

# 50年間の研究生活 を振り返って

みなさまに感謝をこめて

岩崎洋一

# 研究生活 50年間：1965 – 2016

phase I

船出

phase II

摸索

phase III

発展・成熟

phase IV

黒の時代

phase V  
復活

1965 修士2年

1969 -1975 京都大学基礎物理学研究所 助手

1972-1974 City College at New York

1975 筑波大学講師

1977 – 1978 Institute for Advanced Studies at Princeton

1981 - 格子QCDの研究

1983 - RG improved action

1987- 1991 QCDPAK project

1992– 1997 CP-PACS project

1998– 2009 大学行政

2011- 2016 復活（研究活動）

# Phase I 船出

大学院時代から助手まで

# *Episode 1*

## 湯川秀樹先生の逆鱗に触れる

1965 修士2年

日本大学（お茶の水）研究会

素粒子の剛体モデル　　スピン　半整数はあり得るか？

鮮烈な全国デビュー？！

# 講義 量子力学：軌道角運動量とスピン

通常の議論

1価性から  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots ???$

スピノールのときは2価性が  
許されるのに、なぜ ???

$$L^2 Z_{lm} = l(l+1) Z_{lm}$$

$$L_z Z_{lm} = m Z_{lm}$$

$$L_+ Z_{lm} = c Z_{lm+1}$$

$$L_- Z_{lm} = c Z_{lm-1}$$

$$Z_{lm}(\theta \phi) = \Theta(\theta)_{lm} \Phi_m(\phi)$$

$$\Phi_m(\phi) = \exp(im\phi)$$

条件 A

$l = 1/2$  とする

$$L_+ Z_{1/2,1/2} = 0$$

$$\Theta_{1/2,1/2}(\theta) = \sin^{1/2} \theta$$

$$Z_{1/2,-1/2} = L_- Z_{1/2,1/2}$$

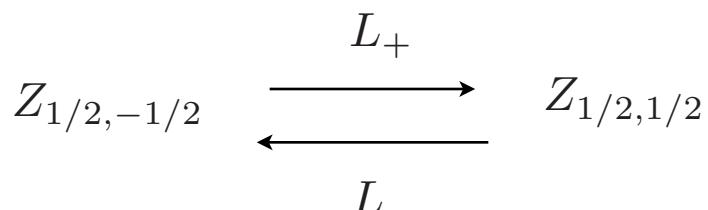
$$\Theta_{1/2,-1/2}(\theta) = \frac{\cos \theta}{\sin^{1/2} \theta}$$

$$L^2 Z_{1/2,1/2} = 1/2(1/2 + 1) Z_{1/2,1/2}$$

$$L^2 Z_{1/2,-1/2} = 1/2(1/2 + 1) Z_{1/2,-1/2}$$

$$L_z Z_{1/2,1/2} = 1/2 Z_{1/2,1/2}$$

$$L_z Z_{1/2,-1/2} = -1/2 Z_{1/2,-1/2}$$



条件Aを満たす 表現になっているか ???

表現になっているか？

$$\Theta_{1/2,1/2}(\theta) = \sin^{1/2} \theta$$

$$\Theta_{1/2,-1/2}(\theta) = \frac{\cos \theta}{\sin^{1/2} \theta}$$

エルミート表現になっていない（無限次元表現）

$$L_- Z_{1/2,-1/2} \neq 0$$

Pauli の量子力学の教科書：47ページ

A general criterion for the admissibility of eigenfunctions, which does not from the beginning assume their single-valuedness, has been given by W. Pauli.<sup>5\*</sup> This criterion states that repeated action of the operators corresponding to physical quantities on the eigenfunctions should not lead outside of the domain of square integrable eigenfunctions.

5): Pauli の1939 年のドイツ語の論文

# *Episode 2*

1968 - 69 東大安田講堂 脇 テント村

素粒子研 同学年 山本義隆 全共闘議長

安田講堂脇 テント村 荒船、岸本、・・・

K、M、A 教授 夕方 訪問

これ以降の生き方に影響

京都大学基礎物理学研究所 助手 着任



Fukuda, Sasaki  
Kawabata,

京都大学基礎物理学研究所

S. 50. 4.

, Konuma, Kawasaki, Maki, Yukawa, Ida, Sato, Muta, [Iwasaki](#)

基础物理学研究所  
RESEARCH INSTITUTE FOR FUNDAMENTAL PHYSICS



Ida, Yukawa, Maki, Matsuda, Konuma, Horiuti, Iwasaki, 1971  
kitakado, , Tamagaki, Kawarabayashi

# Episode 3

## 1971 量子重力 one-loop

当時、水星の近日点移動 の観測結果 は アインシュタイン理論 から8 % ずれていた  
水星の近日点移動はポスト・ニュートニアン・ポテンシャルの大きさによる

$$H = \frac{P^2}{2m} - \frac{k m M}{r} - 3 \frac{k^2 m M^2}{c^2 r^2}$$

また、当時、古典的重力現象は平面グラフだけによると間違って信じられていた  
Feynman: Acta Polonica (1963) などにもそう書かれていた  
具体的に計算してアインシュタイン理論と同じ結果を得たという論文も存在

