

日常の言葉で科学するファジィ 臨床検査ファジィシステムの可能性

九州工業大学大学院生命体工学研究科 特任教授・名誉教授
財団法人 ファジィシステム研究所 所長

山 川 烈
yamakawa@brain.kyutech.ac.jp



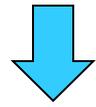
平成22年6月5日(土)9:00~16:00

北九州国際会議場 メインホール

ファジィシステム (Fuzzy Systems)

~~ファジー~~

fuzz (産毛, 綿毛)
柔らかいもの
境界のはっきりしないもの



fuzzy (輪郭・境界の不鮮明な,
あいまいな, ぼやけた)



fuzzify (輪郭をぼかす)  defuzzify (明確にする)

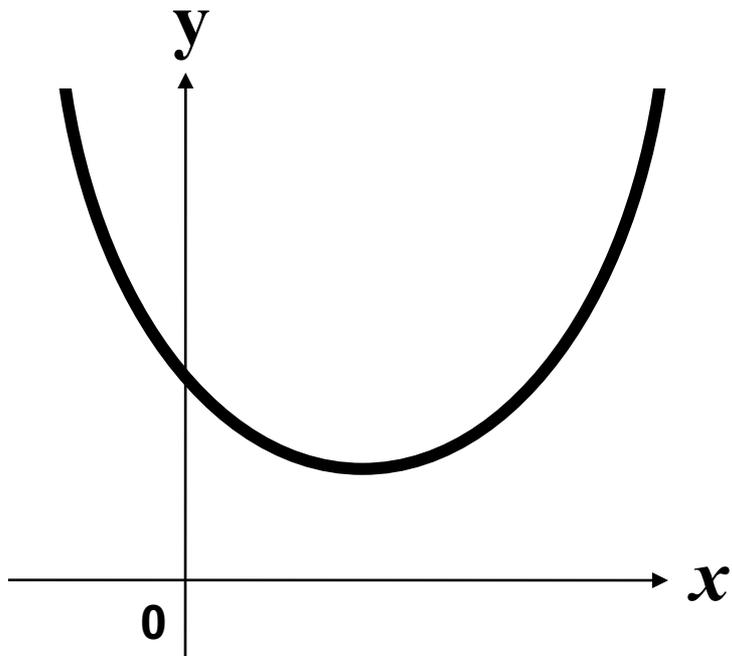
~~-phagy (= feeding on)
autophagy (自食)
-phage (= eat, destroy)
macrophage (大食細胞)~~

因果関係の表現方法



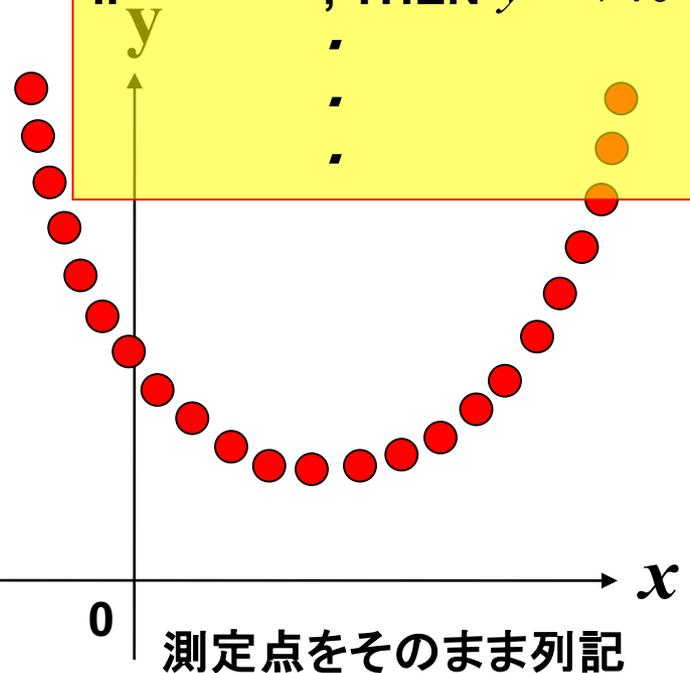
数式

$$y = f(x) = ax^2 + bx + c$$



IF-THENルール

IF $x = -12$, THEN $y = +65$
IF $x = -10$, THEN $y = +50$
IF $x = -8$, THEN $y = +40$



デジタルコンピュータとは？

人間の計算力をはるかに上回る計算機械

数学者

+

電子工学者

G.ブール
J. v. ノイマン

エッカート
モークリー
ショットキー
ブラッテン
バーディー

取扱う情報 ————— 輪郭のはっきりした情報(数, 文字, 言葉, etc.)

「0と1の組み合わせ」で表現

binary digit

bit (ビット)

数値計算



論理処理

————— 人工知能(AI)

0110 4ビットワード

デジタルコンピュータとは？

0110100101111001010.....011 64ビット

$$2^{64} = 1.8 \times 10^{19} \text{ 個の情報を識別可能}$$



太平洋とインド洋の海面に広げた米の一粒一粒を識別可能

抜群の識別能力



寸分の誤差も認めない(輪郭のはっきりした情報のみ取り扱う)

厳密な数値(体温 36.5°C, 座席番号 4号車2B)

厳密な数式($y = ax^2 + bx + c$)

厳密な字句(文字 ; ひらがな, カタカナ, 漢字, アルファベット)

あいまいな言葉や数値は受け付けない(平熱, 4号車の中央あたり)

人工知能(エキスパートシステム)

知識ベース

もし動物に羽があれば、それは鳥である。

1000

1001

もし動物に牙があれば、それは肉食である。

0011

1011

もし動物が肉食であれば、それは猛獣である。

1011

1111

もし動物にエラがあれば、それは魚である。

0001

0010

この動物には牙がある

0011

人工知能(エキスパートシステム)

知識ベース

もし動物に羽があれば, それは鳥である.

1000

1001

もし動物に牙があれば, それは肉食である.

0011

1011

もし動物が肉食であれば, それは猛獣である.

1011

1111

もし動物にエラがあれば, それは魚である.

0001

0010

.....

この動物には牙がある.

0011

肉食である.

1011

この動物は肉食である.

1011

人工知能(エキスパートシステム)

知識ベース

もし動物に羽があれば、それは鳥である。

1000

1001

もし動物に牙があれば、それは肉食である。

0011

1011

もし動物が肉食であれば、それは猛獣である。

1011

1111

もし動物にエラがあれば、それは魚である。

0001

0010

この動物には牙がある。

0011

この動物は肉食である。

1011

肉食である。

1011

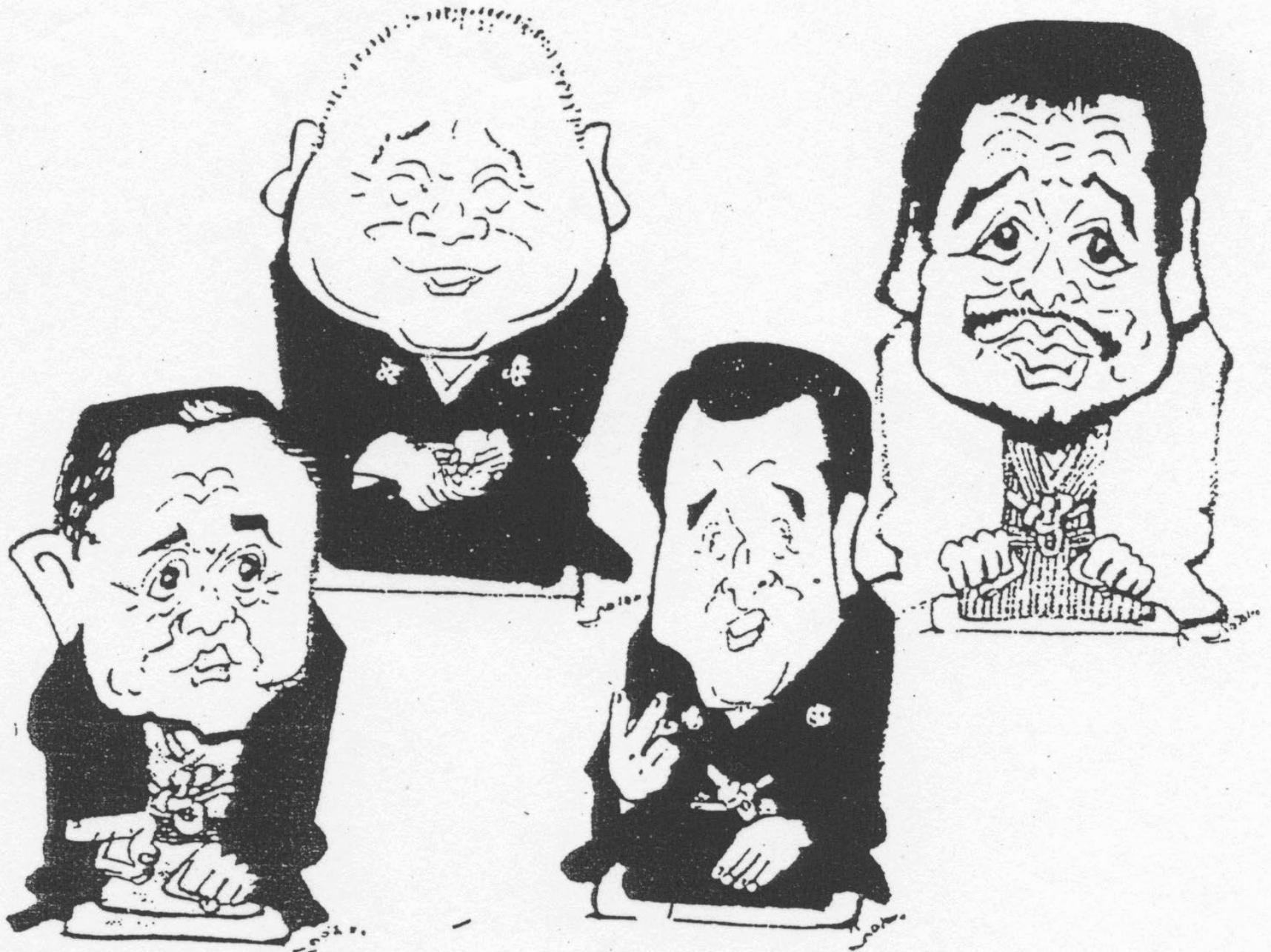
猛獣ある。

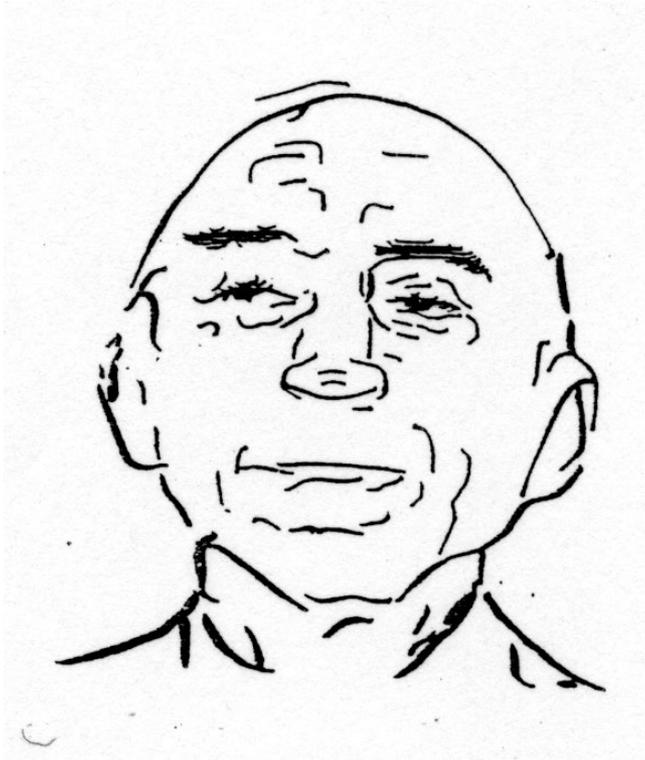
1111

データマッチング

データマッチング

- 欠陥, 雑音, 汚れのある情報やバリエーションに弱い.
- 経験の無い情報(予め入力されていない)に対して無力.
- 大規模な知識ベース(大容量のメモリ)が必要.
- 逐一データマッチングを実施 → 時間切れ → 答え無し
- 矛盾するルール(知識)は受け付けない.

