

大型並列計算機を用いたQCDの閉じ込め機構の研究

著者	鈴木 恒雄
雑誌名	平成12(2000)年度 科学研究費補助金 基盤研究(B) 研究成果報告書
巻	1998-2000
ページ	21p.
発行年	2001-03-01
URL	http://doi.org/10.24517/00034829



大型並列計算機を用いたQCD の閉じ込め機構の研究

(課題番号 10440073)

平成10年度～平成12^年度科学研究費補助金
(基盤研究 (B) (2)) 研究成果報告書

平成 13 年 3 月

研究代表者 鈴木 恒 雄

金沢大学 理学部

(金沢大学 理学部 教授)



8000-96495-3

大型並列計算機を用いたQCDの閉じ込め機構の研究

課題番号 10440073

平成10年度－平成12年度科学研究費補助金
(基盤研究(B)(2))研究成果報告書

平成13年3月

研究代表者 鈴木恒雄

(金沢大学・理学部・教授)

1 はしがき

この研究は、平成10年度、平成11年度、平成12年度にわたって文部省科学研究費補助金（基盤研究（B）：課題番号10440073）を得て行われたものである。

研究組織

研究代表者 鈴木恒雄

（金沢大学・理学部・教授）

研究経費

平成10年度	10、000千円
平成11年度	1、400千円
平成12年度	1、900千円
計	13、300千円

2 研究目的とこの研究の特徴

1 研究の大目標

QCDの最大の未解決問題であるクォークの閉じ込め機構及びカイラル対称性の自発的破れの機構の解明によってQCDを第1原理として解析的にハドロン物理を解明できるようにすることである。

2 研究の背景

これまで、クォークの閉じ込めは、超伝導のマイスナー効果にデュアルな機構で、何かカラー磁気的な量の真空凝縮が原因ではないかと予想されている。最近、我々は格子QCDでモンテ・カルロ法による数値シミュレーションを使って、アーベリアン射影と呼ばれる可換対称性のみを残すゲージ固定の内、あるゲージ固定では、低エネルギーのQCDの本質が可換成分のみで書かれる可換理論で記述できることを発見した。更に可換な格子QEDと同様にデュアル変換が厳密に実行でき、その上、デュアル空間上でのブロック・スピン変換が、磁気モノポール変数の言葉で可能であり大変単純な形をしたSU(2)QCDの低エネルギー有効理論を構成できることを発見をした。これらの発見は、世界で最初であり、1970年代からの未解決であったクォークの閉じ込め問題の解決が間近であることを示す大変重要な発見であると自負している。

3 この研究計画期間内の目標

主として、大規模並列計算機を用いたモンテ・カルロ法により以下の研究を行う。

1) 初めの2年間の研究で、デュアル空間でのブロック・スピン変換で連続極限のSU(3)QCDの性質を示す繰り込まれた軌跡と呼ばれる低エネルギー有効理論を決定する。そのために、クォーク場の入っていない 64^4 格子空間まで考察し、ブロック・スピン変換を進め、モノポールで記述された有効理論を決定する。

2) モノポール有効作用から、解析的手法により、デュアルヒッグス理論やハドロンの弦理論を導けることがわかる。上記で決められたモノポール有効作用から出発して、ヒッグス理論からデュアル超伝導真空の構造の解明や、ハドロンの弦理論の臨界次元やタキオン問題の解明を行う。

3) 初めの2年間の研究で同様の手法でSU(2)とSU(3)の有限温度系でのQCDの有効理論を導き、相転移の機構を解明する。そのため、 $64^3 \times (16 \sim 32)$ の格子空間でのブロック・スピン変換を行い、温度に依存した有効理論を導く。

4) クォーク場の入った現実の **SU(3)QCD** で同様の研究を行い、閉じ込め機構と QCD のもう一つの未解決問題であるカイラル対称性の自発的破れの機構との関連を赤外有効理論を発見することで考察する。初めの2年間は、小さい格子でテスト計算で効率化を行い3年目に $32^3 \times (8 \sim 24)$ の格子空間で大規模計算を行う。

