

I-13 CBR と RBR を併用した診断型知識ベースシステムにおける 遺伝的アルゴリズム手法を用いた類推推論についての基礎的研究

A Study for Realizing Analogical Reasoning using Genetic Algorithm
for Diagnostic Knowledge-Based System Combined CBR with RBR

田中成典 三上市藏 前田秀典 小林篤司
Shigenori Tanaka Ichizou Mikami Hidenori Maeda Atsushi Kobayashi

【抄録】著者らは、鋼道路橋の疲労亀裂に対する補修・補強方法を選定するための診断型知識ベースエキスパートシステムを構築してきた。このシステムは、事例ベース推論とルールベース推論を併用した推論手法で実現した。しかし、この併用した推論手法を用いても、事例データやルールベースに存在しないような推論結果を導き出すような類推推論を完全に実現することは困難である。

そこで、本研究では、既存システムに類推推論機構を新たに付加する方法論について議論する。著者らは、類推推論機能を実現するために遺伝的アルゴリズム手法に着目した。そして、類推結果を最適化する方法を考案し、さらに、最適化に必要な条件知識について検討する。

【Abstract】 We have studied diagnostic knowledge-based expert systems combined the case-based reasoning with the rule-based reasoning to select the repair or retrofit methods for fatigue crack on steel bridges. But, it is difficult to produce the analogical inference results from a case-based database or a knowledge-base because the systems don't have a function for reasoning analogical results.

In this study, we discuss the method for introducing a process of analogical reasoning into the previous system, and pay attention to a genetic algorithm for realizing the analogical mechanism. Therefore, we design a idea to optimize the analogical inference results using the condition knowledge. In addition, we discuss about the contents of condition knowledge.

【キーワード】 知識ベースエキスパートシステム、鋼橋疲労亀裂、補修補強方法、類推推論、遺伝的アルゴリズム

【Keywords】 *Knowledge-Based Expert System, Fatigue Crack of Steel Bridge, Repair or Retrofit Method, Analogical Reasoning, Genetic Algorithm*

1 まえがき

著者らは、鋼道路橋の疲労亀裂に対する対策(補修・補強方法)を選定するための診断型知識ベースエキスパートシステムを構築してきた¹⁾⁻⁴⁾。文献1)2)では、ルールベース推論(Rule-Based Reasoning:RBR)手法を、文献3)では、事例ベース推論(Case-Based Reasoning:CBR)手法を、文献4)では、CBRとRBRを併用した手法で、それぞれシステムを構築した。その結果、CBRとRBRとをそれぞれ単独で適用したシステム¹⁾⁻³⁾よりも、併用したシステム⁴⁾の方が、望ましい推論結果を導き出せることが分かった。

しかし、CBRとRBRを併用した推論手法を用い

ても、事例ベース推論で解が絞り切れなくて、しかもルールベース推論で対応できない課題が入力された場合、システムの利用者を満足させる推論結果を導き出せない。それは、通常、人間が行っている類推推論(Analogical Reasoning:AR)の機能が既存システム⁴⁾に実装されていないためである。

本研究では、既存システム⁴⁾の推論機構に類推推論機能を取り入れる方法について議論する。まず、第2章では、既存システム⁴⁾の推論機構の概要を述べ、類推推論の必要性について言及する。第3章では、類推推論を実現するために誘導類推手法と遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm:GA)手法について検討する。さらに、第4章では、類推推論を遺伝的アル

