

方向に感度を持つ暗黒物質探索実験： NEWAGE

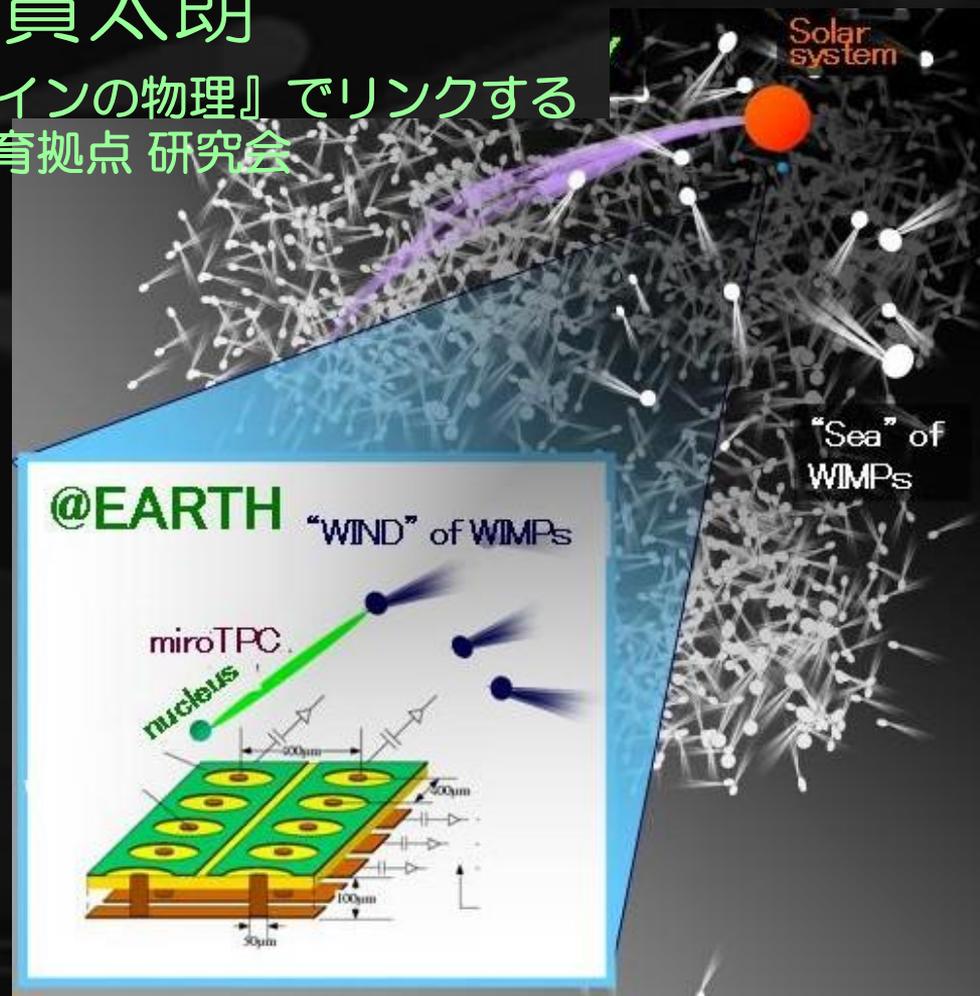
京都大学・宇宙線研究室

身内賢太郎

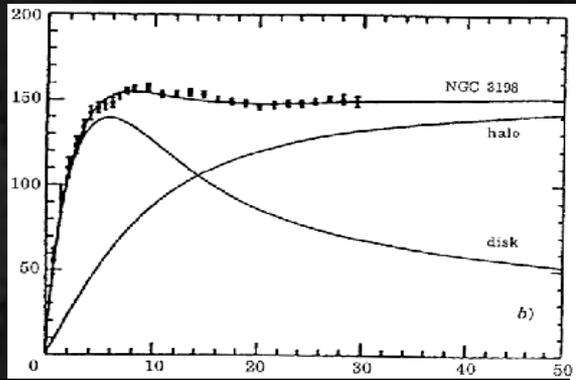
第1回『アインシュタインの物理』でリンクする
研究・教育拠点研究会

New
generation WIMP
search with an advanced
gaseous tracker experiment

内容
暗黒物質
探索実験
NEWAGE



暗黒物質の歴史



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

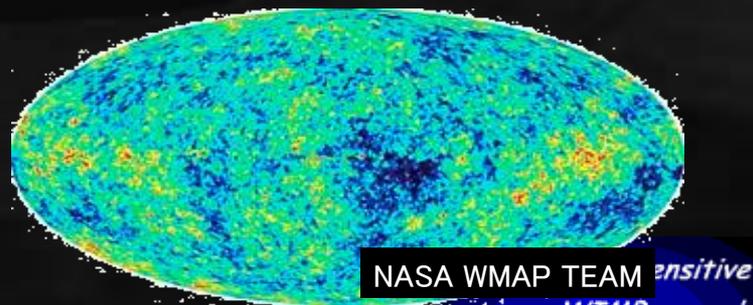
- 銀河の回転曲線 (1930s~)

- 遠方銀河の重力レンズ効果 (1990s~)



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

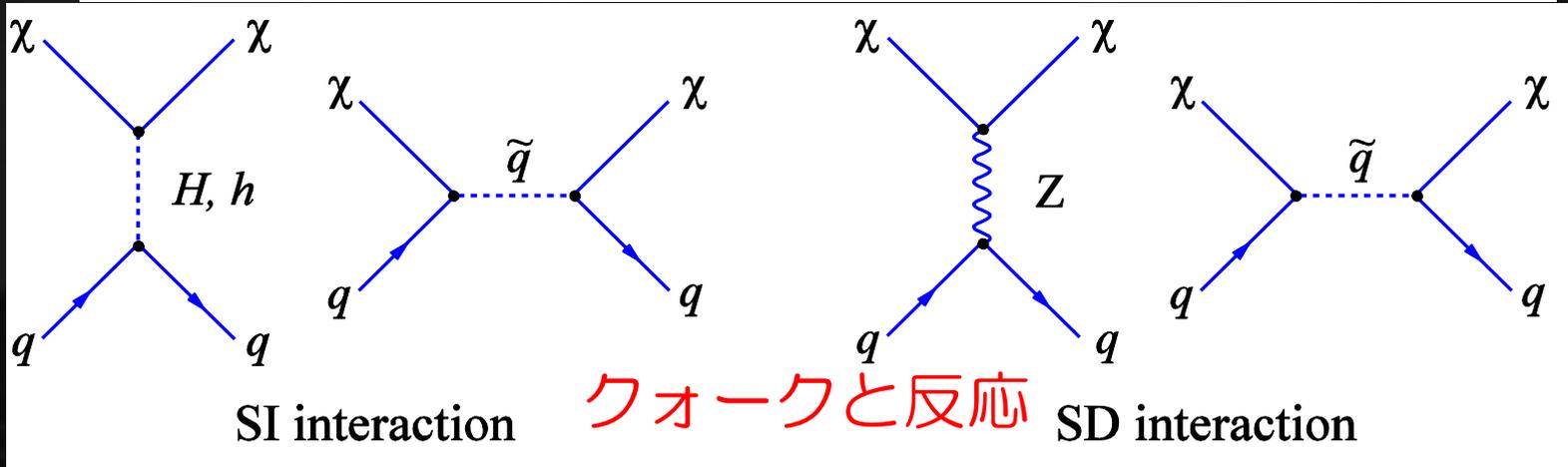
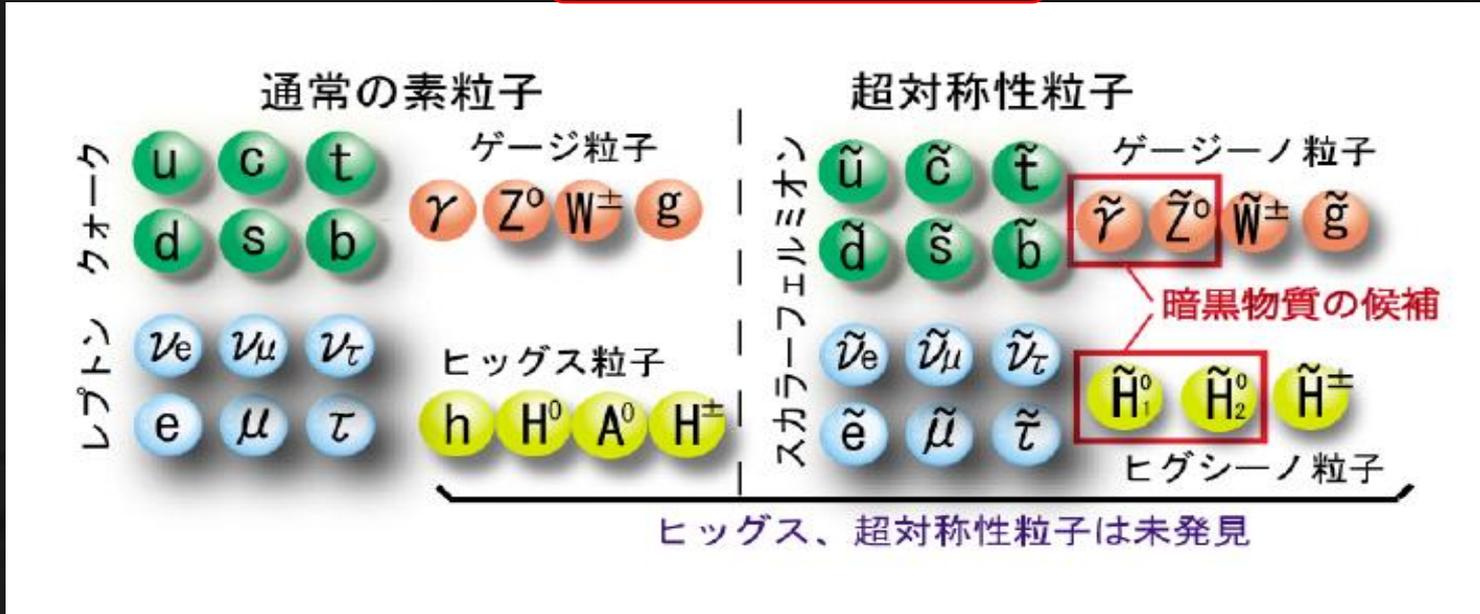
HST - WFPC2



