

# Activity Report 2018

## Computing Research Center



© High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 2020

KEK Reports are available from:

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba-shi  
Ibaraki-ken, 305-0801  
JAPAN

Phone: +81-29-864-5137  
Fax: +81-29-864-4604  
E-mail: [irdpub@mail.kek.jp](mailto:irdpub@mail.kek.jp)  
Internet: <https://www.kek.jp/en>

# Activity Report 2018

Computing Research Center

令和元年 9 月



## 巻頭言

計算科学センターにおける 2018 年度の大きな出来事としては機構基幹ネットワークの更新がありました。さらに、高エネルギー加速器研究機構としては、2018 年夏に機構のメインプロジェクトである Belle II 実験の Phase2 が成功裏に終了し、無事初衝突事象が観測されました。2019 年春からの本格的な物理測定実験開始となる Phase3 も、いくつかの問題がありながらも、概ね目的を達成したと聞いています。Belle II 実験では、収集された実験データを 世界中の共同研究機関の計算センターに分配し重複して保管しつつ、解析を協力して進めるための分散コンピューティング GRID の枠組みを用います。計算科学センターは Belle グループと協調して、実験グループ側要望に出来るだけ沿えるようにネットワーク、計算・ストレージ資源、ミドルウェアの用意を進めてきており、今後本番を迎えることとなります。Belle II 実験は今後飛躍的に入射ビームの衝突頻度を増し、その結果として実験データの増大をもたらします。これに備える意味もあり 2020 年には、中央計算機システムの更新を予定しています。以前の調達においては 4~5 年ごとの更新により、同じ予算で、計算能力も、ストレージ容量も更新前システムの数倍の性能を調達できていました。しかしながら、ここ数年位前から、ムーアの法則（半導体の集積度が 1.5 年で 2 倍になる）の限界が論じられ、CPU はクロック速度が頭打ちとなり、ストレージにおいても、例えばハードディスクのコスト当たりの年容量変化が年率 20%から徐々に低下してきています。このような中、限られた予算で実験グループの需要を満たすことは益々困難になっていくことが予想されます。

話は変わりますが、2018 年度は計算科学センター長である私が、機構の統括情報セキュリティ責任者を務めさせていただいておりました。大学共同利用機関法人である機構においては、情報セキュリティの安全性と利便性のバランスをとることが特に重要ですが、利便性向上を促進すべき計算科学センター長と、統括情報セキュリティ責任者の兼任は「情報セキュリティ対策の運用において、許可者と申請者を兼務してはならない」という対策基準の理念に反するとの指摘もありました。2019 年度より新規に統括情報セキュリティ責任者先任の職を設けることになり、新たに外部から一井信吾氏が就任されました。今後は新たな視点で機構の情報セキュリティ行政を導いていただけると期待しています。

最後となりましたが、2019 年 6 月をもって、長年機構の情報セキュリティ維持に尽力いただいていた馬場亮一氏が転出されました。熱心な情報収集により、危険を寸前に回避できたことが何回もあるだけでなく、関連機関との連携など、馬場氏の手腕・努力が機構の情報セキュリティに果たした役割は大変大きなものがありました。氏の新天地でのご活躍をお祈りいたします。

2019 年 12 月 真鍋 篤



# 目次

## 第 I 部 研究活動

1. Geant4	3
1.1 Geant4 コラボレーションの運営	3
1.2 講習会の開催	3
1.3 Geant4 の高速化	4
2. 素粒子理論における高次補正の自動計算	9
2.1 はじめに	9
2.2 ファインマングラフ数	9
2.3 Direct Computation Method	10
2.4 2ループ補正数値計算の自動化	11
2.5 多倍長精度積分計算専用アクセラレータの開発	13
3. 格子ゲージ理論シミュレーション	14
3.1 格子ゲージ理論の大規模シミュレーション	14
3.2 計算科学のためのアルゴリズムとシミュレーション手法の研究	15
4. 中性子用オブジェクト指向データ解析システム	17
4.1 データ解析フレームワーク “Manyo Library” の研究開発	17
4.2 ソフトマターのシミュレータの研究開発と高分子基礎物性	18
5. データベースの有効活用に関する研究開発	19
6. 統計的手法の物理解析への応用と数値シミュレーション	20
6.1 はじめに	20
6.2 渋滞形成の実験的・理論的解析	20
6.3 インターネット通信の DFA による解析	21
7. メニーコアプロセッサ演算システムにおけるシミュレーションのプログラム研究開発	23

8. DAQ システム	24
8.1 概要	24
8.2 Belle 2	24
8.3 T2K	26

第 I 部  
研究活動



# 1. Geant4

佐々木 節、尼子 勝哉、岡田 勝吾、小井 辰巳、陳 叶、村上 晃一

Geant4 の維持、開発は、世界中の研究機関共同による Geant4 コラボレーション組織の下で行われている。計算科学センターは、日本グループの活動のホストとしての役割を果たしている。また、ユーザサポートとして、研究会や講習会などを定期的に行っている。研究開発面では、Geant4 の高速化への取り組みや、医学応用など学際分野への展開を行っている。

## 1.1 Geant4 コラボレーションの運営

Geant4 コラボレーションでは、様々な委員会のもと、コラボレーションの運営が図られている。日本グループからも Oversight Board や Steering Board の委員として、コラボレーションの運営に携わっている。日本グループは、トラッキング、粒子と物理過程、ユーザインターフェース、可視化、ドキュメンテーション管理、ウェブサービスなど主要な部分の責任者となり、Geant4 の開発に主要な貢献を果たしている。計算科学センターからは、佐々木、村上が Steering Board の委員、尼子が Oversight Board の委員、佐々木が Geant4-DNA の副スポークスパーソン、岡田が Geant4-DNA の Steering Board の委員となっている。2018 年度は Geant4 v10.5 のリリースと 3 件のマイナーパッチを公開した。

## 1.2 講習会の開催

ユーザサポート活動として、研究会や講習会を定期的に行っている。2018 年度は、9 月 25 日から 27 日にかけて、北海道大学大学院工学研究院との共催で医学応用コースと検出器コースを開催した。それぞれのコースでシミュレーションの目的に特化した講義演習を行った。医学応用コースは 15 名、検出器コースは 20 名の参加があった。講習会の教材として、Geant4 の最新版(v10.4)に準拠した日本語版の講義資料一式を作成した。また、演習環境として、Geant4 の最新版をインストールした仮想マシンも同時に公開して演習に利用している。医学応用向けには、我々が開発した Geant4 ベースの粒子線治療シミュレータ PTSIM を中心に講義を行った。講習会に引き続いて、9 月 27、28 日に Geant4 医学応用研究会を開催した。36 名の参加があり、Geant4 の医学応用に関して 12 本の講演があった。

## 1.3 Geant4 の高速化

2017 年度から 4 年間の研究期間で、科研費基盤研究(A)「放射線シミュレータの革新」(研究代表者 佐々木)の研究課題が採択された。GPU を使った放射線シミュレーションの高速化と、その成果の応用的展開を継続して実施していく。7 月からは陳が科研費研究員として採用され、研究開発に携わっている。また、小井氏が共同研究の研究員として着任し、共同研究開発を行った。

Stanford 大学 ICME、SLAC との共同研究で、MPEXS (Massive Parallel Electrons and X-rays Simulation)の開発を行っている。NVIDIA の GPU ハードウェア環境を対象として、CUDA を使って、プログラムの実装を行っている。Geant4 と同様の粒子輸送アルゴリズムを GPGPU の超並列環境下で実現し、Geant4 の物理過程を CUDA に移植している。Geant4 シミュレーションの物理の精度を保ちながら、計算速度を飛躍的に向上させることに成功した。Volta 世代や Turing 世代の新しい GPU を利用することで、電磁相互作用の計算速度に関しては、Geant4 を使った CPU の計算に比べて 500 倍以上の高速化を達成している。また、MPEXS の拡張として、放射線治療のエネルギー領域でのハドロン、中性子物理相互作用の実装、マイクロドジメトリシミュレーションへの応用展開を行っている。

### 1.3.1 マイクロドジメトリ・シミュレーションへの応用展開

Geant4-DNA は、細胞レベルの放射線シミュレーションを通し、細胞の放射線損傷の定量的評価を行うことを目的とした Geant4 の拡張パッケージである。フランス・ボルドー大学 CENBG を中心に活動しており、我々のグループも研究に参画している。