そこで、4次のグラフからポスト・ニュートニアン・ポテンシャルを導き、  
アインシュタイン理論と同じ結果になることを確かめた

Prog. Theor. Phys. 46 (1971)1587

Progress of Theoretical Physics, Vol. 46, No. 5, November 1971

## Quantum Theory of Gravitation vs. Classical Theory<sup>\*)</sup>

—Fourth-Order Potential—

Yoichi IWASAKI

Research Institute for Fundamental Physics, Kyoto University, Kyoto

1594

Y. Iwasaki

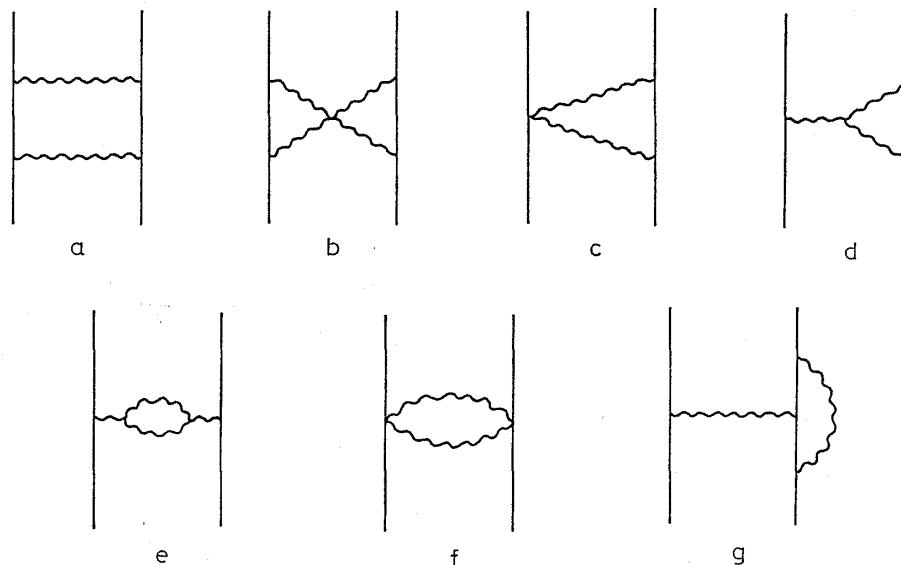


Fig. 1. Some of the fourth-order diagrams. The wavy line represents the graviton and the solid line matter.

# 論文の優先権の微妙さ

1977年プリンストン高等研究所で、Wilczek と Zee とお茶を飲んでいる時に4次の計算はどのくらい大変だったかと聞かれ、さらにBoulware 等の論文の存在を教えてくれたPTPの論文より4年遅れての論文で、4次の具体的な計算はしてなく、PTPを脚注で引用しているだけ 著者からは何の correspondence なし 引用も2番目の論文では自分たちの論文を引用しがち

ANNALS OF PHYSICS 89, 193–240 (1975)

## Classical General Relativity Derived from Quantum Gravity\*

DAVID G. BOULWARE

Physics Department, University of Washington, Seattle, Washington 98195

AND

S. DESER

Physics Department, Brandeis University, Waltham, Massachusetts 02154

Received July 18, 1974

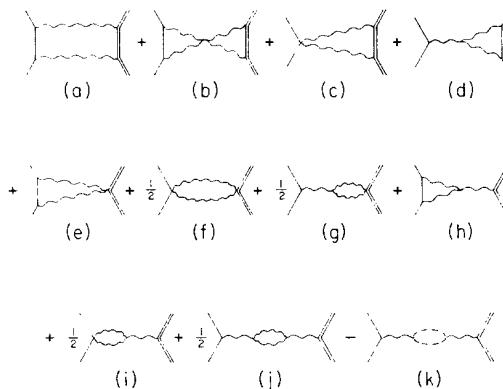


FIG. 7. The two graviton exchange contributions to scalar particle scattering, including the Fadeev-Popov ghost loop.

\*<sup>14</sup> Detailed calculations of the graphs shown in Fig. 7 may be found in Ref. [22].

# Phase 2 模索

1973 -- 78 研究目標、方法の模索

1973 ~ 74 素粒子物理学 革命期

# *Episode 4 -1*

京都 東京 名古屋 研究風土の違い

1969 基礎物理学研究所 湯川秀樹博士 所長

理学部 小林、益川

東京 S行列 ハミルトニアン不必要？

京都 広がりのある素粒子 場の理論の拡張？

かっての N. Bohr ??

名古屋 徹底した場の理論の適用と模型構築

かっての H. Yukawa ??

# 京都 東京 名古屋 研究風土の違い

セミナーでの質疑応答

論文作成

たまの息抜き



九後さん

小林誠宅

# Episode 5

1977

Trace Anomaly

間奏曲

Coupling of the Trace of the Energy-Momentum Tensor to Two Photons  
Phys. Rev. D15(1977)1172

*Theorem.* Consider the vertex

$$\langle 0 | \theta_{\mu\mu}(0) | \gamma(\epsilon_1, k_1), \gamma(\epsilon_2, k_2) \rangle \\ = (\epsilon_1 \cdot \epsilon_2 k_1 \cdot k_2 - \epsilon_1 \cdot k_2 \epsilon_2 \cdot k_1) F(q^2). \quad (1)$$

Here  $\theta_{\mu\mu}$  is the trace of the energy-momentum tensor,  $\theta_{\mu\nu}$ , and  $q = k_1 + k_2$ . Then

$$F(0) = 0. \quad (2)$$

Adler et al. Phys. Rev. D15(1977) 1721  
trace anomaly

Adler “Anomalies to All orders”  
arXiv:hep-th/0405040

Adler が論文のレフェリーであり、IAS に 1 年間滞在の招待状をだした???  
私は1976年の秋、応募書類をいくつかの研究機関に出した。  
12月の中旬に IAS と CERN から招待状を受け取った???

