

## 真珠養殖廃棄物のコンポスト化とその有効活用

樋口 恵太,<sup>1\*</sup> 永井 清仁,<sup>1</sup> 服部 文弘,<sup>2</sup> 前山 薫,<sup>2</sup> 瀬川 進,<sup>3</sup> 本城 凡夫<sup>4,5</sup>

(2015年11月9日受付, 2016年3月1日受理, 2016年4月29日J-STAGE 早期公開)

<sup>1</sup>株式会社 ミキモト真珠研究所, <sup>2</sup>御木本製薬 株式会社, <sup>3</sup>東京農業大学生物産業学部,<sup>4</sup>株式会社 ミキモト博多真珠養殖, <sup>5</sup>香川大学瀬戸内圏研究センター

Compost from pearl culture waste: method of composting and effective use

KEITA HIGUCHI,<sup>1\*</sup> KIYOHITO NAGAI,<sup>1</sup> FUMIHIRO HATTORI,<sup>2</sup> KAORU MAEYAMA,<sup>2</sup>  
SUSUMU SEGAWA<sup>3</sup> AND TSUNEO HONJO<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Pearl Research Laboratory, K. MIKIMOTO & CO., LTD., Shima, Mie 517-0403, <sup>2</sup>Research & Development Division, MIKIMOTO PHARMACEUTICAL CO., LTD., Ise, Mie 516-8581, <sup>3</sup>Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture, Abashiri, Hokkaido 099-2493, <sup>4</sup>MIKIMOTO HAKATA PEARL CULTURING CO., LTD., Shingu, Fukuoka 811-0118, <sup>5</sup>Seto Inland Sea Regional Center, Kagawa University, Takamatsu, Kagawa 760-8521, Japan

Waste from activities associated with pearl culturing has become a cause of environmental deterioration on pearl farms. As part of our researches on reducing the environmental burden of Akoya pearl culturing, we investigated methods of composting pearl culture waste and effectively using this compost. We conducted composting tests using the soft body of *Pinctada fucata* after pearl harvesting as the main material, supplemented with debris resulting from sessile organisms removed during shell cleaning, and plant materials. We found that it was possible to convert Akoya oyster meat to mature compost in approximately 45 days without desalinization, and it was observed that including the debris of removed sessile organisms improved the aeration of the composting materials and increased the fertilizer components of the mature compost. Moreover, a seedling test showed that the mature oyster meat compost, when used at a rate of 10 g compost/1000 cm<sup>3</sup> soil, improved the fresh weight of *komatsunā*. These results indicated that compost made from discarded oyster meat and the debris of removed sessile organisms can be effectively utilized in agriculture. The compost is also expected to reduce the environmental burden on pearl farms.

キーワード: アコヤガイ貝肉廃棄物, 塩分, 貝掃除屑, コンポスト, 真珠養殖, 養殖廃棄物

アコヤガイ *Pinctada fucata* 真珠養殖では, 真珠を収穫 (浜揚げ) した後の軟体部 (貝肉) や貝殻に加えて, 養殖貝および養殖資材に付着した生物やデトリタス (貝掃除屑) など, 様々な養殖廃棄物が排出される。<sup>1-3)</sup> これら養殖廃棄物の不適切な取り扱いが漁場環境を悪化させることから,<sup>4,5)</sup> 漁場への廃棄物負荷低減を目的として, 真珠養殖が環境へ及ぼす負荷量や環境収容力の推定, 廃棄物の回収など様々な対策<sup>6-9)</sup> が講じられてきた。一方, 貝殻や貝肉およびこれらに含まれる機能性成分を健康食品や化粧品原料などに有効活用するための

技術開発も行われている。<sup>10-13)</sup> しかし, 浜揚げ時に生じる大量の貝肉の多くは, 未利用のまま廃棄されている。さらに, 貝掃除屑は養殖期間を通して発生し, 排出量も多く, 漁場環境への影響が大きいとされているにもかかわらず,<sup>3,14)</sup> ほとんどが廃棄されている。

陸上では動物の排泄物や植物資材といった, 畜産や農業系廃棄物の有効利用方法としてコンポスト化が普及している。<sup>15,16)</sup> 一方, 海産生物の廃棄物を原料として用いたコンポスト化の例としては, ムラサキガイ<sup>17)</sup> やホタテガイ,<sup>18)</sup> スルメイカ,<sup>19)</sup> キヒトデ,<sup>20,21)</sup> クラゲ類,<sup>22)</sup>

カニ類,<sup>23)</sup> 魚類,<sup>24,25)</sup> および海藻類<sup>26)</sup>などが挙げられる。しかしながら、海産生物を原料としたコンポストでは、含有する塩分による耐塩性の低い植物の生長阻害<sup>22)</sup>や内臓などに含まれる重金属類の影響が指摘されている。<sup>19)</sup>

そこで、環境負荷低減型の真珠養殖を目指すための研究の一環として、アコヤガイの貝肉廃棄物を原料としたコンポスト化試験および生産されたコンポストの成分分析と植物の発芽と生長に及ぼす効果を検討し、その適性を評価した。さらに、従来利用されずに廃棄されてきた貝掃除屑を原料に加えたコンポスト化試験を実施し、アコヤガイ養殖廃棄物の総合的有效活用の可能性を調べた。

#### 材料と方法

**コンポスト原料** アコヤガイ養殖廃棄物のコンポスト化試験には、浜揚げ後の貝肉廃棄物 (minced soft body, SB) と養殖貝や養殖資材に付着した生物、デトリタスなどからなる貝掃除屑 (debris of removed sessile organisms, SO) の2種類を用いた。

貝肉廃棄物は、株式会社ミキモト多徳養殖場 (三重県

英虞湾) で2008年と2009年の12月に行われた浜揚げ時に、以下の方法で採取した。貝殻と閉殻筋を取り除いたアコヤガイ軟体部に、海水または淡水を加え、ミキサー (佐々木商工株式会社 セパレー) で粉碎し、真珠を採取した後、30分間静置して沈殿物を回収した。軟体部粉碎時に海水を用いたものを海水処理貝肉廃棄物 (minced soft body treated with seawater, SBS), 淡水を用いたものを淡水処理貝肉廃棄物 (minced soft body treated with fresh water, SBF) とした。貝肉廃棄物のコンポスト化試験 (Fig. 1a) には2008年に採取した試料を用いた。また、貝肉廃棄物に貝掃除屑を添加したコンポスト化試験 (Fig. 1b) には2009年に採取した試料を、 $-20^{\circ}\text{C}$ で冷凍保管した後、試験実施時に随時解凍して用いた。

貝掃除屑は、多徳養殖場で2010年4, 6, 7, 10月に行った合計6回の貝掃除時に回収したものをを用いた (Table 1)。貝掃除屑中に含まれていた生物および生物片を、二枚貝類、フジツボ類、管棲ゴカイ類、コケムシ類、端脚類、ホヤ類、海綿類、海藻類およびその他の9グループに分け、その湿重量比組成を求めた。さらに、

