

(続紙 1)

京都大学	博士（工学）	氏名	川口智也
論文題目	湖沼流域における水生生態系への環境リスク評価手法に関する研究		
（論文内容の要旨） 本研究は、流域、河川、貯水池、湖沼を含めた広域水系とその場に存在する生態系を対象に、富栄養化や毒性物質汚染問題による水生生態環境リスクを評価するための方法論を構築し、ケーススタディを通してその有用性を確認したものである。本論文は全部で6章から構成される。 第1章では、本研究の背景を整理するとともに、目的を明示し、全体の研究方針を概説した。また、既往の研究成果をレビューし、取り組むべき研究課題と展開すべき方法論の位置付けを明確にした。さらに、適用流域として選定した琵琶湖―淀川水系における流域水環境の問題点をまとめ、解決する課題を明示した。 第2章では、流域、河川、貯水池、湖沼を含む広域水系において、それぞれの領域で必要とされる時空間的条件を満足する分布型水物質循環モデルを物理側に基づいて構築した。構築されたモデルは、メッシュ型構造での多層モデル(Hydrological River Basin Environment Assessment Model)をプラットフォームとして、植物性プランクトンを評価する生態系モデル、貯水池内の鉛直1次元モデル、湖沼での平面2次元多層レベルモデルを組み込んだシミュレーションモデルとなっている。モデル定数のキャリブレーションには、ジェネティックアルゴリズム(GA)を導入し、多変数にまつわる収束過程と記憶容量などの最適化計算時の困難性を解決した。この結果、琵琶湖北湖で指摘されている10年以上に渡るCODの漸増傾向が再現され、原因は陸域からの負荷流出と湖内の植物プランクトンによる内部生産が同程度寄与しているものと推定された。得られたモデル定数を分布型水物質循環モデルに入れた琵琶湖-淀川水系でのシミュレーションによると、絶対量での水質を対象に評価する限り、現況では特に目立った問題は生じていないことが得られた。また、瀬田川洗堰の現行の水位操作は経年的に琵琶湖の水位低下を招いており、これを改める案が考えられているが、水質への影響は狭小の範囲で、かつ、短期間に限られていることを実証的に示した。 第3章では、第2章で構築した分布型水物質循環モデルに加え、化学物質の動態予測モデルを組み込み、濃度変動を時空間的に推定可能な水系暴露解析モデルを提案した。モデルの精度が、化学物質の動態と懸濁物質を媒介とする部分に集約されることに着目し、分布型モデルを支援する目的で懸濁物質の流達負荷量の設定にパターン分類手法を導入した。なお、淀川流域における化学物質の濃度予測を通して、モデルの妥当性と有用性を検証した。 第4章では、琵琶湖生態系を対象にした湖沼生態系モデルCASM(Comprehensive Aquatic System Model)を導入し、水温や水質の鉛直方向の経時変化を表現すべく鉛直1次元モデルとして再構築した。加えて、モデルをより実用的なものとするため、高次元のモデル定			

数群については、その最適値だけを求めるのではなく、その不確定性と感度を明らかにするため、ベイズ推定法に基づく MCMC (Monte-Carlo Method with Markov Chain) による不確実性分析を実施している。

湖沼の富栄養化問題では、レジームシフトを切り口として、琵琶湖北湖での COD や T-N の漸増傾向の原因、レジームシフトに伴う履歴現象が生ずる可能性とこれによる生態影響の規模、について数値実験を通して推定した。前者からは、COD と T-N の漸増傾向は寒冷期の気温の変動に伴う可能性が高いこと、および、寒冷期の気温の変動が履歴現象と呼ばれる不可逆的な遷移の要因であることを示唆する結果を得た。後者からは、湖沼の水質形成には、流入負荷の変動に比べ、気象変動の影響がより大きく現われることが分かった。北湖では下位階層の生産者で、南湖では高次消費者で、それぞれ生態系の異なる階層でバイオマスの構成に変化が生じ、生態影響の可能性が高いことが推定された。

さらに、第 2 章に引き続き、瀬田川洗堰の水位操作変更による生態影響を検討した。前述のように、第 2 章では水位操作変更による水質への影響は認められなかったものの、長期的にみれば、沖合帯の性質を有する北湖では、影響は僅かであるが発生しており、沿岸帯の性質の南湖では、沈水植物が繁茂し植物プランクトンの減少が確認された。将来の南湖では、植物プランクトンの減少に伴い消費者のバイオマス量は減少し、多大な生態影響をもたらす可能性も想定される。

