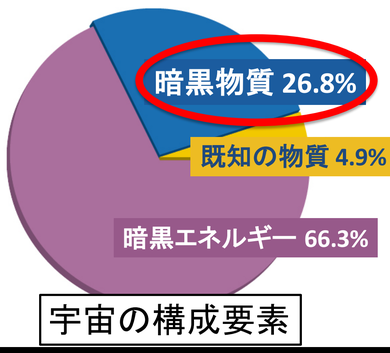
暗黒物質直接探索実験NEWAGEにおける高感度化のための研究

神戸大学粒子物理学研究室　D1　橋本隆

1.暗黒物質(Dark Matter)

宇宙の構成要素のうち、既知の物質はたった5%しかない。約27%は未知の物質で暗黒物質と呼ばれている。そこで、暗黒物質の存在を直接観測できると、宇宙の構造の理解が大きく進む。また、暗黒物質は新粒子である可能性が高く、直接観測されると素粒子の世界の大きな進展となる。

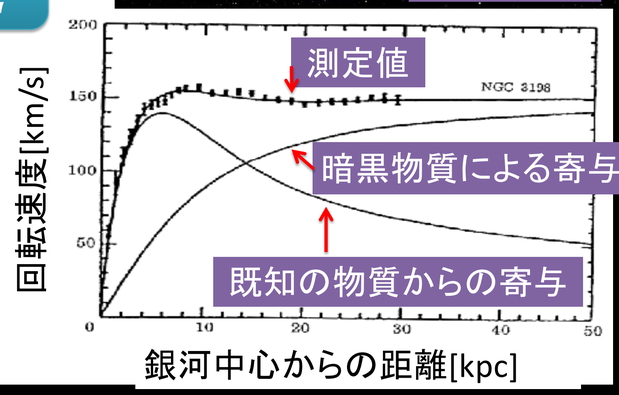


宇宙の構成要素

2.暗黒物質存在の証拠

銀河の回転速度分布：銀河の回転速度を観測してみると、既知の物質による質量分布から予測されたもののみでは説明できない。ここで、銀河に暗黒物質の存在を仮定すると測定値を説明することができる。

