

研究資料 (Research material)

鳥類が採食する樹木果実生産量の年変動 －札幌市羊ヶ丘における 2000～2009 年の記録－

松岡 茂^{1)*}

Variation in fruit production of bird-dispersed tree species - Data recorded between 2000 and 2009 in Sapporo, Hokkaido -

Shigeru MATSUOKA^{1)*}

Abstract

Individual variations in fruit production of 6 bird-dispersed tree species (*Sorbus alnifolia*, *Sorbus commixta*, *Kalopanax pictus*, *Acanthopanax sciadophylloides*, *Magnolia obovata*, and *Actinidia arguta*) were recorded for 10 years in a broad-leaved forest in Sapporo, Hokkaido, northern Japan. Individual locations of the fruit-bearing trees of 4 of the 6 specified species were also determined to assess the distribution patterns of the fruiting trees in the forest. Annual fluctuations in fruit production were observed among the tree species. A large number of trees bearing fruits and a large yield of fruit crops in a year constituted a “good” fruit year. The fruit-bearing trees were almost randomly distributed, except for 1 species (*A. sciadophylloides*) that was strongly aggregated.

Key words : fruit-eating bird, fruit-bearing tree, masting, distribution pattern

要旨

札幌市豊平区羊ヶ丘で、鳥類が果実を採食する 6 樹種 (アズキナシ, コシアブラ, ハリギリ, ホオノキ, サルナシ, ナナカマド) について、2000 年から 2009 年までの 10 年間、果実生産量の調査を行った。調査は、個体ごとに、毎年の結実程度を記録し、さらにアズキナシ, コシアブラ, ハリギリ, ホオノキの 4 種については、調査区内での位置を記録し、結実木の分布様式を解析した。果実生産量の年変動が、それぞれの種で認められた。結実木の割合が高く、結実程度の良い個体が多い年が、豊作年であった。結実木の分布様式は、コシアブラが集中分布を示したのに対し、他はランダム分布傾向であることが多かった。

キーワード：果実食鳥類、結実木、豊凶、分布型

1. はじめに

樹木種子の生産量は年により大きく変動することが知られていて (滝谷ら 1998 など)、森林更新 (小山ら 2000, Shibata et al. 2002) や樹木成長 (澤田ら 2008) などと密接な関係があると考えられることから森林研究者の主要な研究対象の一つとなってきた。また、樹木の果実は哺乳類の食料にもなっていて (小池・正木 2008)、その生産量の年変動は動物の行動や、さらに捕食、競争関係などを通じて生態系にも大きな影響を与えている (Ostfeld and Keesing 2000)。くわえて、哺乳類の中でもとくに人間生活と関係の深い動物の食物となる樹木果実 (たとえば、ツキノワグマの餌となっているブナ堅果) の生産量の変動については、野生獣の研究者 (Oka et al. 2004 など) のみならず、行政部局 (たとえば、東北森林管理局 2011) も注目している。

いっぽう、さまざまな鳥類も、多様な樹木の果実を採食する (清棲 1978, 叶内 2006)。温帯域では秋から冬にかけて多くの樹種で結実がみられるが、おもに昆虫食と考えられているキツツキ類でも、この時期には頻繁に樹木果実を採食する (Matsuoka 1985, 1986)。樹木果実は、鳥類にとっても重要な食物資源となっていて、彼らの生活に与える影響も大きい。果実生産量の変動は、果実食鳥類の移動 (Svardson 1957, Bock and Lepthien 1976, Koenig and Johannes 2001) や営巣開始の決定 (Nethersole-Thompson 1975, 松岡 1993)、鳥類による農作物への加害の現れ方 (山口 2005) などとの関連が大きい。鳥類研究者の関心事の一つでもある。

著者は、日本の北方域での、果実食鳥類 (とくに、ヒヨドリ) の数の季節変動と樹木果実の生産量との関係を明らかにする目的で調査を行ってきたが、ここでは、鳥

原稿受付：平成 23 年 11 月 18 日 Received 18 November 2011 原稿受理：平成 24 年 5 月 1 日 Accepted 1 May 2012

1) 元森林総合研究所北海道支所 Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Research Institute (FFPRI)

* 森林総合研究所企画部 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 Research Planning and Coordination Department, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan, e-mail: shmatsu@affrc.go.jp

類による果実採食が確認されている6種の樹木個体の果実生産量および結実木の分布様式について10年間にわたって継続観察を行った結果を報告する。

2. 調査地および方法

果実生産量の調査は、2000年から2009年まで、札幌市豊平区羊ヶ丘に所在する森林総合研究所北海道支所実験林および農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター構内の森林で行った。

この調査地では、ヒヨドリ (*Hypsipetes amaurotis*)、ツグミ類 (*Turdus* spp.)、レンジャク類 (*Bombycilla* spp.) など28種の鳥類が、21種の樹木果実を採食したのを観察している。果実採食が観察された樹種の中で、結実個体のサンプル数を多くとれる樹種6種 (アズキナシ *Sorbus alnifolia*, コシアブラ *Acanthopanax sciadophylloides*, ハリギリ *Kalopanax pictus*, ホオノキ *Magnolia obovata*, サルナシ *Actinidia arguta*, ナナカマド *Sorbus commixta*) を調査対象とした (植物の学名は、高畑ら2000に従った)。

果実生産量の評価方法: 果実生産量の調査方法は、シードトラップ (水永ら1998) や双眼鏡 (正木・阿部2008) による直接カウント法や、種子数のカウントと種子重から豊凶度を推定する方法 (水井1991) などがあるが、ホオノキの集合袋果を除いては直接的にかつ簡便に数を算定することが困難と考えられたので、ここでは、下記の方法で果実生産量 (結実程度) を評価した。

1) アズキナシ、コシアブラ、ハリギリ、ホオノキの4種については、落葉広葉樹林内 (標高130–140 m) に13個の方形区 (50 x 50 m) を南北に十字架状に配置し (3.25 ha)、毎年11月上旬に結実木を探し、個体ごとに結実程度を調査した。方形区は、広葉樹林内の広範囲な部分をサンプリングすることと、調査労力との兼ね合いで十字架状の配置とした。結実程度は、コシアブラ、ハリギリについては、各個体の枝全体に占める花序の付き具合と、各花序での実の付き具合を目視によって判断し、全く実が付いていない状態 (0) から、樹冠部のおよそ30%以下の着果 (1)、30–70%程度の着果 (2)、それ以上の着果 (3) までの4段階に区分した。アズキナシは、目視により各個体の枝全体に占める実の付き具合を判断し、上と同様に全く実が付いていない状態から、およそ30%以下の着果 (1)、30–70%程度の着果 (2)、それ以上の多量着果 (3) までの4段階に区分した。また、ホオノキは、個体のサイズにかかわらず、各個体の集合袋果の数により評価した。結実程度は、集合袋果の数をもとに、0 (集合袋果数0)、1 (同1–5)、2 (同5–10)、3 (同11以上) の4段階に区分した。

方形区内で最初に結実を確認したときに、その個体の胸高直径 (周囲長から計算) と樹高 (レーザー距離計と目測の併用) を計測し、方形区の1つの角からの距離と角度 (コンパスとレーザー距離計を使用) から、方形区

内での位置を計算した。

2) サルナシは、方形区でのサンプル数が少なかったため、調査地内の落葉広葉樹林の広い範囲 (標高100–230 m) から26個体 (2000年は21個体) を選び、マークを施して、毎年9月下旬に個体ごとに結実程度を観察した。結実程度は、アズキナシと同様に目視により各個体の枝全体をみて、全く実が付いていない状態 (0) から、少量 (1)、中量 (2)、多量 (3) 生産までの4段階に区分した。

3) ナナカマドも方形区ではサンプル数が少なかったため、実験林林道沿い (標高140–160 m) に植樹された15個体を選び、毎年11月中旬に観察した。結実程度は、アズキナシと同様に目視により全く実が付いていない状態 (0) から、多量 (3) 生産までの4段階区分とした。合わせて、毎年各個体を撮影し、年度ごとの結実程度の比較を行い、年度間での評価結果をそろえるようにした。

結実木割合は、(その年の結実樹木数/調査期間中の全結実樹木数 x 100) により、また結実程度の出現率は、(各結実程度に区分される結実樹木数/その年の結実樹木数 x 100) により求めた。