4 特色、独創性、予想される結果と意義

我々は、可換成分のみで低エネルギー QCD の本質を記述し得る大変性質のいいアーベリアン射影を発見し、その結果、1) 世界で初めて、QCD でデュアル変換してデュアル空間での繰り込み変換を可能としたこと。2) デュアル空間は弱結合領域となり、大変簡単な形で低エネルギー有効作用を研究できるという点。3) アーベリアン自由度に着目するため取扱いも、またその物理的解釈も直感的で理解しやすい。4) 始めて QCD から、厳密にハドロンの弦理論やデュアルヒッグス理論を構成しうる。という大変優れた特色と独創性がある。この研究計画が成功裏に終われば、QCD を第1原理として解析的にハロン物理を理解するという1970年代以来の大目標の実現に大きく近づいたこととなり大変に意義がある。

3 研究成果

モンテ・カルロ法を用いた長時間計算機実験での成果は次の通りであった。

2000年度

(1) $SU(2)$ QCD

最近得られた monopole action を用いて物理量の評価を行なった。具体的には各々の物理量に対する完全演算子を構成し string tension、glueball mass の値を monopole action と等価な string model による strong coupling 展開を使って解析的に計算し、得られた結果が pure $SU(2)$ QCD からの値をほぼ再現していることを確かめた。

(2) $SU(3)$ QCD

$SU(3)$ の場合に拘束つきの monopole current 3本の effective action を決定した。また(1)の $SU(2)$ QCD の手法を適用して、クォーク・反クォーク間の静的ポテンシャル、string tension、glueball mass の値を計算した。

(3) 有限温度 $SU(2)$ QCD

Pure $SU(2)$ QCD の有限温度 effective monopole action を2次の相互作用を取り入れて導出した。また、非等方格子を用いて blockspin 変換を行なうことにより、時間方向の連続極限について考えることが出来るようになった。

(4) Gauge (in)dependence of abelian dominance

$SU(2)$ LGT の有効作用を仮定したうえで、その coupling のフローを2種類の blockspin 変換といくつかのゲージ固定の場合で調べた。Swendsen 流の blockspin 変換を用いた場合に得られたフローからは、abelian dominance がゲージに依らずに連続極限で実現されていることの示唆を得た。Abelian projection 後に得られる物質場とゲージ場を個別に扱う blockspin 変換を用いた場合には作用のレベルで abelian 部分が支配的になっていることがわかった。

(5) 3次元 Georgi-Glashow model

3次元 Georgi-Glashow model には 'tHooft-Polyakov monopole (instanton) が存在し、Polyakov は monopole (instanton) を dilute-gas で近似することにより閉じ込め相が存在することを解析的に示したが、この解析的に分かっていることと lattice 上で abelian projection を行なうことによっ

て得られる monopole(instanton) action とを比較した。

(6) $\beta=2.5115$ で、 $SU(2)$ QCD の simulations を行い、モノポールの有効作用を逆モンテカルロ法で決定した。その作用を、格子上での DGL 理論に変形し、その DGL 理論の simulations を行い、Abrikosov Vortex の周りの electric field, monopole の分布を測定し、QCD ですでに測定されている Wuppertal グループのデータを比較を行った。DGL 理論は弦定数は正しく再現するが、flux 分布は完全には再現していない。主な原因は、このような β ではあまりに短距離すぎてモノポール作用をもっと複雑にしないといけないことである。そうすると DGL も複雑になる。

(1) の結果は、大阪大や中国での国際会議、リスボンでの XVIII AUTUMN SCHOOL で鈴木、加藤によって発表された。(2) の結果は、中国での国際会議で鈴木によって発表された。(4) の結果は、日本物理学会第 55 回年次大会、KEK 研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」、基研研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」で伊藤によって、日本物理学会北陸支部例会で森によってそれぞれ発表された。また、中国での国際会議で鈴木によって発表された。(5) の結果は、日本物理学会において矢沢によって発表された。(6) の結果は駒によって、KEK 研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」、基研研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」で発表された。

