

ハナイグチ増殖現地適応化試験（Ⅱ） -子実体の増殖効果及び子実体発生に関する地温の検証ほか-

研究期間：令和2年度～令和6年度

片桐一弘・古川 仁・加藤健一・増野和彦・大矢信次郎

ハナイグチ林地増殖技術による子実体の増殖効果及び子実体発生と気象条件との関連等を長期間観測し、増殖効果の持続性の検証や新たな技術の開発を目的に、平成24年から継続的に調査を行っている。

諏訪と安曇野の2試験地では環境整備を行った施業区の子実体増殖効果が認められた。ただし、環境整備の内容による差異は見られなかったことから、孢子散布を行わずとも除伐施業のみでハナイグチの増殖効果が得られることが示唆された。一方で辰野試験地は試験地内外のカラマツ倒木の影響により子実体増殖効果は認められなかった。気象条件との関連では、ハナイグチの子実体発生には地温の推移や降水量の多寡が影響していることが示唆された。

ハナイグチの原基形成が開始される地温は17.0～17.5℃程度であり、先行研究とほぼ同様であることが示され、本温度が県内で広く適用できる可能性が示唆された。

キーワード：ハナイグチ、菌根性きのこ、林地増殖、気象条件、発生刺激温度

1 緒言

カラマツ林が民有林人工林の約半分を占める本県では、カラマツ林に発生する菌根性きのこであるハナイグチはジコボウ、リコボウとも呼ばれ、昔からきのこ狩り等で多くの県民に親しまれる人気の高いきのこである。近年は直売所等で販売され、里山地域の人々の貴重な現金収入源にもなっている。

生きた樹木と共生関係を構築し、生活している菌根性きのこは、施設等による菌床栽培が可能なシイタケやナメコのような腐生性きのこと違い、ごく一部を除き菌床栽培は困難¹⁾であり、ハナイグチも同様である。一方で林地においては、環境整備（森林施業等）を行うことによって、子実体の増殖ができることが先行研究^{2,3,6)}より明らかになっている。

しかし、林地におけるハナイグチの増殖がどのくらい継続するかはよく分かっていない。古川ら¹⁾は、森林管理によりマツタケの収穫量が41年間安定して得られたことを報告している。ハナイグチに関しても長期間発生が継続すれば現金収入が持続し、山村地域の活性化に繋がることが期待できるが、先行研究の調査期間は最大8年のため、更なる長期の観測が重要である。この際、子実体発生に関係している温度や降水などの気象条件との関連を解析することで、新たな増殖技術の開発に繋がる知見が得られる可能性が高い。

そこで当所では、平成24年(2012年)に県下各地に試験地を設置して以降、ハナイグチ子実体の発生状況等を継続的に調査している。本研究では、こ

れまでに蓄積された調査データを活用し、ハナイグチの林地増殖効果を検証すると共に、令和2年(2020年)以降5年間の子実体発生と気象条件との関連を解明することを目的とした。

また、ハナイグチ子実体発生は地中の温度に依存するとされ、子実体発生刺激温度や終了温度に関する報告³⁾があるが、特定の地域における調査であり、その他の報告例もほとんどない。そこで本研究では、これまでに蓄積した調査データを用いて、これらの温度について新たに検証を試みた。

さらに、近年増加するカラマツの再造林地におけるハナイグチの孢子散布効果の検証を実施したことから、併せて報告する。

本稿の主な執筆は片桐が行い、古川・加藤・増野は調査・解析等を共同で実施した。なお、大矢は4章のみ共同で実施した。また、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試験」令和2年(2020年)から6年(2024年※以降は西暦のみ表記)の一部として実施した。

2 試験地における子実体の増殖効果等及び子実体発生と気象条件との関連

2.1 目的

前報⁶⁾のハナイグチの林地増殖効果の検証は、調査期間、サンプル数の制限から、複数試験地の結果を合算して実施したため、各試験地の実態が結果に表現されなかった。そこで本研究では、13年間の調査データを基に、試験地毎にハナイグチ子実体の増殖効果の検証を行うことを目的とした。

また、新たに子実体発生動態調査を行い、孢子散布がハナイグチの増殖に及ぼす影響を検証した。

さらに、ハナイグチ子実体発生と気象条件との関連について、近年の傾向を解析することも目的とした。

2.2 方法

2.2.1 試験地

県内 3 箇所（諏訪市、辰野町、安曇野市）の試験地において調査を実施した（表-1、図-1）。

各試験地には A～D の 4 試験区を設定し、施業区（A～C 区）では試験地設置初年度の除伐後、下層植生の繁茂状況に応じて刈払いを実施した。また A、B 区は、毎年秋に各試験地内及びその周辺で採取したハナイグチ子実体（孢子）をビニール袋の中で細かく破碎し、落葉層を除去した地表面に散布した。B 区は A 区の概ね 2 倍量を散布した（表-2）。なお、C 区は孢子散布を行わなかった。無施業区（D 区）は環境整備及び孢子散布を一切行わなかった。

表-1 ハナイグチ林地増殖試験地概要

| 試験地名 | 場所 | 標高 (m) | 地形 | 斜面方位 | 面積*1 (㎡) | カラマツ | | 調査開始年 |
|------|-------------|--------|-------|------|----------|-----------|----------|-------|
| | | | | | | 密度 (本/ha) | 林齢*2 (年) | |
| 諏訪 | 諏訪市後山 | 1,110 | 尾根～中腹 | 北西 | 900 | 470 | 46 | 2012 |
| 辰野 | 辰野町九部落県行造林地 | 1,060 | 中腹 | 北西 | 400 | 200 | 68 | 2012 |
| 安曇野 | 安曇野市堀金 | 1,220 | 中腹 | 北東 | 900 | 510 | 44 | 2012 |

*1 400㎡は1試験区が10×10mの方形区。900㎡は1試験区が15×15mの方形区。
*2 2024年4月時点の林齢。

表-2 ハナイグチ林地増殖試験地における孢子（子実体）散布状況（2020～2024年の5年間）

| 試験地 | 試験区*1 | 年別子実体散布重量 (g) | | | | | 合計 | 平均 |
|-----|-------|---------------|--------|------|------|------|-------|-----|
| | | 2020 | 2021*2 | 2022 | 2023 | 2024 | | |
| 諏訪 | A | 0 | 150 | 0 | 0 | 158 | 308 | 62 |
| | B | 139 | 77 | 0 | 0 | 419 | 635 | 127 |
| | 合計 | 139 | 227 | 0 | 0 | 577 | 943 | 189 |
| 辰野 | A | 150 | - | 60 | 0 | 0 | 210 | 53 |
| | B | 250 | - | 238 | 0 | 137 | 625 | 156 |
| | 合計 | 400 | - | 298 | 0 | 137 | 835 | 209 |
| 安曇野 | A | 0 | 56 | 130 | 180 | 51 | 417 | 83 |
| | B | 241 | 337 | 270 | 356 | 87 | 1,291 | 258 |
| | 合計 | 241 | 393 | 400 | 536 | 138 | 1,708 | 342 |

*1 散布割合は概ねA:B=1:2。*2 2021年の辰野試験地は調査未実施。

2.2.2 子実体発生量調査

ハナイグチ子実体発生量調査は9月上旬から11月上旬にかけて概ね1～2週間隔で行い、子実体の発生位置を確認後、その本数及び生重量を試験区毎に記録した。なお、辰野試験地の2021年の調査は、豪雨によるアクセス道路被災の為、実施していない。

2.2.3 作柄

各試験地の2015～2024年の子実体発生本数の平均値に対する各年の発生本数の割合を発生量率とし、作柄の判断基準とした（表-3）。なお、発生量

表-3 ハナイグチ作柄区分表

| 発生量率* | 作柄 |
|-------------|------|
| 3.0以上 | 大豊作 |
| 2.0以上～3.0未満 | 豊作 |
| 1.3以上～2.0未満 | やや豊作 |
| 0.7以上～1.3未満 | 平年作 |
| 0.3以上～0.7未満 | やや不作 |
| 0.1以上～0.3未満 | 不作 |
| 0.1未満 | 凶作 |

