目視によるコナラの簡便な豊凶評価

水谷 瑞希^{*1}

非熟練調査者でも簡便にコナラの豊凶を評価できる方法（以下、簡易評価）を考案し、試行した。簡易評価は樹冠部の着果状況を観察し、その豊凶を記述的基準に従って段階的に評価するが、このうち（1）着果の有無と（2）並作以上と不作以下の判断に、定量的基準を設定した。のべ 392 本のコナラを対象に、（A）複数の非熟練調査者が簡易評価によって、（B）1 人の森林研究者が枝先 50 cm 当りの平均着果数を指標とした既存の定量的評価によって、それぞれ同時に豊凶を評価した。（A）と（B）との間で、3 段階に再分類した豊凶評価が一致した個体の割合は 75% で、簡易評価の方が過小評価になる傾向があった。しかし（A）について複数の調査者による評価の最大値を採用した場合、（B）との評価の一致率は 86% に向上し、評価の偏りも解消した。簡易評価は複数の調査者が同時に実施することにより、非熟練調査者でも信頼性を確保しながら簡便に豊凶を評価できることが示唆された。複数の調査者が簡易評価によって豊凶を調査する方法は、ナラ類の豊凶モニタリング調査に適していると考えられる。

キーワード：コナラ、豊凶、モニタリング、目視調査、堅果生産量

Mizuki Mizutani^{*1} (2013) A Simple Method for Evaluating the Acorn Crops of *Quercus serrata* Using Visual Surveys. J Jpn For Soc 95: 60–66 A simple method for evaluating the acorn yield of *Quercus serrata* was developed and tested. This simple method of evaluation, classified the yield qualitatively according to descriptive criteria assessed by direct observation of the tree canopy. A quantitative standard was also established to determine whether trees had fruited, and, if so, to estimate whether the crop yield would be above or below average. The fruiting of 392 *Q. serrata* trees were examined simultaneously in two ways: (A) by several unskilled observers using the simple evaluation method, and (B) by a forest researcher employing the established method based on the average number of acorns on the terminal 50 cm region of the branches. The results obtained using these two methods (which were summarized into 3 levels) were in agreement for 75% of the trees, when the data from individual observers using method (A) were compared with method (B), although the simple evaluation method (A) had a tendency for underestimation. However, when the largest value from the multiple observers was used, the concordance rate with (B) improved to 86% and the evaluation bias was also eliminated. The results of the study indicate that the newly developed, simple evaluation method, when used by several unskilled investigators simultaneously, produces a reliable assessment of the acorn yield and is suitable for monitoring acorn crops in practice.

Key words: acorn crop, masting, monitoring, visual survey, *Quercus serrata*

I. は じ め に

ツキノワグマ *Ursus thibetanus japonicus*（以下、クマ）の人里付近への出沒頻度には大きな年変動があり、ときに大量出沒に至ることが知られている。クマの大量出沒の原因としては様々な可能性が指摘されているが（自然環境研究センター 2005）、中でも重要な誘因と考えられているのが、ブナ科（Fagaceae）樹木の結実不良による秋期の餌不足である。実際、ブナ科樹木が結実不良の年にクマの有害捕獲個体数や出沒件数が増加した事例が、各地で報告されている（谷口・尾崎 2003；Oka *et al.* 2004；水谷・多田 2007, 2011b；中島 2009b）。

この関係性を利用して、ブナ科樹木の豊凶を事前に把握することにより、クマ大量出沒を早期に予測できる可能性があることが指摘されている（Oka *et al.* 2004）。これを受けて近年、クマ大量出沒の事前予測を目的としたブナ科樹木の豊凶調査が、多くの地方自治体で行われるようになった。2011 年 9 月末現在、こうした豊凶調査は、少なくとも北海道と本州の 19 都道府県で実施されている（環境省

野生生物課鳥獣保護業務室 私信）。

樹木の豊凶を評価する方法としては、従来種子トラップにより落下種子を採集する方法が多く用いられてきた。しかしこの方法は種子落下後でなければ豊凶が判明しないため、豊凶の事前把握が必要なクマ大量出沒の事前予測には不向きである。このため、このような豊凶調査では、樹冠部の着果状況を目視で観察して評価する方法を用いることが一般的である。

