

(6) 知識ベースシステムに混在する動的矛盾知識の取り扱いについて

Treatment of Dynamic Inconsistent Knowledges Included in Knowledge-Based System

田中成典* 三上市蔵** 前田秀典***

Shigenori TANAKA, Ichizou MIKAMI, and Hidenori MAEDA

We have studied about a diagnosis knowledge-based system in steel bridges. It was found that inconsistent knowledges were statically included in the system. They have studied to solve an important problem that a knowledge base of an expert system has inconsistent knowledges. Therefore, we developed a system detecting and modifying static inconsistencies from the knowledge base.

In the present paper, we discuss to treat dynamic inconsistent knowledges included in the knowledge-based system. Then, we describe much technique, that are a truth maintenance system, a hypothetical reasoning, an assumption-based truth maintenance system, and a knowledge compiler, to solve inconsistent knowledges on the artificial intelligence field.

Key Words: Diagnosis Knowledge-Based System, Dynamic Inconsistent Knowledge, Artificial Intelligence Field.

1. まえがき

著者らは、鋼橋の維持管理に関する診断型エキスパートシステムを開発¹⁾²⁾してきた。そこでは、様相論理を基本に、曖昧量や真偽も同時に扱えるような独自に開発した推論エンジンを用いた。知識ベースは、単純な2項間の因果関係で表現され、システム内部で知識の体系化が自動的に成され、因果ネットワークモデルが形成される。

単純な2項間の因果関係で表現された知識ベースは、断片的な知識を収集するだけで良く、知識を整理する労力が低減できる。また、知識の追加、修正、削除も容易に行うことができる。しかし、複数の熟練技術者から収集した専門知識を用いて知識ベースを構築すると、矛盾した知識が混在していることが想定できる。一人の熟練技術者の専門知識を用いて知識ベースを構築した場合は、矛盾知識が混在することはあまり考えられないが、複数の熟練技術者の専門知識を体系化しようとすれば、各技術者の経験年数や曖昧性の度合いがまちまちであることから、整合性が保たれた知識ベースを構築することは、ほとんど不可能である。そのため、ある程度の妥協から知識ベースを構築してしまう恐れがあるため、矛盾知識が混在する。

知識ベースに混在している矛盾知識の解消については、人工知能の研究分野では、避けることができない

* 工修 ㈱東洋情報システム 大阪本社 (〒564 吹田市江坂町1丁目13番33号)

** 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564 吹田市山手町3丁目3番35号)

*** 関西大学大学院 博士課程前期課程 (〒564 吹田市山手町3丁目3番35号)

重要なテーマ³⁾⁻⁷⁾である。そこで、本研究では、矛盾知識の解消について取り組んでいる既報⁸⁾⁻⁴³⁾を調査するとともに、動的矛盾と静的矛盾の矛盾現象を明確にする。また、既存システム¹⁾⁻²⁾に、動的矛盾知識の解消方法を如何に取り入れるかを議論する。

2. 既報研究

知識ベースに矛盾知識が混在していることは常で、知識ベースの知識は不完全なものである。³⁾⁻⁷⁾ なぜなら、対象領域の知識を完全に獲得することは非常に困難であると同時に、不明知識、例外知識や、常に成立しない知識などが存在するためである。また、複数の熟練技術者の専門知識を体系化し、整合性を保つことは難しく、知識ベースを完全な知識のみで構築することは、ほとんど不可能である。

人工知能の研究分野においては、知識ベースの無矛盾性を保つことに重点が置かれており、様々な解消方法が検討されている。既報⁸⁾⁻¹²⁾では、時間の概念を取り入れたデフォルト推論を用いたり、知識の理論修正を行ったりしながら無矛盾性を保たせる研究が成されている。また、TMS (Truth Maintenance System) 手法¹³⁾⁻¹⁶⁾や仮説推論 (Hypothetical Reasoning) 手法¹⁷⁾⁻²⁹⁾の他に、仮説推論にTMS手法を取り入れたATMS (Assumption-Based Truth Maintenance System) 手法³⁰⁾⁻³⁹⁾の研究も数多くある。最近では、知識コンパイラを用いて知識ベースの無矛盾性を保持する研究⁴⁰⁾⁻⁴³⁾も盛んである。