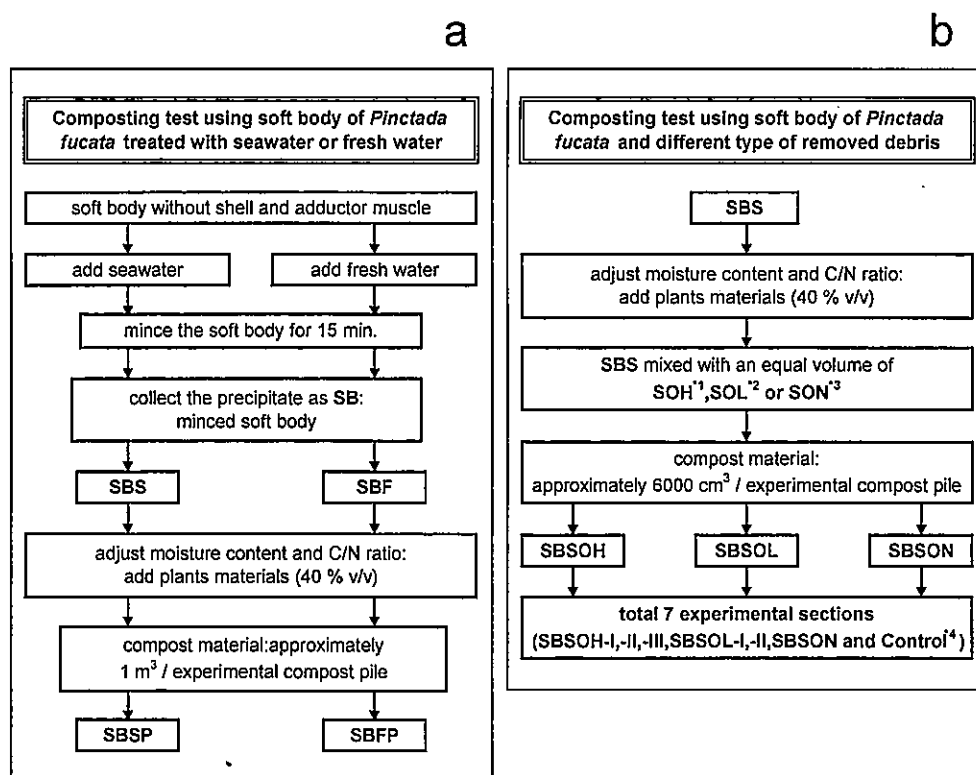


Fig. 1 Methods of composting: a, Composting test using *Pinctada fucata* soft body treated with seawater or fresh water; b, composting test using soft body of *P. fucata* with addition of different types of debris of removed sessile organisms.\*<sup>1</sup> SOH: sessile organisms containing a high percentage ( $\geq 50\%$ ) of hard tissue.\*<sup>2</sup> SOL: sessile organisms containing a low percentage ( $> 0\%$  to  $< 50\%$ ) of hard tissue.\*<sup>3</sup> SON: sessile organisms containing 0% hard tissue.\*<sup>4</sup> Composting test using SBS only. SB, minced soft body; SBS, SB treated with seawater; SBF, SB treated with fresh water; SBSP, compost made from SBS with plants (P) added; SBFP, compost made from SBF with P added; SBSOH, SBSP containing SOH; SBSOL, SBSP containing SOL; SBSON, SBSP containing SON.

Table 1 Composition of debris of removed sessile organisms added to the compost

Category	SOH* <sup>1</sup>			SOL* <sup>2</sup>		SON* <sup>3</sup>
	SOH-I	SOH-II	SOH-III	SOL-I	SOL-II	SON
Sampling month	Jun	Jul	Oct	Jun	Oct	Apr
Bivalvia	49.6	64.3	44.7	34.8	—	—
Barnacle	6.2	12.1	42.1	1.3	17.5	—
Polychaeta	26.7	7.1	7.0	12.0	9.1	—
Bryozoan	1.0	—	—	13.5	28.9	1.6
Amphipoda	—	—	—	11.0	—	—
Urochordata	1.4	—	—	—	36.7	38.6
Demospongiae	—	—	1.5	—	1.7	0.7
Chlorophyta	0.8	—	—	—	—	45.4
Others	14.3	16.6	5.0	27.3	6.1	14.2
Percentage of hard tissue (%) <sup>*4</sup>	82.5	83.5	93.8	48.0	26.6	0.0

Values are percentages (wet weight) of each group of sessile organisms.

\*<sup>1-3</sup> Refer to the legend of Fig. 1 for \*<sup>1-3</sup>.

\*<sup>4</sup> The percentage of hard tissue of sessile organisms is determined by the sum of the wet-weight percentages of bivalves, barnacles, and tube-forming polychaeta having hard tissues such as shells, calcareous plates, and calcareous tubes.

貝殻や殻板、棲管などの硬組織をもつ二枚貝類、フジツボ類、管棲ゴカイ類の湿重量比の合計値を硬組織生物率 (percentage of sessile organisms with hard tissue, %) とした。硬組織生物率が 50% 以上の貝掃除屑を高硬組織生物貝掃除屑 (sessile organisms containing a high percentage of hard tissue, SOH), 0% から 50% 未満を低硬組織生物貝掃除屑 (sessile organisms containing a low percentage of hard tissue, SOL), 全く含まない貝掃除屑を無硬組織生物貝掃除屑 (sessile organisms containing 0% hard tissue, SON) として大別し, 貝掃除屑を回収した順に番号をつけた (Fig. 1b, Table 1)。

貝肉廃棄物を主原料としたコンポスト化試験 海水処理貝肉廃棄物および淡水処理貝肉廃棄物に, 含水率や炭素率 (C/N 比) を調整するためにモミガラ, オガクズなどの植物系資材 (plants, P) を 40% (v/v) 混合したものをコンポスト材料とした。コンポスト化過程に及ぼす塩分の影響を明らかにするために, 海水処理貝肉廃棄物を用いた海水処理区 (compost made from SBS with plants, SBSP), 淡水処理貝肉廃棄物を用いた淡水処理区 (compost made from SBF with plants, SBFP) を設けた (Fig. 1a)。試験期間は 2008 年 12 月 20 日から 2009 年 3 月 21 日の 91 日間とした。コンポスト化容器として, コンクリート槽 (縦 1.3 m × 横 1.3 m × 高さ 0.8 m, 有効容量 1.4 m<sup>3</sup>) を用い, 両コンポスト材料約 1 m<sup>3</sup> を収容した。試験期間中のコンポスト材料の温度変化を調べるために, 表面から 10 cm の深さの温度をデータロガー (ティドビット v1, ONSET Computer Corporation) を用いて 6 時間ごとに測定した。また, 材料の均一化および膨軟化促進のために, 試験開始後, 13-17 日に 1 回の割合で合計 6 回堆積物の攪拌 (切り返

し)を行い, 6 回目の切り返しの時点で試験終了とした。

試験期間中のコンポスト材料の塩類濃度変化と有機物の分解過程を調べるために, 切り返し時, 無作為に材料中の 5 ヶ所から試料を採取し (計 5000 cm<sup>3</sup>), 電気伝導度, 有機物分解率を測定するとともに, 試料を用いた培地による発芽インデックスを求めた。電気伝導度, 有機物分解率, 発芽インデックスの分析は, 一つの試料に対し 1 回行った。

電気伝導度は, 電子天秤 (TE3102S, ザルトリウス・メカトロニクス・ジャパン株式会社) を用いて試料を 0.1 g の精度で 10.0 g 秤量し, 蒸留水 100 mL を加え, スターラーで十分に攪拌した後, ろ過した (東洋濾紙株式会社 No. 2) 液の電気伝導度 (CM-21P, 東亜ディーケー株式会社) を測定した。<sup>27)</sup>

有機物分解率は, 65°C, 5 時間温風乾燥した試料を, 電子天秤 (A200S, ザルトリウス・メカトロニクス・ジャパン株式会社) を用いて 1 mg の精度で 2.000 g 秤量し, マッフル炉 (AMF-10, アズワン株式会社) で 550°C, 4 時間強熱した試料中の粗灰分量より, 式 (1) を用いて算出した。<sup>28)</sup>

有機物分解率 (%)

$$= \left( 1 - \frac{X_0}{X_i} \times \frac{1 - X_i/100}{1 - X_0/100} \right) \times 100 \quad (1)$$

ただし,  $X_0$  は試験開始時の粗灰分含量,  $X_i$  は処理  $i$  日後の粗灰分含量である。

発芽インデックスは, コマツナ *Brassica rapa* var. *perviridis* (照彩小松菜, 株式会社トーホク) 種子 30 粒を, コンポスト材料抽出液および対照区の蒸留水で, 5 日間室温で培養した時の発芽数および茎長より, 式 (2) を用いて算出した。<sup>29)</sup> 発芽数の計数は, 培養終了時に目