クマ大量出沒に関連した豊凶モニタリング調査は、短い調査適期（*e.g.* 正木・阿部 2008；中島 2009a）の間に、多地点で広域的に実施する必要があるため、複数の調査者が並行して実施することが一般的である。またこのような調査は行政的必要性にもとづいて行われるため、行政官など森林研究者以外の担い手により実施される場合も多く、また年によって調査者が変わることも想定される。このため、豊凶モニタリング調査の信頼性を確保するためには、調査者間における個人差が生じにくい、頑健性が高い豊凶評価手法が必要である。

目視による樹木の豊凶評価としては様々な方法が提案さ

^{*} 連絡先著者（Corresponding author）E-mail: mmizuki.agr@gmail.com

¹ 福井県自然保護センター 〒912-0131 福井県大野市南六呂師 169-11-2 (Fukui Nature Conservation Center, 169-11-2 Minamirokuroshi, Ono, Fukui 912-0131, Japan)

(2012 年 4 月 2 日受付；2012 年 6 月 26 日受理)

れているが、それぞれに長所・短所がある。もっとも簡便な方法は、樹冠全体を観察し、その着果状況を記述的基準に従って、いくつかの段階に区分して評価する方法である (e.g. Graves 1980; 紙谷 1986)。しかしこの方法は豊凶の判定が個人の主観に左右されるため、調査者による評価の不一致が発生し、異なる調査者や年の調査結果を相互に比較する際に不都合が生じるおそれがある。豊凶の差が大きく明瞭なブナ *Fagus crenata* の場合は、簡便な定性的区分でもおおよそ妥当な評価が可能であると考えられるが (正木・阿部 2008)、ナラ類のように豊凶の差が明瞭でない樹種では、調査者による評価のばらつきが生じやすいことが予想される。豊凶がクマ大量出沒に影響する「鍵植物」は、地域によって異なると考えられており (正木 2011)、とくにブナの資源量が少ない西日本ではナラ類の豊凶がクマ出沒に影響すると予想されている (Oka 2006)。このためこれらの地域では、ナラ類の豊凶を適切に把握することは重要である。調査者の主観による豊凶評価のずれを軽減する方法としては、単位時間当たり堅果確認数 (Koenig *et al.* 1994) や単位枝長当り着果数 (水井 1991) のような定量的基準にもとづいて豊凶を評価する方法があるが、いずれも先に挙げた方法よりも、労力や時間、技術を要する。

誰でも簡単かつ迅速に調査できる豊凶評価手法としてもっとも有望なのは、やはり一般の人にも馴染みやすい、記述的基準にもとづく定性的評価であろう。この定性的評価は、日本でよく用いられている定量的評価手法の一つである水井 (1991) の方法による評価と、ある程度対応することが報告されている (水谷・多田 2011a)。このことを利用して、定性的な記述的基準に最小限の定量的基準を付加することにより、調査の簡便さを維持しつつ頑健性をより高め、かつ水井 (1991) の方法による評価とも比較可能な豊凶評価が可能になることが期待される。

そこで本研究では、従来の記述的基準にもとづく定性的区分に定量的基準を付加した「簡易評価」の豊凶モニタリング手法としての有効性を検討するため、コナラ *Quercus serrata* を対象として非熟練調査者が簡易評価による豊凶評価を試行し、森林研究者の水井 (1991) の方法による豊凶評価と比較した。

II. 調査地と調査方法

1. 評価基準の検討

簡易評価に用いるコナラの豊凶評価基準 (表-1) は、福井県 (e.g. 水谷・多田 2006, 2007) や石川県 (e.g. 野上ら 2007, 2008) の豊凶モニタリング調査で用いられている記述的基準にもとづく定性的区分に、定量的基準を付加して作成した。従来の定性的区分は紙谷 (1986) に準じて、樹冠部における着果状況を以下の5段階で評価するものである。

評価0 着果なし

評価1 樹冠の一部に疎に着果

評価2 樹冠の一部に密に着果

表-1. 簡易評価の評価基準

評価	概要	評価基準	豊凶*
0	着果なし	着果なし。 30秒ずつ3回探しても実が見つからない。	凶作
1	樹冠の一部に疎に着果	着果している枝は樹冠表面の半分以上。 枝の着果数は少ない。	凶作 ～ 不作
2	樹冠の一部に疎に着果	着果している枝は、樹冠表面の半分以上。 着果数が多い枝が目立つ。	
3	樹冠全体に疎に着果	着果している枝は、樹冠表面の半分以上。 枝の着果数は大部分が少ない。	並作 ～ 豊作
4	樹冠全体に密に着果	着果している枝は、樹冠表面の半分以上。 着果数が多い枝が目立つ。 着果している枝は樹冠表面の60%以上。 着果枝では枝に平均4個以上着果。	
5**	樹冠全体に非常に密に着果	ほぼすべての枝に、非常に密に着果。	豊作

