丹沢山地におけるブナ林衰退の衰退要因の空間階層的関係の検討

山根 正伸*・田村 淳・内山 佳美・笹川 裕史

神奈川県自然環境保全センター 243-0121 厚木市七沢 657

**A study on spatial hierarchic relations of the factors leading Japanese
beech (*Fagus crenate*) forests decline on the Tanzawa Mountains,
central Honshu, Japan**

**Masanobu Yamane*, Atsushi Tamura, Yoshimi Uchiyama and
Hiroshi Sasakawa**

Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center, 657 Nanasawa, Atsugi,
243-0121 Japan

Abstract: Aiming to clarify the mechanism of beech forest declines on the Tanzawa Mountains, we conducted field surveys on such three hierarchic spatial scales as macro, meso and site. Then we quantitatively analyzed forest structure and the recent state of decline. Macro-scale survey showed that the ratios of tall beech in forests are less than 30 % in number and beech forests were classified into three types. Also beech declines have progressed on ridge lines above 1400 meter elevation and the western parts of Tanzawa as well as northern part of Eastern Tanzawa were not observed significant damage. Forests at high altitudes and flat terrain were suffered more serious decline. Declines also progressed at forests on higher solar radiation and lower soil water index. Field surveys around the top of Mt. Tanzawa and Mt. Hinokiboramaru, where declines are relatively serious, indicated that forest facing south to west suffered serious damage. Also a site scale survey on several specific forests where declines remarkably progressed showed not only massive tall beech damage but also less vigor even for other tall trees. Based on the observational study above mentioned we discussed spatially hierarchic relations of beech decline causes and then sort out research priorities.

Key Words: Beech forest decline, Factors, GIS, Spatially hierarchic relation, Spatial analysis

要旨：丹沢山地におけるブナ衰退機構を検討するため、2002年から2004年にかけてマクロ、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の現状についてGISを用いて定量的に解析した。マクロスケールの調査から、ブナ林のブナ混交率は大半が30%以下であり、樹高、平均胸高直径および立木密度を基準におおむね3つの地域に区分できることを示した。ブナの衰退は、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進み、西丹沢や東丹沢の北側に位置する地区などで少なかった。衰退が進行する地区には、高標高地や平坦地のブナ林が多かった。また、平均日射指数が高いほど、もしくは土壌水分指数が低いほど、衰退が進んでいた。衰退が進行する丹沢山と檜洞丸の山頂一帯におけるメソスケールの調査からは、南から西向き斜面でブナの衰退が進む傾向が示された。また、林分調査の調査から、衰退が進む地点では、ブナ以外の樹種の樹勢低下やブナ高木の集団的な衰退を認めた。以上の衰退現況を踏まえた、丹沢山地のブナ衰退要因の空間階層的な関係を検討し、今後の研究課題を整理した。

キーワード：ブナ衰退、衰退要因、GIS、空間階層的関係、空間解析

* 連絡先：yamane.5wxw@pref.kanagawa.jp

受付：2008年6月25日／受理：2009年4月6日

はじめに

自然林が何らかの原因で集団的に衰弱・枯死する森林衰退現象は、1980年代頃から、群馬県赤城山のシラカバ、ミズナラ、神奈川県丹沢山系のモミヤブナ（相原ほか1982）、栃木県奥日光などのダケカンバ、シラビソの衰退現象（伊豆田・小川2004）の衰退が報告され、酸性雨や酸性霧あるいは大気汚染物質の影響が指摘されてきた（例えば村野1993；河野2001；酸性雨研究センター2005）。また、最近では日本海側のナラ類の集団枯損（布川2007）が発生し、大気汚染などによる樹木衰弱と害虫発生との関連性にも関心が集まっている。

これら新しい森林衰退現象は、衰退実態に加えて、その原因となる病虫害や風その他の環境条件などに着目した林学・生態学的研究（谷本ほか1996など）、さらには、大気汚染物質などの関与（伊豆田ほか2001など）の研究は数多くある。

しかし、GISを用いて要因を解析した研究となるとまだ限られている。初期の研究としては丹沢山地の代表的な自然林衰退地である檜洞丸山頂付近という比較的狭いスケールを対象とした平野（1998）が行ったブナ林衰退と地形条件の解析がある。最近では、広域スケールのスギ林やマツ林の衰退・枯死のプロセスおよびメカニズムを、地形、気象、環境などの要因や病虫害の発生・伝播の状態から総合的に検討した研究（竹中2004）も行われている。また、衰退による植生変化の解析への応用が可能な、GIS技術を用いた里山の植生変化パターンを抽出した研究もある。さらに、全国レベルのブナ林の分布と立地環境を解析し、温暖化による分布変化の可能性を地形データなどからGISを用いて予測する研究（松井ほか2006）などもある。