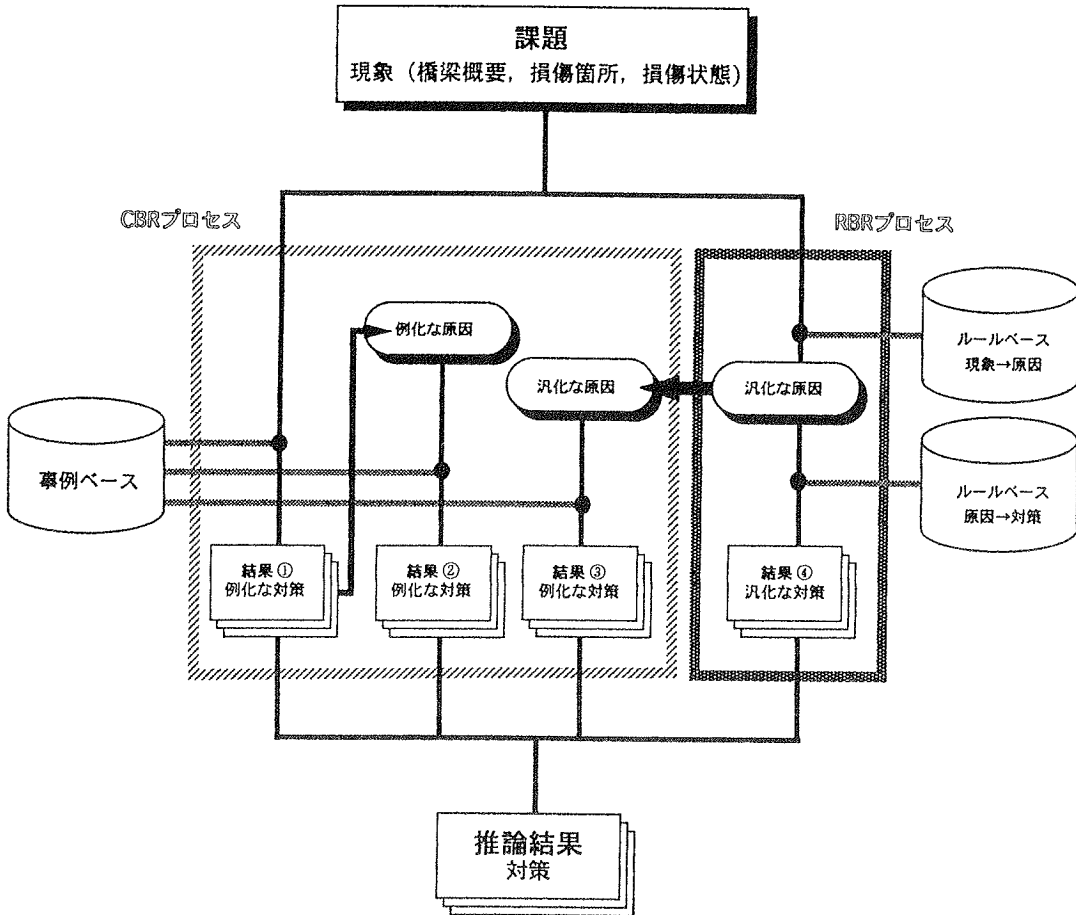


図1 既存システムの推論手順

ゴリズム手法を用いて実現する方法論を考案し、既存システム⁴⁾の機能拡張についての基本方針を検討する。

2 CBRとRBRの併用システム

CBRとRBRの併用システム⁴⁾の推論手順を図1に示す。このシステムでは、鋼橋に発生した疲労亀裂の現象を課題として入力すると、その対策として四種類の推論結果(結果①~④)が導き出され、それらから最終的な推論結果が絞り込まれる。ここで、結果①と結果②は、CBR手法のみを用いた推論結果、結果③は、CBRとRBR手法を適用した推論結果、そして結果④は、RBR手法のみを用いた推論結果である。

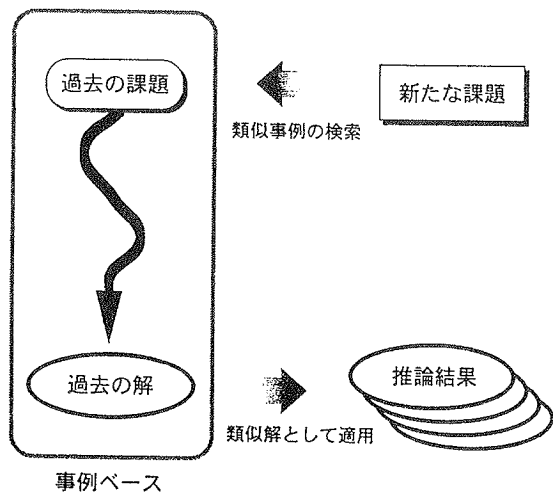


図2 検索手順

入力された課題から結果を導くまでの検索方法は図2のようである。図中の枠は、過去の課題に対する過去の解の関係を表した事例データである。そこで、新たな課題がシステムに入力されると類似した過去の課題を検索して、それに対応する解をその推論結果として導き出す。そのため、事例データでは解が絞りきれなくて、しかもルールベースに存在しないような課題が入力された場合、システムは、利用者が満足する推論結果を導き出せない。このような問題を解消するためには、類推推論機能を既存システム⁴⁾に付加する必要がある。

