

研究課題別評価書

1. 研究課題名

神経系の双方向マルチスケールシミュレータの開発

2. 氏名

大武美保子

3. 研究のねらい

急速に高齢化が進むわが国において、運動障害や認知障害等をもたらす神経疾患の診断、治療、および予防に役立つ技術の開発が急務となっている。生体、特にヒトの脳神経系をモデル化しシミュレーションすることができれば、ヒトが外界から受ける影響をあらかじめ予測したり、ヒトの内部状態を外界からの観測により推定したりして、その状態に応じた適切な働きかけをする工学システムを設計することができる。筋骨格系については、長年研究され市販のシミュレータが存在する。脳神経系については、細胞や一部の神経回路を記述したモデルが存在する。しかし、脳神経系全体をミクロからマクロまで扱い、なおかつ筋骨格系、運動計測装置など他のシステムと接続可能なシミュレータは構築されてきていなかった。

本研究の目的は、脳神経科学、バイオ情報学、生体医工学、データ科学、計算機科学、人工知能学、認知科学の分野で得られた知見を統合して、分子・細胞・組織・個体の階層を含む詳細な神経系モデルを構築し、ヒトの運動など外界からの計測情報を用いて駆動することができる実世界に開かれた脳神経系シミュレータを開発することである。ヒトの動きを外部から観測して脳神経系の内部状態を推定する技術、具体的には、モーションキャプチャデータから筋長や筋伸長速度を計算し、運動情報を処理する神経系への入力情報を計算で求め、神経系モデルを駆動することのできる神経系の双方向マルチスケールシミュレータを開発する。全身のマクロな運動出力と神経系のミクロな内部状態を双方向に計算することにより、薬物や運動など、様々な入力による神経系の内部状態変化、および運動出力の予測が可能になる。運動計測データを筋骨格系モデルおよびマクロスケールの脳神経系モデルへ写像し、データ変換を行うトップダウンアプローチと、ミクロスケールの神経細胞モデルをマクロスケールの神経系モデルに接続するボトムアップアプローチを組み合わせ、マルチスケールシミュレーションを実現する。本研究では、医療への応用を念頭に開発を行う。その結果得られる技術は、神経疾患の診断、薬物や運動による治療などの医療への応用に加え、ヒューマンインターフェイスやトレーニングシステム等への応用が期待される。

4. 研究成果①

4. 1 運動計測に基づくマクロスケール神経系シミュレーション : トップダウンアプローチ

脳が体を動かしているとき、体から脳へ体がどのように動いたかの情報が伝えられる。筋肉の中に筋肉の長さを測るセンサである筋紡錘が埋め込まれているからである。この場合モーションキャプチャにより体の姿勢が分かると、筋肉モデルを使って筋肉の長さを求めることができる。筋肉の長さが分かると、筋紡錘からのセンサ信号を推定することができる。しかしながら、モーションキャプチャデータから神経情報まで一連を計算するシステムは開発されてこなかった。そこで本研究では神経系の解剖学モデルを構築し、筋紡錘からのセンサ信号から神経系に入力される信号パターンを求める技術を開発した。そして、体の動きから筋紡錘が発生する信号を計算する一連のデータ処理システムを開発した。運動計測から脳神経系モデルまでは、以下の三つのステップで構成される。

