
iTFlow マニュアル

Cardio Flow Station iTFlow は 2D Cine PC MRI および 3D Cine PC MRI で撮影されたデータから血流を可視化、分析することを目的としたソフトウェアです。

内容

概要	Error! Bookmark not defined.
凡例	Error! Bookmark not defined.
取り扱い説明書へのアクセス	Error! Bookmark not defined.
オペレータに必要なこと	Error! Bookmark not defined.
4D Flow MRI 解析の理論	4
原理	4
解析の流れ	4
1. マスクの作成	4
2. 速度の可視化	5
3. 血行力学指標の算出	5
データ取得方法	6
必要なシリーズ	6
ソフトウェアの起動とデータ読み込み	7
iTFlow をブラウザから起動する場合	7
iTFlow をスタンドアローンで起動する場合	8
シリーズの選択	10
データの保存	11
解析画面の説明	12
解析領域の設定と補間処理 (ROI 設定)	14
二値化 (セグメンテーション)	15
閾値による抽出	15
Separate 機能で必要部分を抽出	18
マウスで修正	19
3D での補正	20
Auto(this phase) または Auto(all phase) で自動二値化	21
マスクの保存	21
データの解析	22
血流速度ベクトルの表示	23
エネルギー損失の計算	23
距離の計測	25
可視化断面の変更	26
ベクトルの向きが正しくないときの修正方法	27
3D 表示・計測	28
流線の表示	29
壁ずり応力の表示	29

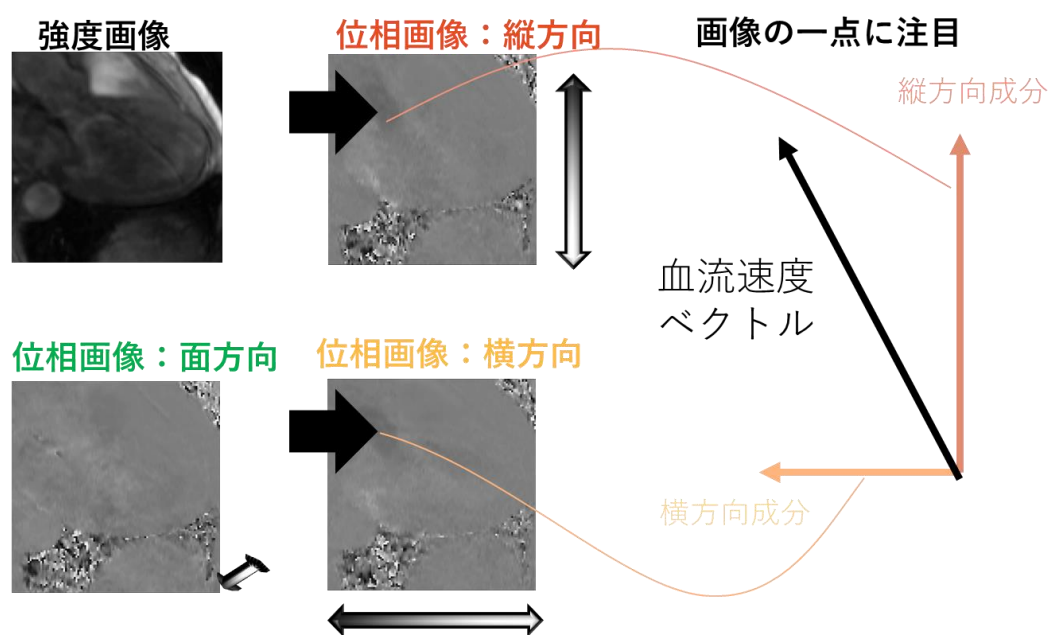
定量化	29
距離の計測	29
流量の計測	31
任意の断面から Streamline を発生させる	34
パスラインの表示	35

4D Flow MRI 解析の理論

原理

位相コントラスト法

位相コントラスト法により位相画像データと強度画像データが得られます。位相画像データは傾斜磁場方向の血流速度を画像化したもので、撮像断面の1方向の血流速度の分布が把握できます。位相画像を3軸方向で撮影することで血流速度を3方向の成分をもつベクトルとして解析することが可能です。



解析の流れ

1. マスクの作成

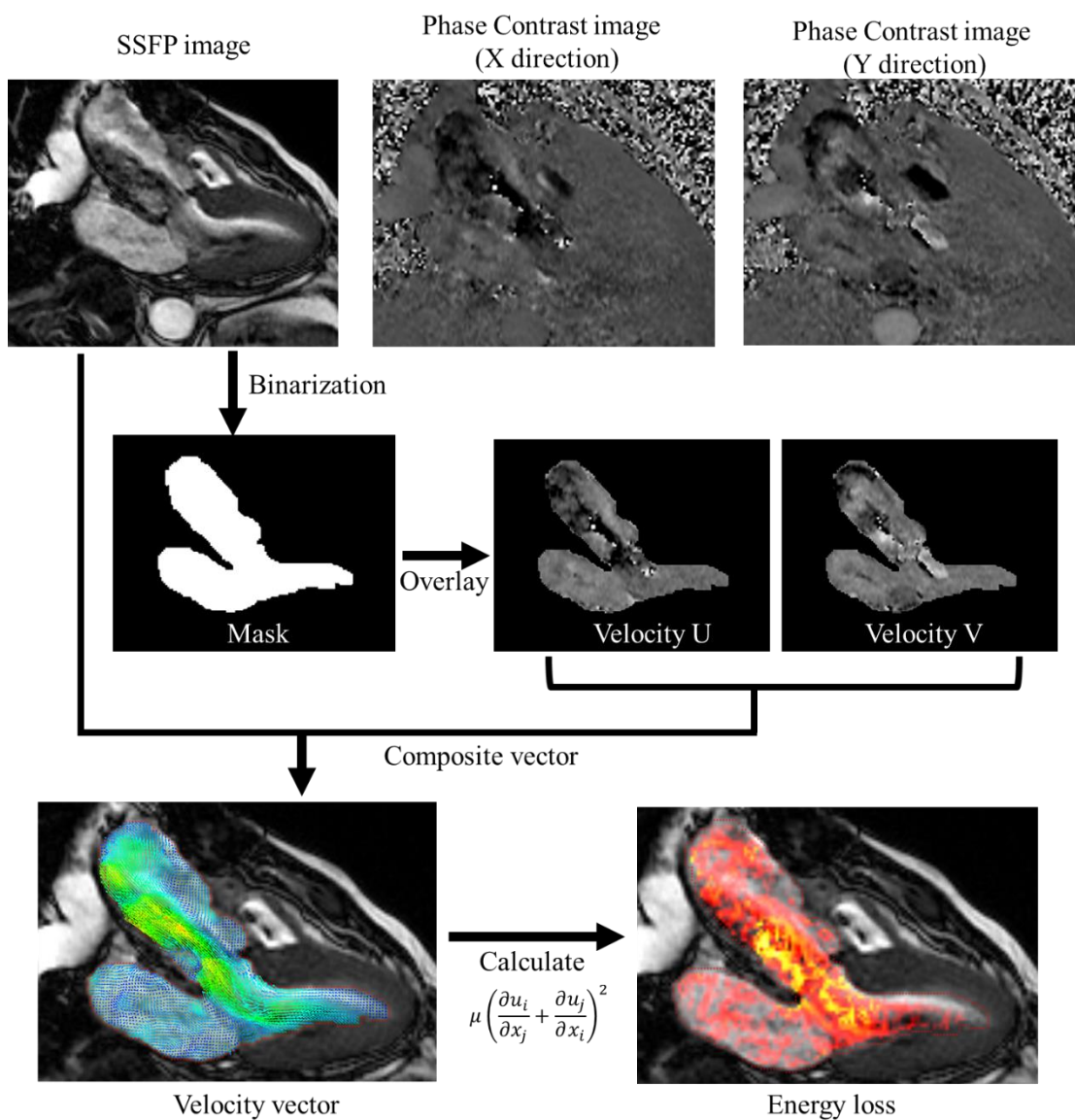
血流速度の情報を画像として表している位相画像には心血管以外にも脂肪組織や骨、肺など解析に必要な情報も含まれます。解析したい領域のみを抽出するために、マスクと呼ばれる血管内を1、血管外を0で塗りつぶした二値化画像を作成し位相画像に重ねることで血管外の情報を落とします。

