北海道主要造林樹種の凍害に関する研究 (II)

凍害と朝日の影響

今　田　敬　一
武　藤　憲　由

STUDIES ON THE FROST DAMAGE OF IMPORTANT PLANTATION SPECIES IN HOKKAIDO, JAPAN (II)

EFFECT OF THE MORNING SUN UPON THE FROST DAMAGE

By

Keiichi KONDA, Professor, Ringakuhakushi,
and Kazuyoshi MUTO, Assistant Professor

目　　次

緒　　言

地形のちがいや上木の有無によつて，造林地の低気温のあらわれかたがちがい，そのために植栽木の凍害の程度がちがうのは当然であるが，たゞそれだけで凍害の程度のちがいを説明出来ないことがある。例えば，山の西側や林の西側の造林地は一般に凍害が少なく，また，1本の樹木でも西側の枝は東側の枝より凍害が少ないことなどがそれである。このような場合の凍害の程度のちがいは，夜有害な低温があらわれたのち，翌朝直ちに朝日の照射を受け温度が急に昇るか，あるいはしばらく日陰にあつて温度の上昇がゆるやかであるかが原因で，この事実はこれまでもしばしば注意されている。実験室で，この朝日の影響を一つだけ隔離して研究することは比較的容易であるため，造林地における観察の結果を裏付けるためこの実験を行つた。

なお，この実験の一部を手伝われた富田浩二農学士に感謝の意を表する。

実験材料及び方法

1. 北海道大学農学部附属演習林実験苗圃で養成している2年生と3年生のトドマツ苗木，3年生エゾマツ苗木，2年生アカエゾマツ苗木，2年生ドイツトウヒ苗木を実験に用いた。2年生苗木は床替のため仮植していたもの，3年生苗木は1回床替後，1年間据置いたものである。とくに芽の開舒のおそい苗木をえらび，2年生苗木は50本，3年生苗木は30本づつ，5月上旬，内径縦35 cm，横25 cm，深さ10 cmの木鉢に移植し実験に用いた。なお，2年生カラマツ苗木は大きすぎて実験しにくかつたので，活力のある芽の着いている枝1本だけを切り残し，5月下旬，上記の木鉢に30本ずつ移植して実験に用いた。

2. 苗圃の実験室にある内径縦125 cm，横117 cm，奥行70 cmの電気冷蔵庫で苗木を冷却した。この電気冷蔵庫の上段の中央に1日巻き自記寒暖計と最低寒暖計を置き，その両側に木鉢を置いた。氷点下が長く，1°Cの間隔の長い棒状寒暖計を電気冷蔵庫にさしこみ，これを見ながら手動で電源スイッチを出入し，冷蔵庫内の温度を一定にたもつようにつとめた。温度の上下のふれは大体0.5°C以内である。

3. 1955年5月16日から6月4日までに，天気の良い日をえらんで苗木を冷却した。

4. 苗木を冷却後，すぐ戸外の風当りの少ない日向にだし，2時間日光に当てたもの即ち，苗木を冷却後すぐ常温に戻した標準区と，苗木を冷却後，機械をとめた電気冷蔵庫内にそのまま置き，1時間の間に大体2°Cまで徐々に温度を上昇させ，その後戸外より3°〜10°C低い，直射日光を受けない室内に1時間置いたもの，即ち，徐々に常温に戻した処理区と2通りこしらえた。

5. 苗木を冷却するまえに，主軸の頂芽の状態を調べ，開舒した芽，綻びかけた芽，膨らんだ芽の3種類に分けた。芽が伸長し，芽鱗が破れた状態以後の芽を開舒した芽とし芽鱗はまだ破れていないが，薄くなつた芽鱗を通して，芽の内部が肉眼で見えるものを綻びかけた芽とし，膨らんでいるが，まだ芽鱗が厚く，肉眼で芽の内部が見えないものを膨らんだ芽とした。

6. 主軸の頂芽の凍害の有無は，苗木を冷却後1週間以上たつてから調べた。

7. 木鉢の苗木をヨシズで覆つた硝子室に置き，適当に水を与えて育成し，8月1日と9月1日の2回に不定芽の発生状態を調べた。

実験結果

I. 2年生トドマツ苗木で行つた実験

1. 5月17日 −4.5°〜−5.0℃で1時間苗木を冷却しすぐ常温に戻した標準区と，徐々に常温に戻した処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と凍死した主軸の頂芽の跡に作られる不定芽の発生状態は第1表である。

第1表 2年生トドマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.5°〜−5.0℃, 1時間)

試験区	芽の状態	凍害状態					不定芽発生状態							
			生		凍死		8月1日				9月1日			
		供試数	個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数
標準区	全体	50	13	26	37	74	17	46	21	1.2	26	70	37	1.4
	開舒した芽	4	4	100							-			
	綻びかけた芽	23	2	9	21	91	10	48	12	1.2	16	76	20	1.3
	膨らんだ芽	23	7	30	16	70	7	44	9	1.3	10	63	17	1.7
処理区	全体	50	44	88	6	12	4	67	7	1.8	5	83	10	2.0
	開舒した芽	12	12	100										
	綻びかけた芽	18	12	67	6	33	4	67	7	1.8	5	83	10	2.0
	膨らんだ芽	20	20	100										

