

# 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 ~ )

$\mu$ -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

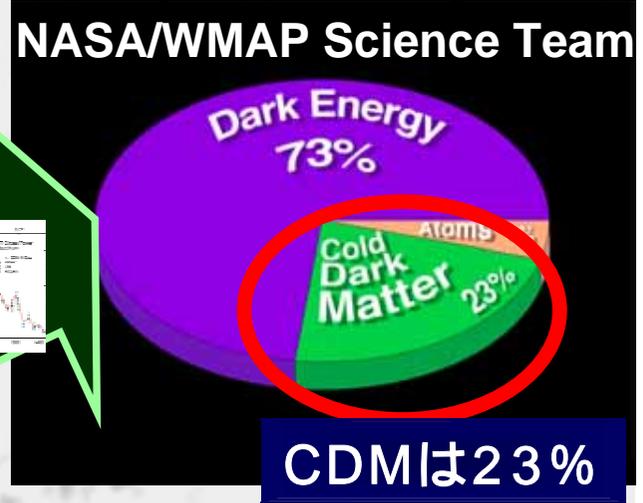
宇宙線将来計画シンポジウム 岡田葉子、西村広展、服部香里



# はじめに：暗黒物質（DM）探索実験

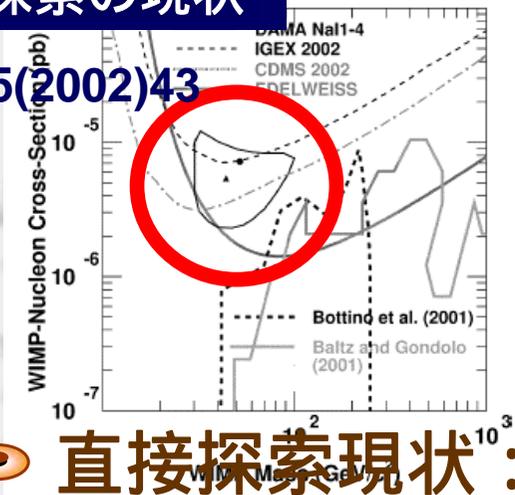
## ● 将来のDM探索実験への要請（詳細は森山氏発表）

● 現状：WMAP DMの存在は定量的に直接検出を！



### 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

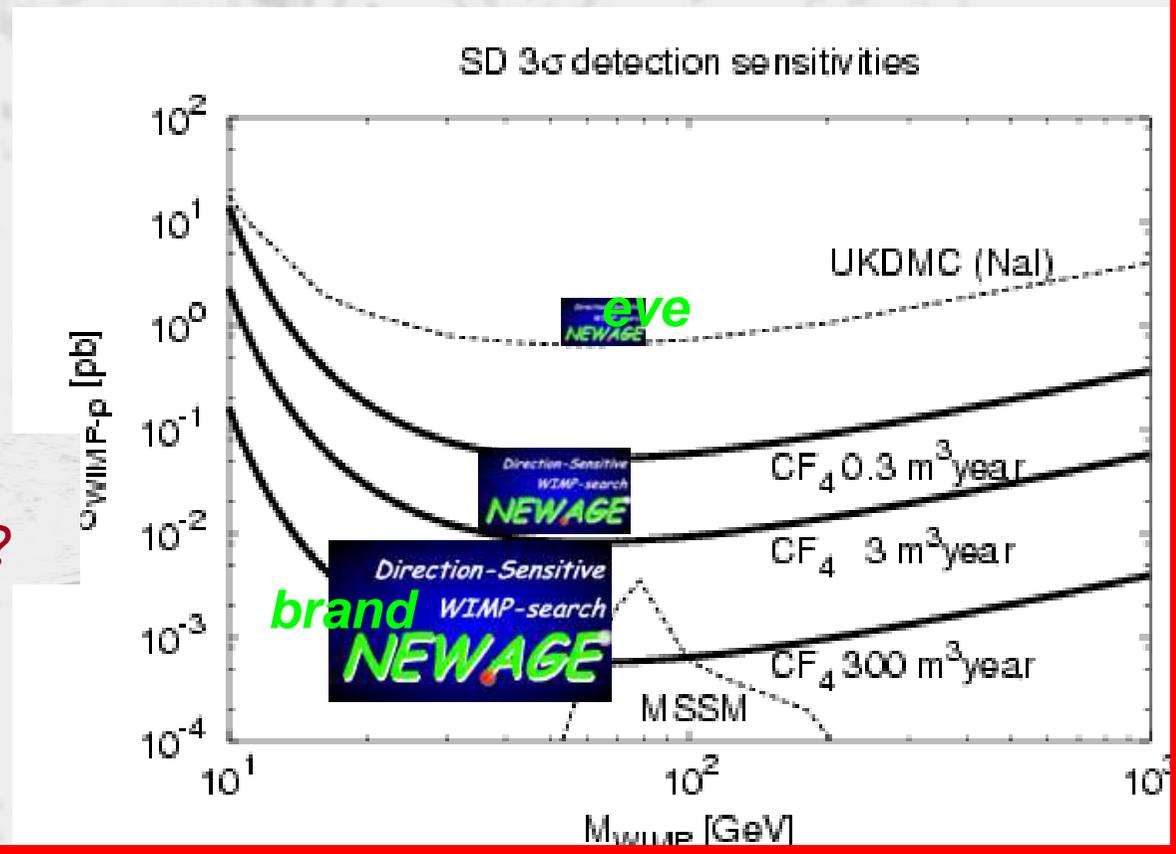




# 目的 (2/2) : 手段と目的

- NEWAGE eve : 30cmクラスのTPC ( O ( g ) )
  - 制限曲線を引く
- NEWAGE : 1m<sup>3</sup> 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 : 1m<sup>3</sup> TPC x 50 ( O ( kg ) )
  - SUSY領域の探索

