

# 心臓左心室内の血流解析



岩瀬 英仁(理研)

劉 浩 (理研)

藤本 眞一(奈良県立医科大学)

姫野 龍太郎(理研)

# 研究目的 (1)

病態心臓の超音波画像の  
データベース(時系列)

- ・心筋梗塞
- ・拡張型心筋症
- ・化学療法

正状態の心臓



心臓内血流シミュ  
レーション(2チャン  
バービューモデル)

- ・病態の予測
- ・検査項目

心拍出量、 $E_{\max}$

圧力分布、血流

## 研究目的 (2)

- 超音波検査法による心エコー図に基づくモデリング

回転方式



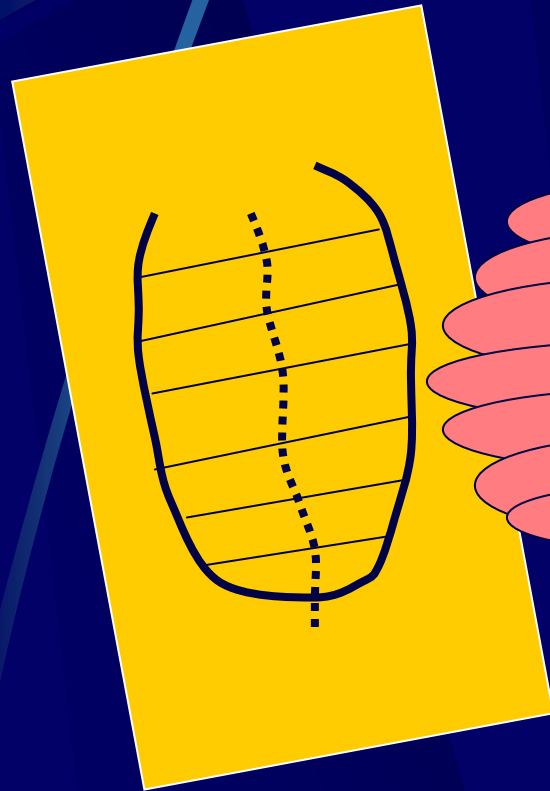
2チャンバービューモデリング法の提案

心エコー図から速度境界条件を推定する方法を提案

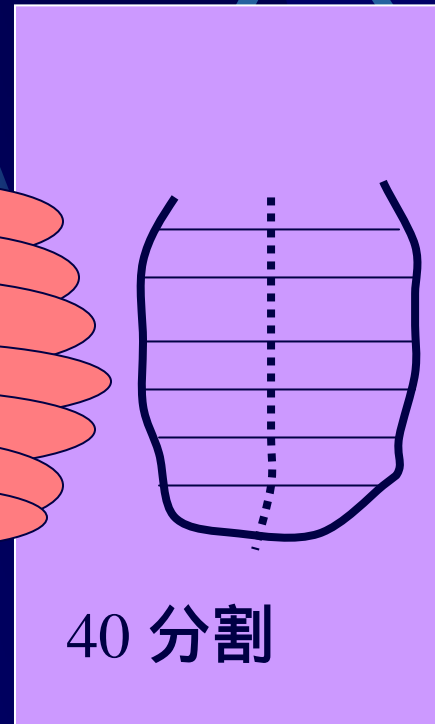
超音波心エコー画像だけによるモデルおよび計算条件の推定

