

## クロマツ植栽苗への防風柵による寒干害の助長効果

真坂一彦・鳥田宏行・今 博計・佐藤 創・福地 稔

### The effect of shading by fences on winter dessication damage of planted *Pinus thunbergii* saplings caused by frozen soil

Kazuhiko MASAKA, Hiroyuki TORITA, Hirokazu KON,  
Hajime SATO and Minoru FUKUCHI

#### 要 旨

本研究では、土壤凍結による寒干害がみられる日高町豊郷のクロマツ海岸林造成地において、防風柵による被陰がもたらす寒干害の助長効果を検討した。1998年～2003年にかけて造成された80ブロック（1ブロックの大きさは20m×12m）について、ブロック内に6列ある植栽列ごとに生残率を一般化線形モデルによって解析したところ、海側の植栽列、すなわち防風柵によって被陰される植栽列の生残率が有意に低い結果となった。また、2つのブロックにおいて、2008年と2009年に、火山灰土が施されたもとの植栽列、およびそれらの間の砂地に植栽試験を行い（計12列）、越冬後の生残状況について順位回帰分析を行ったところ、防風柵によって被陰される植栽列の枯死・枯損が有意に多い結果となった。植栽試験と同時に越冬期間中の土壤凍結深を測定したところ、2009年～2010年の土壤凍結期間は、防風柵によって被陰される植栽列が、それ以外の植栽列よりも長く、凍土融解時期が約1ヵ月遅かった。これらの結果から、日高町豊郷のクロマツ海岸林造成地において防風柵によって被陰される場所では凍土の融解時期が遅くなり、寒干害が助長されると結論できる。

#### キーワード：

#### はじめに

北海道における道路や鉄道の沿線、あるいは海浜地域に防風林や防雪林を造成する際には常緑針葉樹が用いられることが多い。しかし、北海道には太平洋側を中心として冬季に雪が少ない地域、いわゆる寡雪地域があり、そのような寡雪地域で植栽された常緑針葉樹の苗は、土壤凍結によって寒干害を受けやすい（伊藤，1997；Masaka *et al.*，2010；小沢・中野，1976；坂上，1983；酒井ら，1969；酒井，1982）。ここでいう寒干害とは、凍土が融けきれない時期に気温が高くなったことで光合成が始まっても、根が水を吸収できないまま蒸散だけがすすみ、その結果として樹体が乾燥して衰退・枯死する被害のことをいう。たとえば土壤タイプによって土壤の凍結・融解過程が異なるため、この寒干害を軽減するためには、凍土の融解が遅い土壤条件での植栽を避けるなどの対策が提案できる（Masaka *et al.*，2010）。

一般に、土壤凍結は、気温だけでなく太陽放射によっても影響を受ける。すなわち、地表への太陽放射が遮られる日陰では土壤凍結深が深くなり、また凍土の融解時期が遅くなる。

たとえば山地の北側斜面では、地表に到達する太陽放射エネルギーが南側斜面よりも少なくなるために、凍土の融解時期が遅れることはよく知られている（荒木，1989）。当然、人工構造物によって被陰される場所も凍土の融解時期が遅くなる。防風林を造成する際には、植栽した苗木を強風から守るため防風柵が設置されるが、この防風柵の設置によってできる日陰部分の凍土の融解時期が遅くなり、かえって植栽木の寒干害を助長することは十分に予想される。寡雪地域において樹木苗の植栽を行うのであれば、このような局所的な凍土の発達の違いにも配慮しなくてはならない。しかし、防風柵による寒干害の助長効果についての報告は、これまでのところまったくない。寒干害の軽減を目的とする造成方法の改善のために、防風柵による寒干害の助長効果を検証する必要がある。

そこで本研究では、日高町豊郷のクロマツ海岸林造成地において、防風柵による寒干害の助長効果を検証するため、1) 現状把握として既植栽苗の生残率と防風柵との位置関係を評価し、さらに、2) 土壤タイプの違いによる生残と防風柵との位置関係について植栽試験を行って評価した。

## 調査地と調査方法

### 調査地

調査地となった日高町豊郷 (42°28'N, 142°7'E) は日高地方にあり、冬季が寒冷寡雪のために季節的凍土が発達しやすい地域である。気象庁による観測データ (1979年～2000年; <http://www.data.kishou.go.jp/>) によると、日高町門別本町の平均年降水量は945.2mm、最暖月 (8月) および最寒月 (1月) の月平均気温はそれぞれ20.2°Cおよび-5.7°Cである。1月または2月に日最低気温が-20°Cを下回ることもしばしば観測されている。積雪深については門別本町では観測されていないが、近隣の静内町 (42°20.7'N, 142°21.7'E) における平均年最大積雪深 (±標準偏差) は21.2±8.4cm (1989年～2007年)、また苫小牧市 (42°37.3'N, 141°32.8'E) のそれは29.7±14.6cm (1962年～2007年) であり、積雪がほとんどない年もある。

