ー研究（Original Article）ー

# 木粉を用いた水産系廃棄物の堆肥化（第２報）

## ー初期分解過程における処理物の化学的変化と緑化資材としての特性ー

関　一人　　斎藤　直人[*1]　　岸野　正典
佐藤真由美　　武田　忠明[*2]　　秋野　雅樹[*2]

# Composting Fishery Wastes with Wood Meal (II)

## - Chemical changes in the disposal product in the early stage of the biodegradation process and its characterization as a green material -

Kazuto SEKI　　Naoto SAITO　　Masanori KISHINO
Mayumi SATO　　Tadaaki TAKEDA　　Masaki AKINO

We investigated chemical changes in the disposal products of fishery waste, such as starfish, sea urchin and crab shells with inedible internal organs, in the early stage of the biodegradation process with wood meal using a composting machine, and their characterization as green materials. After biodegradation for 7 days, the disposal products of fishery waste and wood meal seemed not to mature as compost, due to their chemical properties, pH level, electric conductivity (EC), and cation exchange capacity (CEC). It was observed that the 7-day disposal product from wood meal and starfish inhibited neither the germination nor growth of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) when used as a culture medium. Therefore it could be useful for plant establishment as a green material.

*key words*: fishery waste composting, pH level, electric conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC), compost maturity degree
水産系廃棄物の堆肥化，pH，電気伝導率（EC），陽イオン交換容量（CEC），堆肥の熟成度

木粉と試作した堆肥化装置を用い，ヒトデ，非可食内蔵を含むウニ殻やカニ殻などの水産系廃棄物の初期分解過程における化学的変化および緑化資材としての特性について検討した。7日間経過した水産系廃棄物の処理物は，pH，電気伝導度（EC），陽イオン交換容量（CEC）などの化学的特性より，堆肥としては熟成過程にあることが推察された。7日間経過したヒトデ処理物を芝の培地として生育試験を行った結果，発芽および生育障害は認められなかった。このことより，ヒトデ処理物は公園や道路法面などの緑化資材として利用可能であると考えられる。

## 1. はじめに

北海道は日本最大の水産物供給基地であり，資源の漁獲，養殖，加工などの過程で大量の廃棄物が発生している。これらの廃棄物は今日推進されている循環型社会に対応するために，発生抑制や有効利用が求められている[1)]。

一方，森林整備により発生する除伐材，抜根，枝条などの林地残材，木材産業により発生する樹皮，端材，オガ屑などの工場残材，生活圏整備にともなう建築解体材などの多様な木質系廃棄物が発生しており，その有効利用が求められている[2)]。近年，建設工事にともなって発生する伐採木，抜根などを粉砕し，植物生育基盤材として現場で活用する試みが多数なされている[3-5)]。しかし，木質系粉砕物(以下，木粉という)を未分解のままで法面などの生育基盤材として用いると，木粉の含有成分[6-8)]や窒素飢餓[6,9,10)]による植物生育障害などが生じることが懸念されている。そのため，木粉と窒素含有有機物の混合物中の易分解性有機物を微生物分解して得られる堆肥化物の利用が好ましいが，処理期間が長い(3～6か月）などの問題が指摘されている。

そこで本研究では，ヒトデ，ウニおよびカニの加工残さなどの水産系廃棄物を木粉と堆肥化装置を用いて比較的短期間（7日間）処理し，処理物の化学的変化を調査した。また，ヒトデの処理物については，緑化資材としての適性について検討した。

## 2. 材料および方法

### 2.1 水産系廃棄物の木粉と堆肥化装置による処理

本研究では水産系廃棄物として，キヒトデ（*Asterias amurensis*），エゾバフンウニ（*Strongylocentrotus intermedius*）の殻，タラバガニ（*Paralithodes camtschaticus*）の殻を用いた（以下，それぞれヒトデ，ウニ殻，カニ殻という）。前報[11)]と全く同様な方法で，ヒトデ（重量:4.7kg，水分:66%）は粉砕せずに個体の状態で，ウニ殻（重量 : 3.9kg，水分 : 43%）とカニ殻（重量 : 9.5kg，水分72%）は，水産加工後の非可食の内臓が付着している状態で，カラマツ（*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.）の木粉（粒度4mm以下，重量 : 4.5kg，水分 : 11%）と混合し，堆肥化装置（分解槽容量 : 45L）を用いて，好気性微生物存在下で，それぞれ7日間処理した。

