

# 循環系における計算バイオメカニクスの実用化に向けて

Towards Utilization of Computational Biomechanics in Circulatory System

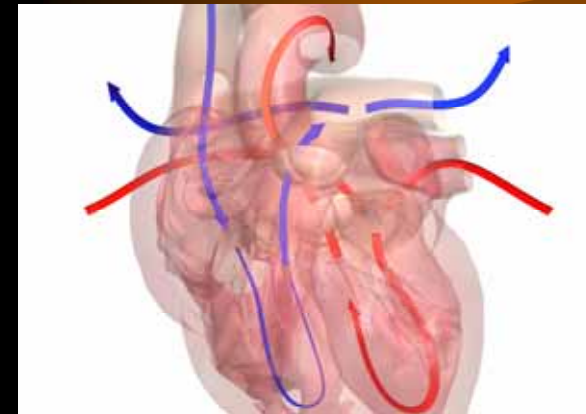


劉 浩（千葉大、理研）

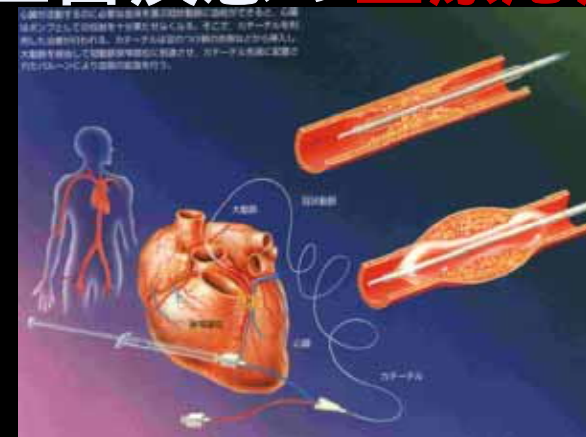
岩瀬英仁（理研），松永奈美（理研），賀櫻（理研），横井研介（理研），姫野龍太郎（理研）

