仮説推論による常識推論の表現

中　山　康　雄

目　次

仮説推論による常識推論の表現

中山　康雄

はじめに

我々が日常生活で用いる推論の多くは、不完全な情報を用いた推論である。そして、このような推論においても、正当な推論の基準を与えることができる。自らの知識に照らしあわせて確からしい推測を他の推測に優先させることは十分理由のあることだからである。このような不完全な情報を用いた推論は、演繹（deduction）と呼ばれる厳密な推論に比べ、日常で使われる推論に近いと言える。というのは、我々は、世界を完全に把握しているとは言えず、手持ちの知識を用いた判断をしばしば迫られるからである。また、工学や医学等の実践的学問や実験等の理論と日常が接する局面では、このような不完全な情報に基づいた推論が必要になる。

本稿では、仮説推論の枠組みを用いて常識推論の幾つかのものを表現する。このことにより、不完全な情報に基づく推論に統一的描像を与えるのが本稿の目的である。

1　常識推論と非単調推論

数学で使用される推論は演繹と呼ばれるものであり、単調性（monotonicity）という性質を持っている。単調性は、一度証明したものはたとえ知識が増しても修正されることはないという推論の特徴である。

「常識推論」(commonsense reasoning）は、理想的条件が満たされていない現実の状況で人々が用いている推論のことである。我々は、知らないこともたくさんあるため、確実に正しいと思われることだけではなく、確からしいと思われることをも基礎に考えたり行動したりする。つまり、常識推論は、たいていの場合には正しいが例外的場合には誤りをおかす可能性があるような推論も許容している。そして、このような「おおざっぱな推論」を使用しないなら、我々が予測したり推測できる事象の数は極端に減ってしまうだろう。このような例外を含む推論は単調ではないため、非単調推論と呼ばれる。それは、あることの予測を推論するような文集合にその予測に反する例外が起こったことを表わす文を付け加えるとその予測が導けないようになるからである。

人工知能（AI）における常識推論の研究は基礎研究の一分野であり、多数のアプロー

チが提案されている。Reiter (1988) は、非単調推論の枠組みを五つのグループに分けている。ここでは、Reiter の分類に Gärdenfors & Makinson (1994) の枠組みをつけ加えて分類する。

(1) 閉世界仮定（closed world assumption）：閉世界仮定は、データベースの理論に用いられるものであり、重要な肯定的情報は、すべて表現されているいう仮定である。表現されていないような肯定的情報はすべて偽であるとして処理してしまうのである。

(2) 無矛盾性に基づくアプローチ（consistency-based approaches）：これは、「A という主張が無矛盾に仮定可能なら、A を仮定せよ」という原則に基づき推論するアプローチである。このアプローチには、McDermott & Doyle (1980) の非単調論理（nonmonotonic logic）、Reiter (1980) のデフォルト論理（default logic）、Poole (1988) の仮説推論（hypothetical reasoning）などがある。

(3) 最小モデルに基づくアプローチ（approaches based upon minimal models）：これは、特定の最小モデルを優先することにより非単調推論を表現する方法であり、McCarthy (1980, 1986) により提案されたサーカムスクリプション（circumscription）が代表的なものである。この理論では、変則性を最小にするモデルを優先することにより、典型的なことが成り立っているモデルを取り出すのである。

(4) 認識論的アプローチ（epistemic approach）：認識論的アプローチは、認識論理の一種を用いて非単調推論を表現するものである。それは、「もし A が成り立たないなら、私は A が成り立たないことを知っているはずだ。しかし、私は A が成り立たないことを今知っていない。よって、A は成り立つ」というように推論するアプローチである。このアプローチの代表的なものには、Moore (1984, 1985) が提案する自己認識論理（autoepistemic logic）がある。

(5) 条件論理（conditional logic）：Stalnaker (1968) や Lewis (1973) により提案された条件論理を用いて常識推論を表現することが Delgrande (1986) により提案されている。Reiter (1988) は、この枠組みは単調推論であり、極めて弱い推論体系であることを欠点として指摘している。

(6) 信念改訂の理論（theory for belief revision）：Gärdenfors (1988) は、信念の合理的変化を記述する「信念の力学」(dynamics of belief) を定義した。そして、Gärdenfors & Makinson (1994) では、「期待」という概念を導入することにより、先の信念改訂の理論を基にして非単調推論が表現できることを示した。p から q が非単調的に帰結するとは、q が p と p に照らして「十分よく期待できる」命題から導出できることと考えるのである。

本稿で扱うのは、(2) の無矛盾性に基づくアプローチである。確信していることの無矛盾な拡張を考えることは、実践的行動を支えるためにも自然なことのように思われるからである。

2 無矛盾性に基づく非単調推論のアプローチ

本稿において提案する非単調推論の枠組み「順序づけられた仮説を用いての推論」(reasoning with ordered hypotheses, ROH) は、Poole (1988) の仮説推論の変形であり、 Brewka (1989, 1991) の優先部分理論 (preferred subtheories) と多くの共通点を持っている。

Reiter (1980) は、一階の論理の推論体系に「デフォルト規則」(default rules) という推論規則を加えた非単調推論の枠組みを提案した。デフォルト規則とは、

$(\alpha : \beta) / \gamma$

という形の推論規則であり、「α が成り立ち、 β を整合的に仮定できるなら、 γ を導出してもよい」ということを意味している。デフォルト規則のうち、

$(\alpha : \beta) / \beta$

という形を持つものを「正則デフォルト規則」(normal default rules) と呼ぶ。与えられたデフォルト規則がすべて正則であるなら、この枠組みのための「証明理論」が存在することを Reiter (1980) は示している。また、 α という条件を持たない

$(: \beta) / \beta$

という形のものは「超正則デフォルト規則」(supernormal default rules) と呼ばれ、「β を整合的に仮定できるなら β を導出してもよい」と読める。以下の考察に関係するのは、この極度に単純なデフォルト規則である。

Poole の仮説推論は、超正則デフォルト規則のみを用いたデフォルト論理ともみなすことができる。しかし、ここでは、 Poole 自身の枠組みの定義に従い、このシステムを記述してみよう。仮説推論の基礎にあるのは、事実を表す無矛盾な文集合 F と可能な仮説の集合 Δ である。仮説推論は、「説明」と「拡張」という二つの中心概念を持つ。

定義 1 (「シナリオ」) D が F∪D を無矛盾にするような Δ の代入例であるなら、F∪D を「シナリオ」と呼ぶ。

定義 2 (「説明」) p が文の時、S ⊢ p を満たすシナリオ S を「p の説明」と呼ぶ(本稿では、⊢ を一階の論理における「証明可能」の記号として用る)。

定義 3 (「拡張」) 最大シナリオからの帰結の集合 {p | [S ⊢ p] & [S はシナリオ] & ∀A ([A はシナリオ] ⇒ A⊆S)} を「拡張」と呼ぶ。

Poole の仮説推論は、二つの推論方向を持つ。シナリオを用いて前向きに推論をする「予測」(prediction) と、与えられている事実を説明できるようなシナリオを求める「アブダクション」(abduction) である。

