

## 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（続報）

山本 哲也

### Investigation of atmospheric environment and bioactivity of beech forest in northwestern part of Hiroshima prefecture (Continued Report)

TETSUYA YAMAMOTO

(Received November 13, 2017)

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、2010～2012年の調査に引き続き、2013～2015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30～50ppb、掛頭山29～49ppbであり、春季（39～50ppb）の方が秋季（29～38ppb）よりも高い傾向があった。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）は各調査年も同程度の値であった。これらのことから前回の調査同様に、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。

キーワード：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、広島県が策定した生物多様性戦略 [2] にも掲げられており、生物多様性の保全を図ることの重要性は、県策定の広島県環境白書 [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。それら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。

広島県内で最大規模に近い北広島町臥竜山のブナ林（約140ha）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に指定された [10]。この臥竜山は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、大規模なギャップが形成され [11]、その影響が懸念された。英彦山では同じ台風19号の後遺症としてのブナ林衰退が報告されている [12]。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ているが [13]、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化学オキシダント測定局は平成27年度末時点で28箇所あるが [14]、これらは、その設置目的上、市街地にあり、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把握を主目的として、2010～2012年度に、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 [15]。2013～2015年度に臥竜山及び掛頭山において、前報と同様の参加機関による共同研究「山地森林生態系の保全に係わる生物・環境モニタリング」の一貫として調査を実施したので、前報の結果と合わせて報告する。

## 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 [16]。



図1 調査地位置図

「北広島町」と「三次（三次市十日市町）」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。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」[17]との定義がある。そのように、林内に1本でも枯死木など異常が見られる木があれば、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、測定する葉に手が届く必要があることから、枝下高が低い立木を対象木とした。臥竜山では、前述の大規模ギャップとは別の古いギャップ更新林分において、極力、上層木を対象とし、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<sub>2</sub>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2013～2015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、ポテンシャルオゾン濃度推定のため、NO<sub>2</sub>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、2010～2012年の共同研究でのNO濃度測定結果が多くの参加機関で低濃度であったことから、NO<sub>x</sub>測定を省略し次式により求めた。

$$\text{ポテンシャルオゾン} [\text{PO}_3] = [\text{O}_3] + 0.9 \times [\text{NO}_2]$$

回収したパッシブサンプラーの分析は、2013～2014年は筆者が、2015年は新潟県保健環境科学研究所が、それぞれイオンクロマトグラフ法により行った。

なお、パッシブサンプラーの近隣に温度ロガー（ウイジン社UIZ3633）を設置し、10分間隔で調査地の気温を測定し、オゾン濃度測定の補正に用いた。

### 3 樹木生理活性調査

#### (1) 目視衰退度調査

前報同様に調査マニュアル(案)を参考に、各年の春季(6月)、秋季(10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。なお、2013年は春季・秋季に加え、9月にも調査を実施した。

#### (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、予想よりも早期に落葉し、枝1本につき葉10枚を測定できない場合は不足数分の値を0として計算した。

### 4 林床無脊椎動物相調査

共同研究の調査項目の他に補足的に、自然度(自然環境の破壊や人為的干渉を受けていない度合い)を把握するため、2014年10月下旬に両山地において、青木(1989)[18]を参考に、林床無脊椎動物相調査(32分類群を対象)を実施した(単位面積でなく単位時間20分×2回とした)。

## 結果及び考察

#### 1 大気環境調査(オゾン濃度及びNO<sub>2</sub>濃度調査)

2015年春季の臥竜山のオゾン用及びNO<sub>2</sub>用、ならびに秋季の掛頭山のオゾン用(2個中1個)及びNO<sub>2</sub>用のパッシブサンプラー用シェルターが設置から回収の間に破損しており、これらはデータが得られなかった。

2013~2015年のオゾン濃度は臥竜山30ppb~50ppb、掛頭山29~49ppbであった(図2)。これらは2010~2012年のオゾン濃度の臥竜山31~40ppb、掛頭山30~41ppbよりも若干高濃度であった。中国山地でのオゾン濃度測定例は少ないが、2009年春季(5月)の岡山県立自然公

