

東大 大学院ガイダンス 齊藤-三部研究室

ミューオンg-2/EDM実験 —ミューオンに表れた矛盾とそれを解明する実験—

2021年5月29日



齊藤 直人



三部 勉

研究室メンバー



齊藤 直人
教授



三部 勉
教授(6/1~)



飯沼 裕美
客員准教授
(茨城大)



大谷 将士
助教
(加速器研究施設)



鈴木 一仁
研究員
(名古屋大学)



上岡 修星
学振研究員

博士課程



Ce Zhang
D3 (北京大)



牛澤 昂大
D2 (總研大)



Youssef Taha
D1 (總研大)

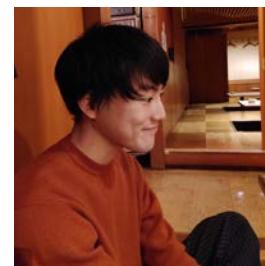
修士課程



松下 凌太
M2 (東大)



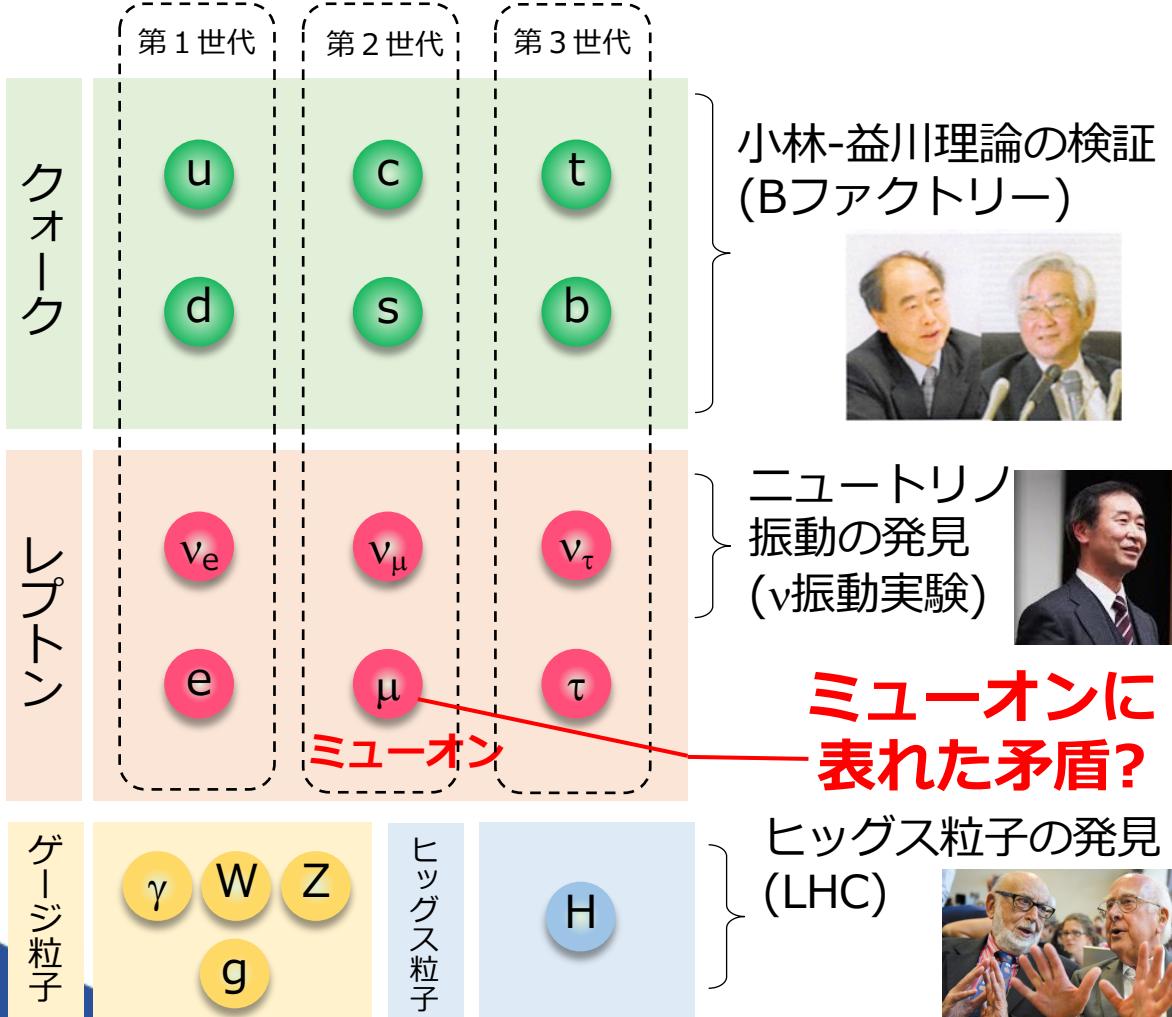
有留 翔一
M1 (東大)



小山 駿
M1 (東大)

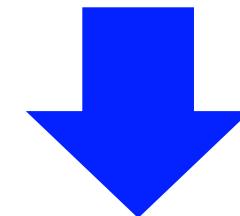
素粒子標準理論を超えて

素粒子標準理論



標準理論では説明できないこと

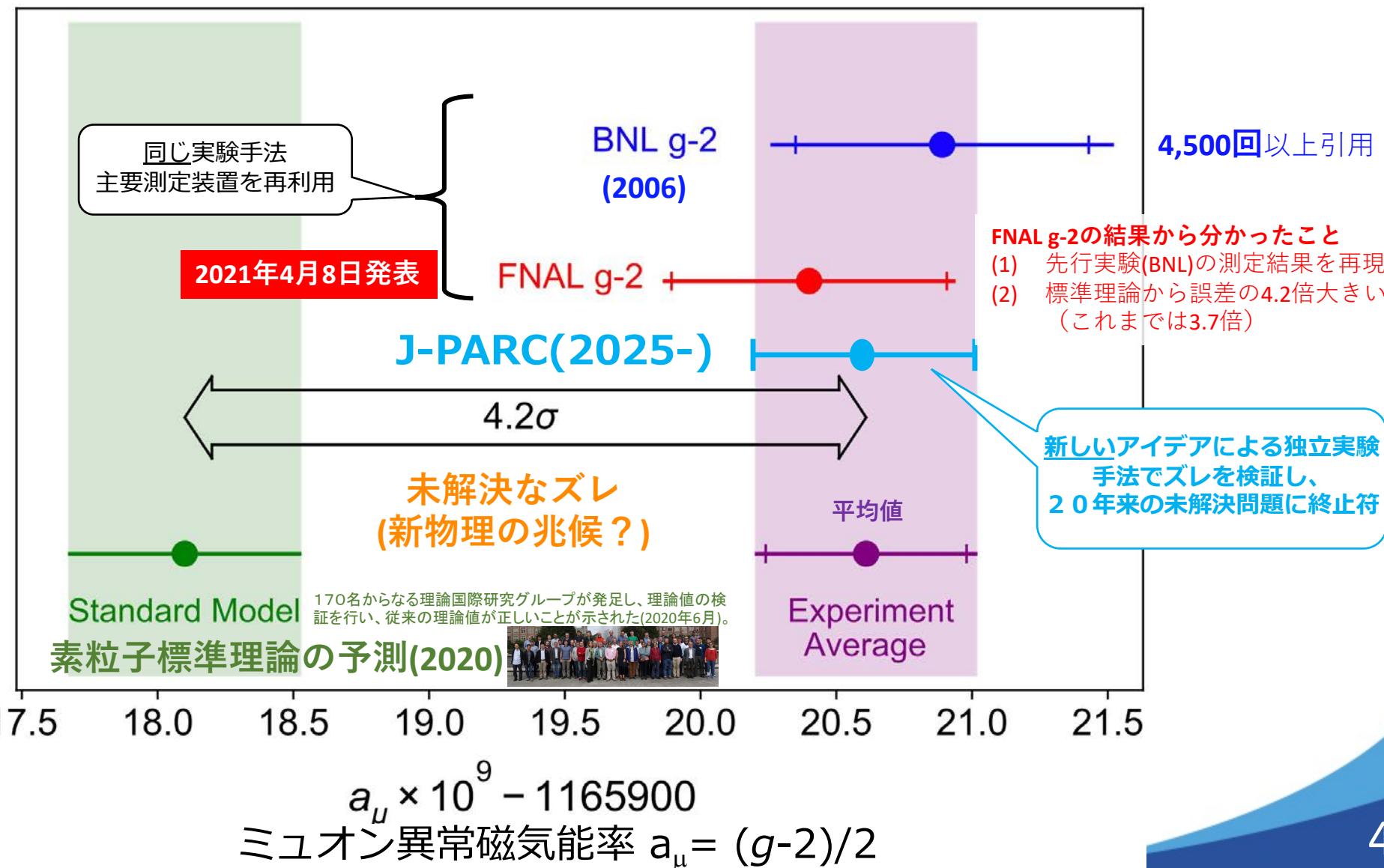
- 暗黒物質の正体
- 物質優勢宇宙の成り立ち
- クォーク・レプトンの質量が11桁以上にわたる理由



標準理論を超える
新しい物理法則
(新物理)
が要請される

2021年4月8日のフェルミ国立研究所の発表

- 2021年4月8日午前0時(日本時間)、米国フェルミ国立研究所 (FNAL, フェルミラボ) からミューオン異常磁気能率 ($g-2$) の測定結果が全世界に発表された



解説記事 KEK素核研トピックス

実験・理論の研究者達が徹底解説！新物理発見を目指すミューオンg-2研究の最新情報

APRIL 30, 2021

所要時間：約22分

<https://www2.kek.jp/ipns/ja/post/2021/04/20210430/> (KEKトップページからもたどれます。)

