

水生生物（カワニナ）を用いた水質モニタリングシステム

Water Quality Monitoring System Using Shellfish

リン ブーンケン 中 村 華 子 越 川 義 功

要 約

工事現場で発生する濁水処理水の環境安全性について、可視化することで一般市民にも分かりやすいモニタリングシステムを開発した。本システムにおける指標生物には、ホタル幼虫の重要な餌であり、全国に分布するカワニナ（淡水巻貝）を用いた。様々な水質に対するカワニナの応答試験において、摂餌行動は水温 8～30℃、pH5～10、濁度 300NTU 以下の条件下で観察されたことから、カワニナの摂餌行動の有無により放流水の環境安全性を合理的に見える化するシステムを構築できた。また、2つの工事現場にモニタリング水槽を設置してシステムの有効性を検証した結果、カワニナの活性が低下する低水温期（8℃以下）を除いて、カワニナの摂餌行動が現場処理放流水の水質のモニタリング指標となり得ること、大きな負担を要することなくシステム装置の維持管理が可能であることを確認した。

目 次

- I. はじめに
- II. 指標生物
- III. 水質モニタリングシステム
- IV. 様々な水質の生物応答試験
- V. 現場での適用性検証
- VI. おわりに

I. はじめに

工事現場処理水の放流管理においては、水質の放流基準となる pH や濁度などの項目について、センサーによる測定が行われている。しかし、一般の人にとって馴染みのない水質項目の数値は理解が難しく、むしろ身近な生物が正常に生きられる水かどうかを見ることができれば、直感的に理解され、安心できると思われる。こうした観点から、水生生物を指標とした水質モニタリング手法が古くから検討されており、水質の影響を連続的かつ総合的に把握できる有効な手法とされている¹⁾。

そこで、工事現場で発生した濁水を処理した放流水の水質モニタリングに淡水域の巻貝であるカワニナ (*Semisulcospira libertina*) を指標生物として用いて、水質モニタリングの仕組みを構築した。さらに、現場検証試験を実施してモニタリング技術を開発した。



Photo 1 カワニナ
(Shellfish *Semisulcospira libertina*)

II. 指標生物

近年、ホタルの生育場は全国的に減少しており、ダム建設工事などの郊外の大規模土木工事に際しては、その影響対策が求められる場合が多い。しかし、ホタルそのものを水質管理の指標生物として飼育することは困難である。一方、ホタルの幼虫、特にゲンジボタルにとって重要な餌であるカワニナは、日本全国の河川や用水路などに広く生息しており、淡水域の代表的な巻貝である (Photo 1)。貝類は耐性と感受性が高く、古くから汚染水質監視に利用されてきた²⁾。カワニナは上述した水域に生息しており、採集、もしくは入手しや

キーワード: カワニナ, 指標生物, 工事現場処理放流水, 水質モニタリング, pH, 濁度

Keywords: shellfish, construction site discharged water, water quality monitoring, pH, turbidity

Table 1 指標生物選定条件

(Characteristics of Indicator Organism)

	選定条件	カワニナ
1	水質変動に対し分かりやすい行動	pH, 水温, 濁り等の変動に対して殻閉・摂餌の行動を示す
2	入手が容易	ほぼ全国分布
3	飼育しやすい	疾病発生の例がなく管理しやすい
4	象徴性 (分かりやすい種)	ホタル幼虫の重要な餌料

すい生物である。成員の飼育は比較的容易で、寿命は3年以上と長い。また、水質の変動に対して行動パターンの変化を示し³⁾、Table 1 に示す水生生物における指標生物の選定条件を満たすことから、本研究開発の指標生物として選択した。

Ⅲ. 水質モニタリングシステム

本システムは、Fig.1 に示すような構造のモニタリング水槽である。水槽には、濁水処理後の放流水の流入口（上端）から水槽の流出口（下端）に向かって傾斜構造となっており、その上端には給餌器がある。カワニナは、餌が投入された時点で流入水質が正常であれば、斜面を登って上端の餌を食べに集まる。しかし、水質に異常があれば、閉殻し斜面から転がり下端に集積する。このようなカワニナの摂餌行動パターンをもとに、本システムでは水質の安全性を判断している。

