

ブナ林の衰退実態調査

丹沢山地のブナ林の林分構造と衰退状況

山根正伸¹⁾・藤沢示弘¹⁾・田村淳¹⁾・内山佳美¹⁾・笹川裕史¹⁾・越地正¹⁾・斎藤央嗣²⁾

1. はじめに

丹沢山地のブナ林の枯損は、1990年代以降、実態や原因の解明に向けたさまざまな調査研究が進められてきた(相原ほか, 2004)。しかし、衰退状況は、ブナ(*Fagus crenate*)の枯死木に注目したものに限られ、衰弱木を含んだ全体的な衰退状況の定量的な把握はまだ行われていない。越地ほか(1996)が、丹沢のほぼ全域の冷温帯林を対象に戦後以降の空中写真を時系列的に判読し、モミやブナの枯死の発生状況を調べ、天然林の約3割の範囲に枯死木が分布し、丹沢山、蛭ヶ岳、檜洞丸の各山頂付近に多いこと、枯死は1970～1980年頃にまとまって発生し、その後も続いていること、などを明らかにした。また、前回の総合調査において、星ほか(1997)は、大室山から檜洞丸、蛭ヶ岳、山、塔ノ岳、鍋割山を結ぶ主稜線部のブナの枯損木の衰退状況を4段階で区分し、高標高地での森林群落に衰退が目立ち、鞍部や急傾斜地になるところで特に衰退が著しいこと、風衝地では風上側の衰退度が大きいことを指摘した。このほか、蛭ヶ岳(Higashi et al, 2003)や檜洞丸(丸田・白井, 1997a)の山頂での衰退解析なども、衰退が特定の斜面に発生することなどが報告されている。

これまで丹沢のブナの衰退原因として指摘された要因のうち、直接的に枯死に至ることが確認されている要因は最近報告されたブナハバチ(Shinohara et al., 2000)による食害(山上ほか, 1997越地, 2002)に限られており、オゾンなどの大気汚染物質や水分ストレスなどは樹勢低下をもたらす要因として考えられている(河野, 2001)。このため、ブナの衰退原因の絞り込みや衰退機構の解明という観点から、ブナの衰退状況は衰弱と枯死の両方を含んで把握することが適当と考えられる。

そこで、筆者らは、衰退機構研究の第1段階として、マクロ、メソ、サイトの3つの空間スケールでブナ林を現地調査し、林分構造および衰弱と枯死の両方を含んだブナ衰退状況についてそれぞれのスケールで解析し、ブナ衰退発生の空間的特性を明らかにし、今後の研究課題を整理した。

2. 調査方法

(1) マクロスケールの調査

当山地のブナ林における全体的な衰退状況を把握するため、植生図と事前踏査に基づいて、まとまったブナ林を16

地区選び、現地調査を行った(広域調査, 図1)。この調査では、各地区に5ないし8個の100m方形区の調査区画を地図上で予め決め、GPSを使って現地確認して、図2示すように各区画に5箇所の調査地点を設定した。

現地では、各調査地点におけるブナ高木およびブナを含む高木の成立密度、平均胸高直径、衰退進行指標を求め、調査地点付近から無作為に中心点を決め、その周辺の東西南北方向に4象限を区切って、中心点から各象限の最短距離にあるブナの高木各1本、合計四本を調査対象木に選び、中心からの距離と胸高直径を測定した。その後、調査対象木のそれぞれで、全体、枝、葉色、葉量について目視で表1の基準により「健全」から「枯死」までの6段階で衰退度を判定した(斎藤, 2003)。解析では、各指標の衰退度0から3の本数割合を求めて、衰退進行指標値とした。同時に、ブナハバチ被害状況も、過去の被害の有無などもあわせて記録した。

さらに、各調査区のNo3調査地点では、葉緑素計(SPAD-502, ミノルタ製)を用いてクロロフィル含有量を測定した。測定したブナからはサンプルを採取し、持ち帰ってクロロフィル蛍光値を測定した。

