

状況に敏感な類似性判断のモデル

東京工業大学	大	西	仁
青山学院大学	鈴	木	宏
東京工業大学	繁	栴	算
			男

1 序 論

人間の柔軟な知的行動は適切な過去の経験から知識を引きだし、利用する能力に負うところが大きい。その際、類似性が適切さのよい指標になることが多い。なぜなら、ある状況において問題を処理するのに利用される知識は類似する状況にも適用できる可能性が高いからである。それゆえ、カテゴリ化 (Smith, 1989)、類推 (Gentner, 1983)、問題解決、学習 (Hammond, 1990) をはじめとする多くの認知的活動の理論中において類似性はしばしば問題とされる。

このような認知的活動が状況に応じて柔軟に行われるためには、類似性も状況に応じて変化しなければならない。つまり、当該の活動に応じて、観点を切り替え、多様な観点から類似性を見つけ出す能力を人はもたねばならない。実際、刺激の組み合わせを変えることにより類似性が変化する例が多数報告されている (Goldstone, Medin, & Gentner, 1991; Tversky & Gati, 1978)。さらに、問題解決のように目標や知識が重要な役割を果たす場面においては、類似性も目標や知識により大きく変化する (Suzuki, Ohnishi, & Shigemasu, 1992)。

しかし、類似性の状況依存性に対する既存の類似性理論の対応は十分ではない。例えば、Tversky (1977) のコントラスト・モデルでは類似性を対象の共有特徴と固有特徴の顕著性に重みづけをすることにより定め、コントラスト・モデルは類似性の状況による変化を重みの変化により説明しようとしている。しかし、コントラスト・モデルはどの特徴が顕著であるかを決定するようなメカニズムをもたない。したがって、コントラスト・モデルは類似性の状況による変化を説明しているとはいえない。類似性の状況依存性を処理するためには、類似性の理論に目標や知識を取り込む必要がある。

本論文では、類似性の認知的活動における役割、類似性の理論と問題点を克服する新

キーワード: 類似性判断, 説明, ゴール, 知識, 問題解決, 学習

しい類似性の理論について論ずる。以下、2では類似性の性質と認知的活動における役割について述べる。3では既存の類似性理論とその問題点について述べる。4では3で述べた問題点を克服する新しい類似性理論について論ずる。

2 認知における類似性の役割

2.1 概念とカテゴリ

世界をカテゴリ化し、概念として表象することは人間の基本的な認知的活動の一つである。類似性判断は概念活動、特にカテゴリ化と深い関わりをもつ。

カテゴリ化について60年代までは定義的特徴をベースにした理論が中心となっていたが、自然カテゴリにおいてはその定義となるような特徴を見つけ出せないことが明らかになった (Smith, 1989)。また、典型性効果の発見により、プロトタイプをベースとしたモデルが主流を占めるようになった (Rosch, 1978; Rosch & Mervis, 1975; Smith, 1989; Smith, Osherson, & Rips, 1988)。プロトタイプ・モデルにおいて、概念は平均的特徴群からなる要約として表象されている。新規の対象の分類はプロトタイプとの類似性に基づき行われる。すなわち、その対象がある概念のプロトタイプと十分に類似していれば対象はその概念の成員として分類される。

プロトタイプ・モデルは定義的特徴を仮定しないので、前述の定義的特徴の特定に関する問題を回避できる。また、成員の典型性は概念の成員とプロトタイプの類似性として観測される。このように類似性を用いることにより、人間のカテゴリに関する多くの現象が説明可能になる。

2.2 類推・問題解決・学習

人間が新規の問題に対しても柔軟に対応できるのは過去の経験を活かす能力に負うところが大きい。従来、思考は与えられたデータ (前提) に論理的規則を逐次あてはめていくことにより達成されると考えられてきた。こうしたことは初期の思考研究が演繹推論を中心に行われてきたこと、また Piaget の発達段階説の中に顕著である (Piaget, 1952)。しかし、認知科学におけるコンピュータ・シミュレーションを用いた研究はそうした方法では複雑な推論を行うことはほとんど不可能であることを立証してきた。また、実験心理学においても人間が実際に論理規則にしたがって推論を行っていないという証拠が数多く挙げられてきた (Cheng & Holyoak, 1985; Johnson-Laird, 1983; 長尾, 1992; Wason, 1968)。ここで問題になるのは、いかにして適切な経験を記憶から取り出すかということである。類似性は適切な経験を探す有効な情報であると考えられる。ここでは、類似性がどのように用いられているかについて述べる。

類推は直面する未知の領域 (ターゲット) の対象を既知の領域 (ベース) から知識を写像することによって処理するプロセスである (Falkenhainer, Forbus, & Gentner, 1989; Greiner, 1988; Holyoak & Thagard, 1989)。例えば、電気回路の諸性質を理解

しようとするとき、水流をベースとして考えることにより理解できるということがある。Gentnerら (Clement & Gentner, 1991; Gentner, 1983, 1989; Gentner & Gentner, 1983; Gentner & Toupin, 1986) はベース、ターゲット間の関係構造の類似性により写像が可能になるとしている。