分布様式の解析: 林内における結実木の分散状態は、果実を採食する動物の行動への影響が大きいと考えられるので、結実木の分布様式を求めた。方形区内の樹木の分布様式の解析には、最近接距離法 (Clark and Evans 1954) をもとに、調査地の周囲長を考慮した修正最近接距離法 (Sinclair 1985) を適用した。この方法は、野外での各個体と隣接個体との最近接距離の平均値を求め ($\bar{y}$)、これと個体が調査地内に同じ密度でランダムに分布する場合のそれぞれの個体と隣接個体との最近接距離の理論的平均値 ($E(\bar{y})$) を比較して、分布様式を調べる方法である。 $R = \bar{y} / E(\bar{y})$ とした場合、ランダム分布の場合は R は1に近い値を示し、集中分布傾向では0に近づき、均一分布では最大2.1591に近づき、空間的ランダム性からの逸脱の統計学的有意性が検定できる。有意でない場合は、必ずしも空間的ランダム性を保証するものではないが、この報告ではランダム傾向にあると記述する。

3. 結果と考察

方形区で調査を行った4種については、調査期間中に結実が観察できた個体のサイズ (胸高直径、樹高)、各年の結実程度 (0–3) を Tables 1–4 に、方形区内の全結実樹木の位置を Fig. 1 に示した。表中の個体番号は、Fig. 1 に示したそれぞれの種の個体番号と対応する。枯死、幹折れあるいは倒木の発生のため、調査期間中にデータの収集を打ち切っている場合がある。倒木や幹折れの発生が2004年にとくに多いが、これは9月に北海道西岸部を通過した台風18号 (Typhoon Songda) に起因するものである (Matsuoka 2006)。また、4種の年ご

との結実個体の結実程度 (1-3) と位置を Figs. 2-5 に示した。サルナシとナナカマドの結実程度の年変動は、Tables 5, 6 に示した。また、6 種について、年ごとの結実程度の出現率を Fig. 6 に示した。Fig. 7 に、方形区内で計測した 4 樹種の胸高直径と樹高の分布を示した。

方形区内で調査した 4 樹種の結実木については、年度ごとおよび全期間の結実木について分布様式の解析を行い Table 7 に示した。

以下、調査した 6 種についてそれぞれの特徴を記しておく。

1) アズキナシ

個体の結実状況は、Table 1 の個体番号 1 (以下、No. 1) のように、2000 年に結実した後まったく結実しなかった個体や、No. 4 のように、2000、2005 年だけ結実した個体もあるが、多くの個体は、結実してから 2-3 年後には再び結実した。

結実木割合が 60% 以上の年は、2000、2003、2005、2007、2009 年であったが、いっぽうで全く結実が見られない年 (2006) があるなど、結実木割合の年変動は大きかった (Table 1)。結実木割合の大きな年変動は、個体間に結実同調性があることを示唆している。2001 年から 2002 年まで 2 年間結実個体が少なかったのを除くと、2003 年以降は隔年に結実木割合が高かった (Figs. 2, 6)。結実木割合が高い年は、結実程度の高い個体が多かったが、結実木割合が少ない年は、結実したとしてもほとんどが結実程度 1 にとどまっていた。結実木割合の年変動と個体の結実程度の変動があるために、果実生産量の年変動は大きかった。

結実個体の分布様式は、年ごとに見ても、また 10 年間の総結実樹木でみても、ランダム分布からの逸脱はみられなかった (Table 7)。結実木の胸高直径、樹高の中央値はそれぞれ 24.8 cm、16.3 m であった。それぞれの測定値の範囲は、他の種に比べて狭かった (Fig. 7)。

2) コシアブラ

多くの個体は、結実 2-3 年後に再び結実したが、No. 16 のように 4 年間結実しなかった個体もあった (Table 2)。結実木割合はすべての年で 60% 以上であったが、63 から 97% までの変動があった (Table 2)。結実木割合が 90% を超えるような高い年 (2004、2007 年) は、結実程度が 2 や 3 の個体が多い傾向が認められた (Figs. 3, 6)。逆に、結実程度が 1 の個体が多くみられた 2002、2005、2008 年に注目すると、2 年間比較的生産量が多かった後の 1 年は生産量が少ないという傾向をもつようにもみえるが、さらに長期間のデータ蓄積が必要であろう。毎年の結実木割合は、他種と比較して高いものの、結実程度に年変動があるため、果実生産量には比較的大きな年変動が認められた。

結実個体の分布様式は、すべての年で、また総結実樹木でみても、集中分布を示していた (Table 7)。結実木

のサイズも 4 種の中では、胸高直径、樹高共に、中央値 (それぞれ、21.5 cm、14.5 m) が小さかった。また、最小値も最も小さな値を示し、より小さな木での結実がみられた (Fig. 7)。

3) ハリギリ

多くの個体は、結実してから 2-3 年後に再び結実したが、4 年後に結実する個体もあった (Table 3)。結実木割合が 60% 以上の年は、2000、2003、2004、2006、2008 年であったが、いっぽうで全く結実が見られない年 (2009 年) や結実木割合が 10% 以下の年 (2001、2005 年) があるなど、結実木割合の年変動は大きかった (Table 3)。結実木割合の変化の周期性を示すような傾向は、とくに認められなかった。結実木割合が 80% を越えるような高い年は、結実程度の高い個体が多かったが、結実木割合が少ない年は、結実程度 1 にとどまっているものが多かった。結実木割合の年変動と個体の結実程度の変動があるために、果実生産量の年変動は大きいと推定された。

結実個体の分布様式は、年度では 2003 年に集中分布傾向を示したが、その他の年および総結実樹木でみた場合、ランダム分布傾向を示した (Table 7)。結実木のサイズは、4 種の中では、胸高直径、樹高共に、中央値 (それぞれ 41.7 cm、18.5 m) が大きかった。また、それぞれの最小値、最大値も最も大きな値を示した (Fig. 7)。

4) ホオノキ

1 回結実した後数年間結実が見られない個体 (たとえば、No. 1) から、毎年結実する個体 (たとえば、No. 15) があり、個体間の結実状況の違いが顕著であった (Table 4)。結実木割合が 60% 以上の年は、2007、2009 年の 2 年のみであった (Table 4)。今回の結実木割合の計算にあたっては、調査期間に結実が見られた個体はすべて、調査開始後の分母 (結実可能樹木数) としてカウントされるため、もし調査期間後半に初めて結実した個体が存在すると、調査初期の結実木割合は低く算定される。しかし、この点を考慮しても、ホオノキの結実木割合は、他の樹種に比べて低いといえる。周期的な結実状況を示唆する傾向はとくに認められなかった。

結実個体の分布様式は、年度ごとに見ても、また総結実樹木数でみても、ランダム分布傾向であった (Table 7)。結実木の胸高直径、樹高の中央値は、それぞれ 27.1 cm、16.8 m であった。中央値では、胸高直径、樹高ともハリギリに次ぐ大きさであったが、最も小さな結実個体は、コシアブラに近い値であった (Fig. 7)。

5) サルナシ

多くの個体が毎年のように結実し、また結実しなかった個体が特定の年に集中することはなかった。その結果、すべての年で比較的高い結実木割合を示し、すべての年で 80% を超えた (Table 5)。各結実程度の出現割合は年度によって異なっており (Fig. 6)、果実生産量の年

変動が認められたが、他の樹種に比較して、果実生産量の年変動は少ないと言える。また、周期的な結実状況を示唆する傾向はとくに認められなかった。

6) ナナカマド

多くの個体が毎年のように結実したが、サルナシとは異なり、結実しない個体が特定の年(2001、2009年)に集中した。この2年間を除き、結実木割合は80%を超え、調査した全個体が結実した年が5年あった(Table 6)。ナナカマドの結実では、周期的な結実状況を示唆する傾向はとくに認められなかった。結実木割合が高い場合でも、2006、2007年のように、結実程度の高い個体の出現率が低い年もあった。この点は、結実木割合が高い年には結実程度の高い個体が多く出現する他の樹種とは異なっていた。

ナナカマドの結実程度をチェックするために撮影した写真の例を示した(Photo 1)。同じ年度内あるいは年度間での豊凶程度の比較を写真で行うことにより、評価基準をそろえることが可能であった。画像や印刷物を参照しながら目視結果を評価することにより、より精度の高い評価が可能になるものと考えられた。

