

カラマツ先枯病に関する研究 Ⅲ

カラマツ先枯病菌の胞子の放出・分散 とその発芽について

横 田 俊 一⁽¹⁾

Ⅰ ま え が き

苗畑で罹病した苗木が造林地に運ばれてこれから病原菌の胞子を放出し、本病の被害を拡大させる一因となつていることは、すでに指摘した(横田²¹⁾)。また、筆者は本菌の形態および生活史の研究の結果、子う胞子は1年を通じて罹病枝上に見いだされ、その放出は5～6月ごろで、第一次伝染の役割りをはたし、7月から10月までに病患部にあらわれる柄胞子は第二次伝染をおこなうであろうとのべた(横田²³⁾)。

先枯病菌以外の病原菌の子う胞子の放出については、BIER¹⁾ はポプラの胴枯病菌 *Hypoxylon pruinatum* の子う殻に接してスライドグラスを設けて放出をみた結果、降雨と密接な関係があることを明らかにし、また HIRST²⁾ らはリンゴ腐爛病菌 *Venturia inaequalis* の子う胞子の放出の型は降雨によつていちじるしく左右され、空気中の胞子の密度は年によつてはなはだしい相違があることを明らかにした。

筆者は、本菌の子う胞子および柄胞子の放出分散を左右する条件を明らかにするとともに、これに関連して胞子の生存期間および発芽試験をおこなつたので、ここにその結果を報告する。なお、本報告のうち、子う胞子の放出に関する室内実験の一部と野外観察の一部は、すでに公表済みである²²⁾²⁴⁾。

本稿を草するに当たつて、ご校閲をたまわつた樹病科長 伊藤一雄博士、実験用のカラマツ罹病木を恵与された三菱鉱業K.K.、構内の温湿度の自記々録をご貸与いただいた当支場防災研究室 鈴木孝雄技官、種々有益なご助言をたまわつた当支場 亀井専次研究顧問、小野 馨樹病研究室長および当研究室の方々に厚くお礼申し上げる。

Ⅱ 子う胞子の放出

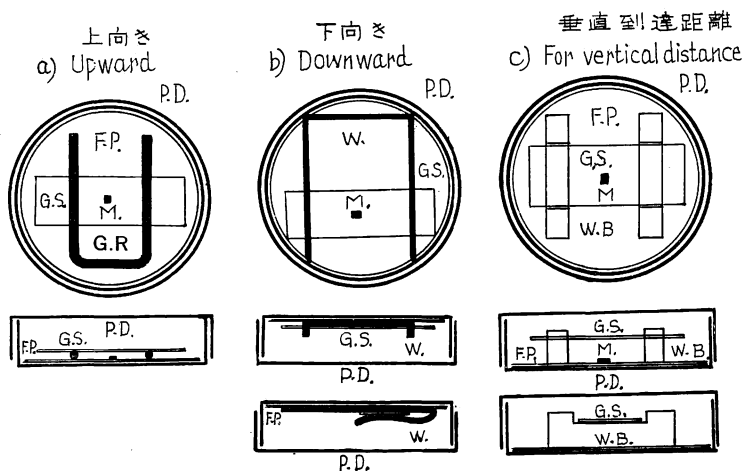
A. 放出に関する室内実験

予備試験の結果、子う殻からの子う胞子の放出は、関係湿度が100% かあるいは過飽和状態* のもとで、子う殻が十分に吸水して膨大した状態になることが必要であることがわかつたので、第1図に示す方法のうちのいずれかの方法によつて実験を進めた。

第1図a) は、試料(子う殻を含むカラマツの樹皮の小片、M)を2枚の濾紙の中央に置き、濾紙の一端から殺菌蒸留水を十分にしみこませて、資料がたえず吸水して乾燥することがないようにしてある。

* ここでいう過飽和状態とは、試料のおかれていた2枚の濾紙に殺菌蒸留水を十分与え、子う殻が十分に吸水している状態をいう(以下同様)。

(1) 北海道支場保護部樹病研究室員



P.D. : Petri dish, F.P. : Filter paper, G.S. : Glass slide, M. : Material bearing perithecia, W : Wire, W.B. : Wood block, G.R. : Glass rod.

第1図 子のう胞子の放出試験のための装置

Fig. 1 Apparatus for testing of ascospore expulsion.

この濾紙の上に、試料をはさんで、径 3 mm のガラスU字棒をおき、さらにスライドガラスを、試料の真上にくるように、ガラス棒の上にのせた。

b) も a) と同様であるが、この場合は、スライドガラスは、試料の真下にくるように径 2 mm の針金で保持されている。したがって、a) の場合は、子のう殻から放出された子のう胞子は、スライドガラスの下面に捕捉されるのに対して、b) では上面に落下して捕捉される点が異なっている。

このいずれの場合も、スライドガラスは、一定期間ごとに別の新しいスライドガラスととりかえ、とりはずされたスライドガラスを鏡検することによつて、その期間中に放出された子のう胞子の数を記録した。

c) は a) とほとんど同じであるが、子のう胞子が上方にどのくらいの距離まで放出されるかを見るために、a) のガラス棒のかわりに木片で、資料とスライドガラスとの間の距離を調節するようにしたもので、操作は他の場合と全く同様である。

1. 温度一定の場合の子のう胞子の放出

定温において子のう胞子の放出は、何度くらいでさかんになるかを明らかにするために、第1図 b) の方法で、5, 10, 15, 20, 25, 30°C の6段階で実験をおこなつた。詳細は次に示すとおりである。

試料：札幌営林署48林班（広島村）昭和32年植栽ニホンカラマツ被害木

採集月日：昭和36年12月26日

実験開始：昭和36年12月27日

実験は、1区3枚のペトリ皿を用い、試料はなるべく子のう殻1個を含むようにした。しかし、子のう殻の大きさは、それぞれかなり異なっているのが普通である²³⁾のと、成熟度合が異なることもありうるので、各区からえられた3枚ずつのスライドガラスの上の子のう胞子数は、平均することなくそのまま記録しておいた。なお、実験終了後、試料全部の切片を作つて、試料に含まれていた子のう殻の数および子の

第1表 飽和状態で温度一定の場合の子のう胞子の放出

Table 1. Ascospore expulsion under the constant temperatures and the saturated moisture condition.

温度 Temp.	番号 No.	開始後日数 Days after starting									合計 Total	子のう殻数 No. of perith.	内容*
		2	4	6	9	12	14	17	20	23			
5	1	—	—	—	—	—	—	6	—	—	6	1	—
	2	—	—	—	—	10	13	20	—	—	43	2	—, ±
	3	—	—	—	—	6	—	—	—	—	6	1	—
10	1	—	—	—	3	—	7	22	—	—	37	3	—
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	10	10	1	+
	3	—	2	—	—	8	19	51	4	—	84	2	—
15	1	8	—	7	8	20	8	96	—	—	147	1	+
	2	—	—	—	3	—	9	118	12	—	142	1	?
	3	—	—	—	—	—	—	—	10	22	32	1	+
20	1	破損のため欠 Broken											
	2	—	—	28	180	10	—	—	—	—	218	2	—
	3	5	7	52	103	—	—	—	—	—	167	1	—
25	1	—	21	110	—	—	—	—	—	—	131	1	—
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
	3	?	29	30	27	—	—	—	—	—	86	1	—
30	1	36	48	28	9	—	—	—	—	—	121	1	—
	2	53	4	—	4	—	—	—	—	—	61	1	?
	3	—	8	21	—	—	—	—	—	—	29	1	—

* + : 内容充実 Ascii and ascospores abundant.

± : わずか胞子あり Ascii and ascospores scanty.

— : 空 Vacant

う殻の内容についても記録した。その結果は第1表に示すとおりである。

第1表から明らかなように、20°C を境にして、20°C 以上では急速に子のう胞子放出がおこり、ほぼ10日で放出が終了する。このことは、子のう殻の内容が空であることから明らかにうかがわれる。これに対して、15°C 以下、とくに 10°C 以下となると、放出はほぼ10日目ごろからはじまり、放出をつづける期間も高温の区にくらべて長い傾向がある。

20°C 以上の区では、放出を終わる期間が短く、かつ、放出された胞子数も多いようであるが、15°C 区のみは、あまり一定した傾向がみられない。すなわち、No. 1 は実験開始2日後からすでに胞子の放出がはじまり、しかも17日後に放出数は最大となり、実験終了後も子のう殻内に、子のう胞子が多量に存在している。

また同区の No. 3 は20日後にようやく放出が始まり、子のう殻の内容は充実していた。この両者の中間が No. 2 であるが、このような3とおりの放出の仕方の原因は、あるいは開始時の子のう殻の成熟度合に差があつたのかもしれないが、よくわからない。しかし、この 15°C の温度区では、子のう殻の内容が終了時にも充実していたことは、他の温度区とくらべて、いちじるしい違いであるといえる。これ

は、子のう殻内で、子のうおよび子のう胞子が、放出にともなつて次々と新たに形成されていくことを示しているのではないと思われる、もしそうであるとすれば、15°C 前後の温度が放出のために好適なのではないかとも考えられる。

2. 温度を変化させた場合の子のう胞子の放出

前項のような、温度一定の条件ということは天然にはありえず、ただ、放出は低温よりも高温の時に盛んになることが知られたのである。天然では、温度の変化は高温と低温の連続的なくり返しである。しかし、実験的に数組の連続的な温度の変化を作ることには困難であるので、便宜的に高温と低温の不連続なくり返しが、子のう胞子の放出に、どのように影響をおよぼすかを実験した。温度の組合せは、昭和34年の道内5箇所の気象の記録¹⁵⁾を参考にして定めた。とくに昭和34年の気象をもとにしたのは、この年の秋に札幌管営林局管内の太平洋岸のカラマツ造林地に本病が大発生したためであり、5箇所とも、道内で本病による激害をうけている地方にあることからえらんだものである。

第2表 道内のカラマツ先枯病発生地数カ所における気候条件(昭和34年)

Table 2. Climatic conditions in some places prevailing the disease in Hokkaido (1959).

a) 平均気温 Mean temperature (°C)

測候所 Meteorol. sta.	5月 May	6月 June	7月 July	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.
函館 Hakodate	12.1	14.2	19.5	21.1	17.9	12.1
留萌 Rumoi	11.3	15.0	19.3	20.2	16.8	10.9
根室 Nemuro	7.6	9.4	15.8	16.9	15.0	11.3
苫小牧 Tomakomai	9.7	12.4	17.7	20.1	17.4	11.7
室蘭 Muroran	10.6	12.4	18.5	20.5	18.1	13.5

b) 最高気温(平均) Max. temp. (Mean)(°C)

函館 Hakodate	16.7	17.3	23.1	24.6	21.7	17.0
留萌 Rumoi	15.5	18.9	22.8	24.5	20.8	15.7
根室 Nemuro	11.2	12.6	19.4	19.9	17.8	14.4
苫小牧 Tomakomai	13.7	14.5	20.8	23.2	20.6	16.6
室蘭 Muroran	14.2	14.8	21.2	23.3	20.8	16.7

c) 最低気温(平均) Min. temp. (Mean)(°C)

函館 Hakodate	8.0	11.9	16.6	18.1	14.7	8.1
留萌 Rumoi	7.9	11.7	16.5	16.4	13.2	6.6
根室 Nemuro	4.8	6.5	13.0	14.6	12.5	8.2
苫小牧 Tomakomai	6.1	10.3	15.5	17.6	14.4	6.7
室蘭 Muroran	7.9	10.5	16.1	18.5	16.1	10.7

d) 最高気温の極 Max. temp. (°C)

函館 Hakodate	23.8	24.0	27.8	27.8	25.5	21.9
留萌 Rumoi	24.8	23.3	29.4	32.9	25.2	21.3
根室 Nemuro	19.4	22.4	25.3	26.3	22.9	20.0
苫小牧 Tomakomai	21.6	20.5	27.6	28.1	26.0	21.9
室蘭 Muroran	21.0	24.2	27.6	28.2	24.6	21.5

第2表 (つづき)

Table 2. (Continued)

e) 最低気温の極 Min. temp. (°C)

測 候 所 Meteorol. sta.	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.
函 館 Hakodate	3.6	8.4	12.1	14.4	8.7	1.4
留 萌 Rumoi	2.3	6.1	12.1	10.6	5.9	-1.9
根 室 Nemuro	1.8	2.1	8.8	11.0	6.2	1.0
苫 小 牧 Tomakomai	-0.1	7.3	12.8	14.0	8.1	-0.8
室 蘭 Muroran	4.2	7.4	12.6	16.6	10.2	5.0

f) 平均湿度 Relative humid. (Mean) (%)

函 館 Hakodate	76	86	86	85	82	76
留 萌 Rumoi	75	82	85	80	80	74
根 室 Nemuro	84	91	93	88	83	76
苫 小 牧 Tomakomai	83	91	91	86	82	75
室 蘭 Muroran	73	90	87	86	80	70

g) 霧 日 数 Foggy day

函 館 Hakodate	4	2	4	0	0	0
留 萌 Rumoi	2	2	2	2	2	3
根 室 Nemuro	10	19	25	8	5	3
苫 小 牧 Tomakomai	9	10	15	4	0	2
室 蘭 Muroran	9	7	16	3	0	0

第2表の最高・最低気温の平均から、5～15°C、10～15°C、15～20°Cを、また、最高・最低気温の極から、0～20°C、5～25°C、10～30°Cを、それぞれ便宜的に、5、6、7月ごろの温度変化と想定した。

温度の範囲は上述のとおりであるが、実験に当たつての変化の仕方は連続的ではなくて、かなり急激に変わっているものと考えられる。高低の温度に保たれる時間は、日中高温、夜間低温が普通であるので、高温区は午前9時から午後5時まで、低温はそれにつづく午後5時から翌朝9時までとし、毎日交互に恒温器に移すようにした。

試料は1の温度一定の場合に用いたもので昭和37年1月30日に実験を開始した。この場合も、できるだけ樹皮に子のう殻1個を含むようにし、試験終了後、試料の切片を作つて、子のう殻の数および子のう殻の内容を鏡検によつて確かめた。なお、実験方法は第1図a)の上向きの方法によつておこない、ペトリ皿3枚を1組とした。スライドガラスは午前9時にとりかえた。実験結果は第3表に示すとおりである。

第3表に明らかなように、放出がさかんな区は15～20°C区と5～25°C区で、放出の速度も放出された子のう胞子の数も、他の4区と比較して、はるかに大きい(Plate 3, B, C)。これに対して、0～20°C区、あるいは5～15°C区のように、低い温度の区では、温度一定でおこなつた場合と同様に、放出の速度がおそく、かつ放出はかなり長い間持続するが、放出される胞子数は少ない。

子のう殻の内容についてみると(Plate 1)、10～15°C区と0～20°C区は、子のうおよび子のう胞子が子のう殻内に充満しており、まだまだ放出が継続されることを示していたが、他の4区では、子のう殻の内容は空で、放出は一応終了していることを示していた。ここで5～15°C区は、10～15°C区とあまり温

第3表 飽和状態で温度を変化させた場合の子のう胞子の放出

Table 3. Ascospore expulsion under the alternation of temperature and the saturated moisture condition.

温 度 (°C) Temp.	番号 No.	開 始 後 日 数 Days after starting																合 計 Total	子のう殻数 No. of perith.	子のう殻内容 (40日後) Content of perithecium	
		2	4	7	9	11	13	15	18	21	23	25	27	29	31	34	36				38
5↔15	1	—	—	—	—	—	—	—	—	5	49	9	—	—	—	—	—	—	63	1	わずか胞子あり Spores scanty
	2	2	—	4	—	5	8	10	16	12	67	—	—	—	—	—	—	—	124	2	空 Vacant
	3	—	—	—	—	—	—	—	3	14	—	—	—	—	—	—	—	—	17	1	空 Vacant
10↔15	1	—	—	—	—	4	—	3	9	31	23	34	71	9	—	—	—	—	184	2	充実 Asci & spores abundant
	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	充実 Asci & spores abundant
	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	8	11	11	—	39	—	—	76	3	充実 Asci & spores abundant
15↔20	1	16	1	25	365	45	457	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	909	2	空 Vacant
	2	—	13	25	145	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	212	1	空 Vacant
	3	—	—	3	80	196	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	286	2	空 Vacant
0↔20	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	充実 Asci & spores abundant
	2	4	—	—	—	4	6	—	34	7	23	11	54	81	13	40	3	—	280	3	充実 Asci & spores abundant
	3	—	7	—	8	—	—	—	11	12	—	98	—	130	—	—	—	—	266	3	わずかに胞子あり Spores scanty
5↔25	1	—	—	115	86	190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	391	3	空 Vacant
	2	18	—	36	50	89	294	64	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	567	4	空 Vacant
	3	225	16	—	2	101	139	32	27	18	—	—	—	—	—	—	—	—	560	3	空 Vacant
10↔30	1	—	—	—	2	13	—	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	2	空と未熟? Vacant & premature?
	2	96	—	12	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	113	3	空 Vacant
	3	—	—	—	11	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41	2	空 Vacant

度の差がないようにみえるが、前者の子のう殻の内容が空であることはなぜであるかわからない。15～20℃区は内容は同じく空であつても、放出された胞子数はきわめて多く、放出している間に、次々と子のう胞子が生産されていたのではないかと思われる。温度一定の場合、15℃区は内容は充実していたし、20℃区は放出がきわめて盛んであつたことから、この両者の組合せは、子のう殻の活動に都合のよい温度条件で、温度変化を仮定した月別にあてはめてみると、6月から7月にかけて、盛んに放出がおこるのではないかと推定される。

3. 連続的な温度変化の場合の子のう胞子の放出

前項では、温度の変化が急激で、連続的な変化とはみなされないので、冬季間の室温のいちじるしい変化を利用して、連続的に温度が変化した場合の子のう胞子の放出の状況をテストした。

第4表 温度が連続的に変じた場合の子のう胞子の放出 (3月14日午後5時10分から開始)

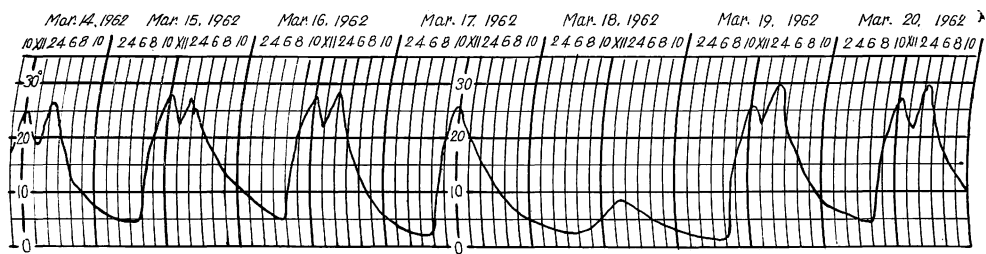
Table 4. Expulsion of ascospores under continuous change of room temperature (started from 14/Ⅲ, 17:10).

