

ISSN 2185-9167

林業技術総合センター成果報告

第23号

平成26年8月

宮城県林業技術総合センター

目 次

1	みやぎのきのこ安定生産技術の改良及び新たなキノコ種の栽培技術の開発	1
2	木質バイオマス資源の供給可能性に関する調査.....	8

みやぎのきのこ安定生産技術の改良及び新たなキノコ種の栽培技術の開発 —ハタケシメジ栽培技術の改良及び菌株の保存方法の検討—

今埜実希・玉田克志^{※1}

要 旨

ハタケシメジの新品種として、本県が開発した「みやぎLD2号」(平成18年品種登録)について、培地の改良試験と放射性物質対策試験、菌株の維持管理に関する試験を実施した。まず、コーンコブミール(トウモロコシの実を取った後の穂芯)添加時の培養日数と収量の関係と添加の有無による収量の違いについて調べ、培地の改良を行った。さらに、福島第一原子力発電所の放射性物質拡散事故由来の放射性物質による汚染対策として、培地材料の汚染状況の把握と、菌床から子実体への放射性物質の移行を低減する資材の検討を行い、ゼオライトの移行低減効果が最も高いことを明らかにした。また、菌株の長期保存法について、異なる保存方法と保存年数による収量の違いを明らかにした。

なお、本研究は、「みやぎのきのこ振興対策事業(自給率向上対策)」の一部として実施した。

キーワード: ハタケシメジ, 培地, コーンコブミール, ゼオライト, 保存方法, 保存期間

1 はじめに

宮城県では、これまでに、ハタケシメジ(*Lyophyllum decastes*)の周年栽培による生産量増大と産地形成を目的として、空調施設における新品種「みやぎLD2号」を開発した(玉田ら, 2007)。平成16年からは、既存のきのこ生産施設であるエノキタケ培養センター及びエノキタケ発生施設を利用して現地適応試験が実施されたが、収量の増大と安定した発生の確保が今後の課題として残された。エノキタケの培地に使用されるコーンコブミールは、エノキタケ(小山, 2014)をはじめ、ブナシメジ(鈴木, 2014)やエリンギ(小島, 2014)などで増収効果があることが知られている。そこで、ハタケシメジの培地に、コーンコブミールを添加した際の子実体発生に与える影響について調べ、培地の改良を行った。

平成23年3月の福島第一原子力発電所の放射性物質拡散事故後は、きのこ生産基盤等の汚染が生じた。ハタケシメジ「みやぎLD2号」は、ハタケシメジの他品種の培地基材であるバーク堆肥に比べて価格が安いスギおが粉を基材としている(菅野ら, 2000)。スギのおが粉は、スギ材の樹脂に含まれる菌糸生長阻害物質を除去するために6か月程度野積みを行った後に使用する。そのため、野積みの間に、オガ粉が放射性物質により汚染される可能性がある。そこで、堆積期間の異なるスギのおが粉について、汚染状況を調査した。また、今後、菌床中に放射性物質が含まれた場合の対策を講じておく必要があることから、放射性物質を含む菌床から、子実体への放射性物質の移行量を低減する方法について検討した。

宮城県では、ハタケシメジ等の菌株を維持管理するとともに、原種菌の出荷を行っている。原種菌を安定的に供給するためには、継代培養と併せてそれをバックアップするための簡易な菌株保存方法の開発が急務である。そこで、複数の方法で保存したハタケシメジ菌株の栽培試験を行い、菌株の性能について確認を行った。また、栽培ビンにおが粉培地を充填し冷蔵保存している菌株について栽培試験を行い、保存可能期間を検討した。

※1 宮城県北部地方振興事務所栗原地域事務所

2 試験方法

2. 1 ハタケシメジ「みやぎLD2号」空調栽培における安定生産技術指導

2. 1. 1 収量確保・増大のための栽培技術の改良

ハタケシメジ「みやぎLD2号」について、既往のハタケシメジ培地にコーンコブミール5%添加した場合の増収性について調べた。スギおが粉にコーンコブミール5%、特フスマ12%、ネオビタスN3%（いずれも培地乾燥重量比）を添加、含水率を67%に調整した後、ポリプロピレン製栽培袋に2.5kg（ $n=6$ ）と800cc ナメコ用広口ビンに430g（ $n=20$ ）培地を充填した。高圧殺菌釜を使用し、98℃で蒸らし60分、118℃で保持120分の設定で殺菌を行った。放冷及び種菌接種後、温度22～23℃、湿度65～75%で暗黒培養した。菌床の培養日数は、2.5kg 栽培袋で86日、ナメコビンで74日とし、所定の期間培養した菌床は発生施設に移動して発生操作を行った。発生は菌床上面を菌かきすることで、この面から子実体を発生させることとし、温度16℃、湿度95%以上で管理し子実体の育成を行い、菌傘が7～8分開きの時点での収量を計測した。

2. 1. 2 放射性物質対策試験

野積み開始時に放射性セシウム不検出のおが粉で、堆積期間が異なる（3～4か月、5～10か月、10か月～1年5か月）スギのおが粉について、おが山の高さが約50～100cmの位置において、表面（0～3cm）と内部（表面から50～60cm）から試料の採取を行った（各地点につき5反復）。採集した試料は900mlポリ容器に充填し、NaIシンチレーション検出器を用いて、検出下限値は25Bq/kg以下の設定で、15分間放射性セシウム濃度（以下Cs濃度）の測定を行った。併せて、各試料について、含水率の測定を行い、測定値を含水率12%に換算した。

ハタケシメジの2.5kg菌床の既往の培地に、放射性物質の移行低減効果が期待される5種類の資材〔ゼオライト60P（粒径0.4mm以下）、ゼオライトCP（0.2mm以下80%以上）、バーミキュライト、粉炭、リン酸二水素カリウム〕を各3%添加し（各処理につき6反復）、含水率を67%にした後、ポリプロピレン製栽培袋に2.5kgを充填した。高圧殺菌釜を使用し、98℃で蒸らし60分、118℃で保持120分の設定で殺菌を行った。放冷及び種菌接種後、温度22～23℃、湿度65～75%で暗黒培養した。培養完了後、菌床上面の菌かきを行い、温度16℃、湿度95%以上で子実体を育成し、菌傘が7～8分開きの時点での収量を計測した。さらに、子実体のCs濃度をNaIシンチレーション検出器（350mlポリ容器、15分）にて測定した。

2. 2 ハタケシメジ「みやぎLD2号」菌株の長期保存方法に関する試験

ハタケシメジ3系統について、グリセリン10%水溶液に投入した菌糸切片（グリセリン凍結株）を－85℃の超低温冷凍庫内で、PDA平板培地上に展開した菌糸（平板冷蔵株）と栽培ビンでスギおが粉培地に培養した菌糸（おが粉冷蔵株）を4℃の冷蔵庫で、それぞれ2年間保存した。その後、グリセリン凍結株と平板冷蔵株はPDA平板培地に再生させた後、この再生菌糸を接種源として栽培ビンにおが粉を充填した培地を作成し、これを栽培試験の接種源とした。おが粉冷蔵株は、そのものを接種源として用いた。培地はスギおが粉に特フスマ12%、ネオビタスN3%（いずれも培地乾燥重量比）を添加、含水率を67%に調製し、これをきのこ栽培用瓶に430g充填し、高圧殺菌釜を使用して、98℃で蒸らし60分、118℃で保持120分の設定で殺菌を行った。放冷及び種菌接種後、温度22～23℃、湿度65～75%で培養し、培養が終了した保存株から発生操作を行った。発生は、菌搔き処理後、温度16℃、湿度95%以上で管理し、菌傘が7～8分開きの時点で収量を計測した。

おが粉冷蔵株については、保存期間の異なる保存株を用いて、栽培試験を行った。培地調製、培養・発生処理方法等は上記試験と同様の方法とした。

3 試験結果と考察

3. 1 ハタケシメジ「みやぎLD2号」空調栽培における安定生産技術指導

3. 1. 1 収量確保・増大のための栽培技術の改良

既往培地にコーンコブミール5%添加をした場合、有効茎数に有意差は見られなかったが(図-1(b))、育成日数と収量に有意差が見られた(図-1(a), (b), $P > 0.05$, Wilcoxon 検定)。コーンコブミール添加で収量が増える傾向は、800cc ナメコ用広口ビンでも同様であった。コーンコブミールは、ブナシメジやエノキタケ等のきのこと同様に、ハタケシメジにおいても増収効果があることが明らかとなった。コーンコブミールには、可溶無窒素物(粗タンパク質、粗脂肪、デンプン、糖類、有機酸などを含む。)や粗繊維(セルロース、リグニン、ペントサン、ヘミセルロース等)の含有量が多いため(寺嶋, 2014)、増収効果があったと考えられる。ただし、小山(2014)によると、コーンコブミールは粉塵が舞いやすく、施設のアオカビ汚染度が大きくなり、定期的な室内の清掃と殺菌作業が必要となることが報告されており、コーンコブミールを使用する際には、雑菌汚染のリスクを踏まえた栽培工程の管理が必要になると考えられた。

