

長野県におけるマツタケ子実体の発生と気象条件の関連

古川 仁・片桐一弘・増野和彦

長野県内6か所のマツタケ試験地で、地温・気温・降水量の気象観測、マツタケ子実体の発生調査を行った。その結果、子実体収穫初日前30日間の総降水量と発生量に正の相関がみられた。また、原基形成刺激温度は、高標高に位置する辰野町試験地は15~17℃程度、長野県南部の比較的温暖な豊丘村試験地は18~19℃程度と推定した。原基形成後の温度上昇、いわゆる暑さのぶり返しによる子実体発生不良は、2℃程度の上昇や、一時的な上昇では発生不良には至らなかった。

キーワード：マツタケ、原基形成刺激温度、初収穫日、降水量、気象条件

1 緒言

長野県のマツタケ (*Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer.) 生産量は2006年以降ほぼ毎年全国一位^{12,15)}となっている。長野県ではマツタケを含む栽培きのこ類生産額が、林業産出額の約9割を占める¹⁵⁾ため、高価格で取引されるマツタケの存在価値は極めて高い。現在国産マツタケの産地は、長野県及び岩手県¹⁵⁾といった寒冷地が占めているが、以前の産地は広島県など温暖な西日本地域であった²⁾。この産地が変動した原因は、西日本地域ではマツノザイセンチュウ病(松くい虫被害)により、マツタケの宿主であるマツ林が衰退したためとされる^{2,12,16)}。マツタケの主産地がかつては西日本にあったことから、マツタケの生態、マツタケ山の施業技術に関する多くの研究は、西日本地域をフィールドとして行われてきた。その結果、マツタケの発生には適切な温度条件や降水量が重要であることなどが解明^{1,5-7,18)}された。しかし、これらは温暖地域での研究結果であり、長野県に必ずしもそのまま適応できない。近年の寒冷地での調査報告^{13,14)}によると、原基形成の刺激温度は西日本での観測結果よりも低温で、これはマツタケが寒冷な気候に遺伝的に適応したためと結論付けている。

これらのことから長野県がマツタケ産地を維持するためには、長野県内の気象条件の変化及びマツタケの生態を解明し、その結果をマツタケ山の環境整備技術に反映させる必要がある。特に近年の地球温暖化による気候変動に対応した技術開発は重要と考える。

また、当センターでは約40年前からマツタケ試験地を設定し、気象条件と子実体発生状況等についてモニタリング調査を続けてきた。特に近年は気象観測器具をデジタル化するとともに、過去の調査結果のデジタル化を随時図っている。今後はこれら大量データを

新たに分析することによって、予測される気象変動下でのマツタケ山施業技術の開発に活用する必要性は高い。

なお、本研究は県単課題「無菌感染苗木法を利用したマツタケ増殖技術の開発(2015~2019)」、及び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(2015~2019)」の一部として実施した。

2 近年のマツタケ発生状況と気象条件

2.1 目的

長野県内には現在6カ所(表-1)のマツタケ試験地がある。豊丘村及び辰野町試験地では、1980年にマツタケ増産のための環境整備¹⁸⁾を行い、その後40年間以上にわたり環境整備の効果と子実体発生の気象条件との関係を解明するため調査を続けている。この2試験地は県南部に位置するが、一定の地域に偏らず、県内広範囲でのマツタケ発生状況と気象条件との関連を解明する目的で、1991年以降他の地域に新たに4カ所増設し、合わせて6試験地とした。これら試験地での調査結果は、数年ごとに報告^{2,9-11,18-22)}するとともに、さらに長期的スパンから解明した点についても報告^{2,10,11)}している。

そこで本稿は、試験地での直近5年間の調査結果

表-1 長野県内のマツタケ試験地

名称	場所	位置	標高(m)	地形	斜面方位	試験地設定(年)
豊丘村試験地	下伊那郡豊丘村神稲	北緯 35° 32' 東経 137° 56'	790	尾根~中腹	南西	1980(S.55)
辰野町試験地	上伊那郡辰野町小野	北緯 36° 01' 東経 137° 58'	980	尾根~中腹	南西	1980(S.55)
上田市試験地	上田市別所温泉	北緯 36° 20' 東経 138° 08'	800	尾根	北	1991(H.3)
松川町A試験地	下伊那郡松川町生田	北緯 35° 34' 東経 137° 57'	740	尾根~中腹	南	1991(H.3)
松川町B試験地	下伊那郡松川町生田	北緯 35° 34' 東経 137° 57'	750	尾根~中腹	南西	2005(H.17)
松本市試験地	松本市取出	北緯 36° 20' 東経 138° 00'	710	尾根~中腹	南	2009(H.21)

表-2 各試験地における気象観測機器等

試験地名	地温	気温	雨量測定機器及び設置場所等
豊丘村試験地	TR52i*	TR-51*	試験地林内での転倒升型機器及びRF-3*による自動計測 但し、2019年7月21日～8月31日は機器不調のため、豊丘村設置 の「長沢」観測所データで補完
辰野町試験地	TR52i	TR-51	試験地から約300m離れた林外、メスリンダーによる人力測定
上田市試験地	TR52i	TR-51	直近の気象庁アメダス「鹿教湯」データを使用
松川町A試験地	TR52i	TR-51	試験地から約200m離れた松川町B試験地データを使用、松川町 B試験地の測定機器不調の期間は、下記に示す長野県設置「渡 場」観測所のデータで補完
松川町B試験地	TR52i	TR-51	試験地林内での転倒升型機器及びRF-3による自動計測 2015年6月1日～11月10日、2016年8月11日～11月10日、201 9年6月1日～8月20日の期間は機器不調のため、約700m離れた長 野県設置「渡場」観測所データで補完、なお、2015年10月25日～ 11月10日は「渡場」も測定不可であったことから欠測
松本市試験地	TR52i	TR-51	試験地林内での転倒升型機器及びRF-3による自動計測 2019年6月1日～8月22日の期間は機器不調により欠測

* T&D社製

表-3 試験地のマツタケ子実体発生状況

試験地	年	発生量		長野県 生産量 (t)	
		本数			生重量 (g)
		(本)	平年比(%)		
辰野町	2015(H.27)	22	215.7	844	48.9
	2016(H.28)	32	313.7	1,591	42.5
	2017(H.29)	2	19.6	39	5.1
	2018(H.30)	66	647.1	3,711	42.1
	2019(R.元)	6	58.8	274	6.9
	平年*	10.2		398.1	26.7
豊丘村 (施業区)	2015(H.27)	382	191.5	17,590	
	2016(H.28)	305	152.9	15,000	
	2017(H.29)	79	39.6	3,960	
	2018(H.30)	343	171.9	24,600	
	2019(R.元)	15	7.5	800	
	平年	199.5		8,817.5	
上田市	2015(H.27)	0	0.0	0	
	2016(H.28)	3	42.3	300	
	2017(H.29)	0	0.0	0	
	2018(H.30)	0	0.0	0	
	2019(R.元)	0	0.0	0	
	平年	7.1		495.5	
松川町A	2015(H.27)	232	232.0	13,406	
	2016(H.28)	109	109.0	6,242	
	2017(H.29)	47	47.0	2,306	
	2018(H.30)	174	174.0	10,777	
	2019(R.元)	19	19.0	1,107	
	平年	100.0		4,150.7	
松川町B	2015(H.27)	209	246.8	18,351	
	2016(H.28)	109	128.7	9,620	
	2017(H.29)	54	63.8	3,784	
	2018(H.30)	114	134.6	11,119	
	2019(R.元)	27	31.9	1,662	
	平年	84.7		5,749.1	
松本市	2015(H.27)	15	39.7	505	
	2016(H.28)	8	21.2	525	
	2017(H.29)	1	2.6	64	
	2018(H.30)	0	0.0	0	
	2019(R.元)	0	0.0	0	
	平年	37.8		1,152.4	

