

相模湾の江の島周辺におけるミドリイガイの冬季生残率に 地点差をもたらす要因について

植田 育男

Ikkuo Ueda: Factors Contributing to Survival Rate Differences of the
Asian Green Mussel around Enoshima Island, Sagami Bay

はじめに

ミドリイガイ *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) は、西太平洋からインド洋にかけての熱帯浅海を原産とする付着性イガイ科の二枚貝で、日本では 1967 年頃から出現記録 (鍋島, 1968; 杉谷, 1969) があり、相模湾では 1988 年に初めて生息が確認された (植田・萩原, 1989) 外来生物である。本種は熱帯浅海域が本来の生息域であるために、日本沿岸での定着には冬季の低水温条件が障壁となっていると考えられる (植田, 2001)。

2001 年 - 2013 年の期間に繰り返し調査された関東圏のミドリイガイの分布調査の結果、相模湾の湾奥に位置する江の島周辺では、「江の島北西岸」、「境川右岸 250 m 上流」、「片瀬漁港」の 3 地点で、全調査年にミドリイガイが生息し、越冬したことが分かった (植田, 2014)。一方で、「江の島北東岸」、「江の島漁港」、「江の島ヨットハーバー」、「江の島南岸」の 4 地点で、調査年によってミドリイガイの生息・非生息があり、生息状況は安定していない (植田, 2014)。前者 3 地点は後者 4 地点に比べると境川河口に近く、植田 (2014) は、

本種の越冬例については境川の河川水の影響を考慮する必要があると指摘している。

そこで、江の島周辺で境川河口から約 0.2 km 離れた片瀬漁港地点と河口から約 0.6 km 離れた湘南港地点 (江の島ヨットハーバー) において、ミドリイガイの冬季生残率を調査し、境川の河川水がどのように影響を与えているかを考察した。

方法

湘南港ヨットハーバー地点 (St.S) に 2013 年 12 月 26 日から、片瀬漁港地点 (St.K) に 2013 年 12 月 28 日から、二枚貝養殖用生簀かごに江の島北西岸で採集されたミドリイガイを、St.S に合計 98 個体、St.K に合計 100 個体を 2 かごに分けて入れ、大潮最大低潮線から水深 1 m の位置に垂下し、St.S で 2014 年 4 月 4 日まで、St.K で 2014 年 4 月 8 日までの期間、ミドリイガイの生残状況を観察した (図 1; 図 2)。同上の期間、両地点で生簀かごと同等水深に自動記録式温度計 (UTBI-001 型, オンセット社) を垂下し、10 分間隔の

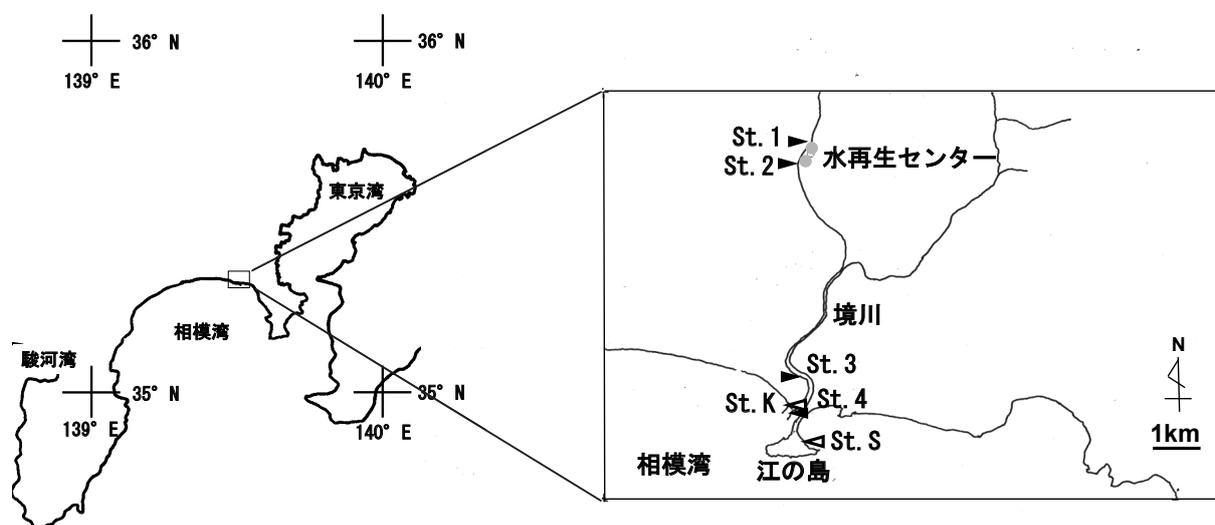


図 1. 調査地点.