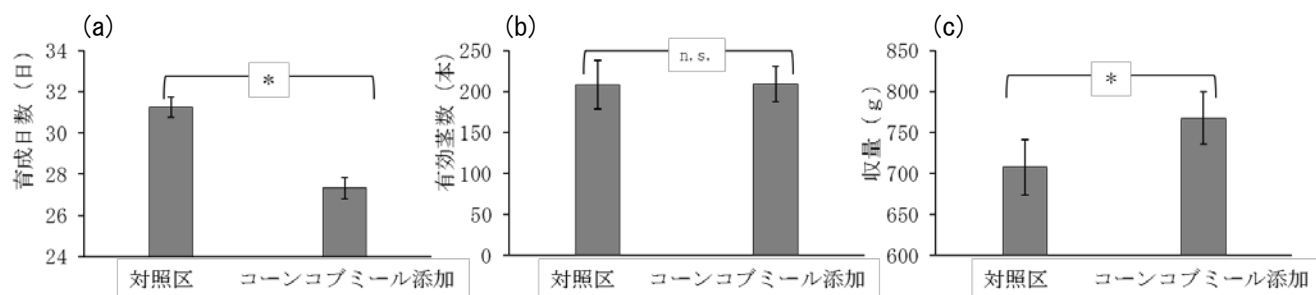


図-1 2.5kg 菌床におけるコーンコブミール添加の有無による育成日数、有効茎数及び収量の比較

*: $P < 0.05$, Wilcoxon 検定, 育成日数: 発生処理から収穫までの日数

3. 1. 2 放射性物質対策試験

野積みおが粉は、堆積期間が長いほどCs濃度が高く、おが山の内部より表面の濃度が高い傾向が見られた(図-2)。このことから、放射性物質が付着した粉塵などを介して、堆積中におが粉が汚染されることが示唆され、おが粉の堆積場所や堆積方法について改善する必要があると考えられた。また、ハタケシメジ菌床において5種類の資材をそれぞれ添加したところ、リン酸二水素カリウムでは、発菌・菌糸伸長不良が生じたが(表-1)、それ以外の添加材では、培地の種類によって収量の差は見られなかった(図-3(a), Tukey-Kramer のHSD 検定; $P > 0.05$)。今回の試験では、どの添加材も3%の添加量で試験を行ったが、ヒラタケでは少量の塩化カリウムを添加し、子実体の放射性セシウムの低減効果が見られていることから(平出 2014)、より低濃度の添加量で試験する必要がある。子実体へのCsの移行については、対照区と比較してゼオライト(60P, CP)添加において低減効果が見られ(図-3(b), Tukey-Kramer のHSD 検定; $P < 0.05$)、ゼオライト60Pでは移行率が 0.3 ± 0.14 から 0.12 ± 0.12 へ減少した。実際の生産工程においては、ゼオライト60Pよりも、より粒径が小さいゼオライトCPの方が、培地の攪拌時のミキサーへの負荷が小さいことから、ハタケシメジ栽培において、ゼオライトCPがCsの低減に有効であることが示唆された。

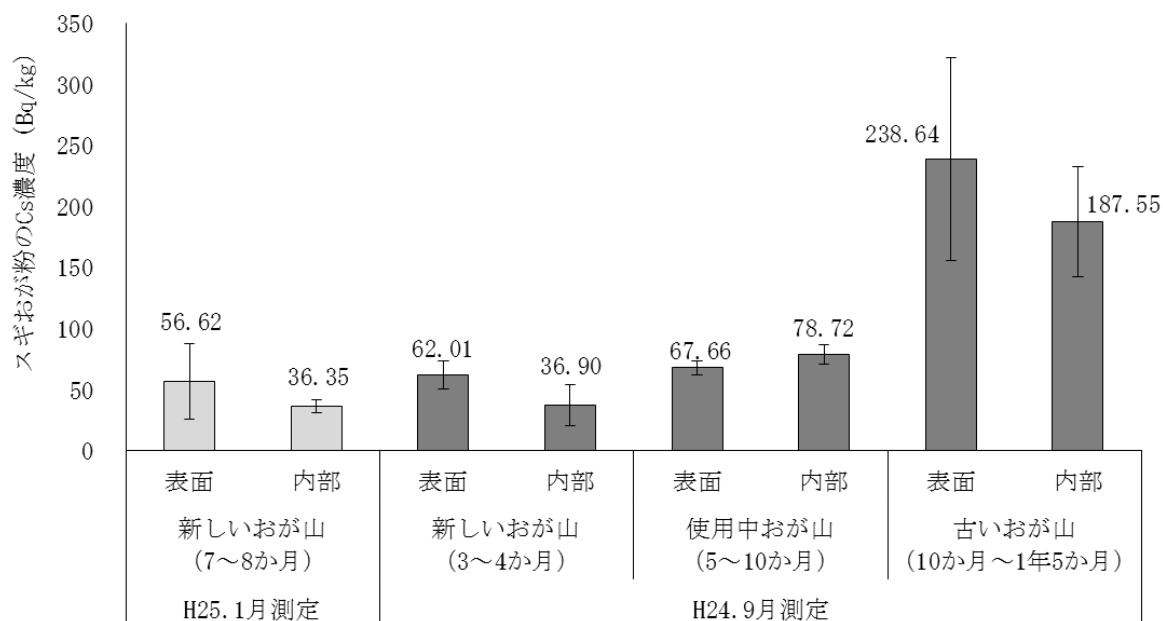


図-2 堆積期間が異なるおが粉の放射性セシウム濃度

表-1 添加材別栽培試験結果

培地の種類	培養日数	育成日数	有効茎数 (本)	菌傘の直径 (mm)	菌柄の長さ (mm)
コントロール (添加なし)	85.5±6.5	27.0±0	148.75±22.9	45.8±1.3	78.3±2.0
ゼオライト (6OP)	81.5±10.1	26.7±0.8	134.0±22.9	47.4±1.8	81.7±2.4
ゼオライト (CP)	84.8±7.3	26.3±0.5	134.8±17.8	48.6±2.8	82.3±2.9
バーミキュライト	88.5±5.3	27.2±0.8	152.5±15.5	43.2±3.2	76.0±2.9
粉炭	77.0±12.1	27.7±0.5	121.5±17.1	44.9±1.6	80.2±1.8
リン酸二水素カリウム	>100	-	-	-	-

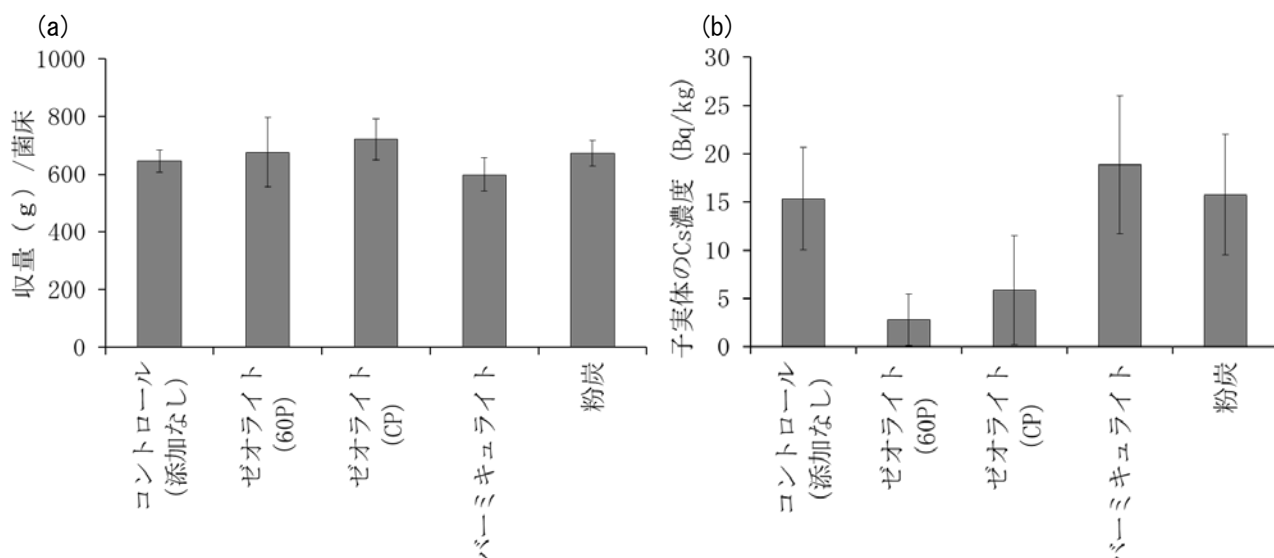


図-3 鉱物及び粉炭添加培地における 2.5 kg 菌床あたりの収量(a)と放射性セシウム濃度(b)

