

筑波山におけるブナ・イヌブナの毎木調査に関する報告書

小幡和男*・田中信行**

*ミュージアムパーク茨城県自然博物館

**独立行政法人森林総合研究所

1 はじめに

1-1 日本におけるブナ、イヌブナの分布

ブナ (*Fagus crenata* Blume) は、日本の冷温帯を代表する樹木であり、北海道南部黒松内から鹿児島県高隈山まで分布し (福嶋, 2005a), その面積は日本の天然林総面積の 17%にあたる約 23,000 km²である。特に、北海道南部, 東北から北陸にかけての本州日本海側に広く分布しており, 本州太平洋側, 四国, 九州では山岳上部に限られている。

ブナ林には, 北海道南部, 東北から北陸にかけての本州日本海側, 中国地方に分布する日本海型と, 東北の岩手県中部以南, 関東, 東海, 紀伊半島, 四国, 九州に分布する太平洋型があり, 両者の間で種構成や林冠構成種の量的配分に違いがあることが知られている (福嶋ら, 1995; 福島, 2005b; 2005c)。日本海型のブナ林は林内のブナ優占度が高く, 林床にチシマザサをとまうことが多い。一方, 太平洋型のブナ林はミズナラやイヌブナ, カエデ類など, 様々な種類の落葉広葉樹が林冠構成種として混成することが多く, 林床にはスズタケが密生することが多い (藤田, 1986; 1987)。また, 種構成の違いだけでなく, ブナ自体の形質に違いがあることも指摘されている。一般に日本海側のブナは葉が薄く大型で, 幹がまっすぐに伸びてあまり枝分かれしないのに対し, 太平洋側のブナは葉が肉厚で小型で, よく枝分かれしてずんぐりとした樹形になるものが多い (原, 1996)。また, 核内遺伝子の解析からも, ブナは日本海型と太平洋型の 2 系統に分かれることが知られている (Hiraoka and Tomaru, 2009)。

1-2 筑波山のブナ林

茨城県では大規模なブナ林は存在しないが, 県北山地の山頂部にはしばしばブナ林が存在する。八溝山地南部に位置する筑波山, 加波山, 吾国山などの山頂部にもブナ林が分布しており, その最南端に位置する筑波山には, 比較的まとまったブナ林が存在する (鈴木ら, 1981)。

筑波山のように, ブナ分布域の南部において山頂部に島状に存在しているブナ林は, 最終氷期の最寒冷期 (21000~18000 年前) からの生き残り (レリック) であり, 最終氷期の最寒冷期があったことを証明する大変貴重な林であると考えられている (谷本, 1992)。太平洋型ブナ林は, かつて小さな逃避地 (レフュージア) に分かれて残っていた個体群がそれぞれ独立に分布を拡大したものであるため, 地域ごとに特殊な遺伝的組成を持つと考えられている (中静, 2004)。筑波山のブナ個体群についてみると, 山頂付近のせまい範囲に分布が限られているにもかかわらず, 比較的高い遺伝的多様性を持つといわれる

(Hiraoka and Tomaru, 2009)。また、ミトコンドリアおよび葉緑体遺伝子の解析から、筑波山のブナ個体群は東海地方を挟んで紀伊半島の大台ヶ原山に近い遺伝子型を持つことが知られている (Tomaru et al., 1998; Fujii et al., 2002)。さらに、ブナ林の群落構成種も地域によって異なるとされ (福嶋 2005b)、太平洋型ブナ林が日本海型ブナ林に対して種組成的な多様性が有意に高いことが確認されている (島野, 1998)。つまり、ある地域の太平洋型ブナ林が消滅することは、固有の遺伝子構成を持つブナの地域集団が1つ消失することだけにとどまらず、地域に固有の植生タイプが1つ消失することを意味し、ブナ林はそれぞれの地域において保全が必要であると考えられる。

筑波山のブナ林において、ブナの更新は良好な状態ではなく、衰退の危機にあるとの指摘がなされており、ブナの巨樹は目に付くが、跡継ぎとなるブナの若木、稚樹、実生の数が極端に少ないことが報告されている (谷本, 1992)。また、枯死木が増えてきているという指摘もある (茨城県自然博物館維管束植物調査会, 1998)。この原因として、人の踏み固めによる土壌の硬化や、山頂のコンクリート構造物による土壌のアルカリ化、ササ類の繁茂、2~3年おきに被害が出る食葉性昆虫による虫害、高齢によるブナの老衰、温暖化、落雷、穿孔虫の寄生、幹の腐朽などの可能性が指摘されており、多くの要因が複雑に影響しあって衰退が進行していると考えられている (谷本, 1992; 茨城県公害技術センター, 1997; 茨城県自然博物館維管束植物調査会, 1998)。

