

横浜港内の人工干潟におけるミドリイガイの越冬時温度条件

植田 育男・西 栄二郎・眞田 将平・下迫 健一郎

Ikuo Ueda, Eijiroh Nishi, Shohei Sanada and Kenichiro Shimosako:
Thermal Conditions of Overwintering for Tropical Green Mussel *Perna viridis* at the Artificial Seaside Facilities, Yokohama Port, Tokyo Bay

はじめに

ミドリイガイ (*Perna viridis* 以下, 本種と略記) は, 西太平洋からインド洋の熱帯海域沿岸を原産とし (Siddall, 1980), 日本には 1967 年ごろ渡来した外来の付着性二枚貝である (鍋島, 1968; 杉谷, 1969)。東京湾内における本種の生息情報によれば, 1985 年に初見され (丹下, 1985), その後各地点に出現するようになり, 現在に至っている (青野, 1987, 1989; 植田, 2001, 2009)。湾内における観察によると, 本種の越冬の可否は温排水の影響と関連が深く, 温排水が排出される水域周辺では越冬が見られ, 温排水が排出されない地点では最低水温の時期に死滅することが知られている (梅森・堀越, 1991; 梶原, 1994; 萩原・山崎, 1996; 萩原・島村, 1999; 野中・萩原, 2001; 植田, 2001, 2009)。しかしながら横浜港内に設けられた人工干潟とその周辺施設における本種の生息状況調査から, 2009 年 1 ~ 3 月の冬

季に本種の越冬を観察した。周囲の立地条件から, 当地点では隣接施設に温排水を排出するようなものは見あたらず, 温排水の影響を直接受けない場所での越冬事例と考えられる。本報告では本種の越冬状況に加え, 自動記録式温度計による現場水温のデータが得られたので, この地点での越冬の経緯を報告する。

調査場所および方法

調査地点は横浜市神奈川区橋本町に建設された人工干潟 (汀距離約 50m), 港湾施設を保守・清掃する船舶に係留するための人工岸壁 (汀距離約 80m), 浮き栈橋として使用される台船, カキ礁実験に供される鋼製浮生簀からなる海岸構造物群である (図 1)。

2008 年 6 月 18 日より 2009 年 4 月 10 日まで, 月に 1 ~ 2 回頻度で, 本地点人工干潟で本種の着生状況を観察し, 不定期で一辺 10cm (100cm²) の方形枠内

