

## 北海道胆振・日高沿岸部において2013年春に発生したクロマツ樹冠赤変の発生状況とその原因

真坂 一彦<sup>1\*</sup>・阿部 友幸<sup>1</sup>・鳥田 宏行<sup>1</sup>・岩崎 健太<sup>1</sup>

### Situations and cause of red coloration of *Pinus thunbergii* crown occurred in 2013 spring at the coastal region of Iburi and Hidaka, Hokkaido

Kazuhiko Masaka<sup>1\*</sup>, Tomoyuki Abe<sup>1</sup>, Hiroyuki Torita<sup>1</sup> and Kenta Iwasaki<sup>1</sup>

**Abstract:** In 2013 spring, red coloration of *Pinus thunbergii* crown was widely observed at the coastal region of Iburi and Hidaka, Hokkaido. We surveyed the distribution of the red colored trees and stands along the coast, and found that it aggregated at S-SW faced regions. High mortality in the severely damaged trees (red part of crown was  $\geq 91\%$ ) was observed for consecutive two years. Since the greatest maximum wind speed was recorded at several meteorological observatories, wind storm with little rain at 6-7 December 2012 was suspected to be cause of red coloration of *P. thunbergii* crown. Furthermore, cumulative wind speed of sea breeze was significantly correlated with severity of crown damage in regional scale. These supporting evidences lead us to consider that the red coloration of *P. thunbergii* crown was caused by seawater.

#### 1 はじめに

海岸防災林は、飛砂や海風、海霧、高潮などによってもたらされる災害を軽減するために造成される。しかし多くの植物にとって、海浜は強風や、強風がもたらす飛砂と飛来塩分によって過酷な生育環境となっている。このような環境に耐えられる樹種として、日本では中世以降、クロマツ *Pinus thunbergii* が経験的に選択され、海岸林造成に用いられてきた(小田, 2003; 須藤, 2008)。

北海道では土地利用の歴史が浅いため、まだ天然生海岸林が広く残っているが(長谷川, 1984; ただし田島 [2011], 北海道 [1953] も参照)、えりも町百人浜や江差町砂坂・柳崎のように、かつて収奪的に天然生海岸林が伐採されたことで飛砂害が発生した地域もある(野口, 1997; 齊藤, 1998)。飛砂害を鎮めるため、造成が始まった当初は郷土樹種であるカシワ *Quercus dentata* などの広葉樹も試された。ところが在来広葉樹の活着率はきわめて悪く、最終的には秋田県などの海岸林造成の先進地に倣ってクロマツが選択されるようになった。ただしクロマツは北海道の自生種ではない。

現在見られる百人浜や江差のクロマツ林は成功事例の典型といえるが、その一方で、成林の見込みが難しい造成地もいまだに散見される。たとえば日高の寡雪地に植栽されたクロマツが、冬季の季節的土壌凍結によって冬季乾燥害(寒干害)を受けて多数枯死することが報告されている(Masaka *et al.*, 2010a; 真坂ら, 2011)。この冬季乾燥害は、クロマツの自生地外に植えられたことによる失敗例といえるかもしれない。このように、北海道外では想定さ