2. 速度の可視化

マスク内で位相画像を合成することでベクトルとして血流速度を可視化することが可能です。

3. 血行力学指標の算出

可視化された血流速度場を流体力学的な計算をおこなうことで、血流量、血流のエネルギー損失や Wall Shear Stress, Oscillatory Shear Index といった様々な指標を算出することが可能です。



データ取得方法

必要なシリーズ

解析には下記のシリーズが必要です。

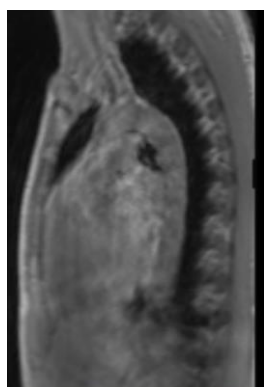
位相画像（横方向、縦方向、奥行方向）



位相画像は傾斜磁場方向の血流速度を表す画像で、画像の横方向の速度を表す画像、画像の縦方向の速度を表す画像、画像の奥行き方向の速度を表す画像の3種類存在します。

これらの画像が流線やベクトル、エネルギー損失やWSSなどの計算を行うための流速情報となります。

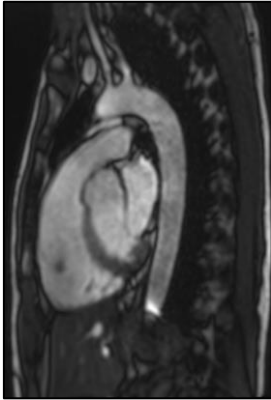
強度画像



強度画像は位相画像と同時に取得される画像です。後述の Cine 画像の位置合わせなどに用いられます。

CINE 画像

位相画像とは別立てに撮影された、形状抽出用の画像です。SSFP法での取得を推奨していますが、コントラストが明確な画像で同じスタディーでの



解析が可能な組み合わせ

シリーズ	解析での必要性	備考
位相画像	必須	速度データのためこれらのシリーズが揃っていないと血流の解析は出来ません。
強度画像	あると好ましい	Cine 画像がある場合、位置ずれに利用可能。
Cine 画像	解析対象によりあると好ましい	解析領域を指定するための血管形状作成に利用できます。

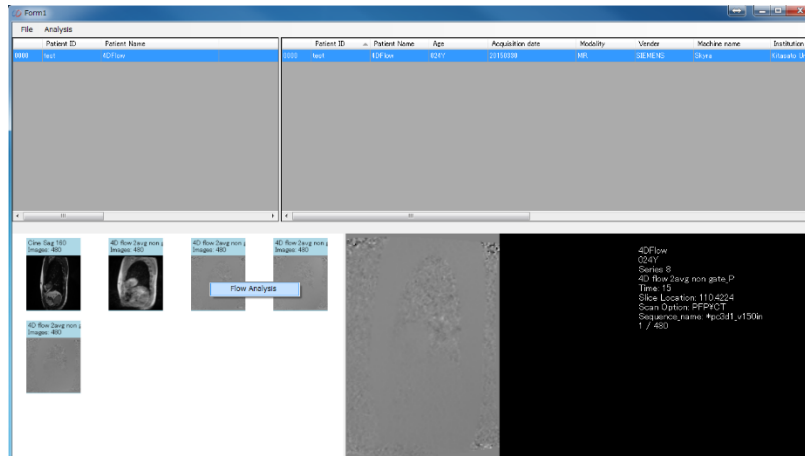


心拍によるズレが少なく流速が比較的大きい血管は位相画像の速さから形状を抽出することも可能です。

ソフトウェアの起動とデータ読み込み

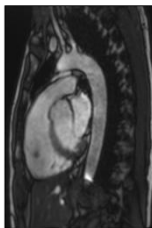
iTFlow をブラウザから起動する場合

デスクトップのショートカットから Cardio Flow Station(Dicom ブラウザー)を起動します。解析したいデータを Ctrl を押しながら複数選択し、右クリックメニューから「Flow Analysis」を選択します。

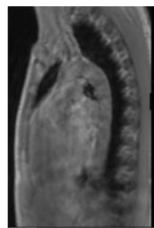


解析を行うためには X方向、Y方向、Z方向の3方向の Phase Contrast 画像（速度画像）の画像が必要です。加えて Cine 画像と Magnitude 画像があるとマスク作成が容易になります。

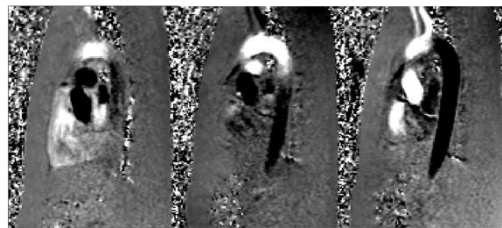
Cine画像



Magnitude画像

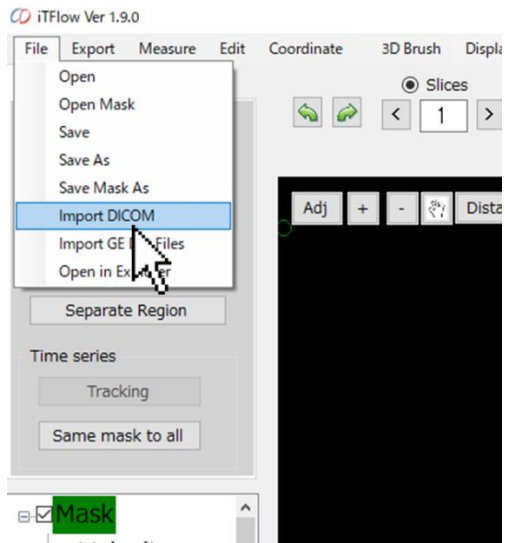


Phase Contrast画像

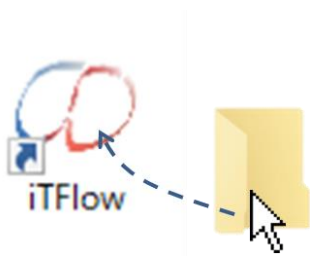


iTFlow をスタンドアロンで起動する場合

デスクトップのショートカットから iTFlow を起動し、メニューの **File**→ **Import DICOM** から画像データが入っているフォルダを選択します。



またはデスクトップのショートカットに DICOM の入ったフォルダをドラッグドロップすることで起動できます。



シリーズの選択

4D Flow Postprocessor 上で読み込まれた画像が、X,Y,Z 方向速度(u,v,w)、強度画像(Magnitude)、血管造影画像(Cine)のどれにあたるかを自動的に判別します。判別できなかったものについては手動で選ぶ必要があります。

シリーズを選択 サムネイル、メタ情報からシリーズを判別

Dicom Loader

Tools
Please choose Phase contrast image (R/L, A/P, S/I), Magnitude and SSFP series.
Three phase contrast series are required.
Magnitude and SSFP are optional.

OK Cancel

ID	Disuse	Cine	Mag	U(R/L)	V(A/P)	W(S/I)	Image	Venc	Phase	Slices	Rows	Column	SeriesDescription
0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0	16	30	320	316	Cine Sag 160.
▶ 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		0	20	30	192	132	4D flow nav .
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		-1.5	20	30	192	132	4D flow nav_P .
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		-1.5	20	30	192	132	4D flow nav_P .
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		-1.5	20	30	192	132	4D flow nav_P .