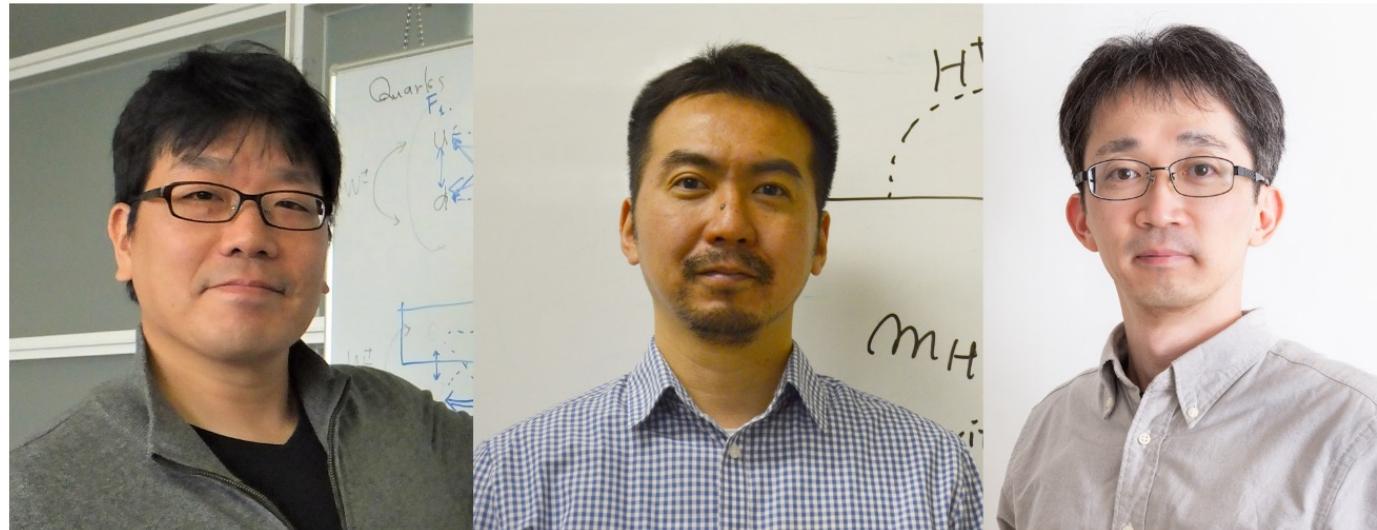


図1. 左から順に三部勉 准教授、石川明正 准教授、遠藤基 准教授。／© KEK IPNS

4月7日午前10時（米国中部標準時）、アメリカのフェルミ国立加速器研究所（FNAL）から、素粒子物理学の分野で非常に重要な実験結果が発表されました。ミューオン^(注1)が持つ磁石の強さ（磁力）のうち、量子効果に起因するものをg-2（異常磁気能率）と呼びますが、ミューオンのg-2が、高精度で予想された標準理論の理論値よりも誤差の4.2倍大きい値を持つ、すなわち理論予想からずれていることがほぼ確定的という発表です。この結果が何を意味し、どのような発見に繋がるのか、そしてKEKのミューオンg-2研究について、実験と理論の研究者に熱く語ってもらいました。

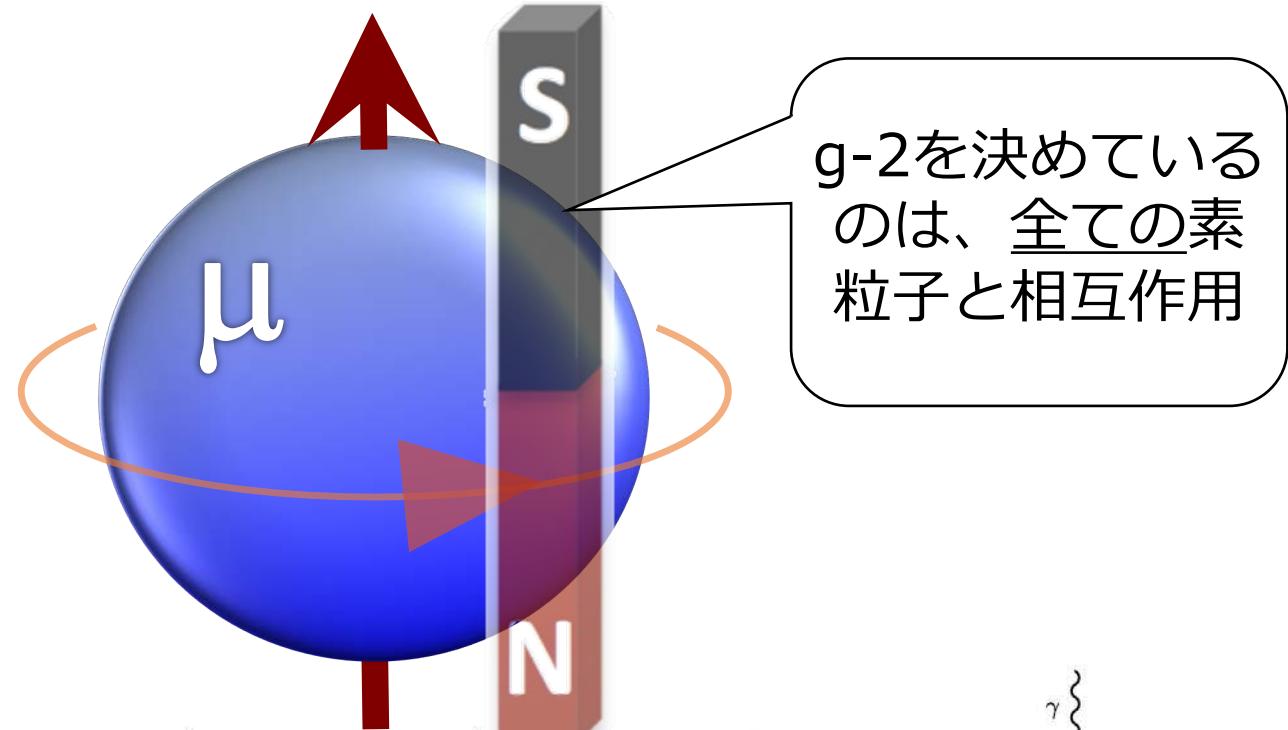
g-2(ジーマイナスツー)とは?

g-2とは**異常磁気双極子能率**のこと、
素粒子が持つ磁石の強さ (のうち量子効果によるもの)

ミュオンの異常磁気能率(g-2)とは、ミュオンがもつ磁気的性質の強さで、**磁場に対するスピンの応答**のうち、特に**量子効果**のみを抜き出したもの。

g-2に現れる量子効果は、粒子が仮想的に出し入れされる効果である。全ての相互作用(電磁気力・強い力・弱い力)とそれらを感じる全ての粒子が**加算的に足し合わされる**。

もし、**未知の力や素粒子**が存在すれば、**g-2の標準理論の予想からの差**として現れるはずである。



g-2を決めているのは、全ての素粒子と相互作用

異常磁気双極子能率

$$a_\mu = \frac{g - 2}{2} = \text{電磁気力} + \text{強い力} + \text{弱い力} + \text{未知の力・素粒子}$$

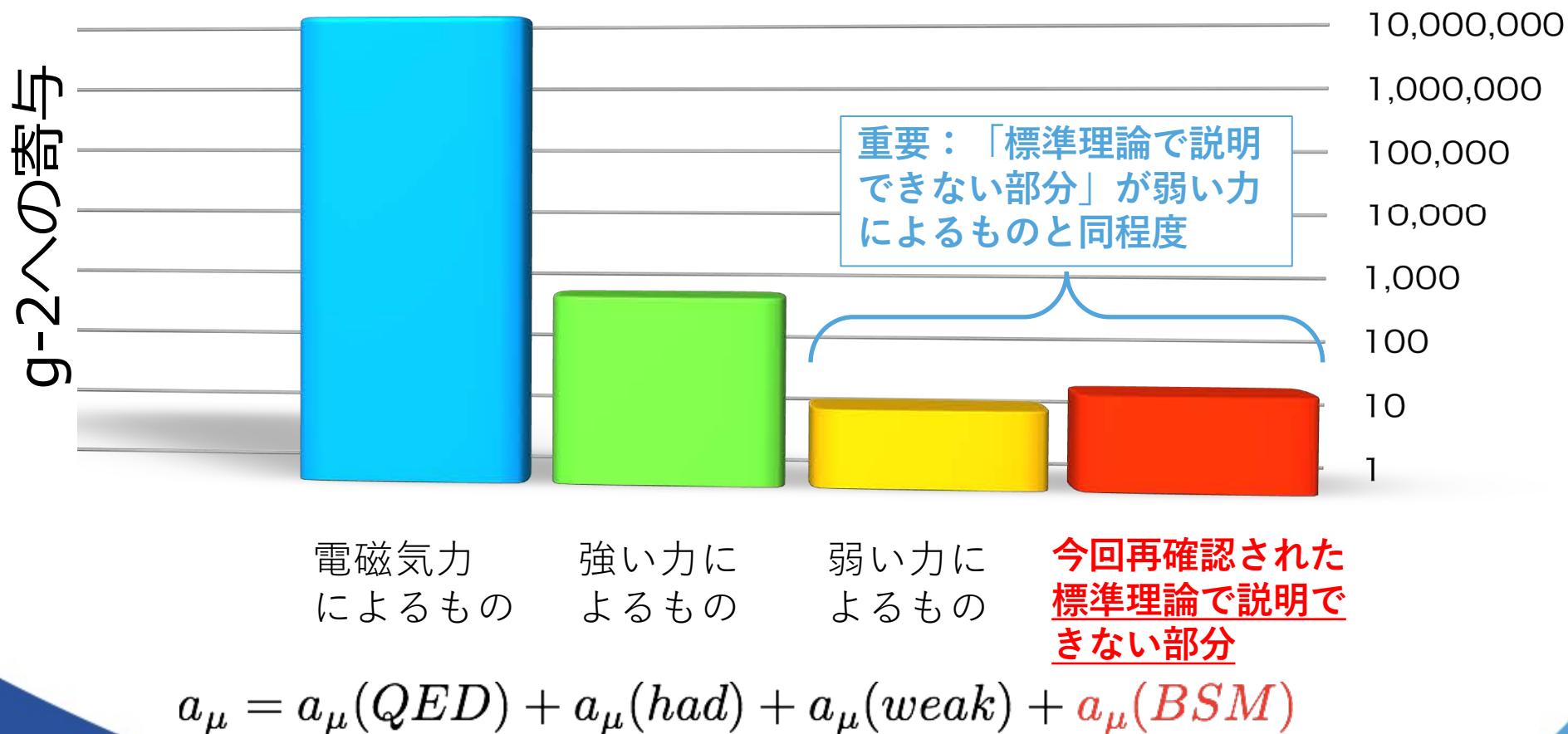
The equation illustrates the components of the anomalous magnetic dipole moment:

- 電磁気力**: Represented by a Feynman diagram showing a muon (μ) emitting a virtual photon (γ) which then interacts with another muon (μ).
- 強い力**: Represented by a Feynman diagram showing a muon (μ) emitting a virtual gluon (hadron loop) which then interacts with another muon (μ).
- 弱い力**: Represented by a Feynman diagram showing a muon (μ) emitting a virtual W boson (W) which then interacts with a virtual neutrino (ν) and another muon (μ).
- 未知の力・素粒子**: Represented by a Feynman diagram showing a muon (μ) emitting a virtual particle (χ⁰) which then interacts with another muon (μ).