園のブナ林でも約50ppbが観測されており[1]、2014~2015年の両山地のオゾン濃度と同程度のレベルであった。2013~2015年のオゾン濃度は、2010~2012年と同様に、春季(39~50ppb)の方が秋季(29~38ppb)よりも高い傾向があった。両山地の周辺は森林の他は農地が多く大規模な事業場等はなく、自動車交通量も多くな(平成22年度道路交通センサス「東八幡原」観測地点で644台/24h[19])、直接的な排出源は少ない。この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、英彦山、富士山など他県の山地においてオゾン濃度は春季から夏季に低下し、秋季にかけて増加する傾向があり[1, 4, 20]、両山地においても夏季に低下しているものと推測された。

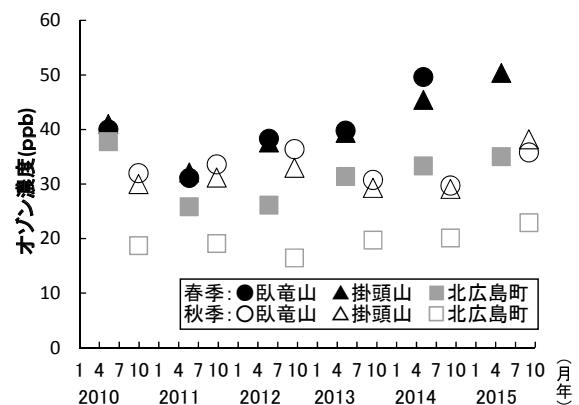


図2 オゾン濃度の推移(2010~2015年)

「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。2015年春季の臥竜山は欠測。

丹沢山と英彦山は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[1, 21]。本県両山地のオゾン濃度は同じ春季でも、2011年30ppbと2015年50ppb(掛頭山のみ)では20ppb程度の差があるように年変動が見られた。そのため、丹沢山及び英彦山と、本県両山地の同一年の春季の平均オゾン濃度を比較した。丹沢山においては春季(5月)の平均オゾン濃度は2013年50ppb、2014年60ppbが観測された[20]。英彦山においては2013年に、観測月が異なるが4月の平均オゾン濃度が70ppbを超える濃度が観測された[22]。本県両山地の春季(5月)の値は2013年約40ppb、2014年45~50ppbであり、丹沢山と英彦山よりも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、広島県設置の光化学オキシダント濃度観測局の中で一般環境大気観測局「北広島町」測定局（以降、「北広島町」と省略）が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」の光化学オキシダント濃度 [14]（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）、2010～2012年同様、両山地の方が「北広島町」よりも高い傾向があった。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 [23]。

2013～2015年のNO<sub>2</sub>濃度測定結果は、臥竜山は0.5～1.1ppb、掛頭山は0.5～0.9ppbであり、2011～2012年と同程度であった。NO<sub>2</sub>濃度は「北広島町」では測定していないため、次に両山地に近い一般環境大気観測局「三次市十日市町」測定局（以降、「三次」と省略）のデータと比較した。両山地のNO<sub>2</sub>濃度は、パッシブサンプラーによる測定期間の「三次」のNO<sub>2</sub>濃度時間平均値3.0～3.6ppbよりも低濃度で清澄であった（図3）。

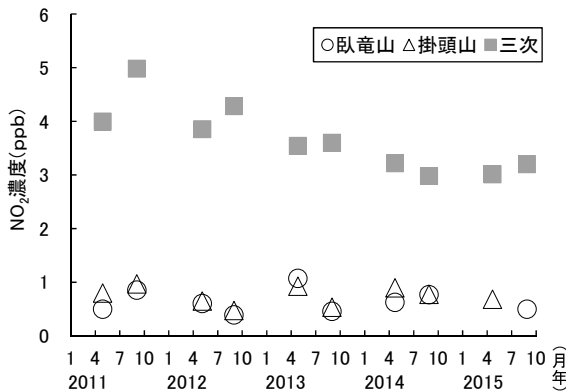


図3 NO<sub>2</sub>濃度の推移 (2011～2015年)

