

ハナイグチ増殖現地適応化試験 — 気象条件がハナイグチ子実体発生に与える影響 —

片桐一弘・加藤健一・増野和彦

ハナイグチの林地増殖技術を普及するために、県内6箇所に試験地を設け各地の傾向を調査するとともに、気象条件と子実体発生との関係についても調査を行った。その結果、試験地全体としては森林施業を行うことによるハナイグチ増殖効果が確認できた。また、除伐のみでもハナイグチの増殖効果を期待できることが示唆された。ハナイグチの子実体形成が始まるとされる、地温が17.5℃を下回る時期（発生刺激日）より前の約1か月間は、降水量が少ないほうがハナイグチの発生には良いことが分かった。また、発生刺激日以降子実体発生が終了するまでの約2か月間の地温は高温傾向で推移するほうが発生に良い影響を与えることが分かった。

キーワード：ハナイグチ，菌根性きのこ，林地増殖，森林施業，気象条件

1 緒言

ハナイグチは夏の終わりから秋にかけてカラマツ林のみに発生する菌根性きのこである。カラマツ林が民有林人工林の約50%を占める本県では、リコボウ・ジコボウなどとも呼ばれ、食用きのことして人気が高い。菌根性きのこは地下の菌根と呼ばれる部分で宿主植物（樹木）と栄養分や水分のやりとりを行って、宿主植物と共生関係を構築し生活する菌であり、ホンシメジなどごく一部を除き、人工栽培は困難となっている。

一方で、環境整備（森林施業）により、林地においてハナイグチの増殖が可能であることが先行研究により明らかになっている^{1) 2) 8)}。また、近年は直売所等での販売や市場での流通など、その経済的価値が注目されている³⁾。そこで本研究では、ハナイグチの林地増殖技術を県内へ普及するために、県内各地に試験地を設け各地の傾向を調査するとともに、技術の改善や補足を行うことを目的としている。

本稿では、設置から概ね8年が経過した各試験地の調査結果や、新たに明らかになったハナイグチの発生と気象条件との関係について報告する。なお、本研究は長野県特用林産振興会との共同研究「マツタケ等有用菌根菌増殖に関する現地適応化調査試験」（平成27（2015）～31年（2019年））の一部として実施した。

2 ハナイグチ増殖現地適応化試験

2.1 試験の目的

森林施業（除伐、孢子散布）によるハナイグチ増殖技術を県内各地へ普及するために、県内各地に試験地を設置し、その傾向を調査する。また、調査結果を速やかに関係者へ情報提供するとともに、増殖技術の改善や補足を行う。

2.2 試験の方法

試験地は県内6カ所（上田市、諏訪市、辰野町、阿智村、安曇野市、須坂市）に設置した（表-1）。

表-1 ハナイグチ増殖試験地概要

試験地名	場所	標高 (m)	地形	斜面方位	面積*1 (㎡)	降水量*2 (mm)	カラマツ		調査開始年
							密度 (本/ha)	林齢*3 (年)	
上田市	上田市武石県有林	1,190	斜面下部 (谷沿い)	南東	400	1,293	650	55	2012
諏訪市	諏訪市後山	1,110	尾根～中腹	北西	900	1,363	470	42	2012
辰野町	辰野町九部落県行造林地	1,060	中腹	北西	400	1,464	200	64	2012
阿智村	阿智村清内路	840	尾根～中腹	北	400	1,791	1,050	56	2014
安曇野市	安曇野市堀金	1,220	中腹	北東	900	1,129	510	40	2012
須坂市	須坂市峰の原	1,300	中腹	東	400	1,277	650	75	2012

*1 400㎡は1試験区が10×10mの方形区。900㎡は15×15mの方形区。 *2 試験地に最寄りの気象庁観測所（上田市：鹿教湯、諏訪市：諏訪、辰野町：辰野、阿智村：飯田、安曇野市：穂高、須坂市：菅平）の2009～2018年の年間降水量の平均値。 *3 平成31年（2019年）4月時点の林齢。

設置する際、森林所有者、市町村職員、林業普及指導員等の関係者と連携し森林施業を行った。カラマツ以外の広葉樹等の大規模な除伐作業は試験地設置年に1回み行い、その後は下層植生の繁茂状況を見ながら刈払い作業を行った。先行研究⁸⁾により2002年に設置した諏訪試験地は、2017年6月に広葉樹の除伐と地表の落葉落枝の除去作業を行った。

各試験地では、森林施業や孢子散布の効果が検証できるように4つの試験区を設けた(図-1)。一試験区は一辺が10mの正方形区(面積100㎡)若しくは一辺が15mの正方形区(面積225㎡)とした(表-1)。なお、試験区の配置は地形状況に合わせて設置した(図-2)。

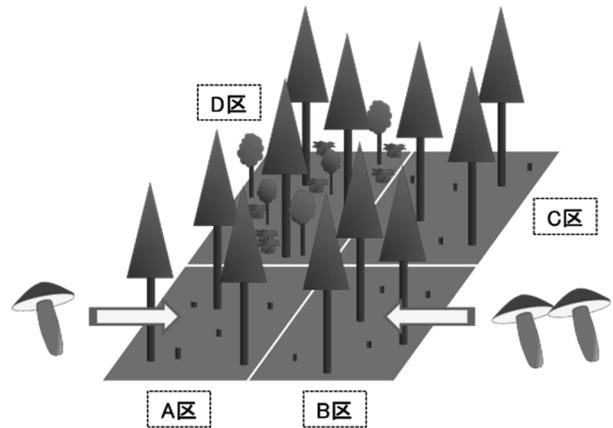
孢子散布は、現場での作業性を考慮し、試験地及び試験地周辺等で採取したハナイグチ子実体を手で細かく破碎し、それを地面に散布する簡易的な方法で行った(以下「子実体散布」という)。

