

西宮神社社叢林における台風によるクスノキ老齢木の被害

石井 弘明¹⁾・岩崎 絢子¹⁾

Crown Damage of Old *Cinnamomum camphora* Trees Due to Typhoon in the Shrine Forest at Nishinomiya Jinja

Hiroaki ISHII¹⁾ and Ayako IWASAKI¹⁾

Abstract

We investigated crown damage to large, old trees of *Cinnamomum camphora* Presl. planted in the shrine forest at Nishinomiya Jinja in southeastern Hyogo Prefecture following two typhoons in late summer of 2004. Branch fall was the most evident damage observed. We estimated that 1296 branches ha⁻¹ (198.4 kg ha⁻¹) fell due to the typhoons. Size distributions of the fallen branches were negatively skewed indicating that small branches break more easily in strong winds. The largest observed basal diameter was 4.2 cm, the longest branch length was 2.4 m and the heaviest branch weighed 2.4 kg, although larger fallen branches were observed outside of the research plot. In addition, many leaves fell due to damage by salt spray. These results suggested that considerable biomass and foliage area were lost from the crown of the *C. camphora* trees, which may lead to their decline. Because this species is not regenerating in the understory, the decline of the canopy trees would lead to changes in stand structure and species composition. In order to maintain current forest conditions, it is necessary to revive the old *C. camphora* trees, and also consider methods for maintaining the *C. camphora* population.

Key words : conservation, fragmented forest, disturbance, urban forest

はじめに

平成16年（2004年）は日本全国において台風や洪水、地震など多くの災害にみまわれた。兵庫県南部地域においては、8月から9月に到来した台風16号および18号にともなう強風により、風倒木や落枝など森林への被害が発生した。このほか台風16、18号による被害として強風によって海水がまきあげられ、沿岸部の樹木に塩害がみられた。塩害は葉に塩水がかかることによって、浸透調節などの吸水機能が働かなくなり、葉が周辺部から枯れる現象である（Kozlowsky and Pallardy, 1998）。

台風などの自然災害は森林生態系における攪乱のひとつ

つと見なされており、天然林では風倒木や立枯木によって生じたギャップとそれを修復する途中段階にある形成過程、閉鎖林冠などが混在するモザイク構造がみられ、攪乱は天然林の更新過程を規定する重要な要素である（堤, 1989）。しかし、自然攪乱に依存した群落動態を維持するためには広大な森林面積が必要であるため、現在日本の景観に多く見られる孤立林では一度の攪乱によって群落構造が大きく変化してしまう恐れがある。特に市街地の孤立林は四方を人工的な景観に囲まれていることから、山間部の孤立林に比べて外部環境の影響を受けやすい（武田ら, 1978; Ishii et al., 2005）。よって、市街地の孤立林では台風による強風や塩害によって大きな被

¹⁾ 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院自然科学研究科森林資源学講座
Division of Forest Resources, Graduate School of Science and Technology, Kobe University; Rokkodai-cho 1-1, Nada-ku,
Kobe 657-8501, Japan
e-mail: hishii@alumni.washington.edu



図 1. (a)西宮神社の社叢林. (b)植栽されたクスノキの老木が林冠を形成している. (c)台風によるクスノキの落枝. (d)台風による塩害によって変色し、落葉した西宮神社の社叢林のクスノキの葉.

害が発生する可能性が危惧される。

神戸市や西宮市、芦屋市、尼崎市を中心とする兵庫県南部の沿岸部には市街地に点在する孤立林が多く存在する。これらは面積が1 ha以下から数haしかなく、周囲を人工的な環境に取り囲まれている(石田ら, 1998)。本研究ではこの地域の典型的な孤立林として、西宮市の西宮神社の社叢林において、台風による被害の実態調査を行った。

調査地と方法

調査は台風18号が兵庫県南部を通過した2004年9月7日から10日後の9月17日に西宮神社(兵庫県西宮市社家町, 北緯34° 43′ 東経135° 20′ 標高2 m)において行った(図1 a)。この地域は瀬戸内気候帯に位置し、年平均