*平年:2005年～2014年の平均。ただし松本市試験地は設定が2010年のため、
設定以降5年間の平均。

を報告するとともに、今後のマツタケ生産にとって重要な、気象要因と子実体発生の関連性を考察し、今後の施業技術の改良を目的とする。

2.2 試験地及び調査方法

2.2.1 試験地

試験地は表-1の6カ所とした。

2.2.2 マツタケ子実体発生量調査

試験地内に発生したマツタケ子実体は、発生位置を着色ピンで試験地に標示後、採取し生重量を記録した。子実体の採取時期は傘の膜が切れる直前を基本とした。なお各試験地には管理人が常駐し、子実体発生時期にはほぼ毎日試験地内を巡回・調査した。また、本稿では子実体収穫日を発生日とした。

2.2.3 気象環境調査

各試験地では地下10cm深での地温、地上高10cmにおける気温を測定した。更に試験地及びその近隣で降水量を測定した。但し、松川町A試験地の降水量は、直線距離で約200m離れた松川町B試験地の観測結果とし、上田市試験地は約4.2km離れた気象庁アメダス観測施設「鹿教湯」の測定値とした。測定方法、機器等については表-2に示す。

なお、マツタケ子実体発生量、発生日、気象データの平年値は、2005年～2014年10年間の相加平均とした。データ期間を直近10年間としたのは、近年の気象環境の変動^{4,8)}が、豊丘村試験地での子実体発生日に影響を及ぼして²⁾おり、データ期間を20～30年の長期間に設定することで、近年の状況が表現されなくなると判断したためである。また、平年子実体発生量も、宿主であるアカマツ(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)、およびシロの経年変化を考慮した場合、直近10年間の平均が適切と判断した。

なお、試験地設定が2010年である松本市試験地は、平年値算出期間を2010年～2014年とした。

2.3 結果

2.3.1 マツタケ発生状況と気象条件

表-3に試験地毎のマツタケ子実体発生状況を示した。各試験地の子実体発生量及び長野県内全体の生産量はともに年毎の変動が大きく、表-3に各試験地の平年に対する発生量を平年比として示した。これによると、平年(100%)を上回った(以下「豊作」とする)年と、下回った(以下「凶作」とする)年は「辰野町」「豊丘村」「松川町A」「松川町B」は長野県全体と一致した。また、「上田市」「松本市」の2試験地における子実体発生量の平年比は、先に

表-4 試験地におけるマツタケ収穫期間

辰野				豊丘				松川A			
年	初収穫日	最終収穫日	収穫期間	年	初収穫日	最終収穫日	収穫期間	年	初収穫日	最終収穫日	収穫期間
2015	9/19	9/30	12	2015	9/14	10/24	41	2015	9/18	10/17	30
2016	9/25	10/22	28	2016	9/24	11/12	50	2016	9/29	11/4	37
2017	10/4	10/4	1	2017	9/22	10/30	39	2017	9/24	11/4	42
2018	9/22	10/27	36	2018	9/24	10/25	32	2018	9/22	10/17	26
2019	10/2	10/9	8	2019	10/7	11/10	35	2019	10/14	11/9	27
平年	9/20	10/7	18	平年	9/30	11/2	34	平年	10/6	10/27	22

松川B				上田				松本			
年	初収穫日	最終収穫日	収穫期間	年	初収穫日	最終収穫日	収穫期間	年	初収穫日	最終収穫日	収穫期間
2015	9/20	10/19	30	2015	子実体発生なし		0	2015	9/26	10/15	20
2016	9/30	11/9	41	2016	10/14	10/14	1	2016	10/2	10/25	24
2017	9/24	10/19	26	2017	子実体発生なし		0	2017	10/20	10/20	1
2018	9/23	10/24	32	2018	子実体発生なし		0	2018	子実体発生なし		0
2019	10/21	11/9	20	2019	子実体発生なし		0	2019	子実体発生なし		0
平年	9/30	10/26	27	平年	10/4	10/13	10	平年	10/2	10/27	26

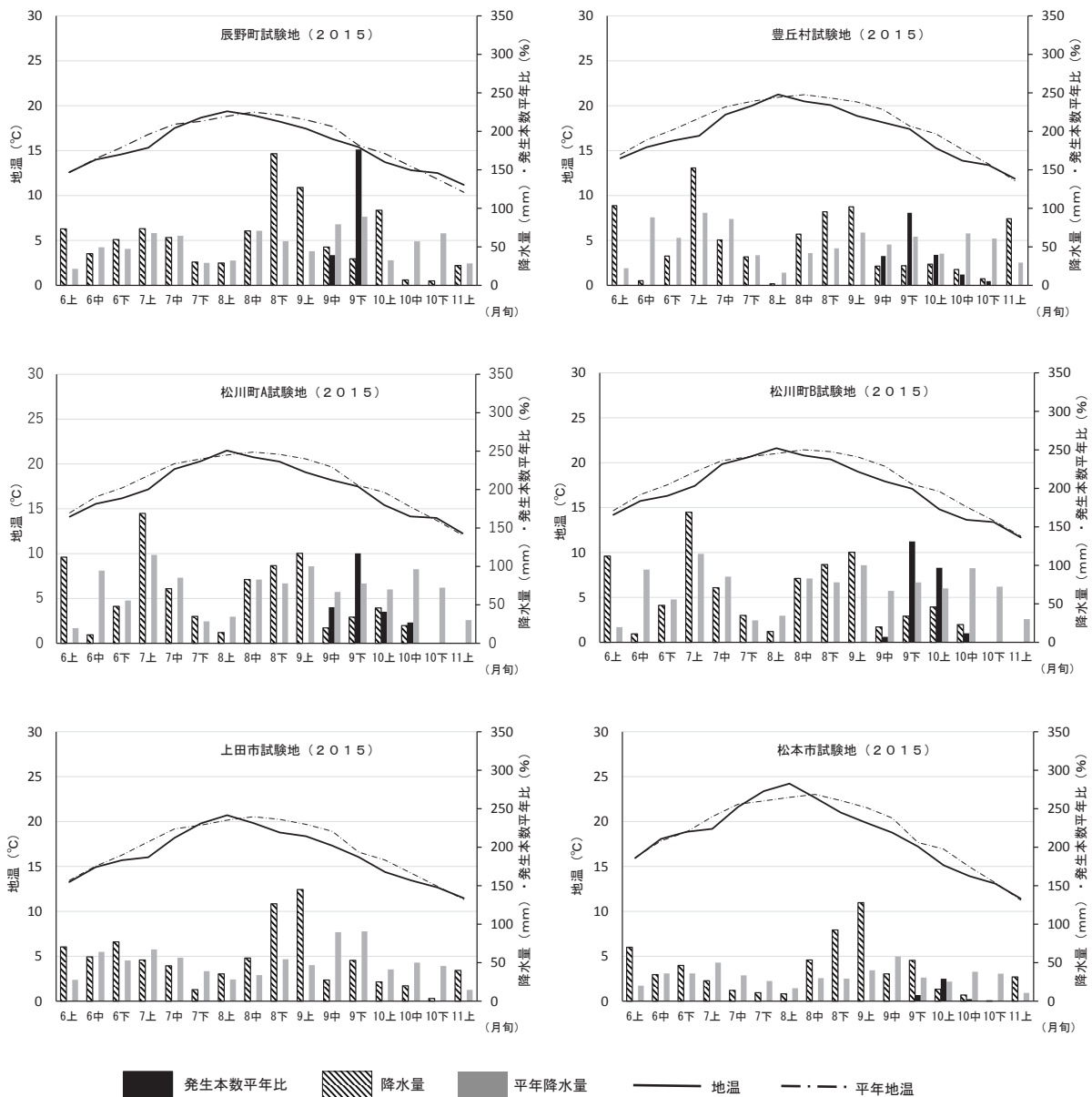


図-1 マツタケ試験地における気象条件と発生状況 (2015年)