調査を行ったクロマツ海岸林は、1957年 (昭和32年) に初めて飛砂防備の目的で造成されたが、度重なる補植や改植の努力にかかわらず現代にいたるまで不成績が続いている。最近では1998年から2003年までの6年間で図-1Aに示すような改植が行われたが、やはり多くの区画で不成績となった。この不成績原因は、Masaka *et al.* (2010) によって寒干害であると報告された。1つの区画は20m×12mの大きさで、高さが約1.8mの木製防風柵で囲われている (以下、ブロックBlockと呼ぶ)。海側の最前列には土塁が築かれ、土塁上には高さが約1mの木製防風柵が設置されている。各区画には、区画の長辺に平行にクロマツ苗が等間隔で6列植栽された (図-1B)。一列あたり、40～45本のクロマツ苗が0.5m間隔で植栽されているため、植栽密度はほぼ10,000本/haである。植栽された苗木の大きさは樹高約50cmである。造成地内のももとの土壌は海岸未熟土、いわゆる砂地であり、そのため植栽前の各植栽列に1m幅×0.5m深の火山灰土が客土された。この火山灰土による客土が寒干害を助長していることがMasaka *et al.* (2010) によって指摘されている。

### 調査方法

#### 植栽列ごとの苗木の生残率の評価

既植栽苗の死亡について防風柵との位置関係の評価するため、秋植えされたブロックを除く全ブロック ( $n = 80$ ) において、2006年10月に、列ごとに各苗木の生死を記録した。調査対象となった苗木は19,140個体である。苗木の生残確率については、植栽列あたりの植栽本数が40～45本と大きく異なることから、植栽列ごとに生残率を算出し、以下の一般化線形モデルによって評価した。

(1式) 生残率 =  $a_0 + a_1$  植栽列 +  $a_2$  積算寒度 +  $a_3$  500°C

・日以上の経験数

ここで、 $a_i$  ( $i = 0 \sim 3$ ) はモデルのパラメータである。目的変数の「生残率」は [列あたりの生残数] / [列あたりの植栽本数] × 100で求めて逆正弦変換を行った (Sokal and Rolf, 1995)。説明変数の「植栽列」は因子と定義した。「積算寒度」は、冬季間 (12月～3月) における日平均気温が氷点下となった気温を積算して得られる値の絶対値 (単位は°C・日) であり、共変量と定義した。「500°C・日以上の経験数」は、植栽年以降の積算寒度が500°C・日を上回った年の回数であり共変量と定義した。この「500°C・日以上の経験数」は苗木の枯死に影響を与える要因とされる (Masaka *et al.*, 2010)。

モデルの適合度についてはAICによって評価した (Anderson and Burnham, 2001)。1式をFullモデルとし、Fullモデルから説明変数を順次削除した際に得られるAICと比較して、もっとも小さいAICを示したモデルを適合度が高いモデルとして採用した (Crawley, 2005; McCarthy, 2007)。解析はPASW 17.0J for Windowsで行った。

#### 土壌タイプの違いによる生残と防風柵との位置関係

防風柵との位置関係を考慮した土壌タイプ別の植栽苗の生残率を評価するため、2008年5月 (以下、2008年植栽)、そして2009年5月 (以下、2009年植栽) に、B区およびC区の客土部位 (以下、客土区) と砂地 (以下、砂区) にクロマツの特号苗を各120本植栽した (計480本; 区画の位置は図-1参照)。各植栽年の11月に生育期間中の枯死を把握し、越冬後、5月下旬に寒干害による枯死・枯損状況を記録した。2008年植栽については、さら2009年11月に植栽後2年目の生育期間中の枯死を記録し、2回目越冬後の2010年5月下旬に寒干害による枯死・枯損状況を記録した。寒干害による枯死・枯損状況は、次のような寒干害示数で評価した。すなわち、0; 被害なし～全1年生葉の50%未満が赤変、1; 全1年生葉の50%以上～100%未満、2; 枯死、である。1年生葉を対象としたのは、クロマツの平均葉寿命は2.6年であり (大島, 1992)、現地では植栽苗の2年生葉が越冬後にすべて赤変するため、寒干害の指標にならないためである。また、目視による枯死が確認できるまでには時間がかかる可能性を考慮し、それぞれの調査年において11月下旬に最終的に枯死を確認した。植栽列ごとの寒干害による枯死・枯損状況は、2式のような順序回帰分析によって評価した。

(2式) 寒干害示数 =  $b_0 + b_1$  1/植栽列 +  $b_2$  土壌タイプ × 1/植栽列 +  $b_3$  反復 × 1/植栽列

ここで、 $b_i$  ( $i = 0 \sim 3$ ) はモデルのパラメータである。目的変数の「寒干害示数」は順序のあるカテゴリー変数である。2008年植栽では寒干害示数0と1に大きな差がなかったために、リンク関数としてロジットを選択し、2009年植栽では寒干害示数が大きいほど個体数が少ないため負ログ・マイナス・ログを選択した (cf. 石村, 2005)。植栽列の位置の効果は共

