

類推学習機能をもった診断型エキスパートシステムについて

（株）東洋情報システム 正会員 田中 成典
関西大学工学部 正会員 三上 市藏
関西大学大学院 学生員 倉地 晶

1. まえがき

著者らは、鋼橋の疲労損傷について、過去の損傷事例を知識の源として、これより知識を獲得・整理^{1) 2)}し、補修方法選定システムのための因果ネットワークモデルを構築³⁾した。このモデルに基づいて、定義した因果関係から考え得る逆・裏・対偶関係を生成させてネットワークを構成し、ニューラルネットワークの手法を適用してシステムに学習機能を付加する方法を検討した。⁴⁾そして、ネットワークを構成する2項間の関係に4種類の重みを与え、その重みを訂正することで、知識の洗練を自動的に行う学習機能をもった補修方法選定システムを構築した。⁵⁾

この学習方法は、教師付きの学習であり、教師が与えた正解とシステムの推論結果との差を減少させることで知識の向上が図られた。しかし、教師付き学習以外の学習方法を取り入れていないため、学習後望ましい推論結果が得られるようにするには、改善される余地があると考えられる。したがって、種々の問題に対して期待通りの結果を得るためには、新たな学習機能を付加することが望まれる。

学習には、暗記学習 (rote learning)、教示学習 (learning by instruction)、演繹学習 (learning by deduction)、類推学習 (learning by analogy)、帰納学習 (learning by induction)、事例学習 (case-based learning) などがある。^{6) 7)}

本研究では、知識が不足している場合でもある程度推論が行えるように、現在直面している問題に対して、類似の過去の知識を効果的に利用できるような類推学習^{8) -16)}に注目する。まず、類推学習の手法について議論し、そのうち、診断型エキスパートシステムへのアプローチについて考察する。

2. 類推学習

類推学習^{8) -16)}の特徴は、知識が不足していても推論が可能であり、むしろ、推論の結果として新しい知識が生成されることである。類推により、新たな知識が獲得されれば、それがいわゆる類推による学習である。類推を行うためのプロセスは、過去の経験を柔軟に利用する手法である。新しい問題は、既決の問題の1つまたは複数と構造的に似ておればよい。また、新しい問題の解を貯めることも学習である。なぜなら、解かれていない新たな問題の解を類推するための知識となるからである。

人間は新しい問題に直面したとき、それと類似性を持つ過去の問題の解法を思い起こし、類推によって新しい問題に対応しようとする。この仕組みをコンピュータ上に実現する場合、図-1に示すような、例（過去の問題とその解のセット）から解（新しい問題の解）を導き出すための類推学習を考える。処理方法としては、例から帰納推論を用いて共通する一般的なルールを抽出し、そこから、演繹推論を用いて解を導き出す。このように類推学習は三角形で構成される。^{8) 9)} 帰納推論は、集合論から考えた類似規則を導きだし、集合関係を考慮した一般的なルール抽出を行う。演繹推論は、ルールの中から論理的な解を求める方法と試行錯誤的な誘導方法^{8) 12)}がある。

3. 類推学習の基礎的考え

類推学習においては、図-1に示すように、帰納推論により例からルールを抽出し、演繹推論によりこのルールから問題に対する解を導き出すのが一般的である。しかし、本研究で類推学習機能を付加しようとしているシステム⁵⁾では、知識ベースは2項間の関係で定義されている。そこで、図-1で考えた類推学習における帰納推論と演繹推論の概略を述べる。

まず、図-2のように帰納推論を考える。図-2(a)に示すように、いくつかの過去の問題とそれに対する解との間に、定義された因果関係が既に導かれている。このとき、新しい問題が提起されると、過去の問題と新しい問題の集合関係により、図-2(b)に示すように、これまでに存在する因果関係の中から、新しい問題における適当な因果関係が写像される。そして、図-2(c)に示すように、写像された因果関係より新しい問題に対する解が導かれる。すなわち、図-2では、類推学習における帰納推論部分は、ルールを抽出することではなく、新しい問題に対して考えられる因果関係を生成することになる。

次に、演繹推論を考える。新しい問題が生じた場合、まず、図-2(c)で写像された因果関係により、考えられるすべての解を求める。求まった解の間に矛盾が生じていないとき、すべての解の中から不必要なものを取り除いて、最終的な結果を導く。一方、得られた解の間に矛盾が生じているときは、試行錯誤的な誘導方法^{8) 12)}を用いる。すなわち、矛盾が生じる一步手前までバックトラック¹⁷⁾を行い、矛盾を解消しながら解を求めていく。

