

三次元映像のフォーラム
第113回研究会
最先端医療技術とその応用

2015年10月3日(土)14:00~15:00
東京医科歯科大学 歯学部歯学付属病院
7号館2階 第3講義室

OCT(光干渉断層計)による 3次元画像解析

OCT: Optical Coherence Tomography

鶴岡信治(つるおか しんじ)
(三重大学 理事・副学長、
大学院工学研究科電気電子工学専攻)



光干渉断層計 (OCT)
出所:トプコンのHPより

発表内容

1. 眼科用光干渉断層計(OCT; Optical Coherence Tomography)はなぜ必要か
2. 網膜の層構造の境界面の抽出[1]
3. 疾患部分の境界面の抽出[2]
4. まとめ

引用スライド

- [1] 竹野直樹, 3次元アクティブグリッドを用いた網膜の光干渉断層画像からの自動境界抽出法, 三重大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士論文発表会、2013.2
- [2] 中原 生就, 眼科用光干渉断層(OCT)画像を対象にした3次元領域拡張法による疾患部の抽出, 三重大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士論文発表会、2014.2

1. 眼科用光干渉断層計(OCT; Optical Coherence Tomography)はなぜ必要か？

日本の視覚障害者数の推計 2007年現在(万人)

	男性	女性	合計
ロービジョン	75.2	69.7	144.9
失明	9.8	9.0	18.8
合計	85.0	78.7	163.7

ロービジョン: 矯正視力0.1以上0.5未満

H21.9.17 日本眼科医会

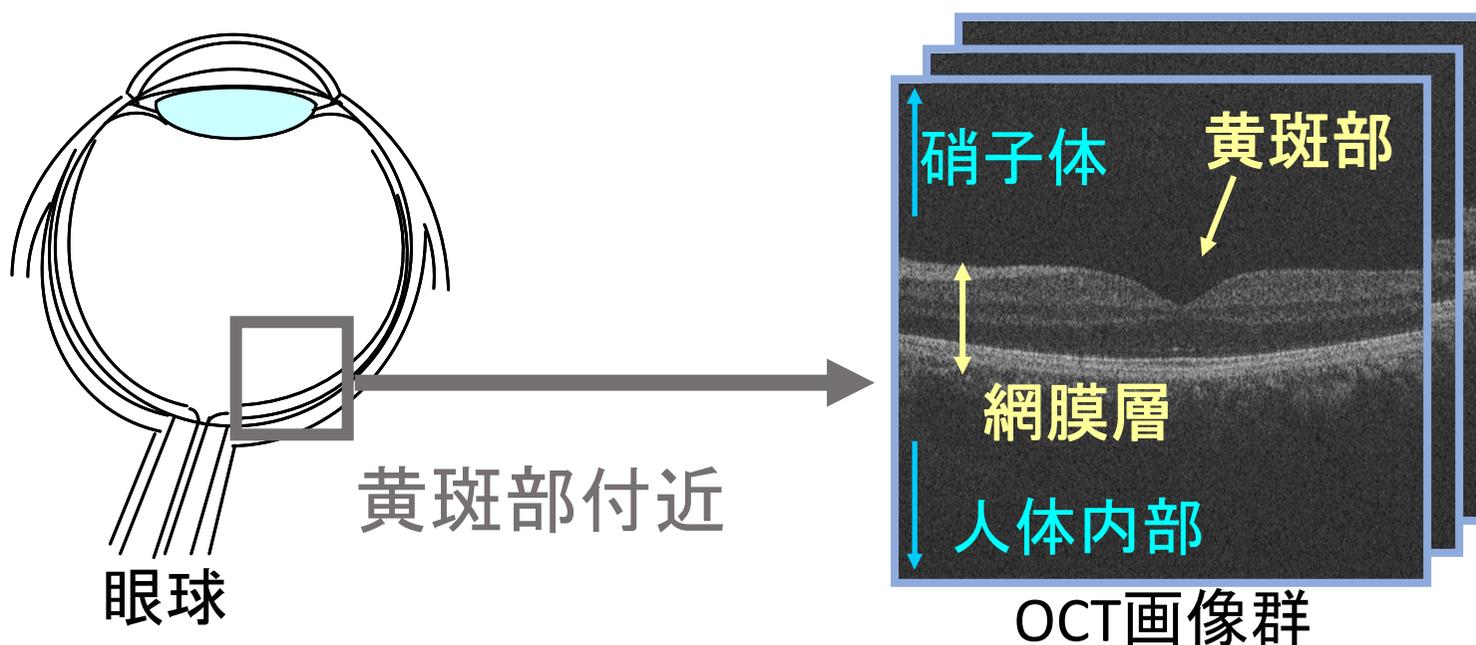
失明: 矯正視力0.1未満

- 社会の高齢化に伴い年々増加傾向にある.
- 2030年には, 202万人に達するとされている.

→ OCTをはじめとする眼科用診断装置の重要性が高まっている

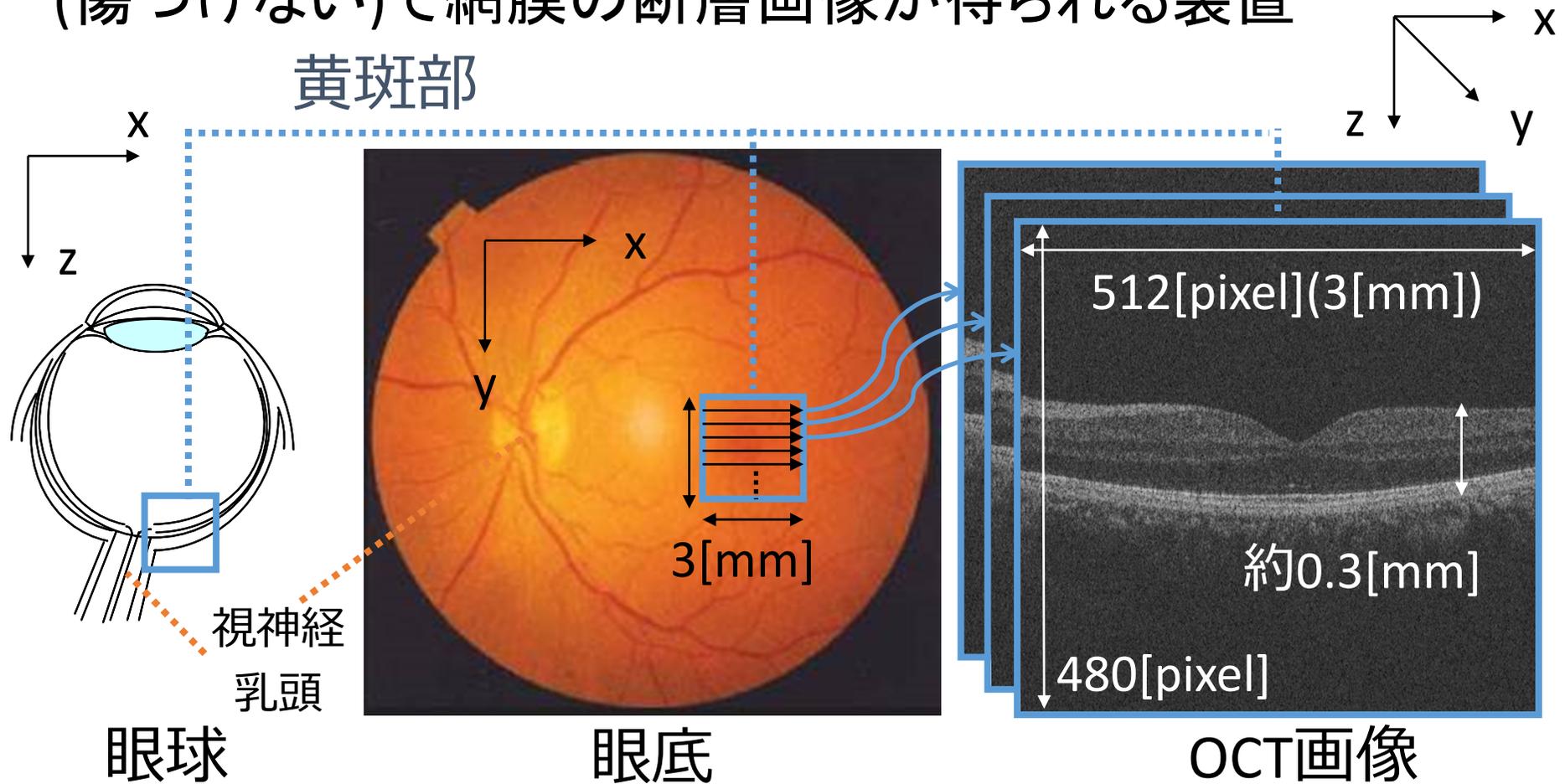
光干渉断層計 (OCT: Optical Coherence Tomography)

- 近赤外線を使い網膜の断層画像を位置を変化させながら連続的に得ることのできる装置.
- 非接触かつ非侵襲.
- 高速で3次元画像が撮影できるOCTは7年前に製品化 → 診断支援ソフトの開発が急がれている.



光干渉断層画像の画素数

近赤外線(820nm)を測定光に使い非接触, 非侵襲(傷つけない)で網膜の断層画像が得られる装置



光干渉断層装置(OCT)の歴史(1)

年	日 本	World
1990	・山形大学工学部の丹野教授が世界初のOCTに関する特許出願	
1991		・MITのJ.FujimotoがTD-OCTの世界特許
1996		・カールツァイスメディテックが世界初のOCT2000を発売
2000	<ul style="list-style-type: none"> ・筑波大学の安野と谷田貝がフーリエ領域OCT(FD-OCT)システムを発表 ・(-2004)NEDO「光干渉利用高機能断層画像測定システム」山形大学丹野教授他 	
2002	<p>応用物理の光工学(レンズや光信号処理)を専門としている先生が研究し、コンピュータ関係者は研究していない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・MITのWojtkowaskiがFD-OCTを発表 ・カールツァイスメディテックがOCT3000を発売

光干渉断層装置(OCT)の歴史(2)

年	日 本	World
2003		・ハイデルベルグエンジニアリング社がスリット光のSL-OCTを発売
2004	<ul style="list-style-type: none"> ・JST「生体計測用超高速フーリエ光レーザー顕微鏡」筑波大学谷田貝 ・(株)ニデックがOCT Ophthalmoscopeを発売 ・エムテックマツムラ(株)がEG-Scannerを発売(現在、生産終了) 	海外メーカーはコンピュータ利用技術により、使いやすさを追求
2006	・(株)トプコンがフーリエ領域(FD-OCT)の3D OCT-1000を発売	・オプトビュー社がFD-OCT RTVueを発売
2007	<p>私の研究室では、この年からOCT画像を使用し、画像処理の研究を開始</p> <p>当初から、境界線を自動抽出することを目指し、局所的なフィルターから進化した方法を使用</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・カールツァイスメディテックがシラスHD-OCTを発売 ・ハイデルベルグエンジニアリング社がSD-OCTのSPECTRALISを発売

三重大学における光干渉断層(OCT)画像の解析システムの歴史

年	研究内容
2007- 2009.3	微分フィルタ、ラベリング、細線化処理などのボトムアップ的画像処理による網膜層の境界追跡 (八木利樹、三重大学 ⇒ 鈴鹿医療科学大学院) 目視と5pixel以下は疾患例で75%の成功率
2008- 2011.3	動的輪郭モデルを使用した網膜の連続した境界線の抽出(山川)
2009- 2011.3	層境界数と濃度分布の相関係数を使用した網膜疾患部の大きさの推定(児玉)
2010-	2次元OCT画像の組(3次元OCT画像)を使用した網膜層の追跡と3次元立体表示(竹野,Huyen)
2010-	疾患部分の領域境界の検出(Fadzil,中原)

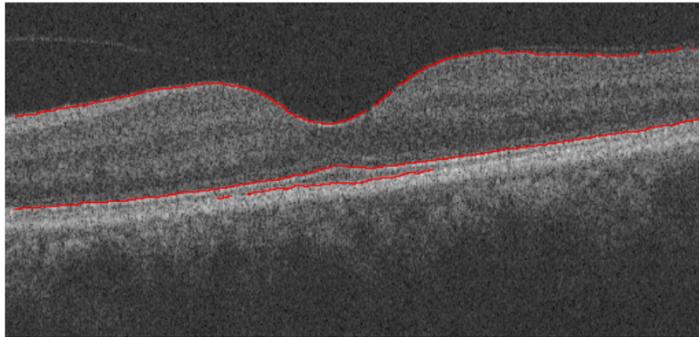
研究の背景と問題点

【医師の要望】 疾患診断に厚みの分布を使用 ⇨ 網膜の厚みの自動計測

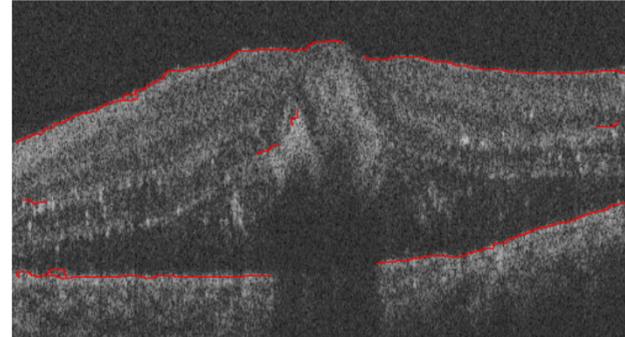
【従来法の問題点】 網膜層の境界線が途切れたり、複数本となってしまう場合が散見され、厚みの自動計測できない。

【原因】

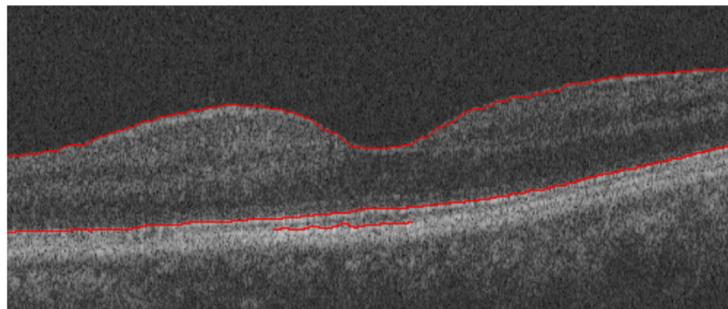
網膜内の血流・血管障害により血管壁から血液成分が漏れる。色素上皮の下から血管が出て視細胞に光が入らなくなる。