## ANOMALIES TO ALL ORDERS

Stephen L. Adler

*Institute for Advanced Study  
Einstein Drive, Princeton, NJ 08540 USA  
E-mail: adler@ias.edu*

My involvement with trace anomalies began roughly five years later, when *Physical Review* sent me for refereeing a paper by Iwasaki [54]. In this paper, which noted the relevance to trace anomalies, Iwasaki proved a kinematic theorem on the vacuum to two photon matrix element of the trace of the energy-momentum tensor, that is an analog of the Sutherland-Veltman theorem for the vacuum to two photon matrix element of the divergence of the axial-vector current. Just as the latter has a kinematic zero at  $q^2 = 0$ , Iwasaki showed that the kinematic structure of the vacuum to two photon matrix element of the energy-momentum tensor implies, when one takes the trace, that there is also a kinematic zero at  $q^2 = 0$ , irrespective of the presence of anomalies (just as the Sutherland-Veltman result holds in the presence of anomalies). Reading this article suggested the idea that just as the Sutherland-Veltman theorem can be used as part of an argument to prove nonrenormalization of the

<sup>h</sup>In addition to writing a favorable report on Iwasaki's paper, I invited him to spend a year at the Institute for Advanced Study, which he did during the 1977-78 academic year.

# *Episode 4 - 2*

1977--78 Institute for advanced study at Princeton

Callen, Dashen, Gross

Instanton gas

what fix the scale of strong interaction ?

Wilczek, Zee



非摂動効果の重要性

特にトポロジカル配位の重要性

理論が非摂動的に定義されていること



K. Wilson: lattice gauge theories



格子QCD

## Phase III 発展・成熟

格子QCDをターゲットにしてその全貌を明らかにする

# ターゲット：格子QCD

構成的場の理論

定義できるか

連続極限

RG -> phase diagram; fixed points; RT

RG improved gauge action

格子上のクォーク

Wilson quark

Staggered quark

Chiral quark

staggered quark

$\det D^{1/4}$  ??????

Wilson quark

2つの主要なテーマ

chiral symmetry と クォークの質量

# Episode 6

## RG improved gauge action (n parameters)

繰り込み群の RT に近いという条件 => (n-1) パラメーター空間

インスタントンの安定性と不安定性の境界 => (n-1) パラメーター空間  $E \simeq 8\pi^2|Q|$

2つの空間同じになる

n=1でも充分スケーリングを改善

submitted to Nucl. Phys. B

comment by referee

1. already done by Symanzik

Reply by YI

2. different from Symanzik

comment by referee

3. then should be wrong

Reply by YI

4. it really improve the scaling

Repeat the cycle above !

このプロセスを2年間繰り返した。その間、improvement を実証することに

# Twenty Years of the Weyl Anomaly<sup>†</sup>

M. J. Duff <sup>‡</sup>

*Center for Theoretical Physics  
 Physics Department  
 Texas A & M University  
 College Station, Texas 77843*

物理学研究者が新しいアイディアを受け入れるには

Some cynic once said that in order for physicists to accept a new idea, they must first pass through the following three stages:

(1) It's wrong

(2) It's trivial

(3) I thought of it first.

3つの段階を必ず経る

In the case of the Weyl anomaly, however, our experience was that (1) and (2) got interchanged. Being in Oxford, one of the first people we tried to

物理学研究者（集団）は保守的な面も持っている

# Many evidences for improved scaling

SU(5) gauge theory

Nf=2 QCD at finite temperature

behavior of  $K_c$  and  $K_t$

$O(4)$  or  $O(4) \times O(2)$  scaling

Nf=3

Disappearance of kinks or peculiar behavior  
observed with the one-plaquette action and/or  
the Symanzik action

early scaling is more important than power of  $O(a)$

Transition between different topological sectors  
 $\leq$  RG improved action

Now called the Iwasaki action

# *Episodes 7 and 8*

自前のスパコンを製作

**QCDPAX and CP-PACS**

## プロジェクトの背景

非摂動的計算 計算物理が有効

当時のスパコン 性能不足

格子QCD 並列計算機に適している メーカーの製品なし

筑波大 星野力 原子炉シミュレーションのため、小型並列計算機製作

岩崎、小柳の仲介により 星野と会う

45歳の決断（山手線）：QCDPAX プロジェクト代表者になる

QCDPAX に引き続き、CP-PACS プロジェクトも採択された

# プロジェクト推進の基本的考え方

研究者は、ガリレオの時代から最近の重力波観測装置に至るまで、最先端の実験装置・観測装置を開発することにより科学の最先端を切り開いてきた。スパコンは実験装置であり、観測装置である。

## プロジェクト遂行の要

人（個性を尊重する、ユニークさは分野ごとに異なる）

人の和（特に理学と工学）

場（人の和の実現）

組織（場を提供）

## 共同研究プロジェクトの鍵

理学・工学それぞれのゴールを設定し、両方実現

工学 世界一の計算機を開発

理学 世界最先端の物理結果を得る

# 具体的経験

## QCDPAX

代表者 岩崎、星野

人数 5 - 7

予算 3 億円 (特別推進)

場所： pre-internet

メーカー アンリツ

ハード ネットワーク柔軟性欠ける

ソフト アセンブラー+function呼び出し

金谷、吉江

性能 15Gflops

物理 ハドロンスペクトラム  
SU(3) ゲージ理論相転移

## CP-PACS

代表者 岩崎、宇川、中澤

人数 20 - 30

予算 22億円(CP-PACS)

約60億円(センター新設費用)