選択後 **OK** を押すことでソフトウェアが起動します。

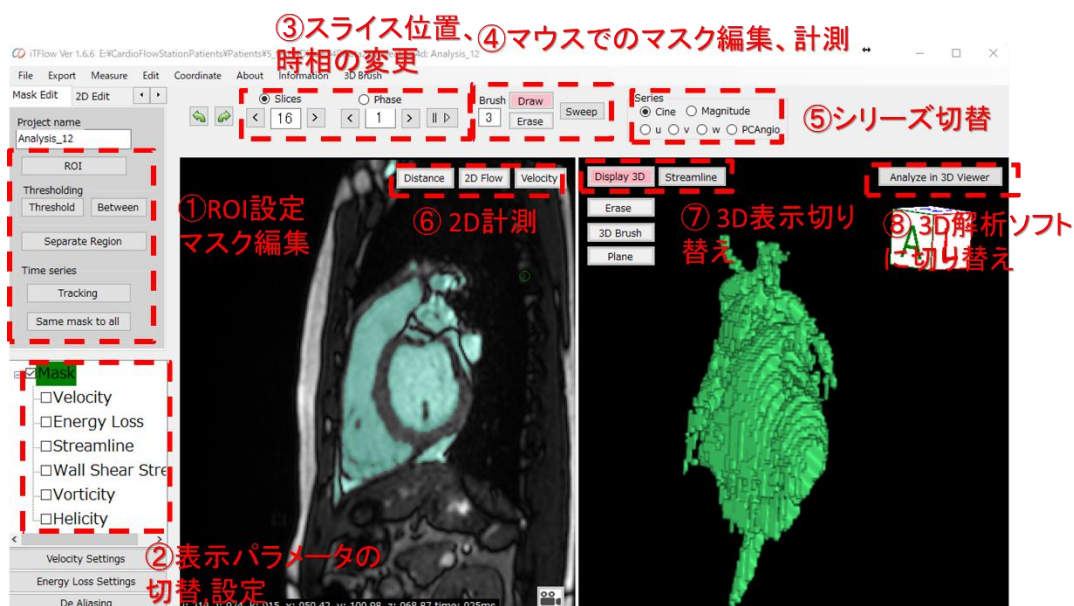
データの保存

メニューの **File→Save as** をクリックするとプロジェクトとして作業中のデータを保存できます。プロジェクトは下記の 5 つのファイルから構成されています。データを移動させる場合は 5 つまとめて移動させてください。

- *.prj4d : 下記のファイルをまとめているファイル
- *_Cine.matg : Cine 画像が保存されているファイル
- *_Magnitude.matg: Magnitude 画像が保存されているファイル
- *_Mask.matm : マスク情報が保存されているファイル
- *_Velocity.matv : 位相画像が保存されているファイル

DICOM の読み込み後、3D Viewer の起動時にプロジェクトは自動で上書き保存されます。保存先は **File→Open in Explorer** から保存先のディレクトリをエクスプローラで開くことができます。

解析画面の説明



① 二値化処理

マスクの生成を行うボタンです。パラメータを決めながら上から順番に押していくことで、マスクが生成されます。

② 表示パラメータ切り替え

マスクを元に演算されるベクトル、エネルギー損失の表示を切り替えることができます。

③ スライス位置と時間の変更

スライスと時間を切り替えることができます。チェックボタンを切り替えることでマウスホイールで変更する項目を切り替えることが可能です。再生停止ボタン ■/▶ を押すことで自動的に再生することが可能です。

④ マウスでの Mask 編集、計測の切り替え

ボタンを切り替えることで、マウスでマスクの描画と消去、距離や二次元流量の計測が可能です。

⑤ 表示するシリーズの切り替え

造影画像、位相画像など読み込んだシリーズを切り替えることができます。

⑥ 計測

二次元流量、距離、一点の速度を計測できます。

⑦ 3D 表示切り替え

マスクの 3D 表示を切り替えることができます

⑧ 3D Viewer への切り替え

生成したマスクをもとに、3次元で血流を可視化します。

マウス操作

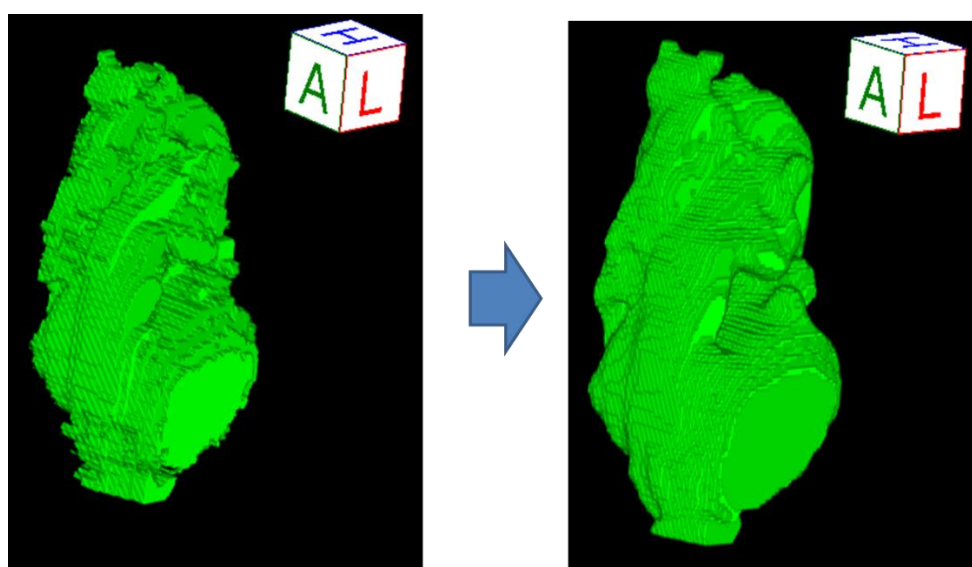
マウス右ボタン	画像のコントラスト変更
マウスミドルボタン	画像の移動
マウスホイール	Z方向スライスまたは、時相の変更
Ctrl+マウスホイール	画像の拡大縮小

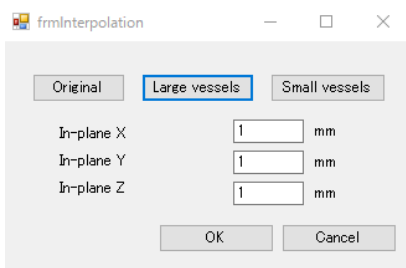
解析領域の設定と補間処理（ROI 設定）

ROI ボタンを押すことで解析領域を設定し、使用するメモリを節約することが可能です。動作が遅くなければこの処理は不要です。



ROI を設定した後、メニューの Edit→Interpolation を選択することでマスクと Cine 画像の画素およびスライスを細かく補間して仮想的に空間分解能を上げることが可能です。





