

帰納学習を用いた緑内障診断支援システムの作成*

6N-6

古渡 大輔[†] 大和田 勇人[†] 溝口 文雄[†] 白土 城照[‡]

[†]東京理科大学 理工学部

[‡]東京大学医学部眼科学教室

1 はじめに

緑内障は眼圧の上昇が原因で視神経乳頭を障害する眼疾患である。中でも開放隅角緑内障は自覚症状を伴わずに進行するため、早期発見の対策が急務である。眼圧測定では発見されないこともしばしばであり、このため、眼底画像から緑内障を決定づける情報を取り出して提供することは、医師の診断に大きく貢献する。また、眼底画像の計算機による自動処理の研究は従来から行われてきたが、視神経乳頭と網膜神経線維のどちらか一方だけを分析するものがほとんどで、両者を総合的に解釈したシステムは未だに作られていないのが現状である。

そこで、本システムではより正確な診断が行えるように、視神経乳頭（以下、乳頭と書く）と網膜神経線維の両側面から医師に情報を提供する。その際、帰納学習 [1] による診断データ間の関係獲得、視神経乳頭の形を抜き出すための画像処理、数式処理システム Mathematica による濃度グラフ表示や 3D グラフィックス表示等の各処理を統合し、乳頭形状と濃度の変化を出力することで医師の診断を支援する。

2 設計方針

本システムは、以下の方針によって作成する。

- 乳頭と網膜神経線維の2側面から診断を支援する。
- 乳頭形状と網膜神経線維の濃度変化をユーザに提供する。
- 乳頭のリム幅を測定し、微妙な変化を捉えられるようにする。
- 乳頭、網膜神経線維の異常と視野の異常との関係を組み込む。
- 濃度を利用した視覚的な情報を表示する。

これらの実現のためには、画像処理、帰納学習、濃度グラフや 3D グラフィックスによる視覚的な表示等、各種処理の統合が不可欠である。

3 システム構成

以下に本システムの構成を示す。本システムでは、まず、Nikon

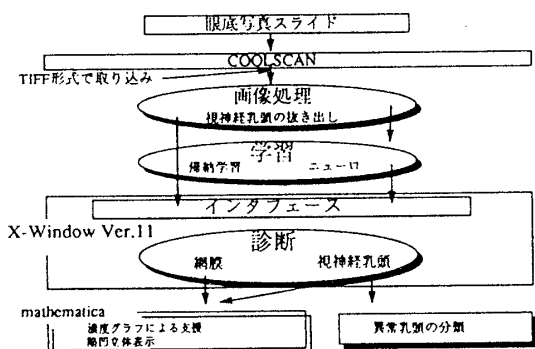


図 1: システム構成

スライドスキャナー COOLSCAN を用いて眼底スライド画像を入力し、視神経乳頭陥凹を抜き出すために画像処理を行う。そして、眼科医の診断データの学習を行い、学習結果をシステムに組み込んで抜き出した画像を診断する。これらはすべて、ワークステーション上でC言語を用いて作成し、特に診断部はX-Window(Ver.11)ツールキットを用いて、ユーザが画像を認識できるようにインタフェースを作成した。

4 画像処理による視神経乳頭の抜き出し

眼科医は、緑内障を診断する際、まず視神経乳頭を診ることで障害の状況を判断する。具体的には、乳頭の形、色を診ることになる。図2に正常な視神経乳頭と緑内障性視神経乳頭を示す。

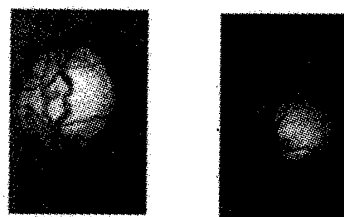


図 2: 正常な視神経乳頭（左）と緑内障性視神経乳頭（右）

本システムでは、診断の指標として乳頭の形状から乳頭輪郭（外側）と陥凹輪郭（内側）の間の長さ（リム幅）を求める。よって、画像から乳頭陥凹を正確に抜き出さねばならない。ここでは、そのための処理として、コントラスト強調と自動閾値処理を行う。画像には白黒 256 階調濃淡画像を用い、ノイズ処理には随時メディアンフィルタを使用する。