述べた4試験地及び長野県全体の生産量の変動傾向とは一致せず、5年間の調査期間において常に平

年の5割を下回る凶作であった。この凶作となった原因は、「上田市」では2006年以降、「松本市」は

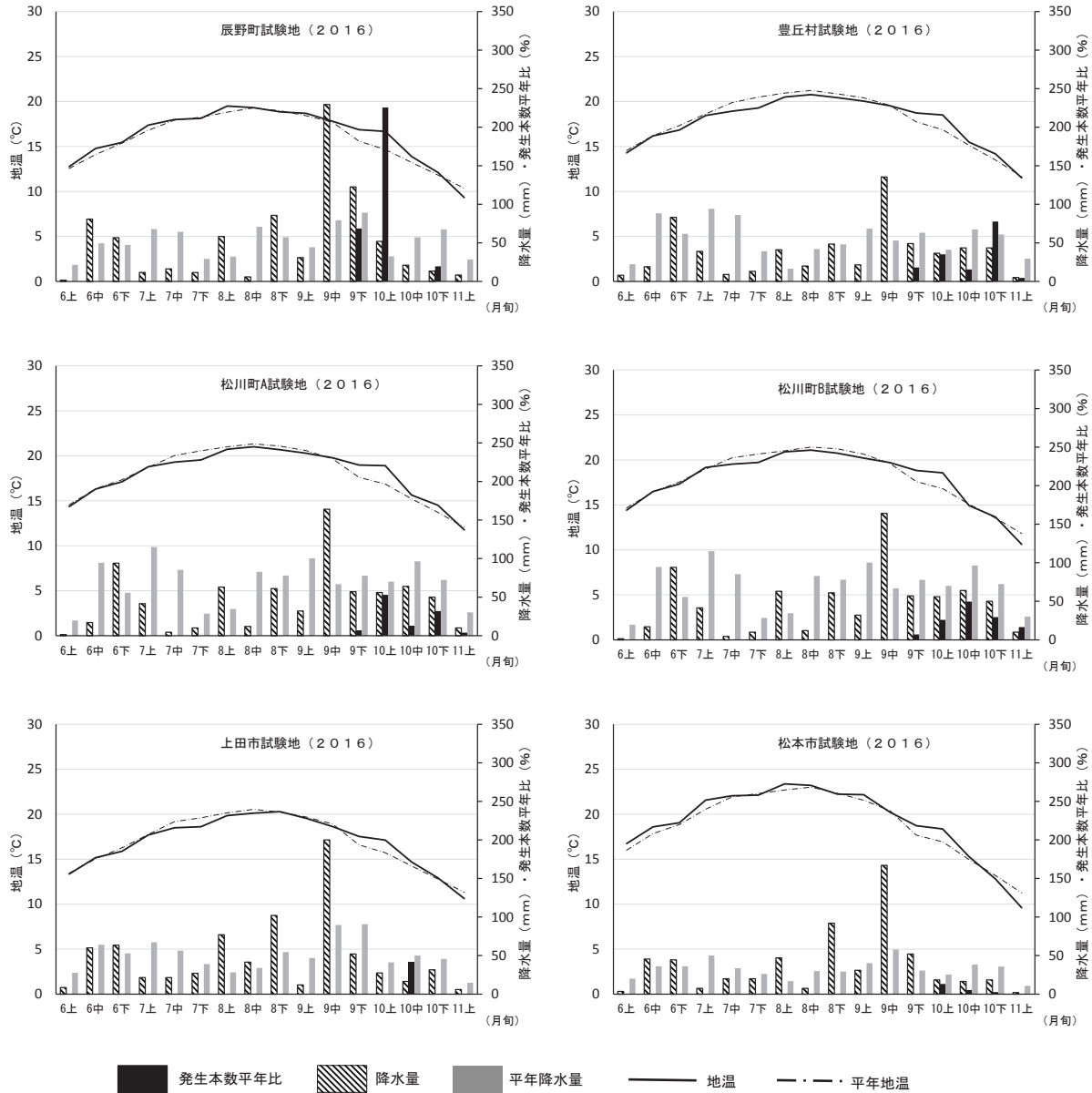


図-2 マツタケ試験地における気象条件と発生状況 (2016年)

2015年以降松くい虫被害によるアカマツの枯損が試験地内でも発生し、その後枯損木が増加していることによると考えた。「上田市」「松本市」を除く4試験地の発生量の変動は、各年の気象環境に起因すると考え、以降、図-1~5に試験地ごとの観測結果を示した。また、表-4には試験地ごとのマツタケ子実体収穫期間を示した。以降各年の調査結果について述べる。

(1) 2015年 (図-1)

2015年の長野県内マツタケ生産量は48.9tと、平年の2倍弱となった(表-3)。松くい虫被害が生じている「上田市」「松本市」を除く試験地では平年の2倍程度以上の子実体発生が確認された。また、子実体の初収穫日(表-4)は、子実体発生が確認さ

れなかった「上田市」を除く、5試験地で平年に比べ1日から18日早かった。この傾向は長野県南部の3試験地(豊丘村、松川町A・B試験地)では10日から18日早まり特に顕著であった。このことは8月中旬以降の地温低下が平年よりも早く始まったことから、原基形成、子実体発生ステージが早まったためと考えた。降水量については、8月中旬から9月上旬にかけて、平年並みまたは平年の3倍程度であった一方、9月中下旬は平年を松本市試験地の9月下旬を除くすべての試験地で下回った。

(2) 2016年 (図-2)