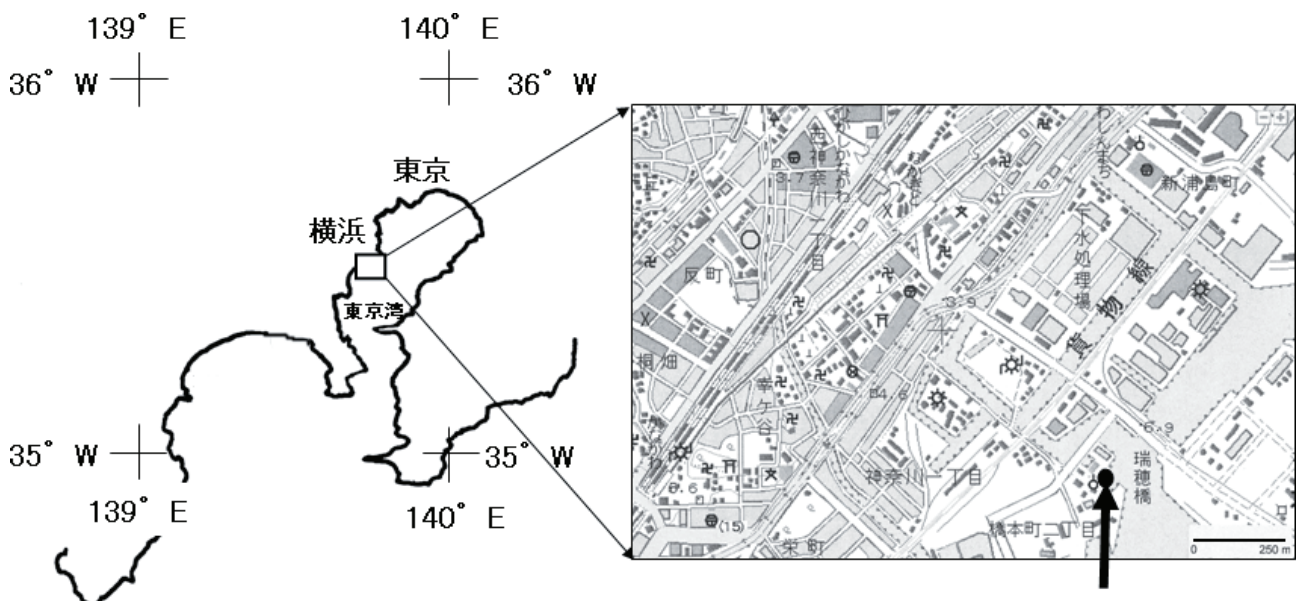


図 1. 調査地点の位置. 国土地理院配信の電子国土地図 1/25,000 に基づき作成, 座標情報を加筆. 図中の矢印の示す位置が調査地点.

の生息個体数の計測を行った。計測を行った場所は、人工干潟の上縁に当たるコンクリート製垂直護岸壁（東京湾平均海面上約 100cm：高位と表記）、砂止め用木製柵上段（東京湾平均海面上約 50cm：中位と表記）、同じく砂止め用木製柵下段とその周辺の捨石の積み石（東京湾平均海面上約 0cm：低位と表記）の 3 箇所とし、これらの場所は目測で約 5m 水平方向にそれぞれ離れている。2008 年 12 月 26 日から 2009 年 4 月 10 日まで、JFE アレック社製自動記録式温度計 MDSmarkV 型を自作した塩ビパイプ製保護カバーに装填し、人工干潟隣接の台船縁から水深 80cm 付近の海中に垂下し、水温観測を行った。この垂下場所（35.20575°N, 139.61035°E）は人工干潟低位より目測で約 30m 水平方向に離れた位置にある。記録頻度は 10 分毎、記録精度は 100 分の 1℃とした。なお、現場での水温観測に入る前の 2008 年 12 月 12 日と観測終了後の 2009 年 4 月 21 日に、本機、他の地点で同様の測定に使用した同型機 4 台および手持ちのサーモメーター（熱研製 SN3000-01 型）の合計 6 台の測定水温の比較を複数回行った。その結果、本機を含む同型機 5 台間の温度差は 0.08℃以内、サーモメーターとの温度差は約 0.3℃であったため、特段の補正を加えず本機の測定温度をそのまま記録として採用した。また 2008 年冬季は同型機による温度観測を行っていなかったため、本構造物群を管理運営する機関の観測結果を利用した。このときの観測では設置機器の保守等のため、2008 年 2 月 28 日から 3 月 25 日までの間欠測となった。観測結果から、月別平均値、月を 1～10 日の上旬、11～20 日の中旬、および 21～月末日の下旬の 3 旬に分け、旬別の平均値を求め、年度間の平均値に差があるかどうかについて *t* 検定を行った。旬別の全ての観測値を対象に、1℃区切りの区間によって区分される観測回数による頻度分布を求めた。さらに 12℃未満、11℃未満および 10℃未満の各温度帯の連続記録を全て抜き出し、連続記録より推定される各温度帯の継続時間の検討を行った。

結 果

本種生息個体の観察

2008 年 6 月 18 日における海岸構造物群全域の観察では死殻のみ確認され、2007 年に着生したと見られる個体の越冬は認められなかった。8 月 15 日、2008 年生まれと見られる幼貝（殻長：最小－最大＝2.5-8.9mm, 平均 5.3mm, N=42）の着生を初めて確認した。その後着生数は潮間帯の潮位高別に 10 月 14 日は高位 0 個体/100cm²、中位 9.1 個体/100cm²、低位 39.5 個体/100cm²を記録した。水温測定終了時の 2009 年 4 月 10 日の着生数は、高位、中位共に 0 個体/100cm²、低位 9.0 個体/100cm²で、中位では着生個体が見られなかったものの、低位では着生個体が確認された。4 月 10 日に採集された個体の殻長は、最小－最大＝14.5-

42.6mm, 平均 28.0mm (N=37) だった。これらの個体は前年 8 月の幼貝に比して全て大型個体であり、相模湾の江の島での個体群の観察から着底 1 年目の殻長の成長速度が約 3.0mm/月と推定されており（植田, 2001）、これらのことから 4 月 10 日の個体は着底後 4 ヶ月以上経過しており、前年生まれと見られた。低位の着生個体数より算出された 2008 年 10 月 14 日に対する 2009 年 4 月 10 日の着生個体数の比率は 22.8% で、概算で同等比率の個体が 2009 年に越冬したものと考えられた（表 1）。

