

NEWAGE 実験

(New generation WIMP search with an advanced gaseous tracking device)

~ 方向に感度を持つ検出器での

暗黒物質探索実験 ~

京都大学大学院理学研究科

● 身内賢太郎 ●

with

実働部隊：竹田敦 (~2004年10月)、関谷洋之 (2004年10月 ~)

μ -PIC開発グループ：谷森達、窪秀利、

永吉勉、折戸玲子、高田淳史、

2005年 1月 6、7日

宇宙線将来計画シンポジウム 岡田葉子、西村広展、服部香里



はじめに：暗黒物質（DM）探索実験

● 将来のDM探索実験への要請（詳細は森山氏発表）

● 現状：WMAP DMの存在は定量的に直接検出を！

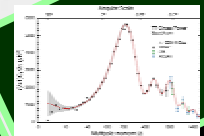
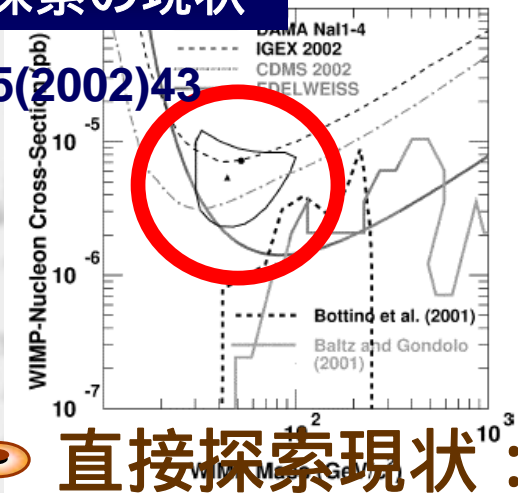
NASA/WMAP Science Team



CDMは23%

直接探索の現状

PLB545(2002)43



● 直接探索現状：DAMA（季節変動によってDM検出を主張）
vs CDMS, EDELWEISS

（DAMAを否定したが、小質量のため季節変動の検出は困難）

高感度・高確度実験による発見、性質解明

● 将来（10年以内に開始）実験への要請：

大質量検出器・方向に感度を持つ検出器



目的 (1/2) : 「お題目」的目的

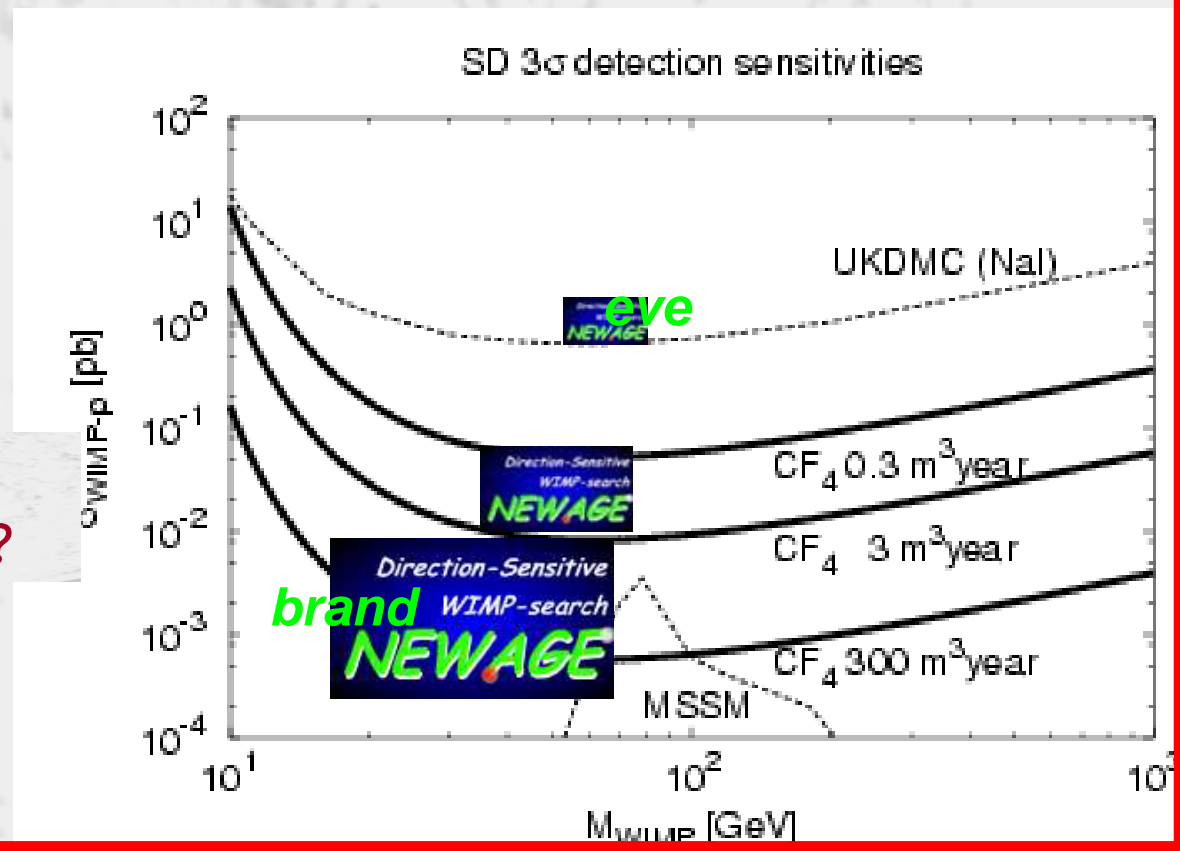
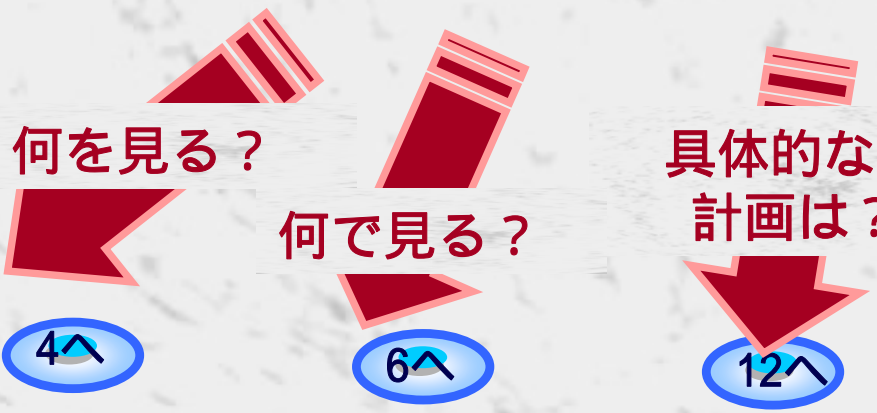
2

- 暗黒物質探索実験の新手法確立
(“ NEWAGE eve ” : ~2006) (科研費若手A+東レ助成金 2004~2006)
 - 大型ガス飛跡検出器の開発・地下測定開始
- 暗黒物質探索実験 (“ NEWAGE ” : 2006~)
 - 既存実験の制限を越える
- 暗黒物質発見 ニュートラリーノ天文学へ
(“ brand NEWAGE ” : 2010~)
 - SUSY領域の探索

目的 (2/2) : 手段と目的

- NEWAGE eve : 30cmクラスのTPC (O (g))
 - 制限曲線を引く
- NEWAGE : 1m³ TPC (O (100g))
 - SD クロスセクションについて0.1~0.01pb程度を探索
- brand NEWAGE : 1m³ TPC x 50 (O (kg))
 - SUSY領域の探索

補1^



DMの風 (1/2) :