ハナイグチ子実体の発生量調査は、8月下旬から11月中旬にかけて概ね7日から14日間隔で行った。調査時に発生していた子実体は全て収穫し、本数及び生重量を測定した。

2.3 結果と考察

2.3.1 ハナイグチ子実体発生量

子実体発生量の調査結果を表-2、子実体散布結果を表-3に示した。



試験区	施業内容
A	除伐(広葉樹, 笹, 草本類)及び孢子(子実体)散布
B	除伐(広葉樹, 笹, 草本類)及び孢子(子実体)2倍量散布
C	除伐(広葉樹, 笹, 草本類)
D	無施業(対照区)

図-1 試験区設置概要

子実体発生量の平均本数の合計が多かった試験地は、安曇野市27.6本、辰野町23.1本であった。一方、少なかった試験地は順番に、上田市0.6本、阿智村4.3本、諏訪市8.3本であった。このうち、上田市試験地と阿智村試験地は今回の調査期間を通じて発生量が少なく、特に上田市試験地においては、2015年以外全く子実体の発生が見られなかった。子実体発生量の多かった試験地でも年による発生量の差が大きく、気象条件(降水等)の影響が考え

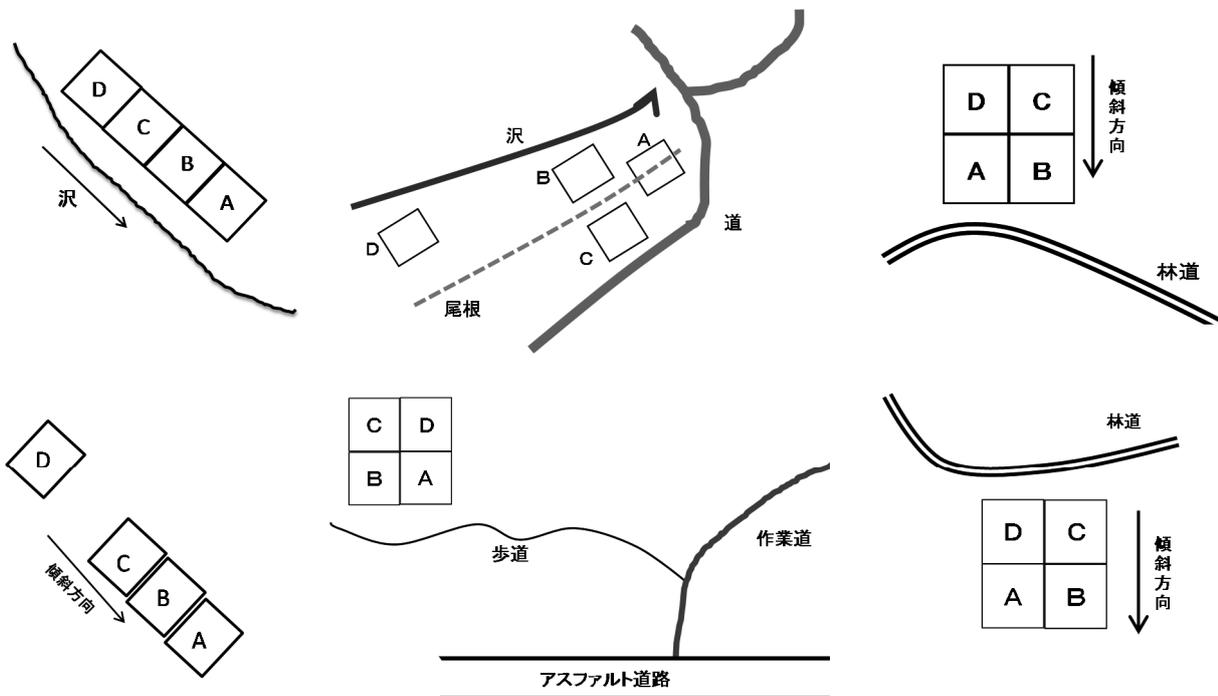


図-2 各試験地の試験区配置模式図

(試験地名上左: 上田市, 上中: 諏訪市, 上右: 辰野町, 下左: 阿智村, 下中: 安曇野市, 下右: 須坂市)

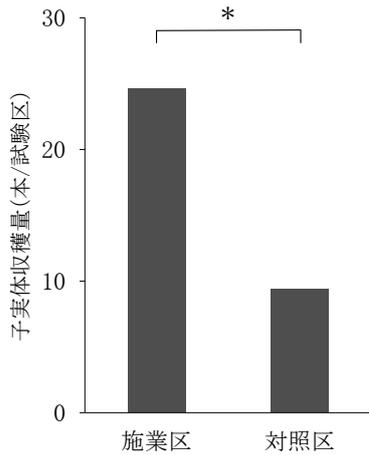


図-3 5試験地（辰野町を除く）の森林施業区と対照区の子実体発生本数の平均値

注）*は有意差があることを示す。（T検定， $P<0.05$ ）

して対照区は9.4本と差が大きく、両者の間には有意差が認められた（T検定， $P<0.05$ ）。このことから、試験地全体として、森林施業によるハナイグチ子実体の増殖効果が確認できた。

