

富山県の低標高ブナ・イヌブナ人工林における
43年生までの林分成長
— 県外ブナ人工林および県内広葉樹二次林との比較 —

中島 春樹

Stand growth of 43-year-old *Fagus crenata* and *F.japonica* plantations
in the lowland area of Toyama Prefecture, central Japan: A comparison
with other *F.crenata* plantations and secondary broad-leaved forests

Haruki NAKAJIMA

富山県農林水産総合技術センター
森林研究所研究報告

No.10 平成30年3月31日 発行

Reprinted from

BULLETIN

OF

THE TOYAMA FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

No.10 2018.3

【論文】

富山県の低標高ブナ・イヌブナ人工林における43年生までの林分成長
— 県外ブナ人工林および県内広葉樹二次林との比較 —

中島 春樹

Stand growth of 43-year-old *Fagus crenata* and *F. japonica* plantations
in the lowland area of Toyama Prefecture, central Japan:
A comparison with other *F. crenata* plantations and secondary broad-leaved forests

Haruki NAKAJIMA

富山県砺波市頼成の標高130mに位置するブナ人工林とイヌブナ人工林において、43年生時点の林分構造、成長量、穿孔虫被害状況を調べた。林分材積はブナ林で192m³/ha、イヌブナ林で258m³/haであり、県外のブナ人工林や県内の広葉樹二次林と同等以上だった。29年生時点からの林分材積成長量は、ブナ林は4.3m³/ha/yrで標準的な広葉樹二次林の4.0m³/ha/yrと同等、イヌブナ林は10.4m³/ha/yrで標準的なブナ人工林の10.0m³/ha/yrと同等だった。ブナ林の成長がイヌブナ林より悪かった理由として、ブナにのみ穿孔虫被害が発生していることや、ブナの分布下限域の標高帯に位置しており温暖な気候がストレスになったことが考えられた。ブナ林の本数密度は29年生時点から約3割減少したが下層木の枯死によるものだった。イヌブナ林の本数密度は29年生時点からほとんど変化がなく、29年生時点で疎な林分であったためだと考えられた。クワカミキリによる穿孔被害は、29年生時点と同じくブナにのみ発生していたが、進行中の被害木の割合は4%で29年生時点より減少していた。温暖な低標高域においてブナを人工造林しても成林し、少なくとも二次林とは遜色ない材積成長をすることが明らかとなったことから、これまでブナがほとんど植栽されなかった低標高域においても、ブナを造林樹種として用いることは可能である。

キーワード：ブナ、イヌブナ、植栽、林分材積、クワカミキリ

1. はじめに

森林には木材生産のみならず、生物多様性保全や保健休養の場の提供などの環境保全機能があることが広く認識されるようになり、広葉樹造林への注目が高まっている（豪雪地帯林業技術開発協議会 2014）。富山県においては、雪崩防止や保安林の改良を目的とする事業や、山腹崩壊跡地の森林復旧事業で広葉樹造林が実施されてきている（長谷川 2006；長谷川ら 2007）。近年では、ナラ枯れ跡地の森林再生を目的とした事業や、企業による社会貢献活動としても広葉樹造林が実施されている。しかしながら、これまでに全国各地で実施されてきた広葉樹造林では、不適地への植栽、病虫獣害、誤伐などにより成林しなかった事例も多いことから、広葉樹の造林技術を高めていくためには、失敗事例に

学ぶとともに、成功事例を参考にしていく必要がある（豪雪地帯林業技術開発協議会 2014）。

ブナは日本の冷温帯の天然林に広く分布する高木樹種で、とくに日本海側の多雪地に多い。このことには、急傾斜の多雪地でもブナの幹は直立できることや（紙谷 1984；Homma 1997）、種子散布から実生定着までの更新初期過程におけるブナの生存に多雪環境が有利であること（Shimiano and Masuzawa 1998；Homma *et al.* 1999）が関係している。また、耐陰性が高い遷移後期種であることから（Koike 1988）、旧薪炭林に多いブナとミズナラの混交する二次林では、林分成長とともにブナの優占度が高まっている（Nakajima and Ishida 2014）。このような生理的、生態的な特性を持つため、ブナは富山県の天然林で最も資源量が多い樹種となってお

り(中島 2018), 周辺にブナが天然分布する箇所において自然植生の早期回復を目指し人工造林する場合には, 植栽樹種としてブナを用いることが多い(石田 2004a; 長谷川 2006; 長谷川ら 2007)。

ブナの人工造林についての研究は, 20年生程度までの若齢期における成長や被害に関するものは失敗事例を含め数多くあるが(橋詰・福富 1983; 橋詰・黒井 1989; 樋口・小野寺 1992; 長谷川ら 1994; 橋詰ら 1994a; 橋詰ら 1994b; 今井・飛岡 2000; 吉野・前田 2000; 小山ら 2002; 前田 2004; 長谷川ら 2007; 長谷川・相浦 2009; 米山ら 2010; 飯田ら 2011), 造林が成功し林冠が閉鎖した後の生育状況に関する報告はあまりない(阿部 1963; 只木ら 1969; 中沢 1982; 函館営林局計画課 1985; 池田ら 1997; 塚原 2001; 石田ら 2004; 小谷 2008)。とくに同一林分での再測定により成林後の林分成長を調べた報告は少なく(中沢 1982; 函館営林局計画課 1985), 植栽時から数十年にわたり調査を継続している事例は見あたらない。

富山県砺波市頼成には, 広葉樹林の造成技術を検討するために, 富山県林業試験場が1974年秋にブナ, キハダ, トネリコを植栽した造林地があり, 1~2年おきに林齢9年生まで樹高成長や生存率が調べられている(野越ら 1975, 1976, 1977; 中川 1978, 1979, 1981; 野越 1983)。これら3樹種のうち, キハダとトネリコについては9年生までに生存率が10%以下となり調査を中止したが(野越 1983), ブナについては29年生となった2002年に20年ぶりに調査を実施し, 林冠閉鎖後の林分構造や穿孔虫被害の状況が報告されている(石田ら 2004)。このため, 植栽時から長期間調査が継続され, かつブナ人工造林の成功事例とも言える貴重な造林地となっている。また, この造林地は9年生までブナの植栽地として調査されているが(野越ら 1975; 野越 1983), 実際にはブナとイヌブナが区画を分けて植栽されており, 石田ら(2004)はブナ植栽区とイヌブナ植栽区それぞれについて調査している。イヌブナは主に太平洋側に分布する樹種で(Suzuki and Miyawaki 2001), 富山県に天然分布していないが(大田ら 1983), イヌブナの人工林についての報告は見あたらず, この意味でも貴重な造林地となっている。