視で行い、胚の一部が種皮の外に現れたものを発芽とした。<sup>30)</sup> また、発芽の確認と同時に、根の色や形状、周辺部の状況を目視および顕微鏡で観察した。<sup>31)</sup> 茎長は培養終了時の発芽個体より、葉を含む茎部を切り取って計測した。コンポスト材料抽出液は、65°C、5時間温風乾燥した試料 5.000 g に 60°C の蒸留水 100 mL を加え、60°C、3時間攪拌後、3枚重ねたガーゼで濾して得た。

$$\text{発芽インデックス(\%)} = G/Gc \times L/Lc \times 100 \quad (2)$$

ただし、 $G$  はコンポスト材料抽出液での発芽数、 $Gc$  は蒸留水での発芽数、 $L$  はコンポスト抽出液での茎長、 $Lc$  は蒸留水での茎長である。

貝掃除屑添加によるコンポスト化試験 冷凍保管していた海水処理貝肉廃棄物に、イナワラ、モミガラなどの植物系資材を 40% (v/v) 加えた後、貝肉廃棄物と等量 (v/v) の 6 種類の異なる組成の貝掃除屑 (Table 1) を添加したコンポスト材料で試験を行った。コンポスト化過程に及ぼす貝掃除屑の影響を調べるため、高硬組織生物貝掃除屑を添加した高硬組織屑 I、II、III 区 (SBSP compost containing SOH, SBSOH-I, -II, -III) および低硬組織生物貝掃除屑を添加した低硬組織屑 I、II 区 (SBSP compost containing SOL, SBSOL-I, -II)、無硬組織生物貝掃除屑を添加した無硬組織屑区 (SBSP compost containing SON, SBSON) と貝掃除屑を添加しない対照区 (Control) を設けた (Fig. 1b)。

コンポスト化試験開始時のそれぞれのコンポスト材料について、通気性の指標として空隙率 (free air space, FAS, mL/L) と通気量を測定した。空隙率は試料内の空隙部分の大きさの指標で、<sup>32)</sup> 1.0 L 容量のメスシリンダーに試料 1000 cm<sup>3</sup> を充填し、試料の高さまで注いだ水の体積を試料体積で除して得た。通気量は、試料 2000 cm<sup>3</sup> を測定容器の試料室 (底面積 132.7 cm<sup>2</sup> × 高さ 20.0 cm, 有効容量 2500 cm<sup>3</sup>) に充填し、空気ポンプを用いて送気圧 0.2 MPa, 送気量 1.0 L/min となるように試料室上部から通気しながら、試料室下部に設置した流量計 (RK1710-5, コフロック株式会社) で試料を通過した空気量を測定した。通気量は、貝掃除屑添加前後に測定し、貝掃除屑添加前の通気量に対する添加後の通気量比率を算出した。空隙率および通気量の測定は、1 つの試料について 3 回行った。

コンポスト化試験は、貝掃除屑採取後 3 日以内に開始し、コンポスト化期間は 40-42 日間とした。コンポスト化容器として、発泡スチロール製の容器 (縦 30.0 cm × 横 21.5 cm × 高さ 10.5 cm, 有効容量 6500 cm<sup>3</sup>) を用い、それぞれのコンポスト材料約 6000 cm<sup>3</sup> をコンポスト化容器に収容し、送気圧 0.1 MPa, 送気量 0.6 L/min で、試験装置下部より連続通気した。コンポスト材料の温度は、材料中央部の表面から 1-3 cm の深さでデータロガーを用いて 6 時間ごとに測定した。試験

開始後、11-17 日に 1 回の割合で合計 3 回の切り返しを行い、3 回目の切り返しの時点で試験終了とした。コンポスト化過程に伴う電気伝導度、有機物分解率、発芽インデックスの変化は、切り返し時、無作為に堆積物中の 3 ヶ所から採取した試料 (計 200 cm<sup>3</sup>) を用いて調べた。

コンポストの成分分析 分析項目は、窒素、リン、カリウム、有機炭素、pH、重金属のカドミウムを測定した。有機炭素は炭素率の算出に用いた。貝掃除屑を添加して行った試験では、カルシウムとマグネシウムを分析項目に加えた。窒素は硫酸法、リンはバナドモリブデン酸アンモニウム法、カリウム、カルシウム、マグネシウム、カドミウムは原子吸光測光法、有機炭素はチューリン法で分析した。pH は、電気伝導度と同様の方法で得たる液を pH 計 (F-12, 株式会社堀場製作所) で測定した。

貝肉廃棄物を主原料としたコンポストによる幼植物栽培試験 試験土壌は、窒素、リン、カリウムを各 50 mg 含む供試土壌 (風乾した洪積土, 粒径 2 mm 以下) 1000 cm<sup>3</sup> に対し、海水処理区および淡水処理区のコンポストをそれぞれ乾燥重量 10.0, 20.0, 30.0 g となるように混合した。対照区は、コンポストを加えていない供試土壌とし、各試験区について 2 回試験を行った。樹脂製ポット (内径 12.0 cm, 高さ 10.0 cm) に各試験土壌 500 cm<sup>3</sup> を充填し、発芽インデックス測定に使用したのと同じコマツナ種子 25 粒を等間隔になるように播種した。幼植物栽培試験は 3 週間行い、試験終了時の発芽率および生体重の合計 (収量) を求め、試験土壌中の塩類濃度の指標として電気伝導度を測定した。<sup>33)</sup> 発芽率は、供試種子数 ( $n=25$ ) に対する試験終了時の総発芽数の割合 (%) で、生体重は、根を取り除いた地上部の湿重量 (g) の合計とした。対照区はコンポストを加えていない供試土壌区とし、各試験区について 2 回試験を行った。試験終了時の試験区と対照区の発芽率は Bonferroni 法に従って有意水準を調整した  $\chi^2$  検定で比較した。

## 結 果

貝肉廃棄物を主原料としたコンポスト化試験 コンポスト材料約 1 m<sup>3</sup> を用いた 91 日間の処理で、海水処理区および淡水処理区ともに約 0.3 m<sup>3</sup> のコンポストを作製する事ができた。1 回目の切り返し (試験開始 17 日後) 直後から 2-3 日間は、強いアンモニア臭が感じられた。このような臭気の発生は、2 および 3 回目の切り返し (試験開始 31, 44 日後) 時にも認められたが、4 回目 (試験開始 60 日後) 以降の切り返しでは徐々にアンモニア臭が薄れ、湿った土の臭いに変わっていった。

試験開始時のコンポスト材料の温度は、海水処理区で 8.7°C、淡水処理区で 10.6°C であったが、試験開始直後

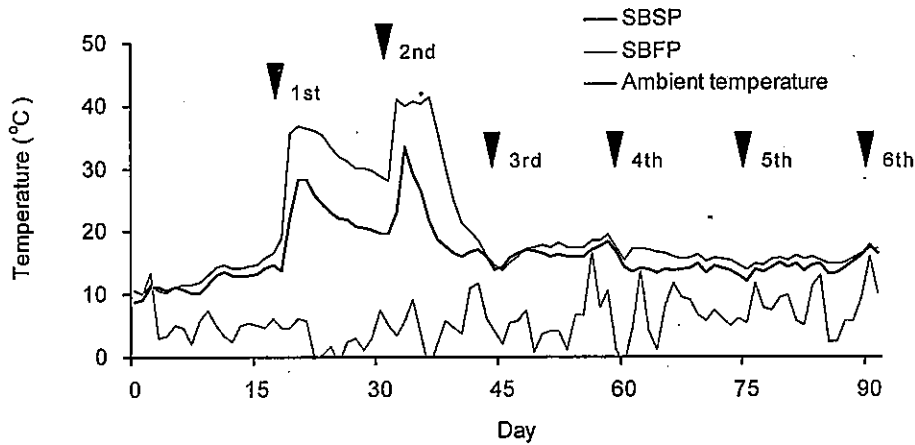


Fig. 2 Temperature in compost piles (at a depth of 10 cm from the surface) in composting tests using minced soft body of *Pinctada fucata* treated with seawater (SBSP) or fresh water (SBFP), and ambient temperature. Arrowheads and numbers represent pile turning times.