- 宇宙マイクロ波背景放射 (2002~)

暗黒物質の候補

- バリオン：MACHOs : 元素合成によって上限
- 非バリオン：アクシオン、ニュートラリーノ、その他有象無象



暗黒物質の直接検出

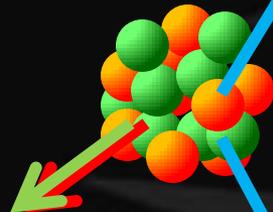
E_R 検出 (光)

DAMA (NaI)
KIMS (CsI)

(光+電離)

ZEPOLINE 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)

HPGe

(光+温度)

CRESST
(CaWO₄)

E_R 検出 (温度)

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

(電離+温度)

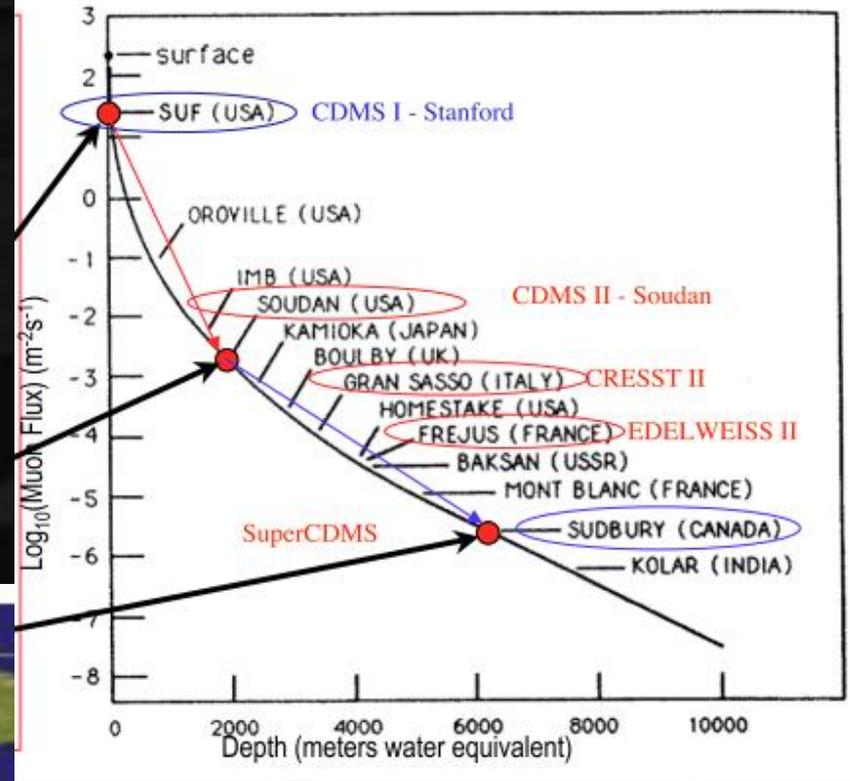
CDMS (Ge)
EDELWEISS (Ge)

おもな実験の比較

	CDMS	XENON	DAMA
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

世界の地下実験室

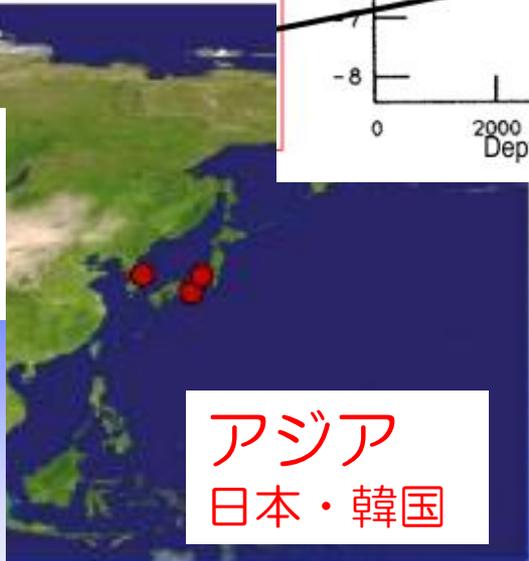
- 宇宙線起源のバックグラウンドを避けるために地下にもぐって実験



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



1000 m): KIMS
400 m.w.e.): PICO-LON
th ~2700 m.w.e.): XMASS

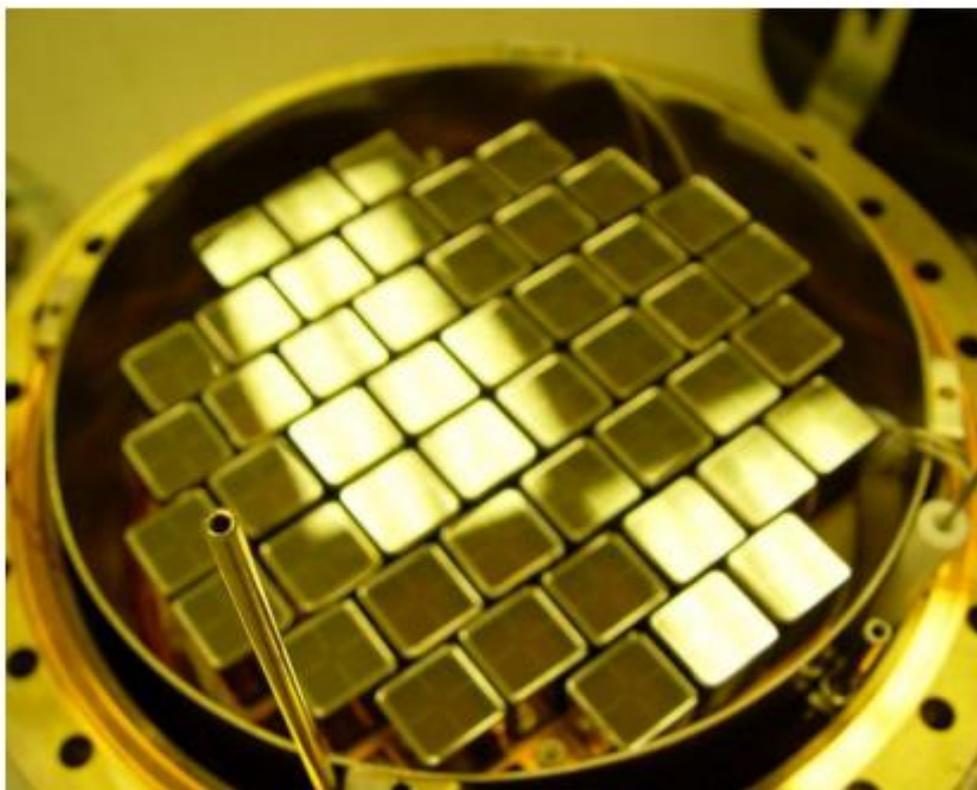
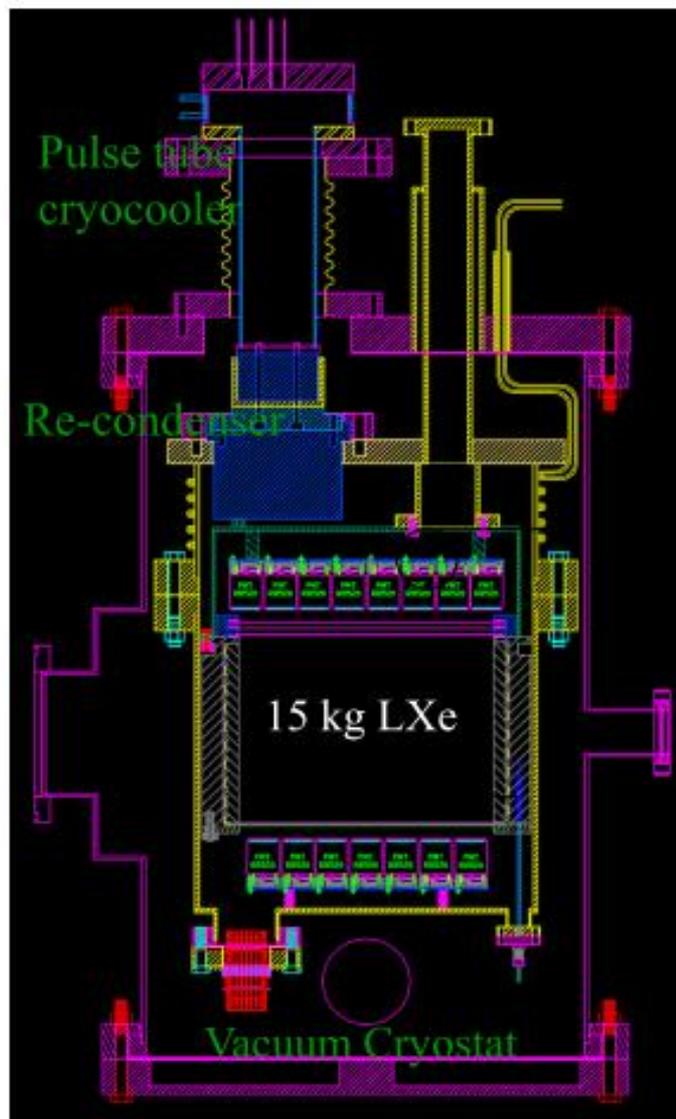
北米
米国・カナダ



