豪雪中山間地におけるブナ堅果の生産量と成分特性からみた特産物としての有用性

井田 秀行^{*,1}・竹内 祥恵¹・高崎 禎子¹

ブナ林が卓越する豪雪中山間地にある長野県飯山市においてブナ堅果の特産物としての有用性を検討した。市内で行った 11～17 年間の堅果生産量モニタリングの結果、豊作ないし並作の頻度は極相林分で隔年、里山林分で 2～4 年ごと、孤立林分で 17 年間で 1 回であった。胚の一般成分は 100 g 当たり水分 6.3%, 蛋白質 22.7%, 脂質 49.9%, 炭水化物 17.3%, 灰分 3.8% であり、抽出油の酸化安定性は市販のクルミよりも高かった。市内最大の里山ブナ林 (約 5.5 ha) における豊作時のブナ堅果の賦存量を 2015 年の生産量をもとに試算すると約 8 t (約 800 万円相当) となった。ブナ堅果の資源管理のあり方としては、極相林では豊作ないし並作時に広場等に落下した定着可能性の低い堅果を採取し、里山林では積極的に堅果採取を行うことで林分の再利用を促進し、孤立林では採取せずブナ個体群を保全することが望ましいと考えられた。以上からブナ堅果の有用性はある程度認められたが、特産物として利用を持続させるには適切な資源管理の下で高付加価値化に向けた工夫を行うことが重要である。

キーワード: ブナ林, ブナ堅果生産量, 栄養成分, 特産物, 中山間地

Hideyuki Ida,^{*,1} Sachie Takeuchi,¹ Sadako Takasaki¹ (2017) Beechnuts as a Local Specialty in a Snowy Semi-mountainous Area in Central Japan Based on Their Production and Nutritional Traits. *J Jpn For Soc* 99: 10-17 Beechnuts (*Fagus crenata* seeds) were evaluated as a local specialty in a snowy semi-mountainous area in Japan. After monitoring the production of beechnuts in climax (C), satoyama (S), and isolated (I) stands for 11-17 years, a good or medium crop was observed biennially, every 2-4 years, and once in 17 years, respectively. The beechnut embryos had higher protein and lower lipid contents than those of commercial walnut. The oxidative stability of embryonic oil from beechnut was greater than that from walnut. The estimated potential quantity of beechnuts in a good crop was ca. 8 ton (equivalent to ca. 8 million yen) in the largest satoyama beech forests (ca. 5.5 ha) in the study area. To use beechnuts sustainably, various strategies should be adopted for different types of stand: in C, fallen beechnuts should be collected from managed open sites; in S, beechnuts should be collected actively to promote the re-use of satoyama sites; and in I, beechnuts should not be collected, to conserve the beech population. Therefore, although beechnuts will be available with appropriate resource management, it is necessary to find a way to increase their added-value to sustain them as a local specialty.

Key words: beech forests, production of beechnuts, nutrient composition, local specialty, semi-mountainous area

I. は じ め に

中山間地の代表的な景観要素である里山林は、かつて農用林や用材林として持続的に利用されていたが、現在その大部分が利用転換されたり放置されたりしている (Takeuchi 2010)。それにより中山間地の植生景観は劇的に変貌し (鎌田・中越 1990)、自然資源を持続的に利用してきた地域固有の伝統的な技術や知識も衰退しつつある (深町 2014)。近年は、このような状況にある里山林がもたらしてきた生態系サービス (Millennium Ecosystem Assessment 2005) の重要性が世界的にも認識されてきていることから (Takeuchi 2010)、その資源の有効活用による保全を図ることが求められている (森林総合研究所 2011)。

ブナは日本の温帯林の主要樹種であり、我が国には、自然度の高い極相的なブナ林がいくらか残る一方で、1960～70 年代頃まで生活資源を得るための里山林として集落で持続的に利用されてきた林分 (以下、里山ブナ林) も、日本海側の多雪地域を中心に存在する (紙谷 1986; 深町ら 1999; 井田ら 2010)。里山ブナ林は現在、主に過疎化が進行する中山間地に分布しており (深町ら 1996)、その多くが管理放棄後 40～50 年以上を経過した二次林分である。このため現在は管理放棄時に実生更新したブナが着果できる年齢を迎え (橋詰 1987)、萌芽起源のブナも着果齢に達していると考えられる (紙谷 1986)。すなわち、これらは

成熟途上にあるブナ二次林ではあるが、既に十分な堅果生産力があるとみられる。そこで著者らは、このような豪雪中山間地の里山ブナ林で生産されるブナ堅果に着目し、これらが今後、地域資源として活用できるのではないかと考えた。

ブナ堅果は、灰汁抜きをすることなく生食できることから里山ブナ林の分布する新潟県や長野県北部などの豪雪地の集落ではかつて自家消費されていた (市川ら 1984)。しかし、ブナ堅果をめぐる研究のほとんどはその生態的特性に焦点を当てたものであり (Homma *et al.* 1999; 寺澤・小山 2008)、これまでに食用資源としての利用可能性を論じたものは戦時中に飼料への適用を試みるために栄養的分析を行った岩田 (1943) の報告以外にない。欧米では少なくとも 19 世紀末には様々な用途に利用され (Woods and Merrill 1899; Heiduschka and Roser 1922)、ヨーロッパブナ (*Fagus sylvatica*) やアメリカブナ (*F. grandifolia*) は当時すでに食用としての栄養成分も調べられていた (Woods and Merrill 1899; König 1904)。

一方でブナ堅果は安定供給に適した資源であるとは言い難い。とりわけ豊凶の差が激しく、一般に豊作は 5～7 年に 1 度とされるからである (例えば、前田 1988; Yasaka *et al.* 2003; Masaki *et al.* 2008)。加えて、採取や皮むきにも多大な手間を要する (市川ら 1984)。それ故に地域資源としての市場性は低く、これまで自家消費に特化されてい

