

低バックグラウンド 技術（1）

極低バックグラウンド素粒子原子核研究懇談会

@富山

2013年4月24日

東北大学ニュートリノ科学研究センター

池田 晴雄

LRT 国際会議

Low Radioactivity Techniques 2013

IV Workshop in LOW RADIOACTIVITY TECHNIQUES

Laboratori Nazionali del Gran Sasso
Assergi (AQ), Italy • April, 10th-12th 2013

This workshop examines topics in low radioactivity materials and techniques, such as solar neutrinos, dark matter, double beta decay and long half-life phenomena. This conference is intended to be wide in scope to include all aspects of the development of low background detectors and techniques.

CONTACT
Low Radioactivity Techniques • LRT2013
INFN - Laboratori Nazionali del Gran Sasso
Research Division
S.S. 17 bis, km 18+910
67100 Assergi (L'Aquila), Italy
Tel: +39 0862 437 437
Fax: +39 0862 437 570
E-mail: lrt2013@lngs.infn.it
Site: <http://lrt2013.lngs.infn.it>

INTERNATIONAL SCIENCE ADVISORY COMMITTEE

Lino Miramonti Milano University (Committee Chair)	Aldo Ianni INFN-LNGS	Luciano Pandola INFN-LNGS (Committee Chair)	Matthias Laubenstein INFN-LNGS
Mark Chen Queen's University	Vitaly Kudryavtsev Sheffield University	Carlo Bucci INFN-LNGS	Lino Miramonti Milano University
Prisca Cushman Minnesota University	Pia Loalza LSM CNRS/CEA	Riccardo Cerulli INFN-LNGS	Fausto Chiarizia INFN-LNGS (Workshop Secretary)
Matthias Laubenstein INFN-LNGS	Emanuela Meroni Milano University	Aldo Ianni INFN-LNGS	
Steve Elliott LANL	Art McDonald Queen's University		
Jacques Farine Laurentian University	Masayuki Nakahata ICRR Tokyo		
Richard Ford SNOLAB	Tony Noble Queen's University		

- 非常にまれな物理現象を観測する上で重要な低バックグラウンド環境実現に向けて、測定技術、環境作りなどの情報を共有するための国際会議。
- これまで3回行われ、
2004 SNO
2006 LNGS
2010 SNO
4回目が2013/4/10-12 LNGS。
- 次回(2015年?)の場所は未定。数ヶ月以内にきまるはず。そのうち日本で（北海道や沖縄がいいなと言っていました）という話も。

<http://lrt2013.lngs.infn.it/index.htm>

低バックグラウンド環境

- 非常にまれな物理現象の高感度測定（ニュートリノ、DM、二重 β 崩壊など）には極低バックグラウンド環境が必要不可欠。
- バックグラウンド量の測定
測定したいバックグラウンドに最適な測定方法の選択。
測定装置のほう汚いとほかりたい物もはかれない。
微量であればあるほど測定に長時間かかる。
娘核からの推定。放射平衡がくずれている？いない？
- バックグラウンドの混入を防ぐ
よごさない努力。（サンプル、検出器ともに）
空気、超純水などに微量含まれるラドンなども付着すればバックグラウンド源になってしまう。

主なバックグラウンド



出典

129ページ

環境によくあるもの（共通）

	半減期(年)	1kBqあたりの原子数	1gあたりのkBq数	崩壊
^{60}Co	5.27	2.40×10^{11}	4.18×10^{10}	β^-
^{137}Cs	30.16	1.37×10^{12}	3.21×10^9	β^-
^{210}Pb	22.2	1.37×10^{12}	2.82×10^9	$2\beta^- + \alpha$
^{226}Ra	1600	7.28×10^{13}	3.66×10^7	$4\beta^- + 5\alpha$
^{232}Th	1.4×10^{10}	6.40×10^{20}	4.06	$4\beta^- + 6\alpha$
^{238}U	4.5×10^9	2.03×10^{20}	12.4	$6\beta^- + 8\alpha$

個々の実験に特有なもの

ターゲット原子核の同位体（エンリッチしたときにのこる不純物）

宇宙線ミュオンや中性子によって生成される不安定核（移動中、測定中）

検出器の構造物

微量測定法

method	suited for	sensitivity for U/Th
Ge-spectroscopy*	γ emitting nuclides	10-100 $\mu\text{Bq/kg}$
Rn emanation assay	^{226}Ra , ^{228}Th	0.1-10 $\mu\text{Bq/kg}$
neutron activation	primordial parents	0.01 $\mu\text{Bq/kg}$
liquid scintillation counting	α, β emitting nuclides	1 mBq/kg
mass spectrometry (ICP-MS; AMS)	primordial parents	1-100 $\mu\text{Bq/kg}$
graphite furnace AAS	primordial parents	1-1000 $\mu\text{Bq/kg}$
Röntgen Excitation Analysis	primordial parents	10 mBq/kg
α spectroscopy	^{210}Po , α emitting nuclides	1 mBq/kg