3 類推推論

類推推論の手法には、与えられた対象間の類似性から、ある対象で成立する関係や手続きなどの知識を新たな対象に写像することによって問題解決を行う誘導類推⁵⁾がある。しかし、後述するように、誘導類推は、本ドメインに対して不適切であるため、遺伝的アルゴリズム⁶⁾⁷⁾を用いて類推推論を実現する方法を考案した。

3.1 誘導類推⁵⁾

誘導類推の概念を図3に示す。まず、新たな課題から過去の課題に対して検索を行い、過去の課題から過去の解を導き出したプロセス(手続き)を抽出する。そして、新たな課題に対してそのプロセスを写像することによって新たな解を導き出す。この手法は、ある特化したドメインで不完全な知識を洗練したり、欠落した知識を獲得するのに用いられている⁸⁾⁹⁾。

しかし、本研究で対象としているドメインでは、複数の専門技術者の考えを統合したプロセスを抽出することは難しく、たとえプロセスを作り上げたとしても、それを写像することによって導き出された解の信頼性を評価する手だてがないなどの問題が残る。

3.2 遺伝的アルゴリズムを用いた類推

生物の進化原理に着想した遺伝的アルゴリズム⁶⁾⁷⁾は、最近、準最適化問題に適した確率的探索手法と

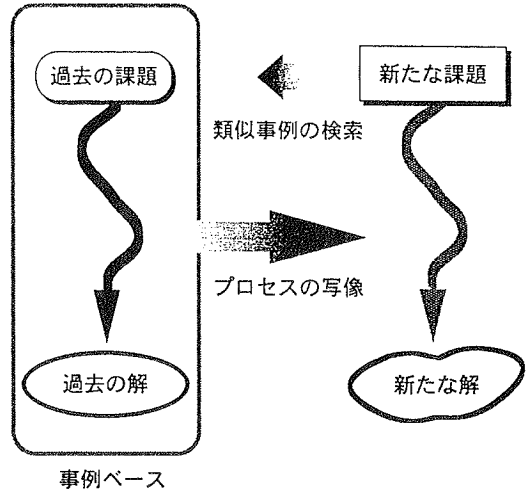


図3 誘導類推の概念

して注目されている。まず、解くべき問題を遺伝子配列で表現し、それらの母集団を形成する。そして、より強い遺伝子を残そうとする自然の原理に基づき、遺伝子操作を行って世代交代を繰り返して準最適解を求める。遺伝的アルゴリズムは、理論的には単純で、最適化問題にそのまま適用できるため様々な分野で研究が行われている。土木分野においても、構造物の最適設計支援¹⁰⁾、連続桁RC床板の打設順序支援¹¹⁾、橋梁の補修計画支援¹²⁾などが報告されている。

本研究では、遺伝的アルゴリズム手法を応用し、図4に示す類推推論機能を考案した。まず、ある課題に対する解を遺伝子化して解の初期集団を生成する。この母集団の収束を評価するために、集団の遺伝子ごとの適応度を計算する。この計算には、ドメインごとに特化された条件知識を用いる。そして、得られた適応度に対して収束判定を行い、収束すれば解を出力する。収束しなければ、遺伝子操作(淘汰, 交叉, 突然変異)を行って、新たな母集団を生成する。

この手法は、誘導類推手法に比べて、導き出された解の信頼性が高い。なぜなら、様々な条件知識が評価関数の役目を果たし、解の母集団から誤った解が排除されるからである。また、既存システム⁴⁾から得られる解を初期遺伝子として用いるため、解空間を限定でき、解の探索時間も実用に耐えうるものになると考えられる。