枝は先端から長さ50cmの範囲。太字は、本研究で設定した定量的基準。

*水井式着果指数 (水井 1991) にもとづく結実豊凶区分 (水谷・多田 2011a)。

**2009年に追加した評価区分。

評価3 樹冠全体に疎に着果

評価4 樹冠全体に密に着果

評価5 非常に密に着果

この定性的区分のうち評価4は、枝先50cm当りの平均着果数 (以下、水井式着果指数) を指標とする水井 (1991) の方法による豊凶評価で、並作以上の作柄に相当する (水谷・多田 2011a)。そこで評価3と評価4とを区別する上での判断基準として、水井式着果指数にもとづく定量的な基準を設定した。定量的基準は、福井県におけるコナラの豊凶モニタリング調査 (水谷・多田 2006, 2007; 水谷ら 2008) において得られた観測値を参考に設定した。福井県ではコナラの豊凶を水井式着果指数にもとづいて評価しており、その指数を求めるために枝先およそ50cm×20cmの範囲に堅果を着生している枝の本数率 (着果枝率) と、着果枝の同じ範囲における着果数の平均 (着果枝の平均着果数) を観測している。検討には2005年から2007年までに調査した、コナラのべ435個体の観測記録を用いた。評価4とする着果枝率および着果枝の平均着果数の基準は、コナラの平均種子重を1,840mg (広木・松原 1982) とした場合の、種子重-種子数関係にもとづく結実豊凶区分 (水井 1991) の並作下限値 (2.6) がその第3四分位 (上側四分位) に相当する値とした (図-1)。ここで第3四分位を用いたのは、非熟練調査者による観測では、着果の見落としによる過小評価がある程度発生することを想定したためである。以上の検討により、評価4と判断する目安を、「6割以上の枝 (先端から長さ約50cm) に着果しており、かつ着果枝では平均4個以上着果している」こととした。

着果の有無の判断には、30秒ずつ3回観察しても着果が見あたらないという、調査努力量にもとづく目安を設定した。この目安は調査者が観測地点を変えて繰り返し観察することで、観測範囲が限定されるため発生する着果の見落としを減らすことと、「見切り」の基準を設定して調査を迅速化することを狙いとしたものである。30秒という区切り時間は、アメリカで広く採用されている目視による

図-1. 着果枝数、平均着果数と水井式着果指数との関係

図中の点線は水井式着果指数における並作下限値を示している。箱の中央、上、下の線はそれぞれ中央値、第3四分位、第1四分位である。箱の上下のひげは値の範囲を示し、点は外れ値を示す。

豊凶評価手法である 30 second visual survey (Koenig *et al.* 1994) にあわせて設定した。

また調査者が豊凶判断の際に最大の評価を与えることをためらう可能性を考慮し、調査2年目(2009年)からは評価4をさらに区分して、その上位に評価5「樹冠全体に非常に密に着果」という区分を設定した。

2. 簡易評価の試行

調査は2008年から2010年までの3年間、毎年8月下旬から9月上旬にかけて、福井県内の計6地点で実施した。胸高直径が20 cm以上で、樹冠が林冠に達しており、かつ被圧されていないコナラを選び、樹冠全体を目視で観測して個体ごとの着果状況を評価した。3年間で、のべ392個体を対象に調査を実施した。

着果状況の評価は、水井式着果指数と簡易評価によって、同時に実施した。水井式着果指数による豊凶評価は、すべて同一の森林研究者が1人で実施した。水井式着果指数は、12倍防振双眼鏡を用いて地上から樹冠部を目視で観測し、以下の手順で評価した。まず樹冠全体から20本の枝を選び、枝先およそ50 cm×20 cmの範囲に堅果を着生している枝の本数率(着果枝率)を調べた。次に10本の着果枝を対象に、同じ範囲に着生する堅果の個数を調べ、その平均を求めた(着果枝の平均着果数)。そして着果枝率に着果枝の平均着果数を乗じて、水井式着果指数を求めた。簡易評価による調査は、行政官、大学生など、このような森林調査の経験があまりない調査者18名が実施した(表-2)。調査者ごとの調査地点数は1~6地点、調査本数は10~184個体であった。調査者のうち、2年以上続けて調査に参加した者は3名であり、その他15名は1年だけ調査に参加した。簡易評価による調査は、2~5名の調査者が一

