



ため池の多面的機能のモデル化に対する定性推論の 応用

著者	工藤 庸介, 小柳 大介, 木全 卓
引用	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科学術報告. 2006, 58, p.7-12
URL	http://doi.org/10.24729/00000700

ため池の多面的機能のモデル化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生命環境科学研究科緑地環境科学専攻)

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。このような多面的機能の理解、把握のためには、これまでの研究や経験によって蓄積されてきた数々の知識を統合・整理して、多面的機能に係わる事象を的確に表現したモデルを構築することが有用である。しかし、そのようなモデルの構築には、多面的機能という定量的には扱い難い事象の取り扱いや、構築されたモデルの妥当性の検証方法などに問題がある。本研究では、これらの問題を解決するために定性推論を用いる手法について検討したところ、定性微分方程式系によって対象の定性的な定式化が可能となり、定性シミュレータQSIMを利用したモデルの挙動解析によってモデルの妥当性の検証を行うこともできることも示され、この手法の有効性が確認された。

キーワード : ため池, 多面的機能, 定性推論, 定性微分方程式系, QSIM

Abstract

Yosuke KUDO, Daisuke KOYANAGI, and Takashi KIMATA (*Division of Environmental Sciences and Technology, Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University, Gakuencho 1-1, Sakai, Osaka, 599-8531, Japan*): Application of Qualitative Reasoning in Modeling Multifunctionality of Irrigation Ponds. *Sci. Rep. Grad. Sch. Life & Env. Sci., Osaka Pref. Univ.* **58**: 7-12 (2006).

To improve infrastructure such as irrigation ponds, a proper assessment of the multifunctionality of structures is essential, and this evaluation should be the basis for the improvement plan. Methods for modeling phenomena related to multifunctionality are available. However, difficulties arise due to the quantitative treatment for multifunctionality and the evaluation of model validity. To solve these problems, this study examines the applicability of qualitative reasoning in modeling the multifunctionality of irrigation ponds. We qualitatively express phenomena related to multifunctionality using the system of qualitative differential equations. Through the use of qualitative simulation algorithm (QSIM), we evaluate the validity of the multifunctionality models. From these results, we were able to demonstrate the applicability of qualitative reasoning methods in addressing qualitative problems, such as the multifunctionality of irrigation ponds.

Key Words: irrigation pond, multifunctionality, qualitative reasoning, system of qualitative differential equations, QSIM.

はじめに

農業用水利構造物のような基盤施設は、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している。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、このような施設の整備にあ

っては、その多面的な価値や機能への配慮が必要である。

著者らは、ため池を例として、その多面的機能に配慮した整備改修の計画を立案する合理的な方法について研究を進めてきた(工藤ら, 2005)。ここでは定性推論(西田, 1993)の手法を応用して、ため池の多面的機能に係わる要素とそれらの関係を簡単かつ明確に把握できるようにモデル化する

ことを目指してきた。

この成果を踏まえて本研究では、より複雑な知識の取り扱いを試みた。以下では、ため池の多面的機能の中から生物生育環境機能と親水空間機能を取り上げ、定性推論を応用したモデル化を行った。また、そのモデルに対して定性シミュレートを実行してモデル中のパラメータを挙動解析して、構築されたモデルの妥当性を検証する方法についても考察した。

QDEsによるパラメータ間の関係の定式化

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では、通常の算術演算子の他に量の間の単調な関係を表す図1のような演算子を用いることができる。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、結果を予測できる（西田，1993）。

- $y = M^+x$: x が増加すると y も増加する。
- $y = U^+x(a,b)$: $x < a$ のとき x が増加すると y は減少する。
 $x = a$ のとき $y = b$ 。
 $x > a$ のとき x が増加すると y は増加する。
- $y = S^+x(a,c)(b,d)$: $x < a$ のとき $y = c$ 。
 $x > b$ のとき $y = d$ 。その他の場合 $y = M^+x$ 。
- $y = \text{abs-value}x$: y は x の絶対値。すなわち $x = 0$ のとき $y = 0$ 。その他の場合 $y > 0$ 。
- increasing x : x は増大する。
- non-increasing x : x は増大しない。

