

ミズナラ集団枯損被害が二次林の樹種構成に与える影響

小谷二郎・江崎功二郎

要旨: 多様な樹種構成からなる暖温帯上部に位置する二次林で、ミズナラの集団枯損被害が各層の樹種構成に与える影響を調べた。枯損被害によるギャップ形成面積割合は 11~41% で、100 m² 以下の小面積が多かった。ギャップ内では、アカメガシワやカラスザンショウのような先駆性の強い樹種が多く発生したが、これらは枯死数も多かった。逆に、ウラジログシなどは前生稚樹とともに実生の発生もみられ、生存数も多かった。ミズナラの枯損により林冠構成種の優占順位が変化すると同時に、ギャップ形成は各層を通じて高木性の常緑樹の優占に有利な条件となりつつあることが示された。

キーワード: ミズナラ、集団枯損被害、ギャップ、稚幼樹、実生、常緑広葉樹

I はじめに

カシノナガキクイムシが伝搬するナラ菌によって、ミズナラを主とする二次林の集団枯損被害が日本海側の地域を中心に拡大している（伊藤・山田、1998）。こうした集団枯損被害は、林分レベルまたは景観レベルで植生になんらかの影響をおよぼすことが考えられる。

石川県でのミズナラ集団枯損被害は、1997 年に加賀市刈安山で確認されてから 2007 年には奥能登地域まで北上した。垂直分布も、現在では 100m 以下の低標高から 1,000m 付近の高標高までおよんでいる。また、枯損樹種も当初はミズナラのみであったが、現在ではコナラ・アベマキ・クリ・ウラジログシなどブナ科樹種を中心に対象樹種も多様化してきた。

ミズナラをはじめ、これらの樹種は大高木になり群落を形成するものも存在することから、枯損は林冠に大きな疎開地（ギャップ）を形成する場合もある。したがって、林冠の樹種構成のみならず林床稚幼樹の樹種構成にも影響を与える（小谷・江崎、2003）ものと思われる。天然生林に形成されたギャップは、前生稚樹の被圧開放、周辺からの種子飛散、埋土種子の覚醒を促すと考えられ、種の多様化に貢献する（中静、2004）と考えられる。一方で、単木レベルでの林冠ギャップ形成は耐陰性の高い樹種の生存に有利（Nakashizuka, 1985; Canham, 1989）となり、個体群維持への貢献度が高くなることから、二次林の遷移にも影響を与えられとされる。

そこで、この研究では暖温帯上部において発生

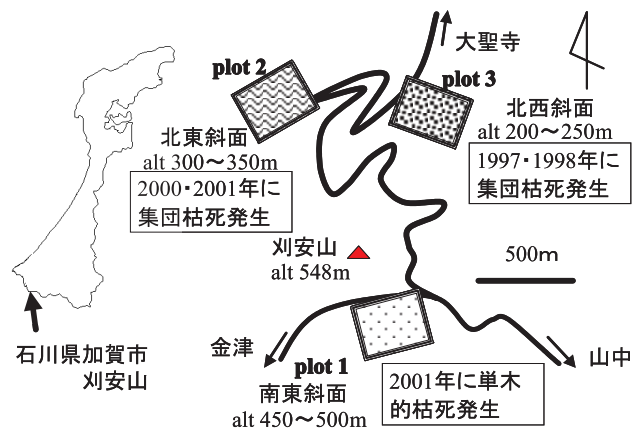


図-1 調査地の概略

したミズナラの集団枯損被害跡地において、各層での樹種構成と林床での実生を含めた稚幼樹群集の動態を調べ、ミズナラの枯損が二次林の植生変化に与える影響について考察した。