現在では、暗黒物質は銀河中で一様に運動と考えられている



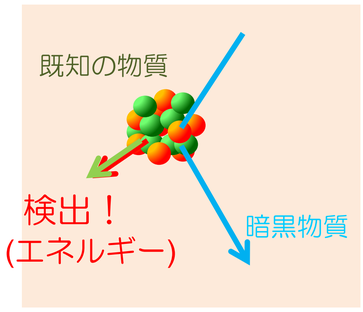
3.NEWAGE

New generation WIMP search with an advanced gaseous tracker experiment

NEWAGEは神戸大学主導の方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験

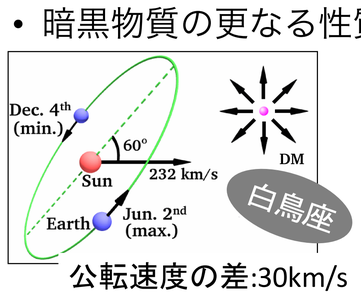
3-1.直接探索

直接探索とは、暗黒物質と反跳した原子核をみること



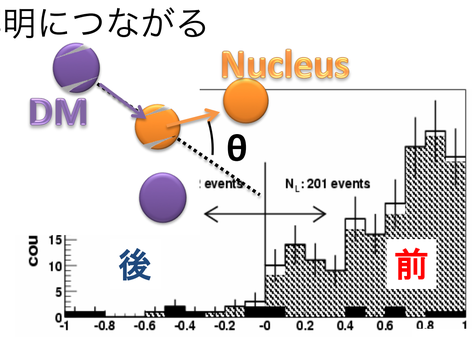
3-2.方向に感度があるメリット

- 方向に感度があると季節変動と比較して暗黒物質の確かな証拠になる
- 暗黒物質の更なる性質解明につながる



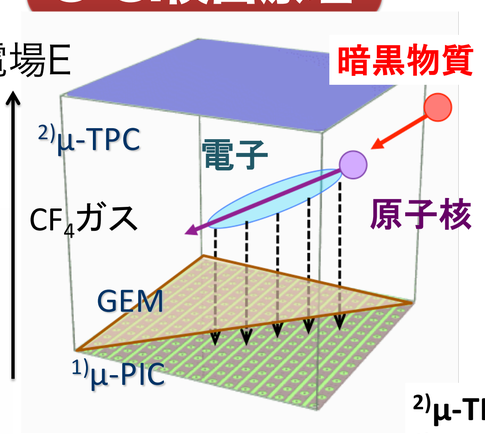
公転速度の差:30km/s

季節変動：銀河に対する地球の相対速度の差から、夏と冬で計数率に数%の差が出ること



方向に感度（前後の差数倍）

3-3.検出原理



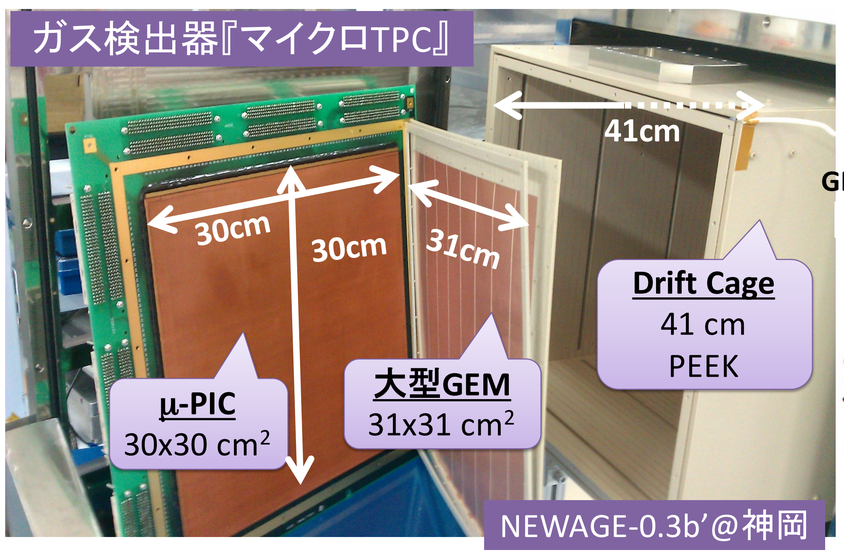
NEWAGEにおける3次元飛跡検出手法

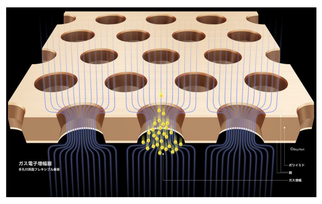
1. 暗黒物質が原子核を反跳する
2. 原子核がガス中の分子を電離
3. 生じた電子を電場によりドリフトさせる
4. 読み出し面(μ-PIC)から平面での位置情報を得る、また時間情報からドリフト距離(相対値)を再構成

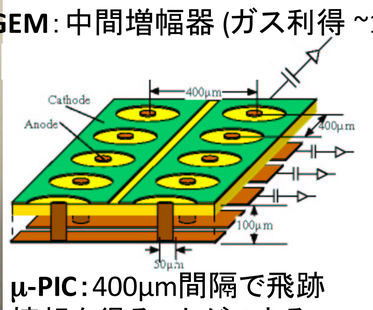
2)μ-TPC・・・ Micro Time Projection Chamber

1)μ-PIC・・・ Micro Pixel Chamber

3-4.検出器

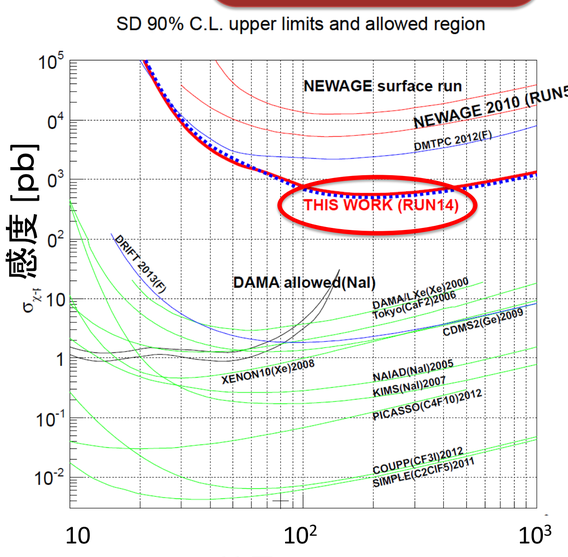



GEM：中間増幅器 (ガス利得 ~10)



