

研究資料

県産きのこの放射性物質の挙動と対策に関する研究

手代木徳弘 武井利之* 久保智裕

目 次

要 旨	
I はじめに	14
II 菌床栽培における放射性セシウム移行抑制に関する研究	14
1 試験方法	
2 結果と考察	
III 野外ほだ場における放射性セシウム汚染低減に関する研究	18
1 試験方法	
2 結果と考察	
IV おわりに	26
V 引用文献	26

要 旨

シイタケおよびナメコの菌床栽培ならびに原木露地栽培において、放射性セシウム (^{134}Cs と ^{137}Cs) による子実体汚染を抑制する方法を検討した。菌床栽培では培地から子実体への放射性セシウムの移行を抑制する添加剤を検討した。放射性セシウムを含む培地に各種の添加剤を加えて栽培した結果、シイタケ、ナメコともにプルシアンブルー (PB)、プルシアンブルー類似体 (ZnHCF) およびゼオライトを添加することによって、培地から子実体への放射性セシウムの移行が強く抑制された。原木露地栽培では放射性セシウム吸収抑制資材や簡易な資材による被覆の効果を検討した。無汚染地域の原木を使用したシイタケ被覆試験では、敷材に比べ被覆材の汚染低減効果が高かった。また、ほとんどの試験区において2015年に比べ2016年の子実体に含まれる放射性セシウム濃度が高かったことからほだ場において追加汚染の発生が示唆された。ナメコ原木栽培の追加汚染低減では、客土の効果が高いと考えられた。

キーワード：放射性セシウム、汚染低減、シイタケ、ナメコ、原木栽培

受付日 令和2年4月24日

受理日 令和3年1月7日

*会津大学短期大学部食物栄養学科

課題名 県産きのこの放射性物質の挙動と対策に関する研究(県単課題 平成25~29年度)

本報の一部は第20回「環境放射能」研究会で報告した

I はじめに

本研究の目的は、生産者と消費者がさらに安心してきのこを栽培および購入できることをめざして、子実体に含まれる放射性セシウムを低減するための栽培方法の確立である。これまでの研究においては、ヒラタケの菌床栽培においてに塩化カリウム、ゼオライト、プルシアンブルーをそれぞれ添加することにより子実体の放射性セシウム濃度を低減できることが報告されている³⁾。本研究では、シイタケとナメコの菌床栽培を対象として、培地から子実体への放射性セシウムの移行抑制や放射性セシウムの吸着が期待される吸着剤等を培地に添加して、これら添加剤による移行抑制効果を検討した。

シイタケ原木栽培に関しては、原木やほだ木をプルシアンブルー溶液に浸漬することにより子実体の放射性物質濃度が低減するとの報告がある^{5) 7)}。プルシアンブルーについてはそれ自体は毒性を示さないが、排水等はシアン化合物としての処理が求められる⁷⁾。また、ほだ場におけるほだ木の追加汚染も示唆されていることから⁶⁾、中通り地方・浜通り地方の多くの市町村に対し原子力災害対策特別措置法に基づく出荷制限が指示されている⁴⁾シイタケの原木栽培において、放射性物質吸収抑制資材や簡易資材を被覆材として使用し、ほだ場環境や原木からの移行抑制技術を検討した。

地伏せを行うナメコ原木露地栽培に関しては、ほだ場環境、特に放射性物質が滞留している地表付近からの汚染を抑制するため、各種敷材を使用して、ほだ木を地表から隔離する栽培技術を検討した。

II 菌床栽培における放射性セシウム移行抑制に関する研究

1 試験方法

(1) シイタケ菌床栽培における添加剤による放射性セシウム低減効果

① 培地の調整と種菌

培地は、汚染地域の原木から作成した約2,500Bq/kgのコナラオガ粉に、無汚染のオガ粉を混合して希釈し、放射性セシウム濃度約1,200Bq/kg乾重に調製した。また、栽培用培地の配合割合は、オガ粉：フスマ：米ヌカを風乾重量比10:1:1とした。作成した培地には、13種の添加剤を2種の濃度に加えた後、水道水で含水率を65%に調製し、栽培袋(2kg用)に詰め、121℃で120分殺菌後放冷し、株式会社北研製600号を薬匙2杯程度接種した。添加剤の種類と濃度は表-1のとおりとし、1試験区の供試培地を3個とした。

② 培養と子実体発生処理

植菌後20±2℃で100日間培養した後、発生操作を行った。発生方法は上面栽培とし、開封注水後15±2℃、湿度95%以上で子実体を発生させ、子実体を収穫した。

③ 放射性セシウムの測定

放射性セシウムの測定は、収穫した子実体を刻んで20mlの測定容器に詰め、PerkinElmer製2480WIZARD²オートガンマーカウンタ(NaI検出器)で行った。移行係数は、子実体の放射性セシウム濃度(Bq/kg・生重)を、培地の放射性セシウム濃度(Bq/kg・乾重)で除して求めた。

