ショケ積分によるファジィ論理関数
– 否定や排中律との関係 –

高萩栄一郎

専修大学商学部

1 はじめに

ファジィ論理やファジィ論理関数では，ある変数の真理値をファジィ値 – [0,1] の値 – で表す．2値論理や3値論理をファジィ値に拡張することにより，いろいろ，よくわからないことが生じてくる．0.8で真であることは，0.2で偽であるのか，0.2でわからないなどそれ以外の値なのか（否定の意味），排中律をどう扱うのか などいろいろある．このような問題は，中島 [5] で指摘されているように，哲学など様々な分野で検討されている．本稿では，著者の認識を整理したうえで，ショケ積分による演算を提案したい．

2 連鎖律の逆理と排中律

2.1 連鎖式の逆理とは

連鎖式の一般的な定義 (中島 [5]) を示す．

P_1: x_0 は性質 S をもつ（性質 S をもつ x が存在する）．

P_2: もし x は性質 S をもち，y が x と見分けがつかないぐらい似ていれば，y も性質 S を持つ．

よって，

C: 任意の y は性質 S を持つ（しかし，実際には，ある y_0 は，性質 S を持たない）

たとえば，麦の山の問題

(1) 1万粒の麦は山をなす

(2) n 粒の麦が山をなせば，$n-1$ 粒の麦も山をなす

よって

(3) 1 粒の麦も山をなす

がある．そのほかにも，禿であるかどうかの問題，背が低いかどうかの問題などがある．

変数の値が 0 と 1 の 2 値のような離散的な場合，このような連鎖律の逆理が発生する．

2.2 排中律と二価原理

中島 [5] によると，排中律と二価原理の関係を次のように示している．

- 排中律は,「(p または $\neg p$) が真である」「$(T(p \vee \neg p))$」を主張
- 二価原理 (the Principle of Bivalence): 任意の言明 (p) は真か偽である ($Tp \vee Fp$)．
- T-演算子が分配的であるか，$Tp \equiv p$(タルスキの等式) が成り立つならば，二価原理は排中律から導かれる．

T-演算子が分配的である場合

$$
\begin{aligned}
&T(p \vee \neg p) \\
&\text{分配的であることを認めると} \\
=&Tp \vee T\neg p \\
&Fp = T\neg p \text{ と定義すれば} \\
=&Tp \vee Fp
\end{aligned}
$$

ファジィ値をとるときは，この「分配的であること」は認められない.『「暖かいもしくは暖かくない」が真』 と『「(完全に) 暖かい」が真 もしくは 「(完全に) 暖かくない」が真』は異なる.『「暖かいもしくは暖かくない」が真』で，中間の状態,「まあ暖かい」という状態は,「暖かいもしくは暖かくない」に含まれ，これに当てはまり，真となると考えられる．しかし,「まあ暖かい」という状態は,「(完全に) 暖かい」もしくは,「(完全に) 暖かくない」という状態のどちらかには当てはまらない．

タルスキの等式を認めた場合

$T(p \vee \neg p)$
タルスキの等式 $Tp \equiv p$ その逆の等式 $Fp \equiv \neg p$ を認めると
$= T(Tp \vee Fp)$
タルスキの等式を適用
$= Tp \vee Fp$

ファジィは，この二価原理を認めないものである．

3 否定と中間の値の意味

0と1，それらの中間の値0.5の意味を考えてみる．1は，その変数が意味するところが成立していることと考える．

3.1 否定の意味（逆の意味）

「天気がよければテニスに行く」というルールと天気が0.7でよいから，「0.7でテニスに行く」ということが導き出される．これは，「0.3でテニスに行かない」を意味するのだろうか？ ある変数 x が真でないことが，変数 x の否定の肯定，または x の逆の意味の肯定を示しているだろうか？

