

先端研究拠点事業
事業実績報告書

| | |
|------|-----------|
| 採用年度 | 平成 16 年度 |
| 種別 | 拠点形成促進型 |
| 分科細目 | 4 3 0 1 |
| 採用番号 | 1 6 0 0 1 |

| | |
|---------------|---|
| 領域・分野 | 数物系科学 |
| 分科細目(分科細目コード) | 物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理(理論)(4301) |
| 採用番号 | 16001 |
| 研究交流課題名(和文) | 計算素粒子物理学の国際ネットワークの平成 |
| 研究交流課題名(英文) | International Research Network for Computational Particle Physics |
| 採用期間 | 平成16年4月1日～平成18年3月31日(24ヶ月) |

《実施組織体制》

日本側

| | |
|----------------|------------|
| 拠点機関名 | 国立大学法人筑波大学 |
| 実施組織代表者(職・氏名) | 学長・岩崎 洋一 |
| コーディネーター(職・氏名) | 教授・宇川 彰 |
| 協力機関数 | 4 |
| 参加者数 | 28 |

相手国1

| | |
|----------------|---------------------------------------|
| 国名 | アメリカ合衆国 |
| 拠点機関名 | Fermi National Accelerator Laboratory |
| 実施組織代表者(職・氏名) | Director・Pier J. Oddone |
| コーディネーター(職・氏名) | Senior Scientist・Paul Mackenzie |
| 協力機関数 | 14 |
| 参加者数 | 26 |

交流相手国が複数の場合、適宜、枠を追加して記入すること。

相手国2

| | |
|----------------|--------------------------|
| 国名 | イギリス |
| 拠点機関名 | University of Edinburgh |
| 実施組織代表者(職・氏名) | Principal・Timothy O'Shea |
| コーディネーター(職・氏名) | Professor・Richard Kenway |
| 協力機関数 | 4 |
| 参加者数 | 13 |

相手国 3

| | |
|----------------|----------------------------------|
| 国名 | ドイツ連邦 |
| 拠点機関名 | Deutsches Elektronen Synchrotron |
| 実施組織代表者（職・氏名） | Director・Albrecht Wagner |
| コーディネーター（職・氏名） | Group Leader・Karl Jansen |
| 協力機関数 | 5 |
| 参加者数 | 15 |

相手国 4

| | |
|----------------|-----------------------------|
| 国名 | イタリア |
| 拠点機関名 | University of Rome I |
| 実施組織代表者（職・氏名） | Grand Rector・Renato Guarini |
| コーディネーター（職・氏名） | Professor・Guido Martinelli |
| 協力機関数 | 3 |
| 参加者数 | 8 |

交流目標の達成（見込）状況

全交流期間を通じての達成目標（申請書で示された内容と同一のもの）

素粒子物理学は、物質を構成する基本粒子とその相互作用を探る学問である。その理論的研究には、最先端のスーパーコンピュータを用いた大規模シミュレーションが極めて重要な役割を果たしており、「計算素粒子物理学」と呼ぶべき分野を形成しつつある。本計画は、当該分野における日米欧の主要研究拠点を結び、大規模シミュレーションの生成データを共有して研究推進を図ることを目的とする International Lattice Data Grid を構築し、それを共通基盤として、国際的な研究協力体制を構築することにより、素粒子物理学の理論的研究を推進することを目的とする。以下、具体的目標を記す。

A 学術研究

計算素粒子物理学分野の基本データを国際的に相互に共有する枠組みである International Lattice Data Grid を構築する。参加各国に基本データを保持するサーバ群を構築し、データの相互利用を可能とする国際標準及びデータベースとソフトウェアを開発する。さらにデータ共有の体制構築を基盤として、具体的物理テーマについての共同研究をも実施する。特に、素粒子標準理論を確立する上で極めて重要な、重いクォークの研究、高温高密度物質の物理性質の解明、非摂動ダイナミクスを取り入れた物理量の計算方法に重点を置いての共同研究を行う。

