

山形県庄内地方における林床処理による クロマツ海岸林内へのショウロの誘導 (クロマツ林の林床処理によるショウロの誘導)

野堀 嘉裕*・高橋 雅彦**・齊藤 岳***¹⁾・溝田 智俊****・山中 寿朗*****

*山形大学名誉教授・**羽黒高等学校・***天真学園高等学校（現酒田南高等学校）
****岩手大学名誉教授・*****東京海洋大学

（平成30年9月11日受付・平成30年11月30日受理）

Induction experiment for the Syoro mushroom (*Rhizopogon roseolus*) into the
Syonai coastal black pine (*Pinus thunbergii*) forest with cleaning the ground

Yoshihiro NOBORI*, Masahiko TAKAHASHI**, Takashi SAITO***¹⁾,
Chitoshi MIZOTA**** and Toshiro YAMANAKA*****

*Emeritus professor, Yamagata University, Tsuruoka 997-8555, Japan

**Haguro High School, Tsuruoka 997-0296, Japan

***Tenshin Gakuen High School (Sakataminami high-school), Sakata 998-0031, Japan

****Emeritus professor, Iwate University, Morioka 020-8550, Japan

*****Tokyo University of Marine Science and Technology, Tokyo 108-8477, Japan

¹⁾ 現在の所属：山形県立山形北高等学校（Yamagata Prefectural Yamagata North High School, Yamagata 990-0041, Japan）
（Received September 11, 2018 · Accepted November 30, 2018）

Summary

In this paper, we discussed the effect of cleaning the ground to introduce the Shoro mushroom (*Rhizopogon roseolus*) into the Shonai coastal young black pine (*Pinus thunbergii*) forest. In four plots of 25 square meters each, litter was removed and four plots were set as control in 6 and 10 years old private forest of Sakata city for three years from 2014. There were 2 harvest seasons at an air temperature of over 8°C and under 18°C. The production volume was over 30 kg/ha with 25mm average diameter and 6 g of average weight. We could not detect the effect of ground cleaning, but shoro mushroom grew more homogeneously within the plot rather than concentrated in random areas as evaluated by GIS. The relationship between $\delta^{15}\text{N}$ and distance from the growing point of the shoro mushroom to the stand point of the black pine was positive, and it appears that shoro mushroom had some influence on the growth of black pine.

Key words : Syoro mushroom (*Rhizopogon roseolus*), Syonai coast, black pine (*Pinus thunbergii*), cleaning the ground, $\delta^{15}\text{N}$

1. はじめに

山形県庄内地方の海岸砂丘地では江戸時代（1700年代）からクロマツを植栽して、冬季の季節風や飛砂の防止に努力してきた（梅津；2003）。延長30kmを超える日本でも有数の海岸砂丘地に植栽されたクロマツ林は庄内平野の穀倉地帯の基盤をなす重要な生物緩衝帯である。1980年代には新規に植栽が必要な場所はほとんど

なくなりクロマツ林は成熟してきているものの、マツノザイセンチュウ病（志斎他；2007）の蔓延で枯死木が目立つようになり、被害の防除に大きな労力が投入されている。また、成熟したクロマツ林は超過密状態にあるので密度管理など、森林整備は基本的に必要な作業だといえる。一方、更新初期段階のクロマツ林ではツル切り除伐のほか林床処理もクロマツの健全性を保つための重要

キーワード：ショウロ (*Rhizopogon roseolus*)、庄内海岸、クロマツ (*Pinus thunbergii*)、林床処理、 $\delta^{15}\text{N}$

な森林整備作業のひとつである。ところで、クロマツ (*Pinus thunbergii*) が植栽された海岸林ではショウロ (*Rhizopogon roseolus*) と呼ばれる菌根菌 (Smith and Read; 2008) の子実体が産出することが知られている。1950年代には海岸近くに住む家の子供たちが若いクロマツ林内でショウロを採取し、夕食の食卓を飾ったとされている。このショウロはヨーロッパで産出されるトリュフ (*Tuber magnatum*) と近縁種であり、高級食材として珍重される可能性を秘めている (山田・小倉; 2000, Yamada et.al.; 2001, 明間; 2006, 赤間他; 2008)。日本でのショウロの収穫や開発に関する研究は1960年代に始まっており、神奈川県での事例 (七宮; 1967, 1969, 1971, 折原; 2014) や島根県での事例 (平佐; 1991, 1995, 富川; 2006), 宮城県での事例 (玉田; 2002, 玉田他; 2002, 2005, 2011), 長崎県 (溝口; 2014) が知られている。日本海沿岸北部の山形県庄内地方ではショウロの発生の記載のある文献 (中島; 2011, 村井; 1992) があるものの筆者らの報告 (野堀他; 2016) 以外にショウロを対象とした研究事例は見当たらない。庄内地方の海岸林ではショウロの発生場所や潜在的な資源量や林床処理との関連は未解明であり、地域の特産品として流通するに至っていない。

本研究では酒田市と協力して、市有林内に設定した調査地で林床処理とショウロ発生の関係を実験計画法 (高橋; 2013) に基づく手法により解明すると同時に、資源量の推定を行い、地域の特産品化を目指すために以下の3項目について2014年から3年計画で明らかにすることとした。

- 1) ショウロ発生最盛期の特定
- 2) 潜在的な資源量の推定
- 3) 林床処理のタイプとショウロ発生の関係の解明
- 4) 窒素安定同位体比分析によるクロマツとショウロの共生関係の解明

なお、本研究は公益財団法人マエタテクノロジーリサーチファンドからの資金援助を受けて、学校法人天真学園高等学校 (現酒田南高等学校), 酒田市農林水産課および山形大学農学部が共同で行った。また、収穫調査では天真学園高等学校 (現酒田南高等学校) ボランティアサークルから多大な支援を受けた。ここに記して謝意を表す次第である。

2. 調査地の位置と調査方法

調査地は酒田市内の市有地内で2箇所を設定した。ショウロは植栽後年数の若いクロマツ林の林床に発生することがわかっているため、酒田市の市有地 (森林及び都市公園) から15年生以下のクロマツ林を抽出して設定した (図-1, 表-1)。

両調査地には長辺41.5m, 短辺5m, 通路幅は50cm, バッファは2mを, また林床の処理区・無処理区は4セットを図-2, 3のように設定した。調査区の設定は2014年9月10日に行った。バッファおよび通路は調査によるコンタミを防ぐため設けたものであり, 可能な限り調査地内に立ち入らないように配慮した。1950年代にショウロを採取した人の話では落葉落枝を除去したクロマツ林内でショウロが良く採れたといわれたので, 林床処理によりショウロの収穫に差があるとの仮説をたてた。林床処理は調査地1 (飯森山) が2014年9月24日, 調査地2が2014年9月26日に行った。林床処理の内容は下記のとおりである。

- 1) 処理区: 砂が見える程度に落葉落枝を除去
- 2) 無処理区: 落葉落枝を除去しない

両調査地のクロマツ林の林分構造は, 3次元解析が可能なForest Window (Nobori; 1990, 1998, 2000) で表示できる情報源として, 立木の位置, 胸高直径, 樹高, 枝下高, 樹幹幅などを計測した。調査は2014年9月16日である。

ショウロの収穫は下記の要領で調査した。

- 1) 発生場所: 地面に竹櫛を刺して位置を特定し, 見取り図を描いた。
- 2) 生重: 生重量は0.1g精度の台秤 (HiTeque社製 I-2000) を用いた。
- 3) 各区で1~4点でEC・PH (HACH社製H160), 土壌水分・土壌温度 (アスワン社製DM-18) を測定した。