水温観測結果

本種が死滅した 2008 年冬季の月別平均水温が最も低かったのは 2 月で 10.6℃だった。一方越冬した 2009 年冬季も 2 月が最も平均水温が低く、12.0℃だった（表 2）。

2008 年は水温観測の欠測期間がある。そこで期間をより短く区切って同時期の水温の違いを年度間で比較するために、旬別の水温を検討した（表 3）。その結果、旬別平均水温が最も低かったのは、2008 年が 2 月中旬で 10.5℃、2009 年が 2 月上旬で 11.5℃だった。また年度間で旬別平均水温を比較すると、大半の旬で 2009 年が 2008 年を上回り、特に低い水温時期に当たる 1 月中旬から 2 月下旬のすべての旬で 2009 年は 2008 年よりも高く、11℃台以上だった。一方 2008 年は 2 月上旬から同下旬までの 3 旬にわたって旬別平均水温が 10℃台だった。年間で旬別平均水温の差を検定（*t* 検定）したところ、すべての旬で年による平均値の有意差が認められた（*P* < 0.1 %）。このことから、2009 年は 2008 年に比べ最低水温期に当たる時期の水温が全般に高いことが分かった。

次に旬別に水温のデータを 1℃刻みの温度帯に分けて、観測回数の頻度分布を求めた。頻度は全観測回数に対する各温度帯に含まれる水温の観測回数を百分率で示した（表 4）。その結果、2008 年は、1 月下旬から 2 月下旬にかけて大半が 12℃を下回り、2 月は 3 旬にわたって 11℃未満の水温が大半を占めた。さらに最も平均水温が低かった 2 月中旬は 10℃未満の水温の観測回数が他の旬に比べ最も多く、全体の 9.2% を占めていた。2009 年は、観測水温の大半が 12℃を下回ったのは 2 月上旬、同下旬、3 月上旬の 3 旬だったが、いずれの期間も観測水温の大半が 11℃台で、11℃を下回った観測回数は少なく、10℃を切ったのは旬全体の観測回数の 0.1% に相当する 2 回のみだった。逆に 2009 年 2 月中旬には短期間ながら 16℃台の水温を記録し、この時期としては異例の高水温も認められた。

低水温の連続観測数を検討した。ある温度帯が連続して観測される場合は、その観測回数に相当する期間、当該温度帯が継続したものと仮定した。本報では 10 分間隔で計測したため、1 回計測する毎に 10 分間の継続とし、2 回以上連続して計測された場合、10 分にその回数を掛け合わせた時間継続したものと概算した。12℃、11℃および 10℃未満のそれぞれの温度区

表 1. 調査地点におけるミドリイガイの着生個体数

調査日	2008年		2009年		
	6/18	9/16	10/14	1/16	4/10
高位					
平均個体数 〔/100cm ² 〕	0		0		0
標準偏差					
方形枠数					
中位					
平均個体数 〔/100cm ² 〕	0	7.10	9.10	1.30	0
標準偏差		3.03	3.51	1.16	
方形枠数		10	10	10	
低位					
平均個体数 〔/100cm ² 〕	0		39.50		9.00
標準偏差			15.50		8.31
方形枠数			10		5
10/14-4/10 個体数比(%)					22.80

平均個体数は調査した方形枠内個体数の平均値を示す。方形枠数が示されていない日の個体数は、調査地点内の目視観察で着生個体が認められなかったことを示す。

表 2. 1-3 月の月別の観測水温の統計値

		1月	2月	3月
2008年	平均水温	12.60	10.60*	14.51*
	標準偏差	1.53	0.49	0.56
	最高水温	15.70	12.80	15.57
	最低水温	10.30	9.50	13.14
2009年	平均水温	12.78	12.01	12.93
	標準偏差	0.74	0.81	1.29
	最高水温	14.66	16.17	16.84
	最低水温	10.68	9.84	10.32