ミュオンg-2の内訳

数値はPhys. Rep. 887 (2020) 1-166による

[$\times 10^{-10}$]

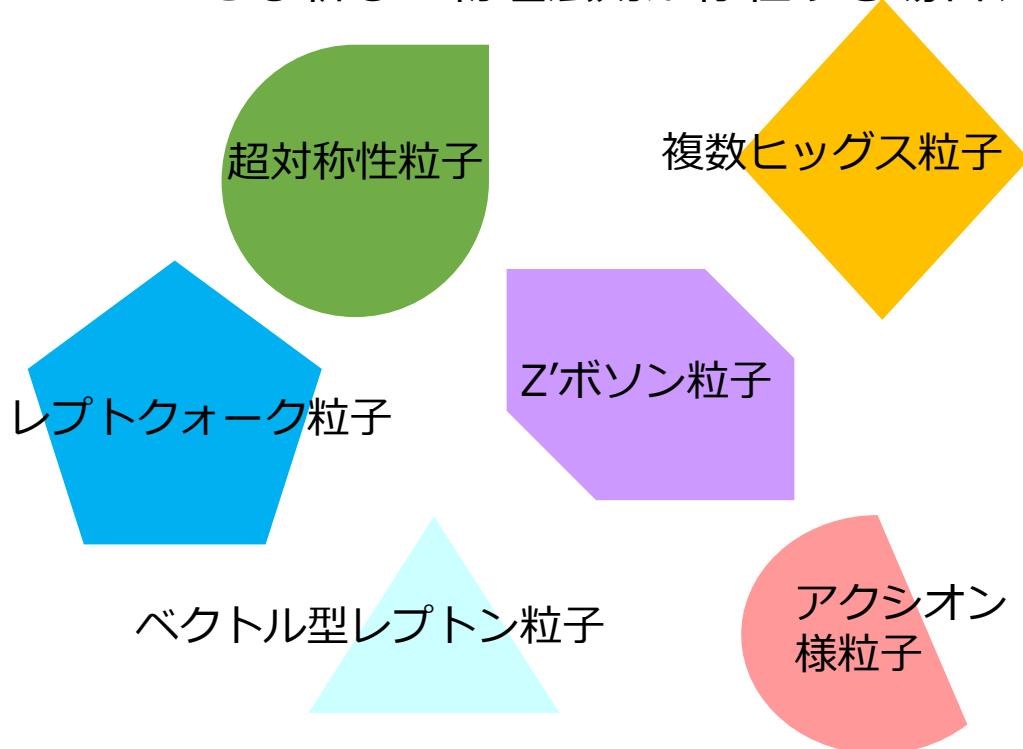


人類は素粒子標準理論の綻びを見つけたか？

- ・ケース 1 新しい物理法則（最もエキサイティング）
- ・ケース 2 標準理論の計算が間違い
- ・ケース 3 測定が間違い

人類は素粒子標準理論の綻びを見つけたか？

- ケース 1 新しい物理法則（最もエキサイティング）
 - もし新しい物理法則が存在する場合、それに付随する未知の素粒子を示唆



4月8日の発表から数日で約70本の理論論文が投稿された。大きく6種類のカテゴリに分類可能（名古屋大・北原氏による整理）。

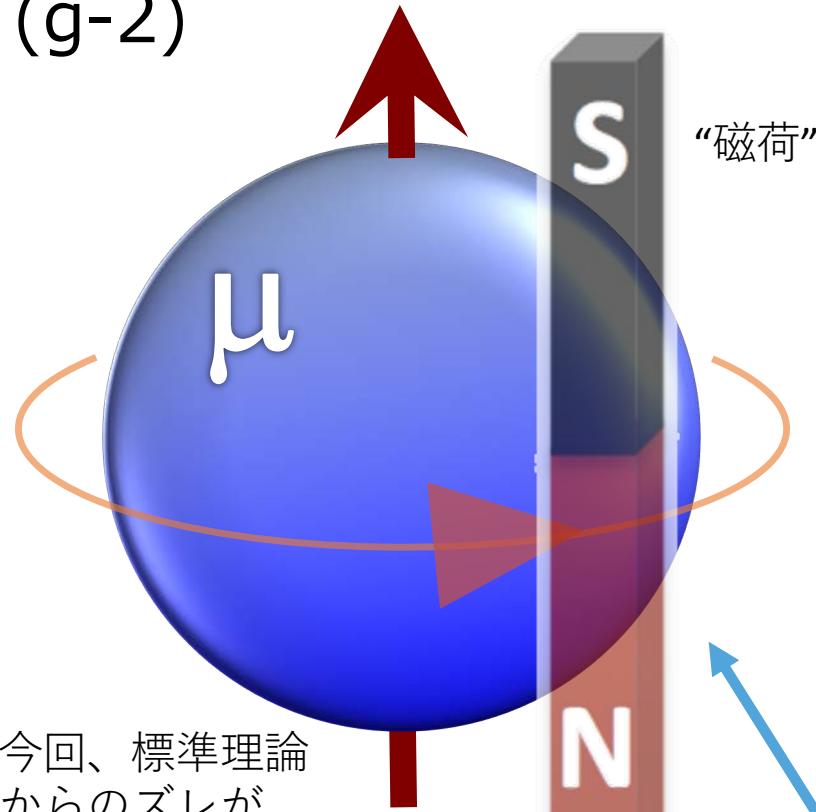
ただし、 $g-2$ のズレだけからはどれが正しい物理法則かわからない。
他の情報が必要。

例) 時間反転対称性の破れ (EDM) 、フレーバー対称性 (ミュオン-電子 (COMET) 、B中間子・タウ (Belle II))

J-PARC実験で測定

g-2 と EDM

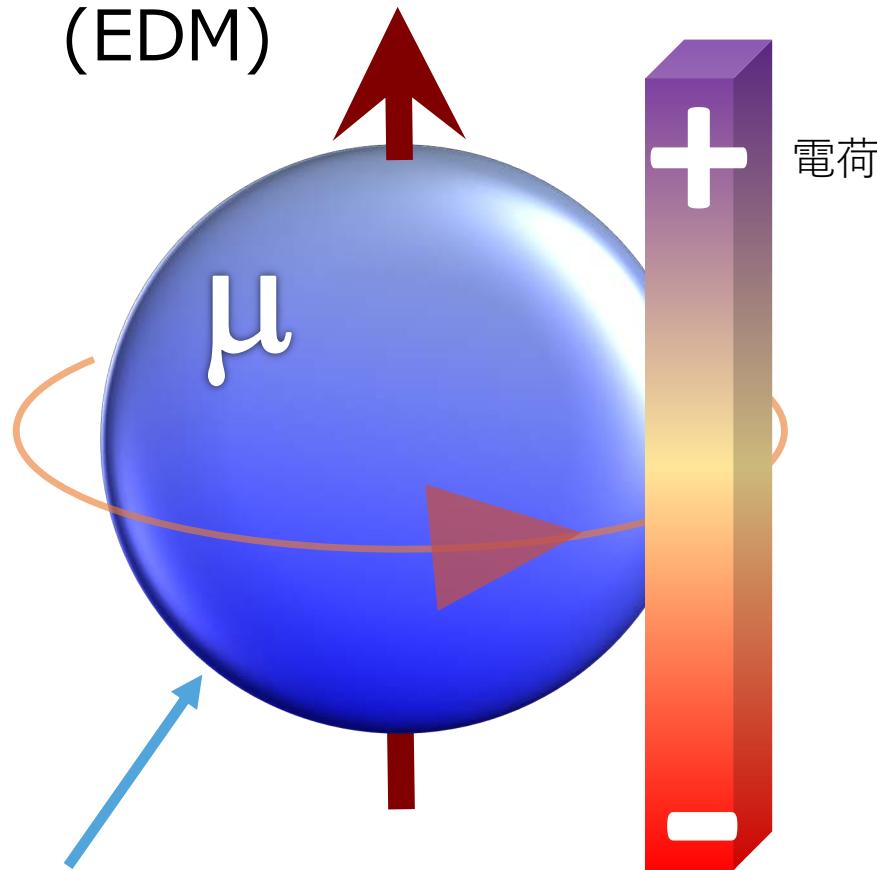
異常磁気双極子能率 (g-2)



今回、標準理論
からのズレが
再確認された

時間反転対称性
を保つ

電気双極子能率 (EDM)



時間反転対称性
を破る

双極子能率を複素数表示
したときの実部と虚部の関係

- 電気双極子能率(EDM)とは粒子が持つ電気的性質の一つで、**時間反転対称性(T)、空間反転対称性 (P) を同時に破る**。ミュオンg-2に新物理が見えている場合、EDMを同時に測定すれば、**新物理がT対称性・P対称性を破るのかどうか**調べることができる。物質優勢宇宙で必要とされる未発見のCP対称性の破れの理解にも重要

人類は素粒子標準理論の綻びを見つけたか？

・ケース2 標準理論の計算が間違い

- ・これは最も考えにくいシナリオ
 - ・理由1 計算に理論的な仮説が不要
 - ・理由2 膨大な実験データをインプットとして計算されている。つまり、計算を間違えるためには、過去のたくさんの実験データが間違えていないといけない
- ・理由3 世界の理論研究者によるクロスチェックをパス



・今後の進展

- ・計算機シミュレーションの高精度化に期待
- ・KEK Belle II実験の高精度データが重要なインプットに。

Physics Letters B
journal homepage: www.elsevier.com/locate/physletb

The anomalous magnetic moment of the muon in the Standard Model

T. Aoyama^{1,2,3}, N. Antognini⁴, M. Beaufays⁵, J. Bijnens⁶, T. Blum^{7,8},
J. Cudell⁹, L. Cugnon¹⁰, C.M. Cohen¹¹, G. Colangelo¹², F. Curchieff¹³,
H. Crayz¹⁴, I. DellaVolpe¹⁵, M. Davier¹⁶, C.T.H. Davies¹⁷,
M. Descotes-Genon¹⁸, S. Descotes-Genon¹⁹, P. Di Giambattista²⁰,
D. Guastini²¹, M. Gutekunst²², Steven Gottlieb²³, V. Gómez²⁴, P. Hagelstein²⁵,
M. Hayakawa²⁶, C. Hernandez²⁷, R. Hernandez Herrengui²⁸, P. Hernandez²⁹,
P. Hernandez³⁰, R. E.L. Hodgson³¹, K.J. Holland³², P. Jaus³³,
T. Inutsuka³⁴, F. Jegerlehner³⁵, J.-M. Jinn³⁶, A. Keshavarzi³⁷, T. Kinoshita³⁸,
A. Keshavarzi³⁹, A. Khodjamirian⁴⁰, A. Kostyuk⁴¹, A. Kotov⁴², J. Leibovich⁴³,
I. Logacheva⁴⁴, B. Malenová⁴⁵, K. Maltman⁴⁶, M.R. Marinovic⁴⁷,
A. Masjuan⁴⁸, J. Matias⁴⁹, J. Matos⁵⁰, J. Matos⁵¹, J. Matos⁵²,
S.E. Müller⁵³, M. Nio⁵⁴, D. Nomura⁵⁵, A. Nyffeler⁵⁶, V. Pasqualucci⁵⁷,
R. Petrelli⁵⁸, J. Pochinsky⁵⁹, P. Porel⁶⁰, S. Serednyakov⁶¹,
C.F. Redmer⁶², B.L. Roberts⁶³, P. Sanchez-Puertas⁶⁴, S. Serednyakov⁶⁵,
B. Schwartz⁶⁶, S. Simula⁶⁷, D. Stöckinger⁶⁸, H. Stöckinger-Kain⁶⁹, P. Stoffer⁷⁰,
G. von Hippel⁷¹, H. Wittig⁷², Z. Zhang⁷³, M.N. Achasov⁷⁴, A. Bashir⁷⁵,
O. Bochkarev⁷⁶, A. Denig⁷⁷, C. DeTar⁷⁸, C.A. Dominguez⁷⁹, A.E. Dorokhov⁸⁰,
O. Detmold⁸¹, A. Denig⁸², C. DeTar⁸³, C.A. Dominguez⁸⁴, E. Eichten⁸⁵,
Z. Geller⁸⁶, J.K. Green⁸⁷, S. Goriely-Kleidat⁸⁸, D. Hatten⁸⁹,
N. Hervé⁹⁰, P. Hernandez-Troncoso⁹¹, S. Holt⁹², B.B. Hu⁹³, M. Koppes⁹⁴,
C. McNeile⁹⁵, D. Meister⁹⁶, J. Montaño⁹⁷, E.T. Neil⁹⁸, A.V. Nefedov⁹⁹,
A. Pineda¹⁰⁰, A. Pineda¹⁰¹, A. Pineda¹⁰², A. Pineda¹⁰³, A. Pineda¹⁰⁴,
A. Rodriguez-Sánchez¹⁰⁵, P. Rose¹⁰⁶, T. San José¹⁰⁷, E.P. Solodkov¹⁰⁸, R. Sogar¹⁰⁹,
K. Tandy¹¹⁰, J. Vaandering¹¹¹, A. Vaquero Aviles-Casco¹¹², E. Weis¹¹³,
R. Williams¹¹⁴, R. Williams¹¹⁵, A.S. Zaitsev¹¹⁶