2. 1 TMS

TMS手法¹³⁾⁻¹⁶⁾は、推論過程で結果の正当性を満足するように、結果を導出した履歴情報を記録しておきながら、推論処理を進めて行く。推論過程に矛盾が見出されるとバックトラック機能が作用し、その矛盾結果を導いた原因を探索するために、履歴情報を逆向きに辿り、原因を破棄することで無矛盾性を保たせようとする。

この手法を用いて得られた推論結果は、探索空間が限られるため局所解しか得られない。全解を得ようとすると、バックトラック機能が全ての推論結果に適用され、同じ計算を幾度も行わなければならないため無駄が多い。そのため、多重文脈処理¹⁴⁾、多重様相処理¹⁵⁾や、並列処理¹⁶⁾を用いて効率化が成されている。

2. 2 仮説推論

論理に基づく推論では、不完全な知識を用いて推論を行うことはできない。たとえ推論を行ったとしても、精度の良い結果を得ることは期待できない。そこで、不完全な知識を用いて推論を行う方法として、仮説推論¹⁷⁾⁻²⁹⁾の研究がある。

仮説推論は、不完全な知識を取り扱うため仮説を立てながら推論を進めて行き、最終的には幅広い結果が得られる。そのため、推論結果の中には、不必要な結果も含まれており、推論時間も膨大になる問題がある。そのため、高速化の研究²⁴⁾⁻²⁹⁾が成されている。

2. 3 ATMS

仮説推論にTMS手法を取り入れたATMS手法の研究³⁰⁾⁻³⁹⁾がある。ATMS手法は、TMS手法と異なり、バックトラック機能を用いず、単純な模型探索によって推論を進めて行き、最終的に得られた結果の中から矛盾知識を含む結果を取り除く。そのため、膨大な推論時間が必要となるため、推論時間の短縮を目指すための高速化の研究³⁷⁾⁻³⁸⁾や、並列処理の研究³⁹⁾が成されている。

2. 4 知識コンパイラ

知識を獲得した段階で、矛盾知識を解消する方法として、知識コンパイラの研究^{40)~43)}がある。知識コンパイラは、原理原則の深い知識を利用して、経験的な浅い知識に相当する知識ベースを自動的に生成し、知識の洗練を行う。

知識コンパイラを用いて知識の洗練を行う場合、知識ベースが大規模であれば、コンパイルに費やす時間が、かなり必要となる。そのため、高速化の研究⁴²⁾や、効率化を図るためATMS手法を用いた研究⁴³⁾が成されている。

3. 矛盾現象

矛盾現象は、動的矛盾と静的矛盾に分類できる。動的矛盾は、推論時に初めて動的に認識されるものである。これに対して、静的矛盾は、知識を整理した段階で静的に認識されるものである。動的矛盾と静的矛盾の現象を、Fig.1と Fig.2のネットワークモデルを用いて説明する。

3. 1 動的矛盾

知識ベースが、Fig.1に示すネットワークモデルを形成してる場合、観測された事実(Aと $\neg E$)が与えられ推論が実行されると、矛盾(Dと $\neg D$)した推論結果が導出され、Dの状態が一義的に定まらない。ただし、Fig.1のネットワークモデルには矛盾は存在せず、観測された事実とが共存する時、初めて動的に矛盾が認識できる。

3. 2 静的矛盾

知識ベースが、Fig.2に示すネットワークモデルを形成してる場合、推論を実行しなくても、既にEの状態が一義的に定まらない。これは、知識を整理し、体系化した段階で静的な矛盾が認識できる。

