

ブナ林衰退地域における総合植生モニタリング手法の開発

武田麻由子*・小松宏昭*

Development of a comprehensive monitoring method for assessing the vegetation decline in the beech forests

Mayuko TAKEDA* and Hiroaki KOMATSU*

I はじめに

ブナ林は、わが国の冷温帯を代表する森林であり、北海道南部から九州まで広範囲に分布している。自然性の高い極相林として存続している森林も多く、また生物多様性豊かな地域として保全されている地域も多い。しかし、最近、丹沢(越地ら, 1996)、英彦山(猪上ら, 2002)をはじめとして、全国各地でブナ林の衰退が報告されている。

衰退の原因としては、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、さらにはシカの食害等が指摘されている(山根ら, 2007)。これらのブナ林の衰退状況や原因については地域によって様々であり、衰退状況や影響因子等を個人差が生じないよう客観的に把握する必要があるが、このための健全(衰退)度評価、樹木活性、植生状況、温湿度や土壌水分量などといった樹木の実態や生育環境について、全国規模での統一的な手法に基づく基礎調査や原因究明はほとんど行われていない。

そこで本研究では、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とし、ブナ林を有する都道府県等が参画する総合植生モニタリングのネットワークの構築、ブナ林生態系の衰退度に関する総合調査マニュアル(案)の作成を行った。さらに、総合調査マニュアル

(案)の実効性や課題点を検証するため、各地域の環境研究所等の参加のもと、試行的な調査を実施した。

なお、本研究は平成19～21年度地方公共団体環境研究機関等と国立環境研究所との共同研究において実施したものであり、本報告は共同研究成果報告書及び平成22年度版神奈川県環境科学センター研究報告第33号掲載の報告に丹沢山における調査結果を加えて再構成したものである。

II 総合植生モニタリングのネットワークの構築

先述のように、各地のブナ林の衰退状況や原因については地域によって様々であるため、ブナ林の衰退原因の解明のためには相互の情報交換が重要である。そこで、相当面積のブナ林を有し、ブナ林についての調査研究を行っている北海道から福岡県までの10道県の地方公共団体環境研究機関、自然研究機関の計12機関と、国立環境研究所からなる総合植生モニタリングのネットワークを構築した。総合植生モニタリングネットワーク参加機関を表1に示す。

次いで、参加機関はその実情に合わせて、総合調査マニュアル(案)に基づく統一調査およびブナ林に係る各道県独自の調査のいずれか、あるいは双方の調査を行った。

* 神奈川県環境科学センター調査研究部 (〒254-0014 神奈川県平塚市四之宮1-3-39)

表1 総合植生モニタリングネットワーク

	No.	機 関 名
北海道	1	北海道環境科学研究センター
	2	秋田県健康環境センター
東 北	3	秋田県農林水産技術センター 森林技術センター
	4	埼玉県環境科学国際センター
関 東 甲信越	5	神奈川県環境科学センター
	6	神奈川県自然環境保全センター
	7	静岡県環境衛生科学研究所
北 陸 東 海 近 畿	8	富山県農林水産総合技術センター 森林研究所
	9	福井県自然保護センター
中 国 四 国 九 州	10	岡山県自然保護センター
	11	広島県立総合技術研究所 保健環境センター
	12	福岡県保健環境研究所

Ⅲ ブナ林生態系の衰退度に関する 総合調査マニュアル（案）の作成

ブナ衰退度調査としてブナ葉の葉緑素量調査および目視衰退度調査、ブナ生育環境調査として近傍のオゾン濃度調査の3項目を柱とする総合調査マニュアル（案）を作成した。山間地で行う調査であるため、調査方法の細部については、各ブナ林の状況に合わせ、適宜変更可能とした。

【総合調査マニュアル（案）】

1 ブナの選定

ブナ林の全体的な衰退を把握するため、全体の衰退状況を大まかに健全なブナ、衰退が著しいブナおよび中庸のブナの3段階に分け、それぞれの分類群から各3本ずつ、計9本程度選定する。

2 調査時期

3に示すブナ葉の葉緑素含有量（SPAD値）および4の目視衰退度については、ブナの展葉直後（5月末）および落葉直前（10月末）の計2回実施する。5のオゾン濃度については、4月末～5月末および10月末～11月末の各1か月間とする。いずれの調査も可能であれば、4月末～11月末の間、毎月調査を実施する。

