

平成29年度高性能汎用計算機高度利用事業
「ヘテロジニアス・メニーコア計算機による大規模計算科学」
成果報告書

平成30年5月31日
国立研究開発法人理化学研究所
姫野龍太郎

補助事業の名称

「ヘテロジニアス・メニーコア計算機による大規模計算科学」

1. 補助事業の目的

粒子系・構造格子系のソフトウェア開発フレームワークと線形代数演算サブルーチンパッケージ BLAS のヘテロジニアス・メニーコアプロセッサへの移植、および、これらを活用して分子、宇宙、素粒子、プラズマ、神経系、津波・地震防災、およびゲノム解析等、様々なアプリケーションの実装と性能評価を行う。

本研究開発では、まず高いメモリバンド幅をもつヘテロジニアス・メニーコアプロセッサに対する新しいプログラミングモデルを確立し、多様なアプリケーションやアルゴリズムに対しての有用性を実証する。その中には、実用性は高いが、従来は超メニーコアシステムやアクセラレータシステムでは困難とされてきたものも含まれる。また、ゲノム解析を出発点にデータ科学への適用も積極的に展開する。さらに、プログラミングモデルとノウハウを共有するユーザ・コミュニティを形成して、パワーユーザを育成し、PEZY-SC2 プロセッサを始めとする次世代のヘテロジニアス・メニーコアプロセッサの性能を十二分に引き出した大規模計算を行って各分野の最先端研究を加速する。

2. 平成 29 年度（報告年度）の実施内容

2-1. 当該年度（平成 29 年度）の事業実施計画

(1) 研究統括、広報、流体・磁気流体、および大脳シミュレーション：姫野龍太郎（理研）

研究開発課題責任者を補佐するため、コーディネータをおく。このコーディネータには、戎崎俊一をあてるとともに、各協力機関におけるプロジェクトの進行を調整するために二か月に一度程度の頻度で各機関の責任者が直接会う連絡会議を開催する。また、ベンダーである PEZY Computing/ExaScaler 社のエンジニアとの交流会を開き、ハードウェアやコンパイラ等の開発状況を把握し、情報を共有する。本年度は 12 月 13 日を予定し、その前半部分を本研究の小規模ワークショップと位置付けて、新ユーザーの開拓に努める。また、11 月 12 日-17 日の予定で行われる The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (通称 SC2017) において、理研のブースで本プロジェクトの PR を行う。2 月下旬もしくは 3 月上旬に、国際シンポジウムを開催する。場所は暁光が存在する海洋研究開発機構を想定している。さらに、プロジェクトのホームページ (HP) や SNS を発足後速やかに立ち上げて、研究の狙いや科学的インパクトについて分かりやすく説明する。

アプリケーション開発については、流体コードおよび大脳を含む神経系シミュレーションの基本部分を PEZSY-SC2 へ移植し、小規模シミュレーションを実施する。

(2) ミドルウェア、BLAS の開発および第一種粒子法シミュレーション：牧野淳一郎（神戸大学）

様々なアプリケーション（後で詳述）のチューニング事例研究を積み上げて、ヘテロジニアス・メニーコアプロセッサに対する新規なプログラミングモデルを構築する。そのプログラミングモデルを基に、ヘテロジニアス・メニーコアプロセッサ用のミドルウェアを構築する。理化学研究所計算科学研究機構の粒子シミュレーション研究チーム（チームリーダー：牧野淳一郎）は、京を含めた大型並列型スパコン用

の粒子法フレームワーク FDPS (Framework for Developing Particle Simulation)および格子法用フレームワーク (Formura) のミドルウェアを開発している。これをヘテロジニアス・メニーコアプロセッサ用に拡張する。H29年度は小規模並列計算に適用する。

また、線形代数演算サブルーチンパッケージ BLAS (Basic Linear Algebra Subprograms)の PEZY-SC2 への移植とチューニングを進める。H29年度は小規模並列計算を行う。

銀河や星団、原始星の周りの微惑星などの進化を計算する重力多体計算、多数の分子の動きを計算する分子動力学計算は、すでに PEZY-SC への移植・チューニングが行われている。これらを第一種粒子法と呼ぶ。H29年度はこれらの第一種粒子法の PEZY-SC2 への移植と小規模並列レベルでのチューニングを行う。

(3) SPH 法および DEM 法による防災シミュレーション：阪口 秀 (海洋研究開発機構)

海洋研究開発機構においては、SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)法による流体シミュレーションや DEM (Discrete Element Method)法による粉粒体のシミュレーションを行っている。H29年度は PEZY-SC2 へ移植し小規模並列レベルでのチューニングを行う。

(4) 神経系シミュレーション：山崎匡 (電通大)

大規模なネコ小脳の約 100 倍に相当するヒト小脳の実時間シミュレーションを実現する。H29年度は PEZY-SC2 へ移植し、小規模並列レベルでのチューニングを行う。

(5) 格子 QCD シミュレーション、素粒子摂動計算：石川正 (KEK)

格子法コードは広いメモリバンド幅を要求する場合が多い。PEZY-SC2 はメモリバンド幅が PEZY-SC と比較して 10 倍向上するので、格子法コードへの応用も期待できる。これに該当するのは格子 QCD 計算および流体・磁気流体計算である。H29年度においては、格子 QCD および素粒子の摂動計算コードを PEZY-SC2 に移植して、小規模並列レベルでのチューニングを行う。

(6) ゲノム解析：黒川顕 (遺伝研)