樹木の果実生産量の大きな年変動は、至近要因として気象などの環境条件や送粉に関する条件などが関与するものの、樹木側が繁殖戦略を進化させた結果とも考えられている(Kelly 1994, Kelly and Sork 2002)。果実生産量の年変動は、果肉食動物に果実散布を依存する種よりも種子の破壊採食を行う動物に種子散布を依存する種で、また動物に花粉媒介を依存する種よりは風によって花粉媒介が行われる種で、大きいことが知られている(Kelly and Sork 2002)。今回調査した6樹種のなかで、アズキナシ、コシアブラ、ハリギリ、ナナカマドの4種の果実は、これらを採食するほとんどの鳥が丸飲みする。ホオノキについては、小型キツツキであるコゲラは仮種皮をつついて採食するが、種子を破壊することはない。また、ヒヨドリやアカゲラより大きなキツツキ類は仮種皮がついたまま丸飲みし、キツツキ類では種子をペリットとして吐出する(Matsuoka 1986)。サルナシでは、ツグミが小さい果実を丸飲みすることがあるが、多くの鳥は果肉をつついて採食する。鳥類の排泄物に含まれる種子の状態から見て、サルナシの種子は破壊されることなく果肉とともに摂食される。今回調査した6種は、果肉食動物に種子散布を依存する樹種と考えられる。また、送粉形態についても、6種は、動物媒介であり(ホオノキについては、日本樹木誌編集委員会 2009、その他5種については、弘前大学、石田清氏、私信)、Kelly and Sork (2002)に従えば、これら6種の果実生産量の年変動は相対的に少ないと予想される。しかし、6種の間での果実生産量は、必ずしも果実生産量の年変動が小さい種ばかりではないため、Kelly and Sork (2002)が挙

げた主要因(種子散布方法および送粉形態)以外にも関与する要因があることをうかがわせる。今回個体の果実生産量の変動を追跡した結果、個体群レベルでの豊凶は、結実木割合と結実程度の出現割合およびこの2つの要因の個体間での同調が関係していることが示唆された。また、樹種間での豊凶は同調しているようにはみえず、森林という単位で見た場合の豊凶は、優先種のそれに強く依存するものと考えられた。温帯林で同属および異なる科の樹木の間で種子生産量の変動に同調性が見られるという Shibata et al. (2002)の分析結果と今回の結果は明らかに異なったが、その理由は不明である。

森林内における樹木の分布様式についての多くの研究は、集中分布あるいはランダム分布傾向にあることを示していて、均一分布になることは稀であることを示している(Payandeh 1974, Armesto et al. 1986)。しかし、分布様式は、樹種や木の生育段階、森林の歴史などによる変動があることが知られている(Payandeh 1974, Armesto et al. 1986, Szwagrzyk and Czerwczak 1993)。今回の解析結果は、コシアブラの結実木については全年の、ハリギリでは2003年の分布様式が集中分布であったのを除けば、他の樹種、年度の結実木はランダム分布傾向であることを示した。著者の知る限りでは、結実木の分布様式についての報告はないが、樹木の分布様式と類似していることが明らかになった。鳥類にとって重要な資源である結実木の分布は、鳥の採食行動や資源をめぐる社会行動、あるいは冬季間の生残率や渡り行動などにも影響し、いっぽうで、樹木側から見ると、結実木上での鳥の滞在時間(Pratt and Stiles 1983)やその後の移動様式が種子散布の範囲や成否、そして森林内での樹木の分布様式にもかかわってくると考えられる。結実木の分布と、鳥の行動、種子散布などにかかわる研究は、日本での研究が少なく、今後の成果が待たれる。

謝辞

送粉形態についてご教示いただいた弘前大学農学生命科学部生物学科、石田清氏に、また本文を校閲いただいた森林総合研究所群落動態研究室、阿部真氏に感謝する。また、匿名の査読者および担当編集委員の堀野眞一氏からは有益な助言をいただいた。

Table 1. アズキナシ *Sorbus alnifolia* の結実程度の変異
Variation in fruit production of *Sorbus alnifolia*

個体番号 individual tree number	胸高直径 diameter at breast height (cm)	樹高 height (m)	結実程度 * fruit production										備考 notes
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
1	15.9	13.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	28.0	16.6	3	0	0	2	0	3	0	2	0	2	
3	16.9	11.8	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
4	17.5	12.4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
5	26.1	17.2	2	0	0	1	0	2	0	1	0	1	
6	24.8	16.3	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	
7	24.8	16.3	3	0	0	3	1	3	0	2	0	3	
8	32.5	17.4	3	0	0	3	0	3	0	1	0	3	
9	17.8	11.5	3	0	0	3	0	3	0	2	1	2	
10	19.7	13.0	3	0	0	2	0	3	0	1	0	3	
11	24.5	13.7	0	0	0	3	0	3	0	1	0	3	
12	34.4	17.0	3	0	1	3	1	3	0	1	0	3	
13	30.9	17.2	3	0	1	3	2	3	0	2	1	3	
14	24.8	15.5	0	0	0	2	0	2	0	0	0	1	
15	16.9	12.0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	-	枯死 dead ('09)
16	28.6	19.3	3	1	1	2	0	3	0	2	0	1	
17	32.1	19.6	3	0	0	1	0	2	0	1	0	1	
18	29.0	20.8	2	0	0	1	0	2	0	0	0	1	
19	24.8	13.4	1	0	0	1	1	2	0	1	1	1	
20	33.1	16.8	1	0	0	2	1	3	0	1	0	2	
樹木数 No.trees (N)			20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	
結実本数 No.trees bore fruits (A)			18	1	3	16	6	19	0	13	3	15	
結実木割合 A / N * 100			90.0	5.0	15.0	80.0	30.0	95.0	0.0	65.0	15.0	78.9	

*: 0: 結実なし . 1: 少量結実 . 2: 中量結実 . 3: 多量結実 .

*: 0: no fruits produced. 1: low fruit production. 2: moderate fruit production. 3: high fruit production.

Table 2. コシアブラ *Acanthopanax sciadophylloides* の結実程度の変異
Variation in fruit production of *Acanthopanax sciadophylloides*

個体番号 individual tree number	胸高直径 diameter at breast height (cm)	樹高 height (m)	結実程度 * fruit production										備考 notes
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
1	28.3	16.7	2	1	0	1	1	1	2	1	1	1	
2	25.5	15.5	1	1	0	1	-	-	-	-	-	-	幹折れ stem broken ('04)
3	28.3	16.2	1	2	0	0	1	1	1	2	2	1	
4	30.2	14.2	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	
5	23.6	14.3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
6	24.2	15.0	3	1	1	1	-	-	-	-	-	-	倒 fallen ('04)
7	18.8	15.0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	-	枯死 dead ('09)
8	21.3	12.9	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	
9	22.6	16.0	2	1	1	1	1	1	1	1	-	-	枯死 dead ('08)
10	20.7	15.4	2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	倒 fallen ('04)
11	25.1	17.7	1	1	1	2	3	1	1	2	1	1	
12	38.8	18.0	1	1	1	2	3	0	1	3	1	1	
13	15.0	10.6	0	0	1	2	1	1	1	3	1	1	
14	23.6	10.0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	
15	15.6	11.6	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	
16	17.5	12.1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	
17	24.8	15.5	3	1	1	3	3	1	2	3	1	2	
18	22.3	15.6	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	
19	15.6	14.0	3	1	1	3	3	1	1	3	1	2	
20	15.9	13.5	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	
21	19.1	13.6	1	1	1	3	2	1	1	2	1	1	
22	16.9	12.5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
23	25.8	15.7	3	2	1	2	3	1	3	2	1	2	
24	25.5	15.9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
25	21.0	15.7	3	2	1	2	2	1	1	2	1	1	
26	20.7	15.2	3	1	0	1	2	1	1	2	1	1	
27	16.9	13.5	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
28	21.6	15.0	2	2	2	1	2	1	2	3	1	1	
29	21.3	14.6	2	2	0	1	3	0	0	0	0	1	
30	13.7	10.0	3	2	1	3	3	1	1	3	1	3	
31	11.5	11.0	2	1	0	1	1	0	0	2	1	0	
32	16.2	12.7	3	2	1	3	-	-	-	-	-	-	倒 fallen ('04)
33	24.5	12.8	3	3	1	2	3	2	3	3	2	3	
34	11.8	7.5	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
35	21.6	12.1	3	2	2	3	1	3	1	1	0	0	
36	22.6	16.0	3	1	1	1	1	3	1	3	1	1	
樹木数 No.trees (N)			36	36	36	36	32	32	32	32	31	30	
結実本数 No.trees bore fruits (A)			29	31	23	31	29	20	24	31	24	25	
結実木割合 A / N * 100			80.6	86.1	63.9	86.1	90.6	62.5	75.0	96.9	77.4	83.3	

*: 0: 結実なし, 1: 少量結実, 2: 中量結実, 3: 多量結実.