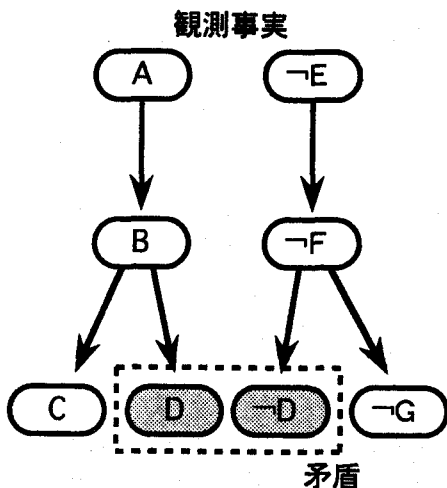


Fig.1 動的矛盾

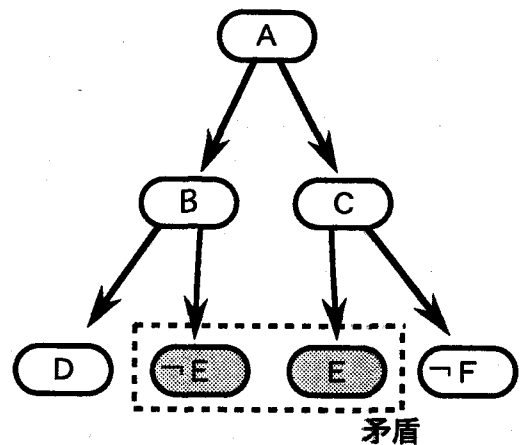


Fig.2 静的矛盾

4. 動的矛盾の解消

著者らは、知識ベースに混在する静的矛盾知識を検出し、矛盾知識を減少させるように知識ベースを修正するためのシステムを開発⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾してきた。また、既存システム²⁾の知識ベースを対象に、システムの検証⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾も行った。その結果、知識ベースの洗練を成し得ることができた。そこで、本研究では、既存システム⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾に扱われていた動的な矛盾知識の解消方法について考える。

4. 1 大域制約と局所制約

動的矛盾知識を解消するには、対象領域の制約条件知識が必要不可欠である。制約条件の種別は、大域制約と局所制約とに分類できる。大域制約とは、全推論結果を対象とした制約条件知識で、局所制約とは、ある要素集合に属する推論結果のみを対象とした制約条件知識である。

たとえば、Fig. 3において、全体集合を U とし、その集合に属する要素集合 u と v があるとする。要素集合 u と v には、それぞれ、 (u_1, u_2, u_3) と (v_1, v_2, v_3) の要素がある。ここで、大域制約では、全ての要素 $(u_1, u_2, u_3, v_1, v_2, v_3)$ を対象に制約条件知識が適用される。一方、局所制約では、ある集合の全ての要素 (u_1, u_2, u_3) のみを対象に制約条件知識が適用される。

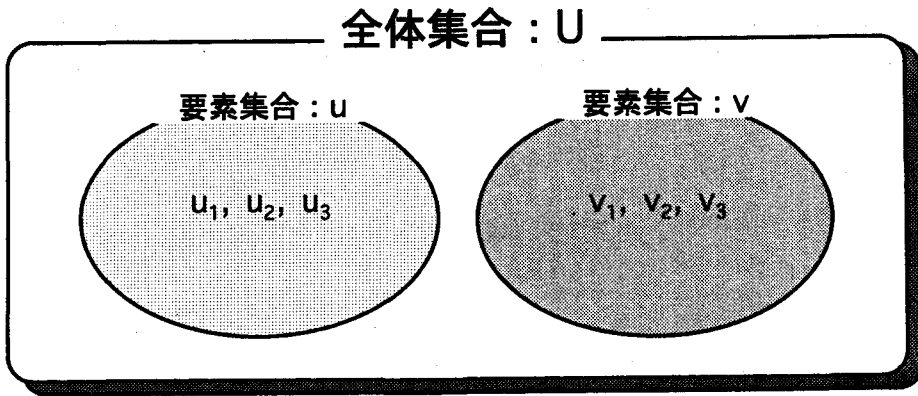


Fig. 3 大域制約と局所制約

4. 2 共存型制約と非共存型制約

制約条件知識の用途は、共存型制約と非共存型制約とに分類できる。共存型制約とは、ある要素とある要素の推論結果は必ず共存しなくてはならない、という制約条件知識のことで、非共存型制約とは、ある要素とある要素の推論結果は必ず共存してはならない、という制約条件知識のことである。

5. あとがき

本研究では、人工知能の研究分野で重要なテーマである矛盾知識を取り扱っている既報研究を調査するとともに、そこで用いられている種々手法について紹介した。また、矛盾現象を動的矛盾と静的矛盾に分類し、動的矛盾の解消方法について議論した。

著者らは、知識を整理した段階で認識できる静的矛盾知識の取り扱いについて研究⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾を行ってきた。知識ベースに混在する静的矛盾知識が完全に検出され、修正することができれば、動的矛盾が生じる確率が

低減できるであろうと考えたからである。しかし、動的矛盾知識は、観測された事実を用いて、推論時に初めて認識されるものであるため、既存システム⁴⁴⁾⁴⁵⁾だけでは、対応しきれないのは明らかである。

