

森林施業により劣化した森林生態系の 生物多様性保全を目指した復元生態学的研究

森林生態系復元研究グループ

吉田俊也¹⁾・長池卓男²⁾

Research for ecosystem restoration in forests under intensive forestry management

Research group for forest ecosystem restoration

Toshiya Yoshida¹⁾, Takuo Nagaike²⁾

択伐や皆伐母樹保残法といった非皆伐施業が行なわれた森林を対象として、生物相保全も含めた持続可能な森林管理の確立にむけた調査研究を行なった。北海道の大雪山系および天塩山地の針広混交林(択伐)と、新潟のブナ林(皆伐母樹保残法)において調査を行った。

非皆伐施業は、皆伐に比べて生態系への負のインパクトが比較的少ないと考えられるが、今回調査を行なった施業地のいずれにおいても、持続可能性という点から見ると大きな課題が残っていた。今後、森林資源の利用と生態系の保全とを両立させるためには、地域に固有な生態的プロセスを十分に考慮し、伐採率をより低く抑えた施業を検討する必要がある。本研究で示されたような林分が大面積に存在すると考えられることから、こうした林分の生態的復元を考えることがより重要な課題であろう。

1. はじめに

持続可能な森林管理の方策が世界中で模索されている。それは、木材を中心とする森林資源の持続的な管理のみならず、地域に固有の生態的プロセスや生物多様性の保全を考慮した森林管理を求める概念である(例えば、Hunter, 1999)。しかし、そのような持続的な管理を実現するための科学的な知見は、未だ乏しいといわざるを得ない。森林資源の持続的な利用・管理を前提としたとき、皆伐施業と比較して、非皆伐施業は生物・非生物環境への影響が少ないと考えられることから、今後の生態的管理のあり方を考える上で、重要な施業法であるといえる(藤森, 1991)。わが国では、北海

道の針広混交林域で択伐施業(単木的な抜き伐りを行う伐採法)が、また東北日本のブナ林域で皆伐母樹保残施業(皆伐に近いが種子の供給源である母樹を一部に残す伐採法)が、一般的に行われてきた。これらの非皆伐施業は、伐採時の影響を軽減し、次世代へむけた森林の更新過程を円滑に進めるために採用されたと考えられるが、このような取り扱いが、林業的な意味での有用樹種の更新のみならず他の生態的プロセスや生物多様性に与える影響については、必ずしも明らかでない部分が多い。

わが国の現在の森林資源の構成を見ると、原生林は非常に限られた面積となり、何らかの人為の

1) 北海道大学農学部附属雨竜地方演習林

2) 山梨県森林総合研究所

加わった森林が大きな面積を占めるに至っている。地域の生態系・生物多様性を保全していくためには、残された原生林を保護することはもちろんのこと、それに隣接し、かつ相対的に原生林に近い構造を持つと考えられる非皆伐施業地を、いかに元に近い林分に復元するかということが、重要なポイントである。本研究で、私たちはこのような非皆伐施業が、森林の構造・組成の変化に及ぼす影響を明らかにすることを試みた。かつて行われた施業地の現状を把握することを通して、生物相保全も含めた新たな森林管理の確立への道筋が示されると考えている。

2. 調査対象

本研究では、上述の針広混交林域における択伐林分、およびブナ林域における皆伐母樹保残施業林分を対象に調査を行った。

3. 針広混交林域における択伐林分

北海道の針広混交林においては、非皆伐の天然林施業、すなわち択伐施業が広く行われてきた。しかし実際に行われてきた施業の多くは、次世代への更新を考慮したものではほとんどなく、現在の収穫に重きをおいたものであった。実際、施業後に林分構造が劣化し、更新が順調でない林分が少なくないことが指摘されている（例えば、Nagaike *et al.*, 1999）。持続的な管理のためには、更新を考慮した施業法の確立が急務であるが、これに答えられる知見は限られている。

稚樹の更新は、定着サイトと光環境とに大きく左右される。北海道の針広混交林では、とくに針葉樹の定着サイトとして、林床の倒木や根株が重要であることが広く指摘されてきた（例えば、Kubota *et al.*, 1994）。しかし択伐施業が、定着サイトの量、更新プロセスに及ぼす影響についてはほとんど明らかにされていない。本研究では、長期的な継続調査と短期間での調査を組み合わせ、定着サイトおよびそれに密接に関係する林分構造と、更新や死亡などの生態的プロセスとの関係に焦点を当てて解析を行った。