方向に感度のある検出器で捉えるもの

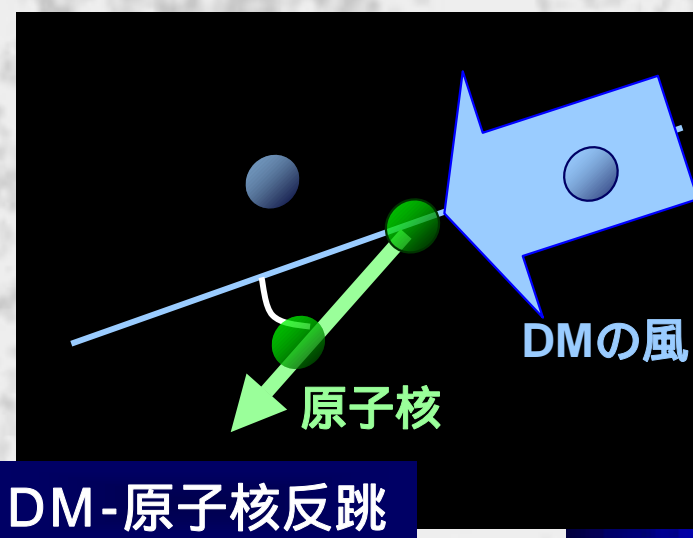
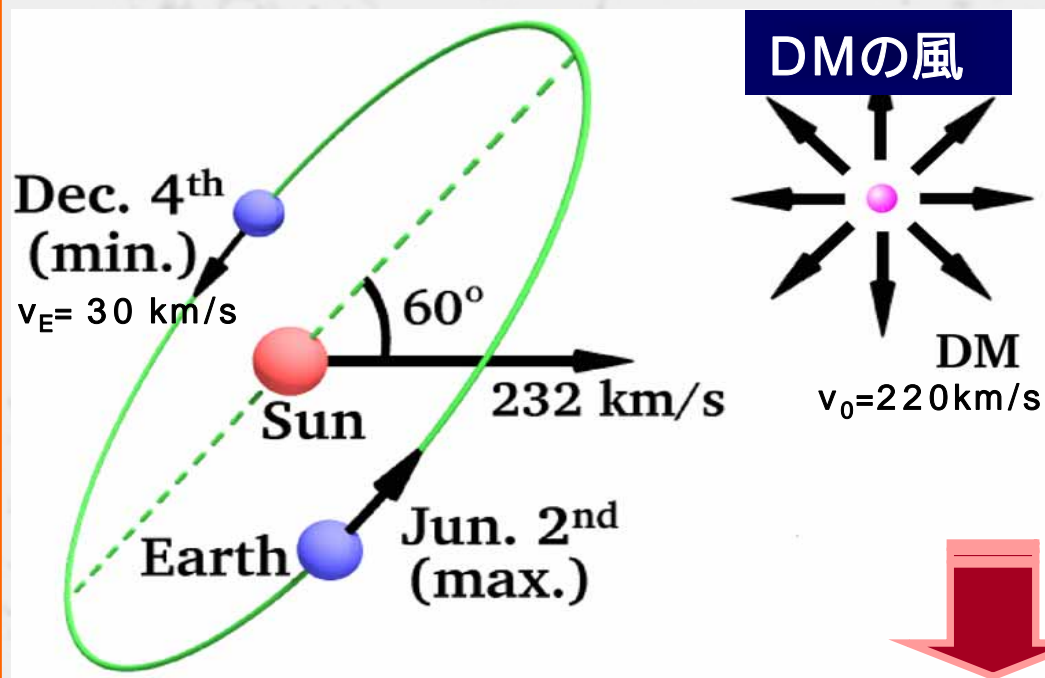
地球で感じるDMの風

- 太陽系とDMの相対運動が“風”となる

- DM - 原子核の弾性散乱

- 前方散乱が多い

原子核の飛跡 (低圧ガス中で数mm) を捉える



DMの風 (2/2) : 方向を捉えるメリット 5

● 季節変動と方向測定

● 季節変動 (DAMA) : 夏と冬の計数率の違い

(直感的には $230 \pm 30 \text{ km/s}$ を捉えることに相当)

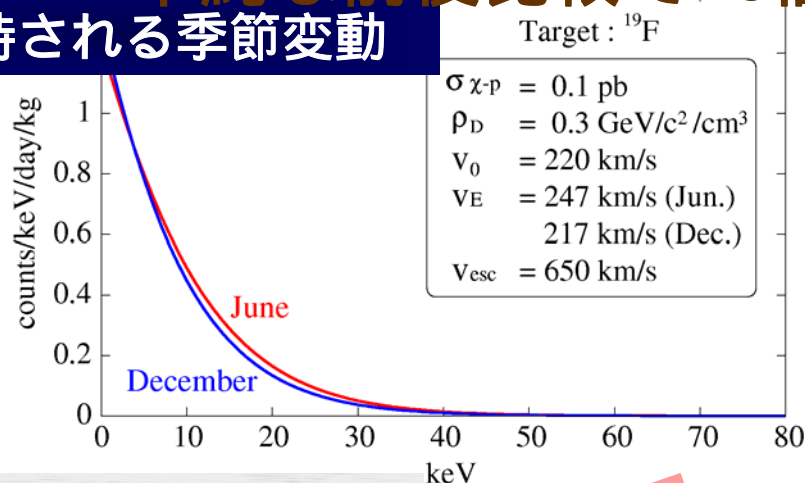
数年間の安定動作が必要 計数率の差は数% (図の赤と青)

● 方向測定 (NEWAGE・DRIFT) : 風向きに対する散乱角

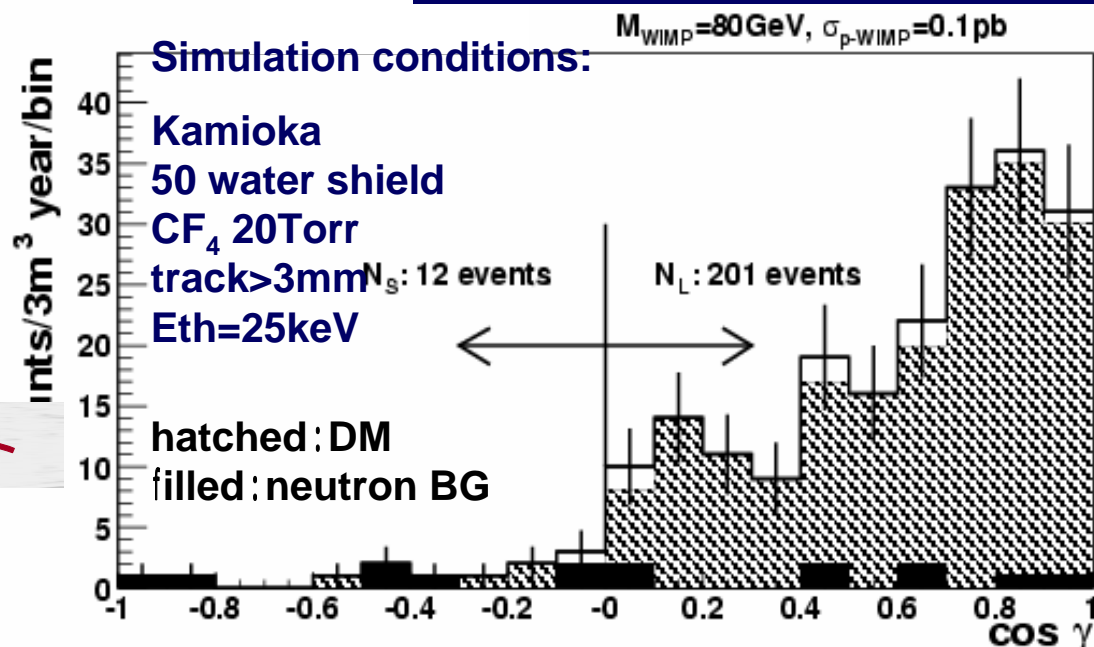
(直感的には $230 \pm 220 \text{ km/s}$ を捉えることに相当)