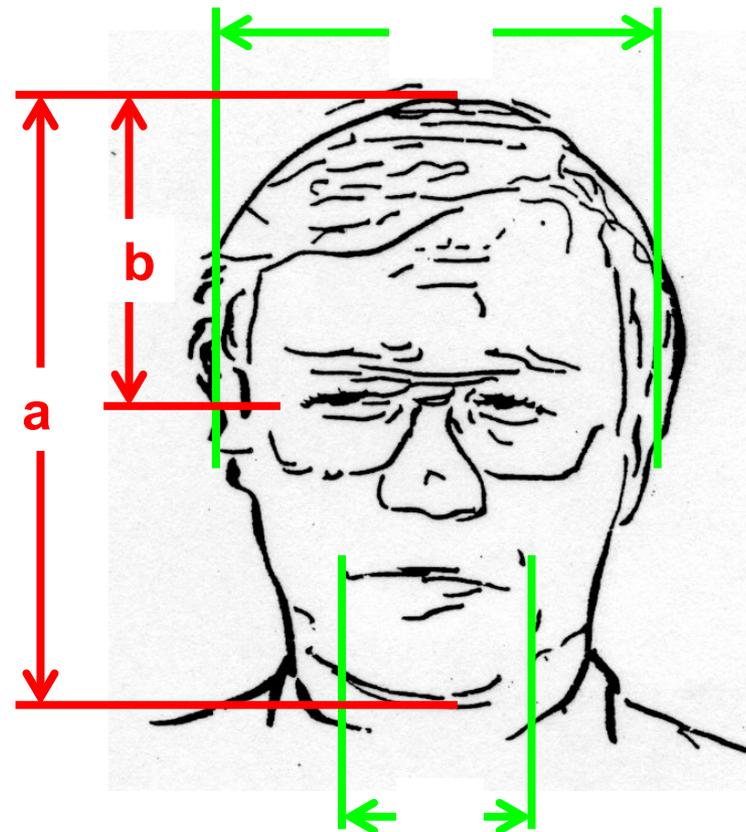




L. A. ザデー教授

$\frac{b}{a} = 0.342$

$\frac{b}{a} = 0.467$



山川 烈

画像情報の数値化

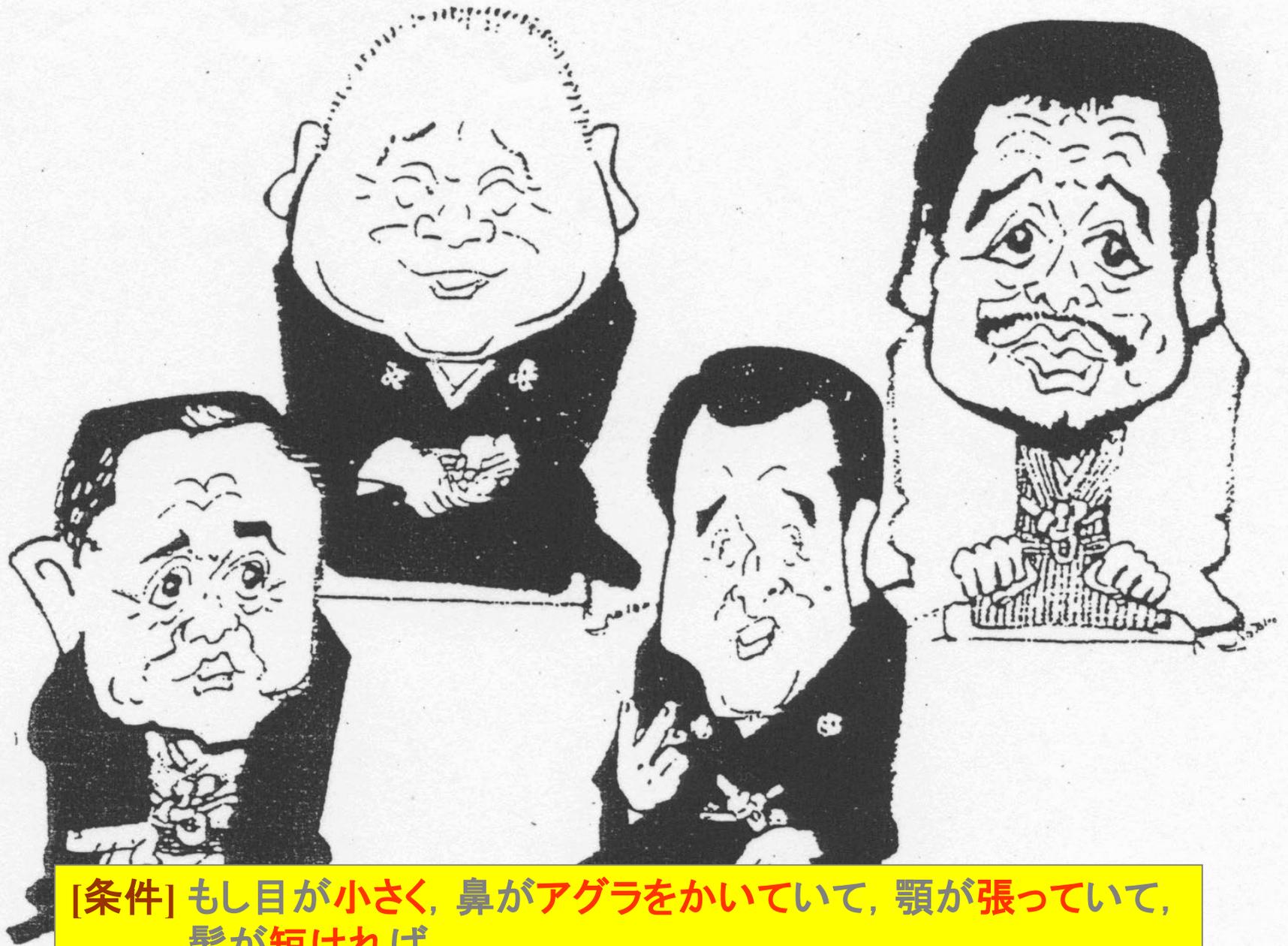
0.4678352890

0.3426745211

0.8438571344

0.6487621003

・
・
・



[条件] もし目が小さく、鼻がアグラをかいていて、顎が張っていて、髪が短ければ、

[結論] その人は、小さん師匠である。

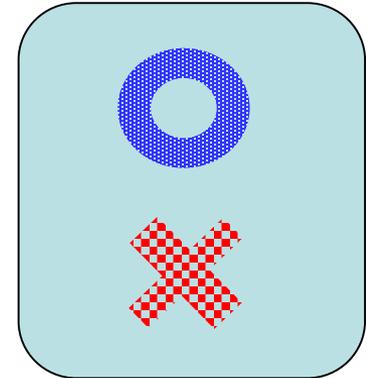
知識(ノウハウ)の獲得



おびただしい数の経験・実例



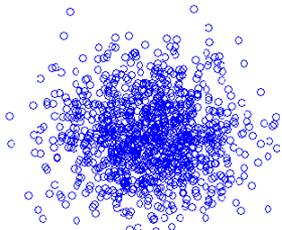
要約



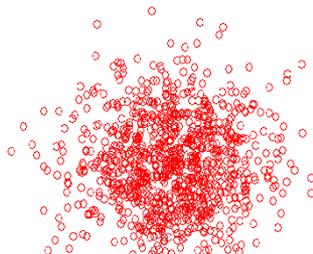
知識(ノウハウ)

IF-THEN ルール

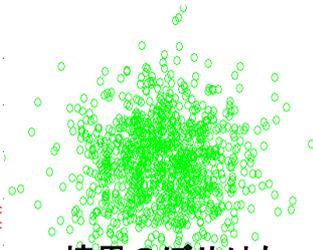
要約 =おびただしい数の経験から本質(エッセンス)を抽出すること
=類似のケースをまとめること + 希少な事例(例外事項)



境界のぼやけた
典型的ケース1



境界のぼやけた
典型的ケース2



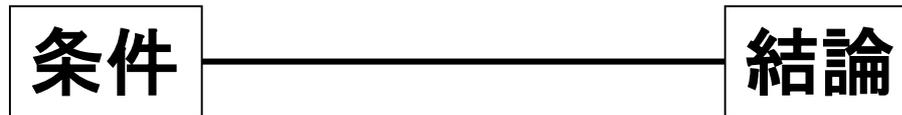
境界のぼやけた
典型的ケース3

IF....., THEN.....

ぼかした言葉(自然言語)で表現

知識の表現

IF-THEN ルール



IF x is large and y is small, **THEN** z is medium.