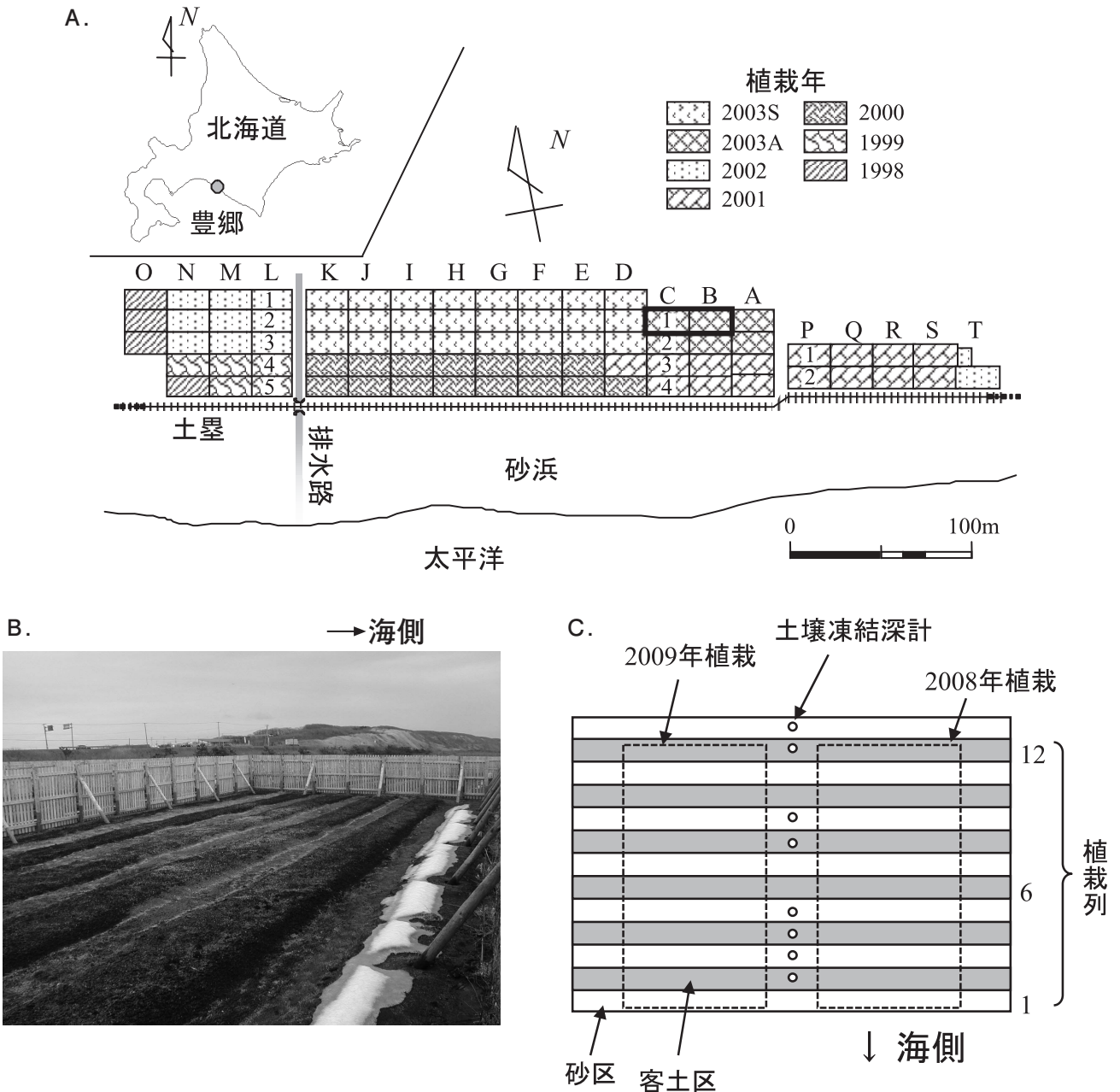


図-1 調査地概況.

A) 造成地におけるブロックの配置状況, B) ブロック内の植栽前の様子, C) 植栽試験地の概況. ブロックにはアルファベットと数字の組合せによる番地を付けている. 植栽試験地はB1とC1に設定し(太線で囲われている), 本研究ではそれぞれB区, C区と呼ぶことにする. 植栽年についての凡例の2003Sと2003Aは, それぞれ2003年の春植栽と秋植栽を意味する.

変量とした。このとき、被陰される植栽列が集中的に寒干害を受けるといふ仮説に従うと、植栽列の位置の効果は、1次線形というよりはむしろ反比例曲線に近似されるような曲線の方が説明力が高いと推察される。そこで、説明変数に植栽列を入れる際には反比例式（ $1/\text{植栽列}$ ）とした。そして反比例式の形状に影響を与えるのは分子であることから、カテゴリ変数の「土壌タイプ（客土 vs. 砂）」および「反復（B1区 vs. C1区）」の効果を評価する際、 $1/\text{植栽列}$ との交互作

用とした。「土壌タイプ」および「反復」は因子と定義した。解析は2008年植栽（2年生）および2009年植栽（1年生）の2グループに分け、それぞれ2010年の枯死・枯損データを対象にした。2008年植栽グループの解析では、2008年以内に枯死した16個体を除いた。2009年植栽グループには生育期間中に枯死した個体はみられなかった。

モデルの適合度についてはAICによって評価した（Anderson and Burnham, 2001）。2式をFullモデルとし、Full

モデルから「1/植栽列」, または「土壌タイプ×1/植栽列」を削除した際に得られるAICと比較し, もっとも小さいAICを示したモデルを適合度が高いモデルとして採用した (Crawley, 2005; McCarthy, 2007)。「反復」は比較の対象から外した。解析はPASW 17.0J for Windowsで行った。なお, PASW 17.0J for Windowsによる順序回帰分析ではAICが出力されないが,  $-2 \times$ 対数尤度が出力されることから,  $-2 \times$ 対数尤度 +  $2 \times$ パラメータ数によってAICを計算した (cf. McCarthy, 2007)。

### 季節的凍土の観察

季節的凍土に対する防風柵の被陰効果を評価するため, 図-1Cに示すように, 2008年植栽区と2009年植栽区のあいだにスライド式の土壤凍結深計を設置し, 2008年および2009年の12月から翌年4月までの凍土の分布を1週間~2週間間隔で記録した。土壤凍結深計は透明な塩ビ管で作成しており, 約1m深まで測定可能である。また, スライド式の2重構造で, 内側の塩ビ管にメチレンブルー水溶液を地表面に一致するまで入れており, 測定の際には内側の塩ビ管を引き抜き, 凍結範囲を測定できるようになっている。また, 凍結膨張による破裂を防ぐため, 内側塩ビ管には先端を閉じたビニールチューブを挿入している (Masaka *et al.* [2010] 参照)。土壤凍結深計は, B区とC区ともに2列目 (客土区), 3列目 (砂区), 4列目 (客土区), 5列目 (砂区), 8列目 (客土区), 9列目 (砂区), 12列目 (客土区), 13列目 (砂区) の8列に設置した (計16本)。