Brewka (1989, 1991) は、Pooleの仮説推論をFと Δ の代入例からなる仮説集合が与えられている時、Fを優先しつつ推論する方法として捉えた。このように捉えた時、Pooleの最大シナリオは、Brewkaの優先部分理論（preferred subtheories）にあたる。Fと Δ の二層に関わる優先部分理論は、Fと Δ の代入例すべてを含むような理論からF中の文を優先しつつ極大無矛盾になるようなものを選ぶことにより作られたものである。Brewkaは、このように、Poole の仮説推論を二層の仮説集合を用いた推論として特徴づけた。また、彼は、これをさらにn層の場合に一般化し、仮説集合の層を「階層デフォルト理論」（level default theory）と呼んだ。

定義4（「優先部分理論」） $T_1 \cup ... \cup T_n$という仮説集合からなる階層デフォルト理論Tが与えられているとする。この時、

$S = S_1 \cup ... \cup S_n$はTの優先部分理論 ⇔

$1 \leq k \leq n$なるすべてのkについて、$S_1 \cup ... \cup S_k$ は $T_1 \cup ... \cup T_k$ の極大無矛盾部分集合である。

Brewkaは、この場合をさらに一般化し、仮説集合が半順序をなす時の優先部分理論も定義している。

3　順序づけられた仮説を用いての推論

仮説推論は、予測とアブダクションという二つの異なった目的のために使用できる。中山 (1996) は、予測の場合に関して、与えられた事実記述Fと仮説図式集合 Δ から仮説集合間の信頼順序を定める手法を提案している。信頼順序を考慮することにより、優先したい結論をえることができるようになる。中山 (1996) の提案をさらに発展させて、本稿では、「順序づけられた仮説を用いての推論」ROHを提案する。ROHは、Δ から生成される仮説を用いてFを無矛盾に拡張する場合に、段階づけた拡張を定義する。段階づけた推論には幾つかの利点があると考えられるからである。ROHには、Poole や Brewkaの推論体系と異なる次の特徴がある。

(1) ROHは、Pooleの仮説推論と異なり、$(p(x) \rightarrow q(x))$という形の仮説図式しか認めない。そして、前件 $p(x)$ を満たすものがあることが判明した時にのみ、仮説が生成される（付録A 1参照）。例えば、Fから $p(c)$ が帰結する場合、$(p(c) \rightarrow q(c))$ という仮説が生成される。これに対し、Poole や Brewka の推論体系では、仮説図式のすべての代入例が仮説として認められている。このため、Poole や Brewka の推論体系は、もともとの仮説の対偶にあたる仮説も認めてしまうという直感に反する性質を持っている。つまり、$(r(x) \rightarrow s(x))$ が仮説図式の一つであるなら、たとえ $F \vdash r(d)$ が成り立たなくても $(r(d) \rightarrow s(d))$ という仮説が認められてしまうため、その対偶 $(\neg s(d) \rightarrow \neg r(d))$ も認められてしまうのである。ROH

では、仮説図式の前件が満たされた時にだけ仮説が生成されるので、このような事態は起こらない。

(2) 仮説図式からえられる仮説を何重にも使用すると、結論の信頼性は徐々に下がり、導出された結論を受け入れることを正当化できなくなる。実際、仮説の二重使用が一般的には正当化されないことを示すことができる。ROH のように段階づけた推論を行えば、拡張の生成を途中で打ち切ることができる。

(3) ROH を時間発展していく系に適用した時、各段階を時間発展の段階を表現するものとして解釈することができる。

3.1 仮説図式の重複使用について

今、$F = \{q_1(d)\}$, $\Delta = \{q_1(x) \rightarrow q_2(x), q_2(x) \rightarrow q_3(x)\}$ と表される知識ベースについて考えよう。ここで、$\{q_1(d), q_2(d), q_3(d)\}$ は無矛盾とする。この時、Brewka 等のシステムでは、$\{q_1(d), q_1(d) \rightarrow q_2(d), q_2(d) \rightarrow q_3(d)\}$ という唯一の優先部分理論が存在することになり、ここから、$q_3(d)$ が結論できることになる[1)]。しかし、このように何重にも仮説を用いて推論することは常に正当化されるのだろうか。

ここで、$P(Q_i \mid Q_k)$ は、ある対象が q_k を満たす時 q_i も満たす確率とする。この確率が 0.5 を越えているなら、$q_k(x) \rightarrow q_i(x)$ を仮説図式として用いることを正当化することができる。というのは、$q_k(a)$ であれば、$q_i(a)$ となる確率は $\neg q_i(a)$ となる確率よりも高くなり、我々は、$\neg q_i(a)$ ではなく $q_i(a)$ を信じることの理由を持っている。しかし、仮説図式を重複して使用した帰結を受けいれることが正当化できない状況が起こってくる。先の例のように、$F = \{q_1(d)\}$, $\Delta = \{q_1(x) \rightarrow q_2(x), q_2(x) \rightarrow q_3(x)\}$ という場合を考えてみよう。この時、(F, Δ) において $q_3(d)$ を帰結できるためには、$P(Q_3 \mid Q_1) > 0.5$ を正当化の条件として考えねばならない。しかし、一般に $P(Q_2 \mid Q_1)$ と $P(Q_3 \mid Q_2)$ が 1 に近くても $P(Q_3 \mid Q_1) < 0.5$ ということはありうる。例えば、ペンギンが飛べない確率は 1 に近く、飛べないものに羽がないことの確率も 1 に近いが、ペンギンに羽がない確率は 0 に近い。この場合、$P(-\text{CAN-FLY} \mid \text{PENGUIN}) \fallingdotseq 1$, $P(-\text{HAS-WINGS} \mid -\text{CAN-FLY}) \fallingdotseq 1$, $P(-\text{HAS-WINGS} \mid \text{PENGUIN}) \fallingdotseq 0$ が成り立っている。この例に見るように、仮説図式の重複使用は、一般に、正当化されないのである。

仮説推論 ROH は、段階づけて推論するシステムである。事実記述 F と仮説図式 Δ が与えられている時、$Ext_0(F, \Delta) = \{p \mid F \vdash p\}$ と定められる。つまり、0 段階での拡張は事実記述からの帰結の集合に他ならない。第 1 段階の拡張 $Ext_1(F, \Delta)$ は、仮説を重複しないで使用した時に ROH からえられる帰結の集合を表している。$Ext_2(F, \Delta)$ は、仮説を二度重ねて使用することを許した時の推論の結果である（付録参照）。p が (F, Δ) の第 1 段階の拡張により予測されるということは、$p \in Ext_1(F, \Delta)$ が成り立つということである。そして、この第 1 段階の拡張こそが正当化の条件を満たしている拡張なのである。

ROH における推論において重要になるのは、仮説図式を用いて生成される仮説を信頼

順序により整理することである。この時、より特殊な仮説ほど優先されるという原則を用いて信頼順序を規定することが考えられる。ここでは、$(p(d) \rightarrow r(d))$ と $(q(d) \rightarrow s(d))$ という二つの仮説において、$p(x)$ を満たす対象が必ず $q(x)$ も満たすような場合に前者は後者よりも特殊であるという考えに従って信頼順序を定めることにする。