μ-PIC：400μm間隔で飛跡情報を得ることができる (ガス利得 ~10³)

3-5.最新結果



PTEP 2015, 043F01

条件

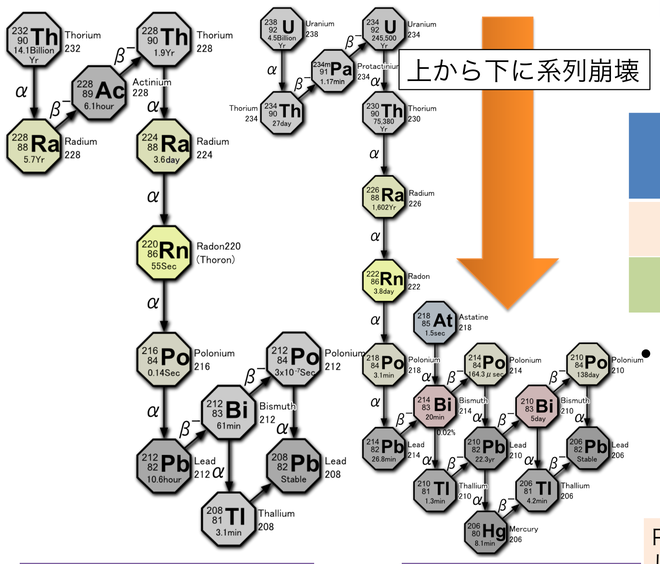
- period : 2013/7/20~8/11,10/19~11/12
- live time ：31.6 days
- fiducial volume : 28×24×41 cm³
- mass : 10.36 g
- exposure : 0.327 kg・days

- **当該分野では世界最高感度**
- 暗黒物質は未発見、更なる感度向上が急務
- 現在の感度を制限しているのは暗黒物質以外のイベント(バックグラウンド、以下BG)であり、BGを2桁落とすことを目標としている(4.高感度化のための研究へ)

4.高感度化のための研究 (My work)

4-1.BG源特定に向けて

- 暗黒物質探索実験ではウラン(U)、トリウム(Th)系列がBG源となり得る
  - U/Thは系列崩壊し、様々なエネルギーのα、β、γ線を放出する



4-2.U/Th含有量測定結果

[ppm]=[10⁻⁶*g/g]

	²³⁸U系列 [ppm]	²³²Th系列 [ppm]
PI 100μm	0.39±0.01	1.81±0.04
PI 800μm	0.78±0.01	3.42±0.04
めっき液($CuSO_4$)	<0.01	<0.06
ガラス繊維	**0.84±0.03**	**3.48±0.12**
GEM	<0.02	<0.12

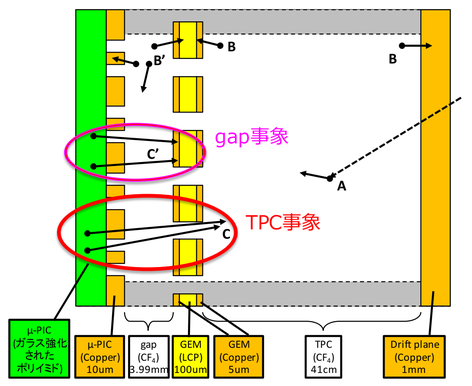
- μ-PICの構成要素にU/Thが多く含まれている
- 特にPI内にある補強材のガラス繊維にU/Thが多い

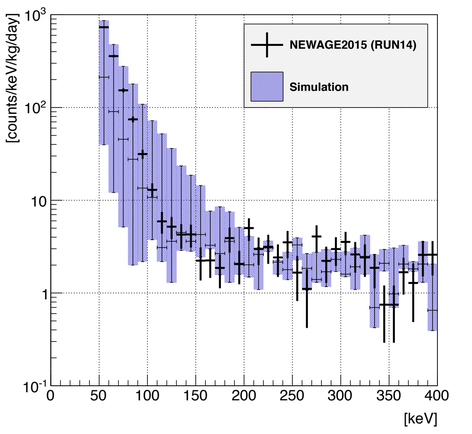
	²³⁸U系列 [μBq/cm²]	²³²Th系列 [μBq/cm²]
PI 100μm	68.5±1.5	102.1±2.3
ガラス繊維	64.5±0.1	86.8±1.1