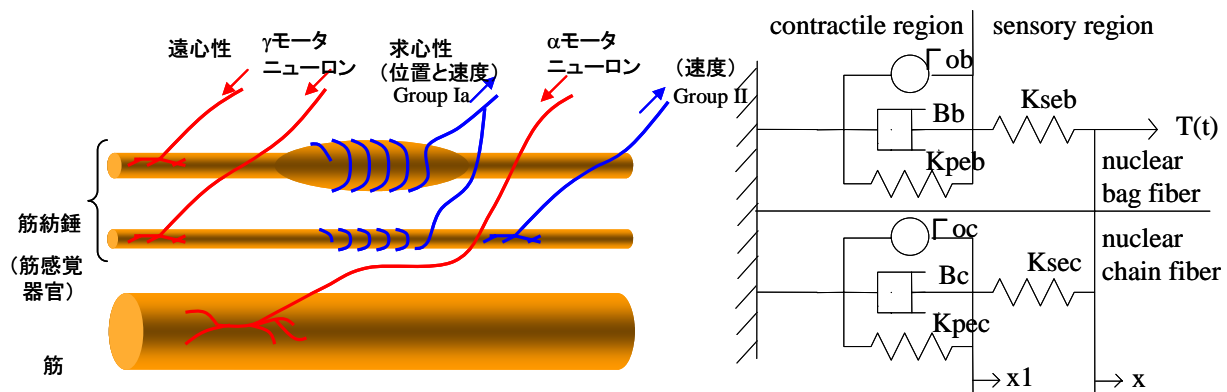


図 1 筋紡錘の構造とそのモデル

(1) 神経系のマクロモデルと神経－筋インタフェースの構築

筋運動情報から神経信号を計算することを目的とし、これまでに作成されている筋紡錘のモデルを参考に筋紡錘モデルを実装した。筋紡錘は筋の長さや伸長速度を感知して脊髄への入力信号に変換するセンサの役割を果たし、変換した信号を脊髄へと伝える。図 1 にそれぞれ筋紡錘とそのモデルを示す。各繊維は収縮性の部分と非収縮性の部分で構成され、収縮性の部分は弾性要素、粘性要素、力発生要素からなり、非収縮性の部分は弾性要素のみからなる。非収縮性の部分が感覚部に対応し、感覚部の伸展量に比例した頻度で発火が起こるとする。収縮性の部分は、遠心性神経からの信号により伸縮し、筋紡錘の感度を能動的に調節する役割を持っている。能動的な調節があった場合からなかった場合までの幅を持つ解が、筋紡錘モデルにより得られる。作成した筋紡錘のモデルを用いて、運動の計測データから得られた筋長の時系列データを、筋紡錘から脊髄に入力される信号に変換できるようになった。

(2) 脊髄神経系の並列計算手法の提案

脊髄は灰白質と白質に分かれており、灰白質において感覚ニューロンと運動ニューロンの結合が行われる。脊髄は各層ごとに支配する筋が決まっており、各層のニューロンが機能的あるいは機能的に関連のある筋と結合して運動制御を行っていると考えられている。図 2 に示すように、自己筋が伸長すると筋紡錘はそれを感知して、それに反して自己筋を興奮させ収縮させようとする。筋紡錘モデルにより、運動計測から計算される筋長から感覚ニューロンのスパイク密度を求めることができるので、スパイク密度をスパイク列に変換し、これを運動ニューロンへの入力とし、H-H 方程式を解くと、脳など他の部位からの入力の影響を除いた、感覚入力に対する応答が得られる。すなわち、その時の運動ニューロンの膜電位、ナトリウム活性化変数、ナトリウム不活性化変数、カリウム活性化変数など、身体運動が、神経細胞の電気化学的状態変化を起こす過程をシミュレーションすることができるようになった。