単純な前後比較で10倍の差

期待される季節変動



期待される原子核散乱角分布



原子核散乱の捉え方

もっとメリット

2025年 6月 6、7日 身内賢太郎

宇宙線将来計画シンポジウム

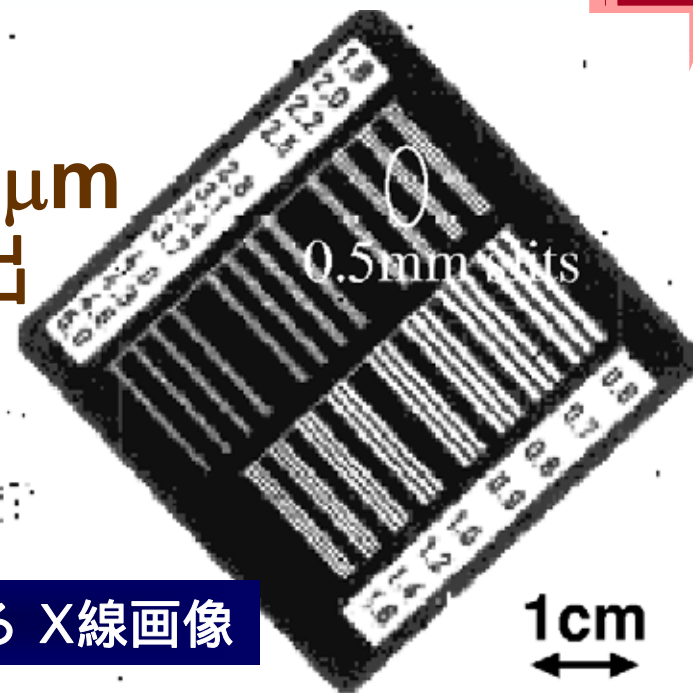
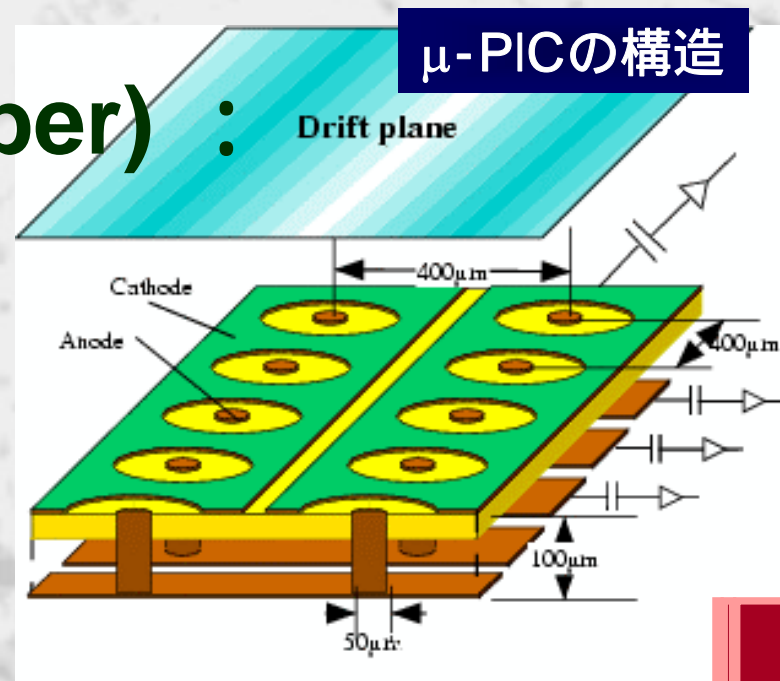
6

10

検出器 (1/4) : 二次元画像装置 “ μ -PIC ”

6

- μ -PIC (Micro Pixel Chamber) : 二次元ガス比例計数管
- DM探索への利点
 - 放電に強い
長期安定動作
 - 三次元の構造を持たない
頑丈、安定動作
 - 400 μ mピッチ、位置分解能120 μ m
短い飛跡 (3mm程度) の検出
 - プリント基板の技術での製作
安価に均一・大面積



検出器 (2/4) : “ マイクロTPC ”

- マイクロTPC :
μ-PICで読み出すTime Projection Chamber

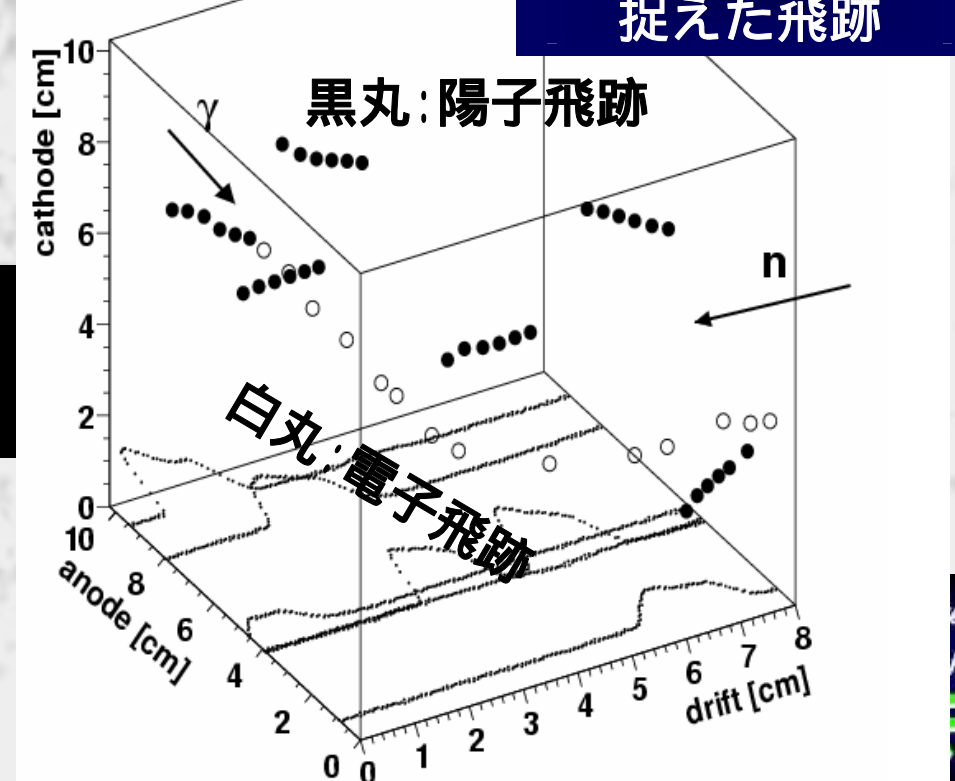
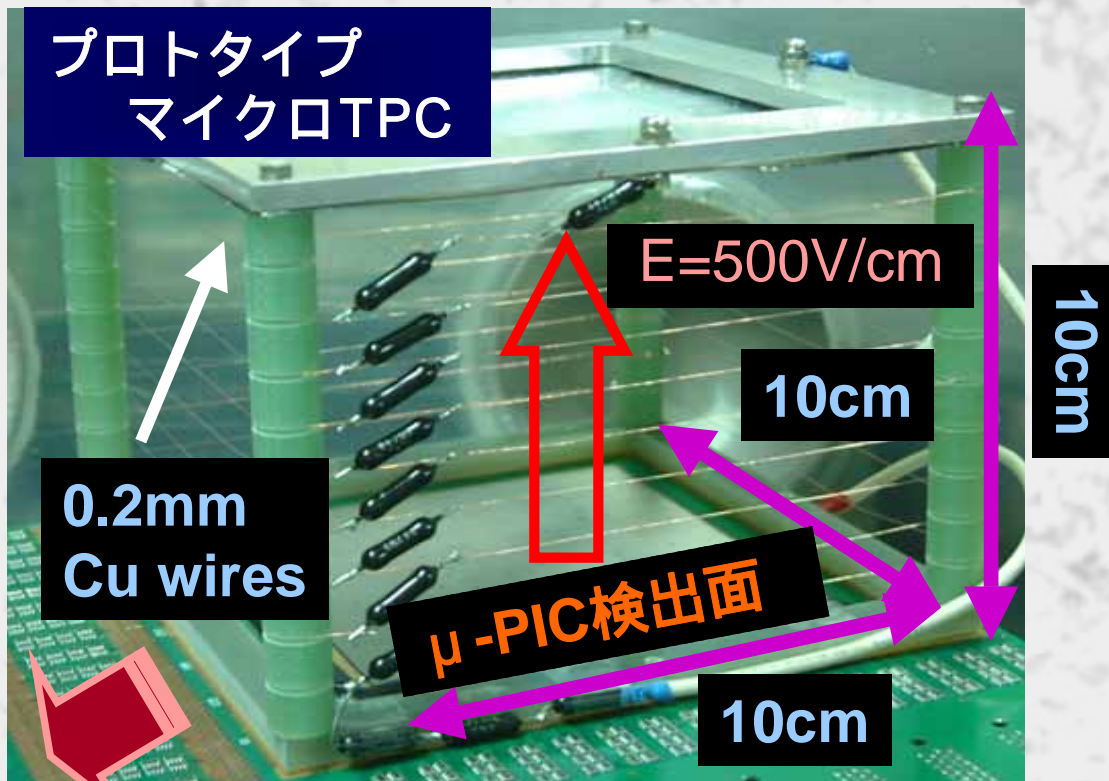
- DM探索への利点