In plane X: 画像内の横方向の分解能

In plane Y: 画像内の縦方向の分解能

In plane Z: スライス方向の分解能

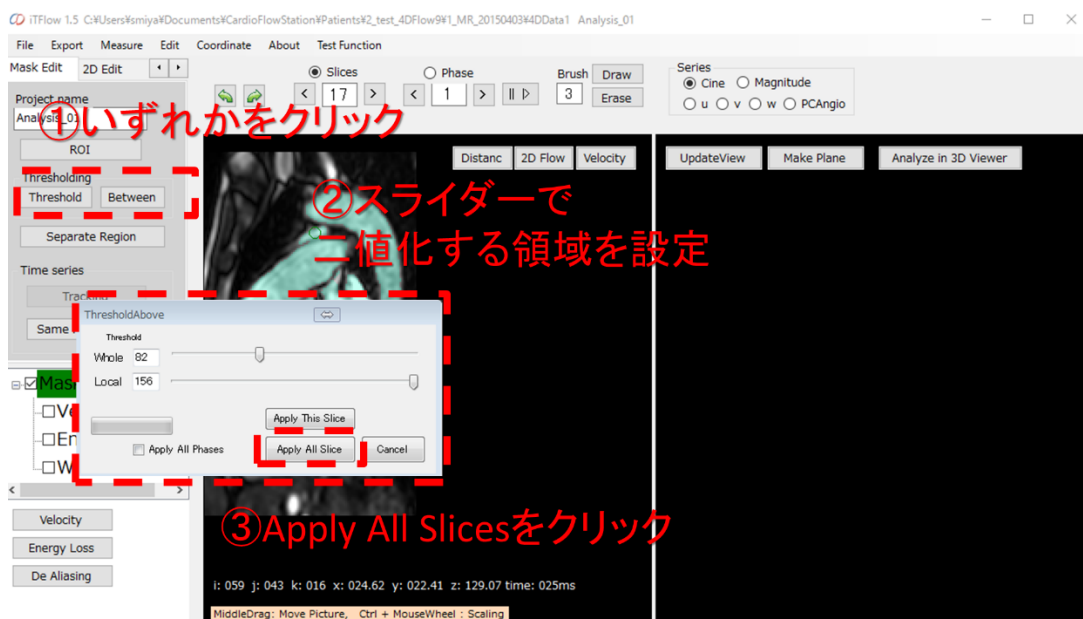


interpolation を行うとメモリの使用量が大幅に増えるため ROI 設定で解析領域を限定した上で行ってください。

二値化 (セグメンテーション)

正確な血流解析のために血管の内外を分け、解析の領域を指定することが必要です。閾値、ブラシ、消しゴムなどを使って解析したい心血管の内部だけ塗りつぶしを行います。

閾値による抽出



Threshold ボタン

SSFP 法などで撮影された画像に適した抽出方法で、局所的に暗い画像でも精度よく二値化することが可能です。Whole, Local の 2 つのパラメータを調整して二値化を行います。

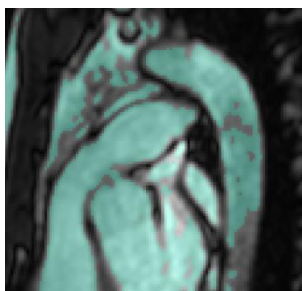
Whole: 設定値以上の輝度値を取得します。

Local: 局所的な輝度値の平均との比較から抽出を行います

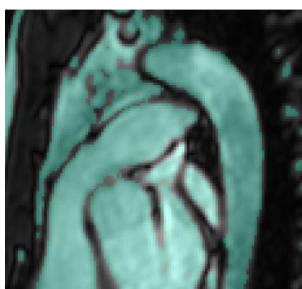
Between ボタン

Upper と Lower の間の輝度値の領域を抽出します。

このしきい値の決め方により解析の精度とこの後の処理にかかる時間が変わります。
以下の例のように必要十分な領域を抽出できるようにしきい値を決めてください



△壁近傍が抽出されていません。



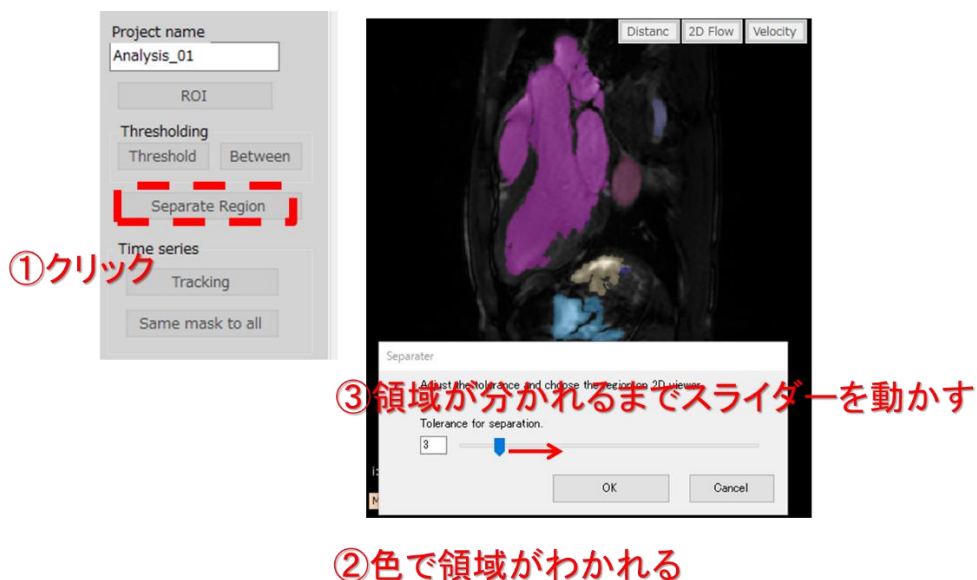
◎必要十分な領域が抽出されています。



△各血管がつながってしまっており、後述の領域分割プロセスが困難となります。

Separate 機能で必要部分を抽出

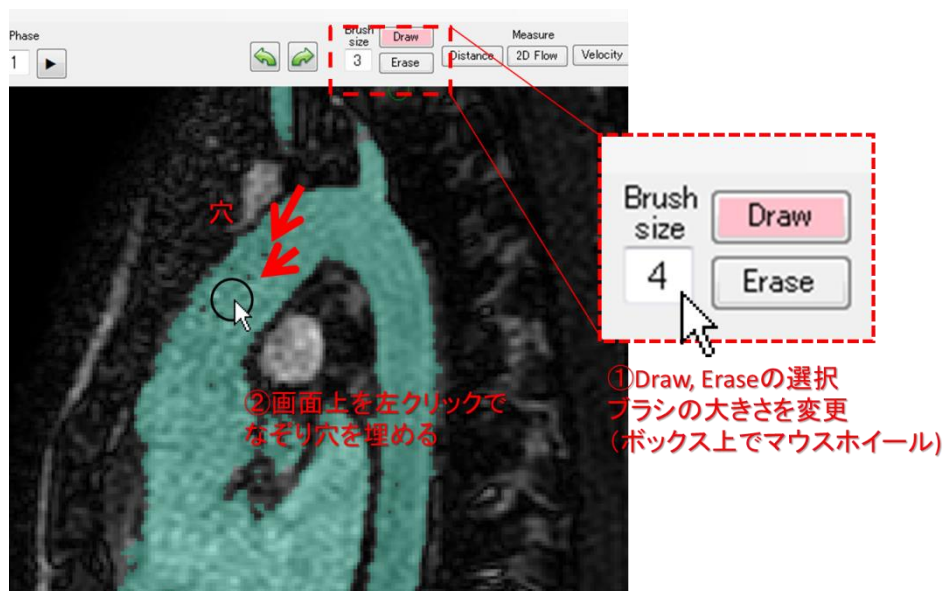
Separate ボタンを押し、領域が分割されるまでバーを右にスライドさせます。解析したい領域を左クリックすることで選択肢、**Apply** ボタンを押すことで選択した領域のみを抽出することが可能です。



i この機能はつながったマスク形状を分割する機能です。臓器や血管同士のくびれや境界面の穴などを検出して領域を分割していますので、完全に2つの臓器や血管のマスクが一体化している場合は後述のマウスでの **Erase** 機能を併用することで、うまく分けられます。