「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。2015年春季の臥竜山及び秋季の掛頭山は欠測。

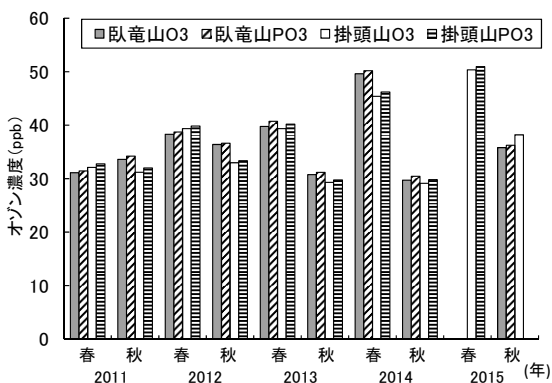


図4 調査地のオゾン濃度 (O<sub>3</sub>) とポテンシャルオゾン濃度 (PO<sub>3</sub>) の推移 (2011～2015年)  
2015年春季の臥竜山 O<sub>3</sub> 及び PO<sub>3</sub>並びに秋季の掛頭山 PO<sub>3</sub>は欠測。

オゾン濃度とNO<sub>2</sub>濃度から計算したポテンシャルオゾン濃度は、NO<sub>2</sub>濃度が低いために、2013～2015年においても、2011～2012年と同様に、未補正のオゾン濃度と、ほぼ同程度の値となった（図4）。なお、2011～2012年はNO<sub>x</sub>濃度も測定しており、ポテンシャルオゾン濃度は次式により計算した。

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

## 2 樹木生理活性調査

### (1) 目視衰退度調査

2010～2015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5）。

臥竜山では健全木1個体の調査対象枝が、いずれも2013年秋季には早期に落葉し2014年春季以降には展葉が見られなくなった（個体としては従前どおり全体的に展葉した）。また、掛頭山では2014年の調査後の冬季に折損した個体が1本あった。これは調査対象木設定時に葉などに若干の異常が見られる個体ではあったが、2014年秋季の調査でも平均衰退度は0.7で軽微なままであった。これらは風害もしくは雪害を受けたことによると思われる。

2013～2015年の平均衰退度は、2010～2012年同様に、両山地ともに年度の経過に伴う大きな変化はなく、2015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。

環境省のモニタリングサイト1000の臥竜山の森林・草原調査2013年度調査においても、山頂付近のブナの幹本数（胸高周囲長15cm以上）が282本/haで [24]、2008年度調査の結果の288本/haと比べ [13]、ほぼ変化がなかった。また、2013年度の調査区内の木本出現種数は27種であり2008年度からの消失種数も0で変化がなかった [24]。

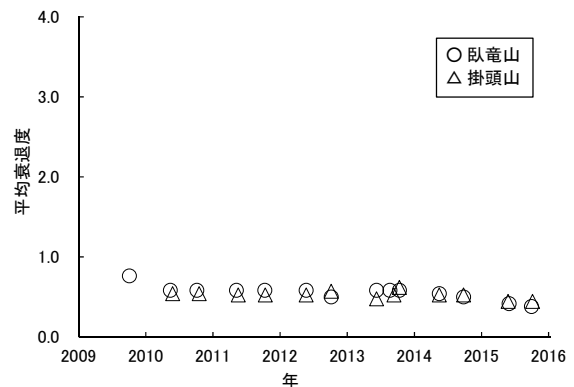


図5 目視衰退度の推移 (2009～2015年)

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

2013~2015年の両山地のSPAD値は春季に40程度で、秋季に10~30程度に低下した(図6, 図7)。調査日を統一できなかったこともあり、特に急激に低下する秋季の値にばらつきがあるが、両山地ともに2009年あるいは2010年からの年度の進行に伴うSPAD値の低下は見られず、衰退を示すようには見られなかった。2013年の臥竜山のSPAD値は2009年同様、春季に40程度で、夏季(8~9月)に増加し45程度となり、秋季10月に大きく低下した(図6)。

