

京都市市街地北部森林のマツ枯れに伴う林相変化

誌名	森林研究
ISSN	13444174
著者名	森下,和路 安藤,信
発行元	京都大学大学院農学研究科附属演習林
巻/号	74号
巻号補足	
掲載ページ	p. 35-45
発行年月	2002年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

京都市市街地北部森林のマツ枯れに伴う林相変化

森下和路*・安藤 信*

Change in cover types of urban forests damaged by pine wilt disease in the northern part of Kyoto City

Kazumichi MORISHITA* and Makoto ANDO*

京都市周辺の都市林では、1980年代以降に激化したマツ枯れにより、多くのアカマツが枯死した。京都市市街地北部における近接3地域（宝ヶ池、神山、上賀茂）の都市林について、マツ枯れ前後の植生図を比較し、林相変化を明らかにした。植生図は1982年、1990年、1998年撮影の航空写真から作成し、各林分を優占種によってアカマツ林などの林分タイプに分類した。1982年には、アカマツ林が最も多くみられ、宝ヶ池及び神山地域で60%以上、上賀茂地域でも約30%の面積を占めた。しかし、3地域のアカマツ林の面積は、1998年にはそれぞれ0.6%、4.6%、2.1%にまで減少していた。宝ヶ池及び神山では、マツ枯れ後、谷地形で落葉広葉樹が順調に林冠層に現れたのに対し、尾根地形では林冠層を欠く林分が多く出現した。上賀茂では、マツ枯れ後、ヒノキが林冠層に現れた林分と、ヒノキ以外の樹種が優占した林分が存在し、その後それぞれが地形に応じて様々な林相に変化した。以上より、これらの地域におけるマツ枯れ後の林相変化にはいくつかのパターンが存在し、その違いには地形やマツ枯れ以前の林分構造が影響していると考えられる。

キーワード：マツ枯れ、林相変化、都市林、航空写真、京都市

Around Kyoto City, many Japanese red pine (*Pinus densiflora*) trees in the urban forests have died because of heavy damage by pine wilt disease after the 1980s. For three adjoining urban forests in the northern part of Kyoto City (TAKARAGAIKE, KOUYAMA and KAMIGAMO), we compared the vegetation maps of different years to clarify the changing patterns of forest cover. Vegetation maps were made from aerial photographs taken in 1982, 1990 and 1998, and the forest cover types were decided based on the dominant canopy species, e.g. Red pine forest dominated by *P. densiflora*. In 1982, Red pine forest type was the largest, and it occupied 60% or more in area in TAKARAGAIKE and KOUYAMA, and 30% in KAMIGAMO. In 1998, however, Red pine forest type occupied only 4.6% or less of the area. In TAKARAGAIKE and KOUYAMA, deciduous broad-leaved tree species appeared in the forest canopy soon after the damage to red pine in the valley, while many stands on the ridge remained lacking in tree species to provide cover. In KAMIGAMO, two types of stands were identified: those in which *Chamaecyparis obtusa* appeared in the forest canopy quickly and those in which species other than *C. obtusa* occupied the site, and then each stand tended to change according to topographic factors. Our results revealed that there were several types in the changing patterns of forest cover through damage by pine wilt disease in these forests, and suggested that those changing patterns were affected by topographic factors and stand structure before the damage.

Key words: pine wilt disease, change of forest cover type, urban forest, aerial photograph, Kyoto City.

1. はじめに

日本の都市近郊にみられる森林は、その多くが古くから薪炭林などとして利用されてきた二次林であり、中でもアカマツ二次林は西日本を中心に広い面積を占めていた⁴¹⁾。しかし、燃料革命などによって管理が十分に行われなくなった1960年代頃からしだいに二次遷移が進行し、その植生構造が変化しつつあったことが全国的に知られている¹⁵⁾。このような変化に加えて、1970年代以降に広がったマツ枯れの被害が、二次林の構造や林相に大きな影響を及ぼした^{5,16,24,30,33,35,36,37,39,40)}。暖温帯の二次林に

おいて、林冠層のアカマツが失われた場合、その後の遷移によって最終的には常緑広葉樹林へ移行することが予想される^{16,30)}。しかし実際には、地形などの環境条件^{30,40)}やマツ枯れ以前の林分の状態^{5,36)}などにより、遷移のパターンは様々ではない。例えば、再びマツ林が復活する場合^{30,40)}や、落葉広葉樹林へ移行する場合^{24,35,36,39)}などが知られている。一方で、急激に広がったマツ枯れの後、順調に遷移が進行せずに荒廃した林分が存在した場合、景観上問題となる³⁹⁾のみならず、災害の要因となる可能性が指摘されている^{3,27)}。従って、マツ枯れ後の林分構造や林相の変化パターンを把握し、適切な森林管理を

* 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻

* Division of Forest and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University.

行うことは極めて重要である。

京都市市街地周辺の都市近郊林でも、1970年代以前にはアカマツを中心とするマツ林が多くみられた²¹⁾が、マツ枯れとその後の遷移によってその林相は大きく変化しつつある。京都のマツ枯れ被害については、主に京都大学演習林上賀茂試験地において、その発生様式やメカニズム^{7,11,12,26,29,32)}、マツの抵抗性^{6,8,9,10,13,14)}、防除法²⁵⁾などについて数多くの研究が報告されている。しかし、京都市の都市近郊林において、マツ枯れが植生にどのような影響を及ぼしたかということについての知見は少ない。マツ林は、古くから京都市周辺に広く分布していたことが知られており³¹⁾、伝統的な京都の景観の構成要素として重要な存在であったと言える。従って、その変化の過程を把握することは、古都京都の景観を保全し、適切な管理指針を構築するための基礎的な知見を得る上で特に重要であると考えられる。

マツ枯れに伴う植生の変化を調べる手法として、同一林分におけるマツ枯れ前後の植生の比較³⁷⁾や、被害状況の異なる林分におけるコドラート調査の比較解析^{5,33,36,39)}が用いられている。現地調査に基づくこれらの方法は、植生構造を詳細に把握し、遷移の方向を予測できる点で有効であると考えられる。しかし、既に広域にわたるマツ枯れの被害を受けた京都市周辺においては、マツ枯れ以前の林分の状態を知ることが困難である。このような場合、航空写真から植生を判別し、同一地域の時系列に沿った変化を追うことによって、その地域の林相の推移を再現することができると考えられる。航空写真による判読は、林冠層より下層の植生構造を知ることができないという欠点があるものの、林分全域で生じている林相の変化を広範にわたって、面積の変化として把握することが可能である¹⁶⁾。

そこで本研究では、京都市市街地北部地域の都市近郊林について、マツ枯れが激化した時期の前・中・後の年代に撮影された航空写真からそれぞれ植生図を作成し、林相の推移を明らかにすることを目的とした。さらに認められたいくつかの林相変化のパターンについて、地形やマツ枯れ以前の植生の影響を考慮して考察を加えた。

2. 方法

2. 1. 対象地域

植生図作成の対象としたのは、京都市市街地の北部に位置する神山周辺(約200ha)、上賀茂周辺(約180ha)、そして宝ヶ池周辺(約136ha)の3地域の二次林である。これらは北から神山、上賀茂、宝ヶ池という順に隣接した地域である。マツ枯れが激化する前と考えられる1970

年代に作成された植生図によると、これら3地域の森林の大部分はアカマツ林となっていた^{21,23)}。ただし上賀茂地域に含まれる京都大学演習林上賀茂試験地では、周囲の天然生林の植生について、アカマツとヒノキの混交林が多く存在したことが記録されている^{1,19)}。