問題解決において与えられた条件に規則を適用して解を得る方法（ルールに基づく推論）がある一方、過去に解いた問題のうち類似したものの解を変形することにより解を得る方法もある (Hammond, 1990; Riesbeck & Schank, 1989; Schank, 1982)。このような方法を事例に基づく推論 (case based reasoning) という。事例に基づく推論の主な流れは次の通りである。1) 与えられた問題の特徴を抽出する。2) 与えられた問題と類似した事例を事例ベースから検索する。3) 事例を与えられた問題に合うように変形して解を生成する。4) 解決した問題と解を再利用のため事例ベースに入れる。

事例に基づく推論は与えられた問題を解決し、さらに、それを再び事例として格納して、再利用するので、問題解決と同時に学習も行っているといえる。

3 類似性の研究において解かれるべき問題

3.1 類似性の柔軟さ

実際の人間の類似性判断は状況の変化に対して敏感であると思われる。もし類似性が一定不変であるとしたならば、人間の知的な行動の特質を類似性から説明することはできなくなる。そこで類似性判断が人間においていかに柔軟であるかを示す。

3.1.1 類似性の柔軟さ——類似性の研究より

Tversky (1977), Tversky and Gati (1978) は国の類似性が刺激のセットによって異なることを示した。スウェーデン、ポーランド、ハンガリーを組にして、オーストリアと最も似ている国を選ばせたところ、スウェーデンが最も多く選ばれる。ところが、スウェーデン、ノルウェー、ハンガリーを組にして、オーストリアと最も似ている国を選ばせたところ、ハンガリーが最も多く選ばれる。最初の例では政治体制をベースにして類似性が判断されるのに対し、後の例では地理的位置関係をベースに類似性が判断されたのである。

また、Goldstone et al. (1991) は特徴の顕著性が他の特徴との関わりにより変化することを示している。対象間で共有される属性的な特徴が多いときには属性的な特徴の顕著性が大きくなり、関係的な特徴の顕著性は小さくなる。逆に、共有される関係的な特徴が多いときには、関係的な特徴の顕著性が大きくなり、属性的な特徴の顕著性は小さくなる。

これらは対象間の類似性が2つの対象が与えられれば普遍的に決まるものではなく、文脈に応じて変化することを示している。

3.1.2 概念、カテゴリ化との関わり

2) で類似性が概念、カテゴリに深く関わっていると述べた。しかし、類似性を一定

不変のものとした場合、概念、カテゴリ化を十分には説明できないことが明らかにされている。典型性構造やそれを支えているとされる類似性はそれほど安定したものではなく、文脈によって変化するのである。

Rips (1989) は類似性が固定されたものと考えた場合、類似性がカテゴリの基盤にならないことを示している。例えば、「それは直径3インチです」という記述を与え、この対象が「ピザ」と「25セント硬貨」のどちらのカテゴリに属するかを決めさせる。この対象はどちらかといえば25セント硬貨に近いが、被験者はこの対象がピザであると判断する傾向が強い。これは25セント硬貨のサイズには制約があるのに対して、ピザのサイズにはそれが無いからである。

Roth and Shoben (1983) の実験は典型性構造が文脈情報により変化することを示している。例えば、「彼女は昼休みに友人と2人で飲物を飲んだ」という文で最もありそうな飲物はコーヒーで、次いで紅茶となる。牛乳はあまりありそうではない。それに対して、「そのトラックの運転手は仕事前に飲物を飲んだ」という文で最もありそうな飲物はコーヒーで、次いで牛乳となり、紅茶はありそうではない。このように、典型性構造は一定不変なものではなく、文脈に応じて変化するのである。言い換えると、飲物のプロトタイプとコーヒー、紅茶、牛乳の類似性が文脈により変化するのである。

通常は認識されない（または、非常に顕著性の小さな特徴として認識される）ような特徴をベースとしたカテゴリも存在する。一見、何の共有特徴も持たない、すなわち似ていないようなものが、目的などの文脈を与えることによりカテゴリ化されることがある (Barsalou, 1983)。例えば、「カーテン、シーツ、はしご、ロープ」よりなるカテゴリを共有する特徴から見つけるのは困難である。ところが、「火事場で、2階の窓から逃げる」という文脈（目標）を与えられると、確かにカテゴリ化できるのである。このようなカテゴリはアドホック・カテゴリと呼ばれる。アドホック・カテゴリは単なる特徴のマッチングではなく、2階の窓から逃げるという目標を達成する方法を説明（推論）することによって作られた（または、顕著な特徴として浮上してきた）と考えられる。

3.1.3 類推・問題解決・学習との関わり

2つのものを与えた時点で類似性が決まる、つまり類似性を先験的に決めておいた場合、類推を行うことはできないという主張がある (有馬, 1992; Davies & Russel, 1987; Kedar-Cabelli, 1985; 鈴木・村山, 1991)。例えば、高所のものをとろうとしたり、押し花を作ろうとする際には、本と石は類似するが、暇をつぶしたいときにはこの2つは類似しない。すなわち、本と石の類推は問題に応じて成り立ったり成り立たなかったりするはずである。しかし、先験的な手法ではこのことは説明できない (有馬, 1992)。

