

# 研 究 活 動

## 1. 素粒子理論グループ

教授 宇川 彰、金谷 和至、梁 成吉

助教授 青木 慎也、吉江 友照

助手 石塚 成人、佐藤 勇二、谷口 祐介、R. Burkhalter、毛利 健司

COE 研究員 富永 信一

学振研究員 江尻 信司、長井 敬一、H.P. Shanahan、A. Ali Khan、V. Lesk

大学院生 (14名)

### 【人事異動】

金谷和至 助教授が平成12年4月1日に教授に就任した。また、出淵卓 学振研究員が平成11年11月30日をもって助手として金沢大学理学部へ、青木保道助手が平成12年4月30日をもって研究員としてRIKEN BNL Research Centerへ、それぞれ転出した。

### 【研究活動】

素粒子理論グループにおいては、本年度も、格子場の理論に基づくQCDの数値的研究と、超対称場の理論・弦理論の研究を二本の柱に、活発な研究活動が行なわれた。

格子ゲージ理論では、計算物理学研究センターで平成8年に完成した超並列計算機CP-PACSを用いた格子QCDの大型数値シミュレーションが、引き続き推進された。動的u,dクォークの効果を取り入れたフルQCDにおける世界初の連続極限外挿を行うための系統的な計算が行なわれ、CP-PACSにより既に得られている精密なクエンチ近似(クォークの対生成・対消滅を無視する近似)の結果と比較することにより、ハドロン質量スペクトルにおけるクエンチ近似による系統誤差が、動的u,dクォークを正しく取り入れることにより、大幅に減少することが示された。さらに、クォーク質量、重いクォークを含んだハドロンの崩壊係数などにおける動的クォーク効果の存在と重要性が明確に示された。また、QCDの有限温度における相構造や相転移温度、および相転移点近傍における圧力やエネルギー密度の温度依存性が研究された。さらに、格子フェルミオンのカイラル対称性に関する問題点を解決する方法として提唱されたドメインウォールフェルミオンの基本的性質が実際のQCDの場合にどうなっているかが調べられ、さらにそれを応用して、B,D中間子の崩壊係数や、K中間子系のCPの破れが研究された。また、これらの計算の為に、クォーク質量や格子オペレータの繰り込み係数の摂動論的研究も推進された。以上の研究は、計算物理学研究センターと物理学系のメンバーを中心に、日本学術振興会研究員などとして滞在している外国研究者も参加して、国際色豊かに行われた。

それに加え、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の並列計算機SR8000を用いた格子QCDの共同研究も、先代のVPP500を用いての共同研究に引続き推進された。SR8000上で最適化されたコードが開発され、それを用いて、クエンチ近似でのQCDにおけるK中間子のBパラメータやB中間子崩壊定数の決定など、CP非保存現象の理解に重要となるハドロン弱相互作用行列要素の研究を行った。さらに、動的なsクォークを含むシミュレーションを目指して、アルゴリズムの開発とテストが進められた。

超対称場の理論及び弦理論の分野では、超弦双対性の物理を中心として研究が進められた。最近この分野では超重力理論とゲージ理論の双対性を筆頭として、曲がった空間上のDブレーンの安定性、場の理論での対称性の非摂動的出現機構など数々の興味深いテーマ

についての理解が深まっている。この状況の下で、3次元反 de Sitter 空間上の弦理論の精密な解析並びに、開いた Calabi-Yau 多様体上の BPS D ブレインの記述とその string 接合との対応についての研究を行った。

## 【1】 格子ゲージ理論

(宇川 彰、金谷 和至、青木 慎也、吉江 友照、石塚 成人、R. Burkhalter、谷口 裕介、富永 信一、江尻 信司、長井 敬一、H.P. Shanahan、A. Ali Khan、V. Lesk)

### (1) 軽いハドロンとクォーク質量の研究

計算物理学研究センターで開発された超並列計算機 CP-PACS (論文 5, 7) を用いた大規模計算によって、クエンチ近似のハドロン質量スペクトラムに、最大 10% 程度の、実験値との明確な系統的な差異があることが確立され、ハドロン質量計算におけるクエンチ近似の限界が示された (論文 2, 17)。従って、より正確な予言を行うためには、動的クォークの効果を取り入れた「フル QCD」計算を行う必要がある。