調査スケジュールは10月中旬から12月初旬まで, 週1回火曜日, 午後4時~5時に測定した。気象データは直近の酒田市亀ヶ崎の酒田特別地域気象観測所 (北緯38度54.5分, 東経139度50.6分) の観測値を利用した。気象観測所と調査地の距離は飯森山調査地までが3.35km, 光が丘調査地までが2.98kmである。

表-1 調査地の位置

調査地	場所	設定時林齢	緯度 (北緯)	経度 (東経)	標高
1 : 飯森山	酒田市美術館南側の緑地帯	10年生	38度53分30.04秒	139度48分51.36秒	27 m
2 : 光が丘	光ヶ丘陸上競技場北側の緑地帯	6年生	38度55分55.56秒	139度49分38.54秒	5 m

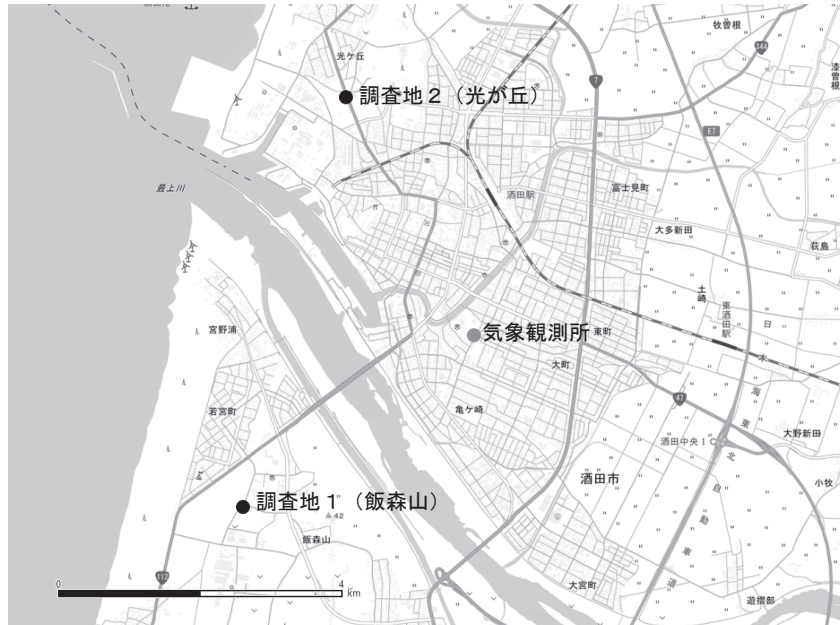


図-1 調査地および気象観測所の位置

注：QGIS(2.18)および国土地理院タイル地図を使用した。



法 面

道 路

図-2 調査地 1 (飯森山)

注：酒田市美術館南側緑地帯10年生クロマツ林



法 面

駐 車 場

図-3 調査地 2 (光が丘)

注：酒田市光ヶ丘陸上競技場北駐車場北側緑地帯6年生クロマツ林

3. クロマツ林の調査結果

1) 林分構造

調査地1（飯森山）の林分構造を表-2, 図-4に示す。
調査地1は北側から南側に向けて下降傾斜があり傾斜角は約5度となっている。樹高の平均値は4.4m, 胸高直径

の平均値は6.1cmであった。クロマツの林齢は10年生であるが, 図の右側（南側：斜面下部）の樹冠サイズの大きな個体群から樹冠の閉鎖が始まりつつある。

調査地2（光が丘）の林分構造を表-3, 図-5に示す。
調査地2はほぼ平坦地となっており, 樹高の平均値は

表-2 調査地1のクロマツのサイズの統計値

項目	樹高 (m)	枝下高 (m)	胸高直径 (cm)	樹冠幅 + Y(m)	樹冠幅 + X(m)	樹冠幅 - Y(m)	樹冠幅 - X(m)
最大値	8.0	2.2	14.4	2.0	2.0	2.0	2.0
+標準偏差	5.9	1.8	9.2	1.1	1.2	1.3	1.3
平均値	4.4	1.4	6.1	0.8	0.8	0.9	0.8
-標準偏差	2.8	1.0	3.0	0.4	0.4	0.4	0.4
最小値	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0

表-3 調査地2（光が丘）のクロマツのサイズの統計値

項目	樹高 (m)	枝下高 (m)	胸高直径 (cm)	樹冠幅 + Y(m)	樹冠幅 + X(m)	樹冠幅 - Y(m)	樹冠幅 - X(m)
最大値	2.6	0.5	3.5	1.0	1.0	0.8	1.0
+標準偏差	2.0	0.5	2.4	0.7	0.7	0.7	0.7
平均値	1.6	0.2	1.8	0.5	0.6	0.5	0.5
-標準偏差	1.2	0.0	1.2	0.3	0.4	0.4	0.3
最小値	0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0

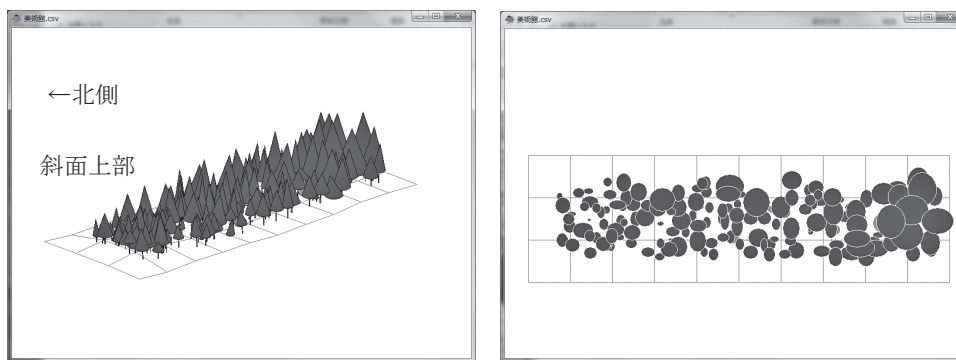


図-4 調査地1（飯森山）の鳥瞰図と樹冠投影図

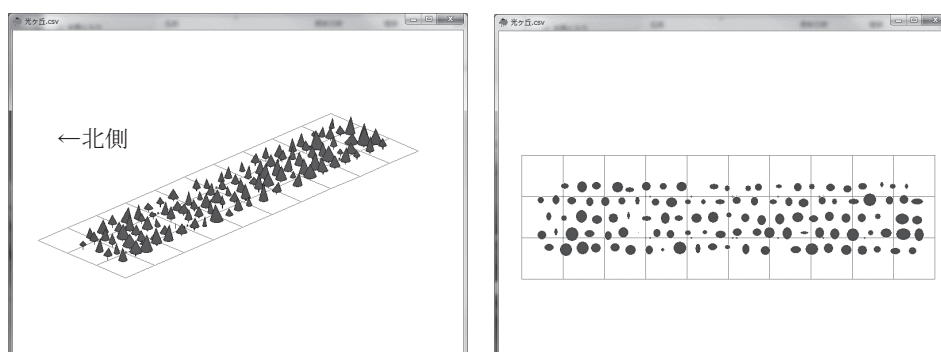


図-5 調査地2（光が丘）の鳥瞰図と樹冠投影図

1.6m, 胸高直径の平均値は1.8cmで, 場所によるサイズの違いはみられない。クロマツの林齢は6年生であり, 樹冠の閉鎖はまだ始まっていないことがわかる。おおむね全ての林床で直射日光が到達する状態にある。

4. 収穫調査結果

1) 2014年度の収穫

ショウウロの収穫量の変動を図-6 (調査地1: 飯森山), 図-7 (調査地2: 光が丘) に示す。

2014年初冬の庄内地方では12月9日には降雪があったためショウウロの収穫を終えることとした。10月14日から降雪直前で調査ができた12月2日までの約2ヶ月間であったが, ショウウロの収穫ができた最後の日付は両調査地ともに11月25日であった。降雪直前の12月2日には両調査地ともに収穫がなかった。