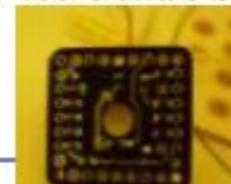
XENON10 : 液体キセノン

The XENON10 Detector

E. Aprile @TAUP2007

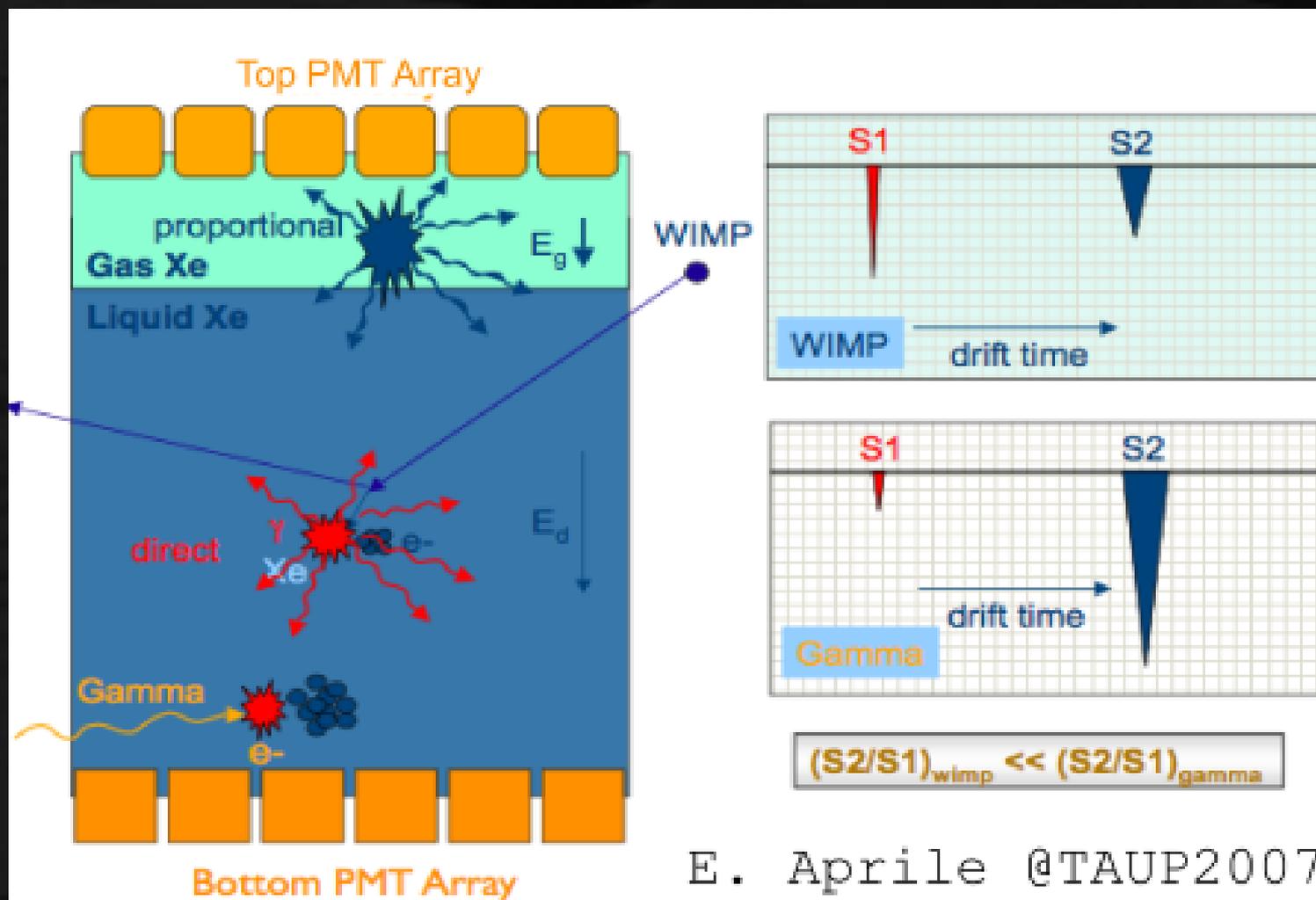


- Hamamatsu R8520 1" × 3.5 cm (metal channel)
- bialkali-PC, Quartz window, operates at -100°C and 5 bar
- Quantum efficiency > 20% @ 178 nm
- Custom HV divider on Cirlex base



XENON10

ガンマ線除去



E. Aprile @TAUP2007

CDMS : ゲルマニウム

CDMS Techniques for Recoil Discrimination

Detectors with readout of both charge and phonon signals

- Charge/phonon AND phonon timing different for nuclear and electron recoils; event by event discrimination!
- Measured background rejection still improving!
99.9998% for γ 's, 99.79% for β 's
- Clean nuclear recoil selection with $\sim 50\%$ efficiency
Can tune between signal efficiency and background rejection



Tower of 6 ZIPs

Tower 1

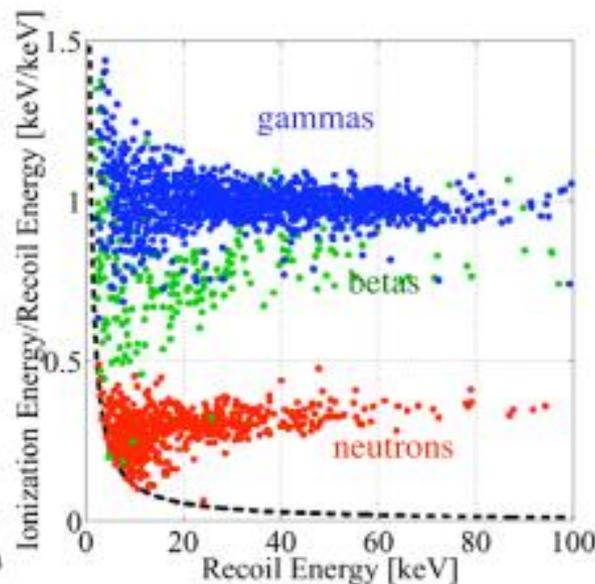
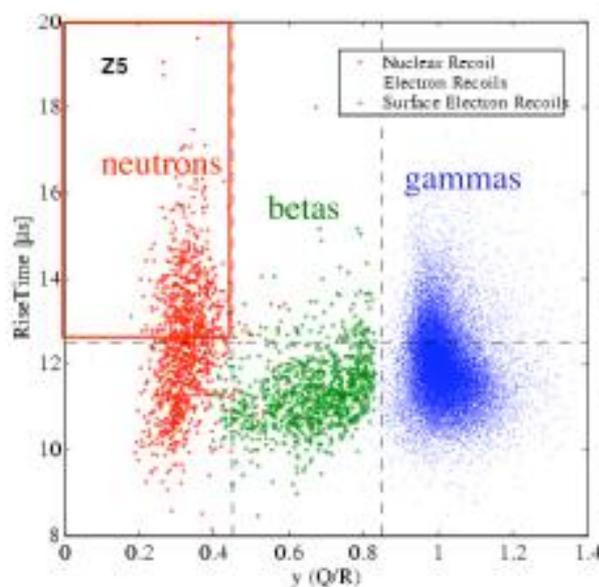
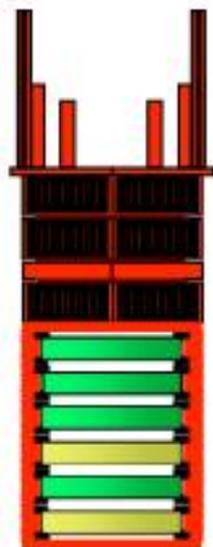
4 Ge

