

プルシアンブルーを用いた菌床マイタケへの放射性セシウム移行低減

Effect of Prussian blue for degradation of radioactive cesium content on *Grifola frondosa* cultivation

國友幸夫・根田仁*・坂田春生

要旨

マイタケ菌床栽培において、培地から放射性セシウムの移行を低減させるため、マイタケの放射性セシウムの吸収を抑えるプルシアンブルーを用いた栽培技術を開発した。

- 1 プルシアンブルーを培地へ0.01%添加することで放射性セシウムの子実体への移行を1/3程度に低減した。
- 2 プルシアンブルーを0.05%以上添加することで大幅な移行低減が見られた。
- 3 プルシアンブルーを0.1%以上添加すると子実体石突き部分にプルシアンブルーが付着した。
- 4 プルシアンブルーの子実体への移行は認められなかった。

キーワード：プルシアンブルー、放射性セシウム、マイタケ

I はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所事故により、群馬県にも多量の放射性物質が飛散した（文部科学省，2011）。その多くはセシウム134及びセシウム137である。事故後4年を経過したことから半減期がおよそ2年のセシウム134は大きく減少したものの、現在でも林野庁が定めたきのこ原木の放射性セシウム濃度の指標値50Bq/kg（乾重量）を超えるコナラは多くある。

マイタケは一般に菌床栽培され、その際の菌床用培地の放射性物質の指標値は200Bq/kg（乾重量）である。これまで、県内の生産現場において指標値を超えるような事例は見られておらず、また子実体も食品中の放射性セシウムの基準値100Bq/kgを超えるようなことも起こっていない。このことは、培地基材であるおが粉を納入するおが粉業者並びにマイタケ生産者が少しでも放射性物質の少ない安全なおが粉を供給し、また入手しようという努力の成果である。こうした生産に関わる人々の努力があり、安全で安心なマイタケ生産が成立している。

一方、消費者は少しでも放射性物質の値の低いマイタケを望んでおり、単に基準値を超えていなければ受け入れられるというものではない。

そのため、生産者が安全・安心にマイタケを作ることができ、消費者も安全で安心なマイタケを食べることができるように培地材料からマイタケ子実体への放射性セシウムの移行を最低限に低減するための栽培技術確立が望まれる。移行低減技術としてプルシアンブルー（フェロシアン化鉄(III)）、ゼオライト及びリン酸水素二カリウムなどを培地に混合することが試みられている（嶋原ら，2012、福

*（独）森林総合研究所

井ら, 2013、石塚ら, 2013、板橋ら, 2013、石塚ら, 2014)。中でもプルシアンブルーは顕著な効果を示している。ヒラタケでは、プルシアンブルーを用いて放射性セシウムを143Bq/kgから検出限界以下に低減できることが報告された（平出, 2013）。そこで、この技術がマイタケ菌床栽培でも同様の効果を発揮するかを確認したので報告する。

なお本研究の一部は、平成24年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「プルシアンブルーを用いた栽培きのこへの放射性セシウム移行低減技術の確立」において実施した。

II 方法

培地基材としたおが粉は、放射性セシウム濃度20Bq/kg及び5487Bq/kgのものを混合し用いた。培地添加物はホミニーフードを用いた。プルシアンブルー（以下、PBと略す）は大日精化工業株式会社製セシウムソーブフロアブル200を用い、濃度は培地絶乾重に対する割合とし添加した。供試品種は群馬県内で栽培されている主要品種森51号及び森60号である。

培地調製は、おが粉に対し、乾重で培地重量の10%になるようにホミニーフードを混合し、さらに培地含水率が64%になるようにPBを所定の濃度に混合した水を加えた。1菌床当たりの培地重量は2kgとした。

培養は、温度23℃、湿度65%の培養室で行い、接種1か月まで暗培養とし、その後点灯し原基形成を促した。発生は、温度16℃、湿度90%で行うこととし、菌床ごとに原基が形成し、充実後発生室に移し管理した。

表 - 1 試験区の概要

	プルシアンブルー 濃度 (%)	培地中の 放射性セシウム (Bq/ kg)		品種	供試 菌床数 (袋)	
		Cs134	Cs137 計			
第 1 回	0	ND		森 51号	9	
	0.1	ND			10	
	0.5	ND			10	
	0	Cs134	65		9	
	0.1	Cs137	134		10	
	0.5	計	199		10	
	第 2 回	0	ND		森 60号	9
		0.1	ND			
		0.5	ND			
		0	Cs134	65		
		0.1	Cs137	134		
		0.5	計	199		
第 2 回		0	ND		森 51号	12
		0	Cs134	75		
		0.01	Cs137	159		
		0.05	計	234		
		10	ND			
		0	ND			
	第 2 回	0	Cs134	75	森 60号	12
		0.01	Cs137	159		
		0.05	計	234		
		10	ND			
		0	ND			
		0	ND			