水温測定を行った。それぞれの地点への境川河川水の流出状況を把握するため簡易塩分計（テトラハイドロメーター テトラ社）を用いて表層水の塩分を計測した。

境川中流域にある隣接する2か所の水再生センターから境川へ排水が加わり、その合計量は河川流量の約22%と見積もられた（神奈川県，2014；横浜市環境創造局下水道水質課，2015；藤沢市，2016の各報告値より算出）。そのため河川水温の観測に際しては、河口7.7 km上流（上流側水再生センター排水口より0.15 km上流）（St.1）と河口7.0 km上流（下流側水再生セン

ター排水口より0.3 km下流）（St.2），河口1.1 km上流（St.3），河口0.2 km上流（St.4）の4地点を選定した（図1；図2）。例年水温が最も低くなる2月を観測時期とし、一度目は2014年2月3日11時～2月7日19時40分，二度目は2014年2月19日18時10分～2月26日10時20分の2期間で同時測定を行った。測定には、自動記録式温度計（UTBI-001型，オンセット社）を使用し，毎時0分から10分間隔で測定温度を記録するよう設定した。水面より空中に露出することがないように，河川観測地点の水面より0.5 m以上の水



図2. 調査現場および調査時写真。1:St.1, 2:河川に垂下された自動記録式温度計（St.1）, 3:St.2, 4:St.3, 5: St.4, 6:St.K, 7:St.S, 8:自動記録式温度計（左側）と生簀かごに入れられたミドリイガイ（右側）。

表 1. St.K と St.S における 2014 年冬季のミドリイガイ生残実験結果
生残率の有意差の検定は、生残率の逆正弦変換値に基づき、地点要因と殻長要因の二
要因による参加者間二元配置分散分析により行った。判定の ** は確率水準が 0.01 未満で
有意差の認められることを、ns は有意差が認められないことを示す。

St. K	殻長クラス	2013/12/28 個体数	2014/4/8 生残個体数	生残率	逆正弦変換値
かご1	40mm ≤	34	28	0.82	0.97
	40mm >	16	16	1.00	1.57
かご2	40mm ≤	35	28	0.80	0.93
	40mm >	15	15	1.00	1.57

St. S	殻長クラス	2013/12/26 個体数	2014/4/4 生残個体数	生残率	逆正弦変換値
かご1	40mm ≤	36	9	0.25	0.25
	40mm >	14	11	0.79	0.90
かご2	40mm ≤	34	9	0.26	0.27
	40mm >	14	11	0.79	0.90

二元配置 分散分析	SS	df	MS	F	判定
地点間	0.98	1	0.98	392	**
殻長クラス間	0.72	1	0.72	288	**
地点×殻長	0.005	1	0.005	2	ns
かご	0.01	4	0.0025		

表 3. St.K と St.S におけるミドリイガイ
生残実験期間中の表層水の塩分測定結果

	St.K	St.S
平均塩分(psu)	20	30
標準偏差	3.5	0.4
測定回数	5	4
最高(psu)	27	31
最低(psu)	10	29

表 2. St.K と St.S における 2014 年冬季の水温観測データ

データは 1-3 月期全期間。1 月, 2 月, 3 月および各月上旬 (1-10 日), 中旬 (11-20 日), 下旬 (21- 月末日) に分けて観測値の平均と標準偏差で示した。すべ
ての期間について平均水温は St.K > St.S だったため, 平均値の有意差を片側 t 検定によりおこなった。判定の ** は確率水準 0.01 未満で有意差のあることを示す。