気象条件と収穫量の関係については, 調査地1 (飯森山) では収穫量が少なかったため因果関係を分析できる状況になかった。調査地2では10月14日から11月18日まで継続してほぼ同様の収穫が得られたため, 気象条件との因果関係を説明できる要素を見つけ出すことができなかった。調査地2 (光が丘) に関していえば, 2014年度秋期の調査では期間内の収穫はほぼ一定ということができよう。秋から冬に変わる季節のなかで気温と同様

に地温も低下していく傾向がみられたが, 土壌条件と収穫量の因果関係も気象条件と同様で, 一定の特徴を見出すことはできなかった。

収穫量の多かった調査地2 (光が丘) ではショウウロのサイズは全調査区, 処理区の平均で1個体当たり6.3g, 直径1~2cmのサイズであることがわかった。また, 処理区, 無処理区の平均で10アール当たり換算すると3kg収穫できることがわかった。調査地1 (飯森山) ではショウウロの個体サイズは平均で3.4gと小さかった。また, 処理区, 無処理区の平均で10アール当たり換算すると200gの収穫となり, 収穫量は調査地2 (光が丘) の1/10以下となった。調査地1 (飯森山) は10年生, 調査地2 (光が丘) は6年生の若年生クロマツ林であるが, より若いクロマツ林で収穫が多い結果となった。

2) 2015年度

2015年度は春季のショウウロ発生を把握するために4月8日から収穫調査を開始した。

飯森山 (図-8) では4月21日に, 光が丘 (図-9) では調査開始の4月8日に収穫のピークが認められた。光が丘の収穫を考慮すると収穫期は3月中旬から始まっている可能性があることがわかった。また, 春季の収穫量は飯森山, 光が丘共に2014年秋季より多いことがわか

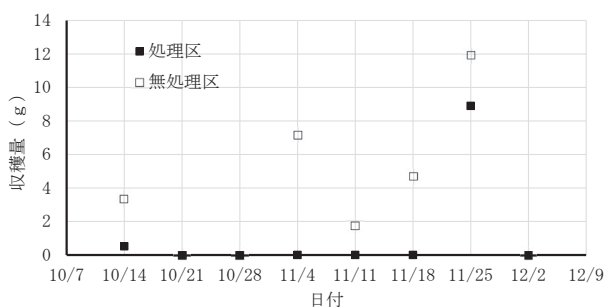


図-6 調査地1 (飯森山: 2014年秋) の収穫量の変動

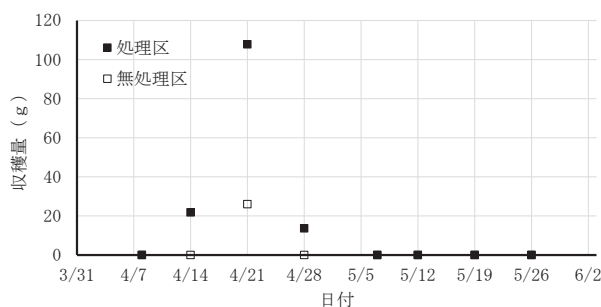


図-8 調査地1 (飯森山: 2015年春) の収穫量の変動

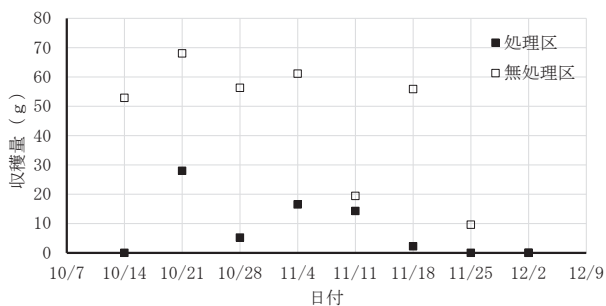


図-7 調査地2 (光が丘: 2014年秋) の収穫量の変動

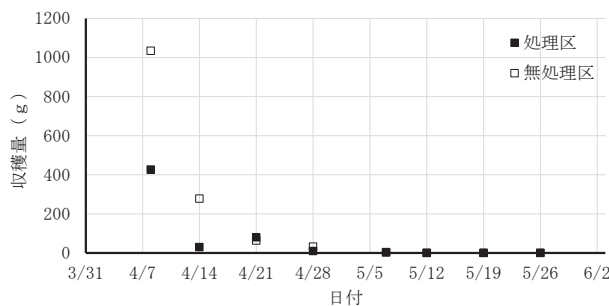


図-9 調査地2 (光が丘: 2015年春) の収穫量の変動

った。林床処理の有無と収穫の関係を見ると飯森山では処理区の収穫が多かったが、光が丘では無処理区の収穫が多かった。

2014年度は秋季から収穫調査を行ったが、調査開始を10月14日に設定したが、既に収穫期が始まっていたと考えられた。そのため、2015年度秋季は9月11日から調査を開始した。ショウロの収穫量の変動を図-10（調査地1：飯森山）、図-11（調査地2：光が丘）に示す。

飯森山では9月18日に、光が丘では調査開始の11月13日に収穫のピークが認められた。今期の調査では酒田市周辺の若いクロマツ林では秋の収穫期は9月上旬から11月下旬まで続くことが確かめられた。また、2014年度秋季と比べると飯森山、光が丘共に収穫量が増加し

た。林床処理の有無と収穫の関係を見ると飯森山では処理区の収穫が多く、光が丘でも処理区の収穫が多くなる傾向が認められた。

3) 2016年度

図-12に2016年春季の飯森山調査地、図-13に光が丘調査地の収穫を示す。最盛期は4月中旬から下旬であり、光が丘の収穫は飯森山の10倍程であることがわかった。図-14には2016年秋季の飯森山調査地、図-15に光が丘調査地の収穫を示す。飯森山調査地では2014年以降収穫の減少傾向が継続しているが、これはクロマツの成長に伴い、ショウロ発生が抑制されたためと考えられた。光が丘調査地では春季で138kg/ha、秋季で28kg/haの