II 調査地および調査方法

1 調査地

調査地は、石川県加賀市の刈安山（標高 547m）

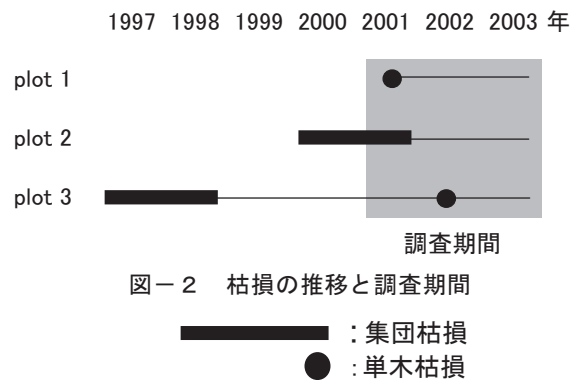


図-2 枯損の推移と調査期間

■ : 集団枯損
● : 単木枯損

である(図-1)。2001年に、未被害林分(plot1)・被害発生から2年経過した林分(plot2)・被害発生から4年経過した林分(plot3)の3箇所に調査地を設けた。それぞれの林分は、1ha以上同じ林分形態を示している。なお、plot1は2001年の8月から枯損被害が発生した(図-2)。この林分は薪炭林跡の二次林で、林齢は50年前後と思われる。林床は、一部の大きな面積のギャップ地でシダ類の被度が高い場所もみられたが、ササの被度は低かった。

2 調査方法

2001年10月に、3プロット地内にそれぞれ45m×45mの方形コドラートを設定した。調査地の傾斜度は30~35°と急なため、

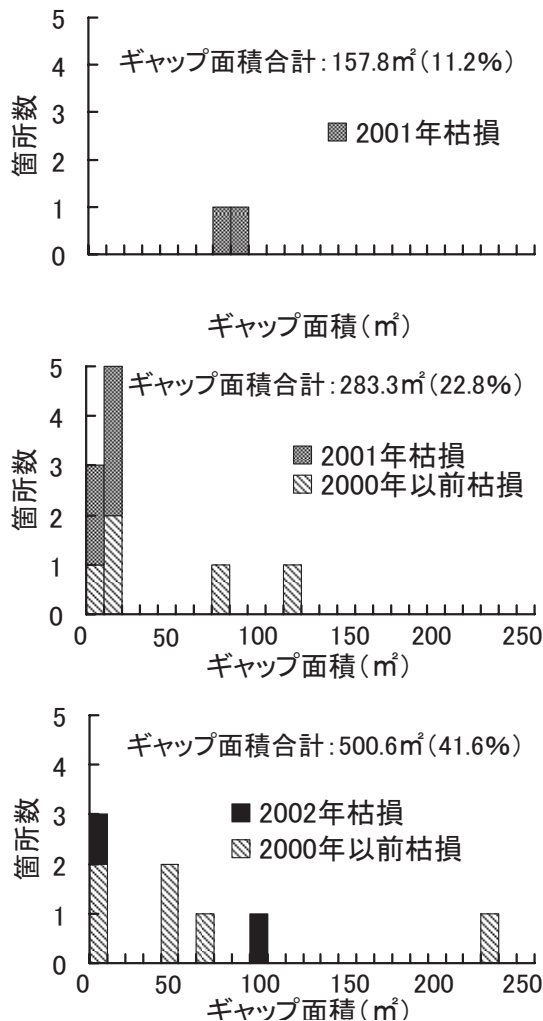


図-3 ギャップ面積の頻度(上からplot1~3)

表-1 林冠木(DBH4cm以上)の樹種構成

樹種	plot 1			plot 2			plot 3		
	DBH cm	本数 本/ha	BA %	DBH cm	本数 本/ha	BA %	DBH cm	本数 本/ha	BA %
ミズナラ	26.5	85	14.9	19.5	201	16.5	22.3	58	6.5
枯損木	30.7	56	13.3	16.4	257	18.4	23.7	224	22.4
コナラ	27.2	49	9.2	13.7	136	6.2	27.7	83	13.7
枯損木(02年)							37.3	8	1.3
ウラジロガシ				10.1	330	8.1	11.3	290	7.6
アカガシ	6.3	31	0.1	14.1	80	3.8	6.0	16	0.1
クリ	26.9	21	3.8	21.5	8	0.9	22.4	16	1.7
アカシデ	24.2	106	17.1				9.9	33	1.3
倒伏木(02年)							18.0	33	0.6
イヌシデ	15.4	63	3.8	16.0	8	0.5	16.0	24	1.4
クマシデ	5.7	7	0.1	6.6	16	0.2	8.5	24	0.4
ホオノキ	33.2	85	23.5				20.1	174	14.3
ウワミズザクラ	10.1	21	0.6	15.0	40	2.2	10.2	49	1.0
ヤマザクラ				19.9	8	0.8	4.8	16	0.1
アズキナシ	13.6	35	1.6	8.7	48	0.9			
ウラジロノキ	9.2	7	0.2						
コハウチワカエデ	8.9	170	3.4	7.9	56	0.8	11.9	58	1.7
ヤマモミジ	7.6	42	0.6	6.8	185	2.0			
イタヤカエデ							8.7	16	0.3
ナツツバキ	12.3	21	0.8	15.0	8	0.4	14.7	8	0.4
アオハダ							8.4	91	1.3
クマノミズキ	7.9	28	0.4						
アカメガシワ				11.2	8	0.2			
アカマツ							48.1	16	7.8
他13種			19.9	他19種	4,146	38.1	他22種		16.2
合計		1,631	100		5,535	100		3,291	100

