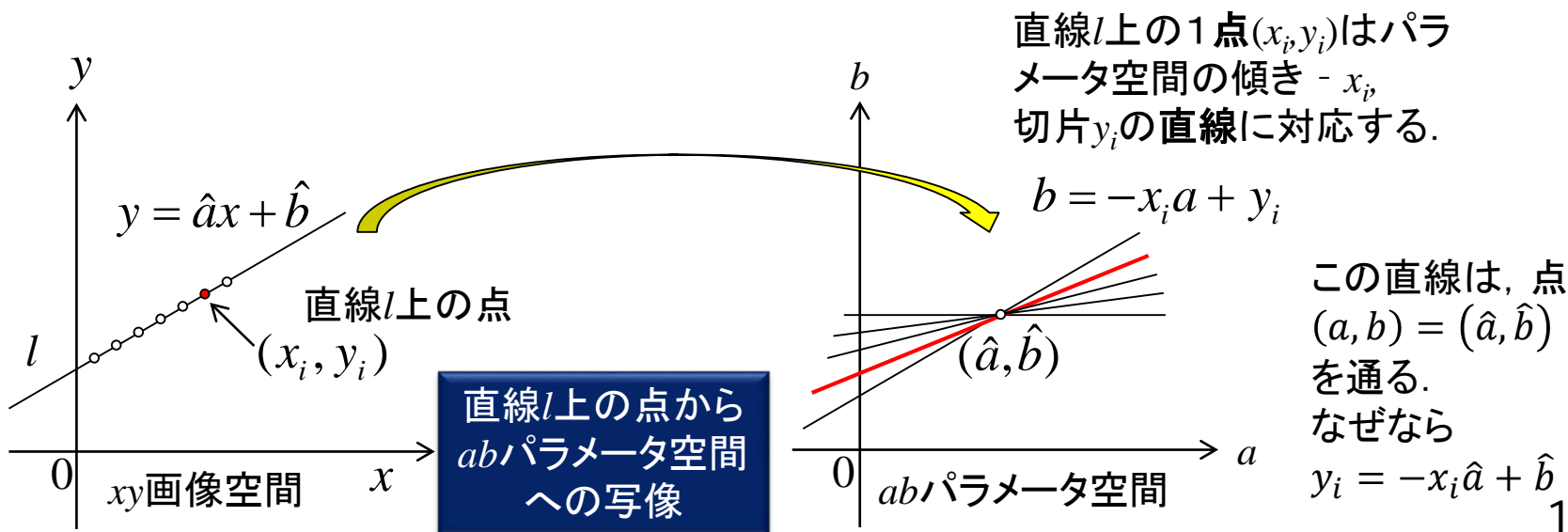
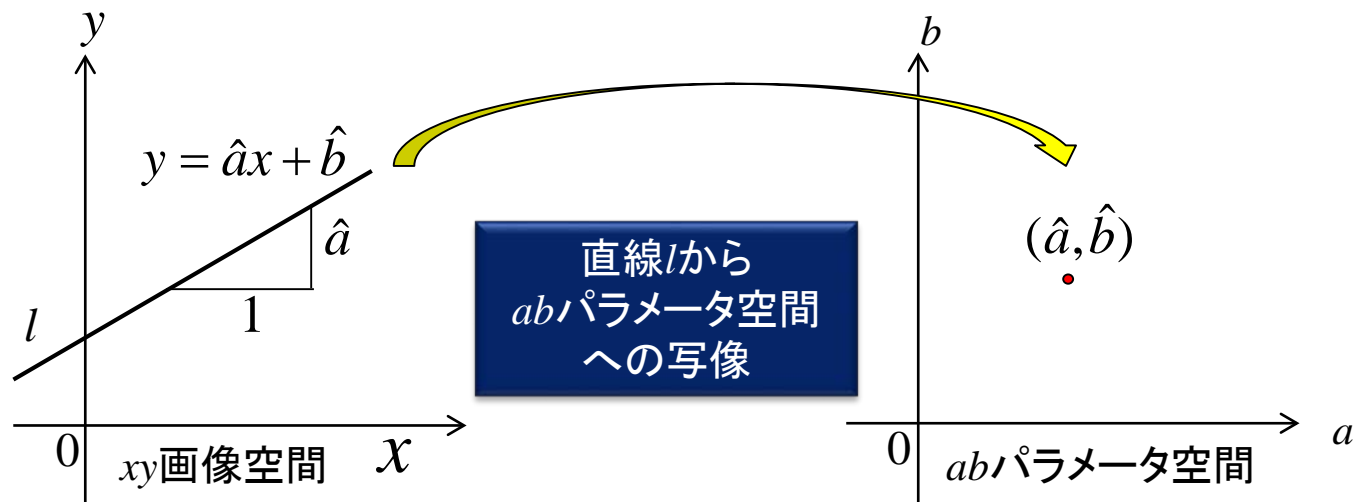


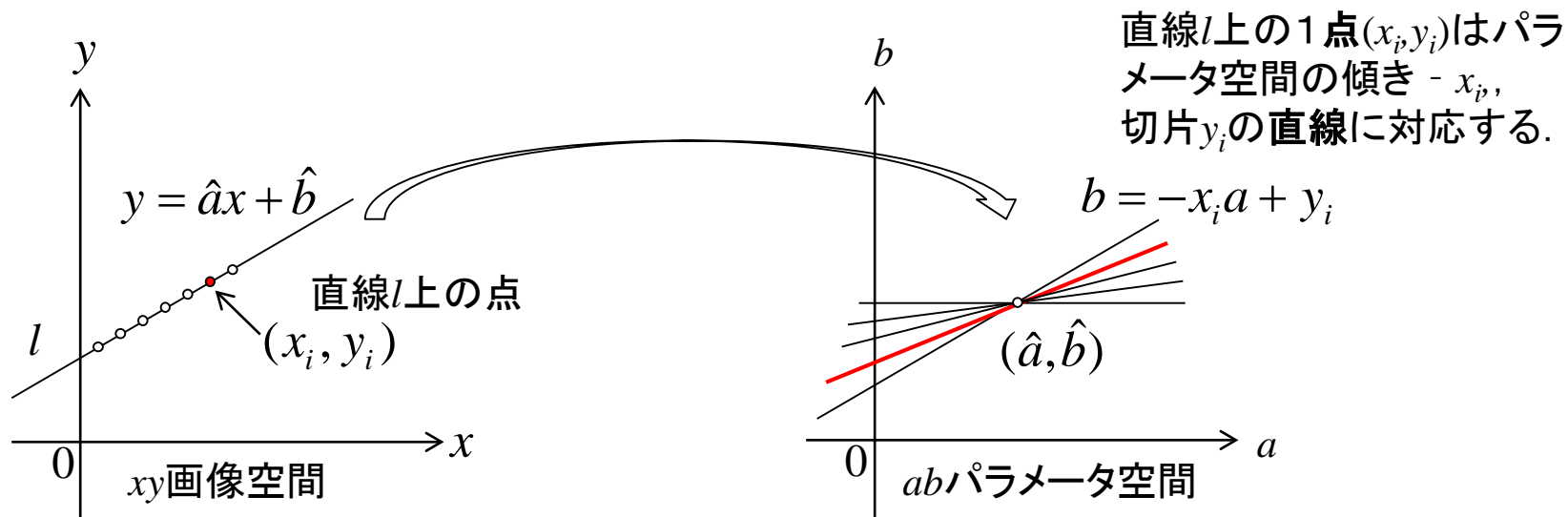
ハフ変換 (Hough transform) 図形要素の抽出

画像中から直線や円など、特定の図形要素を抽出する手法 **対象: 2値画像 (binary image)**

直線の式 $y = ax + b$ において、 xy 空間の他に、パラメータ空間 ab を考える



ハフ変換 (Hough transform) 図形要素の抽出



直線 l 上の点の ab パラメータ空間への写像

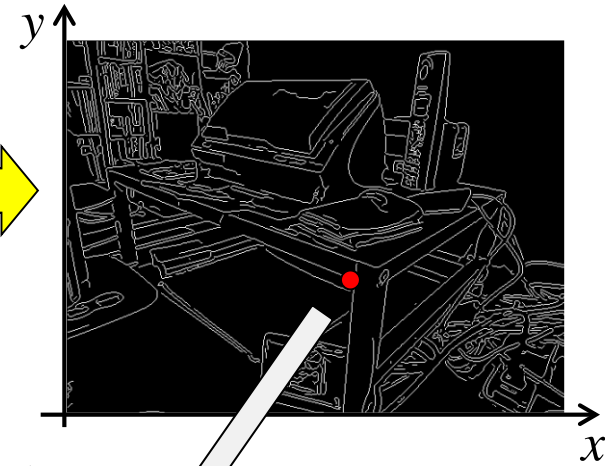
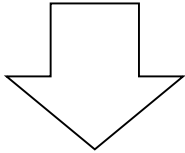
ハフ変換 直線 l 上の多数の点をパラメータ空間に変換し、この空間上で直線の交差する点の座標を検出すれば、 xy 画像空間中の直線を決定することができる。

