

ユスリカの生存に及ぼす地域未利用資源としての貝殻散布の影響評価

Impact assessment of shells sprinkled as regional unused resources on the survival of chironomids

●

吾妻 咲季

生命環境科学専攻 修士課程2年

村上 和仁

生命環境科学科 教授

五明美智男

生命環境科学科 教授

中村 明彦

千葉県山武土木事務所

●

2014年9月19日受付

●

Saki AGATSUMA

Master course of Life and Environment Science, Graduate students

Kazuhiro MURAKAMI

Dept. of Life and Environmental Sciences, Professor

Michio GOMYO

Dept. of Life and Environmental Sciences, Professor

Akihiko NAKAMURA

Sanmu Office of Public Work, Chiba Prefecture

●

Received : 19 September 2014

At present, there has been no adequate impact assessment on ecological systems of sediment remediation using shells. In this study, we evaluate the ecological impact of shell fragment sprinkling as regional unused resources with a focus on chironomids living in eutrophicated ponds and lakes. The survival rate, death rate, and emergence rate of *Prosilocerus akamusi* chironomids were also calculated.

Results showed that the survival rate of chironomids was reduced by spraying shells fragments. In terms of water quality, nutrient concentration decreased and pH value rose with a 100 g/m² sprinkled system of burning treated shell fragments.

We conclude that the pH increase and the decrease of nutrients led to the lower chironomid survival rate.

キーワード : Ecosystem impact assessment, Regional unused resources, *Prosilocerus akamusi*

1. 緒言

湖沼の富栄養化対策として、物理的対策や生物的対策などが挙げられる。物理的対策は底泥処理（浚渫や覆砂）、生物的対策ではバイオマニピュレーションなどが提案・実施されているが維持管理やコスト、生態系の崩壊などの問題が懸念されており、富栄養化改善が進んでいないのが現状である。その結果、湖沼の環境基準（COD または BOD）達成率は河川・海域と比較して低い値を示している（図-1）¹⁾。

平成 23 年度までの環境基準達成率において、河川では 93.0%、海域では 88.2% と高い値を示しているが、湖沼では 53.7% と依然として低い達成率である。この理由として、湖沼が閉鎖的環境下であり、内部生産によって富栄養化（有機汚濁）が進行することが挙げられる。

地域未利用資源としての貝殻散布に伴う底質改善により、富栄養化の原因であるリンの吸着除去が確認されている²⁾。しかし、貝殻散布が、複雑な生物的要因・非生物的要因を内包する生態系に及ぼす影響評価については情報が不足している。

よって本研究では、地域未利用資源としての貝殻散布に伴う生態系影響解析として、富栄養化した湖沼やため池に生息するユスリカを対象として生存率・羽化率・死滅率を算出し、底質改善材としての貝殻の有効性を検討することとした。

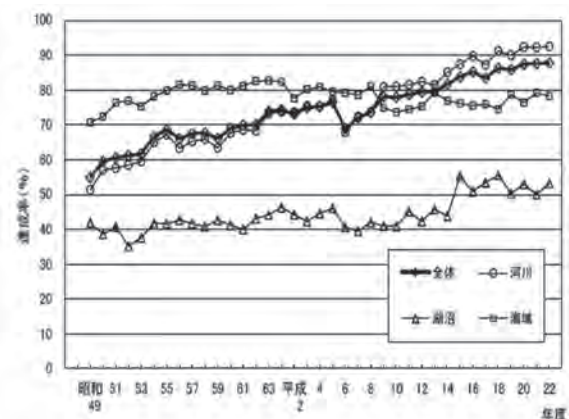


図-1 環境基準 (COD・BOD) 達成率 (環境省：平成23年度)

2. 蓮沼海浜公園ボート池の概要

千葉県山武市にある蓮沼海浜公園ボート池は、九十九里海岸から350m内陸に位置しており、表面積は10,000m²、水深は約0.74m、容積は約7,400m³である。流入河川はなく、流入経路は降雨と地下水（海水）である強閉鎖的環境下の汽水湖である（図-2）³⁾。実験池では夏季において富栄養化に伴いアオコが発生し、悪臭や景観の悪化など問題が起きている（図-3）。アオコの形成種は藍藻類 *Anabeana spiroides* や *Anabeana affinis* である。この藍藻類には空中窒素固定能という特殊な機能を有しているため、水中にリンさえあれば爆発的に増殖が可能である。富栄養化対策として水抜き工事を施行しているが富栄養化の改善には至っていない。よって、蓮沼海浜公園ボート池における富栄養化の原因は底泥中の栄養塩の蓄積であると考えられる。