凍土の融解完了日は, 以下の3式によって推定した地表側の凍結線および地下側の凍結線の交差点とした。

$$(3式) \quad D_x = \frac{D_{t-2} - D_{t-1}}{(t-2) - (t-1)} (x - [t-2]) + D_{t-2}$$

ここで,  $D_x$ は $x$ 日における凍結線の深度,  $t$ は越冬後, 凍土が初めて確認できなかった調査日 (最終観測日),  $t-i$ は最終観測日を1番目としたとき終わりから $(i+1)$ 番目の調査日を表す (たとえば $D_{t-1}$ は, 最終観測日より1回前の調査日の凍結線の深度である) (詳細はMasaka *et al.* 2010を参照)。なお, 凍土が急速に融解したために3式によって凍結線の移動速度が推定できない場合, 最終観測日を凍土の融解完了日とした。

現地における冬季の気温環境を把握するため, 調査地付近において部分的に造成が成功しているクロマツ林内のクロマツ樹幹に, 11月下旬から4月下旬まで温度計 (おんどとりJr, T&D社) を2台設置した。センサーはステンレス製の管 ( $\phi 2\text{cm} \times 50\text{cm}$ 長) に通し, サンフレックスがセンサーに直接当たらないように注意した。気温は1時間ごとに測定した。また, 門別で観測されているAMeDASデータから毎冬の積算寒度を推定した (1999年/2000年の冬季~2009年/2010年の冬季)。

## 結果

### 既往植栽地の生残率に植栽列の位置がおよぼす影響

既往植栽地におけるクロマツ苗木の生残率を図-2に示す。クロマツ苗木の生残率について一般化線形モデルによって解析したところ, すべての変数を含むFullモデルがもっとも低いAICを示した (表-1, 2)。これらの変数のうち, AICの変化量, すなわち $\Delta AIC$ は「植栽列」を除いた場合のモデルがもっとも大きく, 次いで「積算寒度」を除いた場合のモデルとなり, 植栽列は苗木の生残率に対して大きな影響を与えていることが示唆された。

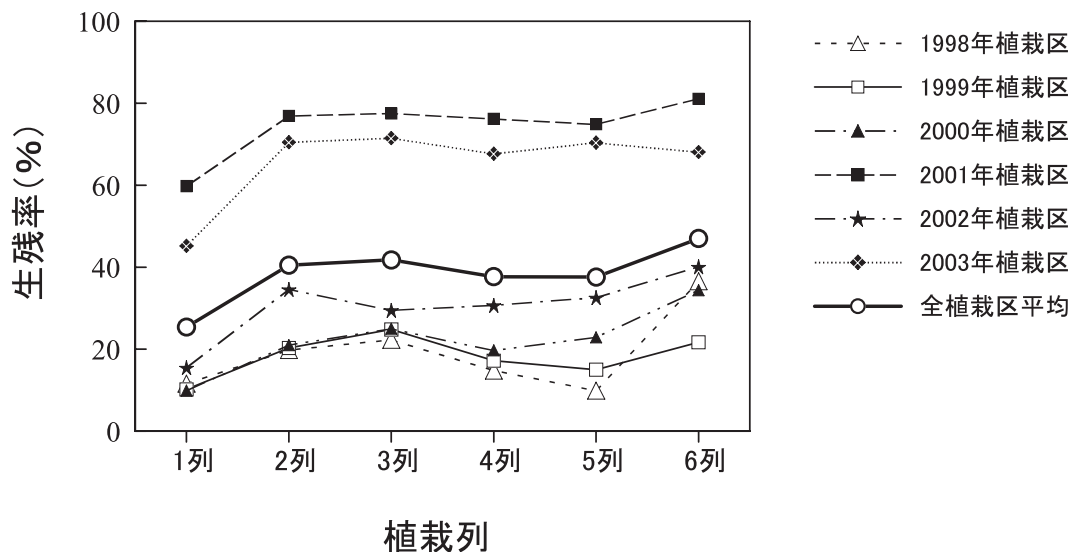


図-2 既往植栽地における植栽列別・植栽年別のクロマツ苗木の生残率。

表-1. 生残率に対する植栽列の位置効果についてのGLMによる解析結果.

変数	パラメータ	SE	95% Wald 信頼区間	
			下限	上限
切片	82.730	3.194	76.470	88.990
植栽列				
1 列目	0.000	-	-	-
2 列目	13.099	2.444	8.309	17.889
3 列目	13.874	2.444	9.084	18.664
4 列目	11.477	2.444	6.687	16.267
5 列目	12.158	2.444	7.368	16.948
6 列目	16.121	2.444	11.331	20.912
積算寒度	-0.106	0.007	-0.120	-0.092
経験数 <sup>a</sup>	-1.680	0.708	-3.068	-0.292

<sup>a</sup>, 500℃・日以上の経験年数.

表-2. Fullモデルから各変数を削除した際のAICの変化量(ΔAIC). ΔAICはもっとも小さいAIC値からの差.