頼成のブナ人工造林地は標高130mにあり,

富山県では200m以下の標高帯に対応する(石田 1991) 暖温帯(照葉樹林帯)に位置する(石田ら 2004)。県内ではこの標高帯までブナの天然林が分布しており, 本人工林の東方約900mの砺波市市谷には標高120mにブナ林があるなど, 県西部の丘陵地帯にはブナ小集団が標高120~270mに点在している(Ohkawa *et al.* 1998)。その一方で, 富山県におけるブナの天然分布の中心は冷温帯にあり, 標高400m以上で普通に見られ, 800~1600mにブナが優占する森林が多い(石田 2003; 中島・小林 2014; 中島 2018)。従って, 本人工林はブナの分布下限域の温暖な条件下にあると言える。このような立地でのブナの生育に影響しうる要因として, 温暖な気候そのもののほかに, 標高が低いほど発生しやすいクワカミキリによる穿孔被害があるが(岡田・永幡 1996; 小山・岡田 2004), 頼成のブナ人工林でも29年生時点で被害が確認されている(石田ら 2004)。従って, 本人工林の生育状況を明らかにすれば, これまでブナの主な分布域である比較的高い標高帯で実施されてきたブナの植栽を, より低標高域においても実施してよいか検討できるだろう。

以上のとおり, 頼成ブナ・イヌブナ人工林は, 植栽時から数十年間調査を継続している成功事例といえる広葉樹造林地であること, ブナの分布標高帯の下限付近に位置すること, 稀少なイヌブナ人工林であること, という特質があるので, その生育状況を明らかにすれば, 今後の広葉樹造林の参考資料にできる。このことから, 29年生時点の前回調査(石田ら 2004)から14年経過した43年生時点で再調査を実施し, 林分構造, 成長量, 穿孔虫被害状況を明らかにした。また, 林分材積や成長量を, 他のブナ人工林や広葉樹二次林と比較して評価した。

なお, 石田ら(2004)は植栽から28年後の2002年に28年生で調査を行ったとしているが, 本稿では植栽年を1年生とし, 石田ら(2004)の調査は29年生で行われたこととした。

2. 調査地

2-1 位置と気候

砺波市頼成のブナ・イヌブナ人工造林地は, 東経137度2分43秒, 北緯36度37分47秒(WGS84), 標高130mに位置する。気象庁のメッシュ平年値2010(国土数値情報ダウン

ロードサービスhttp://nlftp.mlit.go.jp/ksj/より2017.12.27入手)によれば、調査地を含む3次メッシュ54377053(平均標高131.8m, 国土数値情報の標高・傾斜度3次メッシュによる)の年降水量は2227.7mm, 年最深積雪60cm, 年平均気温12.9℃, 暖かさの指数102.7, 寒さの指数-7.5である。

2-2 造林と調査の経過

ブナ・イヌブナ人工造林地は西向き斜面の中腹にあり、傾斜は10~45度、平均約30度で、土壌型はBDからBD(d)である(野越ら 1975; 石田ら 2004)。1974年10月下旬に、富山県林業試験場による有用広葉樹植栽試験として、スギ伐採跡地に苗が植栽された(野越ら 1975)。造林地は、密植区2区画と疎植区2区画の合計4区画に区分され、南から北に向かい密植区、疎植区、密植区、疎植区の配置とし、植栽密度10000本/haの密植区(2区画の合計813m²)では813本

の苗が、植栽密度5000本/haの疎植区(2区画の合計1275m²)では651本の苗が植栽された。植栽には購入した4年生苗が用いられ、苗高の平均値は密植区で40.9cm, 疎植区で48.5cmだった。野越ら(1975)はブナを植栽したとしているが、実際にはイヌブナも植栽されており、野越ら(1975)の植栽区画の配置を示した図と、現在の立木の位置(図-1)を照合すると、南側の密植区と疎植区にブナが植栽され、北側の密植区と疎植区にイヌブナが植栽されたと推定できる。石田ら(2004)が野越氏に聞き取ったところによると、苗の産地は、ブナは富山県の有峰、イヌブナについては不明である。

この植栽試験では、キハダとトネリコの密植区と疎植区がブナ、イヌブナ造林地に隣接して同時に設けられており、その密植区と疎植区をあわせた面積と植栽本数は、キハダで1582m², 1156本, トネリコで1019m², 841本だった。

植栽後、約5年間下刈りが実施されたが、そ

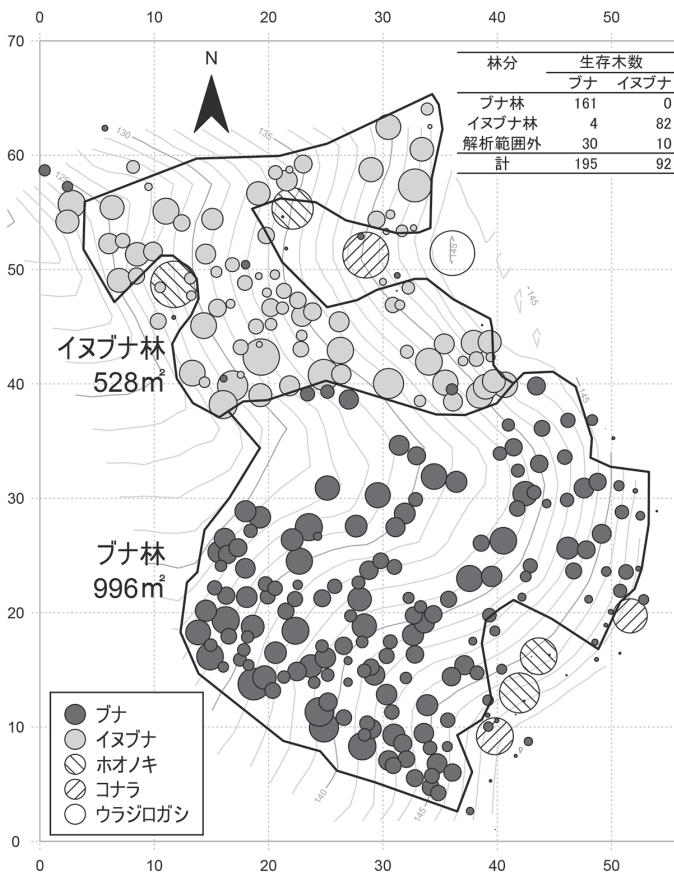


図-1 生存木の位置図

円の大きさは胸高直径と相対関係にある。
座標軸の単位はm。等高線間隔1m。

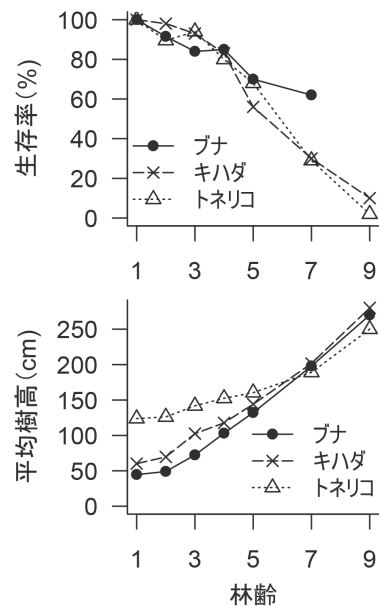


図-2 植栽から林齢9年生までの生存率と平均樹高の推移

野越ら(1975, 1976, 1977), 中川(1978, 1979, 1981), 野越(1983)より作図。ブナとイヌブナの区別をせず調査されたため、「ブナ」にはイヌブナを含む。ブナについては9年生時点の生存率の記録がない。4年生までの生存率は、疎植区と密植区別に記録されていたため、その平均値を用いた。平均樹高は疎植区と密植区別に記録されていたが、大きな違いがないため(ブナ9年生時の差は30cm), 疎植区と密植区の平均値を用いた。