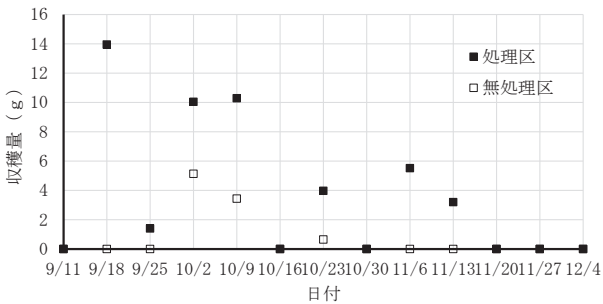


図-10 調査地1（飯森山：2015年秋）の収穫量の変動

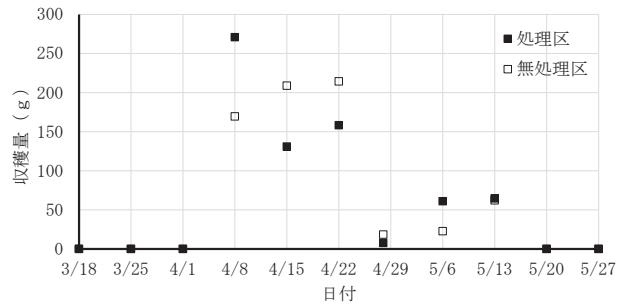


図-13 調査地2（光が丘：2016年春）の収穫量の変動

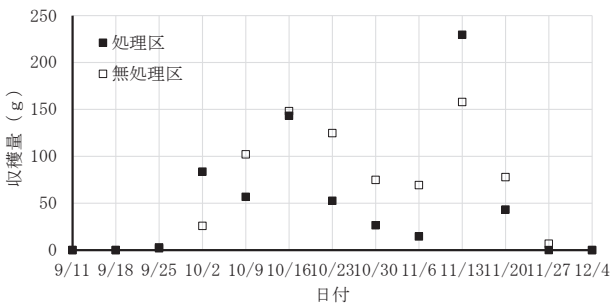


図-11 調査地2（光が丘：2015年秋）の収穫量の変動

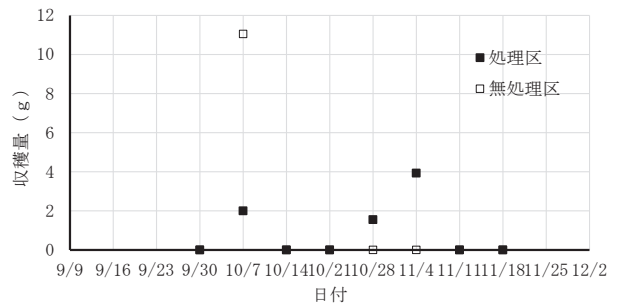


図-14 調査地1（飯森山：2016年秋）の収穫量の変動

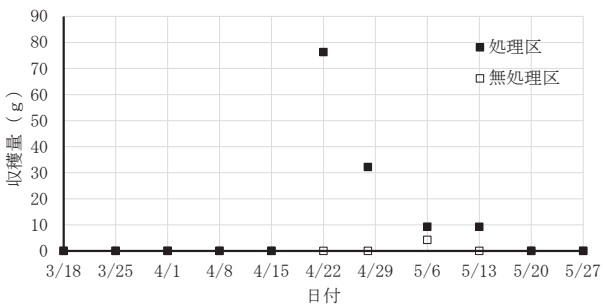


図-12 調査地1（飯森山：2016年春）の収穫量の変動

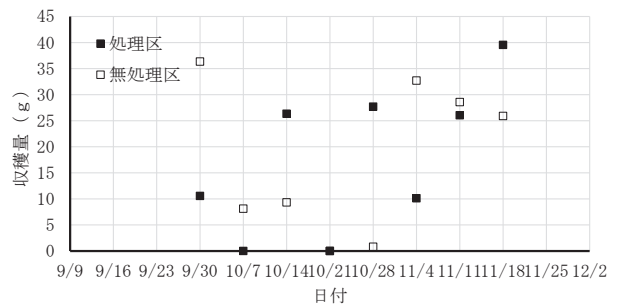


図-15 調査地2（光が丘：2016年秋）の収穫量の変動

収穫があった。

4) 3年間の収穫変動

2014年以降3年間のショウウロの収穫を図-16に示す。また、表-4に調査地別処理別の平均値の差の検定結果のt値とp値(両側)を示す。解析はMicrosoft Excel 2013のアドイン分析ツールを用いた。p値が0.05(5%)以下で両者の差が有意となる(以下同様)。

全調査期間中でも光が丘調査地の収穫が飯森山調査地の10倍以上あることがわかった。飯森山調査地では処理区で収穫が多かったが、光が丘では当初無処理区の収穫が多かったが最近では処理無処理の差がないことがわかった。今回の調査では林床処理の有無によりショウウロの収穫に差があるとの仮説は棄却されることとなった。その理由としては、今回の調査では林床処理の如何にかかわらずショウウロを見つけ出すことに注視したが、1950年代にショウウロを採取した人たちは林床処理がなされた場所でのみショウウロを見つけ出すだけでよかったことが考えられた。つまり、ショウウロは林床処理の如何にかかわらず発生するということができた。

一方、両調査地共に収穫が減少する傾向にあることがわかった。今後数年は収穫が可能と考えられるが、クロマツの樹冠の閉鎖に伴い収穫量が減少していく可能性が指摘できる。

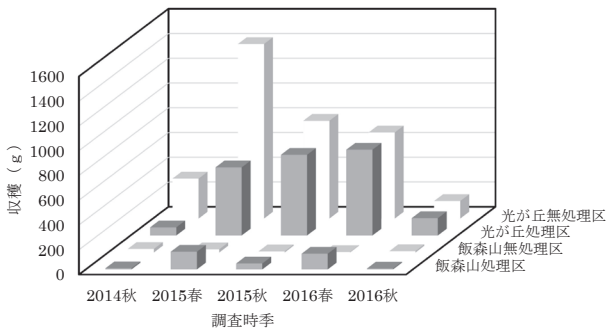


図-16 2014年以降3年間のショウウロの収穫

表-4 地表処理による収穫量の差

調査地	処理	平均(g)	分散	t値	P値
飯森山	処理区	67.01	4154	1.7261	0.1593
	無処理区	15.87	118		
光が丘	処理区	420.41	87203	-1.5817	0.1888
	無処理区	672.37	240697		

5) ショウウロの大きさと重量の関係

ショウウロの個体重の頻度分布を図-17に示す。個体重を2.5g階級で見ると0~2.5gクラスで頻度が最大で重量が多くなるにしたがって個数が漸減することがわかった。大きさについては図-18に示すように、直径25mmクラスで頻度が最も大きかった。このことは、直径25mm以上の個体の収量が多いことを意味している。

次に、個体重とサイズの関係を図-19に示す。個体サ

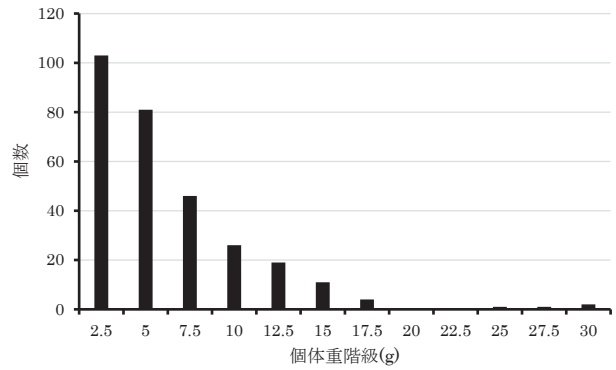


図-17 ショウウロの個体重階級別頻度分布

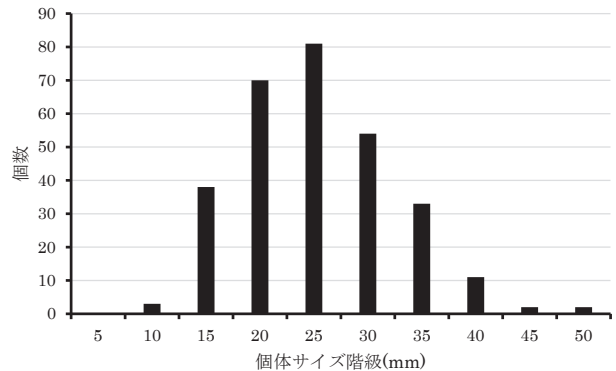


図-18 ショウウロの個体サイズ階級別頻度分布

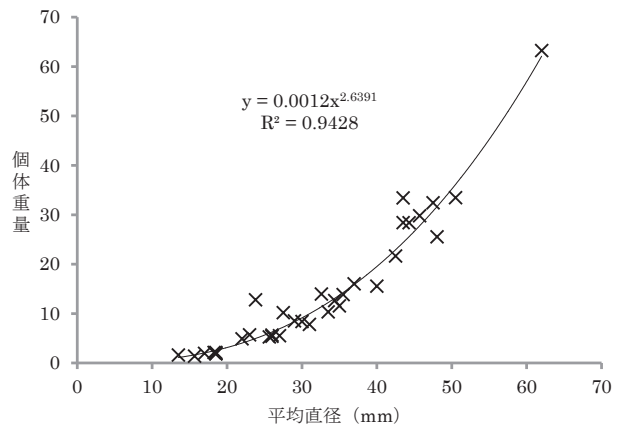


図-19 ショウウロのサイズと重量の関係

イズ階級で最も頻度の大きな直径25mmでは個体重が約5gとなっていた。直径が30mmを超える大きなシヨウロは腐食が進んでいる場合が多かった。一方、10mm以下の個体は小さすぎて食用に適しているとはいいがたい。食用に適した大きさを直径25mm以上と仮定すると、その重量は約5gであり、しかも収穫量が多いことがわかった。シヨウロの特産品化を考えた場合25mm程度になったシヨウロを収穫するのが妥当と考えられた。