温暖化の進行にともない、九州、四国、本州太平洋側のブナの分布適域はほとんど消滅し、生育適域の広い東北でもその面積が大きく減少すると考えられている。また、本州以南では温暖化により適域はより高標高に移動するので低山では適域が消滅すると考えられている。特に、ブナに適さない高温と乾燥側の限界条件にある低山の山頂にブナ林が孤立する場合、低山であるため高標高への逃げ場がないので、温暖化によるブナ林の消失が危惧されている (田中ら, 2006)。

筑波山のブナ林の衰退は、近年の温暖化の影響とも指摘されている。筑波山のように、山頂部だけに分布するブナ林は、生育地の高温と乾燥側の限界条件に位置するため、温暖化の影響を真っ先に受ける最も脆弱なブナ林といえる。筑波山のブナ林の現状は稚樹・若木が少ないので、親木枯死後の再生が難しいと考えられるが、温暖化によりブナの生育条件はさらに悪化し、カシ類やモミなど暖温帯・中間温帯の種が侵入・増加し、ブナと置き換わる可能性がある。

1-3 これまでの保全の取り組み

茨城県は、代表的な太平洋型ブナ林としての筑波山のブナ林の保全を図るため、1986年に「自然環境を語る会」を発足した。そして、3年間にわたり筑波山頂のブナ林の保全についての検討が行われ、1988年に「筑波山のブナ林の保護対策に関する基本方針」の策定、1989年に「筑波山のブナ林保護対策実施要領」の施行、「筑波山のブナ林植生保護対策実施計画」の策定と進んだ。

1990年からは具体的な保護対策が行われた。1990年にはブナ樹冠下にロープによる柵を施した立入防止区域が設け、その後新設と張り替えを継続している。1991からはブナ林の林床に侵入したアズマネザサの刈り払いが行われた。また、1991からはブナ苗移植が行われた。

1997年には山頂周辺の歩道沿いの調査により「筑波山ブナ衰退調査」の報告がまとめられ（茨城県公害技術センター，1997），それに基づいて，1998年からさらに，衰退木腐朽箇所の治療，ブナ苗移植，ロープ柵設置，アズマネザサ刈り払い，枯損木の伐倒処理等の事業が現在まで続けられている。

1-4 調査の目的

このように，筑波山のブナ林の衰退については，過去に調査が行われ，保全対策が講じられてきたが，対象が筑波山ブナ林の一部に限られており，筑波山全体のブナ林の現状については未だ明らかではない。筑波山にブナが何個体生育するのか。そして，そのうち枯損の危機にある個体がどれくらいあるのか。また，後継樹となる個体はどれくらい存在するのか。これらのことを把握しなければ，根本的な筑波山のブナ林の保全対策を講じることはできないと考える。さらに，5年，10年，数十年と継続的にモニタリングしてブナ林の変化を把握していくことが，ブナ林保全において重要な施策の1つであると考えられる。

森岡（2008）は，航空写真のGISによる解析で，筑波山の標高550mより高いところ約3km²に約2,000個体のブナが生育していると推定した。しかし，この研究では現地踏査によりすべての個体を確認したのではなく，この方法では把握できないブナが多いと考えられる。兵庫県六甲山で実施したブナ，イヌブナの毎木調査（栃本ら，2007）など，せまい山域で調べた事例があるが，1つの山域に生育するブナ個体群についてすべての分布状況を調査した事例はほとんどない。

この調査では，筑波山に生育するブナについて，そのすべての個体の分布，形状，衰退度等を調査することで，筑波山のブナ林の現状を明らかにし，衰退が明らかな場合は，その保全対策を講じる基礎資料とすることを目的とする。また，データは継続的なモニタリングに使用できるようにする。

また，筑波山にはブナと同じブナ属の樹木としてイヌブナ（*Fagus japonica* Maxim.）の生育が知られている。イヌブナは，岩手県北部を北限とし，関東，近畿，中国，四国，九州の太平洋側をおもな分布域とする。イヌブナは，ブナ林におけるブナのように単独で優占林をつくることは少なく，他の樹木と混交するのがふつうである（原，1996）。イヌブナを含む自然林も，過去の人工林や二次林（薪炭林・農用林など）の拡大により地点数や面積が限られており，特に県南地域には少ない。この調査では，イヌブナについても保全対策を講じるべき重要性を認め，ブナと同じ調査を実施することとした。

2 調査地および調査方法

2-1 調査地

調査地は，筑波山においてブナ，イヌブナが生育するすべての地域とした。調査は，原則として標高の高い山頂から標高の低い山腹に向かって進めた。ブナ，イヌブナの分布の下限はおおよそ標高550mであったので，スギの植林地などブナ，イヌブナが生育しないと思われるところでも標高550mより高い地域はすべて踏査した。標高550m付近でブナ，イヌブナを確認した場合は標高500m程度まで下り，連続的に分布するブナ，イヌブナを