Ⅳ. 様々な水質の生物応答試験

本システムの有効性を確認するために、室内実験で現場処理水の放流水質項目である pH と濁度を系統的に変動させ、カワニナの摂餌行動の観察実験を行った。また、水質管理項目以外の影響要因を考慮するために、水温変動による摂餌行動の影響も観察した。実験は、Photo 2 に示すモニタリング水槽 (L400×W250×H180mm) にカワニナ 10 個体 (平均殻高 25mm) を収容し、Photo 3 に示すような試験装置で pH、濁度と水温の水質を変動させた水を貯水槽 (L600×W300×H360mm) から水中ポンプで 5L/分の水量をモニタリング水槽に注入し、循環させた。試験にはチオ硫酸ナトリウムで脱塩素を処理した水道水を用いた。試験の水温は、観賞魚用のクーラー（ゼンスイ(株)製クーラーZR-180E）及びヒーター（日東製 TH1-03）で調節し、デジタル式水温計（SATO SK-250WP）で測定した。試験水の pH は、塩酸と水酸化ナトリウムの試薬で調整し、pH 計（HORIBA pH Meter D-52）で測定した。試験水の濁度は、カオリン試薬を添加し、濁度計（東亜ディーケーケーTB-251）で計測しながら調整した。カワニナに摂餌の行動をさせるために粒状の人工配合飼料（キョーリン工業(株)製品、ザリガニ・ヤドカリ・カニのエサ）を使用した。水質変動による

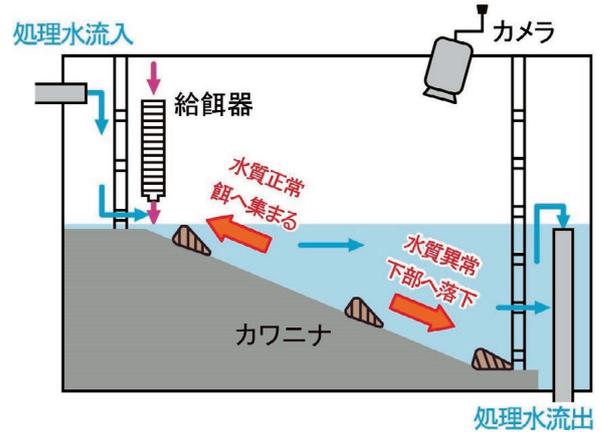


Fig.1 カワニナによる水質モニタリングの仕組み
(Scheme of the Water Quality Monitoring Using Shellfish)

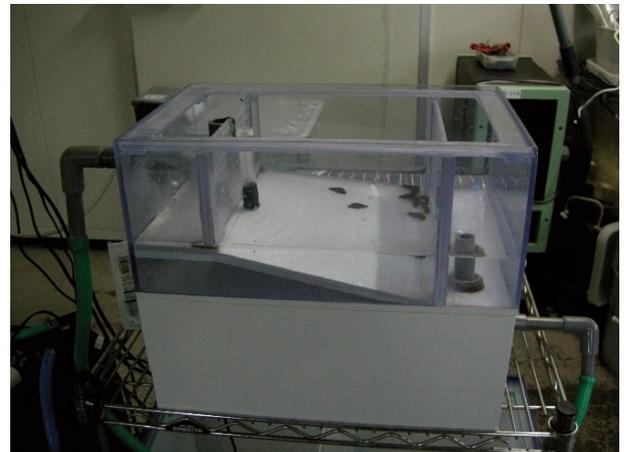


Photo 2 生物応答試験のモニタリング水槽
(Tank of the Biological Responses Experiment)



Photo 3 生物応答試験装置
(Devices of the Biological Responses Experiment)