標準区と処理区の苗木の主軸の頂芽には，膨らんだ芽が多く，開舒した芽は少ない。また，標準区の苗木より，処理区の苗木のほうが主軸の頂芽の開芽の程度が進んでいる。

標準区では，綻びかけた頂芽は91%，膨らんだ芽はこれより少ないがそれでも70%凍死，処理区では，綻びかけた芽の1/3が凍死するだけで，その他の状態の頂芽には全く凍害がない。

凍死した主軸の頂芽のうち，不定芽を作るものの割合も，徐々に常温に戻した処理区のほうが多い。

2. 5月27日に冷却した標準区と処理区の苗木の，主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態は第2表である。

標準区，処理区とも，頂芽の大半は開舒し，綻びかけたものも膨らんだものも少ない。

この実験でも，苗木を冷却後徐々に常温に戻す効果が明らかである。即ち，標準区では，主軸の頂芽全体の凍死は78%であるが，処理区では62%である。また開舒した芽は徐々に常温に戻しても効果が少なく，綻びかけた芽や膨らんだ芽では効果が多い。

不定芽を発生する凍死芽の割合も，処理区は標準区より多い。

これらの実験でわかるように，綻びかけた芽は，開舒した芽や膨らんだ芽より凍死しやすい。苗木を冷却後徐々に常温に戻す効果は，開舒した芽では少なく，綻びかけた芽や膨らんだ芽では多い。そのため，開舒した芽の少ない5月17日の実験では，処理区の苗木の主軸の頂芽全体の凍死は12%で，標準区より62%も凍死が少ないが，開舒した芽の多い5月27日の実験では，処理区は標準区より16%凍死が少ないだけである。

表に載つてないが，前年に伸びた1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽などの凍害は主軸の頂芽より少なく，また，膨らんだ芽は綻びかけた芽より著しく凍害が少ない。これらの芽を，徐々に常温に戻す効果は主軸の頂芽の場合ほど明らかでない。

苗木を冷却後徐々に常温に戻すと，すぐ常温に戻すより，不定芽を作る凍死芽の割合が多く，また，不定芽を作つた凍死芽1個平均の不定芽発生数も多い傾向が見られる。

第2表 2年生トドマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.5°～−5.0°C, 2時間)

試験区	芽の状態	凍害状態							不定芽発生状態							
			生		葉だけ凍害		凍死		8月1日				9月1日			
		供試数	個数	%	個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数
標準区	全体	50	11	22			39	78	24	62	37	1.5	27	69	47	1.7
	開舒した芽	39	9	23			30	77	18	60	27	1.5	21	70	35	1.5
	綻びかけた芽	7					7	100	5	71	8	1.6	5	71	10	2.0
	膨らんだ芽	4	2	50			2	50	1	50	2	2.0	1	50	2	2.0
処理区	全体	50	18	36	1	2	31	62	25	81	35	1.4	26	84	43	1.7
	開舒した芽	36	9	25	1	3	26	72	21	81	30	1.4	22	85	37	1.7
	綻びかけた芽	6	2	33			4	67	4	100	5	1.3	4	100	6	1.5
	膨らんだ芽	8	7	88			1	13								

II. 3年生トドマツ苗木で行つた実験

1. 5月18日に冷却した標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第3表である。

第3表 3年生トドマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.0°〜−4.5°C, 1時間)

試験区	芽の状態	凍害状態 供試数	生 個数	生 %	凍死 個数	凍死 %	不定芽発生状態 8月1日 不定芽発生凍死芽数	8月1日 %	8月1日 総不定芽数	8月1日 平均不定芽発生数	9月1日 不定芽発生凍死芽数	9月1日 %	9月1日 総不定芽数	9月1日 平均不定芽発生数
標準区	全体	30	10	33	20	67	2	10	3	1.5	7	35	9	1.3
	開舒した芽	2	2	100										
	綻びかけた芽	17	5	29	12	71	2	17	3	1.5	5	42	7	1.4
	膨らんだ芽	11	3	27	8	73					2	25	2	1.0
処理区	全体	30	17	57	13	43	8	62	14	1.8	11	85	20	1.8
	開舒した芽	5	5	100										
	綻びかけた芽	20	10	50	10	50	6	60	10	1.7	9	90	16	1.8
	膨らんだ芽	5	2	40	3	60	2	67	4	2.0	2	67	4	2.0

標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽には，綻びかけた芽が多く，開舒した芽は少ない。標準区は処理区より膨らんだ芽が多い。即ち，標準区は処理区より，いくらか主軸の頂芽の開芽の時期がおくれていた。