プルシアンブルー 0%はプルシアンブルーを添加していないことを示す。

子実体収穫後、収量を測定し、ゲルマニウム半導体検出器により放射性セシウムを測定した。また、第1回栽培ではP Bの移行の有無を確認するため、全シアンを加熱蒸留-吸光度法により、全鉄を酸分解-ICP/MS法により測定した。

第1回の結果を受けて、添加するP Bをさらに低濃度にし、第2回の栽培試験を実施した。

各区の供試数は第1回は9~10菌床であり、第2回は12菌床である。各試験区の概要を表-1に示す。

III 結果及び考察

1 第1回栽培試験

原基形成日数を図-1に示す。供試2品種とも放射性セシウムの有無による日数の差は見られなかった。森51号では、P Bを0.5%添加した区で明らかに日数が伸び、またばらつきも大きくなった。森60号では差は見られなかった。品種により異なるが、P B0.5%添加区では栽培に支障が出る可能性があることがわかった。

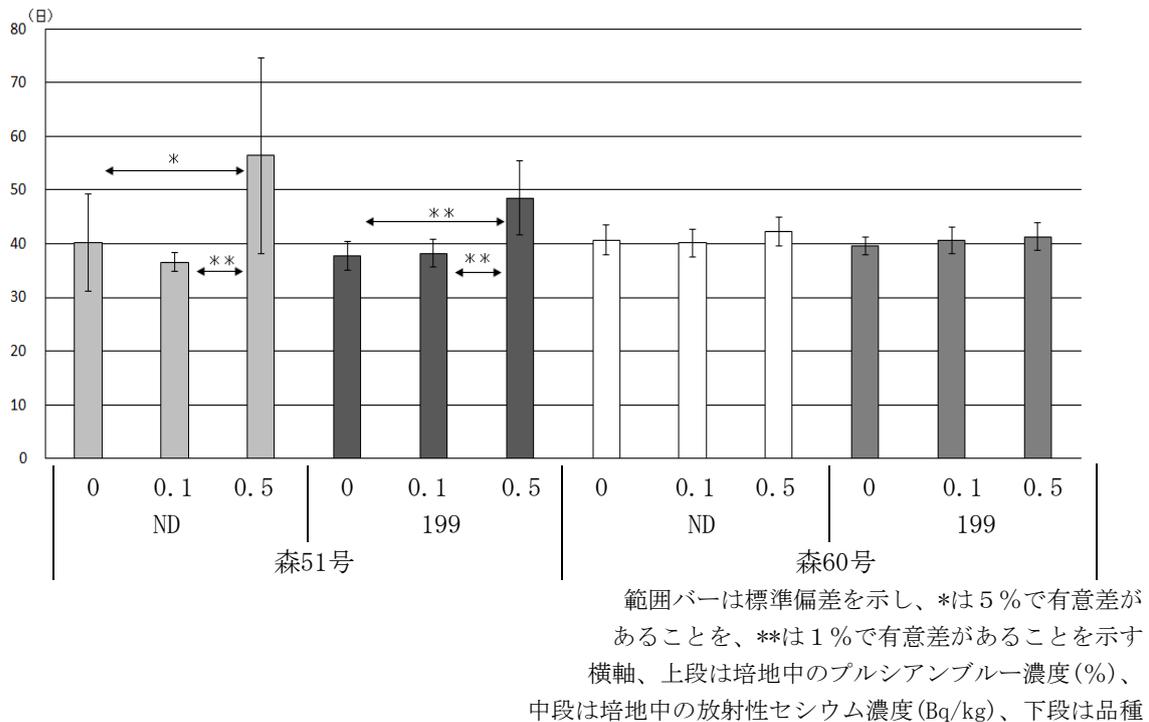
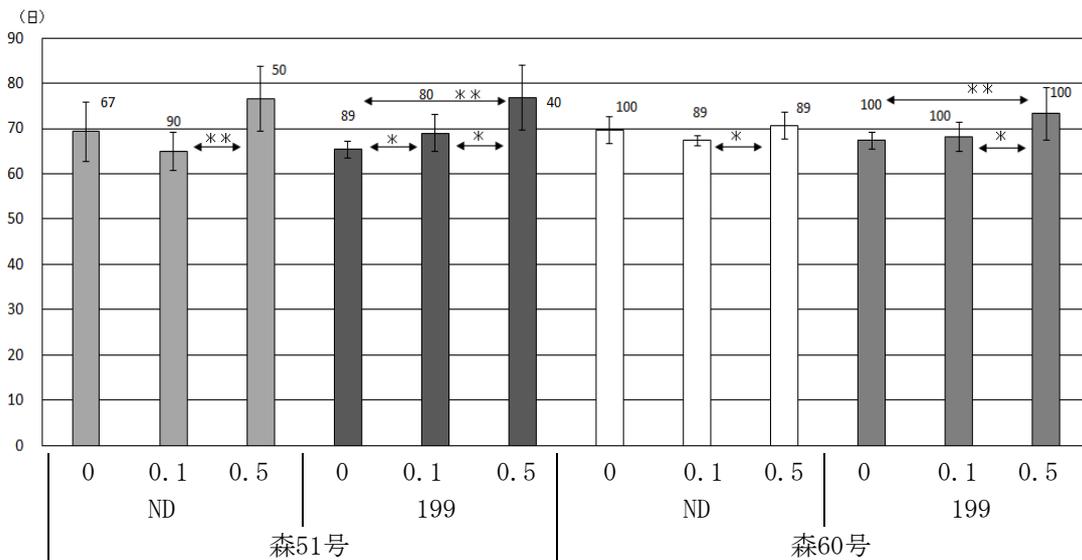