利点

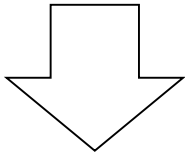
エッジ検出などの処理によって直線が完全に検出できず、線がとぎれていても、直線を検出できる。

ハフ変換の具体的な手順

画像のエッジ抽出処理

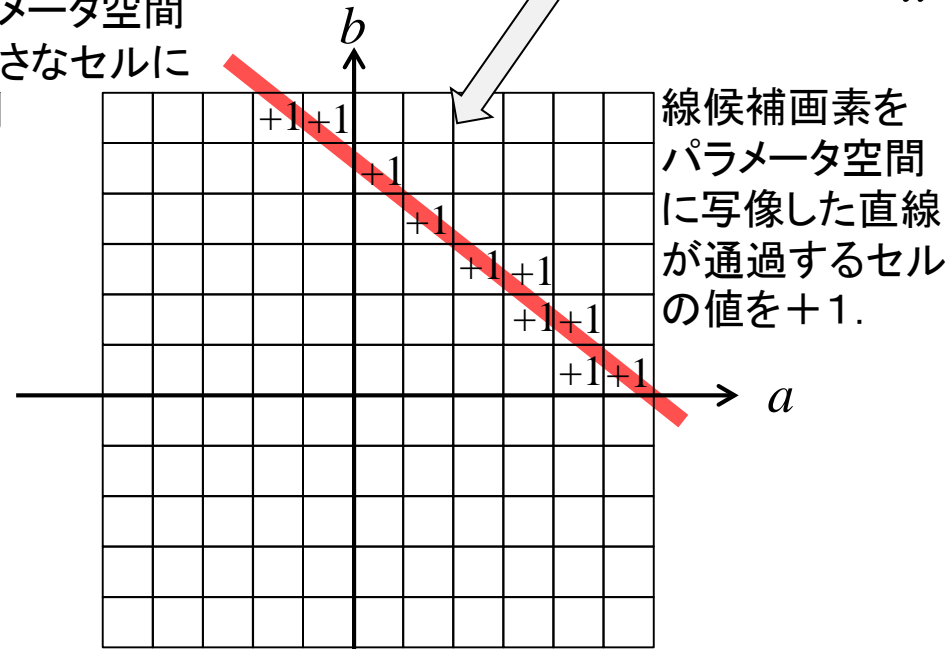


エッジの各画素をパラメータ空間へ投票(voting)



パラメータ空間での投票度数の最大値検出(あるいは複数の局所最大値検出)

パラメータ空間を小さなセルに分割

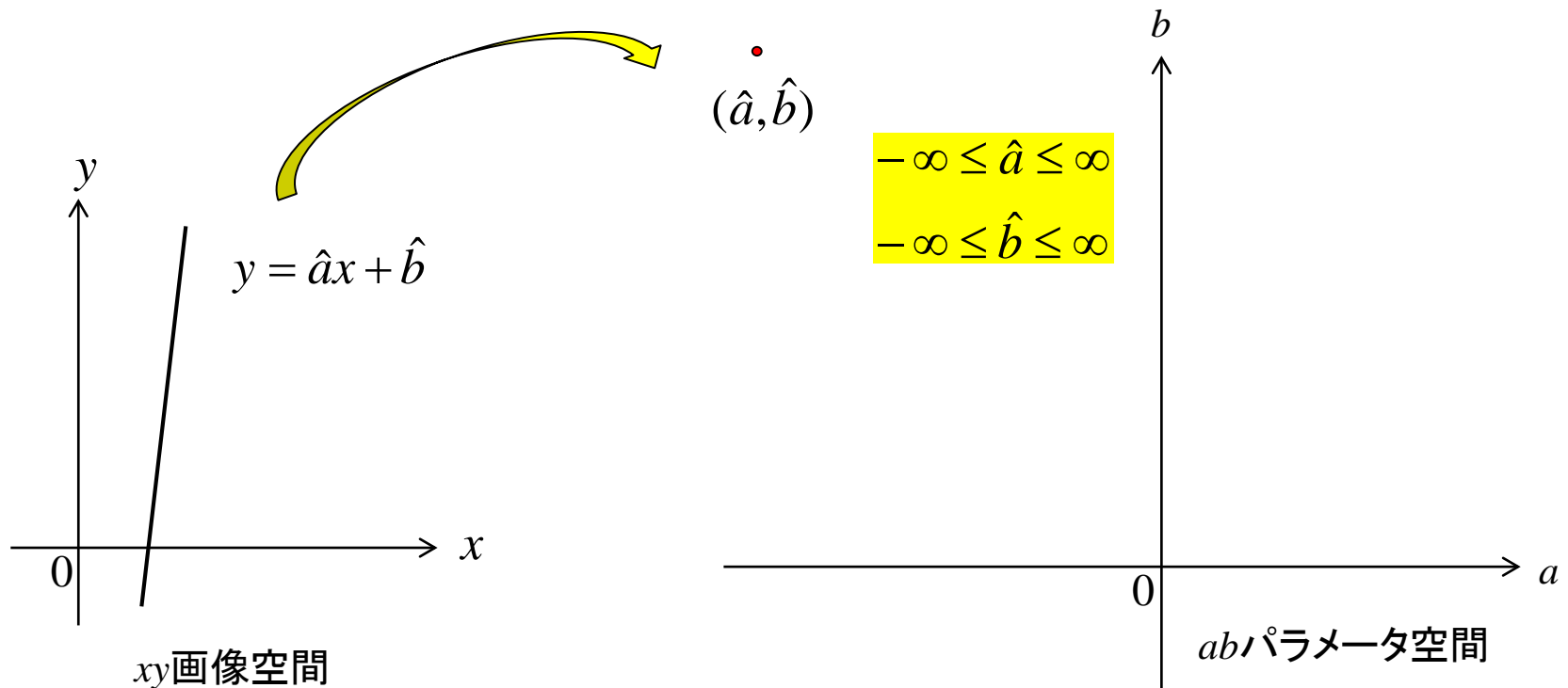


結果として、パラメータ空間の各セルは直線が通過した回数を値としてもつ(投票度数という).

$y=ax+b$ の表現における問題点

$y = \hat{a}x + \hat{b}$ を用いてパラメータを算出する場合の問題

パラメータの範囲が $-\infty$ から $+\infty$ になってしまう.



