

資料

広島県の北西部山地における大気環境調査及び 樹木生理活性調査結果について

山本 哲也

Investigation of atmospheric environment and bioactivity of beech forest in northwestern part of Hiroshima prefecture

TETSUYA YAMAMOTO

広島県の臥竜山及び掛頭山におけるブナ林の現状を把握するため、主に2010～2012年の春季と秋季に大気環境調査と植物生理活性調査を実施した。パッシブサンプラー法で測定したオゾン濃度は臥竜山31ppb～40ppb、掛頭山30ppb～41ppbであり、2011年の臥竜山を除いて、春季(31～41ppb)の方が秋季(30～36ppb)よりも高い傾向があった。国内での他の観測事例と同様に、本県の両山地においても夏季にオゾン濃度は低下していると推測された。衰退が報告され、オゾンによるストレスを強く受けている可能性が示唆されている神奈川県丹沢山、福岡県英彦山に比較して、本県の両山地のブナ林のオゾン暴露に伴う影響は小さいと思われた。また、目視衰退度調査からは本県の両山地の調査地のブナ林は概ね健全なまま推移していると考えられた。ブナの葉の葉緑素量(SPAD値)は各調査年とも同程度の値であり、春季から夏季に増大し秋季に低下する季節変動を示していた。これらのことから今のところ、臥竜山、掛頭山の調査地のブナ林の衰退は認めにくいと考えられた。

Key words : ブナ林, オゾン, 生理活性調査, 衰退度(健全度), SPAD値

はじめに

ブナ *Fagus crenata* は日本の冷温帯林を構成する代表的な樹種であり、九州から北海道まで広く分布している。ブナ林は自然性の高い極相林として存続している森林が多く、生物多様性豊かな森林として保全されている地域も多い[1]。ブナ林の保全の重要性は、広島県においても県が策定した生物多様性戦略[2]に掲げられており、生物多様性の保全を図ることの重要性は、同じく県が策定した広島県環境白書[3]にも示されている。

近年、神奈川県丹沢山、静岡県富士山、福岡県英彦山など国内各地で、ブナ林の衰退が報告されている[1, 4]。この衰退要因はオゾンなどの大気汚染物質や酸性霧の関与、ブナハバチなどの虫害、台風等の風害、温暖化や少雪化、林床植生の退行なども含めた土壤乾燥化、シカの食害等[1]、多くの要因が考えられ、それらが複合的に作用する可能性がある。要因の一つとして考えられているオゾンは、大陸からの長距離移流により濃度が上昇している可能性も指摘されている[5]。長期的なオゾン濃度の上昇がブナの気孔を閉ざし光合成速度を低下させ、衰退の原因となるとの報告がある[6]。さらにブナはオゾンに対して日本の森林樹種の中で感受性が比較的高いという報告もある[7, 8]。また、近年、

地球温暖化に対して、特に九州、四国、本州太平洋側などのブナ林は脆弱である[9]との指摘があり、ブナ林生態系の長期的な維持が危惧される状況にある。

広島県においては、1978年の環境庁第2回自然環境保全基礎調査の特定植物群落として、ブナ林の名称がつく森林は5つが指定されている[10]。それらを含め、県北の西中国山地及び中央中国山地を主として、大小合わせて数十箇所、ブナ林が残存している[11]。

それらの中で最大規模に近い北広島町臥竜山(国土地理院発行の地形図では臥龍山)のブナ林(約140ha)は、1991年9月27日の台風19号により山頂付近の林分が風倒害を受け、大規模なギャップ(4100m²)が形成され[12]、その影響が懸念された。英彦山では同じ台風19号に起因するブナ林衰退が報告されている[13]。1997年に臥竜山のブナ林を「立ち枯れ」た森林として記述する書物が発行されたが[14]、その状況の詳細は記述されていない(第2回自然環境保全基礎調査報告書には部分的な立ち枯れの記述はあるが、「まだ立派なブナ林が残っている」との記述がある)。一方で、1997,1998年度に実施された環境省第5回自然環境保全基礎調査の成果である特定植物群落調査データベース[15]では、群落に対するインパクトは「登山客によるインパクトがあるが、森林への影響は小さい。平成3年の台風19号による倒木が見られる。」とあり、変化状況は、「面積、群落