図-1 原基形成日数 (第1回)

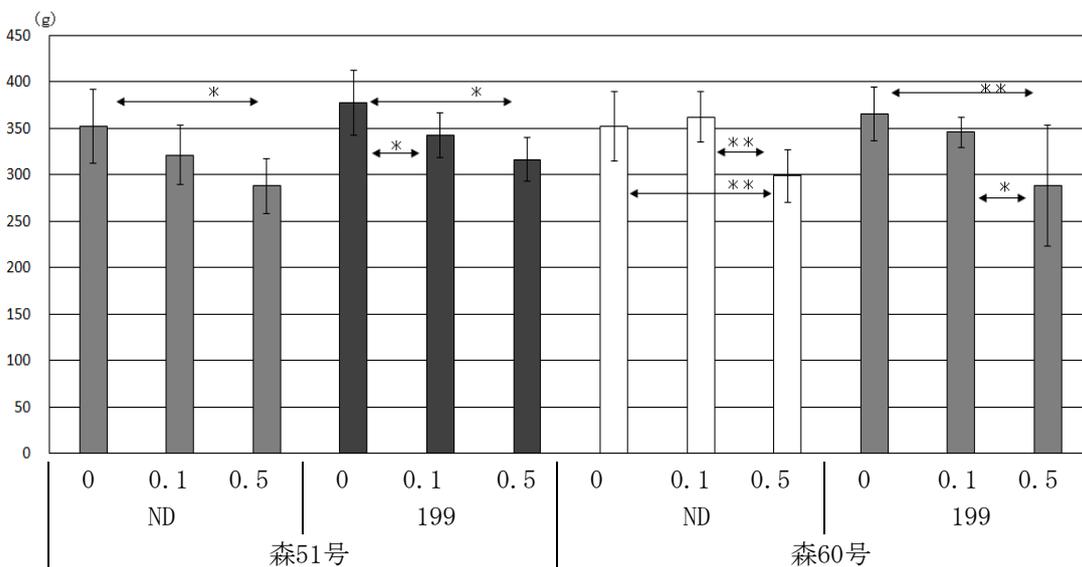
収穫日数を図-2に示す。森51号では原基形成日数と同様にP B0.5%添加区で日数が明らかに伸びた。また、森60号でもP Bを0.5%添加で日数が伸びる傾向が見られた。また、供試菌床数に占める子実体収穫菌床数の割合をみると、森51号ではP B0.5%添加区で下がっているが、森60号でははっきりした傾向は見られなかった。

次に収穫できた子実体の1袋当たり収量を図-3に示す。森51号では明らかにP Bの添加濃度が増すにつれ収量が減少した。森60号の収量は0.1%添加区ではP B0%区と比較して有意差は見られなかったが、0.5%添加区では明らかに減少した。



図中の数字は、供試菌床数に占める子実体収穫菌床数の割合(%)
 範囲バーは標準偏差を示し、*は5%で有意差があることを、
 **は1%で有意差があることを示す。横軸、上段は培地中の
 プルシアンブルー濃度(%)、中段は培地中の放射性セシウム
 濃度(Bq/kg)、下段は品種

図-2 収穫日数 (第1回)



範囲バーは標準偏差を示し、*は5%で有意差が
 あることを、**は1%で有意差があることを示す
 横軸、上段は培地中のプルシアンブルー濃度(%)、
 中段は培地中の放射性セシウム濃度(Bq/kg)、下段は品種

図-3 1袋当たり収量 (第1回)

収穫された子実体の放射性セシウム濃度を表-2に示す。培地中の放射性セシウム濃度がNDの区から発生した子実体の放射性セシウム濃度は多い場合でも11~12Bq/kgであった。放射性セシウムを含む培地から発生した子実体はPBを添加しない場合、放射性セシウムが200Bq/kgを超えることがあった。それに対して、PBを添加した区では放射性セシウム濃度を大幅に低減できることが明らかになった。

