直接探索の将来計画
～チカラワザのその先に～
JEDI's new hopes

神戸大学　身内賢太朗

2013年9月21日

THANKS
Japanese Experimental
Dark matter Investigators

ANKOK GROUP

PICO-LON

Emulsion

直接探索の将来計画
～チカラワザのその先に～
JEDI's new hopes

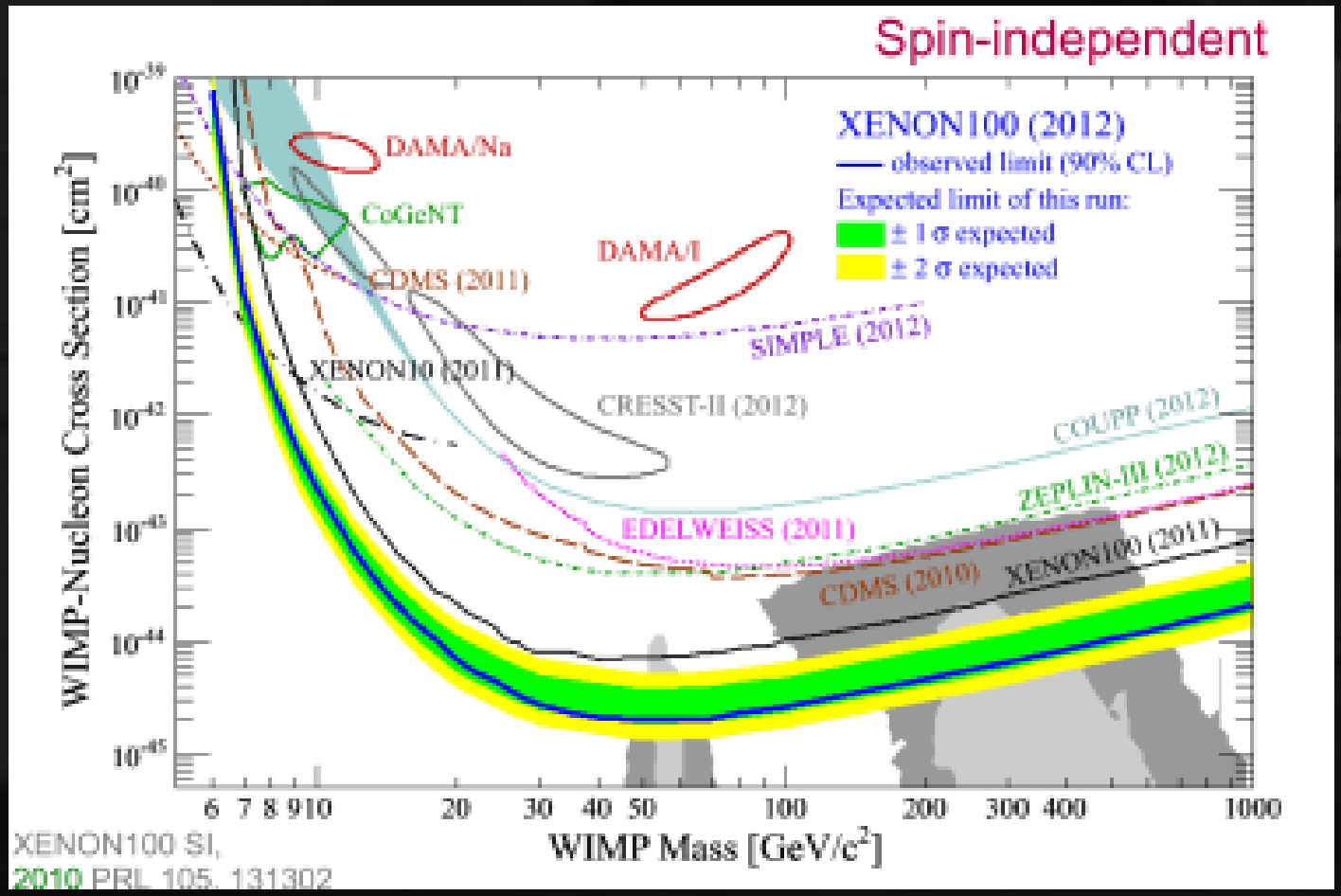
メッセージ

「その先」はすぐそこ

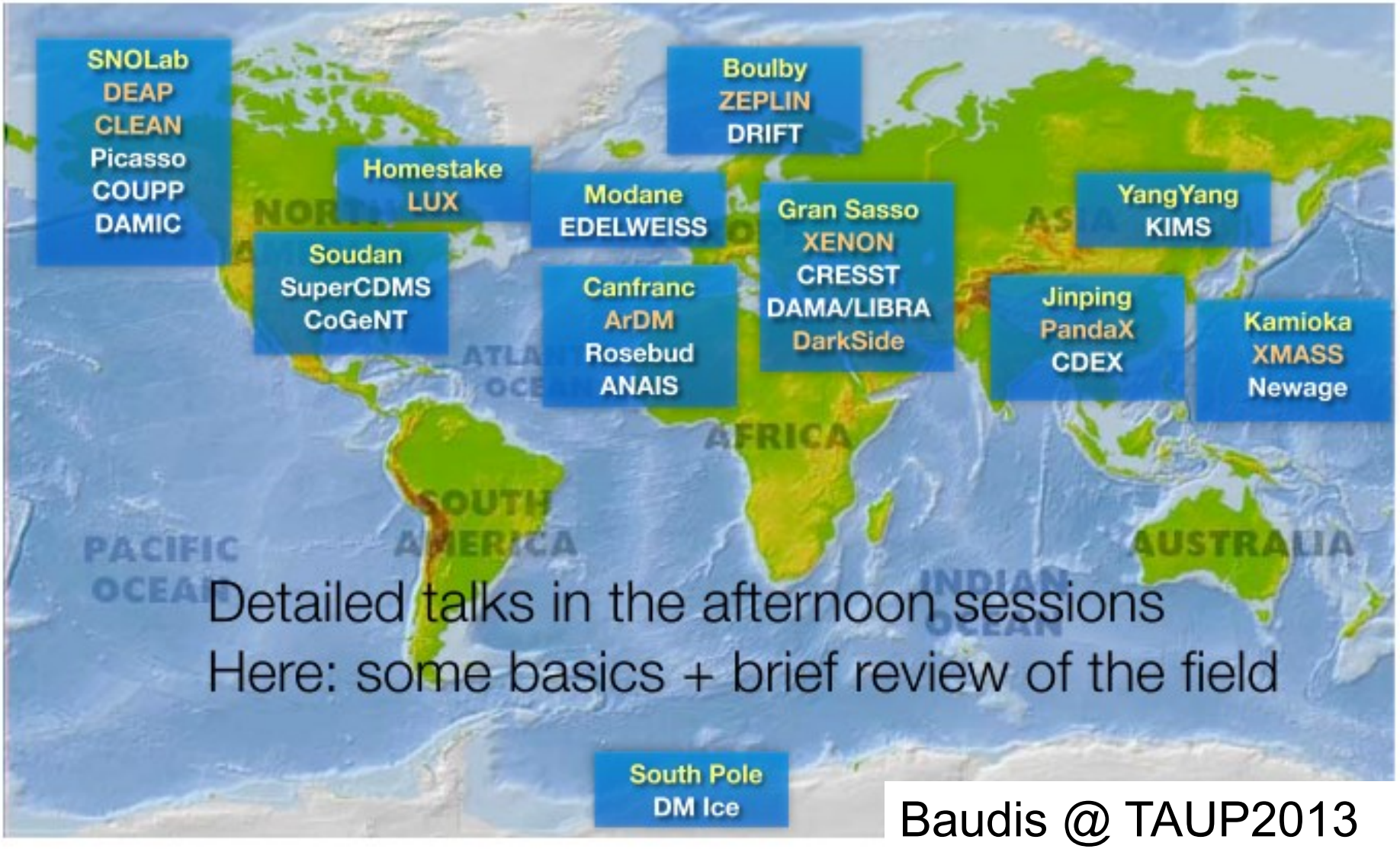
直接探索の将来計画
～チカラワザのその先に～
JEDI's new hopes

- チカラワザ：「大質量」の将来計画
- 「その先」の目指すもの：暗黒物質の信号
- **JEDI's WEAPON**
- 「その先」へ：将来計画

- 現状確認
  - DAMA　CoGeNT CRESST
  - XENON



A world-wide effort to search for WIMPs



Baudis @ TAUP2013

チカラワザ

低温検出器
希ガス液体検出器

の合従連衡

低温検出器

- 100～200kg　へ

EDELWEISS

Germanium

CRESST

Gran Sasso

$CaWO_4$

phonon – scintillation

EURECA-I

(150kg)

EURECA

SuperCDMS SNOLAB

Ongoing R&D

100 mm detector
- procurement
- fabrication
- testing
- production (6 det/mo)

Readout improvements
- Tower engineering
- new SQUID arrays
- JFET ➔ HEMT

Installation @ SNOLAB
- Shielding design
- Cryogenic System
- Neutron Veto

IDM talk by Silvia Scorza

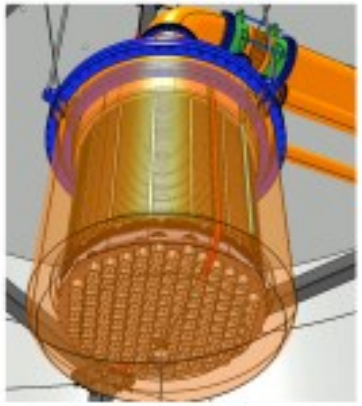
Run 200 kg for 4 years

$\sigma_{SI} < 8 \times 10^{-47}$ cm^2

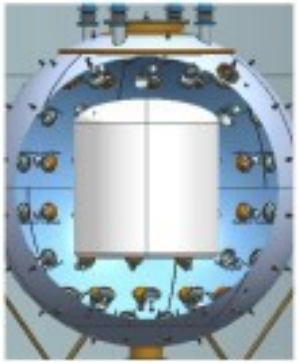
for 60 GeV/c^2 WIMP

Future argon and xenon detectors

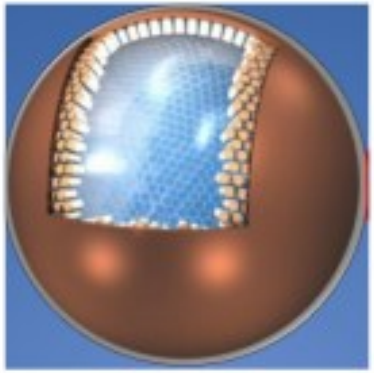
- Under construction: XENON1T at LNGS, 3.5 t LXe in total
  - ➡ commissioning in 2014, first run in 2015, goal 2 x 10^{-47} cm^2
- Near future + design and R&D: XENONnT (n t LXe), XMASS-1.5 (5 t LXe), DarkSide-5000 (5 t LAr), LZ (7 t LXe), DARWIN (20 t LXe)