Geant4-DNA では数 meV オーダーまでの超低エネルギー領域、ナノスケールでのシミュレーションを行う。低エネルギーでの電磁相互作用の物理過程に続いて、化学過程、生物学過程のマルチスケールシミュレーションを通し、最終的には放射線による DNA 損傷等の定量的評価を行うことを目的としている。物理過程では細胞核内部における荷電粒子のトラック微細構造をシミュレーションし、領域内のエネルギー付与分布を計算する。化学過程では水分子の放射線分解で生成した各種活性種の化学反応シミュレーションを実行する。生物学過程では、荷電粒子・活性種と DNA 分子との相互作用点での DNA 損傷の定量的評価を行う。シミュレーションでは、粒子あたり数万個以上もの二次粒子と活性種が生成される。それらを全てモンテカルロ法でトラッキングするため、非常に長い計算時間を必要とする。

岡田が中心となって、GPGPU によるマイクロドジメトリ・シミュレーションの高速化を行っている。MPEXS のフレームワーク内で、Geant4-DNA の物理過程と化学過程のシミュレーションを可能とした MPEXS-DNA を開発した。Geant4-DNA や他のシミュレーションコード、実験結果との比較を行い、MPEXS-DNA がこれらを再現することを確認した(図 2)。NVIDIA TITAN V を 1 基使うことにより、CPU 3,000 コア相当の計算速度の向上

に成功した。本研究成果は、米国の医学物理学学会誌である *AAPM Medical Physics* に投稿し、2019年3月に掲載された。また、2018年10月にフランス・ボルドーで開催された *Third Geant4 International User Conference at the Physics-Medicine-Biology frontier* において、岡田が口頭発表を行った。

GPUデバイスでの超並列計算により、マイクロドジメトリ・シミュレーションの物理過程及び化学過程の高速シミュレーションが可能となった。今後は、MPEXS-DNAによるDNA損傷の定量的評価を行っていく。ボルドー大学の共同研究者らが既にDNA損傷の評価モデルの開発を行っている。MPEXS-DNAでDNAの放射線損傷の定量的評価を可能とするため、継続してボルドー大学と連携し開発を進めていく。

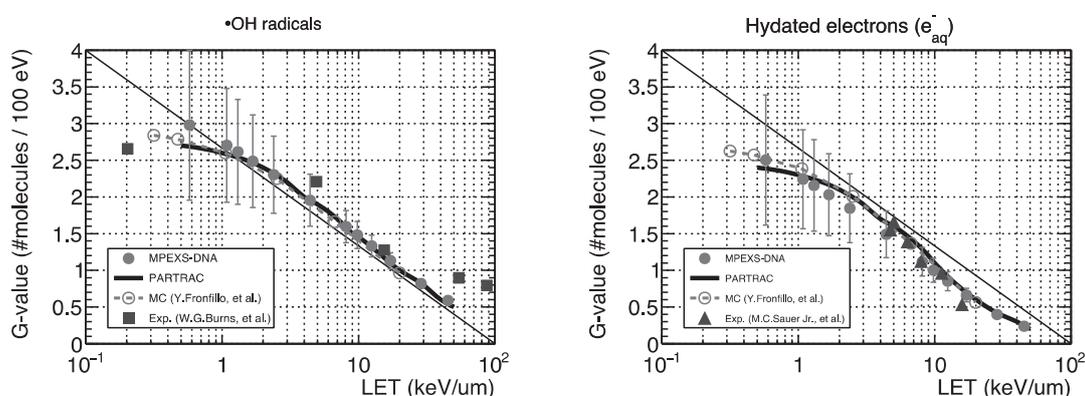


図1 活性種の生成量 (G-Value) と LET (線エネルギー付与) との相関関係の MPEXS-DNA とその他モンテカルロ・シミュレーション結果、実験結果との比較

### 1.3.2 粒子線治療への応用

名古屋陽子線治療センターと共同で、粒子線治療施設でのモンテカルロ計算への応用展開の研究を行っている。中間エネルギー領域(数百 MeV 以下)でのハドロン物理の MPEXS への実装を行った (MPEXS-h)。カスケードモデルとしては *Binary Cascade* モデルを採用し、より低エネルギー領域では *Pre-compound* モデル、脱励起過程を *Geant4* のハドロンパッケージから移植した。MPEXS-h の実装の検証作業として、陽子線のブラッグ曲線について、名古屋陽子線治療センターで行われている *Geant4* を使ったシミュレーション、実測データで比較を行い、よく再現できていることが示せた (図 2)。より詳細な検証作業を行い、コードの精度を向上させていく。現在は、陽子線に対してのみ検証作業を行っているが、今後は、炭素線に対しても検証作業を行い、炭素線施設にでも応用可能となるようにする。また、ハドロン相互作用は計算処理の分岐が多いため、スレッドダイバージェンスが大きく、電磁相互作用の場合と比較して性能が出ない。スレッドダイバージェンスによる性能低下の改善は、今後の課題となる。この研究成果は、PTCOG2018、IUPESM 2018 の放射線医

学応用の国際会議にて、名古屋陽子線治療センターが発表を行った。

## Verification

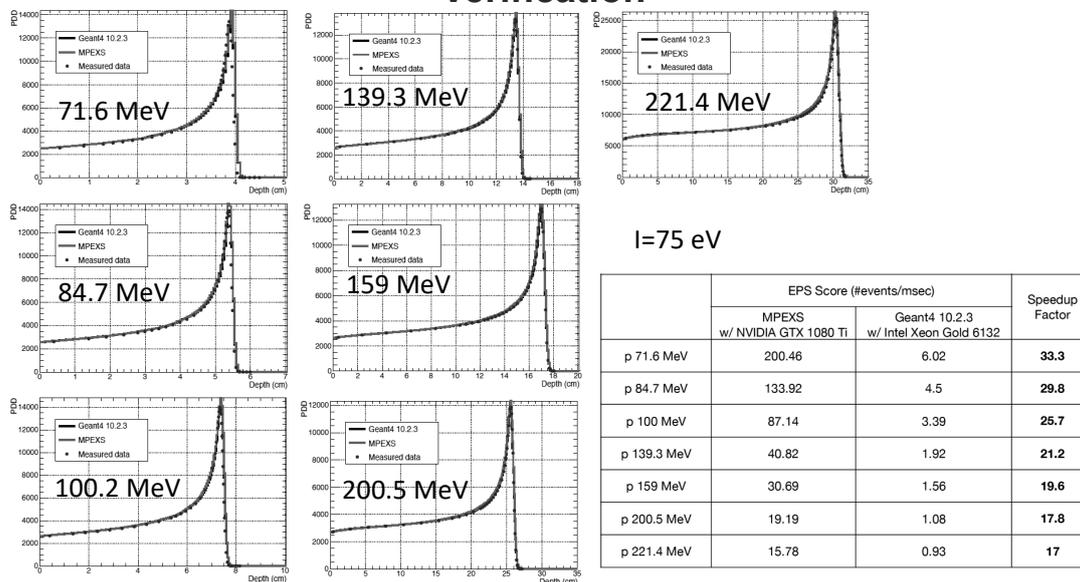


図2 MPEXS-hのブラッグ曲線の検証作業

MPEXS-h, Geant4, 実験データとの比較

### 1.3.3 中性子シミュレーションへの応用

小井が中心となって、MPEXS の中性子コードの開発を行った (MPEXS-n)。中性子シミュレーションの高速化の需要は高く、BNCT による放射線治療や、遮蔽計算への応用が期待できる。Geant4 の LEND パッケージを MPEXS へ移植した。水と中性子との反応に関して、熱中性子散乱則  $S(\alpha, \beta)$  効果を実装し、実際の中性子シミュレーションが行えるようにした。Geant4 での中性子シミュレーションに比べて、100 倍以上高速化することに成功した。図3には、中性子シミュレーションの性能テストの例として、複数の世代の GPU カードでの性能比較を示した。同じ内容のシミュレーションを、開発中の 3 種類のジオメトリモデルで行っている。開発中のジオメトリモデルと新しい世代の GPU を利用することで、飛躍的に性能を向上できた。

