

台風によるヒノキ人工林の落葉被害

竹内郁雄^{*1}・永岩健一²・寺岡行雄¹

竹内郁雄・永岩健一・寺岡行雄：台風によるヒノキ人工林の落葉被害 日林誌 89:390~394, 2007 鹿児島県北部のヒノキ4林分で、台風による落葉量を調査した。調査地域には2004年に5個の台風が接近し、森林に最も強い影響を与えたのは台風18号で、瞬間最大風速40m/s以上の東および南西の強風をもたらした。落下した落葉枝の長さは、4林分とも10cm未満のものが大部分で、20cm以上はわずかであった。落葉量は、南西向き斜面のP1, P2でそれぞれ1.0, 0.8t/ha、北向き斜面のP3, P4でそれぞれ0.7, 0.2t/haであった。4林分の落枝量は、落葉量の7~15%と少なかった。林分での落葉量は、斜面方位や風上側の保護山体の有無などによる風速の強さを反映したものと推察された。落葉量が多かったP1, P2林分で現存量の調査を行った。台風前の葉現存量はP1, P2でそれぞれ13.8, 15.5t/haと推定された。台風前の葉現存量に対する落葉量の割合はP1が7.5%, P2が5.1%であった。このように、ヒノキ林では台風による幹折れなどの顕著な被害発生がなくても、落葉被害が発生することがわかった。

キーワード：台風被害, ヒノキ林, 葉現存量, 葉面積, 落葉被害

Takeuchi, I., Nagaiwa, K., and Teraoka, Y.: **Defoliating Damage by Typhoons in Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) Plantations.** J. Jpn. For. Soc. 89: 390~394, 2007 We measured leaf loss caused by typhoons in four Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantations in northern Kagoshima Prefecture. In 2004, five typhoons passed through Kagoshima Prefecture and over nearby seas, Typhoon 18 was strongest; easterly and southwesterly winds impacted the forests with storm velocities of >40 m/s. The fallen branches lengths were mostly <10 cm; tree debris of ≥ 20 cm dimension was relatively rare in four stands. The amounts of fallen leaves were 1.0 and 0.8 t/ha in stands P1 and P2 (located on slopes with southwestern exposure), respectively, and 0.7 and 0.2 t/ha in stands P3 and P4 (located on north-facing slopes), respectively. The mass of fallen branches in these stands amounted to only 7~15% of the mass of fallen leaves. The difference in the amount of fallen leaves among stands were putatively attributed to factors that influenced wind velocity, such as slope direction and presence or absence sheltering mountains on the windward sides. The leaf biomasses before the typhoon impact were estimated to be 13.8 and 15.5 t/ha in stands P1 and P2, respectively. The ratios of fallen leaf amount to leaf biomass before the typhoon were 7.5 and 5.1% in stands P1 and P2, respectively. Thus, defoliating damage by typhoon impact in Hinoki stands can occur, even in the absence of conspicuous damage such as trunk breakage.

Key words: defoliating damage, Hinoki stand, leaf area, leaf biomass, typhoon damage

I. はじめに

台風による森林被害は、折損や根返りなど致命的なものや材中のモメなど材質の低下などを含めて調査されてきた(たとえば井坂, 1959; 林野庁, 1992; 福岡県林試, 1992; 千葉, 1993; Chiba, 1994)。しかし、樹木が折損や根返りなどの致命的な被害を受けなかったとしても、光合成器官である葉を強制的に切断・落葉させ、成長に影響を及ぼすと考えられる。台風の強風による強制的な落葉枝量については、リター調査に付随してみられるが(たとえば上田・堤, 1977; 齋藤, 1980)、台風による落葉被害を中心に検討した報告はみられない。

2004年の鹿児島県は台風来襲が多く、9月上旬までに3個が、その後も2個が接近・上陸した。この報告は、9月上旬までに接近、あるいは上陸した台風によるヒノキ林の

落葉・落枝量の実態と、林分現存量に占める落葉量の割合などを明らかにする目的で行った。

II. 調査方法

1. 調査林分

調査はヒノキ人工林4林分(P1~P4)で行った。P1~P3は、鹿児島市から約55km北に位置する熊本県との県境に近い大口市に、P4は大口市の東に隣接する伊佐郡菱刈町にあり、林分間の直線距離は最長でも約13kmの範囲にある。調査林分の選定は、落葉枝の落下に大きなムラが生じないよう、地形の凹凸が小さい林分とした。また、斜面方位と落葉量の関連を検討するために、大別して南向きと北向き斜面にある各2林分とした。各林分の概況は以下のようであった。

P1: 大口市白木にある大口市有林の50年生林で、南西

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: ikuta@agri.kagoshima-u.ac.jp

¹ 鹿児島大学農学部生物環境学科 (890-0065 鹿児島市郡元1-21-24)

Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Kohrimoto, Kagoshima 890-0065, Japan.