DBH: 平均胸高直径、BA: 胸高断面積合計

水平距離に換算した面積は、1,410 m² (plot1)・1,241 m² (plot2)・1,203 m² (plot3)であった。コドラートの設定後、胸高直径4cm以上の立木の胸高直径(全木)と樹高(一部の優勢木)を測定したのち、枯損木の立木位置と林冠ギャップの外周を測量し、ギャップ投影図を作成した。さらに、コドラートを15mメッシュに区切り、9個の小区画内にランダムに3m×3mの中コドラートを6~7個設定し、胸高直径1~4cm未満の樹高と胸高直径を測定した。さらに、その中に1m×1mの小コドラートを1個設置し、胸高直径1cm未満の当年実生も含めた稚幼樹の本数をカウントするとともに稚樹高を測定した。

翌2002年10月に、新たに発生した枯損木により形成されたギャップ投影図を2001年と同じ要領で追加作成した。そして、小コドラート内の稚幼樹の生存状況を確認するとともに、新たに発生した稚樹の個体数と稚樹高を測定した。さらに、2003年10月にも同様の調査を行った。被害と調査期間の関係は図-2のとおりである。

III 結果

1 林冠木の樹種構成と枯損規模

表-1は、3つのplotの胸高直径4cm以上の構成樹種の平均胸高直径、本数(本/ha)、BA(胸

表－2 低木の本数・胸高直径・樹高

樹種	plot 1			plot 2			plot 3		
	本数 (本/ha)	胸高直径 (mm)	樹高 (cm)	本数 (本/ha)	胸高直径 (mm)	樹高 (cm)	本数 (本/ha)	胸高直径 (mm)	樹高 (cm)
マルバマンサク	54,444	19.5	331.9	102,222	21.5	365.6	2,222	28.0	381.7
ミヤマガマズミ				4,444	12.0	276.0	72,222	11.6	233.0
ヤブツバキ	53,333	18.1	232.9	81,111	15.5	207.3	5,556	13.5	190.1
ウラジロガシ				24,444	20.0	287.6	32,222	18.1	255.9
ヤマボウシ	34,444	17.4	270.6				40,000	25.6	396.2
オオバクロモジ	27,778	16.7	292.3	3,333	11.5	225.5	22,222	15.8	289.5
リョウブ	21,111	16.8	301.9	20,000	20.9	308.2			
イヌシデ	13,333	17.0	322.9						
ヤマモミジ				14,444	18.2	340.6	12,222	18.2	269.0
シラキ				10,000	18.3	345.7	21,111	17.4	293.2
アカガシ	8,889	20.4	266.8	6,667	10.8	176.2	4,444	17.3	267.8
コハウチワカエデ	5,556	23.0	300.0	2,222	15.0	215.0	4,444	22.0	372.8
	76,667	他21種		68,888	他18種		88,889	他18種	
合計(平均)	304,444	17.3	278.6	345,556	16.7	289.5	305,556	18.2	286.6