2. 2. 植生図の作成

対象地域について、実体鏡を用いた航空写真の判読により林相を識別し、縮尺1:10000の地形図上に植生図を作成した。使用した航空写真は縮尺1:10000のカラー写真で、撮影年度は1982年、1990年、1998年である。なお図-1に、上賀茂試験地の資料²⁰⁾より作成したマツ枯れ被害木伐倒量の推移を示した。この図は枯死木の伐倒量を表したものであるため、実際の枯死時期からは1年前後の遅れがあると考えられるが、おおまかにマツ枯れのピークの時期を知ることができる。図-1より、上賀茂試験地においては、1982年はマツ枯れが激化する前、1990年はマツ枯れのピーク前後、1998年はほぼマツ枯れが終息した時期の状態であると考えられる。宝ヶ池及び神山の2地域についてはこのような被害木量の資料が得られなかったが、上賀茂と非常に近接した地域であることから、ほぼ同様の推移を経たものと推察される。またこの期間内において、対象地域内の森林に加えられた伐採や土地改変などによる人為の影響は、航空写真判読で対象となる上層木に関しては無視できる程度のものであった。

実際の林分の状態を確認するため、1999年の4月から

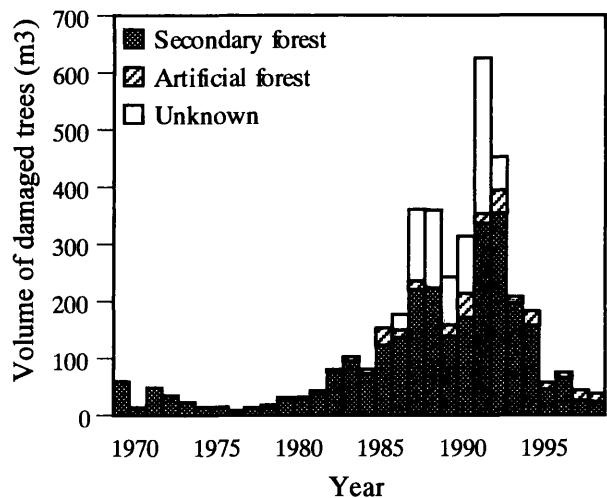


図-1 京都大学上賀茂試験地におけるマツ枯れ被害木伐倒量の推移。上賀茂試験地業務資料²⁰⁾より算出。グラフの最左の値は、1969年以前の被害木の総量であり、伐倒年度は1969年である。

Fig. 1 Volume of trees damaged by pine wilt disease in Kamigamo Experimental Forest, Kyoto University, calculated from the data for business use in Kamigamo Experimental Forest²⁰⁾. The value for 1969 means the cumulative volume of the trees damaged before 1969 and removed in 1969.

表-1 林分タイプ一覧
Table 1 Definition of forest cover types.

Stand type		Dominant canopy species
A. Red pine forest	アカマツ林	<i>Pinus densiflora</i>
B. Unclosed forest	マツ枯れ低質林	<i>Ilex pedunculosa</i> , <i>Lyonia ovalifolia</i> , <i>Clethra barbinervis</i>
C. Mixed-forest of (A and D)	マツ・落葉広葉樹混交林	A+D
D. Deciduous broad-leaved forest	落葉広葉樹林	<i>Quercus serrata</i> , <i>Q. variabilis</i>
E. Mixed-Forest of (D and G)	落葉広葉樹・ヒノキ混交林	D+G
F. Mixed-Forest of (A and G)	マツ・ヒノキ混交林	A+G
G. Cypress Forest	ヒノキ林	<i>Chamaecyparis obtusa</i>
H-1. Evergreen broad-leaved forest	常緑広葉樹林	<i>Castanopsis cuspidata</i>
H-2. Cryptomeria forest	スギ林	<i>Cryptomeria japonica</i>
H-3. Bamboo stand	竹林	<i>Phyllostachys pubescens</i>
H-4. Orchard and other planted stand	果樹園その他の植栽地	-
H-5. Cutover land and bare area	無立木地	-

6月にかけて現地踏査を行い、その時点における林相を観察した。その上で1998年撮影の航空写真を参照し、表-1のように植生区分を決定した。それぞれの植生区分の概要は以下の通りである。

- A. アカマツ林：アカマツが優占する林分
- B. マツ枯れ低質林：アカマツ枯死木が観察され、かつその周辺の林冠層が高木樹種によって閉鎖されていない林分として定義した。主にソヨゴ、ネジキ、リョウブなどが優占する林分
- C. マツ・落葉広葉樹混交林：A及びDの優占種が混交している林分
- D. 落葉広葉樹林：主にコナラやアベマキなどが優占する林分
- E. 落葉広葉樹・ヒノキ混交林：D及びGの優占種が混交している林分
- F. マツ・ヒノキ混交林：A及びGの優占種が混交している林分
- G. ヒノキ林：ヒノキが優占する林分
- H-1. 常緑広葉樹林：主にコジイが優占する林分
- H-2. スギ林：スギが優占する林分
- H-3. 竹林：モウソウチクを主とする竹林
- H-4. 果樹園その他の植栽地：果樹園や庭園など、人工的に植栽されたもので、森林のような相観をもつ土地
- H-5. 無立木地：伐採などによって樹木が存在しない土地

現地踏査において、ヒノキと落葉広葉樹については、アカマツと混交している林分が多く観察され、マツ枯れ後の林相変化に関わる主要な樹種であることが予想された。そこでこれらの樹種については、それぞれの優占林(A, D, G)のみならず、混交林も項目に加えた(C, E, F)。また、上賀茂試験地の見本林などはH-4に含めた。なお、コジイを中心とする常緑広葉樹林(H-1)

は、京都市市街地周辺地域の標高320m以下の気候区分において極相林であると考えられている¹⁸⁾。本研究の対象地域はすべて標高320m以下であるが、1982年の時点で常緑広葉樹林の面積は全体の0.0~3.0%に過ぎなかった。また後述するように、その後アカマツ林から常緑広葉樹林に移行した林分もみられなかった。そこで本研究の結果及び考察では、常緑広葉樹林(H-1)は、同様に面積が少なく変化がほとんどみられなかったH-2~H-5とともにH.その他としてまとめて扱うものとする。ただし、京都市市街地周辺の他の地域においては、コジイが増加傾向にある林分も観察される⁴⁾ため、さらに広範な地域についての林相変化を検討する際には考慮が必要である。

2. 3. 植生図の解析

1) 各林分タイプの面積の推移

便宜上、作成した植生図を50mのメッシュで区切り、各々のグリッド内で最も優占する植生区分をそのグリッド部分の林分タイプとした。以下、各植生区分に属する林分の面積は、すべてこのグリッド数で表した。

2) 地形別にみたアカマツ林の推移

16年間で特に大きな面積変化を示したアカマツ林について、林相の推移を追うため、1982年にアカマツ林であったグリッドを取り出し、それぞれがどの林分タイプへ変化していくかを、地形の影響を考慮して検討した。

地形区分は、グリッド毎に地形図の等高線の形から各地形を判定した。地形の判別は渡辺³⁸⁾に従い、まず次の5種類に区分した。

- a. 山頂面：山の頂上ならびにその付近、および緩尾根で傾斜度が約15度以内の部分
- b. 山腹凸面：山頂と山脚の間に存在する山の斜面で、等高線の曲率（中央縦距と弦長の比）が約1/15以上であり、その形状が下部に向かって凸型である部分

- c. 山腹平衡面：上記の山腹面で、その平面形状がほぼ平衡、つまり等高線の曲率が約1/15以下である部分
- d. 山腹凹面：上記の山腹面で等高線の曲率が約1/15以下であり、その形状が凹型である部分
- e. 山脚堆積面：山脚付近で山腹から続いている斜面に傾斜変換点があり、その傾斜が山腹面より緩である部分。急激な傾斜変換点のない時は傾斜度が15度未満の部分

なお、本研究においては、各地形に属するグリッド数を十分に確保するため、以下、a及びbを「尾根地形」、cを「斜面地形」、d及びeを「谷地形」と呼ぶこととし、3種類の地形区分について考察を行った。