問題解決や学習などにおいてはゴールや知識が中心的な役割を果たす。そのような場面において、類似性の判断が知識やゴールにより変化してくることはむしろ自然なことである。

Chi, Feltovich, and Glaser (1981) は物理の問題を分類する課題を与えたところ、物理の熟達者と初心者では分類の基準が異なっていることを明らかにした。初心者が運動する物体の種類などの問題文中の表面的特徴に基づいて分類しているのに対し、熟達者は運動の種類などの物理の原理レベルの特徴に基づいて分類を行っていた。すなわち、熟達者が物理の原理レベルの特徴が顕著な特徴とするのに対し、初心者は問題の原理的レベルの特徴を特定できないのである。これは類似性の判断が知識に依存することを示唆している。

事例に基づく推論において、与えられた問題と類似した事例を検索する際、与えられた問題の特徴と過去の問題の特徴のマッチングにより類似性を計算していたのでは適切な解を導き出すことは不可能であるという主張がある (Leake, 1992)。なぜなら、与えられた問題についての理解は十分ではないので、重要な特徴を十分に抽出できないからである。このような特徴のマッチングでも推論がうまくいくのは、与えられた問題が十分にわかっている場合のみである。

このように特徴に依存した類似性の計算では単純に説明できないような現象が多々ある。

3.2 既存理論とその問題点

本節では類似性がいかに柔軟であるかをさまざまな研究分野から例をあげて述べてきた。これに対して、既存の類似性理論はこのような柔軟性を十分説明しているとはいえない。ここでは、既存の類似性理論とその問題について述べる。

3.2.1 既存の類似性理論

類似性の認知モデルとして Tversky (1977) のコントラスト・モデルが広く応用されている。

コントラスト・モデルは2つの対象を特徴集合で表現し、対象間の特徴のマッチングにより類似性を表す。ある事例 (A) と別の事例 (B) の類似性は次の式で表される。

$$Sim(A, B) = \theta f(A \cap B) - \alpha f(A - B) - \beta f(B - A)$$

ここで、 A, B はそれぞれの事例の特徴集合、 f は特徴集合の顕著性を表す関数である。 θ, α, β は各々特徴集合 $A \cap B, A - B, B - A$ の相対的寄与を表すパラメータである (θ, α, β は非負)。ここでの基本的アイディアは、類似性とは共有特徴の増加関数になり、固有特徴の減少関数になっているということである。固有特徴について $\alpha f(A - B)$ と $\beta f(B - A)$ に分けることにより、類似性に方向性 (非対称性) があることを記述できることが大きな特徴となっている。

コントラスト・モデルは直観的なわかりやすさとモデルの単純さから、カテゴリに関する研究 (Smith et al., 1988) や事例に基づく推論 (Ase & Kobayashi, 1990) などにおいて類似性のモデルとして応用されている。

コントラスト・モデル以外にも対象を特徴集合で表現し、特徴のマッチングにより類似性を表すモデルは多数ある。例えば、Medin and Schaffer (1978) のコンテキスト・モデルというカテゴリ化のモデルでは対象とカテゴリの実例の類似性に基づいてカテゴリ化が行われるとしている。そこでの類似度は共有特徴のマッチの度合いを掛け合わせることににより算出される。共有特徴について足し合わせでなく掛け合わせを行うことにより、特徴間の相関をよく反映することが特徴とされている。

また、Ortony (1979) は、比喻においては、類似性の非対称性が非常に大きくなることや、共有特徴の数が少なくても類似性が認識されることを考慮して、コントラスト・モデルを次のように修正し、比喻的な類似性を表現した。

$$Sim(A, B) = \theta f^B(A \cap B) - \alpha f^A(A - B) - \beta f^B(B - A)$$

ここで、 f^A, f^B は、それぞれ対象 A, B に依拠する顕著性を表す。このモデルは「比喻はベースの顕著な特徴をターゲットに重ね合わせてターゲットを解釈する」ということを表している。

3.2.2 問題点

上で述べたような理論にはいくつかの問題点がある。最大の問題はこれらの理論が重要な特徴を選択する、または特徴の重要度を決定する機構をもたないことである。Tversky (1977) のコントラスト・モデルの場合、顕著性の関数 f が特定されていない。例えば、Smith (1989) は $f(X)$ を X の要素数として、 θ, α, β はすべて 1 としている。このような計算方法では全く柔軟性がないのは明らかである。 f を各特徴に重み付けをして加算（掛け算でもよい）するような関数とした場合、重みを変化させることにより類似性を変化させることはできる。その際、重みは回帰分析などにより決定できる。しかし、このような方法で計算された類似性は後付けの説明しかできないアドホックなものになる。また、重みの大きな特徴、すなわち重要な特徴がなぜ重要なかを説明できない。