- (大きい)
- (小さい)
- (早い)
- (明るい)
- (中ぐらい)
- (非常に大きい)

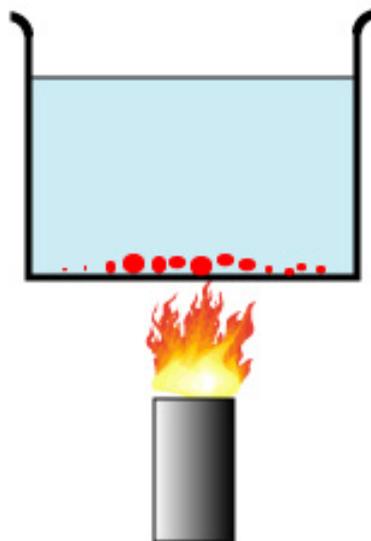
人間エキスパートによる知識の表現

クリस्पIF-THENルール(人工知能)

「もし水溶液を100°Cで20分間加熱すると、沈殿が生じる。」

ファジィIF-THENルール

「もし水溶液を煮沸温度で数分間加熱すると、赤褐色の沈殿が生じる。」



「問題やシステムが複雑になればなるほど、それを数式や厳密な言葉で記述することが困難になる」 (Lotfi A. Zadeh, 1965)

(例)

化学プラント ← 不均一反応

輪郭をぼかした言葉を用いると比較的簡単に記述できる

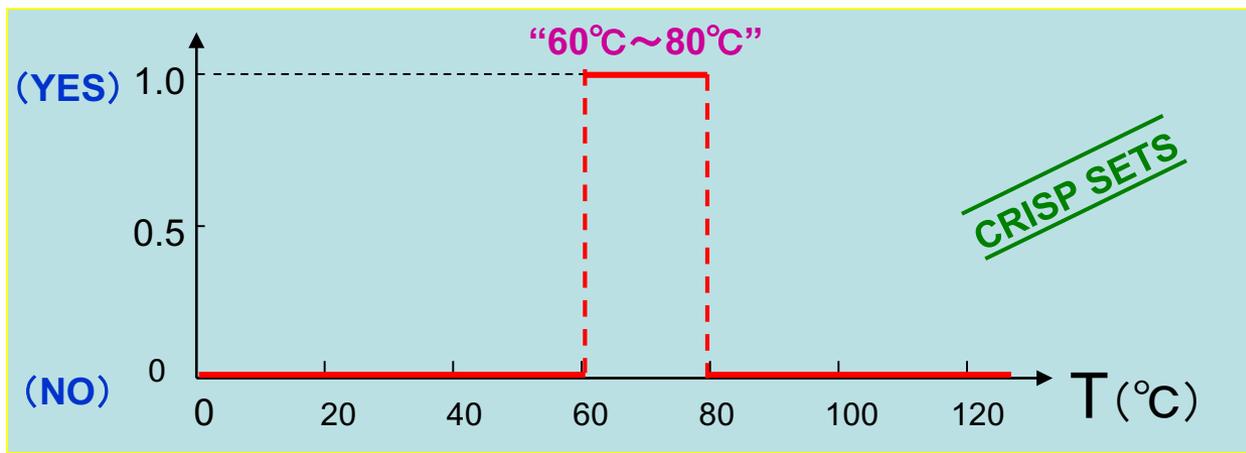
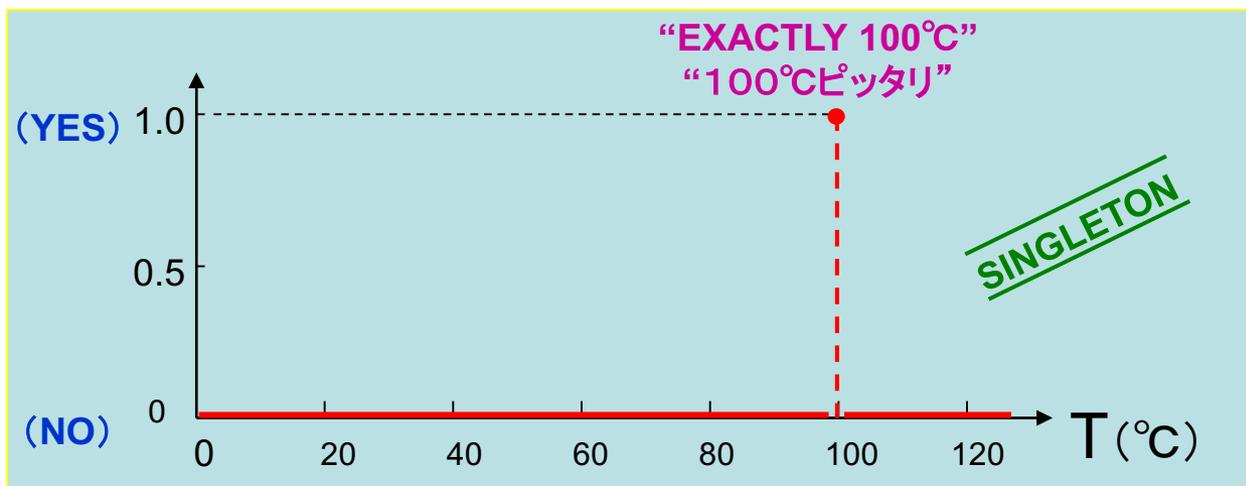
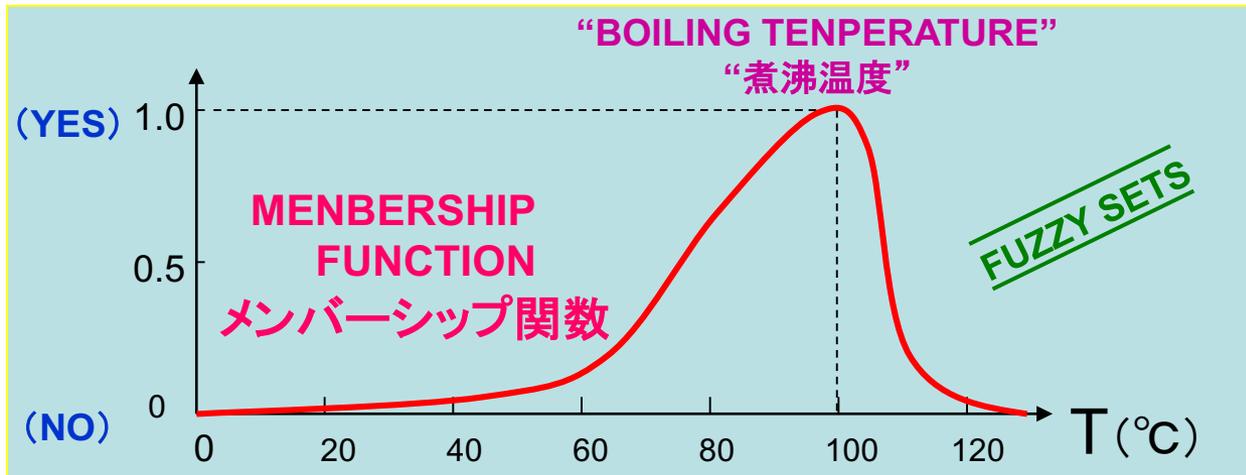
記号処理 —— “ラベル”
意味処理 —— “メンバーシップ関数”
ファジィ情報処理



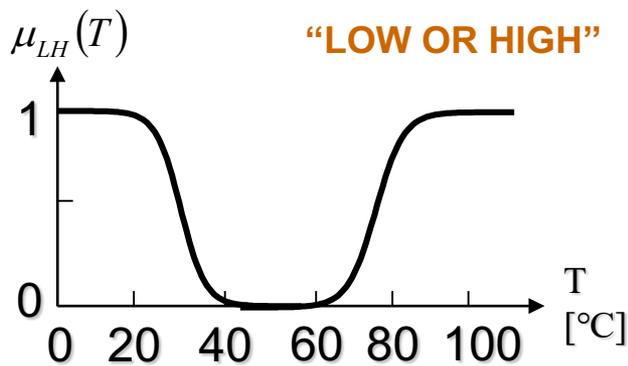
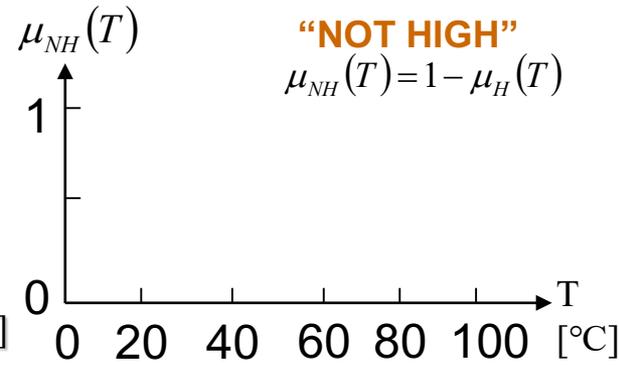
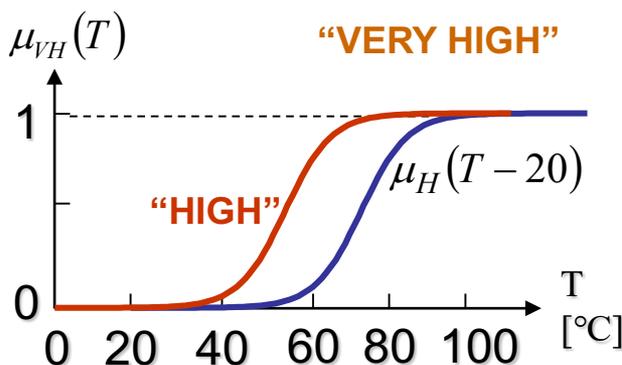
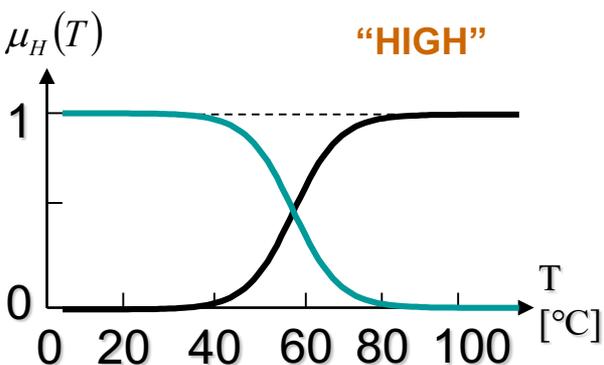
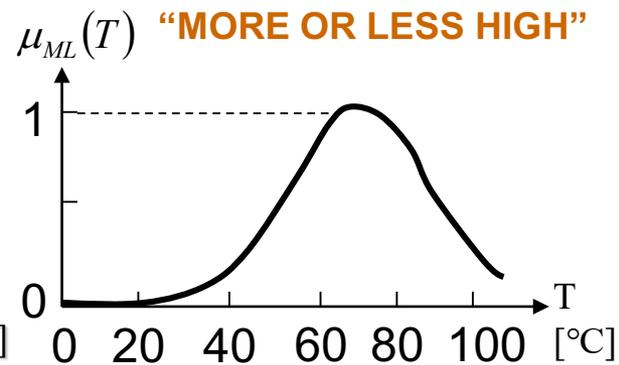
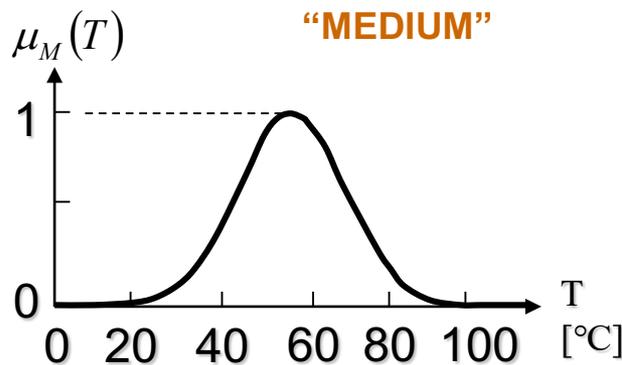
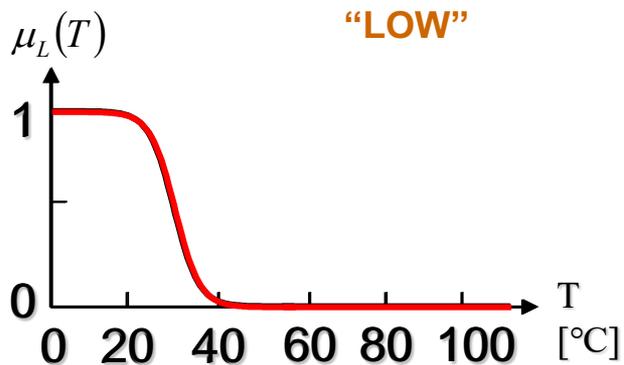
古典的人工知能

