港湾でのムラサキガイ脱落要因となる水質変動とその影響評価について

Impact of Water Quality Variation on Mussel Drop Off and Adhesion Characteristics

山中亮一¹・上月康則²・野上文子³・魚谷昂一郎⁴・三好真千⁵・五島幸太郎⁶

Ryoichi YAMANAKA, Yasunori KOZUKI, Fumiko NOGAMI, Koichiro UOTANI
Machi MIYOSHI and Kotaro GOTO

Mytilus galloprovincialis (mussel) is a dominant species that attach to seawalls in eutrophied enclosed ports in Japan. Mussel drop-off occurs every summertime causing sediment contamination at the sea bottom. To avoid the occurrence of mussel drop-off, we suggest to harvest an attached mussel just before the drop-off and composting it. To predict the occurrence of the mussel drop-off, we have to investigate its biological reaction to influential factors, especially water quality variation. Therefore, we conduct the field observation and reaction experiment of mussels. As a result, we clarified that adhesion characteristics of mussels are affected by the pattern of water quality variation and caused by internal seiche which improves the number of byssus of the mussels.

1. はじめに

都市近傍の港湾の多くは、海運および防災機能を持たせるために直立式の護岸に囲まれている。その結果、緩やかな勾配で海陸が繋がったエコトーンは消失し、直立護岸にはムラサキガイ (*Mytilus galloprovincialis*) などの限られた生物種が優占して付着している。本研究の対象海域である尼崎港においても同様の状況であり、ムラサキガイが春季から晩夏にかけて優占している (三好ら, 2009)。本種は、汚濁海域の直立構造物に多く付着し、毎年、夏季から秋季にかけて短期間で大量に脱落し、海底を汚損している。著者らはこの脱落による水環境悪化を抑制し、併せて海から陸への物質輸送を促すため、本種を脱落直前に採捕し陸域にて堆肥化等で利用するという新たな物質循環の創出を提案している (三好ら, 2007)。この実現には脱落発生時期の予測が必要となるが、その方法は明らかではない。そこで本研究では、ムラサキガイの脱落が発生する環境条件とそれに対する本種の生態的応答を把握し、これらにより脱落発生予測手法の考え方を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

(1) 現地観測

ムラサキガイの脱落発生状況と発生期間に特有の海

洋現象を抽出することを目的に現地調査を実施した。調査対象は大阪湾湾奥に位置する尼崎港の図-1に示す地点とした。調査対象期間は、2009年7月1日から9月16日までと、2010年4月25日から9月15日までとした。調査項目は、ムラサキガイの付着厚を水深方向に1m間隔で潜水作業により毎月1回計測するとともに、水温ロガー (Onset社製 Tidbit v2)、CT計 (JFEアドバンテック社製 COMPACT-CT) を用いて10分間隔で水温と塩分の連続観測を行った。計測機の設置水深は、水温はD.L.-1.0m, -3.0m, 塩分はD.L.-1.0mである。また、2011年7月15日から8月4日までにおいて、脱落現象の発生時期を特定するため、市販の防水デジタルカメラを用い、水中壁面の90分インターバル定点観測を行った。得られた連続水質データは、Wavelet変換による時系列周期解析を行い、時系列データと併せ、脱落発生期間のみで生じていた海洋現象を抽出した。

(2) 室内実験

水質の変動に対するムラサキガイの生態的反応を評価した。本研究では、尼崎港でのムラサキガイの脱落要因が水温・塩分であるとの指摘 (三好ら, 2009) を踏

図-1 調査地点

1	正会員	博(工)	徳島大学講師 大学院ソシオテクノサイエンス研究部
2	正会員	博(工)	徳島大学教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部
3	正会員	修(工)	ニタコンサルタント株式会社
4	学生会員	学(工)	徳島大学 大学院先端技術科学教育部
5	正会員	博(工)	徳島文理大学助教
6	非会員	修(水産)	日本ミクニヤ株式会社