類似度検索の世界標準プログラム BLAST とほぼ同等の機能を持つオリジナルプログラム CLAST の PEZY-SC2 システムへの移植を進め、小規模並列レベルでのチューニングを行う。また、大規模配列データを対象とした高速類似度解析や遺伝子動態予測に使うための予備的な解析の準備を進める。

2-2. 実施内容 (成果)

(1) 研究統括、広報、流体・磁気流体、および大脳シミュレーション：姫野龍太郎 (理研)

・研究開発課題責任者を補佐するため、戎崎俊一をコーディネータとし、各協力機関におけるプロジェクトの進行を調整することにした。

・11月12日-17日に行われた The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (通称 SC2017) において、理研のブースで本プロジェクトの PR を行った。

・12月13日に小規模ワークショップを企画したが、諸般の事情により中止した。ただし、プロジェクト内において少人数の勉強会を頻繁に開催し、ハードウェアやコンパイラなどの開発状況の把握および情報共有を行った。

・1月4日に第一回の研究連絡会議を行い、まずは菖蒲 System B を使い、PEZY-SC2 プロセッサへの移植と最適化を進めることにした。

・2月27,28日に J.Dongarra 博士他、海外からの招聘者6名を迎えて国際シンポジウム「New Horizons of Computational Science with Heterogeneous Many-Core Processors」を理化学研究所大河内ホールにて開催した。参加者は62人であった。

・点渦系の磁気流体シミュレーションコードを菖蒲 System B を用いて SC2 プロセッサに移植し、一万点渦シミュレーションを行った。その結果は EASIAM2018 (13th SIAM East Asian Section Conference 2018: June 22-25, 2018) で講演予定である。

・臯月を用いたレナード・ジョーンズ力系の大規模分子シミュレーションの結果をまとめ、Journal of Chemical Physics 誌に投稿した。ここで用いられたコードを元にして、PEZY-SC2 プロセッサ(菖蒲 System B および暁光)に移植が行われた。

・流体計算に関するベンチマークコードである Himeno Bench を臯月 (SC1 プロセッサ) に移植し、小規模システムにおける動作と性能の確認を行った。

・大脳皮質神経回路モデルのプログラムについては、これまでC言語とMPIで開発されてきた、そこでPEZYシステムで使用されているOpenCLへの移植に取り組んだ。計算主要部分のカーネル関数化において、カーネル関数内での結合データの動的メモリ確保がOpenCLでサポートされていないという問題に直面した。現在、仮想的にメモリ確保を行うことでの解決を検討している。

・プロジェクトのホームページとSNSについて、ほぼ公開できるバージョンを作成したものの、大きな状況変化が起こり、内容に大きな変更が想定されることから混乱を避けるために公開を見送った。

(2) ミドルウェア、BLAS の開発および第一種粒子法シミュレーション：牧野淳一郎（神戸大学）

本課題では、様々なアプリケーション（後で詳述）のチューニング事例研究を積み上げて、ヘテロジニアス・メニーコアプロセッサに対する新規なプログラミングモデルを構築し、そのプログラミングモデルを基に、ヘテロジニアス・メニーコアプロセッサ用のミドルウェアを構築することが目標である。今年度は、粒子法フレームワーク FDPS (Framework for Developing Particle Simulation) および格子法用フレームワーク (Formura) の実装のため、これらの試験的移植を行い、小規模システムにおける性能評価を行った。

SC2 向けの FDPS の移植では、AICS で開発された Sunway TaihuLight 用のコードをベースにした。SC2 も TaihuLight も、基本的には GPGPU のようなアクセラレータシステムとしてプログラムすることが可能だが、ホストにあたる汎用コアの性能が相対的に低いため、アクセラレータ向けと同様なアプローチでは低い性能にしかならない。粒子系シミュレーションでは、演算量の 95% 以上を相互作用計算が占めるため、アクセラレータ向けのアプローチでは相互作用計算だけをアクセラレータで行う。ところが、SC2 や TaihuLight では、汎用コアと計算コアの速度比が実効的に数百となるため、相互作用計算部分だけを加速しても、汎用コアで実行されるそれ以外の部分がボトルネックになるからである。

この問題に対して、以下の 2 つのアプローチで対応を試みた。

- a) 相互作用計算以外の部分の計算量を大きく減らす。
- b) 相互作用計算以外の部分も、可能な限り計算コアで行う。

図 1-1 New Horizons of Computational Science with Heterogeneous Many-Core Processors で、講演する J. Dongarra 博士。



(a) については、相互作用計算に使われるツリー構造を複数ステップ使い回す新しいアルゴリズムを実装した。この新しいアルゴリズム自体は、FDPS フレームワーク自体のオプションとして実現できるため、FDPS を使って書かれたアプリケーション側は変更なしでこの機能を利用できる。(b) については、ツリー構築、相互作用リスト構築等の、計算時間の大半を占める部分を計算コア側で実装することに成功した。これらにより、SC2 の場合でも相互作用計算が実効時間の大半を占めるようにできる見込みである。

格子計算フレームワーク Formura についても、同様に SC2 へのポートを進めている。これは時間方向ブロッキングを行うことで、メモリバンド幅に制約されない高い実行効率を実現するフレームワークである。

なお、当初計画では 29 年度から、線形代数演算サブルーチンパッケージ BLAS (Basic Linear Algebra Subprograms) の PEZY-SC2 への移植に、関連する基本性能特性を取得した。これをもとに、H30 年度以降に PEZY-SC2 システムの利用可能性を考慮しつつ進めることとした。