れない不成績要因が、今後ほかにも顕在化する可能性があることに常に注意しなくてはならない。

2013年春、胆振地方から日高地方の沿岸域の広範囲にわたって、海岸林や街路樹、庭木のクロマツ樹冠が著しく赤変する現象が発生した(写真1~3)。市民から苫小牧市役所に問い合わせがあるなど、これまでの記録にない事態となっている(苫小牧民報2013年5月27日付)。クロマツの集団枯損をもたらす要因としては、1) 滞水・過湿立地(川名, 1966; Masaka *et al.*, 2010b; 小田, 2001)、2) 冬季乾燥害(Masaka *et al.*, 2010a; 真坂ら, 2011)、3) マツ材線虫病、4) 潮風害(仰木ら, 1961; 竹下, 1977)が想定される。このうち、1点目の滞水・過湿立地については、発生場所は限定的であり、また一般に発生要因としては地形によって滞水・過湿環境になっているか、周辺の土地改変にともなう地下水位の変化によってもたらされる場合が多い(e.g., 菊地・清水, 1996; 谷川ら, 1996)。そのため、地域スケールにおよぶ広範囲で突発的に生じるとは考え難い。2点目の冬季乾燥害については、先述のように寒冷寡雪地域で発生するが、今回は長万部や豊浦のように積雪量が多い地域でも赤変が見られたため、今回の樹冠赤変を説明できる仮説にはなりにくい(2012年12月~2013年3月の長万部における最大積雪深は113cm、豊浦では108cm: 気象庁HP, <http://www.data.jma.go.jp/>)。3点目については、北海道ではまだマツノマダラカミキリが観察されていないうえ、マツ材線虫病に冒された場合はクロマツ個体全体が枯死する(二井, 2003)。今回の被害木を観察すると、被害を受けた個体の樹冠がすべて赤変しているわけではなかった。このような樹冠の部分的枯損はマツ材線虫病仮説では説明できない。消去法的に、残る4点目の潮風害がもっとも蓋然性が高い仮説として想定される。

本研究では、今後の北海道における海岸林の造成・管理に資する情報を提供するため、胆振・日高地域

<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構林業試験場 1, Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Kosyunai, Bibai, Hokkaido 079-0198, Japan

\*Corresponding author: masaka-kazuhiko@hro.or.jp



写真1 苦小牧市勇払の海岸林造成地  
2013年5月31日撮影



写真2 日高町門別豊郷の海岸林造成地  
2013年5月31日撮影



写真3 苦小牧市勇払の街路樹（真砂大通）  
2013年5月31日撮影



写真4 4月に赤変度6と判定された個体の回復  
状況（道道781号線）  
2013年9月26日撮影



写真5 クロマツだけが赤変した民家の庭木  
2013年6月7日撮影



写真6 えりも町歌別のクロマツ造林地（左）  
とトドマツ造林地（右）  
2013年6月7日撮影

と長万部町を対象に、クロマツの被害分布を調査し、また個体ごとの被害の度合いによる生存状況について評価する。そして、気象データと照らし合わせて被害をもたらした原因を推定する。

## 2 調査方法

### 2.1 被害範囲の把握

クロマツの被害域を把握するため、2013年6月、えりも町から長万部町までの太平洋に面した海沿いの主要幹線道路を踏査した。踏査中、走行する自動車の車内から、沿道において観察されるクロマツの位置をGPS (Oregon 550, Garmin) で特定し、さらに樹冠の赤変の度合いを次のように目視によって判定して野帳に記録した。すなわち、赤変部が樹冠全体の5%以下が「被害なし」、6%~25%が「微害」、26%~75%が「中害」、76%以上が「激害」、の4段階である。民家の庭木のように単木で植栽されている場合は個々に判定したが、街路樹や海岸防災林のようにまとまって多数のクロマツが植栽されている場合は、一つのまとまりと捉え、全体の状況として判定した。

踏査した道路は次のとおりである。えりも町襟裳岬における道道34号線については、百人浜のクロマツ林造成地から岬をまわって同町歌別の国道336号線との合流地点まで。以下、歌別~新ひだか町西幌別の区間は国道336号線、西幌別~厚真町浜厚真の区間は国道235号線、浜厚真~苫小牧市勇払の区間は道道287号線と市道、勇払~同市東開町の区間は道道781号線(臨海南通)と真砂大通、臨海中央通、東開町~同市元中野4の区間は道道259号線、元中野4~室蘭市東町3の区間は国道36号線、東町3~長万部町旭浜の区間は国道37号線、長万部町旭浜から八雲町との町境までは国道5号線、である。ただし、室蘭市内では東町3~山手町1の区間の国道36号線、山手町1~同市祝津町1の区間の道道699号線も併せて踏査した。また、豊浦町大岸では国道37号線が内陸側に入り組んでいることから、国道37号線から外れて海岸線沿いの道道609号線と道道608号線を踏査した。なお、この区間の国道37号線沿いにはクロマツは植栽されていない。