4 システムの拡張

既存システム⁴⁾に類推推論機構を実装するため、図5に示すARプロセスをシステムに付加する。ARプロセスでは、まず、入力項目である結果①～③をコード化して、遺伝子配列の初期集団を生成する。次に、その母集団に対して条件知識を適用して遺伝子配列を評価する。そして、システムの収束判定条件を満たさなければ、遺伝子操作を行い新たな遺伝子配列(母集団)を生成する。収束判定条件を満たせば、遺伝子配列を逆変換し、準最適化された推論結果を導出する。以下に、ARプロセスの処理手順の詳細を述べる。

4.1 初期集団の生成

CBRとRBRの併用システムの推論結果(図5の結果①～③)は、図6に示すような属性を保持している。それらの属性は、現象(項目(a)～(c))、原因(項目(d))、対策(項目(e)と(f))の三つに区別されている。各項目は、より詳細な属性とそれに対する属性値から成る。

(1) 現象

(a) 橋梁概要 … 橋梁の名前や構造形式など一般的な属性

- ・ 橋梁名 : 各橋梁の固有の名称を示す属性
- ・ 国名 : 国による設計示方書の違いによる影響を表す属性
- ・ 架設年 : 架設された年による橋梁技術の違いを考慮する属性
- ・ 供用開始年 : 橋梁は架設してすぐに供用開始されるわけではなく、架設して数年を経たから供用されることがある。そのことを考慮するための属性
- ・ 損傷発見年 : 橋梁に発生した損傷が発見された年を表す属性
- ・ 経年数 : 供用開始年から損傷発見年までの年数を考慮する。つまり、損傷が発生する期間を表す属性
- ・ 地域特性 : 地域特性によって橋梁に及

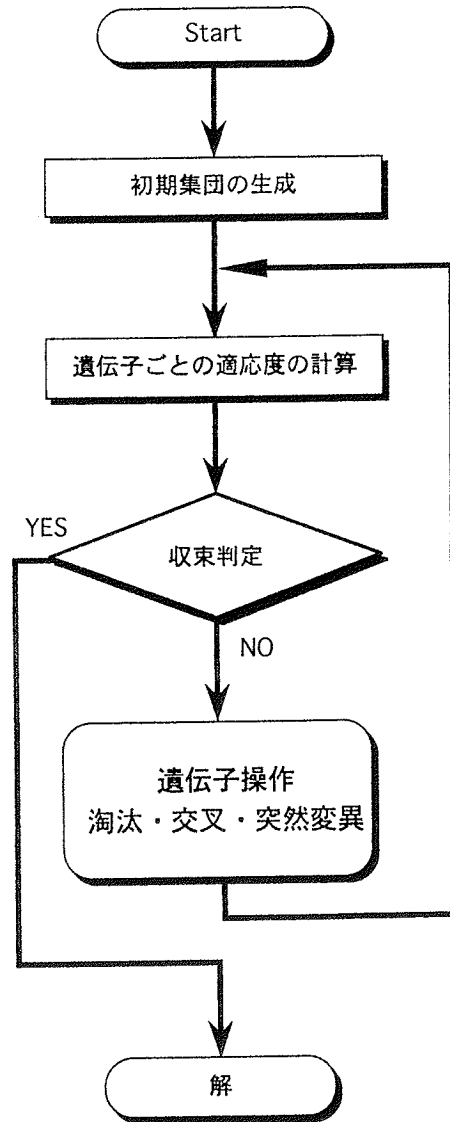


図4 GA手法を用いた類推推論機能

- ・ 構造形式 : 構造形式によって損傷の発生する箇所、要因および補修・補強方法に及ぼす影響を考慮する属性
- (b) 損傷箇所 … 損傷の位置や部材などを表す属性
 - ・ 損傷位置 : 橋梁全体から見た損傷のおおまかな位置を表す属性
 - ・ ブロック : 損傷が発生している主な位

