大阪公立大学
Osaka Metropolitan University
学術情報リポジトリ

多面的機能に配慮した施設整備計画立案に対する定性推論の応用

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2009-08-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 工藤, 庸介, 小柳, 大介, 木全, 卓 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00009654

大阪府大院農生学術報告**57**：15～20（2005）．原著論文

多面的機能に配慮した施設整備計画立案に対する定性推論の応用

工藤庸介・小柳大介・木全　卓

（大阪府立大学大学院農学生命科学研究科環境開発工学研究室）

要　旨

ため池のような基盤施設の整備にあたっては，施設が有する多面的機能の現状と可能性を適切に把握し，それを踏まえた整備計画の立案が望まれる。しかしながら，個々のため池が現在どのような多面的機能を有し，また整備等によってどのような多面的機能が発揮され得るのかを判断することには困難が伴う。そこで本研究では，多面的機能に配慮したため池整備計画の立案という定性的な情報に基づく問題の解決を計算機上で実現するために，定性推論の手法を応用することを試みた。その結果，ため池の多面的機能に係わる事象を機能涵養モデルで表現し，定性微分方程式系で定式化することによって，定性シミュレータであるQSIMを用いて多面的機能の機能量とため池を特徴付けるパラメータの挙動解析を行うことができた。この推論結果は，整備計画の効果を検討する材料として利用することができる。さらに，整備手法とパラメータとの関係をまとめた手法表を用意することで，効率よく具体的な整備計画を立案し得ることも示された。

キーワード：機能涵養モデル，ため池，定性推論，QSIM，多面的機能

Abstract

Yosuke KUDO, Daisuke KOYANAGI, and Takashi KIMATA *(Laboratory of Environmental Development Engineering, Graduate School of Agriculture and Biological Sciences, Osaka Prefecture University, Gakuencho 1-1, Sakai, Osaka, 599-8531, Japan)*: Application of Qualitative Reasoning to Planning for Improvement of Structures Considering Multifunctionality. Sci. Rep. Grad. Sch. Agric. & Biol. Sci. Osaka Pref. Univ. **57**: 15-20 (2005)

To improve infrastructure such as irrigation ponds, a proper assessment of the multifunctionality of structures is essential; this evaluation should be the basis for the improvement plan. However, accurate assessment is difficult, as is estimating the potential scale of improvement. In this study, we attempted to apply qualitative reasoning, based on assessment of the multifunctionality, in the development of improvement plans for irrigation ponds. The aim of this study was to use computer-based methods to address qualitative problems, such as the multifunctionality of irrigation ponds. We describe these phenomena with a function-recharging model and formularize them using a system of qualitative differential equations. Through the use of qualitative simulation algorithm (QSIM), it was possible to predict the amount of multifunctionality and the qualitative parameter values characteristic of irrigation ponds. From our analysis, we were able to examine the effects of modification to the multifunctionality of irrigation ponds. We were also able to construct a table that captures the relationship between methods of improvement and the qualitative parameter values characteristic of irrigation ponds, thus setting out a concrete plan for improving efficiency.

Key Words: function-recharging model, irrigation pond, qualitative reasoning, QSIM, multifunctionality.

はじめに

21世紀を迎えて国土建設から国土マネジメントの時代へと変わりつつある現在，より良い社会生活の実現にとってはさらなる基盤施設の建造よりもむしろ，既存施設がその機能を健全に発揮し続けるように適切な維持管理を行い，多様な社会的要請に応え得る更新・改修のあり方を考えることが求められるようになってきた（三木，2000）。農業用水利構造物のような基盤施設に対しても，近年の農業を取り巻く状況の変化や環境に対する意

識の高まりなどから，歴史の経過に伴った地域の貴重な景観資源，水に係わる生態系の貴重な空間，さらに周辺部の都市化に伴う周辺住民の貴重なオープンスペースや水辺空間といった多面的な価値や機能を有する地域資源（今村ら，1995）としての役割が重視されるようになっている。

