

益川さんと φ と格子QCD

理化学研究所 計算科学研究センター
連続系場の理論研究チーム

青木保道

素粒子論のこの 50 年、そして未来 — 益川さんを偲んで
2022年3月13日 京大基研

自己紹介

連続系場の理論研究チーム

Supercomputer Fugaku: 「富岳」

を使った素粒子物理の研究

スパコンを使った場の理論の研究



φ φιλοσοφία
φυσικός
 φ : CP phase

— T. φκωα

2011.03.02

山脇さんの講演で紹介された色紙

φ を「ます」と読ませる

「ます記号」 \boxtimes (JIS X 0213)

φ を含めたサイン

牧さんが Σ (sigma) を使っている
のがかっこよくて。。。
 $\Sigma \alpha \kappa i$ (だったと思います)

益川さんとのかかわり

φ φιλοσοφία
φυσικός
 φ : CP phase

— T. φκωα

2011.03.02

大学院1年からポスドクまでの
青木の認識: 益川さんといえは



1990 D1: 九後さんの教科書
1995 D論: 電弱相転移 (間接的)
1998~ domain-wall fermion
Kメソン混合

φ φιλοσοφία

φυσικός

φ : CP phase

— T. φκωα

2011.03.02

大学院1年からポスドクまでの
青木の認識: 益川さんといえは



1990 D1: 九後さんの教科書

1995 D論: 電弱相転移 (間接的)

1998~ domain-wall fermion

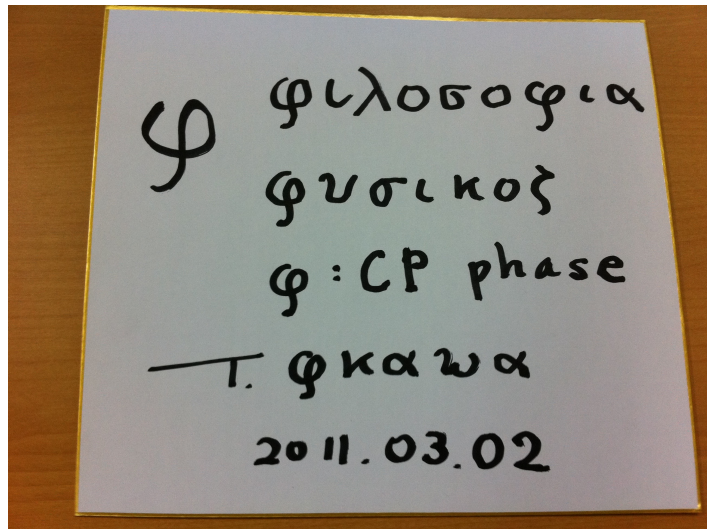
Kメソン混合

2006~ Kメソン混合 (dynamical)

Bメソン混合

2008 @ BNL: Soni や Marciano が「今年はKMではないか。」→ その通りに

2008 : many flavor strong dynamics results: Lattice会議で出始める



2008 @ BNL: Soni や Marciano が「今年はKMではないか。」→ その通りに

2008 : many flavor strong dynamics results: Lattice会議で出始める

2010 秋～ KMI lattice group 始動

2010.12 : 青木→KMI

益川さん、長谷部さんを交えてLattice勉強会

φ φιλοσοφία
 φ φυσικός
 φ : CP phase
— Τ. Φκάζα
2011.03.02

2008 : many fl

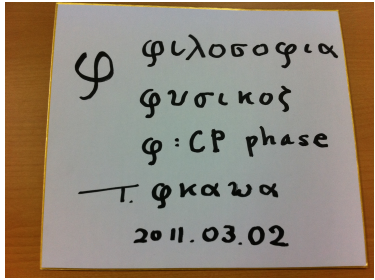
2010 秋 ~ KM

2010.12 : 青木

益川



[後年パンフレット用 - でも雰囲気はこんな感じ]