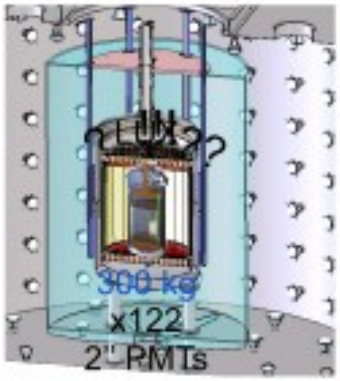
XENON1T: 3.5 t LXe



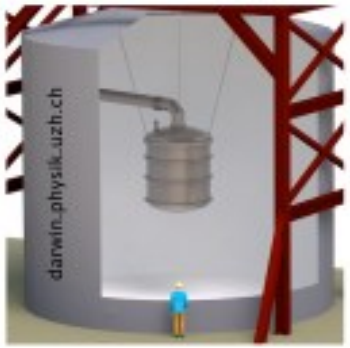
DarkSide: 5 t LAr



XMASS: 5t LXe



LZ: 7t LXe

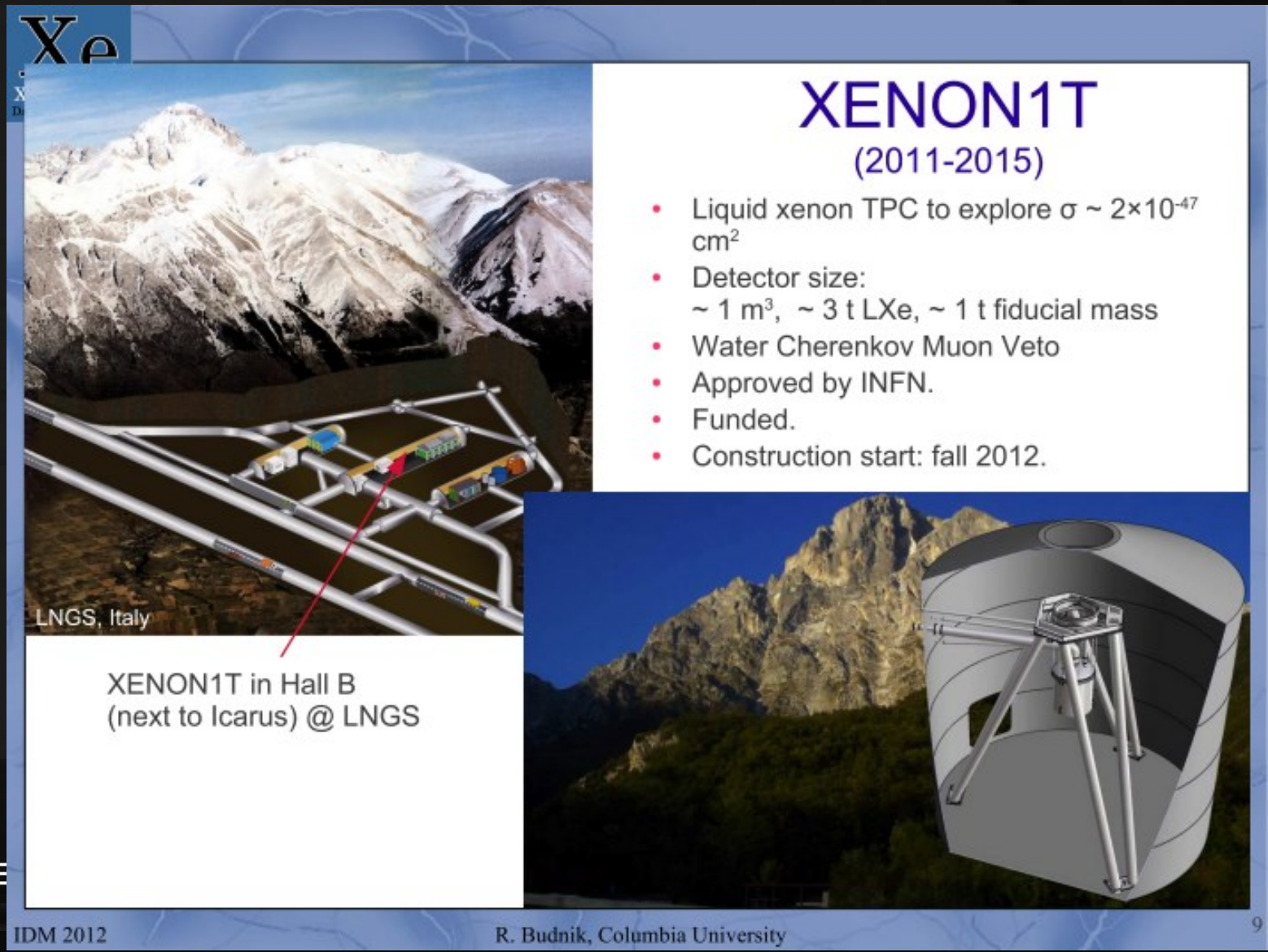


DARWIN: 20 t LXe/LAr

Baudis @ TAUP2013

液体キセノン

XENON1T　建設中　2015年観測開始予定



DarkSide Program

Multi-stage program at Gran Sasso National Laboratory

DarkSide 10

Currently running full prototype detector

DarkSide 50

First physics detector

Physics goal ~ 10^{-45} cm^2

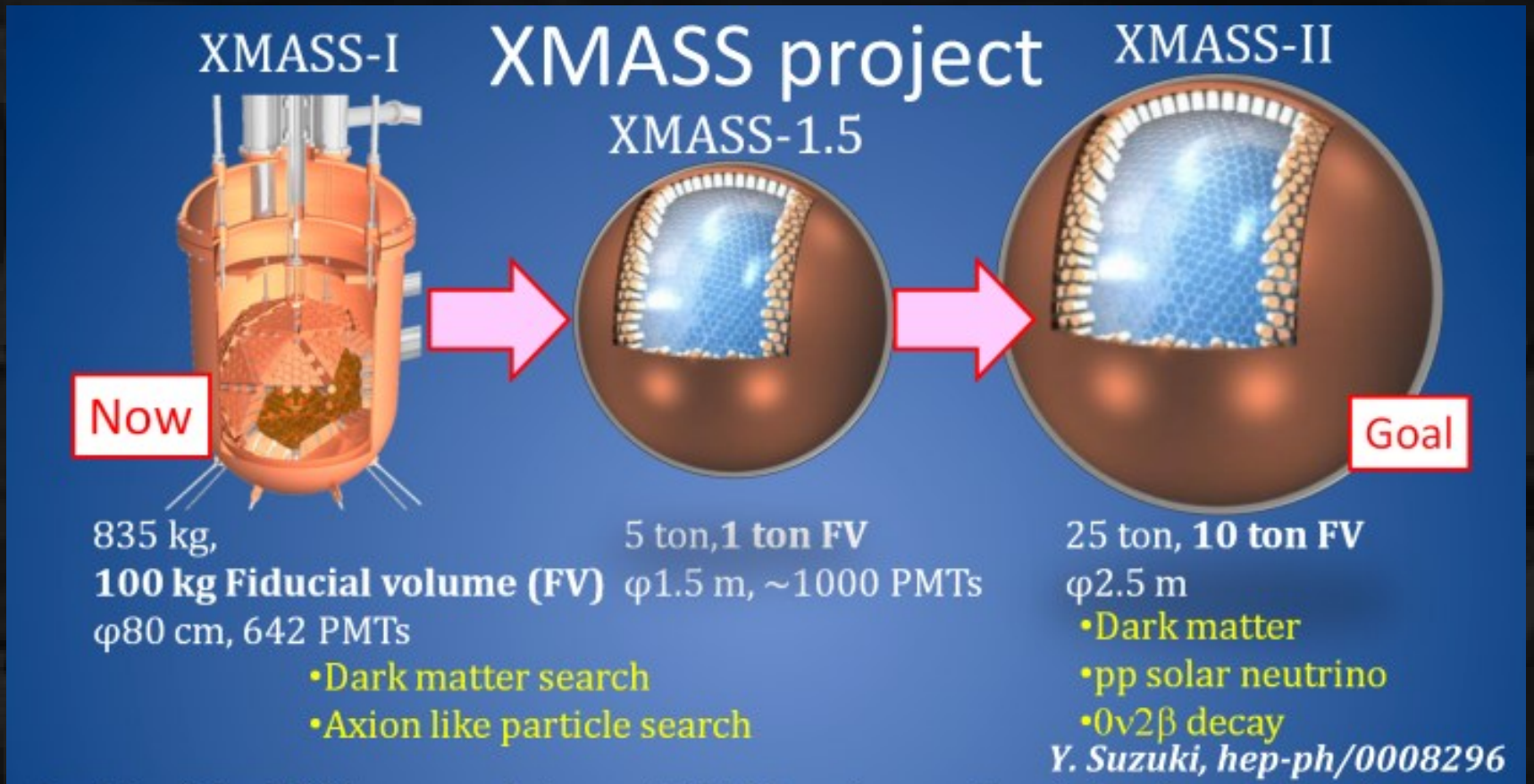
DarkSide G2

Multi-ton detector

Physics Goal ~ 10^{-47} cm^2

+ multipl

XMASS-II



• In this slide, I'd like to explain our XMASS project at Kamioka observatory in Japan.

• Our final goal, a ten ton scale detector of X
such as dark matter, pp solar neutrino and
• Refurbishment of XMASS-I will be comple
planed to start in 2015. They are mainly for
• Commissioning data of XMASS-I was take