2008 年と 2009 年の平均水温のうち、高い方に影をつけた。*：2008 年の 2 月 28 日～3 月 25 日は欠測。

表 3. 1-3 月の旬別の観測水温の統計値および平均値の有意差検定 (t 検定) の結果

	1月上旬	1月中旬	1月下旬	2月上旬	2月中旬	2月下旬	3月上旬	3月中旬	3月下旬
2008年平均水温(°C)	14.521	12.360	11.132	10.529	10.499	10.924			14.506
標準偏差	0.687	0.722	0.323	0.261	0.421	0.683			0.559
観測数	1440	1440	1584	1440	1439	931			796
2009年平均水温(°C)	13.155	12.998	12.229	11.528	12.620	11.857	11.713	13.336	13.689
標準偏差	0.526	0.752	0.536	0.483	0.900	0.455	0.494	1.485	0.634
観測数	1440	1440	1584	1440	1440	1152	1440	1440	1584
t値	59.901	23.230	69.761	69.061	80.968	37.233			30.811
自由度	2878	2878	3166	2878	2877	2081			2378
危険水準	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			<0.001

2008 年と 2009 年の平均水温のうち、高い方に影をつけた。

分で観測水温の連続記録を全て抜き出し、温度区分毎の連続記録の継続期間の回数を頻度分布で示した(表 5)。その結果、12℃未満の水温の連続記録では総数(記録数)で 2009 年(115)が 2008 年(55)を上回ったものの、最長の連続記録では 2008 年が 2873 回連続、時間にして 478.8 時間継続したのに対し、2009 年は 395 回連続、65.8 時間の継続で、連続記録の長さでは 2008 年の方が長い記録が多かった。同じよ

うに 11℃未満、10℃未満の各水温観測の連続記録では、記録の総数も最長の連続数もいずれも 2008 年が 2009 年を上回った。

2009 年の記録の中で低水温の継続期間から見た場合、12℃未満の水温の継続が最長 65.8 時間、同じく 11℃未満の継続が最長 7.8 時間、10℃未満の継続が最長 0.17 時間であれば、本種の一部の個体は生残するものと分かった。

表 4. 1-3 月の旬別の観測水温の頻度分布

温度区間	1月上旬	1月中旬	1月下旬	2月上旬	2月中旬	2月下旬	3月上旬	3月中旬	3月下旬
2008年									
16									
15	30.3								18.2
14	42.1								59.5
13	27.6	21.6							22.2
12		34.7	0.2		0.3	5.4			
11		43.4	66.0	3.4	11.4	39.3			
10		0.3	33.8	94.0	79.2	45.4			
9				2.6	9.2	9.9			
2009年									
16					0.3			3.4	
15					1.0			14.7	3.5
14	4.2	11.7			6.3			15.0	29.6
13	55.4	36.6	13.5		22.8	1.5	2.2	22.2	55.5
12	38.6	42.8	52.7	16.6	44.7	35.9	21.0	22.8	11.4
11	1.8	8.7	32.1	71.7	24.6	60.9	75.1	20.4	
10		0.2	1.6	11.5	0.3	1.6	1.7	1.4	
9				0.1					

温度区間は表示した値以上、上の値未満の観測値を示し、頻度は全観測回数に対する各区間値内の観測値の観測回数の比率（％）で示した。

表 5. 低水温の連続観測記録の頻度分布

区間 回数(継続時間)	12℃未満		11℃未満		10℃未満	
	2008年	2009年	2008年	2009年	2008年	2009年
1 (0.17)	20	26	23	19	12	2
2 (0.33)	7	15	9	14	6	
6 (1)	15	26	8	10	8	
12 (2)	1	10	3	4	3	
18 (3)	1	10	2	2	0	
30 (5)	2	4	4	1	2	
60 (10)	1	5	3	2	2	
120 (20)	3	7	3			
180 (30)	1	2	1			
300 (50)	1	7	1			
420 (70)	0	3	3			
600 (100)	1		3			
900 (150)	0					
1200 (200)	0					
1800 (300)	1					
2400 (400)	0					
3600 (600)	1					

区間値は連続して観測された回数（および推定の継続時間）で、表示した値以上、上の値未満の連続回数を示す。頻度は各区間値に入る連続観測記録の記録数で示した。

考 察

これまで温排水が排出されない地点での本種の越冬地として、日本国内では、東京都江戸川区葛西臨海公園地先、千葉県鴨川市鴨川漁港、神奈川県江の島北西海岸、静岡県沼津市内浦長浜、同内浦重寺、愛知県三浜町河和（以上、植田，2000），および和歌山県白浜町坂田，同県田辺市鳥ノ巣（以上、田名瀬・久保田，1997）が報告されているが，当地点は東京都江戸川区に次いで北側に位置する越冬地点と考えられる。