*: 0: no fruits produced. 1: low fruit production. 2: moderate fruit production. 3: high fruit production.

Table 3. ハリギリ *Kalopanax pictus* の結実程度の変異
Variation in fruit production of *Kalopanax pictus*

個体番号 individual tree number	胸高直径 diameter at breast height (cm)	樹高 height (m)	結実程度 * fruit production										備考 notes
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
1	41.7	20.3	3	0	0	1	1	0	1	0	1	0	
2	45.8	18.3	3	0	0	1	1	0	1	1	1	0	一部幹折れ stem partly broken ('04)
3	44.6	19.5	3	0	1	1	3	0	3	1	1	0	
4	28.6	19.0	3	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
5	30.6	16.0	2	0	1	1	1	0	0	-	-	-	枯死 dead ('07)
6	45.8	17.8	3	0	0	0	1	0	1	0	1	0	
7	42.0	17.6	3	0	0	1	1	0	1	0	1	0	
8	33.4	15.0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	
9	51.6	19.5	0	0	1	3	0	0	1	1	1	0	
10	27.4	11.0	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	幹折れ stem broken ('01)
11	29.0	14.9	3	0	0	1	1	1	0	1	1	0	
12	49.3	19.5	3	0	1	1	2	0	1	2	1	0	
13	29.0	18.0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
14	40.4	17.6	3	0	0	1	1	0	0	1	1	0	
15	43.0	18.5	3	0	1	1	3	0	1	1	3	0	
16	32.5	18.3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
17	32.8	17.8	3	0	0	1	1	0	1	0	2	0	
18	33.1	18.3	3	0	0	0	1	0	1	0	2	0	
19	51.9	19.5	3	0	1	1	3	0	1	1	2	0	
20	61.8	19.6	3	1	1	1	3	0	1	0	3	0	
21	29.0	20.1	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0	
22	68.8	21.5	0	0	0	1	3	0	0	1	3	0	
23	50.6	19.4	3	0	0	1	3	1	1	3	2	0	
24	53.8	21.3	3	1	0	1	3	0	1	0	3	0	
25	45.8	21.2	2	0	1	0	3	0	1	0	1	0	
26	17.2	11.0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
27	40.1	17.3	3	0	0	0	0	0	0	0	-	-	枯死 dead ('08)
28	34.7	19.2	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	
29	47.1	21.9	3	0	1	1	0	0	2	1	1	0	
樹木数 No.trees (N)			29	28	28	28	28	28	28	27	26	26	
結実本数 No.trees bore fruits (A)			24	2	12	20	23	2	18	15	24	0	
結実木割合 A / N * 100			82.8	7.1	42.9	71.4	82.1	7.1	64.3	55.6	92.3	0.0	

*: 0: 結実なし . 1: 少量結実 . 2: 中量結実 . 3: 多量結実 .

*: 0: no fruits produced. 1: low fruit production. 2: moderate fruit production. 3: high fruit production.

Table 4. ホオノキ *Magnolia obovata* の結実程度の変異
Variation in fruit production of *Magnolia obovata*

個体番号 individual tree number	胸高直径 diameter at breast height (cm)	樹高 height (m)	結実程度 * fruit production										備考 notes
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
1	27.1	17.7	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	
2	32.8	18.9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
3	34.7	18.6	1	0	1	1	0	2	1	2	1	2	
4	35.7	17.7	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
5	35.3	18.1	2	1	1	3	0	2	1	2	1	2	
6	25.8	17.4	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	
7	32.5	18.0	0	0	0	1	1	0	0	3	1	1	
8	30.2	13.5	1	1	1	2	0	1	0	1	1	0	
9	28.0	16.8	1	0	1	1	0	1	1	1	1	2	
10	25.8	15.3	2	0	1	1	1	0	1	3	1	2	
11	34.1	17.4	3	2	2	2	0	1	1	2	1	1	
12	22.6	16.3	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	
13	28.6	13.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
14	47.4	17.7	0	0	3	1	1	1	1	2	1	2	
15	37.2	19.4	1	2	3	2	2	3	2	3	2	3	
16	23.2	16.1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
17	18.1	15.7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
18	30.2	15.7	2	0	1	1	0	1	0	1	1	1	
19	26.7	14.4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
20	18.5	11.5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	
21	18.8	11.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
22	31.8	18.0	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1	
23	32.5	20.0	2	1	3	2	2	3	3	3	1	2	
24	19.1	17.1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	
25	19.1	13.5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
26	15.0	11.3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
27	26.1	12.5	0	0	1	0	-	-	-	-	-	-	枯死 dead ('04)
28	26.4	18.7	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	
29	34.4	18.5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
30	29.6	21.0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	
31	26.1	11.7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
32	21.3	12.0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	
33	12.7	9.1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
樹木数 No.trees (N)			33	33	33	33	32	32	32	32	32	32	
結実本数 No.trees bore fruits (A)			15	10	18	18	7	14	12	22	17	21	
結実木割合 A / N * 100			45.5	30.3	54.5	54.5	21.9	43.8	37.5	68.8	53.1	65.6	

*: 0: 結実なし . 1: 少量結実 . 2: 中量結実 . 3: 多量結実 .

*: 0: no fruits produced. 1: low fruit production. 2: moderate fruit production. 3: high fruit production.

Table 5. サルナシ *Actinidia arguta* の結実程度の変異
Variation in fruit production of *Actinidia arguta*

個体番号 individual tree number	結実程度 * fruit production										備考 notes
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
1	3	2	0	1	0	0	1	0	0	0	一部幹折れ stem partly broken ('04)
2	3	1	3	1	0	0	1	1	1	1	
3	3	2	2	2	3	2	3	1	3	1	
4	3	3	3	2	2	1	2	1	1	1	
5	3	1	2	2	1	1	2	1	2	1	
6	1	0	1	2	1	1	2	3	2	2	
7	2	2	2	2	3	1	2	3	1	1	
8	3	0	3	0	2	1	3	1	1	2	
9	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	
10	3	0	1	1	1	0	1	0	0	0	
11	2	3	2	1	2	2	2	1	2	1	
12	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	
13	3	1	3	3	3	2	3	1	3	2	
14	2	1	2	2	3	1	2	3	2	1	
15	3	0	1	1	2	1	2	2	2	-	枯死 dead ('09)
16	2	2	2	2	3	1	1	2	2	1	
17	3	1	2	1	2	1	3	2	2	2	枯死 dead ('07)
18	3	1	2	1	1	2	2	-	-	-	
19	2	3	2	2	3	3	2	2	1	1	
20	1	3	1	3	2	1	3	2	2	2	
21	2	1	3	1	1	0	2	0	1	1	
22	-	1	2	2	1	0	1	1	2	1	
23	-	3	2	2	2	1	2	1	1	1	
24	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
25	-	1	2	2	1	1	1	2	1	1	
26	-	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
樹木数 No.trees (N)	21	26	26	26	26	26	26	25	25	24	
結実本数 No.trees bore fruits (A)	21	21	24	25	24	21	26	22	22	22	
結実木割合 A / N * 100	100	80.8	92.3	96.2	92.3	80.8	100	88.0	88.0	91.7	

*: 0: 結実なし . 1: 少量結実 . 2: 中量結実 . 3: 多量結実 .

*: 0: no fruits produced. 1: low fruit production. 2: moderate fruit production. 3: high fruit production.

Table 6. ナナカマド *Sorbus commixta* の結実程度の変異
Variation in fruit production of *Sorbus commixta*

個体番号 individual tree number	結実程度 * fruit production										備考 notes
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
1	3	0	1	1	1	0	1	1	2	1	
2	3	0	1	2	2	1	1	1	2	0	
3	3	0	0	1	3	1	1	0	1	1	
4	3	0	0	1	3	1	1	1	2	1	
5	3	0	1	2	2	0	1	1	3	0	
6	3	0	2	3	1	2	1	2	2	1	
7	2	0	1	3	1	1	1	1	2	0	
8	3	0	1	3	2	1	1	1	2	0	
9	3	0	1	3	2	1	2	1	-	-	枯死 dead ('08)
10	3	0	1	3	2	1	2	1	3	0	
11	3	0	1	2	1	1	1	1	1	0	
12	3	0	1	3	2	1	1	1	3	1	
13	3	0	1	3	3	2	1	1	3	0	
14	3	0	1	3	2	1	2	2	3	1	
15	3	0	1	3	2	0	2	2	2	0	
樹木数 No.trees (N)	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	
結実本数 No.trees bore fruits (A)	15	0	13	15	15	12	15	14	14	6	
結実木割合 A / N * 100	100	0.0	86.7	100	100	80.0	100	93.3	100	42.9	

*: 0: 結実なし, 1: 少量結実, 2: 中量結実, 3: 多量結実.