### 2.2 処理物を用いた植物の生育試験

ヒトデの7日間処理物（以下，ヒトデ処理物という），市販の黒土およびバーク堆肥，カラマツ木粉を**第1表**に示した体積混合比で配合し，培地（体積300mL）として育苗ポット（3号鉢，直径9cm，ポリエチレン製）に充填した。育苗ポット中の培地に芝（ケンタッキーブルーグラス　*Poa pratensis*）の種子を100粒播種して，播種後から42日間（2005年2月10日～3月24日）の芝の伸長量および成長の経過を観察した。また，42日目には，芝の地上部および地下部を分離して乾燥させ，それぞれの乾燥重量を測定した。

**第1表　芝用培地の配合条件（体積比）**
Table 1. Compositions of culture media for grass (volume ratio).

| 培地名 Culture medium name | 黒土 Soil | ヒトデ処理物* Disposal product of starfish* | 木粉 Wood meal | バーク堆肥 Bark compost |
|---|---|---|---|---|
| So | 10 | － | － | － |
| SBC | 5 | － | － | 5 |
| SW | 5 | － | 5 | － |
| SS1 | 8 | 2 | － | － |
| SS2 | 6 | 4 | － | － |
| SS3 | 5 | 5 | － | － |
| SS4 | 4 | 6 | － | － |
| SS5 | 2 | 8 | － | － |
| St | － | 10 | － | － |

*：木粉を含む
*: Contained residual wood meal.

### 2.3 処理物および培地材料の化学分析

水産系廃棄物の木粉と堆肥化装置による処理物を分析試料として経時的（1～7日）に採取し，それぞれpH，電気伝導率(EC)，陽イオン交換容量(CEC)について測定した。また，培地材料であるヒトデ処理物，バーク堆肥，黒土において，窒素，リン酸，カリウム，カドミウムを定量した。さらに，ヒトデ処理物と同様に，バーク堆肥および黒土においても，CECを測定した。以上の分析は，全て（財）日本土壌協会の方法[12)]に準じて行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 処理物の化学的特性の経時変化