*発生量率=年間発生本数/平均発生本数 ※平均発生本数は2015～2024年の10年間の最低、最高値を除いた平均値。

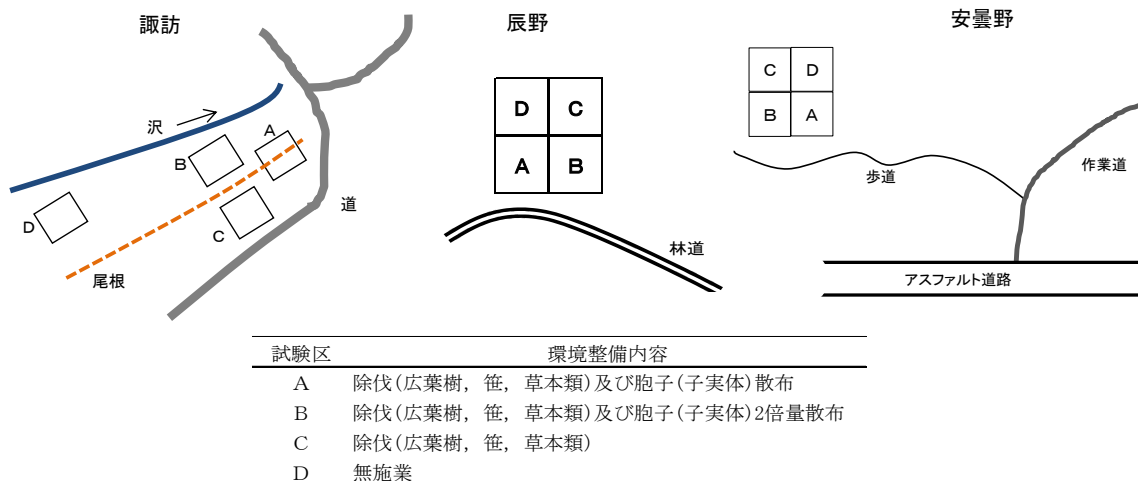


図-1 ハナイグチ林地増殖試験地の概略図及び環境整備内容

率と作柄の関係は、試験地における過去のハナイグチの発生状況及び本県のマツタケ生産量の作柄⁴⁾を参考に設定した。

2.2.4 地温、降水量の分析

地温は各試験地の中央付近1箇所の地下10cm深の温度を、おんどとり（TR-52i, T&D社製）を用いて1時間毎に記録した。降水量は試験地に直近の気象庁アメダスデータを使用した。

分析対象期間は、先行研究³⁾によりハナイグチの発生刺激温度とされる日平均地温（地下10cm深）が17.5℃を下回る日（発生刺激日）以前の90日間と、それより後の60日間の計150日間とした。なお各試験地の日平均地温が17.5℃を下回った日を表-4に示した。

表-4 日平均地温が17.5℃を下回った日

| 年 | 諏訪 | 辰野 | 安曇野 |
|------|------|------|------|
| 2020 | 9/16 | 9/21 | 9/15 |
| 2021 | 9/4 | — | 9/2 |
| 2022 | 9/21 | 9/21 | 8/29 |
| 2023 | 9/24 | 9/24 | 9/23 |
| 2024 | 9/25 | 9/24 | 9/24 |

注)辰野の2021年は調査未実施。

2.3 結果と考察

2.3.1 2020年から2024年までの5年間の子実体発生状況

各試験地における2020年から2024年までのハナイグチ子実体発生本数を図-2に、発生及び孢子散布位置を図-3～5に、発生量率及び作柄を表-5に示した。

2023年は全ての試験地においてやや豊作又は大豊作であり、特に諏訪試験地は、調査開始以来最も発生本数が多かった。一方、2021年は調査未実施の辰野試験地を除く2試験地はともにやや不作であった。

諏訪と安曇野試験地は施業区（A, B, C区）で大半が発生し、安曇野試験地は無施業区（D区）の発生は確認できなかった。

反対に辰野試験地は、無施業区（D区）で大半が発生し、施業区（A, B, C区）の発生は少なく、特にB区では発生が確認できなかった。辰野試験地は2013年の台風の影響で、B, C区とその周辺のカラマツ数本が倒木被害に遭った。ハナイグチの宿主となる立木本数が減少したことに加え、辰野試験地は立木密度が200本/haと元々少なかった。

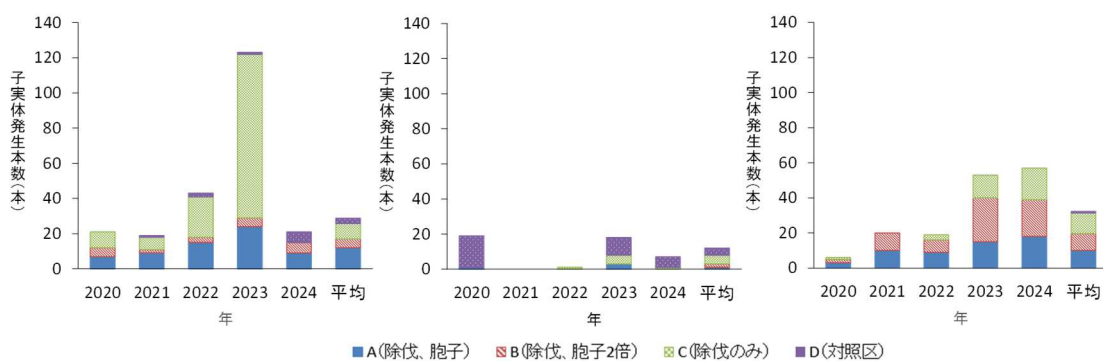


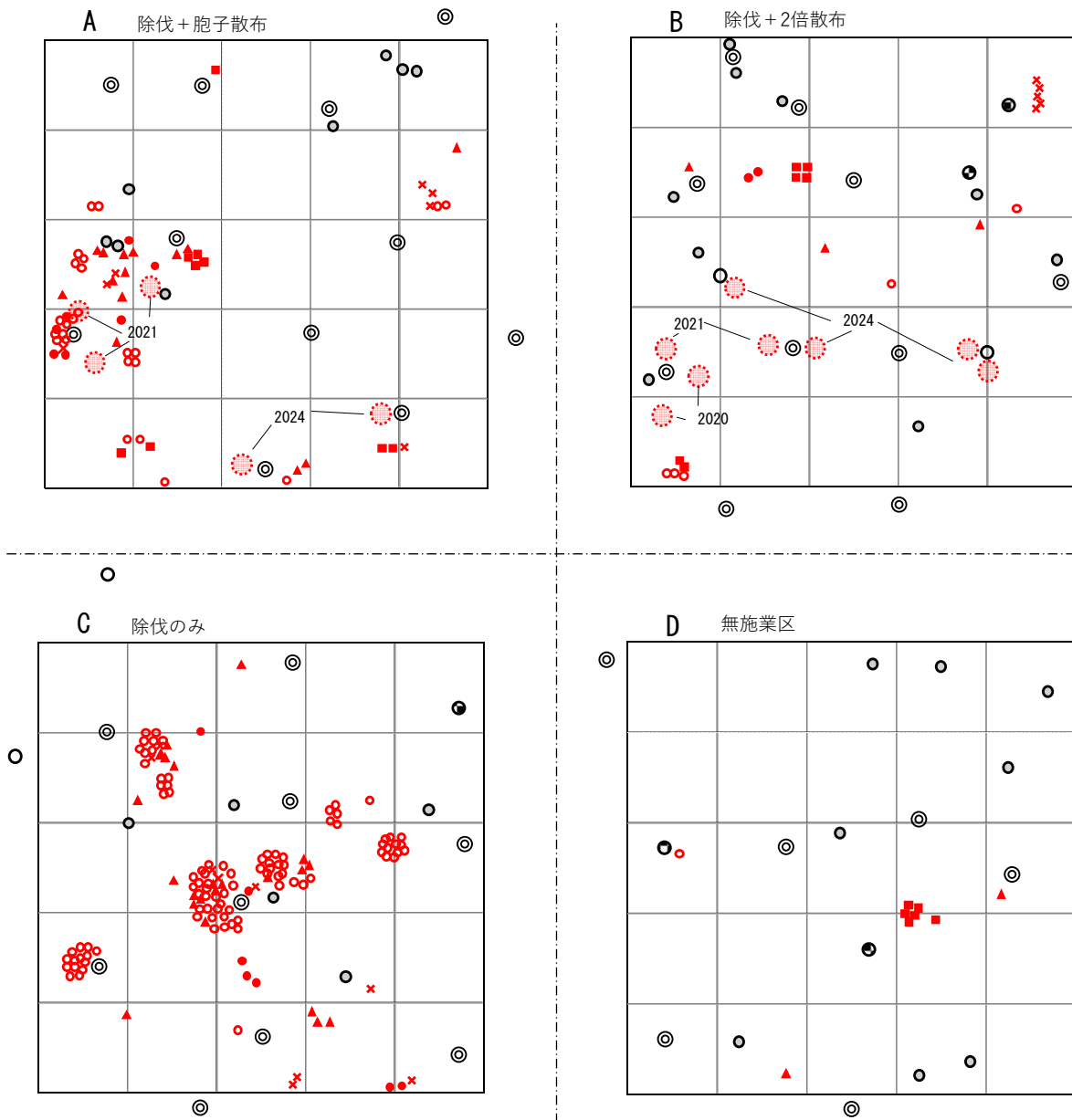
図-2 ハナイグチ林地増殖試験地における2020～2024年までの子実体発生本数
（左:諏訪試験地, 中:辰野試験地, 右:安曇野試験地）

