

学 位 論 文 題 名

Community structure and function in  
two freshwater lakes under anthropogenic stressors:  
some potential recovery options

(人為的攪乱下の2つの淡水湖における生態系の構造・機能とその回復方策)

学位論文内容の要旨

This thesis documented how the ecosystem structures are functioning under stressors of: (a) non-native species in Lake Kawahara-oike in western Nagasaki and (b) fishing in Lake Toya in southern Hokkaido by using empirically-based whole food web modeling approach: Ecopath with Ecosim (EwE). Each of the case study examples includes predicted ecological direction that occurring from pressure of each stressors and how those might fundamentally altering the biological communities. The study also includes some preliminary attempts to scrutinize the anthropogenic variables (fishing) in order to explain the indicated shifts and determine whether these changed states might persist within Lake.

Firstly, I developed an Ecopath model for a lake invaded by largemouth bass (*Micropterus salmoides*) and bluegill (*Lepomis macrochirus*). The main goal of this study was to explore community wide effects and to identify the role played by the alien species with special emphasis on trophic interactions. The model was developed for a small lake (Kawahara-oike) located in Nagasaki of western Japan. The model encompasses total 11 functional groups. The majority of input parameters were obtained from the data observed directly in the lake while a few data were taken from published reports.

Primary producer and detritus are located at the base of the food web while largemouth bass is in the top of the food web but contribute relatively very low biomass ( $0.012 \text{ t km}^{-2}$ ) in the system. Most of total system biomass was found between trophic level TL (II) and trophic level TL (III). Maximum trophic transfer efficiency was observed at trophic level TL II. Trophic transfer efficiency in Lake Kawahara-oike was found to be nearly zero in higher trophic levels. Largemouth bass and bluegill were of low to negligible importance in terms of the size of energy flow between the compartments. Total primary production to respiration ratio was 0.967 and total primary production to biomass ratio was  $15.49 \text{ t km}^{-2} \text{ year}^{-1}$ . Largemouth bass severely affected the population of gobies (*Tridentiger obscurus* and *Rhinogobius giurinus*) bluegill and prawn. Insects and some other fish species were found to be affected by bass while stone moroko (*Pseudorasbora*

*parva*) had null impact on other groups in the system. Results of present study suggest that lower trophic levels have significant positive impacts on other groups in the system indicating "bottom-up" control of the food web. Result indicates virtual maturity of the lake system that lacks enough strength in reserve. My results also suggest that existing food web structure that primarily developed from the emergence of the aliens in the lake has significantly contributing to drastic decline of the native population particularly the goby population that might also affect community maturity.

Secondly, a balanced model of the Lake Toya was constructed with a goal to illustrate a broad general synthesis of a multi-species analysis and function in the lake ecosystem where the status of the lacustrine sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) population is in a critical state. The biomass estimates of commercial species were based on scientific survey carried out by Lake Toya Research Station during 1988 to 1999 and an angling survey carried out during 1998 -2004 except for 2000. Production/biomass and consumption/biomass ratios for commercial species were obtained from empirical relationship while a few input parameters were also adapted from literature.

Total fish biomass was  $0.1674 \text{ t km}^{-2}$  that mainly represents trophic levels 3 and 4 with a very low trophic transfer efficiency indicating virtual food limitation in the ecosystem. In terms of biomass, the ecosystem was dominated by the Japanese smelt (a small pelagic fish) indicating the possible wasp-waist predator-prey interaction. The food web was mainly based on detritus while primary producers played a less significant role. Ecosystem indicators suggested that the ecosystem is still immature but nearly at mature stage. Juvenile lacustrine sockeye salmon and Japanese smelt have a high degree of feeding specialization apparently predicting their food competition on a single trophic level. Observed negative impact of lacustrine sockeye salmon and Japanese smelt on themselves clearly showing existence of within-group competition. Simulation revealed that reduced fishing pressure requires applying on lacustrine sockeye salmon if their current biomass is to increase for achieving sustainable harvest in the lake.

The largest and far-reaching effects were predicted to follow from changes to the input parameters of largemouth bass and bluegills for the Lake Kawahara-oike and masu salmon and sockeye salmon for the Lake Toya during sensitivity analysis included in *EwE*. Such impacts on the output parameters during sensitivity analysis are acceptable for these modeling studies since the input parameters of these groups had been most reliably estimated.

Finally, I conclude that the Lake Kawahara-oike has zooplankton and benthic insect based food chain, where almost all the biomass is concentrated in the first three levels with low transfer efficiencies among trophic levels. Whereas the Lake Toya has mainly detritus based food chain where the ecosystem is descend of phytoplankton that dominated by the Japanese smelt and the ecosystem is very much food limited. The analysis showed the existence of predatory-pray relationship is "bottom-up" for the Lake Kawahara-oike and "wasp-waist" for the Lake Toya. The determination of "ecosystem maturity" is a complicated process but several parameters indicate that it might reach high level for both lakes. The result of my simulation through fishing induced

changes has also suggests that reversal to previous ecological state is highly unlikely for the Lake Kawahara-oike though it is likely for the Lake Toya.

