

宮 崎 大 学 大 学 院

博 士 学 位 論 文

暖温帯のヒノキ人工林における生物多様性に配慮した間伐手法に関する研究

令和3年（2021年）3月

宮崎大学大学院農学工学総合研究科

資源環境科学専攻

岩 切 康 二

目 次

第1章 緒言.....	1
1.1 はじめに.....	1
1.2 既往研究.....	2
1.2.1 植物相.....	2
1.2.2 昆虫群集.....	2
1.3 研究目的.....	3
第2章 異なる間伐手法がヒノキ人工林の下層植生の衰退および回復に与える短期的影響	5
2.1 調査地.....	5
2.2 方法.....	7
2.2.1 間伐処理.....	7
2.2.2 植物調査.....	10
2.2.3 データ解析.....	12
2.3 結果.....	13
2.3.1 間伐前のヒノキ人工林下の下層植生.....	13
2.3.2 間伐に伴う間伐直後の低木層の変化.....	18
2.3.3 間伐に伴う間伐直後の草本層の変化.....	18
2.3.4 間伐直後, 間伐1年後の下層植生の変化.....	20
2.3.5 生育立地特性から見た下層植生の変化.....	22
2.3.6 草本層の消失, 再生, 新規加入.....	25
2.4 考察.....	28
2.4.1 間伐に伴う下層植生の衰退.....	28
2.4.2 間伐後の下層植生の短期的再生.....	29
2.4.3 植物種多様性の回復のための間伐作業.....	31
第3章 異なる間伐手法に対するヒノキ人工林内の昆虫群集の短期的変化.....	32
3.1 調査地.....	32
3.2 方法.....	34
3.2.1 間伐処理.....	34
3.2.2 昆虫調査.....	34
3.2.3 データ解析.....	35

3.3 結果	38
3.3.1 間伐前のヒノキ人工林の昆虫相	38
3.3.2 間伐実施後における昆虫相の変化	45
3.4 考察	49
3.4.1 昆虫相の短期的反応を支配する要因	49
3.4.2 植生変化に対する昆虫相の反応	50
3.4.3 間伐手法の違いの影響	52
3.4.4 間伐が昆虫群集に与える影響と持続的な人工林管理への応用	53
第4章 総合考察	54
4.1 保全目標の検討	56
4.2 保全目標に対する要求事項の整理	56
4.3 具体的な施業方法の検討	58
4.3.1 照葉樹林型種を保全するための施業方法の検討	60
4.3.2 二次林型・開地型種を保全するための施業方法の検討	62
4.4 長期的かつ広域的な林分配置の検討	64
4.5 今後の課題	66
要約	68
謝辞	71
引用文献	73

第1章 緒言

1.1 はじめに

日本の森林（土地面積の66%）の約40%を占める針葉樹人工林は、土地利用の劇的な変化を通して、地域の生態系に大きな影響を与えていることがこれまで指摘されてきた（長池 2000）。広範囲に植えられた同齢のスギ・ヒノキ植林地は、森林構造の単純化を引き起こし、生物多様性を減少させたと考えられるが（Ito et al. 2003）、人工林内にも植物や動物等が生育・生息し、人工林の生物群集を形成している。人工林は日本の森林の約5分の2をも占めており、生物多様性の一部を支えるという人工林の役割も無視することはできず（Lindenmayer & Hobbs 2004）、これを踏まえた人工林の持続可能な管理が求められている。

人工林の管理作業のひとつである間伐は、高品質な木材を生産するためだけではなく、森林の多面的機能を将来にわたって十分に発揮するために欠かせない作業である（林野庁 2016）。間伐の本来の目的は、木材生産林の質的向上や植栽木の競争緩和であるが、同時に林床の光環境を改善する効果があり、その後の下層植生の増加により水源涵養機能や土砂流出防止機能（清野 1990）、生物多様性（Taki et al. 2010）が高くなるとされている。近年、点状に間伐木を選んで伐採する点状間伐（本稿では間伐木の空間配置の特徴から定性間伐を点状間伐と表記する）以外に、間伐作業の効率化や高性能林業機械の普及により列状間伐（間伐木を植栽列に沿って直線状に選定して伐採する間伐方法）が広く行われるようになってきているが（植木 2007）、間伐の種類や強度によって林冠の疎開度合いやその配置が異なると予想される。また、間伐の際に一般的に実施される下層樹木の刈払いや、間伐木の集材作業に伴って、林床植生や地表も攪乱を受ける（溝口ほか 2018）。これらの林床攪乱の度合いや集材に伴って攪乱を受ける場所の空間配置も間伐の種類によって異なることから、人工林内の生物多様性に与える影響も間伐の種類によって異なると予想される。

間伐による生物多様性の保全効果を評価するためには、広葉樹林化の対象となる木本種だけでなく、草本種やつる植物など様々な生活形を含めた植物種に対する間伐の影響評価が必要である。さらに、戦後の拡大造林は草原など開地環境を含む里山域でも実施されていることから、照葉樹林など森林性の植物種だけでなく、二次林型・開地型植物種（里山種）の保全・修復についても検討すべきであり、後者には多くの草本種が含まれる。また、

昆虫類は種数と個体数が多い（森本, 1997）ことから、環境の指標としてしばしば利用されており（Rainio & Niemela 2003; Pearce & Venier 2006; 西中 2015）、森林施業が生物多様性に与える影響を評価する指標としても有用とされている（Maleque et al. 2006）。加えて、森林の生物多様性の評価の上では、植物のみならず植物と直接的または間接的な相互作用をもつ昆虫類の評価も重要である（中静 2004; 鎌田 2005）。

1.2 既往研究

1.2.1 植物相

国内の人工林の間伐後の植生変化は多数の研究で検証されてきており（村本ほか 2005; 島田 2006; 谷口 2007; 野口ほか 2009; 渡邊ほか 2011）、間伐の実施に伴う光環境の改善による下層植生の回復が報告されている。しかし、これらの研究の多くは間伐後一定期間を経た後の植生繁茂状況を調査しており、間伐作業に伴う一時的な下層植生の破壊・衰退とその後の回復という短期的な下層植生の動態を詳細に調べた例はほとんど見られない。また、これらの報告では、定性間伐（個体の優劣や形質を重視して選木する間伐方法。定性間伐の結果、間伐木が点状に配置されることが多い）、列状間伐、群状間伐（まとまった小面積をまとめて伐採する間伐方法）等が扱われており、定性間伐と群状間伐が同一地点で比較されている報告もあるが（渡邊ほか 2011）、現在、高性能林業機械の活用により推進されている列状間伐（水田ほか 2008）と過去に多く実施されていた定性間伐が同一林地で比較された事例はいまだ少ない。

1.2.2 昆虫群集

間伐と昆虫をはじめとした節足動物に与える影響に関する研究は、間伐1年後と3年後のハナバチ類、チョウ類、ハナアブ類、カミキリムシ類を調査した研究や（Taki et al. 2010）、列状間伐地におけるコウチュウ目（Maleque et al. 2007）、ハチ目（Maleque et al. 2007）、アリ科（江原ほか 2012; 江原ほか 2013）などの研究が見られ、間伐の昆虫群集への影響を評価している。これらの研究で示されているように、間伐に伴う下層植生の変化は、林内の下層空間および植物資源を利用する昆虫群集に影響を及ぼしていると考えられる。一方、間伐に伴う林内の物理環境の変化そのものが、昆虫群集に対して直接的に影響している可能性もあり、両者の影響を把握することは、間伐によって人工林の多様性を維持・回復する上で重要である。しかし、間伐が物理環境の変化と植生変化のどちらを通して人工

林内の昆虫群集に影響するのかを明らかにした例はほとんどない。

1.3 研究目的

本研究では、間伐が人工林の生物多様性にどのような影響を及ぼすかを明らかにするとともに、その保全のための間伐手法の評価を提示することを目的とした。

この目的を達成するために、連続したヒノキ人工林に点状間伐区（本稿では間伐木の空間配置の特徴から定性間伐を点状間伐と表記する，写真 1-1）、点状＋列状間伐区，列状間伐区（写真 1-2）および無間伐区を設定し，間伐前，間伐直後および間伐 1 年後の下層植生の状態を処理間で比較し，間伐手法の違いが人工林内の草本種を含む下層植生の衰退および回復に与える短期的な影響を明らかにした（第 2 章）。加えて，昆虫相が間伐に伴う植生変化に反応して変化するか，および昆虫群集の変化は間伐の種類によって異なるか，の 2 点を間伐の短期的な影響として明らかにした（第 3 章）。最後に，以上の研究結果に基づいて，生物多様性保全に適した間伐手法の検討を行った（第 4 章）。



写真 1-1. 点状間伐（定性間伐）のイメージ

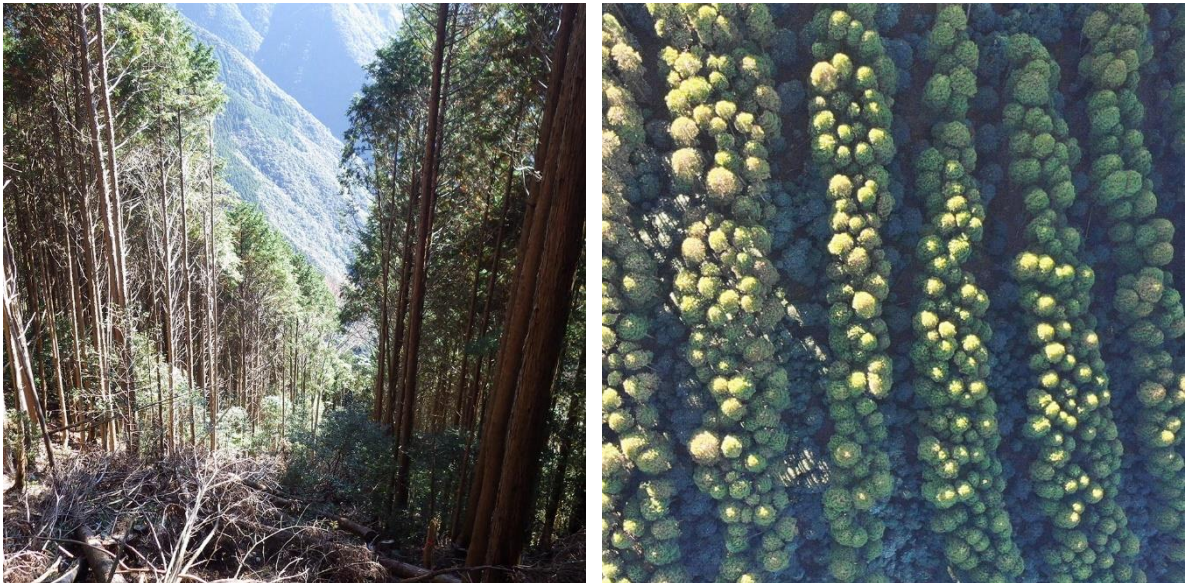


写真 1-2. 列状間伐のイメージ

第 2 章 異なる間伐手法がヒノキ人工林の下層植生の衰退および回復に与える短期的影響

2.1 調査地

調査地は、宮崎県延岡市鹿狩瀬地区にある延岡市有林内の 35 年生ヒノキ人工林（北緯 32° 36′ 29″，東経 131° 36′ 49″）である（図 2-1）。鹿狩瀬地区の延岡市有林は北西から南東にかけて約 5.5 km²の広がりを持ち、20 年生から 40 年生のスギ・ヒノキ植林が大半を占めている。調査地から最も近い気象観測所（延岡，標高 19.2 m）の年平均気温は 16.6°C，最寒月の月平均気温は 6.6°C，年降水量は 2292.1 mm である（気象庁の気象観測データ，1981-2010 年の平均値，http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=87&block_no=47822&year=&month=&day=&view=，2019.5 参照）。周辺の表層地質は、古第三紀四万十累層群の砂岩，頁岩ないし砂岩，粘板岩互層および泥質千枚岩，粘板岩が分布している（宮崎県農政水産部農業振興課 1989）。調査対象林分は標高 110-180 m の西北西向き斜面に位置し，傾斜角度は 15-44 度，植生帯は照葉樹林帯下部に属する。植栽後初期に下刈り，除伐が行われたのみで，本研究の調査開始時まで間伐は行われていない。

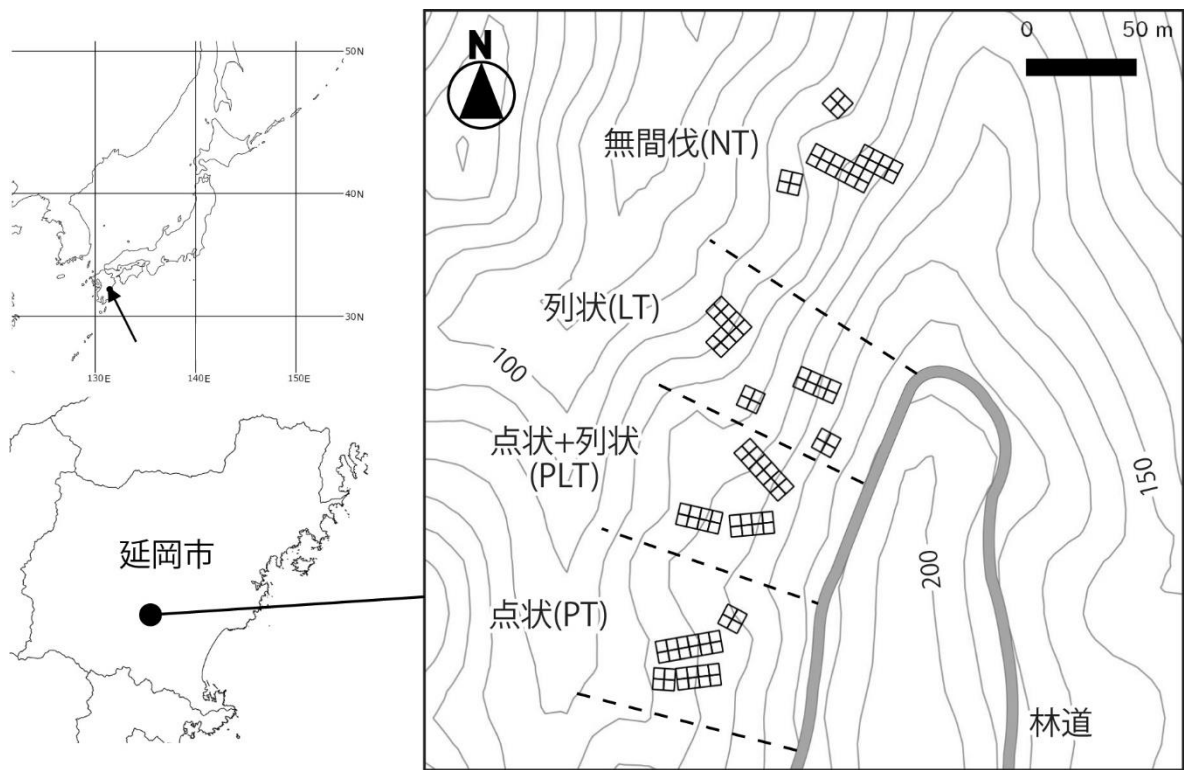


図 2-1. 調査地の位置と間伐処理および方形区配置図. 1つの四角が5m×5mの方形区を示している.

2.2 方法

2.2.1 間伐処理

間伐による下層植生への影響を把握するため、連続したヒノキ人工林に間伐試験地を設定し、次の4処理区を設けた（表 2-1, 図 2-1, 写真 2-1）。1箇所目では間伐率約 35%の定性間伐を行った（点状間伐区：PT）。2箇所目では3残1伐の列状間伐に加えて全体として間伐率が約 35%になるように追加で定性間伐を行った（点状+列状間伐区：PLT）。3箇所目では3残1伐の列状間伐のみを行った（列状間伐区：LT）。4箇所目は、これらの対照区として間伐を行わない無間伐区とした（NT）。すべての間伐作業は、2013年5月から6月にかけて実施した。



無間伐



列状間伐



列状 + 点状間伐



点状間伐

写真 2-1. 間伐の実施状況

表 2-1. 間伐前後における調査地のヒノキ植栽木の概況.

間伐手法	間伐前			間伐後			本数 間伐率 (%)	
	立木密度 (本/ha)	平均樹高 (m)	平均DBH (cm)	立木密度 (本/ha)	平均樹高 (m)	平均DBH (cm)		
点状間伐区	PT	1,371	17.7	22.6	900	18.2	24.6	34.4%
点状+列状間伐区	PLT	1,329	16.0	21.5	829	16.2	23.0	37.6%
列状間伐区	LT	1,671	15.4	20.2	1,229	15.6	21.0	26.5%
無間伐区	NT	1,600	15.5	20.1	1,600	15.5	20.6	—

2.2.2 植物調査

間伐前の2012年1月から2月に、各処理区に5 m×5 mの方形区(図2-2)を28個ずつ(計112個)設定し、各方形区内に生育している植栽木を除く樹高1.2 m以上のすべての木本植物について種名を記録し、個体識別用の個体番号標識を設置した。また、2012年6月から10月に、5 m×5 mの全方形区内に斜面上部に向かって左上角を基準として2 m×2 mの小方形区(図2-2)を設置し、高さ1.2 m未満の全維管束植物について種名、種ごとの被度および方形区全体の被度を記録した。

同様の調査を、間伐直後(2013年8月から11月)、間伐1年後(2014年10月から11月)にも実施した。なお、PTではほぼすべての方形区が間伐作業(伐採および刈り払い)の影響を受けていた。列状間伐を実施した2処理区のうち、PLTでは28方形区中14方形区において、またLTでは28方形区中15方形区において、方形区の一部もしくは全体が伐採列にかかっていた。