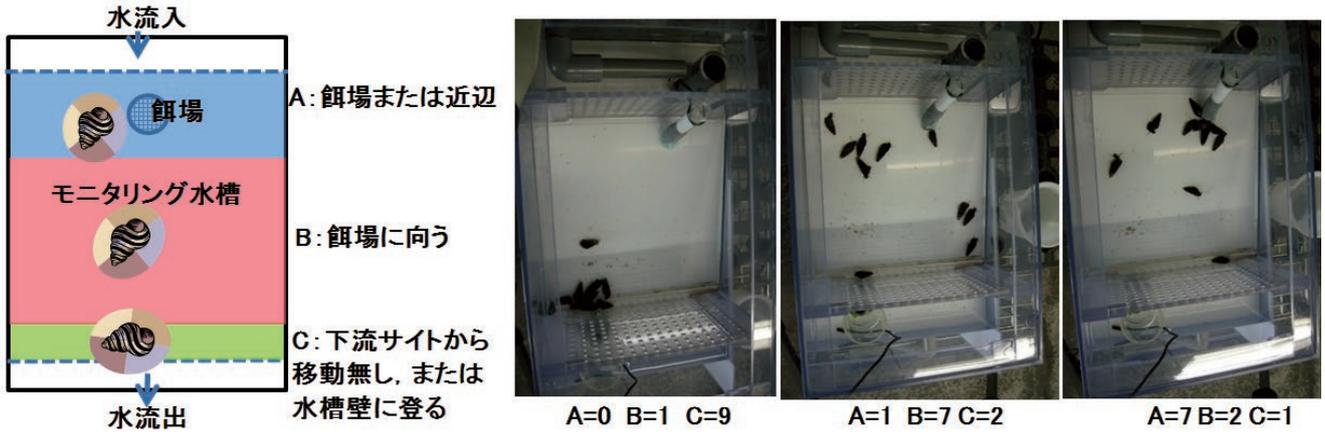


Fig.2 水質変動によるカワニナ摂餌行動パターンの定量評価方法

(Evaluation Method of the Shellfish's Feeding Behavior which is Affected by Water Quality Changes)

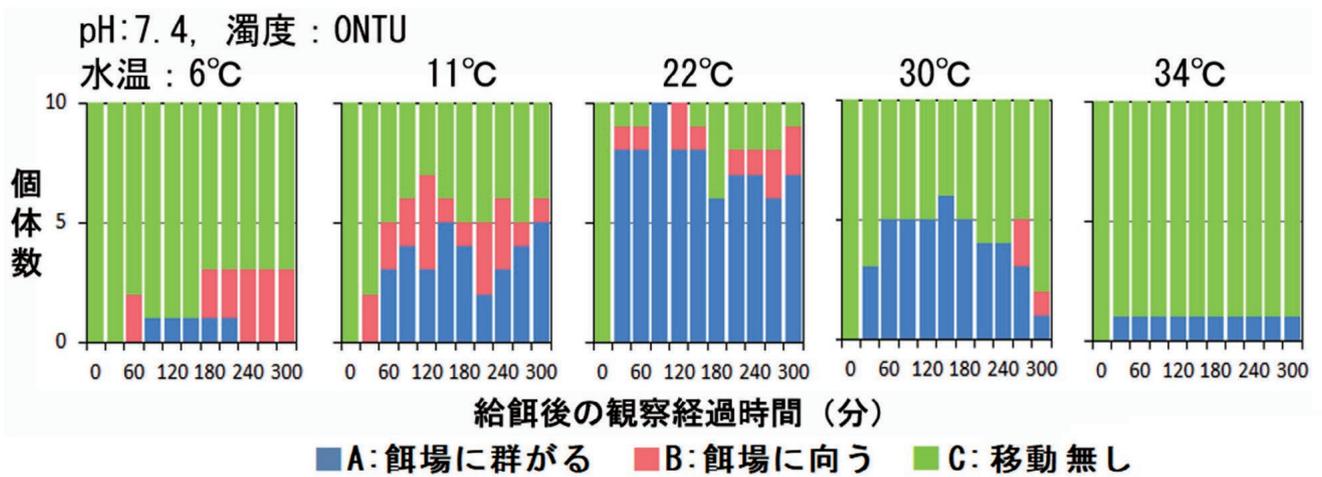


Fig.3 水温変動によるカワニナ摂餌行動パターンの定量結果

(Results of the Shellfish's Feeding Behavior which is Affected by Water Temperature Changes)

