

氷ノ山山系のブナ (*Fagus crenata*) の花芽分化に影響する気象要因の解析

谷口 真吾

Shingo TANIGUCHI

Analysis of meteorological factors on the floral differentiation in *Fagus crenata*.

要旨：谷口真吾：氷ノ山山系のブナ (*Fagus crenata*) の花芽分化に影響する気象要因の解析。兵庫森林技研報第49号：13～18。2001 兵庫県氷ノ山山系において、ブナの結実を1989年から2000年までの12年間にわたり目視判定法により調査した。氷ノ山山系のブナ林では、12年間に豊作が2回、並作が4回、凶作が6回あり、結実はほぼ1年おきに認められ、隔年結果の傾向を示した。しかし、豊作は1993年以降はみられず、豊作の周期に一定の傾向は認められなかった。さらに、ブナの花芽分化に影響すると思われる気象要因を推定するため、結実前年の4月～7月の平均気温、降水量および蒸発散量と翌年の結実度の関係について統計的な解析を行った結果、7月の平均気温が低く、6月の降水量が少なく、5月と7月の蒸発散量が大きい年は、翌年の結実量が増加する傾向にあることがわかった。

I はじめに

日本の冷温帯林（ブナ帯）に生育するブナの結実については、多くの長期的な観測が行われ、結実豊凶に関する調査データは数多く蓄積されている。それらによると、ブナの結実は年次による豊凶の差が大きく、豊作年の結実周期が長いこと、豊凶の周期は全国的に同調する年もあれば逆に同調しない年もあり、地方によってかなりの豊凶差のあること、また豊凶の周期は豊作の翌年には必ず凶作になるが、その傾向が一定でないことが報告されている（菊池，1968；橋詰・山本，1974；箕口・丸山，1984；前田，1988；鈴木，1989；武田，1992；山中，1994；寺澤ら，1995；原，1996；溝口ら，1996；正木，1997）。また、ブナの結実豊凶の周期は、近畿、中国地方あるいは東北、北海道地方など広い範囲の地域間で同調することが報告されている（橋詰，1987；寺澤ら，1995；五十嵐，1996；正木，1997）。この現象は、ブナの結実前年の花芽分化あるいは開花結実当年の気象要因が影響している可能性が高いことを示唆するものと考えられる。しかしながら、ブナの結実量の豊凶は、個体の蓄積資源量の問題や生育過程において6～7月に起こる種子害虫の加害が結実の豊凶に大きく影響するという指摘（寺澤ら，1995）もあり、多くの要因が複雑に絡んでいることが容易に推測される。

そこで本研究では、ブナの花芽分化に影響する気象的な要因に絞って明らかにすることを目的に、1989年から2000年までの12年間にわたり、目視判定法により調査したブナ堅果の結実データと花芽が分化する前年の気象データとの

比較ならびにその統計的な解析を行ったので報告する。

II 材料と方法

1. 調査地

調査地は、兵庫県北部山岳地帯と鳥取県境付近の中国山地東端（北緯35° 20'、東経134° 30'）に位置する氷ノ山（標高1,510m）山系に広がる標高1,080～1,220mのブナ林である。氷ノ山山系のブナ林の特徴は、日本海型の気候条件下にあり、標高約500～600m付近を境にブナ、ミズナラの混交林が分布している。

2. 気象要因

統計的な解析に用いた気象要因は、地域個体群が共通して感知できる条件をみとす必要があることから、冬芽の開芽期から花芽分化期までの気温と降水量および蒸発散量を取り上げた。蒸発散量は気温、日射によって水分が奪われる程度を推定する気候指標であり、理論的に群落地表面の蒸発と植物体から水分が蒸発する蒸散を一括した最大の蒸発散量を推定するものである（中野，1976）。蒸発散量の算出式（高橋，1979）は次のとおりである。

$$E(T) = [3100 \cdot P] / [3100 + 1.8P^2 \cdot \exp\{-34.4T / (235 + T)\}]$$

$E(T)$ ：月蒸発散量（mm/月）、 P ：月降水量（mm）

T ：月平均気温（℃）

実際、多くの林木や果樹では花芽分化期までの高温や降

水量の多少が花芽分化を制御することが報告されており（長尾，1980；小西，1982；福井ら，1984；中川，1988；北口ら，1992）、本論で取り上げた気象要因は花芽分化に影響する可能性の高い要因であると考えられる。なお、個体の資源量蓄積に係る要因としては光合成量の影響が大きく、それに影響する気象要因は日射量あるいは日照時間であると思われるが、観測データが不備なため本論では取り上げなかった。

