計測融合シミュレーションによる 血流解析

バイオスーパーコンピューティング研究会

2014年6月2日

東北大学 流体科学研究所

早瀬敏幸



講義内容

- 1. はじめに
- 2. 計測融合シミュレーション
- 3. 超音波計測融合シミュレーションによる血流解析
- 4. おわりに



1. はじめに





背 景

流れの実現象の再現が重要な分野

●気象予報





高知大学 ホームページ





●大規模システムの異常同定



Institute of Fluid Science, Tohoku University



流れの実現象の再現は難しい





計測とシミュレーションの融合手法

- ◆ ティホノフ正則化(逆問題、Mead)
- ◆ PIVとCFDの融合 (可視化計測、村井)
- ◆ 4次元同化手法 (気象予測)
- ◆ ニューラルネットワーク(流れの制御、鈴木)
- ◆ オブザーバ, カルマンフィルタ (流れの制御)
- ◆ 計測融合シミュレーション (実現象のCFD)



2. 計測融合シミュレーション





シミュレーションで実現象を再現するのは難しい!



誤差ダイナミクス:

$$\frac{d}{dt}(x - x_r) = A(x - x_r) + B(u - u_r), \quad y - y_r = C(x - x_r)$$

解は

$$x - x_r = e^{At} (x - x_r)_{t=0} + \int_0^t e^{A(t-\tau)} B(u - u_r) d\tau$$

システム行列Aに不安定な固有値があると、初期条件および入力の誤差は指数関数的に増加する

KU=0 Standard Solution



出力誤差をフィードバックすると解決できる!(オブザーバ)



誤差ダイナミクス:

$$\frac{d}{dt}(x - x_r) = (A - KC)(x - x_r) + B(u - u_r), \quad y - y_r = C(x - x_r)$$

解は

$$x - x_r = e^{(A - KC)t} (x - x_r)_{t=0} + \int_0^t e^{(A - KC)(t-\tau)} B(u - u_r) d\tau$$

フィードバックゲイン行列Kを適当に選んで、(A-KC)の固有値の実部を全て負に設定で きれば、任意の初期条件から誤差はOに収束する。_____







計測融合シミュレーション





計測融合シミュレーションはオブザーバの一種





ハイブリッド風洞によるカルマン渦列のリアルタイム解析(2002)





ハイブリッド風洞によるカルマン渦列のリアルタイム解析





計測融合シミュレーションを応用した血流可視化診断装置(2004)



Institute of Fluid Science, Tohoku University



9

3. 超音波計測融合シミュレーションによる血流解析







Institute of Fluid Science, Tohoku University



例1:頸動脈内血流の2次元解析(臨床応用)

頸動脈

- ▶ 動脈硬化の好発部位
- ▶ 超音波診断
- ▶ 内中膜厚さ (IMT)
 - → 動脈硬化の診断
 - → 予測パラメータ?

2次元超音波計測融合(2D-UMI)シミュ レーションシステム

- ➢ 超音波診断装置(LOGIQ7, GE)
- ➤ 2D血流解析(Altix,SGI)

目的

▶ 動脈硬化の予測パラメータ





臨床用2D超音波計測融合 (UMI) シミュレーションシステム



解析方法







フィードバックの効果





通常のシミュレーション *e* = 6.7%

UMI シミュレーション (K^{*}_v=100) e=2.5%



臨床データの解析

13名, 73 例



血行力学パラメータ



OSIの最大値と壁せん断応力の最大値

OSIの最大値と壁せん断応力の平均値



例2:小動物用超音波計測連成血流解析システムの開発

背景

循環器系疾患

- ・死亡原因の1/3
- ・疾患と血流の関係

生体内の血流情報

・医用画像診断装置(CT、MRI、超音波・・・)

数値シミュレーション

超音波計測融合シミュレーション

小動物用超音波計測連成血流解析システム 目的

小動物用超音波計測連成血流解析システム

- ・マウス頸動脈を対象
- ・通常のシミュレーションと比較による有効性の検証



Cerebrovascular

disease 13%

□ Malignant neoplasm

31%

Heart disease 1.6%

(cancer)





小動物用超音波計測連成血流解析システム





システムの構成



24 24

ТОНОКИ

マウス頸動脈の解析



実験の様子







マウス頸動脈の3次元計測



3回の計測により抽出された2本の頚動脈の 血管形状と、血管断面の計測画像



超音波診断装置による画像

Institute of Fluid Science, Tohoku University



血管形状、断面積変化、ドプラ速度の抽出結果





UMIシミュレーションと通常のシミュレーションの比較

通常のシミュレーション

UMI シミュレーション



ドプラ速度誤差の時間変化



速度ベクトル分布

Institute of Fluid Science, Tohoku University

3

マウス頸動脈の血流動態





速度ベクトル、壁せん断応力、壁変形の可視化

平均無次元血管半径

t [s]

29

高解像度の解析結果





50x10x24=12,000

239x27x172=1,109,916 2012042003





Institute of Fluid Science, Tohoku University

4. おわりに





将来展望

- (1) 医療分野への計測融合解析の応用
 - 1. 循環器系疾患研究の新展開

> マウス実験による循環器系疾患の原因解明と治療法開発

- 2. 医療画像診断装置の性能向上
 - ▶ 超音波診断装置に応用して高度診療を実現
 - ➤ MRI装置の計測精度を大幅に向上
- (2) 他分野への計測融合解析の応用
 - 1. 原子カプラントの異常同定システム
 - 2. 航空機の乱気流予測制御システム
 - 3. 超小型スパコン開発による携帯型 高度診断装置や建築物内気流制御











