

論文の内容の要旨

論文題目 次世代スーパーコンピュータ環境における
効率的かつ大規模な
詳細神経回路シミュレーション手法に関する研究

氏 名 宮本 大輔

近年、EUのHuman Brain ProjectやアメリカのBRAIN Initiativeなど、世界的に大規模な全脳スケールの脳研究プロジェクトが進められている。これにより、全脳規模かつ単一神経細胞レベルの実験的データ基盤が整いつつあり、今後、これらの情報を統合的に理解するために、シミュレーションによる再構築や計算機実験が大きな役割を果たすことが期待されている。しかし、実際に全脳スケールでのシミュレーションを行うためには、実験データの整備だけでなく、スーパーコンピュータのような大規模計算資源と、そのような大規模並列環境で高速に動作するシミュレーション環境の構築が不可欠となる。そこで本研究では、脳の情報処理機構について、単一神経細胞レベルからボトムアップに再構築した全脳スケールモデルを対象に、高効率・高並列なシミュレーションが可能なプラットフォームの構築を行った。

シミュレーションを行う対象としては、単一神経細胞レベルのデータが整備されている生物として、カイコガ (*Bombyx mori*) 及びショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) を用いる事とした。これらの生物に由来するデータベース上の情報に基づき、詳細な細胞形態を再現したマルチコンパートメントHodgkin-Huxley型モデルとして大規模神経回路を再構築した。この時、利用目的の違いとして、「カイコガ均一神経細胞モデル」、「カイコガLAL-VPC領域86細胞神経回路モデル」、「ショウジョウバエ大規模モデル」の3種類のモデルを作成した。この再構築された大規模神経回路モデルを用い、汎用的な神経細胞・回路シミュレータであるNEURONをベースに、CPU命令レベルの演算性能の高速化・高効率化による単体性能の向上、OpenMP/MPIハイブリッド並列化による並列性能の向上、細胞分割による演算時間の短縮、細胞形態縮約による演算時間の短縮といった高速化・高並列化手法の提案と実装を行った。これらは、現代のスーパーコンピュータにおける、命令レベル並列性、スレッドレベル並列性、ノードレベル

並列性に対応するものである。これにより、最終的に、理化学研究所計算科学研究所の京コンピュータを用い、約10,000神経細胞から成る「カイコガ均一神経細胞モデル」においてはリアルタイム相当の速度で、また、多様な細胞形態を有する約10,000神経細胞から成る「ショウジョウバエ大規模モデル」においては、リアルタイムの約3~5倍程度の速度でのシミュレーションを実現することに成功した。これは、詳細な細胞形態を有した神経回路シミュレーションとしては、世界最大級の規模となるものである。

また、同時に、次世代のスーパーコンピュータ環境を見据え、GPGPUや、Xeon PhiやPEZY-SCといったメニーコアアーキテクチャについても、本シミュレーション基盤を適用し、いずれの環境でも高い性能を得ることができた。

本研究により、昆虫の脳情報処理機構解明に向けた全脳シミュレーションの計算機科学的基盤として、データベース情報を元に、高速かつ高並列なマルチコンパートメントHodgkin-Huxleyモデルシミュレーションを行うための環境が大きく整備された。また、本研究は実験データの入手性から昆虫脳を対象としているが、シミュレーション基盤としては、ゼブラフィッシュやヒトなどのより高次な生物についても適用可能であり、将来的なヒト全脳シミュレーションに向けた共通のシミュレーション基盤を提供するものである。