* Needs counting times from several weeks to several months for large samples

Borexino , Astrop. Phys. 18 (2002) 1-25

EXO-200, Nucl. Instrum. Meth. A591 (2008) 490-509

Xenon-100, Astrop. Phys. 35 (2011) 43-49

**Photon
Activation**

今ある装置 (地下)

HPGe detector (Canberra) p-type x 2	ICRR
HPGe detector (Canberra) p-type x 2	IPMU
HPGe detector (Canberra) n-type x 1	IPMU
ICP-MS	ICRR
Gas chromatography	IPMU
API-MS (Mass spectrometer)	IPMU
<p>Rn検出器</p> <p>1 L : SK, Lab-1, LabC -16個+5 = 21個 (岐阜大もまじってる)</p> <p>70L : (旧型) LabC x 3 SK x 3</p> <p>70L : (新型) Lab-1 x 1 SK x 2 Lab-1 x 1 (xenon 中radon除去試験用)</p> <p>ICF 70L : SK x 5 IPMU x 2 (製作中)</p> <p>Lab1 : emanation用循環 5~10mBq/m3 => ポンプ改造中</p> <p>700L x 3 : ICRR : 未稼働</p>	
0.5L Rn検出器, Gas chromatography , Mass spectrometer HPGe detector (入札中)	東北大学(KamLAND)
HPGe detector (Canberra)	大阪大学(Lab-D)

今ある装置（その他）

大学も研究開発・学生実験用にいろいろ持っている

たとえば

神戸大学
Rn検出器

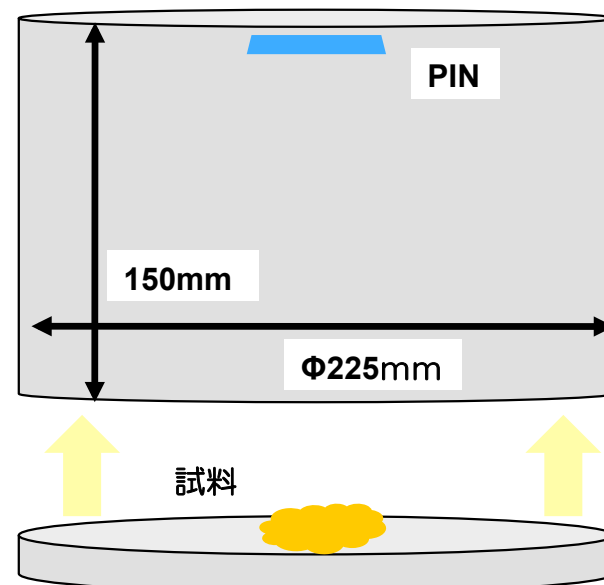
東北大学

HPGe detector
Gas chromatograph
分光光度計

大阪大学

HPGe detectors

SUS304 3mm-thick electro-polished
Windowless PIN Photodiode
(10mm*10mm Hamamatsu S3590-02)
Typical operation -375V for capture 9V inverse-biased
preamplifier ClearPulse CS-515-1
DAQ interface LPC-320901 (PCibus40MHz FADC)