構成とも著しい変化なし」として、明確な森林衰退は伺えない記述となっている。臥竜山は環境省のモニタリングサイト1000の森林・草原サイトの準コアサイトの1つに選定され、2008年度から5年ごとに毎木調査が行われることになっているが[16]、大気環境については調査項目の対象外である。また、広島県内の大気常時監視光学化学オキシダント測定局は平成24年度末時点で28箇所あるが[17]、これらは、その設置目的上、市街地にあり山地にはなく、山地のオゾン暴露状況は把握できていない。

これらのことからブナ林に関して環境モニタリングと生物モニタリングを合わせた現状把握が望まれる。そこで、大気環境調査と植物生理活性調査とを併せてブナ林の現状を把握することを主目的として、2010～2012年度に県内の代表的なブナ林がある臥竜山及び、その近隣の掛頭山において、(独)国立環境研究所と地方環境研究所の共同研究「ブナ林生態系における生物・環境モニタリングシステムの構築」の一貫として調査を実施した。本報では、その結果に加え、2009年に先行して臥竜山で植物生理活性調査のみ行った結果を併せて報告する。

調査方法

1 調査地及び対象木の選定

北広島町臥竜山(標高1223.4m)及び掛頭山(標高1126.1m)の山頂部付近のブナ林を対象に(図1)、臥竜山は標高1200m、掛頭山は標高1090mの各北西斜面に調査地を設定した。両山地の調査地の植生は、クロモジ-ブナ群集に属する[18]。



図1 調査地位置図

「北広島町」と「三次(三次林業技術センター)」は広島県設置の一般環境大気測定局を示す。

簡易かつ効率的な総合植生モニタリング手法の開発を目的に作成された「ブナ林生態系の健全度に関する総合調査マニュアル(案)」(以降、調査マニュアル(案)と省略)[1]を基に、両山地の調査対象木を選定した。調査マニュアル(案)では、ブナ林の全体状況を把握するために大まかに健全なブナ、衰退が著しいブナ、中庸なブナの3段階に分けて、計9本程度選木することとしている。しかしながら、両山地の調査対象林分周辺では、衰退が顕著なブナが見られなかったため、健全なブナ4本に加え、葉などに若干の異常が見られるブナ4本を選木し、計8本ずつを対象木とした。掛頭山では2010年の調査後の冬季に、雪害もしくは風害を受けて折損した個体が1本あり、2011年春季に代替木を選定した。

なお、ブナ林のような天然林における「健康な森林」とは「適度な枯死木があり、天然更新する。多様な下層植生や動物を維持」[19]との定義があるように、林内に1本でも枯死木など異常が見られる木があっても、短絡的に、その森林は衰退している、というわけではない。

これらの調査地で、後述のSPAD調査の際に、測定する枝葉に手が届く必要があることから、枝下高が比較的低い立木を調査対象木とした。臥竜山では極力、以前のギャップ更新林分の上層木を対象として選木し、掛頭山ではギャップ更新林分が見当たらなかったため、壮齢林の下層木を対象とした。臥竜山で2009年に、掛頭山では2010年に、それぞれ20×20mの方形区を設定し毎木調査を行った結果(表1)、胸高直径6cm以上のブナの立木密度は共に200本/haであったが、ブナの平均胸高直径は臥竜山で22.3cm、掛頭山では43.4cmであった。調査対象木の最大胸高直径は臥竜山で30.4cm、掛頭山では7.2cm、最高樹高は臥竜山で12.5m、掛頭山では6.0mであった。

表1 調査林分の状況

	臥竜山	掛頭山
立木密度(本/ha)	1,200	325
上記のうちブナのみ(本/ha)	200	200
平均胸高直径(cm)	12.8	42.6
上記のうちブナのみ(cm)	22.3	43.4
調査対象木の最大胸高直径(cm)	30.4	7.2
調査対象木の最大樹高(m)	12.5	6.0