の後は除間伐などの施業は行われなかった(石田ら 2004)。林齢9年生まで1~2年おきに生育状況が調査された(図-2)。ブナ(イヌブナを含む)の生存率は7年生で62%, 平均樹高は9年生で2.7mだった。キハダとトネリコの生存率は9年生でそれぞれ10%, 2%となり, 成林の見込みはなくなった(野越 1983)。その後, 林齢29年生の2002年に, ブナ, イヌブナ造林地について石田ら(2004)による調査が実施された。

3. 方法

3-1 現地調査

林齢43年生となった2016年7月に, 造林地内の胸高直径1cm以上の生存木について, ブナ, イヌブナ以外の樹種も含め胸高直径を測定するとともに位置を測量した。直径がばらつくように選定したブナ28本, イヌブナ26本について, レーザー測高器で樹高を測定した。

クワカミキリによる穿孔被害に特徴的な, 規則的な排糞孔や直径約1cmの脱出孔(岡田・永幡 1996; 布川 1999)が一部の造林木に確認されたため, 新鮮な糞の付着した排糞孔がある場合, 進行中の穿孔虫被害ありと記録した。

3-2 林分区間の設定と材積の算出

石田ら(2004)の測量による樹木位置と今回の測量による樹木位置を照合し, 29年生時点の調査木と43年生時点の調査木を対応させた。上述のとおり, 植栽時には, 造林地南側からブナ密植区, ブナ疎植区, イヌブナ密植区, イヌブナ疎植区に区分されていたと考えられる。しかし, ブナとイヌブナの植栽区画の境界は現在の生育樹種から推定できるものの, それぞれの樹種における密植区と疎植区の境界は判別できなくなっている。また, 造林地内には, 植栽時からの保残木とみられるホオノキ, コナラ, ウラジロガシが生育しており(図-1), これらの保残木周辺や造林地内でも外周に近い部分では, 造林木が保残木や区画外の立木に被圧され成長が悪い部分がある。このため, 石田ら(2004)と同じく, 造林地をブナ林(996m²), イヌブナ林(528m²), 保残木周辺などの解析範囲外に3区分し(図-1), 林分構造の解析はブナ林とイヌブナ林について行うこととした。なお, 一部の造林木について, 石田ら(2004)の測量位置に誤りがあったため, ブナ林, イヌブナ林, 解析範囲外の区

分を修正した。また, 一部の造林木の樹種の誤りも修正した。

ブナとイヌブナについて胸高直径と樹高の関係式を作成し, すべての生存木の樹高を推定したうえで, 胸高直径と樹高の2変数による幹材積式(林野庁計画課 1970)を用いて43年生時点の林分材積を算出した。また, 29年生時点の林分材積は, 石田ら(2004)では胸高直径1変数材積式を用いて算出していたが, 今回用いた胸高直径と樹高の関係式と幹材積式を用いて算出し直した。

以下で示す29年生時点の林分構造に関する値は, 石田ら(2004)の示した値と一致しない。これは, 上述のとおり, 過誤の修正と材積算出方法の変更に伴うものである。

3-3 富山県外のブナ人工林の林分成長

頼成のブナ, イヌブナ人工林の林分成長を他のブナ人工林と比較して評価するため, ブナ人工林の林齢, 林分材積, 本数密度, 平均胸高直径の記録がある資料を収集した。富山県の資料はなかったため, すべて県外の資料となり, 新潟県16林分(阿部 1963; 只木ら 1969; 中沢 1982), 北海道1林分(函館営林局計画課 1985), 石川県1林分(小谷 2008), 静岡県1林分(池田ら 1997)の値を得た。うち新潟県の1林分と北海道の1林分は再調査が実施されていた。

3-4 富山県内の広葉樹二次林の林分成長

頼成のブナ, イヌブナ人工林の林分成長を広葉樹二次林と比較して評価するため, 県内の二次林に設定された16個の固定調査地において約5年間隔で実施した毎木調査データ(Nakajima and Ishida 2014)を用いた。初回調査時において, ブナが第1優占種の調査地を「ブナ二次林」, ミズナラまたはコナラが第1優占種の調査地を「ナラ類二次林」に区分した。ナラ枯れの影響がある場合の2009年以降のデータおよび80年生以上のデータは用いなかった。調査地ごとに胸高直径と樹高の関係式を得たうえで, 本研究と同様にして林分材積を調査回ごとに算出し, 前後の調査回の林分材積から林分材積成長量を得た。ブナ二次林は6調査地の49~77年生時点における延べ24回の測定データから, 18期間の林分材積成長量を得た。ナラ類二次林は10調査地の25~65年生時点における延べ46回の測定データから, 36期間の林分材積成長量を得た。

4. 結果

4-1 生育本数

胸高直径1cm以上のブナとイヌブナの生存本数は、それぞれ195本、92本だった(図-1)。このうち、ブナ林にはブナ161本、イヌブナ林にはイヌブナ82本とブナ4本、解析範囲外にはブナ30本とイヌブナ10本が生育していた。

ブナ林、イヌブナ林とも林冠は閉鎖しており、植栽したブナ、イヌブナ以外の非植栽樹種の侵入は少なかった。胸高直径1cm以上の非植栽樹種の生育本数は、ブナ林では3本(すべてヒサカキ)、イヌブナ林では17本(ヒサカキ12、ヤマボウシ2、コシアブラ1、ユキツバキ1、ムラサキシキブ1)であり、最大直径はブナ林で2.9cm、イヌブナ林で3.2cm、胸高断面積割合はブナ林で0.03%、イヌブナ林で0.33%に過ぎなかった。また、イヌブナ林にはブナが4本生育していたが、