定義5（信頼順序） $S_i(F,\Delta)$ は (F,Δ) に関する第 i 段階の仮説領域とする（付録の定義A 1参照）。

(1) $(p(d) \rightarrow r(d)) \in S_i(F,\Delta), (q(d) \rightarrow s(d)) \in S_i(F,\Delta)$ の時、

$$(p(d) \rightarrow r(d)) \sim_i (q(d) \rightarrow s(d)) \Leftrightarrow F \vdash \forall x\,(p(x) \equiv q(x))$$

と $S_i(F,\Delta)$ のすべての要素について $\sim_i$ を定義する。また、$\{q \mid p \sim_i q\}$ を「pの同値類」と呼ぶ。

(2) $HS_i(F,\Delta) := \{H \mid [H$ は p の同値類$]\ \&\ [p \in S_i(F,\Delta)]\}$ と定義される $HS_i(F,\Delta)$ を「(F,Δ) に関する第 i 段階の仮説集合領域」と呼ぶ。

(3) $H1 \in HS_i(F,\Delta), H2 \in HS_i(F,\Delta)$ の時、

$H1 >_i H2 \Leftrightarrow$ [$[(p(x) \rightarrow r(x)) \in H1]\ \&\ [(q(x) \rightarrow s(x)) \in H2]\ \&\ [F \vdash \forall x\,(p(x) \rightarrow q(x))]$ を満たす仮説図式 $(p(x) \rightarrow r(x))$ と $(q(x) \rightarrow s(x))$ が存在する]

と $HS_i(F,\Delta)$ のすべての要素について $>_i$ を定義する。以下、$\sim_i, >_i$ を省略して、単に $\sim, >$ と書くこともある。

このように、仮説集合間の信頼順序 $>$ を定義すると、$>$ が半順序（partial ordering）となることを示すことができる（付録の命題A 1参照）。

ここで簡単な例を見ておこう。

例1： 「ペンギンは鳥であり、Tweety はペンギンである。普通、鳥は飛べるが、ペンギンは飛べない。」

$F_1 = \{\forall x\,(\text{penguin}(x) \rightarrow \text{bird}(x)), \text{penguin}(\text{Tweety})\}$,

$\Delta_1 = \{(\text{bird}(x) \rightarrow \text{can-fly}(x)), (\text{penguin}(x) \rightarrow \neg\,\text{can-fly}(x))\}$

この時、$\{(\text{penguin}(\text{Tweety}) \rightarrow \neg\,\text{can-fly}(\text{Tweety}))\} > \{(\text{bird}(\text{Tweety}) \rightarrow \text{can-fly}(\text{Tweety}))\}$ という信頼順序関係にある二つの仮説が生成され、$(\text{penguin}(\text{Tweety}) \rightarrow \neg\,\text{can-fly}\ (\text{Tweety}))$ という仮説が優先されて第1段階の拡張に取り入れられる。よって、$\neg\,\text{can-fly}(\text{Tweety}) \in \text{Ext}_1(F_1,\Delta_1)$ が成り立ち、「Tweety は飛べない」が帰結する。

例1のような場合、ROH や Brewka のシステムにおいては、仮説間の信頼順序が考慮されるため、不適切な可能性をあらかじめ排除することができる。これに対し、Poole の仮説推論や Reiter のデフォルト論理では、「Tweety は飛べない」という帰結を優先するためには特別の処置が必要になる。

ここで、例1に「飛べないものには、普通、羽がない」ということを意味する仮説図

式をつけ加えてみよう。

例２： $\Delta_2 = \Delta_1 \cup \{(\neg \text{can-fly}(x) \rightarrow \neg \text{has-wings}(x))\}$。すると、例１で見たように、$\{\neg \text{can-fly}(\text{Tweety})\} \subseteq \text{Ext}_1(F_1, \Delta_2)$ という帰結が１段階目の推論でえられる。すでに論じたように、２段階目の推論の結果を受け入れることは常に正当化されるわけではない。この例の場合、$(\neg \text{can-fly}(\text{Tweety}) \rightarrow \neg \text{has-wings}(\text{Tweety}))$ という仮説が２段階目の仮説生成により生成され、$\{\neg \text{has-wings}(\text{Tweety})\} \subseteq \text{Ext}_2(F_1, \Delta_2)$ となる。つまり、２段階目の拡張においては、「Tweety には羽がない」という望ましくない帰結が含まれてしまう。

例２のような場合、Poole や Brewka のシステムでは、$\neg$has-wings(Tweety) という望ましくない推測が Δ_2 の代入例を用いて推論でき、この帰結を防ぐことはできない。

3.2 継承推論の記述

Minsky (1975) がフレーム・システムによる知識表記法を提案して以来、フレーム・システムは、AI 研究において知識表示のために広範に用いられている。ここでは、フレーム・システムにおける継承推論を分析するために、is-a と instance-of という関係語を導入することにする。

定義６（フレーム・システムのための公理系（AFS））

(1) $\forall X_1 \forall X_2 \forall X_3 (\text{is-a}(X_1,X_2) \wedge \text{is-a}(X_2,X_3) \rightarrow \text{is-a}(X_1,X_3))$

(2) $\forall X_1 \forall X_2 (\text{is-a}(X_1,X_2) \rightarrow \neg \text{is-a}(X_2,X_1))$

(3) $\forall x \forall X_1 \forall X_2 (\text{instance-of}(x,X_1) \wedge \text{is-a}(X_1,X_2) \rightarrow \text{instance-of}(x,X_2))$

命題１（フレーム・システムのための公理系からの帰結）

(1) $\text{AFS} \vdash \forall x \forall X_1 \ldots \forall X_n (\text{instance-of}(x,X_1) \wedge \text{is-a}(X_1,X_2) \wedge \ldots \wedge \text{is-a}(X_{n-1},X_n) \rightarrow \text{instance-of}(x,X_n))$

(2) is-a は半順序関係を表している。

定義７（信頼順序）

FS は、is-a と instance-of という関係語を持つ文を含んだ文集合とし、Δ は $(\text{instance-of}(x,c) \rightarrow q(x))$ という形の仮説図式のみから成っているとする。

(1) $H(c) := \{(\text{instance-of}(d,c) \rightarrow q(d)) \mid (\text{instance-of}(x,c) \rightarrow q(x)) \in \Delta, \text{AFS} \cup \text{FS} \vdash \text{instance-of}(d,c)\}$。
つまり、H(c) は、クラス c に関する仮説の集合として定義する。

(2) $\text{AFS} \cup \text{FS} \vdash \text{is-a}(c_1,c_2)$ ならば、$H(c_1) > H(c_2)$。つまり、c_1 が c_2 のサブクラスであれば、c_1 に関する仮説を c_2 に関する仮説に対し優先する。

(3) $\text{HS}_1(\text{AFS} \cup \text{FS}, \Delta) := \{H(c) \mid H(c)$ は (1) の定義を満たす$\}$