また、これらの成果について、以下の論文を SC18 Gordon Bell 賞候補として投稿した。

- (1) 3.8-petaflops Molecular Dynamics Simulation of Water using Framework for Developing Particle Simulator on GYOKOU
- (2) 48-petaflops global simulation of planetary rings on Sunway TaihuLight and GYOKOU
- (3) New approach for large-scale simulation of compressible turbulence with temporal blocking on PEZY-SC2

(1)、(2) は FDPS、(3) は Formura によるものである。(2) は同様なアルゴリズムを Sunway TaihuLight と PEZY-SC2 に実装し、実装の相違点や効率を比較したものである。

(3) SPH 法および DEM 法による防災シミュレーション：阪口秀（海洋研究開発機構）

大規模粒子法シミュレーションの防災・産業への活用を促進するうえで、問題となるのがエネルギー（電力）コストである。PEZY-SC シリーズは、その電力性能などの面から、問題を改善する有効なアーキテクチャになる可能性がある。そこで、海洋研究開発機構においては、防災や工業プロセスの最適化に役立つ SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法による流体シミュレーションや DEM (Discrete Element Method) 法による粉粒体のシミュレーションの PEZY-SC シリーズへの実装を行っている。H29 年度は Framework for Developing Particle Simulator (FDPS) を用いて津波遡上問題等に適応可能な水塊向けの SPH コードの PEZY-SC への移植に取り組んだ。

SPH では近傍粒子との相互作用により運動方程式をモデル化する。それゆえ、近傍粒子相互作用計算への前処理と、カーネル計算の効率化が性能に大きく影響を及ぼす。本年度は、ヘテロジニアス・メニーコアの特徴を活かして、Tree 構造の作成等の複雑な操作が要求される前処理作業を CPU 由来で汎用性高い Host で行い、演算コストの高い相互作用カーネル計算を、加速器由来の演算能力の低いコアを多量に持つ PEZY-SC チップで行う実装を試みた。概要を図 3-1 に示す。

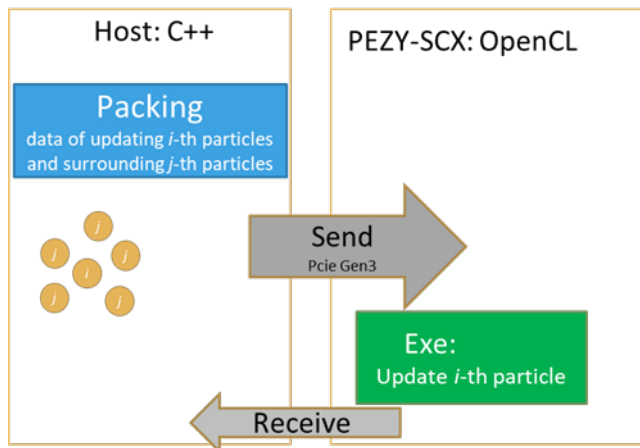


図 3-1 : 本年度実施した SPH コードの実装概念

本実装法において、ホットスポットとなる計算プロセスは大きく 3 箇所に分かれる。いま i 粒子と j 粒子の相互作用計算を考える。初めに Host 側で複数の i 粒子に対して、近傍粒子 j をまとめたデータセットを作成する (Packing)。その後、データセットを PEZY-SC に送信し (Send)、PEZY-SC において相互作用カーネル計算を実施する (Exe)。求めた i 粒子の解は Host に送信される。作成した SPH プログラムによる実計算において、これら Host でのコスト (Packing)、通信コスト (Send)、PEZY-SC でのコスト (Exe) のブレイクダウンを測定したものが図 3-2 である。

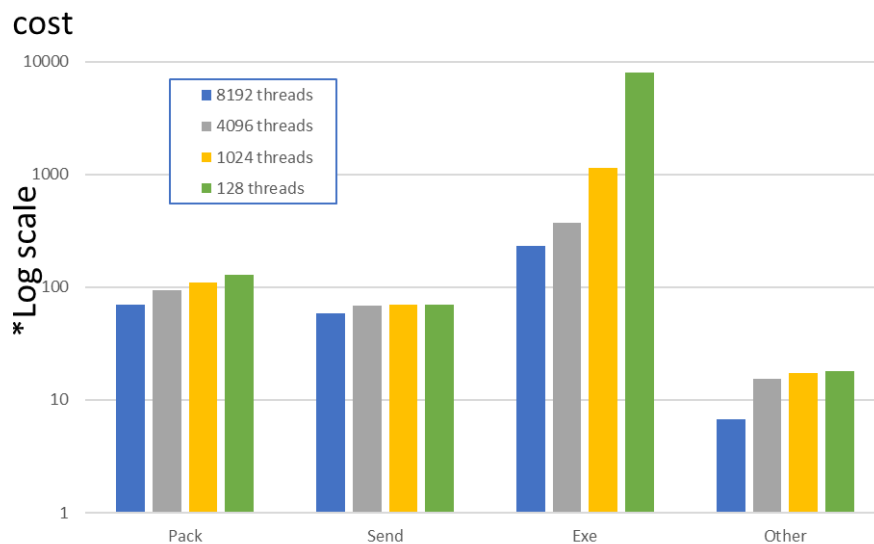


図 3-2 : PEZY-SC1 での SPH 計算において実測した計算コストのブレイクダウン

PEZY-SC デバイス上で用いたスレッド数に対して EXE のコストが減少している。つまり我々の実装において、カーネル計算でのメニーコアによる加速が確認できた。また、図 3-3 においてカーネル計算の加速がほぼ理論的に強スケーリングであることも確認できる。これにより、少ないスレッド (~128 threads) の計算で明らかにホットスポットとなっている EXE コストを、すべてのコアを用いた計算 (~8192

threads) では、EXE、Pack、Send のコストの割合がほぼ同じになるまで、大幅に削減できたことが分かる。

これは一方で、さらなるコード最適化においては、Host での作業や通信のコストを減らすことが必須であることを示している。本結果を鑑みて、次年度以降の課題として、出来るだけ前処理に PEZY-SC デバイスを活用する事や、通信コストを下げる作業に取り組む。