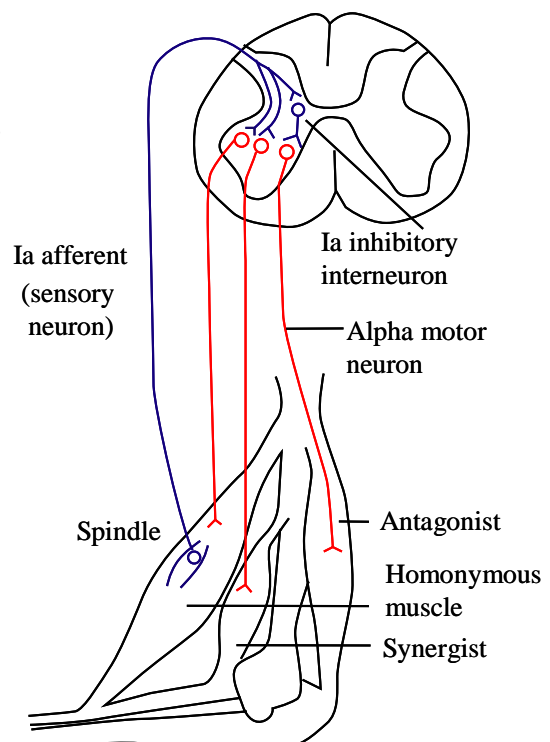


図 2 脊髄反射系

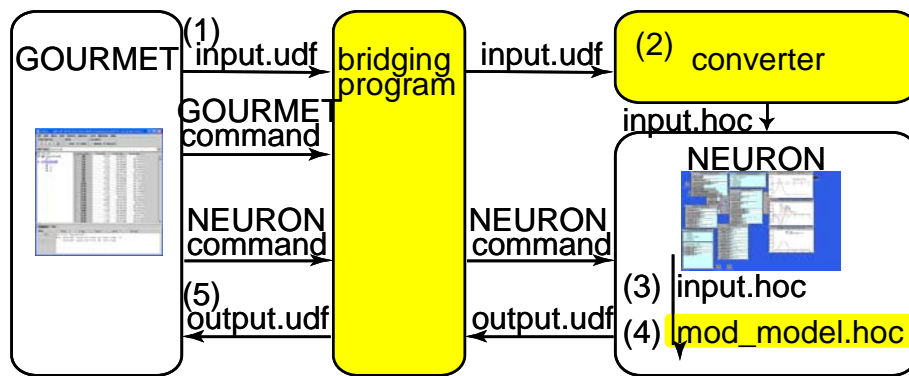


図 3 神経系モデルのインタフェース

(3) マクロスケールの脳神経系モデルの構築

筋と結合する神経には体の部位に応じた配置、即ち体性局在が見られる。脊髓節と支配筋との対応関係と体性局在、および筋骨格モデルを構成する筋の筋紡錘から出た神経が各脊髓層に至るまでの経路をモデル化した。さらに、各脊髓層から大脳皮質や小脳へ至る経路、大脳皮質体性感覚野における体性局在をモデル化した。以上のように、神経解剖学モデルを構成することにより、身体運動が神経系内部からどのように観測されるかを読み取ることができるようになった。そしてこれらの情報をもとに、トレーニングやリハビリテーション支援に役立てる手法を提案した。目的とする状態と計測される状態を神経情報レベルで比較、解析し、目的とする状態に近づくよう支援する。この手法については、さががけ研究期間開始直前に出願し、開始後も実用化に向けて研究を行い、さががけ研究期間中に特許登録された。

4. 2 マクロスケールの脳神経系モデルからミクロスケールの神経細胞モデルまで :ボトムアップアプローチ

脳は約 1000 億個の神経細胞のほか、神経細胞に栄養を与える約 1 兆個のグリア細胞、さらにグリア細胞に栄養を送る脳血管などで構成されている。体を動かすとき、多数の神経細胞が活性化して筋肉を動かし、筋紡錘からの神経信号が脳に伝達して、多数の神経細胞を活性化させる。神経科学の分野では、神経系全体の機能を解明するために、研究成果を共有し、統合する必要性が強く認識され世界的な潮流となっていることから、神経科学データベースが 100 個以上あり、年々増加している。その一つである神経細胞モデルデータベース ModelDB には、100 以上の神経細胞モデルが登録されている。これは、神経科学者によって作成され維持されているものである。しかしながら、これらのモデルをマクロスケールの神経系モデルと統合されてこなかった。そこで本研究では、神経細胞モデルデータベースを活用する手法を提案し、その結果、脳の異なる部位の神経細胞がそれぞれ活性化する様子を計算できるようになった。

データベースに登録された神経モデルは、本来単体で動かすように作成されたものであるため、そのままでは複数モデルを同時に計算し外部プログラムと入出力を授受するといったことはできない。入力はスクリプトファイルの内部に変数と共に埋め込まれ、出力はグラフプロットの形で表示される。そこで、入出力をモデルの中で整理し切り分けることにした。入出力ファイルの形式として、土井らの開発した UDF フォーマットを採用した。データフォーマットが規格化されていないモデルに対して、物理量を自由に定義することができるからである。プロットコマンドの中に入出力変数が埋め込まれているという性質に着目し、入出力を効率よく同定する手法を開発した。これにより、100 個以上あるモデルの同定を高速に行うことができるようになった。異なるシミュレーション環境の上で開発されたモデルを同時に動かすことを目的として、図 3 に示すように、シミュレーション統合化プラットフォーム Gourmet とのインタフェースを開発した。