注)辰野試験地の2021年は調査未実施。平均は2015～2024年までの10年間の最高及び最低値を除いた平均値。

表-5 ハナイグチ子実体発生量率と作柄

| 試験地 | 区分 | 年 | | | | | 平均 |
|-----|-----------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | |
| 諏訪 | 子実体発生量(本) | 21 | 19 | 43 | 123 | 21 | 29 |
| | 発生量率 | 0.72 | 0.66 | 1.48 | 4.24 | 0.72 | 1.57 |
| | 作柄 | 平年作 | やや不作 | やや豊作 | 大豊作 | 平年作 | |
| 辰野 | 子実体発生量(本) | 19 | — | 1 | 18 | 7 | 12 |
| | 発生量率 | 1.58 | — | 0.08 | 1.50 | 0.58 | 0.94 |
| | 作柄 | やや豊作 | — | 凶作 | やや豊作 | やや不作 | |
| 安曇野 | 子実体発生量(本) | 6 | 20 | 19 | 53 | 57 | 32 |
| | 発生量率 | 0.19 | 0.63 | 0.59 | 1.66 | 1.78 | 0.97 |
| | 作柄 | 不作 | やや不作 | やや不作 | やや豊作 | やや豊作 | |

注)辰野試験地の2021年は調査未実施。平均は2015～2024年の10年間の最高及び最低値を除いた平均値。



凡例 ◎：カラマツ、⊙：アカマツ、●：広葉樹、⊙：孢子散布（数字は散布年）
 子実体発生位置（年）：× 2020、● 2021、▲ 2022、○ 2023、■ 2024

図-3 諏訪試験地におけるハナイグチ子実体発生及び孢子散布位置図
 注) 1 マスは 3m×3m。

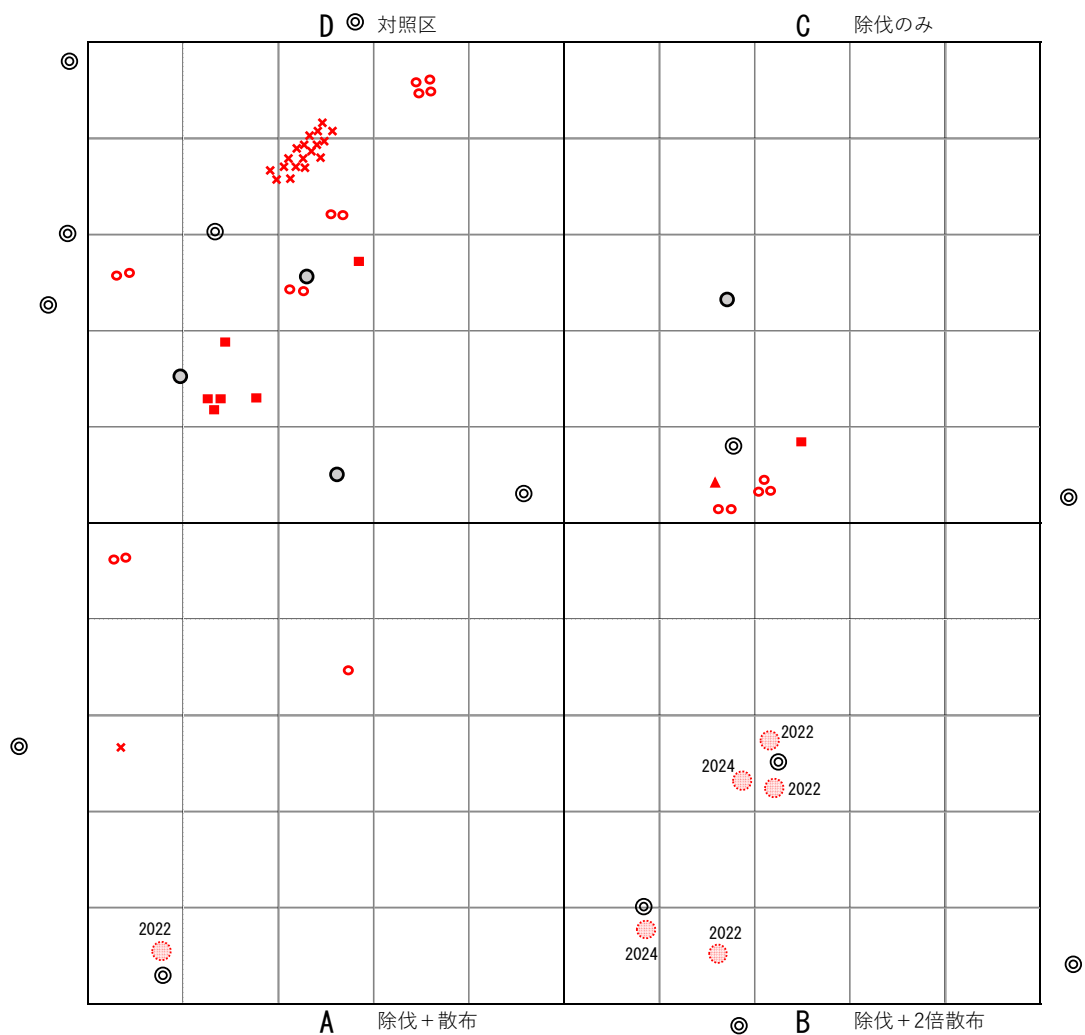


図-4 辰野試験地におけるハナイグチ子実体発生及び胞子散布位置図
 注) 1マスは 2m×2m。

たことから林床は乾燥し、子実体発生量の減少につながったと考えた。

2.3.2 子実体増殖効果の検証

各試験地における2012年から2024年までの13年間の施業区（A, B, C区）と無施業区（D区）の子実体平均発生本数を図-6に示す。

諏訪と安曇野試験地の子実体平均発生本数は施業区が無施業区に対して有意に多いことが認められた。一方、辰野試験地は両区に有意差は認められなかった。

なお、各試験地の三つの施業区（A, B, C区）間に有意差は認められなかった。

以上より、諏訪と安曇野試験地では森林施業による環境整備により、ハナイグチ子実体の増殖効果を確認することができた。一方で、辰野試験地は2.3.1に示した理由により、増殖効果が見られなかったと考えた。また、前報⁶⁾同様に環境整備の内容による差異は見られなかったことから、孢子散布を行わずとも除伐施業のみでハナイグチの増殖効果が得られると考えた。

2.3.3 子実体発生動態及び孢子散布との関連

各試験地ともに、子実体発生位置は年毎に数箇所分散し、それぞれでまとまって発生している傾向が見られたが、発生位置の変化は不明瞭であった（図-3～5）。

柴田⁵⁾はハナイグチの土壌中でのコロニー形成

様式は分散コロニー型と報告しており、今回の調査結果もそれを支持していると考えた。

次に、孢子散布との関連を見ると、諏訪試験地のA区や安曇野試験地のA, B区の一部において、散布箇所付近で子実体発生が見られたが散布によるものか検証できなかった（図-3, 5）。一方、諏訪及び辰野試験地のB区では効果がほとんど認められなかった（図-3, 4）。諏訪試験地のB区は、隣接するカラマツ林が、森林整備用の作業道の作設に伴い2021年に伐採されたことによる林床の乾燥の影響が考えられた。辰野試験地は2.3.1に示した理由によるものと考えた。