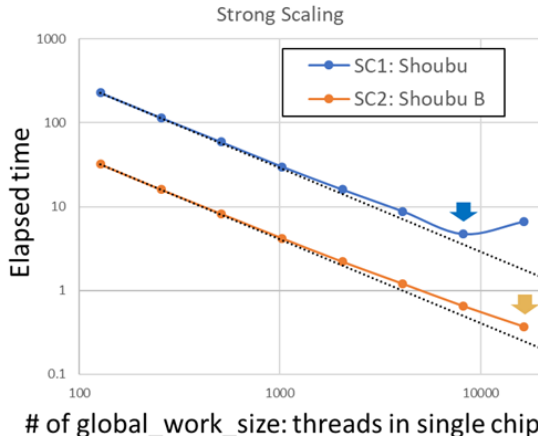


図 3-3 : カーネル計算 (EXE) のスレッド数に対するスケーリング

また、Open-CL を用いて新しく実装した SPH コードが意味ある解を与えることを確認するために、ダム崩壊問題における実験値との比較を行った。図 3-4 に PEZY-SC を用いて解いたダム崩壊計算の例を示す。

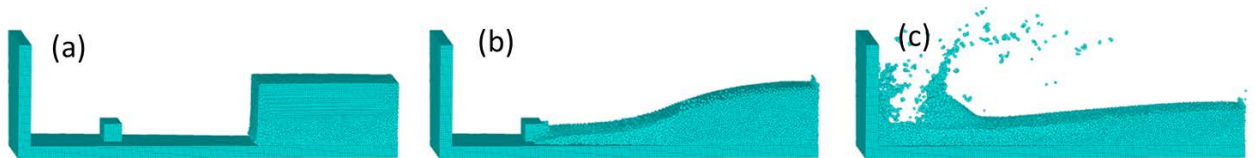


図 3-4 : PEZY-SC(阜月)において実装した SPH コードによる水塊問題の計算例。おおよそ 40 万粒子の計算が 1 プロセッサを用いて計算した。

水塊が崩壊して、中央に配置された障害物に衝突し、その後壁に衝突する様子が再現されている。そして本シミュレーションが定量的に水塊問題を適切に解けているのかを検証するために、実験値 [K. M. T. Kleefsman et. al., *J. Comp. Phys.*, 2005] との比較を行った。図 3-5 (a, b) はそれぞれ定点 (H2 と H4) での水面の高さの時間変化であり、図 3-5 (c) は定点 P7 における圧力の時間変化である。これらから、本件において実装した SPH コードが問題なく実験を定量的に再現していることを確認した。