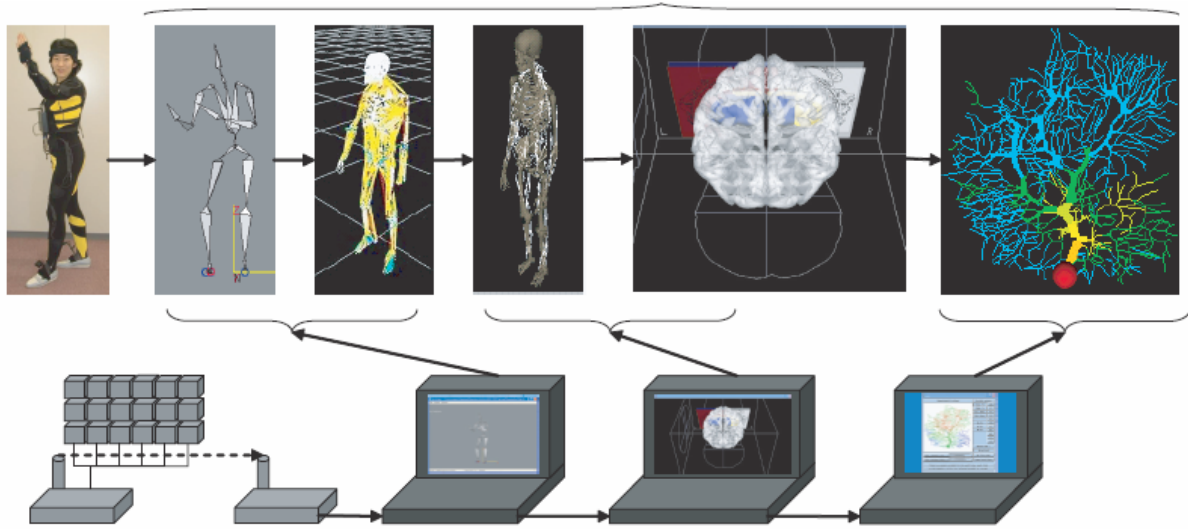


図 4 オープンブレインシミュレータのシステム構成

4. 3 オープンブレインシミュレータの構築

オープンブレインシミュレータの計算システムは、体の各部位の姿勢を取り込んで送信する無線送信機つきセンサと、センサの情報を受信して全身の姿勢を再構成する計算を行う無線受信機つき計算機、体全体の姿勢から体性感覚野における脳活動を計算する計算機、さらに小脳のプルキンエ細胞における神経活動を計算する計算機で構成される。被験者は磁気ジャイロ式姿勢センサを全身に分布させたモーションキャプチャスーツを装着する。センサと全身の姿勢を計算する計算機の間は無線でつながっている。センサ情報から全身の姿勢を計算するモジュールと、全身の姿勢から筋長、筋伸長速度に基づく脳神経活動を計算するモジュール、神経細胞の反応を計算するモジュールは負荷が大きいので、計算機を分散しネットワークでつないだ(図 4)。以上により、マクロスケールとミクロスケールの神経モデルを統合し、運動計測データによりシミュレータを駆動することができるようになった。実世界に開かれた脳神経系シミュレータは世界初である。さががけ研究期間中のさががけライブ 2006 において、自らモーションキャプチャスーツを着用して、デモンストレーション発表を行い、科学技術系の新聞や雑誌、テレビ番組を通じて報道されるなど注目を集めた。

4. 4 マルチスケールシミュレーションのための並列計算基盤の開発

マクロスケールの運動計測結果から、ミクロスケールの個々の神経細胞活動を予測するためには、複数の神経細胞の活動を並列で予測できるようにする必要がある。そこで、並列計算の専門家との共同研究を通じ、並列計算ツールである GXP、MPICH、SCALAPACK を用い、a) リング状にネットワークしたクラスタでパイプライン処理するシステムや、b) 大規模な行列計算を高速に行うシステムを構築した。そして多変量時系列データを対象に CHLAC 特徴抽出を行うシステムを開発した。

a) リング状にネットワークしたクラスタでパイプライン処理するシステムでは、一台の計算機からクラスタにデータを送信した。またクラスタ内での通信をリング上のネットワーク接続を通して行わせた。このネットワークでは、まず1台に画像を送り、クラスタ内で通信を行うことで、そのデータを必要とする他の計算機にデータを送る。このためネットワークへの負荷は小さくなる。また、このようにすることで処理の終わった計算機を効率よく再利用できるようになった。