# 循環系における計算バイオメカニクス現状

## 循環系生理学現象の解明

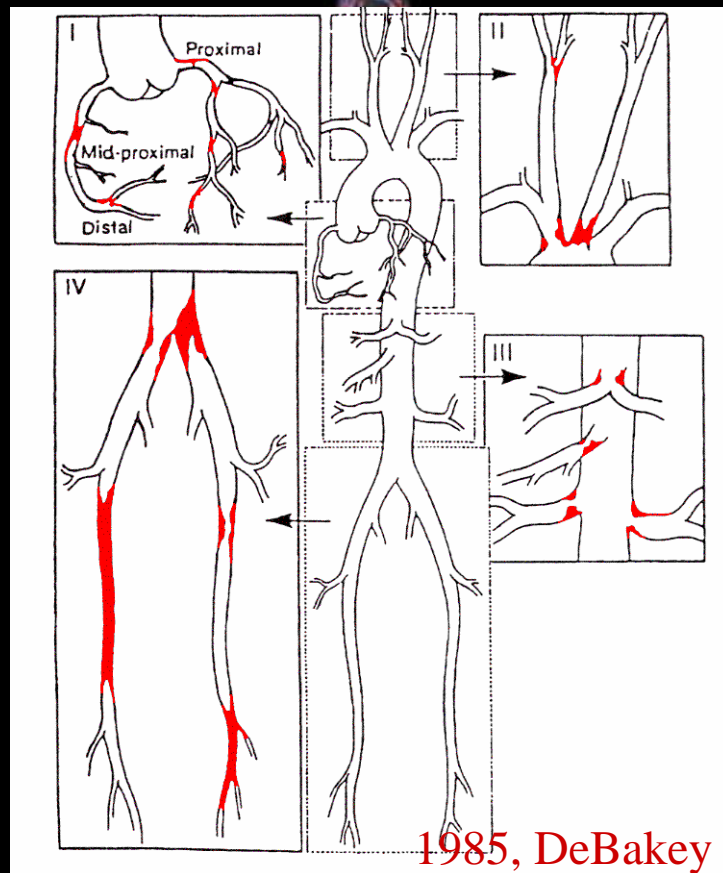


## 循環系血管疾患の医療応用

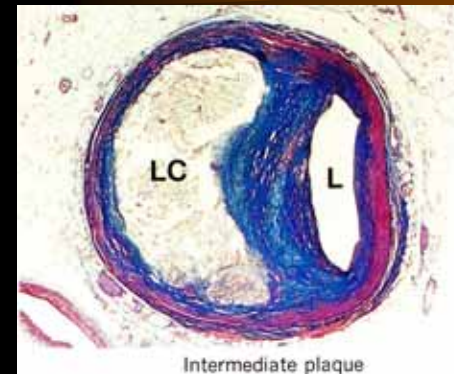


# 血管疾患：動脈硬化症(Atherosclerosis)

心臓血管系動脈硬化症後発部位



粥状動脈硬化症の様相



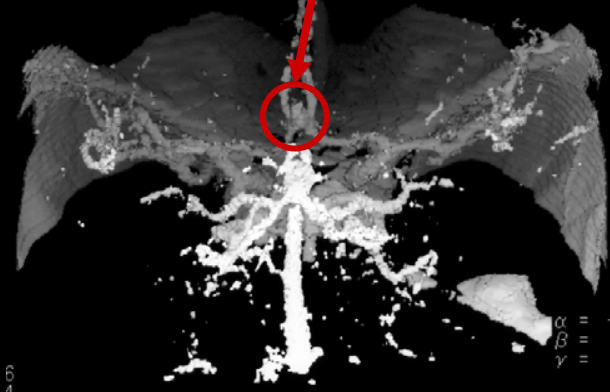
↓  
血流との相関

*(Three and More Hypotheses)*

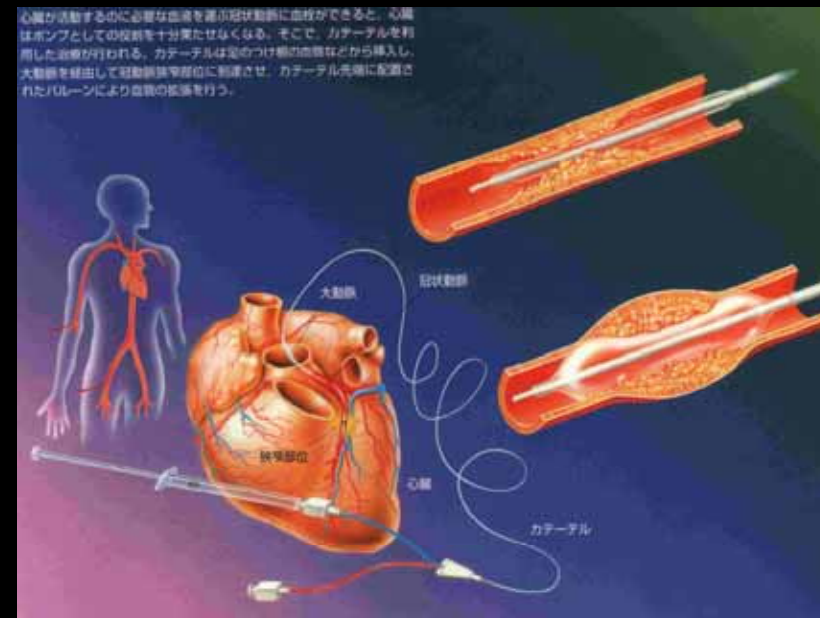
- @ 低ずり応力説 (Caro, 1971)
- @ 高ずり応力説 (Fry, 1972)
- @ 振動ずり応力説 (Ku, 1985)
- @ 血管炎症説 (1995-)

# 医療的治療： 診断と手術 (*Diagnosis and Surgery*) (医用画像と経験)

## 脳動脈瘤 *Cerebral Aneurysm*



## 冠動脈血管成形術 (PTCA): *Coronary Artery Stenosis Treatment*

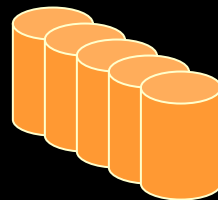


# 情報科学と医学の結合

(Not only the image but also the function)

CFD Modeling for simulation-based *predictive medicine* (予測医学)  
Computation-Aided Diagnosis (*CAD*) and Computation-Aided Surgery (*CAS*)  
(計算支援診断及び計算支援外科手術)

Predictive Medicine: Computation-Aided Diagnosis(CAD) and Surgery (CAS)



# 予測医学を目指すための計算ツール

Establishment of a Patient-Specific Simulator (PASS) is a key.

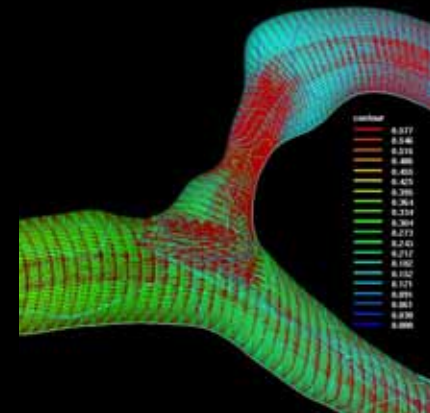
## Patient-Specific Simulator of Haemodynamics

Image-based  
Realistic  
Morphological  
Modeling



Measurement-based  
Realistic  
Physiological  
Modeling

Global  
Realistic  
Computational  
Mechanical  
Modeling



# Multi-Scale Computational Haemodynamics

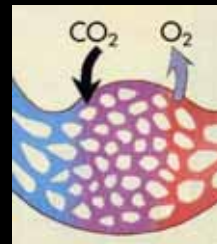
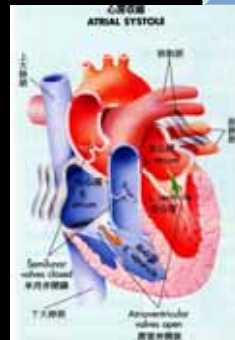
*Blood dynamics in circulation system involve length scales in vastly different ranges.*

***cm-scale (Second):  
Macro-hemodynamics***

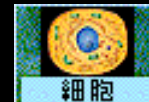


**The Wholism is King!**

***mm-scale (Hour):  
Meso-hemodynamics***



***μm-scale (Day):  
Micro-hemodynamics***



unicla intima (endothelium)