から1回目の切り返しにかけて緩やかに上昇した (Fig. 2)。この期間の温度上昇について回帰直線を求めたところ、淡水処理区の方で有意に傾きが大きく、温度上昇が早かった ( $p < 0.05$ ,  $t$ 検定)。1回目の切り返しから、海水処理区では3日後に29.2°C、淡水処理区では2日後に37.9°Cまで急激に上昇した後、両試験区ともに徐々に低下した。2回目に行った切り返し後は直ちに急激な温度上昇が見られ、最高温度は海水処理区で切り返し36時間後の33.4°C、淡水処理区は18時間後の43.0°Cだった。海水処理区では30°C以上を2日間維持した後、淡水処理区では40°C以上を4日間維持した後、それぞれ20°C前後まで速やかに低下した。3回目の切り返し時は、両試験区ともに顕著な温度上昇は認められなかった。3回目の切り返しから試験終了時までには、両試験区ともに比較的一定の値を示し、平均温度は海水処理区で $15.6 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 、淡水処理区で $16.7 \pm 1.5^\circ\text{C}$ であり、淡水処理区の方が高かった ( $p < 0.05$ ,  $t$ 検定)。試験期間中の気温は $-2.0 \sim 19.4^\circ\text{C}$  (平均 $\pm$ 標準偏差 $= 7.8 \pm 4.0^\circ\text{C}$ )であった (Fig. 2)。

電気伝導度は、両試験区ともに試験開始から急激に値が上昇し、2回目の切り返し時に海水処理区で6.72 mS/cm、淡水処理区で4.23 mS/cmと最大値に至った (Fig. 3a)。その後、海水処理区で6.36–6.59 mS/cm、淡水処理区で3.16–3.82 mS/cmの範囲で推移し、海水処理区の方が1.6–3.3倍高い値を示した (Fig. 3a)。

有機物分解率は、海水処理区では切り返しに伴って上昇し、3回目の切り返し時に48.6%の最高値を示し、その後は比較的一定の値となった (Fig. 3b)。これに対し、淡水処理区は常に海水処理区よりも高い値を示した。特に、2回目の切り返しまでの試験初期に分解率が上昇し、5回目の切り返し (試験開始77日後)で67.8%の最高値を示した (Fig. 3b)。

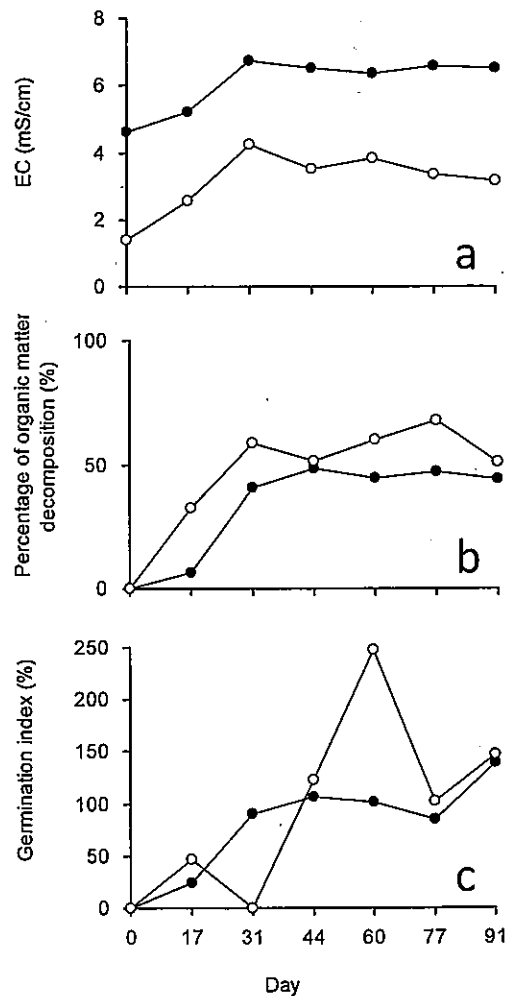


Fig. 3 Chemical properties during the composting of minced soft body of *Pinctada fucata* treated with seawater (SBSP, ●) or fresh water (SBFP, ○): a, Electrical conductivity (EC, mS/cm); b, percentage of organic matter decomposition (%); c, germination index (%).

Table 2 Aeration properties of compost made with the addition of debris of removed sessile organisms, and the results of composting tests

	SBSOH-I* <sup>1</sup>	SBSOH-II* <sup>1</sup>	SBSOH-III* <sup>1</sup>	SBSOL-I* <sup>2</sup>	SBSOL-II* <sup>2</sup>	SBSON* <sup>3</sup>	Control* <sup>4</sup>	
Sampling month of SO	Jun	Jul	Oct	Jun	Oct	Apr	—	
FAS* <sup>5</sup> (mL/L)	487.0±13.6	505.0±8.7	400.0±9.3	303.0±5.4	350.0±16.4	168.0±16.5	353.0±25.2	
Ratio of aeration change* <sup>6</sup>	1.05±0.01	1.02±0.01	1.05±0.01	1.05±0.00	1.02±0.01	0.95±0.01	—	
Maximum temperature* <sup>7</sup> (°C)	57.3	59.6	51.3	54.6	43.4	35.7	36.6	
Electrical conductivity (mS/cm)	Initial* <sup>8</sup>	5.09	3.91	4.68	4.22	4.17	4.74	4.46
	1st* <sup>8</sup>	6.43	5.41	5.64	5.58	5.69	8.26	7.50
	2nd* <sup>8</sup>	5.81	6.13	5.75	5.28	5.98	4.95	7.17
	3rd* <sup>8</sup>	6.35	6.27	6.42	5.77	6.02	6.93	7.73
Percentage of organic matter decomposition (%)	Initial* <sup>8</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1st* <sup>8</sup>	57.1	61.5	53.4	47.4	40.9	35.9	42.4
	2nd* <sup>8</sup>	63.1	66.6	54.5	54.4	44.5	46.5	45.6
	3rd* <sup>8</sup>	63.5	68.3	57.0	59.3	45.2	58.5	50.0
Germination index (%)	Initial* <sup>8</sup>	0.0	0.0	18.9	0.0	0.0	17.4	0.0
	1st* <sup>8</sup>	89.9	40.8	120.7	53.6	0.0	0.0	0.0
	2nd* <sup>8</sup>	40.2	155.9	74.6	124.5	0.0	17.4	0.0
	3rd* <sup>8</sup>	131.7	128.3	105.6	92.5	47.8	49.3	57.7

\*<sup>1</sup> Composting test using minced soft body of *Pinctada fucata* treated with seawater (SBS) with addition of SOH.

\*<sup>2</sup> Composting test using SBS with added SOL.

\*<sup>3</sup> Composting test using SBS with added SON.

\*<sup>4</sup> Composting test using SBS only.

\*<sup>5</sup> Free Air Space (FAS). Values show mean±standard deviation for three separate measurements.

\*<sup>6</sup> Ratio of changes in aeration before and after the addition of SO. Values show mean ± standard deviation for three separate measurements.

\*<sup>7</sup> Maximum temperature of the piles (at a depth of 1-3 cm from the surface) during the composting period.

\*<sup>8</sup> Initial and numbers represent pile turning times.

See the Fig 1 legend for abbreviation details.