マウスで修正

(ii)までのプロセスで取りきれなかった部分を手作業で修正することが可能です。



Draw または Erase ボタン：マウスでの Mask の修正。

Brush Size ボックス上でマウスホイール：ブラシサイズの変更

Shift + マウスホイール：ブラシサイズの変更

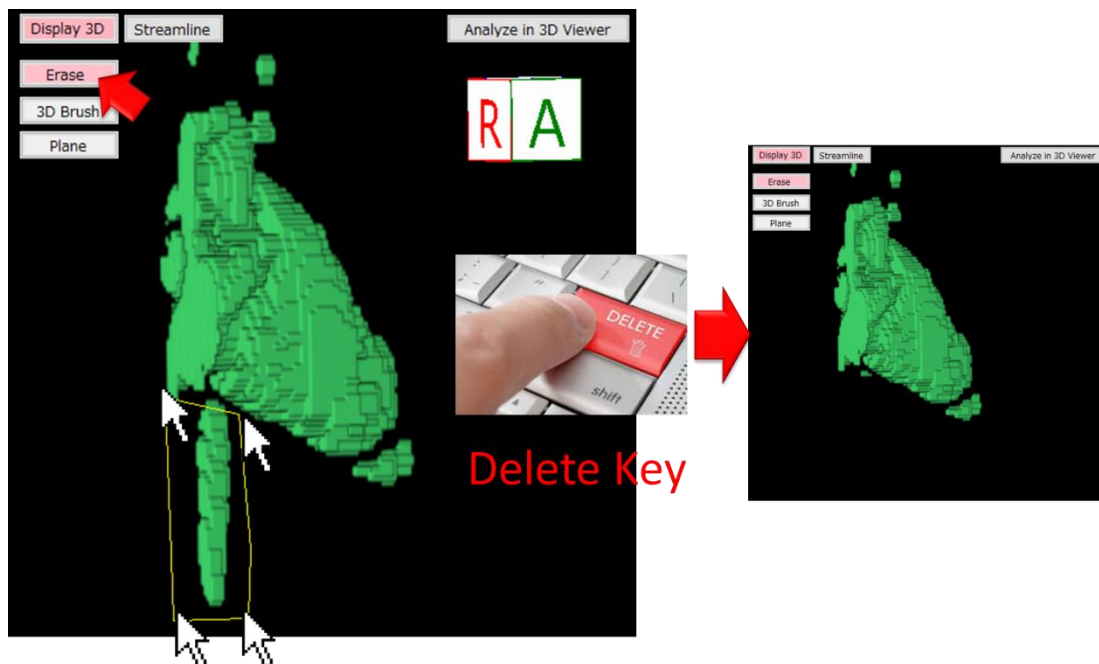


Erase で 境界面を削ってから再度 Separate 機能を使うことで分割できる場合があります。

3D での補正

Erase ボタンが押された状態で 3D Viewer 上をマウス左ボタンで範囲を選択し、Delete key を押すとマスクを削除することができます。

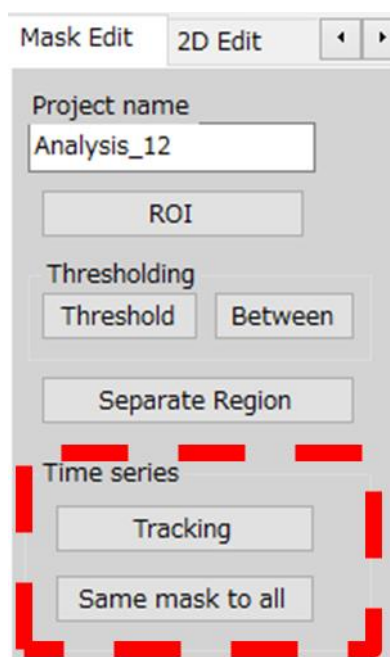
Shift を押しながら Delete key を押すことで全時相で削除されます。



3D Viewer 上でのマウス操作

マウス右ボタン	回転
マウスミドルボタン	平行移動
マウスホイール	拡大縮小

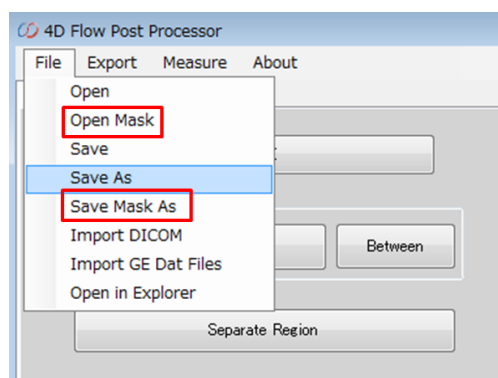
Auto(this phase) または Auto(all phase)で自動二値化



Tracking : 表示中の時相を元に、すべての時相で拍動を追跡しながら二値化を行います。心室や胸部大動脈など心拍に伴う動きが大きい部分に向いています。この作業には数分かかる場合があります。

Same mask to all: 表示中の時相のマスクを全ての時相にコピーします。腹部や頭部など動きが少ない血管はこちらの機能を使ってください。

マスクの保存



Save mask As: 抽出したマスクを個別に保存することが出来ます。

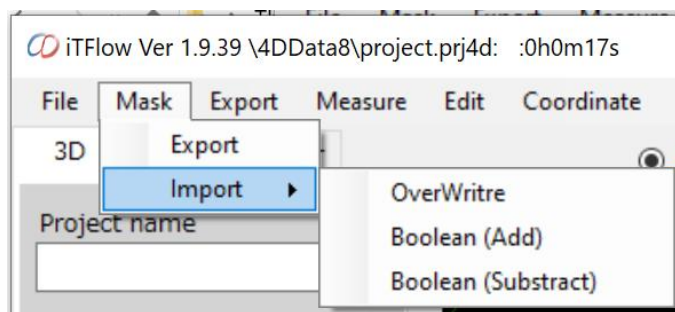
Open Mask: 保存したマスクを開きます。



マスク作成の途中経過を保存する場合や、部位ごとにマスクを作成する際(左室だけのマスクと大動脈だけのマスクを個別に作る場合など)に使用します。

マスクの合成

Save mask as で保存したマスクを足し算したり引き算して組み合わせることが可能です。



Export:

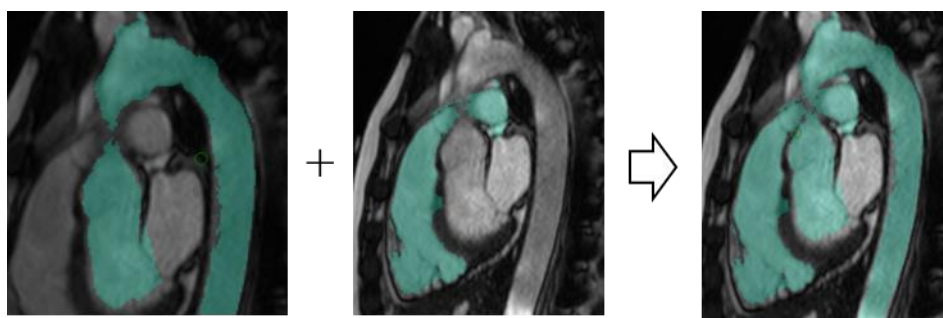
マスクをファイルで保存できます。File-save mask as と同じです。

Overwrite

マスクを読み込みます。File- Open mask と同じです。

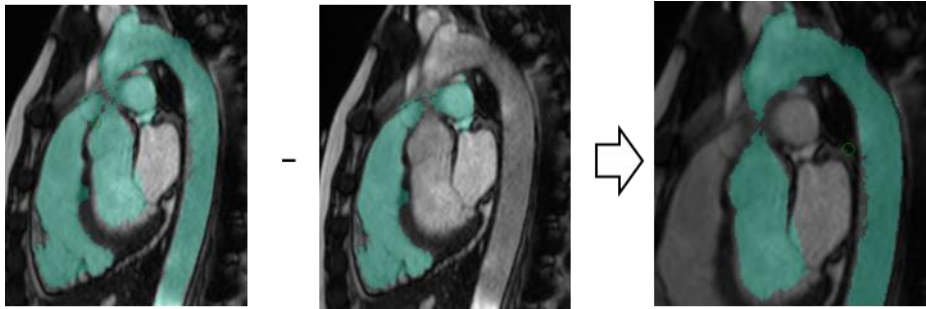
Boolean (Add)