- 置を特定するための属性
 - ・サブブロック : 損傷が発生した位置の一般的な名称およびその特徴を表す属性
 - ・損傷部位 : 損傷の発生箇所を溶接部・添接部・一般部・その他の四つの部位に分類する属性
 - ・損傷構造 : 損傷を構成する構造を表す属性
 - ・部材 : 損傷構造を詳細に表す属性
 - ・損傷部材 : 損傷が発生している部材を表す属性
 - ・溶接種類 : 溶接部に損傷が発生している場合、その溶接部で用いられている溶接の種類を分類する属性
- (c) 損傷状態 ... 損傷の方向や規模などの状態を表す属性
- ・損傷方向 : 亀裂の方向から局所的な作用力を推定するための属性
 - ・亀裂様式 : 継手種類によって損傷方向を詳細に示す属性
 - ・損傷規模 : 亀裂の長さを三種類に分類する属性
 - ・補修歴 : 過去に補修を行った箇所かを記録するための属性

(2) 原因

- (d) 損傷要因 ... 損傷と因果関係のある外的要因と内的要因および作用力を表す属性
- ・外的要因 : 損傷を発生させた外的な要因を表す属性、たとえば、風による振動など
 - ・内的要因 : 損傷を発生させた内的な要因を表す属性、たとえば、応力集中など
 - ・作用力 : 継手の種類と局所的な作用力を示す属性

(3) 対策

- (e) 補修 ... 損傷に対する補修方法とその目的を表す属性
- ・補修前処理 : 補修方法の前処理的な方法を示す属性
 - ・前処理の目的 : 補修前処理の目的を示す属性

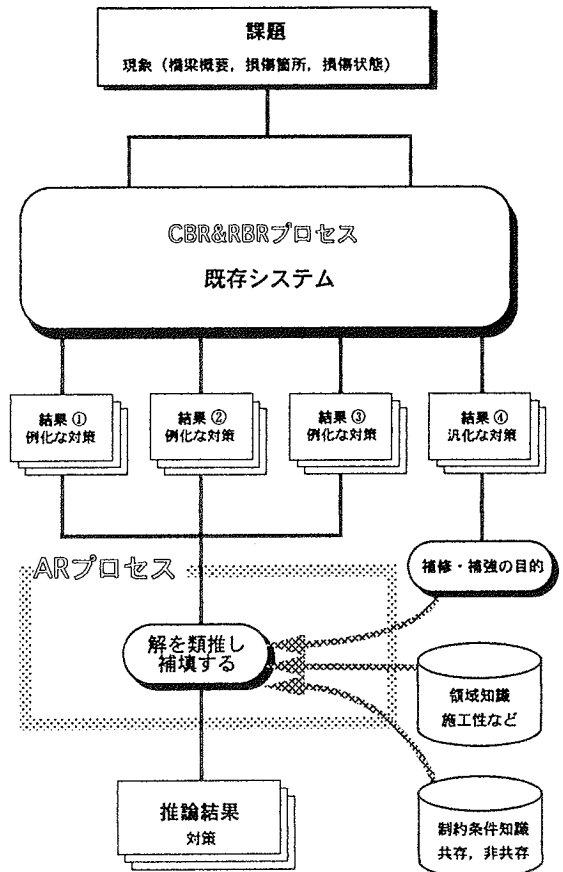


図5 システムの拡張

- ・補修方法 : 補修方法を示す属性
- ・補修目的 : 補修方法の目的を示す属性
- ・補修後処理 : 補修方法の後処理的な方法を示す属性
- ・後処理の目的 : 補修後処理の目的を示す属性