日本に移入した本種の冬季生存と死滅に関して，これまでになされた野外の観察では次のようなことが分かっている。

1983年ごろより沖縄県で養殖用としてフィリピンのマニラ湾産の母貝を用いた養成試験が開始され，1985年12月から1986年4月までの間，沖縄本島の塩屋湾内に垂下した養殖籠内の殻長（著者らは殻高と表記している）1～6mm（平均2.5mm）の幼貝100個体入り2籠分の生残と水温の記録を報告した（嘉数・知名，1986）。それによれば，12月上旬から3月下旬まで18℃以下で水温が推移し，3月に2日間だけ14℃台を記録した以外は15℃を下回らない状況で，全体の96～98%の個体が生存した。

1991年に東京湾西岸の根岸湾内でなされた観察では，同年2月から3月にかけて最も下がった日の水温が10.1℃で，これを下限として10℃以下に下らない条件の場所で，2月下旬から3月下旬の間に死滅した（梅森・堀越，1991）。この報告では当該期間内に1日間で0.8℃，2日間で1.0℃，3日間で0.9℃，6日間で1.6℃の水温上昇が観察され，これらの上昇もしくは上昇と下降の繰り返しによって死滅したものと予想した。

東京湾中部沿岸の火力発電所の取水口と放水口の周辺で1991年9月から1992年11月まで9回行われた調査では，放水口周辺では本種の周年の着生が認められるのに対し，取水口周辺では水温が15℃前後となる12月ごろから当歳（1991年生まれ）個体のパッチ状付着集団の個体の減少が見られ，水温が11℃程度になる冬季はほとんどが死亡・脱落した（伊藤・坂口，1993）。

相模湾の江の島（植田・萩原，1990）と伊勢湾奥の名古屋港水族館前（羽生・関口，2000）の観察では，ともに冬季の最低水温が10℃前後を記録した地点での本種の越冬が確認されている。また，羽生・関口（2000）は，越冬個体が観察されなかった伊勢湾口の鳥羽市大村湾の地点では，周辺海域の冬季水温が9℃前後まで下がる日が複数日見られたことを報告した。

田名瀬・真鍋（2002）は和歌山県田辺湾内の古賀浦で2001年12月と2002年1月に殻長132-133mmの大型個体各1個体を採集し，これらの個体が3年ないし4年齢の個体であると推定している。また同地点周辺の水温観測から，1996年から2002年の冬季の最低水温は1997年の11.8℃が下限で，その他の年は最低水温が12℃以上であったことを報告している（田名瀬・真鍋，2002）。

これらの記録を比較すると，冬季水温が15℃を下

回らない条件であれば本種はほぼ100%生残するが，12℃を下回る条件では死亡個体が相当数に上るものと予想される。死滅か生存かの水温条件として，以上の既報では10℃とするものが多いが，より臨界的な条件の提示にまでは至っていない。

今回得られた情報より本種が越冬した水温条件を抽出すると，次のようなことがあげられる。

- (1) 最低水温を記録した月間の平均水温は12.0℃，月内旬別平均水温は11.5℃だった。
- (2) 冬季全期間で最も低かった水温記録は9.84℃だった。
- (3) 12℃未満の水温の継続が最長65.8時間，11℃未満の継続が最長7.8時間，10℃未満の水温の継続が最長0.17時間内だった。

梅森・堀越（1991）は1～6日間の水温上昇が0.8-1.6℃あった場合か，その繰り返し死滅に繋がったとしているが，今回観測された水温変化の例を見ると，2009年2月中旬と3月中旬に旬内で最高と最低の水温差が5.4℃と6.5℃それぞれあり，また2月14日は日内水温格差が最も大きく，24時間内で3.5℃を記録した。その前後の日も2月13日1.0℃，2月15日1.3℃それぞれ日内水温格差があり，1日内の水温上昇と下降が1.0～3.5℃あっても一部の個体は生残した。

死滅した2008年冬季は1ヶ月弱の水温の欠測があり，さらに死滅時期の着生と死亡の状況が観察されていないため，冬季死滅に関わる水温条件を抽出することは難しい。あえて2008年に得られた水温の記録から関連性のある条件を引き出すと，2月27日までの記録で月間平均水温が10.6℃，最も低かった可能性のある2月中旬の旬別平均水温が10.5℃，2月の大半の記録が11℃未満で，2月中旬は10℃未満の記録が旬全体の9.2%，時間にして22時間だったことが挙げられる。