B 若手研究者養成

本計画には、研究機関研究員及び学振研究員等の若手研究員、さらには大学院生も積極的に参加させ、これら若手研究者の相手国への派遣や、学生等のワークショップへの参加をサポートする。このような国際交流により、我が国の若手研究者に対して、研究課題自身の発展は勿論のこと、英語力の伸張や討議能力の涵養など、国際的な舞台で研究を進めるために必要な能力を育てる。

C 国際的学術情報の収集整備

本計画で構築する International Lattice Data Grid により、従来の学術情報あるいは情報網でイメージされる学術論文や出版物の収集整備とは全く異なり、研究の最終成果物を引き出すための基礎的な研究材料の整備を行う国際的な仕組みを構築する。これは本分野のような理論研究においては新しい試みであり、当該分野の進展には大きな役割を果たすことが期待される。

D 事業の波及効果

本事業は日・米・英・独・伊を中心とした計画であるが、最先端科学である計算素粒子物理学の連携組織としての International Lattice Data Grid のアイデアは本来全世界的なものであり、特にアジアの一国としての我が国の視点からは、最近当該分野においても成長の著しい韓国・台湾・中国・インド等のアジア・オセアニア諸国への拡大が期待される。

今後の当該分野の発展にとり、このような世界的規模での連携と協力は極めて必要且つ重要であり、また同時に、我が国における研究環境自身が、諸外国研究者の絶え間ない滞在・訪問により国際的な舞台へと成長する事が期待される。

さらに、International Lattice Data Grid は、学術研究資料自身を収集整備する機能を有する組織であるが、このような枠組みの有効性は、当該分野に留まらず、基礎科学全般においても有効と考えられ、本計画がその先鞭となる事が期待される。

交流目標の達成状況

A 学術研究

1) International Lattice Data Grid (ILDG) の構築

基本データを共有するためのデータ記述の方式及び保存形式について、XML 記述による世界共通標準 QCDml 及び data binary format を制定した。また、国際的なデータ検索の標準インタフェースアーキテクチャを制定した。これらの制定結果は文書化され、ILDG web page <http://www.lqcd.org/ildg/> において世界の研究者に公開された。さらに制定された国際標準に沿って各国の ILDG のデータサイト構築が進められた。各国のサイトは次のとおりである。

日本：<http://www.lqa.ccs.tsukuba.ac.jp/> Lattice QCD Archive サイト。このサイトは本計画の拠点である計算科学研究センターにて開設・運用している。

米国：<http://www.lqcd.org/scidac/> 及び <http://qcd.nersc.gov/>

英国：<http://ukqcd.epcc.ed.ac.uk/community/ILDG/>

独国：<http://www-zeuthen.desy.de/latfor/ldg/>

現在、各国のサイト構築は最終段階にあり、平成18年6月を期して、公式運用開始の予定である。以上の準備は年2回(12月及び5月)の ILDG Internet Workshop 及び年1回の Technical Meeting において進行状況の相互報告と方針検討を行いつつ進められた。

2) 国際共同研究

重いクォークの研究、高温高密度物質の物性質の解明、非摂動ダイナミクスを取り入れた物理量の計算方法を軸に、up, down strange の三つの軽いクォークを全て動的に扱う、いわゆる $N_f=2+1$ 格子 QCD 大規模シミュレーションの研究が進められた。特に、非摂動くりこみについて、独国拠点との間での共同研究が進み、軸性カレントの改善係数の決定および QCD 結合定数の決定が進められた。また、 $N_f=2+1$ 格子 QCD シミュレーションについては本計画拠点の計算科学研究センター所有 CP-PACS、KEK の SR8000、地球シミュレータ等を用いた大規模計算がまとまった。中間子スペクトルによる QCD の 1% 精度の検証などに加えて、特に重要な成果として自然界の基本定数であるクォーク質量の決定が行われ、 $m_d=3.49(15)\text{MeV}$ 及び $m_s=90.9(3.7)\text{MeV}$ を得たが、これらは現象論的に用いられてきた値の約 2/3 である。以上の成果は、学術論文 8 編、国際会議発表 14 編において公開された。