本研究では，このような新しいあり方が模索されている基盤施設の例として，ため池を取り上げる。人間が自然に働きかける活動を開始したかなり早い段階から地域資源として存在してきたため池は，地域の自然条件が持つ地域個性を存分に発揮する場として活用される可能性を有している。したがって農村地域の持続的発展という観点からも，「食料・農業・農村基本法」（平成11年７月16日制定）において農業・農村の重要な役割として規定された「多面的機能の十分な発揮」を担う地域資源として，ため池の多面的な利活用には大きな意義がある。そのためには，整備対象のため池が有する多面的機能の現状と可能性を適切に把握し，それを踏まえた整備計画の立案が望まれる。

しかしながら，個々のため池が現在どのような多面的機能を有し，また整備等によってどのような多面的機能が発揮され得るのかを判断することには困難が伴う。そこで著者らは，誰もが簡単に作成できるような診断カルテを用いて，ため池が有する多面的機能の現状を把握・評価する方法について研究を進めてきた（工藤ら，2001）。この診断カルテによって蓄積された情報を実際のため池整備において活用するために，診断カルテに基づいた現状評価から整備案の立案，そしてその整備案に対する評価までを体系的に統合させようとする試みが，図１に示すようなため池診断システム（工藤ら，2004）である。

この診断システムの構築にあたっては，ため池の整備計画に携わる関係者（行政，技術者，地域住民など）が様々な局面（設計，ワークショップ，合意形成など）で用いることを念頭において，必ずしも高度な専門知識を持たなくても多面的機能に配慮したため池の整備計画を効率的に立案できることを目指した。ここでは，ため池の現状を簡易に把握するために，診断部においてため池の有する多面的機能に関係する診断カルテの各項目を３～５段階で採点することによって，それぞれの多面的機能の現状を得点化している。しかしながらこの方法には，配点に恣意性が含まれるといった問題がある。また，診断カルテの項目と多面的機能との間にあるはずの複雑な関係が扱われていないというような問題も残されている（工藤・小柳，2004）。

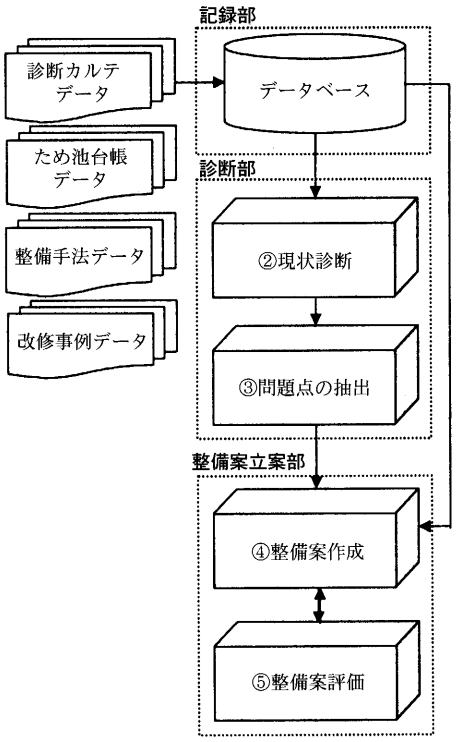

図１　ため池診断システム

そこで本研究では，ため池診断システムの診断部と整備案立案部におけるこれらの問題を解決するために，定性推論の手法を応用することを試みる。定性推論とは，定性的な思考過程を定式化し，これまでばらばらに存在していた定量的な知識を相互に関連付け，広い範囲に渡って知識を体系化しようとする（西田，1993）人工知能の一分野である。このことで，多面的機能に配慮したため池整備計画の立案という定性的な情報に基づく判断を，計算機上で実現できるものと期待される。以下では，まずため池が有する機能を整理した後に，定性推論の基本的な概念について簡単にまとめ，定性微分方程式系でため池の多面的機能に係わる事象を記述するために，機能涵養モデルという考え方を導入する。次に，定性的なモデリングがなされた事象をQSIM（Kuipers，1986）という定性シミュレータを用いて挙動解析した結果を示し，多面的機能に配慮したため池の整備計画への利用可能性について考察する。