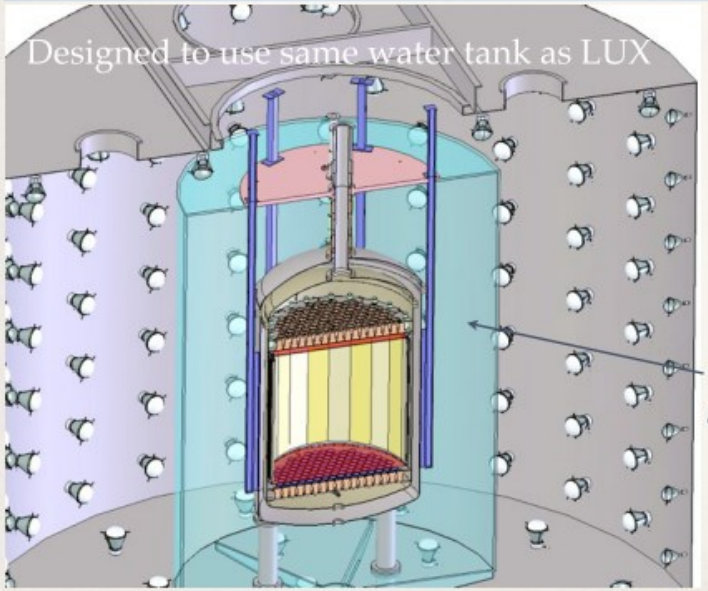
CYGNUS 2013@Toyama

2013/06/11

Nagoya univ. Hiroyoshi Uchida

- LZ
  - 7T XENON

Beyond LUX, LUX+ZEPLIN=LZ

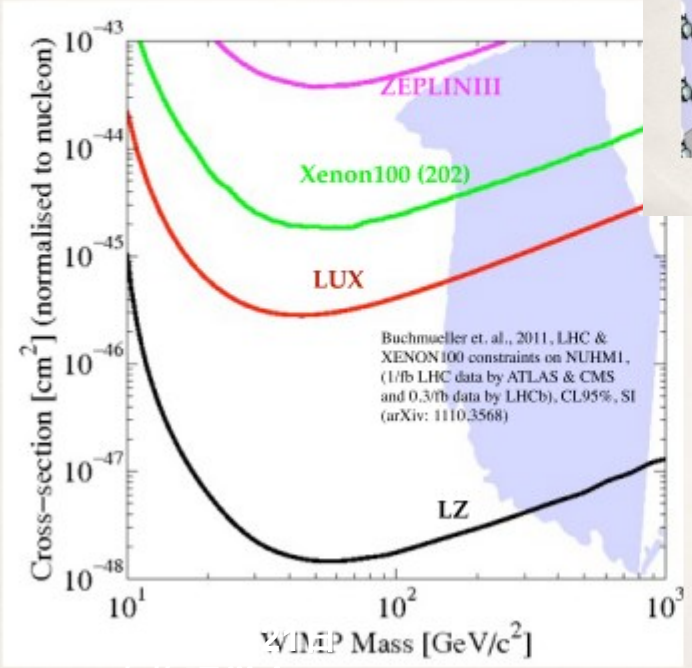


7 T fiducial Xe, 8.6 T total, scintillation signals read out with ≈500 Hamamatsu R11410 3″ PMTs

Two-step veto uses water shield + liquid scintillator in acrylic vessel, as well as instrumented Xe outside active region

See Tom Shutt and Dave Malling's talks for details [34]

Conclusions



Liquid xenon detectors are very power
sear
Hopefu
present something exciting at the next IDM!!!

Karen Gibson *on behalf of the LUX Collaboration*

Identification of Dark Matter
July 26, 2012

- 力まかせだけではなくて、、
  - 低BG光センサー "QUPID"
  - チタン容器

Radio-assay of Titanium samples for the LUX Experiment

arXiv:1112.1376v

Comparison of Photon Detectors from Hamamatsu

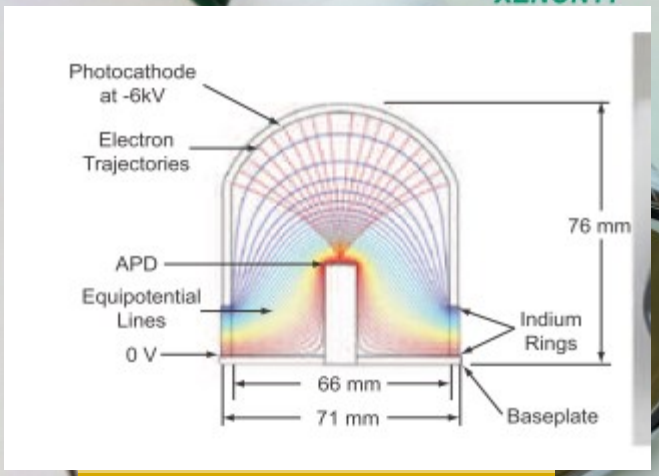
arXiv:1103.3689v2

R11065 (Ar)
R11410 (Xe)
3 inch

QUPID
3 inch

MAX
XAX

XENON1T



Katsushi Arisaka, UCLA

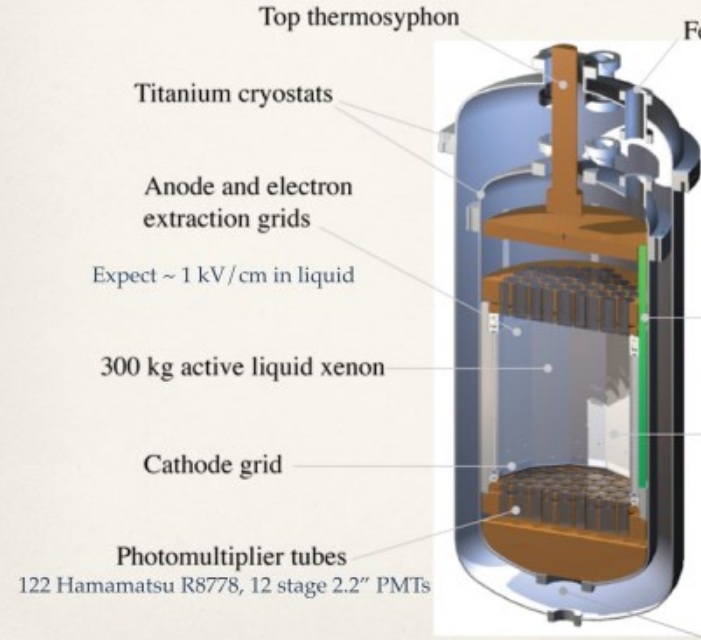
U/Th ~ 0.1 mBq

U/Th ~ 5 mBq

U/Th ~ 1 mBq

Confirmed by ICP/GD-MS

Cryostat



「その先」の目指すもの

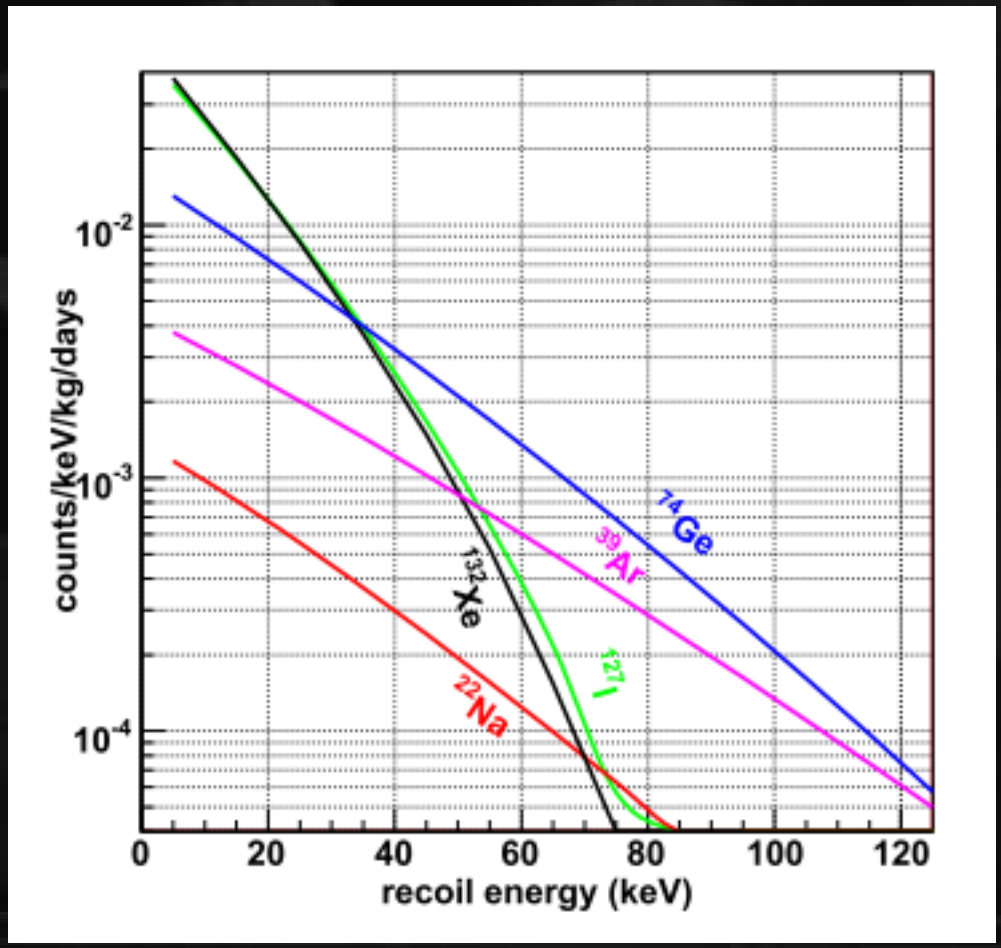
物質依存

季節変動 +

非弾性散乱

方向感度

- 物質依存
  - rate、スペクトル形状が物質依存あり
  - CDMS　Ge/Si　など
  - 系統誤差のコントロール



Cross section

$$\frac{dR}{dE_R} = c_1 \frac{R_0}{E_0 r} e^{-c_2 E_R / E_0 r} \quad [\text{count/keV/kg/day}]$$

$$R_0 = \frac{361}{M_\chi M_N}\left(\frac{\sigma_{\chi-N}}{1\text{pb}}\right)\left(\frac{\rho_D}{0.3\text{GeVcm}^{-3}}\right)\left(\frac{v_0}{230\text{km/s}}\right) \quad [\text{count/kg/day}]$$

R : countrate

E_R : recoil energy

c_1, c_2 : const

E_0 : kinetic energy of DM

v_0 : DM velocity

M_χ : DM mass

M_N : target mass

$$r = \frac{4 M_\chi M_N}{(M_\chi + M_N)^2}$$

ρ_D : DM density

- **Enhancement factor *C***

$$\sigma_{\chi-N} = 4 G_F^2 \mu_{\chi-N}^2 C_N$$

$$\mu_{\chi-N} = \frac{M_\chi M_N}{M_\chi + M_N} : \text{reduced mass}$$

G_F^2 : Fermi coupling constant

- **SI interaction**

$$C \propto A^2$$

***A*: atomic number**

- **SD interaction** (contribution of either proton or neutron is considered)