次に収穫後の子実体の全シアン及び全鉄の測定結果を表-3に示す。PB添加の有無、添加濃度により全シアン、全鉄とも含まれる量に差は見られず、PBの子実体中への移行は認められなかった。

表-2 子実体中の放射性セシウム (第1回)

プルシアンブルー 濃度 (%)	培地中の 放射性セシウム (Bq/kg)		品 種	子実体中の放射性 セシウム濃度(Bq/kg(湿重))		
	Cs134	65		Cs134	Cs137	計
0				ND~4	5~9	5~11
0.1		ND		ND	ND	ND
0.5			森51号	ND	ND	ND
0	Cs134	65		71~98	127~188N	198~285
0.1	Cs137	134		ND	D	ND
0.5	計	199		ND	ND	ND
0				ND~3	5~8	7~12
0.1		ND		ND	ND	ND
0.5			森60号	ND	ND	ND
0	Cs134	65		79~92	144~175	223~265
0.1	Cs137	134		ND~16	ND~23	ND~39
0.5	計	199		ND	ND~3	ND~3

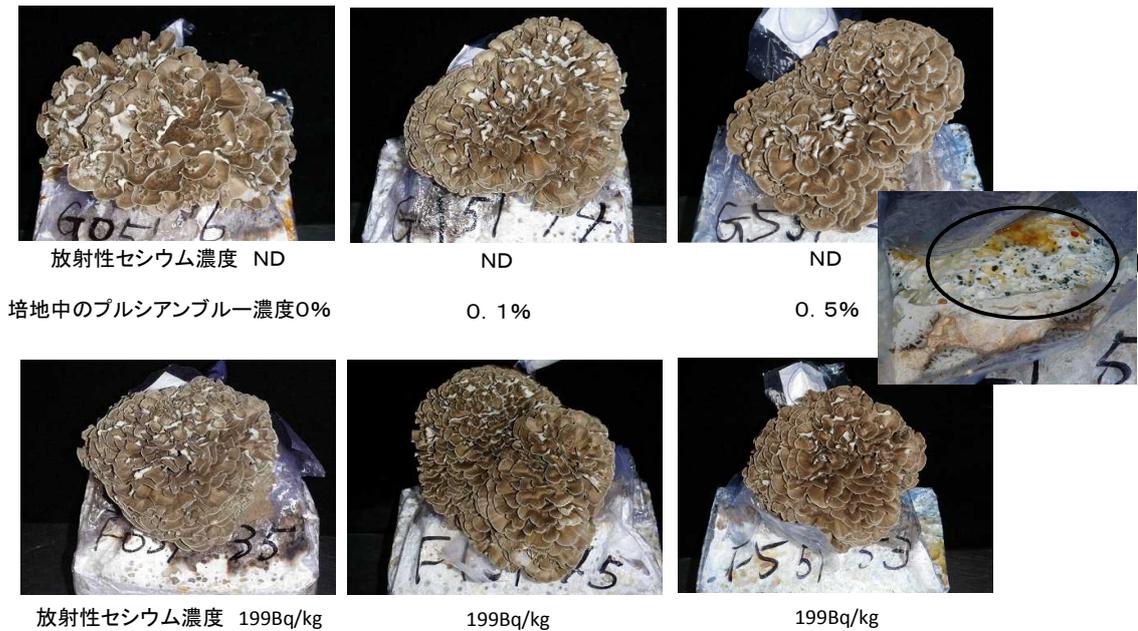
表-3 子実体中の全シアン及び全鉄 (第1回)

プルシアンブルー 濃度 (%)	培地中の 放射性セシウム (Bq/kg)		品 種	全シアン	全鉄
	Cs134	65		(mg/kg(湿重))	
0				<2.0~8.8	<2.0~3.4
0.1		ND		<2.0	<2.0~3.4
0.5			森51号	16	2.4
0	Cs134	65		<2.0~4.7	<2.0~2.2
0.1	Cs137	134		2.5~8.0	<2.0~3.6
0.5	計	199		<2.0~13	<2.0~3.9
0				5.9~33	<2.0~2.8
0.1		ND		20~36	<2.0~3.4
0.5			森60号	12~48	2.1~3.1
0	Cs134	65		2.7~36	<2.0~3.9
0.1	Cs137	134		<2.0~32	<2.0~2.4
0.5	計	199		2.9~54	<2.0~3.4

図-4及び図-5に試験区ごとの子実体を示した。形状には差は見られなかったが、PB0.5%添加区で子実体が小さくなる傾向があることがわかる。また、0.1%以上のPB添加で、培地充てん時