3 ブナ葉の葉緑素含有量（SPAD値）

調査木1本につき、太陽光が直接当たる側の枝3本を選定する。次いで各枝から最大、最小の葉を除外した、中程度の大きさの葉をランダムな位置から10枚ずつ、計30枚の葉を選定して葉緑素の調査を行う。葉緑素の調査は、コニカミノルタ社製葉緑素計（SPAD-502）を用いて行う。10枚の平均値を各枝の葉緑素量とし、調査木1本につき選定した枝3本分のデータを報告する。併せて調査木の胸高直径、樹高、葉緑素量測定枝の地上からの高さを測定し、記録する。

ブナの葉が手の届く範囲にある場合は、調査を行った枝にテープ等で印をし、継続して同じ枝で調査を行う。ブナの葉に手が届かない場合は、高枝切ばさみ等で枝を切り落とし、速やかに調査を行う。なお、SPAD値は、葉の単位面積あ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多いことを意味する。

4 目視衰退度

土壌・植生モニタリング手引書（環境省，2003）では、目視衰退度は葉の密度が最も高い季節に樹勢、樹形、枝の生長量、梢端の枯損、枝葉の密度、葉の変形度、葉の大きさ、葉色、葉の障害の9項目それぞれについて衰退度0（健全）～衰退度4（枯死）の5段階で評価することとしている。しかし、

9項目それぞれを評価するためには経験を要し、個人差も生じやすく、困難な実情がある。加えて、樹木全体に関する項目（樹勢、樹形）、枝に関する項目（枝の生長量、梢端の枯損、枝葉の密度）および葉に関する項目（葉の変形度、葉の大きさ、葉色、葉の障害）はそれぞれ評価が同調する傾向が認められた。

そこで、本研究のマニュアル（案）では、簡易で個人差が生じにくい客観的な指標として、3の調査を行ったブナについて、樹木全体、枝、葉の3項目をそれぞれ衰退度0（健全）～衰退度4（枯死）の5段階で評価スコアを決めることとし、その結果を基に総合判定を行うこととした。総合判定のための目視衰退度評価基準を表2に示す。

5 オゾン濃度

3、4の調査を行った地点において、拡散型パッシブサンプラーを用いた月平均オゾン濃度調査を実施する。拡散型パッシブサンプラーの構造図を図1に示す。

拡散型パッシブサンプラーは各地点2個設置する。オゾンは葉などに沈着するため、林冠下や谷筋を避け、見晴らしの良い、風が通りやすい地点に設置するのがよい。なお、適した場所がない場合は、付近の地形を特記事項に記載する。また、空試験サンプルとして暴露させないサンプラーを1個密封保管しておく。

約1か月間暴露した後、拡散型パッシブサンプラーから捕集用ろ紙を取り出し、キャップ付きポリ

表2 目視衰退度評価基準

a 樹木全体		
評価	内 容	
0	旺盛な生育状態を示し、被害が全く見られず、自然の樹形を保っている。	
1	いくぶん被害の影響を受けているが、あまり目立たず、自然の樹形に近い。	
2	明らかに異常が認められ、自然樹形の崩壊がかなり進んでいる。	
3	自然樹形が完全に崩壊され、奇形化し、生育状態が劣悪で回復の見込みがない。	
4	枯 死	
b 枝		
評価	内 容	
0	旺盛な生育状態を示し、梢端の枯損が見られない。	
1	枝の生長量が若干少なく、梢端の枯損が多少あるが、目立たない。	
2	枝は短く細く、梢端の枯損がかなり多い。	
3	枝は極端に短く、梢端の枯損がきわめて多い。	
4	枯 死	
c 葉		
評価	内 容	
0	枝と葉の密度のバランスがとれており、葉は大きさ、色、形ともに正常である。	
1	枝と葉の密度のバランスが少しくずれており、葉は大きさ、色、形のいずれかに少し異常がみられる。	
2	葉の密度はやや疎であり、葉は大きさ、色、形のいずれかに異常がみられる。	
3	枯葉が多く著しく疎であり、葉は大きさ、色、形のいずれかに著しい異常がみられる。	
4	枯 死	
d 総合判定		
評価	内 容	
0	健 全	
1	少し生育状態に衰えが見られ、枝葉等に少し異常がみられる。	
2	生育状態はかなり衰え、枝葉等の異常が目立つ。	
3	生育状態は劣悪であり、枝葉等に著しい異常がみられ、回復の見込みがない。	
4	枯 死	