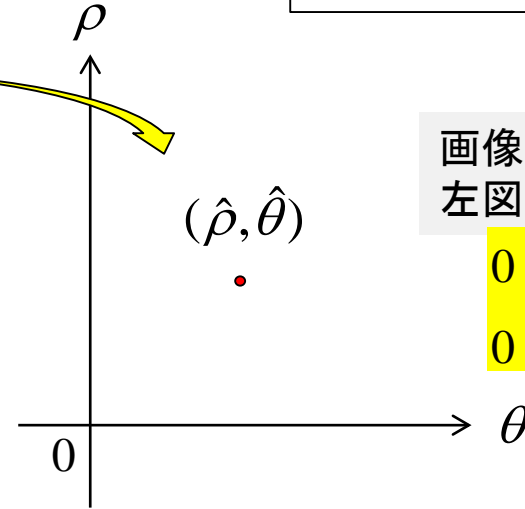
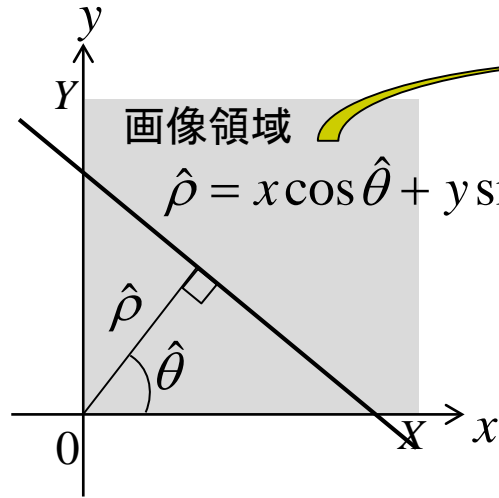
直線 l の ab パラメータ空間への写像

DudaとHartのHough変換

直線を，原点からの距離と法線の角度
をパラメータとして表現する。

補足

$$[\cos \hat{\theta} \quad \sin \hat{\theta}] \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \hat{\rho} = const.$$

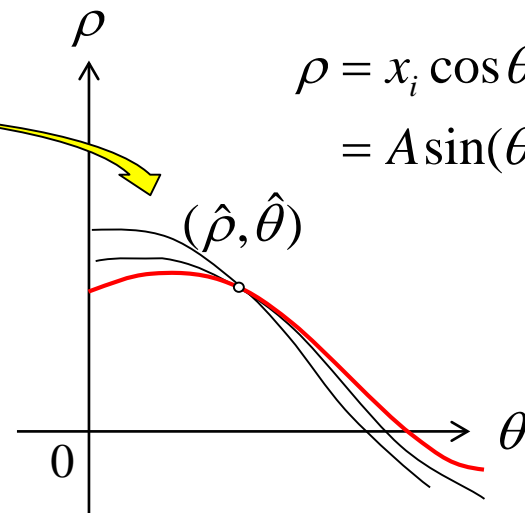
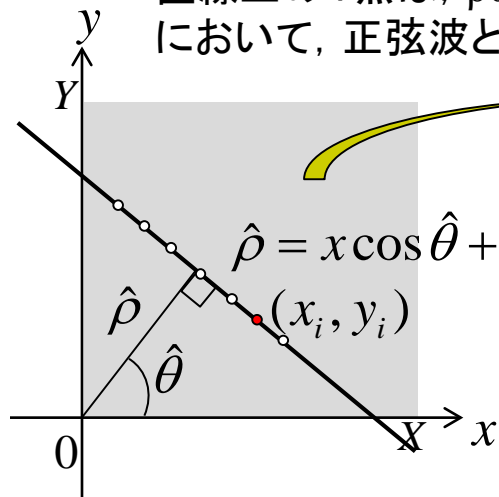


画像空間の原点を
左図のようにとれば

$$0 \leq \hat{\rho} \leq \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$0 \leq \hat{\theta} \leq \pi/2$$

直線上の1点は， $\rho\theta$ パラメータ空間
において，正弦波として表現される。



$$\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta$$

$$= A \sin(\theta + \alpha)$$

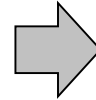
$$A = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

$$\alpha = \cos^{-1}(y_i / A)$$

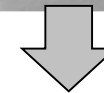
直線成分の検出例



原画像(カラー画像)

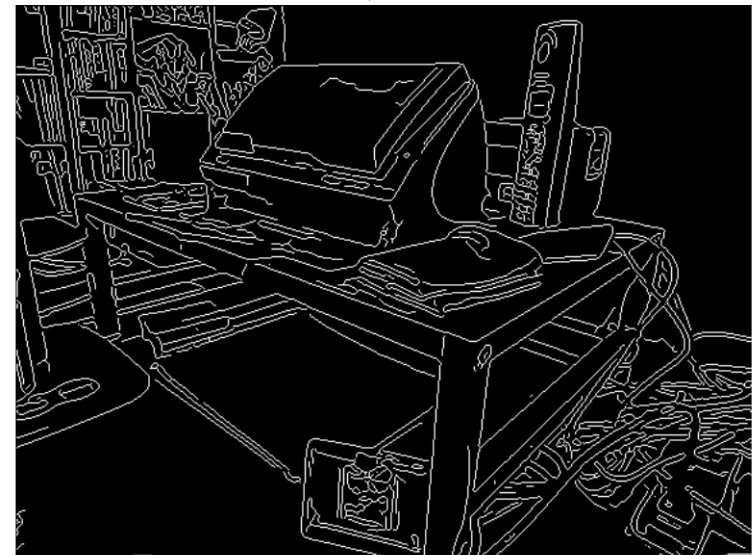


モノクロ画像
へ変換
(ここでは
G成分利用)



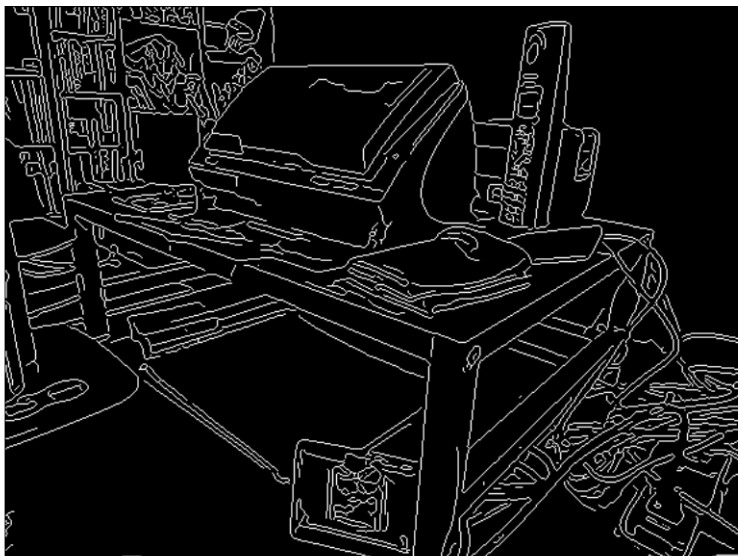
モノクロ画像

Cannyオペレータにより
エッジ成分を抽出・2値化



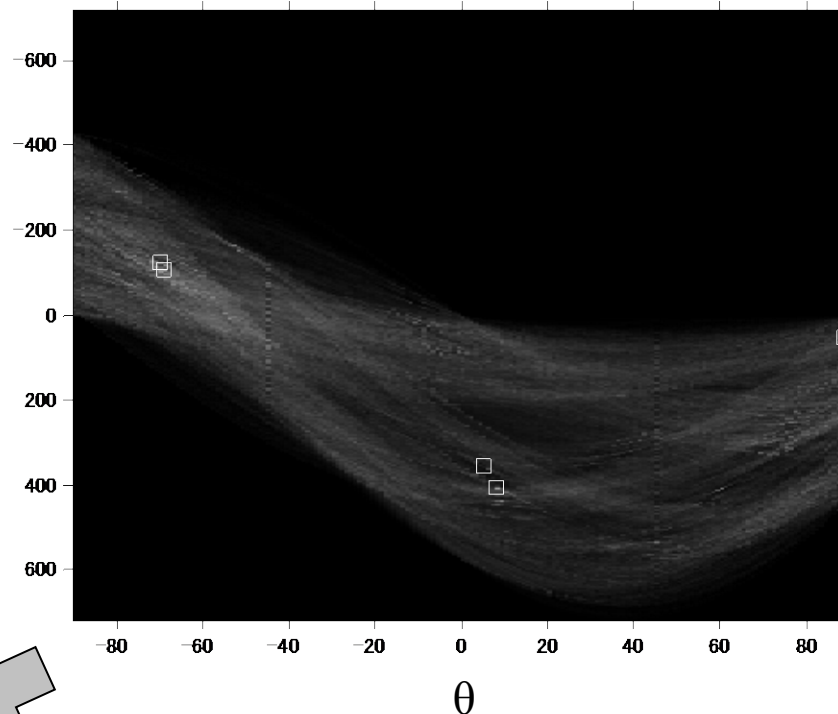
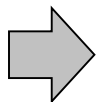
エッジ画像

直線成分の検出例(つづき)



エッジ画像

ハフ
変換



局所最大値を
大きい順に5個抽出.



