

輻射輸送計算による頭部外傷性脳出血の近赤外線診断技術の開拓

Development of the near-infrared imaging technique for cerebral hemorrhage by radiative transfer calculations

矢島 秀伸

筑波大学 計算科学研究センター

1. 研究目的

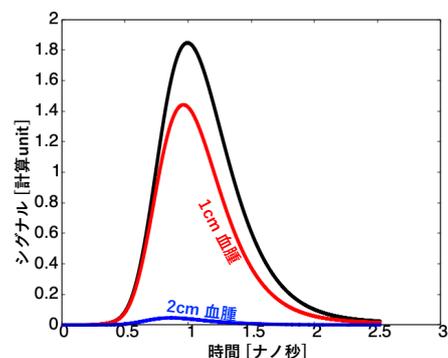
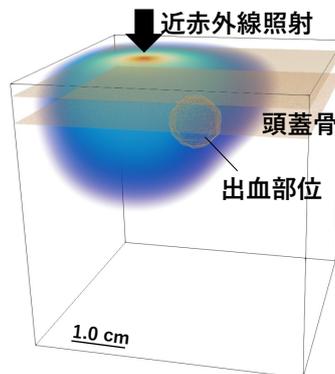
本研究における標的疾患は頭部外傷による脳出血、脳浮腫である。頭部外傷は国内患者数約 28 万人、米国では約 170 万人と多く、特に高齢者の転倒・転落は外因子死亡原因の第 2 位となっており、頭部外傷が深く関わっていると考えられている。外傷による脳出血は硬膜下血腫、硬膜外血腫、クモ膜下出血、脳内出血などに大別される。これらは、受傷時の脳挫傷、低酸素、血腫による圧迫により、高次脳機能障害や手足の麻痺など障害が残る場合も多い。したがって、緊急性を脱した後も高リスク患者に関しては常時モニタリングし、死亡や障害のリスクを減らす事が望まれている。

そこで、安全かつ簡便な装置による日常的なモニタリング診断として近赤外線による拡散光トモグラフィ技術の構築を目指す。本研究では、大規模並列計算により近似を用いず高速かつ高精度に輻射輸送計算を行う。そして、予め多数のパラメータに対して生体構造と時間分解波形データのモデル化を行い、それらを教師データとして機械学習により解析システムを構築する。

2. 研究成果の内容

頭蓋骨層の直下に血腫を想定し、輻射輸送計算を行った。1辺が 5 cm の頭皮付近の計算ボックスを想定し、頭蓋骨、頭蓋骨直下の血腫を想定した計算セットアップとした。血腫の位置、大きさを変えた 30 パターンの 3 次元輻射輸送計算を実行した。結果として、下図に見られるように血腫の直径が約 1 センチメートル程度でも時間分解波形が有意に変化する事が分かった。また、血腫の大きさを変化させると敏感に波形の変化へと応答する事が分かった。これにより、近赤外線によるイメージングが外傷性脳出血のその血腫のサイズ変化も含めて、新しいモニタリング技術として有用である

近赤外線によるイメージングが外傷性脳出血のその血腫のサイズ変化も含めて、新しいモニタリング技術として有用である



事を示す事が出来た。この結果に関しては、現在出血位置と検出器の位置関係による変化の割合も含めて追加計算を行っている最中である。

また、これらの輻射輸送計算結果を用いた機械学習による解析モデルに関して研究を行った。特に異常部位が複数ある場合に、異常部位の位置を判定する精度を向上させる手法を開発した。従来の方法に比べ、新しい手法ではよりシャープに複数の異常部位を同定出来る事が分かった。

機械学習のための輻射輸送計算によるビッグデータを構築するためには、高速高精度にシミュレーションを行う必要がある。そこで、wavelet 法を導入し、局所的な輻射の非等方の度合いを使って自動的に角度分解能を変更する輻射輸送計算コードを開発した。結果として、計算ボックス境界付近、異常部位付近では高角度分解能となり、それ以外の場所では分解能が低くても精度が落ちない事が分かった。そして、計算速度としては5倍程度加速出来る事を示した。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

学際共同利用によって大規模な並列計算が可能となり、光イメージングで要求される空間分解能を達成する事が出来た。また、可能な並列コア数も数百以上をスムーズに使う事が出来たため、上記のシミュレーションやコード開発を現実的なタイムスケールで実行する事が可能であった。また、Cygnus の GPU 並列計算を用いて計算コードの開発を行う事が出来た。計算コードは完成し、テスト計算においては、CPU 計算の結果を再現しつつ計算速度を数倍程度加速させる事が出来ている。また、wavelet 法を導入した輻射輸送計算コードの開発作業及びテストシミュレーションにおいては Wisteria により迅速に進める事が出来た。このような大規模計算、GPU 計算高速化にチャレンジ出来る環境が得られた事は本プロジェクトの課題を進める上で非常に有用であった。

4. 今後の展望

上記の計算をさらに発展させて、頭蓋骨、頭蓋骨直下の血腫、脳を想定した輻射輸送シミュレーションを実行する。その際に、血腫の大きさと位置、パルス照射と血腫、そして検出位置の関係などをパラメータにして、膨大なパラメータ数に対して計算を行う。血腫の大きさと位置、パルス照射位置を変えた組み合わせで合計 1000 パラメータの計算を実行する。1000 パラメータの計算結果に対して、それぞれ 100 パターンの人工ノイズを乗せて、合計 10 万の時間分解波形シグナルを作成し、機械学習を行う。その後、幼児、成年、頭蓋骨の厚さや形状などさまざまな違いを考慮して計算を実行していく。最終的にあらゆる人の外傷性脳出血のモニタリングに対応出来るようなシミュレーションビッグデータの構築と高精度な機械学習モデルを作成する。

5. 成果発表

学際共同利用成果リストとして別途提出の通り

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus	○	10000	0	0
Pegasus		0	0	0
Wisteria/BDEC-01	○	135000		0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				