第2の問題は特徴の記述についての問題である。ここまでの議論では、対象の特徴すべてが記述されていることを前提にしてきた。ところが、この前提には無理がある。なぜなら、特徴は無限に作り出すことができるからである (Goodman, 1972)。例えば、「犬」の特徴として「ワンと鳴く」「ペット」などだけでなく、「金属製でない」「食器でない」「猫でない」といったものもあるはずである。このように、対象の特徴をすべて記述することは実質不可能なのである[†]。

類似性判断に関する実験のほとんどが被験者のゴールや知識の影響を排除し、ニュートラルな状況で行われていることも問題である。このような状況で行われた実験の結果は、問題解決や学習などの知識が中心的な役割を果たす場面へ拡張できるとは限らない。

[†] この問題は人工知能ではフレーム問題と呼ばれている (松原, 1990; McCarthy & Hayes, 1969)。

4 状況の変化に対応する類似性理論

前節で述べたように、これまでの類似性理論は状況に応じて変化する人間の類似性判断を説明できなかった。既存理論で決定的に欠けている点は、与えられた状況において何が重要な特徴であるかを特定できないことである。最近になって、このような問題点を考慮した類似性理論が提案されるようになった。

Suzuki et al. (1992)は類似性計算のモデルに処理すべき状況のゴールと領域知識を取り入れることにより人間の柔軟な類似性判断の説明を試みた。このモデルは、「説明」、「特徴マッチング」の2つのフェーズからなる。モデルの基本アイディアは類似性を領域知識によるゴールの説明[†]の複雑さにより計算するということであり、説明が不可能な状況では特徴のマッチングにより類似性を計算するということである。

例えば、部屋で灰皿を探しているとしよう。そして、そこには紙コップと、フタの開いていないフルーツの缶詰と少量のクッキーの入った缶があったとする。このときの、目標、領域知識、特徴は図1ようになる。クッキー缶の特徴を領域知識を用いて変形していくことによりクッキー缶が灰皿の3つの条件を満たしていることが説明される^{††}。説明の結果として、灰皿とクッキー缶の類似性が得られる。フルーツ缶も灰皿にすることができるが、説明が複雑になるので灰皿との類似性はクッキー缶の場合より低くなる^{†††}。仮に、クッキー缶がはじめから空なら説明がより単純になるため灰皿との類似性はさらに上がる。

説明を行うためのゴールや知識が欠けているときや問題が難しいときは説明が不可能であるので、表面的な特徴のマッチングによる類似性を計算する。例えば、既存の類似性研究における実験でよく使われる図形のパターンの類似性 (Goldstone et al., 1991; Tversky, 1977) の計算は、特定の文脈が与えられていないので特徴のマッチングに頼らざるを得ない。

このモデルは、これまでのモデルにない利点がいくつかある。まず、問題解決や学習といった知識、ゴールが重要な役割を果たす状況における人間の類似性判断をよく説明することである (後述)。

さらに、先の灰皿の例でわかるように、ゴールの達成に寄与しないような特徴を計算に取り込まないことである。言い換えると重要な特徴を選択しているのである。このモ

† ここでいう説明とは説明に基づく学習 (Dejong & Mooney, 1986; Mitchell, Keller, & Kedar-Cabelli, 1986) における説明と同義で、与えられた条件からゴールを達成できることを領域知識を用いて証明して、証明木を作ることである。

†† このとき、「クッキーが甘い」「クッキー缶は赤い」といった、灰皿と無関係な特徴は説明には用いられない。

††† フルーツの缶を開ける必要がある。

ゴール：
灰皿 (X)

領域知識：

耐熱性 (X)
not-in (Y, X)
空 (X)
凹型 (X)
凹型 (X)
耐熱性 (X)
蓋が開いている (X)
中身を移す (Y, X)
中身を移す (Y, X)
中身を移す (Y, X)
∴

特徴：

缶 (フルーツ缶).
缶 (クッキー缶).
蓋が開いている (クッキー缶).
赤い (クッキー缶).
in (クッキー, クッキー缶).
コップ (紙コップ).
白い (紙コップ).
甘い (クッキー).
∴

← 耐熱性 (X)
∧ 凹型 (X)
∧ not-in (貴重品, X).
← 缶 (X).
← 空 (X).
← 中身を移す (Y, X).
← 缶 (X) ∧ 蓋が開いている (X).
← コップ (X).
← in (水, X).
← 開ける (X, Y) ∧ 缶切り (Y).
← 食べる (Y).
← 飲む (Y).
← 捨てる (Y).
∴

(ただし, X, Y は変数を表す)

図1 灰皿に関する目標, 領域知識, 特徴

デルは, 従来のモデルとは異なり, 類似性判断をより能動的なプロセスであると主張しているのである。

このモデルの正当性を示すために Suzuki et al. (1992) は, ハノイの塔の問題解決状況における類似性判断が問題のゴールや知識により変化することを示した。ハノイの塔の問題空間上の状態を示す図を刺激として提示し, 熟達度の異なる被験者にゴール状態と他の状態との類似度を評定させた。