*連絡先筆者 (Corresponding author) E-mail: pida@shinshu-u.ac.jp

¹ 信州大学教育学部 〒380-8544 長野県長野市西長野 6 の口 (Faculty of Education, Shinshu University, 6-Ro, Nishinagano, Nagano City, Nagano 380-8544, Japan)

(2016 年 6 月 30 日受付, 2016 年 10 月 18 日受理)

たものと推察される。とは言え、地域資源のブランド化や高付加価値化に向けた取り組みが各地で進められている昨今においては、こうした特性を逆手にブナ堅果の特産物としての価値を見出すことで新たな市場を創出できるのではないかと考えられる。したがって、ブナ堅果の有用性を検討する上では、当該地域でのブナ堅果の生産特性や栄養的特徴、ひいてはその賦存量や貨幣価値を具体的に把握しておく必要がある。このような未利用の自然資源に対する有用性を検討することは、過疎化が進行する中山間地の活性化や振興を考える際に多くの示唆を与えると考えられる。

以上を踏まえ、本研究ではブナ林が卓越する豪雪中山間地の一つである長野県飯山市を対象地に、当該地域を象徴する自然資源であるブナ堅果の地域特産物としての有用性を検討するため、その生産量と成分特性を明らかにするとともに、里山ブナ林における堅果の豊作時の賦存量と貨幣価値を試算した。さらに、それらの結果に基づきブナ堅果の持続的な資源管理のあり方について考察する。

II. 調査地と方法

1. 調査地の概況

長野県北部にある飯山市は、豪雪地帯対策特別措置法に基づき全域が特別豪雪地帯に指定されている日本有数の豪雪地である。積雪深は、集落内でも多いところでは例年2~3 mに達する(気象庁 2012)。同市の総土地面積 20,232 haのうち森林面積は 11,925 ha(森林率約 58.9%)であり、そのうち約 15% (1,829 ha) がブナ林である(農林水産省, 2000 年世界農林業センサス <http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/00kekka.html>, 2016 年 9 月 5 日最終確認)。

飯山市は標高 300~1,288 m に位置し、その植生をみると標高約 900 m より上部でブナが優占し、薪炭林起源の成熟したブナ二次林が多くを占めるが、極相林も一部にみられる。それより下部ではスギ植林地や落葉広葉樹二次林が占めており、後者の主たる構成樹種のミズナラやコナラは 2004 年以降に顕在化したナラ枯れの影響により大径木を中心に集団枯損したが(井田・高橋 2010)、ナラ枯れは現在ほぼ終息している。標高 400~500 m 付近にある農村集落の周りに一部だが薪炭などの利用後に二次的に再生した里山ブナ林が残る(井田ら 2010)。標高 300~400 m 付近は大部分が農地や市街地および集落である。

2. ブナ堅果生産量のモニタリング

飯山市におけるブナ堅果生産特性を把握するために、同市内に分布するブナの極相林、里山林、孤立林からそれぞ

れ 1 林分ずつ代表的な場所を抽出し(表-1)、落下堅果のモニタリングを 11~17 年継続して行った。いずれもブナが林冠層を主に構成し、胸高断面積は全体の 62.2~99.9% を占める。各林分の気象条件の違いは主に標高差によるものと考えられるが、特に最大積雪深の実測値(井田 未発表)より算出した平均値は大きく異なり、調査期間において極相林分と里山林分は孤立林分のそれぞれ約 3 倍弱、約 2 倍であった。

堅果生産量のモニタリングは、各林分の林床に設置した開口面積 0.5 m² のリタートラップ(リター受け網、白色ビニロン製 1 mm メッシュ寒冷紗; リター受け枠、ポリエチレン製パイプを内径約 79.8 cm の円形状に加工したもの。以下、トラップ)により行い、落下堅果数によりその密度を求めた。トラップは、各林分の代表的な区域(約 700~900 m²) 内に原則として 5~6 基、地際高 1 m に 3 本の支柱(塩化ビニル製パイプ)に銅線で固定し、互いに 5~10 m 間隔で配置した。各林分の景観構造とモニタリングの概況は次のとおりである。

極相林分: 調査区は同市の最高峰である鍋倉山(N36°58'35", E138°22'56", 1,288.8 m)の中腹に成立するブナ極相群落中に設置した。階層構造は十分に発達している(井田ら 2007)。同山の標高 900 m より上部ではブナが広く純林を形成しており、極相林分ないし成熟二次林分が多くを占める。モニタリングは 5 基のトラップにより 2004 年 10 月 5 日から開始し、2016 年 5 月 28 日まで連続して行った。

里山林分: 同市最北東部に位置する柄山地区の集落の北側にある管理放棄された里山ブナ林の中で、最も胸高断面積が大きい成熟林分を調査区に選定した。周辺一帯にはほかにも優占種や成熟段階の異なる小林分(パッチ)が集まったモザイク構造を成している(井田ら 2010)。調査区は、高木層は主にブナ大径木で構成され、階層構造は未発達だが林床を多くのブナ稚樹が被っている。モニタリングは 5 基のトラップにより 2001 年 9 月 14 日から開始し、2016 年 4 月 10 日まで連続して行った。

孤立林分: 市街地の丘陵上に残された社寺林の一部で面積約 0.15 ha のブナ群落中に調査区を設置した。社寺林などとして残された同様のブナ孤立林は市内で数カ所認められており、それらの面積は概ね 0.5 ha 未満である。本調査区は階層構造が発達し、各階層にブナが存在する。隣接してカラマツ植林地がある。所有者へのヒアリングによると、戦後間もない頃はブナ大径木を残したかたちで里山林として薪や落葉などの利用がなされていた。モニタリング

表-1. ブナ堅果生産量調査林分の概況

The stands monitored for the production of beechnuts in Iiyama, central Japan.