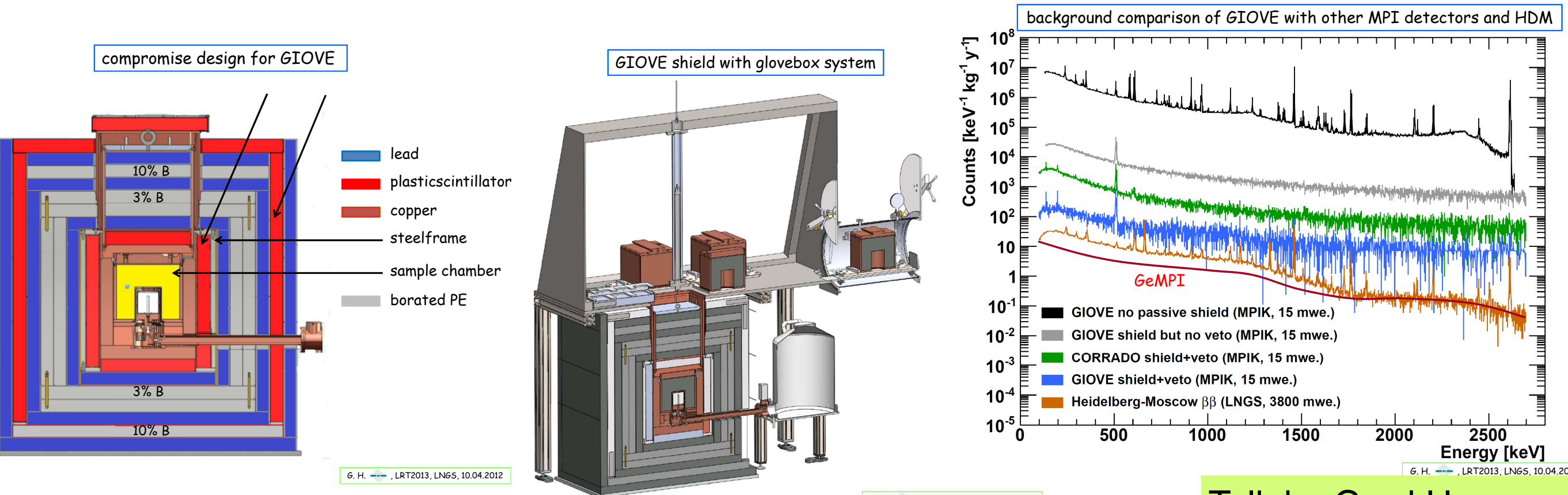


Direction-Sensitive
WIMP-search
NEWAGE

Geで高感度測定

- 鉛や銅の大きなシールド (Passive Shield)
- 宇宙線ミューオンのVeto (Active Shield)
- 検出器まわりのラドン除去 (Rn-less air, N2 grove box)
- 中性子の影響、自発核分裂や(α, n)
- 検出器に含まれる不純物の低減
表面に付着したラドンの影響 (組み立てから)
基板やはんだに含まれる不純物

GIOVE $\sim 100 \mu\text{Bq/kg}$



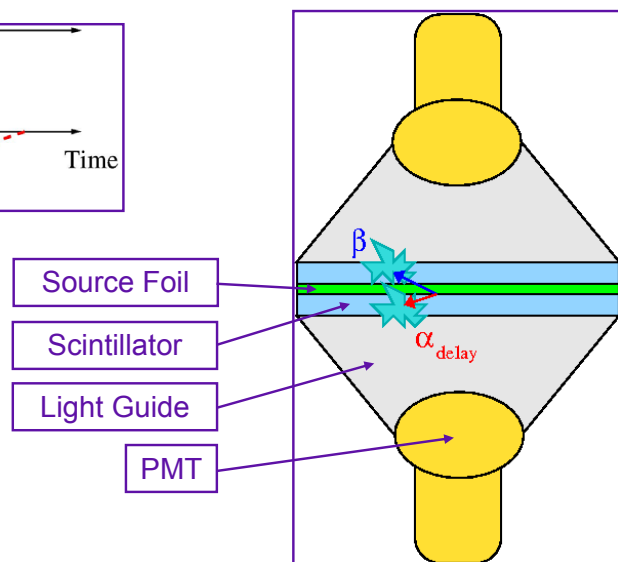
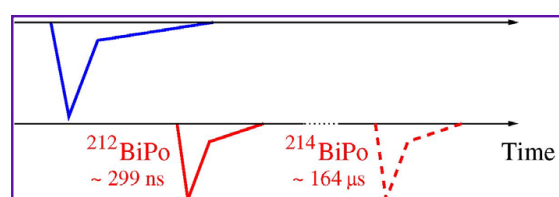
ラドン検出

- Poの α 崩壊を測定・シンチレーターでBi/Po遅延同時計測
- ガス中のラドン量測定
- Emanation 測定 (表面)
- ラドンを効率よく集める技術

ポータブル



- Detection principle \rightarrow BiPo β - α delayed coincidence detection.