3. 2 ハタケシメジ「みやぎLD2号」菌株の長期保存方法に関する試験

グリセリン凍結株では、培養日数が長く、有効茎数が少なく、菌傘や菌柄の大きさや長さのばらつきも大きい系統が見られた（表－2，写真1 (a)）。PDA平板冷蔵株は、菌柄の長さのばらつきが大きい系統があったものの、菌傘の大きさや形状等のばらつきは少なかった（表－2，写真－1 (b)）。おが粉冷蔵株は培養期間が長くなる系統が見られたが（表－2），収量及び形質は良好であった（図－4 (a)，写真－1 (c)）。どの保存方法でも子実体発生まで至ったことから、いずれの保存方法でも性能維持を図れる可能性が示唆されたが、系統による違いが見られるため、系統数や保存数を多くする必要があると考えられた。また、保存期間の異なる菌株については、1年5か月保存の菌株までは培養期間やその他の性能ともに良好であったが（表－3，写真(a)），2年以上保存した株から発菌が遅くなる傾向が見られ（表－3），4年および5年間保存した菌株については、培養期間の遅延だけでなく、有効茎数が少ない傾向が見られた（表－3，写真2 (b)，(c)）。さらに、4年保存株では菌傘の大きさも不揃いで、形状も悪かった（表－3，写真2 (b)）。一方、5年保存株では、原基が形成されない、原基が形成されても成長しないなどの理由により、成立本数が少ない傾向があったものの、菌傘の大きさや形状は良好なものが多かった。保存期間が長くなると、培養期間が長くなることや、4年保存株のような収量の低下や5年保存株のような有効茎数の減少などが生じることが示唆された。これらのことから、おが粉冷蔵による保存菌株は2年以内のものを使用することが望ましいと考えられた。

表－2 異なる方法で保存した菌株の培養日数及び子実体発生状況

保存方法	系統	培養日数	子実体 育成日数	収量 (g/菌床)	有効茎数 (本)	菌傘の直径 (mm)	菌柄の長さ (mm)
グリセリン凍結	A	81.4±5.0	29.2±1.0	75.0±10.4	24.6±4.0	28.3±1.4	62.4±2.1
	B	68.3±4.3	28.8±0.4	158.6±9.7	38.4±2.7	31.5±0.4	72.1±0.5
	C	66.6±2.7	28.1±0.3	162.6±5.6	38.0±5.0	31.5±0.8	72.9±0.9
PDA平板冷蔵	A	62.6±0.8	29.8±0.5	129.8±7.6	32.8±4.4	32.1±0.7	72.1±1.4
	B	72.8±2.8	29.1±0.4	168.3±7.1	41.3±3.1	31.2±0.6	72.0±0.6
	C	67.8±2.9	28.0±0.0	148.7±4.6	45.3±2.7	31.1±0.7	72.3±0.6
おが粉冷蔵	A	59.0±0.0	29.0±0.0	133.7±5.7	53.2±3.5	31.7±10.1	73.7±23.5
	B	63.0±0.0	28.0±0.0	151.8±4.0	43.0±4.6	31.2±0.9	69.3±1.0
	C	69.0±0.0	28.0±0.0	143.4±6.1	50.6±4.7	32.3±10.3	72.3±22.9



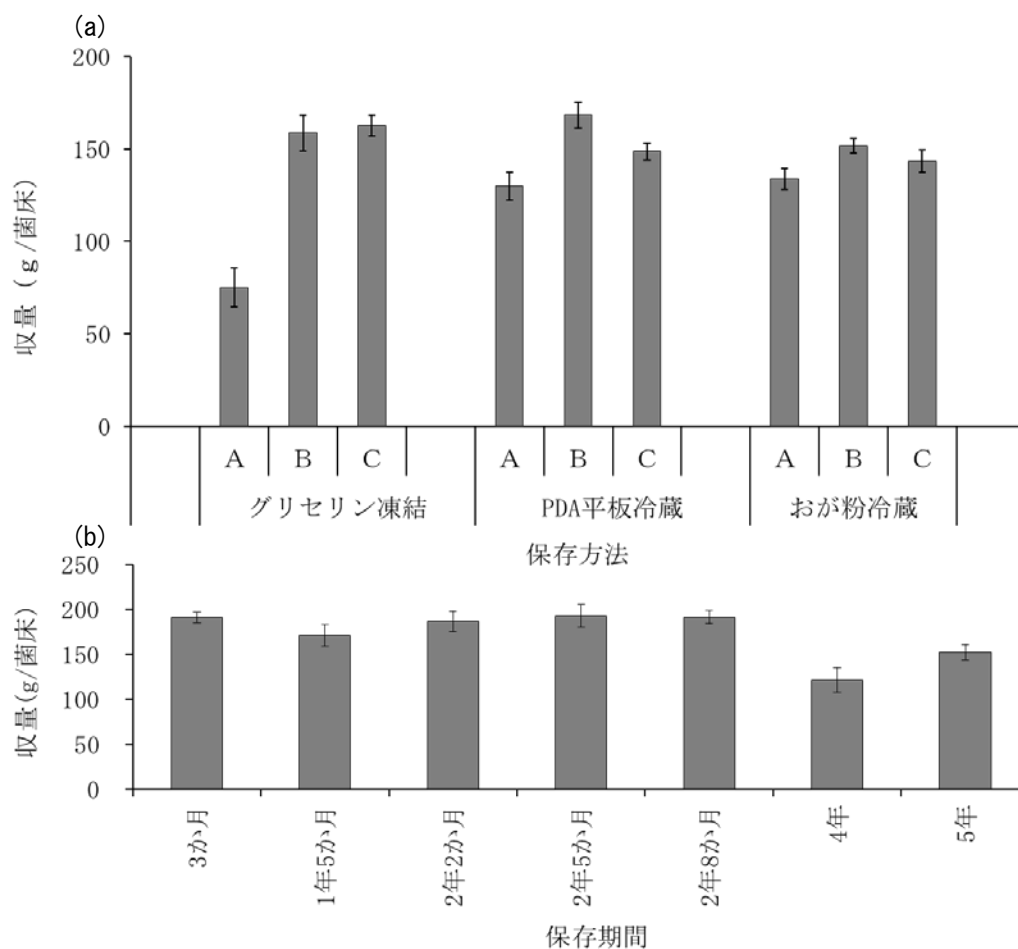
写真－1 グリセリン凍結株(a)，PDA 平板冷蔵株(b)，おが粉冷蔵株(c)由来の子実体の発生状況

表－3 保存期間ごとの菌株の培養日数及び子実体発生状況

保存期間	培養日数	子実体 育成日数	収量 (g/菌床)	有効茎数 (本)	菌傘の直径 (mm)	菌柄の長さ (mm)
3か月	56.0	27.1±0.3	191.0± 6.2	60.1±6.5	29.6±1.6	72.0±2.9
1年5か月	55.0	28.5±0.5	170.9±12.0	39.1±3.3	31.7±0.8	73.8±1.8
2年2か月	68.0	28.1±0.4	186.6±11.2	42.3±2.1	31.6±0.7	72.4±0.7
2年5か月	66.0	28.5±0.8	193.0±12.2	49.9±8.7	32.2±1.3	73.6±0.9
2年8か月	56.0	26.5±0.5	191.2± 7.2	55.8±4.5	30.4±0.5	71.8±0.8
4年	74.9±2.3	32.9±2.1	121.6±13.6	27.6±7.1	30.8±0.8	69.3±2.0
5年	73.4±4.1	30.6±0.7	152.2± 8.6	31.8±5.3	31.8±0.9	72.1±0.8