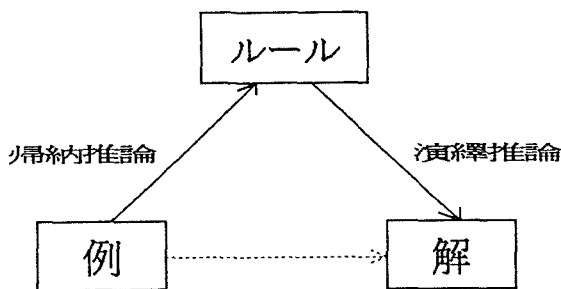
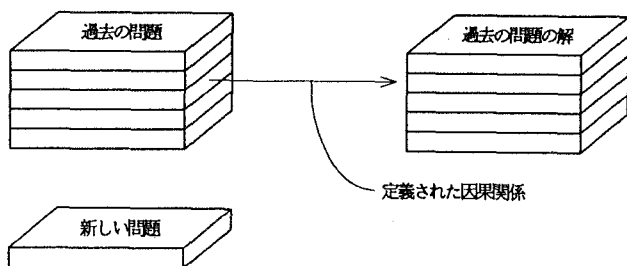
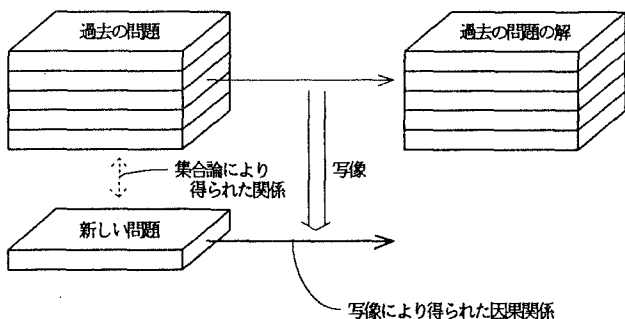


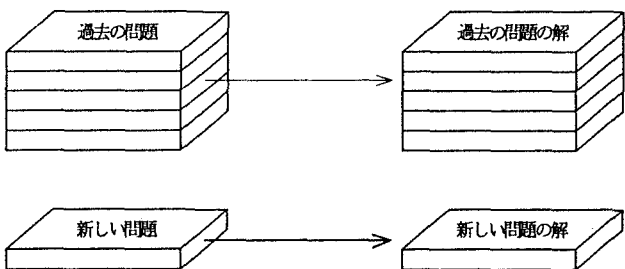
図-1 類推学習の三角形



(a) 過去の問題と新しい問題



(b) 因果関係の写像



(c) 得られた因果関係からの解

図-2 帰納推論によるアプローチ

3. 1 帰納推論の基礎的考え

帰納推論の実施方法として、対象領域 S において、 S_1 と S_2 の関係が図-3 (a), (b) に示すような集合関係となる2通りの場合について考える。

① 領域 S_1 と S_2 の関係が図-3(a)

に示すように、 S_1 と S_2 は S に含まれ、積の集合は存在しないような集合関係であるとき、 S から見た、 S_1 、 S_2 の相対関係により類推を行う。たとえば、 S_1 の要素が $\{A, B, C, D, E\}$ 、 S_2 の要素が

$\{W, X, Y, Z\}$ であるとき、図-4のような相対関係を考える。図中、 $\{A\}$ と $\{W\}$ 、 $\{B\}$ と $\{X\}$ 、 $\{C\}$ と $\{Y\}$ 、 $\{E\}$ と $\{Z\}$ がそれぞれ対応しているとする。これは、同一の関係や属性が一番多く存在する2つの要素の対応である。 S_1 では、図-4(a)のように $\{A\}$ は $\{B\}$ 、 $\{B\}$ は $\{C\}$ 、 $\{C\}$ は $\{D\}$ 、 $\{E\}$ は $\{C\}$ からそれぞれ結果を得ているものとする。このとき、 S_1 と S_2 のそれぞれの要素の対応に従って、 S_1 における因果関係を S_2 に写像すると、 S_2 においても同様な因果関係が存在すると考える。そして、図-4(b)に示すように $\{W\}$ は $\{X\}$ 、 $\{X\}$ は $\{Y\}$ 、 $\{Z\}$ は $\{Y\}$ からそれぞれ結果が得られるような類推を考える。