2008 : many flavor strong dynamics results: Lattice会議で出始める

2010 秋～ KMI lattice group

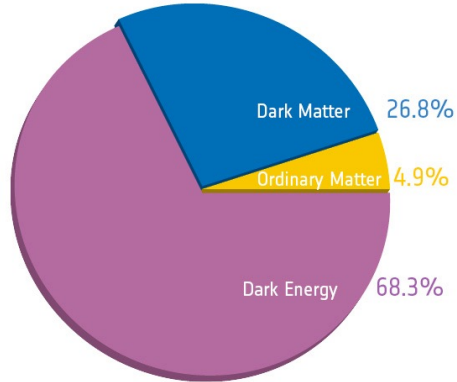
2010.12 : 青木→KMI

益川さん、長谷部さんを変えてLattice勉強会

2011.3 : KMIスパコン φ 始動

格子QCDの応用場面

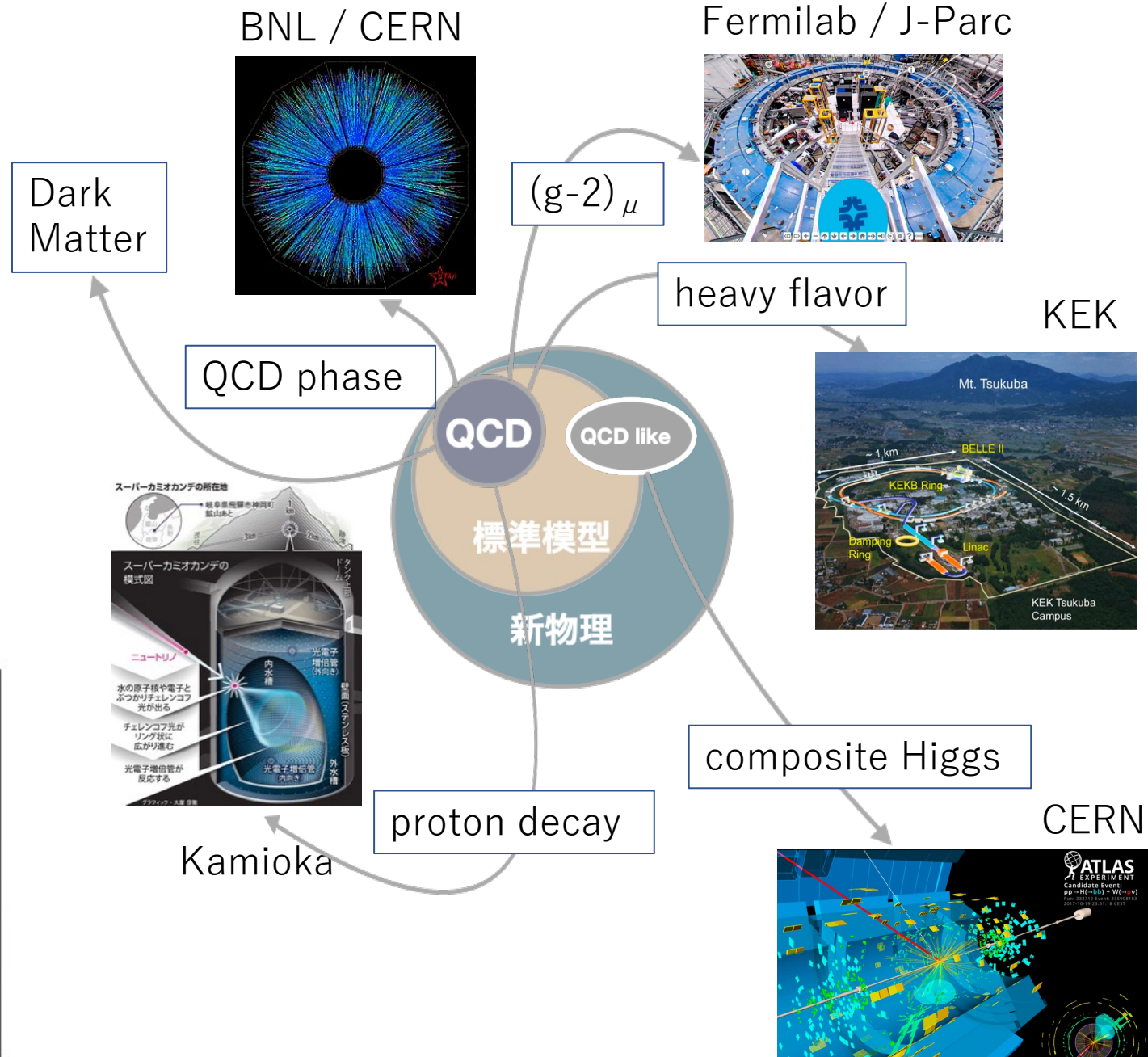
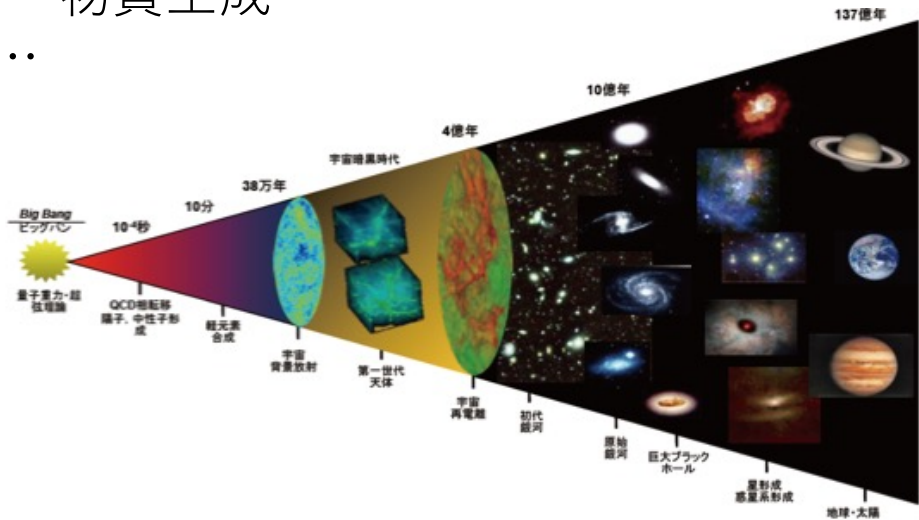
- 新物理探索
 - 標準模型の精密検証
 - 直接探索
 - 暗黒物質