命題1は定義6から直ちに帰結する。命題1.(1)によれば、dがクラスcの要素であるかどうかは、dが要素となっているクラスから出発してis-a関係の連結を上に探索することによってえることができる。そして、定義7.(2)から、dに近い方のクラスに関する仮説が常に優先されることがわかる。これは、フレーム・システムにおける継承推論のアルゴリズムを正当化していることになる。また、この記述は、同時に、フレーム・システムにおける継承推論の限界性を分析するのにも役立てることができる。

このように定義されたROHでは、「ペンギンは鳥であり、Tweetyは鳥である。普通、鳥は飛べるが、ペンギンは飛べない」という例1は、

$FS_1 = \{(\text{is-a(penguin,bird)}, \text{instance-of(Tweety,penguin)}\}$,

$\Delta_1 = \{(\text{instance-of}(x,\text{bird}) \rightarrow \text{can-fly}(x)), (\text{instance-of}(x,\text{penguin}) \rightarrow \neg\,\text{can-fly}(x))\}$

と表すことができる。すると、定義7より (instance-of(Tweety,penguin) → ¬can-fly(Tweety)) という仮説が (instance-of(Tweety,bird) → can-fly(Tweety)) という仮説に優先され、「Tweetyは飛べない」という予測がえられる（$\neg\text{can-fly(Tweety)} \subseteq \text{Ext}_1(\text{AFS} \cup \text{FS}_2, \Delta_1)$）。

このように、フレーム・システムにおける継承推論は、$(\text{AFS} \cup \text{FS}, \Delta)$ の第1段階の拡張を用いた予測に対応する推論体系の一部として特徴づけることができる。

3.3 時間発展する系の記述

状況の概念を導入することにより因果的連結を仮説図式により表すことが可能になる。例えば、「マッチをすると火がつく」等の一般的因果関係は、仮説図式 (strike-a-match(s) → flame-appear(suc(s))) により表せる[2)]。ただし、sはある状況を表しsuc(s)はその状況に時間的に続く状況を表すとする。

時間発展する系においては、「フレーム問題」が起こることをMcCarthy & Hayes (1969)が指摘した[3)]。我々は、ある出来事を記述するにあたり、その間に何が起きたかをすべて記述することはできない。多くの記述されていないことがらについては、何も変化が起こっていないと考えてもそれほど間違いはないだろうと思われる。そこで、どんなことがまわりの環境にあるか一つ一つ知らないがそれでもそれらは変化していないと設定することが許されるなら変化していないものとして扱うということを表現しなくてはならない。このことを表現するのが「フレーム公理」である。ROHの適用にあたり、我々はフレーム公理を (STATE(s)→STATE(suc(s))) という仮説図式の図式により表す。ここで、STATEは述語ではなく状態を表すような述語の図式とする。例えば、aliveがある人が生きているという状態を表す述語なら、仮説図式には (alive(s)→alive(suc(s))) が含まれるとするのである。また、フレーム公理は優先度がもっとも低い仮説図式とみなすことにする。つまり、もし因果関係の記述から時間発展に関する示唆がえられない時にのみフレーム公理を用いることにするのである。

ROHの時間発展系への適用を、Hanks & McDermott (1986)が創作したYale射撃問題（YSP

問題）を用いて説明しよう。YSP問題は、射撃に関するある物語からその結末を予測する次の問題である。

（YSP問題）： 物語のはじめでは、Aは生きている。そして、銃に弾が込められる。次に関係ない事件が起こる。その後、Aは銃により撃たれる。その後、Aはまだ生きているだろうか？

話の中で語られている四つの状況を、s_0, s_1, s_2, s_3 で、背景にされている基本的知識をKBで、そして、YSP問題の物語をYSPで表そう。

$KB = \{s_1 = suc(s_0), s_2 = suc(s_1), s_3 = suc(s_2), \forall s \neg(alive(s) \wedge dead(s))\}$

$YSP = \{alive(s_0), \neg loaded(s_0), load(s_0), wait(s_1), shoot(s_2)\}$

事実記述FはKBとYSPから成っている（$F := KB \cup YSP$）。「（装填された）銃で撃たれれば、普通、人は死ぬ」、「銃に弾を込めれば、普通、銃は装填される」、「状態は、普通、持続する」等の因果関係に関する知識を仮説図式を用いて表す。

(d1): $(alive(s) \wedge loaded(s) \wedge shoot(s) \rightarrow dead(suc(s)))$

(d2): $(load(s) \rightarrow loaded(suc(s)))$

(d3): $(STATE(s) \rightarrow STATE(suc(s)))$

（STATE(s)に含まれる状態を表す論理式には、$loaded(s), alive(s), dead(s), \neg loaded(s), \neg alive(s), \neg dead(s)$ がある。）

$\Delta = \{(d1), (d2), (d3)\}$

(d1)と(d2)が表すことは(d3)に比べ特殊な事柄なので、これを(d3)に対し優先することにする。

{(d1)のタイプの仮説}＞{(d3)のタイプの仮説},

{(d2)のタイプの仮説}＞{(d3)のタイプの仮説}

この条件のもとで、ROHを適用すると、次の結果が得られる。

$\{alive(s_1), loaded(s_1)\} \subseteq Ext_1(F, \Delta)$

$\{alive(s_2), loaded(s_2)\} \subseteq Ext_2(F, \Delta)$

$\{dead(s_3), loaded(s_3)\} \subseteq Ext_3(F, \Delta)$

よって、s_3 の状況ではAは死んでいるという予測がえられることになる。Hanks & McDarmott (1986)は、デフォルト推論やサーカムスクリプションでは、Aが死んでいるという解の他に、s_1 から s_2 に移るところで銃から弾が抜け落ちるような異変が起こって、s_2 で銃が撃たれても s_3 でAが生きているという解もえられることを指摘した。ROHにおいて望ましい解だけがえられるのは、{(d1)のタイプの仮説}＞{(d3)のタイプの仮説}という規定により、(d1)のタイプの仮説が(d3)のタイプの仮説に対し優先されることによっている。YSP問題の解決のために優先順序を取り入れることは、Shoham (1990), 中島他(1993)等でもとられている基本的戦略である。Shoham (1990)は、異常な事態は可能なか

ぎり後に起こるとする時間最小原理（chronological minimal principle）を用いてこの問題を解こうとした。

予測においては、ROH を用いた前向きの推論が適切である。ROH は、第１段階では、与えられている事実記述と仮説図式を用いて次にもっとも起こりやすい状態を予測する。次には、この第一段階の予測を成り立っているものとして事実とみなし第２段階のもっとも起こりうる状態を予測する。こうして、各段階でもっともおこりやすい状態を推論しながら予測は進行していくのである。

3.4　アブダクションによる仮説生成

YSP 問題の変形問題がある。この問題では、状況 s_0 で A が生きていたことと銃に弾が込められたことがわかっているとする。そして、状況 s_3 で A が死んでいたことが判明したのだが、状況 s_0 と s_3 の間に何が起こったのかを推定したいというものである。中島他 (1993) が指摘するように、Shoham (1990) のシステムでは、状況 s_2 で A は銃に撃たれたという解だけがえられるが、状況 s_1 で A が銃に撃たれたという同様にありうる解が無視されてしまう。それは、Shoham (1990) では異常なものの生起はなるべく後に起こるような選択が常に働くからである。ここに見るように、結果がわかっておりその原因を探っていくという推論では、Shoham (1990) の時間最小原理は不適切なのである。