4.1 線形濃度変換

眼底画像は常に同じ条件で撮影されるわけではない。このような画像から安定して陥凹部分を抜き出すために、ある濃度に集中している画素を、利用できる濃度範囲全体に広げて見たい部分だけを強調する線形濃度変換を利用する。抜き出す対象が含まれる濃度の範囲が判れば、その部分以外は一定の濃度に集めてしまい、より広い濃度範囲で対象を明確にすることができる。

4.2 自動閾値処理

視神経乳頭の形を的確に捉えるためには、試行錯誤的に閾値を選択していたのでは、安定した2値画像を得ることができない。よって、本研究では自動的に閾値を決定する大津の方法 [2] を利用する。大津の方法はクラス分離度を最大にするという判別分析の基準を用いた方法である。ヒストグラムが多峰な場合はその山の谷を閾値として選ぶように働き、多峰でない場合も自動的に閾値を決定することができる。

*Making of the glaucoma diagnosis support system using inductive learning

[†]DaisukeKOWATARI,HayatoOHWADA,Fumio MIZOGUCHI, Faculty of Sci. and Tech., Science University of Tokyo

[‡]SiroteruSIRATO, Department of Ophthalmology, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo

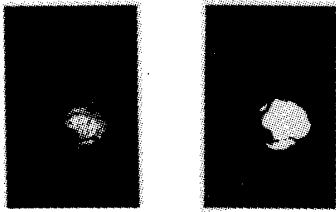


図3: 線形濃度変換を施した画像(左)と閾値処理画像(右)

5 帰納学習による診断データ間関係の獲得

視神経乳頭と網膜神経線維の障害は、視野の異常に密接な関係がある。本研究では、この関係を帰納学習を利用して獲得することを試みた[3]。帰納学習は、背景知識 K 、正事例 ϵ^+ 、負事例 ϵ^- が与えられたとき、 $K \cup H \vdash \epsilon^+$ であり、 $K \cup H \not\vdash \epsilon^-$ であるような仮説 H を求めることである。この枠組みを利用した学習システムに S.Muggleton と Feng によって作られた GOLEM[1] がある。GOLEM は RLGG (least general hypothesis を求めるもの) と呼ばれる演算と Greedy アルゴリズムの戦略を用いて、与えられた事例から一般化規則を導出するシステムである。

ここでは、東大病院眼科の協力によって得られたデータ 22 例を、GOLEM に実際に学習させて獲得した診断データ間の関係規則を示す。入力データとしては、以下の項目を取り上げた。これらは緑内障に見られる代表的な障害であり、眼科ではこれらの障害の特徴を重視して診断を行っている。視野の欠損は、ハンフリー視野計で測定したものを利用している。

- soucer(皿状陥凹拡大)
- notch(切痕)
- nfld(網膜神経線維層欠損)
- dh(乳頭辺縁の出血)
- vfd(視野の欠損)

正事例としては vfd を与え、背景知識としてそれぞれの属性すべてを与えている。獲得されたルールは以下のようである。

```

vfd(A,c):- nfld(A,b).
vfd(A,b):- nfld(A,c).
vfd(A,c):- notch(A,b).
vfd(A,d):- soucer(A,a).
vfd(A,b):- soucer(A,c).
vfd(A,b):- soucer(A,d),notch(A,B).
    
```

a, b, \dots 等の記号は、視野と視神経乳頭及び網膜を Wirdshafter の分割に基づいて 5 分割し割り当てたものである。大文字は任意の人物を示し、小文字は分割したエリアを示す。例えば、一番上の規則は A という人の b のエリアに網膜神経線維層欠損がある時、c のエリアに視野の異常があることを意味している。眼