2.3.4 子実体発生と気象環境との関係

各試験地の日平均地温及び降水量の推移と子実体発生との関係を図-7～9に示した。

全試験地でやや豊作又は大豊作となった2023年は、調査期間中の総降水量が少なく、特に諏訪試験地は平年の64%、安曇野試験地は61%と平年を大きく下回っていた。一方で、やや不作であった2021年の総降水量は平年を上回っていた。

片桐らは、ハナイグチの発生刺激温度とされる地温が17.5℃になる前の30日間の降水量が少ないことと子実体発生量の増加に関連性があることを報告している⁶⁾。そこで、各試験地における発生刺激日前30日間の降水量の平年比と作柄について表-6に整理した。全試験地においてやや豊作又は

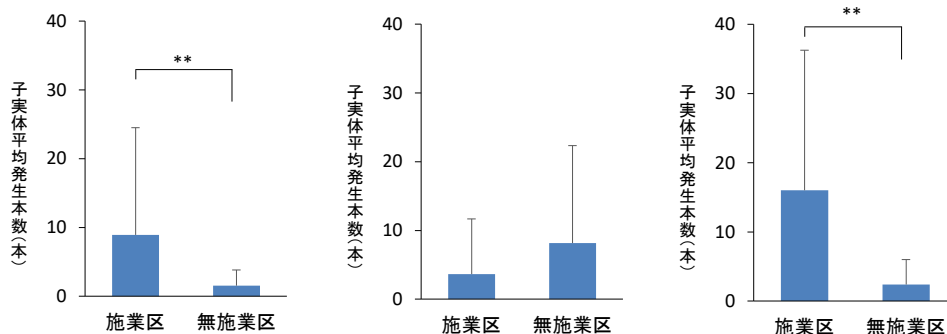


図-6 ハナイグチ林地増殖試験地における施業区(A, B, C区)と無施業区(D区)の子実体平均発生本数
【調査期間：2012～2024年までの13年間】

(左：諏訪試験地，中央：辰野試験地，右：安曇野試験地)

注) **は有意差があることを示す(t検定, $p < 0.01$)。垂線は標準偏差。

表-6 発生刺激日の前30日間の降水量の平年比と作柄との関係

| 試験地 | 2020 | | 2021 | | 2022 | | 2023 | | 2024 | |
|-----|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | 平年比(%) | 作柄 | 平年比(%) | 作柄 | 平年比(%) | 作柄 | 平年比(%) | 作柄 | 平年比(%) | 作柄 |
| 諏訪 | 35 | 平年作 | 303 | やや不作 | 156 | やや豊作 | 54 | 大豊作 | 89 | 平年作 |
| 辰野 | 44 | やや豊作 | — | — | 95 | 凶作 | 50 | やや豊作 | 84 | やや不作 |
| 安曇野 | 56 | 不作 | 271 | やや不作 | 130 | やや不作 | 51 | やや豊作 | 78 | やや豊作 |

注) 辰野試験地の2021年は調査未実施。

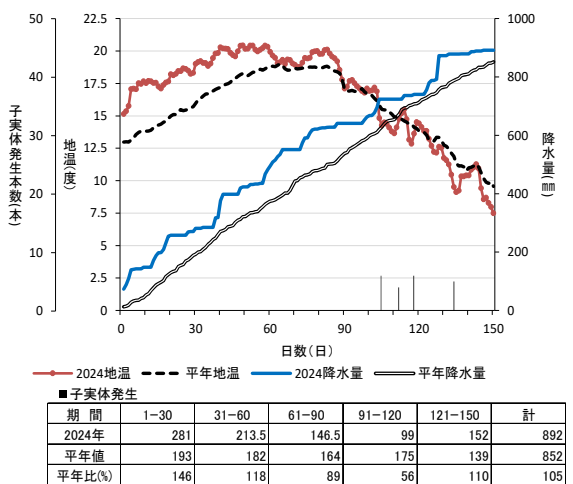
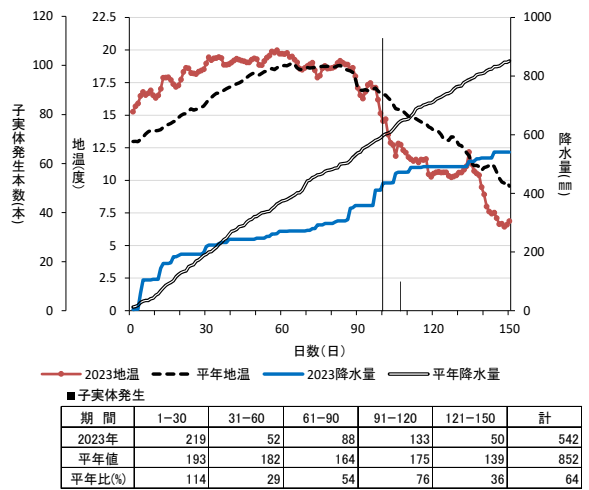
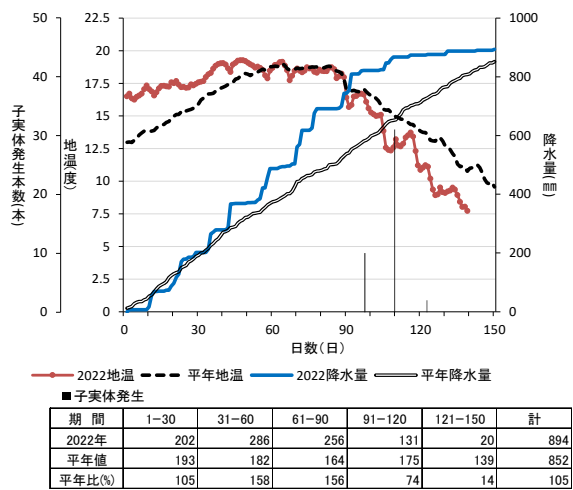
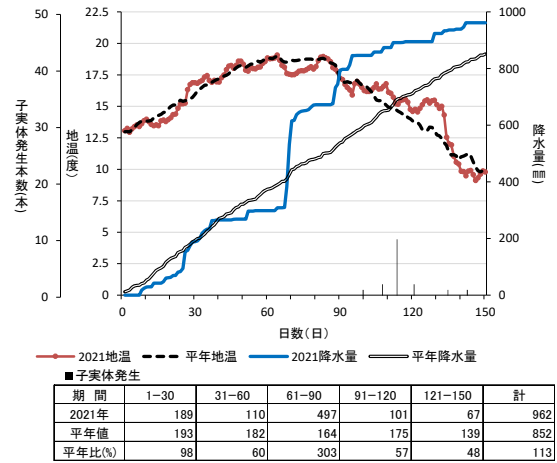
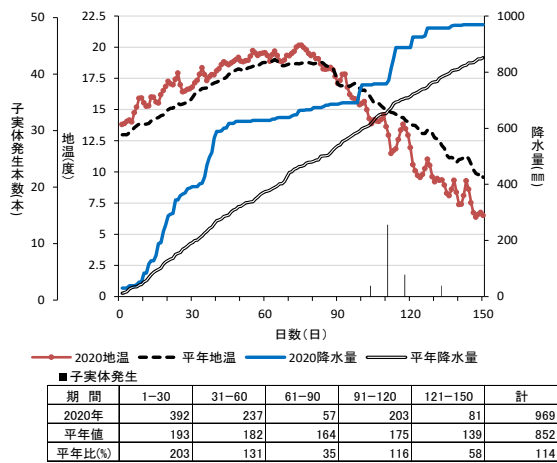


図-7 諏訪試験地の日平均地温及び降水量の推移と子実体発生との関係 (2020~2024年)

注) 90日目が発生刺激日(日平均地温が17.5℃を下回った日)。降水量は諏訪アメダスデータ使用。図の降水量は累積値、表は30日間毎の期間中の降水量及び平年比を示す。

