

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	河川生物量の時空間分布を予測するハイブリッド河川生態系モデルの開発
氏名(Name)	河野 蒼仁

今日、治水と環境の調和した河川管理が求められており、治水安全度と同様に河川環境の健全度についても、定量的な評価とそれに基づく維持管理が必要とされている。現状の河川環境の健全度は特に河川生物に着目した、現地観測による河川生態系のモニタリングに基づいて評価され、維持管理が実施されている。しかし、河床掘削等による治水事業の河川環境への影響を事前に把握するにはモデルによる河川生物の応答の定量的な予測が必要不可欠である。さらに、河川生物の応答に関して、究極的には生物について生物量での評価が求められている。河川生物は時間的・空間的に生物量分布を大きく変化させるため、生物量を十分な精度で推定するためには時空間分布を考慮することが必要である。本研究では生物量を予測可能なツールとして河川生態系モデルに着目した。国内において生物量まで評価できる河川生態系モデルは少数ながら開発されており、生物量の時間的な変化についてはある程度推定可能となっているものの、現地観測に基づく十分な検討に至っておらず、生物量の空間分布まで予測可能なモデルは開発事例がない。そこで本研究では、島根県の一級河川である高津川を対象に、現地観測をおこない、河川生物量の時空間分布を予測可能なハイブリッド河川生態系モデルを開発した。最後に、開発したモデルを用いて高津川における河床掘削が河川生態系に及ぼす影響の検討をおこなった。

現地観測では、物理環境から生物量の季節変動特性に至るまでの河川生態系を総合的に理解するために、河川生態系モデル開発の基礎データとなる水温、水位、DO、日射等の物理環境モニタリングと河川生態系を構成する主要な生物である付着性藻類、底生動物、魚類の生物量モニタリングを実施した。その結果、河川生態系モデルを開発するための基礎データを十分集めることができた。また、生物に関しては、各生物の分類群ごとの定量モニタリングをおこなうことで、それぞれの河川生物の羽化や産卵等に伴う生物量や体サイズの季節的な変動を捉えることができた。さらに、出水の影響を検討した結果、出水の影響が示唆された対象の9分類群のうち4分類群において明確な負の関係性がみられ、生物ごとに出水攪乱への耐性が異なることが明らかとなった。以上より、河川内生物の季節的な変動は、羽化や産卵時期等の生活史に伴う増減が主要因であり、生物によっては出水等の攪乱に大きく影響されることが明らかとなった。

底生動物と魚類を対象として季節ごとに生物量の空間分布調査を実施し、空間分布予測モデルを開発した。モデルには一般化線形モデルを用い、目的変数は生物量、説明変数は流速、水深、河口からの距離とした。底生動物については、さらに説明変数に礫の平均粒径と砂分率を加えたモデルも開発した。調査をおこなった各季節において、魚類、底生動物共に十分な精度のモデルを開発することができた。また、底生動物については、河床材料を考慮したモデルのほうが再現性は高いが、河床材料を考慮しないモデルであってもある程度の再現性を有することが分かった。次に、山口県の一級河川である佐波川において、同様の手法で空間分布予測モデルの開発をおこない、開発したモデルで予測された生物量分布について、河川間比較をおこなった。その結果、佐波川は堰の影響で、生物量分布が変化している可能性が示唆された。さらに、佐波川において現状の堰による取水がある場合と堰による取水がない場合の底生動物の生物量分布を比較した結果、

堰による取水がない場合は生物量が増加することが予測された。以上より、開発した空間分布予測モデルは対象河川・対象時期の生物量分布の特徴を再現可能であり、河川環境が変化した場合の生物量分布の変化予測などの検討に使用可能であることが明らかとなった。

河川生物量の時空間分布を予測可能なハイブリッド河川生態系モデルの開発をおこなった。本モデルは河川流動モデル、熱収支モデル、物質輸送モデル、生物成長モデル(付着性藻類、底生動物)及び生物成長モデル(魚類)の5つのサブモデルで構成される平水時を対象とした河川生態系モデルである。ハイブリッドとは、物理モデルと統計モデル、一次元計算と平面二次元計算という2つの意味を有しており、生物量分布を統計モデルで予測し、物理環境や物質循環の時間的な変化を生態系モデルで解くことで、河川生物量の時空間分布予測を可能とした。また、水理量、水温、栄養塩について一次元計算、生物量について平面二次元計算をおこなうことで、計算負荷を軽減した。河川生物の底生動物と魚類については、優占分類群をそれぞれモデル化し、分類群ごとに生物量分布や羽化や産卵といった生活史に伴う生物量の変化を組み込むことで、実河川の生物量の時空間分布を再現した。現地観測結果を用いた再現性の検討の結果、開発したモデルから得られた水位は実測値と概ね一致し、十分な再現性であった。水温、水質についても実測値の傾向と一致していることから、十分な再現性を有していることが分かった。また、生物については、生物量の季節的な変動傾向を再現できており、ある程度の再現性を有することが分かった。