高断面割合(%)を示している。この林分は、ミズナラ・コナラ・ホオノキのほかウラジロガシ・アカガシ・スダジイなどの常緑広葉樹で構成されていた。plot 3では、2002年に雪害による倒伏木とコナラでの枯損木が数%発生した。ミズナラは、plot 3で約80%、plot 1, 2で約50%の枯損がみられたが、林分全体としては25%以下の枯損であった。枯損にともなうギャップ形成面積の頻度は、図-3のとおりである。最も大きかったのは、plot 3の220 m²でほとんどが100 m²以下の小さな面積のギャップが多かった。ミズナラの枯損によって、plot 2以外では、ミズナラの胸高断面割合優占度が下がり、コナラやホオノキの優占度が高まった。

また、本数ではplot 1以外はウラジロガシが最も多くなった。

2 低木層の樹種構成

胸高直径1～4 cm未満の低木層は、28～29種、304,000～345,000本/haの成立本数で、平均胸高直径が16～18mm、樹高が278～289cmであった(表-2)。3つのプロットともマルバマンサクやミヤマガマズミなど小高木または低木樹種の本数が上位を占めていた。高木樹種は、plot 1でヤブツバキ・イヌシデ・コハウチワカエデなど、plot 2でヤブツバキ・ウラジロガシ・ヤマモミジなど、plot 3でウラジロガシ・ヤマモミジ・アカガシなどの本数が多かった。

表－3 各年における稚樹の本数・新規加入・枯死・稚樹高(H)(plot 1)

樹種	2001年		2002年				2003年						
	本数 本/m ²	H cm	本数 本/m ²	新規加入		枯死		H cm	本数 本/m ²	新規加入		枯死	
				本/m ²	%	本/m ²	%			本/m ²	%	本/m ²	%
アオハダ(Im)			0.02	0.02	100			14.0	0.02				
アカガシ(Qa)	0.11	43.7	0.11					49.0	0.11				
アカシデ	0.30	44.1	0.30					42.9	0.30	0.07	25.0		
アカメガシワ(Mj)	0.02	10.0	0.22	0.22	100	0.02	7.7	8.1	0.07			0.15	66.7
アズキナシ	0.04	10.0	0.04					10.0	0.04	0.02	50.0		
イヌシデ	0.11	106.0	0.06	0.02	33.3	0.07	57.1	117.0	0.04			0.02	33.3
ウリハダカエデ	0.06	3.7	0.04					5.7	0.04	0.02	50.0	0.02	33.3
ウワミズザクラ(Pg)	0.07	83.0	0.06					96.3	0.07	0.02	25.0		
カラスザンショウ(Fa)	0.06	7.5	0.09	0.04	40.0			5.6	0.06	0.06	100	0.04	40.0
クマシデ	0.02	6.0	0.02					0.0	0.00			0.02	100
クリ	0.02	14.0	0.02					17.0	0.02				
ケヤキ	0.02	11.0	0.02					22.0	0.02				
コシアブラ(As)	0.04	3.5	0.07	0.04	50.0			4.8	0.06	0.04	66.7	0.02	25.0
コナラ	0.04	6.0	0.04					0.0	0.00			0.04	100
コハウチワカエデ	0.07	12.0	0.06					17.5	0.07	0.02	25.0		
ナツツバキ	0.11	34.0	0.11					30.6	0.09	0.02	20.0	0.02	16.7
ネムノキ			0.02	0.02	100			0.0	0.00			0.02	100
ミズナラ	0.02	6.0	0.02					15.0	0.02	0.02	100		
ヤブツバキ(Caj)	0.50	42.3	0.48					43.6	0.43	0.02	4.3	0.07	14.8
ヤマモミジ	0.19	8.3	0.19					9.8	0.17	0.02	11.1	0.02	10.0
合計(平均)	1.78	25.1	1.96	0.35		0.17		25.4	1.61	0.31		0.43	