この課題において, ゴールはすべてのディスクが右側にある状態, 領域知識はオペレータである。説明は与えられた初期状態からパズルを解き, 解を生成することである。このモデルにしたがうと結果は次のように予測される。まず, 熟達者は説明の複雑さにより類似性を計算する。したがって, ゴールにより近い状態ほどゴールとの類似性が大きくなる。例えば, 初期状態が図2の場合の説明は「中ディスクを右のペグへ移動, 小ディスクを右のペグへ移動」である。それに対して, 初期状態が図3の場合の説明は「中ディスクを中央のペグへ移動, 小ディスクを中央のペグへ移動, 大ディスクを右のペグへ移動, 小ディスクを左のペグへ移動, 中ディスクを右のペグへ移動, 小ディスクを右のペグへ移動」で, 図2の場合より複雑である。モデルでは初期状態とゴールとの類似度は説明の複雑さにより定義される。したがって, 図2のほうが図3よりゴールとの類似度は大きくなる。

一方, ハノイの塔を全く知らない被験者はハノイの塔のゴールも領域知識ももってい

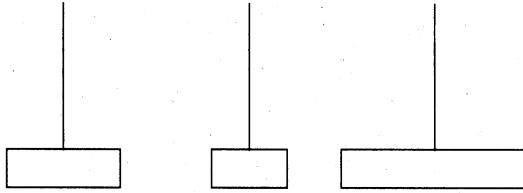


図2 説明が単純になる例

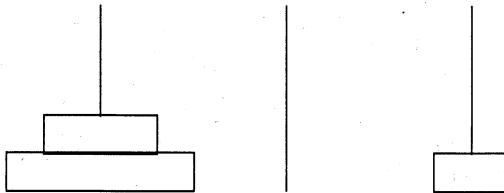


図3 説明が複雑になる例

ないので説明は全く不可能である。彼らは図の表面的特徴（ディスクの積み重なり方など）のマッチングで類似性判断をせざるを得ない。したがって、図3のほうが図2よりゴールとの類似度は大きくなる。

ハノイの塔の初心者の場合、ゴールと領域知識はもっているので説明が可能な場合もあり得る。これはパズルに限ったことではない。例えば、数学や物理の公式を教科書で読んですぐに簡単な問題が解けるということはよくあることである。しかし、熟達者に比べると説明に成功する確率は低い。よって彼らは説明が可能な場合は説明の複雑さから類似性を計算し、説明ができなかった場合は表面的な特徴のマッチングにより類似性を計算する。その結果、初心者の類似性判断は熟達者とパズルを全く知らない者の中間的な性質になる。Suzukiらのモデルがこのような予測をするのに対し、これまでの理論は被験者の熟達度とは無関係に類似度が決まると予測する。

実験の結果、評定された類似度は被験者のハノイの塔に対する熟達度により異なっていた。ハノイの塔の熟達者は一方の状態からゴールを達成しやすさに基づいて類似度を評定していた。すなわち、問題空間上でゴールに近い状態はゴールに似ていると評定され、ゴールに遠い状態は似ていないと評定された。ハノイの塔を全く知らない被験者は図の表面的特徴（例えば塔の高さ）に基づいて類似度を評定した。ハノイの塔の初心者（ルールは知っているが、速やかに解くことはできない程度）は前2者の中間的な評定をした。

しかし、熟達者と初心者の違いは知識以外の原因によると考えることもできる。熟達者は初心者よりも解系列を多く観測している。そのため、ゴールに近い状態とゴールの間で接近による連合が形成されている可能性もある。そこで、実験2で接近による連合の可能性について検討している。ハノイの塔の解法にはいくつかの方略があることが知られている (Anzai & Simon, 1979; Simon, 1975)。そのうち1つは「知覚的方略」と呼ばれるもので次のように記述される。「最初に、1番大きなディスクを目標のベグに持っていく。次に、2番目に大きなディスクを目標のベグに持っていく。次に、3番目……」。もう1つは「動作パターン方略」と呼ばれるもので次のように記述される。「奇数番目の手では一番小さなディスクを動かす。偶数番目の手ではそれ以外のディスクを動かす。一番小さなディスクは左→右→中央の順に動かす[†]。それ以外のディスクの動かし方は一意に定まる」。知覚的方略は動作パターン方略と異なり、各手を特定しない。しかし、知覚的方略のほうがサブゴール構造が理解しやすい。また、どちらの方略でも解に至るパスは同一である。

実験2では、被験者は知覚的方略、または動作パターン方略を教示される。両群の被験者ともルール、方略の教示を受けた後、ハノイの塔を練習し、さらに類似性の評定を行う。さらに、ハノイの塔を解く所要時間を測定される。

所要時間は両群とも同程度であったが、類似性の評定は知覚的方略の教示を受けた群のほうがよりゴールとの関係に依存した評定を行っていた。このことは接近による連合説を否定し、類似性がゴールの達成に関する知識に影響を受けることを示している。