図1 QDEsで用いることのできる演算子

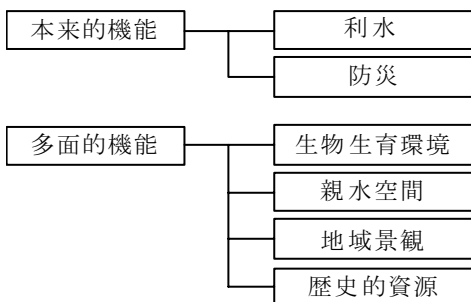


図2 ため池が有する機能

生物生育環境機能に係わるモデル

図2に示したため池の多面的機能（工藤ら，2005）のうち、生物の生息生育環境に係わる要素とそれらの関係について、事例や文献から得られた知識をもとに、図3のような模式図を構築した。これをモデルAとする。さらに、これをQDEsを用いて記述したものが図4である。

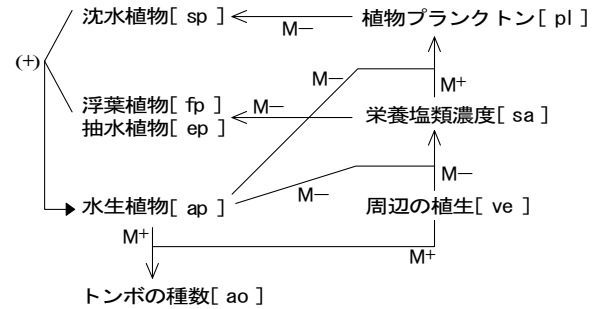


図3 生物生育環境模式図（モデルA）

$$\begin{aligned}
 ap &= (fp + ep) + sp \\
 dr &= M^+(ap + ve) \\
 pl &= M^+(sa - ap) \\
 sa &= M^-(ap + ve) \\
 sp &= M^- pl \\
 (fp + ep) &= M^- sa
 \end{aligned}$$

モデルA

図4 QDEsによる記述（モデルA）

生物生育環境モデルにおける挙動解析

本研究ではモデルの元になる個々の知識は正しいものと仮定しているが、それらを組み合わせて構築したモデルが正しいとは限らない。そこで、構築したモデルに対してQSIM（Kuipers, 1986）という定性シミュレータを用いた挙動解析を行い、モデルの妥当性の検証を行う。QSIMは任意の前提条件のもとで、QDEsの形で与えられたモデルを構成する各パラメータに生じる変化をシミュレートする。

例えば、図3のモデルに対して「栄養塩類濃度が増加する」という前提条件を加えると、モデルAのため池が富栄養化した場合の挙動を見ることができる。図5はそのような前提条件の下でシミュレートした結果をまとめたものである。ここから、「富栄養化が進行すると、他のどのパラメータの挙動に関わらず、トンボの種数は減少する」という結論が得られる。しかし、このような関係は現時点で明確にはされていないために、この結果だけではモデルの妥当性を判断できない。

	トンボ	水生植物	周辺の植生	植物プランクトン	栄養塩類濃度
前提条件					◎
分類1	↓	↓	↓	↑	↑
分類2	↓	↓	↑	↑	
分類3	↓	↓	○	↑	
分類4	↓	↑	↓	↓	
分類5	↓	↑	○	↓	
分類6	↓	?	↓	?	
分類7	↓	?	○	?	

↑: 増加 ↓: 減少 ○: 一定 ?: 不明 ~: 変化する ◎: 前提条件

図5 推論結果(1)

推論結果の利用(生物生育環境)

そこで、図3のモデルに対して、異なる前提条件の下でシミュレートを行い、様々な状況におけるモデル(中のパラメータ)の挙動を検討した。その結果の一つに、「植物プランクトンと水生植物が同時に増加することはない」という、実際の傾向と必ずしも一致しないものが含まれていた。このことから、図3のモデルにはパラメータやそれら相互の関係の過不足など、何らかの欠点があることも推測される。

モデル同士の比較

図6は、水生植物が栄養塩類濃度と植物プランクトンに与える影響は小さいので無視できるという仮説に基づいて図3に変更を加えたものである。このモデルに「栄養塩類濃度が増加する」という前提条件を与えてシミュレートした結果を図7に示す。この結果と図3に対して同条件のシミュレートを行った結果(図5)とを、「周辺の植生」というパラメータに着目して比較すると、図5からは「栄養塩類濃度が上昇しても、それが周

辺の植生の変化に影響することはない」、図7からは「栄養塩類濃度が上昇すると、必ず周辺の植生が減少する」という解釈が得られる。実際は、後者のように単純な関係ではないと考えられるので、この点においては、図3の方が生物の生育環境に係わる関係をよりの確に表しているといえる。このようにして、複数のモデルの優劣を比較判断することもできる。