5. 環境調査結果

1) 日平均気温とシヨウロの収穫量の関係

2014年以降の日平均気温と収穫量の推移は図-20に示すとおりである。図には日平均気温の5日移動平均を付加してあり、移動平均の値から収穫季の日平均気温を読み取った。2016年春季は3月下旬から、秋季は9月下旬から調査を開始することで年2回のシヨウロ発生開始時季の特定を試みた。その結果、2016年春季と秋季でシヨウロの収穫開始時季が特定できた。これらを総合すると、春季は日平均気温が約8℃以上で収穫開始、18℃以下で終了、秋季は18℃以下で収穫開始、8℃以上で終了となることがわかった。すなわち、日平均気温が8℃から18℃の範囲の時季にシヨウロの収穫が可能であることがわかった。

2) 土壌調査結果

2016年度は飯森山、光が丘両調査地の土壌について林床処理の有無による違いを明らかにするため地温、土壌水分、水素イオン濃度の調査を行った。測定機器は、LMS社製 ISFET-PHメーター：H16ONP+電極：PHW37SS、および竹村電機製作所社製土壌水分計：DM-18/1-9921-

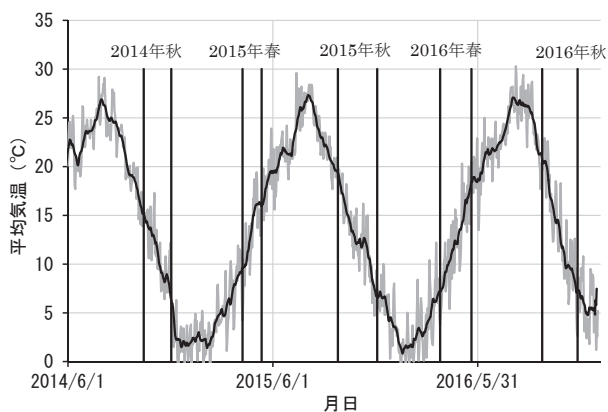


図-20 気温の変動と収穫期（2014年秋季-2016年秋季）

01である。調査結果には処理区、無処理区の平均値と、平均値の差の検定結果のt値とp値（両側）を示した。

①地温

調査地の地温は、飯森山調査地の4月1日、4月8日、4月22日、4月28日で有意な差が認められ、処理区で高いことがわかった（表-5）。特に晴れが続いた後にその傾向が強かった。これは、無処理区での落葉が太陽放射を遮断し地温の上昇を抑制するためと考えられた。光が丘では林床処理による差は認められなかった（表-6）。これは、樹冠が未だに閉鎖しておらず、もともと落葉が少なかったためと考えられた。

②土壌水分

調査地の土壌水分は、飯森山調査地で4月28日を除き処理による差が認められ、処理区で低くなった（表-7）。これは、林床の落葉落枝を除去したことで地表面からの蒸散が促進され、乾燥状態となったことが考えられた。地温の上昇は土壌水分の低下に誘引されたものと

表-5 飯盛山調査地の地温

日付	天候	処理区	無処理区	t値	p値
4月 1日	曇り	12.90	10.66	3.79	0.007
4月 8日	雨	10.76	10.00	4.79	0.002
4月15日	雨	9.23	9.30	-1.03	0.336
4月22日	晴れ	15.13	13.91	4.41	0.003
4月28日	晴れ	12.55	11.89	3.76	0.007
5月13日	曇り	19.26	18.08	1.63	0.148

表-6 光が丘調査地の地温

日付	天候	処理区	無処理区	t値	p値
4月 1日	曇り	20.19	18.63	1.40	0.203
4月 8日	雨	12.83	12.79	0.28	0.789
4月15日	雨	12.06	11.90	0.76	0.474
4月22日	晴れ	20.06	20.04	0.06	0.956
4月28日	晴れ	14.49	14.21	1.49	0.179
5月13日	曇り	26.60	24.33	1.31	0.231

表-7 飯盛山調査地の土壌水分

日付	天候	処理区	無処理区	t値	p値
4月 1日	曇り	37.53	41.08	-2.63	0.015
4月 8日	雨	38.78	42.28	-7.21	0.000
4月15日	雨	40.60	42.43	-4.29	0.000
4月22日	晴れ	40.38	43.50	-4.25	0.000
4月28日	晴れ	45.50	44.70	0.40	0.702
5月13日	曇り	38.20	40.51	-2.80	0.010

考えられた。光が丘調査地では4月8日のみ処理による差が認められたが、この日は天候が雨であり無処理区で水分が保持された可能性があると思われた（表-8）。

③水素イオン濃度

調査地の水素イオン濃度は、両調査地のいずれの調査日でも処理による差は認められなかった。このことから、水素イオン濃度は林床処理の影響を受けにくいと考えられた（表-9, 10）。

6. ショウロ発生位置のGISによる解析

ショウロ発生量の多い光が丘調査地について、クロマツ位置とショウロの発生位置の関係をGISを用いて解析した。調査地周辺の道路白線、駐車場の駐車枠白線、電柱等の地表面識別マークを参照することで地表面誤差を10cm以下の精度とすることができた（図-21）。GIS解析にはESRI社製ArcGIS10.4を用いた。

2014年秋季調査のショウロ発生位置は図の右側（南側）に集中していることがわかる（図-22）。しかも図-5.3に示すように、クロマツ樹冠範囲内に集中しているように見える。2014年秋季全てのショウロの収穫はクロマツ樹冠範囲内に64%の発生となっていた（図-23）。また、一度ショウロが発生すると次週はその周辺に発生する傾向がみられた。

表-8 光が丘調査地の土壌水分

日付	天候	処理区	無処理区	t値	p値
4月 1日	曇り	37.24	37.36	-0.29	0.771
4月 8日	雨	38.88	39.65	-2.99	0.006
4月15日	雨	40.64	41.00	-1.19	0.244
4月22日	晴れ	38.53	38.47	0.23	0.824
4月28日	晴れ	41.79	41.35	0.84	0.428
5月13日	曇り	33.87	34.78	-0.89	0.384

表-9 飯盛山調査地の水素イオン濃度

日付	天候	処理区	無処理区	t値	p値
4月 1日	曇り	6.65	6.78	-1.21	0.266
4月 8日	雨	5.99	6.19	-1.03	0.339
4月15日	雨	6.85	6.89	-1.59	0.356
4月22日	晴れ	6.54	6.69	-1.59	0.156
4月28日	晴れ	6.86	6.90	-1.80	0.115
5月13日	曇り	6.19	6.15	0.30	0.773