② 領域 S_1 と S_2 の関係が図-3(b)

に示すように、 S_1 と S_2 は S に含まれ、さらに S_1 は S_2 を含んでいるような集合関係にあるとき、 S から見た、 S_1 と S_2 の集合関係により類推を行う。たとえば、 S_1 の要素が $\{A_1, A_2\}$ 、 S_2 の要素が $\{B_1, B_2\}$ であるとき、図-5のように「 $A_1 \rightarrow A_2$ 」の関係が存在するとする。このとき、各要素の対

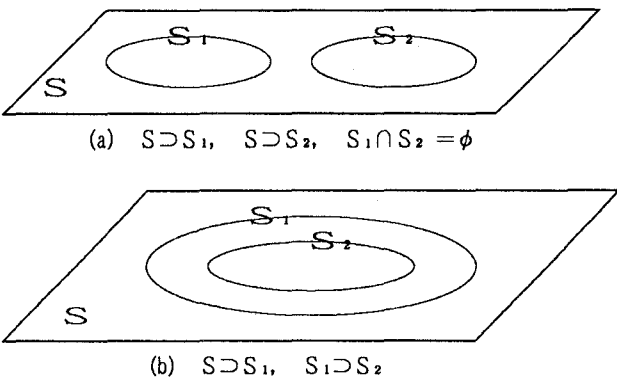


図-3 S_1 と S_2 の集合関係

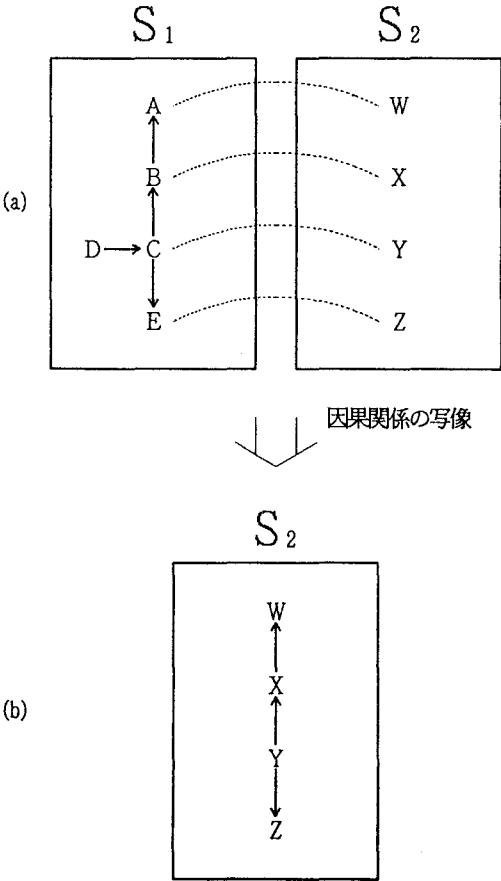


図-4 S_1 から S_2 への因果関係の写像 ($S_1 \cap S_2 = \phi$)

応により $\{A_1, A_2\}$ の関係が $\{B_1, B_2\}$ に写像され、さらに S_1, S_2 の集合関係により「 $A_1 \rightarrow B_1$ 」, 「 $A_2 \rightarrow B_2$ 」の関係が不合理なく生成される。

以上のように、帰納推論により、集合関係から因果関係を写像し、新たな関係を生成することにより、これまでより幅のある推論を行うことが可能になる。また、新しい問題に直面したときも、対処できると考える。

3. 2 演繹推論の基礎的考え

演繹推論の実施方法としては、観測された事実を入力し、そこから考えられる経路をすべて辿り、様相に基づく解釈³⁾ -⁵⁾ により推論結果を順に得る。

そこで、得られた結果に矛盾が生じた場合を考える。ここで矛盾とは、ある結果において、真偽が相反する2つ以上の結果が生じるような場合を矛盾とする。得られた解に矛盾が生じている場合は、試行錯誤的な誘導方法^{8) 12)} をとる。すなわち、矛盾が生じたと考えられるステップの1つ前までバックトラック¹⁷⁾ をして、新たな可能性を探索することにより、矛盾のない解が得られるまで試行錯誤で矛盾を解消し、解を求めていく。こうして、矛盾が生じると考えられる経路は辿らないようにする。