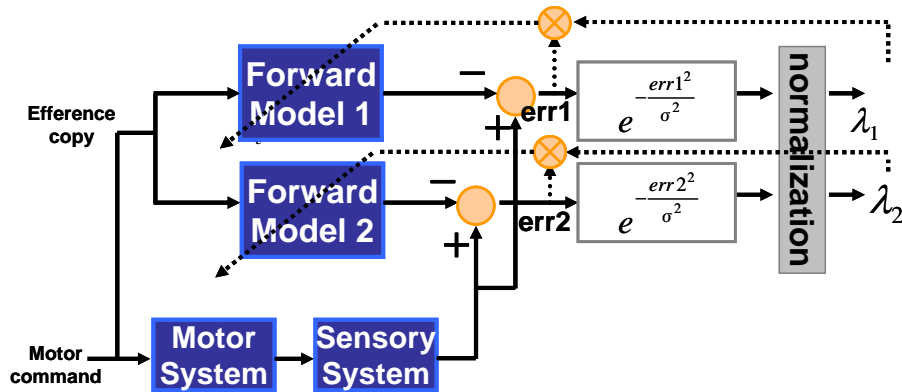


図 5 行為の自他帰属性モデル

b) 大規模な行列計算を高速に行うシステムでは、GXP を用いて時系列データ毎に各プロセッサを割り当てることによって並列実行した。GXP とは田浦らが開発した大量のプロセッサに対して同時にコマンドを投入することができるツールである。また、特徴抽出の際に行う共分散行列の計算には通信ライブラリ MPICH を用いた。固有値問題における固有値、固有ベクトルの計算では、各プロセッサに連続した領域を割り当てつつも負荷を均等に保つため、並列数値計算ライブラリである scaLAPACK を利用し、行列をブロック・サイクル分割して並列実行した。以上を通じ、これまで別々に研究されてきた、実世界情報処理技術と並列計算技術を融合することに成功した。

4. 5 行為の自他帰属性のモデル構築とシミュレーション

脳は、筋肉に送った脳からの司令が作り出す体の動きと、その結果、筋紡錘から脳に返ってくるセンサ信号を予測していると考えられている。体の動きをシミュレーションする脳の部位は脳の頭頂葉や小脳にあると考えられている。代表的な脳の疾患である統合失調症患者の中で、自分の体が他人の意志で制御されていると感じる症状を持つ人は、体の動きのシミュレーションに関連する部位に障害が生じていると考えられている。自分の体の動きを予想することができないため、思った通りに体が動かないと感じるというのである。

行為の自他帰属性とは、人間がある行為をした際にその行為を自己に帰属するか他者に帰属するかの判断の傾向のことである。行為の自他帰属性の脳内メカニズムを説明するモデルとして、これまでに例えば Forward model、Who system といった仮説が提案されている。しかし、そのメカニズムは明らかにされなかった。外部からの運動計測と主観的な心理状態を対応付けることを目的として、行為の自他帰属性のモデルに Forward model を仮定し、心理実験と比較可能なシミュレーションを行い、より詳細な行為の自他帰属性を説明する認知神経モデルを構築した。

心理実験結果から得られた、行為の自他帰属の判別基準のタスク中での変化、ならびにタスクの進行に伴う明確化を実現するモデルを提案し、シミュレーションを行うことでその妥当性を検証した。上記の二つの特性を満たす、つまり、各時間遅れにおける自己帰属率曲線が左右に推移しながら、その勾配がタスク進行に伴い急になるという特性を Forward model が満たすためには、2つの予測値(最も自分だと思える時間遅れ、最も自分だと思えない時間遅れ)を用意し、それらが変化することで曲線の形状が変化するという方法をとることが有効であると考えられる。そこで、motor control の分野で提案されている Wolpert らの Multiple forward models を本実験で用いたタスクに適用した(図 5)。並列に存在する二つの Forward model は各々その時点で最も自分だと思える、または思えない時間遅れを予測し、それらの予測値が各 stage での判断結果によって変化するとした。