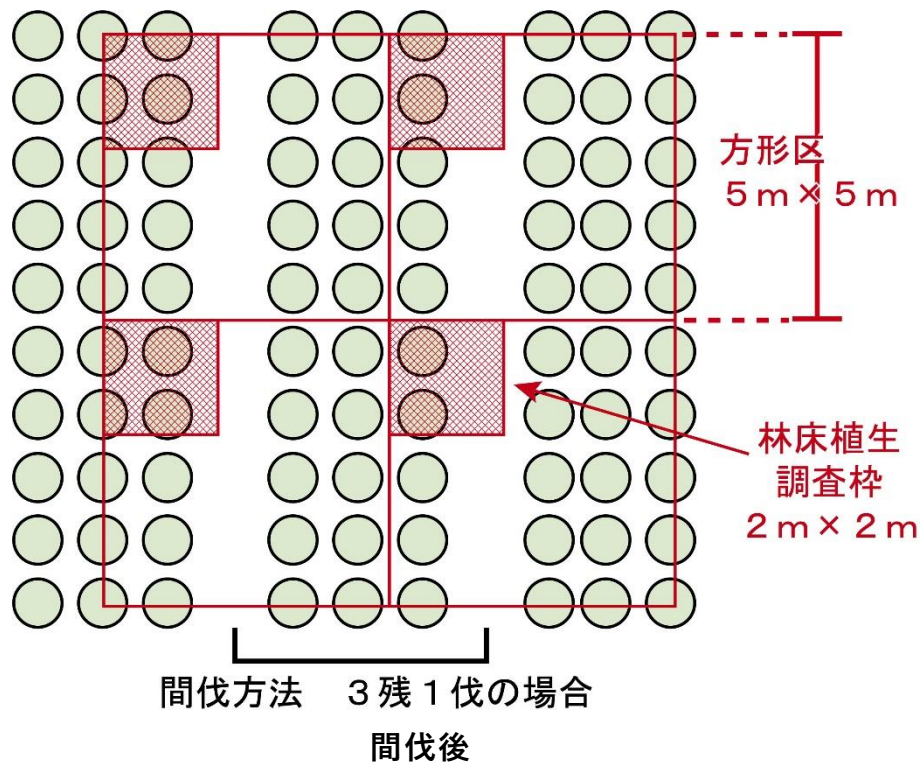
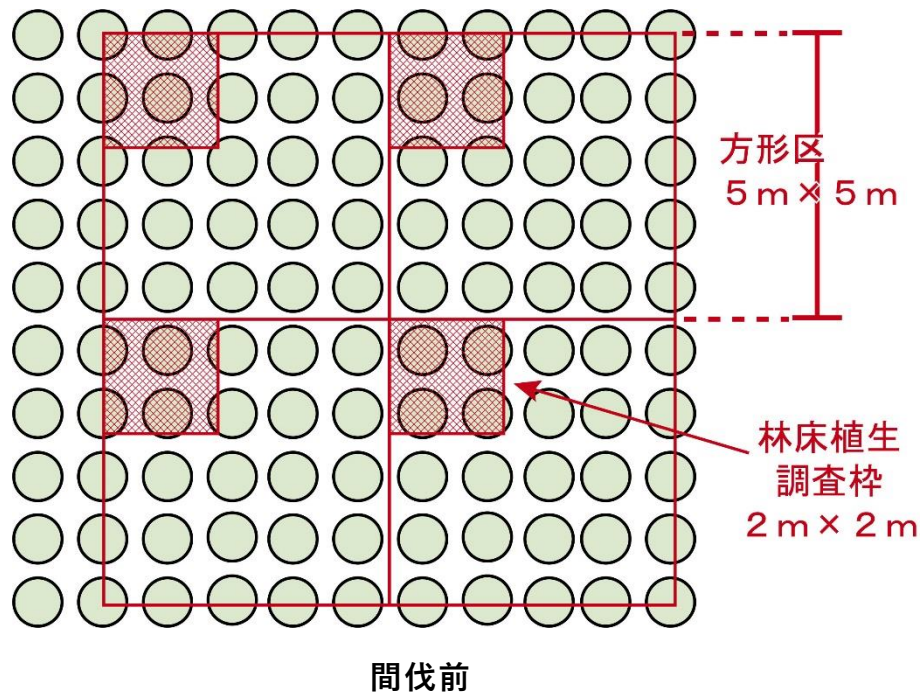


図 2-2. 植生調査枠の設置イメージ

2.2.3 データ解析

記録したすべての維管束植物は、生育立地特性と生活形で類型化した。生育立地特性については、生活形の違いにかかわらず、照葉樹林を生育の中心とする照葉樹林型種（服部ほか 2013）と、二次林や開けた環境を生育の中心とする二次林型・開地型種（照葉樹林型種以外の種）の 2 種類に区分した。生活形については、林冠を構成する樹木を高木、亜高木層に達する樹木を小高木、低木層以下の樹木を低木として（服部・南山 2001）、常緑・落葉の違いも考慮し、常緑高木、常緑小高木、常緑低木、常緑藤本、落葉高木、落葉小高木、落葉低木、落葉藤本、草本、草本つる、シダの 11 種類の生活形に区分して整理した（佐竹ほか 1981, 1982a, 1982b, 1989a, 1989b; 奥田 1997; 服部ほか 2013）。

間伐前の下層植生の処理区間差を見るために、間伐前の 1.2 m 以上の木本植物（低木層）の本数および 1.2 m 未満の維管束植物（草本層）の被度について PT, PLT, LT および NT 間で比較した（ステイール・ドゥワスの多重比較検定）。間伐前後における下層植生の変化を把握するため、各処理区全体の低木層の本数および種数、草本層の被度および種数について、間伐前を基準とした間伐直後と間伐 1 年後の変化率を算出した。また、各方形区についても、低木層の本数および種数、草本層の被度および種数を、間伐前、間伐直後および間伐 1 年後で比較した（フリードマン検定およびボンフェローニ法）。

さらに、異なる生育立地特性を持つ維管束植物に対する間伐の影響を把握するため、階層別に照葉樹林型種と二次林型・開地型種のそれぞれについて、間伐前、間伐直後、間伐 1 年後の方形区内の本数、被度、および種数を処理区ごとに比較した（フリードマン検定およびボンフェローニ法）。草本層の照葉樹林型種の被度と二次林型・開地型種の被度は、種ごとの被度を積算して算出した。

草本層個体の消失・再生・加入について、各処理区で間伐前に確認できたが間伐 1 年後に確認できなかった種を「消失」、間伐前に確認し間伐直後に確認できなかったが間伐 1 年後に確認できた種を「再生」、間伐前に確認できなかったが間伐直後または間伐 1 年後に確認できた種を「新規加入」として、それぞれの種数を生育立地特性別に整理した。整理するにあたり、調査区全体を見た場合の消失・再生・加入と、各処理区内での消失・再生・加入のそれぞれについて整理した。

種の和名および学名は「Green List」(<http://www.rdplants.org/gl/>, 2018.7 参照)に、Green List にない帰化種については「植物和名－学名インデックス YList」(<http://ylist.info/index.html>, 2018.7 参照)に従った。また、すべての統計解析は EZR on R commander 1.37 (Kanda 2013) で行った。

2.3 結果

2.3.1 間伐前のヒノキ人工林下の下層植生

間伐前に全方形区で確認した維管束植物は低木層 52 種，草本層 137 種，合計 143 種であった（表 2-2 および 2-3，植栽木を除く）。低木層で本数の多かった種は，ヒサカキ（589 本），コガクウツギ（297 本），ヤブムラサキ（113 本），草本層で被度合計が高かった種は，ウラジロ（1928.0），ヒサカキ（527.6），コガクウツギ（229.4）であった。一方，各階層で出現方形区数が 1 方形区のみ種は，低木層でオガタマノキ，コバンモチなど 13 種，草本層でイチイガシ，カクレミノなど 42 種であった。全体 143 種の生活形別の内訳は，常緑高木 11 種，常緑小高木 13 種，常緑低木 20 種，常緑藤本 11 種，落葉高木 9 種，落葉小高木 4 種，落葉低木 18 種，落葉藤本 9 種，草本 21 種，草本つる 7 種，シダ 20 種であった。生育立地特性別の内訳は，照葉樹林型種 74 種，二次林型・開地型種 69 種であった。各方形区の低木層の平均本数は PT 11.8 ± 8.6 ，PLT 11.7 ± 12.4 ，LT 13.6 ± 8.7 ，NT 17.5 ± 12.8 で，処理区間に差は認められなかった（ $P > 0.05$ ，スティーラー・ドゥワスの多重比較検定）。また，各方形区の草本層の平均被度は PT 35.2 ± 26.0 ，PLT 27.8 ± 26.5 ，LT 40.9 ± 24.0 ，NT 38.5 ± 27.2 で，処理区間に差は認められなかった（ $P > 0.05$ ，スティーラー・ドゥワスの多重比較検定）。

表 2-2. 間伐前, 間伐直後および間伐 1 年後における低木層樹木の本数と出現方形区数, () 内の数字は出現方形区数を示す.

生活形	種名	学名	PT			PLT			LT			NT			全体		
			間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後
常緑広葉樹	アラカシ	<i>Quercus edulis</i>	7 (4)	4 (4)	4 (4)	13 (8)	8 (6)	8 (6)	16 (9)	12 (9)	11 (10)	36 (16)	36 (16)	37 (16)	72 (37)	60 (35)	60 (36)
	カゴシ	<i>Litsea coreana</i>	5 (3)	4 (3)	4 (3)	7 (5)	5 (3)	5 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	-	-	-	15 (11)	12 (9)	12 (9)
	キソバダ	<i>Melicope japonica</i>	-	-	1 (1)	4 (4)	3 (3)	3 (3)	4 (4)	4 (4)	4 (4)	-	-	-	13 (11)	12 (11)	12 (11)
	キソバダ	<i>Chimonanthus subulnifolius</i>	3 (3)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	6 (6)	6 (6)	5 (5)	10 (10)	8 (8)	7 (7)
	イヌガシ	<i>Quercus fabri</i>	-	-	-	-	-	-	3 (2)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	9 (5)	9 (5)	9 (5)
	スダジイ	<i>Carpinus sibirica</i>	5 (4)	3 (2)	3 (2)	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	8 (6)	4 (3)	4 (3)
	カシ	<i>Quercus mongolica</i>	1 (1)	1 (1)	1 (1)	4 (4)	2 (2)	3 (2)	-	-	-	-	-	-	5 (5)	4 (4)	4 (4)
	カシ	<i>Quercus acuta</i>	1 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 (2)	1 (1)	1 (1)
	カシ	<i>Quercus glauca</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)
	カシ	<i>Quercus serrata</i>	19 (12)	14 (9)	16 (10)	16 (10)	5 (5)	7 (6)	29 (15)	20 (12)	23 (13)	30 (19)	32 (19)	34 (20)	94 (56)	71 (45)	80 (49)
	カシ	<i>Camellia japonica</i>	-	-	-	12 (7)	9 (5)	9 (5)	9 (8)	8 (7)	8 (7)	-	-	-	21 (15)	17 (10)	17 (10)
	カシ	<i>Smilax kureki</i>	2 (2)	3 (3)	3 (3)	-	-	-	1 (1)	-	-	7 (6)	7 (6)	7 (6)	10 (9)	10 (9)	10 (9)
	カシ	<i>Melicope rigidula</i>	1 (1)	1 (1)	2 (2)	-	-	-	2 (1)	-	-	3 (2)	3 (2)	3 (2)	5 (4)	5 (4)	5 (4)
	カシ	<i>Claytonia japonica</i>	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	2 (1)	-	-	2 (2)	2 (2)	2 (2)	5 (4)	3 (3)	3 (3)
常緑針葉樹	イヌガシ	<i>Neolitsea acuta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 (3)	4 (3)	4 (3)	
	シイモク	<i>Illex buxifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4 (3)	4 (3)	4 (3)	
	ヒメユズリハ	<i>Daphniphyllum sibiricum</i>	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	2 (2)	1 (1)	1 (1)	
	コナメシ	<i>Elaeagnus argentea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)
	ナツメ	<i>Illex pedunculata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)
	トクワガシ	<i>Diospyros moritaniensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ヒサキ	<i>Elaeagnus japonica</i>	178 (25)	150 (24)	157 (25)	113 (16)	51 (13)	61 (15)	123 (22)	101 (22)	113 (22)	175 (25)	179 (27)	174 (27)	589 (88)	481 (86)	505 (89)
	ヒサキ	<i>Leptocarpus japonicus</i>	7 (7)	3 (3)	3 (3)	15 (8)	11 (8)	11 (8)	20 (12)	15 (11)	16 (10)	27 (16)	27 (16)	29 (18)	69 (43)	56 (38)	59 (39)
	シロバイ	<i>Symplocos laurifolia</i>	4 (3)	2 (2)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	1 (1)	1 (1)	6 (5)	6 (5)	6 (5)	16 (14)	12 (11)	13 (12)
	アホ	<i>Prunella japonica</i> var. <i>japonica</i>	1 (1)	-	-	-	-	-	8 (4)	8 (4)	6 (3)	5 (2)	4 (2)	2 (1)	14 (7)	13 (7)	8 (4)
	アホ	<i>Prunella japonica</i> subsp. <i>japonica</i>	3 (2)	3 (2)	3 (2)	3 (2)	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (2)	2 (2)	-	-	-	7 (5)	6 (5)	6 (5)
	アホ	<i>Maesa japonica</i>	-	-	-	-	-	-	2 (1)	2 (1)	2 (1)	-	-	-	2 (2)	2 (2)	2 (2)
	アホ	<i>Daphne genkwa</i>	2 (2)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	2 (1)	-	-	-	-	-	2 (2)	1 (1)	1 (1)
	アホ	<i>Yucca nana bracteata</i>	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)	2 (2)	2 (2)
アホ	<i>Ardisia japonica</i>	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	
アホ	<i>Rhododendron fortunei</i>	1 (1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	
常緑雑草	アホ	<i>Prunella japonica</i> var. <i>amazakura</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 (2)	2 (1)	2 (1)	
	アホ	<i>Elaeagnus argentea</i> subsp. <i>argentea</i>	1 (1)	1 (1)	1 (1)	10 (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	11 (4)	1 (1)	1 (1)
	アホ	<i>Claytonia barbata</i>	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	3 (2)	2 (2)	2 (2)
	アホ	<i>Polygonum villosa</i> var. <i>villosa</i>	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (1)	1 (1)	3 (2)	2 (1)	2 (1)
	アホ	<i>Lysichiton ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i>	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (1)	1 (1)	3 (2)	2 (1)	2 (1)
	アホ	<i>Hesperis matronalis</i> var. <i>matronalis</i>	61 (14)	27 (11)	27 (12)	87 (19)	35 (13)	35 (12)	72 (20)	30 (11)	30 (12)	77 (21)	77 (23)	73 (24)	297 (74)	169 (58)	165 (60)
	アホ	<i>Cnidium japonicum</i>	16 (8)	12 (6)	11 (5)	19 (9)	5 (5)	5 (5)	31 (15)	24 (13)	25 (13)	47 (20)	48 (20)	47 (20)	113 (52)	89 (44)	88 (43)
	アホ	<i>Rhododendron fortunei</i> var. <i>fortunei</i>	1 (1)	2 (2)	2 (2)	3 (2)	1 (1)	1 (1)	11 (4)	6 (4)	6 (4)	12 (5)	12 (5)	11 (5)	27 (12)	21 (12)	24 (14)
	アホ	<i>Prunella microbotrya</i>	2 (2)	2 (2)	2 (2)	5 (3)	3 (2)	3 (2)	6 (5)	5 (4)	4 (3)	13 (7)	14 (7)	15 (7)	26 (17)	24 (15)	24 (14)
	アホ	<i>Calluna japonica</i> var. <i>japonica</i>	-	-	-	5 (5)	3 (3)	3 (3)	17 (10)	11 (7)	11 (7)	3 (3)	3 (3)	2 (2)	25 (18)	17 (13)	16 (12)
	アホ	<i>Rhododendron fortunei</i> var. <i>fortunei</i>	-	-	-	1 (1)	1 (1)	2 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	4 (2)	4 (2)	2 (1)	4 (2)	2 (1)	2 (1)
	アホ	<i>Polygonum erianthum</i> var. <i>erianthum</i>	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	2 (2)	1 (1)	2 (2)
	アホ	<i>Daphniphyllum sibiricum</i> var. <i>sibiricum</i>	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	2 (2)	2 (2)	2 (2)
	アホ	<i>Saxifraga hypnoides</i> var. <i>hypnoides</i>	-	-	-	2 (2)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	-	-	-	2 (2)	2 (2)	2 (2)
常緑雑草	アホ	<i>Coccoloba trifida</i>	-	-	-	2 (2)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	6 (6)	4 (4)	4 (4)	
	アホ	<i>Broussonetia kazunagi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	
	アホ	<i>Amphiglossa gracilior</i> var. <i>tenosiphula</i>	-	-	-	-	-	-	2 (1)	-	-	-	-	2 (1)	-	-	
	アホ	<i>Panicum zosterifolium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	2 (1)	2 (1)	
	アホ	<i>Panicum zosterifolium</i> subsp. <i>trifoliatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	2 (1)	2 (1)	
	アホ	<i>Akiba trifoliata</i> subsp. <i>trifoliata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1)	1 (1)	1 (1)	
	合計		329	239	251	328	152	164	380	261	274	489	496	481	1526	1148	1170
	出現種数		28	23	25	24	22	20	33	24	23	28	28	27	52	45	45

! 照：照葉樹林型種, 二：二次林型・開地型種

2.3.2 間伐に伴う間伐直後の低木層の変化

間伐の実施に伴い、間伐直後に PT で 90 本、PLT で 176 本、LT で 119 本の低木層の樹木が減少した（表 2-4）。一方、NT では 7 本増加した。処理区全体で減少本数が多かったのは落葉低木のコガクウツギと常緑低木のヒサカキで、この 2 種で全体の約 62%を占めていた（表 2-2）。低木層の本数減少率は、PT で 27.4%、PLT で 53.7%、LT で 31.3%であり、植栽木の本数間伐率（PT 34.4%、PLT 37.6%、LT 26.5%）と比較すると、列状間伐を含む 2 処理区で植栽木の本数間伐率よりも低木層の本数減少率が高かった。各処理区で間伐直後に種数も減少しており（表 2-2、表 2-4）、PT でクロガネモチ、アオキ、フジツツジ、キダチニンドウ、リョウブの 5 種、PLT でオガタマノキ、ヒメユズリハ、リョウブ、ネジキの 4 種（ナナミノキとアオキの 2 種が増加）、LT でクロキ、ヤマビワ、サカキ、キダチニンドウ、サネカズラ、コバノガマズミ、キブシ、アオツツラフジ、ノブドウ、ミツバアケビの 10 種（タブノキ 1 種が増加）が間伐直後に低木層から消失した。消失した低木層の種は、PLT のリョウブを除いて、すべて出現本数が 1-2 本の種であった（表 2-2）。

2.3.3 間伐に伴う間伐直後の草本層の変化

間伐の実施に伴い、間伐直後に草本層の被度（種ごとの被度の積算値）は PT で 303.1、PLT で 305.0、LT で 374.5 減少した（表 2-4）。一方、NT では 0.3 増加した。処理区全体で被度の減少が大きかったのは、シダのウラジロ、常緑低木のヒサカキ、落葉低木のコガクウツギで、これら 3 種で全体の約 67%を占めていた（表 2-3）。草本層の被度減少率は、PT で 30.8%、PLT で 39.2%、LT で 32.7%であり、植栽木の本数間伐率（PT 34.4%、PLT 37.6%、LT 26.5%）と比較すると、列状間伐を含む 2 処理区で植栽木の本数間伐率よりも草本層の被度減少率が高かった。種数はすべての処理区で減少しており、PT で 16 種、PLT で 20 種、LT で 14 種、NT で 9 種減少していた（表 2-2、表 2-3）。

表 2-4. 間伐前, 間伐直後および間伐 1 年後における低木層樹木の本数および種数, 草本層植物の被度および種数.