ROH では、時間経過を遡って推論するのは、予測ではなくアブダクションにあたると考える。そして、アブダクションにおいては、推論の向きが異なるので予測で用いたような優先順序はそのまま使用できない。YSP の変形問題で説明されるべきは、「状況 s_3 で A が死んでいた」という事実である。OB を観察された説明されるべき状態だとすると、

$$OB = \{dead(s_3)\}$$

となる。そして、もともとの YSP 問題と異なり、$wait(s_1), shoot(s_2)$ という情報は与えられていない。仮説図式集合 Δ は以前と変わらないが物語記述 YSP* には YSP に比べいくつかの情報が欠けている。

$$YSP^* = \{alive(s_0), \neg loaded(s_0), load(s_0)\}, F^* = KB \cup YSP^*$$

ここでの我々の問題は、仮説図式集合 Δ を利用して、出来事の生起に関する仮説集合 HYP を生成し、(F^*, Δ, HYP) から OB を説明することにある（付録の定義Ａ７参照）。ROH の推論においては、付録の定義Ａ７に従い、OB から出発し、Δ 中の仮説図式を利用して前状態を徐々に推測していくことになる。$dead(s_i)$ を示すためには、(d1) の規則か (d3) の規則が使えるため、可能な前状態は二つに分岐していく（図１参照）。出来事の生起だけを新たな仮説として認めることにすると、OB_i で示される状態に関する要請は被説明項に加えられることになる。図1の(1) の場合、$(F^*, \Delta, \{shoot(s_2)\})$ から $\{dead(s_3)\}$ が説明可能である。(2) の場合、$(F^*, \Delta, \{shoot(s_1)\})$ から $\{dead(s_3)\}$ が説明可能である。そして、(3) の場合、F^* に整合的な仮説集合 HYP_3 を生成できず、$\{dead(s_3)\}$ を説明できない。

このようにして、ROHのアブダクションによる仮説生成を用いると、「状況 s_2 でAが銃に撃たれた」という仮説の他に「状況 s_1 でAが銃に撃たれた」という仮説もえられることになる。

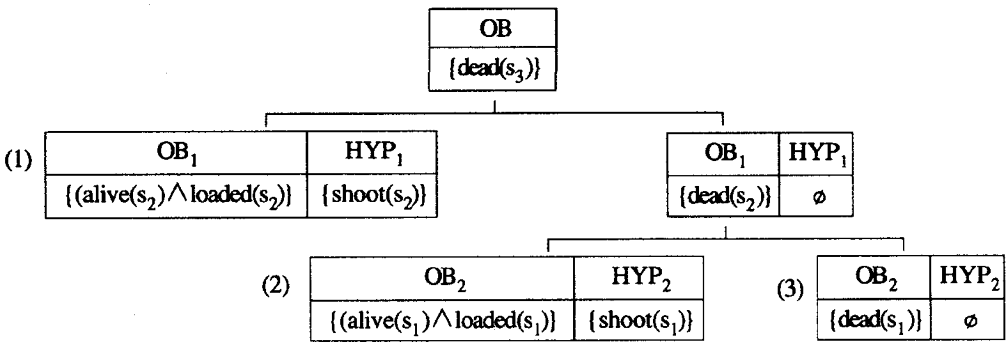

図1（出来事に関する仮説の生成）

4　Hempelの「説明」概念について

Hempel (1965) は、D-NモデルとI-Sモデルという二つの「科学的説明」の仕方を提唱している。$L_1, ..., L$ が一般的法則であり、$C_1, ..., C_k$ が特定の事実についての言明で、

$\{L_1, ..., L\} \cup \{C_1, ..., C_k\} \vdash E$

が成り立つ時、Hempelは、この推論を「演繹・法則的説明」(deductive-nomological explanation, 説明のD-Nモデル）と呼ぶ。$L_1, ..., L, C_1, ..., C_k$ は「説明項」(explanans）と、そして、Eは「被説明項」(explanandum）と呼ばれる。これは、ROHの

$\{L_1, ..., L\} \subseteq F \ \& \ \{C_1, ..., C_k\} \subseteq F \ \& \ \{L_1, ..., L\} \cup \{C_1, ..., C_k\} \vdash E$

という場合にあたる。つまり、仮説図式を使用することなく事実記述Fの一部のみによりEが説明できてしまう場合である。

医学などの推論を扱うためには、D-Nモデルは厳格すぎる。そこで、Hempelは統計的形式の法則を含んだ説明を導入する。そして、この説明が演繹的性格を持たない時、これを「帰納・統計的説明」(inductive-statistical model, 説明のI-Sモデル）と呼ぶ。即ち、説明のI-Sモデルは、次の推論図式を含む説明である。

$P(R \mid S)$ は1に近い

$S(j)$

$R(j)$ は本当らしい

このI-Sモデルの条件部分は、ROHにおける

$(S(x) \rightarrow R(x)) \in \Delta \ \& \ F \vdash S(j)$

((S(x)→R(x)) は Δ 中の仮説図式の一つであり、 S(j) は F から演繹できる。)
という設定に対応している。 $\mathrm{Ext}_0(F,\Delta)$ という F の帰結集合は、 F を基にして D-N モデルで説明できるものの集合になる。ROH における説明は、この D-N モデルによる説明を拡張したものである。 $\mathrm{Ext}_1(F,\Delta)$ という (F,Δ) の第 1 段階における拡張は、$\mathrm{Ext}_0(F,\Delta)$ に含まれる文の他に Δ という仮説図式集合を根拠に「本当らしい」とみなすことのできる文の集合からなるものである。つまり、 ROH による予測の一部は、 Hempel が説明の I-S モデルにより表現しようとした推論、あるいは、それに極めて近い推論なのである[4)]。

Hempel は、 I-S モデルによる説明では、説明の衝突がありうることを観察していた。例えば、P(R | S) は 1 に近く、P(−R | U) は 1 に近く、S(b)∧U(b) ということも起こりうる。このような時、 S(b) という事実だけに注目して「R(b) は本当らしい」ということを推論することは正当化されない。 U(b) という事実に注目して「¬R(b) は本当らしい」と推論することも可能だからである。このような I-S モデルによる説明の曖昧さに対処するため、 Hempel は、「最大限の特定性の要求」(requirement of maximal specificity) という条件が必要になることを指摘した。この条件は、「 I-S 説明を定式化したり評価したりする際には、知識状況 K が提供する情報のうち説明の立場から説明されるべき出来事に関連する可能性をもつものは、すべて考慮されねばならない」(Hempel (1965), p.400) というものである。このように、 Hempel は、I-S 説明が知識状況 K に依存することを指摘し、 D-N 説明との相違を明らかにした。しかし、このことは、単調性という推論の特性を考慮することによりさらにはっきりさせることができる。 D-N 説明では、知識が増しても、ある事が説明されたという事実はゆるがないが、このことは、I-S 説明では、「I-S 説明可能」という概念の非単調性のために保証されない。 D-N 説明も何が知識に含まれているかに依存するという意味で「知識依存的」と言えよう。しかし、 I-S 説明は、新しい個別事象についての知識が加わったというだけで、それまで受け入れられていた説明が拒否されうるというように、さらに強い意味で知識依存的なのである。