Stands	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Mean annual temperature (°C) ^a	Annual precipitation (mm) ^a	Mean maximum snow depth (cm) ^b	Total basal area (m ² ha ⁻¹)	% basal area of beech trees
Climax	36°58'38"	138°23'31"	1000	7.7	2179.9	463	39.8	95.9
Satoyama	36°59'10"	138°26'58"	540	9.9	2288.0	321	88.5	99.9
Isolated	36°55'01"	138°23'48"	318	11.4	1830.2	162	64.1	62.2

^aData for 1981 to 2010 are from the Mesh Climate Data 2010 (Japan Meteorological Agency 2012). ^bThe actual observations are from the winter of 2003/4 to the winter of 2014/15 (Ida, unpublished data), except for the climax stand, which lacked data for the winter of 2004/5.

は1999年4月20日より連続して2016年4月10日まで行った。設置トラップ数は、1999、2000年は10基（井田ら2002）、2001年以降は6基である。

トラップによるモニタリングは年間を通して行った。トラップ内容物は、無積雪期（例年4月下旬～11月下旬）は原則として1～3カ月に1回収し、積雪期はトラップ開口面を地表面に置いて翌年の融雪後に回収した。回収した内容物は研究室に持ち帰り、ブナの繁殖器官（雌花序、殻斗果、堅果）を次のように選別した。融雪後の回収物には冬期から春先に落下した前年の繁殖器官と当年春の開花に伴う繁殖器官が混在するためそれぞれを選別した。ブナは通常一つの殻斗果（雌花序）に二つの堅果（雌花）があるため、殻斗果ごと落下したものは堅果の状態を一つずつ確認し、また、虫害により雌花序ごと落下したものは1雌花序当たり虫害堅果2個分として計数した。堅果はその状態から、健全、鳥獣害、虫害、未熟、シイナ、菌害に6区分し（*Ida et al.* 2013；中島・小谷 2013）、それぞれ計数したのち林分および年ごと密度（個/m²）に換算した。

本研究では、食用に適した健全堅果とそれ以外（鳥獣害、虫害、未熟、シイナ、菌害の合計）に分け、両者の合計を雌花開花数とした。健全堅果数および雌花開花数の年次変動のばらつきの大きさを各林分間で比べるためにそれぞれ変動係数を求めた。また、各林分間での同調性を検討するため、全林分のデータが揃う2005～2015年の期間について、それぞれの相関係数を求めた。堅果の作柄は、中島・小谷（2013）に拠り、健全堅果の落下密度に応じて豊作（下限値200個/m²）、並作（同50個/m²）、不作（同5個/m²）、凶作（同4個/m²以下）の4段階に区分した。

トラップによるモニタリングを行っていない区域の堅果生産状況については、孤立林分を除き、補足的に現地踏査や地域住民および入山者等への聞き取りを随時行った。これにより極相林分と里山林分の結実状況はトラップの傾向に反映されていたことから、両林分に関してはトラップでの結果をそれぞれの作柄を代表するものとした。ただし、孤立林分でのトラップの結果は必ずしもほかの孤立林分の状況を反映しているとは限らない。

3. ブナ胚成分の分析

ブナ堅果の食用としての有用性を評価するために、可食部である胚の一般成分（水分、蛋白質、脂質、炭水化物、灰分）と脂質の酸化安定性を分析した。分析用のブナ堅果は、堅果生産量のモニタリング地点とは別の鍋倉山茶屋池畔にある休憩所の周り約200m²（標高約1,100m）で採取したものをを用いた。付近のブナ林は胸高直径30～40cm程度のブナがやや密に生育していることから薪炭利用などの伐採後に成立した二次林であると推察される。休憩所の周りはブナ樹冠下にある。ブナが豊作となった2013年秋（11月1日）、落下して間もない堅果を拾い集めた。その翌日に水選し、同年12月4日まで約1カ月間、天日干しによる風乾を適宜行った後、外果皮と種皮を取り除かず残した状態で密閉容器に入れて室内暗所で貯蔵した。このときの湿重量（採取直後、約4kg）に対する風乾重（天日干し後、約2kg）の比は概算で0.5であった。一般に食物の成分分

析はそれを食する時点の状態を想定して行われる。本研究では、貯蔵状態のブナ堅果の食用利用を前提とするため、十分に風乾させてから一般成分分析と油脂の酸化安定性試験を行った。

分析対象としたのは幼根を含めた胚（以下、ブナ胚）である。分析直前に堅果から外果皮と種皮を取り除いた。その際、手指の油脂等が混入しないよう医療用滅菌済みゴム手袋を装着した上でピンセットを併用した。ブナ胚の一般成分は、風乾重で約120gの胚を用いて2014年11月に長野県工業技術総合センターにおいて常法に拠り分析した。

次に、ブナ胚の主要成分の一つである脂質の酸化特性を明らかにするために、ブナ胚抽出油（以下、ブナ油）の酸化安定性を、食用として市販されている栽培クルミ（シナノグルミ：長野県東御市産の栽培品種）の胚抽出油（以下、クルミ油）と比較した。用いた栽培クルミはブナ堅果同様に十分に乾燥した状態であった。栽培クルミを対照としたのは、油脂含有量が多く（戸井田・田島 2015）生食できる点でブナ堅果と共通しているだけでなく、市販品として一般に流通しその有用性が広く認識されているため効果的に比較できると考えたからである。ほかにも、同じブナ科であるミズナラおよびコナラの堅果や、食用として流通しているクリやトチノキの堅果も対照として挙げられるが、いずれも澱粉を主成分としており（岩田 1942；菅原 1972）ブナとは大きく異なることから、比較には適していない。

