

外傷性脳出血に対する輻射輸送シミュレーションビッグデータの構築

Construction of big data for radiative transfer simulations of traumatic brain hemorrhage

矢島 秀伸

筑波大学 計算科学研究センター

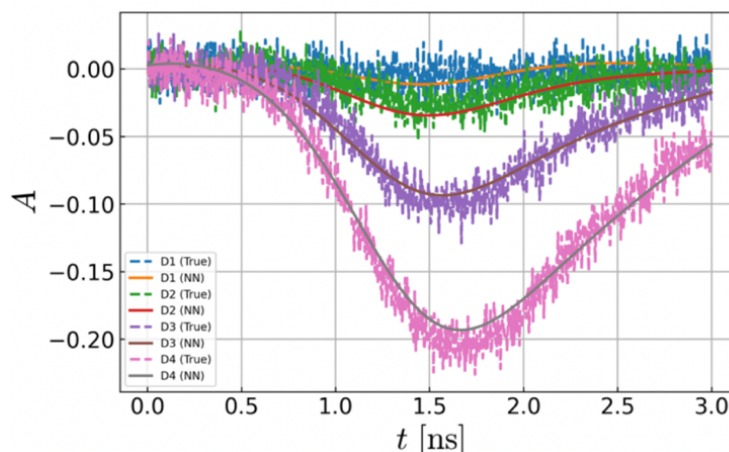
1. 研究目的

本研究では頭部外傷による脳出血、及び甲状腺癌、胃癌の症例に着目する。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。これらの症例は安全なモニタリングで慎重な経過観察が重要である。それを可能にするのが、近赤外線を用いた医療診断である。しかしながら、時間分解波形データからの画像再構成は容易ではない。近赤外線は体内で散乱を繰り返し、複雑な経路を辿りながら一部はヘモグロビンや水に吸収され、一部が体表面へと辿り着く。このような多重散乱を伴う光伝播は、膨大な計算量を含む輻射輸送方程式を解く必要があり、理解が困難なためである。本研究では、スーパーコンピュータを用いた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。本研究では、高精度な輻射輸送計算を用いることで症例のパラメータに対して、近赤外線時間分解シグナルを理論的にモデル化し、機械学習のための高品質な教師データを構築する。

2. 研究成果の内容

TRINITY コードの GPU 化、そして輻射輸送計算における角度分解能を自動的に変化させる wavelet 法の導入に成功した (Abe et al. 論文投稿中)。これにより、計算が高速化され多数の生体パラメータに対するモデル化が可能となった。脳血腫のサイズ、位置に対するパラメータと波形シグナルの関係性について定量的に明らかにし、血腫サイズが 1 cm 程度でもシグナルのピーク値、ピーク時間位置が大きく変化することを示した。また、脳出血を想定した AI サロゲートモデルを作成し、理想化された状況ではあるが、さまざまな血腫サイズ、大きさに関して近赤外線シグナルを再現できる事を確認した (Horie et al. in prep.)。図は、時間分解シグナルのシミュレーション結果にノイズを加えたもの(破線)とサロゲートモデルで作成したシグナル(実線)を比較したものである。教師データで人工的に与えたノイズレベルの範囲において、シミュレーション結果を上手く再現出来ている事がわかった。これらに加え、モンテカルロ法を基にした偏光が計算可能なコードを作成した。細胞が癌化すると、細胞核が正常細胞に比べ 2 倍程度肥大化することがわかっている。このサイズ変化によって光が

散乱する際に円偏光成分の変化に違いが生じることが知られている。我々は、円偏光の時間変化に関して初めて調べ、円偏光の時間変化に着目することで、癌の浸潤度合いの判定が可能であることを示した。また、非一様な癌分布を想定し



て、円偏光シグナルをモデル化し、円偏光スキャン検査によって、癌のサイズや位置、深さが判定可能であることを示した。これらは今後胃癌の内視鏡検査の際に有用な検査技術となりうる。

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、血腫の大きさや位置、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。輻射輸送計算は計算量が多いため、本申請の計算時間を考慮しても計算出来るパラメータは限られている。そこで、さらに精度を上げるために、機械学習を使って輻射輸送計算で得られる波形シグナルを AI サロゲートモデルで作成する。このサロゲートモデルとマルコフチェーンモンテカルロ法を組み合わせる事で、診断した症例に関して確率分布を見積もる。したがって、エラーの範囲も含めて急を要するかどうかの判断を可能にしていく。

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	○	560		
Pegasus	○	2100		
Wisteria/BDEC-01	○	108000		
※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				