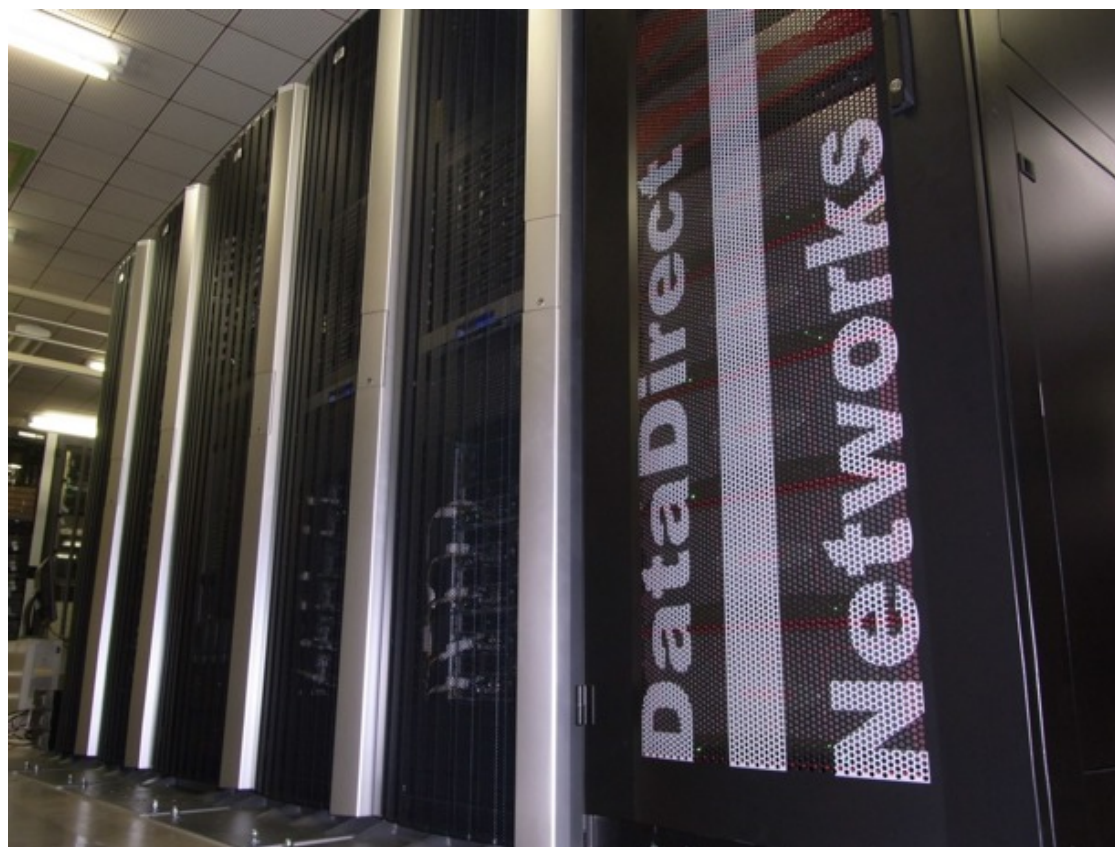
...

- 宇宙の歴史：相転移はあったか？
- 物質生成

...

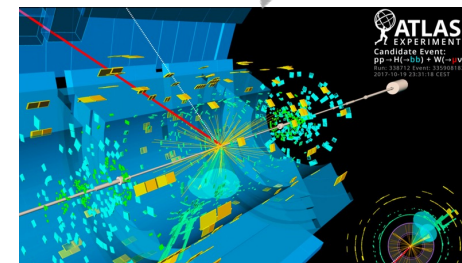


KMI スーパーコンピュータ



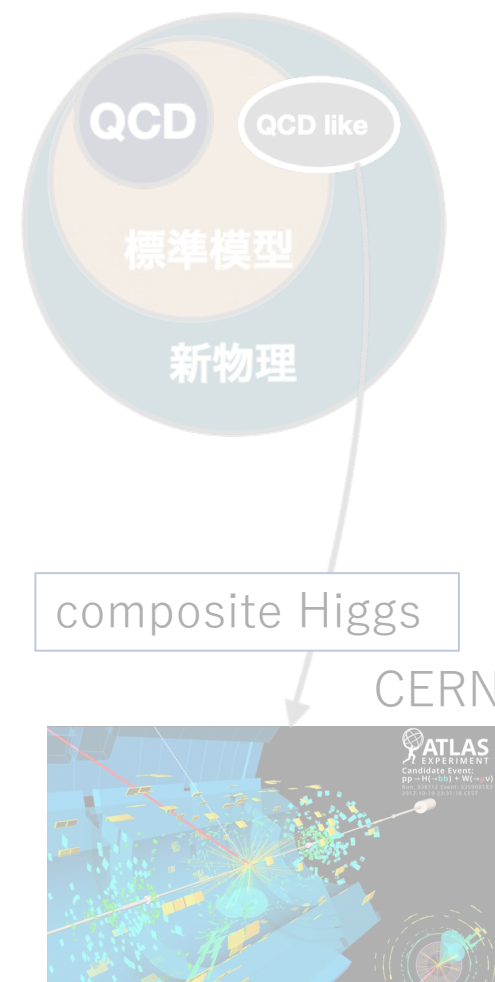
composite Higgs

CERN



ϕ 運用開始式

2011年3月2日



専用計算機 φ

2010年以前からの準備

コデザイン:

計算内容に即して、ハードウェア、
ソフトウェアの設計構築

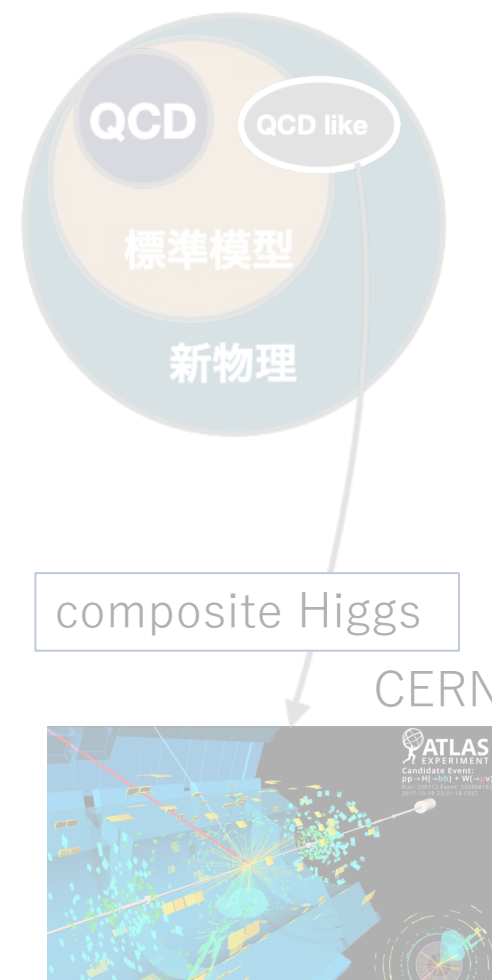
「富岳」の構築においても重要な考え方

メンバー

青山龍美 さん (名古屋→KEK)

早川雅司 さん (名古屋)

柴田章博 さん (KEK)



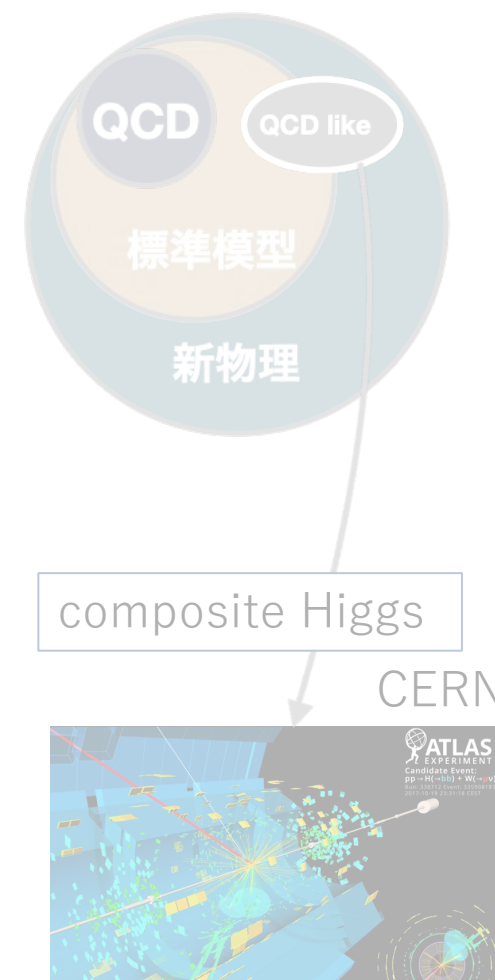
QCDではない(類似とは言え)理論の計算を目的に導入: 画期的

KMI スーパーコンピュータ



- non GPU nodes
 - 148 nodes
 - 2x Xenon 3.3 GHz
 - 24 TFlops (peak)
- GPU nodes
 - 23 nodes
 - 3x Tesla M2050
 - 39 TFlops (peak)
- 中部地域最速クラス

益川機構長肝いりのフラッグシップ計算機



KMI lattice collaboration members (2011年当時)

YA, T.Aoyama, M.Kurachi, T.Maskawa, K.Nagai, H.Ohki,



K.Yamawaki, T.Yamazaki



名古屋大学



K.Hasebe



愛知大学
AICHI UNIVERSITY

A.Shibata



LatKMI collaboration

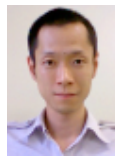
as of early 2018

- KMI / Nagoya Univ.