2014年	1-3月全	1月	2月	3月	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
St.K													
平均水温(°C)	13.3	14.0	12.7	13.2	14.8	13.5	13.8	12.5	12.2	13.5	13.0	12.8	13.8
標準偏差	1.08	0.81	1.25	0.69	0.77	0.52	0.45	1.47	1.15	0.21	0.30	0.51	0.68
St.S													
平均水温(°C)	12.2	12.8	11.3	12.5	13.6	12.0	12.6	11.6	10.6	11.8	11.7	12.2	13.6
標準偏差	1.22	0.91	1.17	1.06	0.85	0.60	0.43	1.40	0.83	0.68	0.61	0.68	0.70
片側t検定判定	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

深を確保した位置に温度計を垂下した。

生残実験結果については、かごごとの生残率と、供試
個体の殻長で 40 mm 以上のグループと 40 mm 未満の
グループに分けて殻長クラスごとの生残率を求めた。生
残率は、実験開始時個体数に対する実験終了時生残個体
数の比率で求めた。さらにこの比率の逆正弦変換値を求
め、その値に基づき、地点要因 (2 水準) と殻長要因 (2
水準)、かごを参加者として参加者間二元配置分散分析
を行った。計算に際しては、統計計算フリーソフト js-
STAR vr.2.9.9j β 版を使用した。

St.K と St.S の水温データについては、1 ~ 3 月全期
間、月ごとおよび月旬ごとの平均水温と標準偏差を算定
し、各期間の地点間の平均値の有意差を検定した。これ
らの計算にはエクセル統計 2010 を使用した。

境川調査地点で得られた水温データについては、同じ
期間の St.K と St.S の水温データを含めて二度の測定
回ごとに一元配置分散分析を行い、シェッフェ法による
多重比較に供した。この計算にはエクセル統計 2010 を
使用した。

結 果

ミドリイガイの生残実験の結果を表 1 に、観測水温の
データを表 2 に、塩分の測定結果を表 3 に示した。供試
個体全体では St.K の生残率が 0.87 だったのに対して、
St.S の生残率は 0.41 で、地点間の生残率には有意な差
が認められた (二元配置分散分析, 地点要因 $P < 0.01$)。
観測水温の平均値の差を見ると、すべての期間で、St.K
の方が St.S に比べて高く、1 ~ 3 月全期間の平均水温
で St.K が 13.3°C に対して St.S が 12.2°C で 1.1°C、最
も低水温の時期である 2 月の平均水温で St.K が 12.7°C
に対して St.S が 11.3°C で 1.4°C の差が見られた。すべ
ての期間において平均値間には有意差が見られた (2 試
料 t 検定, $P < 0.01$)。塩分の測定結果では、平均値で
St.K が 20 psu に対して St.S が 30 psu で、片瀬漁港
地点において境川河川水の波及の程度が大きいことが示
唆された。

境川調査地点, St.K および St.S の地点ごとの測定水
温の推移を図 3 に、平均値と多重比較の結果を図 4 に示

した。一度目観測時（2月上旬），水温測定回数は629回で，平均水温は，St.1が12.0℃，St.2が15.5℃，St.3が13.8℃，St.4が13.7℃，St.Kが12.9℃，St.Sが11.8℃だった。二度目観測時（2月下旬），水温測定回数は962回で，平均水温は，St.1が11.9℃，St.2が14.5℃，St.3が13.9℃，St.4が13.7℃，St.Kが13.4℃，St.Sが11.2℃だった。二度の観測の結果，上流側水再生センター直上のSt.1で最も低く，下流側水再生センター直下のSt.2で最も高く，その間で平均水温にして2.6～3.5℃の差があることがわかった（シェッフエ法， $P < 0.01$ ）。また境川の下流に行くにしたがって水温が徐々に低くなるものの，水再生センター

直上程度に冷えない温度で河口直上のSt.4まで河川水が流下していた。河口に隣接する片瀬漁港（St.K）では，有意差は見られるものの（シェッフエ法， $P < 0.01$ ），St.4と近い水温となっていることが分かった。二度の測定期間中の水温差では，St.KがSt.Sに比べ平均水温で1.1～2.2℃高いことがわかった（シェッフエ法， $P < 0.01$ ）。