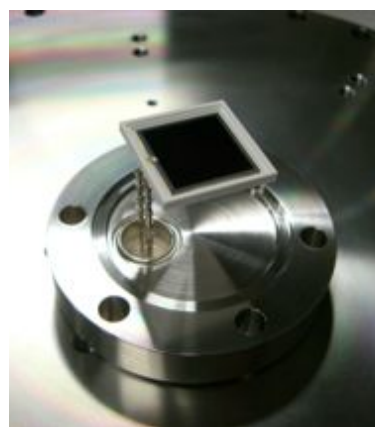
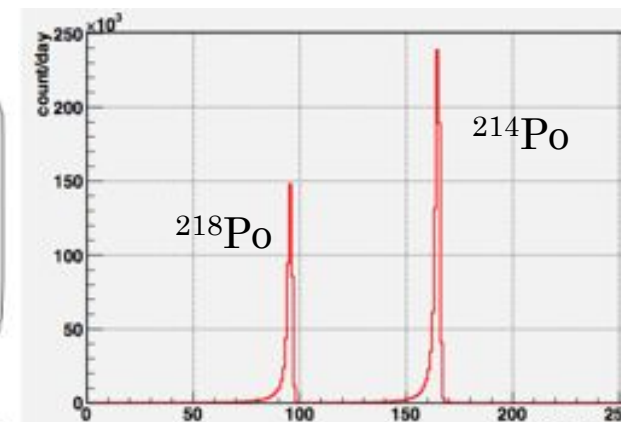
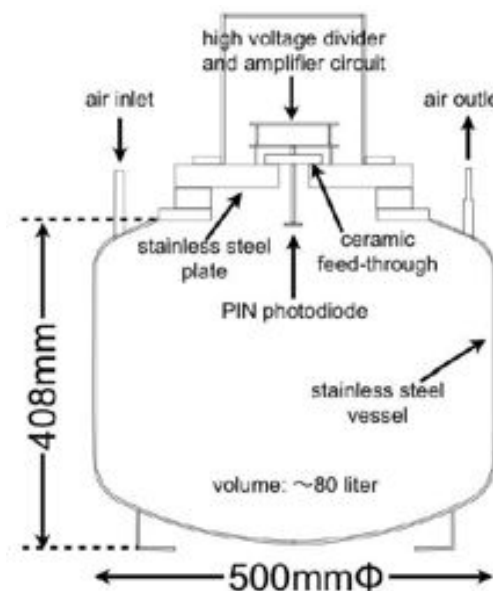


LRT 2013. Gran Sasso. April 2013

Talk by Héctor Gómez Maluenda

ELECTROSTATIC CHAMBERS

Pictures provided by Y. Takeuchi (XMASS)



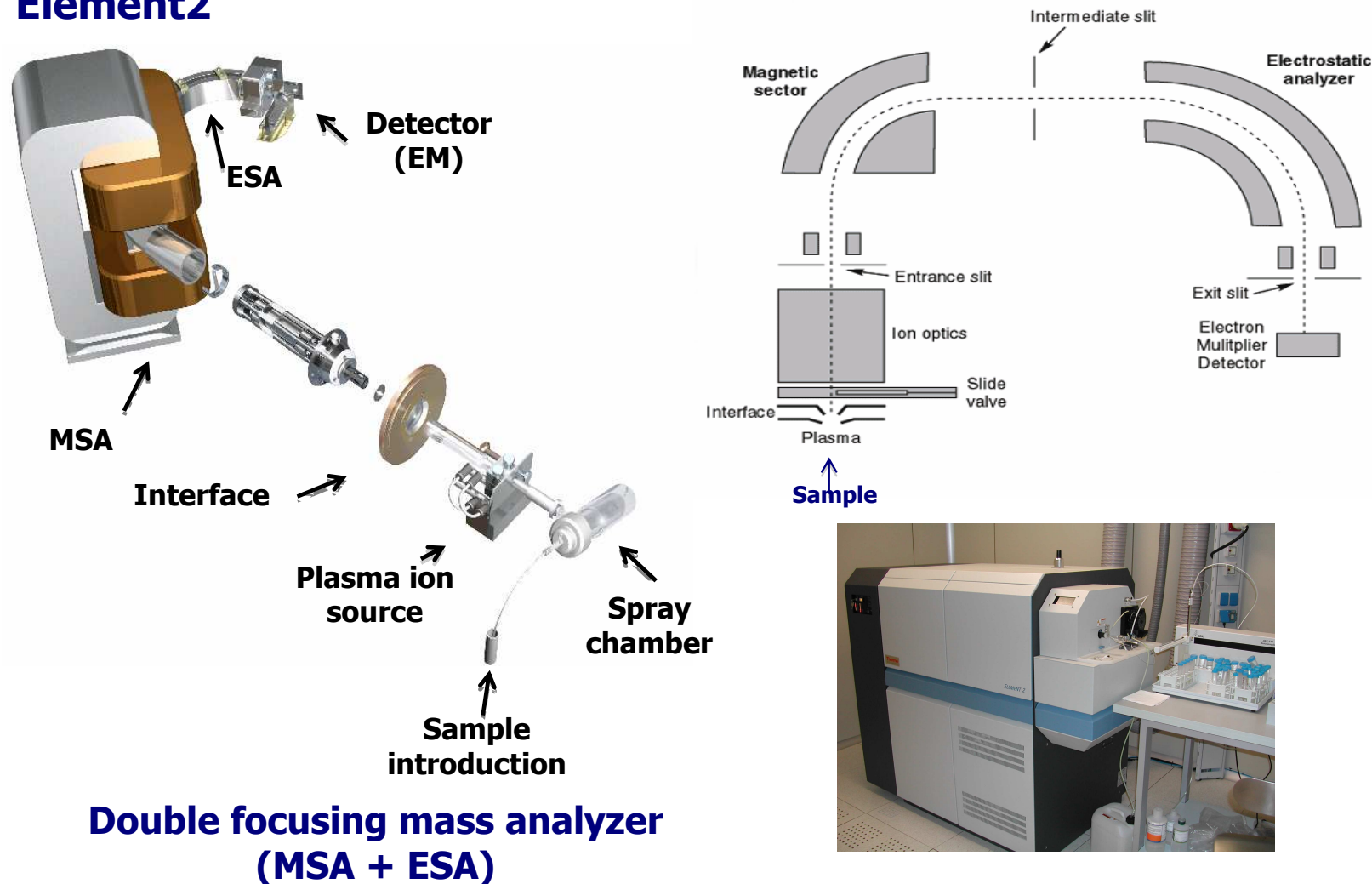
- Good energy resolution
- May be used for ^{222}Rn , ^{220}Rn and ^{219}Rn
- Commonly used in our field:
 - Super-K: NIM A 421 (1999) 334
 - SNO: NIM A 421 (1999) 601
 - Borexino: NIM A 460 (2001) 272
 - NEMO, EXO, XMASS, Gerda, ...