現在のマスクに読み込んだマスクを付け足します。



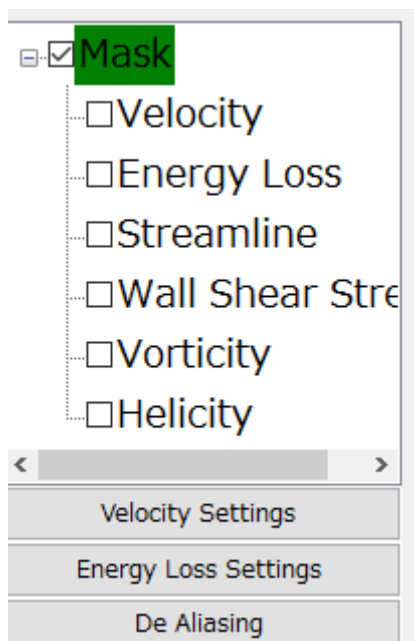
Boolean (Subtract)

現在のマスクから、読み込んだマスクを引き算します。



データの解析

2D の可視化



血流速度ベクトルの表示

Velocity をクリックすることでベクトル表示の on/off ができます。速度のカラースケールは Velocity Setting から変更することができます。

エネルギー損失の可視化と定量

Energy Loss をクリックすることで、エネルギー損失の表示の **on/off** が可能です。エネルギー損失のカラースケールは **Energy Loss Setting** から変更することが可能です。

メニューの **Export - Energy Loss** から 1 心拍のエネルギー損失を CSV ファイルとしてアウトプットすることができます。

エネルギー損失は流量

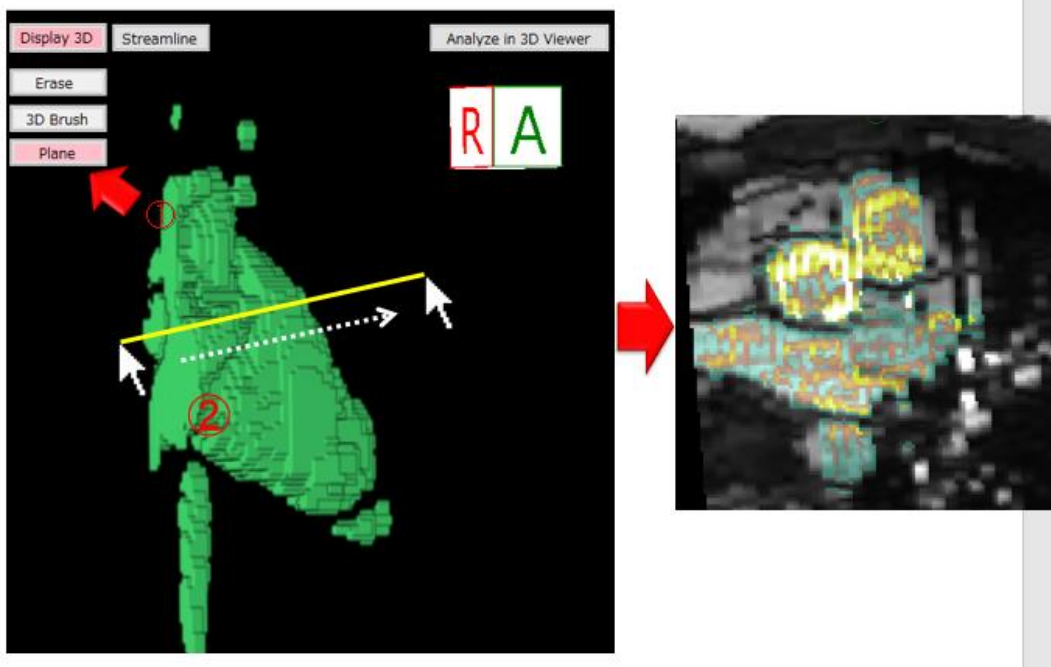
距離の計測

Distance ボタンを押したあと、画面上の2点間をドラッグすることで、距離を計測することができます。



可視化断面の変更

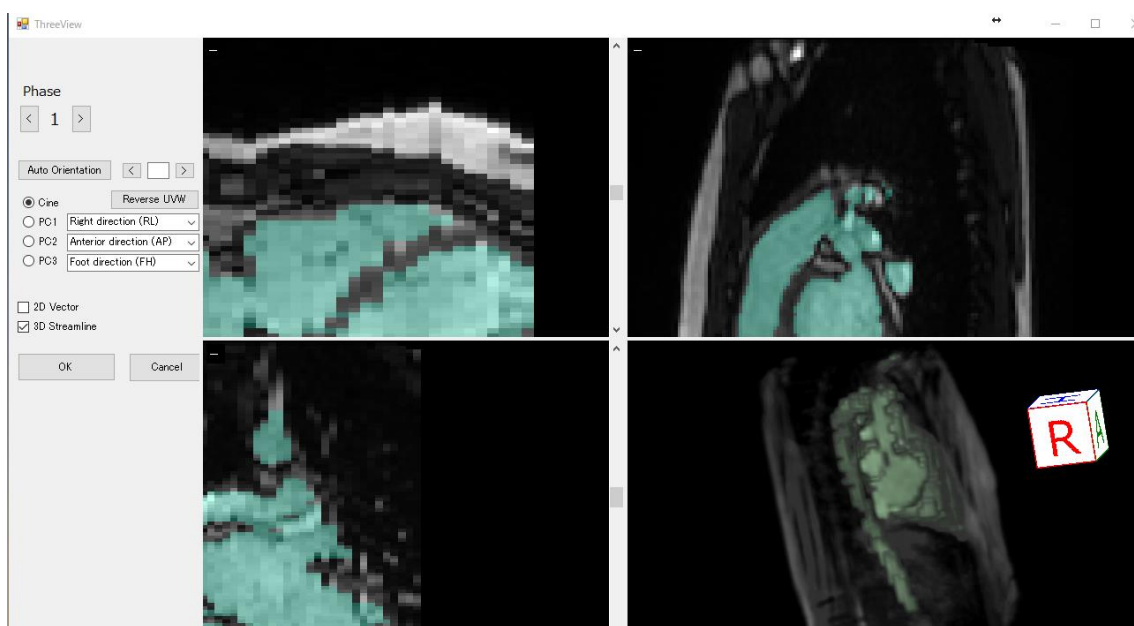
3D Viewer から表示断面を再構成することができます。



ベクトルの向きが正しくないときの修正方法

メニュー – Edit – OrientationVelocity を選択し、速度のオリエンテーションを変更します。

※マスクを全時相で作成した後で行ってください。



“Auto Orientation”ボタンをクリックすることで自動的にオリエンテーションを調整します。“2D Vector”にチェックを入れるとベクトルが表示されます。ベクトルが想定と逆方向を向いている場合は”Reverse UVW”を押してください。

手動で速度方向を合わせる場合は、AutoOrientation 横のボタンで適合するパターンを探すか、下の PC1, PC2, PC3 の正しい方向をそれぞれ選択してください。