(2) ナメコ菌床栽培における添加剤による放射性セシウム低減効果

① 培地の調整と種菌

栽培用培地作成は(1)と同様とし、培地の放射性セシウム濃度が約600Bq/kg乾重となるように調製した。(1)と同様の添加剤を加え、800mlの広口栽培瓶に550g詰め、121℃で120分殺菌後放冷し、株式会社キノックス製KX-008号を薬匙2杯程度植菌した。添加剤の種類と濃度は表-1のとおりとし、1試験区の供試培地を3個とした。

② 培養と子実体発生処理

種菌を接種した培地を、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ で60日間培養し、菌掻き、注水処理の発生操作を行った。温度 $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度95%以上で子実体を発生させ、膜切れ直前のつぼみ状態の子実体を収穫した。

③ 放射性セシウムの測定

放射性セシウムの測定は、収穫した子実体を刻んで20mlの測定容器に詰め、PerkinElmer製2480WIZARD²オートガンマーカウンタ(NaI検出器)を使用して行った。移行係数は、子実体の放射性セシウム濃度(Bq/kg・生重)を、培地の放射性セシウム濃度(Bq/kg・乾重)で除して求めた。

表-1 シイタケ及びナメコ栽培に使用した添加剤と添加濃度

添加剤名	添加濃度 (w/w) ¹⁾	
福島県産にがり	1.5	0.3
炭酸カルシウム	1.5	0.3
りん酸水素二カリウム	1.5	0.3
りん酸二水素カリウム	1.5	0.3
シュウ酸	1.5	0.3
クエン酸	1.5	0.3
塩化カリウム	1.5	0.3
硫酸アンモニウム ²⁾	1.5	0.3
粘土A	1.5	0.3
粘土B	1.5	0.3
水分散プルシアンブルー	0.3	0.06
水分散亜鉛プルシアンブルー類似体	0.3	0.06
ゼオライト (ジークライト製)	15.0	3.0

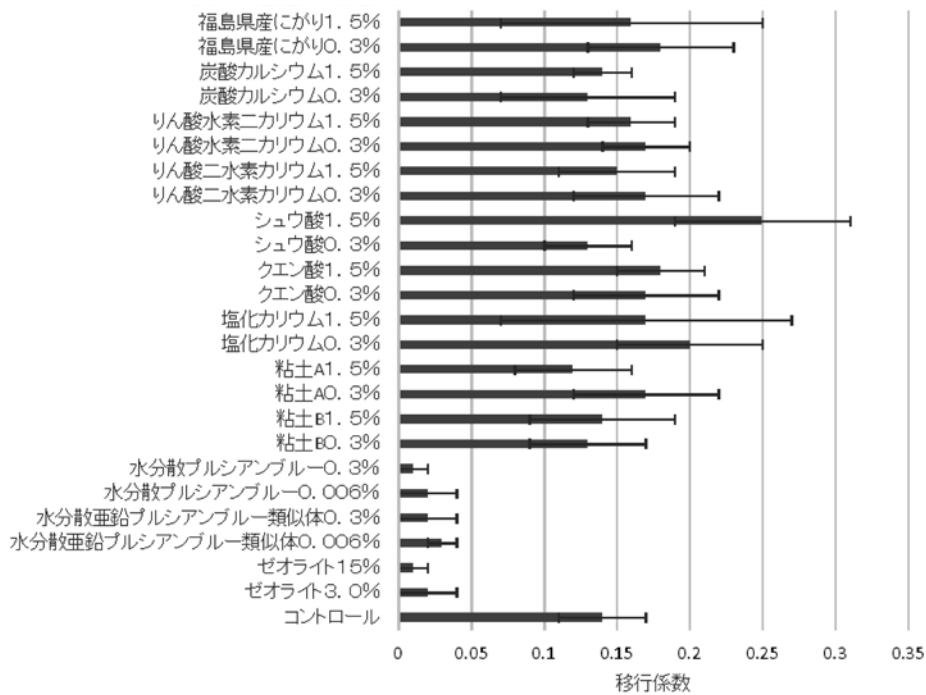
1) : 培地乾燥重量に対する添加剤乾燥重量の重量百分率

2) : ナメコ栽培にのみ使用

2 結果と考察

(1) シイタケ菌床栽培における添加剤による放射性セシウム低減効果

添加剤を加えて栽培した子実体と添加剤別の移行係数を求めた結果を図-1に示す。培地に水分散プルシアンブルー (PB) ¹⁾、水分散亜鉛プルシアンブルー類似体 (ZnHCF) ²⁾ 及びゼオライトを添加した場合の放射性セシウムの移行係数は、添加剤を加えない対象区と比較して極めて低い値を示した。