以上を通じ、外部入力とそれに基づく判断が、神経系の内部状態、さらに意識に与える影響を予測し、精神疾患の診断等につながる、未来の医療技術の基盤を構築した。本研究項目は、精神神経科学の専門家との共同研究により実施した。

4. 6 認知症予防回復支援サービスの開発

神経系の双方向マルチスケールシミュレータの研究を通じ、ヒトの認知メカニズムに基づいて、認知症の予防回復効果が期待できる「共想法」を考案した。そこで、勤務するキャンパスがある柏市の介護予防施設において実施した。共想法は、参加者が持ち寄った画像を提示しながら対話し、認知症の予防回復に効果があるとされる、エピソード記憶、注意分割力、計画力を意識的に活性化させるものである。記憶テストや対話のプロトコル解析の結果から、その有効性が示唆されている。本研究項目は、記憶機能を司る神経系モデルの構築、加齢が認知機能に与える影響の検討、脳機能イメージングによる内部状態推定技術の開発など、多彩な研究テーマを含み、医療分野における高度治療へつながる応用の基盤となる。報道発表を行ったところ、全国紙、地方紙、テレビ 3 件を含む、20 件以上の報道があり、本研究項目の社会的重要性が広く認識された。

5. 自己評価

本研究は、脳神経科学、バイオ情報学、生体医工学、データ科学、計算機科学、人工知能学、認知科学の分野で得られた知見を統合して、分子・細胞・組織・個体の階層を含む詳細な神経系モデルを構築し、ヒトの運動など外界からの計測情報を用いて駆動することができる実世界に開かれた脳神経系シミュレータの開発を目指した。さがけ研究応募時には、マクロスケール（末梢・中枢神経系で構成される個体レベル）の神経系シミュレーションの研究に着手していたが、採択をきっかけに、ミクロスケール（分子・細胞レベル）、メゾスケール（領野・領野間結合レベル）のシミュレーションの研究を実施し、これらを統合したマルチスケールシミュレーションの研究を行うことができた。当初の研究計画では、第一年次にマクロスケール、第二年次にミクロスケール、第三年次にメゾスケール、第四年次に統合化と応用を行うこととしたが、ほぼ計画通りに研究を推進することができた。

マクロスケールのシミュレーション研究は、情報科学技術の諸分野を融合した未来の情報環境の構築を目指す、21 世紀 COE プログラム「情報科学技術戦略コア」に参加し、運動計測からヒトの内部状態を推定する技術の開発を目指す中で着想した。従来は、モーションキャプチャデータをヒトの筋骨格モデルに写像し、筋長・筋張力を計算する研究が行われてきた。しかし、これらのデータが得られても、そこからヒトの内部状態までには距離があった。この間をつなぐのは神経系であることから、神経系のシミュレーション技術の開発に着手し、身体運動がヒトの神経系からどのように観測されるかを計算で求められるようになった。さがけ申請中に出願した特許は、さがけ研究期間中に研究を進める中で登録され、実用化に向けて開発を進めている。

ミクロスケールのシミュレーション研究に当たっては、さがけ研究がきっかけで、細分化された学術知識の統合化を目指す総長直轄プロジェクト「学術統合化プロジェクト（ヒト）」に参加する機会を得て、プロジェクトリーダーであるバイオ情報学の研究者との共同研究により、効果的に研究を推進することができた。具体的には、世界中のバイオ情報学の研究者が構築したデータベースを一通り調査し、データベースに登録されたデータを活用する方針を立て、そのために必要なモデル利用技術を開発した。神経科学知識を統合化するニューロインフォマティクスという新しい学問分野を創造する機運が世界的に高まっており、そのような中で本研究を実施することは、きわめて時機を得たものであった。