	PT			PLT			LT			NT		
	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後
低木層												
[処理区全体]												
本数	329	239	251	328	152	164	380	261	274	489	496	481
(照葉樹林型種)	246	195	208	193	101	112	234	183	197	322	327	322
(二次林型・開地型種)	83	44	43	135	51	52	146	78	77	167	169	159
本数減少率	—	27.4%	23.7%	—	53.7%	50.0%	—	31.3%	27.9%	—	-1.4%	1.6%
種数	28	23	25	24	22	20	33	24	23	28	28	27
(照葉樹林型種)	21	18	20	13	13	11	21	17	17	17	17	16
(二次林型・開地型種)	7	5	5	11	9	9	12	7	6	11	11	11
種数減少率	—	17.9%	10.7%	—	8.3%	16.7%	—	27.3%	30.3%	—	0.0%	3.6%
[方形区あたり]												
平均本数	11.8	8.5	9.0	11.7	5.4	5.9	13.6	9.3	9.8	17.5	17.7	17.2
最大本数	29	18	22	44	28	28	31	28	27	51	48	43
最小本数	1	0	0	0	0	0	1	0	1	5	5	5
平均種数	3.9	3.0	3.2	4.2	2.8	2.8	5.6	4.4	4.5	6.5	6.7	6.6
最大種数	7	7	8	12	11	11	11	10	10	11	11	10
最小種数	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	3	3
草本層												
[処理区全体]												
被度	985.0	681.9	965.7	778.3	473.2	792.1	1145.7	771.2	1047.1	1076.8	1077.1	1080.0
(照葉樹林型種)	285.5	229.6	301.8	264.9	187.6	253.7	487.0	374.8	459.2	335.6	346.5	372.2
(二次林型・開地型種)	699.5	452.3	663.9	513.4	285.6	538.5	658.7	396.5	588.0	741.2	730.7	707.8
被度減少率	—	30.8%	2.0%	—	39.2%	-1.8%	—	32.7%	8.6%	—	0.0%	-0.3%
種数	80	64	94	81	61	93	85	71	97	76	67	74
(照葉樹林型種)	41	34	42	43	35	40	39	36	38	38	36	35
(二次林型・開地型種)	39	30	52	38	26	53	46	35	59	38	31	39
種数減少率	—	20.0%	-17.5%	—	24.7%	-14.8%	—	16.5%	-14.1%	—	11.8%	2.6%
[方形区あたり]												
平均被度	35.2	24.4	34.5	27.8	16.9	28.3	40.9	27.5	37.4	38.5	38.5	38.6
最大被度	95.4	70.1	92.0	81.6	62.6	91.9	100.0	76.5	82.0	95.0	95.0	90.0
最小被度	2.5	2.2	3.7	0.4	0.1	1.5	2.1	1.8	3.7	6.0	7.3	5.4
平均種数	13.7	10.2	17.3	14.0	8.8	19.2	15.6	10.9	18.3	13.3	11.7	13.9
最大種数	24	20	28	30	21	31	27	22	28	29	24	32
最小種数	2	2	4	2	1	6	5	4	5	2	2	2

2.3.4 間伐直後，間伐 1 年後の下層植生の変化

間伐前から間伐直後，間伐 1 年後にかけて，すべての間伐区において低木層の本数は間伐直後に大きく減少し ($P < 0.05$) (図 2-3 (i))，間伐 1 年後には間伐直後から 12-13 本増加していた (表 2-4)．低木層の種数も，すべての間伐区で間伐直後に減少し ($P < 0.05$) (図 2-3 (ii))，間伐直後から間伐 1 年後にかけて PT ではホソバタブとトキワガキの 2 種が増加していたが，PLT ではナナミノキとアオキが，LT ではマルバウツギが消失し減少していた．また，NT でもシャシャンボが消失し減少していた (表 2-2)．草本層の被度は間伐直後に大きく減少し ($P < 0.05$)，間伐 1 年後には間伐前の水準程度まで増加していた ($P < 0.05$) (図 2-3 (iii))．草本層の種数もすべての間伐区で間伐直後に減少したが ($P < 0.05$)，間伐 1 年後には間伐前の水準を超えて大きく増加していた ($P < 0.05$) (図 2-3 (iv))．

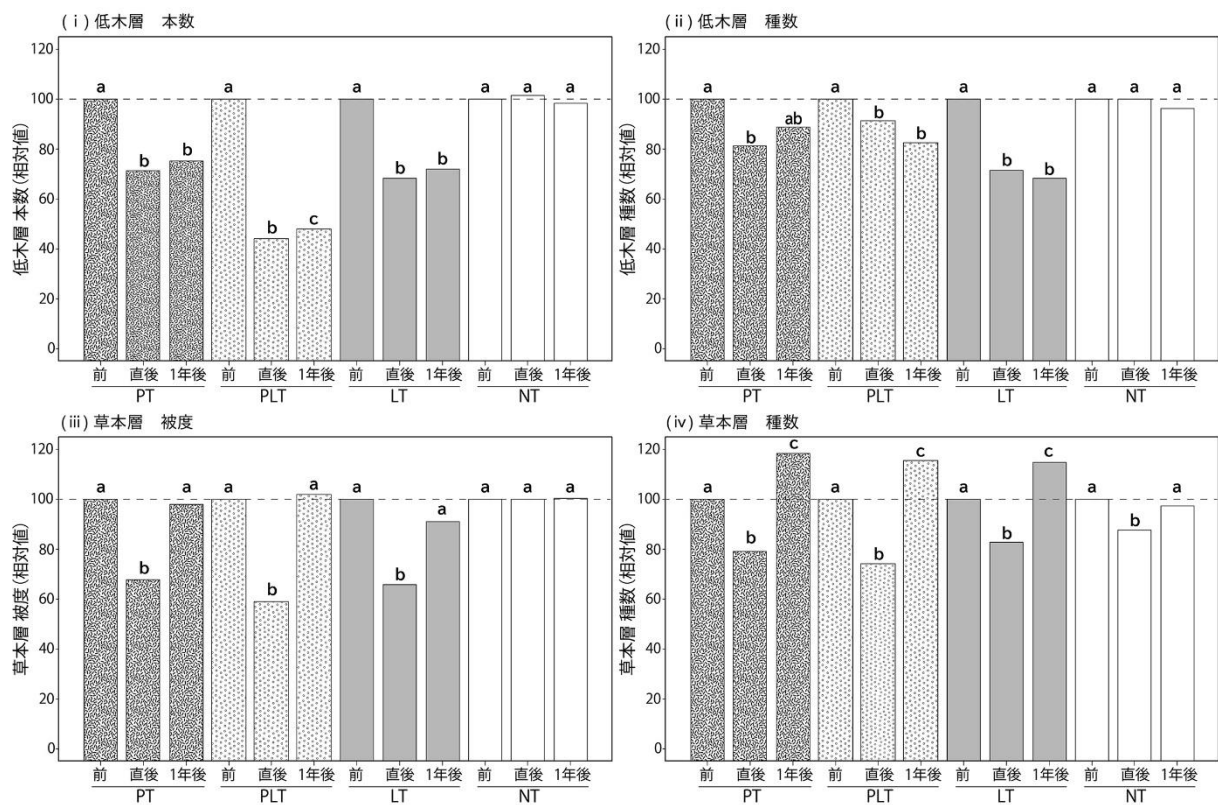


図 2-3. 間伐直後および間伐 1 年後における低木層樹木の本数および種数と草本層植物の被度および種数の変化。処理区全体の合計について、間伐前の本数・被度・種数を 100 とした時の相対値で示す。異なるアルファベットは、同じ間伐手法内で有意差が認められたことを示す（フリードマン検定およびボンフェローニ法）。

2.3.5 生育立地特性から見た下層植生の変化

低木層の照葉樹林型種は、すべての間伐区で間伐直後に本数が大きく減少し、間伐1年後にはPTでヒサカキ、シロダモ、ホソバタブ、ヤマビワ、カゴノキ、シロバイなど13本、PLTでヒサカキ、シロダモ、タブノキなど11本、LTでヒサカキ、シロダモ、タブノキなど14本が増加していた(表2-2, 表2-4)。一方、低木層の二次林型・開地型種もすべての間伐区で間伐直後に大きく減少したが、間伐1年後にはほとんど増加していなかった(表2-4)。種数変化については増加や減少等が見られたが、照葉樹林型種と二次林型・開地型種で大きな違いはなかった。方形区あたりでは、照葉樹林型種の本数はPTとPLTで間伐前と間伐直後の差が有意であり、PLTでは間伐直後と間伐1年後でも差が有意であった($P < 0.05$)。二次林型・開地型種の本数は、すべての間伐区において間伐前と間伐直後・間伐1年後で差が有意であった($P < 0.05$)。照葉樹林型種の種数ではPTとPLTで、二次林型・開地型種の種数ではPLTとLTで、間伐前と間伐直後・間伐1年後の差が有意であった($P < 0.05$) (図2-4)。

草本層の照葉樹林型種は、すべての間伐区で間伐直後に種数が減少し、間伐1年後にはPTで8種、PLTで5種、LTで2種増加していた(表2-4)。一方、草本層の二次林型・開地型種は、PTで22種、PLTで27種、LTで24種と大きく増加していた(表2-4)。被度変化については、照葉樹林型種と二次林型・開地型種の両方で、間伐直後に減少し、間伐1年後に増加していた。方形区あたりでは、照葉樹林型種の被度はすべての間伐区において、間伐前・間伐1年後と間伐直後で差が有意であった($P < 0.05$)。二次林型・開地型種の被度も同様に、すべての間伐区において間伐前・間伐1年後と間伐直後で差が有意であった($P < 0.05$)。照葉樹林型種の種数は、すべての間伐区において間伐前・間伐1年後と間伐直後で差が有意であり($P < 0.05$)、NTでも間伐直後と間伐1年後の差が有意であった。二次林型・開地型種の種数は、すべての間伐区において、間伐前、間伐直後、間伐1年後のすべてで差が有意であった($P < 0.05$)。また、NTでは間伐前・間伐1年後と間伐直後の差が有意であった($P < 0.05$) (図2-5)。

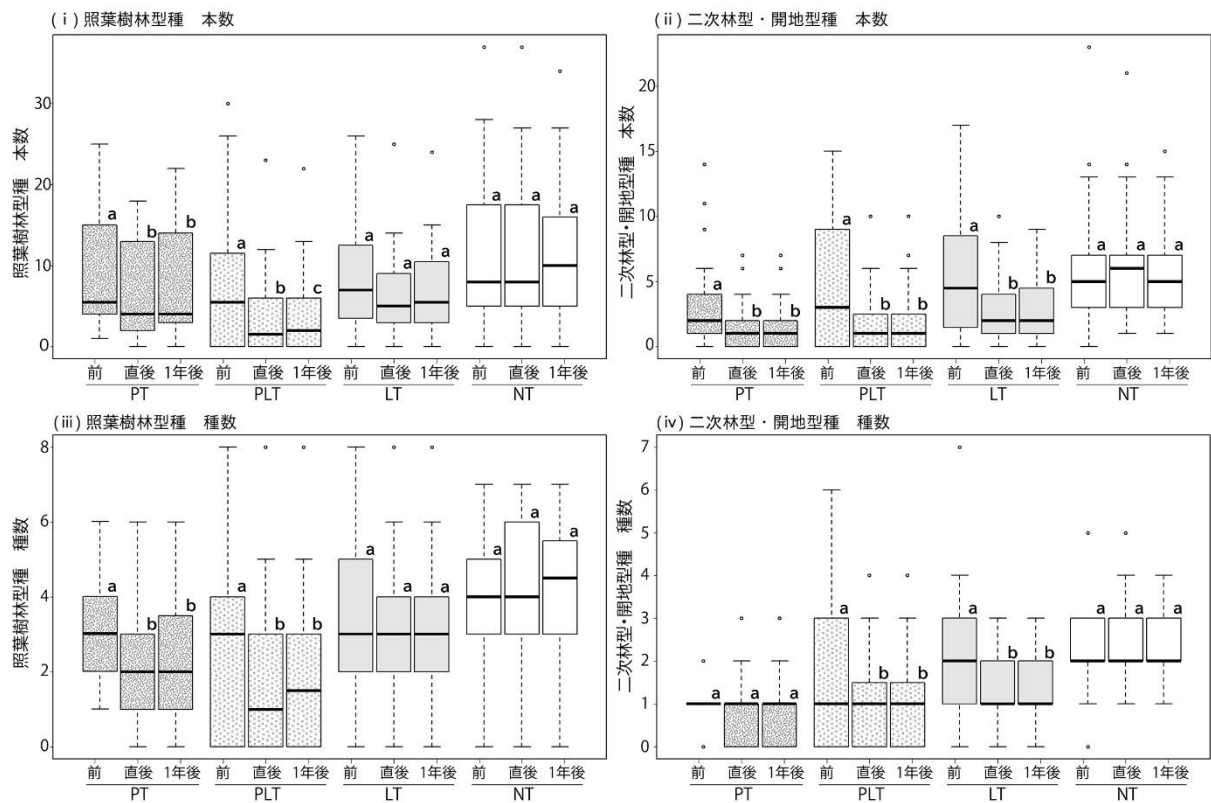


図 2-4 間伐前後における 1 方形区あたりの低木層樹木の本数および種数。異なるアルファベットは、同じ間伐手法内で有意差が認められたことを示す（フリードマン検定およびボンフェローニ法）。ボックスは四分位範囲（25-75 パーセントイルの範囲）を示し、ボックス中の線は第二四分位数（中央値）を示す。上下のエラーバーは四分位範囲の 1.5 倍の範囲内にある最大値および最小値をそれぞれ示す。エラーバーよりも外側の値は外れ値として白丸で示されている。

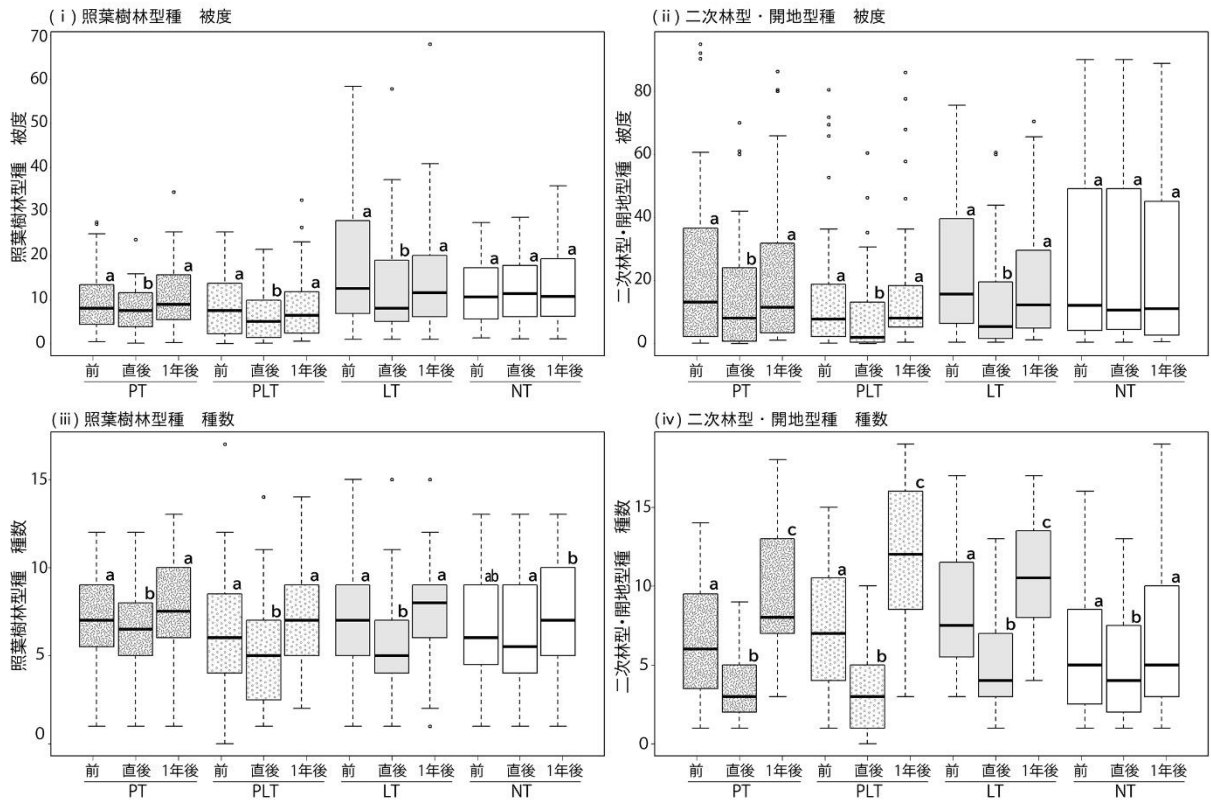


図 2-5. 間伐前後における 1 方形区あたりの草本層植物の被度および種数。異なるアルファベットは、同じ間伐手法内で有意差が認められたことを示す（フリードマン検定およびボンフェローニ法）。ボックスは四分位範囲（25-75 パーセントイルの範囲）を示し、ボックス中の線は第二四分位数（中央値）を示す。上下のエラーバーは四分位範囲の 1.5 倍の範囲内にある最大値および最小値をそれぞれ示す。エラーバーよりも外側の値は外れ値として白丸で示されている。

2.3.6 草本層の消失，再生，新規加入

調査区全体において，間伐 1 年後時点で草本層から消失していた種は 12 種，間伐直後に消失したものの間伐 1 年後には再生した種は 19 種，間伐直後もしくは間伐 1 年後に新規加入していた種は 31 種であった（表 2-5）．処理区ごとでは，間伐 1 年後時点で消失した種は PT 7 種<LT 8 種<PLT 12 種，間伐直後に一旦消失して間伐 1 年後に再生した種は LT 6 種<PT 12 種<PLT 14 種，間伐 1 年後に新規加入した種は LT 20 種<PT 21 種<PLT 24 種であった．それぞれの処理区での消失・再生・新規加入について，生育立地特性別に合計すると，照葉樹林型種は消失 18，再生 9，新規加入 13 に対して，二次林型・開地型種は消失 14，再生 29，新規加入 55 であった．

表 2-5. 間伐前後における草本層の消失・再生・新規加入種.