3. 結果と考察

3. 1. 各林分タイプの面積の推移

対象3地域の1982年、1990年、1998年の植生図を図-2に、それぞれの地域における各林分タイプの面積の推移を図-3に示した。

1) マツ枯れ激化以前の状態

宝ヶ池及び神山地域： 図-3より、1982年にはアカマツ林の割合が、宝ヶ池及び神山でそれぞれ64.4%と67.9%であった。すなわち、マツ枯れが激化する以前のこれらの地域は、面積の半分以上がアカマツ林によって占められていた。次いでマツ・落葉広葉樹混交林がそれぞれ20.1%と13.1%であった。宝ヶ池地域については、1978年に京都市市街地周辺の各地に設けられた植生調査プロットのうち4プロットが含まれており、1978年と1997年に行われた植生調査により林分構造が明らかにされている^{4, 18)}。その中で、宝ヶ池南側のアカマツ林の部分に設けられたプロットにおける1978年の樹種構成をみると、上層木（胸高直径 ≥ 4.5 cm）はアカマツが本数で54.5%、胸高断面積合計で76.1%を占めており、特に樹高8m以上の層はアカマツのみで構成されるアカマツ優占林であった。一方、深泥池東岸のマツ・落葉広葉樹混交林に設けられたプロットにおける1978年の樹種構成をみると、上層木は胸高断面積でアベマキが最も多く（28.1%）、次いでソヨゴ（22.6%）、アカマツ（19.1%）、コナラ（14.7%）となっていた。樹高10m以上の最上層はアベマキとアカマツのみによって占められていたが、8m以下の層には後継樹となるアカマツが存在しなかった。このようなアカマツと広葉樹の混交林は、アカマツ二次林が放置された後、閉鎖林下ではアカマツの更新が困難である³⁴⁾ために、遷移が進行した状態であったと考えられる。

上賀茂地域： 図-3より、1982年にはアカマツ林の割合が29.6%であり、最も広い面積を占めたものの、宝ヶ

池及び神山地域に比較すると少なかった。しかしマツ・ヒノキ混交林は、宝ヶ池及び神山地域では0~5%程度であったが、上賀茂地域では24.0%を占めていた。上賀茂地域に含まれる上賀茂試験地の植生については、その自然植生の大部分が、アカマツやヒノキの皆伐後に天然更新したアカマツ及びヒノキを中心とする二次林であったとされている¹⁹⁾。その一部については詳細な解析がなされ、1920年代から1940年代にかけての伐採後にまずアカアカマツ林が成立し、下層に存在したヒノキがその後成長するにつれて遷移が進行したことが明らかにされている^{1, 2)}。従って、上賀茂地域にマツ枯れ激化以前に存在したマツ・ヒノキ混交林の多くは、アカマツ林からの遷移の進行によって成立したものと推察される。

2) 16年間の林相変化

宝ヶ池及び神山地域： 図-3より、両地域において、1982年の時点で60%以上を占めていたアカマツ林は、1990年でそれぞれ19.9%と12.5%となり、さらに1998年には0.6%と4.6%となった。一方、アカマツ林以外の林分タイプの動向をみると、1982年から1990年にかけてはマツ・落葉広葉樹混交林の増加が顕著であり、宝ヶ池では20.1%から50.2%へ、神山では13.1%から61.1%へ、それぞれ急増した。しかし1990年から1998年にかけては、マツ・落葉広葉樹混交林は両地域において減少に転じ、代わってマツ枯れ低質林（それぞれ11.8%→27.9%、12.0%→20.1%）及び落葉広葉樹林（それぞれ5.2%→20.3%、2.1%→7.6%）の増加がみられた。その結果、1998年では両地域において、マツ枯れ低質林、マツ・落葉広葉樹混交林、落葉広葉樹林の3タイプで全体の面積の80%前後を占めた。

上賀茂地域： 図-3より、1982年に約30%を占めていたアカマツ林は、宝ヶ池及び神山地域と同様に減少し、1990年で10.3%、1998年で2.1%となった。しかし、アカマツ林の減少後に突出して広い面積を占める林分タイプはみられなかった。1998年の時点では、面積の大きい順にヒノキ林（19.6%）、落葉広葉樹・ヒノキ混交林（17.2%）、マツ・ヒノキ混交林（13.2%）となっており、ヒノキ林またはヒノキを含む混交林（E, F）が主要な林分タイプとなっていた。

1982年から1998年までの16年間は、上賀茂試験地におけるマツ枯れ被害木の伐出量が特に多かった時期にほぼ一致している（図-1）。この16年間に、宝ヶ池、神山、上賀茂の各地域において、アカマツ林の面積はそれぞれもとの0.93%、6.7%、7.1%にまで激減していた。従って、図-1に示したようなマツ枯れの被害が、当地域におけるアカマツ林の急速な減少を引き起こし、林相の変化を促進したと考えられる。また、宝ヶ池及び神山地域では

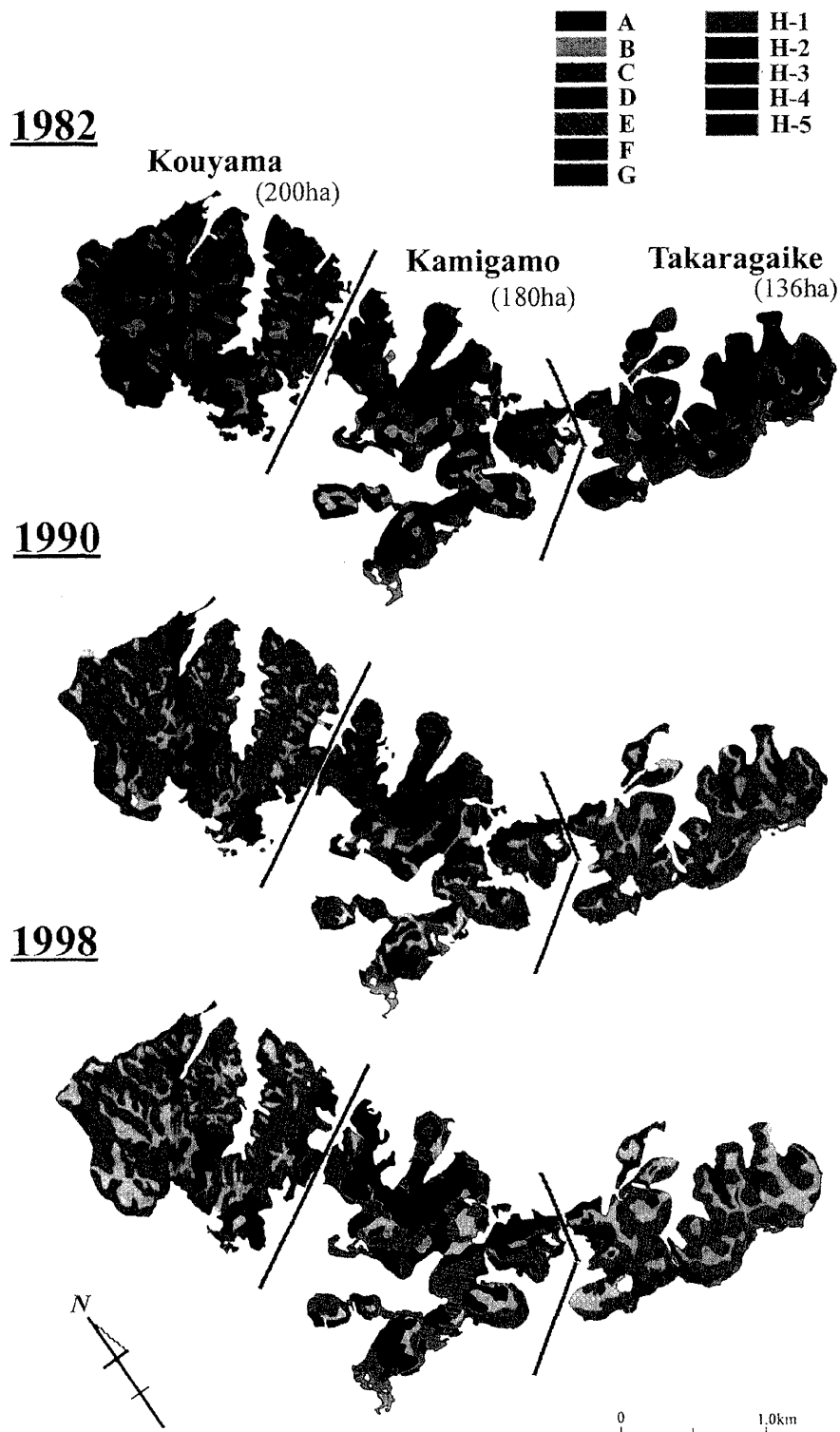


図-2 対象地域の1982年, 1990年, 1998年の植生図。

Fig. 2 Vegetation maps of the study area in 1982, 1990 and 1998.