写真－2 1年5か月保存株(a), 4年保存株(b), 5年保存株(c)由来の子実体の発生状況



図－4 異なる方法で保存した菌株由来の収量 (a) と保存期間別菌株由来の収量 (b)

4 おわりに

コーンコブミール添加により、収量の増加を図ることが可能になり、生産現場では、コーンコブミール添加培地での菌床の生産を行っている。一方で、安全性などを懸念して、中国産が主流のコーンコブミール以外に増収効果がある資材を求める声も聞かれることから、今後は国内産の安全で安価な資材の探索を行う必要があると考えられる。

放射性物質対策のため、野積みおが粉の汚染状況を調査したところ、堆積期間が長いほど放射性セシウム濃度が高く、おが山の内部より表面の濃度が高い傾向が見られた。生産者への情報提供を行ったところ、おが粉の堆積場所を、放射性物質が多く存在すると考えられたスギ林から離し、屋根かけを行い、放射性物質汚染を防ぐ対策に至った。ただし、おが粉の堆積については、油脂成分の除去について、これまでは自然の降雨に任せて行っていたが、人工散水によって管理することになるため、散水量や散水頻度などの管理方法の検討が必要になると考えられた。放射性物質の低減化については、ゼオライト添加によって子実体の放射性セシウムの検出は見られていないが、定期的に生産物の放射性セシウム濃度の検査を行い、より安全な生産体制の確立を図っていくことが、今後のハタケシメジの普及において肝要であろう。

保存方法と保存期間の検討については、各保存方法や保存期間によって、菌株の再生から子実体の収穫に至るまでの特性を把握することができた。今後は、各保存方法で保存し、より保存期間が長い菌株を対象に、性能確認試験を実施して保存菌株の性能の確認を進め、菌株の維持管理マニュアルに反映させながら、菌株の管理を実施していきたい。

引用文献

- 小島靖：施設空調型エリンギ栽培の最新技術．改訂版 最新きのこ栽培技術 p199－204（株）プランツワールド，東京 2014
- 小山智行：施設空調型エノキタケ栽培の最新技術．改訂版 最新きのこ栽培技術 p165－172（株）プランツワールド，東京 2014
- 菅野昭・西井孝文：新特産シリーズ「ハタケシメジ」，p56-57，p80-89 農文協，東京 2000
- 鈴木大：施設空調型ブナシメジ栽培の最新技術．改訂版 最新きのこ栽培技術 p193－198（株）プランツワールド，東京 2014
- 玉田克志，相澤孝夫，更級彰史，佐藤資之，木村榮一：ニュータイプきのこ開発事業（第 2 報）—ハタケシメジ空調施設栽培用品種の開発—．宮城県林業試験場成果報告 第 16 号 p 23－29 2007
- 寺嶋芳江：多様化する培地材料の特徴と利用．改訂版 最新きのこ栽培技術 p29－36（株）プランツワールド，東京 2014
- 平出政和・砂川政英・根田仁・吉田聡：ヒラタケの放射性セシウム吸収を抑えた栽培法を開発．森林総合研究所 平成 24 年版 研究成果選集

木質系バイオマス資源の供給可能性に関する調査

伊藤 俊一

要 旨

木質系バイオマスを活用するためには、安定的な供給が重要な課題であり、その発生量、利用量、供給可能性を推定することを目的に実施したものである。

発生量の算出に当たっては、森林整備課の年度別間伐実績の間伐材の生産・流通実績の立木伐採材積量を用いて利用間伐を推定した。保育間伐も同様に年度別の切り捨て間伐から発生した林地残材を生重量で推定するとともに、齢級別・樹種別の林地残材発生量を推定した。また、同課で作成された市町村別・事業主体別間伐実績を用いて、市町村別間伐事業林地残材発生量も推定した。

利用量調査の結果、民有林の年間立木生長量から利用可能性を推定し、C材D材の未利用量を推計した。

県内の木質チップ生産量の動向を調査したところ、製材用素材価格の上昇から推定すると木質チップの価格も上昇傾向にあると推定される。本県の木質系バイオマスをエネルギーと捉え発熱量を算出した結果、建築廃材が最も高く、含水率が影響しているものと推定された。モデル地区別に木質系バイオマス資源の供給可能性を推定した。

キーワード：木質系バイオマス、林地残材

1 はじめに

木質系バイオマスの活用は、環境負荷の少ないリサイクルエネルギーとして地球温暖化問題の解決や循環型社会の構築に向けて利用拡大が望まれている。

国内においては、1年間に発生する未利用の間伐材等を含む林地残材が、約800万 dry-t/年（約2,000万 m³相当）発生しており、その多くは経済性などの面から搬出されず林内に放置されており、利用開発が大きな課題である。また、2012年7月にスタートした再生可能エネルギー固定価格買取制度（F I T）の煽りから、全国的に木質バイオマス発電施設の計画が増えている。

県内の、木質系バイオマス利用施設は、製材工場等から発生する端材や建築廃材とともに、チップボイラー等に燃料として一部が利用されているに過ぎない。

一方、東日本大震災で発生した震災木くずは、ボード類や製紙会社の発電施設のエネルギーに再利用が進み、処理は終息した。今後は、未利用だった林地残材等へと利用がシフト出来るような体制の構築が必要である。

現在の本県における木質系バイオマスの供給量は、まだ不明確な要素が多く、特に林地残材を主とした利用可能な木質系バイオマス供給量の包括的な推定は、今後必要に迫られるものと考えられる。

本調査の目的である未利用木質バイオマス資源の発生量から地域の供給可能性まで推定することが、木質系バイオマスの供給体制整備に資するものと考え調査したが、近年は自治体でも、再生可能エネルギーへ取り組むことは意義あるものと認識されつつある。

取り組みの背景には、木材産業の活性化よりも、東日本大震災の甚大な被害が、脱原発・再生可能エネルギーの機運を高める契機になったものと考えられる。

2 調査方法

2. 1 木質系バイオマスの発生量調査

2. 1. 1 市町村森林蓄積量の調査

林業振興課の業務資料を参考に、各市町村別の民有林森林資源の蓄積量（千 m^3 ）と、ha 当たりの森林蓄積量（ m^3/ha ）の関係を調査し、市町村間の平均値の違いに有意な地域間差があるか求め、森林蓄積のともに高い市町村を抽出することとした。

この結果によって森林資源がどの市町村に多く存在しているのか、ある程度把握することができ、これをもとに木質系バイオマスモデルとして可能性の高い市町村の推定を行った。

2. 1. 2 市町村の林地残材賦存量及び林道密度の調査

森林整備課及び林業振興課の業務資料から、林地残材の賦存量（生 t/年）を算定し、収集量が多い市町村や、発生場所へのアクセスが可能とするための必要な道路として林道密度（ m/ha ）が高い市町村は、搬出から運搬までの可能性が高まる。そのことから林地残材発生量や切捨間伐で林内に放置された素材賦存量と林道密度の双方がともに高い地域は、林地残材の収集や輸送効率が高いものと判断し、当てはまる市町村を抽出し、市町村間の平均値の違いに有意な地域間差があるか求めた。

2. 1. 3 伐採に伴う林地残材発生量の調査

森林整備課の業務資料から、民有林の間伐に伴う素材生産量の実績をもとに林地残材の発生量を算出した。主伐については、伐採届が出ていないなど、正確な伐採面積のデータを得ることができなかったため省略した。利用間伐の際に発生する端材及び、枝・葉の発生量（生 t）を推定するとともに、保育間伐は、切捨間伐量（生 t）を推定した。

2. 2 木質系バイオマス資源の利用量調査

林業振興課の森林資源構成表から、針広別の林木の年間成長量（ $\text{m}^3/\text{年}$ ）と利用可能量（ $\text{m}^3/\text{年}$ ）を算出し、同様に人工林・天然林別 C 材 D 材の未利用推定値（ $\text{m}^3/\text{年}$ ）を求めた。製材工場から発生する端材の活用は、農林水産省の木材統計調査をもとに（生 t/年）で推定し、建築廃材の発生量等は、国土交通省の建設副産物実態調査等及び木質ボイラー施設等への聞き取り調査により推定した。

木質チップの生産量は、震災の影響から立ち直り増加傾向にあり、素材・工場残材・林地残材の年間生産量を算出し、県内の素材生産に伴い発生する針・広別のチップ用素材価格（ $\text{円}/\text{m}^3$ ）と木材チップ価格（ $\text{円}/\text{t}$ ）を求め、全国平均価格との違いを示した。