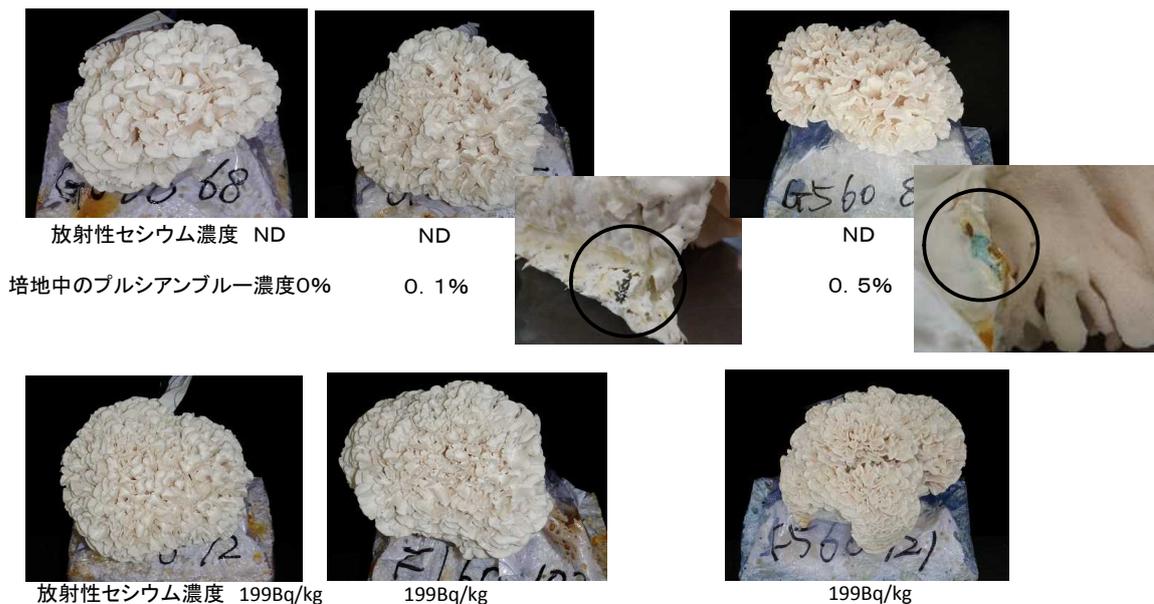
に栽培袋内壁に付着したP Bが子実体生育時に石突き部分に付着し、青い斑紋になることがわかった。

P B 0.1%添加区では収穫日数、収量に顕著な差は見られず、放射性セシウムの移行が大きく減少することが明らかになった。また、P Bの子実体への移行は見られなかった。しかし、収穫時にP Bの色が子実体に付着しやすく、発生操作、収穫作業に工夫が必要である。合わせて、P B 0.1%添加で放射性セシウムの移行低減に十分な効果があったことから、さらに低濃度の添加を検討する余地があると考えられた。



黒丸で囲んだ部分にP Bが付着した斑紋がある

図-4 森51号の子実体 (第1回)



黒丸で囲んだ部分にP Bが付着した斑紋がある

図-5 森60号の子実体 (第1回)