臥竜山は2009年、掛頭山は2010年に毎木調査を行った。胸高直径6cm以上の立木を対象とした。

2 大気環境調査(オゾン濃度及びNO_x濃度調査)

両山地のブナ林の各調査林分に、調査マニュアル(案)を参考に2010～2012年の春季(5～6月)、秋季(9～10月)の約1ヶ月間、オゾン濃度測定用小川式パッシブサンプラーを設置した。さらに、2011年～2012年

はポテンシャルオゾン濃度推定のため、NO₂濃度測定用及びNO_x濃度測定用の小川式パッシブサンプラーも設置した。ポテンシャルオゾン濃度は、NOによるオゾンの消失反応の影響を補正する指標で、ここでは次式により求めた。

$$\text{ポテンシャルオゾン}[\text{PO}_3] = [\text{O}_3] + [\text{NO}_2] - 0.1 \times [\text{NO}_x]$$

回収したサンプラーの分析は、2010年は神奈川県環境科学センターが、2011～2012年は福岡県保健環境研究所が、それぞれイオンクロマトグラフ法により行った。

3 樹木生理活性調査

(1) 目視衰退度調査

調査マニュアル(案)を参考に、各年の春季(5～6月)、秋季(10月～11月)に、①調査対象木の樹木全体の様子(樹勢、樹形)、②枝の様子(生長量、梢端の枯損、枝葉の密度)、③葉の様子(葉の密度、葉の形、大きさ、色)と④総合判定の4項目について、目視衰退度調査を行った。この調査マニュアル(案)では、それぞれの項目で0～4の5段階で、衰退が進行しているほど高い評点をつけることとなっている。ただし、2009年は春季・秋季に加え、夏季(8月)にも調査を実施し、10月については中旬と下旬の2回、中西ら(2009)と同様[4]、ブナ生理活性調査マニュアルを参考に調査を実施した。

(2) 葉緑素量調査

調査マニュアル(案)を参考に、「(1)目視衰退度調査」の対象木について、目視衰退度調査同日に葉緑素計(コニカミノルタ社製 SPAD-502)による葉緑素量調査を実施した。各調査木1本から枝を3本選定して、さらに枝1本について葉10枚の葉緑素量(SPAD値:葉緑素濃度と相関がある指標値)を現地において非破壊で測定し平均値を求めた。このSPAD値は葉の単位面積当たりの葉緑素含有量を示しSPAD値が高いほど葉の葉緑素含有量が高いことを示す。目視による樹木衰退度の評価は、簡便な方法であるが個人差に影響されやすく精度や客観性に検討の余地がある。一方、葉緑素量により樹木の生理活性を評価する方法は総合性に欠けるものの精度や定量性の点で有効である可能性がある[4]。なお、秋季は落葉直前に測定することとしているが、早期に落葉し、枝1本につき葉10枚測定できない場合は不足数分を0として計算した。

結果及び考察

1 大気環境調査(オゾン濃度及びNO_x濃度調査)

2010年～2012年のオゾン濃度は臥竜山31ppb～40ppb、掛頭山30ppb～41ppbであった(図2)。2011年の臥竜山を除いて、春季(31ppb～41ppb)の方が秋

季(30ppb～36ppb)よりも高い傾向があった。両山地の周辺の土地利用は農地が多く大規模な事業場等の排出源は無く、自動車の交通量もそれほど多くはなく、直接的な排出源は少ないことからローカルな光化学生成は少なく、両山地のオゾン濃度は対流圏オゾンの降下、都市域及び大陸からの移流など複合的な影響を受けていると考えられる。一般的に春季と秋季(特に春季)は大陸からの移流による影響が顕著で、夏季は近傍市街地の影響を受けると言われている。丹沢山と英彦山など他県の山地においてオゾン濃度は夏季に低下する傾向があり[1]、両山地においても夏季は低下しているものと推測された。