メゾスケールのシミュレーション研究は、学術統合化の観点から様々な分野の研究者と交流する中で、精神神経科学の研究者と共同研究する機会を得て進展した。当初、本研究では運動を司る神経系を扱っても、精神を扱うことはできないと考えていた。運動と精神とは密接な関係があり、精神疾患において領野と領野間結合の変化が見られ、精神を神経系、すなわち肉体の状態として議論できる可能性があると感じた。そこで、心理実験、脳機能イメージング、解剖学、生理学、数理モデルの研究の知見を統合し、意志作用感と統合失調症における症状を表現可能なモデルを構築し、シミュレーションすることができた。領野と領野間結合を扱うことは当初計画した通りであったが、認知機能と精神疾患のモデリングとシミュレーションについては、当初の計画を超えて研究を実施することができた。10 年程度後に医療分野における高度治療に役立つ技術確立す

るという、戦略目標の達成に近づく成果を挙げることができたと考えている。

シミュレーションを効率的に行うための並列計算技術については、計算機科学の専門家との共同研究により、運動計測に基づく神経系シミュレーションのみならず、広く実世界情報を並列計算する技術基盤を構築することができた。

さがけ研究として、研究を自在に舵取りする機会を得て、上記に挙げたように、多岐に渡る研究分野の優れた共同研究者に出会い、たくさんのことを学びながら研究を推進できたことに、深く感謝する。脳神経系に関する知識は膨大であるが、それでも分かっていることは全体の機能、構造の一部であり、シミュレーション研究に当たって、既存の知見を統合するだけでなく、モデルを新規に構築する必要に迫られた。今後は、シミュレーションを通じ、構成的に理解するというアプローチで脳神経科学に貢献していくとともに、認知障害や記憶障害の支援、神経疾患や精神疾患の診断、治療、早期発見、進行抑制や回復などの応用に必要な技術基盤へと展開していきたい。

6. 研究総括の見解

大武研究者は、脳神経科学を中心とする諸分野で得られた知見を統合して、分子・細胞・組織・個体の階層を含む詳細な神経系モデルを構築し、ヒトの運動など外界からの計測情報を用いて駆動することができる実世界に開かれた脳神経系シミュレータ「神経系の双方向マルチスケールシミュレータ」を開発した。本研究により、外部入力から神経系の内部状態に与える影響の予測が可能となり、神経疾患の診断や治療への展開に必要な技術基盤が得られた。

ここでは体(神経)から脳へのトップダウンアプローチ、脳から体(神経)へのボトムアップアプローチの構想により、マクロスケールからミクロスケールのシミュレーションの検討を行っているが、今後はそれぞれのスケールのシミュレーション間の相互の連携についてさらに研究を進めてほしい。さらに、将来的に得られるであろう脳神経系に関する知見を取り入れながら、医療分野における高度治療に役立つ技術の実用化を念頭に、今回のさがけ研究を独自の視点で発展させていくことを期待している。

7. 主な論文等

A さがけの個人研究者が主導で得られた成果

(1) 論文(原著論文)発表

- 1 Mihoko Otake, Toshihisa Takagi, and Hajime Asama. Open Brain Simulator Estimating Internal State of Human through External Observation towards Human Biomechatronics. In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. In Press, 2008.
- 2 大武美保子, 高木利久, 浅間 一, “バイオメカトロニクスの技術基盤となるオープンブレインシミュレータの開発”, 電気学会論文誌 C, Vol. 127, No. 10, pp. 1705 – 1711, 2007.
- 3 Mihoko Otake, Kohei Arai, Motoichiro Kato, Takaki Maeda, Yusuke Ikemoto, Kuniaki Kawabata, Toshihisa Takagi, and Hajime Asama “Experimental Analysis of the Attribution of Own Actions to the Intention of Self or Others by the Multiple Forward Models”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 19, No. 4, pp. 482–488, 2007.
- 4 Mihoko Otake and Toshihisa Takagi. Reassembly and Interfacing Neural Models Registered on Biological Model Databases, Genome Informatics, vol. 16, no. 2, pp.76–85, 2005.
- 5 Mihoko Otake and Yoshihiko Nakamura. Spinal Information Processing and its Application to Motor Learning Support, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 17, No. 6, pp. 617–627, 2005.