発芽インデックスは、海水処理区では3回目の切り返し時まで徐々に上昇し、106.4%に達した後に比較的安定し、試験終了時には138.8%の最高値を示した (Fig. 3c)。これに対し、淡水処理区では3回目から4回目の切り返しにかけて発芽インデックスが大きく増加して248.2%と海水処理区よりもはるかに高い値に達した後、試験終了時には海水処理区よりわずかに高い147.2%となった (Fig. 3c)。両試験区とも、試験開始から3回目の切り返しにかけて、根が褐色になり、先端が枯れるなどの異常が見られ、そうした根の周辺部には微生物が高密度に観察された。しかし、4回目の切り返し以降は、こうした異常はほぼ見られなくなった。

貝掃除屑添加によるコンポスト化試験 貝掃除屑を添加しなかった対照区のコンポスト材料の空隙率と比較して、高硬組織屑 I-III 区の空隙率は、400.0±9.3-505.0±8.7 mL/L と高かった (Table 2)。一方、低硬組織屑 I, II 区の空隙率は、それぞれ 303.0±5.4 mL/L, 350.0±16.4 mL/L で対照区よりわずかに低いかほぼ同じで、無硬組織屑区では 168.0±16.5 mL/L と対照区の半分以下となった。高硬組織屑 I-III 区および低硬組織屑 I, II 区の通気量比率は 1.02±0.01-1.05±0.01 で、

対照区に比べて通気量が増加したが、無硬組織屑区では 0.95±0.01 を示し、貝掃除屑添加後には減少した (Table 2)。これらの結果から、硬組織生物の割合が高い貝掃除屑を添加した場合に、コンポスト材料の空隙や通気量が多くなることが示された。

試験期間中のコンポスト材料の温度は、全ての試験区で試験開始 2-3 日後に急激に上昇し、最高温度が記録された。その後は切り返しを行っても明瞭な温度上昇が見られなかったため、最高温度のみを示した (Table 2)。試験期間中の最高温度は、ほとんどの試験区で 40°C 以上となり、無硬組織屑区以外は対照区を上回った。特に高硬組織屑 I-III 区および低硬組織屑 I 区の最高温度は 50°C 以上を示し、その他の試験区よりも高かった (Table 2)。硬組織生物率と最高温度の間には、強い正の相関 ( $R^2=0.74$ ) が認められた。

電気伝導度は、試験開始時に 3.91-5.09 mS/cm だったが、1 回目の切り返し時に、対照区を含む全ての試験区で大きく上昇した (Table 2)。対照区は、その後も高い値を示し、試験終了時には 7.73 mS/cm となった。その他の試験区では、無硬組織屑区の 2 回目の切り返し時に 8.26 mS/cm と高い値を示したが、これ以外は全

て対照区よりも低い値で推移し、試験終了時には5.77-6.93 mS/cmとなった (Table 2)。

有機物分解率は、全ての試験区で1回目の切り返し時に大きく上昇した (Table 2)。特に硬組織生物率が高い貝掃除屑を添加し、最高温度が高かった高硬組織屑Ⅰ-Ⅲ区および低硬組織屑Ⅰ区では47.4-61.5%と対照区よりも高い値を示し、その後も高い値を維持した (Table 2)。一方、1回目の切り返し時の有機物分解率が対照区よりも低かった低硬組織屑Ⅱ区および無硬組織屑区では、両試験区ともに、試験の経過に伴って有機物分解率が上昇し、無硬組織屑区では試験終了時に対照区を上回ったものの、低硬組織屑Ⅱ区は試験終了まで対照区を下回っていた (Table 2)。最高温度と1回目の切り返し時の有機物分解率の間には、強い正の相関 ( $R^2 = 0.87$ ) が認められた。

発芽インデックスは、高硬組織屑Ⅲ区および無硬組織屑区の試験開始時にそれぞれ18.9, 17.4%で、その他の試験区では0.0%であった (Table 2)。その後、最高温度や有機物分解率が高かった高硬組織屑Ⅰ-Ⅲ区および低硬組織屑Ⅰ区では、1回目の切り返し時から高い値を示し、試験終了時には92.5-131.7%となった。対照区を含む上記以外の3試験区では、2回目の切り返しまで試験開始時とほぼ変わらない値のまま推移し、試験終了時も47.8-57.7%と低かった (Table 2)。最高温度と試験終了時の発芽インデックスには、強い相関 ( $R^2 = 0.85$ ) が認められた。試験開始時のコンポスト材料で行った発芽試験では、全ての試験区の材料抽出液から異臭が感じられ、特に発芽インデックスが高かった2試験区では、根や周辺部に異常が見られた。高硬組織屑Ⅰ-Ⅲ区および低硬組織屑Ⅰ区では、2回目の切り返し以降はこうした異常がほぼ確認されなくなった。

コンポストの成分分析 貝肉廃棄物を主原料としたコンポスト化試験における海水処理区および淡水処理区の肥料成分は、窒素がそれぞれ1.72, 1.38%, リンは0.21, 0.21%, カリウムは0.17, 0.25%であった (Table 3)。炭素率はそれぞれ13.6, 16.4, pHは8.9, 9.0

Table 3 Major fertilizer components, C/N ratio, pH and cadmium content of compost made from minced soft body of *Pinclada fucata* treated with seawater or fresh water

Treatment	N (%)	P (%)	K (%)	C/N ratio	pH	Cd (%)
SBSP*1	1.72	0.21	0.17	13.6	8.9	0.00013
SBFP*2	1.38	0.21	0.25	16.4	9.0	0.00016

Values are per dry weight.

\*1 Compost made from minced soft body of *P. fucata* treated with seawater.

\*2 Compost made from minced soft body of *P. fucata* treated with fresh water.

であった。重金属のカドミウムはそれぞれ0.00013, 0.00016%であった (Table 3)。

貝掃除屑を添加したコンポスト化試験における、無硬組織屑区の肥料成分は、全ての項目で貝掃除屑を混合しなかった対照区よりも多かった (Table 4)。一方、高硬組織屑Ⅰ区および低硬組織屑Ⅰ区では、対照区と比べてカルシウムは10倍以上、マグネシウムは2倍以上の高い値を示したが、リンは同程度かやや低く、窒素とカリウムは半分以下となっていた。貝掃除屑を混合した試験区では、炭素率が16.5-25.7と対照区よりも高くなっていた。pHは8.0-8.5と対照区とほぼ同程度であった。一方、カドミウムは0.00016-0.00023%と対照区よりも少なかった (Table 4)。

Table 4 Major fertilizer components, C/N ratio, pH and cadmium content of compost made from minced soft body of *Pinclada fucata* with addition of debris of removed sessile organisms

Treatment	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	C/N ratio	pH	Cd (%)
SBSOH-I*1	0.63	0.62	0.22	33.6	1.30	25.7	8.0	0.00021
SBSOL-I*2	0.75	0.55	0.36	13.4	1.23	21.6	8.0	0.00016
SBSON*3	1.64	0.76	1.03	3.68	0.95	16.5	8.5	0.00023
Control*4	1.50	0.61	0.70	1.10	0.60	13.3	8.3	0.00047

Values are per dry weight.

\*1 Compost made from minced soft body of *P. fucata* treated with seawater (SBS) and added SOH.

\*2 Compost made from SBS with added SOL.

\*3 Compost made from SBS with added SON.

\*4 Compost made from SBS only.

Table 5 Results of seedling test using compost made from minced soft body of *Pinclada fucata* treated with seawater or fresh water

Treatment	Germination rate (%)	Wet weight (g)*4	EC (mS/cm)*5
SBSP*1	10 g	90.0	5.30
	20 g	50.0*	0.82
	30 g	22.0*	0.16
SBFP*2	10 g	94.0	5.47
	20 g	88.0	5.27
	30 g	50.0*	2.12
Control*3	94.0	2.90	0.14

Values are the average of two tests.

\* Statistically significant differences ( $\chi^2$  test,  $p < 0.05$ ), compared to control.