2016年の長野県内のマツタケ生産量は42.5t(表-3)と、2年続けて40tを超えとなった。試験地における子実体発生量も、「上田市」「松本市」を除

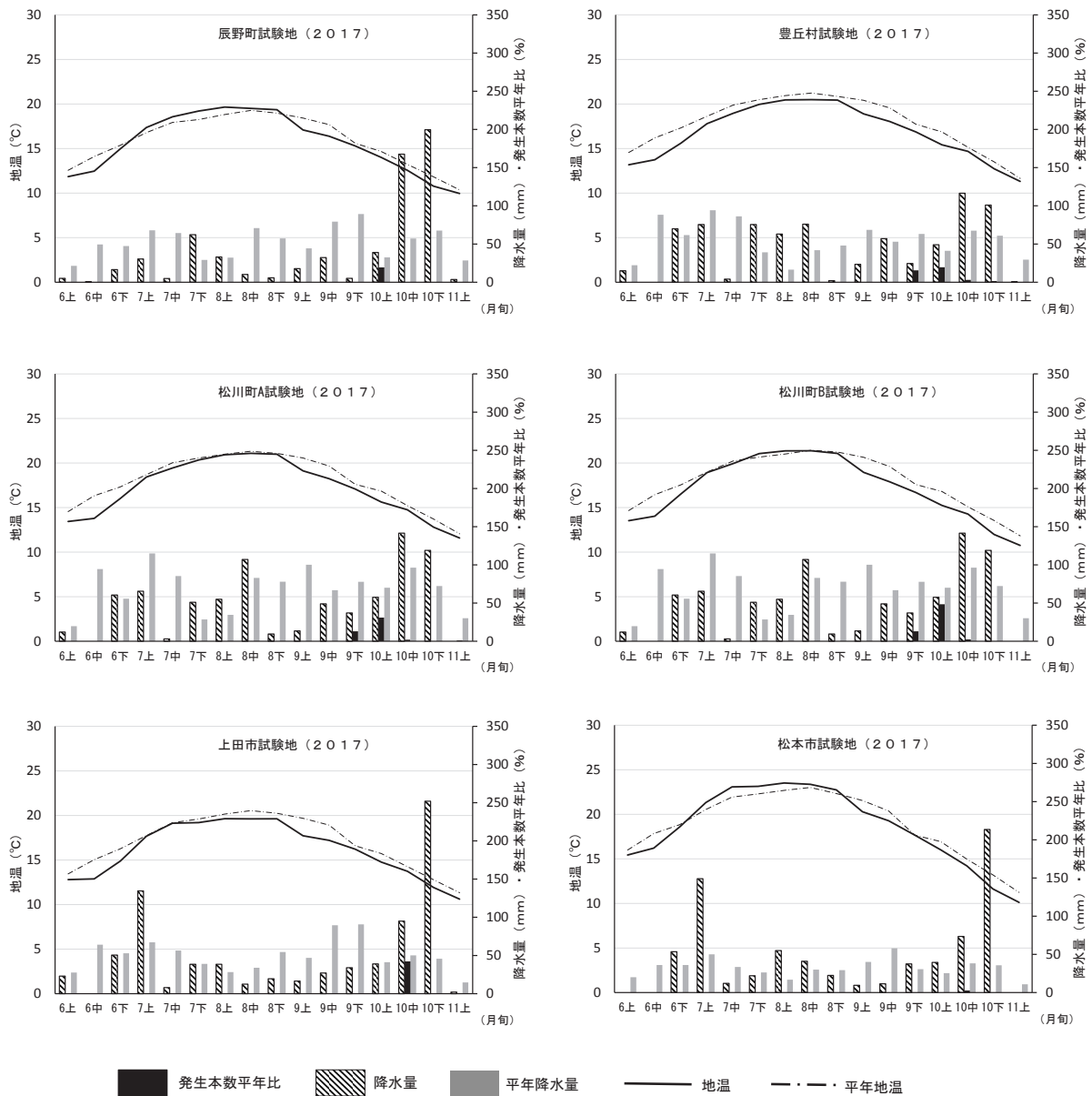


図-3 マツタケ試験地における気象条件と発生状況 (2017年)

くと、対平年109%（松川町A）から314%（辰野町）と、豊作でもその収量差は大きかった。表-4によると、子実体の初収穫日は辰野町、上田市試験地では平年よりも5日から10日遅れ、松川町B、松本市試験地では平年日と同日、松川町A、豊丘村試験地では平年を6、7日早まった。

地温の推移は、「辰野町」及び「松本市」を除き7月下旬を中心に平年を下回る傾向があったものの、この期間を除く6月から9月中旬にかけては全ての試験地でほぼ平年並みに推移した。その後9月下旬から10月上旬にかけては平年を上回る状態となった。降水量は9月中旬が特に多く、各試験地では平年の2～3倍程度の値となった。

(3) 2017年 (図-3)

2017年の長野県内マツタケ生産量は5.1tと、平年の2割未満と少なかった。県内のマツタケ生産量が1ケタ台となるのは、2001年(9.7t)、2005年(5.0t)、2009年(7.1t)、2012年(4.9t)と、3～5年間隔で生じている。各試験地での子実体発生量も、平年に対して0%（上田市）から63.8%（松川町B）と平年を下回った。また子実体初収穫日は、南に位置する試験地（豊丘村、松川町A・B）は平年よりも6日から12日早まり、北に位置する試験地（辰野町、松本市）は14日から18日遅くなった。

地温は、すべての試験地で9月は平年以下となり、特に9月上旬は各試験地で1.3～2.0℃と平年を大きく下回った。また8月下旬から9月にかけては雨

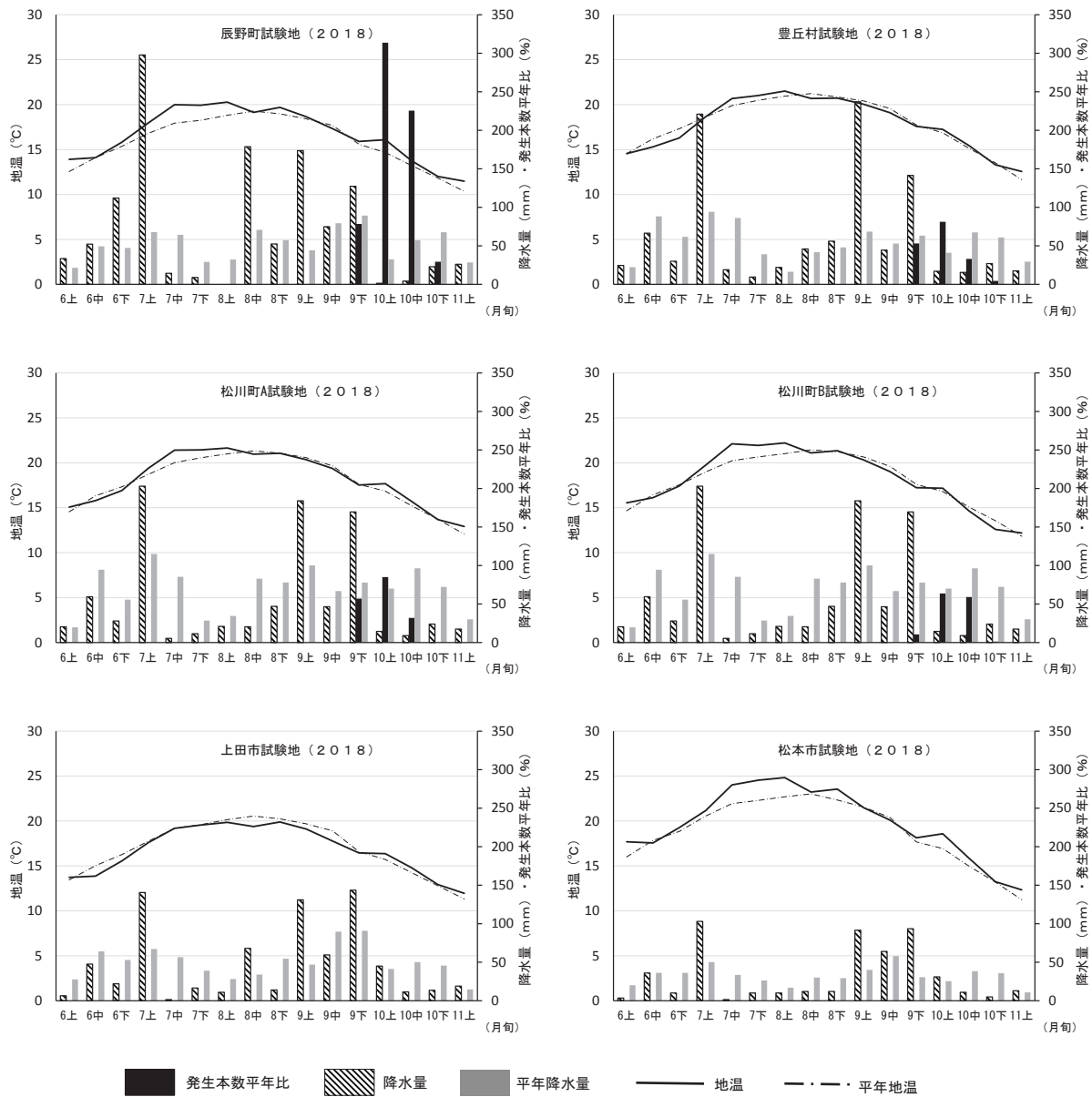


図-4 マツタケ試験地における気象条件と発生状況 (2018年)

の日の少なく、9月の各試験地における総降水量は平年の26% (辰野町) から57% (豊丘村) とすべての試験地で平年を下回った。

(4) 2018年 (図-4)