これらの結果が示すように、類似性判断のモデルに領域知識によるゴールの説明を取り込むことにより、これまでの理論では説明ができなかった類似性判断における知識の影響を説明できるようになった。パズルのみを例にあげたが、人間の知的行動は何らかの目的を達成するために行われるのであるから、知的行動の多くは問題解決と考えることができる。したがって、類似性判断のモデルにゴールや領域知識を取り込むという考え方はかなり広い適用範囲をもつと思われる。

5 他研究との関連

「ゴールの説明」を類似性判断のモデルに取り込むことにより、人間の柔軟な類似性判断がある程度説明できるようになった。また、類似性判断は従来の静的な類似性判断の理論と異なり能動的なプロセスととらえられるようになった。そこで類似性と認知的諸活動との関係について再考する必要がある。

5.1 類似性

ゴールの説明に基づく類似性理論は今井らの変換構造理論と共通点をもつ。変換構造

[†] ディスクの数が偶数の時は左→中央→右の順に動かす。

理論（天野・今井, 1989; Imai, 1977; 今井, 1977）ではパターンの類似性判断はパターン間の関係についてのダイナミックな認知的プロセスを含むという立場をとる。パターン対に対して、一定の認知的変換のセットがあり、パターン間の類似性は一方のパターンから一定の認知的変換により他方のパターンに一致できるかどうかにより決まる。

認知的変換[†] T_1 および T_2 によってともに変換可能な構造をもつパターン対はそれらの一方に対してのみ変換可能な構造をもつパターン対より類似性が高くなる。 T_1 および T_2 を重ねて加えたときはじめて変換可能な構造を有するパターン対はさらに類似度が低くなる。いずれの認知的変換によっても変換不可能な構造を有するパターン対の類似性は最も低くなる。

このように、類似性判断をダイナミックな認知プロセスとみなすという点で、変換構造理論は「ゴールの説明」と共通する。しかし、他の理論と同様いくつか問題がある。まず、コントラスト・モデルにおいて特徴を決定する機構がないのと同様に、変換構造理論においても認知的変換のセットを特定する機構がない。

また、変換構造理論では類似性の方向性（非対称性）については言及していない。類似性の方向性については Tversky らの研究（Tversky, 1977; Tversky & Gati, 1978）をはじめ多くの研究で指摘されている。方向性は問題解決のスキルなどにおいても顕著である。同値な数式の変換や多くのパズルのように演算（変換）を逆に適用すれば解けるようなものでも、方向が逆になると突然難しく感じたりすることは日常よくあることである。したがって、問題解決の文脈における類似性判断はスキルの方向性の影響で非対称になることも考えられる。実際、ハノイの塔のゴールと他の状態との類似性判断において方向性が見られること、方向性が出る度合いは方略により異なることが確かめられている（Ohnishi, Suzuki, & Shigemasa, 1994）。

5.2 概念とカテゴリ

従来の静的な類似性に基づく概念理論では人間の柔軟で能動的な概念活動を説明できなかった。その原因は理論的知識による支持が全くないためであった。

類似性の計算に「ゴールの説明」を取り入れることは、類似性に理論的知識の支持が与えられることを意味する。ただし、Suzuki et al. (1992) が扱ったのはゴールと他の状態の間の類似性のみであり、それだけでは不十分である。例えば、「上方にあるものを取る」というゴールがある場合、岩と本は類似していると思われるが^{††}、この場合は岩も本もゴールではない。しかし、そのような場合でもゴールの説明が関わってくると

† 例えば、左右反転、回転など。

†† 「本を積み重ねてその上に乗り、ものを取る」ことや、「岩の上に乗り、ものを取る」ことが説明できることを前提とする。逆に言えば、本を積み重ねてその上に乗ってものを取ることを思いつかない者は岩と本の間類似性を認識しない。

考えられる。というのは、ゴールを説明することにより「上方にあるものを取ることができる」という特徴が生成され、それが岩と本の共有特徴となるからである[†]。

ところで、Murphy and Medin (1985) は類似性に基づくカテゴリ化の理論に対する反論で次のような例を挙げている。あるパーティーで男が服を着たままプールに飛び込んだのを見たとする。そうすれば、その男が「酔っ払い」であるとカテゴリ化するのである。このカテゴリ化は（既存理論に基づくような）類似性に基づいていない。なぜなら、「酔っ払い」のプロトタイプに「服を着たままプールに飛び込む」という特徴が含まれているとは考えられないからである。Osherson, Smith, and Shafir (1986) は、このようなカテゴリ化は類似性に基づくのではなく演繹タイプの帰納によって行われると述べている。演繹タイプの帰納というのは、ある信念を付け足すことにより演繹的論証に転化するような帰納的論証のことである。「酔っ払い」の例の場合、「服を着たままプールの中に飛び込むのはとっぴな行動の一つの事例である」と「パーティーでとっぴな行動をするのはおそらく酔っ払いである」という結論が導き出せる。これは既有知識により事例がゴールの説明をしていることにほかならない。