Talk by Hardy Simgen

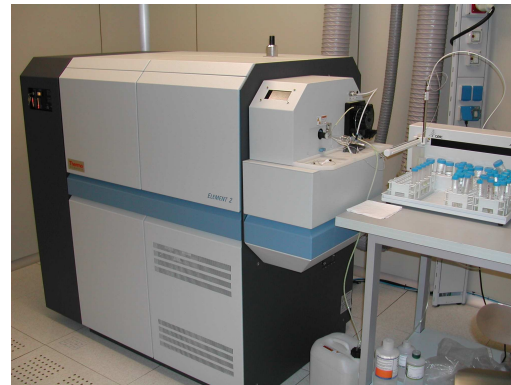
ICP-MS

- Geよりも時間がかからない
- 少量のサンプルで分析できる（汚染物質の特定）
- 前処理には職人技が必要
- 微量分析には前処理の環境や使う酸などの純度が重要

- High Resolution ICP MS (double focusing mass analyzer) Thermo Element2



10^{-15} g/g (ppq) in water sample
 10^{-11} g/g (ppt) in solid sample



Talk by Stefano Nisi

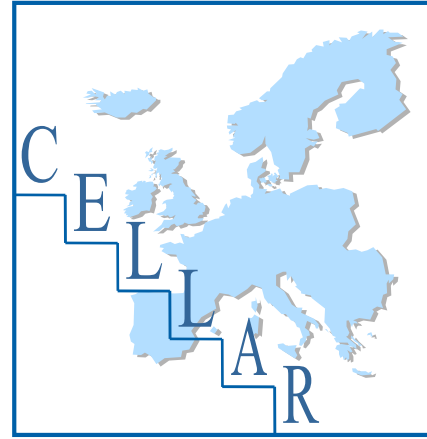
今後にもむけて

- 測定技術の共有
 - 効率的な測定方法の選択（時間、お金、観測感度）
 - 観測環境作り（材料、環境）
 - 汚染をふせぐ方法
- 協力して測定
 - あそんでいる測定器の有効利用
- 測定結果の共有
 - 材料の検索、共通フォーマット