たとえば、図-6に示すように、新しい問題に直面したとき、そこから順に①～④まで推論を行っていく。しかし、④で矛盾が生じたため、バックトラックにより③に戻るが、他のパスを探し出すことができないので、さらに②、①にまで戻る。ここから新たに別のパスに進み、矛盾が生じたとき再びバックトラックをする。このような試行錯誤により、最終的に「①→⑤→⑨→解」となる推論過程を得る。

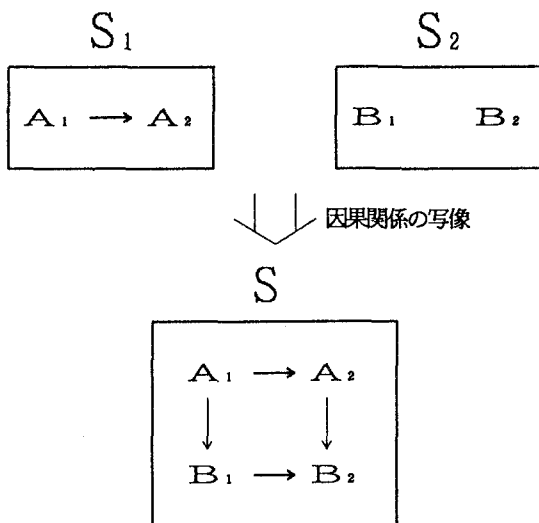


図-5 $S_1 \supset S_2$ の包含関係における因果関係の写像

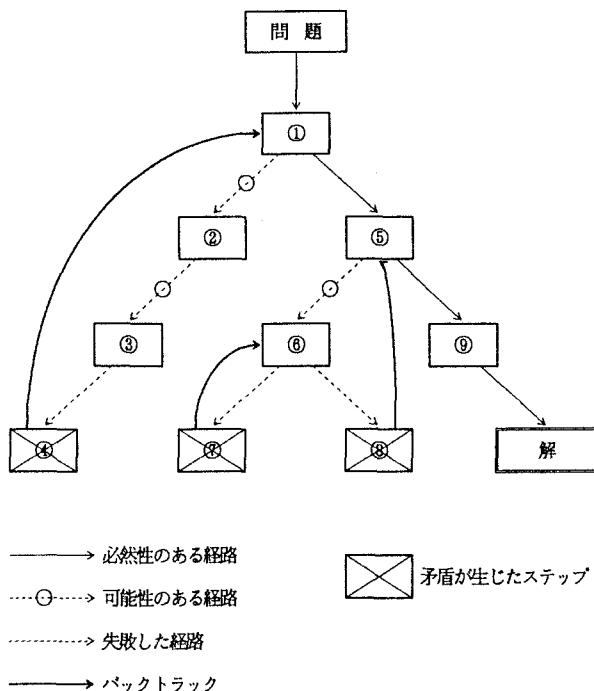


図-6 試行錯誤による誘導方法

以上の演繹推論におけるアプローチを可能にすることにより、帰納推論によるアプローチで得られた新たな関係のうち、不必要なものは辿らないようにする。

4. 診断型エキスパートシステムへのアプローチ

著者らは、過去の90の損傷事例を知識として、亀裂の外的要因（損傷要因レベル1）、亀裂の内的要因（損傷要因レベル2）、損傷部分に作用する力（継手の作用力）、作用力によって発生する亀裂様式（亀裂様式）に注目し、鋼橋の疲労損傷に対する補修方法を選定する診断型エキスパートシステム⁵⁾を構築した。ここで用いられた知識表現は、因果ネットワークモデルである。

この既存システムは、仮説の様相を事実(fact)、必然性の仮説(necessity hypo)、3種類の可能性の仮説(high possibility hypo, possibility hypo, low possibility hypo)、不明(unknown)で表現し、真偽をpositive, negativeで表現している。また、2項間の関係の重みをnecessity, possibilityなど4種類で表現している。

そこで、3.の基礎的思考に基づいて、類推による学習機能を診断型エキスパートシステムに適用する方法を考える。本研究では、2種類の解釈を用いて以下に示すような異なった2通りの方法を考える。

4. 1 包含関係に基づく解釈(Inclusion Property Interpretation)

既存のシステム⁵⁾では、知識が2項間、すなわち原因の一要素と結果の一要素の因果関係として表現されている。しかし、原因の要素間や結果の要素間にはそれぞれ包含関係があり、前述の因果関係は、図-7(a)に示すように一面の知識しか表現していないこともある。そこで、包含関係から生み出される知識を用いて、推論結果に幅を持たすようにする。つまり、類推的な推論を可能にする。