3. ブナの花芽分化期

ブナの花芽は東北地方では6月下旬に分化（三上・北上，1983）し、中国地方では少し遅れて7月上～中旬に分化する（橋詰，1983）。

しかし、ブナのように冬芽開芽後の開花期と形態的花芽分化期の間隔が比較的短い落葉樹では、開花時期から1～2ヵ月が重要な時期であるといわれており（岩田，1964；小西，1982；中川，1988）、このうち、分化した花芽の形態が肉眼で確認できるようになる前に存在するのが生理的花芽分化期といわれる（岩田，1964；小西，1982；中川，1988）。そこで、花芽分化の気象的な要因の解析は、開芽後の生理的な花芽分化期から形態的な花芽分化期までの期間の気象要因を検討することにして、氷ノ山山系でブナの開芽が始まる4月中、下旬を含む4月、5月、6月、7月の各月ごとの平均気温、降水量のデータを解析に用いた。

気象データは、調査地のブナ林に最も近い北緯 $35^{\circ} 28'$ 、東経 $134^{\circ} 36'$ 、標高220mに位置する「村岡地域気象観測所」（以下、村岡観測所と称する）のAMeDASデータを用いた。観測所と調査したブナ林の間には610～730mの標高差があり、水平距離にして13.6～16.4kmの開きがあるが、本論の解析では、村岡観測所の気象データは補正を行わずにそのまま用いた。

4. 目視判定法によるブナの結実度の観測

1989年から2000年までの12年間にわたり、固定調査木の目視判定法による結実度の調査を行った。

ブナの固定調査木は兵庫県養父郡大屋町横山山国有林651林班（調査林分・I）、広域基幹林道瀨川氷ノ山線沿い（調査林分・II）の2林分である。調査木は、個体によって年次の結実周期が異なるため、各林分とも10本ずつの同一個体を観測した。調査木は胸高直径がほぼ50cm以上の大径木（胸高直径：55～115cm）で完全な孤立木ではないが、樹冠の光環境は良い個体である。調査木の周囲には何本かブナの大径木があり、ブナは上層木の樹冠面積比で約70～90%を占めているが、一部にミズナラも混交する林分である。その他に混交する高木性樹種としてトチノキ、イタヤカエデ、ミズメがあった。これらの林分に成立するブナ、ミズナラは胸高直径約40cm～120cm、樹高は15～

25mであった。

結実度は、毎年、堅果の成熟直前の9月上旬に目視あるいは双眼鏡を用いて、各調査木ごとに調べた。結実度の判定は菊池（1968）の基準を参考にして、次の目視判定がしやすく、個人差が出にくい3段階の判定基準で行った。①豊作…ほとんどの木（70%以上の個体）に結実が認められ、しかも樹冠全体に密に結実した個体の割合が50%以上である状態、②並作…主に大径木を中心に結実が認められ（20～70%の個体）、樹冠全体に結実あるいは部分的に密に結実した個体の割合が50%以下である状態、③凶作…ほとんどの木（20%以下の個体）でまったくあるいはほとんど結実の認められない状態の3段階である。結実度の統計計算には、既報文献から豊作年（橋詰ら，1984；箕口・丸山，1984；齊藤ら，1984；橋詰，1987；大久保ら，1989；鈴木，1989；橋詰，1991；武田，1992）、並作年（橋詰ら，1984；橋詰，1987；橋詰，1991；武田，1992）、凶作年（橋詰ら，1984；箕口・丸山，1984；橋詰，1987；橋詰，1991；武田，1992）における1m²当たりの成熟種子の落下数を参考に実数換算した値を用いた。すなわち、豊作年は600個/m²（平均300～1,000個）、並作年は100個/m²、凶作年は0個/m²（10個/m²以下）とした。なお、山中（1994）は、結実度の判定基準を0～4の5段階に区分しているが、その判定基準に照らし合わせると、豊作は山中（1994）の結実度4、3、並作は山中（1994）の結実度2、1、凶作は山中（1994）の結実度0と一致する。