5本の直線上の画素のうち、実際にエッジとして抽出されている線分を抽出.



Optics & Photonics Japan 2015

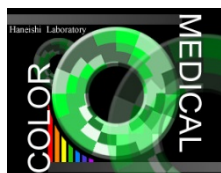
微小循環のイメージングと血流速度の推定・可視化

高橋穂^[1] 織田成人^[2] 大西峻^[3] 羽石秀昭^[3]

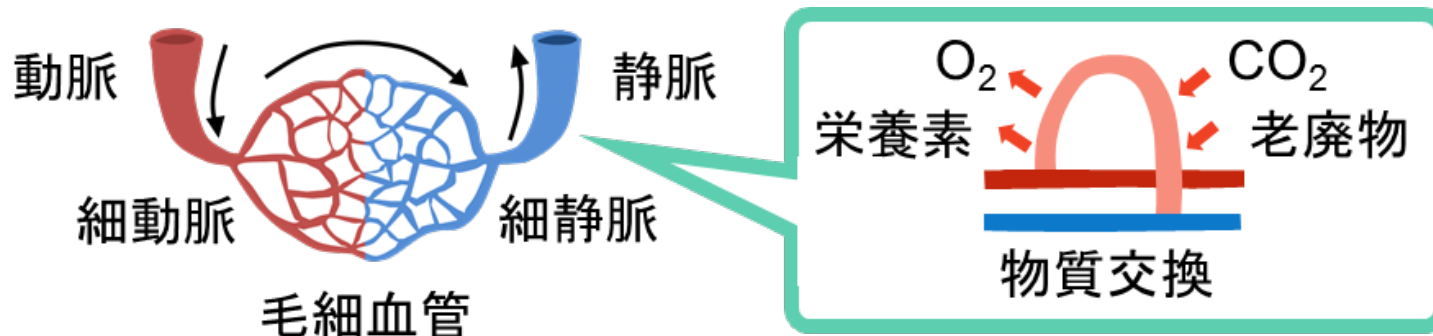
[1] 千葉大学大学院工学研究科

[2] 千葉大学大学院医学研究院

[3] 千葉大学フロンティア医工学センター



微小循環 100 μm 以下の径の血管領域



➔ 生命維持のために重要な機能

敗血症性ショック 全身の血流分布の異常をきたし、主要臓器への酸素の供給が障害される

ショックの診断の指標

乳酸 組織が酸欠になると乳酸が蓄積する

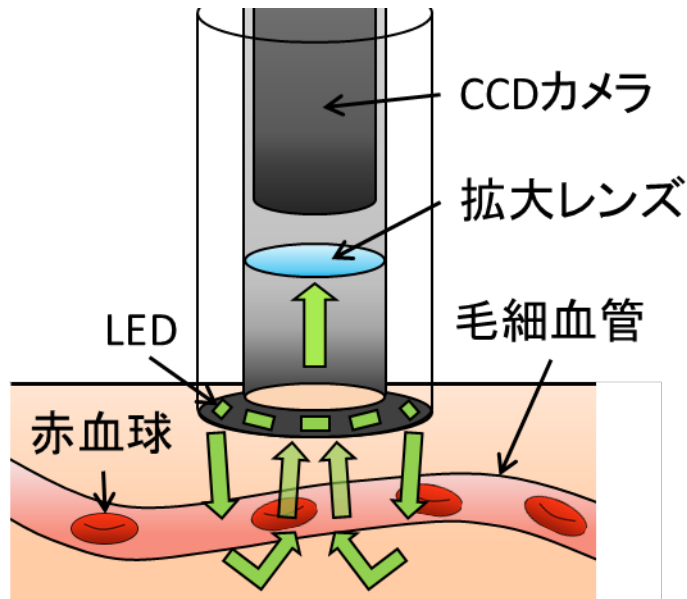
✘ 乳酸値を検査するには時間がかかる

✘ 採血をするため侵襲的である

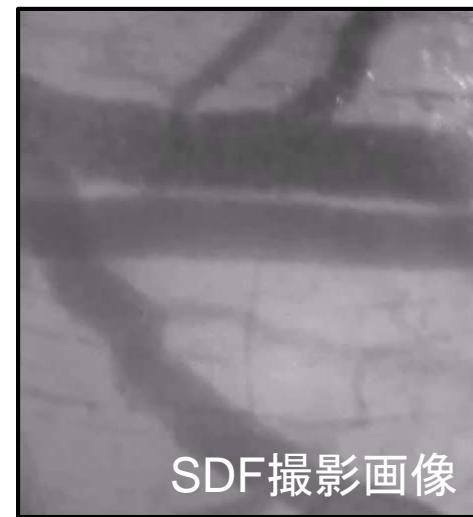
微小循環を直接観察し、ショック状態の診断をより早く行うことが望まれている

Sidestream Dark Field (SDF) Imaging (C. Ince *et al.*, 2005)

表層の微小循環の非侵襲的な光イメージング

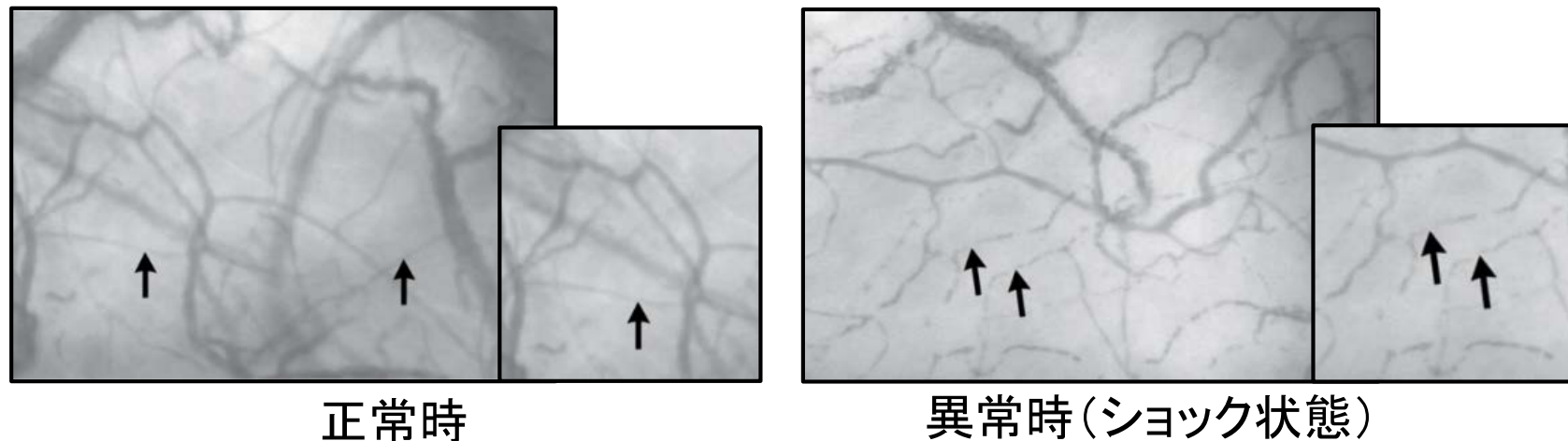


赤血球が黒く表示される



- デバイス 光学系が照明とカメラで分離
表面反射によるアーチファクトがない
- 照明光 赤血球のヘモグロビンによく吸収される可視域の短波長の光を使用
赤血球を強調したイメージングが可能

