

# 多重推論: 独立なあいまいな 複数の根拠に基づく推論

本田悦朗 \*1

田村進一 \*2

佐藤嘉伸 \*2

増山 博 \*3

\*1 宮崎大学工学部電子工学科  
889-21 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1

\*2 大阪大学医学部  
565 大阪府吹田市山田丘 2-2

\*3 鳥取大学工学部知能情報工学科  
680 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101

## あらまし

本研究では、知識の独立性を問題にした、曖昧な知識を扱う方法として、多重推論を提案する。従来からある曖昧な知識を用いて推論を行う方法としては CF 値や Dempster & Shafer の確率理論を用いる方法などがある。多重推論とは、知識の曖昧さを量的数値で表す事のできないような場合に、個々の根拠は曖昧であっても、複数の根拠が存在し、かつ、それらが独立であれば結果は正しいとする推論である。本研究では、まず、曖昧であるが独立な根拠に基づく推論を行う多重推論の定義を行い、次に、ある結論がいくつかの独立な演繹から得られるのかを示す多重度を定義する。さらに、多重推論を用いる前向き推論のアルゴリズムを提案する。これは、多重度に基づく優先探索である。最後に、多重推論の可能性と問題点を考察する。

和文キーワード 推論、曖昧な知識、独立、多重推論、多重度

## Multiple Inference

Etsuro HONDA \*1 Shinichi TAMURA \*2

Yoshinobu SATO \*2 Hiroshi MASUYAMA \*3

\*1 Department of Electronics Engineering, Miyazaki University  
1-1 Kibanadai-nishi Miyazaki 889-21 Japan

\*2 Osaka University Medical School  
2-2 Yamadaoka Suita-shi Osaka 565 Japan

\*3 Department of intelligence and information Engineering, Tottori University  
4-101 Koyama-minami Tottori 680 Japan

## abstract

As methods for dealing with inference based on ambiguous knowledges, CF value and Dempster & Shafer's probability theory etc. have been proposed. However, there are situations where such quantitative values are not determined. In this paper, we propose a multiple inference: Even if there are plural foundations, and each foundation is ambiguous, the results are regarded correct, if they are independent.

英文 key words inference, ambiguous knowledges, independence,  
multiple inference, degree of multiplicity

## 1 はじめに

曖昧な知識を用いて推論を行う方法としては、従来、CF 値 [?] や、主観 Bayes 確率 [?], Dempster&Shafer[?][?] の確率理論などを用いる方法がある。これらの方法は従来、理学、工学で用いられていた、Bayes 確率を不備(無知量をうまく表すことができない事)を補う形で発展し、数学的に確立された方法となっている。これらの方法ははたして、これまで真偽を 1 か 0 の 2 値で表わしていたのに対して、不確かさを表わすためにある知識がどれくらい正しいかを量的数値として与える。例えば、0.8 正しいなどと表現する。このように曖昧さを数値に置き換え、数学理論を用いる事によって、推論の結論の曖昧さを量的に表わす場合に論理的整合性を持たせることができる。

しかしながら、知識のあいまいさを量的数値で表す事のできないような場合や量的数値で表す事が余り意味のない場合も存在する。例えば、重要な決定を行う場合や、曖昧な根拠に基づいて推論を行うときに、その根拠の独立性が問題となる場合がしばしばある。例えば、ある犯罪で、A を犯人であると推定する場合に、A のアリバイや動機などの状況証拠の他、物的な証拠、複数の人からの証言などの証拠が必要である。とくに、証言を証拠とする場合は、その証言をする人が一人では、証拠として用いるのは難しいが、証言する人の数が多いほど確実な証拠となる。また、「風が吹けば桶屋が儲かる」<sup>†</sup> 式の一見もっともらしい推論の結論が、必ずしも正しいとは限らない。経験や直感による結論と、それとはまったく独立な論理的な裏づけの両方がある、はじめで正しいと言う事ができる場合も多数存在する。