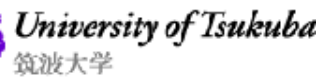


T.Maskawa, K.Nagai, K.Yamawaki

- KEK, Kyoto, Swansea, Keio, CPT Marseille, Nara, RBRC, Tsukuba



Y. A, T.Aoyama, E.Bennett, M.Kurachi, K.Miura, H.Ohki, E.Rinaldi, A.Shibata, T.Yamazaki



LatKMI

専用計算機 φ 2011-2016

九州大学 tatara

ハイライト

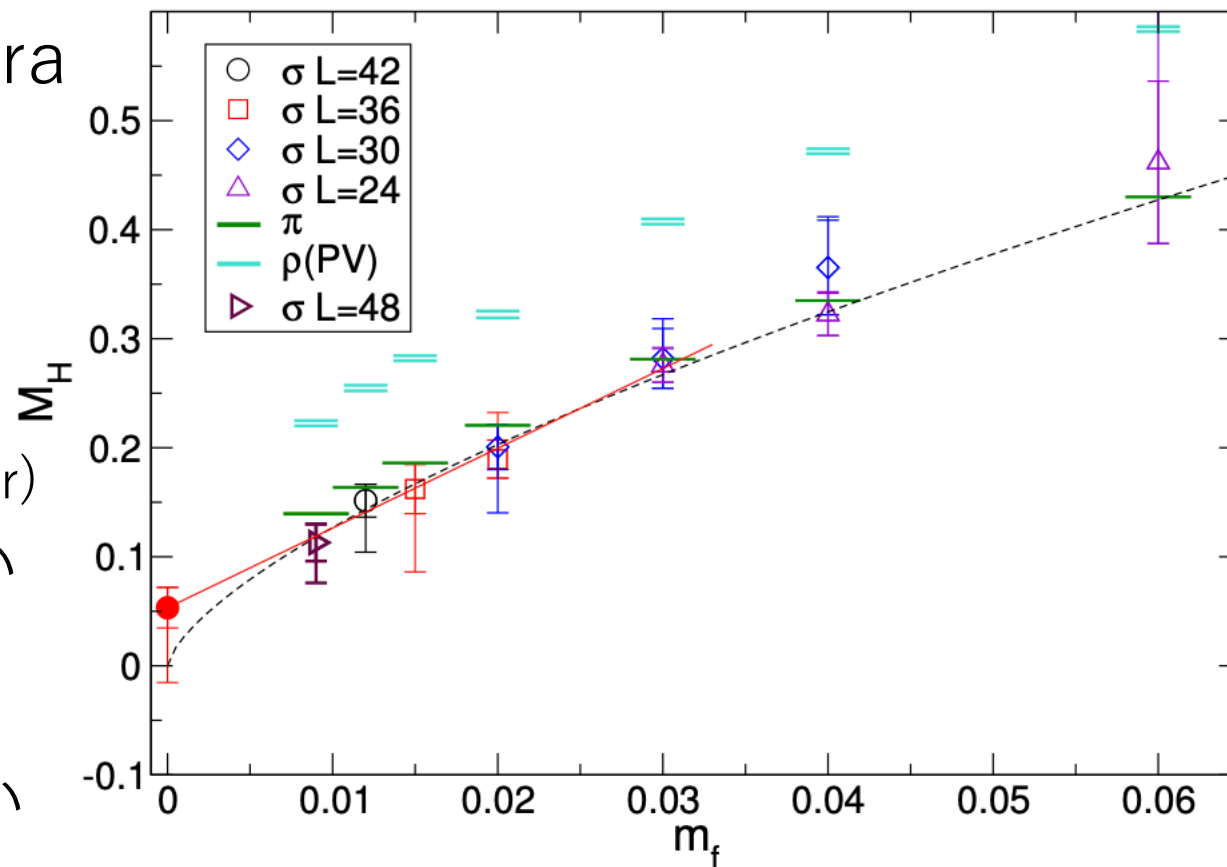
$N_f=8$

σ (flavor singlet scalar)