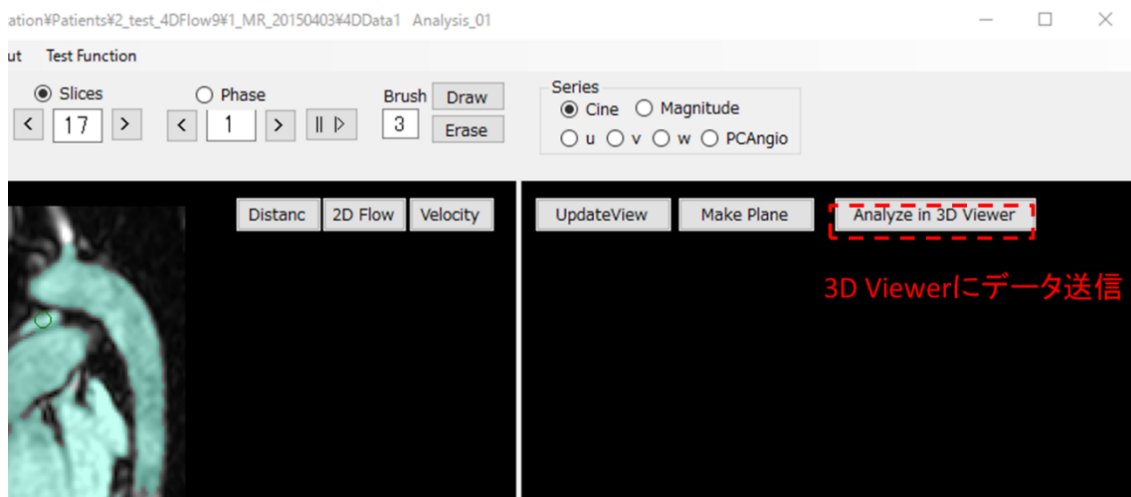


Auto Orientation は速度画像の組み合わせ方法 48 通りをすべて試行し、最も流線が長く描けるパターンを探します。

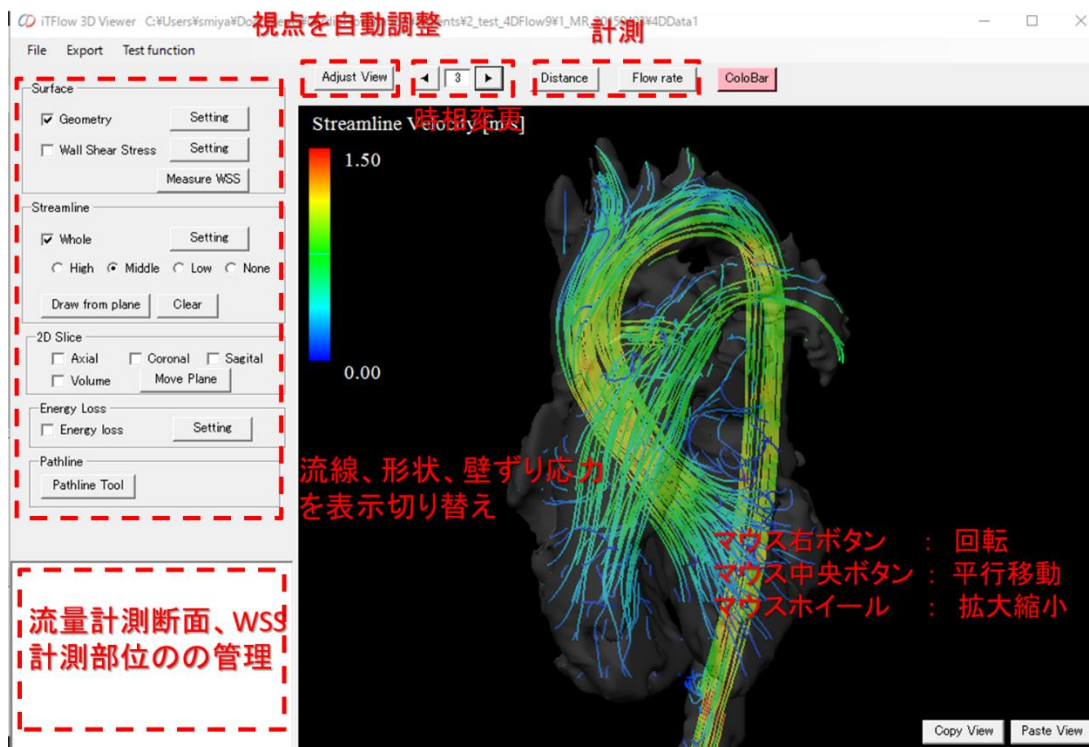
また、血管など細長い形状以外では失敗する場合があります、流線とベクトルを見て合っているか確かめてください。

3D表示・計測

Analysis in 3D Viewer を押下することで、3D Viewer が立ち上がり、3次元での流線や壁すり応力を可視化することが可能です。



マスクなどのデータ保存後、3D Viewer が起動され保存されたデータが再度読み込まれます。



視点の調節

マウス右ボタン	回転
マウス中央ボタン	平行移動
マウスホイール	拡大縮小
Adjust View ボタン	表示中のオブジェクトを中心に移動

流線の表示

Streamline にチェックを入れることで、3次元の流線を描画することができます。流線を描画する本数を Streamline 表示の右クリックメニューから変更することが可能です。

また、カラーバーのスケールも Setting から変更することができます。

壁ずり応力の表示

Wall shear stress に を入れるすることで壁ずり応力を表示することが可能です。Setting からカラーバーのスケールを変更することが可能です。

定量化

Measure WSS ボタンを押し、3D Viewer 上で任意の面をクリックすることで、指定した範囲内の WSS の平均値や最大値を求めることができます。球状メッシュであらわされた指定した半径内の範囲で平均、最大値、最小値が求められます。

距離の計測

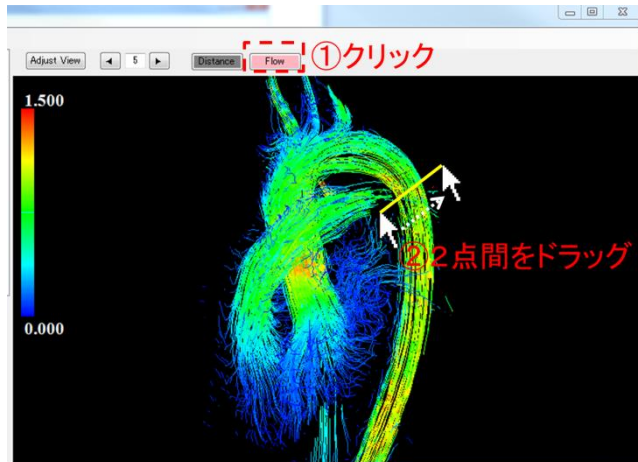
Distance ボタンをクリックした後、距離を計測したい2点間をドラッグすることで距離を計測することが可能です。



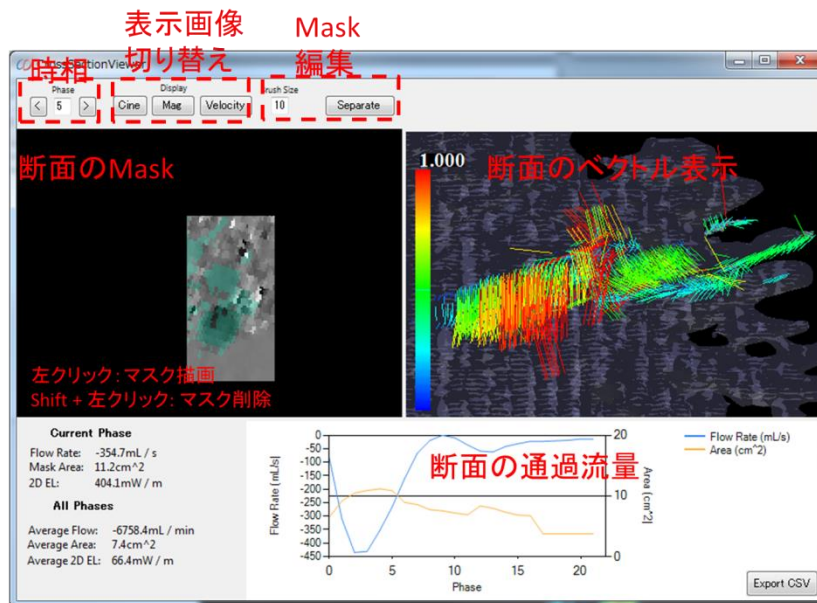
2点を選択するためには2点が流線上あるいは壁面上にある必要があります。

流量の計測

Flow Rate ボタンをクリックしたあと、通過する流量を測りたい断面をマウス左ボタンをドラッグして指定します。断面表示ウィンドウが立ち上がり、通過流量を表示することができます。