図－1 培地に添加剤を加えてシイタケを栽培した場合の移行係数

(2) ナメコ菌床栽培における添加剤による放射性セシウム低減効果

添加剤を加えて栽培した子実体と添加剤別の移行係数を求めた結果を図－2に示す。培地にPB、ZnHCF及びゼオライトを添加した場合の放射性セシウムの移行係数が、添加剤を加えない対象区と比較して低い値となり、シイタケと同様の傾向が確認された。ナメコについては、これ以外にも移行係数を低下させる添加剤が確認されたが、前述した添加剤と比較し効果は低かった。

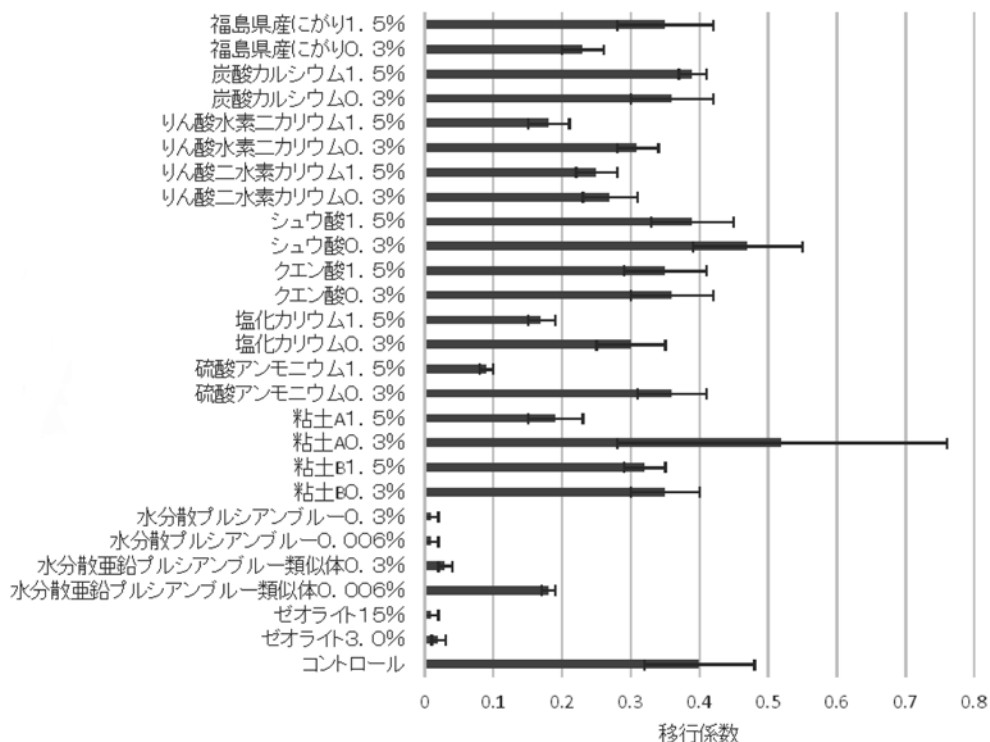


図-2 培地に添加剤を加えてナメコを栽培した場合の移行係数

III 野外ほだ場における放射性セシウム汚染低減に関する研究

1 試験方法

(1) シイタケ原木露地栽培における放射性セシウム低減資材の検討

① 調査地

相馬市玉野地区の広葉樹林内に試験地を設置した(図-3、4)。試験地の空間放射線量率は2016年9月時点で地上1mで0.5~1.0 μ Sv/hであった。



図-3 試験地概況



図-4 試験地概況

②試験方法

試験地に伏せ込んだほだ木は、2013年3月に林業研究センター（以下センター）内で県外産の無汚染地域産原木に秋山A 910種菌を接種し、センター内のビニールハウスで仮伏せを行った。試験地への本伏せは6月に行った。試験区の概要を表-2に示す。各試験区には12本ずつのほだ木を伏せ込んだ。試験区の設置は以下のとおり行った。敷材については、試験区の整地を行った後シート状の敷材を敷き詰めピンで固定した。また、黒土、山砂については、試験地に木枠を設置しその中にそれぞれの敷材を敷ならした。被覆材については、2m四方に調整した被覆材をほだ木に直接かぶせビニールハウスに使用するハウスコードとピンで固定した。被覆材は子実体の発生時期には外した状態でほだ木を管理した。

子実体は、2015年と2016年の2月末から4月末までに発生したものを試験区毎に採取した。採取した子実体は細かく刻んで1.5Lのマリネリ容器に1L充填して、NaIシンチレーションカウンター（EMF211型ガンマ線スペクトロメータ）で¹³⁷Cs濃度を測定した。測定時間は60分としたが、検出限界値以下の場合は720分で再測定した。測定後、一部検体を105℃で24時間以上乾燥し、含水率の測定を行った。