III 結果

1. 12年間のブナの結実周期

1989年から2000年までの12年間にわたる兵庫県氷ノ山山系のブナの結実周期を表-1に示した。

ブナの結実は、調査した2林分間において、同調傾向であった。ブナは1990年と1993年が豊作年であった。凶作年は1989年、1991年、1994年、1996年、1998年および2000年と1993年の豊作年以降、1年おきに凶作年となっている。すなわち、12年間でブナでは豊作年2回、並作年4回、凶作年6回であった。この結果、ブナの豊作年は3年に一度、その間に並作年は3年に一度、凶作年は2年に一度の頻度で出現したことになる。

2. ブナの結実周期と気象要因の関係

今ら（2001）は、北海道の道南地方のブナの結実状況について10年間にわたり調査し、開花が広い範囲で同調することを見出した。さらに同調する原因は、地域的な気象要因に起因していることを解析した。すなわち、今ら（2001）は、ブナが開芽する4月下旬～5月末までの最低気温花芽分化に関与し、平均の最低気温が例年よりも1℃以上高く、

表-1 氷ノ山山系におけるブナの結実周期 (1989年~2000年)

年次	個体ごとの豊凶判定		豊凶判定
	林分・I	林分・II	
1989	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	凶作
1990	豊作：10本、並作：0本、凶作：0本	豊作：10本、並作：0本、凶作：0本	豊作
1991	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	凶作
1992	豊作：1本、並作：5本、凶作：4本	豊作：0本、並作：7本、凶作：3本	並作
1993	豊作：9本、並作：1本、凶作：0本	豊作：10本、並作：0本、凶作：0本	豊作
1994	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	凶作
1995	豊作：0本、並作：6本、凶作：4本	豊作：0本、並作：7本、凶作：3本	並作
1996	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	凶作
1997	豊作：2本、並作：5本、凶作：3本	豊作：1本、並作：6本、凶作：3本	並作
1998	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	凶作
1999	豊作：1本、並作：5本、凶作：4本	豊作：0本、並作：7本、凶作：3本	並作
2000	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	豊作：0本、並作：0本、凶作：10本	凶作

ある値(閾値)を超えると花芽分化のスイッチが入らないことを明らかにしている。

そこでまず、氷ノ山山系のブナの結実周期を今(2001)の仮説と当てはめてみることにした。まず、1989年から2000年までの12年間のうち結実した年次を抽出した。すなわち、豊作年であった1990年と1993年、並作年であった1992年、1995年、1997年、1999年の6年間について、結実年に分化する花芽に影響した気象要因を推定するために前年の1989年、1991年、1992年、1994年、1996年、1998年の気温条件がそれ以外の年と特徴的に異なっているかを検討するため、1988年から1999年までの村岡観測所の気象データのうち、最低気温を抽出し、開芽が始まる4月中旬ならびに下旬の平均値、5月、6月、7月の平均値を棒グラフに示した(図-1)。

年次別に最低気温の変動が大きかったのは4月中、下旬の平均値であり、その他の月の平均最低気温の変動は小さい傾向であった。そこで本論では、4月中、下旬の最低気温の平均値と結実周期を比較した。

豊作年であった1990年、1993年の花芽が分化する前年の4月中、下旬の平均の最低気温はそれぞれ5.1℃と例年に比べ0.5℃以上の低い値を示し、この2年間については他の年と明らかに異なる傾向が認められた。

しかし、並作年であった1997年の前年の4月中、下旬の平均の最低気温は4.3℃であったにも関わらず、結実は並作であった。すなわち、12年間のうち、最低気温が5.1℃以下であった3年間で豊作年であったのは2年間であり、残りの1年間の結実量は並作と少なかった。

一方、凶作年であった1989年、1991年、1994年、1996年、1998年、2000年の前年4月中、下旬の平均最低気温は、1998年が5.9℃、1990年が5.6℃、1997年が5.8℃と低い値で

あったが、1993年は7.8℃、1996年は7.6℃、1999年は7.8℃と高い値を示した。このように凶作年前年の最低気温については、一定の傾向が認められなかった。