気温は15.8°C, 年間降水量は1264.7mmである(気象庁神戸観測所データ, www.jma.go.jp)。西宮神社は海岸から約2 kmの場所に位置し、境内の敷地面積は4.2haである。このうち1.3haを占める社叢林は1961年に兵庫県の天然記念物に指定された。周囲は道路, 線路, 商店街などに囲まれた典型的な市街地の孤立林である。植生は推定樹齢100年以上の植栽されたクスノキの大木(図1 b)が優占する常緑型植栽林である。このほか、クロガネモチ(*Ilex rotunda* Thunb.), ヤブツバキ(*Camellia japonica* L.), アラカシ(*Quercus glauca* Thunb.)などがみられる(岩崎・石井, 2005)。

調査は境内北西部の社叢林に設置した50x50mの調査プロットにおいて行った(岩崎・石井, 2005)。調査プロット内におけるクスノキの個体数は44本, 胸高直径の平均値は36.5cm(最大150.3cm, 最小6.1cm), 樹高の平

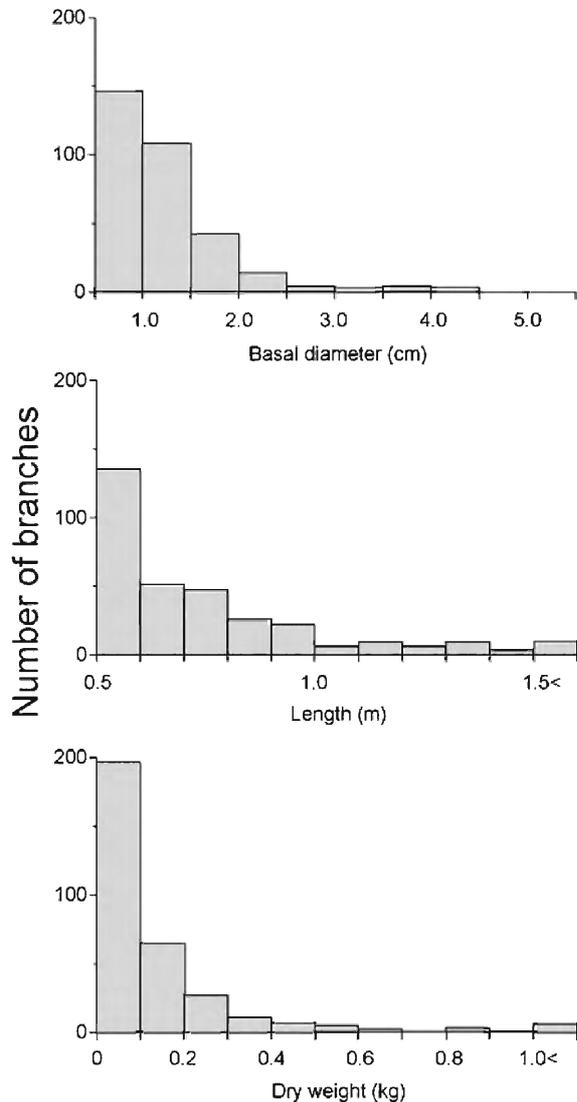


図2. 西宮神社の社叢林における台風によるクスノキ落枝のサイズ頻度分布。

均値は16.1m (最大32.3m, 最小5.3m) であった。調査プロット内には胸高直径が50cmを越える大木が8本あり、クスノキはプロット全体の胸高断面積合計の70%以上を占めた (岩崎・石井, 2005)。

調査プロット内において台風によって落下したと考えられるクスノキの落枝 (基部直径約0.5cm以上) 全てについて基部直径, 長さ, 生重量を測定した。測定した枝の一部を実験室に持ち帰り, 60°C で絶乾したのち, 乾燥重量を測定した。このサンプルの生重:乾重の比率から, 全ての落枝の乾燥重量を求めた。このほか, 調査プロット外においても, 落枝の観察を行った。