凡例: A.アカマツ林, B.マツ枯れ低質林, C.マツ・落葉広葉樹混交林, D.落葉広葉樹林, E.落葉広葉樹・ヒノキ混交林, F.マツ・ヒノキ混交林, G.ヒノキ林, H-1.常緑広葉樹林, H-2.スギ林, H-3.竹林, H-4.果樹園その他の植栽地, H-5.無立木地。各林分タイプの定義は表-1及び本文参照。

Legend: A. Red pine forest, B. Unclosed forest, C. Mixed forest of (A and D), D. Deciduous broad-leaved forest, E. Mixed forest of (D and G), F. Mixed forest of (A and G), G. Cypress forest, H-1. Evergreen broad-leaved forest, H-2. Cryptomeria forest, H-3. bamboo stand, H-4. Orchard and other planted stand, H-5. Cutover land and bare area. Definition of forest cover types is given in Table 1 and the text.

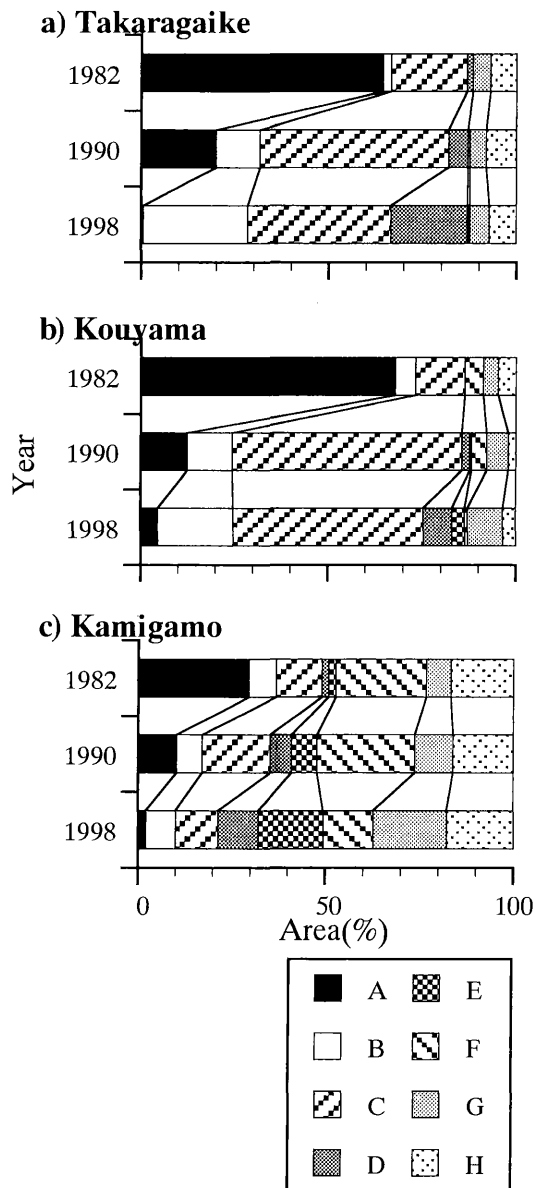


図-3 宝ヶ池, 神山, 上賀茂の各地域における各林分タイプの面積の推移。

Fig. 3 Changes in the area of each forest cover type in TAKARAGAIKE, KOUYAMA and KAMIGAMO forests.

宝ヶ池(a), 神山(b), 上賀茂(c)の各地域について, それぞれの林分タイプが占める面積の割合を示した。凡例: A.アカマツ林, B.マツ枯れ低質林, C.マツ・落葉広葉樹混交林, D.落葉広葉樹林, E.落葉広葉樹・ヒノキ混交林, F.マツ・ヒノキ混交林, G.ヒノキ林, H.その他。各林分タイプの定義は表-1及び本文参照。

The relative area of each forest cover type in TAKARAGAIKE(a), KOUYAMA(b), and KAMIGAMO(c) forest is shown. Legend: A. Red pine forest, B. Unclosed forest, C. Mixed forest of (A and D), D. Deciduous broad-leaved forest, E. Mixed forest of (D and G), F. Mixed forest of (A and G), G. Cypress forest, H. Others. Definition of forest cover types is given in Table 1 and the text.

落葉広葉樹が, 上賀茂地域ではヒノキが, それぞれ林相の変化に大きく寄与していることが明らかになった。

3. 2. 地形別にみたアカマツ林の推移

表-2に, 1982年にアカマツ林であったグリッドが, その後主よどの林分タイプに変化したかを地形別に示した。3. 1. で述べたように, 宝ヶ池及び神山地域と上賀茂地域とでは林相の変化に異なる傾向がみられたため, ここではこれらの2つの地域に分けて検討を行う。

1) 宝ヶ池及び神山地域

1982年-1990年の変化(表2-a): 尾根, 斜面, 谷のいずれの地形においても, アカマツ林のままで残る林分(A), マツ枯れ後すぐに落葉広葉樹が上層に進出しているマツ・落葉広葉樹混交林(C), 及び高木種が存在しないか進界が遅れるマツ枯れ低質林(B)の3タイプで90%以上を占めた。マツ枯れ低質林は, 宝ヶ池では谷地形に出現せず, 斜面地形で10.5%, 尾根地形で30.3%となり, 尾根地形で最も割合が高かった。神山でも, マツ枯れ低質林に移行する割合は尾根地形で最も高く, 16.8%であった。一方, マツ・落葉広葉樹混交林は, 宝ヶ池では尾根地形で35.2%, 斜面地形で55.6%, 谷地形で61.1%であり, 谷地形で最も割合が高かった。神山では, マツ・落葉広葉樹混交林への移行はいずれの地形においても60%前後の高い割合を示した。

1990年-1998年の変化(表2-b): 尾根地形においては, マツ枯れ低質林の増加が顕著であった。尾根地形で1990年にマツ枯れ低質林であった林分のうち, 宝ヶ池で73.0%, 神山で57.1%がマツ枯れ低質林のままで残存していた。さらに, アカマツ林のそれぞれ57.9%と38.2%, 及びマツ・落葉広葉樹混交林の53.5%と22.7%がマツ枯れ低質林へ移行した。斜面地形においても, 1990年のマツ枯れ低質林のうち宝ヶ池で76.5%, 神山で55.6%が, 1998年の時点でもマツ枯れ低質林のままの状態であった。斜面地形における1990年のアカマツ林及びマツ・落葉広葉樹混交林からは, 1998年の時点でマツ・落葉広葉樹混交林となった林分が多かった(45.7%~75.0%)が, マツ枯れ低質林へ移行した林分も15.0%~37.0%存在した。一方で, 斜面地形においてマツ・落葉広葉樹混交林から落葉広葉樹林へ移行した林分は, 宝ヶ池では23.3%と比較的高い割合で存在した。谷地形においては, マツ・落葉広葉樹混交林のうち宝ヶ池で76.7%, 神山で67.3%がマツ・落葉広葉樹混交林のままの状態に残存した。加えてアカマツ林からもそれぞれ62.5%, 60.0%がマツ・落葉広葉樹混交林へ移行した。