It is expected that the development of a model for the bigger lakes with similar environmental and ecological conditions will be greatly facilitated by my models developed for the present lakes.

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	桜井	泰憲
副査	教授	帰山	雅秀
副査	教授	後藤	晃
副査	助教授	松石	隆

## 学位論文題名

### Community structure and function in two freshwater lakes under anthropogenic stressors: some potential recovery options

(人為的攪乱下の2つの淡水湖における生態系の構造・機能とその回復方策)

近年、外来魚の侵入や強度の漁獲圧といった人為的攪乱が食物連鎖を通じて、生態系全体に大きな影響を及している例が、淡水湖において多く報告されている。本研究では、Ecopath with Ecosim(EwE)を用いた栄養段階モデルを用い、人為的攪乱下の2つの日本の淡水湖における生態系の構造と機能を特定した。研究対象とした淡水湖は、外来魚の侵入が起こっている長崎県の川原大池と、漁獲圧の高い北海道の洞爺湖である。この2つの湖を例として、人為的攪乱下における生態系の遷移や在来生態系への影響を予測した。さらに、漁獲圧などの人為的攪乱要因を変化させることによる生態系の応答も併せて検討した。

最初に、2種の外来魚、ブラックバス(*Micropterus salmoides*)とブルーギル(*Lepomis macrochirus*)が侵入した、長崎県川原大池のEcopathモデルを開発した。このモデルを用いて、食物連鎖を介した外来魚による生態系全体への影響を検討した。生息場所、食性及び生活史の特性から、生態系構成種を11群にまとめた。入力するパラメータの一部は、近縁種あるいは他の湖での値が含まれるが、大半は、長崎大学教育学部等により、この湖の構成種に対して直接測定・推定されたものを用いた。生態系特性値やエネルギーフローに関する指数はEwEのルーチンによって分析された。

分析の結果、ブラックバスは栄養段階が3.9と一番高いが、バイオマスが小さいため生態系への寄与は大きくなかった。川原大池におけるバイオマス生産( $705\text{t}/\text{km}^2/\text{y}$ )の3/4は動物プランクトンと昆虫によるものであった。動物プランクトン食種と昆虫食種が生態系に重要であることを意味している。

入力パラメータの感度解析を行った結果、変動させたパラメータが他種の結果に与える影響は小さく、モデルの推定が頑健であることが示唆された。

本研究の結果、川原大池の生態系は栄養段階下位の生態系構成種が生態系全体に大きな影響を及ぼすボトムアップ型の生態系であることがわかった。また、外来種の侵入が在来種の減少を導き、特にハゼ類に大きな影響があったことがわかった。また、Ecosim によるシミュレーションによれば、外来魚の駆除による生態系の回復は相当に困難であることが示唆された。

次に、ヒメマス *Oncorhynchus nerka* 個体群が崩壊の危機にある洞爺湖のマスバランスモデルを EwE によって作成し、従来の単一種に関する知見の統合と生態系機能の検討を行った。生態系構成種で漁業と遊漁によって漁獲されるヒメマスとサクラマスについては、北海道大学洞爺湖臨湖実験所による調査結果(1988-2004)、および独自に行った釣獲量調査結果(1998-2004)に基づいて資源量推定が行われた。この2種のバイオマス当たり生産量(P/B)およびバイオマス当たり消費量(Q/B)は、調査より得られた成長曲線のパラメータを元に推定された。いくつかの魚種のパラメータについては文献値を用いた。

生息場所、食性及び生活史の特性から、生態系構成種を 11 群にまとめた。湖内の魚類バイオマス密度は  $0.1674\text{t}/\text{km}^2$  と推定され、密度が低いことがわかった。プランクトン食者が少ないことが、高次捕食者のバイオマスを制限していると考えられた。生態系内ではワカサギが優占しており、バイオマスとエネルギーフローへの寄与が大きいと推定された。この生態系は wasp-waist 型捕食被食関係であることが示された。

ヒメマス若齢魚とワカサギの間には強い食物競争関係があることが示唆された。また、餌を巡る種内競争の存在も示唆された。Ecosim によるシミュレーションの結果、数年の漁獲圧減少により、ヒメマス個体群が維持・回復していく可能性が示唆された。

入力パラメータの質を示す pedigree index は 0.37 となり、報告されている 50 の Ecopath モデルの中では中程度であった。入力パラメータの感度解析を行った結果、変動させたパラメータが他種の結果に与える影響は小さく、モデルの推定が頑健であることが示唆された。

以上より、川原大池は動物プランクトンおよび昆虫に依存した生態系が構成されているが、ほとんどのバイオマスは下位レベルに集中し、レベル間の転換効率も低かった。一方、洞爺湖はデトリタスに依存した生態系になっており、ワカサギが卓越していて植物プランクトンが少なく、餌が制限要因になっている。生態系の成熟度合いについては種々の要因が関与するが、両者とも成熟度が高い。また、復元可能性は両者で異なる結果を得た。

本研究は、Ecopath with Ecosim による淡水湖生態系の検討、および従来の研究を統合

して管理方策等を検討する手法の確立に寄与すると考えられ、審査員一同は、申請者が博士(水産科学)の学位を授与される資格のあるものと判定した。