### 2.2 被害度による死亡率の違い

樹冠が赤変した個体の回復の可能性を評価するため、2013年6月、日高町(旧門別町)豊郷の海岸林造成地のうち、1996年植栽区と2003年植栽区から各1区画任意に選定して、区画内に出現したすべてのクロマツ個体にナンバー・テープを付けて個体を特定し、樹冠の赤変度を次のように目視で判定して記録した。すなわち、赤変部が樹冠全体の5%以下が「0」、6%~10%が「1」、11%~25%が「2」、26%~50%が「3」、51%~75%が「4」、76%~90%が「5」、91%~99%が「6」、100%が「7」、である。調査木数は、1996年植栽の区画は41個体、2003年植栽区は140個体である。加えて、苫小牧市勇払の海岸林造成地において、1996年植栽区から任意に1区画選んで同様な調査を行った(n=26)。さらに、同市の道道781号線の勇武津資料館から道道259号線跨線橋までの約3kmの区間内において、街路樹として植栽されたすべてのクロマツについて同様な調査を行っ

た(n=293)。ただし、この街路樹にはナンバー・テープは付けず、植栽位置を道路標識や公共施設、交差点などを目印として特定した。

豊郷ならびに勇払において特定した個体は、被害発生当年の2013年9月26日と、翌年の2014年9月22日に生残状況をそれぞれ調査した。死亡率については、生残していた場合は「0」、死亡していた場合は「1」とし、赤変度を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った。このとき、赤変度には次のような中央値を与えた。すなわち、赤変度「0」は2.5%、「1」は8%、「2」は18%、「3」は38.5%、「4」は63.5%、「5」は83%、「6」は95%、「7」は100%である。説明変数の選択においては、切片だけのモデルのAIC(赤池の情報量基準)と、赤変度を説明変数とするモデルのAICの大きさを比較し、AICが小さい方をベスト・モデルとみなした(Crawley, 2005)。統計ソフトはR 2.15.3を使用した。

### 2.3 被害をもたらした気象要因の探索

樹冠の赤変が潮風害と仮定すると、2012年~2013年にかけての冬季間に、過去に比類のない強風(海風)に曝されたと推定される。そこで、2001年1月から2013年3月までの期間に発表された室蘭地方気象台による気象速報27件を検索した。2001年からとしたのは、筆者らが2001年から門別町とその周辺地域で冬季乾燥害の調査を行い始め、それ以降、今回のような潮風害を確認していないことが理由である。この27件から、胆振・日高の領域にまたがって暴風がみられたイベントを抽出し、海側から吹く風の最大平均風速を、長万部、豊浦(観測地点は大岸)、伊達、登別、白老、苫小牧、門別、静内、浦河の9地点については気象庁HPの「過去の気象データ検索」により、新冠と類似の2地点については北海道開発局による道路テレメータ・データを用いて比較した(観測地点はそれぞれ大狩部と冬島)。

2012年~2013年にかけての冬季間に、2001年1月以降でもっとも強い海風が吹いたイベントが発見された場合、上記11観測地点の気象データから風速7m/s以上の海風を抽出し、イベント期間中の積算値を算出した。以下、これを積算風速とする。この積算風速は、冬季間のカシワの当年枝の枯損率と密接な関係があることがすでに報告されており(浅井ら, 1984; Masaka and Sato, 2002)、それは他樹種でも同様と予想される。求めた積算風速は、上記11観測地点の所在地である市町ごとに激害と中害の出現率(%)を集計し、相関分析を行った。その際、出現率はデータ数を基にarcsin変換を行った(Sokal and Rohlf, 1973)。

## 3 結果

### 3.1 被害の分布

図1に市町ごとの激害、中害、微害、そして被害なしの出現率を示す。ただし白老町では、東部と西部で明瞭に被害の差が見られたことから、図1には白老を東部と西部で分けて記した。

激害の出現比率は、白老東部から浦河にかけての範囲に集中していた。激害の出現率と中害の出現率のあいだには有意な相関関係が認められた(自由度調整済み $r^2 = 0.575$ ,  $P < 0.0005$ )ことから、以降、

激害と中害は合算して扱うことにする。激害+中害の出現率はとくに新冠で突出し、80.0%に達した。

被害なしの出現比率についてみると、激害の出現率のあいだに有意な負の相関関係が認められた（自由度調整済み  $r^2 = 0.823$ ,  $P < 0.0001$ ）。