***nm-scale (Month):  
Nano-hemodynamics***

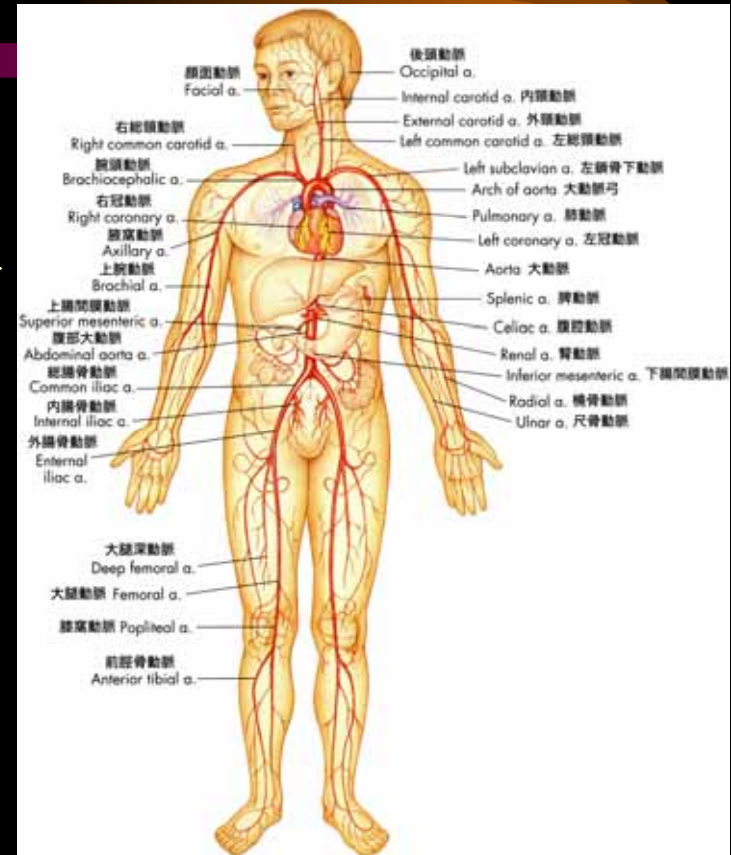


**DNA is King!**

# Prototype, Multi-Scale, Computational Modeling of Aorta Haemodynamics