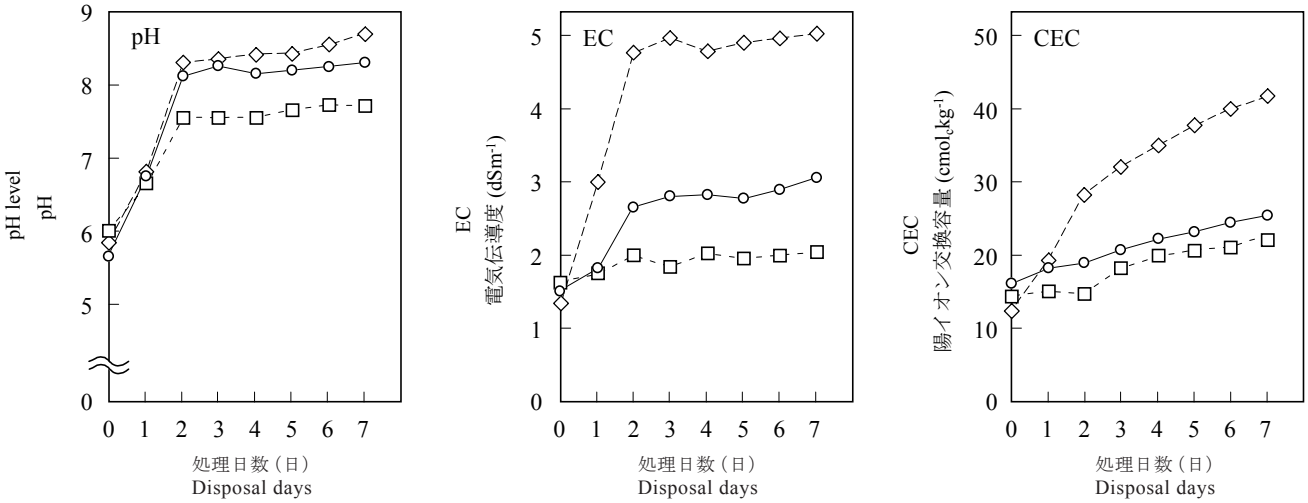
水産系廃棄物の処理物におけるpH，電気伝導率

（EC），陽イオン交換容量（CEC）の経時変化を**第1図**に示した。pHに関しては，用いたすべての水産系廃棄物において，処理2日目までにpH6程度からpH7.5～8.3程度に増加し，それ以降は微増する傾向を示した。ECについては，ヒトデ，カニ殻では，2日目までにそれぞれ1.5から2.6dSm$^{-1}$，1.5から4.8dSm$^{-1}$と増加した後，7日目まで微増したが，ウニ殻では全試験期間において微増する傾向を示した。CECに関しては，用いたすべての水産系廃棄物において，15cmol$_c$kg$^{-1}$程度から直線的に増加し続ける傾向を示した。また，pH，EC，CECのいずれにおいても，その増加傾向はカニ殻＞ヒトデ＞ウニ殻の順に高かった。

pHの上昇は，鶏ふんと樹皮を混合させたバーク堆肥の初期発酵過程[13]，生ゴミなどの易分解性有機物と木粉の混合物の好気的条件下における実験室レベルでの初期分解過程[14,15]においても観察されている。一般の堆肥化過程では，初期にpHレベルがpH8.5～9.0程度に上昇したのち，3か月以降には逆に下降し，pH7.5程度に一定となって推移する[13]が，これは微生物活動により堆肥化過程に生じる“窒素化合物→アンモニウムイオン→硝酸イオン”の量的変化に起因することが示されている[10]。本研究では，いずれの処理においても7日目でpH7.6以上であることから，この時点ではアンモニウムイオンが優勢であることが示唆された。

堆肥におけるECは，含有する塩類由来の水溶性イオン（カルシウムイオン，マグネシウムイオン，カリウムイオン，ナトリウムイオン，アンモニウムイオン，リン酸二水素イオン，塩化物イオン，亜硝酸イオン，硝酸イオンなど）の合計量と高い相関関係を示す[16]。バーク堆肥の発酵過程におけるECの変化は，最初の1か月間は2.0から5.0～9.0 dSm$^{-1}$程度に増加したのち，2.0dSm$^{-1}$以下に低下して一定値で推移することが報告されている[13]。また，堆肥化の初期発酵において6.0dSm$^{-1}$以上の高ECでは発酵速度に悪影響をおよぼすことが認められている[17]。本研究の7日間の処理期間中では，用いたすべての水産廃棄物でECの増加が見られたことから，堆肥化における初期段階に相当するが，6.0dSm$^{-1}$以上ではなかったため塩類による分解速度への影響は小さいことが推察された。

前報[11]を基に算出した処理前の水産系廃棄物と木粉の混合物における窒素含有率は，カニ殻（3.36%）＞ヒトデ（1.82%）＞ウニ殻（0.49%）（対乾燥重量）の順に高く，pHやECの増加傾向（第1図）と符合していた。アンモニウムイオンはタンパク質やアミノ酸などの窒素化合物に由来するが，水




**第1図　処理物におけるpH，電気伝導率（EC），陽イオン交換容量（CEC）の経時変化**

Fig. 1. Changes in pH level, electronic conductivity (EC), and cation-exchange capacity (CEC) of disposal products during biodegradation.