見逃さないように心がけた。

調査において、調査員が携行した GPS に記録された調査軌跡（トラックデータ）を図 1 に示した。

2-2 調査方法

調査対象木は、調査地に生育するすべての樹高 2m 以上のブナまたはイヌブナの生木、並びにブナまたはイヌブナと判定できる枯死木とした。

2-2-1 生木について

2-2-1-1 番号札の取り付け

測定幹には、山側の高さ（樹幹が傾いている場合は長さ）120cm の位置に釘でアルミ製番号札を付けた。番号札の仕様は、Racetrack-Shaped Aluminum Tag（Forestry Suppliers Inc. 製）とした。釘の仕様は、ステンレス釘スクリング平頭#12×50mm（若井産業(株)製）とした。

周囲長の測定を釘の上部 10cm の位置で行うので、周囲長測定部にこぶなどの異常がある場合は、番号札の位置についても上下に移動して、常に周囲長測定部の 10cm 上部になるようにした。

釘打ちの深さは 1cm 程度で、簡単には抜けない強度とした。釘の打てない小さな個体には、針金で番号札を地際に巻き付けた。

多幹（高さ 130cm 未満の地際での枝分かれ、株立ち）の場合は、高さ 2m 以上のすべての幹に番号札を付け、周囲長を測定し、多幹の状況が分かるよう記録した。

なお、個体識別のためにアルミ番号札を釘で固定する方法を採用したのは以下の理由である。

森林の変化を監視するために実施するモニタリングにおいては、樹木の個体を識別することが、その動態を把握する上で不可欠である。この方法は、番号を打ち抜いたアルミ製札をステンレス製の釘により樹幹の胸高位置に取り付ける。釘の打ち込む深さは 1cm 程度で、樹幹の成長により釘は巻き込まれる。木の成長により釘の大部分が巻き込まれた場合は、釘を抜き、番号札を付け直す。この方法により、長期間の個体識別が可能になる。また、釘打ち付けの位置で直径を測定することにより、正確に樹幹直径を測定し、木の成長を評価できる。

この方法は、釘打ち込みによる傷以外の影響のないことから、樹木への影響を最小限にできる方法と考えられ、これまでに日本国内で設定された長期森林モニタリングで採用されてきた方法である。「環境省モニタリングサイト 1000」事業で各地に設定されている森林モニタリング地区でも標準的方法とされ、屋久島や白神山地の世界遺産地区内の森林モニタリングでも採用されており、その耐久性、安全性は実績がある。一方、他の方法として考えられる①ガンタッカーによるビニール製ナンバーテープ付け、②針金等による番号札付けなどは、耐久性や樹木への影響の点で劣るので、採用しなかった。

2-2-1-2 GPS による位置の記録

GPS により測定した木の位置を記録した。GPS は GPSMAP60CSx 日本版（GARMIN 社

製)を用いた。

2-2-1-3 調査木の測定

調査項目は以下のとおりとした。

- ・ 胸高周囲長（とりまとめ時に胸高直径に変換）・・・mm 単位まで測定
- ・ 樹高(目測)・・・低（2m 以上 5m 以下），中（5m 超 12m 以下），高（12m 超）を測定
- ・ 樹冠位置・・・上空から樹冠が半分以上見えると判定されれば上，判定されなければ下
- ・ 衰退度・・・衰退度判定表による 5 段階評価，枯死木は衰退度 6 と記録

衰退度の基準は，山家（1979）（図 2）の衰退度判定チャートおよび表 1 の衰退度判定基準の詳細によった。

2-2-2 枯死木について

枯死木については，GPS による位置の測定，周囲長の測定を行った。枯死木の残っている部分の高さが 130cm 未満の個体は適宜測定できる高さで周囲長を測定し，その状況を記録した。倒木については，根際に近い方で位置および周囲長の測定を行った。枯死木には，番号札の取り付けは行わなかった。

2-3 調査日および調査人数

現地調査は，2008 年 5 月 15 日から 2010 年 11 月 1 日までの実日数 75 日実施した。調査員は，延べ 466 人であった。2008 年 5 月 15 日は，つくば市吉瀬の平地林において，調査方法の検討と調査の練習を行った。2008 年 5 月 19 日からは筑波山の調査地において，本調査を行った。

調査は，特定非営利活動法人つくば環境フォーラムと（独）森林総合研究所のメンバーが女体山を中心とした地域，ミュージアムパーク茨城県自然博物館のメンバーが男体山を中心とした地域を担当した。調査日と調査員人数およびおもな調査員（調査に 2 日以上あたった者）を表 2 に示した。

2-3 分布図の作成

調査した木の位置のデータは，ArcGIS9（ESRI 社製）を使用して，ブナ，イヌブナの位置図を作成した（図 3，4）。

3 結果

3-1 ブナ，イヌブナの個体数

調査したブナ，イヌブナの個体数を表 3 に示す。3 年間の調査で測定した個体数は，ブナの生木が 7,073 個体，イヌブナの生木が 1,649 個体，ブナの枯死木が 229 個体，イヌブナの枯死木が 18 個体であった。イヌブナの個体数はブナのおよそ 1/4 であった。枯死木は樹種が目視で判定できるもののみを対象としたが，全数に対する割合はブナが 3.1%，イヌブナが 1.1%と，イヌブナの枯死木が少なかった。