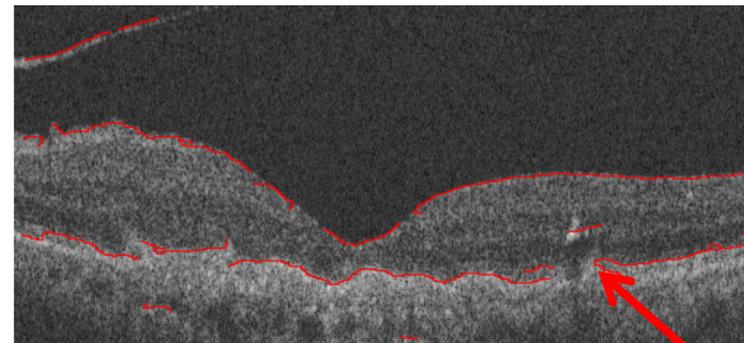
正常例の黄斑部OCT画像



疾患例の黄斑部OCT画像



正常例の黄斑部OCT画像



疾患例の黄斑部OCT画像

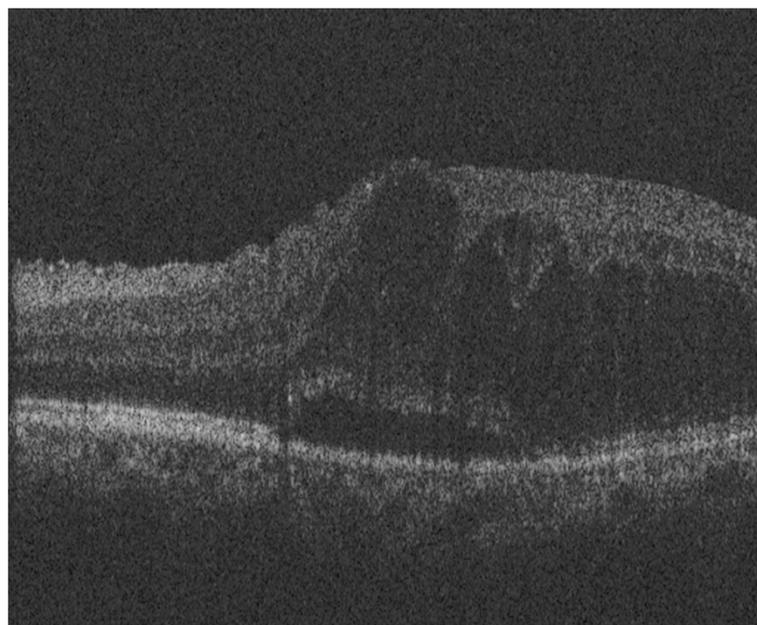
【判断】

色素上皮が弱って波打っている

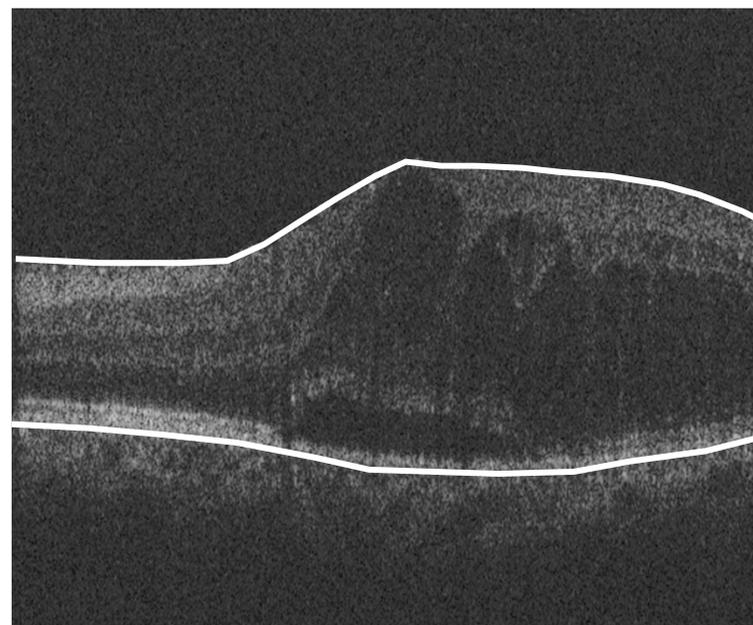
新生血管

2. 網膜の層構造の境界面の抽出

3次元アクティブグリッドを用いた網膜の光干渉断層画像からの自動境界抽出法



OCT画像の原画像

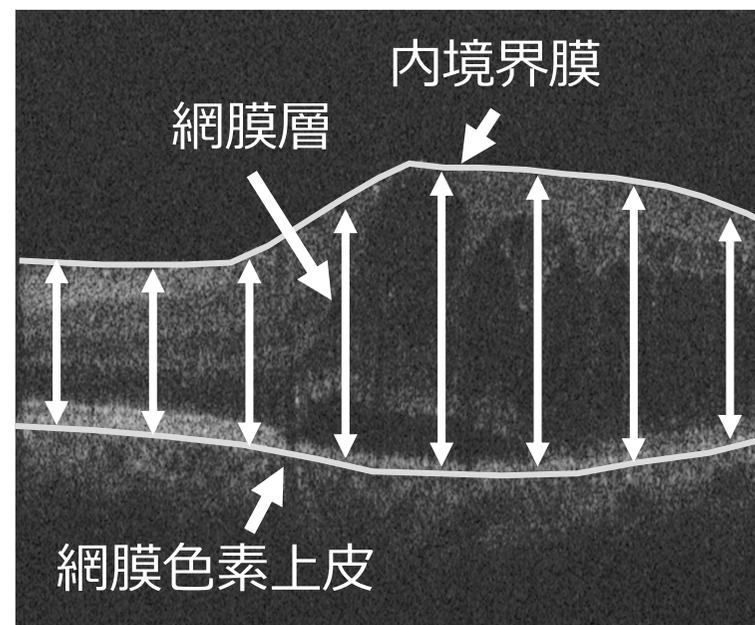


抽出された境界線

網膜疾患の診断

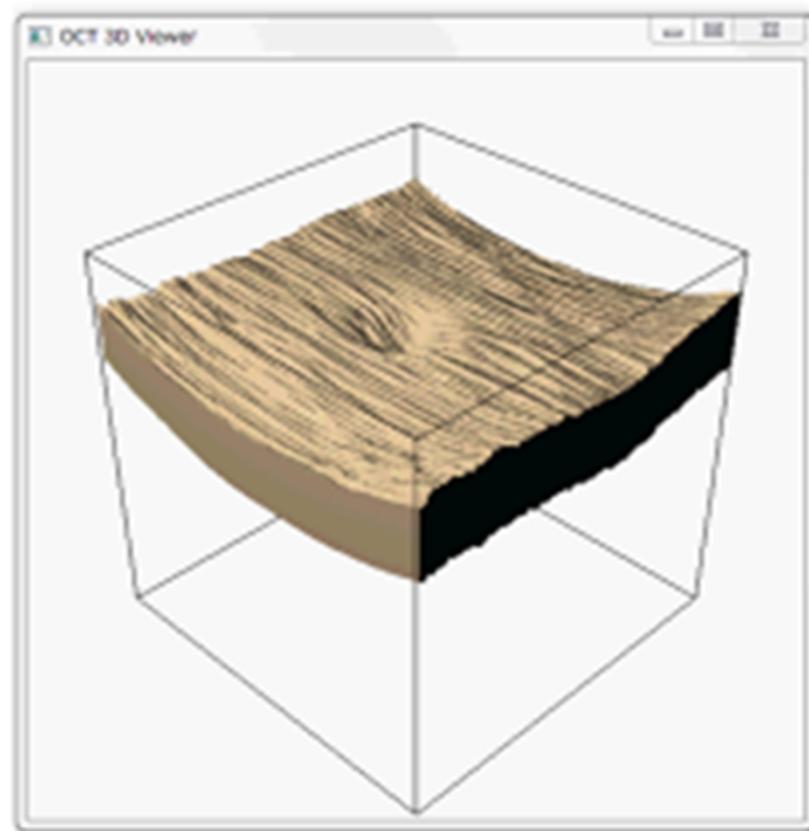
病状の定量評価に網膜厚が用いられている

3D-OCT画像: 128 [枚/片眼]
→膨大な量
網膜厚の測定
→医師にとって非常に負担

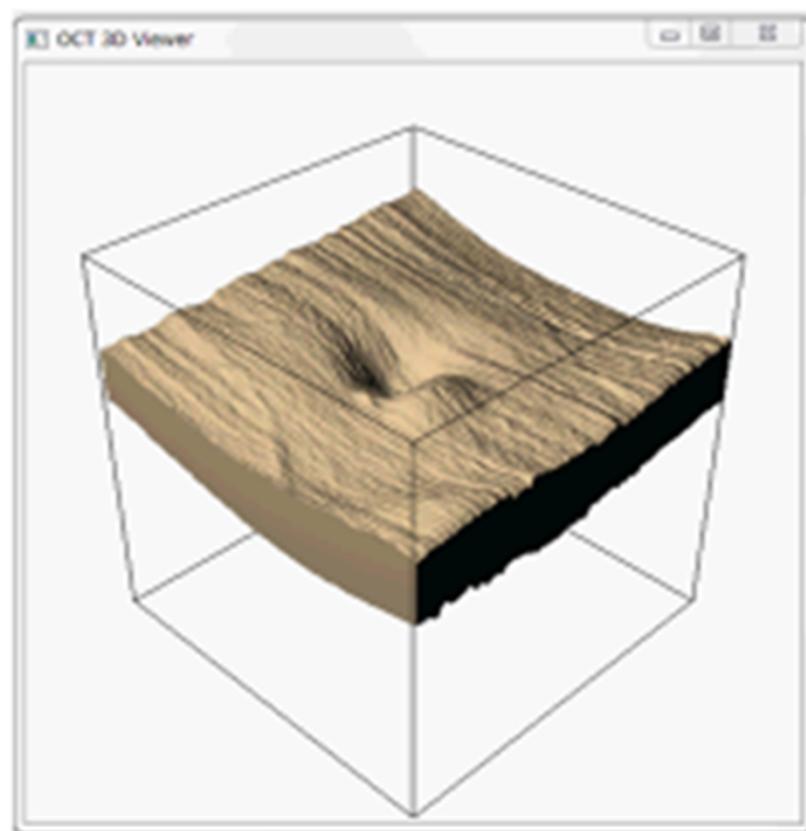


OCT画像から自動的に網膜厚を
計測できるシステムを求められている

境界面の抽出結果の3次元表示



正常例



疾患例

利点：疾患部の位置と形状、範囲が患者にも容易に理解できる。

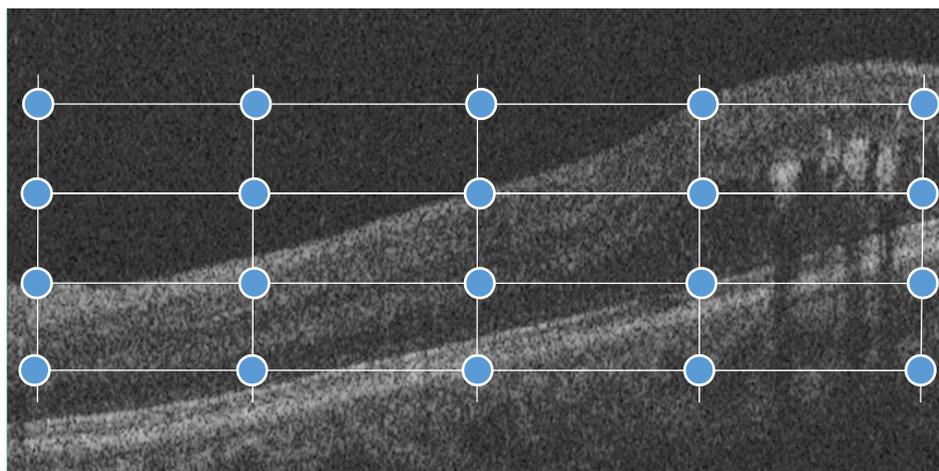
従来研究（本研究室で開発）

単方向アクティブネット

One Directional Active Net (ODAN) [2] (2010)

2次元の離散的な動的形状モデルを使って

それぞれのノードが垂直に移動することで物体を抽出



ODANのノードの位置

参考文献:

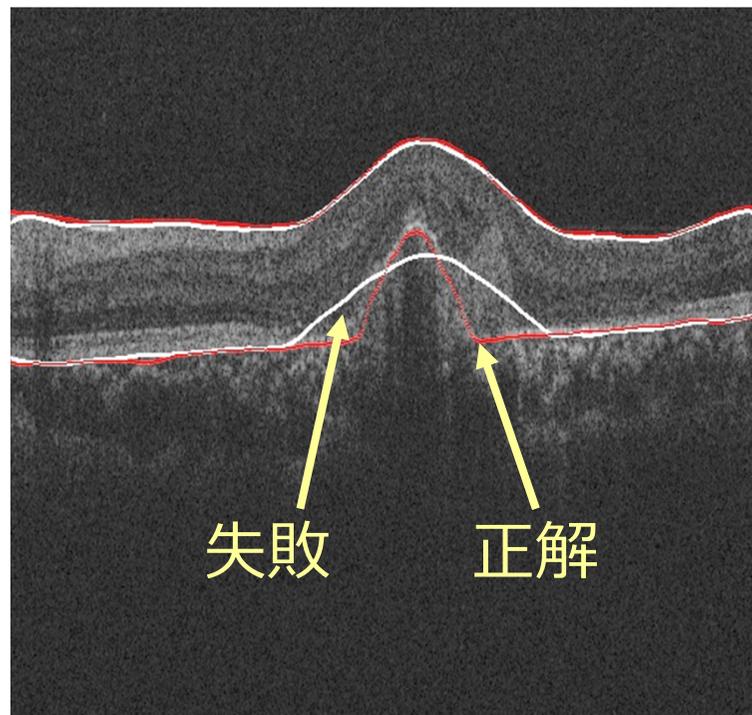
[2] A. Yamakawa, D. Kodama, S. Tsuruoka et al., "Extraction Method of Retinal Border Lines in Optical Coherence Tomography Image by Using Dynamic Contour Model", IFMBE Proc. 6th World Congress of Biomechanics (WCB 2010), WCB-A00128-00475, 2010

従来研究の問題点

- 疾患例においては誤抽出が見られ、精度が不十分
- 2次元動的形状モデルであるため隣接画像情報を使用していなかった

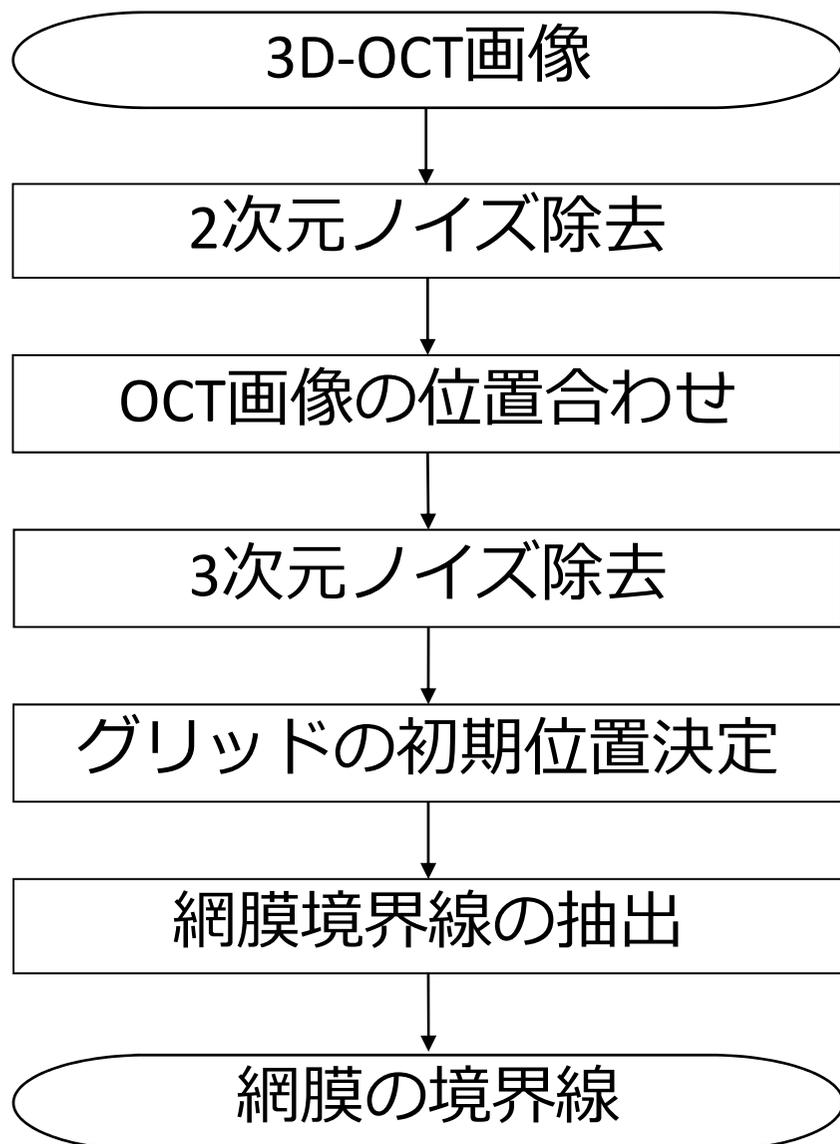


抽出精度を向上させるために
隣接画像情報を利用する
3次元動的形状モデルを用いる

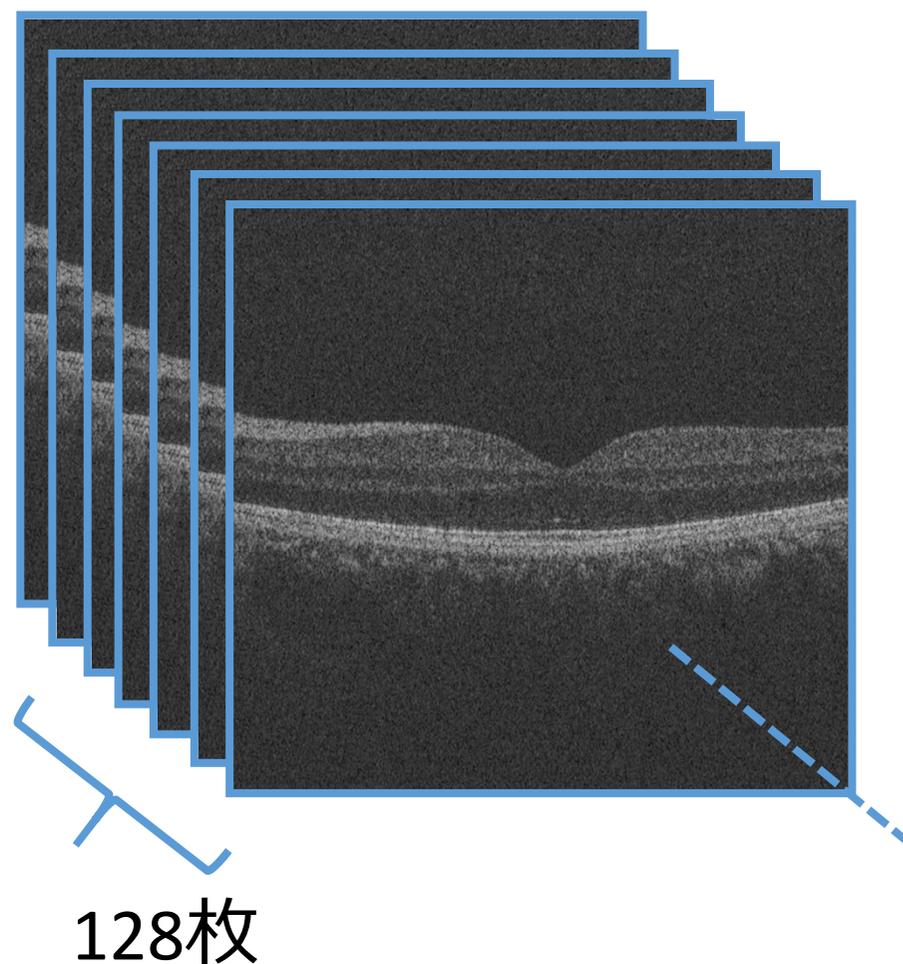
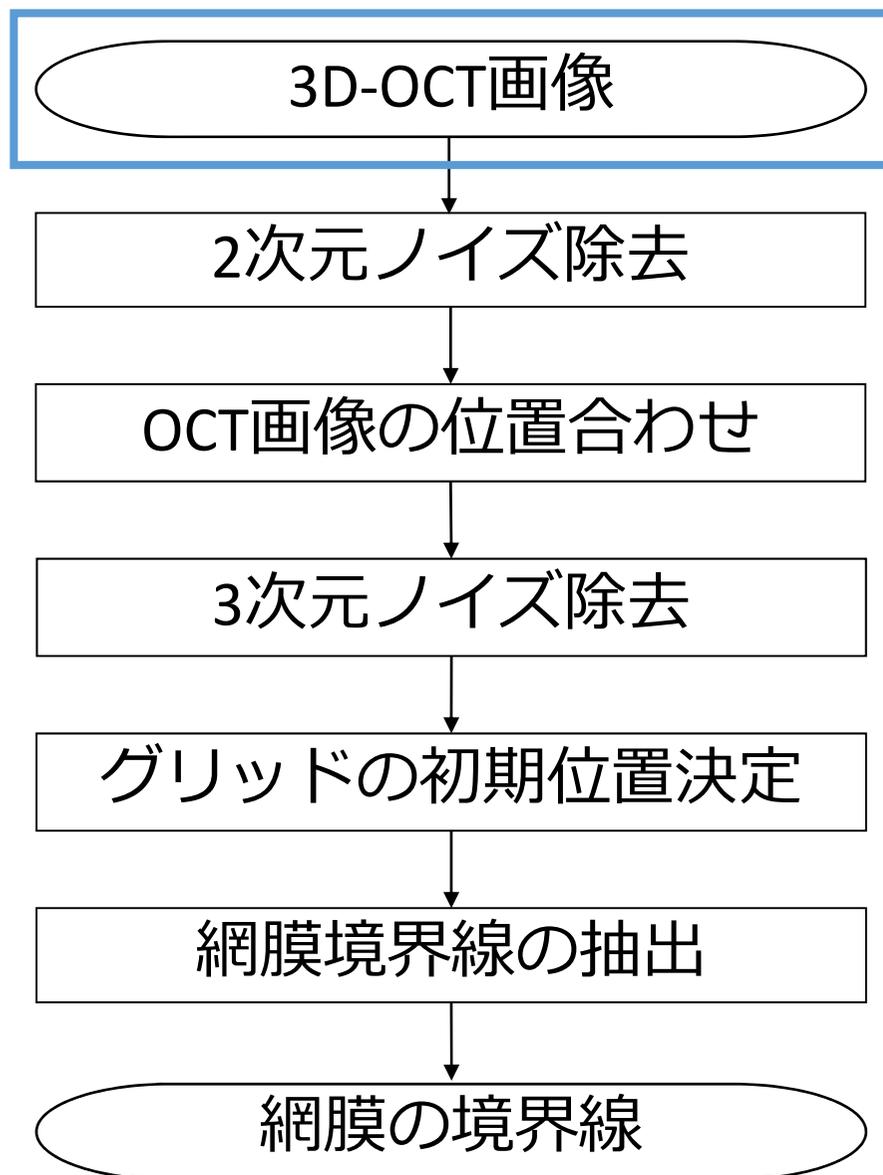