まえ、検討対象とする水質項目を水温および塩分とした。殻長30mm前後で、天然のムラサキガイと同様の殻長と湿重量のアロメトリーを有する個体を選択し、水温24℃、塩分30psuに調節した水槽で給餌しながら通水口を設けたプラスチック製容器内で5日間馴致し付着させた。実験では1ケースで30個体を供した。脱着発生期間にみられた水質条件を実験条件として設定し(表-1)、それぞれに対する生態的反応を足糸本数で評価した。水温はデジタル水温調整器(OMRON社製E5CN-5デジタル調節計プログラムタイプ)を用いて変動させた。また、塩分は海水と河川水を混合させ調節した。

3. 結果と考察

(1) 脱着の発生状況と水質の関係

図-2にムラサキガイの付着厚の鉛直分布の経時変化を示す。脱着発生状態は、付着厚の経時変化から、地点ごとに差異が認められた。全体的に脱着は限られた水深帯で発生しており、その水深帯は場所ごとに異なっていた。また、付着しているバイオマス量を算定するため、剥ぎ取り調査を実施し、図-3に示す換算式を作製した。付着厚と現存量の関係は付着時の生存状況によって変化し、本研究では死亡個体が見られなかった場合を想定した。この換算式により求めた単位海岸距離あたりの最大付着量は2009年8月10日のSt.Eで約210wet.kg/mであった。これは矢持ら(1995)の大阪湾で計測された最大付着量と同程度であった。

図-4に、2011年に実施した水中カメラによる観測結果と図-5にその前後の水質特性を示す。水中写真は視界の一部が生物付着により欠けていたが、前後の時刻の写真

表-1 室内実験での水温塩分の条件

Case		経過日数							
		0	1	2	3	4	5	6	7
コント	水温 (℃)	24	24	24	24	24	24	24	24
	塩分 (psu)	30	30	30	30	30	30	30	30
Case1	水温 (℃)	26	26	26	26	26	26	26	26
	塩分 (psu)	30	30	30	30	30	30	30	30
Case2	水温 (℃)	26±2, 3時間周期							
	塩分 (psu)	30	30	30	30	30	30	30	30
Case3	水温 (℃)	24	24	24	24	24	24	24	24
	塩分 (psu)	30	29	28	27	26	25	24	23
Case4	水温 (℃)	26	26	26	26	26	26	26	26
	塩分 (psu)	30	29	28	27	26	25	24	23
Case5	水温 (℃)	26±2, 3時間周期							
	塩分 (psu)	30	29	28	27	26	25	24	23
Case6	水温 (℃)	26	26	26	26	26	26	26	26
	塩分 (psu)	30	27.5	25	22.5	20	17.5	15	12.5

図-2 ムラサキガイの付着厚の変化

図-3 付着断面積と現存量の関係

も勘案することで付着の有無を判断し、図-4のように付着個体に印を付け、撮影アングル内で付着している個体数を把握した。その結果、2011年7月27日から7月28日の間にて脱落が生じた事が分かった。この脱落発生期間前後における水質変動特性を明らかにするため、水温・塩分ロガーによる時系列データと、それらをWavelet解析により周期分解したものを図-5 (a), (b) にそれぞれ示した。図-5によると、水温では26℃以上を維持しながら潮汐が駆動力と考えられる日周期と半日周期の変動のほかに発生期間前（7月25日～27日）に3時間程度の周期の変動が生じており、この期間において塩分もわずかながら3時間程度の周期成分が大きくなっていた。このような水温変動は7月17日前後でも見られたが、塩分状況は脱落時とは異なっていた。脱落発生時の塩分は、20psuを下回っていた。塩分の周期特性は計測期間を通じて大きな差異は認められなかった。