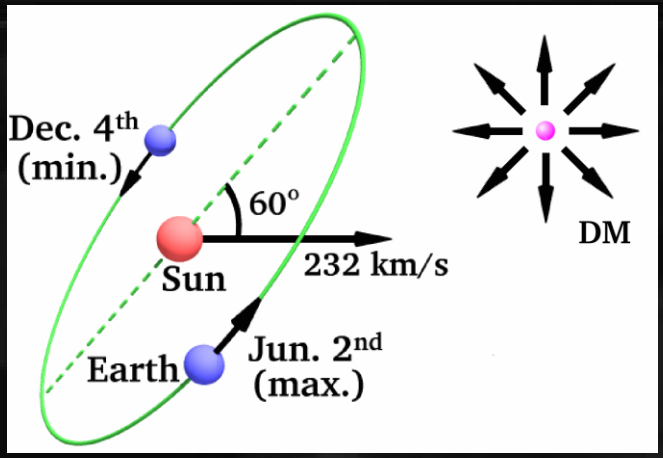
$$C \propto \lambda^2 J(J+1)$$

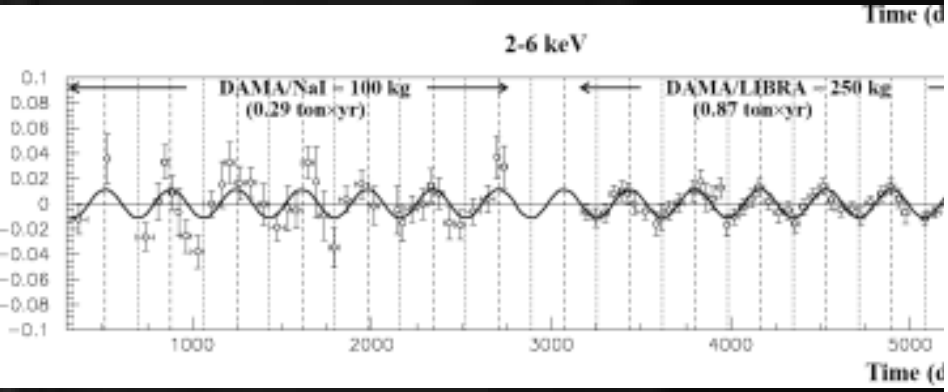
λ: Lande factor

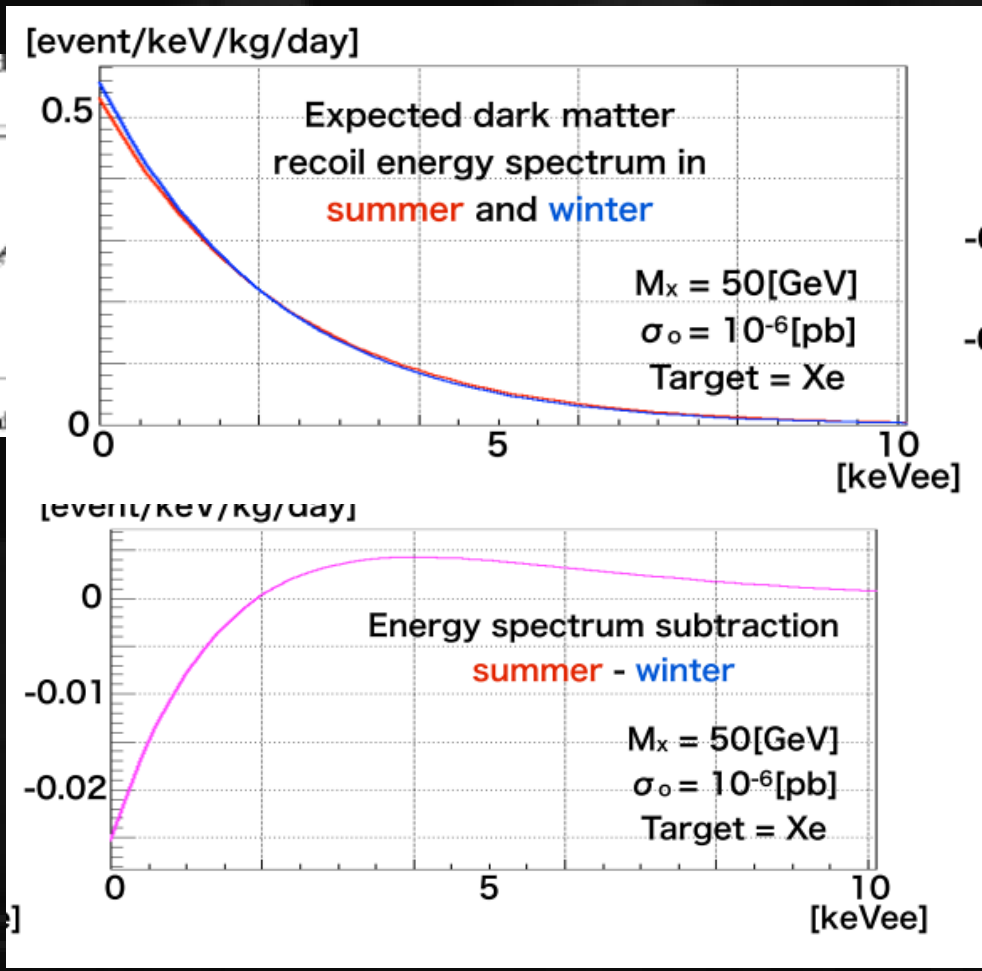
***J* : total spin of the nuclei**

Isotope	unpaired	abundance	$\lambda^2 J(J+1)$
^{7}Li	p	92.5%	0.411
^{19}F	p	100%	0.647
^{23}Na	p	100%	0.041
^{73}Ge	n	7.8%	0.065
^{127}I	p	100%	0.023

- 季節変動 +
  - 「DAMA以上」の為には、、、
  - 位相反転を見る





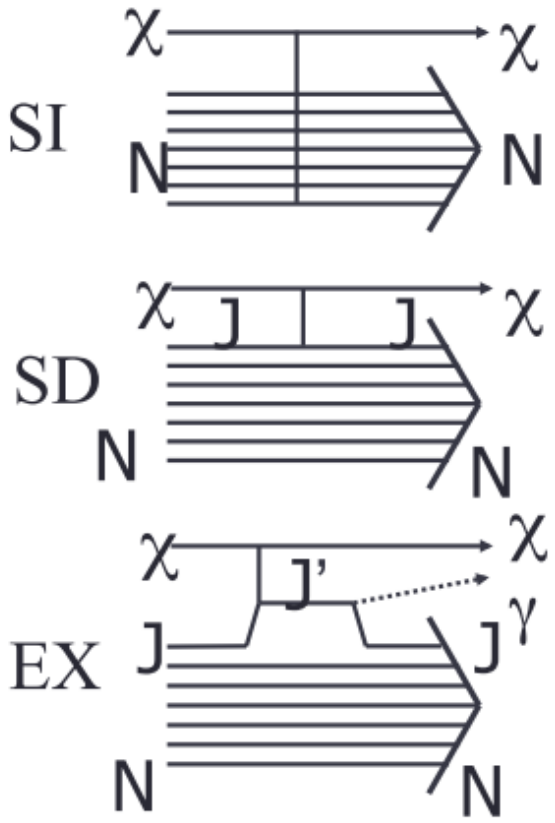


2013年 9月21日
日本物理学会

- 非弾性散乱
  - 原子核の励起　⇒　ピークが得られる

WIMPs interactions to be studied

- NaI(Tl) is sensitive to all types!!



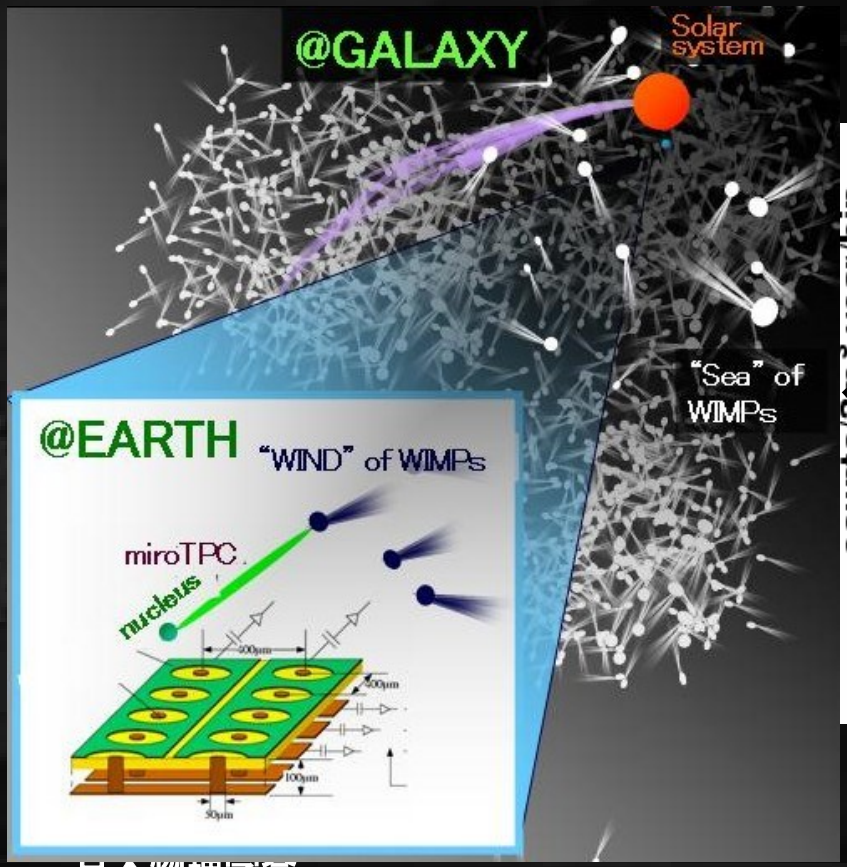
$$\sigma \propto A^2$$

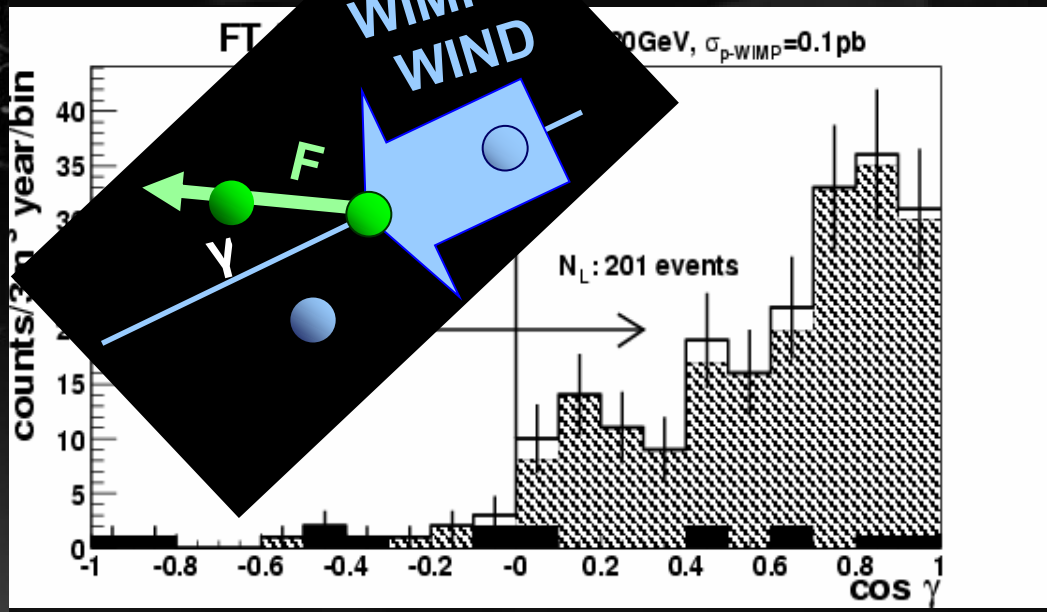
$$\sigma \propto C\lambda^2 J(J+1)$$

$$\sigma \propto \sqrt{\frac{2J'+1}{2J+1}} \frac{1}{g_M} \langle A | M1 | A^* \rangle$$

方向感度

- 決定的な信号
- 季節変動の1/1000程度の統計でOK
- Weekly Interacting… 程度で十分





方向感度な世界コミュニティー

国際会議「CYGNUS 2013」 BY　YOUNG JEDI

盗難
in フランス

LOC 平均　33歳

JEDI's weapon

What is this?
It's a lightsaber. Much smarter than blusters.