- PI100μmのU/Thはガラス繊維で約9割を説明可能

PI100μm１枚に対してガラス繊維も1枚入っている

4-3. シミュレーション





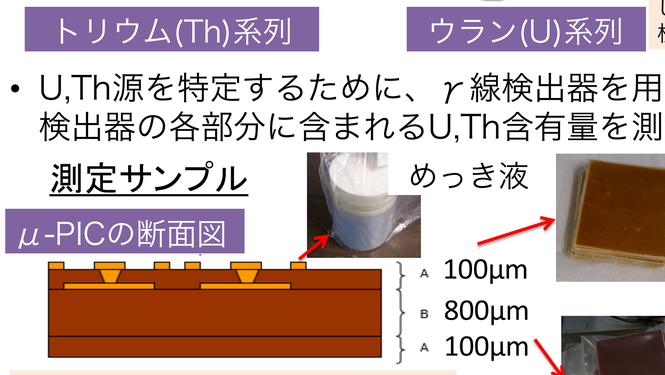
- PI100μmに含まれるU/Thの崩壊シミュレーションを行った
- RUN14での測定結果をPI100μmに含まれるU/Thで説明可能
- **感度を制限していたBG源はPI100μmに含まれるガラス繊維**であることがわかった

4-4.BG低減に向けて

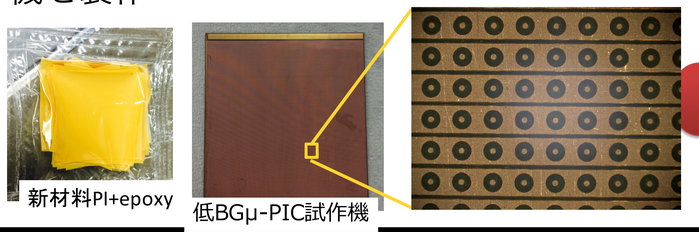
	²³⁸U[ppm]	²³²Th[ppm]	Note
PI100μm	0.39±0.01	1.81±0.04	現行の材料
PI+epoxy	**$< 2.98\times10^{-3}$**	**$< 6.77\times10^{-3}$**	新材料

- U,Th源を特定するために、γ線検出器を用いて検出器の各部分に含まれるU,Th含有量を測定

測定サンプル

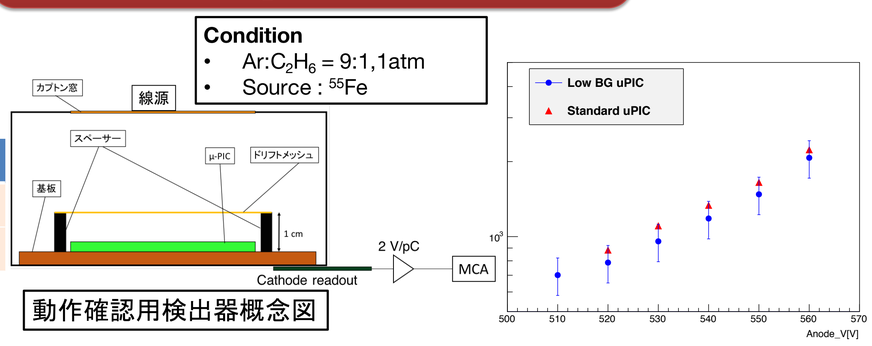


- U/Thが現状の1/100以下の新材料を発見
- 新材料を用いた10cm角の低BG μ-PIC試作機を製作



- 新素材を用いた**低BG μ-PIC試作機でこれまでのμ-PICと同等のガスゲイン**を得た
  - Low BGuPICの誤差はガスゲインの位置依存によるもの。Standard uPICは未確認

4-5. 低BGμ-PIC動作確認



4-6.今後

30cm角の低BG μ-PIC実機を製作し暗黒物質の発見を目指す