製材用素材価格は、スギの小・中・大丸太 1 年間の価格動向を調査し、月別（ $\text{m}^3/\text{円}$ ）から価格の推移を推計した。

2. 2. 1 木質系バイオマスの利用発熱量の調査

木材の発熱量を求める場合、一般に水分を蒸発させるための熱量を含めない低位発熱量式（浅野，1982），（1）を用いて算出した。

算出した指標に林地残材，切捨間伐材，製材残材，建築廃材別の賦存量及び利用可能量を掛けて本県の賦存熱量と利用可能熱量を算出した。

$$\text{低位発熱量} : H_1 = \{H_{ho} - 600 (9 h_o + u)\} / (1 + u) \quad (1)$$

ここで、 H_1 は低位発熱量 (MJ/kg) , H_{ho} は全乾時高発熱量 (MJ/kg) , h_o は全乾重量 1kg 当たりの水素量 (kg/kg) , u は全乾重量 1kg 当たりの水分量 (kg/kg) を示す。

2. 3 木質系バイオマス資源の供給可能量の調査

県内における森林蓄積量の現状や林地残材と林道密度の関係から、気仙沼市、南三陸町、石巻市の 2 市 1 町をモデル地区に決定した。供給可能量は、森林総合研究所の「木質バイオマスの経済的な供給ポテンシャル推計システム」を用いて推定し、モデル地区とした 2 市 1 町の役場を集積場所の基準とした。

林地残材と工場残材を種別ごと分類し、発生場所、発生形態別に 10t トラックの輸送によって、集積場所から 25km 圏内、50km 圏内、75km 圏内、100km 圏内ごとに木質バイオマス供給可能量を算出した。

2. 3. 1 木質系バイオマスモデル地区の供給エリア

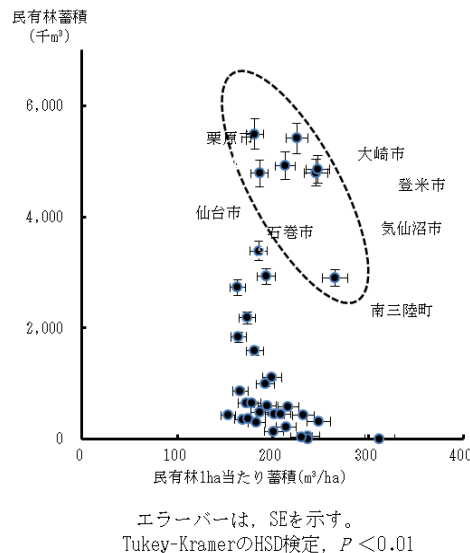
木質系バイオマス供給可能量・供給コストの結果を踏まえ、2 市 1 町のモデル地区で想定される供給範囲は役場を集積すると仮定し、最短エリアを 30km 以内と想定し、その中に含まれる 10km と 20 km の範囲内の対象森林をそれぞれ着色により図示した。

3 調査結果

3. 1 木質系バイオマスの発生量調査

3. 1. 1 市町村森林蓄積量の調査結果

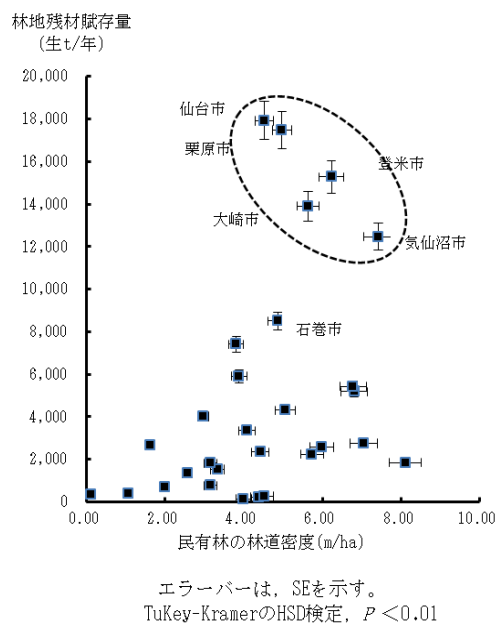
森林資源構成表（宮城県林業振興課，2012，2013）によれば森林蓄積量（千 m^3 ）の多い市町村は栗原市が最も高く、次いで大崎市となった。市町村間の平均値差を検定した結果，（Tukey-Kramer $P < 0.01$ ）で有意な差が認められた。ha 当たりの蓄積量（ m^3/ha ）は南三陸町が高く，1 回当たりのアクセスで集材可能な資源量が大きく有利な条件の地域と考えられる（図－1）。



図－1 市町村別民有林森林蓄積量

3. 1. 2 市町村の林地残材賦存量及び林道密度の調査結果

仙台市と栗原市がほぼ同じ結果となり，次いで登米市と大崎市の順となった。市町村間の平均値差を検定した結果，（Tukey-Kramer $P < 0.01$ ）で有意な差が認められた。気仙沼市は，林道密度が県内平均 5.1 m/ha と比較しても際だって高く，林地残材等の運搬道の条件に有利な地域と考えられる（図－2）。



図－2 林道密度と林地残材賦存量の関係

発生量調査の結果を踏まえた上に、木質系バイオマスを長期的に利用可能性の高い地域を条件に考慮し、東日本大震災で被災した沿岸地域は、社会事情等の背景から従来に増して木質系バイオマスを長期的に利用可能性が高く木質系バイオマス利用が活発化していることから、石巻市、南三陸町、気仙沼市の 2 市 1 町を供給モデル地区に選定した。

3. 1. 3 伐採に伴う林地残材発生量の調査

県内の間伐実績（宮城県森林整備課，2012，2013）から利用間伐の発生量を推定したところ，年間約 7 万～9 万生 t もの林地残材が放置されていることが分かった（表－1）。一方，同年度の保育間伐の推定値からは，最大約 17 万 t もの切捨間伐材が発生した。

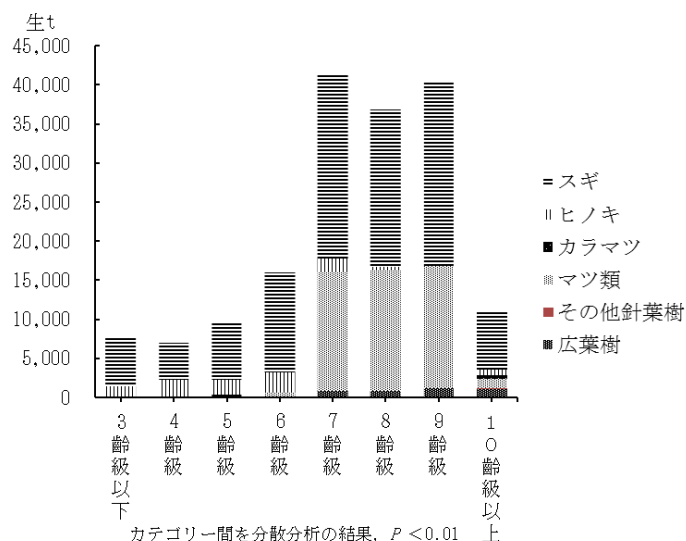
林地残材は，伐採量の増加に伴い増える傾向から，林内に放置される間伐材も増加する傾向にあることが予想される。木質系バイオマスを量的に確保するためには，林産事業の増大が重要であることは言うまでもないが，現実には林内にほとんど放置されている。

表－1 利用間伐と保育間伐の林地残材発生量

【利用間伐】			
年度別	間伐材利用量	端材	枝・葉
20	127,096m ³	47,905生t	31,481生t
21	117,524m ³	44,298生t	29,110生t
22	146,858m ³	55,354生t	36,376生t

【保育間伐】 (生t)	
年度別	切捨間伐材
20	117,957
21	129,976
22	169,789

切捨間伐材を齢級別・樹種別に集計（生 t/年）した結果をグラフ（図－3）で示すと，7～9 齢級にかけて際だって多い結果となった。樹種別ではスギ及びマツ類が多くを占め，カテゴリー間で検定を実施したところ有意な差が認められた（分散分析法 $P < 0.01$ ）。これは間伐事業の対象齢級によって差が生じたものと考えられる。



図－3 齢級別・樹種別の林地残材発生量

3. 2 木質系バイオマス資源の利用量調査

林地残材の有効利用は、各県で試験的な取り組みがすでに始まっているが、資源としての潜在的な利用可能性を有するものの、伐採後は、林内に点在するため収集効率が悪く、運搬においてもかさ比重が小さいことや含水率が高いことが運搬のコストに影響している。また、化石燃料に比べると発熱量が低いため、同じ発熱量と比較すると、利用容積が大きくなる等の課題もある。