¹ Institute of Physics and Nuclear Studies, High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba 305-0003, Japan
² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³ Department of Physics and Mathematics, University of Bremen, 28334 Bremen, Germany
⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
²⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
³⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁴⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁵⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁶⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁷⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁸⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
⁹⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰⁴ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰⁵ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰⁶ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰⁷ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰⁸ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹⁰⁹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹¹⁰ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹¹¹ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹¹² Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany
¹¹³ Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg, 93040 Regensburg, Germany

6月末にKEK主催で
国際会議を開催

人類は素粒子標準理論の綻びを見つけたか？

・ケース3 測定が間違い

- ・トップクラスの素粒子物理学者が20年かけて行ったとても難しい実験

	誤差	相対誤差
測定値(平均)	0.00116 592 061 (41)	(0.35 ppm)
理論値	0.00116 591 810 (43)	(0.37 ppm)
理論値との差	0.00000 000 251 (59)	

例) 背比べをして
身長(1.6m)が
3.6μmの高い

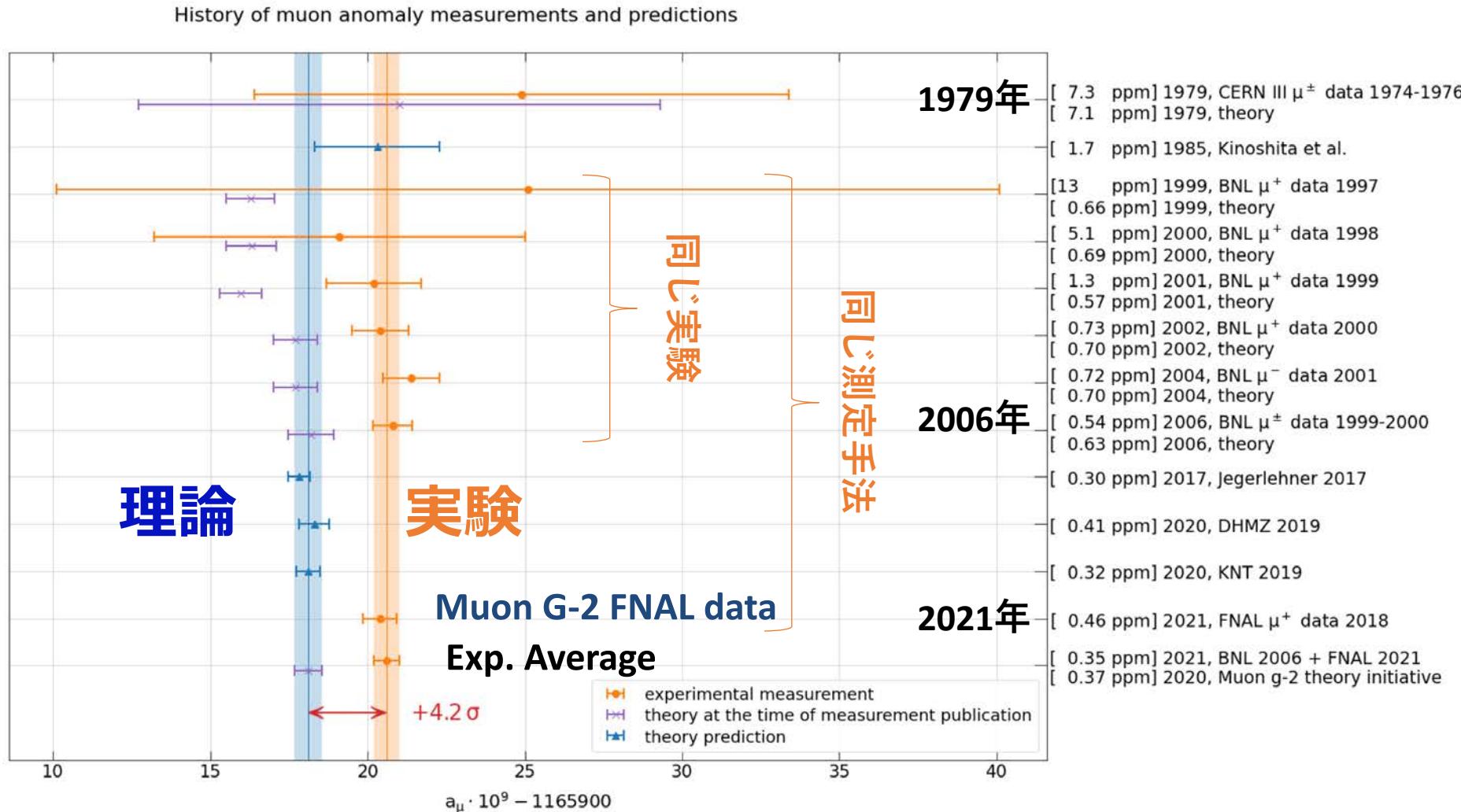
例) 身長(1.6m)
を0.6μmの精度で
測定

- ・重要な発見は独立に検証されるべき

(例：重力波・ヒッグス粒子・B中間子CP非保存、ニュートリノ振動、他)

独立手法による実験 (J-PARC) の意義

ミューオンg-2測定の歴史

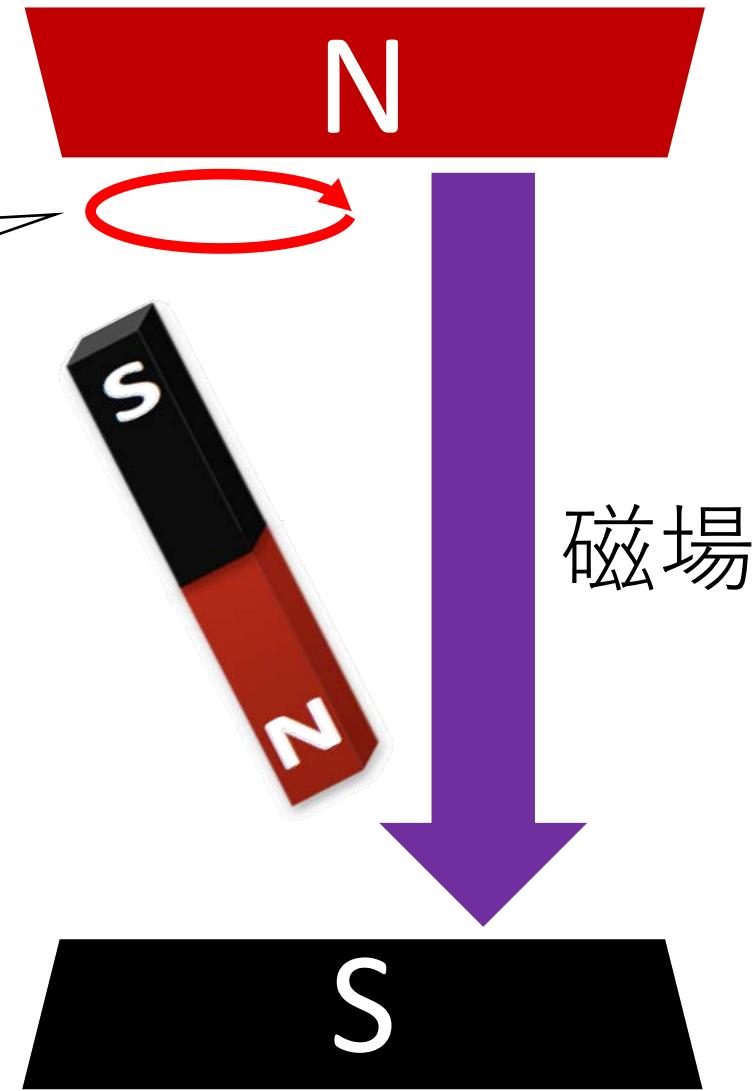


$$a_\mu(\text{AVG}) = 116\,592\,061(41) \times 10^{-11} \quad (0.35 \text{ ppm}).$$