# 超音波心エコー図に基づく 2チャンバービューモデル法

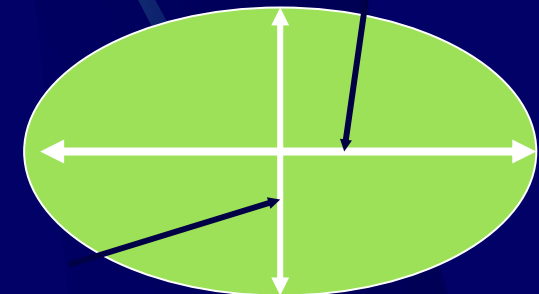
0°面



90°面



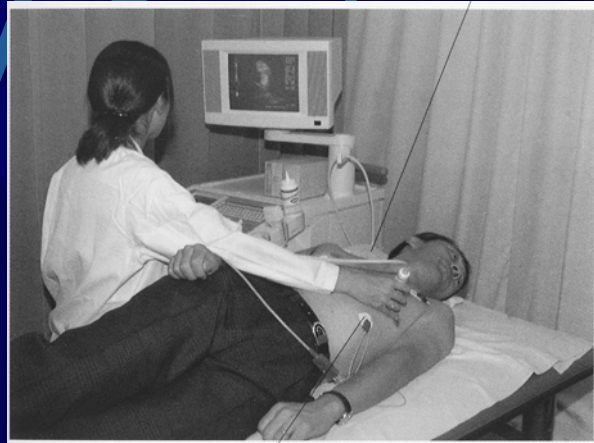
90°面の長径



スプライン補間

0°面の短径

# モデルの構築手順

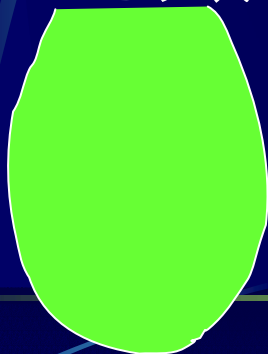


超音波エコーによる計測



パソコンへの取り込み

モデル構築

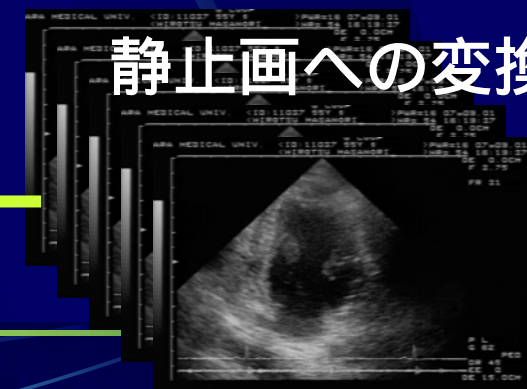


スムージング  
時間方向  
幾何形状

左心室壁の抽出



静止画への変換



# 左心室壁の抽出

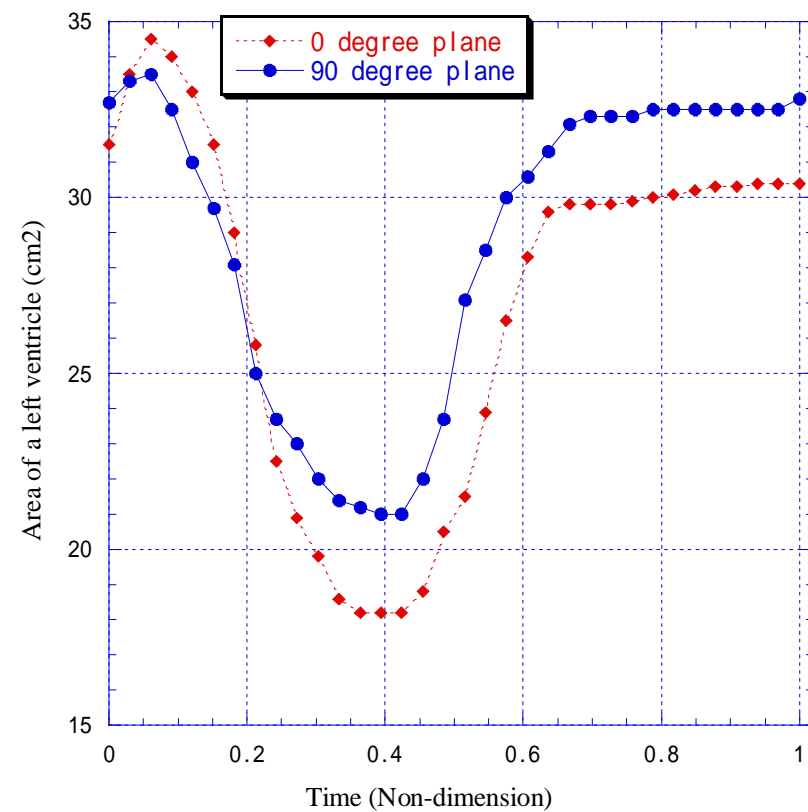
0°面



90°面



# 0度面と90度面のデータの同期調整



## 2チャンバービューモデル法による 左心室壁運動モデル



一心拍 1.17(sec)