利用量推定の結果（表－2）、年間成長量では、針葉樹人工林のみで約 87 万 m^3 もの蓄積が新たに増えており、立木は毎年成長するので、立木成長量分を使う限り持続的に利用できるというのはものの、伐採・搬出が困難な場所もあり、利用可能量を全て毎年利用し続けることは現実的ではない。

表－2 民有林の立木年間成長量と利用可能量

区分	年間成長量	($\text{m}^3/\text{年}$)
		利用可能量
針葉樹 人工林	869,978	186,335
広葉樹 天然林	183,661	59,505

※成長量は森林資源構成表から算出した

※利用可能量はH21～23年の平均値により算出した

当センターで実施した林地残材運搬に関する実証試験の結果、水田ら（2009）は、通常の搬出間伐林分では、A材（製材用材）B材（合板用材）のみの搬出歩留まりは5割から7割であったが、C材（チップ用材）を搬出すると歩留まりは7～9割に向上し、D材（燃料用）も含めて搬出すると9割以上に利用可能量が向上すると報告されている。一般にC材やD材は林地残材とも呼ばれているが、有効利用を想定すれば、高い歩留まりが必要となる。針葉樹人工林及び広葉樹天然林の年間立木成長量にC材D材を換算すると（表－3）となり、林地残材は、大きなポテンシャルがあるものと考察された。

表－3 成長量のうちCD材の未利用推計値

区分	C材	D材	($\text{m}^3/\text{年}$)	
			総数	割合 (%)
針葉樹 人工林	182,695	58,289	240,984	82.6
広葉樹 天然林	38,569	12,305	50,874	17.4
総数	221,264	70,594	291,858	

※CD材は年間成長量をもとに算出した

問題となっていた東日本大震災で発生した震災廃棄物の処理も急速に進み、平成 25 年度内に終了した。利用動向が災害木くずから製材工場廃材へとシフトしていくものと考えられるが、製材工場から発生する木くずは、収集コストがほとんどかからず容易に輸送可能であることから、利用可能性は高く、価格が安価であることと一定の発生量（農林水産省、2012、2013）がまとまって入手可能である。

含水率が低く燃料用としての利用が増加傾向にある建築廃材（国土交通省、2012、2013）は年に約 5 万 t 発生し、その 3 割程度が利用可能（表－4）と考察されるが、リサイクルとしてすでにバイオマスボイラー等への利用が図られており、通年的な需要により供給の実態はひっ迫している様子である。

表－４ 製材工場端材及び建築廃材未利用量

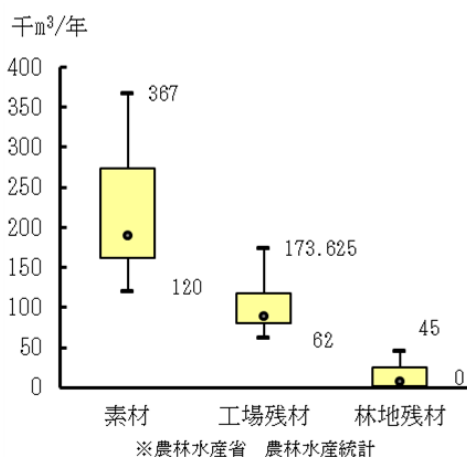
区分	発生量	(生t/年)
		未利用量
製材端材	175,422	57,273
建築廃材	49,267	14,326

※国土交通省 建設副産物実態調査

※農林水産省 木材統計調査

木質チップ県内生産量は、東日本大震災の影響により平成 23 年は落ち込んだがその後増加傾向にあり、平成 24 年次は 348 千 m³ の生産となった。

木質チップの入手別では、昭和 63 年当時は素材チップが約 80% を占めていたが、近年は約 40% 程度に低下し、逆に製材工場の残材が増加する傾向となっている。素材、工場残材、林地残材と原木入手別にチップ生産量（千 m³/年）を分類すると図－４の結果となった。



図－４ 木質チップ生産量

木質チップの価格は、最近の円安傾向により今後輸入チップの価格の上昇が見込まれるが、県内チップ価格についての変化はあまりなく安定しているといえる。県内の素材生産に伴い発生する針・広別のチップ用素材価格（円/m³）と、木材チップ価格（円/t）を全国平均と比較すると、本県の木質チップ価格は高い傾向にある（表－５）。

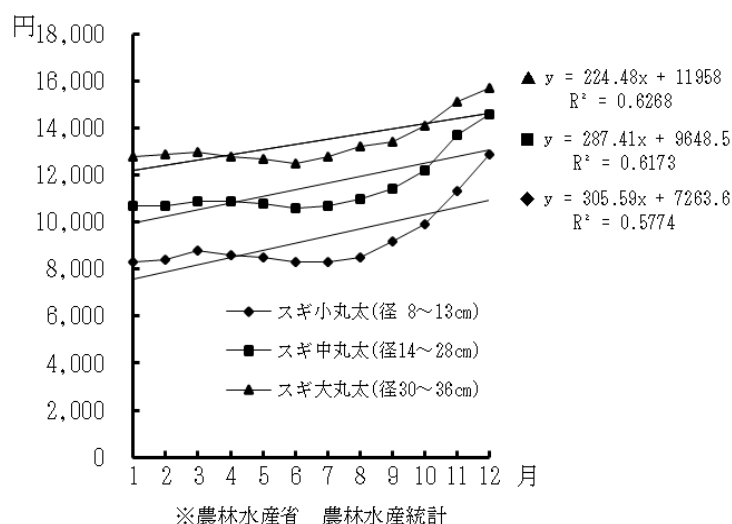
表－５ 木質チップの価格

	チップ用素材価格 (円/m ³)		木材チップ価格 (円/t)	
	針葉樹	広葉樹	針葉樹	広葉樹
全国平均	4,400	8,100	12,200	16,300
宮城県	4,700	7,600	15,700	17,500

※農林水産省 農林水産統計

県内における燃料用チップの多くは、建築解体材を原料としたものであるが、聞き取り調査によるとチップ価格は概ね 4 円/kg（税抜き）が相場のようなのである。素材生産で生産される木材チップ価格を燃料用チップとする場合、価格を燃料用価格へ転換する必要がある。宮城県の木材チップ価格 15,700（円/t）を 50% のウェットベースに換算し、 $15,700 \times 0.5 = 7,850$ （円/t）となる。それに 1 m^3 の丸太をチップへ層積変化係数 2.8 に換算し、（岩手木質バイオマス研究会，2006.3）それにスギチップの気乾比重 0.38 を 10t トラックで 30km の運搬コスト 1,800 円/ m^3 （佐々木，2005）で計算すると、1,754 円/t となり合計 9,604 円/t が含水率 50% の燃料用チップの推計価格となった。

このように発電用丸太の買取り価格と燃料量チップの推計価格には差が生じているが、他県でも同様の問題が起きている。膨大な燃料を使う発電所に丸太から作るチップを調達するのは無理を強いることになりかねなく、平成 25 年次月別の m^3 当たりスギ製材用素材価格の推移（図－5）からは、決定係数（ R^2 ）が平均 60% であることから地域や季節の変動は若干あるものの、価格は上向き傾向にあり、それに併せて木質チップの価格も値上がりすると想定される。



図－5 製材用素材価格の推移

製材工場から発生する残材等の全ては、必ずしも円滑に処理されているわけではない。一部が利用されているにしても、低価格で取引されているのが実態である（表－6）。製材工場から出る残材等の利用促進は、資源の最適利用に繋がるとともに製材工場の収益に繋がるものなので、有効利用は不可欠である。