(2) 特許出願

なし

(3) 招待講演

1. Neural-simulator and trans-disciplinary cooperation, ICSU Global Scientific Challenge: Perspectives from Young Scientists, Lindau, Germany. (2007.4.5)
2. 体の動きから見る脳, さきがけライブ 2006, 東京 (2006.12.15-16)
3. Human Neural Simulation towards Human-oriented Innovation, JSPS Japanese-German Colloquium Robotics 2006, Ismaning, Germany (2006.11.19)
4. Bidirectional Multiscale Neural Simulation, 2006 Japan-America Frontiers of Engineering Symposium (JAFOE), つくば(2006.11.10)
- 5 From Muscle to Brain: Development of Electroactive Polymer Gel Robots and Human Neural Simulator, 理化学研究所脳科学研究センター(2006.7.12)

(4) 解説論文

1. 大武美保子, 佐藤知正, 武市正人. 神経系の双方向マルチスケールシミュレーションと 100 時間ワークショップ - 東京大学 21 世紀 COE プログラム「情報科学技術戦略コア」-, 日本ロボット学会誌, vol. 25, no. 3, pp.330-333, 2007.
2. 大武美保子, 何を創るか? 創ると何がおこるか? - 日米先端工学シンポジウムより -, 科学, 岩波書店, Vol.77, No.2, pp.123-124, 2007.
3. 大武美保子, 本間敬子, 横井浩史, 浅間一, 新井民夫. Women in Robotics towards Human Science, Technology and Society at IAS-9. 日本ロボット学会誌, vol. 24, no. 5, pp. 564-569, 2006.
4. 大武美保子. 神経系の双方向シミュレーション—人の動きを体の内側から読む—. 電子情報通信学会誌, vol. 88, no. 11, pp.909-913, 2005.

(5) 報道発表

1. ヒトと社会をもっと面白く幸せにする ヒト学・サービス学の研究, Message from Scientists, サイエンスチャンネル, 2007.12.15.
2. 「"会話"で認知症予防」, NHK おはよう日本『首都圏』, NHK 首都圏放送センター, 2007.7.31.
3. 神経系の双方向シミュレータを開発 柏市ほのぼの研究所で認知症予防, 連載「さきがけ CloseUp」第 6 回 大武美保子・東大准教授, BTJ ジャーナル, 2007 年 7 月号 No.019, pp.10-11, 2007.7.
4. 脳の刺激を疑似再現 東大、リハビリなど実用へ, FujiSankei Business i., フジサンケイ ビジネスアイ(日本工業新聞社), 2007.1.3.
5. 森山和道, JST、未来の可能性を垣間見る「さきがけライブ 2006」開催, Robot Watch, インプレス, 2006.12.18.

(6) 学会発表

1. 大武美保子, 田浦 健次郎. 実世界情報並列計算基盤の開発, 第 70 回情報処理学会全国大会講演論文集(5), pp.117 - 118, 2008.
2. 大武美保子, 豊嶋伸基, 三島健稔, 浅間 一. エピソード記憶に基づくコミュニケーションのための共想法支援システムの開発と認知症予防への応用, 日本認知科学会第 24 回大会発表論文集, pp. 526 - 529, 2007.
3. 大武美保子, 新井航平, 前田貴記, 加藤元一郎, 高木利久, 浅間 一: “統合失調症における意志作用感のモデリングとシミュレーション”, 電子情報通信学会技術報告, Vol.106, No.590, pp.41 - 44, 2007.
4. 大武 美保子, 高木利久. データベースに登録された神経細胞モデルの網羅的解析—神経科学知識の統合化と応用に向けて, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE-06-1-22, pp.109-114, 2006.
5. 大武 美保子, 中村仁彦. 運動学習支援のための脊髄神経情報処理手法, 第 11 回日本 IFToMM 会議シンポジウム前刷集, pp.15 - 22, 2005.

B その他の主な成果

(1)論文(原著論文)発表 11件

(2)招待講演 13 件

(3)解説論文

1. 加藤元一郎, 大武美保子, 新井航平, 前田貴記, 池本有助, 川端邦明, 高木利久, 浅間一. 他者の視線・意図理解および行為における意志作用感の神経機構に関する検討—社会的認知が可能なロボットの設計をめざして, 計測と制御, Vol.46, No.12, pp. 940 - 944, 2007.

他 3 件

(4)報道発表 30 件

(5)学会発表 28 件

(6)その他講演 11 件