

重み付きメンバーシップ関数による CT 画像診断

堀 義巳*1 有田清三郎*2 細田 超*3

要 約

CT 画像診断の各観察項目の所見評価や診断過程は検者の主観に大きく左右されファジィ性が存在する。今回、我々は頭頸部癌の頸部リンパ節転移の造影 CT 画像診断にウエイト付き出力メンバーシップ関数を採用したファジィ理論で画像診断支援システムを作成した。これを症例で検証したところ非常に良い結果が得られたので報告する。

はじめに

医療現場において、CT 画像診断は大きな役割を果たすが、その診断は医師の経験と主観的な判断に依存し、同一の基準によって評価しても検者により評価結果にばらつきが見られる。コンピュータによる CT 画像診断支援システムの開発により明確な診断プロセスを確立する必要がある。そこで、我々は CT 画像診断の診断ロジックに有田¹⁾が考案したウエイト付き出力メンバーシップ関数によるファジィ理論を用いた診断支援システムを構築した。

ファジィ理論による画像診断プロセス

超音波像をはじめ、CT、MRI などの医療画像は、検査データ等の医療情報とは別の認識しやすい豊かで有用な情報を我々に提供してくれる^{2,3)}。これらの画像診断は [図 1] に示すような診断プロセスとなる。

1. 観察項目

癌診断のひとつとして、頭頸部癌の頸部リンパ節転移の画像診断に注目した。対象としたのは頭頸部扁平上皮癌症例で、術前に頸部造影 CT 検査を施行し、術後病理組織学的にリンパ節転移の有無が確定したもので、その部位、大きさが手術所見と一致した症例を用いた。対象となるリンパ節の頸部造影 CT 画像上の観察項目を [表 1] の 6 項目に設定した。

表 1 CT 画像診断で使用する観察項目

| 観察項目 | 内 容 |
|------------------------------|---|
| リンパ節辺縁の Ring enhancement | リンパ節辺縁増強効果の有無 |
| リンパ節内の Low density area | リンパ節内部の壊死性変化を示唆する density の低い部分の有無およびその程度 |
| リンパ節の内部性状 (Internal density) | リンパ節内部の均一性の有無 |
| リンパ節の大きさ (Size) | 大(短径 15mm ≤), 中(10~14mm ≤), 小(9mm ≤) |
| リンパ節の形状 (Shape) | リンパ節の形が整円、類円、歪みの程度 |
| リンパ節の辺縁 (Margin) | 辺縁平滑から辺縁不整までの程度 |

2. 入力部門

(1) 各観察項目での所見評価

あたえられた頸部リンパ節の造影 CT 画像において各観察項目の所見を 0 から 1 までの直線上に、適当と思われる点に印をつけて入力する。[図 3]

(2) 前件部のメンバーシップ関数

Ring enhancement では (不明瞭, やや明瞭, 明瞭) の 3 ラベル, Low density area (不明瞭, やや明瞭, 明瞭) の 3 ラベル, Internal density (均一, やや均一, 不均一) の 3 ラベル, Size (小, 中, 大) の 3 ラベル, Shape (整円, 類円, 歪み) の 3 ラベル, Margin (平滑, ほぼ平滑, 不整) の 3 ラベル。これらのラベルを次のような表示記号で示す。