○：ヒトデ，□：ウニ殻，◇：カニ殻

○: Starfish, □: Sea urchin shell, ◇: Crab shell

産系廃棄物のような易分解性有機物中の窒素化合物からのアンモニウムイオンの発生量が，pHやECの増加傾向に影響を与えていると考えられた。

堆肥化過程において好気性微生物による有機物の化学変換が進行すると，有機物の表面におけるカルボキシル基，すなわち負帯電サイトが増加し，アンモニウム，カリウム，カルシウム，マグネシウムなどの植物栄養素に関わる陽イオンを静電気的に吸着する陽イオン交換能が向上する。このような能力は土壌中の肥効成分の雨水などによる流亡を防ぐ堆肥の保肥力として重要であり，堆肥の熟成とともに増加する傾向が強いため，CEC値は熟成指標としても扱われている[18,19]。木粉などのリグノセルロース系物質に含まれる，リグニン，セルロース，ヘミセルロースは，CECの増加に関して重要な役割を果たしていると考えられており[20]，これまで木粉を用いた生ゴミの堆肥化では，開始後の7日間においてCECは急激に増加し，その後徐々に微増することが認められている[19]。

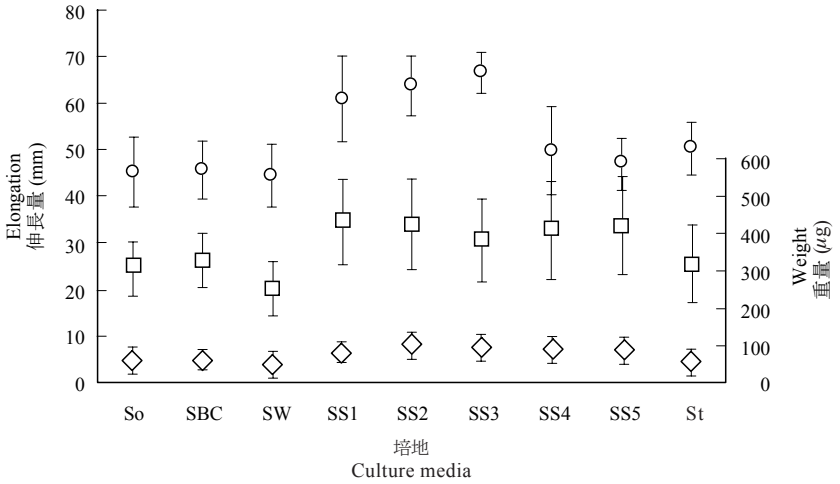
本研究における処理物の7日間後のCEC値は，ヒトデ，ウニ殻，カニ殻においていずれも増加し，それぞれ，26，43，21$cmol_c kg^{-1}$程度であったが（第1図），堆肥の熟成達成値とされる60～70$cmol_c kg^{-1}$[9,19]と比較するといずれも低い値であった。このようなCEC，前述のpHおよびECなどの化学的特性値の結果から，本研究における7日間の処理物は，堆肥としては熟成過程にあることが考えられた。

### 3.2　ヒトデ処理物の芝の成長におよぼす影響

ヒトデ処理物の緑化資材としての適性を評価する目的で，種々の培地条件（第1表）を用いて，芝を対象とした植物生育試験を検討した（**第2図**）。ヒトデ処理物を配合したすべての培地条件において，芝の発芽および生育に障害は認められなかった。ヒトデ処理物を配合した，SS1，SS2，SS3などの培地条件では，伸長量は他の培地条件よりも高く，全重量や根重量は黒土や黒土・バーク堆肥の培地So，SBCよりも高い傾向を示した。また，黒土と木粉を1:1の体積比で混合させた培地SWでは，全重量や根重量は他の培地条件よりも低い傾向が認められた。

これまでに，木粉と好気性微生物の存在する条件下で，3か月間経過後に得られた生ゴミ処理物と，黒土を混合した培地を用いて栽培した植物体の伸長量，全重量または根重量などが増加する傾向が認められ，①生ゴミ由来の窒素・リン酸・カリウムなどの肥効成分が影響したこと，②微生物により土壌における肥効成分の植物による利用性が改善されたこと，③土壌の物理的性質が改善されたこと，などの要因によることが報告されている[14]。

今回用いた芝の培地材料において，窒素，リン酸，カリウムの含有量およびCECについては，バーク堆肥＞ヒトデ処理物＞黒土の順に高かった（**第2表**）。このことから，ヒトデ処理物は一定程度の肥効性と保肥性を有し，急激な窒素飢餓の発生の可能性が低い資材であることが推察された。




**第2図　ヒトデ処理物の芝の生育に及ぼす影響**

Fig. 2. Effect of starfish disposal product (SDP) as culture medium for growth of grass.