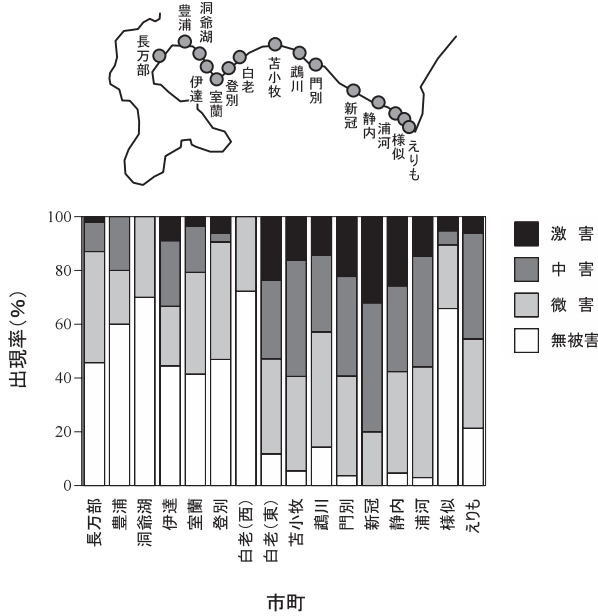


図1 胆振・日高沿岸域における市町ごとの被害状況出現頻度

### 3.2 死亡率と被害の関係

豊郷と勇払の海岸林造成地、そして道道781号線の街路樹における赤変度別頻度分布を図2に示す。被害の分布状況の調査において激害と判定されたのと同じ赤変度4以上（76%以上）、と判定された個体数は、豊郷の1996年植栽区では70.7%、2003年植栽区では62.9%、勇払の海岸林造成地では100%、そして街路樹では61.4%だった。

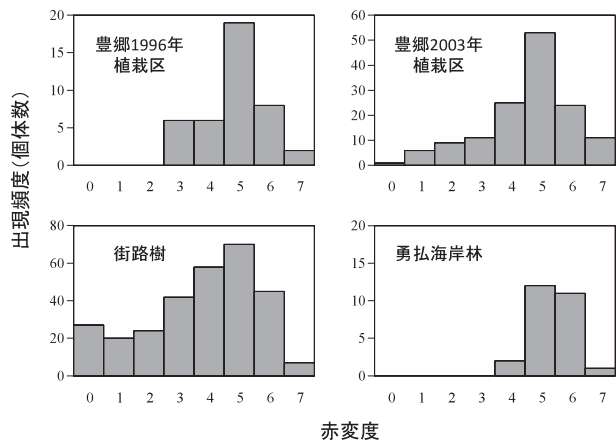


図2 各造成地の赤変度別出現頻度分布

赤変度を説明変数として死亡率についてロジスティック回帰分析を行ったところ、いずれの調査区・年でも Full モデルの AIC が切片モデルのそれより小

さく、赤変度が死亡率に大きく関わっていることが示唆された（表1）。赤変度と死亡率の関係を図3に示す。樹冠赤変度別の死亡率は赤変度が5以上、すなわち樹冠の91%~99%以上が赤変した個体において急激に高まった。そして、樹冠赤変が初めて発生した当年に死亡しなくても、翌年以降に死亡する個体が多数認められた。ただし、勇払海岸林は2013年9月における死亡個体は観察されず、2014年の Full モデルの AIC と切片モデルの AIC の差が2未満であったことから、モデルの説明力は高くない。

表1 ロジスティック回帰の結果

モデル	AIC	
	Full	切片
豊郷1996年植栽区		
2013年	23.667	28.215
2014年	37.349	54.644
豊郷2003年植栽区		
2013年	57.056	116.833
2014年	128.205	192.610
街路樹		
2013年	45.011	82.414
2014年	72.209	137.30
勇払海岸林		
2014年	18.755	20.597