15/Ⅲ, '62.							16/Ⅲ. '62.						
Time	9 : 05	11 : 35	13 : 10	14 : 55	16 : 05	17 : 30	Time	9 : 10	11 : 15	16 : 40	18 : 55	20 : 00	20 : 55
Temp.	14°C	27°C	27°C	24.5°C	26°C	23.5°C	Temp.	15°C	25°C	26.5°C	17°C	14°C	11°C
1	24*						1			14	16		
2				7			2			22	7		
3	33*		31	177	8	5	3	7*		37	20		
4				57			4			7			
5					10		5						
6	11*	17	61	69	8	46	6			29	37		

17/Ⅲ, '62.							18/Ⅲ, '62.	
Time	9 : 05	10 : 00	10 : 55	12 : 00	14 : 00	16 : 00	Time	10 : 20
Temp.	12.5°C	20°C	25°C	24.5°C	20°C	16°C	Temp.	4°C
1							1	
2						4	2	
3						5	3	7*
4						14	4	8*
5							5	
6						5	6	6*

19/Ⅲ. '62.									20/Ⅲ, '62.				
Time	9 : 00	9 : 35	10 : 30	11 : 45	13 : 00	17 : 00	19 : 15	20 : 30	Time	9 : 00	11 : 05	14 : 00	16 : 00
Temp.	10°C	15°C	20.5°C	26°C	24°C	27°C	17.5°C	14.5°C	Temp.	14°C	25°C	22°C	29°C
1				4		79	15		1				
2						329	100		2				
3						33	3		3				
4							11		4				
5									5				
6						28	47		6				14

* 胞子は発芽していることを示す。 Spores germinated.



第2図 連続的な温度変化と子のう胞子の実験の場合の温度変化の記録

Fig. 2 The room temperature during the experiment of expulsion of ascospores under continuous change of temperature.

試料は前2項において用いたのと同じもので、この場合はとくに樹皮内に、数個の子のう殻を含ませるようにした。

方法は、第1図a)に示す方法で恒温器に入れずに実験室内に放置し、同時に自記温湿度計を用いて、連続的に室温を記録した。スライドガラスは1日数回とりかえて、子のう胞子の放出を鏡検によって確かめた。結果は、第2図および第4表に示すとおりである。

第2図に示されるように、室温の範囲は $5\sim 30^{\circ}\text{C}$ である。ただ18日のみは、暖房の関係で1日中低温であつた。この間、適宜スライドガラスをとりかえて、その時の時間と温度を記録すると同時に、鏡検により子のう胞子の放出の有無を確かめた。第4表は、各時間ごとの室温と、放出された子のう胞子の数である。このうち、3月15日午前9時5分にとりかえたスライドガラスにかなりの放出がみられたが、これはすべて発芽しており、前日午後7時に開始した直後に放出されたものと考えられる。16日、18日の発芽しているものについても同様であろう。

第2図から、室温の上昇は午前8時にはじまり、12時ごろまで急激に上昇し、午後2時ごろに一度谷ができてふたたび上昇し、漸次低下する。この温度の上昇にともなつて、2枚の濾紙に含まれる水の温度も上昇していくが、サーミスターで測定してみると、室温の上昇よりは $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ は低い。

胞子の放出は、ほとんどの場合に午後になつてから始まつている。このことは、濾紙に含まれる水の温度、すなわち試料に含まれている水の温度が、ある程度高くなしないと放出しにくいことを示すものと考えられ、これまでにおこなつた実験の結果のように、温度が放出の速度を左右し、 20°C 以上の場合に放出が盛んであつたことともよく一致している。

4. 乾湿をくり返した場合の子のう胞子の放出

天然には温度条件の変化のほか、霧、雨などによる湿りと、輻射熱による乾きとのくり返しの条件がある。これまでは、十分に子のう殻に吸水させた条件で実験を進めてきたが、子のう殻の乾湿、期間をいろいろ変えてくり返した場合に、子のう胞子の放出がどうなるかを試みた。

試料は昭和37年4月27日に、王子造林KK苦小牧山林23林班、昭和33年植栽のニホンカラマツの罹病枝で、樹皮に数個の子のう殻を含むようにして用いた。これは、子のう殻の成熟度合が異なると、放出にも差が現れてくることを除くためである。方法は第1図a)の、上向きの方法で行なつた。

乾湿のくり返しの組合せは、次のようにした。すなわち、

- A: 十分湿つた状態で 25°C に保つ。 C: 1日湿らせて3日乾かす。 E: 2日湿らせて3日乾かす。
 B: 1日ごとに乾湿のくり返し。 D: 2日湿らせて1日乾かす。 F: 十分吸水させて室内放置。

第5表 乾湿状態のくり返しの場合の子のう胞子の放出

Table 5. Ascospore expulsion under the condition of repeating of wet and dry.

	開 始 後 日 数 Days after starting															合 計 Total	子のう 殻 数 No. of Perith.	子のう殻内容 Content of perithecium	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				15
Treatment		飽和状態で 25°C 25°C under saturated condition																	
A—1 2 3		14 14	19	13	20 10 22	47 63 4	58	3 121	33 104	32 58	2 7						113 201 412	3 5 8	Vacant Vacant Vacant
Treatment	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○				
B—1 2 3		9 63 7		73 6	32		21		42 141 59		12 81 40		24 226 4		70 193		157 830 116	2 4 3	Asci and ascospores abundant. Asci and ascospores abundant. Asci and ascospores abundant.
Treatment	○	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×				
C—1 2 3		5 29			4 11 24								13 19 6				17 35 89	5 5 9	2 : Vacant, 3 : Asci and ascospores abundant. Asci and ascospores abundant. 2 : Vacant, 6 : Abundant, 1 : Premature.
Treatment	○	○	×	○	○	×	○	○	×	○	○	×	○	○	×				
D—1 2 3		7 71	11 13 5		18 10 52	60 22 39		160 203 248	498 218 164		92 214 697	9 56 252					848 743 1,646	3 8 11	Vacant 7 : Vacant, 1 : Spores scanty 9 : Vacant, 2 : Abundant
Treatment	○	○	×	×	×	○	○	×	×	×	○	○	×	×	×				
E—1 2 3		56 42 15	13 20				16 40 43					231 209 294	415 331 243	6			724 635 654	3 7 5	Asci and ascospores abundant. 1 : Vacant, 6 : abundant 1 : Vacant, 4 : abundant
Treatment		飽和状態で室内放置 Room temperature (10~20°C), saturatated condition																	
F—1 2 3		178 125	99 12	29 5		78 47	7 4	16 276 14	209 915 248	290 316 205	149 216 18	41	27 62	28	6		766 2,114 749	7 6 8	Vacant Vacant 1 : Vacant, 7 : Spores scanty.

(Note) ○: Wet, 25°C, ×: Dry, room temperature.

B～Dは吸水している時は 25°Cとし、乾かしてあるときは室内に放置した。吸水はこれまでにこなつたと同じ方法であるが、一定時間後に、湿つた樹皮小片を、乾いた濾紙2枚をしいたペトリ皿に移し、ペトリ皿のふたを1/3ほどあげ、その他は同じ操作を行なつた。乾湿の移行は、午前9時におこない、同時に、毎日この時刻にスライドグラスをとりかえて、胞子の有無と数を鏡検によつて測定した。湿つた樹皮片は、乾いた濾紙に移されると、間もなく乾いてしまう。これは子のう殻が吸水すると、乾燥したときの倍以上に膨潤することから、簡単に確認される。この結果は第5表に示してある。

第5表から明らかなように、乾湿のくり返しをおこなつたB～Eの区では、放出は子のう殻が湿つて吸水した後におこつており、乾燥した場合には放出していないことが知られる。たとえば、B区では最初の1日は吸水させ、翌日の午前9時に試料を乾いた濾紙に移したが、この時のスライドグラス1、2、3の上にはそれぞれ9、63、7個の子のう胞子が放出されていた。1日乾燥させたのち、午前9時にスライドグラスをとりかえると同時に、試料をふたたび湿つた濾紙上に移して吸水させたが、この時のスライドグラスの上には子のう胞子の放出はみられない。

このように乾燥、吸水をくり返すと、吸水させたのちのスライドグラス上には放出がおこつており、乾燥させたのちのスライドグラス上には放出はおこっていない。その他の乾湿のくり返しの区についても同様である。ただD—3の12日後とE—1の13日後には乾燥させた後にも放出がみられたが、これはスライドグラスをとりかえた直後、まだ子のう殻がぬれている間に放出がおこつたためと考えられる。

A区は、温度一定の試験と同じで、この場合の結果は、やはり開始後10日で放出が終了している。しかし、F区の室内放置の場合は、10～20°Cの連続的な温度変化のためと思われるが、放出はきわめて盛んで、とくに開始後7、8の両日にはスライドグラスの上に大量の子のう胞子を放出した(Plate 3, D)。

乾湿期間の長短と、放出との関係については、D、E、B区が良好で、C区はあまりよくないようである。しかし、子のう殻の大きさはきわめて変異があるので、子のう殻1個当たりの放出された胞子数では比較は困難であると思われるので、この点についてはとくにふれないことにする。ただ、この試験結果からみると、乾燥の期間が長く、吸水の時間が短いと、放出はわるくなる傾向は、かなり顕著にうかがわれた。

このことは、C区は放出数が少ないが、子のう殻の内容は大部分が充実しており、条件さえ十分ならば

第6表 子のう胞子放出の高さ
Table 6. Height of projection of
ascospores.

高 さ Height (mm)	番 号 No.	開始後日数 Days	
		2	10
5	1	34*	121*
	2	34	199
10	1	41	76
	2	7	33
15	1	0	0
	2	0	0

* 胞子数 Number of ascospores trapped.
(温度 Temperature : 25°C)

すぐにも放出がはじまる態勢にあることが、終了後の鏡検によつて知られた。またB区のように、1日ごとに乾湿をくり返すと規則的に放出がおこるが、子のう殻内は充実しており、他の放出良好の区では内容が空なのとくらべて、いちじるしい相違がみられる。これは乾燥時の温度の連続的な変化とともに、1日ごとの乾湿のくり返しが子のう胞子の産出に好都合であることを示しているように思われる(Plate 2)。

5. 子のう胞子が放出される高さ

子のう殻から放出される子のう胞子は、どの位の高さまで達するかを明らかにするために、第1図c)の方法で試料からスライドグラスまでの距離を変えて実

験した。この場合、温度は 25°C でおこなった。これに用いた試料は、1～3 項の場合に用いたものと同じである。結果を第 6 表に示す。

第 6 表にみられるように、上方に 10 mm までは子のう胞子が捕えられたが、15 mm の場合はこれを見とめることができなかった。

子のう殻の向きが、必ずしも垂直上方に向いているわけではないので、この表からは、少なくとも 10 mm までは上方に飛び出しうるといえる。

B. 子のう胞子の放出に関する野外観察

以上は、実験室における規定された条件（とくに温度と湿度）のもとでおこなわれた結果で、自然条件のもとでおこなわれる子のう胞子の放出に対して、これらの結果がどの程度あてはまるかは明らかでない。このため、先枯病にひどくおかれた罹病木（勇弘郡早来町字新栄，三菱鉱業 K K 社所有林，昭和 35 年植栽のニホンカラマツ）2 本を，昭和 37 年 6 月 2 日に支場構内に移植して，必要に応じて常時観察できるようにした。

観察は，室内実験の結果から子のう殻の膨大の有無に主眼をおき，乾いて小さくなっているときにはスライドグラスによる捕捉をおこなわず，降雨によつて膨潤している場合に，罹病枝の一定の場所にスライドグラスを設置し，適当な時間ごとにとりかえて，子のう殻から放出されてスライドグラス上に捕捉された子のう胞子の数を数えた。スライドグラスを設置する場所は，罹病して子のう殻の出ている頂枝と，2 本の側枝の一部の計 3 か所で，2 本のカラマツ罹病木に合計 6 か所設置することとした（Plate 4, A, C, D）。

子のう胞子は，スライドグラスに対して付着力が大きいので，栗林¹⁶⁾によるゼラチンゼリーを用いなくとも容易に付着する。そこで，スライドグラスの下端を，罹病枝上に固定した針金の枠にはめこみ，上端を輪ゴムで罹病枝に固定せて，放出された子のう胞子を捕捉するようにした。この場合，スライドグラスと罹病枝上の子のう殻との間隔は，約 3 mm 以内であつた。したがつて，子のう胞子の放出の到達高から考えると，スライドグラスに面した子のう殻から放出された子のう胞子は，流亡がなければ大部分が捕捉されるはずである。なお，付着した子のう胞子が，雨滴によつて飛散流亡することのないように，スライドグラスは罹病枝の上側に固定して，下面に胞子が付着するようにした。

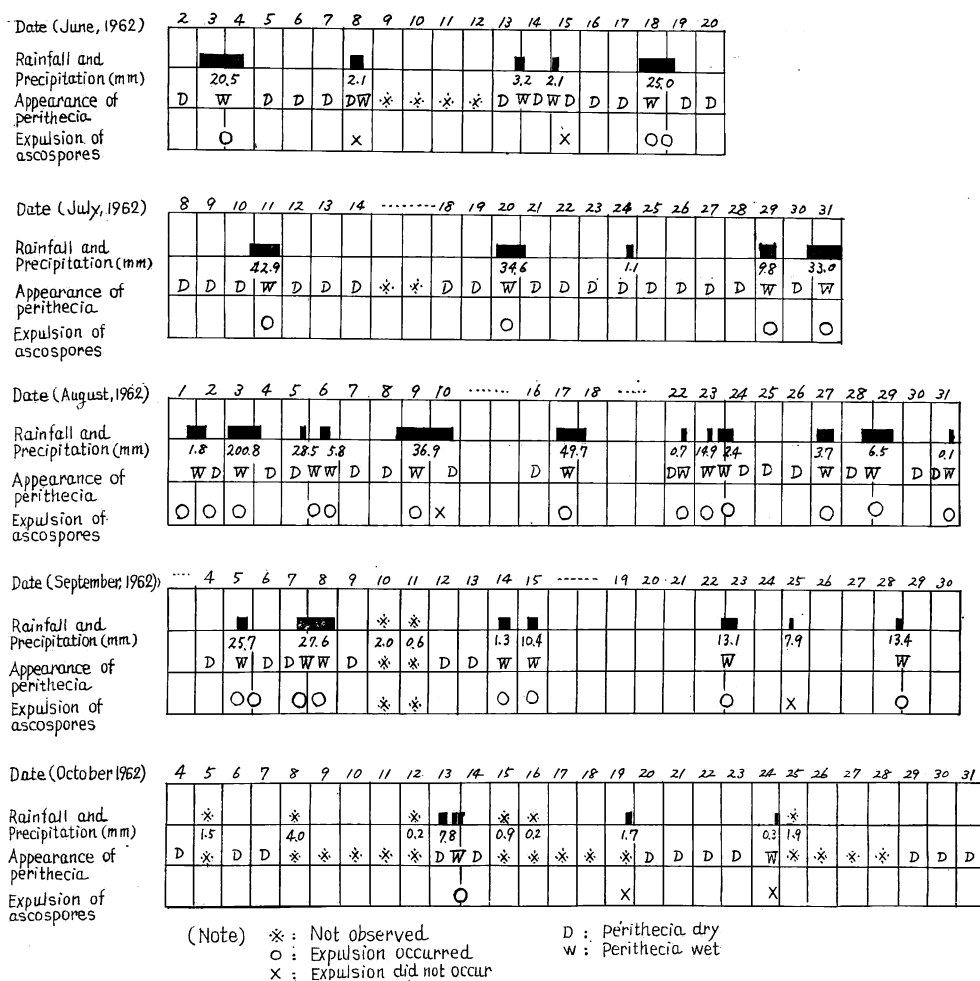
観察期間の気象条件として，気温と湿度は支場構内の観測結果を，また，雨量*は，札幌管区気象台の資料を用いた。

一定時間ごとにとりかえたスライドグラス上に付着した子のう胞子の算定に当たつては，顕微鏡によつて，スライドグラス全面を精査して，胞子の全数を調査すると同時に，発芽の有無も記録した。