石間らの研究では、ブナのSPAD値は葉色衰退度、目視衰退度とは負の相関関係が、胸高直径相対成長率とは正の相関傾向が認められるとしている[25]。特にSPAD値が最大となる8~9月では相関関係が比較的強く認められるとしている。そこで、2013年9月の両山地のSPAD値と目視衰退度の関係について、石間らと同様、有意水準を0.05だけでなく0.1も検討したが、有意な相関は見られなかった(図8)。石間らの報告にも前述の傾向は調査時期や年によっては不適合な場合もあるとしており、単年度の結果だけではなく複数年を対象とした長期的な視点からの調査が望ましい。

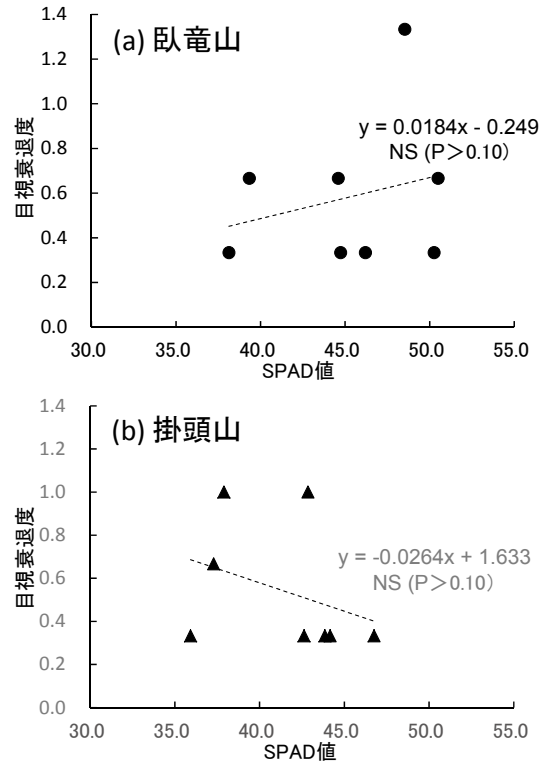


図8 2013年9月の両山地のSPAD値と目視衰退度の関係  
NS: Not Significant.

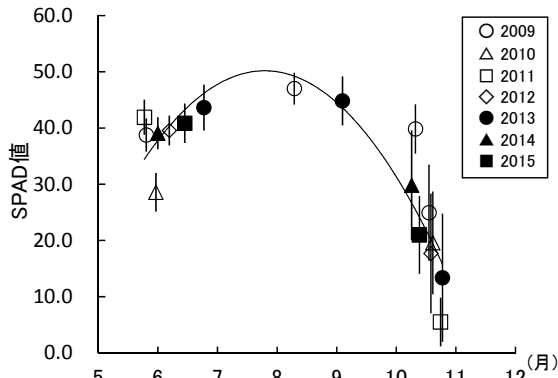


図6 臥竜山の調査地のSPAD値の推移  
バーは標準偏差を表す。図中の近似曲線は2次多項式。

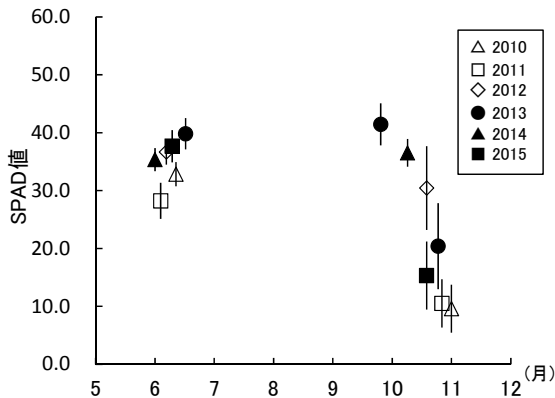


図7 掛頭山の調査地のSPAD値の推移  
バーは標準偏差を表す。

4 林床無脊椎動物相調査

両山地ともに、調査対象の32分類群のうち20程度が確認され(表2)、自然の豊かさの指数[18]は60程度となった(本指数は各分類群に評点が付与され、集計値が100点満点に近いほど自然度が高い)。調査時期が晩秋で、更に調査時間が必ずしも十分でないなど指数の過小評価の可能性はある。しかしながら、両山地ともに、環境変化に敏感な分類群で[18] 湿潤な森林に生息する種である *Ligidium (Nipponoligidium) japonicum* (Isopoda 等脚目)[26] が確認され、森林衰退の一因とされる土壌の乾燥化は今のところ認めにくいと考えられた。