一方で、試験地毎に発生状況を見ると、エッジ効果が見られた辰野町試験地を除くと、上田市試験地及び阿智村試験地において森林施業区（A、B、C区）と対照区（D区）の間に差がほとんどなく、増殖効果は確認できなかった。要因の一つとして、これらの試験地では、ハナイグチ以外の菌根性きのこの発生が頻繁に見られたことが影響していると思われた（写真-1）。阿智村試験地で発生が見られたアミハナイグチは、柴田⁴⁾によると、富士山亜高山帯の針葉樹植生の遷移において、カラマツ林がシラビソ林へ移行する際に発生が見られる菌である。アミハナイグチはカラマツ林のほかシラビソ林でも発生するが、ハナイグチはシラビソとは共生関係を結ばないのでシラビソ林では発生しない。よって、アミハナイグチの発生が見られるカラマツ林は、何らかの理由でハナイグチが発生しにくい環境になっていた可能性が考えられた。

2.3.3 施業内容による子実体増殖効果

2.3.2において森林施業（除伐や孢子散布）がハナイグチの増殖に有効であることが確認できた。次に、辰野町試験地を除く5試験地の四つの試験区間において多重比較検定を行ったところ、全ての試験区間で有意差は認められなかった（図-4）。

このことから、ハナイグチの増殖にあたり、最も有効な施業内容は明確にならなかったものの、除伐のみでもハナイグチの増殖効果を期待できることが示唆された。



写真-1 試験地内に発生していたハナイグチ以外の菌根性きのこ

（上）2013.9.19 上田市試験地：イロガワリの仲間、
（下）2015.9.18 阿智村試験地：アミハナイグチ）

3 気象条件とハナイグチ子実体発生との関係

3.1 試験の目的

マツタケをはじめとする菌根性きのこの子実体発生には地温や降水量などの気象条件が影響していることが知られている。当所のマツタケに関する研究報告においても、子実体の芽である原基が形成される際の地温、その後の地温や降水が子実体発生に及ぼす影響について報告されている⁵⁾⁶⁾。ハナイグチについては過去に気象条件に関する報告²⁾⁷⁾⁸⁾はあるものの、子実体発生との関連について長期間の調査・分析を行った例はない。

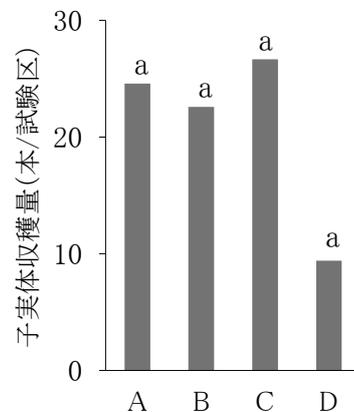


図-4 5試験地（辰野町を除く）の試験区別子実体発生本数の平均値

注）異なるアルファベットは有意差があることを示す（Tukey-Kramer， $P<0.05$ ）

ハナイグチ子実体発生と気象条件との関連が明らかになれば、ハナイグチ増殖技術の改善等の参考になるとともに、生産者の生産意欲の向上にも繋がると思われる。

そこで、ハナイグチ子実体発生に影響を及ぼす気象条件を明らかにするために、ハナイグチ増殖現地適応化試験で設置した試験地において気象条件と子実体発生との関連を調査した。

3.2 試験の方法

3.2.1 気象条件の測定・対象試験地

2.2 で設置した各試験地の中心付近で地下 10 cm 深の地温を測定した。測定にはおんどとり (TR-52i, T&D社製) を用いた。降水量は試験地に最も近い気象庁の観測所データを使用した (表-1 注)。

なお、今回の分析に供した試験地は、調査期間を通じて子実体発生があった諏訪市、辰野町、安曇野市の 3 試験地とした。須坂市試験地は 2015 年以降子実体発生がほとんど見られなくなったことや、第三者による採取の痕跡が確認されたことから分析対象から除外した。

3.2.2 分析対象期間

ハナイグチの発生は温度依存的であり、先行研究では地下 10 cm 深の地温が 17.5℃程度まで低下すると子実体形成を開始するとされる²⁾。そこで、今回は日平均地温が 17.5℃ (発生刺激温度) を下回った日 (発生刺激日) を基準とし、その前後の地温、降水量の推移を調査した。

ここで、諏訪市、辰野町、安曇野市の 3 試験地の発生刺激日と子実体発生が初めて確認された日 (発生初日)、発生 (収穫) が終了した日 (発生終日) を表-4 に示す。発生刺激日から発生終日までの期間が最も長かったのは諏訪市試験地の 59 日間であった。よって、発生刺激日より後の調査期間は 60 日間とした。