先行研究(F. Taccone *et al.*, 2010)で敗血症では血管構造が変化することが報告されている



<http://bennkyoumemo.blogspot.jp/>

観察するだけでは定量的に評価することができない

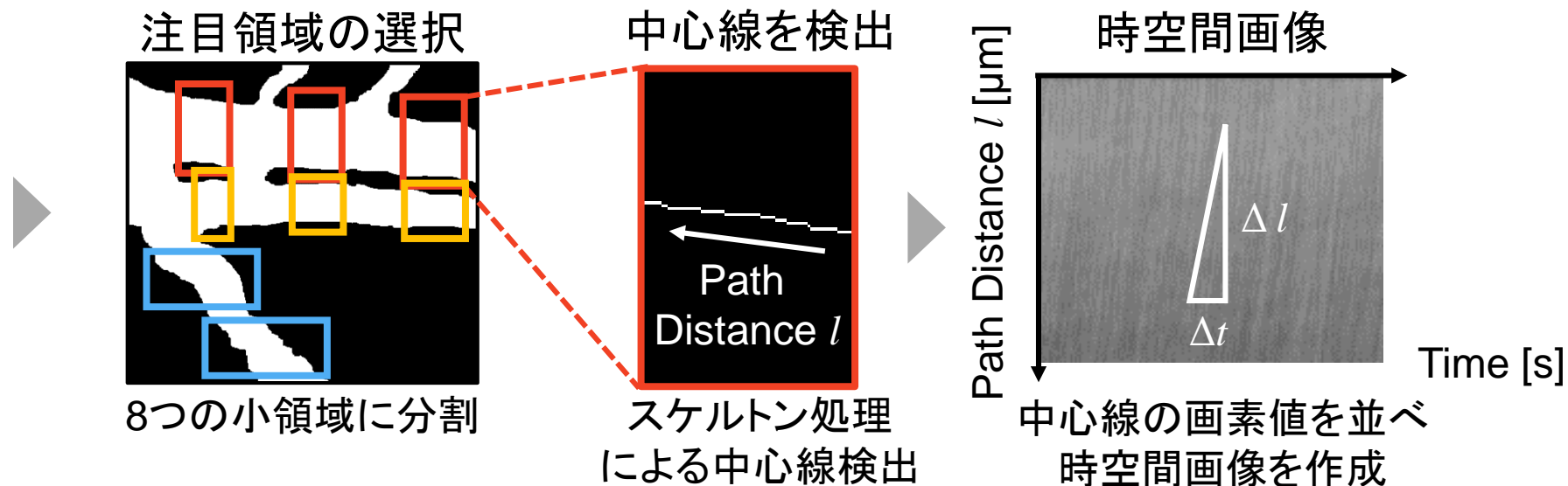
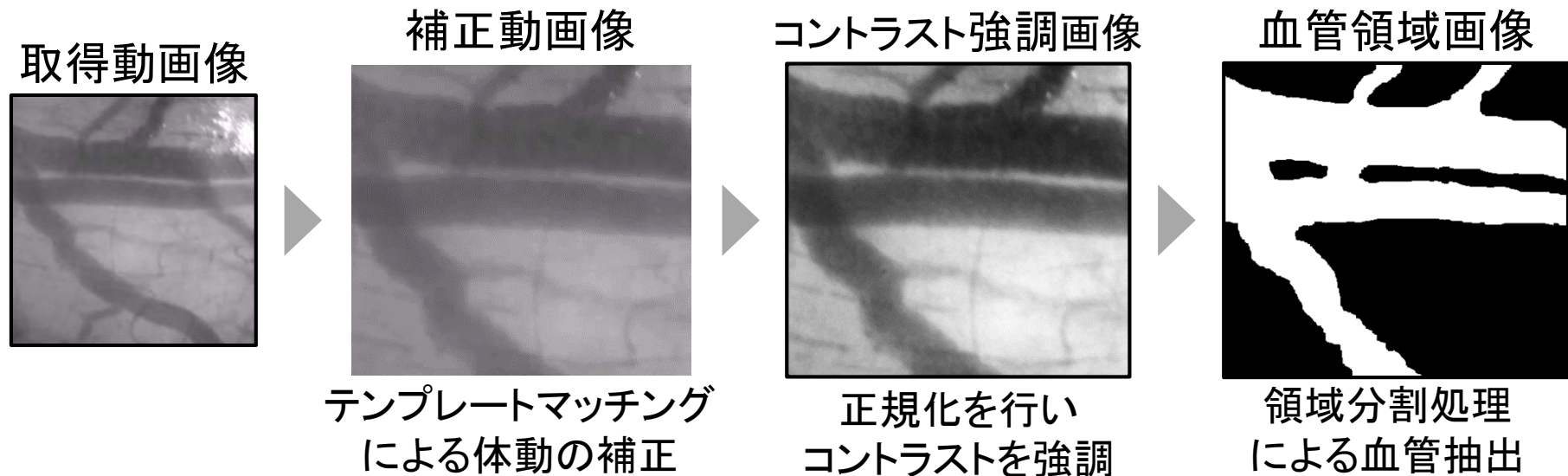
微小循環の観察を行い、ショック状態の定量的な診断法の確立を目指す

➡ 診断を行うために血液循環の可視化、定量化が望まれている

研究の目的

SDF撮影法を用いた微小循環の非侵襲的な**血流速度推定**を行う

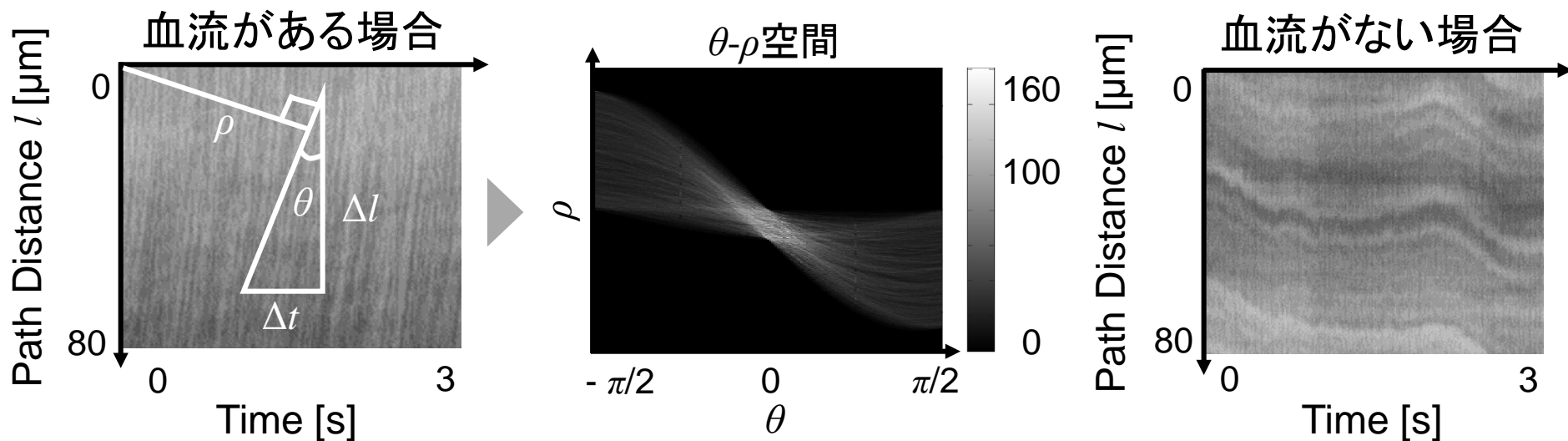
● 時空間画像の作成



● **Hough変換を用いた血流速度推定** (J.G.G. Dobbe *et al.*, 2008)