3. 供試地域未利用資源

本研究では、地域未利用資源として九十九里海岸に多く散乱しているアカガイ (*Anadara broughtonii*) の貝殻（図-4）を使用し、これを1～3mmの大きさに粉砕した（図-5）。この貝殻は白色をしており、散布時に底泥の表面が明るく見え、さらに貝殻の主成分であるカルシウムは、リンを吸着し、難溶性のリン酸カルシウムを形成する。

4. 供試生物種

本研究では、影響評価対象種としてアカムシユスリカ (*Prosilocerus akamusi*)（図-6～8）を供試した⁴⁾。ユスリカ幼虫の成長過程には1～4齢期が存在するが、本研究では体長8～9.5mmの3～4齢期の個体を用いた。アカムシユスリカは、富栄養化が進んだ湖沼やため池に生息している一次捕食者である。体の色が赤く、この赤色はヘモグロビンであり、貧酸素環境下でも酸素を多く取り入れられるという特徴を有する⁴⁾。アカムシユスリカの生存を評価することにより、富栄養化が進んだ生態系の一次捕食者に及ぼす影響を評価することが可能となる。

5. 培養方法

マイクロコズム試験における水量は300～1,000mlが一般的とされており⁵⁾、本研究では透明ガラス容器（高さ：14cm、直径：7cm、容量：470ml）を使用した。現地より採取した底泥100gを容器の底に平坦になるように充填した上で環境水380mlを底泥を乱すことなく注ぎ、定温インキュベータにて培養した（図-9）これに、アカムシユスリカを10匹ずつ投入した。培養条件は、温度25℃、照度2,400lx、明暗周期（Light / Dark = 12 / 12 hr）、静置培養、培養期間は10日間とした。本実験では、アカムシユスリカ (*Prosilocerus akamusi*) への影響評価と同時に水質を分析した。水質分析項目は、T-N、T-P、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、PO₄-P、T-S、pHとした。



図-2 蓮沼海浜公園ボート池

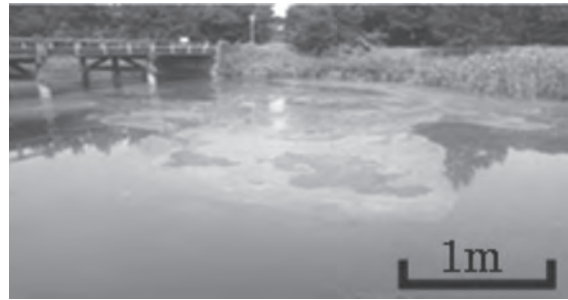


図-3 アオコ発生時の蓮沼海浜公園ボート池

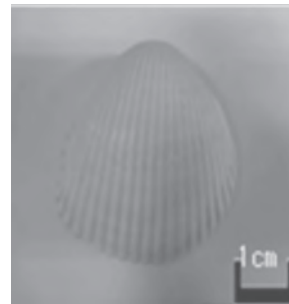


図-4 アカガイ
(*Anadara broughtonii*)

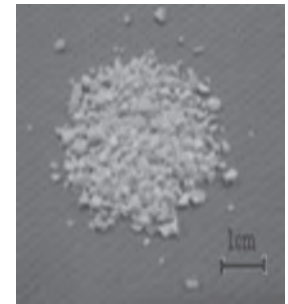


図-5 粉砕後の貝殻

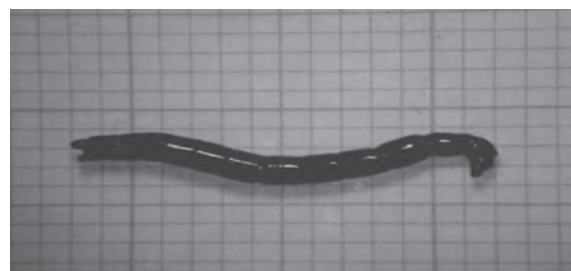


図-6 アカムシユスリカ (*Prosilocerus akamusi*)