従来手法による
境界線の抽出結果

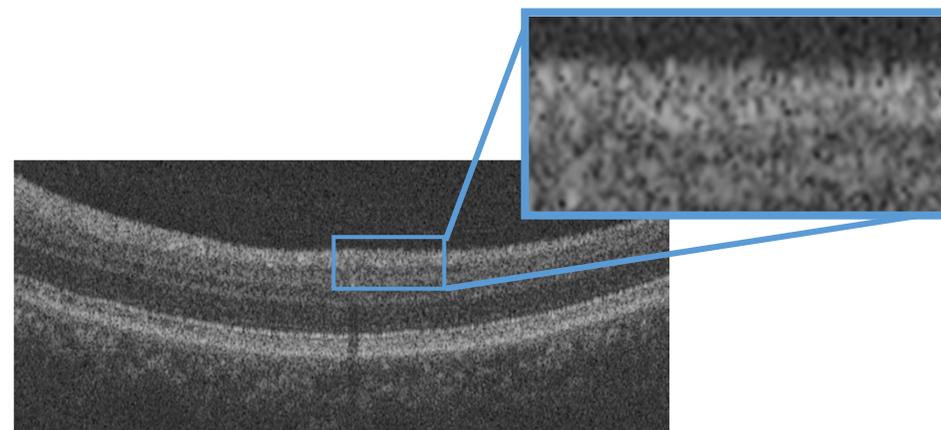
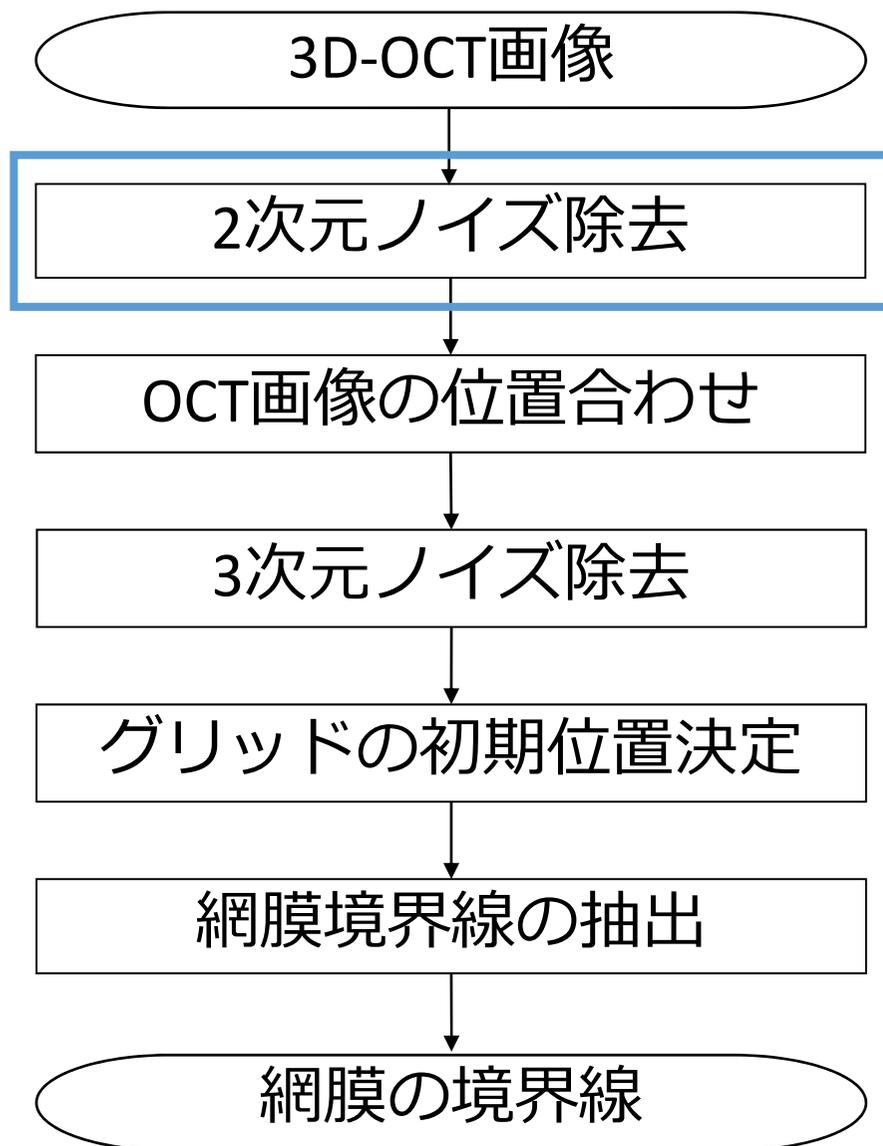
提案手法の流れ



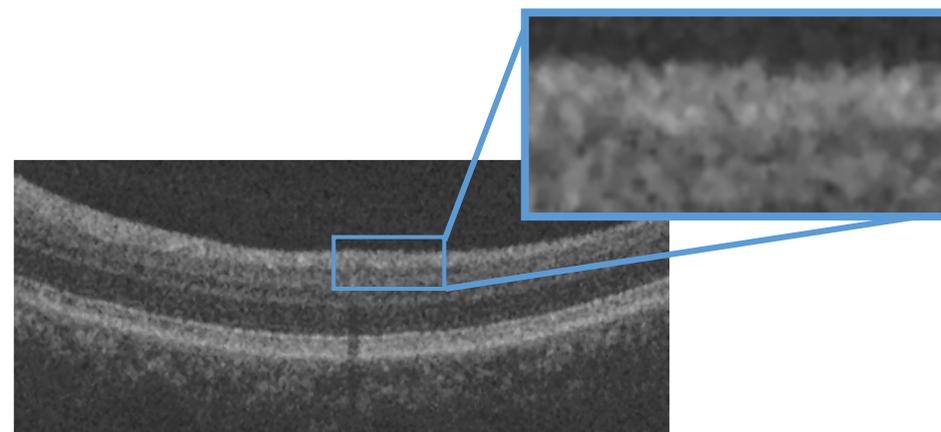
提案手法の流れ



提案手法の流れ

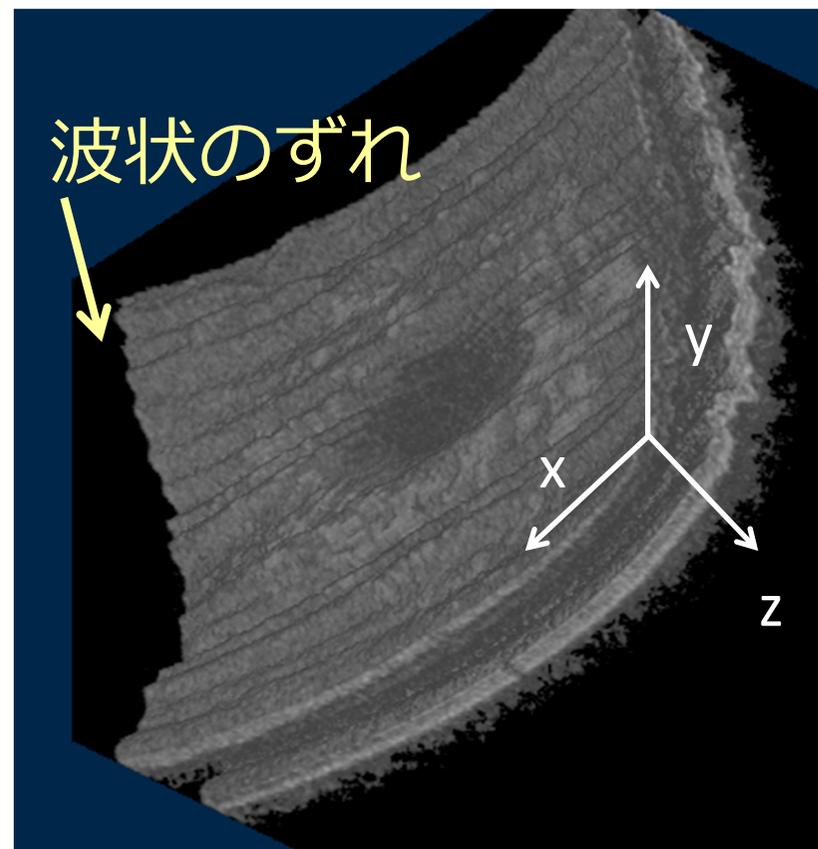
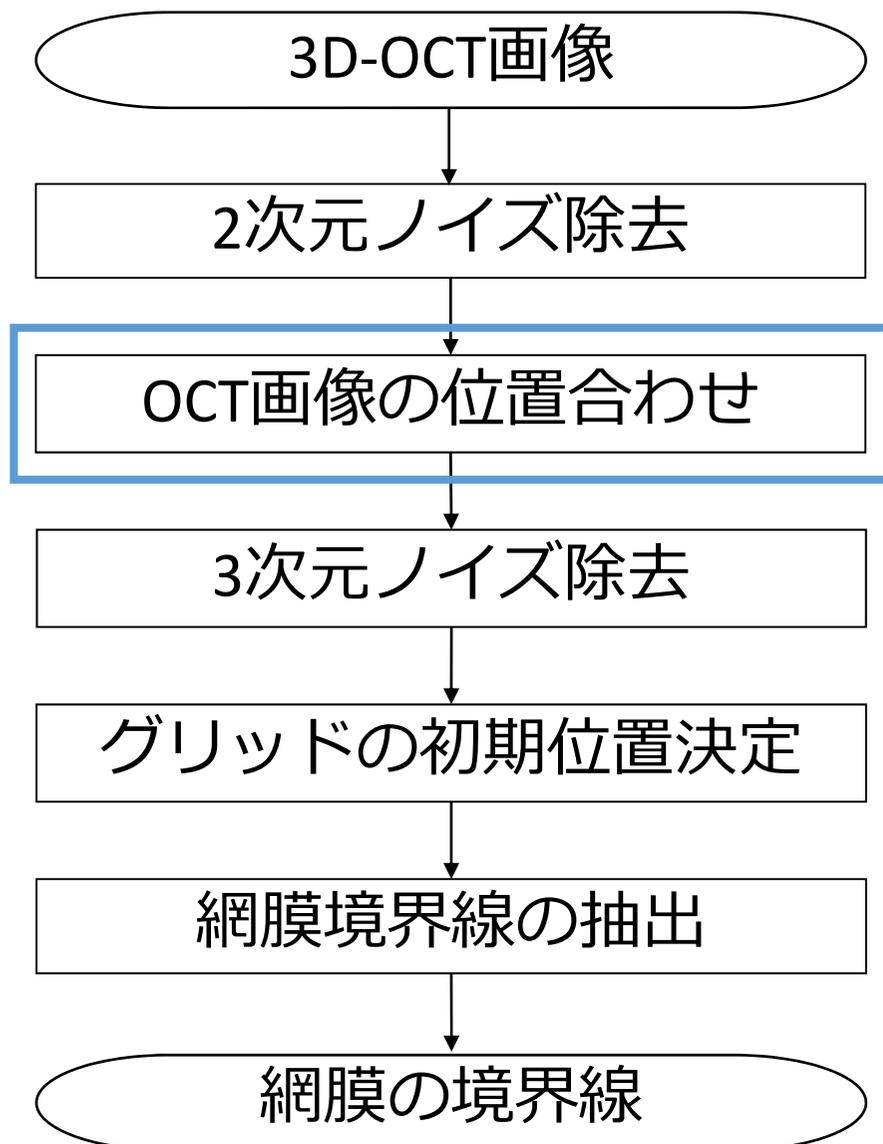


OCT画像の原画像



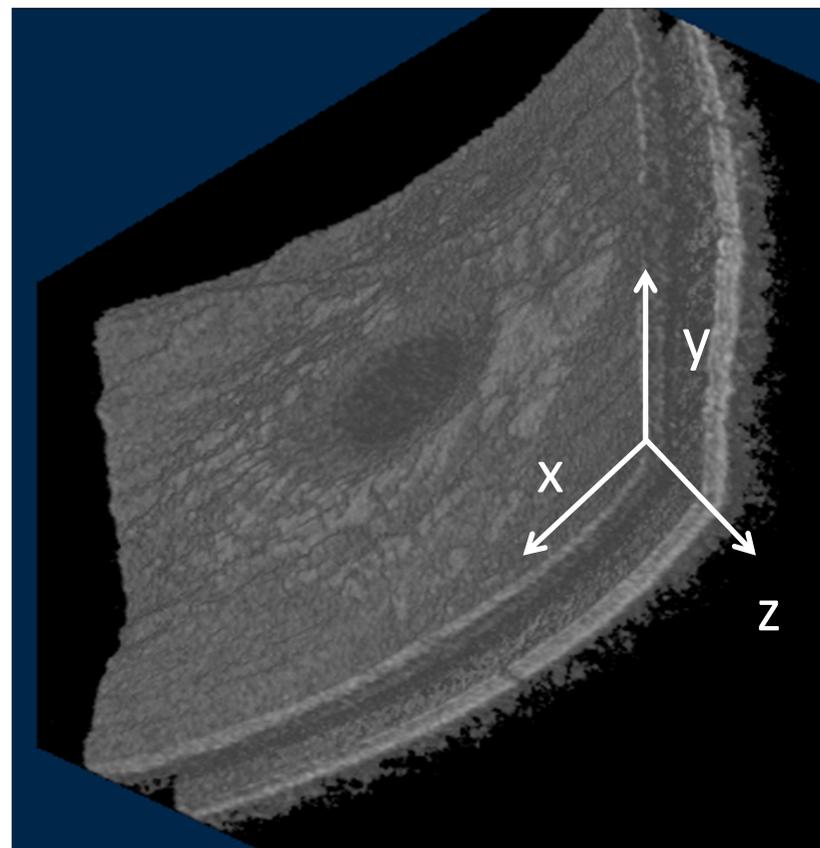
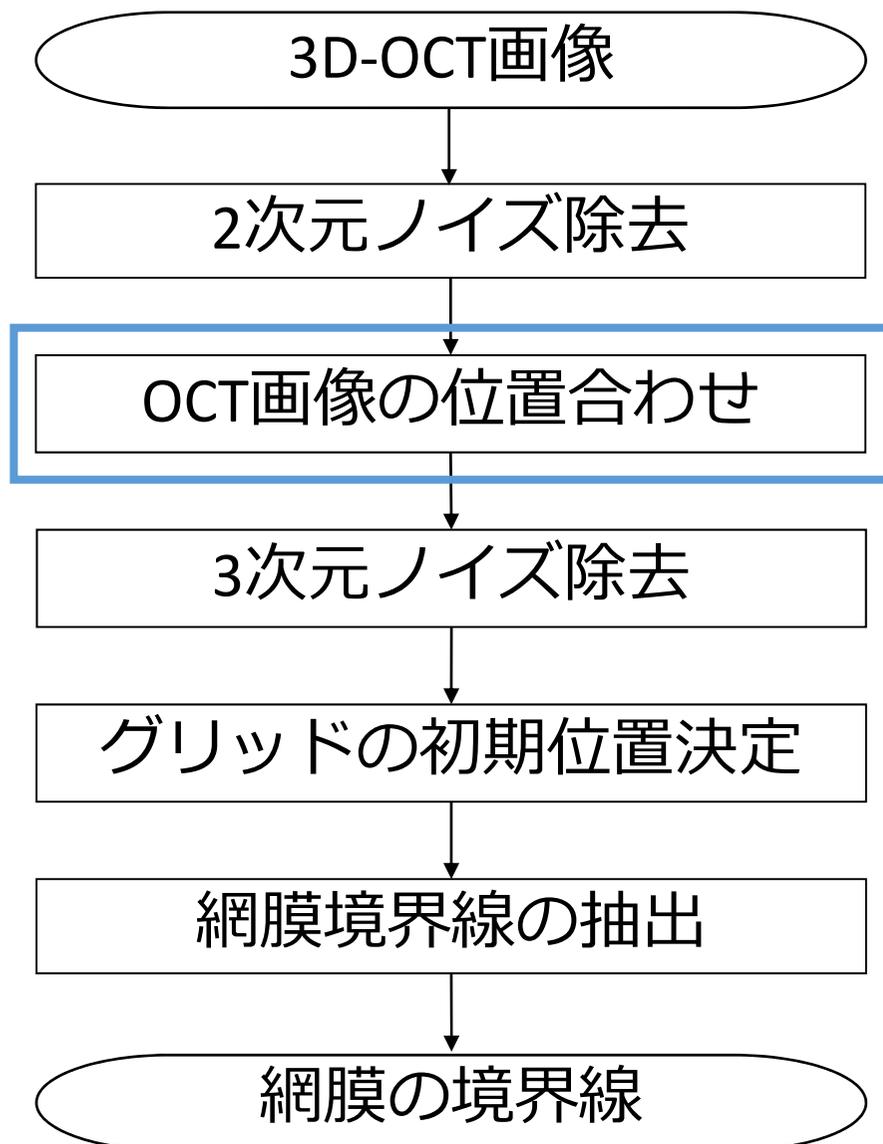
2次元 メディアンフィルタ

提案手法の流れ



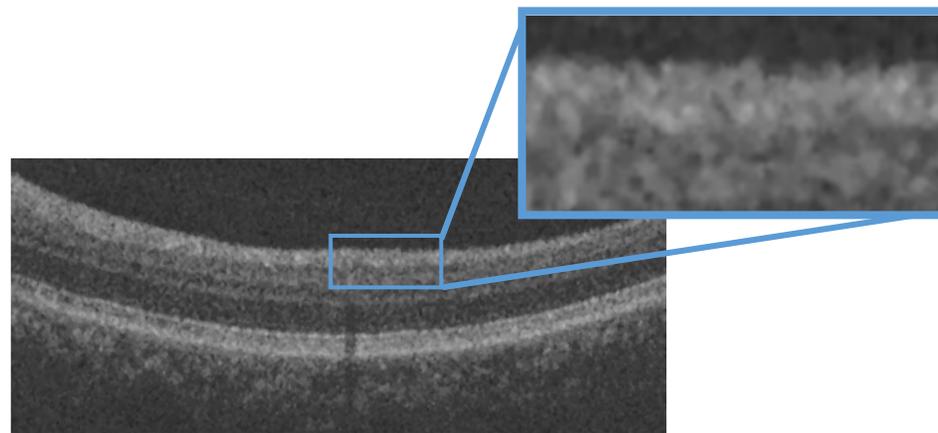
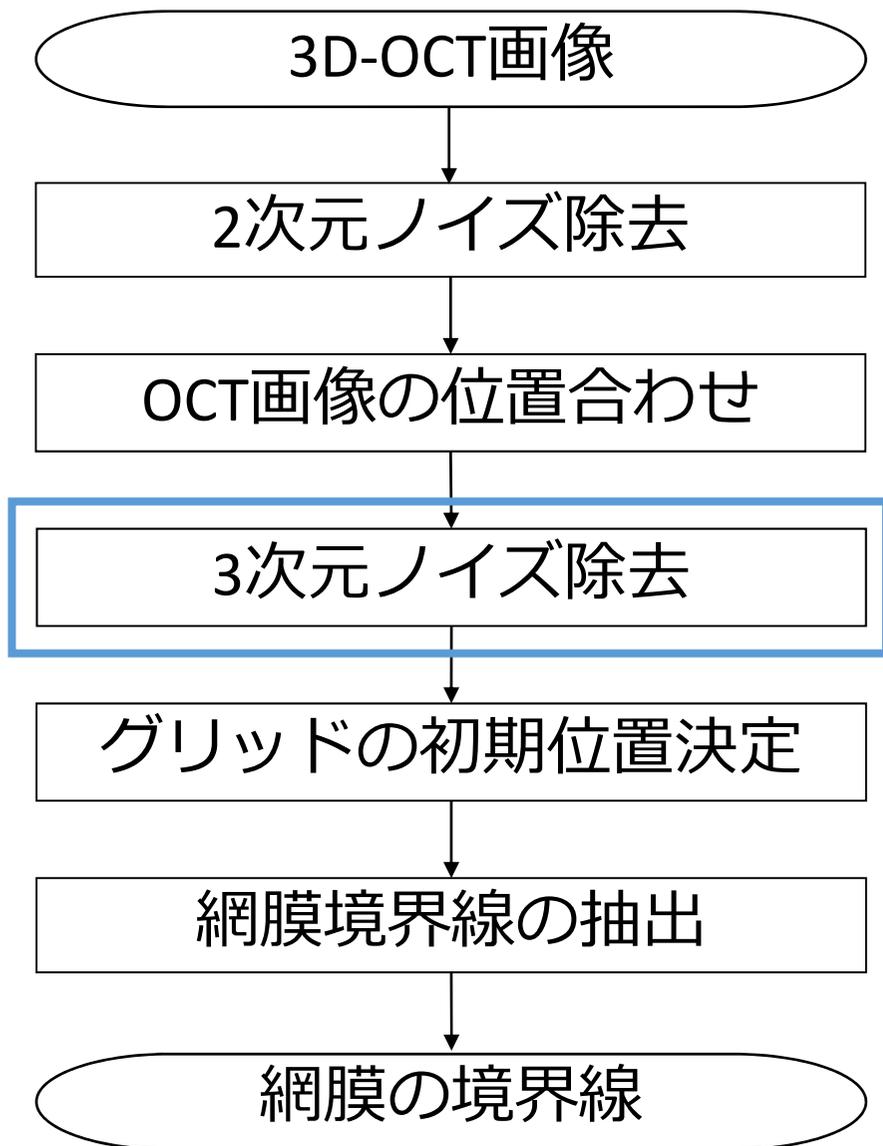
3次元再構成（補正前）