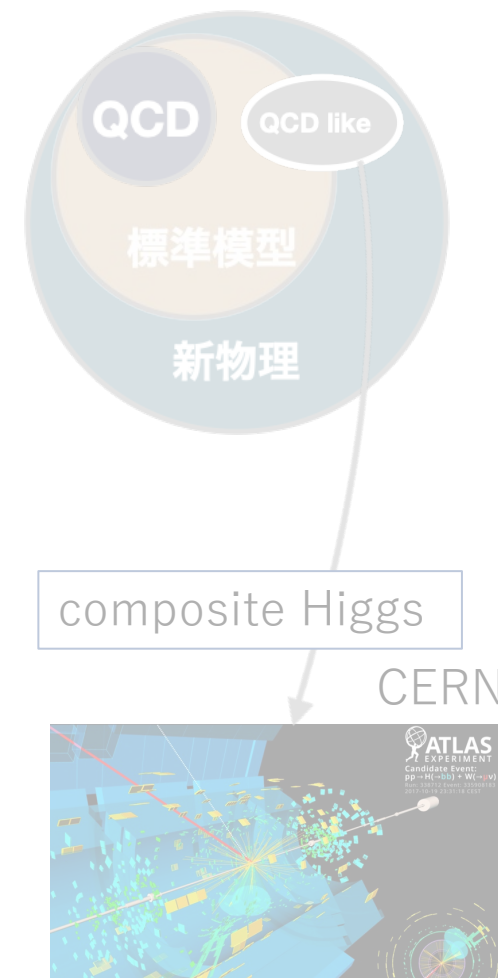
π と同程度に軽い

通常 π が最も軽い

σ : ヒッグスの候補



updated from Phys.Rev.D96(2017)
 $m_f=0.009$ (lightest) is new



LatKMI

専用計算機 φ 2011-2016

σ 粒子
 π と同程度に軽い

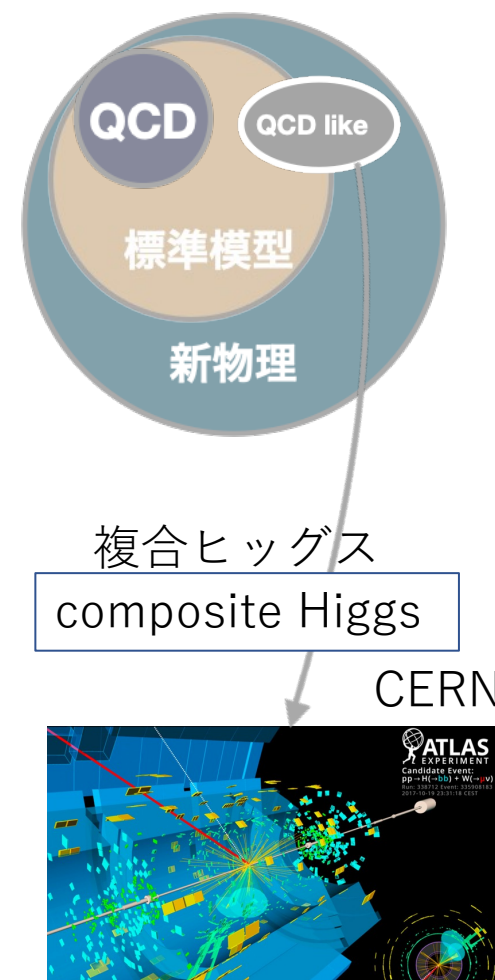
通常のQCDのスケールアップだったら

σ 質量 $\approx 1000 \text{ GeV} = 10^6 \text{ MeV}$

ヒッグス質量 = 125 GeV

KMIでシミュレーションした理論だと

125 GeV ヒッグスが実現できる可能性が残る



LatKMI

専用計算機 φ 2011-2016



2016.3.14 プレート取外し(青山さん)

LatKMI

専用計算機 φ 2011-2016

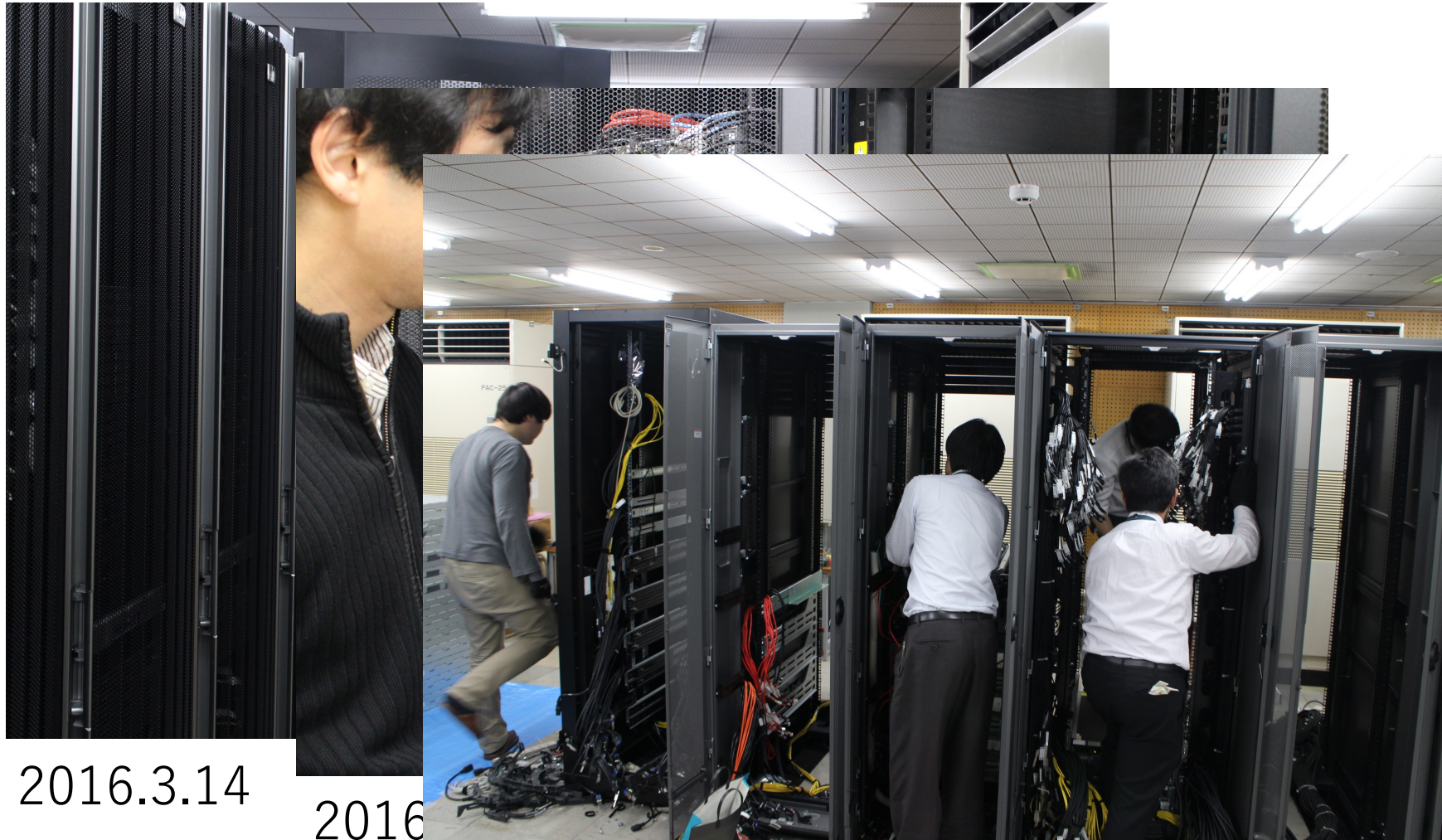


2016.3.14

2016.3.15 (switch-off)