- (f) 補強 ... 損傷に対する補強方法とその目的を表す属性

- ・補強方法 : 損傷の再発を防ぐための補強方法を示す属性
- ・補強目的 : 補強方法の目的を示す属性

ここで、属性に対する属性値は、図6(下)に示すような遺伝子配列(コード化)に置き換えられる。ただし、橋梁概要である橋梁名と国名の属性は、コード化しない。

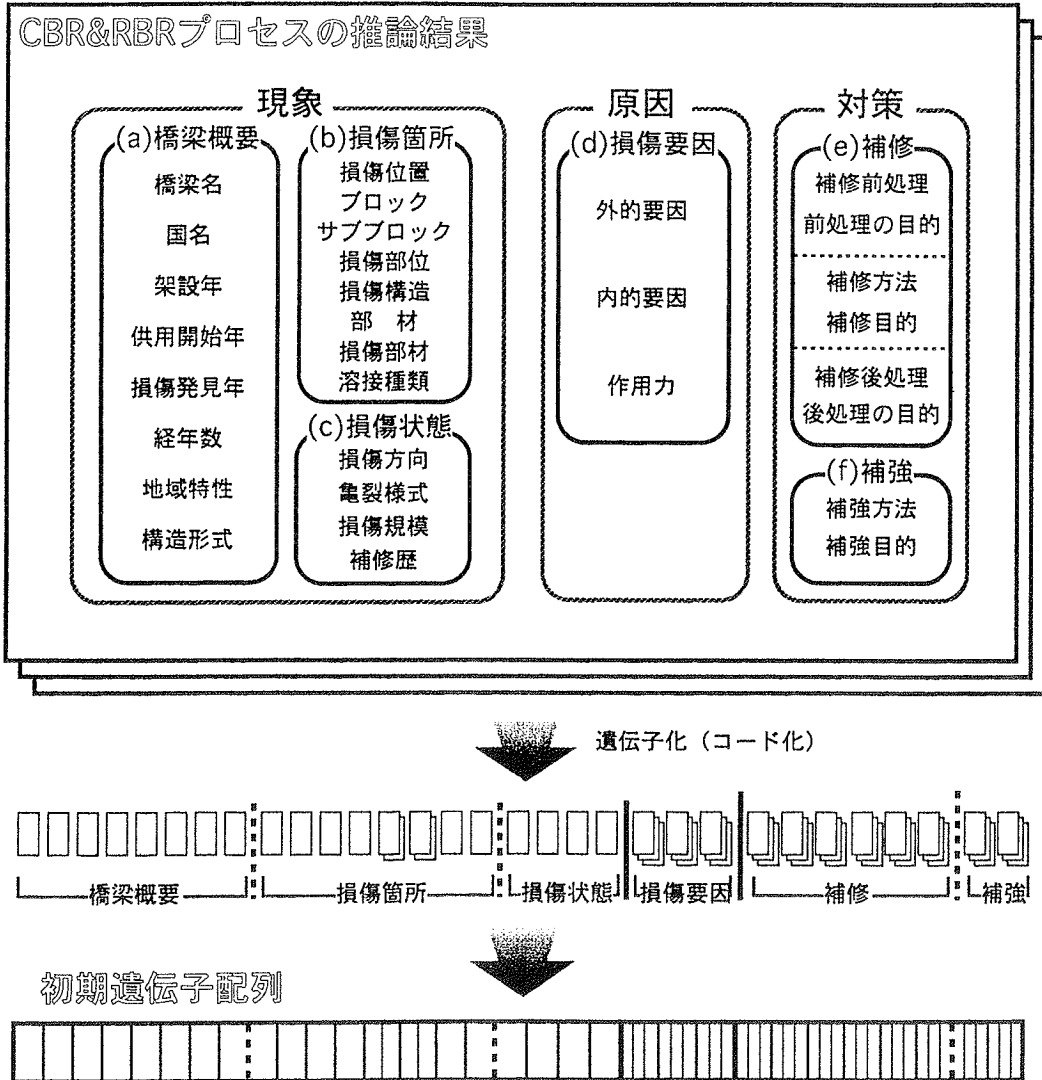


図6 既存システムの推論結果の推論結果における初期遺伝子配列

4.2 適応度の計算

母集団を評価するために、条件知識を用いて適応度を計算する。ARプロセスで用いる条件知識は次のようである。

(1) 領域知識

領域知識¹³⁾は、実際の補修・補強方法を決定するために必要な知識で、ここでは、以下のようなものを考える。

- ・ 施工性 … 交通規制の有無、作業空間の確保、仮支柱などの支保工の設置の有無、工期など、施工上で考慮しなければならない知識
- ・ 経済性 … 工法の違いによる経済性の度合を表す知識
- ・ 景観性 … 高力ボルトより再溶接の補修方法を採用した方が景観性が高い、などの景観上で考慮しなければならない知識

- ・緊急性 … 亀裂の進行により橋梁全体が危険な状況に陥るような場合、応急的な対策を施すための知識

(2) 制約知識

制約知識¹⁴⁾は、共存型制約と非共存型制約を考える。共存型制約とは、たとえば、ある補修方法とある補強方法は同時に採用しなくてはならない、と言った制約知識、一方、非共存型制約とは、同時に採用できないと、言った制約知識である。