表-2. 観測者の属性とサンプル数

観測者	属性	サンプル数(個体)			
		2008年	2009年	2010年	合計
A	行政官	25			25
B	行政官	25			25
C	行政官	10			10
D	行政官	10			10
E	行政官	10	20	10	40
F	行政官		15	14	29
G	行政官		25	25	50
H	行政官		20		20
I	行政官		25		25
J	行政官		25		25
K	行政官		11		11
L	大学生		184		184
M	大学生		184		184
N	大学生		184		184
O	大学生			173	173
P	大学生			173	173
Q	一般			72	72
R	一般			101	101
合計	18名	80	693	568	1341

斉に、8~12倍双眼鏡を用いて地上から樹冠部を目視で観測し、表-1の基準にしたがって個体の豊凶を評価した。簡易評価では定量的基準を設定した区分(評価0と評価1の区分、評価3と評価4の区分)については慎重に判断することを求めたが、それ以外の区分(評価1~3、評価4、5)については、後に述べる再分類の際に統合するため、厳密な判断は求めなかった。基本的に観測は連続30秒間の目視を、観測地点を変えて計3回実施したが、着果がごくわずかであったり、逆に十分に多かったりした場合など、豊凶の評価が明らかな場合は、判断ができた時点で観測を終了した。

3. 解析

簡易評価は、調査者・個体ごとの個別の評価（以下、個別評価）と、複数の調査者による個体ごとの評価の最大値（以下、複数評価）の、2種類の評価値にもとづいて検討した。複数評価について複数の調査者による評価の最大値にもとづいて検討したのは、非熟練調査者による観測では着果の見落としによる過小評価が発生することが予想されるためである。

二つの評価方法による評価の相関について、最尤推定によるポリシリアル相関係数を用いて検討した。また簡易評価の区分間における水井式着果指数の違いについて、クラスカル・ウォリス検定と Scheffé の方法による多重比較 ($p < 0.05$)。中でも評価 4, 5 では、水井式着果指数が並作下限値以上の個体が 86~91%を占めており、他区分との値の分布範囲の重複も少なかった。

水井式着果指数によって並作以上と評価される個体は、記述的基準では「樹冠全体に密に着果」に相当する（水谷・多田 2011a）。そこで水井式着果指数と簡易評価による評価の一致度は、それぞれの評価を着果なし、不作以下、並作以上の3区分に再分類した上で、その対応から検討した。さらに、評価を着果あり/なし、並作以上/不作以下の2区分に再分類した場合についても検討した。評価の一致度は一致率に加えて、偶然によらない一致度の指標である κ 統計量 (Landis and Koch 1977) を用いて判断した。 κ 統計量は -1 から 1 までの値をとり、-1 の場合は完全不一致を、1 の場合は完全一致を、0 は無関連を表す。

二つの評価手法の関連性の有無について、 $\kappa = 0$ （無関連）であるという帰無仮説にもとづいて検定を行った。豊凶評価全体の一致度については、フィッシャーの正確確率検定によって判断した。統計処理には、R version 2.14.0 (R Development Core Team 2011) を用いた。

III. 結 果

1. 両手法による評価の関係

個別評価、複数評価とも、水井式着果指数と簡易評価との間に、有意な強い正の相関が検出された（ポリシリアル相関係数、個別評価 $\rho = 0.81$, $p < 0.0001$; 複数評価 $\rho = 0.90$, $p < 0.0001$ ）。また個別評価、複数評価とも、水井式着果指数は評価 2 と評価 3 の間を除いて、簡易評価の区分間で有意に異なっていた（図-2、クラスカル・ウォリス検定と Scheffé の方法による多重比較, $p < 0.05$ ）。中でも評価 4, 5 では、水井式着果指数が並作下限値以上の個体が 86~91%を占めており、他区分との値の分布範囲の重複も少なかった。

水井式着果指数が並作下限値よりも大きい個体（評価 4, 5 と判定されるべき個体）が評価 2, 3 の区分に含まれる割合は、個別評価と複数評価との間で異なっていた。個別評価では、評価 2 の個体の 18%, 評価 3 の個体の 41%が、水井式着果指数が並作下限値よりも大きい個体であった。一方複数評価では、水井式着果指数が並作下限値よりも大きい個体の割合は、評価 2 では 6%, 評価 3 では 22%であり、簡易評価が過小評価となった割合は個別評価よりも少なかった。逆に水井式着果指数が並作下限値よりも小さい個体（評価 3 以下と判定されるべき個体）が評価 4, 5 の区分に含まれる割合は、個別評価、複数評価とも小さかった。