標準区では，主軸の頂芽の2/3が凍死する。綻びかけた芽と膨らんだ芽は70%以上凍死する。処理区は標準区より凍死が少ない。とくに綻びかけた芽は，徐々に常温に戻す効果が著しい。標準区，処理区とも，綻びかけた芽より膨らんだ芽の凍死の割合が多くなつている。

不定芽を作る凍死芽の割合も，作つた不定芽の数も，処理区は標準区より著しく多い。また，処理区は不定芽の大半を8月1日までに作り，標準区より早く不定芽を作つている。

2. 5月18日に冷却した標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第4表である。

この実験に用いた苗木は，同じ5月18日に1時間冷却した苗木より膨らんだ頂芽が多く，開芽の時期がおくれている。標準区では，30個中21個が膨らんだ芽で，処理区より開芽の時期がいつそうおそい。

−4.5°〜−5.0°C で2時間冷却すると，主軸の頂芽の凍死が多く，とくに綻びかけた芽

第 4 表　3年生トドマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.5°〜−5.0°C, 2時間)

試験区	芽の状態	凍害状態					不定芽発生状態							
			生		凍死		8月1日				9月1日			
		供試数	個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数
標準区	全　体	30	4	13	26	87	1	4	1	1.0	1	4	1	1.0
	開舒した芽													
	綻びかけた芽	9			9	100								
	膨らんだ芽	21	4	19	17	81	1	6	1	1.0	1	6	1	1.0
処理区	全　体	30	7	23	23	77	6	26	14	2.3	14	61	28	2.0
	開舒した芽	1	1	100										
	綻びかけた芽	19	1	5	18	95	4	22	10	2.5	11	67	22	2.0
	膨らんだ芽	10	5	50	5	50	2	40	4	2.0	3	60	6	2.0

は，標準区では全部，処理区でも95%凍死する。膨らんだ芽には，徐々に常温に戻す効果があらわれ，標準区の凍死は81%であるが，処理区は僅か半分である。

不定芽の発生状態も，処理時間が長くなると悪く，とくに標準区では，凍死した主軸の頂芽26個中1個が僅か1個の不定芽を作るだけである。しかし処理区では，凍死した頂芽の61%が平均2個ずつ不定芽を作る。

3. 5月24日に冷却した標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第5表である。

第 5 表　3年生トドマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.0°〜−4.5°C, 2時間)

試験区	芽の状態	凍害状態					不定芽発生状態							
			生		凍死		8月1日				9月1日			
		供試数	個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数
標準区	全　体	29	7	24	22	76	2	9	3	1.5	8	36	13	1.6
	開舒した芽	6			6	100	1	17	1	1.0	2	33	3	1.5
	綻びかけた芽	16	5	31	11	69					3	27	4	1.3
	膨らんだ芽	7	2	29	5	71	1	20	2	2.0	3	60	6	2.0
処理区	全　体	30	11	37	19	63	6	32	9	1.5	14	74	24	1.7
	開舒した芽	5	4	80	1	20					1	100	1	1.0
	綻びかけた芽	17	4	24	13	76	2	15	2	1.0	9	69	13	1.4
	膨らんだ芽	8	3	38	5	63	4	80	7	1.8	4	80	10	2.5

標準区，処理区ともに頂芽の半数以上綻びかけ，その他の芽の状態もともに非常に似ている。

この実験の綻びかけた頂芽の凍死は，徐々に常温に戻した処理区のほうが，標準区よりかえつていくらか多い。しかし開舒した芽と膨らんだ芽では，処理区は標準区より明らかに凍死が少ない。

標準区では，凍死した主軸の頂芽の36%が不定芽を作るだけであるが，処理区ではこの2倍以上74%が不定芽を作る。また，標準区，処理区とも，膨らんだ芽は綻びかけた芽より，不定芽を作る割合が多く，また，平均不定芽発生数も多い。凍死した主軸の頂芽は8月1日以後に不定芽を作るものが多く，その割合は，標準区のほうが処理区より多い。即ち，標準区は処理区より，凍死後不定芽を作るまでに期間を要する。

5月24日に $-4.0°\sim-4.5°C$ で2時間冷却した実験では，標準区の綻びかけた芽は処理区のそれよりいくらか凍害が少ないが，主軸の頂芽全体では，処理区は標準区より13%凍害が少なく，徐々に常温に戻す効果が認められる。5月18日に1時間と2時間冷却した実験では，この効果は明らかである。

1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽などの凍害状態も，綻びかけた芽と膨らんだ芽とで調べたが，これらの芽は主軸の頂芽より凍害が少なく，また，膨らんだ芽は綻びかけた芽より著しく凍害が少ない。徐々に常温に戻す効果は，これらの芽では主軸の頂芽ほど明らかでない。

苗木を冷却後徐々に常温に戻すと，不定芽を作りやすくなる。5月18日に $-4.5°\sim-5.0°C$ で2時間冷却した実験では，この効果はとくに著しい。即ち，標準区では，凍死した主軸の頂芽26個中僅か1個が不定芽を作るだけであるが，処理区では23個中14個が不定芽を作る。また，処理区は標準区より，凍死後早く不定芽を作り，作つた不定芽の数も多い。