Star Wars Episode IV

JEDI's weapon

- LOW BG 技術

oogle 検索 共有 詳細 »

ル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

極低バックグラウンド素粒子原子核研究懇談会

日時：2013年4月23日（火），24日（水） 場所：富山市「富山商工会議所」10階

2013年4月23・24日 (於富山商工会議所)

懇談会のプログラム，スライドはこちらです

開催主旨

富山商工会議所 CANDLES ニュートリノ 富山商工 暗黒物質 素粒子 東北大 大阪大 富山市 東京大 鈴木洋一郎 梅原さおり 井上邦雄 池田晴雄 岸本忠史 中畑雅行 古賀真

「その先」へ

ANKOK

XMASS-II

PICOLON

NIT

NEWAGE

実験名（ホスト）	物質依存	季節変動+	方向感度	非弾性散乱	手法
ANKOK (早大)	○	○			2層 アルゴン
XMASS-II (ICRR)	○	○		○	シンチレータ
PICO-LON (徳島大)	○	○		○	薄型シンチ
NIT(名大)	○		○		エマルジョン
NEWAGE(神戸大)	○		○		ガスTPC

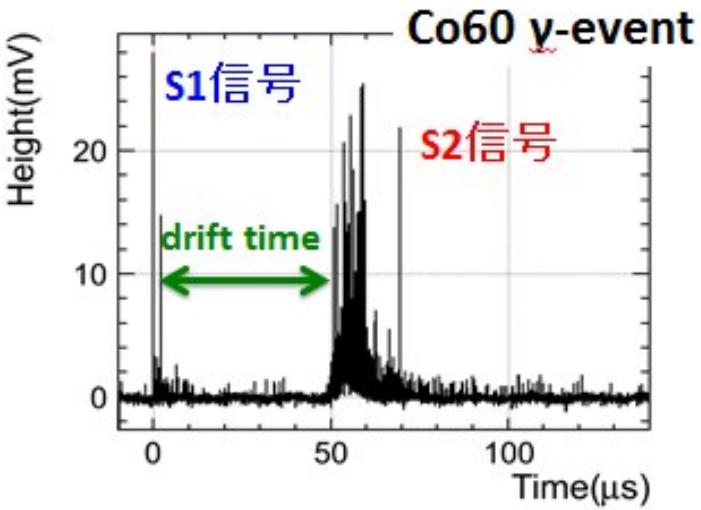
- **ANKOK　(早大+)**
  - アルゴン
  - 待望の　2層型
  - 光量増加　ガンマ線除去
  - 地上・10kg

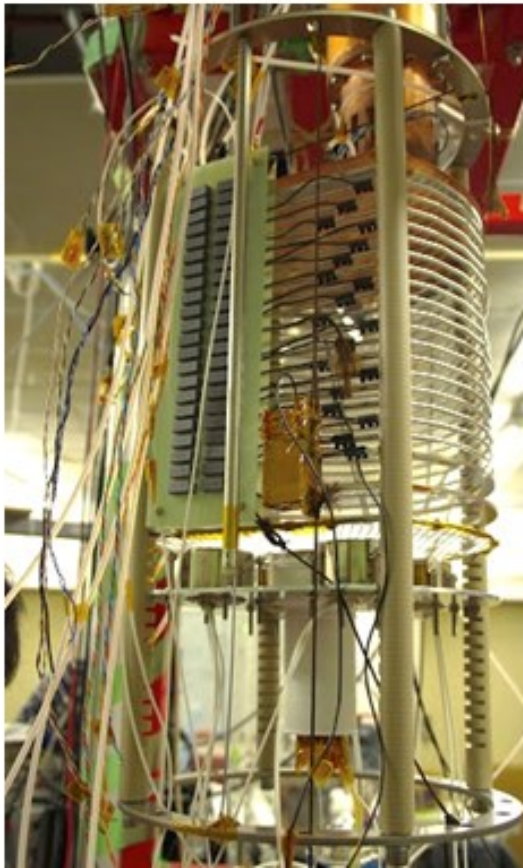
早大理工　藤崎薫

2012年 - 10kgアルゴン2相型 -

- 直径25cm × 高さ 20cm
- 底面5本のPMTで光読み出し

✓2相型の確立 (高電圧印加・液面管理)
✓10日間の安定運用
✓ドリフト電子純度評価・維持

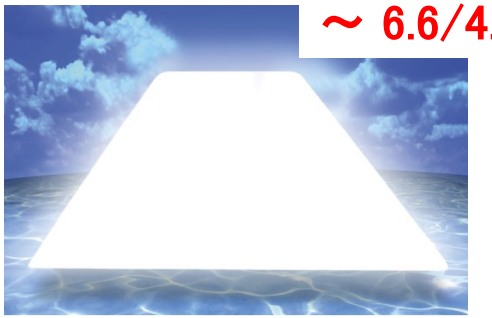




まとめと今後の展望

早大理工　加地俊瑛

- TPB の最適化，反射材の導入により，光検出効率を大幅に改善
- 夏に行った 1 相型検出器の実験では約 1.8 pes/keV$_{ee}$ を達成
  - 改善の余地はまだまだある（反射材，Q.E.，純度 ・・・）



～ 6.6/4.3 倍

【GORE® 拡散反射材】

～ 35/25 倍

【浜松ホトニクス R11065】

～ ??? 倍

【PURERON GP/GPF】

- この他に，新しい検出方法にも積極的に取り組んでいる
  - 「MPPC や赤外光を用いたアルゴン蛍光の新しい検出方法の開発」
    鷲見貴生講演，素粒子実験領域，20aSL-10

ANKOK GROUP

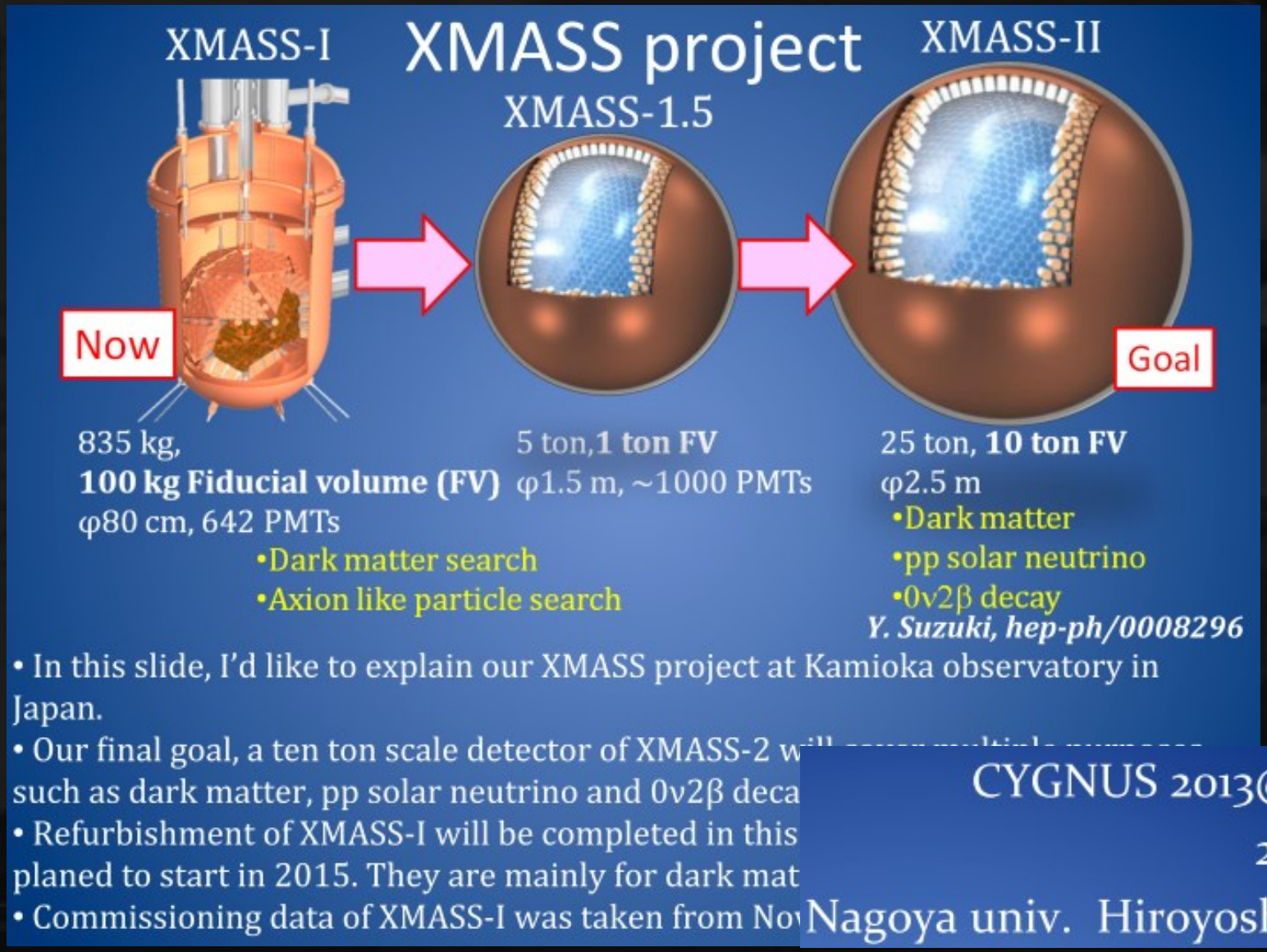
ANKOK は今後も成長を続け、

国際競争力を持つアルゴン実験として、

物理結果を叩き出す

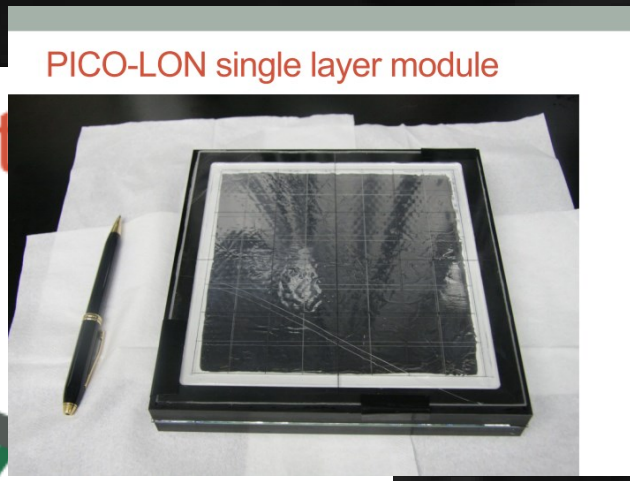
XMASS-II (ICRR+)

- キセノンシンチレータ



PICO-LON　(徳島大+)

- NaIシンチレータ
- 地下・10×10×0.1cm^3



Present status of PICO-LON module

- Low Energy threshold = 2keV OK
- Low background of crystal OK!!!!
  - Material selection
  - NaI(Tl) powder purification
  - Successfully reduced U and Th chain impurities.
  - K.Fushimi 20pSJ-7