そこで、動的矛盾知識の解消方法として、制約条件知識の導入について一手法を提案した。制約条件知識は種別と用途に分けて説明した。種別では、大域制約と局所制約に分類し、用途では、共存型制約と非共存型制約に分類した。今後、既存システム²⁾に、動的矛盾知識の解消機能を追加し、システム²⁾の拡張を図って行く。

参 考 文 献

- 1) 三上市藏・田中成典・土田貴敬・北岸秀一：ネットワークモデルによる知識生成機能を持った診断型推論エンジン，土木学会論文集，No.453/IV-17，pp.41-50，1992.9.
- 2) Ichizou Mikami, Shigenori Tanaka, Akira Kurachi: Expert System with Learning Ability for Retrofitting Steel Bridges, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 1994. (印刷中)
- 3) 白井良明：人工知能の理論，コロナ社，pp.88-96，1992.1.
- 4) 人工知能学会編：人工知能ハンドブック，オーム社，pp.125-198，1990.1.
- 5) 石塚 満・小林重信：電子，情報，通信編エキスパートシステム，丸善，pp.193-230，1991.9.
- 6) 小林重信・寺野隆雄：知識システムハンドブック，オーム社，pp.1-88，1990.11.
- 7) 情報処理学会編：情報処理ハンドブック，オーム社，pp.1043-1128，1989.5.
- 8) 原 裕貴・北上 始・中島 淳：時間概念の表現とデフォルト推論，人工知能学会誌，Vol.3，No.2，pp.216-223，1988.3.
- 9) 中川裕志・萱島 信・森 辰則：自然な構造の段階的知識，人工知能学会誌，Vol.3，No.3，pp.329-336，1988.5.
- 10) 佐々木和雄・上原邦昭・前川禎男：インバス事例による矛盾解消法を用いた理論修正，情報処理学会，情処研報，Vol.92，No.70，pp.51-60，1992.9.
- 11) 松浦 聰・上原邦昭・前川禎男：仮説の生成と洗練化による理論形式へのアプローチ，情報処理学会，情処研報，Vol.92，No.70，pp.61-70，1992.9.
- 12) 原 裕貴：最小矛盾の概念を用いた混合 0-1 整数計画問題の近似解法，人工知能学会誌，Vol.8，No.3，pp.278-283，1993.5.
- 13) Jon Doyle: A Truth Maintenance System, Artificial Intelligence, Vol.12, pp.231-272, 1979.4.
- 14) 奥乃 博・下國 治・田中英彦：二分決定グラフ(BDD)による真偽維持システムの実現，人工知能学会全国大会(第7回)論文集，pp.87-90，1993.7.
- 15) 山本幹雄・中川聖一：多重様相論理TMS，人工知能学会誌，Vol.6，No.3，pp.397-406，1991.5.
- 16) 久野禎子・久野 靖：並列オブジェクト指向言語を用いたTMSの再構成，人工知能学会誌，Vol.4，No.1，pp.62-69，1989.1.
- 17) 國藤 進：仮説推論，人工知能学会誌，Vol.2，No.1，pp.22-29，1987.3.
- 18) 國藤 進・鶴巻宏治・古川康一：仮説選定機構の一実現法，人工知能学会誌，Vol.1，No.2，pp.228-237，1986.12.
- 19) 石塚 満：仮説推論，日本ファジィ学会誌，Vol.4，No.4，pp.620-630，1992.8.
- 20) 松田哲史・石塚 満：仮説推論システムの拡張知識表現と概念学習機構，人工知能学会誌，Vol.3，No.1，pp.94-102，1988.1.
- 21) 石塚 満：不完全な知識の操作による高次人工知能機能と知識システム，知識情報処理ハンドブック，オーム社，pp.113-130，1988.8.
- 22) 石塚 満：不完全な知識の操作による次世代知識ベース・システムへのアプローチ，人工知能学会誌，Vol.3，No.5，pp.552-562，1988.9.
- 23) 赤間 清：論理的な制約表現を備えた拡張 Prolog，人工知能学会誌，Vol.3，No.5，pp.581-589，1988.9.
- 24) 伊藤史朗・石塚 満：推論バスネットワークによる高速仮説推論システム，人工知能学会誌，Vol.6，No.4，pp.501-509，1991.7.