今回報告された2009年の本種の越冬事例は，いくつかの疑問を提起する。第一に，近隣に温排水を排出するような施設が立地しない東京湾内での越冬事例が同地点を含め今後も起こるのかという点。第二に，今回の越冬に関与したと見られる高い水温条件の要因は何かという点である。これらの疑問への解答を求めるためには今後も同地点で継続的な観察を行うことに加え，東京湾内の他の地点における越冬・死滅に関する情報収集と水温観測を行う必要があるだろう。また黒潮流軸の動向と分枝流の東京湾への流入について情報を集め，高水温と黒潮との関連を検討する必要があるだろう。

謝 辞

自動記録式温度計を借用した日本エヌ・ユー・エス株式会社の関係各位，特に高野稔之氏，溝口雅彦氏には機材使用に便宜を図っていただいた。国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所の所員各位には調査に便宜を図るなど，多大の協力をいただいた。ここに記して深謝の意を表したい。

引用文献

- 青野良平, 1987. 江戸前の貝. *みたまき*, (21): 34-35.
- 青野良平, 1989. 京浜運河のミドリイガイ (3 度目の冬を越したミドリイガイ). *みたまき*, (23): 14-16.
- 萩原清司・島村嘉一, 1999. 横浜市沿岸の海岸動物相. 横浜市環境保全局編, 環境保全資料 No.188 横浜の川と海の生物 第 8 報・海域編, pp.59-90. 横浜市, 横浜.
- 萩原清司・山崎孝英, 1996. 横浜市沿岸の海岸動物相. 横浜市環境保全局編, 環境保全資料 No.183 横浜の川と海の生物 第 7 報・海域編, pp.149-184. 横浜市, 横浜.
- 羽生和弘・関口秀夫, 2000. 伊勢湾と三河湾で出現したミドリイガイ. *Sessile Organisms*, 17(1): 1-11.
- 伊藤信夫・坂口 勇, 1993. ミドリイガイ (*Perna viridis*) の生態—I 東京湾中部沿岸における周年の出現状況. 平成 5 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, pp. 124. 日本水産学会, 東京.
- 嘉数 清・知名 弘, 1986. ミドリイガイの養殖試験. 昭和 61 年度沖縄県水産試験場事業報告書, pp.139-143. 沖縄県水産試験場, 沖縄.
- 梶原 武, 1994. 横浜港における潮間帯付着生物の種類組成と現存量. 付着生物研究, 11(1): 1-9.
- 鍋島結子, 1968. ミドリイガイについて. *かいなかま*, 2(4): 15-20.
- 野中圭介・萩原清司, 2001. 横浜市沿岸域の海岸動物相. 横浜市環境保全局編, 環境保全資料 No.192 横浜の川と海の生物 第 9 報・海域編, pp.69-104. 横浜市, 横浜.
- Siddal, S. E., 1980. A clarification of the genus *Perna* (Mytilidae). *Bulletin of Marine Science*, 30(4): 858-870.
- 杉谷安彦, 1969. 瀬戸内海で採れたミドリイガイについて. *ちりぼたん*, 5(5): 123-125.
- 田名瀬英朋・久保田 信, 1997. ミドリイガイ (二枚貝綱, イガイ目) は和歌山県田辺湾で冬越し可能. *南紀生物*, 39(1): 21-22.
- 田名瀬英朋・真鍋 豊, 2002. 和歌山県田辺湾に出現した大型のミドリイガイ (軟体動物門, イガイ科). *南紀生物*, 44(1): 48-49.
- 丹下和仁, 1985. 東京湾に発生したミドリイガイ. *みたまき*, 18: 26.
- 植田育男, 2000. 日本沿岸におけるミドリイガイの分布. *動物園水族館雑誌*, 41(2): 45-53.
- 植田育男, 2001. ミドリイガイの日本定着. 日本付着生物学会編, 黒装束の侵入者, pp.27-45. 恒星社厚生閣, 東京.
- 植田育男, 2009. 相模湾および周辺海域における 2001 年以降のミドリイガイの生息状況 (2009 年度日本付着生物学会研究集会 (第 16 回) 講演要旨). *Sessile Organisms*, 26(2): 95.
- 植田育男・萩原清司, 1990. 江の島のミドリイガイその後. *南紀生物*, 32(2): 99-102.
- 梅森龍史・堀越増興, 1991. 東京湾西岸におけるミドリイガイの冬季死亡と生残の区域差. *La mer*, (29): 103-107.

植田育男：新江ノ島水族館

西 栄二郎：横浜国立大学

眞田将平・下迫健一郎：国土交通省関東地方整備局横浜
港湾空港技術調査事務所