また、菌根性きのこの発生には梅雨から夏期の生育期間も重要になっている⁹⁾。したがって、発生刺

表-4 試験地別発生刺激日、発生初日、発生終日一覧

試験地	発生刺激日		発生初日		発生終日
諏訪市	8月25日	(38)	10月2日	(21)	10月23日
辰野町	9月4日	(20)	9月24日	(23)	10月17日
安曇野市	8月23日	(18)	9月10日	(31)	10月11日
平均	8月28日	(25)	9月22日	(25)	10月17日

注) 2013~2019年の平均日。発生刺激日と発生初日、発生初日と発生終日の間のカッコ内はそれぞれの期間の日数。

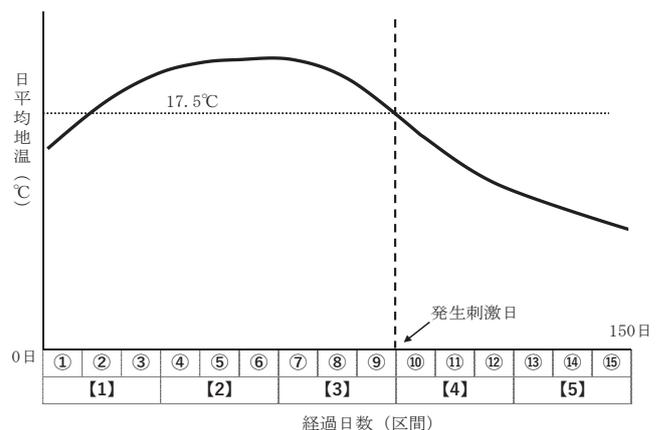
激日より前については6月上旬頃から調査することとした。期間は表-4 より発生刺激日が9月4日と最も遅い辰野町試験地を基準に、発生刺激日を含む90日間とした。

以上より、今回の調査分析期間は日平均地温が17.5℃を下回った日 (発生刺激日) を中心に前後150日間 (前90日間, 後60日間) とした。

3.2.3 降水量率と地温率

降水量率⁴⁾ は、分析対象期間 (150日間) の積算降水量の中で一定期間の降水量の占める率 ([一定期間の降水量] ÷ [150日間の積算降水量] × 100%) である。今回は一定期間として10日間と30日間の二つのパターンを用いた (図-5)。

地温率は一定期間の平均地温に対する同じ期間の平年値との比である。数値が1に近いと平年値に近く、小さいと平年より低い、大きいと平年より高い地温といえる。一定期間は降水量率と同じとした。



注) 丸数字は10日間の区間, カッコ数字は30日間の区間。

図-5 分析期間模式図 (地温の推移模式図)

3.2.4 発生量率

ハナイグチ子実体発生量の年毎の多寡を評価するために平均発生量に対する各年の発生量の比を発生量率として算出した (表-5)。数値が1に近いと平均的な発生量, 大きいと平均より多く, 小さいと平均より少ない発生量となる。数値が0の場合は、子実体発生が無かった年である。

子実体発生量に降水量や地温の推移がどのように影響を与えているか検討するために、発生量率に

表-5 試験地別子実体発生量率

試験地	子実体発生年						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
諏訪市	0.6	0.4	0.6	1.1	1.6	3.6	0.1
辰野町	2.4	0.2	0	1.6	0.1	0	3.0
安曇野市	3.6	0.8	0.9	0.1	0.1	1.3	0.5