考 察

今回の調査結果を整理すると，境川河口地点に近い片瀬漁港（St.K）と河口から幾分距離を隔てた江の島島

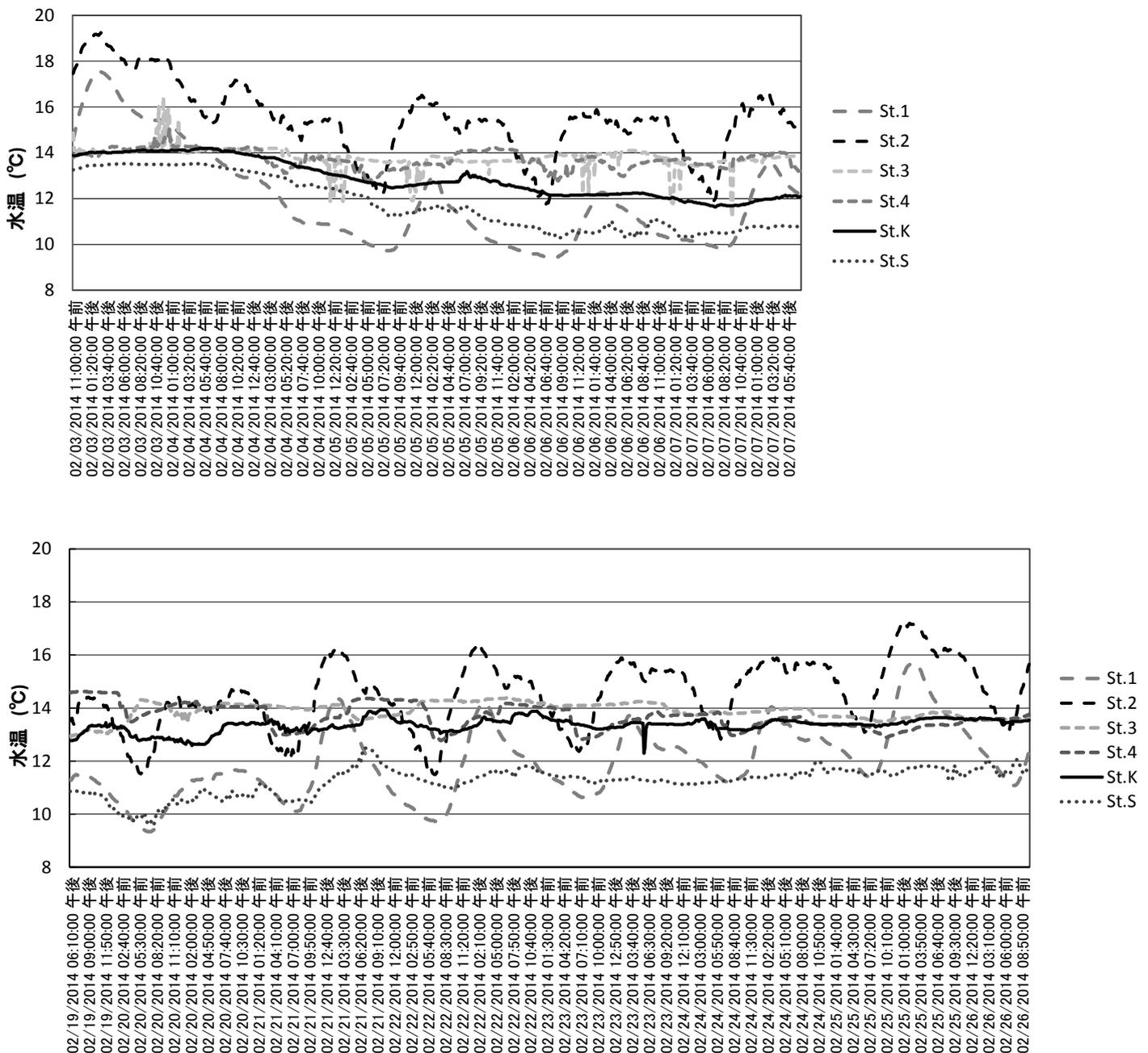


図3. 実測水温の推移。上，一週目。下，二週目。

内湘南港地点 (St.S) でミドリイガイの越冬生残率は、St.K が 0.87 だったのに対して St.S が 0.41 で、明らかに St.K で高いことが判明した。同時に観測された冬季水温は St.K で高く、水温が高い地点の生残率が高いことから、ミドリイガイの冬季生残率と水温には関連のあることが示唆された。また調査期間中の両地点の塩分では、St.K が平均 20 psu に対して St.S が平均 30 psu で、境川河川水が St.K より多く流出していることが認められた。