第 3 図は降雨期間，雨量，子のう殻の乾湿状態とその期間内の子のう胞子の放出の関係を示し，第 4 図は観察期間における構内に設置した自記温湿度計の記録の一部である。また，第 7 表は観察期間内の降雨時における，6 枚のスライドグラスに捕捉された子のう胞子数と雨量を示し，第 8 表はその詳細である。

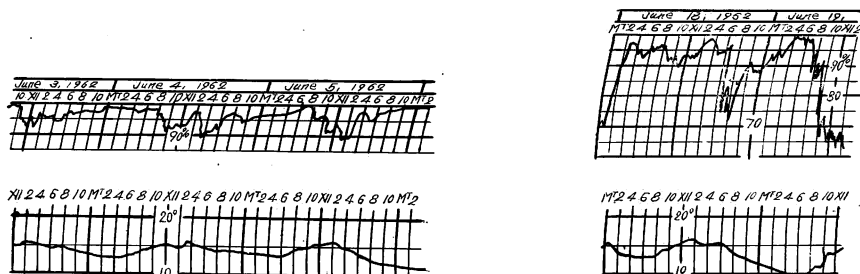
第 3 図から明らかなように，6 月中は雨量が数ミリ程度の場合は，子のう殻が濡れて膨潤した状態でも子のう胞子の放出はおこらず，かなりの雨量があつてはじめて放出がみとめられる。しかし，8 月以降 9

* たとえば，6 月 3 日の雨量とは，6 月 3 日午前 9 時から 6 月 4 日午前 9 時までの 24 時間における雨量を示す。

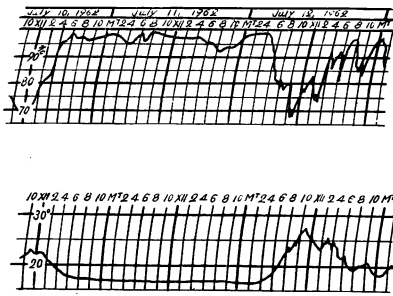


第 3 図 観察期間における気象条件と子のう胞子の放出 (北海道, 札幌)

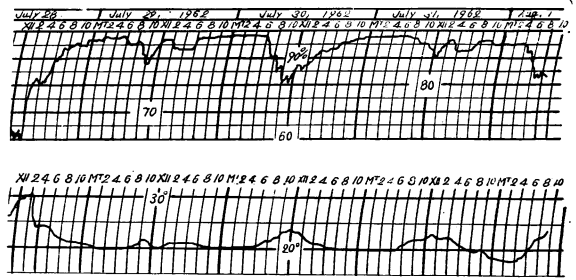
Fig. 3 The climatic condition and the ascospore expulsion from perithecia on infected shoots during the period of observation (Sapporo, Hokkaido).



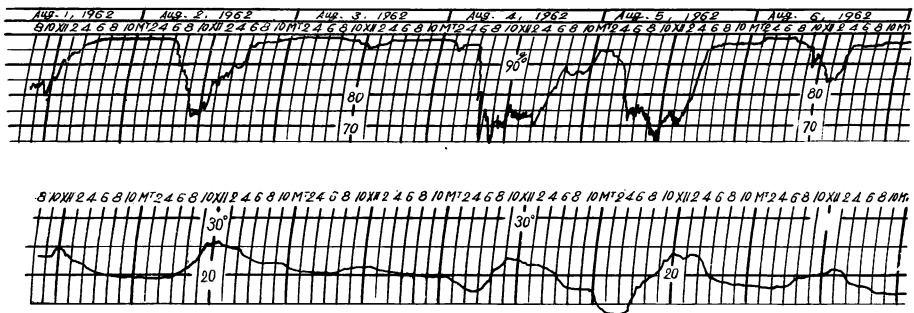
第 4 図 a-n. 野外における子のう胞子放出に関する各観察期間の温, 湿度の記録
Fig. 4 a-n. Records of relative humidity and temperature during each period of observations on expulsion of ascospores in vivo.



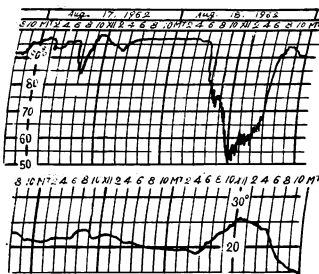
第4図—c



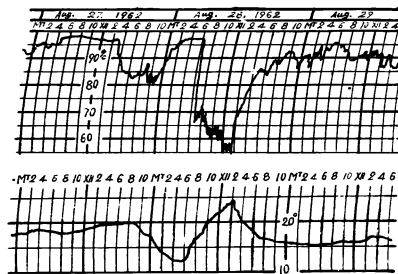
第4図—d



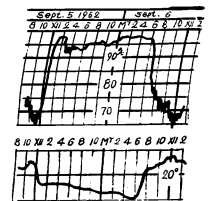
第4図—e



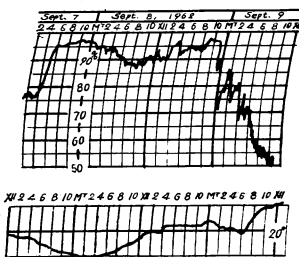
第4図—f



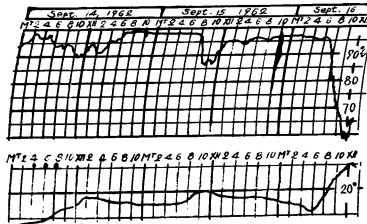
第4図—g



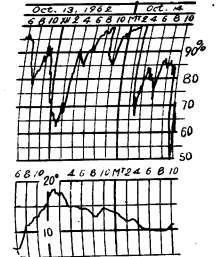
第4図—h



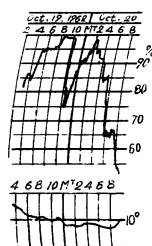
第4図—i



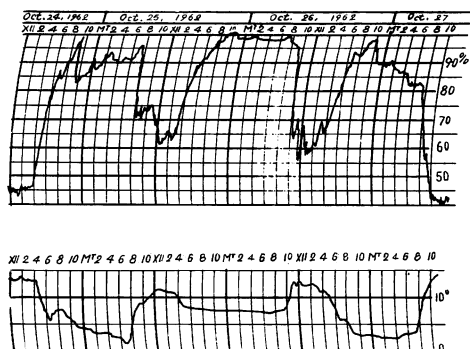
第4図—j



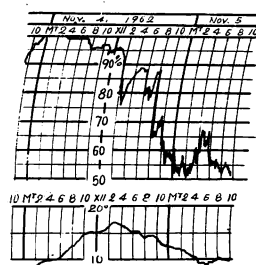
第4図—k



第4図-1



第4図-m



第4図-n

第7表 観察期間において6枚のスライドグラスに捕えられた子のう胞子数と雨量

Table 7. Number of ascospores trapped on 6 glass slides and precipitation during the period of observation.

罹病木 番号 Tree number	位置番号 Position number	観 察 時 Time of observation							
		3/VI 16 : 00 5/VI 7 : 45	18/VI 13 : 30 19/VI 8 : 45	11/VII 10 : 00 12/VII 8 : 30	20/VII 17 : 00 21/VII 8 : 00	29/VII 13 : 00 29/VII 15 : 20	30/VII 20 : 00 1/VIII 8 : 20	1/VIII 18 : 20 2/VIII 8 : 20	3/VIII 1 : 10 4/VIII 9 : 10
1	1	39	1648	3382	1210	257	5596	118	3798
	2	41	726	3526	1569	223	7753	160	2779
	3	70	920	1727	1103	139	2532	185	2239
2	1	0	120	446	60	219	457	0	1530
	2	513	194	119	108	78	340	103	1933
	3	8	32	351	128	23	390	0	3380
合 計 Total		671	3640	9551	4178	939	17068	566	15659
雨 量 (mm) Precipitation		20.5	25.0	42.9	34.6	9.8	33.0	1.8	200.8
		5/VIII 17 : 55 6/VIII 10 : 20	8/VIII 22 : 20 10/VIII 8 : 30	17/VIII 9 : 00 18/VIII 7 : 30	22/VIII 14 : 30 24/VIII 6 : 15	27/VIII 6 : 50 27/VIII 18 : 00	28/VIII 18 : 00 29/VIII 12 : 00	31/VIII 18 : 00 31/VIII 18 : 30	5/IX 12 : 30 6/IX 8 : 30
1	1	103	143	3908	923	496	3	383	799
	2	42	41	4255	2202	4761	53	192	7175
	3	307	64	3264	648	729	0	30	1693
2	1	38	99	7544	1360	15261	25	257	17276
	2	163	47	11208	3393	9158	10	1617	18834
	3	100	40	6321	2833	7477	54	473	9121
合 計 Total		753	434	36500	11359	37882	145	2952	54898
雨 量 (mm) Precipitation		34.3	36.9	49.7	18.0	3.7	6.5	0.1	25.7

第7表 (つづき)
 Table 7. (Continued)

罹病木番 Tree number	位置番号 Position number	観 察 時 Time of observation						
		7/IX 17:20 }	14/IX 8:00 }	15/IX 9:00 }	22/IX 22:10 }	28/IX 19:30 }	13/X 19:05 }	4/XI 19:00 }
		9/IX 7:30	14/IX 17:30	16/IX 7:00	24/IX 7:00	28/IX 22:45	14/X 7:30	5/XI 7:00
1	1	1438	124	1893	865	198	24	39
	2	6659	314	9389	1788	646	129	0
	3	1500	310	750	508	47	10	19
2	1	10262	956	15945	745	2500	442	
	2	3983	168	9908	1849	274	201	
	3	4289	466	2862	611	219	99	
合 計 Total		28131	2338	40747	6366	3884	905	58
雨 量 (mm) Precipitation		27.6	1.3	10.4	13.1	13.4	7.3	3.1

 第8表 それぞれの観察時にスライドグラスに捕えられた子のう胞子数
 Table 8. Number of ascospores trapped in each period of observation.

3/VI.16:00~4/VI.10:00

4/VI.19:30~5/VI.7:45

番号 Tree number	位置番号 Position number	胞子数 ascospores trapped	胞子の発芽 Germination of ascospores	備考 Remarks	番号 Tree number	位置番号 Position number	胞子数 Ascospores trapped	胞子の発芽 Germination of ascospores	備考 Remarks	
1	1	0	+++	Temperature range : 15.2~13.0~14.9°C	1	1	0	—	Temperature range : 14.3~13.3~14.1°C	
	2	14				0	2			0
	3	0				3	13			
2	1	0		Relative humidity : 96.0~99.0~91.5 ~93.0%	2	1	0		Relative humidity : 97.2~94.5~100 ~99.7%	
	2	0				2	0			
	3	0				3	0			

4/VI.10:00~4/VI.15:00

5/VI.7:45~5/VI.13:00

1	1	39	—	Temperature range : 14.9~15.3~14.6 ~15.7°C	1	1	0		Temperature range : 14.1~15.5°C	
	2	27	—			2	0			
	3	52	±			3	0			
2	1	0	—	Relative humidity : 93.0~98.0~95.0%	2	1	0		Relative humidity : 99.7~91.2~92.0%	
	2	513				—	2			0
	3	8				—	3			0

4/VI.15:00~4/VI.19:30

5/VI.13:00~5/VI.15:00

1	1	0	—	Temperature range : 15.7~14.3°C	1	1	0		Temperature range : 15.5~15.5°C
	2	0				2	0		
	3	5				3	0		
2	1	0		Relative humidity : 9.50~89.5~97.2%	2	1	0		Relative humidity : 92.0~97.0%
	2	0				2	0		
	3	0				3	0		

第8表 (つづき)
Table 8. (Continued)

8/VI, 10:30~8/VI, 14:00

11/VII, 17:45~11/VII, 22:30

番 号 Tree number	位 置 番 号 Position number	胞 子 数 Ascospores trapped	胞 子 の 発 芽 Germination of ascospores	備 考 Remarks	番 号 Tree number	位 置 番 号 Position number	胞 子 数 Ascospores trapped	胞 子 の 発 芽 Germination of ascospores	備 考 Remarks
1	1	0		Temperature range : 14.3~15.2~14.8°C	1	1	235	—	Temperature range : 17.0~17.2°C
	2	0				2	152	++	
	3	0				3	137	+	
2	1	0		Relative humidity : 93.0~81.0~87.0 ~85.5%	2	1	0	—	Relative humidity : 96.0~92.6~93.5%
	2	0				2	44		
	3	0				3	0		

18/VI, 8:30~18/VI, 10:20

11/VII, 22:30~12/VII, 8:30

1	1	0		Temperature range : 13.7~14.2°C	1	1	0		Temperature range : 17.2~23.6°C
	2	0				2	5	+++	
	3	0				3	0		
2	1	0		Relative humidity : 95.5~92.0%	2	1	0		Relative humidity : 93.5~99.1~82.0%
	2	0				2	0		
	3	0				3	0		

18/VI, 13:30~18/VI, 16:30

20/VII, 17:00~21/VII, 8:00

1	1	1588	—	Temperature range : 16.0~14.9~15.1°C	1	1	1210	+++	Temperature range : 16.8~20.0°C
	2	719	±			2	1569	+++	
	3	893	±			3	1103	+++	
2	1	120	—	Relative humidity : 92.0~89.6~94.0%	2	1	60	+++	Relative humidity : 96.0~99.0~93.5 ~99.0~90.0~94.0 ~85.0%
	2	194	—			2	108	+++	
	3	32	+++			3	128	+++	

18/VI, 16:30~19/VI, 8:45

29/VII, 13:00~29/VII, 15:20

1	1	60	—	Temperature range : 15.1~10.0~11.2°C	1	1	257	++	Temperature range : 19.8~21.0°C
	2	7	—			2	223	±	
	3	27	—			3	139	±	
2	1	0		Relative humidity : 94.0~73.0~99.2~ 87.5%	2	1	219	±	Relative humidity : 97.0~93.5%
	2	0				2	78	—	
	3	0				3	23	±	

11/VII, 10:00~11/VII, 13:00

30/VII, 20:00~31/VII, 8:45

1	1	2046	±	Temperature range : 17.0~17.0°C	1	1	1313	+++	Temperature range : 19.7~21.0°C
	2	2290	±			2	1041	+++	
	3	916	±			3	86	+++	
2	1	360	±	Relative humidity : 98.0~97.5%	2	1	62	+++	Relative humidity : 97.0~98.0~97.0%
	2	62	±			2	0		
	3	213	±			3	46	+++	

11/VII, 13:00~11/VII, 17:45

31/VII, 8.45~31/VII, 17:00

1	1	1101	+	Temperature range : 17.0~17.0°C	1	1	4181	++	Temperature range : 21.0~22.8~21.5°C
	2	996	+			2	6560	++	
	3	674	+			3	2302	++	
2	1	86	+++	Relative humidity : 97.5~96.0%	2	1	395	++	Relative humidity : 97.0~90.0~97.0 ~93.0%
	2	13	+++			2	332	++	
	3	138	+++			3	291	++	

第8表 (つづき)

Table 8. (Continued)

31/VII.20:00~1/VIII.8:20

5/VIII.17:55~5/VIII.22:20

番号 Tree number	位置 番号 Position number	胞子 数 Ascospores trapped	胞子の 発芽 Germination of ascospores	備 考 Remarks	番号 Tree number	位置 番号 Position number	胞子 数 Ascospores trapped	胞子の 発芽 Germination of ascospores	備 考 Remarks
1	1	102	+++	Temperature range : 20.0~17.6~22.2°C	1	1	92	+++	Temperature range : 21.5~17.8~19.0°C
	2	152	+++			2	42	++	
	3	144	+++			3	307	+++	
2	1	0		Relative humidity : 96.0~92.0~94.0%	2	1	38	+++	Relative humidity : 87.0~98.0~97.0%
	2	8	+++			2	163	+++	
	3	53	+++			3	86	+++	

1/VIII.18:20~1/VIII.23:20

6/VIII.7:50~6/VIII.10:20

1	1	51	+++	Temperature range : 20.2~19.8°C	1	1	11	+	Temperature range : 19.0~20.0°C
	2	62	+++			2	0		
	3	116	+++			3	0		
2	1	0		Relative humidity : 97.4~98.0%	2	1	0		Relative humidity : 97.0~95.0%
	2	103	+++			2	0		
	3	0				3	14	+	

1/VIII.23:20~2/VIII.8:20

8/VIII.22:20~9/VIII.9:10

1	1	67	+++	Temperature range : 19.8~21.2°C	1	1	73	+++	Temperature range : 18.0~17.5~18.0°C
	2	98	+++			2	21	+++	
	3	69	+++			3	22	+++	
2	1	0		Relative humidity : 98.0~87.0%	2	1	64	+++	Relative humidity : 95.0~97.0~93.0%
	2	0				2	29	+++	
	3	0				3	24	+++	

3/VIII.1:10~3/VIII.8:40

9/VIII.9:10~9/VIII.13:00

1	1	265	+++	Temperature range : 21.0~21.0°C	1	1	70	+++	Temperature range : 18.0~20.0°C
	2	505	+++			2	20	+++	
	3	151	+++			3	42	+	
2	1	225	+++	Relative humidity : 98.4~98.0%	2	1	35	+++	Relative humidity : 93.0~83.0~92.0%
	2	8	+++			2	18	+++	
	3	105	+++			3	16	+	