2 第2回栽培試験

第1回栽培試験の結果を受けて、PBをさらに低濃度にしたときの放射性セシウム移行低減を確認するため、第2回栽培試験を行った。

図-6にそのときの原基形成日数を示す。森60号で一部有意差が見られたが、放射性セシウムの有無、PBの濃度による傾向は見られなかった。

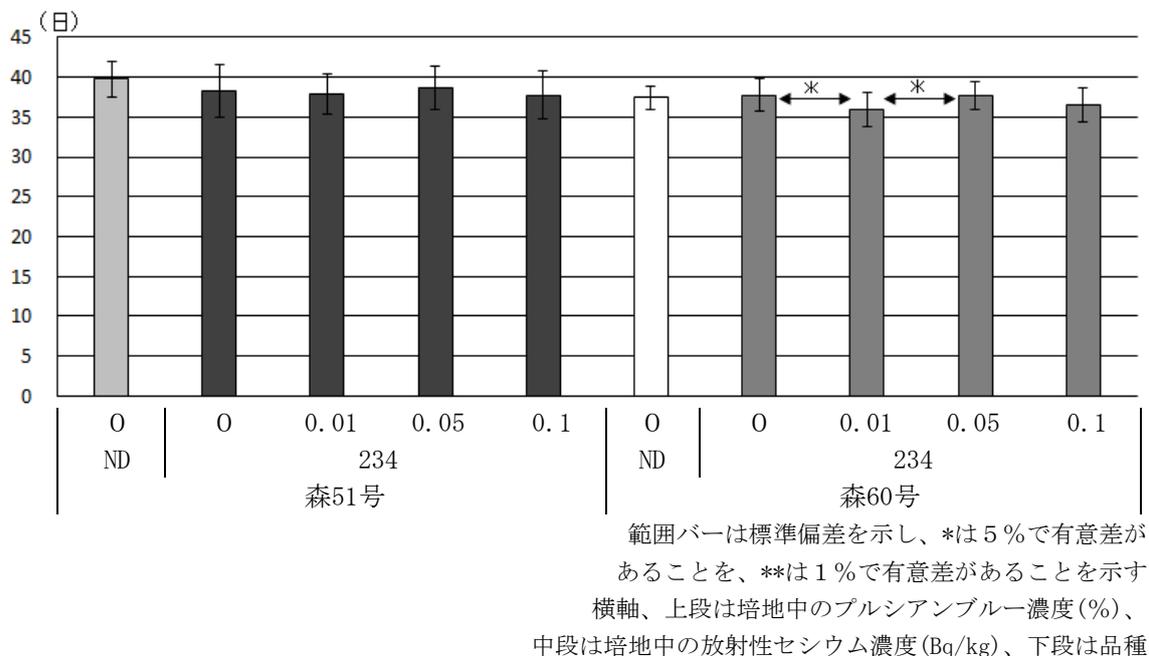


図-6 原基形成日数 (第2回)

図-7に収穫日数を示す。森60号で一部に有意差が見られたが、品種ごとには他の区間で差は見られず、放射性セシウムの有無、PBの濃度による傾向は見られなかった。

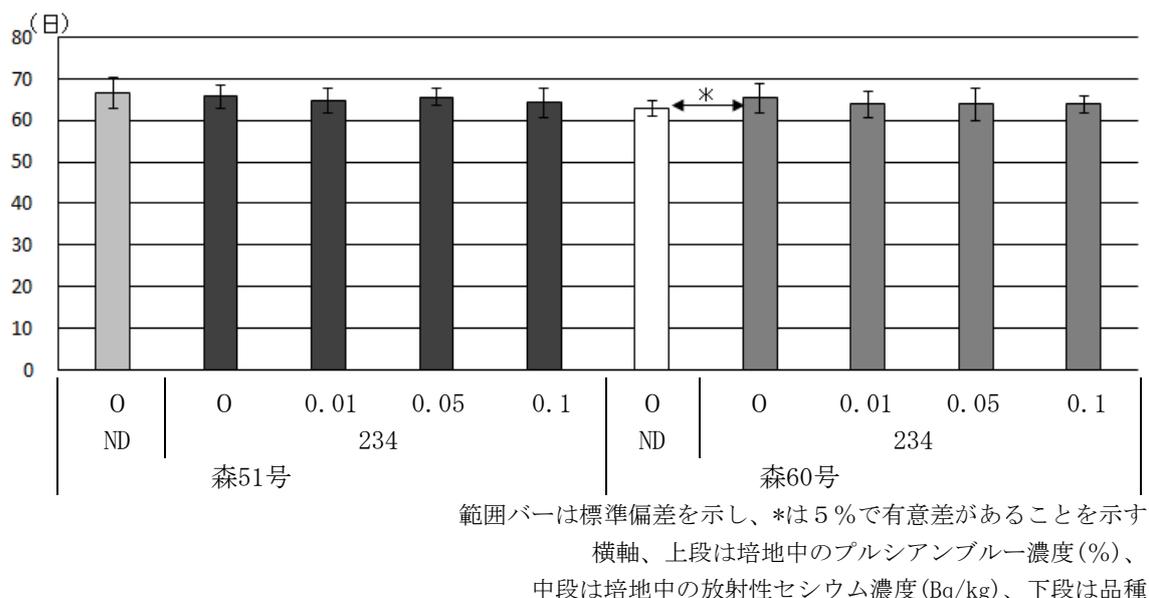
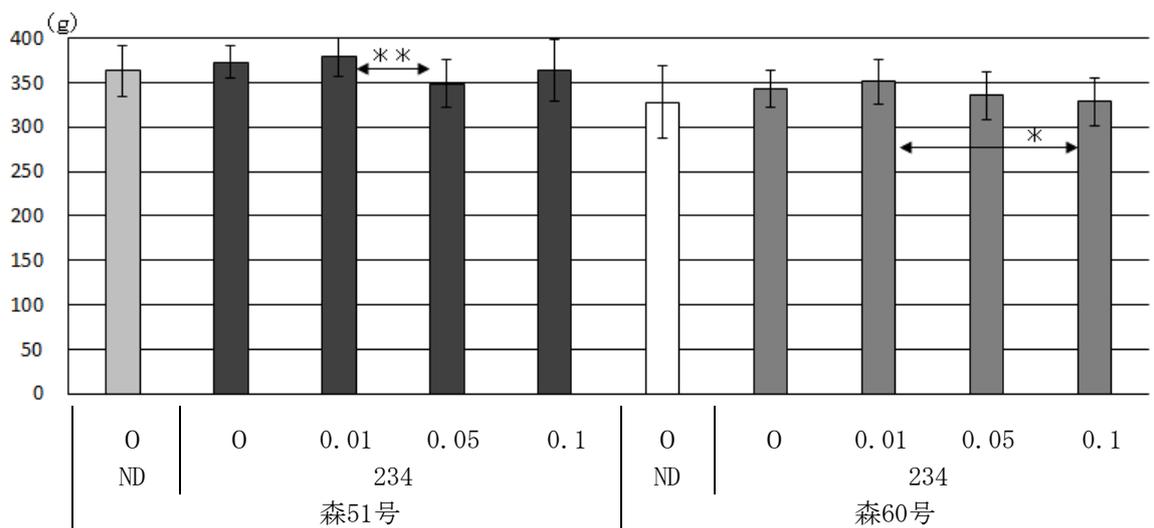