B 若手研究者育成

本計画のメンバーは、平成16年度(計20名)が教授助教授8名に対し若手12名(講師3名・助手5名・研究員2名・院生2名)、平成17年度(計25名)が教授助教授10名に対し若手15名(講師3名・助手6名・研究員3名・院生3名)であり、若手中心の構成を行った。

国際的な場で活躍できる若手の育成には、海外研究者との直接の接触や国際的な会合における成果発表が最大の教育であることから、本事業では、研究交流及び共同研究を目的としての若手の海外派遣を、平成16年度は9名/201人日・平成17年度は4名/37人日を実施した。また本事業では合計4回のセミナーを実施したが、特に若手の講演には割り振り数及び時間を十分に与え、国際舞台での経験を積ませた。若手のセミナーへの出席は平成16年度15人/75人日・平成17年17人/98人日である。

以上の結果、事業期間中の博士号取得3名に加えて、本計画を契機として、本事業参加若手の中から2名の海外 PDF 採用(米国1名、独国1名)が決まった。

C 国際的学術情報の収集整備

本事業の重要目標は、格子QCDの基本配位データの蓄積と共有を実現する International Lattice Data Grid の構築である。全世界揃っての正式稼働は平成18年6月であるが、各国でそれに先立ち基本配位データの蓄積が進められている。日本サイトである Lattice QCD Archive には、本事業終了時点で、 $N_f=2$ 及び $N_f=2+1$ シミュレーションによって生成された 27,800 件、5.59 テラバイトのデータ蓄積が行われ、その 2/5 が既に世界公開されている。平成17年6月から平成18年3月までの期間のダウンロード件数は 17,500 件であり、具体的にこれらの基本データを利用した研究が海外において開始されており、データベース利用が順調に伸長している。

D 事業の波及効果

本事業にはアジア・オセアニア諸国からの強い関心が寄せられ、セミナー等には研究者・院生の出席を受け入れた他、オーストラリアが ILDG への参加表明とデータサイトの構築を開始するなど、一定の波及効果があった。

また、様々の分野においてデータグリッドの構築計画は多数あるが実際に稼働・機能している例は必ずしも多いとは言えず、特に理論計算科学分野において本事業が有効性を実証しつつある事は意義深いと考えられる。

さらに、本事業において必ずしも想定していなかった重要な波及効果に次の二点がある。

1) 格子QCD分野の基本データ生成はスーパーコンピュータを用いて行われるため、多大の予算的・人的資源の投入が必要であり、その利用についてはデータ生成を行ったグループの優先権と、共有による分野全体の発展の相反する二つの面がある。本事業の推進を通じて、世界的に共有への理解と賛同に意見が大勢と占めるようになったことは、国際的な枠組みの中で当該分野の研究を推進する上で大きな成果である。

2) また、国際交流や共同研究を以前から当然行われていたが、本事業を契機として、これらの国際的活動を定常的に且つ世界的なコーディネーションの基に実施しようとの方向が共通の認識となったことも重要な波及効果である。

実施状況

研究交流計画実施にあたる実施体制

本計画は当初、日本・米国・英国・独国をメンバーとしていたが、平成17年度には当該分野の研究を活発に行っている伊国を追加した。

事業計画の国際的な策定・調整は、日本側コーディネータである宇川を中心として、メンバー国コーディネータ(米国 Paul Mackenzie、英国 Richard Kenway、独国 Karl Jansen、伊国 Guido Martinelli)があたり、各国の国内調整には、それぞれの連携組織があたった。各国の連携組織は以下のとおりであり、本事業への参加者を中心メンバーとしている。なお、伊国は公式の連携組織はなく INFN(イタリア国立原子核研究機構)を通じて活動を行っている。

日本：Lattice Field Theory Forum (拠点数 23)

米国：US National Infrastructure for Lattice Gauge Theory (拠点数 34)

英国：UKQCD (拠点数 7)

独国：LatFor (拠点数 23)