磁石の歳差運動

磁場中で磁石は**歳差運動**をする。

磁場と**歳差運動周波数**がわかれれば磁石の強さがわかる。

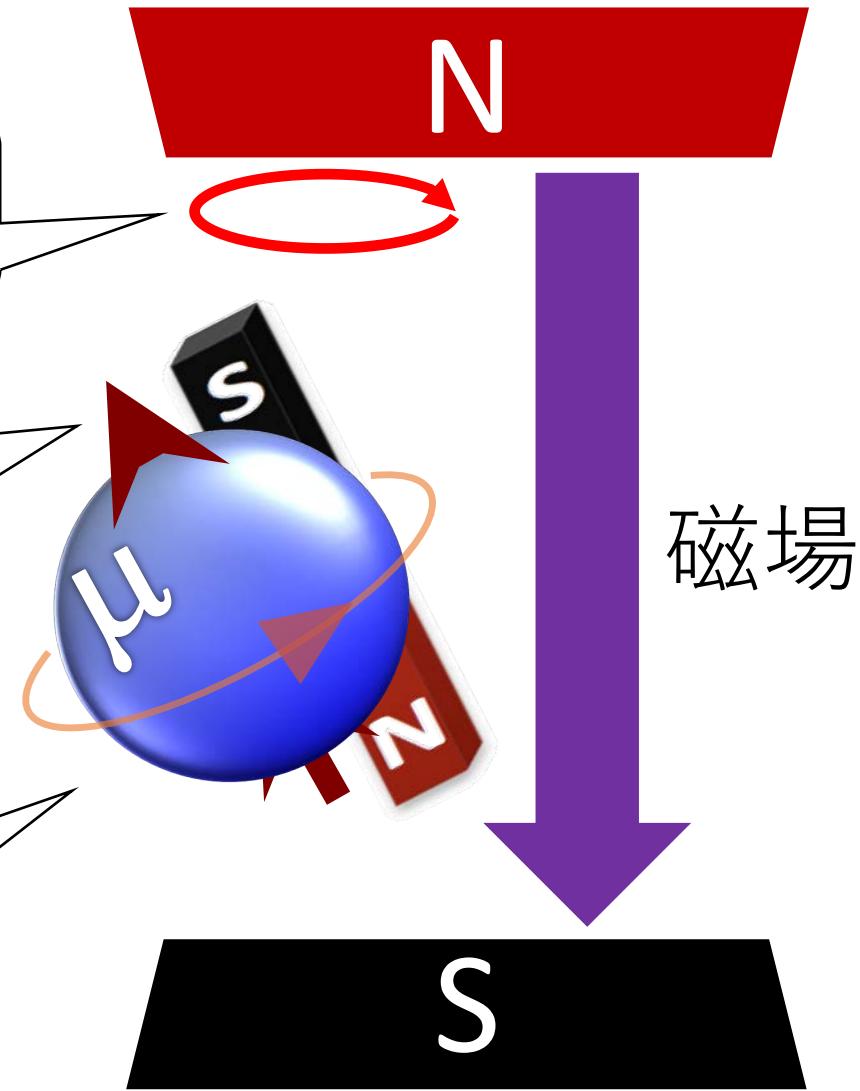


ミューオンの磁気双極子能率の歳差運動

磁場中で磁石は歳差運動をする。

磁場と歳差運動周波数がわかれば異常磁気双極子能率($g-2$)が測定できる。

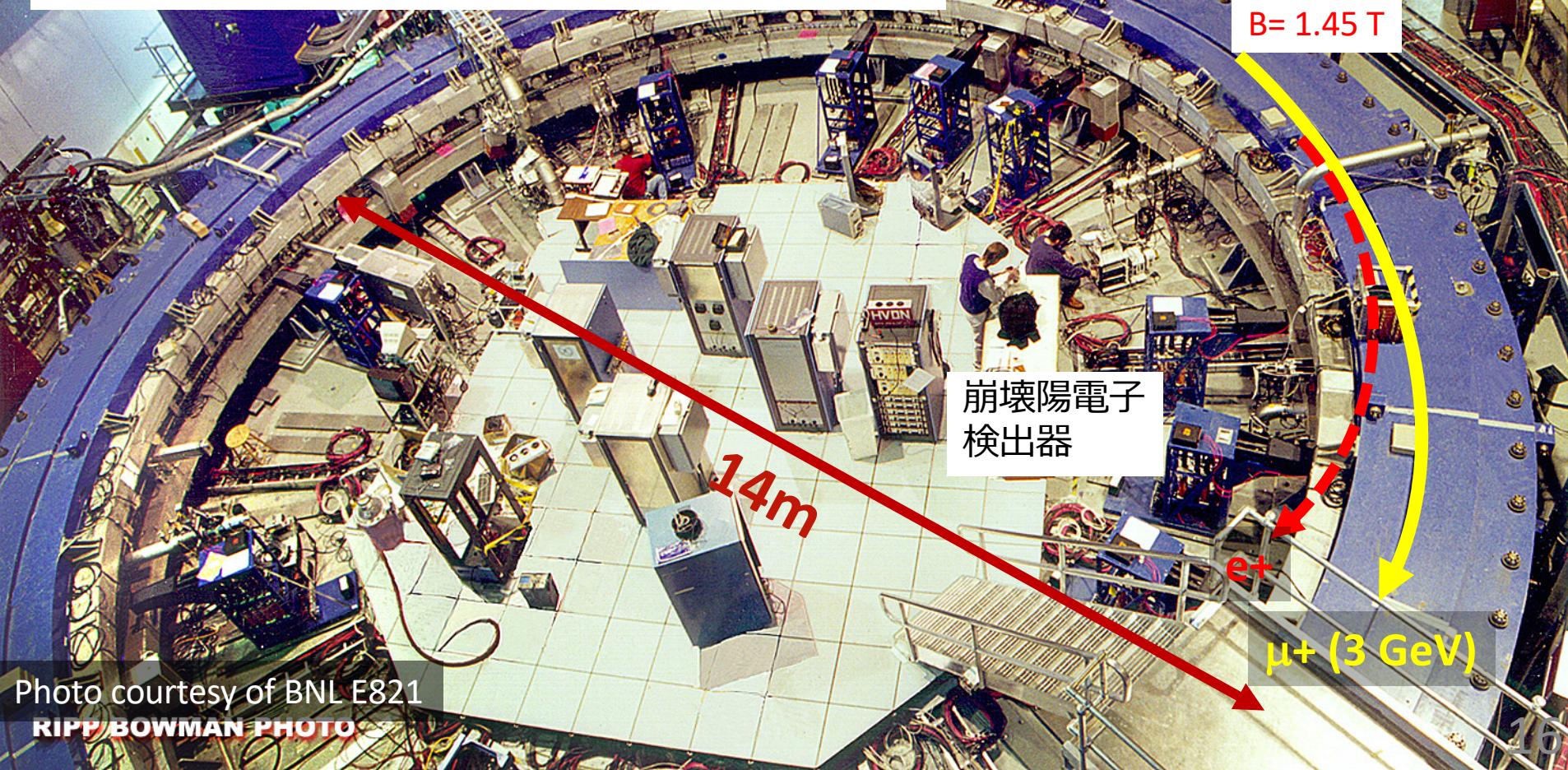
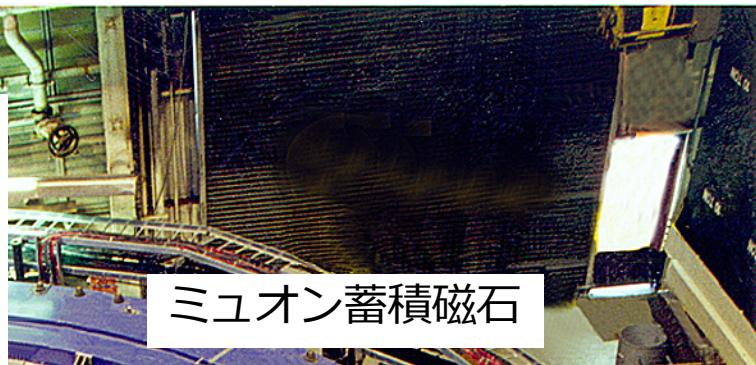
磁場の向きと歳差運動の軸がわかればEDMが測定できる。



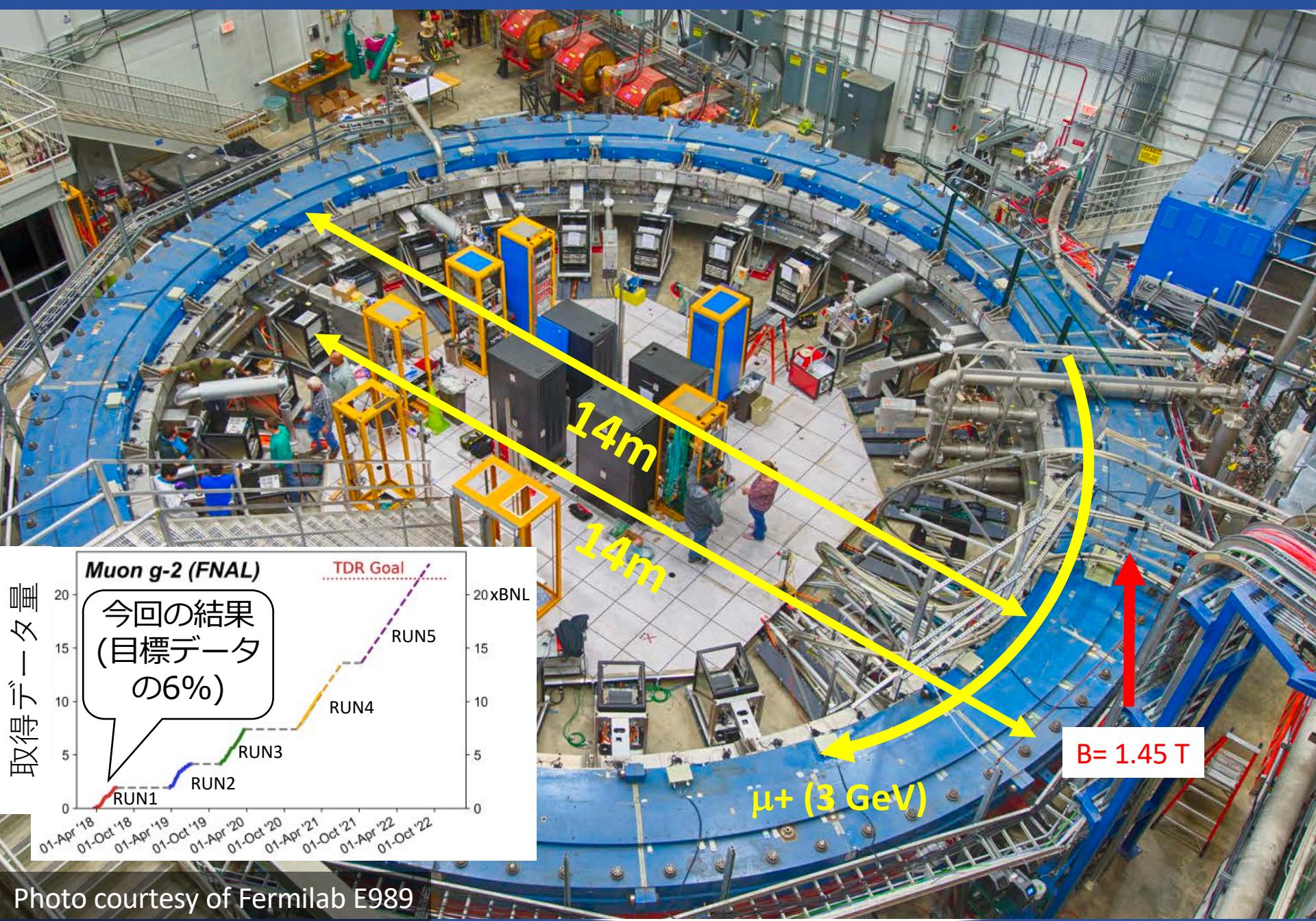
ブルックヘブン国立研究所 ミュオンg-2実験(1997-2001)

日本の貢献 (KEK 名誉教授 山本 明先生、他)