3.1 調査地と調査方法

北海道の大雪山系（十勝三股）および天塩山地（雨龍）の2箇所の針広混交林において調査を行った。いずれにおいても、林内に残されている伐根の腐朽度合の違いから、調査地は過去数回にわたり択伐施業が行われた林分であると考えられる。十勝三股では、すでに設定された調査区があることから、林分のやや長期的な動態に関する調査を中心に実施した。一方、雨龍においては、択伐率の違いが、更新あるいは定着サイトの量に与える影響についての調査を行った。

十勝三股では、1995年に設定した100m×50mの調査区において、2000年に再調査を行った。調査区内部を10m×10mの小区画に分割し、小区画ごとに樹高2m以上の立木（以下、成木）を対象にして個体識別用のナンバーテープを打ち付け、地上高1.3mでの幹の周囲長と樹種名を記録した。また、樹高1m以上2m未満の個体を稚樹とし、樹種名を記録した。また、伐採された個体数（以下、伐根密度）とその直径を小区画ごとに記録した。2000年の再測定の際には、個体の成長、死亡個体や新たに稚樹に成長した個体を記録した。

雨龍では、択伐率の異なる針広混交林17林分を調査地とし、各林分に120m×10mのベルトトランセクトを設置した。これを10m×10mの小区画に分割し、十勝三股で行ったのと同様の毎木調査および伐根調査、ササの被覆率調査を行った。各小区画に1m×2mの方形区を設け、生育する稚樹の本数をカウントした。倒木の量は、線交差法（van Wagner, 1968）を用いて、単位面積当たりの体積を推定した。また幹折れ木・伐根などの倒木以外の枯死要素やマウンドについて、体積または面積を測定した。それぞれのサイト上に生育する稚樹の本数をカウントし、単位面積あたりの密度を推定した。

3.2 結果および考察

表1に、十勝三股の択伐施業林における5年間の個体数の変化を示す。成木は、約100本/ha増加しており、それは主として針葉樹（トドマツ、エゾ

表 1.5 年間の林分の変化

針広混交林・択伐施業地(調査地: 十勝三股)

	トドマツ	エゾマツ	アカエゾマツ	オガラバナ	ダケカンバ	バッコヤナギ	合計
成木個体数 (/ha)							
1995年	462	228	12	20	10	6	738
2000年	544	254	12	16	10	4	840
死亡数	48	28	0	4	0	2	82
新規加入数	130	54	0	0	0	0	184
成木胸高断面積合計 (m ² /ha)							
1995年	10.07	5.60	0.25	0.11	0.31	0.29	16.63
2000年	11.74	6.49	0.31	0.14	0.41	0.26	19.35
減少量	0.88	0.10	0.00	0.01	0.00	0.06	1.05
増加量	2.54	0.99	0.06	0.05	0.10	0.03	3.77
稚樹個体数 (/ha)							
1995年	128	106	2	2	0	0	238
2000年	160	84	2	0	0	0	246
死亡数	24	8	0	2	0	0	34
新規加入数	126	36	0	0	0	0	162
進界数(稚樹→成木)	70	50	0	0	0	0	120

表 2. 定着サイトが稚樹密度に与える影響

針広混交林・択伐施業地(調査地: 雨籠)

	df	トドマツ		アカエゾマツ		ミズナラ		イタヤカエデ		ダケカンバ	
		~30cm	30cm~2m	~30cm	30cm~2m	~30cm	30cm~2m	~30cm	30cm~2m	~30cm	30cm~2m
ササ被覆率	1	6.27*	1.68	3.12	1.26	0.68	8.62**	0.78	0.13	7.18**	0.12
林床状態	2	7.63***	4.46*	1.69	2.32	0.47	0.75	0.88	0.78	5.42**	1.13
ササ被覆率×林床状態	2	6.86**	3.43*	1.69	1.36	0.12	0.56	0.92	0.19	6.39**	0.86