MPEXS-n (iso) EPS performance

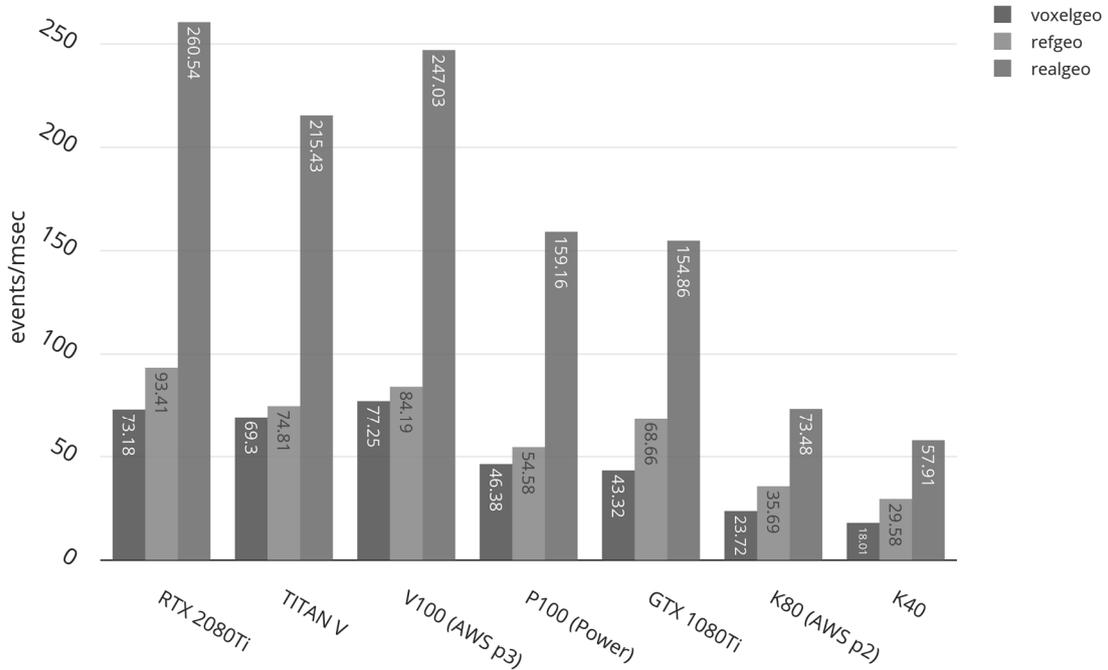


図 3 MPEXS-n による中性子シミュレーションの GPU 機種による性能比較

### 1.3.4 レイトレーシングを用いた新しいジオメトリモデルの開発

MPEXS の開発初期段階では、ジオメトリに関しては、ボクセルジオメトリのみを対象としてきた。これは、スレッドダイバージェンスによる性能低下が予想されるためである。MPEXS の応用範囲を広げるためには、より一般的な幾何学形状を扱う必要がある。そこで、汎用ジオメトリを扱うためのジオメトリモデルの開発を行っている。Bounding Box によるボリューム探索とレイトレーシング法を利用し境界判定を行い、ジオメトリ中のトラック輸送を行っていく。GPU は本来、レイトレーシングを行うのに非常に適したデバイスである。最新の Turing アーキテクチャでは、ハードウェアでレイトレーシングを行うことが可能で、劇的に性能向上する。MPEXS でも将来的には、NVIDIA のレイトレーシングライブラリ OptiX を利用して、トラッキングの性能を向上させることも考えている。また、CAD ジオメトリとのインターフェースも将来的な検討事項である。図 4 には、新しいジオメトリモデルを利用したシミュレーションの可視化例を示す。可視化には、VTK ライブラリを利用している。

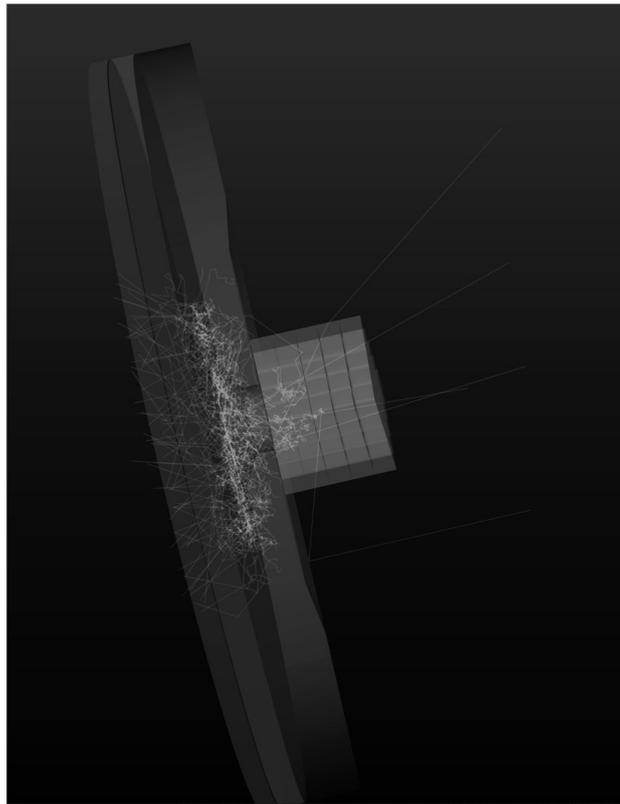


図 4 新しいジオメトリモデルによる MPEXS のシミュレーション

## 2. 素粒子理論における高次補正の自動計算

金子 敏明、石川 正、湯浅 富久子

### 2.1 はじめに

素粒子物理学では、標準模型やそれを超える模型などが提唱され、物質の元となる素粒子の性質や時空の理解を進めようとしている。高エネルギー加速器による素粒子実験のデータを理解するため、これらの素粒子の模型を使って素粒子物理学の場の理論に基づき Lattice QCD のような非摂動的な扱いを行う方法と、摂動的に行う方法等があり、コンピュータを用いた理論的研究が進められている。我々は与えられた物理模型 (ラグランジアン) から、摂動的に素粒子衝突反応の断面積を計算機で自動的に数値計算を行うためのシステム開発を行ってきた。近年の加速器実験 (LHC、ILC) においては、高エネルギー衝突で起こる様々な現象を高精度で測定し、標準模型の厳密な検証や標準模型を超えた物理を探索することが期待されている。実験データを解析して素粒子の性質などを精密に分析するためには、多様な素粒子衝突反応の高次補正を含む精密な大規模な理論計算が不可欠で、自動計算システムの構築が進められている。自動計算システムでは、場の理論の記号処理的な取扱いから数値計算法まで様々な要素技術が必要で、これらは計算科学にも密接に関係するため計算科学センターにおいて研究開発を行っている。

摂動論で取り扱うのは、ファインマングラフの計算であり、高次の場合には、ファインマンループ積分が出現する。この積分に関する研究としては、ループ積分をマスター方程式にリダクションする部分積分方法、特異性を抽出するセクター分解法、Mellin-Barnes 変換する方法、マスター方程式を微分方程式にする方法、最も一般的な形である超幾何関数で表現する方法などがあり、世界中の多くの研究者が研究を進めている。

ここでは、「精密時代」に突入した加速器実験に対応できるよう、計算科学センターで進めている高次の輻射補正計算の数理的方法の拡張と数値計算法等について述べる。

### 2.2 ファインマングラフ数

素粒子理論の摂動論では、ファインマングラフを元にして計算が行われる。特に高次ループのファインマングラフ数は急速に増大するため、数え落としや重複なくファインマングラフを生成することは、これらすべての計算の基礎として極めて重要である。

従来 GRACE システムではグラフ理論に基づく orderly アルゴリズムにより作成したプログラム `gnc` を用いていた。今回、オランダ NIKHEF 研究所で行われている FORM プロジェクトにファインマングラフ生成プログラムを組み込みたいとの要望があり、共同

研究を開始した。

現行の `grc` プログラムでは、対象となる素粒子反応に外線を含まない場合にはグラフが生成できない。また、生成したグラフから抽象した `topology` と、`topology` のみを生成した場合とではそれらの集合が一致せず前者には重複した `topology` が現れる。これはグラフ生成の高速化のためであったが、利便性を損なう可能性がある。これらの問題点を解消するため、新たなプログラムを作成することとした。同時にライブラリとしての利用および生成されたグラフの詳細なデータの提供を可能とした。現在 `FORM` プロジェクトに提供を開始した。

`FORM` プロジェクトでは、これに対応してプログラムの改変を行い、電子陽子深非弾性散乱反応への 4 ループ計算において `FORM` プロジェクトの過去の計算結果との一致をみている。

本研究は金子が行っている。この研究の一部については `ACAT2019` 会議における `FORM` プロジェクトに関する口頭発表 T. Ueda, T. Kaneko, B. Ruijl, J. Vermaseren, “Further developments of Form” に含まれている。

## 2.3 Direct Computation Method

摂動論の高次補正の計算に現れるファインマン積分は多次元複素積分であり、被積分関数は多変数の有理関数となっている。スカラー積分の場合は

$$\mathcal{I} = \frac{\Gamma(N - \frac{nL}{2})}{(4\pi)^{nL/2}} (-1)^N \int_0^1 \prod_{r=1}^N dx_r \delta(1 - \sum x_r) \frac{C^{N-n(L+1)/2}}{(D - i\rho C)^{N-nL/2}}$$