そこで，0の2つの意味を考える．

(N1) 変数 x の否定（逆の意味）が成立していること．$x = 1$ が背が高いことを意味していれば，$x = 0$ は背が低いことを意味しているとする．

(N2) x の肯定が成立していることが言えないこと．この場合，逆が成立していることや不明であることなどが含まれる．$x = 1$ が背が高いことを意味していれば，$x = 0$ は背が高いことを意味ししないとする（高いことが言えないだけで，不明，低いなどを表す）．

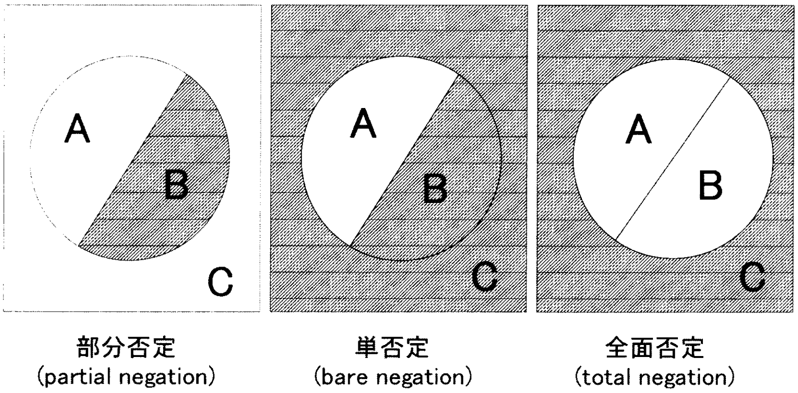

図 1: Chandler の否定のベン図，A の否定

3.2 中間の値の意味

0.5 の意味も 2 つある．

(N3) 0 と 1 の中間の状態を表す．

(N1) と併用すると，0.5 で背が高く，0.5 で背が低いことを意味する．また，0.5 で天気がよいならば，0.5 でテニスに行き，0.5 でテニスに行かないことを意味する．

(N2) と併用すると，0.5 で背が高いことを意味し，0.5 で背が低いことは必ずしも意味しない．

(N4) 向殿 [1] が言うように，不明，矛盾を意味する．(N1) と併用すれば，0.5 で天気がよいことは，天気が不明であり，また，テニスに行くかどうかは不明であることを意味する．

(N2) との関係で，(N2) では，0 に不明，矛盾を含むため，併用できない．

(N1) と (N2) の否定の意味は，さまざまな（ファジィ以外の）分野で研究されている．

インド人の論理学 [6] では，相対否定 (バリウダーサ) と絶対否定（プラサジュヤ・プラティシェーダ）がある．相対否定は，排中律を前提とし,「ここには，バラモンでない人がいる」は，バラモン人以外の人の存在を意図しおり，A の否定が非 A の肯定を含意しているものある．絶対否定は，排中律を前提とせず,「ここには，バラモン人がいない」では，バラモン人の存在が否定されるだけであり，A の否定が非 A の肯定を含意しない．(N1) の 0 の意味は，相対否定，(N2) は，純粋否定にほぼ対応するものである．

Chandler[8] は，否定を部分否定 (partial negation) と全否定 (total negation), および単否定 (bare negation) に分ける (図 1).「ソクラテスは病気である」(A) と「ソクラテスは健康である」(B) とすると，それぞれの否定は図 1 のようになる．部分否定では，A の否定は，B になる．全否定，たとえば,「ソクラテスは存在しなければ」，病気でも健康でもないので，(病気-健康という軸を否定して)，その他の部分 C になる．単否定では，A の否定以外何も意味しないので，B と C の部分になる．(N1) は，部分否定，(N2) は，単否定に対応する．

4 裏のルール

4.1 ルール「ならば」の意味するところ:裏のルール

2 値論理では，ルール（ならば）

$$A \to B(A \text{ならば} B)$$

であり，A が真であれば，B が真であると推論される．しかし，A が偽であるときは，(このルールからだけでは) B の真偽は不明である．

しかし，日常の言語では，裏のルール（命題）

$$\neg A \to \neg B(A \text{でなければ，} B \text{でない})$$

を意図している場合が多い．たとえば,

あした天気が良ければ，ピクニックに行く (例 1-1)