ANOVA F値を示す *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

稚樹サイズ(高さ)は2区分、ササ被覆率は≤50%と>50%の2区分、林床状態は林床、CWD、マウンド・ピットの3区分で解析

マツ)の増加によっていた。この2種においては新規加入数が死亡数を上回っていた。一方、稚樹の個体数も全体でわずかに増加しており、稚樹への新規加入、稚樹から成木への進界のいずれも死亡数を上回っていた。胸高断面積合計の値で見ると、この5年間で、死亡による1.05 m²/haの減少、および成長による3.77 m²/haの増加が見られ、調査区全体としては合計2.72 m²/haの増加であった。しかし、2000年時点における胸高断面積合計値(19.4 m²/ha)は、同じ森林タイプで原始的な林分の値(34.4-75.6 m²/ha: 春木ら, 1982, Kubota et al., 1994, 久保田ら, 1994)の26-56%程度に過ぎなかった。

次に、同じく十勝三股の調査区における、林分構造と5年間の更新や死亡との関係について解析を行なった。稚樹の個体密度は、立木密度と有意な

正の相関があった ($R^2=0.32$, $p<0.01$) が、光環境の改善を示すと考えられる伐根密度とは有意な関係がみられなかった ($R^2=0.16$)。このことは、稚樹密度が光環境よりも、定着サイトに大きく左右されることを示唆している。この5年間における稚樹の新規加入個体密度は、1995年の稚樹密度 ($R^2=0.32$, $p<0.01$) および胸高断面積合計 ($R^2=0.24$, $p<0.05$) と有意な正の相関があった。一方、伐根密度と稚樹の新規加入個体密度との有意な相関関係は見られず ($R^2=0.02$)、伐採による光環境の改善は稚樹の新規加入へほとんど貢献していないと考えられた。また、新規加入個体密度と死亡個体密度には有意な正の相関があり ($R^2=0.37$, $p<0.01$)、稚樹の成長・死亡が集中的に生じていることが推測された。

次に定着サイトの重要性を明らかにするために、

雨龍の調査区において定着サイト別の稚樹密度を解析した(表2)。トドマツの稚樹密度は、ササ、林床状態、ササと林床状態の交互作用のいずれにも影響を受けていた。トドマツ稚樹にとって倒木は有効な更新サイトであるが、ササの被覆率が高くなると、その有効性が大きく低下すると考えられた。アカエゾマツは、やはり倒木依存性の強い樹種であるといわれているが、本調査地では倒木上も含めて非常に稚幼樹密度が低かった。林床やササの被覆率が高い箇所では稚幼樹がほとんど確認されなかったことから、やはり倒木やマウンドへの依存や、ササによる更新の阻害の可能性が考えられた。広葉樹では、先駆性樹種のダケカンバの場合、倒木やマウンドに依存した更新をしていることが示唆されたが、一方でミズナラやイタヤカエデの稚幼樹密度は、林床状態による影響を受けていなかった。

択伐施業が、定着サイトそのものの量に与える影響についてみると、強度の択伐により、トドマツなどの樹種にとっての更新適地である倒木やマウンドの量が減少することが示された(表3)。トドマツの場合に見られたようなササとの交互作用を考慮すると、強度の択伐が行なわれた場合、生育適地の減少と更新サイトの有効性の低下が同時に起こることになり、相対的に更新の量が低下することが考えられた。

表3. 択伐率別の倒木体積・マウンド面積
針広混交林・択伐施業地(調査地: 雨龍)

	択伐率		test
	<25%	≥25%	
倒木体積** (m ³ /ha)	151.6	107.7	*
マウンド面積 (m ² /ha)	115.0	56.4	*

n=17, * p < 0.05

** 倒木体積には枯死木、切り株などの体積を含む

以上の結果から、択伐施業により変化した林分は、長期間の間には一定の回復傾向を示すものの、更新は現存量の極端な減少を補償できる範囲には達していない現状が示された。このことの原因の一部は、林分構造の変化によって有効な更新サイ

トの供給が減少し、その結果、稚樹の更新が局所的にしか生じ得ないことに起因すると考えられる。現在の状況は、持続可能な森林管理とはほど遠い状況にあるといえた。今後は、樹種間の更新特性の違いを考慮に入れた上で、森林に固有の生態的プロセスを模倣した管理を導入する必要がある。