\*1 SBSP: soil plus compost made from minced soft body of *P. fucata* treated with seawater.

\*2 SBFP: soil plus compost made from minced soft body of *P. fucata* treated with fresh water.

\*3 Control: soil without compost.

\*4 Total wet weight of shoot harvested 21 days after transplanting.

\*5 Electrical conductivity of each soil after seedling test.

貝肉廃棄物を主原料としたコンポストによる幼植物栽培試験 栽培試験終了時の発芽率は、海水処理 10 g 区、淡水処理 10 g および 20 g 区では 88.0% 以上の高い値を示し、コンポストを加えていない対照区 (94.0%) と有意な差は認められなかった (Table 5,  $p < 0.05$ ,  $\chi^2$  検定)。これに対し、海水処理 20 g, 30 g 区および淡水処理 30 g 区は、対照区よりも有意に低かった ( $p < 0.05$ ,  $\chi^2$  検定)。発芽率が対照区と有意差が認められなかった試験区では、栽培試験終了時のコマツナの収量が対照区の 1.8-1.9 倍多かった。これに対し、発芽率が対照区よりも有意に低かった試験区では、その収量は対照区よりも少なく、これらの試験区では、栽培試験終了時の土壌の電気伝導度が 0.29-0.71 mS/cm と、対照区の 2 倍以上高かった (Table 5)。

### 考 察

有機性廃棄物のコンポスト化において、コンポスト化完了 (完熟) の判定は極めて重要で、形状評価点法のような現場で行えるものや、炭素率、硝酸銀検出、BOD、COD などの化学分析による評価といった様々な手法を、いくつか組合せて完熟の評価を行っているのが現状である。<sup>29,34,35)</sup> 堆積物の温度上昇は、微生物による有機物分解過程によって生じ、その変化はコンポスト化過程の指標の一つとされている。<sup>36)</sup> アコヤガイの貝肉廃棄物を用いたコンポスト化試験において、材料中の温度は、両試験区 (SBSP, SBFP) とともに 1 回目と 2 回目の切り返し後に急上昇した (Fig. 2)。これは、切り返しによって、好気性微生物による有機物の分解が促進され、タンパク質や糖類などの易分解性有機物が分解された事を示唆している。<sup>15)</sup> コンポスト化過程に伴う有機物分解率の変化および発芽インデックス法による評価結果もこれを支持している (Fig. 3b, c)。有機物分解率が 50% を越えた 2 回目の切り返し以降には淡水処理区は完熟したと考えられ (Fig. 3b),<sup>37)</sup> 2 回目の切り返し以降 46.1 ± 1.8% (平均 ± 標準偏差) で安定した海水処理区も (Fig. 3b)、淡水処理区と同様に 3 回目の切り返し前に有機物の分解はほぼ完了したと評価された。貝肉廃棄物を原料としたコンポストの発芽インデックスは、3 回目の切り返し時に海水処理区で 106.4%、淡水処理区では 123.2% となり (Fig. 3c)、両試験区ともに 70% を上回った事から 3 回目の切り返し時点で完熟と判断された。<sup>39)</sup> 以上の事から、貝肉廃棄物に含まれる易分解性有機物は、約 45 日間で分解が完了すると考えられた。

電気伝導度は、原料に含有されるカリウムやナトリウム、有機物が分解されて生じるアンモニウムなどの水溶性イオンの合計量と高い相関関係があることが知られており、<sup>20,38)</sup> コンポストにおいては 5.00 mS/cm 以下であることが目安とされている。<sup>39)</sup> 淡水処理区では試験期間

を通してこの基準値以下であったが、海水処理区では 1 回目の切り返し以降、この基準値を越えた値を示していた (Fig. 3a)。海水処理区における高い電気伝導度の値は、コンポスト原料の調整に海水を用いたため、海水由来のナトリウムイオンが淡水処理区よりも多く含まれた事によって試験開始時の電気伝導度が高く、かつコンポスト化過程において値が上昇したためと考えられた。加藤ら<sup>40)</sup> は、ナトリウムイオンの添加による高電気伝導度が、家畜ふんの有機物分解を抑制することを報告している。本研究においても、海水処理区では淡水処理区に比べて有機物分解率が低く推移した (Fig. 3b)。さらに、堆積物の温度上昇や (Fig. 2)、発芽インデックスも同様の傾向を示しており (Fig. 3c)、これらは材料の電気伝導度が高かった事が主たる原因であると考えられた。

海水処理貝肉廃棄物に貝掃除屑を添加して行ったコンポスト化試験では、1 回目の切り返し以降、ほぼ全ての試験区で電気伝導度の目安である 5.00 mS/cm を上回っていた。しかしながら、硬組織生物率の高い貝掃除屑を添加した試験区 (SBSOH-I, -II, -III) では、最高温度が高く、有機物分解率は 1 回目の、発芽インデックスは 2-3 回目の切り返し時点で完熟と判定される値を示した (Table 2)。これらの試験区では、貝掃除屑の添加によってコンポスト材料の空隙率や通気量が増加していた (Table 2)。通気性は微生物が活動しやすい環境を整えることから、コンポスト化において極めて重要なパラメータであるとされている。<sup>41,42)</sup> 二枚貝類やフジツボ類、管棲ゴカイなどの硬組織生物片を含む貝掃除屑をコンポスト原料に添加すると、通気性の向上や空気との接触面積の増加による好気性微生物の活動を促進する<sup>33)</sup> 効果や、自重による変形防止といった物性の改善効果があり、試験期間中もこれらの効果が維持された結果、コンポスト化が良好に進んだものと考えられた。一方、低硬組織屑 II 区や無硬組織屑区では、有機物分解率や発芽インデックスの値が対照区と同程度で推移した。水分量の多い原料を用いた場合、空気の通り道 (気道) が閉塞され、コンポスト化が正常に進まなくなることが報告されている。<sup>43)</sup> 例えば、アオサ類を原料としたコンポスト化では、通気性の改善が重要で、剪定枝などを一定比率以上で加える必要があるとされている。<sup>44)</sup> 前述の 2 試験区で用いた貝掃除屑は、海藻類やホヤ類、コケムシ類など水分をもつ生物の割合が高かった事から、コンポスト原料中の気道が閉塞され、通気性の改善効果が得られなかったと推察された。以上より、貝掃除屑は主要成分である二枚貝類やフジツボ類、管棲ゴカイ類などが持つ硬組織が、コンポスト化における通気性の確保という目的を達成するのに有用な副資材として機能する事が明らかとなった。また、これらのことから貝肉廃棄物のコンポ



スト化を良好に進める一つの指標として、添加する貝掃除屑の硬組織率を一定以上の値に保つ必要があると考えられた。

コンポストに含まれる肥料成分は、原料や副資材との混合比、処理方法によって大きく異なる。牛ふんを用いたコンポストの肥料成分は、副資材としてオガクズを用いた場合、窒素 1.71%、リン 1.79%、カリウム 1.96%、炭素率 23.3 で、イナワラを用いた場合は、それぞれ 2.16%、2.15%、2.31%、16.7 であると報告されている。<sup>45)</sup> 海水処理区および淡水処理区のコンポストは、電気伝導度が大きく異なったものの、含有する肥料成分は似た傾向を示した (Table 3)。それらは、アコヤガイ軟体部中の無機成分含有量<sup>46)</sup>を反映して、窒素が多く、リンおよびカリウムが少なかった。牛ふんを用いたコンポストと比較すると、肥料成分が全体的に低めで、特にリンやカリウムを必要とする作物の場合は、これらの成分を補うような副資材を添加する事で肥料効果が向上すると考えられた。硬組織を持つ生物を含む貝掃除屑を添加したコンポストでは、対照区のコンポストよりも窒素およびカリウムが減少し、カルシウムやマグネシウムが著しく増加した (Table 4)。これらの違いは添加した貝掃除屑によるもので、特にカルシウムは炭酸カルシウムからなる二枚貝類やフジツボ類の殻、管棲ゴカイ類の棲管由来であると考えられた。カルシウムやマグネシウムは植物の栄養となるだけでなく、土壌の pH 調整効果を有する元素として知られている。<sup>47)</sup> また、炭素率が高いコンポストは、土壌改良効果<sup>15)</sup>が期待される事から、対照区のコンポストよりも土壌改良効果が向上している事が示唆された。無硬組織屑区のコンポストでは (Table 4)、全ての肥料成分や pH が対照区を上回っていた。これは、添加した貝掃除屑に含まれる海藻類由来のタンパク質や炭水化物、無機塩類<sup>48)</sup>が有効に作用したと考えられる事から、海藻類を多く含む貝掃除屑は、肥料成分の付加という面において有用な副資材である事が示唆された。以上より、含水率や炭素率調整のための植物系資材に加えて、多種多様な付着生物で構成された様々な貝掃除屑を併用する事で、物理的な効果および肥料成分的な効果の双方の利点を享受できると考えられた。