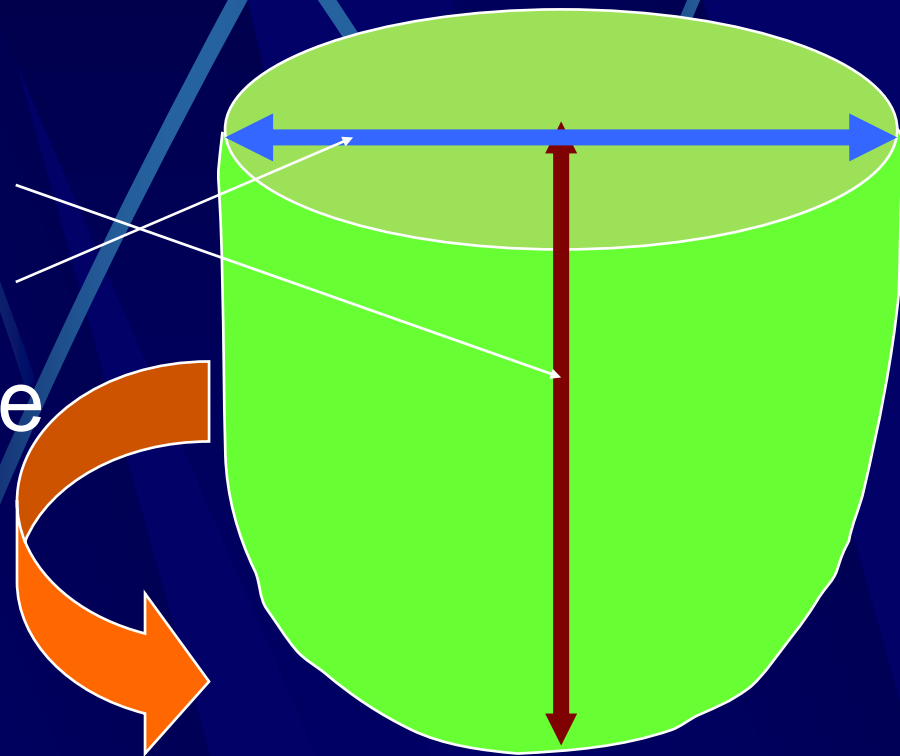
34 静止画

バルブのダイナミクスは  
考慮していない。



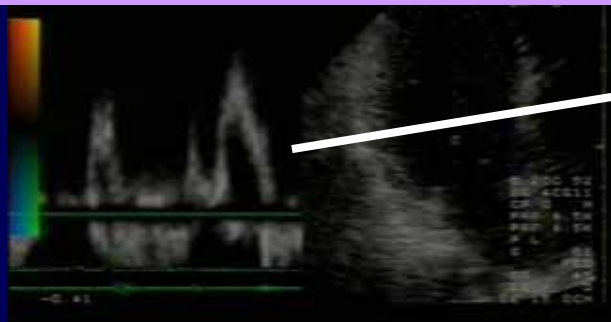
# 左心室形状のダイナミクス

- 長軸方向 36%
- 短軸方向 25%
- ねじり 20 degree



# 僧帽弁入り口速度の推定

- 速度境界条件としてカラー Doppler 法により計測した速度データを使用

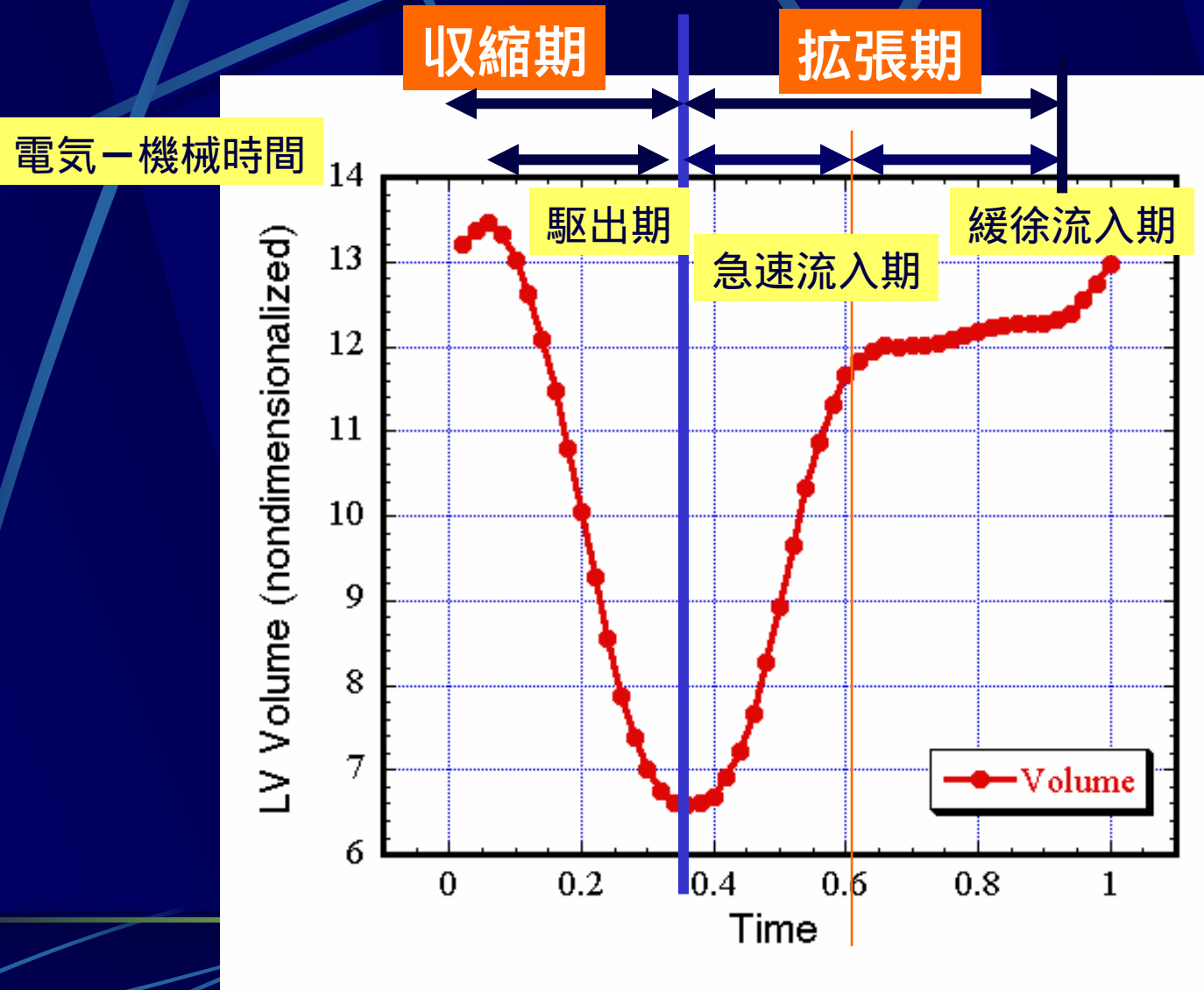


僧帽弁速度波形

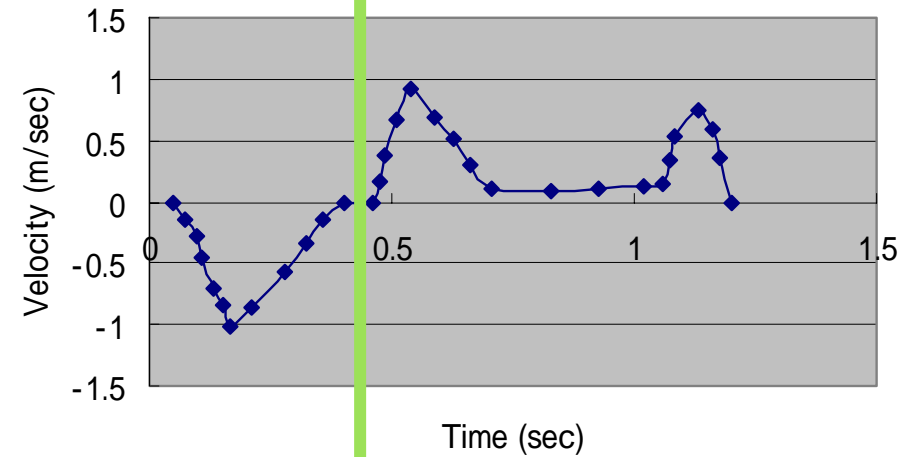
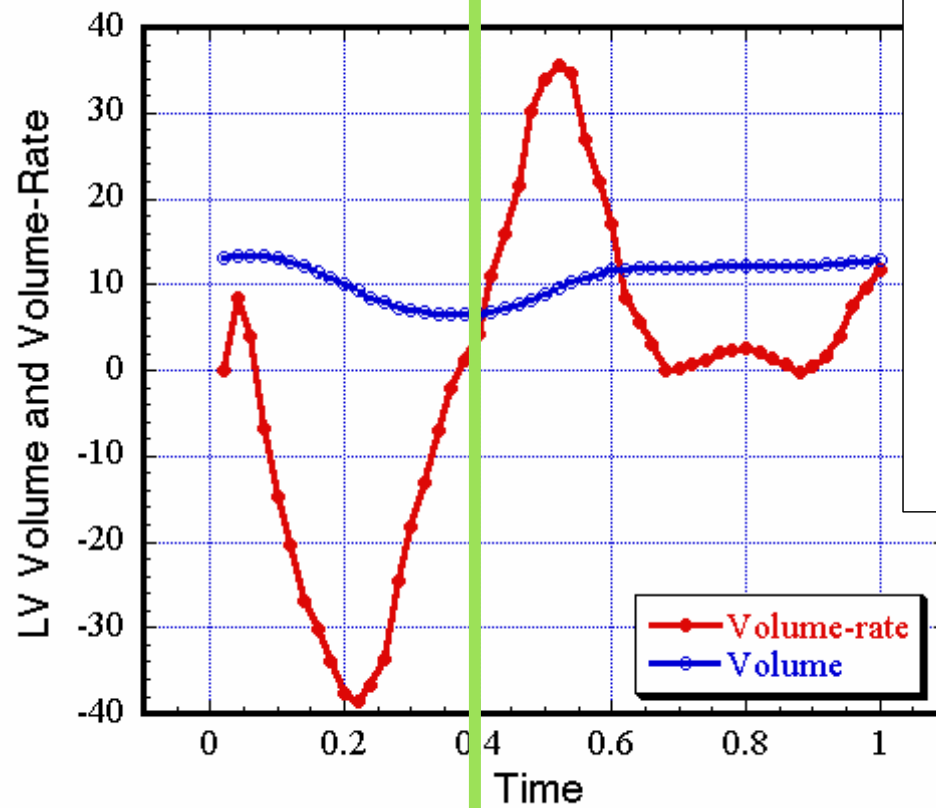


容積変化から入り口速度を推定できないか？

# 一心拍における左室容積変化



# 僧帽弁入り口速度の算出



カラードプラー法による  
計測データ

$$\text{速度} = \frac{\text{体積時間変化率}}{\text{面積}}$$

# 数値解析

非定常、非圧縮の3次元ナビエ・ストークス方程式

$$\int_{V(t)} \left( \frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{u}_0}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial \tau} \right) dV + \int_{V(t)} \left( \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial z} + \frac{\partial \mathbf{F}_v}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}_v}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial z} \right) dV = 0$$

● 有限体積法

# 有限体積法による離散化

対流項はflux-splitting methodを用いた  
三次風上差分(MUSCL形式)

粘性項はガウス積分による二次中央差分

時間方向はオイラー陰解法

# 境界条件

## 速度条件

## 压力条件

心臟壁面上

$$(u, v) = U_{\text{心臟壁}}$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} = 0$$

僧帽弁  
開放

$$(u, v) = U_{mv}(t)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} = -\frac{\partial u_{sw}}{\partial r} \cdot n$$