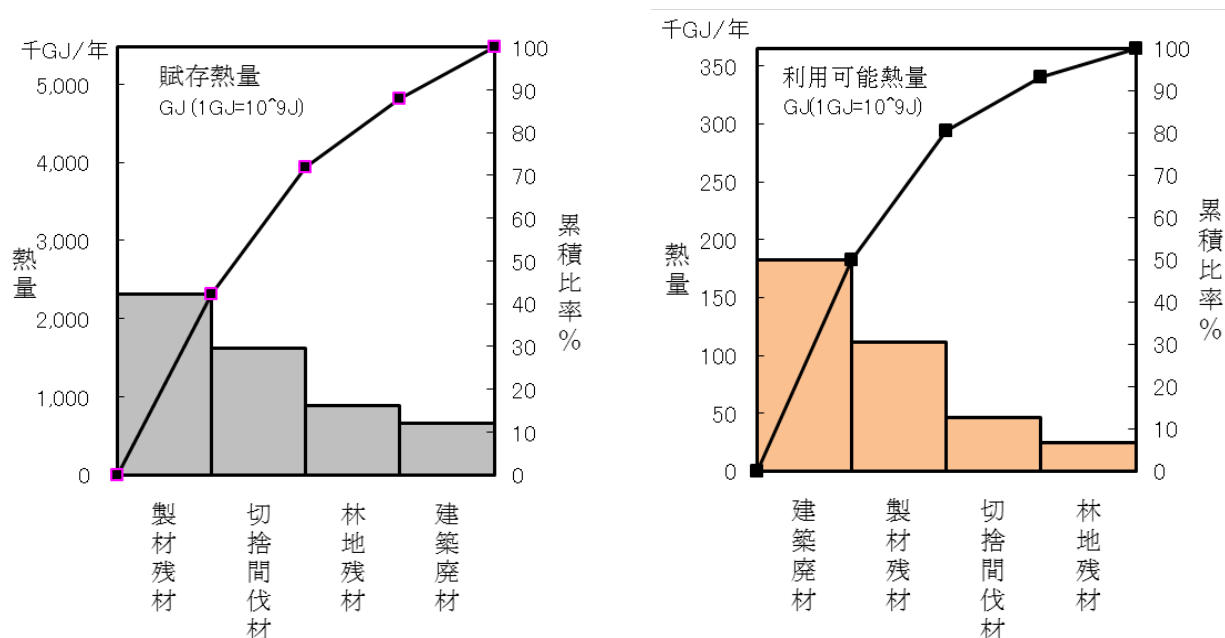
表－6 製材残材等の区分別仕入れ価格状況

区分	仕入れ価格	特性
C材	5,200（円/ m^3 ）	高含水率，チップ化作業，収集難
製材用皮剥き丸太	10,000（円/t）	高含水率，チップ化作業，収集易
製材所背板	500（円/ m^3 ）	低含水率，チップ化作業，収集易
製材所チップ	12,000（円/t）	低含水率，収集易
製材所鉋屑	1,000（円/t）	低含水率，収集易

3. 2. 1 木質系バイオマスの利用発熱量の調査

バイオマスは燃やして、熱としての利用が最も効率が良い。しかし、酸素が多く炭素が少ないことから単位重量当たりの発熱は、化石燃料に比べ小さい。また、木材はそれ自体に含まれる水分によって発熱量が左右される。つまり含水率が高くなればなるほど水分を蒸発するために多くの熱量を消費し発熱量は低下することになる。したがってバイオマスを燃料として利用する場合は、木材の水分管理が極めて重要となる。

木質系バイオマスの賦存量を原料別に低位発熱量式（浅野，1982）で算出した結果、賦存熱量は、建築廃材<林地残材<切捨間伐材<製材残材の順に高い傾向であった。一方、利用可能熱量は、林地残材<切捨間伐材<製材残材<建築廃材の順となった（図－6）。特に、伐採して間もない切捨間伐材と林地残材に関しては、水分の蒸発に使われる熱を差し引かねばならないため、含水率が上がるほど重量当たりの熱量は低下し、エネルギーの質という点からすれば、建築廃材が最も高品質であるといえる。



図－6 木質バイオマス賦存熱量・利用可能熱量

3. 3 木質系バイオマス資源の供給可能量の調査結果

供給可能量を算出する基本パラメーターは、種別ごとに容積密度、含水率、拡大係数を設定した。（表－7）（森林総合研究所，2012）によれば、集材は搬出距離 500m（水平距離）以内で約 8 割が行われているから（林野庁，2007），林地残材もその範囲で発生しているものと推定される。

なお、推計結果は、木質系バイオマス量の大まかな発生状況に基づく概算値であり、より具体的な算出には、地域ごとの発生状況や利用の詳細な検討が必要となる。

表－７ 種別基本パラメーター

種別	容積密度	含水率(乾量基準)	拡大係数
針葉樹	0.35t-dry/m ³	100%	1.23
広葉樹	0.60t-dry/m ³	100%	1.27
針葉樹チップ	0.25生t/層積m ³	100%	
広葉樹チップ	0.43生t/層積m ³	100%	

※バイオマス収穫率60% (収穫量/発生量)

・気仙沼地区

気仙沼エネルギー開発株式会社が事業主体となり、2014 年から木質バイオマス発電が始まることとなり、未利用の木材を継続的に確保することが課題となってくる。

地元の森林所有者とともに森林資源活用のため、原料となる木材を事前に登録した地元森林所有者等から原木の買い取りを始めている。買取価格は林地残材の通常定価の 2 倍の価格（6,000 円/t）で購入し、対価の半分を地域通貨（リネリア）で支払う等の間伐材調達スキームを構築した。

林地残材の収集範囲は、市内に限定しているため、市役所を基点に、ほぼ 25km 圏内の範囲にとどめることとなる。供給可能量は、林地残材の発生形態に限らず、概ね 13,000t-dry/年程度の推定供給可能量が示された（表－８）。

表－８ 気仙沼地区木質系バイオマス資源の供給可能量

【気仙沼市】							
種別		発生場所	発生形態	供給可能量(t-dry/年)			
				25km圏内	50km圏内	75km圏内	100km圏内
林地残材	針葉樹	山土場	林地残材	5,371	10,584	12,597	13,839
		集材路	林地残材	1,535	3,024	3,599	3,954
		林 内	切捨間伐	3,777	8,355	11,455	11,855
	広葉樹	山土場	林地残材	2,570	5,219	5,952	4,986
工場残材	針葉樹	製材チップ工場	パーク	306	915	1,284	515
			端材鋸屑	622	1,841	2,658	1,017
			製紙用チップ	5,721	16,344	30,411	13,467
	広葉樹	チップ工場	パーク	587	1,292	2,426	3,360
			製紙用チップ	5,600	11,181	25,580	33,412

・南三陸地区

当地区は、地域内で算出される間伐材等を原料とした木質ペレット事業の展開を目指している。近い将来には町内にペレット製造工場を整備し、新築予定の病院で木質ペレットボイラーの燃料に使う予定である。

ペレットの製造に関して、1 t に対しておよそ 2.28t（3 m³）の原料が必要であることから、ペレット工場が年間製造規模 5,000t の場合、必要な原料投入量は 11,400t/年となるが、25km 圏内から原料の林地残材を収集すれば 16,338t-dry/年（表－９）が確保される。実際に木質ペレット工場まで運搬することが可能であれば、木質ペレットの原料は南三陸地区のみで供給可能となる。

表－９ 南三陸地区木質系バイオマス資源の供給可能性

【南三陸町】							
種別		発生場所	発生形態	供給可能性(t-dry/年)			
				25km圏内	50km圏内	75km圏内	100km圏内
林地残材	針葉樹	山土場	林地残材	6,482	12,721	18,476	11,206
		集材路	林地残材	1,852	3,634	5,279	3,202
		林 内	切捨間伐	6,620	9,162	11,518	13,662
	広葉樹	山土場	林地残材	1,384	5,544	8,098	3,915
工場残材	針葉樹	製材チップ工場	バーク	369	1,078	736	625
			端材鋸屑	918	1,917	1,416	1,450
			製紙用チップ	6,533	27,761	16,226	12,044
	広葉樹	チップ工場	バーク	26	1,881	1,779	2,639
			製紙用チップ	252	18,008	16,247	28,082

・石巻地区

当地区は木材加工や製紙業等の木質系バイオマスの一大消費地であり、木質チップのニーズは極めて高く、林地残材の活用が最も期待できる地域でもある。

資源の供給は、ほとんどが地域外から供給されている。特に、東日本大震災で発生した木質がれきの利用により、木質ボードの原料や木材乾燥に利用される熱エネルギーの原料に使われた。