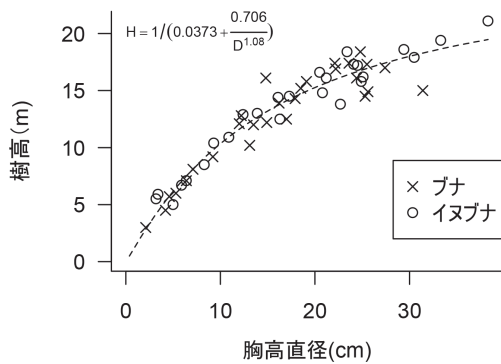


図-3 胸高直径と樹高の関係

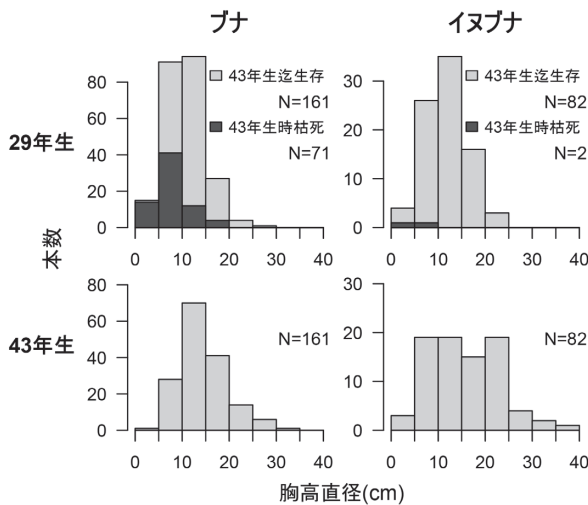


図-4 29年生および43年生時点の直径分布
29年生時点の直径分布は、43年生時点の生死別に示す。

直径は3.2~9.5cmで胸高断面積割合は0.80%に過ぎなかった。このことから、以下では、ブナ林はブナのみ、イヌブナ林はイヌブナのみを用いて示す。

ブナ林では161本中153本、イヌブナ林では82本中80本は単幹個体だった。単幹個体以外はいずれも2本の幹からなる個体だった。萌芽幹や実生として29~43年生の間に新たに加入したブナ、イヌブナはなかった。

4-2 胸高直径と樹高の関係

胸高直径と樹高の関係は、ブナとイヌブナの間に大きな違いはなかったため、両種共通の関係式を得た(図-3)。直径20cmで樹高約15m、30cmで約18mだった。

4-3 直径分布と直径成長

ブナ林では、29年生、43年生時点とも直径10~15cmの幹が最も多かったが(図-4)、平均直径は10.5cmから14.3cmに増加した(表-1)。29年生で小径だった幹ほど43年生では枯死しており、5cm以下の幹ではほとんどが、5~10cmの幹では約4割が枯死していた(図-4)。43年生での最大直径は31.4cmだった。

イヌブナ林では、29年生では胸高直径10~15cmの幹が最も多かったが、43年生では5~15cmと20~25cmの幹が多い二山型の分布となり(図-4)、平均直径は11.6cmから15.7cmに増加した(表-1)。イヌブナの枯死は小径の2本のみだった(図-4)。43年生での最大直径は38.3cmでブナより直径が大きい幹があった。

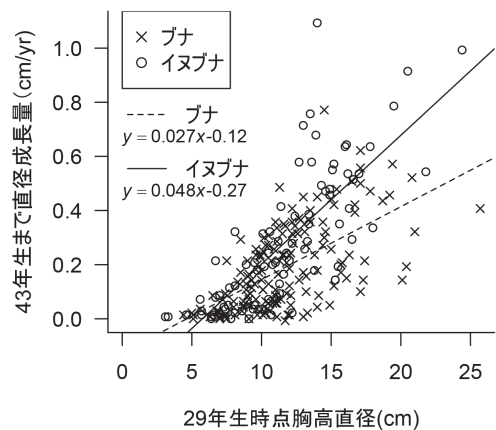


図-5 29年生時点の胸高直径と43年生までの直径成長量の関係

表-1 29年生および43年生時点の林分構造

林分	年	林齢	本数	密度	胸高直径 (cm)			胸高断面積	材積	材積成長
					/ha	平均 ± S.D.	最小			
ブナ林	2002	29	232	2329	10.5 ± 4.0	1.4	25.7	23.1	132	
	2016	43	161	1616	14.3 ± 5.2	4.6	31.4	29.5	192	4.3
イヌブナ林	2002	29	84	1591	11.6 ± 4.3	3.1	24.4	19.0	113	
	2016	43	82	1553	15.7 ± 7.4	3.2	38.3	36.7	258	10.4

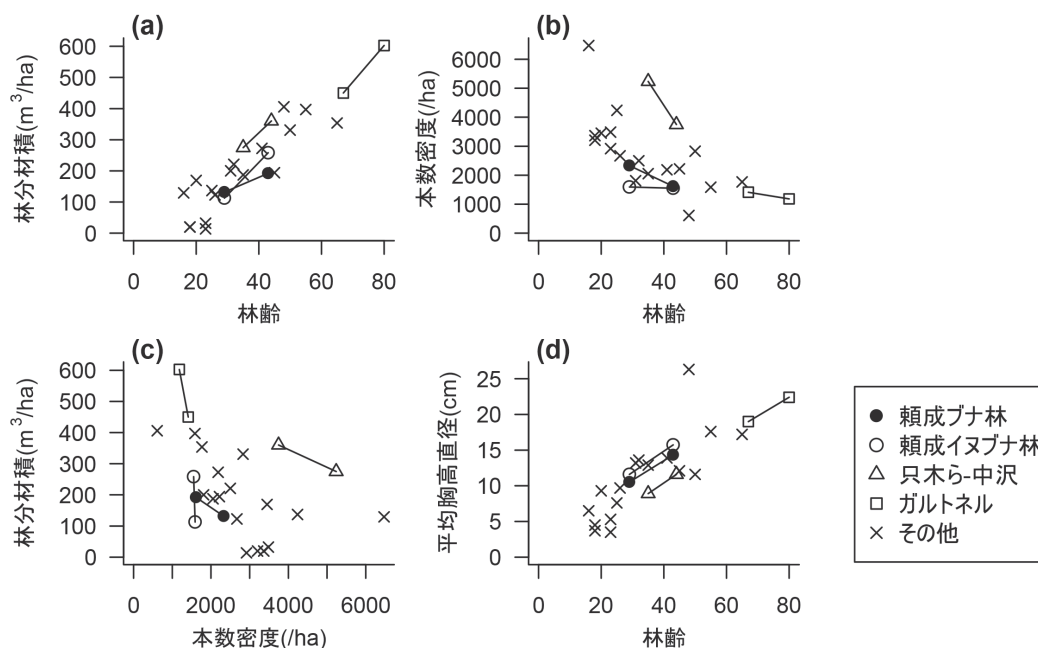


図-6 ブナ人工林の林齢，林分材積，本数密度，平均胸高直径の関係

「頼成ブナ林」と「頼成イヌブナ林」は、表-1に示した29年生と43年生時点の値を示した。「只木ら-中沢」は、只木ら (1969) が35年生時点で調査し、中沢 (1982) が44年生時点で再調査した新潟県の林分の値。「ガルトネル」は、北海道函館のガルトネル・ブナ林において林齢67～68年生時点と林齢80～81年生時点で調査された値 (函館営林局計画課 1985)。その他は1回のみ調査記録がある林分で、新潟県15林分 (阿部 1963, 中沢 1982), 石川県1林分 (小谷 2008), 静岡県1林分 (池田ら 1997) の値。中沢 (1982) については、ブナ以外の樹種を除いた値を利用。