という命題は,

あした天気が良くなければ，ピクニックに行かない (例 1-2)

を意図している場合が多い．

また，健康診断で糖尿病が疑われる人が，診療所に行き,

- (医者) 尿から糖が検出されれば，糖尿病です. (例 2-1)
- (医者) あなたの尿から糖は検出されませんでした. (例 2-2)
- (患者 頭の中) では，私は糖尿病ではないんだ. (例 2-3)

となったとする．糖尿病の診断では尿から糖が検出したこと以外，血糖値などさまざまな検査をしないと判断できない．医者は，今日の検査では，糖尿病とは診断できなかった（さらなる検査が必要）ということを意図しているが，患者は，裏のルールを使って，自分は糖尿病ではないと判断した．医者は論理学の論理を使い，患者は日常言語を使っている場合の誤解である．このような誤解を避けるため，論理学の本では，裏のルールが成り立つかどうか，きちんと区別して言わなくてはならないとしている [7]．たとえば，例 2-1「尿から糖が検出されれば，糖尿病ですが，検出されなくても，(血糖値などの測定結果により）糖尿病と診断されます」．

作業手順を示すときは，裏のルールが意図されることが多い．

- (板前) 油の温度が，170 度以上 200 度以下だったら，具材を入れなさい（例 3-1)
- (見習い） 150 度だけど，(いそぎだし，150 度でいれちゃだめと言われてないし）入れちゃえ（例 3-2)

この場合，見習いが悪いとされることが多いだろう．このように手順を示すようなものや制御でのルールでは，裏のルールが暗黙に仮定されることが多い．

4.2 枠組み

日常提示されるこのようなルールは，ある枠組みのなかでのみで成立すると考えられる．(例 1-1) では，今日とほぼ同じ状態であり，天気の具合によって，ピクニックに行くどうかのルールである．したがって，この枠組みから外れる状況では意味を持たない．たとえば，家族のだれかが高熱をだしたときは，たとえ天気が良くてもピクニックには行かないだろう．

この枠組み内では，ピクニックに行くかどうかは，明日の天気がよいか，悪いかだけであり，悪いときのルールが提示されておらず，その場合，よいときのルールから裏の命題が意図され，「天気が悪ければピクニックに行かない」が意図される．

この方法は，婉曲な表現によく使われる．

- 今回の入試では，合計点が 180 点以上の受験生を合格にしました．(例 4-1)
- あなたのお子さんの合計点は，150 点でした．(例 4-2)

これは，「あなたのお子さんは不合格」を意味する．合否が合計点のみで決まるという枠組みで会話しているので，「寄付金」であるとか「コネ」があるとかは枠外の話である．

(例 4-1) が発話され，その意味が,「180 点未満の学生の合否は，言及しない」ということであると, (例 4-1) の発言の意味は，ほとんど意味がなくなる．もし，そうであり,「160 以上が合格，未満が不合格」というルールがあり，165 点で合格だったとすると, (例 4-1) の発言は「うそ」であると考えるだろう．

4.3 裏のルールがに成立する場合

(N1) の解釈をとり，A が真ではないことが，A の否定（逆の意味）が成立するとする．A がファジィ値を取る場合，A の否定は，$1-A$ とする．たとえば，A が，天気がよいとすると，天気が 0.7 でよい $A=0.7$ は，$1-A=0.3$ で天気が良くない (天気が悪い) を表すことを意味する．そこで，B をピクニックに行くとすると，

$$A \to B(A\text{ ならば }B)$$

から，B は，0.7 でピクニックに行くということになる．この B が 0.7 は，$\neg B=0.3$，0.3 でピクニックに行かないを意味する．これは，裏のルール，

$$\neg A \to \neg B(A\text{ でなければ，}B\text{ でない})$$

が，成立していることを意味する．

4.4 程度を示すことばを加えた場合

婉曲な表現は，何かを批判したいときも使われる．あることを讃え，その裏のルールで間接的に批判するという方法である．これに，程度を表す形容詞をつけて，使われることがある．