III. 3年生エゾマツ苗木で行つた実験

1. 5月21日に冷却した標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第6表である。

標準区，処理区の主軸の頂芽の約2/3は開舒した芽で，綻びかけた芽や膨らんだ芽は少ない。

処理区は標準区より，主軸の頂芽全体で13%凍死が少ないが，開舒した芽や綻びかけた芽では，徐々に常温に戻す効果があまり認められない。

不定芽の発生には，徐々に常温に戻す効果が認められる。処理区では，凍死した主軸の頂芽の60%が不定芽を作るが，標準区では僅か1/3が不定芽を作るだけである。

第 6 表　3年生エゾマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.0°〜−4.5°C, 1時間)

試験区	芽の状態	凍害状態 供試数	生 個数	生 %	葉だけ凍害 個数	葉だけ凍害 %	凍死 個数	凍死 %	8月1日 不定芽発生凍死芽数	8月1日 %	8月1日 総不定芽数	8月1日 平均不定芽発生数	9月1日 不定芽発生凍死芽数	9月1日 %	9月1日 総不定芽数	9月1日 平均不定芽発生数
標準区	全体	30	17	57	4	13	9	30	2	22	2	1.0	3	33	6	2.0
	開舒した芽	19	14	73	3	16	2	11	1	50	1	1.0	1	50	2	2.0
	綻びかけた芽	9	3	33	1	11	5	56					1	20	1	1.0
	膨らんだ芽	2					2	100	1	50	1	1.0	1	50	3	3.0
処理区	全体	30	22	73	3	10	5	17	3	60	5	1.7	3	60	7	2.3
	開舒した芽	22	18	81	3	14	1	5	1	100	3	3.0	1	100	3	3.0
	綻びかけた芽	3	1	33			2	67								
	膨らんだ芽	5	3	60			2	40	2	100	2	1.0	2	100	4	2.0

第 7 表　3年生エゾマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.5°〜−5.0°C, 2時間)

試験区	芽の状態	凍害状態 供試数	生 個数	生 %	葉だけ凍害 個数	葉だけ凍害 %	凍死 個数	凍死 %	8月1日 不定芽発生凍死芽数	8月1日 %	8月1日 総不定芽数	8月1日 平均不定芽発生数	9月1日 不定芽発生凍死芽数	9月1日 %	9月1日 総不定芽数	9月1日 平均不定芽発生数
標準区	全体	30	8	27			22	73	1	5	2	2.0	1	5	4	4.0
	開舒した芽	19	6	32			13	68								
	綻びかけた芽	5	1	20			4	80								
	膨らんだ芽	6	1	17			5	83	1	20	2	2.0	1	20	4	4.0
処理区	全体	30	9	30	1	3	20	67	1	5	2	2.0	2	10	5	2.5
	開舒した芽	22	8	36			14	64								
	綻びかけた芽	4			1	25	3	75								
	膨らんだ芽	4	1	25			3	75	1	33	2	2.0	2	67	5	2.5

2.　5月21日に冷却した標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第7表である。

標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の約2/3はともに開舒し，頂芽の状態は似ている。

この実験の，開舒した芽，綻びかけた芽，膨らんだ芽の凍害状態は，標準区も処理区も非常に似ていて，徐々に常温に戻す効果は少しも認められない。

−4.5°〜−5.0°Cで2時間冷却すると，標準区，処理区とも，不定芽の発生が著しく少

第8表 3年生エゾマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.0°〜−4.5°C, 2時間)

試験区	芽の状態	凍害状態					不定芽発生状態							
		供試数	生		凍死		8月1日				9月1日			
			個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数
標準区	全　体	30	15	50	15	50								
	開舒した芽	27	13	48	14	52								
	綻びかけた芽	2	1	50	1	50								
	膨らんだ芽	1	1	100										
処理区	全　体	30	9	30	21	70	1	5	2	2.0	2	10	3	1.5
	開舒した芽	25	9	36	16	64								
	綻びかけた芽													
	膨らんだ芽	5			5	100	1	20	2	2.0	2	40	3	1.5

なく，膨らんで凍死した主軸の頂芽の1部分が不定芽を作るだけである。しかし徐々に常温に戻したほうがいくらか不定芽を作りやすいかも知れない。

3. 5月26日に冷却した標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第8表である。

標準区，処理区とも，主軸の頂芽の大部分は開舒している。

徐々に常温に戻した処理区のほうに，かえって凍死が多い。綻びかけた芽や膨らんだ芽は数が少ないので比べにくいが，開舒した芽でも，標準区は処理区よりいくらか凍死が少ない。