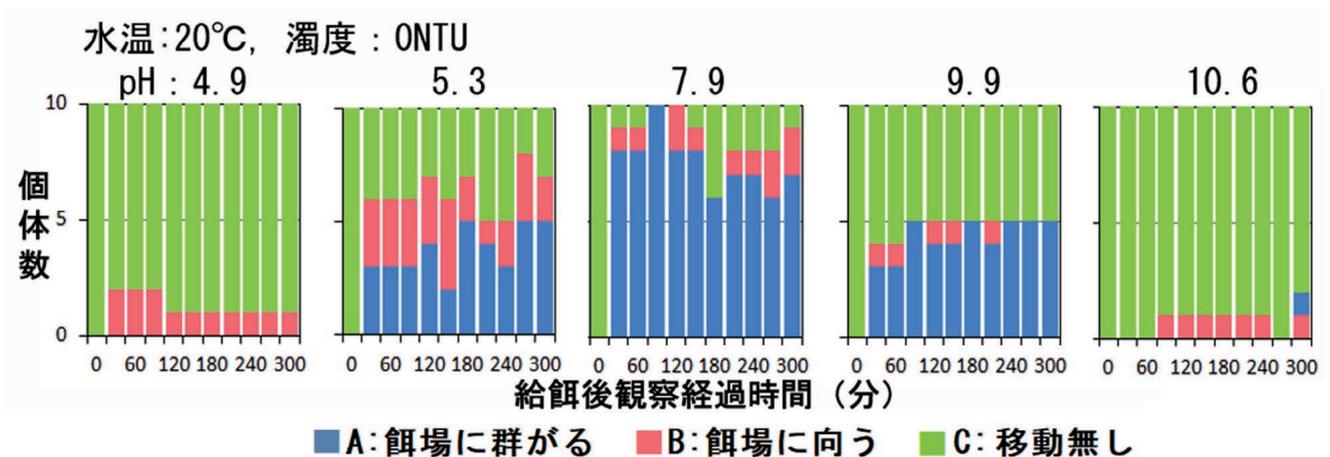


Fig.4 pH変動によるカワニナ摂餌行動パターンの定量結果

(Results of the Shellfish's Feeding Behavior which is Affected by pH Changes)

カワニナの摂餌行動の評価方法を Fig.2 に示す。モニタリング水槽に「A: 餌場に群がるエリア, B: 餌場に向かうエリア, C: 下流から移動なしまたは水槽壁に登るエリア」を区分し、給餌後の一定時間経過後の観察時に各エリアに出現した個