5.3 類推・問題解決・学習

3.2.3 で述べたように類似性を先験的に決めていたのではよい類推はできない。よい類推を行うためには、既有知識による理論的説明が何らかの形で必要であるという考え方が最近よく見受けられる（有馬, 1992; Kedar-Cabelli, 1985; 沼尾・志村, 1991）。例えば、Kedar-Cabelli (1985) は目標駆動型類推を提案している。目標駆動型類推ではベースがゴールを満たすことを説明し、ターゲットに説明を写像することにより概念獲得を行う。ここで重要なのは、写像の結果、ターゲットがゴールを満たすことを説明できてはじめて概念の学習が行われることである。これはゴールが説明されて、説明の複雑さから類似性が計算されることとよく似ている。また、Gentner and Landers (1985) は2つの物語についての記憶再生が表面的な類推性に基づいているのに対し、アナロジーの健全性の評価は構造的な一貫性に基づいていることを示した。この類似性に関する変化は、ゴールが明示的に存在しないのに対し、アナロジーの健全性を評定するにはゴールと解が顕著になることによると考えることができる。被験者はゴールが顕著になることにより物語の構造に相当するサブゴール構造に敏感になるのである。

問題解決・学習においてはゴールや知識が中心的な役割を果たすので、「ゴールの説明」が有効である。例えば、3.2.3 で述べた、物理の問題の分類における初心者—熟達者間の違い (Chi et al., 1981) は類似性判断にゴールの説明を取り込むことにより完全に説明できる。熟達者にとって問題を解く上で必要な条件、関係が重要な特徴として選択されるのに対して、初心者は領域知識が欠如していて説明ができないために表面的特

[†] 「説明の複雑さ」をどう評価するかということは残された課題である。

徴に基づいて分類せざるを得ないのである。

事例に基づく推論において、与えられた問題と類似する過去の問題を検索する際、単なる特徴マッチでは推論がうまくいかないことを 3.2.3 で述べた。この問題に対し、Leake (1992) は構成的類似性を提案した。構成的類似性では、与えられた問題を事例をガイドにして精緻化し、与えられた問題を整合的によく精緻化する事例を類似した事例と評価する。このような評価を行うことにより、与えられた問題に関して欠如した知識を与えるような事例を見つけることができるようになる。構成的類似性も Suzuki et al. (1992) の「ゴールの説明」に基づく類似性によく似た考え方である。

6 結 論

類似性判断は単にあるものと別のものがどれだけ似ているかを判断するために用いられているわけではない。カテゴリー化、問題解決、学習などさまざまな認知活動の中で重要な役割を果たしている。そしてこうした意味ある活動の中での類似性は必ず「～という観点において対象 x と y が似ている（または似ていない）」という形式をとる。このような観点の違いによる類似性の変動を説明できない限り、類似性をベースにした知的活動の理論を構築することは不可能である。従来の理論ではこうした現象に対して、固定した特徴をベースにしたアドホックな説明がなされていたにすぎなかった。

本論文ではゴールと領域知識を導入することにより、観点による類似性判断の変動性を説明した。これによって、カテゴリー化、問題解決、学習、類推などに見られる知的活動の柔軟性をかなりの程度取り込むだけでなく、従来個別に研究されてきた認知諸活動を統一的に扱うための基礎となるフレームワークを提供することができた。

文 献

- Anzai, Y., & Simon, H. A. (1979). The theory of learning by doing. *Psychological Review*, 86, 124-140.
- 天野 要・今井四郎 (1989) パターンの変換構造と類似性認知に関する群論的研究 心理学研究, 60, 297-303.
- 有馬 淳 (1992) 類推要素間の関連性に関する論理的分析 情報処理学会論文誌, 33, 887-896.
- Ase, H., & Kobayashi, S. (1990). Information retrieval condition generation system using case-based reasoning. *PRICAI-90*, 583-588.
- Barsalou, L. W. (1983). Ad hoc categories. *Memory & Cognition*, 11, 211-227.
- Cheng, P. H., & Holyoak, K. J. (1985) Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.

- Clement, C. A., & Gentner, D. (1991). Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. *Cognitive Science*, *15*, 89-132.
- Davies, T., & Russell, S. J. (1987). A logical approach to reasoning by analogy. *IJCAI-87*, 264-270.
- Dejong, G. F., & Mooney, R. J. (1986). Explanation-based learning: An alternative view. *Machine Learning*, *1*, 145-176.
- Falkenhainer, B., Forbus, K., & Gentner, D. (1989). The Structure-mapping engine. Algorithm and examples. *Artificial Intelligence*, *41*, 1-63.
- Gentner, D. (1983). Structure mapping: Theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, *7*, 155-170.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 99-129). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gentner, D., & Landers, R. (1985). Analogical reminding: A good match is hard to find. *Proceedings of the International Conference on Cybernetics and Society* (pp. 607-613). Tucson, AZ: IEEE.
- Gentner, D., & Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similarity in the development of analogy. *Cognitive Science*, *10*, 277-300.
- Goldstone, R. L., Medin, D. L., & Gentner, D. (1991). Relational similarity and the nonindependence of features in similarity judgments. *Cognitive Psychology*, *23*, 222-262.
- Goodman, N. (1972). Seven strictures on similarity. In N. Goodman (Ed.), *Problems and projects* (pp. 437-447). New York: Bobbs-Merrill.
- Greiner, R. (1988). Learning by understanding analogy. *Artificial Intelligence*, *35*, 81-125.
- Hammond, K. J. (1990). Case-based planning: A framework for planning from experience. *Cognitive Science*, *14*, 385-443.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. R. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science*, *13*, 295-355.
- Imai, S. (1977). Pattern similarity and cognitive transformations. *Acta Psychologica*, *41*, 433-447.
- 今井四郎 (1977) パターンの良さについての諸学説 心理学評論, *20*, 258-272.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Kedar-Cabelli, S. (1985). Purpose-directed analogy. *Proceedings of the Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 150-159). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Leake, D. (1992). Constructive similarity assessment: Using stored cases to define new situations. *Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the*