以上の測定をもとに, 落枝のサイズ頻度分布を解析した。また, 落枝の基部直径, 長さおよび乾重の相互関係について, 一般相対成長式による解析を行った。一般相対成長式は以下の式によって定義される:

$$\log Y = a \log X + b.$$

ここで, a および b は最小二乗法を用いた回帰分析によって求められるパラメーターである。係数 a は X と Y の相対成長関係 (アロメトリー) を定義するパラメーターで, scaling exponentと呼ばれている。樹木が幾何学的成長を続ける (geometric similarity) と仮定すれば, 直径や長さに対する乾重のscaling exponentは3になる。しかし, 幾何学的成長を続けると力学的に不安定な構造となるため, 実際の樹木で観測される値はこれよりも小さい。たとえば, Niklas (1994) は19樹種を用いた測定において, 枝の長さに対する乾重scaling exponentが1.84になることを導いている。一方, 材質が一定であると仮定した場合に枝の力学的支持力を一定に保つ (elastic similarity) ならば, 枝の直径に対する長さのscaling exponentは1.5になる (MacMahon and Kronauer, 1976)。しかし, 老齢木では樹冠が定常状態に達し, 枝の伸長成長が停止しているため理論的なアロメトリー関係が成立せず, 直径や長さの増加率に対して乾重の増加率が小さくなる (scaling exponentが小さくなる) ことが示されている (Ishii et al., 2000)。本研究では落枝のアロメトリーを解析することで, クスノキの樹冠の老齢化の指標とした。

結 果

台風後の調査プロット内には大量のクスノキ落枝が見られた。クスノキの落枝は0.25haのプロット内に合計324本 (1296本/ha), 49.6kg (198.4kg/ha) が落下した。クスノキの落枝は基部直径, 長さ, 乾重ともに小さいサイズのもが多く, サイズの増加とともに指数関数的に本数が減少するサイズ頻度分布を示した (図2)。調査プロット内で観察された最大基部直径は4.2cm, 最長の枝長は2.4m, 最大の乾重は2.4kgであった。しかし, 調査プロット外ではさらに大きな落枝がいくつか観察された (図1c)。

クスノキ落枝のアロメトリー関係の解析から, 乾重は基部直径の1.84乗に比例して増加し, 枝長は基部直径の0.71乗に比例して増加する傾向を示した (図3)。

考 察

本研究の結果から, 台風16, 18号による強風によって西宮神社の社叢林ではクスノキの老木に落枝による被害があったことが明らかになった。本研究以外に社寺林におけるクスノキの落枝量を定量的に測定し, 報告した文献は見つからなかった。また, 西宮神社における過去のデータもないことから, 今回の結果の比較対象となる定量的なデータはない。しかし, 社叢林の管理者らの観察によると, 今回の台風による被害はこれまでにない落