表－4 各年における稚樹の本数・新規加入・枯死・稚樹高（H）（plot 2）

樹種	2001年		2002年				2003年						
	本数 本/m ²	H cm	本数 本/m ²	新規加入		枯死		H cm	本数 本/m ²	新規加入		枯死	
				本/m ²	%	本/m ²	%			本/m ²	%	本/m ²	%
アオハダ (Im)	0.05	6.0	0.07	0.02	25.0			17.0	0.05			0.02	25.0
アカガシ (Qa)	0.56	47.4	0.56					52.8	0.71	0.20	28.2	0.05	7.1
アカシデ	0.05	33.0	0.05					63.0	0.05				
アカメガシワ (Mj)	1.38	8.7	0.53			0.85	61.8	4.6	0.27	0.04	13.3	0.29	51.6
ウラジロガシ (Qus)	0.25	28.0	0.25					28.6	0.33	0.09	27.8	0.02	5.3
ウワミズザクラ (Pg)	0.18	21.1	0.13					27.2	0.25	0.15	57.1	0.02	6.7
カラスザンショウ (Fa)	0.20	7.7	0.13	0.07	57.1	0.15	53.3	6.1	0.07	0.05	75.0	0.11	60.0
クリ								13.0	0.02	0.02	100		
コシアブラ (As)	0.02	5.0	0.02					4.7	0.05	0.04	66.7		
コナラ	0.13	35.0	0.13					16.0	0.25	0.15	57.1	0.02	6.7
シロダモ	0.02	15.0	0.02					15.5	0.04	0.02	50.0		
スダジイ (Cac)	0.07	25.3	0.07					20.3	0.13	0.05	42.9		
ナツツバキ		7.0	0.02	0.02	100			33.0	0.05	0.04	66.7		
ミズナラ	0.02	12.0	0.02					15.0	0.02				
ヤブツバキ (Caj)	0.95	68.9	0.95					72.8	1.02	0.13	12.5	0.05	5.1
ヤマモミジ	0.24	17.9	0.24					14.2	0.45	0.25	56.0	0.04	7.4
合計(平均)	4.13	21.9	3.18	0.11		1.05		20.6	3.78	1.22		0.62	

表－5 各年における稚樹の本数・新規加入・枯死・稚樹高（H）（plot 3）

樹種	2001年		2002年				2003年						
	本数 本/m ²	H cm	本数 本/m ²	新規加入		枯死		H cm	本数 本/m ²	新規加入		枯死	
				本/m ²	%	本/m ²	%			本/m ²	%	本/m ²	%
アカガシ (Qa)	0.17	34.7	0.17					32.3	0.17	0.02	11.1	0.02	10.0
アカシデ	0.06	14.5	0.04	0.02	50.0	0.04	50.0	20.0	0.04				
アカメガシワ (Mj)	0.13	14.7	0.09	0.04	40.0	0.07	44.4	9.5	0.11	0.07	66.7	0.06	33.3
アズキナシ	0.02	6.0	0.00				100						
アワブキ	0.04	17.0	0.02				50.0	15.0	0.02				
イタヤカエデ	0.02	120.0	0.02					104.0	0.02				
ウラジロガシ (Qus)	1.59	42.0	1.61	0.04	2.3	0.02	1.1	35.3	1.69	0.04	2.2	0.13	7.1
ウラジロノキ	0.02	8.0	0.02					11.0	0.02				
ウリハダカエデ	0.02	8.0	0.02					9.0	0.02				
ウワミズザクラ (Pg)	0.22	49.3	0.19				16.7	48.3	0.31	0.15	47.1	0.02	5.6
クマシデ	0.02	3.0	0.00				100						
コナラ	0.15	12.9	0.11	0.04	33.3	0.07	40.0	8.3	0.20	0.11	54.5	0.06	21.4
コハウチワカエデ	0.02	200.0	0.02					210.0	0.02				
シロダモ	0.30	17.8	0.35	0.06	15.8			18.5	0.46	0.11	24.0		
スダジイ (Cac)	0.50	85.3	0.50					85.5	0.52	0.02	3.6		
ナツツバキ	0.02	13.0	0.02					18.0	0.02				
ネムノキ	0.04	10.0	0.02				50.0						
モチノキ (li)	0.13	80.0	0.13					130.0	0.15	0.02	12.5		
ヤブツバキ (Caj)	1.61	70.5	1.56				3.4	73.2	1.56	0.09	6.0	0.07	4.5
ヤマモミジ	0.65	15.1	0.63	0.04	5.9	0.06	8.1	16.5	0.63	0.06	8.8	0.13	17.1
合計(平均)	5.70	41.1	5.50	0.22		0.43		49.7	5.94	0.69		0.48	