² 中越緑化(株) (933-0076 高岡市米島282)

Chuetsu Ryokka Co., Ltd., 282 Yonejima, Takaoka 933-0076, Japan.

(2007年3月30日受付; 2007年7月31日受理)

斜面にあり、傾斜は25°である。これまで適切な保育がされており、2003年に間伐が実行された。

P2：大口市布計の国有林2050林班は小班にある36年生林で、斜面方位は南南西で傾斜が20°である。25年生時に切り捨て間伐が実行された後11年経過し、やや高密度である。

P3：大口市布計の国有林2052林班ぬ小班にある30年生林で、斜面方位は北西で傾斜は30°と急である。間伐は実施されず高密度である。

P4：菱刈町池田にある県行造林地の20年生林である。間伐実施直前の林分で密度が高い。斜面方位は北北東で傾斜は17°である。

2. 調査方法

林分調査と落葉枝量の調査は、後述する台風18号が通過した後の2004年9月10日から9月中旬に行った。林分調査は、落葉枝の飛散を考慮して林縁から樹高の2倍以上離れた箇所で、立木本数を50本程度以上含む広さのプロットを設定した。プロット内の全立木について胸高直径を1mm単位で、樹高と枝下高はパーテックスを用いて0.1m単位で測定した。同時に、被圧木を区分した。

台風による落葉枝量の調査は、プロットの水平方向中心部に1m×1mのサブプロットを斜面方向にほぼ2mごとに5箇所設置した。サブプロット内の地表に落下した緑色葉と緑色葉が着生している枝は、すべて収集し持ち帰った。落葉枝長が5cm以上のものについて、1cm単位で長さを測定した。その後、緑色部を葉、褐色部を枝として区分し、葉、枝ごとに100°Cで4日間乾燥させて絶乾重に換算した。落葉面積は、サブプロットごとに葉のサンプルをスキャナーで取り込み、葉面積解析ソフトLAI32を使用して測定した。

P1, P2では、層別刈取法による枝葉現存量の調査を10月11日～11月1日に行った。両林分とも胸高直径の大小個体を含むよう各6本を供試木として伐倒した。伐倒後に高さ2mごとの層に区分し、層ごとに枝葉の全重量を測定した後、1/3程度の枝葉をサンプルとして持ち帰った。サンプルは、褐色部分を枝、緑色部分を葉として区分し、それぞれの生重量を測定し、絶乾重を求めた。葉面積は、層ごとのサンプルから落葉面積と同様の方法で求めた。供試木ごとに、各層の葉量、枝量、葉面積をそれぞれ合計して各器官量とし、供試木の胸高直径(D :cm)と樹高(H :m)を用いた D^2H と各器官量の相対成長式を求めた。葉、枝の林分現存量や林分葉面積は、これらの相対成長式に毎木調査による D^2H を代入して推定した。本報告での重量は、すべて絶乾重で示す。

III. 結果

1. 台風

台風による瞬間最大風速とその風向を、調査林分のある大口市と菱刈町に近い鹿児島市、阿久根市、それに熊本県人吉市にある気象観測所ごとに表-1に示した。大口市から

表-1. 2004年の台風による阿久根市・鹿児島市・人吉市での瞬間最大風速と風向

月 日	阿久根市		鹿児島市		人吉市		台風・号
	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	風速 (m/s)	風向	
8月18日			25.3	SSE			15
8月19日	24.8	SSW	24.6	S			15
8月29日	20.6	ENE	39.9	ENE			16
8月30日	32.8	W	49.8	ESE	36.3	E	16
9月6日			29.1	SE	21.9	ESE	18
9月7日	46.4	SSW	47.8	SSW	41.9	SSW	18
9月29日	40.1	NNE	52.7	SE	30.0	WNW	21
10月20日	33.2	NNE	36.1	NNW			23

