

氏 名	HNIN WITYI
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964号
学位授与年月日	平成26年9月19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	Applicability of <i>Stenopsyche</i> (Trichoptera: Stenopsychidae) species as an indicator in environmental monitoring (ヒゲナガカワトビケラ属（トビケラ目：ヒゲナガカワトビケラ科）の環境モニタリング指標種としての利用に関する研究）
論文審査委員	委員長 准教授 藤野 毅 委員 教授 大西 純一 委員 連携教授 木幡 邦男 委員 准教授 根本 直人

論文の内容の要旨

Biomonitoring is more common in developed than in developing countries. However it is especially appropriate to use in developing countries because neither sophisticated nor expensive equipment is required. Using aquatic insects in biomonitoring is advantageous due to many reasons. Far and foremost, they are ubiquitous and stable components in stream network. Caddisflies (Trichoptera) are utilized as biomonitors in environmental monitoring and in Japanese rivers *Stenopsyche* has been frequently used to investigate environmental pollution. *Stenopsyche* is distributed mainly in the Oriental and East Palearctic Biogeographic Regions. Many species are distributed in Afghanistan, China, Nepal, India, Thailand, Borneo, Laos, Vietnam and Myanmar.

In this study, we describe the applicability of *Stenopsyche* species as bioindicators in environmental monitoring. Our objectives are to show the superiority and generality of *Stenopsyche* as indicator species in environmental monitoring and to apply these species for environmental education tool in developing countries by more accurate species identification. Here, we described three case studies of biomonitoring using *Stenopsyche* species in Japan. The characteristics of the life cycle, productivity, and metal and radioactive cesium contaminations by larvae of *Stenopsyche* species were quantified. In addition, we conducted a taxonomic study of the *Stenopsyche* species and other Trichoptera species in Myanmar. This thesis has mainly three parts with introduction and conclusions.

Part 1. Impoundment assessment of a dam using *Stenopsyche* species as biomonitors

The population dynamics of dominant macroinvertebrates against set of environmental variables were checked, with the anticipation of investigating impact of dams on downstream benthic communities pre-trial, post-trial, during trial impoundments and operational in Takizawa dam, Nakatsu-gawa River, Chichibu City from April 2005 to March 2010. Here, we identified the emergence of *S. marmorata* in tandem to damming as the consequence of the disturbance regime. Therefore, its population dynamics could be vital in quantifying the effects of damming. Life cycle and secondary production of *S. marmorata* were studied also. Secondary production, the accumulation of produced animal

biomass over time, is a functional measure that is considered a biomonitoring approach. The channel stability and flood control afforded by the dam ensures the survival of *S. marmorata* and changes in temperature regime made bivoltine life cycles to complete. This resulted in an increasing trend in the secondary production of *S. marmorata* during the trial and post-impoundment period of the dam.

Part 2. Application of *Stenopsyche* as an environmental monitoring indicator species

This part summarizes the comparative study of the characteristics of metal, Fe, Zn, Mn and As accumulation in *S. marmorata* with the other two species of different function feeding groups and different life forms; *Ephemera strigata* (Ephemeroptera) and *Protohermes grandis* (Megaloptera). All of these four metals can be detected in the three species. In this study, *E. strigata*, tended to show the highest bioaccumulation and *P. grandis* exhibited the least bioaccumulation of all four metals. These species can be appropriate to use as biomonitors for low level metal contamination also. However, *S. marmorata* has an advantage of higher abundance in population and higher individual biomass which ensures the required sample amount for analyses throughout the year.