抽出油は、外果皮および種皮を取り除いた直後のブナと栽培クルミの胚から、手動の油搾り機（PITEBA社製）を用いてそれぞれ調製した。これら抽出油の自動酸化に対する安定性試験をオープン試験（重量法）（日本油化学会規格試験法委員会 2013）に準じて次のとおり行った。本試験は、油脂類の自動酸化に対する安定性を相対的に評価する方法の一つであり、重量増加開始までの期間が長いほど、ないし重量増加率が低いほど酸化安定性が高いことを示す。まず、ブナ油およびクルミ油それぞれにつき約2.5gを精秤した試料を三つずつ用意した。次に、計6試料を60±0.2℃の恒温器内で10日間、酸化促進させ、24時間ごとに電子天秤を用いて小数点以下4桁の有効数字で重量を測定した。ブナ抽出油は黄～緑の色相を呈していたので、併せて、それぞれの抽出油の外観的な色の変化についても目視により観察した。このとき、褪色までに日数を要するほど酸化安定性も高いと考えられる（高木・三宅 2002）。

なお、本研究では、風乾状態で貯蔵されたブナおよび栽培クルミの堅果を用いて、それぞれ外果皮および種皮を取り除いた直後の油脂の酸化安定性を対象としており、貯蔵期間中の酸化については考慮していない。

4. 里山ブナ林におけるブナ堅果の賦存量とその貨幣価値の試算

飯山市の里山ブナ林で堅果を採取し活用することを想定し、その潜在的な賦存量および貨幣価値を試算した。飯山市内には様々な規模の里山ブナ林がみられるが、個々の林分の分布状況について現時点では把握できていないため、今回の試算の対象地は、本研究で堅果生産量モニタリング

を実施した里山林分調査区を一部に含む里山ブナ林（井田ら 2010）のみとした。この里山ブナ林を選定したのは、次の四つの理由による。1）集落に接する里山林としては飯山市内で最大規模の面積を持つこと、2）林内に遊歩道が整備されている上に起伏が小さくササ等の林床植生が少ないため、堅果採取が比較的容易であること、3）民有林であり、現在、一般社団法人信州いいやま観光局が同集落内で運営する自然体験施設（なべくら高原・森の家）によって維持管理がなされていることから、立ち入りや採取の許可申請等の手続きが容易であること、4）既に井田ら（2010）がその景観構造を把握しており、堅果の賦存量をより正確に推定できること。

当該里山ブナ林は、高木・亜高木・中木・低木の四つに類型区分されたそれぞれ同程度の年齢の小林分（以下、パッチ）によって構成されている（井田ら 2010）。ブナ堅果生産量はパッチの年齢に応じて異なるため（紙谷 1986）、全体量を推定するには、パッチごとの堅果生産量を把握する必要がある。そこで、次のとおりブナ堅果の賦存量と貨幣価値を試算した。

まず、豊作となった2015年の健全堅果の落下がほぼ完了した時期（11月7日）、高木、亜高木、中木の各パッチ内に20×20 cmのプロットを7地点、それぞれ少なくとも10 m以上離して設定し、リターを丁寧に取り除きながらプロット内に当年落下していた健全堅果全てを計数した。低木パッチは、ブナ堅果が認められなかったため調査対象外とした。プロット当たりの採取堅果数のパッチ間の差の検定はSteel-Dwassの多重比較の方法に拠った。

次に、井田ら（2010）が1/2,000 森林計画図上で作成した当該里山ブナ林の相観植生図から高木、亜高木、中木のパッチそれぞれの合計面積を求め、これに健全堅果の平均密度（個/m²）を乗じた値をブナ堅果賦存量とした。さらに、その貨幣価値を算出するために、本稿では、著者らが実際に国有林で林産物としてブナ堅果の買受申請を行った際の税抜き単価（1,000 円/湿重量1 kg、中部森林管理局北信森林管理署 私信）を適用した。ここで、ブナ堅果の湿重量に対する風乾重量の比は概算で0.5、健全堅果1個当たりの風乾重量は実測で平均0.22 gであり、これらを基準にブナ堅果1個当たりの単価を求めると0.44 円/個となった。この値を、先に求めたブナ堅果賦存量に乘じることによって各パッチの貨幣価値を算出した。

III. 結 果

1. ブナ堅果生産量の年次変動

ブナ堅果生産量のモニタリング期間中、極相林分、里山林分、孤立林分のいずれにおいても顕著な年次変動がみられた（図-1）。極相林分ではブナ堅果の豊作ないし並作が隔年で訪れていた。里山林分では2～4年ごと、すなわち2005、2009、2011、2015年に極相林分と同調して豊作ないし並作がみられたが、極相林分で並作となった2007年と2013年はそれぞれ不作と凶作になっていた。孤立林分ではモニタリング期間中で豊作（2005年）が1回あったのみで、ほかの年は全て不作か凶作となっていた。

図-1. 飯山市のブナ林（極相林分、里山林分、孤立林分）におけるブナ堅果生産量の年次変動

Annual fluctuation in the production of beechnuts in the climax, satoyama, and isolated beech stands in Iiyama, central Japan.

表-2. 各調査林分におけるブナの雌花開花数と健全堅果数の変動係数

Coefficients of variation of the production of female flowers and edible beechnuts during each period investigated from a given year to 2015 for the monitored beech stands in Iiyama, central Japan.

Stand (yrs) *	Female flowers	Edible beechnuts
Climax (11)	1.13	1.46
Satoyama (14)	1.77	2.08
Isolated (17)	1.72	3.51

*Number in parentheses indicates the period investigated.