標準区では，凍死した主軸の頂芽は全部不定芽を作らない。処理区でも，開舒した芽は不定芽を作らないが，膨らんだ芽は不定芽を作る。

3年生エゾマツの主軸の頂芽には，冷却後徐々に常温に戻す効果が認められない。主軸の頂芽のうち，開舒した芽は，綻びかけた芽や膨らんだ芽より凍死しにくいようである。

1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽などの凍害状態も，綻びかけた芽と膨らんだ芽について調べたが，これらの芽は主軸の頂芽より凍死しにくい。また，主軸の頂芽では数が少なくて比べられないが，これらの芽では，膨らんだ芽は綻びかけた芽より明らかに凍死しにくい。徐々に常温に戻す効果は，主軸の頂芽と同様，これらの芽にも認められない。

苗木を冷却後徐々に常温に戻した処理区でも，不定芽の発生率は悪いが，それでも，すぐ常温に戻した標準区よりは明らかによい。2時間冷却すると不定芽は非常に出来にく

く，凍死した主軸の頂芽のうち，不定芽を作るのは膨らんだ芽だけである。

これらの実験に用いた3年生エゾマツ苗木は，冷却後2,3カ月間に枯死するものが多く，とくに主軸の頂芽が凍死した苗木の大部分は枯死した。

IV. 2年生アカエゾマツ苗木で行つた実験

1. 5月16日に冷却した標準区，処理区の苗木の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第9表である。

第9表 2年生アカエゾマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−4.5°〜−5.0°C, 2時間)

試験区	芽の状態	凍害状態					不定芽発生状態							
			生		凍死		8月1日				9月1日			
		供試数	個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数
標準区	全体	50	36	72	14	28	3	21	8	2.7	4	29	12	3.0
	開舒した芽													
	綻びかけた芽	2			2	100								
	膨らんだ芽	48	36	75	12	25	3	25	8	2.7	4	33	12	3.0
処理区	全体	50	47	94	3	6	3	100	6	2.0	3	100	7	2.3
	開舒した芽													
	綻びかけた芽	4	4	100										
	膨らんだ芽	46	43	93	3	7	3	100	6	2.0	3	100	7	2.3

第10表 2年生アカエゾマツ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−5.0°〜−5.5°C, 3時間)

試験区	芽の状態	凍害状態					不定芽発生状態							
			生		凍死		8月1日				9月1日			
		供試数	個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	不定芽総数	平均不定芽発生数
標準区	全体	50	31	62	19	38	2	11	2	1.0	5	26	7	1.4
	開舒した芽	2	2	100										
	綻びかけた芽	19	4	21	15	79	1	7	1	1.0	2	13	3	1.5
	膨らんだ芽	29	25	86	4	14	1	25	1	1.0	3	75	4	1.3
処理区	全体	50	27	54	23	46	5	22	7	1.4	6	26	16	2.7
	開舒した芽													
	綻びかけた芽	28	8	29	20	71	3	15	5	1.7	4	20	11	2.8
	膨らんだ芽	22	19	86	3	14	2	67	2	1.0	2	67	5	2.5

標準区，処理区とも，頂芽は殆んど全部膨らんでいた。

処理区では，頂芽の凍死は僅か3個，6%である。しかし標準区では14個28%で，徐々に常温に戻す効果が明らかである。

不定芽も，徐々に常温に戻すと発生しやすく，処理区の凍死した頂芽は全部不定芽を作るが，標準区では，凍死した膨らんだ芽の1/3が不定芽を作るだけである。

2. 5月27日に冷却した標準区，処理区の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第10表である。

標準区の頂芽には膨らんだ芽が多く，処理区では綻びかけた芽が多い。即ち，処理区のほうが開芽が進んでいる。

−5.0°〜−5.5℃で3時間冷却した主軸の頂芽の凍死は，全体として標準区は処理区より少ない。これは標準区に綻びかけた芽が少なかつたためである。膨らんだ芽は凍死しにくく，標準区，処理区とも僅か14%の凍死である。しかし凍死しやすい綻びかけた芽では，徐々に常温に戻す効果が多少認められ，処理区は標準区より凍死が少ないが，それでも71%凍死する。

冷却した時間が長かつたためか，不定芽の発生率は標準区，処理区とも悪く，26%である。標準区，処理区とも，綻びかけた芽は膨らんだ芽より著しく不定芽が出来にくい。また標準区では8月1日の以後に不定芽を作るものが多く，処理区では殆んど8月1日までに作られる。

2年生アカエゾマツ苗木も，2年生，3年生の各トドマツ苗木と同様，徐々に常温に戻す効果が認められる。この効果は膨らんだ芽より綻びかけた芽に著しいようである。また，綻びかけた芽は膨らんだ芽より著しく凍死しやすい。

1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽などの凍死の傾向は，トドマツの場合と全く同じである。

冷却後徐々に常温に戻すと，凍死した主軸の頂芽は不定芽を作りやすく，また，作る時期も早い。綻びかけた芽は膨らんだ芽より著しく不定芽を作りにくい。

V. 2年生ドイツトウヒ苗木で行つた実験

1. 5月23日に冷却した標準区，処理区の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第11表である。