補1^



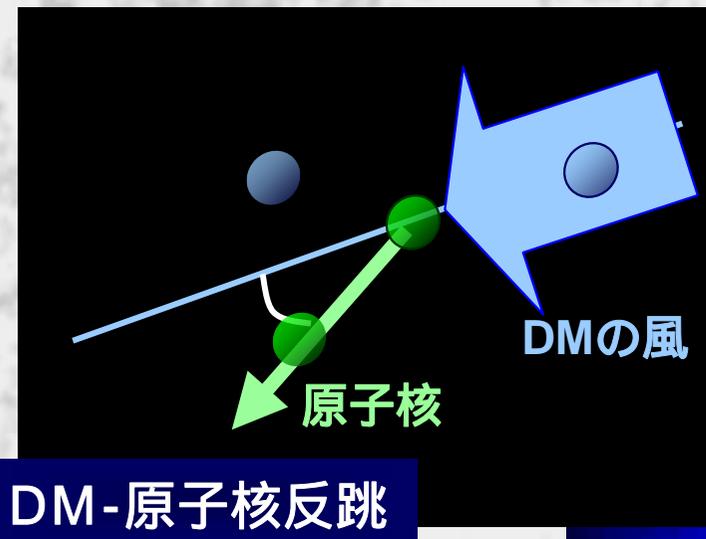
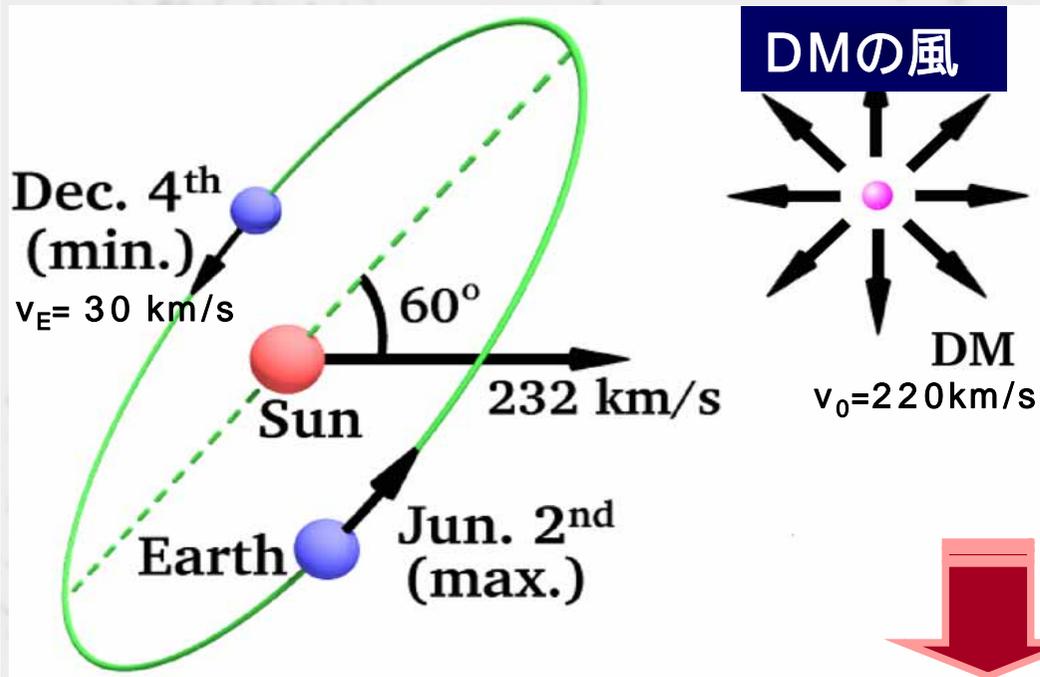
# DMの風 ( 1/2 ) :

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



tion-Sensitive  
WIMP-search

NEWAGE

# 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)

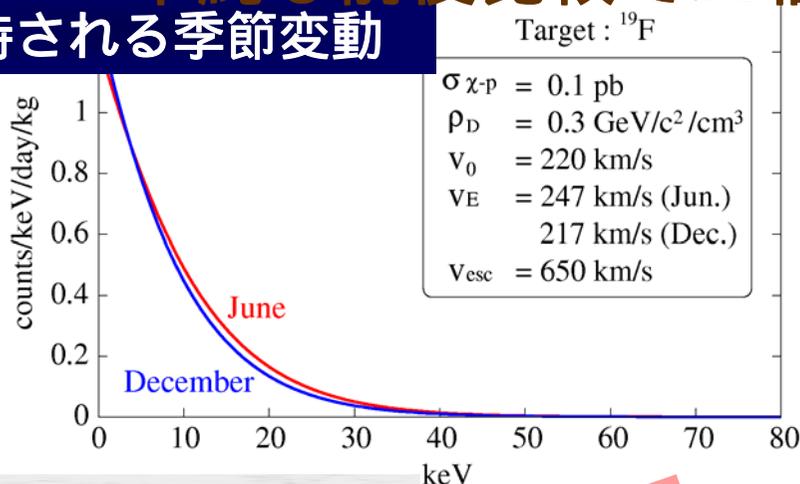
数年間の安定動作が必要 計数率の差は数% (図の赤と青)

● 方向測定 (NEWAGE・DRIFT) : 風向きに対する散乱角

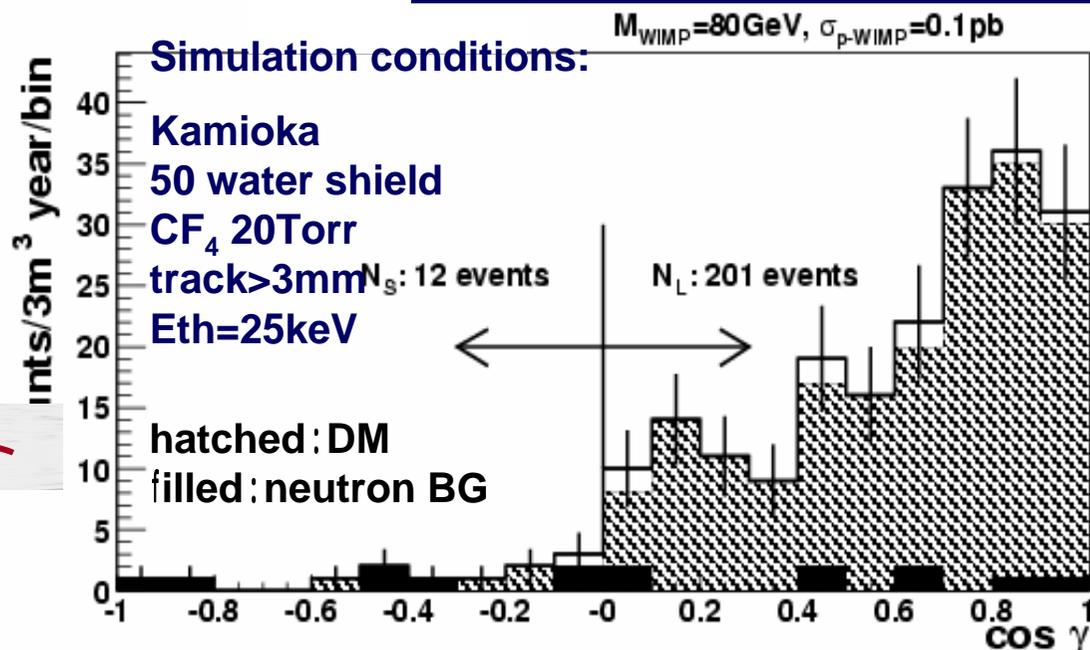
(直感的には  $230 \pm 220 \text{ km/s}$  を捉えることに相当)