ブナ、イヌブナ生木の単幹、多幹別個体数の内訳を表4に示す。ブナについては、生木7,073個体のうち、単幹が6,845個体、多幹が228個体で多幹の割合は3.2%であった。イヌブナは1,649個体のうち、単幹が1,062個体、多幹が587個体で多幹の割合は35.6%であった。ブナについては、多幹個体はほとんどが地際での枝分かれで、株立ちは認められなかった。それに対して、イヌブナはすべて株立ちであり、大きくなるほど多幹になる傾向が見られた。一株の幹数は多い個体では20本以上あった。

衰退度の高い個体を衰退度4と5を合わせた数として評価すると、衰退度の高いブナは320個体で、全体の割合は4.5%であった。一方イヌブナでは、衰退度の高い個体は125個体であり全体の7.6%であった。

3-2 ブナ、イヌブナの位置分布

ブナの分布図を図3に、イヌブナの分布図を図4に示す。

ブナは、男体山、女体山の山頂付近から麓に向かって標高520mまで分布していた。南斜面では、ブナは比較的一様に分布し、特に大径木は御幸ヶ原から女体山にかけて多く分布していた。また、標高650m付近までの標高が高いところに比較的高密度で分布し、標高が低いところでは密度は低くなっていた。一方北斜面では、ブナが高密度で分布するところとまったく分布しないところがはっきりと分かれる傾向が見られた。胸高直径60cmを超える大径木は少なく比較的幹の細いブナが多く分布していた。標高との関係で見ると、南斜面と違って標高650mより低いところでもブナが高密度で分布しているところがあった。地形との関係を見ると、ブナは尾根沿いに比較的多く分布し、谷沿いや凹地形のところでは分布密度は低い傾向が見られた。

イヌブナは、男体山、女体山とも山頂付近には分布せず、標高820mから540mの範囲に分布していた。イヌブナは南斜面にはほとんど見られず、大部分は北斜面に分布していた。ブナの分布と関連づけて見ると、北斜面の比較的小径木のブナが集中して分布するところにイヌブナが同所的に分布していた。地形との関係を見ると、尾根または尾根に近いところに分布していたが、尾根の中心線をわずかにはずして尾根と谷の間の斜面に多く分布している傾向が見られた。

衰退度の高い個体の位置を見ると、ブナについては、男体山、御幸ヶ原と女体山をつなぐ尾根筋、女体山の南東や北東の斜面に多い傾向が見られた。イヌブナでは、その分布の傾向は偏っておらず、衰退度の高い個体は小径木に多く見られた。

3-3 ブナ、イヌブナの胸高直径階分布

ブナの胸高直径階分布に関連した図表を表7、図5に示す。イヌブナの胸高直径階分布に関連した図表を表8、図8に示す。

ブナの胸高直径の最大値は142.9cm、最小値は1.0cm、平均直径は33.1cm（標準偏差20.6cm）であった。胸高直径階分布は20-30cmをモードとする山型の分布を示した。直径10cmから30cmの比較的細い個体が全体の43%を占めたが、直径10cm以下の個体は全体の10%足らずで稚樹や幼木は少ない傾向が見られた。

イヌブナの胸高直径の最大値は79.1cm、最小値は1.0cm、平均直径は12.8cm（標準偏差11.3cm）であった。イヌブナの胸高直径階分布は、ブナと違って直径10cm以下の個体が

58%を占める L 型分布を示した。直径 10cm 以下の個体数で比較するとイヌブナはブナの 1.4 倍であった。直径 80cm を超えるような大径木のイヌブナはなく、ある程度の太さに成長するとその幹は枯れて萌芽更新により幹を入れ替えている傾向がうかがえた。

胸高直径と衰退度を見ると、ブナについては、直径 20-30cm のところで衰退度の高い個体の割合は最も低く、直径が小さくなる方と大きくなる方の両側に行くにしたがって衰退度の高い個体の割合が高くなる傾向が見られた。イヌブナについては、衰退度の高いイヌブナは直径 10cm 以下の小径木でのみ見られた。

3-4 ブナ、イヌブナの樹高および樹冠位置の分布

ブナの樹高および樹冠位置の分布に関する図表を表 9, 図 6, 7 に示す。イヌブナの樹高および樹冠位置の分布に関する図表を表 10, 図 9, 10 に示す。

ブナの樹高は 12m 超える「高」が最も多く、続いて 5m から 12m の「中」、5m 以下の「低」は全体の 5.9%と少なかった。ブナの樹冠位置は、樹冠が上空から見える位置にある「上」が全体の 82.0%と大部分を占めていた。