図-7 収穫日数 (第2回)

図-8に1袋当たり収量を示す。森51号ではP B0.01%添加区と0.05%添加区間で、及び森60号ではP B0.01%添加区と0.1%添加区間に有意差が見られた。第1回の結果ではP B0.5%添加で明らかに収量が減少していることから、放射性セシウムND区とは有意差が見られないものの、0.1%添加においてもP Bの影響が出ていることも考えられる。



範囲バーは標準偏差を示し、*は5%で有意差があることを、**は1%で有意差があることを示す
横軸、上段は培地中のプルシアンブルー濃度(%)、中段は培地中の放射性セシウム濃度(Bq/kg)、下段は品種

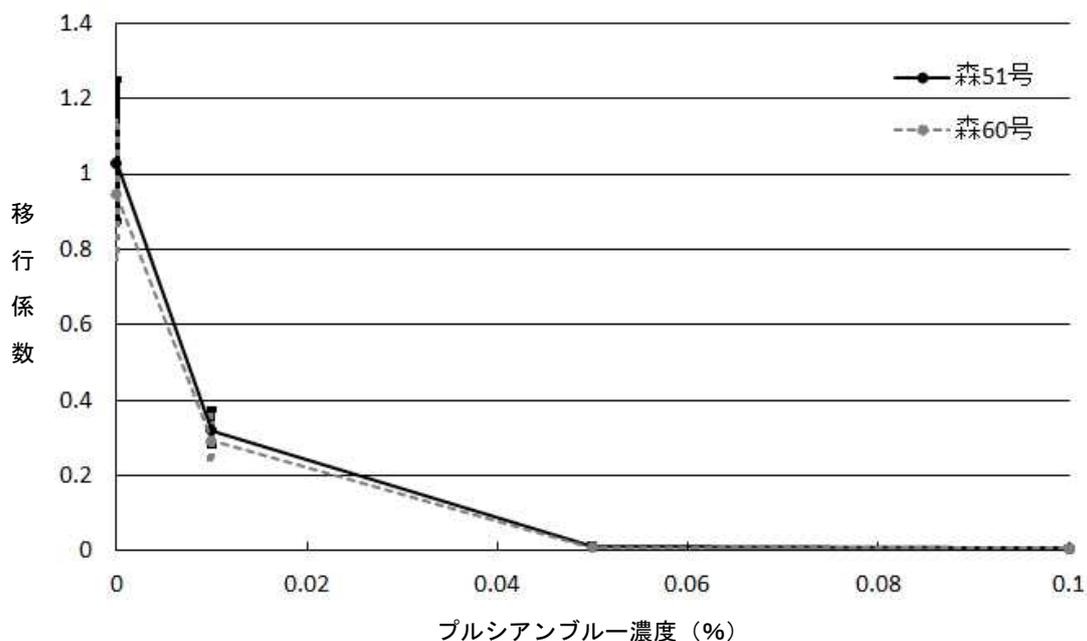
図-8 1袋当たり収量 (第2回)

表-4に収穫した子実体の放射性セシウム濃度を示す。森51号及び森60号ともP B0.01%添加で放射性セシウム移行低減効果が見られ、P Bを含まない培地の1/3程度の移行であったとともに、食品の安全基準の100Bq/kgを下回ることができた。また、P B0.1%添加では、子実体石づき部分にP Bが点状に付着することがあった。

表-4 子実体中の放射性セシウム (第2回)

プルシアンブルー濃度 (%)	培地中の放射性セシウム (Bq/kg)		品種	子実体中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg(湿重))		
	Cs134	Cs137		Cs134	Cs137	計
0	ND			2~7	6~15	8~20
0	Cs134	75	森51号	63~90	141~203	205~292
0.01	Cs137	159		19~30	43~58	66~88
0.05	計	234		ND	2~4	2~4
0.1				ND	ND~2	ND~2
0	ND				3~6	10~16
0	Cs134	75	森60号	55~86	123~180	181~266
0.01	Cs137	159		18~27	39~57	57~84
0.05	計	234		ND	ND~3	ND~3
0.1				ND	ND~2	ND~2