- 特殊超伝導磁石“インフレクター”
 - 日本製高純度鉄で製作された”磁石ポールピース”
 - 蓄積ビーム分布測定器
- 全て今回のフェルミラボの実験でも使われている



フェルミ国立研究所 ミュオンg-2実験(2018-)



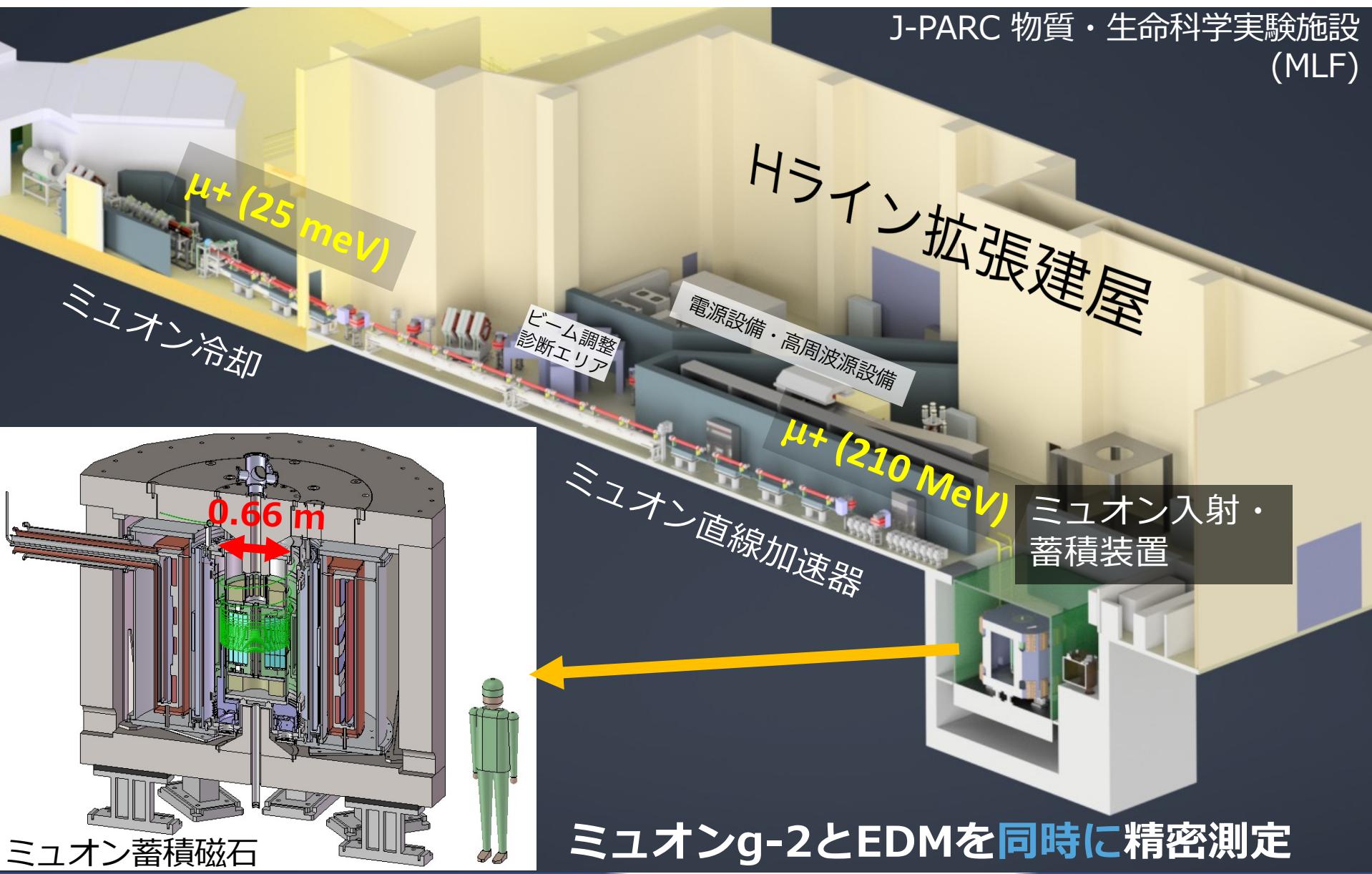
大強度陽子加速器施設 J-PARC



Bird's eye photo in Feb. 2008

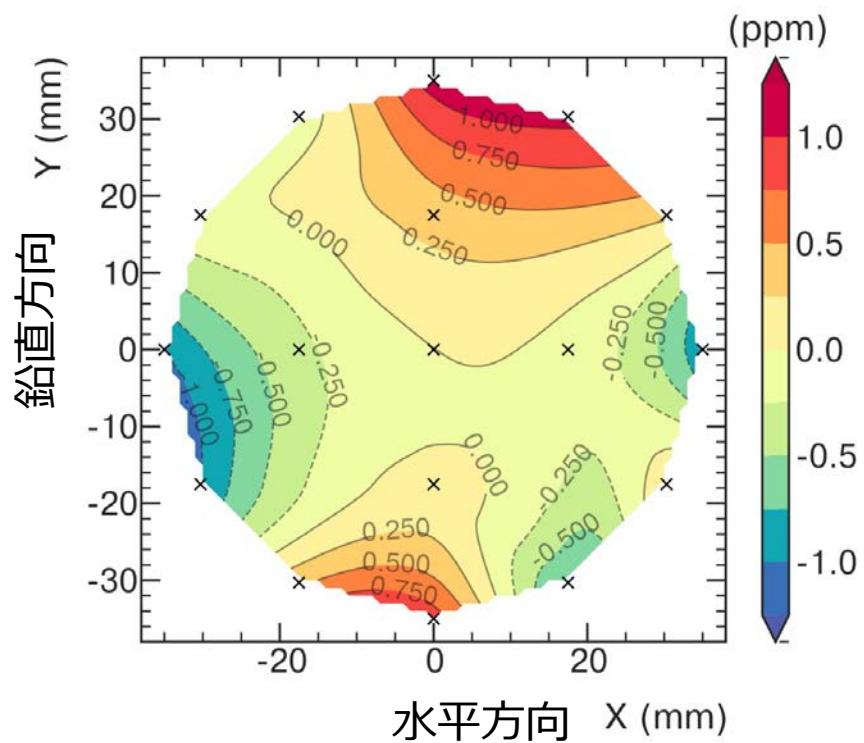
J-PARCの実験

J-PARC 物質・生命科学実験施設
(MLF)



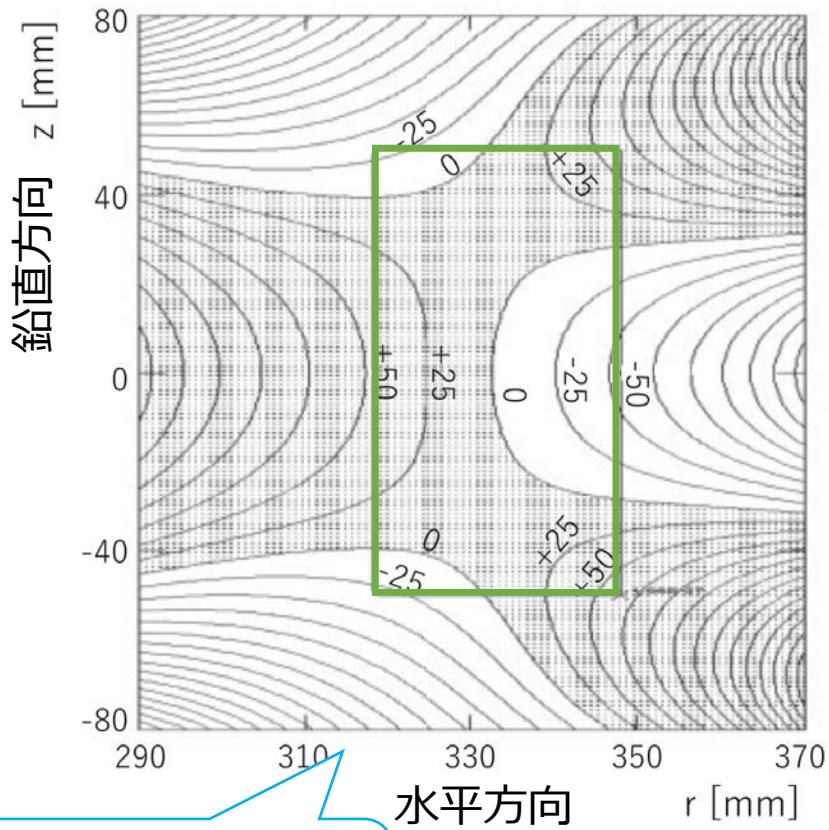
小さいことは良いことか？ 磁場の一様性の比較

FNAL (直径14mの蓄積磁石)



250 ppb/line

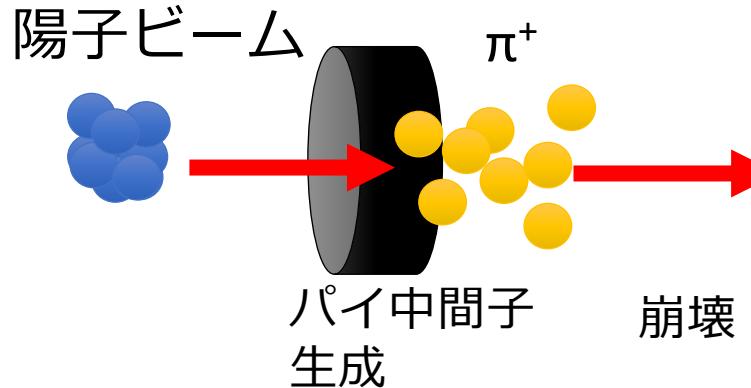
J-PARC (直径0.66m)



約10倍の磁場
一様性を達成

25 ppb/line

新しいミュオンビーム



従来のミュオンビーム
~1kmで10m拡がる
系統誤差の主要因に。

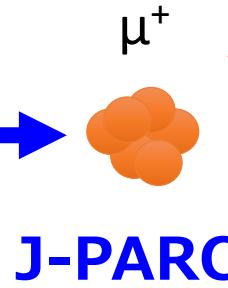
BNL
FNAL



新しいミュオンビーム

- 新しいミュオンビームにより
 - コンパクトな蓄積磁石・検出器(1/20)
 - 微弱ビーム収束力で蓄積(1/1000)
 - 高いビーム入射効率(x10)
- が可能となる。