2. 両手法による評価の一致

個別評価では 75%の個体で、水井式着果指数と簡易評価との豊凶評価が一致した（表-3）。評価が一致しなかった場合では、簡易評価がより過小評価となったものが 22%と多かった。個別評価の一致度は $\kappa = 0.56$ ($p < 0.001$) で、中程度の一致度であった。全体の豊凶区分ごとの個体数割合は、評価手法間で有意に異なっていた（フィッシャーの正確確率検定, $p < 0.001$ ）。2 区分に再分類した場合、着

図-2. 簡易評価と水井式着果指数との関係

図中の点線は水井式着果指数における並作下限値を示す。箱の中央、上、下の線はそれぞれ中央値、第3四分位、第1四分位である。箱の上下のひげは値の範囲を示し、点は外れ値を示す。異なる英小文字は群間に有意差があることを示す（Scheffé 法による多重比較, $p < 0.05$ ）。

表-3. 評価手法間の対応 (個別評価)

水井式 着果指数	簡易評価						合計
	0	1~3	4,5				
着果なし	237 (17.7)	29 (2.2)	0 (0.0)	266	(19.8)		
不作以下	220 (16.4)	614 (45.8)	14 (1.0)	848	(63.2)		
並作以上	0 (0.0)	78 (5.8)	149 (11.1)	227	(16.9)		
合計	457 (34.1)	721 (53.8)	163 (12.2)	1341	(100.0)		

のべ個体数(%)。太字は、二つの評価手法による評価が一致したものを表す。

表-4. 観測者ごとの評価の一致度

観測者	サンプル数 (個体)	3区分		2区分			
		一致率 (%)		着果あり/着果なし		並作以上/不作以下	
		一致率 (%)	κ	一致率 (%)	κ	一致率 (%)	κ
A	25	96.0	0.90	96.0	0.78	100.0	1.00
B	25	100.0	1.00	100.0	1.00	100.0	1.00
E	40	52.5	0.22	52.5	0.09	100.0	1.00
G	50	70.0	0.43	84.0	0.43	86.0	0.55
I	25	72.0	0.41	80.0	0.19	92.0	0.70
L	184	73.9	0.47	87.5	0.20	86.4	0.64
M	184	71.7	0.44	85.9	0.17	85.9	0.63
N	184	79.3	0.57	90.2	0.26	89.1	0.72
O	173	72.8	0.51	75.7	0.53	97.1	0.60
P	173	76.9	0.58	79.2	0.59	97.7	0.74
Q	72	80.6	0.42	80.6	0.41	100.0	1.00
R	101	71.3	0.47	96.0	0.45	97.0	0.75
平均		76.4	0.54	82.2	0.43	94.3	0.78

観測者ごとにサンプル数が20個体以上あり、かつ調査木の中に水井式着果指数で並作以上と評価された個体が含まれているもののみを示した。太字は、手法間で評価に有意な関連があることを示す ($p < 0.05$)。

果あり/なしの区分では一致率は81%、一致度は $\kappa = 0.54$ ($p < 0.001$)であった。一方、並作以上/不作以下の区分では一致率は93%、一致度は $\kappa = 0.73$ ($p < 0.001$)で、着果あり/なしで区分した場合よりも、一致率、一致度とも高かった。

簡易評価による調査者ごとの評価の一致率は $76.4 \pm 12.3\%$ (mean $\pm$ SD)、一致度は $\kappa = 0.54 \pm 0.22$ で、豊凶評価には個人差があった(表-4)。豊凶評価を2区分に再分類した場合の一致度で比較すると、着果あり/なしの区分の場合 ($82.2 \pm 12.1\%$, $\kappa = 0.43 \pm 0.27$) よりも、並作以上/不作以下の区分の場合 ($94.3 \pm 6.0\%$, $\kappa = 0.78 \pm 0.17$) で一致度が高かった。