次に、年次別の4月~7月までの月の平均気温、月降水量および蒸発散量とブナの結実度との単相関分析の結果を表-2に示す。

相関係数の大きかった気象要因は、平均気温では、6月($r=-0.452n.s.$)、5月($r=-0.377n.s.$)、降水量では6月($r=-0.415n.s.$)、5月($r=-0.406n.s.$)および7月($r=-0.397n.s.$)であった。また、蒸発散量は、7月($r=0.350n.s.$)、5月($r=0.343n.s.$)であった(n.s.:有意差なし)。

4月~7月の月別平均気温、月別降水量および月別の推定蒸発散量とブナの結実度との重回帰分析(変数増減法による)を行った結果を表-3に示す。

F検定において0.01%の危険率で帰無仮説が棄却される気象要因の組み合わせを解析すると、7月の平均気温(偏相関係数 $r=0.973$)、7月の蒸発散量(偏相関係数 $r=0.971$)、6月の降水量(偏相関係数 $r=-0.967$)、5月の蒸発散量(偏相関係数 $r=0.964$)および6月の蒸発散量(偏相関係数 $r=0.960$)の5つの気象要因の重相関係数 $r=0.983$ 、決定係数は0.97となる組み合わせ(F値=35.037)が得られた。

これは、花芽分化に影響する気象要因は、7月の平均気温が低いことに加えて、ブナの形態的な花芽分化期前の6月の降水量が少なく、さらに7月、5月の蒸発散量が大きく、6月の蒸発散量が小さいと当年に花芽の分化が促進され、翌年の結実量が多い傾向にあることがわかった。