ため池が有する機能

平成13年に日本学術会議が農業の有する多面的機能の内容を学術的見地から整理したところによると，適切な農業生産活動による多面的機能には，「国土の安全機能」，「水源のかん養機能」，「自然環境の保全機能」，「良好な景観の形成機能」，「文化の伝承機能等」，「食料の安定供給」といった役割が含まれる（農林水産省，2002）。これら

は農業あるいは農村空間の有する多面的機能であるが，ため池においても同様の分類が可能である。本研究では，ため池が有する機能を，農業利水や防災保全施設としての基本的な機能と，動植物生息の場あるいは水辺の空間が持つ安らぎの場としての多面的かつ公益的な機能とに大別し，前者を本来的機能，後者を多面的機能として図２のように整理した（工藤，2003）。

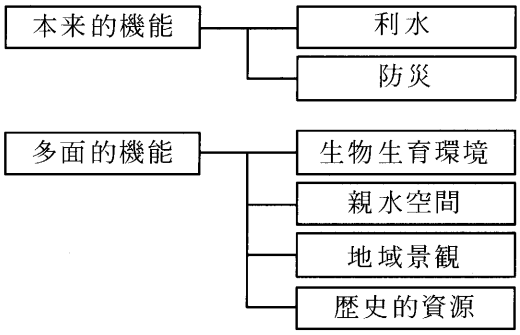

図２　ため池が有する機能

図２の中で多面的機能として分類されている機能の内，「生物生育環境」とは水辺に関わる生態系の場としての機能，「親水空間」とは水とふれあい，親しむ場を提供するとともに，周辺住民が憩いの場として活用することで地域の快適性を高める機能を意味する（工藤ら，2004）。これら二つの機能は相互に関連を持つとともに，地域の景観資源としての機能である「地域景観」とも密接な係わりを持つ。また，ため池の中には地域の歴史的な成り立ちと関係が深いものも少なからずあるため，地域の「歴史的資源」としての機能も無視することはできない。

定性推論

定性推論は，時間の経過とともに連続的または不連続的に変化する動的な系の挙動について推論する技術の総称である。定性推論の手法の特徴は，与えられた（定量的な）情報をいくつかの側面から抽象化し，それに基づいて推論を行うことである（西田，1989）。

多面的機能に係わる事象を推論の対象とする場合，それぞれの機能やそれらに係わる要素間に成立する関係を定量的に規定することは困難であり，推論しようとする現象を定性的に記述することが必要になる。こうした定性的なモデリングのための代数的言語の一つが，定性微分方程式系（system of Qualitative Differential Equations；以下QDEs）である。QDEsを構成する定性微分方程式は，通常の算術演算子の他に量の間の単調（monotonic）な関係を表す式（１）のような関係を含むことがある。

$$\begin{cases} y = \mathrm{M}^{+}x & ;x\text{が増えると　y も増える} \\ y = \mathrm{M}^{-}x & ;x\text{が増えると　y は減る} \end{cases} \qquad (1)$$

QDEsを用いることによって，いくつかのパラメータや関数形（パラメータ間の関係）が分からない場合にも，とりあえずわかっている情報を統合することによって，結果を予測することが可能になる（西田，1993）。

機能涵養モデル

ここで，多面的機能に係わる事象を図式化するために，機能涵養モデル（図３）という考え方を導入する。機能涵養モデルは，ある多面的機能の発揮されている度合いを機能量とみなし，その機能量に対して概ね正の相関がある変数 x の関数 $f(x)$ を機能量に対する流入量，負の相関がある変数 y の関数 $g(y)$ を流出量とみなし，機能量の全体的な変化で多面的機能の状態を表現しようとするものである。機能涵養モデルを使うことで，関数 $f(x)$，$g(y)$の定義や機能を涵養するタンクの組み合わせにより，複雑な事象も記述することができると考えられる。