表-2 試験区の概要

試験区	被覆材	敷材
A	ゼオライトシート	ゼオライトシート
B	プルシアンブルーシート	ゼオライトシート
C	無し	ゼオライトシート
D	ゼオライトシート	プルシアンブルーシート
E	プルシアンブルーシート	プルシアンブルーシート
F	無し	プルシアンブルーシート
G	ゼオライトシート	パレット
H	プルシアンブルーシート	パレット
I	無し	パレット
J	ゼオライトシート	無し
K	プルシアンブルーシート	無し
L	無し	無し
N	不織布	不織布
O	ゼオライトシート	山砂
P	プルシアンブルーシート	山砂
Q	無し	山砂
R	ゼオライトシート	黒土
S	プルシアンブルーシート	黒土
T	無し	黒土

ゼオライトシート：ジークライト製Csキャッチャー24（660g/m²）

プルシアンブルーシート：ユニチカ製TN300WTE2100（300g/m³+PB100g/m²）

不織布：ユニチカ製TN300WTE2100（300g/m³）



図-5 試験区（パレット敷）



図-6 試験区（対照区）

(2) ナメコ原木露地栽培における放射性セシウム低減資材の検討

① 調査地

三島町西方共有林のスギ林内に試験地を設置した（図-7、8）。2017年10月時点の空間放射線量率は地上1mで $0.11 \mu\text{Sv/h}$ であった。



図-7 試験地概況



図-8 試験地概況

② 試験方法

ア 敷材別移行抑制試験

供試原木は、福島県西会津地域産の低汚染原木で、 ^{137}Cs の濃度が約40 Bq/kgDWのものを使用した。原木は1本ごとに一部を粉砕し、NaIシンチレーションカウンター（EMF 211型ガンマ線スペクトロメータ）で ^{137}Cs 濃度を測定した。測定後、一部検体を 105°C で24時間以上乾燥し、含水率の測定を行った。試験区に設置する原木は ^{137}Cs 濃度が平均して約40Bq/kgDWになるように設置した。

原木への種菌の接種は、センター内において2016年3月に種菌福島N1号を接種し、センター内のビニールハウス内で仮伏せを行った。本伏せは表-3の試験区に各12本ずつ伏せ込んだ。試験区の状況を図9～12に示す。

子実体の採取は、2夏経過後の2017年11月～12月に行い、傘の開きが「普通」

から「開き」の状態の子実体について¹³⁷Cs濃度を測定した。¹³⁷Csの測定は、細かく刻んで、1.5Lマリネリ容器に1L充填してNaIシンチレーションカウンター（EMF211型ガンマ線スペクトロメータ）を用いて行った。測定時間は60分としたが、検出限界値以下の場合は720分で再測定した。測定後、一部検体を105℃で24時間以上乾燥し、含水率の測定を行った。

表-3 試験区の設定

試験区	内容	目的
A	貨物用パレット+市販ベッドマット	土壌から物理的に隔離
B	枿+赤玉土客土(10cm)+表面に不織布	客土による隔離
C	枿+鹿沼土客土(10cm)+表面に不織布	同上
D	枿+無攪乱表土+プルシアンブルー溶液 (セシウムソーブ100倍液) 散布	プルシアンブルー溶液のCs吸着 によるほだ木への移行抑制
E	枿+無攪乱表土+表面に不織布+プル シアンブルー溶液(上記) 散布	同上
F	無攪乱の表土(対照区)	対照区



図-9 試験区設置(枿設置状況)



図-10 試験区(A区)



図-11 試験区(B区)



図-12 対照区(F区)

イ 原木汚染濃度の違いによるナメコ子実体への影響比較

四国産無汚染原木（ND < 1.19Bq/kg）と前述の福島県西会津地域産原木の比較を行った。試験方法はⅢ 1 (2)②アと同様とし、表－4に示す各試験区に四国産無汚染原木のほだ木と福島県西会津地域産原木のほだ木を12本ずつ供試した。

表－4 試験区の設定

試験区	原木	内容	目的
a	西会津産低濃度	柾+赤玉土客土(10cm)+表面に不織布	客土による隔離
b	四国産無汚染	柾+赤玉土客土(10cm)+表面に不織布	客土による隔離
c	西会津産低濃度	柾+無攪乱表土+プルシアンブルー溶液(セシウムソーブ100倍液)散布	プルシアンブルー溶液のCs吸着によるほだ木への移行抑制
d	四国産無汚染	柾+無攪乱表土+プルシアンブルー溶液(セシウムソーブ100倍液)散布	プルシアンブルー溶液のCs吸着によるほだ木への移行抑制
e	西会津産低濃度	無攪乱の表土	対照区
f	四国産無汚染	無攪乱の表土	対照区