たとえば,「A かつ B であれば，きわめて健全な状況」では，裏のルールは,「(A かつ B) でなければ, (きわめて健全な状況）ではない」であるが，つぎのようなルールを暗黙のうちに表明したいのではないだろうか？

- 「$A \wedge B$ → きわめて健全な状況」(例 5-1)
- 「$A \wedge \neg B$ → 中間の状況（たとえば，やや健全な状況)」(例 5-2)
- 「$\neg A \wedge B$ → 中間の状況（たとえば，やや不健全な状況)」(例 5-3)

- 「$\neg A \wedge \neg B$ → きわめて不健全な状況」(例 5-4)

この場合，(例 5-1) のルールを発話することにより，(例 5-4) を連想させることを意図することがある．

きわめて健全な状況を 1 とし，きわめて不健全な状況を 0 として，$A \wedge B$ の成立の程度に応じて，または，(例 5-2) や (例 5-2) のように，条件の一方が成立するときは，その中間のルールを想定しているのだろう．たとえば，(例 5-2) の場合 0.7 で健全な状況，(例 5-3) の場合 0.2 で健全な状況というルールが考えられる．

4.5　すべてのルールを 1 つの論理式（論理関数）で表現する

ある病気 (X) を診断するのに 2 つのルールがあり，

- p_1 が基準値を超えていれば，X 病である．$A_1 \rightarrow B$（例 6-1)
- p_2 が基準値を超えていれば，X 病である．$A_2 \rightarrow B$（例 6-2)

とする．2 値論理で，ある人が，p_1 が基準を超えていたら，A_1 が真になり，$A_1 \rightarrow B$ より，B が真になり，X 病と診断される．p_2 が基準内であり，(例 6-2）からの，B の真偽は不明であっても，(例 6-1) より X 病となる．

ファジィ値の場合，A_1 が 0.7，A_2 が 0.2 の場合，(例 6-1) より 0.7 で X 病，(例 6-2) より 0.2 で X 病となる．2 つの論理式は，OR で結合するので，0.7 で X 病となる．

裏の命題を考えると (例 6-1) から 0.3 で X 病ではなく，(例 6-2) から 0.8 で X 病ではない．この場合，OR で結合するのではなく，AND で結合するという別の結合になる．2 値の場合と異なり，2 つのルールを結合した論理式

$$(A_1 \vee A_2) \rightarrow B$$

で表現しなくてはならない．また，B がファジィ値で (N1) の解釈をとるので，裏の命題

$$\neg(A_1 \vee A_2) \rightarrow \neg B$$

が成立する．これは，p_1,p_2 が基準内であれば，X 病ではないことを意図している．したがって，ファジィ値にする場合，すべての条件を前件部に記述しなくはならない．ただし，枠組みが前提されており，その枠組み内でのすべての条件である．いいかえると，裏の命題が成立するように，ルール (命題) を作成しなくてはならない．

4.6 MaxMin 演算は，排中律を満たさない

ファジィ論理（関数）[1] では，論理積 ($\wedge$) については min 演算，論理和 ($\vee$) については max 演算を用いる (MaxMin 演算)．x をファジィ値とすると，この MaxMin 演算では，排中律 ($x \vee \neg x = 1$) や矛盾律 ($x \wedge \neg x = 0$) を見たさない．たとえば，$x = 0.8$ とすると，

$$x \vee \neg x = \max(x, 1 - x) = 0.8 \tag{1}$$

$$x \wedge \neg x = \min(x, 1 - x) = 0.2 \tag{2}$$

となる．

次節で，このような排中律や矛盾律を満たす「ショケ積分によるファジィ論理関数の計算」を提示する．

5 ショケ積分によるファジィ論理関数の計算

以上述べてきた性質を持つファジィ論理関数の演算方法は，ショケ積分の拡張で実現できる．(N1) の意味で利用するときは，論理型ショケ積分 [4] である．排中律は成立し，逆の命題の計算も一致する．