2 Si

Tower 2

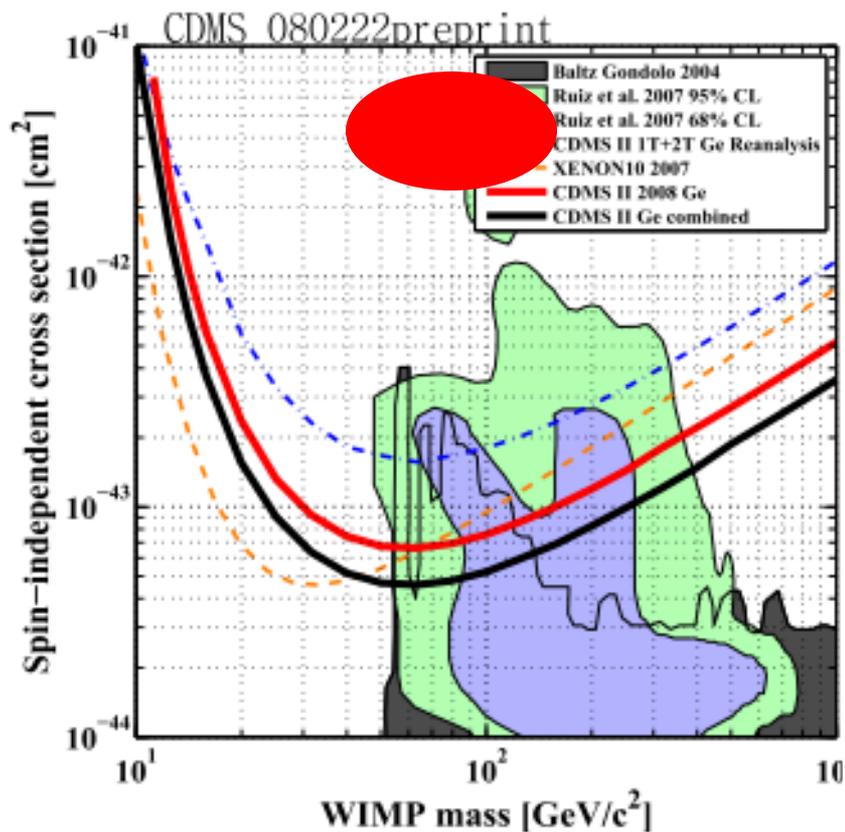
2 Ge

4 Si



DAMA/LIBRA

- 唯一の “positive results” を主張
- 1997～DAMAで主張 → CDMS等に否定される
- 2008年4月 LIBRAで再現！

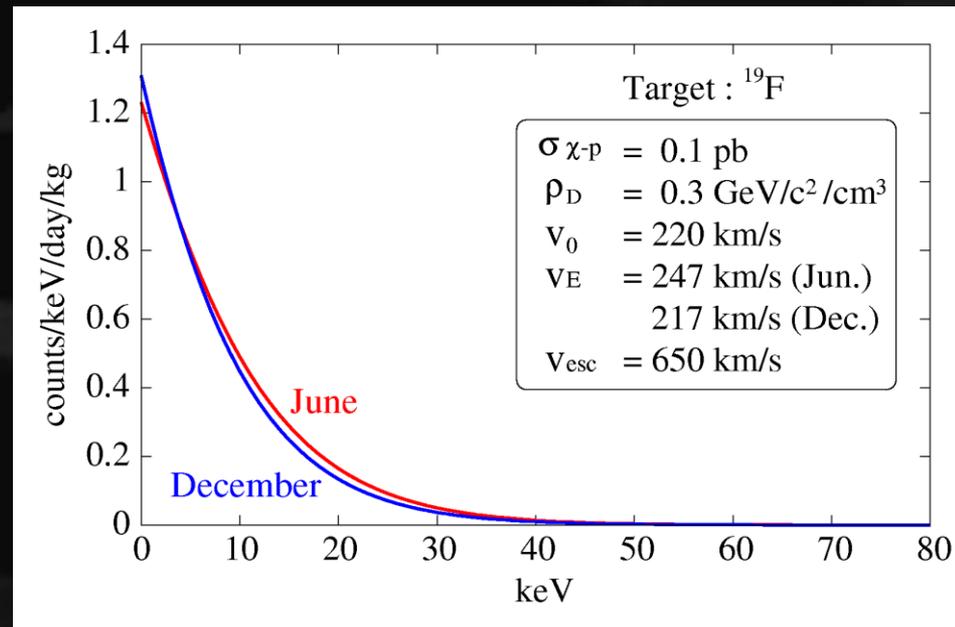
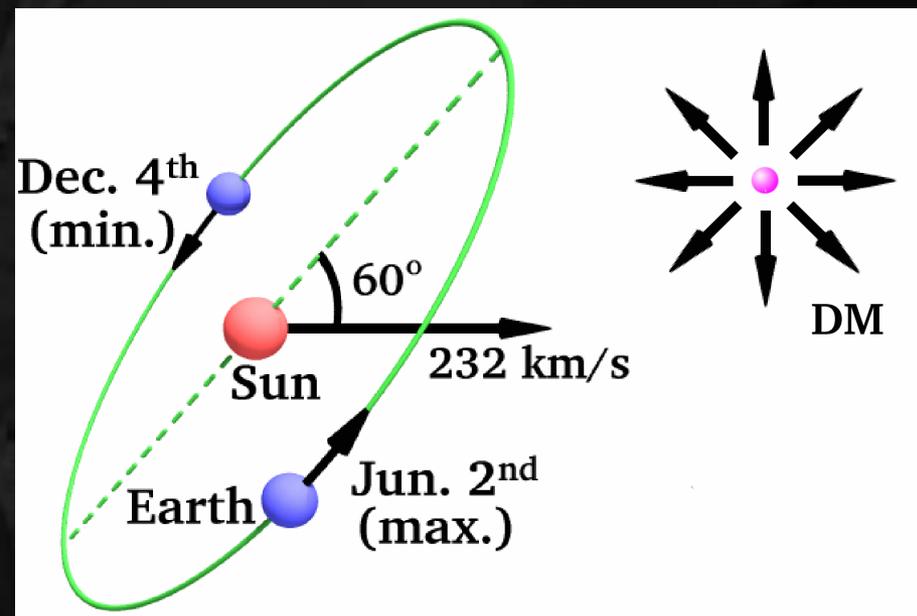


	DAMA (-2002)	LIBRA (2003-2007)
detector	NaI	NaI
Mass	9.7kg×9	9.7kg×25
time	7 yeas	4 years
exposure	0.29 ton year	0.53 ton year

(Large sodium Iodide Bulk for RAre processes)

● ダークマターの季節変動

- 夏と冬の相対速度の差
- スペクトルのレートにして数%の変動



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

BELLI@
TAUP07

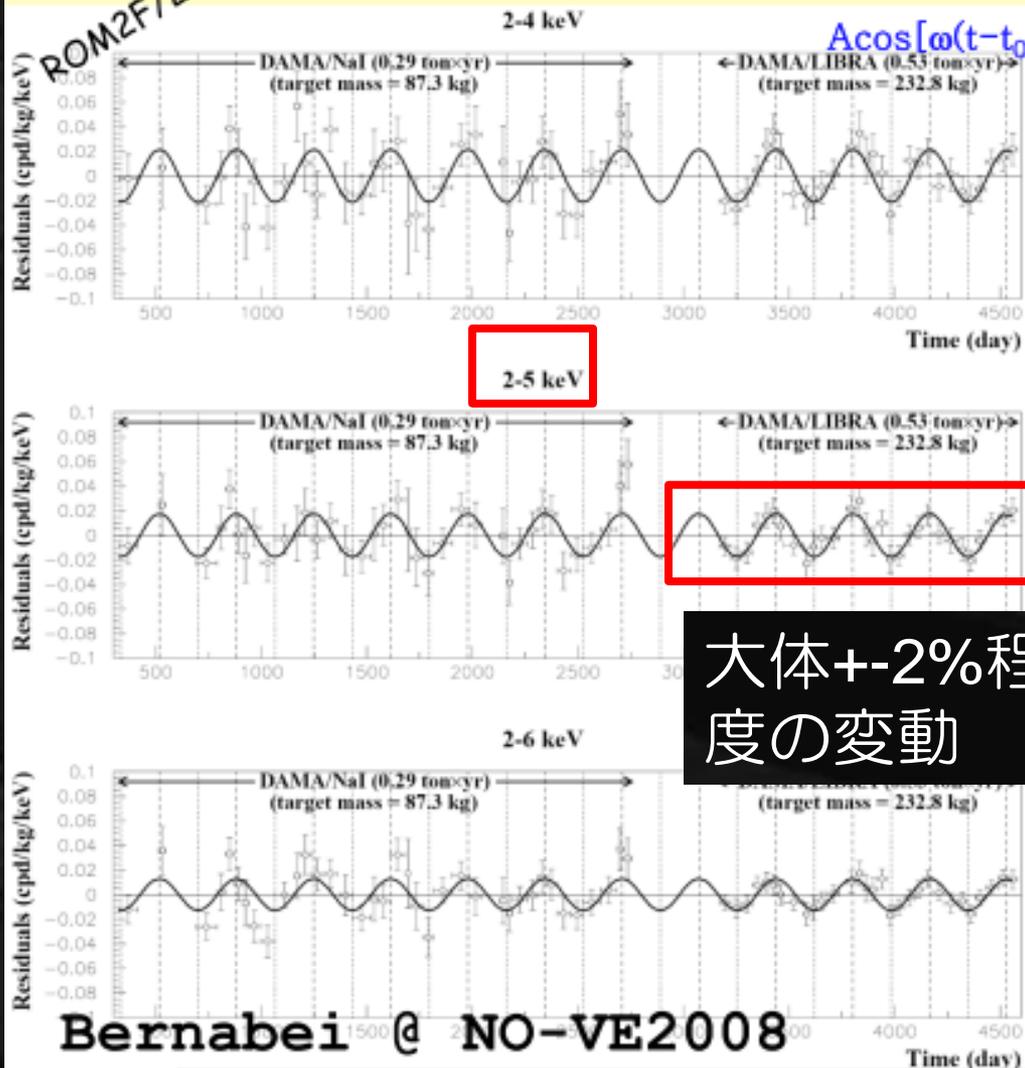
closing the Cu box
housing the detectors

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

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

2-6 keV

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

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

Absence of modulation? No

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

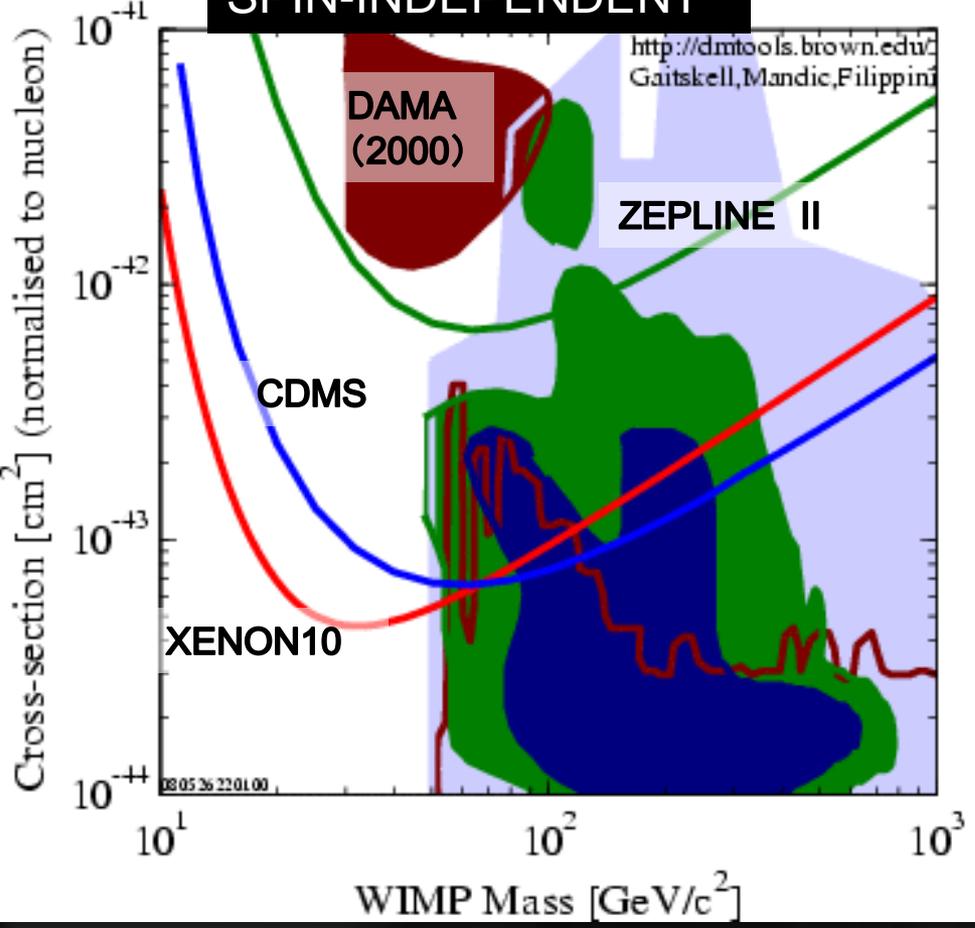
The data favor the presence of a modulated behavior with proper features at 8.2 σ C.L.