3 稚樹層の樹種構成および3年間での変化

2001年での胸高直径1cm未満の稚樹層は、59～73種、128,900～265,000本/haの成立本数で、平均稚樹高が23.2～37.2cmであった（表－3～5）。ここでは、高木と小高木について3年間での樹種構成の変化を示す。2001年では、plot 1でヤブツバキ・リョウブ・アカシデ・ソヨゴ・アカガシなど、plot 2ではリョウブ・アカメガシワ・ヤブツバキ・アカガシ・ウラジロガシなど、plot 3

ではヤブツバキ・ウラジロガシ・シラキ・ヤマモミジ・スダジイなどの本数が多かった。これらの樹種のうち、アカメガシワ・ヤマモミジ・シラキ以外は、株状に成立しているものが多く、稚樹高も比較的高かった。2002年での実生の新規加入および稚樹の枯死状況は、プロットによって異なった。plot 1では、始めて出現する樹種が多く、加入数は枯死数を上回っていた。とくに、アカメガシワの加入数が飛び抜けて多かった。plot 2では

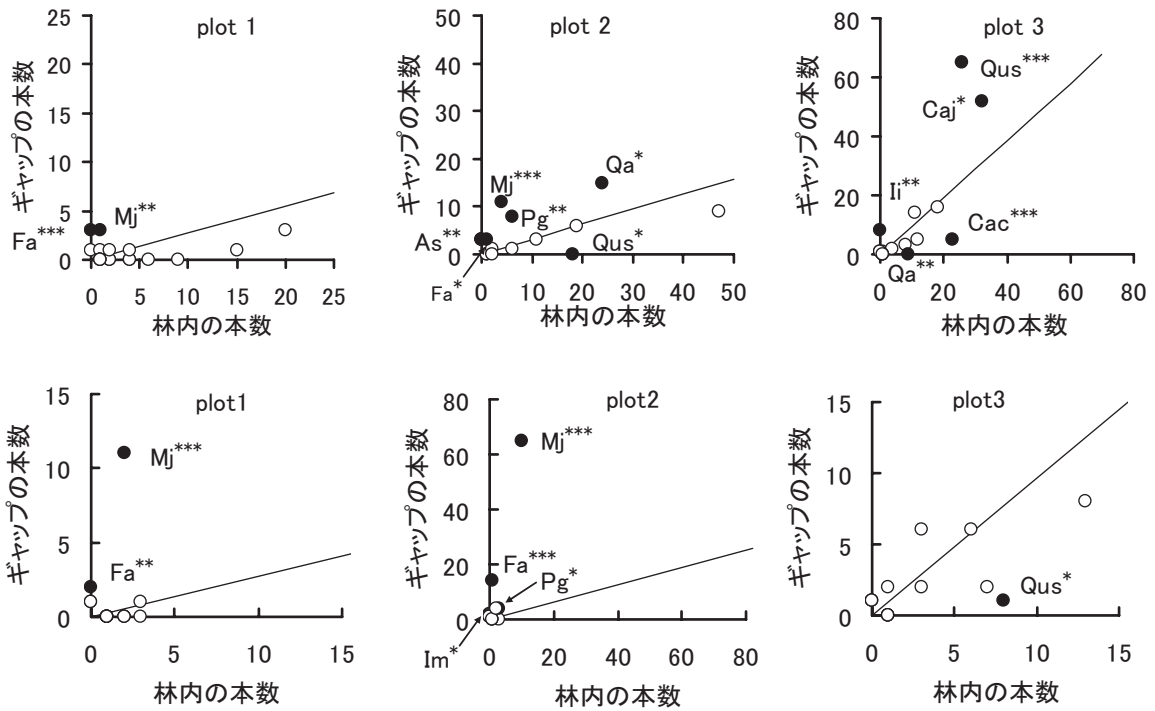


図-4 高木樹種の林内とギャップの出現本数の関係（上段：稚樹全体、下段：実生のみ）
 図中の記号は、表-3～5を参照。●は、有意差のみられた樹種を示し、*、**、***は、それぞれ5%、1%、0.1%の有意水準をあらわす。