 - 詳細な三次元飛跡

 - 原子核反跳方向の正確な測定

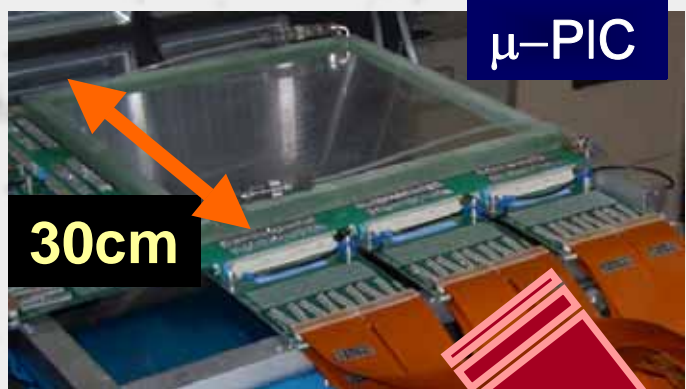
 - ガンマ線バックグラウンド除去

マイクロTPCで
捉えた飛跡



検出器 (3/4) : 読み出し回路

- 1024ch対応の回路が動作中
- デジタルベースの飛跡記録回路
スケールアップに対応



μ-PIC

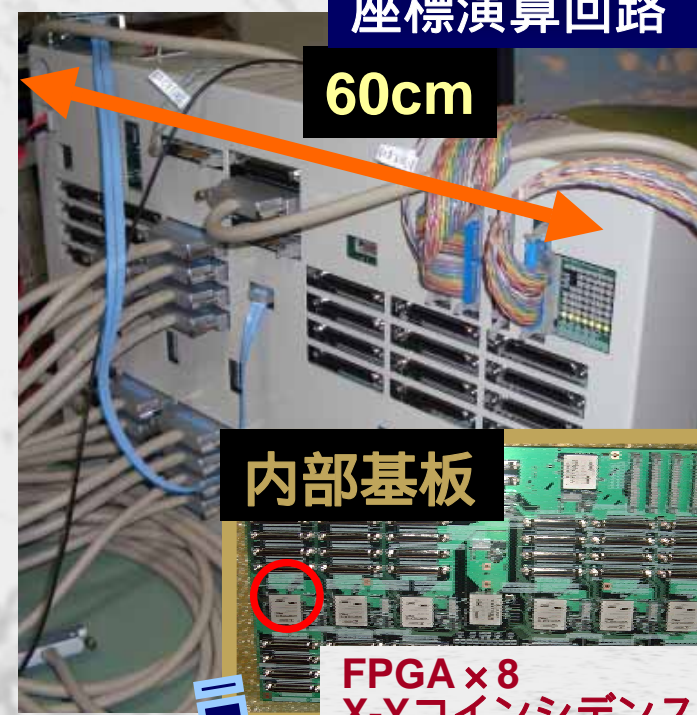
30cm

アナログ
1536ch

シェーパー・
ディスクリ

- ASD chip
- 4ch / chip

デジタル
1536ch



座標演算回路

60cm

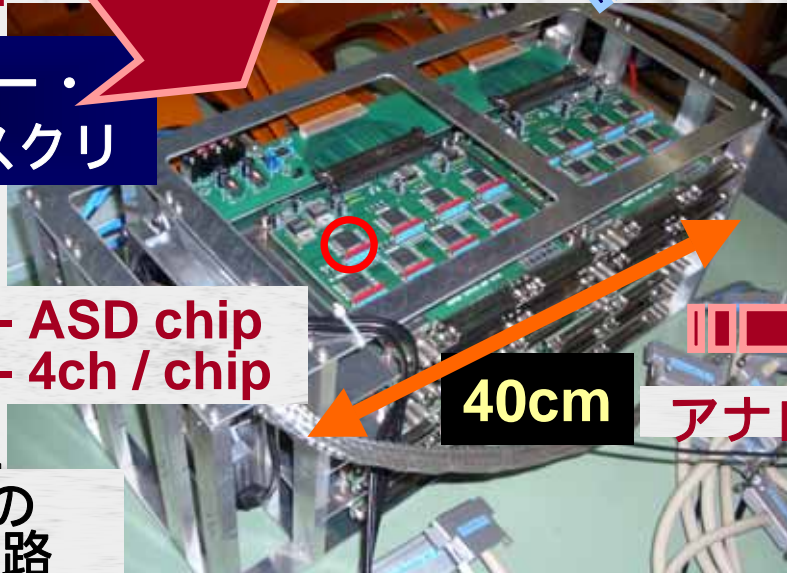
内部基板

FPGA × 8
X-Yコインシデンス
@100MHz

デジタル飛跡点情報
(64bit / 点)