このことから、この5つの気象要因によってブナの花芽分化と翌年の結実変動の大部分(約97%)が説明できることが明らかとなった。

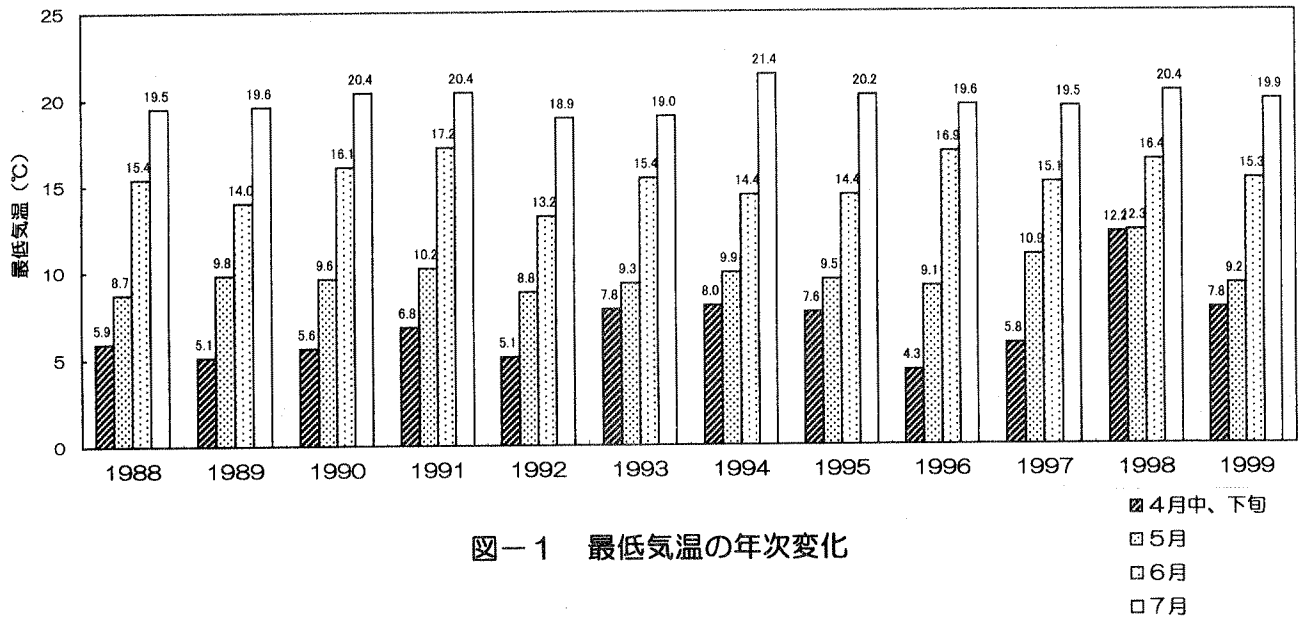


図-1 最低気温の年次変化

表-2 年次別の4月～7月までの月別平均気温、総降水量および蒸発散量とブナの結実度との単相関係数

気象要因	4月 平均気温	5月 平均気温	6月 平均気温	7月 平均気温	4月 総降水量	5月 総降水量	6月 総降水量	7月 総降水量	4月 蒸発散量	5月 蒸発散量	6月 蒸発散量	7月 蒸発散量
4月・平均気温①	-											
5月・平均気温②	0.5669	-										
6月・平均気温③	-0.1747	0.3301	-									
7月・平均気温④	0.4312	0.3674	0.1822	-								
4月・総降水量⑤	0.4839	-0.0180	-0.1529	-0.0469	-							
5月・総降水量⑥	-0.1114	-0.1700	-0.4310	0.0099	0.1988	-						
6月・総降水量⑦	-0.4289	0.0122	0.2988	-0.5057	-0.0365	-0.2264	-					
7月・総降水量⑧	-0.2056	0.0643	-0.0493	-0.3843	0.0596	0.4736	0.0476	-				
4月・蒸発散量⑨	0.1212	0.3511	-0.0269	0.3795	-0.8009**	-0.2941	-0.3024	-0.2317	-			
5月・蒸発散量⑩	0.3460	0.4202	0.3965	0.1597	-0.1162	-0.9094**	0.0900	-0.3740	0.3540	-		
6月・蒸発散量⑪	0.4010	0.0765	-0.0808	0.5782*	-0.0590	-0.1526	-0.9584**	-0.1573	0.3651	-0.0253	-	
7月・蒸発散量⑫	0.2670	0.0442	0.0513	0.5794*	-0.1448	-0.3719	-0.1793	-0.9409**	-0.3754	0.2998	0.3002	-
結実度	0.2135	-0.3769	-0.4519	-0.0596	0.0803	-0.4060	-0.4148	-0.3971	0.1362	0.3430	0.3083	0.3500

(** : P<0.01, * : P<0.05)

表-3 年次別ごとの月別平均気温、総降水量および蒸発散量とブナの結実度との重回帰分析結果

気象要因	重相関係数	決定係数	F値 (** : P<0.01) (* : P<0.05)
①②③⑤⑥⑦⑨⑩⑪	0.7652	0.5856	2.7271 ^{n.s.}
②③④⑥⑦⑧⑩⑪⑫	0.9825	0.9653	35.0367**
③④⑦⑧⑩⑪⑫	0.8867	0.7863	6.7808*
③④⑦⑧⑪⑫	0.8257	0.6818	4.9288*
④⑧⑫	0.3472	0.1205	1.3015 ^{n.s.}

気象要因の①～⑫は、表-2に示した要因を示す。

IV 考察

氷ノ山山系のブナ林において12年間の結実周期とその年次変動を調査した結果、調査した2林分間では結実は同調する傾向であった。ブナの結実は12年間に豊作が2回、並作が4回、凶作が6回あり、結実はほぼ1年おきに認められ、隔年結果の傾向を示した。しかし、豊作は1993年以降はみられず、豊作の周期に一定の傾向は認められなかった。さらに、ブナの結実は、ほとんど結実をみない凶作年と並作年以上の結実を示す年を繰り返すという結実周期が認められた。

ブナの結実周期が長い理由として、ブナの開花、結実には多くの栄養源を必要とし、豊作年あるいは並作年に多量に結実すると樹体内の蓄積した栄養分を消耗し、その回復に長期間を要するためであると考えられている(橋詰, 1987; 武田, 1992)。ブナ個体でみると豊作年の年輪幅は凶作年の最大年輪幅と比較して約半分に低下する(橋詰, 1991)という事実はこの考えを裏付けるものであろう。このように、ブナは結実によっていかに多くの栄養源を消費しているかをうかがうことができる。この現象は、結実のための樹体の栄養回復には長期間を要するために豊作の周期が長くなると考えられる。