プロピレン製試験管に入れ、超純水を10ml加え、手で充分に振とうして抽出を行う。30分以上放置し(一晩放置可)、抽出液中の硝酸イオンをイオンクロマトグラフで定量する。

オゾン捕集用ろ紙上で生成した硝酸イオン量 (ng) と曝露時間 (min)、平均温度 (°C) から大気中のオゾン濃度 (ppbv) を次の式より求める。

$$O_3 \text{ (ppbv)} = \alpha O_3 \times WO_3 / t$$

$$\alpha O_3 = \frac{46.2 \times 102 \times \left(\frac{293}{273 + T} \right)^{1.83}}{9.94 \times \ln(t) - 6.53}$$

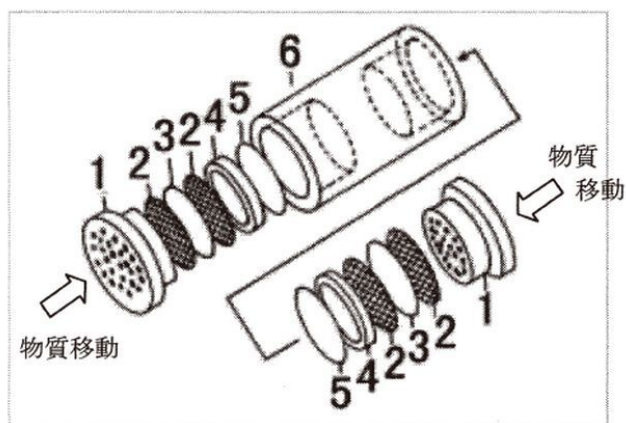
WO₃ : オゾン捕集用ろ紙上で生成した硝酸イオン量から換算した

オゾン量 (ng)

t : 曝露時間 (min)

αO_3 : オゾンの大気濃度換算係数 (ppbv・min/ng)

T : 温度 (°C)



1. ポリエチレン多孔栓 (円筒型吸引口 25 個)
2. ステンレス金網 (80 メッシュ)
3. 捕集用ろ紙 (14.4mmφ)
4. テフロンリング (厚さ 2mm)
5. テフロン円板 (厚さ 1.5mm, 直径 14.4mm)
6. ジュラコン本体 (内径 15mm, 外径 19mm, 高さ 26mm)

図1 拡散型パッシブサンプラー構造

IV ブナ林生態系の衰退度に関する 総合調査マニュアル(案)に基づく 統一調査の試行結果及び考察

1 調査地点

総合調査マニュアル(案)に基づく統一調査の試行を行うため、2009年度に北海道(黒松内)、神奈川県(丹沢山)、静岡県(富士山および函南原生林)、岡山県(県立森林公園)、広島県(臥竜山)、富山県(立山)、福井県(平泉寺)、福岡県(英彦山および脊振山)の8道県10地域で調査した。調査地点を図2に示す。

2 ブナ葉の葉緑素含有量 (SPAD値) 調査 (平成21年度)

図3に毎月調査を行った福岡県、静岡県、神奈川県のSPAD平均値の経月変化を示す。

西日本の福岡県はブナの展葉が早く、盛夏には平均45を越えるSPAD値が観測された。東日本である静岡県および神奈川県は、ブナの展葉が西日本に比べて若干遅い傾向がみられ、静岡県のブナは盛夏にSPAD値が45程度まで上昇したが、神奈川県のブナは40程度であり、調査期間を通してSPAD値が低かった。



図2 総合調査マニュアル(案)に基づく
統一調査の試行調査地点

● : 全調査実施、○ : オゾン濃度調査のみ実施

また、図4に1回以上の調査を行っている富山県、福井県、岡山県、広島県の結果を重ねて示す。岡山県、広島県、福井県は春に福岡県と同等かそれ以上のSPAD値を示した。広島県は、調査期間を通して高いレベルでSPAD値が推移していた。富山県は、春のSPAD値は神奈川県及び静岡県と同レベルであり、神奈川県及び静岡県と同様、西日本に比べて展葉が遅い可能性が考えられた。

今回の調査結果から、各ブナ林のSPAD値の経月変化の特徴を把握することができた。今回の調査ではフェノロジー(生物季節)を考慮していないため、今後は展葉、落葉の時期を考慮に入れて再解析する必要はあるが、葉緑素計を用いた葉の葉緑素量(SPAD値)調査は簡易かつ調査者による個人差が少ないため、ブナ林生態系の衰退度に関する総合調査マニュアルの調査項目として有効であると思われる。