*: 0: no fruits produced. 1: low fruit production. 2: moderate fruit production. 3: high fruit production.

Table 7. 結実した樹の分布様式¹⁾
Spatial distribution of fruit-bearing trees

年 year	アズキナシ <i>Sorbus alnifolia</i>			コシアブラ <i>Acanthopanax sciadophylloides</i>			ハリギリ <i>Kalopanax pictus</i>			ホオノキ <i>Magnolia obovata</i>		
	N	R	Significance	N	R	Significance	N	R	Significance	N	R	Significance
2000	18	1.06	ns	29	0.41	**	24	1.03	ns	15	1.21	ns
2001	1	-	-	31	0.42	**	2	-	-	10	1.06	ns
2002	3	-	-	23	0.52	**	12	1.21	ns	18	0.84	ns
2003	16	1.12	ns	31	0.62	**	20	0.73	*	18	0.78	ns
2004	6	-	-	29	0.58	**	23	0.95	ns	7	-	-
2005	19	1.04	ns	20	0.53	**	2	-	-	14	0.83	ns
2006	0	-	-	24	0.45	**	18	0.98	ns	12	0.79	ns
2007	13	0.73	ns	31	0.61	**	15	0.78	ns	22	1.15	ns
2008	3	-	-	24	0.57	**	24	0.94	ns	17	0.93	ns
2009	15	0.72	ns	25	0.55	**	0	-	-	21	0.90	ns
all years	20	1.03	ns	36	0.61	**	29	1.03	ns	33	0.81	ns

1) 分布解析は、最近接距離法 (Clark & Evans 1954, Sinclair 1985) を用いた。Analyses were done by the nearest neighbor distance method.

N: 結実した樹木数 (N>=10 の年に分布解析を行った)。Number of fruit-bearing trees (analyses were done for the years that the sample sizes are more than 10).

R: ランダム分布の場合は R = 1、R > 1 は均一分布傾向、R < 1 は集中分布傾向を表す。R = 1: random distribution, R < 1: trend in degree of aggregation, R > 1: trend in degree of dispersion.

Significance: *, ** は、5%、1% 有意差をそれぞれ示している。*, **: 5 per cent and 1 per cent level of significance, respectively.

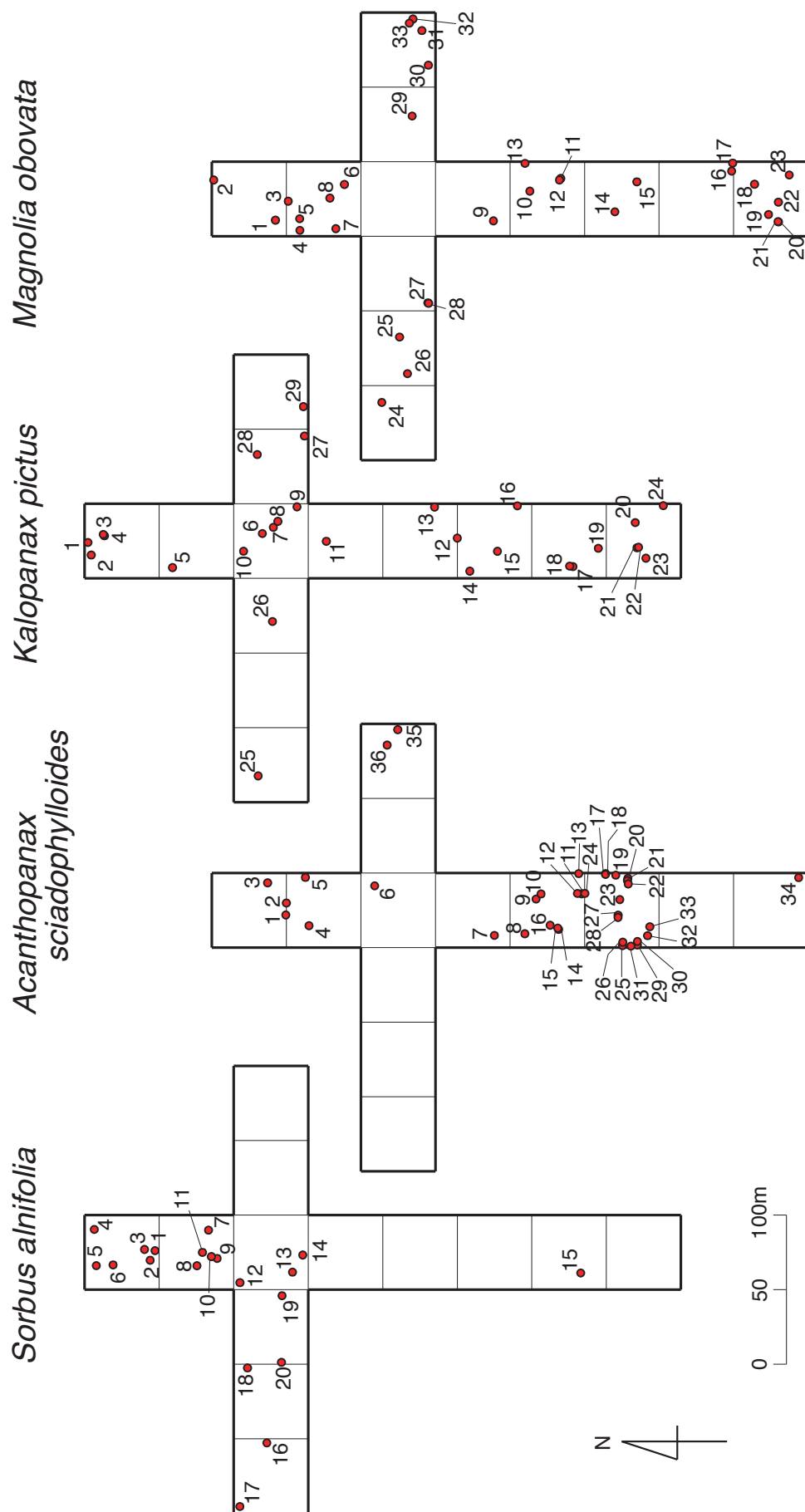


Fig. 1. 方形区内における調査期間中の全結実樹木の位置。番号は、Tables 1-4 の個体番号にそれぞれ対応。
Locations of fruit-bearing trees in quadrates, between the years 2000 and 2009. The numbers of individuals corresponding to the individual tree numbers for each species in Tables 1-4.

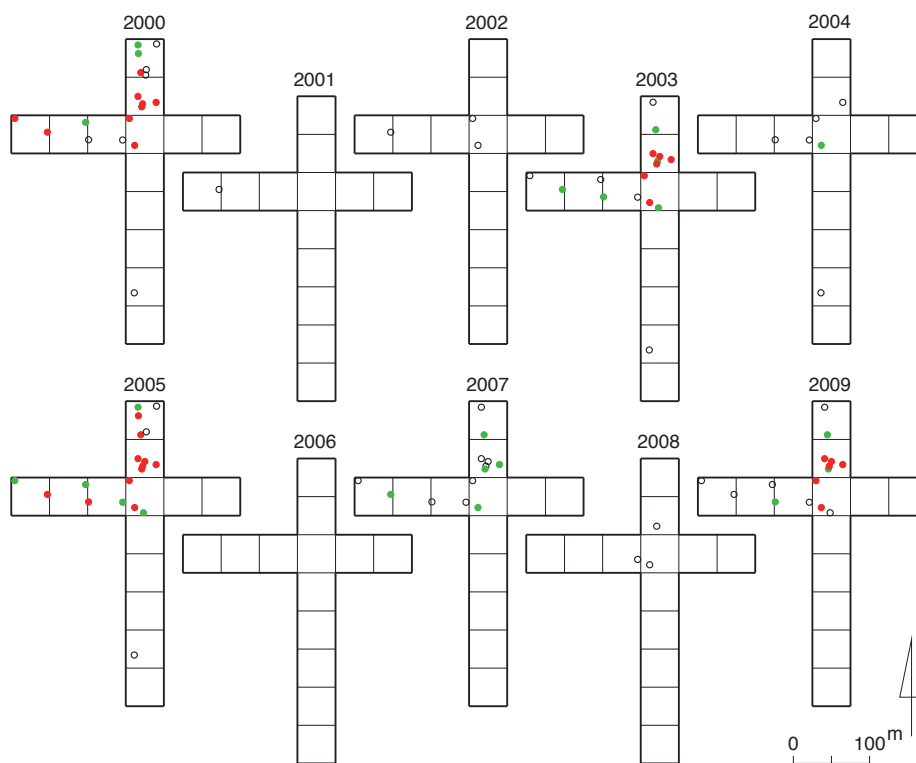


Fig. 2. アズキナシの年度ごとの結実木の位置図。結実程度 1 (黒丸)、2 (緑塗りつぶし)、3 (赤塗りつぶし) のみ表示。

Locations of *Sorbus alnifolia* trees that bore fruits in each year. Black circle: low fruit production; green dot: moderate fruit production; red dot: high fruit production.