3/VIII.8:40~3/VIII.13:10

17/VIII.9:00~17/VIII.18:00

1	1	2150	++	Temperature range : 21.0~21.0°C	1	1	3463	+++	Temperature range : 23.2~21.0°C
	2	1065	++			2	3443	+++	
	3	1253	++			3	3246	+++	
2	1	451	++	Relative humidity : 98.0~94.5%	2	1	6465	+++	Relative humidity : 91.0~98.4~96.7%
	2	636	++			2	8341	+++	
	3	1937	++			3	5494	+++	

3/VIII.13:10~4/VIII.9:30

17/VIII.18:00~18/VIII.7:30

1	1	1383	+++	Temperature range : 21.0~17.0~21.0°C	1	1	445	+++	Temperature range : 21.0~18.8~21.2°C
	2	1209	+++			2	812	+++	
	3	835	+++			3			
2	1	854	+++	Relative humidity : 94.5~97.5~64.0 ~72.0%	2	1	1079	+++	Relative humidity : 96.7~85.0%
	2	1289	+++			2	2867	+++	
	3	1338	+++			3	827	+++	

第8表 (つづき)

Table 8. (Continued)

22/VIII, 14 : 30~22/VIII, 17 : 15					28/VIII, 18 : 00~29/VIII, 8 : 40				
番 号 Tree number	位 置 番 号 Position number	胞 子 数 Ascospores trapped	胞 子 の 発 芽 Germination of ascospores	備 考 Remarks	番 号 Tree number	位 置 番 号 Position number	胞 子 数 Ascospores trapped	胞 子 の 発 芽 Germination of ascospores	備 考 Remarks
1	1 2 3	0 14 414	— — ±	Temperature range : 26.0~23.6°C	1	1 2 3	0 25 0	—	Temperature range : 18.0~15.3~16.0°C
2	1 2 3	0 160 67	— ± ±	Relative humidity : 78.0~92.0%	2	1 2 3	25 8 54	± — —	Relative humidity : 85.0~96.0~90.0%
23/VIII, 11 : 30~23/VIII, 14 : 30					29/VIII, 8 : 40~29/VIII, 12 : 10				
1	1 2 3	290 348 164	+ ++ +	Temperature range : 19.4~20.4°C	1	1 2 3	3 28 0	— ±	Temperature range : 16.5~16.2°C
2	1 2 3	142 1205 110	++ + +	Relative humidity : 87.0~96.0~95.0%	2	1 2 3	0 2 0	—	Relative humidity : 89.0~92.5~91.0%
23/VIII, 18 : 05~23/VIII, 21 : 30					31/VIII, 18 : 00~31/VIII, 18 : 30				
1	1 2 3	607 1769 14	++ ++ +++	Temperature range : 19.6~19.0°C	1	1 2 3	383 192 30	+ ± ±	Temperature range : 19.5~19.0°C
2	1 2 3	1052 2012 2634	++ ++ +++	Relative humidity : 95.0~99.0~98.5%	2	1 2 3	257 1617 473	± + +	Relative humidity : 91.0~91.5%
23/VIII, 21 : 30~24/VIII, 6 : 15					5/IX, 12 : 45~5/IX, 14 : 15				
1	1 2 3	26 71 56	++ +++ ++	Temperature range : 19.0~19.4°C	1	1 2 3	452 1982 1021	+ ++ ++	Temperature range : 19.0~18.3°C
2	1 2 3	166 16 22	+++ ++ +++	Relative humidity : 98.5~96.7%	2	1 2 3	2251 2677 1164	+ ++ ++	Relative humidity : 75.0~98.0%
27/VIII, 6 : 50~27/VIII, 12 : 10					5/IX, 14 : 15~5/IX, 17 : 30				
1	1 2 3	55 1222 94	— + ±	Temperature range : 18.1~18.7°C	1	1 2 3	226 5156 322	+ ++ +	Temperature range : 18.3~18.2°C
2	1 2 3	1137 3147 4028	+ ++ +++	Relative humidity : 98.0~97.0%	2	1 2 3	13380 14120 3524	++ ++ +++	Relative humidity : 98.0~91.8~93.0%
27/VIII, 12 : 10~27/VIII, 18 : 00					5/IX, 17 : 30~6/IX, 8 : 30				
1	1 2 3	441 3539 635	± + ++	Temperature range : 18.7~20.0°C	1	1 2 3	121 37 350	+++ +++ +++	Temperature range : 18.2~15.2~21.2°C
2	1 2 3	14124 6011 3449	+ + ++	Relative humidity : 97.0~84.2%	2	1 2 3	1645 2037 4433	+++ +++ ++	Relative humidity : 93.0~98.0~75.0%

第8表 (つづき)

Table 8 (Continued)

7/IX,17: 20~7/IX,21: 55					15/IX,9: 00~15/IX,13: 10				
番号 Tree number	位置 番号 Position number	胞子 数 Ascospores trapped	胞子の発芽 Germination of ascospores	備考 Remarks	番号 Tree number	位置 番号 Position number	胞子 数 Ascospores trapped	胞子の発芽 Germination of ascospores	備考 Remarks
1	1	33	—	Temperature range : 18.0~16.0°C	1	1	1448	++	Temperature range : 19.3~19.9~19.0°C
	2	99	±			2	6065	++	
	3	0				3	548	++	
2	1	1129	++	Relative humidity : 94.0~96.5%	2	1	4435	++	Relative humidity : 88.0~81.5~95.1%
	2	194	++			2	5979	+++	
	3	519	++			3	1242	++	
7/IX,21: 55~8/IX, 8: 00					15/IX,13: 10~15/IX,18: 00				
1	1	84	++	Temperature range : 16.0~15.0~16.0°C	1	1	383	±	Temperature range : 19.0~18.7°C
	2	417	++			2	3092	++	
	3	6	—			3	170	±	
2	1	478	+++	Relative humidity : 96.5~97.5~88.0%	2	1	8920	+++	Relative humidity% 95.1~94.0~96.0%
	2	26	±			2	3567	+++	
	3	105	++			3	1519	+++	
8/IX,8: 00~8/IX,12: 40					15/IX,18: 00~16/IX,7: 00				
1	1	0		Temperature range : 16.0~19.5°C	1	1	62	+++	Temperature range : 18.7~15.8~17.2°C
	2	0				2	232	+++	
	3	0				3	32	+++	
2	1	31	++	Relative humidity : 88.0~86.5~93.5 ~91.0%	2	1	2590	+++	Relative humidity : 96.0~96.9~95.0%
	2	3	—			2	362	+++	
	3	0				3	101	+++	
8/IX,12: 40~8/IX,22: 00					22/IX,22: 10~23/IX,7: 30				
1	1	1305	++	Temperature range : 19.5~21.0°C	1	1	0		Temperature range : 16.0~15.0°C
	2	6006	+++			2	8	+++	
	3	1494	+++			3	0		
2	1	8577	+++	Relative humidity : 91.0~97.0~91.0 ~97.0%	2	1	0		Relative humidity : 89.0~97.5~94.5%
	2	3675	+++			2	130	+++	
	3	3612	+++			3	15	+++	
8/IX,22: 00~9/IX,7: 30					23/IX,7: 30~23/IX,10: 00				
1	1	16	—	Temperature range : 21.0~22.0~19.5 ~22.0°C	1	1	31	—	Temperature range : 15.0~16.0°C
	2	137	—			2	298	+	
	3	0				3	0		
2	1	47	—	Relative humidity : 97.0~59.0%	2	1	45	±	Relative humidity : 94.5~97.2%
	2	85	—			2	0		
	3	53	—			3	0		
14/IX,8: 00~14/IX,17: 30					23/IX,18: 45~23/IX,23: 45				
1	1	124	++	Temperature range : 15.6~19.1~18.5°C	1	1	834	+++	Temperature range : 15.1~13.5°C
	2	314	+			2	1459	+++	
	3	310	++			3	508	+++	
2	1	956	++	Relative humidity : 94.0~89.5~96.5%	2	1	670	+++	Relative humidity : 88.0~97.1%
	2	168	++			2	1719	+++	
	3	466	+++			3	596	+++	

第8表 (つづき)

Table 8 (Continued)

23/IX, 23 : 45~24/IX, 7 : 00

13/X, 19 : 05~13/X, 20 : 30

番号 Tree number	位置番号 Position number	胞子数 Ascospores trapped	胞子の発芽 Germination of ascospores	備考 Remarks	番号 Tree number	位置番号 Position number	胞子数 Ascospores trapped	胞子の発芽 Germination of ascospores	備考 Remarks
1	1	0		Temperature range : 13.5~14.4°C	1	1	0		Temperature range : 14.4~12.9°C
	2	23	+++			2	20	—	
	3	0				3	0		
2	1	30	+++	Relative humidity : 97.1~80.0%	2	1	0		Relative humidity : 96.0~98.0%
	2	0				2	9	—	
	3	0				3	0		

25/IX, 7 : 15~25/IX, 8 : 00

13/X, 22 : 10~14/X, 7 : 30

1	1	0		Temperature range : 9.0~9.0°C	1	1	24	++	Temperature range : 14.4~9.8°C
	2	0				2	109	++	
	3	0				3	10	+++	
2	1	0		Relative humidity : 76.0~85.0%	2	1	442	++	Relative humidity : 87.0~100.0~66.0 ~87.0%
	2	0				2	195	++	
	3	0				3	99	±	

28/IX, 19 : 30~28/IX, 22 : 45

19/X, 21 : 45~20/X, 7 : 00

1	1	198	±	Temperature range : 17.0~16.3°C	1	1	0		Temperature range : 10.2~8.6°C
	2	646	++			2	0		
	3	47	+			3	0		
2	1	2500	++	Relative humidity : 87.0~98.0~84.0%	2	1	0		Relative humidity : 99.0~75.0~98.0 ~64.0%
	2	274	++			2	0		
	3	219	+			3	0		

13/X, 9 : 50~13/X, 13 : 00

24/X, 20 : 05~25/X, 7 : 30

1	1	0		Temperature range : 13.0~18.4°C	1	1	0		Temperature range : 7.7~1.4~3.4°C
	2	0				2	0		
	3	0				3	0		
2	1	0		Relative humidity : 87.0~93.0~63.0%	2	1	0		Relative humidity : 90.0~99.0~83.0 ~96.0%
	2	0				2	0		
	3	0				3	0		

13/X, 15 : 30~13/X, 16 : 15

4/XI, 19 : 00~5/XI, 7 : 00

1	1	0		Temperature range : 15.0~15.0°C	1	1	39	—	Temperature range : 15.5~9.0~9.5°C
	2	0				2	0		
	3	0				3	19	—	
2	1	0		Relative humidity : 87.5~91.5~89.0%					Relative humidity : 80.0~88.0~51.0~ 67.0~56.0%
	2	0							
	3	0							

(Note) Germination when surveyed. 測定時の発芽状況

— : Germination did not occur. 発芽せず

± : Germinated less than 25%. 発芽は 25% 以下

+: 25~50% of germination. 25~50%発芽

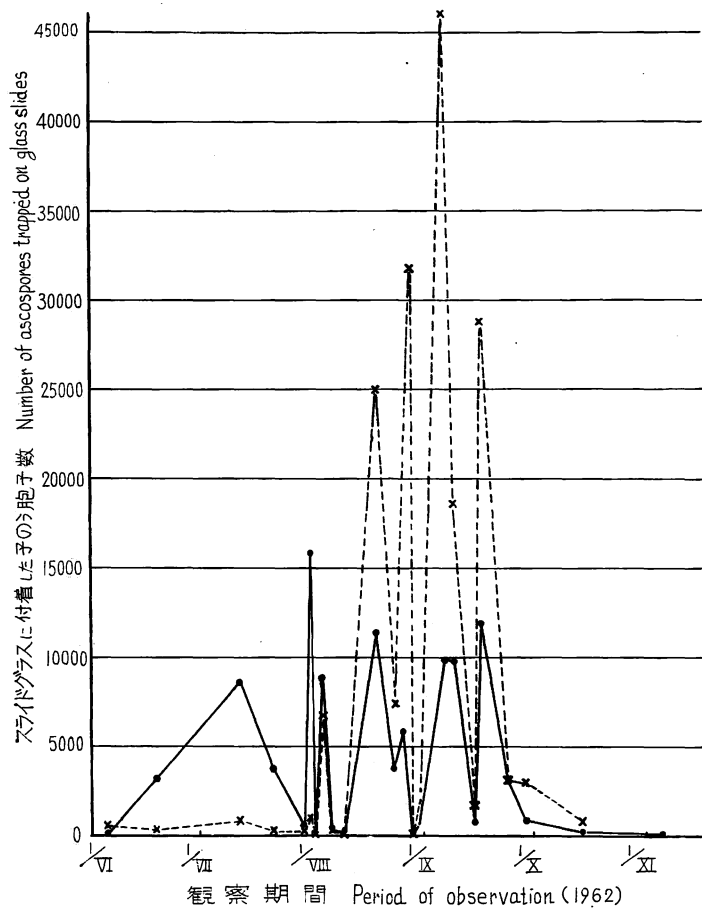
++ : 50~75% of germination. 50~75%発芽

+++ : Germinated more than 75%. 75%以上発芽

月中旬ごろまでは、わずかに数ミリの雨量の場合にも放出がみとめられた。

観察期間が6月初旬からなので、最初に放出が始まるのは何時かは不明であるが、本年の最終放出は11月4日であつた。

第4図の自記温湿度計の記録から明らかなように、6月3日から5日の降雨時の気温はほぼ 13°C 程度で、わずかの間 15°C をこえたに過ぎない (第4図-a)。6月18日もほぼ同様であるが、 15°C をこえた時間は4時間をこえている (第4図-b)。それが7月10日から12日の間は、雨が降りつづき、しかも気温は 17°C 程度で一定していた (第4図-c)。そしてそれ以降8月中旬までは降雨時の気温はほぼ 20°C ないしそれ以上あつた (第4図-d~f)。8月下旬以後9月中旬までは、降雨時の気温は前よりも多少低くなり $15^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ の間であり (第4図-g~j)、10月に入ると降雨時の気温は 15°C 以下となる (第4図-k~n)。



第5図 観察期間内にスライドガラス上に付着した子のう胞子数
Fig. 5 Total number of ascospores trapped on glass slides during the period of observation.

●——●: 罹病木 No. 1 の3枚のスライドガラス上に付着した子のう胞子数

Total number of ascospores trapped on 3 glass slides in No. 1 Tree.

×——×: 同上 No. 2. Do. in No. 2 Tree.

第7表は6月3日から11月4日までに捕捉された子のう胞子数を一定期間ごとにまとめたもので、罹病木のおのおのに3枚ずつ設置したスライドグラス上で算定された胞子の実数である。同時にその期間内の雨量をも併記してある。これによると、子のう胞子の放出は6、7月よりは、むしろ8、9月にきわめてさかんにおこなわれることが知られる。すなわち、6月は4,200、7月は32,000、8月は106,000、9月は136,000個の子のう胞子がスライドグラス上に捕えられた。これを降雨1回当たりに換算すると、それぞれ2,100、8,000、12,000、23,000となり、9月が最も高い値をとつている。10月以降はたとえ放出があつても、胞子数は上記4カ月にくらべてはるかに低い。また、8月と9月では、ごくわずかの雨量の場合にも放出がおこり、とくに8月31日には、わずか30分間、雨量0.1ミリの夕立ちでも3,000個の胞子が捕えられた(Plate 3, E)。

子のう胞子の放出の様式を考えてみると、罹病木 No. 1 と No. 2 とでは多少異なつていようと思われる。第5図は第7表の結果を罹病木別に表わしてあるが、罹病木 No. 1 には、放出の山はあまり明りようでなく、7月中旬から9月中旬にわたつて、かなりの数の子のう胞子を放出している。これに対して、罹病木 No. 2 は6月上旬から8月上旬までは、放出された子のう胞子数はあまり多くないが、8月中旬から9月中旬にわたつて急激に増加し、これ以後は激減して明りように放出の山があることを示している。しかし、この罹病木両者に共通していえることは、子のう胞子の放出は、もちろんその年の気象条件、とくに雨量に左右されるが、一般的には8月、9月の2カ月間にとくに大量におこなわれるとみなすことができよう。

第8表は第7表の内訳であるが、とくに放出された子のう胞子の発芽についても記録してある。放出された子のう胞子の発芽はきわめて良好で、観察期間を通じて放出のみとめられたほとんどすべての場合にスライドグラス上に高率で発芽がおこつてることがたしかめられた。ときには、ほとんど発芽していないか、またはわずかししか発芽していない場合もあつたが、後述するように、子のう胞子の発芽可能の温度範囲はきわめて広く、発芽開始に要する時間も1時間前後であることを考えると、発芽能力がないのではなくて、放出がおこつてから鏡検するまでの時間が短かつたとみるのが妥当のように思われる。

いずれにしても、放出された子のう胞子は、急激に乾燥しないかぎり、非常な高率で発芽しうるのであろう。

なお、大量に放出がおこつたときには明りようではないが、かなりの放出があつたときは、スライドグラス上に子のう胞子が8の倍数で付着しているのが観察された(Plate 4, E)。また子のう胞子は非常に粘着性が強いことは水をつけてカバーグラスをかけ、これを移動しても胞子の位置は変わらず、これを鏡検すると粘質とおぼしき紐状物質で粘着しているように見える(Plate 4, B)。

10月13日から14日にかけて、少数の子のう胞子の放出がみとめられたが、それ以後は、降雨の際には気温が低く、放出もみとめられなかつた。供試した罹病木の枝の表面は粗糙となり、盛んに放出をおこなつていた時期にみられたような、豊富な子座様組織は、よく注意しなければ見られないような状態となつた(Plate 4, H)。しかし、このような枯死枝に、果たして子のう殻がなくなつて放出が止んだのか、あるいはまだ子のう殻はあつても、放出に必要な気象的条件が満足されないために放出がないのかを明らかにすることが必要と考えられた。

10月31日に、罹病木 No. 2 のスライドグラスを設定した枝をとり、これから切片を作つて鏡検した結果、罹病枝上には、まだ豊富に子のう殻が存在することが知られた(Plate 4, E)。罹病木 No. 2 のス

第9表 自然状態では放出しなくなつた材料を用いた放出実験

Table 9. Expulsion of ascospores in vitro by using materials after the cease of expulsion in vivo.