また、Coffa (1974) が指摘するように、 Hempel は I-S 説明の曖昧さを除去することに成功していない。 Coffa によれば、 I-S 説明の曖昧さは単称出来事をどのクラスの成員として確率を割り当てるのかという指示クラス問題 (reference class problem) に関わっている。指示クラス問題が一般的に解けないのと同様に、 I-S 説明の曖昧さを解消することができない場合が存在する。これは、 ROH で複数の優先部分理論が存在する場合に相当するが、このような場合は、 ROH では生成されたすべての優先部分理論において被説明項は導出されねばならないという懐疑推論の立場をとることにより解決している。つまり、曖昧さが解消できない場合には、説明は成り立たないとするのである。また、 ROH では、 Hempel の「最大限の特定性の要求」と同様に、より特殊な指示クラスを前件に持つ仮説が優先されて使われている。

医学などにおける説明や予測においては、事象の規則的発生パターンについての知識が利用されたりする。 Hempel は I-S モデルを導入し、このような説明を分析しようとし

た。I-S モデルは、細部まで定義された推論体系ではない。ROH の第一段階における推論を I-S モデルのアイデアを表現するものとして捉えることもできる。ROH の推論は、日常的因果推論にも用いることができる非単調推論の一つである。だから、I-S モデルが「科学」と直接関係する説明形式とは考えにくい。むしろ、我々は、I-S モデルのようなタイプの説明形式を、不完全な情報しか与えられていない現実場面での実践的推論様式として捉えるべきだろう。つまり、このタイプの説明形式は、我々の実践と強く結びついた極めて一般的な推論様式であり、それが「科学」においても使用される場合があると見るべきだろう。

まとめ

本稿では、Poole (1988) の仮説推論と Brewka (1989, 1991) の優先部分理論を修正し、順序づけられた仮説を用いての推論 ROH を提案した。ROH は、事実記述 F と仮説図式 Δ から信頼順序を定め、F の拡張を段階的に生成していく推論体系である。そして、第 3 節では、ROH を用いて推論の正当性について考察し、さらに、ROH を継承推論や時間発展する系の記述に応用した。第 4 節では、Hempel の提案した説明概念について ROH の推論体系と比較しながら考察した。

付録

定義Ａ１（事実記述, 仮説図式集合, 仮説領域）

(1) 以下、等式を含んだ一階の述語論理を論理体系として用いる。任意の無矛盾な閉論理式の集合を「事実記述」と呼び F で表わす。また、$(p(x) \rightarrow q(x))$ という形の自由変項を一つだけ持つ開論理式の集合を「仮説図式集合」と呼び Δ で表わす。

(2) $Ext_0(F, \Delta) := \{p \mid F \vdash p\}$ とおく。$Ext_i(F, \Delta)$ は定義Ａ１から定義Ａ５までにより再帰的に定義される。

(3) $S_i(F, \Delta) := \{(p(d) \rightarrow q(d)) \mid (p(x) \rightarrow q(x)) \in \Delta \ \& \ p(d) \in Ext_i(F, \Delta)\}$ と定義される文集合 $S_i(F, \Delta)$ を「(F, Δ) に関する i 段階の仮説領域」と呼ぶ。

規定Ａ１（信頼順序, 仮説構造）

一般に、$\langle HS_i(F, \Delta), > \rangle$ が (F, Δ) に関する第 i 段階の仮説構造となるためには次の三条件が満たされていなければならない：

(i) $\bigcup \{H \mid H \in HS_i(F, \Delta)\} = S_i(F, \Delta)$

(ii) $\forall H1 \in HS_i(F, \Delta), \forall H2 \in HS_i(F, \Delta) \ (H1 \cap H2 = \emptyset)$

(iii) $\langle HS_i(F, \Delta), > \rangle$ は半順序構造である。

規定Ａ１よれば、仮説集合領域 $HS_i(F, \Delta)$ は、仮説領域を重なりを持たない部分集合に

分割してえられるものである。仮説領域と仮説構造の具体例は、3.1節、3.2節、第3.3節で論じられている。以下の優先部分理論や拡張の定義は、どのタイプの仮説構造についても同様に適用できるものである。

命題A1 定義5における $\sim_i$ は同値関係、$>_i$ は半順序となる。

証明 定義5.(1)から直ちに $\sim_i$ が反射律、対称律、推移律を満たすことを示すことができる。よって、$\sim_i$ は同値関係。また、定義5から $>_i$ の反反射律と推移律が帰結する。よって、$>_i$ は半順序である。

ここで、ROHの推論システムを定義するが、以下の優先部分理論や帰結の定義A2からA4までは、基本的に、Brewka (1991) にそったものである。

定義A2（極大無矛盾部分集合,優先部分理論）

(1) 無矛盾な文集合Aと任意の文集合Hが与えられているとする。この時、Tが[$A \subseteq T$ & $\forall p \in H$ ([$T \cup \{p\}$ は無矛盾] $\Rightarrow p \in T$)]という条件を満たすなら、「TはAを基盤にする$A \cup H$の極大無矛盾部分集合である」と言う。

(2) 今、(F, Δ) に関する第i段階の仮説構造〈$HS_i(F, \Delta), >$〉が与えられており、[$S = \{H_1, ..., H_n\}$] & [$H_1 > ... > H_n$] という線型性の条件が満たされているとする。この時、Tが次の条件を満たす時、「Tは〈$HS_i(F, \Delta), >$〉に関する優先部分理論である」と言う（一般に〈$HS_i(F, \Delta), >$〉に関する優先部分理論は複数存在する）：

(i) $T_0 := Ext_i(F, \Delta)$

(ii) $1 \leq k \leq n$ ならば、T_k は T_{k-1} を基盤にする $T_{k-1} \cup H_k$ の極大無矛盾部分集合である。

(iii) $T := T_n$

定義A3（仮説構造の線型化,優先部分理論集合）

(1) [$> \subseteq >^*$] & [$\forall H1 \in HS_i(F, \Delta)$, $\forall H2 \in HS_i(F, \Delta)$ ($H1 >^* H2$ or $H1 = H2$ or $H2 >^* H1$)]という条件を満たす仮説構造〈$HS_i(F, \Delta), >^*$〉を「〈$HS_i(F, \Delta), >$〉の線型化」と呼ぶ。

（〈$HS_i(F, \Delta), >^*$〉は $>$ の順序を保ちつつ、$HS_i(F, \Delta)$ の全要素が比較可能となるように順序づけを付け加えたものである。）

(2) $PS_i(F, \Delta) := \{T \mid$ [〈$HS_i(F, \Delta), >^*$〉は〈$HS_i(F, \Delta), >$〉の線型化] & [Tは〈$HS_i(F, \Delta), >^*$〉に関する優先部分理論]$\}$