で与えられる。ここで、 $L$  はループの数、 $N$  はループの内線の数、 $n$  は時空の次元数で、 $n = 4$  あるいは  $n = 4 - 2\varepsilon$  をとする。 $C$  および  $D$  はファインマン変数  $x_r$  の多項式で、 $C$  はファインマン変数のみから成り、エネルギーや運動量などの量は  $D$  のみに含まれる。この積分は、物理的な条件により被積分関数の分母が 0 となることによる発散、赤外発散および紫外発散などをもつ場合があり、これを取り扱う処方が必要となる。我々は、ループ積分を解析的な方法を用いず全てを数値計算で行う方法（`DCM` : Direct Computation Method、直接計算法とよぶ）の開発を進めている。`DCM` では、発散を回避するために導入されたパラメータ、 $\rho$  と  $\varepsilon$  を有限な数列で与えて数値積分を実行し、各パラメータに対応する結果の数列を得、その極限を加速法で求めている。すなわち、`DCM` は数値積分法と加速法の組み合わせである。

精度よく多次元積分が実行できれば、どのような積分法を用いても良く、また、どのような加速法で加速しても良い。これまでは、数値積分法として、`QuadPack` パッケージに含まれている最適型 `Gauss-Kronrod` ルーチン、`ParInt` パッケージおよび二重指数関数型積分法を多用してきた。加速法には、`Wynn` のイプシロン算法と線形ソルバーのルーチンを使って

きた。

2018 年度には、QMC (Quasi Monte Carlo)法 による数値積分を DCM に取り入れた。この方法で、ループ積分のように積分領域の端点に特異性を有する被積分関数を取り扱う場合、A. Sidi の  $\sin^m$  変換を施してから Rank-1 lattice rule による QMC 法で積分を実行している。図 1 に  $m=6$  の場合の Sidi 変換の一例を下図に示す。

## Sidi's $\sin^m$ Transformation

$$\Psi_m(t) = \frac{\theta_m(t)}{\theta_m(1)} \quad \theta_m(t) = \int_0^t \sin^m(\pi u) du$$

$$\Psi_6(t) = t - (45 \sin(2\pi t) - 9 \sin(4\pi t) + \sin(6\pi t))/(60\pi)$$

$$\Psi_6'(t) = \frac{16}{5} \sin^6(\pi t).$$

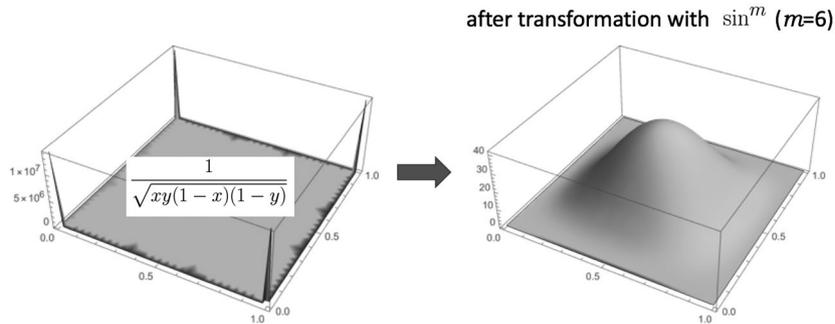


図 1  $m=6$  の場合の Sidi 変換の例

QMC 法は次元数が高い時にも有効であることが知られており、7 次元積分以上の次元数となる 3 ループおよび 4 ループのファインマンループ積分を対象に性能評価を行った。KEK スーパーコンピュータ 睡蓮等アクセラレータを搭載するコンピュータを利用して得られた成果を、国際ワークショップ ACAT2019、国際会議 ICCES2019 および日本物理学会で口頭発表した。

本研究は、E. de Doncker (ウェスタンミシガン大学)、加藤潔 (工学院大学)、台坂博 (一橋大学)、中里直人 (会津大学) と石川・湯浅が共同で進めている。

## 2.4 2 ループ補正数値計算の自動化

素粒子物理学では 2012 年のヒッグス粒子の発見により標準模型の精密な検証および標準模型を超える粒子を探索するという時代に突入した。電子・陽電子衝突型の国際リニアコライダー(ILC)の精密実験においてヒッグス粒子の精査により標準模型を超える理論の方向性が示されることが期待されている。更に標準模型を超える理論の探索のためには、標準模

型の整合性についてより精密に調べなければならない。ヒッグス粒子生成過程における電弱相互作用の 1 ループ補正では、10%程度あることがわかっているが、次の近似である 2 ループ補正についてわかっていない。そのため電弱相互作用の 2 ループ補正の計算が必要である。

2 ループの電弱相互作用高次補正計算に関しては、ゲージボゾン、フェルミオンと複数の質量があるため、崩壊物理過程、散乱物理過程などでは完全な計算はされていない。また電弱相互作用の 2 ループではダイアグラムの数が増えしかもファインマン・ループ積分が多次元となり計算能力が必要になってきている。ダイアグラムの内線には種々の素粒子が出現するので一般的に解析的に結果を求めるのは困難である。全てのダイアグラムについて計算するためのシステムを作り、電弱相互作用高次補正計算を遂行することが目的である。

ミュオン異常磁気能率の 2 ループ補正電弱相互作用を具体的事例として取り上げた。2 ループダイアグラム 1780、カウンター項のある 1 ループダイアグラム 70 を生成し、次元正則化を用い、ファインマン・ループ積分に必要な有理式を数式処理にて求めファインマンループ積分の数値積分を行った。繰り込みは、OnShell 繰り込みのスキームを用いた。

電弱相互作用の 2 ループ補正計算するシステム開発するにあたりミュオン異常磁気能率から開始した。ミュオン異常磁気能率は現在の素粒子の標準模型予測と実験との差があると考えられている現象の 1 つである。フェルミ定数と微細構造定数と  $Z$  粒子の質量を基本とするスキーム ( $G_\mu$  スキーム) で、ボゾン質量をミュオンに比べて大きいとする近似を用い電弱理論の 2 ループ補正の大きさは 1 ループの約 20% であると既に予測されている。

OnShell のスキームの 1 ループ補正と  $G_\mu$  スキームの 1 ループ補正とでは数%の違いがある。 $G_\mu$  のスキームの 1 ループの寄与となっている部分は OnShell スキームの見方からすると、2 ループ以上の補正に相当するからである。しかしながら 1 ループと 2 ループを合わせた結果はとこれまでの  $G_\mu$  スキームの近似計算と OnShell スキームでの全ての計算はほぼ一致することが確認された。この結果は Phys. Rev. D に掲載された。

数値計算の検証としては、紫外発散及び赤外発散の相殺検証に加え非線形ゲージ固定項による全体の不変性の確認を行なった。W 粒子のような重たいボゾン粒子がある場合、 $(M_W/m_\mu)^2$  程度の数値相殺が発生し、数値的には十進で約 6 桁が 2 ループダイアグラムと対応する 1 ループカウンターダイアグラムで発生するので、数値積分は高精度で高速に求めることができるようにした。

本研究は、中澤宣也 (工学院大学)、安井良彰 (東京経営短期大学) と石川が行った。

電弱相互作用の 2 ループ補正計算の自動化を進めるために、ヒッグス粒子のセルフエネルギーの 2 ループ電弱相互作用の完全計算に挑んでいる。これまでの物理過程で出現しなかったゴースト粒子の繰り込みが出現する。直接数値積分法を用いて自動化を行う。本研究は、加藤潔 (工学院大学)、湯浅・石川が行なっている。

## 2.5 多倍長精度積分計算専用アクセラレータの開発

ループ積分を数値的に求める場合、ループ内で素粒子の質量（光子、電子からトップクォーク）および運動学的物理量（たとえば散乱衝突の場合の衝突エネルギー）などエネルギー・スケールが大きく取り扱うべき数値の範囲が広い。数値計算を行う場合に桁落ちや情報落ちなどが発生する可能性がある。

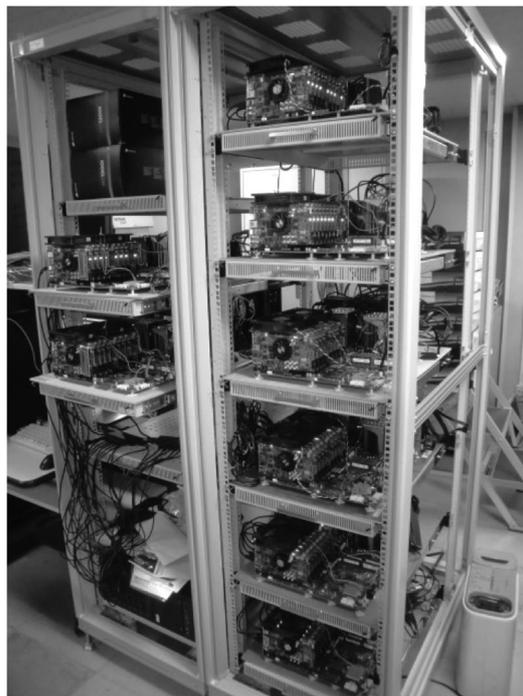
さらにループ積分の被積分関数は、0（あるいは1）に特異性を有するものがある。これらの関数はファインマン変数で高い次数で与えられるため通常の倍精度の11ビット指数部で表現できる最小の数（10の-308乗）では取り扱うことが困難であり、長い指数部を持つ計算が不可欠である。