番 号 No.	3 時 間 後 3 hrs later		18 時 間 後 18 hrs later	
	放 出 胞 子 数 No. of spores discharged	発 芽 状 況 Germination of spores	放 出 胞 子 数 No. of spores discharged	発 芽 状 況 Germination of spores
1	0		5	+++
2	84	++	65	+++
3	28	+++	69	+++
4	0		76	+++
5	0		0	
6	31	—	86	+++

The water was supplied adequately to filter papers and kept at 23~25°C.

The materials were collected on October, 31, and the test started from 14:30 the same day.

ライドグラスを設置した枝で子のう殻がついてるとみられる樹皮の小片を作り、既述のごとき、放出に関する室内実験と同じ方法で、放出の有無を試験した。その結果は第9表および Plate 4, G に示してある。

第9表に示すように、十分に水を供給して、温度を 23~25°C に保つときは、試験開始後3時間で子のう胞子の放出がおこり、しかも、かなり発芽していたことから、少なくとも1時間以上前には、放出がおこつていたことが想定された。開始18時間後では、放出された子のう胞子は、いずれも高率で発芽した。以上の事実から、10月下旬に至つて、放出がみられなくなつたのは、放出に必要な外的条件、とくに降雨時に気温が低くなつたことが最大の原因で、子のう殻は十分完熟して条件さえ満足されれば、直ちに放出しうる状態にあつた。このことは、11月3日夜半から4日にわたつて降つた雨の際、気圧配置の関係で珍しく気温が上昇したため、残された罹病木 No. 1 に設置された3枚のライドグラスのうち2枚のライドグラス上に子のう胞子が捕捉されたことから知られ、雨量さえ十分であれば、気温が放出を左右する因子であることを、明らかに示している。

III 柄胞子の放散

子のう胞子によつて、先枯病に罹病したカラマツ新梢葉上には、まもなく柄子殻が形成される。ここに形成される柄胞子が、さらに先枯病の伝染源として、7月中旬以降おそらくは10月下旬ごろまで活動をつづけるのである。この柄胞子が放散するために必要な環境条件を明らかにすることもまたきわめて重要である。

降雨の際、または雨が止んだあとの湿つたとき罹病新梢をよく観察すると、しばしば柄子殻から柄胞子の塊が粘出されているのがみられる。本菌の柄子殻は、子のう殻の場合と異なり、嘴がほとんどないことと、完熟した子のうがもつ高い浸透圧によつて殻外に胞子が放出されることもないので、他の菌の柄子殻の場合と同じように、胞子の塊を殻外に排出し、子のう胞子の場合とは異なつた分散様式をとることは容易に理解される。そしてこの場合、排出を左右する条件としては、やはり湿度と温度とが考えられるのでこれらについて実験をおこなつた。

A. 柄孢子の排出と湿度との関係

柄孢子が柄子殻から排出されるために必要な湿度の条件を明らかにするために、次のような実験をおこなった。

子のう孢子の放出と湿度の関係の場合と同じ方法で、100, 98, 94, 92, 87% の関係湿度を与える塩類の過飽和水溶液をデシケーターに作り、多数の柄子殻を有する罹病葉の一端をセメダインでスライドガラスに接着してデシケーターに入れ、デシケーターは 25°C の恒温器に納めて一定時間ごとに柄孢子の排出を調査した。試料は昭和35年植栽のニホンカラマツの先枯病罹病葉で、昭和37年7月30日に採集し、実験は同月31日に開始した。この結果は第10表に示してある。

第10表 柄孢子の排出におよぼす関係湿度の影響

Table 10. Effect of relative humidity upon exudation of pycnospires.

関係湿度 Relative humidity (%)	100	98	94	92	87
時間 Time passed (hr)					
20	++	++	—	—	—
40	+++	++	—	—	—
96		++	—	—	—

+++ : Pycnospires exuded more abundantly.

++ : Pycnospires exuded abundantly.

+: Pycnospires exuded less abundantly.

— : Pycnospires did not exude.

at 25°C.

第10表から明らかなように、湿度 100% および 98% 区では、実験開始後 20 時間でかなりおおくの柄子殻から柄孢子塊が排出された。さらに、40 時間後には湿度 100% 区では、ほとんどすべての柄子殻から柄孢子塊が排出された (Plate 3, F) が、98% 区では 20 時間後とあまり変わりがなかった。96 時間後でも 98% 区は前回とほとんど変わりがなく、孢子塊を作らない柄子殻もかなりみられた。96 時間後でも、94, 92, 87% の各区においては、柄孢子塊は全く形成されなかった (Plate 3, G)。しかし、これらの柄子殻にその後、湿度 100%、温度 25°C の条件を与えると、20 時間後には柄孢子塊を豊富に形成したことから、排出に必要な湿度は、少なくとも 98% 以上、もしくは 94% ないし 98% の間を必要とすることが知られる。

したがって、柄子殻が形成される 7 月中旬から 10 月下旬ごろに、降雨、または霧がかかるということが、柄孢子が排出されるための必須条件であると考えられる。

B. 柄孢子の排出と温度との関係

前項の結果から、柄孢子の排出にとつて湿度が少なくとも 98% 以上ないと排出がおこらないことが明らかとなった。子のう孢子の放出の場合、温度は放出の速度を左右する因子となることはすでにのべたが柄孢子の排出の場合は、この関係がどうであるかを明らかにするために、次のような実験をおこなった。

湿度 100% の場合に、もつとも排出が良好であつたので、水を入れた密閉容器の中に、柄子殻を多数有する罹病葉を接着したスライドガラスを入れ、温度を 5, 10, 15, 20, 25, 31~32, 36~37°C の 7 段階とし、一定時間後に柄孢子塊の形成の有無を調べた。

供試した罹病葉は、前項に用いたと同じもので、実験開始も前項と同じ日である。この結果は第11表に

第11表 柄胞子の排出におよぼす温度の影響

Table 11. Effect of temperature upon exudation of pycnospores.

温度 Time passed (hr)	Temperature (°C)	5	10	15	20	25	31~32	36~37
20		—	±	±	+	++	+	±
40		+	+	+	+	+++	++	+
96		+	+	+	+		++	+

+++ : Pycnospores exuded more abundantly.

++ : Pycnospores exuded abundantly.

+ : Pycnospores exuded less abundantly.

± : Pycnospores exuded scarcely.

— : Pycnospores did not exude.

at saturated condition.

示してある。

この結果から明らかなように、10°C以上の区は、開始後20時間で量的に差はあつても排出がおこっていることがわかる。その中でも25°C区がもつともよく、15°C区以下と36~37°C区はあまりよくなく、5°C区では排出はみとめられなかつた。

40時間後には全部の区に排出がおこり、とくに25°C区はほとんど全部の柄子殻から柄胞子塊が排出され、また31~32°C区も、かなり多く排出がおこつた。しかし、20°C以下と36~37°Cの各区では、数的にはあまりおおくは排出がおこらなかつた。96時間後も40時間後の結果と同様であつた。

この結果から考えると、7月中旬以降は、降雨、または霧が晴れて、急に気温が高くなるような場合に、とくに柄胞子の排出が盛んにおこなわれるものと想像される。

C. 柄胞子の飛散に関する実験

柄胞子は孢子塊として柄子殻に付着し、子のう胞子のように放出することはない。したがつて、これが第二次伝染源として、飛散してカラマツ新梢に付着する
には、特殊な条件が必要となつてくる。

この条件を明らかにするために、次のような実験をおこなつた。

あらかじめ湿度100%、温度23~25°Cの湿室に、柄子殻が多数形成されている罹病葉をスライドガラスに固定して納め、柄胞子塊を排出せしめた。これを防災研究室のエッフル型風洞中に固定して、3 m/sec, 5 m/secの風をそれぞれ1分、3分の間当てて、孢子塊が柄子殻の表面から飛散消失するかどうかを試験した。さらに、風速5 m/secの霧を含んだ風を1分および3分間当てて、柄子殻から柄胞子塊が飛散、消失するかどうかを試みた。

その結果、第12表にみられるごとく、いずれも柄胞子塊は飛散することなく、付着したままであつた。

第12表 柄胞子の風による分散

Table 12. Dissemination of exuded pycnospores by blowing of wind.

乾燥した風 With dry wind.

風速 Wind velocity (m/sec)	処理時間 Time (min)	飛散 Dispersion
3	1	—
3	3	—
5	1	—
5	3	—

湿った風 With damp wind containing spray of water.

5	1	—
5	3	—

第13表 水滴による柄胞子の流亡

Table 13. Washing down of exuded pycnospores by water drops.

番 号 No.	投下水滴数 No. of water drop			使用した胞子塊の条件 Condition of spore mass used
	40	60	100	
1	—	—	—	排出後2～3日 2~3 days after exudation from pycnidia.
2	—	+		Do.
3	—	+		排出後1日 1 day after exudation from pycnidia.
4	—	—	—	Do.

+ : 流亡 Washed down. — : 流失せず Not washed down.

次に、10 cm の高さから、毎秒ほぼ1滴の割合で、約0.1 m³ の水滴を柄胞子塊上におとし、これによつて胞子塊が流亡するかどうかを試みた。この結果は第13表のとおりである。

第13表に明らかなように、早いものでは、ほぼ60滴で胞子塊は完全に流亡したが、おそいものでは100滴でも流亡しなかつた。供試材料は排出後1日および2～3日目のもので、これらの間には流亡の遅速の差はみとめられなかつた。

以上の事実から、柄子殻から排出した柄胞子塊は、単に風だけで飛散するとは考えられず、雨滴と風とが関与しているものと推定される。

IV 子のう胞子の生存期間

前項では、完熟した子のう殻から子のう胞子が放出されるための条件についての実験および観察結果をのべたが、子のう殻内にあつて放出されない状態にある場合と、いつたん放出されてしまった子のう胞子とでは、その生存期間にかなりの相違があるであろう。すなわち、子のう殻内に留まつている場合は、かなり長期間にわたつて生存するであろうし、放出された後は急速に発芽能力を失うであろうことは容易に想像される。

しかし、これらについても、自然界における諸条件を満足させるような実験は不可能なので、与えられた一定の条件のもとで実験をおこなつた。

A. 子のう殻中に存在する場合の生存期間

この実験のために用いた試料は、いつたん風乾したのち、冷暗所に貯蔵しておいた罹病枝上にある子のう殻を用いた。

試料を採集した時期、場所および実験結果については第14表に示すとおりである。

第14表に示すように、供試した子のう殻のうち最も古いものは、昭和35年6月30日に採集したもので、これ以上古いものは子のう胞子を取り出すことができず、実験に供しえなかつた。

これらの子のう殻から子のう胞子を取り出して、蒸留水で胞子液を作り、VAN TIEGHEM cell 法で25°Cに保ち、20時間後の発芽状況を調べ、発芽したものは生きてしていると判定した。結果は第14表に示すとおり、昭和35年6月に採集した子のう殻中の子のう胞子は発芽能力がなかつたが、昭和36年10月に採集

したものは40%の発芽率を示し、採集後すくなくとも9カ月間は生存していることが知られた。

第14表 子のう殻中の子のう胞子の生存期間

Table 14. Longevity of ascospores stored in perithecia.

採 集 地 Locality of collection	採集年月日 Date of collection	試験年月日 Date of test	全 胞 子 数 Spores counted	発芽胞子数 Spores germinating	発 芽 率 Percentage of germination
壮 瞥 Sôbetsu	June 30,'60	June 28,'62	41	0	0
登 別 Noboribetsu	Oct. 1,'61	"	76	31	40.8
苫小牧 Tomakomai	Nov. 12,'61	"	30	6	20.0
幌 別 Horobetsu	June 11,'62	"	74	40	54.1

In distilled water, 25°C, 20 hrs by using VAN TIEGHEM's cell.

第15表 放出された子のう胞子の生存期間とその間の条件

Table 15. Longevity of ascospores after expulsion and the condition in the period.

a) 6月4日放出の子のう胞子 Ascospores discharged on June, 4,'62.

月 日 Date	最高気温 Max. Temp.	最低気温 Min. Temp.	最高湿度 Max. Rel. Hum.	最低湿度 Min. Rel. Hum.	発 芽 試 験 開 始 月 日 Date of Expt. started	発 芽 試 験 結 果 Result of Germ. Expt.
June 4	18.5 °C	16.8 °C	92 %	76 %		(Ascospores trapped)
" 5	19.0	16.0	84	76	June 5	+++
" 6	20.0	15.3	83	63		
" 7	20.8	15.0	72	60		
" 8	18.1	15.5	80	73	June 8	—

b) 6月18日放出の子のう胞子 Ascospores discharged on June, 18,'62.

June 18	19.0	14.0	77	75		(Ascospores trapped)
" 19	19.0	14.0	82	68	June 19	+++
" 20	19.8	13.5	73	56	June 20	±
" 21	21.2	14.5	*	49	June 21	±

c) 7月11日放出の子のう胞子 Ascospores discharged on July, 11,'62.

July 11	21.0	19.3	91	81		(Ascospores trapped)
" 12	26.0	18.7	92	74		
" 13	26.7	22.2	77	70		
" 14	26.7	21.9	79	72		
" 15	25.0	21.7	76	73	July 15	3:—, 1:+
" 16	24.0	21.1	85	74	July 16	4:—

+++ : 75%以上発芽 Germinating, more than 75%.

++ : 50%以上発芽 Germinating, more than 50%.

+ : 25%以上発芽 Germinating, more than 25%.

± : 25%以下発芽 Germinating, less than 25%.

— : 発芽せず Did not germinate.

湿度 100%, 25°C, 48時間 Relative humidity 100%, Temperature 25°C, 48 hrs.

* Could not observe.

B. 放出後の子のう胞子の生存期間

子のう殻からいつたん放出された子のう胞子が、どの程度発芽能力を持ちつづけるかは、カラマツ新梢に対する感染とも関連して重要なことと考えられる。この点を明らかにするために6、7月におこなった野外観察で得られたスライドグラスに付着した子のう胞子を用いて実験をおこなった。

6月4日、6月18日および7月11日に、野外でスライドグラス上に放出された子のう胞子を、鏡検によつて発芽していないことをたしかめたのち、実験室内に自記温湿度計とともに放置し、一定時間ごとにとり出して、湿度100%、25°Cの条件で発芽の有無を調べた。結果は第15表に示してある。

第15表にみられるように、6月4日、6月18日から、それぞれ放置された場合の最高、最低温度はあまり差がなく、最高は20°C前後、最低は15°C前後であつた。7月11日から放置の場合は最高温度25°C前後、最低温度20°C前後で、それぞれ5°C前後高い値を示していた。関係湿度については、一定した傾向は示していない。

6月4日の分については、放出後24時間、96時間後に発芽試験をおこなった。その結果、24時間後の子のう胞子は、ほとんど発芽したのに対し、96時間後のものは、全く発芽しなかつたので、6月18日放出の子のう胞子の場合には、24時間ごとにとり出して発芽試験をおこなった。その結果、前回同様に24時間後には発芽はきわめて良好であつたが、48時間、72時間後のものは、わずかに発芽する程度で、ほとんど大部分の子のう胞子は発芽しないことが知られた。

これらの結果にもとづいて、7月11日放出の子のう胞子の場合には、96時間、120時間後に発芽試験をおこなつたところ、96時間区のスライドグラス4枚のうち、1枚はすこし発芽したが、他の3枚の子のう胞子は全く発芽せず、120時間後の場合には、4枚とも全く発芽しなかつた。したがつて、いつたん放出された子のう胞子の発芽持続能力は意外に短く、放出後3~4日で発芽能力を失うものと考えられる。

V 柄胞子の生存期間

前項において、柄胞子が柄子殻から排出される条件が明らかにされたが、柄胞子の生存期間については明らかでない。柄胞子が柄子殻中にある場合と、いつたん排出された場合とでは子のう胞子の場合と同様に、環境の相違などによつて、生存期間にはかなりの違いがあるものと考えられる。この点を明らかにするために、柄子殻中にある場合と、柄子殻から排出されてからの2とおりに分けて、実験をおこなつた。

A. 柄子殻の中に存在する場合の生存期間

この試験に用いた試料は、採集後、室内で風乾状態にしたものを冷暗所に貯蔵しておいたものである。

第16表 柄子殻中の柄胞子の生存期間
Table 16. Longevity of pycnospores stored in pycnidia.

採集地 Locality of collection	採集年月日 Date of collection	試験年月日 Date of test	全胞子数 Spores counted	発芽胞子数 Spores germinating	発芽率 Percentage of germination
苫小牧 Tomakomai	Jan. 24, '61	June 29, '62	124	0	0
登別 Noboribetsu	Oct. 1, '61	"	260	32	12.3
根室 Nemuro	Nov. 21, '61	"	94	8	8.5

In distilled water, 25°C, 20 hrs, by using VAN TIEGHEM'S cell.