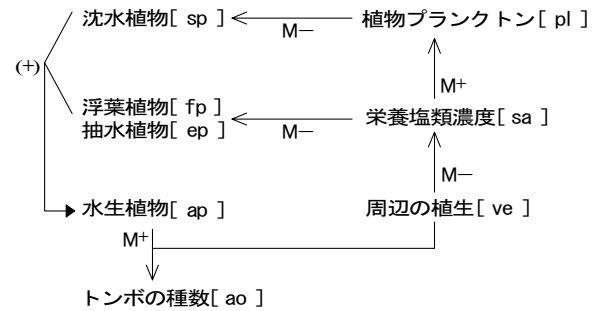


図6 生物生育環境模式図(モデルB)

	トンボ	水生植物	周辺の植生	植物プランクトン	栄養塩類濃度
前提条件					◎
分類1	↓	↓	↓	↑	↑

↑: 増加 ↓: 減少 ○: 一定 ?: 不明 ~: 変化する ◎: 前提条件

図7 推論結果(2)

ため池の親水空間機能に係わるモデル

ため池の多面的機能(図2)のうち、親水空間としての機能に係わる要素とそれらの関係について、図8のような模式図を構築した。

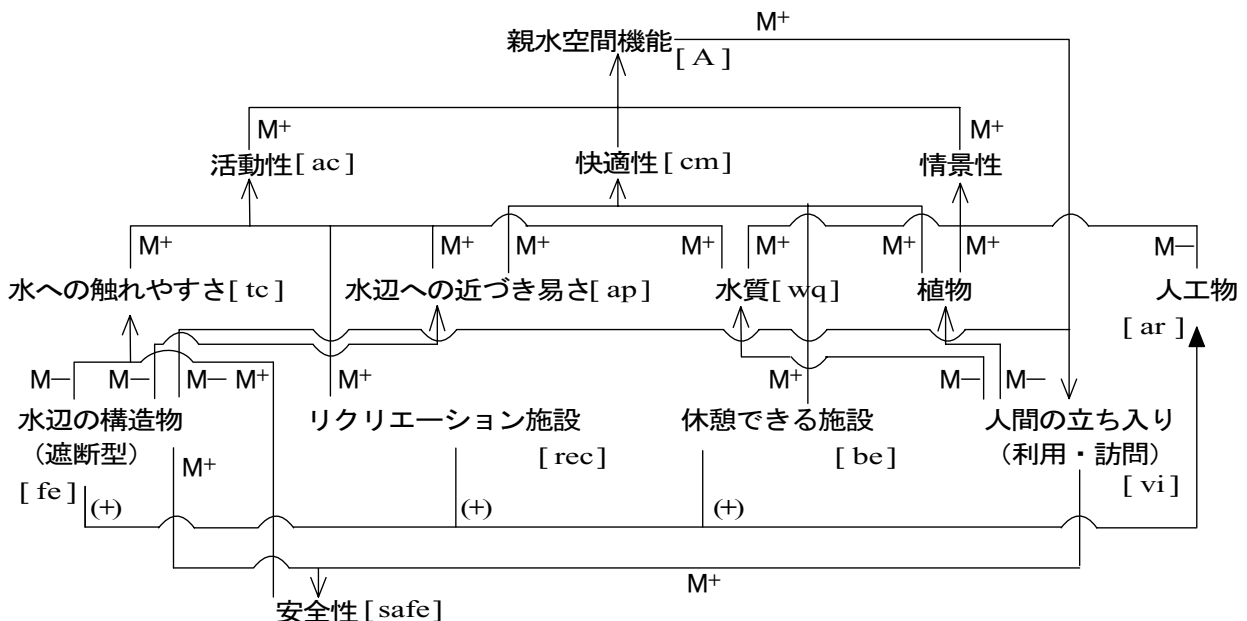


図8 親水空間機能模式図

親水空間モデルにおける挙動解析

次に、生物生育環境モデルと同様に、QSIMによる定性シミュレートを行い、得られた推論結果をもとに、モデルが実際の現象を適切に表現できているかを検証した。ここでは、5つの状況を想定したシミュレートをそれぞれ行い、各ケースにおける推論結果より、図8のモデルの妥当性を検証した。

推論結果の利用 (Case 1)

Case 1では、「親水機能向上・フェンス設置・リクリエーション施設と休憩施設は現状維持」という、フェンスの設置に着目した内容の前提条件を入力し、シミュレートを行った。