複数評価では86%の個体で、水井式着果指数と簡易評価との豊凶評価が一致した(表-5)。評価が一致しなかった場合では、簡易評価がより過小評価となったものは8%で、過大評価のもの(6%)と同程度の割合であった。複数評価の一致度は $\kappa = 0.74$ ($p < 0.001$)で、かなりの一致度であった。全体の豊凶区分ごとの個体数割合には、評価手法間で差がなかった(フィッシャーの正確確率検定, $p = 0.91$)。2区分に再分類した場合の一致率と一致度は、着果あり/なしの区分では92%, $\kappa = 0.75$ ($p < 0.001$)、並作以上/不作以下の区分では94%, $\kappa = 0.80$ ($p < 0.001$)であった。

IV. 考 察

水井式着果指数と簡易評価との間には、有意な正の相関があり(図-2)、また複数の調査者による簡易評価の最大

表-5. 評価手法間の対応 (複数評価)

水井式 着果指数	簡易評価						合計
	0	1~3	4,5				
着果なし	67 (17.1)	16 (4.1)	0 (0.0)	83	(21.2)		
不作以下	17 (4.3)	212 (54.1)	9 (2.3)	238	(60.7)		
並作以上	0 (0.0)	14 (3.6)	57 (14.5)	71	(18.1)		
合計	84 (21.4)	242 (61.7)	66 (16.8)	392	(100.0)		

個体数(%)。太字は、二つの評価手法による評価が一致したものを表す。

値を採用した場合、両手法による豊凶評価はよく一致していた(表-5)。このことは簡易評価と水井式着果指数がともに、豊凶の有効な指標になりうることを示唆している。

簡易評価が水井式着果指数よりも過大評価となることは少なかった(表-3)。たとえば簡易評価で評価4, 5と判定された個体のうち、水井式着果指数による評価では不作以下となった個体の割合は8.6% (163個体中14個体)であった。一方、2005年から2007年までの豊凶モニタリング調査において、1人の森林研究者が定量的基準を伴わない従来の定性的区分にもとづいて評価4(樹冠全体に密に着果)と判定した個体のうち、水井式着果指数による評価で不作以下となった個体の割合は31% (38個体中12個体)であり、その割合は簡易評価と有意に異なっていた(フィッシャーの正確確率検定, $p < 0.001$)。したがって簡易評価における定量的基準の設定は、過大評価を防ぐ上で有効であったと考えられる。しかし個別評価では、簡易評価が水井式着果指数よりも過小評価となる場合が多かった(表-3)。これはおもに、観測時に樹冠部に着生する堅果を見落としたことに起因するものと推察される。簡易評価で過小評価が多く発生する傾向は評価の偏りを生じ、結果として全体の豊凶評価が評価手法間で異なったものと考えられる(表-3)。また個別評価では調査者間でも評価が異なっていた(表-4)。以上のことから、簡易評価における定性的区分への定量的基準の付加は過大評価を抑止する効果があるものの、観測時の見落としによる過小評価を防ぐことはできず、これのみでは調査者間の個人差を解消できないことが推察される。一方、複数評価では個別評価と比較して両手法の評価が一致した割合が多く、また評価が一致しない場合でも誤差方向の偏りもなく、全体の豊凶評価も両手法間で一致していた(表-5)。これは複数の調査者が同時に観察することで、樹冠部に着生する堅果を見落とす割合が減少したことによるものと推察される。また、着果あり/なしの2区分に着目すると、わずかな着果の有無を確認できた個体の割合は、森林研究者による観測と複数の非熟練調査者による観測との間で、ほぼ同程度であった(表-5)。以上のことから、コナラの豊凶を並作以上/不作以下/着果なしの3区分で評価する場合、簡易評価を複数の調査者が同時に実施することにより、森林研究者が1人で水井式着果指数によってその豊凶を評価する場合と同程度の信頼性で豊凶を把握できることが示唆される。

このように豊凶をカテゴリカルに評価する方法は、種子トラップによる落下種子の採集や、30 second visual survey (Koenig *et al.* 1994) のように連続的な指標値が得

られる目視による評価手法と比較して、調査によって得られる情報量は少ない。しかし、クマ大量出沒の事前予測のためにブナ科樹木の豊凶（とくにその年変動）を把握することを目的とするのであれば、このようなカテゴリカルな豊凶評価でも十分実用に耐えうるだろう。カテゴリカルな豊凶区分としては、3段階よりも少ない2段階の区分でも、堅果生産量の指標として有効であることが報告されている（Greenberg and Warburton 2007）。また福井県ではこのような区分にもとづく豊凶把握にもとづいて、クマ大量出沒の事前予測を行っており、これまでの中している（*e.g.* 水谷・多田 2007, 2011b）。もし、より単純に豊凶を2区分で評価するのであれば、着果の有無よりも並作以上/不作以下で区分する方法が、より頑健性が高いであろう（表-5）。