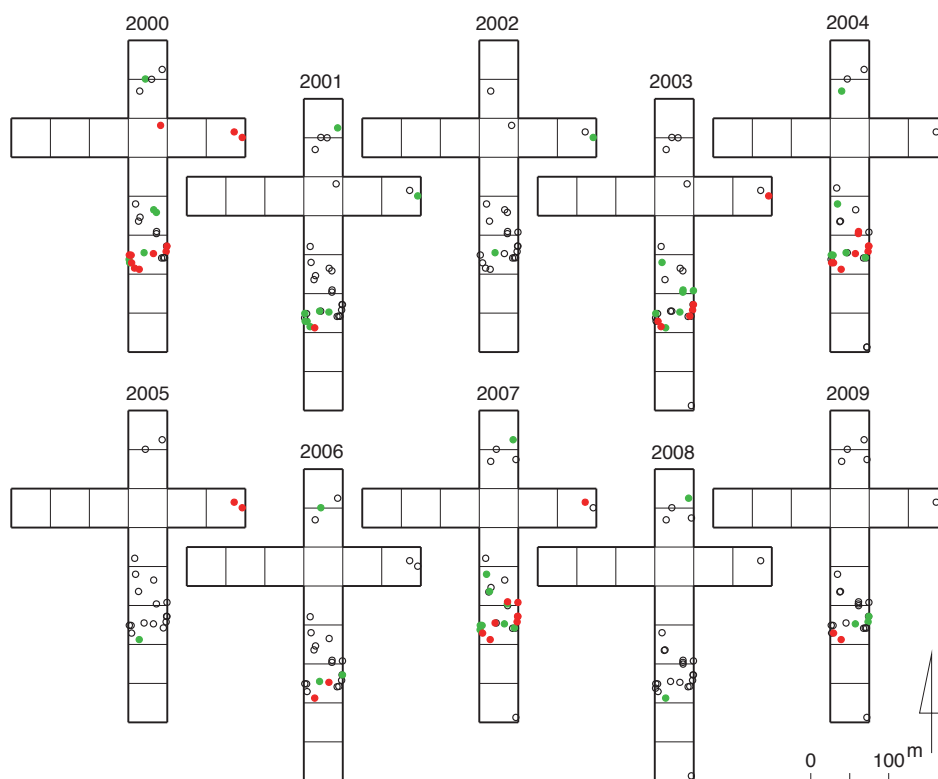


Fig. 3. コシアブラの年度ごとの結実木の位置図。結実程度 1 (黒丸)、2 (緑塗りつぶし)、3 (赤塗りつぶし) のみ表示。

Locations of *Acanthopanax sciadophylloides* trees that bore fruits in each year. Black circle: low fruit production; green dot: moderate fruit production; red dot: high fruit production.

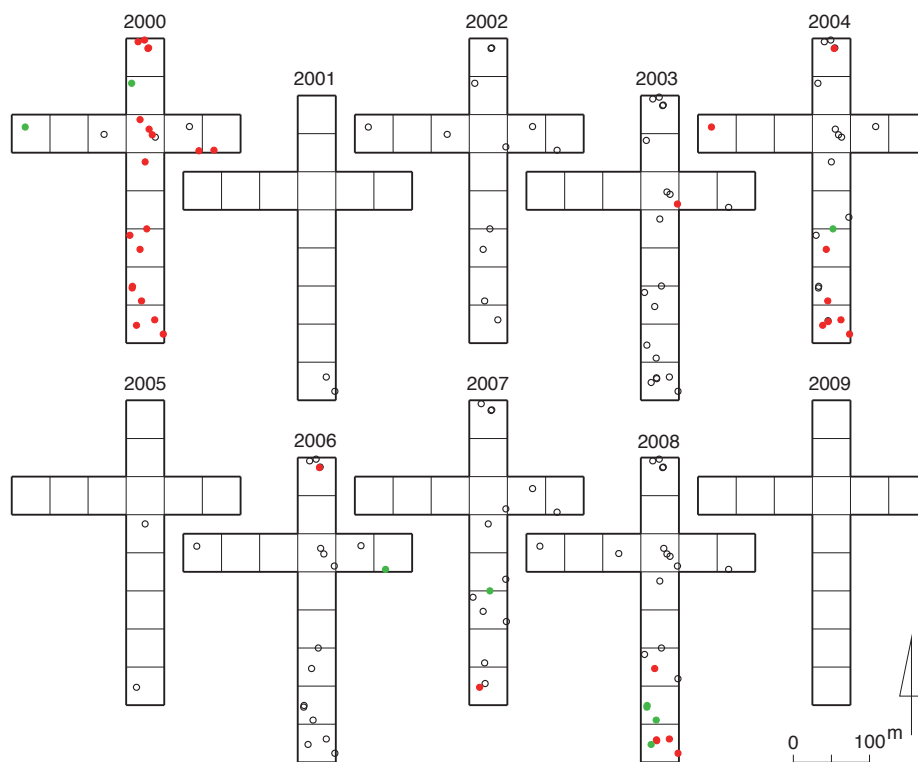


Fig. 4. ハリギリの年度ごとの結実木の位置図。結実程度 1 (黒丸)、2 (緑塗りつぶし)、3 (赤塗りつぶし) のみ表示。

Locations of *Kalopanax pictus* trees that bore fruits in each year. Black circle: low fruit production; green dot: moderate fruit production; red dot: high fruit production.

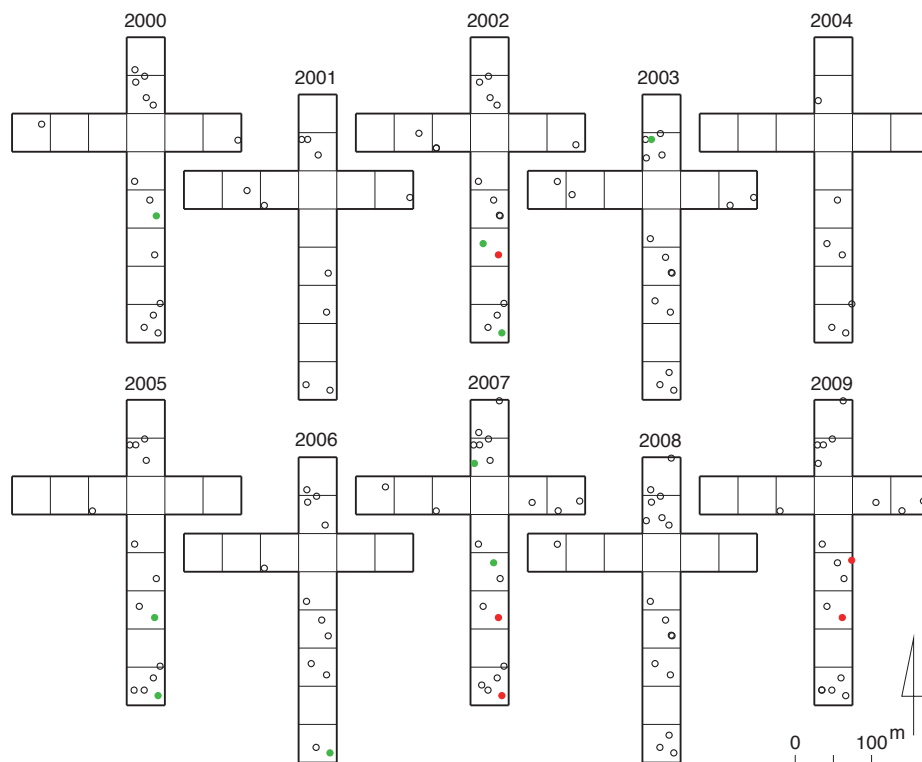


Fig. 5. ホオノキの年度ごとの結実木の位置図。結実程度 1 (黒丸)、2 (緑塗りつぶし)、3 (赤塗りつぶし) のみ表示。

Locations of *Magnolia obovata* trees that bore fruits in each year. Black circle: low fruit production; green dot: moderate fruit production; red dot: high fruit production.

