

推論過程を Fuzzy 化した自然言語システム†

— 建築材料選定を対象として —

三重野 博 司^{††} 戸 内 順 一^{††}

自然言語と Fuzzy 集合の関連については多く論じられてきた。それは、自然言語の意味は、多かれ少なかれあいまいだからである。

L.A. Zadeh は、Fuzzy 集合で語の意味の定量的解析をおこなった。しかし、日本語に関しては、あまりそのような解析はおこなわれていないようであるし、実際に Fuzzy 集合を応用した自然言語システムも作られていないようである。

そこで、本研究では、建築材料選定を対象として、Fuzzy 集合を応用した自然言語システムを開発した。

本システムでは、日本語の意味やデータのあいまいさを Fuzzy 集合で定量化し、推論過程を Fuzzy 化して、処理をおこなっている。このようなシステムは、あいまいさを許さない、従来のシステムに比べて、あいまいな文やデータも処理できるところに特徴がある。

1. はじめに

最近、自然言語に関する研究がアメリカを中心に活発化している^{1),2)}。自然言語処理の問題点として、自然言語の意味やあいまいさそして扱うデータのあいまいさをどう表現し、処理するかということがある。この問題の解決法のひとつとして、意味やあいまいさを Fuzzy 集合^{3),4)}で表現することが考えられる。この方面の研究では L. A. Zadeh が very, much, slightly などの修飾語を施した場合の意味の定量的解析をおこなっている^{5),6)}。しかし、日本語に関しては、この方面の研究は、あまりおこなわれていないようであるし、また、Fuzzy 集合を応用した自然言語システムも作成されていないようである。

そこで、本研究では、「そうとう大きい」、「かなり小さい」などの日本語の副詞や形容詞をつかった文の意味やあいまいなデータを Fuzzy 集合で定量化するとともに、推論過程を Fuzzy 化した応用システムの開発をおこなった。

応用システムとして、建築材料選定を対象とした。ここでいう建築材料選定とは、材料に要求される性能(以下、要求性能と記す)を与えることにより、要求性能をもつ建築材料を選定することである。建築材料選定システムにおいては、要求性能および材料の性能データを Fuzzy 化し、それらの一致度を示す指標とし

て適合度を定義して推論をおこなっている。

2. システムの概要

本システムは、要求性能を与えることにより、要求性能を満足する建築材料の選定をおこなう。

自然言語で要求性能を入力すると、材料性能情報をもつデータベースを検索して、要求性能を満足する建築材料を出力する(図1)。

図2に入出力形式を示す。まず、ユーザは RUN コマンドを入力する①。このとき、適合度(6章を参照)をパラメータとして渡す。この例では 50 が適合度である。RUN コマンドを受け付けると、システムは要求性能を入力することをユーザに要求する②。ユーザはその後に自然言語で要求性能をあらわす文(以下、性能文と記す)を必要なだけ入力する③。システムは、性能文が、意味的、構文的に妥当ならば「OK」を出力し、妥当でなければ「NG」を出力する。ユーザが最後に「終り」を入力すると④、すべての要求性能を、

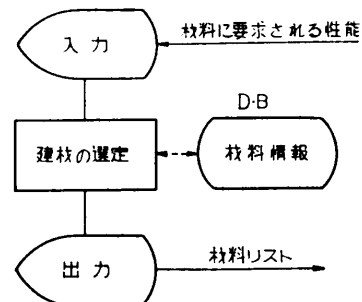


図1 システムフロー

Fig. 1 System flowchart.

† A Natural Language System whose Inference Process is Fuzzy in Selecting Building Materials by HIROSHI MIENO and JUN-ICHI TOUCHI (Faculty of Science and Engineering, Tokyo University of Science).

†† 東京理科大学理工学部経営工学科

```

① RUN (50)
② 材料に要求される性能をあげよ。
   耐摩耗に相当耐える。
   OK
③ 耐水性が普通だ。
   OK
   :
④ 終り。
   材料リスト
⑤
   ガムシート      100    80    ...
   リノウムタイル  100    60    ...
   モザイクタイル  100    50    ...
   :

```

図 2 入出力形式
Fig. 2 I/O format.