So：黒土，SBC：1:1 黒土/バーク堆肥，SW：1:1 黒土/木粉，SS1：4:1 黒土/ヒトデ処理物，SS2：3:2 黒土/ヒトデ処理物，SS3：1:1 黒土/ヒトデ処理物，SS4：2:3 黒土/ヒトデ処理物，SS5：1:4 黒土/ヒトデ処理物，St：ヒトデ処理物　（$n$=20）
○：伸長量，□：全重量，◇：根重量
誤差線：標準偏差
So: soil, SBC: 1:1 soil/bark compost, SW: 1:1 soil/wood meal, SS1: 4:1 soil/SDP, SS2: 3:2 soil/SDP, SS3: 1:1 soil/SDP, SS4: 2:3 soil/SDP, SS5: 1:4 soil/SDP, St: SDP　($n$=20)
○: Elongation, □: Total weight, ◇: Root weight
Error bar: Standard deviation

**第2表　ヒトデ処理物，バーク堆肥，黒土の無機成分および陽イオン交換容量（対乾燥重量）**
Table 2. Mineral composition and cation-exchange capacity (CEC) of the disposal products of starfish with wood meal after biodegradation for 7 days, bark compost, and soil. (Based on a dry substrate)

| | 窒素 N | リン酸 $P_2O_5$ | カリウム $K_2O$ | カドミウム Cd | 陽イオン交換容量 CEC |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (%) | | ($\mu gg^{-1}$) | ($cmol_c kg^{-1}$) |
| ヒトデ処理物 Disposal products of starfish with wood meal after biodegradation for 7 days | 1.21 | 0.77 | 1.27 | 0.78 | 25.6 |
| バーク堆肥 Bark compost | 1.61 | 1.51 | 1.25 | 0.15 | 83.6 |
| 黒土 Soil | 0.03 | 0.02 | 0.12 | 0.05 | 9.1 |

ヒトデは，生息周辺環境からカドミウムなどの重金属を，体内に存在する金属結合性様のタンパク質に取り込んで蓄積する[21)]。今回，ヒトデを木粉と混合することによりヒトデ処理物のカドミウム含有量は0.78$\mu gg^{-1}$に低下したと考えられるが，バーク堆肥や黒土と比較すると高い値を示した（第2表）。このことと同様に，ヒトデを混和させて製造した堆肥は，一般的な堆肥と比較してカドミウム含有量が高いことが認められている。しかし，それを施用した場合のダイコンなどの野菜の生育やカドミウム吸収におよぼす影響は無いことが報告されている[22)]。

ヒトデには一般にトリテルペノイド配糖体であるサポニンが含まれ，細胞毒，魚毒，駆虫，溶血作用などの種々の生理阻害活性が認められている[23)]。また，本研究で用いたキヒトデの脂質成分であるセラミドやセレブロシドには，植物に対する生育促進活性が示されている[24)]。一方，木材や樹皮などの木質系粉砕物の抽出物には様々なフェノール性化合物が存在し，植物の初期成長において生育阻害の関与が示されており[6-8)]，本研究で用いたカラマツの木粉には，タキシホリンなどのフェノール性化合物が比較的多く含まれている[25,26)]。本研究では，キヒトデとカラマツ木粉を好気性微生物の存在条件下で7日間処理したため，それらに含有する前述のような種々の生理活性物質は少なからず化学変換を受けた可能性が高いことが推測される。ヒトデ処理物は芝の生育に悪影響をおよぼさなかったが（第2図），今後これらの生理活性物質の微生物処理前後の生化学的な変化についてさらに検討する必要がある。

## 4．結論

木粉と試作した堆肥化装置を用い，ヒトデ，非可食内蔵を含むウニ殻やカニ殻などの水産系廃棄物を処理し，初期分解過程における化学的変化および緑化資材としての特性について検討した。7日間経過した水産系廃棄物の処理物は，pH，EC，CECなどの化学的特性より，堆肥としては熟成過程にあることが推察された。7日間経過したヒトデ処理物を芝の培地として生育試験を行った結果，発芽および生育の障害は認められず，ヒトデ処理物は公園や道路法面などの緑化資材としての利用の可能性は示されたが，残存未分解有機物による植物生育におよぼす影響を調査する目的で長期間の生育試験の検討も必要であると考えられる。

## 文　献


1）北海道水産林務部総務課 編：“北海道水産業・漁村のすがた2007～北海道水産白書～”，北海道，札幌，2007，pp.69-71.