丹沢山地のブナ林の衰退は、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いる（相原ほか2004）。衰退地域の空間分布に関しては、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、モミヤ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、星ほか（1997）は、大室山から檜洞丸、蛭ヶ岳、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、高標高地の森林群落到に衰退が目立ち、鞍部や急傾斜地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、メソスケールの解析では、蛭ヶ岳（Higashi *et al.* 2003）や檜洞丸（丸田・臼井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。ブナの衰退原因に関するサイトスケールの調査では、直接的に枯死に至ることが確認されている要因としてブナハバチ（Shinohara *et al.* 2000）の食害（山上ほか1997；越地2002）がある。また、ブナの樹勢を低下させる要因としてはオゾンなどの大気汚染物質や水分ストレス（河野2001）などが考えられている。

景観内における樹木衰退の解析において、少なくとも3つの時空間スケールを用いてその要因を検討すること（Turner *et al.* 2001）は、空間的に広がりをもったこの現象を説明するのに有用な方法論と考えることができる。これまでの当山地のブナ衰退における各種報告は、異なる空間スケールにおける衰退実態と各スケールに対応した要因を論じており、衰退要因の空間階層的な関係を示唆している。

そこで、筆者らは、マクロ、メソ、サイトの3つのスケールにおいてブナ林衰退の現況を把握し、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GISを用いて解析し、これまでの各種知見とも関係づけてブナ衰退発生空間的特性を検討し、空間的構造に関して考察した。なお、本論で用いる空間スケールは、マクロ、メソ、サイトの3段階とし、その具体的尺度をそれぞれ山塊全体（約400 km²）、ブナ林が成立する主な山頂あるいは主尾根を中心とする範囲（約1 km²）、林分（約1 ha）とした。

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100 m 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に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立木密度、平均胸高直径、衰退進行

図 1. 広域調査を行ったブナ林の位置。

シェードはブナ群集の分布範囲を、●は調査区画の位置を示す。

表 1. ブナ衰退進行の判定に用いた基準

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	-	-	-

図 2. 広域調査での調査区画内の調査地点の配置。
数字は区画内の調査地点番号を示す。

指標を求めるため、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齋藤（2003）に従って、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。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、各調査区の中心部分に位置する No3 調査地点（図 2 参照）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。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

累積的な衰退が進んでいる場所として丹沢山と檜洞丸山頂一帯を選び、100 ha～200 ha の調査地を設定し、100 m 方形区を地図上で設定し、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冠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。空中写真からデジタルオルソフォト（分解能 25 cm）を作成後、グレースケール変換し、100 m 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・植生がほぼ同様に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 20 m × 20 m 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 20 m × 20 m 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。

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 と立木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 44-50 cm でブナと林分ともに立木密度の低い地区、ブナの平均直径が 31-40 cm 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。

表 2. 丹沢山地の主要なブナ林におけるブナと高木の平均胸高直径（DBH）と立木密度

	ブナ		高木	
	平均DBH cm	立木密度 /ha	平均DBH cm	立木密度 /ha
堂平・三峰	43	58	41	302
丹沢山	44	51	35	189
塔ノ岳西	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
塔ノ岳	37	34	24	799
鍋割山	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
城ヶ尾	32	793	19	912
菰釣山	35	242	21	1098
大槲の頭	37	192	22	1221
三国山	31	305	18	1619
明神峠	40	64	15	1729

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、大室山と城ヶ尾峠で高い値を示している。

2. ブナ衰退の実態

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）。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 1400 m 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、大槲の頭、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、大槲の頭、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、平均日射指数、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

図 3. 2002 ～ 2004 年の現地調査に基づく丹沢山地におけるブナ衰退状況.

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
葎釣山	25	9.5	15.9	2	41.56	0.78
大槲の頭	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	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	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	1	43.31	0.79
加入道	20	22.5	28.5	5	42.3	0.81
檜洞丸北	28	27.7	27.5	11	44.65	0.8
檜洞丸	30	34.4	24.8	15	42.78	0.8
鍋割山	17	27.9	29	0	40.88	0.78

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.

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、尾根および斜面上部での割合が高かった。

また、平均日射指数が大きいほど、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、標高と平均日射指数より、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)。丹沢山地周辺のブナ林は、高木の立木密度はヘクタール当たり200本以下と少なく、山頂緩斜面にはブナの立木密度が少なく、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付近の尾根上では、変化「大」はなかったが、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。

林分調査の結果からサイトスケールの衰退状況を見ると、丹沢山では、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、スポット的に衰退の著しいブナが認められた。一方、檜洞丸の5林分では、衰退がブナに目立ち、衰退度が激しい林分で

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
平均日射指数	-2.01757	-0.32270
定数項	8.21796

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.