2 結果と考察

(1) シイタケ原木露地栽培における放射性セシウム低減資材の検討

2105年を1とした場合の2016年の子実体の¹³⁷Csの濃度の割合を図－13に示す。子実体の¹³⁷Cs濃度はH試験区を除いて2015年に比較して2016年が高くなっていたことから、ほだ場での追加汚染が示唆された。

被覆材の効果について、プルシアンブルーシート、ゼオライトシート、不織布、被覆材無しについて比較した。図－15に示すように、プルシアンブルーシート、ゼオライトシート、不織布共に、子実体の¹³⁷Cs濃度は被覆材無しの半分程度に減少しいずれのシートを用いても効果があることが示された。

敷材が無い場合における被覆材別の子実体の¹³⁷Cs濃度について図－14に示す。被覆材無しの試験区に比べ、被覆材が有る試験区で¹³⁷Cs濃度が低くなったことから被覆材の効果を確認できた。

一方、敷材については、図－16に示すように、山砂、黒土で被覆材のない試験区で子実体の¹³⁷Cs濃度が高い傾向がみられた。すなわち、これらの区では、地面からの雨滴などの跳ね返りによりほだ木や子実体に土や有機物などが付着することによる汚染がうかがわれる結果となった。それ以外の区においては、子実体の¹³⁷Cs濃度について大きな違いはみられなかった。

これらの結果から、敷材を施した試験区と比較し、被覆材を施した試験区の方が子実体の¹³⁷Cs濃度上昇抑制効果が高いと判断された。

今回の試験で使用した敷材、被覆材は、ともに比較的高価な資材が多かったことから、今回の試験で同様の効果が期待でき、比較的低価格である不織布を活用した方法の普及が期待される。

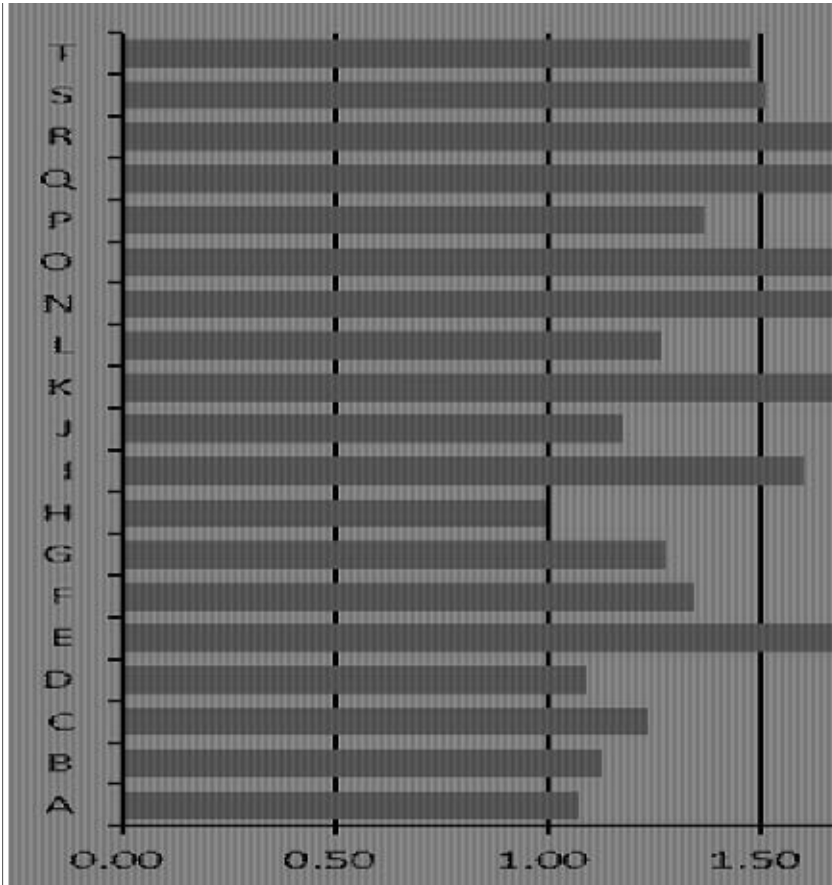
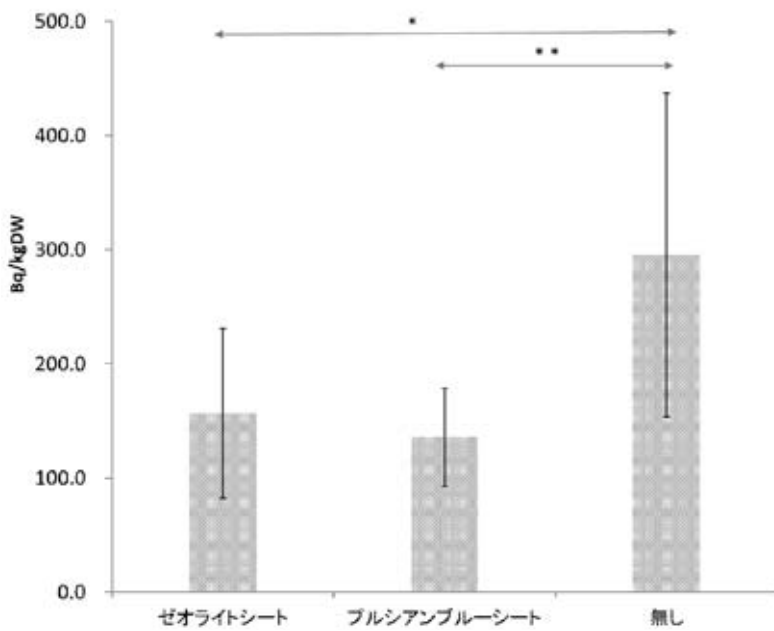