提案手法の流れ

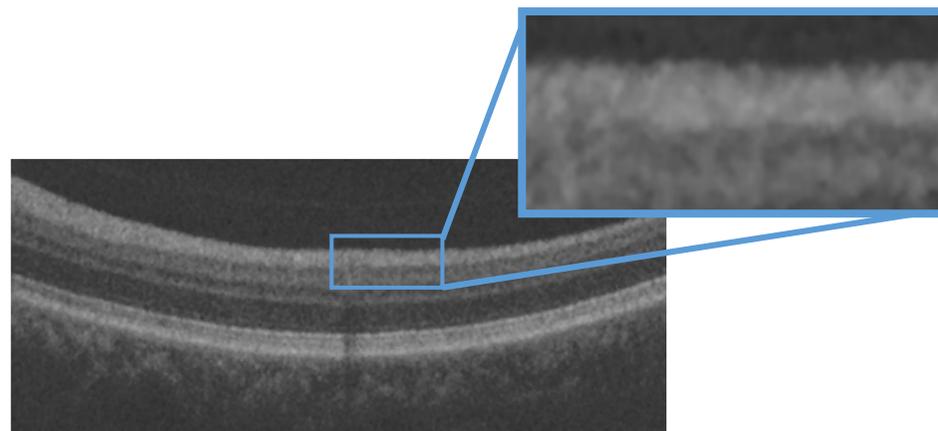


3次元再構成
(テンプレートマッチング
による補正後)

提案手法の流れ

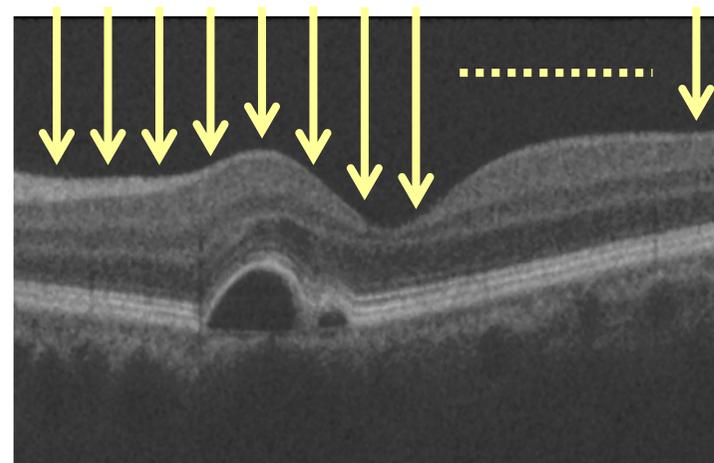
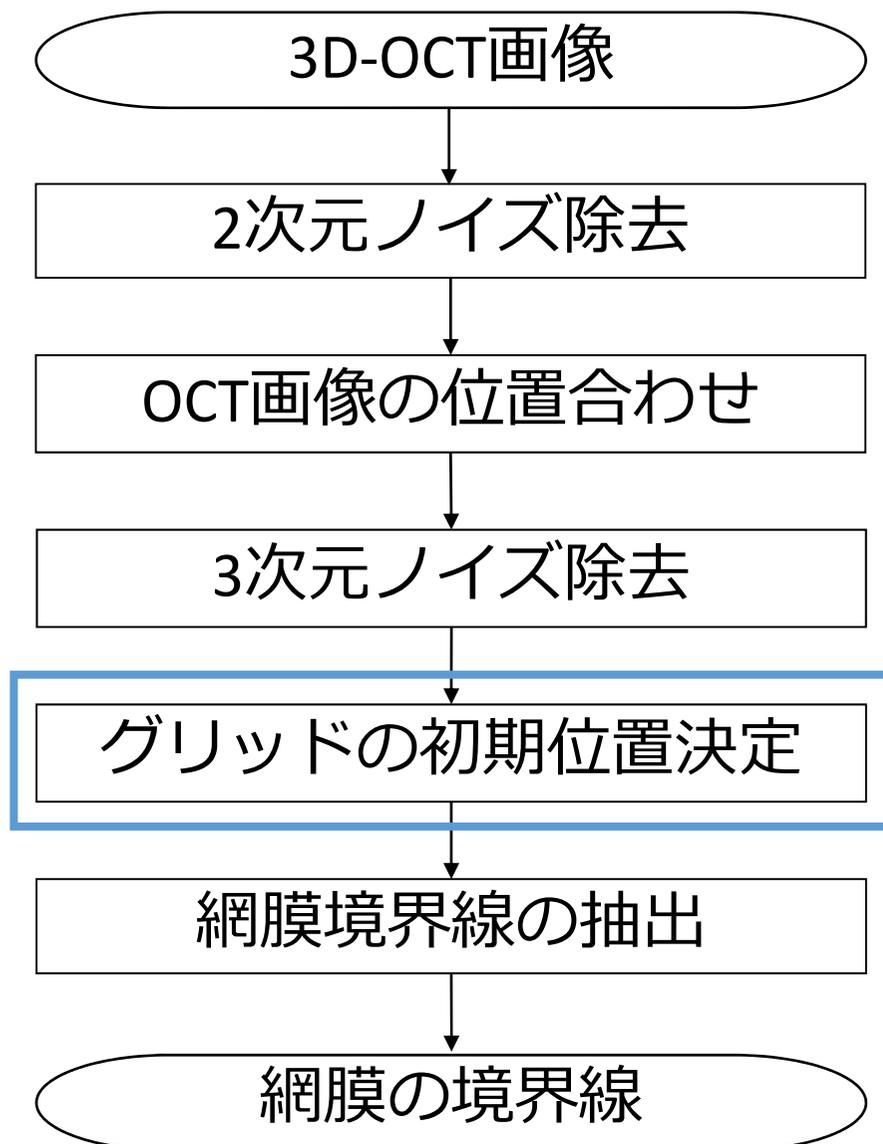


2次元メディアンフィルタ

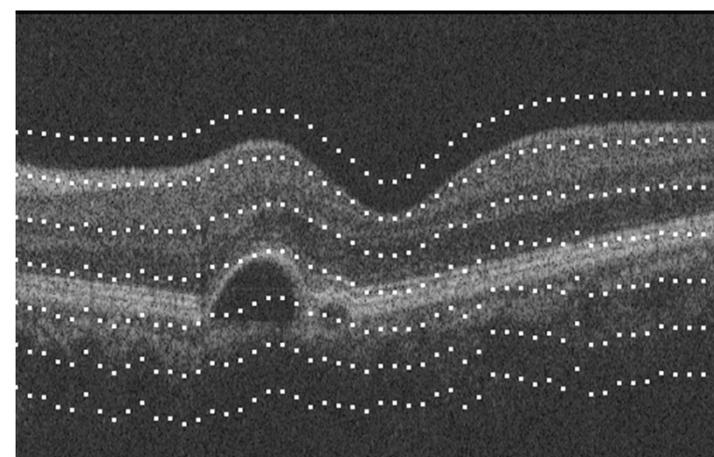


3次元メディアンフィルタ

提案手法の流れ

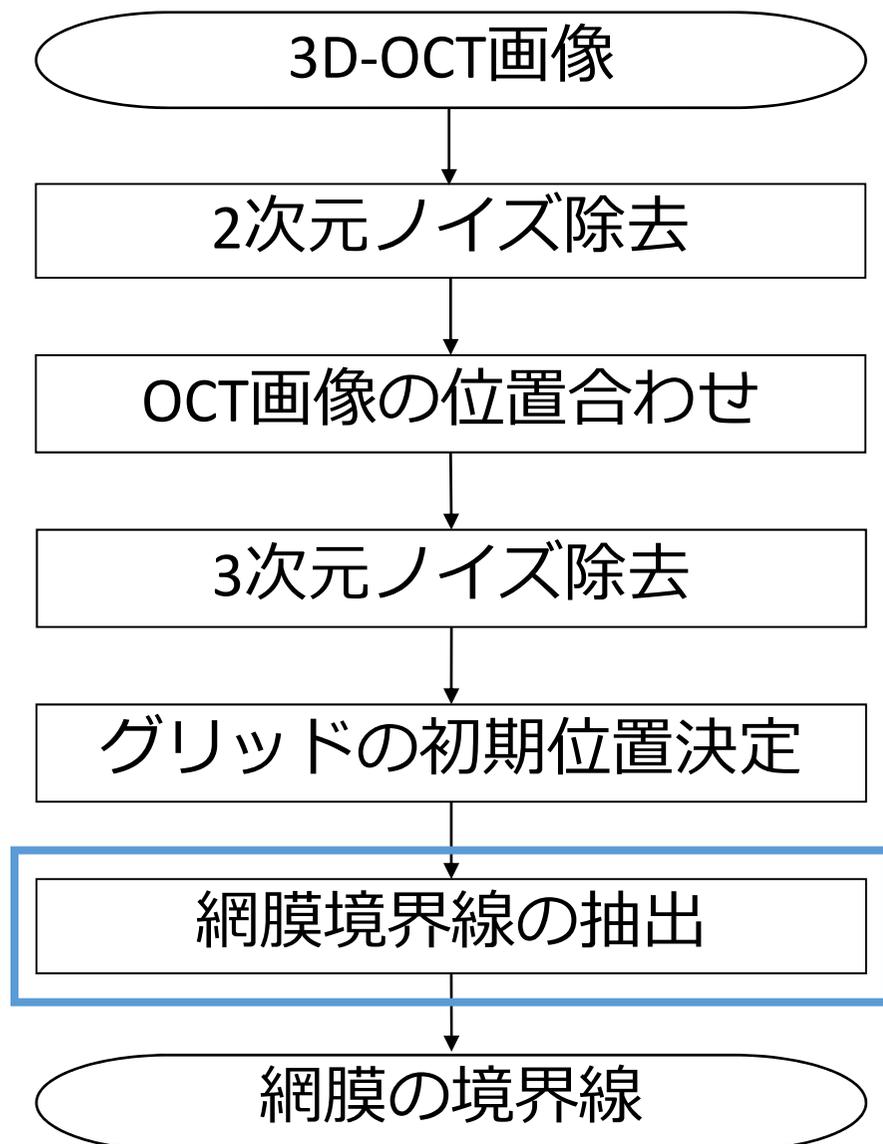


ノイズ除去画像



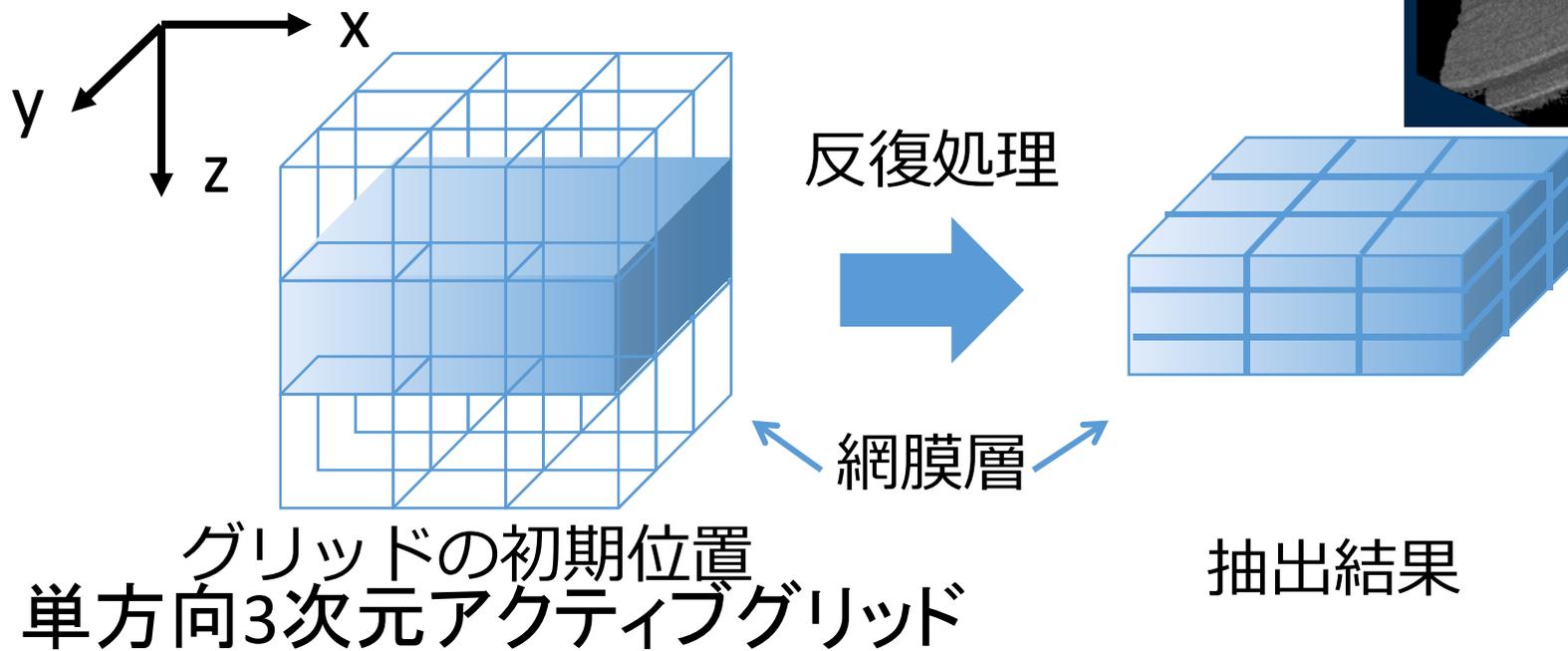
グリッドの初期位置

提案手法の流れ



3次元アクティブグリッド

網膜層は板状→ x, y 方向の伸縮が不必要
グリッドを1方向のみ伸縮するように修正



Three Dimensional One Directional Active Grid: **3D-ODAG**

エネルギー関数

エネルギーが小さくなるようにノードが移動

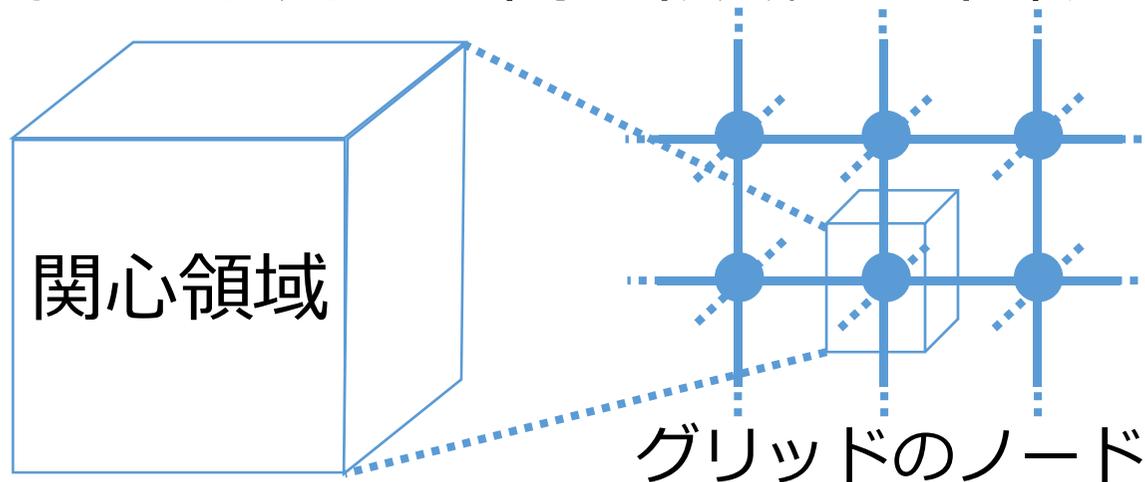
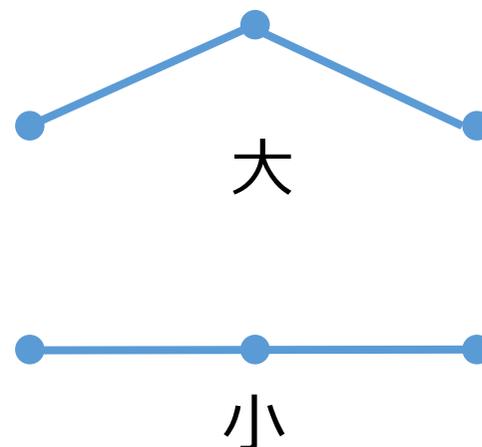
$$E_{grid} = E_{int} + E_{image}$$

E_{int} : 内部歪みエネルギー

- ・グリッドを滑らかに伸縮,
形状を維持する力

E_{image} : 画像適合性エネルギー

- ・グリッドを目標へ動かす力
- ・各ノード周辺の関心領域から特徴量を算出



画像適合性エネルギー

以下の式から計算される

$$E_{image} = \omega_1 M_{nf} + \omega_2 S_{nf} + \omega_3 D_{nf}$$

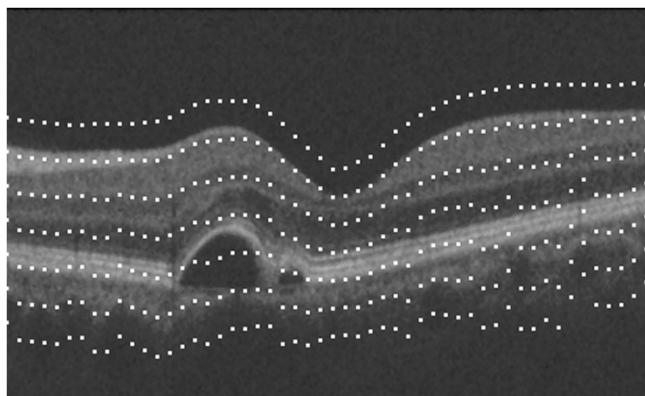
- M_{nf} : 平均濃度値
濃度値が高い位置 (白い領域) に移動
- S_{nf} : 分離度
境界の位置に移動
- D_{nf} : 差分
境界の位置に移動
- $\omega_1, \omega_2, \omega_3$: 各特徴量の重み



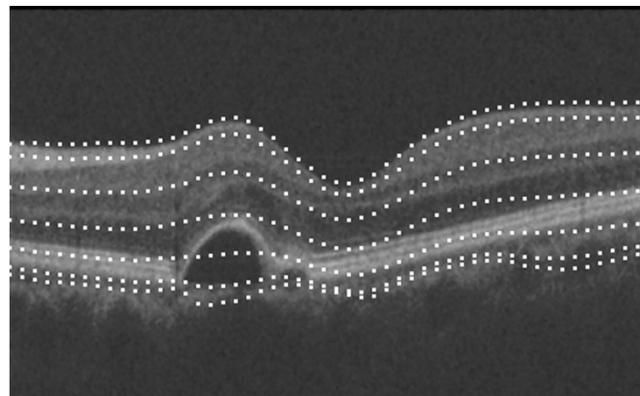
- M_{nf} : 平均濃度値
濃度値が高い位置 (白)
- S_{nf} : 分離度
境界の位置に移動
- D_{nf} : 差分 **大**
境界の位置に移動
- $\omega_1, \omega_2, \omega_3$: 各特徴量の重み