LatKMI

専用計算機 φ 2011-2016



2016.3.14

2016

LatKMI

専用計算機 φ 2011-2016



LatKMI

専用計算機 φ 2011-2016



2016.3.14

2016

2016.3.17

LatKMI 論文仕上げルーティン

- 全員ミーティングで推敲 – デスマッチ
 - ピザ – 山脇さんのおごり
- 益川さんに報告
 - 印刷を持って説明に行く
 - σ ($N_f=12$) の時にはかなり詳しく説明した (山崎さん) → PRL 2013
 - その後は「任せた！」が多かった

LatKMI 論文 2017 以降

- 最後に「任せた！」を聞いたのが 2020.11.20
 - 電話: いつもの益川さんの声。お元気そうで安心。したのだが。。

HPCI Research Report Vol.6 (2021) 44-50

hp160153

「京」以外 HPCI 一般利用
HPCI other than K General Use

素粒子質量起源の理論探索

Theoretical exploration of the origin of mass of elementary particles

青木保道¹⁾、青山龍美²⁾、Ed Bennett³⁾、倉知昌史⁴⁾、益川敏英⁵⁾、三浦光太郎⁶⁾、⁵⁾、長井敬一⁵⁾、
大木洋⁷⁾、Enrico Rinaldi¹⁾、⁸⁾、柴田章博²⁾、山脇幸一⁵⁾、山崎剛⁹⁾
Yasumichi Aoki¹⁾、Tatsumi Aoyama²⁾、Ed Bennett³⁾、Masafumi Kurachi⁴⁾、Toshihide Maskawa⁵⁾、
Kohtaroh Miura⁶⁾、⁵⁾、Kei-ichi Nagai⁵⁾、Hiroshi Ohki⁷⁾、Enrico Rinaldi¹⁾、⁸⁾、Akihiro Shibata²⁾、
Koichi Yamawaki⁵⁾、Takeshi Yamazaki⁹⁾

- 1) 理化学研究所、2) 高エネルギー加速器研究機構、3) Swansea University、4) 慶應大学、
5) 名古屋大学、6) Helmholtz-Institut Mainz、7) 奈良女子大学、8) University of Michigan、
9) 筑波大学

LatKMI 論文 2017 以降

- 最後に「任せた！」を聞いたのが 2020.11.20
 - 電話: いつもの益川さんの声。お元気そうで安心。したのだが。。
- HPCI paper (出版済み)
- Flavor singlet: σ , η の新奇的な性質 (in preparation)
- Peskin-Takeuchi S parameter (in preparation)
- やり残したことはたくさんある
 - → 恐らく益川さんは満足されてなかっただろう
 - カイラル極限が重要だが、非常に困難
 - SM-QCDより遥かに計算コストがかかる

益川さんについて印象に残っていること

- 坂田先生のエピソード: 益川さんの靴の泥で床を汚した。
- 「若手が育っていない！」
- 「あれはガセネタです！」
- Perl 使い (かなり変態的)

素粒子はおもしろい

益川敏英 著



陽子は
クォーク
3個で



できてる
んだって...

最新刊

これからも、キホン 岩波ジュニア新書

定価(本体 780 円+税)

NHK「こころの遺伝子」ベストセレクション ④

益川敏英の 「あなたがいたから」

運命の人 坂田昌一



NHK「こころの遺伝子」制作班=編



素粒子はおもしろい

益川敏英 著



陽子は
クォーク
3個で



できてる
んだって…

最新刊

も、キホン 岩波ジュニア新書

定価(本体 780円+税)

青木保道様

寛存

2011.4.19

益川敏英

益川さんについて印象に残っていること

- Perl 使い (かなり変態的)
 - 著書リストを perl で成形して印刷

Perl に限らず色々なコンピュータ言語使いであったことは昨日の偲ぶ会でもおはなしがありました。関係して、LatKMIメンバーの倉知さんから昨日メールで教えて貰ったエピソードをご紹介します:

自分が直接益川さんと話したことで思い出に残っているのは、みんなで食事をしていた時に益川さんが、大概のプログラミング言語は触ったことがあるとおっしゃっていた時のことです。

PostScriptすら直接いじっていた、というような話を自慢げにおっしゃっていたので、私は勇気を出して「そんなに機械の言語に興味があったのに英語には興味がなかったんですか？」と聞きました。そしたら益川さんは、「プログラミング言語は文法を間違えたらコンパイラがエラーを出してくれるけど英語は文法を間違えても相手がエラーを出してくれないからいやだ。」といった感じのことをおっしゃって笑ったのを覚えています。

あんな風に気さくにお話しできたのはとても有難いことだったと、今となっては思います。

倉知

昨日の偲ぶ会 – 益川さんの知られざる一面

- 益川さんは 研究DX の先駆者 – 青木健一さん
- 「公開」ソフトウェアの先駆者
- 格子QCDの「公開」ソフトウェア: 日本は若干遅れている
- 「公開」のメリット
 - 利用者がチェック、改良したり、発展させてくれるかもしれない
 - 人材育成に重要