1999 年度

(1) $SU(2)$ QCD

最近得られた monopole action を用いて物理量の評価を行なった。具体的には各々の物理量に対する完全演算子を構成しクォーク・反クォーク間の静的ポテンシャル、string tension、glueball mass の値を monopole action と等価な string model による strong coupling 展開を使って解析的に計算した。また、得られた静的ポテンシャルが連続理論の回転対称性を満たしていることを示した。

(2) $SU(3)$ QCD

$SU(3)$ の場合に拘束付きの monopole current 3 本の effective action を決定した。また(1)の $SU(2)$ QCD の手法を適用して、クォーク・反クォーク間の静的ポテンシャル、string tension、glueball mass の値を計算した。

(3) 有限温度 $SU(2)$ QCD

pure $SU(2)$ QCD における有限温度 effective monopole action を 2 次の相互作用を取り入れて導出した。Blockspin 変換を行なうことにより、space-

like monopole と time-like monopole の振舞いが非閉じ込め相において非常に異なっていることがわかった。

(4) monopole dynamics のゲージ (非) 依存性

最近 abelian dominance のゲージ非依存性が議論されていたが、abelian dominance を仮定すると monopole dominance のゲージ非依存性が証明できることを、ゲージ固定しない場合について証明した。

(5) 3次元 Georgi-Glashow model

3次元 Georgi-Glashow model には 'tHooft-Polyakov monopole (instanton) が存在し、Polyakov は monopole (instanton) を dilute-gas で近似することにより閉じ込め相が存在することを解析的に示したが、この解析的に分かっていることと lattice 上で abelian projection を行なうことによって得られる monopole(instanton) action とを比較した。

(1)の結果は、Lattice'99 国際会議、ICCP 5 国際会議、日独セミナーで鈴木、加藤、藤本によって発表された。(2)、(4)の結果は鈴木によって、(3)の結果は石黒によって ICCP 5 国際会議で発表された。

また日本物理学会で(2)については山岸(健)、(3)については石黒、中谷、(4)については鈴木、常見、(5)については矢沢によってそれぞれ発表された。

1998年度

(1)SU(2) QCD

これまでに得られた monopole action がスケールした連続理論の回転対称性を満たしているかを調べた。具体的には得られた monopole action から string model を解析的に求め strong coupling 展開が出来る領域で static potential が回転対称性を満たしているかを調べた。

また、monopole current の2次の理論で解析的に Block-Spin 変換を行ない lattice 形式の連続理論の monopole action を求めて、上の議論と比較した。

(2)SU(3) QCD

SU(3) Pure QCD の2本の独立な monopole current に対する monopole action を、最も簡単な2次の相互作用項を入れた形で求めた。その結果、Block-Spin 変換によりスケールした monopole action が得られた。

また得られた monopole action と Abelian-Higgs model との対応を調べた。

(3)Georgi-Glashow model

1. lattice Georgi-Glashow model において、unitary gauge 固定後、DeGrand-Toussaint 流の monopole の定義を用いて monopole current configuration (この monopole は 'tHooft-Polyakov monopole と考えられる。)を発生させ、そこから、Swendsen の逆 M.C. 法を用いて、monopole action を決定することができた。
2. 特に、 κ (ホッピングパラメーター) が大きな領域では、MA monopole と unitary monopole に関する量が、良い一致を見せていた。Georgi-Glashow model は κ が無限大で Compact U(1) theory であるが、行なったシミュレーションでは κ は無限大ではなく有限値なので Compact U(1) に近いが、決して Compact U(1) ではない領域で 2 つの monopole の universal な性質が見えている。(しかし、ここで見えている universality は kinematic な性質による所が大きいと考えられる。)
3. 特に Block-Spin 変換 $n = 3$ と 4 で monopole action を調べた結果、MA, Uni. monopole の action の coupling は、より低エネルギー領域に行くにしたがって互いに近付いていく傾向があることがわかった。