反復処理 (2D View) 疾患例

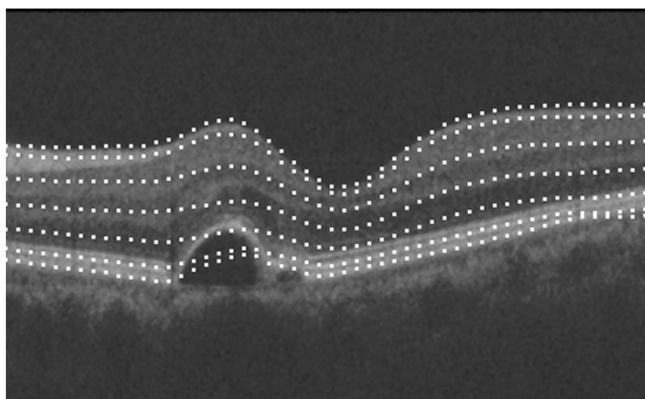
エネルギー計算の反復処理によりグリッドが収縮



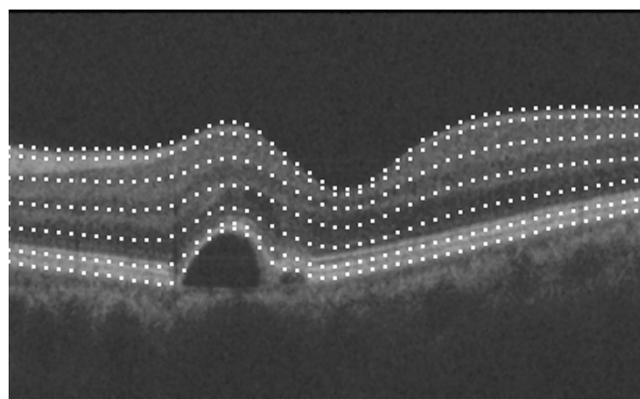
反復回数: 0回



反復回数: 200回



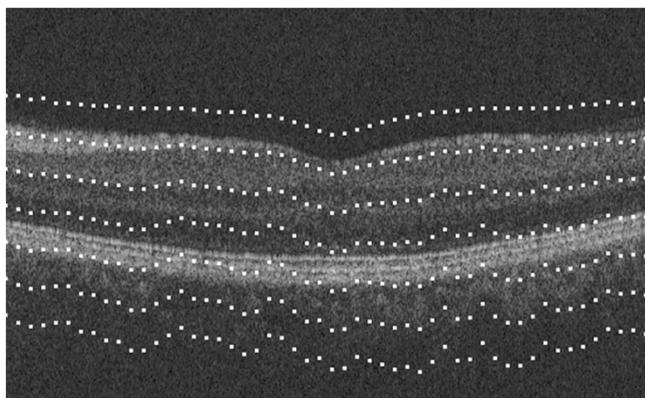
反復回数: 400回



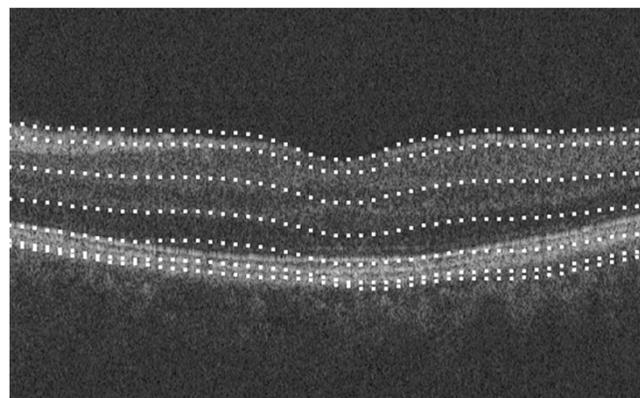
反復回数: 600回

反復処理 (2D View) 健常例

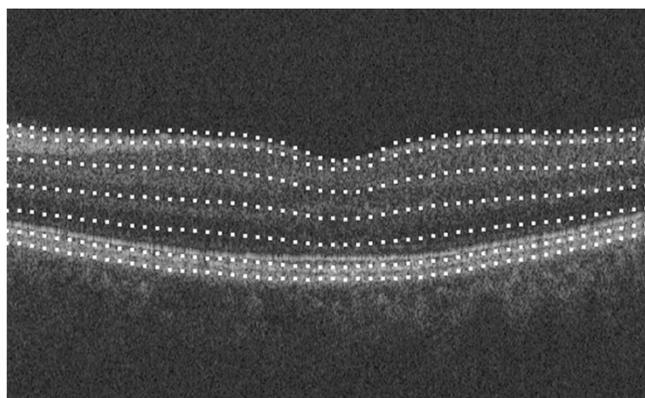
エネルギー計算の反復処理によりグリッドが収縮



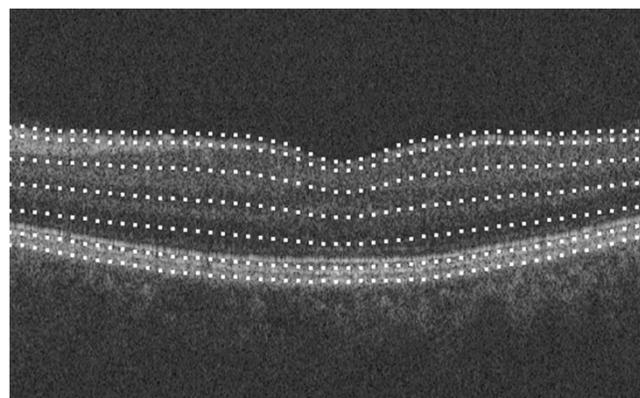
反復回数: 0回



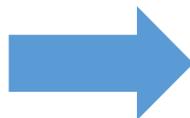
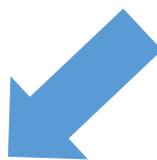
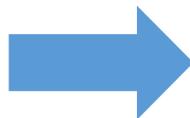
反復回数: 200回



反復回数: 400回

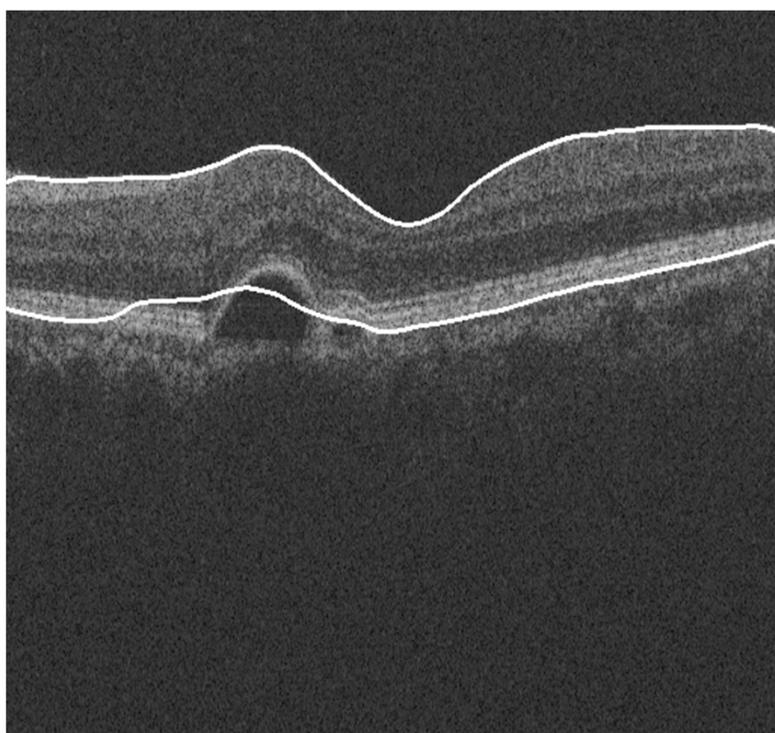


反復回数: 600回

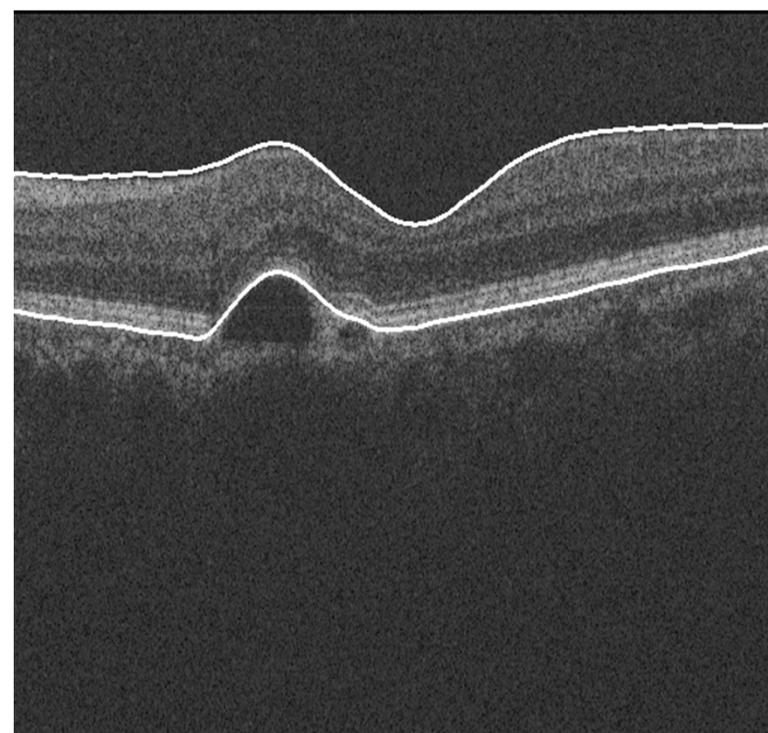


抽出結果

従来手法では抽出できなかったものを抽出できた。



従来手法(2D-ODAN)
(約10 [秒/枚])

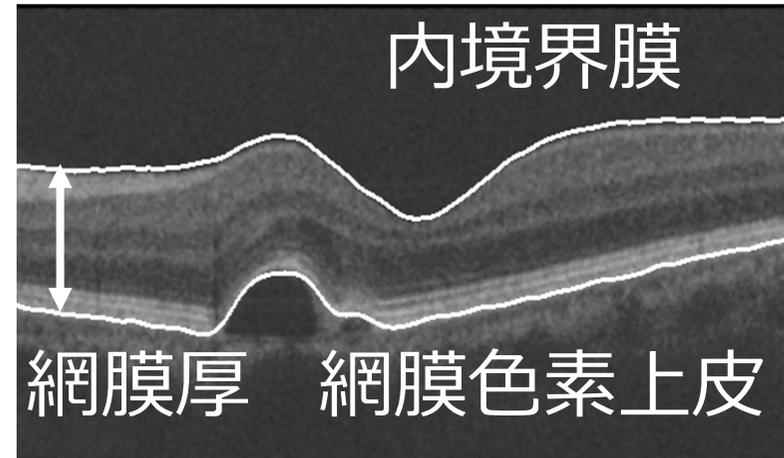


提案手法(3D-ODAG)
(約18 [秒/枚])

評価実験

- 実験資料

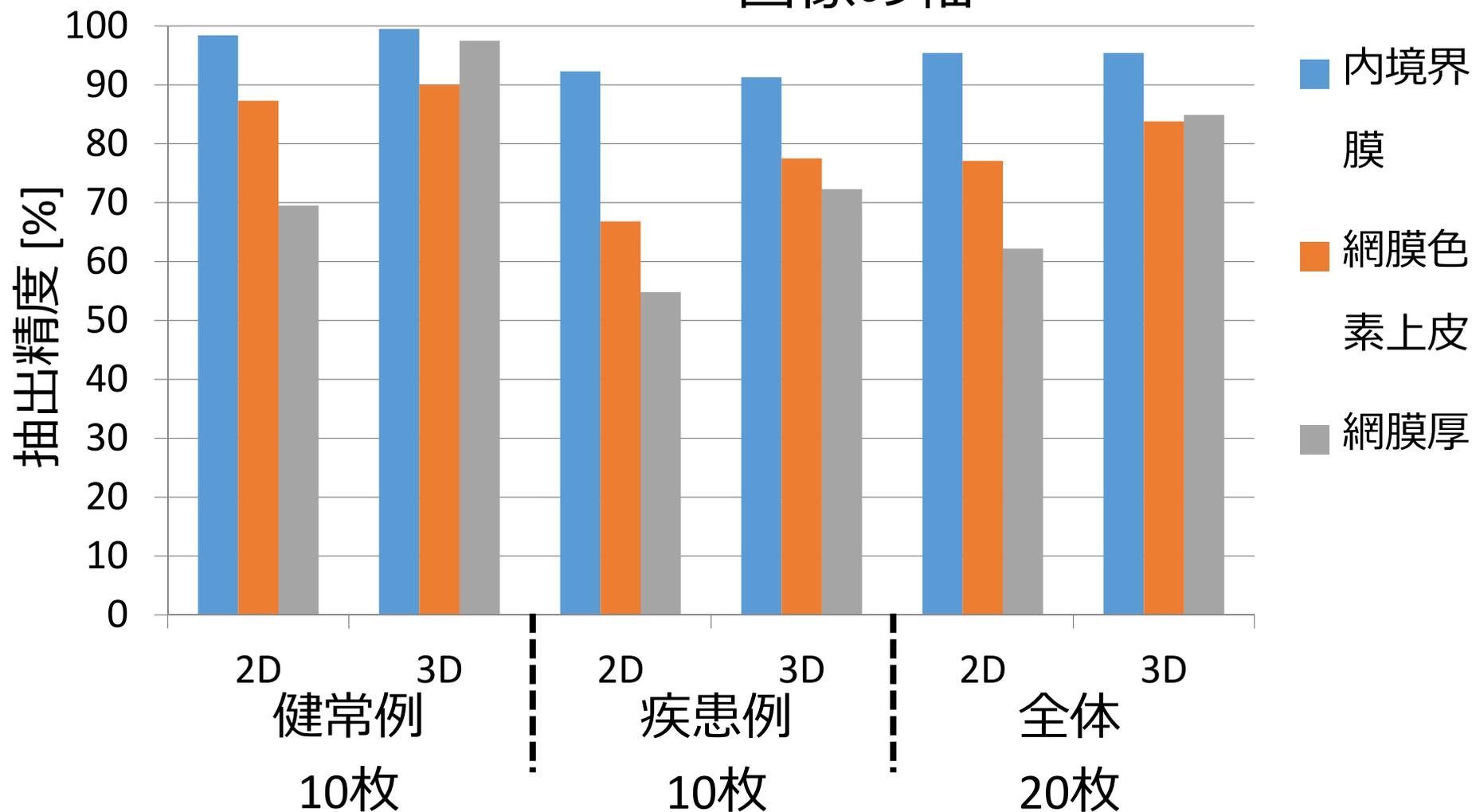
- 健常例5件→10枚
- 疾患例7件→10枚
- 計20枚



- 画像サイズ: 512 × 418 [pixel]
 - 濃度分解能: 16 bits
-
- 自動抽出法による抽出結果と
医師による手入力の抽出結果(正解)を比較

平均抽出精度

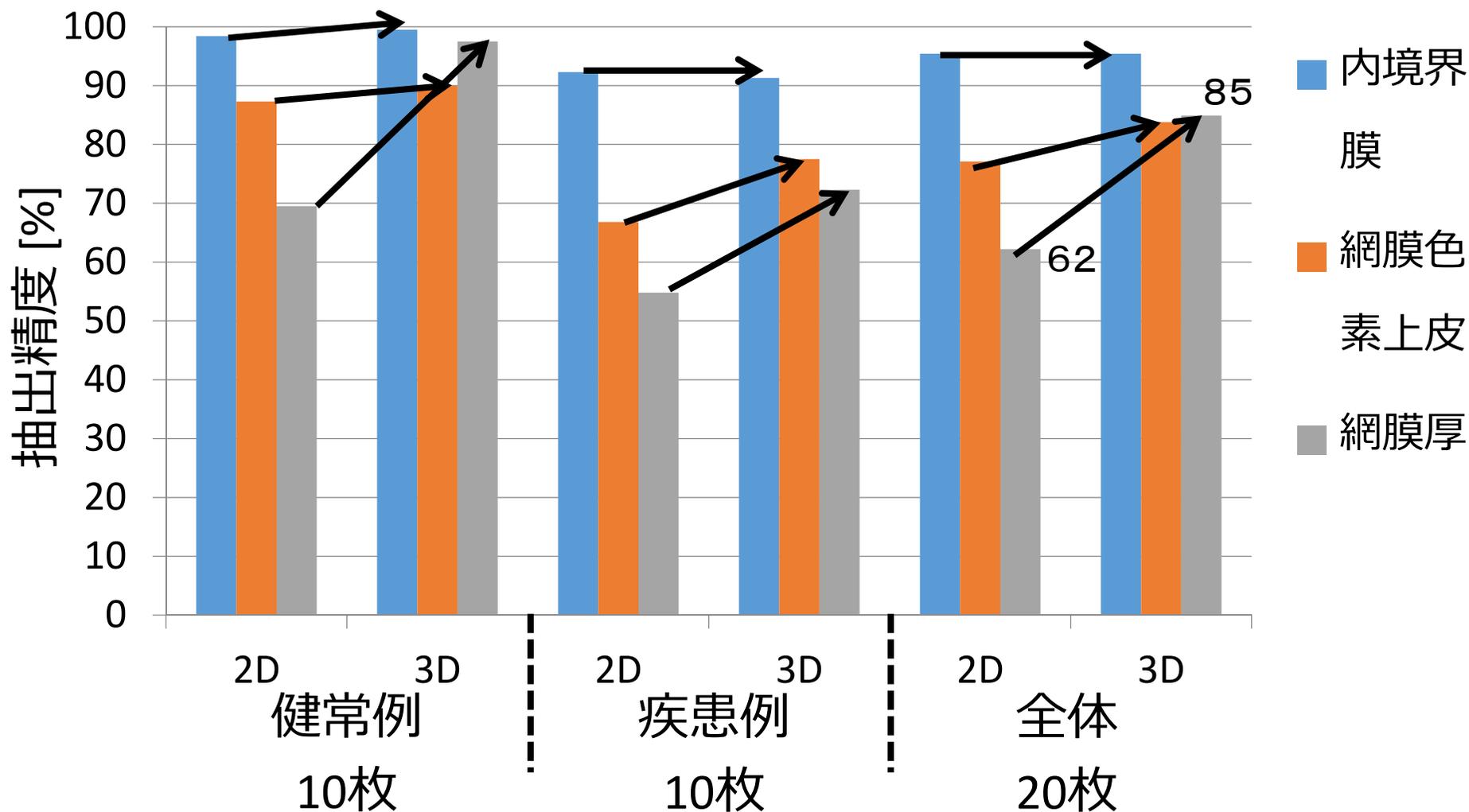
$$\text{抽出精度}[\%] = \frac{\text{正解数 (10}[\mu\text{m}] \text{以内)}}{\text{画像の幅}} \times 100$$