記号処理



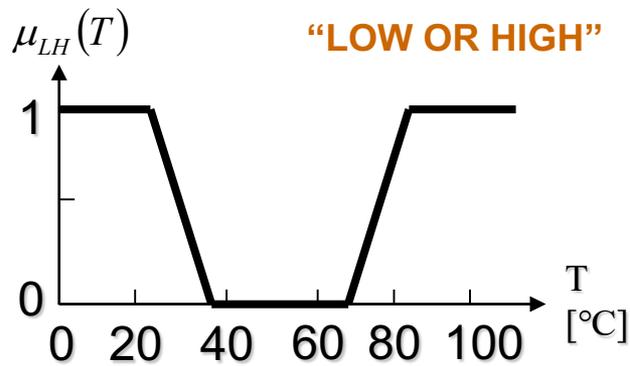
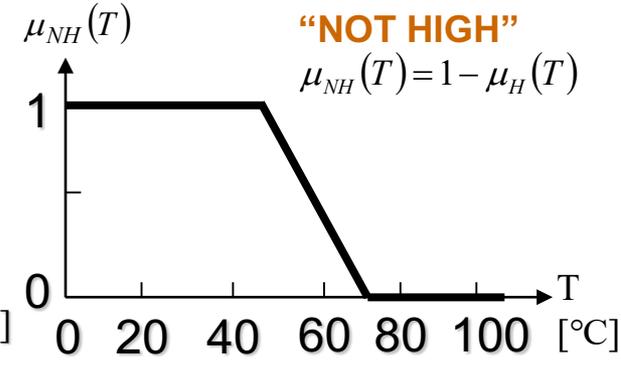
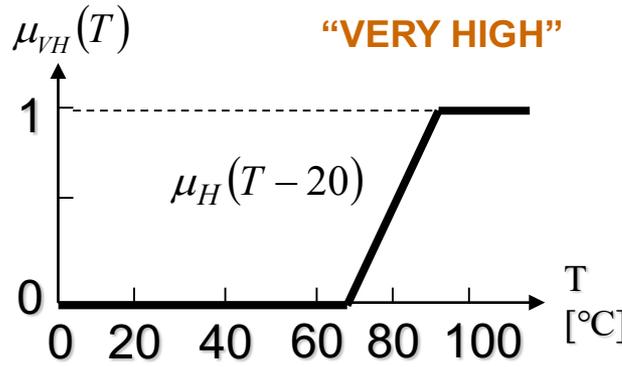
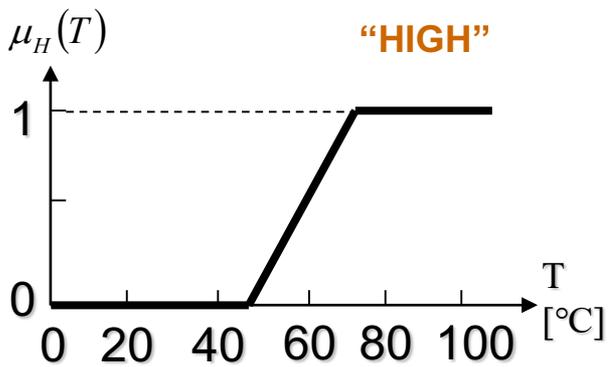
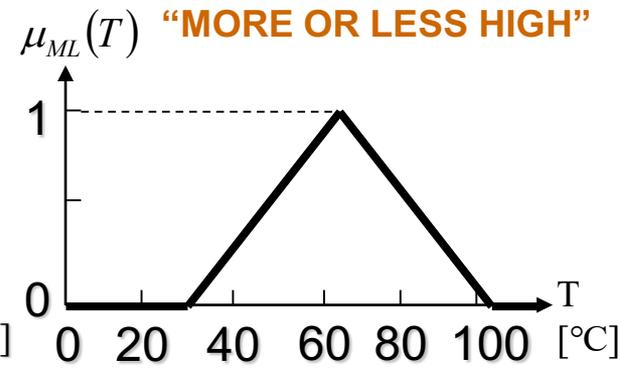
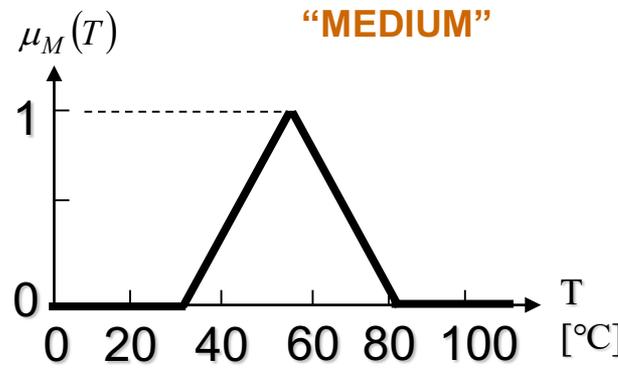
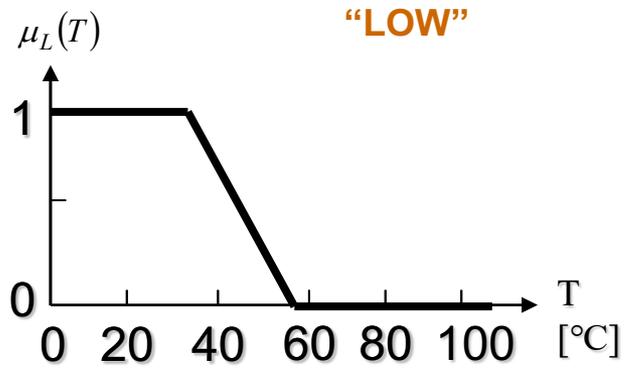


メンバーシップ関数



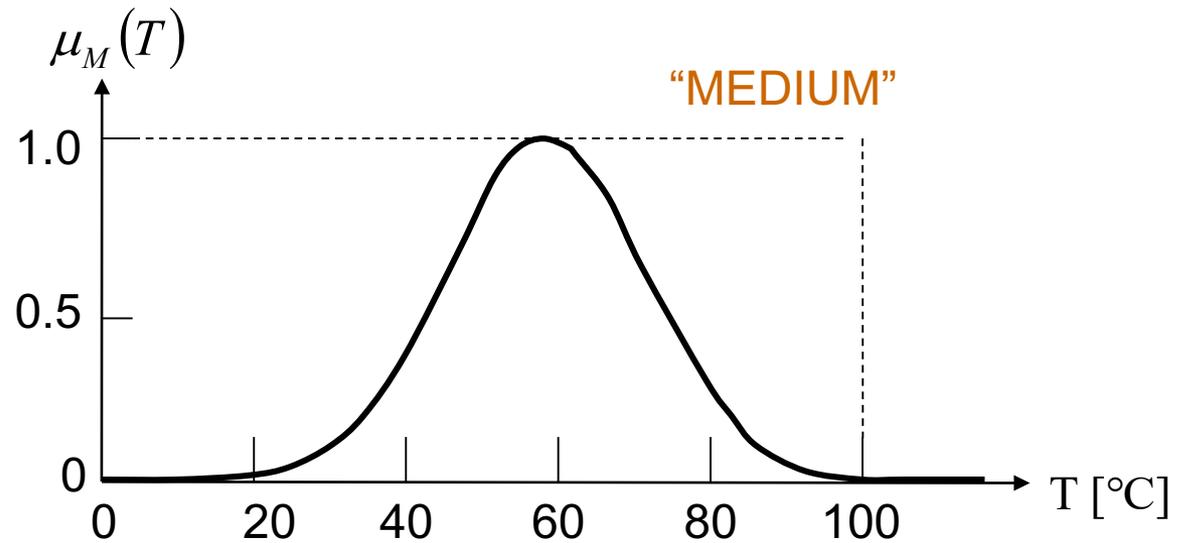
"NOT HIGH" は必ずしも "LOW" に等しいとは限らない。

メンバーシップ関数(折れ線関数)

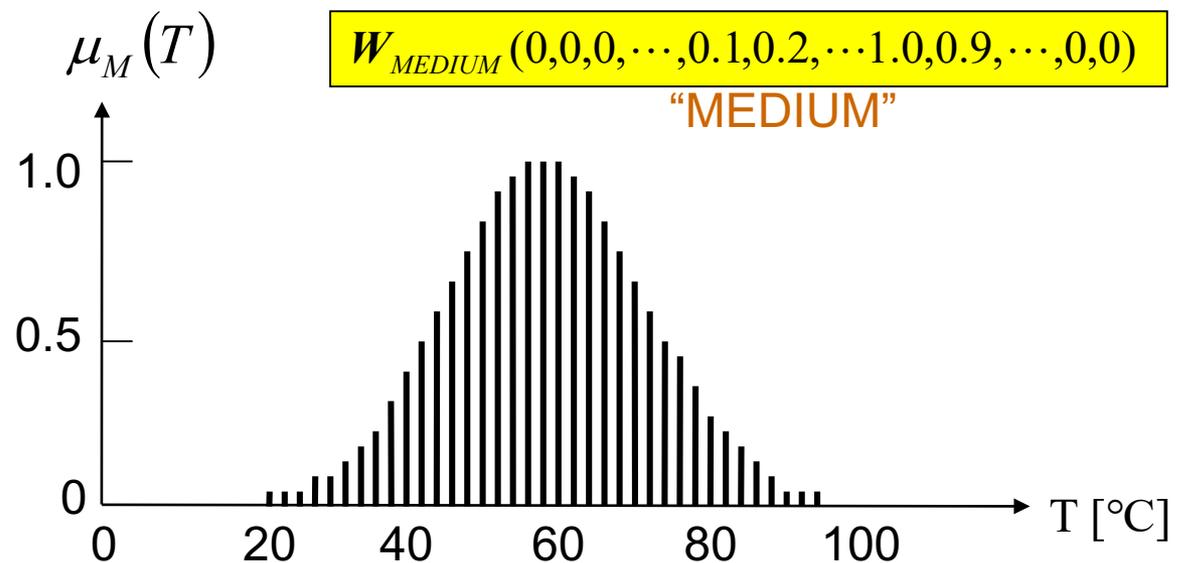


メンバーシップ関数のベクトル表記

連続表記



離散表記

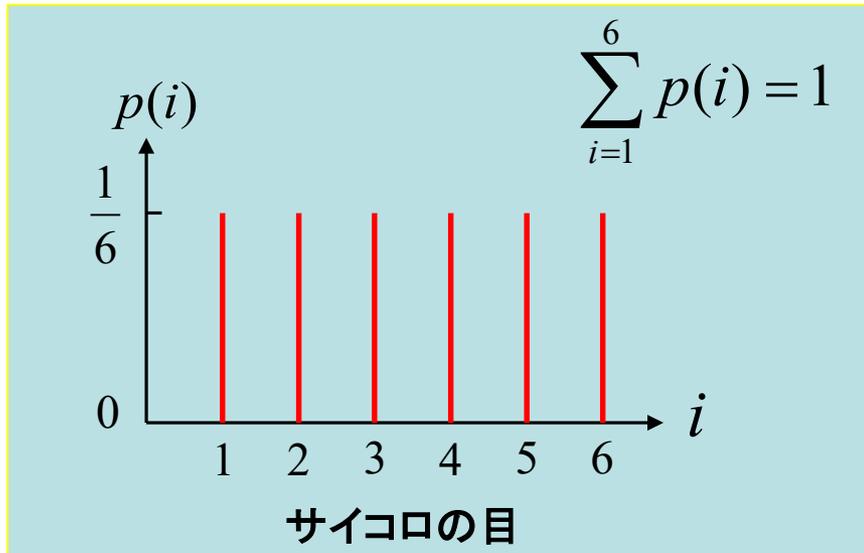


不明確さとは？

未生起の事象(確率)