以上の結果, 宝ヶ池では, 1982年にアカマツ林であった林分は1998年の時点で, 尾根地形で主としてマツ枯れ

表-2 3つの地形区分(尾根・斜面・谷)別にみたマツ林の16年間の林分タイプの推移

Table 2 Change of forest cover types of Red pine forest from 1982 to 1998 in relation to topographic conditions (Ridge, Slope, and Valley).

a)											
Area	Topography	Stand type									
		in 1982		No. of grids in 1990 (%)							
		(No. of grids)		A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.
Takaragaike	Ridge	A. (122)	31.1	30.3	35.2	0.8	0.0	0.8	0.0	1.6	
	Slope	A. (162)	28.4	10.5	55.6	3.7	0.0	0.0	0.0	1.9	
	Valley	A. (65)	24.6	0.0	66.2	4.6	0.0	0.0	0.0	4.6	
Kouyama	Ridge	A. (250)	13.6	16.8	65.2	1.2	0.0	1.6	0.8	0.8	
	Slope	A. (72)	25.0	12.5	55.6	2.8	0.0	0.0	4.2	0.0	
	Valley	A. (221)	11.3	13.1	66.5	3.2	0.5	2.7	1.8	0.9	
Kamigamo	Ridge	A. (105)	34.3	6.7	30.5	3.8	1.9	21.0	1.0	1.0	
	Slope	A. (57)	19.3	5.3	29.8	10.5	5.3	26.3	1.8	1.8	
	Valley	A. (51)	21.6	2.0	27.5	5.9	9.8	29.4	0.0	3.9	
b)											
Area	Topography	Stand type									
		in 1990		No. of grids in 1998 (%)							
		(No. of grids)		A.	B.	C.	D.	E.	F.	G.	H.
Takaragaike	Ridge	A. (38)	2.6	57.9	23.7	2.6	2.6	0.0	7.9	2.6	
		B. (37)	0.0	73.0	24.3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
		C. (43)	0.0	53.5	41.9	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
		Total* (122)	0.8	60.7	30.3	3.3	0.8	0.8	2.5	0.8	
	Slope	A. (46)	0.0	37.0	45.7	10.9	2.2	0.0	4.3	0.0	
		B. (17)	0.0	76.5	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		C. (90)	0.0	21.1	53.3	23.3	0.0	0.0	0.0	2.2	
		Total* (162)	0.0	31.5	46.9	18.5	0.6	0.0	1.2	1.2	
	Valley	A. (16)	12.5	6.3	62.5	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	
		B. (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	
		C. (43)	0.0	4.7	76.7	16.3	0.0	0.0	2.3	0.0	
		Total* (65)	3.1	6.2	66.2	20.0	0.0	0.0	1.5	3.1	
Kouyama	Ridge	A. (34)	11.8	38.2	44.1	2.9	2.9	0.0	0.0	0.0	
		B. (42)	7.1	57.1	28.6	2.4	2.4	0.0	2.4	0.0	
		C. (163)	0.6	22.7	65.6	4.3	4.3	0.0	0.6	1.8	
		Total* (250)	3.2	29.6	54.8	4.0	4.0	0.8	1.6	2.0	
	Slope	A. (18)	27.8	22.2	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		B. (9)	0.0	55.6	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	
		C. (40)	5.0	15.0	75.0	2.5	2.5	0.0	0.0	0.0	
		Total* (72)	9.7	20.8	59.7	2.8	1.4	0.0	4.2	1.4	
	Valley	A. (25)	4.0	20.0	60.0	4.0	8.0	0.0	4.0	0.0	
		B. (29)	0.0	41.4	48.3	0.0	3.4	0.0	3.4	3.4	
		C. (147)	1.4	15.6	67.3	6.1	4.1	0.0	1.4	4.1	
		Total* (221)	1.8	18.6	59.7	5.9	4.5	0.9	4.1	4.5	
Kamigamo	Ridge	A. (36)	19.4	25.0	11.1	5.6	5.6	33.3	0.0	0.0	
		C. (32)	0.0	12.5	56.3	0.0	0.0	15.6	3.1	12.5	
		F. (22)	0.0	13.6	4.5	0.0	27.3	27.3	27.3	0.0	
		Total* (105)	6.7	17.1	22.9	5.7	12.4	23.8	7.6	3.8	
	Slope	A. (11)	18.2	27.3	0.0	18.2	9.1	27.3	0.0	0.0	
		C. (17)	0.0	17.6	23.5	29.4	11.8	17.6	0.0	0.0	
		F. (15)	0.0	13.3	0.0	0.0	60.0	13.3	13.3	0.0	
		Total* (57)	3.5	15.8	10.5	21.1	28.1	17.5	3.5	0.0	
	Valley	A. (11)	9.1	0.0	36.4	9.1	0.0	27.3	18.2	0.0	
		C. (14)	0.0	7.1	64.3	21.4	7.1	0.0	0.0	0.0	
		F. (15)	0.0	13.3	0.0	0.0	53.3	6.7	20.0	6.7	
		Total* (51)	2.0	5.9	25.5	13.7	25.5	11.8	11.8	3.9	

a) 1982年-1990年の変化：宝ヶ池，神山，上賀茂の各地域について，1982年にアカマツ林であったグリッドが1990年にどの林分タイプであったかを，地形区分別に割合で示した。

b) 1990年-1998年の変化：1982年のアカマツ林から変化した1990年の各林分タイプのうち，主要3タイプ(宝ヶ池及び神山地域ではA・B・C，上賀茂地域ではA・C・F)及び全タイプ(total)について，1998年にどの林分タイプであったかを，地形区分別に割合で示した。

凡例：A. アカマツ林，B. マツ枯れ低質林，C. マツ・落葉広葉樹混交林，D. 落葉広葉樹林，E. 落葉広葉樹・ヒノキ混交林，F. マツ・ヒノキ混交林，G. ヒノキ林，H. その他。各林分タイプの定義は表-1及び本文参照。

a) Change from 1982 to 1990. : Percentage of each forest cover type in 1990 originated from a Red pine forest type in 1982 is shown in relation to topographic conditions.

b) Change from 1990 to 1998. : Percentage of each forest cover type in 1998 originated from most common three types (A, B, and C in TAKARAGAIKE and KOUYAMA, A, C, and F in KAMIGAMO) and all types (total) in 1990 is shown in relation to topographic conditions. In 1982, these forests were all Red pine forest type.

Legend: A. Red pine forest, B. Unclosed forest, C. Mixed forest of (A and D), D. Broad leaved deciduous forest, E. Mixed forest of (D and G), F. Mixed forest of (A and G), G. Cypress forest, H. Others. Definition of forest cover types is given in Table 1 and the text.

低質林 (60.7%) とマツ・落葉広葉樹混交林 (30.3%) に、斜面地形で主としてマツ・落葉広葉樹混交林 (46.9%)、マツ枯れ低質林 (31.5%) 及び落葉広葉樹林 (18.5%) に、それぞれ林相変化した。谷地形では、マツ・落葉広葉樹混交林 (66.2%) と落葉広葉樹林 (20.0%) への移行が主であり、マツ枯れ低質林は6.2%に過ぎなかった。

一方、神山では、宝ヶ池と比較して、林相変化の地形による違いが明確でなかった。このことには、神山の方が宝ヶ池よりも地形が複雑であるために、50mのグリッドによる地形判別では精度が低かったことが影響しているかもしれない。しかし、尾根地形でマツ枯れ低質林への移行割合が比較的高い (29.6%) こと、また1990年にマツ枯れ低質林となった林分は1998年の時点でもマツ枯れ低質林である割合が高い (41.4%~57.1%) という傾向は、宝ヶ池と共通していた。

宝ヶ池及び神山地域は、上賀茂地域と比較してヒノキが少なく、マツ枯れ後アカマツに代わって上層に現れるのは主に落葉広葉樹であった。先出の深泥池東岸に設けられた調査プロット周辺 (1978年の時点でマツ・落葉広葉樹混交林) は、1998年には落葉広葉樹林へと移行したが、その林冠層はコナラ・アベマキが優占したとされており⁴⁾、1999年の現地踏査の際にも、これらの樹種が優占する落葉広葉樹林が多く観察された。