標準区，処理区とも，頂芽50個中43個は膨らんだ芽で，開舒した芽はない。

標準区の綻びかけた芽は全部凍死するが，処理区では，29%生きている。標準区の膨らんだ芽は40%凍死するが，処理区は僅か9%である。綻びかけた芽と膨らんだ芽には，徐々に常温に戻す効果が明らかに認められる。

第11表 2年生ドイツトウヒ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−5.0°〜−5.5°C, 2時間)

試験区	芽の状態	凍害状態					不定芽発生状態							
		供試数	生		凍死		8月1日				9月1日			
			個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数
標準区	全体	50	26	52	24	48	19	79	32	1.7	22	92	45	2.0
	開舒した芽													
	綻びかけた芽	7			7	100	6	86	11	1.8	6	86	15	2.5
	膨らんだ芽	43	26	60	17	40	13	77	21	1.6	16	94	30	1.9
処理区	全体	50	41	82	9	18	5	56	9	1.8	7	78	14	2.0
	開舒した芽													
	綻びかけた芽	7	2	29	5	71	3	60	5	1.7	4	80	8	2.0
	膨らんだ芽	43	39	91	4	9	2	50	4	2.0	3	75	6	2.0

標準区，処理区とも，凍死した主軸の頂芽の大部分は不定芽を作る。また，標準区は処理区よりよく，24個中22個，92%の凍死芽が平均2個ずつ不定芽を作る。

2. 5月26日に冷却した標準区，処理区の主軸の頂芽の凍害状態と不定芽発生状態は第12表である。

処理区の頂芽の90%は膨らんだ芽であるが，標準区には綻びかけた芽が38%もあり開舒した芽も4個あつて，開芽の状態は処理区よりかなり進んでいる。

処理区には綻びかけた芽が少ないので，標準区のそれと比べにくいが，膨らんだ芽で

第12表 2年生ドイツトウヒ苗木の主軸の頂芽の凍害状態及び不定芽発生状態
(−5.0°〜−5.5°C, 3時間)

試験区	芽の状態	凍害状態							不定芽発生状態							
		供試数	生		葉だけ凍害		凍死		8月1日				9月1日			
			個数	%	個数	%	個数	%	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数	不定芽発生凍死芽数	%	総不定芽数	平均不定芽発生数
標準区	全体	50	20	40	3	6	27	54	4	15	9	2.3	10	37	16	1.6
	開舒した芽	4					4	100					1	25	1	1.0
	綻びかけた芽	19	1	5	3	16	15	79	2	13	4	2.0	6	40	9	1.5
	膨らんだ芽	27	19	70			8	30	2	25	5	2.5	3	38	6	2.0
処理区	全体	50	43	86			7	14	5	72	8	1.6	6	86	13	2.2
	開舒した芽															
	綻びかけた芽	5	1	20			4	80	2	50	3	1.5	3	75	8	2.7
	膨らんだ芽	45	42	93			3	7	3	100	5	1.7	3	100	5	1.7

は，処理区は標準区より著しく凍死が少ない。 また主軸の頂芽全体で標準区は 40% も凍死が多いが，これは凍死しやすい綻びかけた芽が処理区より多かつたためである。いずれにしても，徐々に常温に戻す効果はこの実験でも明らかに認められる。

3時間苗木を冷却したこの実験では，標準区は処理区より不定芽の発生率が著しく悪く，不定芽を作つた凍死芽1個当りの不定芽数も少ない。開舒した芽は最も不定芽を作りにくく，膨らんだ芽は最も不定芽を作りやすいようである。また，膨らんだ芽は凍死後すぐ不定芽を作る。

2年生ドイツトウヒ苗木で行つた2つの実験とも，冷却後徐々に常温に戻すと，主軸の頂芽の凍害が著しく少なくなる。標準区，処理区とも，綻びかけた芽は膨らんだ芽より著しく凍害が多い。

−5.0°〜−5.5℃で2時間苗木を冷却した実験では，標準区，処理区とも，凍死した主軸の頂芽の大部分は不定芽を作り，標準区は処理区よりかえつて成績がよいが，3時間冷却すると，徐々に常温に戻す効果があらわれ，処理区は標準区より2倍以上も不定芽発生率が高く，不定芽を作つた凍死芽1個当りの不定芽数も多く，また，凍死後早く不定芽を作る。

VI. 2年生カラマツ苗木の枝で行つた実験

6月4日 −4.0°〜−4.5℃で2時間冷却した標準区，処理区の枝の芽の凍害状態は第13表である。

第13表 2年生カラマツ苗木の枝の芽の凍害状態
(−4.0°〜−4.5℃, 2時間)

試験区	芽の総数	生		葉だけ凍害		凍死	
		個数	%	個数	%	個数	%
標準区	281	185	66	63	22	33	12
処理区	275	206	75	41	15	28	10