メモリーボード
FADC VME

アナログSUM



40cm

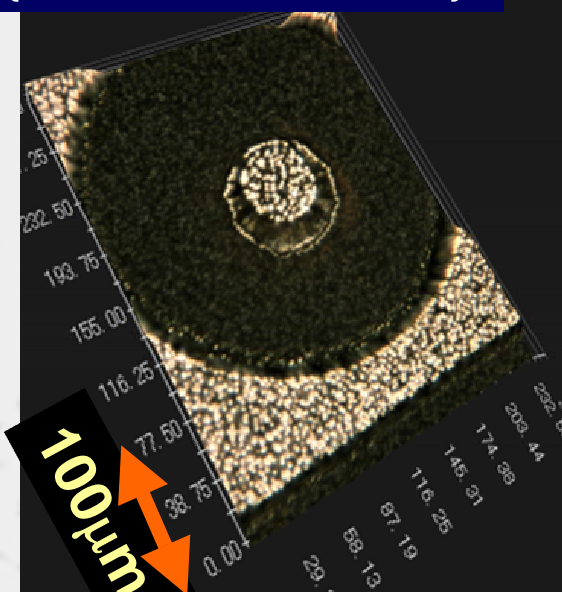
写真は現在調整中の
30cm μ-PIC用回路



検出器（4/4）：開発の現状

- 30cmマイクロTPCの立ち上げ中：
 - 高田（for MeVガンマ検出器）が主となって
 - 30cm角 μ -PIC：納品済 まもなく first light
 - 30cm角マイクロTPC：真空容器、ドリフトケージは完成
 - 読み出し回路：演算回路完成 FPGAソフトのdebug中

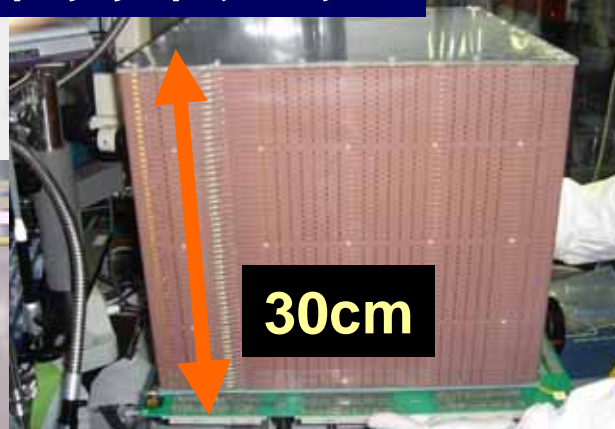
μ -PIC
(三次元立体顕微鏡写真)



μ -PIC

30cm

ドリフトケージ



30cm

真空容器



160cm

他実験との比較 (1/2) : XMASS

● 「相補的」な実験

● XMASS : 大質量による高感度化

- ・ 発見のためには季節変動に拠らざるを得ない

● NEWAGE : 方向測定による高確度化

- ・ 高確度の発見から「DM天文学」へ

● 「ガスは質量無いからだめじゃん」には 「方向情報は大雑把に言って統計 3 桁に匹敵」

● 3 で検出 : 季節変動 5% ~10000発必要

前後比較10倍 ~10発で。

検出感度 : XMASS 1t NEWAGE 1kg

● 実験スペースもreasonable

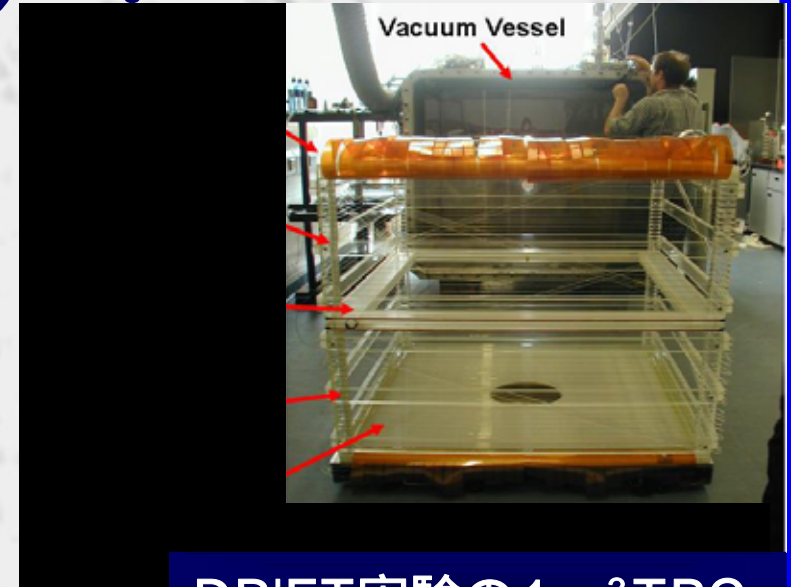
● XMASS : 液体キセノン1tの安全バッファ ~ 170m³

● NEWAGE : CF₄ ガス (30 torr) F 1kg ~ 7.5m³

他実験との比較 (2/2) : DRIFT 11

● DRIFT実験 (英) の現状

- R&Dを10年以上行っている
- 1m³検出器を地下で一年以上稼動
 - ・ 大型MWPC故の問題
 - ・ 未知のバックグラウンド
- 2mmピッチのMWPC
- 飛跡は二次元のみ



DRIFT実験の1m³TPC

● NEWAGE

- 30cm角検出器が完成
 - モザイク状配置で1m³クラス検出器が製作可能
- 400mmピッチ
 - 同じガスに対してエネルギー閾値を下げられる
- 三次元飛跡を実際に検出済
 - 真の方向情報を得られる