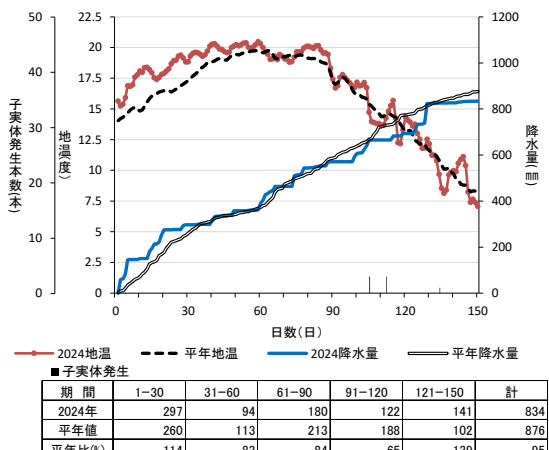
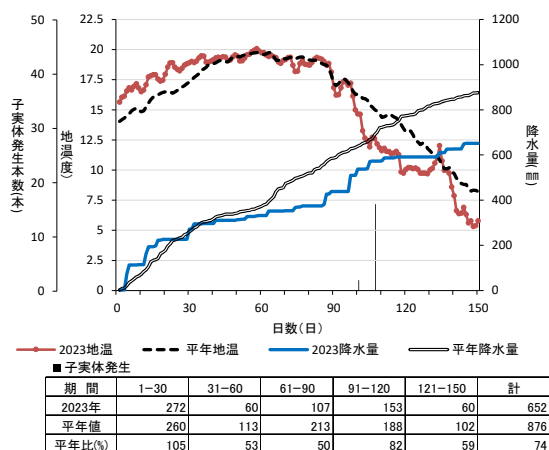
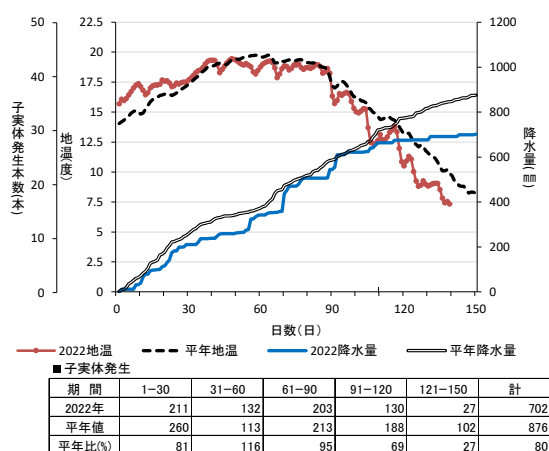
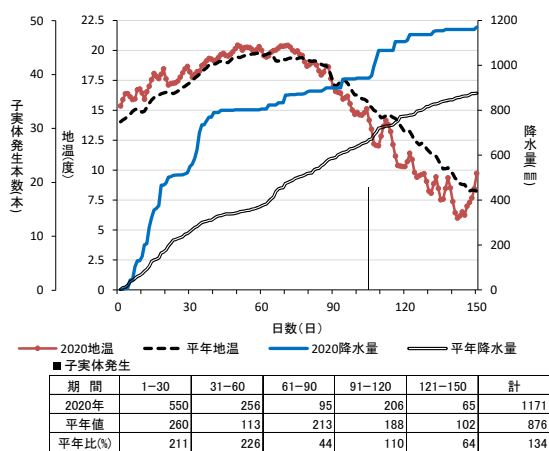


図-8 辰野試験地の日平均地温及び降水量の推移と子実体発生との関係（2020～2024年）

注）90日目が発生刺激日（日平均地温が17.5℃を下回った日）。降水量は辰野アメダスデータ使用。図の降水量は累積値、表は30日間毎の期間中の降水量及び平年比を示す。

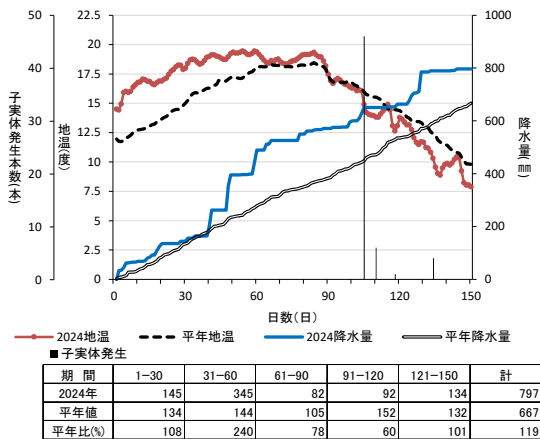
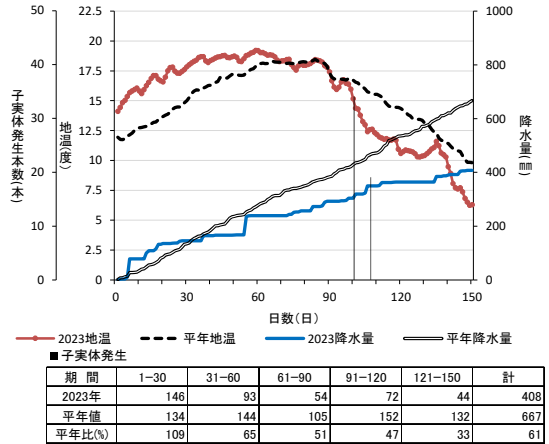
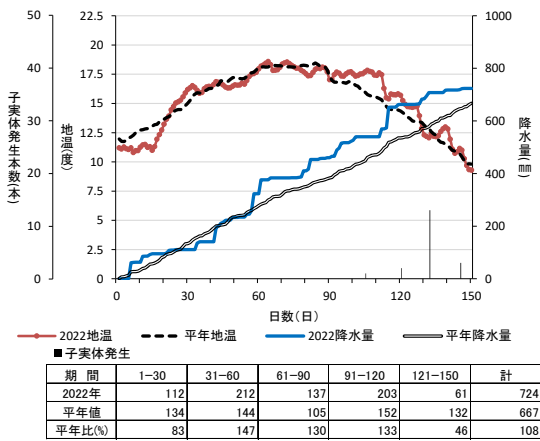
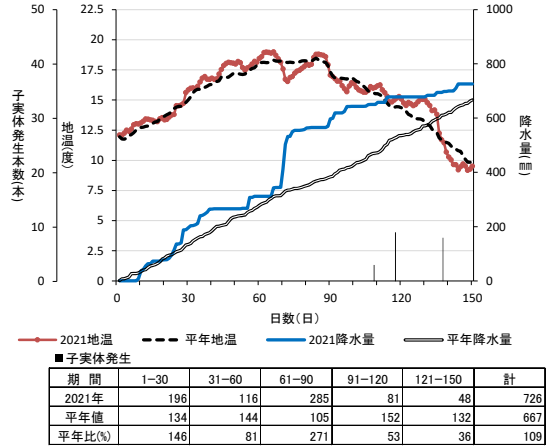
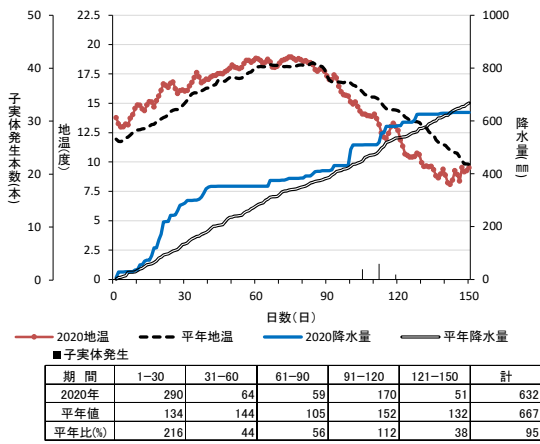


図-9 安曇野試験地の日平均地温及び降水量の推移と子実体発生との関係 (2020~2024年)

注) 90日目が発生刺激日(日平均地温が17.5℃を下回った日)。降水量は穂高アメダスデータ使用。図の降水量は累積値、表は30日間毎の期間中の降水量及び平年比を示す。

大豊作であった2023年は、降水量が平年の50%程度と非常に少なかった、一方でやや不作であった2021年は、平年の300%前後と著しく多かった。ただし、発生刺激日前30日間の降水量の平年比と発生量率間に相関は見られなかった。なお、その他の期間の降水量の平年比と発生量率間にも相関はなかった。