Hough変換: 画像中から直線を (θ, ρ) 空間への射影と投票によって抽出する方法

3秒ごとに1枚の**時空間画像**を作成

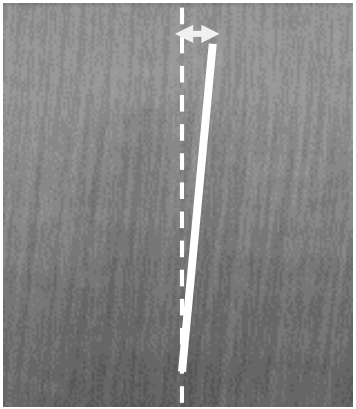

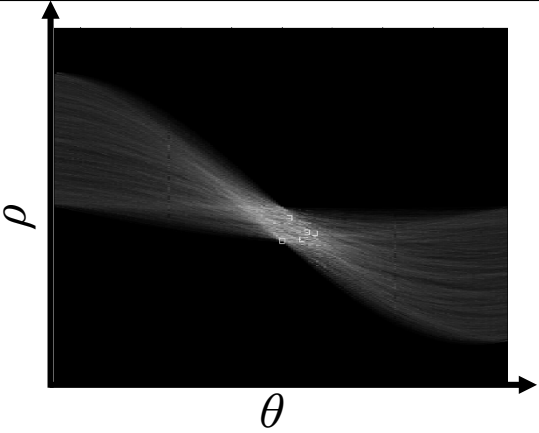
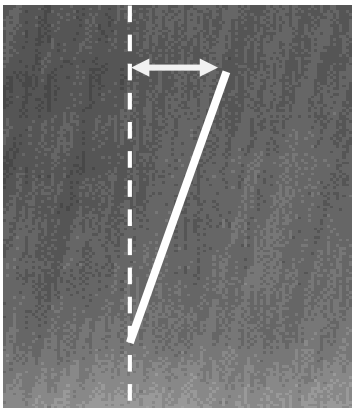
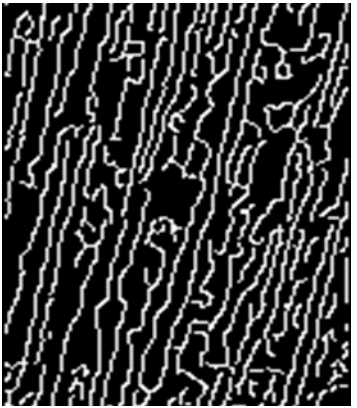
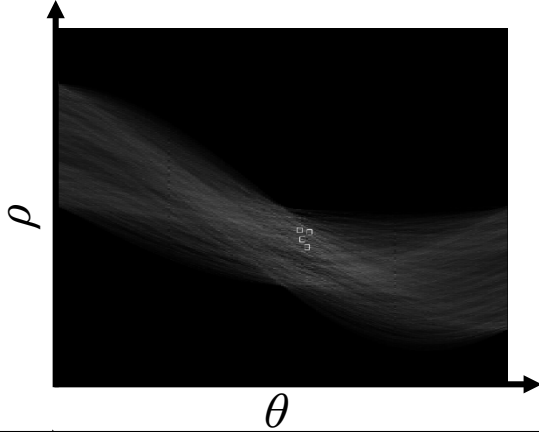
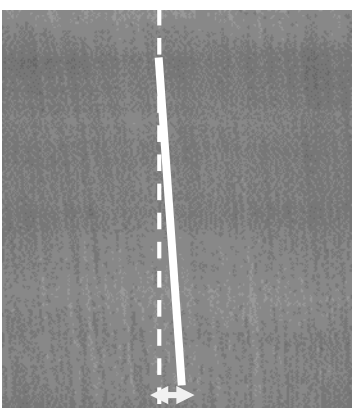
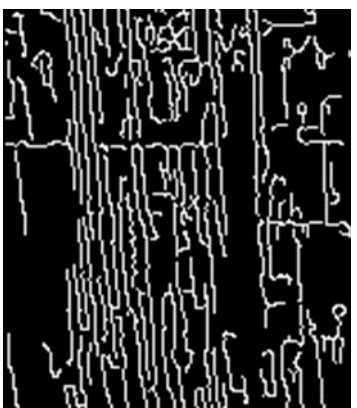
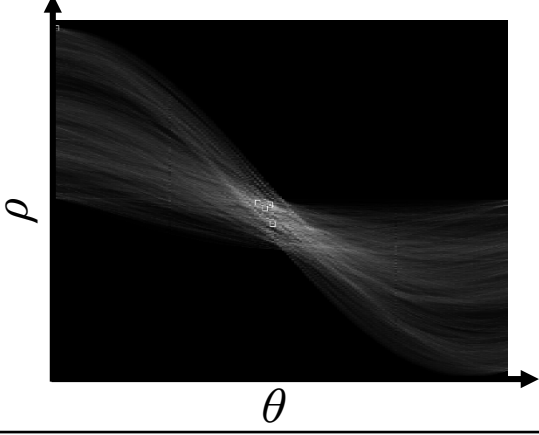


投票数が100以下だった場合, 直線を検出しない

➡ 直線を検出しなかった際の血流速度は0 $\mu\text{m/s}$ とする

$$v \quad [\mu\text{m/s}] = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

時空間画像の傾きから血流速度を推定

	時空間画像	エッジ画像	ハフ変換
<p>静脈</p>			
<p>動脈</p>			
<p>静脈</p>			

● マルチカラーLEDを使用したSDFプローブ



カメラ: ID04MB-IP-U (iDule社製)

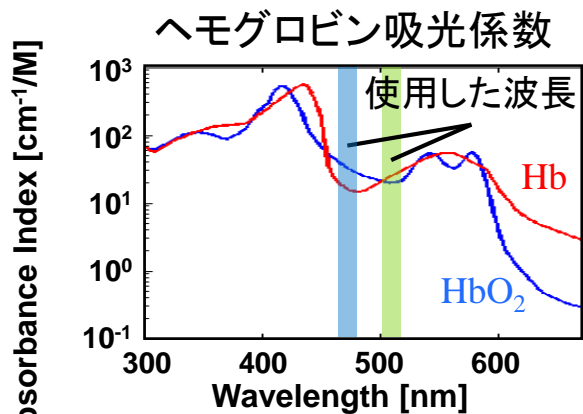
撮像素子: CMOS

取得画像サイズ: 640 × 640 pixel

フレームレート: 39 fps

1ピクセルあたりの物体サイズ: 1.2 μm

マルチカラーLED: SMLV56RGB1W(ROHM社製)



(田村俊世 他 コロナ社 医用機器 I)

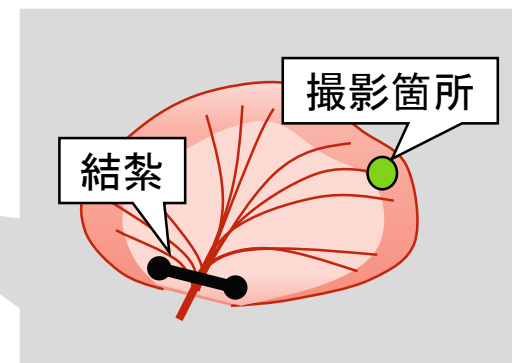
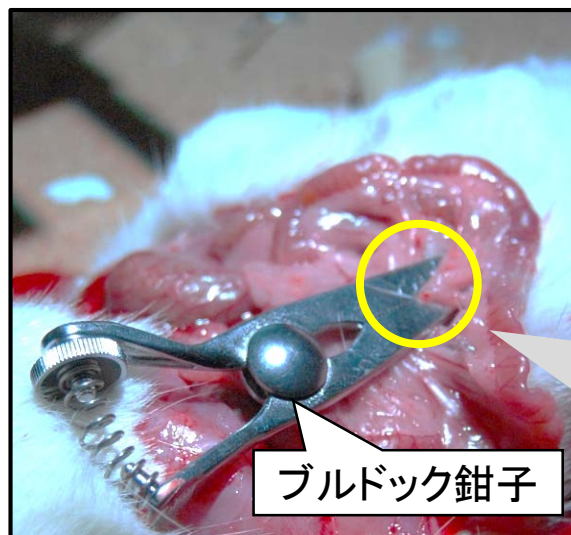
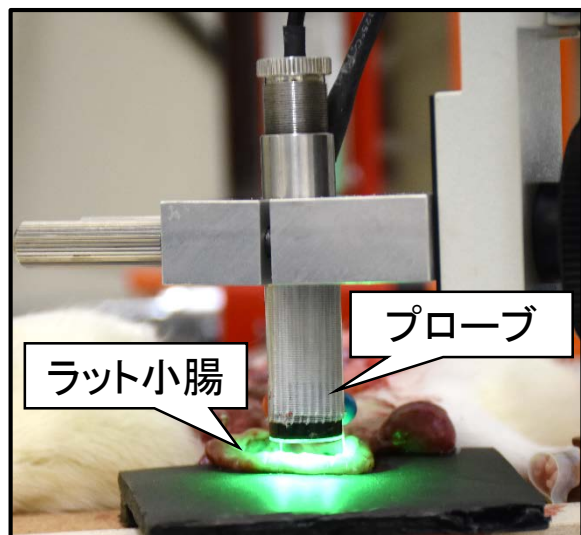