<ランダムネス>

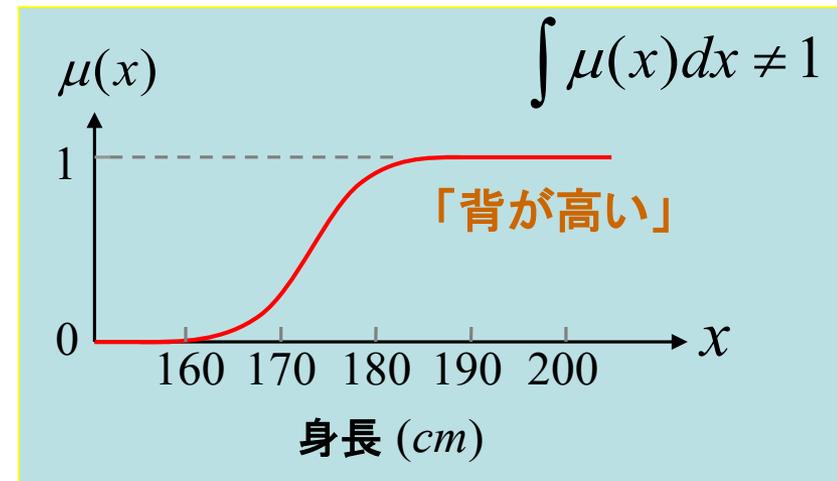
- 時間が経てば事の真偽 (YES or NO) が明らかになる.
- 客観性がある(確率は誰が計算しても同じになる).
- 確率密度関数を積分すると1になる.



主観、直感、感性に基づくあいまいさ

<ファジネス>

- 時間が経っても、事の真偽が明らかにならない.
- 主観によるところが大.
- メンバーシップ関数を積分しても1にはならない.



- 意思決定プロセス(エキスパートシステム)に大きく関与.

代数演算

代数和 $x + y = z = 2 + 5 = 7$

代数積 $x \times y = z = 2 \times 5 = 10$

条件付き確立 $P_{a/b} = P_a \times P_b = 0.5 \times 0.1 = 0.05$

ファジィ論理演算

ファジィ論理和 $\mu = \mu_1 \vee \mu_2 = 0.9 \vee 0.2 = 0.9$

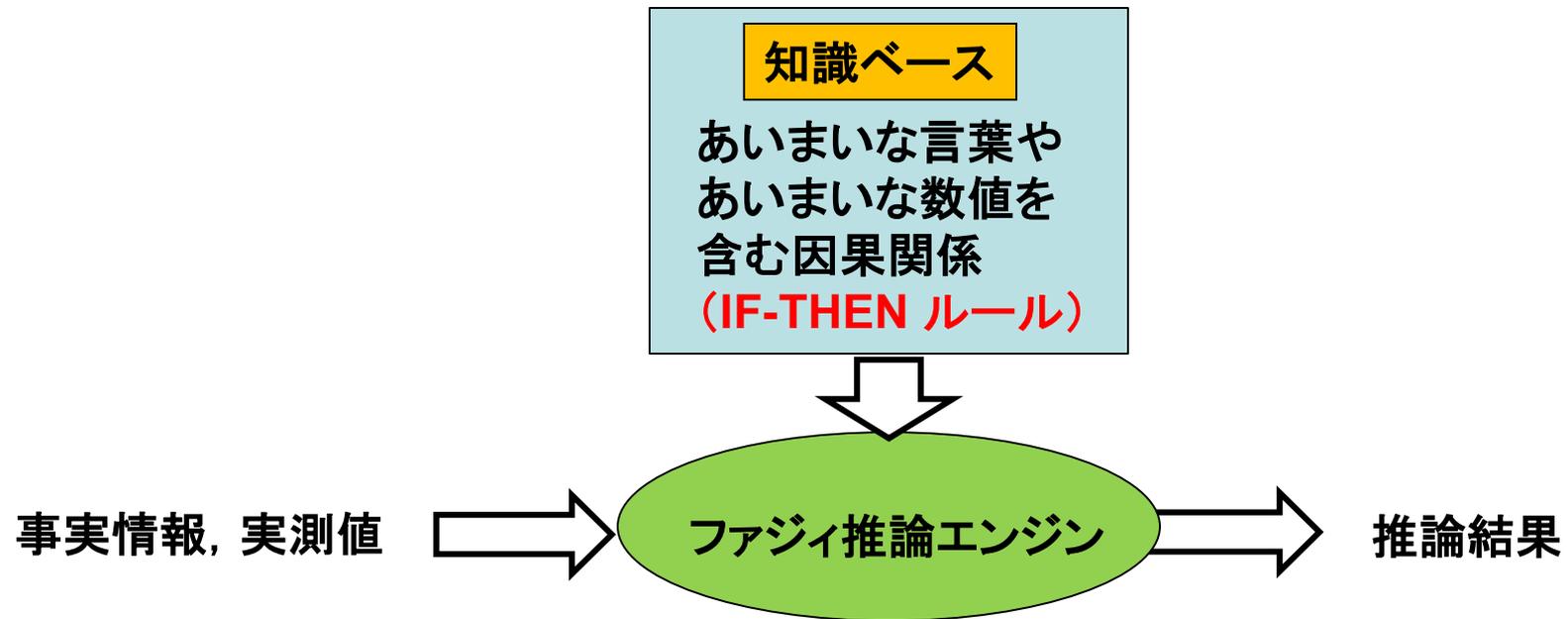
接続詞 OR の解釈 (Max 演算: 一番大きな数値を答とする)

ファジィ論理積 $\mu = \mu_1 \wedge \mu_2 = 0.9 \wedge 0.2 = 0.2$

接続詞 AND の解釈 (Min 演算: 一番小さな数値を答とする)

ファジィ推論 (近似推論)

Fuzzy Inference (Approximate Reasoning)



① 数値情報 → 病名 etc.

② 数値情報 → 数値情報

ファジィ推論 (近似推論)

Fuzzy Inference (Approximate Reasoning)

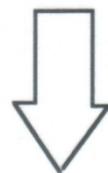
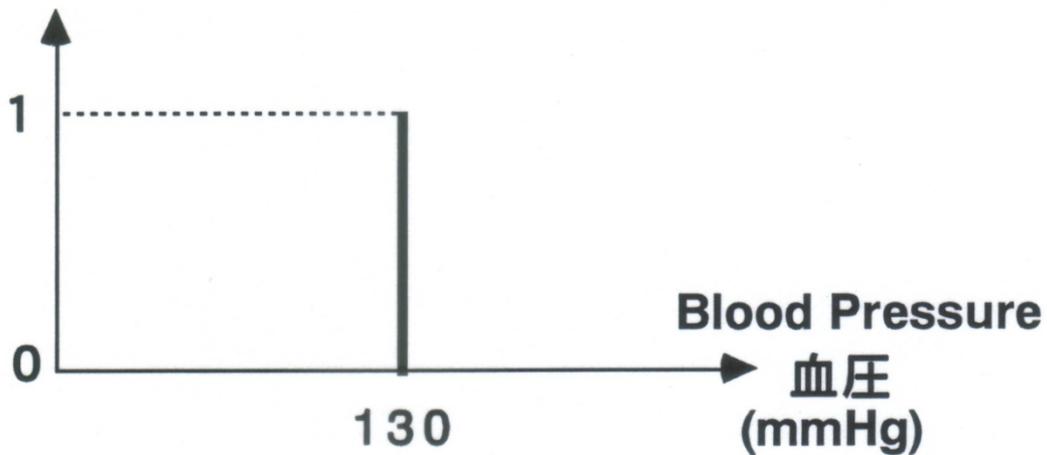
① 数値情報から、病名を推定する

測定値のもつ「あいまいさ」を考慮し、
言葉に重みを持たせた場合

Ambiguity of the Measured Value (測定値の持つ「あいまいさ」)

1. Ambiguity Peculiar to the Instrument (Accuracy)
測定器の持つ「あいまいさ」(精度)
2. Reading Errors
読み取り誤差
3. Personal Errors
測定者による個人的誤差
4. Ambiguity Based on Interpretation of the Measured Value
測定データを使用する学派の解釈上の「あいまいさ」

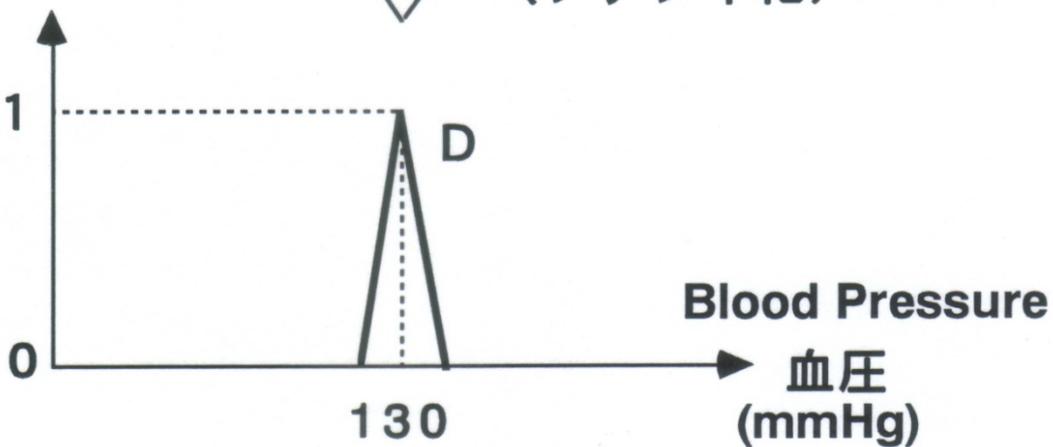
Measured Value
測定値



(Fuzzification)
(ファジィ化)