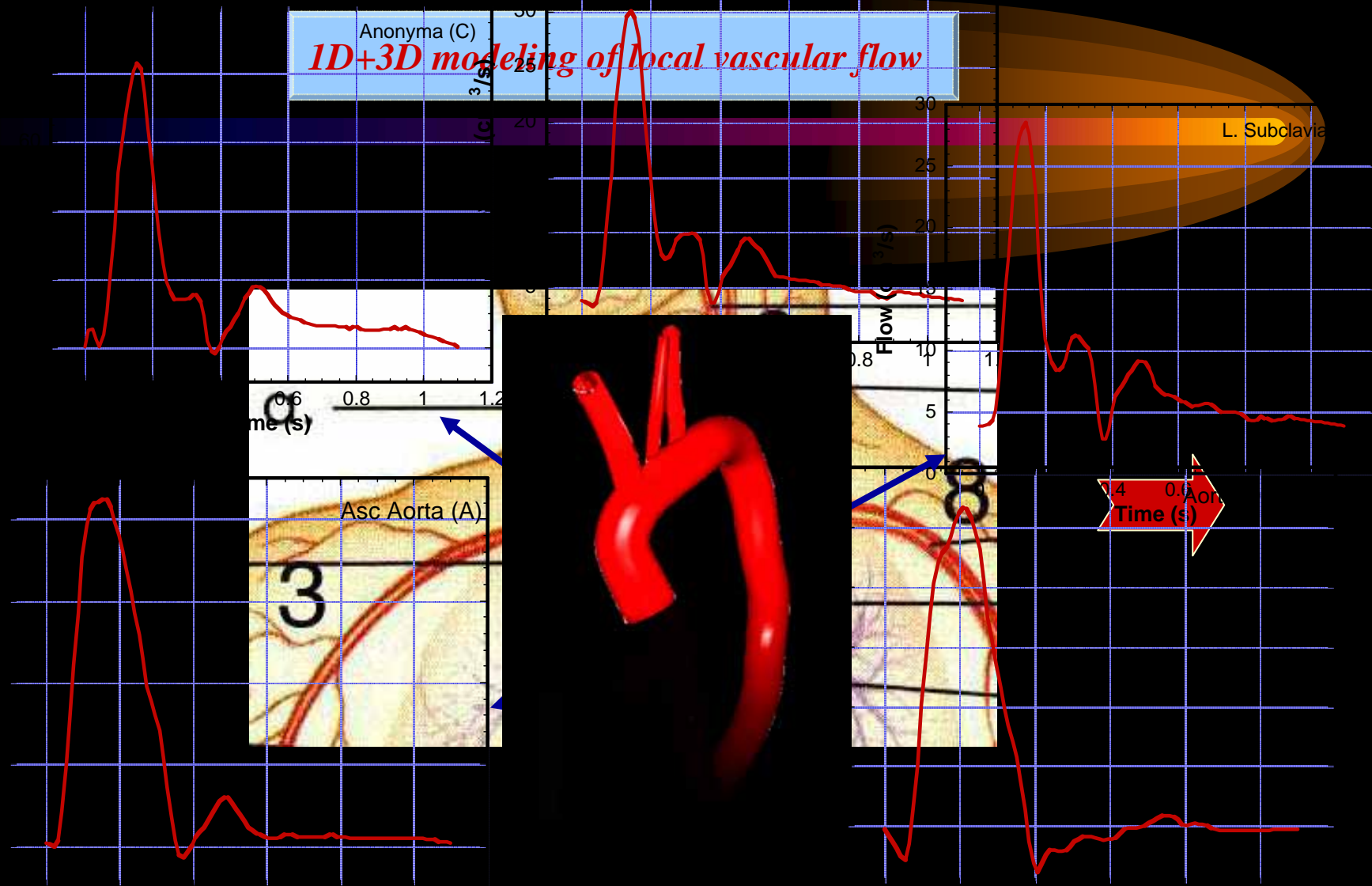
**1D modeling of systemic circulation**



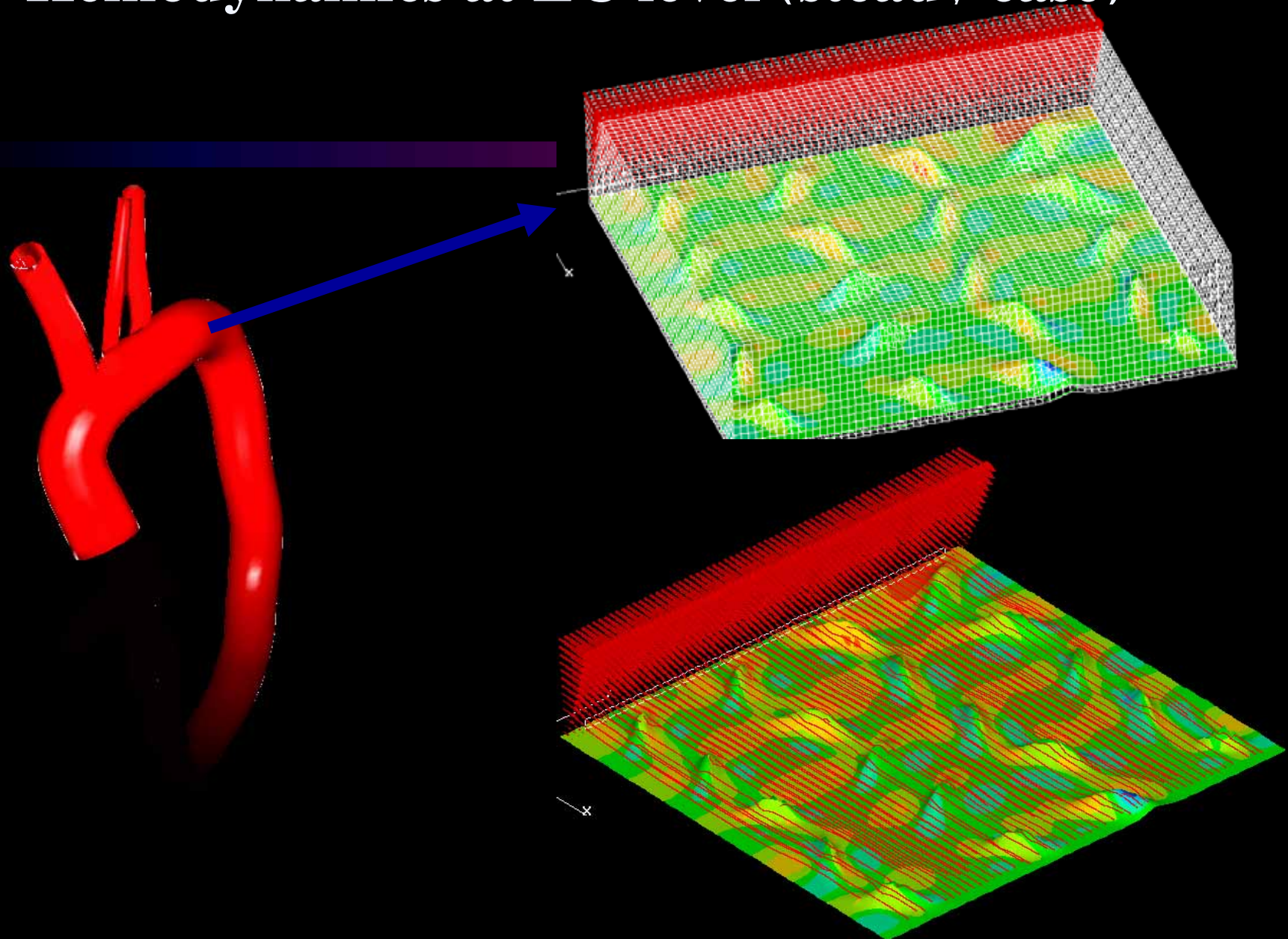
**3D modeling of local flow and WSS**



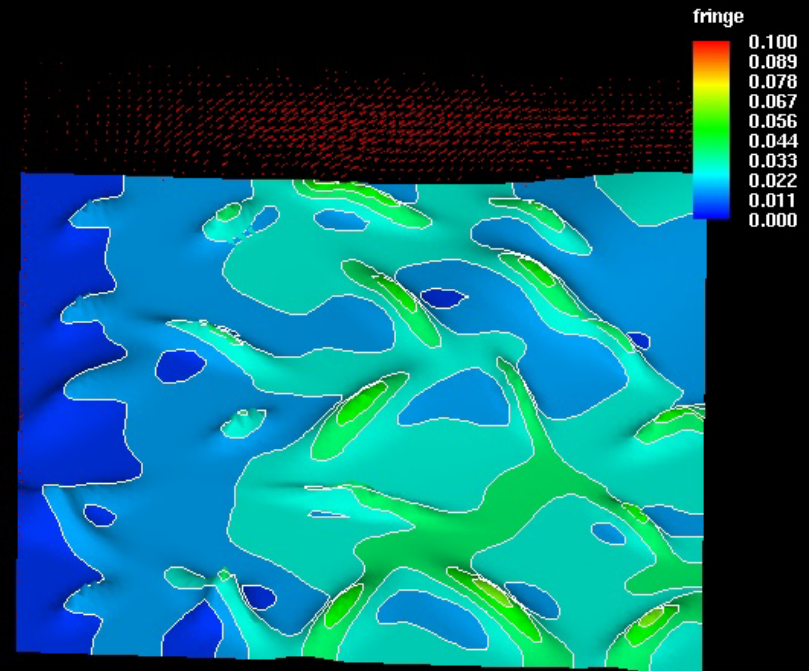