RUN コマンドで指定した適合度以上に満足する材料を出力する^⑤。その際、材料の各性能文に対する適合度も出力する。たとえば、GUM-SHEET の最初の性能文に対する適合度は 100 であり、二番目の性能文に対する適合度は 80 である。それぞれ、性能文の示す要求性能を 100%, 80% 満足していることを示している。

なお実際の会話はローマ字を使っておこなわれている。実際の会話実行例を付録の図 5 に示す。

3. 性能文の種類

性能文では、名詞や動詞で要求性能の種類を、副詞や形容詞で要求性能の程度をそれぞれあらわすことができる。性能文の例を下に示す。

- 耐摩耗性が相当大きい。 (耐摩耗性)
- 熱にきわめて耐える。 (耐熱性)
- 火に対して安全である。 (防火性)
- 音があまり生じない。 (発音性)
- 汚れがとれやすい。 (耐汚性)
- 酸に少し害されやすい。 (耐酸性)
- 歩行しやすい。 (歩行性)
- 遮音性がやや小さい。 (遮音性)
- 水に対する耐性が比較的大きい。 (耐水性)

耐摩耗性に関していえば、その性能の程度を次のように示すことができる。

- 1) 耐摩耗性は考慮しなくてよい。
- 2) 耐摩耗性はきわめて小さい。
- 3) 耐摩耗性は相当小さい。
- 4) 耐摩耗性は比較的小さい。
- 5) 耐摩耗性はやや小さい。
- 6) 耐摩耗性は普通だ。
- 7) 耐摩耗性はやや大きい。
- 8) 耐摩耗性は比較的大きい。

- 9) 耐摩耗性は相当大きい。
 - 10) 耐摩耗性はきわめて大きい。
 - 11) 耐摩耗性は大きい。
 - 12) 耐摩耗性は小さい。
 - 13) 耐摩耗性は大きくない。
 - 14) 耐摩耗性は小さくない。
- 2) の性能文は次のような言い換えも可能である。
- 摩耗に対してきわめて耐える。
 - きわめて大きな摩耗に耐える。
 - 摩耗に対する耐性がきわめて大きい。

4. 要求性能の Fuzzy 化

性能の等級を 0~9 の 10 段階に分け、それらの集合を G とする。

$$G\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

G に属する要素 x に対してメンバーシップ関数 $m(x)$ を定めることにより Fuzzy 集合を定義する。ここで、

$$0 \leq m(x) \leq 1 \quad x \in G$$

である。

要求性能の Fuzzy な等級は副詞と形容詞の係り受けにより決定される。形容詞を表 1 のように H, M, L の 3 つのレベルに分けたとき、副詞と形容詞のレベルの対応により等級を、本システムでは表 2 のような Fuzzy 集合であらわした。ここで、NIL は副詞や形

表 1 形容詞のレベル
Table 1 Level of adjective.

形容詞	レベル	形容詞	レベル
大きい	H	短い	L
小さい	L	強い	H
高い	H	弱い	L
低い	L	NIL	H
長い	H	普通だ	M

表 2 要求性能の Fuzzy な等級
Table 2 Fuzzy grade of demanded properties.

副詞	レベル	等級	Fuzzy 集合
きわめて	H	\$9	{6/0.1, 7/0.4, 8/0.9, 9/1.0}
相当	H	\$8	{6/0.3, 7/0.7, 8/1.0, 9/0.9}
比較的	H	\$7	{6/0.7, 7/1.0, 8/0.9, 9/0.7}
少し	H	\$6	{6/1.0, 7/0.9, 8/0.7, 9/0.3}
きわめて	L	\$1	{1/1.0, 2/0.9, 3/0.4, 4/0.1}
相当	L	\$2	{1/0.9, 2/1.0, 3/0.7, 4/0.3}
比較的	L	\$3	{1/0.7, 2/0.9, 3/1.0, 4/0.7}
少し	L	\$4	{1/0.3, 2/0.7, 3/0.9, 4/1.0}
NIL	H	\$H	{6/0.6, 7/0.75, 8/0.9, 9/1.0}
NIL	L	\$L	{1/1.0, 2/0.9, 3/0.75, 4/0.6}
NIL	M	\$M	{3/0.3, 4/0.9, 5/1.0, 6/0.9, 7/0.3}