計画 (1/4) ²₃ 有言実行のためのロードマップ

- 秋の学会からも大きなDIFF。

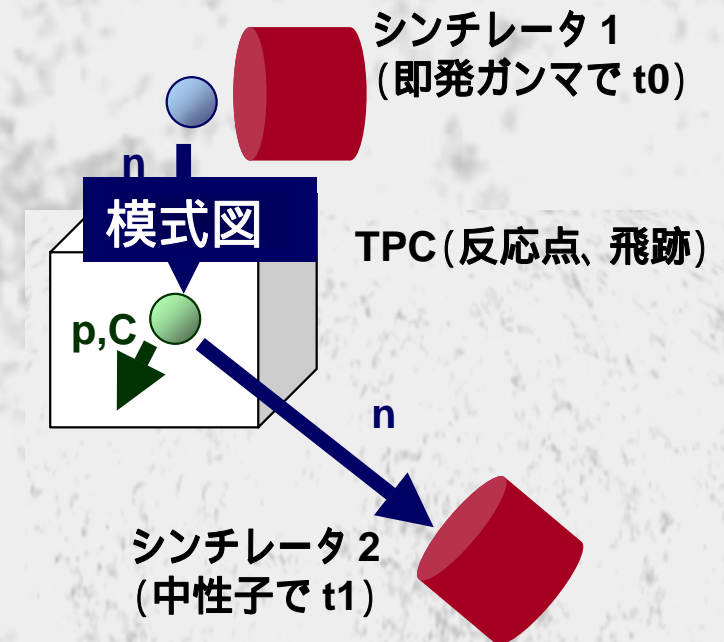
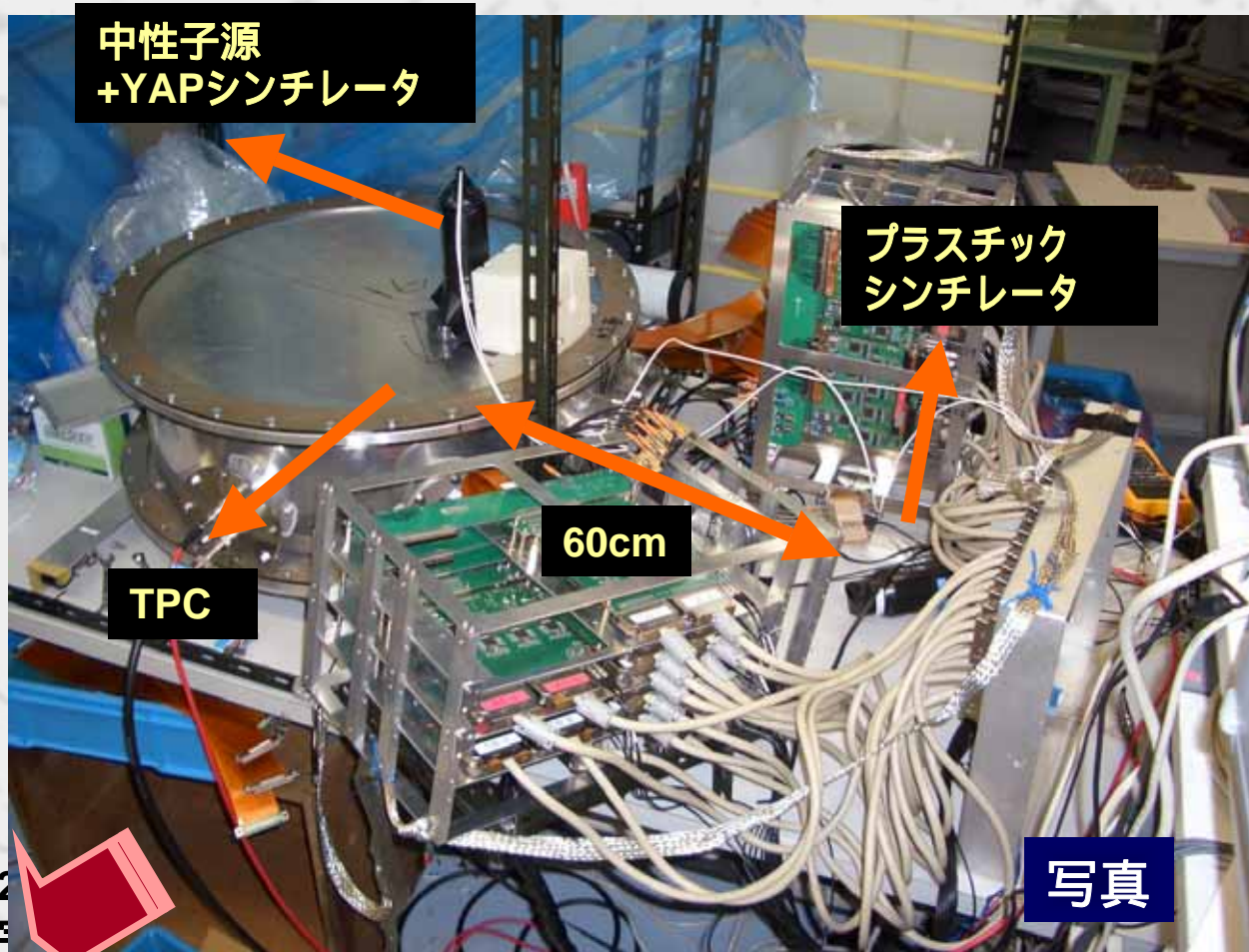
	2004年9月学会	2005年1月	2005年秋	目標 (2007年3月)
μ TPC開発	10cm完成	30cm立上中	30cm完成	2モジュール以上
低圧安定性	0.5atmで安定		0.05atmで安定	同左
飛跡検出	竹田公演	C 300keV (8mm)	F 40keV (3mm)	同左
エネルギー校正	電離量で取得	実験中 ¹³	中性子TOFで確認	同左
検出効率	未測定		電子拡散測定 &直接測定	30cm driftで 100%に近い値
除去	95%以上(1atm)	0.5atmでも確認	再測定	1e3
読み出し回路	10cm用完成	30cm用調整中	30cm用完成	多モジュールへ
中性子 シミュレーション	荒い見積り (GEANT4)	手計算による見 積り ¹⁴	GEANT4 / FLUKA	実測と比較
実験	地上実験	エネルギー校正 実験中	地下に移設 中性子測定を開始	DM測定を開始

2005年 1月 6、7日 身内賢太郎
宇宙線将来計画シンポジウム

計画 (2/4) : 最近の実験から (関谷中心)

13

- 現状 : 電荷によるエネルギー測定
+ 飛跡長によるエネルギー校正
= ガンマ線BGの除去、エネルギー分解能向上
- 中性子のTOFから原子核に与えられたエネルギーを求める

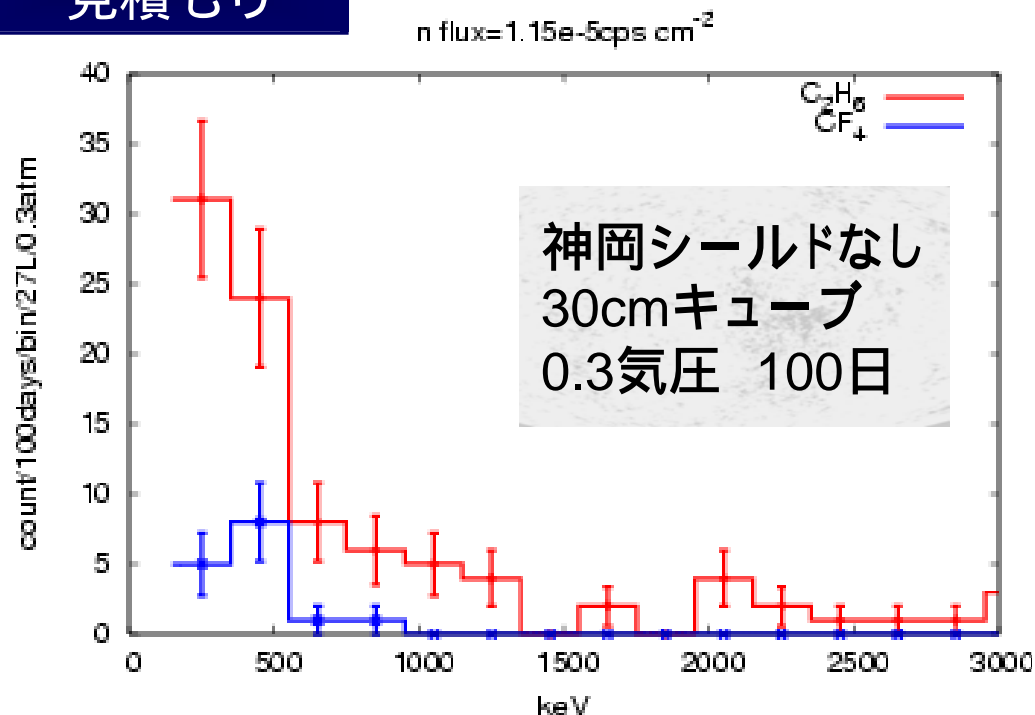


$$\begin{aligned} \text{TOF} &= t_1 - t_0 \\ &= 60 \text{ ns (} E_n = 500 \text{ keV)} \\ &= 40 \text{ ns (} E_n = 1.2 \text{ MeV)} \end{aligned}$$