「富岳」で性能を発揮するソフトウェア

- QWS (QCD Wide SIMD library): 高速 Wilson Fermion Solver
 - **中村**、向井、石川、**金森**、、。
 - 開発秘話 → <https://www.jicfus.jp/jp/2021-01/> (計算基礎科学連携拠点)
 - 格子QCDアプリケーションからのコデザイン物語 - 中村宜文
- Bridge++
 - 赤星、S青木、青山、**金森**、金谷、松古、滑川、根村、谷口
- Grid
 - P. Boyle, N. Meyer, T. Wettig,,,
- その他、富岳や他スパコンでのLQCDシミュレーションの情報を連続系場の理論研究チームwebにて公開予定です。

益川さんは時代を超えている

- 3世代 – 6種のクォーク (チャームが見つかっていないとき)
- Strong Dynamics
- 研究DX
- ソフトウェアエコシステム
- ジェンダー (坂東さんの昨日のお話)

すべて、楽しみながらやっているように見える (思える) のが凄い

益川さんの笑顔 (最近) →



2015.4 KMI advisory board meeting (Drs Kurachi, 't Hooft)

Summary
origin of the EWSB has been
ects:
f Strong coupling gauge the
uildings
enomenology
ollaborations among different
visitors, and experimental
e right track to enter the



2015.4 KMI

比較的最近の益川さんの様子-KMIアドバイザー会議 2015.4

Summary

origin of the EWSB has been
effects:
of Strong coupling gauge theory
buildings
phenomenology
collaborations among different
visitors, and experimental
the right track to enter the

ユトレヒト大教授
ト
フ
ー
フ

2015.4 KMI



比較的最近の益川さんの様子-KMIアドバイザー会議 2015.4

Summary
origin of the EWSB has been
cts:
f Strong coupling gauge theory
buildings
phenomenology
collaborations among different
visitors, and experimental
the right track to enter the



2015.4 KMI



比較的最近の益川さんの様子-KMIアドバイザー会議 2015.4

Summary

origin of the EWSB has been
cts:
f Strong coupling gauge theory
uildings
enomenology
llaborations among different
visitors, and experimental
e right track to enter the



2015.4 KM



集合写真はこういう表情が多い

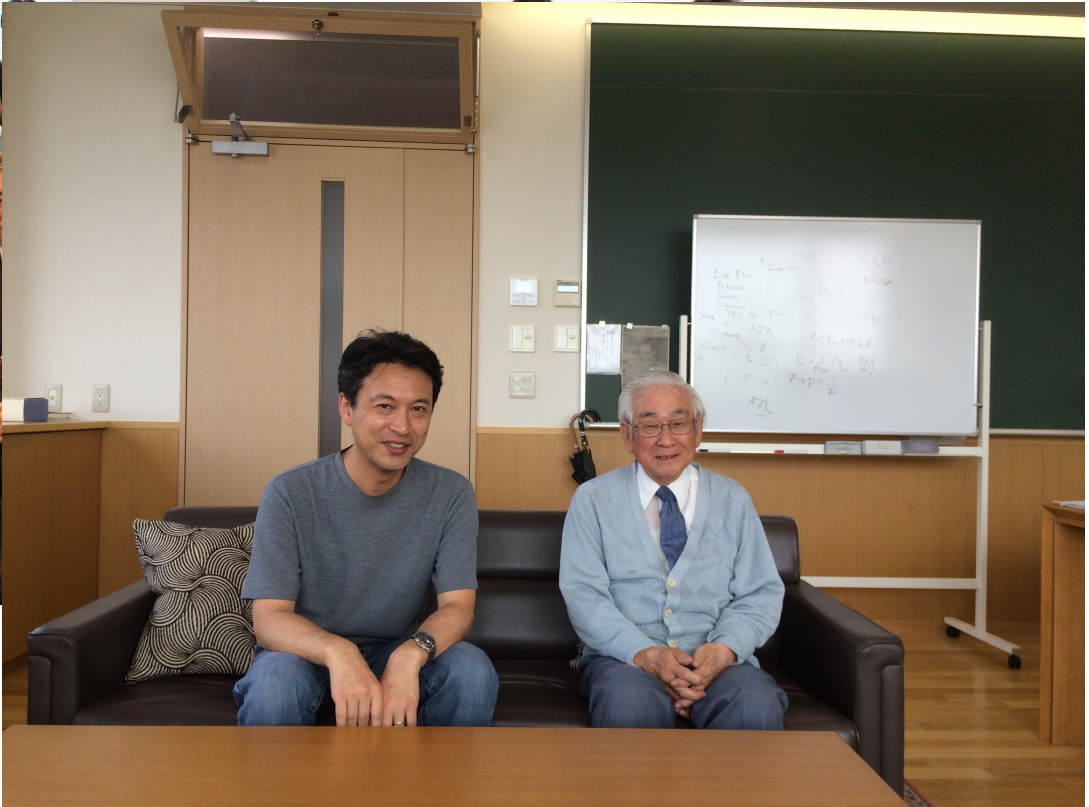
Summary

origin of the EWSB has been
effects:
of Strong coupling gauge theory
buildings
phenomenology

collaborations among different
visitors, and experimental
the right track to enter the



2015.4 KM



2016.5

益川さんに心から感謝:

- KMパラダイム – 研究の進むべき道
- 研究サポート
- 共同研究
- 楽しむ姿勢
- 社会の方向性
- 平和の重要性