フル QCD の計算には膨大な計算量が要求される。この問題を解決するために、クォーク部分もゲージ部分も改良された格子作用を用いて、世界初の連続極限外挿を目的とした大規模フル QCD 計算を CP-PACS で実行し、軽いハドロンの質量と崩壊定数等を計算した。動的な u, d クォークの効果を取り入れることにより、クエンチ近似でみられた実験値との系統的な差異が縮小することを確認した。また、クォーク質量にはハドロン質量より大きな動的クォーク効果があり、従来考えられていたクエンチ近似の値より大幅に小さな質量になることを示した (図 1 参照)。これは、弱い相互作用の研究などに大きなインパクトを与えている (論文 2, 13, 22, 35)。さらに、標準ゲージ作用を用いた計算も KEK の SR8000 を用いて実行し、上記の改良されたゲージ作用の結果と比較するとともに、格子体積効果を研究した (論文 24)。

動的クォーク効果に関するこれらの成果をまとめて総合報告を行なった (論文 2, 15, 18, 21, 32, 33, 35)。

格子クォークとしてスタガード・クォークを用いた場合について、クエンチ近似における軽いハドロンの質量、崩壊定数などを、計算し、連続極限の外挿値を評価した (論文 12)。

### (2) 重いクォークを含むハドロンの研究

重いクォークと軽いクォークでできた B 中間子や D 中間子の崩壊定数を、格子 QCD のクエンチ近似で、複数の格子クォークを使って数値計算し、連続極限の外挿値を評価した (論文 25, 29)。

重いクォークを格子上で扱う新しい方法として、時間方向により細かい格子を持った非等方格子を研究し、その有効性を数値計算により示した。さらに、それを用いて、ハイブリッドハドロン (単純なクォーク模型では現れない量子数をもつクォークとグルオンの結合状態として QCD から予言されている) や、重いクォークコニウム (重いクォーク 2 個から成る中間子) の質量スペクトルを研究した (論文 6, 26)。

重いクォークを含んだ中間子の諸性質における動的なクォークの影響を、CP-PACS で生成された、改良された格子作用によるフル QCD 配位を用いて研究し、非相対論的方法と相対論的方法の 2 種類の計算で結果が誤差の範囲で一致することを示した。同じ作用を使ったクエンチ近似計算も実行し、その結果との比較により、 $B_c$ 、 $B_s$