まとめ

前報同様、両山地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、両山地のブナ林の調査地の衰退(少なくとも甚大・強度な衰退)は前報同様に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[9]。更に森林衰退は更新が維持されない状態であるとの定義[27]がある。

表2 両山地の林床無脊椎動物相調査結果

分類群	臥竜山		掛頭山	
	1	2	1	2
Collembola	+	+	+	+
Diplura		+	+	+
Hemiptera	+			
Coleoptera				
Pselaphidae	+		+	+
Curculionidae		+	+	+
Staphylinidae	+	+	+	+
others, adult			+	+
larvae	+		+	+
Diptera, larvae			+	+
Hymenoptera, Formicidae		+	+	+
Pseudoscorpiones	+	+	+	+
Acari	+	+	+	+
Araneae	+	+	+	+
Isopoda				
Ligiidae ( <i>Ligidium (Nipponoligidium) japonicum</i> )	+	+	+	+
Amphipoda		+		
Diplopoda	+			+
Geophilomorpha	+			+
Scolopendromorpha			+	+
Lithobiomorpha	+	+	+	+
Symphyla			+	+
Gastropoda	+	+		
Oligochaeta				
Haplotaxida		+	+	+
Tubificida	+		+	+
各山地で確認された分類群数	19		20	
自然の豊かさの指数*	57		58	

\*: 各山地の2反復を合算して、青木(1989)を参考に計算した。

これらのことから、生物・環境モニタリングに関して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<sub>2</sub>濃度測定用のパッシブサンプラーの調整・分析に関して、新潟県保健環境科学研究所大気環境部の諸氏に御協力いただいた。また、北広島町役場には町有林での調査を御承諾いただいた。以上の皆様に厚くお礼申し上げます。

## 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29(2017)年版環境白書. 2017.  
[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] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 広島県. ecoひろしま. <http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e1-data-index.html>. (参照2017-11-10)
- [15] 山本哲也. 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. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告. 2013;21:41-46.
- [16] 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.
- [17] 黒田慶子. 森林大百科事典. 6.1森林の健全性と樹木病害. 東京:朝倉書店;2009. p. 158-160.
- [18] 青木淳一. 土壌動物を指標とした自然の豊かさの評価. 都市化・工業化の動植物影響調査法マニュアル. 1989. p. 127-143.
- [19] 国土交通省. 平成22年度道路交通センサス. <http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html>. (参照2017-11-10)
- [20] 大森成晃・神田 勲・相原啓次・齋藤央嗣・岡崎友紀代・若松伸司. 神奈川県丹沢地域における大気中オゾンの動態. 神奈川県自然環境保全センター報告. 2016;14:13-25.
- [21] 濱村研吾, 梶原佑介, 石間妙子, 須田隆一, 佐瀬裕之, 清水英幸. 「大気汚染物質の山地における植生影響に関する研究」調査研究終了報告書, 福岡県保健環境研究所年報. 2015;42:176.
- [22] 家合浩明, 清水英幸, 遠藤朋美, 山口高志, 金子智英, 松田健太郎, 山本哲也, 須田隆一, 濱村研吾, 石間妙子, 梶原佑介, 河野公亮, 國永知裕, 西本孝, 和田寛, 中島春樹, 内田暁友, 水谷瑞希, 浅沼孝夫, 高橋善幸. 山地森林生態系の保全に関わる生物・環境モニタリング. 第58回大気環境学会講演要旨集2017;420.
- [23] 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.
- [24] 環境省自然環境局生物多様性センター. 平成25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. 2014.
- [25] 石間妙子, 須田隆一, 金子洋平, 梶原佑介, 濱村研吾, 清水英幸. 山地森林域におけるブナの衰退状況評価の試み. 全国環境研会誌. 2017;42(2):16-21.
- [26] 布村昇. 青木淳一編著. 日本産土壌動物第2版. 東京:東海大学出版部;2015. p. 1089.
- [27] 森川靖. 生態学事典. 東京:共立出版;2003. p. 285.