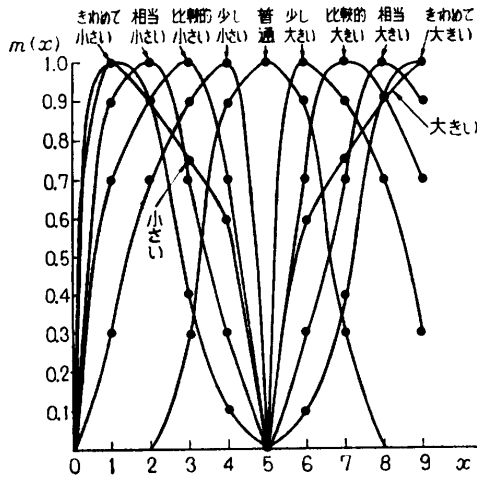


図 3 「大きい」「小さい」の Fuzzy 集合
Fig. 3 Fuzzy sets of 'big' and 'small'.

容詞が性能文にないことを意味している。また、表 1 や表 2 で記したものの以外の形容詞や副詞も使用可能である。

なお、形容詞が「大きい」、「小さい」のときの Fuzzy 集合を図 3 に示す。

性能文が否定のときや、「なければならぬ」といった補助動詞（以下、MUST と記す）があるときは、表 2 で決定された基本となる Fuzzy 集合 A に対して、その Fuzzy 集合を次のような演算を加えることにより決定した。

$$\text{否定のとき } \text{NEG}(A) = \bar{A}$$

$$\text{MUST のとき } \text{CON}(A) = A^2$$

$$\text{否定かつ MUST のとき } \text{CON}(\text{NEG}(A)) = (\bar{A})^2$$

たとえば、形容詞「大きい」に対する演算は次のようになる。

$$\text{大きい } A = \{6/0.6, 7/0.75, 8/0.9, 9/1.0\}$$

$$\text{大きくない } \text{NEG} = \bar{A}$$

$$= \{0/1.0, 1/1.0, 2/1.0, 3/1.0, 4/1.0, 5/1.0, 6/0.4, 7/0.25, 8/0.1\}$$

$$\text{大きくてはならない}$$

$$\text{CON}(\text{NEG}(A)) = (\bar{A})^2$$

$$= \{0/1.0, 1/1.0, 2/1.0, 3/1.0, 4/1.0, 5/1.0, 6/0.16, 7/0.06, 8/0.01\}$$

$$\text{大きくなければならぬ}$$

$$\text{CON}(A) = A^2$$

$$= \{6/0.36, 7/0.56, 8/0.81, 9/1.0\}$$

以上の演算結果を図 4 に示す。

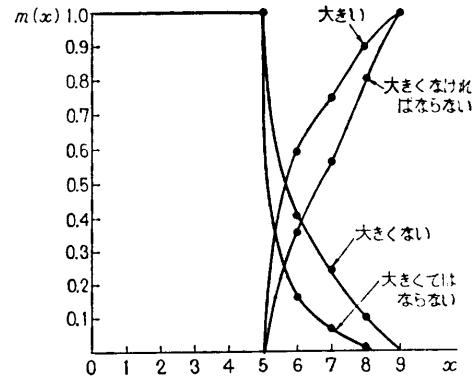


図 4 否定と MUST の効果
Fig. 4 Effect of negative and 'must'.

5. 材料性能

材料の性能は、その等級が明確でないものが少なくない。このような材料に関しては、等級を Fuzzy 化することが考えられる。たとえば、「だいたい 5 くらい」の等級を Fuzzy 集合 $\{3/0.5, 4/0.8, 5/1.0, 6/0.8, 7/0.5\}$ であらわすことにする(表 3)。一方、「明確に 5」である等級は $\{5/1\}$ であらわされる。つまり、Fuzzy でない集合は、その集合に属する要素については値が 1 であり、属さない集合については値が 0 であるような特性関数を使ってあらわされる。

$$m(x) = \begin{cases} 1 & x \in G \\ 0 & x \notin G \end{cases}$$

表 4 に材料のデータベースの例をあげる。ここで、 \forall のついた数字は Fuzzy 集合をあらわし、 \forall のつかない数字は Fuzzy でない集合をあらわしている。たとえば、GUM-SHEET に関しては、歩行性と耐摩耗性の等級は「8 くらい」であり、耐熱性の等級は「明確に 4」である。そして、それぞれ

$$\forall 8 = \{6/0.5, 7/0.8, 8/1.0, 9/0.8\}$$

$$4 = \{4/1.0\}$$

表 3 材料性能の Fuzzy な等級

Table 3 Fuzzy grade of material properties.