どの林分も健全堅果数の変動係数は雌花開花数のそれよりも大きくなっていった（表-2）。里山林分の雌花開花数の変動係数（1.77）は3林分中最大であったが孤立林分（1.72）との差は小さく、極相林分（1.13）とはやや大きな差があった。健全堅果数の変動係数は孤立林分（3.51）が最大で、里山林分（2.08）や極相林分（1.46）と大きく差が開いていた。また、健全堅果数の相関係数（0.712～0.826）は雌

花開花数のそれ (0.854~0.881) より全体としてやや小さいものの、両者ともに各林分間で有意な正の相関関係が認められた ($p<0.05$, 表-3)。以上のように、ブナ堅果の豊凶は林分間で同調するものの、雌花や健全堅果の生産量は林分や年ごとにそれぞれ異なっていた。

2. ブナ胚の一般成分と抽出油の酸化安定性

ブナ堅果の器官構成は、風乾重で外果皮 36.4%, 種皮 4.5%, 胚 59.1% であった。ブナ胚の一般成分は 100 g 当たりでみると、水分 6.3%, 蛋白質 22.7%, 脂質 49.9%, 炭水化物 17.3%, 灰分 3.8% であった (表-4)。

ブナ胚からの搾油率は 26.8% (抽出油 20.22 g/胚 75.32 g), クルミ胚からは 46.7% (57.74 g/123.77 g) であった。酸化安定性試験において、ブナ油の重量増加はクルミ油よりも 2 日遅れて 4~5 日目に始まり、試験開始から 10 日目の重量増加率 (2.6~2.7%) はクルミ油 (4.8~4.9%) よりも大幅に低くなっていた (図-2)。油の色は、始め黄~緑の色相を呈していたブナ油が 6~7 日目に褪色し無色となった。クルミ油は 4~6 日目に黄色から無色となった。以上の結果は、ブナ油の酸化安定性がクルミ油よりも高いことを示唆する。

3. 里山ブナ林におけるブナ堅果の賦存量とその貨幣価値

里山ブナ林の各パッチで採取されたブナ健全堅果数は、プロット (0.04 m²) 当たりの平均 (±標準偏差) で、高木 20.1±13.4 個, 亜高木 18.0±7.7 個, 中木 2.7±5.5 個であり、中木が有意に低かったが ($p<0.05$), 高木と亜高木には有意な差は認められなかった。

相観植生図 (井田ら 2010) から求めた各パッチの合計面積は高木 18,571 m², 亜高木 16,582 m², 中木 20,077 m² であった。これらの値にそれぞれのプロットで採取された堅果密度 (503.6, 450.0, 67.9 個/m²) を乗じると、各パッチのブナ堅果賦存量は高木 9,351,825 個, 亜高木 7,461,900 個, 中木 1,362,368 個と推定された。さらに、それぞれの貨幣価値を算出すると、高木で 4,114,803 円,

亜高木で 3,283,236 円, 中木で 599,442 円となった。つまり当該里山ブナ林全体 (総面積約 5.523 ha) で計約 800 万円 (湿重量で約 8 t 分) の貨幣価値のあることが示された。

IV. 考 察

1. 飯山市におけるブナ堅果の生産特性

ブナの雌花開花数および健全堅果数の各林分の年次変動のパターンは全体としてみると同調傾向にあった (図-1; 表-2, 3)。極相林分および里山林分の健全堅果数の変動係数は、北海道や東北・北陸地方の値 (1.28~2.30, Yasaka *et al.* 2003; 杉田 2005; 松井ら 2009; 中島・小谷 2013) の範囲内にあり、豊凶の年度は北陸地方 (中島・小谷 2013) と酷似していたことから、両林分は東日本のブナ林と似た特徴を持つことが示唆された。また両林分では、不作および凶作年は雌花開花数が少なく、雌花開花数が多い年ほど健全堅果の割合も増えて豊作や並作に至る傾向があり、寺澤ら (1995) の指摘を支持する結果となっていた。

一方、孤立林分では、調査期間中唯一の豊作年であった 2005 年でも雌花開花数に対する健全堅果数の割合が 2 割程度と低く、極相林分や里山林分で豊作となった 2011 年と 2015 年には、ある程度の雌花開花数があったにもかかわらずそれぞれ凶作、不作となった (図-1)。ブナ堅果の豊凶には、雌花開花数そのものの多寡とともに雌花開花数に対する健全堅果数の割合が影響する (寺澤ら 1995)。雌花開花数そのものやそれに対する健全堅果の割合を左右する大きな要因として、それぞれ気温 (Kon *et al.* 2005b; Kon and Noda 2007) や捕食者密度 (Igarashi and Kamata 1997; Kon *et al.* 2005a) が指摘されているが、孤立林分のように

図-2. ブナおよび栽培クルミ (シナノグルミ) の胚抽出油の恒温器内での酸化促進試験 ($60\pm0.2^{\circ}\text{C}$) による重量増加率 (%) の日変化

Rate of weight gain (%) of oils extracted from beechnut and commercial walnut embryos in an incubator ($60\pm0.2^{\circ}\text{C}$) following the termination of oxidation promotion trials.

Dotted lines, walnuts (three samples); solid lines, beechnuts (three samples).

表-3. ブナの雌花開花数と健全堅果数の各調査林分間の相関係数 (2005~2015 年)

Correlation coefficients for the production of female flowers and edible beechnuts during 2005 to 2015 among the monitored beech stands in Iiyama, central Japan.

	Pairs of stands	Correlation coefficient
Female flowers	Climax vs. Isolated	0.881***
	Satoyama vs. Isolated	0.863***
	Climax vs. Satoyama	0.854***
Edible beechnuts	Climax vs. Satoyama	0.826**
	Climax vs. Isolated	0.727*
	Satoyama vs. Isolated	0.712*

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

表-4. 主要なブナ属堅果の胚の一般成分 (%/100 g)

Proximate embryonic constituents (% per 100 g) of beechnuts for the genus *Fagus*.