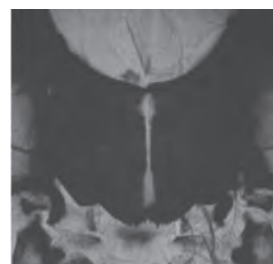


図-7 アカムシユスリカの
下唇板

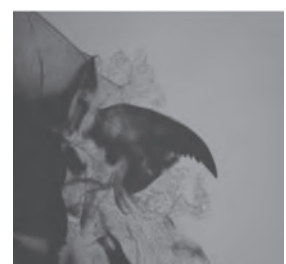


図-8 アカムシユスリカの
大顎

6. 結果および考察

6.1 生態系影響評価

6.1.1 アカムシユスリカ (*Propsilocerus akamusi*)

図-10 にアカムシユスリカ (*Propsilocerus akamusi*) の各散布系における生存率および死亡率を示した。本実験では、貝殻散布系において羽化がみられなかったため、グラフには記載していない。

各散布量の生存率は10g/m²散布系で、未焼成系；73.7%，焼成系；68.4%，50g/m²散布系で、未焼成；61.9%，焼成系；38.1%，100g/m²散布系では、未焼成系；61.9%，焼成系；47.6%を示した。これらの結果より、地域未利用資源としての貝殻散布によって、散布量が多くなるにつれ、生存率が徐々に低くなっていることが示された。また、焼成処理を施した100g/m²散布系において、生存率が47.6%と半数以下が死滅することが示された。

地域未利用資源としての貝殻の散布量とアカムシユスリカの生存率をプロットし、LC₅₀ (50% Lethal Concentration) を算出した。LC₅₀とは、半数致死濃度を意味しており、化学物質の急性毒性の強さを示す代表的指標として利用される。50%値が用いられる理由は、統計