図-13 子実体¹³⁷Cs濃度(DW)2015-2016比較



バーは標準偏差 * : P < 0.05 ** : P < 0.01

図-14 被覆材別の子実体¹³⁷Cs濃度

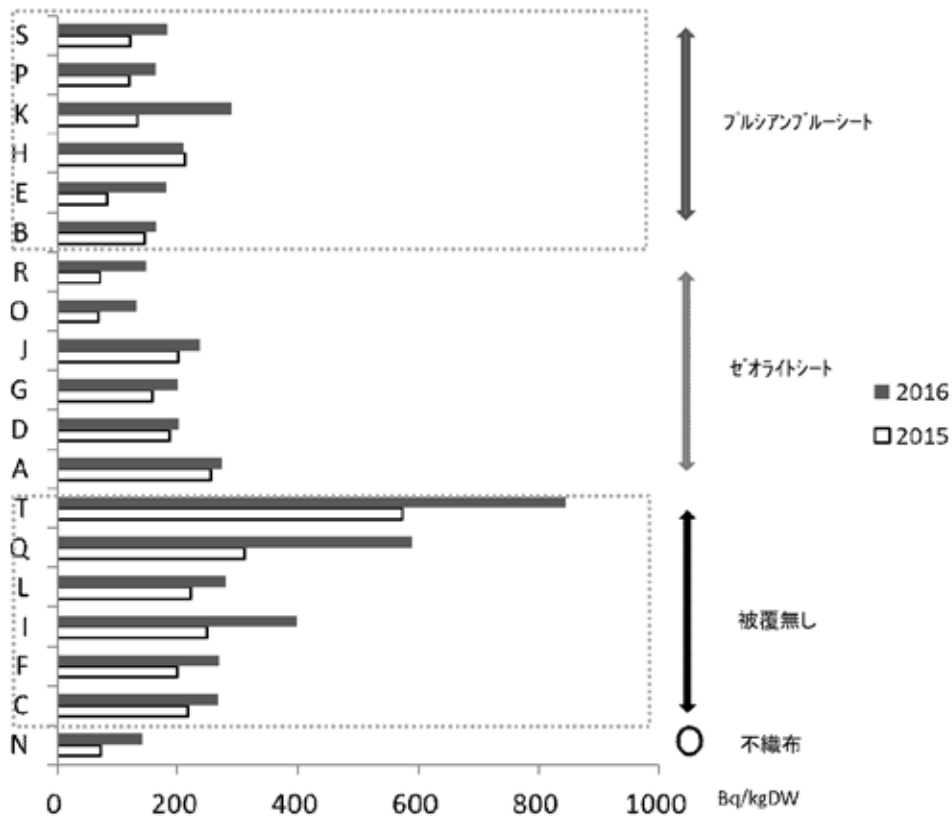


図-15 シイタケ被覆材別 子実体¹³⁷Cs濃度 (DW)