2018年の長野県内のマツタケ生産量は再び40t台の42.1tとなった。松くい虫被害が進行中の上田市、松本市試験地での発生は確認できなかったが、辰野町、豊丘村、松川町A・B試験地では平年を上回る発生量で、特に辰野町試験地では平年の6倍以上にあたる66本の子実体発生が確認された。子実体初収穫日は、県南部の3試験地 (豊丘村、松川町A・B) では平年を6日以上早まる9月23日前後

であり、辰野町試験地は平年より2日早い9月22日であった。

地温は、発生が確認された辰野町、豊丘村、松川町A・B試験地では8月中旬から9月にかけてほぼ平年並みに推移した。降水量は9月の降水量が平年比163% (松川町A・B) から229% (豊丘村) と平年を大きく上回った。

(5) 2019年 (令和元年)

2019年の長野県内マツタケ生産量は2017年同様再び1ヶ台の6.9tとなった。発生が確認された4試験地 (辰野町、豊丘村、松川町A・B) では平年比8% (豊丘村) から59% (辰野町) と平年を大

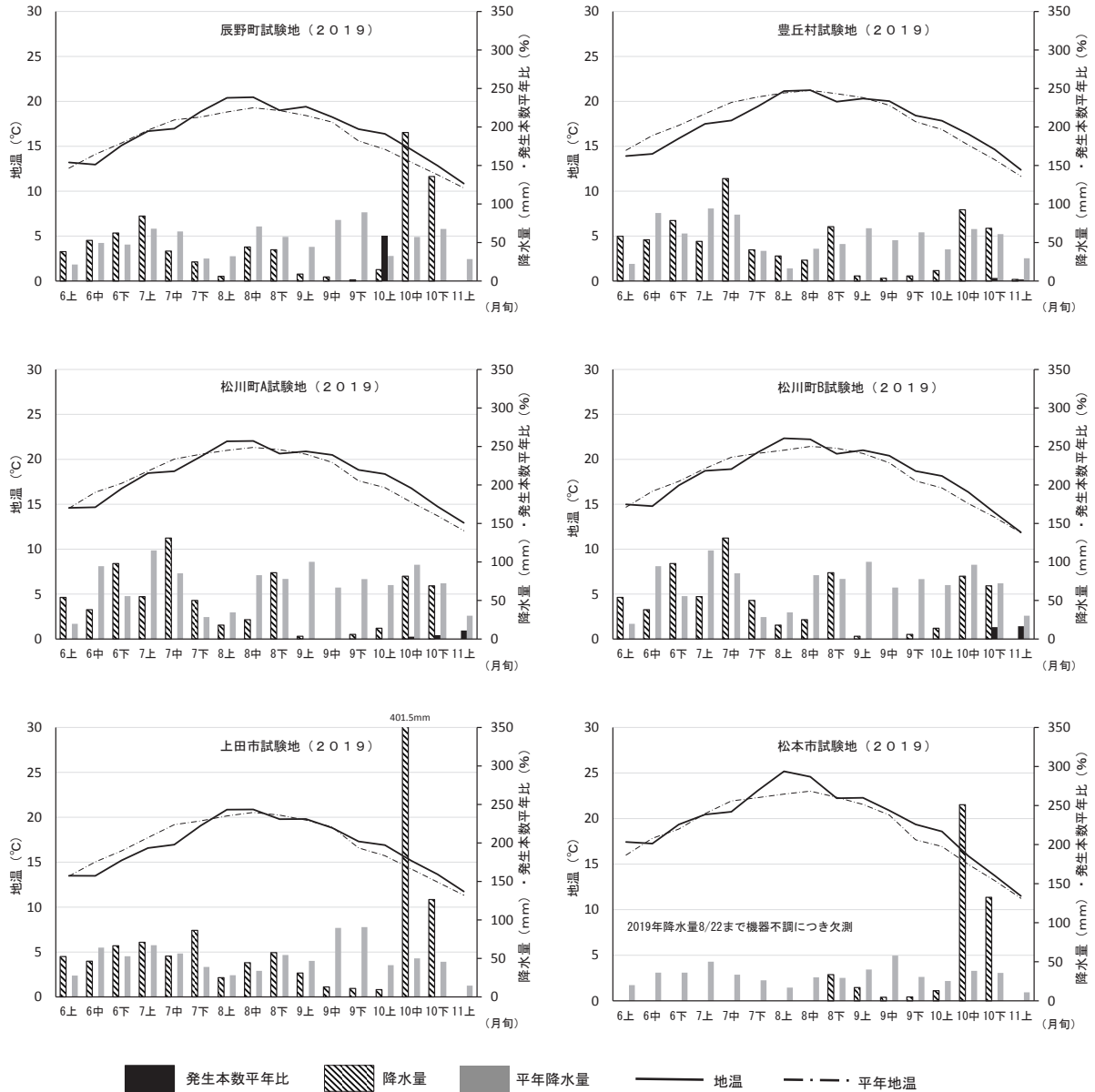


図-5 マツタケ試験地における気象条件と発生状況（2019年）

きく下回る凶作となった。

4試験地の地温は、8月下旬に一旦下降傾向となったものの、9月に入ると一転、上昇傾向となった。その後平年を上回る地温は、10月上旬中旬の平年差+1℃以上をピークに、11月上旬まで続いた。また、9月から10月上旬にかけて雨の日は少なく、9月の総降水量は、平年比4%（松川町A・B）から9%（豊丘村）と非常に少なかった。

3 考察

マツタケ子実体の発生については温度と降水量が関係するとし、過去から多くの研究者がこれらの解明を試みている^{5-7, 13, 14, 17}。しかし、未だ解明されていない点も多く、ここでは、各試験地における子実体発生状況と気象環境の関連について考察す

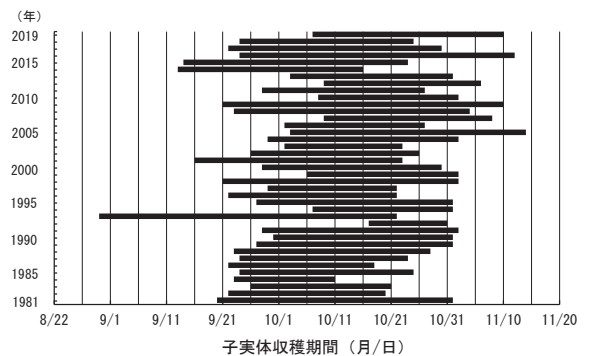


図-6 豊丘村試験地における子実体収穫期間の年変動

る。ただし、松くい虫被害が進行中である上田市、松本市試験地では、気象要因による発生状況の変化

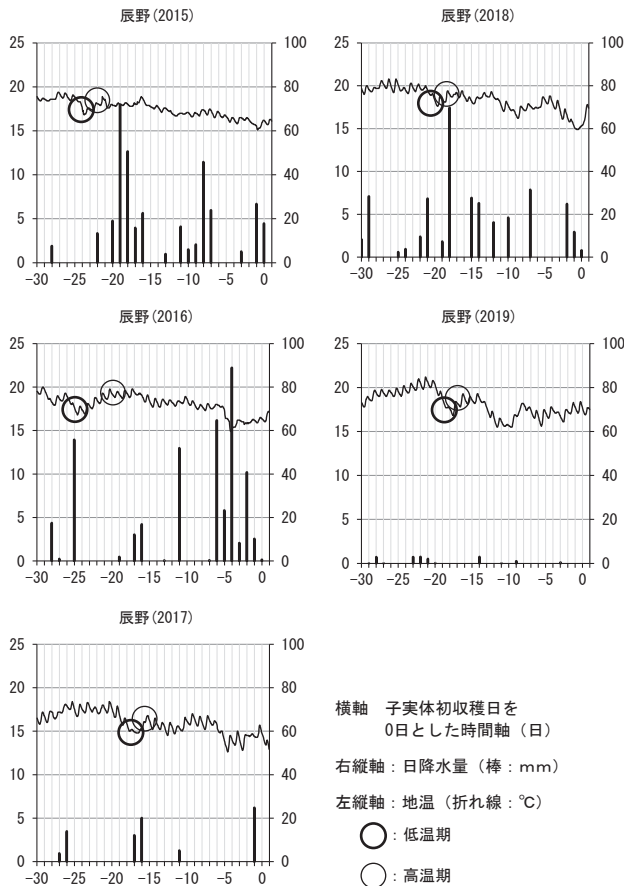


図-7 辰野町試験地における子実体初収穫日以前の気象環境 (2015~2019)