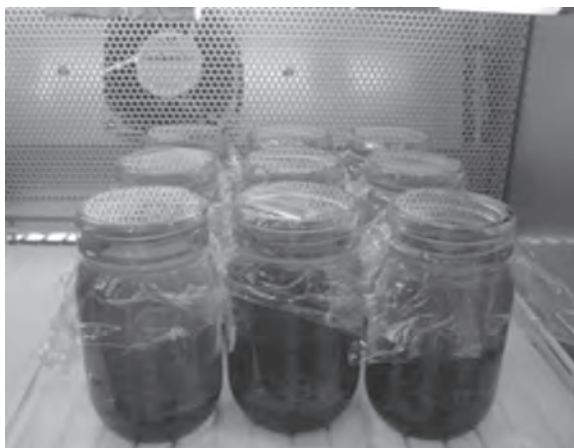


図-9 評価系としてのマイクロコズム

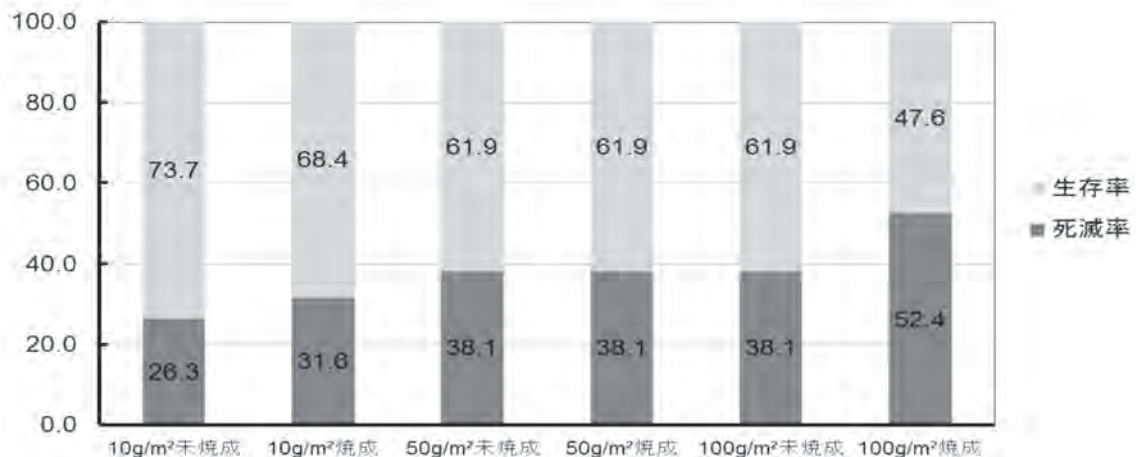


図-10 貝殻散布に伴うアカムシユスリカの生態系評価

学的に最もバラつきが小さいからである⁶⁾。地域未利用資源としての貝殻散布のLC₅₀は、未焼成系；105g/m²、焼成系；84g/m²となり、焼成処理を施すと影響が大きくなる結果となった。しかし、LC₅₀の値にもかかわらず、未焼成系・焼成系のいずれにおいてもアカムシユスリカの生存率低下がみられているため、以下に底泥間隙水中の栄養塩濃度、全硫化物、pHの分析結果から、アカムシユスリカの生存に及ぼす影響を検討することとした。

6.2 底泥間隙水

図-11, 12に底泥間隙水の分析結果を示した。グラフは、未処理系を「1」としたときの未焼成系および焼成系を比率で表したものである。

6.2.1 窒素

NH₄-N：図-11aより、散布量が多くなるにつれ、そして焼成処理を施した系ほど比率が低くなっていることが示された。100g/m²散布系において、未焼成では66%、焼成では35%まで濃度が減少した。底泥中のpHが上昇して弱塩基のNH₄-Nが水中に遊離する洗い出し(Wash Out)効果が生じたものと考えられる。特に焼成処理を施した系では、pH11と高い値を示し、底泥の間隙水がアルカリ性に傾いたことにより、未焼成に比べてNH₄-Nの溶出量が多かったと考えられる。

NO₂-N：図-11bより、NH₄-N同様、減少がみられた。100g/m²散布系では、未焼成では58%、焼成では44%まで濃度が減少していることが示された。

NO₃-N：図-11cより、の系でほぼ同程度の濃度となった。これは、底泥からのNH₄-Nの溶出により、直上水中での硝化反応が促進されたためと考えられる。すなわち、底泥から非散布系と比較して多量のNH₄-Nが溶出し、底泥中の硝化反応量が抑制されたため、間隙水中のNO₃-N濃度に変化がみられなかったものと考えられる。このように、

硝化-脱窒の一連のプロセスが貝殻散布や焼成によって促進されていた可能性が示唆され、多孔質な素材が硝化や脱窒促進のために広く使用されることから、今後、さらなる検討が必要と考えられる。

T-N：図-11dより、間隙水中におけるNO₃-N量が多かったため、急激な濃度減少はみられなかった。しかし、散布量が多くなるにつれて、減少はみられている。これは、NH₄-Nが大きく影響していると考えられる。

6.2.2 リン

PO₄-P：図-11eより、散布量が多くなるにつれ、そして未焼成系より焼成系において高い吸着効果が示された。100g/m²散布量では未焼成で55%、焼成で39%に濃度が減少したことが示された。直上水中のPO₄-P濃度も非散布系と比較して散布量が多くなるにつれ低下しており、散布した貝殻により吸着されていることが示された。これは、地域未利用資源である貝殻の主成分であるCa²⁺が以下の式のようにリンを吸着したためと考えられる。