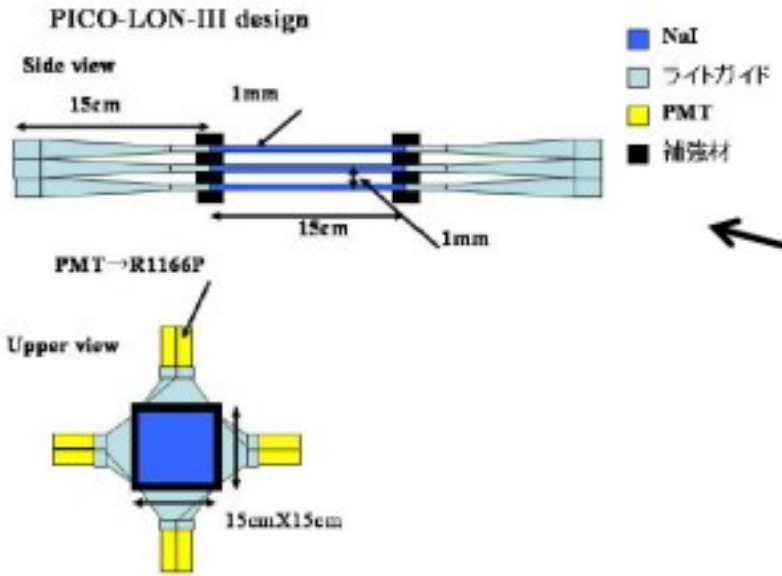
Present result

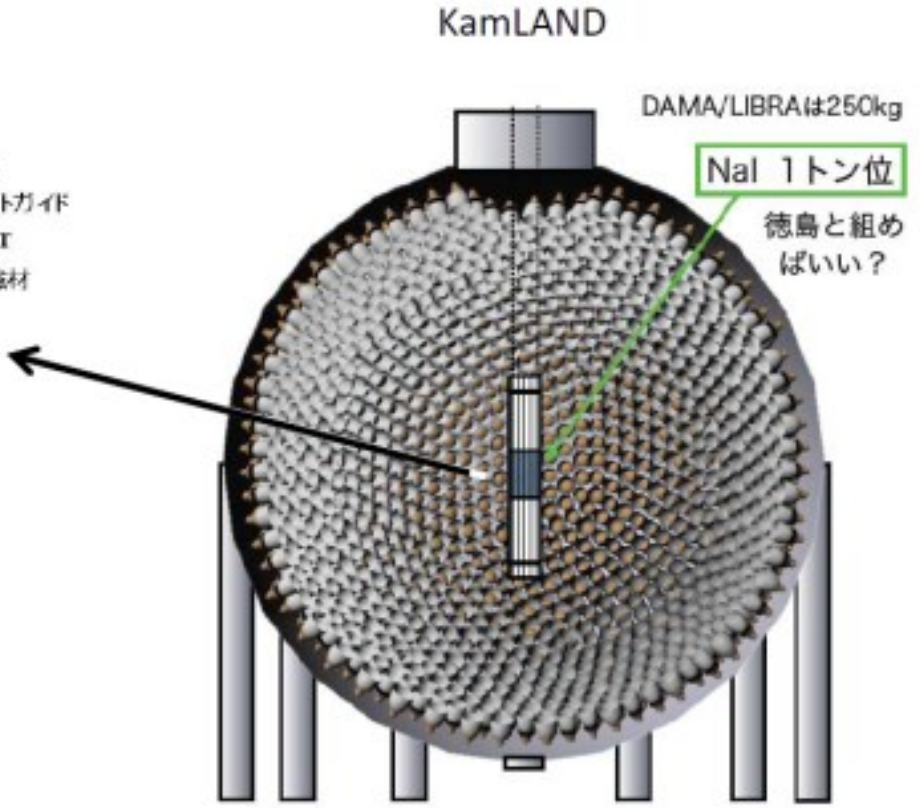
	DAMA	DM-Ice	PICO-LON Ingot 23	Goal of PICO-LON
^{nat}K	<20ppb	500ppb	Not yet	<20ppb
^{232}Th	0.5-0.7ppt	50ppt	<1 ppt	<1ppt
^{238}U	0.7-10ppt	7.5ppt	~8 ppt	<1ppt
^{210}Pb μBq/kg	5-30	2000	~50	<100

- Low background NaI(Tl) completed!!!
- Next stop: Stability test
- 1-ton NaI(Tl) in a few years.(Need Fund)

KamLAND-PICO

- Install PICO-LON detector into KamLAND
- KamLAND is an ideal active shield.



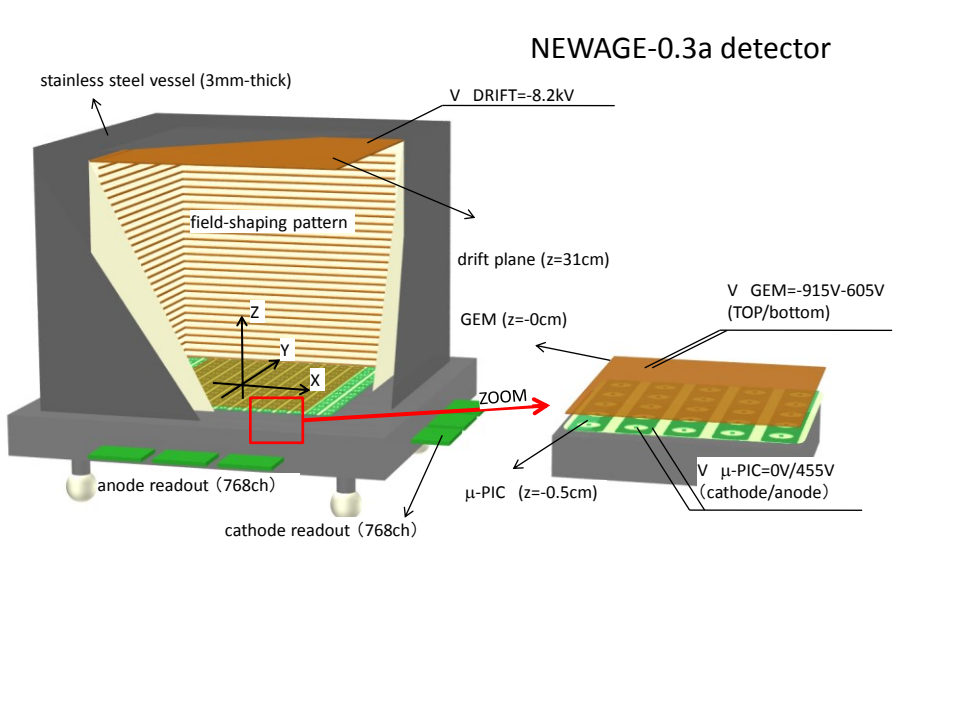


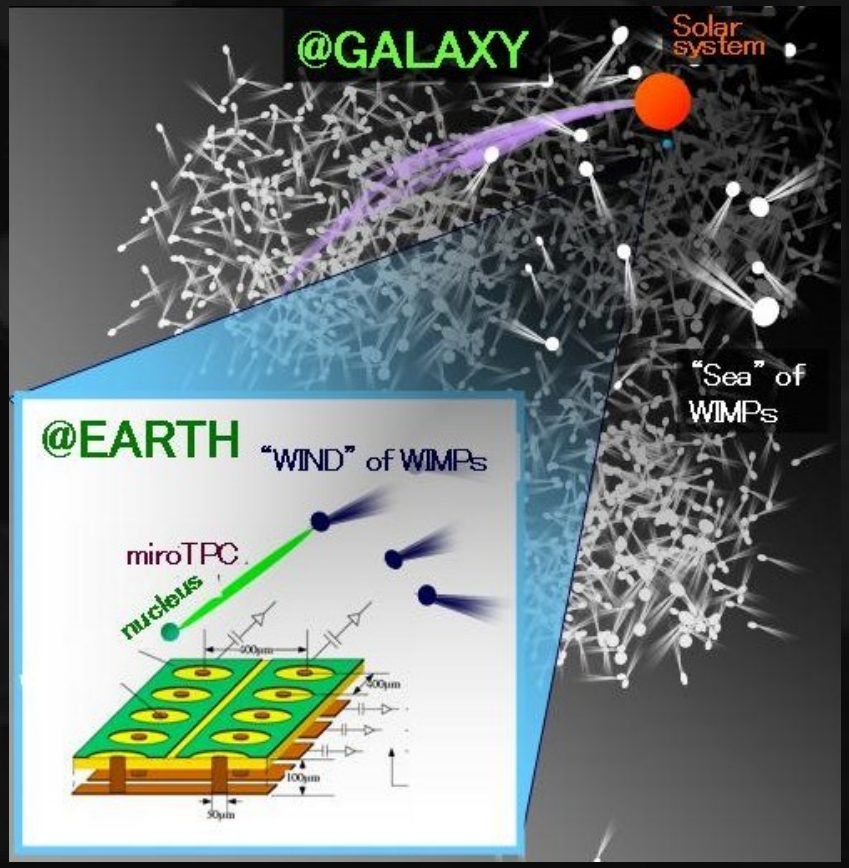
NEWAGE

(New generation WIMP search with an advanced gaseous tracker experiment)

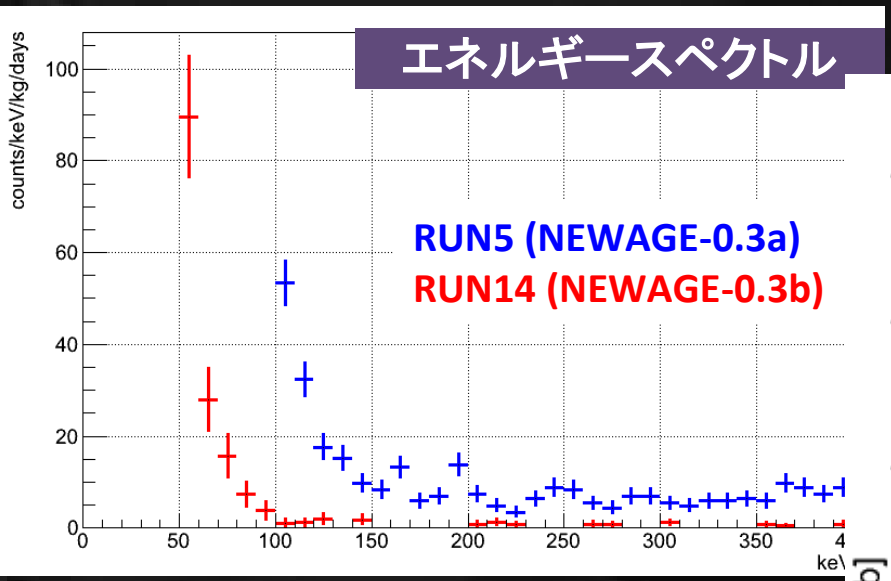
- CF4 ガス+3次元飛跡検出
- 暗黒物質検出⇒運動解明まで
- 10g程度で地下実験