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

2024年11月6、7日 身内賢太郎

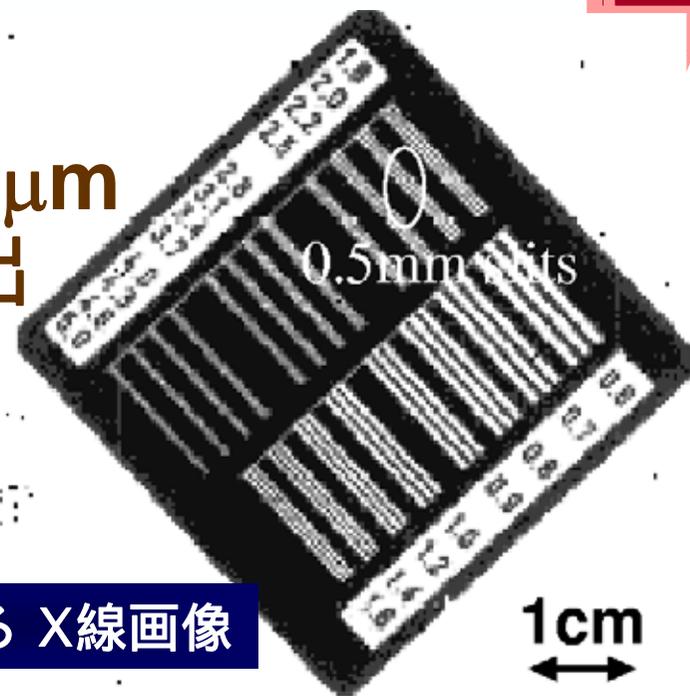
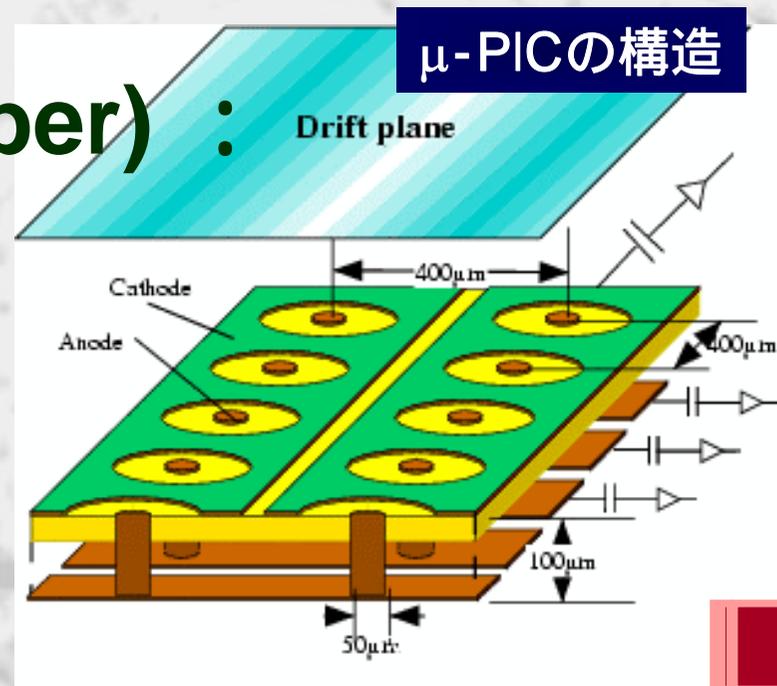
宇宙線将来計画シンポジウム