29年生の直径と、29～43年生までの直径成長量の間にはブナ、イヌブナとも有意な正の相関があった (図-5, $p < 0.001$)。また、回帰直線の傾きはイヌブナの方が大きく ($p < 0.001$)、ブナより良く成長していた (図-5)。

4-4 本数密度と林分材積の推移

29年生から43年生までの14年間に、ブナ林の本数密度は2329本/haから1616本/haへと約3割減少した。林分材積は132m³/haから192m³/haに増加し、林分材積成長量は4.3 m³/ha/yrだった (表-1)。イヌブナ林の本数密度は1591本/haから1553本/haへとわずかに減少した。林分材積は113m³/haから2倍以上の258m³/haへと増加し、林分材積成長量は10.4 m³/ha/yrだった。

4-5 穿孔虫被害

進行中の穿孔虫被害は、ブナ161本のうち6本 (3.7%) で認められた。被害木の直径は14.6 ± 4.2cm (平均±標準偏差) であり、林分の平均直径14.3cmと同等でサイズに偏りはなかった。イヌブナには被害はなかった。

4-6 県外ブナ人工林の林分成長

県外のブナ人工林の林分材積は、40年生で200m³/ha程度、60年生で400m³/ha程度だった (図-6a)。本数密度は林齢とともに減少するが、40年生まではほとんどの林分で2000本/ha以上だった (図-6b)。再調査されている林分について年あたり材積成長量を求めると、只木ら (1969) と中沢 (1982) が調査した新潟県の林分では35～44年生の間に9.5m³/ha/yr、北海道のガルトネル・ブナ林では67～80年生の間に11.7

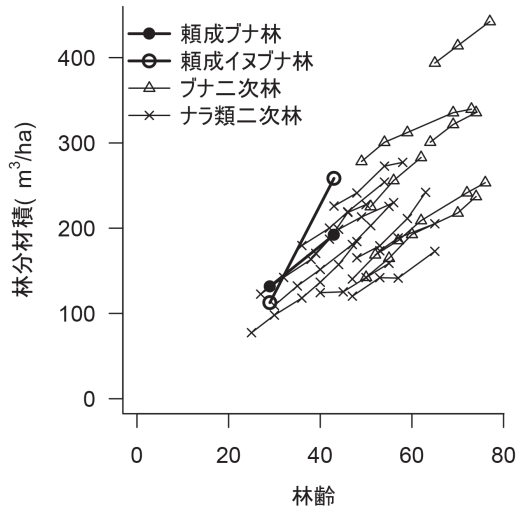


図-7 広葉樹二次林と頼成ブナ・イヌブナ人工林の林齢と林分材積の関係

富山県内の広葉樹二次林に設置された16個の固定調査地における約5年間隔の調査データ (Nakajima and Ishida 2014) を用いて、表-1に示した頼成ブナ・イヌブナ林の29年生と43年生時点の値と比較した。

m³/ha/yrだった (函館営林局計画課 1985)。また、小谷 (2008) は樹幹解析から15~16年生の間の材積成長量を9.2m³/ha/yrと推定しており、いずれも10m³/ha/yr程度だった。

4-7 県内広葉樹二次林の林分成長

県内の広葉樹二次林では、いずれの林分でも林分材積は林齢とともに直線的に増加しており、林分によるばらつきは大きいものの、40年生で150m³/ha程度、60年生で230m³/ha程度が標準的な値だった (図-7)。林分材積成長量は、ブナ二次林で3.7±1.3m³/ha/yr (平均±標準偏差)、最大6.1m³/ha/yr、ナラ類二次林で4.0±1.8m³/ha/yr、最大7.8m³/ha/yrであり、約4m³/ha/yrが平均的な成長量だった (図-8)。

5. 考察

5-1 林分材積

頼成のブナ人工林とイヌブナ人工林では、29年生から43年生までの14年間に、いずれの林分でも林分材積や平均胸高直径は増加していた (表-1)。本数密度は、29年生時点からブナ林では約3割減少したが (表-1) 下層木の枯死によるものであり (図-4)、イヌブナ林ではほとんど変化がなく (表-1)、いずれの林分でも林冠が閉鎖した状態が保たれていた。既往調査資料から、40年生での標準的な林分材積は、ブナ人

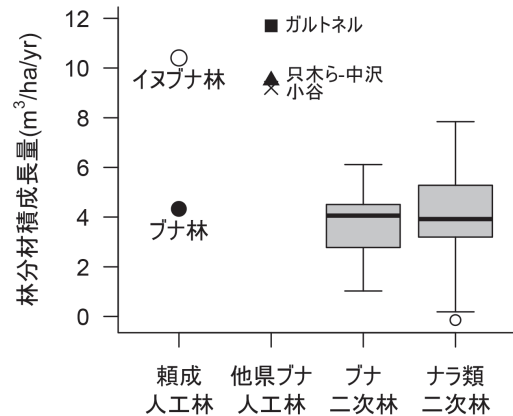


図-8 林分材積成長量の比較

頼成人工林は表-1に示した値。他県ブナ人工林の「ガルトネル」と「只木ら-中沢」は図-6に示した値から算出。「小谷」は小谷 (2008) による樹幹解析から推定された値。ブナ二次林とナラ類二次林は図-7に示した値から算出。

工林で200m³/ha程度 (図-6a)、広葉樹二次林で150m³/ha程度と考えられ (図-7)、頼成の43年生人工林では、ブナ林は192m³/haでこれらと同等、イヌブナ林は258m³/haで同等以上だった。以上のことから評価すれば、頼成のブナ、イヌブナ人工林は、おおむね林齢に見合った材積があり、着実に林分成長していると言え、広葉樹造林の成功例と捉えることができる。

既往調査資料から、標準的な林分材積成長量は、ブナ人工林で10m³/ha/yr、広葉樹二次林で4m³/ha/yr程度と考えられ、頼成ブナ林の4.3m³/ha/yrの値は人工林としては低かったが、広葉樹二次林とは同等だった (図-8)。一方、イヌブナ林の10.4m³/ha/yrの値は、他のブナ人工林と同等であり、広葉樹二次林よりも高かった。単木レベルで見ても、イヌブナはブナよりも旺盛な直径成長をしていた (図-5)。このように成長量はブナの方が少なかったため、ブナ林の林分材積は29年生時点ではイヌブナ林より多かったが、43年生時点では少なくなった (表-1)。ブナ林で成長が悪かった理由を特定することは難しいが、穿孔虫被害が29年生時点 (石田ら 2004)、43年生時点ともブナ林にのみ発生していたことや、ブナの分布下限域の標高帯に位置しており温暖な気候がストレスになったことが関係している可能性がある。ブナとイヌブナの両種が天然分布する地域では、多くの場合イ