瞬間最大風速が20 m/s以上に限って示した。

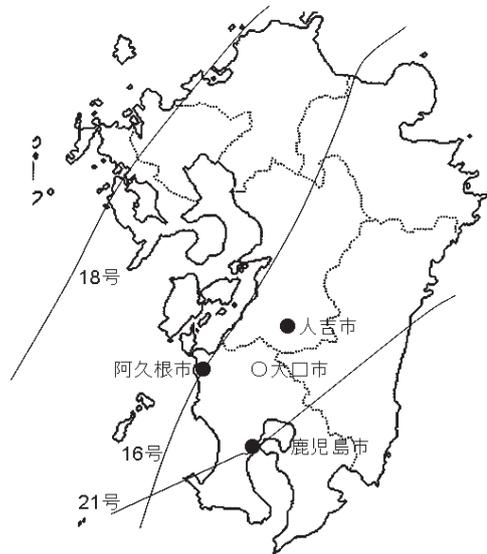


図-1. 2004年の台風16, 18, 21号の経路

北東20kmにあって最も近い人吉市では、瞬間最大風速が30 m/s以上を記録した台風は16, 18, 21号であった。これら3個の台風経路を図-1に示す。16号は8月30日に串木野市に上陸して北上し、人吉市では東よりの瞬間最大風速36 m/sを記録した。9月7日の18号は、九州の森林に甚大な被害を与えた1991年の19号とほぼ同じ経路である鹿児島県の西海上を北上し長崎県に上陸した。人吉市では、南南西よりの瞬間最大風速が41.9 m/sであった。さらに、9月29日には21号が鹿児島市を通過して東北東に進み、その最大瞬間風速は鹿児島市で52.7 m/sと強烈であったが、人吉市では30 m/sで西北西よりの風向であった。

以上のような台風来襲であったことから、落葉枝量は台風18号までの、現存量は台風23号までの影響を受けた後の値である。

2. 林分の状況

調査林分の立地環境を表-2に示す。斜面方位は、南西向き斜面がP1とP2、北西から北向き斜面がP3とP4であった。P1は南西斜面で、南西方向には標高が高い山地のない解放地形であった。P2は標高が560mと高い南南西向き斜面であったが、5~8km離れた南方向に標高600m前後

表-2. 調査林分の立地環境

林分	場所	プロット面積 (m ²)	斜面方位	傾斜 (°)	標高 (m)
P1	白木	634	S45°W	25	270
P2	布計	345	S30°W	20	560
P3	布計	198	N45°W	30	590
P4	池田	200	N17°E	17	300

表-3. ヒノキ林分の林相状況

林分	林齢 (yr)	密度 (本/ha)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	形状比 (H/D)	収量比数
P1	50	726	24.6±3.8	17.3±0.9	9.5±1.2	71.6±8.7	0.71
P2	36	1915	18.1±3.7	14.4±1.2	8.9±1.0	82.3±12.8	0.88
P3	30	2677	15.7±3.4	14.2±1.3	9.6±1.0	94.0±15.9	0.94
P4	20	3605	11.3±2.4	9.6±1.1	4.5±0.5	87.0±11.8	0.83

胸高直径, 樹高, 枝下高, 形状比は, 平均値±標準偏差を示す。

と 800 m 前後の二つの山地があった。P3 は標高 800 m 前後の県境山脈から数 km 南にあって, 標高が 590 m と 4 林分中最も高い北西向き斜面に位置し, 斜面方向には高い山地がない解放地形であった。P4 は山麓に近い北北東斜面で, 斜面方向には高い山地がない解放地形であったが, 数 km 東方に標高 700 m 前後の県境山脈がある。

ヒノキ林分の林相状況を表-3 に示す。P1 は被圧木がなく平均樹高は 17.3 m で, 九州地方ヒノキ林分密度管理図(林野庁監, 1999) による収量比数が 0.71, 平均形状比は 71.6 と低かった。P2 は本数の 17% が被圧木で上層木平均樹高は 14.8 m, 収量比数は 0.88 と高く, 平均形状比が 82.3 であった。P3 は本数の 17% が被圧木で上層木平均樹高は 14.6 m, 収量比数は 0.94 と高く, 平均形状比も 94.0 と高かった。P4 は本数の 19% が被圧木で上層木平均樹高は 9.9 m, 収量比数が 0.83, 平均形状比は 87.0 であった。