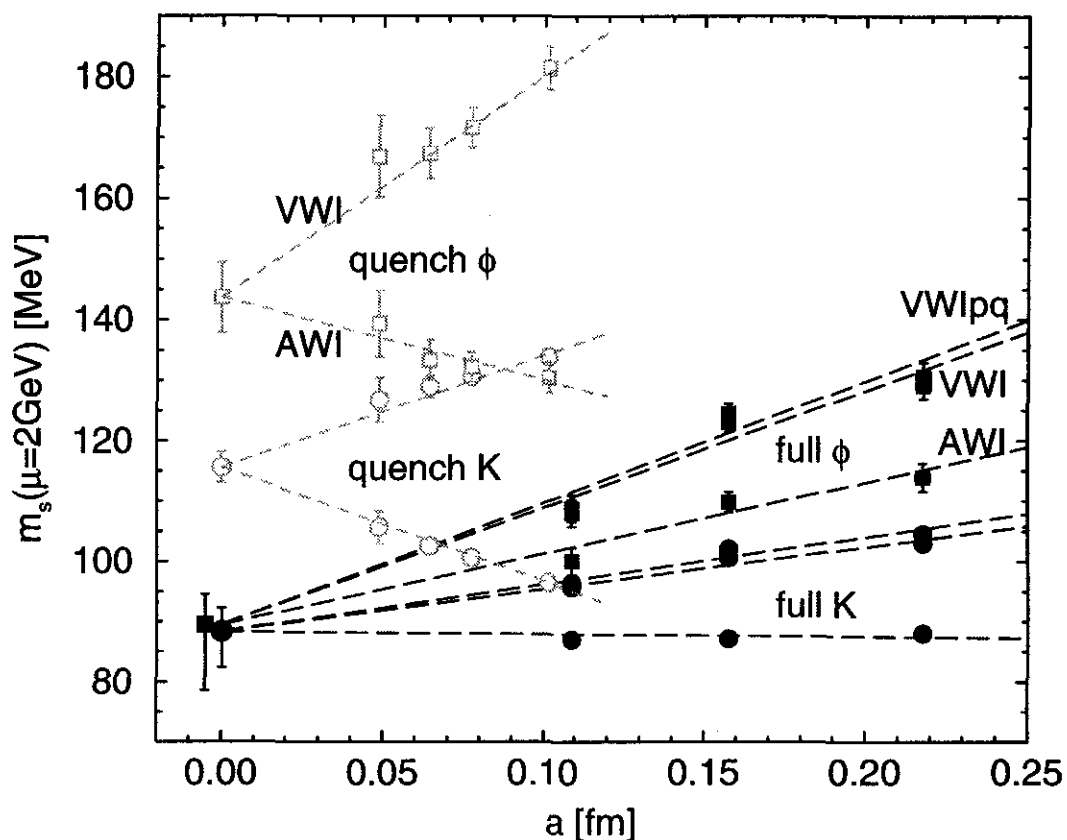


図 1:  $s$  クォーク質量の格子間隔依存性と連続極限への外挿。クエンチ近似の結果と動的な  $u, d$  クォークの効果を取り入れたフル QCD 計算の結果を比較した。格子上では、クォーク質量の計算に何種類かの方法 (VWI, AWI と表されている) があり、有限格子間隔では異なる値を与えるが、連続極限では一致することが CP-PACS により初めて示された。しかし、クエンチ近似では、インプットの取り方によって、クォーク質量の値に不定性 ( $K$ -input と  $\phi$ -input とのずれ) がある。これはクエンチ近似による系統誤差だが、フル QCD では消滅している。フル QCD のクォーク質量は、クエンチ近似に比べ 20-30% も小さく、大きな動的クォーク効果が確認された (論文 13)。

中間子の崩壊定数において約 10% の動的クォーク効果の存在を示した。また、重いクォークoniumの質量スペクトルにおける動的クォーク効果も研究した (論文 14, 36, 37, 38)。

### (3) QCD の有限温度相転移の研究

クローバー・フェルミオンを用いた格子 QCD の相構造を、ゲージ作用として改良された作用の場合について数値計算で調べ、標準作用の場合と同様の複雑な相構造を持つことを確認し、有限温度相転移の様子を研究した。さらにエネルギー密度や圧力の温度依存性 (状態方程式) を研究した (論文 20, 27, 39)。

また、QCD におけるクォークの閉じ込めとフレーバ数の関係を研究した (論文 10)。

### (4) ドメインウォールフェルミオンを用いた格子 QCD の研究

カイラル対称性を保つ格子フェルミオンの定式化は格子 QCD における長年の大問題であった。最近、この問題に対する解答として、ドメインウォールフェルミオン

と呼ばれる新しい方法が提唱された。この方法を格子 QCD に適用して、そのカイラル対称性を調べ、予想通りの良い性質を持つこと示した (論文 16, 28, 30, 31)。また、弱結合展開による繰り込み定数がどれくらい正確かを、パイ中間子の崩壊定数の計算に適用して評価した (論文 9)。関連して、Gross-Neveu 模型の場合のドメインウォール形式を摂動論により研究した (論文 3)。

K 中間子の 2 つのパイ中間子への崩壊の行列要素の計算は格子 QCD の重要な問題であるが、カイラル対称性の困難のため、今まであまり進展しなかった。そこで、ドメインウォールフェルミオンを使った QCD でこの行列要素を計算した。まず、その計算に必要な繰り込み定数を弱結合展開で計算した (論文 19)。次に数値シミュレーションを行ない、以下のような特筆すべき 2 つの性質が判明した。(i) まず、ドメインウォールフェルミオンがカイラル対称性を非常に良く保っているという性質から、weak matrix element が余計なオペレータの混合なしに簡便に計算することができた。(ii) 続いて、カイラル対称性から導かれる性質として、スケールリングの破れ (格子化したことによるエラー) の効果がより小さくなることが予言されていたが、それを数値計算により具体的に確認した (論文 23)。

#### (5) 陽子崩壊の研究

陽子崩壊、あるいは一般にバリオン数非保存の行列要素を、標準ゲージ作用の場合に格子計算した (論文 4)。また、この計算を改良されたゲージ作用を用いて実行する場合に必要な繰り込み定数を弱結合展開で計算した (論文 8)。

### 【2】 超対称場の理論、弦理論

(梁成吉、毛利健司、佐藤勇二)