JINST 7 C02023
Phys. Lett. B 686(2010)11
HEニュース 31(2013)

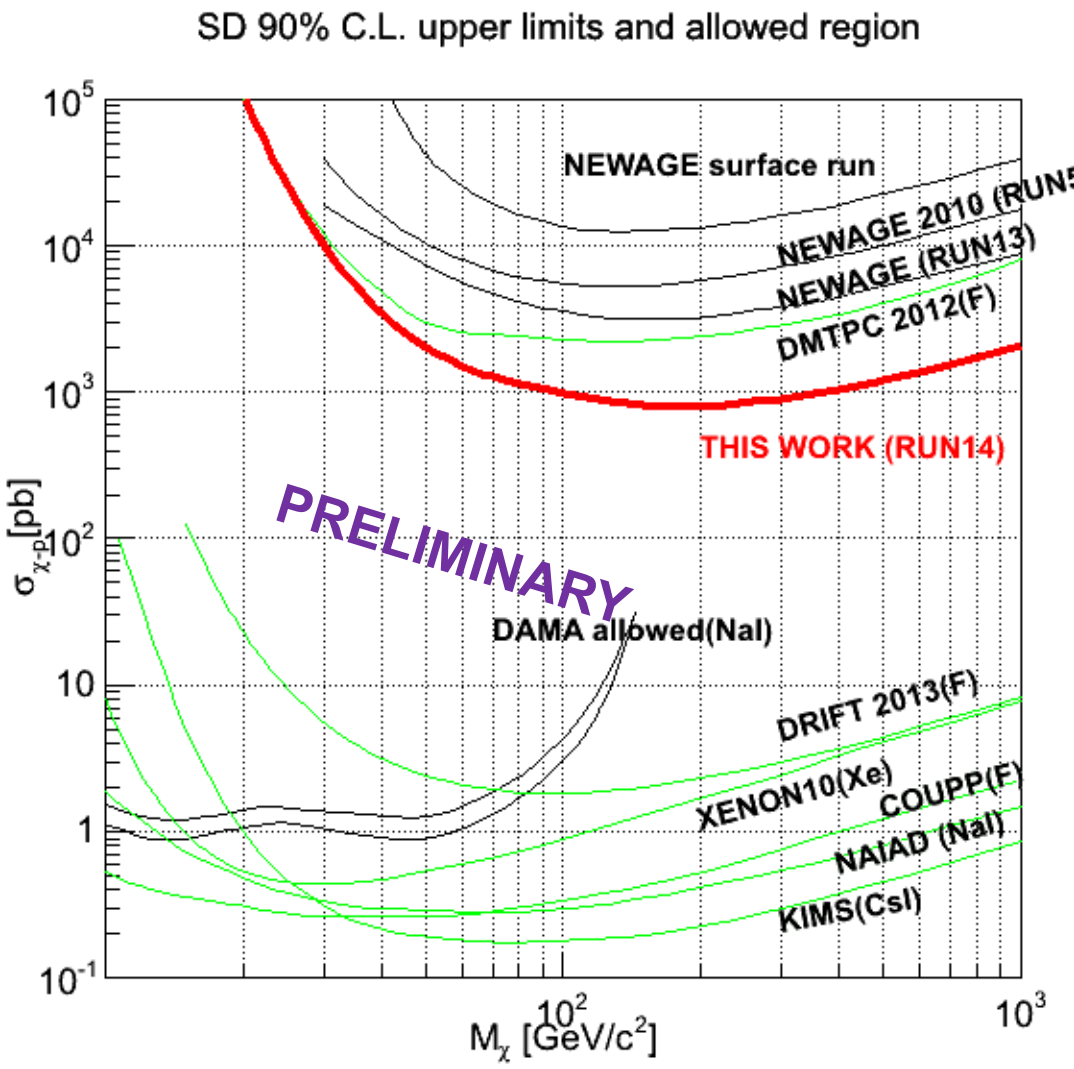




- 方向に感度を持つ最高の制限
- さらなる低BG化　大型化



中村　学会発表



p = 0.3 GeV/c^2/cm^3
v_0 = 220 km/sec
v_E = 244 km/sec
v_{esc} = 650 km/sec
Energy resolution = 50%
Energy threshold = 50keV

2013年 9月21日
日本物理学会

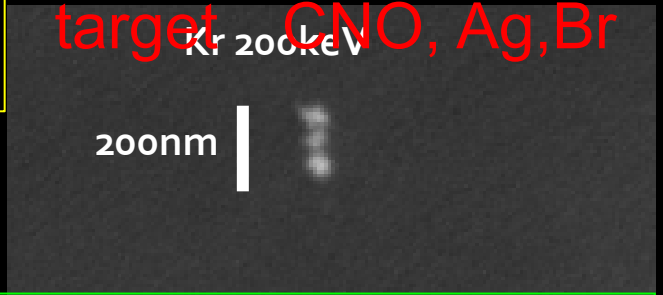
Emulsion Dark Matter Search（名大＋）

-大質量によるSI interaction のdirectional search
- 赤道儀に載せて、CYGNUS方向を追尾

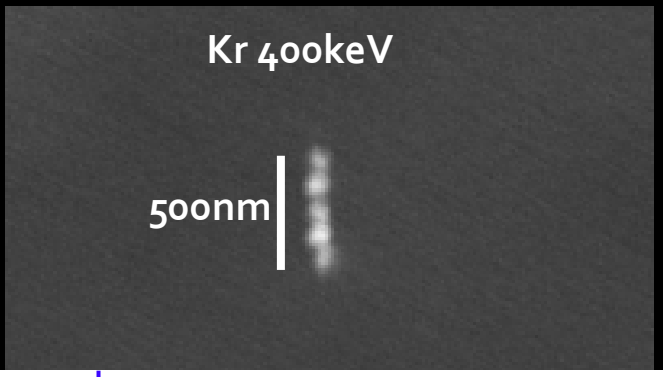
Emulsion detector for dark matter search

[Current Detector density : 3.2 g/cm^3]

target CNO, Ag,Br

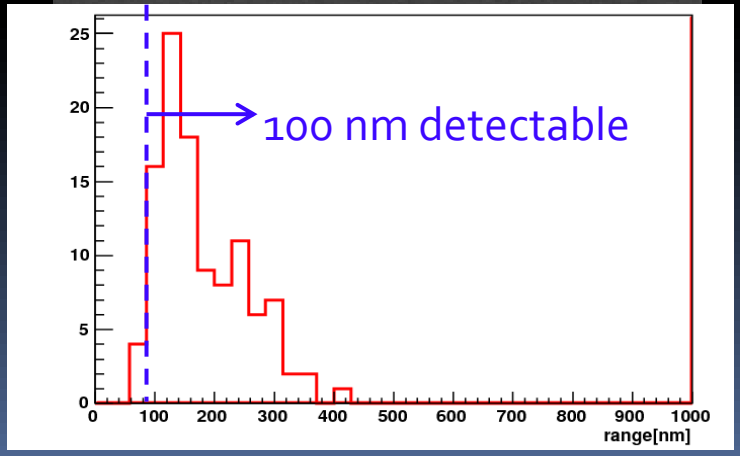


Scanning Electron Microscope



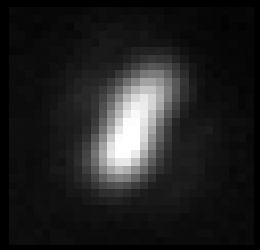
Detector ability

	NIT (40 nm AgBr9	U-NIT (20 nm AgBr)
AgBr density	12 AgBr/μm	29 AgBr/μm
Detectable range	> 200 nm@ C	> 100 nm@C
Tracking E threshold	> 80 keV@C	> 35-40 keV@C

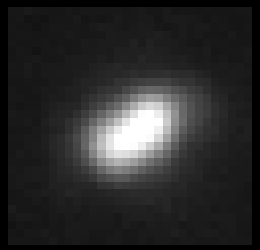


Range distribution [nm]

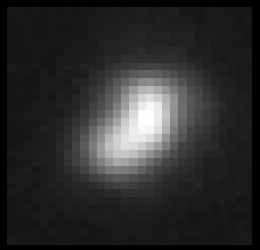
Neutron and low velocity C ion demonstration



632 nm



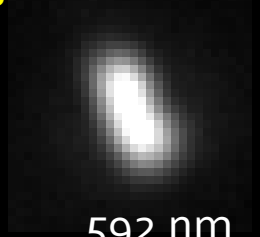
337 nm



308 nm

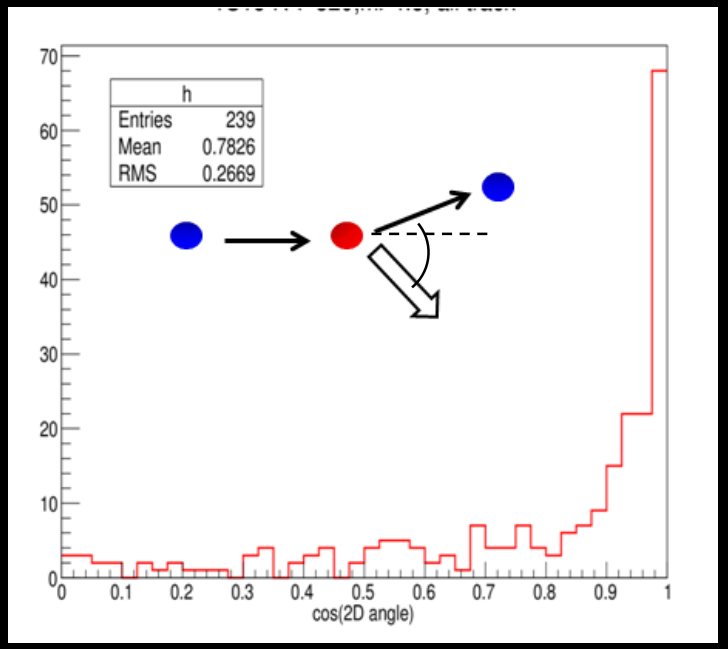
Optical microscope image of nuclear recoil induced by 14 MeV neutron