S : Small

M : Medium

L : Large

またこれらのラベルに対応するメンバーシップ関数を作成する [図 2]。これを所見評価における入力メンバーシップ関数と呼ぶ。

3. 推論部門

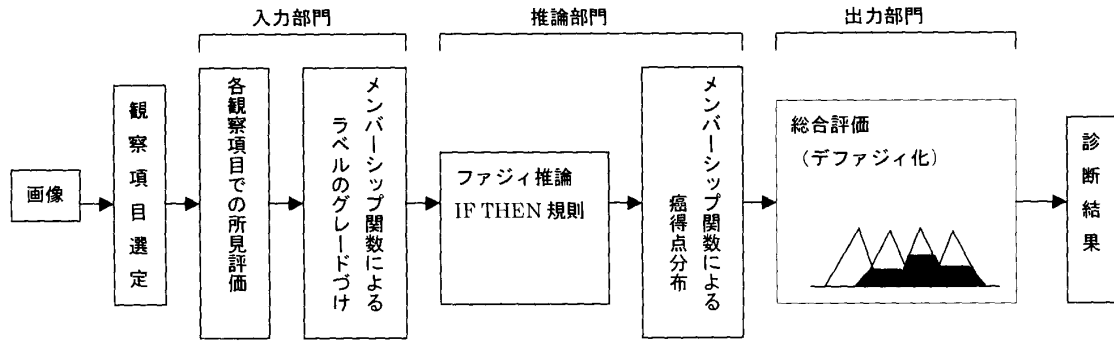
(1) 後件部のメンバーシップ関数

観察項目による診断のための重みを表すメンバー

*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 医療情報学科 *2 関西医科大学 医学部 数学教室

*3 川崎医科大学 医学部 口腔外科学教室

(連絡先) 堀 義巳 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学



頭部リンパ節転移の造影 CT 画像診断

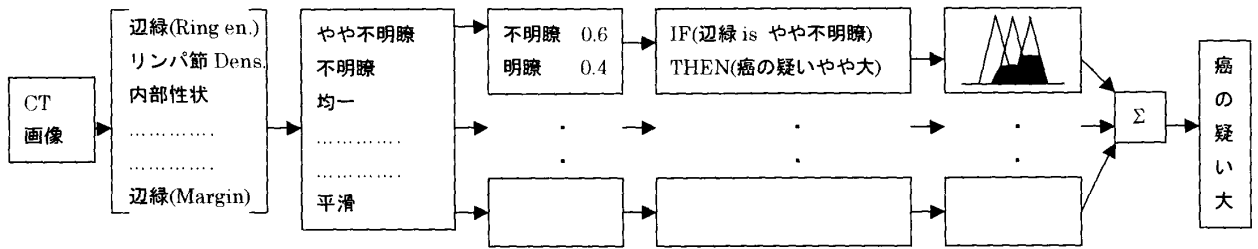


図1 ファジィ理論による画像診断プロセス

シップ関数を出力メンバーシップ関数と呼ぶ。この出力メンバーシップ関数は入力メンバーシップ関数のカテゴリに対応して作られる。出力メンバーシップ関数の各カテゴリを (PS, PM, PL) と設定する。

PS : Positive Small

PM : Positive Medium

PL : Positive Large

出力メンバーシップ関数は、中心、幅、高さをもった二等辺三角形で設定した。

(2) ファジィ推論 (IF THEN 規則)

各項目について、入力データを X_i (S, M, L) とし、診断結果を Y_i (PS, PM, PL) とし、ファジィ関係を IF-THEN ルールで表すと、次のようになる。

IF X_i is S THEN Y_i is PS.

IF X_i is M THEN Y_i is PM.

IF X_i is L THEN Y_i is PL.

X_i は観察項目の所見評価で、 Y_i は診断に対する重みである。

る観察項目の所見評価をファジィスケール上の0.7の位置に入力した場合、各カテゴリの入力メンバーシップ関数の交点を見て、「大」の度合いが0.4、「中」の度合いが0.6、「小」が0.0と表される。