生活形	種名	生育立地特性*	学名	全体 ¹	PT	PLT	LT	NT	
常緑高木	ツブラジイ	照	<i>Castanopsis cuspidata</i>		消失				
	スタジイ	照	<i>Castanopsis sieboldii</i>			消失			
	クロガネモチ	照	<i>Ilex rotunda</i>	再生		再生			
	シリブカガシ	照	<i>Lithocarpus glaber</i>	消失		消失		消失	
	カゴノキ	照	<i>Litsea coreana</i>				消失		
	ホソバタブ	照	<i>Machilus japonica</i>					消失	
常緑小高木	カクレミノ	照	<i>Dendropanax trifidus</i>	再生	再生	新規加入			
	トキワガキ	照	<i>Diospyros morrisiana</i>	新規加入		新規加入			
	リンボク	照	<i>Prunus spinulosa</i>	再生				消失	
常緑低木	ツルコウジ	照	<i>Ardisia pusilla</i>			消失			
	アオキ	照	<i>Aucuba japonica</i> var. <i>japonica</i>			消失			
	ナワシログミ	照	<i>Elaeagnus pungens</i>	再生	再生				
	サツマルリミノキ	照	<i>Lasianthus japonicus</i> f. <i>satsumensis</i>	消失		消失			
	イズセンリョウ	照	<i>Maesa japonica</i>			再生			
	センリョウ	照	<i>Sarcandra glabra</i>			消失			
	シロバイ	照	<i>Symplocos lancifolia</i>			再生			
	フジツツジ	二	<i>Rhododendron tosaense</i>		再生				
常緑藤本	サカキカズラ	照	<i>Anodendron affine</i>	新規加入	新規加入				
	ツルグミ	照	<i>Elaeagnus glabra</i> var. <i>glabra</i>			消失			
	オオイタビ	照	<i>Ficus pumila</i>	新規加入		新規加入			
	キツタ	照	<i>Hedera rhombea</i>					消失	
	ムベ	照	<i>Stauntonia hexaphylla</i>	再生	再生				
	ハスノハカズラ	照	<i>Stephania japonica</i>	消失			消失		
	カギカズラ	照	<i>Uncaria rhynchophylla</i> var. <i>rhynchophylla</i>				新規加入		
落葉高木	ムクノキ	二	<i>Aphananthe aspera</i>			消失			
	エノキ	二	<i>Celtis sinensis</i>	再生		新規加入	消失		
	クマノミズキ	二	<i>Cornus macrophylla</i>	新規加入	新規加入	新規加入			
	カナクキノキ	二	<i>Lindera erythrocarpa</i>	再生	再生		新規加入		
	ヤマグワ	二	<i>Morus australis</i>	新規加入		新規加入	新規加入		
	ヤマザクラ	二	<i>Prunus jamasakura</i> var. <i>jamasakura</i>	再生	再生	新規加入	新規加入	新規加入	
	コナラ	二	<i>Quercus serrata</i>	再生		再生	消失		
	エゴノキ	二	<i>Styrax japonicus</i> var. <i>japonicus</i>		新規加入				
	ハゼノキ	二	<i>Toxicodendron succedaneum</i>	再生		再生		再生	
	ヤマハゼ	二	<i>Toxicodendron sylvestre</i>					再生	
	カラスザンショウ	二	<i>Zanthoxylum ailanthoides</i> var. <i>ailanthoides</i>	新規加入	新規加入	新規加入	新規加入		
	落葉小高木	ネジキ	二	<i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i>	再生		再生		
		アカメガシワ	二	<i>Mallotus japonicus</i>	再生	新規加入	新規加入	再生	
カマツカ		二	<i>Pourthiaea villosa</i> var. <i>villosa</i>	新規加入			新規加入		
落葉低木	タラノキ	二	<i>Aralia elata</i>	新規加入		新規加入	新規加入		
	コアカソ	二	<i>Boehmeria spicata</i> var. <i>spicata</i>	新規加入			新規加入		
	ムラサキシキブ	二	<i>Callicarpa japonica</i> var. <i>japonica</i>		新規加入				
	クサギ	二	<i>Clerodendrum trichotomum</i> var. <i>trichotomum</i>	新規加入	新規加入		新規加入		
	マルバウツギ	二	<i>Deutzia scabra</i> var. <i>scabra</i>			消失			
	ゴンズイ	二	<i>Euscaphis japonica</i>				新規加入		
	ハナイカダ	二	<i>Helwingia japonica</i> subsp. <i>japonica</i>	消失	消失				
	コバンノキ	二	<i>Phyllanthus flexuosus</i>	新規加入	新規加入				
	ハマクサギ	二	<i>Premna microphylla</i>			新規加入			
	ツツジ属の一種	二	<i>Rhododendron</i> sp.	再生		再生			
	オンツツジ	二	<i>Rhododendron weyrichii</i> var. <i>weyrichii</i>		消失	再生		新規加入	
	ノイバラ	二	<i>Rosa multiflora</i>	再生	再生				
	クマイチゴ	二	<i>Rubus crataegifolius</i>	新規加入		新規加入			
	クサイチゴ	二	<i>Rubus hirsutus</i>	新規加入		新規加入			
	ナワシロイチゴ	二	<i>Rubus parvifolius</i> var. <i>parvifolius</i>	再生	再生				
	キブシ	二	<i>Stachyurus praecox</i> var. <i>praecox</i>	消失			消失		
	ガマズミ	二	<i>Viburnum dilatatum</i>		再生	再生		再生	
	コバノガマズミ	二	<i>Viburnum erosum</i> var. <i>erosum</i>				再生		

表 2-5. つづき

生活形	種名	生育 立地 特性*	学名	全体 ¹	PT	PLT	LT	NT	
落葉藤本	サルナシ	二	<i>Actinidia arguta</i> var. <i>arguta</i>	新規加入	新規加入	新規加入	新規加入		
	ミツバアケビ	二	<i>Akebia trifoliata</i> subsp. <i>trifoliata</i>			再生			
	ノブドウ	二	<i>Ampelopsis glandulosa</i> var. <i>heterophylla</i>		新規加入	再生			
	ツルウメモドキ	二	<i>Celastrus orbiculatus</i> var. <i>orbiculatus</i>	新規加入		新規加入	新規加入		
	アオツツラフジ	二	<i>Cocculus trilobus</i>		新規加入		再生		
	スイカズラ	二	<i>Lonicera japonica</i>			新規加入	消失		
草本	タイリンアオイ	照	<i>Asarum asaroides</i>					新規加入	
	ナキリスゲ	照	<i>Carex lenta</i>		新規加入		新規加入		
	シュスラン	照	<i>Goodyera velutina</i>	消失		消失			
	ヤブラン	照	<i>Liriope muscari</i>	消失			消失		
	ナガバジャノヒゲ	照	<i>Ophiopogon japonicus</i> var. <i>umbrosus</i>		再生				
	サツマイナモリ	照	<i>Ophiorrhiza japonica</i> var. <i>japonica</i>			新規加入			
	キッコウハグマ	二	<i>Ainsliaea apiculata</i> var. <i>apiculata</i>				新規加入		
	ヨモギ	二	<i>Artemisia indica</i> var. <i>maximowiczii</i>	新規加入			新規加入		
	マツカゼソウ	二	<i>Boeninghausenia albiflora</i> var. <i>japonica</i>	新規加入			新規加入		
	スゲ属の一種	二	<i>Carex</i> sp.				再生	再生	
	ヒメジョオン	二	<i>Erigeron annuus</i>	新規加入		新規加入			
	シソ科の一種	二	LAMIACEAE sp.	再生				再生	
	センボンヤリ	二	<i>Leibnitzia anandria</i>	再生	新規加入			再生	
	ネコハギ	二	<i>Lespedeza pilosa</i>	新規加入			新規加入		
	コナスビ	二	<i>Lysimachia japonica</i> var. <i>japonica</i>	新規加入	新規加入	新規加入			
	タケニグサ	二	<i>Macleaya cordata</i>	新規加入	新規加入	新規加入	新規加入		
	ミズヒキ	二	<i>Persicaria filiformis</i>	消失			消失		
	ネザサ	二	<i>Pleioblastus argenteostriatus</i> f. <i>glaber</i>	消失	消失				
	アキノタムラソウ	二	<i>Salvia japonica</i>	新規加入			新規加入		
	ハコベ属の一種	二	<i>Stellaria</i> sp.	消失	消失				
センブリ	二	<i>Swertia japonica</i> var. <i>japonica</i>	新規加入			新規加入			
ヤマホトトギス	二	<i>Tricyrtis macropoda</i> var. <i>macropoda</i>	再生			再生			
ヒメミヤマスミレ	二	<i>Viola boissieuana</i> var. <i>boissieuana</i>			再生				
オニタビラコ	二	<i>Youngia japonica</i>	新規加入		新規加入				
草本つる	トキワカモメヅル	照	<i>Tylophora japonica</i>	新規加入			新規加入		
	オニドコロ	二	<i>Dioscorea tokoro</i>		再生				
	ノササゲ	二	<i>Dumasia truncata</i>		再生	消失		消失	
	キカラスウリ	二	<i>Trichosanthes kirilowii</i> var. <i>japonica</i>	新規加入	新規加入				
	モミジカラスウリ	二	<i>Trichosanthes multiloba</i>	再生			再生		
シダ	オオカナワラビ	照	<i>Arachniodes amabilis</i> var. <i>fimbriata</i>	新規加入	新規加入				
	ノコギリシダ	照	<i>Diplazium wichura</i>	消失	消失				
	ナチクジャク	照	<i>Dryopteris decipiens</i>	消失	消失				
	オオイタチシダ	照	<i>Dryopteris hikonensis</i>			再生			
	フモトシダ	照	<i>Microlepia marginata</i>		新規加入				
	アマクサシダ	照	<i>Pteris semipinnata</i>	新規加入	新規加入				
	カニクサ	二	<i>Lygodium japonicum</i>	新規加入		新規加入			
	ホランソブ	二	<i>Odontosoria chinensis</i>	新規加入	新規加入	新規加入			
	ヤワラシダ	二	<i>Thelypteris laxa</i>	新規加入	新規加入				
照葉樹林型種				消失	7	3	8	3	4
				再生	5	4	5	0	0
				新規加入	6	5	5	2	1
二次林型・開地型種				消失	5	4	4	5	1
				再生	14	8	9	6	6
				新規加入	25	16	19	18	2

*照：照葉樹林型種，二：二次林型・開地型種。 ¹：調査区全体での消失・再生・新規加入を示している。

2.4 考察

2.4.1 間伐に伴う下層植生の衰退

本研究の間伐試験の結果、間伐作業に伴い下層植生では植栽木の本数間伐率と同程度もしくはそれ以上の攪乱が発生していることが明らかになった。今回実施した3つの間伐手法のすべてにおいて、間伐直後には低木層および草本層の両方で本数と被度が減少しており、特に列状間伐を行った2処理区では、植栽木の本数間伐率以上に減少していた(表2-4)。

間伐作業に伴い下層植生が破壊される要因として、植栽木の伐採倒木に伴う低木の巻き添え倒木、作業効率化や作業員の安全確保のための下刈り、伐採木搬出の際の地表攪乱が考えられる。本研究で実施した間伐では、どの間伐手法においてもこれらの3つの要因は確認されており、下層植生に直接的に影響を及ぼしたと考えられる。特に列状間伐での伐採列は、伐倒した植栽木の集材経路として植栽木だけでなく低木層および草本層のほとんどすべてが刈り払われていたため、点状間伐のみに比べて下層植生の減少率が高くなったと考えられる。間伐前の下層植生の生育状況は調査地内で一様ではなく、方形区ごとに大きく異なっており、低木層では1方形区当たりの本数が最高51本から最低0本まで、草本層についても1方形区当たりの被度が最高100%から最低0.4%まで大きな幅が見られた(表2-4)。列状間伐の伐採列では下層植生のすべてが伐採され刈り払われてしまうため、伐採列が低木層や草本層の密度が高い部分を通過する場合に減少率が高くなったと考えられる。一方、点状間伐では列状間伐のように決まった箇所をすべて伐採する必要がないことから、列状間伐を含む処理区と比べてわずかではあるが減少率が低くなったと推測される。

一方、本研究では間伐による種数の減少には、間伐手法の違いによる明瞭な差異は認められなかった。間伐直後に消失した低木のほとんどが出現1-2本の種であり(表2-2)、草本も被度3.2%以下の種であった(表2-3)。種数の変化はこのような低頻度出現種に影響を受けやすいと考えられる。今回実施した通常程度の間伐であれば、間伐の種類や量的な

影響よりも低頻度出現種が間伐の攪乱を受ける偶然性の影響の方が高いのではないかと推察された。また、間伐直後には無間伐区においても9種が消失していた(表2-3, 表2-4)。この消失は降雨不足等の気象条件による自然枯死、ニホンジカやノウサギによる採食によるものと考えられるが、はっきりとした理由は不明である。無間伐区でも消失が見られたことから、間伐区での消失の中にも間伐以外の影響も含んでいる可能性がある。

なお、間伐に伴う衰退状況を生活形別にみると、低木層では常緑低木と落葉低木の減少本数が大きく、また、草本層ではシダが突出して被度の減少が大きかったが、これらは間伐前に存在していた量と対応しており、減少率でみると明瞭な傾向は認められなかった。したがって、間伐の影響による衰退の度合いは、生活形で大きくは変わらないと考えてよいだろう。

2.4.2 間伐後の下層植生の短期的再生

間伐1年後の時点で、草本層は被度および種数の両方で間伐前の水準、もしくはそれ以上に回復していたが、低木層では間伐1年後時点では間伐前の水準まで回復していなかった(図2-3, 表2-4)。この結果は、間伐作業に伴う下層植生の攪乱は、低木層により強い影響を与えていたことを示している。近年、森林管理において広葉樹林化や天然更新が実践され始めているが(独立行政法人森林総合研究所四国支所 2012; 林野庁国有林野部経営企画課 2018)、林内の光環境を維持するために5年に1回程度の高頻度で間伐を行うと、多くの低木層の前生稚樹を損傷し回復を妨げる可能性がある。特に、出現頻度が少ない種に対しては影響が大きく、高頻度の間伐は植物種多様性の回復に逆行すると考えられる。

草本層では被度および種数が回復していたが、間伐1年後の種組成は間伐前から変化していたと考えられる。すなわち、照葉樹林型種の被度および種数は間伐直後に一時的に減少し、間伐1年後には間伐前と同程度まで回復するのに対して、二次林型・開地型種は間伐により大きく減少するものの、間伐1年後には被度は間伐前の水準まで戻り、種数は間伐前の水準を大きく超えて回復していた(図2-5, 表2-4)。これらの種組成の変化は、消

失，消失後の再生，新規加入の異なるプロセスによりもたらされたと考えられる．各処理区で間伐後に消失した種の約 56%が照葉樹林型種であったのに対して，再生した種では約 24%，新規加入した種では約 19%にとどまり，種組成では照葉樹林型種と二次林型・開地型種の入れ替わりが起きていた（表 2-5）．特に新規加入については照葉樹林型種と二次林型・開地型種の差が大きく，照葉樹林型種の新規加入が少なかった．これは，常緑のカシやシイの堅果は寿命が短く長期間生存できず，人工林では攪乱依存的な草本種や先駆種の埋土種子が多くなることや（酒井ほか 2006），重力散布種子の散布は林縁周辺に限定されているため（山川ほか 2013）と考えられ，間伐で短期的に回復する植生は草本層の二次林型・開地型種であった．

すなわち，列状間伐は林冠をより大きく集中して疎開させることで，二次林型・開地型種の生育を促進する効果があるが，いずれの間伐手法でも，照葉樹林型種の発生・生育を促進する効果は，短期的には期待できないと考えられる．

2.4.3 植物種多様性の回復のための間伐作業

針葉樹人工林で植物種多様性保全の効果を期待して間伐を行う場合、通常の間伐率（25-35%程度）では数年後には林冠閉鎖が起こるため（Seiwa et al. 2009）、長期的に光環境を維持するためには比較的高頻度の間伐が必要となる。しかし、通常の間伐率で間伐を行った場合でも、作業に伴う刈り払いによって低木層の多くの植物個体を損傷し植生を大きく衰退させることが本研究で明らかになった。したがって、人工林低木層への侵入・定着に時間を要する照葉樹林型種の本木種（Ito et al. 2003）の保全においては、低頻度の強度の間伐によって光環境を長期的に維持することが効果的であろう。ただし、特に出現率の低い種を保全する上では、間伐時の下層刈り払いを最小限に留める配慮も重要である。一方、保全対象が草本層を中心とした二次林型・開地型種（里山種）の場合は、低頻度の強度間伐もしくは高頻度の通常間伐を行い、林床の明るい光環境を持続させることが望ましい。ただし低頻度の強度間伐を行った場合は、低木層の保全とは逆に時間が経過した後の低木層による被陰の増大を考慮しておく必要がある。

第3章 異なる間伐手法に対するヒノキ人工林内の昆虫群集の短期的変化

3.1 調査地

調査地は、宮崎県延岡市鹿狩瀬地区にある延岡市有林内の35年生ヒノキ人工林（北緯 $32^{\circ} 36' 29''$ ，東経 $131^{\circ} 36' 49''$ ）である（図3-1）。調査地から最も近い気象観測所（延岡，標高19.2 m，調査地から南東方向に約5 km）の年平均気温は 16.6°C ，最寒月の月平均気温は 6.6°C ，年降水量は2292.1 mmである（気象庁の気象観測データ，1981-2010年の平均値）。調査対象林分は標高110-180 mの西北西向き斜面に位置し，傾斜角度は15-44度，植生帯は照葉樹林帯下部に属する。調査対象林分は植栽後初期に下刈り，除伐が行われたのみで，本研究の試験設定以前に間伐は行われていない。

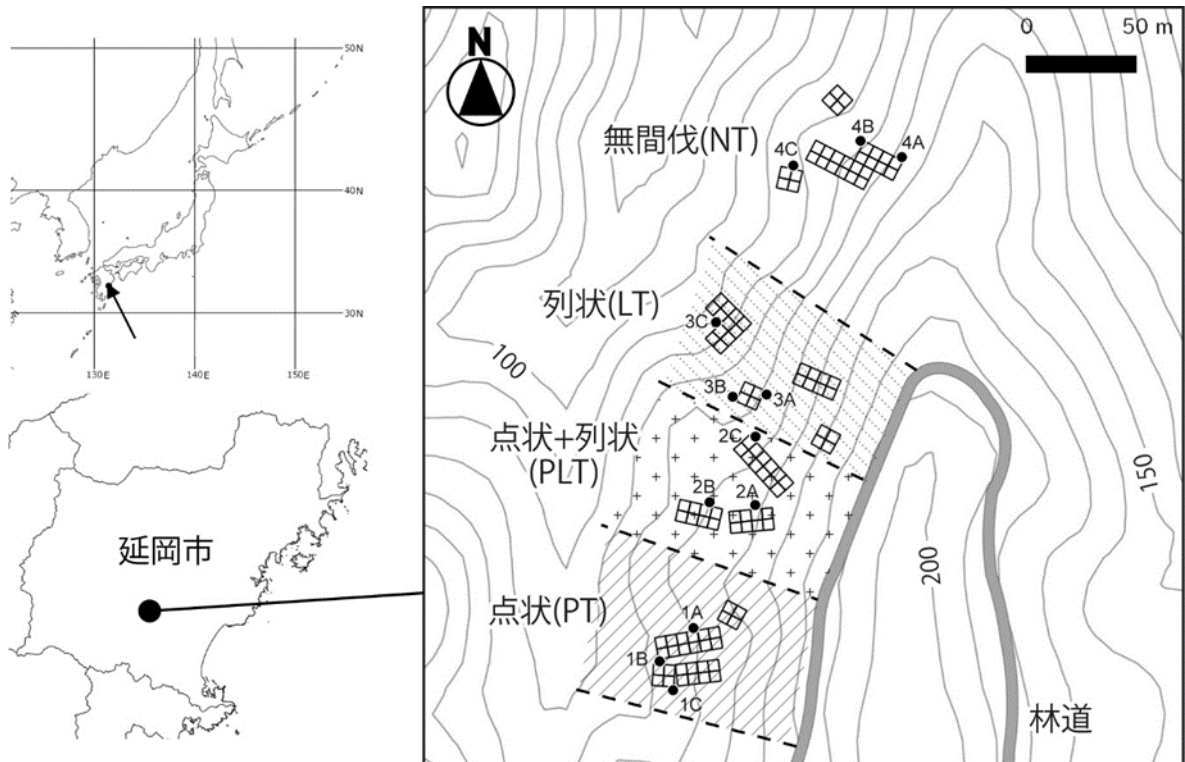


図 3-1. 調査地の位置と間伐処理および昆虫調査地点の配置. 数字とアルファベットの組み合わせは各調査地点名を示す. 網掛け部分 (斜線および“+”印) は間伐を実施した範囲を示す. 正方形は第 2 章によって植生が調査された方形区的位置を示す.

3.2 方法

3.2.1 間伐処理

連続したヒノキ人工林に間伐方法の異なる 4 つ処理区を設けた (図 3-1) (岩切ほか 2019). 処理の内容は, 1)点状間伐区 (PT): 本数間伐率約 35%の定性間伐を実施, 2)点状+列状間伐区 (PLT): 3 残 1 伐の列状間伐に加えて全体の本数間伐率が約 35%になるように定性間伐を追加, 3)列状間伐区 (LT): 3 残 1 伐の列状間伐のみ実施 (本数間伐率 25%), および 4)無間伐区 (NT) である. 各間伐区の面積は約 0.6ha である. 間伐木は外部に搬出したが, 一部の枝葉および間伐に際して伐採された植栽木以外の下層広葉樹は林内に残置した (植生調査プロットの外に搬出). 定性間伐は通常行われている下層間伐を行い, 伐採木の選定は現場作業員が行った. 間伐は 2013 年 5 月から 6 月にかけて実施した.