イヌブナについては、「高」、「中」、「低」がほぼ同じ割合であった。樹冠位置は「上」が全体の 1/3、「下」が 2/3 であり、樹高の「高」の個体の大部分は林冠に達し、「中」、「低」のほとんどが下層木となっていた。

樹高および樹冠位置と衰退度を見ると、ブナ、イヌブナ両種とも、樹高が低く樹冠位置が「下」の方で衰退度が高く、衰退度の高い要因はおもに被圧によるものと考えられた。

4 考察

4-1 ブナ、イヌブナの個体数

今回の調査で得られた最も価値のある成果の 1 つが、筑波山に生育するブナ、イヌブナの個体数が明らかになったことであろう。森岡 (2008) は、おもに空中写真の判読により、筑波山には標高 550m より高いところに、1,916 個体のブナが生育すると推定し、樹冠の分布図を作成した (図 11)。これは筑波山全体のブナの個体数についてはじめて言及した研究であった。今回の調査で明らかになったブナの個体数は生木で 7,073 個体であり、森岡の数値の 3.7 倍であった。少なかった原因は、林冠に達していない個体や樹冠の形から 1 個体と考えられたものが複数個体を含んでいたなどが考えられるが、分布図上でのブナの分布パターンは今回と森岡の結果はよく一致している。両者の結果をさらに比較検討すれば、空中写真の判読で個体数の推定がある程度正確にできる可能性がある。

当初筑波山のブナの個体数は、森岡の 1,916 個体に林冠に達しないブナを加えて 3,000 個体程度かと推定したが、7,073 個体は推定値を大きく上回る数字であった。Hiraoka and Tomaru (2009) が言及した筑波山のブナ個体群が持つ高い遺伝的多様性は、一要因としてこの個体数が支えているものと考えられる。また、イヌブナの生木 1,649 個体も予想以上の個体数であった。特に北斜面に集中して分布しているところでは、ブナの個体数を上回っていた。

4-2 ブナ、イヌブナの分布と標高

今回の調査で確認したブナの分布下限は 520m であった。一般にブナの分布下限は暖かさの指数 (WI) で WI=85 といわれているが (吉良, 1948), 原 (2006a) によると, 八溝山地, 阿武隈山地, 北上山地など太平洋側の地域では WI=90 付近になるという。これは, 筑波山では標高 500m 前後にあたり, 今回の調査結果にほぼ一致した。茨城県内の笠間市佐白山や鶏足山塊などの八溝山地中部では, 例外的に分布下限が低下し WI=105 までに達し, 標高 100-200m にもブナが生育している。これは, 常緑広葉樹の分布が欠損しているところで, 遺存的に残存していると考えられる (原, 2006a)。筑波山では, アカガシやウラジロガシがブナの分布域と重なって生育しており, そのせめぎ合いのため分布下限はそれほど低下しないと考えられる。筑波山南斜面では標高 650m より低くなるとブナの分布密度が小さくなる傾向が見られたが, これはアカガシ, ウラジロガシとのせめぎ合いの結果と考えられる。一方, 筑波山北斜面では標高 600m より低いところに高密度のブナの分布域が存在した。北斜面にはアカガシなどの常緑広葉樹はほとんど生育しておらず, これが高密度のブナの分布を許す要因であると考えられる。

また, 今回の調査で確認したイヌブナの分布下限は 540m で, ブナとほぼ同じ標高であった。イヌブナはブナよりも標高の低いところに分布するといわれる。原 (2007) は暖かさの指数で WI=95 を分布の下限と推定している。今回の調査において, 標高 550m から 500m の範囲では注意深くブナ, イヌブナを探したので, 見落とした個体が多くあることはないと考えられるが, 特に北斜面の標高 500m より低いところを丹念に踏査すれば, さらにブナ, イヌブナを発見できる可能性はあるかもしれない。

4-3 ブナ、イヌブナの分布と地形

ブナ, イヌブナの分布と地形との関係を見ると, ブナは尾根地形のところに明らかに分布が偏っている傾向が見られた。これは, 原 (2006b) の見解と一致している。また, イヌブナについては, 急傾斜地に偏って分布するといわれている (栃本ら, 2006; 原, 2007)。今回の調査でも, ブナに比べてイヌブナは尾根の中心線からずれて尾根と谷の間に分布していた。さらにイヌブナは男体山, 女体山の山頂や山頂を結ぶ尾根付近には分布しないのも同様の現象と思われる。

4-3 ブナ、イヌブナの分布と斜面の方向

ブナ, イヌブナの分布について興味深いのは, 両種ともに北斜面と南斜面で分布の様子がまったく違っていたことである。ブナについて見ると, 南斜面に大径木が多く比較的一様に分布するのに対し, 北斜面では大径木が少なく, 集中して分布するところと分布しないところがあるということである。胸高直径で比較すると, 北斜面中央部では 24.9cm, 女体山の南斜面では 44.7cm であり大きな差が見られた。イヌブナについてはさらに偏りが極端で, 南斜面にはほとんど分布せず, 大部分は北斜面に分布していた。