海産生物を原料としたコンポスト化においては、有害物質として含有カドミウム量が問題となっている。<sup>49,50)</sup> 本研究により生産した全てのコンポストは、肥料取締法の定めるカドミウム含有量の上限值 (0.00050%) を下回っており (Tables 3, 4)、カドミウムに関しては問題のない安全なコンポストである事が分かった。さらに、貝肉廃棄物を主原料として作製したコンポストの肥料効果を検証する為に行ったコマツナ幼植物栽培試験の結果、海水処理 10 g 区や淡水処理 10 g 区、20 g 区では対照区と比較して有意に発芽率が高く、また、試験終了時

の地上部湿重量の合計が多かった (Table 5)。これらの結果から、貝肉廃棄物を用いて作製したコンポストは適量を施用することによって、植物への肥料効果を示すことが明らかとなった。これに対し、発芽率の低下や生長抑制が認められた試験区土壌の電気伝導度は 0.47-0.71 mS/cm と、対照区と比べて高く (Table 5)、コンポストに含まれる塩分の影響が考えられた。<sup>51,52)</sup> 高塩分のコンポストは、ハウス栽培など塩類集積が懸念される場所では利用が避けられる傾向にあるが、<sup>38)</sup> 一方で、塩分の影響は、施肥する作物種によって大きく異なる事も知られている。<sup>53,54)</sup> 例えばトマト *Solanum lycopersicum* では、海洋深層水を含む培養液や、塩ストレスを与えて栽培すると、果実の糖度や酸度、グルタミン酸量などが高まることが知られている。<sup>55,56)</sup> 海水処理区のコンポストを用いて電気伝導度を 0.76 mS/cm に調整した土壌で栽培したトマトは、糖度が増加し、食味が向上する事が確かめられている (樋口ほか、未発表)。その他、海浜植物のような耐塩性の高い植物へ施肥するなど、本コンポストの大きな特徴である海水由来の塩分を活かした作物種の選択や施肥量、栽培方法を確立する事で、より効果的な活用が可能になると考えられる。

本研究により、貝肉廃棄物は、塩分を除去しなくても約 45 日でコンポスト化が可能である事が分かった。特に、硬組織生物率を指標として養殖期間中に発生する貝掃除屑を添加し、貝肉廃棄物とともにコンポスト化することで、窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどの肥料成分を含み、またカドミウム含有量の低い、安全なコンポストが得られる事が明らかとなった。熟成後の貝肉コンポストは海水由来の塩分を含んでいるが、施肥量を調整する事でコマツナの成長を促し、植物への肥料効果を示した。さらに、塩ストレスを効果的に用いることで、高品質トマトの生産など地域産業と連携した様々な場面での活用が期待される。このような養殖廃棄物の有効活用は、漁場環境への有機物負荷を低減する事にもつながり、漁場を持続的に利用していく為にも、積極的に取り組んでいく事が重要と考える。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、サンプリングやデータ収集にご協力頂いた佃ミキモト真珠研究所および多徳養殖場、佃ミキモト博多真珠養殖の皆様に深謝いたします。また、本論文をまとめるにあたり、御意見、御助言を賜った皆様に深く感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 植本東彦, 山村 豊. 真珠養殖における排出物量. 国立真珠研究所資料 1978; 5: 45-49.
- 2) 上野成三, 高山百合子, 灘岡和夫, 勝井秀博. アコヤガ