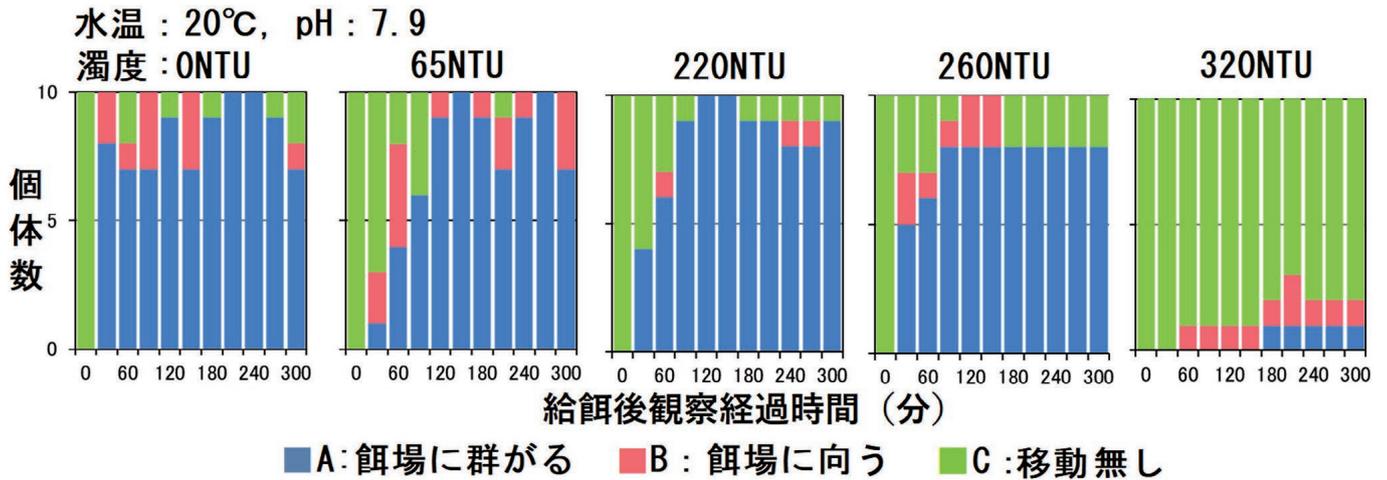


Fig.5 濁度変動によるカワニナ摂餌行動パターンの定量結果
(Results of the Shellfish's Feeding Behavior which is Affected by Turbidity Changes)

体数を計数して定量化した。試験時間は5時間とし、30分ごとに各エリアにあるカワニナを計数した。なお、供試個体のばらつき等を考慮して同系統の試験を3反復行った。

Fig.3には水温を6~34°C変動させた時のカワニナの摂餌行動の観察結果を示す。水温6°Cでは、9割以上の個体が水槽下流部に留まり、摂餌行動が観察されなかった。水温が10°Cを超えると、5割以上の個体が摂餌行動を示した。また、水温が30°C以上になると、摂餌行動の個体数が減って5割となり、水温が34°Cになると1割以下の個体しか摂餌行動を示さなかった。以上より、5割以上の個体が餌場に向かう、もしくは餌場に群がる水温は8~30°Cの範囲であることが確認された。

pH変動の応答試験結果をFig.4に示す。水温20°C、濁度0NTU水質の下でpHを4.9~10.6の範囲で変動させた。その結果、pH5以下になると摂餌行動の個体数が1割以下と急激に減少した。5割以上の個体数が餌場に向かい、もしくは餌場に群がったのはpH5~10の範囲であった。

また、濁度変動の応答試験結果をFig.5に示す。水温20°C、pH7.9水質の下で濁度を0~320NTU(カオリン懸濁物質量「SS」約280ppm)の範囲で変動させた。その結果、流入水の濁度が300NTU(SS約270ppm)以上になると、摂餌行動の個体数が急激に減り、高濁度が摂餌に障害を与えたと考えられる。なお、上述の水質範囲外に暴露して摂餌行動を示さなかったカワニナは、24時間以内に範囲内の水質に戻すと、再び摂餌行動を示した。その後、上述した暴露試験を繰り返しても同様な摂餌行動を示し、カワニナの死亡はなかった。したがって、上述の水質変動の範囲であれば、本システムはカワニナの摂餌行動に対する応答を持続的、かつ定量的に監視できることを確認した。

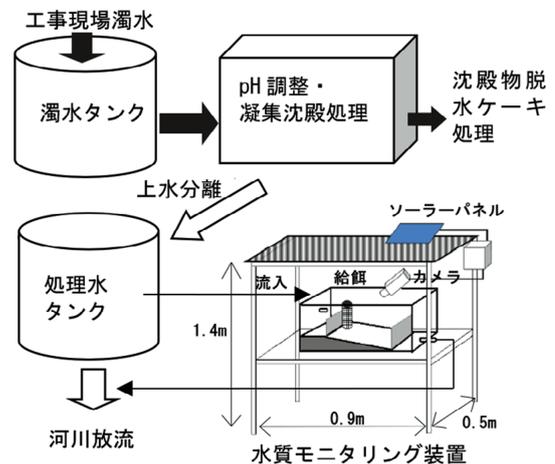


Fig.6 濁水処理プラントでのモニタリング装置導入位置
(Installation of the Monitoring Device at the Water Treatment Plant)



Photo 4 現場設置モニタリング水槽
(Water Quality Monitoring Device at Construction Site)