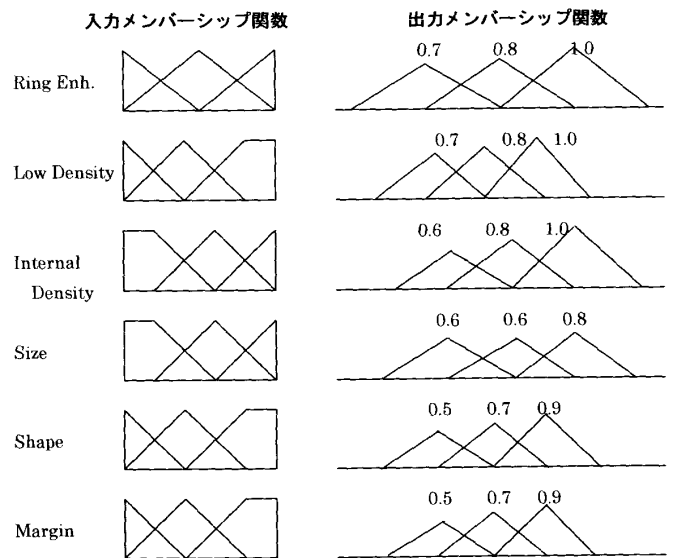


図2 CT 画像診断の重み付きメンバーシップ関数

4. 出力部門

n 個の観察項目を持ち所見評価が (X_1, X_2, \dots, X_n) と示されたとき、所見評価 (X_i) ごとに生成された重み付き出力メンバーシップ関数の n 個の MAX 集合をとる。この出力メンバーシップ関数の MAX 集合の重心を癌得点 Y とする。

本システムの診断ロジックで使用する 6 つの観察項目の入力メンバーシップ関数と重み付き出力メンバーシップ関数を [図 2] に示す。

[図 3] に入力部門と出力部門の関係を示す。あ

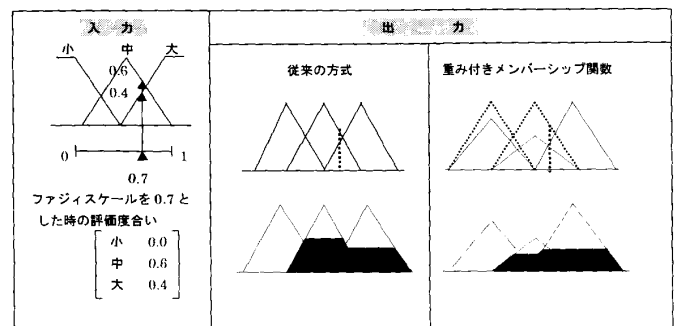


図3 入力、出力メンバーシップ関数の関係

表2 リンパ節転移に対する診断成績 (%)

| | 感度(Sensitivity) | | 特異性(Specificity) | | 正診率(Accuracy) | |
|------|-----------------|--------|------------------|--------|---------------|--------|
| | 経験診断 | ファジィ診断 | 経験診断 | ファジィ診断 | 経験診断 | ファジィ診断 |
| 検者 1 | 77.5 | 90.0 | 70.3 | 92.6 | 74.6 | 91.0 |
| 検者 2 | 82.5 | 92.5 | 92.6 | 88.9 | 77.6 | 91.0 |
| 検者 3 | 85.0 | 92.5 | 66.7 | 85.2 | 77.6 | 89.6 |

重み（高さ）がすべて1.0の従来の方式⁴⁾と、それぞれのカテゴリーに重み付けをするメンバーシップ関数では、ファジィ推論結果に違いが見られる。

5. 診断結果

診断は、出力部門で求めら得た癌得点 Y をあらかじめ認定された判定限界値 S1, S2 ($S1 < a < S2$) により $Y > S2$ ならば癌, $Y < S1$ ならば良性, $S1 \leq Y \leq S2$ ならば判定不明 (Fuzzy Zone) とする。

重み付きメンバーシップ関数

今回、出力メンバーシップ関数の各カテゴリーごとの三角形に高さのパラメータを加え、観察項目内のカテゴリーに有田が考案した寄与率を与える重み付きの出力メンバーシップ関数¹⁾を用いた。