生存期間は、VAN TIEGHEM cell 法により蒸留水中で 25°C、20時間後の発芽の有無によつて決定した。この場合、柄子殻を蒸留水中でつぶして柄胞子の浮遊液を作り、懸滴法によつておこなつたが、1960年の8月と11月(約2年前の標本)に採集したものは、柄胞子は存在せず、試験に供しえなかつた。

試験の結果は第16表に示してある。

第16表から明らかなように、1961年1月下旬以前に採集した柄胞子は、全く発芽しなかつた。これに反して、昭和36年10月以降採集のものは、昭和37年6月下旬現在、なお発芽能力を有していた。したがつてこの両者の期間の差9カ月の間に採集されたものは、どうであつたか不明ではあるが、すくなくとも採集後約9カ月間は、柄子殻内にある柄胞子の何割かは生存していることが明らかとなつた。

B. 柄子殻から排出された柄胞子の生存期間

この試験のために用いた柄子殻は、1962年8月8日、千才市の民有林から採集した、本年罹病した新梢先端部のものである。

柄胞子は、柄子殻のできている罹病部分を、湿度 100%、25°Cの条件で20時間おいて排出させた。この柄胞子塊をかきとり、蒸留水中に移して浮遊液を作り、これをスライドガラスに塗布し、乾くまでデンケーターに入れ、完全に乾いてからとり出して実験室に放置し、一定時間ごとに、湿度 100%、25°Cの室に移して、発芽の有無を調べた。この結果は第17表に示すとおりである。

第17表に示すよに、柄胞子は排出後2日程度では、まだ発芽可能であるが、3日をすぎると全く発芽しなくなる。8月10日からおこなつた実験では、最高、最低温度が11月24日の場合よりもはるかに高かつたためか、わずか1日しか生存しなかつたが、11月の場合でも、ようやく2日後まで生存したにすぎず、子のう胞子よりも生存期間は短いようである。

第17表 排出した柄胞子の生存期間とその間の条件

Table 17. Longevity of pycnosporos after exudation and the condition in the period.

a) 8月10日排出の柄胞子 Pycnosporos exuded on August, 10, '62.

月 日 Date	最高気温 Max. Temp.	最低気温 Min. Temp.	最高湿度 Max. Rel. Hum.	最低湿度 Min. Rel. Hum.	発芽試験 開始月日 Date of Expt. started	発芽試験 結 果 Result of Germ. Expt.
Aug. 10	22.3 °C	* °C	75.5 %	69.0 %	Aug. 10	+
" 11	22.6	17.0	78.0	72.1	" 11	+
" 12	21.8	18.2	78.0	74.8	" 12	—
" 13	28.3	19.2	83.0	63.0	" 13	—

b) 11月24日排出の柄胞子 Pycnosporos exuded on November, 24, '62.

Nov. 24	21.1	*	55.0	37.8	Nov. 24	+
" 25	4.0	2.0	55.0	50.5	" 25	+
" 26	27.2	-0.1	57.8	37.0	" 26	±
" 27	26.3	3.0	52.5	35.0	" 27	—

+ : 25~50% 発芽 Germinating, in the range of 25~50%.

± : 25% 以下発芽 Germinating, less than 25%.

— : 発芽せず Did not germinate.

湿度 100%, 25°C, 48時間 Relative humidity 100%, 25°C, 48 hrs.

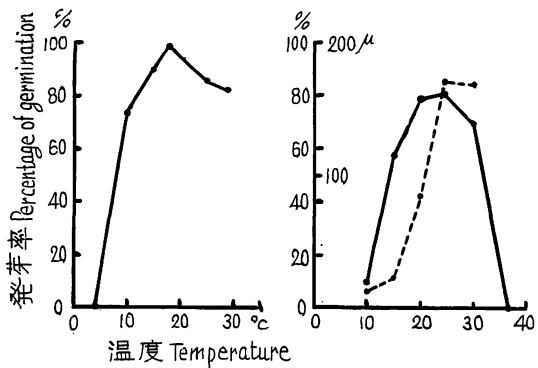
* 最低気温は排出前に現われた。 Minimum temperature appeared before exudation.

VI 子のう孢子および柄孢子の発芽生理

先枯病菌の子のう孢子あるいは柄孢子が、いつたん放出または排出されてからの発芽能力持続期間は比較的短い、その間に、カラマツ新梢に付着した孢子が発芽して感染がおこる。自然界において、孢子の発芽を左右する条件は複雑であろうが、ここではとくに、温度と湿度とをとり上げて、発芽におよぼす影響を試験した。

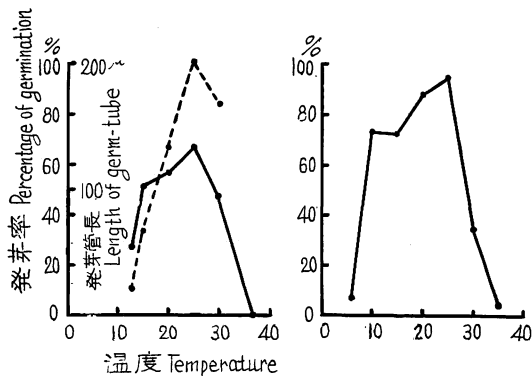
A. 孢子の発芽と温度との関係

発芽と温度との関係を明らかにするために VAN TIEGHEM cell 法により、4~35°C 間に温度区を設けて実験をおこなった。この結果は第6図に示すとおりである。



Ascospores collected at Shiraoi on Feb. 5, '60. (20 hours)

Ascospores collected at Sôbetsu on Apr. 30, '60. (4 hours)



Ascospores collected at Fujishiro on July 25, '60. (4 hours)

Ascospores collected at Tomakomai on May 12, '61. (20 hours)

第6図 子のう孢子の発芽と温度との関係
Fig. 6 Effect of temperature upon germination of ascospores.

— : Percentage of germination.
- - - : Length of germ-tube.

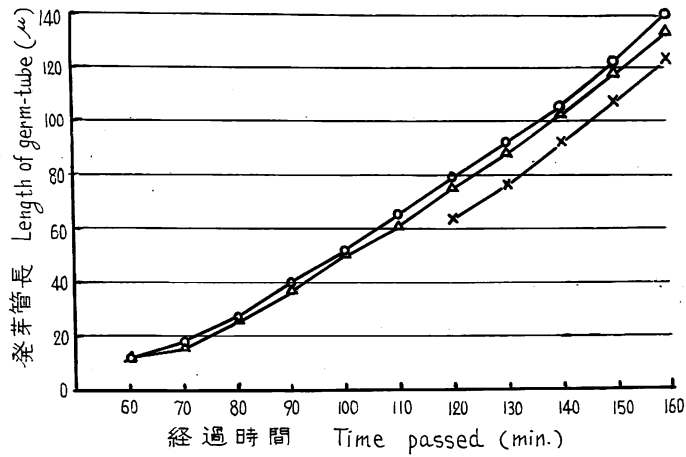
第6図は子のう孢子の場合であるが、4時間後では15~30°C区では、ほとんど半数以上が発芽し、25°C付近が最も発芽率が高い。しかし、20時間後では10°C区でも約70%が発芽した。

4°C区では20時間後でもまったく発芽しないか、または発芽してもごく少数で、ほとんど問題にならない。35~36°C区についても同様であるが、この両区を25°Cにもどしてみると、いずれも正常に発芽した。

発芽管ののびは、20時間後には測定できぬほど伸長したが、4時間後では25°C区が最高で約200 μmに達し、次いで30°C区、20°C区の順となつた。

これとは別に室内に放置して、発芽試験開始後1時間目から10分間隔で、発芽管の伸長を連続的に測定した。この孢子は両端から発芽管を生じた。2時間後には別の1個についても測定をおこなつたがこれは孢子の1端から発芽を開始した。その結果は第7図および第8図に示すとおりである。

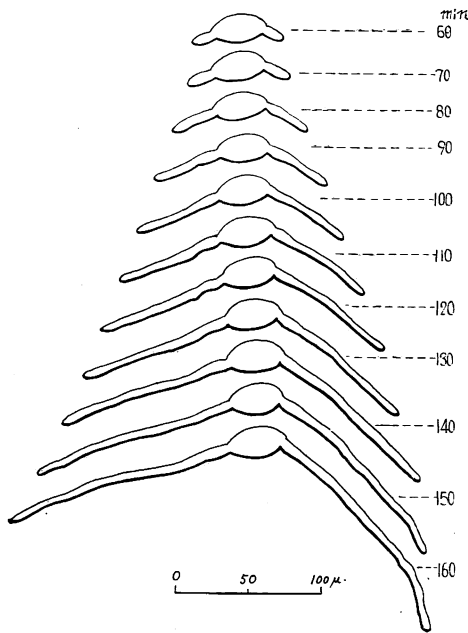
第7図より明らかなように、1時間後にはすでに発芽を開始して発芽管長は12 μmに達しており、以後10分ごとに13 μm前後の割合で、ほぼ直線的に発芽管が伸長した。第8図の両端から伸長した発芽管の長さは、3時間後でも6 μm程度の差しかなく、ほとんど同じ速さで成長していることがうかがわれた。



●—●, △—△ : Germ-tubes germinating from both end of one ascospore.
 ×—× : Germ-tube germinating from the other ascospore.

第7図 子のう胞子の発芽管の伸長

Fig. 7 Growth of germ-tubes germinating from ascospores (μ).



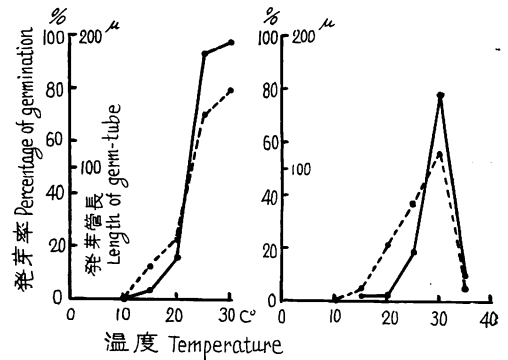
第8図 10分ごとの発芽管の伸長

Fig. 8 Growth of germ-tubes per 10 minutes in distilled water

第9図 柄胞子の発芽と温度との関係

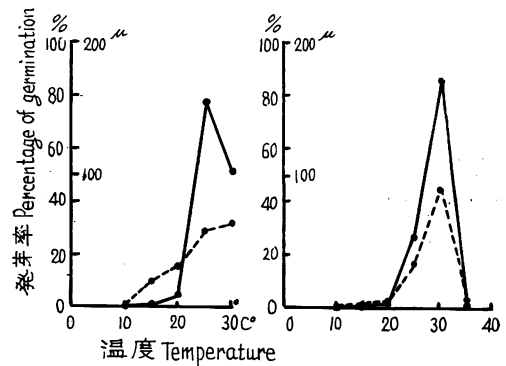
Fig. 9 Effect of temperature upon germination of pycnospores (6 hours later).

●—● : Percentage of germination.
 : Length of germ-tube.



Pycnospores produced on culture of KPS43-7
 Apr. 4, '61.

Do. Apr. 5, '61.



Pycnospores produced on culture of SG91T
 Apr. 4, '61.

Do. Apr. 5, '61.

別の胞子の場合も、ほとんど直線的に伸長し、3時間後の長さは一方の胞子の場合とあまり違いはみられなかった。

第9図は、柄胞子の発芽と温度の関係である。6時間後の結果では、10°C区は発芽せず、15°C区がわずかに発芽し、30°C区がもつとも発芽率が高く、発芽管も長い。30°Cをこえると急に発芽がわるくなるが、子のう胞子の場合にくらべて、発芽の適温は多少高温の方にずれており発芽可能な温度範囲はいくぶんせまいようである。発芽管ののびは、子のう胞子よりも柄胞子の方がおそいように思われる。

B. 胞子の発芽と湿度との関係

胞子の発芽と湿度との関係を明らかにするために、デシケーター中に塩類の過飽和水溶液を入れて所定の関係湿度とし、それらの中に胞子をスライドガラスに塗布してデシケーターに入れて乾燥直後に納めて25°Cに保ち、一定時間後にとり出して発芽の有無を調べた。この結果を第18表に示す。

第18表 胞子の発芽におよぼす関係湿度の影響

Table 18. Effect of relative humidity upon germination of spores.

a) Ascospores 子のう胞子

関係湿度 Relative humidity (%)	過飽和水溶液 Over-saturated aqueous solution of	供試材料 Material used	結果 Result	供試材料 Material used	結果 Result
100	(Water)	早来*	+++	苫小牧**	+++
98	K ₂ SO ₄	Hayakita	+++	Tomakomai	+++
94	KNO ₃		+		++
92	K ₂ HPO ₄	July, 9,'62	—	May 12,'61	—
87	KCl		—		—

* 48 hrs, 25°C ** 20 hrs, 25°C

b) Pycnosporos 柄胞子

関係湿度 Relative humidity (%)	過飽和水溶液 Over-saturated aqueous solution of	供試材料 Material used	結果 Result	供試材料 Material used	結果 Result	供試材料 Material used	結果 Result
100	(Water)	Produced	+++	Produced	+++	Produced	+++
98	K ₂ SO ₄	on culture	+	on culture	+++	on culture	+++
94	KNO ₃	medium of	±	medium of	+	medium of	++
92	K ₂ HPO ₄	KPS43-7	—	KPS43-7	—	SG91T	—
87	KCl		—		—		—

(20 hrs, 20°C)

第18表に示されるように、子のう胞子も柄胞子も、ともに関係湿度100%区および98%区では20時間以内で容易に発芽し、94%区でもかなりの発芽がみとめられた。しかし、92%、87%の両区では、まったく発芽がみとめられなかった。

VII 考察および結言

子のう胞子が放出される機作は、子のうのもつ高い浸透圧のために、子のうの半透性の細胞膜を通過して大量に水が入り、ついに子のうが破裂して子のう胞子が放出されるのである (INGOLD¹¹⁾)。このため、

子のう胞子の放出は、子のうが水を吸収することによつて、全く機械的におこなわれるものである。もつとも *Daldinia*, あるいは *Epichloe* などのように子座の中に水を貯えたり、寄主細胞から水を吸収したりして放出に利用する (INGOLD⁹⁾¹⁰⁾ 特殊な例もあるが、先枯病菌にはこのようなことはない。また Apple mildew にみられるように、放出の速度は内部的要因としては子のうの成熟度合によつて左右され (WOODWARD²⁰⁾), 外部的には、水の供給度合、温度等の気象的要因によつて支配されるものと考えられる。

子のう胞子の放出に関しておこなつた室内実験の結果、子のう殻が十分に吸水して膨潤しなければ放出はおこらない (湿度 100% では放出がおこる) ことから、飽和あるいは過飽和状態となることが、まず必要であり、温度自体は放出の速度を左右する因子であることが知られた。室内実験は、子のう胞子の放出に対する外部的な要因としての、水分と温度とについておこなつたもので、水分が十分与えられた場合には、すくなくとも 5°C から 30°C の間では放出がおこりうるが、温度が一定の場合はとくに 20°C 以上でさかんに放出がみられる。

HEALD⁹⁾らは、クリの胴枯病菌 *Endothia parasitica* の子のう胞子の放出は、20~27°C (平均 23~26°C) において、もつともさかんで、この温度範囲をこえると放出は低下してくるとのべ、千葉²⁾は、マツ類葉フイルイ病菌 *Lophodermium pinastri* の子のう胞子の放出は 5~40°C で、最適温度は 20~30°C であつたとのべている。前者は過飽和状態、後者は飽和状態のもとおこなわれたが、子のう胞子の放出の適温は、かなり共通しているものである。

温度の変化が不連続の場合は、15°C と 20°C のくり返し区がもつとも好結果をえたが、これは温度差がすくないために、温度を変化させたことによるものか、あるいは、いずれの温度も放出に都合のよい温度であつたためか、わからない。

乾湿のくり返しの実験では、2日湿潤、1日乾燥区がもつとも放出がさかんであつたが、対照の意味でおこなつたA区 (過飽和状態で 25°C) とF区 (過飽和状態で室内放置) の両者とくらべると、乾湿を交互にくり返すと、乾いた場合には放出がおこらないことがはつきりわかる。また、A区とF区とでは、温度が10°C から 20°C の間を連続的に変化した方が 25°C 一定の場合よりも放出が規則的におこるような傾向がうかがえる。

HEALD⁹⁾らの *Endothia* の実験によると、1日ごとに乾湿をくり返す区がもつとも放出がよく、湿潤だけの区よりもすぐれ、1日ぬらして7日乾かす区では事実上放出はみられなかつたという。

このような結果からも推察されるように、子のう胞子の放出に対して、子のう殻が適当に吸湿、乾燥をくり返すことは、放出にとつてむしろ必要なことのように思われる。

子のう胞子の放出に関する室内実験終了後の子のう殻の内容は、ある区では、子のう胞子が豊富に存在しているのに対して、他の区では内容がまつたく空になつている場合があつて一様でないが、これは、いずれの型が放出に有利なのかはわからない。

子のう胞子放出の垂直高について BIER¹⁾ は、ポプラの胴枯病菌 *Hypoxylon pruinaum* の子のう胞子は、子のう殻の孔口から 45 mm はなれたスライドグラスに捕えられたとのべているが、本菌の場合はこれよりもかなり低く、10 mm と 15 mm の中間であつた。しかし、いずれの場合も子のう殻から胞子が放出されるのであるから、風によつてかなり遠方まで胞子が飛散していく可能性があることを示している。