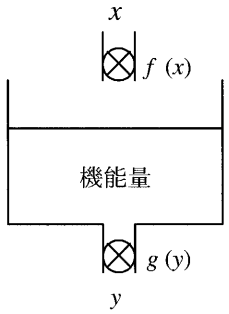

図３　機能涵養モデル

多面的機能に係わる事象のモデリング

上述した機能涵養モデルを用いて，ため池の多面的機能に係わる事象のモデリングを試みる。図４に，「生物生育環境」と「親水空間」の二つの機能と，ため池の特徴を表すパラメータとの関係について，機能涵養モデルを用いて表現した例を示す。「生物生育環境」に関係するパラメータは，ため池に生息する「生物の数」，ため池周辺の「緑被面積」，各施設やフェンスなどの「人工物の数」の３つとした。一方「親水空間」に関係するパラメータは，東屋やベンチといったため池の利用者が快適に過ごせるよう配置される「親水施設」と，利用者が水際に近づくことを邪魔する人工物として「フェンス」の２つとした。

図４の事象をQDEsで記述したものが，図５である。ここでは，パラメータ間に「人工物の総数

は親水施設とフェンス等の数の和に等しい」「人工物の量と緑被面積とは定性的に反比例する」という二つの関係を定義した。

このようにため池の多面的機能に係わる事象を定性的に定式化することで，ため池診断システムでは十分に考慮することができていなかった診断カルテの項目と多面的機能との複雑な関係を表現し，推論の対象とすることができる。

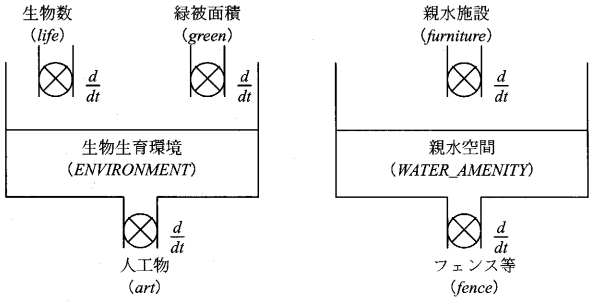

図4　多面的機能の機能涵養モデルによる記述

$$\frac{d}{dt}\,ENVIRONMENT = \frac{d}{dt}\,life + \frac{d}{dt}\,green - \frac{d}{dt}\,art$$

$$\frac{d}{dt}\,WATER_AMENITY = \frac{d}{dt}\,furniture - \frac{d}{dt}\,fence$$

$$art = furniture + fence$$

$$art = M^{-}\,green$$

図5　QDEsによる記述

QSIMを用いた挙動解析

ため池の整備を，ため池の特徴を表すパラメータを変化させることで多面的機能の機能量を操作する行為と考えると，各パラメータの変化に伴って機能量がどのように推移するかを定性的に把握することが，整備の効果を定性的に推論することに相当する。本研究では，図5のようにQDEで表現されたモデルに対して，QSIMという定性シミュレータを用い，各変数の挙動解析を行う。以下では，少ないパラメータで2つの例題を考えてみることにより，QSIMを用いることで人間が思考するのと同様に正しいと考えられる推論を導くことができる可能性を検証する。

ここで，推論対象とする整備計画を規定するために，計画の大まかな方向性に基づいて各パラメータに制約を与える。以下ではこの制約のことを，推論の「前提条件」と呼ぶ。

図6に，「親水施設は現状のままで，フェンスを増やす」という前提条件を与えて推論した結果の一部を示す。これらのグラフは，パラメータの挙動を表示したものである。縦軸には，0や∞（INF），－∞（MINF）という大きさを持つ境界標を基準に，それらとの大小関係のみで評価される定性的な値がとられている。横軸は推論開始時（T0）から終了時（T1）までの時間である。また，グラフ上の↑，↓，○は各時点あるいは時点間におけるパラメータの変化の方向を示している。