商用のプロセッサの多くは、IEEE754-2008の11ビットの指数部の形式(binary64)である倍精度演算のハードウェアを有している。任意の仮数部及び指数部を取り扱うことができるMPFRというライブラリがあるが、必要なファインマングラフが多いため膨大な計算能力が必要となっている。

このため我々は重力多体系計算用に開発された専用計算機GRAPE9システムをベースとして高精度演算を高速に処理できる専用アクセラレータGRAPE9-MPXを開発した。GRAPE9-MPXは、回路データをプログラムできる再構成可能デバイス(FPGA)の中に高精度演算に対応したプロセッサ・エレメント(PE)を多数実装したものである。

この専用アクセラレータの特徴としては、4倍精度(MP4)、6倍精度(MP6)、8倍精度(MP8)と計算精度を可変に扱うことができると、データ形式として、IEEE754-2008の15ビットの指数部をもつ4倍精度データ形式(binary128)あるいは19ビットの指数部をもつ8倍精度データ形式(binary256)が使えるようになっている。

右表に、現状のシステムでのそれぞれの精度の場合のFPGAあたりのPE数、動作周波数及び理論演算性能を示す。



FPGAあたり	MP4	MP6	MP8
PEの数	36	19	11
動作周波数(MHz)	92	78	68
理論性能(GFLOPS)	6.6	2.9	1.5

システムについては、Journal of Physicsで公表した。最新のFPGAでは、openCLで構成することができるようになってきており、それらに関しては、2018 International Conference on Field-Programmable Technologyで発表し、IEEEの論文として公表した。本研究は、台坂博（一橋大学）、中里直人（会津大学）と湯浅・石川の共同で行っている。

## 3. 格子ゲージ理論シミュレーション

松古 栄夫

### 3.1 格子ゲージ理論の大規模シミュレーション

素粒子であるクォークの間に働き、原子核を形作る核力の源である強い相互作用は、量子色力学 (Quantum Chromodynamics, QCD) によって記述される。QCD はその結合の強さが距離とともに増大するため、結合定数によって展開する摂動論は低エネルギー領域で破綻し、解析的な計算が困難となる。このため、ハドロンの性質や粒子衝突におけるハドロン散乱振幅などを定量的に調べるには、なんらかの非摂動論的手法が必要である。格子 QCD は場の理論としての QCD を 4 次元立方格子上で定式化したもので、経路積分を数値的に実行することにより、第一原理である QCD に基づいた計算を可能にする。

近年の理論的進展、計算機の発達、アルゴリズムの改良などによって、格子 QCD シミュレーションの精度や信頼性は大きく向上し、素粒子・原子核の物理現象を理解する上で重要な役割を果たしている。既に物理的クォーク質量での計算が実現し、フレーバー物理に現れるハドロン行列要素の精密計算が進んでいる。また格子ゲージ理論は、標準理論を構成する QCD のみならず、他の場の理論の解析にも適用できる。標準理論を超えた物理の候補として注目されている、超対称性理論やテクニカラー理論に対しても応用が進められている。

以上のような状況において、我々は次のような研究を進めている。

#### (1) 複素ランジュバン法による有限密度系の研究

格子 QCD の有限密度系は、フェルミオン作用が複素数となることによる複素位相問題のため、モンテカルロ法の適用が困難であった。近年、複素ランジュバン法というアルゴリズムが開発され、有限密度系を扱える可能性が出てきた。この複素ランジュバン法を用いた研究を、KEK 素粒子原子核研究所の西村淳氏らと進めている (プロシーディング 2 篇)。

#### (2) 格子 QCD コード Bridge++ の開発

C++ 言語で記述されたオブジェクト指向デザインによる格子 QCD コード Bridge++ を開発している。2012 年 7 月に最初の公開版を ver.1.0 としてリリースしたが、その後も継続的にデザインの改良、機能拡張、高速化、ドキュメントの整備等を進めている。2018 年度末現在の最新版は ver.1.5.0 である。2018 年度には前年度に引き続き、SIMD アーキテクチャや GPU を有効に利用するための拡張機能の実装を進めた。特に Intel AVX-512 を利用し

た Intel Xeon Phi (Knights Landing) や最新の Xeon プロセッサのための最適化を行った (プロシーディング 1 篇)。

コード公開サイト : <http://bridge.kek.jp/Lattice-code/>

尚これまで行ってきた、格子上のカイラル対称性を保つ理論による大規模シミュレーションについては、環境整備などによる協力のみ行なった。標準理論を超えた物理の探索のためのゲージ理論の構造の解析については大きな進捗はなかった。

## 3.2 計算科学のためのアルゴリズムとシミュレーション手法の研究

これまで HPCI 戦略プログラム分野 5「物質と宇宙の起源と構造」、ポスト京重点課題 9「宇宙の基本法則と進化の解明」において、計算科学の推進を図る活動として、数値計算アルゴリズムの分野横断的応用・開発、種々の計算機アーキテクチャの性能を十分に引き出すための手法の開発、計算科学に必要なデータグリッド (JLDG: Japan Lattice Data Grid) や格子 QCD 共通コードの開発などを行ってきた。これらは素粒子・原子核・宇宙のそれぞれの分野で培った技術を分野横断的に応用し、計算機科学や応用数学の専門家と連携・協同して計算手法を発展させてゆくことを目的としている。2018 年度には以下のような研究を進めた。

### 1. 超新星爆発の大規模シミュレーション

これまで並列化や線形アルゴリズムの改良で共同研究を行った、超新星爆発シミュレーションのプロジェクトに引き続き参加し、研究を行っている。本研究は沼津高専の住吉光介氏、京大基礎物理研の長倉洋樹氏、早稲田大学の山田章一氏、岩上わかな氏らとの共同研究であり、Boltzmann 方程式によるニュートリノ輻射輸送と結合した流体力学方程式を用いて、京コンピュータなどを利用して計算を進めている (公表論文 1 篇)。

### 2. 超新星爆発シミュレーションコードの GPU による高速化

球対称近似でのシミュレーションは、爆発には至らないことが知られているが、観測データとの比較や 2,3 次元での計算の基礎として重要であり、高精度化が必要とされている。このようなシミュレーションコードを GPU によって高速化するための研究を、沼津高専の住吉光介氏との共同研究として行っている (プロシーディング 2 篇)。2018 年度には GPU だけでなく、Pezy-SC プロセッサを利用するコードの開発も進めた。

### 3. ポスト京フラッグシップ 2020 プロジェクト・コデザイン

コデザインポスト京重点課題 9「宇宙の基本法則と進化の解明」の活動の一環として、ポスト京フラッグシップ 2020 プロジェクト・コデザイン分野 9 サブグループに参加し、格子

QCD のコード開発に関する活動を行っている。

#### 4. Jpapan Lattice Data Grid (JLDG, 共同利用の章も参照)

JLDG の運用のため、JLDG 管理チームに参加し、KEK サイトの運用と、JLDG の利便性向上のための研究開発を行っている。

JLDG サイト : <https://www.jldg.org/>

#### 5. 高性能計算物理勉強会

素粒子・原子核・宇宙物理の分野において不可欠な研究手法である計算科学的アプローチに関して、分野を越えた研究者間の情報交換や協力体制構築を進めるため、高性能計算物理勉強会 (HPC-Phys) を 2018 年に開始した。この活動は計算基礎科学連携拠点 (JICFuS) およびポスト「京」重点課題 9 が主催する活動として行っており、松古はアドバイザーとして参加している。2018 年度は計 3 回の勉強会を開催し、発表 1 件を行い、GPU チュートリアル講師を 1 回務めた。

勉強会サイト : <http://hpc-phys.kek.jp/>

## 4. 中性子用オブジェクト指向データ解析システム

鈴木 次郎、真鍋 篤

### 4.1 データ解析フレームワーク “Manyo Library” の研究開発

大強度陽子加速器施設(J-PARC)は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)と日本原子力研究開発機構(JAEA)が共同で建設と運用をしている施設である。J-PARC の物質生命科学研究所(Materials and Life Science Facility: MLF)は、パルス中性子/中間子ビームを用いて物質科学と生命科学実験を行う実験研究施設であり、世界最高強度の 1MW での運転を目指している。MLF には、23 の中性子実験用のビームラインが整備され様々な研究分野(結晶,磁性体,ソフトマター,中性子物理など)に対応する分光器が設置され運用されている。MLF における実験装置の計算機とネットワーク環境は MLF 計算環境検討グループによって整備され、運用がなされている。KEK 計算科学センターは CROSS 東海のメンバーらとともに MLF 建設期から協力してきている。オブジェクト指向データ解析システム(Manyo-Lib)は MLF 計算環境のうち、各ビームラインにおいてデータ解析システムの中核となるフレームワークである。また、次に紹介する高分子用シミュレータは、ソフトマター分野の中性子実験の結果をシミュレートし、解釈を与えるものとして研究開発を行っているものである。