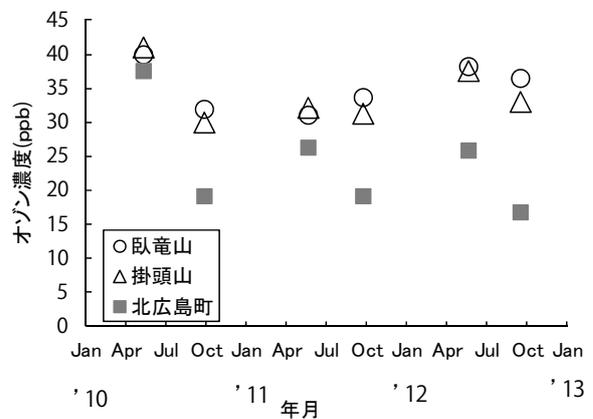


図2 オゾン濃度の推移

「北広島町」は両山地での測定期間の「北広島町」測定局の光化学オキシダントの平均濃度を表す。

ブナ林の衰退が報告されており、オゾンによるストレスを強く受けている可能性が示唆されている丹沢山と英彦山[1]の春季(5月)の平均オゾン濃度は、いずれも50ppb～60ppb[1, 20]との報告例があるのに対して、それらより臥竜山と掛頭山の両山地の春季の値は10～20ppb程度低かった。オゾン暴露に伴う影響も、丹沢山と英彦山に比べ本県両山地は小さい可能性が示された。このオゾン濃度の差は地形の違い、都市域からの距離などの影響が考えられる。

一般的に光化学オキシダントは、ほとんどがオゾンであり、一般環境大気観測局「北広島町」測定局は広島県設置の光化学オキシダント濃度観測局の中で、両山地の最近隣に位置する。そこで両山地のオゾン濃度と「北広島町」測定局の光化学オキシダント濃度[17](山地のパッシブサンプラーによる測定期間と同期間の平均値)を比較すると(図2)、両山地の方が「北広島町」測定局よりも高い傾向があり、春季よりも秋季に差は大であった。このような山地のオゾン濃度が市街地よりも高い事象は丹沢山など全国各地の山地でも観察されている[21]。

2011～2012年のNO₂濃度測定結果は、臥竜山は0.4～0.9ppb、掛頭山は0.5～1.0ppbであった。NO₂濃度測定局は「北広島町」には無いため、比較的山地に近い「三次林業技術センター」（以降、「三次」と省略）測定局のデータと比較した。パッシブサンプラーによる測定期間の「三次」測定局のNO₂濃度時間平均値（図3）3.8～4.9ppbよりも両山地は低濃度で清澄であった。

NO濃度も、臥竜山は1.1～1.4ppb、掛頭山は0.6～0.8ppbで、「三次」測定局のNO濃度0.2～0.7ppbとほぼ同程度であった。NOは光化学オキシダントと反応性が高い物質であるが、このNO濃度が低いためオゾン消失反応への寄与は低かった（図4）。

オゾン濃度、NO₂濃度、NO濃度から計算したポテンシャルオゾン濃度は、NO₂濃度及びNO濃度が低いために、補正をしていないオゾン濃度と、ほぼ同程度の値となった（図5）。