ヌブナはブナより低標高まで分布することから (Suzuki and Miyawaki 2001), 頼成の温度条件はブナよりもイヌブナに有利であるのかもしれない。

5-2 本数密度

頼成のブナ林とイヌブナ林の本数密度は, 他の人工林と比較すると林齢の割にやや少なく (図-6b), 本数密度と林分材積の散布図 (図-6c) から見ても比較的疎な林分と考えられた。特に, 29年生時点のイヌブナ林における林分材積113m³/haで1591本/haの密度はかなり低く, このことが29~43年生の間に枯死木がほとんどなかったことと関係していると考えられた。平均胸高直径は他のブナ人工林と同等以上であり (図-6d), 比較的疎な状態にあることが関係していると考えられた。一方, 東北地方のブナ二次林を対象に作成された密度管理図 (小坂1986) を用いて収量比数を読み取ると, 29年生から43年生にかけてブナ林は0.77から0.82へ増加, イヌブナ林は0.68から0.88へ増加していた。このことから, 収量比数0.80以上となった43年生時点では, 他の人工林と比べれば疎であるもの, 二次林と比較すれば密な状態になっていると考えられた。ブナ林ではこの14年間に本数密度が自然枯死により約3割減少している (表-1), 引き続き自然枯死により自己間引きが進行していくと考えられる。イヌブナ林では, この14年間は枯死木がほとんどなかった (表-1), 太い木ほど成長が良く直径分布が二山型になるなど上下層の成長差が生じつつあり (図-4, 5), 収量比数によれば密な林分へと変化しているので, 今後自然枯死が増加していくと推察される。本人工林は用材林ではなく, 自然枯死による密度減少も期待できるが, 引き続き疎密度や立木の形状を観察し, 気象害発生防止等のため必要に応じて間伐を検討すべきだろう。

先に述べたように, 本人工林の本数密度は, 特に29年生時点のイヌブナ林で他の人工林に比べて疎になっていると考えられた。このような成林後の密度には, 植栽密度も当然に影響するので, 植栽時からの密度の変化をここで検討してみる。本人工林では密植区で10000本/ha, 疎植区で5000本/haの密度で植栽された (野越ら1975)。しかし, 29年生以降の調査では, 密植区と疎植区を区分できなかったため, 密植区と疎

植区の植栽本数合計と面積合計から造林地全体の平均植栽密度を算出すると7011本/haとなる。これに対し, 7年生時点では生存率62% (図-2, 中川1981), 4346本/haまで減少した。さらに, 29年生時点では, ブナ林で生存率33%に相当する2329本/ha, イヌブナ林で生存率23%に相当する1591本/haまで減少している。広葉樹造林では, 下刈り時の誤伐が幼齢林段階における主要な枯死要因となるが (前田2004), 本人工林では下刈りは約5年間実施したとのことなので (石田ら2004), 7年生以降に誤伐は発生していない。また, 7年生から29年生までの密度減少が被圧木の自然枯死によるものだとすると, 特にイヌブナ林では29年生を境に自然枯死が急激に減少したこととなり不自然である。このことから, 7年生から29年生にかけての密度減少には, 誤伐や自然枯死以外の, 雪害や病虫獣害などによる枯死が深く関係している可能性がある。

イヌブナは, 非攪乱条件下での萌芽能力が高いという樹種特性があり, 天然林では林内でも多数の萌芽幹を伴う株立ちとなる (大久保2002)。そして, 株内の林冠木あるいは周辺の林冠木の枯死によりギャップが形成されると, 下層木として生育していた幹が新たな林冠木へと成長するという更新様式を示す (大久保2002)。しかし, 頼成のイヌブナ林では, 多幹からなる株立ち個体はほとんどなく, 萌芽幹の加入も29~43年生の間にはなかった。一斉林では, 林冠が強度に閉鎖して下層植生に乏しい若齢段階ののち, 50年生程度となると林冠木の樹冠の間に隙間が生じ, 下層の光環境が改善して下層植生が発達する成熟段階へと移行する (Oliver 1981; 藤森2006)。頼成のイヌブナ林でも, このような林分の発達に伴い下層の光環境が改善すると, 林冠木が萌芽幹を発生させ多幹個体になっていくのかもしれない。このため, 今後, 林齢が高くなるにつれて, 萌芽幹の増加が本数密度や直径分布に影響する可能性がある。

5-3 穿孔虫被害

穿孔虫被害は, 29年生時点と同じく, 43年生でもブナだけに認められた。ブナにのみ被害が発生している理由として, 石田ら (2004) は, ブナはイヌブナよりも樹皮が薄いためにカミキリムシがブナを選好して産卵しているからかもし

れないとしている。ブナの被害率についてみると、29年生時点では、虫糞を伴う進行中の被害本数率は18%、被害跡のある立木も含めた被害本数率は37%だった(石田ら 2004)。これに対し、今回の43年生時点では、進行中の被害のみ調べたが、29年生時点よりも低い4%の被害率だった。29年生、43年生の穿孔虫被害とも、その規則的な排糞孔や直径約1cmの脱出孔(岡田・永幡 1996; 布川 1999)から、クワカミキリによるものと考えられる。岡田・永幡(1996)は、クワカミキリによる穿孔被害を直径40cmまでのブナについて調べ、10cm以下の小径木で少ない傾向はあるが、10cm以上では直径に応じて被害率が変化する傾向はないとしている。また、石田ら(2004)は、直径が太いほど被害率が高い傾向があるとしている。つまり、既往の調査では、直径が太いほど被害が少なくなる傾向は認められていない。従って、43年生での被害率減少の理由が、29年生時点からの直径成長にあるとは考えにくい。被害には年次変動があることも考えられるので、43年生時点で進行中被害が少なかったからといって、被害が収束しつつあると判断するのは早計であろう。

5-4 温暖な低標高域におけるブナの人工造林

本人工林は標高130mに位置し、暖かさの指数は102.7、寒さの指数は-7.5である。この気候は、暖温帯林(照葉樹林帯)の条件とされる暖かさの指数85以上かつ寒さの指数-10以上(吉良 1948, 1949)に該当し、吉良(1948, 1949)がブナ林の分布下限とした暖かさの指数85よりも温暖である。石川県や福井県では、このような暖かさの指数85以上の低標高帯にもブナ林が成立しており、日本海側の多雪環境が更新初期過程に有利であるためだと考えられている(Kure and Yoda 1984)。富山県にも同じような低標高ブナ林が県西部丘陵地帯の標高120~270mに点在している(Ohkawa *et al.* 1998)。従って、本人工林は暖かさの指数85を大きく超えているもののブナの分布域を外れているわけではなく、分布下限域に位置していると言える。そして、29年生と43年生時点の調査結果から、このような温暖な低標高域において人工造林しても成林し、少なくとも二次林とは遜色ない材積成長をすることが明らかとなった。