NEWAGE

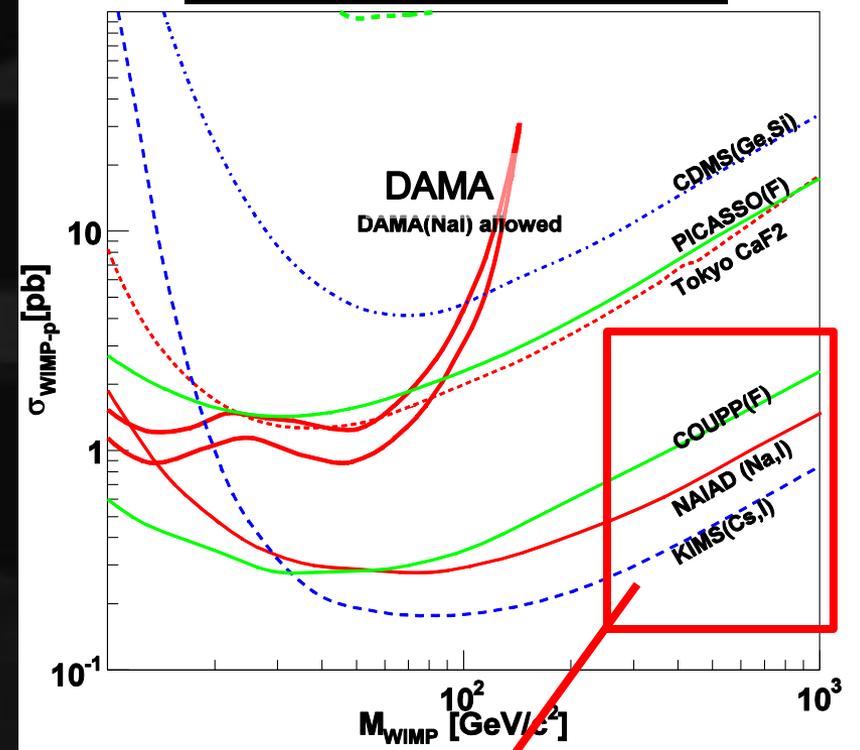
世界の暗黒物質探索：まとめ

大質量・多手法検出器での凌ぎ合い

SPIN-INDEPENDENT



SPIN-DEPENDENT



- DATA listed top to bottom on plot
- DAMA 2000 58k kg-days NaI Ann. Mod. 3sigma w/DAMA 1996
- ZEPLIN II (Jan 2007) result
- CDMS 2008 Ge
- XENON10 2007 (Net 136 kg-d)
- Roszkowski/Ruiz de Austri/Trotta 2007, CMSSM Markov Chain Monte Carlos
- Roszkowski/Ruiz de Austri/Trotta 2007, CMSSM Markov Chain Monte Carlos
- Ellis et. al Theory region post-LEP benchmark points
- Baltz and Gondolo 2003
- Baltz and Gondolo, 2004, Markov Chain Monte Carlos

統計処理によるBG subtraction



Another piece of information

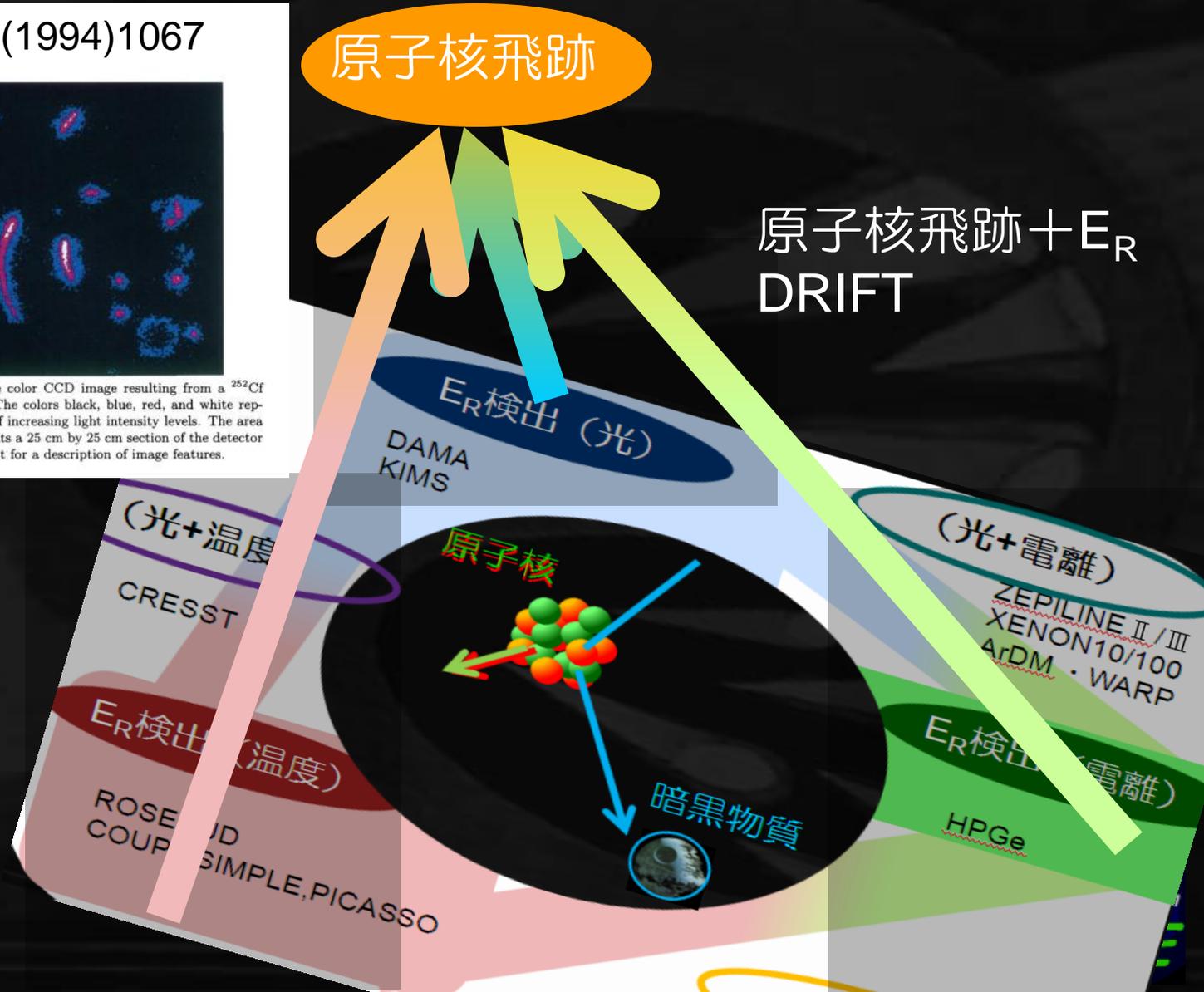
PRL73(1994)1067



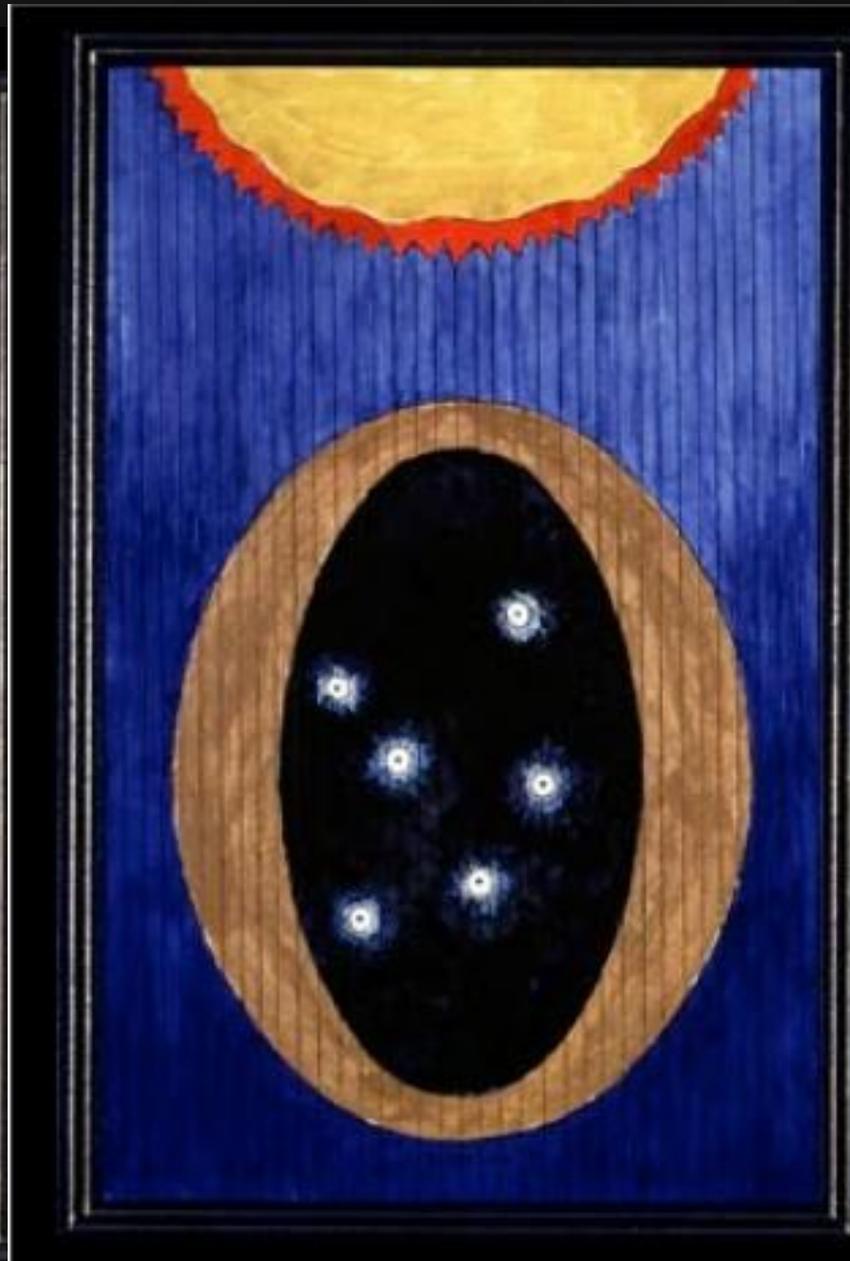
FIG. 2. A false color CCD image resulting from a ^{252}Cf neutron source. The colors black, blue, red, and white represent the order of increasing light intensity levels. The area displayed represents a 25 cm by 25 cm section of the detector plane. See the text for a description of image features.