枯死数が新規加入数の約10倍みられ、アカメガシワとカラスザンショウの枯死数およびその割合が高かった。plot 3でも枯死数が新規加入数の約2倍みられた。2003年では、2002年に比べて新規加入本数が同等ないしは増える傾向にあった。アカメガシワやカラスザンショウなど先駆性の樹種は減り、替わってヤマモミジ・ウワミズザクラ・コナラのほか、本数は少ないながらも種類数が増える傾向にあった。枯死数では、plot 1, 2でアカメガシワが最も多く、plot 3ではウラジロガシやヤマモミジなどの枯死数が多かった。

各プロット間での高木種の本数を年ごとに比較した（図-5）。いずれの年でも plot 3と plot 1

の間で有意差がみられた（一元配置分散分析, $p < 0.001$, Scheffeの多重比較, $p < 0.05$ ）。

4 稚樹の定着に対するギャップの影響

3年間生存していた27種すべての高木の稚樹（表-3～5）を対象に、各プロットでのギャップと林内での出現数の比較を行った（図-4）。生育環境の偏りは、ギャップ面積と林内面積の割合から期待値を算出して χ^2 -検定を行った。plot 1では、17種のうち2種（アカメガシワ・カラスザンショウ）がギャップに、plot 2では16種のうち5種（アカメガシワ・アカガシ・カラスザンショウ・ウワミズザクラ・コシアブラ）がギャップで、1種（ウラジロガシ）が林内に、plot 3では17種のうち3種（ウラジロガシ・ヤブツバキ・モチノ

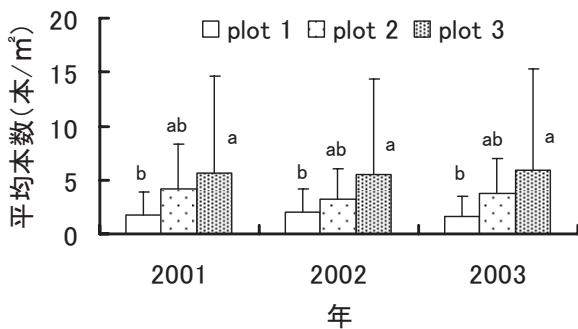


図-5 プロット間での高木稚樹の平均本数の比較
 各年で、記号が同じ場合は有意差が無いことを示す。

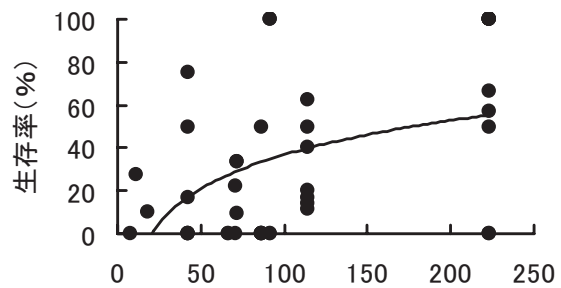


図-6 ギャップ面積と実生の生存率の関係（高木）
 $y=23.015\ln(x)-69.101$, $r=0.472$, $n=83$, $p < 0.001$

キ)がギャップで、2種(スダジイ・アカガシ)が林内にそれぞれ有意に偏って生存した($p<0.05$)。

また、3年間で発生した実生の発生場所の偏りについても同様の手法で解析した(図-5)。plot 1では、15種のうち2種(アカメガシワ・カラスザンショウ)がギャップに、plot 2では13種のうち4種(アカメガシワ・カラスザンショウ・ウワミズザクラ・アオハダ)がギャップに、plot 3では14種のうち1種(ウラジロガシ)が林内にそれぞれ有意に偏って発生した($p<0.05$)。

ギャップ面積と3年間に発生した高木樹種の実生の m^2 当たり成立本数との間には、有意な相関はみられなかった($p>0.05$)が、それらの生存率との間には有意な正の相関が得られた($p<0.05$, 図-6)。

IV 考察

この調査地は、各階層とも多用な樹種で構成されている。とくに、シイ・カシ類など暖温帯の樹種とミズナラなど冷温帯の樹種が混生しているのが特徴的である。3つのプロットは、枯損後の経過年数が異なることから、ミズナラの集団枯損被害跡地の植生推移を予想する上で、参考になる事例の1つと考えられる。