暖温帯地域のマツ林では多くの場合、マツ枯れ後に常緑広葉樹林へと遷移が進行すると考えられる^{5,16,17,30,35)}。しかし実際には、直接アカマツ林から常緑広葉樹林へ移行するのではなく、その途中の段階としてコナラやアベマキ等を中心とする落葉広葉樹林が出現する場合があることが知られている^{30,35,39)}。宝ヶ池及び神山地域においても、対象とした16年間に、アカマツ林から常緑広葉樹林へ移行した林分はみられなかった。その一方で、マツ枯れの進行に伴い広い範囲にわたって落葉広葉樹が林冠層に進出しており、まずマツから落葉広葉樹への林冠木の置き換わりが進んでいくことが予想される。

一方で、マツ枯れ後に林冠層を欠いたマツ枯れ低質林の拡大が、尾根地形を中心に顕著であった。先出の宝ヶ池南側に設けられた調査プロット周辺 (1978年の時点でアカマツ林) は、1998年にはマツ枯れ低質林へと移行した林分である。この調査プロットの1997年時点での樹種構成については、ネジキが胸高断面積合計で上層の42.6%を占め、ついでアカマツが19.1%、コナラが17.8%、ソヨゴが12.0%等であり、樹高8m以上の層は存在しなかったことが報告されている⁴⁾。ただしこのプロット周辺の林分では一部の広葉樹の伐採が行われた可能性が指摘されているため、このような樹種構成が典型的なマツ枯れ低質林の構造を表しているとは限らない。現地踏査の

際には、ネジキの他にソヨゴ、リョウブといった低木〜亜高木性の樹種が優占する林分が多く観察された。

これらのようなマツ枯れ後に高木層を欠く林分の出現は、各地のマツ枯れ被害林で報告されており、その主要構成樹種はネジキ・タカノツメ・リョウブ³⁵⁾、アカメガシワ・ハゼノキ¹⁶⁾、ソヨゴ³⁹⁾ などとなっている。これらのうち陽性の落葉広葉樹種が優占する林分については、遷移系列上でアカマツ林とはほぼ同位にあると考えられ、比較的順調に高木性の広葉樹林へ移行していくものと予想されている^{16,35)}。一方で山瀬³⁹⁾ は、マツ枯れ後にソヨゴなどの常緑広葉樹が優占する林分で、コナラやアラカシといった高木性樹種の更新が遅れていることから、これらの林分の群落構造が安定するまでには長い時間を要する可能性を指摘している。本研究の宝ヶ池及び神山地域においても、1982年から1990年の間にアカマツ林からマツ枯れ低質林へ移行した林分の多くが、1998年の時点でまだマツ枯れ低質林の状態であったことから、これらが必ずしも一時的な状態であるとは考えにくい。特に尾根などの貧栄養で乾燥した立地では、アカマツ以外の高木性樹種の順調な生育が困難であると考えられる⁴⁰⁾ ことから、急激なマツ枯れの被害を受けた場合、マツ枯れ低質林の状態が長期間持続される可能性がある。

2) 上賀茂地域

1982年—1990年の変化 (表2—b): いずれの地形でも、アカマツ林のままで残った林分、及びマツ・落葉広葉樹混交林、マツ・ヒノキ混交林へ移行した林分が主となっており、これらの3つのタイプでそれぞれ合計75.4%~85.8%を占めた。マツ枯れ低質林への移行は2.0%~6.7%に過ぎず、宝ヶ池及び神山地域に比較してわずかであった。このことから上賀茂地域においては、1982年から1990年の間、マツ枯れ後すぐに高木性の落葉広葉樹やヒノキが林冠層に進出したことによって、比較的順調に遷移が進行していたと考えられる。アカマツ林のまま残った林分は尾根地形で最も割合が高く、34.3%を占め、斜面地形と谷地形では20%前後であった。一方、マツ・ヒノキ混交林へ移行した林分は谷地形で最も割合が高く、29.4%であり、斜面地形、尾根地形の順にやや割合が低くなった。マツ・落葉広葉樹混交林へ移行した林分は、いずれの地形でも30%前後であった。

1990年—1998年の変化 (表2—b): アカマツ林からは、マツ・ヒノキ混交林に移行する割合がいずれの地形においても30%前後を占めた。また、宝ヶ池及び神山地域と同様に、尾根地形及び斜面地形ではアカマツ林からマツ枯れ低質林に移行する割合が高く (それぞれ25.0%と27.3%)、谷地形ではマツ・落葉広葉樹混交林へ移行す

る割合が高い(36.4%)傾向がみられた。1990年のマツ・落葉広葉樹混交林は、1998年の時点でマツ・落葉広葉樹混交林のままの状態であるか、あるいは落葉広葉樹林へ移行した割合が、いずれの地形でも高かった(合計52.9%~85.7%)。一方、マツ・ヒノキ混交林からは落葉広葉樹・ヒノキ混交林に移行した林分が多く存在し、特に斜面地形及び谷地形ではその割合が50%を越えていた。

以上の結果、上賀茂地域では、1982年にアカマツ林であった林分は、1998年までに様々な林分タイプに変化した。これらの林分タイプをマツ枯れ低質林(B)、落葉広葉樹林へ移行していくグループ(CとD)、落葉広葉樹・ヒノキ混交林(E)、及びヒノキ林へ移行していくグループ(FとG)というように分類すると、尾根地形では、マツ・ヒノキ混交林及びヒノキ林への移行が最も多く合計31.4%、次いでマツ・落葉広葉樹混交林及び落葉広葉樹林が合計28.6%、マツ枯れ低質林が17.1%、落葉広葉樹・ヒノキ混交林が12.4%であった。斜面地形では落葉広葉樹林及びマツ・落葉広葉樹混交林が最も多く(31.6%)、次いで落葉広葉樹・ヒノキ混交林(28.1%)、マツ・ヒノキ混交林及びヒノキ林(21.0%)、マツ枯れ低質林(15.8%)となっていた。谷地形ではマツ・落葉広葉樹混交林及び落葉広葉樹林(39.2%)、落葉広葉樹・ヒノキ混交林(25.5%)、ヒノキ林及びマツ・ヒノキ混交林(23.6%)の順であり、マツ枯れ低質林は5.9%に過ぎなかった。以上より、いずれの地形においてもヒノキ林へ移行していくグループ(FとG)が20%以上を占め、加えて尾根地形ではマツ枯れ低質林(B)が多く、谷地形では落葉広葉樹・ヒノキ混交林(E)及び落葉広葉樹林へ移行していくグループ(CとD)が多い傾向がみられた。

上賀茂地域にマツ枯れ以前に存在したアカマツ優占林の一部の垂直構造が、赤井ら²⁾により明らかにされている。それによると、最上層をアカマツが構成し、その下の層にヒノキが多く存在していたことがわかる。アカマツは下層に全く存在せず後継樹が育っていなかったのに対し、ヒノキは樹高がアカマツより低いものの上層から下層までくまなく分布し、更新が継続していた。このような構造を持つアカマツ林は、アカマツ林からヒノキ林への遷移の過程にあったものと考えられる²⁾。マツ枯れ後にマツ・ヒノキ混交林へ移行した林分の多くは、最上層を占めていたアカマツが枯死した後、そのすぐ下層に存在したヒノキが林冠層に現れたものと考えられる。ヒノキは一般に緩斜面の適潤地が成長に適しているとされるが、乾燥にも耐え、尾根などでも生育可能な樹種である²⁸⁾。従って、しばしば落葉広葉樹の進界が遅れる尾根地形であっても、ヒノキは広い範囲にわたってアカマツ