(1)の結果は、日本物理学会、Lattice'98 の国際会議で加藤、藤本、村田によって発表された。(2)の結果は、日本物理学会で山岸(健)、加藤(丈)によって発表された。(3)の結果は、日本物理学会で常見、Ilgenfritz によって発表された。

4 研究発表

4. 1 論文リスト

1. V.G.Bornyakov, M.N.Chernodub, F.V.Gubarev, M.I.Polikarpov, T.Suzuki, A.I.Veselov, V.I.Zakharov
Anatomy of the lattice magnetic monopoles
hep-lat/0103032, to be submitted to Phys. Rev. Lett.
2. Y. Koma, E.-M. Ilgenfritz, H. Toki, T. Suzuki
Casimir scaling in a dual superconducting scenario of confinement
hep-ph/0103162, to appear in Phys. Rev. D.
3. Tateaki Yazawa, and Tsuneo Suzuki,
Lattice instanton action from 3D SU(2) Georgi-Glashow model
hep-lat/0101004, Submitted to JHEP
4. Y.Koma, E.M.Ilgenfritz, T.Suzuki and H.Toki
Weyl symmetric representation of hadronic flux tubes in the dual
Ginzburg-Landau theory
to appear in Phys. Rev. D., hep-ph/0011165
5. T.Suzuki
An almost perfect lattice action for infrared QCD
Proceedings of the Int. Workshop on Nonperturbative Method and
Lattice QCD, Guangzhou, China, hep-lat/0007036
6. K.Yamagishi, S.Kitahara and T.Suzuki
Lattice monopole action in pure SU(3) QCD
JHEP 0002 (2000) 012, hep-lat/0002011
7. M.N.Chernodub, S.Fujimoto, S.Kato, M.Murata, M.I.Polikarpov
and T.Suzuki
An almost perfect quantum lattice action for low-energy SU(2) glu-
odynamics
hep-lat/0006025, Phys. Rev. D62.094506-1 094506-16

8. S. Fujimoto, S. Kato, M. Murata, T. Suzuki
String tension and glueball masses of SU(2) QCD from perfect action for monopoles and strings
hep-lat/9909103, Nucl Phys. B(Proc.Suppl.) 83(2000)494-496, hep-lat/9909103
9. T.Suzuki, S.Kitahara, F.Shoji, A.Nakamura, K.Yamagishi, S.Ito, T.Tsunemi, S.Fujimoto, S.Kato and H.Kodama
Recent topics of infrared effective lattice QCD
hep-lat/9909104, Nucl Phys. B(Proc.Suppl.) 83(2000)550-552, hep-lat/9909104
10. S.Fujimoto, S.Kato and T.Suzuki
A perfect monopole action for SU(2) QCD
Nucl Phys. B(Proc.Suppl.) 83(2000)455-457, hep-lat/9909102
11. T.Suzuki
An (Almost) Perfect Lattice Action for SU(2) and SU(3) Gluodynamics
Proceedings of the Int. Workshop 'Confinement 2000', Osaka
12. F.Shoji, T.Suzuki, H.Kodama and A.Nakamura
A new gauge-fixing method for abelian projection
Phys.Lett.B476(2000)199-204, hep-lat/9910042
13. S.Fujimoto, S.Kato and T.Suzuki
A Quantum Perfect Lattice Action for Monopoles and Strings
Phys.Lett. B476 (2000) 437-447, hep-lat/0002006
14. S.Fujimoto, S.Kato, T.Suzuki and T.Tsunemi
Gauge independence of abelian and monopole dominances in QCD
Prog. Theor. Phys.Suppl. 138(2000)36-37
15. S.Kato, S.Fujimoto, M.Murata and T.Suzuki
String tension and glueball masses of SU(2) QCD from perfect action for monopoles and strings
Prog. Theor. Phys.Suppl. 138(2000)38-39