調査結果から、塩分が冬季生存率の地点差に影響を及ぼすかについて検討する必要がある。これまでミドリイガイの原産地における塩分条件を参照すると、27 ~ 33 psu の範囲が生息に好適とされ、20 psu でも生存することが報告されている (Rajagopal *et al.*)。この点からすると、塩分条件では平均 30 psu の St.S の方が生残率が高くなると予想されるが、結果では平均 20 psu

の St.K の方が生残率が高かった。したがって塩分条件の違いが、今回の冬季生残率の地点差に及ぼす影響は小さいと考えられた。

境川の観測結果から、水再生センターから放流される下水処理水が冬季の河川水温の上昇に寄与していることが示唆され、河川水温は平均の温度差で 2.6 ~ 3.5 °C 上昇することが認められた。河川水は、冬季には寒冷な外気により冷却される可能性がある。今調査エリアに最寄りの藤沢市辻堂観測点の 2014 年 2 月の気温データ (図 5) (気象庁過去の気象データ・ダウンロード) によると、一度目の観測期間のうち 2 月 3 日の日平均気温が 12.4 °C ととびぬけて高い日もあったが、その他の日は二度の観測期間を通して、日平均気温で 1.8 ~ 8.7 °C の範囲内にあり、今回観測された水温よりも気温は低い状況だった。そこで、河川水がどの程度の時間をかけて河口まで到達するかを検討した。平成 25 年度神奈川県水質調査年表 (神奈川県, 2014) から、今調査流域内の 2 地点で観測された流速より、2014 年 2 月の境川下流域の平均流速を計算したところ、0.34 m/s と見積もられた。この流速で 7.5 km の流程を流下するのに要する時間は 6.12 時間となり、下水処理水が加入した河川水は 6 時間ほどで河口に到達すると考えられる。水再生センターの処理水の加入により温度が上昇した境川河川水が、寒冷な外気により冷やされながら河口まで流下するものの、処理水と混交する前の水温まで低下せずに高い温度を維持して海水と混じり合うことにより、周辺の海水温に比べて高い温度の汽水域が片瀬漁港地点で形成されることが分かった。

伊藤・森 (2009) は、2008 年 7 月 23 日に今調査の St.4 より約 100 m 上流右岸の護岸壁に固着するカニヤドリカンザシ *Ficopomatus enigmaticus* 棲管塊の採集を実施した。その際、南方系種とされるタネハゼ *Callogobius tanegasimae* 3 個体も採集された (伊藤・森, 2009)。これらの個体は神奈川県下で 2 番目の採集記録となった。同時に、このとき殻長約 25 mm のミドリイガイも採集されており (伊藤・森, 2009)、境川河口付近の温暖な環境条件が示唆された。2013 年 6 月 23 日に、同地点でミドリイガイの採集を試みた際には、48.6 ~ 92.6 mm (平均 62.3 mm) の殻長範囲で 11 個体の生貝が採集されており、採集時期と個体の大きさから判断して、これらはすべて越冬個体と考えられた (植田, 未発表)。これらのことより、境川河口周辺の高水温の状況は調査した 2014 年冬季以前から生じていた可能性がある。

以上から、熱帯原産のミドリイガイがより高い生残率で越冬することは、人間活動の影響で温度上昇した下水処理水 (紺野, 2014) が河川に放流されることにより河川水の水温上昇を生じ、寒冷な外気で冷却されるものの河口まで冷え切らず到達し、河口周辺で海水と混交し、海水より温暖な汽水環境を生じることによって起因していると推察された。