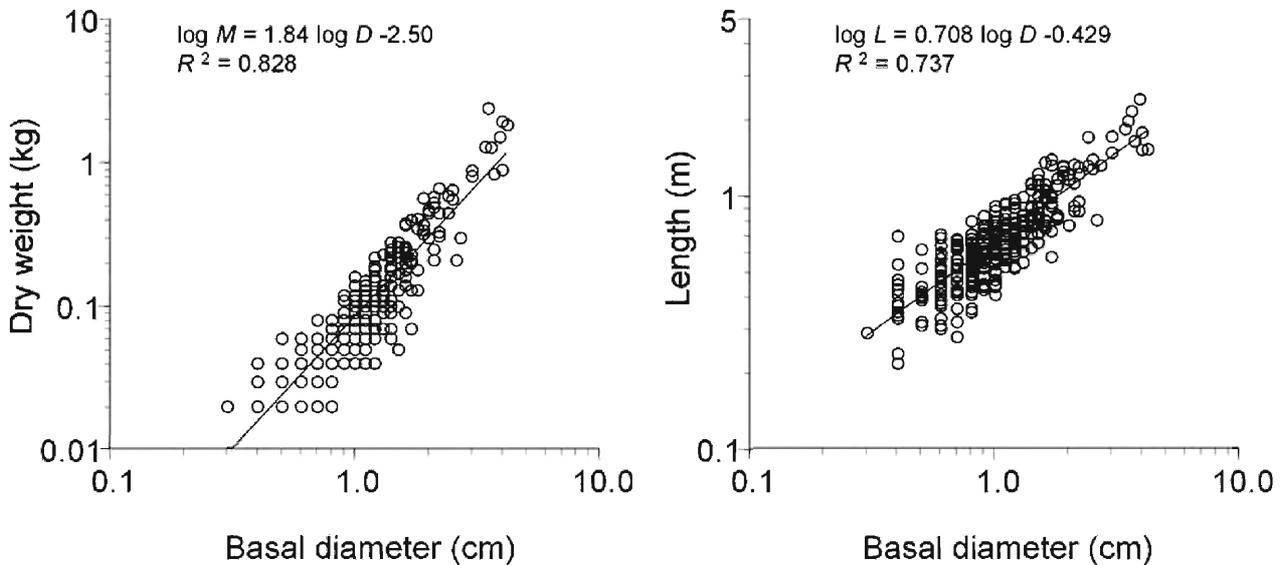


図3. 西宮神社の社叢林における台風によるクスノキ落枝のアロメトリー。

枝量であるとのことである。

落枝の基部直径と乾重の間のアロメトリー関係の結果から、scaling exponentの値はNiklas (1994) が示した値 (1.84) と同等であり、枝は力学的に安定した構造であることが示された。しかし、基部直径と枝長におけるscaling exponentの値はelastic similarityにもとづいた理論値よりも小さかった。これは、直径成長に対して伸長成長量が相対的に減少していることを示しており、樹冠が老齢化していることが示唆された。

老木は維持呼吸量を抑制し、個体の純生産量を維持するため非同化器官を部分的に枯らすことが知られている (Ishii and Wilson, 2001; Lanner, 2002)。たとえば、アメリカトガサワラ (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco var. *menziesii*) の老木では定常状態に達した樹冠を維持するため、樹冠内において枝の枯死と樹冠内萌芽の発生が繰り返されている (Ishii and Ford, 2001; Ishii et al., 2002)。クスノキは近縁のヤブニッケイのように根元から多数の萌芽を発生することは少ないが、老木の樹冠内には多くの萌芽枝がみられ、枝の部分的な枯死もみられる。また、クスノキは個体の寿命が長いことから、樹冠内における枝の枯死と萌芽による再生が個体維持に寄与していると考えられる。しかし、本研究の結果では、樹冠内で自然枯死して落下した枝や部分的に枯れた枝だけでなく、葉が付いたまま折れて落下した生枝が多数見られた。台風などの攪乱による落枝はクスノキ老齢木の葉量や純生産量の低下、更には衰退・枯死につながる恐れがあると考えられる。

このほかの台風による被害として、塩害による落葉が見られた (図1 d)。通常、クスノキは春先に落葉するが、

台風後、数週間にわたり塩害によるクスノキの落葉が多く観察された。落葉の多くは縁の部分が変色していたものの、葉の中心部は緑色をしていたことから、葉緑素や窒素などの栄養塩が回収されないまま落葉したと考えられる。通常、春先に落葉する葉は全体が紅葉してから落葉することから、栄養塩類が新葉へと転流していると考えられる。台風による塩害で大量の葉が落葉したことで、春先に新葉を生産するために転流されるはずだった栄養塩の多くが失われた可能性が示唆される。筆者らの観察によると、翌2005年春はクスノキの新葉の量が例年より少なく、すでに多くの葉が落葉していたことから、個体全体の葉量が少なくなっていた。