場所 センター

組織 計算物理学研究センター

メーカー 日立製作所

性能 世界スパコン500 一位

物理 世界の最先端の結果  
別記

センター関係経費：  
概算要求

休暇 1日/5年

# CP-PACS 記念誌

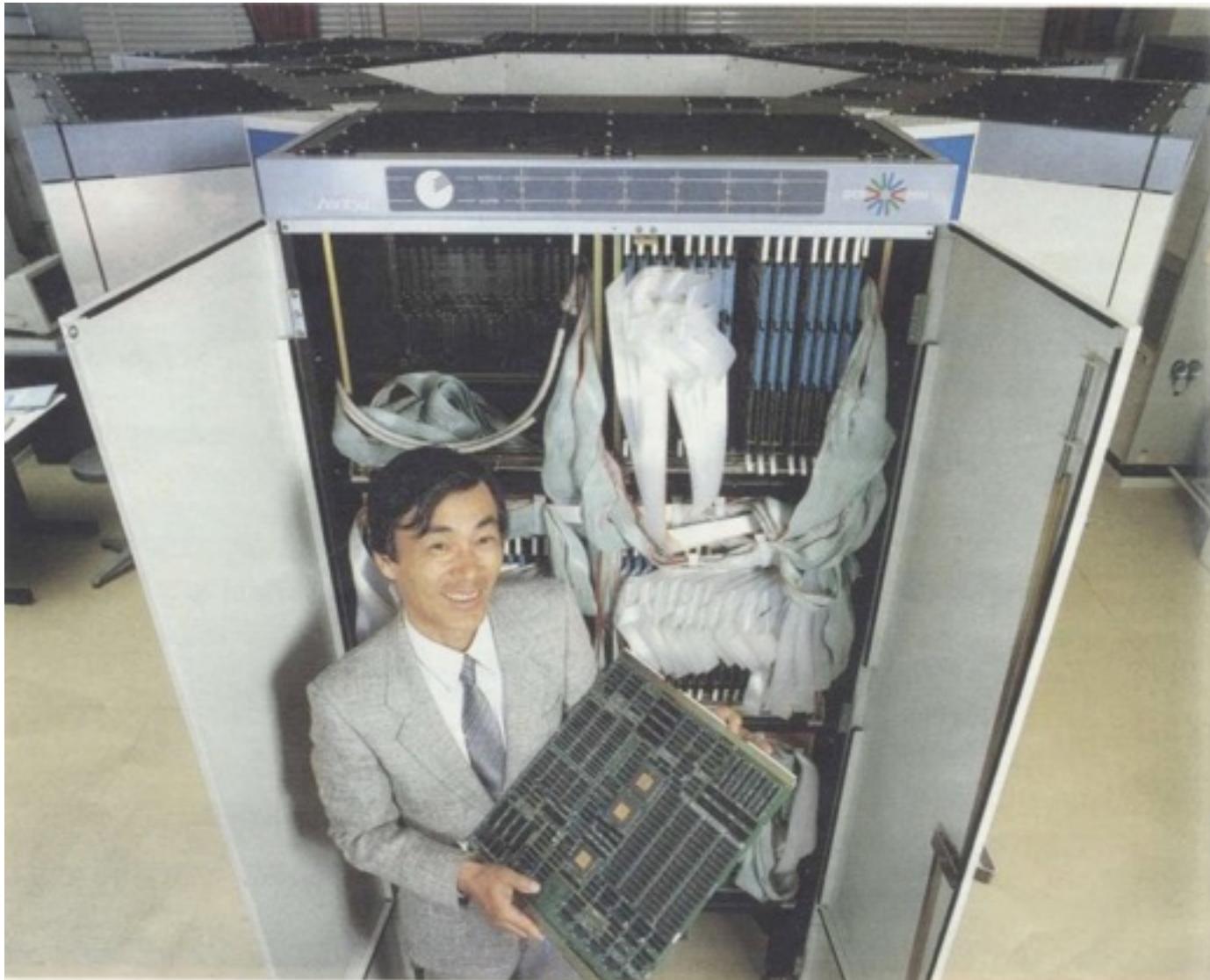
[https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/ccs\\_introduction](https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/ccs_introduction)