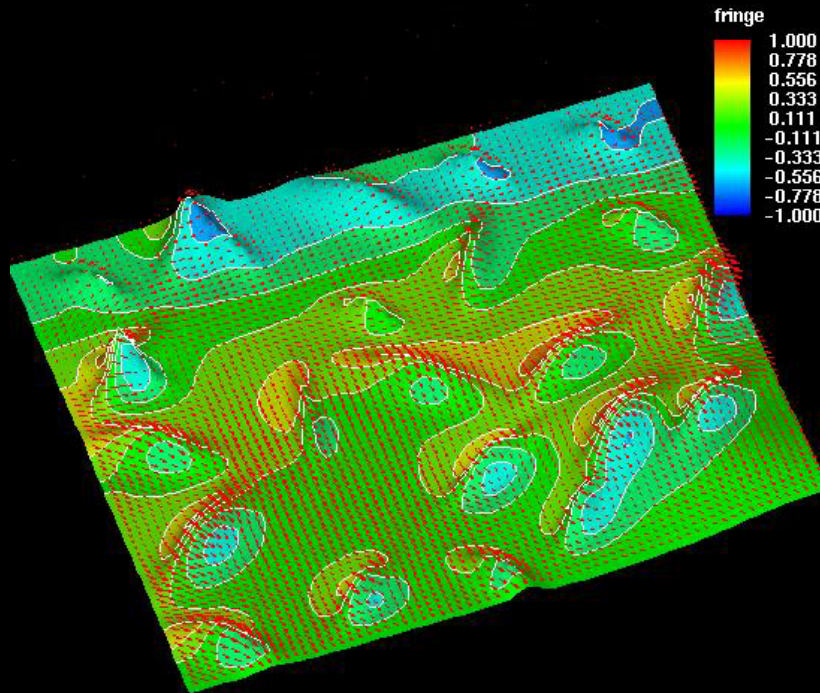
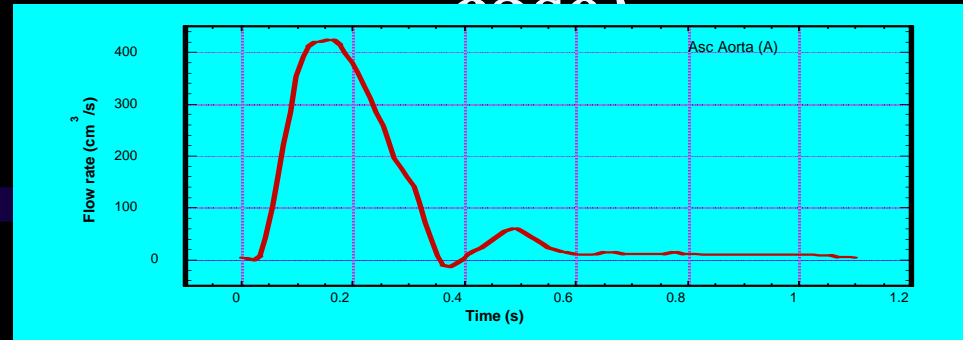
# A Prototype, Multi-Scale, Overset grid, Computational Model of Aortic Arch Haemodynamics