(3) 目的知識

既存システムの推論結果(図5の結果④)から得られた補修・補強の目的を知識として用いる。

以上の三種類の条件知識を各遺伝子配列に適用して適応度を計算する。ARプロセスでは、これら条件知識の質と量が重要で、推論結果の精度に大きく影響すると考えられる。

4.3 収束判定

適応度が収束した場合、その母集団をARプロセスの解とする。その時、遺伝子配列は、4.1の属性と属性値の対で逆変換される。

4.4 淘汰・交叉・突然変異

遺伝子操作の手順には様々なアルゴリズムが提案されているが、不確定要素が多いため、システムを構築する際に試行錯誤的に決定されている研究が多い。本研究では、GAの機構を複雑化すると評価関数(条件知識)をチューニングするのに手間がかかり、その取り扱いが難しくなると考えられる。そこで、単純GAを遺伝子操作法として採用することとする。

5 あとがき

本研究では、既存システム⁴⁾が抱えている推論機構の問題点について述べ、その解決策として類推推論機能を実装することを検討した。類推推論の実現手法として遺伝的アルゴリズム手法に着目して、既存システムの推論結果を準最適化する方法論を述べた。さらに、遺伝的アルゴリズムによって最適化を行うために必要な条件知識について議論した。今後、こ

の基本方針に従って、条件知識を獲得しシステムの拡張を行う。

最後に、本論文の作成に当たって、関西大学工学部土木工学科学生 黒田護君から協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Mikami, I., Tanaka, S., Kurachi, A., Expert System with Learning Ability for Retrofitting Steel Bridges, *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE; American Society of Civil Engineers, Vol.8, No.1, pp.88-102, 1994.1.
- 2) Tanaka, S., Mikami, I., A Diagnostic Knowledge-Based System with Analogical Inference and Machine Learning, *Knowledge Support System in Civil Engineering*, IABSE; International Association for Bridge and Structural Engineering, 1995.3.
- 3) 田中成典・三上市藏・前田秀典：事例ベース推論を用いた鋼道路橋疲労損傷の補修方法選定システム，第2回ファジィ土木応用シンポジウム講演論文集，日本ファジィ学会，pp.37-42, 1994.12.
- 4) 田中成典・三上市藏・前田秀典・小林篤司：事例ベース推論とルールベース推論を併用した鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムの開発，構造工学論文集，土木学会，Vol.41A, pp.575-586, 1995.3.
- 5) 人工知能ハンドブック，人工知能学会，pp.58-60, 1990.1.
- 6) Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- 7) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，人工知能学会誌，Vol.7, No.1, pp.26-37, 1992.1.
- 8) 原尾政輝・中川祥子：類似性に基づく一般知識の獲得と推論，人工知能学会全国大会(第7回)，pp.41-44, 1993.
- 9) 廣渡榮寿・有川節夫：類推推論に基づくルールの汎化による学習，人工知能学会全国大会(第7回)，pp.53-56, 1993.

- 10) 杉本博之・鹿汗麗・山本洋敬：離散的構造最適設計のためのGAの信頼性向上に関する研究，土木学会論文集，No.471/I-24，pp.67-76，1993.7.
- 11) 夏秋義広・向台 茂・保田敬一・古田 均：連続桁RC床板の打設順序決定問題への遺伝的アルゴリズムの適用，構造工学論文集，土木学会，Vol.41A，pp.627-633，1995.3.
- 12) 近田康夫・橋 賢二・城戸隆良・小堀為雄：GAによる既存橋梁の補修計画支援の試み，土木学会論文集，No.513/I-31，pp.151-159，1995.4.
- 13) 佐藤栄作：鋼道路橋の補修・補強の概要，橋梁と基礎，建設図書，Vol.28，No.8，pp.11-16，1994.8.
- 14) 田中成典・三上市藏・前田秀典：動的矛盾の検出・解消処理を施した鋼橋疲労損傷補修方法選定システム，構造工学論文集，土木学会，Vol.41A，pp.587-596，1995.3.