#### (1) Mordell-Weil 格子とストリング接合

梁は深江、山田 (神戸大) と共に、有理楕円曲面の特異点、Mordell-Weil 格子、そしてトーシヨンの構造を IIB 型超弦理論の 7-brane 背景中のストリング接合を用いて解析した。その結果、ストリング接合の生成する格子の分類は、従来数学者により得られていた Mordell-Weil 格子の分類と完全に一致することが示された。とくに、Mordell-Weil 群のトーシヨンは  $E_9$  型ループ代数の虚のルート・ベクトルを表すループ型ストリング接合により理解することができた。さらに、保存電荷をもつ非 BPS 接合を与える 7-brane 配位も決定した (論文 40)。

#### (2) del Pezzo 曲面に局在した D ブレインと弦双対性

毛利、大竹、梁は例外型対称性を持つ 5 次元超共形場模型の  $S^1$  コンパクト化の BPS 状態を、7 ブレイン背景中の D 3 ブレイン probe としての実現並びに、type IIA ストリングの、縮小する del Pezzo 曲面を持つ Calabi-Yau 多様体へのコンパクト化による実現の両方の観点から考察した。その結果、前者における弦接合の電荷と、後者における del Pezzo 曲面上の接続層の特性類との対応関係が明らかにされた (論文 43)。

#### (3) Calabi-Yau オービフォールド上の D ブレイン

毛利、園城、梁は開いたオービフォールド上の D ブレインで特に、その BPS 質量が上記局所 del Pezzo 曲面模型と同一の Picard-Fuchs 微分方程式に従う模型を局

所ミラー対称性の手法より見出し、確定特異点まわりでの解のモノドロミー行列及び解析接続公式を調べた。それに基づいて、オービフォールド点での分数ブレインと大半径極限での正則ベクトル束との対応を明らかにした。また、数論との思いがけない繋がりにより、この模型のBP Sスペクトルのエントロピーが Dirichlet  $L$  関数の特殊値で与えられることを発見した (論文 45)。

(4) 3次元反ドゥジッター時空 ( $AdS_3$ ) 中の弦理論

佐藤は加藤 (東大数理) と共に、 $SL(2, \mathbb{R})$  ( $=AdS_3$ ) の離散ユニタリー表現から得られるアファイン  $SL(2, \mathbb{R})$  指標を用いたモジュラー不変量の可能性を系統的に解析し、モジュラー不変量を実際に構成すると共に、これらの結果がゴースト非存在の条件に大きな制限を与えることを示した (論文 41)。また、石橋、奥山 (KEK) と共に、経路積分を直接実行することにより、 $AdS_3$  中のボソニック弦理論における一般のプライマリー場の2点、3点関数を厳密に計算した。また、その結果が、対称性の議論から求められていたものと同等であることを示した (論文 44)。さらに、細道 (京大・基研)、奥山と共に、ゼロモードの正しい取り扱いと繰り込みを考慮することで、これらの計算が本質的に自由場の計算に帰着して簡便に実行できることを示し、その結果を用いて4点関数を求めた (論文 44)。

(5) 不安定な量子力学系の流体力学的定式化

新堀は小林 (筑波技短聴覚) と共に、2次元放物型ポテンシャル障壁を調べた。その結果、不安定な量子力学系であるにも関わらず無限縮退した定常状態が出現することを見出し、この状態に対して量子力学の流体力学的定式化が適用できることを示した (論文 47, 53)。さらに、同モデルは超対称化できることを示した (論文??)。また、複素エネルギーの虚部の自由度から生じるエントロピーの導入とそれに伴う統計力学の拡張を試みた (論文 49, 50, 52)。

<論文>

1. Yusuke Taniguchi, One loop calculation of SUSY Ward-Takahashi identity on lattice with Wilson fermion, Chin. J. Phys 38 (2000) 655-662
2. T. Yoshié, Hadron spectroscopy from lattice QCD, Nucl. Phys. A670, No.1-4 (2000) 32-39
3. T. Izubuchi and K.-i. Nagai, Two-dimensional lattice Gross-Neveu model with domain-wall fermions, Phys. Rev. D 61, No.9 (2000) ref.094501, pp.1-16
4. JLQCD Collaboration: S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneda, S. Kaya, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshié, Nucleon decay matrix elements from lattice QCD, Phys. Rev. D 62, No.1 (2000) ref.014506, pp.1-19
5. Y. Iwasaki, The CP-PACS project and lattice QCD results, Prog. Theor. Phys. Suppl. 138 (2000) 1-10