5.1 代表点規則と単調性規則

(N1) の場合の論理演算は 2 値（真と偽，1 と 0）で行われており，ファジィ値は 2 値の演算結果の補間とする．そこで，2 値の入出力値の組を代表点と呼ぶ．

ある入力値 p の値が，0 と 1 に変化させ，(他の入力値の値が同じで）この 2 点での出力値が同じである場合，すべてのファジィ値 $\forall p \in [0, 1]$ でも同じ出力とするという規則を導入する，この規則を「代表点規則」と呼ぶ，

代表点規則を導入すれば，$p \vee \neg p$ は，$p = 0$, $p = 1$ の両場合で成立する (真となる) ので，ファジィでの排中律 $p \vee \neg p = 1, \forall p \in [0, 1]$ は成立する．したがって,「(ファジィでの）排中律」は，代表点規則より導かれたものとなる．

「矛盾律」も同様で，$p \wedge \neg p$ は，p の 2 値の真理値に関わらず成立しないことより，代表点規則より，p がファジィ値 ([0, 1] の値) であっても，論理式 $p \wedge \neg p = 0$ となる．

代表点規則をテニスの例に適用する.「天気がよければテニスへ行く」と「天気がよくなければテニスに行く」とする. 天気がよいを p, テニスへ行くを q とし,

$$p \to q$$
$$\neg p \to q$$

となる. 2値では,

$$p \to q, \forall p \in \{0, 1\}$$

となる. 真理値がファジィ値をとる場合, 代表点規則を適用すれば,

$$p \to q, \forall p \in [0, 1]$$

とする. したがって, p の値にかかわらず, q が成立する.

一方,「天気が悪ければ, テニスに行かない」というルールがあれば,

$$p \to q$$
$$\neg p \to \neg q$$

となり, $(p = 0) \to (q = 0)$ と $(p = 1) \to (q = 1)$ を補間することとし, $p_1 \leq p_2$ ならば, $q_1 \leq q_2$ を出力することとする. これを単調性規則と呼ぶ.

入力変数を $x_1, \ldots, x_n$ として, ルールは, 1つのファジィ論理関数 f で表現されるとする. 代表点規則と単調性規則は次のようになる.

$$y = f(x_1, \ldots, x_n) \tag{3}$$

$x_2, \ldots, x_n$ を0か1に固定したとき $(\bar{x}_i \in \{0, 1\}, i = 2, \ldots, n)$,

$$y^0 = f(0, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n) \tag{4}$$
$$y^1 = f(1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n) \tag{5}$$

$y^0 \leq y^1$ のとき, $0 \leq x_1^2 \leq x_1^3 \leq 1$ とし, $y^2 = f(x_1^2, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n)$, $y^3 = f(x_1^3, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n)$ ならば, $y^0 \leq y^2 \leq y^3 \leq y^1$ とならなくてはならない. また, $y^0 \geq y^1$ のとき, $y^0 \geq y^2 \geq y^3 \geq y^1$ とならなくてはならない.

代表点規則は, 単調性規則に含まれる.