Manyo-Lib は、中性子実験で共通に使用する機能(データコンテナ、ネットワーク分散処理環境、並列化機能、データ解析演算子)を提供し、各ビームラインにおいて個々の分光器の仕様や実験対象物、研究者の目的に合致したデータ解析ソフトウェアの構築の基盤として利用がされてきている。フレームワークの名前は、様々な分野の研究者が必要とする解析ソフトウェアを、簡単にかつ迅速に構築することを目指すことから Manyo(万葉)とした。このような基盤ソフトの整備は、物質科学分野の研究施設では初めての試みであり、ビームラインの担当者や実験分野の研究者との意見交換を通じて必要な機能の選定を行ってきた。ソフトウェアの骨格部分を統一的に提供することは、研究施設全体のソフトウェア環境の信頼性向上に貢献でき、世界最高強度の貴重な中性子ビームの有効利用という面で重要である[1]。データ解析中や解析後に保存するデータのフォーマットは HDF(Hierarchical Data Format)を基盤とした NeXus (A common data format for neutron, x-ray and muon science, <http://www.nexusformat.org/>)で、物質科学の散乱実験のデータフォーマットとして国際的に策定が行われているものである。Manyo Lib の開発者は NeXus International Advisory Committee(NIAC)の委員で、MLF のみならずアジア唯一の委員として MLF の要望を提案するとともに、国際規格の策定に貢献をしている。NIAC は、2018 年 10 月に米国 Brookhaven National Lab.で行われた。委員として出席し、議決権を行使した。MLF で

は実験終了後に長期保存される実験データは NeXus フォーマットで保存することが決定されるとともに、Open-Data として公開される場合にも、NeXus で供給される予定である。

Manyo Lib は現在 MLF にある 20 の分光器のうち、16 のビームラインでインストールされ利用され実験データ解析の基盤環境となった。一方で Manyo-Lib は 2003 年より研究開発がされているが、2018 年度は大幅な拡張はなくメンテナンスのみが行われた。次年度以降、将来計画の策定をする必要がある。

## 4.2 ソフトマターのシミュレータの研究開発と高分子基礎物性

ソフトマターは一般に、高分子やタンパク質などの分子が柔らかいものを示し、小さな外場によって分子の変形がおこる特徴を持つ。ソフトマターの科学は比較的新しい学問であり基礎物性の研究は発展途上であるが、一方で液晶ディスプレイを始めとして様々な電子デバイスなどに最先端の技術として当たり前のように応用されている。

ここで研究開発をしているモンテカルロシミュレータは、高分子材料の中性子散乱実験データの解析を目的とするもので、J-PARC/MLF の解析環境に接続できるシミュレータの 1 つになる。中性子散乱実験は他の粒子線ビーム(光, X 線, 電子ビーム)と比較して波長が長く(つまりエネルギーが低い)、分子の大きなソフトマターの構造や応答を調べるには適した方法である。このシミュレータを利用して、溶液中の種々のトポロジーを持つ環状高分子の拡がりについて計算を行い、特に非摂動状態であるシータ溶媒中での振る舞いに注目して考察を行っている。2015 年度より科研費課題(トポロジーによるソフトマターの分子間相互作用の制御, 基盤 C, 15K05255 研究代表 鈴木 次郎)を開始し、主に相互陥入型の環状高分子の振る舞いを検討し学会等で研究発表を行った。2018 年度は研究総括を行うとともに、論文発表を行った(査読付き)。[2]。

[1] NeXus International Advisory Committee メンバー(NeXus の仕様策定の国際委員会)

[2] “Dimensions of Catenated Ring Polymers in Dilute Solution Studied by Monte-Carlo Simulation”, Jiro Suzuki, Atsushi Takano, and Yushu Matsushita, *J. Chem. Phys.* **149**, 204901 (2018). doi: 10.1063/1.5050840

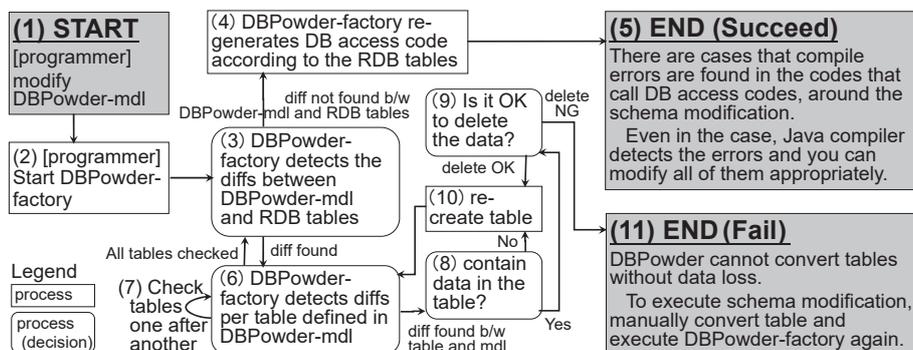
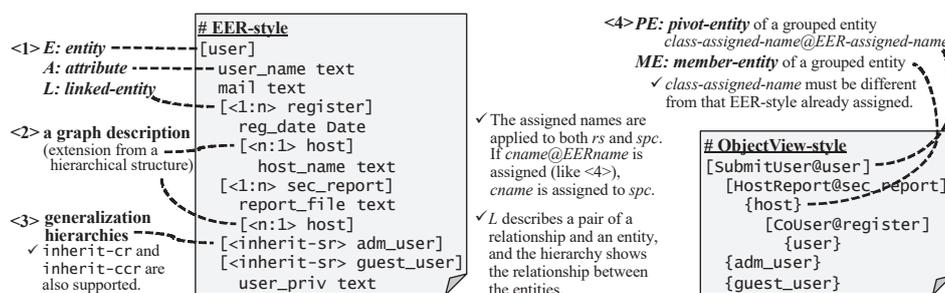
## 5. データベースの有効活用に関する研究開発

村上 直

複数種類のデータが関連を持つ場合や、データの件数が多くなる場合、それらの継続的な有効活用には困難を伴う。従来から広く使われている関係データベース (RDB) は、データスキーマを事前に定義する必要があり、定型かつ構造が複雑なデータを扱うのに適しているが、データの構造変化への対応が不得手である。

本プロジェクトでは、研究プロダクト DBPowder を開発して 2006 年度より実運用に適用し、改良を重ねている。機構の公開ネットワークに機器を保持している管理者がセキュリティ関連作業を円滑に行えるサイト DMZ User's Portal において、利用者の要望に応じてデータの構造変化を柔軟に行いつつ、開発省力化やコード品質維持などに継続的に貢献してきた。このほか、大容量データを扱う際のチューニングの難しさを補う手法についても、検討、実装、予備実験を行っている。

2018 年度は、DMZ User's Portal の運用における DBPowder の活用を主題の一つに据え、国際会議 CHEP2018 でポスター発表を行った。DBPowder-mdl でデータ構造を階層構造で簡易に書き下して定義を行う。データ構造の修正は DBPowder-mdl で行い、その修正内容はアプリケーションコードと RDB の両方に反映される。修正の際には、既存データが保持されるように、必要な確認がなされる。CHEP2018 ではこのほか、DMZ User's Portal の運用状況についても発表を行った。



## 6. 統計的手法の物理解析への応用と数値シミュレーション

柴田 章博

### 6.1 はじめに

統計的手法は情報処理の様々な分野で応用されている。数値統計の理論・方法論、特にベイズ統計学に基づく方法論は、ビッグデータの解析、データマイニング、機械学習 (AI) においても重要な役割を果たす。本研究は、主としてベイズ統計に基づく数値統計の技術・手法の研究とデータベース技術を活用した時系列データにおける知的発見、時系列データに潜む動的な因果関係の発見、及びその方法論の開発を行う。