ピーク波長 470 nm

527 nm

- 2波長を使用し、動脈と静脈を区別
- 527 nmの波長のみ使用し血流速度解析を行う

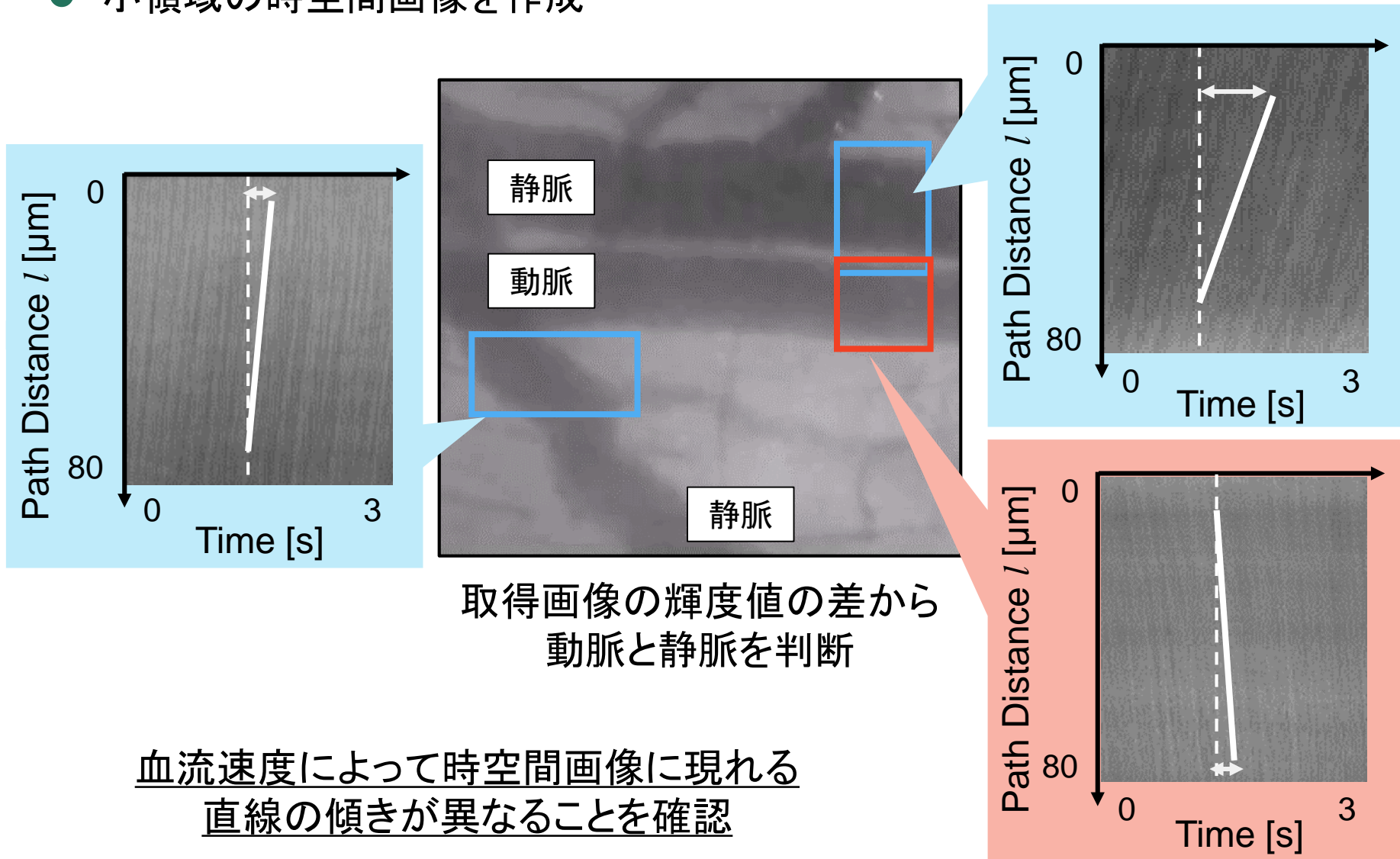
- 実験手順: ラット(週齢: 12週, Wistar)小腸を対象



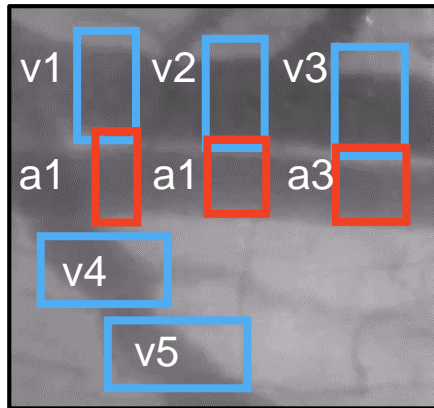
	健常	結紮	解放	合計
撮影時間 [s]	30	60	30	120

1. 開腹したラットの小腸を取り出す
2. ブルドック鉗子を用いて結紮する
3. SDF画像を取得する

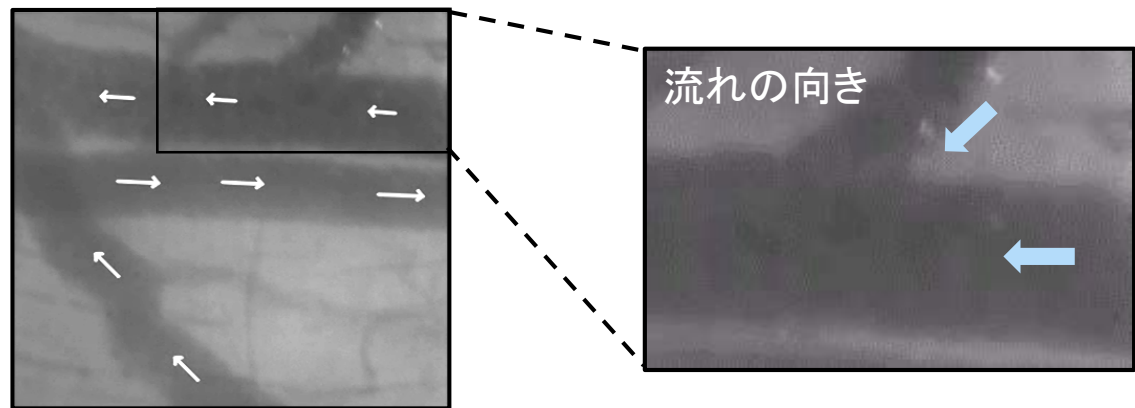
- 小領域の時空間画像を作成



補正動画像



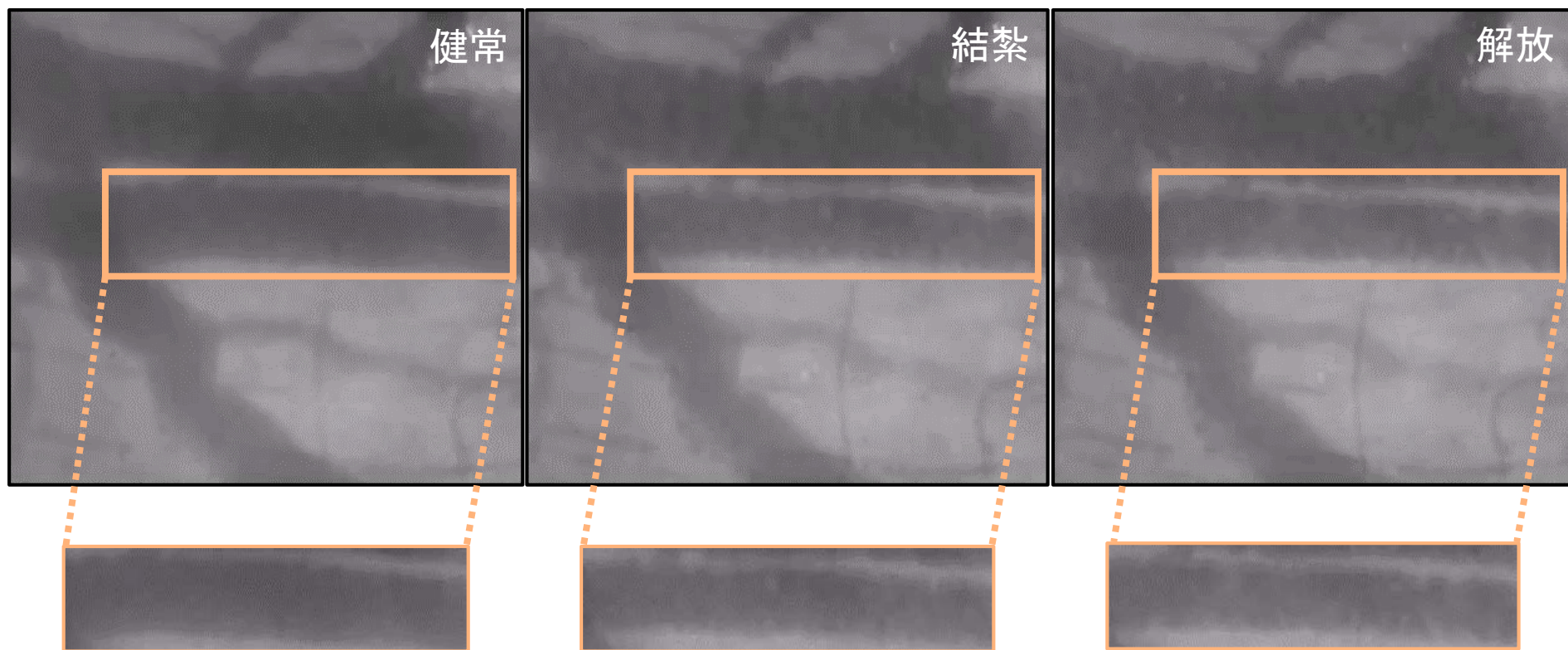
血流速度推定結果



	時間平均血流速度 [$\mu\text{m/s}$] (動脈の流れる方向を正とする)					
静脈	v1	-698 ± 10	v2	-687 ± 9	v3	-660 ± 8
静脈	v4	-705 ± 8	v5	-701 ± 8		
動脈	a1	739 ± 7	a2	740 ± 7	a3	747 ± 4
文献値	736 (R. Varga <i>et al.</i> , 2014) ラットの下顎をOrthogonal Polarization Spectral Imagingで撮影					