以上の結果から、2004年の台風16号および18号によって、西宮神社の社叢林は大きな攪乱を受けたと判断できる。市街地の孤立林では外部環境の影響を強く受けるため、天然林の林縁から林内にかけて観察されるような気象緩和作用 (Chen et al., 1995; Murcia, 1995) がみられず、安定した林内環境が成立しにくい。西宮神社の社叢林は周囲を市街地に取り囲まれているため、今回のような台風による攪乱の被害が林分全体に及んだと考えられる。また、市街地の孤立林は植生においても都市化の影響を強く受けることが報告されている (武田・梅林, 1982; 坂本ほか, 1989)。京都市内の孤立林における木本植物の種多様性を比較した研究では、面積が1 ha以下の孤立林では種組成からみた林縁効果が林分全体に及ぶことが報告されている (村上・森本, 2000)。西宮神社においても、植生構造のさまざまな指標から判断して、林分全体に林縁効果が及んでいることが報告されており (岩崎・石井, 2005)、庭木由来のシュロが林床全体に侵入・繁茂

しているなど、都市化の影響が顕著に現れている。シュロは極めて耐陰性が高く、大型の葉を広く展開して林床を覆う(萩原, 1981)ことから、クスノキなどの林冠木の更新を妨げていると考えられる。クスノキは成長が速い常緑樹で、大木になることから多くの社寺林に植栽されている(佐藤, 2004)が、耐陰性が低いことから林内ではほとんど更新しない(中村, 2004)。京都市の下鴨神社においてもクスノキの更新が見られないことが報告されている(坂本ほか, 1985; 田端ほか, 2004)。西宮神社においてもクスノキの更新が見られないことから、林冠木が衰退すれば林相が大きく変わってしまうことが危惧される。

Nakamura et al. (2005) は大阪府の万博記念公園の常緑型植栽林において、人工的に林冠ギャップを作り、二次林由来の表層土を林床に播くことによって様々な木本種の更新を促すことに成功している。また、Nakamura et al. (2005) の研究では全ての調査区においてクスノキの実生が観察された。西宮神社の社叢林において現在の森林の外観を維持していくためには、クスノキの老木木の樹勢を回復させることとともに、林床における更新を促す上記のような施業や苗木・成木の植栽など、クスノキ個体群を維持していく管理方法を検討する必要があると考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり入林および調査の許可を頂いた西宮神社にお礼申し上げます。野外調査にご協力をお願いした神戸大学森林資源学研究室の学生諸氏に感謝致します。本研究は日本科学協会の笹川学術奨励金により行われた。

要 旨

兵庫県南西部の西宮神社の社叢林において植栽されたクスノキの老木木 (*Cinnamomum camphora* Presl.) に対する台風16, 18号 (2004年到来) による被害調査を行った。最も顕著な被害は落枝であった。台風によるクスノキの落枝量は1296本 ha^{-1} (198.4kg ha^{-1}) に及んだ。落枝のサイズ頻度分布は小型のものが多く分布型を示し、小型の枝のほうが強風により落下しやすいことが示唆された。観察された最大の基部直径は4.2cm, 最長の枝長は2.4m, 最大の乾重は2.4kgであったが、調査プロット外では更に大きな枝が観察された。また、塩害によって多くの葉が落葉した。これらの結果は台風の被害によって樹体および葉量の多くが失われたことを示しており、今後クスノキ老木木が衰退する恐れがある。社叢林の林床ではクスノキが更新していないため、林冠木が衰

退すれば林相や種組成が大きく変化する恐れがある。現在の社叢林の外観を維持するためにはクスノキの老木木の樹勢を回復させるとともに、クスノキ個体群を維持する管理方法を検討する必要がある。