6

10

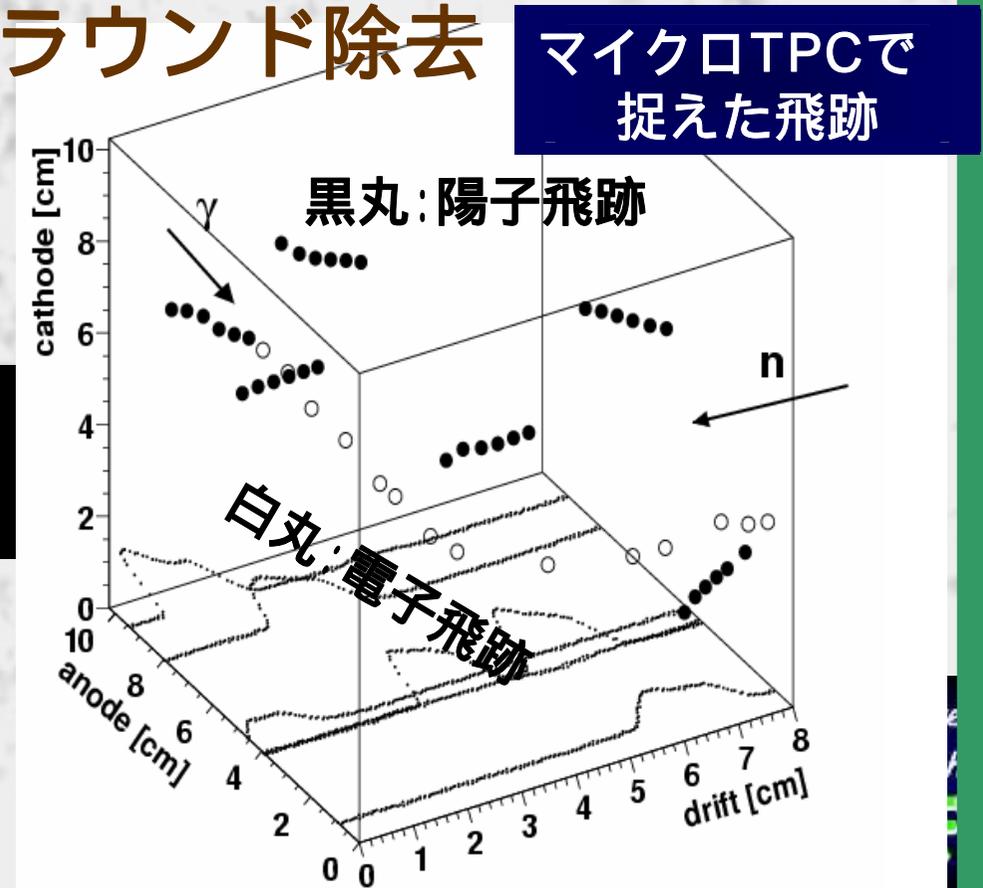
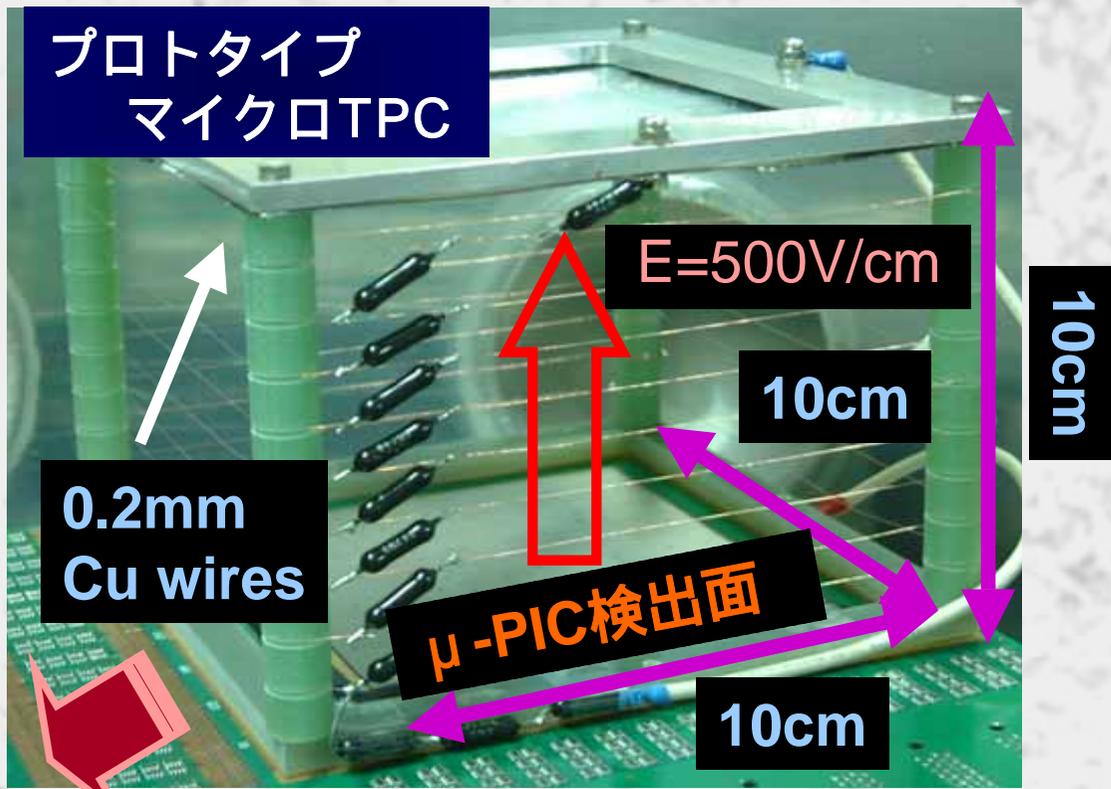
# 検出器 ( 1/4 ) : 二次元画像装置 “ $\mu$ -PIC ”

- $\mu$ -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 $\mu$ mピッチ、位置分解能120 $\mu$ 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



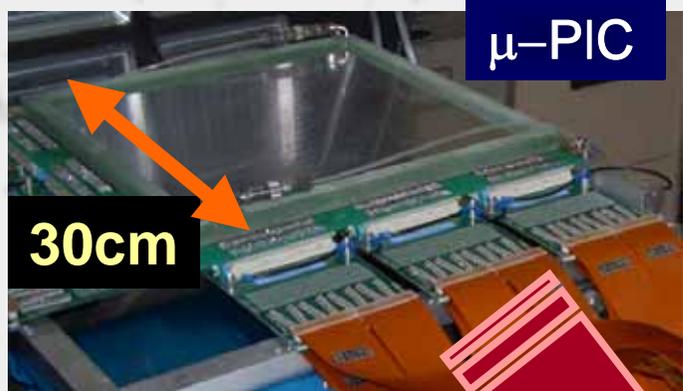
# 検出器 ( 2/4 ) : “ マイクロTPC ”