読み物：新幹線やソフナーで気楽に



QCDPAX の前でボードを持って

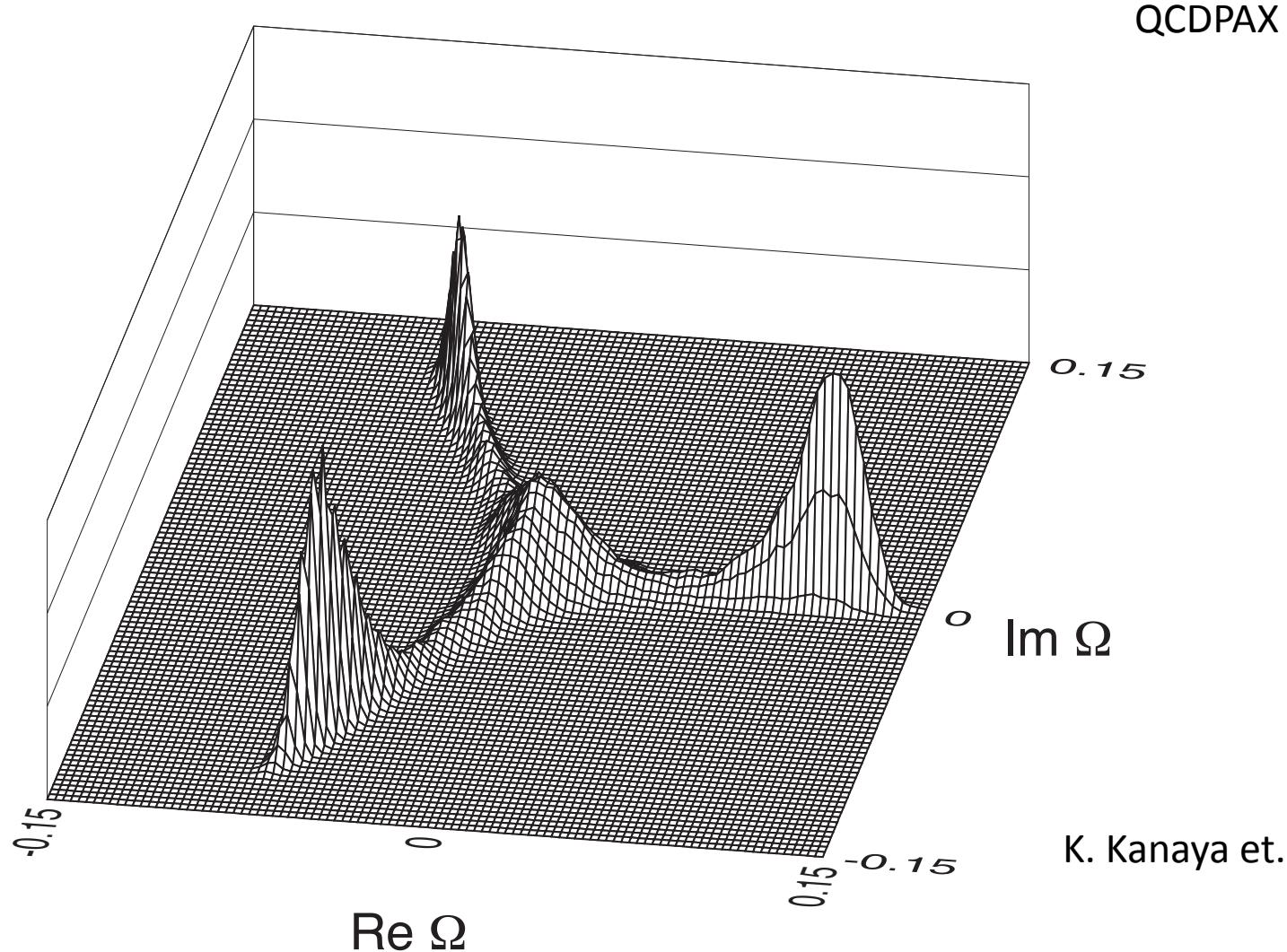
日経ビジネス



Polyakov loops 複素平面でのヒストグラム分布 相転移点上

SU(3) ゲージ理論

confined phase の原点のピークと deconfined phase の  $Z(3)$  対称なピーク



# Complete of the computer building 1993

計算機棟 CP-PACS 用



# Complete of the research building 1996



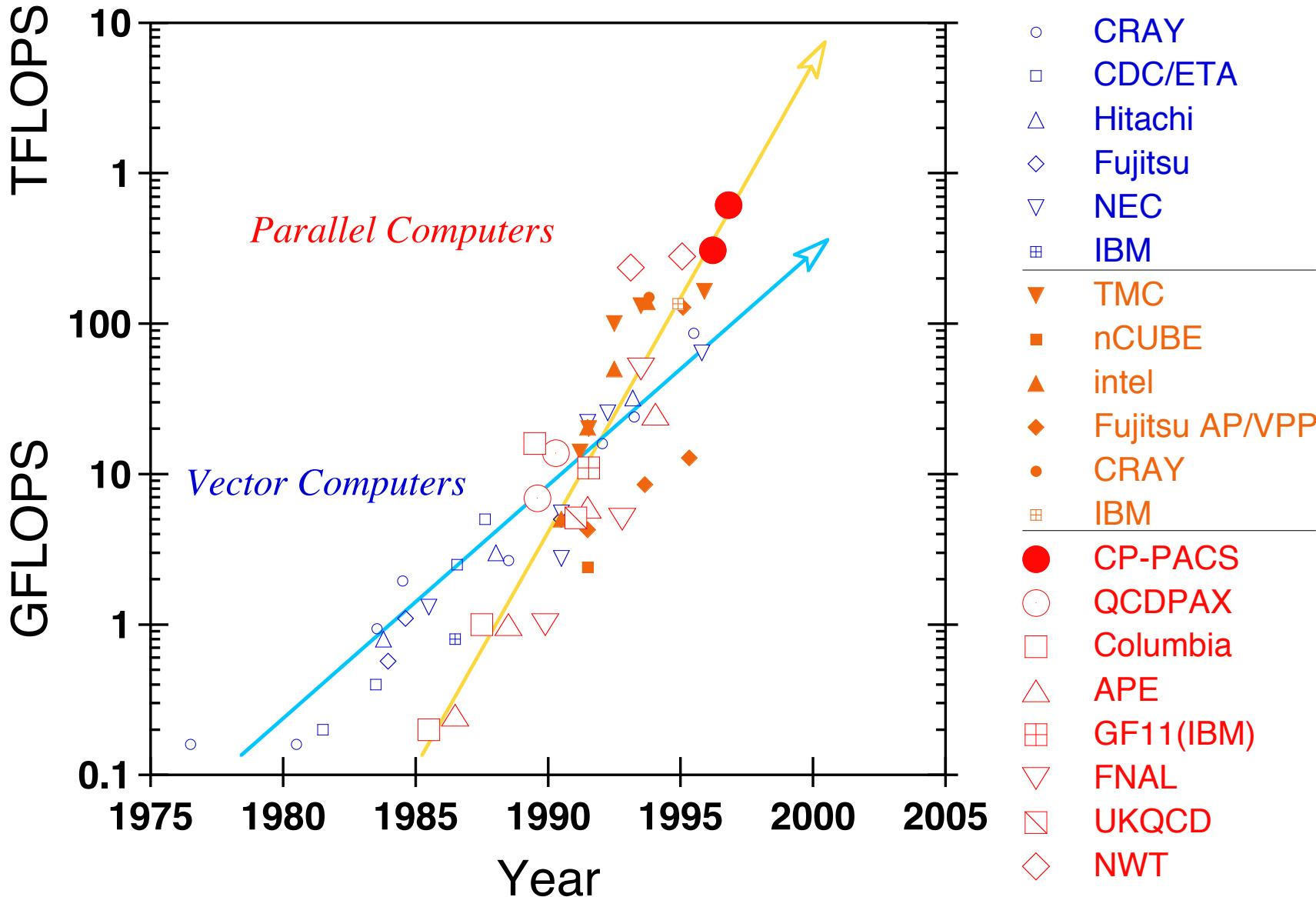
# Members of the collaboration in front of the CP-PACS computer 1996