丹沢山における平成21年度の衰退度別SPAD値の結果を図5に示す。なお、表2の総合判定評価0～1を衰退度小、2を衰退度中、3～4を衰退度大とした。春季、秋季において、衰退度中以上のブナで衰退度小のブナに比べSPAD値が低い傾向が見られたが、有意差はなかった。表2の総合判定評価とSPAD値が著しく異なる個体もあり、今後その理由について詳細に検討する必要がある。

3 目視衰退度調査(平成21年度)

図6に丹沢山(神奈川県)の目視衰退度調査結果を示す。丹沢山の場合、葉は0(健全)～1(軽微な異常)であるが、枝及び樹木全体に異常が見られるブナが多く見受けられた。

図7に各ブナ林の目視衰退度調査の総合判定結果を示す。各県の結果を見ると、最も目視衰退度の総合判定が小さいのは各項目とも0(健全)であった平泉寺(福井県)であった。続いて背振山(福岡県)、立山(富山県)であった。立山は、葉に関する異常はほとんど見られず、総合判定も0(健全)～1(軽微な衰退)であった。臥竜山(広島県)も、葉に関する異常が若干見られ、軽度の昆虫食害があるとしているものの、0(健全)～1(軽微な衰退)であった。富士山および函南原生林(静岡県)は、目視衰退度の総合判定が1(軽微な衰退)～2(衰退が目

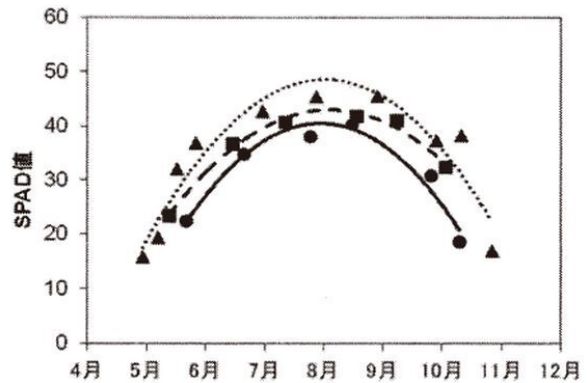


図3 各県のSPAD平均値の経月変化

●：神奈川県、■：静岡県、▲：福岡県

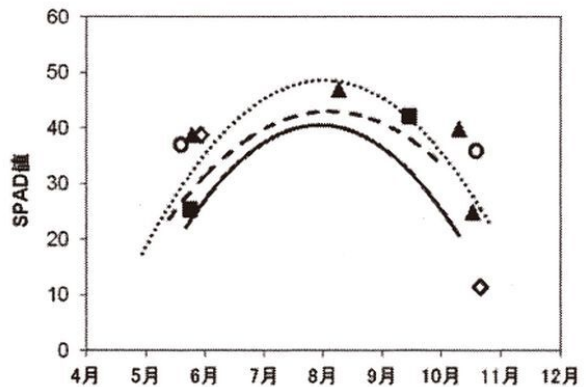


図4 各県のSPAD平均値の経月変化

◇：岡山県、▲：広島県、■：富山県、○：福井県、
実線：神奈川県、破線：静岡県、点線：福岡県

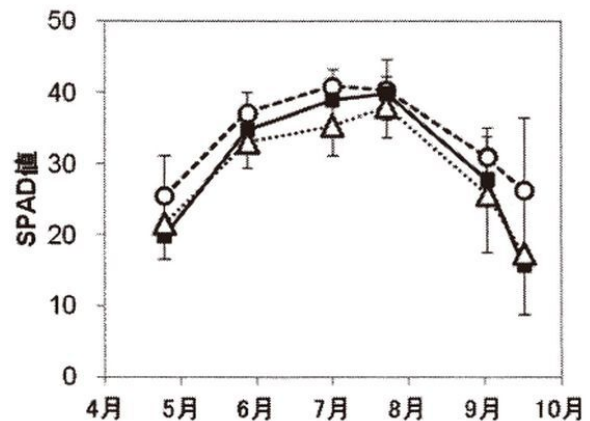


図5 丹沢山のSPAD値の経月変化

○：衰退度小、■：衰退度中、△：衰退度大

立つ)であり、今後の状況を注視する必要があると思われた。英彦山(福岡県)と丹沢(神奈川県)は、最も衰退が進んだ樹木では目視衰退度の総合判定が3(衰退が著しい)を越えるものもあり、早期の原因究明が必要と考えられた。