と定義される $PS_i(F, \Delta)$ を「(F, Δ) に関する第i段階の優先部分理論集合」と呼ぶ。

定義A4（帰結） $PS_i(F, \Delta)$ は (F, Δ) に関する第i段階の優先部分理論集合であるとする。この時、$\forall T \in PS_i(F, \Delta)$ $(T \vdash p)$ が成り立てば、「pは (F, Δ) からの第i段階での強い意味での帰結である」、あるいは、単に「pは (F, Δ) からの第i段階での帰結である」と言う。

また、$\exists T \in PS_i(F,\Delta)\,(T \vdash p)$ が成り立てば、「p は (F,Δ) からの第 i 段階での弱い意味での帰結である」と言う。

定義A 5 Fは事実記述、 Δは仮説図式集合とする。

(i) $Ext_{i+1}(F,\Delta) := \{p \mid \forall T \in PS_i(F,\Delta)\,(T \vdash p)\}$

(ii) $EXT(F,\Delta) := \cup \{Ext_i(F,\Delta) \mid i \in N\}$

$Ext_i(F,\Delta)$ を「(F,Δ) の第 i 段階における拡張」、$EXT(F,\Delta)$ を「(F,Δ) の拡張」と呼ぶ。

命題A 2 $Ext_i(F,\Delta) \subseteq Ext_{i+1}(F,\Delta)$。

証明 定義A 2とA 3より、$T \in PS_i(F,\Delta)$となる任意の文集合 T について、$Ext_i(F,\Delta) \subseteq T$ 。だから、$\forall p \in Ext_i(F,\Delta)\,(T \vdash p)$ 。よって、 $\forall p \in Ext_i(F,\Delta)\,(\forall T \in PS_i(F,\Delta)\,(T \vdash p))$ 。すると、定義A 5より $\forall p \in Ext_i(F,\Delta)\,(p \in Ext_{i+1}(F,\Delta))$。即ち、$Ext_i(F,\Delta) \subseteq Ext_{i+1}(F,\Delta)$。

命題A 3 $Ext_i(F,\Delta) = Ext_{i+1}(F,\Delta)$ ならば、$EXT(F,\Delta) = Ext_i(F,\Delta)$。

証明 $Ext_i(F,\Delta) = Ext_{i+1}(F,\Delta)$ ならば、定義A 1より $S_i(F,\Delta) = S_{i+1}(F,\Delta)$ 。そして、 $S_i(F,\Delta) = S_{i+1}(F,\Delta)$ ならば、新しい仮説は生成されないので $PS_i(F,\Delta) = PS_{i+1}(F,\Delta)$。よって、$Ext_{i+1}(F,\Delta) = Ext_{i+2}(F,\Delta)$ 。よって、$Ext_i(F,\Delta) = Ext_{i+2}(F,\Delta)$ 。同様にして、任意の自然数 n につき $Ext_i(F,\Delta) = Ext_{i+n}(F,\Delta)$ が言える。また、命題A 2より $Ext_0(F,\Delta) \subseteq \ldots \subseteq Ext_i(F,\Delta)$ なので、$EXT(F,\Delta) = Ext_i(F,\Delta)$ 。

定義A 6 (強い仮説集合の付加)

OB は説明されるべき観察文の集合とする。そして、$\langle HS_i(F,\Delta), > \rangle$ という仮説構造と文集合 HYP が与えられているとする。

(1) この時、次の条件を満たす構造 $\langle HS_i(F,\Delta,HYP), >^* \rangle$ を「仮説集合を付加した仮説構造」と呼ぶ：$[HS_i(F,\Delta,HYP) = HS_i(F,\Delta) \cup \{HYP\}]\ \&\ [\forall H \in HS_i(F,\Delta)\,(HYP > H)]$ 。

以下、$\langle HS_i(F,\Delta,HYP), >^* \rangle$ を単に $\langle HS_i(F,\Delta,HYP), > \rangle$ と書く。

(2) 定義A 3, A 4, A 5を $\langle HS_i(F,\Delta), > \rangle$ の場合と同様に構造 $\langle HS_i(F,\Delta,HYP), > \rangle$ に適用し、$PS_i(F,\Delta,HYP)$, $Ext_i(F,\Delta,HYP)$, $EXT(F,\Delta,HYP)$, を定める。

定義A 7 (アブダクションによる仮説生成) OB は説明されるべき観察文の集合とする。

(1) (i) $OB_0 = OB$, $HYP_0 = \emptyset$

(ii) $OB_k \vdash q(s_i)$ となるすべての文 $q(s_i)$ について、それに対応する $(STATE_1(s) \wedge \ldots \wedge STATE_m(s) \wedge EVENT(s) \rightarrow q(suc(s))$ という形の仮説図式が Δ 中にあるか調べる。ただし、この仮説図式は、 $(EVENT(s) \rightarrow q(suc(s))$ あるいは $(STATE_1(s) \wedge \ldots \wedge STATE_m(s)) \rightarrow q(suc(s))$ という形のものでもよいとする。これらの仮説図式を集めて仮説集合 H_k を作成するが、 H_k は $q(s_i)$

について重複する仮説を含まないように作成する。この時、 OB_{k+1} と HYP_{k+1} を次の条件を満たすように定める：

$OB_{k+1} := \{STATE_1(s_i) \wedge ... \wedge STATE_m(s_i) \mid (STATE_1(s_i) \wedge ... \wedge STATE_m(s_i) \wedge EVENT(s_i) \rightarrow q(suc(s_i)) \in H_k\}$

$HYP_{k+1} := HYP_k \cup \{EVENT(s_i) \mid (STATE_1(s_i) \wedge ... \wedge STATE_m(s_i) \wedge EVENT(s_i) \rightarrow q(suc(s_i)) \in H_k\}$

(iii) (ii) の手続きを $OB_n \subseteq EXT(F, \Delta, HYP_n)$ または $F \cup HYP_n \vdash \bot$ となるまで繰り返す。 $OB_n \subseteq EXT(F, \Delta, HYP_n)$ の時、 $HYP := HYP_n$ とおく。

(2) OB 中のすべての文 p について、 $\forall T \in PS_i(F, \Delta, HYP)\ (T \vdash p)$ が成り立つならば、 OB は「(F, Δ, HYP) から説明可能」という。

注

1) ここで言及している問題は、 Brewka のシステムだけではなく、 Reiter のデフォルト論理や Poole の仮説推論でも確認できることがらである。

　また、第4節で論じるように、 Hempel の I-S 説明を ROH により実現されていると考えることもできる。 Hempel (1965) が、 I-S 説明は一般的に連結可能ではないことをすでに指摘していることは興味深い（pp. 410－412 参照)。

2) Quine (1995) は、子供が言語を学ぶ場合に、観察文の修得の次の段階として、観察文を二つ組み合わせて期待を一般的に表現した observation categorical という文の使用の修得段階を考えている（Cf. p. 25f)。そして、 Quine は、 observation categorical を (strike-a-match(s) → flame-appear(suc(s))) というような仮説図式としてではなく、 ∀s (strike-a-match(s) → flame-appear(suc(s))) というような全称量化された文として捉えている。しかし、 Quine のように捉えれば、我々が日常用いる例外を含んだ規則性の記述はすべて observation categorical から除かれてしまうだろう。