QSIMは，図6のように各パラメータの挙動の

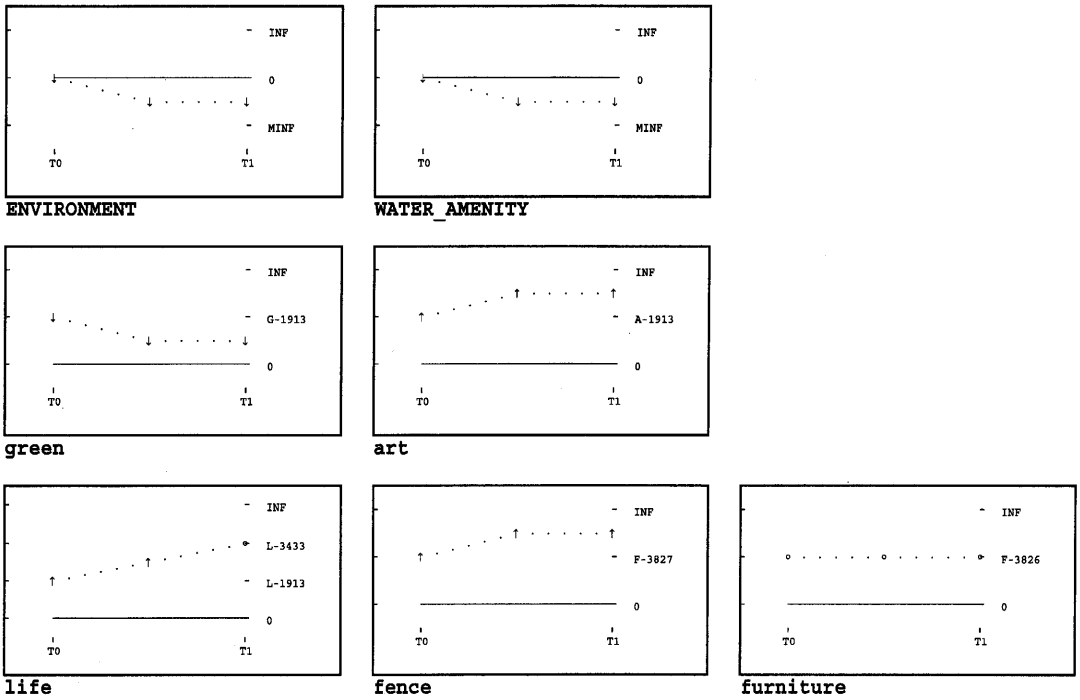

図6　QSIMによる推論結果（一部）

組み合わせを一つの解（推論結果）とし，考えられる全ての解を出力する。この例では全部で211個の解が得られた。しかしながら本研究の目的は，機能量の推移あるいはパラメータの変化を見て整備計画に対する検討の材料とすることであるので，パラメータの大きさは一切考慮せずに，変化の傾向のみを見て分類することで情報を圧縮しても特に差し支えはない。このように分類したものが図７である。

図７を見ると，どの解においても「親水空間」の機能量が低下している。このことから，「親水施設は現状のままで，フェンスを増やす」という整備計画を実施した場合には，親水空間としての機能が損なわれることがわかる。また，「生物生育環境」の機能量が増加している唯一の組み合わせである分類５に注目すると，生物生育環境の機能を発揮させるには「生物数」への配慮が欠かせないというような見方をすることもできる。これは，与えられた条件から常識的に判断する範囲において，妥当な推論結果といえる。

	生物生育環境機能量	親水空間機能量			前提条件	
			生物数	緑被面積	フェンス等	親水施設
分類1	↓	↓	○	↓	↑	○
分類2	↓	↓	↑	↓		
分類3	↓	↓	↑	↓		
分類4	○	↓	↑	↓		
分類5	↑	↓	↑	↓		