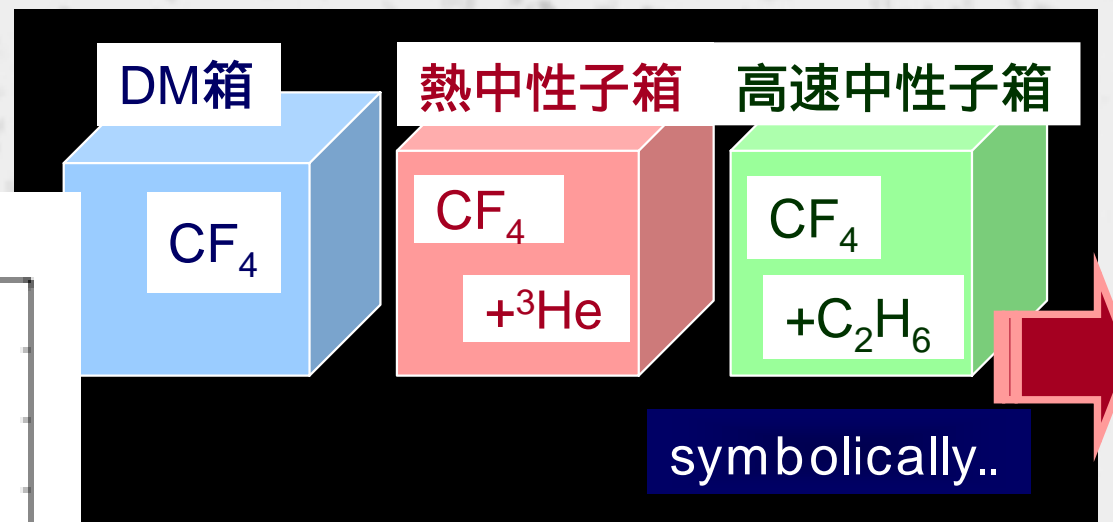
計画 (3/4) : 最近の研究から

- 中性子BGはDM探索にとって究極の敵
(ガスTPCではガンマBGは除去可能)
- ガスの種類を換えたモジュールで中性子BGをモニタ可能

中性子測定の見積もり



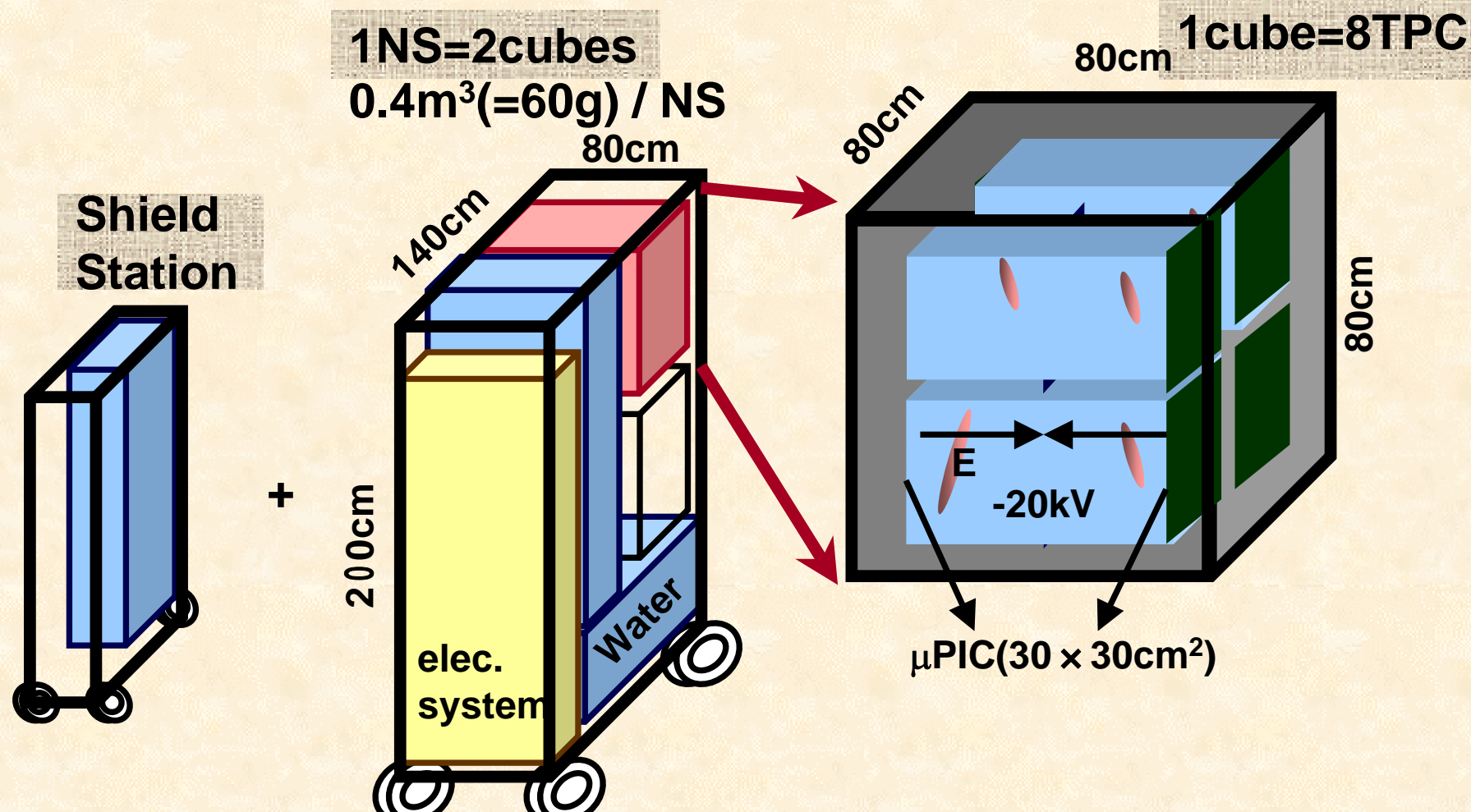
2005年 1月 6、7日 身内賢太郎
宇宙線将来計画シンポジウム



- 地下実験の第一ステップとして中性子BGの測定を検討中。(2006年頭~)

計画 (4/4) : 大容積での測定に向けて

- ステーション化による順次スケールアップ
- eve (1/4モジュール) NEWAGE (1ステーション)
brand NEWAGE (50ステーション)
- 1千万円 / ステーション程度での製作を目指す