原子核飛跡

原子核飛跡 + E_R
DRIFT



「方向性」の重要性

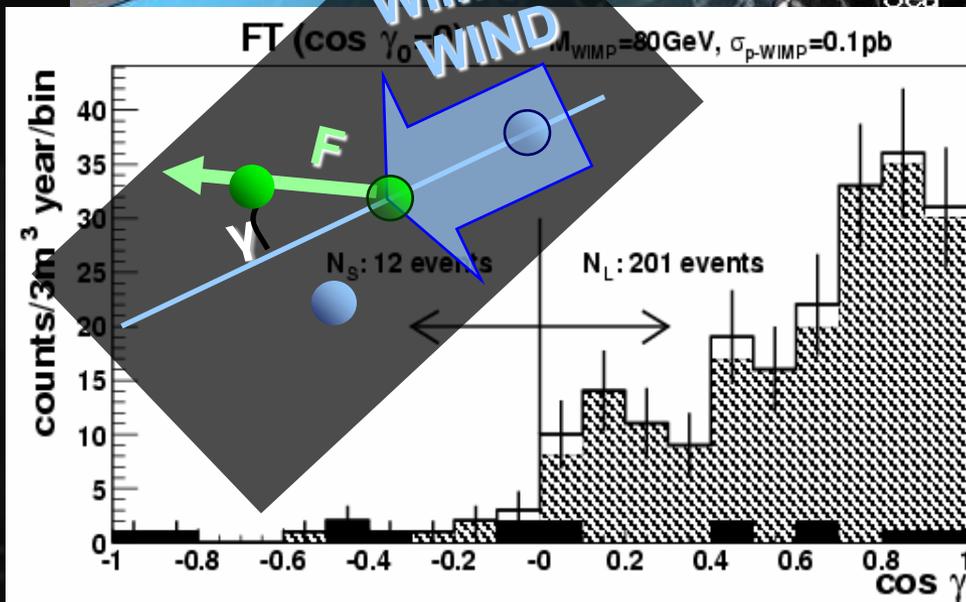
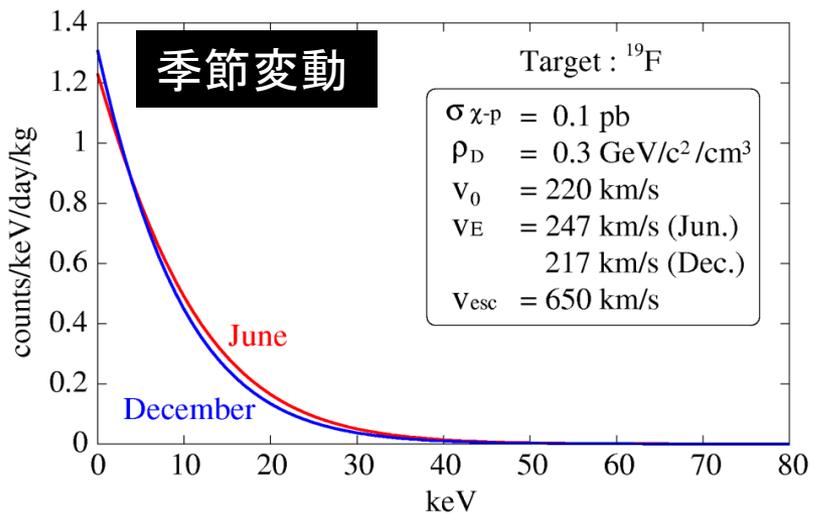


S
la

som
fysi
me
R
för
fy
.
f

飛跡検出のメリット

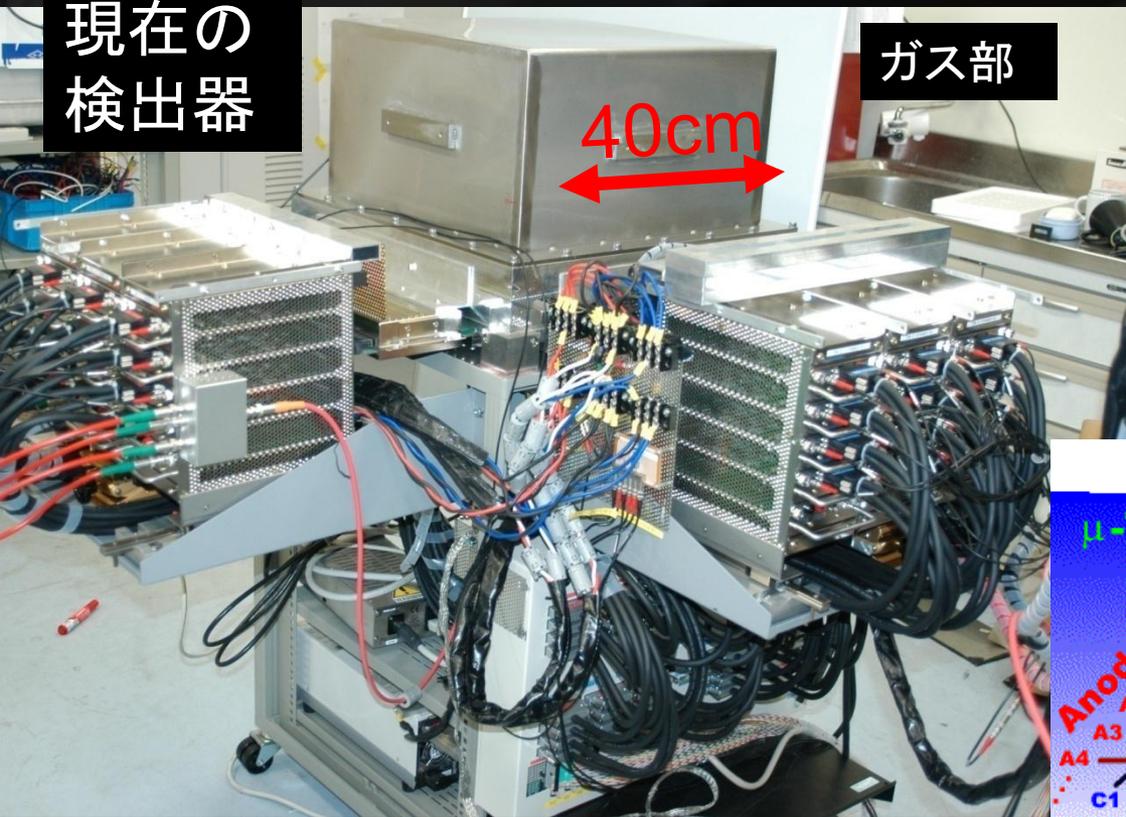
- 季節変動(5%以下)と比較して確実な証拠となる
(前後の非対称度は最大で10倍。)
- 検出の後には暗黒物質の性質解明



そしてNEWAGE

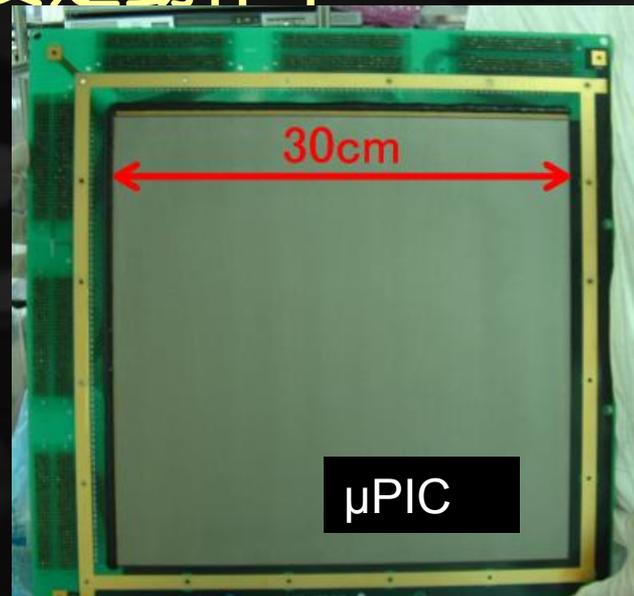
- 京大で開発した「 μ PIC」検出器
- 現在は30cmキューブが地下で安定動作中