次に、氷ノ山山系のブナの花芽分化に影響する気象要因の推定を行うにあたり、12年間のうち結実した6年前年の月別最低気温の特徴を考察する。

豊作年の前年における4月中、下旬の平均最低気温は例年に比べ0.5℃以上の低い値を示した。さらに凶作年は6回あったが、前年の4月中、下旬の平均最低気温は、3回が5℃台の低い値であり、残りの3回は7℃台と高い値であった。このように、結実年および結実しない年の前年における最低気温の傾向にバラツキが認められ、一定の傾向はみられなかった。特に最近では、地球温暖化の影響による平均気温の上昇が問題となっているが、それが花芽分化や翌年の結実に影響するのではないかとする弊害も危惧されつつある。

さらに、年次別の結実の豊凶と結実年ならびに結実しない年の前年における気象要因(気温、降水量、蒸発散量)を重回帰分析(変数増減法)によって統計解析すると、7月の平均気温が低いことに加えて、6月の降水量が少なく、さらに、5月と7月の蒸発散量が大きく、6月の蒸発散量が小さい年は、翌年の結実量が増加する傾向にあることがわかった。

すなわち、ブナの開芽後から形態的花芽分化期までの降水量と平均気温ならびに蒸発散量が翌年の結実を左右する可能性があるものと考えられ、特に降水量が少ないとブナはかなりの乾燥状態におかれ、乾燥のストレスを受けて生育が抑制されるとともに、花芽分芽が促進されたものと考え

えられる。

ヨーロッパブナでは6~7月の気温が平均気温よりも高いことが花芽分化を促進する(Matthews, 1963)としており、100年以上にわたる調査から前年の夏の乾燥した天候と結実の豊作との相関関係が見いだされている(Matthews, 1963)。一般的には樹木の花芽の分化にはある一定値以上の温度が必要なようである(Matthews, 1963; 小西, 1982; 中川, 1988)。

このように本論の解析結果は、結実の豊凶リズムに対する要因として、花芽分化期までの降水量ならびに気温が関与していることが示唆された。すなわち、結実前年の花芽分化期に乾燥ストレスを受けると花芽分化が促進され、翌年のブナの結実に影響するという解析結果が得られた。

この結果は、北アメリカのコナラ属3種では春の開芽の時期の気温と夏の乾燥が種子生産に大きな影響を与えるとするSork *et al.* (1993)の考察と同様の傾向であった。しかし、Sork *et al.* (1993)は結実が起こる要因は、過去の堅果生産量が当年の堅果生産量に与える影響の方が気象要因よりも強く、種子生産のために資源を蓄積する期間が必要である(Sork *et al.*, 1993)としており、豊凶の周期に関係する気象的な要因は副次的であると結論付けている。今後さらにmasting的な種子生産特性を有するブナにおいて、長期的な結実周期の観測からこの仮説を検証するため、結実の豊凶データの蓄積を継続したいと考えている。

このようにブナの結実は、発育途上の幼果実は病虫害の加害や受粉の成功あるいは不成功による未成熟、風害など機械的な原因によって落下する現象が認められ、結実量の多少に強い影響を及ぼしていることが報告されている(橋詰, 1991)。今後さらに、樹体の栄養条件(養分蓄積量)を含め、果実害虫あるいは受粉に起因する未成熟による落下などの影響も調査し、花芽分化を支配する要因を検討する必要がある。

本論の作成に当たり、橋詰隼人博士(鳥取大学名誉教授)には、多くの議論を通して多大なご助言を頂いた。深く感謝の意を表す。

引用文献

- (1) 福井博一・増田哲男・今河 茂・田村 勉(1984): リングの花芽分化に及ぼす果実発育期の温度の影響. 北海道大学農学部邦文紀要14: 159-165.
- (2) 原 正利(1996): 日本のブナとブナ林.(ブナ林の自然誌. 平凡社, 237pp, 東京): 38-54.
- (3) 橋詰隼人・山本進一(1974): 中国地方におけるブナの結実(I) 着果調査. 日林誌56: 165-170.