V. 現場での適用性検証

本システムの実用性を検証するために、2つのダム工事現場の濁水処理プラントにモニタリング水槽を設置し、カワニナの摂餌行動を観察した。1件目の現場適用は2015年6月から同年12月までの約6カ月間、2件目の現場適用は2016年7月～翌年9月までの約14カ月間であった。Fig.6に、2番目の工事現場において濁水処理施設の放流水施設に接続・設置した本システム（モニタリング水槽サイズ：L0.9×W0.5

×H1.4m (Photo 4) の模式図を示した。モニタリング水槽（L600×W300×H360mm）に凝集処理後、放流前の貯蔵タンクから水中ポンプ（5L/分）で放流水を注入した。水槽に収容したカワニナ10個体（平均殻高20mm）は、工事現場周辺の水域で採取したものであった。検証期間中、毎朝9時頃に水槽上端にある給餌用の容器に粒状の人工配合飼料を投入した。その後、30分毎にカワニナの行動を目視または遠隔監視カメラで観察し、水質のモニタリングを行った。モニタリング期間

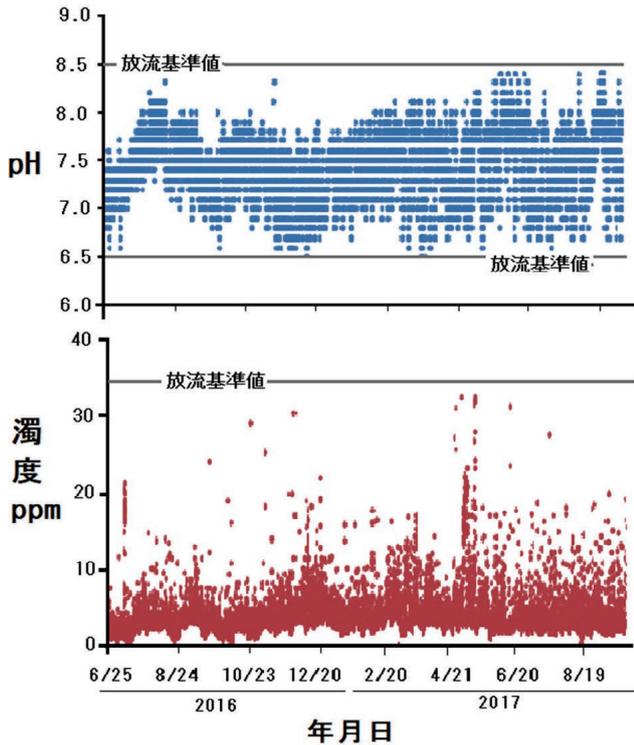


Fig.7 現場処理放流水のpHと濁度の変動
(Fluctuations of pH and Turbidity of Discharged Water from the Construction Site)

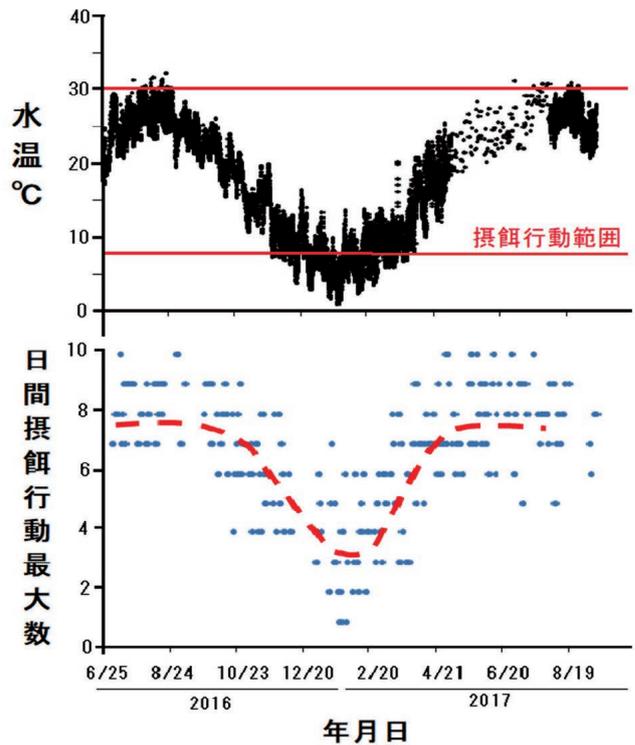


Fig.8 水温とカワニナの日間摂餌最大個体数
(Water Temperature and Daily Maximum Number of Shellfish Showed Feeding Behavior)