現在の
検出器



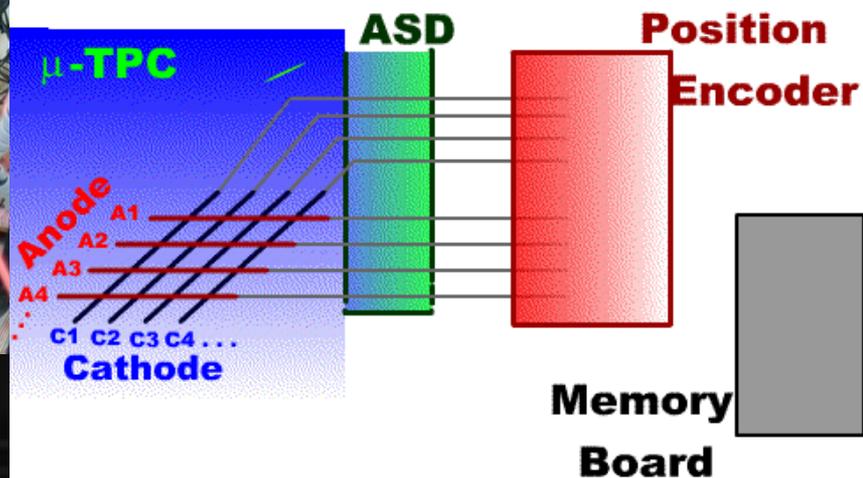
40cm

ガス部



30cm

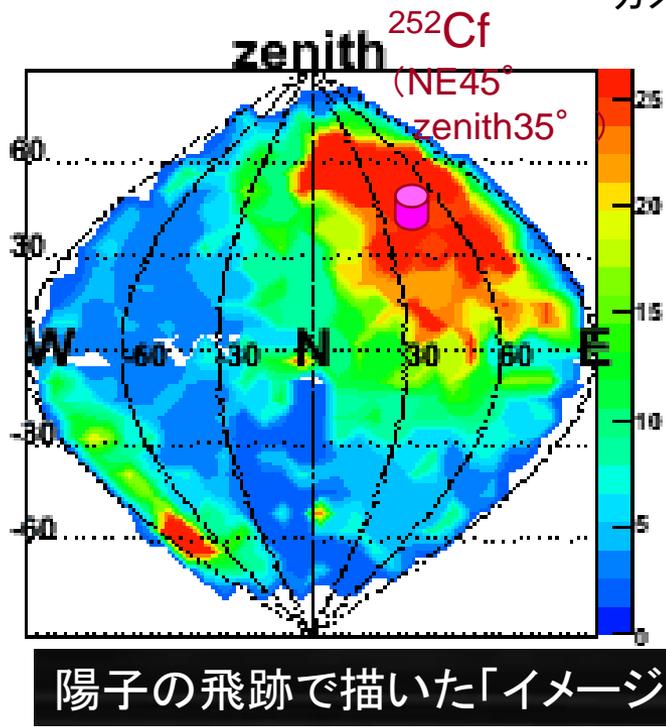
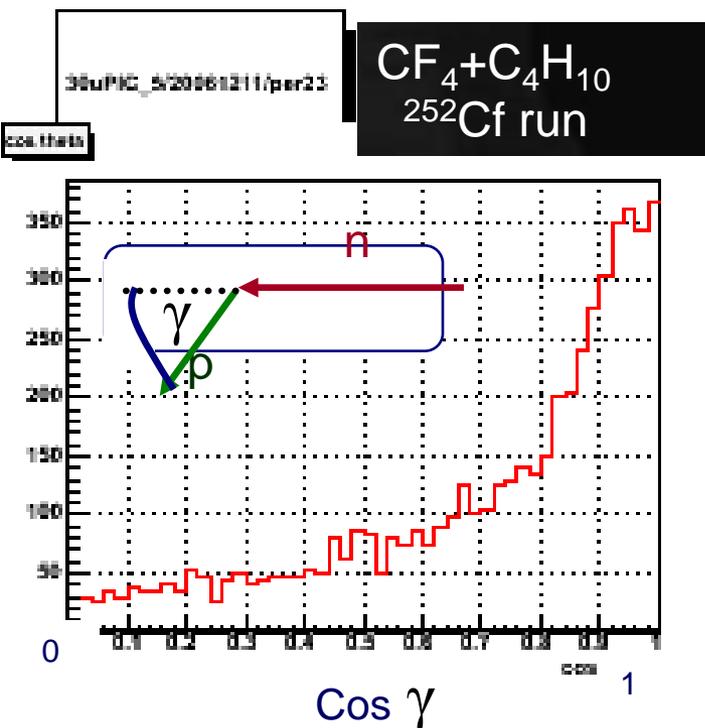
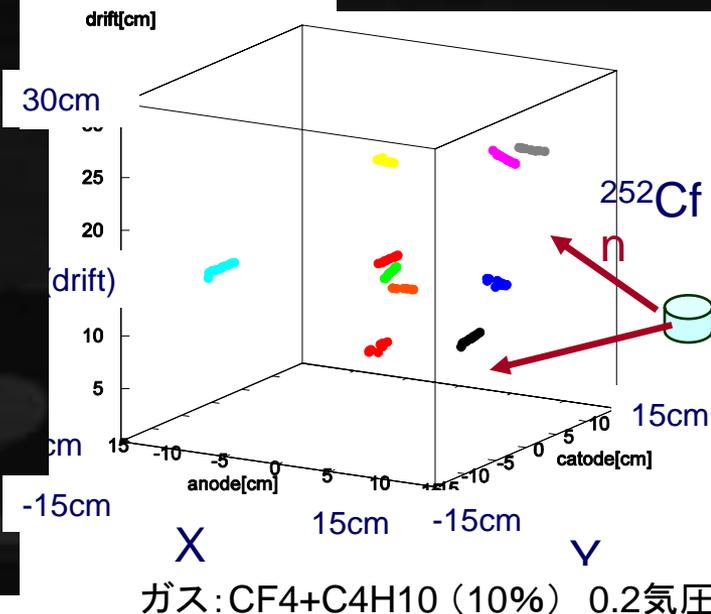
μ PIC



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

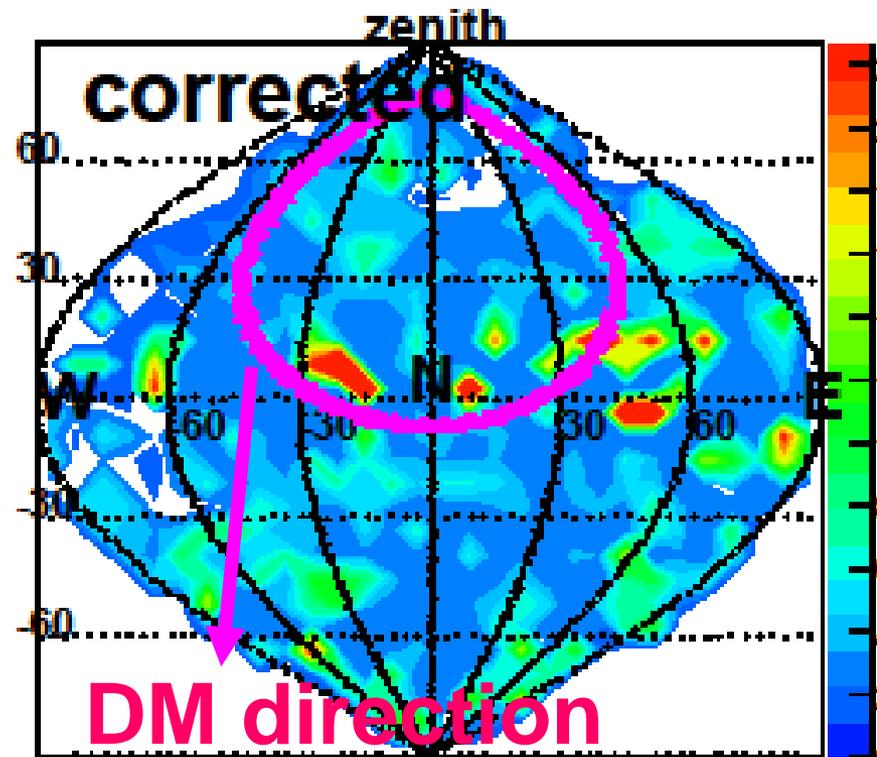
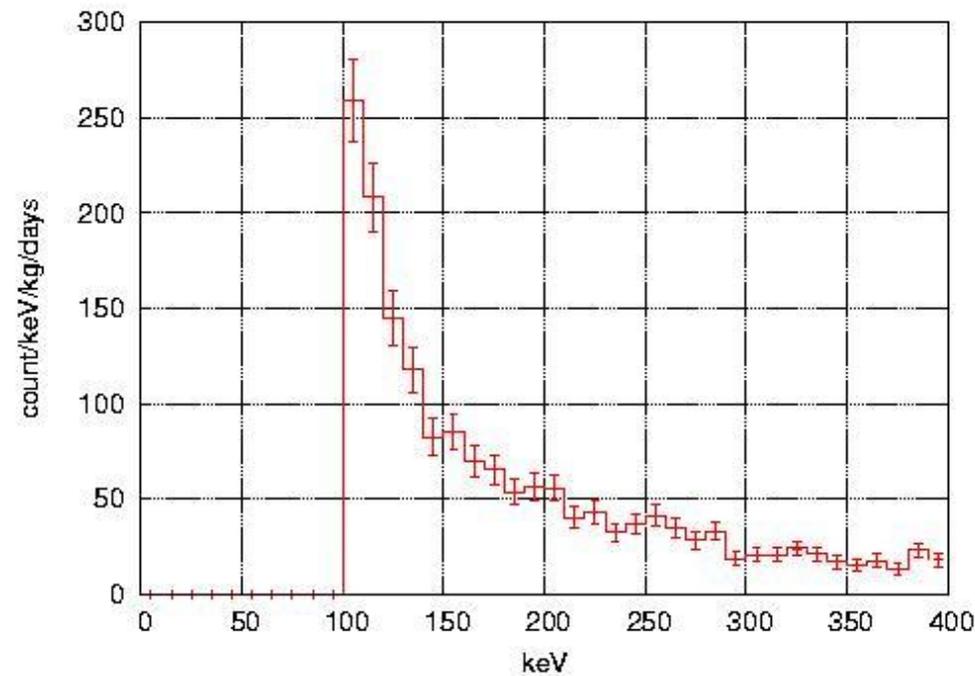
陽子飛跡の例



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11月1日～11月27日
- exposure 0.15 kg days
- シールドなし