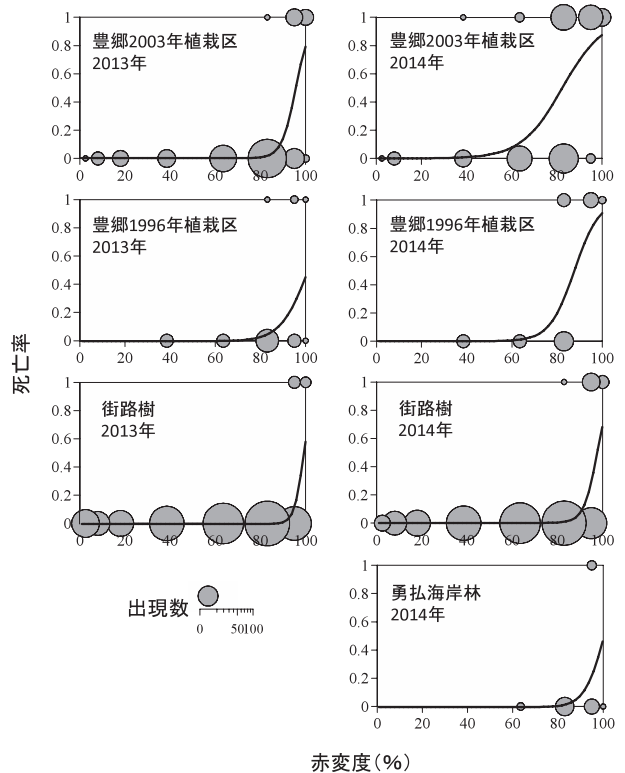


図3 赤変度と死亡率の関係

### 3.2 樹冠赤変を説明できる気象要因

室蘭地方気象台発表による気象速報27件のうち、21件が胆振・日高の両地域にまたがる暴風をもたらしたイベントだった。その21件について最大風速を各観測地点間で比較すると、2012年12月6日~7

表2 各観測地点においてイベントごとに記録された最大平均風速

年	日付	最大平均風速(m/s)										
		長万部	豊浦	伊達	登別	白老	苫小牧	門別	新冠	静内	様似	浦河
2013年	3月2日~3日	9.5	9.8	11.5	7.5	11.8	12.1	11.9	14.9	11.0	13.8	21.2
	12月6日~7日	14.3	8.7	12.4	12.3	19.1	19.9	17.3	15.4	15.0	7.2	23.5
2012年	12月3日~5日	11.9	8.2	11.7	7.0	17.4	17.8	13.5	12.7	11.1	5.2	17.7
	11月27日	12.2	9.4	16.1	12.4	8.7	11.5	12.2	4.4	14.8	11.4	29.0
2011年	12月23日~24日	13.8	6.0	11.9	10.5	15.4	13.2	11.0	14.5	10.7	11.6	21.9
	9月21日~22日	4.8	2.7	4.1	3.7	6.7	8.4	8.2	6.9	6.8	7.5	10.2
2010年	12月3日~4日	10.6	10.6	15.9	7.8	17.9	18.0	14.4	12.7	12.0	14.1	21.1
	11月9日	10.2	5.9	9.7	8.9	12.6	11.2	8.5	13.4	10.0	13.2	24.0
	4月14日	10	8.3	9.7	11.6	10.2	11.9	9.4	15.1	10.2	12.2	20.3
	3月21日	11.5	7.9	10.1	11.3	13.8	15.1	11.6	12.7	12.6	13.4	23.0
	1月5日~6日	6.8	4.0	7.5	5.0	7.7	10.1	6.9	6.5	6.1	8.4	13.3
2007年	9月7日~8日	5.0	4.0	12.0	6.0	9.0	9.0	7.0	10.7	7.0	9.6	15.0
	1月6日~8日	9.0	9.0	12.0	8.0	13.0	14.0	10.0	11.1	10.0	11.9	25.0
2005年	9月6日~8日	7.0	5.0	10.0	8.0	14.0	14.3	12.0	10.8	6.0	9.6	16.4
	5月19日	10.0	6.0	7.0	13.0	13.0	11.5	10.0	8.4	4.0	10.6	14.2
2004年	12月4日~5日	8.0	3.0	12.0	7.0	8.0	10.1	6.0	8.4	8.0	欠測	18.0
	11月27日	8.0	7.0	9.0	8.0	14.0	17.1	15.0	16.8	9.0	16.2	26.0
	9月7日~8日	10.0	9.0	8.0	11.0	20.0	18.6	15.0	14.6	7.0	10.3	19.7
	8月30日~31日	6.0	5.0	3.0	10.0	9.0	11.9	13.0	10.7	3.0	13.1	23.4
2002年	10月1日	10.0	6.0	10.0	8.0	10.0	13.9	11.0	13.7	8.0	8.5	25.4
	7月10日~12日	8.0	3.0	5.0	4.0	6.0	9.0	8.0	6.5	3.0	7.8	12.4