3.2.2 昆虫調査

人工林内の低層を利用している昆虫群集構造を明らかにするために, 4 処理区それぞれに 3 地点ずつ, 計 12 箇所の調査地点を設置し, そのそれぞれで 3 種類のトラップを用いて昆虫類を採集した (図 3-1). 使用したトラップは, ピットフォールトラップ (PF-T), 地上型フライトインターセプショントラップ (FI-T), および吊り下げ型フライトインターセプショントラップ (TFI-T) である (図 3-2, 写真 3-1). 各調査地点の直径約 2m の範囲内にこの 3 種類のトラップを 1 セットとして設置した. PF-T には市販のプラスチックカップ (上部外径 80mm, 内径 74mm, 下部外径 50mm, 高さ 100mm) を用いた. 上端が地表面と同じ高さになるように埋めたカップに雨水が入るのを防ぐために, イチゴパックと割り箸を用いた屋根も同時に設置し, 1 地点につき 4 個のカップを 1m 四方の頂点地点に埋設した. FI-T は丸山 (2003) を参考に A3 サイズのクリアホルダーを加工したものを用い, 採集物受けには長辺 205mm, 短辺 147mm, 高さ 45mm のイチゴパック 3 個を設置した. TFI-T は渡辺 (2009) の方法に準じて A3 サイズのクリアホルダーを加工した物を用い, 採集物受けには PF-T で用いた物と同じプラスチックカップを用いた. トラップによ

る採集は間伐前の2012年6月、7月、8月、間伐直後の2013年6月、7月、8月、間伐1年後の2014年6月、7月、8月に行い、トラップを毎月1週間ずつ設置した。PF-T、FI-T、TFI-Tのすべてにおいて、採集昆虫の保存液として10%酢酸溶液を用いた。トラップ内に入った採集物は、ストックタイプの水切りネットを用いてすべて回収し、室内に持ち帰った後に昆虫類とその他の物に選別した。

3.2.3 データ解析

採集した昆虫類は、間伐前調査では科レベル（一部目レベル）で同定、間伐直後と間伐1年後では目レベルで同定し、個体数を記録した。昆虫類の同定には、林ほか（1984）、黒澤ほか（1985）、上野ほか（1985）、松本（2001）、日本直翅類学会（2006）、平嶋・森本（2008）、Marshall（2012）、寺山・須田（2016）を参照した。

間伐前の昆虫類の処理区間差を見るために、間伐前の昆虫類の科数および個体数についてPT、PLT、LTおよびNT間で比較した（クラスカル・ウォリス検定およびスティーラ・ドゥワスの多重比較法）。

間伐前後における昆虫類の変化を把握するため、各処理区全体の昆虫類の採集個体数について、間伐前を基準とした間伐直後と間伐1年後の変化率を算出した。次いで、全分類群、トラップ別および採集個体数の多かった5目（コウチュウ目、ハエ目、ハチ目、バッタ目、カメムシ目）について、処理区ごとに間伐前、間伐直後および間伐1年後で比較した（クラスカル・ウォリス検定およびスティーラ・ドゥワスの多重比較法）。

すべての統計解析はEZR on R commander 1.37（Kanda 2013）で行った。

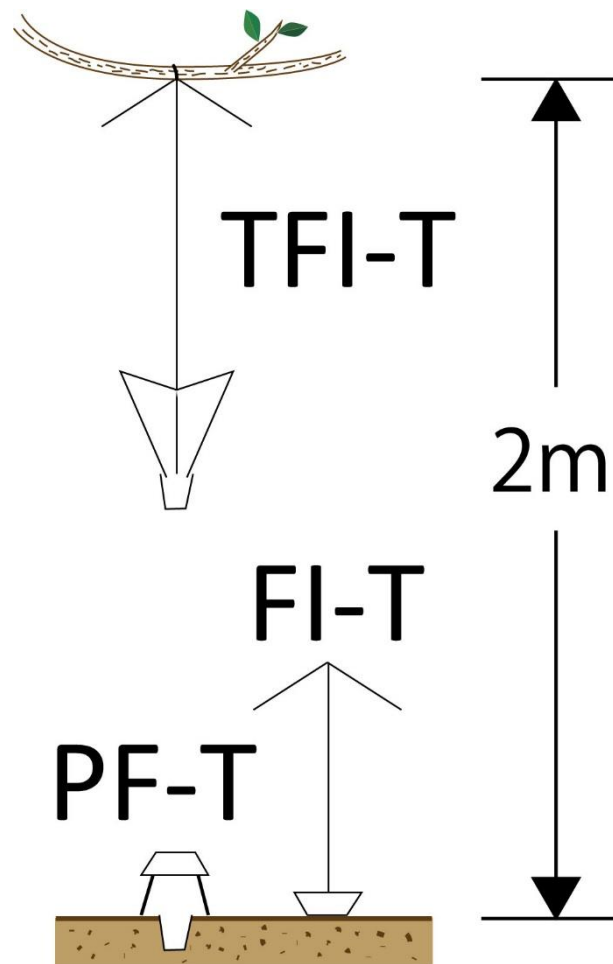


図 3-2. 昆虫トラップの設置方法の模式. 各調査地点にピットフォールトラップ (PF-T), フライトインターセプショントラップ (FI-T), および吊り下げ型フライトインターセプショントラップ (TFI-T) をそれぞれ1基ずつ設置した.



写真 3-1 トラップ設置写真（上段：PF-T，中段：FI-T，下段：PFI-T）

3.3 結果

3.3.1 間伐前のヒノキ人工林の昆虫相

間伐前調査では、3種類のトラップ (PF-T, FI-T, TFI-T) を合計して 10 目 70 科 2,658 頭の昆虫類が採集された (カジリムシ目, チョウ目, トビケラ目は科数をカウントしていないため, 1 目を 1 科として計上している) (表 3-1).

目レベルで採集個体数が多かったのは, コウチュウ目 1,169 頭, ハエ目 646 頭, ハチ目 438 頭, バッタ目 214 頭, カメムシ目 107 頭の順で, これら 5 目で全体の個体数の 97% を占めていた. コウチュウ目では 25 科が採集され, 主な科はオサムシ科 607 頭, ハネカクシ科 248 頭, コガネムシ科 175 頭であった. ハエ目では 13 科が採集され, クロバネキノコバエ科が 608 頭で最も多く, ハエ目全体の約 94% を占めていた. ハチ目では 14 科が採集され, アリ科が 365 頭で最も多く, 次いでハエヤドリクロバチ科が 40 頭であった. バッタ目では 4 科が採集され, カマドウマ科が 171 頭で最も多く, 次いでヒシバッタ科が 30 頭であった. カメムシ目では 9 科が採集され, セミ科が 91 頭で最も多くカメムシ目全体の約 85% を占めていた.

トラップ設置 1 地点あたりの採集個体数は, 24.2 ± 3.6 科 (最大 31 科, 最小 19 科), 221.5 ± 55.5 頭 (最大 327 頭, 最小 107 頭) で, PT, PLT, LT および NT の処理区間に差は認められなかった ($p > 0.05$).

間伐前の採集個体数をトラップの種類別で見ると, PF-T で採集された昆虫類は 1,258 頭 (1 地点あたり 104.8 ± 48.0 頭), FI-T で採集された昆虫類は 1,098 頭 (1 地点あたり 91.5 ± 35.9 頭), TFI-T で採集された昆虫類は 302 頭 (1 地点あたり 25.2 ± 7.0 頭) で, PF-T および FI-T と比較して TFI-T の個体数が有意に少なかった ($p < 0.05$). PF-T では, コウチュウ目オサムシ科が 598 頭で最も多く, 次いでハチ目アリ科が 252 頭, バッタ目カマドウマ科が 141 頭, コウチュウ目コガネムシ科が 112 頭, コウチュウ目ハネカクシ科が 67 頭であった. FI-T では, ハエ目クロバネキノコバエ科が 530 頭で最も多く, 次いでコウチュウ目ハネカクシ科が 168 頭, コウチュウ目コガネムシ科が 56 頭, ハチ目アリ科が 54 頭,

バツタ目カマドウマ科が 30 頭であった。TFI-T では、カメムシ目セミ科が 66 頭で最も多く、次いでハチ目アリ科が 59 頭、ハエ目クロバネキノコバエ科が 53 頭、カジリムシ目が 29 頭、コウチュウ目ハネカクシ科とキクイムシ科がそれぞれ 13 頭であった（表 3-2）。

表 3-1. 間伐前に各調査地点で採集された昆虫の個体数

目名	科名	科(目)和名	処理区および調査地点												合計			
			PT			PLT			LT			NT						
			1A ¹⁾	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C				
COLEOPTERA		(コウチュウ目)																
	Carabidae	オサムシ科	74	30	31	53	36	40	39	13	12	162	65	52	607			
	Staphylinidae	ハネカクシ科	57	15	12	11	28	24	24	6	28	26	10	7	248			
	Scarabaeidae	コガネムシ科	21	6	8	21	23	11	13	3	17	21	15	16	175			
	Elatidae	コメツクムシ科	1		1	3	9				1	1	4	3	23			
	Tenebrionidae	ゴミムシダマシ科	3		2	2	1	1	3	1	2	1	1	2	19			
	Leiodidae	タマキノコムシ科	1		1	1			2	1	2	4	2	3	17			
	Scolytidae	キクイムシ科	3	1				1	1	3	6		1		16			
	Eucnemidae	コメツクダマシ科	2			1	2			1	1	1	5		13			
	Sitphidae	シデムシ科			10										10			
	Cerambycidae	カミキリムシ科		2	3	2							1		8			
	Curculionidae	ゾウムシ科				1			1			1	1	1	5			
	Melandryidae	ナガクチキムシ科				1		1			3				5			
	Mordellidae	ハナノミ科				2	1		1			1			5			
	Philodactylidae	ナガハナノミ科	1		1	1			1						4			
	Anthracidae	アリモドキ科	1	1											2			
	Chrysomelidae	ハムシ科			1				1						2			
	Cicindelidae	ハンミョウ科				1							1		2			
	Biphylidae	ムクゲキスイムシ科										1			1			
	Cantharidae	ジョウカイボン科										1			1			
	Cleridae	カッコウムシ科								1					1			
	Endomychidae	テントウムシダマシ科						1							1			
	Erotylidae	オオキノコムシ科							1						1			
	Lampyridae	ホタル科						1							1			
	Lucanidae	クワガタムシ科									1				1			
	Meloidae	ネスイムシ科		1											1			
DIPTERA		(ハエ目)																
	Sciaridae	クロバネキノコバエ科	9	102	26	34	54	33	65	24	78	35	117	31	608			
	Phoridae	ノミバエ科	3	3		4									10			
	Cecidomyiidae	タマバエ科	1		2	2						1		1	7			
	Chironomidae	ユスリカ科			1	2		1			1			1	6			
	Mycetophilidae	キノコバエ科			1	1	1								3			
	Dolichopodidae	アシナガバエ科		1		1									2			
	Miscidae	イエバエ科			1		1								2			
	Psychodidae	チョウバエ科			1		1								2			
	Sphaeroceridae	フンコバエ科									1			1	2			
	Empididae	オドリバエ科										1			1			
	Hypobitidae	セダカバエ科									1				1			
	Limoniidae	ヒメガガンボ科											1		1			
	Tachinidae	ヤドリバエ科				1									1			
HYMENOPTERA		(ハチ目)																
	Formicidae	アリ科	6	32	32	32	52	19	55	28	36	37	19	17	365			
	Diapriidae	ハエヤドリクロバチ科	1	4	4	7	4	2	4		5	3	5	1	40			
	Scelionidae	タマゴクロバチ科		1		2	3		1	1	1				9			
	Bethylidae	アリガタバチ科	1						1			1	1		4			
	Braconidae	コマユバチ科		1	1						2				4			
	Sitidae	キバチ科			1				1		1				4			
	Mutillidae	アリバチ科						2			1				3			
	Encyrtidae	トビコバチ科									1		1		2			
	Vespidae	スズメバチ科	1			1									2			
	Cynipidae	タマバチ科					1								1			
	Mymaridae	ホソハネコバチ科	1												1			
	Proctotrupidae	シリボソクロバチ科				1									1			
	Tiphidae	コツチバチ科												1	1			
	Trigonidae	カギバラバチ科											1		1			
ORTHOPTERA		(バッタ目)																
	Rhaphidophoridae	カマドウマ科	19	14	21	22	17	15	6	10	11	13	9	14	171			
	Tetrigidae	ヒシバッタ科	2	3	5	3	3	3	1		2	4	1	3	30			
	Trigonidae	ヒバリモドキ科			2	2	1	2	1	1	1	1			11			
	Gryllidae	コオロギ科			1						1				2			
HEMIPTERA		(セミ目)																
	Cixiidae	セミ科	15	5	12	10	5	7	4	3	8	4	9	9	91			
	Isidae	マルウンカ科						2	2	1					5			
	Cydnidae	ツチカメムシ科						2	1				1		4			
	Aphididae	アブラムシ科				1					1				2			
	Anthrenidae	ハナカメムシ科				1									1			
	Cixiidae	ヨコバイ科									1				1			
	Pentatomidae	カメムシ科				1									1			
	Tingidae	グンバイムシ科												1	1			
	Tropiduchidae	グンバイウンカ科												1	1			
BLATTARIA		(ゴキブリ目)																
	Blattellidae	チャバネゴキブリ科							1						1			
TERMITOIDEAE		(シロアリ目)																
	Rhinotermitidae	ミゾガシラシロアリ科			1						1	2			4			
PSOCODEA		(カジリムシ目)	4	9	4	3	3	5	8	6	4	1	3	7	57			
LEPIDOPTERA		(チョウ目)		1	3	1	2	2	3	2	1	4	2	1	20			
TRICHOPTERA		(トビケラ目)		1			1								2			
科総数 (一部目数)			22	22	27	0	31	21	24	0	25	19	30	0	24	24	21	70
科数 処理区平均 ± 標準偏差			23.7 ± 2.9			25.3 ± 5.1			24.7 ± 5.5			23.0 ± 1.7						
合計個体数			227	236	188	228	247	178	240	107	231	327	276	173	2658			
個体数 処理区平均 ± 標準偏差			217.0 ± 25.5			217.7 ± 35.6			192.7 ± 74.3			258.7 ± 78.4						

¹⁾ 数字とアルファベットの組み合わせは各調査地点名を示す。

²⁾ PT: 点状間伐区, PLT: 点状+列状間伐区, LT: 列状間伐区, NT: 無間伐区

表 3-2. 間伐前の各調査地点におけるトラップの種類別採集個体数（上位 5 科）

トラップ	科名 (目名)	科(目)和名	処 理 区 お よ び 調 査 地 点												合計	出現頻度(%)
			PT			PLT			LT			NT				
			1A ¹⁾	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C		
PF-T	Carabidae	オサムシ科	74	25	29	53	36	40	38	13	12	161	65	52	598	100.0
	Formicidae	アリ科	2	29	22	22	42	15	34	20	18	30	10	8	252	100.0
	Rhaphidophoridae	カマドウマ科	16	13	20	18	14	12	4	7	7	12	6	12	141	100.0
	Scarabaeidae	コガネムシ科	19	1	2	17	15	6	9	1	13	13	6	10	112	100.0
	Staphylinidae	ハネカクシ科	27	5	2	4	4	3	5	1	8	5	3		67	91.7
FI-T	Sciaridae	クロバネキノコバエ科	7	98	20	19	49	30	54	23	66	28	110	26	530	100.0
	Staphylinidae	ハネカクシ科	30	5	8	5	24	20	19	5	20	19	6	7	168	100.0
	Scarabaeidae	コガネムシ科	2	5	6	4	8	4	4	2	4	7	7	3	56	100.0
	Formicidae	アリ科	3	3	9	1	5	1	4	5	16	2	4	1	54	100.0
	Rhaphidophoridae	カマドウマ科	3	1	1	4	3	3	2	3	4	1	3	2	30	100.0
TFI-T	Cicadidae	セミ科	9	1	9	7	5	5	2	2	5	4	8	9	66	100.0
	Formicidae	アリ科	1		1	9	5	3	17	3	2	5	5	8	59	91.7
	Sciaridae	クロバネキノコバエ科	2	3	4	12	5	1	5	1	9	3	4	4	53	100.0
	PSOCODEA	(カジリムシ目)	2	5	2	2	1	3	4	4	2	1		3	29	91.7
	Staphylinidae	ハネカクシ科			5	2	2		1			2	1		13	50.0
	Scolytidae	キクイムシ科	3	1				1			3	4		1	13	50.0

¹⁾ 数字とアルファベットの組み合わせは各調査地点名を示す。

²⁾ PT: 点状間伐区, PLT: 点状+列状間伐区, LT: 列状間伐区, NT: 無間伐区



写真 3-2 PF-T 採集物での上位 5 科 (実際に採集した個体とは異なる)



写真 3-3 FI-T 採集物での上位 5 科（実際に採集した個体とは異なる）



写真 3-4 TFI-T 採集物での上位 5 科 (実際に採集した個体とは異なる)

3.3.2 間伐実施後における昆虫相の変化

間伐の実施に伴い、間伐直後には PT で 26 頭 (4.0%)、PLT で 61 頭 (9.3%)、LT で 184 頭 (31.8%) 増加した一方、NT では 306 頭 (-39.4%) 減少した (3 地点のトラップの合計値, 表 3-3, 図 3-3). 間伐 1 年後には間伐前と比較して、PT で 257 頭 (39.5%), PLT で 365 頭 (55.9 頭), LT で 217 頭 (37.5%), NT で 143 頭 (18.4%) とすべての処理区で増加していた (3 地点のトラップの合計値, 表 3-3, 図 3-3). トラップの種類別に間伐前と比較すると、PF-T では PT, PLT, LT で間伐直後および間伐 1 年後に増加し、NT で間伐直後および間伐 1 年後に減少していた. FI-T ではすべての調査区で間伐直後に減少し、間伐 1 年後に増加していた. TFI-T では、PT, PLT, LT で間伐直後および間伐 1 年後に増加、NT で間伐直後に減少、間伐 1 年後に増加していた. 採集個体数の多い上位 5 目 (コウチュウ目, ハエ目, ハチ目, バッタ目, カメムシ目) を見ると、コウチュウ目では間伐前から間伐直後にかけて NT で減少 ($p < 0.05$), ハエ目では間伐直後から間伐 1 年後にかけて PLT と LT で増加 ($p < 0.05$), ハチ目では間伐前から間伐直後および間伐 1 年後にかけて PT で増加、間伐前から間伐直後にかけて PLT で増加 ($p < 0.05$), バッタ目では間伐直後から間伐 1 年後にかけて PT, PLT および LT で減少した ($p < 0.05$) (表 3-3, 図 3-4).

表 3-3. 間伐前, 間伐直後および間伐 1 年後における昆虫類の採集個体数および個体数変化率.