本研究では、一つ一つの根拠は曖昧であっても、それらが独立であれば結果は正しいと言う多重推論について提案する。多重推論は、ルール of 独立性、事実の独立性によっていくつかの種類が考えられる。[?]。本研究では、ルールや事実の独立性だけでなく、ルールや事実の知識源の種類も考慮したいくつかの多重推論の定義を行う。また、結論がいくつかの独立な根拠から得られるかを、多重度と呼ぶ。例えば上の証言の例では、証拠となる証言をする人が  $n$  人いれば、その証言の多重度は  $n$  となる。

<sup>†</sup> 風が吹くとごみが舞い上がる。→ ごみが目に入って目が見えなくなる人がたくさん出る。→ 目が見えなくなった人は三味線を習う。→ 三味線の需要が増えると猫の皮がたくさん必要になる。→ 猫が少なくなり、ねずみが殖える。→ ねずみによってかじられる桶が増える。→ 桶屋が儲かる。

多重度を用いた推論には、文献 [?] で考察された、予め設定しておいた多重度をもつ事実を探索する方法がある。本研究では、プロダクションシステムのような前向き推論において、現在もっとも多重度が大きい結論を、現在の正しい事実であると仮定して推論を進めていく方法を提案する。このような多重推論の知識の表現は、一般のプロダクションシステムのように、ルールは、if-then 形式で表され、ルールベースに記憶され、事実、ワーキングメモリなどと呼ばれるデータベースに記憶される。優先探索多重推論に基づくプロダクションシステムが、一般のプロダクションシステムと大きく異なるのは、まず、照合過程において多重度を算出し、それを、競合解消において利用する点である。多重推論方式の推論エンジンは、このプロダクションとデータベースに記憶されている事実を照合し、複数の結論が得られると、もっとも多重度の大きい結論をその時の事実と仮定し、その結論をワーキングメモリに挿入し、あらためて照合を行う。このように、本研究で提案する多重推論方式では、多重度に基づく一種の優先探索を用いる。

本研究では、2 章でまず、多重推論と多重度についての定義を行った後、3 章で多重度を用いた前向き推論と多重度の変化について考え、4 章では、事実独立推論の場合の推論エンジンを示し、最後に 5 章でまとめと今後の方針について述べる。

## 2 多重推論と多重度の定義

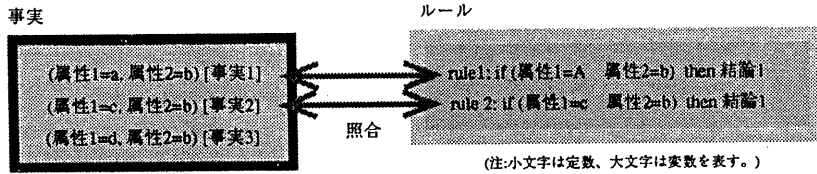
多重推論とは、与えられたルールと事実によってある結論を導く独立な演繹が複数あるような推論の事をいう。

### 例

#### 問題 密室殺人事件

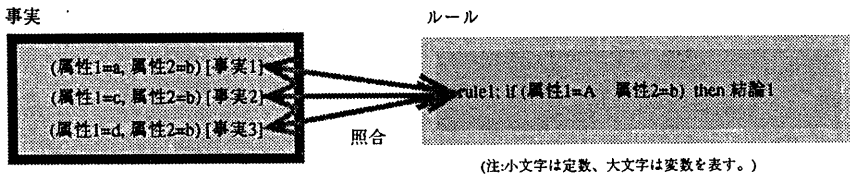
ある金持ちの老人が、ふろ場で、鋭い錐状のもので胸を差し貫かれて死んでいるのが発見された。ふろ場は、内側から鍵が掛かっていて、老人が死んだときにほかの誰かが、ふろ場に入る事は不可能であった。それにもかかわらず老人を殺害した凶器がふろ場では見つからなかった。