備考：黒地のセルに白抜き数字は検索期間（2001年1月～2013年3月）における大きさ順位で第1位の値、灰色地のセルは第2位の値、斜線のセルは内陸風。

日のイベントにおいて、検索期間中の最大風速（海風）の大きさ第1位が4観測地点で、そして第2位が4観測地点で記録されていた（表2）。このときは北海道の日本海沿岸を北上する低気圧にともなう前線が胆振・日高地域を通過し、海に面したすべての市町で暴風警報が発令された（平成24年12月11日室蘭地方気象台発表気象速報）。しかも、このイベントの直前の12月3日～5日にも、沿海州を通過する発達した低気圧から伸びる前線が北海道を通過して暴風が吹き荒れ、鶴川や門別でその時点での12月における最大風速の第1位の記録を更新し、苫小牧市や白老町などに暴風警報が発令された（平成24年12月6日室蘭地方気象台発表気象速報）。

2012年～2013年にかけての冬季間に、検索期間中における最大の暴風をもたらしたイベントが抽出されたことから、このイベント期間中の積算風速と、市町ごとの激害+中害出現率とのあいだで相関分析を行った。このとき、12月3日～5日と12月6日～7日が連続していることから、これら二つのイベント期間中の積算風速を求めた。その結果、積算風速と激害+中害出現率のあいだには有意な正の相関関係が認められた（図4；自由度調整済み  $r^2 = 0.351$ ,  $P < 0.05$ ）。

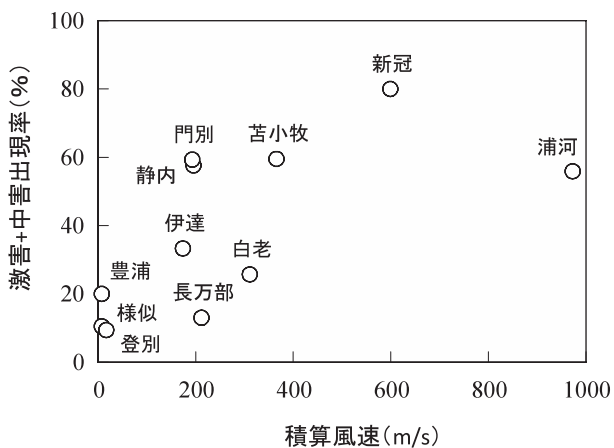


図4 積算風速と激害+中害出現率の関係

#### 4 考察

胆振・日高地方の沿岸部において、2013年春季に発生したクロマツ樹冠の赤変現象は、気象データとの関連から（表2, 図4）、前年12月前半の記録的な暴風による潮風害であると推察された。日高地方の新冠を中心に、海に対して南～南西向きに地域に被害が集中したのは、低気圧や前線通過の際に南～南西風が卓越したためであろう。樹冠の回復に関する調査はしていないが、樹冠の赤変度が6（91%～99%が赤変）と判定された個体でも、その後緑葉を出して樹冠が回復する傾向にあるものも観察された（写真4）。そのため、今回の樹冠の赤変は、少なくとも、キャビテーション発生による水分通道障害によって不可逆的に枯死が進行するマツ材線虫病や冬季乾燥害（池田, 2004）によるものとは考えられない。