つぎに、図-2に示した付着厚分布と水質変動の結果を基に、図-5と同様の解析を行い、脱落が生じた水深帯のみで見られた水質変動を抽出した。既往の指摘（安田ら、1986；細見、1989；矢持ら、1995；三好ら、2009；門谷、1998；Yamanakaら、2011；Verway, 1952；Bohle, 1972；Youngら、1985；Bakhmetら、2005；Oliverら、2008）は、高水温（概ね26℃以上）と低塩分（概ね20psu以下）の継続が指摘されており、本研究の対象期間においてもこのような状況は脱落した地点において生じていたが、この他にも12時間以下の数時間周期の水温・塩分変動が脱落発生地点で生じていた。この数時間周期の変動が顕著な時期の密度鉛直プロファイルを用いて、尼崎港での内部固有振動の周期を算出したところ、

図-4 水中カメラ観測による観測結果

図-5 (a) 水温変化とその周期特性

図-5 (b) 塩分変化とその周期特性

周期は2.6時間となり、これよりこの水質変動は内部セイシュによるものと推測した。すなわち、港内で発生する局所的な海域内部での現象とムラサキガイの脱落が関連していると考えられる。この様な指摘は既往の知見には無く、大変興味深い結果である。

(2) 水質変化に対するムラサキガイの生態反応

現地観測より、脱落発生期間においては、水温では26℃以上の高水温と数時間周期の水温変動、塩分では20psu以下の急激な低塩分化が生じていた。そこでこれらの水質変動に対するムラサキガイの生態的な応答を室内実験により、足糸数の経時変化で評価した。図-6 (a) から (g) に表-1 に示した各実験Caseに対する結果を示す。横軸に実験開始からの経過時間、縦軸に実験開始時からの足糸数の増減を箱ひげ図で示した。ここで、図中

の●印は中央値を表す。また、これらの比較を図-6 (h) に示した。

26℃の高水温化の影響は、コントロールとCase1の比較から、足糸数の増加を抑制する。しかし、高水温条件に水温の3時間周期の変動を加えた場合は、Case1とCase2の比較より、足糸数は増加する興味深い結果を得た。既往の知見ではこの様な指摘はなく、潮汐周期より短い周期を持つ水温変動の影響についても考慮する必要があることが分かった。塩分低下を考慮した場合は、同じ水温条件において、いずれも足糸の増加が抑えられた。すなわち、水温変化により足糸生産の活性に変化が生じるものの、それは塩分低下による影響により大きく制限されることが分かった。また、塩分低下速度による違いは、Case4とCase6の比較より、塩分低下速度が大きいほ

図-6 室内実験結果

ど足糸数の増加が少なく、塩分低下速度もムラサキガイの足糸生産の支配因子であることがわかった。また、前章で脱落期間には水温26℃前後で3時間程度の周期を伴う変動がみられたが、同時に塩分の低下がみられた。この期間では塩分低下による影響が水温変化による足糸の足糸生産の増加効果を上回ったため、ムラサキガイの脱落発生に至ったと考えられる。なおJonckheere-Terpstra検定による傾向分析によるとCase3とCase6で増加傾向が認められず、これらの条件下で足糸生産が大きく制限されることが分かった。

(3) 脱落発生予測方法の検討

前節までの検討により、既往研究の指摘である水温および塩分の閾値を考えるだけでは、ムラサキガイの付着を支配する足糸数の変動を予測することは困難であることがわかった。とくに、3時間程度の水温変動により水温の閾値(26℃以上)を平均的に超えても足糸生産が活性化されること、塩分の影響は水温による足糸生産の変化を打ち消すほど大きく、塩分低下速度が大きいほど足糸生産に強い影響を及ぼすことは興味深い結果であった。このようなムラサキガイの生態的な反応を考慮すると、ムラサキガイの付着活性については、水温と塩分の様々な変化に対する足糸生産への応答を、水温と塩分で別々に定式化し、それらに乗じることで表現しようと考えた。なお、本研究で注目した数時間周期の水温・塩分変動は周辺河川からの淡水流入に伴う密度構造の変化により、密度躍層がムラサキガイの生息水深に位置することにより、顕著になると考えている。既往の研究(Yamanakaら, 2011)でもそのような現象が指摘されている。

