

平成21年 4月15日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19880023
 研究課題名（和文）：ハイブリッド型人工知能技術を援用した魚類の生息場選好性モデルの開発
 研究課題名（英文）：Development of fish habitat preference model using hybrid artificial intelligence techniques
 研究代表者
 福田 信二（FUKUDA SHINJI）
 九州大学 熱帯農学研究センター・助教
 研究者番号：70437771

研究成果の概要：

本研究は、種々の環境要因により変化する魚類の生息場選好性を表現可能な数理モデルを開発することを目的とする。その際、ハイブリッド型人工知能技術を援用し、メダカの生態的な特徴をモデルに反映した。同モデルを用いた数値解析から、物理環境（水深、流速、遮蔽、植生）に対する生息場選好性に非線形性が存在することが明らかになった。また、生息場選好性の数理モデル化におけるファジィ理論の導入の有効性が示唆された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,370,000	0	1,370,000
2008年度	950,000	285,000	1,235,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,320,000	285,000	2,605,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業土木学・農村計画学

キーワード：農業農村環境、生息環境評価、生息場選好性モデル、人工知能技術、あいまいさ

1. 研究開始当初の背景

近年の『持続可能な開発』に対する機運の世界的な高揚に伴い、国内においても生物多様性の重要性が広く認識されるようになった。その中で、農村地域が持つ多面的機能（食糧供給・環境保全・社会文化の形成）に対する評価が高まっている。特に、水田環境を中心に構成される農業生態系は、豊富な生物相で構成されており、また現存する絶滅危惧種の多くは農村地域に生息しているため、非常に大きな注目を集めている。しかし、戦後の急速な都市化、工業化および農業の近代化が進

行するに従って、美しい農村環境が急激に減少している。さらに、近年では、外来種の侵入により日本固有の生物が駆逐されつつあり、問題の深刻化が著しい。これらの問題に対して、食糧生産の基盤をなす農村環境の保全、および環境と調和した開発技術の確立は喫緊の課題であり、それに向けた具体的な取り組みや目標、評価基準を策定する必要がある。

生物の保全における具体的な目標の設定には、生物が必要とする生息環境条件をどこまで定量的に表現できるか、がカギになる。具体的には、対象とする生物の生息場決定

に影響する環境因子の特定と生息場選好性の定量化、環境変化に対する許容限界等の定量化、対象種の保全に最低限必要な領域の特定（ゾーニング）等が不可欠である。

一般に、生物の生息場選好性は、場所、季節、成長段階、他種生物との相互関係等によって変化する。すなわち、生態や環境等を数理表現するには必然的な不確実性が内包される。したがって、より実際的な環境評価のためには、これらの各要素を考慮しつつ多様な環境変化に柔軟に対応可能な数理モデルの開発が肝要である。

2. 研究の目的

本研究では、魚類の生息場選好性の生態学的特徴を表現するためにハイブリッド型人工知能技術（ファジィ推論、遺伝的アルゴリズム、ニューラルネットワークなどの融合）を援用した数理モデルの開発を目指す。その際、農業用水路に生息するメダカを対象魚とする。まず、フィールド調査に基づくメダカの生息データを用いて、物理環境要素（水深、流速、遮蔽、植生）に対する生息場選好性モデルの汎用性の向上を図る。そして、モデルの一般性の制限要因となる数理化における誤差（データ誤差、モデル誤差、計算誤差）および生態系の応答のあいまいさや複雑さなどに起因する不確実性について定量的に評価する。

3. 研究の方法

(1) フィールド調査

フィールド調査は、2004年10月14日、11月5日および11月9日に福岡県久留米市の農業用水路で実施した。水路は幅2m程度の土水路で、河床には水生植物が繁茂しており、多様な環境を形成していた。この水路の約50mを調査区間とし、水深(cm)、流速(cm s^{-1})、側方遮蔽率(%）、植生被覆度(%)およびメダカの生息個体数について調査した。調査結果を基に水深と流速について類似した環境ごとに区分し、その結果から側方遮蔽率と植生被覆度を計算した。メダカの生息個体数は各水域とも1m²あたりの個体群密度 $\rho_{0,i}$ に換算した。ここで得られた結果 (Fig. 1) を以下の解析に用いる。

(2) 生息場選好性モデル

ファジィ生息場選好性モデル

ファジィ生息場選好性モデル(FHPM)は、ファジィif-thenルールに基づいてメダカの生息場選好性を定量化する。本モデルでは、物理環境値を入力値とし、生息場選好性を出力値とするため、前者を前件部、後者を後件部で表現している (Fig. 2)。その際、水深因子と流速因子に関する前件部はメダカの生態学的な特徴（例えば、体長や遊泳能力）を考