### 6.2 渋滞形成の実験的・理論的解析

交通流やインターネットのパケットなどの自己駆動系のシステムにおける流れには、外

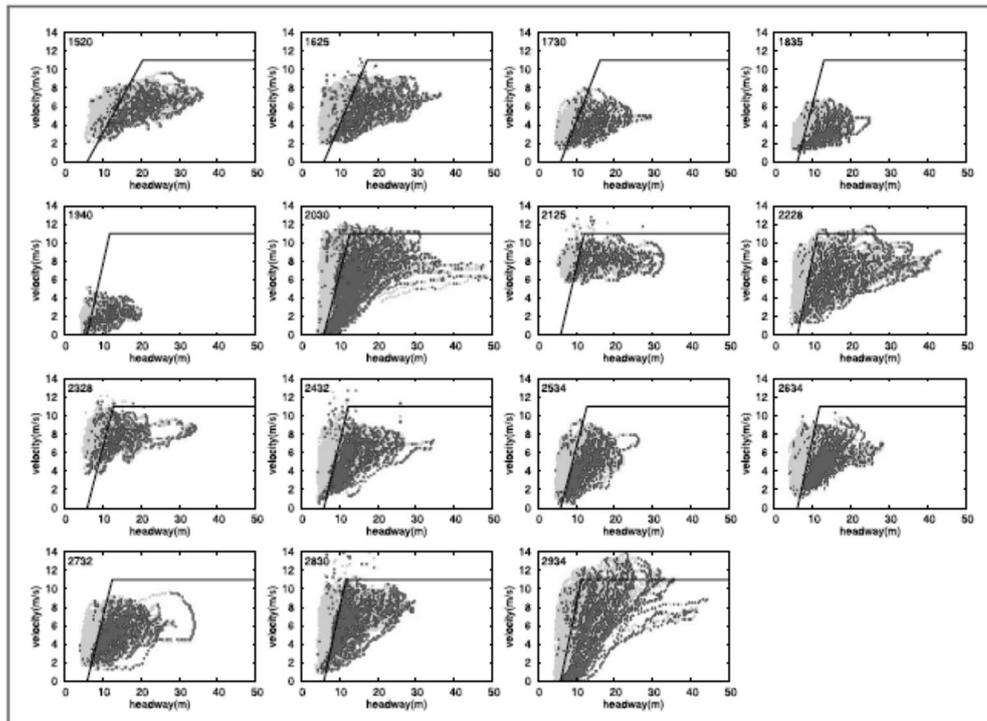


図 1 全車両の車間と速度の関係 :

各実験における全車両の車間距離と速度の関係を散布図に示す。左肩の数字は実験番号を示す。グレー (カラー版 : 緑) の点は減速 (ブレーキをかけた) したことを示す。黒 (カラー版 : 赤) の点は加速を行ったことを示す。黒の直線は、加速と減速分割する全実験・全車両を平均した速度最適化関数を示す。

的要因がないにも関わらず、密度がある臨界点を超えると渋滞（流れの滞り）が発生することが、シミュレーションや理論的解析によって指摘されている。一方で、名古屋ドームの中に直径 100m の円形のサーキットを設置し、ボトルネックのない様なコースで、一様・自由走行を初期条件とし、サーキットを走行する自動車の台数（一様流の車両密度）を変化させて、サーキット場の車の動きを観測した。これまでの実験の解析で、(a) ボトルネックなどの直接的な外部要因がなくとも、サーキット上の車の密度が臨界密度を超えると渋滞が形成されることを実験による検証、(b) 臨界密度を実験から決定、(c) 速度最適化モデルを通してサーキットの実験と実際の高速道路における観測との関係の解析、(d) 実験データから自由流・渋滞流の特性抽出、を明らかにした。

本研究では、実験データと交通流モデルのシミュレーションを用いたより詳細な解析を行う。交通流モデルは、我々のグループの提唱した速度最適化 (OV, optimal velocity) モデルを用いる。図 1 は、各実験の走行で計測した全車両の車間と速度を同時にプロットしたものである。赤と緑の点はそれぞれ正及び負の加速度をもって走行していることを示しており、赤と緑の境界は平均的な速度最適化関数を示す。本研究では、実験で得られた車両の運動からモデルのパラメータ、即ち、個々の速度最適関数と感受率を決定する。その際、図 1 にあるように全領域においてデータが得られていないために、データ欠損を補完する推定の方法を開発する必要がある。さらには、OV モデルのシミュレーションを媒介して、サーキットの実験での交通流と実際の高速道路での交通流を対応づけるスケール変換を研究する。

### 6.3 インターネット通信の DFA による解析

時系列データにおける知的発見の具体的題材として、インターネット通信の DFA 解析を昨年引き続き行っている。本研究では KEK のファイアウォール (FW) のログデータを用いて、ネットワークの活動を推定する。これら観測点におけるアクセスログには、デバイス各々の通信元及び通信先や通信ポート(サービスの種別)などが時系列データとしてデータベースに記録されており、観測ノードを通信経路に含む end-to-end の連結の情報を得ることができる。インターネット通信特定のポート、即ち Web (http, https), Mail(SMTP), POP/IMAP, DNS、及びロボット (セキュリティー診断装置)、と時刻のみの制限された最小限の情報から各チャンネル特性を見ることができるとして DFA (detrended fluctuation analysis)による解析を行なう。

直接的(第一次的)な人の活動が反映される Web 及び Mail のチャンネルに対しては揺らぎに (指数がほぼ 1 の) 冪則がある。これに対して、第一次的な活動に起因して起きる二次的な活動として使われる DNS などのチャンネル、自動的な接続が含まれるチャンネル (POP/IMP)、完全なロボットの活動のチャンネル (セキュリティー診断装置) においては、冪則がない場合や、冪則の指数が 1 から外れることを見出した。このことは、通信のパター

ンから人の活動とロボットの活動の区別を冪測の指数として区別できることを示唆する。  
現在、冪測及びその特徴の時間的不偏性の有無など、詳細な解析を進めている。

## 7. メニーコアプロセッサ演算システムにおけるシミュレーションのプログラム研究開発

石川 正、松古 栄夫

超並列でかつ超消費電力のメニーコアプロセッサによる素粒子関連のプログラムの研究開発を行い、高性能な性能を出すためのアルゴリズムおよびチューニング技術を研究し、システムの消費電力の評価も同時に行うことを目的として ExaScaler 社との共同研究を 2014 年 8 月から開始した。

2017 年 11 月に「Suiren (睡蓮) 2」は、HPL プログラム 788.2TFLOPS の実行性能で消費電力 47.0 kW を記録している。

主な諸元	
最大理論性能	1,082 TFLOPS
プロセッサあたりの理論性能	2.8 TFLOPS
ノード数	48
ノードあたりのプロセッサ数	8
総メモリ容量 (PEZY-SC2)	24 TB
総メモリ容量 (ノード内)	1.5 TB

ファインマンループ積分に関する数値計算の研究を進めており、既存の C/C++ 言語から指示分で PEZY-SC2 (PEZY-SC) で演算する部分のコードを自動的に生成する開発環境を整え、物理計算を実施して研究成果を公表した。

また多次元の数値積分方法に関しては、種々のアルゴリズムの適応性に関して調査するにも CPU 時間が必要となっており本機を用いて研究を進めている。

一方 Lattice QCD のシミュレーションに関して、PESY-SC2 プロセッサに対して高い並列効率を得るためのメモリ、演算配置等について評価研究を引き続き行った。

また素粒子物理分野だけではなく他分野のアプリケーションへの応用に関して、調査を行った。

## 8. DAQ システム

鈴木 聡

### 8.1 概要

現在 Belle2, T2K のデータ収集システムの開発・運用に計算科学センターから鈴木が参加している。

### 8.2 Belle 2

Belle2 実験では鈴木は主にイベントビルダを担当している。ビーム運転開始後はイベントビルダを停止するとデータ収集ができなくなるため、イベントビルダ自体ではなくイベントビルダとデータを送受するコンピュータに関するトラブルやモニタに比重が映っている。

Belle2 ではデータ収集に関連するだけでも 600 以上の Linux が動作しており、階層化されてネットワークでコントロールされている。しかしコントロールプロセスそのものが起動していなかったり、ディスク・ネットワークカード・途中の安価な小型スイッチに障害が発生したりすると原因の調査だけでも半日程度の時間を消費してしまうことが多かった。

特に小型スイッチの障害であった場合、一見するとコントロールプロセスの反応が異常に遅く見えることから「とりあえず反応が悪いコントロールプロセスを再立ち上げ」に着手してしまい、その後二度と正しく立ち上がらなくなるという状況に陥りがちであった。

まずスイッチの障害を検知するべく、Linux のネットワークインターフェースの統計情報のうち、流量・イーサネットフレームのエラー数・ドロップ数をオープンソース版の Zabbix を使用してモニタすることにした。これによりデータ収集システムから中央計算機へのデータ転送経路での光トランシーバの故障を検出し、ビームのない時間帯にすばやく交換することができた。なお、Linux は不要なイーサネットフレームを「エラー」としてカウントする場合があります、単にエラーカウントが 0 でないかそうでないかだけを見張って障害とすることはできない。正常時のエラー頻度と現状のエラー頻度に差があるかどうかなど、履歴の比較が必要である。