なお、本研究では考慮していないが、ムラサキガイの脱落予測には、水質変化による付着活性への影響の残留性や餌環境の異なる水域での応答特性変化の把握、ムラサキガイの付着を維持できなくなる足糸数の把握(水理的环境条件との関係)、内部セイシュなどの密度流を精度よく再現しよう水質予測モデルなどが必要であると考えられ、今後の課題である。

4. おわりに

本研究では、ムラサキガイの脱落現象が発生する環境条件と、その条件に対するムラサキガイの付着活性への影響を複数年複数地点における現地調査とムラサキガイの足糸数を評価対象とした室内実験により評価した。その結果、これまでの知見になかった数時間スケールの海洋現象による水温変動により足糸生産活性が高まること、塩分低下による影響は水温条件による足糸生産活性の向上効果より強く発現し、塩分低下速度の増大に

伴い、足糸生産活性の低下が著しくなることが分かった。最後にこれらの結果を踏まえ、脱落予測方法に関する考察と今後の課題について検討を行った。

謝辞: 本研究を進めるにあたって、科研費(22310049)の助成を受け、(財)国際エメックスセンター、大阪湾広域臨海環境整備センターにはご支援をいただいた。ここに謝意を記す。

参考文献

- 細見彬文(1989): ムラサキガイの生態学, 株式会社 山海堂, p137.
- 三好真千・上月康則・木村拓郎・石田達憲・森 友佑・宮地由紀・村上仁士(2007): 尼崎港でのムラサキガイ(*Mytilus galloprovincialis*)を対象とした海産バイオマス回収可能性に関する調査研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 第54巻pp.1286-1296.
- 三好真千・上月康則・山中亮一・山口暢洋・坂下広大・田中千裕・山口奈津美(2009): 港湾構造物壁面からのムラサキガイ脱落と塩分・水温変化に関する研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), vol.B2-65, No.1, pp.1246-1250.
- 門谷 茂・小濱 剛・徳永保範・山田真知子(1998): 富栄養化した水域の生態学的環境修復—北九州市洞海湾を例として—濾過食性二枚貝の生態特性を利用した海洋環境修復技術の開発, 環境科学会誌, Vol.11, No.4, pp.407-420
- 安田 徹・日比野憲治(1986): 原子力発電所の温排水が生物に与える影響—内浦湾におけるムラサキガイの生存と温排水—, 付着生物研究, Vol. 6, No. 1 pp. 35-39
- 矢持 進・有山啓之・日下部敬之・佐野雅基・鍋島靖信・睦谷一馬・唐沢恒夫(1995): 人工護岸構造物の優占生物が大阪湾沿岸域の富栄養化に及ぼす影響: 1. 垂直護岸でのムラサキガイの成長と脱落, 海の研究, Vol. 4, No. 1 pp. 9-18
- Bakhmet I.N., V.Ja.Berger, V.V.Khalaman (2005): The Effect of salinity change on the heart rate of *Mytilus edulis* specimens from different ecological zones, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol.318, pp. 121-126.
- Bohle, B (1972): Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels(*Mytilus edulis* L), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol.10, pp. 41-47.
- Oliver Lucie R., Raymond Seed and Brian Reynolds(2008): The Effect of high flow events on mussels (*Mytilus edulis*) in the Conwy estuary, North Wales, UK, Developments in Hydrobiology, Vol.202, Part3, pp.117-127.
- Yamanaka R., M. Miyoshi, Y. Kozuki, F. Nogami, T. Ishida, N.Yamaguchi, C. Tanaka, H. Matsumoto, K. Goto(2011): Impact of Water Quality Variation on Mussel (*Mytilus galloprovincialis*) Biomass in Semi-enclosed Port, Proceedings of the Twenty-first (2011) International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.853-858.
- Verwey, J. (1952): On the ecology of distribution of cockle and mussel in the Dutch Wadden sea, their role in sedimentation and the source of their food supply, Archs.Neerl.Zool., 10(2), pp.171-239.
- Young G.A.(1985): Byssus-thread formation by the mussel *Mytilus edulis*: effects of environmental factors, Marine Ecology-Progress Series, Vol.24, pp.261-271.