最後に、開発したモデルを用いて、現状河道と高津川における河床掘削計画河道を用いた2ケースの計算を行い、結果を比較することで、河床掘削が河川生態系に与える影響を検討した。その結果、河床掘削後には水深、流速の分布が変化することで、付着性藻類と底生動物の分布が変化し、付着性藻類の生物量は計算期間内の最大で12.7%、底生動物は最大で26.3%の増加することが予測された。魚類については、シマヨシノボリとヌマチチブは減少するが、アユをはじめとしたそれ以外の魚類は増加し、結果として全体の生物量は大きく変わらず、2%程度の増減に留まることが予測された。このように、人為的な河川の改変の影響や気候変動による外力の変化を把握するのに有効であることが示された。

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	河野 蒼仁
審査委員	主 査： 赤松 良久
	副 査： 関根 雅彦
	副 査： 朝位 孝二
	副 査： 榑原 弘之
	副 査： 山本 浩一
論文題目	河川生物量の時空間分布を予測するハイブリッド河川生態系モデルの開発 (Development of A Hybrid River Ecosystem Model for Predicting Spatiotemporal Distribution of Aquatic Organism Biomass)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>今日、治水と環境の調和した河川管理が求められており、治水安全度と同様に河川環境の健全度についても、定量的な評価とそれに基づく維持管理が必要とされている。現状の河川環境の健全度は特に河川生物に着目した、現地観測による河川生態系のモニタリングに基づいて評価され、維持管理が実施されている。しかし、河床掘削等による治水事業の河川環境への影響を事前に把握するにはモデルによる河川生物の応答の定量的な予測が必要不可欠である。さらに、河川生物の応答に関して、究極的には生物について生物量での評価が求められている。河川生物は時間的・空間的に生物量分布が大きく変化するため、生物量を十分な精度で推定するためには時空間分布を考慮することが必要である。本研究では生物量を予測可能なツールとして河川生態系モデルに着目した。国内において生物量まで評価できる河川生態系モデルは少数ながら開発されており、生物量の時間的な変化についてはある程度推定可能となっているものの、現地観測に基づく十分な検討に至っておらず、生物量の空間分布まで予測可能なモデルは開発事例がない。そこで本研究では、島根県の一級河川である高津川を対象に、詳細な現地観測に基づいて、河川生物量の時空間分布を予測可能なハイブリッド河川生態系モデルを開発した。さらに、開発したモデルを用いて高津川における河床掘削が河川生態系に及ぼす影響の検討をおこなった。</p> <p>現地観測では、物理環境から生物量の季節変動特性に至るまでの河川生態系を総合的に理解するために、河川生態系モデル開発の基礎データとなる水温、水位、DO、日射等の物理環境モニタリングと河川生態系を構成する主要な生物である付着性藻類、底生動物、魚類の生物量モニタリングを実施した。その結果、河川生態系モデルを開発するための基礎データを十分集めることができた。また、生物に関しては、各生物の分類群ごとの定量モニタリングをおこなうことで、それぞれの河川生物の羽化や産卵等に伴う生物量や体サイズの季節的な変動を捉えることができた。さらに、出水の影響を検討した結果、出水の影響が示唆された対象の9分類群のうち4分類群において明確な負の関係性がみられ、生物ごとに出水攪乱への耐性が異なることが明らかとなった。以上より、河川内生物の季節的な変動は、羽化や産卵時期等の生活史に伴う増減が主要因であり、生物によっては出水等の攪乱に大きく影響されることが明らかとなった。</p> <p>上記の現地調査に加えて、底生動物と魚類を対象として季節ごとに生物量の空間分布調査を実施し、空間分布予測モデルを開発した。モデルには一般化線形モデルを用い、目的変数は生物量、説明変数は流速、水深、河口からの距離とした。底生動物については、さらに</p>	

説明変数に礫の平均粒径と砂分率を加えたモデルも開発した。調査を実施した各季節において、魚類、底生動物共に十分な精度のモデルを開発することができた。また、底生動物については、河床材料を考慮したモデルのほうが再現性は高いが、河床材料を考慮しないモデルであってもある程度の再現性を有することが明らかとなった。次に、山口県の一級河川である佐波川において、同様の手法で空間分布予測モデルの開発をおこない、開発したモデルで予測された生物量分布について、河川間比較をおこなった。その結果、佐波川は堰の影響で、生物量分布が変化している可能性が示唆された。さらに、佐波川において現状の堰による取水がある場合と堰による取水がない場合の底生動物の生物量分布を比較した結果、堰による取水がない場合は生物量が増加することが予測された。以上より、開発した空間分布予測モデルは対象河川・対象時期の生物量分布の特徴を再現可能であり、河川環境が変化した場合の生物量分布の変化予測などの検討に使用可能であることが明らかとなった。