	PT			PLT			LT			NT		
	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後	間伐前	間伐直後	間伐1年後
全分類群	651	677	908	653	714	1018	578	762	795	776	470 ^a	919
		(+4.0) ¹⁾	(+39.5)		(+9.3)	(+55.9)		(+31.8)	(+37.5)		(-39.4)	(+18.4)
[ト ラップごと](全分類群)												
PF-T	308	378	352	324	408	325	213	437 ^a	311	413	281	361
		(+22.7)	(+14.3)		(+25.9)	(+0.3)		(+105.2)	(+46.0)		(-32.0)	(-12.6)
FI-T	275	182	435 ^b	249	197	610	288	159	382 ^b	286	122	479 ^b
		(-33.8)	(+58.2)		(-20.9)	(+145.0)		(-44.8)	(+32.6)		(-57.3)	(+67.5)
TFI-T	68	117	121	80	109	83	77	166	102	77	67	79
		(+72.1)	(+77.9)		(+36.3)	(+3.8)		(+115.6)	(+32.5)		(-13.0)	(+2.6)
[分類群ごと](上位5目)												
コウチュウ目	290	245	322	280	221	387	189	245	320	410	165 ^a	545
		(-15.5)	(+11.0)		(-21.1)	(+38.2)		(+29.6)	(+69.3)		(-59.8)	(+32.9)
ハエ目	151	39	222	136	56	320 ^b	170	40	130 ^b	189	15	114
		(-74.2)	(+47.0)		(-58.8)	(+135.3)		(-76.5)	(-23.5)		(-92.1)	(-39.7)
ハチ目	86	234 ^a	201 ^a	127	327 ^a	202	138	374	247	87	191	126
		(+172.1)	(+133.7)		(+157.5)	(+59.1)		(+171.0)	(+79.0)		(+119.5)	(+44.8)
バッタ目	69	109	33 ^b	66	72	30 ^b	34	59	21 ^b	45	62	38
		(+58.0)	(-52.2)		(+9.1)	(-54.5)		(+73.5)	(-38.2)		(+37.8)	(-15.6)
カメムシ目	32	35	23	29	23	16	21	19	22	25	18	16
		(+9.4)	(-28.1)		(-20.7)	(-44.8)		(-9.5)	(+4.8)		(-28.0)	(-36.0)
[ト ラップ別分類群ごと](上位5目)												
PF-T												
コウチュウ目	184	87	135	179	72	131	105	78	90	319	82	249
ハエ目	4	3	26	6	2	28	9	4	19	8	4	15
ハチ目	57	192	161	87	287	142	74	300	177	51	152	72
バッタ目	56	88	22	48	45	12	20	51	13	32	38	24
カメムシ目	4	4	6	4	0	7	2	3	6	0	1	1
FI-T												
コウチュウ目	83	92	128	87	91	221	68	77	194	76	49	257
ハエ目	134	19	168	110	35	265	146	22	86	167	10	86
ハチ目	26	29	28	16	26	50	39	37	55	18	26	40
バッタ目	13	21	11	18	26	18	8	4	13	13	24	14
カメムシ目	9	14	10	7	10	6	9	4	11	2	3	10
TFI-T												
コウチュウ目	23	66	59	14	58	35	16	90	36	15	34	39
ハエ目	13	17	28	20	19	27	15	14	25	14	1	13
ハチ目	3	13	12	21	14	10	25	37	15	18	13	14
バッタ目	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0
カメムシ目	19	17	7	18	13	3	10	12	5	23	14	5

¹⁾ カッコ内の数値は, 間伐前の個体数を基準とした個体数変化率(%)を示す.

²⁾ 個体数に付した **a** および **b** は, 間伐前および間伐直後に対して有意に異なることをそれぞれ示す.

³⁾ PT: 点状間伐区, PLT: 点状+列状間伐区, LT: 列状間伐区, NT: 無間伐区

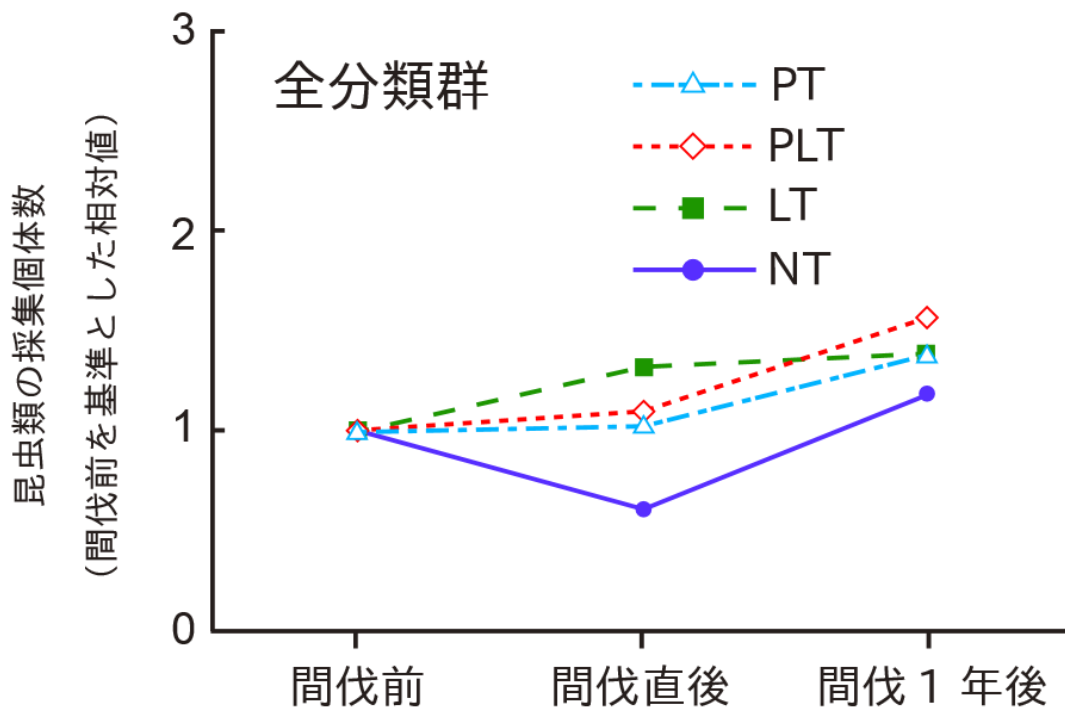


図 3-3. 全分類群の採集個体数の変化. 間伐前の個体数を基準とした相対値で表している.

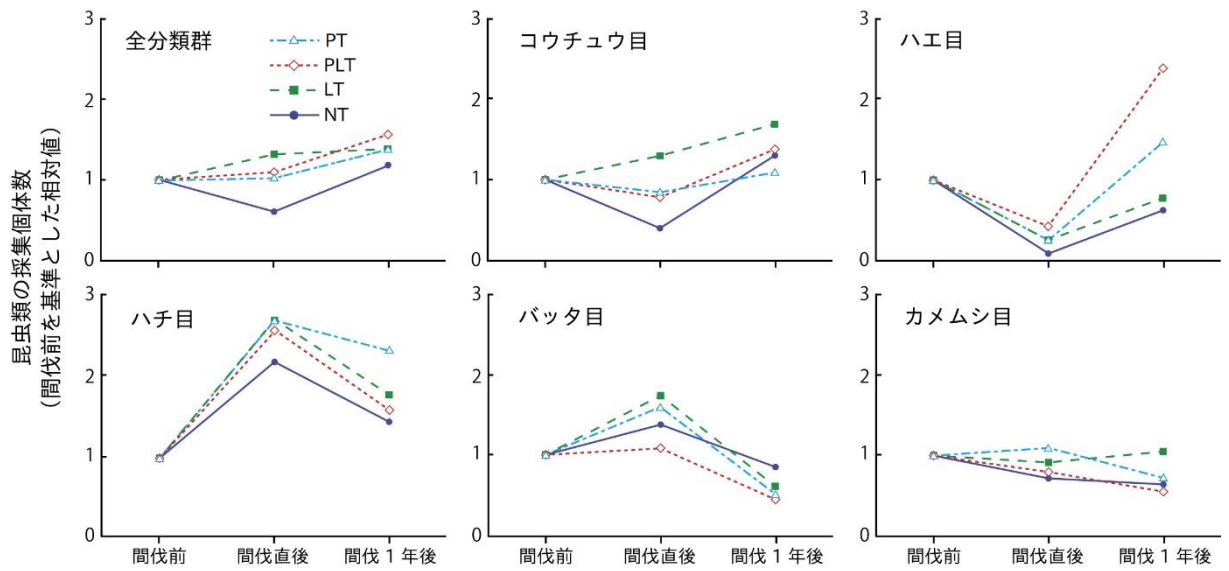


図 3-4. 上位 5 目の採集個体数の変化. 間伐前の個体数を基準とした相対値で表している.

3.4 考察

3.4.1 昆虫相の短期的反応を支配する要因

昆虫相を変化させる要因は、大きく非生物的要因と生物的要因に分けることができ、非生物的要因としては、温度・光・湿度・気候・立地などが挙げられ、生物的要因では餌植物、天敵、種間・種内競争が挙げられる（鎌田 2005）。間伐試験の結果、全分類群に関して間伐を実施した箇所では間伐直後に昆虫の採集個体数が増加した（表 3-3, 図 3-3）。一方、無間伐区では減少していた。間伐直後には間伐作業の直接的な攪乱により、下層植生のうち低木層については本数と種数が、草本層については被度と種数が減少している状態であった（第 2 章 図 2-3）。下層植生の本数・被度および種数が減少している状態であったにもかかわらず昆虫類の個体数が増加したことから、増加の要因は餌資源としての植物の増加に伴うものではない他の要因の影響と考えられる。人工林での間伐は、下層植生に変化をもたらすだけではなく、土砂の流出や林床の微気象の変化など物理環境にも影響を及ぼすことが報告されている（山田・諫本 2001; 作田ほか 2009）。また、間伐および下草払いと同様の行為と考えられる森林のギャップおよび下層植生の操作実験を行った研究では、林冠ギャップの形成は無脊椎動物群集構造の変化の主な要因であり、活動量を増加させ種の多様性を増加させたが、下層植生の除去の効果は小さかったと報告されている（Perry et al. 2018）。本研究の試験地においても、間伐直後の昆虫数の増加は、植栽木の間伐による林内の光環境の変化が林冠ギャップの形成と同様の効果をもたらした可能性がある。間伐直後には、PF-T および TFI-T の採集個体数は 3 間伐区で増加し、FI-T の採集個体数は 3 間伐区で減少していた（表 3-3）。間伐直後の林床では、林内入射光の増加、間伐木搬出による地表面の攪乱、下刈りや搬出による下層植生の減少、それらに伴う林床微気象の変化が起きていたと推察される。間伐直後の変化について、PF-T ではハチ目とバッタ目の増加、FI-T ではハエ目の減少、TFI-T ではコウチュウ目の増加が大きかった（表 3-3）。PF-T で多く採集されたハチ目はアリ科、バッタ目はカマドウマ科、FI-T で多く採集されたハエ目はクロバネキノコバエ科、TFI-T で多く採集されたコウチュウ目はハネカ

クシ科およびキクイムシ科であった。これらの科が主に間伐による林床の変化に反応したと考えられるが、どのような物理環境に反応して増減したのかは本研究では特定できておらず今後の課題である。

3.4.2 植生変化に対する昆虫相の反応

すべての間伐区で間伐1年後にも継続して採集個体数が増加したが、無間伐区でも増加していた(表3-3, 図3-3)。間伐1年後には間伐区の草本層植生は被度が間伐前の水準まで、種数が間伐前の水準を超えて回復していたため、その回復に従って植物を利用する昆虫数も増加したと考えられる。既往研究では間伐1年後に昆虫類の種数と個体数ともに間伐区の方が無間伐区よりも多かったと報告している(Taki et al. 2010)。この理由として、昆虫類の変化は下層植生の構造的変化が大きかったことが原因で、移動能力の高いハナバチ類、チョウ類、ハナアブ類、カミキリムシ類などの飛翔性昆虫が、間伐によって生じた開放空間、花資源、間伐後に残された倒木、小枝等を求めて周辺地域から侵入したとしている。また、その他にも列状間伐後の人工林においてコウチュウ類やハチ類の個体数と下層植生には正の相関があると報告されている(Maleque et al. 2007a; 2007b)。本研究においても、間伐1年後は間伐前と比較して採集個体数が増加しており、間伐直後の林内環境の変化に加えて、間伐1年後の下層植生の増加が昆虫の個体数増加に寄与したと考えられる。ただし、草本層植生にほとんど変化がなかった無間伐区でも昆虫数が増加していたため、間伐1年後の昆虫数の増加は年変動を含んでいる可能性もある。

一方で、本研究で利用したトラップ(PF-T, FI-T, TFI-T)では、地表から地上2mの空間を利用している昆虫類全般(地表徘徊性昆虫および林床浮遊性昆虫)を採集している。間伐前構成種の優占種はコウチュウ目ではオサムシ科、ハエ目ではクロバネキノコバエ科、ハチ目ではアリ科、バッタ目ではカマドウマ科、カメムシ目ではセミ科であった(表3-1)。オサムシ科、アリ科、カマドウマ科は主に捕食性、クロバネキノコバエ科は腐食物性、セミ科は植食性であり、植物に依存しているのはセミ科のみであった。このような昆虫群集

構成であったが、間伐直後および間伐1年後に採集個体数が増加しており、間伐1年後にはコウチュウ目とハチ目がすべての間伐区で増加し、ハエ目がPTおよびPLTで増加していた(図3-4)。この間伐1年後の増加に対して、物理環境の変化と下層植生の変化のどちらが大きく寄与しているかは特定できないが、この試験地では間伐1年後には二次林や開けた環境を生育の中心とする二次林型・開地型植物種(落葉性の木本や照葉樹林内が生育の中心ではない草本;コガクウツギ, ヤブムラサキ, サルトリイバラ, チヂミザサ等)が増加しており、二次林型・開地型植物種に対応した植食性や訪花性の昆虫類は増加していた可能性がある。加えて、間伐木は搬出したものの、植栽木以外の伐採木の枝条が林内に残置されており、それらに反応した昆虫類も増加していた可能性がある(Maeto et al. 2002)。列状間伐地でアリの群集構造を研究した例では、列状間伐による地表攪乱と林冠の疎開が森林性種の消失を引き起こし、その後環境適応性の高い広域種の侵入によって群集が置き換わりつつあると報告している(江原ほか 2013)。本試験地においても、間伐後1年間の下層植生の回復に対応した昆虫群集構成の変化が起きていた可能性がある。

3.4.3 間伐手法の違いの影響

PT (間伐率約 35%), PLT (間伐率約 35%), LT (間伐率約 25%), NT を比較した結果, 間伐直後には LT, PLT, PT の順で採集個体数の増加率が高くなっていた (表 3-3). 間伐直後には, 列状間伐を行った 2 処理区 (PLT および LT) で植栽木の本数間伐率以上に低木層の本数が減少し, 草本層の被度が減少していた (第 2 章 表 2-4). 間伐直後の昆虫数の変化は, 間伐直後の調査結果から直接的な植物の増減の影響よりも物理環境の変化の影響の方が大きいと考えられた. すなわち, 列状間伐では点状間伐と比較して, 林冠のまとまった開放と下層植生の集中的な除去が行われており, 本数間伐率が 25%であったにも関わらず林内環境を大きく変化させ, 昆虫数の増加につながったと考えられる. 一方, 間伐 1 年後には PLT, PT, LT の順で採集個体数の増加率が大きかった. 間伐 1 年後の草本層植被率の増加率は PLT, PT, LT の順で大きく, 間伐 1 年後の昆虫数の変化は, 林内環境の変化に加えて, 下層植生の増加の影響も含まれていると示唆されたことから, 間伐率が最も高く林冠疎開の大きい PLT で昆虫数の増加が大きくなったと考えられる.

3.4.4 間伐が昆虫群集に与える影響と持続的な人工林管理への応用

列状間伐は、林冠をより大きく集中して疎開させるため、二次林型・開地型種の生育を促進させる効果や、光環境の大幅な改善により伐採帯や保残帯に関係なく植生が繁茂することが報告されている（村本ほか 2005; 谷口 2007）。本研究において、昆虫群集に対しても間伐直後の物理環境の変化に対応した個体数の増加や、間伐1年後における物理環境と植生の変化に対応した個体数の増加や群集構造の変化が示唆された。すなわち、間伐直後の昆虫個体数の変化は、主に間伐手法の違いによる林床の物理環境の変化度合いに大きく規定されるものの、その後の変化は下層植生の回復にも影響を受けていると考えられた。本研究では間伐1年後までの短期的な変化に焦点を当てて考察したが、時間の経過に伴い林冠の閉鎖（Seiwa et al. 2009）、林床植生の増加（野口ほか 2009）、またそれらに伴う林内環境の変化が起こり、昆虫群集も変化し続けると予想される。間伐は、画一的と考えられる人工林の林内に多様な環境を創出する効果があり、昆虫群集の増加や多様性に貢献する一面があると考えられる。ただし、この効果の持続期間は対象とする昆虫群によって異なると予想されており（Taki et al. 2010）、地域全体の種多様性の保全を目標とするのか、それともある特定の種の保全を目標とするのかで、求められる間伐頻度や強度が異なってくることも考えられる。これについては、今後さらなる事例の集積が必要であろう。

第4章 総合考察

本章では、これまで述べてきた研究結果に基づいて、生物多様性保全に適した間伐手法を検討する。本研究では、異なる間伐手法を比較し、植生と昆虫に対する間伐が及ぼす影響を分析した。異なる間伐手法とは「点状間伐（定性間伐）」と「列状間伐」の2手法である。点状間伐と列状間伐の長所と短所を整理すると表4-1のようになる（植木 2007; 山田 2009; 渡邊ほか 2011; 清和 2013; 溝口ほか 2018; 林野庁 2019）。経済的な視点や安全管理上の視点もあるが、ここでは生物多様性に焦点を当てて議論する。

表 4-1. 点状間伐と列状間伐の長所および短所

間伐手法	長 所	短 所
点状間伐	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な選木により優良な木を成長させることができる。 ・選木しながら伐採を行うため、前生稚樹に配慮しながらの伐採が可能。 ・森林内が均一に明るくなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・将来の目標林型を考えた上での選木になるため高度な技術や経験が必要。 ・間伐後の林冠閉鎖までの時間が比較的早い。
列状間伐	<ul style="list-style-type: none"> ・選木の経験が必要なく、職人的な視点は不要。 ・かかり木が少なくなり、安全に作業しやすい。 ・間伐木を搬出しやすい。 ・列が広い場合は間伐後の林冠閉鎖までの時間が比較的長い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・機械的に直線上に伐採するため、間伐後に劣勢木も残ってしまいます。 ・間伐列で繰り返し搬出するため、林床（植生や土壌）の攪乱が起きやすい。 ・伐採列は光環境が大きく改善するが、残存列では光環境の改善が小さい。

4.1 保全目標の検討

本研究において、間伐に伴う攪乱により間伐直後に低木層の本数および種数が、草本層の被度および種数が減少していることが明らかになった。そして間伐1年後には草本層については間伐前の水準を超えて回復しているものの、低木層については間伐前の水準まで回復していないことが明らかになった。また、回復した草本層についても、回復したのは二次林型・開地型種であり、照葉樹林型種と入れ替わりが起きていることが明らかになった。したがって、保全目標を検討する上で、

① 照葉樹林型種を保全

② 二次林型・開地型種を保全

に分けて考える必要がある。また、生物多様性保全を考える場合、その地域特有の希少種を保全することもあり得るため、

③ 特定の希少種を保全

することについても考える必要があるであろう。

4.2 保全目標に対する要求事項の整理

それぞれの保全目標を達成する上で、要求される環境条件が異なることが考えられるため、保全目標ごとの一般的な考慮すべき特性を整理すると、表 4-2 のようになる（奥田 1997; 正木 2008; 山川ほか 2013; 五十嵐ほか 2014; 林野庁 2018）。ただし、目標としている種群内でも考慮すべき特性は表 4-2 のように二分されるわけではないが、ここではおおよその傾向を掴むために分類している。

表 4-2 . 保全目標に対する一般的な考慮すべき特性

保全目標	攪乱耐性	光要求性	種子散布
照葉樹林型種	弱～中	弱～中	重力散布・被食散布
二次林型・開地型種	中～強	中～強	被食散布・風散布 (一部, 重力散布) 休眠埋土種子の形成
特定の希少種	※保全対象種に応じた個別の対応が必要 (個別の知見が必要)		

4.3 具体的な施業方法の検討

生物多様性保全に適した間伐手法を検討するにあたり、前項で整理した保全目標、保全目標に対する考慮すべき特性の整理を踏まえて、考え方のフローチャートを作成した（図4-1）。このフローチャートの中の「照葉樹林型種の保全」および「二次林型・開地型種の保全」を達成するための間伐手法について、詳細を述べる。