We conducted intensive investigations of radioactive contamination in *Stenopsyche* species in Mano River in Fukushima Prefecture from April 2013 to January 2014 after Fukushima Daiichi nuclear power station accident has occurred in March 2011. The total amount of radioactive cesium detected in *Stenopsyche* sp. has been on the order of 1,000 Bq/kg in dry weight. High cesium contamination of fine particulate organic matter has been detected on the order of 10,000 Bq/kg in dry weight. There was no significant decreasing trend of cesium contamination in the larvae and organic matter against the time of fallout during our study period. By performing an excretion experiment in two different seasons, significant decreases in radioactive cesium from the body were observed within a few hours in both summer and winter. Most of the contaminants were found to have passed through the digestive tract without being assimilated into the body. However, a consistent amount of cesium-137 was detected after excretion. Biological half-life of Cs for non-wintering generation is 5.58 hr and that of wintering generation is 9.27 hr. The ratio of the total body weight to the digestive tract of *Stenopsyche* is on the order of 10:1 under dry conditions.

Part 3. Morphological characteristics of *Stenopsyche* sp. in Myanmar and a method for identification of species from larvae

Myanmar is one of the most biodiverse countries in Asia and is home to many endemic species. However, anthropogenic activities such as deforestation, mining, river regulation (e.g., dams) and agriculture have resulted in environmental degradation and biodiversity loss. Qualitative samplings were conducted from 2012 to 2014 in Chin State in western Myanmar and in the Magway Region in central Myanmar. Local people call these aquatic insects “Kyauk Poe” (Kyauk means stones, Poe means insects). Five species of *Stenopsyche* were identified by their adult characters. Three of them are new record and that brings the total number of *Stenopsyche* species to 6 in Myanmar now. Morphological characteristics of larvae of these 5 species were clearly described as larval identification keys to species level. The parent-child relationship of these adults and larvae were confirmed by the mtCOI analyses. Now, species level identification is possible from the larval stage. The Trichoptera of Myanmar comprise 227 species in 68 genera and 28 families. We recorded 21 species belonging to 15 genera and 10 families in Myanmar for the first time. This Trichoptera study fulfills the requirements for baseline biodiversity data of aquatic insects in Myanmar.

Finally, The genome profiling method was applied to identify and analyze DNA fragments of *Stenopsyche* from Japan and Southeast Asia for taxonomic classification in terms of genotype and genome distance.

論文の審査結果の要旨

水環境中に生息する生物群集を調べ水質や生態系の健全性を評価するバイオモニタリングは、科学的な分析を伴わない一方、途上国でも実施することが容易であり、その重要性がより高まっている。本学位論文は、河川上・中流部のバイオモニタリングの指標種として固着性のトビケラ目種に着目し、我が国の代表的な普通種であると同時に、多くの近縁種が東南アジア地域に分布するヒゲナガカワトビケラ属（トビケラ目；ヒゲナガカワトビケラ科）を対象とし、様々な要件の環境モニタリング指標種として利用の妥当性を論じている。また、途上国において、トビケラ目種の同定は大変遅れており、現地に生息する種を明らかにすることは広域の生息分布が明らかになるだけでなく、現地環境教育にも十分活用することができ、極めて重要な作業である。以上の内容に関して、学位論文は次の全5章で構成されている。

第1章は序論として、環境評価に係るバイオモニタリングの有効性について過去の経緯をまとめている。我が国ではドイツに学んで1950年代からの歴史があることと、環境分析機器や専門知識を有する人材が極めて限られている発展途上国での実施が最も直接的に河川環境の現状を知る手段となり得ることを主張している。次に固着性のトビケラ目の中でも、大型で生産力が大きいヒゲナガカワトビケラ属の生息分布とその生活史に関するレビューを行い、同属による河床安定性への寄与や、河川中にダムを建設したことによる同種の遺伝的多様性に与える影響評価の例として用いられていることを紹介した。本学位論文の研究目的は、1) 同属を用いた現存量の変動に与える流動の影響を示すこと、2) 人工的な汚染負荷の低い自然状態における重金属類の含有量に関する多目種との比較、および、2011年に発生した放射性物質の含有量の動態の解明、3) ミャンマーをはじめとする途上国における環境モニタリングに関するヒゲナガカワトビケラ属の利用に向けた種の分類を行うことと奨励する分類ツールを示すこと、である。