は立木密度が少なく、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見られた。

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、空間スケールに応じた特徴があった。マクロスケールでは、東丹沢は、主稜線部で衰退が進行しており衰退がまとまって見られることから、衰退集中地域に区分できると考えられた。さらに、この地域内においてメソスケールに拡大して衰退状況を見ると、小地形や植生などの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（衰退集中地区）が認められた。さらに、サイトスケールで衰退状況を見ると、ブナに衰退が目立ち、被害が顕著に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ような、衰退木がまとまった（集団的な）衰退地が見られた。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消失地も確認されている（Sasakawa *et al.* 2005）。一方、衰退があまり進んでいない地区でも、スポット的には衰弱したブナが認められ、単木的な衰退も観察された。

このように、丹沢山地のブナ衰退は、マクロからサイトまでの3つの空間スケールに、それぞれブナが衰退する景観とそうでない景観が、一定の傾向をもって空間階層的に混在していると考えられた（図7）。

このようなブナの衰退の現状に対して推定される衰退要因も次のような階層的関係が示唆される（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；酸性雨研究センター 2005 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、これまで山地における濃度分布の情報は乏しかった。最近の調査から、東丹沢地域の高標高域において、植物成長期にあたる5月から9月に、ブナの生育が低下するレベルの平均オゾン濃度が報告され（阿相ほか 2007）、マクロスケールでは大気汚染の影響がブナの衰弱に大きいと指摘されている。しかし、大気汚染がブナ林の衰退に与えるマクロスケールでの具体的なメカニズムはまだ十分に解明されていない。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汚染の変化や山地における大気汚染の現状についてさらに詳しく調査することが必要である。

メソスケールでは、小地形と関係した卓越風の方角や風速が、マクロスケールの濃度分布に制御されつつ局所的に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、傾斜や露出度に加えて林床植生や高木などの植生状態が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た。丹沢山地でのオゾン濃度が高まる昼間の卓越風は、南から南西の方向であり（Suto *et al.* 2005；山根ほか 2007）、丹沢山と檜洞丸でのブ

図 7. 丹沢山地のブナ衰退と推定される要因の空間階層的関係の概念図

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を強く示唆する。したがって、オゾン濃度が高い東丹沢の衰退集中地区を含んだ一帯において、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空間解析することが必要である。

サイトスケールでブナを衰弱・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 年程度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、微地形や微気象、植生などの林分環境と大発生との関係、食害に対するブナの反応の個体差なども含めた解明が求められる。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考えられる。

引用文献

相原敬次・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.

阿相敏明・内山佳美・山根正伸・越地正・相原敬次. 2007. 丹沢大山山地のブナ着葉期におけるオゾン濃度分布. 丹沢大山総合調査学術報告書 (丹沢大山総合調査団編), 396-402. 財団法人平岡環境科学研究所, 相模原.

布川耕市. 2007. 新潟県におけるナラ類集団枯損被害の地域分布と拡大経過. 新潟県森林研究所研究報告 48: 21-32.

星直斗・山本詠子・吉川菊葉・川村美岐・持田幸良・遠山三樹夫. 1997. 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. 175-257. 神奈川県, 横浜.

Higashi, T., Sahotome, 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.

平野勇二郎. 1998. GIS を用いた丹沢山塊, 桧洞丸山頂付近のブナ林衰退と地形条件の解析: 地理学評論 71(A)(7): 505-514.

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.

伊豆田猛・小川和雄. 2004. 森林衰退の現状と取り

- 組み(Ⅲ)奥日光前白根山周辺のダケカンバ衰退と奥秩父亜高山帯のシラビソ立ち枯れ. 大気環境学会誌 39(2): 65-77.
- 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. 神奈川県自環境保セ研報 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.
- 松井哲哉・田中信行・埤田宏・八木橋勉. 2006. 温暖化による日本のブナ林への影響予測. 森林総合研究所北海道支所研究レポート 89: 1-4.
- 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, 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, 81-88, 神奈川県, 横浜.
- 村野健太郎. 1993. 酸性霧研究の現状. 大気汚染学会誌, 28(4): 185-199.
- 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. p.26 http://www.adorc.gr.jp/adorcjp/doc/ozone_simple.pdf (2006.1.25)
- Sasakawa H. and Yamane, M. 2005. Identifying declining forests. A case of Beech forests in Tanzawa Mountain. ACRS2005.
- 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., Vikberg, V., Zinovjev, A. and Yamagami, A. 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.
- Suto, H., Hattori, Y., Tanaka, N. and Kohno, Y. 2005. Effects of Strong Wind and Oxidative Substances on Forest Decline in Mountains, 320, Acid Rain 2005 - 7th International Conference on Acid Deposition, Praha, Czech Republic.
- 竹中千里. 2004. GISを用いた森林衰退要因の広域的解析と時空間的予測への展開. 日産科学振興財団研究報告書.
- 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.
- 谷本丈夫・劉岩・里道知佳・大久保達弘・二瓶幸志. 1996. 奥日光・足尾・赤城山地における森林衰退と立地環境. 森林立地 38(1): 1-12.
- Turner, M. G., Gardner, R. H. and O'Neill, R. O. 2001. 景觀生態学: 生態学からの新しい景觀理論とその応用(中越信和・原慶太郎監訳). 399pp. 文一総合出版, 東京.
- 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. 沢大山自然環境総合調査報告書, 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.
- 山根正伸・藤澤示弘・田村淳・内山佳美・笹川裕史・越地正・中嶋伸行・齋藤央嗣. 2007. 丹沢山地における最近の気象の特徴. 丹沢大山総合調査学術報告書, 375-382. 丹沢大山総合調査団編, 財団法人平岡環境科学研究所, 相模原.
- Yonekura, T., Honda, Y., Oksanen, E., Yoshidome, M., Watanabe, M., Funada, R., Koike, T. and 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.