目視衰退度調査は、ブナ林生態系の衰退度に関する調査項目として必須のものであるが、個人差に影響されやすく、調査自体も困難である。本研究で用いた目視衰退度調査評価基準は、さらなる検討を要するが、簡易であり、衰退状況を客観的に把握することが可能であると思われる。

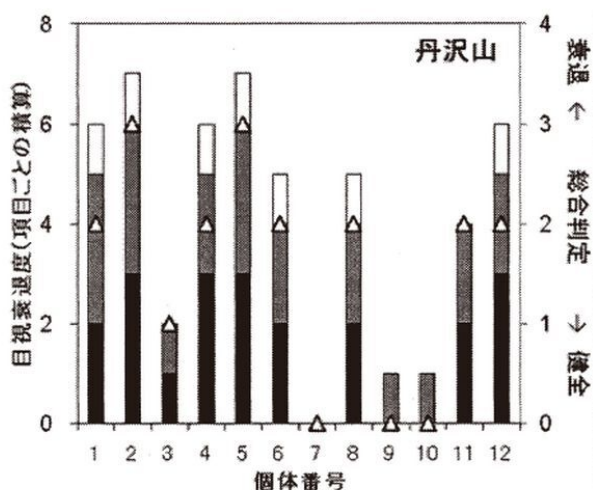


図6 丹沢山(神奈川県)の目視衰退度調査結果

■: 樹木全体、■: 枝、□: 葉、△: 総合判定(右軸)

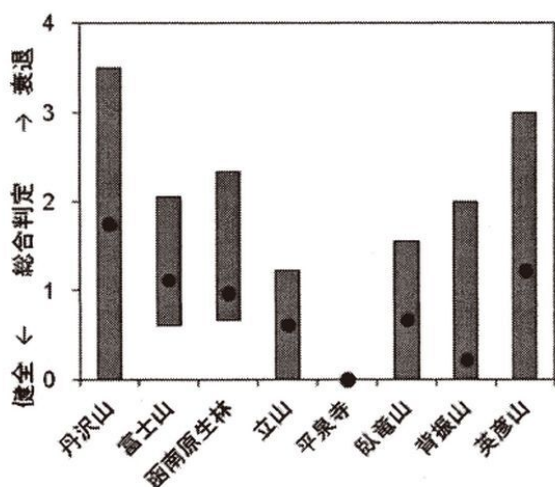


図7 各ブナ林の目視衰退度調査総合判定結果

棒グラフ: 最小値~最大値、●: 平均値

4 オゾン濃度調査(平成21年度)

図8、9に毎月調査を行った北海道、福岡県(英彦山)、静岡県、神奈川県の月平均オゾン濃度の経月変化を示す。4道県で全く同様の傾向が認められた。すなわち、4~5月の春季に最もオゾン濃度が高く、夏季にはオゾン濃度が低下し、9~10月の秋季に再びオゾン濃度が上昇していた。福岡県(英彦山)および神奈川県が調査期間を通じてオゾン濃度が高く、最もオゾン濃度の低かった北海道と比べ、調査期間を通じて10ppb程度高いことから、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た。なお、ろ紙の不具合により福井県、富山県の落葉直前の調査は欠測であった。

各県とも、静岡県および北海道と同程度の濃度であった。毎月調査を行っている各県の経月変化と比較することにより、展葉直後および落葉直前の2か月間の調査でもオゾン濃度の状況は推測できる。さらに、8月の調査も行くと、オゾン濃度の状況をより正確に把握できると思われる。

図10に平成21年度の丹沢山における月平均オゾン濃度調査結果を示す。春季、秋季は各調査地点でオゾン濃度に差はなかったが、夏季においては丹沢山頂および天王寺尾根で他の地点よりそれぞれ14ppb、7ppb程度高くなっていた。春季および秋季のオゾン濃度は大陸からの移流および成層圏オゾンの沈降の寄与が大きい(大原ら, 2007)が、夏季のオゾン濃度は近傍都市域の影響を受けるため、丹沢山頂および天王寺尾根ではより大きく近傍都市域の影響を受けていると思われる。

V おわりに

ブナ林域における全国展開可能で、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、ブナ林を有する10県12機関が参画する総合植生モニタリングのネットワークを構築するとともに、ブナ林生態系の衰退度に関する総合調査マニュアル(案)を作成した。作成した総合調査マニュアル(案)に基づき統一調査を試行し、目視衰退度および月平均オゾン濃度において福岡県と神奈川県のブナ林で類似性がみられたこと、一方でSPAD値では大きく異なっていることなど、各ブナ林の特徴を