2）北海道水産林務部総務課 編：“平成17年度北海道森林づくり白書”，北海道，札幌，2006，pp.12-17.

3）横塚享，小林正宏，大谷多香，高橋正通，赤間亮夫，太田誠一：日本緑化工学会誌 **27**，181-184（2001）.

4）斎藤茂，横塚享，石口真実：日本緑化工学会誌 **27**，566-568（2002）.

5）二見肇彦，牧孝憲，猪俣景悟，楠浦重富：日本緑化工学会誌 **29**，185-188（2003）.

6）佐藤俊：畜産の研究 **30**，227-230（1976）.

7) Aoyama, M., Kubota, M., Takahashi, H.: *Mokuzai Gakkaishi* **29**, 930-934 (1983).
8) 佐藤真由美，斎藤直人，関一人，福川英司，中住晴彦：木材学会誌 **51**，327-333（2005）.
9) 河田弘："バーク（樹皮）堆肥"，博友社，東京，1981，pp.18-33.
10) 社団法人 中央畜産会 編："堆肥化施設設計マニュアル"，中央畜産会，東京，2000，pp.1-28.
11) 関一人，斎藤直人，白川真也，佐藤真由美，岸野正典，横幕辰美，阿部龍雄，清水光弘，武田忠明，秋野雅樹：林産試験場報 **21**（1），8-14（2007）.
12) 財団法人 日本土壌協会 編："堆肥等有機物分析法"，日本土壌協会，東京，2000，pp.18-178.
13) 今野一男，平井義孝，東田修司：北海道立農試集報 第52号，31-40（1985）.
14) Terazawa, M., Horisawa, S., Tamai, Y., and Yamashita, K.: *J. Wood Sci.* **45**, 354-358 (1999).
15) Horisawa, S., Sakuma, Y., Tamai, Y., Doi, S., and Terazawa, M.: *J. Wood Sci.* **47**, 154-158 (2001).
16) 小柳渉，安藤義昭，水沢誠一，森山則男：日本土壌肥料科学雑誌 **75**，91-93（2004）.
17) 加藤博美，中谷洋，市川明：愛知農総試研報 31号，311-316（1999）.
18) Harada, Y. and Inoko, A.: *Soil Sci. Plant Nutr.* **26**, 127-134 (1980).
19) Harada, Y. and Inoko, A.: *Soil Sci. Plant Nutr.* **26**, 353-362 (1980).
20) Garcia-Gomez, A., Bernal, M. P., Roig, A.: *Compost Sci. Util.* **13**, 127-135 (2005).
21) den Besten, P. J., Herwig, H. J., Zandee, D. J., Voogt, P. A.: *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **19**, 858-862 (1990).
22) 北海道立道南農業試験場 園芸環境科：平成16年度 北海道立道南農業試験場年報，26（2005）.
23) de Marino, S., Iorizzi, M., Palagiano, E., Zollo, F., and Roussakis, C.: *J. Nat. Prod.* **61**, 1319-1327 (1998).
24) Ishii, T., Okino, T., and Mino, Y.: *J. Nat. Prod.* **69**, 1080-1082 (2006).
25) 竹原太賀司，笹谷宜志：北海道大学演習林研究報告 **36**，681-693（1979）.
26) 笹谷宜志，竹原太賀司，三木啓司，榊原彰：北海道大学演習林研究報告 **37**，837-860（1980）.

ー利用部　成分利用科ー
ー *1：企画指導部　主任研究員ー
ー *2：北海道立網走水産試験場ー
（原稿受理：08.3.14）