平均抽出精度

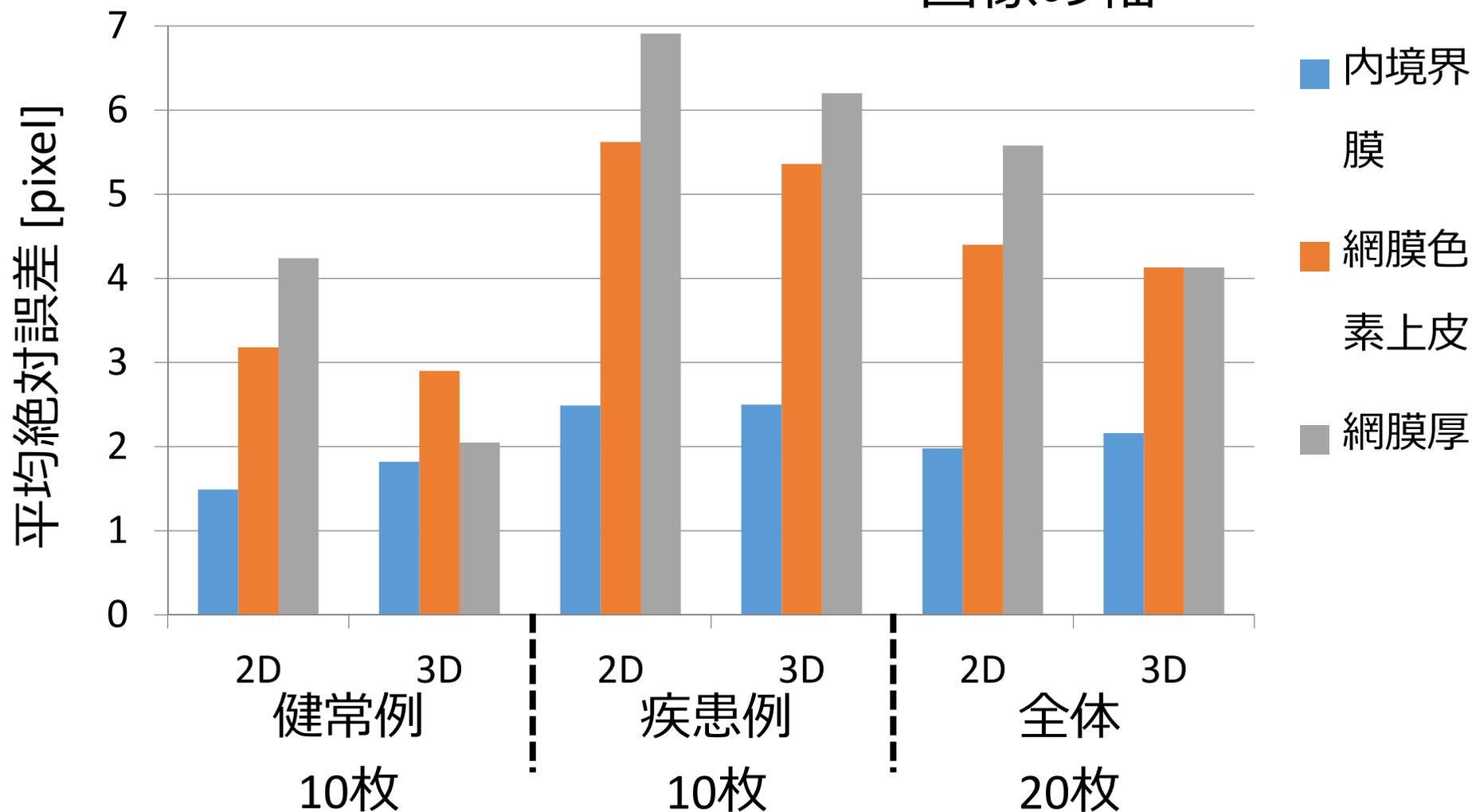
提案手法は従来手法よりも高精度に抽出できている

網膜厚: 約62%→約85%



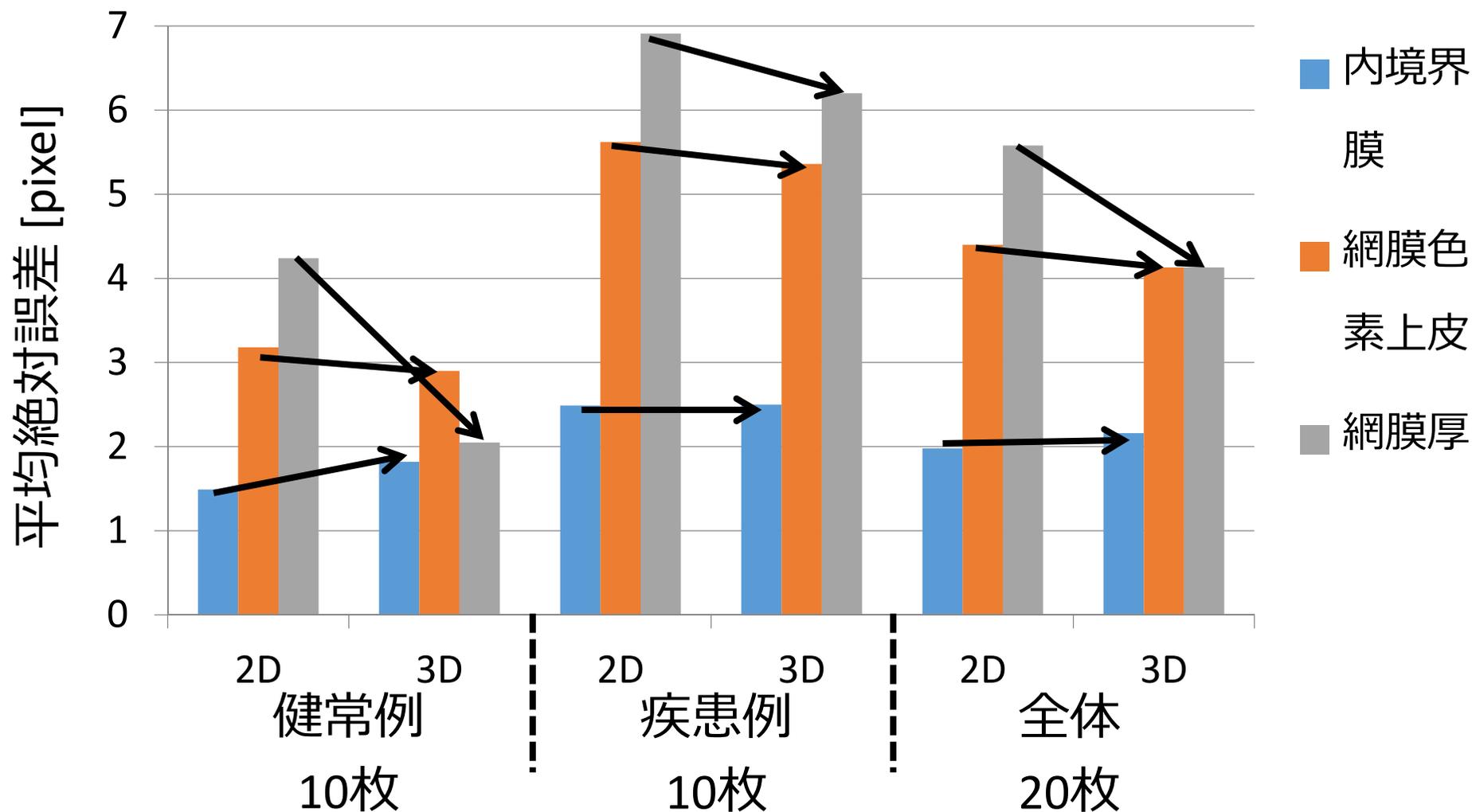
平均絶対誤差

$$\text{平均絶対誤差[pixel]} = \frac{\sum \text{誤差}}{\text{画像の幅}}$$



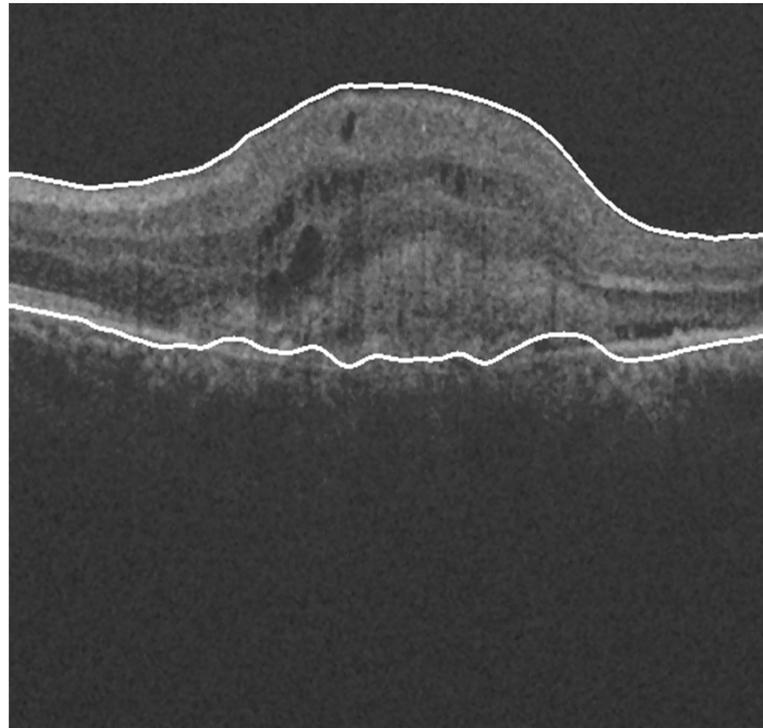
平均絶対誤差

提案手法は従来手法よりも誤差を削減



考察

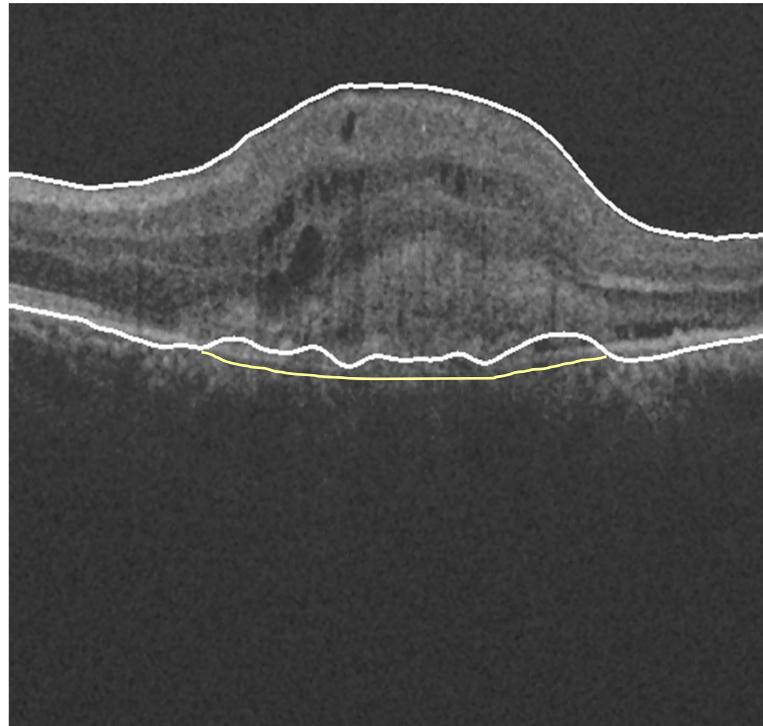
- 不明瞭な境界による抽出失敗
→ 関心領域の動的決定が必要
→ 大局的な情報が必要



失敗例

考察

- 不明瞭な境界による抽出失敗
→ 関心領域の動的決定が必要
→ 大局的な情報が必要



失敗例

2.まとめ

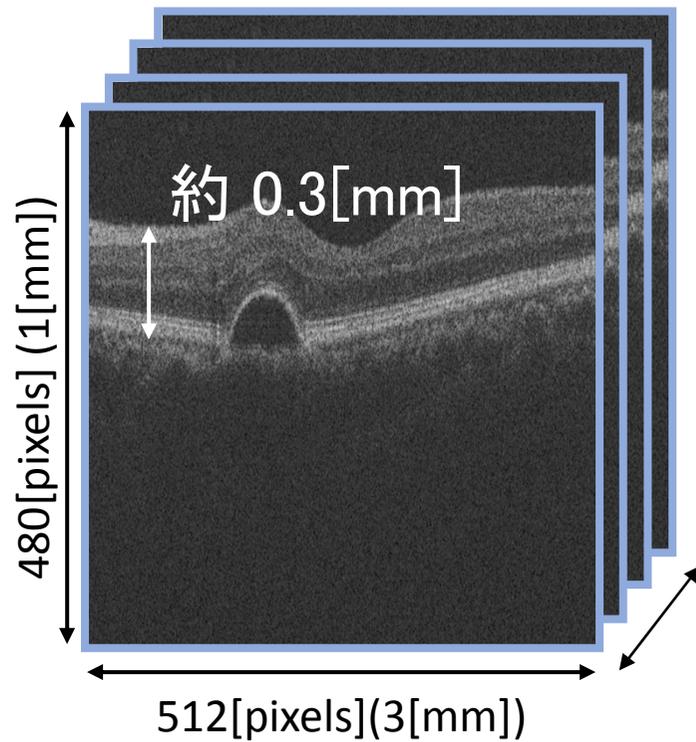
まとめ

- 単方向3次元アクティグリッドを用いた網膜境界線の抽出法を提案した
- 提案手法により網膜厚を約85%の精度で抽出できた(従来法:約62%)

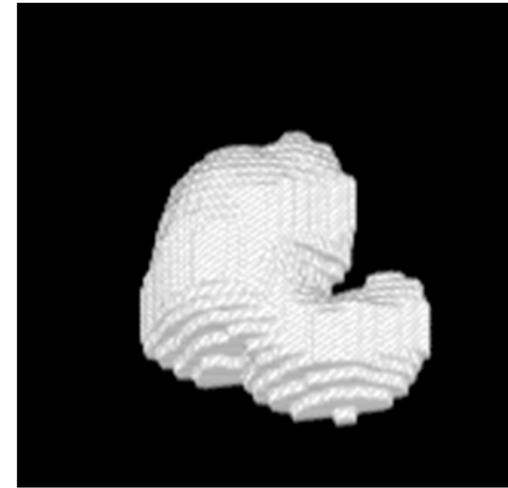
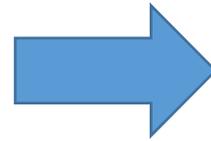
今後の課題

- 関心領域サイズの動的決定に関する検討
- 大局情報を使った手法の検討

3. 疾患部分の境界面の抽出



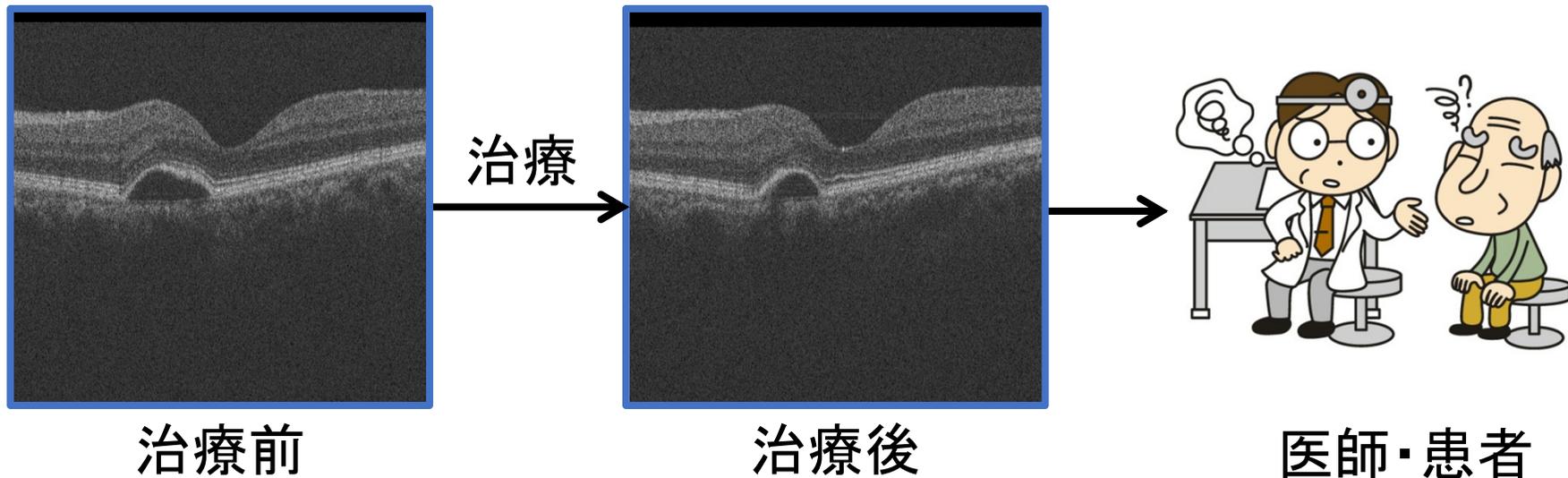
2次元OCT画像の集合



3次元OCT画像から
疾患部の境界面を作成

現在の診断支援システムの問題点

- 疾患の体積や形状などの情報が定量的に得られない。
→どの程度良くなったのか、または進行しているのか分からない。

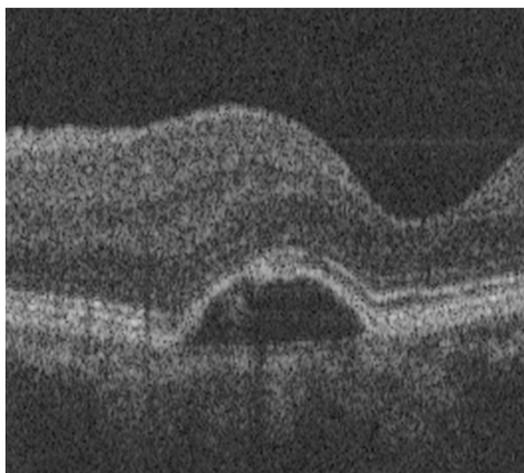


→従来研究では、
領域拡張のアプローチを用いて疾患部の抽出を行った。

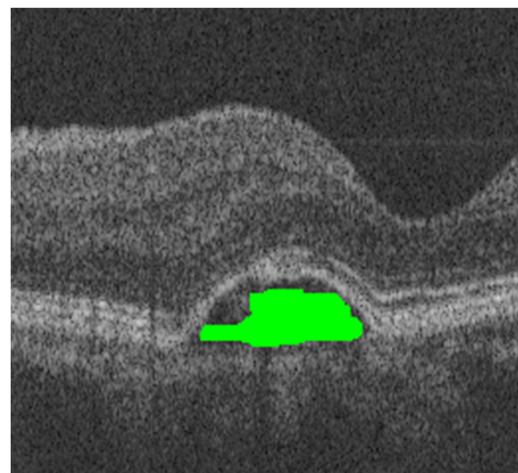
[1] M.Fadzil et.al: "Border Tracking for Macular Disease Area Using Regional Statistics for Human Retinal Optical Coherence Tomography (OCT) Image", AWERProcedia Information Technology and Computer Science, Vol 1 (2012)

従来手法の問題点

- ノイズに弱く, 抽出精度が低い.
- ボリュームデータを有効に活用しておらず,
疾患の立体的な形状が分かりにくい.