各調査地点の立地環境は、現地でGPSにより位置座標

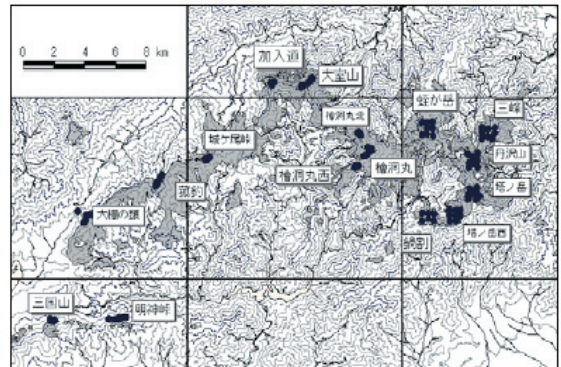


図1. 広域調査を行ったブナ林の位置

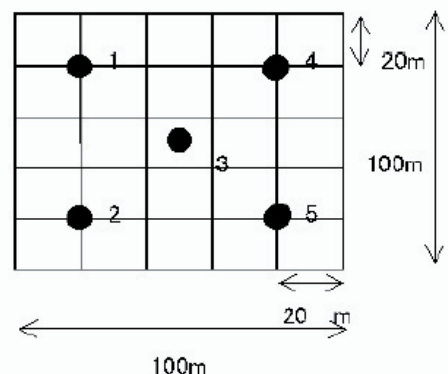


図2. 広域調査での調査区画内の調査地点の配置

1) 神奈川県自然環境保全センター研究部 2) 神奈川県環境農政部森林課

を取得し、GIS 処理によりそこを含む一定サイズのメッシュにおける、標高、傾斜、斜面方位などの値を求めた。

以上の現地調査は、ブナの樹勢低下が顕れる 8 月下旬以降に行うこととし、2002 年から 2004 年の 3 カ年に分けて実施した。すなわち、国土地理院 1/25000 地形図の「大山」図幅に含まれる地区は 2002 年 9 月中旬～10 月上旬、「中川」図幅と「大室山」図幅では 2003 年 8 月下旬～9 月中旬、「御正体山」図幅と「駿河小山」図幅を 2004 年 8 月下旬から 9 月上旬に行った。

(2) メソスケールの調査

累積的な衰退が進むとして丹沢山と檜洞丸山頂一帯を選び、100ha～200ha の調査地を設定し、100m 方形区を地図上でかぶせ、各区画に含まれるブナの衰退状況を現地で調べた。現地調査は、GPS を使って位置を確認し、区画内にあるブナ高木 10 本程度を無作為に選んで、広域調査と同様に衰退度を判定し、各区画における衰退進行度を求めた。

加えて、時点の異なる空中写真を用いて樹幹粗密度の変化を指標としたブナ林の衰退履歴を解析した。使用した空中写真は、1977 年と 2004 年撮影のカラー写真である。空中写真はデジタルオルソフォト（分解能は 25cm）を作成後、グレースケール変換し、100m グリッドをかぶせて、グリッド内の輝度値の変動係数（標準偏差 / 平均）を統計値としたテクスチャ解析（笹川・山根、2005）を行い、2 時点の変動係数の変化から衰退履歴を検討した。

(3) サイトスケールの調査

前項のメソスケール調査の結果に基づいて、丹沢山一帯と檜洞丸山頂付近ブナ林で林分レベルの衰退調査を行った。

丹沢山では、ブナの衰退状況の標高・植生がほぼ同様

で衰退度の異なるブナ林分がある 3 地域（ブナ - オオモミジガサ群集に 1 地域、ブナ - ヤマボウシ群集に 2 地域）に 20m × 20m 方形の固定試験地を全部で 14 箇所設定した。2003 年 8 月から 9 月に衰退状況と植生を、12 月に胸高直径と樹高の毎木調査を行った。

檜洞丸では、山頂付近の衰退度の異なるブナ林に 20m × 20m 方形の固定試験地を 5 箇所設定し、2004 年 9 月 3 日に衰退状況と植生、胸高直径の現地調査を行った。

3. 調査結果

(1) ブナ林の林分構造

マクロ調査において最終的に調査したのは 101 区画、505 点の調査地点である（表 2）。

これらの調査結果を地区別に、ブナ高木と高木の平均 DBH と成立密度の平均値を求めて、クラスター分析によりタイプ区分した結果、林分構造は大きく 3 グループに分類できた。すなわち、ブナの平均直径が 44 - 50cm でブナと林分ともに成立密度の低い地区、ブナの平均直径が 31 - 40cm とやや細くブナと林分の高木密度がともに高い地区、その中間の地区である（表 2）。第 1 グループのほとんどは、丹沢山地の東部のブナ林である。これに対して第 3 のグループは、西丹沢のブナ林が該当した。また、第 2 グループはその中間にほぼ位置するブナ林である。