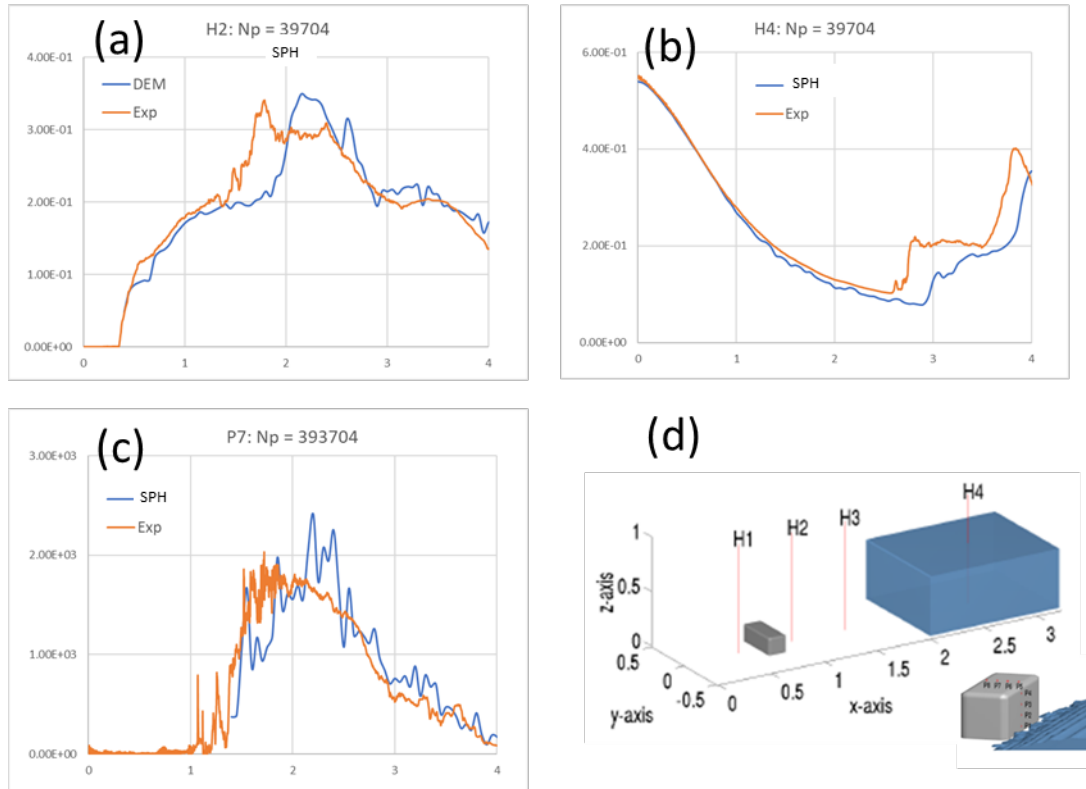


図 3-5 : PEZY-SC(阜月)を用いて計算した結果 (SPH) と実験値 (Exp) との水面の高さ (a) (b) と圧力 (c) の比較。各々の観測点は (d) に記載した

(4) 神経系シミュレーション：山崎匡（電通大）

大規模なネコ小脳の約 100 倍に相当するヒト小脳の実時間シミュレーションを実現する。H29 年度はネコ小脳のコードを PEZY-SC2 へ移植した。まず、小規模システムにおいてチューニングを行い、動作の確認を行った。その結果をもとに、SC2 で倍になったコア数を全て利用するようにし、かつ SC1 のときに深く依存していたローカルメモリを極力利用しないよう大幅に修正した。その結果、データを全て外部の DDR4 メモリに置きながらも、キャッシュにうまくデータを載せ続けることで、ローカルメモリ利用時と遜色ない性能を達成することができた。具体的には 6 秒間の小脳活動の数値シミュレーションが 2.3 秒で完了した。これは SC1 での実装に比べて 2.7 倍高速である。さらに、今回の実装にはシナプス可塑性も含まれており、リアルタイムでの学習が可能になっている。その動作を視機性眼球運動 (OKR) のゲイン適応 (図 4-1) の数値シミュレーションで検証し、動物を用いた行動実験を再現する結果を得た (図 4-2)。

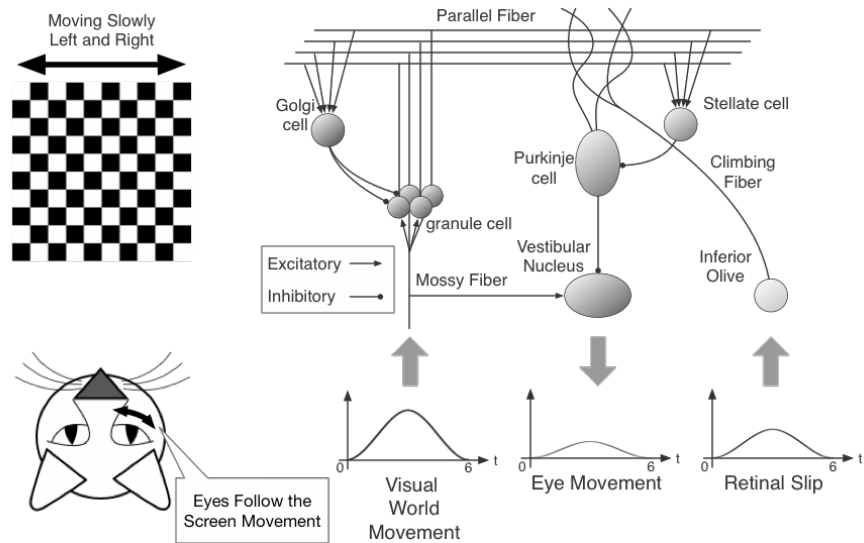


図 4-1. OKR1 ゲイン適応の小脳回路。OKR とは外界のゆっくりとした動きにあわせて眼球も同じ方向に動き視野像のぶれを抑える反射運動である。外界の速度情報は苔状線維から入力し、前庭核の出力が眼球の運動指令となる。眼球に追従が不十分だと網膜上で像のぶれが生じ、その情報が登上線維を介して小脳へと入力する。プルキンエ細胞での長期抑圧により前庭核への抑制が調節され、適切なゲインで眼球が動くようになる。

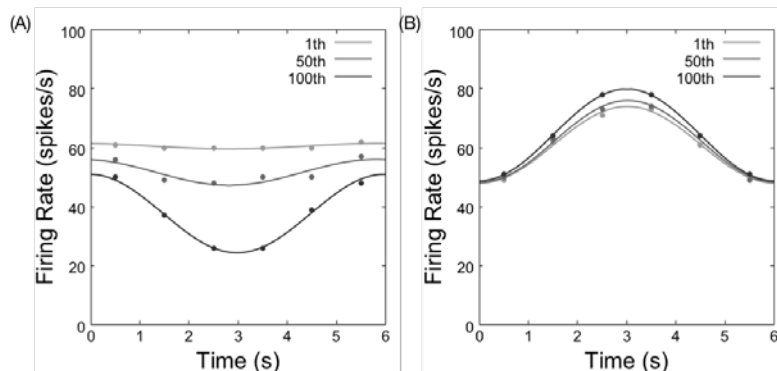


図 4-2. OKR ゲイン適応のシミュレーション結果。プルキンエ細胞(A)は正弦波状の視野像の動きに対して逆位相で発火し、長期抑圧によって発火頻度を減少させる。前庭核(B)はプルキンエ細胞からの脱抑制によって発火頻度を上昇させる。これがゲインの増大につながる。