↑：増加　↓：減少　○：一定

図７　推論結果（１）

この例では，特定のパラメータの変更を行うような整備計画が検討されている場合に，その計画が多面的機能に対して及ぼす効果を推定するとともに，計画では特に考慮されていない他のパラメータに対して多面的機能という見地から注意を喚起することを目的として推論を行った。一方，多面的機能に配慮した整備計画の初期段階では，個々のパラメータではなく，大まかな方針として重視する機能を設定することもある。そこで次は，特定の多面的機能の変化を前提条件とし，その機能を向上させるためにはどのようなパラメータの変更が考えられるかということを，推論を通して検討する例を示す。

				前提条件		
	生物数	緑被面積	親水施設	生物生育環境機能量	親水空間機能量	フェンス等
分類1	↑	↓	↑	↑	↑	↑

図８　推論結果（２）

図８は，「生物生育環境と親水空間の機能を向上させるが，安全のためにフェンスは増設する」という前提条件を与えて推論した結果を，図７と同様に分類したものである。解は全部で95個得られたが，いずれも変化の傾向は同じであった。この結果からは，「生物生育環境と親水空間の機能を向上させるが，安全のためにフェンスは増設する」ような整備を行うには「親水施設」の設置と「生物数」への配慮が必要であり，「緑被面積」の減少は避けられないことが推測できる。これもまた図７の例と同様に，与えられた条件を見る限り，妥当な推論結果と考えることができる。

以上の結果から，QSIMがため池の機能に関わる判断を妥当に推論し得ることがわかった。機能涵養モデルの適切な設定により，多くのパラメータを導入した現状診断や整備計画に対する検討材料を提供できる可能性が高い。これまでのため池診断システムでは多面的機能の状況を得点化した上で評価していたが，その採点方法には必ずしも客観性が保たれているわけではなく，本質的に定量化が困難な多面的機能の取り扱いとしては問題があった。このように定性推論の手法を用いることで，機能量やパラメータの変化を定性的に取り扱うことが可能となり，上述の問題を解決することができる。また，人間では必ずしも容易ではないプロセス評価もできるといった利点もある。

推論結果の利用

図７，８のような推論結果から，ため池の整備に伴う機能量の推移やパラメータの変化を定性的に把握することができた。この結果を利用して整備計画の立案を行うために，各種の整備手法（工法）と各パラメータとの関係をまとめた手法表を用意する（図９）。

手法名	生物数	緑被面積	親水施設	フェンス	人工物	
植栽を施す		↑				・・・
ベンチを設置する			↑		↑	
フェンスを設置する				↑	↑	
後背地との連続性を確保する	↑					
生物の産卵場所を確保する	↑					
⋮						

図９　手法表の例

手法表には，「整備で手法T_1を施すとxとyは大幅に増加し，zは減少する」というような定性的な情報が蓄積されることになる。このような整備手法に関する知識と図７，８のような解を照らし合わせることで，効率よく具体的な整備計画を立案することができる。図８の推論結果を例にとると，「親水施設」の設置と「生物数」への配慮が必要であることが推測されるので，図９から「ベンチの設置」を行うとともに「後背地との連続性を確保する」ように具体的な整備手法を選択することが考えられる。ただし，「生物数」への配慮については他に「生物の産卵場所を確保する」という手法もあることから，同じ推論結果に基づい

ても常に同じ整備手法の組み合わせ（整備計画）が選択されることにはならない。したがって計画の画一化が避けられ，モデルに含まれた一般的な方向性や普遍的な感覚を踏まえながらも，設計者や地域の個性を発揮した整備計画の立案が可能となる。