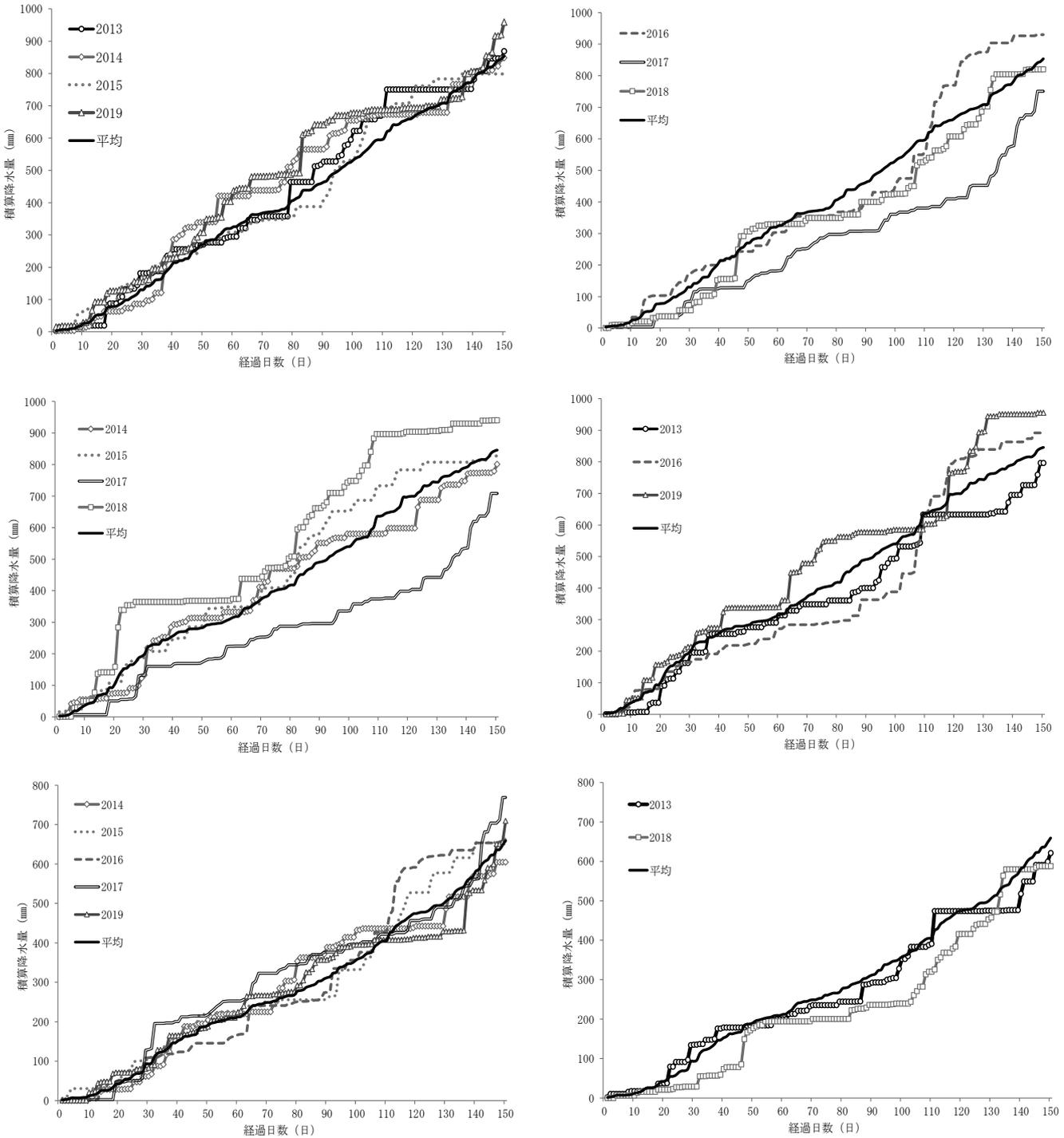


図-6 各試験地の降水量（積算降水量）の推移（上段：諏訪市，中段：辰野町，下段：安曇野市）

注）左側の列は発生量比率が1より小さい年，右側の列は発生量比率が1以上の年。

対する降水量率及び地温率の相関関係を区間ごとに調べた。また、相関関係がみられた区間の中で、子実体発生量にとって最も重要な区間を調べるために重回帰分析（回帰分析）を行った。

さらに、子実体発生量と発生期間等の関係を検討するために、発生量率に対する発生刺激日と発生初日までの日数（発生初日数）及び発生初日から発生終日までの日数（発生日数）の相関関係を調べた。