- Cognitive Science Society* (pp. 313-318). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- 松原 仁 (1990) フレーム問題をどうとらえるか 認知科学の発展, 2, 155-187.
- McCarthy, J., & Hayes, P. J. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. *Machine Intelligence*, 4, 463-502.
- Medin, D. L., & Schaffer, M. M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review*, 85, 207-238.
- Mitchell, T. M., Keller, R., & Kedar-Cabelli, S. (1986). Explanation-based generalization: An unifying view. *Machine Learning*, 1, 47-80.
- Murphy, G. L., & Medin, D. L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological Review*, 92, 289-316.
- 長尾 真 (1992) 人工知能と人間 岩波書店.
- 沼尾正行・志村正道 (1991) 説明構造の分解による類推 人工知能学会誌, 6, 716-724.
- Ohnishi, H., Suzuki, H., & Shigemasa, K. (1994). Similarity by feature creation: Reexamination of the asymmetry of similarity. *Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 687-692). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ortony, A. (1979). Beyond literal similarity. *Psychological Review*, 86, 161-180.
- Osherson, D. N., Smith, E. E., & Shafir, E. B. (1986). Some origins of belief. *Cognition*, 24, 197-224.
- Piaget, J. (1952). *La psychologie de l'intelligence*. Paris: Librairie Armand Colin.
波多野完治(訳) (1967) 知能の心理学 みすず書房.
- Riesbeck, C. K., & Schank, R. C. (1989). *Inside case-based reasoning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rips, L. J. (1989). Similarity, typicality, and categorization. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 21-59). Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosch, E. (1978). Principles of categorization. In E. Rosch & B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 27-48). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rosch, E., & Mervis, C. B. (1975). Family resemblance: Studies in internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, 3, 382-439.
- Roth, E. M., & Shoben, E. J. (1983). The effect of context on the structure of categories. *Cognitive Psychology*, 15, 346-378.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic memory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Simon, H. A. (1975). The functional equivalence of problem solving skills. *Cognitive Psychology*, 7, 268-288.
- Wason, P. C. (1968). Reasoning about a rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 273-281.
- Smith, E. (1989). Concepts and induction. In M. I. Posner (Ed.), *Foundation of cognitive science* (pp. 501-526). Cambridge, MA: MIT Press. 佐伯 胖・土屋 俊(監訳) (1991) 認知科学の基礎 3 記憶と思考 (pp. 55-89) 産業図書.
- Smith, E., Osherson, D. N., & Rips, L. (1988). Combining prototypes: A selective

- modification model. *Cognitive Science*, 14, 485-527.
- 鈴木宏昭・村山 功 (1991) 人間の学習におけるプラグマティックな表現の役割 認知科学の発展, 4, 79-103.
- Suzuki, H., Ohnishi, H., & Shigemasu, K. (1992). Goal-directed processes in similarity judgements. *Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 343-348). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, 84, 327-352.
- Tversky, A., & Gati, I. (1978). Studies of similarity. In E. Rosch & B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 79-98). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

— 受付 1993. 9. 27 —

Abstract

A Context-Sensitive Model for Similarity Judgment

HITOSHI OHNISHI

Tokyo Institute of Technology

HIROAKI SUZUKI

Aoyama Gakuin University

KAZUO SHIGEMASU

Tokyo Institute of Technology

Recent studies revealed that similarity judgment is involved in various kinds of cognitive activities such as categorization, problem-solving, and learning. One of the most important findings in these studies is that people's judgment of similarity is variable depending of situational demands. In this paper we propose a theory of similarity that can deal with the variability. The theory fully employs the goal and the knowledge of the domain to compute similarity. The theory consists of two subprocesses: the process of explanation and feature comparison. When goal is salient and domain knowledge is available, similarity is computed by explanation of the goal in terms of a given state. Otherwise, the judgment should be based on feature comparison. The model provides a reasonable account of variability of similarity judgments observed in several experiments. Implications for the research in categorization, learning, and problem-solving are discussed. According to our theory, the expert-novice differences are due to whether one can create relevant features. Novices lack appropriate knowledge of the domain that enables them to create features structurally organized by the principles of the domain. This leads them to the reliance on superficial features that are available with no knowledge of the domain.

Key words: similarity-judgment, explanation, goal, knowledge, problem-solving, learning