3) ここで問題にしているのは、時間発展していく系の中で何が変化し何が変化しないかをどのように効率的に記述すればよいかという「狭い意味でのフレーム問題」である。松原 (1990) は、狭いフレーム問題に対する解決案を、知識表現の効率化を処理の量を増すという問題の転嫁によるものとして特徴づけている。松原によれば、この「狭い意味でのフレーム問題」の他に、「膨大な情報を（記述するにしろ処理するにしろ）いかに扱うか」（p. 221）という「一般化フレーム問題」が存在する。

4) ROH では、 $Ext_0(F, \Delta) \subseteq Ext_1(F, \Delta)$ という関係が成り立ち（命題A 2 参照)、 (F, Δ) からの第1段階における帰結集合は、 F からの帰結集合を無矛盾性を保ちつつ拡張したものとなっている。 Hempel の説明理論においても、 I-S 説明は D-N 説明を拡張したものとなっているが、両者の関係は十分に明らかにされていない。

参考文献

Brewka, G. (1989) Preferred subtheories － an extended logical framework for default reasoning. In: *Proceedings* IJCAI-89, Detroit, MI 1043－1048.

Brewka, G. (1991) *Nonmonotonic Reasoning: Logical Foundations of Commonsense*, Cambridge UP.

Coffa, J. A. (1974) Hempel's ambiguity, In: *Synthese* 28: 114－163.

Delgrande, J. P. (1986) A first-order conditional logic for reasoning about prototypical properties. Simon Fraser University Department of Computer Science Technical Report, Burnaby.

Gädenfors, P. (1988) *Knowledge in Flux — Modeling the Dynamics of Epistemic States*, MIT.

Gädenfors, P. & Makinson, D. (1994) Nonmonotonic inference based on expectation. In: *Artificial Intelligence* 65: 197－245.

Hanks, S. & McDermott, D. (1986) Default reasoning, nonmonotonic logics, and the frame problem. In: *Proceedings of the Fifth National Conference of the American Association for Artificial Intelligence*: 328－333.

Hempel, C. G. (1965) *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*, Free Press and Vollier Macmillan.

Lewis, D. K. (1973) *Counterfactuals*, Blackwell.

McCarthy, J. (1980) Circumscription — a form of non-monotonic reasoning. In: *Artificial Intelligence* 13: 27－39.

McCarthy, J. (1986) Applications of circumscription to formalizing commonsense knowledge. In: *Artificial Intelligence* 28: 89－116.

McCarthy, J.& Hayes, P. J. (1969) Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In: *Machine Intelligence* 4: 463－502.

McDermott, D. & Doyle, J. (1980) Non-monotonic logic I. In: D.G. Bobrow (ed.) *Special Issue on Non Monotonic Logics, Artificial Intelligence* 13.

Minsky, M. (1975) A framework for representing knowledge. In: P.H. Winston (ed.) *The Psychology of Computer Vision*, McGraw-Hill: 211－277.

Moore, R. C. (1984) Possible-world semantics for autoepistemic logic. In: *Proceedings of the AAAI Workshop Non-Monotonic Reasoning*, New Paltz: 396－401.

Moore, R. C. (1985) Semantical consideration on nonmonotonic logic. In: *Artificial Intelligence* 25: 75－94.

松原仁 (1990)「一般化フレーム問題の提唱」J. マッカーシー＋P.J. ヘイズ＋松原仁『人工知能になぜ哲学が必要か』 哲学書房 175－245.

中島秀之・松原仁・大澤一郎 (1993)「因果関係によるフレーム問題へのアプローチ」『人工知能学会誌』Vol. 8 No. 5: 619－627.

中山康雄 (1996)「仮説推論における信頼順序の自動生成」『１９９６年度 人工知能学会全国大会（第１０回）論文集』pp. (127)－(131).

Poole, D. (1988) A logical framework for default reasoning. In: *Artificial Intelligence* 36: 27－47.

Quine, W. V. (1995) *From Stimulus to Science*, Harvard UP.

Reiter, R. (1980) A logic for default reasoning. In: *Artificial Intelligence* 13: 81－132.

Reiter, R. (1988) Nonmonotonic reasoning. In: H.E. Shrobe (ed.) *Exploring Artificial Intelligence*, Santeo.

Shoham, Y. (1990) Nonmonotonic reasoning and causation. *Cognitive Science*, Vol. 14: 213－252.

Stalnaker, R (1968) A theory of conditionals. In: N. Rescher (ed.) *Studies in Logical Theory*, Blackwell: 98－112.

Representation of Commonsense Reasoning within a Framework of Hypothetical Reasoning

Yasuo NAKAYAMA

In everyday life, we often use reasoning with incomplete information. Even for this type of reasoning, it is possible to give criteria for justified reasoning. For it is reasonable to prefer more probable presumptions to the others. Reasoning with incomplete information is nearer to reasoning in everyday life than deductive reasoning. In practical disciplines — like engineering and medicine — and in experimental activities, we often need reasoning based upon incomplete information. This paper aims to give an unified picture for reasoning based upon incomplete information by using a framework of hypothetical reasoning.

In the first section, research activities for nonmonotnoic reasoning in AI are surveyed and six types of approaches — closed world assumption, consistency-based approaches, approaches based upon minimal models, epistemic approach, conditional logic, and theory for belief revision — are briefly explained. The second section focuses on consistency-based approaches. Three approaches are discussed here: Reiter's default logic, Poole's hypothetical reasoning, and Brewka's preferred subtheories.

In the third section, a new proposal of hypothetical reasoning — reasoning with ordered hypotheses (ROH) — is introduced and its characteristics are analyzed. ROH is a framework for prediction and abduction. It presupposes a set of first-order sentences F and a set of schemata of hypotheses Δ. A schema of hypotheses is an open formula with a free variable in a form $(p(x) \rightarrow q(x))$ and means "if p, then usually q". ROH generates a reliability ordering from a given pair (F, Δ) and expands F step by step. If $(p(x) \rightarrow q(x))$ is in Δ and $p(c)$ can be inferred from F, then the hypothesis $(p(c) \rightarrow q(c))$ is generated. Using generated hypotheses and reliability ordering among them, the extension in the first stage $\mathrm{Ext}_1(F, \Delta)$ is defined. The subsection § 3.1 points out that the manifold application of schemata of hypotheses are not always justified. ROH provides a possibility to stop inferring in a certain stage of extensions, to take this problem into account. § 3.2 describes inheritance reasoning within ROH. § 3.3 explains how transforming systems can be described within ROH; as an example, the Yale shooting problem is used. To explain observations from a given pair (F, Δ), new hypotheses need sometimes to be created; for this generation of hypotheses, abduction in ROH is explained in § 3.4. Precise definitions for ROH are given in the appendix.

In the last section, it is suggested that a subsystem of ROH might be seen as a precise formulation of Hempel's inductive-statistical explanation. This relationship might help to understand Hempel's I-S explanation more closely.