第 5 章では、化学物質による生態リスク評価モデルとして、CASM と PBPK (Physiologically Based Pharmacokinetic Model) のカップリングを図った。生態影響は化学物質による水系からの暴露に伴う生物濃縮だけでなく、食物連鎖による生物蓄積も考える必要があるため、CASM と魚体内濃度を推定する PBPK を用い、生物種間の相互作用を考慮した生態リスク評価モデルを構築した。ただし、PBPK は化学物質や魚類の種によらず適用できるように改良されている。適用する魚の重量は、魚類の個体群存続とするエンドポイントに対して、年齢構成モデルに基づく生命表評価法を用いて生態リスクの最も大きな魚齢相当を設定した。PBPK で得られた魚体内濃度は、用量-反応評価として生態影響係数を介して CASM に反映させている。琵琶湖を対象に化学物質の複合影響下でのバイオマス量の変化率を検討した結果、最もバイオマス量が減少するのは魚食性魚であり、生物種間の相互作用は生態ピラミッドの 1 つ違いの階層にのみ顕著に表れ、2 つ以上離れた階層への伝播はないとの結論を得た。なお、南湖は北湖に比べ生態影響が顕著に表れるとの結果も得た。

最後に、淀川におけるプランクトン食性魚を対象に PBPK モデルにより魚体内濃度を推定した結果、生態影響係数は琵琶湖での結果に比べ大きな数値となっており、生態影響が高いと懸念される。淀川本川の各種濃度の縦断分布から、三川合流以降ではノニルフェノールの魚体内濃度は漸増傾向であることが推定され、COD などの総括水質指標では表現し得ない化学物質による生態系への汚染レベルの評価を可能にした。

第 6 章は結論であり、本研究によって得られた知見と今後の課題を整理した。

(論文審査の結果の要旨)

本研究の目的は、流域、河川、貯水池、湖沼を含めた広域水系とその場に存在する生態系を対象に、富栄養化や毒性物質汚染問題による水生生態環境リスクを評価するための方法論を構築し、ケーススタディを通してその有用性を確認することである。本論文は全部で6章から構成されている。ここで、得られた主要な成果は次の通りである。

- 1) 流域、河川、貯水池、湖沼を含む広域水系を対象にした富栄養化問題を扱うための水物質循環モデルを構築した。琵琶湖-淀川水系でのケーススタディを通して、COD や植物プランクトンにより水質を評価する限り、現況では目立った問題は表れていないが、将来の問題発生の可能性を示唆した。
- 2) 化学物質の動態予測モデルを組み込み、水系での濃度変動を時空間的に推定可能にする水系暴露解析モデルを構築した。ここで、パターン分類手法を導入し、懸濁物質の流達負荷量の設定を可能にした。また、淀川流域における化学物質濃度予測を通して、モデルの妥当性と有用性を検証した。
- 3) 琵琶湖を対象にした湖沼生態系モデル CASM を導入し、水温や水質の鉛直方向の経時変化を表現すべく鉛直1次元モデルとして再構築した。レジームシフトを切り口とした数値実験の結果、北湖での COD や T-N の漸増傾向の原因は寒冷期の気温の変動であることを示す結果を得た。寒冷期の気温の変動は、北湖では下位階層の生産者で、南湖では高次消費者で、それぞれ生態系の異なる階層でバイオマスの構成に変化が生じ、生態影響の可能性があることを示した。
- 4) 湖沼生態系を対象にした生物種間の相互作用や化学物質による生物濃縮と生物蓄積に伴う生態影響の評価を可能にする CASM と PBPK のカップリングを達成した。琵琶湖では、化学物質の複合影響下では魚食性魚が最も影響を受けること、生物種間の相互作用は生態ピラミッドの1つ違いの階層にのみに表れ、2つ以上離れた階層への伝播はないことが明らかにされた。淀川におけるプランクトン食性魚に対して、ノニルフェノールの魚体内濃度を PBPK モデルより推定した結果、三川合流以降では流れに沿って漸増傾向が示され、COD などの総括水質指標では表現し得ない化学物質による影響評価を可能にした。

以上から本論文は、河川や湖沼などを含めた広域水系における富栄養化や毒性物質汚染問題による水生生態環境リスクを評価するための方法論を構築したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年8月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。