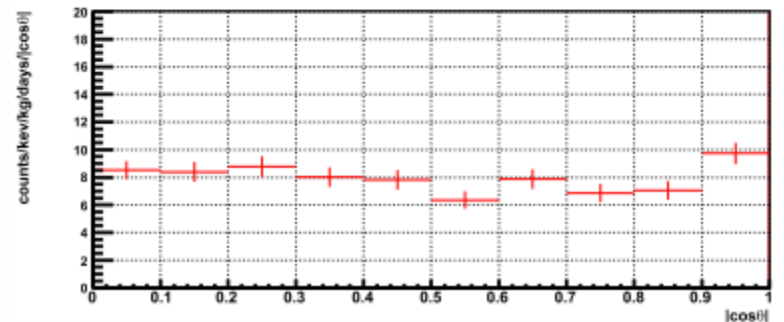
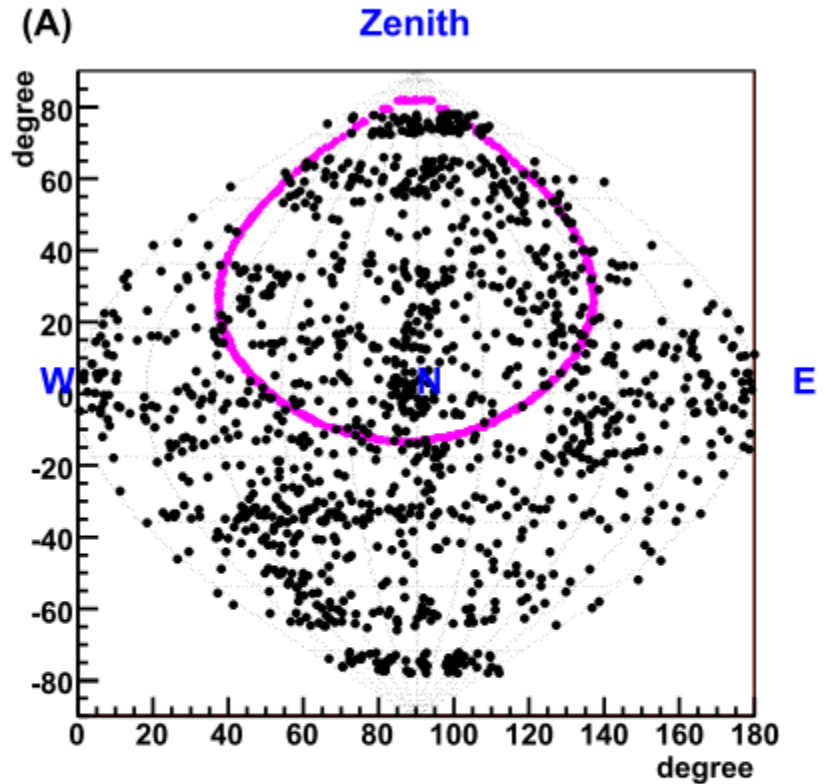
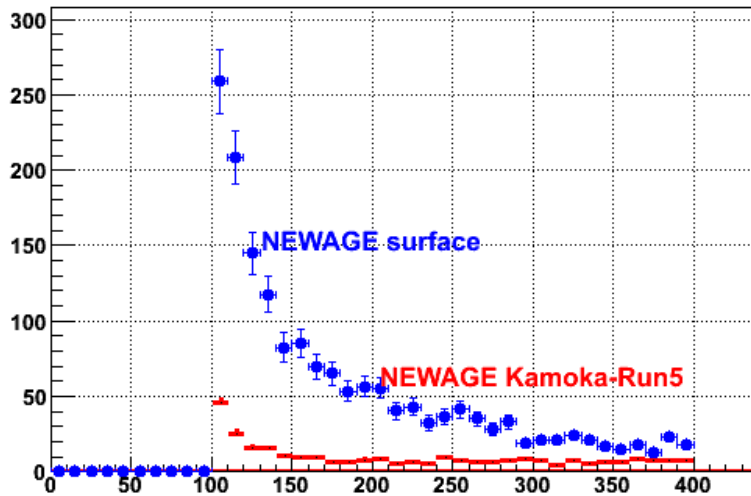
● 観測0.524 kg・days