以上のような室内実験の結果から、野外で子のう胞子の放出がおこるためには、子のう殻が十分にぬれ

なければならず、その原因としては降雨および海岸地方に多い霧が考えられる。

INGOLD¹⁾は、Pyrenomycetes の子のう胞子の放出を左右する条件として、水と温度と光をあげているが、それらのうちでも本質的には水が第一に重要だとみなしている。リンゴの腐爛病菌 *Venturia inaequalis* の子のう胞子の放出については、FRAY³⁾は十分な降雨があることがまず必要で、露だけでは不十分であり、降雨は放出以外に子のう胞子の成熟にとつても大切な役割りを果たすことを明らかにした。また、HOWITT ら⁸⁾は子のう胞子の放出は4月ないし5月にはじめておこり、同年の雨量は子のう胞子の発育と放出を左右する重要な因子であるが、そのほかに、3月までの6カ月あるいは3カ月の冬季間の平均気温も子のう胞子の発育と放出開始時期に影響をおよぼし、平均気温が高かつた年は放出開始が早いとのべている。HIRST ら⁷⁾は空気中に含まれる子のう胞子の密度を suction trap を用いて研究し、降雨または雨が止んだ直後、すなわち病患部に形成された子のう殻がぬれている時にのみ放出がおこることを明らかにした。

BIER¹⁾はカナダのポプラに胴枯病をおこして大害を与えている *Hypoxyton pruinaum* の子のう胞子の放出の野外観察で、罹病した樹皮に生じている子のう殻から 2~3 mm はなして針金でスライドガラスをとりつけて、放出のはじまる時期と放出持続期間などについて調査した。そして7、8月の雨の直後にもつともさかんに放出がおこり、またはげしく降つた雨のあとは平均して20~30時間くらいは放出がつづくことを明らかにした。また、GRUENHAGEN⁴⁾は、同菌の子のう胞子の放出は、温度よりはむしろ関係湿度と関係があり、したがつて関係湿度を左右する降雨の期間が決定的な因子となるとのべている。

西門ら¹⁷⁾はムギ赤かび病菌 *Gibberella zeae* の子のう胞子の放出には雨が不可欠の条件であると報告している。

このように子のう胞子の放出について、水はなくてはならない条件となつていることはひろく知られている。しかし、降雨時の気温と放出との関係を明らかにしたものはあまり見あたらないようである。

筆者がおこなつた6月のはじめから10月末までの観察期間の中で、降雨時の気温が夜間でも 15°C をこえたのは7月から9月中旬までで、20°C あるいはそれ以上あつたのは7月中旬から8月中旬までの約1カ月にすぎなかつた。一方、子のう胞子の放出は、8月中旬から9月中旬までが山で、気温の最高期間とはあきらかにずれている。雨量は、8月3日の集中豪雨を除くと、8月中旬以前と以後で、それほどいじむらしい違いはなさそうである。

第5図にみられるような、子のう胞子の放出数から考えると、本菌の子のう胞子の放出は、7月中旬から9月中旬までがさかんであるとみてよく、その際の気温は 15~20°C と考えてよいようである。このことは室内実験で、温度と放出の関係でえられた結果とよく一致している。温度を 15~20°C に交互に変化させたときに放出数が最大となつたことと考え合わせると、興味深いものがある。

雨量と放出数との関係については、BIER¹⁾ものべているように、一般に雨量の多い方が放出数も多い傾向がうかがわれ、これはとくに観察期間の前半にみとめられる。しかし、8月下旬以降になると、降雨の量があまり多くなくとも、大量に放出されていることは、子のう殻の成熟度と関係があつて、わずかの水分によつても、急激に放出可能な状態になるためと考えられる。たとえば、8月27日にはわずか 3.7 mm の降雨しかなかったが、約 38,000 個の子のう胞子の放出があり、8月31日にはわずか 30 分間に 0.1 mm の降雨があつたが、このときも約 3,000 個の放出がみられている。気温はともに 19°C くらいで、放出には都合のよい温度ではあるが、それよりはむしろ、子のう殻が十分に成熟した状態にあつて、条件さえと

とのえば(水分さえ与えられれば)高い気温と相まつていつでもとび出せる状態にあつたとみるべきであろう。

9月下旬になると、胞子の放出数は急にすくなくなつて、とくに10月以降はその傾向がいちじるしい。しかし、子のう殻は完熟していることは、供試した枝の樹皮には、まだ多くの完熟した子のう殻があつて実験的に放出させると、3時間後には放出がみとめられたことから考えると、降雨時の気温が低いことが原因となつており、降雨持続期間、すなわち枝がぬれている時間が長ければ、まだ放出の可能性があるともみてよい。このことは、11月3~4日の熱帯性低気圧の通過によつて降雨の際の気温が10°C程度に上昇し、わずかながら子のう胞子の放出がみられたことから知られる。

いずれにしても、子のう胞子は6月ごろから放出がはじまり、ほぼ10月半ばごろまでつづき、とくに8~9月に放出の山がある。さきに筆者²³⁾は子のう胞子の放出は、5~6月に放出の山があり、これによつて罹病した新梢葉上に形成される柄子殻から放出される柄胞子が二次伝染の役割りを果たすのではなからうかと報告した。このことは、HEALD⁹⁾ものべているように、一般に柄胞子は夏の胞子(summer spores)とみなされていることと、先枯病に前年罹病して越年した枝には5~6月ごろから子のう殻が急に増加し、8月ごろになると枝の表面は粗慥となり、子のう殻がこわれた状態になつてのがよく観察されることなどから推定されたのである。しかし、先枯病に関してはこれが誤りであることは野外における子のう胞子の放出の観察によつて明らかになつた。

すでにのべたように、柄胞子は空気(風、気流)だけによつて飛散することはなく、雨滴(あるいは昆虫など)によつて分散すると考えられるので、子のう胞子にくらべて、その分散距離はいちじるしく短いはずである。一方、造林地における被害の発生の経過は、北海道においては、7日中旬から8月上旬ごろまでは、散発的で被害はすくなく、8月中旬以降に急激に発生するのが普通である。カラマツ新梢における本病の潜伏期間を7~10日と考えると、7月上旬~中旬までの発病は子のう胞子によるもので、それ以後は柄胞子による二次伝染も当然考えられるが、主として柄胞子による急激な被害の発生の可能性を考えることは、柄胞子の分散の様式からは無理であり、やはり主としては子のう胞子の飛散によるものと考えた方が、大面積にわたる急激な発病は説明しやすいと思われる。したがつて、野外における子のう胞子の放出についての結果からも、8月中旬以降の急速な被害の蔓延は、柄胞子よりはむしろ子のう胞子が主役を果たしているともみるのが至当であろう。

子のう胞子の放出と風との関係については、風速の記録がないので不明であるが、あまり風が強いと、罹病枝の乾きが早くなり、放出のためには条件がわるくなるようである。このことは井上ら¹³⁾¹⁴⁾ものべているように、雨天または降雨後の曇天で無風ないし微風の時に飛散する胞子数がおおいたのべていることとも関連があるように思われる。

子のう胞子の放出と光周性の点については、*Daldinia concentrica*のように子座の組織に水を貯わえて夜間に放出するもの(INGOLD⁹⁾)または*Sordaria fimicola*のように明るいときに放出がおきるもの(INGOLD¹²⁾)などが知られているが、先枯病菌の場合には、降雨があれば昼夜をとわずに放出があり、このような光周性はみとめられなかつた。

先枯病菌の子のう胞子の放出が、6月から10月までの降雨の際におこなわれることは、カラマツのほとんど全成長期間にわたつて先枯病に感染する可能性があり、とくに8月から9月にかけてはカラマツののびがきわめて急速な時期でもあり、この2カ月間が、子のう胞子の大量放出と柄胞子の存在とによつて、

もつとも危険な期間であると考えられる。6～10月間に、わずか6枚ずつのスライドグラス上に280,000個もの子のう胞子が放出され、しかも8、9両月で240,000個以上も放出されたことは、この時期に先枯病激害木あるいは激害林分から放出される胞子数は、はかり知れない莫大なものであろう (Plate 3—A, Plate 5)。

柄胞子の分散については、HEALD⁵⁾らは、クリの胴枯病菌 *Endothia parasitica* の柄胞子は、1年中存在し、降雨のたびごとに洗い流されるとのべているが、本菌の場合も、おそらくは主として雨滴によつて飛散するものと考えられる。柄子殻から柄胞子が排出するための条件は、湿度98%以上であれば、比較的容易におこなわれることは、実験によつて明らかであるが、単に風が吹くだけでは飛散は困難なようである。陳野²⁵⁾が、スギ赤枯病菌 *Cercospora cryptomeriae* の分生胞子の飛散には、霧を含んだ風が必要で、クレーを含んだ風では、秒速6m以上の、かなり強い風の場合には飛散することを明らかにしているが、本菌の場合は風塵によつて飛散するかどうか明らかでない。しかし雨滴によつて飛散することは明らかであり、その到達距離は子のう胞子とくらべて、はるかにみじかいと考えられる。

胞子が子のう殻および柄子殻の中にある場合と、放出されたのちとは、環境条件がまったく異なり、その生存期間も当然異なるであろう。採集されて貯蔵されてある罹病枝のおかれている条件は天然の場合とくらべてかなりの相違はあるであろうが、子のう殻の中の子のう胞子は、罹病枝上ではかなり長い間生存していることは、BIER¹⁾が *Hypoxyton pruinaum* の子のう胞子は実験室に6カ月間貯えられた場合にも正常に発芽するとのべていることから明らかで、筆者の場合は9カ月間生存していたことからこのことが確かめられた。同様に柄胞子もかなり長期間にわたつて生存していることは、本菌の柄胞子が9カ月間も生存していたことから明らかである。

しかし、いつたん放出された胞子は、子のう胞子にしても柄胞子にしても、意外に早く発芽能力を失うが、この点は、いわゆる dry spore type がかなり長い生命力をもっているのといちじるしく異なつてゐる。

本菌の場合には、長い期間にわたつて発芽能力を持続することはなく、放出、分散して2～3日すれば、その能力を失なつてしまうものと推定される。

子のう胞子の発芽についての佐藤¹⁸⁾の実験によると、1時間後には6%の発芽率で7 μ の発芽管をのばし、3時間後には約200 μ に達する。温度が15～35°Cの範囲で発芽が良好で25°C付近が最適であり、関係湿度は94～100%で発芽し、92%以下ではまったく発芽しないという。また魚住¹⁹⁾は完熟した子のう胞子は蒸留水の中で25°C、24時間後にはほとんど全部発芽し、発芽管は650～1,100 μ に達すると報告した。筆者の実験結果では、本菌の子のう胞子の発芽は15～30°Cで容易におこなわれ、とくに20～25°Cにおいて高い発芽率を示した。柄胞子も同様であるが、この場合は多少適温は高い傾向がみられる。湿度は子のう胞子、柄胞子ともに94%以上で発芽可能であるが、とくに98%以上で良好である。子のう胞子の発芽が始まるまでに要する時間は適温においてはきわめて早く、1時間以内に開始され、試験開始後1時間で発芽管は12 μ に達し、160分後には140 μ に達し、平均毎分1.3 μ であつた。

これらの結果は他の研究者の結果ときわめてよく一致し、本菌の子のう胞子の発芽はきわめて容易であることが知られる。

本菌の胞子は放出後わずかの時間で発芽能力を失うけれども、放出および分散のおこる必須条件が降雨（または霧）であり、しかももつとも放出がさかんなときの気温は15～20°Cの範囲内ということであ

るから、放出飛散してカラマツ新梢に付着した胞子は直ちに発芽を開始して、容易に感染がおこるものと考えられる。

地域によつて多少異なるであろうが、カラマツの成長が停止するのは、造林地ではほぼ9月中旬ごろであり、苗畑では山出し苗木は9月下旬ごろまでである。先枯病菌は、侵入に際してとくに傷がなくても新梢の先端部から容易におこなわれるようで(横田、未発表)、このことから考えると、新梢がのびはじめ6月ごろから、造林地では9月中旬まで、苗畑では9月下旬まで、降雨のたびに感染の危険性があるといえよう。

VIII 摘 要

本報告は、カラマツ先枯病菌の胞子の放出、分散に関する研究結果を述べたものである。本菌の子の胞子の放出は、飽和または過飽和状態の場合、実験的には20°C以上の場合にさかんとなり、温度変化を与えたときは、15°Cと20°Cの高温区がもつとも盛んであつた。

野外における放出は、6月上旬から観察され(6月以前は観察していない)、とくに8月、9月に放出の山があるように思われた。放出は降雨のたびごとにおこるが、太平洋岸に多い霧の場合にもおこるであろうと思われる。7月に入ると、降雨時の気温も15~20°Cとなり、8月には20°C前後にまで上昇するが、9月にはふたたび15~20°Cに低下する。しかし、放出は8月、9月にもつともさかんであり、しかも、雨量については、7月までは相当量の、しかもある程度降雨が持続しないと放出数が少なく、8月中旬以降少量の雨でも容易に放出がおこるということは、放出は子のう殻の成熟度とも密接な関係があることを示している。

柄胞子は、子のう胞子とちがつてみずから放出することではなく、柄子殻から胞子塊として現われ、雨滴(あるいは昆虫など)によつて飛散するので、飛散到達距離は子のう胞子の場合とくらべてはるかに短いものと考えられる。

放出されないで、子のう殻および柄子殻の中に存在している胞子は、かなり長い期間にわたつて生存するが、いつたん放出、排出された子のう胞子および柄胞子は、実験的には100時間以内でその発芽能力を失つてしまう。しかし、胞子の発芽はきわめて早く、1時間以内で発芽しはじめ、発芽管ののびもまた非常に早い。したがつて、降雨時に放出飛散して、カラマツの新梢先端に付着した胞子は、ただちに発芽を開始して、容易に感染がおこるものと考えられる。

わずか6枚のスライドガラス上に、全観察期間に280,000個の子のう胞子が捕えられ、しかも8月、9月の2カ月だけで240,000個も放出されたことは、この時期に激害木または林分から放出される子のう胞子の数は莫大なものであることが考えられる。また、この2カ月がカラマツの成長の山を作る時期であり、かつ8月すぎから急激に病勢が拡大することは、柄胞子による二次伝染によると考えるよりも、子のう胞子と柄胞子の両者による伝染とみるのが妥当と思われる。したがつて、前報でのべた子のう胞子の放出の山は5~6月ごろということは誤りで、8月、9月の2カ月に山があると訂正する。

文 献

- 1) BIER, J.E.: Studies in Forest Pathology III. *Hypoxylon* canker of poplar. Canada Dept. Agric., Tech. Bull. 27, (1940) pp. 39.
- 2) 千葉 修・陳野好之: マツ葉フルイ病菌の子のう胞子の形成時期と放出条件について, 69回日林大

- 会講, (1959) p. 357~358.
- 3) FRAY, C.N. and G.W. KEITT : Studies of spore dissemination of *Venturia inaequalis* (CKE.) WINT. in relation to seasonal development of apple scab. J. Agr. Res. **30**, (1925) p. 529~540.
- 4) GRUENHAGEN, R.H. : *Hypoxyton pruinaum* and its pathogenesis on poplar. Phytopath. **35**, (1945) p. 72~87.
- 5) HEALD, F.D. and M.W. GARDNER : The relative prevalence of pycnospores and ascospores of the chestnut blight fungus during the winter. Phytopath. **3**, (1913) p. 296~305.
- 6) ——— and R.C. WALTON : The expulsion of ascospores from the perithecia of the chestnut blight fungus, *Endothia parasitica* (MURR.) AND. Amer. J. Bot. **1**, (1914) p. 499~521.
- 7) HIRST, J. M. and O.J. STEDMAN : The epidemiology of apple scab (*Venturia inaequalis* (CKE.) WINT.) I. Frequency of airborne spores in orchards. Ann. Appl. Biol. **49**, (1961) p. 290~305.
- 8) HOWITT, J.E. and W.G. EVANS : Preliminary report of some observations on ascospore discharge and dispersal of conidia of *Venturia inaequalis* (COOKE) WINTER. Phytopath. **16**, (1926) p. 559~563.
- 9) INGOLD, C.T. : Spore discharge in *Daldinia concentrica*, Trans. Brit. mycol. Soc. **29**, (1946) p. 43~51.
- 10) ——— : The water-relations of spore discharge in *Epichloe*. Ibid. **31**, (1948) p. 277~280.
- 11) ——— : Dispersal in fungi, Oxford, (1953) p. 206.
- 12) ——— and V.J. DRING : An analysis of spore discharge in *Sordaria*. Ann. Bot. n. s. **21**, (1957) p. 465~477.
- 13) 井上成信・高須謙一 : 麦赤カビ病に関する生態学的研究, II 子のう胞子の飛散と気象, (1), 農学研究, **46**, (1959) p. 184~192.
- 14) ———・——— : 植物病原菌の胞子飛散に関する研究, II 5, 6月の麦作地における状況, 同上, **47**, (1959) p. 87~94.
- 15) 気象協会北海道支部 : 北海道の気象, 特別号, 昭和34年気象年報, (1960) p. 28.
- 16) 栗林数衛・市川久雄 : 空中を浮遊せる稲熱病菌分生胞子採集とその発生予察との関係について, 病虫雑, **28**, (1941) p. 309~315, p. 404~416.
- 17) 西門義一・井上成信・井上忠男 : 麦類赤カビ病菌の子のう胞子の飛散と第一次伝染, 農学研究, **40**, (1952) p. 121~126.
- 18) 佐藤邦彦・庄司次男 : カラムツ先枯病に関する研究 (予報), II 病原菌の生活史と子のう胞子の発芽生理, 日林東北支部13回大会講, (1961) p. 98~102.
- 19) 魚住 正 : カラムツ先枯病について一特に病原菌の生活史—林試研報, **132**, (1961)p. 47~54.
- 20) WOODWARD, R.C. : Studies on *Podosphaera leuotrica* (ELL.et EV.) SALM., I The mode of perennation, Trans. Brit. mycol. Soc. **12**, (1927) p. 173~204.
- 21) 横田俊一 : カラムツ先枯病に関する研究, I 苗畑におけるカラムツ先枯病の伝播について, 林試研報, **130**, (1961) p. 71~77.
- 22) ——— : カラムツ先枯病菌の子のう胞子の放出について (予報), 72回日林大会講 (印刷中) (1962).
- 23) ——— : カラムツ先枯病に関する研究, II 病原菌とその生活史, 林試研報, **142**, (1962) p. 173~202.
- 24) ——— : カラムツ先枯病菌の子のう胞子の放出について—野外における放出—北方林業, **14**, (1962) p. 289~293.