# Shutdown of the CP-PACS computer 2005



# Development of Computers



# CP-PACS 物理結果

# Episode 7

## Quark Mass

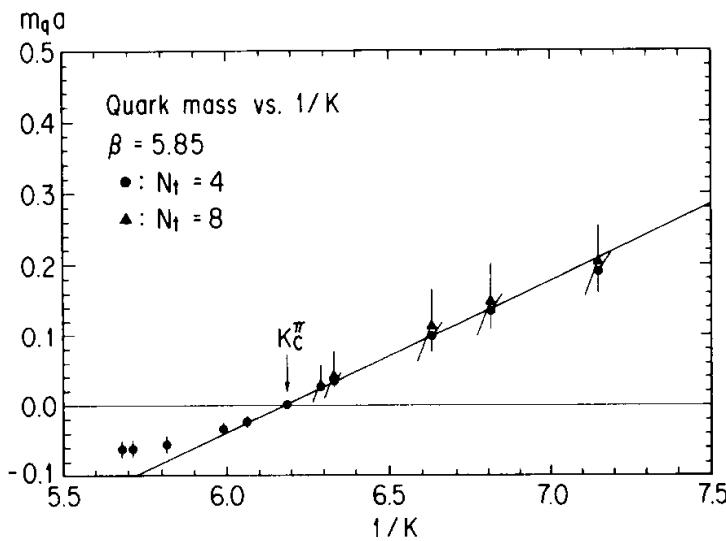
definition of quark mass

non-trivial since the quark is confined

$$m_q \ll AWI$$

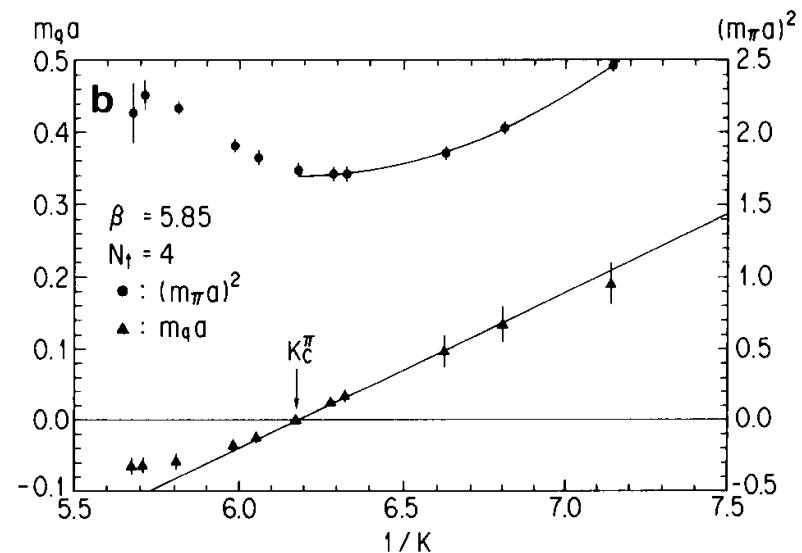
M. Bochicchio et al. NP B262(1985)  
S. Itoh, et al. NP B274(1986)