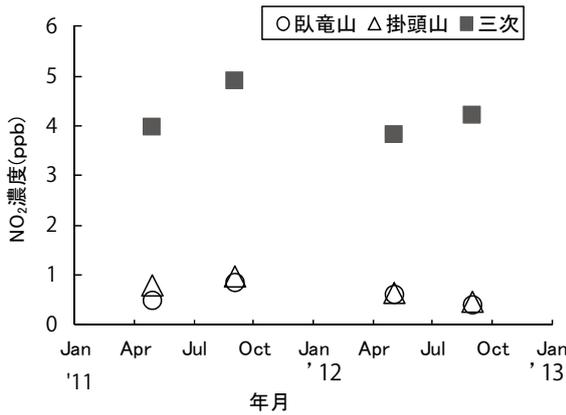


図3 NO₂濃度の推移
「三次」は両山地での測定期間の「三次」測定局の平均濃度を表す。

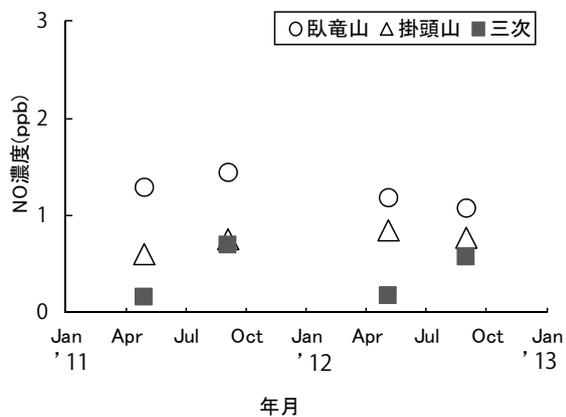


図4 NO濃度の推移
「三次」は両山地での測定期間の「三次」測定局の平均濃度を表す。

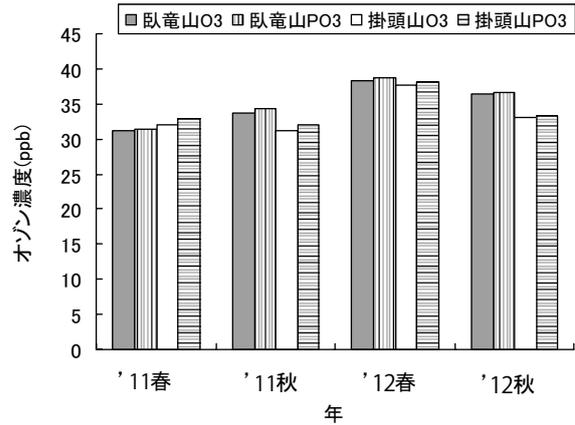


図5 調査地のオゾン濃度 (O₃) とポテンシャルオゾン濃度 (PO₃) の推移

2 樹木生理活性調査

(1) 目視衰退度調査

2010～2012年の目視衰退度の総合判定を、「樹木全体の様子」、「枝の様子」、「葉の様子」の全項目の平均値で表した（図6）。平均衰退度は、臥竜山、掛頭山ともに、年度の経過に伴う大きな変化はなく、2012年の秋季においても1未満で、大きな衰退度とはならず、調査期間を通じて概ね健全であると考えられた。なお、2009年は平均衰退度が最大であった10月下旬の値を表したが、その総合判定も1未満であり、概ね健全であると考えられた [1]。

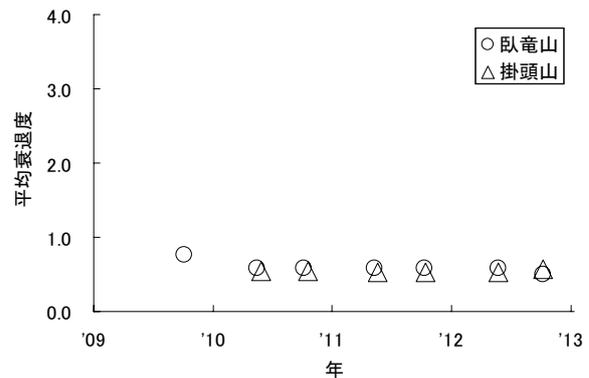


図6 目視衰退度の推移
2009年の臥竜山は平均衰退度が最大であった10月下旬の値を示す。

(2) 葉緑素量調査

2009年の臥竜山の調査地のSPAD値は春季に40程度で、夏季に増加し45程度を示し、落葉直前の10月中旬から下旬の1週間で大きく低下した（図7）。2009年の臥竜山のSPAD値は、他県のブナ林の調査地と比較すると全体的に高いレベルを維持し、岡山県、福井県の健全な林分同様に、衰退が見られた英彦山、丹沢山と比べ

て高い値を示した [1]。武田ら (2007) が丹沢山で行ったオープントップチャンバー実験では、環境大気からオゾン除去しない区では除去した区に比べブナ苗の葉の黄化、落葉が早まり、SPAD 値が低下するという報告がされている [22]。2009 年以降の各年の同時期の SPAD 値は、両山地ともに概ね同程度であり、年度の進行に伴う SPAD 値の低下は見られず、衰退が進んでいるようには見られなかった (図 7, 図 8)。なお、落葉直前は他県においても急激に SPAD 値が低下する [1] ことから経年変化を見るためには、9 月頃にも測定することが望ましいと思われた。