# Hemodynamics at EC level (steady case)

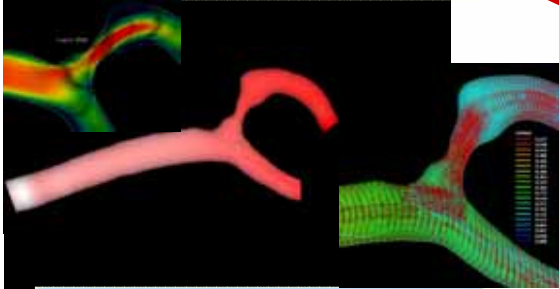


# Hemodynamics at EC level (unsteady)



# 研究内容及び成果 2 (Research Outline)

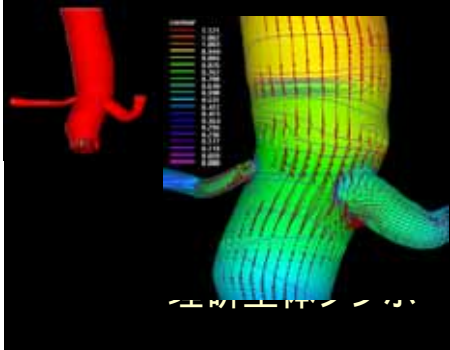
**Carotid A. Hemo.**



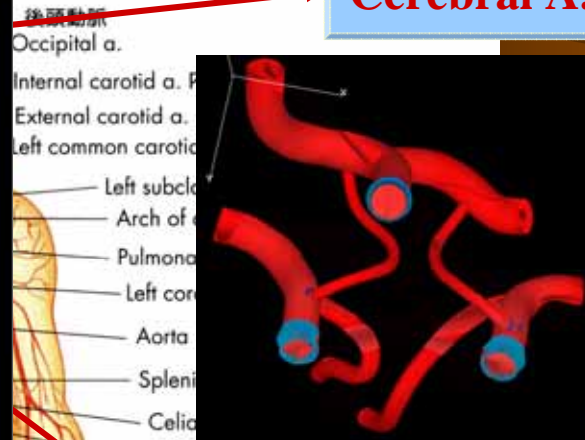
**Left Ventricle Hemo.**



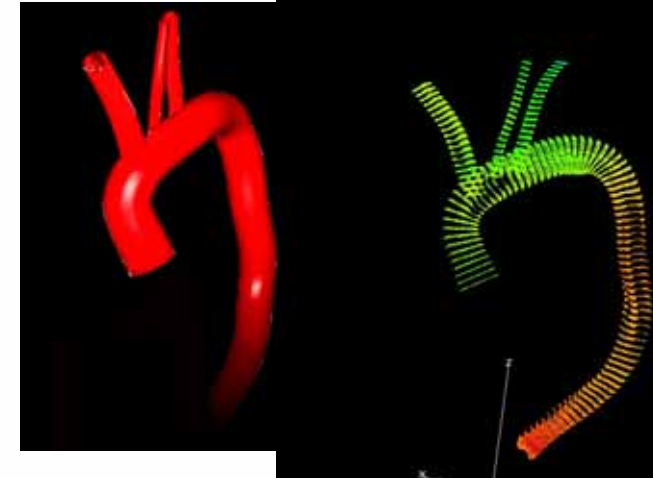
**Renal A. Hemo.**



**Cerebral A. Hemo.**




**Aortic A. Hemo.**



- 右総頸動脈 Right common carotid a.
- 腕頭動脈 Brachiocephalic a.
- 右冠動脈 Right coronary a.
- 腋窩動脈 Axillary a.
- 上腕動脈 Brachial a.
- 上腸間膜動脈 Superior mesenteric a.
- 腹部大動脈 Abdominal aorta a.
- 総腸骨動脈 Common iliac a.
- 内腸骨動脈 Internal iliac a.
- 外腸骨動脈 External iliac a.
- 大腿深動脈 Deep femoral a.
- 腿動脈 Femoral a.
- 膝窩動脈 Popliteal a.
- 前脛骨動脈 Anterior tibial a.

- 後頭動脈 Occipital a.
- Internal carotid a.
- External carotid a.
- Left common carotid a.
- Left subclavian a.
- Arch of aorta
- Pulmonary a.
- Left coronary a.
- Aorta
- Splenic a.
- Celiac a.
- Renal a. 腎動脈
- Inferior mesenteric a. 下腸間膜動脈
- Radial a. 橈骨動脈
- Ulnar a. 尺骨動脈

# 循環系における計算バイオメカニクス の実用化に向けて：諸問題点



# 評価基準： How to V&V (validate & verify) the simulations? A Two-Modeling Method



Actual Reality



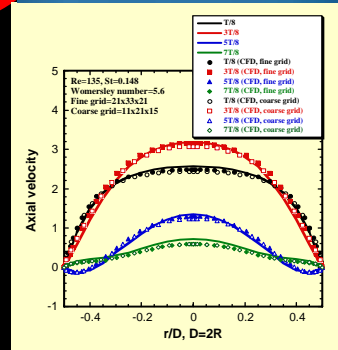
V&V and Deduction

Vortex flow  
(Re, St, Geom.)

Realistic Modeling  
of Virtual Reality

Conceptual  
Modeling

Development & Verification



# イメージベースト解剖学的モデルについて Image-Based Morphological Modeling

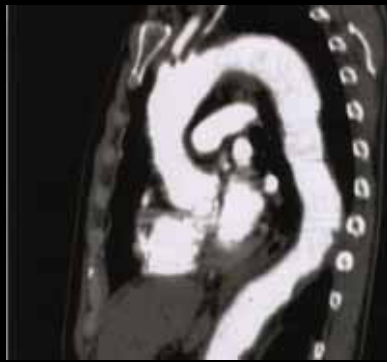
## Patient-Specific Simulator (PASS) of Haemodynamics