慮して定義し、遮蔽因子と植生因子の前件部は測定可能な領域を全て網羅できるように定義した。ここで、各因子の前件部は、それぞれ一つの後件部とのみ関連付けられている。後件部の定数値は、フィールド調査の結果を基に、単純遺伝的アルゴリズム(GA)によって最適化する。

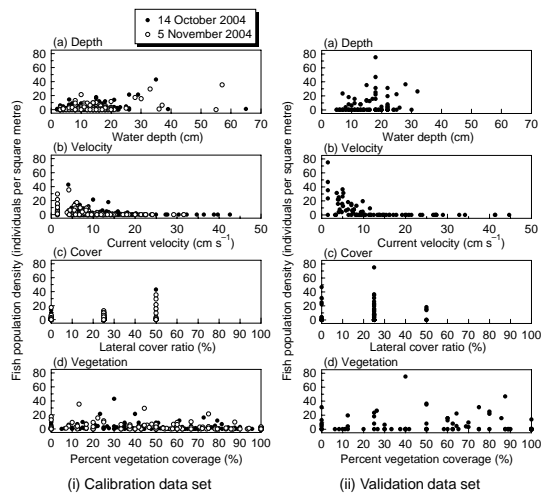


Fig. 1 フィールド調査の結果

単純GAによる最適化では、メダカの実測個体群密度とFHPMで予測した予測個体群密度の平均二乗誤差が最小になるように、後件部の定数値を探索した。メダカの個体群密度の予測手順を以下に示す。

まず、物理環境値をFHPMに入力することによって計算された各因子ごとの選好度を次式により複合する。

$$P_i = P_{d,i} \times P_{v,i} \times P_{c,i} \times P_{veg,i} \quad (1)$$

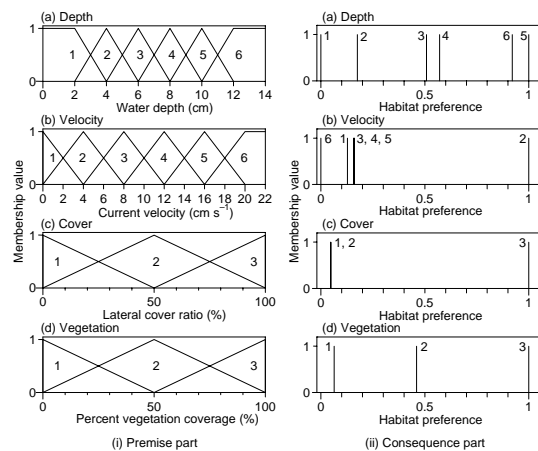


Fig. 2 FHPM の概念図

ここで、 P_i は、ある水域*i*におけるメダカの選好度を示しており、右辺の添え字d, v, c, vegは、それぞれ水深、流速、遮蔽、植生を表している。この複合因子に対する選好度 P_i および次式を用いて、メダカの空間分布を予測する。

$$\rho_{c,i} = \left(P_i / \sum_{i=1}^n P_i \right) \cdot \sum_{i=1}^n \rho_{o,i} \quad (2)$$

ここで、 $\rho_{c,i}$ は予測個体群密度、 $\rho_{o,i}$ は実測個体群密度である。また、右辺の括弧内の項は、対象水域において水域*i*が有するメダカの生息場としてのポテンシャルを表している。

ファジィ・ニューラルネットワークモデル
 ファジィ・ニューラルネットワークモデル (FNN) は、入力層、中間層および出力層を各1層ずつ有する3層パーセプトロンモデルを基本構造とする。FNNでは、魚類が本質的に有する応答行動のあいまいさを表現するために、入力層にファジィメンバーシップ関数を用いて各物理環境値をメンバーシップ値に変換し、ニューラルネットワークへの入力値とする。つまり、入力素子数は、水深6個、流速6個、遮蔽3個、植生3個に誤差項1個を加えた計19個となる。中間層の素子数は、試行錯誤により、誤差項1個を含めて計6個とした。また、出力素子数は1個とし、本出力値によりメダカの空間分布を表現する。本モデルは、バックプロパゲーション法により物理環境値とメダカの個体群密度の関係を学習する。