林下に生育しており、マツ枯れ後に林分がマツ枯れ低質林とならずにマツ・ヒノキ混交林へ移行していくことに貢献したと考えられる。

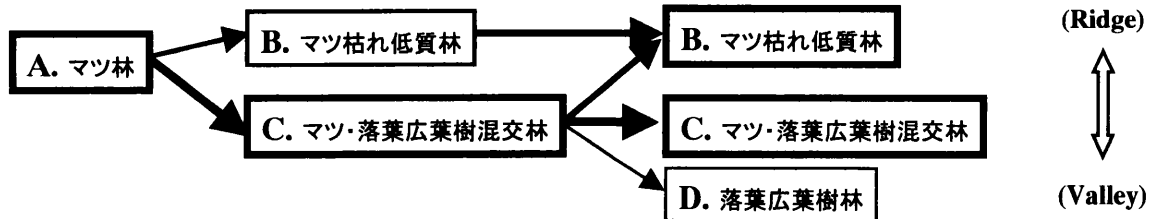
一方で、マツ枯れ後にヒノキが林冠層に現れなかった林分は、主にマツ・落葉広葉樹混交林へ移行した。これらは下層にヒノキが存在しないか少ない林分であったと推察され、宝ヶ池及び神山と同様に地形の影響を受けながら、落葉広葉樹を中心とする林分へと移行していくことが予想される。また、マツ枯れ後にマツ・ヒノキ混交林となった林分でも、その後さらにマツ枯れが進行するにつれて、ヒノキ林へと移行する林分と、特に斜面地形・谷地形で落葉広葉樹が進界して落葉広葉樹・ヒノキ混交林となる林分が存在した。このような林相変化の違いも、それぞれの林分におけるヒノキの密度の違いや、地形による落葉広葉樹の成長の違いを反映したものと考えられる。以上のことから、上賀茂地域においては、地形に加えてヒノキの有無や密度の違いが、マツ枯れ後の林相変化の方向に大きく影響していた。

3. 3. まとめ

図-4に、宝ヶ池及び神山地域(図-4a)と上賀茂地域(図-4b)におけるマツ枯れ後の林相変化の方向を模式的に示した。

宝ヶ池及び神山地域では、主にマツ・落葉広葉樹混交林を経て落葉広葉樹林へと推移していくことが予想される。しかし、林相の変化は地形によって異なる傾向がみられた。すなわち、谷地形では比較的順調に落葉広葉樹林への移行が進むと考えられたのに対し、尾根地形では、マツ枯れ後に高木性樹種の更新が遅れ、マツ枯れ低質林となる林分が多く存在した。マツ枯れ低質林の多くはソヨゴ、ネジキ、リョウブなどの中・低木性の樹種が優占しており、高木種の成長を阻害するため、長期にわたって林冠層を欠く状態が持続することも予想される。このような林分では、マツ枯れ以前と比べて水の流出量が増加し³⁾、時に斜面崩壊の原因となることが報告されている²⁷⁾。また、里山の景観保全という観点からも、林冠層が失われた状態が持続することは好ましくないと考えられる³⁹⁾。一方で、尾根のような立地においては、マツ以外の高木種の定着が困難であり、マツ枯れ後に天然更新によってマツ林が再生する場合がある^{30,39,40)}。しかし、中・低木性の樹種が優占するマツ枯れ低質林においてアカマツの更新を促すためには、実生定着に必要な疎開地の創出、さらなるマツ枯れ被害の防除など、さまざまな管理上の問題点が予想される。いずれにせよ、マツ枯れ低質林となった林分をどのように安定した状態へ移行させていくかということは、マツ枯れ後の森林管理を行う

a) Takaragaike and Kouyama



b) Kamigamo

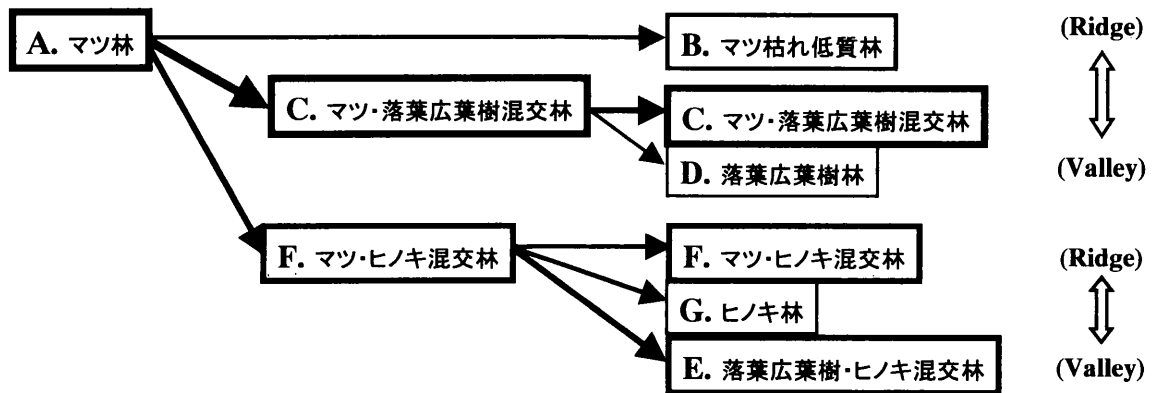


図-4 宝ヶ池及び神山地域と上賀茂地域における林相変化の傾向

Fig. 4 Trends of change of forest cover types in TAKARAGAIKE and KOUYAMA area and KAMIGAMO area.

宝ヶ池及び神山地域 (a) と上賀茂地域 (b) について、1982年にマツ林であった林分の1998年までの推移を模式的に表した。太い矢印は特に顕著であった推移を示す。

Typical changing patterns of pine forest type in TAKARAGAIKE and KOUYAMA area (a) and KAMIGAMO area (b) from 1982 to 1998 are shown. Thick arrows mean notable trends.

上で大きな課題の一つである。

上賀茂地域では、マツ枯れ後にすぐにヒノキが林冠層に現れる林分と、現れない林分とに分かれた。このような違いは、マツ枯れが生じる以前の林分の構造を反映したものと考えられる。ヒノキが林冠層に現れなかった林分では、主にマツ・落葉広葉樹混交林や落葉広葉樹林への林相変化がみられたが、尾根地形を中心にマツ枯れ低質林も出現した。一方、ヒノキが林冠層に現れた林分では、その後一部でマツ枯れ低質林も出現したが、主として落葉広葉樹・ヒノキ混交林やヒノキ林への移行が中心であった。特に斜面地形及び谷地形では、落葉広葉樹・ヒノキ混交林への移行率が高かった。このことから、マツ枯れ直後にはアカマツと混交していたヒノキが林冠層に進出したが、その後斜面地形や谷地形などの落葉広葉樹の成長が大きかった林分では、さらに落葉広葉樹が林冠層に現れたものと考えられる。

以上のことから、京都市市街地北部地域におけるマツ枯れ後の林相変化には、マツ枯れ低質林が出現する場合、落葉広葉樹林へと推移する場合、及びヒノキが林冠に進出する場合、といったいくつかのパターンが存在することが明らかになった。そしてその林相変化の方向には、地形の違いや、ヒノキの混交率などマツ枯れが生じる以前の林分構造が大きな影響を及ぼしている可能性が示唆

された。

京都市市街地周辺のアカマツ林は、本来、二次遷移によってコジイを中心とした常緑広葉樹林へと移行していくと予測されていた¹⁸⁾。このような森林に対して、景観保全という観点からは、「自然のままで放置した方がよい」あるいは「人手を加えてマツや落葉広葉樹の森林に戻した方がよい」といったさまざまな意見が存在する²²⁾。しかしこれまで述べてきたように、マツ枯れが発生したことによって、これらのアカマツ林は非常に急激に林相を変化させ、その変化の過程も多様であった。今後これらの林分がさらにどのように変化していくかを予測するためには、それぞれの林分タイプについて詳しい構造や動態を把握する必要がある。その上で、景観上の問題を考慮しながら、それぞれの立地に応じた管理方法を検討することが重要であると考えられる。