本事業は International Lattice Data Grid と密接に関係している。ILDG にはメンバー国代表を委員とする ILDG Board(平成18年度委員は、Akira Ukawa(日本)、Richard Brower(米国)、Richard Kenway(英国)、Karl Jansen(独国)でいずれも本事業参加者)が設置されており、ILDG 全体の調整と方針策定を行っている。本事業の遂行に当たっては、年2回の ILDG Internet Workshop 及び総計4回実施したセミナーにおいて ILDG との調整を図りつつ進めた。

日本側拠点機関における研究交流課題への取り組み(事務支援体制等の観点より)

本事業の事務支援は、日本側拠点機関である筑波大学計算科学研究センターにおいて一括して行った。本事業は、研究者交流・共同研究・セミナー開催を中心とするものであるため、国外及び国内出張に関わる旅費・滞在費関係事務、国内におけるセミナー開催に当たっての準備関係事務等が主たる事項である。業務の実際はセンター事務職員が業務時間内に行ったが、件数が多数にわたるため多大の労力を要した。また、事業の性質上、英語等による作業も発生した。これらは国際的な交流事業に共通の特徴であるため、今後は一定の effort 割合をこのような事業に割り当てて、専門的に担当することのできる職員の実施体制が望ましい。

共同研究

本事業においては、素粒子標準理論を確立する上で重要な課題を中心に共同研究を実施した。

国内的には、事業拠点である筑波大学計算科学研究センターを中心に組織された共同研究グループ CP-PACS Collaboration 及び KEK を中心とする JLQCD Collaboration により、 $N_f=2+1$ 格子 QCD 大規模シミュレーションを実施し、中間子スペクトルによる QCD の 1% 精度の精密検証と、自然界の基本定数である up, down, strange の三つの軽いクォークの決定に成功した。連続極限への外挿を系統的に行った近似なし計算は世界的にも初めてである。

海外拠点との間では、以下の4つの共同研究を実施した。

(1) ILDG に向けた metadata 国際標準の策定及び middleware の開発

i) ILDG の稼動に向けて、データの内容記述形式(metadata)と記録形式(binary format)の国際標準の策定を行った。内容記述形式の策定には ILDG において Metadata ワーキンググループが設置され、その主査を本事業メンバーである吉江友照が務め、XML 形式による国際標準 QCDml を取りまとめた。また、データ記録形式についても当該ワーキンググループがその任にあたり、Binary format を制定した。これらの標準は QCDml v1.1 及び binary format v1.0 として文書にまとめられ、ILDG web page に国際公開されている。

ii) 基本データのサーチ・ダウンロードを行うための middleware の開発を行った。特に、各国データサイトを国際的に相互運用可能とするためのインターフェースアーキテクチャの標準化を行った。このための参加各国の研究者の技術検討会議を、英国 Edinburgh (平成16年10月25日-27日) 及び筑波 (平成17年10月27日-28日) において開催し、middleware アーキテクチャを決定した。同意事項は技術ドキュメントとして ILDG web page に整理・公開されている。

(2) 非摂動くりこみの研究

格子 QCD による高い信頼度の予言の鍵となる非摂動くりこみについて、QCD 結合定数の決定及び軸性ベクトルカレントの高精度決定に関する共同研究を日・独及び日・米の国際協力により実施した。特に前者については当該テーマを研究主題とする院生をドイツ側拠点に長期派遣して実地協力を行わせた。当該院生は早期に博士号を取得し、平成17年秋からドイツ側拠点の PDF に採用されている。

(3) オブジェクト指向格子 QCD コードの開発

各種格子 QCD 専用計算機の開発が行われる一方、計算に採用される作用も様々になり、コード開発を標準化する必要性が強くなっている。この点については米国に一日の長があり、主として日本から米国への派遣調査と現地での共同研究を実施して C++ によるコード体系構築の基本作業を行った。