冷却・加速

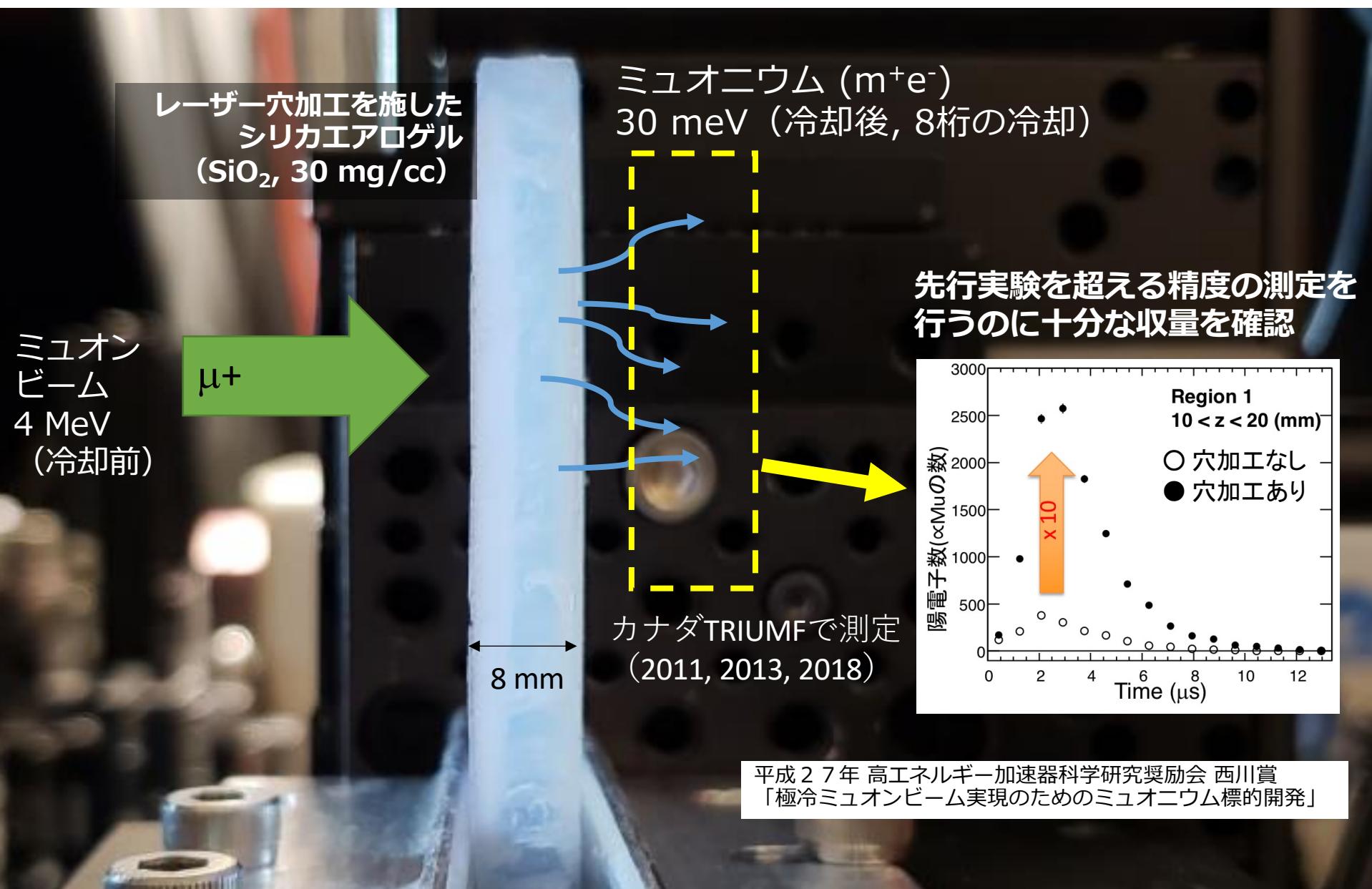


J-PARC

新しいミュオンビーム
(独自技術)
~1kmで1cm拡がる

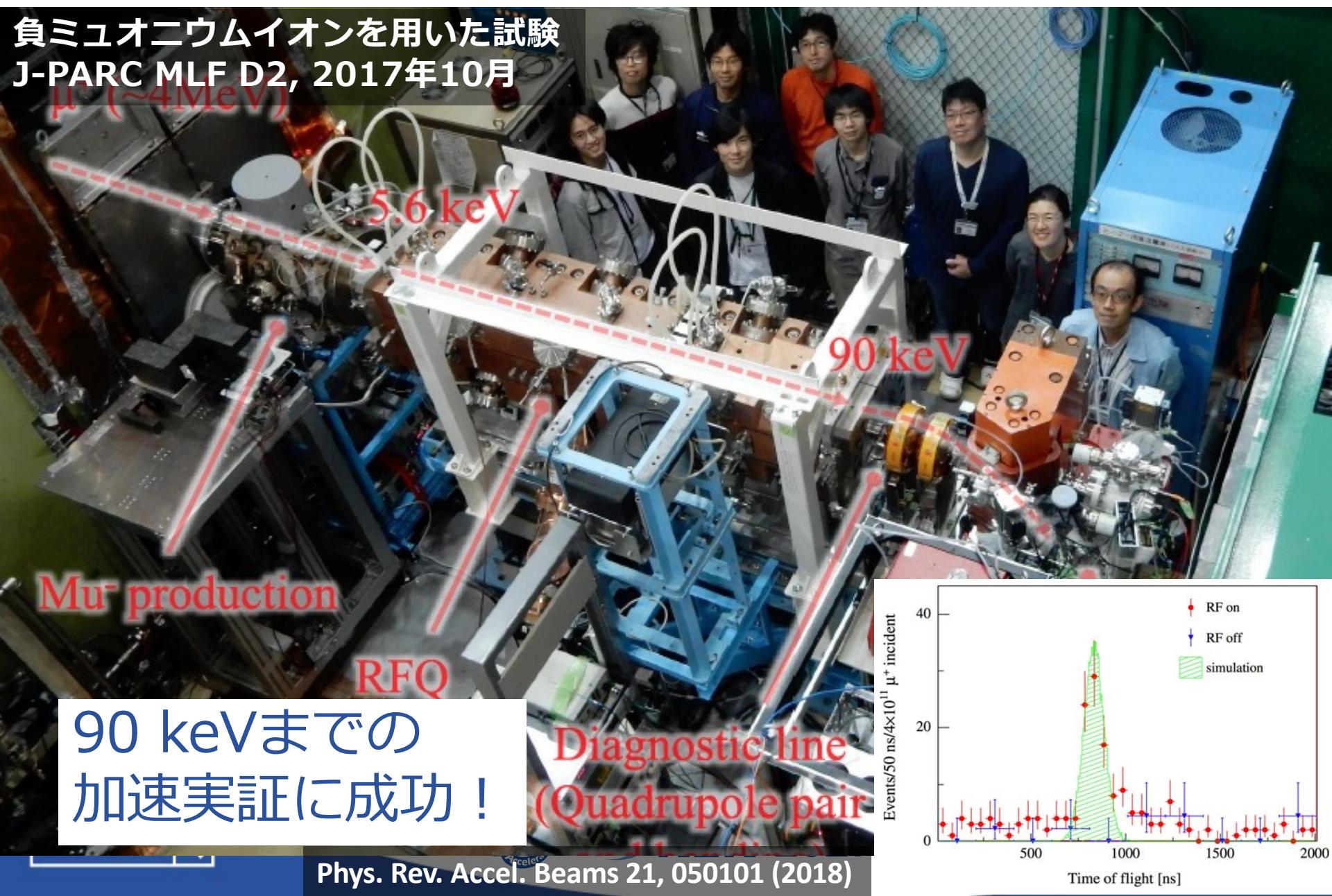


ミュオン冷却(世界初、J-PARC独自)



ミュオンの高周波加速(世界初、J-PARC独自)

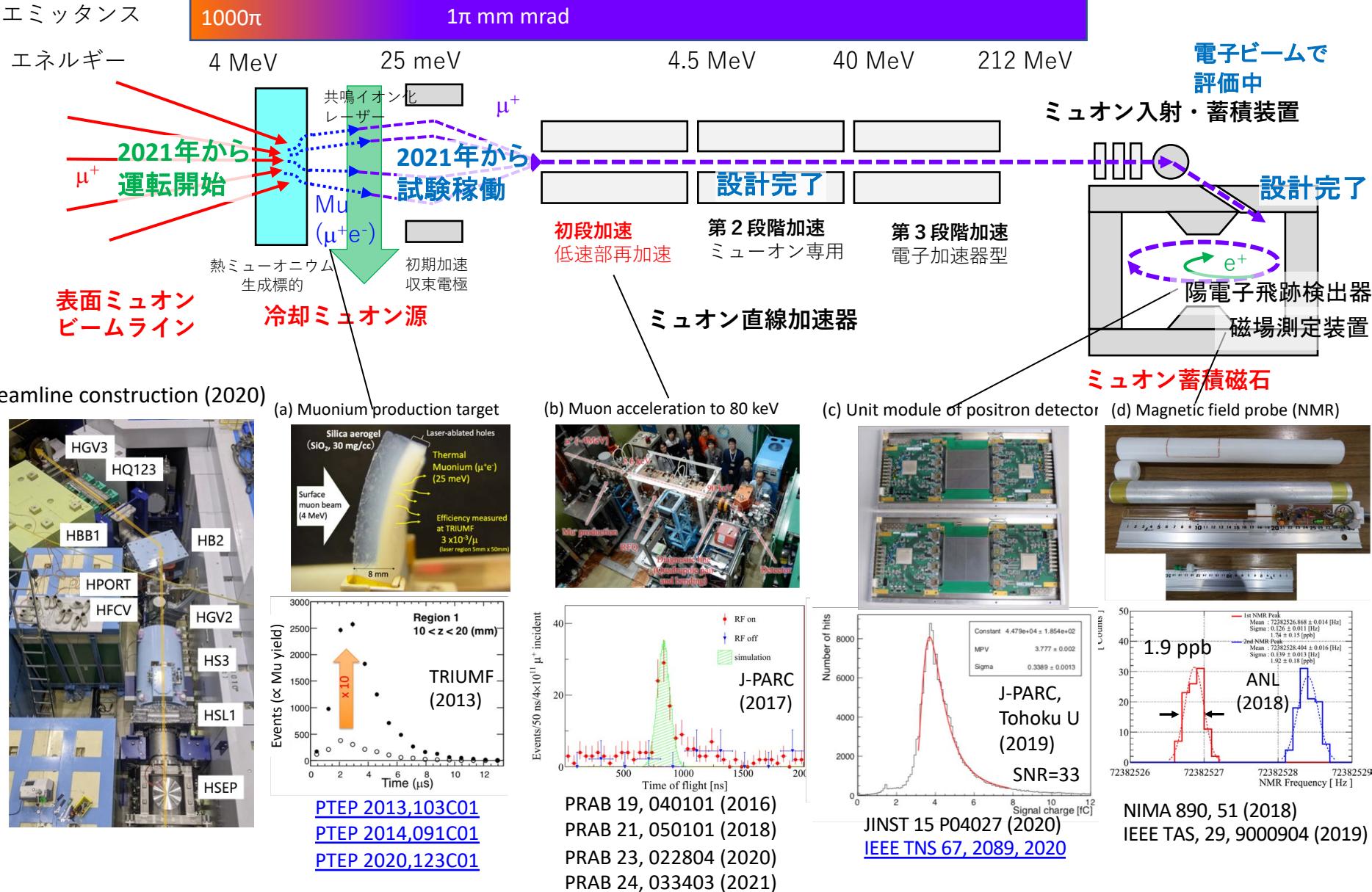
負ミュオニウムイオンを用いた試験
J-PARC MLF D2, 2017年10月