5.2 ショケ積分によるファジィ論理関数の計算の図解

本稿では，ショケ積分によるファジィ論理関数の計算 [4] の表と図により，その計算法を示す．ショケ積分による論理演算は，代表点規則，単調性規則を満たす．

ショケ積分によるファジィ論理関数の計算は，入力値によって，$[0,1]$ をいくつかの範囲に分割する．それぞれの範囲で，満たす条件の出力値を求め，その範囲の幅との積を求める．その積の総合計を出力値する計算方法である．

5.2.1 例 6: 単調なファジィ論理関数

単調なファジィ論理関数の例として，

$$y = x_1 \vee (x_2 \wedge x_3) \tag{6}$$

をあげる．まず，2 値の場合の入出力関係 (真理値表) を 表 1 にあげる．

表 1: 例 6(式 (6)) の真理値表

ルール	代表点			出力値
	x_1	x_2	x_3	y
R6-1	0	0	0	0
R6-2	0	0	1	0
R6-3	0	1	0	0
R6-4	0	1	1	1
R6-5	1	0	0	1
R6-6	1	0	1	1
R6-7	1	1	0	1
R6-8	1	1	1	1

$x_1 = 0.2$, $x_2 = 0.6$, $x_3 = 0.8$ の場合の計算表を表 2 に示す．

範囲イは，$(0.8, 1.0]$ であるので，x_1, x_2, x_3 のどれも満たさない．したがって，$x_1 = x_2 = x_3 = 0$ のルール R6-1 があてはまる．この範囲イでは，幅 0.2 と R6-1 の出力値 0 の積 0 となる．

範囲ロは，$(0.6, 0.8]$ であるので，x_3 のみ満たす．したがって，$x_1 = x_2 = 0, x_3 = 1$ のルール R6-2 があてはまる．この範囲ロでは，幅 0.2 と R6-2 の出力値 0 の積 0 となる．

範囲ハは，$(0.2, 0.6]$ であるので，x_2 と x_3 のみ満たす．したがって，$x_1 = 0$, $x_2 = x_3 = 1$ のルール R6-4 があてはまる．この範囲ハでは，幅 0.4 と R6-4 の出力値 1 の積 0.4 となる．

範囲ニは，$[0, 0.2]$ であるので，x_1, x_2, x_3 すべて満たす．したがって，$x_1 = x_2 = x_3 = 1$ のルール R6-8 があてはまる．この範囲ハでは，幅 0.2 と R6-8 の出力値 1 の積 0.2 となる．

$x_1 = 0.2$, $x_2 = 0.6$, $x_3 = 0.8$ の場合の出力値は 3 つの積の合計 0.6 となる．図 2 は，その図解で，斜線の部分の面積が出力値となる．

表 2: 例 6 の計算表 ($x_1 = 0.2$, $x_2 = 0.6$, $x_3 = 0.8$ の場合)

	範囲	幅	x_1	x_2	x_3	ルール	ルールの出力値	積
イ	$(0.8, 1.0]$	0.2				R6-1	0	0
ロ	$(0.6, 0.8]$	0.2			$\surd$	R6-2	0	0
ハ	$(0.2, 0.6]$	0.4		$\surd$	$\surd$	R6-4	1	0.4
ニ	$[0.0, 0.2]$	0.2	$\surd$	$\surd$	$\surd$	R6-8	1	0.2
合計								0.6

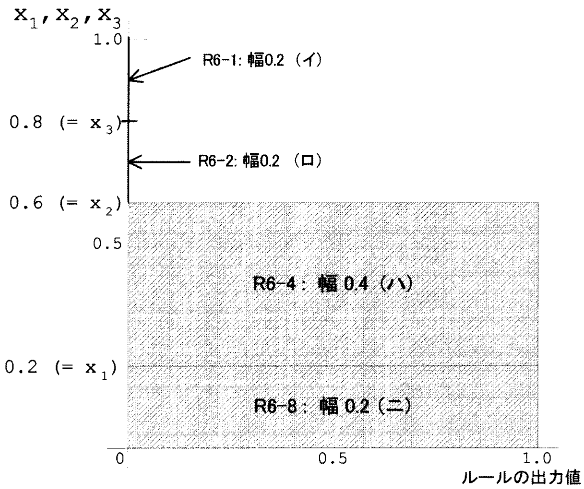

図 2: 例 6 の計算の図解 ($x_1 = 0.2$, $x_2 = 0.6$, $x_3 = 0.8$ の場合)