3段階のカテゴリカルな豊凶評価に着目するなら、簡易評価手法は水井式着果指数による方法よりも短時間で、個体の豊凶を同じように評価することが可能である。作柄が並作下限値に近い個体の場合は、水井式着果指数による評価と同程度の確認が必要になるが、実際にその作業が必要になる個体はそれほど多くはないと考えられる。たとえば福井県の豊凶モニタリング調査において2005年から2010年までに調査したコナラ1,340個体のうち、水井式着果指数が並作下限値の75~125%の範囲に含まれる個体は6%、また50~150%の範囲としても14%であった。これ以外の大部分の着果個体では、水井式着果指数に準じた詳細な確認を行わずとも、早々に豊凶を判断することが可能であろう。

よく用いられる簡便な豊凶評価手法のうち、記述的基準にもとづく定性的評価では、調査者の主観のずれに起因する評価の不一致が生じることが懸念される。また定量的評価手法の一つである30 second visual survey（Koenig *et al.* 1994）でも、調査者の観測能力の違いによる個人差が生じることが報告されている（正木・阿部 2008）。一方、水井式着果指数（水井 1991）は、適切に実施すれば他の方法よりも個人差は生じにくいと考えられるが、観測項目が多く手間と時間がかかるため、簡便な評価手法とはいえない。その点、複数の調査者が同時に簡易評価によって調査する方法は、調査の頑健性と簡便さを両立しており、クマ大量出沒の事前予測を目的とした豊凶モニタリング調査に適した調査方法であると考えられる。また樹木の豊凶は生物学的に妥当な基準にもとづいて評価することが望ましいが（Sharp 1958）、樹木の着果特性にもとづく定量的基準を付加した簡易評価では、従来の記述的基準のみにもとづく定性的評価よりも、より適切な豊凶評価になることが期待される。

実際の調査にあたってはその信頼性を確保するため、とくに樹冠部に着生する堅果の見落としを防ぐことに留意する必要がある。樹冠部における果実や種子の見落としに起因する過小評価は、目視による豊凶評価手法に共通する課題である（Newton 2007）。堅果の見落としを防ぐもっとも良い方法は、林縁部など見やすい場所に立地する、樹冠部が見通しやすい調査木を選ぶことである。多くの樹種で

は光環境がよい場所ほど種子生産量が多いため、林縁部の個体のみを対象とした調査の結果は、必ずしも林分全体の豊凶の状態を反映しないことが予想される。しかし豊凶モニタリング調査が継続的に実施されるのであれば、クマ大量出沒の事前予測は、その相対的な年変動が把握できれば可能であると考えられることから（水谷ら 2013）、林縁部の個体のみを対象とした調査でも十分な成果が得られるであろう。また、調査木は林冠を構成する高木を選ぶ必要があるが、堅果は樹冠上部に多く着生することが多いため、樹冠上部が見通せないような樹高が高すぎる個体も避けることが望ましい。さらに、簡易評価は非熟練調査者でもわかりやすい基準であるとはいえ、調査の実施前には観測方法の研修を行う必要がある。とくに調査者が一定の精度で観測するためには、堅果が樹冠内のどの部位に、そして枝のどの場所にどのように着生するのかをあらかじめ理解していることが必要である（Sharp 1958）。

この調査手法はナラ類をはじめとする他の樹種でも適用可能であると考えられるが、並作以上/不作以下の判断に用いる定量的基準は、樹種ごとの着果様式にあわせて設定する必要がある。たとえばミズナラ *Q. crispula* の場合、福井県では図-1と同様の検討によって「5割以上の枝に着果しており、かつ着果枝では平均3個以上着果している」という基準を設定している（水谷・多田 2011b）。この際の並作下限値は種子重-種子数関係（水井 1991）から求めているため、着果様式が類似した樹種であれば種子重から推測した基準値を採用する方法も考えられる。しかし、たとえば同じコナラ亜属の中でも堅果が2年かけて成熟する樹種は、堅果が1年で成熟するコナラやミズナラなどとは着果様式が異なることが予想されるため、厳密には樹種ごとに水井式着果指数による豊凶評価を実施し、その結果にもとづいて定量的基準を設定することが望ましいであろう。