- 代謝モデルと低次生態系モデルを統合した英虞湾の海域環境シミュレーション. 海岸工学論文集 2001; 48: 1241-1245.
- 3) 渥美貴史. 真珠養殖. 三重県地域結集型共同研究事業 閉鎖海域における環境創生プロジェクト 英虞湾物質循環調査研究報告書—ゆたかな里海の創生に向けて—, 三重. 2008; 465-516.
  - 4) 澤田保夫, 丹下 孚, 関 政夫. 真珠養殖漁場の養殖海洋学的研究 I. 1958 年 7 月英虞湾立神浦における真珠貝異常死亡漁場の観測結果について. 国立真珠研究所報告 1958; 4: 347-355.
  - 5) 上野福三, 井上啓晴. 真珠漁場における餌料基礎生産と漁場の海洋構造について I. 密殖と食物連鎖の関係. 国立真珠研究所報告 1961; 7: 829-864.
  - 6) 明田定満, 寺澤知彦. 養殖真珠漁場における養殖真珠の品質解析. 水産工学 2007; 44(1): 59-64.
  - 7) 澤田保夫, 谷口宮三郎. 真珠養殖漁場の養殖海洋学的研究 VI. 漁場底泥からみた真珠漁場の汚染度と漁場収容密度の算定について. 国立真珠研究所報告 1969; 14: 1719-1734.
  - 8) 阿保勝之, 杜多 哲. アコヤガイの生理と餌料環境に基づく養殖密度評価モデル. 水産海洋研究 2001; 65(4): 135-144.
  - 9) 山形陽一, 渥美貴史, 奥村宏征, 森田晃央. 平成 18 年度三重県科学技術振興センター水産研究部事業報告, 三重県科学技術振興センター水産研究部, 三重. 2007; 94-95.
  - 10) 山口 宏. アコヤガイのステロール. 日本水産学会誌 1987; 93: 135-144.
  - 11) 上田清資, 下村健次, 多田貴広, 中山慎也, 加納 哲. 医薬品, 医薬部外品, 化粧品および食品. 特開2003-095854, 2003.
  - 12) Kanoh S, Maeyama K, Tanaka R, Takahashi T, Aoyama M, Watanabe M, Iida K, Ueda S, Mae M, Takagi K, Shimomura K, Niwa E. Possible utilization of the pearl oyster phospholipids and glycogen as a cosmetic material. In: M. Sakaguchi (ed). *More efficient utilization of fish and fisheries products*. Elsevier, Amsterdam. 2004; 179-190.
  - 13) Watabe S, Maeyama K, Nagasawa H. *Recent Advances in Pearl Research. Proceedings of the International Symposium on Pearl Research 2011*. TERRAPUB Tokyo, Japan. 2012.
  - 14) 上野成三, 灘岡和夫, 高山百合子, 勝井秀博, 山田二久次. 英虞湾の真珠養殖漁場におけるアコヤガイの成長過程と汚濁負荷に関する現地調査. 海岸工学論文集 2000; 47: 1206-1210.
  - 15) 藤原俊六郎. 「堆肥のつくり方・使い方 原理から実際まで」農文協, 東京. 2003.
  - 16) Rijin JV. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 2013; 53: 49-56.
  - 17) 金澤晋二郎. 超高温・好気発酵法による有機性廃棄物の資源化新技術の創生. 平成 13 年及び 14 年度九州大学教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト (B タイプ(3)) 研究成果報告書 2003; 99-127.
  - 18) Hu Z, Lane R, Wen Z. Composting clam processing wastes in a laboratory- and pilot-scale in-vessel system. *Waste Management* 2009; 29: 180-185.
  - 19) 関 秀司. 軟体類の処理—ホタテウロおよびイカゴロの脱カドミウムと飼料化—. 「農・水産資源の有効利用とゼロエミッション」(坂口守彦, 高橋是太郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 2011; 185-198.
  - 20) 関 一人, 斎藤直人, 岸野正典, 佐藤真由美, 武田忠明, 秋野雅樹. 木粉を用いた水産系廃棄物の堆肥化 (第 2 報) —初期分解過程における処理物の化学的变化と緑化資材としての特性—. 林産試験場報 2008; 22: 7-12.
  - 21) Line MA. Recycling of seastar (*Asterias amurensis*) waste by composting. *Bioresource technology* 1994; 49: 227-229.
  - 22) Fukushi K, Ishio N, Tsujimoto J, Yokota K, Hamatake T, Sogabe H, Toriya K, Ninomiya T. Preliminary study on the potential usefulness of jellyfish as fertilizer. *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn* 2003; 58: 209-217.
  - 23) Seymour RM, Donahue D, Bourdon M, Evans JR, Wentworth D. Intermittent aeration for in-vessel composting of crab processing waste. *Compost Science & Utilization* 2001; 9: 98-106.
  - 24) Liao PH, May AC, Chieng ST. Monitoring process efficiency of a full-scale in-vessel system for composting fisheries wastes. *Bioresource Technology* 1995; 54: 159-163.
  - 25) Lopez-Mosquera ME, Fernandez-Lema E, Villares R, Corral R, Alonso B, Blanco C. Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture. *Procedia Environmental Science* 2011; 9: 113-117.
  - 26) Eyra MC, Defosse GE, Dellatorre F. Seaweed compost as an amendment for horticultural soils in Patagonia, Argentina. *Compost Science & Utilization* 2008; 16: 119-124.
  - 27) 肥料等試験法. 独立行政法人農林水産消費安全技術センター, 埼玉. 2008.
  - 28) 張 建国, 加茂幹男, 安部佳之, 河本英憲, 青木康浩. 粗灰分含量を指標として堆肥化過程における乾物および有機物の分解率を推定する簡便な方法. 日本畜産学会報 2004; 75: 61-66.
  - 29) 金澤晋二郎. 肥効の高い堆肥の製造と新しい腐熟検定法. 土と微生物 2002; 56: 45-54.
  - 30) 柴田るり子, 曾根一幸, 岡田光弘, 高山文雄. 家畜ふん堆肥の抽出物がコマツナ種子の発芽に与える影響—発芽試験による腐熟度判定の一考察—. 千葉県畜産総合研究センター研究報告 1987; 11: 79-85.
  - 31) 藤原俊六郎. シャーレーを使った堆肥の簡易腐熟度検定法. 日本土壌肥料学雑誌 1985; 56: 251-252.
  - 32) 田 庚昊, 野村宗弘, 中野和典, 西村 修. 高温好気処理におけるヨシチップの利用可能性の評価. 土木学会論文集 G 2007; 63: 216-223.
  - 33) 「植物に対する害に関する栽培試験の方法」(昭和 59 年 4 月 18 日付け 59 農蚕第 1943 号農林水産省農蚕園芸局長通達)
  - 34) 原田靖生. 家畜ふん堆肥の腐熟度についての考え方. 畜産の研究 1983; 39: 1079-1086.
  - 35) 久保田貴志, 岩佐博邦, 斎藤研二. 主成分分析による食品廃棄物堆肥及び家畜ふん堆肥の類型化と腐熟度評価. 千葉県農林総合研究センター研究報告 2013; 5: 117-123.
  - 36) Schaub SM, Leonard JJ. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. *Trends in Food Science & Technology* 1996; 7: 263-268.
  - 37) 脇坂 浩, 阿部正夫, 杉本俊昭, 斎藤忠史. 家畜ふん堆肥の品質因子に関する研究—3. 灰分測定による腐熟度評価—. 栃木県畜産試験場研究報告 2003; 19: 35-39.
  - 38) 小柳 渉, 安藤義昭, 水沢誠一, 森山則男. 家畜ふん堆肥中の塩類組成の特徴. 日本土壌肥料学雑誌 2004; 75: 91-93.
  - 39) 有機質肥料等推奨基準に係わる認証要領. 有機質肥料等品質保全研究会報告書, 全国農業共同組合中央会, 東京 1994.
  - 40) 加藤博美, 中谷 洋, 市川 明. 高 EC が鶏ふんの発酵過程に及ぼす影響. 愛知県農業総合試験場研究報告 1999; 31: 311-316.

- 41) 岡田光弘, 栗原 勇, 遠藤 篤, 大泉長治, 中村丹美, 萩田恒男. オガクズ等の水分調整材を用いないで堆肥化処理する場合の家畜ふんの水分と通気抵抗との関係について. 千葉県畜産総合研究センター研究報告 1983; 7: 55-61.
- 42) 今井 剛, 李 華 芳, 浮田正夫, 関根雅彦, 樋口隆哉. コンポスト化における通気量および腐熟度評価. 廃棄物学会論文誌 2006; 17: 78-86.
- 43) 金子栄廣, 藤田賢二. 堆肥化反応における水分の限界に関する研究. 土木学会論文集 1986; 369/II-5: 303-309.
- 44) 武田 甲, 藤原俊六郎, 竹本 稔. 堆肥化によるアオサの農業利用. 神奈川県農業総合研究所研究報告 1998; 139: 21-29.
- 45) Harada Y, Haga K, Oşada T, Koshino M. Quality of compost produced from animal wastes. *JARQ* 1993; 26: 238-246.
- 46) 田中正三, 波多野博行. 真珠に関する生化学的研究(第2報) あこや貝無機成分の季節的变化について. 日本化学会誌 1953; 74: 74-76.
- 47) 長谷川功. 現代肥料考一わが国の肥料事情一. 科学と教育 2010; 58: 344-349.
- 48) 内田基晴. 藻類一特にアオサの利用を中心として一. 「農・水産資源の有効利用とゼロエミッション」(坂口守彦, 高橋是太郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 2011; 165-182.
- 49) 栗原秀幸, 渡川初代, 羽田野六男. イカ肝臓中のカドミウム濃度及びその除去法の試み. 北海道大学水産科学研究彙報 1993; 44: 32-38.
- 50) 栗原秀幸, 新井信太郎, 羽田野六男. ホタテガイ中腸腺中のカドミウム濃度及びその除去法の試み. 北海道大学水産科学研究彙報 1993; 44: 39-45.
- 51) 苔米地久美子, 吹越公男, 杉浦俊弘, 馬場光久, 小林裕志. 青森県内の生物系未利用資源を活用した法面緑化資材の研究(II). 日本緑化工学会誌 2008; 34: 187-190.
- 52) 近藤始彦, 曾根千晴, 荒井(三王)裕見子, 小林伸哉, 高井俊之, 岩澤紀生, 吉永信志. 作物の塩害の生理機構とその対策. 農業および園芸 2012; 87: 156-161.
- 53) 高橋英一, 前嶋一宏. ナトリウムの有用性に関する比較植物栄養学的研究. 近畿大学農学部紀要 1998; 31: 57-72.
- 54) 畠中哲哉. 作物生産のための高塩類堆肥の利用法. 畜産の研究 2007; 61: 265-270.
- 55) 園師一文, 松添直隆, 吉田 敏, 筑紫二郎. ホストレス下および塩ストレス下で栽培したトマトにおける果実内成分の比較. 植物環境工学 2005; 17: 128-136.
- 56) 細川卓也, 小松秀雄, 吉田徹志, 福元康文. トマトの溶液栽培における培養液への海洋深層水の添加が生育および果実の収量・品質におよぼす影響. 植物環境工学 2005; 17: 26-33.