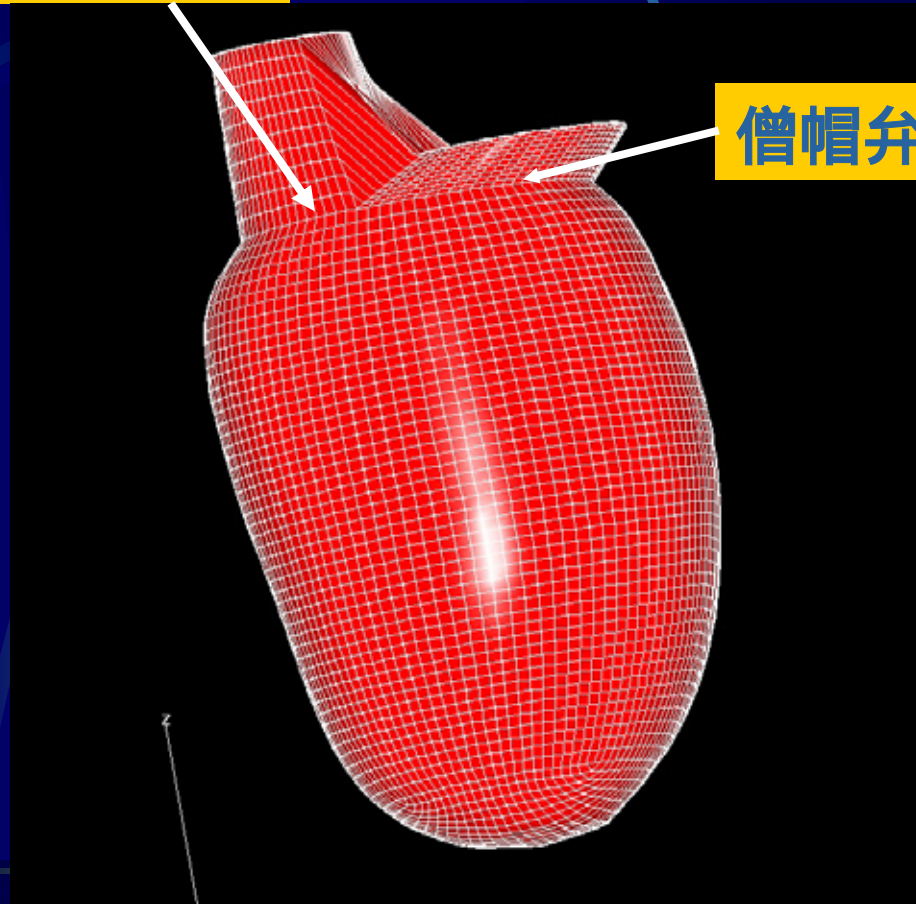
大動脈弁  
開放

$$\left(\frac{\partial u}{\partial n}, \frac{\partial v}{\partial n}\right) = 0$$

$$p = 0$$

# 構造格子による領域分割

大動脈弁



僧帽弁

$61 \times 26 \times 25$

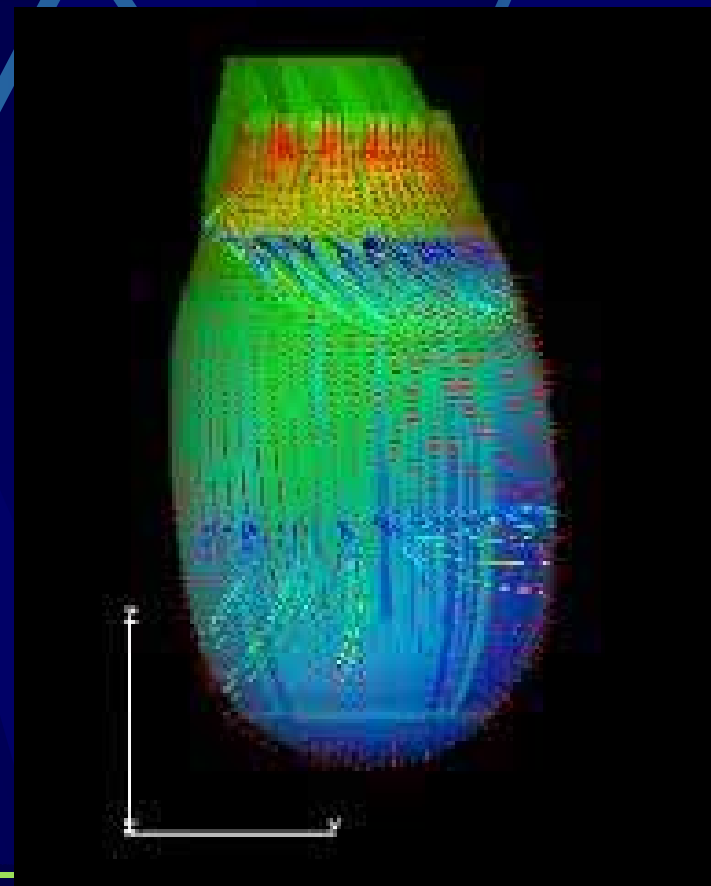
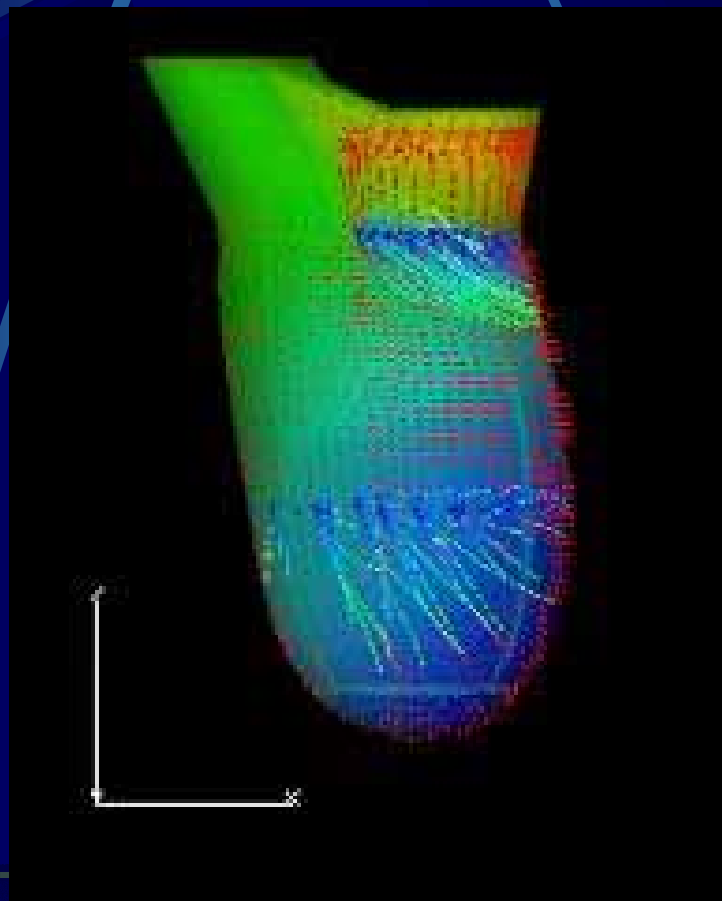
$St=0.1 \leftarrow$  Peak  $Re=6000$