$$m_q \text{ (confined)} = m_q \text{ (deconfined)}$$



$\mu_u ? \mu_d ? \mu_s ?$

Y. Iwasaki et al. PLB220(1989)



クォーク u,dの質量

$$m_{ud} = (m_u + m_d)/2$$

黒：Nf=2

白抜き：Nf=0: クエンチ近似

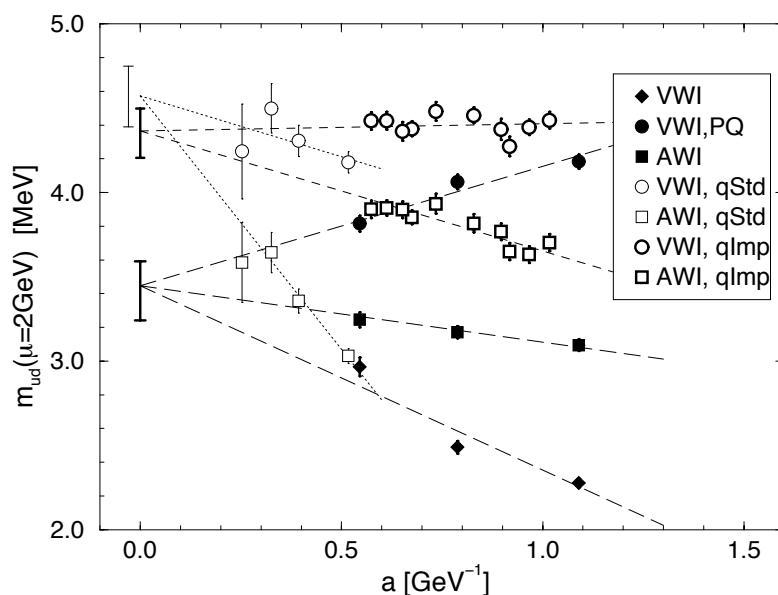
AWI Axial Ward Identity

VWI Vector Ward Identity

AWI とVWI 連続極限で一致  $N_f = 2$  と  $N_f = 0$  異なる

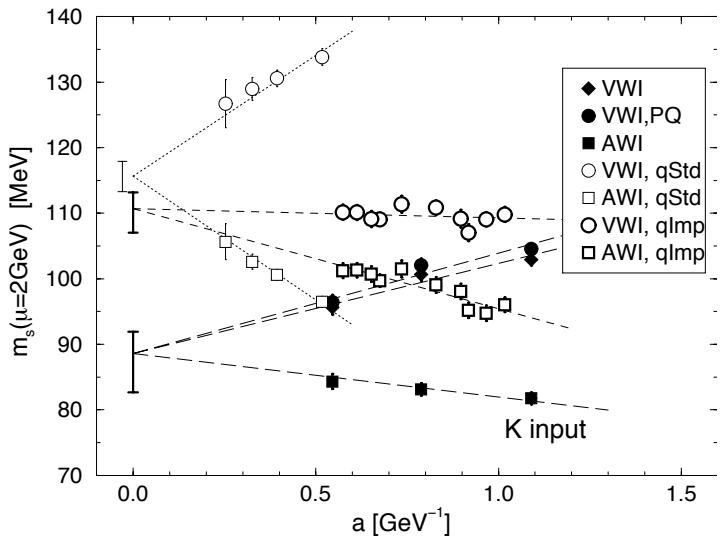
$m_{ud} = 4.47(16)$  MeV (Nf=0)

$m_{ud} = 3.45(20)$  MeV (Nf=2)



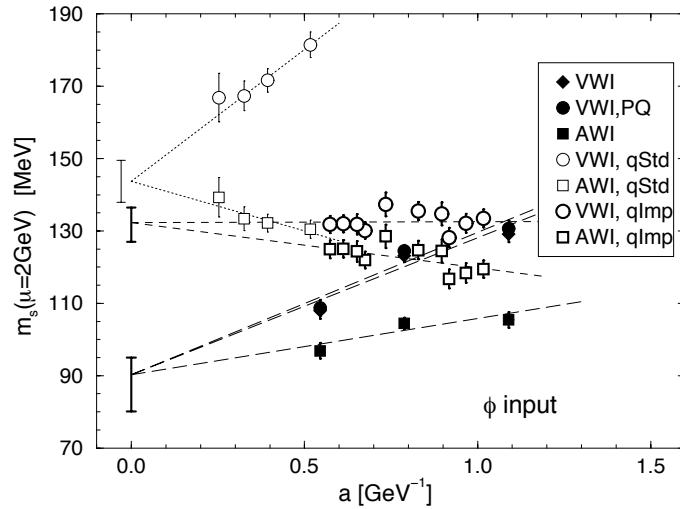
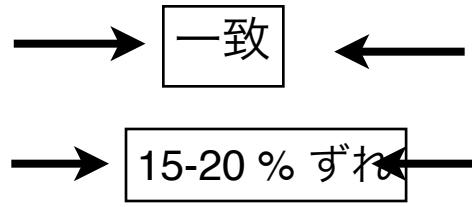
# S クォークの質量