16. K.Ishiguro, Y.Nakatani and T.Suzuki
Finite Temperature Phase Transition and Monopole Action in SU(2)QCD
Prog. Theor. Phys.Suppl. 138(2000)34-35
17. F.V.Gubarev, E.-M.Ilgenfritz, M.I.Polikarpov and T.Suzuki
The lattice SU(2) confining string as an Abrikosov vortex
Phys.Lett. B468(1999) 134-137
18. Maxim N. Chernodub, Seikou Kato, Naoki Nakamura, Mikhail I. Polikarpov and Tsuneo Suzuki
Various Representations of Infrared Effective Lattice SU(2) Gluodynamics
Report-no: KANAZAWA 98-19, ITEP-TH-61/98, hep-lat/9902013, unpublished
19. S. Fujimoto, S. Kato, M. Murata and T. Suzuki
On the perfect lattice actions of abelian-projected SU(2) QCD
Nucl.Phys.Proc.Suppl. 73 (1999) 533-535
20. S.Kitahara, O.Miyamura, T.Okude, F.Shoji and T.Suzuki
Monopoles and hadron spectrum in quenched QCD
Nucl.Phys. B533 (1998) 576-590
21. S.Kato, S.Kitahara, N.Nakamura and T.Suzuki
Perfect monopole action in SU(2) QCD
Nucl.Phys. B520 (1998)323-344.
22. S.Kato, M.N.Chernodub, S.Kitahara, N.Nakamura, M.I.Polikarpov, T.Suzuki
Various representations of infrared lattice QCD
Nucl.Phys.B(Proc.Suppl.)63(1998) 471-473
23. T.Suzuki
Low-Energy Effective Theories from QCD
Prog.Theor.Phys.Suppl.131(1998)633-644.

4 . 2 国際会議招待講演

1. T.Suzuki
An almost perfect lattice action for infrared QCD
Proceedings of the Int. Workshop on Nonperturbative Method and Lattice QCD, Guangzhou, China ,hep-lat/0007036
2. T.Suzuki
An (Almost) Perfect Lattice Action for SU(2) and SU(3) Gluodynamics
Proceedings of the Int. Workshop 'Confinement 2000', Osaka
3. S.Kato
Search for a quantum perfect lattice action for infrared QCD
Japan-Germany Seminar, Kanazawa, 1999
4. T.Suzuki
Search for perfect monopole action in QCD
8th Workshop on lattice field theory (VIELAT98), Vienna, 1998
5. T.Suzuki
Low-Energy Effective Theories from QCD
Prog.Theor.Phys.Suppl.131(1998)633-644.

4 . 3 国際会議一般講演

1. S. Fujimoto, S. Kato, M. Murata, T. Suzuki
String tension and glueball masses of SU(2) QCD from perfect action for monopoles and strings
hep-lat/9909103, Nucl Phys. B(Proc.Suppl.) 83(2000)494-496.
2. T.Suzuki, S.Kitahara, F.Shoji, A.Nakamura, K.Yamagishi, S.Ito, T.Tsunemi, S.Fujimoto, S.Kato and H.Kodama
Recent topics of infrared effective lattice QCD
hep-lat/9909104, Nucl Phys. B(Proc.Suppl.) 83(2000)550-552.

3. S.Fujimoto, S.Kato and T.Suzuki
A perfect monopole action for SU(2) QCD
Nucl Phys. B(Proc.Suppl.) 83(2000)455-457.
4. S. Fujimoto, S. Kato, M. Murata and T. Suzuki
On the perfect lattice actions of abelian-projected SU(2) QCD
Nucl.Phys.Proc.Suppl. 73 (1999) 533-535
5. S.Kato,M.N.Chernodub,S.Kitahara,N.Nakamura,M.I.Polikarpov,T.Suzuki
Various representations of infrared lattice QCD
Nucl.Phys.B(Proc.Suppl.)63(1998) 471-473
6. S.Fujimoto, S.Kato, T.Suzuki and T.Tsunemi
Gauge independence of abelian and monopole dominances in QCD
Prog. Theor. Phys.Suppl. 138(2000)
7. S.Kato,S.Fujimoto, M.Murata and T.Suzuki
String tension and glueball masses of SU(2) QCD from perfect action for monopoles and strings
Prog. Theor. Phys.Suppl. 138(2000)38
8. K.Ishiguro,Y.Nakatani and T.Suzuki
Finite Temperature Phase Transition and Monopole Action in SU(2)QCD
Prog. Theor. Phys.Suppl. 138(2000)