Image-based  
Realistic  
Morphological  
Modeling

Measurement-based  
Realistic  
Physiological  
Modeling

Patient-specific  
Realistic  
Computational Mechanical  
Modeling

1) 画像の取り込み  
Raw Medical Images



2) 関心部位の抽出  
Segmentation



3) 平滑化と補間  
Smoothing & Curve/Surface Fitting

4) モデリングと計算空間離散化  
Modeling & Domain Disretization

## 実用化にむけての課題

1) 画像診断の方向  
高精細化、データベース化  
システム化

2) 計算バイオメカニクス  
の方向  
ニーズに応じる  
マルチスケール（多次）的モデル





# 非侵襲的生理学的モデルについて

## *In-vivo* Physiological Modeling

### Patient-Specific Simulator (PASS) of Haemodynamics

Image-based  
Realistic  
Morphological  
Modeling

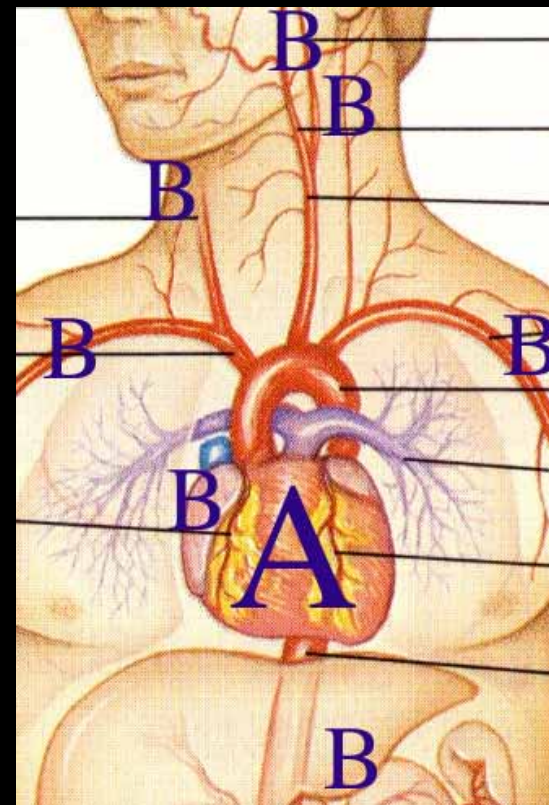
Measurement-based  
Realistic  
Physiological  
Modeling

Global  
Realistic  
Computational Mechanical  
Modeling

1) *In-Vivo* Flow / Pressure Rate-based  
Modeling

2) Low-Dim. Model-based Modeling

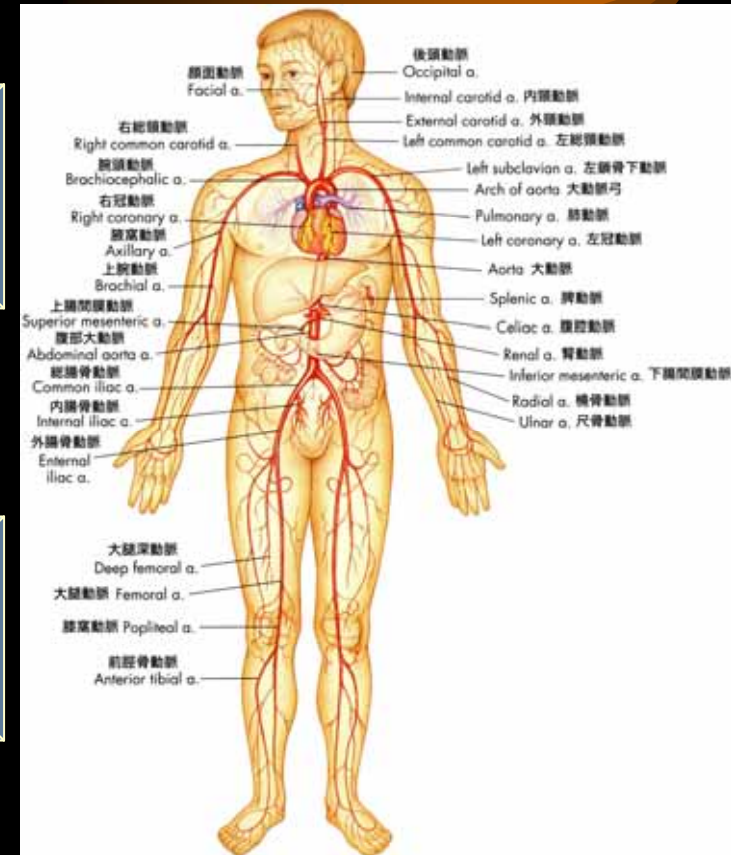
3) Extraction Method for Blood Vessels,  
Based on the Velocity Profile  
Measured by Phase Shift Method



# 実用化にむけての課題

1) 高精度な低次元モデルの確立

2) 低次元モデルと計測の融合



# マルチスケール計算力学モデルについて Multi-Scale Computational Modeling

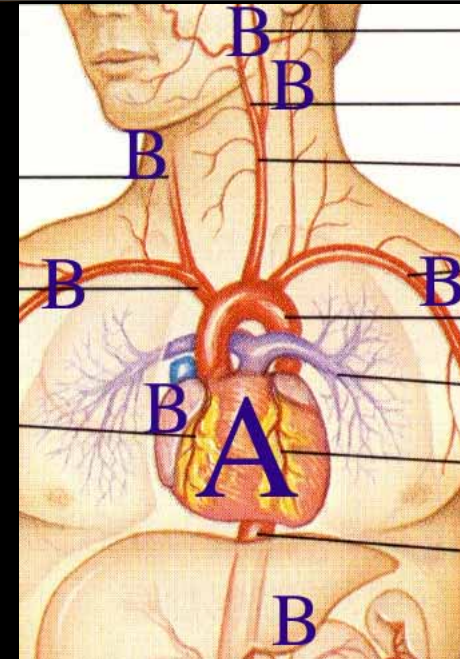
## Patient-Specific Simulator (PASS) of Haemodynamics

Image-based  
Realistic  
Morphological  
Modeling

Measurement-based  
Realistic  
Physiological  
Modeling

Global  
Realistic  
Computational Mechanical  
Modeling

マルチスケール  
マルチフィジックス  
システム化のような  
計算バイオメカニクス  
プラットフォームの開発



## 実用化にむけての課題

### 1) マルチスケールモデルの確立

@ 全身 1 次元モデルの確立

@ 血管変形モデルの確立

@ 局所 3 次元モデルの確立

@ 内皮細胞 3 次元モデルの確立

@ 毛細血管ネットワークモデルの確立

@ 各モデルの双方向融合

### 2) マルチフィジックスモデルの確立

@ 各スケールにおけるモデルの確立

@ 全身マルチスケールモデルとの融合

# 臨床応用と人体シミュレータに向けて

## 臨床応用に向けて

(診断支援システム / データベース、手術予測支援)