ヨーロッパにおける協力

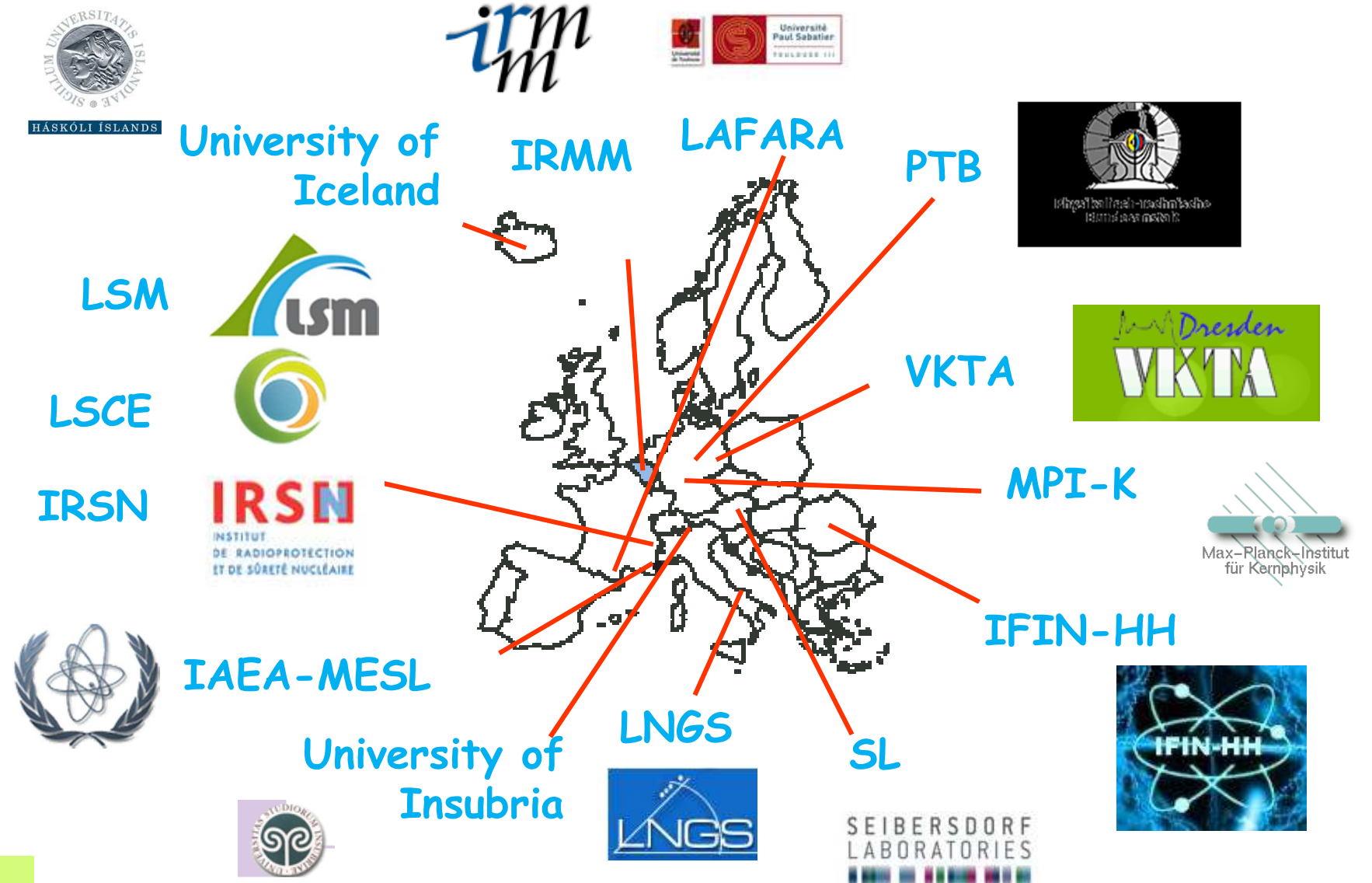
CELLAR

Collaboration of European Low-level underground Laboratories



- Seibersdorf Laboratories- Austria (above ground, ~ 3 m w.e.)
- MPI-Heidelberg - Germany (~ 8 m ≅ 15 m w.e.)
- IAEA-MEL - Monaco (~ 14 m ≅ 30 m w.e.)
- VKTA - Germany (~ 50 m ≅ 110 m w.e.)
- University of Iceland (~ 165 m ≅ 350 m w.e.)
- IRMM - EU - Belgium (~ 225 m ≅ 500 m w.e.)
- PTB - Germany (~ 925 m ≅ 2100 m w.e.)
- LNGS - Italy (~ 1400 m ≅ 3800 m w.e.)
- LSCE - France (~ 1750 m ≅ 4800 m w.e.)

1カ所で測定するには時間や手間がかかるので協力して測定を行う



AARM

Talk by Priscilla Cushman

Link these sites for HEP/NP Low Background Characterization

Introducing: Assay and Acquisition of Radiopure Materials

The **AARM Scientific collaboration** is open to all interested parties

Original Goals were tied to DUSEL: A 3 year NSF grant to

- Characterize backgrounds at all levels of Homestake
- Design a common low background counting facility: **FAARM**
- Develop common screening tools (R&D as needed)

Current Goal is to forge an alliance between experiments searching for rare events, to help understand and mitigate backgrounds.