- (4)橋詰隼人(1983)ブナの花芽分化期及び花芽の発育経過について(予報). 広葉樹研究2:41-47.
- (5)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.
- (6)橋詰隼人・菅原基晴・長江恭博・樋口雅一(1984)ブナ採種林における生殖器官の生産と散布(I)種子の生産と散布. 鳥大農演報36:35-42.
- (7)橋詰隼人(1991):ブナの種生態.(ブナ林の自然環境と保全. ソフトサイエンス社, 399pp, 東京):53-64.
- (8)五十嵐 豊(1996):ブナ林・ミズナラ林の種子生産とその害虫. 森林総合研究所東北支所年報37:39-44
- (9)岩田正利(1964):花芽分化から開花まで.(果樹園芸講座3. 朝倉書店, 275pp, 東京):75-86.
- (10)菊池捷治郎(1968):ブナ林の結実に関する天然更新論的研究. 山形大紀要(農学)5:221-306.
- (11)北口美代子・関本美知・長門壽男・一敏田 清(1992):ニホンナシのえき花芽着生と気象要因および新しょう形態の関係. 千葉農試研報33:87-96.
- (12)今 博計・小山浩正・寺澤和彦・八坂道泰・長坂有(2001):ブナの結実予測(IV)一開花の同調性は気象要因で説明できるか?一. 日林北支論49:66-68.
- (13)小見山 章・和田一雄・陸 斉(1991):志賀高原横湯川流域における落果量の年次変動. 岐阜大農研報 56:165-174.
- (14)小西国義(1982):花芽の分化と発達.(植物の生長と発育・養賢堂, 244pp, 東京):112-117.
- (15)正木 隆(1997):ブナの種子の豊凶メカニズムの解明に向けて. 森林総合研究所東北支所だより404:1-3.
- (16)Matthews, J.D.(1963):Factors affecting the production of seed by forest trees. For. Abst. 24:1-13.
- (17)前田禎三(1988):ブナ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.
- (18)三上 進・北上彌逸(1983)ブナの花芽及び胚の発育過程とその時期. 林木育種場研報1:1-14.
- (19)箕口秀夫・丸山幸平(1984):ブナ林の生態学的研究(X X X VI)豊作年の堅果の発達とその動態. 日林誌66:320-327.
- (20)箕口秀夫(1995):森の母はきまぐれーブナのmastingはどこまで解明されたかー. 個体群生態学会会報53:33-40.
- (21)溝口紀泰・片山敦司・坪田敏男・小見山 章(1996):ブナの豊凶がツキノワグマの食性に与える影響ーブナとミズナラの種子落下量の年次変動に関連してー. 哺乳類科学36:33-44.
- (22)水井憲雄(1993):広葉樹のタネの豊凶. 北方林業46:17-120
- (23)長尾精文(1980):スギの花成におよぼす温度の影響. 日林誌62:280-282
- (24)中川昌一(1988):花芽の分化と発達.(果樹園芸原論一開花・結実の生理を中心として一. 養賢堂, 492pp, 東京):1-49.
- (25)中野秀明(1976):森林水文学(水文学講座13). 共立出版, 288pp, 東京
- (26)大久保達弘・丹波 玲・梶 幹男・濱谷稔夫(1989):秩父山地イヌブナ(*Fagus japonica Maxim*)天然林における堅果落下量と実生の消長. 日生態会誌39:17-26.
- (27)斉藤 晋・加藤億重・百済弘胤・阿部光雄・加川幸一郎(1984):ブナ林におけるブナ実生と落下種子の密度分布. 群馬県立女子大学紀要4:131-144
- (28)佐々木忠兵衛(1988):東京大学北海道演習林におけるミズナラとカシワの着花結実に関する調査. 北海道の林木育種31:29-32.
- (29)鈴木和次郎(1989):ブナの結実周期と種子生産の地域変異(予報). 森林立地31:7-13.
- (30)高橋浩一郎(1979):月平均気温・月降水量より蒸発量を推定する式. 天気26:759-762.
- (31)武田 宏(1992):野々海ブナ林における7年間のブナの結実評価. 日林誌74:55-59.
- (32)滝谷美香・水井憲雄・寺澤和彦・梅木 清(1998):落葉広葉樹35種の結実豊凶に関する資料. 北林試研報35:31-41.
- (33)寺澤和彦・柳井清治・八坂通泰(1995):ブナの種子生産特性(I)一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.
- (34)Sork, V. L., Bramble, J. and Sexton, O., (1993):Ecology of mast-fruiting in three species of North American deciduous oaks. Ecology74:528-541.
- (35)山中典和(1994):京都大学芦生演習林におけるブナの結実について. 日林関西支論3:83-86.