容疑者として老人の甥があげられた。甥は、老人にとって唯一の血のつながりのある人物であり老人が息子の様にかわいがっていた人物であるが、遊び



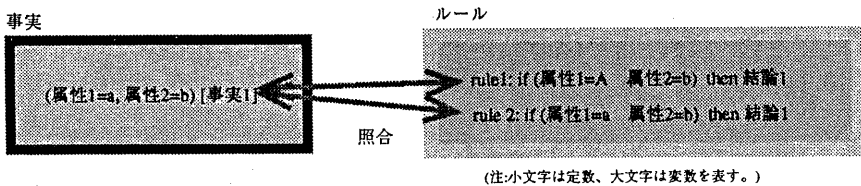
事実ルール独立推論においては2つの独立な演繹により結論1が得られる。  
 なお、事実2及び事実3もルール1の条件部を満たすが、その場合ルールと事実が独立であると言う条件では、ルール2の条件部を満たす事実はない。  
 このような場合は結論1は、1重にしか保証されない。  
 (照合過程では、結論の正確さを期するためにパスの数をもっとも多くするように照合が行われるようにされなければならない。)

図1. 事実ルール独立推論の照合過程



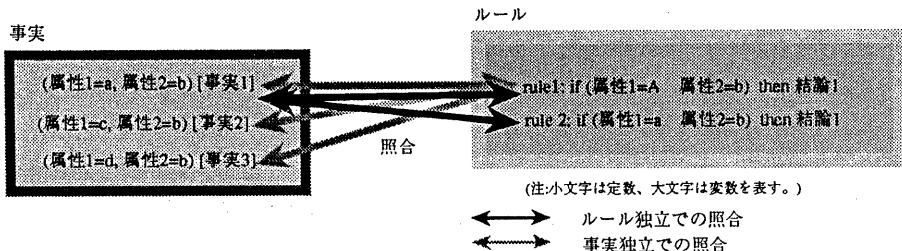
事実独立推論においては事実の独立性のみが問題であるのでルール1がおたがいに独立な3つの事実 matches し、結論1が3重に保証される事になる。

図2. 事実独立推論の照合過程の例



ルール独立推論においてはルールの独立性のみが問題であるので、この場合結論1は2重に保証されている。

図3. ルール独立推論の照合過程の例



混合型推論においては事実もしくはルールのどちらかのみ独立性が問題である。結論1は事実独立では3重に保証されているのに対し、ルール独立では2重である。ここでは、できるだけ多くの保証を得るために事実独立推論の3重の保証を選ぶ。

図4 混合型推論の照合過程の例

人で、借金に困って居り、老人が死んだと思われる時刻のアリバイもなかった。

捜査が進むにつれて、以下の事実が分かった。

- 老人はガンで残りわずかな命であった事。
- 甥は老人がガンである事を知らなかった。

### 多重推論のルール

この事件の場合、犯人を特定するためのルールとして次のものが上げられる。

1. 殺人を侵すような動機がある人間は容疑者である。
2. アリバイのない人間は容疑者である。
3. 凶器を殺人現場に持ち込める事のできる人間は容疑者である。
4. 容疑者であるならば犯人である。
5. 殺人現場にいた人間が犯人である。

ルール4の容疑者であるならば犯人であるというルールは、容疑者であると言う結論を保証する事実が多いものほど犯人である疑いが強いという事を表している。しかし、容疑者は犯人であるという事はあいまいな事なので、その他のルール4とは独立な、犯人であるという結論を保証するようなルールがルール5である。

### 多重推論による推理

まず甥であるが、甥は、ルール1, 2を満たし、容疑者である事が2重に満たされる。甥は容疑者であるので、ルール4より犯人であると言う事が1重に満たされる。次に老人であるが、ルール2, 3を満たし、容疑者である事が2重に満たされる。老人は容疑者であるので、ルール4より犯人であり、また、老人はルール5を満たすので老人が犯人であるが2重に満たされる。

甥が犯人である事が保証が1重であるのに対し、老人が犯人であるのは2重に保証されているので、多重推論の結論としては老人が犯人である。

### 解答

しばらくして、遺言状が発見された。遺言状には、自分が犯人である事が告白されていた。

凶器の謎は、凶器を持ち込めるのは老人しかいなかった事から凶器がつららのような先のとがった氷であると仮定すれば、老人が自分の胸を貫いた後、暖かいふろ場で氷が解けてなくなったために凶器が発見できなかったと理解することができる。

最後に、遺言状に、「身持ちの悪い甥に全財産を託すのは不安であるので、彼に立ち直って欲しいために、残りわずかな命でもあるし、このような事をしくんだ。」とかいてあった事を付記する。