Species	Moisture	Crude protein	Crude fat	Carbohydrates	Ash	Citation
<i>Fagus crenata</i> (Nagano, Japan)	6.3	22.7	49.9	17.3	3.8	Present study
<i>F. crenata</i> (Iwate, Japan)	12.5	25.2	39.1	19.2	4.1	Iwata (1943)
<i>F. grandifolia</i>	4.0	21.9	57.4	13.2	3.5	Woods and Merrill (1899)
<i>F. sylvatica</i>	9.1	21.7	42.5	22.9	3.9	König (1904)

断片化された小集団の場合、遺伝的多様性の低下の影響もあり得る。当該孤立林分は小規模（面積約 0.15 ha）であり、広範囲に連続分布する極相林分や、比較的連続性が保たれている里山林分に比べると、風媒のブナであっても花粉制限が起りやすいと考えられる（Inanaga *et al.* 2016）。ブナは自家不和合性が高い（寺澤・柳井 1991）ため、その小集団化は他家受粉の機会を減らし、遺伝的多様性を低下させる可能性がある（Ohkawa *et al.* 1998; Kitamura *et al.* 2008）。これらのことから現在、孤立林分では稔性が低下してきており、ある程度の開花量があっても健全堅果数が少ないのではないかと考えられる。以上のような豊凶の林分間の差が生じるメカニズムや要因を解明することは生態学的にも極めて重要であり、このことから、モニタリングの継続は有意義である。

2. ブナ胚成分の特性

ブナの一般成分は、岩田（1943）の戦時中の報告以来、本研究により改めて明らかにされた。ほかの地域のブナ堅果と比べると、一般成分の構成は、当ブナ（長野県北部産）、岩手県産ブナ（岩田 1943）、アメリカブナ（Woods and Merrill 1899）、ヨーロッパブナ（König 1904）の間で多少の違いはみられるものの、いずれも脂質の占める割合が最大である点で共通していた（表-4）。また、栽培クルミ（シナノグルミ、乾燥重量 100 g 当たり水分 2.9%、蛋白質 13.6%、脂質 67.5%、炭水化物 14.3%、灰分 1.7%：戸井田・田島 2015）と比べると今回調べたブナは相対的に蛋白質の含有割合が高く、脂質が低くなっていた。

抽出油の酸化安定性試験においてブナはクルミに比べ搾油率が低かったが、約 1 年の貯蔵後であっても高い酸化安定性を示した（図-2）。その理由として、抗酸化成分の含有割合の高さが考えられる。実際に当地産のブナ油の成分を調べた高崎ら（2015）は、酸化安定性の低い多価不飽和脂肪酸がクルミ油に比べ少なく、酸化安定性に寄与する δ -トコフェロール（ビタミン E）含量が多いことを指摘している。また、本研究では酸化に伴う油の色の変化も認められ、ブナ油はクルミ油に遅れて褪色し、前者の方が酸化安定性の高いことが示唆された。例えば、ブナ油に一部含まれる色素であるカロテノイド類（高崎ら 未発表）には光過酸化を抑制する効果があることから（高木・三宅 2002）、ブナ油の酸化安定性には、先述の抗酸化成分の存在のほか、色素成分が関与していることも推察される。そして、これらの分析で認められた高い酸化安定性は、ブナ堅果の食物としての保存性の高さを示唆するものである。

なお、種子としての発芽能力でみれば、ブナ堅果は含水率 6.6%、 -20°C の条件で 7 年貯蔵した後でも 60% 程度の発芽率を示す（長坂ら 2010）。高い酸化安定性は、こうした種子としての生理機能の保持においても重要な役割を果たしていると考えられる。

3. ブナ堅果の資源管理のあり方

ブナ堅果を一定の地域内で利用するには、採取の作業効率の観点からだけでなく対象地域の生態系や生物多様性への負荷を抑えるためにも、堅果生産特性に応じた持続的な資源管理を行う必要がある。例えば、市街地にある孤立林

分では、17 年間のモニタリングで豊作年が 1 回という低頻度である上に並作年も全くみられなかったことから、ブナの集団維持と個体群の更新を促すため豊作年であっても食用利用を目的とした堅果採取を行うことは避けた。一方、極相林分と里山林分では、採取効率の観点から、堅果の採取は 50 個/ m^2 以上の健全堅果が生産される並作以上の年にしか行えないだろう。

極相林分では、豊作や並作が隔年で訪れていたことから堅果を採取する機会も比較的得やすい。しかし、自然度の高い極相林分において堅果を採取する際は、本研究で成分分析用に堅果を採取した場所のように、発芽しても入山者の踏圧や下草刈り等の維持管理による攪乱のため実生の定着や更新の見込みがほとんどない場所に限定して堅果を拾い集めることが、生物多様性保全上、重要である。ただし、極相林分はほとんど国有林であり、林産物としての利用を目的にブナ堅果を採取する場合、事前に所轄の森林管理署との間に林産物売買契約を結び、採取量に応じて所定の金額で買い受ける必要がある。

里山林分では、ブナ堅果の豊作や並作の頻度が 2~4 年ごとで極相林分より到来頻度が低かったが、2015 年と 2011 年の豊作時の健全堅果数（700 個/ m^2 以上）は極相林をやや上まわり、十分に堅果を採取できることが示唆された。また、発達段階の異なるパッチで構成される里山ブナ林では、2015 年の豊作時、低木パッチ以外で健全堅果が生産され、高木パッチと亜高木パッチの堅果密度は同等で、それより密度の少ない中木パッチ内でも点在状に残るブナ大径木が多くの堅果を生産していた。このことは、里山ブナ林が全体として十分に堅果生産力を有していることを示唆する。里山ブナ林は 1970 年代頃まで薪炭林として小面積での伐採と再生が繰り返されてきた後にブナが一斉に更新し（井田ら 2010）、現在は成熟した高木林分の林床で、2006 年以降に実生更新したブナ個体群が多くみられる。このため里山ブナ林では、ブナ堅果をある程度採取してもその大部分においてブナ個体群が衰退する可能性は低く、適切な林分管理を行えばブナ堅果の持続的な利用が可能であると考えられる。さらに、全国的に課題とされる放棄里山林の有効活用に繋がるという利点もあることから、里山ブナ林では、ブナ堅果を積極的に採取することが望ましい。なお、特殊技能を必要としないブナ堅果の採取作業には、市民や児童・生徒の参加も容易であると考えられるため、地域の自然の価値の再発見に繋がるなどの教育・啓発の効果も期待できる。

