

氏 名	NALLAPERUMA THANTHRIGE BHAGYA MADUSANKHA
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工甲第 1149 号
学位授与年月日	令和元年 9 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	The long-term evolution of riparian vegetation in disturbed river reaches under hydrogeomorphic remodeling (水文地形学的変化における河川植生の長期変動)
論文審査委員	委員長 教 授 藤野 毅 委 員 教 授 金子 康子 委 員 教 授 川合 真紀 委 員 准 教授 深堀 清隆

論文の内容の要旨

In this particular research study, it wished to subject the Japanese river systems in investigation of the long-term evolution of riparian vegetation under hydrogeomorphic remodeling. Japanese rivers are uniquely characterized to other rivers anywhere in the world because those are being short in lengths and steep in gradients due to the narrow and mountainous topography of the country. Originally, the rivers in Japan were maintaining vegetation sparse riparian grounds. Nevertheless, the intensive anthropogenic interferences were made to the natural river systems during recent decades remodeling the riverine ecosystems. From the standpoint of riparian vegetation, the ecosystem remodeling was believed to modify the original temperament. The long-term evolution of riparian vegetation in the model Japanese river reaches was investigated in this study. In this case, the study attempted to carry out the work relating it to the hydrogeomorphic recasting caused by the human-induced alterations to the river systems. The studied cases were opted considering their representation of the typical Japanese river characteristics and the human-induced alterations to which they were subjected. For the sake of experimental variation, the study covered both the midstream (Shizukuishi) and downstream-most river reaches (Tedori and Fuji) in investigation of the long-term riparian vegetation evolution in reference to hydrogeomorphic remodeling considering the potential influence of climate change as well.

In the first case, the selected study area was a reach of the Kitakami river basin, a typical Japanese river system that is one of the steepest in Japan and is downstream of the Goshō dam, which has been operational since 1981. We performed a historical aerial imagery survey of the reach that covered 60-years of both the pre- and post- dam construction phases. Land cover evolutions along with the riparian forest cover were evaluated over time in relation to their corresponding hydrological schemes. An evident long-term forest cover encroachment trend was revealed via evidence from both hydraulics and sediment dynamics with objective verifications of flow regime characterizations pertinent to pre- and post- dam operation scenarios. Factually, this was affirmed by the results of temporal correlation analysis performed referring to the dam intervention on land cover evolutions. Furthermore, the dynamic riparian vegetation model (DRIPVEM) was employed to demonstrate its applicability in numerical modelling simulations of

spatial tree distributions, under the reference river flow scheme of the same case. Validation of the simulation resulted in a moderate-to-substantial agreement with the photogrammetric observation based on the calculated Kappa statistic of 0.65.

For the second case study, the downstream most river reach of the Tedoru River was subjected. The lower Tedoru River is considered to be a model river for studying the pronounced transformation of a riparian ecosystem from white to green, as it exhibits typical morphological characteristics of a Japanese river subjected to intense anthropogenic interference. Besides, the lower Tedoru River is located in a region that exhibits signs of global climate change. According to the quantitative analyses of sediment accounts, the river corridor has historically reached an equilibrium since the prohibition of heavy sediment extraction activities, and the water discharge is rather steady because of dams. The contemporaneous vegetation encroachment was observed in a historical imagery survey and the vegetation dynamics of the recast river reach for the past 18 years were analyzed to identify forcing hydro-climatic variables. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was adopted for the surveillance of vegetation dynamics, and multiple regression analysis was employed to evaluate its relationship with predictor variables. The river water level remained the strongest determinant of NDVI, with both Pearson correlation and standardized β coefficients of -0.405, while air temperature was next, with values of 0.363 and 0.288, respectively. These findings were further supported by the spatial distribution of temporally advancing vegetation patches determined using the aerial imagery and pixel value maxima of NDVI bands. Because the river water level predominates over the remaining hydro-climatic variables for delineating the threshold zones of hydrogeomorphic disturbances in the determination of vegetation patch domains. However, because the prevalent flow disturbance has been mitigated in terms of flow strength and the allogenic sedimentary profile, the future course of vegetation encroachment will presumably be affected by potentially reciprocal relationships between vegetation and hydrogeomorphic processes. Further, the progression of vegetation patches will presumably give rise to more pro-vegetation surroundings in the riparian terrain through reciprocal linkages with hydrogeomorphic processes. These objective predictions may help inform the proactive planning of river and coastal management. Thus, this anticipation becomes study-worthy referring to the ecological status-quo of many a Japanese river which has gone through intense anthropogenic disturbances, since it is being a model river reach. Therefore, treating this case as a reference, the study attempt proceeded to the third case study subjecting a comparable river environment.

The downstream most reach of the Fuji River was the subject area for the third case study. The Fuji River classically exemplifies the typical Japanese river morphology and its river basin has undergone intense dam constructions and thereby the flow scheme modification has been experienced in course of time. By way of a comparative study to the lower Tedoru River case, this case study followed a comparable research template as it is observing the same matter of concern, the vegetation encroachment in the riparian zone. The historical vegetation evolution was observed in a historical imagery survey and the vegetation dynamics of the recast river reach for the past 18 years were analysed to identify forcing hydro-climatic variables. The NDVI was adopted for the surveillance of vegetation dynamics, and temporal correlation analysis was employed to evaluate its relationship with predictor variables. The air temperature remained the strongest determinant of NDVI, with a Pearson correlation coefficient of 0.600, while the river water level was next, with its value of -0.275. In comparison to the lower Tedoru River case, the air temperature has presided over the hydrological variables pertinent to the lower Tedoru River.