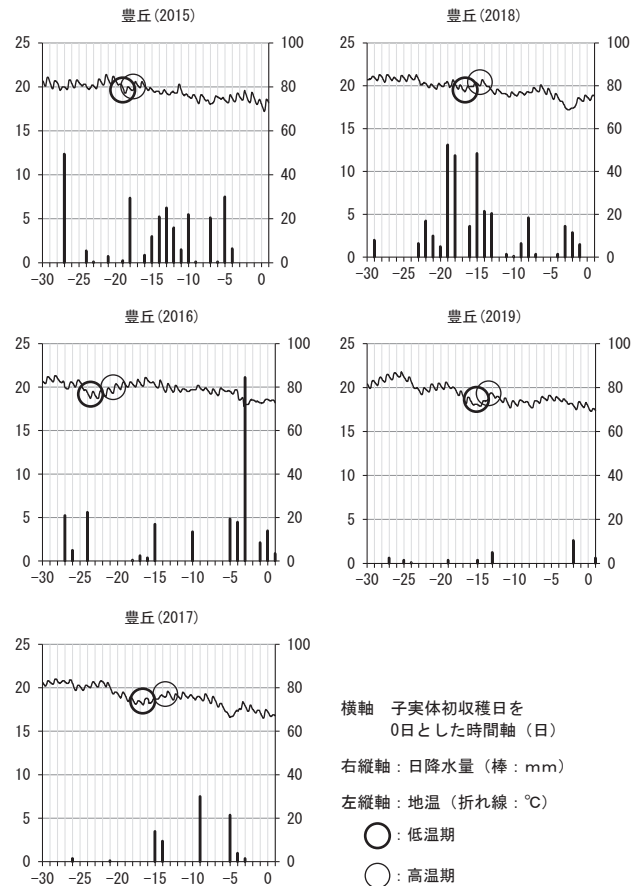


図-8 豊丘村試験地における子実体初収穫日以前の気象環境 (2015~2019)

に加え、松くい虫被害による宿主の枯損等による発生状況への影響があり、発生状況と気象環境との関連のみを明確化して考察することは困難である。そこでこれら2試験地を除く辰野町、豊丘村、松川町A・B試験地の4試験地を対象とした。

3.1 降水と子実体発生に関連

古川らは、1982年から2014年の豊丘村試験地における調査結果から、毎年の子実体発生量と、その年9月下旬の降水量に正の相関($r=0.60$)がある²⁾とした。

ところが図-6に示したように、2014年から2018年にかけては初収穫日が早くなっており、子実体発生量と9月下旬の降水量の相関性が低下する傾向にある。

そこで試験地での子実体初収穫日を基準日(0日)とする新たな考察を試みたので以下に示す。基準日から30日遡った気象観測結果(地温、降水量)を図-7~10に示す。試験地における平年の収穫量を上回った年(2015, 2016, 2018年)を豊作年、平年値を下回った年(2017, 2019年)を凶作年とした場合、豊作年は降水量、降水日数が多く、凶作年は降水量、降水日数が少ない。このことから、図-11に

4試験地の毎年の子実体収穫初日前30日間の総降水量と、その年の収穫本数の平年比を示したところ、両者間に有意な強い相関($p<0.001$ $r=0.8459$)が認められた。したがって、マツタケの豊凶と降水量の関係を考えるポイントとして「子実体初収穫日前30日間の総降水量」を新たに提案したい。

このことは言い換えれば、子実体発生前の30日間に灌水を行うことの有効性を示すものであり、凶作回避策としての灌水技術の改良に資することができる。

従来凶作回避策として灌水技術は検討¹²⁾されたが、マツタケ山といった性質上、水の確保、輸送に課題があり実証、成功事例は少ない。ただし灌水時期を限定することで、水の確保、輸送面の課題は軽減される。そこで今後は蓄積された過去のデータを活用しながら、事前に子実体初収穫日を予測する手法を検討し、少雨時の凶作回避策としての灌水技術の開発改良につなげたい。

3.2 地温変化と子実体発生に関連 図-7~10の地温変化について、衣川⁷⁾が定義した「低温期」および「高温期」を下記に示し、これらを用いて考察する。なお、()内は筆者が加筆した。

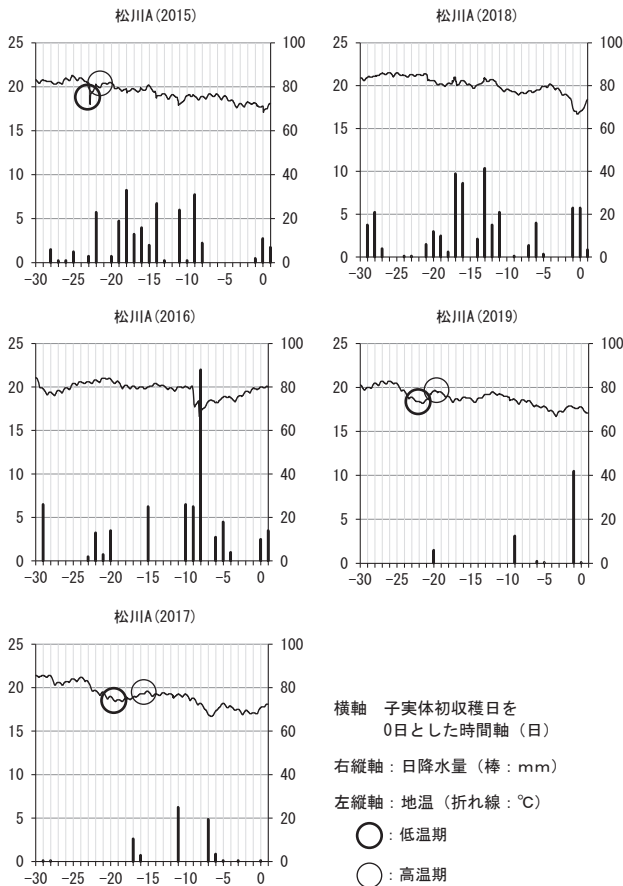


図-9 松川町 A 試験地における子実体初収穫日以前の気象環境 (2015~2019)