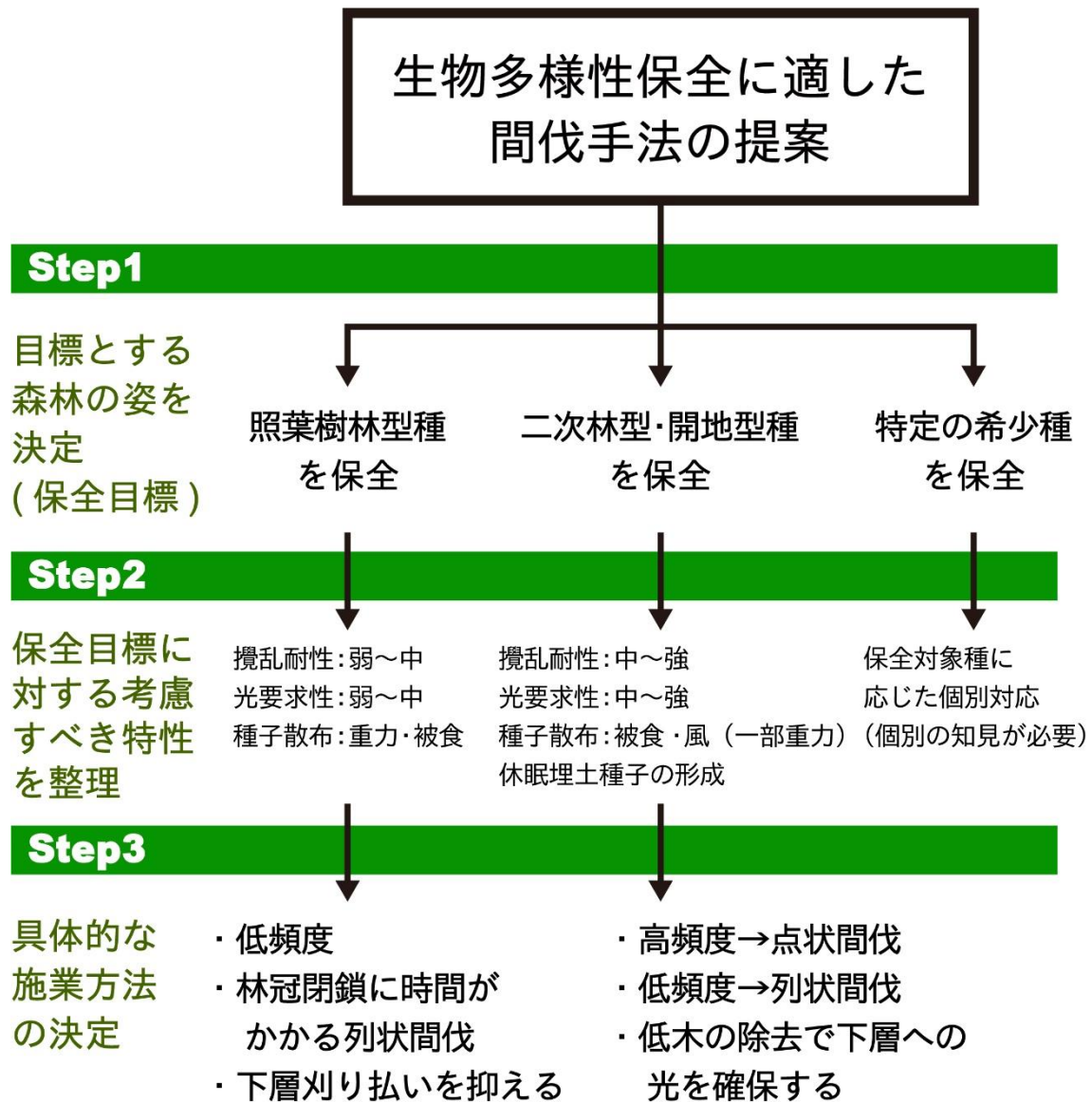
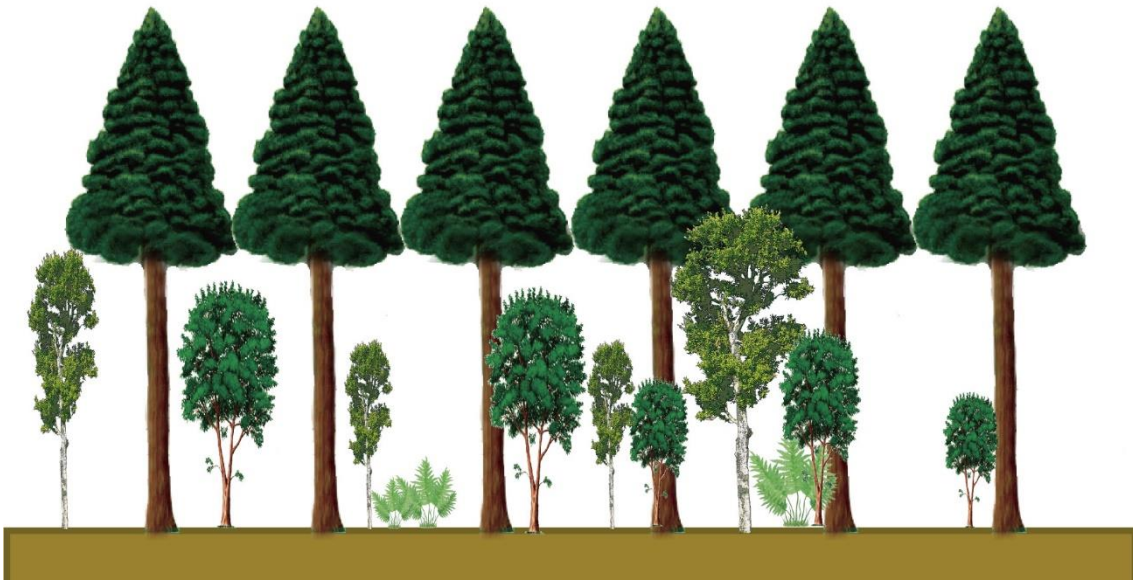


図 4-1. 生物多様性保全に適した間伐手法の考え方

4.3.1 照葉樹林型種を保全するための施業方法の検討

照葉樹林型種は、本研究を実施した地域（南九州の暖温帯地域）では自然性の高い森林を構成する種である。それらには、重力散布型の種子を持つブナ科のカシ類やシイ類、鳥散布型の種子を持つタブノキやクロガネモチ、貯食散布型の種子と考えられるイスノキなどが含まれている。基本的にブナ科の堅果は休眠性がほとんどないため（正木 2008）、そのような種については埋土種子からの発生は期待できない（酒井ほか 2006; 谷口ほか 2006; 田村・服部 2006; Sakai et al 2010）。そのため、間伐による光環境の改善のみでは新規加入に期待できないため、照葉樹林型種を保全するためにはすでに林内に侵入している前生稚樹の保全が重要となる。第 2 章で示したように、特に低木層の樹木については間伐により減少し、間伐 1 年後に回復が見られなかった。間伐を行う際には、作業員の安全確保や間伐作業の効率化のため、下層植生は刈り払われてしまうことが多いが、照葉樹林型種を保全するためには、この下刈り作業の程度を極力低くし、前生稚樹を残すことが望ましいと考えられる（図 4-2）。加えて、残った前生稚樹は、将来の種子供給源にもなり得る。そのためには、間伐を実施する頻度を減らし、林冠閉鎖が早い点状間伐よりも、林冠閉鎖までにより時間を要する列状間伐を実施する方が、保全効果が高いと考えられる（図 4-2）。また、草本層については間伐によって照葉樹林型種から二次林型・開地型種への入れ替わりが起きており（第 2 章）、光環境の改善だけでは照葉樹林型種の保全は達成できない可能性が考えられる。スギ林の下層植生についての先行研究でも、間伐による光環境の改善は短期的な戦略であり、長伐期化や自然林内でのパッチモザイクの形成が長期的な戦略として有効と結論づけられている（Ito et al. 2006）。特に重力散布型の樹木の保全や再生を考えた場合は、種子供給源の存在が重要であり、より広域的かつ長期的に施業の配置を検討する必要がある。



林冠閉鎖により時間を
要する列状間伐



前生稚樹を極力残す
(将来の種子供給源になる)

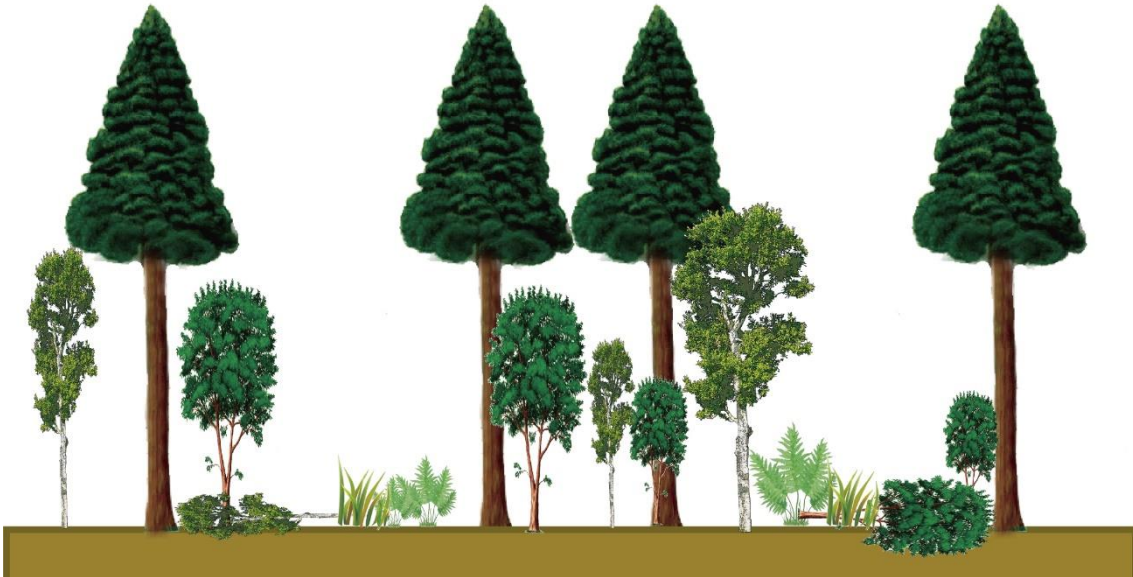
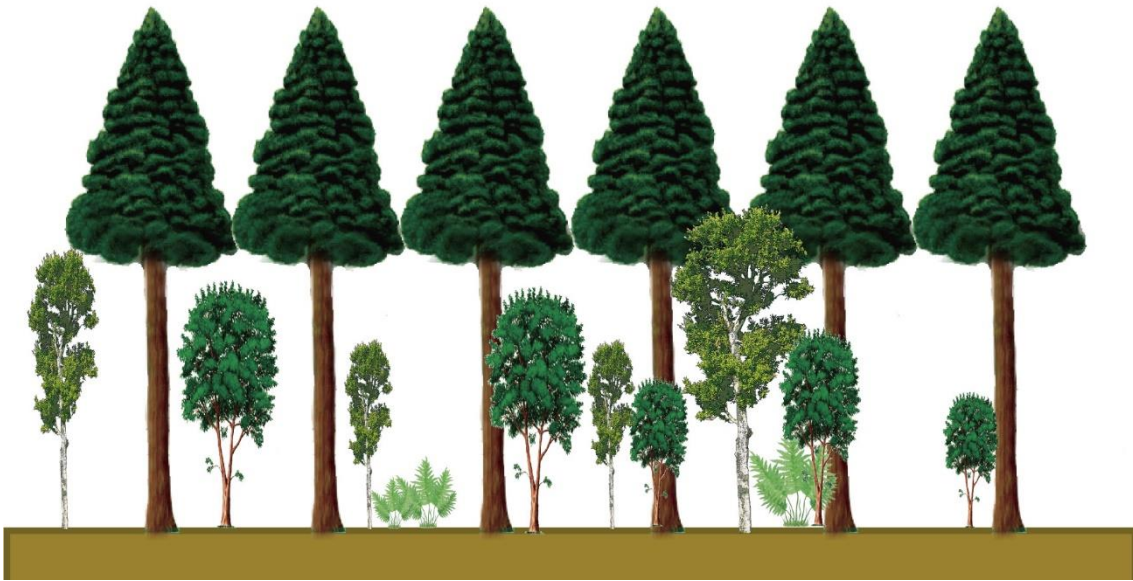


図 4-2. 照葉樹林型種を保全するための間伐手法

4.3.2 二次林型・開地型種を保全するための施業方法の検討

二次林型・開地型種は、落葉性の木本や照葉樹林内が生育の中心ではない草本（コガクウツギ、ヤブムラサキ、サルトリイバラ、チヂミザサ等）であり、攪乱に依存している種や埋土種子に多く含まれている種、風散布型の種が多く含まれていると考えられる。間伐1年後に回復している植物の多くは、この二次林型・開地型種であった（第2章）。したがって、間伐を行い林床の光環境を改善することができれば、二次林型・開地型種は保全されることが考えられる。実行可能な間伐頻度に応じて柔軟に手法を選択できると考えられ、比較的高い頻度で間伐を行えるのであれば、点状間伐を早いサイクルで繰り返すことで二次林型・開地型種の保全が可能であろう。また、あまり短い間隔で間伐を行えない場合は、林冠閉鎖までの時間が比較的長い列状間伐を行うことで林床の光環境を維持することが可能となるであろう（図4-3）。二次林型・開地型種を保全する上で、照葉樹林型種の保全との大きな違いは、前生稚樹の取扱いである。二次林型・開地型種は侵入頻度も高く、攪乱依存種が多いため、前生稚樹を伐採しても再生が速いと考えられる。また、二次林型・開地型種を保全する上では、照葉樹林型種の保全とは反対に、林内に侵入している常緑樹を伐採することでより草本層に光が届き、下層植生の回復が早まる可能性も考えられる（図4-3）。



高頻度：点状間伐
低頻度：列状間伐



林床の光確保を優先
低木の除去も検討



図 4-3. 二次林型・開地型種を保全するための間伐手法

4.4 長期的かつ広域的な林分配置の検討

間伐によって光環境を改善することで、二次林型・開地型種は回復し（第2章）、昆虫群集も人工林内での増加が認められた（第3章）。昆虫群集の変化は元々人工林内に生息していた昆虫類の活動が活発になったことに加えて、飛翔能力が高い種については周辺の生息地からの侵入もあったと考えられる（Taki et al. 2010）。間伐直後および間伐1年後の昆虫個体数は、全体として増加していたものの、間伐直後に減少している分類群や、間伐1年後に減少している分類群も見られ、間伐による様々な環境変化に対応していたものと考えられた（第3章）。間伐後の時間の経過と共に下層植生が変化し、林内の微気象環境が変われば、昆虫群集も変化し続けると予想される。そのため、昆虫群集の多様性を高めるためには、間伐後の経過年数の異なる林分をパッチ状に作り出すとともに、昆虫類の中心的な生息地（コアエリア）となるような地域の自然性の高い自然林の存在も必要と考えられる（滝・尾崎 2020）。これは照葉樹林型種の保全にも当てはまり、種子の供給源となるような自然林の存在が、人工林の生物多様性を高めるためには必要である（Yamagawa et al. 2007）。また、周辺に自然林が無い場合でも、老齢の人工林があれば、昆虫類や種子の供給源になりうる可能性もある。小面積皆伐（山川ほか 2009）の事例では、林齢の異なる複数のパッチが存在する林分では林分全体として種多様度および構造の複雑性が維持できると報告している。また、過去の土地利用の異なる人工林と自然林で下層植生を比較した先行研究では、過去の土地利用は森林の種構成と多様性に大きな影響を与えており、森林生の樹木の種組成と多様性を回復するためには、元々の森林に近い箇所での効率的な種子源が必要と結論づけられている（Ito et al. 2004）。したがって、間伐の手法の選択に加えて、間伐の配置も含めた長期的な検討も生物多様性を高めるためには必要となるであろう。

景観レベルで異なる施業を実施し、
林床や林冠の多様性を創出することで
昆虫の多様性を高める

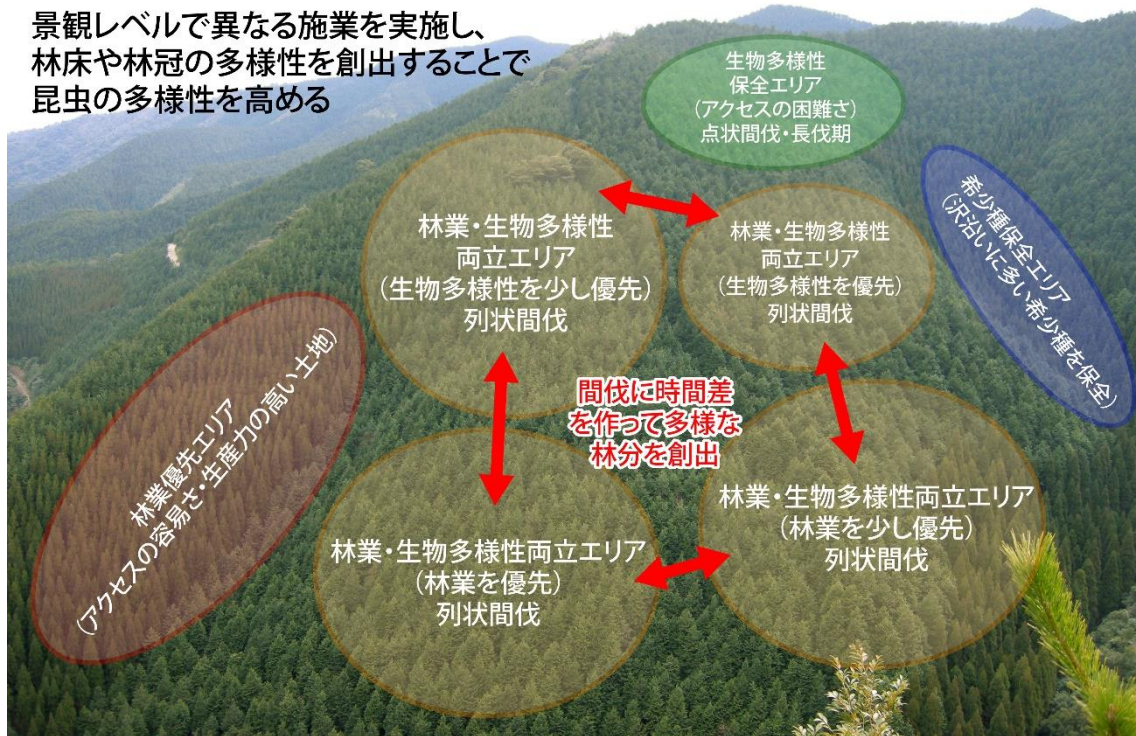


図 4-4. 景観スケールで生物多様性を高めるために間伐の配置案

4.5 今後の課題

本研究では、間伐が人工林の生物多様性にどのような影響を及ぼすかを明らかにし、その保全のための間伐手法の検討を行った。その検討を行う上で、現在の林業が生物多様性の保全上直面する新たな課題も浮かびあがってきた。ここでは、最後にその課題を整理し、今後の研究に活かしたい。

◆人工林集積地（人工林の割合が多い地域）での生物多様性を高めるための施業エリア配置の検討

昆虫群集は間伐直後から変化しはじめ、間伐1年後にかけても群集構造が大きく変わっていたことが明らかになった。また、間伐による光環境の変化に対応したその後の植生変化に反応して、昆虫群集の構造は変化し続けると予想される。人工林集積地で多様な林床状態の人工林を創出できれば、地域全体の生物多様性を高められると考えられる。そのような林床状態を創出するための、効果的な配置方法の検討が必要である。