上記の空間分布予測モデルに加えて、河川生物量の時空間分布を予測可能なハイブリッド河川生態系モデルの開発をおこなった。本モデルは河川流動モデル、熱収支モデル、物質輸送モデル、生物成長モデル（付着性藻類、底生動物）及び生物成長モデル（魚類）の5つのサブモデルで構成される平水時を対象とした河川生態系モデルである。ハイブリッドとは、物理モデルと統計モデル、一次元計算と平面二次元計算という2つの意味を有しており、生物量分布を統計モデルで予測し、物理環境や物質循環の時間的な変化を生態系モデルで解くことで、河川生物量の時空間分布予測を可能とした。また、水理量、水温、栄養塩について一次元計算、生物量について平面二次元計算をおこなうことで、計算負荷を軽減した。河川生物の底生動物と魚類については、優占分類群をそれぞれモデル化し、分類群ごとに生物量分布や羽化や産卵といった生活史に伴う生物量の変化を組み込むことで、実河川の生物量の時空間分布を再現した。現地観測結果を用いた再現性の検討の結果、開発したモデルから得られた水位は実測値と概ね一致し、十分な再現性であった。水温、水質についても実測値の傾向と一致していることから、十分な再現性を有していることが分かった。また、生物については、生物量の季節的な変動傾向を再現できており、ある程度の再現性を有することが分かった。

最後に、開発したモデルを用いて、現状河道と高津川における河床掘削計画河道を用いた2ケースの計算を行い、結果を比較することで、河床掘削が河川生態系に与える影響を検討した。その結果、河床掘削後には水深、流速の分布が変化することで、付着性藻類と底生動物の分布が変化し、付着性藻類の生物量は計算期間内の最大で12.7%、底生動物は最大で26.3%の増加することが予測された。魚類については、シマヨシノボリとヌマチチブは減少するが、アユをはじめとしたそれ以外の魚類は増加し、結果として全体の生物量は大きく変わらず、2%程度の増減に留まることが予測された。このように、開発したモデルは人為的な河川の改変や気候変動による外力変化の影響を定量的に把握するのに有効であることが示された。

本審査においては、予備審査での質問や指摘事項に対して適切な対応がなされていたが、発表における章と章のつながりの分かり難さや、計算のイメージや調査地点のイメージができないこと等、公聴会に向けていくつかの修正事項が指摘された。

公聴会においては、本審査における修正事項に適切な対応がなされていることを確認した。また、開発モデルの他河川への適用方法や適用範囲についての質問が出るとともに、開発モデルの再現性や適用性を高めるために、今後必要なことについての説明を求められた。この公聴会での質問に対して概ね適切な回答がなされた。

以上より本研究は新規性、独創性、有用性、信頼性、完成度ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

また、審査会、公聴会での質問に対して適切な応答がなされたことから最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は以下の通りである。

【関連論文（査読のある雑誌等）】

- (1)著者氏名：赤松良久、一松晃弘、乾隆帝、河野誉仁
論文題目：佐波川における底生動物量の空間分布予測モデルの構築
学術雑誌名：土木学会論文集 B1（水工学）
巻、号、頁：第 72 巻，No.3，78-87 頁

(別紙様式第 10 号)

- 発行年月 : 2016 年発行
- (2)著者氏名 : 乾隆帝, 赤松良久, 一松晃弘, 河野誉仁
論文題目 : 高津川における底生動物量の空間分布予測モデルの構築
学術雑誌名 : 土木学会論文集 B1(水工学)
巻、号、頁 : 第 73 巻, No.4, I-1093-I_1098
発行年月 : 2017 年 2 月 20 日発行
- (3)著者氏名 : 河野誉仁, 赤松良久, 永野博之
論文題目 : 平水時と出水時を考慮した一次元・二次元ハイブリッド型河川流・河床変動モデルの開発
学術雑誌名 : 土木学会論文集 B1 (水工学)
巻、号、頁 : 第 74 巻, No.4, I_793-I_798 頁
発行年月 : 2018 年 2 月 10 日発行
- (4)著者氏名 : 河野誉仁, 赤松良久, 乾隆帝
論文題目 : 中国地方一級水系における河川水温の時空間構造変化
学術雑誌名 : 土木学会論文集 B1 (水工学)
巻、号、頁 : 第 74 巻, No.5, I_463-I_468 頁
発行年月 : 2018 年 11 月 1 日発行
- (5)著者氏名 : 河野誉仁, 赤松良久, 乾隆帝, 後藤益滋, 山口皓平
論文題目 : 環境 DNA 分析により得られた夏季のアユの生息状況と河川水温の関係性の検討
学術雑誌名 : 土木学会論文集 G (環境)
巻、号、頁 : 第 74 巻, No.7, III_457-III_462 頁
発行年月 : 2018 年 12 月 17 日発行
- (6)著者氏名 : 河野誉仁, 赤松良久, 乾隆帝
論文題目 : 高津川における河川生物量の季節的変動と出水攪乱への応答
学術雑誌名 : 土木学会論文集 B1 (水工学)
巻、号、頁 : 第 75 巻, No.2, I_517-I_522 頁
発行年月 : 2019 年 10 月 20 日発行