原画像

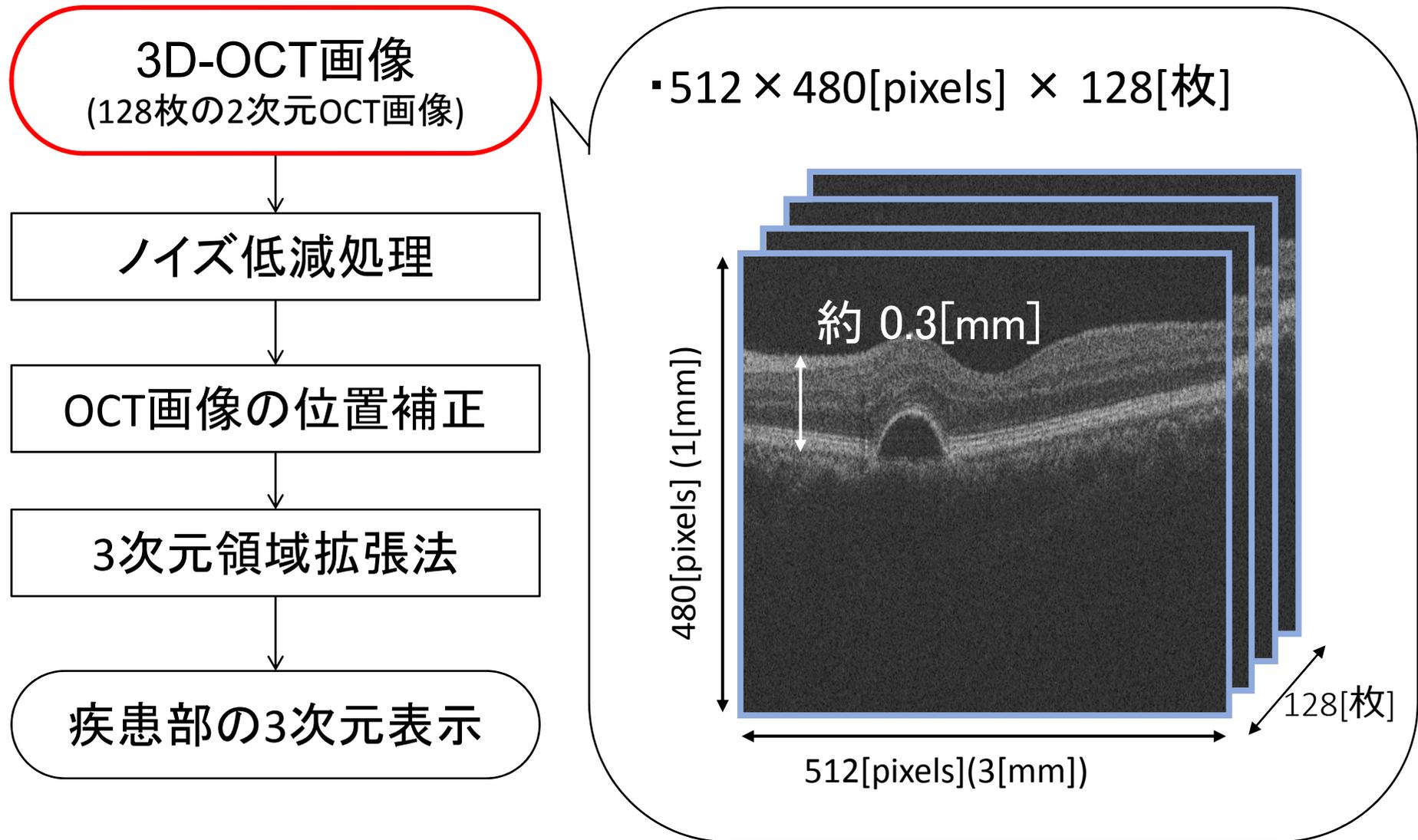


従来手法

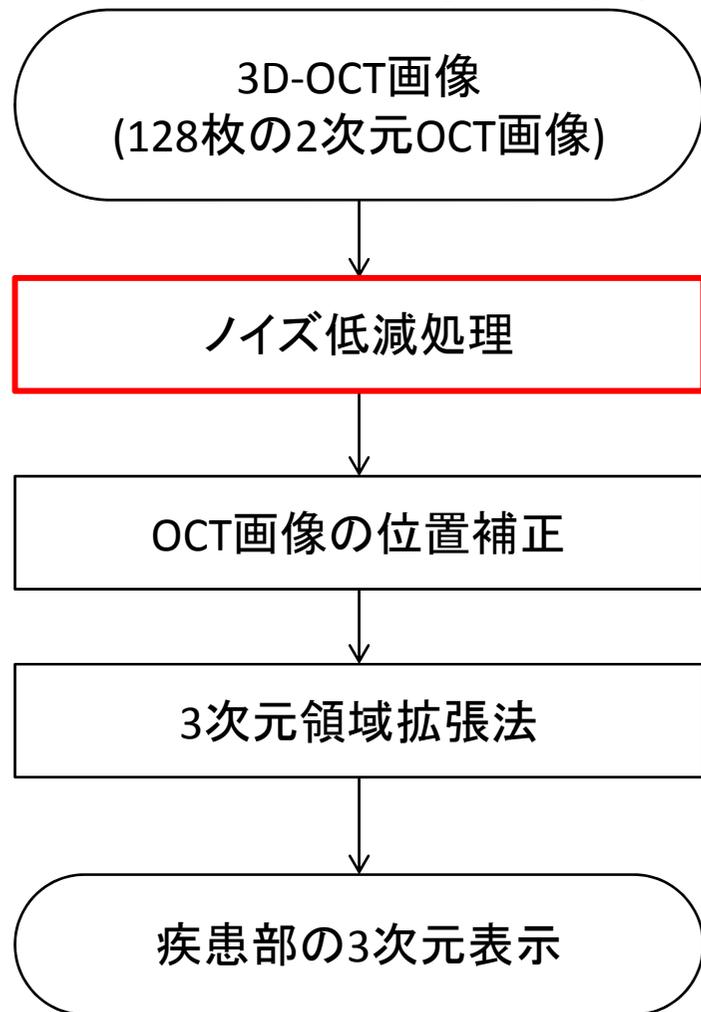
目的

3D-OCT画像から疾患部を自動抽出する.

提案手法の処理手順

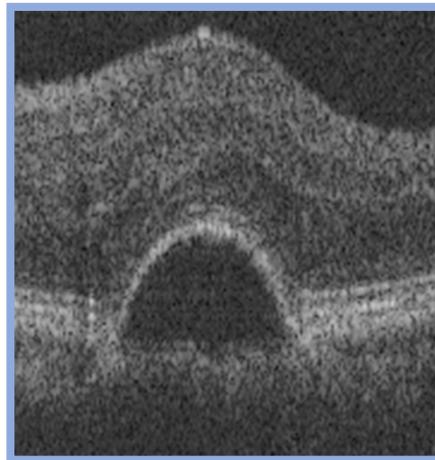


ノイズ低減処理

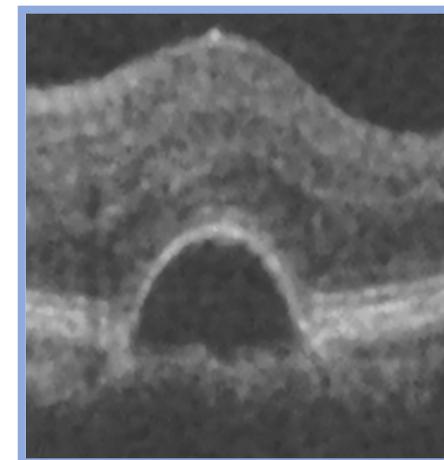


▪ OCT画像特有的のごま塩雑音(スペックルノイズ)

5 × 5[pixels]のメディアンフィルタで低減

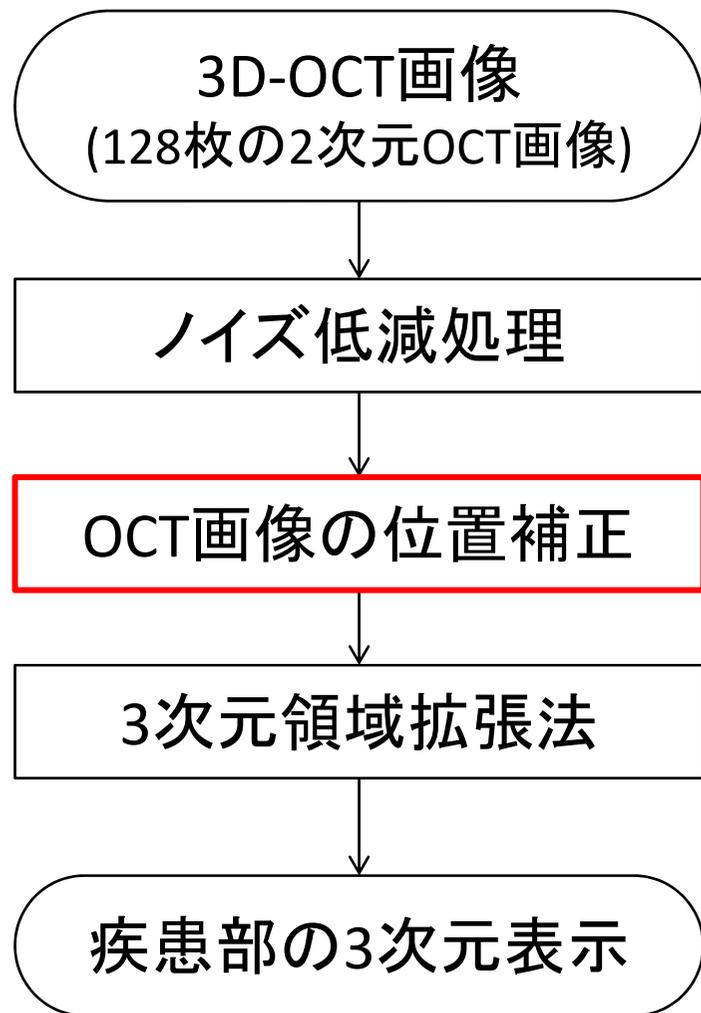


原画像

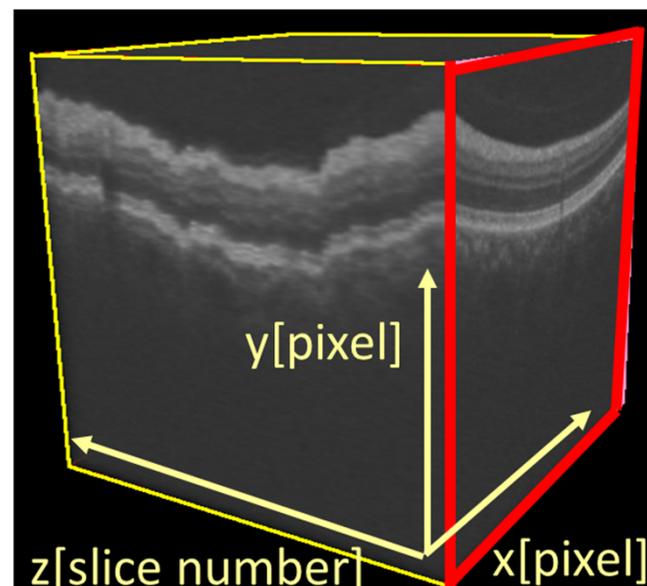


フィルタ適用後
画像

OCT画像の位置補正

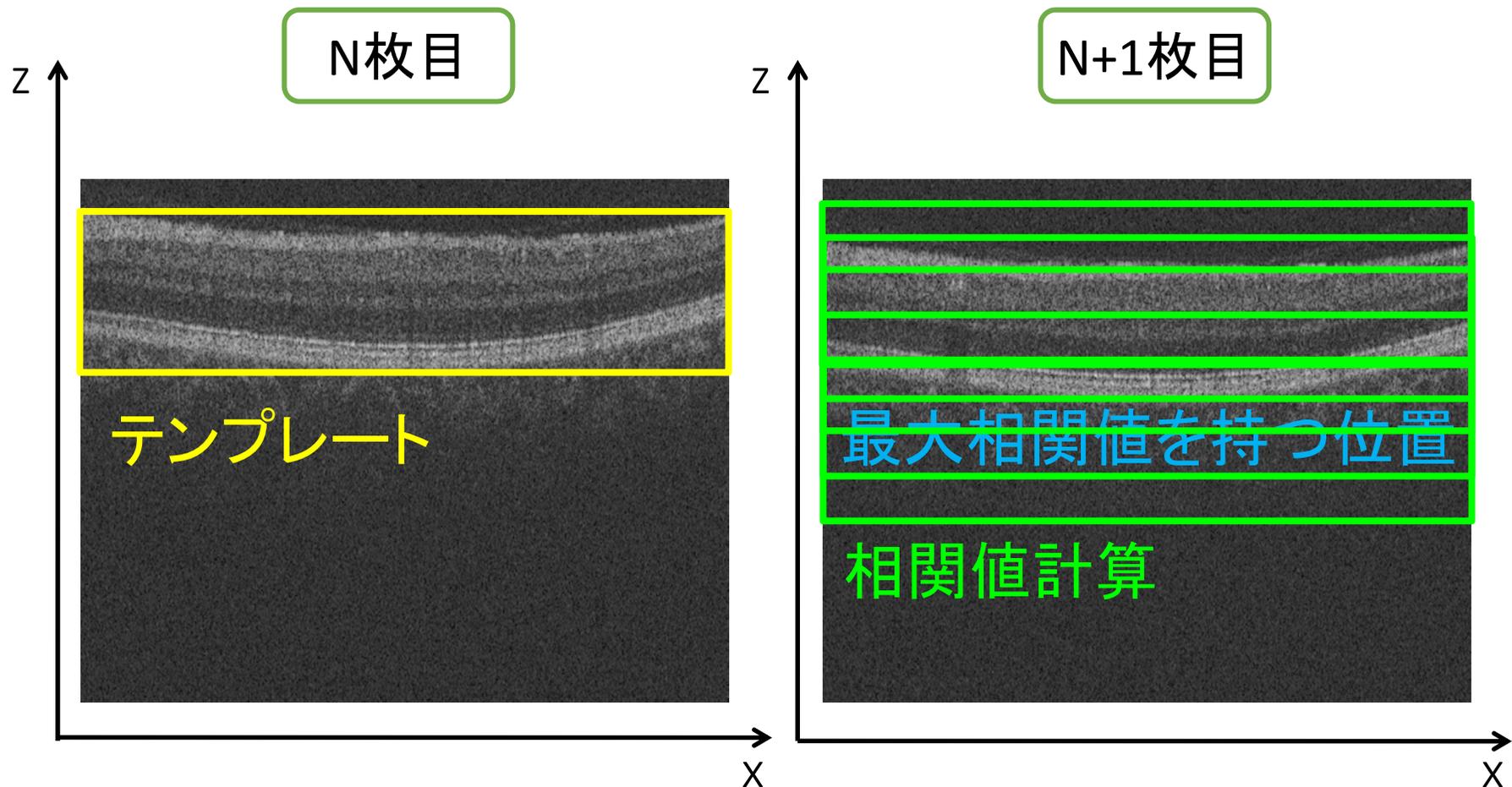


- ・撮影の間, 眼球は意思に反して絶えず揺れ動いている(固視微動).
→3次元処理の障害になる.

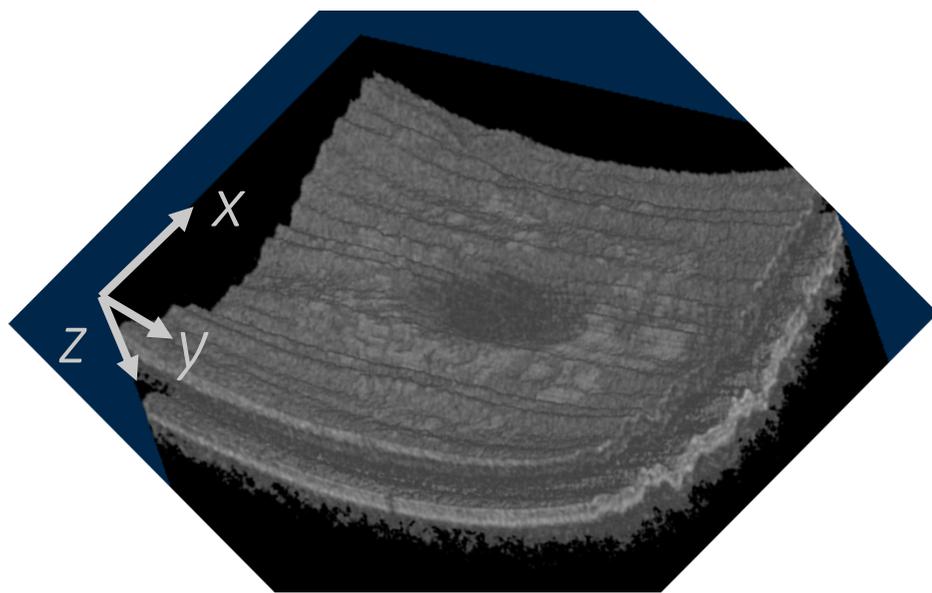


OCT画像の位置補正 - 類似位置探索 -

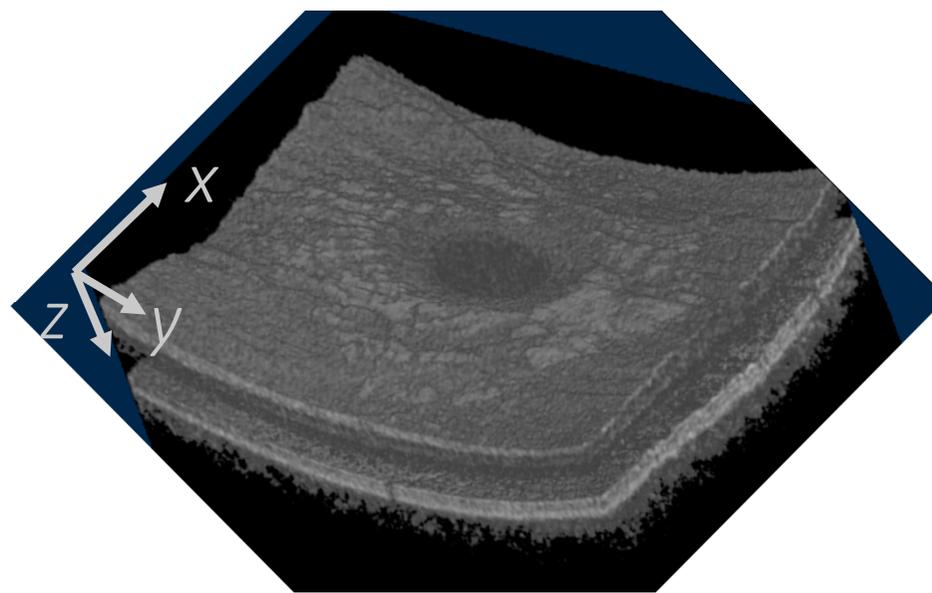
- n枚目テンプレートと最大の相関値を持つ位置を探索する.
- n枚目テンプレートと最大相関値を持つ位置が同じになるよう, n+1枚目の画像を移動する.