クロマツの葉の表皮にはクチクラ層がよく発達しているため、潮風害の原因である塩素が葉の表面に付いたままで内部に入りにくい（倉内, 1956）。このような葉は、飛砂や葉擦れなどにより葉の表面が物理的損傷を受け、その部分から海塩粒子が侵入すると考えられている（倉内, 1956；松岡・河合, 1983）。ただし、葉表面に傷がなくとも、強風による圧力のために海塩粒子が気孔から侵入しやすくなると宮内・益子（1987）は考察している。風洞実験を行った松岡・河合（1983）によると、風によって供試木が不規則に振動することで針葉同士が激しく接触した結果、針葉に葉先による突き傷、もみ傷、気孔部位の擦り傷などがみられたという。これに塩水を噴霧することによって15週間後には供試木8個体中、6個体が枯れた。今回のクロマツ樹冠の赤変はいつ頃から始まったのか不明であるが、遅くとも4月中旬には観察された（真坂ら, 私見）。12月初旬の暴風が今回の赤変の主要因だとすると、休眠期間を挟んでいるため、赤変に至る期間は、秋季に行った松岡・河合（1983）による実験結果と大きな誤差はないと考えられる。なお、降雨による付着塩分の洗い流しの可能性については、2012年12月6日～7日のイベントでは降雨はほとんど記録されていないため、これも潮風害を助長したと推察される。

潮風害による枯死については、今回、クロマツは赤変度が 6 (91~99%) 未満ではほとんど枯死していなかったことから (図 3), クロマツは樹冠の約 9 割を失ってもしくは生存可能なのだろう。枯死が赤変した当年だけでなく、翌年にもみられたのは、時間を追って衰退が進行していることを意味している。今後の推移を見守る必要がある。ただし、街路樹の衰退は景観上問題があるし、海岸防災林の衰退は防災機能上、いうまでもなく大きな問題である。改植など、甚大な被害を受けた林分の取り扱いを検討すべきだろう。

今回はクロマツ樹冠の赤変現象に焦点を絞った。樹冠の赤変はクロマツ以外では庭木のニオイヒバなどで観察されたものの、クロマツと同所的に植栽された同じ常緑針葉樹のトドマツ *Abies sachalinensis* などではほとんど認められなかった (写真 5, 6)。一般に、トドマツが海岸線付近に分布することはほとんどない。海岸生とされているものでも、ミズナラ *Quercus crispula* 林の後背地であったり (e.g., 門松・向出, 1985), 海に近くても冬季の海風が日本海側ほどには厳しくないオホーツク海側であったり (e.g., 柳場ら, 1996), トドマツがクロマツに匹敵するほどの耐潮風性をもっているとは考えにくい。そのような樹種であっても、今回はトドマツでは枯損は観られず、クロマツが著しく被害を受けた。今回の樹冠赤変は、飛来塩分によるものと考えられるが、トドマツで観られず、隣接するクロマツで発症した理由はまったく不明である。この違いについては、クロマツの自生地の北方に植栽されているため、寒風害が指摘されるかもしれない。しかし、たとえば今回、苫小牧で観測された日最低気温の最低値は  $-16.3^{\circ}\text{C}$  (1月10日) だったが (気象庁 HP), クロマツ葉の耐凍性は 1 月初頭に約  $-18^{\circ}\text{C}$ ~末が  $-20^{\circ}\text{C}$  で (大島ら, 1981), 最低気温は耐凍性温度を下回らなかった。しかも当日の最大風速は  $5.8\text{m/s}$  で、寒風害が発生するような環境とは考えられなかった。

異常気象の増加傾向が危惧されているなかで、今回のような潮風害が今後も繰り返し発生する可能性は否定できない。北海道において飛砂防備という所定の役割を果たしたクロマツは、もともと北海道の自生種ではない。広葉樹林化も視野に入れ、クロマツ海岸林をどのように取り扱っていくのか検討する必要があるだろう。

**謝辞**：本研究を行うに当たり、気象速報の資料を提供して頂いた室蘭地方気象台防災業務係、ならびに道路テレメータ・データを提供して頂いた北海道開発局建設部道路維持課に深謝いたします。

#### 引用文献

- [1] 浅井達弘・新村義昭・薄井五郎 (1984)：北海道北部の天然生ミズナラ海岸林の芽吹き様式と海風について。95 回日林論, PP559-560.
- [2] Crawley, M.J. (2005) : *Statistics: An Introduction Using R*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, USA.
- [3] 二井一禎 (2003) : 『マツ枯れは森の感染症』, 文一総合出版, 東京.
- [4] 柳場英代・芦屋大太郎・榎本浩志・中嶋潤子・杉下義幸・小宮圭示・笹賀一郎・植村 滋 (1996) : 斜内海岸におけるトドマツ林の波状更新：樹冠の変化と