- 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



# 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

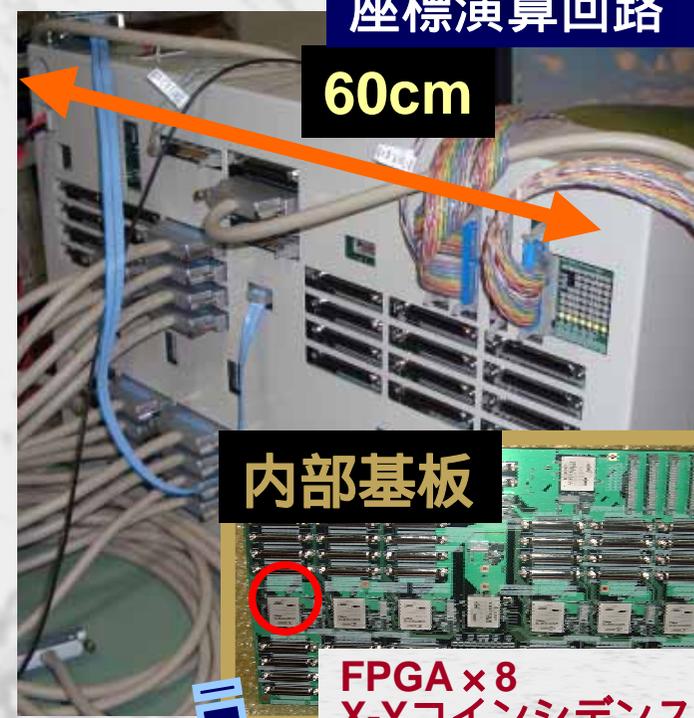
30cm

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

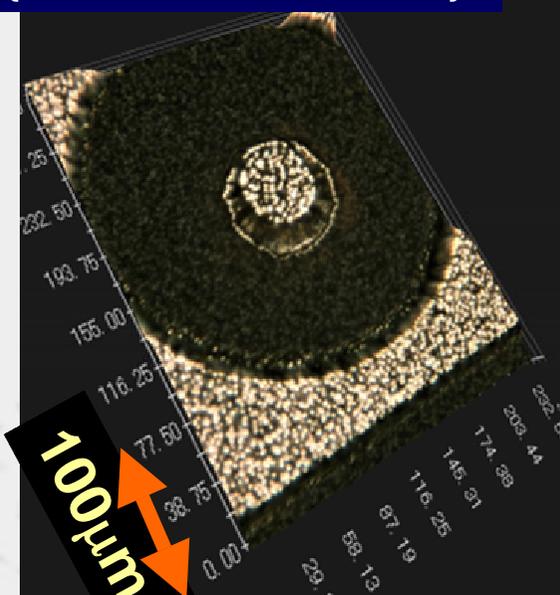


写真は現在調整中の  
30cm μ-PIC用回路

# 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  $\mu$ -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

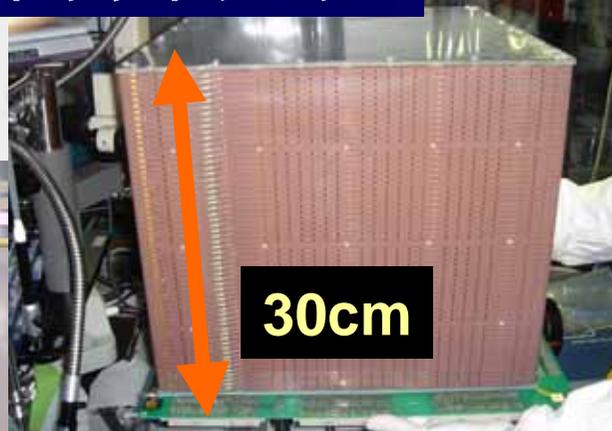
$\mu$ -PIC  
(三次元立体顕微鏡写真)



$\mu$ -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

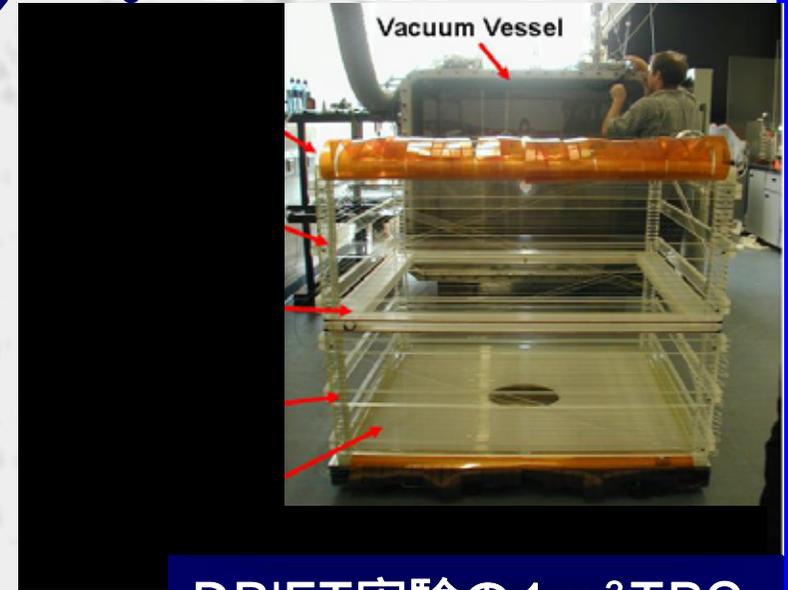
### ● XMASS : 液体キセノン1tの安全バッファ      ~ 170m<sup>3</sup>

### ● NEWAGE : CF<sub>4</sub> ガス ( 30 torr ) F 1kg      ~ 7.5m<sup>3</sup>

# 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
- 1m<sup>3</sup>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1m<sup>3</sup>TPC

## ● NEWAGE

- 30cm角検出器が完成
  - モザイク状配置で1m<sup>3</sup>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 ) <sup>2</sup><sub>3</sub> 有言実行のためのロードマップ