調査にあたっては、福井県内各市町の鳥獣行政主管課担当者および福井県自然保護センターのインターンシップ研修生の皆様にご協力いただいた。また査読者の方には非常に有益で示唆に富むコメントをいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- Graves WC (1980) Annual oak mast yields from visual estimates. In: Proceedings of the Symposium on the Ecology, Management, and Utilization of California Oaks. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station General Technical Report PSW-44. Plumb TR (ed) USDA Forest Service, 270-274
- Greenberg CH, Warburton GS (2007) A rapid hard-mast index from acorn presence-absence tallies. *J Wildl Manage* 71: 1654-1661
- 広木詔三・松原輝男 (1982) ブナ科植物の生態学的研究 III. 種子-実生期の比較生態学的研究. *日生態誌* 32: 227-240
- 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
- Koenig WD, Knops JMH, Carmen WJ, Stanback MT, Mumme RL (1994) Estimating acorn crops using visual surveys. *Can J For Res* 24: 2105-2112
- Landis JR, Koch GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174

- 正木 隆 (2011) 大量出沒年の予測. (ツキノワグマ出沒予測マニュアル. 大井徹ら編, 森林総合研究所). 7-18
- 正木 隆・阿部 真 (2008) 双眼鏡を用いたミズナラの結実状況の評価. 日林誌 90: 241-246
- 水井憲雄 (1991) 種子重・種子数関係を用いた落葉広葉樹の種子の結実・豊凶区分. 日林誌 73: 258-263
- 水谷瑞希・多田雅充 (2006) 2005 年の福井県におけるブナ科樹木 4 種の結実状況. Ciconia (福井県自然保護センター研究報告) 11: 64-73
- 水谷瑞希・多田雅充 (2007) 2006 年の福井県におけるブナ科樹木 4 種の結実状況. Ciconia (福井県自然保護センター研究報告) 12: 43-52
- 水谷瑞希・多田雅充 (2011a) ナラ類の目視による豊凶評価手法の比較. 中部森林研究 59: 245-248
- 水谷瑞希・多田雅充 (2011b) 2010 年の福井県におけるブナ科樹木 4 種の着果状況. Ciconia (福井県自然保護センター研究報告) 16: 33-44
- 水谷瑞希・平山亜希子・西垣正男・多田雅充 (2008) 2007 年の福井県におけるブナ科樹木 4 種の着果状況. Ciconia (福井県自然保護センター研究報告) 13: 33-44
- 水谷瑞希・中島春樹・野上達也・多田雅充 (2013) 北陸地域におけるブナ科樹木の豊凶とクマ大量出沒との関係. 日林誌 95: 76-82
- 中島春樹 (2009a) 富山県におけるミズナラ, コナラ堅果の成熟過程: ツキノワグマ大量出沒予測のための着果状況調査適期. 富山森林研報 1: 16-22
- 中島春樹 (2009b) 富山県における堅果類結実調査・予測事例. (平成 20 年度野生鳥獣被害広域防除対策推進調査事業報告書, 林野庁). 187-207, 225-228
- Newton AC (2007) Forest ecology and conservation: a handbook of techniques. Oxford University Press
- 野上達也・中村こすも・小谷二郎・野崎英吉 (2007) 2007 年の石川県加賀地方のブナ科樹木 3 種の結実状況. 石川県白山自然保護センター研究報告 34: 11-20
- 野上達也・中村こすも・小谷二郎・野崎英吉 (2008) 2008 年の石川県加賀地方のブナ科樹木 3 種の結実状況. 石川県白山自然保護センター研究報告 35: 71-83
- Oka T (2006) Regional concurrence in the number of culled Asiatic black bears, *Ursus thibetanus*. Mammal Study 31: 79-85
- Oka T, Miura S, Masaki T, Suzuki W, Osumi K, Saitoh S (2004) Relationship between changes in beechnut production and asiatic black bears in northern Japan. J Wildl Manage 68: 979-986
- R Development Core Team (2011) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing
- Sharp WM (1958) Evaluating mast yields in the oaks. Pennsylvania State University Agriculture Experiment Station Bulletin 635. Pennsylvania State University
- 自然環境研究センター (2005) ツキノワグマの大量出沒に関する調査報告書 (平成 16 年度ツキノワグマ個体群動態等調査事業). 環境省
- 谷口真吾・尾崎真也 (2003) 兵庫県氷ノ山山系におけるブナ・ミズナラの結実とツキノワグマの目撃頭数の関係. 森林立地 45: 1-6