時間依存輻射輸送計算による 生体光イメージング -大規模データベース構築に向けて-

筑波大学 計算科学研究センター 矢島 秀伸 グループメンバー: 梅村雅之、安部牧人、高水裕一、佐藤大樹 星詳子、三村徹也、町田学(浜松医科大)

計算メディカルサイエンス第1回全体ミーティング 2021/6/7

生体光イメージングとは?

波長700-1000ナノメートルの近赤外線を 人体へ照射し、透過もしくは戻ってきた 光を検出して生体内を診断する手法



利点 ゼロ被曝 非侵襲 ベッドサイド モニタリング

ただし、画像再構成 には光の伝播について 理論モデルが必要







JST創発的研究支援事業 (PI:矢島秀伸)



「宇宙物理輻射輸送計算で拓く新しい生体医用光学」 (2021年度-2027年度)



数値計算と計測データ比較の自動システム化

<予算計画>

<u>* 大規模データストレージ</u> 500TB~1 PB (~10000パラメータの 輻射情報の保存)

<u>* 研究員雇用</u> (データ解析、ビッグデータ)

<u>大規模輻射輸送シミュレーション</u>

新汎用型輻射輸送計算コード(100%オリジナルで開発)

(Yajima, Abe, Umemura, Takamizu, Hoshi, submitted to JQSRT)

(Time-dependent Radiation Transfer in Near-infrared Tomography)

$$\frac{1}{c(\mathbf{r})} \frac{\partial I(t, \mathbf{r}, \mathbf{\Omega})}{\partial t} + \mathbf{\Omega} \cdot \nabla I(t, \mathbf{r}, \mathbf{\Omega}) = -\left[\mu_{\text{abs}}(\mathbf{r}) + \mu_{\text{sca}}(\mathbf{r})\right] I(t, \mathbf{r}, \mathbf{\Omega}) + \mu_{\text{sca}}(\mathbf{r}) \int p(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega}', \mathbf{\Omega}) I(t, \mathbf{r}, \mathbf{\Omega}') d\mathbf{\Omega}',$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\partial I(t, \mathbf{r}, \mathbf{\Omega})}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial I(t, \mathbf{r}, \mathbf{\Omega})}{$$

*高速高精度な光線デザイン *大規模並列計算が可能 (MPI+OpenMPのハイブリッド並列)

TRINITY

<u>生体を1mmの空間分解、</u> <u>1ピコ秒の時間分解で計算可能に</u>





<u>脳・甲状腺計算に向けて</u>



生体に向けたコード改良



強い吸収体 **(**動脈などの血管)



屈折率の変化 (気道など)

8

<u>計算高速化(Wavelet法+GPU化)</u>

Abe et al. in prep.

Wavelet法 角度分解能を自動的かつ局所的に最適化 (計算メモリを激減、計算の高速化) level 0 level 1 level 2 $I^{(3)}(\vec{n}) = \lambda_k^{(0)} \varphi_k^{(0)}(\vec{n}) + \sum_{j=0m}^3 \sum_{m} \gamma_{k,m}^{(j)} \psi_{k,m}^{(j)}(\vec{n})$ 精度を保ったまま、計算メモリを大幅に

減らす事に成功



<u>計算高速化(Wavelet法+GPU化)</u>

Abe et al. in prep.

- GPU版TRINITYコードも開発済み
- CPUコードに比べて~6-7倍程度の高速化に成功
 - ボトルネックは通信部分 (40%程度を占める)

1 GPU/CPUあたりの計算規模を**32³ mesh**に固定、**300 step**の計算時間を比較

CPU (@TRINITY): Intel Xeon Gold 6140 (18 core)

要求メモリ約5分の1 ^[9] 計算時間はGPUとwaveletを組み合わ せれば約10倍程度早くなる **→ 1000パラメータのデータ構築へ**











波動方	程式 (音の信	云播)
$\nabla^2 P$ –	$1 \ \partial^2 P$	$eta \partial H$
	$-\frac{1}{\mathbf{v}^2}\frac{1}{\partial^2 t}$	$-\overline{C_p}\overline{\partial t}$

これをCIP法(3次精度)で 数値的に解く



光音響波を用いた人の手 の血管の画像 Canon(http://www.canon.com/tech nology/future/index.html)

*光イメージングのみよりもさらに深部を 調べられる

*血管・血流の画像化に強い

(脳虚血、薬剤輸送)

*条件によっては細胞レベルの可視化

<u>ヒト頭部光音響波シミュレーション</u>



まとめ

*土台となる輻射輸送計算コードはほぼ完成した *Wavelet法+GPU化によって10倍程度の高速化、低メモリ化 *光音響波シミュレーションも可能となった

今後

*甲状腺・脳などの複雑な部位への適用

*光イメージング・光音響のお互いの長所・短所、組み合わせ の効果について定量評価

* FPGA化

*ビッグデータ処理について