	AIC	ΔAIC
Fullモデル	3674.8	0.0
- 植栽列	4243.0	568.2
- 経験数	3678.4	3.6
- 積算寒度 <sup>a</sup>	3849.9	175.1

<sup>a</sup>, 500℃・日以上の経験年数.

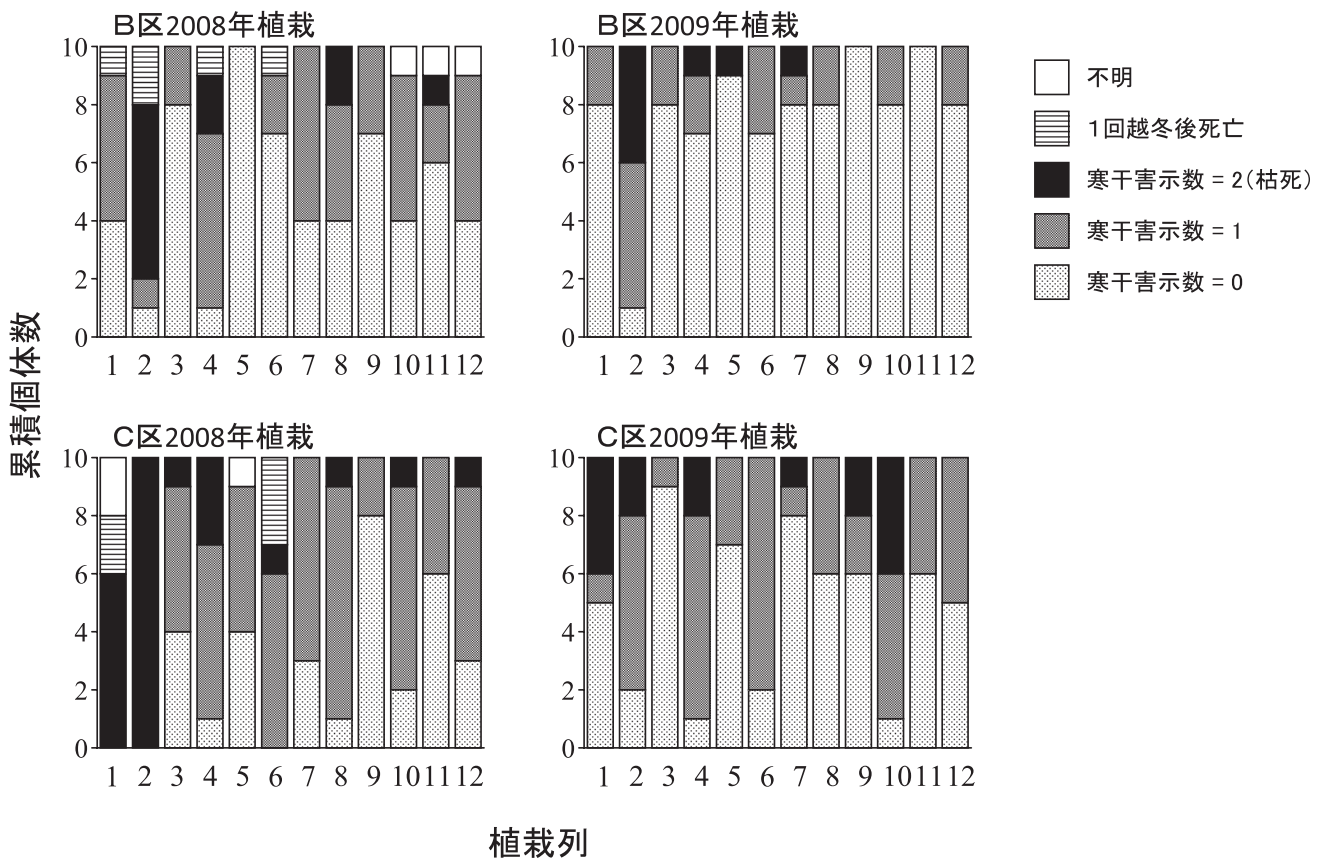


図-3 植栽試験地におけるクロマツ苗木の生残状況.  
植栽列番号のうち、奇数番号は砂区、偶数番号は客土区.

植栽列間のパラメータの大きさについて95% Wald信頼区間をもとに比較すると、生残率は、防風柵に被陰される海側の植栽列(1列目; 図-1B参照)は、他の植栽列すべてとのあいだで有意な差が認められ(表-1), 1列目はそれらの植栽列より生残率が低い傾向にあった。

### 土壌タイプの違いによる生残と防風柵との位置関係

植栽試験におけるクロマツ苗木の越冬後の枯死・枯損状況について、植栽年別に図-3に示す。順序回帰分析の結果、植栽年の違いに関わらず、すべての変数を含むFullモデル、および「1/植栽列」を除いたモデル(以下、「-1/植栽列」モデル)がもっとも低いAICを示した(表-3, 4, 5, 6)。最

表-3. 植栽試験地における2008年植栽クロマツ苗木の枯死・枯損状況についての順序回帰分析による解析結果.

変数	パラメータ	SE	95% Wald 信頼区間	
			下限	上限
しきい値				
寒干害示数 1	0.991	0.236	0.529	1.453
寒干害示数 2	4.260	0.431	3.415	5.105
位置				
土壌タイプ×1 / 植栽列				
砂区	6.650	1.268	4.164	9.135
客土区	16.207	2.014	12.260	20.154
反復×1 / 植栽列				
B区	-5.857	1.180	-8.171	-3.543
C区	0.000	-	-	-

適合度: Pearsonは  $\chi^2 = 53.359$ ,  $p = 0.134$ ; 逸脱は  $\chi^2 = 50.630$ ,  $p = 0.198$  (cf. 石村, 2005).