4 . 4 物理学会一般講演

1. 江尻信司
モノポールとカイラル対称性の破れ
第52回日本物理学会年会（1997年3月、名城大学）
2. 山岸健太郎、江尻信司、鈴木恒雄
Improved action による monopole action
第52回日本物理学会年会（1997年3月、名城大学）
3. 庄司文由
Lattice QCD における monopole dynamics の gauge 依存性
第52回日本物理学会年会（1997年3月、名城大学）

4. 矢澤建明、鈴木恒雄
SU(2) 格子ゲージ理論における最大 Z2 ゲージ固定について
第 5 2 回日本物理学会年会 (1997 年 3 月、名城大学)
5. 中村直紀
QCD 有限温度相転移とモノポール
第 5 2 回日本物理学会年会 (1997 年 3 月、名城大学)
6. 加藤清考、鈴木恒雄
モノポール凝縮とハドロンの弦理論
第 5 2 回日本物理学会年会 (1997 年 3 月、名城大学)
7. 藤本祥二、中村直紀、北原俊一、鈴木恒雄
SU(2)QCD から得られた monopole action に関する Z* gauge theory
での解析
日本物理学会 1997 年秋の分科会 (1997 年 9 月、東京都立
大学)
8. 中村直紀、加藤清考、北原俊一、鈴木恒雄
QCD のモノポールによる低エネルギー有効作用
日本物理学会 1997 年秋の分科会 (1997 年 9 月、東京都立
大学)
9. 山岸健太郎、鈴木恒雄
Monopole action in SU(3) QCD
日本物理学会 1997 年秋の分科会 (1997 年 9 月、東京都立
大学)
10. 矢澤建明、鈴木恒雄、松原克己
SU(2) 格子ゲージ理論における最大 Z2 ゲージ固定と adjoint source
について
日本物理学会 1997 年秋の分科会 (1997 年 9 月、東京都立
大学)
11. 庄司文司
Lattice QCD における monopole dynamics の gauge 依存性 2
日本物理学会 1997 年秋の分科会 (1997 年 9 月、東京都立
大学)

12. 藤本祥二、加藤清考、鈴木恒雄、村田享香
モノポール action の連続極限とポテンシャルの回転対称性
日本物理学会北陸支部例会（1997年12月、金沢大学）
13. 藤本祥二、加藤清考、鈴木恒雄、村田享香
monopole action の連続極限
日本物理学会1998秋の分科会（1998年10月、秋田大学）
14. 加藤清考、鈴木恒雄、藤本祥二、村田享香
アーベリアン射影された格子QCDの低エネルギー有効弦理論
日本物理学会1998秋の分科会（1998年10月、秋田大学）
15. 村田享香、加藤清考、藤本祥二、鈴木恒雄
格子QCDストリングと回転対称性
日本物理学会1998秋の分科会（1998年10月、秋田大学）
16. 山岸健太郎、加藤文明、鈴木恒雄、北原俊一
SU(3)QCDの有効モノポール作用
日本物理学会1998秋の分科会（1998年10月、秋田大学）
17. 常見知広、E.-M. Ilgenfritz、鈴木恒雄
Georgi-Glashow modelにおける monopole の universality
日本物理学会1998秋の分科会（1998年10月、秋田大学）
18. 中村直紀
QCD有限温度相転移とモノポール
日本物理学会1998秋の分科会（1998年10月、秋田大学）
19. 石黒克也、中村直紀、鈴木恒雄、E.-M. Ilgenfritz
SU(2)QCDのAbelian Polyakov Loop有効作用と有限温度相転移
日本物理学会1998秋の分科会（1998年10月、秋田大学）
20. 村田享香、加藤清考、藤本祥二、鈴木恒雄
Lattice QCD string and Rotational Symmetry
日本物理学会北陸支部例会（1998年12月、富山大学）
21. 藤本祥二、加藤清考、村田享香、鈴木恒雄
モノポール action の連続極限とポテンシャルの回転対称性 日本物
理学会北陸支部例会（1998年12月、富山大学）