$St=0.6 \leftarrow$  Mean  $Re=1000$



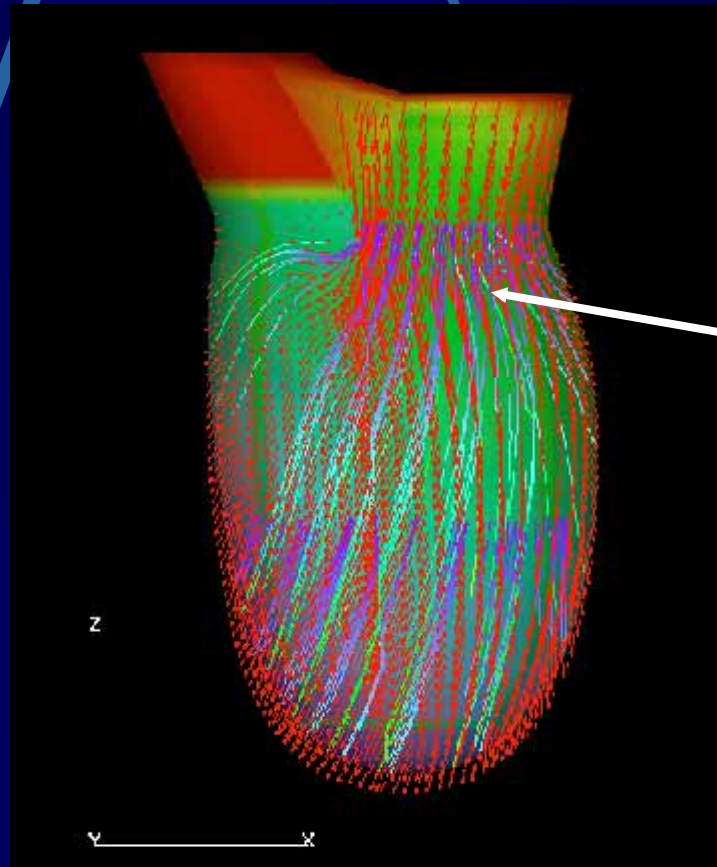
# 数値解析結果

左心室内の血流アニメーション



# 左心室内の血流動態(1)

## 拡張期

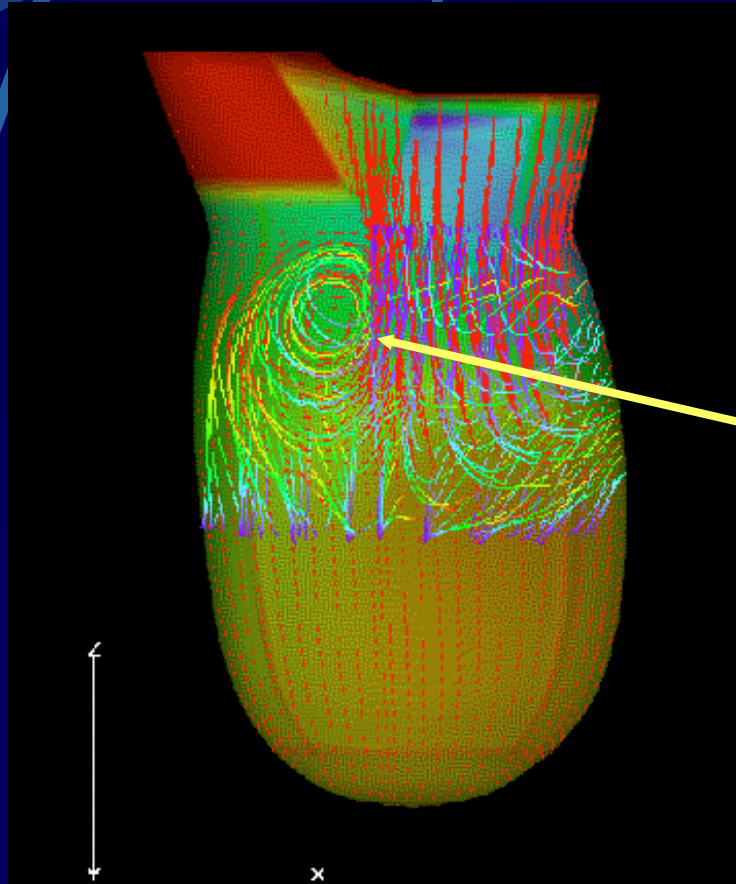


初期流入期

A波による流入

# 左心室内の血流動態(2)

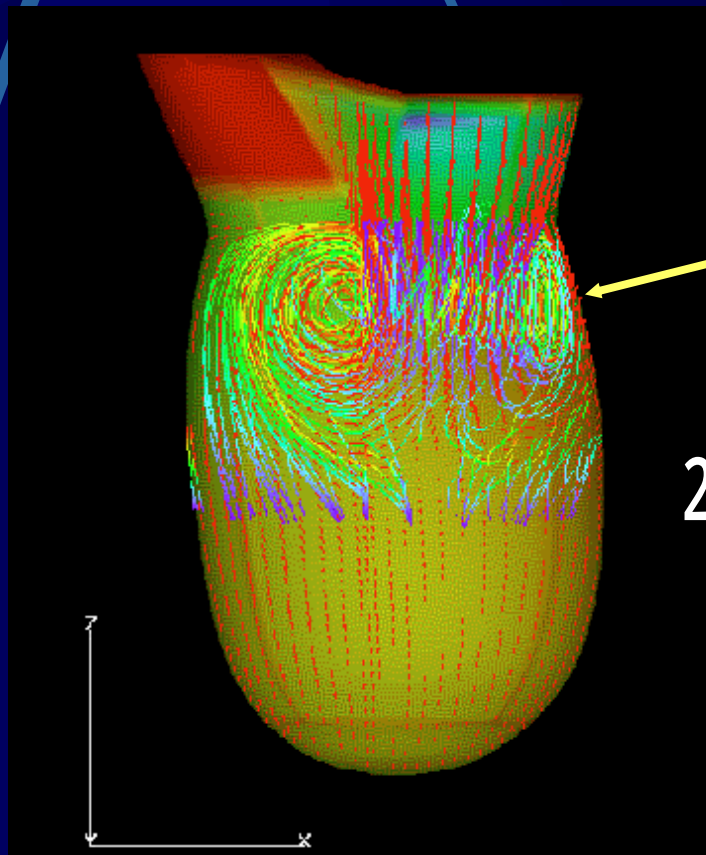