Data Considering
Each Ambiguity

あらゆる曖昧さを
考慮した測定データ

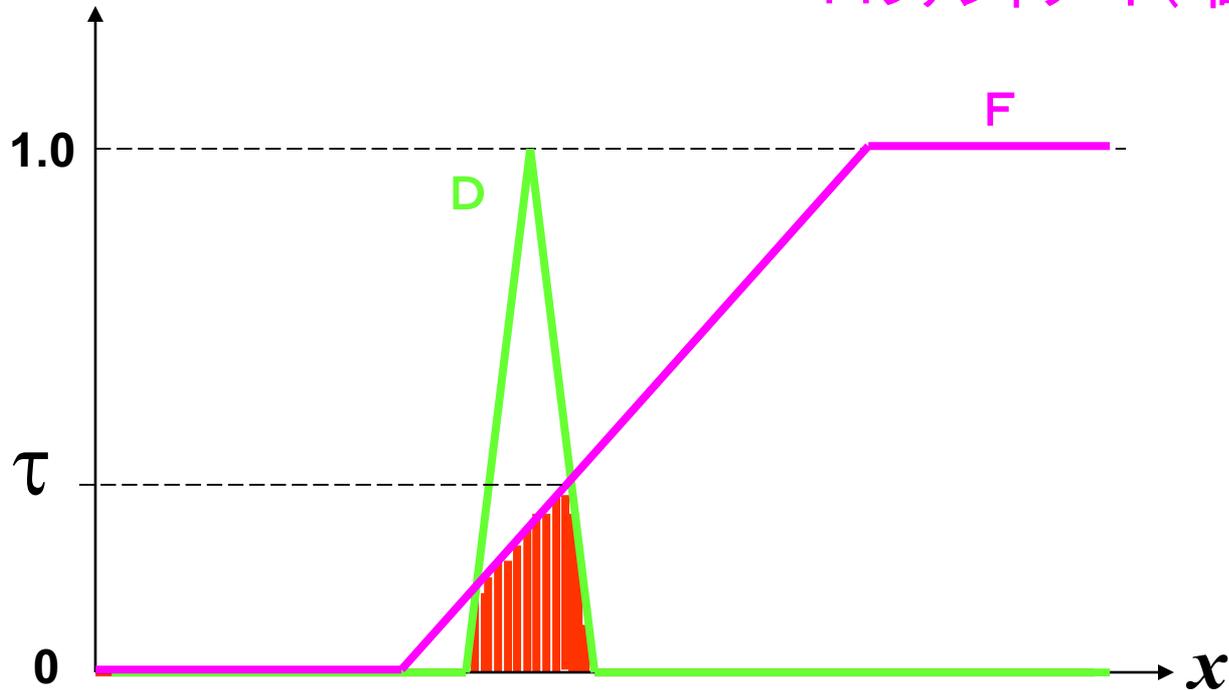


通常は10%
(13 mmHg)

曖昧な数値と曖昧な言葉との合致度(類似性測度)

D: ファジィデータ (130mmHgなど)

F: ファジィワード(「高血圧」など)

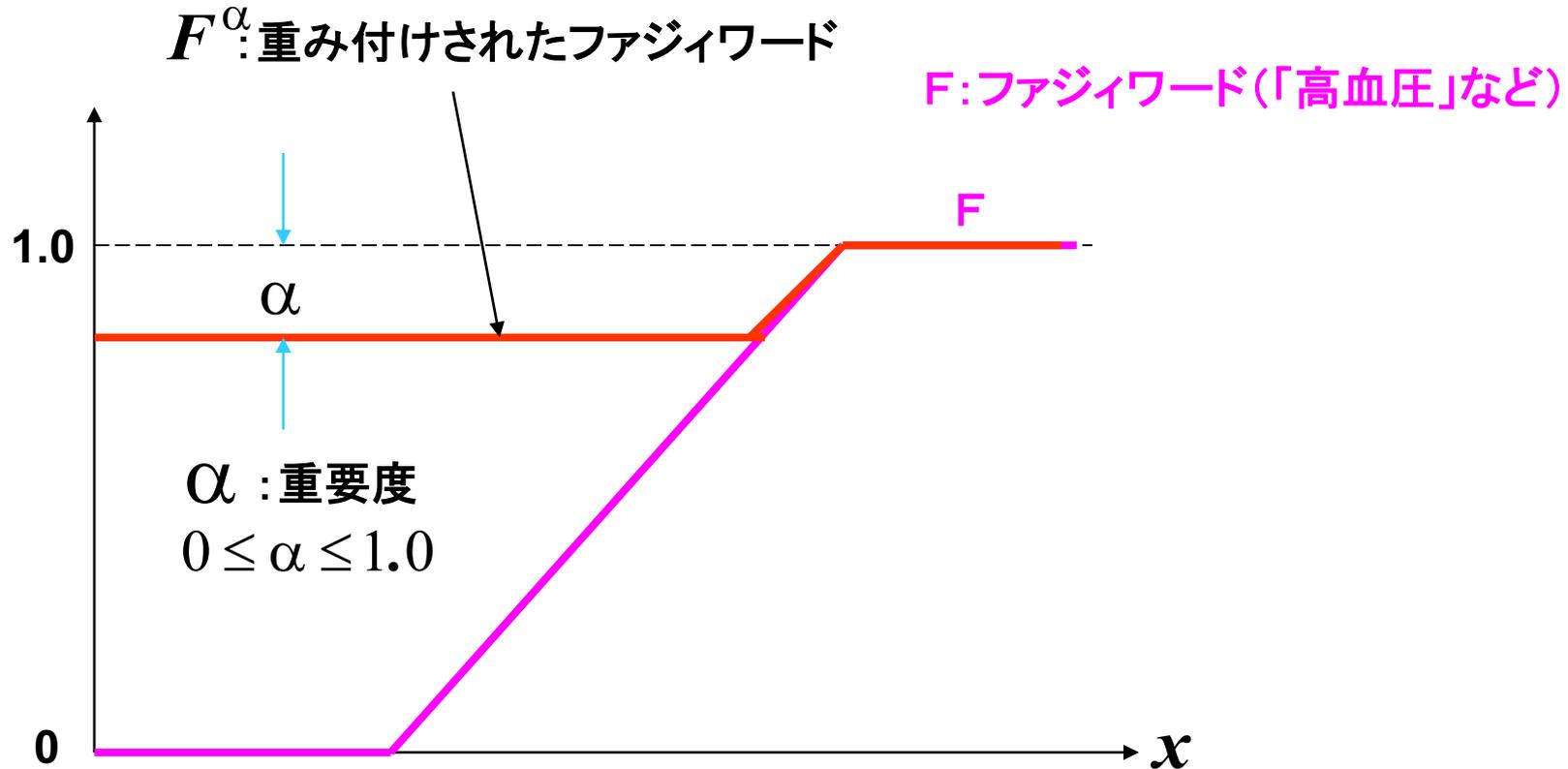


ソフトマッチング

τ : Soft Matching Degree (Compatibility, Similarity Measure)

ソフトマッチングの度合(適合度, 類似性測度)

曖昧な言葉の重み付け



τ : Soft Matching Degree (Compatibility, Similarity Measure)
ソフトマッチングの度合(適合度, 類似性測度)

患者と炎症性症候群の関係の言語記述

Linguistic Description of the Relationship between Proteins and Inflammatory Syndromes

IF-THEN Rules

If C3-Complement Fraction is Decreased or Normal,
and Alpha 1 Anti-Trypsine is Decreased or Normal,
and Orosomucoid is Increased,
and Haptoglobin is Very Increased,
and C-Reactive Protein is Very Increased,

then the patient is **Vasculitis**.

Linguistic Description of the Relationship between Proteins and Inflammatory Syndromes

プロテインと炎症性症候群 (I.S.) の関係の言語記述

PROTEINS I.S.	C3- COMPLEMENT FRACTION	ALPHA 1 ANTI-TRYPSINE	OROSOMUCOID	HAPTOGLOBIN	C-REACTIVE PROTEIN
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
BACTERIAL INFECTION	NORMAL OR INCREASED	INCREASED	INCREASED	INCREASED	VERY INCREASED
VASCULITIS	DECREASED OR NORMAL	DECREASED OR NORMAL	INCREASED	VERY INCREASED	VERY INCREASED
NEPHROTIC SYNDROMES	DECREASED OR NORMAL	DECREASED OR NORMAL	DECREASED OR NORMAL	SLIGHTLY INCREASED OR INCREASED	SLIGHTLY INCREASED OR INCREASED
I.V. HEMOLYSIS WITH INFLAMMATION	DECREASED, NORMAL OR SLIGHTLY INCREASED	NORMAL OR INCREASED	NORMAL OR INCREASED	VERY DECREASED OR NORMAL	INCREASED

表4 ファジィインターバルで記述されたプロテインと炎症性症候群の関係

PROTEINS	C3	ALPHA 1 ANTI- TRYPISINE	OROSO- MUCOID	HAPTO- GLOBIN	C.R.P.
I.S.					
	0.1 3	0.15 4	0.15 55	0 8	0.3 150
NORMAL					
BACTERIAL INFECTION					
VASCULITIS					
NEPHROTIC SYNDROMES					
I.V. HEMOLYSIS WITH INFLAMMATION					

ファジィ推論

IF C3-Complement Fraction (0.1) is decreased or normal,
Alpha1-Antitrypsine (1.0) is decreased or normal,
Orosomuroid (0.8) is increased,
Haptoglobin (0.3) is very increased, and
C-Reactive Protein (0.8) is very increased,

THEN Vasculitis

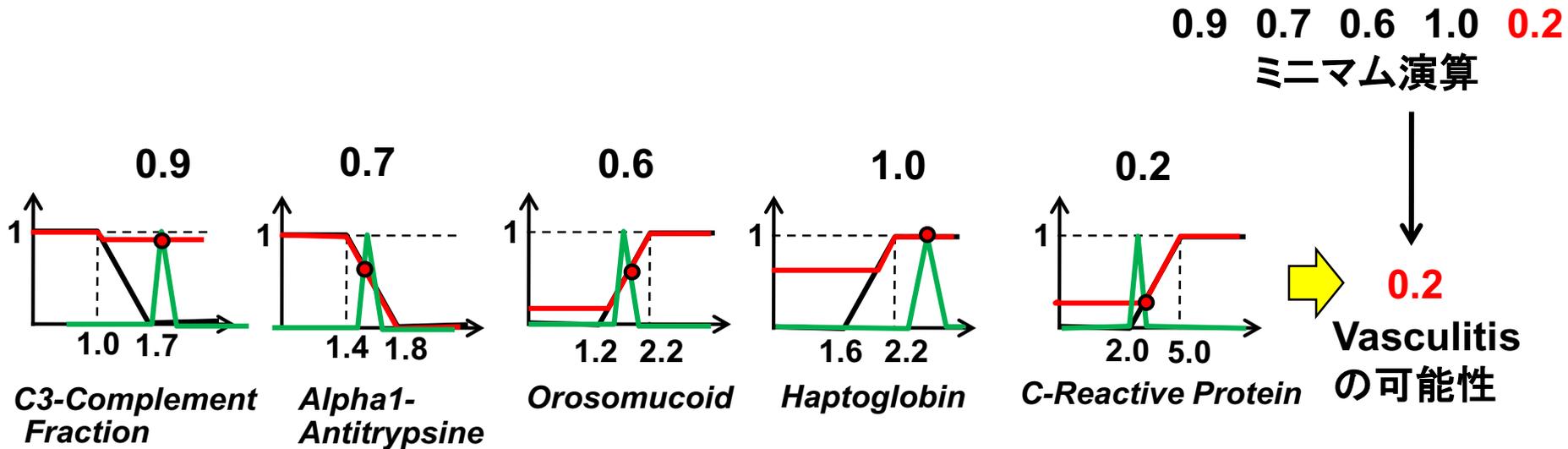


表4 ファジインターバルで記述されたプロテインと炎症性症候群の関係

PROTEINS I.S.	C3	ALPHA 1 ANTI- TRYPISINE	OROSO- MUCOID	HAPTO- GLOBIN	C.R.P.
NORMAL	0.1 3 	0.15 4 	0.15 55 	0 8 	0.3 150
BACTERIAL INFECTION					
VASCULITIS					
NEPHROTIC SYNDROMES					
I.V. HEMOLYSIS WITH INFLAMMATION					