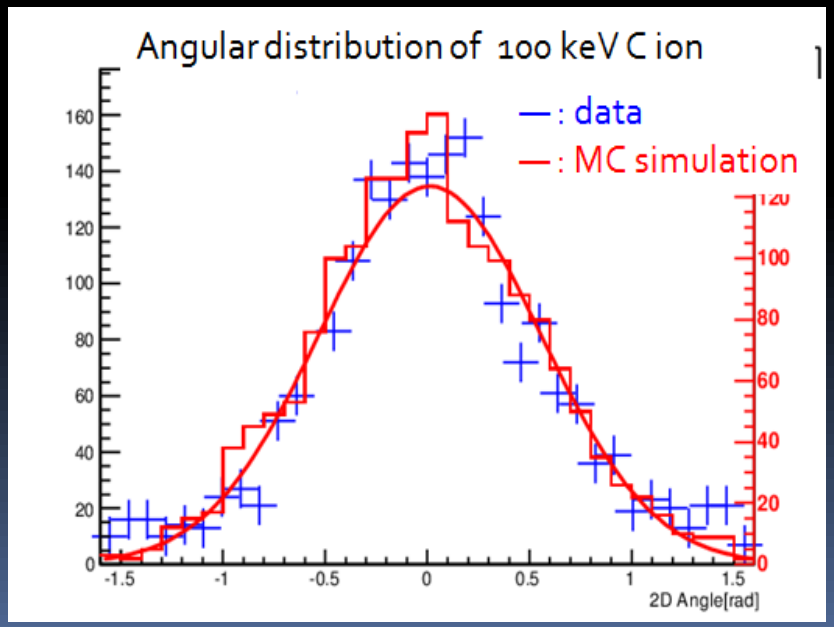
217 nm

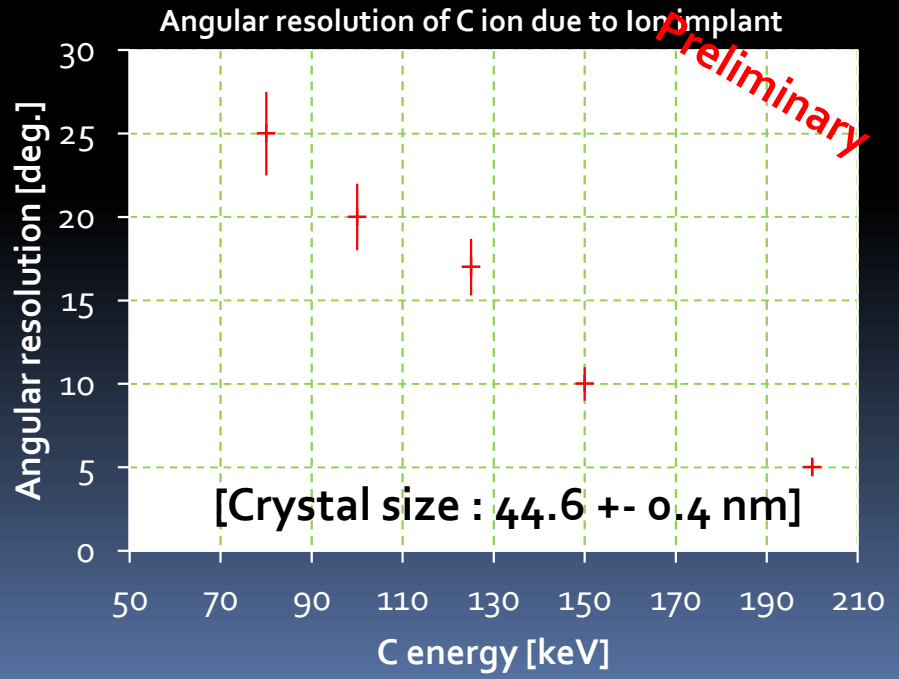


592 nm

392 nm







現状

- 地下実験候補地：グランサッソ研究所

→ 現在、referee committee からの宿題をこなしてるところ

- バックグラウンド低減に向けた検出器の性能調整
- 内部バックグラウンドの測定
- 中性子を使った性能評価
- 来年くらいからのグラムスケールの実験を目指す。

3LDK(仮称)

- Low-Z Low-threshold detector for Low-mass Dark matter search @ Kamioka

- 低閾値　low Z の検出器(すべて半導体)

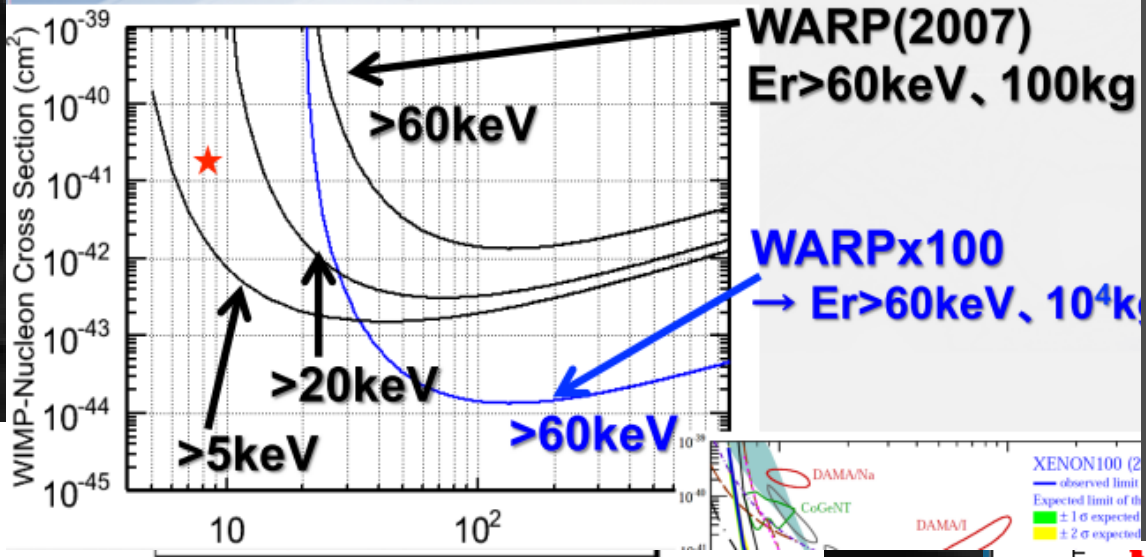
もの	ブローカー、プロ	ターゲット	電離エネルギー [eV]	枯れ度
CCD	鶴(京大)	Si	3.65	◎
SOIPIX	鶴(京大)	Si	3.65	△
SiC	田中(KEK)、大島(原研高崎)	C, Si	7.8	△
ダイアモンド	田中(KEK)、金子(北大)	C	13	○
有機半導体	田中(KEK)、熊木(山形大)	C	～8	×
Ge(参考)		Ge	2.96	◎

身内　@　低バックグラウンド会議

5～10年でのreach

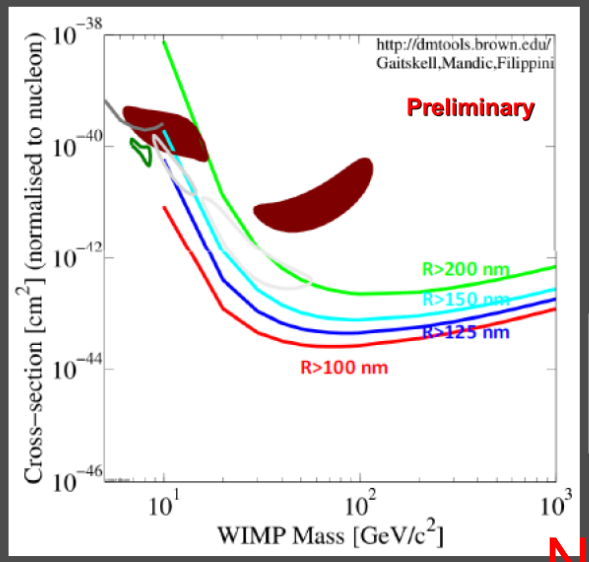
ANKOK

Physics Goal



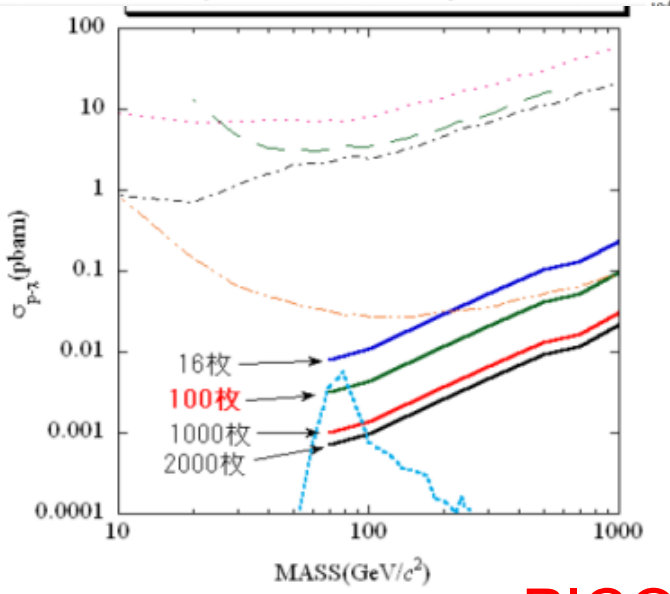
Ideal SI cross section limit by using Emu

SI limit [25 kg･year, R>100, 125, 150, 200nm

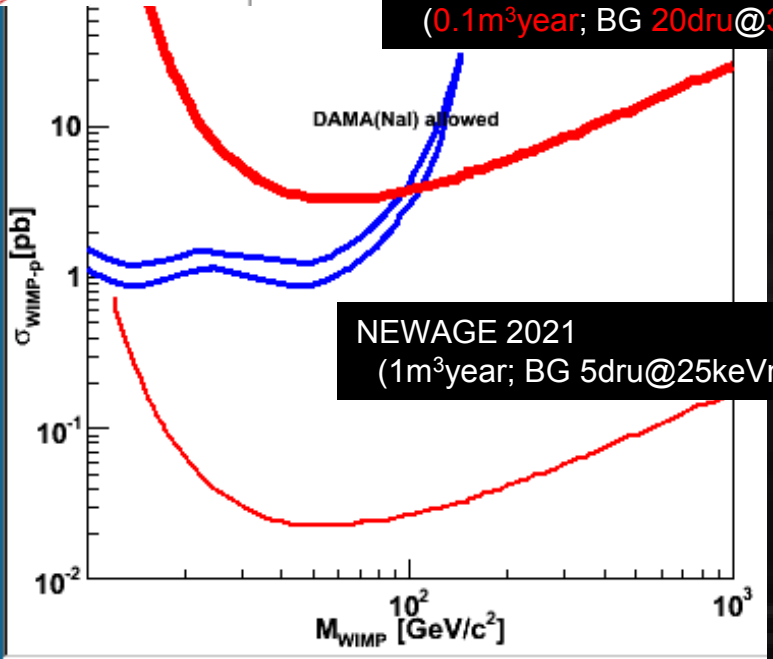


NIT

NEWAGE 2016
(0.1m³year; BG 20dru@35keVnr)



T



NEWAGE 2021
(1m³year; BG 5dru@25keVnr

PICO-LON

「その先」へ

実験名（ホスト）	ターゲット	手法	やったこと
ANKOK (早大)	Ar	2層 アルゴン	光量、γ除去
XMASS-II (ICRR)	Xe	シンチレータ	大質量　大光量
PICO-LON (徳島大)	Na, I	薄型シンチ	低BG結晶
NIT(名大)	Ag,C,N,H,O	エマルジョン	方向感度
NEWAGE(神戸大)	F, Ar, Xe	ガスTPC	方向感度結果、低BG化

メッセージ

「その先」はすぐそこ

JEDIs, equipped with their WEAPONS, are ready to attack the dark side.

JEDI : Japanese Experimental Dark matter Investigators