以上より、ハナイグチの子実体発生には地温の推移や降水量の多寡が影響していることが示唆された。地温が17.5℃になる前30日間の降水量の多寡と子実体発生量との間に相関があることが疑われたが、明確な相関は認められなかった。今後は、蓄積した調査データを用いた詳細な検討が必要であると考えた。

3 ハナイグチ子実体発生に関する温度の検証

3.1 目的

ハナイグチ子実体の発生は温度依存的で、地下10cm深の地温が17.5℃程度まで低下すると子実体形成を開始し、約10日後から地表に発生し、12.5℃程度となり約2週間後に発生が終了するとされ³⁾、片桐ら⁶⁾はこれを基に、子実体発生と気象環境との関連を調査してきた。しかし、先行研究³⁾は、長野県内の一つの試験地における調査結果によるものであり、他地域は未検証である。

そこで本研究は、蓄積した試験地の調査データを用いて発生刺激温度及び発生終了温度の検証を

行った。

3.2 試験方法

2.2.2, 4により諏訪と安曇野試験地で収集した2015年から2024年までの10年間のデータを使用した。

子実体形成が開始される温度を発生刺激温度（原基形成刺激温度）、子実体形成が終了する温度を発生終了温度（原基形成終了温度）として各3温度区（発生刺激温度(℃)：17.5, 17.0, 16.5, 発生終了温度(℃)：13.0, 12.5, 12.0)を設定し、それぞれの温度に達した日から子実体発生を初めて確認した日（以下「発生確認日」）及び子実体発生の終了を確認した日（以下「終了確認日」）までの期間を調査した。なお、設定温度以下となつてからの継続時間は6, 12, 24, 48, 72時間の5区分とした。

なお、地温が一旦発生刺激温度を下回った後に再上昇し、6日間以上発生刺激温度を上回った場合は、発生刺激温度とは見なさないこととした。発生終了温度の検証では、地温が設定温度を下回った後の地温の再上昇の有無を調査項目に加えた。

また、諸事情により子実体発生開始の確認調査が遅れた年及び発生終了確認調査を実施出来なかった年は調査対象から除外した。

3.3 結果と考察

3.3.1 発生刺激温度

発生刺激温度別発生確認日までの期間を表-7に

表-7 発生刺激温度別発生確認日までの期間の調査結果

【諏訪】

| 年 | 子実体発生量(本) | 17.5℃ | | | | | 17.0℃ | | | | | 16.5℃ | | | | | 備考 |
|------|-----------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-----|--------|
| | | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | |
| 2015 | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | 確認調査遅れ |
| 2016 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | 確認調査遅れ |
| 2017 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | 確認調査遅れ |
| 2018 | 64 | 8 | 8 | 8 | 16 | 16 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | -1 | 6 | 6 | 6 | 6 | |
| 2019 | 3 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 8 | 8 | 13 | 13 | 13 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| 2020 | 21 | 10 | 10 | 15 | 15 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| 2021 | 19 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 0 | 7 | 7 | 7 | 7 | |
| 2022 | 43 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| 2023 | 123 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 4 | 11 | 11 | 11 | 11 | 3 | 3 | 3 | 10 | 10 | |
| 2024 | 21 | 11 | 11 | 15 | 15 | 15 | 2 | 8 | 8 | 8 | 15 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 平均 | | 10.4 | 10.4 | 11.7 | 12.9 | 12.9 | 6.9 | 8.7 | 9.4 | 9.4 | 11.0 | 4.3 | 6.3 | 6.3 | 7.3 | 7.3 | |

注) 温度の下は継続時間。斜線は子実体発生確認調査が遅れた年。濃い色のセルは、発生開始確認日までの期間が2日以内又はマイナス値。

【安曇野】

| 年 | 子実体発生量(本) | 17.5℃ | | | | | 17.0℃ | | | | | 16.5℃ | | | | | 備考 |
|------|-----------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-----|----|
| | | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | |
| 2015 | 57 | 14 | 14 | 20 | 20 | 20 | 8 | 8 | 8 | 12 | 16 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| 2016 | 7 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 11 | 11 | 11 | 13 | 15 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | |
| 2017 | 8 | 13 | 13 | 13 | 13 | 16 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | |
| 2018 | 84 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | -12 | 12 | 12 | 12 | 12 | |
| 2019 | 35 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 0 | 0 | 0 | 17 | 17 | -5 | -5 | -5 | -1 | -1 | |
| 2020 | 6 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 11 | 11 | 14 | 14 | 14 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| 2021 | 20 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 19 | 19 | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | |
| 2022 | 19 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | -6 | -6 | 16 | 16 | 16 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | |
| 2023 | 53 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | |
| 2024 | 57 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 11 | 15 | 15 | 15 | 15 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | |
| 平均 | | 15.3 | 15.3 | 15.9 | 15.9 | 16.3 | 8.9 | 9.3 | 11.8 | 14.2 | 14.8 | 4.8 | 7.2 | 7.2 | 7.6 | 8.0 | |

注) 温度の下は継続時間。濃い色のセルは、発生開始確認日までの期間が2日以内又はマイナス値。

示した。

諏訪試験地は、発生確認日までの期間が著しく短い(2日以内)ものや、発生刺激日前に子実体が既に発生していることを示すマイナス値が複数見られた。これらが1回でもある場合の設定温度と継続時間の組み合わせは発生刺激温度とは見なさないこととした。

その結果 17.5℃の6~72時間及び17.0℃の6~48時間の9つの組み合わせが残り、これらの発生確認日までの期間は8.7~12.9日間で、平均は10.8日間となり、先行研究³⁾とほぼ一致した。

安曇野試験地も同様に検討すると、17.5℃の6~72時間及び17.0℃の6・12時間の7つの組み合わせが残り、これらの発生確認日までの期間は14.2~16.3日間となり平均15.4日間であった。

以上より、諏訪、安曇野試験地の発生刺激温度は17.0~17.5℃程度と推察され、先行研究³⁾とほぼ同様であった。また、発生刺激温度の継続時間は6時間であることが示唆された。安曇野試験地の子実体原基形成から地表に発生するまでの期間は、先行研究³⁾の10日程度より長い可能性が示唆された。

なお、今回調査した2試験地の、地温が17.5℃以下となり6時間以上継続した日について、2.2.4で用いた日平均地温が17.5℃を下回った日と比較したところ、両者はほぼ同一日となることが確認された(表-8)。

表-8 発生刺激日の比較

| 年 | 諏訪 | | 安曇野 | |
|------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | 17.5℃以下が6時間以上継続日 | 日平均が17.5℃を下回った日 | 17.5℃以下が6時間以上継続日 | 日平均が17.5℃を下回った日 |
| 2020 | 9/15 | 9/16 | 9/15 | 9/15 |
| 2021 | 9/4 | 9/4 | 9/2 | 9/2 |
| 2022 | 9/20 | 9/21 | 8/28 | 8/29 |
| 2023 | 9/24 | 9/24 | 9/23 | 9/23 |
| 2024 | 9/25 | 9/25 | 9/24 | 9/24 |

3.3.2 発生終了温度

発生終了温度別終了確認日までの期間を表-9に示した。

諏訪試験地は、13.0℃、12.5℃の地温の再上昇が無い場合の終了確認日までの期間は平均14.4日間、13.3日間であり、約2週間後とした先行研究³⁾とほぼ同様であった。また同地温で再上昇があった場合は、無かった場合に比べ期間がやや長くなる傾向が見られた。なお12.0℃は再上昇の有無にかかわらず11日間程度となり13.0℃、12.5℃と比べ