これまでの成果

Prog. Theor. Exp. Phys. 2019, 053C02

24



科研費 特別推進研究 採択 (2020-2025) : 陽電子飛跡検出器・磁場測定装置等の製作

スケジュール・マイルストーン

データ収集開始

最初の結果発表

5

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
KEK 建設予算						概算要求 申請中	
表面ミュオ ンビーム			★ Beam at H1 area	★ Beam at H2 area			
拡張建屋・ 設備			★ Final design		★ Completion		
ミュオン源			★ Ionization test @S2	★ Ionization test at H2			
LINAC			★ 1 MeV acceleration@S2	★ 4.5 MeV@ H2	★ 210 MeV ★ 10 MeV		
ビーム入射・ 蓄積			★ Completion of electron injection test			★ muon injection	
蓄積磁石				★ B-field probe ready	★ Install	★ Shimming done	
検出器			★ Mass production ready		★ Installation		
DAQ・ネット ワーク					★ Ready		
データ解 析				★ Analysis software ready ★ Analysis environment ready			

国際共同研究グループ

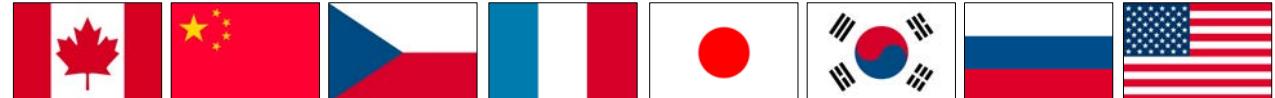


Collaboration board (CB)
Chair: Seonho Choi



Executive board (EB)
Spokesperson: T. Mibe

約120名 カナダ・中国・チェコ・フランス・日本・韓国・ロシア・米国・インド

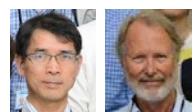


Subgroups

Surface muon beam
leader: T. Yamazaki, N. Kawamura



K. Ishida



Ultra-slow muon
leader: K. Ishida, G. Marshall



M. Otani



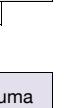
LINAC
leader: Y. Kondo, M. Otani



Y. Kondo



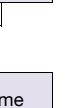
Injection and storage
leader: H. Iinuma



H. Iinuma



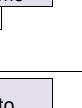
Storage magnet, field measurements



T. Kume



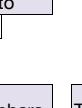
Detector
leader: T. Yoshioka



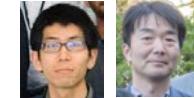
Y. Sato



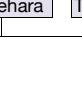
DAQ and computing
leader: Y. Sato, S. Lee



T. Suehara

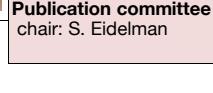
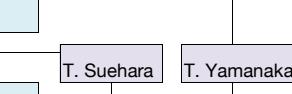
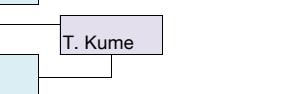
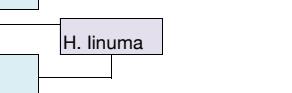
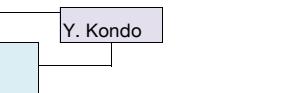


Analysis
leader: T. Yamanaka (K. Hayasaka)



T. Yamanaka

Interface coordinators



国内大学・研究機関:

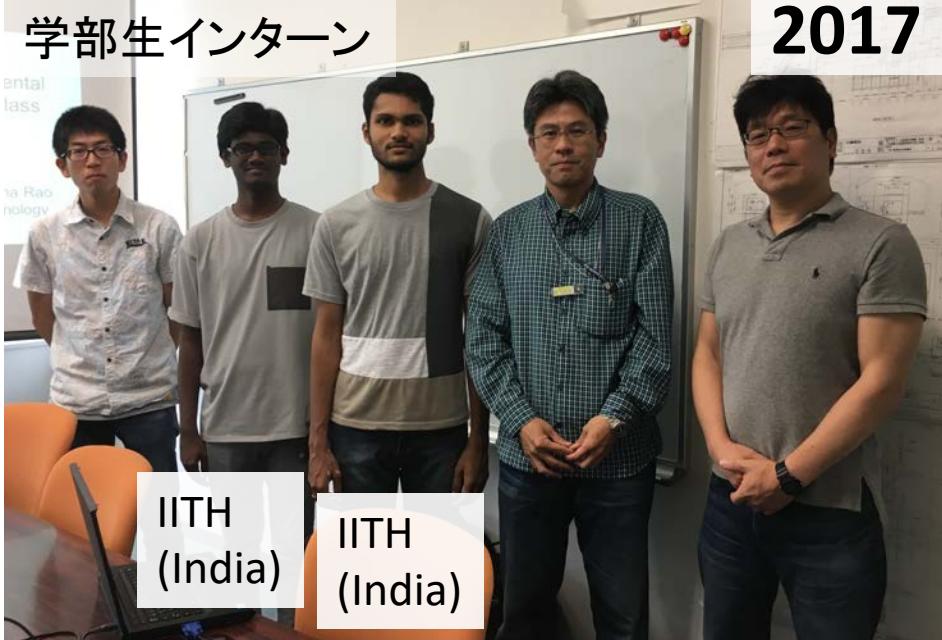
九州大学、名古屋大学、東北大学、新潟大学、東京大学、茨城大学、立教大学、理化学研究所、JAEA、他



学生国際交流

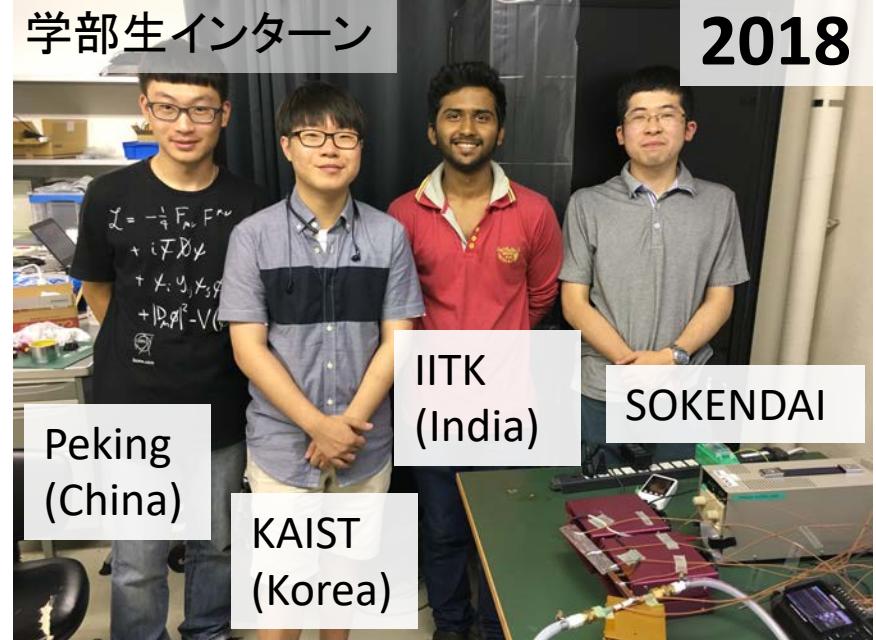
27

学部生インターン



2017

学部生インターン



2018

Facts & Places
Muon 2 faces gather in Novosibirsk

国際スクール開催



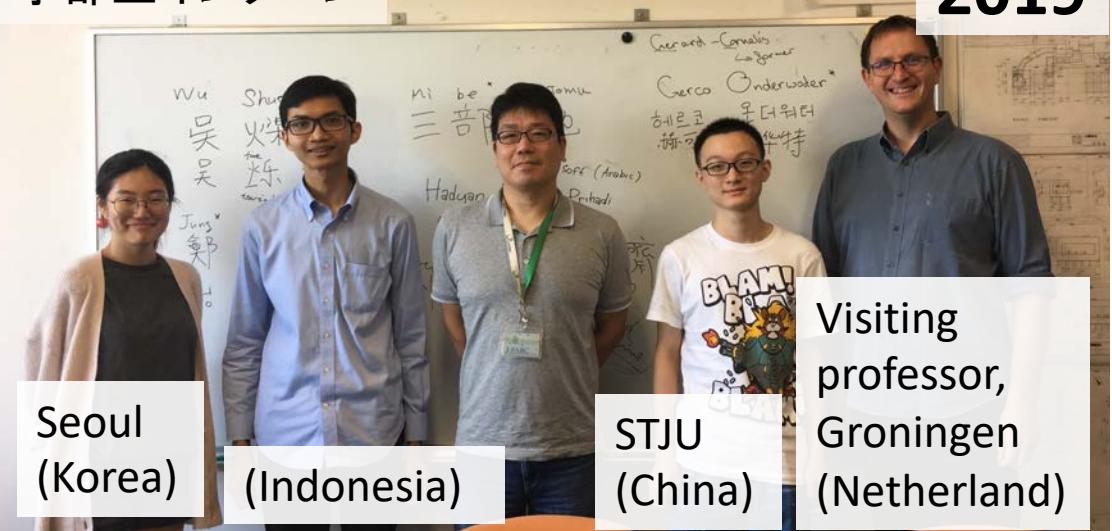
CERN COURIER
VOLUME 58 NUMBER 10 DECEMBER 2018



BINP, Novosibirsk in 2018
<https://indico.inp.nsk.su/even/14/>

• Mainz in 2021 (was Aug 2020)
<https://indico.mitp.uni-mainz.de/event/208/>

学部生インターン



2019

アウトリーチ活動

28

日立シビックセンター(日立市)



- エキスポセンターミニ企画展「ミューオンでまだ見ぬ宇宙の謎を解け！」(2019.7)
- 小学生向け科学教室「コマ・電磁石」
 - 日立シビックセンター(2020.10)、多摩六都(2020.12)、学童クラブ「オーケス船場」(2021.4)
 - 2021年度 ひらめき☆ときめきサイエンス採択(下村) J-PARCでのビーム実習も。

- ・ フェルミ国立研究所のミュオンg-2測定の結果発表により20年前の結果が再確認された。素粒子標準模型の綻びが見え始めている。
- ・ J-PARCでは、ミュオンを冷却・加速・小さな磁石に蓄積する新しい方法により、
 - ① g-2のズレを検証し、20年来の未解決問題に終止符を打つ。
 - ② EDMを精密測定し、新物理法則の時間反転対称性を調べる。
- ・ 2025年の実験開始を目指して準備を進めている。