## 2.1 多重推論の定義

多重推論には、

1. 事実及びルールがともに独立な事実ルール独立推論 (FRI inference)(図1)
2. 事実の独立性を問う事実独立推論 (FI inference)(図2)
3. ルールの独立性を問うルール独立推論 (RI inference)(図3)
4. ルールまたは事実の独立性を問う混在型独立推論 (MI inference)(図4)

などがある。

これらの包含関係を示したものを図5に示す。



図5. 多重推論の包含関係

この他に、個々の知識を識別する代わりに、知識源の独立性を問題にした知識源独立推論 (KSI inference) があり、これには、

1. ルールおよび、事実の知識源の独立を問う事実知識源独立推論 (FKSRKSI inference)
2. ルールの独立性を問題にせず、事実の知識源の独立を問う事実知識源独立推論 (FKSI inference)
3. 事実の独立性を問題にせず、ルールの知識源の独立性を問う事実独立推論 (RKSI inference)

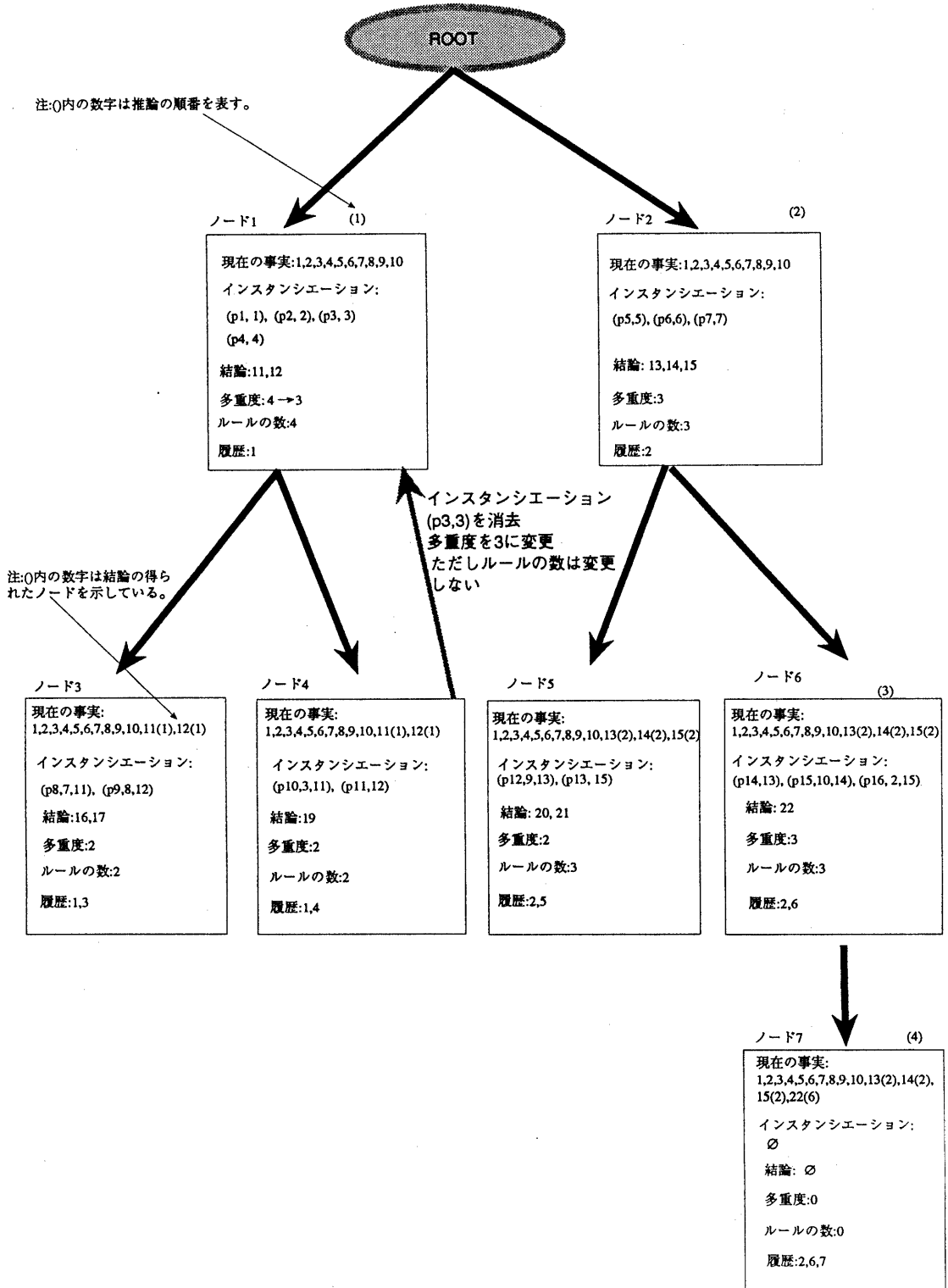


図6:多重度に基づく優先探索の例

4. 事実の知識源の独立を問い、ルールの知識源は問わないが、ルールの独立性を問うルール独立推論 (FKSRI inference)
5. ルールの知識源の独立を問い、事実の知識源は問わないが、事実の独立性を問うルール独立推論 (RKSFI inference)

などがある。

## 2.2 多重度

ある結論の多重度が  $n$  であるとは、独立な  $n$  個の演繹によってその結論が得られた場合を言う。

ルール独立推論や、事実独立推論では、結論の多重度は一意に決まるが、ルール事実独立推論では、図1の例のようにあるルールがどの事実にも単一化されるかによって多重度が変化するので、照合過程では、多重度もっとも大きくなるように単一化を行う必要がある。混在型独立推論では、ルール独立推論、事実独立推論を同時に行い、各々の多重度のうち大きい方が、混在型独立推論の多重度となる。

## 3 多重推論における推論と多重度の変化

一般に多重推論においては、推論間の独立性を問題とするので、多重度まで含めると、三段論法のような推移的な関係は保証されない。