ブナ混交率は 4～87% と幅があるが、大半が 30% 以下であった。地区別には、大室山と城ケ尾峠で高い値を示している。

(2) ブナ衰退の現状

広域調査の結果を GIS で地図化したところ、ブナ林の衰退は丹沢山地のブナ林全体に認められること、地区により進行状況が異なっていることがわかった（図 3）。

表 1. ブナ衰退進行の判定基準


ランク	全体	枝	葉色	葉量	模式図
5	健全	正常	濃緑	多い	
4	微	やや減少	緑	一部欠損	
3	中	小枝少ない	淡緑	欠損やや目立つ	
2	大	欠損多い	淡黄緑	欠損多い	
1	激	わずか	黄	ほとんど欠損	
0	枯死	-	-	-	

表 2. 丹沢山地の主要なブナ林における高木の平均胸高直径と成立密度

	ブナ		林分全体	
	平均 DBH cm	成立密度 /ha	平均 DBH cm	成立密度 /ha
堂平・三峰	43	58	41	302
丹沢山	44	51	35	189
塔の岳西	49	78	35	440
檜洞丸	54	105	37	372
檜洞丸西	44	185	34	416
大室山	53	263	35	345
塔の岳	37	34	24	799
鍋割	41	21	26	562
蛭ヶ岳	34	38	33	512
檜洞丸北	49	148	36	525
加入道	44	154	27	712
城ケ尾	32	793	19	912
菰釣山	35	242	21	1098
大棚	37	192	22	1221
三国	31	305	18	1619
明神峠	40	64	15	1729

表 3 丹沢山地におけるブナ林衰退に関する広域調査のまとめ

地区	調査 地点数	平均衰退 進行度(%)	同 SD	枯死木 本数	クロロフィル 含有量	クロロフィル 蛍光値
城ヶ尾	25	1.3	6.6	0	46.07	0.77
三国山	20	nd	nd	0	41.17	0.77
菰釣山	25	9.5	15.9	2	41.56	0.78
大棚の頭	25	7.3	14.1	0	46.54	0.79
塔ノ岳	29	10.1	16.3	0	36.21	0.74
丹沢・三峰	38	12.9	24.8	0	44.96	0.79
大室山	50	13.8	20.6	6	46.17	0.81
明神山	30	14.7	25.0	0	41.49	0.74
檜洞丸西	20	17.5	25.8	4	41.81	0.78
塔ノ岳西	36	18.8	23.0	4	38.98	0.77
蛭ヶ岳	31	21.2	35.5	5	44.32	0.74
丹沢山	39	22.6	25.0	1	43.31	0.79
加入道	20	22.5	28.5	5	42.30	0.81
檜洞丸北	28	27.7	27.5	11	44.65	0.80
檜洞丸	30	34.4	24.8	15	42.78	0.80
鍋割	17	27.9	29.0	0	40.88	0.78