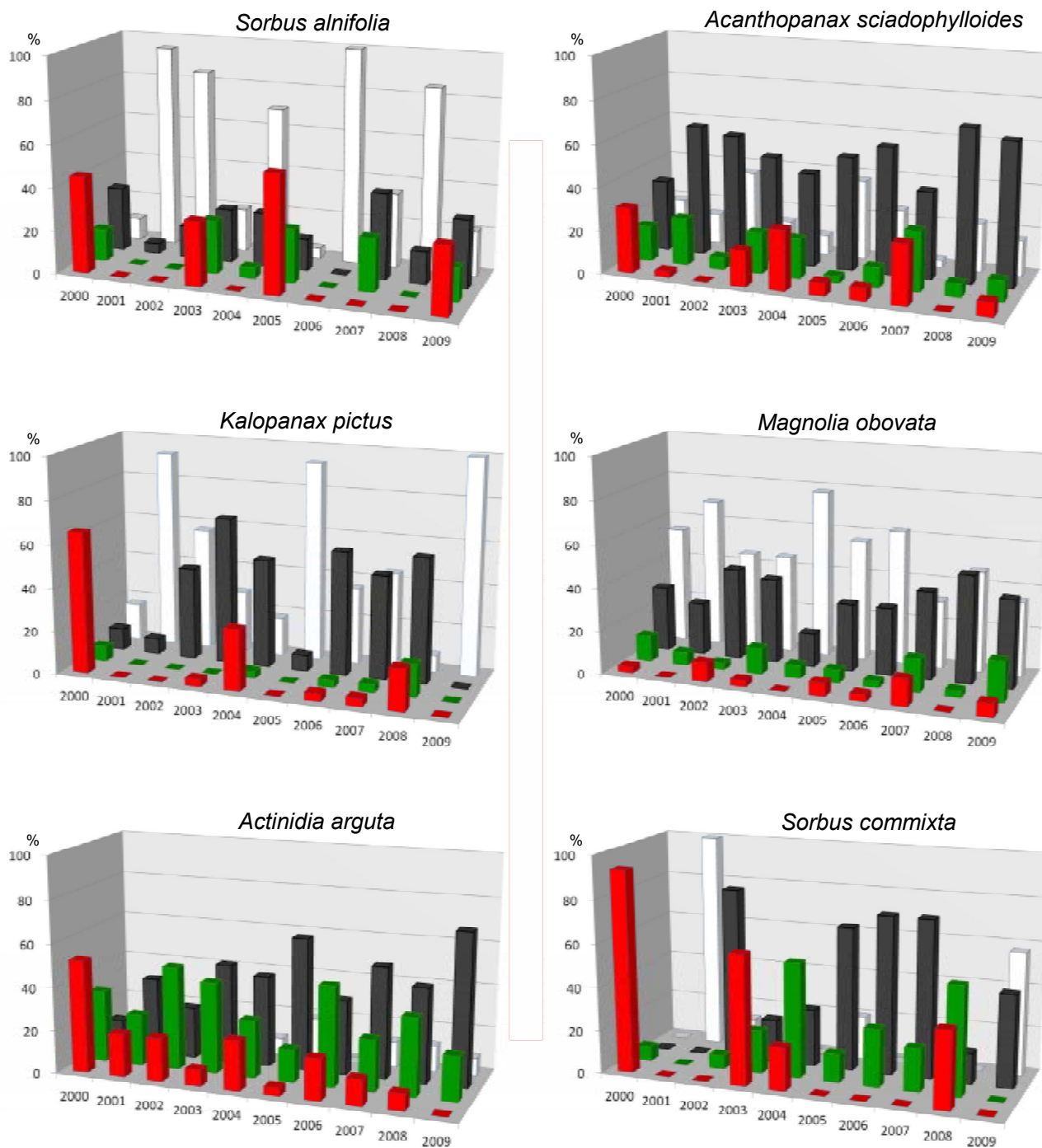


Fig. 6. 結実程度の分布の年変動. 棒の色は、結実程度を示す (白: 結実なし. 黒: 少量結実. 緑: 中量結実. 赤: 多量結実).
Annual variations in the level of fruit production. White: no fruits produced; black: low fruit production; green: moderate fruit production; red: high fruit production.

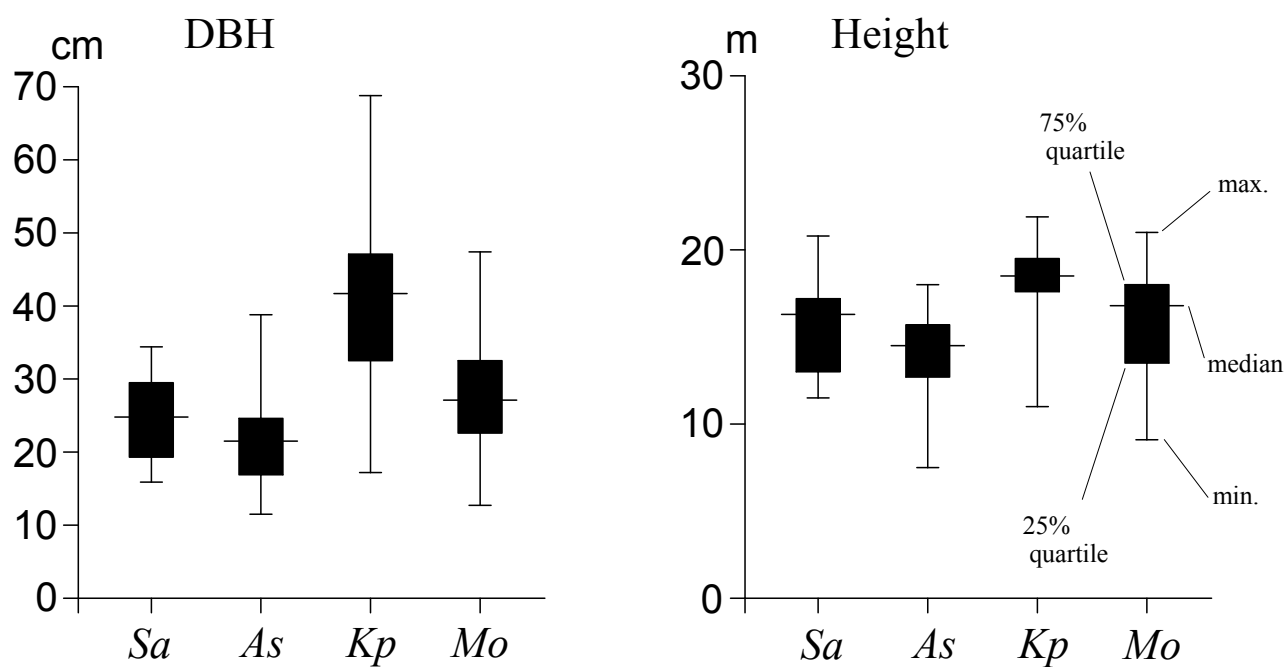


Fig. 7. 結実木の胸高直径と樹高の分布. Sa: アズキナシ、As: コシアブラ、Kp: ハリギリ、Mo: ホオノキ。
Distributions of the diameters at breast height and tree heights of the fruit-bearing trees. Sa: *Sorbus alnifolia*, As: *Acanthopanax sciadophylloides*, Kp: *Kalopanax pictus*, Mo: *Magnolia obovata*.