第級	Fuzzy 集 合	意 味
$\forall 9$	$\{7/0.5, 8/0.8, 9/1.0\}$	9 くらい
$\forall 8$	$\{6/0.5, 7/0.8, 8/1.0, 9/0.8\}$	8 くらい
$\forall 7$	$\{5/0.5, 6/0.8, 7/1.0, 8/0.8, 9/0.5\}$	7 くらい
$\forall 6$	$\{4/0.5, 5/0.8, 6/1.0, 7/0.8, 8/0.5\}$	6 くらい
$\forall 5$	$\{3/0.5, 4/0.8, 5/1.0, 6/0.8, 7/0.5\}$	5 くらい
$\forall 4$	$\{2/0.5, 3/0.8, 4/1.0, 5/0.8, 6/0.5\}$	4 くらい
$\forall 3$	$\{1/0.5, 2/0.8, 3/1.0, 4/0.8, 5/0.5\}$	3 くらい
$\forall 2$	$\{1/0.8, 2/1.0, 3/0.8, 4/0.5\}$	2 くらい
$\forall 1$	$\{1/1.0, 2/0.8, 3/0.5\}$	1 くらい

表 4 材料のデータベース

Table 4 Data base for building materials.

材料名	性能	歩行性	耐摩耗性	耐熱性
GUM-SHEET		¥ 8	¥ 8	4	
ASPHALT-BLOCK		5	2	¥ 5	
LINOLEUM-TILE		¥ 2	8	5	
MOSAIC-TILE		8	8	8	
ASPHALT-TILE		¥ 5	¥ 5	¥ 5	
BLICK		¥ 8	¥ 5	8	
TATAMI		8	¥ 1	1	
⋮					

であらわされる。

6. 適合度

材料性能が要求性能をどの程度、満足しているかを示す指標として適合度を定義する。

適合度は 0~100 値をとり、100 に近い程、材料性能と要求性能が一致していることを示している。

適合度 M は、要求性能のメンバーシップ関数を $m_A(x)$ 、材料性能のメンバーシップ関数あるいは特性関数を $m_B(x)$ とすると、次の式で計算される。

$$M = 100 \times \text{MAX } m_{A \cap B}(x)$$

$$= 100 \times \text{MAX } \text{MIN}[m_A(x), m_B(x)]$$

$$0 \leq M \leq 100$$

たとえば、要求性能が「きわめて大きい」ならば、その Fuzzy 集合は

$$A = \{6/0.1, 7/0.4, 8/0.9, 9/1.0\}$$

であり、かつ、材料性能の Fuzzy 集合が

$$B = \{5/0.5, 6/0.8, 7/1.0, 8/0.8, 9/0.5\}$$

ならば、

$$M = 80$$

と計算される。

要求性能と材料性能の組合せによる適合度の値を

表 5 に示す。

材料性能が Fuzzy でない場合は、適合度の値が、要求性能のメンバーシップ関数の値に比例しているので、ユーザの考える適合性と一致していると考えられる。

材料性能が Fuzzy な場合は、性能等級に幅があるので、Fuzzy でないときと比べ、適合度の値が大きくなる傾向がある。このことは、材料の選定の幅を広げることになる。

表 5 は要求性能が Fuzzy な場合についてのみ示してあるが、要求性能が Fuzzy でない場合は、材料性能が Fuzzy でなく、かつ等級が一致するときのみ適合度を 100 とし、ほかのときを 0 とする。

たとえば、要求性能が 7 の場合は、材料性能が 7 のときのみ適合度を 100 とし、ほかのときは適合度を 0 とする。

このことは、要求性能が Fuzzy なときは、選定する材料に幅をもたせ、要求性能が明確なときは、選定する材料を限定することになり、つかい分けによって、ユーザの要求にあった選定ができることになる。