指定された断面の情報が新しいウィンドウで開きます。



下部のグラフには Mask 内で断面を通過する流量が計算されます。

断面を引く際の三角マークがある方向が正になります。計測ウインドウ上の Flip Direction ボタンを押すことで正負を逆転できます。

計測される項目

Current では表示中の時相、**Average** は全時相の平均を表します。

Flow Rate: 断面を通過する流量

Flow Rate(Forward) : 断面を通過する流量のうち正の値のみ計算したもの

Flow Rate(Backward) : 断面を通過する流量のうち負の値のみ計算したもの

WSS(Estimated) : ポアズイユ流れが実現されていると仮定したときの **Wall Shear Stress** の予測 (**Validation** されていませんので注意してください。数 mm 程度の小さい血管では比較的精度よく予測が出来ますが、大血管では異なった値になります)

Area : 面積

Kinetic Energy : 断面を通過する血流がもつ運動エネルギー

Max Thru Velocity : 面に直行する速度成分の最大値

Ave Through Velocity : 面に直行する速度成分の平均

断面内の Mask は以下の方法で編集できます。

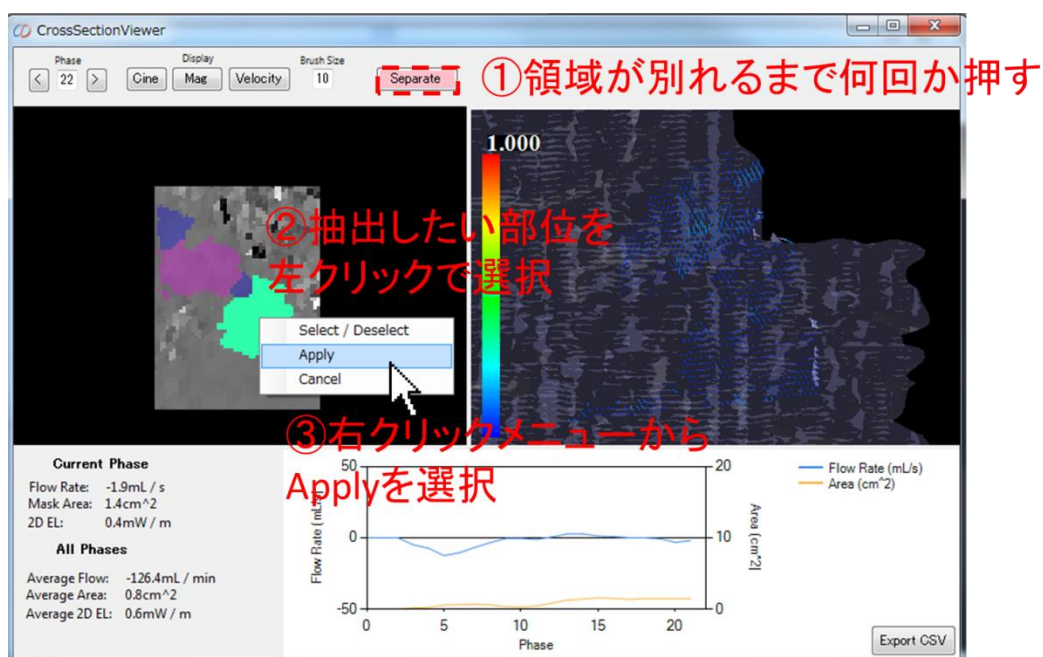
(断面ビューアでの Mask 編集は保存されません。)

マウスで編集

左クリック	Draw
Shift + 左クリック	Erase
Brush Size ボックス上で マウスホイール操作	ブラシサイズを変更

Separate 機能による分割

Separate を領域が分割されるまで何度かクリックし、抽出したい部分のマスクをクリックして、右クリックから **Apply** を押すことで抽出されます。



任意の断面から Streamline を発生させる

前項の断面流量機能を使用すると同時に、3D Viewer 上で断面から Streamline が描画されます。これを用いて任意の場所から Streamline を生成することが可能です。



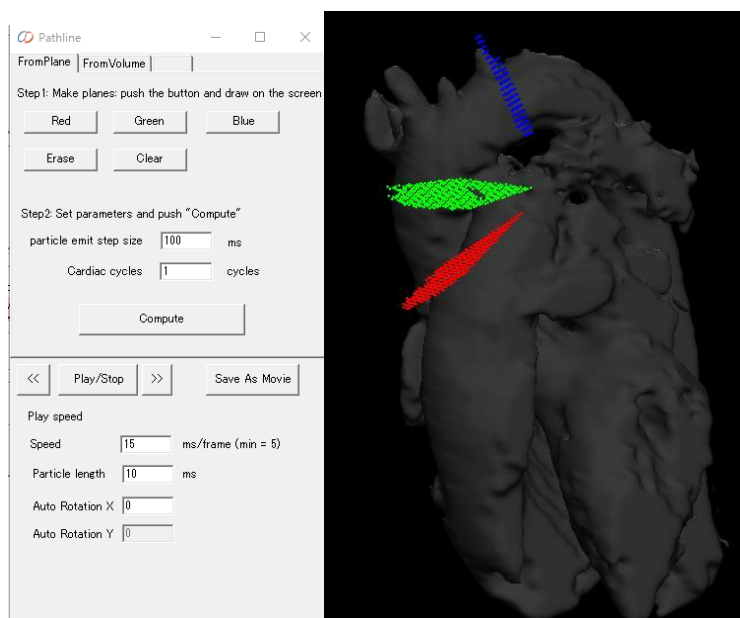
描画した流線は Clear streamline ボタンを押すことで削除できます。（全ての流線が削除されます）

パスラインの表示

パスラインは速度ベクトルを時間を追って積分することで血流の粒子が流れる道筋を表す機能です。画面左の Pathline tool ボタンから可視化の設定ができます。

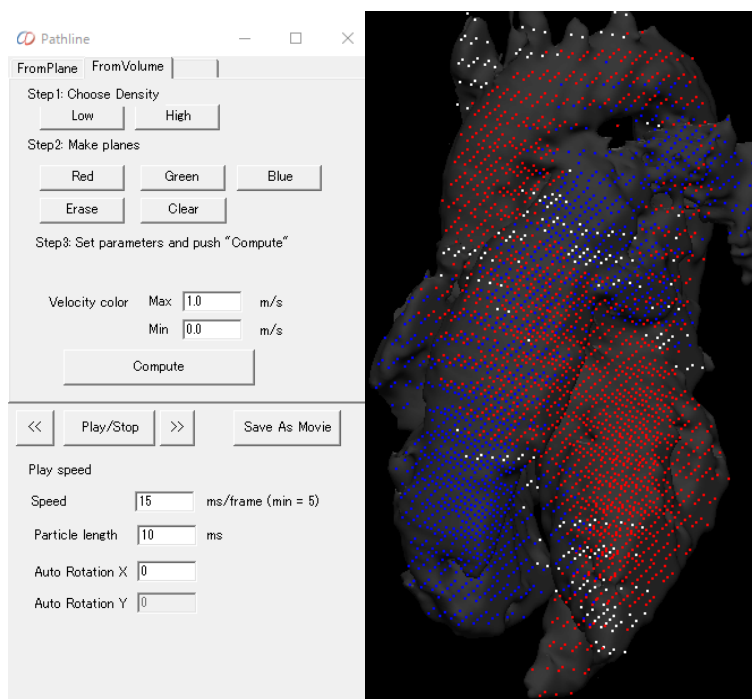
面から粒子を発生させる

- ① **From Plane** タブを選択します。
- ② 発生させる粒子の色を決めボタンをクリックします。
- ③ 画面上で2点間をドラッグすることで面を定義します。
- ④ **Erase** を押して画面をクリックすることで面の一部を消すことができます。
- ⑤ 粒子を発生させる時間間隔、計算する心拍数を設定し、**Compute** を押します



ボリュームから粒子を発生させる

- ① **From Volume** タグを選択します。
- ② 粒子を発生させる密度を選択します。
- ③ 色のボタンを押し粒子を塗りつぶします。
- ④ **Compute** を押します。



再生コントロール

- ① 再生・停止、コマ送り、コマ戻し
- ② 再生速度：1フレームの間隔
- ③ 線の長さ：線が消えるまでの時間
- ④ 再生中の回転速度