- 集団枯損。試験年報 14, PP62-64.
- [5] 池田武文 (2004) : 樹体内の水移動, (小池孝良編) 『樹木生理生態学』, 朝倉書店, 東京.
- [6] 門松昌彦・向出弘正 (1985) : 天然林の遺伝的組成に関する研究 (I) : トドマツ天然生海岸林. 北大農演研報 42, PP849-863.
- [7] 川名 明 (1966) : 『堤列海岸平野の低地過湿林の改良に関する研究』, 農林出版株式会社, 東京.
- [8] 菊地 健・清水 一 (1996) : ヤチダモ人工林の枯損発生事例. 日林北支論 44, PP134-136.
- [9] 倉内一二 (1956) : 塩風害と海岸林. 日生態誌 5, PP123-127.
- [10] Masaka, K., and Sato, H. (2002) : Acorn production by Kashiwa oak (*Quercus dentata*) in a coastal forest under the fluctuated weather conditions. *Can. J. For. Res.*, 32, PP9-15.
- [11] Masaka, K., Sato, H., Kon, H., and Torita, H. (2010a) : Mortality of planted *Pinus thunbergii* Parlat. saplings subject to coldness during winter and soil types in region of seasonal soil frost. *J. For. Res.*, 15, PP374-383.
- [12] Masaka K, Torita H, Sato H, Kon H, Sato H, and Fukuchi M (2010b) Decline of *Pinus thunbergii* Parlat. stands due to excess soil moisture derived by buried andosol layer at coastal sand site in Hokkaido, northern Japan. *J. For. Res.*, 15, PP341-346.
- [13] 真坂一彦・佐藤 創・鳥田宏行・今 博計・福地 稔 (2011) : クロマツ植栽苗の防風柵による寒干害の助長効果. 北海道林試研報 48, PP55-63.
- [14] 松岡廣雄・河合英二 (1983) : クロマツ海岸林と風. 35 回日林関東支論, PP247-248.
- [15] 宮内 宏・益子義明 (1987) : 樹木の潮風害発生機構に関する研究 (II) - クロマツ葉中への海塩粒子侵入のメカニズム -. 98 回日林論, PP621-622.
- [16] 野口浩司 (1997) : えりも岬国有林の治山緑化. 砂防誌 50, PP87-89.
- [17] 小田隆則 (2001) : 九十九里浜クロマツ林における集団枯損の立地要因. 日砂丘誌 48, PP7-16.
- [18] 小田隆則 (2003) : 『海岸林をつくった人々』, 北斗出版, 東京.
- [19] 仰木重蔵・坂口勝美・中野秀章・檜山徳治・岩川幹夫・藍野祐久・日塔正俊 (1961) : 伊勢湾台風下における三重・愛知両県下の海岸防災林の効果と森林の潮風害に関する調査報告. 林試研報 127, PP1-60.
- [20] 大島誠一・長谷川洋三・酒井 昭 (1981) : マツ属の耐凍性と分布. I. 耐凍性の季節変化. 日生態誌 31, PP79-89.
- [21] 斎藤新一郎 (1998) : 砂坂海岸林. 砂防誌 50, PP66-71.
- [22] Sokal, R.R., and Rohlf, F.J. (1973) : *Introduction to biostatistics*. W.H. Freeman and Company, San Francisco and London.
- [23] 須藤儀門 (2008) : 砂防林物語. 庄内海岸のクロマツ林をたたえる会, 酒田.
- [24] 竹下 努 (1977) : 鳥取県下の国道 9 号線クロマツの枯衰原因について. 鳥取林試験報 20, PP38-46.
- [25] 田島佳也 (2011) : 北の水産資源・森林資源の利用とその認識—ニシン漁場における薪利用との関連から—, (湯本貴和 編) 『島と海と森の環境史』, 文一総合出版, 東京.
- [26] 谷川寅彦・矢部勝彦・福田勇治・衣斐隆志 (1996) : 地下水環境の急変が植生に与える影響. 土壌の物理性 73, PP11-18.
- [27] 北海道 (1953) : 『北海道山林史』, 北海道.

[受付 平成26年11月19日, 受理 平成27年2月17日]