文 献

- Chen, J., Franklin, J.F., and Spies, T.A. (1995) Growing season microclimatic gradients from clearcut edges into old-growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications*, **5**, 74-86.
- 萩原信介 (1981) 都市にふえるシュロ。植物と自然, **15**, 7-12.
- 石田弘明・服部保・武田義明・小籠誓治 (1998) 兵庫県南東部における照葉樹林の樹林面積と種多様性, 種組成の関係。日本生態学会誌, **48**, 1-16.
- Ishii, H. and Ford, E.D. (2001) The role of epicormic shoot production in maintaining foliage in old *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) trees. *Canadian Journal of Botany*, **79**, 251-264.
- Ishii, H., Ford, E.D. and Dinnie, C.E. (2002) The role of epicormic shoot production in maintaining foliage in old *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) trees II. Basal reiteration from older branch axes. *Canadian Journal of Botany*, **80**, 916-926.
- Ishii, H.T., Iwasaki, A. and Sato, S. (2005) Microclimate mitigation in shrine/temple forests of southeastern Hyogo Prefecture. *Nature and Human Activities*, **9**, 47-56.
- Ishii, H., Clement, J.P., and Shaw, D.C. (2000) Branch growth and crown form in old coastal Douglas-fir. *Forest Ecology and Management*, **131**, 81-91.
- Ishii, H. and Wilson, M.E. (2001) Crown structure of old-growth Douglas-fir in the western Cascade Range, Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, **39**, 1250-1261.
- 岩崎絢子・石井弘明 (2005) 兵庫県南東部における孤立社寺林の植生構造に見られる林縁効果。人と自然, **15**, 29-42.
- Kozlowsky, T.T. and Pallardy, S.G. (1998) *Physiology of woody plants*. Academic Press, San Diego, 411p.
- Lanner, R.M. (2002) Why do trees live so long? *Aging Research Reviews*, **1**, 653-671.
- McMahon, T.A. and Kronauer, R.E. (1976) Tree structures: deducing the principle of mechanical design. *Journal of Theoretical Biology*, **59**: 443-466.
- Murcia, C. (1995) Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, **10**, 58-62.
- 村上健太郎・森本幸裕 (2000) 京都市内孤立林における木本植物の種多様性とその保全に関する景観生態学的研究。日本緑化学会誌, **25**, 345-350.
- Nakamura, A., Morimoto, Y., and Mizutani, Y. (2005) Adaptive management approach to increasing the diversity of a 30-year-old planted forest in an urban area of Japan. *Landscape and Urban Planning*, **70**, 291-300.
- 中村幸人 (2004) 樟脳の香りを放つ大木: クスノキ。日本の樹木,

- 21, 14-17.
- Niklas, K.J. (1994) *Plant Allometry*. University of Chicago Press, Chicago, 395p.
- 坂本圭児・小林達明・池内善一 (1985) 京都・下鴨神社の社寺林における林分構造について. *造園雑誌*, **48**, 175-180.
- 坂本圭児・石原晋二・千葉喬三 (1989) 岡山における社寺林の研究 (I) 市街地およびその近郊における全体構造. *日本緑化工学会誌*, **15**(2), 28-34.
- 佐藤洋一郎 (2004) *クスノキと日本人：知られざる古代巨樹信仰*. 八坂書房, 東京, 238p.
- 田端敬三・橋本啓史・前中久行・森本幸裕 (2004) 糺の森におけるクスノキおよびニレ科3樹種の成長と動態. *ランドスケープ研究*, **67**, 499-502.
- 武田明正・梅林正直 (1982) 市街地における社寺林と市街との間の環境の相互作用に関する研究 第12報. 人為的攪乱が社寺林の種多様性に及ぼす影響. *三重大学環境科学研究紀要*, **7**, 81-88.
- 武田明正・梅林正直・山下・松浦 (1978) 市街地における社寺林と市街との間の環境の相互作用に関する研究 第2報. 津八幡宮林の林冠におよび林縁における環境の不連続性について—盛夏の場合—. *三重大学環境科学研究紀要*, **3**, 17-53.
- 堤利夫 (1989) *森林生態学*. 朝倉書店, 東京, 166p.

(2005年7月28日受付)

(2005年11月6日受理)