本研究では、多重度を用いた、プロダクションシステムのような前向き推論を考える。そのような推論では、並行に進められているいくつかの推論の結論の中で、その時点でもっとも多重度の大きい結論をもっとも信頼のおける事実と仮定して推論を進めていく、仮説推論を行う。

一方、推論が進むにつれて、以前の結論の多重度を減少させた方が、現在の結論の多重度が大きくなる場合もある(例:図6)。このような場合には、以前の推論の結果の多重度が1以下にならないように減少させ、現在の得られる結論の多重度もっとも大きくなるようにする。図6では、ノード4においてルール10が事実3と事実11と単一化しているが、ノード4を導いた推論である親ノード1において、ルール3と事実3が単一化してしているので、事実の独立性を考えたとき、ノード4のルール10は成立しない。ところで、ノード1の多重度が4であるので、ノード1の結論は4重に保証されている。そ

こで、ノード1のルール3と事実3の単一化を行わなければ、ノード1の結論の多重度は3になるが、ノード4の結論の多重度は、ルール10と、事実3と事実11の単一化が成功し、多重度が2に増える。

また、別の独立な推論に基づく結論が、ほかの推論の結論と同じになるような場合、つまり平行して推論されている複数のノードの結論が同じになった場合には、新たに2つ以上のノードを親ノードとして持つノードをつくる。その多重度などは、その親ノードのそれらの和となる。このように、平行に行われている推論の結論(例えば、経験による結論と論理的な結論)が、同じ結論を持つ場合には、理解の進展(一種の学習)によって多重度が増加したと考えることができる。

## 4 多重推論の推論エンジン

一般に、プロダクションシステムでは、ルールは初めにプロダクション記憶に記憶されたルールから変化しないのに対して、ワーキングメモリに記憶された事実は、推論が進むにつれて変化する。したがって、ルールの独立性を問う推論では、推論が進むにつれて適用されるルールが著しく減少するのは自明である。

ここでは、事実推論の推論エンジンを例にとりて説明する。多重推論では、すでに述べたように、同じ事実から得られた異なる結論では多重度の大きいものが信頼性が高いと考えられるので、多重度を用いた前向き推論の推論エンジンによる推論は、多重度に基づく解の優先探索を行う。