5.2.2 例 7: 非単調なファジィ論理関数

非単調なファジィ論理関数の例として，

$$y = \neg x_1 \vee (x_2 \wedge x_3) \tag{7}$$

をあげる．まず，2 値の場合の入出力関係 (真理値表) を 表 3 にあげる．

表 3: 例 7(式 (7)) の真理値表

ルール	代表点			出力値
	x_1	x_2	x_3	y
R7-1	0	0	0	1
R7-2	0	0	1	1
R7-3	0	1	0	1
R7-4	0	1	1	1
R7-5	1	0	0	0
R7-6	1	0	1	0
R7-7	1	1	0	0
R7-8	1	1	1	1

$x_1 = 0.4$, $x_2 = 0.5$, $x_3 = 0.1$ の場合の計算表を表 4 に示す．

範囲ホは，$(0.5, 1.0]$ であるので，x_1, x_2, x_3 のどれも満たさない．したがって，$x_1 = x_2 = x_3 = 0$ のルール R7-1 があてはまる．$\neg x_1$ の項があるので，R7-1 の出力値は 1 となる．この範囲ホでは，幅 0.5 と R7-1 の出力値 1 の積 0.5 となる．

範囲へ～チでも同様の計算ができ，出力値は 3 つの積の合計 0.7 となる（図 3)

5.2.3 例 8: 定数係数をもったファジィ論理関数

4.4 節の程度をもったルールの例 (例 4) は，定数係数をもったファジィ論理関数で表現できる．例 4 は，

$$y = (0.7 \wedge x_1) \vee (0.2 \wedge x_2) \vee (x_1 \wedge x_2) \tag{8}$$

をあげる．2 値の場合の入出力関係 (真理値表) を 表 5 にあげる．定数係数をもつので，出力値は $[0, 1]$ となる．

$x_1 = 0.5$, $x_2 = 0.8$ の場合の計算表を表 6 に示す．図 4 にその図解を示す．

表 4: 例 7 の計算表 ($x_1 = 0.4,\ x_2 = 0.5,\ x_3 = 0.1$ の場合)

	範囲	幅	x_1	x_2	x_3	ルール	ルールの出力値	積
ホ	$(0.5, 1.0]$	0.5				R7-1	1	0.5
ヘ	$(0.4, 0.5]$	0.1		$\surd$		R7-3	1	0.1
ト	$(0.1, 0.4]$	0.3	$\surd$	$\surd$		R7-7	0	0
チ	$[0.0, 0.1]$	0.1	$\surd$	$\surd$	$\surd$	R7-8	1	0.1
合計								0.7

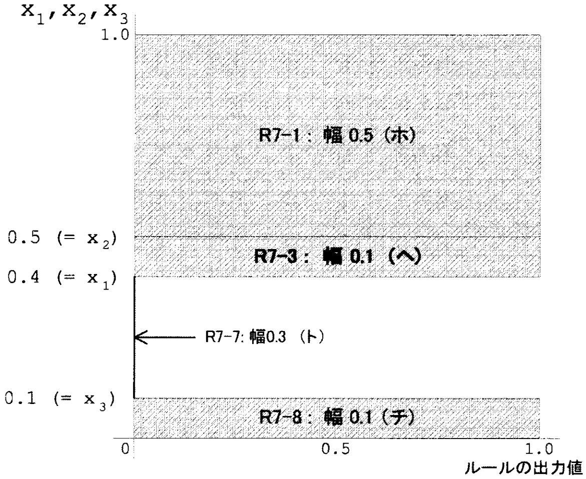

図 3: 例 7 の計算の図解 ($x_1 = 0.4,\ x_2 = 0.5,\ x_3 = 0.1$ の場合)