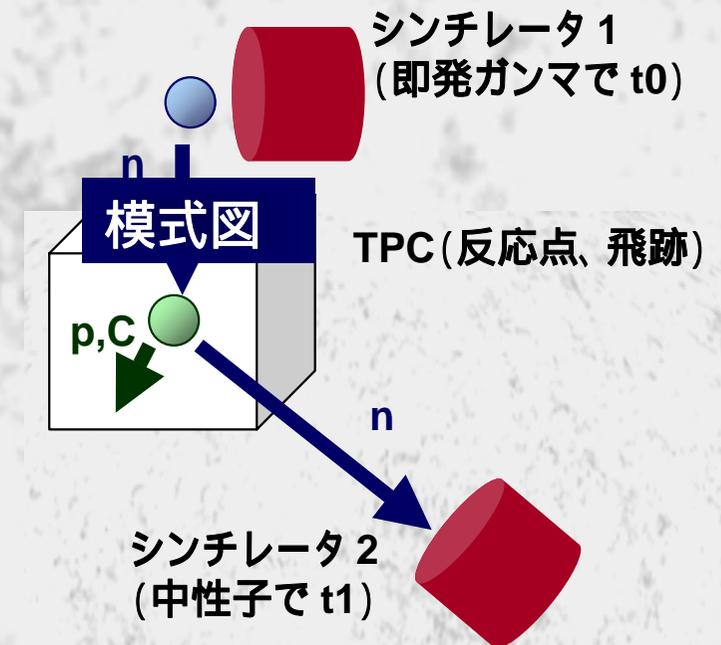
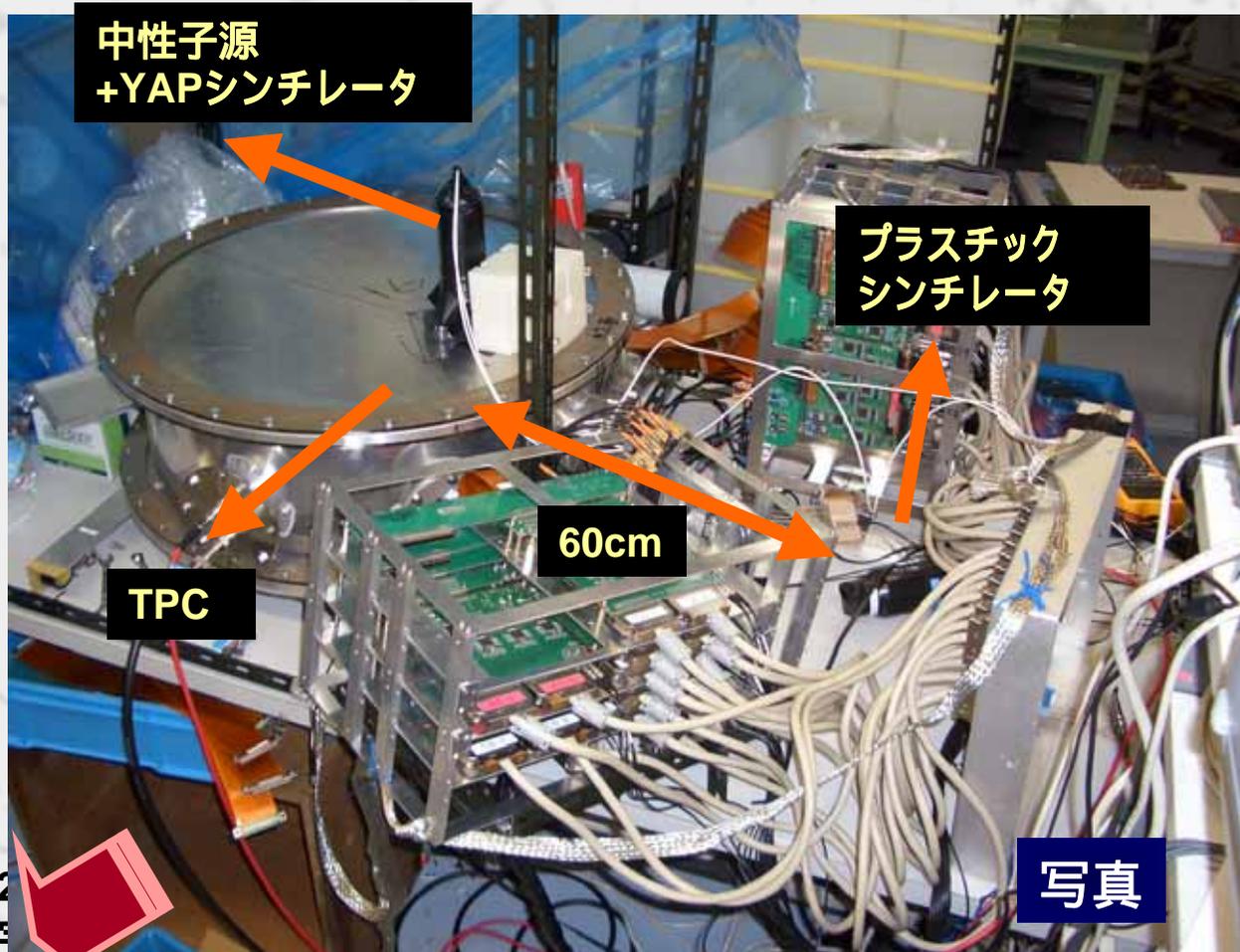
- 秋の学会からも大きなDIFF。

	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 <sup>13</sup>	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 <sup>14</sup>	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

# 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

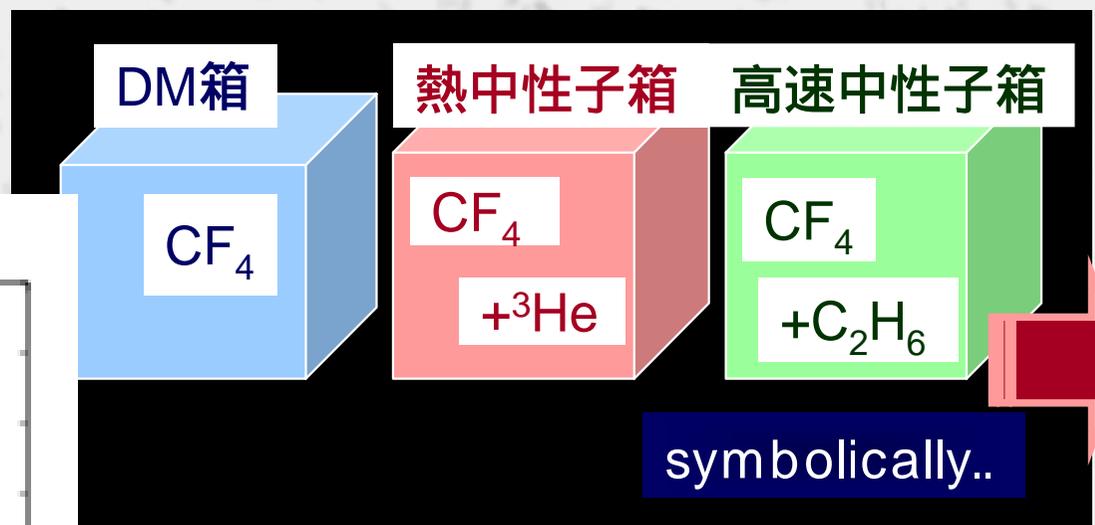
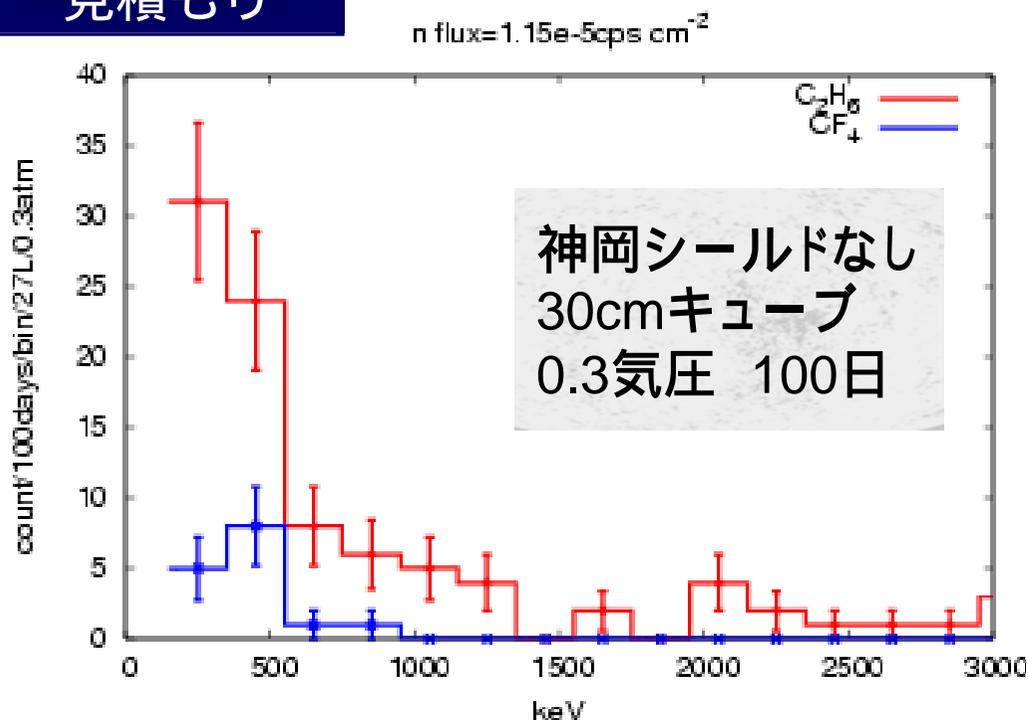