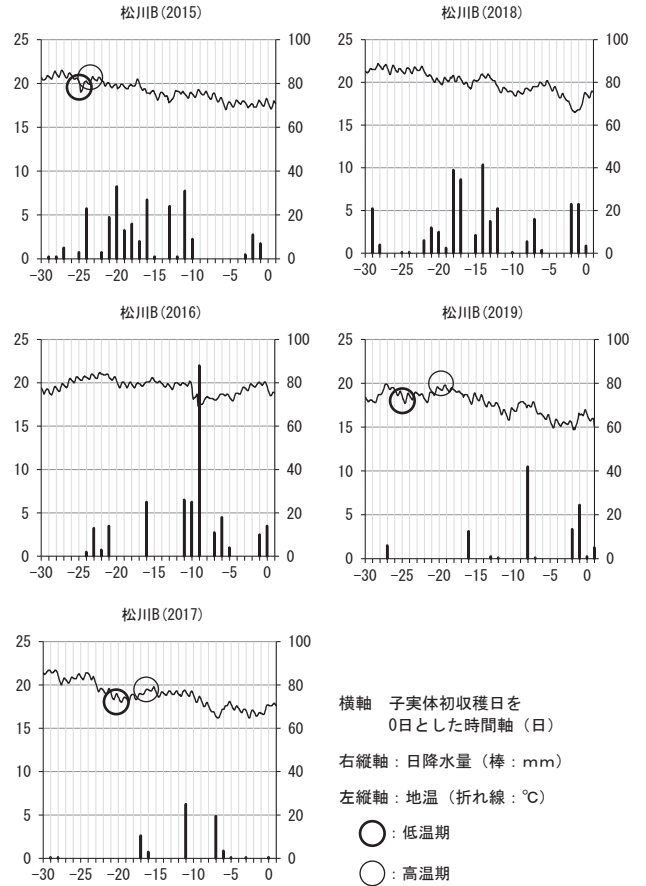


図-10 松川町 B 試験地における子実体初収穫日以前の気象環境 (2015~2019)

「低温期」：地温が比較的低くて（原基形成の）有効刺激温度になっていると考えられる期間

「高温期」：（低温期の後）高い地温が続いた期間

衣川は、京都では地温が 19°C を下回ることによって原基形成が開始されるとした。また、成松は寒冷地の岩手では原基形成温度は 15°C 程度で、この温度は遺伝特性や年によって変動する¹³⁾とした。

さらに原基形成から子実体の膜が開くまでの期間は、15 日から 20 日程度^{1, 5, 7, 13, 16)}とされている。

今回試験地での子実体収穫は、膜が切れる直前としているので、基準日（初収穫日）前 20 日程度が原基形成と推測される。そこで基準日前 20 日前後で、19°C 程度を下回った期間を「低温期」として図-7~10 に○で示した。

つぎに原基形成後の「高温期」について、衣川は暑さのぶり返しで当初の温度刺激の効果が消える⁷⁾とした。また、川上は暑さのぶり返しにより、原基は腐るが具体的な温度、時間は不明⁵⁾としている。そこで、「低温期」に続き、高温となった期間を「高

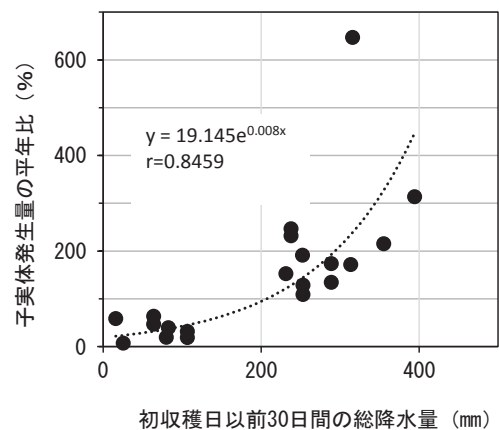


図-11 マツタケ子実体初収穫日以前 30 日間の総降水量と発生量の年平均比

温期」とし、図-7~10 に○で示した。

なお、表-5 には低温期、高温期の日最低・最高地温とその起日、低温期から高温期への移行に要した時間、高温期における日最高地温と低温期における日最低地温の差を示し、以下試験地ごとに考察した。

3.2.1 辰野町試験地

表-5 マツタケ試験地における年別の低温期・高温期の地温等

辰野町試験地	2015		2016		2017		2018		2019	
	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期
日最低地温(°C)	16.8	17.9	16.8	18.6	14.8	15.2	17.6	18.1	16.8	17.8
日最高地温(°C)	17.6	18.9	17.8	19.8	15.3	16.8	18.8	19.4	18.4	19.3
起日(±基準日)	-24	-22	-25	-21	-17	-16	-20	-19	-18	-17
低温期から高温期への移行時間(h)	48		103		28		31		32	
温度差(°C) (高温期日最高地温-低温期日最低地温)	2.1		3		2		1.8		2.5	
豊丘村試験地	2015		2016		2017		2018		2019	
	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期
日最低地温(°C)	19.3	19.6	18.7	19.7	18.0	18.9	19.3	20.0	17.9	18.4
日最高地温(°C)	20.0	20.6	19.5	20.6	18.8	19.6	20.0	20.7	18.5	19.4
起日(±基準日)	-19	-18	-24	-20	-17	-14	-17	-15	-15	-14
低温期から高温期への移行時間(h)	30		104		78		55		30	
温度差(°C) (高温期日最高地温-低温期日最低地温)	1.3		1.9		1.6		1.4		1.5	
松川町A試験地	2015		2016		2017		2018		2019	
	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期
日最低地温(°C)	18.0	20.3			18.4	19.3			18.2	19.4
日最高地温(°C)	20.4	20.5			19	19.6			18.6	19.7
起日(±基準日)	-23	-21			-20	-16			-22	-20
低温期から高温期への移行時間(h)	60				98				42	
温度差(°C) (高温期日最高地温-低温期日最低地温)	2.5				1.2				1.5	
松川町B試験地	2015		2016		2017		2018		2019	
	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期	低温期	高温期
日最低地温(°C)	19.0	19.9			18.0	19.3			17.7	19.2
日最高地温(°C)	20.3	20.8			18.6	19.8			18.9	19.8
起日(±基準日)	-25	-24			-20	-16			-25	-20
低温期から高温期への移行時間(h)	37				105				129	
温度差(°C) (高温期日最高地温-低温期日最低地温)	1.8				1.8				2.1	

5年の調査期間中すべての年で、低温期が見られた。期間中の日最低地温の極値は初収穫（基準日）の前 25 日から 17 日の間（図-7, 表-5）、温度は 14.8°Cから 17.6°Cで生じ、この温度帯が原基形成刺激温度と考えられる。辰野町試験地は高標高（980m）に位置することから、衣川が京都で調査した 19°Cよりも低く、成松が寒冷地の岩手で調査した 15°Cに近い値となった。またすべての年で低温期は一時的で、一旦低温となったのち高温期へ移行している。低温期の最低地温と高温期の最高地温の差は 1.8°Cから 3°Cと幅広い。最も温度差が大きかった 2016 年（3.0°C）は、103 時間かけて低温期から高温期へ 3.0°Cの上昇となっている。温度上昇は大きかったが、高温期が長く続かなかったことから 2016 年は試験地全体での発生量は平年を大きく上回り、温度上昇が原基形成に負の影響を与えたとは考えにくい。衛藤らの広島での調査事例によると、21°Cを超える地温が 3 日以上続いて発生に影響がある¹⁾としている。衛藤らは原基形成刺激温度を 19°Cと推定しているの、単純に 21°Cという数値を辰野町試験地データと比較することは出来ないが、辰野町試験地でも高温期が 3 日も続いていないことから発生への負の影響はなかったと考えられる。また、今回温度差が 3.0°Cとなるまでに要した

時間は 103 時間と長く、このことにより、形成後の原基が温度上昇に対し順応し、負の影響はなかったとも考えた。なお、この点については引き続き検証が必要である。

2019 年は 2.5°C差とやはり温度差が大きく、温度上昇に要した時間は 32 時間と短時間であった。そしてこの年は凶作年であったが、この原因は既に考察したとおり、降水量不足によるものと考えられ、今回の温度上昇が原基へ負の影響を与えたかについては明確にできない。

3.2.2 豊丘村試験地

初収穫日前 20 日前後で原基形成のあった低温期を推定したところ、日最低地温の極値は初収穫日前 15 日から 24 日にあり、原基形成刺激温度は 17.9°C～19.3°Cと推定した。また、辰野町試験地同様、すべての年で低温期後に高温期があったが、温度差は 1.3°C～1.9°Cと辰野町試験地と比較すると小幅の上昇であり、低温期から高温期への移行に要した時間は 30 時間から 104 時間と幅が広がった。平年発生量を超える豊作であった 2015, 2016, 2018 年の温度上昇に要した時間も 30～104 時間であった。これらのことから、低温期後の高温期への移行で、温度上昇が 1.9°C以下で 30 時間程度での温度上昇は特に原基形成に負の影響を与えている様子は見られ