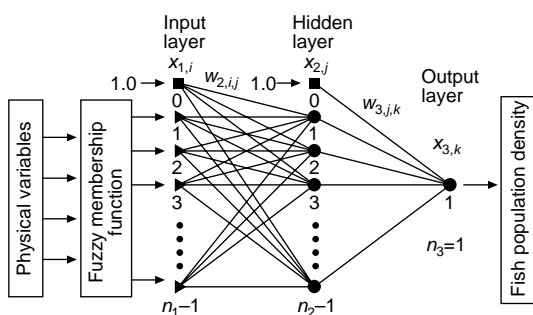


Fig. 3 FNN の概念図

(3) 生息場選好性の非線形性の定量評価

ここでは、ファジィ生息場選好性モデルを用いて、生息場選好性と物理環境因子の非線形的な関係について数値的に解析する。その際、各環境因子の組み合わせを15通り変化させ(単一因子、2因子複合、3因子複合、4因子複合)それぞれについて生息場選好性モデルを構築する。各モデルとも単純GAの乱数の種を変えた10回の独立した試行を行

い、最適化手法による結果のばらつきについて考慮する。結果として、生息場選好性に関する非線形性は、単一因子モデルによって評価された選好曲線と複合因子モデルの選好曲線の差異として表現される。

(4) 生息場選好性モデルのファジィ化の有効性

ファジィ生息場選好性モデル (FHPM) を対象に、3段階のファジィ化を設定し (Fig. 4) メダカの空間分布の予測精度および選好曲線の形状からモデルの特性を把握するとともに、生息場モデリングにおいてあいまいさを考慮することの有効性について定量的に評価する。モデルおよびデータのファジィ化では、三角型対称ファジィ数を適用した。最適化の初期条件の違いによるモデルの構造のばらつきを考慮し、各モデルとも50通りの初期条件を与えた。以上のモデルを予測誤差の平均値および標準偏差に注目して比較検討した。

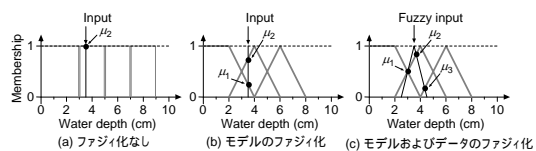


Fig. 4 ファジィ化の一例

4. 研究成果

(1) ハイブリッド型人工知能技術による生息場選好性モデル

本研究では、ファジィ生息場選好性モデルおよびファジィ・ニューラルネットワークモデルを構築した。前者はファジィ理論と遺伝的アルゴリズム(GA)を融合したモデルであり、後者はファジィ理論とニューラルネットワークを融合したモデルである。ファジィ理論は、生物の応答行動のあいまいさや物理環境の観測誤差および空間的なばらつきを考慮するために導入した。結果として、両モデルとも実水路におけるメダカの空間分布を良好に再現した。本モデルの予測精度を既存の生息場選好性モデル(選好強度パターン:PPL および生息場適性指数:HSI)と比較した結果をFig. 5に示す。同図から、ハイブリッド型人工知能技術を援用した生息場選好性モデルの有効性が示唆された。

(2) 生息場選好性に内在する非線形性

ファジィ理論と遺伝的アルゴリズム (GA) によって構成されるファジィ生息場選好性モデル (FHPM) により、物理環境因子に対するメダカの生息場選好性に非線形的な関

係があることが明らかになった (Fig. 6)。特に、流速 - 遮蔽間および流速 - 植生間には非線形的な関係があり、遮蔽 - 植生間には線形的な関係があることが示唆された。既往の手法では表現することが困難であった生息場選好性の非線形的な関係を表現できる点は FHPM の大きな特長の一つである。このような生息場選好性に内在する非線形性は、季節や場所などに大きく影響されることが考えられるため、これらの諸要因に考慮した研究が必要である。

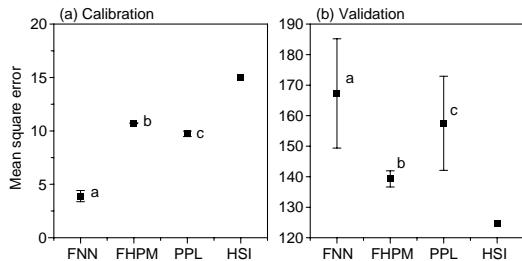


Fig. 5 予測精度の比較

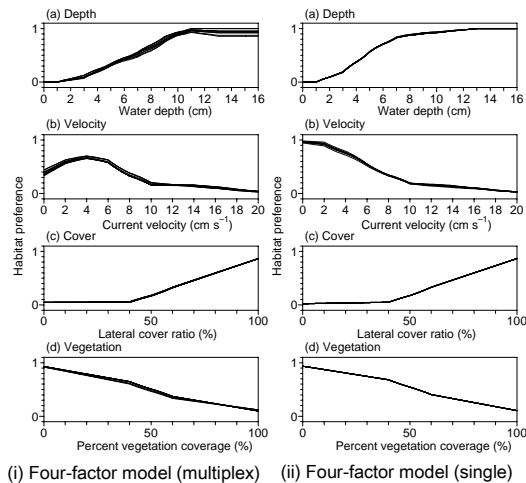


Fig. 6 選好曲線への非線形性の影響

(3) 生息場選好性モデルのファジィ化の有効性

本研究により、メダカの生息場選好性を表現する数理モデルのファジィ化が有効であることが明らかになった。例えば、ファジィ化することによって滑らかな選好曲線が得られる (Fig. 7)。また、モデルおよびデータをファジィ化することによりメダカの空間分布の再現性が向上した。さらに、単純 GA による最適化におけるモデルパラメータの収束性も非常に高くなっている。以上のように、本手法は本質的にあいまいな生物の生息場選好性を表現する際に非常に有効であると考えられる。