表-10 光が丘調査地の水素イオン濃度

日付	天候	処理区	無処理区	t値	p値
4月 1日	曇り	6.63	6.62	0.07	0.944
4月 8日	雨	6.23	6.23	0.01	0.990
4月15日	雨	6.92	6.86	2.12	0.072
4月22日	晴れ	6.63	6.64	-0.08	0.939
4月28日	晴れ	6.85	6.80	1.35	0.219
5月13日	曇り	6.11	6.14	-0.69	0.514



図-21 光が丘調査区の立木位置、樹冠配置および周辺の空中写真

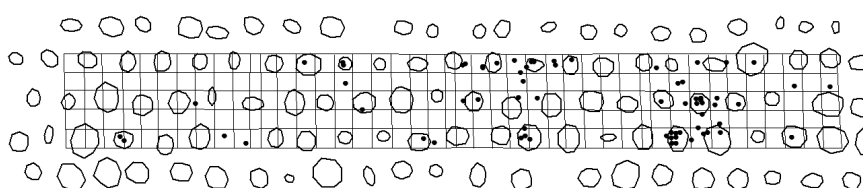


図-22 2014年秋季における光が丘調査区の樹冠配置およびショウロ発生位置

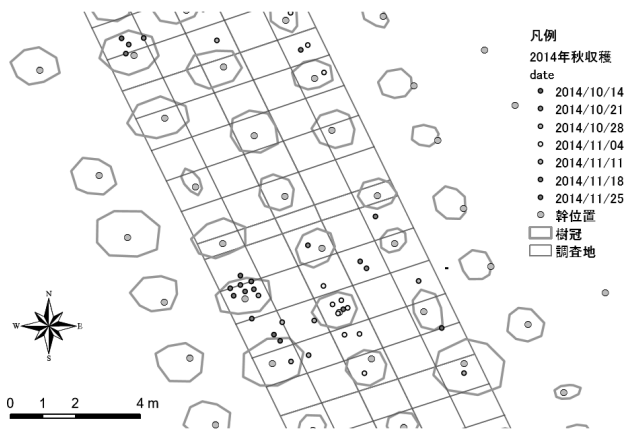


図-23 2014年秋季のショウロ発生位置とクロマツ樹幹配置

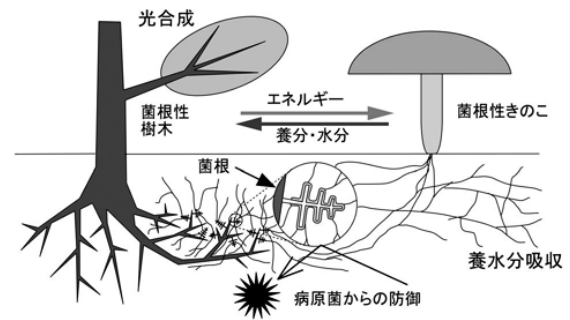


図-25 クロマツとショウロの共生関係の模式図

注：外生菌根菌であるショウロと宿主植物であるクロマツの共生関係では、菌根菌から宿主植物への窒素輸送に伴い大きな同位体分別が起きる。

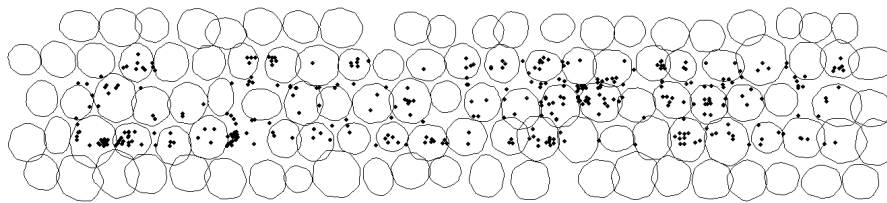


図-24 2016年秋季までにショウロ発生位置とクロマツ樹幹配置

光が丘調査地のクロマツは毎年半径10cmの樹冠の拡大がみられたが、2016年秋季までの全ショウロ発生位置とクロマツの樹冠配置を重ね合わせると図-24のようになる。クロマツ樹冠の閉鎖度合いは80%を超えており、ほとんどのショウロはクロマツ樹冠下に発生していることがわかる。3年間でショウロの発生位置が部分的から全面的に拡散したことがわかった。

7. クロマツとショウロの共生関係について

クロマツは菌根菌のショウロと共生関係にあり、両者で水分や栄養分、エネルギーのやり取りをしていることがわかっている（図-25）（Robinson；2001）。2016年秋にはショウロ発生が多い光が丘調査地に限定し、クロマツの当年生葉と直近のショウロ子実体について窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}$ ）の分析を行った（Mizota et al；2011, Lopez；2010）。

調査はクロマツ幹を起点として放射状に発生しているショウロをABC3系列、樹冠から離れて発生しているショウロを起点として周囲のクロマツXYZ3系列を調査対象とした。これらの図化にはGISを用いた。

クロマツ幹を起点として放射状に発生しているショウ

ロABC3系列を図-26に示す。また、クロマツ-ショウロ間距離と $\delta^{15}\text{N}$ の関係を図-27に示す。C系列を除く全ての系列で、クロマツからの距離が離れるほど $\delta^{15}\text{N}$ が増加していることがわかった。これは、菌根菌であるショウロから宿主であるクロマツへの窒素輸送に伴い同位体分別が起きていることを示している。つまりクロマツ根系の先端部でショウロ子実体からの窒素の供給が盛んであることを意味している。AおよびB系列はショウロ発生位置がクロマツ樹冠の外側あるいは樹冠位置に等しい距離にあるので、根系の先端部にショウロが発生している可能性が高く、根系の影響を直接受けていることが考えられた。一方、C系列はショウロ発生が樹冠の内側で幹に極めて近い場所に発生しているので、根系の先端のかなり内側である可能性が高く、根系の影響を受けにくいことが考えられた。

次に、ショウロを起点とした周囲のクロマツの配置を図-28に示す。また、ショウロ-クロマツ間距離と $\delta^{15}\text{N}$ の関係を図-29に示す。X系列をみるとクロマツX2個体の $\delta^{15}\text{N}$ が他に比べて大きく、ショウロX0の影響を強く受けていることが考えられた。同様に、Y系列ではクロマツY2個体が、Z系列ではクロマツZ2個体がシ

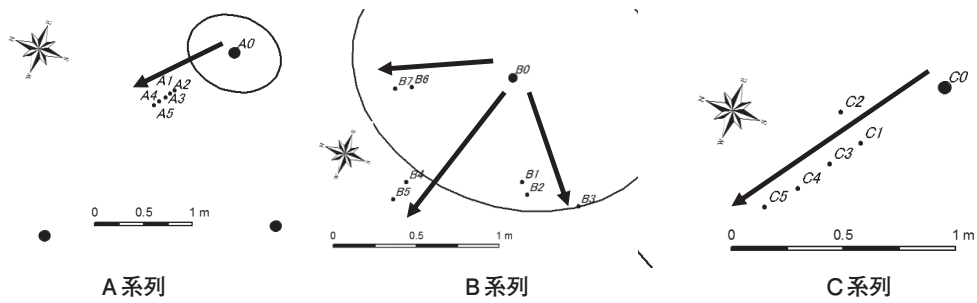


図-26 クロマツ幹を起点として放射状に発生しているショウロの配置

注：A0、B0、C0はクロマツ樹幹の位置、円は樹冠範囲、A1～A5、B1～B7、C1～C5はショウロ子実体発生位置、周囲のクロマツ個体（●）はショウロ子実体発生範囲の外にある。