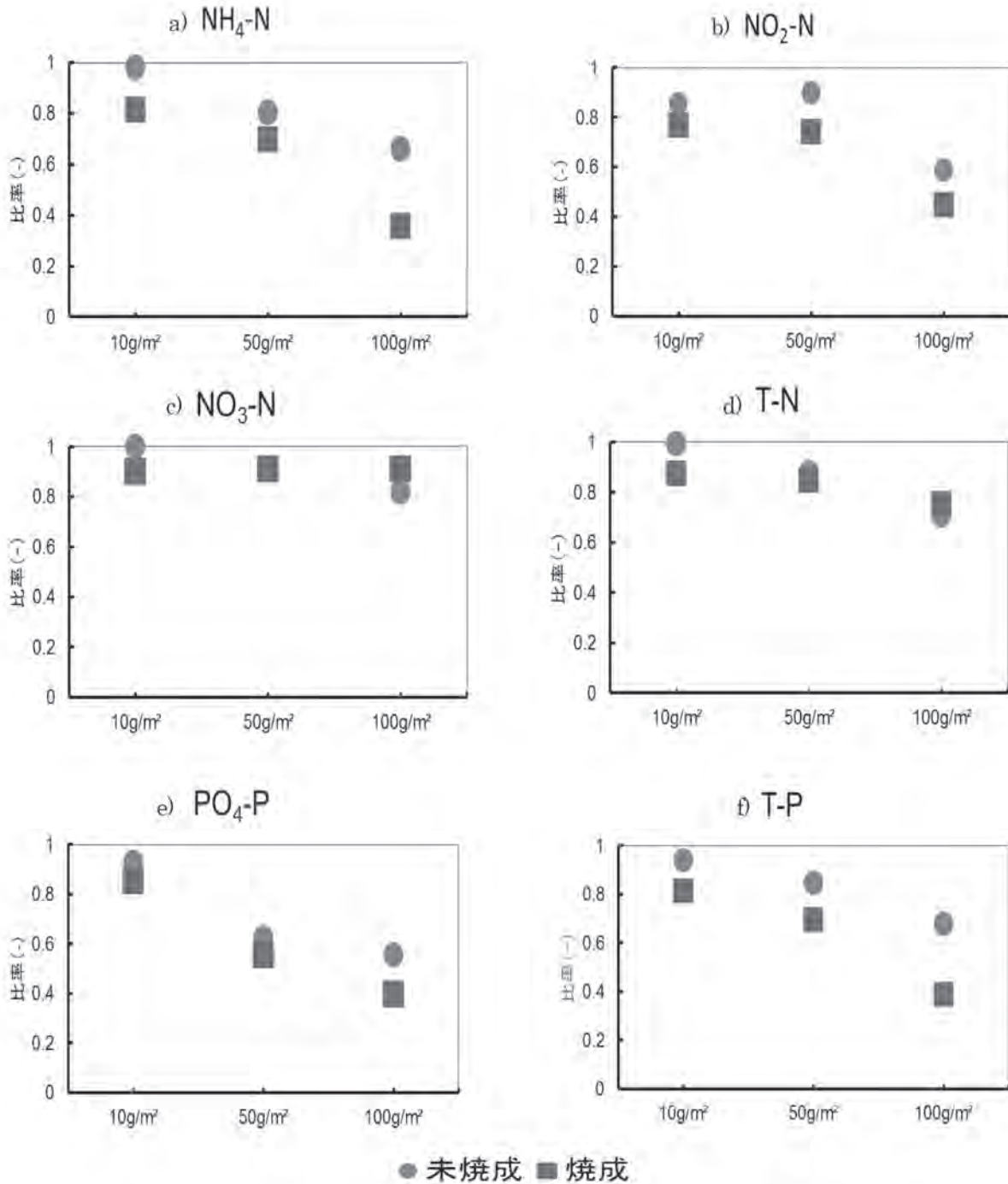
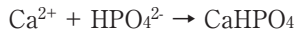


図-11 底泥間隙水中の各種栄養塩濃度比率



焼成処理を施した系で吸着力が高かった理由としては、焼成することにより散布した貝殻の間隙率が上昇し、吸着のある表面積が未焼成系よりも増加したことが考えられる。

T-P：図-11fより、 $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様に、散布量が多いほど、焼成処理を施した系において間隙水中の濃度が減少していることが示された。これは、上記の式のような化学反応によるものと考えられる。

6.2.3 全硫化物

図-12に全硫化物の濃度比率を示した。貝殻を散布することにより、硫化物量の減少がみられた。未処理系と比較すると、焼成処理を施した100g/m²散布系は1.2倍の減少量を示した。これは、散布した貝殻が硫化物を吸着したためと考えられる。さらに、貝殻の空隙による水の流動効果により好気的環境となったため、硫化物の発生が抑制されたと考えられる⁷⁾。