このように外観からの目視衰退度による評価のみならず SPAD 値の推移も両山地のブナ林の調査地の衰退を示すようには見られなかった。

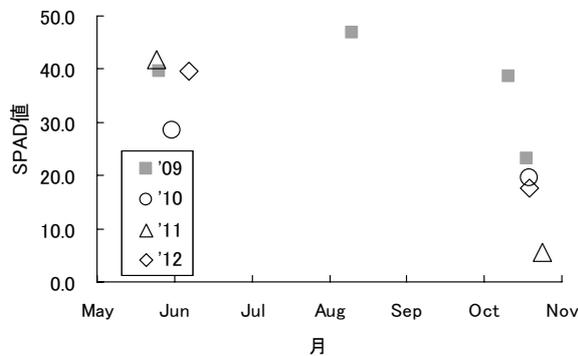


図 7 臥竜山の調査地の SPAD 値の推移

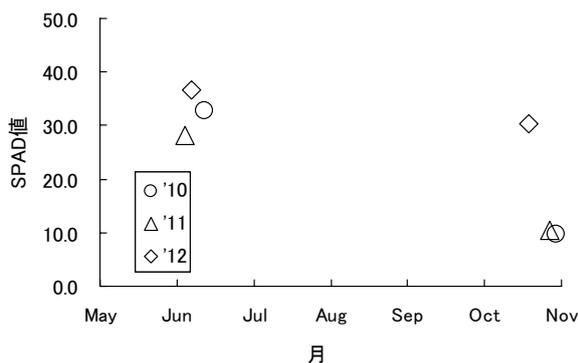


図 8 掛頭山の調査地の SPAD 値の推移

まとめ

臥竜山、掛頭山のブナ林の調査地のオゾン濃度は、ブナ林の衰退が報告されている丹沢山、英彦山よりは低く、オゾン暴露に伴う影響も、それらよりは小さい可能性が示された。しかしながら、日本のオゾン濃度は大陸からの長距離移流により、今後、更に高くなる可能性がある。また、臥竜山、掛頭山のブナ林の調査地の衰退 (少なく

とも甚大・強度な衰退) は今のところ認めにくいと考えられたが、地球温暖化に対して西日本などのブナ林は脆弱であるとの指摘があることなどから、長期的な視点での注視が必要である。

樹木の枝葉減少の評価で衰退度を評価する手法 [23] については、森林病理学的見地から評価の困難さを指摘する意見もある [19]。本報で用いた調査マニュアル(案)の衰退度は、従前の衰退度評価 [24] の項目を整理・統合することにより、客観的な指標となるよう改善されたものである [1]。衰退度調査法は目視であるため、個人差に影響されやすいが、事前の目合わせ等を十分に行った上で実施するという対策が提案されている [25]。本報で用いた調査マニュアル(案)は、ブナ林域を対象に、全国規模での実態調査への展開が可能となるような簡易かつ効率的な総合植生モニタリング手法を開発することを目的に検討・作成された [1]。その観点から、この調査マニュアル(案)は、調査対象木の選定方法等に検討の余地があるが、その有用性が期待される。モニタリングにより、衰退が進行し保全の必要性が高まっている可能性が明らかとなった地域では、より詳細な衰退の実態とその原因の解明が必要となる [25]。

森林衰退は更新が維持されない状態であるとの定義 [26] があるように、短期的な状態把握にとどまらず長期的な視点での注視・評価が望まれる。

本報告の調査に際し、オゾン濃度及び NO_x濃度の分析に関して、福岡県保健環境研究所の濱村研吾氏、神奈川県環境科学センターの武田麻由子氏に御尽力頂いた。また、北広島町役場には町有林での調査を御承諾頂いた。以上の皆様に厚く御礼申し上げます。