この原因として 2 つの理由が考えられる。1 つは北斜面と南斜面の自然環境の違いである。日射量, 平均気温, 降水量などの気象要因と, 斜面の傾斜角などの地形要因が考えられる。斜面ごとの気象データはないが, 日射量, 平均気温は南斜面の方が高いであろう。

傾斜角は南斜面の方が急傾斜で等高線の間隔は南斜面と北斜面でおよそ 2 倍の違いがある。

もう 1 つは人為的要因である。筑波山の南斜面はそのほとんどが筑波山神社の社有林で古くから神社の保護を受け、ブナの生育する森林はほとんど伐採されずに現在に至っていると考えられる。一方、北斜面は、つくば市と桜川市の市有林を含むがほとんどは国有林となっている。ここは以前から林業的施業が行われ、現在スギ・ヒノキ人工林やイヌシデやアカシデの優占する二次林が多い。

北斜面と南斜面のブナ、イヌブナの分布の違いは、この 2 つの要因のうちどちらかが単独で働いているわけではなく両方の影響があると思われる。南斜面にはアカガシ、モミ、カヤ、イヌガヤ、シキミ、アオキなどの常緑樹、北斜面には、イヌシデ、アカシデなどのシデ類、イヌブナ、ハクウンボク、シナノキ、アワブキなどの落葉樹が特異的に出現するのも、これと関連のある現象であると考えられる。

そこで、斜面の方向（南斜面か北斜面か）ごと、土地の所有者（神社林か国有林+市有林か）ごとにブナ、イヌブナの胸高直径のデータを解析して、表 11~14、図 12~16 を作成し、胸高直径階分布の比較と分布図上での分布の特徴の比較を行ったが、同様の傾向が見られた。

1948 年に米軍により撮影された空中写真にブナの分布図を重ねてみると（図 17）、南斜面は一様に森林に覆われており、現在ブナが分布しているところは当時もブナ林だったことがうかがえる。北斜面では、当時皆伐されたところには現在ブナは分布せず、反対に現在ブナが分布しているところは当時森林であったことが分かる。

イヌブナは、もともと南斜面に分布しなかったのではなく、極相林の様相を呈している南斜面では遷移の進行により次第に駆逐されてしまったと考えられる。北斜面のイヌブナが分布しているところは、おもにイヌシデやアカシデの優占する二次林であり、ここは以前薪炭林として利用していたと考えられる。ここでは炭焼き窯の跡と思われるところが何か所か見つかっている。その下層には小径木のブナも生育しており、やがてブナが成長してブナ林になると考えられる。つまりイヌブナは遷移の途中相に現れる二次林構成種であろうと考えられる。

一方、ブナとイヌブナは遷移系列上の前後に位置づけられるのではなく、地形的に安定斜面と不安定斜面をすみわけているようにも見える。ブナが安定した尾根や急斜面の上部をすみかとし、イヌブナは比較的不安定な尾根と谷の間の斜面や遷急線より下の斜面に分布するという考えである。

4-4 ブナ、イヌブナの分布と衰退度

筑波山において衰退度指数 4, 5 と判断されたブナは 320 個体で生木全体の 4.5%であり、筑波山のブナの個体群は比較的健全であると考えられる。

衰退度指数の大きい個体のうち、大径木は男体山から御幸ヶ原を經由し女体山へ向かう登山道沿い、女体山、男体山の南東向き斜面に多い傾向が見られた。

奥日光、足尾、赤城山地において、1982 年の台風 10 号による風害が南東向き斜面で起こっていることが知られており（谷本ら、1996）、この地域でも同様の現象が起こっている可能性がある。

似た現象として、丹沢山地において、南東斜面においてブナ林の枯損現象が知られている。越地ら（1996）は、その直接の原因をならたけ病としている。丸田ら（1999）は、首都圏の酸性霧やオキシダントなど、大気汚染物質が南方向から流れ込みブナに被害を与えたという。さらに、平野（1998）は、GIS を活用して、ブナ林衰退と標高や地形との関係を論じている。

また、山頂付近の登山道沿いでは、特に大径木の衰退が目立つ。これは、建築物の影響、登山者による踏圧の影響などが原因といわれることがあるが（茨城県公害技術センター、1997）、ブナ本来の生理的寿命が近づいていることも原因の1つと考えられる。むしろ、後継樹が存在しないことの方が大きな問題であると思われる。

5 筑波山のブナ林保全の方策

5-1 継続的なモニタリング

ブナの胸高直径階分布を見ると、直径 20cm から 30cm の比較的小さな個体が多い。これらの個体は、すぐに寿命が近づき衰退に向かうということはないと考えられるので、筑波山のブナ林が今後数十年の間に急激に衰退に向かうということはないであろうと思われる。