4. ブナ堅果の特産物としての利用に向けて

本研究により、ブナ堅果が栄養的に市販のクルミに比べ高蛋白・低脂質であることや保存性の高いこと、そして里山ブナ林でも貨幣価値を生み出す可能性のあることが明らかとなり、ブナ堅果の有用性がある程度示すことができた。しかし、ブナ堅果には顕著な豊凶があり、たとえその保存性の高さを活かして豊作時に凶作時の分を担保できたとしても、特産物として安定供給したり量産したりすることは非常に困難である。量産を阻む大きな要因としては、ブナ堅果を採取するには落下したものを拾い集めたり、落

ちてくる堅果をシート等で集めたりするほかに方法はないことがあげられる。ブナ堅果を拾い集める際の作業効率を里山ブナ林の高木・亜高木パッチでの値から推定すると、1プロット(20×20 cm)当たり1名で採取に要した時間を5分と想定した場合のそれは風乾重で約50.3 g(健全堅果約230粒相当)/人時となる。さらに、ブナ堅果を食品加工用とするには皮むきの作業も加わる。これらのことを考慮すると、現実的には豊作時であっても採取量は限られ、里山ブナ林で生産されるブナ堅果の一部の利用にとどまると想定される。以上を踏まえると、ブナ堅果を特産物とする上で重要なのは、量産することよりも、いかにしてその持続性や付加価値を高めるかということであると結論できる。

V. お わ り に

ブナ堅果の資源管理を適切に行うためには堅果生産量のモニタリングが不可欠であるが、それは同時に、ツキノワグマの出没の予測にも役立つことが近年わかってきている(中島 2013)。Oka *et al.* (2004) は、農作物や人的な被害等をもたらすツキノワグマの行動とブナ堅果の豊凶との相関が日本海側で強いことを指摘しており、本地域でも同様の傾向がみられている。したがって野生生物管理の観点からも堅果生産量のモニタリングは重要であり、行政機関などと連携して随時状況を市民に開示することが望ましい。今後は、飯山市内でブナ堅果が持続的に採取可能な里山林分や極相林分をさらに抽出し、地域の生物多様性や生態系に配慮した資源管理のあり方を探っていくとともに、ブナ堅果の高付加価値化に向けた具体的な栄養的特徴の把握や持続的な生産・流通の仕組みの構築等の検討を行っていく計画である。

本研究を実施するにあたり、長野県シニア大学32期生“おせっかいグループ”の皆様と、信州大学教育学部原田佳一氏および学生諸氏にはブナ堅果採取にご協力いただいた。同学部の蛭田直氏、福田典子氏、白神晃子氏には有益なご助言を数多くいただいた。以上の皆様に厚く御礼申し上げる。本研究の一部は、JSPS 科研費基盤(C)(JP25340107)と、平成26、27、28年度信州大学COC事業(文部科学省地(知)の拠点整備事業)『信州アカデミア』の支援による「ブナの実活用プロジェクト」の一環で行った。