開発と動作検証は菖蒲システム B で行い、さらに暁光全系の 8 割を使用した大規模計算の検証も行った結果、80 億ニューロンからなる小脳神経回路のリアルタイムシミュレーションができた。これはサル 2 頭分の小脳回路に相当する規模であり、霊長類の小脳の活動はリアルタイムにシミュレートできることを示している。また、良好な弱スケールを確認した(図 4-3)。よって、あとはシステムの規模を大きくすればヒト小脳は十分達成可能であるという感触を得ている。

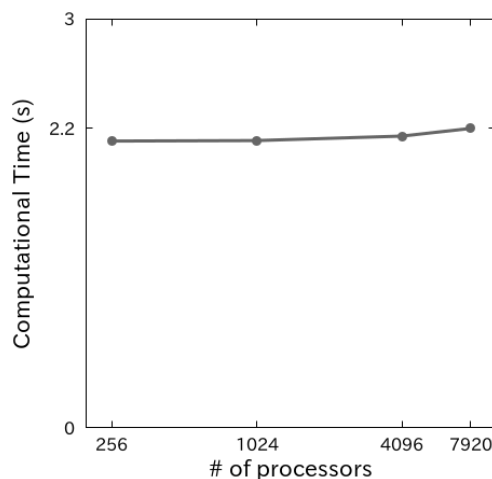


図 4-3. 弱スケーリングの結果。暁光の 7920 プロセッサまでのスケーリングを検討した。7920 プロセッサでは約 80 億ニューロンのシミュレーションとなっている。横軸はプロセッサ数、縦軸は 6 秒間のシミュレーションにかかった計算時間である。

以上の成果を、“A 1.85 Petaflops Simulation of Spiking Network Model of Monkey-Scale Cerebellum with 8 Billion Neurons in Real time on Gyoukou” という論文にまとめ国際会議 SC18 に Gordon Bell 賞候補として投稿した。

(5) 格子 QCD シミュレーション、素粒子摂動計算：石川正 (KEK)

素粒子論における格子 QCD シミュレーションコードを PEZY-SC2 のシステムへ移植し性能評価を行った。格子 QCD はクォーク間の強い相互作用を記述する量子色力学 (QCD) を格子状の離散的な 4 次元時空に定式化したもので、格子点上のクォーク場はカラー・スピンの自由度を持ち、格子点間のグルーオン場を介して隣接格子点間で相互作用する。数値シミュレーションは大規模疎行列の線形計算に帰着する。

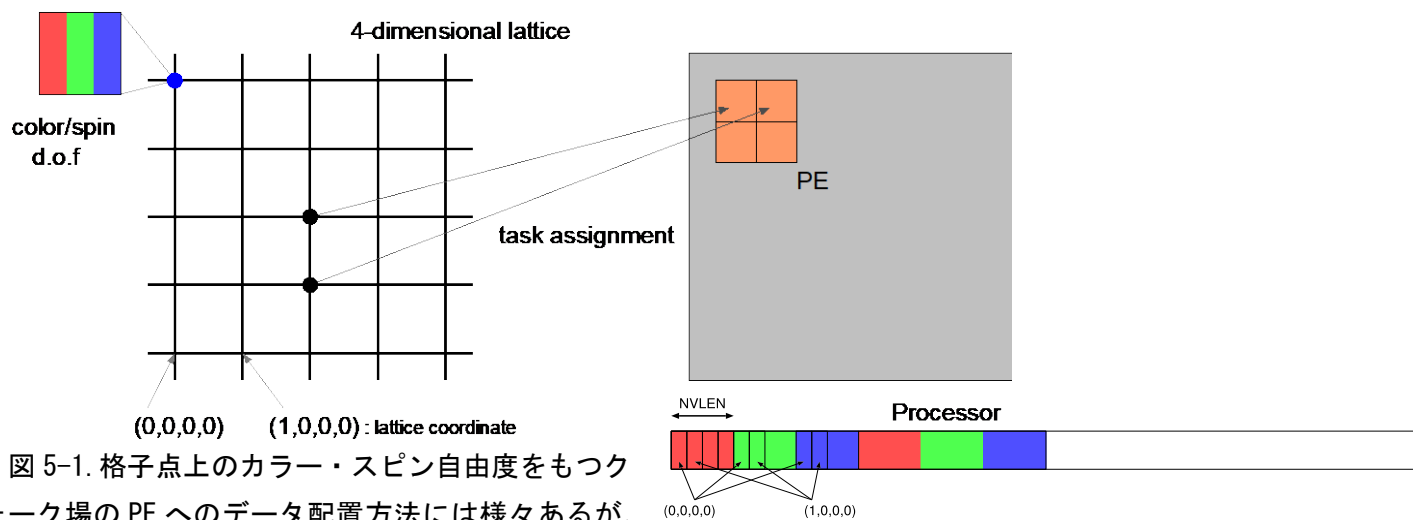


図 5-1. 格子点上のカラー・スピン自由度をもつクォーク場の PE へのデータ配置方法には様々あるが、カラー・スピン自由度を格子点ごとにパッキングする配列が適している。

PEZY-SC2 上のプロセッサコアで並列に演算を行なう際のメモリアクセス効率の観点から、各格子点とその上の自由度のデータ配置について検討を行い、カラー・スピン自由度を格子点ごとにパッキングした配列が適していることが分かった。