6. T. Manke for the CP-PACS Collaboration, Exotic quarkonia from anisotropic lattices, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 86 (2000) 397-400
7. Y. Iwasaki, The CP-PACS project and the future, Proc. SFT999, University Academic Press, Tokyo (2000) 465-474
8. S. Aoki, Y. Kuramashi, T. Onogi, N. Tsutsui, Perturbative Renormalization Factors of Baryon Number Violating Operators for Improved Quark and Gauge Actions in Lattice QCD, Int. J. Mod. Phys. A15 (2000) 3521-3534
9. Sinya Aoki, Taku Izubuchi, Yoshinobu Kuramashi and Yusuke Taniguchi, Domain Wall Fermions in Quenched Lattice QCD, Phys. Rev. D 62, No.9 (2000) ref.094502
10. Y. Iwasaki, K. Kanaya, S. Kaya, T. Yoshié and S. Sakai, Large-flavor QCD on the lattice, "Dynamics of Gauge Fields: TMU-Yale Symposium", eds. A. Chodos, C.M. Sommerfield, N. Kitazawa, H. Minakata, Universal Academy Press, Frontiers Science Series 33 (2000) 145-158
11. Shinji Ejiri, Jisuke Kubo and Michika Murata, A study on the non-perturbative existence of Yang-Mills theories with large extra dimensions, Phys. Rev. D 62, No.10 (2000) ref.105025, pp.1
12. JLQCD Collaboration: S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneda, S. Kaya, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshié, Pion decay constant for the Kogut-Susskind quark action in quenched lattice QCD, Phys. Rev. D 62, No.9 (2000) ref.094501, pp.1-15
13. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, G. Boyd, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshié, Dynamical quark effects on light quark masses, Phys. Rev. Lett. 85, No.22 (2000) 4674-4677
14. CP-PACS Collaboration: T. Manke, A. AliKhan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, K. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshié, Sea quark effects on quarkonia, Phys. Rev. D 62, No.11 (2000) ref.114508, pp.1-13
15. Sinya Aoki, Lattice Calculations and Hadron Physics, Proc. 19th International Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies (Lepton-Photon '99) eConf C990809 (2000) 657-683
16. Sinya Aoki, Numerical Investigation of Domain-Wall QCD on CP-PACS, Fifth workshop on Quantum Chromodynamics, ed. H.M. Fried, B. Müller and Y. Gabellini (World Scientific) (2000) 543-565
17. Tomoteru Yoshié (CP-PACS Collaboration), Light Hadron Spectrum from Quenched Lattice QCD — Results from the CP-PACS —, Prog. Theor. Phys. 105, No.1 (2001) 37-75

18. K. Kanaya, Hadronic properties from lattice QCD with dynamical quarks, Nucl. Phys. A680 (2001) 196-203
19. S. Aoki and Y. Kuramashi, Perturbative renormalization factors of  $\Delta S = 1$  four-quark operators for domain-wall QCD, Phys. Rev. D 63, No.5 (2001) ref.054504
20. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K. Nagai, M. Okawa, A. Ukawa, T. Yoshié, Phase structure and critical temperature of two-flavor QCD with renormalization group improved gauge action and clover improved Wilson quark action, Phys. Rev. D 63, No.3 (2001) ref.034502, pp.1-11
21. Sinya Aoki, Unquenched QCD simulation results, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 3-18
22. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, G. Boyd, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshié, Full QCD light hadron spectrum and quark masses: Final results from CP-PACS, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 229-232
23. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, Y. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, T. Izubuchi, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, K. I. Nagai, J. Noaki, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshié, Kaon B parameter from quenched domain-wall QCD, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 287-290
24. JLQCD Collaboration: S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshié, Light hadron spectroscopy with two flavors of  $O(a)$  improved dynamical quarks, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 233-236
25. JLQCD Collaboration: N. Yamada, S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, T. Yoshié,  $B^0 - \bar{B}^0$  mixing with quenched lattice NRQCD, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 379-382
26. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, K.-I. Nagai, M. Okamoto, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshié, Quenched charmonium spectrum on anisotropic lattices, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 325-328
27. Shinji Ejiri, Lattice QCD at finite temperature, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 19-26



28. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, Y. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, T. Izubuchi, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, K.-I. Nagai, J. Noaki, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshié, Calculation of  $K \rightarrow \pi$  matrix elements in quenched domain-wall QCD, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 283-286
29. JLQCD Collaboration: S. Aoki, R. Burkhalter, M. Fukugita, S. Hashimoto, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, S. Tominaga, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, T. Yoshié, Differential decay rate for  $B \rightarrow \pi l \nu$  semileptonic decays, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 329-332
30. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, Y. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, T. Izubuchi, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K.-I. Nagai, J. Noaki, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshié, Eigenvalues of the hermitian Wilson-Dirac operator and chiral properties of the domain-wall fermion, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 94 (2001) 725-728
31. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, Y. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, T. Izubuchi, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K.I. Nagai, J. Noaki, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshié, Chiral properties of domain-wall quarks in quenched QCD, Phys. Rev. D 63, No.11 (2001) ref.114504, pp.1-19
32. Tomoteru Yoshié, Recent results from massively parallel computers dedicated to lattice QCD, Comput. Phys. Comm. (2001) in press
33. R. Burkhalter, Full QCD light hadron spectrum and quark masses, Proc. International Workshop on Non-Perturbative Methods and Lattice QCD, May 15 – May 21, 2000, Guangzhou, China (World Scientific, Singapore, 2001)
34. R. Burkhalter, M. Imachi, Y. Shinno and H. Yoneyama, CP(N-1) models with theta term and fixed point action, hep-lat/0103016
35. Kazuyuki Kanaya for the CP-PACS Collaboration, Dynamical Quark Effects in QCD on the Lattice — results from the CP-PACS —, Proc. the XXXth International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2000), July 27–August 2, 2000, Osaka, Japan. (2001)
36. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, G. Boyd, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshié, Decay constants of B and D mesons from improved relativistic lattice QCD with two flavours of sea quarks, hep-lat/0010078
37. CP-PACS Collaboration: T. Manke, A. AliKhan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, K.-I. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshié, Hybrid quarkonia with dynamical sea quarks, hep-lat/0103015

38. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K.-I. Nagai, M. Okawa, H.P. Shanahan, A. Ukawa, T. Yoshié, B meson decay constant from two-flavor lattice QCD with non-relativistic heavy quarks, hep-lat/0103020
39. CP-PACS Collaboration: A. AliKhan, S. Aoki, R. Burkhalter, S. Ejiri, M. Fukugita, S. Hashimoto, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, T. Manke, K.-I. Nagai, J. Noaki, M. Okamoto, M. Okawa, H.P. Shanahan, Y. Taniguchi, A. Ukawa, T. Yoshié, Equation of state in finite-temperature QCD with two flavors of improved Wilson quarks, hep-lat/0103028
40. M. Fukae, Y. Yamada and S.-K. Yang, Mordell-Weil Lattice via String Junctions, Nucl. Phys. B572, No.1 (2000) 71-94
41. A. Kato and Y. Satoh, Modular Invariance of String Theory on  $AdS_3$ , Phys. Lett. B486, No.3-4 (2000) 306-313
42. N. Ishibashi, K. Okuyama and Y. Satoh, Path Integral Approach to String Theory on  $AdS_3$ , Nucl. Phys. B588, No.1-2 (2000) 149-177
43. K. Mohri, Y. Ohtake and S.-K. Yang, Dualities between String Junctions and D-Branes on del Pezzo Surfaces, Nucl. Phys. B595, No.1-2 (2001) 138-164
44. K. Hosomichi, K. Okuyama and Y. Satoh, Free Field Approach to String Theory on  $AdS_3$ , Nucl. Phys. B598, No.3 (2001) 451-466
45. K. Mohri, Y. Onjo and S.-K. Yang, Closed Sub-Monodromy Problems, Local Mirror Symmetry and Branes on Orbifolds, Rev. Math. Phys. 13, No.6 (2001) 1-40
46. T. Shimbori, Operator Methods of the Parabolic Potential Barrie, Phys. Lett. A273, No.1-2 (2000) 37-41
47. T. Shimbori and T. Kobayashi, Stationary Flows of the Parabolic Potential Barrier in Two Dimensions, J. Phys. A33, No.42 (2000) 7637-7652
48. T. Shimbori and T. Kobayashi, Supersymmetric Quantum Mechanics of Scattering, Phys. Lett. B501, No.3-4 (2001) 245-248
49. T. Kobayashi and T. Shimbori, Entropy Burst from Parabolic Potentials, Phys. Lett. A280, No.1 (2001) 23-27
50. T. Kobayashi and T. Shimbori, Statistical Mechanics for Unstable States in Gel'fand Triplets and Investigations of Parabolic Potential Barriers, Phys. Rev. E 63, No.5 (2001) ref.056101, pp.1-8
51. T. Shimbori and T. Kobayashi, "Velocities" in Quantum Mechanics, quant-ph/0004086.
52. T. Kobayashi and T. Shimbori, Statistical Mechanics for States with Complex Eigenvalues and Quasi-stable Semiclassical Systems, cond-mat/0005237.