例えば、図-7(a)の「 $X \rightarrow A$ 」の因果関係と、原因{X}、結果{A}の要素群の中に包含関係があるとき、図-7(b)に示す必然性の2項間の相関関係を生成することができる。ここで、{X}は、損傷要因レベル1の一要素として考えると、{Y, Z}は、原因{X}の中に含まれている損傷要因レベル1の他の要素である。

既存システム⁵⁾の様相に基づく解釈において、図-7(b)の{X}に観測された事実(fact)が入力された場合、図-8に示すように、ネットワーク上に存在する全ての仮説が生成される。

また、図-7(b)に既存システムの逆関係に基づく解釈が起動された場合、図-9のネットワークが得られる。そこで、

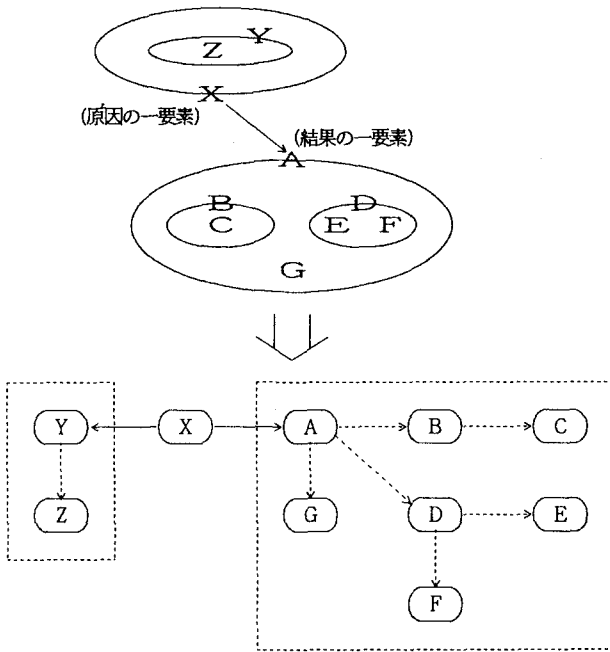


図-7 因果関係と包含関係の例

図-9の{D}にfactが入力された場合、{D}から見た{E}と{F}が生成され、また、「A→D」の逆関係を辿って、{A}が生成され、同様に{X}、{Y}が生成される。ここで、「A→B」と「A→G」の関係を辿って{B}と{G}は生成されない。その理由としては、すでに{A}の一部である{D}が存在し、{D}が{A}を説明しているため、{A}から{B}と{G}の状態を生成することは不必要である。仮に{B}と{G}を生成した場合、{B}と{G}が{A}を説明することに意味がなく推論結果が煩雑になるだけである。

この解釈により、幅のある推論結果を得ることはできるが、定義された因果関係や、包含関係により生み出される知識が存在しない場合は、ネットワークを辿ることができず推論を行うことができないという制約がある。

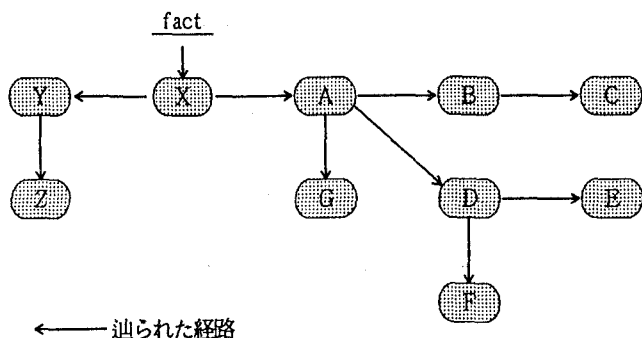


図-8 包含関係に基づく解釈

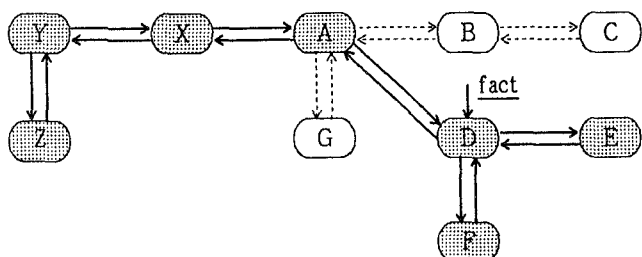


図-9 逆関係を辿る包含関係に基づく解釈

4. 2 事例に基づく解釈 (Case-Based Interpretation)