この実験には，2年生カラマツ苗木の枝を1本ずつ切残し，30本ずつ木鉢に植えて用いた。標準区の枝 30 本に着いていた芽の総数は 281 個，処理区は 275 個である。これらの芽は全部開舒し，かなり伸びていた。

−4.0°〜−4.5℃で2時間冷却しても凍害は少ない。しかし徐々に常温に戻す効果は明らかで，葉だけの凍害，凍死ともに処理区は標準区より少ない。標準区に，着いている芽が全部凍死した枝が1本あるが処理区にはなく，芽の半分以上が凍害を受けた枝は，標準区に6本，処理区に7本である。また，着いている芽全部に何んの被害もない枝は，標準区に6本，処理区は 11 本である。

考　　察

日出後しばらく日陰になる山や林の西側のトドマツ造林地は，日出とともに朝日の直射を受けるトドマツ造林地より凍害が少ない。また，1本の樹木でも，西側に出た枝の芽は東側に出た枝の芽より凍害が少ない。これらのちがいは，主として，有害な霜日の日出前の低気温から，徐々に温度が上るか，急激に温度が上るかによつて起るものと考えられる。即ち，朝日をさえぎられた日陰の芽は凍結した組織が徐々に融かされ，朝日の直射をうける芽は，凍結した組織が急に融かされることが，凍害のちがいの原因と考えられる。この朝日の影響を実験室で確めるため，苗木を冷却してすぐ戸外に出し直射光に当てるもの，即ち，急に常温に戻すものと，徐々に戻すものと2組つくり，自然状態にみると同じように凍害の差があらわれるかどうかを調べた。

実験に用いたのは，2年生と3年生のトドマツ苗木，3年生エゾマツ苗木，2年生アカエゾマツ苗木，2年生ドイツトウヒ苗木と2年生カラマツ苗木の枝であつたが，3年生エゾマツ苗木以外は，冷却後徐々に常温に戻す効果が著しく，凍害は明らかに少なくなつた。またこの効果は主軸の頂芽の開芽の状態でかなり差がある。前年1954年の実験で，膨らんだ芽は綻びかけた芽より凍死しにくいことに気がついたので，この実験も，これを確めるため，とくに芽の開舒のおそい苗木をえらんだ。そのためこの実験に用いた苗木の主軸の頂芽は，5月中旬以後になつても綻びかけた芽や，膨らんだ芽が多かつた。実験は開芽状態を開舒したもの，綻びかけたもの，膨らんだものの3つに分けたが木鉢の苗木は開芽の状態が連続的に進行しており，また，3つに分けたため，供試数の少ない芽があらわれたりして，結果は多少ばらついたが，それでも一般的な傾向として，開舒した芽は徐々に常温に戻す効果が最も少ないことが明らかであつた。また綻びかけた芽と膨らんだ芽はこの効果が多く，しかも綻びかけた芽は膨らんだ芽よりこの効果がいくらか多いように思われる。たとえば，2年生トドマツ苗木で行つた5月17日の実験は，開舒した主軸の頂芽が少なかつたため，徐々に常温に戻すと62%も凍死が減るが，開舒した芽が多くなつた5月27日の実験では，16%凍死が減つただけである。

1954年の実験と同様，この実験でも，綻びかけた芽は膨らんだ芽より凍死しやすい。

トドマツ，エゾマツ，アカエゾマツなどの苗木の前年に伸びた1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽の凍害は，綻びかけた芽も膨らんだ芽も，主軸の頂芽より凍死しにくかつた。この傾向は，1年生の主軸の下部に着いている芽や，苗木の下部から出ている枝の頂芽ほど著しい。これらの芽は主軸の頂芽より木鉢の土壌に近く，また，内径35×25 cmの木鉢に，3年生苗木は30本，2年生苗木は50本植え，かなり密植したため，主軸の頂芽より冷却しにくいことが凍害の少ない原因の一つであつたと考えられる。苗木を冷却後徐

々に常温に戻す効果は，1年生の主軸に着いている芽や枝の頂芽では主軸の頂芽ほど明らかでなく，エゾマツ苗木では，主軸の頂芽と同様，全くこの効果を認められない。これらの芽は，冷却後すぐ戸外に出し直射光にさらした標準区でも，主軸の頂芽とちがつて日陰になりやすく，また，冷えた木鉢の土壌に近いため，主軸の頂芽ほど急激な温度の上昇のないことが，この効果のはつきりしない主な原因と考えられる。

苗木を冷却後徐々に常温に戻すと著しく不定芽を発生しやすい。凍害率にこの効果が認められないエゾマツでも，不定芽の発生には明らかにこの効果がある。徐々に常温に戻すと，不定芽を作る凍死芽の割合が多くなるばかりでなく，不定芽を作つた凍死芽1個当りの不定芽数も多く，そのうえ，凍死後早く不定芽を作る。