P1 では, 台風によって 2003 年の間伐時に開設した作業路際にあった 2 本が落葉枝量調査時以前に根返り被害を受けた。この他には, 4 林分とも折損や根返りなど致命的な被害は認められなかった。

3. 落葉枝

地表に落下していた落葉枝長は, 2 mm 程度から 60 cm までみられ, 数 cm 以下のものが多かった。落葉枝の収集時には, 数 cm 以下の小さい落葉枝に細片化するものがみられた。そこで, 落葉枝長が 5 cm 以上のものについて, 長さごとの本数割合を図-2 に示す。4 林分とも落葉枝の長さは, 5~10 cm が 80% 前後を占め, 20 cm 以上は数% と少なかった。

各林分におけるサブプロット 5 箇所での平均落葉量と平均落葉面積, それに平均落枝量を表-4 に示す。落葉量や落葉面積は, サブプロット間に大差がなく, 比較的均一に落下していた。平均落葉量は, P1 が 104 g/m² で最も多く, 次いで P2 が 80 g/m², P3 が 66 g/m², P4 が 15 g/m² の順に低下した。平均落葉面積は P1 が 0.60 m²/m² で最も多く, P4 が最も少ない 0.07 m²/m² で, 落葉量と同様であった。

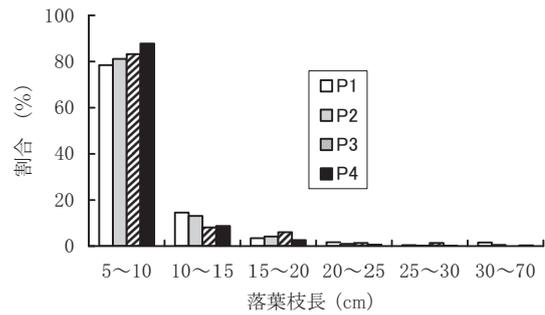


図-2. 落葉枝長の本数割合

落葉枝長を 5 cm 以上に限った場合。

表-4. 落葉, 落枝量と落葉面積

林分	落葉量 (g/m ²)		落葉面積 (m ² /m ²)		落枝量 (g/m ²)
	平均±標準偏差	95% 信頼区間	平均±標準偏差	95% 信頼区間	
P1	103.5±8.8	96.5~110.4	0.60±0.04	0.60~0.60	15.7±6.9
P2	79.6±13.0	69.4~89.8	0.49±0.06	0.49~0.50	5.6±1.8
P3	65.7±8.7	58.9~72.5	0.46±0.08	0.46~0.46	5.9±2.2
P4	15.0±2.9	12.8~17.3	0.07±0.02	0.06~0.07	1.7±1.4

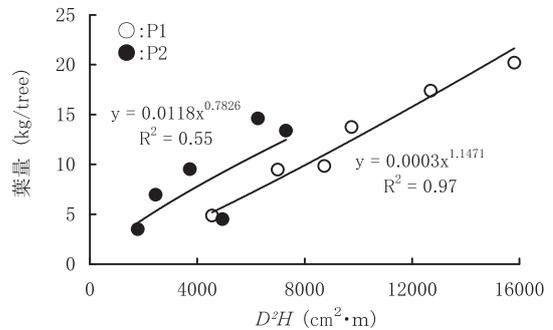


図-3. P1 と P2 の供試木における D²H と葉量の関係

一方, 平均落枝量は, 最も多かった P1 で 16 g/m², 最も少ない P4 では 2 g/m² で, 落葉量に対する落枝量の割合は, P1~P4 でそれぞれ 15, 7, 9, 11% にすぎなかった。