位置補正の前後比較

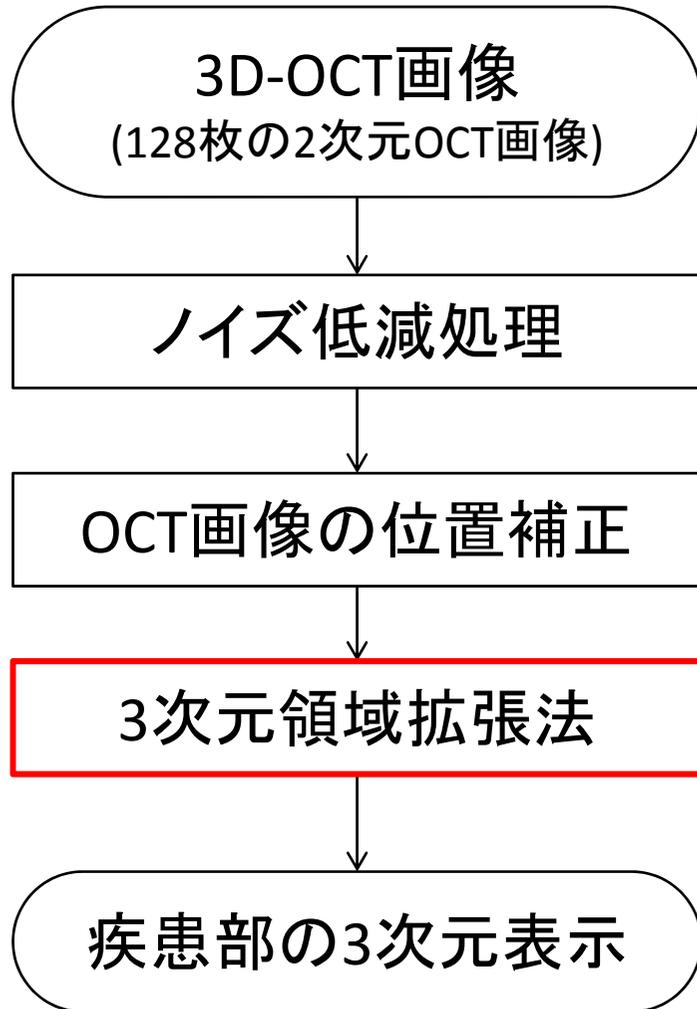


原画像



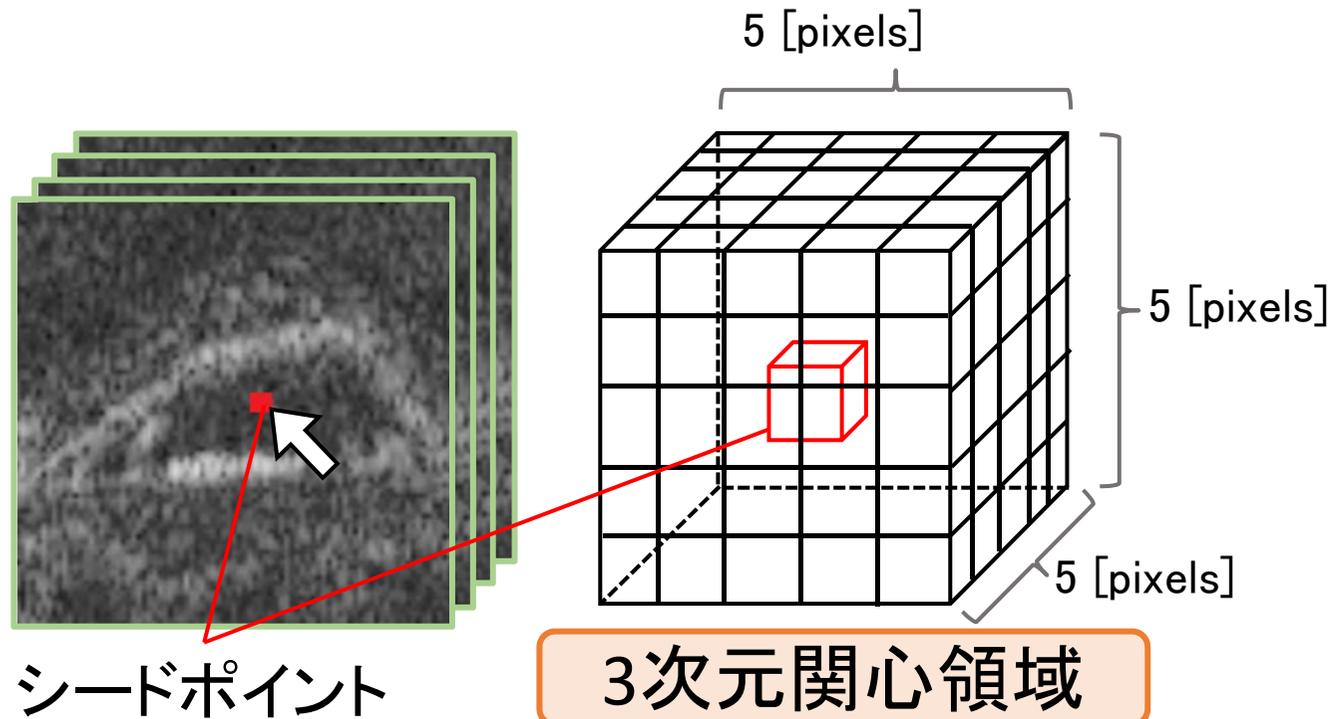
位置補正後の画像

3次元領域拡張法



3次元領域拡張 1/2

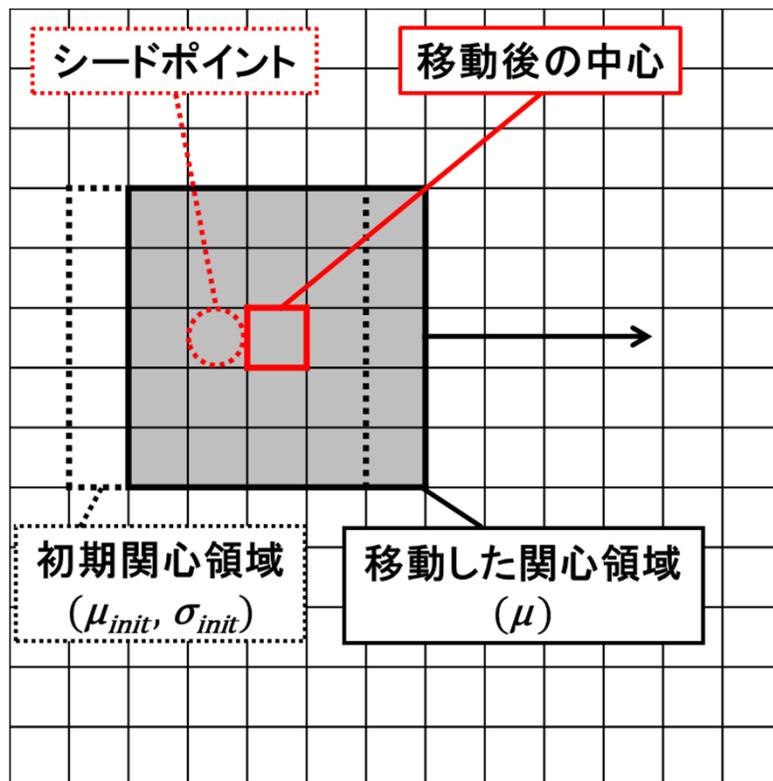
- [Step.1] ディスプレイに表示されたOCT画像上の疾患部の1点を手動で選択する.
- [Step.2] 三次元関心領域内の画素の平均値 μ_{init} と標準偏差 σ_{init} を求める.



3次元領域拡張 2/2

[Step.3] 三次元関心領域を移動させ，移動後の三次元関心領域内の画素値の平均値 μ を求める.

[Step.4] 移動後の平均値 μ が以下の条件を満たしていれば，関心領域内を疾患部とみなす.

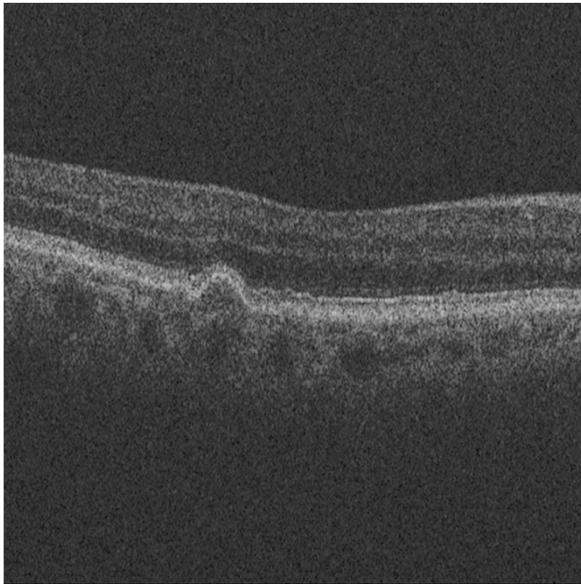


$$(\mu_{init} - a\sigma_{init}) < \mu < (\mu_{init} + a\sigma_{init})$$

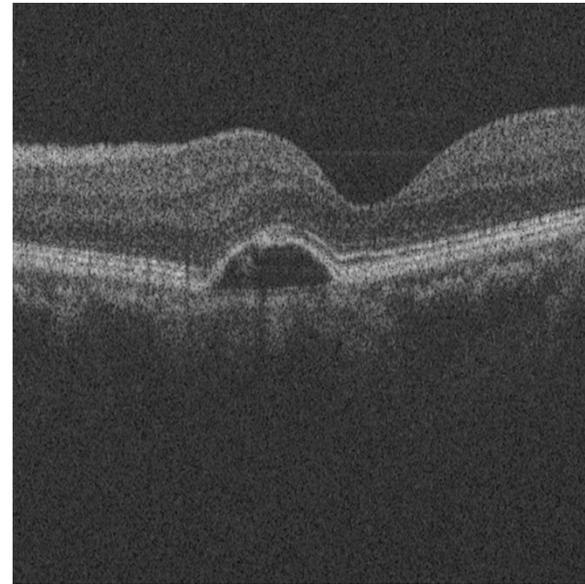
a は定数

評価実験

- 加齢黄斑変性とその前駆病変であるドルーゼン
合計5症例を対象に評価実験を行った。
 - ドルーゼン: 3症例
 - 加齢黄斑変性: 2症例

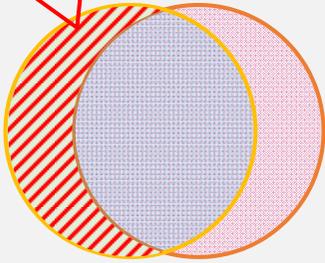
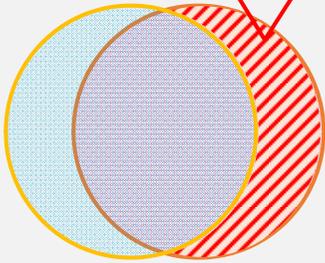
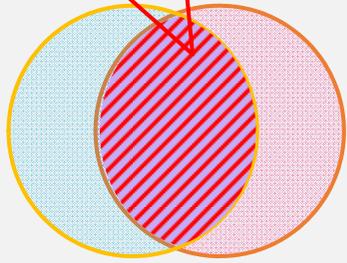


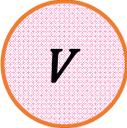
ドルーゼン



加齢黄斑変性

評価指標

未抽出率	誤抽出率	抽出精度
$\frac{ V_{true} \cap \bar{V} }{ V_{true} }$ 	$\frac{ \overline{V_{true}} \cap V }{ V_{true} }$ 	$\frac{2 \times V_{true} \cap V }{ V_{true} + V }$ 

-  V_{true} : 手動により抽出された領域(正解)
-  V : 自動抽出された領域

評価実験結果

抽出結果の比較 (%)

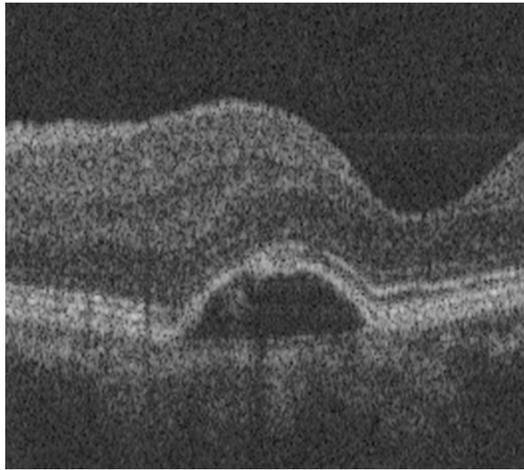
	未抽出率	誤抽出率	抽出精度
提案手法 (3次元領域拡張)	21.0	19.5	79.3
従来手法 (2次元領域拡張)	26.8	54.2	65.3

14%

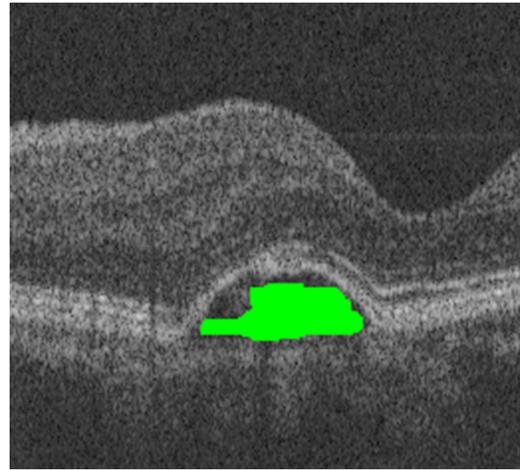
- 提案手法を用いることにより、抽出精度を14.0%向上させることができた。

抽出結果例 1

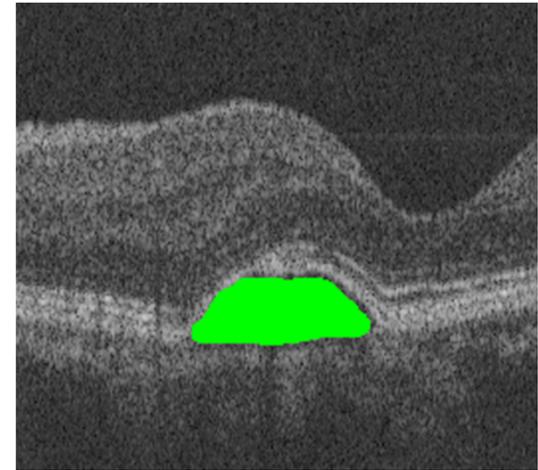
- 加齡黃斑變性



原画像



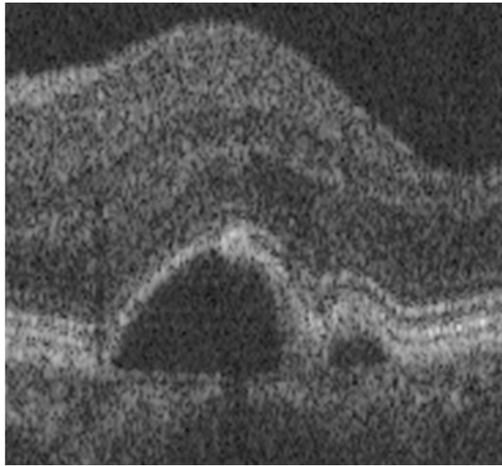
従来手法



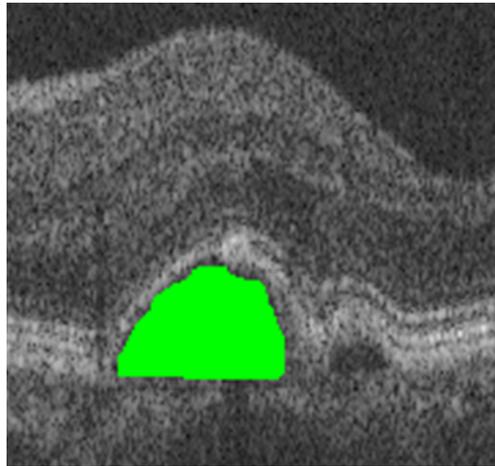
提案手法

抽出結果例 2

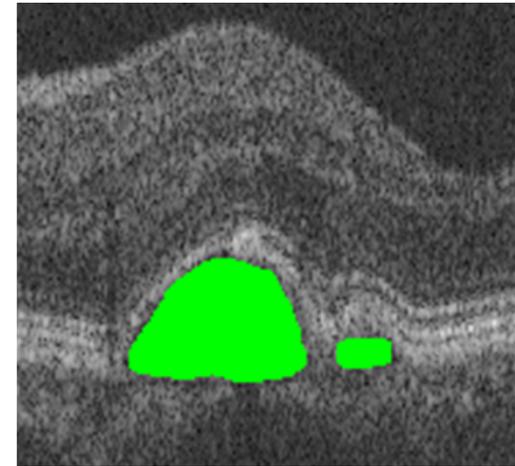
- 加齡黃斑變性



原画像

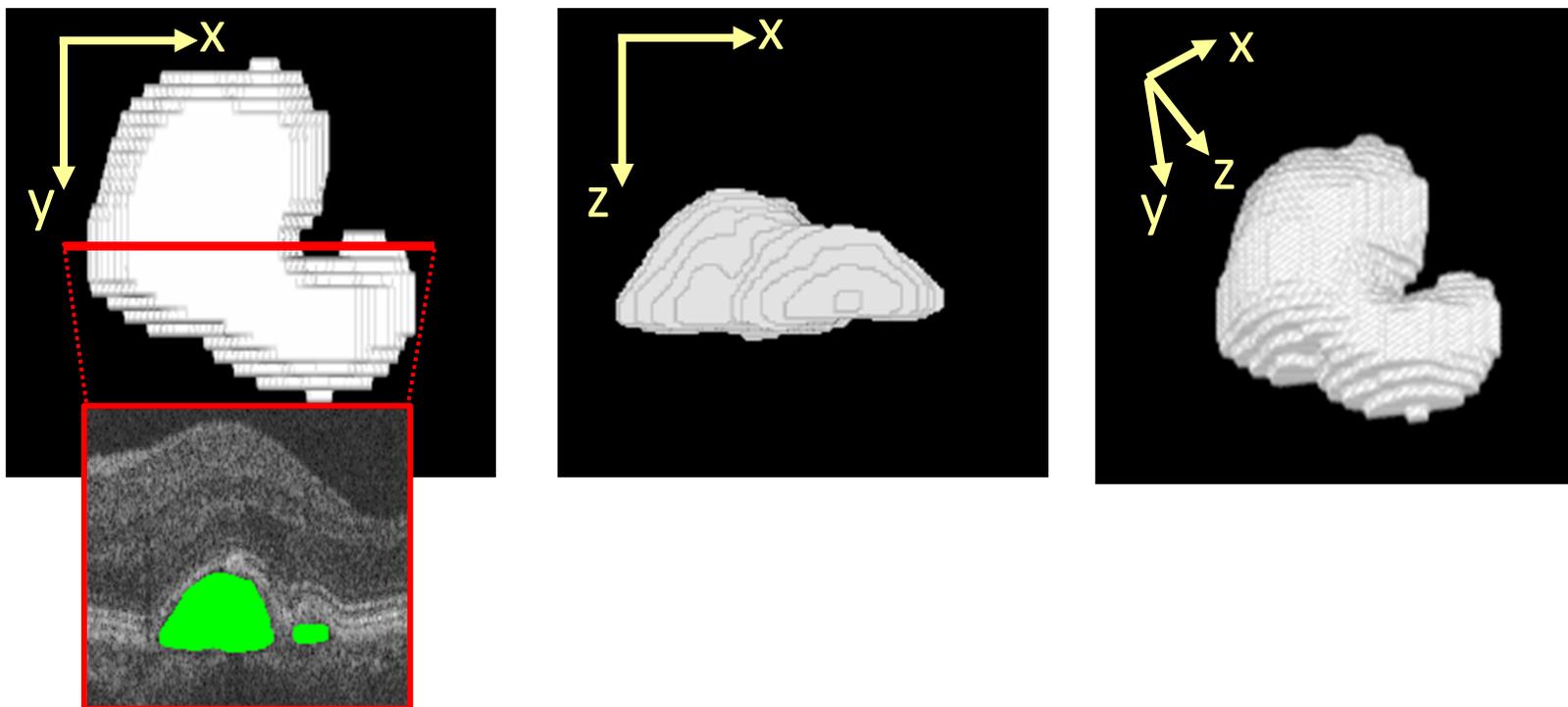


従来手法



提案手法

疾患部の3次元表示



- 3次元表示により疾患部の複雑な形状を容易に把握できるようになった.

考察

提案手法を用いた場合疾患別の評価結果(%)

	未抽出率	誤抽出率	抽出精度
ドルーゼン #1	23.8	28.1	74.6
ドルーゼン #2	41.6	30.8	61.7
ドルーゼン #3	23.7	11.5	81.6
加齢黄斑変性 #1	8.1	11.4	90.4
加齢黄斑変性 #2	7.7	15.5	88.8
平均	21.0	19.5	79.3

3 疾患部分の境界面の抽出のまとめ

- 提案手法
 - 3次元領域拡張法による網膜OCT画像からの疾患部の自動抽出
- 結果
 - 評価実験の結果, 79.3 %の精度で抽出することができた.
 - 3次元表示により複雑な疾患形状を立体的に観察することを可能にした.
- 今後
 - 抽出精度の向上.
 - 本手法の有用性をより明らかにするため, 今回用いた以外の疾病を含む, さらに多くのOCT画像に対して評価実験を行う.

4. まとめ

3次元画像を使用した2種類の境界面の抽出アルゴリズムを試作し、評価実験を行った。

< 網膜を構成する層構造の境界面の抽出 >

< 疾患部分の境界面の抽出し、形状と容積を計測 >

○今後の課題

- (1) 層構造の境界面の抽出精度を向上させるために、**網膜の各階層における3次元光反射・透過特性**を取り入れた境界面の抽出方法の構築。
- (2) 疾患部分の境界面の抽出精度を向上させるために、**疾患組織の変化特性**を取り入れた境界面の抽出方法の構築。