22. 常見知広、E.-M. Ilgenfritz、鈴木恒雄
Georgi-Glashow model における monopole の universality
日本物理学会北陸支部例会 (1998年12月、富山大学)
23. 加藤清考、鈴木恒雄、藤本祥二、村田享香
ハドロンの弦理論を用いたグルーボールの質量
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
24. 石黒克也、中村直紀、鈴木恒雄、E.-M. Ilgenfritz
有限温度系における SU(2)QCD monopole
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
25. 藤本祥二、加藤清考、鈴木恒雄、村田享香
lattice QCD monopole action の連続極限
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
26. 山岸健太郎、加藤丈明、鈴木恒雄、北原俊一
SU(3) lattice QCD の effective monopole action
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
27. 村田享香、加藤清考、藤本祥二、鈴木恒雄
Rotational Symmetry of the Monopole Action on the Lattice
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
28. 中村直紀
Abelian Projection された QCD における Dual Theory
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
29. 常見知広、E.-M. Ilgenfritz、鈴木恒雄
4次元 Georgi-Glashow model における monopole の普遍性と相転移
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
30. 矢澤建明、常見知広、鈴木恒雄
3次元 Georgi-Glashow model における lattice monopole action
第54回日本物理学会年会 (1999年3月、広島大学)
31. 伊藤祥一、加藤清考、藤本祥二、鈴木恒雄、常見知広
モノポールの定義に起因するストリングテンションの系統的相違
日本物理学会1999年秋の分科会 (1999年9月、島根大学)

32. 常見知広、加藤清考、藤本祥二、鈴木恒雄
Pure SU(2)QCD に於ける monopole dominance の gauge 非依存性
日本物理学会 1999 年秋の分科会 (1999 年 9 月、島根大学)
33. 石黒克也、中谷泰健、鈴木恒雄
SU(2)QCD における有限温度相転移と monopole action
日本物理学会 1999 年秋の分科会 (1999 年 9 月、島根大学)
34. 矢澤建明、常見知広、鈴木恒雄
3 次元 Georgi-Glashow model および 3 次元 Compact U(1) 理論に
おける Lattice Monopole Action
日本物理学会 1999 年秋の分科会 (1999 年 9 月、島根大学)
35. 中谷泰健、石黒克也、鈴木恒雄
非等方格子上の有限温度系 QCD のモノポール有効作用
日本物理学会北陸支部例会 (1999 年 12 月、福井大学)
36. 矢澤建明、鈴木恒雄
3 次元モノポール希ガス近似閉じ込め理論の検証
第 55 回日本物理学会年会 (2000 年 9 月、新潟大学)
37. 伊藤祥一、北原俊一、鈴木恒雄、森祥寛
アーベリアンドミノランスのゲージ依存性について
第 55 回日本物理学会年会 (2000 年 9 月、新潟大学)
38. 鈴木恒雄、伊藤祥一、北原俊一、森祥寛
アーベリアンドミノランスのゲージ不変性について
日本物理学会北陸支部例会 (2000 年 12 月、金沢大学)
39. 鈴木恒雄、伊藤祥一、北原俊一、森祥寛
Action レベルでのアーベリアンドミノランスのゲージ普遍性について
第 56 回日本物理学会年次大会 (2001 年 3 月中央大学)
40. 中谷泰健、鈴木恒雄
4D Pure Gauge QCD / 3D Ajoint Higgs Model correspondence at
high temperature in monopole picture
第 56 回日本物理学会年次大会 (2001 年 3 月中央大学)