$m_s$



$m_K$  input

$m_s = 89(6)$ MeV	$N_f = 2$
$m_s = 111(4)$ MeV	$N_f = 0$

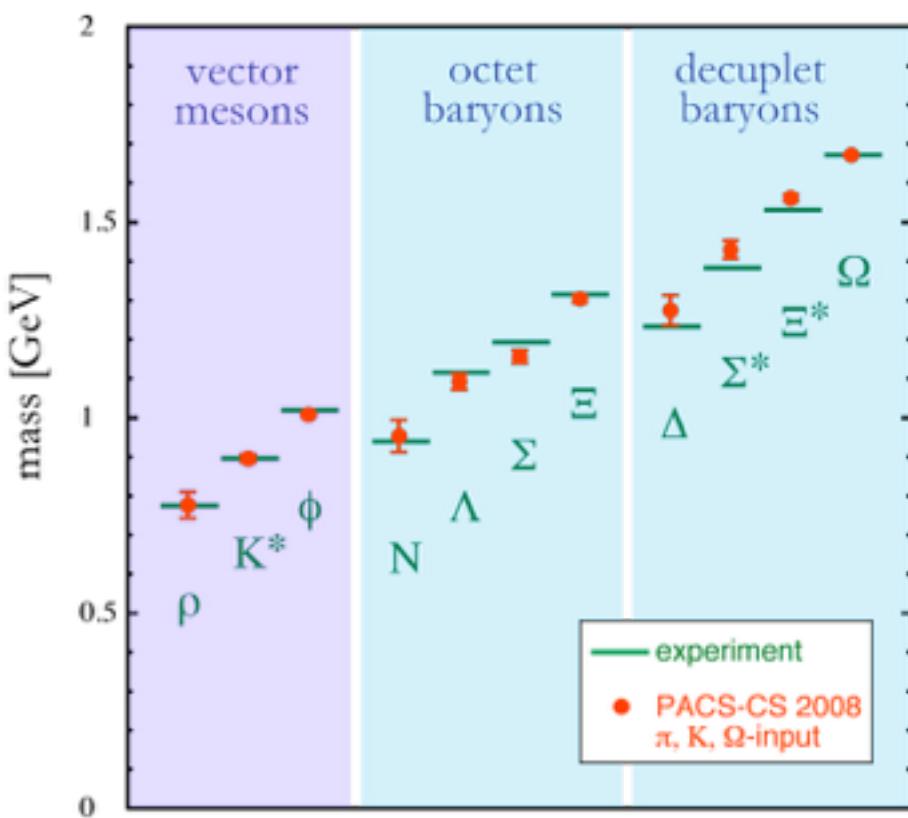


$m_\phi$  input

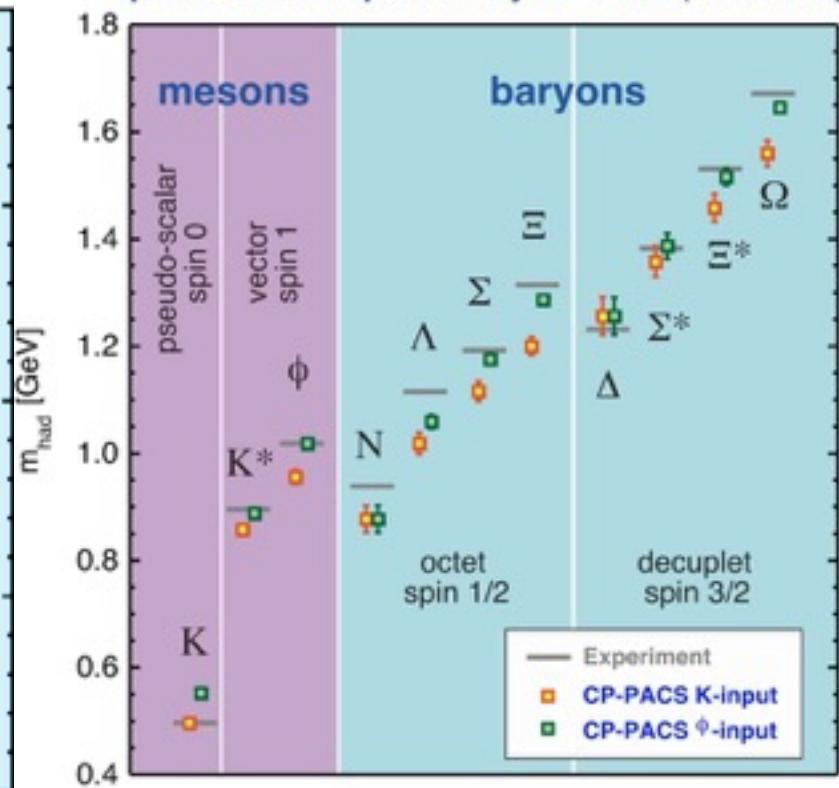
$m_s = 90(10)$ MeV	$N_f = 2$
$m_s = 132(5)$ MeV	$N_f = 0$

# ハドロン・スペクトラム

full 2+1 QCD spectrum by PACS-CS



quenched QCD spectrum by CP-PACS (1997-1998)



# 物理結果

ハドロン質量	実験値と一致
ハドロン崩壊定数	実験値と一致

## クオーク質量

$mud$  連続極限で VWI と AWI と一致

$ms$  連続極限で VWI と AWI と一致;  $mK$  input と  $m_\phi$  input 一致

格子QCD 構成的基礎理論として確立

## 予言能力

有限温度での相転移、クオーク・グルオン状態の解明

重いクオーク物理

原子核物理



1987  
Lattice Conference  
Capri  
ローマ

1997  
Lattice Conference  
Edinburgh  
ネス湖



# バーベキュー at 宇川邸



# *Episode 10*

## 2011- 2016 復活 (研究活動)

1987- 1991 QCDPAX project  
1992– 1997 CP-PACS project

1998– 2009 大学行政 黒の時代

人生の幅が広がった

経験したことのなかった幅広い世界を垣間み

幅広い分野の人と接することができた

大学運営も研究プロジェクトも、人間の信頼関係が基本

大学運営において様々なことを経験 宇川さん：学長特別補佐（情報関係）

2011.3.11 東日本大震災

物理研究活動 引退を決意

2011.10.24-26 KMI Inauguration Conference IAB  
物理への興味 再度、火がつく

# Conformal theories in SU(3) gauge theories

黒の時代直前 2004 年からの続き

propagators with Yukawa-type decay ?

柳田 さん => 中山さん

New idea : Conformal theory with an IR cutoff

large  $N_f$     Conformal window     $N_f^* \leq N_f \leq 16$      $N_f^* = 7$

RG scaling relation

IR fixed point in the deconfining phase of QCD (unexpected)

- (1) It's wrong
- (2) It's trivial
- (3) ???

Property of Quarks and Gluons to be clarified

Phys Rev.D87(2013) 071503  
Phys. Rev. D89 (2014) 114503  
Phys.Lett.B 748 (2015) 289

皆様のおかげで、  
50年間の楽しい研究生活を送ることが  
出来ました

共同研究、議論、批判など  
有り難うございました

家族には迷惑をかけっぱなしで申し訳なく、  
また心から感謝しています。

50年間の内に、家族は1人が2人になり、4人になり、今は10人になりました。

研究も家庭も若い人に未来を託したい。



ご清聴有り難うございました