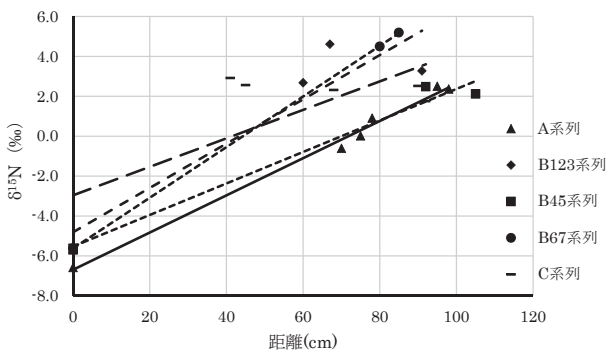


図-27 クロマツ-ショウロ間距離と $\delta^{15}\text{N}$ の関係

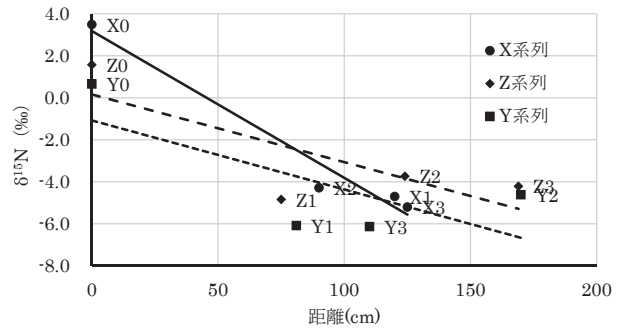


図-29 ショウロ-クロマツ間距離と $\delta^{15}\text{N}$ の関係

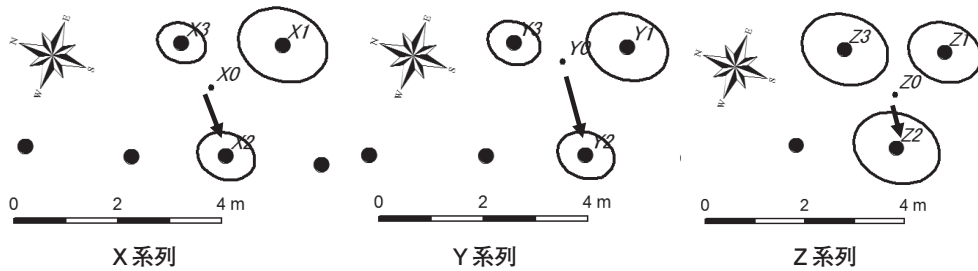


図-28 ショウロを起点とした周囲のクロマツの配置

注：X0、Y0、Z0はショウロ発生位置、X1～X3、Y1～Y3、Z1～Z3は周囲のクロマツ個体位置で円は樹冠範囲、●は周囲のクロマツ個体位置である。

ショウロの影響をより強く受けていることが考えられた。これらの結果から、必ずしも距離が近い個体との関連が強いわけではないことが示唆された。また、ショウロと共生関係にあるクロマツの特定の可能性が示唆された。

8. 総合考察

2014年夏以降3年間の調査の結果から、ショウロの発生時季は春季と秋季の2回あり、どちらの季節も日平

均気温が8～18度の範囲であることがわかった。2年間の日付で示すと、春季は概ね3月20日から5月12日、秋季は概ね9月24日から12月2日であることがわかった。収穫量は林齢の若い光が丘調査区で多く、一回の収穫調査で最大200g以上の収穫を得ることができた。ショウロのサイズは直径25mmクラスにピークのある正規分布型を示しており、このサイズのショウロの重量は5～6gであることがわかった。クロマツの林齢が若い光が丘調

査区では処理区と無処理区の差は小さかったが、これは林床の落葉落枝がもともと少なかったことが原因と考えられた。林齢の大きい飯森山調査区では林床処理からの日数を経過するにしたがって処理区の収穫量が増える傾向がみられた。資源量としては、クロマツの樹冠が閉鎖する前の若齢林であれば特産品としての商品化に結び付く収穫が得られることがわかった。

ショウロ発生位置のGIS分析では、一度ショウロが発生するとその周辺に集中して発生する傾向がみられた。また、ショウロの発生位置がクロマツの樹冠外周位置すなわち根系の先端部分に集中しているが、この点は幹からの距離と ^{15}N の関係からも裏付けられた。

今回の調査では若いクロマツ林を対象としたが、高齢のクロマツ林は超過密状態にあると同時に、材線虫病の被害の蔓延で衰退しつつある。これに対応するためには海岸林としての健全性を確保したうえでの施業が必要不可欠である。今後、間伐や択伐、あるいは漸伐（野堀；1987）と新規植栽によるクロマツ林の更新など各種の作業を駆使して海岸林を保全していく必要がある。特に、漸伐的な施業は新規植栽のクロマツ林を養成できるので、ショウロの発生が期待できると考えられる。

9. おわりに

1) 食品としてのショウロについて

日本国内でのショウロの食品としての利用は、お吸い物や炊き込みご飯の具とするのが一般的であり、京都の高級料亭でも提供されているという。これまで、収穫されたショウロの多くは酒田調理師専門学校の調理実験として活用されており、荘内日報平成26年10月2日では「美味ショウロで炊き込みご飯」の記事が掲載されているほか、NHKテレビ（山形版2016年10月17日、東北地方版）でも放映された経緯がある。筆者も独自に食品としてのショウロの可能性について調査したが、その結果について言及しておこう。写真-1はショウロの煮付け（醤油と酒）である。一般的なキノコ類に比べてショウロはシャキシャキ感があるので、食感を味わうのが妥当と考えた。写真-2はショウロのガンモドキである。フワフワ感のある豆腐とショウロのシャキシャキ感が組み合わせられることで、ショウロの食感が一層強調される。写真-3はショウロのガンモドキを青菜と共に煮物にしたものである。ショウロのシャキシャキ感は出にくいですが、他の食材と組み合わせることで、ショウロの風味が

強調される。写真-4はショウロを中心とした総菜であるが、地場産の日本酒や地域の食材と組み合わせることで特産品とすることは十分可能と考えられる。特に、春の収穫期はサクラムスの遡上時期、秋の収穫期はサケの遡上時期と近似（河内；2007、粕谷；2009、佐々木他；2013）しているので、季節性の高い食材を組み合わせた料理は考慮するに値するものであり、特産品化の可能性を秘めているといえよう。

2) 東日本大震災後のショウロについて

2016年5月に仙台市市民文化事業団で活動されている田澤絃子氏から連絡があり、下記の問い合わせがあった。ここではあえて引用させていただく。

「東日本大震災で発生した津波により、荒浜の防潮林はほとんどが流出してしまいましたが、現在では林野庁によるクロマツが一部のエリアではありますが植林され、住民の皆さんも、かつての姿を取り戻したいという思いが強まっています。その「かつての姿」の一つは、クロマツの根元にあった松露であることを、これまでの取材をとおして、いろんな方から懐かしい思い出話と一緒にうかがってきました。ですので、松露の再生が住民



写真-1 ショウロの甘酢煮



写真-2 ショウロのガンモドキ

の皆さんにとっての復興の証になると思いましたので、野堀先生のお知恵をいただけないかと思いついた次第でした。私も素人で自然環境の状況を正しく理解していないこともありますし、ぜひ現場で頑張っている皆さんの皆さんもご紹介させていただきたいので、もし仙台にお立ち寄りの際は荒浜地区をご案内させていただきたいと考えております。私は4月より「せんだい3.11メモリアル交流館」という、東日本大震災の記憶と経験を後世に伝えること、そして、被害の大きかった仙台市沿岸部の魅力を再創出していこうという目的で設置された施設に勤務しております。そうした観点からも、荒浜におけるクロマツの再生は大きな魅力であり、住民の皆さんのたくさんの思い出が重なった地域資源になると考えております。」