しかし、直径 10cm 未満の個体になると、急激に個体数が少なくなっていることから、現時点での筑波山のブナ林では後継樹が欠如していると考えられる。ただし、大径木が倒れて林内に空所が発生したとき、地表面にブナの種子が供給され、ブナの後継個体が発芽成長するかどうかを見守っていく必要がある。

ブナの分布と直径を見ると、小径木の分布に偏りが見られた。特に小径木が集中して分布していたのは、北斜面と男体山の南西に伸びる尾根であった。反対に小径木がなく衰退度の大きい大径木が目立ったのは女体山の南東斜面であった。ここはアカガシとのせめぎ合いが顕著なところで、温暖化の影響（田中ら、2006）があるなら、その影響が最も早く現れるところと考えられる。

今回得られたデータを最大限に生かすためには、今後のブナ、イヌブナの変化について継続的にモニタリングしていく必要がある。

5-2 ブナの幼苗の育成と稚樹の移植

御幸ヶ原と女体山をつなぐ尾根では、特に建築物や登山者による踏圧の影響などが原因でブナ林の衰退が進んでいるといわれ、1990年からロープ柵、アズマネザサの刈り払いなどの施業が集中的に行われた。その一環として、筑波山で採取された種子から幼苗を育成し衰退したブナ林に移植するという事業が1991年から2004年にかけて、延べ109個体の稚樹が移植された（表15）。今回の調査で35個体の移植ブナの生育が確認された（表16、図18）。35個体中27個体が樹高5mを超えており、後継樹としての役割が期待できる。今後もこの事業を継続していくことは、保全の一環として重要である。

一方、ブナの種子の採取と幼苗の育成については、2000年以降うまくいっていない。健全な種子がなかなか見あたらず、種子を播種してもほとんどがシイナで発芽しない傾向が

ある。ブナの開花結実や健全種子の割合を継続的にモニタリングしていく必要があると思われる。

5-3 ロープ柵の設置とアズマネザサ刈り払い

御幸ヶ原から女体山に向かってすぐのところにあるカタクリの里周辺では、1990年からロープ柵を設置しその後現在まで総延長 837m に及ぶ柵を設置している。柵によって登山客の立ち入りが制限されたこの 20 年間で植生の回復が顕著に見られた。柵の中には樹高 5m を超えるイヌシデが成長しており、ブナの稚樹もわずかであるが見られる。植生の回復が直接ブナの更新に結びつかなくても、いったん他の樹種でギャップがふさがり、やがてブナが成長して置き換わると考えられる。

また、山頂付近に侵入し繁茂しているアズマネザサ刈り払いについては、刈り払いの回数、刈り払いの時期とアズマネザサの衰退との関係を実験的に試行して検討を重ねる必要があると考えられる。また、アズマネザサが衰退しても別の植物が繁茂し、ブナの更新につながらないこともあり得るので、できるだけ速やかに木本の群落を育成することにより、ササや草本の繁茂を押さえることが必要であると考えられる。

5-4 ブナ林保全の重要性に関する啓蒙と普及

2008 年より開始された筑波山におけるブナ・イヌブナの毎木調査の実施と筑波山ブナ林保護対策検討委員会の開催により、筑波山のブナ林保全施策の検討が 3 か年にわたり行われてきた。その事業の一環として、自然解説板の新設と更新、筑波山アカデミーなどのイベントによる啓蒙普及活動が行われている。また、県自然博物館やつくば市による自然観察会の実施、NPO 法人つくば環境フォーラムによる筑波山インストラクター養成講座の実施、県自然博物館による企画展の開催などにより、筑波山のブナ林をはじめとする自然の大切さが県民に浸透しつつある。

今後も、地道な啓蒙普及活動を継続し、筑波山の自然の大切さを次世代の子どもたちにつないでいく必要があると考える。

6 謝辞

この調査の遂行や報告書作成にあたって多くの方々の御協力をいただいた。現地調査では、小松崎茂氏をはじめとするミュージアムパーク茨城県自然博物館の職員、田中ひとみ氏、野村眞一氏、矢野徳也氏を中心とする特定非営利活動法人つくば環境フォーラムの会員の皆様には特に御苦勞いただいた。データのとりまとめにあたっては、(独)森林総合研究所の津山幾太郎氏とミュージアムパーク茨城県自然博物館の国府田誠一氏(平成 23 年 4 月よりつくば市立竹園東中学校)の多大なる貢献があった。

また、調査全般において、筑波山神社と筑波観光鉄道株式会社の御理解と御協力をいただいた。国有林および市有林における調査では、関東森林管理局茨城森林管理署、つくば市、桜川市からは特段の御配慮をいただいた。なお、この調査にかかる経費として、茨城県のほか、環境省環境研究総合推進費があてられた。ここに記して感謝の意を表する。