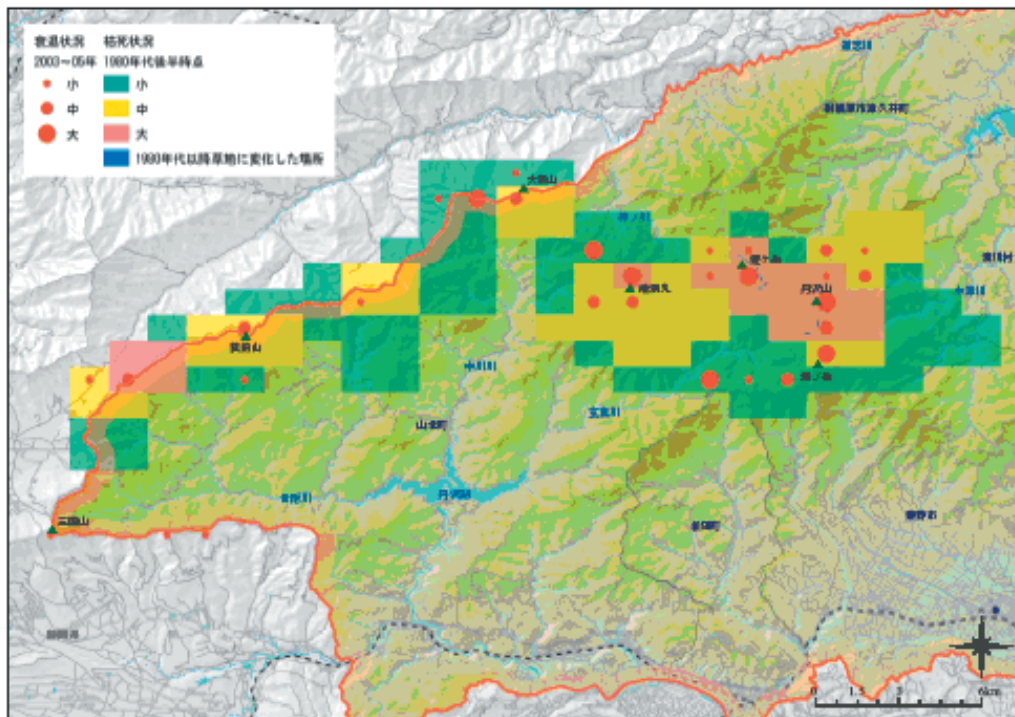


図 3 丹沢山地におけるブナ衰退状況

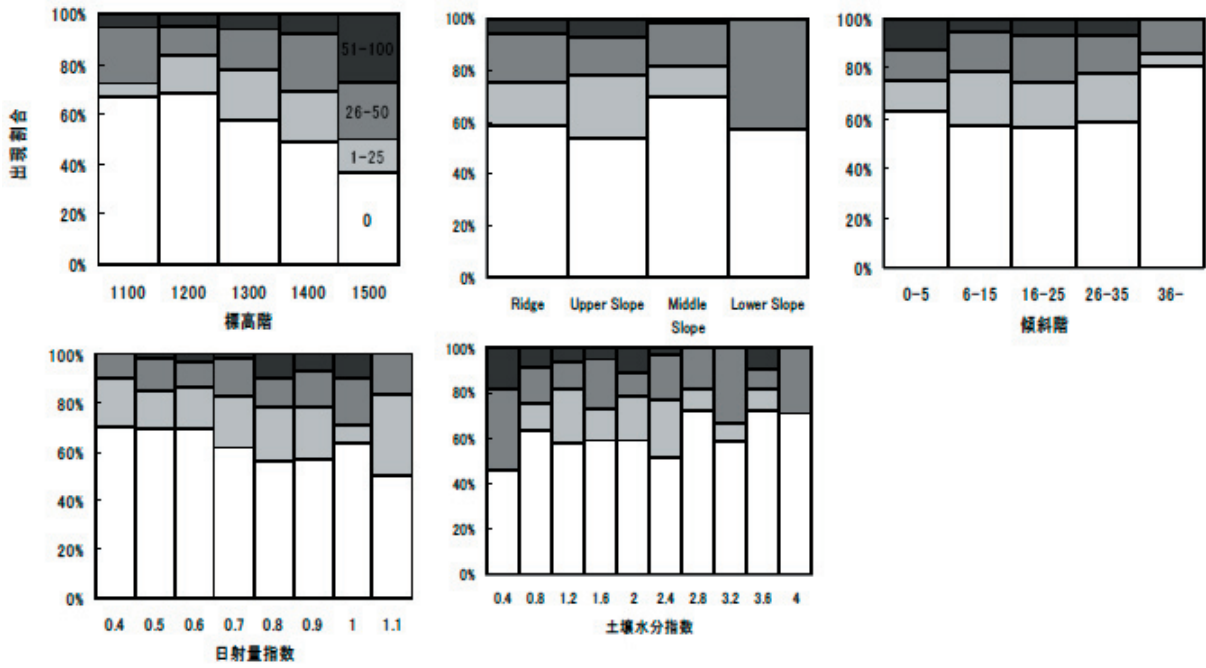


図4. 広域調査に基づくブナ林の衰退と立地環境（上左；標高階．上中；斜面位置．上右；傾斜階．下左；日射量指数．下中；土壌水分指数）との関係。

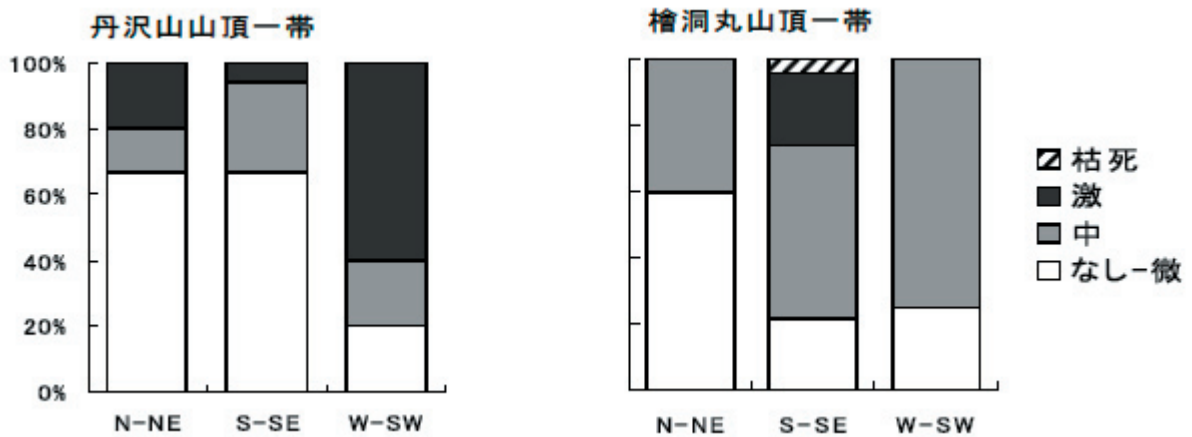


図5. 丹沢山と檜洞丸山頂一帯における斜面方位別のブナ衰退状況．縦軸は頻度割合を示す．

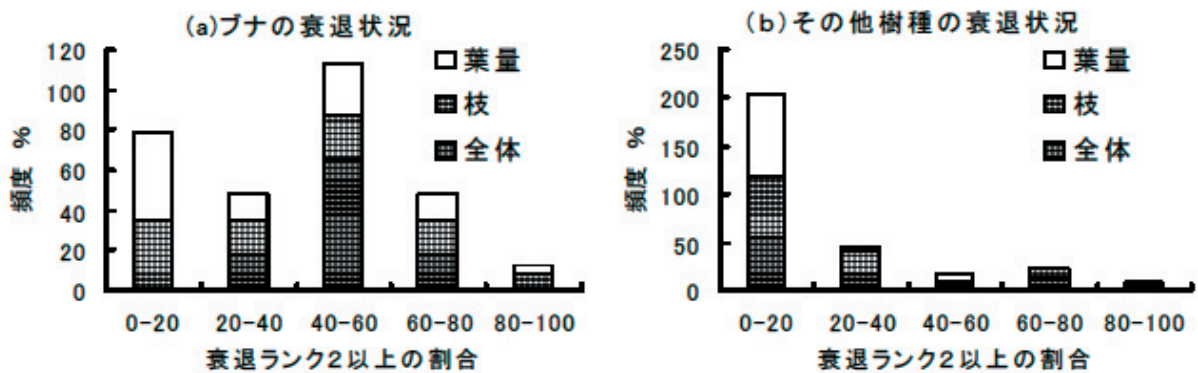


図6. 檜洞丸山頂におけるブナとその他の樹種の衰退状況．

表 4. 衰退進行に関する立地環境指標値を用いた判別分析の結果

マハラノビスの汎距離	0.53772	
理論的誤判別率	0.39402	
	判別係数	標準化判別係数
標高	-0.00493	-0.45780
平均日射量	-2.01757	-0.32270
定数項	8.21796	

調査時点で、ブナの衰退が進んでいるのは鍋割山、丹沢山、蛭ヶ岳、檜洞丸など、東丹沢から丹沢中央の標高が 1400m を越える主稜線部にかけてであった。一方、衰退が少ないのは、西丹沢の大室山、城ヶ尾峠、大棚の頭、菰釣山や、東丹沢の北側に位置する丹沢三峰、堂平などであった。なお、枯死木は、檜洞丸一帯で多いほか蛭ヶ岳大室山や加入道などにも目立ったが、その他ではほとんど認められなかった。

葉の生理活性指標として調べたクロロフィルの平均含有量は、衰退の少ない城ヶ尾、大棚の頭、丹沢・三峰、大室山で高く、衰退が進む鍋割山、塔ノ岳西で低い値を示したが、その他はばらつきが大きく、衰退進行度との有意な関係は見いだせなかった。クロロフィル蛍光値 (Fm/Fv) は、0.74 - 0.81 の範囲で、明瞭な生理活性低下を示す地区は認められなかった (表 3)。