4. 伐倒調査による枝葉現存量

P1 と P2 における供試木の D²H (cm²·m) と葉量との関係を図-3 に示し, 図中に相対成長式を示した。図示しなかったが, 供試木の D²H (X) と枝量 (y : kg) の相対成長式は, 次式で近似できた。

$$P1 : y = 0.0007 X^{1.156} \quad R^2 = 0.82$$

$$P2 : y = 0.0003 X^{1.194} \quad R^2 = 0.80$$

D²H と葉量の相対成長式は, P1 でよく適合したが, P2 ではばらつきが大きかった。一方, 枝量の相対成長式の適合は両林分で大差がなかった。また, P1 と P2 の供試木による D²H と葉面積の関係の式とともに図-4 に示す。関係式は, 葉量との関係を示した図-3 と同様に P1 が P2 より適合がよかった。

これらの式を用いて推定した葉および枝の林分現存量は, P1 でそれぞれ 12.8, 35.0 t/ha, P2 でそれぞれ 14.7,

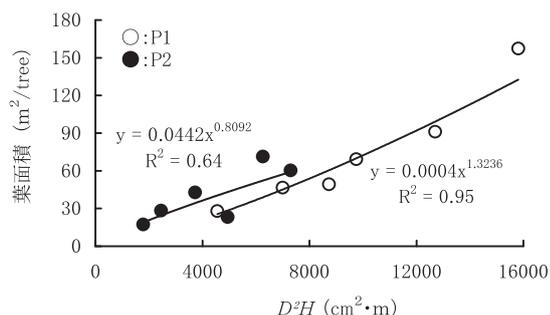


図-4. P1 と P2 の供試木における D^2H と葉面積の関係

表-5. 台風前の枝葉現存量と台風による落葉・落枝率

林分	林分現存量 (t/ha)		葉面積指数 (ha/ha)	落葉・落枝率 (%)		
	葉	枝		葉	葉面積	枝
P1	13.8	35.2	5.9	7.5	10.2	0.4
P2	15.5	15.7	8.0	5.1	6.1	0.4

15.6 t/ha であった。また、葉面積指数は P1, P2 でそれぞれ 5.3, 7.5 ha/ha であった。しかし、これら推定林分現存量は、2004 年に来襲したすべての台風通過後の値である。

落葉枝量を調査してから現存量を調査する間に台風 21, 23 号が来襲した。しかし、両台風による人吉市での瞬間最大風速は、強かった 21 号でも 30 m/s で、先の 16, 18 号に比較して弱く (表-1)、落葉枝があったとしてもわずかと推察された。このため、台風前の現存量や葉面積指数は、推定林分現存量に台風 18 号通過後までの落葉量、落葉面積、落枝量 (表-4) を加えた値とし表-5 に示した。表には台風前の葉現存量に対する落葉量の割合を落葉率、同様にして求めた落葉面積率や落枝率も併せて示した。落葉率、落葉面積率は、P1 がそれぞれ 7.5, 10.2%, P2 がそれぞれ 5.1, 6.1% で、両林分とも落葉率に比較し落葉面積率が高くなる傾向がみられた。落枝率は両林分とも 0.4% であった。

IV. 考 察

1. 台風と落葉枝の飛散

落葉枝量の調査以前に影響した台風は 15, 16, 18 号であった (表-1)。15 号の瞬間最大風速は、調査地に近い熊本県人吉市で 20 m/s 以下であった。一方、16, 18 号の瞬間最大風速は、鹿児島市で 50, 48 m/s と強烈で、人吉市でも 36, 42 m/s であった。調査地域は県境山地の南斜面に位置し、県境山地を越えた人吉市に比べより強風を受け、16 号では 36 m/s 以上、18 号では 42 m/s 以上の東から南西の強風を受けたと推察された。以上のような台風後に落葉・落枝量を調査したので、落葉枝の発生は主に 16, 18 号によるものと推察された。

なお、ヒノキの黄葉は日最低気温が 7°C になると始まり (齋藤, 1980)、近畿地方での落葉期は 10~12 月である (上田・堤, 1977; 齋藤, 1980)。今回の調査地である大口市では、標高 175 m にある観測地点で 2004 年 10 月 14 日以降に