富山県では、標高400m以下のコナラが優占す

る標高帯(中島・小林 2014)において広葉樹造林を行う場合には、コナラ、クリ、ケヤキ、ヤマハンノキを用いることが多い。本人工林の生育状況は、このような標高帯においてブナを植栽樹種として用いる根拠となるだろう。ブナはコナラ、クリ、ヤマハンノキより耐陰性が高く、ケヤキより乾燥した立地にまで生育可能という樹種特性があるため(谷本 1990; 長谷川 2004; 石田 2004b)、光・水分条件による制限が少なく植栽適地が多いという利点もある。ただし、本人工林でも発生していたクワカミキリによる穿孔被害は、低標高ほど発生しやすいことが知られており(岡田・永幡 1996; 小山・岡田 2004)、材質悪化をもたらすうえ、材積成長を鈍化させる可能性もある。従って、環境保全林でなく、木材生産林の造成を目的とする場合には、この点に留意してブナの植栽が適当か検討する必要がある。

低標高域でブナを植栽する場合には、地球温暖化が進行すると、ブナの生育適地が現在より高標高域に移動すると予測されていること(Matsui *et al.* 2004; Nakao *et al.* 2013)にも留意しなくてはならない。しかしながら、温暖化により多雪環境でなくなり、天然更新において冬期の種子生存率が低下するなどしても、このような更新初期過程における生育阻害要因は、育てた苗を人工植栽するブナ林には作用しない。つまり、温暖化の影響でブナ林が天然更新により成立可能な標高域が上昇するとしても、幼木段階以上のブナが生育可能な標高域が同じように上昇するとは限らない。もちろん、生育可能とはいっても、温暖になるほど生理的なストレスによる成長の鈍化や病虫害の激化が懸念される。温暖化がブナの生育にどのような影響を与えるかは、人工林を含むさまざまな標高帯のブナ林において生育状況をモニタリングすることによって明らかにしていく必要がある。

謝辞

本研究で対象とした植栽試験地は、富山県林業試験場の野越恒雄氏らが1974年に設定した。1982年までの調査は野越氏と中川亮一氏らが、2002年の調査は石田仁氏、長谷川幹夫氏、西村正史氏が実施した。県民公園頼成の森の小倉俊明氏には、調査の機会をさせていただいた。富山県森林研究所の職員各位には、有益なご助言

をいただいた。以上の皆様に感謝します。

引用文献

- 阿部正博 (1963) ブナ人工植栽地の成長について. 新潟県林試研報 9: 111-130
- 藤森隆郎 (2006) 森林生態学: 持続可能な管理の基礎. 全国林業改良普及協会
- 豪雪地帯林業技術開発協議会 (2014) 広葉樹の森づくり. 日本林業調査会
- 函館営林局計画課 (1985) ガルトネル・ブナ林. 北方林業 37: 332-334
- 長谷川幹夫・相浦英春・嘉戸昭夫・安田洋 (1994) 雪食崩壊地の緑化に関する研究 (第1報) 稚樹の活着に関する問題点. 富山林技セ研報 8: 1-5
- 長谷川幹夫 (2004) 富山県の天然林とその管理-実践編-. 富山林技セ研報 17: (別冊) 1-122
- 長谷川幹夫 (2006) 雪食崩壊地の復旧20年. 森林科学 48: 56-59
- 長谷川幹夫・平英彰・吉田俊也 (2007) 積雪寒冷地のブナ人工林における下刈り期間の違いが林分構造に及ぼす影響. 日林誌 89: 14-20
- 長谷川幹夫・相浦英春 (2009) 豪雪地のブナ人工林における若齢期の霜害と群落構造との関係. 富山森研研報 1: 10-15
- 橋詰隼人・福富章 (1983) ブナの人工造林について. 日林論 94: 461-462
- 橋詰隼人・黒井大 (1989) ブナの人工造林に関する研究 (I) - 植栽後10年間の成績と造林地内への他樹種侵入状況 -. 広葉樹研究 5: 1-12
- 橋詰隼人・谷口真吾・山本福壽 (1994a) ブナの人工造林に関する研究 (II) - 20年生人工林の生育状況 -. 日林論 105: 369-372
- 橋詰隼人・谷口真吾・山本福壽 (1994b) ブナの人工造林に関する研究 (III) - 孔状地内に植栽したブナの生育について -. 日林論 105: 373-374
- 樋口裕美・小野寺弘道 (1992) 多雪地の人工試験斜面に植栽されたブナのモニタリング調査. 日緑工誌 18: 124-128
- Homma K (1997) Effects of snow pressure on growth form and life history of tree species in Japanese beech forest. J Veg Sci 8: 781-788
- Homma K, Akashi N, Abe T, Hasegawa M, Harada K *et al.* (1999) Geographical variation in the early regeneration process of Siebold's Beech (*Fagus crenata* BLUME) in Japan. Plant Ecol 140: 129-138
- 飯田昭光・中嶋敏祐・山田耕司 (2011) 植栽したブナの成長と成林阻害要因について. 青森県林業研報 2010: 8-16
- 池田裕行・西山教雄・千島茂・大橋邦夫・井出雄二 (1997) 東京大学富士演習林ブナ植栽試験地の成長経過. 東大演報 97: 1-9
- 今井三千穂・飛岡完治 (2000) 植栽環境の異なるブナの生長と生長阻害要因について. 中部森林研究 48: 35-38
- 石田仁 (1991) 富山県における温量指数と森林の分布. 富山林技セ研報 5: 1-8
- 石田仁 (2003) 富山県におけるブナ林の分布と動態. 統計数理 51: 59-72
- 石田仁 (2004a) 立山アルペンルート沿線におけるブナの植栽と事後経過. 日緑工誌 29: 503-506
- 石田仁 (2004b) 富山県の天然林とその管理-基礎編-. 富山林技セ研報 17: (別冊) 1-146
- 石田仁・長谷川幹夫・西村正史 (2004) 暖温帯ブナ・イヌブナ人工林の28年生時の林分構造と生育状況. 富山林技セ研報 17: 14-21
- 紙谷智彦 (1984) 豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究 (1) - 樹幹の曲がりとその階層構造の形成に及ぼす影響について -. 新潟大演報 17: 1-16
- 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-日本の高冷地の合理的利用のために-. 寒地農学 2: 143-173
- 吉良龍夫 (1949) 日本の森林帯. 林業解説シリーズ 17. 林業解説編集室
- 小谷二郎 (2008) 若齢ブナ人工林の現存量と生産力の推定. 石川県林試研報 40: 12-16
- Koike T (1988) Leaf structure and photosynthetic performance as related to the forest succession of deciduous broad-leaved trees. Plant Spec Biol 3: 77-87
- 小坂淳一 (1986) ブナ再生林の密度管理図とその応用. 山林 1231: 25-32
- 小山泰弘・岡田充弘・古川仁 (2002) ブナを主体とした広葉樹人工林の初期管理技術の開発-冷温帯地域における広葉樹林施業技術の確立-. 長野県林総セ研報 16: 1-22