表-4. 2008年植栽苗木についてのFullモデルから各変数を削除した際のAICの変化量 ( $\Delta AIC$ ).  $\Delta AIC$ はもっとも小さいAIC値からの差. Nullモデルは切片のみのモデル.

	AIC	$\Delta AIC$
Null モデル	238.527	112.541
Fullモデル	125.986	0.000
- 1 / 植栽列	125.986	0.000
- 土壌タイプ×1 / 植栽列	182.389	56.404

表-5. 植栽試験地における2009年植栽クロマツ苗木の枯死・枯損状況についての順序回帰分析による解析結果.

変数	パラメータ	SE	95% Wald 信頼区間	
			下限	上限
しきい値				
寒干害示数 1	1.284	0.178	0.935	1.632
寒干害示数 2	2.960	0.271	2.429	3.491
位置				
土壌タイプ×1 / 植栽列				
砂区	1.045	0.446	0.171	1.919
客土区	4.690	0.740	3.240	6.140
反復×1 / 植栽列				
B区	-1.468	0.607	-2.657	-0.279
C区	0.000	-	-	-

適合度: Pearsonは  $\chi^2 = 78.283$ ,  $p = 0.001$ ; 逸脱は  $\chi^2 = 83.629$ ,  $p = 0.000$  (cf. 石村, 2005).

表-6. 2008年植栽苗木についてのFullモデルから各変数を削除した際のAICの変化量 ( $\Delta AIC$ ).  $\Delta AIC$ はもっとも小さいAIC値からの差. Nullモデルは切片のみのモデル.

	AIC	$\Delta AIC$
Null モデル	197.834	36.741
Fullモデル	161.093	0.000
- 1 / 植栽列	161.093	0.000
- 土壌タイプ×1 / 植栽列	190.778	29.685

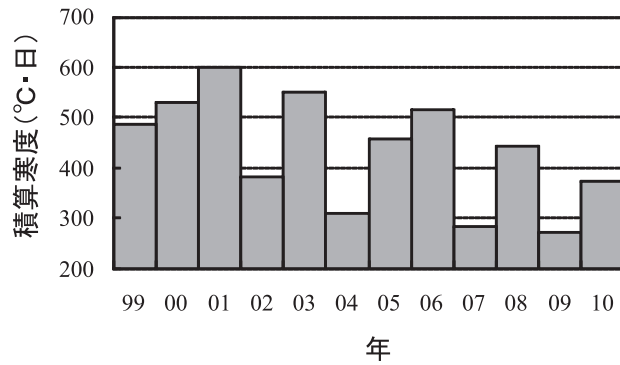


図-4 各冬季の積算寒度.

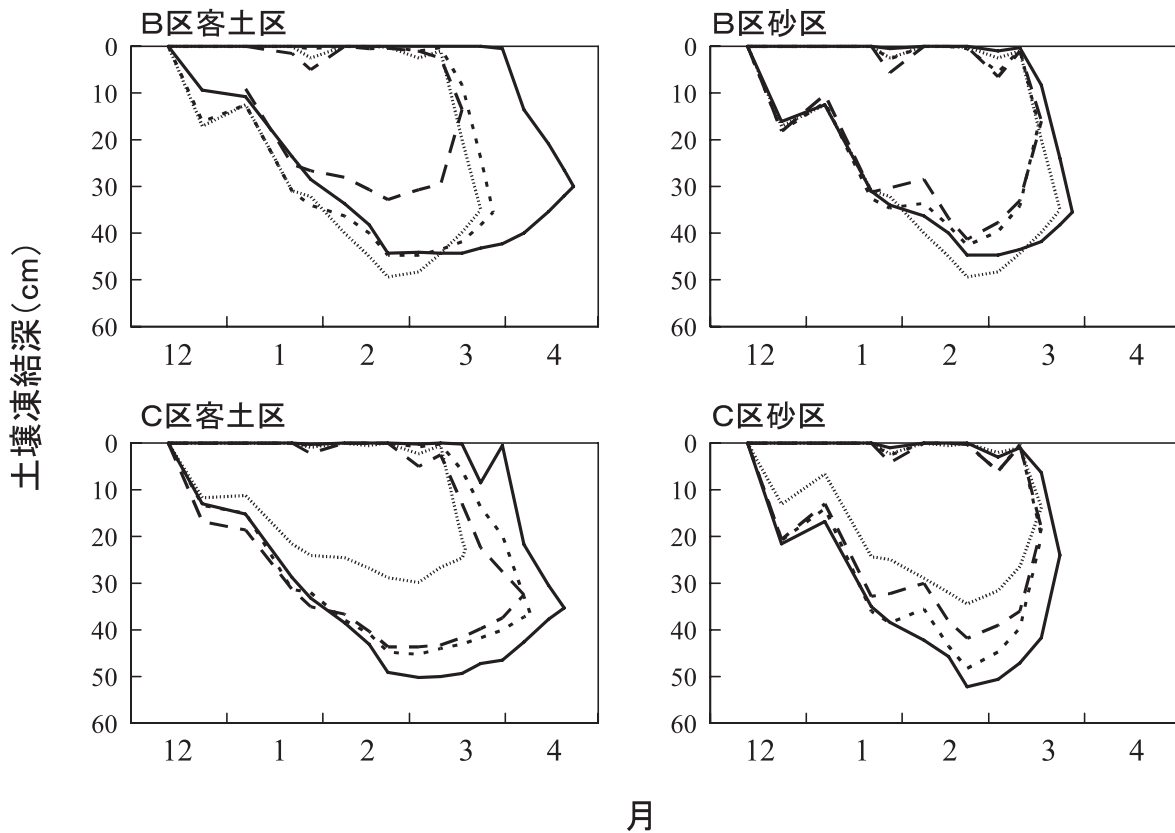


図-5 調査地における土壌凍結深プロファイル (2009年~2010年).