林冠層では、枯損前にミズナラの胸高断面積割合が27~34%で最も高かったため、枯損によって樹種の優占順位が変わるとともに、樹種による優占度の偏りが少なくなっている(表-1)。また、ギャップが生じることで、下層から上層へ進出樹種も増加することで、階層構造が発達した森林へ変化する可能性がある。注目されるのは、plot 2, 3で本数の多いウラジロガシなど高木の常緑広葉樹が今後どのように優占度を高めるかである。

低木層では、マルバマンサクやミヤマガマズミといった小高木または低木が上位を占めたが、高木のヤブツバキやウラジロガシの本数も多かった(表-2)ことから、上木の枯損による光環境の改善がこれらの成長を好転させ、上層へ進出させる可能性が示唆される。

調査期間に発生した実生の発生場所は、多くの樹種でランダムであったが、アカメガシワ・カラスザンショウなどがギャップに、またウラジロガシが林内に偏って出現していた(図-4)。このことは、前者が埋土種子由来の先駆性の強いタイプ

で、強い光が得られる場所で発生し、後者が母樹下で発生していることを示している。しかし、前者は後者よりも枯死数(率)が多い(高い)のが特徴的であった(表-3~5)。これは、ギャップが $100 m^2$ 以下の比較的小さな面積で占められ(図-3)、先駆性の強い樹種には生存に耐えうる光環境が少なかった(図-6)ためと考えられる。一方、実生以外も含めた稚樹の生存場所を比較すると、常緑のヤブツバキ・ウラジロガシ・アカガシもギャップに偏って出現している場所もある(図-4)。しかも、これらの前生稚樹は株立ち状で本数も比較的多く、稚樹高も高い傾向があった(表-3~5)。一部で、ウラジロガシの枯死数も多かったが、常緑の前生稚樹はギャップ形成による光の改善を待ち受けていたと同時に、実生による稚樹溜りをさらに促進できる機会を得たと考えられる。したがって、稚樹層でも、今後常緑広葉樹の優占度が高まる可能性が示唆される。

稚樹層では、プロット間で本数に違いがみられ、plot 1と3では明らかにplot 3の本数が多かった(図-5)。plot 3は、plot 1よりもギャップの面積率が高く、しかも集団枯損が発生してからの経過年数も長いことから、樹種の侵入機会が多かったことが考えられる。2002年では、plot 2, 3で新規加入数よりも枯死数が多かった(表-4, 5)が、これはアカメガシワやカラスザンショウといった先駆性の強い樹種が一気に減ったためである。逆に、2003年にはこれらのプロットでは先駆性の強い樹種以外の多くの樹種が少数ながら加入していた。以上のことから、各プロットでのこれら一連の樹種構成の変化は、集団枯損被害跡地の植生変化の流れを示している。つまり、ギャップ形成直後には先駆性の樹種の加入によって一時的に多くの実生が発生(plot 1の2002年、plot 2の2001~2002年)し、その後はそれらの減少に変わって二次林構成種の加入や耐陰性の高い極相種の優占へ移行(plot 2の2003年・plot 3の2001~2003年)する過程を示しているものと考えられる。

結果として、この調査地におけるミズナラの集団枯損被害は、ミズナラ林を他の樹種が優占する森林に変え、多様な樹種の侵入機会を創り出していると同時に、常緑広葉樹の優占度を高め遷移を進める機会を与えていると考えられる。今後は、高標高または逆に低標高でも枯損被害跡地での樹種構成の変化を調べるとともに、ササの優占度と

稚樹の更新との関係についても検討していきたい。

引用文献

Canham C. (1989) Different response to gap among shade-tolerant species. Special feature-treefall gaps and forest dynamics. *Ecology* 70: 548–550.

伊藤進一郎・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害の分布と拡大. *日林誌* 80 : 229–232.

Nakashizuka T. (1985) Diffused light condition in canopy gaps in a beech (*Fagus crenata* Blume) Forest. *Oecologia* 66: 472–474.

中静 透 (2004) 森のスケッチ. (日本の森林／多様性の生物学シリーズ①). 236 pp, 東海大学出版会, 東京.

小谷二郎・江崎功二郎 (2003) ミズナラ集団枯損被害が林床の稚幼樹群集の動態に及ぼす影響. 第 114 回日本林学会大会学術講演集 : 522.