大きな格子サイズでの大規模シミュレーションでは複数の PEZY-SC2 を用いた並列化が必要となる。プロセッサ間のデータ交換がもう一つのボトルネックとなるが、演算と通信を重畳させることで通信のコストを隠蔽することも可能である。ノード間通信に MPI を用いたプログラムを作成し、小規模システムにおいて、プロセッサ数に対するスケール性や 4 次元格子の分割方法による通信量の変化について評価を開始した。評価に関しては日本物理学会において報告を行った。

LHC や ILC などの大型加速器実験の結果を理論的に理解するためには場の理論の高次補正が重要である。また、場の理論のその先の物理を進めるためにも、ファインマンループ積分の高精度計算が必要である。

ファインマンループ積分は、ループ数が増えることによって積分次元が増大する。1Peta Flops の性能があれば 7, 8 次元の求積法による積分が可能になっている。被積分には特異性を有するものがあり、多倍長演算を用いて数値計算することも必要である。被積分関数は、ファインマンダイアグラム毎に異なり、演算精度を倍精度から、4 倍精度に変更したりすることが求められる。メニーコアシステム用にコード生成ジェネレータを PEZY-SC2 のシステムに移植を行い、倍精度および四倍精度演算の数値計算が可能となった。図のような 3 ループは、7 次元積分（ループの内線から 1 を引いた数が積分次数）であり多重積分ではあるが、被積分関数は特異性があるため、高速に収束する二重指数変数変換を用いた台形公式を多重に適用している。このように多次元積分を求めることができ物理の成果として発表を行った。

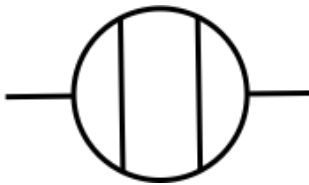


図 5-2. ファインマン・ダイアグラムの例。これは 3 ループダイアグラムであり、摂動次数が上がるほどループ数は増える。ダイアグラムに相当するファインマンループ積分を行う。この図では 8 本の内線があり、1 つ引いた 7 次元積分が必要になる。

(6) ゲノム解析：黒川顕（遺伝研）

類似度検索の世界標準プログラム BLAST とほぼ同等の機能を持つオリジナルプログラム CLAST の PEZY-SC2 システム移植版「PZLAST」の開発に着手した。

配列相同性検索のコアはクエリ配列と参照配列間の配列アライメントであり、両者で完全一致領域（シード）を探索した後、シード周辺でグローバルアライメントまたはローカルアライメントを実行することで高スコアのアライメントを得る。しかし、高スコアのアライメントを得る際、シード周辺の全領域でアライメントを実行するのは計算コストが高いため、シード数を削減する必要がある。本研究では、バンド状のシード周辺領域を定義し、全シードを配列中の位置でソート後、周辺領域内にないシードを除去することでアライメント実行数を削減している（図 5-1）。CLAST ではこれらほとんどの処理を GPU 上で実行している（図 5-2）。

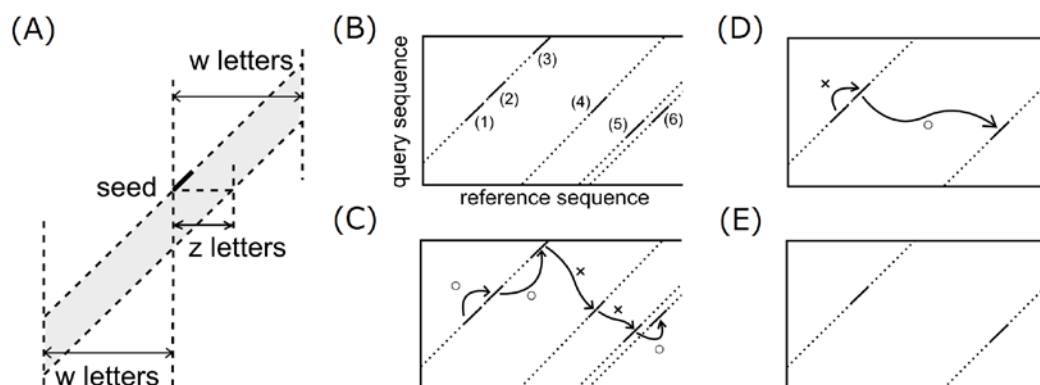


図5-1. シード数を減らすアルゴリズム。(A) 灰色領域は各シードの周辺領域を示す、(B) 各シードに付した番号は、位置によってソートされたシードの順序を示す、(C) シードチェック手順1。○印は次のシードが周辺領域にあることを意味し、×印は次のシードが周辺領域にないことを意味する、(D) シードチェック手順2。×印は次のシードが周辺領域にあることを意味し、このシードを除去する、(E) 最終的にシードが孤立し、その周辺領域にはシードはない。