以下に多重推論を行う推論エンジンのアルゴリズムを示す。

**step1 照合過程:** 現在の事実をすべて満たすルールを同じ結論を持つグループに分ける。この時に各グループの中では、履歴を考慮し、ルールと照合した事実の独立性を調べ、もっとも多重度が大きくなるようなルールの組だけを残す。各グループのルールとそれに照合した事実(これらをまとめてインスタンスーションと呼ぶ)に、現在の事実、ここに至るまでの履歴  $h$ 、多重度  $m$  及びルールの数  $n$  をつけ加えたものをひとつのノードと考えると、各グループはそれぞれ新しい子ノードとなる。ここで子ノードが作られない場合には推論を終了する。

step2 競合解消: 葉ノードの中から、次のような優先順位で一つの葉ノードを選ぶ

1. 多重度  $m$  のもっとも大きいもの。
2. ルールの数  $n$  がもっとも大きいもの。
3. レベルの深さがもっとも深いもの。

step3 動作部の実行: 競合解消で選ばれたノードの動作部に書かれている結論によってデータベースを更新し、step1 から繰り返す。

## 5 考察

多重推論では、一つ一つの独立な演繹は単調論理を使用する。したがって、命題の導出は導出原理を用いて行うことができる。そうして得られる複数の結論の中からもっとも多重度の大きい結論を信頼の置ける結論を解とする。ところで、多重推論では、デフォルト推論とは異なり、次のような例題のように矛盾を含んだ、複数の解を得る場合がある。

### 例題

1. 「ほとんどの鳥は飛ぶことができる。」(rule1)
2. 「ペンギンは鳥である。」(rule2)
3. 「ペンギンは飛ぶことができない。」(rule3)
4. 「PIYO はペンギンである。」(fact1)

Q1 PIYO は飛べるか?

この例題では、rule2 と fact1 の単一化の結果、PIYO が鳥であることが導かれ、この結果と rule1 の単一化によって最終的に PIYO は飛ぶことができるとの結論を得る。ところが、一方、rule3 と fact1 の単一化によって、PIYO は飛ぶことができないとの結論を得る。このように多重度が同じで、結論がまったく矛盾するような推論は、ATMS(仮説真理維持システム)などを使用することによって初めて解の一意性が得られる。

## 6 まとめ

本研究では、曖昧であるが独立な事実に基づく推論をおこなう、多重推論及び多重度を定義した。多重推論で重要なのは、事実の曖昧さを量的数値で

表すのではなく、ある結論がいくつの独立な演繹によって得られるかが重要視される。そのために、まず、ルールや事実の独立性によって異なる多重推論を分類定義し、次にいくつの独立な演繹によって結論が保証されるかを多重度と定義した。

さらに、多重推論を用いた前向き推論を考え、それによって解を得るときに、多重度に変化する場合がある事を示した。

これからの課題としては、経験則による結論に、論理的な推論の裏付けを与える学習などが考えられる。

## 7 謝辞

この研究において、有益な助言を頂きました山梨大学の唐沢 博助教授、及び、この研究を行う機会を与えて頂いた宮崎大学の川口 剛助教授に感謝致します。また、この研究を行ううえで、さまざまな励ましを頂いた、宮崎大学工学部電子制御講座の皆様、大阪大学医学部機能画像診断学研究部の皆様に感謝致します。

## 参考文献

- [1] Shortliffe, E.H: Computer-Based Medical Consultations: MYCIN, American Elsevier(1984)
- [2] Duda, R.O, Hart, P. and Nilsson, N.J.: Subjective Bayesian Methods for Rule-Based Inference Systems, National Computer Conf. pp.1075-1082 (1976)
- [3] Dempster, A.P.: A Generalization of Bayesian Inference, J. of Royal Statistical Society, B-30, pp.205-247 (1968)
- [4] Shafer, G: A Mathematical Theory of Evidence, Princeton Univ. Press (1976)
- [5] 田村進一, 唐沢 博: 多重推論: 独立な複数のあいまいな根拠に基づく推論, 人工知能学会全国大会 pp.49-52 (1988)