おわりに

本研究では，ため池の多面的機能に配慮した整備計画の立案に対する定性推論の利用可能性について考察を行った。ため池の多面的機能に係わる事象を機能涵養モデルで表現し，QDEsで定式化することによって，定性シミュレータであるQSIMを用いて多面的機能の機能量とため池を特徴付けるパラメータの挙動解析を行うことができた。機能涵養モデルによる対象系のモデリングは，機能間の相互関係や任意のパラメータの追加に対して柔軟であり，拡張性を有している。このモデルを自由度の高いQDEsによって記述し，定性推論を行うことで，整備計画の効果を検討する材料を提供することができる。さらに，整備手法とパラメータとの関係をまとめた手法表を用意することで，効率よく具体的な整備計画を立案し得ることも示された。これらの結果により，整備案の立案に際して定性推論を応用することで，以前のため池診断システムで指摘されていた多面的機能の評価点算定における客観性の欠如や，機能量とパラメータとの関係性の表現といった問題が解決できることがわかった。

本研究で示した例は比較的簡易なものであるため，この手法を実際の整備計画立案に利用できるようにするためには，以下のような課題がある。

① 普遍的で説得力のあるモデルの構築：そのためには，ある程度の客観性を持つ多面的機能に係わる事象の定義と，パラメータの適切な選択が必要である。

② 対象系の増大に伴って複雑化するモデルを記述するための工夫：QSIMは考えられる全ての解（推論結果）を生成するために，出力が膨大なものになったり，メモリ不足で推論を完了できないことがある。この問題を回避するためには，パラメータ間の関係を制約条件として与えるなどの配慮が必要である。

③ 手法表の内容，表現方法の吟味：過去の施工事例や新工法についての研究などを精査し，定量的な情報も必要に応じて取り入れながら，具体的な整備計画立案に寄与し得る手法表の作成が望まれる。

④ 推論結果に基づいた整備計画立案方法の検討：パラメータの優先度や整備手法の組み合わせの整合性といったモデルでは表現できない制約をマニュアル化し，具体的な整備計画の立案をより容易にすることが望ましい。

このような課題は残っているものの，ため池の多面的機能に配慮した整備計画の立案に定性推論の手法を応用することは，整備計画の検討材料を提供し，効率的な整備計画の立案に寄与するということだけではなく，ため池の多面的機能に係わる事象を定性的に定式化することで，今まで蓄積されてきた知識を相互に関連付けて体系化するという側面も持っている。ため池のように，これからも必要な基盤施設の整備にあたり，その多面的機能を活用して環境負荷を低減させようとすることは，持続可能な社会の実現にとって不可欠な視点である。本研究で提案した整備計画立案に対する定性推論の応用は，こうした新時代の基盤施設づくりに対して大きな意義を持つと考えられる。

引用文献

今村奈良臣・向井清史・千賀裕太郎・佐藤常雄 1995. 地域資源の保全と創造　世界の食料世界の農村. 農山漁村文化協会, 280pp.

工藤庸介・木全　卓・桑原孝雄・雪本博志　2001. ため池の多面的機能を把握・利活用する「ため池診断カルテ」の構築. 第58回農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集, 102－103.

工藤庸介　2003. 豊かな地域空間を創出する社会基盤施設のあり方　地域環境を考える会編　農学から地域環境を考える. 大阪公立大学共同出版会, 125－130.

工藤庸介・小柳大介　2004. 定性推論を応用したため池の多面的機能に配慮した整備計画の立案. 第61回農業土木学会京都支部研究発表会講演要旨集, 162－163.

工藤庸介・桑原孝雄・木全　卓・西川英里子　2004. ため池の多面的機能を考慮した診断データベース. ため池の評価と保全への取り組み, 国立環境研究所研究報告, **183**, 107－119.

Kuipers, B. 1986. Qualitative simulation. Artificial Intelligence, **29**, 289-338.

三木千壽　2000. 社会基盤の超寿命化に向けた維持管理技術の動向. 土木学会誌, **85(2)**, 5－7.

西田豊明　1989. 定性推論の基礎. 人工知能学会誌, **4(5)**, 522－527.

西田豊明　1993. 定性推論の諸相. 朝倉書店, 258pp.

農林水産省　2002. 平成14年度　食料・農業・農村白書のポイント, p. 16.

（2004年12月３日受領；2005年１月19日受理）