(4) 格子 QCD の展望

本事業による ILDG の構築とそれによる国際的な研究環境の実現を念頭において、今後推進すべき計算素粒子物理学のテーマの精査並びに問題解決の手法の検討のために、日本・米国・英国・独国・伊国の主要研究者による検討会議を平成17年10月31日-11月11日にわたり奈良において開催した。作用の改善、非摂動くりこみ、カイラル外挿、カイラル対称作用によるシミュレーションの現状と今後等の重要課題について9件の集中講演及び討論を行った。検討結果は報告書として World Scientific 社より出版予定である。

セミナー

本事業の目標は国際的な計算素粒子物理学の拠点形成である。セミナーにおいては、1)その実現に向けての国際的なデータ共有の枠組みとしての ILDG の構築に関する状況報告と討論、2)本事業の重点とする格子 QCD 分野の最新の研究動向に関する情報交換と討議、を目的とし、6ヶ月間隔で事業参加各国持ち回りの開催とした。都合4回にわたるセミナーの概要は以下のとおりである。

これらのセミナーにより、世界各国の研究者が定期的に研究成果のみならず研究計画についても情報交換・討議する機会を得、世界的な枠組みで研究の進め方自体に関して意見交換や計画調整を行うようになったことは大きな成果と考えている。

平成16年度

第1回「Lattice QCD Simulations via International Research Network」(平成16年9月21日～24日・伊豆)参加者42名(米国6名・英国8名・独国4名・日本24名)

日・米・英・独における格子 QCD 研究の現状と今後の方向性について、特に各国でセミナー開催時点で運用の開始が予定されている格子 QCD 専用計算機とそれによる物理プログラムについての報告と討議があり、ILDG による生成データの共有と有効利用を考える上での、共通理解を促進することができた。

第2回「From actions to experiments」(平成17年3月7日～10日・エディンバラ)参加者50名(米国6名・英国25名・独国1名・日本18名)

格子 QCD の重点課題毎に過去6ヶ月の発展を報告する講演が行われ、特に、平成16年冬から英国と米国で稼働を開始した QCD 専用機 QCDOC の状況及び最初の結果の報告が行われ、今後6ヶ月の研究方向の討議が行われた。また、日本における専用機の開発予定の報告がなされた。

平成17年度

第3回「Toward physics at the physical quark masses」(平成17年10月3日～6日・ニューポートニューズ(米国))参加者45名(米国27名・英国5名・独国2名・日本11名)

米国及び日本を中心とした $N_f=2+1$ 格子 QCD 大規模シミュレーションの状況が報告され、10テラフロップクラス計算機の稼働開始によって格子 QCD 研究が新たな段階に入っている状況と、ILDG における共有データの公開に向けてメンバー各国における準備状況が進捗していることについて共通理解を得ることができた。

第4回「Lattice QCD Simulations via International Research Network」(平成18年3月8日～11日・葉山)参加者32名(米国12名・英国2名・独国1名・日本17名)

本事業の最終回として、ILDG 構築の状況報告及び利用形態の討議、並びに次年度以降のプロジェクト計画についての討議を行った。ILDG に関しては平成18年6月の世界一斉稼働開始の確認を行い、また次年度以降も本事業の継続を図ること、また事業内容については ILDG による成果の追求に加えて、国際的な若手育成のための advanced international school の各国持ち回り開催などを織り込んだ新たな提案を準備することとなった。

研究者交流

若手研究者を中心に、なるべく長期にわたる海外拠点への派遣に重点を置き、特に滞在先において相手方グループとの共同研究が実現することに重点をおいた計画実施を図った。共同研究に分類した海外派遣もこのような意味合いを併せ持つが、研究者交流においては研究員・院生を中心に考え、共同研究においては若手講師・助手を中心に計画した。これに対して4回のセミナーにおいては、研究員や院生にも極力講演を行わせることによって、国際舞台での知名度の向上とスキルの涵養に努めた。

研究者交流及び共同研究のために海外派遣の実績は、平成16年度が9名/201人日、平成17年度が4名/37人日である。特に平成16年度の1名(院生)及び平成17年度の1名(研究員)については、これらの海外派遣において相手先との共同研究等が実現し、これを契機として独国及び米国におけるPDF採用が決まる成果が上がっている。