この解釈は、学習方法の中的事例学習の方法にしたがう。事例を有効利用するために、過去の事例と、現在直面している問題との知識の類似度を計算し、知識間に類似性があるとみなされるとき、類推的な推論を可能にする。

例えば、図-10の過去の問題とその解を参考に、図-11(a)の新しい問題-1を想定する。ここで、要素{A, B, C, D, E}が、損傷要因の一要素であるとする、要素{X, Y, Z}は、解となる補修方法を表す。新しい問題-1 {A & B1 &

C1}の場合は、図-10の式①の問題があてはめられ、表-1に示す類似度を参照して①'が導かれる。ここで、相加平均をとり α を導く。そして、過去の問題の解に α を乗じた{0.75X}が新しい問題の解として得られる。

同様に、図-11(b)の新しい問題-2 {F & E1}の場合は、図-10の式②、③の問題があてはめられ、表-1に示す

過去の問題	=>	過去の問題の解	
A and B and C	=>	X	①
A and E	=>	Y	②
B and E	=>	Z	③

図-10 過去の問題とその解の関係

表-1 事例の類似度

事 例	類似度
A ~ A1	0.75
B ~ B1	0.75
C ~ C1	0.5
D ~ D1	0.5
E ~ E1	0.5

類似度を参照して②', ③' が導かれる。求められた α' , α'' から新しい問題の解が {0.25Y, 0.25Z} と得られる。

以上のようにして、新しい問題に対する解が求まる。ここで、要素 {B1, C1, E1, F} は、損傷要因の一要素である。この解釈は、定義されていない因果関係や、包含関係では記述不可能な関係に対して、類似度により推論することができる。しかし、データとして知識間の類似度を定義しておく必要があり、その類似度を定義することが難しいという制約がある。

5. あとがき

著者らは、文献5)において、ニューラルネットワークの手法を適用し、教師付きの学習機能をシステムに実装したが、さらに、人間が保持する幅広い推論を可能にするための学習機能について検討した。その結果、新たな学習機能として類推学習に注目し、いかに診断型エキスパートシステムへ適用するかについて考えた。

類推は、日常人間が行っている推論の一形式であり、新しい問題に直面したとき、過去に獲得した知識の中からその問題に類似しているものをうまく適用したり、過去の類似した問題にどのように対処したかの経験を柔軟に利用して、新しい状況でもこれらを効果的に利用する。そこで、類推学習をコンピュータ上に実現するために、類推学習の基礎的考えを述べ、また、そこから派生する帰納推論と演繹推論の基礎的考えを