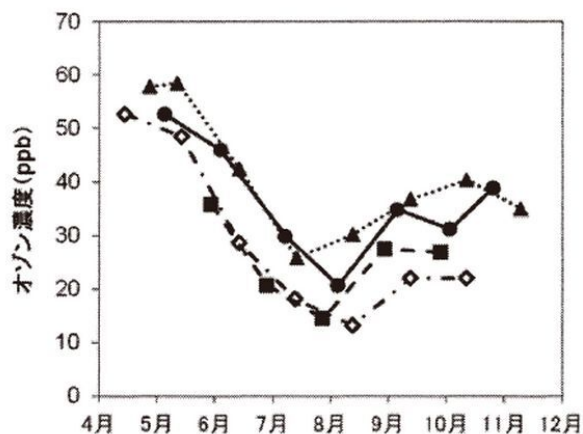


図8 各県の月平均オゾン濃度の経月変化

●：神奈川県、■：静岡県、▲：福岡県、◇：北海道

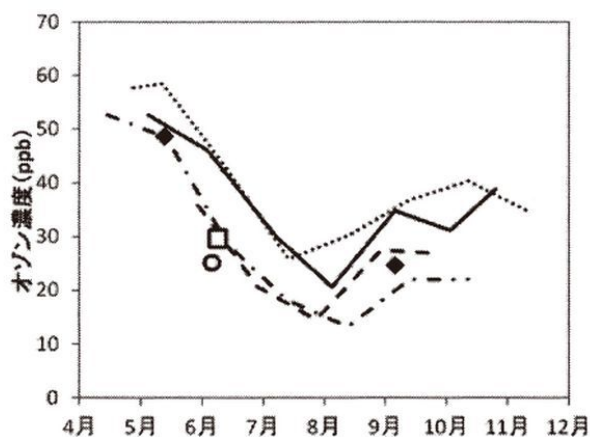


図9 各県の月平均オゾン濃度の経月変化

◆：岡山県、□：富山県、○：福井県、実線：神奈川県、破線：静岡県、点線：福岡県、一点鎖線：北海道

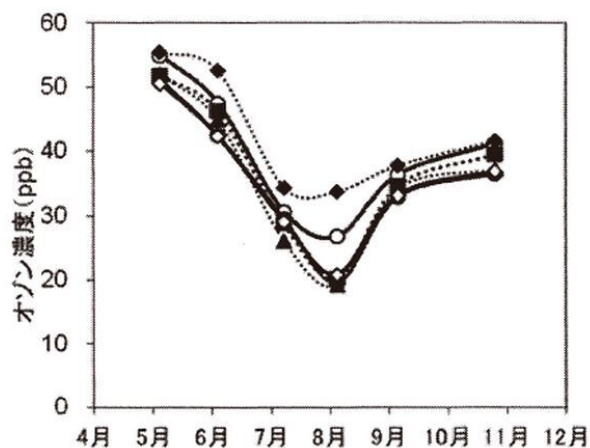


図10 丹沢山の月平均オゾン濃度の経月変化

○：天王寺尾根、◆：丹沢山頂、
■▲：丹沢山木道下、●◇：堂平

把握し、衰退に対する影響因子等を推定できる可能性を示すことができた。本研究で提案した総合調査マニュアル(案)の調査項目は3項目のみであるが、今後新たな調査項目を追加するとともに参加自治体を増やして継続した調査を実施しデータを蓄積すれば、全国のブナ林生態系の衰退度の把握、衰退原因の考察を行う上で重要な情報を提供できると考えられる。

VI 引用文献

- 猪上信義・野田亮・佐々木重行 (2002) 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No. 55.
- 越地正・鈴木清・須賀一夫 (1996) 丹沢山地における森林衰退の研究(1) ブナ・モミ等の枯損実態. 神奈川県森林研究所報告22: 7-18.
- 環境省 (2003) 土壌・植生モニタリング手引書.
- 大原利真編・光化学オキシダント等に関する共同研究グループ (2007) 日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究. 国立環境研究所研究報告. 第193号: 167-174.
- 山根正伸・相原敬次・鈴木 透・笹川裕史・原 慶太郎・勝山輝男・河野吉久・山上 明 (2007) ブナ林の再生に向けた総合解析, 丹沢大山総合調査団(編). (財)平岡環境科学研究所丹沢大山総合調査学術報告書: 703-710.