4. 5 セミナー及び研究会講演

1. 鈴木恒雄
An (Almost) Perfect Lattice Action for SU(2) and SU(3) Gluodynamics
1998.9.17 DESY/Zeuthen
1998.10.12 ITEP/Moscow
2. 鈴木恒雄
The quantized dual abelian Higgs model derived from SU(2) gluodynamics and its vacuum structure
2001.3.7 Max-Planck-Institute for Physics/Muenchen
3. 鈴木恒雄
Lattice instanton action from 3D SU(2) Georgi-Glashow model
2001.3.23 Max-Planck-Institute for Physics/Muenchen
4. 村田享香
モノポール/ストリングによる低エネルギー QCD の解析
1999.11.6 新潟大学理学部
5. 伊藤祥一
Gauge (in)dependence of abelian dominance
K E K研究会「並列計算機による格子ゲージ理論の進展」
2000.12.11 高エネルギー加速器研究機構

5 この研究に関する国内及び外国における研究状況

国内では、金沢大学のグループ（現在のメンバーは松原克己（七尾短期大学教授）、北原俊一（十文字女子学園大学講師）、山岸芳夫（七尾短期大学講師）、矢澤建明（金城短期大学助手）、駒佳明（金沢大助手）、加藤清考（高松高専講師）、石黒克也、藤本祥二、伊藤祥一（同 D2）、中谷泰健（同 D2）、森祥寛（同 D1）、朴泰雄（同 M1））である。途中には、Michael Ilgenfritz も参加した。国内で我々以外は、大阪大学核物理センターの土岐教授のグループ、東工大の菅沼助教授、千葉大の近藤助教授ががわれわれとにた立場で研究で行っている。また金沢のグループは、ロシア・モスクワの理論・実験物理学研究所 (ITEP) の Mikhail Polikarpov や Maxim Chernodub のグループ、高エネルギー研究所 (IHEP) の Vitaly Bornyakov のグループとも共同研究を行っている。更に、full QCD and monopole ということで、DESY(Zeuthen) の G.Schierholz のグループや Max Planck Inst. の V.Zakharov のグループとも共同研究を始めた。

国外では abelian projection という同じ視点で研究をしているグループだけでも

(1) Michael Teper の Oxford のグループ (2) G.Schierholz を指導者とする Desy のグループ、

(3) モスクワの M.I.Polikarpov を指導者とする ITEP のグループ、

(4) V.V.G.Bornyakov の IHEP のグループ、

(5) A.Di Giacomo を指導者とする Pisa のグループ、

(6) R.C.Brower の MIT のグループ

(7) R.Haymaker を指導者とする Louisiana のグループ

(8) P.Cea と L.Cosmai の Bari のグループ

(9) P.Forcrand の Zurich のグループその他、多数のグループが今や参加して来て、盛況である。先頭をきったわれわれの論文はかなり引用されており、注目されつつある。

6 さいごに

この3年間の科研費は、国際的にも注目されだしたときで、大変に有効であった。とくに大型並列スーパーコンピューターを使った数値計算は、われわれの場合、高エネルギー研究所・理化学研究所の共同利用研究に参加する以外、予算的に不可能であるが、実際に現地に行って計算したり、学生を各地の共同研究者のところに派遣して専門的な講習を受けさせプログラムを開発をさせたりなど大変に助かった。1999年10月15-17日には、金谷、鈴木が主催して「TFLOPS領域における格子上の場の量子論」というテーマで国際会議平成11年度日独科学協力事業セミナー（日本側 学術振興会 ドイツ側 DFG）を金沢大学で開催し、集中的に討議をした。これにも、若手の参加補助として、科研費が役にたった。また鈴木が研究テーマに関して、国際会議で発表したり、国際共同研究を進めたのも科研費があったためである。このようにまさに科研費のおかげでこれらの研究は進展したといえる。心から感謝するとともに、今後もますます国際的に競争して発展していく段階であり、ぜひとも引き続きご援助を期待したい。