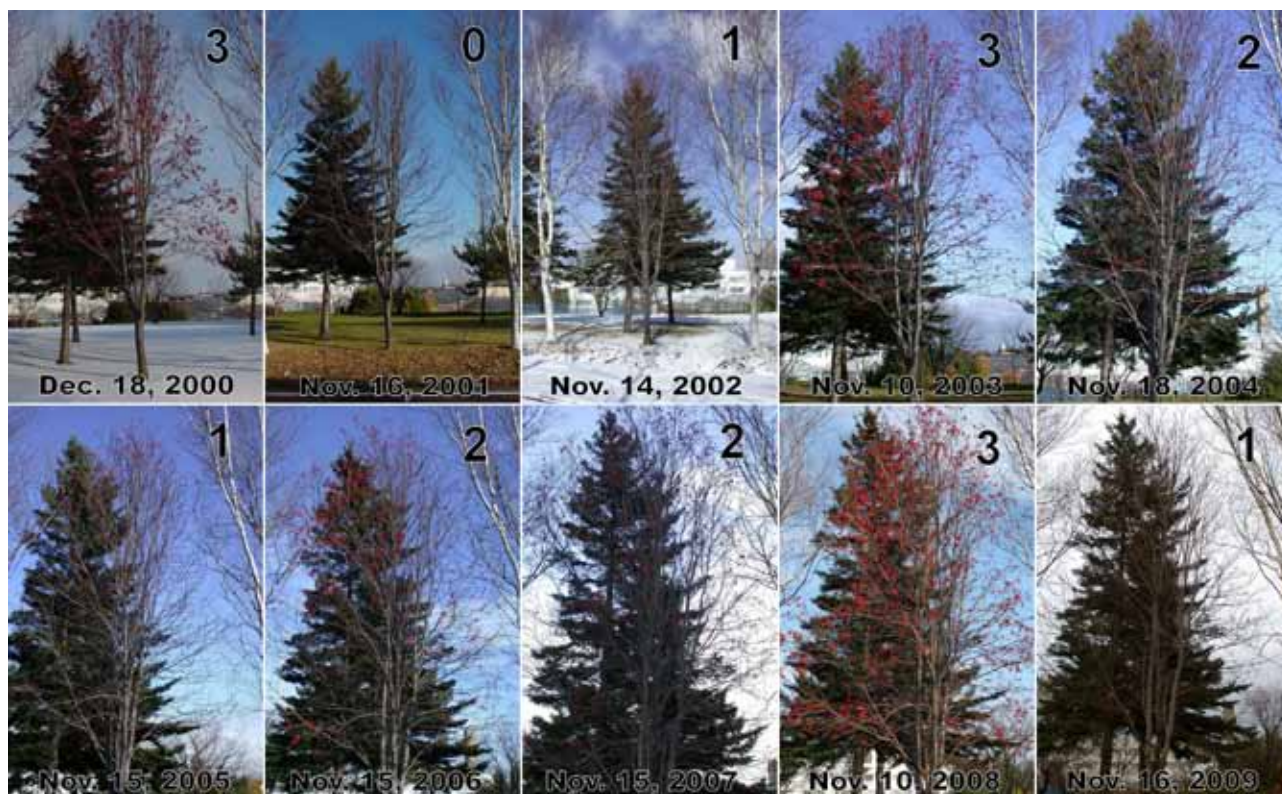


Photo 1. ナナカマドの結実程度の年変動例 (Table 6、個体番号 14)。右上の数字は、その年の結実程度を示す (0: 結実なし、1: 少量結実、2: 中量結実、3: 多量結実)。

A case of annual variation in the level of fruit production of *Sorbus commixta* (individual number 14 in Table 6). Numbers on the upper right corner indicate the level of fruit production for the year. 0: no fruits produced; 1: low fruit production; 2: moderate fruit production; 3: high fruit production.

引用文献

- Armesto, J. J., Mitchell, J. D. & Villagran C. (1986) A Comparison of Spatial Patterns of Trees in Some Tropical and Temperate Forests, *BioTropica*, **18**, 1-11.
- Bock, C. E. and Lepthien, L. W. (1976) Synchronous eruptions of boreal seed-eating birds, *American Naturalist*, **110**, 559-571.
- Clark, P. J. and Evans, F. C. (1954) Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations, *Ecology*, **35**, 445-453.
- 叶内拓哉 (2006) 野鳥と木の実ハンドブック, 文一総合出版, 80pp.
- Kelly, D. (1994) The evolutionary ecology of mast seeding, *Trends in Ecology & Evolution*, **9**, 465-470.
- Kelly, D. and Sork, V. L. (2002) Mast Seeding in perennial plants: why, how, where? *Annual Review of Ecology and Systematics*, **33**, 427-447.
- 清棲幸保 (1978) 日本鳥類大図鑑 増補新訂版 I, 講談社, 652pp.
- Koenig, W. D. and Johannes, M. H. (2001) Seed-crop size and eruptions of North American boreal seed-eating birds, *Journal of Animal Ecology*, **70**, 609-620.
- 小池伸介・正木 隆 (2008) 本州以南の食肉目 3 種による木本果実利用の文献調査, *日本森林学会誌*, **90**, 26-35.
- 小山浩正・八坂通泰・寺澤和彦 (2000) かき起こしのタイミングがブナ天然更新の成否に与える影響—豊凶予測手法の導入の有効性—, *日本林学会誌*, **82**, 39-43.
- 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, *日本森林学会誌*, **90**, 241-246.
- Matsuoka, S. (1985) Studies on the food habits of four sympatric species of woodpeckers. I, *Tori*, **33**, 103-111.
- Matsuoka, S. (1986) Pellet regurgitation by great spotted *Dendrocopos major* and white-backed woodpeckers *D. leucotos*, *Japanese Journal of Ornithology*, **35**, 75-76.
- 松岡 茂 (1993) 針葉樹一筋の繁殖戦略—イスカ類—, 週刊朝日百科 動物たちの地球, No. **112**, 108-110.
- Matsuoka, S. (2006) Wind damage to nest trees of great spotted woodpeckers *Dendrocopos major* by a tropical cyclone, *Ornithological Science*, **5**, 217-220.
- 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.
- 水永博己・石井 弘・辻野 聡・原口曜江・川畑佳子 (1998) 霧島モミ・ツガ林における種子生産量と稚樹密度の年変動, 鹿児島大学農学部演習林研究報告, **26**, 23-31.
- Nethersole-Thompson, D. (1975) Pine Crossbills, T & AD Poyser, 256pp.
- 日本樹木誌編集委員会 (編) (2009) 日本樹木誌 1, 日本林業調査会, 762pp.
- 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, *Journal of Wildlife Management*, **68**, 979-986.
- Ostfeld, R. S. and Keesing, F. (2000) Pulsed resources and community dynamics of consumers in terrestrial ecosystems, *Trends in Ecology & Evolution*, **15**, 232-237.
- Pratt, T. K. and Stiles, E. W., 1983, How long fruit-eating birds stay in the plants where they feed: implications for seed dispersal, *American Naturalist*, **122**, 797-805.
- Payandeh, B. (1974) Spatial pattern of trees in the major forest types of Northern Ontario, *Canadian Journal of Forest Research*, **4**, 8-14.
- 澤田晴雄・梶 幹男・大村和也・五十嵐勇治 (2008) ブナ類 2 種 (*Fagus crenata* Blume and *Fagus japonica* Maxim.) の豊凶現象が樹体の成長に与える影響, *日本森林学会誌*, **90**, 129-136.
- Shibata, M., Tanaka, H., Iida, S., Abe, S., Masaki, T., Niiyama, K., & Nakashizuka, T. (2002) Synchronized annual seed production by 16 principal tree species in a temperate deciduous forest, Japan, *Ecology*, **83**, 1727-1742.
- Sinclair, D. F. (1985) On tests of spatial randomness using mean nearest neighbor distance, *Ecology*, **66**, 1084-1085.
- Svårdson, G. (1957) The "invasion" type of bird migration, *British Birds*, **50**, 314-343.
- Szwagrzyk, J. and Czerwczak M. (1993) Spatial patterns of trees in natural forests of east-central Europe, *Journal of Vegetation Science*, **4**, 469-467.
- 高畑 滋・小川恭男・三枝俊哉・高橋 俊 (2000) 羊ヶ丘植物誌 — 1999 年補足 —, 北海道農業試験場研究資料, No. **59**, 1-59.
- 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, 北海道林業試験場報告, No. **35**, 31-41.
- 東北森林管理局 (2011) 平成 23 年度のブナの開花状況と結実予測について, <http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/koho/press/pdf/bunakaika23.pdf>, (参照 2011-11-16).
- 山口恭弘 (2005) 渡りと木の実の豊凶から考えるヒヨドリの鳥害対策, *農林水産技術研究ジャーナル*, **28**, 35-39.