◆ニホンジカ対策を踏まえた生物多様性の高い人工林創出方法の開発

照葉樹林型種を保全目標とした場合、前生稚樹の保全が重要と考えられる。一方で、シカの生息密度が高い地域では前生稚樹が残っておらず、生物多様性のさらなる低下が懸念される。捕獲や防護柵と並行して実施できる多様性高度化手法を開発する必要がある。

◆生物多様性に配慮した皆伐方法及び人工林下の希少種保護施策の検討

拡大造林期から40年前後が経過し、伐期を迎える人工林が多数存在している。宮崎県においては多くの人工林の皆伐が進められているが、人工林下に生育していた希少種が皆伐とともに消失する事例が散見される。希少種情報の収集から、所有者・事業者への周知に至るまでの仕組みが必要と考える。また、生物多様性のために一部を残す皆伐も評価する必要がある。

要約

第1章 緒言

日本の森林（土地面積の66%）の約40%を占める針葉樹人工林では、同齢のスギ・ヒノキが広範囲に植えられ、森林構造の単純化を引き起こし、生物多様性を減少させたと考えられる。一方で、人工林内にも植物や動物等が生育・生息し、人工林の生物群集を形成しており、生物多様性の一部を支えるという人工林の役割も無視することはできず、これを踏まえた人工林の持続可能な管理が求められている。

人工林の管理作業のひとつである間伐は、高品質な木材を生産するためだけではなく、森林の多面的機能を将来にわたって十分に発揮するために欠かせない作業であるが、間伐の種類によって林床攪乱の度合いや集材に伴って攪乱を受ける場所の空間配置も異なることから、人工林内の生物多様性に与える影響も間伐の種類によって異なると予想される。

間伐による生物多様性の保全効果を評価するためには、広葉樹林化の対象となる木本種だけでなく、草本種やつる植物など様々な生活形を含めた植物種に対する間伐の影響評価が必要である。さらに、戦後の拡大造林は草原など開地環境を含む里山域でも実施されていることから、照葉樹林など森林性の植物種だけでなく、二次林型・開地型植物種（里山種）の保全・修復についても検討すべきであり、後者には多くの草本種が含まれる。また、昆虫類は種数と個体数が多いことから、環境の指標としてしばしば利用されており、森林施業が生物多様性に与える影響を評価する指標としても有用とされている。加えて、森林の生物多様性の評価の上では、植物のみならず植物と直接的または間接的な相互作用をもつ昆虫類の評価も重要である。

以上のことを踏まえて、本研究では、間伐が人工林の生物多様性にどのような影響を及ぼすかを明らかにするとともに、その保全のための間伐手法の評価を提示することを目的とした。

この目的を達成するために、連続したヒノキ人工林に点状間伐区、点状+列状間伐区、列状間伐区および無間伐区を設定し、間伐前、間伐直後および間伐1年後の下層植生の状

態を処理間で比較し、間伐手法の違いが人工林内の草本種を含む下層植生の衰退および回復に与える短期的な影響を明らかにした(第2章)。加えて、昆虫相が間伐に伴う植生変化に反応して変化するか、および昆虫群集の変化は間伐の種類によって異なるか、の2点を間伐の短期的な影響として明らかにした(第3章)。最後に、以上の研究結果に基づいて、生物多様性保全に適した間伐手法の検討を行った(第4章)。

第2章 異なる間伐手法がヒノキ人工林の下層植生の衰退および回復に与える短期的影響

間伐試験の結果、間伐作業に伴い下層植生では植栽木の本数間伐率と同程度もしくはそれ以上の攪乱が発生していた。特に列状間伐を行った2調査区では、植栽木の本数間伐率以上に減少していた。一方、間伐による種数の減少には、間伐手法の違いによる明瞭な差異は認められなかった。

間伐1年後の時点で、草本層は被度および種数の両方で間伐前の水準、もしくはそれ以上に回復していたが、低木層では間伐1年後時点では間伐前の水準まで回復していなかった。草本層では被度および種数が回復していたが、間伐1年後の種組成は間伐前から変化していた。間伐後に消失した種の約56%が照葉樹林型種であったのに対して、再生した種では約24%、新規加入した種では約19%にとどまり、種組成では照葉樹林型種と二次林型・開地型種の入れ替わりが起きていた。

人工林低木層への侵入・定着に時間を要する照葉樹林型種(森林性植物種)の保全においては、高頻度の通常間伐で下層に何度も攪乱を起こすよりも強度の間伐によって一度で光環境を改善し長期的に維持することが効果的であると考えられた。一方、保全対象が草本層を中心とした二次林型・開地型種(里山種)の場合は、低頻度の強度間伐もしくは高頻度の通常間伐を行い、林床の明るい光環境を持続させることが望ましいと考えられた。

第3章 異なる間伐手法に対するヒノキ人工林内の昆虫群集の短期的変化

間伐直後には間伐に伴う攪乱により下層植生が減少していたにもかかわらず、全間伐区

で昆虫数は増加しており、植栽木の間伐による林内の光環境の変化や、下層植生の減少による林床の微気象の変化に昆虫が反応したと考えられた。

間伐1年後には全処理区で昆虫個体数が増加しており、この増加には下層植生の増加も寄与していると推察された。また、間伐前には植物に依存している昆虫はわずかであったが、間伐1年後には下層植生の変化に対応した昆虫群集構成の変化が示唆された。

間伐手法の違いでは、間伐直後にはLT, PLT, PTの順で、間伐1年後にはPLT, PT, LTの順で個体数の増加率が高くなっており、最も間伐率が高く、林冠疎開の大きい点状+列状間伐での昆虫数の増加が大きくなった。

以上の結果から、間伐直後の昆虫個体数の変化は、主に間伐手法の違いによる林床の物理環境の変化度合いに大きく規定されるものの、その後の変化は、下層植生にも影響を受けていると考えられた。

第4章 総合考察

これまで述べてきた研究結果に基づいて、生物多様性保全に適した間伐手法を検討した。本研究において、間伐に伴う攪乱により間伐直後に低木層の本数および種数が、草本層の被度および種数が減少していることが明らかになった。そして間伐1年後には草本層については間伐前の水準を超えて回復しているものの、低木層については間伐前の水準まで回復していないことが明らかになった。また、回復した草本層についても、回復したのは二次林型・開地型種であり、照葉樹林型種と入れ替わりが起きていることが明らかになった。したがって、保全目標を検討する上で、以下の2つに分けて検討した。

- ① 照葉樹林型種を保全
- ② 二次林型・開地型種を保全

また、昆虫群集を保全するために、間伐の配置も含めた長期的かつ広域的な林分配置についても検討した。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々にご指導、ご協力いただきました。ここに、心より感謝の意を表します。

宮崎大学農学部伊藤哲教授には、一社会人であった私に再びこのような勉学の間を与えていただくと同時に、懇切なご指導と愛のある叱咤激励を賜りました。また、先生を通して森林を実学としての林学の視点から俯瞰する眼を学ぶことができました。宮崎大学農学部の光田靖教授、高木正博教授、宮崎大学工学部の鈴木祥広教授には終始懇切なご指導をいただき、多くの有益な示唆とご助言を賜りました。以上の先生方にこの場を借りて心から厚くお礼申し上げます。

宮崎大学農学部の平田令子准教授には、常に有益かつ前向きな助言をいただき、ご激励を賜りました。宮崎大学農学部の西脇亜也教授には、お会いするたびに温かいご激励の言葉をいただきました。この場を借りて心からお礼申し上げます。

兵庫県立大学の服部保名誉教授には植物社会学の調査手法や考え方をご教授いただくとともに、数多くの貴重な勉強の機会や温かいご激励の言葉をいただきました。兵庫県立大学の石田弘明教授、黒田有寿茂准教授には、研究を進めるに際して多くの貴重なご助言と温かい励ましをいただきました。ここに記して心からの感謝の意を表します。

本研究の一部は、旭化成株式会社と延岡市 SATOYAMA 保全推進会議が実施した生物多様性調査事業のひとつとして行われました。元延岡市役所の甲斐克典氏、延岡市役所の斧伸春氏には調査地選定や間伐の実施にあたり多大なご協力をいただきました。延岡市 SATOYAMA 保全推進会議専門アドバイザーの小松孝寛氏、安本潤一氏、成迫平五郎氏には調査を進めるにあたり有益なご助言やご激励をいただきました。岩切環境技研株式会社の吉盛紀子氏、古中隆裕氏、外村浩幸氏（当時）には現地調査やデータの整理で多大なご協力をいただきました。宮崎大学農学部伊藤研究室の卒業生、在学生のみなさまには、滅多に大学に姿を見せない私に対しても、同じ研究室の仲間として温かく接していただきま

した。ここに記して厚くお礼申し上げます。

最後に、もう一度学び直したいという私のわがママを聞いてもらい、そして、いつまでたっても論文が書けない私を温かく見守り、常に支えとなってくれた妻の千春に感謝いたします。

引用文献

- 独立行政法人森林総合研究所四国支所 2012. 広葉樹林化ハンドブック 2012 —人工林を
広葉樹林へと誘導するために—. 独立行政法人森林総合研究所四国支所, 高知.
- 服部 保・南山典子 2001. 九州以北の照葉樹林フロラ. 人と自然, 12: 91-104.
- 服部 保・南山典子・石田弘明・橋本佳延 2013. 照葉樹林構成種目録. 兵庫県立人と自然の
博物館, 三田.
- 林 匡夫・森本 桂・木元新作 (編) 1984. 原色日本甲虫図鑑 (IV) . 438pp. 保育社, 東京.
- 平嶋義宏・森本 桂 (監修) 2008. 新訂原色昆虫大図鑑. 654pp. 北隆館, 東京.
- 五十嵐哲也・牧野俊一・田中 浩・正木 隆 2014. 植物の多様性の観点から人工林施業を考
える—日本型「近自然施業」の可能性—. 森林総合研究所研究報告, 13(2): 29-42.
- Ito, S., Nakagawa, M., Buckley, G. & Nogami, K. 2003. Species richness in sugi (*Cryptomeria
japonica* D. DON) plantations in southeastern Kyushu, Japan: The effects of stand type
and age on understory trees and shrubs. Journal of Forest Research, 8: 49-57.
- Ito, S., Nakagawa, R. & Buckley, G.P. 2004. Effects of previous land-use on plant species
diversity in semi-natural and plantation forests in a warm-temperate region in
southeastern Kyushu, Japan. Forest Ecology and Management, 196: 213-225.
- Ito, S., Ishigami, S., Mitsuda, Y. & Buckley, G.P. 2006. Factors affecting the occurrence of
woody plants in understory of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations in a
warm-temperate region in Japan. Journal of Forest Research, 11: 243-251.
- 岩切康二・伊藤 哲・光田 靖・平田令子 2019. 異なる間伐手法がヒノキ人工林の下層植生
の衰退および回復に与える短期的影響. 植生学会誌, 36: 43-59.
- 鎌田直人 2005. 日本の森林／多様性の生物学シリーズ⑤昆虫たちの森. 329pp. 東海大学
出版会. 神奈川.
- Kanda, Y. 2013. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical
statistics. Bone Marrow Transplantation, 48: 452-458.

- 清野嘉之 1990. ヒノキ人工林における下層植物群落の動態と制御に関する研究. 森林総合研究所研究報告, 359: 1-122.
- 黒澤良彦・久松定成・佐々治寛之 (編) 1985. 原色日本甲虫図鑑 (Ⅲ) . 500pp. 保育社, 東京.
- 今 博計・渡辺一郎・八坂通泰 2007. トドマツ人工林における間伐が広葉樹の天然下種更新に及ぼす影響. 日本森林学会誌, 89: 395-400.
- Lindenmayer, D. B. & Hobbs, R. J. 2004. Fauna conservation in Australian plantation forests - a review. *Biological Conservation*, 119: 151-168.
- Marshall, Stephen A. 2012. Flies: the natural history and diversity of diptera. 616pp. Firefly books (U.S.) Inc., New York.
- 丸山宗利 2003. 好蟻性・好白蟻性甲虫の採集法. 昆虫と自然, **38**: 43-47.
- 松本吏樹郎 2001. ハチ目昆虫の検索と解説. 環境アセスメント動物調査手, **11**: 31-76. 日本環境動物昆虫学会, 大阪.
- Maleque, MA. Ishii, HT. & Maeto, K. 2006. The Use of Arthropods as Indicators of Ecosystem Integrity in Forest Management. *Journal of Forestry*, **104**: 113-117.
- 正木 隆 (編) 2008. 森の芽生えの生態学. 258pp. 文一総合出版, 東京.
- 宮崎県農政水産部農業振興課 1989. 東白杵・延岡地域 土地分類基本調査「延岡・島浦」. 宮崎県農政水産部農業振興課, 宮崎.
- 溝口拓朗・伊藤 哲・山岸 極・平田令子 2018. 間伐方法の違いが表土流出に及ぼす短期的影響. 森林立地, 60: 23-29.
- 水田展洋・水戸辺栄三郎・梅田久男 2008. 列状間伐の伐採幅と労働生産性及び列状間伐後の残存木の状況. 宮城県林業技術総合センター成果報告, 17: 31-38.
- 森本 桂 1997. 第40回シンポジウム記録. 昆虫の種多様性と分類学. 哺乳類科学, **37**: 27-32.
- 村本康治・野上寛五郎・高木正博 2005. ヒノキ壮齢林の下層植生におよぼす列状間伐の影響

- 響－間伐 5 年後の種組成－. 九州森林研究, 58: 59-62.
- 長池卓男 2000. 人工林生態系における植物種多様性. 日本林学会誌, 82: 407-416.
- 中静 透 2004. 日本の森林／多様性の生物学シリーズ①森のスケッチ. 236pp. 東海大学出版会. 神奈川
- 日本直翅類学会 (編) 2006. バッタ・コオロギ・キリギリス大図鑑. 687pp. 北海道大学出版会, 北海道.
- 西中康明 2015. 昆虫類を指標とした里山の生物多様性の保全に関する研究. 環動昆, 26: 63-68.
- 野口麻穂子・酒井 敦・奥田史郎・稲垣善之・深田英久 2009. 四国地方のヒノキ人工林における間伐後 6 年間の林床植生変化. 森林立地, 51: 127-136.
- 奥田重俊 (編) 1997. 日本野生植物館. 小学館, 東京.
- Pearce, J. & Venier, L. 2006. The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: A review. Ecological Indicators, 6: 780-793.
- Perry, Kayla I. Wallin, Kimberly F. Wenzel, John W. & Herms, Daniel A. 2018. Forest disturbance and arthropods: Small-scale canopy gaps drive invertebrate community structure and composition. Ecosphere, 9(10): 1-19.
- Rainio, J. & Niemelä, J. 2003. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. Biodiversity & Conservation, 12: 487-506.
- 林野庁国有林野部経営企画課 2018. 国有林野事業における天然力を活用した施業実行マニュアル. 124pp.
- 林野庁整備課 2019. 列状間伐の手引き～民有林における列状間伐の普及に向けて～. 24pp.
- 酒井 敦・酒井 武・倉本恵生・佐藤重穂 2006. 四国の中標高域における天然林とこれに隣接する針葉樹人工林の埋土種子組成. 森林立地, 48: 85-90.

- Sakai, A. Sakai, T. Kuramoto, S. & Sato, S. 2010. Soil seed banks in a mature Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) plantation and initial process of secondary succession after clearcutting in southwestern Japan. *Journal of Forest Research*, **15**: 316-327.
- 作田耕太郎・谷口 奨・井上昭夫・溝上展也 2009. ヒノキ人工林における帯状伐採が林床の微気象と樹木種の多様性に与える影響. *日本森林学会誌*, **91**: 86-93.
- 佐竹義輔・原 寛・亘理俊次・富成忠夫 (編) 1989a. 日本の野生植物 木本 I. 平凡社, 東京.
- 佐竹義輔・原 寛・亘理俊次・富成忠夫 (編) 1989b. 日本の野生植物 木本 II. 平凡社, 東京.
- 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (編) 1981. 日本の野生植物 草本 III. 平凡社, 東京.
- 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (編) 1982a. 日本の野生植物 草本 I. 平凡社, 東京.
- 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (編) 1982b. 日本の野生植物 草本 II. 平凡社, 東京.
- 清和研二 2013. スギ人工林における種多様性回復の階梯－境界効果と間伐効果の組み合わせから効果的な施業方法を考える－. *日本生態学会誌*, **63**: 251-260.
- Seiwa, K., Ando, M., Imaji, A., Tomita, M. & Kanou, K. 2009. Spatio-temporal variation of environmental signals inducing seed germination in temperate conifer plantations and natural hardwood forests in northern Japan. *Forest Ecology and Management*, **257**: 361-369.
- 島田博匡 2006. ヒノキ人工林の林床における強度間伐後 2 年間の木本種動態. *三重県科学技術振興センター林業研究部研究報告*, **18**: 1-12.
- Taki, H., Inoue, T., Tanaka, H., Makihara, H., Sueyoshi, M., Isono, M. & Okabe, K. 2010. Responses of community structure, diversity, and abundance of understory plants and

- insect assemblages to thinning in plantations. *Forest Ecology and Management*, **259**: 607-613.
- 滝 久智・尾崎研一編 2020. 森林と科学シリーズ 9 森林と昆虫. 208pp. 共立出版. 東京.
- 田村和也・服部 保 2006. 対馬における照葉樹林の埋土種子相. *人と自然*, **16**: 43-49.
- 谷口真吾 2007. 列状の伐採跡地における林床植生の再生-間伐実施から 5 年間の変化. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 森林林業編, **54**: 6-9.
- 谷口 奨・作田耕太郎・井上昭夫・溝上展也 2006. ヒノキ人工林における埋土種子の発芽量と種構成. *九州森林研究*, **59**: 162-164.
- 寺山 守・須田博久 2016. 日本産有剣ハチ類図鑑. 735pp. 東海大学出版部, 神奈川県.
- 植木達人 2007. 列状間伐の考え方と実践. 208pp. 全国林業改良普及協会, 東京.
- 上野俊一・黒澤良彦・佐藤正孝(編) 1985. 原色日本甲虫図鑑(II). 514pp. 保育社, 東京.
- 渡辺昭彦 2009. 吊下げ式簡易型屋根付き FIT とその作り方. *甲虫ニュース*, **166**: 7-9.
- 渡邊仁志・横井秀一・井川原弘一 2011. 下層植生が衰退したヒノキ人工林における間伐後 5 年間の下層植生の種組成と植被率の変化. *岐阜県森林研究所研究報告*, **40**: 1-13.
- 山田康裕・諫本信義 2001. 間伐が下層植生および表層土壌の流出に与える影響. *九州森林研究*, **54**: 79-80.
- 山田容三 2009. 森林管理の理念と技術-森林と人間の共生の道へ-. 225pp. 昭和堂, 京都.
- 山川博美・伊藤 哲・中尾登志雄 2013. 照葉樹二次林に隣接する伐採地における 6 年間の種子散布(<特集>森林の"境目"の生態的プロセスを探る). *日本生態学会誌*, **63**: 219-228.
- Yamagawa, H., Ito, S. & Nakao, T. 2007. Edge effects from a natural evergreen broadleaved forest patch on advanced regeneration and natural forest recovery after clear-cutting of a sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation. *Japanese Journal of Forest Environment*, **49**:

111-122.

山川博美・伊藤 哲・作田耕太郎・溝上展也・中尾登志雄 2009. 針葉樹人工林の小面積皆伐による異齡林施業が下層植生の種多様性およびその構造に及ぼす影響. 日本林学会誌, **91**: 277-284.