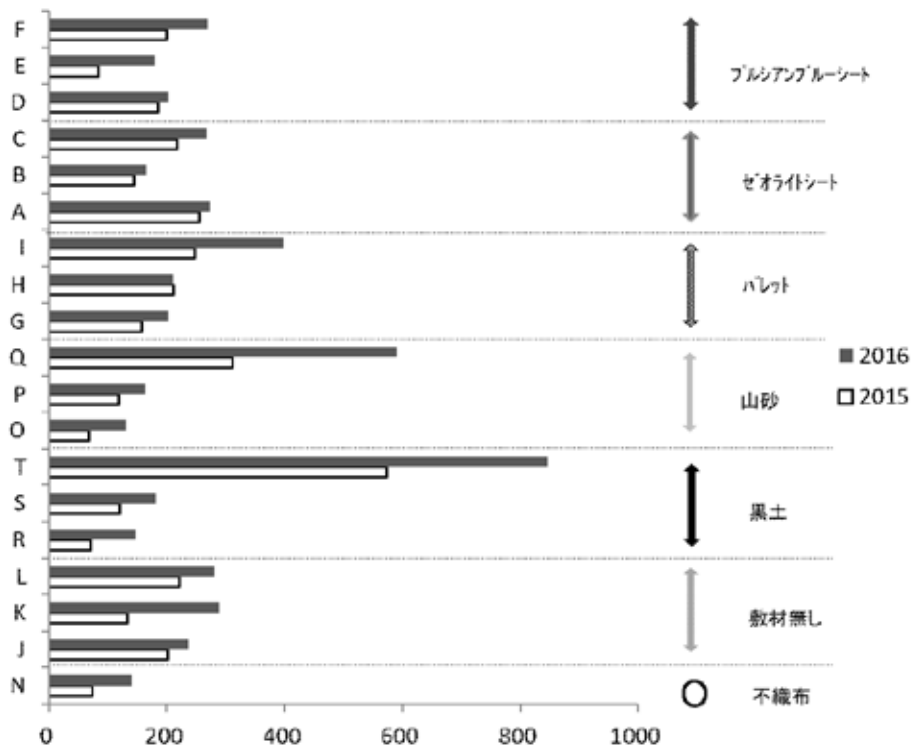


図-16 シイタケ敷材別 子実体¹³⁷Cs濃度 (DW)

(2) ナメコ原木露地栽培における放射性セシウム低減資材の検討

ア 敷材移行抑制試験

低汚染原木によるほだ木の敷材別子実体 ^{137}Cs 濃度(DW)を図-17に示す。子実体 ^{137}Cs 濃度の低減効果について対照区を1とすると、A試験区のパレット+マットでは0.078、B試験区の赤玉土+不織布の客土で0.081、C試験区の鹿沼土+不織布では0.146と大きな効果がみられた。客土の種類では鹿沼土よりも赤玉土の方が効果が高かった。また、D試験区のプルシアンブルー散布でも同様の指数で0.430と対照区の半分以下となり比較的高い効果がみられた。一方、E試験区の不織布+プルシアンブルー散布については、0.801と効果は確認できるものの、他と比較して低減効果は小さかった。

汚染低減効果については、客土等により土壌とほだ木の間を物理的に隔離することで効果が高まると考えられた。ナメコ原木露地栽培においては、赤玉土や鹿沼土による客土が簡易な方法として有効といえる。

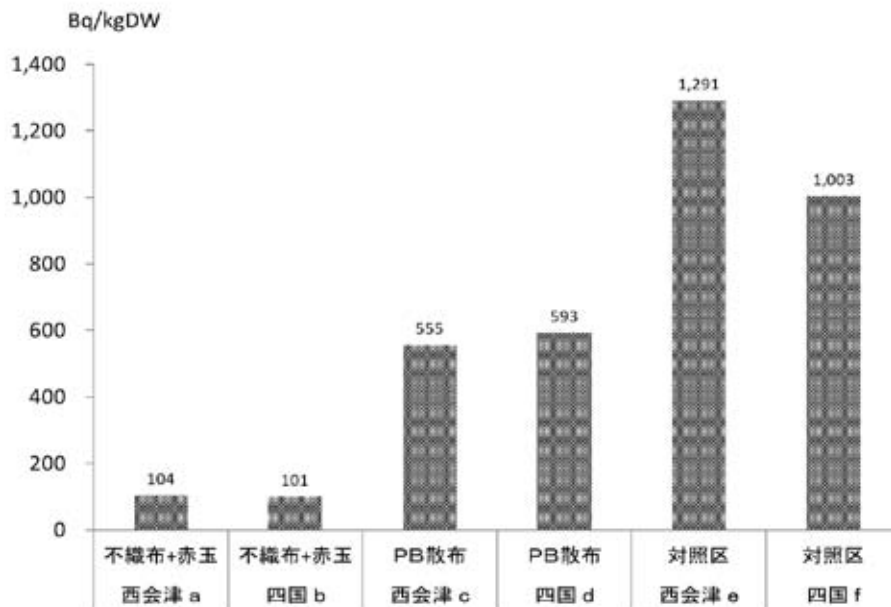


図-17 低汚染原木（約40Bq/kgDW）における敷材別子実体 ^{137}Cs 濃度(DW)

注) pbはプルシアンブルー散布

イ 原木汚染濃度の違いによるナメコ子実体への影響比較

敷材別汚染濃度別ナメコ子実体 ^{137}Cs 濃度(DW)の比較を図-18に示す。低汚染原木（西会津産）と無汚染原木（四国産）の ^{137}Cs 濃度には約40Bq/kgDWの差があったが、不織布やプルシアンブルーの使用等、 ^{137}Cs の低減処理を施した試験区の比較においては、原木での ^{137}Cs 濃度差を下回り差は小さくなった。一方で対照区においては、低汚染原木によるほだ木の子実体の ^{137}Cs 濃度は無汚染原木によるほだ木の子実体に比較して大きくなった。