## 拡張期



中央部に渦の発生  
強いジェット流

# 左心室内の血流動態(3)

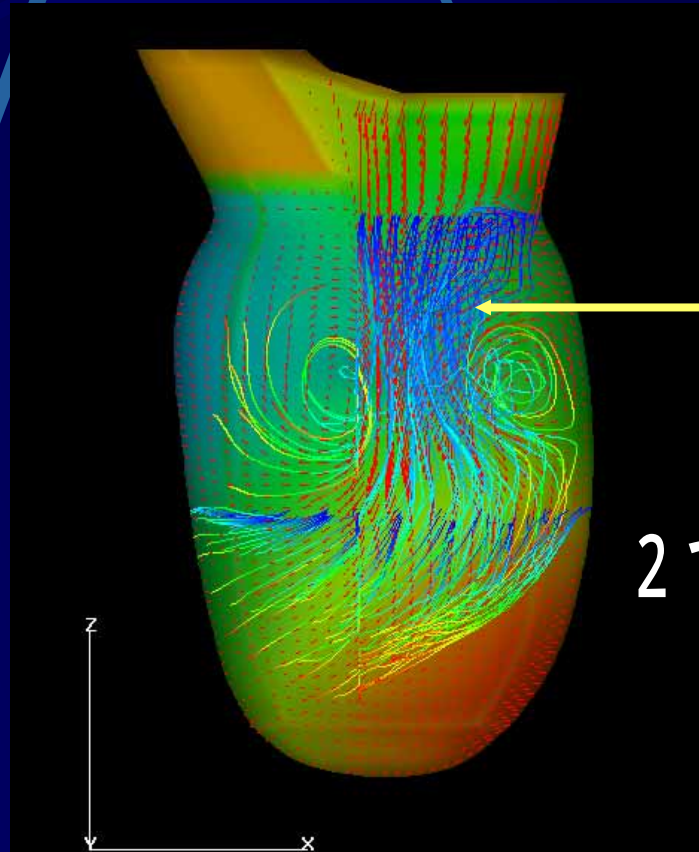
## 拡張期



端にも渦が発生

2つの非対称な渦の発生

# 左心室内の血流動態(4) 拡張期

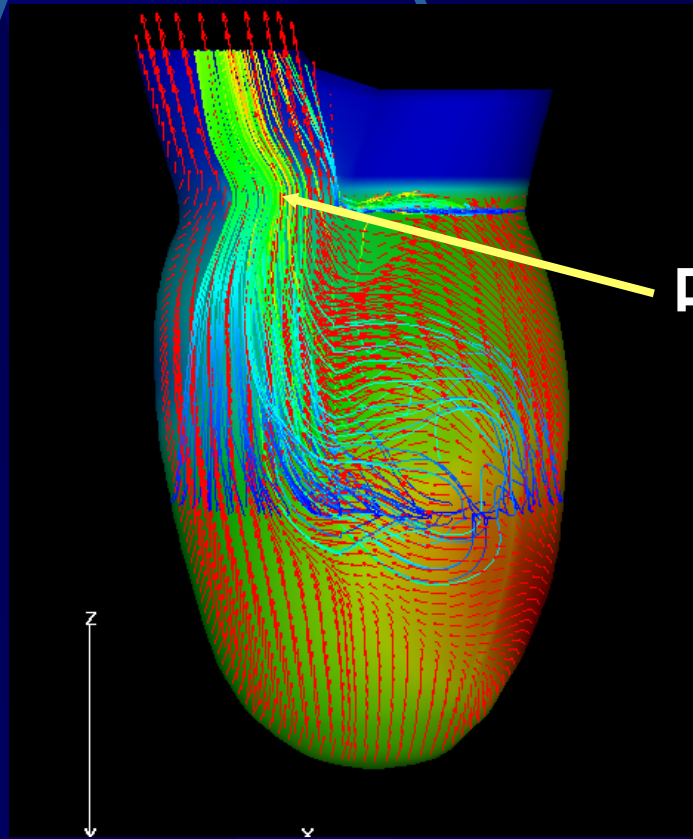


E波による流入

2つの渦が同時に発生する