いま、次の 3 つの性能文。

- ① 歩行しやすい。
- ② 摩耗に相当耐える。
- ③ 耐熱性が比較的大きい。

が入力されたとすると、各々の性能文の Fuzzy 集合は次のようになる。

- ① {6/0.6, 7/0.75, 8/0.9, 9/1.0}
- ② {6/0.3, 7/0.7, 8/1.0, 9/0.9}
- ③ {6/0.7, 7/1.0, 8/0.9, 9/0.7}

このとき、表 4 で示された材料の適合度の計算例を表 6 に示す。

表 5 適合度

Table 5 Compatibility.

要求性能	材料性能	¥ 9	¥ 8	¥ 7	¥ 6	¥ 5	¥ 4	¥ 3	¥ 2	¥ 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1
¥ 9		100	90	80	50	40	10	0	0	0	100	90	40	10	0	0	0	0	0
¥ 8		90	100	80	70	50	30	0	0	0	90	100	70	30	0	0	0	0	0
¥ 7		80	90	100	80	70	50	0	0	0	70	90	100	70	0	0	0	0	0
¥ 6		70	80	90	100	80	50	0	0	0	30	70	90	100	0	0	0	0	0
¥ 4		0	0	0	50	50	100	90	80	70	0	0	0	0	0	100	90	70	30
¥ 3		0	0	0	50	70	80	100	90	80	0	0	0	0	0	70	100	90	70
¥ 2		0	0	0	30	50	70	80	100	90	0	0	0	0	0	30	70	100	90
¥ 1		0	0	0	10	40	50	80	90	100	0	0	0	0	0	10	40	90	100
¥ H		100	90	80	75	60	50	0	0	0	100	90	75	60	0	0	0	0	0
¥ M		30	50	70	80	100	80	70	50	30	0	0	30	70	100	70	30	0	0
¥ L		0	0	0	50	60	75	80	90	100	0	0	0	0	0	60	75	90	100

表 6 適合度の計算例
Table 6 Example of compatibility.

材料名	性能		
	歩行性	耐摩耗性	耐熱性
GUM-SHEET	90	100	0
ASPHALT-TILE	60	50	70
BLICK	90	50	90
MOSAIC-TILE	90	100	100

7. 材料の選定

システムは、最後に、計算した適合度が、RUN コマンドで指定された適合度以上である材料を選定し、出力する。

表 6 のように適合度が計算されたとすると、RUN コマンドの指定により次のように出力される。

RUN (SO) の場合

ASPHALT-TILE	60	50	70
BLICK	90	50	90
MOSAIC-TILE	90	100	100

GUM-SHEET は、耐熱性の等級が 50 以下なので出力されない。つまり、各要求性能に対して計算した適合度がすべて RUN コマンドで指定した適合度以上の材料のみが出力され、その際、計算した適合度も出力される。

これにより、ユーザは、材料が、各要求性能をどの程度満足しているかを知ることができる。

RUN (80) とした場合は次のように出力される。

RUN (80) の場合

MOSAIC-TILE	90	100	100
-------------	----	-----	-----

つまり、計算された適合度がすべて 80 以上の材料は MOSAIC-TILE のみである。もし、RUN (0) と指定すれば、すべての材料が出力されることになる。RUN (100) と指定すれば、この場合はなにも出力されない。

このようにして、ユーザは、RUN コマンドで適合度を 100 から 0 まで指定することにより、制限を次第にゆるめながら、所要の材料を選定することができる。

すなわち、ユーザが最初に RUN コマンドで適合度を 100 と指定した場合は、なにも出力されない。そこで、今度は、適合度を 80 まで下げてみる。すると、MOSAIC-TILE を得ることができる。さらに、何種類かの材料を得たい場合は、さらに適合度を 50 まで下げてみる。そうすると、MOSAIC-TILE に加えて ASPHALT-TILE と BLICK を得ることができる。

このことは、ユーザに、RUN コマンドの適合度を変えることにより、レベル分けして、材料を選定することを可能にしておき、データベースに登録されている材料の数が多い場合は特に有効であると考えられる。