まとめ

- 新手法による暗黒物質探索実験
“NEWAGE”のR&Dがスタート
- 宇宙線研究の将来に大きく寄与します。
- ご支援、ご協力お願いいたします。

質問議論・叱咤激励・誹謗中傷など

身内賢太郎：
miuchi@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp

2005年 1月 6、7日 身内賢太郎
宇宙線将来計画シンポジウム

ここです。



DMと原子核の反応

DM-quarkのクロスセクション

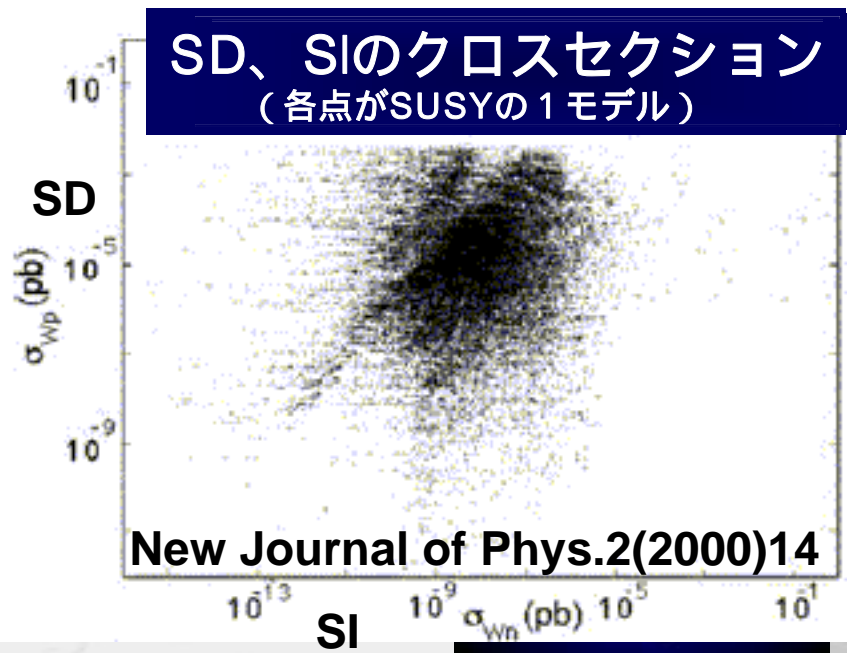
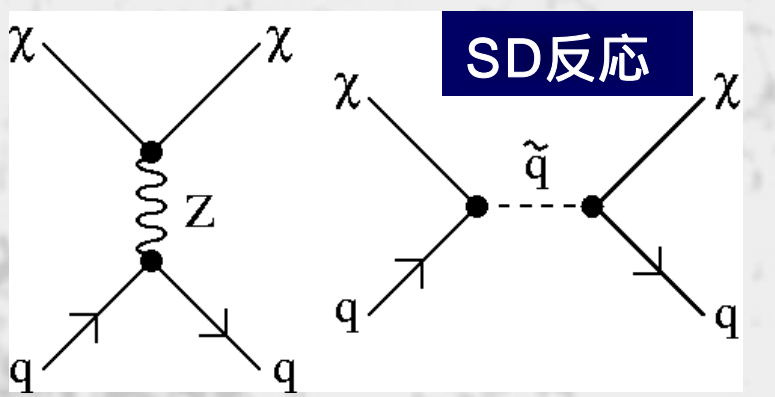
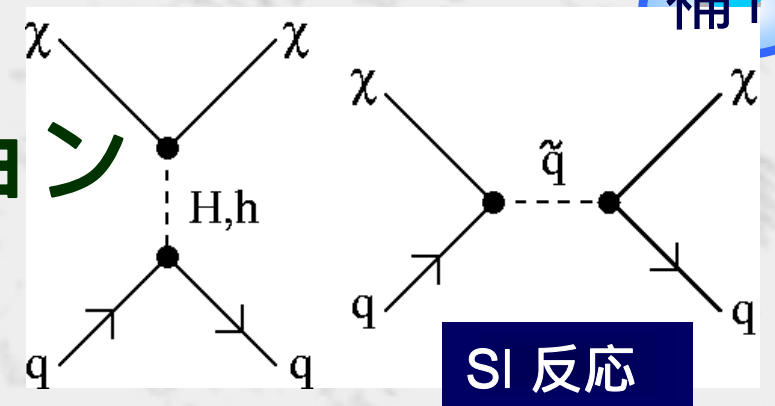
= Spin-independent (SI)
+ Spin-dependent (SD)

SI反応 : $\sigma_{SI} \propto A^2$
(Xeなど XMASS)

SD反応 : $\sigma_{SD} \propto \lambda^2 J(J+1)$
(CF₄ NEWAGE)

SD SIどちらが見やすいかは
SUSYパラメータ次第

補1



$2J(J+1)$ の値

DMと原子核の反応

DM-quarkのクロスセクション

= Spin-independent (SI)
+ Spin-dependent (SD)

SI反応: $\sigma_{SI} \propto A^2$
(Xeなど XMASS)

SD反応: $\sigma_{SD} \propto \lambda^2 J(J+1)$
(CF₄ NEWAGE)

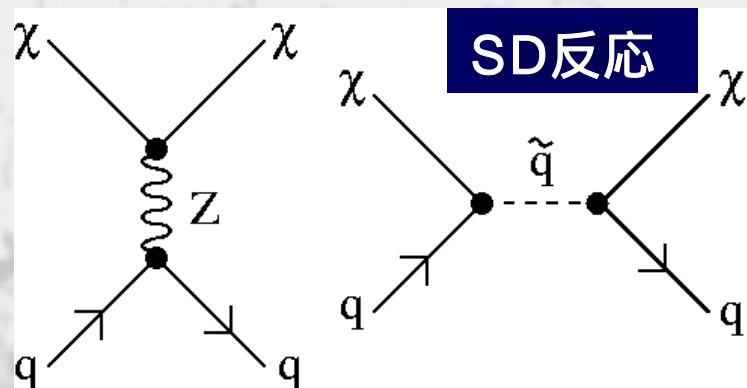
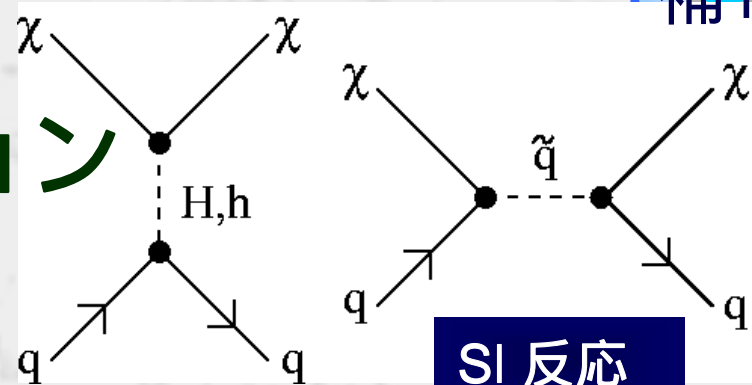
SD SIどちらが見やすいかは
SUSYパラメータ次第

同位体	存在比	$\lambda^2 J(J+1)$
¹⁹ F	100%	0.647
²³ Na	100%	0.041
⁷³ Ge	7.8%	0.065
¹²⁹ Xe	26.4%	0.124
¹²⁷ I	100%	0.023

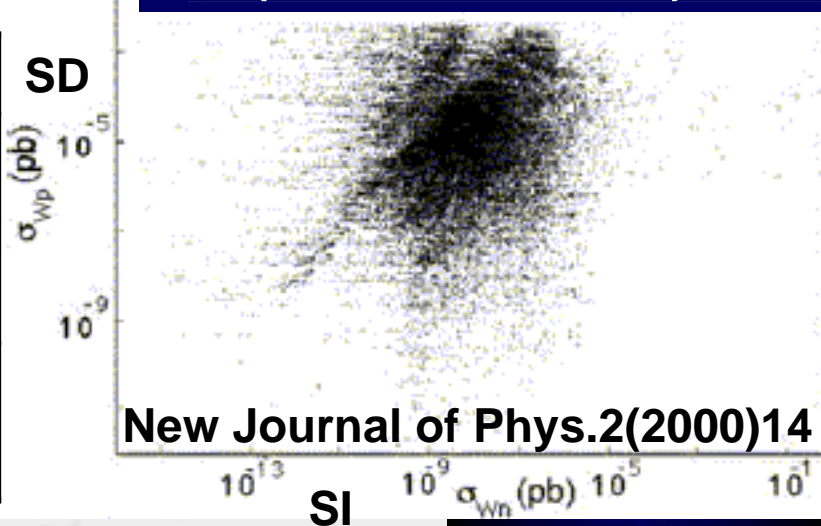
$2J(J+1)$ の値

2005年 1月 6、7日 身内
宇宙線将来計画シンポジウム

補1



SD、SIのクロスセクション
(各点がSUSYの1モデル)



参考文献

- "Detecting the WIMP-wind via spin-dependent interactions"
T.Tanimori, et al., Phys. Lett. B 578 (2004) 241 : 詳細な見積もり
- “微細加工技術を用いたガス・マイクロパターン検出器 μ -PIC の開発とその応用 ”
永吉 勉、身内 賢太郎、窪 秀利、谷森 達
高エネルギーニュース 第23巻 1号 2004 年 4-6月 : μ -PICの解説記事
- “Performance and applications of a micro-TPC“
K.Miuchi, et al., Nucl. Instr. Meth. A 535(2004)236 : マイクロTPCについて

* 本ポスター中で、WIMPあるいはニュートラリーノと表現すべきところを直感的理解のためDMと表記している箇所があります。お含みおきください。