7 引用文献

- 原 正利(編). 1996. ブナ林の自然誌. 237 pp., 平凡社.
- 原 正利. 2006a. 東日本太平洋側におけるブナの分布とその下限を規定する要因について. 植生学会誌, 23: 1-12.
- 原 正利. 2006b. 東日本太平洋側におけるブナを含む森林群落の生態地理的特徴. 植生学会誌, 23: 137-152.
- 原 正利. 2007. 分布北限域におけるイヌブナの生態地理. 植生学会誌, 23: 153-170.
- Hiraoka, K., N. Tomaru. 2009. Genetic divergence in nuclear genomes between populations of *Fagus crenata* along the Japan Sea and Pacific Sides of Japan. J Plant Res. 122: 269-282.
- 平野勇二郎. 1998. GIS を用いた丹沢山塊, 檜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. 71A-7: 505-514.
- 福嶋 司. 2005a. ブナ林. 『植生管理学』(福嶋 司 編), pp. 27-32, 朝倉書店.
- 福嶋 司. 2005b. 極相群落の種類と分布. 『図説 日本の植生』(福嶋 司・岩瀬 徹 編著), pp. 68-69, 朝倉書店.
- 福嶋 司. 2005c. ブナ林の分布と体系. 『図説 日本の植生』(福嶋 司・岩瀬 徹 編著), pp. 70-75, 朝倉書店.
- 福嶋 司・高砂裕之・松井哲哉・西尾孝佳・喜屋武豊・常富 豊. 1995. 日本のブナ林群落の植物社会学的新体系. 日本生態学会誌, 45(2): 79-98.
- Fujii, N., N. Tomaru, K. Okuyama, T. Koike, T. Mikami and K. Ueda. 2002. Chloroplast DNA phylogeography of *Fagus crenata* (fagaceae) in Japan. Plant Syst. Evol. 232: 21-33.
- 藤田 昇. 1986. 日本海型のブナ林と太平洋型のブナ林の構造と組成. 種生物学研究, (10): 1-13.
- 藤田 昇. 1987. ブナ林構成樹種の太平洋型分布と日本海型分布. 植物分類地理, 38: 311-329.
- 茨城県自然博物館維管束植物調査会. 1998. 筑波山・霞ヶ浦の維管束植物. 『茨城県自然博物館第1次総合調査報告書—筑波山・霞ヶ浦を中心とする県南部地域の自然—』(菅谷正司・小幡和男・倉持眞寿美・久松正樹・高橋 淳・池澤広美・小池 渉編), pp.109-121., ミュージアムパーク茨城県自然博物館.
- 茨城県公害技術センター. 1997. 平成9年度筑波山ブナ林の衰退調査. 93 pp.
- 吉良龍夫. 1948. 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて. 寒地農学, 2: 143-173.
- 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・志摩 克・堀江勝年・青木正敏・土器屋由紀子・伊豆田 猛・戸塚 績・横井洋太・坂田 剛. 1999. 丹沢・檜洞丸におけるブナ林の枯損と酸性降下物. 環境科学会誌, 12(2): 241-250.
- 森岡裕子. 2008. 筑波山におけるブナ開葉期の航空写真を用いたブナ分布の把握. 筑波大学第二学群生物資源学類生物資源科学主専攻平成19年度卒業論文, 48 pp.

- 中静 透. 2004. 森のスケッチ, 236 pp., 東海大学出版会.
- 島野光司. 1998. 何が太平洋型ブナ林におけるブナの更新をさまたげるのか?. 植生地理・分類研究, 46(1): 1-21.
- 鈴木昌友・清水 修・安見珠子・安 昌美・藤田弘道・中崎保洋・和田尚幸・野口達也. 1981 茨城県植物誌, 339 pp.
- 田中信行・松井哲哉・八木橋勉・埴田 宏. 2006. 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, 11: 11-20.
- 谷本丈夫. 1992. 筑波山の植生. 『筑波山 つくばの自然誌 I』(学園都市の自然に親しむ会編), pp. 42-52, STEP.
- 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.
- 栃本大介・石田弘明・服部 保・福井 聡・浅見佳世・武田義明. 2006. 六甲山におけるブナ・イヌブナ個体群の現状とブナ林の復元可能性. 日本造園学会誌, 69(5): 491-496.
- 栃本大介・服部 保・武田義明・澤田佳宏・石田弘明・福井 聡. 2007. 六甲山に生育するブナの分布位置と個体サイズ. 人と自然, 17: 79-84.
- Tomaru, N., M. Takahashi, Y. Tsumura, M. Takahashi and K. Ohba. 1998. Intraspecific variation and Phylogeographic patterns of *Fagus crenata* (Fagaceae) mitochondrial DNA. American Journal of Botany. 85(5): 629-636.
- 山家義人. 1979. スギ・ケヤキ採点法. 『図説 環境汚染と指標生物』(松中昭一編), pp. 10-11. 朝倉書店.