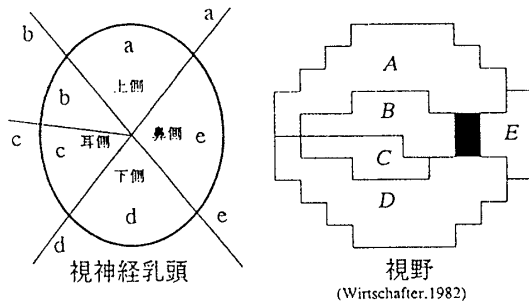


図4: 視神経乳頭と視野の分割

科医の設定した基準をもとに、画像から測定したリム幅のデータの正常、異常を判断した後、この規則によって視野の異常の予測をすることができる。

6 システムの実行

本システムでは、網膜に対しては神経線維の流れを考慮した円形カットを行い、乳頭に対しては上から 45° ずつ 5 分割して、そのライン上の濃度をグラフ化できる。また、任意の場所の濃度も取ることができ、濃度をもとに Mathematica を利用して 3D グラフィックス表示も行える。さらに、より正確な陥凹のエッジを得るために、自動閾値処理を行って抜き出した陥凹の画像に加え、その前後の閾値で処理した画像からもエッジを抜き出せるようにし、より適切な閾値で処理した画像をユーザーが選択できるようにしている。そして、角度を連続的に 0° から 180° まで変化させてリム幅を測定し、医師の設定した診断基準と帰納学習の結果を利用して乳頭形状の正常、異常の判断を行う。実行中の画面を図5に示す。

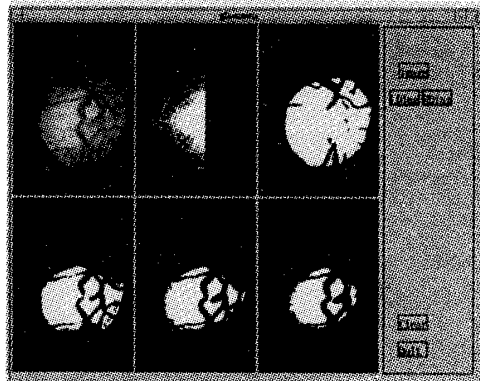


図5: 角度の連続変化による診断

このシステムでは乳頭リムを 1° ずつ診ていくので、リムの微妙な変化を捉えることができる。ただし、生来、乳頭リムが薄くても正常な視野を保っている人がいるため、リムの幅だけで正常か異常かの判断を下すのは危険である。これを補足する方法としては、ある程度の角度の幅を持たせた面的な判断が考えられる。特に緑内障は部分的に視神経の欠損が進行している可能性が高く、正常眼と区別するために、ただ“幅が狭い”というだけでなく、障害が“局部的である”と判断できることは重要である。本システムの 1° ずつの線的な診断に対して、幅のある面で乳頭リムの各部分の差を判断させる機能を加えることは比較的容易に達成されると思われる。

7 まとめ

本研究では、視神経乳頭と網膜神経線維の2つの側面から眼底画像を分析し、緑内障を発見することを目的としてシステムを作成した。画像処理、帰納学習、3D グラフィックス表示等を統合することで診断の支援につながる情報を得ることができた。今後は、現システムの線的な判断を面的に拡張することに加え、乳頭リム幅の測定と同じ角度における色の局所的な変化と血管の影響を除いた網膜の濃度変化を考慮し、より精度の高い診断情報の提供へとつなげていきたい。

参考文献

- [1] S.Muggleton: Inductive Logic Programming, New Generation Computing Vol.8, 1991
- [2] SPIDER 作業グループ: 画像処理サブルーチンパッケージ SPIDER USER'S MANUAL, 工業技術院, 1982. 12
- [3] 溝口, 大和田, 古渡, 白土: 帰納学習を用いた医学知識の獲得と分類, 第 47 回情報処理学会全国大会, 1993. 10