- 25) 陳野好之: スギ赤枯病菌 *Cercospora cryptomeriae* SHIRAI 分生胞子の分散に関する研究, 林試研報, 144, (1962) p. 31~52.

図 版 説 明 (Explanation of plates)

Plate 1 変温時における子のう胞子放出試験終了直後の子のう殻の状態 (40日後, $\times 150$).

The appearance of perithecia immediately after the end of the experiment of ascospore expulsion under the condition of alternation of temperature (after 40 days, $\times 150$).

- A. 5~15°C 区 (1), わずかに子のう胞子が入っている。
A few ascospores present in a perithecium, 5~15°C (1).
- B. 10~15°C 区 (3), 子のう殻には子のう胞子が充満している。
Ascospores abundantly present, 10~15°C (3).
- C. 15~20°C 区 (1), 子のう殻の内容は空。
The content of a perithecium is vacant, 15~20°C (1).
- D. 0~20°C 区 (1), 子のう殻内には子のう胞子がかかなりみられる。
Ascospores present in a perithecium 0~20°C (1).
- E. 5~25°C 区 (2), 子のう殻の内容は空。
The content of a perithecium is vacant, 5~20°C (2).
- F. 10~30°C 区 (2), 子のう殻の内容は空。
The content of a perithecium is vacant, 10~30°C (1).

Plate 2 過飽和状態で乾湿のくり返しによる子のう胞子放出試験終了直後の子のう殻の状態 (25°C, 15日後, $\times 150$)

The appearance of perithecia immediately after the experiment of ascospore expulsion under the condition of alternation of wetting and drying in over-saturated condition (25°C, after 15 days, $\times 150$).

- A. 25°C (2) (対照区) の子のう殻の内容は空。
The content of a perithecium is vacant, in over-saturated condition, 25°C (2).
- B. 1日ごとの乾湿のくり返しの場合, 子のう殻の内容は充満している (B区-1)。
Ascospores abundantly present under the condition of repeat of wetting a day and drying a day (B-1).
- C. 1日湿潤, 3日乾燥のくり返しの場合で空になつた子のう殻 (C区-1)。
The content of a perithecium is vacant under the condition of repeat of wetting a day and drying 3 days (C-1).
- D. 同上の処理により内容充満している子のう殻 (C区-2)。
Ascospores abundantly present under the same treatment with the case of C.
- E. 2日湿潤, 1日乾燥のくり返しの場合で, 空になつた子のう殻 (D区-1)。
The content of a perithecium is vacant under the condition of repeat of wetting 2 days and drying a day (D-1).
- F. 同上の処理により, 内容充満している子のう殻 (D区-3)。
Ascospores abundantly present under the same treatment with E (D-3).
- G. 2日湿潤, 3日乾燥のくり返しの場合で空になつた子のう殻 (E区-3)。
The content of a perithecium is vacant under the condition of repeat of wetting 2 days and drying 3 days (E-3).
- H. 同上の処理により内容充満している子のう殻 (E区-2)。
Ascospores abundantly present under the same treatment with G (E-2).
- I. 室内放置した場合, 内容が空になつた子のう殻 (温度は連続的に 10~20°Cの間を変化し

た) (F区-2)。

The content of a perithecium is vacant under the room temperature varying continuously between 10 and 20°C (F-2).

J. 同上の処理により、内容充実している子のう殻 (F区-3)。

Ascospores abundantly present under the same treatment with I (F-3).

Plate 3 A. カラマツ激害木。罹病した枝が無数にあり、これらから放出される子のう胞子の数ははかり知れないものがある。

Heavily infected larch trees. Hundreds of thousands of ascospores will be discharged from a number of infected shoots during the rainfall in the period of growth of larch trees, especially in August and September.

B. 過飽和状態で、温度 5°C と 25°C のくり返しの場合、2 日後に放出され発芽した子のう胞子 (×150)。

Germinating ascospores discharged 2 days after the start of the experiment repeating the temperature of 5 and 25°C.

C. 15°C と 20°C の温度のくり返しをした場合、実験開始 9 日後に放出された子のう胞子 (発芽していない) (×150)。

Ascospores discharged 9 days after the start of experiment repeating the temperature of 15 and 20°C (×150).

D. 乾湿のくり返しの試験における F 区-2 (過飽和状態で室内放置) の、実験開始 8 日後に放出された子のう胞子。白く見えるのが子のう胞子の集団である (拡大)。

The white mass of ascospores of F-2 discharged 8 days after the start of the experiment in alternating wetting and drying (under over-saturated condition and room temperature) (Enlarged).

E. 7月11日に、カラマツ罹病木 No. 1 の枝にかけたスライドグラスに捕えられた子のう胞子 (×150)。

The mass of ascospores trapped under the surface of one of the glass slides set on dead shoots of sample tree No. 1 on July 11, 1962, (×150).

F. 罹病葉を湿室処理 (湿度100%, 25°C) した時に現われた柄胞子の塊 (40時間後, 拡大)。
The small mass of pycnospores exuded from pycnidia in a moist chamber (relative humidity 100%, temperature 25°C, after 40 hours, enlarged).

G. 湿度92%, 25°C の場合は柄胞子の排出はおこらない。

Pycnospores never appeared in the relative humidity of 92% and the temperature of 25°C.

Plate 4 A. カラマツ罹病枝に設置されたスライドグラス。常に一定の場所にかけられるようになっている。

A glass slide set on a infected shoot bearing many perithecia. It has always been set in the same place of a shoot.

B. 7月11日にスライドグラスに捕えられた子のう胞子。非常に付着力がつよい (×600)。

Ascospores discharged on July 11, 1962. They are very adhesive in character (×600).

C. 乾燥している子のう殻およびその子座様組織 (拡大)。

Perithecia and perithecial stromata in dry condition (enlarged).

D. ぬれた状態の子のう殻およびその子座様組織 (Cと同じ標本, 拡大)。

Perithecia and perithecial stromata in wet condition. The sample is the same with C (enlarged).

- E. 7月11日に放出した子のう胞子。8の倍数になつているのがみられる ($\times 150$)。
 Ascospores discharged on July 11, 1962. It is seen that the discharge was done with multiples of 8 spores ($\times 150$).
- F. 10月31日現在で供試したカラマツ罹病枝の一部に、まだ多数存在している子のう殻 (白い点としてみえる, 拡大)。
 On October 31, many perithecia have been found buried in the bark of an infected shoot used for the observation of ascospore expulsion (white dots are the perithecia) (enlarged).
- G. 10月31日に、放出試験をおこなつた時の子のう殻の状況 (罹病木 No. 2 の枝) ($\times 150$)。
 The appearance of the perithecium used for the experiment of ascospore expulsion started on October 31. The materials of perithecia buried in the bark were taken from the diseased sample tree No. 2 ($\times 150$).
- H. 10月31日における供試罹病枝の表面の状況。樹皮は所々はがれて粗慥になつている。
 The appearance of the surface of shoots on which the glass slide was set. The surface of the shoot is very rough and deteriorate in some places.

Plate 5 8月27日12時から18時の間に放出した子のう胞子の付着したスライドガラスの一部。

A part of glass slide on which ascospores discharged during 12 and 18 o'clock, August 27, 1962 ($\times 60$).

Studies on Shoot-blight Disease of Larch Trees III.

Expulsion and dissemination of spores and their germination.

Shun-ichi YOKOTA

(Résumé)

In the previous paper, the writer described the general situation of damage caused by the shoot-blight fungus, *Guignardia laricina* (SAWADA) YAMAMOTO et K. ITO (*Physalospora laricina* SAWADA). Further, he described the morphological characteristics and the life history of the causal fungus. As for the expulsion of ascospores, the writer deduced from the life history that the peak of expulsion would occur between May and July. But we have no information about the expulsion and dissemination of spores of the fungus concerned. In the present work, the writer carried out experiments and observations on expulsion of ascospores, and exudation and dissemination of pycnospores, and on the longevity and germination of spores.

Expulsion of ascospores

Expulsion of ascospores in vitro

Because of the fact that the expulsion occurs only when the perithecia are in moisture saturated or over-saturated condition, the writer consistently used the method shown in Fig. 1. The bark containing matured perithecia was put on the center of the layer of two filter papers to which sterilized distilled water was supplied to give the papers a wet condition. A glass slide was set on or under the material by using the U-shaped glass rod or curved wire and in every constant period it was taken off and a new glass slide was set in the same place. Ascospores adhered on or under the removed glass slide during the period were counted under the microscope.

In the series of the experiments, the effects of constant temperature, abrupt and continuous

change of temperature, repetition of wetting and drying of filter papers upon the expulsion of ascospores, and finally the vertical distance in projection of ascospores were tested.

Effect of constant temperature upon expulsion of ascospores is shown in Table 1. Between 5°C and 30°C all the perithecia discharged ascospores. Vigorous expulsion was found in the range of temperature above 20°C. Accordingly, it is obvious that temperature is a factor influencing the velocity of expulsion of ascospores. The content of some perithecia immediately after the end of the test was vacant and of others was full of asci and ascospores. The cause of these was indistinct.

Expulsion of ascospores was influenced greatly by changing temperature. Combinations of temperature were given by maximum and minimum, mean maximum and minimum, and mean temperature in 1959 when the disease in the larch plantation in Kojôhama, Iburi district, suddenly prevailed. Meteorological data are shown in Table 2 from which 6 combinations of temperature were chosen. Materials were kept in upper temperature from 9 AM to 5 PM and in lower temperature from succeeding 5 PM to 9 AM next morning when glass slides were changed. The most vigorous expulsion occurred by repeating the temperature of 15° and 20° C, followed by 5° and 25° C (Table 3 and Plate 1 and 3, B, C).

Regarding the effect of continuous change of temperature on expulsion of ascospores, for the rapid rise and fall of room temperature between 0° and 30° C, and for a shorter period of temperature range from 20° to 30°C, no obvious results were gained. As the temperature of water contained in filter papers was 1° to 3°C lower than that of room temperature, it seemed that expulsion of ascospores took place mainly at the temperature above 20° C (Fig. 2 and Table 4).

Effect of the repeating of making materials wet and dry is obvious (Plate 3, D). Ascospores never discharged during dry condition. The most vigorous expulsion occurred in the case of treatment D where the material was put in the condition of repeat of wetting 2 days and drying 1 day (Table 5). The appearance of the perithecial content immediately after the end of the experiment is shown in Plate 2.

Ascospores were recognized to be projected from perithecia in the height of 10 mm or more (Table 6).

Expulsion of ascospores in vivo

According to the results obtained from the experiments on expulsion of ascospores of the causal fungus, it is clear that expulsion occurs only when perithecia are in fully wet condition, and at the temperature above 15° or 20° C expulsion becomes most vigorous. In nature, these meteorological conditions will be satisfied on rainy or foggy days between July and September in Hokkaido.

To ascertain the period and the peak of expulsion of ascospores in vivo, two heavily infected 3-year-old larch trees were transplanted in the yard for the sake of convenience and advantageous observation of expulsion. Glass slides were set in three definite positions, one was on the top shoot and others were on lateral shoots which were infected and bore many perithecia and perithecial stromata (Plate 4, A). Records of expulsion of ascospores are shown in Figs. 3~5 and Tables 7~8, in which precipitation was based on the data taken by Sapporo Meteorological Station and temperature and relative humidity were taken by a thermo-and humidity-graph set in the yard.

Since expulsion occurs only when perithecia or perithecial stromata are wet and swell (Plate 4, C, D), glass slides were set on rainy days. Though glass slides coated by gelatin-

jelly are usually used for the purpose of spore trap, non-treated glass slides were used in the present work because of the very adhesive character of ascospores (Plate 4, B). In counting the number of discharged ascospores the whole surface of glass slide was surveyed by using a microscope. Observation was done from early June to early November, 1962 (Plate 3, E).

Expulsion of ascospores occurred on every rainy day except on June 8 and 15 when precipitation was little. The number of ascospores trapped on 6 glass slides during the period of observation amounted to 280,000, of which 240,000 spores were caught in August and September. The fact that expulsion occurs easily in these two months with less precipitation may suggest that maturity of perithecia is one of the factors influencing the velocity of expulsion of ascospores. Accordingly, the writer considers that the peak of expulsion appears in August and September and hundreds of thousands of ascospores will discharge from heavily infected trees or plantations on every rainy day during these months (Plate 3, A and Plate 5). In late October, only scanty expulsion of ascospores in rainy weather was observed. This may be due to the low temperature and not the disappearance of perithecia. Though the appearance of the surface of shoots is very rough, matured perithecia are still present abundantly (Plate 4, F~H). Some of these perithecia easily discharged ascospores by giving them a favorable condition (Table 9). It has been observed several times that expulsion was done as a rule with the unit of 8 spores (Plate 4, E).

Exudation and dissemination of pycnospores

Pycnidia appear abundantly on diseased leaves and twigs from early July to late November. Because it seemed that the secondary infection of the disease is responsible for dissemination of pycnospores, it is very important to make clear the pattern of dissemination of the spores from pycnidia.

Exudation of pycnospores from pycnidia

The influence of relative humidity and temperature upon exudation of pycnospores was examined.

The influence of relative humidity for exudation of pycnospores was clarified by putting materials into chambers of relative humidity of 87~100% and keeping them at 25°C. Exudation occurred at 98% and 100% and not at 94% or less (Table 10 and Plate 3, F, G).

Diseased leaves bearing pycnidia on their under surface were kept at temperatures of 5~37°C in humid condition. Exudation was tested at intervals of 20, 40, and 96 hours after the start of incubation. Spore-masses appeared moderately in the first 20 hours at 25°C, followed at 20° and 30° C. After 40 hours, pycnospores exuded at all the temperatures, and were especially very vigorous at 25°C. Exudation at 5~20°C and 37°C were not so vigorous (Table 11).

Dissemination of exuded pycnospores

Diseased leaves bearing spore-masses exuded were fixed on a glass slide and put into a wind-tunnel of Eiffel-type, then blown by dry wind of 3 and 5 *m/sec* at intervals of 1 and 3 minutes, respectively. No dissemination occurred. Damp wind with the velocity of 5 *m/sec* containing spray of water, was applied to materials at intervals of 1 and 3 minutes. The result was negative (Table 12).

A tap was adjusted so as to allow 60 water drops per minute to fall. The weight of one drop was about 0.1 *g*. The drops fell continuously to spore-masses, exuded on diseased leaves fixed on a glass slide, from the height of 10 *cm*. Spore-masses of some materials were washed down within 1 minute and others remained fixing on diseased leaves for all the treatment with

100 drops of water (Table 13). These results suggest that the dissemination of pycnospores are done in the form of spore-masses mainly by cooperating with rain and wind.

Longevity of ascospores and pycnospores

Germination of ascospores and pycnospores, prepared by crushing the perithecia and pycnidia on diseased leaves and twigs collected at different times and stored in the laboratory, was tested by using VAN TIEGHEM's cell at 25°C. According to the results of the test, it was found that spores maintained the germinating ability during at least 9 months (Tables 14 and 16).

To ascertain the longevity of discharged ascospores, glass slides on which many ascospores discharged were left in the laboratory room and then the slides taken into moist chamber at 25°C every day in turn and germination was tested. In the case of pycnospores, spore-suspension was applied on glass slides and then dried out. These slides were submitted to the same procedure as in the case of ascospores. It was found that the longevity of spores was unexpectedly short, and they lost the germinating-ability within 3 or 4 days (Tables 15 and 17).

Germination of spores

As for the factors influencing the germination of spores, temperature and relative humidity were tested. Spore-suspension was incubated at different temperatures in VAN TIEGHEM's cell. Ascospores germinated at the temperature ranging from 10°~30°C and the percentage of germination reached maximum at 25°C (Fig. 6). Ascospores under favorable conditions began to germinate within 1 hour and the growth of germ-tubes was very fast (Figs. 7 and 8).

Pycnospores germinated in the range of temperature somewhat higher than that in ascospores (Fig. 9).

Spores were able to germinate in relative humidity of 94 percent or more but never in 92 percent or less. In general, 98 percent and 100 percent were favorable for germination (Table 18).

As has been stated above, it is necessary for expulsion of ascospores or dissemination of exuded pycnospores to be wet or to encounter the rainfall. Under these circumstances, though the longevity of spores is lost in a shorter period, germination of spores will take place easily on the shoots of larch trees immediately after dispersion, and soon the infection will be established.

Laboratory of Forest Pathology,
Hokkaido Branch,
Gov. For. Expt. Sta.,
Sapporo, Hokkaido, Japan.