また、図-9にこのときの放射性セシウムを含む菌床から収穫した子実体の菌床からの放射性セシウムの移行係数の変化を示す。P B 0%では1前後であった移行係数が、0.01%の添加で0.3前後に、さらに0.05%で0.01~0.02に低下することがわかった。福井らは、シイタケ、アラゲキクラゲ、ナメコの菌床栽培において、P B 0.1%添加で放射性セシウムの子実体への移行を検出限界以下に低減できること、シイタケで0.5%添加で発生量の低下、発生時期の遅延を報告している（福井ら，2013）。また、板橋らは、ナメコにおいて、P B 0.075%以上の添加で収量が低下すること、0.05%が適当であることを報告している（板橋ら，2013）。今回のマイタケについての研究においても、同様の結果であった。



ポイントは平均値を、範囲バーは最大値と最小値を示す。

図-9 P B濃度と移行係数（第2回）

マイタケ子実体へのP B付着、P B 0.5%添加での栽培日数の増加、0.1%添加から見られる収量の減少傾向を考え合わせると、0.05%がP B添加の最大値と考えられる。さらに0.01%でもかなりの移行低減が見られることから、培地中の放射性セシウム濃度に応じてP B添加濃度を調整することが可能であると考えられる。

P Bは18世紀から顔料として知られる物質で、現在も塗料、インク、絵具等に利用されている。また、放射性セシウムを分子中に吸着させる能力が高いことが知られている。組成にCN⁻イオンを含む物質であるが、CN⁻イオンが鉄原子と結合しているため遊離しにくく、通常の状態では分解することはない。そのため、毒物及び劇物取締法上のシアン化合物の例外として扱われている。しかし、P Bは熱やアルカリに弱くシアン化物を遊離することがある。そのため、P Bの子実体への移行を全シアン及び全鉄の形で測定したが、移行は認められなかった。通常の菌床栽培では安全であると考えられた。しかし、子実体生産に直接関係しない化学物質であるので、その添加は最低限に抑えたい。結果から考えると、菌床の指標値に近い放射性セシウムが含まれていても、0.01%の添加で十分に食品の基準値100Bq/kg以下に低減することが確認できた。

放射性セシウムが低濃度のおが粉を入手することが基本であるが、P Bの利用により子実体中の放

放射性セシウムを検出限界以下に抑えることもできると考えられる。また、PBの使用が広く行われるようになれば、現状において原木資源を求める範囲を広くすることもでき、広葉樹資源の有効利用、更新に役立つと考えられた。

V おわりに

放射性セシウムを吸着させる能力の高いプルシアンブルーをマイタケ菌床栽培に利用し、移行係数の大幅な低減が可能になった。これにより、おが粉の調達範囲が広がることが考えられる。経営の厳しいマイタケ菌床栽培において、要であるおが粉調達コストが幾分でも削減できればよいと考えられる。

なお、本研究の一部はすでに、「放射性セシウム移行低減のためのきのこ栽培へのプルシアンブルー利用法」として冊子にまとめられている（森林総合研究所ら，2013）。

引用文献

- 福井陸夫・山内隆弘・高橋信・根田仁(2013), プルシアンブルーを用いた菌床栽培きのこへの放射性セシウム移行低減技術について, 日本きのこ学会第17回大会講演要旨集, 29
- 平出政和・砂川政英・根田仁・吉田聡(2013), ヒラタケの放射性セシウム吸収を抑えた栽培法を開発, 森総研平成24年版研究成果選集, 64-65
- 石塚紀子・瀬山智子・高島幸司・吉本博明・江口文陽・飯塚倫明(2013), 放射性物質による汚染低減を目指したきのこ新規栽培技術の開発, 第63回日本木材学会大会大会講演要旨集
- 石塚紀子・瀬山智子・高島幸司・吉本博明・飯塚倫明・江口文陽(2014), きのこへの放射性セシウム移行を低減させる新規栽培法の開発, 日本きのこ学会25周年記念大会講演要旨集, 159
- 板橋康弘・入澤歩・木野康志・中島文博・郡山慎一・木村栄一・嶋原隆(2014), なめこ子実体へ移行する放射性セシウムの低減対策－Ⅲ, 日本きのこ学会25周年記念大会講演要旨集, 170
- 板橋康弘・入澤歩・木野康志・中島文博・佐藤由香里・嶋原隆・木村栄一(2013), なめこ子実体へ移行する放射性セシウムの低減対策－Ⅱ, 日本きのこ学会第17回大会講演要旨集, 33
- 文部科学省(2011), 文部科学省による第4次航空機モニタリングの測定結果について, http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4901/24/1910_1216.pdf
- 嶋原隆・入澤歩・木野康志・板橋康弘・中島文博・郡山慎一・佐藤由香里・木村栄一(2012), なめこ子実体へ移行する放射性セシウムの低減対策, 日本きのこ学会第16回大会講演要旨集, 98
- 森林総合研究所・群馬県林業試験場・(株)北研群馬県環境森林部(2013), 放射性セシウム移行低減のためのきのこ栽培へのプルシアンブルー利用法, 6pp