ない。また、衛藤らの報告¹⁾同様、豊丘村試験地でも3日程度高温期が続いていないことが発生不良に至らなかった原因と考えられる。

3.2.3 松川町A・B試験地

初収穫前20日前後で、地温が19℃以下となった低温期があったのは松川町A・B試験地とも2015, 2017, 2019年のみであり、他の年は原基形成刺激があったと推定できる明確な低温期はみられなかった。また、松川町A試験地、松川町B試験地は子実体発生量の年変動及び地温変動の傾向が似ているので、ここでは両試験地を一括して考察する。また、松川町A試験地における2015年初収穫日前23日における地温低下は急激(図-9)であり、測定機器不調の可能性も検討したが、近隣の松川町B試験地でも同日(8月26日)のほぼ同時刻に急激な地温低下がある点、また図には示していないが、同様の地温低下が1年を通じて時々ある点から観測結果は信頼できるものとして扱った。なお、この地温低下直前の8月25日午後から26日早朝にかけては気温が5℃低下し、また両日にかけて降水があることから、これら気象現象が地温低下に起因したと考えた。

2015, 2017, 2019年の両試験地における低温期の日最低地温の極値は、初収穫前20日から25日、温度は17.7℃から19℃であり、この温度帯が原基形成刺激温度と推定した。また、低温期に続く高温期も平年以上の豊作となった2015年が最も高温となり、日最高地温で21℃近くとなったが、豊作ということから特に原基形成にダメージがあったとは考えにくく、これはやはり高温期が3日程度と長期間続かなかったためと考えた。

なお、低温期の推定は、原基形成刺激温度は19℃以下、起日は初収穫前20日前後の条件により行った。その結果2016年、2018年は該当する低温期が特定されなかったが、両年とも子実体発生が確認されていることから何らかの刺激に基づき原基形成が開始しているものと考えられる。今後は蓄積している試験地データを再検証し、この刺激を解明する必要がある。

3.3 総合考察

4試験地(辰野町、豊丘村、松川町A・B)の5年間のデータをみると、初収穫前30日間の総降水量と子実体発生量に強い相関($p < 0.001$ $r = 0.8459$)を得た。また、豊丘村試験地38年分のデータを解析すると、初収穫前40日間の総降水量と子実体発生量に強い相関($r = 0.600$)が報告³⁾されている。

30日と40日の差異は、試験地およびデータ期間の相違に起因するものと考えられるが、初収穫日前30日間程度の降水が子実体形成に強く関与していると考えられる。これらの関係を灌水等の凶作回避技術として活用するためには、初収穫日のある程度推測することが必要になる。今後過去のデータを解析することによって初収穫日の推定法を検討したい。

原基形成後の温度再上昇による発生不良は、その具体的温度、時間など不明点が多かったが、日最低地温から日最高地温の差が2℃程度では子実体発生に問題はなく、また地温が21℃程度の高温であっても、一時的上昇であればやはり子実体発生に問題はないと言えた。秋季一時的な高温となることは度々あり、そのたびマツタケ生産現場には不安が広がった。しかし、今後は現場での地温測定により、不安を取り除くことができる場合もある。

以上これら成果を普及技術として活用することで、マツタケ生産現場が更なる活性化されることを期待する。

謝辞

本研究の実施に際しては、辰野町雨沢耕地、豊丘村役場、上田市役所、松本市役所の協力を得て試験地設定出来たこと、ここに厚く御礼申し上げる。また、試験地の調査にあたっては小澤操氏、宮外勝氏、故塩倉千代治氏、塩倉智文氏、小椋吉範氏、信州上小森林組合、藤森彰治氏(順不同)ほかの皆様方にご尽力いただき感謝申し上げます。更にデータ処理については信州大学山田明義准教授にご指導いただいたこと、心より敬意を表す。また最後になるが、現地調査においては管轄地方事務所(現 地域振興局)林務課職員の多大なる協力にも深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 衛藤慎也・田辺紘毅・坂田勉・川上嘉章・山本忠義・枯木熊人・板橋正人(1999) 甲山試験地における30年間のマツタケ発生に関する調査結果、広島県林技セ研報 31, 45-55
- 2) 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、長野県林総研報 30, 87-100
- 3) H. Furukawa, A. Yamada, T. Yamanaka, K. Katagiri, K. Masuno, Sustainable harvest of Matsutake: Thirty-eight years chronological data in relation to pine

- forest management in Nagano, Japan
- 4) 環境省ホームページ SRREN ipcc 気候変動に関する政府間パネル第3作業部会-気候変動の緩和(策) 再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書最終版 技術要約 5-21 http://www.env.go.jp/earth/ipcc/special_reports/srren/pdf/SRREN_TS_div_cover-Ch03_ja.pdf
 - 5) 川上嘉章(1990) マツタケ発生量に影響を及ぼす要因(I) -降雨量・地温と発生量との関係-, 広島県林試研報 24, 7-20
 - 6) 川上嘉章(1993) マツタケ発生量に影響を及ぼす要因(II) -シロ菌糸伸長量及び雨量と発生量の関係-, 広島県林試研報 27, 135-142
 - 7) 衣川堅二郎(1963) マツタケの発生に関する生態学的研究: 生長曲線とその解析, 大阪府大紀要 14, 27-60
 - 8) 気象庁(2020) 日本におけるさくらの開花・かえでの紅(黄)葉日の変動, 気候変動監視レポート 2019, 41-42
 - 9) 小出博志・一ノ瀬幸久・増野和彦(1992) 人工による菌根性きのこ類のシロ造成法に関する試験, 長野県林総研報 6, 41-59
 - 10) 小出博志・増野和彦(1996) 林地における菌根性きのこ類の栽培試験, 長野県林総研報 10, 27-40
 - 11) 小出博志・増野和彦(2002) 菌根性きのこ類の人工栽培技術の開発, 長野県林総セ研報 16, 43-52
 - 12) まつたけ増産のてびき(改訂IV版) 編集委員会(2016), 101pp, 長野県特用林産振興会, 長野
 - 13) 成松眞樹(2017) 寒冷地におけるマツタケの生態と栽培, 岩手県林技セ研報 25, 1-132
 - 14) NARIMATSU M., SAKAMOTO Y. (2020) Effect of ground temperature on *Tricholoma matsutake* fruiting body initiation in the inland region of Iwate Prefecture, Japan, *Mushroom Science and Biotechnology*, Vol. 28(2) 80-83
 - 15) 農林水産省(2020) 平成30年林業産出額, 農林水産統計, 14-16
 - 16) 小川真(1978) マツタケの生物学, 326pp, 築地書館, 東京
 - 17) 大森久夫(1997) 岩手県におけるマツタケの発生と気象的要因, 岩手林技セ研報 7, 67-72
 - 18) 篠原弥寿夫・小出博志・片倉正行(1987) マツタケ増産のための技術体系化試験, 長野県林指研報 2, 99-114
 - 19) 竹内嘉江・小出博志・増野和彦・松瀬収司(2004) マツタケ等現地適応化調査試験IV, 長野県林総研報 18, 55-69
 - 20) 竹内嘉江・小出博志・増野和彦・松瀬収司(2006) 林地における菌根性きのこ類の増産施業法の解明, 長野県林総研報 20, 41-64
 - 21) 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, 長野県林総研報 25, 65-75
 - 22) 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, 長野県林総研報 25, 83-94