データ収集システムは必要に応じて継続的に改修が施されており、担当者以外はこのプロセスがデータ収集に必須なのかははっきりしない。そこで「このプロセスが動作していないことがトラブルの原因であった」ことが報告されるたび、鈴木が当該プロセスの有無をモニタ対象として追加している。DAQ システムではほとんど同じような設定のホストが多数あり、それらにすべて対して同じモニタ項目を適用する場面が多い。Zabbix のテンプレートシステムはこれに非常に適している。

検出された警告は Web で一覧できる(図 1)ほか、オンプレミスで運用している Web チャットシステムに随時発報される(図 2)。

Time	Severity	Recovery time	Status	Info	Host	Problem	Duration	Ack	Actions	Tags
02/28/2019 02:53:42 PM	Warning	02/28/2019 03:18:42 PM	RESOLVED	hitin.hit01	hitin.hit01	eb1txd eb1_hit01 is missing	25m	No		
02/28/2019 03:43:42 PM	Warning	02/28/2019 03:48:42 PM	RESOLVED	hitin.hit01	hitin.hit01	eb1txd eb1_hit01 is missing	5m	No		
02/28/2019 09:12:22 PM	Warning	02/28/2019 09:17:22 PM	RESOLVED	top01	top01	runcontrold top is missing	5m	No		
March										
03/01/2019 12:27:24 AM	Warning	03/01/2019 12:32:24 AM	RESOLVED	arich01	arich01	runcontrold arich is missing	5m	No		
03/01/2019 02:07:19 PM	Warning	03/01/2019 03:17:19 PM	RESOLVED	trg01	trg01	runcontrold trg is missing	1h 10m	No		
03/01/2019 02:10:25 PM	Warning	03/01/2019 03:15:25 PM	RESOLVED	trg01	trg01	runcontrold rc_trg is missing	1h 5m	No		
03/01/2019 02:14:43 PM	Warning	03/01/2019 03:14:43 PM	RESOLVED	trg01	trg01	nsmbridged btrg01 is missing	1h	No		

図 1 Zabbix の検出した警告の一覧

☆ daq\_warn  
Warning from Zabbix will appear

✗ zabbix @rocket.cat mention-here per room Bot 午前4時23分  
**Problem: Errors of Inbound packets on eth0**  
Detail on Zabbix  
Problem started at 02/28/2019 02:53:42 PM  
Problem name: Errors of Inbound packets on eth0  
Host: cp01  
Severity: Warning  
Original problem ID: 2358949  
[http://zabbix.com/showproblem.php?problem\\_id=2358949](#)

✓ zabbix @rocket.cat mention-here per room Bot 午前4時24分  
**Resolved: Errors of Inbound packets on eth0**  
Detail on Zabbix  
Problem has been resolved at 02/28/2019 03:18:42 PM  
Problem name: Errors of Inbound packets on eth0  
Host: cp01  
Severity: Warning  
Original problem ID: 2358949  
[http://zabbix.com/showproblem.php?problem\\_id=2358949](#)

✓ zabbix @rocket.cat mention-here per room Bot 午前4時31分  
**Resolved: Errors of Inbound packets on eth0**  
Detail on Zabbix  
Problem has been resolved at 02/28/2019 03:48:42 PM  
Problem name: Errors of Inbound packets on eth0  
Host: cp01

メッセージ +

図 2 Zabbix からチャットシステムに報告された警告

その他、`/proc/net/tcp` をデコードして特定のソケットの送信待ち・受信待ちバイト数を取得し、イベントビルダの前後のどちらにボトルネックとなっているかを時系列として表示できるようにした。図 3 の例では 5 個あるオンラインファームのうち、hlt05 だけがデータを受信しなかったトラブルの時の表示である。

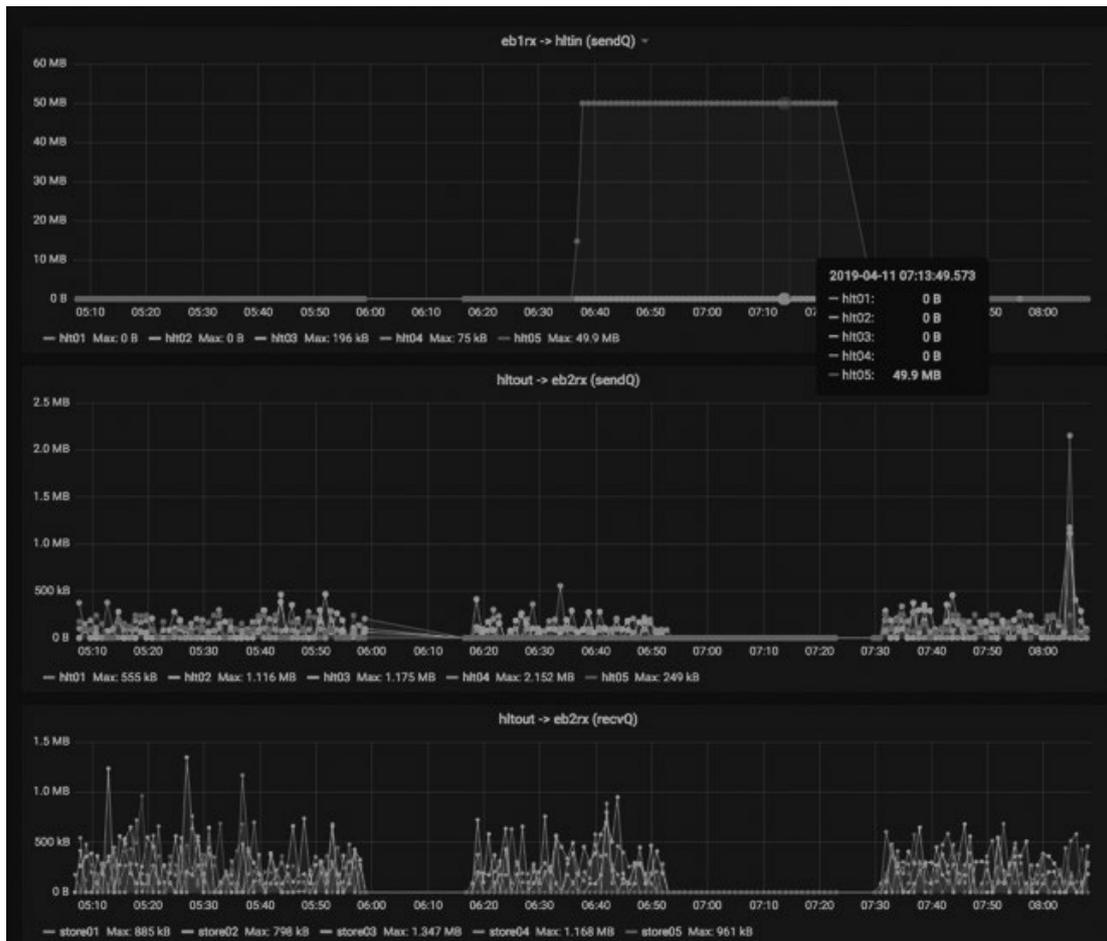


図3 イベントビルダの下流側キューの埋まり具合

Belle2 実験はひとたびビーム運転が開始すると最大 10 ヶ月程度連続する可能性があり、履歴はその程度は保持する必要と思われる。しかし 600 台を 3 ヶ月程度蓄積した時点で履歴保持のデータベースサーバが高負荷となり、1 時間のうちの 30 分は履歴の追加はできるものの閲覧ができないレベルになった。Linux の dm-cache 機構を用いて SSD を HDD のキャッシュとして使用し、問題は抑えこむことができています。

### 8.3 T2K

T2K 実験では鈴木はビームラインデータ収集システムに参加している。現状のデータ収集システムは VME の ADC に DMA 機能がなく、Bit3 の PCI-VME ブリッジを通じて PIO で読み出していることが最も大きなボトルネックとなっている。PCI-VME ブリッジはすでに販売も終息しており、PC を更新できない原因となっているので更新が必須である。次期システムではこの ADC の全てを VME バスを介さずネットワークで直接読み出すモジュール “Cavalier” に置き換える予定である。

2018 年度は Cavalier を評価するため、既存のシステムに追加して他の検出器と同期し

て読み出し、イベントビルドも行うこととした。現在のビームライン DAQ システムはカナダ TRIUMF とスイス PSI の開発した MIDAS を使用しており、イベントビルダは MIDAS に同梱されているものを改造して使用しているが、Cavaier から出力されるデータは今までどのれよりも大きいためイベントビルダにさらに改造が必要となったが、無事動作し評価に入れることができた。