以上のことから、子実体の ^{137}Cs 濃度は、原木汚染濃度に由来のほか、ほだ場の環境により大きな影響を受けていることを示す結果となった。

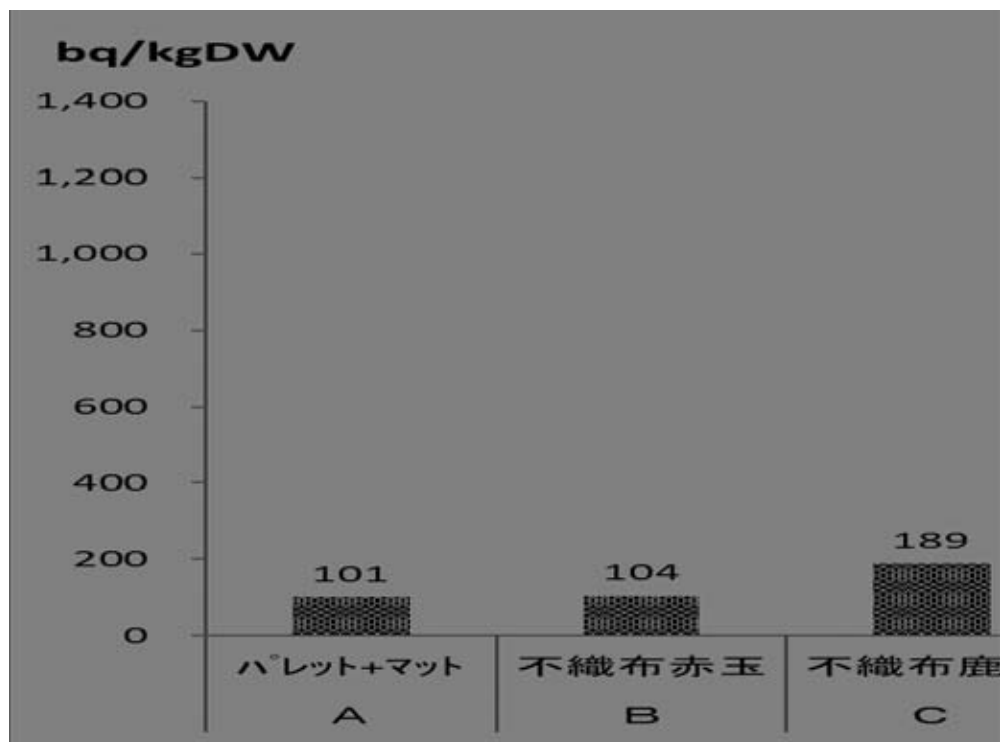


図-18試験区別ナメコ子実体 ^{137}Cs 濃度(DW)

注) pb はプルシアンブルー

IV おわりに

本研究では、シイタケ、ナメコの菌床栽培、原木露地栽培における子実体への放射性セシウムの低減方法について検討した。その結果、菌床栽培では、プルシアンブルー、プルシアンブルー類似体、ゼオライトを菌床培地に添加することで子実体への放射性セシウムの移行が抑制されることが示された。一方、原木露地栽培では、シイタケ栽培において、被覆材が子実体の放射性セシウム抑制に効果があり、比較的リーズナブルな不織布による被覆も効果があることも示された。また、ナメコ栽培では、赤玉土や鹿沼土により土壌と原木を隔離することで子実体への放射性セシウムの抑制効果が得られることが示された。これらの結果は、比較的容易に利用可能な方法であり、栽培現場への普及が期待される。

謝辞

今回ほど場の提供をいただいた相馬市玉野地区の工藤氏及び三島町の西方財産区の皆様には、多大なるご協力に対し御礼申し上げます。

V 引用文献

- 1) Akira Gotoh *et al* : Nanotechnology, Volume 18, Number 34, 345609. 2007
- 2) Akira Takahashi *et al* : 3rd WMRIF Workshop for Young Scientists. 2012
- 3) 平出正和, 砂川政英, 根田仁, 吉田聡, ヒラタケのセシウム含有量(2012)第62回日本木材学会大会講演要旨集P015
- 4) 福島県食品生活衛生課 原子力災害対策特別措置法に基づく出荷制限及び摂取制

- 限等の指示に従う要請について（2014）福島県
- 5) 根田仁，福井睦夫，國友幸夫，坂田春生，砂川政英，プルシアンブルーによるシイタケ原木栽培における放射性セシウムの移行低減について（2013）日本きのこ学会第17回大会講演要旨集，P31
 - 6) 根田仁，きのこの汚染と対策（2014）森林科学72，P13-16
 - 7) 坂田春生，國友幸夫，原木シイタケ子実体への放射性セシウム移行低減技術の開発(2015)群馬県林業試験場県境報告第19号