$$\begin{aligned} \text{TOF} &= t_1 - t_0 \\ &= 60 \text{ ns (} E_n = 500 \text{ keV)} \\ &= 40 \text{ ns (} E_n = 1.2 \text{ MeV)} \end{aligned}$$

# 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

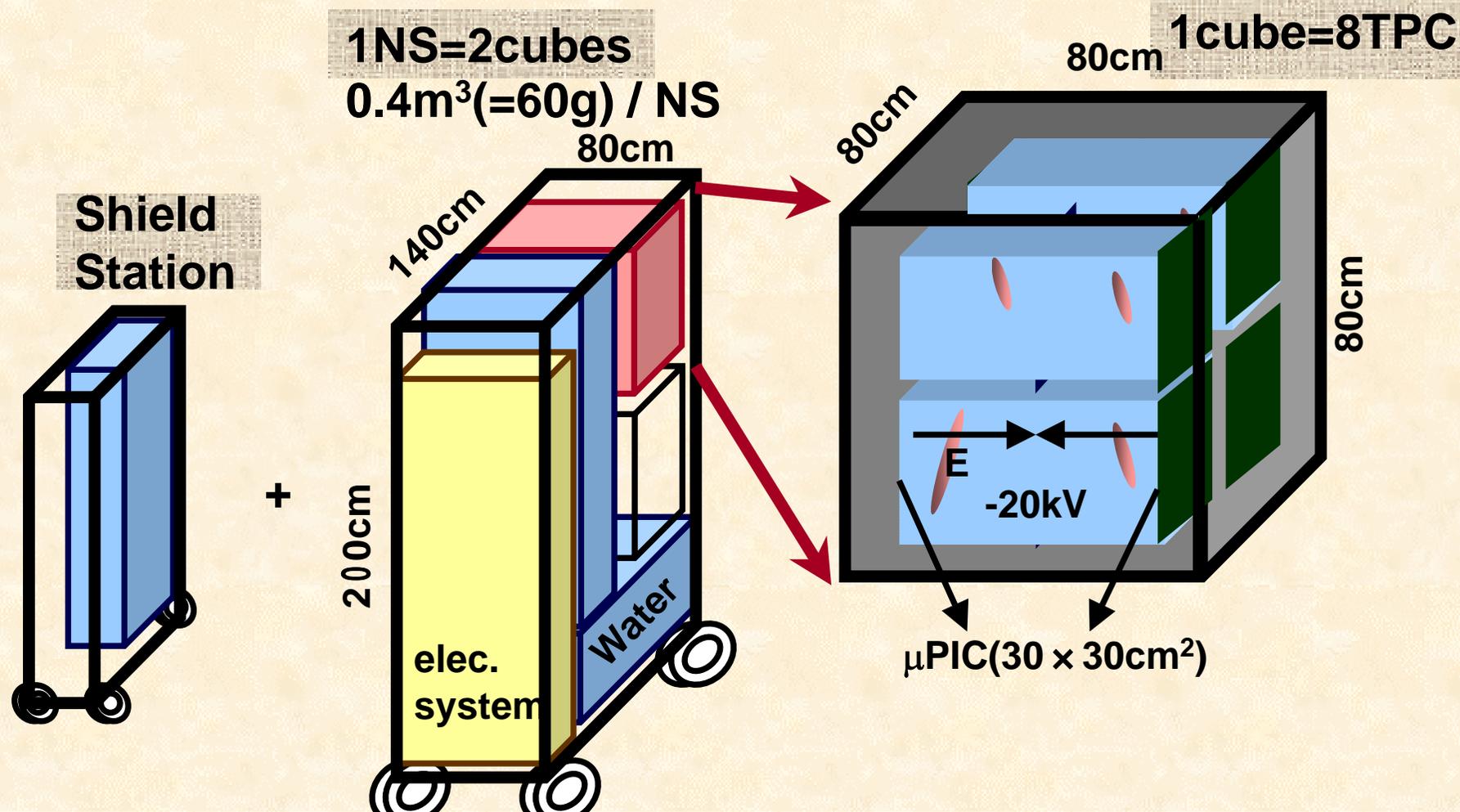
## 中性子測定の見積もり



- 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](mailto: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