日最低気温が 7°C 以下になった。このため、調査を行った 9 月中旬までは落葉期前で、落葉枝はすべて台風による被害であるとした。

台風の強風で切断された枝葉は、どの程度飛散するのかよくわかっていない。そこで、調査にあたり P2 のヒノキ林に 1 本だけ生育していたスギの落葉枝の飛散を観察した。このスギはヒノキ上層木とほぼ同じ樹高で、落下した枝葉の長さは先端部数 mm と小さいものから数十 cm の枝葉までみられた。その飛散範囲は、長さ数十 cm の枝葉では樹高の 1/2 前後まで、数 mm の先端葉では樹高幅程度であった。これらのことから、強風で切断された枝葉は、自身や隣接個体の樹冠に接触し落下することや樹冠の風下側に飛散すると風速が低下して落下すると推察され、樹高幅程度の範囲に飛散すると考えられた。これらのことを参考に、落葉枝量の調査は、余裕をみて林縁から樹高幅の 2 倍以上入った場所とした。

2. 風向・地形と落葉

サブプロット 5 箇所での落葉量は、4 林分とも比較的均一で (表-4)、地形に凹凸がない林分では落葉が地表に均一に飛散することを示した。落葉量は P1 が 104 g/m^2 で最も多く、次いで P2 が 80 g , P3 が 66 g , P4 が 15 g/m^2 であった。落枝量は最も多かった P1 でも 16 g/m^2 , 最も少ない P4 では 2 g/m^2 で、落葉量の多い林分ほど多くなる傾向がみられた (表-4)。4 林分での落葉量に対する落枝量の割合は、P1 の 15% から P2 の 7% の間で、落葉量が圧倒的に多かった。

一般に台風による被害は、風上側にある保護山体が近いほど低減され (米丸, 1998)、風上側が開放された地形では促進される (諫本・高宮, 1992)。また、斜面方位が強風方向と反対側にある林分であっても、吹きおろしの強風により被害が発生することも知られている (林野庁監, 1992; 森林総合研究所, 1994)。調査地域に強風をもたらした台風 16, 18 号は、東および南西よりの強風であった (図-1, 表-1)。P1 は南西斜面にあり、南西側に保護山体がない開放地形で、南方向からの強風が直接吹きつけ、落葉量および落枝量がそれぞれ $104, 16 \text{ g/m}^2$ で最も多くなったと考えられた。P2 は南南西斜面にあったが、5 km 離れた南から南西方向に標高 600 m 前後の、約 8 km 離れた南東方向に標高 800 m 前後の山体があって強風をやや低減させたことで、落葉量および落枝量がそれぞれ $80, 6 \text{ g/m}^2$ と P1 より少なくなったと考えられた。P3 は北西斜面で、南方向からの強風を直接受けなかったものの、落葉量および落枝量がそれぞれ $66, 6 \text{ g/m}^2$ で P2 と同程度であった。人吉市では、台風 16, 18 号通過直後の吹き返しである北西方向からの強風は観測されていない。台風では、吹きおろしの強風により被害が発生する (林野庁監, 1992; 森林総合研究所, 1994) ことが知られており、標高が 590 m と高い P3 では、標高 700~800 m の県境尾根を越えた吹きおろしの強風を受けたためではないかと考えられた。P4 は北北東斜面で標高が 300 m と低く、南方向からの強風を直接受けなかったこと

や山麓部近くに位置していたので、P3のような吹きおろしの強風も受けず、落葉量および落枝量がそれぞれ 15, 2 g/m²と少なかったと推察された。以上のように、林分による落葉量や落枝量の違いは、斜面方位や風上側の保護山体の有無などの違いによる風速の強さを反映したものと推察された。

落葉枝の長さが5 cm以上の中では、林分の斜面方位や落下量の多少に関わらず5~10 cmの落葉枝長の割合が80%前後を占め多かった。しかし、今回の調査は、落葉後の期間が長いもので1カ月余り経過していたことから、落葉枝長が5 cm未満のもので細片化のおそれがあり、その本数や量について明らかにすることができなかった。ただ、ヒノキ林の落葉枝は、長さ10 cm未満の小さいものが大部分を占めるといえる。

3. 林分葉量と落葉率

台風前のP1とP2における葉および枝現存量は、P1でそれぞれ13.8, 35.2 t/ha, P2でそれぞれ15.5, 15.7 t/haと推定された(表-5)。ただ、標高が560 mと高かったP2では伐倒調査時に黄葉がみられ、伐倒の際に多少落葉したので過小値である可能性が高い。ヒノキ閉鎖林の平均葉現存量は14.0±2.5 t/ha(只木, 1976)で、両林分とも平均的なヒノキ林といえた。枝現存量はP1がP2の2倍以上であった。これは、P1の林齢が高く密度管理がよく行われていたため、林齢が若く高密度のP2より多くなったといえよう。