主軸の頂芽のうち，開舒した芽は最も不定芽を作りにくく，膨らんだ芽は最も不定芽を作りやすいようである。3年生トドマツ苗木，3年生エゾマツ苗木，2年生アカエゾマツ苗木は，凍死した主軸の頂芽のうち，開舒した芽と綻びかけた芽は不定芽を全く作らないことがある。このことは苗木を冷却後すぐ常温に戻した標準区に多い。

また，長時間の冷却で凍死した芽は不定芽を作りにくい。このことは標準区ではとくに著しい。

摘　　要

朝日の影響を確めるため，苗木を冷却後すぐ直射光にさらし常温に戻すものと，日陰におき除々に常温に戻すものを作り，芽の凍害と不定芽の発生状態をくらべた結果は次のとおりである。

1. 林地における朝日の影響は実験室でも確めることが出来た。即ち，エゾマツ以外の4樹種トドマツ，アカエゾマツ，ドイツトウヒ苗木の主軸の頂芽，カラマツ苗木の枝の芽は，徐々に常温に戻すと凍害が著しく少なくなる。ことにトドマツはこの傾向が著しい。

2. 苗木を冷却後徐々に常温に戻す効果は，主軸の頂芽の開芽状態でちがう。開舒してしまつた芽は最も効果が少なく，綻びかけた芽と膨らんだ芽とは効果が多い。しかも綻びかけた芽は膨らんだ芽よりいくらか効果が多いようである。

3. 綻びかけた芽は膨らんだ芽より凍害を受けやすい。

4. 主軸の頂芽以外の芽はこれより凍害を受けにくい。また徐々に常温に戻す効果は主軸の頂芽ほど明らかでない。

5. 苗木を冷却後徐々に常温に戻すと，凍死した芽の跡に不定芽が発生しやすい。エゾマツ苗木も例外でない。また不定芽の発生が多くなるばかりでなく，不定芽を作つた凍死芽1個当りの不定芽数も多く，そのうえ，凍死後早く不定芽を作る。

6. 主軸の頂芽の開芽状態で，凍死した頂芽の跡にできる不定芽の発生率がちがう。開舒した芽は最も不定芽を作りにくく，膨らんだ芽は最も不定芽を作りやすい。

7. 苗木を冷却する時間が長いほど，凍死した主軸の頂芽は不定芽を作りにくくなる。このことは冷却後すぐ常温に戻した場合とくに著しい。

参考文献

AMANN, H.: Birkenvorwald als Schutz gegen Spätfröste. Forstw. Cbl. 501, 584, 1930.

CONSTANTINESCU, E.: Weitere Beiträge zur Physiologie der Kälteresistenz bei Wintergetreide. Planta, 21, 304-323, 1933.

DAY, W. R. and PEACE, T. R.: The experimental production and the diagnosis of frost injury on forest trees. Oxford Forestry Memoirs, 16, 1-60, 1934.

GEIGER, R.: Spätfröste auf den Frostflächen bei München. Forstw. Cbl. 290, 1926.

神奈川県農林部: 凍霜害状況調査報告. 1954.

今田敬一: 晩霜季における林地の低気温. 北大農学部演習林研究報告, 14巻1号, 1-46 1948.

———: 造林地のとどまつの凍害に関する研究. 北大農学部演習林研究報告, 16巻2号, 117-174, 1953.

三 重 県: 茶凍霜害実態調査書. 1954.

MÜNCH, E.: Die Knospenentfaltung der Fichte und die Spätfrostgefahr. Allg. Forst- und Jagdzeit., 99, 241-265, 1923.

埼 玉 県: 茶凍霜害防止対策調査成績. 1954.

静岡県経済部: 茶凍霜害防止対策調査成績. 1954.

田沢 博: 北方気象と寒地農業. 1945.

———: 霜と霜害. 寒地農学, 1巻2号, 3号, 1947.

吉井義次: 植物凍死と耐寒性の問題. 農業及園芸, 11巻1号, 43-52, 1936.

Summary

The frost damage to trees which are exposed to sunshine directly after sunrise is more striking than that of trees which remain in shadow a considerable time after sunrise.

In order to investigate this effect of the morning sun upon the frost damage of tree seedlings in laboratory, two different treatments were made as follows; tree seedlings were (1) directly and (2) gradually exposed to ordinary temperature (10°~20°C) after cooling.

The frost damage to terminal buds of tree seedlings which are directly exposed to ordinary temperature is more striking in Todomatsu (*Abies Mayriana*), Akajezomatsu (*Picea Glehni*), Doitsutōhi (*Picea excelsa*) and Karamatsu (*Larix Kaempferi*). But in Jezomatsu (*Picea jezoensis*), no difference of frost damage is recongnized among the terminal buds of tree seedlings which received different treatments.

Adventitious bud arises easier and more numerous in the place of damaged

buds of tree seedlings which are gradually exposed to ordinary temperature. Jezomatsu is no exception.

An unfolding bud is damaged easier by cooling than an unfolded one and swelling one.

Adventitious bud arises most easily in the place of damaged swelling bud.