表 5: 例 8(式 (8)) の真理値表

ルール	代表点		出力値
	x_1	x_2	y
R8-1	0	0	0
R8-2	0	1	0.2
R8-3	1	0	0.7
R8-4	1	1	1

表 6: 例 8 の計算表 ($x_1 = 0.5,\ x_2 = 0.8$ の場合)

	範囲	幅	x_1	x_2	ルール	ルールの出力値	積
リ	$(0.8, 1.0]$	0.2			R8-1	0	0
ヌ	$(0.5, 0.8]$	0.3		√	R8-2	0.2	0.06
ル	$[0.0, 0.5]$	0.5	√	√	R8-4	1	0.5
合計							0.56

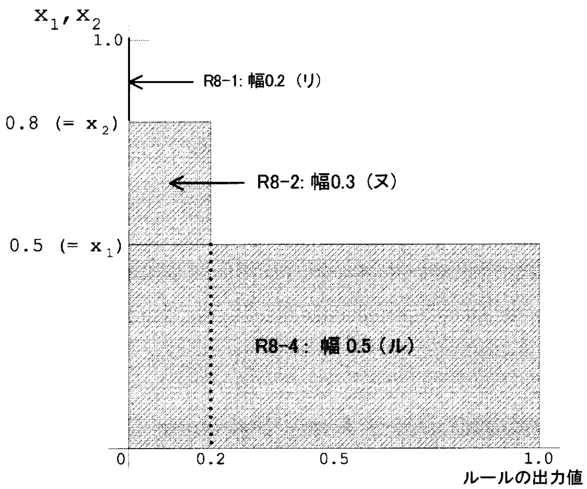

図 4: 例 8 の計算の図解 ($x_1 = 0.5,\ x_2 = 0.2$ の場合)

5.3 裏のルールが成立しない場合

(N2) の場合，真 (T), 偽 (F)，未知不明 (U) の 3 値に分け，それぞれ，T,F,U のそれぞれの度合いをファジィ値で表現することができる．また，この場合の排中律として，ある変数の T,F,U の度合いの合計を 1 にする．代表点（それぞれの変数が 0 か 1）での出力を計算し，それを補間するようにしたものがファジィ3 値論理関数 [2] である．この関数は，拡張した相補律，単調性などを満たす．

6 おわりに

本稿では，なぜファジィ論理関数（もしくは，ファジィ論理，ファジィの演算）にショケ積分の計算を用いたらよいのかを述べた．

本手法は，ある程度，モデルの枠組みが規定され，また，裏の命題が成立するような問題に適用可能であろう．例えば，制御 – 作業手順のルール – やシミュレーション，エキスパートシステムなどで利用が考えられる．

参考文献

[1] 向殿政男,「ファジィ論理 (講座ファジィ 4)」, 日刊工業新聞社, 1993.

[2] 高萩栄一郎, ショケ積分によるファジィ3値論理, 第18回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.583-586, 2002.

[3] E.Takahagi, Fuzzy three-valued switching functions using Choquet integral, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.7 No.1, pp.47-52, 2003.

[4] E.Takahagi, Fuzzy Integral Based Fuzzy Switching Functions, in *Transactions on Rough Sets II. Lecture Notes in Computer Science 3135 edited by James F. Peters et al*, pp.129-150, Springer, 2004.

[5] 中島信之，あいまいさの系譜，三恵社，2006.

[6] 桂紹隆，インド人の論理学 問答法から帰納法へ，中央公論社，1998.

[7] 野矢茂樹，入門！論理学，中央公論社，2006.

[8] H.S. Chandler, Excluded middle, *Journal Philosophy*, 64, pp.807-814, 1967.

[問い合わせ先]

〒214-8580 神奈川県川崎市多摩区東三田2-1-1

専修大学商学部 高萩 栄一郎

TEL:044-900-7988 FAX:044-900-7849

電子メール:takahagi@isc.senshu-u.ac.jp