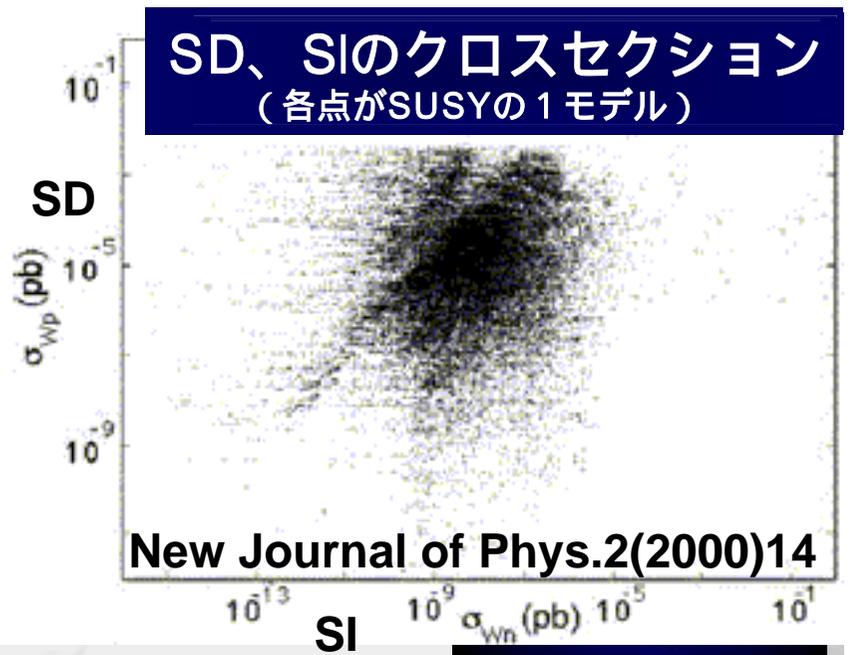
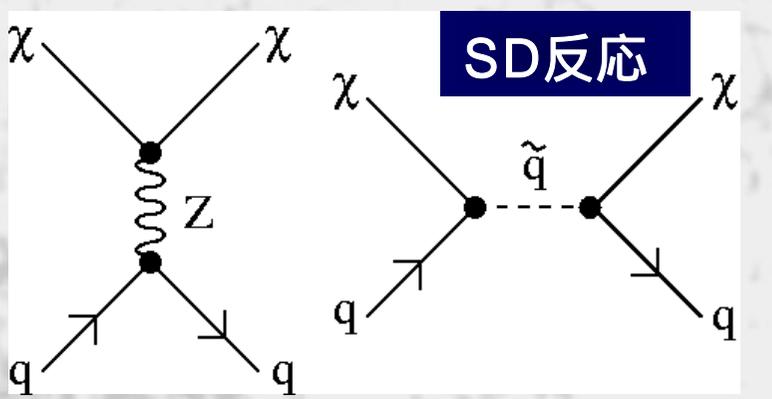
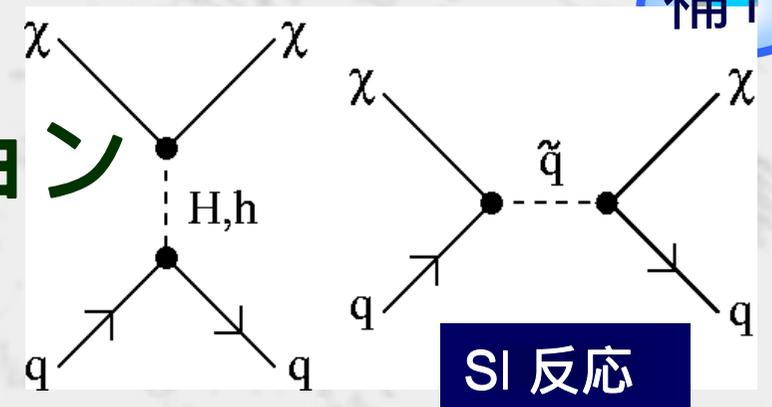
= Spin-independent (SI)  
+ Spin-dependent (SD)

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

SD反応 :  $\sigma_{SD} \propto \lambda^2 J(J+1)$   
(CF<sub>4</sub> 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:  $\sigma_{SD} \propto \lambda^2 J(J+1)$   
(CF<sub>4</sub> NEWAGE)

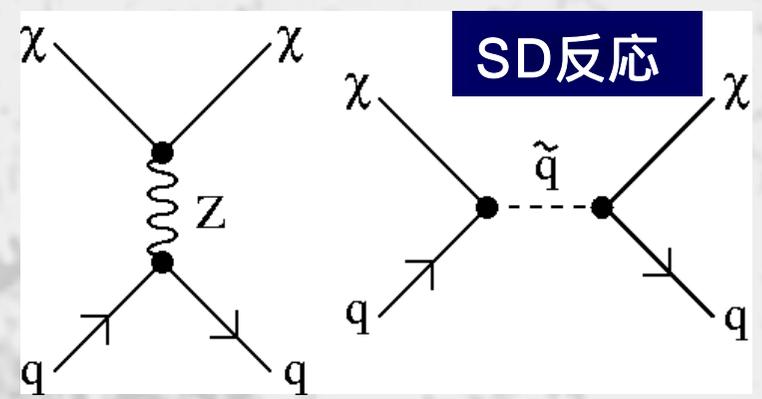
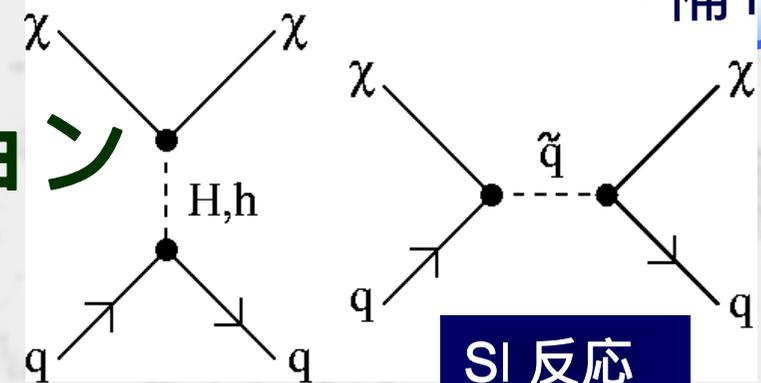
SD SIどちらが見やすいかは  
SUSYパラメータ次第

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

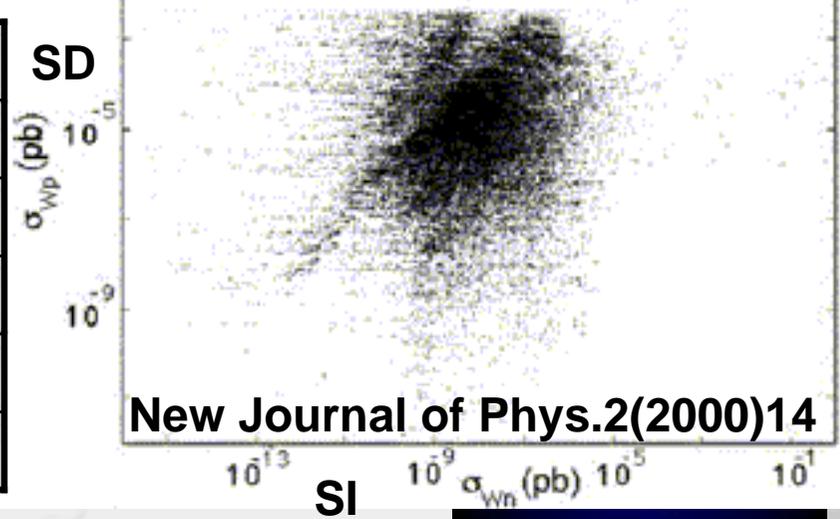
$2J(J+1)$  の値

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  $\mu$ -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 :  $\mu$ -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。