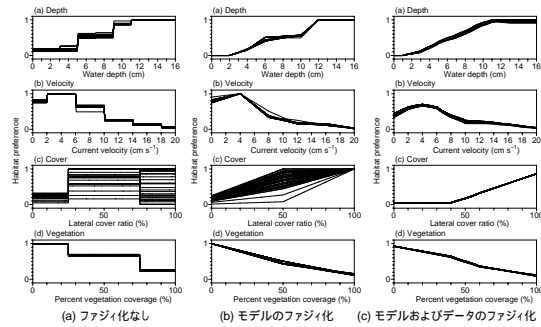


Fig. 7 ファジィ化に伴う選好曲線の変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

Fukuda, S., Hiramatsu, K. (2007) Prediction ability of resource selection functions for the estimation of fish habitat preference, Trans. JSIDRE, 247: 113-118. [査読有]

Fukuda, S., Okushima, S. (2008) Assessing Nonlinearity in Fish Habitat Preference of Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) Using Genetic Algorithm-Optimized Habitat Prediction Models. JARQ-Japan Agricultural Research Quarterly, 42 (2): 97-107. [査読有]

Fukuda, S., Hiramatsu, K. (2008) Prediction ability and sensitivity of artificial intelligence-based habitat preference models for predicting spatial distribution of Japanese medaka (*Oryzias latipes*). Ecological Modelling, 215: 301-313. [査読有]

Fukuda, S. (2009) Consideration of fuzziness: Is it necessary in modelling fish habitat preference of Japanese medaka (*Oryzias latipes*)? Ecological Modelling [査読有]

Fukuda, S. (2009) Uncertainty analysis on fuzzy neural network model for evaluating fish habitat preference of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) in agricultural canals in Japan. The Proceedings of 7th International Symposium on Ecohydraulics. Paper ID: conf187a145 [査読有]

Fukuda, S. (2009) A Preliminary Analysis for Improving Model Structure of Fuzzy Habitat Preference Model for Japanese Medaka (*Oryzias latipes*). The Proceedings of IFSA2009/EUSFLAT09 (accepted). [査読有]

[学会発表] (計 6 件)

福田信二、奥島修二、平松和昭 (2007) メダカの生息場選好性の定量化手法に関する一考察. 平成 19 年度 農業農村工学会大会講演会. 2007 年 8 月 29 日. 島根県松

江市。

Fukuda, S. (2007) Assessing rural environments with an ecological viewpoint—a case study in an agricultural canal focusing on Japanese medaka (*Oryzias latipes*)—. Japan-Germany International Cooperative Project on Education & Research: "Multi-Functionality and Sustainability of Land Use in Southeast and East Asia". 2007年9月12日。福岡県福岡市。

福田信二 (2007) 人工知能技術を援用したメダカの生息場選好性モデルの感度分析。第88回農業農村工学会九州支部講演会。2007年10月18日。佐賀県佐賀市。

Fukuda, S. (2007) Consideration of fuzziness: Is it necessary in modelling fish habitat preference of Japanese medaka (*Oryzias latipes*)?. The 6th European Conference on Ecological Modelling 2007 (ECEM '07). 2007年11月27日~30日。Trieste, Italy.

福田信二、奥島修二 (2008) 数理モデルを用いたメダカの生息場選好性に関する非線形性の評価。平成20年度農業農村工学会大会講演会。2008年8月26日~28日。秋田県秋田市。

Fukuda, S. (2009) Uncertainty analysis on fuzzy neural network model for evaluating fish habitat preference of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) in agricultural canals in Japan, 7th International Symposium on Ecohydraulics, 2009年1月14日。Concepcion, Chile.

〔その他〕

九州大学研究者情報：

<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K002980/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 信二 (FUKUDA SHINJI)
九州大学 熱帯農学研究センター・助教
研究者番号：70437771

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

奥島 修二 (OKUSHIMA SHUJI)
(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所・室長
研究者番号：70414422

平松 和昭 (HIRAMATSU KAZUAKI)

九州大学大学院 農学研究院・教授

研究者番号：10199094