3.3 結果と考察

3.3.1 降水量と地温の推移

3試験地の期間中の降水量（積算降水量）の推移を、発生量比率が1より小さい年及び1以上の年別に図-6に示した。同様に地温の推移について図-7に示した。

降水量は辰野町試験地の2019年を除くと、3試験地ともに子実体発生量が平均より多い年（発生量

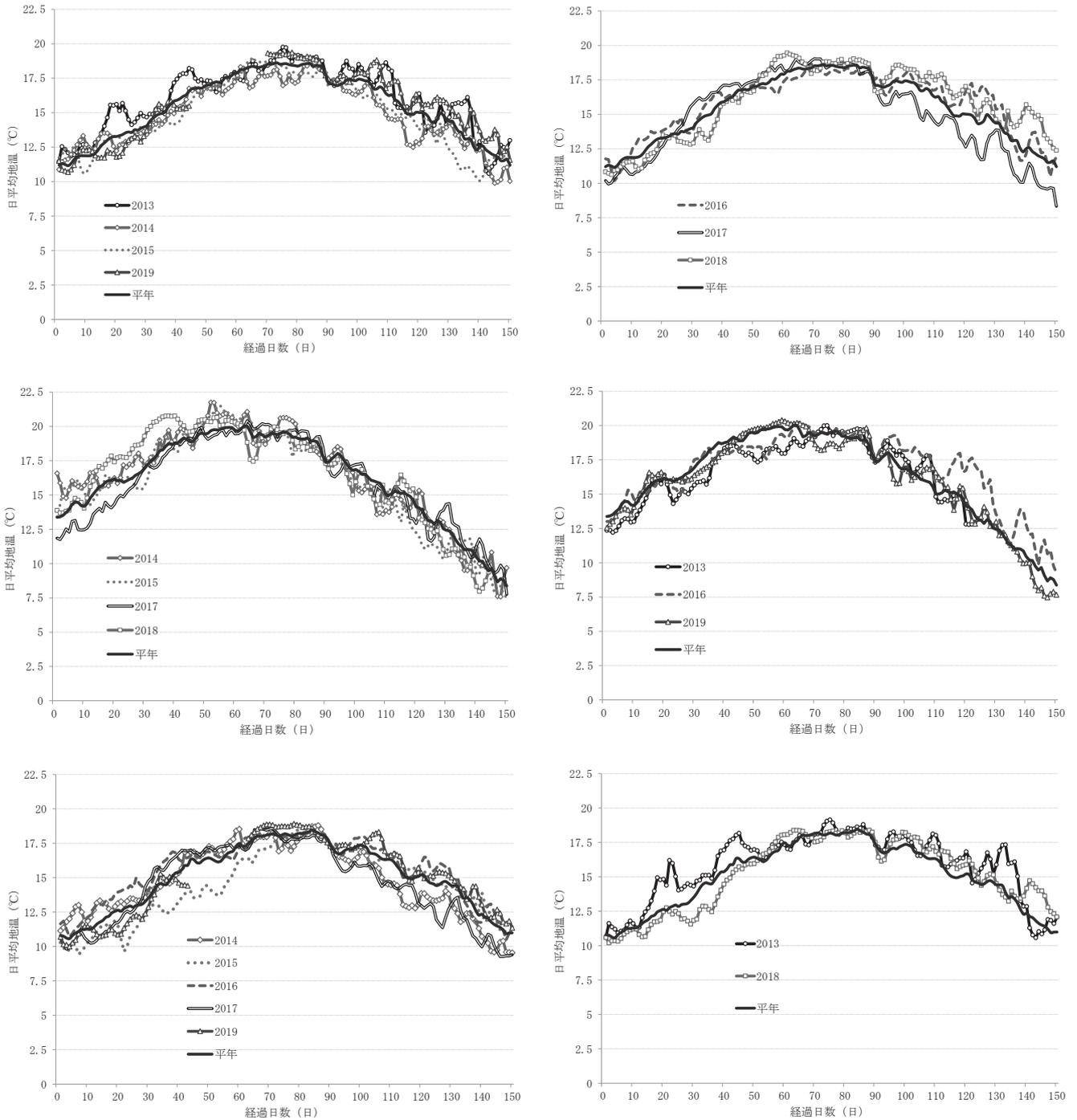


図-7 各試験地の地温の推移（上段：諏訪市，中段：辰野町，下段：安曇野市）

注）左側の列は発生量比率が1より小さい年，右側の列は発生量比率が1以上の年。温度記録装置の不具合により，一部データ欠測（2013：辰野町，2018：辰野町，2019：諏訪市，安曇野市）。

率が1以上)は，発生刺激日(90日)以前の降水量が少ない傾向があり，特に90日時点では全て平均値を下回っていた。

地温は諏訪市試験地の2017年を除くと，3試験地ともに子実体発生量が平均より多い年(発生量率が1以上)は，発生刺激日の90日以降の地温が概ね平年値以上で推移する傾向が見られた。

3.3.2 発生量率と降水量率及び地温率の関係

発生量率と降水量率の10日間，30日間それぞれの区間における相関関係を図-8，9，表-6に示した。なお，図は一定の相関が得られたもののみ示した。

10日間では⑤，⑫，⑬の区間で弱い正の相関が，⑥，⑨の区間で弱い負の相関が得られた。30日間では【3】の区間で弱い負の相関が得られた。このことから，発生刺激日直前の30～40日間に降水量

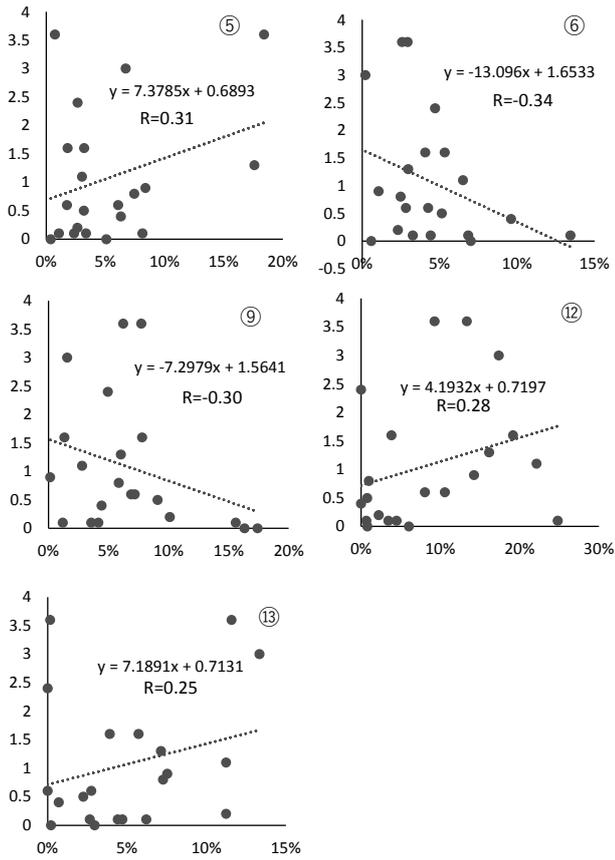


図-8 発生量率と降水量率（10日間）の相関関係
横軸：降水量率 縦軸：発生量率

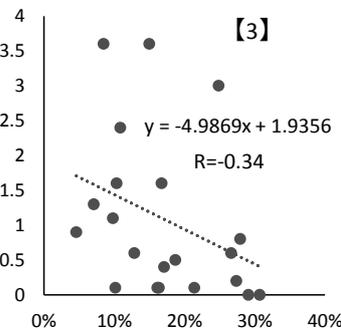


図-9 発生量率と降水量率（30日間）の相関関係
横軸：降水量率 縦軸：発生量率

が少ないことと、発生量が多くなることにある程度関係があることが分かった。一方、発生刺激日の40～50日前と、発生刺激日の30～50日後の間の降水量が多いことと、発生量が多くなることにもある程度関係があることが分かった。なお、重回帰分析、回帰分析の結果、10日間、30日間それぞれで発生量に有意に影響を与えている区間は確認できなかった。