4. 謝辞

本研究を進めるにあたり、様々な資料を提供していただいた京都市緑政課の皆様、高田森林緑地研究所の高田研一氏、及び京都大学上賀茂試験地の皆様、そして多大なご協力とご指導をいただいた森林育成学研究室の皆様をはじめとする多くの方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 赤井龍男・中井勇・岡本憲和・渡辺政俊 (1986) 京都市近郊における天然生ヒノキ・アカマツ混交林の林分構造と風致施業, 京大演報, 57, 128-142
- 2) 赤井龍男・坂上俊郎・大野次朗 (1977) アカマツ・ヒノキ・広葉樹混交林の構造と二次遷移, 京大演報, 49, 64-80
- 3) 阿部敏夫・谷誠 (1985) 松くい虫による松枯れが流出に及ぼす影響, 日林誌, 67, 261-270
- 4) 安藤信・山崎理正・川那辺三郎 (1998) 京都市の市街地周辺の森林植生に関する調査研究, (京都市の自然に関する実態調査報告書, 京都市公害防止計画研究会, 183pp), 1-156
- 5) 藤原道郎・豊原源太郎・波田善夫・岩月善之助 (1992) 広島市におけるアカマツ二次林の遷移段階とマツ枯れ被害度, 日生態会誌, 42, 71-79
- 6) 古野東洲 (1982) 外国産マツ属の食害に関する研究 第7報 マツノザイセンチュウにより枯死したマツ属について, 京大演報, 54, 16-30
- 7) 古野東洲・二井一禎 (1983) マツノザイセンチュウ接種マツ属, とくに接種後3年間の生育について, 京大演報, 55, 1-19
- 8) 古野東洲・二井一禎 (1984) マツノザイセンチュウを接種したクロマツ×タイワンアカマツ (F1) の生育について, 日林論, 95, 477-478
- 9) 古野東洲・二井一禎 (1986) マツ属の生育におよぼすマツノザイセンチュウの影響, 京大演報, 57, 112-127
- 10) 古野東洲・中井勇・上中幸治・羽谷啓造 (1993) 上賀茂および白浜試験地における外国産マツのマツ枯れ被害 - マツ属のマツノザイセンチュウに対する抵抗性 -, 京大演集報, 25, 20-34
- 11) 古野東洲・渡辺弘之・上中幸治 (1977) 外国産マツ属の虫害に関する研究 第4報 テーダマツおよびハクショウを加害したマツノマダラカミキリについて, 京大演報, 49, 8-19
- 12) 二井一禎 (1999) アカマツ林における“マツ枯れ”被害の進展様式, 森林研究, 71, 9-18
- 13) 二井一禎・古野東洲 (1979) マツノザイセンチュウに対するマツ属の抵抗性, 京大演報, 51, 23-36
- 14) FUTAI, K. and NAKAI, I. (1993) Influence of pine wilt disease on *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* regeneration, J. Jpn. For. Soc. 75 : 287-292
- 15) 広木詔三 (2002) 人間活動と里山 - 歴史と成り立ち, (里山の生態学 その成り立ちと保全のあり方, 広木詔三編, 333pp, 名古屋大学出版会, 名古屋), 16-40
- 16) 井上晋 (1995) 九州大学早良実習場におけるマツ枯れ林分の植生変化, 九大演報, 72, 21-32
- 17) 井上晋・鎌倉邦雄 (1992) 都市のマツ枯れ林分における自然林の造成技術 - ギャップ更新の生態を活用した都市林の造成 -, 日林九支研論集, 45, 109-110
- 18) 川那辺三郎・玉井重信・加藤博之・中堀謙二・安藤信 (1979) 京都市の市街地周辺の森林植生に関する調査研究報告, (京都市域における自然環境に関する実態調査報告書, 京都市衛生局公害対策室, 193pp), 137-193
- 19) 京都大学農学部附属演習林編集委員会 (1993) 上賀茂試験地, (京都大学農学部70年史, 京都大学農学部創立70周年記念事業会・京都大学農学部70年史編集委員会・京都大学農学部70年史編集専門委員会編, 958pp, 京都大学農学部創立70周年記念事業会, 京都), 700-703
- 20) 京都大学大学院農学研究科附属演習林上賀茂試験地 (未発表) マツ枯れ被害木伐倒記録.
- 21) 京都市 (1978) 京都市植生図.
- 22) 京都市公害防止計画研究会 (1998) 京都の自然に関するアンケート調査報告書, 135pp.
- 23) 京都市教育委員会 (1974) 京都府植生図.
- 24) 中越信和・白築治枝 (1999) 松枯れ林の残存中・高木性種個体群の存在様式, 日林学術講, 110, 327-328
- 25) 中井勇・二井一禎・赤井龍男 (1986) マツの材線虫病の感染源に関する生態的研究 (II) - 非被害型アカマツ林分におけるマツノマダラカミキリの生態とその駆除方法について -, 京大演報, 57, 14-25
- 26) 中井勇・二井一禎・古野東洲 (1991) 上賀茂試験地におけるマツノマダラカミキリの羽化消長とマツ枯れ発生の季節変化, 京大演集報, 22, 55-66
- 27) 中根周歩 (2000) 松枯れと斜面崩壊 - 1999年6月広島地域の集中豪雨災害について -, 森林応用研究, 9(2), 41-46
- 28) 日本林業技術協会 (2001) 森林・林業百科事典, 1236pp, 丸善, 東京.
- 29) 野淵正・富永晃行・二井一禎・原田浩 (1984) マツノザイセンチュウの接種によるクロマツ幼齡木枯損過程の細胞学的観察, 京大演報, 56, 224-233
- 30) 野本宣夫・大石祐治・佐伯敏郎・岸洋一・井上悦甫・中島嘉彦 (1985) 岡山県と茨城県の「松枯れ」跡の植生遷移 - D²H図, D²H頻度分布図による樹種構成の解析, マツ枯れとその生態系に及ぼす影響「環境科学」研究報告書, 17-26
- 31) 小椋純一 (1992) 明治中期における京阪神地方の里山の景観, (絵図から読み解く人と景観の歴史, 小椋純一, 238pp, 雄山閣, 東京), 14-51
- 32) 岡本憲和・渡辺政俊・中井勇・古野東洲 (1990) 上賀茂試験地におけるマツ枯れについて - 発生から1988年までの被害の経緯 -, 京大演集報, 20, 26-43
- 33) SAKAMOTO, K., FUJIKAWA, N., CHIBA, K. and YOSHIKAWA, K. (1995) Stand structure and dynamics of *Pinus densiflora* forests damaged by pine wilt disease in the southern part of Okayama prefecture, J. Jap. Soc. Reveget. Tech. 21(1) : 18-28
- 34) 陶山佳久・中村徹 (1988) アカマツ人工林におけるアカマツ当年生実生の個体群動態, 日林誌, 70, 510-517
- 35) 只木良也・参鍋秀樹・河口順子・橋本宣子・中川有里 (2001) 名古屋市内・近郊二次林の遷移, 名大森研, 20, 123-133
- 36) 達良俊・大沢雅彦 (1992) 都市景観域における放棄アカマツ植林の二次遷移とアカマツの一斉枯死による影響, 日生態会誌, 42, 81-93
- 37) 豊原源太郎・奥田敏統・福島昭郎・西浦宏明 (1986) 松枯れに伴う宮島の森林植生の変化, 日生態会誌, 35, 609-619
- 38) 渡辺宏 (1993) 最新森林航測テキストブック, 日本林業技術協会, 東京.
- 39) 山瀬敬太郎 (1998) 松枯れ被害地における里山管理に関する提言 - 姫路市牧野地区の生活環境保全林整備事業地を事例として -, 兵庫森林技研報, 46, 1-7
- 40) 山瀬敬太郎 (1999) 松枯れに伴うアカマツ自然林の階層構造の変化, 兵庫森林技研報, 47, 16-22
- 41) 山中二男 (1990) 森林の変遷, (日本の森林植生 補訂版, 山中二男, 223pp, 築地書館, 東京), 70-91