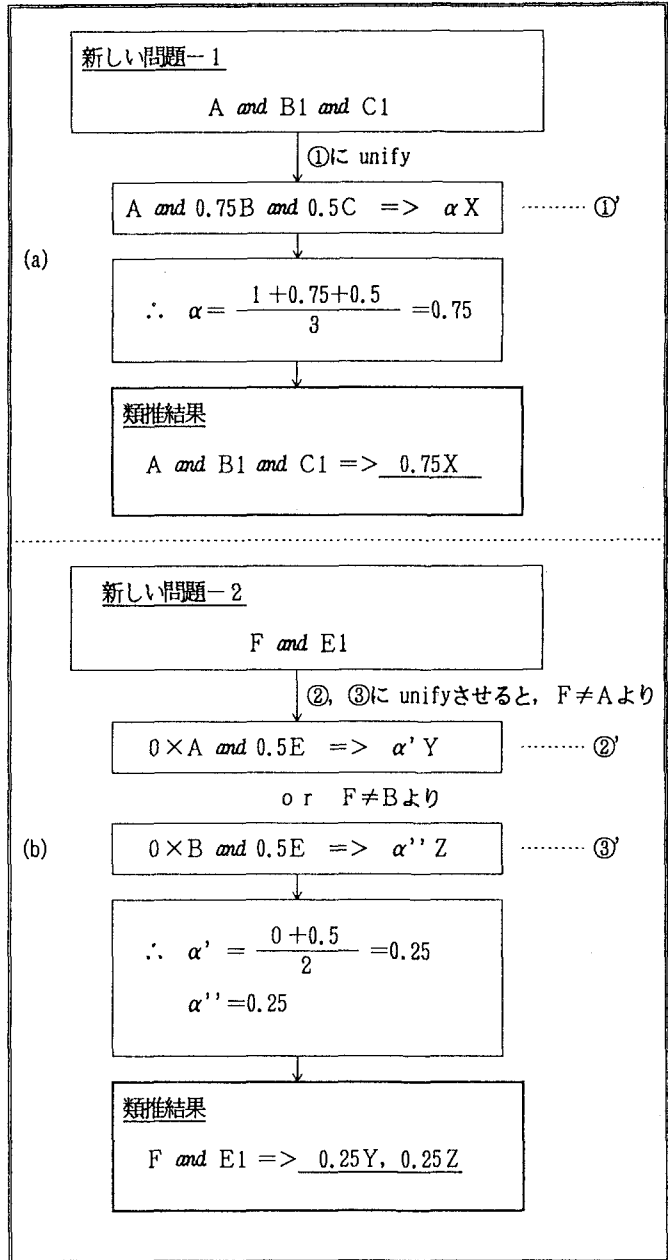


図-11 事例に基づく解釈

述べた。

次に、既存の診断型エキスパートシステムへ適用するために、包含関係に基づく解釈と事例に基づく解釈の2通りの方法考えた。前者は、包含関係により矛盾なく新たな関係を生成して幅のある推論を可能とし、後者は、類似度を用いて類似性を取り扱えるようにしている。

今後は、類推学習機能を診断型エキスパートシステムに適用できるようにするために、知識を類推学習に適用できるようなデータ構造に変換し、システム化を図りたい。

参考文献

- 1) 三上市蔵・三木千壽・田中成典：鋼道路橋の疲労亀裂に関するルールとフレームによる知識ベース・エキスパートシステム，構造工学論文集，土木学会，Vol.35A，pp.977-990，1989.3.
- 2) 三上市蔵・三木千壽・田中成典・本田博幸・土田貴敬：エキスパート・システム構築のための鋼橋疲労損傷事例の分析と知識の整理，第14回土木情報システムシンポジウム講演集，土木学会，pp.181-188，1989.10.
- 3) 三上市蔵・三木千壽・田中成典・土田貴敬：鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムのための因果ネットワークによる推論手法，構造工学論文集，土木学会，Vol.36A，pp.1003-1014，1990.3.
- 4) 三上市蔵・田中成典・倉地 晶：診断型エキスパートシステムへのニューラルネットワークの適用について，第15回土木情報システムシンポジウム講演集，土木学会，pp.239-246，1990.10.
- 5) 三上市蔵・田中成典・倉地 晶：鋼橋疲労損傷の補修方法選定のための学習機能のあるニューラルネットワークシステム，構造工学論文集，土木学会，Vol.37A，pp.655-668，1991.3.
- 6) 電総研人工知能研究グループ：知識獲得と認知科学—学習とは何か—，共立出版，1988.
- 7) 仁木和久・石崎 俊：概念の帰納学習，人工知能学会誌，Vol.3，No.6，pp.695-703，1988.11.
- 8) 半田剣一・松原 仁・石崎 俊：学習におけるアナロジー，人工知能学会誌，Vol.2，No.1，pp.44-51，1987.3.
- 9) 石崎 俊・半田剣一：学習—人工知能の基礎—，人工知能学会誌，Vol.1，No.1，pp.57-63，1986.9.
- 10) 電総研人工知能研究グループ：知識獲得入門—帰納学習と応用—，共立出版，1987.
- 11) 電総研人工知能研究グループ：学習と問題解決，共立出版，1987.
- 12) 電総研人工知能研究グループ：類推学習，共立出版，1988.
- 13) 有川節夫：帰納推論と類推—理論と応用，知識の学習メカニズム，淵 一博監修，古川康一・溝口文雄共著，共立出版，pp.23-52，1986.
- 14) 原口 誠：類推の機械化について，知識の学習メカニズム，淵 一博監修，古川康一・溝口文雄共著，共立出版，pp.125-154，1986.
- 15) 有川節夫，原口 誠：類推の理論，知識の獲得と学習，大須賀節雄，佐伯 胖共著，オーム社，pp.221-252，1987.
- 16) 安西祐一郎：認識と学習，岩波書店，1989.
- 17) Doyle, J. : A truth maintenance system, Artificial Intelligence-Articles, Paper, Lectures, ed. by B.L.Webbers and N.J.Nilson, Tioga Publishing Company, pp.496-519, 1981.