次に、発生量率と地温率の10日間、30日間それぞれの区間における相関関係を図-10、11、表-6に示した。なお、図は一定の相関が得られたもののみ示した。

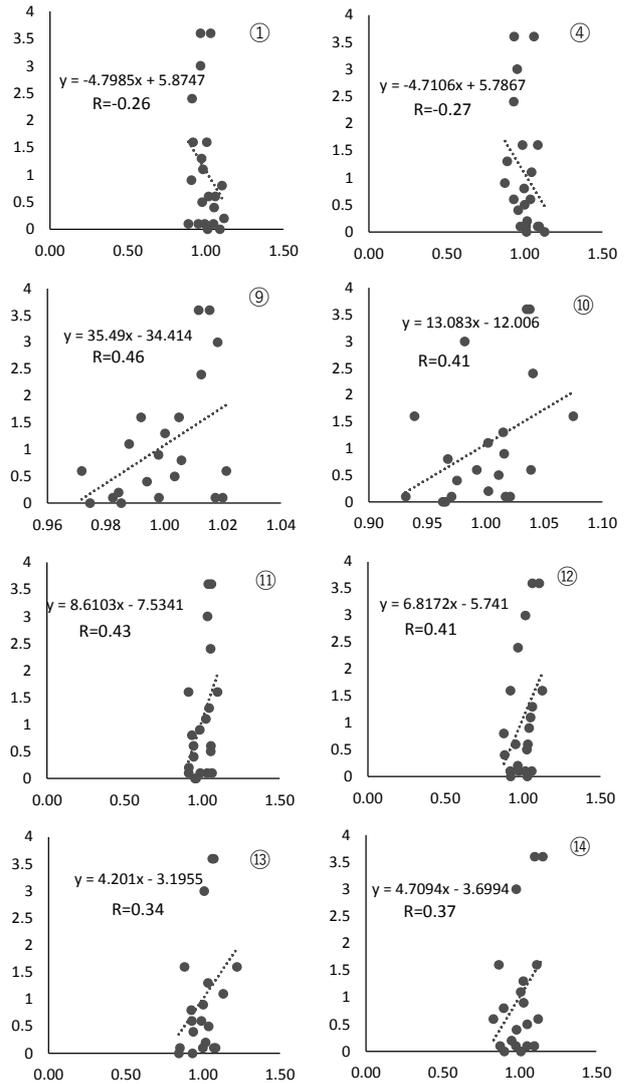


図-10 発生量率と地温率（10日間）の相関関係
横軸：地温率 縦軸：発生量率

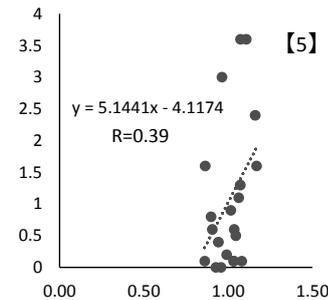
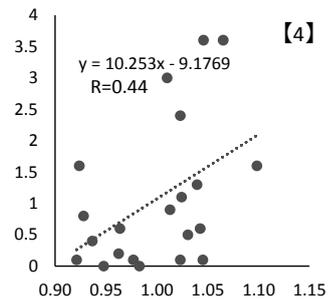


図-11 発生量率と地温率（30日間）の相関関係
横軸：地温率 縦軸：発生量率

表-6 発生量率と降水量率及び地温率の相関係数一覧

	期間	区 間														
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
	10日間	【1】			【2】			【3】			【4】			【5】		
降水量率	10日間	-0.09	-0.14	-0.05	-0.05	0.31	-0.34	-0.05	-0.19	-0.30	-0.17	0.17	0.28	0.25	0.09	-0.09
	30日間	-0.12			0.01			-0.34			0.19			0.05		
地温率	10日間	-0.26	0.07	0.00	-0.27	0.05	-0.02	0.00	-0.03	0.46	0.41	0.43	0.41	0.34	0.37	0.18
	30日間	-0.06			-0.10			0.09			0.44			0.39		

注) 太四角枠は正の相関関係が、二重四角枠は負の相関関係があることを表す。その他は相関なし。

10日間では⑨、⑩、⑪、⑫の区間で中程度の正の相関、⑬、⑭の区間で弱い正の相関、①、④の区間で弱い負の相関が得られた。30日間では【4】の区間に中程度の正の相関、【5】の区間に弱い正の相関が得られた。このことから、発生刺激日の10日前から、以降の60日間にわたり、地温が高いことと、発生量が多くなることにはある程度関係があることが分かった。また、発生刺激日の50～60日前、80～90日前の二つの区間の地温が低いことと、発生量が多くなることにもある程度関係が見られた。ただし、この時期は梅雨と重なることから、地温との関係はほとんどないと考えられた。なお、重回帰分析の結果、10日間、30日間それぞれで発生量に有意に影響を与えている区間は確認できなかった。

3.3.3 発生量率と発生期間等の関係

発生量率と発生初日数及び発生日数の相関関係を図-12に示した。

発生初日数とは弱い負の相関が、発生日数とは中程度の正の相関が得られた。このことから、発生刺激日以降早く子実体発生が始まることと、発生量が多くなることにはある程度関係があることが分かった。また、子実体発生期間が長いことと、発生量が多くなることにもある程度関係があることが分かった。