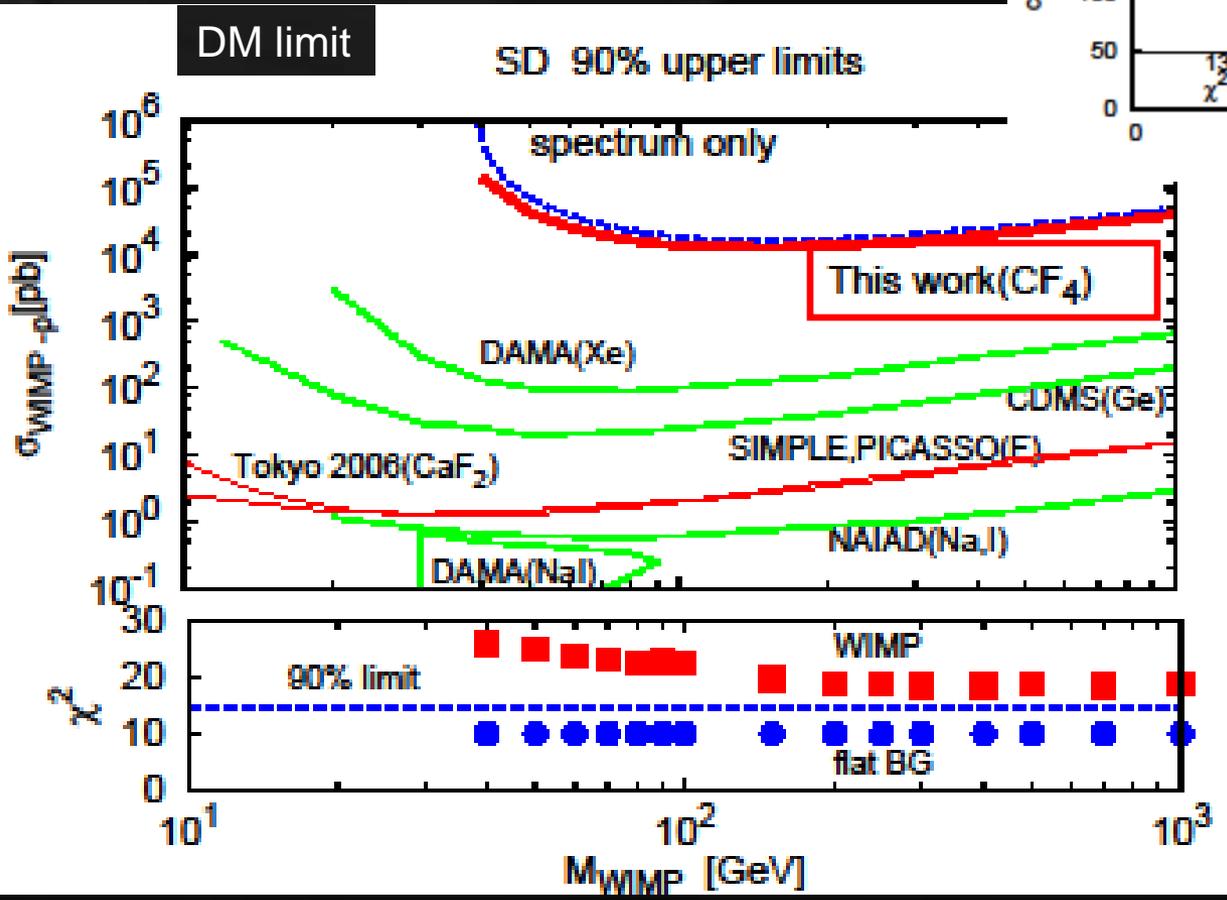
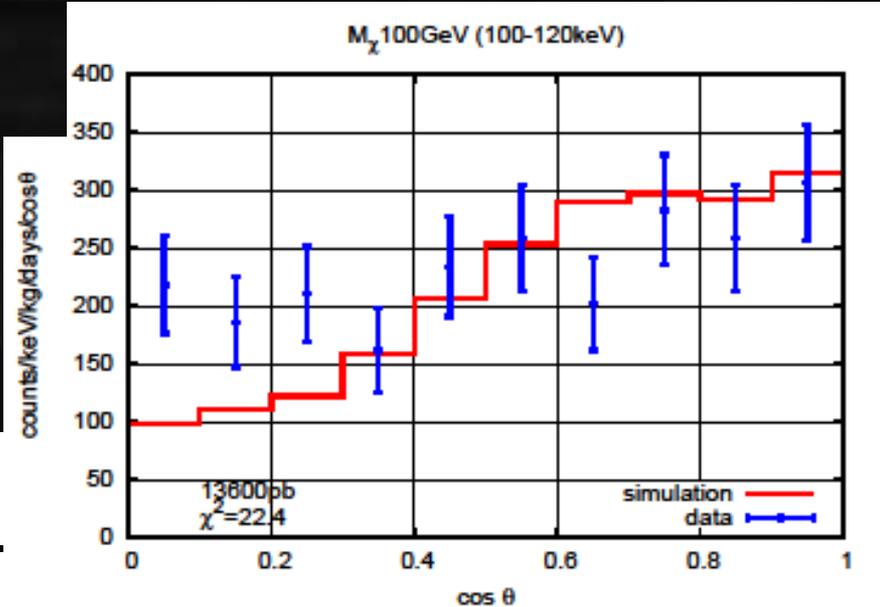
North sky view seen by C and F nuclei
(100-400keV)



Cosθ 分布
(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
- BGを減らすことで感度向上を。



世界初！の方向に感度を持った暗黒物質探索実験結果。

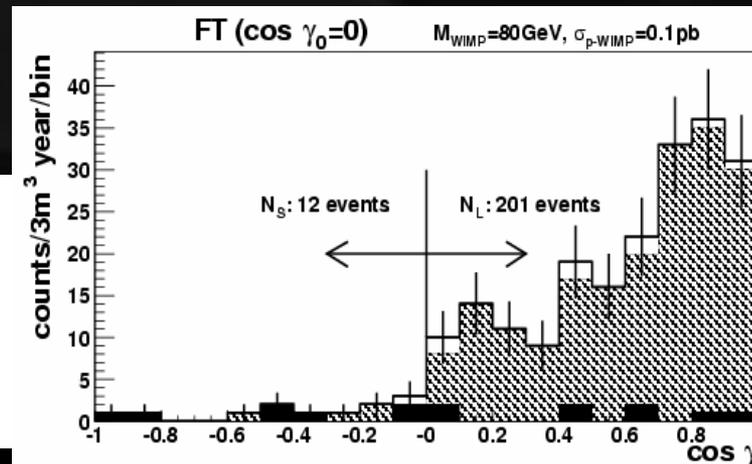
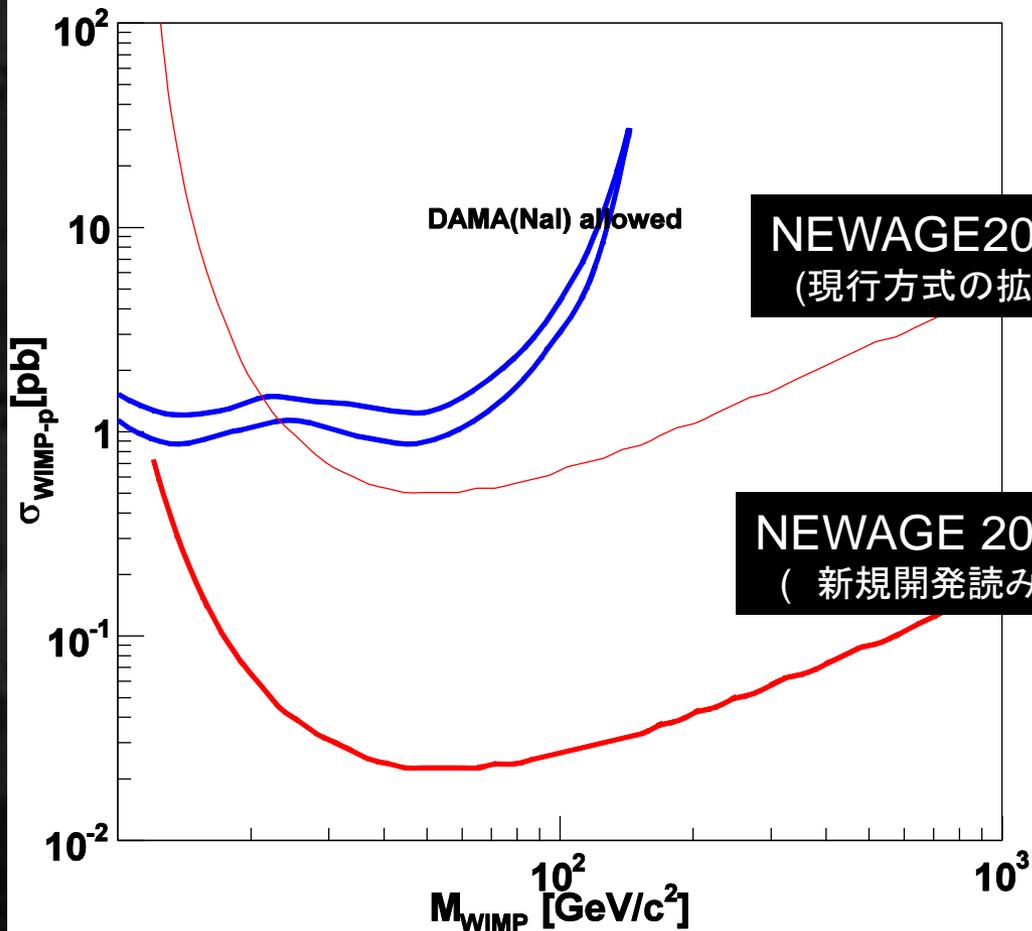
DRIFTを凌駕



NEWAGEのこのさき

DAMA領域の探索へ

3 σ での到来方向非対称性検出感度



まとめ

暗黒物質の直接検出を目指して
世界中で研究がおこなわれています。

NEWAGEもそのうちのひとつです

ご清聴ありがとうございました。