However, the aerial imagery and NDVI pixel value maxima evidence the vegetation patch anatomy and the zonation of hydrogeomorphic disturbances. Conclusively, in reference to the lower Tedoru River, the lower Fuji River exhibits a lag in its vegetation progression and this can be objectively interpreted by the slope of the trend line and the nominal

values of reach-averaged NDVI values of both the cases. This fact can be presumably attributed to the limited extent of human-induced alterations made to the natural sedimentary processes. The heavy sediment extraction activities experienced by the lower Tadori River may have contributed substantially to modify its riparian areas to more pro-vegetation zones revamping the original vegetation suppressive sediment characteristics. Nonetheless, in the case of lower Fuji River, due to the absence of such direct interference, the natural sediment processes may have been relatively preserved manifesting the lag of vegetation encroachment in course of time.

論文の審査結果の要旨

学位論文審査委員会は、令和元年（2019年）8月21日に論文発表会を開催した。論文内容の発表に続いて質疑と論文内容について審査を行なった。以下にその審査結果を要約する。

河岸の植生は河道の状態を反映するものと考えられている。わが国のように急峻な地形の下では、流路内は礫で覆われ、その周囲は樹木で覆われていることが多い。また、その植生の違いは河道への土砂供給と河道に沿った土砂堆積の違いによって引き起こされ、その後の植生の遷移過程に影響を与える。こうした土砂供給に最も影響を与えてきたものは上流に設置されるダムの建設である。さらに、今世紀に入ってから気候変動が顕著に生ずるようになり、砂洲における植生域の出現とその拡大が明瞭である。本研究は、わが国の一級河川の中でも急峻で、ダムが設置されている主要河川を対象とし、その中でも50年以上に渡り同一の河川区域で河道と植生状況の記録（航空写真）が残されているいくつかの場所を選定し、河岸の植生域の変化について考察を行ったものである。

論文は5章で構成され、第1章は我が国の主要河川の物理的特徴と河岸植生の生態学的重要性について総括をしている。その中で河道中の物質輸送と河岸植生の関係における河川管理上の問題点を挙げている。第2章では、我が国の中でも比較的勾配の緩い岩手県北上川をケーススタディとして、河岸樹木の成長を評価できる動的な河岸植生モデル（DRIPVEM）を使用して河岸域の植生の変遷を再現し、その再現性を航空写真による植生分布との比較を試みた。モデルによる植生分布の比較では、各水文観測所の流量と水位データを入力条件としてダムの建設前と後において生ずる流量と水位の変化との関連を議論している。

第3章では、わが国の主要河川の中でも高低差が300 m程度でも急峻な石川県の手取川をケーススタディとして、画像による同様の解析を試みている。手取川は1950年以前に3つのダムが建設され、以降、1968年と1979年にも3カ所でダム建設が完了し、後に設置されたダムにおいて大部分の土砂がせき止められている。この間の植生分布の変遷を、人工衛星データを解析することによりNDVI指標をもとに再現し、この間の流量データと気象データとの関連を解析した。NDVI指標の時系列は増減を繰り返しながら過去20年間で有意な増加傾向が確認でき、水位と流量とは負の相関、気温とは正の相関であることが得られた。もう一つの評価方法としては標準化した β 値による相関の有意性でも同様の傾向が得られ、特に水位との関連性が強いことが導かれた。この河川での重要な気象条件は早春の雪解け時期であることが分かった。また、下流および海洋への土砂の供給が少なくなっていることが顕著である。急峻な地形を有する河川において土砂供給が減少することの問題がより深刻になり、植生群落においてもその多様性が失われていることが導かれた。このような河道特性の変化が生態系に及ぼす影響として、White RiverとGreen Riverとカテゴライズし、ダムが建設された後において、適切な攪乱の重要性を指摘している。

第4章では、高低差が800 m程度で、わが国で最も急峻な河川と位置付けられる静岡県を流れる富士川をケーススタディとして第3章同様なアプローチで植生の変遷について考察した。富士川水系では9つのダムが設置されており、1980年代と90年代に2カ所ずつ、2000年代にも1カ所設置されている。但し、土砂のせき止めはそれら以前に設置された古い時代のものが大部分を占めている。従って、わが国有数の急こう配河川であるにもかかわらず、土砂の供給が制御されていることから下流側の河道の地形的な変化は顕著なものではないが、今世紀に入ってから植生群落の樹林化が明確であった。研究では、過去20年間におけるNDVI指標の時系列を解析し、手取川と同様に有意な増加傾向であることが示された。富士川の場合は、特に流量が増加する時期は夏から秋にかけて発生する出水時のみであり、植生群落の増加に大きく寄与したのは流域の気温の上昇であることが統計解析によって示された。

第5章は、これまでの3つのケーススタディを統括し、ダムが設置された後の長期観測データを元に、河岸や砂洲における植生群落が拡大することのメリットとデメリットを生態学的な観点で結論づけている。わが国の河川では、治水や発電が目的で多くのダムが設置されているが、人為的な河道の制御と気候変動の影響の受け方が地域によって異なること、および適度な土砂供給を行うなどのミティゲーション行為は海洋への砂の供給のみならず、河岸の植生の多様性にもプラスの効果を与えるものと結論づけている。なお、その現象が明瞭になるには長期的視点に立つて行うことが重要であり、そうした予測には動的モデルの活用が有用であることを示している。なお、植生分布の作成は局所区域に限ったものではなく河川全体を可視化できしており、説得力のあるものに仕上がっている。以上のような学術的な成果が得られており、当学位論文審査委員会は本論文が博士（学術）の学位に相応しい内容であると判断した。

最後に、本論文の内容は国際学術雑誌である Journal of Ecohydraulics に掲載が認められ、国際学術シンポジウム the 38th IAHR World Congress（パナマ）で発表済みである。