上下の同じ線種で表された凍結線に挟まれた部分が凍土の範囲。実線、長破線、短破線、点線の順で海寄りから内陸寄りと並んでおり、それぞれ客土区では2列目、4列目、8列目、12列目、砂区では3列目、5列目、9列目、13列目となっている。図-1C参照。

節約原理に従うと、Fullモデルより「-1/植栽列」モデルの方がもっとも説明力が高いモデルといえる (cf. McCarthy, 2007)。また、「土壌タイプ×-1/植栽列」における各カテゴリーの係数は、いずれの植栽年でも「客土」が「砂」より大きく、客土に植栽された苗木が枯死・枯損しやすいことを示唆している。ただし、適合度については、2008年植栽は $p > 0.10$ であるため (表-3)、観測値と予測値はほぼ適合してい

るといえるが、2009年植栽は $p < 0.01$ となり (表-5)、観測値と予測値に大きなずれが生じていた。観測値と予測値に大きなずれが生じているとはいえ、「-1/植栽列」モデルのAICはNullモデルのAICよりはるかに小さく、そのため、2009年植栽についても、粗粗ながら「-1/植栽列」モデルは現状をある程度説明していると考えて差し支えない。

位置別の土壤凍結深プロファイル

2008年から2009年の冬季は最近10年間の冬のなかでももっとも暖冬で(図-4), 土壤凍結深も最大で31.7cmを一度記録しただけで, 寒干害はほとんど発生しないと考えられたため(cf. Masaka *et al.*, 2010), 評価の対象から外すことにする。調査地の土壤凍結深プロファイルを図-5に示す。2009年から2010年の冬季は, 客土区6列目において3月4日に最大50.2cm, 砂区6列目において2月22日に52.2cmの凍結深が観測された(いずれもC区)。とくに2010年4月は前年の4月より冷涼で(図-6), 凍土は4月中旬までみられた(図-5; Masaka *et al.* [2010] 参照)。凍土融解時期は客土区が砂区よりも遅く, 13列目は3月中旬には完全に融解したが, 1列目は4月中旬まで凍土が残り, その差は30日以上に達した(図-7)。また同じ客土区で比較すると, 海側に近い列ほど融解時期が遅い傾向があった。また, もっとも内陸側の客土の植栽列の融解時期は, もっとも海側の砂区の植栽列と大きな差は認められなかった(図-7)。一方, 砂区では, もっとも海側の植栽列が他の植栽列よりも融解時期が遅いものの, 植栽列間で大きな違いはみられなかった。

なお, 積雪は, 海側防風柵の被陰される範囲において最大14cm程度観測されたが, ほとんど積雪はなく, 凍土の発達や融解に影響を与えるほどのものではない。

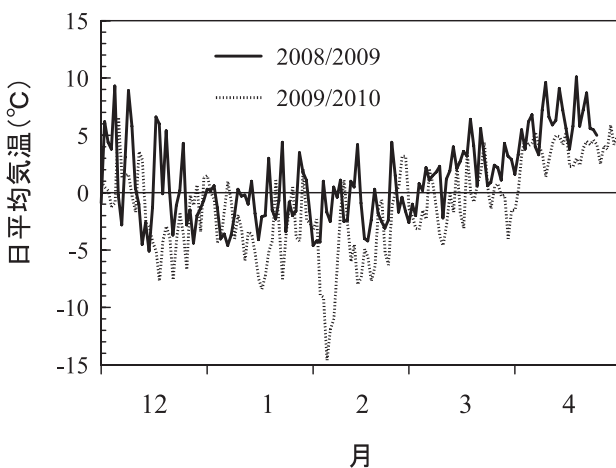


図-6 調査地における冬季の気温環境。

考察

1998年~2003年に造成された全区画(秋植栽区を除く)の全植栽苗の生残状況を調査したところ, 防風柵の北側背後の植栽列の生残率が, 他の植栽列と比較して有意に低い結果となった(図-2, 表-1)。この結果は今回の植栽試験の結果とも一致する(図-3, 表-3, 5)。防風柵の北側となるために被陰される場所では, とくに春季が冷涼だった2010年の凍土の融解完了日が4月下旬にさしかかり, 植栽区中央付近の凍土と比べて約1ヵ月遅かった(図-4, 6)。これらの結果から, 冬季に寒冷寡雪のために季節的凍土が発達する地域に造成されたクロマツ海岸林において, 防風柵は北側背後を被陰することで凍土の融解完了を遅らせ, クロマツ苗木の寒干害を助長していると結論することができる。

また土壤タイプの違いも被害に大きく関わっていた。本研究の植栽試験では, 客土区と砂区は交互に並んでいるため(図-1B), 土壤タイプ間の土壤凍結深プロファイルの違いや苗木の生残率の違いを, 防風柵との位置関係から単純に比較することはできないが, 火山灰土による客土の凍土の融解完了時期は砂区よりも遅い傾向にある(図-4, 6)ことは事実であり, これが苗木の寒干害をさらに助長したといえる(Masaka *et al.* [2010] 参照)。