53. T. Kobayashi and T. Shimbori, Zero Energy Solutions and Vortices in Schroedinger Equations, cond-mat/0103209.

〈著書・総説等〉

1. 青木慎也、金谷和至、吉江友照「超並列計算機CP-PACSが拓く素粒子標準理論研究の新展開」  
日本物理学会誌 Vol.56, No.3 (2001年3月号) p.177-185

〈学位論文〉

博士論文

1. 大竹 由記子  
「String Junctions and BPS Spectra of  $N=2$   $SU(2)$  Supersymmetric QCD」

修士論文

1. 井出 健智  
「改良された格子作用に対する非摂動繰り込み」
2. 滑川 裕介  
「Finite temperature QCD on anisotropic lattices」
3. 最上 武志  
「弦理論における非可換幾何学」
4. 山崎 剛  
「最大エントロピー法を用いた格子QCDでのスペクトル関数の解析」

〈講演〉

[国内外の国際会議]

1. Burkhalter, R. 「Full QCD light hadron spectrum and quark masses」 International Workshop on Non-Perturbative Methods and Lattice QCD (Guangzhou, China, May 15-21, 2000)
2. 金谷 和至 「Dynamical Quark Effects in QCD on the Lattice」 The XXXth International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2000) (Osaka, Japan, July 27-Aug. 2, 2000)
3. Burkhalter, R. 「Full QCD light hadron spectrum and quark masses: final results from CP-PACS」 The XVIIIth International Symposium on Lattice Field Theory "Lattice 00" (Bangalore, India, Aug. 17-22, 2000)

4. 岡本 昌高 「Quenched charmonium spectrum on anisotropic lattices」 The XVIIIth International Symposium on Lattice Field Theory “Lattice 00” (Bangalore, India, Aug. 17-22, 2000)
5. 江尻 信司 「QCD at finite temperature」 The XVIIIth International Symposium on Lattice Field Theory “Lattice 00” (Bangalore, India, Aug. 17-22, 2000)
6. 青木 慎也 「Unquenched lattice QCD simulations」 The XVIIIth International Symposium on Lattice Field Theory “Lattice 00” (Bangalore, India, Aug. 17-22, 2000)
7. 谷口 裕介 「Kaon B parameter from the quenched domain-wall QCD」 The XVIIIth International Symposium on Lattice Field Theory “Lattice 00” (Bangalore, India, Aug. 17-22, 2000)
8. 長井 敬一 「Eigenvalues of the hermitian Wilson-Dirac operator and chiral properties of the domain-wall fermion」 The XVIIIth International Symposium on Lattice Field Theory “Lattice 00” (Bangalore, India, Aug. 17-22, 2000)
9. 野秋 淳一 「Calculation of  $K \rightarrow \pi$  matrix elements in quenched domain-wall QCD」 The XVIIIth International Symposium on Lattice Field Theory “Lattice 00” (Bangalore, India, Aug. 17-22, 2000)
10. 青木 慎也 「Recent results from lattice QCD」 The 5th International Workshop on Particle Physics Phenomenology (Taitung, Taiwan, Nov. 8-11, 2000)
11. 吉江 友照 「Recent lattice QCD results from massively parallel computers」 Conference on Computational Physics CCP2000 (Gold Coast, Queensland, Australia, Dec.3-8, 2000)

[国内]

1. 金谷 和至 「格子場の理論による QCD のシミュレーション」 未来開拓学術研究推進事業「計算科学」ワークショップ「計算科学におけるアルゴリズム」(筑波大学計算物理学研究センター、つくば, June 12-13, 2000)
2. 江尻 信司 「Extra Dimension をもった Yang-Mills 理論の存在可能性について」 基研研究会「場の量子論 2000」(京都大学 基礎物理学研究所、京都, July, 2000)
3. 江尻 信司 「有限温度有限密度格子 QCD の最近の発展」 基研研究会「熱場の理論とその応用」(京都大学 基礎物理学研究所、京都, Aug. 4-7, 2000)
4. 梁 成吉 「Duality Between String Junctions and D-Branes on Del Pezzo Surfaces」 研究会 Summer Institute 2000 (人材開発センター (日経連富士研修所)、富士吉田, Aug. 7-21, 2000)
5. Burkhalter, R. 「Full QCD light hadron spectrum and quark masses: final results from CP-PACS」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)
6. 園城 陽子 「非コンパクト カラビ・ヤウ多様体上の D-ブレーン」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)