- 小山泰弘・岡田充弘 (2004) 長野県栄村のブナ林におけるクワカミキリの被害実態. 信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績 41: 1-5
- Kure H, Yoda K (1984) The effects of the Japan sea climate on the abnormal distribution of Japanese beech forests. Jpn J Ecol 34: 63-73
- 前田雄一 (2004) 植栽から7成長期を経過したブナの残存と誤伐被害の実態. 鳥取県林試研報 41: 11-17
- Matsui T, Yagihashi T, Nakaya T, Taoda H, Yoshinaga S, Daimaru H, Tanaka N (2004) Probability distributions, vulnerability and sensitivity in *Fagus crenata* forests following predicted climate changes in Japan. J Veg Sci 15: 605-614
- 中川亮一 (1978) 生態応用による広葉樹の育成技術に関する研究 (第4報). S52年度富山林試業務報告: 23-26
- 中川亮一 (1979) 生態応用による広葉樹の育成技術に関する研究 (第5報). S53年度富山林試業務報告: 11-14
- 中川亮一 (1981) 各種試験林の効果測定および解析研究 (2) - 広葉樹の育成技術に関する研究 - (7年次). S55年度富山林試業務報告: 42-44
- Nakajima H, Ishida M (2014) Decline of *Quercus crispula* in abandoned coppice forests caused by secondary succession and Japanese oak wilt disease: Stand dynamics over twenty years. For Ecol Manage 334: 18-27
- 中島春樹・小林裕之 (2014) 富山県における植生図から区分した森林タイプ別および民有林と国有林別の森林分布. 富山森研研報 6: 1-12
- 中島春樹 (2018) 民有林の樹種別資源量の推定 - ナラ枯れや成長による変動 -. 富山森研研究レポート 18
- Nakao K, Higa M, Tsuyama I, Matsui T, Horikawa M, Tanaka N (2013) Spatial conservation planning under climate change: Using species distribution modeling to assess priority for adaptive management of *Fagus crenata* in Japan. J Nat Conserv 21: 406-413
- 中沢迪夫 (1982) 広葉樹林の育成に関する研究 (I) - ブナ人工林の生長について -. 新潟県林試研報 25: 45-64
- 野越恒雄・深川喜武・小幡栄一 (1975) 生態応用による広葉樹の育成技術に関する研究 (第1報). S49年度富山林試業務報告: 34-55
- 野越恒雄・深川喜武・小幡栄一 (1976) 生態応用による広葉樹の育成技術に関する研究 (第2報). S50年度富山林試業務報告: 32-53
- 野越恒雄・深川喜武・中川亮一 (1977) 生態応用による広葉樹の育成技術に関する研究 (第3報). S51年度富山林試業務報告: 1-15
- 野越恒雄 (1983) 各種試験林の効果測定および解析研究 - 広葉樹の育成技術に関する研究 - (9年次). S57年度富山林試業務報告: 17-18
- 布川耕市 (1999) ブナにおけるクワカミキリの加害様式. 新潟県森林研報 41: 27-32
- Ohkawa T, Nagai Y, Masuda J, Kitamura K, Kawano S (1998) Population biology of *Fagus crenata* Blume I. Demographic genetic differentiations of lowland and montane populations in Toyama, Central Honshu, Japan. Plant Spec Biol 13: 93-116
- 大久保達弘 (2002) イヌブナの萌芽特性及びイヌブナ天然林の更新に関する研究. 宇大演報 38: 1-86
- 大田弘・小路登一・長井真隆 (1983) 富山県植物誌. 廣文堂
- 岡田滋・永幡嘉之 (1996) 兵庫県北部においてブナ生立木を加害するカミキリムシについて. 日林関西支論 5: 151-154
- Oliver CD (1981) Forest development in North America following major disturbances. For Ecol Manage 3: 153-168
- 林野庁計画課 (1970) 立木幹材積表 - 東日本編 -. 日本林業調査会
- Shimano K, Masuzawa T (1998) Effects of snow accumulation on survival of beech (*Fagus crenata*) seed. Plant Ecol 134: 235-241
- Suzuki S, Miyawaki A (2001) The forest vegetation in the lower part of the Fagetea crenatae region in Japan - On *Fagus japonica* forests -. Phytocoenologia 31: 427-443
- 只木良也・蜂屋欣二・栩秋一延 (1969) 森林の

- 生産構造に関する研究 (XV) ブナ人工林の
一次生産. 日林誌 51: 331-339
- 谷本丈夫 (1990) 広葉樹施業の生態学. 創文
- 塚原雅美 (2001) 新潟県における既存広葉樹
造林地とその経過調査. 新潟県森林研報 43:
9-16
- 米山ひかる・城田徹央・岡野哲郎 (2010) 信州
大学西駒演習林におけるブナ植栽木の15年間
の成長経過. 信大農AFC報告 8: 17-28
- 吉野豊・前田雅量 (2000) 広葉樹人工造林地の
初期成長 (V) -ブナ造林地の植栽後9年生ま
での生育状況-. 兵庫森林技研報 48: 39-40

Summary

This study investigated the stand structure, stand growth, and damage by wood-boring beetles (*Apriona japonica* Thomson) of 43-year-old *Fagus crenata* Blume and *F. japonica* Maxim. plantations located in the lowland area (130 m a.s.l.) of Toyama Prefecture, central Japan. The *F. crenata* and *F. japonica* plantations had stand volumes of 192 and 258 m³ ha⁻¹, respectively, which are the same as or greater than those of other *F. crenata* plantations and secondary broad-leaved forests. Similarly, the stand growth of the *F. crenata* plantation was 4.3 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ from 29 years old to 43 years old, whereas that of the *F. japonica* plantation was 10.4 m³ ha⁻¹ yr⁻¹, which are equivalent to the values observed in typical secondary broad-leaved forest (4.0 m³ ha⁻¹ yr⁻¹) and *F. crenata* plantations (10.0 m³ ha⁻¹ yr⁻¹), respectively. Trees in the *F. crenata* plantation may have exhibited lower growth than those in the *F. japonica* plantation because they experienced damage by wood-boring beetles and grew at the lower limit of the vertical distribution of this species, potentially causing growth stress as a result of the warm climate. The stem density of the *F. crenata* plantation decreased by approximately 30% from 29 years old as a result of the death of understory stems, whereas that of the *F. japonica* plantation remained almost unchanged, perhaps owing to the low density at 29 years old. Only *F. crenata* experienced damage by wood-boring beetles, with the proportion of damaged stems decreasing from 18% at 29 years old to 4% at 43 years old. The finding that the *F. crenata* plantation had a comparable stand growth to secondary broad-leaved forest indicates that its use as a plantation tree species in lowland areas can be increased in the future.

Keywords: *Fagus crenata*, *Fagus japonica*, planting, stand volume, *Apriona japonica*