文献

- [1] 武田麻由子, 小松宏昭. ブナ林衰退地域におけるモニタリング手法の開発. 神奈川県環境科学センター研究報告. 2011; 33: 71-76.
- [2] 広島県. 未来へつなげ命の輪! 広島プラン~生物多様性広島戦略. 2013.
- [3] 広島県. 平成 25 (2013) 年版環境白書. 2013.
- [4] 中西隆之, 太田良和弘, 石井聖. 富士山における大気汚染物質とブナ林の生育状況の関係について. 静岡県環境衛生科学研究所報告. 2011; 52: 91-96.
- [5] 大原利真. なぜ、日本の山岳や島嶼でオゾン濃度が上昇しているのか?. 日本生態学会誌. 2011; 61: 77-81.
- [6] 北尾光俊. 大気オゾン濃度の上昇は樹木の二酸化炭素吸収量を低下させる. 森林総合研究所 第 2

- 期中期計画成果集. 2011; イイ b: 16-17.
- [7] 伊豆田猛, 松村秀幸, 河野吉久, 清水英幸. 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. 2001; 36 (2): 60-70.
- [8] 渡辺誠, 山口真弘. 日本の森林樹種6種に対する窒素沈着を考慮したオゾンのリスク評価. 日本生態学会誌. 2011; 61: 89-96.
- [9] 田中信行, 松井哲哉, 八木橋勉, 埴田宏. 天然林の分布を規定する気候要因と温暖化の影響予測: とくにブナ林について. 地球環境. 2006; 11 (3): 11-20.
- [10] 環境庁自然環境保全基礎調査(緑の国勢調査)第2回特定植物群落調査報告書, 広島県. 1980. p.262.
- [11] 眞田恭司. 広島のブナ林. 南々社. 2005. p.127.
- [12] 井田秀行, 中越信和. 広島県芸北町臥竜山ブナ原生林の台風被害. 高原の自然史. 1997; 2: 45-57.
- [13] 猪上信義, 野田亮, 佐々木重行. 福岡県英彦山におけるブナ林の衰退現象と立地との関係. 九州森林研究. 2002; 55: 54-57.
- [14] 宮下正次. 立ち枯れる山. 東京新日本出版社. 1997. p.100.
- [15] 環境省. 第5回自然環境保全基礎調査特定植物群落調査(2009年J-IBIS公開データ)成果.
- [16] 環境省自然環境局生物多様性センター. 平成20年度重要生態系監視地域モニタリング事業(モニタリング1000)森林・草原調査業務報告書. 2009.
- [17] 広島県. ecoひろしま. <http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e1-data-index.html>.
- [18] 環境庁. 自然環境保全基礎調査第2回調査(植生調査)1/5万現存植生図. 1982.
- [19] 黒田慶子. 森林大百科事典. 6.1 森林の健全性と樹木病害. 朝倉書店. 2009: p.158-160.
- [20] 武田麻由子・小松宏昭・飯田信行. フラックス捕捉型パッシブサンプラーを用いた丹沢山におけるオゾン移流フラックス及び風速の評価. 神奈川県環境科学センター研究報告. 2012; 34: 14-20.
- [21] 越地正, 相原敬次, 山根正伸, 田村淳, 谷脇徹. 丹沢山地におけるブナ林衰退の現状. 神奈川県自然環境保全センター研究報告. 2012; 9: 1-12.
- [22] 武田麻由子, 相原敬次. 丹沢山地の大気中オゾンがブナ(*Fagus crenata*) 苗に及ぼす影響. 大気環境学会誌. 2007; 42 (2): 107-117.
- [23] 山家義人. 都市域における環境悪化の指標としての樹木衰退と微生物相の変動. 林試研報. 1978; 301: 119-129.
- [24] 環境省. 土壌・植生モニタリング手引書. 2003.
- [25] 武田麻由子, 小松宏昭. 全国に適用できる簡易なブナ林衰退モニタリング手法の開発. 森林科学. 2013; 67: 22-25.
- [26] 森川靖. 生態学事典. 共立出版. 2003. p.285.