次に、調査地点ごとの衰退進行度と立地環境 (標高、傾斜、斜面位置、平均日射量、土壌水分指数) との関係を検討した結果、衰退の進んだ地点は、高標高の尾根付近の南向きの斜面に多いことが示された (図 4)。すなわち、衰退進行度が高い地点は、高標高地に割合が多く、傾斜では、平坦地にやや高まり、35 度を超える急傾斜地ではブナの本数も少ないことも関係して割合が低下した。地形では、尾根及び斜面上部での割合が高かった。

また、平均日射量が高いほど、土壌水分指数が低いほど、衰退進行度が高まる傾向が見られた。そこで、衰退進行度を 0 - 35% とそれ以上に分けて、立地環境指標値を用いて判別分析を行ったところ、標高と平均日射量より、正判別率が 64.79% と、被害進行状況をおおむね判別できた (表 4)。

衰退の進んだ丹沢山と檜洞丸の山頂一帯を選んで行ったメソスケールの調査結果からは、衰退は、ブナを含む落葉広葉樹の高木に様に及ぶのではなく、ブナで衰退が目立ち、南から西向き斜面でブナの衰退が進んでいる傾向などが示された (図 5)。

すなわち、丹沢山地周辺のブナ林は、高木の成立本数は 200 本以下と少なく、山頂緩斜面にはブナの成立本数が少なく、その他でもブナの少ない場所あるいはブナが欠落する場所が局所的に認められた不均質な分布をしていた。衰弱が進んだブナは調査区全体に分布し、丹沢山山頂北斜面から三峰にかけての主稜線部分にその割合が高かった。枯死木も全体に分布したが、枯死木が多い場所は主稜線付近、特に丹沢山山頂北側の西向き緩斜面に集中していた。

空中写真による解析から、樹冠粗密度の変化が大きかった地点は、山頂に連なる尾根筋の南～西斜面で、変化「中」以上は全体の 41% を占めていた。山頂東の標高 1200m 付近の尾根状では、変化「大」は無かったが変化「中」が全体の 58% を占めた。これに対して、標高 1100m 付近の堂平では、変化「中」が 1 区画あったのみである。これらの結果は、前述の現地調査と比較すると山頂付近では一致するものが多かった。

檜洞丸山頂周辺のブナ林は、平均 DBH が比較的太く、混交割合が 4 割を越えるブナを主体とした落葉広葉樹林が優占しており、衰退はブナ高木に多いことがわかった (図 6)。

また、衰退が進んだブナ林は南向き斜面に集中する傾向が認められた (図 5)。

空中写真の時系列解析からは、写真の陰となった一部には誤判定が認められたが、山頂付近の緩斜面を中心に調査地のほとんどで樹冠変化が見られ、全体に衰退が進行してきたことが示された。

サイトスケールの調査からは、ブナ衰退木は程度の違いはあるが丹沢山地全体に分布し、衰退がブナに目立ち、衰退が進んだ場所ではブナ以外の樹種にも樹勢の低下が認められた。丹沢山調査地の林分構造は、林分立木密度、ブナの密度がそれぞれ、200 ~ 1300 本 / ha、25 ~ 425 本 / ha で、上層木平均樹高と林分平均 DBH は、それぞれ、14.8 ~ 23.6m と 31.8 ~ 49.2cm であった。ブナ衰退木は程度の違いはあるがすべての調査地に認められ、衰退度の異なるブナ林がモザイク上に分布していた。また、スポット的に衰退の著しいブナ林が認められた。

一方、檜洞丸の 5 林分の林分構造は立木密度が 200 ~ 1150 本 / ha、ブナ密度が 100 ~ 250 本 / h、DBH が 21 ~ 31cm、ブナの DBH は 31 ~ 56cm で、衰退がブナに目立ち、衰退度が激しい林分では成立本数が少く、衰退度が激～中に区分された林分では、ブナ、その他樹種のいずれでも樹勢と枝伸張量の低下、葉色の悪化、葉の壊死などが進んだ個体が多くみられた。

4. 考察

以上に見たように、丹沢山地における衰弱を含んだブナ衰退は、全体に様に進行しているのではなく偏ってみられ、スケールに応じた特徴があった。すなわち、マクロスケールでは、東丹沢の主稜線部で衰退が進行しており西丹沢では少なく局所的であった。衰退が進む地域をみると、立地環境により衰退進行度が異なっており、斜面上部に位置する南から南西斜面に衰退が進んだ場所が認められた。