Photo 5 現場放流水に対するカワニナの摂餌行動
(Shellfish Showed Feeding Behavior in Discharged Water)



Photo 6 モニタリング水槽に観察された稚貝
(Young Individual was Observed at the Monitoring Tank)

中、処理放流水の pH と濁度は放流水質基準値内 (pH : 6.5 ~ 8.5, 濁度 : 35ppm (約 40NTU 以下)) に変動した (Fig.7)。前述した室内応答試験の結果より、この変動範囲の水質はカワニナの摂餌行動に支障を与えないことが判明していたが、実際に現場の水槽に収容したカワニナの日間摂餌行動最大数は常に 5 個体以上であった (Photo 5)。全モニタリング期間を通じて、カワニナの日間摂餌行動最大数の変動は、水温の変動に類似し、冬期に水温が 15℃ 以下になると、摂餌行動個体数が減り、8℃ 以下になると日間摂餌行動最大数が 5 個体以下となった (Fig.8)。現場検証終了時、カワニナ 1 個体の死骸を確認したが、生存個体の殻高は平均で 5.6mm 伸びた。また、収容個体から産出した稚貝も水槽内に多く観察された (Photo 6)。なお、検証に用いたカワニナと産出仔貝は現場周辺のカワニナ生息地に戻した。

今回の現場適用検証期間中、カワニナの摂餌行動に影響を及ぼすほどの pH および濁度の変動がなかったため、両項目の水質異常に対するカワニナの応答行動が見られなかった。しかし、室内の生物応答試験結果と同様に、現場の水槽にも正常な水質に対してカワニナが摂餌行動を継続的に示したことから、本システムは水質モニタリングの機能として一定の評価できると思われる。また、システム維持管理においては、給餌と水槽及び水中ポンプの掃除の日常作業が必要となるが、従来の管理業務内で対応可能な範囲であり、大きな負担にはならなかったと現場管理者から報告を受けた。

VI. おわりに

室内の生物応答試験では、水質変動によるカワニナの摂餌行動の応答知見が得られた。現場での適用性検証では、カワニナが摂餌行動できる水質変動範囲内において継続的に摂餌行動を示し、システム維持管理の作業性において十分に適用できることを確認した。今後、更なる現場での適用性検証を行い、モニタリング機能の感度を把握し、改善や性能の向上を図る。

なお、本システムは、建設工事現場の水放流管理適用だけでなく、様々な業種の処理水をモニタリングすることも可能だと思われる。また、ニーズに応じて IoT や AI 等を駆使して、モニタリングシステムをより効率的に運用できるようにしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 水尾寛己ほか；生物による水質モニタリングシステムについての検討，横浜市環境科学研究所報第 19 号，1995，pp.77-82.
- 2) 菅谷芳雄ほか；貝類を用いた毒性試験法，第 4 章各種無脊椎動物，生態影響試験ハンドブック-化学物質の環境リスク評価-日本環境毒性学会（編），2003.6，pp.175-186.
- 3) 姜 益俊ほか；重金属暴露による淡水巻貝類カワニナの行動への影響，九大農学芸誌，第 64 巻，第 2 号，2009.10，pp.119-123.

Water Quality Monitoring System Using Shellfish

Boon Keng Lim, Hanako Nakamura and Yoshinori Koshikawa

A simple and visual system for monitoring the quality of water discharged from construction sites was developed. Shellfish (*Semisulcospira libertina*), which is found throughout the country and is an important prey of firefly larva, was used as an indicator organism for the system. Feeding behavior of the shellfish was evaluated for monitoring the water quality. The shellfish showed feeding behavior at water temperature of 8–30°C, pH of 5–10, and turbidity below 300NTU. Thus, the normal water quality could be quantified by the feeding behavior. The monitoring system was tested at two construction sites: it required little maintenance and effectively monitored the discharged water quality, except during winter because the shellfish has low activity when the water temperature is below 8°C.