● スペクトル

地上の1/5 程度：新たなBG

● スカイマップ

フラットな $\cos\theta$ 分布



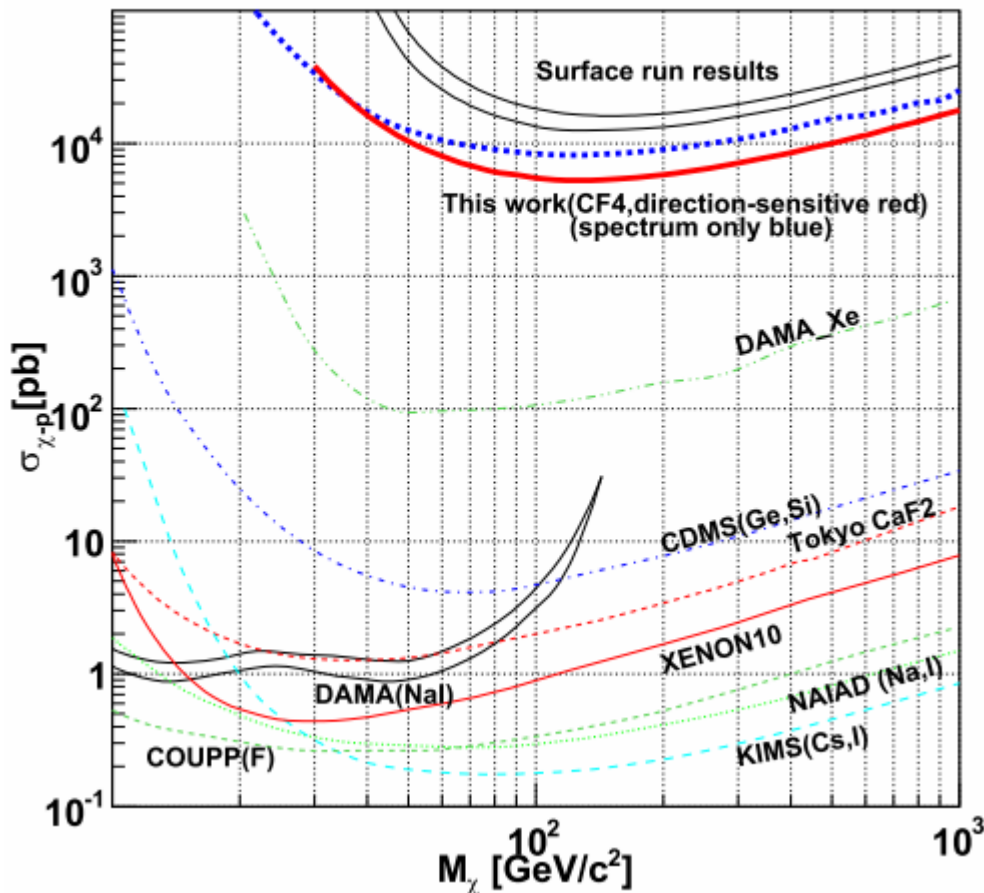
● 地下実験 first results

● 5400pb for 150GeV

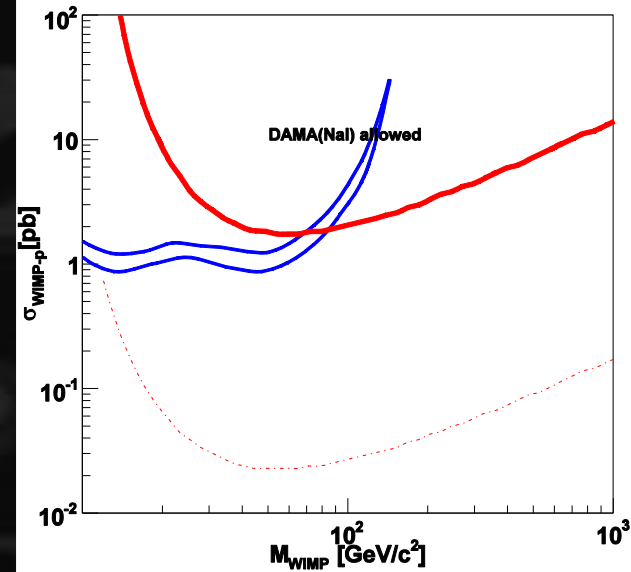
● まだまだに見えるが、、、

BGを1/10に低減
0.1m³年 の観測
すれば、

SD 90% C.L. upper limits and allowed region



SD 90% C.L. upper limits



夏の国際会議に向けて解析中



結論

$0\nu\beta\beta$ は未検出
アクシオンは未検出
暗黒物質は未発見

感度が理論に到達しつつある。
正規軍からの殴り込み 期待しています。