引用文献

- 深町加津枝 (2014) 里山の自然資源の利活用を巡る伝統的な仕組みの意義. 農村計画誌 33: 13-16
- 深町加津枝・奥 敬一・笹岡達男・横張 真 (1996) 近畿地方のブナ林の残存形態に関する考察. ランドスケープ研究 59: 101-104
- 深町加津枝・奥 敬一・下村彰男・熊谷洋一・横張 真 (1999) 京都府上世屋・五十河地区における里山ブナ林の管理手法と生態的特性. ランドスケープ研究 62: 687-692
- 橋詰隼人 (1987) 自然林におけるブナ科植物の生殖器官の生産と散布. 広葉樹研究 4: 271-290
- Heiduschka A, Roser P (1922) Über die Zusammensetzung des Buchenkerneöles (*Oleum fagi silvaticae*). J fuer Praktische Chemie (Leipzig) 104: 137-159
- Homma K, Akashi N, Abe T, Hasegawa M, Harada K, Hirabuki Y, Irie K, Kaji M, Miguchi H, Mizoguchi N, Mizunaga H, Nakashizuka T, Natume S, Niiyama K, Ohkubo T, Sawada S-I, Sugita H, Takatsuki S, Yamanaka N (1999) Geographical variation in the early regeneration process of Siebold's beech (*Fagus crenata* Blume) in Japan. Plant Ecol 140: 129-138
- 市川健夫・山本正三・斎藤 功編 (1984) 日本のブナ帯文化. 朝倉書店
- 井田秀行・別府 桂・堀田昌伸・川上美保子・松田貴子 (2002) 新たな地域資源としての里山ブナ林の適切な保全および活用法の創出に向けた協働プロジェクト. 信州大学環境科学論集 24: 19-22
- 井田秀行・後藤 彩・青木 舞・白田武司 (2007) 豪雪地帯におけるブナ林の森林構造: 長野県飯山市鍋倉山の事例. 信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績 44: 11-18
- Ida H, Hotta M, Ezaki Y (2013) A bagging experiment to evaluate the effect of predispersal predation exclusion on nut viability in beech (*Fagus crenata* Blume). Jpn J For Environ 55: 133-137
- 井田秀行・庄司貴弘・後藤 彩・池田千加・土本俊和 (2010) 豪雪地帯における伝統的民家と里山林の構成樹種にみられる対応関係. 日林誌 92: 139-144
- 井田秀行・高橋 勤 (2010) ナラ枯れは江戸時代にも発生していた. 日林誌 92: 115-119
- Igarashi Y, Kamata N (1997) Insect predation and seasonal seedfall of the Japanese beech, *Fagus crenata* Blume, in northern Japan. J Appl Ent 121: 65-69
- Inanaga M, Koyama Y, Ida H, Okada M, Nakanishi A, Takahashi M, Tomaru N (2016) Pollen dispersal patterns and population persistence in a small isolated population of *Fagus crenata*. Tree Genet. Genomes 12: 69
- 岩田久敬 (1942) 山林樹實類の飼料化試験 (第2報): 檜類團栗の一般成分. 日畜会報 14: 4-16
- 岩田久敬 (1943) 山林樹實類の飼料化試験 (第13報): ブナ實の飼料価値. 日畜会報 15: 139-145
- 鎌田磨人・中越信和 (1990) 農村周辺の1960年代以降における二次植生の分布構造とその変遷. 日生誌 40: 137-150
- 紙谷智彦 (1986) 豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究 (III): 平均胸高直径の異なるブナ二次林6林分における種子生産. 日林誌 68: 447-453
- 気象庁編 (2012) メッシュ平年値2010. 一般財団法人気象業務支援センター
- Kitamura K, Kobayashi M, Kodani J, Yada Y (2008) Genetic diversity of small isolated remnant beech (*Fagus crenata*) populations in the Noto Peninsula. Ann Rep Interdiscipl Res Inst Environ Sci 27: 23-33
- Kon H, Noda T (2007) Experimental investigation on weather cues for mast seeding of *Fagus crenata*. Ecol Res 22: 802-806
- Kon H, Noda T, Terazawa K, Koyama H, Yasaka M (2005a) Evolutionary advantages of mast seeding in *Fagus crenata*. J Ecol 93: 1148-1155
- Kon H, Noda T, Terazawa K, Koyama H, Yasaka M (2005b) Proximate factors causing mast seeding in *Fagus crenata*: the effects of resource level and weather cues. Can J Bot 83: 1402-1409
- König J (1904) Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genussmittel II. Band. Verlag von Julius Springer
- 前田禎三 (1988) ブナの更新特性と天然更新技術に関する研究. 宇都宮大学農学部学術報告特輯 46: 1-79
- Masaki T, Oka T, Osumi K, Suzuki W (2008) Geographical variation in climatic cues for mast seeding of *Fagus crenata*. Popul Ecol 50: 357-366
- 松井太郎・小山浩正・伊藤 聡・高橋教夫 (2009) 山形県のブナ林における豊凶予測手法の適用と改良の可能性. 森林立地 51: 49-55
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: current state and trends, Vol. 1. Island Press
- 長坂晶子・小山浩正・阿部友幸・長坂 有・今 博計・八坂通泰・寺澤和彦・小野寺賢介 (2010) 冷凍貯蔵したブナ種子の発芽率と含水率の10年間の変化. 日林誌 92: 50-53
- 中島春樹 (2013) ブナの雌花序痕を用いた作柄推定: 富山県におけるブナの豊凶とツキノワグマの出没の関係. 日林誌 95: 71-75
- 中島春樹・小谷二郎 (2013) 北陸地方における雄花序落下数によるブナの結実予測: 隔離集団と連続分布集団の結実率の差異. 日林誌 95: 51-59
- 日本油化学会規格試験法委員会編 (2013) 日本油化学会制定 基準油脂分析試験法 2013年版. 日本油化学会
- 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
- Oka T, Miura S, Masaki T, Suzuki W, Osumi K, Saitoh S (2004) Rela-

- tionship between changes in beechnut production and Asiatic black bears in northern Japan. *J Wildlife Manage* 68: 979-986
- 森林総合研究所編 (2011) 山・里の恵みと山村振興：市場経済と地域社会の視点から. 日本林業調査会
- 菅原竜幸 (1972) 栄養はなかなか豊富. *科学朝日* 381: 44-48
- 杉田久志 (2005) 岩手大学御明神演習林大滝沢試験地におけるブナの種子落下および実生発生・生残の11年間の年変動. *東北森林科学会誌* 10: 28-36
- 高木茂明・三宅妙子 (2002) β -カロテン添加食用油の過酸化抑制効果に関する研究 (3): 光過酸化と加熱過酸化の比較. *川崎医療福祉学会誌* 12: 357-364
- 高崎禎子・竹内祥恵・井田秀行 (2015) 信州飯山産“ブナの実”の栄養的特徴と特産品としての可能性. 平成27年度日本調理科学会東海・北陸支部, 近畿支部合同研究発表会講演要旨集: 13
- Takeuchi K (2010) Rebuilding the relationship between people and nature: the Satoyama Initiative. *Ecol Res* 25: 891-897
- 寺澤和彦・小山浩正 (2008) ブナ林再生の応用生態学. 文一総合出版
- 寺澤和彦・柳井清治 (1991) ブナ果実の成熟過程における生残と種子の稔性. *日林北支論* 39: 32-34
- 寺澤和彦・柳井清治・八坂通泰 (1995) ブナの種子生産特性 (I): 北海道南西部の天然林における1990年から1993年の堅果の落下量と品質. *日林誌* 77: 137-144
- 戸井田英子・田島 眞 (2015) 国産および輸入クルミのポリフェノールと *in vitro* 抗酸化能. *日食科工会誌* 62: 27-33
- Woods CD, Merrill LH (1899) Nuts as foods. *Maine Agric Exp Stati Bull* 54: 71-92
- Yasaka M, Terazawa K, Koyama H, Kon H (2003) Masting behavior of *Fagus crenata* in northern Japan: spatial synchrony and pre-dispersal seed predation. *For Ecol Manage* 184: 277-284