この方式を診断結果が正常か病気かを判定する為の簡単な例で示す。ある項目の出力メンバーシップ関数の重み W_{ij} を $0 \leq W_{ij} \leq 1$ で与える。ある項目の入力メンバーシップ関数が (Small, Medium, Large) の3つである時、出力メンバーシップ関数も対応する3つのカテゴリーを持つ。Type 2: カテゴリー 'Large' が病気を強く示唆し、他のカテゴリー ('Medium', 'Small') がほとんど病気に影響ない場合は (0.5, 0.5, 1.0) の重みを出力メンバーシップ関数につける。Type 3: カテゴリー 'Small' が正常を示し、他はほとんど正常か病気かに影響しない場合は (1.0, 0.5, 0.5) の重みを出力メンバーシップ関数に与える。Type 4: 'Medium' が病気を示唆せず 'Small' が正常を、'Large' が病気を示唆する時は (1.0, 0.5, 1.0) の重みを出力メンバーシップ関数に与える。これらのケースを [図4] に示す。

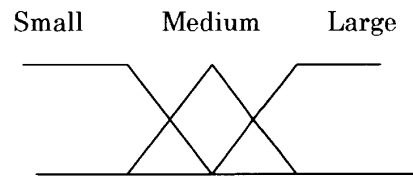
Type 1: は従来の出力メンバーシップ関数で全てのカテゴリーの重みは1.0として処理される。

CT 画像診断支援システム

本システムは、Web 上で実行可能とするため Java アプレットによる開発とした。Web サーバーとして Internet Information Server を使用し、診断する患者のデータはデータベース (Microsoft SQL Server) に保存するアプリケーションとして構築した。[図5] の実行画面に表示された CT 画像を見

て、各観察項目ごとに所見評価を 0 から 1 の間の連続データとして入力する。全ての観察項目の所見を入力した後にファジィ解析が実行され、ファジィ診断結果が画面に表示される。

Input



Output

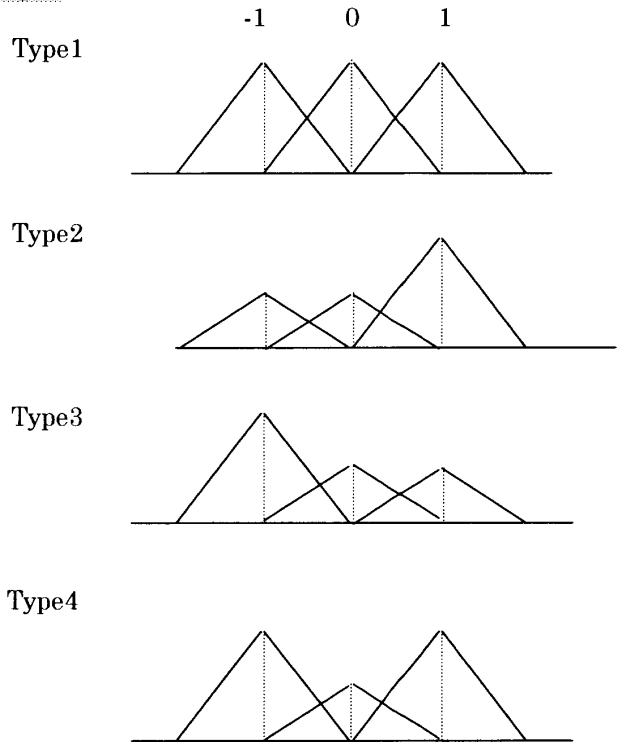


図4 重み付きメンバーシップ関数

ファジィ診断結果

リンパ節の CT 画像67例を用いて、臨床経験年数の異なる 3 名の検者が読影した結果を経験診断とし、この読影結果と、開発した CT 画像診断支援システムによるファジィ診断結果との比較を行った。

この結果を [表2] に示す。3 名の検者が経験診断で行った診断成績では、正診率では約75%と、検者ごとにほとんど差がなかったものの、感度では 77.5%から 85.0%、特異性では 66.7%から 92.6%と検者ごとの診断にばらつきがみられた。これは経験診

CT Scan Diagnosis of Cervical Lymph Node Metastasis

ID: NAME: SEX: BIRTHDAY:

DOCTOR:

Ring Enh.