# 左心室内の血流動態(5)

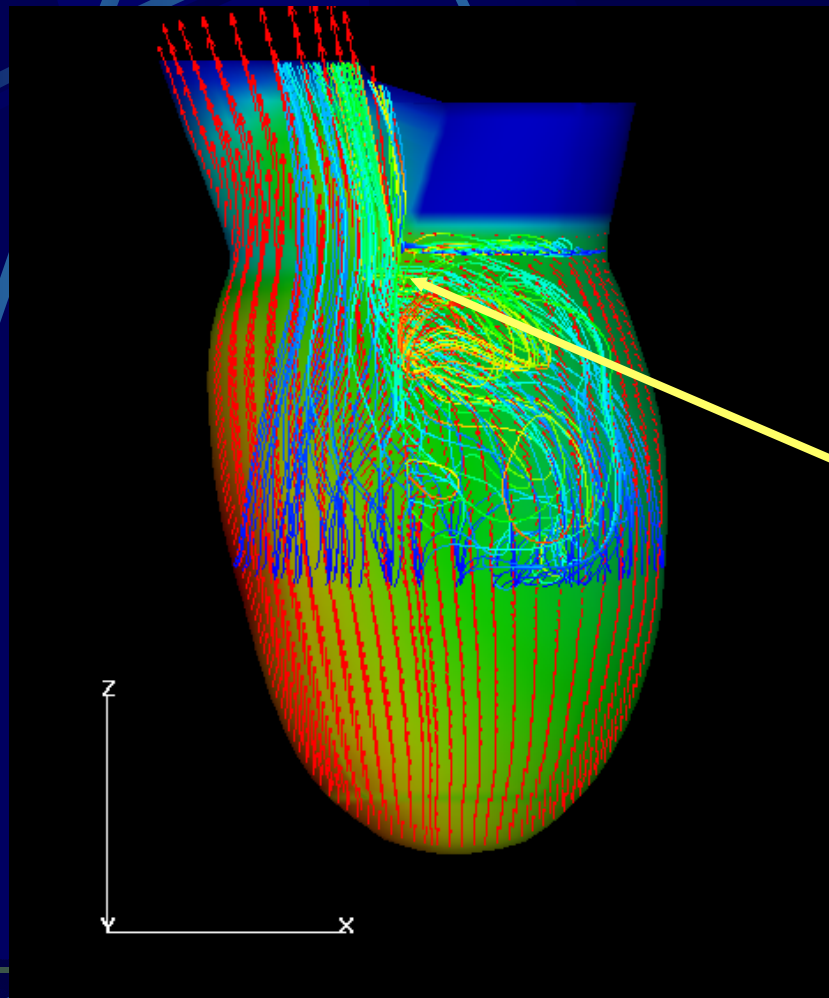
## 収縮期



中央部流体の主流の形成

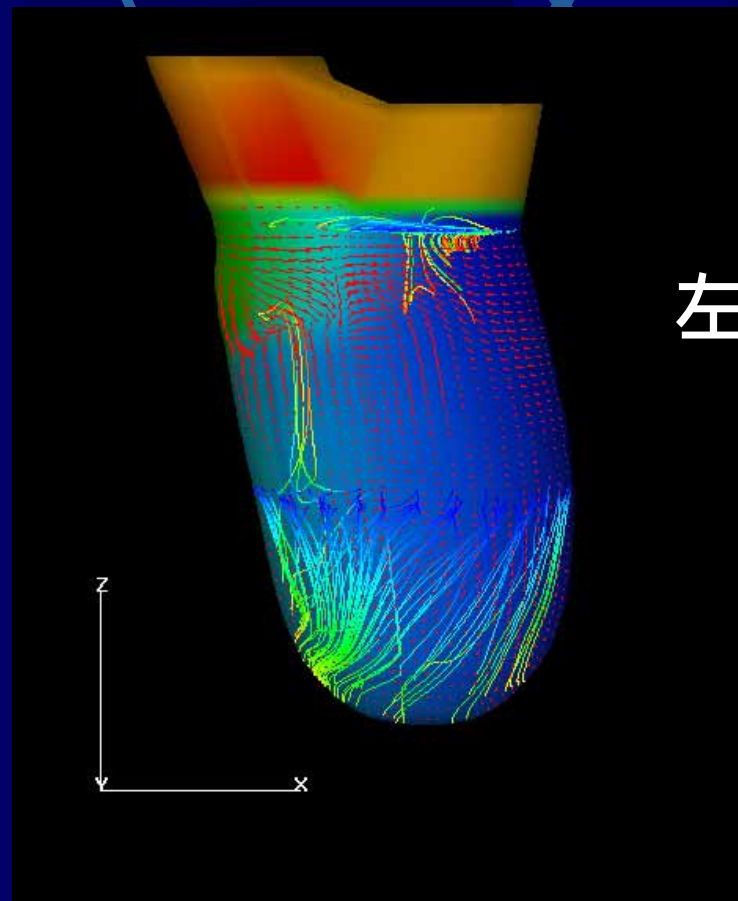
# 左心室内の血流動態(6)

## 拡張期



2次流れの形成

# 左心室内の血流動態(7)



左心室内が負圧



# 結 論

超音波心エコー図を用いて

- モデル構築が効率的に行える2チャンバービューモデリング法を提案した。
- 入り口速度条件を推定する方法を提案した。