さらに、林分単位では、ブナに衰退が目立ち、被害が進行している立地ではブナ以外の樹種でも衰弱が認められる、まとまった (集団的な) 衰退が見られた。空中写真による解析からは、このような場所ではブナ林が消失して草地化した場所も確認された (Sasakawa et al., 2005)。一方、衰退があまり進んでいない地区でも、スポット的に衰弱したブナが認められ、単木的な衰退もあった。

このように、スケールに対応した衰退特性が認められることは、スケールに応じたそれぞれ異なる衰退要因が複合して、相互に影響してブナの衰退が進むという衰退機構を示

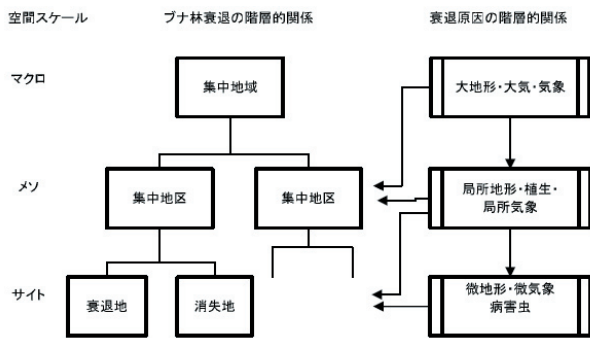


図7. 丹沢山地のブナ衰退要因の空間スケールに応じた階層的関係

唆する(図7)。

これまで指摘されているマクロスケールの衰退要因は、温暖・少雪化など気候変動、酸性雨や酸性霧、オゾンといった大気汚染の影響(伊豆田, 2001 など)がある。このうち、温暖・少雪化は、ブナ林の生育地の下限域に強く影響が及ぶと考えられるが、高標高域に衰退が進んでいることから明瞭な関係は認められていない。酸性雨や酸性霧、オゾンといった大気汚染の影響については、丹沢山地では、限られた地点での観測しかなく、山地における濃度分布の情報は乏しく、マクロスケールの影響はまだ十分に検討されていない。このため、ブナの衰退が顕著化した1980年以降における大気環境の変化や山地における大気環境の現状についてさらに詳しく調査することが今後の課題と考えられる。

メソスケールでは、地形と関係した卓越風の方向や風速が局所的なオゾンなどの大気汚染濃度に影響するほか(丸田・臼井, 1997b)、斜面方位や斜面位置、傾斜、露出度に加えて林床や高木の植生状態などは樹木の水分ストレスの程度に影響を与え、ブナあるいはその他の高木の衰退を引き起こしている可能性がある。ブナは、高濃度のオゾンのもとでは生育が低下すること(伊豆田ほか, 2001; 武田・相原, 2005)、さらに水分ストレスとの相乗的な影響(Yonekura et al., 2001)などが確認されており、高濃度のオゾンが強く当たる斜面では衰退が進むことは十分に考えられる。丹沢山地でのオゾン濃度が高まる昼間の卓越風は、南から南西方向の方向であり(山根ほか未発表)、丹沢山や檜洞丸でのブナの衰退が南から西の斜面に目立つことは、水分ストレスやオゾンの影響との関連性があること示している可能性がある。したがって、局所的な風況やオゾン濃度の分布に関する知見を集積し、メソスケールの衰退との関係を解析することも、当山地のブナの衰退機構の解明に必要と考えられる。

サイトスケールのブナを衰弱・枯死させる要因として最も注目されるのは、ブナハバチ大発生による葉の食害の影響である。当初、ブナハバチの食害は、ブナを枯死させないと考えられていたが(山上ほか, 1997)、その後の観察で、繰り返し激しい食害を受けたブナが数年から8年で枯死することが確認されている(山上ほか, 2001 越地, 2002)。このため、局所的あるいは単木的な衰弱・枯死の原因としてのブナハバチの関与については、その大発生原因やブナ

の反応の個体差なども含めた説明が求められる。また、水分ストレスや大気汚染物質のストレスが個々の樹木をどのように衰弱させ、枯死に結びつくかについての樹木生理的な知見の集積も必要と思われる。