0

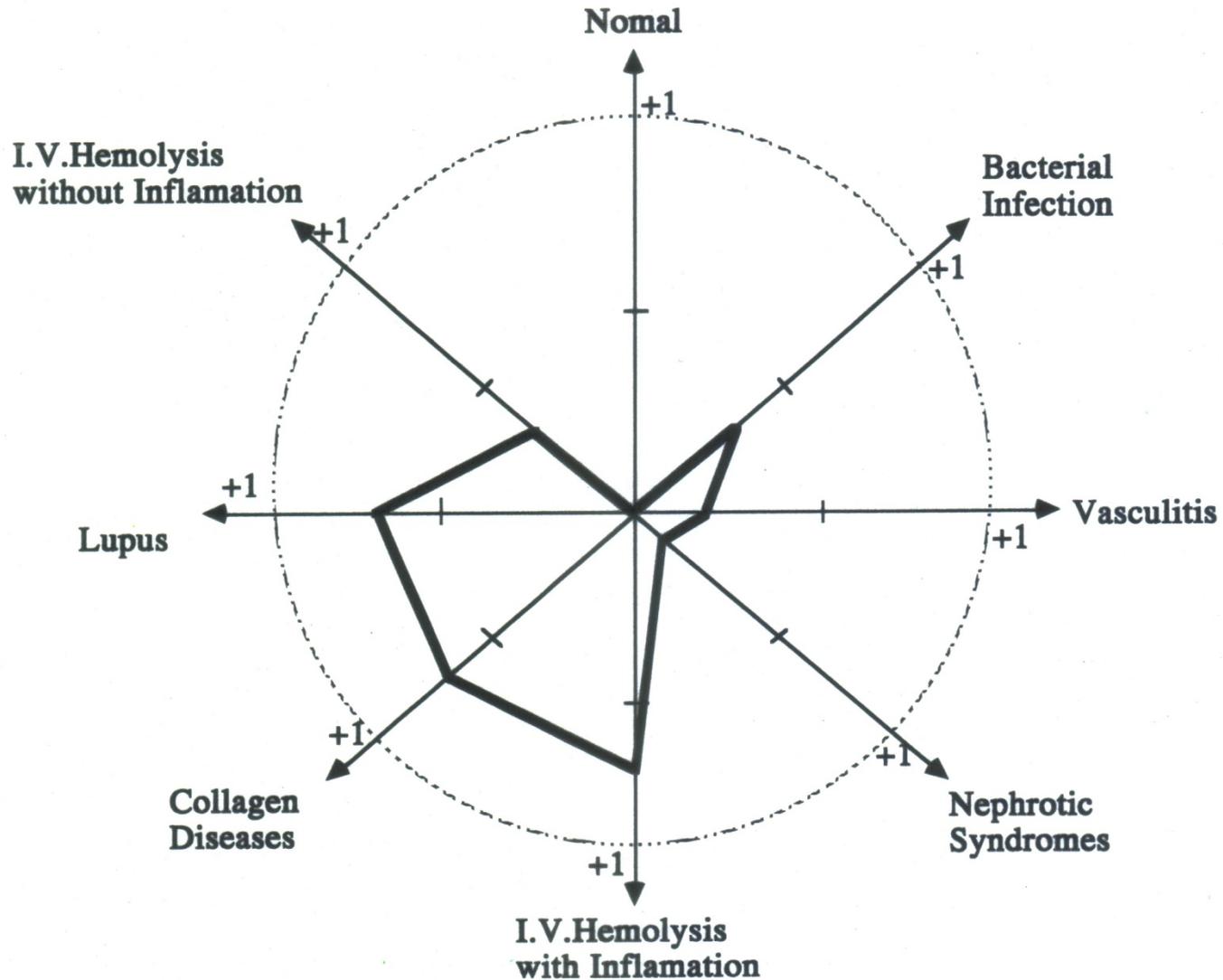
0.3

0.2

0.1

0.7

診断結果のレーダーチャート

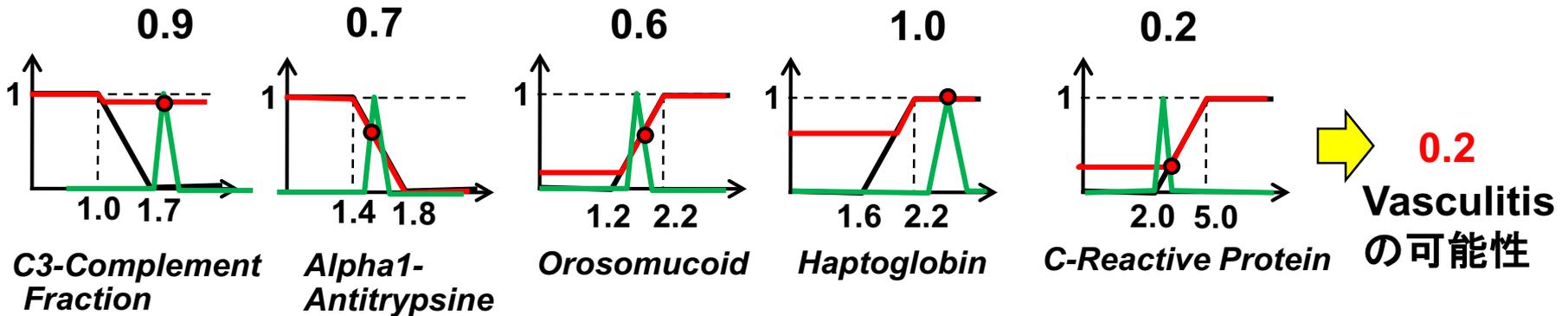


ファジィ推論

言葉の重みづけのある場合

IF C3-Complement Fraction (0.1) is decreased or normal,
Alpha1-Antitrypsine (1.0) is decreased or normal,
Orosomuroid (0.8) is increased,
Haptoglobin (0.3) is very increased, and
C-Reactive Protein (0.8) is very increased,

THEN Vasculitis

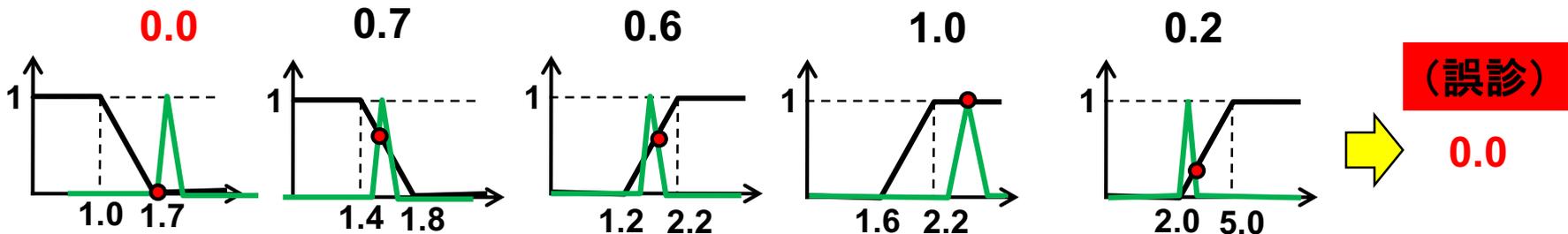
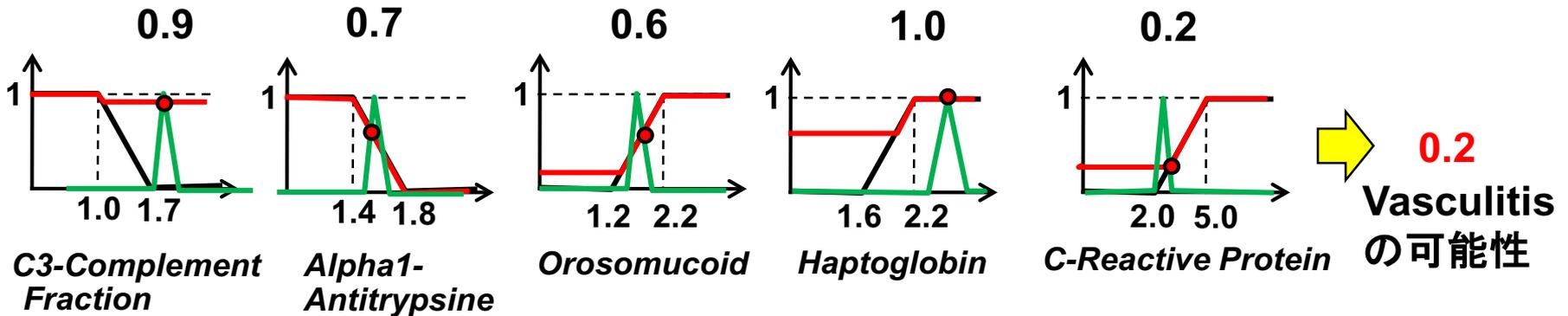


ファジィ推論

言葉の重みづけのない場合

IF C3-Complement Fraction (1.0) is decreased or normal,
 Alpha1-Antitrypsine (1.0) is decreased or normal,
 Orosomuroid (1.0) is increased,
 Haptoglobin (1.0) is very increased, and
 C-Reactive Protein (1.0) is very increased,

THEN Vasculitis



ファジィ推論 (近似推論)

Fuzzy Inference (Approximate Reasoning)

②数値情報から，数値情報を推定する

あいまいな言葉で表現された知識に，
測定データを照らし合わせて，しかるべき推定量を得る

ファジィ推論(近似推論)

ファジィ IF-THENルール(Fuzzy IF-THEN Rules)

If x is A_1 and y is B_1 , then z is C_1 .

If x is A_2 and y is B_2 , then z is C_2 .