表-9 発生終了温度別終了確認日までの期間の調査結果

【諏訪】

| 年 | 子実体発生量(本) | 13.0℃ | | | | | 12.5℃ | | | | | 12.0℃ | | | | | 備考 |
|-----------|-----------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|----------|
| | | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | |
| 2015 | 13 | 10 | 10 | 10 | 11 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | |
| 2016 | 22 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | -8 | -5 | 5 | 5 | 5 | 再上昇96時間 |
| 2017 | 30 | 29 | 29 | 33 | 33 | 34 | 28 | 28 | 28 | 28 | 32 | 18 | 18 | 28 | 28 | 28 | 再上昇125時間 |
| 2018 | 64 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 16 | 16 | 16 | 16 | 18 | |
| 2019 | 3 | 14 | 14 | 14 | 19 | 20 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 | 11 | 11 | 14 | 14 | 14 | |
| 2020 | 21 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 14 | 22 | 22 | 22 | 22 | 13 | 21 | 21 | 21 | 21 | 再上昇105時間 |
| 2021 | 19 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | |
| 2022 | 43 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 5 | 5 | 17 | 17 | 17 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 再上昇208時間 |
| 2023 | 123 | | | | | | | | | | | | | | | | 調査未実施 |
| 2024 | 21 | 10 | 10 | 10 | 17 | 18 | 5 | 8 | 8 | 8 | 9 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 再上昇32時間 |
| 平均 | | 15.3 | 15.3 | 15.8 | 17.2 | 18.0 | 12.0 | 13.2 | 14.8 | 14.8 | 15.8 | 8.2 | 9.4 | 12.0 | 12.1 | 12.9 | |
| 平均(再上昇なし) | | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 15.0 | 16.3 | 12.8 | 12.8 | 13.3 | 13.3 | 14.3 | 10.5 | 10.5 | 11.3 | 11.5 | 12.3 | |
| | | | | | 14.4 | | | | 13.3 | | | | | | | 11.2 | |
| 平均(再上昇あり) | | 16.8 | 16.8 | 17.6 | 19.0 | 19.4 | 11.4 | 13.6 | 16.0 | 16.0 | 17.0 | 6.4 | 8.6 | 12.6 | 12.6 | 13.4 | |
| | | | | | 17.9 | | | | 14.8 | | | | | 10.7 | | | |

注) 温度の下は継続時間。斜線は子実体発生終了確認調査を実施出来なかった年。濃い色のセルはマイナス値。再上昇時間は地温が一旦12.5℃以下となった後に再び12.5℃を上回っていた時間の累計。

【安曇野】

| 年 | 子実体発生量(本) | 13.0℃ | | | | | 12.5℃ | | | | | 12.0℃ | | | | | 備考 |
|-----------|-----------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|----------|
| | | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | 72時間 | 48時間 | 24時間 | 12時間 | 6時間 | |
| 2015 | 57 | 4 | 4 | 7 | 7 | 7 | 2 | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 2016 | 7 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -2 | -2 | -3 | -3 | -3 | -3 | -3 | |
| 2017 | 8 | 14 | 18 | 18 | 18 | 19 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 再上昇105時間 |
| 2018 | 84 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | |
| 2019 | 35 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 6 | 6 | 6 | 11 | 11 | 再上昇29時間 |
| 2020 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | -2 | -2 | -2 | 4 | 4 | 再上昇96時間 |
| 2021 | 20 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 2022 | 19 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 5 | 5 | 5 | 15 | 15 | 再上昇87時間 |
| 2023 | 53 | | | | | | | | | | | | | | | | 調査未実施 |
| 2024 | 57 | 11 | 18 | 18 | 18 | 18 | 10 | 10 | 10 | 10 | 17 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | |
| 平均 | | 8.6 | 9.8 | 10.1 | 10.1 | 10.2 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 9.0 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 6.6 | 6.7 | |
| 平均(再上昇なし) | | 5.4 | 6.8 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 6.4 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.4 | |
| | | | | | 6.9 | | | | 4.6 | | | | | 3.2 | | | |
| 平均(再上昇あり) | | 12.5 | 13.5 | 13.5 | 13.8 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.8 | 10.8 | |
| | | | | | 13.4 | | | | 12.3 | | | | | 7.6 | | | |

注) 温度の下は継続時間。斜線は子実体発生終了確認調査を実施出来なかった年。濃い色のセルはマイナス値。再上昇時間は地温が一旦12.5℃以下となった後に再び12.5℃を上回っていた時間の累計。

短かった。また 12.0℃では、発生終了温度とは見えないマイナスの値が一部で確認された。

次に安曇野試験地を見ると、3温度区ともにマイナス値が確認され、地温の再上昇が無い場合の終了確認日までの期間の平均は7日間を下回っていた。一方、地温の再上昇があった場合は、3温度区ともに再上昇が無かった場合に比べ2倍程度長かった。

以上より、諏訪試験地の発生終了温度は 12.5～13.0℃と推察され、先行研究³⁾とほぼ同様であった。発生終了温度の継続時間は6時間であることが示唆された。一方、安曇野試験地は、発生終了温度の推定が困難であったが、13.0℃より高い可能性も考えられ、試験地によって発生終了温度が異なることが示唆された。また、発生終了温度以降に地温が再上昇すると、子実体発生期間が長期化することが示唆された。

4 カラマツの再造林地におけるハナイグチ孢子散布効果

4.1 目的

近年、森林の皆伐施業の増加に伴い、カラマツの再造林地が増加している。柴田⁷⁾はハナイグチの子実体発生が始まるカラマツの林齢は18年生以上であり、環境整備を実施するのに最適な林齢は20年生前後と報告している。また、伊藤⁸⁾は環境整備の時期について20年生までの若い林が対象としており、環境整備の適切な開始時期には不明な点がある。

また、菌根性きのこ（菌根菌）が宿主植物の成長を促進することは広く知られており、ハナイグチも苗齢60日の芽ばえを用いた試験管内の試験において、菌根形成の効果により、苗長や葉の総重量の増加など苗木形質が向上することが報告されている⁹⁾。ただしこれは発芽直後の幼苗の試験管内での研究であり、林地における研究例はほとんどない。

菌根形成によりハナイグチ子実体が発生する時期が早くなることへの期待や、苗の成長が促進されることにより、下刈り期間が短縮され、造林費用の縮減に繋がると考える。そこで本研究では、ハナイグチ孢子散布がカラマツ若齢林に及ぼす効果を検証することとし、本項では孢子散布による苗木成長促進への影響を調査した。

4.2 試験方法

4.2.1 試験地概要

諏訪市のカラマツ皆伐跡地（約1.2ha）において、

2021年6月に試験地を設定した（表-10）。ハナイグチの孢子散布を行う施業区と孢子散布を行わない対照区を、水平方向に5m程度の緩衝帯を挟んで設置した。試験区はそれぞれ20m×20m（0.04ha）とした。

表-10 試験地概要

| 場所 | 標高 (m) | 地形 | 斜面方位 | カラマツ | | 植栽年 |
|-------|--------|----|------|-----------|---------|------|
| | | | | 密度 (本/ha) | 林齢* (年) | |
| 諏訪市後山 | 1,180 | 中腹 | 南西 | 2,650 | 4 | 2018 |

*林齢は調査開始(2021年)時。

4.2.2 孢子散布及び毎木調査

孢子散布は2021年及び2022年の9月から10月にかけて実施した。林地増殖試験地の諏訪試験地（表-1）とその周辺で採取した子実体の傘部分のみを、ミキサーで粉砕した後、沢水で希釈し孢子懸濁液とし、カラマツの根元（直径約30cm以内）にジョウロで1本当り120ml程度散布した。散布濃度は、その日に用意できた子実体量に応じて散布したため、散布日毎に変動したが、散布量全体としては柴田¹⁰⁾が示す標準的な散布量（1ha当たり9kg）の4～6倍量を散布した（表-11）。なお、対照区には沢水を同量散水した。

毎木調査は、試験地設定年のみ7月に行い、以降は2024年まで毎年4月に実施した。樹高、根元径、樹冠幅、胸高直径を測定した。なお、胸高直径は樹高が2mを超えたもののみとした。また、樹高が4mを超えた時点で根元径の測定を行わなかった。

表-11 ハナイグチ孢子散布実績

| 2021年 | | | | | | | |
|-----------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 散布日 | 9/14 | 9/22 | 9/28 | 10/5 | 10/19 | 10/27 | 計(平均) |
| 子実体重量 (g) | 171 | 455 | 400 | 200 | 114 | 239 | 1,579 |
| 散布量 (ℓ) | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 72 |
| 濃度 (%) | 1.4 | 3.8 | 3.3 | 1.7 | 1.0 | 2.0 | 2.2 |
| 2022年 | | | | | | | |
| 散布日 | 9/29 | 10/11 | 10/24 | | | | 計(平均) |
| 子実体重量 (g) | 306 | 1080 | 794 | | | | 2,180 |
| 散布量 (ℓ) | 12 | 12 | 12 | | | | 36 |
| 濃度 (%) | 2.6 | 9.0 | 6.6 | | | | 6.1 |