8. あとがき

日本語の副詞や形容詞の係り受けで表現される文の意味およびデータのあいまいさを Fuzzy 集合で表現して定量化し、推論過程を Fuzzy 化した建築材料選定システムを開発した。また、実際に使用して、その有効性を確かめた。

あいまいな質問応答を許さない、従来のシステムに比べて、あいまいなデータや文も扱えるシステムは、ほかの分野への広い応用をもつと考えられる。

現在は、材料データベースには、30 種類程度の床材と床材料に必要な 14 種類の性能情報がある。ただし、データベースへの情報の追加、修正は容易にできる。

計算機は東京大学大型計算機センターの HITAC 8800/8700 を使用した。使用言語は HLISP である。

問題はメンバーシップ関数の値をどのように決定するかであるが、本研究では L. A. Zadeh の研究⁶⁾を参考にして決定した。しかし、本来メンバーシップ関数の値はユーザの主観ごとに異なるので、各ユーザごとにメンバーシップ関数を決定できることが望ましいと思える。

参 考 文 献

- 1) 雨宮他：図形世界を話題とした質問応答システム、情報処理、Vol. 18, No. 8, pp. 799-807 (1977).
- 2) Winograd, T: Procedures as a Representation for Data in a Computer Program for understanding Natural Language, MAC-TR-84, MIT (1971).
- 3) L. A. Zadeh: Fuzzy sets, Inf. and Control, 8, 3, pp. 338-353.
- 4) A. Ishikawa, H. Mieno: The Fuzzy Entropy Concept and its Application, Fuzzy Sets & Systems, 2, pp. 113-123 (1979).
- 5) L. A. Zadeh: The concept of a Linguistic variable and its application to approximate reasoning (I) (II) (III), Inform Science, 8, pp. 199-294; 8, pp. 301-357; 9, pp. 43-80 (1975).
- 6) L. A. Zadeh: Fuzzy-set-theoretic Interpretation of Linguistic Hedges, J. cybernetics, Vol.

2, No. 3 (1972).

7) 材料設計研究委員会：材料設計に関する研究，
付 録

@RUN(50) ZAIRYONI YOKYU SARERU SEINOUD AGEYO
 @ARUKARINI GAISARE NIKUI.
 OK
 @MAHOUNI WARIAI TAERU.
 OK
 @OWARI.
 MATERIAL LIST
 HARD-BOARD 80 90
 GUM-TILE 60 90
 LINOLUEM-TILE 90 90
 LINOLUEM-SHEET 90 90
 GUM-SHEET 60 90

@RUN(60) ZAIRYONI YOKYU SARERU SEINOUD AGEYO
 @TAI NETU SEIGA TIISAI.
 OK
 @HIKAKUTEKI OUKINA MAHOUNI TAERU.
 OK
 @OWARI.
 MATERIAL LIST
 GUM-TILE 60 90
 LINOLUEM-TILE 60 90
 GUM-SHEET 60 90
 VINYL-CHLORIDE-SHEET 100 90

@RUN(60) ZAIRYONI YOKYU SARERU SEINOUD AGEYO
 @HOKOUGA YUIDA.
 OK

建築研究報告, No. 44 (1965).

8) 山本奉四郎編：デザイナーのための内外装材チェ
ックリスト，建築文化，11月号(1975).

@MAHOUNI SOUTOU TAENEDA NARANAI.
 OK
 @OWARI.
 MATERIAL LIST
 TERRAZZO-BLOCK 90 100
 CLINKER-TILE 90 100
 MOSAIC-TILE 90 100
 GUM-SHEET 90 100
 VINYL-CHLORIDE-SHEET 90 100

@RUN(60) ZAIRYONI YOKYU SARERU SEINOUD AGEYO
 @MAHOUNI TAE YASUI.
 OK
 @SYOGEKINI SOUTOU TAERU.
 OK
 @TAI SUI SEIGA TIISAI.
 OK
 @OWARI.
 MATERIAL LIST
 LINOLUEM-TILE 90 70 60

図 5 実行例

Fig. 5 Example of execute.

(昭和 54 年 11 月 13 日 受付)

(昭和 55 年 7 月 17 日 採録)