If x is A_3 and y is B_3 , then z is C_3 .

If x is A_4 and y is B_4 , then z is C_4 .

.....
.....

If x is A_m and y is B_m , then z is C_m .

Soft Matching → 類似性測度(Similarity Measure)

事実情報(Fact)

If x is A_0 and y is B_0 ,

z is C_0 ?

ファジィ推論 (タイプ1)

ファジィ IF-THEN ルール : 経験的に獲得

Rule1: If ΔT is ZR and y is PL, then z is NL.

Rule2: If ΔT is PL and y is ZR, then z is NM.

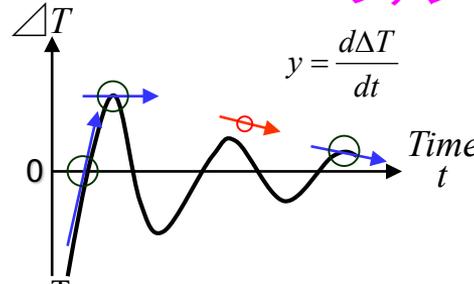
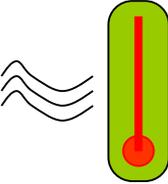
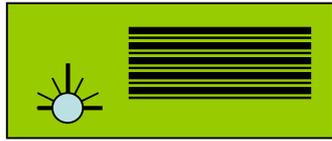
Rule3: If ΔT is PS and y is NS, then z is ZR.

Fact : ΔT is $+2.5^\circ\text{C}$ and y is $-1^\circ\text{C}/\text{min}$

Conclusion :

z is ??

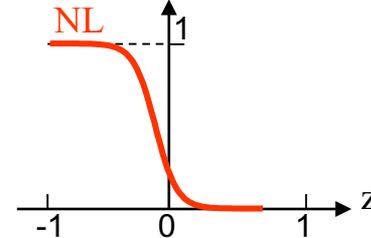
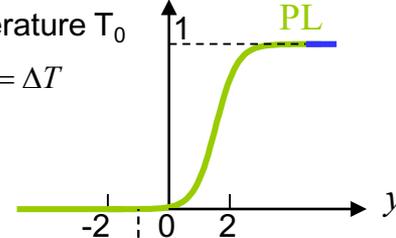
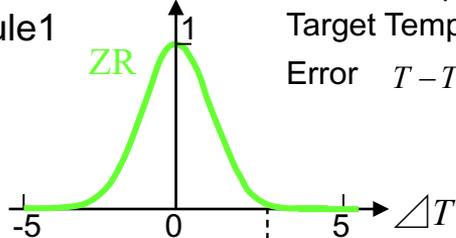
Air Conditioning



Dial
 z (-1 to 1)

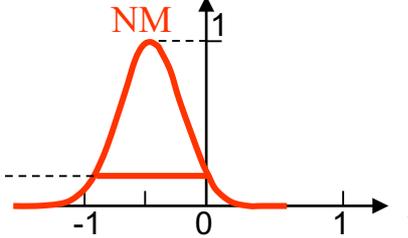
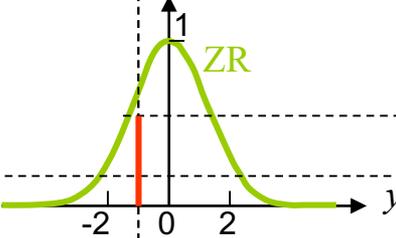
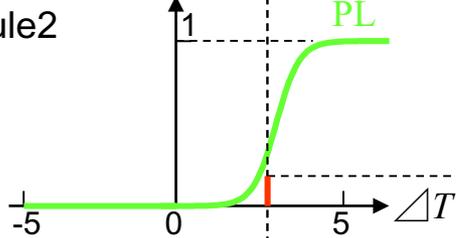
Room Temperature T
Target Temperature T_0
Error $T - T_0 = \Delta T$

Rule1

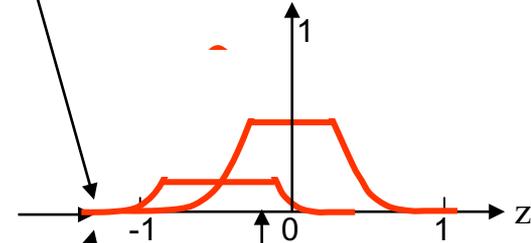
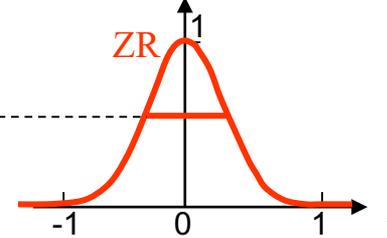
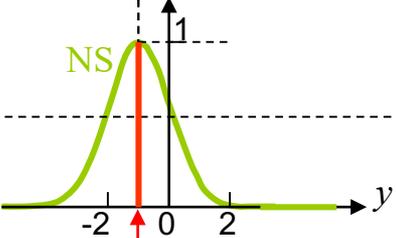
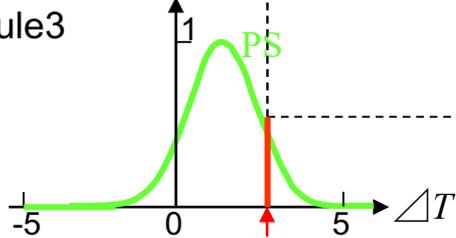


PL: **P**ositively **L**arge
PM: **P**ositively **M**edium
PS: **P**ositively **S**mall
ZR: **A**pproximately **Z**ero
NS: **N**egatively **S**mall
NM: **N**egatively **M**edium
NL: **N**egatively **L**arge

Rule2



Rule3



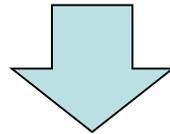
-0.2

Center of Gravity
(Weighted Average)

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n S_i C_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

ファジィIF-THENルールが豊富な過去の経験(体験, 実験)により定まれば,
ファジィ推論により

あらゆる $(\Delta T, \frac{d\Delta T}{dt})$ に対するダイヤルメモリ Z の値が求まる

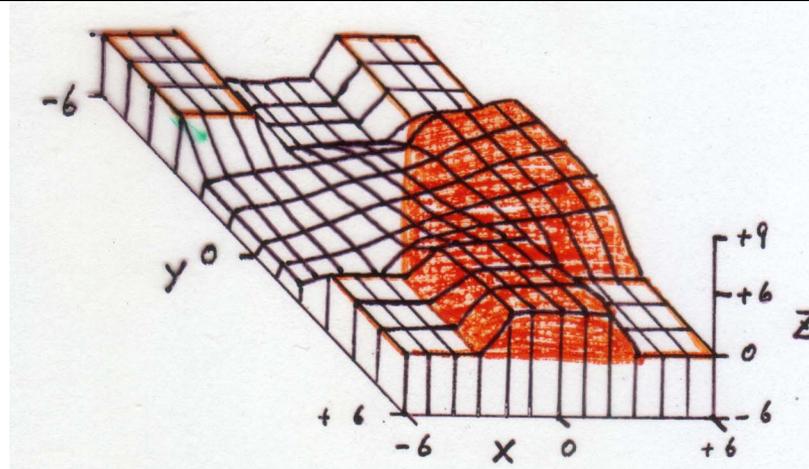


複雑な曲面として

もっとわかりやすい例を示します

ルールセット (Rule Sets)

- Rule NO.1 If x is about 6 and y is about 6, then z is about 0
- Rule NO.2 If x is about 0 and y is about 6, then z is about 6
- Rule NO.3 If x is about -6 and y is about 6, then z is about 0
- Rule NO.4 If x is about 6 and y is about 0, then z is about 6
- Rule NO.5 If x is about 0 and y is about 0, then z is about 0
- Rule NO.6 If x is about -6 and y is about 0, then z is about -6
- Rule NO.7 If x is about 6 and y is about -6, then z is about 0
- Rule NO.8 If x is about 0 and y is about -6, then z is about -6
- Rule NO.9 If x is about -6 and y is about -6, then z is about 0



ルールセット (Rule Sets)

Rule NO.1 If x is about 6 and y is about 6, then z is about 0

Rule NO.2 If x is about 0 and y is about 6, then z is about 6

Rule NO.3 If x is about -6 and y is about 6, then z is about 0

Rule NO.4 If x is about 6 and y is about 0, then z is about 6

Rule NO.5 If x is about 0 and y is about 0, then z is about 0

Rule NO.6 If x is about -6 and y is about 0, then z is about -6

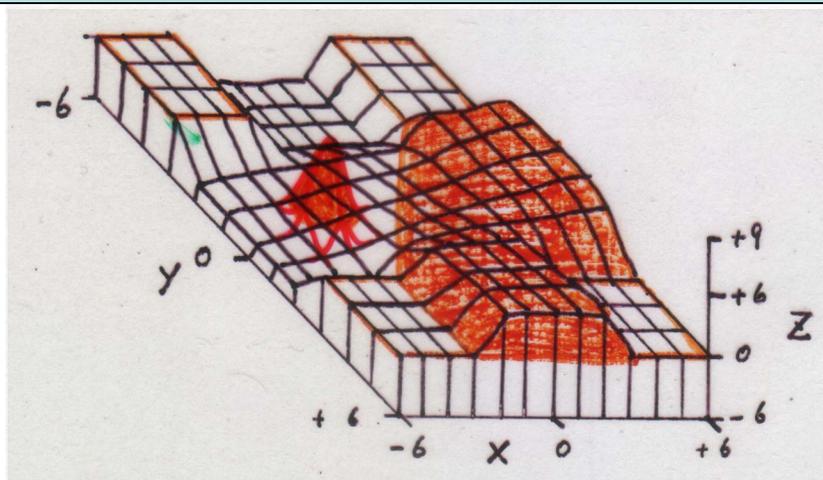
Rule NO.7 If x is about 6 and y is about -6, then z is about 0

Rule NO.8 If x is about 0 and y is about -6, then z is about -6

Rule NO.9 If x is about -6 and y is about -6, then z is about 0

Rule NO.10 If x is closed to -3 and y is closed to 0, then z is about 9

ルールの追加



あなたはこの関数を
求めることが出来ま
すか？

$$z = f(x, y) = ????????$$

臨床検査へのファジィ推論の応用の可能性



IF

細胞の大きさ(約〇〇ミクロン, Δ~Δミクロン程度)

N/C比 (小さい, 中ぐらい, 大きい, 非常に大きい)

細胞質(濃い紫)

細胞質内に顆粒があるか

細胞質内に空胞がないか

核網が繊細か

核小体の有無

核の形(円形か)

THEN

白血病細胞

関連学会

国際ファジィシステム学会 (IFSA)
日本知能情報ファジィ学会 (SOFT)
バイオメディカルファジィシステム学会 (BMFSA)

関連団体

(財)ファジィシステム研究所 (FLSI)
@文部科学省・経済産業省

バイオメディカルファジィシステム学会年次大会 (BMFSA2010)

会期 2010年10月9日(土) ~10日(日)

会場 産業医科大学

ご清聴

ありがとうございました