- 25) 阿部明典・石塚 満：推論バスネットワーク上での類推による高速仮説推論システム，人工知能学会誌，Vol. 7, No. 1, pp. 77-86, 1992. 1.
- 26) 牧野俊朗・石塚 満：経験に基づく学習による仮説推論の高速化，人工知能学会誌，Vol. 8, No. 3, pp. 320-327, 1993. 5.
- 27) 堂前宣夫・石塚 満：知識ベース・リフォーメーションによる仮説推論システムの高速化，人工知能学会全国大会(第7回)論文集，pp. 67-70, 1993. 7.
- 28) 加藤昇平・笹木博久・伊藤英則：プログラム解析に基づく仮説推論の高速化技法，人工知能学会全国大会(第7回)論文集，pp. 75-78, 1993. 7.
- 29) 小泉善裕・前田 猛・川北 茂：プロダクションシステムにおける仮説推論の実現，人工知能学会全国大会(第7回)論文集，pp. 79-82, 1993. 7.
- 30) Johan de Kleer：An Assumption-Based TMS, Artificial Intelligence, Vol. 28, pp. 127-162, 1986. 3.
- 31) 劉 学敏・西田豊明・堂下修司：TMSの統合的自然言語理解への応用に関する考察，情報処理学会，知識工学と人工知能，No. 53, pp. 1-8, 1987. 7.
- 32) 董 方清・中川裕志：不確実な知識におけるATMS，人工知能学会誌，Vol. 3, No. 1, pp. 86-93, 1988. 1.
- 33) 横尾 真・石田 亨：ATMSを用いた分散制約充足問題の解法，情報処理学会論文誌，Vol. 31, No. 1, pp. 106-114, 1990. 1.
- 34) 矢澤利弘・篠原靖志：仮説の基づく推論における機械学習方式 - 目標概念の学習と矛盾の学習との融合 -，電力中央研究所，情報処理研究，No. 17, pp. 33-42, 1990. 9.
- 35) 太田好彦・井上克己：段階的前向き仮説推論システム，人工知能学会誌，Vol. 6, No. 4, pp. 532-544, 1991. 7.
- 36) 飛鳥井正道：Situating ATMS, 情報処理学会，知識工学と人工知能，No. 66, pp. 1-10, 1989. 9.
- 37) 太田好彦・井上克己：ATMSを用いた前向き仮説推論システムにおける効率的な推論方式，人工知能学会誌，Vol. 6, No. 2, pp. 247-259, 1991. 3.
- 38) 奥乃 博：ATMSの高速化技法とその応用，人工知能学会誌，Vol. 6, No. 1, pp. 24-37, 1991. 1.
- 39) 奥乃 博：網：新しいATMSの処理系とその共有メモリ型マルチプロセッサ上での並列処理，人工知能学会誌，Vol. 5, No. 3, pp. 333-342, 1990. 5.
- 40) 小高 浩・野村康雄・田岡直樹・山口高平・溝口理一郎・角所 収：知識コンパイラの構成とその応用，情報処理学会，知識工学と人工知能，No. 48, pp. 9-16, 1986. 9.
- 41) 山口高平・溝口理一郎・田岡直樹・小高 浩・野村康雄・角所 収：深い知識に基づく知識コンパイラの基本設計，人工知能学会誌，Vol. 2, No. 3, pp. 333-340, 1987. 9.
- 42) 鶴田三郎・石塚 満：発想的知識生成のための命題論理知識ベースのコンパイル法，人工知能学会誌，Vol. 6, No. 1, pp. 117-123, 1991. 1.
- 43) 西岡真吾・池田 満・角所 収・溝口理一郎：ATMSに基づく問題解決システムにおける知識管理 - 仮定の取扱いと知識コンパイラ -，人工知能学会誌，Vol. 8, No. 4, pp. 465-475, 1993. 7.
- 44) 三上市蔵・田中成典・米田慎二・前田秀典：因果ネットワークモデルに発生する静的矛盾知識の検出修正システム - 鋼橋疲労損傷の補修方法選定知識の洗練 -，土木学会，構造工学における数値解析法シンポジウム論文集，Vol. 17, pp. 19-24, 1993. 7.
- 45) 田中成典・三上市蔵・前田秀典・米田慎二：因果ネットワークモデルに混在する局所矛盾知識の検出修正システムを用いた知識の洗練，土木学会第48回年次学術講演会，pp. 1236-1237, 1993. 9.