以上から, 日高町門別本町豊郷における海岸林造成地では,

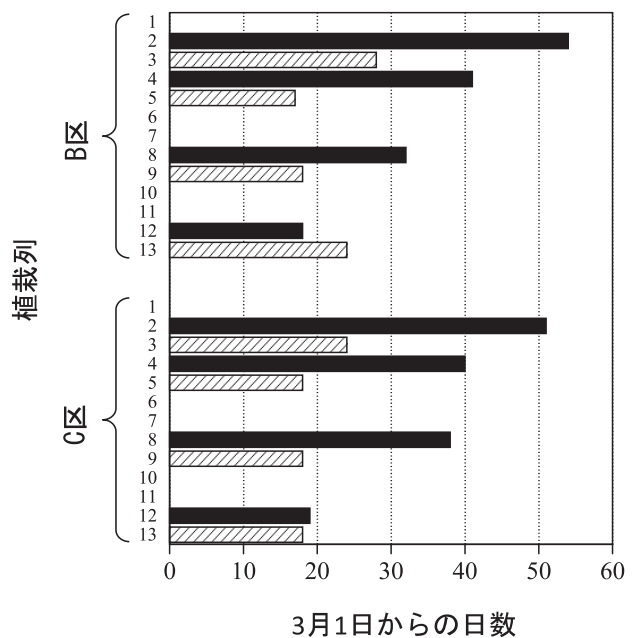


図-7 植栽列および土壤タイプによる凍土融解時期の違い。植栽は1列目(砂区)から12列目(客土区)までの12列で行っており, 13列目(砂区)には植栽はしていない。砂区と客土区のデータは, それぞれ斜線と黒塗りです。棒グラフが表示されていない植栽列には土壤凍結深計は設置していない(図-1C参照)。



クロマツを植栽する場合は火山灰土による客土を施すことを避けるだけでなく、防風柵によって被陰される場所への植栽も避けるべきであると提言できる。土壌凍結による寒干害は常緑樹で発生しやすいことを考えれば、同様な提言は、海岸林造成地におけるクロマツだけでなく、道路防雪林などにおけるアカエゾマツ等、他の常緑針葉樹に対しても可能である。今回は、冬季寒冷寡雪地における常緑針葉樹であるクロマツを対象に調査を行ったが、今後は冬季に葉を着けられない落葉広葉樹や、多雪地における防風柵の効果についても検討が必要であろう。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、日高振興局林務課の職員の方々に多くの便宜を図って頂いた。また独立行政法人森林総合研究所北海道支所の伊藤江利子さんにはクロマツ苗の植栽を手伝って頂いた。末筆ながら以上の方々に深謝いたします。

## 引用文献

- Anderson, D., and Burnham, K. (2001) Commentary on models in ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 82: 160-161
- 荒木真之 (1998) 土壌凍結深と地形の関係. *森林航測* 159: 7-11
- Crawley, M.J. (2005) *Statistics: An Introduction Using R*. 342pp. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- 石村貞夫 (2005) SPSSによるカテゴリカルデータ分析の手順 [第2版]. 255p. 東京図書, 東京.
- 伊藤晶子 (1997) カラマツの天然更新を左右する冬の気象条件. *光珠内季報* 106: 14-16
- Masaka, K., Sato, H., Kon, H., and Torita, H. (2010) Mortality of planted *Pinus thunbergii* Parlat. saplings subject to coldness during winter and soil types in region of seasonal soil frost. *Journal of Forest Research* 15: 374-383
- McCarthy, M.A. (2007) *Bayesian Methods for Ecology*. 310pp. Cambridge University Press, New York.
- 大島誠一 (1992) マツ属の葉の寿命. *京都大学演習林報告* 64: 15-26
- 小沢義昭・中野茂雄 (1976) 十勝管内保安林の寒干害実態報告. *治山研究発表会論文集* 15: 17-19
- 坂上幸雄 (1983) 道東トドマツ造林と冬季乾燥害. *北方林業* 35: 241-244
- Sakai, A. (1970) Mechanism of desiccation damage of conifers wintering in soil-frozen areas. *Ecology* 51: 567-664
- 酒井 昭 (1982) 植物の耐凍性と寒冷適応—冬の生理・生態学—. 469pp. 学会出版センター, 東京.
- Sokal, R.R., and Rolf, F.J. (1995) *Biometry*, 3rd edition. 859pp. W.H. Freeman and Company, New York.

## Summary

In the present study, we demonstrated the effect of shading by fences on winter desiccation damage of planted *Pinus thunbergii* saplings caused by frozen soil at the coastal *Pinus thunbergii* wind shelterbelt in Toyosato, Hidaka, Japan. We evaluated the survival ratio per planting line within the block surrounded by a fence (6 planting lines in each block [20 m × 12 m]; total, 80 blocks) by using a generalized linear model. We found that the survival ratio of planting lines shaded by the fence was significantly lower than that of other planting lines. In 2008 and 2009, we again conducted the planting experiment at the 2 blocks and measured the depth of frozen soil during the winter. Ordinal regression analysis indicated a significant decline and death in the saplings planted at the shaded line near the fence. In addition, the date that the frozen soil thawed at the shaded lines was delayed by approximately 1 month compared with non-shaded lines during the winter of 2009-2010. Therefore, we conclude that frozen soil remained for longer at positions shaded by the fence, thereby accelerating winter desiccation damage to planted *P. thunbergii* saplings at the coastal wind shelterbelt in Toyosato, Hidaka.