Simulation recognized as a major “infrastructure”

Validate and improve current simulation tools

Background characterization more broadly defined as

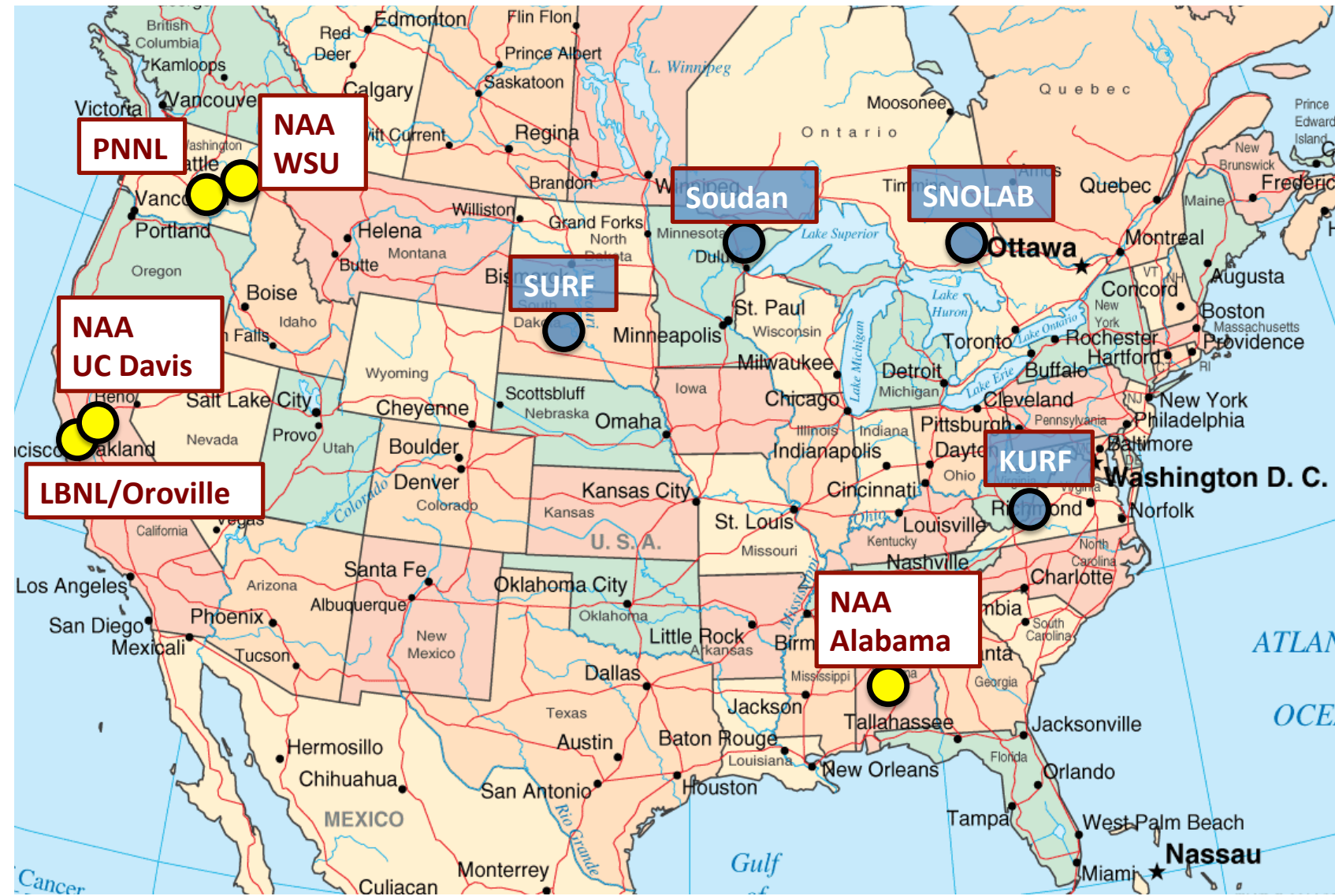
Community Materials Assay Database

Neutron benchmarking (data vs sim)

Integration of existing assay resources around the world

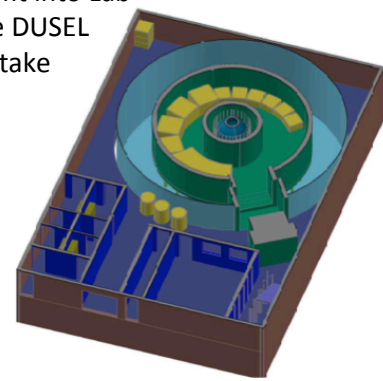
and the development of a unified plan to increase availability

FAARM (A 3rd generation counting facility) needs to be re-imagined

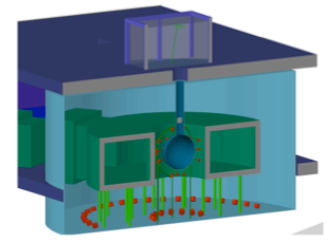


FAARM: Facility for Assay and Acquisition of Radiopure Materials

Original Design fit into Lab Module 2 in the DUSEL plans at Homestake



Inner Tunnel Lab	
γ-flux	$7.974 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
n-flux	$4.817 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
4 < ppt (GeMPI, arrays)	
6 < ppb (well, clover, coax)	
2 Beta Cages	
Prototyping Space	
(DM or $0\nu\beta\beta$ or novel assay)	
Radon Mitigation	
Common cryogen plumbing and LN boil-off for screeners	