7. 岡本 昌高 「Quenched charmonium spectrum on anisotropic lattices」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)
8. 滑川 裕介 「標準作用を用いた非等方格子上的 QCD 熱力学」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)
9. 江尻 信司 「Large Extra Dimension をもった Yang-Mills 理論の存在可能性について」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)
10. 山崎 剛 「Lattice QCD におけるスペクトル関数の解析」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)
11. 新堀 敏基 「量子力学における複素速度ポテンシャルと 2 次元放物型ポテンシャル障壁」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)
12. 長井 敬一 「Eigenvalues of the hermitian Wilson-Dirac operator and chiral properties of the domain-wall fermion」 日本物理学会 (新潟大学, 新潟, Sept. 22-25, 2000)
13. 岡本 昌高 「Quenched charmonium spectrum on anisotropic lattices」 KEK 研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」 (KEK、つくば, Dec. 11-13, 2000)
14. 滑川 裕介 「Finite temperature QCD on anisotropic lattices」 KEK 研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」 (KEK、つくば, Dec. 11-13, 2000)
15. 江尻 信司 「有限温度格子 QCD の最近の発展」 KEK 研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」 (KEK、つくば, Dec. 11-13, 2000)
16. 山崎 剛 「格子 QCD でのスペクトル関数の解析」 KEK 研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」 (KEK、つくば, Dec. 11-13, 2000)
17. 石塚 成人 「Lattice Calculation of K meson Weak Matrix Elements」 KEK 研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」 (KEK、つくば, Dec. 11-13, 2000)
18. 滑川 裕介 「Finite temperature QCD on anisotropic lattices」 基研研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」 (京都大学 基礎物理学研究所、京都, Dec. 20-22, 2000)
19. 江尻 信司 「2 フレーバー QCD の状態方程式」 基研研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」 (京都大学 基礎物理学研究所、京都, Dec. 20-22, 2000)
20. 新堀 敏基 「不安定な量子力学系の Gel'fand の 3 つ組による記述と流体力学的定式化」 基研研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」 (京都大学 基礎物理学研究所、京都, Dec. 20-22, 2000)
21. 江尻 信司 「Finite temperature phase transition of lattice QCD with Wilson type quarks」 Sapporo winter school (ニセコ・アンヌプリ、北海道, Jan. 7-11, 2001)
22. 大竹 由記子 「Duality Between String Junctions and D-branes on Del Pezzo Surfaces」 Sapporo winter school (ニセコ・アンヌプリ、北海道, Jan. 7-11, 2001)
23. 滑川 裕介 「Thermodynamics of the SU(3) gauge theory on anisotropic lattices」 計算物理学研究センター研究会「CP-PACS による計算物理学 2000」 (筑波大学、つくば, Feb. 13, 2001)

24. 山崎 剛 「LatticeQCDでのスペクトル関数の解析」 計算物理学研究センター研究会「CP-PACSによる計算物理学2000」(筑波大学、つくば, Feb. 13, 2001)
25. 青木 慎也 「Lattice B Physics」 The 4th International Workshop on B Physics and CP Violation (Ise, Japan, Feb. 19-23, 2001)
26. 井出 健智 「改良された格子作用に対する非摂動繰り込み」 日本物理学会 (中央大学、多摩、東京, Mar. 27-30, 2001)
27. 岡本 昌高 「Quenched charmonium spectrum on anisotropic lattices」 日本物理学会 (中央大学、多摩、東京, Mar. 27-30, 2001)
28. 滑川 裕介 「Finite temperature QCD on anisotropic lattices」 日本物理学会 (中央大学、多摩、東京, Mar. 27-30, 2001)
29. 山崎 剛 「格子QCDにおけるスペクトル関数の解析」 日本物理学会 (中央大学、多摩、東京, Mar. 27-30, 2001)
30. 大竹 由記子 「BPS Spectrum of Non-Critical En Strings」 日本物理学会 (中央大学、多摩、東京, Mar. 27-30, 2001)