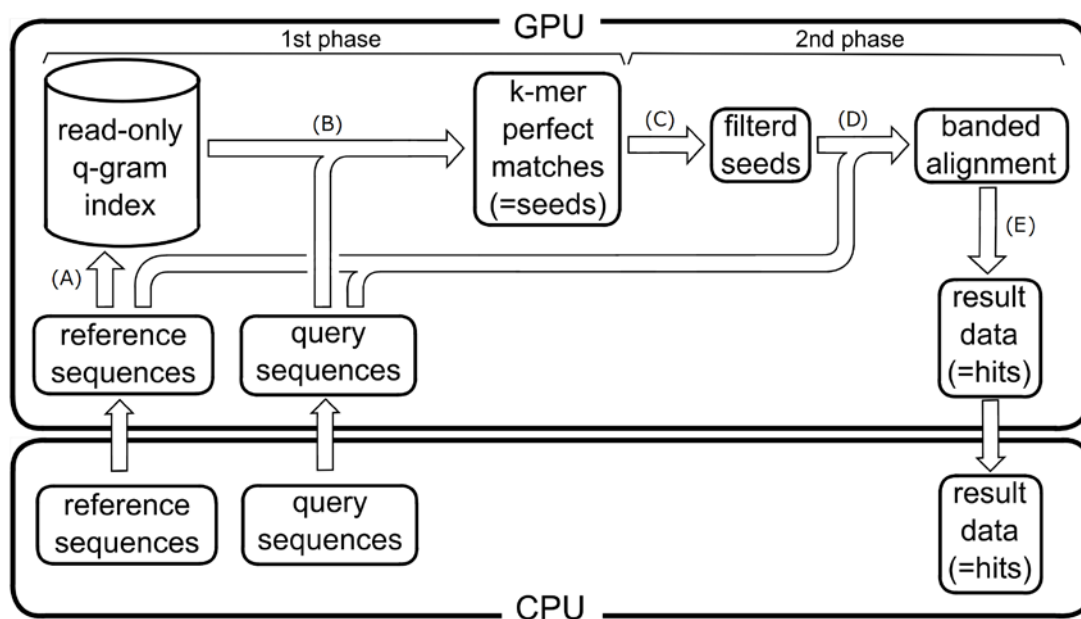


図5-2. CLAST検索処理フェーズの概要。(A) 参照配列データベースから読み取り専用Q-gramインデックスを作成、(B) 読み取り専用Q-gramインデックスを用いて、クエリ配列群と参照配列データベース間でシードを作成、(C) シードをフィルタリングし計算時間を圧縮、(D) シードをもとにアライメントを実行、(E) アライメント結果をスコア等によりフィルタリングし出力。

上記アルゴリズムをPEZY-SC2に実装し小規模並列レベルでのチューニングを行うために、16S rRNAアンプリコンメタゲノムデータ(151塩基、157,931配列、合計29.6MB)を16S rRNAデータベース(約1,500塩基、31,198配列、合計47.3MB)を対象としたテストを実施した。分割数、ソート手法などをチューニングすることでPEZY-SC2 x 32(1 Brick)環境下、全計算実時間が6 secとなった。これはGPGPUのCLAST利用時の約10倍の速度である。来年度は大規模配列データとしてショットガンメタゲノムデータも用意し、来年度以降に高速類似度解析や遺伝子動態予測に使うための解析を行う。

2-3. 活動（研究会の活動等）

①研究連絡会議の実施

研究開発課題責任者、コーディネーター、各分担先代表者を構成メンバーとする研究連絡会を設置し、第一回研究連絡会議を開催した。苜蒲 System B を使い、SC2 プロセッサへの移植と最適化を進めることにした。

第1回研究連絡会議 1月4日(月)14:00-17:00 理化学研究所

②国際シンポジウム「New Horizons of Computational Science with Heterogeneous Many-Core Processors」

2月27日、28日 理化学研究所大河内ホール

2-4. 実施体制

業務項目	担当機関	担当責任者
(1) 研究統括、広報、流体・磁気流体、および大脳シミュレーション	国立研究開発法人理化学研究所	姫野龍太郎
(2) ミドルウェア、BLAS の開発および第一種粒子法シミュレーション	国立大学法人神戸大学	牧野淳一郎
(3) SPH 法および DEM 法による防災シミュレーション	国立研究開発法人海洋研究開発機構	阪口 秀
(4) 神経系シミュレーション	国立大学法人電気通信大学	山崎 匡
(5) 格子 QCD シミュレーション、素粒子摂動計算	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構	石川 正
(6) ゲノム解析	国立遺伝学研究所	黒川 顕

別添 1 学会等発表実績

1. Mikito Furuichi and Daisuke Nishiura, “Development of Parallel Particle Simulation Code and Challenges with Huge Granular System”, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, 2018/03/08

2. Mikito Furuichi, Daisuke Nishiura, Natuki Hosono and Hide Sakaguchi, “Development of Parallel Particle Simulation Code and Challenges with Huge Granular System”, International Symposium: New Horizons of Computational Science with Heterogeneous Many-Core Processors, 2018/02/28

3. メニーコアプロセッサの格子 QCD への応用

青山龍美(京大基研), 石川健一(広大理), 石川正(KEK), 松古栄夫(KEK)

日本物理学会第 73 回年会 (2018 年)、東京理科大野田キャンパス、2018 年 3 月 22 日

4. ファインマン積分の数値計算法: GRAPE9-MPX と PEZY-SC による多倍長精度計算の高速化とアプリケーション

台坂博(一橋大), 中里直人(会津大), 石川正(KEK), 湯浅富久子(KEK), 加藤潔(工学院大), 似鳥啓吾(理研 AICS)

日本物理学会第 73 回年会 (2018 年)、東京理科大野田キャンパス、2018 年 3 月 22 日

5. 微生物統合データベース「MicrobeDB.jp」

黒川頭(遺伝研)

第 91 回日本細菌学会総会 (2018 年)、福岡国際会議場、2018 年 3 月 27 日

論文

[1] Takanori Sasaki and Natsuki Hosono, “Particle Number Dependence of the N-body Simulations of Moon Formation”, The Astrophysical Journal, Volume 856, Issue 2, article id. 175, 14 pp. (2018)