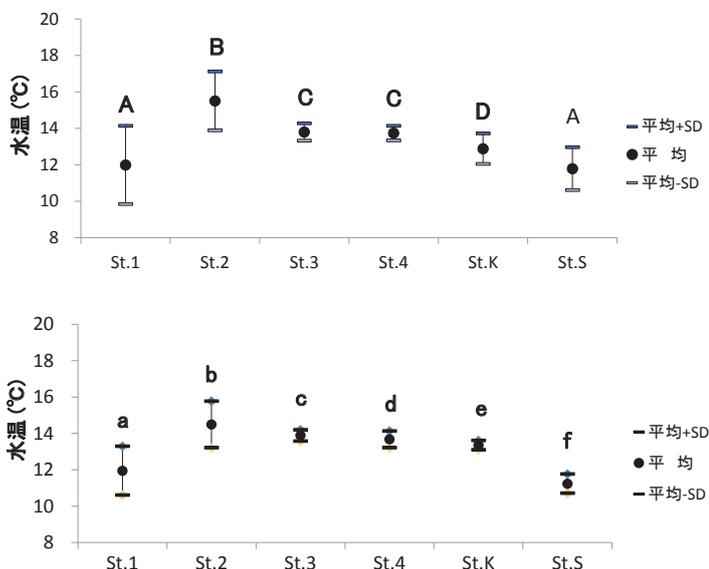


図 4. 各地点の平均水温±標準偏差。上：一度目、下：二度目。図中のアルファベットについて、多重比較の結果、同一文字の地点は有意差が無く、異なる文字の地点間は 1% 確率水準で有意差が見られたことを示す。

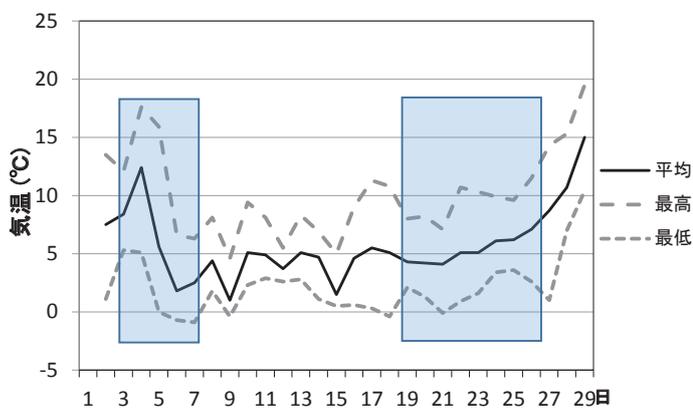


図 5. 辻堂気象観測点の 2014 年 2 月の気温データ。網掛けした日に水温観測を実施した。

謝 辞

漁港や港湾内の水温観測とミドリイガイの生残実験について、故北村萬司郎組合長をはじめとする江の島片瀬漁業協同組合関係者各位、並びに湘南港ヨットハーバーに係留するヨット「ドルチェビータ」オーナー各位に協力していただいた。当論文原稿の査読にあたっていただいた匿名査読者に深謝いたしたい。

引用文献

藤沢市, 2016. online. 平成 26 年度大清水浄化センター維持管理データ. 藤沢市公式ホームページ. <https://ents/ooshimizunennpou26.pdf> (accessed on 2016 October-25)

伊藤寿茂・森 元気, 2009. 外来多毛類カニヤドリカンザシの棲管の間隙から得られた多数のサツキハゼ. 神奈川自然誌資料 (30): 69–73.

神奈川県, 2014. 平成 25 年度水質調査年表. 38pp. 神奈川県環境科学センター, 横浜.

気象庁, online. 過去の気象データダウンロード. [http://](http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/)

www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/ (accessed on 2016 August-21).

紺野繁幸, online. 横浜市環境創造局 平成 26 年度調査・研究, 2014. 鶴見川に放流する水再生センターの処理水水温と河川水温の経年変化について. <http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/data/gesui/report/#26> (accessed on 2016-August-21).

鍋島結子, 1968. ミドリイガイについて. かいなかま, 2(4): 15–20.

Rajagopal, S., V. P. Venugopalan, G. van der Velde & H. A. Jenner, 2006. Greening of the coasts: a review of the *Perna viridis* success story. *Aquatic Ecology*, 40: 273–297.

杉谷安彦, 1969. 瀬戸内海で採れたミドリイガイについて. ちりばたん, 5(5): 123–125.

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, 2014. 関東地方および周辺地域における外来種ミドリイガイの分布. 神奈川自然誌資料, (35): 9–16.

植田育男・萩原清司, 1989. 相模湾江の島で観察されたミドリイガイについて. 神奈川自然誌資料, (10): 79–82.

横浜市環境創造局下水道水質課, 2015. 水質でみる横浜の下水道. 18pp. 横浜市, 横浜.

植田 育男：新江ノ島水族館