6.2.4 pH

図-13に各散布量におけるpHを示した。このグラフよ

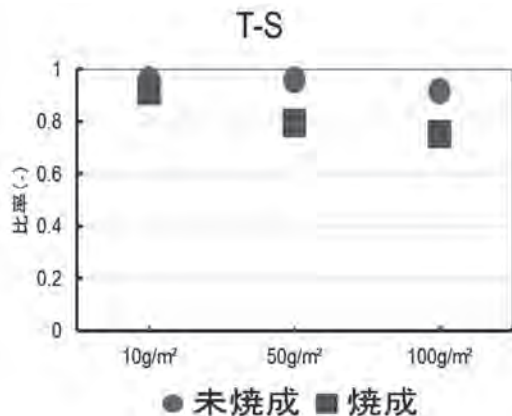


図-12 貝殻散布に伴う底泥中の全硫化物濃度比率

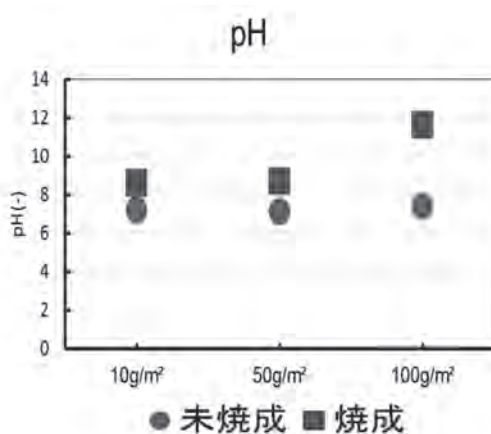
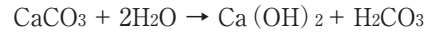


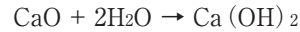
図-13 各散布系における底泥間隙水中のpH

り、未焼成系 (CaCO_3) では、未処理系とほぼ同等のpHであるが、焼成系 (CaO) においては9~11とアルカリ性を示した。水中に吸着材を散布すると、以下の化学式が成り立つ。

未焼成系：



焼成系：



ここで、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ はアルカリ性、 H_2CO_3 は酸性であることから、未焼成では中和反応によりpH7と中性付近に、焼成ではpH9~11とアルカリ性に傾いたものと考えられた。

以上の結果より、窒素においては洗い出し (Wash Out) 効果によって水中に溶出し、リンにおいては貝殻のカルシウムと化学反応を起こし難溶性のリン酸カルシウムを形成することが示された。そして焼成処理を施すことによりpHの上昇が確認された。

よって、貝殻散布によりアカムシスリカの生存率が減少した原因は、栄養塩の減少およびpHの上昇であると考えられる。また、アカムシスリカを指標とした生態系影響評価より、地域未利用資源としての貝殻散布による底質環境改善手法は、アカムシスリカの生存に影響を及ぼすと評価された。

7. 結論

地域未利用資源としての貝殻散布に伴うアカムシスリカ (*Prosilocerus akamusi*) への生態評価では以下のような成果が得られた。

- 1) 生態影響評価では、貝殻の散布量が多くなるにつれてアカムシスリカの生存率が低くなり、焼成処理を施した100g/m²散布系では生存率47.6%と半数以上が死滅した。
- 2) 底泥間隙水の分析結果より、リンおよび窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$) 濃度の減少がみられた。また、pHは焼成処理を施した100g/m²散布系で高いアルカリ性 (pH11) を示した。
- 3) 以上の結果より、貝殻散布に伴いアカムシスリカの生存率が減少した理由は、栄養塩の減少およびpHの上昇であると考えられ、富栄養化が進んだ生態系の一次捕食者に影響を及ぼす可能性が示唆された。

8. 今後の展望

地域未利用資源としての貝殻を活用することによって、水質では栄養塩濃度の減少、さらに未焼成系ではpHの中性付近での安定など効果が得られた。生物相については、植物プランクトン相では、優占種の藍藻類から緑藻類への遷移が確認され、アオコ形成種である藍藻類の増殖抑制に有効であった。さらに、富栄養化 (有機汚濁) 指標種であ

るアカムシユスリカは、貝殻散布によって生存率の減少が確認された。生態系構造においてアカムシユスリカは一次消費者に位置しており、この減少に伴い高次捕食者への影響が懸念される結果となった。

本研究で得られた成果より、高い水質浄化かつ生態系への無影響といったバランスのとれた地域未利用資源としての貝殻散布が有効であると考えられる。貝殻散布に伴い形成される難溶性のリン酸カルシウムは脊椎動物の骨の約70%を占めているため、ほぼ無害であることが証明されている。しかし、無脊椎動物を対象とした影響評価の情報は不足しているため、今後は、リン酸カルシウム散布における無脊椎動物への影響解析により、貝殻散布の安全性・有効性を検証していく必要がある。

追記：本研究の一部は、日本学術振興会平成24～26年度科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）（挑戦的萌芽研究）（課題番号24651029）「移入種生物がもたらす生態系影響評価のためのモデルエコシステムの汎用化に関する研究（代表：村上和仁）」の一環として実施された