3.3.4 まとめ

諏訪市、辰野町、安曇野市の3試験地の発生に関する平均日(表-4)を元にこれまでの結果をまとめると、以下のとおりとなる。

ハナイグチの子実体形成が始まるとされる、地温が17.5℃を下回る時期(8月下旬)より前の約1か月間(7月下旬から8月下旬まで)は、降水量が少ないほうがハナイグチの発生に良い影響を与えることが分かった。また、8月下旬以降子実体発生が終了する10月下旬までの約2か月間の地温は高温傾向で推移するほうが発生に良い影響を与えるこ

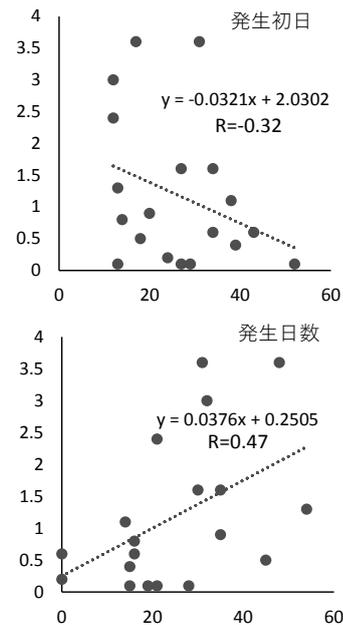


図-12 発生量率と発生初日及び発生日数の相関関係

横軸：日数 縦軸：発生量率

とも分かった。これには、一般的に高温のほうが低温よりも子実体が早く生育することや、子実体発生期間が長く続くことが影響していると考えられた。

一方、ハナイグチの発生にとって降水量が多いほうが良いと考えられる時期は、梅雨末期の7月中旬と、9月下旬及び10月上旬であった。9月下旬の降水量が多いことは本県のマツタケ発生量にとっても重要な要素となっており⁶⁾、ハナイグチも同様の傾向があることが示唆された。

4 結言

本報告では、これまで8年余りにわたって調査を行ってきた、県下6カ所の試験地におけるハナイグチの発生状況や気象関係のデータを解析した。

試験地全体としては、森林施業によるハナイグチの増殖効果が確認できた一方で、個別に試験地をみると効果が不明な箇所もあった。その要因の解析は不十分であり、今後の課題と考える。

ハナイグチの発生と気象条件の関係については、

発生刺激日前後の期間で降水量が少ないことと、子実体発生量が多いことが関係していることを見出した。ハナイグチは、カラマツというパイオニア植物のひとつと共生関係にあり、より厳しい環境下でも条件さえ整えば子実体を発生させる¹⁰⁾といわれることから、降水が少ない時期が子実体発生量の多寡に関係していることは重要な視点と考えられた。なお、一部に気象条件との関連が不明な年が見られたことの要因については、今後の課題として残った。また、子実体発生量に強く影響を与えている要因についても分からなかった。今後の継続調査によるデータ数の積み上げが重要と思われた。

カラマツ林が身近な存在である長野県において、森林空間を活用したハナイグチ生産は、森林整備の促進や販売収入による地域経済の活性化に繋がるものと考えられる。本報告内容を参考にいただき、各地でハナイグチ増殖の取り組みが進めば幸いである。

5 謝辞

試験地の設置や調査・解析方法に至るまで多大なるご指導を頂いた、信州大学 山田明義准教授に深く感謝申し上げます。また、試験地の設置、その後の調査・維持管理等に多大なるご協力をいただいた、森林所有者等の関係者、森林組合職員及び市町村職員の皆様、また各地域振興局の林業普及指導員に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 柴田 尚 (1989), カラマツ林内でのハナイグチの増殖, 山梨県林業技術センター報告第17号, 16-23
- 2) 増野和彦・福田正樹・山田明義・市川正道・古川 仁・片桐一弘 (2016), 地域バイオマス利用によるきのこの増殖と森林空間の活性化技術の開発, 長野県林業総合センター研究報告第30号, 47-86
- 3) 片桐一弘 (2018), ハナイグチ増殖試験とハナイグチサミット, 山林 No.1613, 27-34
- 4) 柴田 尚 (2006), 富士山亜高山帯針葉樹林における外生菌根菌の群集生態学的研究, 山梨県森林総合研究所研究報告 No.25, 13-98
- 5) 竹内嘉江・松瀬収司・小坂信行・増野和彦 (2011), マツタケ発生林施業法の開発, 長野県林業総合センター研究報告第25号, 65-75
- 6) 古川 仁・増野和彦・竹内嘉江 (2016), 地球温暖化に適応したマツタケ発生林施業法の開発, 長野県林業総合センター研究報告第30号, 87-100
- 7) 大沢正嗣・勝屋敬三 (1987), ハナイグチ子実体の発生動態, 筑波大学農林技術センター演習林報告3, 89-99
- 8) 竹内嘉江・松瀬収司・小坂信行・高木 茂・増野和彦 (2011), マツタケ・イグチ等有用菌根菌の現地適応化調査試験, 長野県林業総合センター研究報告第25号, 83-94
- 9) 岡部宏秋 (1997), 森づくりと菌根菌, 財団法人林業科学技術振興所, 1-110
- 10) 柴田 尚 (2000), 本州中部の亜高山帯針葉樹林のきのこ, 日本林学会 森林科学 30, 8-13