幹の折損や根返りなど致命的な被害が発生しない程度の強風を受けたヒノキ2林分では、落枝率が両林分とも0.4%と低かった。一方、P1, P2の落葉率はそれぞれ7.5, 5.1%で、折損などの致命的な被害が発生しない台風であっても、葉現存量の5~8%程度の落葉があるといえよう。

P1, P2の落葉面積率はそれぞれ10.2, 6.1%で、両林分とも落葉率よりやや高い値を示した。ヒノキの黄葉は日最低気温が7°Cになると始まる(齋藤, 1980)ことが知られている。今回の調査地域では、この気温を記録したのが10月14日で、ヒノキの落葉季節にあたらぬ。また、樹冠梢端部や陽樹冠面が陰樹冠に比較し台風による強風に晒されるし、前項で述べたように落葉枝長は短いものが大部分であった。これらのことから、落葉には陽樹冠面にある伸長・展開が遅い比較的若い葉が多く含まれているのではないかと推察された。若い葉は含水率が高く、比面積(葉面積/乾重)が大きいためである。今後、落葉が成長に及ぼす影響などの検討を行うには、落葉被害を受けやすい樹冠位置や葉齢などを特定することが必要であろう。

V. おわりに

本報告では、台風による折損や根返り被害が発生しない程度の強風によるヒノキ林での落葉被害例を示した。落葉量や落葉率は、林分の斜面方位や保護山体の有無で大きく異なることが示唆された。ただ、個々の林分での強風がどの程度であったか不明で、林分密度の違いによる落葉への影響を検討することができなかった。今後は風洞実験などにより風速と落葉との関連などを検討することが望まれる。

落葉は光合成器官の減少で、光合成機能が高い樹冠先端部が多ければ、成長への影響は落葉率より上回ることも考えられる。また、落葉しないまでも、葉が損傷する(福岡県林業試験場, 1992)ことによる光合成機能の低下、根系切断による成長の低下も考えられる。台風が林分の成長などに及ぼす影響については、多方面から詳細な検討が必要であろう。

調査にあたっては、鹿児島県大口市農林事務所林務課の永岩清文課長、塩山英男氏、北薩森林管理署には、調査林分の選定・提供など多大な協力をいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 千葉幸弘(1993)1991年台風19号によるスギ林木の折損被害発生機構の解析. 日林誌 75: 372-374.
- Chiba, Y. (1994) A mechanistic analysis of devastating damage by typhoons in sugi plantations in terms of stem breakage. J. Jpn. For. Soc. 76: 481-491.
- 福岡県林業試験場(1992)1991年9月に発生した台風17号・19号による森林被害調査報告書. 89 pp, 福岡県林業試験場, 福岡.
- 井坂三郎(1959)風害木に現れたモメの樹幹内分布について. 林試研報 111: 183-192.
- 諫本信義・高宮立身(1992)1991年9月台風19号により発生した大分県における森林被害の要因解析. 大分県林試研報 18: 1-43.
- 林野庁監(1992)台風19号等による森林被害の記録—台風19号等被害復旧対策調査検討委員会報告書—. 119 pp, 日本造林協会, 東京.
- 林野庁監(1999)人工林林分密度管理図. 15 pp, 日本林業技術協会, 東京.
- 齋藤秀樹(1980)綿向山山麓にあるヒノキ林のリターフォールの季節変化. 日生態誌 30: 377-384.
- 森林総合研究所(1994)台風19号による長伐期人工林の被害実態の解析と今後の森林施業への対応方策の検討. 平成5年度国有林林野事業特別会計技開試験報告書. 森林総合研究所, 東京. 77-131.
- 只木良也(1976)森林の現存量—とくにわが国の森林の葉量について—. 日林誌 58: 416-423.
- 上田晋之助・堤利夫(1977)ヒノキ人工林とタブ天然生林のリターフォールについて. 京大演報 49: 30-40.
- 米丸伸一(1998)スギ, ヒノキ単層林の台風被害. 鹿児島県林試研報 4: 1-23.