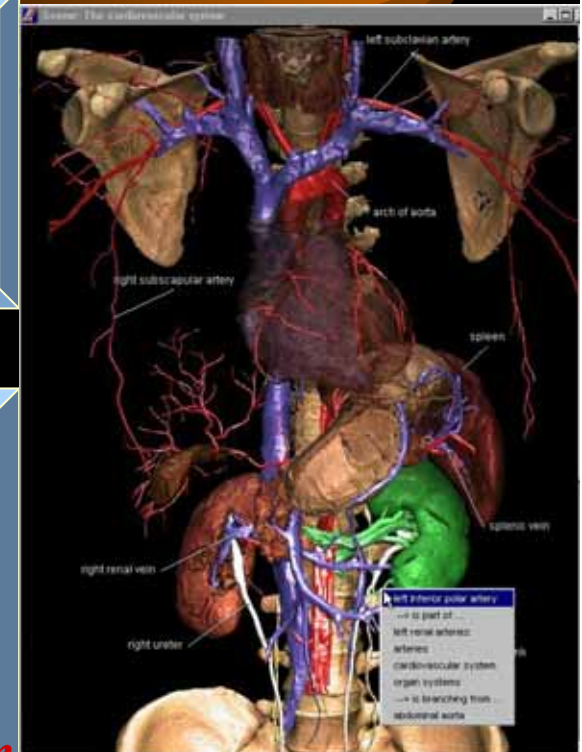
*Towards the clinical applications*

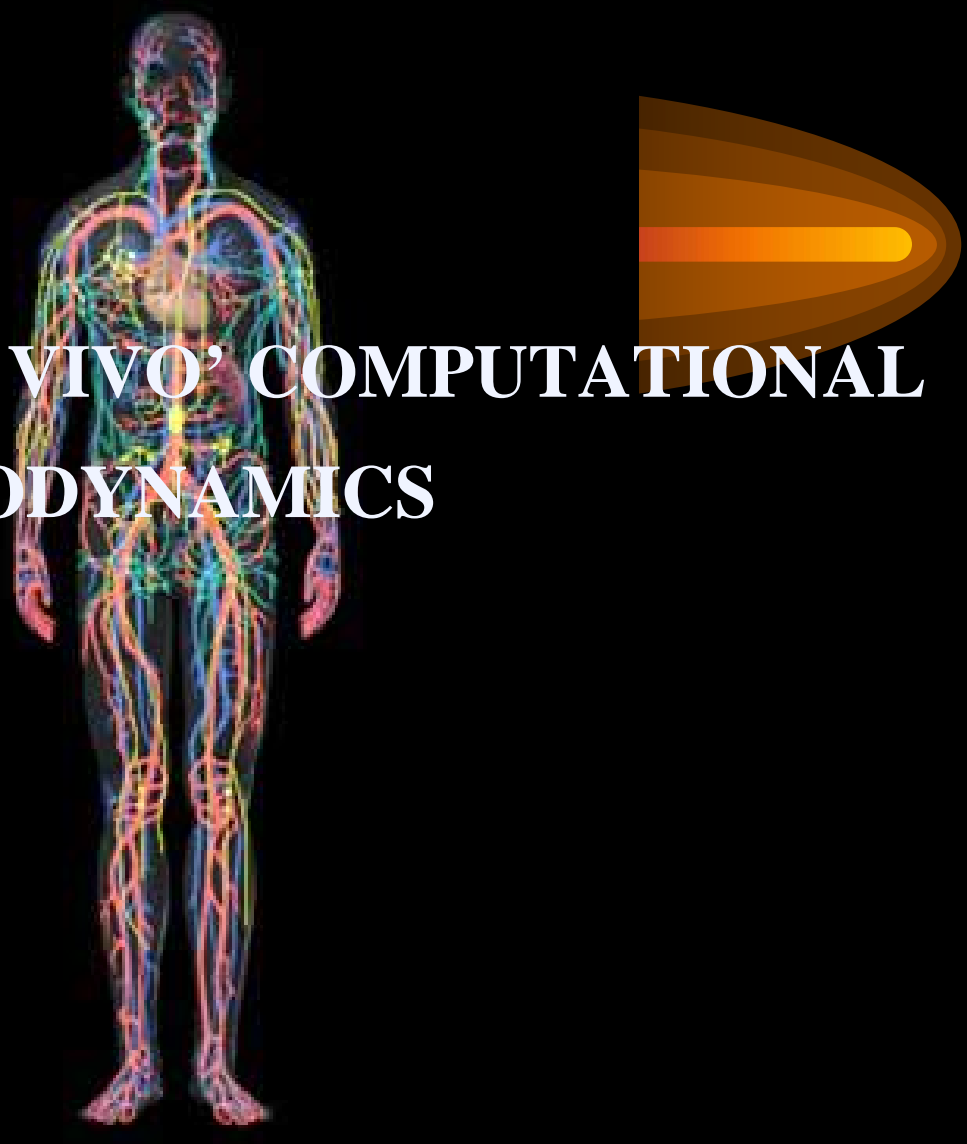
## マルチスケール循環器シミュレータの構築

(グローバル：循環器システム、臓器別、  
正確な形態学と生理学モデル)

(ローカル：血流 / 血管連成、毛細血管網、  
血管壁における物質輸送)

*Development of a multi-scale simulator for circulatory system*





TOWARDS THE 'IN VIVO' COMPUTATIONAL  
HEMODYNAMICS

医療・創薬を目指した  
非侵襲的計算バイオメカニクスの実現