引用文献

- 相原啓二・三村春夫・村松富美雄・篠崎光夫・長崎善一・関清宣・氷見康二 1982. 神奈川県西部地域の光化学大気汚染発生機構に関する調査研究(1) 相模湾海風と局地汚染について. 神奈川県公害センター研究報告 4: 1-13.
- 相原敬次・阿相敏明・武田麻由子・越地正. 2004. 森林衰退の現状と取り組み(II) 神奈川県の丹沢山地における樹木衰退現象. 大気環境学会誌, 39(2), 29-39.
- 星直斗・山本詠子・吉川菊葉・川村美岐・持田幸良・遠山三樹夫, 1977. 自然林の現状とその保護, 丹沢山地の自然林. 丹沢大山自然環境総合調査報告書, pp.175-257. 神奈川県, 横浜.
- Higashi, T., Sohtome, R., Hayashi, H., Ohse, K., Sugimoto, T., Ohkawa, Y., Tamura, K., and Miyazaki, M., 2003. Influences of Forest Decline on Various Properties of Soils on Mt. Hirugatake, Tanzawa Mountains, Kanto District, Japan. I. Changes in Vegetation, Soil Profile Morphology, and Some Chemical Properties of Soils, *Soil Science and Plant Nutrition* 49(2): 161 ~ 169.
- 伊豆田 猛・松村 秀幸・河野 吉久・清水 英幸, 2001. 樹木に対するオゾンの影響に関する実験的研究. 大気環境学会誌, 36(2): 60-77.
- 河野吉久, 2001. 樹木に及ぼす酸性物質の長期慢性影響評価に関する実験的研究. 大気環境学会誌, 36(2): 60-77.
- 越地正, 2002. 丹沢山地におけるブナハバチ大発生の経過とブナの被害実態. 神奈川県自環保セ研報, 29, 27-34.
- 越地正・鈴木清・須賀一夫, 1996. 丹沢山地における森林衰退の調査研究(1) ブナ、モミ等の枯損実態. 神奈川県森林研究所研究報告, 22: 7-18.
- 丸田恵美子・臼井直美, 1997a. 檜洞丸における森林被害の状況. 丹沢大山自然環境総合調査報告書, pp.78-80. 神奈川県, 横浜.
- 丸田恵美子・臼井直美, 1997b. 酸性雨・霧. 丹沢大山自然環境総合調査報告書, pp.81-88. 神奈川県, 横浜.
- 齋藤央嗣, 2003. 丹沢山地におけるブナの衰退形態と簡易調査法. 神奈川県自然環境保全センター研究報告, 30, 1-10.
- 酸性雨研究センター(2005) 増え続ける対流圏オゾンの脅威. 26pp. http://www.adorc.gr.jp/adorcjp/doc/ozone_simple.pdf(2006. 1. 25)
- SASAKAWA H., et al., 2005. Identifying declining forests A case of Beech forests in Tanzawa Mountain, ACRS 2005
- 笹川裕史・山根正伸, 2005. 丹沢山地ブナクラス域における樹冠粗密度の時系列変化. 第116回日本林学会大会学術講演集

- Shinohara, A., V. Vikberg, A. Zinovjev & A. Yamagami, 2000. *Fagineura crenativora*, a New Genus and Species of Sawfly (Hymenoptera, Tenthredinidae, Nematinae) Injurious to Beech Trees in Japan. *Bull. Natn. Sci. Mus., Tokyo, Ser. A*, 26 (3), 113-124.
- 武田麻由子・相原敬次, 2005. 丹沢山地の環境オゾンがブナ苗に及ぼす影響. 神奈川県環境科学センター研究報告 28, 88-89.
- 山上明・林長閑・谷晋, 1997. ブナ枯れ木穿孔性昆虫類の種組成と密度. 丹沢大山自然環境報告書, 289-306. 神奈川県, 横浜.
- 山上明・谷晋・伴野英雄, 2001. 丹沢のブナを食い荒らすブナハバチ. 国立科学博物館ニュース, 382, 5-7.
- Yonekura T, Honda Y, Oksanen E, Yoshidome M, Watanabe M, Funada R, Koike T, Izuta T. (2001) The influences of ozone and soil water stress, singly and in combination, on leaf gas exchange rates, leaf ultrastructural characteristics and annual ring width of *Fagus crenata* seedlings. *Journal of Japan Society of Atmosphere Environment*, 36 (6); 333-351.