石巻地区の量を補うには、周辺３市（登米市、栗原市、大崎市）も集荷圏に当てはめた広域圏で原料を確保する必要があるものと考えられる（表－10）。

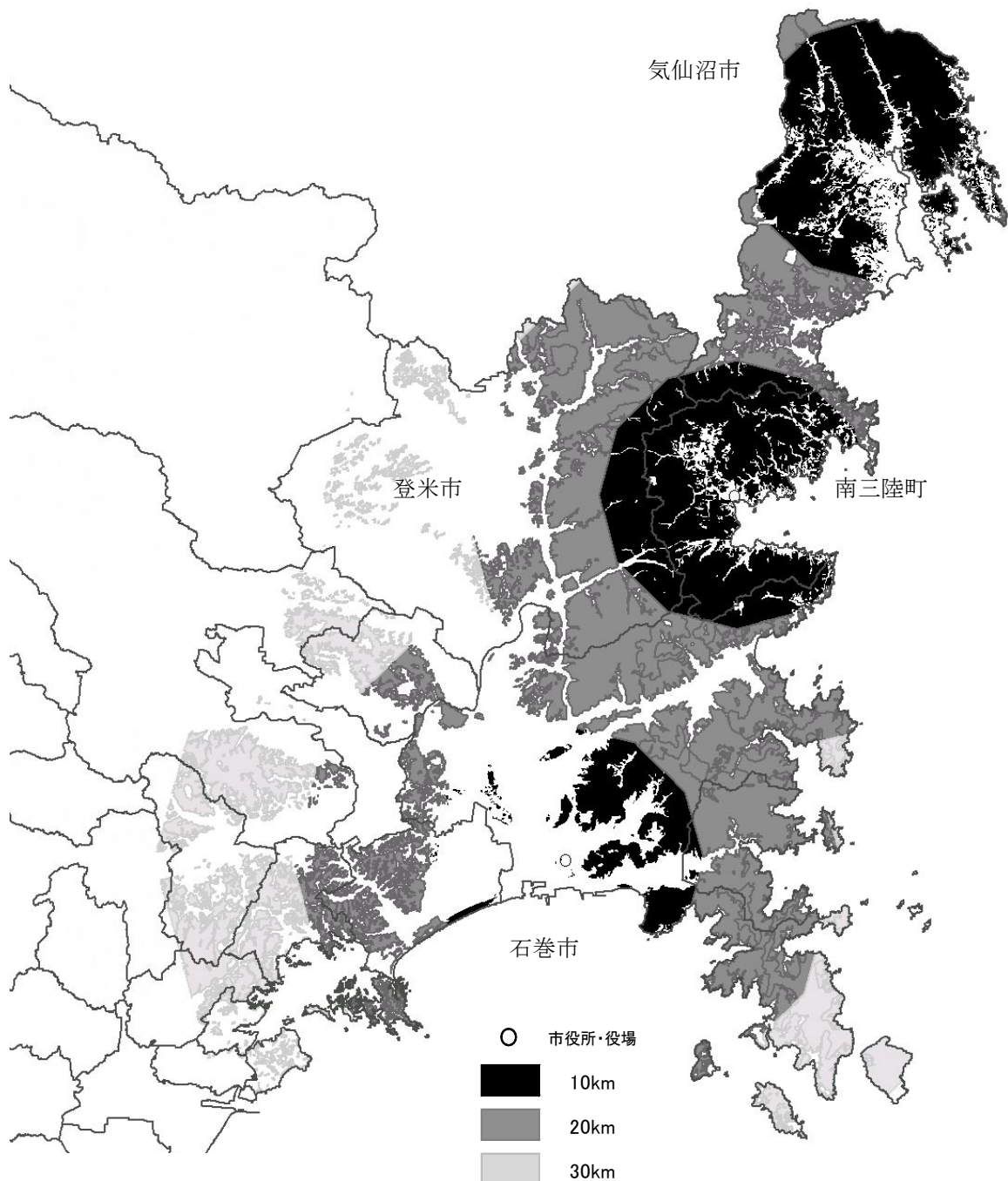
表－10 石巻地区木質系バイオマス資源の供給可能性

【石巻市】							
種別		発生場所	発生形態	供給可能性(t-dry/年)			
				25km圏内	50km圏内	75km圏内	100km圏内
林地残材	針葉樹	山土場	林地残材	3,762	15,385	20,571	12,470
		集材路	林地残材	1,075	4,396	5,877	3,563
		林 内	切捨間伐	3,120	11,992	18,909	12,118
	広葉樹	山土場	林地残材	924	4,458	7,613	5,421
工場残材	針葉樹	製材チップ工場	バーク	506	682	557	477
			端材鋸屑	875	1,631	883	916
			製紙用チップ	14,620	14,384	13,517	9,100
	広葉樹	チップ工場	バーク	311	877	1,841	978
			製紙用チップ	2,932	8,295	17,388	8,810

3. 3. 1 木質系バイオマスモデル地区の供給エリア

供給圏を各市町単位のエリアに限定すれば、役場を基点に概ね 10km よりも 20km の範囲に集中し、3 地区が一つに繋がることになる。色別で図示した地図上（図－7）で、30km 圏内を基準に供給生産活動をすると、登米地区も供給エリアに含まれる。木質系バイオマスの特徴は、含水率とかさ密度が輸送効率を左右するため、輸送距離の短縮化は必要不可欠で、図示したエリア内で利用することが望ましい。

今後三陸自動車道の延伸によって 3 地区が繋がることから、木質系バイオマスの供給道として輸送効果が益々高まるものと期待される。



図－7 各モデル地区からの供給可能エリア

南三陸町では、町内の間伐材等から木質ペレットの生産を本格的に始める前に試験的に、環境・資源の循環利用に取り組む企業が主体に製造試験を行った。林地残材を原材料とする場合、付着した放射性物質を取り除く必要があり、粉碎前に樹皮を剥いで製造した。木質ペレットに製造した後、当センターに持ち込み放射性物質測定機器 EMF211 型ガンマ線スペクトロメータを用いて測定した。測定結果は、国が定める放射性基準を下回る値であることが確認された（表－11）。

表－11 木質ペレットの放射能物質濃度

試料番号	(Bq/kg)		
	C s 137	C s 134	放射能濃度計
1	25.29	10.53	35.82
2	22.84	12.1	34.94
3	11.33	8.39	19.72

※測定機器：EMF211型ガンマ線スペクトロメータ

4 おわりに

木質系バイオマス利用の歴史は、木炭生産の盛んな昭和の時代をピークに下降の一途をたどり、現在では消費するエネルギーの 8 割を化石燃料に依存している。しかし、東日本大震災後から脱原発・再生可能エネルギーの機運が高まり、計画的に発電等を導入した被災地が新たな町づくりとして整備し、木質系バイオマスの積極的な利用が図られつつある。その結果、一部では森林資源の過剰利用の脅威を訴える人もいるが、本県では当面の間、需要の大幅な増加は難しいと思われる。その理由として、林地残材等搬出にかかる経費が対価に設定されていないことが原因と考えられる。

林地残材の付加価値を上げ価格を適正に安定させないと、木質系バイオマス資源の循環利用の持続性が損なわれる恐れがあり、木質系バイオマスの公正な価値の実現こそが、利用拡大に繋がるものと考えられる。最後に、東日本大震災で発生した木質がれきの処理が平成 25 年度内に終了し、官民あげての努力によって明るい展望が開けた。当研究でも、当初は木質がれきの実態把握の解明に主力を注いだが、研究途上で見送ることとなり具体化することができなかった。

今後も、調査の継続によって木質系バイオマスモデル地区の実態を明らかにして行かなければならないものと考えているが、林地残材を活用した木質系バイオマス施設の導入を進める場合の参考にして頂ければ幸いである。

引用文献

- 宮城県森林整備課：「業務資料」2012. 2013
- 宮城県林業振興課：「森林資源構成表」2012. 2013
- 水田展洋・中澤健一：「林地残材の高効率収穫・運搬技術の開発」宮城県業務報告 2009
- 農林水産省：「木材統計調査」2012. 2013
- 国土交通省：「建設副産物実態調査」2012. 2013
- 岩手・木質バイオマス研究会：「木のエネルギーハンドブック」2006. 3
- 佐々木誠一：「チップ運搬コスト」岩手県林業技術センター 研究成果速報 2005
- 浅野猪久夫：「木材の辞典」1982
- 森林総合研究所：「木質バイオマスの経済的な供給ポテンシャル推計システム」2012
- 林野庁企画課：「素材生産費等調査報告書」2007

平成26年度
林業技術総合センター成果報告
第23号

平成26年 8 月 発行

宮城県林業技術総合センター
〒981-3602 宮城県黒川郡大^{おおひら}衡村大衡字^{はぬき}楓木14
電 話 0 2 2 - 3 4 5 - 2 8 1 6
F A X 0 2 2 - 3 4 5 - 5 3 7 7
E-mail stsc@pref.miyagi.jp