それにより、図9のような推論結果を得た。この結果から、Case 1の前提条件のもとでは、他のパラメータの変化にかかわらず、快適性が必ず減少するということが見て取れる。ただし、モデル化の都合上、模式図においては快適性・満足度・心理的満足・清新感といったものを快適性として

一まとめにしている。そのような快適性が、前提条件のように、フェンスの設置によって必ず減少する（フェンス設置の際には快適性に留意しなければならない）という結果は、正しいかどうかは分からないが、シミュレート結果に、直接的な関係ではなく間接的な因果関係が反映されたことは、非常に興味深い結果である。

推論結果の利用 (親水空間 Case 2)

次に、「親水機能向上・活動性、快適性、情景性向上・フェンス設置」という前提条件のもとでシミュレートを行った。結果を図10に示す。

図10では、どの結果においても休憩施設が増加している。Case 1において、現状維持という条件を与えられていた休憩施設であるが、フェンス設置の際の快適性向上のために重要な役割を果たしていることがわかる。このように、ある改修による変化の代償に、他の改修手法を併用することは実際にもあり得る。モデルはその点を上手く表現できている。

	親水機能	活動性	快適性	情景性	触れ易さ	近づき易さ	水質	植物	人工物	遮断構造物	リク施設	休憩施設	人の立ち入り	安全性
前提条件	◎									◎	◎	◎		
分類1		~	↓	~	~	↓	~	~	↑				~	~
分類2		~	↓	~	↓	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類3		~	↓	~	~	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類4		~	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類5		~	↓	↑	~	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類6		↑	↓	↓	~	↓	~	~	↑				~	~
分類7		↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類8		↑	↓	↑	~	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類9		↑	↓	○	~	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類10		↑	↓	○	↓	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類11	↑	~	↓	~	○	↓	↑	↑	↑	↑	○	○	↓	↑
分類12		~	↓	↑	○	↓	↑	↑	↑				↓	↑
分類13		↑	↓	↓	○	↓	↑	↑	↑				↓	↑
分類14		↑	↓	○	○	↓	↑	↑	↑				↓	↑
分類15		~	↓	~	↑	↓	~	~	↑				~	↑
分類16		~	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑				↓	↑
分類17		~	↓	~	↑	↓	↑	↑	↑				↓	↑
分類18		↑	↓	↓	↑	↓	~	~	↑				~	↑
分類19		↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑				↑	↑
分類20		↑	↓	↓	↑	↓	○	○	↑				○	↑
分類21		↑	↓	○	↑	↓	↑	↑	↑				↓	↑

↑：増加 ↓：減少 ○：一定 ?：不明 ~：変化する ◎：前提条件

図9 推論結果 (Case 1)

	親水機能	活動性	快適性	情景性	触れ易さ	近づき易さ	水質	植物	人工物	遮断構造物	リク施設	休憩施設	人の立ち入り	安全性
前提条件	◎	◎	◎	◎						◎				
分類1					~	↓	~	~	~			↑	~	~
分類2					↓	↓	↑	↑	~			↑	↓	~
分類3					~	↓	↑	↑	~			↑	↓	~
分類4					○	↑	↑	↑	~			↑	↓	↑
分類5	↑	↑	↑	↑	↑	↓	~	~	~	↑		↑	~	↑
分類6					○	↓	↑	↑	~			↑	↓	↑
分類7					↑	↓	↑	↑	~			↑	↓	↑
分類8					↑	↓	↓	↓	↓			↓	↑	↑
分類9					↑	↓	○	○	↓			↓	↑	↑

↑：増加 ↓：減少 ○：一定 ?：不明 ~：変化する ◎：前提条件

図10 推論結果 (Case2)

	親水機能	活動性	快適性	情景性	触れ易さ	近づき易さ	水質	植物	人工物	遮断構造物	リク施設	休憩施設	人の立ち入り	安全性
前提条件	◎	◎	◎	◎						◎	◎	◎		
分類1					~	↓	↑	↑	↑				↓	~
分類2	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	~
分類3					○	↓	↑	↑	↑				↓	↑
分類4					↑	↓	↑	↑	↑				↓	↑

↑: 増加 ↓: 減少 ○: 一定 ? : 不明 ~: 変化する ◎: 前提条件

図11 推論結果 (Case3)