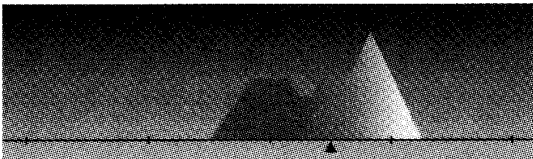

Low Density

Internal

Size

Shape

Margin

Next Previous First Insert Delete Save Undo Analyse

Go to >>

RECORD-NO. 0-4

図5 CT画像診断画面

断が検者の主観に左右されやすく不安定であるためと思われる。一方、CT画像診断支援システムによるファジィ診断では、感度(90.0%~92.5%)、特異性(85.2%~92.6%)、正診率(89.6%~91.0%)となり、経験年数の異なる3名の検者でも診断に差のない安定した結果を得ることができた。検者2 - 特異性に見られるように、特異な症例においては本診断支援システムより経験豊富な医師の診断が上回ることを示している。

考 察

ファジィ診断ロジックを用いたCT画像診断支援

システムの診断成績は、3名の経験診断にばらつきが見られるのに比べ安定した結果を示した。旧システム⁴⁾ではリンパ節転移の偽陰性は、転移陽性の症例を陰性と診断するなど転移の見落としとなり、臨床上問題となっていた。これらの偽陰性症例を正しく診断するために、各項目の出力メンバーシップ関数に高さによる重み付けをする診断支援システムを構築した。重み付きメンバーシップ関数はそれぞれの観察項目のカテゴリーに診断への寄与率を設定することが可能で、特徴所見に乏しい転移リンパ節や、非転移リンパ節に対する診断結果に対しても診断精度の向上が見られた。今後、症例を増やして本システムの検証を続けていきたい。

文 献

- 1) Seizaburo ARITA, Yoshimi HORI, Hiroshi HIROTA, Masaharu MIZUMOTO, Yoshio MANIWA, Satoru SAKAGUTI, Hiroshi TAMURA, Zhenfeng LI and Ryuji NAGASAWA (1997) Fuzzy Logic for the Diagnosis of Surgical Site Infection by the Weighted Membership Functions, BIOMEDICAL FUZZY AND HUMAN SCIENCES, **3**(1), 97-102.
- 2) 堀 義巳, 有田清三郎 (1993) ファジィ理論を応用した診断支援システム. 川崎医療福祉学会誌, **3**(2), 119-127.
- 3) 有田清三郎 (1992), メディカル・ファジィのはなし, 日刊工業新聞社
- 4) 細田 超, 片山佳之, 有田清三郎, 堀 義巳, 福田道男 (1995) CT画像による頸部リンパ節転移診断へのファジィ推論の応用. BIOMEDICAL FUZZY AND HUMAN SCIENCES, **1**(1), 49-56.

A Diagnostic Support System for CT Scans Using Weighted Membership Function

Yoshimi HORI, Seizaburo ARITA and Masaru HOSODA

(Accepted Dec. 12, 2000)

Key words : DIAGNOSTIC SYSTEM, FUZZY LOGIC, CT SCAN, WEIGHTED MEMBERSHIP FUNCTION

Abstract

Diagnosis with medical imaging such as CT scans essentially contains fuzziness because assessment of the findings by the examiner is subjective. The authors have developed a computer diagnostic support system using fuzzy logic with weighted membership functions for output. This allows objective assessment of cervical lymph node metastasis in head and neck cancer. The application of this system in conjunction with clinical data yields good results.

Correspondence to : Yoshimi HORI

Department of Medical Informatics, Faculty of Medical Professions
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki 701-0193, Japan
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.10, No.2, 2000 313-317)