Central Pool	
0.1 counts/day, $E > 250 \text{ keV}$	
sensitivity of $10^{-14} \text{ g/g U/Th}$ 10^{-12} g/g K	
modeled on Borexino CTF	
2m diam nylon vessel filled with LS	
Observed by low rad QUPIDs	
Top-loading from dedicated Clean Room	

Initial Suite of Assay Centers of Excellence

- PNNL (perhaps also the lead institution)
 - ICP-MS and electro-refinement and actinide chemistry
- Gamma Counting
 - LBNL LBCF, SURF/CUBED, Soudan LBCF, KURF LBCF, PNNL UL
- Neutron Activation Analysis
 - Alabama and UC Davis

Add surface alpha, RN emanation, beta counting as we identify a need.

SNOLABでのデータ共有

SNOLAB Data Repository

SNOLAB maintains a database in a spreadsheet format for each experiment.

The data is shown in units of mBq/kg and pp(b or m).

The table shows data from the standard gamma searches:

^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{60}Co .

While searching for the above gammas, we also search for any other peaks in the spectrum between 100 keV and 2800 keV, For example, ^{54}Mn is usually observed in steel. These are also included in the spreadsheet for each sample.

The database is available to all SNOLAB users and can be made available to others upon request as it is password protected, contact Ian.Lawson@snolab.ca or Bruce.Cleveland@snolab.ca.

10/04/2013

LRT 2013

11

データは共通フォーマットで提供

LABのメンバーに公開するしないはユーザーが決定

Talk by Ian Lawson

PGT HPGe Typical Detector Sensitivity (for a standard 1L or 1 kg sample)

Isotope	1 Bq/kg	1 ppb	Sensitivity for Standard Size Samples	Typical for Earth's Crust
^{238}U	81 ppb	12 mBq/kg	~ 1 mBq/kg ~ 0.1 ppb	37 Bq/kg 3 ppm
^{232}Th	246 ppb	4.1 mBq/kg	~ 1.5 mBq/kg ~ 0.3 ppb	45 Bq/kg 11 ppm
^{40}K	32 ppm	0.031 mBq/kg	~ 21 mBq/kg ~ 0.7 ppm	800 Bq/kg 2.5 %

Increased sensitivities have been achieved for specialized very large samples, on the order of 10 kg, combined with a long counting period:

^{238}U : 0.009 ppb,
 ^{232}Th : 0.02 ppb,
 ^{40}K : 87.0 ppb

10/04/2013

LRT 2013

9

Measurements To Date For Each Experiment

Experiment	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
SNO	2	7	0	2	0	0	0	0	11
SNO+	0	2	18	14	15	35	5	3	92
SNOLAB	7	3	0	0	9	6	17	2	44
EXO	1	1	0	0	2	1	0	0	5
MiniCLEAN	5	1	9	18	8	3	7	3	54
DEAP	8	8	12	10	8	15	18	4	83
HALO	0	0	0	2	3	1	1	0	7
PICASSO	1	1	4	3	0	0	0	0	9
DM-ICE / DRIFT	--	--	--	--	9	9	5	0	23
COUPP	--	--	--	--	1	15	17	4	37
DAMIC	--	--	--	--	--	--	1	3	4
Total	24	23	43	49	34	85	71	19	369
Calibrations & Tests	30	34	14	9	4	3	11	3	108

Samples in Detector Queue: - 16, counting time per sample averages one week.
 - the queue is usually very long, so additional counters are very important.

10/04/2013

LRT 2013

10

データ共有

radiopurity.org

Community Material Assay Database

Code repository / mailing lists

<https://github.com/nepahwin/persephone>
radiopurity@googlegroups.com
info@radiopurity.org

Domains

radiopurity.org radiopurity.com
radiopurity.net radiopurity.info

People

James Loach, SJTU

Jodi Cooley, SMU

Keith Adler, SMU *

Matthew Bruemmer, SMU *

Ben Wise, SMU *

Adam Cox, KIT

Alan Poon, LBNL

* student

ILIAS

100's assays

Ported, partially online

EXO

~250 assays

Complete, online

XENON100

~50 assays

Complete, online

Borexino

Next

Talk by James Loach

まとめ

- 微量放射線測定技術は日々進化している。
- 測定する量が少なくなればなるほど、装置は大掛かりになり、気をつけるべき項目が増えていく。
- 効率的に測定するための協力関係が重要になってくる。