	親水機能	活動性	快適性	情景性	触れ易さ	近づき易さ	水質	植物	人工物	遮断構造物	リク施設	休憩施設	人の立ち入り	安全性
前提条件	◎	◎	◎	◎			◎	◎						
分類1					~	↓			~	↑	~	↑	↓	~
分類2	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	~	↑	~	↑	↓	~
分類3					○	↓			~	↑	~	↑	↓	↑
分類4					↑	↓			~	↑	~	↑	↓	↑

↑: 増加 ↓: 減少 ○: 一定 ? : 不明 ~: 変化する ◎: 前提条件

図12 推論結果 (Case4)

	親水機能	活動性	快適性	情景性	触れ易さ	近づき易さ	水質	植物	人工物	遮断構造物	リク施設	休憩施設	人の立ち入り	安全性
前提条件					◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
分類1	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓

↑: 増加 ↓: 減少 ○: 一定 ? : 不明 ~: 変化する ◎: 前提条件

図13 推論結果 (Case5)

推論結果の利用 (親水空間 Case 3)

ため池を周辺住民が楽しむことのできるように、改修する (以下、公園化と呼ぶ) という状況を仮定して、「親水機能向上・活動性、快適性、情景性向上・フェンス、レクリエーション施設、休憩施設の設置」という前提条件を与えてシミュレートを行った。図11がその結果である。

この結果では、公園化を目指した改修であるにも関わらず、人間の立ち入りが減少しているという、ちぐはぐな状況になってしまっている。さらに、親水機能向上のために水質の向上、植物の増加が必要となっている。これは、人工物がマイナス要因として大きく反映されすぎているためと考えられる。この点について、モデルの改良の余地があることが判明した。

推論結果の利用 (親水空間 Case 4)

Case 3とは逆に、ため池の自然を重視した改修を想定して、親水機能向上・活動性、快適性、情景性向上・水質の向上・植物の増加」を前提条件にシミュレートした。図12がその結果である。

この図より、親水機能という観点から見ると、ため池の自然を重視した改修をする場合には、フェンスの設置などによって人間の立ち入りの制限が必要であることが読み取れる。また、人の立ち入りを制限する代わりにベンチを設置するなどの配慮が必要であることも分かる。

ため池の自然と人の立ち入りの関係が大きいという結果は、一般的な感覚と近く、この点においては妥当性を有していると判断できる。

推論結果の利用 (親水空間 Case 5)

最後に、長池オアシスという実際の改修事例と照らし合わせて、モデルの評価を行ったものを示す。この改修では水生植物ゾーンを設定しており、ここでは、水生植物を育成したり、あずまやとボードウォークを設置して、訪れた人が水に近づきやすく、触れやすいように工夫されたりしている。そこで、構築したモデルに前提条件として「植物の増加・水質の向上・フェンスの除去(ボードウォークの設置の代用)・レクリエーション施設、休憩施設の設置・人工物の増加・水への近づきやすさ、触れやすさの向上」を与えてシミュレートを行ったところ、図13の推論結果が得られた。

この推論結果では情景性が減少しているが、長池オアシスの水生植物ゾーンの狙いの一つには「葉や茎の緑や季節ごとに咲く花が、美しい水辺をつくる」という点がある。このように、モデルの推論結果と実際の傾向とに不一致がみられるため、モデルの再検討が必要である。

おわりに

本研究では、ため池の多面的機能のうち、生物の生息生育環境機能と親水空間機能について、現在までに蓄積されてきた知識を元に模式図の形でモデル化を行った。そして構築されたモデルをQDEsで定式化し、QSIMによる定性シミュレートによってその妥当性を検証するという一連の作業を通して、このようなモデル構築に対する定性推論の応用可能性について考察した。

その結果、例として示したモデル (図3, 8) の問題点を、知識間の複雑な関係も考慮した上で

具体的に明らかにできた。こうした結果を検討し、フィードバックすると、より洗練されたモデルを構築できる。

本研究で示された手法を用いると、ため池の多面的機能という複雑かつ曖昧で定性的な事象の理解・把握を容易にするモデルの構築が可能となる。今後はため池の各機能について関連する知識の整理・分析を進め、さらなる詳細度を持った普遍的で説得力のあり、かつ分かりやすい多面的機能モデルの実現を目指していきたい。

引用文献

- 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・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.
- 工藤庸介・小柳大介・木全卓 2005. 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, 大阪府立大学大学院農学生命科学研究科学術報告, 57, 15-20.
- Kuipers, B. 1986. Qualitative simulation. *Artificial Intelligence*, 29, 289-338.
- 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.
- (2006年3月10日受領; 2006年3月10日受理)