謝辞：本研究を遂行するにあたり、千葉県山武市地域整備センターの関係各位に多大なるご理解とご協力を賜った。また、化学反応式に関して、生命環境科学科 尾上薫教授に有益なる御助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

本研究に関する論文発表

- 吾妻咲季, 村上和仁, 五明美智男, 天野佳正, 中村明彦：
富栄養化した海浜公園池における底質改善の比較検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.70, No.2, pp.I_1158～I_1163（2014）
- Saki Agatsuma, Kazuhito Murakami, Michio Gomyo：
Comparison of Bottom Sediment Improvement Materials applied to Eutrophicated Seaside Park Pond, *Proceedings IWA 7th International YWP Conference*（2014）（accepted）
- 吾妻咲季, 村上和仁, 五明美智男：
地域未利用資源としての貝殻を活用した低質改善による生態系制御，環境情報科学学術研究論文集，Vol.28（2014）（印刷中）
- Kazuhito Murakami, Saki Agatsuma, Michio Gomyo, Akiko Inoue-Kohama：
Eutrophicated Sediment Remediation using Shell Fragment as Regional Unused Resources for Nutrients Elution Control, *International Journal of GEOMATE*,（2015）（in printing）

本研究に関する学会発表

- 吾妻咲季, 村上和仁, 五明美智男, 天野佳正, 中村明彦：
富栄養化した海浜公園池における底質改善の比較検討，第39回海洋開発シンポジウム，新潟（2014.6）
- Saki Agatsuma, Kazuhito Murakami, Michio Gomyo, Akihiko Nakamura：
Influence of Regional Unused Resources as Sediment Remediation Materials, *Water and Environmental Tedurdogy Conference 2014（WET2014）* Tokyo（2014.6）
- 吾妻咲季, 宮本舜也, 村上和仁, 五明美智男, 中村明彦：
海浜公園池における生態系遷移と地域未利長資源を活用した環境修復，第17回日本水環境学会シンポジウム，彦根（2014.9）
- 吾妻咲季, 村上和仁, 五明美智男, 中村明彦：
地域未利用資源を用いた底質改善法における栄養塩抑制と生態系影響解析，第69回土木学会年次学術講演会 大阪（2014.9）

Saki Agatsuma, Kazuhito Murakami, Michio Gomyo, Yoshimasa Amano：

Water Environmental Remediation using shell Fragment as Regional Unused Resources, *IWA 9th World Water Congress & Exhibition（WWC2014）* Lisbon（2014.9）

吾妻咲季, 渡辺賢司, 村上和仁, 五明美智男, 中村明彦：

底質改善材としての貝殻散布におけるユスリカ生存に及ぼす影響評価，日本水処理生物学会第51回大会 甲府（2014.11）

吾妻咲季, 村上和仁, 五明美智男：

アオコ発生状況下における貝殻散布による栄養塩制御，第11回環境科学ポスターセッション，東京（2014.12）

吾妻咲季, 村上和仁, 渡辺賢司, 五明美智男, 中村明彦：

底質改善材としての地域未利用資源（貝殻）散布における適正散布量の検討，第49回日本水処理生物学会年会 金沢（2015.3）

参考文献

- 1) 環境省：環境白書（平成25年度版）p.225
<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h24/pdf.html>
- 2) 吾妻 咲季, 村上 和仁, 五明美智男, 天野 佳正：海浜公園池における地域未利用資源を活用した底質改善による栄養塩制御，第38回海洋シンポジウム講演集，2013
- 3) 村上和仁, 石井俊夫, 瀧 和夫：海浜公園池（汽水湖）における水の華と栄養塩負荷特性，土木学会海洋開発論文集，24巻，pp.633-638, 2008
- 4) 日本ユスリカ研究会：図説 日本のユスリカ，文一総合出版，2010, 416pp
- 5) Y.Amano, K.Taki, K.Murakami, T.Ishii, H.Matsushima：Sediment Remediation for Ecosystem in Eutrophicated Lakes, *The Scientific World*, Vol.2, 2002, pp.885-891
- 6) 環境用語集：
<http://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&ecoword=LC50>
- 7) 中原真哉, 平岡喜代典, 山本民次, 上嶋英機：石灰灰造粒物の覆砂による底質改善，水環境学会誌 Vol.35, No.10, pp159-166, 2012