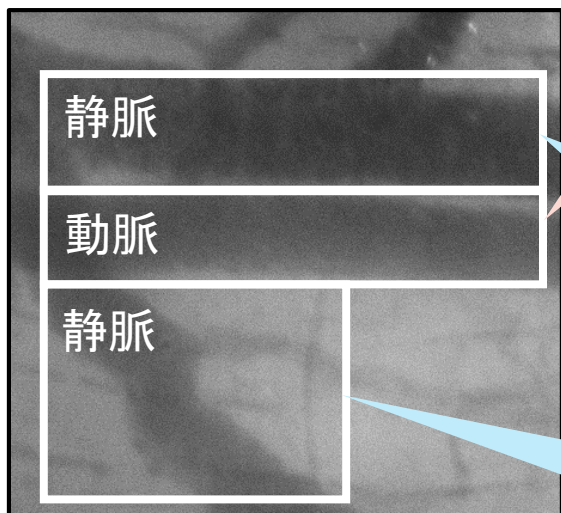
- 静脈より動脈のほうが流れが速いことを確認
- v2とv3を比較し、血管の合流後で4%血流速度が速くなっている

取得動画像

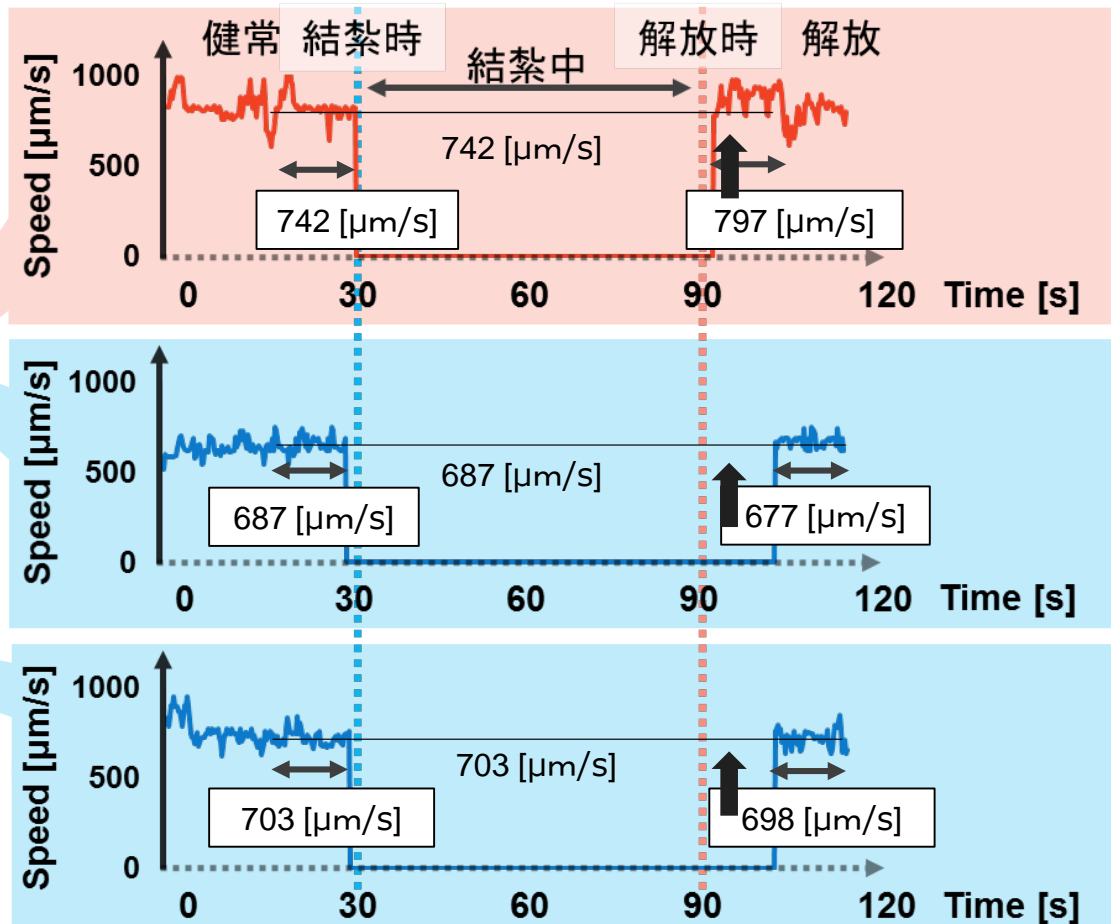


結紮による血流速度の変化を確認

推定血流速度の時間変化を
グラフに示す



結紮による血流速度の
時間変化を確認



	回復順	解放後の10秒間平均速さ
動脈	先	結紮前より 速い (742 ⇒ 797 [μm/s])
静脈	後	結紮前と 変わらず (695 ⇒ 687 [μm/s])

まとめ

- SDF撮影法で得られる微小血管動画像から血流速度を推定する手順を示した
- ラット実験を実施し以下の現象を観察した
 - 静脈より動脈のほうが流れが速い (L.V. Wang *et al.*, 2011)
 - 血管の合流後で血流速度が速い
 - 結紮解放前後の血流速度の回復が静脈より動脈のほうが速い

今後の課題

- ラットのショック状態モデルを作製し, 血流速度の変化を観察する
- ショック状態による乳酸値の変化と血流速度の変化の生体反応の速さを比較する

謝辞: 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)
(課題番号25282151)により行われた