4.3 結果と考察

毎木調査の結果、施業区内の一部でカラマツの成長が周辺に比べ著しく劣る箇所が確認され、該当箇所を含む試験区内の上端から下端にかけて幅約6mの帯状エリアを分析対象外とした。なお、対照区もその対称箇所に同様に帯状エリアを設定し、エリア内を分析対象外した。これにより試験区内のカラマツの本数は、施業区は当初の96本から68本に、対照区は107本から77本に減少した。

4年間の毎木調査結果を図-10に示す。

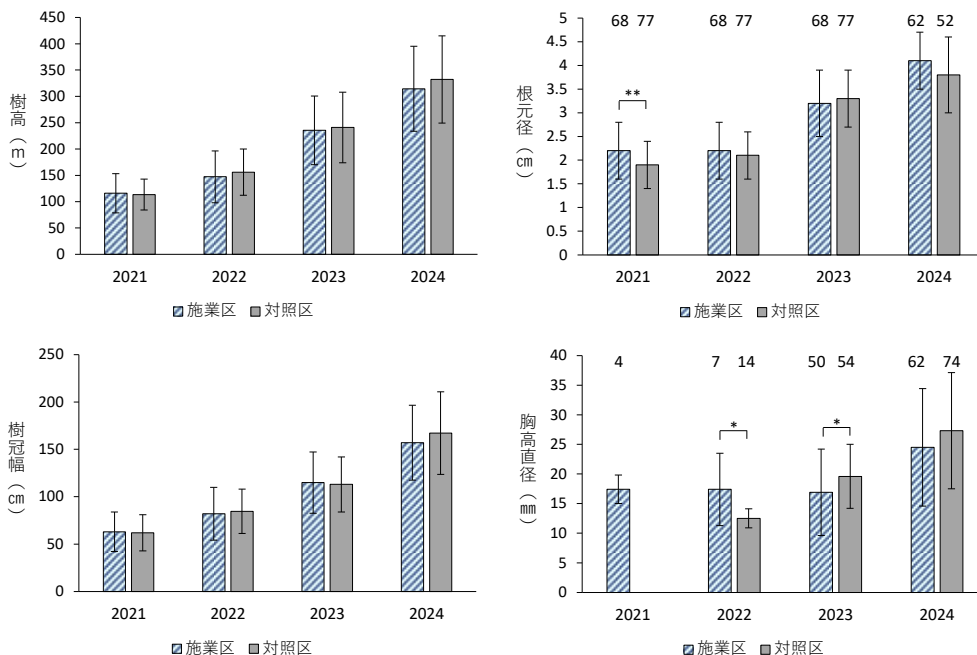


図-10 毎木調査結果（樹高，根元径，樹冠幅，胸高直径）

注) 根元径と胸高直径のバーの上の数字は調査対象数を，*は有意差があることを（t 検定，*： $p < 0.05$ ，**： $p < 0.01$ ），垂線は標準偏差を示す。樹冠幅は斜面の垂直，水平方向の平均値。

樹高及び樹冠幅は，4年間を通じて施業区と対照区間に有意差は認められなかった。根元径は調査初年の2021年には施業区が対照区に対して有意に大きかったが，その後は差が見られなかった。胸高直径は毎年徐々に調査対象本数が増加し，2023年には両区ともに50本以上となり，対照区が施業区に対して有意に大きいことが確認されたが，2024年には両区間に差は見られなかった。

2021年から2024年までの3年間の成長量の調査結果を図-11に示す。なお，根元径は全数調査した2023年までの2年間の成長量を，胸高直径は調査対象本数が増加した以降の2023年から2024年までの1年間の成長量を示す。

全ての調査項目で対照区が施業区より有意に成長量が大きかった。

以上より，本研究期間においては，孢子散布によるカラマツの成長促進への影響は確認されなかった。この原因は，試験開始後に立木成長の差が生じる箇所が発見されたことなどからも試験区の立地条件による影響が強かったと考える。また，今後は苗の菌根形成状況調査なども含める必要があると考えた。

5 結言

諏訪及び安曇野試験地では，除伐等の環境整備によるハナイグチ子実体増殖効果が認められた。ただし，環境整備の内容による差異は認められなかったことから，孢子散布を行わずとも除伐施業のみでハナイグチの増殖効果が得られることが示唆された。一方で，辰野試験地は試験地内外のカラ

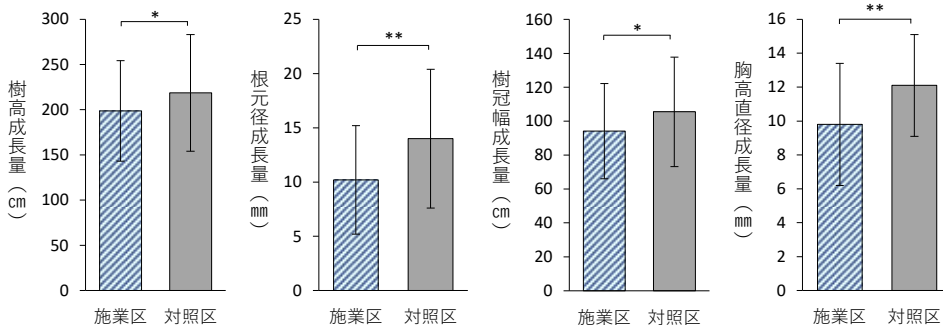


図-11 成長量調査結果（樹高，根元径，樹冠幅，胸高直径）

注) *は有意差があることを（t 検定，*： $p < 0.05$ ，**： $p < 0.01$ ），垂線は標準偏差を示す。

マツ倒木の影響により子実体増殖効果は認められなかった。

気象条件との関連では、ハナイグチの子実体発生には地温の推移や降水量の多寡が影響していることが示唆された。片桐ら⁶⁾はハナイグチの発生刺激温度とされる地温が 17.5°Cになる前の 30 日間の降水量が少ないことと子実体発生量の増加に関連性があることを報告しているが、本研究では関連性は認められなかった。今後は、蓄積した調査データを用いた詳細な検討が必要であると考えた。

ハナイグチの原基形成が開始される地温は 17.0 ~17.5°C程度であり、先行研究とほぼ同様であることが示され、本温度が県内で広く適用できる可能性が示唆された。また、発生刺激温度の継続時間は 6 時間であることが示唆された。

6 謝辞

試験地の維持管理、調査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、市町職員及び各地域振興局の林業普及指導員の皆様、中でもカラマツの再造林地の調査で沢水を入れた重いタンクの運搬にご協力いただいた元南真志野生産森林組合長の関 仁氏に厚く御礼申し上げます。

7 引用文献

- 1) 山中高史 (2015), マツタケなど菌根性きのこ類の人工栽培に向けた研究, *Microb. Resour. Syst.* 31(2), 167-174
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 長野県林務部信州の木活用課 (2024), 長野県マツタケ生産量と気象の関係, 令和 6 年度信州まつたけシンポジウム資料
- 5) 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
- 6) 片桐一弘・加藤健一・増野和彦 (2021), 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-, 長野県林業総合センター研究報告第 35 号, 83-92
- 7) 柴田 尚 (2005), ハナイグチの発生環境, 菌根性

きのこの安定生産技術の開発, 林野庁 バイオテクノロジー実用化型研究成果, 22-23

- 8) 伊藤 武 (1988), 野生きのこの栽培可能性 (I) 菌根菌, '88 年版 きのこ年鑑 (農村文化社), 144
- 9) 村田義一 (1991), カラマツ芽ばえの菌根形成と成長, 北海道林業試験場研究報告第 29 号, 1-13
- 10) 柴田 尚 (2001), キノコ栽培の実際 (ハナイグチ), キノコ栽培全科 大森清寿・小出博志編 (農文協), 234-236
- 11) H. Furukawa, K. Tokuoka, A. Mizuno, K. Katagiri, K. Masuno, Y. Tanaka, S. Oya, A. Yamada (2024), Long-term effects of forest management on the dynamics of *Tricholoma matsutake* harvest over 41 years in a *Pinus densiflora* forest in Nagano Prefecture, Japan, *Mycoscience* VOL. 65, 298-306