仙台市の荒浜地区で被災された方々の通信記録は「RE:プロジェクト通信記録集」(西大立目他:2018)として出版されている。問い合わせの概要は、破壊された太平洋沿岸のクロマツ林でショウロの発生が可能かというものである。東北地方太平洋沿岸では大規模な防潮堤の建設と同時に新しいクロマツ林が造成されている。植栽年は2015年以降なので、ショウロの菌根菌が共生し

ていたとしても子実体の発生に至っていない可能性があるし、そもそも急遽育成されたクロマツ苗木にはショウロが共生していない可能性も考えられる。また、新しいクロマツ植林地は海砂地での植栽が困難なため、山地からの客土地に植栽がなされている。客土の違いによるクロマツの成長の差異を調べる試験が林野庁東北森林管理局で実行されている(写真-5)。ショウロの発生に関しては悪条件が揃っているが、ショウロの発生に期待を持っている市民がいることは無視できない状況といえる。2016年5月の時点で筆者が調査した結果、ショウロの発生は認められなかったが、今後継続した観察が必要といえるであろう。失われた太平洋沿岸クロマツ林でのショウロの再生は津波被害からの復興を意味することを強く認識することとなった。

その後、2017年4月に仙台市荒浜の長大な防潮堤の内側で、天然更新した若いクロマツの根元にゴルフボール大のショウロを発見した(写真-6)。問い合わせを頂いた仙台市の方にはすぐに報告して現地を確認して頂い



写真-3 ショウロのガンモドキの青菜の煮物



写真-4 ショウロを中心とした総菜



写真-5 石巻市内で試験植栽されたクロマツ



写真-6 荒浜のクロマツ若木の根元で発見したショウロ

た。津波被害を受けた海岸林でのショウロの再生は近隣に住む方々にとって復興への大きな支えになるとされる。今後、ショウロが多く採れるようになることを心よりお祈りします。

引用文献

- 赤間慶子・岡部宏秋・山中高史（2008）様々な培地上における外生菌根菌の成長様式. 森林総合研究所研究報告 7: 165-181.
- 明間民央・永守直樹（2006）菌根性食用きのこショウロの発生環境について. 九州森林研究 No. 59: 304-306.
- 平佐隆文（1991）注目した野外でのショウロ子実体発生事例. 鳥根県林業技術センター研究報告 第42号: 37-44.
- 平佐隆文（1995）ショウロ土壌培養菌糸体接種によるクロマツ苗の菌根合成. 鳥根県林業技術センター研究報告 第46号: 53-56.
- 粕谷和寿（2009）サケの遡上状況の変化に対応した河川採捕尾数の予測方法. 山形県水産試験場浅海増殖部研究成果報告, 平成21年度.
- 河内正行（2007）赤川における春季のサクラマス遡上状況の予測方法. 山形県内水面水産試験場研究成果報告, 平成19年度.
- Lopez C.M.L., Mizota, C., Yamanaka, T. And Nobori, Y. (2010) Temporal changes in tree-ring nitrogen of *Pinus thunbergii* trees exposed to Black-tailed Gull (*Larus crassirostris*) breeding colonies. Applied Geochemistry 25: 1699-1702.
- Mizota, C., Lopez, C.M.L., Yamanaka, T. and Nobori, Y. (2011) Differential response of two *Pinus* spp. to avian nitrogen input as revealed by nitrogen isotope analysis for tree rings. Isotopes in Environmental and Health Studies 47(1): 62-70.
- 中島勇喜, 岡田穰編著（2011）: 海岸林との共生, 山形大学出版会, P.89
- 七宮清（1967）クロマツとショウロとの菌根関係（予報）, 神奈川県林業指導所報告: 11-25.
- 七宮清（1969）ショウロの発生地土壌調査. 神奈川県林業試験場業務報告 No 1: 90-100.
- 七宮清（1971）ショウロの発生調査. 神奈川県林業試験場業務報告 No 3: 41-45.
- 西大立目祥子・武田こうじ・田澤綾子（2018）RE:プロジェクト通信記録集. 199pp, 公益財団法人仙台市民文化事業団.
- 野堀嘉裕（1987）天然林における林相改良のための施業に関する基礎的研究—北海道大学中川地方演習林に設定した施業標準林の分析を中心として. 北海道大学農学部演習林研究報告 44: 1~122.
- Nobori, Y. (1990) The three-dimensional display of two forest stand structures using computer graphics. J. Jpn. For. Soc. 72: 234-238.
- Nobori, Y. (1998) Development of the tree-dimensional computer graphics system for forest stand structures. Journal of forest Planning 4: 83-87
- Nobori, Y. (2000) Forest Window. Japan society of Forest planning Press. 100pp. Tokyo.
- 野堀嘉裕・齊藤岳・高橋雅彦（2016）林床処理によるクロマツ林内へのショウロの誘導実験. 東北森林科学学会大会要旨集 21回: 9-9.
- 折原貴道・岡田豊太郎・大宮司俊彦・高木望（2014）神奈川県におけるショウロの発生状況.
- 溝口哲生・森口直哉・貞清秀男・出田龍彰（2014）在来菌根菌を活用した海岸クロマツ林の健全育成技術の開発. 長崎県林業技術センター研究報告 第5号: 65-73.
- 村井宏, 石川政幸, 遠藤治郎, 只木良也（1992）: 日本の海岸林: 多面的な環境機能とその活用, ソフトサイエンス社, P.420
- Robinson, D. (2001) $d^{15}N$ as an integrator of the nitrogen cycle. Trends Ecol. Evol. 16: 153-162.
- 佐々木亮祐・大久保博・渡邊一哉・河内正行（2013）砂防ダムスリット化後の河床変動とサクラマスの産卵場. 山形大学紀要（農学）第16巻 第4号: 305-312.
- 志斎和貴・渡部公一・早乙女明（2007）庄内海岸砂丘林の構造. 海岸林学会誌 6(2): 15-18.
- Smith, S.E. and Read, D.J. (2008) Mycorrhizal Symbiosis, 3rd ed. 787 pp, Academic Press, London.
- 高橋信（2013）やさしい実験計画法—統計学の初歩からパラメータ設計の考え方まで. 2013pp, 日科技連出版社.
- 玉田克志（2002）ショウロ菌根合成苗による野外での子実体形成. 日本応用きのこ学会 第6回大会講演要旨集: 46-46.
- 玉田克志・粕谷玲子・菅野昭・相澤孝夫（2002）菌根性

- きのこの安定生産技術の開発－菌根菌及び菌根と化学成分－. 宮城県林業試験場成果報告13：23-39.
- 玉田克志・相澤孝夫・菅野昭（2005）菌根性きのこの安定生産技術の開発（第2報）－バイテク等を利用した優良系統の開発－. 宮城県林業試験場成果報告15：1-14.
- 玉田克志, 更級彰史（2011）菌根性きのこの人工栽培技術に関する研究－ショウロ菌根合成苗の作出及び野外栽培技術の開発－. 宮城県林業技術総合センター成果報告19：12-17.
- 富川康之（2006）子実体懸濁液散布によるクロマツ苗畑でのショウロ栽培. 島根県中山間 地域研究センター 研究報告2：43-49.
- 梅津勘一（2003）庄内砂丘の海岸林－大いなる遺産を未来につなぐ－. 東北公益文科大学総合研究論集：forum 21 5：195-219.
- 山田明義・小倉健夫（2000）菌根合成をもとにした食用外生菌根菌の栽培. 日本菌学会 第44回大会講演要旨集：62-62.
- Yamada, A., Ogura, T., Degawa, Y., and Ohmasa, M. (2001) Isolation of *Tricholoma matsutake* and *T. bakamatsutake* cultures from field-collected ectomycorrhizas. *Mycoscience* 42: 43-50.