第2章では、ダムの建設直後の河川下流部においてヒゲナガカワトビケラ属が底生生物種の中で極めて現存量が大きくなったという観測事実と、第1章で言及した生活史の特性を把握した上で、5年間にわたり流動の現存量に与える影響を評価した。ダムの本格運用後は出現が認められているものの、現存量は低く抑えられており、現存量の際立つ高さは流量が制限されていたダムの試験湛水期間特有の現象であったことを指摘した。このことから流動の変動の応答として同属の現存量を調べることの優位性を示した。

第3章では、同属の重金属類や放射性物質の蓄積特性を把握するためのモニタリングを実施した。河川水質の環境基準値を下回るか基準値レベルで検出される重金属類が体内にどれほど含有するのかを他目種と比較した。対象物質は鉄、マンガン、亜鉛、ヒ素であり、比較種は年1化性のモンカゲロウ属 (*E.strigata*) と2~3年に1化のヘビトンボ属 (*P.grandis*) である。一世代中で水中に過ごす期間はヒゲナガカワトビケラ属が最も短い、各種の成長段階による含有量の違いに有意な差は認められなかった。また3種を比較した場合に鉄とマンガンでは含有量の違いが見られ、モンカゲロウ属が最も高かった。環境基準値同等のヒ素は4種の金属類の中で最も含有量が低く、結論として堆積物や付着藻類中の含有量と同等であり、体内の蓄積性は認められなかった。

次に、放射性セシウムは水からは検出限界以下であるものの流下物や生物からは依然として検出されている福島県内の河川において、ヒゲナガカワトビケラ属による放射性セシウムの蓄積特性を現地実験によっ

て明らかにした。定期モニタリングを約1年間実施し、粒状有機物の汚染と比較した結果、常に粒状有機物よりも1オーダー小さい強さで検出された。この差はヒゲナガカワトビケラ属の消化管が1個体重の10%程度であることや、別途行った現地排泄実験結果により絶食後6時間以内に体内の放射能強度が急激に減少した事実から、蓄積性はほぼ認められないということが示された。しかしながら24時間後も微量な検出が認められより長期の検証が必要である。

第4章では、ミャンマーをはじめとするアジア諸国のヒゲナガカワトビケラ属の分類と分類手法について言及している。ミャンマーでは最も開発が遅れているチン州南部の山岳域において生物サンプリングを行った。同地域は生物多様性が高いインド東北部に隣接するが、過去の英国統治時代も学術調査は行われておらず、本研究による調査が初めてである。過去の記録文献のレビューと合わせてミャンマー産トビケラ目は、28科、68属、227種である中、本調査による同国初記録は10科15属21種であった。ヒゲナガカワトビケラ属は成虫と蛹の生殖器の構造から*S. benaventis* Navás, *S. brevata* Tian & Zhen, *S. himalayana* Martynov, *S. khasia* Kimmins, *S. similis* Ulmer が確認された。その多くが同じ河川から採取されたため、幼虫と成虫それぞれの組織中のmtCOI領域を解析して両者の親子関係を明らかにした。その結果、幼虫段階での形態的特徴を挙げ、そこから種の同定が可能になった。この他に、泳動のみの手法（GP法）からの同近縁種の解析事例を紹介した。

第5章では以上を総括し、ヒゲナガカワトビケラ属の環境モニタリング指標種としての利用の妥当性を、現存量の高さ、広域に分布する普通種であること、個体重量の大きさおよび生態から、サンプリングと分析が容易であること、および環境教育の材料としても有効であることを記述し、最後に研究の課題について触れている。

平成26年6月上旬の本論文提出後、論文審査員から様々な意見が寄せられ、博士論文の構成に関する修正を施した結果、本論文は物質の体内蓄積特性を明らかにしたことに加え、途上国の環境影響評価や環境教育に向けて貴重な記録が含まれていると評し、博士論文としての内容にふさわしいと判断した。

本論文に関連する内容は、査読付きの学術雑誌3編と国際シンポジウム1編が掲載済みである。

以 上