4. ブナ林域における皆伐母樹保残施業地

ブナ林の天然林施業は、開発が奥山地域まで及ぶようになった1960年代以降広く行われるようになり、中でも皆伐母樹保残施業がもっとも一般的である。これは、種子を散布させる母樹を残す以外は皆伐し、更新完了後に母樹も伐採するという傘伐方式の一種である。保残される母樹の量は、林分材積比で30-70%に過ぎない。一般にブナ天然林における攪乱形態は、比較的小面積な林冠ギャップの形成であることから、このような施業は、天然林とかなり質的に異なる生態系を導く可能性が高いと予想される。本研究では、ごく近年に皆伐母樹保残施業が行われた林分において、伐採前後の植生の変化を明らかにし、今後の林分構造回復の可能性について推測した。

4.1 調査地と調査方法

調査は、新潟県と福島県の県境に位置する新潟県上川村のブナ林において行った。当初は、皆伐母樹保残施業後10年程度を経過した林分での調査を予定していたが、林道工事のために、今年度は調査を行うことができなかった。そこで、別の小流域に位置する、ごく近年(1998年)に伐採が行われた林分において調査を行った。

伐採施業が行われる直前の1998年7月に0.4haの調査区を設定した。この調査区を10m×10mの方形区40個に区切り、各方形区に1m×1mの小方形区を2個ずつ設置した。調査区内では胸高直径5cm以上の立木を対象に毎木調査を行い、小方形区内では、胸高直径5cm未満の木本種の幹数および草本種の個体数をカウントした。同年11月に皆伐母樹保残法によって伐採が行われた後、1999年秋に調査区を復元して同様の調査を行い、さらに2000

年秋にも追跡調査を行った。なお、今回の小方形区の解析は、ランダムに選択した20個の小方形区でのデータを元に行った。

4.2 結果および考察

皆伐母樹保残施業によって、ブナ林の林分構造は大きく変化した(表4)。伐採前の林分は、胸高断面積合計が43.6m²/haに達し、その約50%を占めるブナの平均胸高直径は62.8cmと、大径木の多い成熟した天然林であった。しかし、伐採後に調査区に残された胸高直径5cm以上の立木は、ブナがわずか3本だけであった。実に、胸高断面積の93%、立木密度の97%が失われたことになる。上述のように、皆伐母樹保残施業においては、最低でも材積で30%程度の樹木が保残されることとなっているが、実際にはこのように適正な母樹配置がなされていないことも少なくない。このような極端に少ない母樹密度では、ブナの天然下種更新を期待できる面積はごく限られるといえる(弘田・紙谷, 1993)。表5には、伐採前および伐採後2年間の木本および草本種の個体数の変化を示した。草本種についてみると、伐採前はオクノカンズゲとユキザサの2種に限られていたが、伐採によって多くの種の出現がみられた。しかしながらこれらの種の多くは、伐採跡地など攪乱地を好む種であり、中でも遷移初期種であるベニバナボロギクの優占が目立った。一方、木本種についても伐採は種組成に大きな影響を及ぼしていた。オ

表4. 伐採前後の林分構造の変化

ブナ皆伐母樹保残施業地(調査地: 新潟県上川村)

種名	1998(伐採前)		2000	
	胸高断面積合計 (m ² /ha)	密度 (/ha)	胸高断面積合計 (m ² /ha)	密度 (/ha)
アブラチャン	0.0	7.5	-	-
イタヤカエデ	1.6	12.5	-	-
イヌザクラ	0.1	27.5	-	-
ウワミズザクラ	0.1	10	-	-
オオツリバナ	0.0	7.5	-	-
シナノキ	0.0	5	-	-
テツカエデ	0.1	17.5	-	-
トチノキ	15.5	37.5	-	-
ハウチワカエデ	0.3	10	-	-
ブナ	21.8	57.5	3.0	7.5
ホオノキ	4.1	32.5	-	-
合計	43.6	225	3.0	7.5

オバクロモジ、コシアブラ、ササ(チシマザサ・クマイザサ)などは、伐採によって幹数がいったんは減少したものの、ふたたび増加に転じ、回復途上にある種群であった。また、ホオノキ、アブラ

表5. 伐採前および伐採後2年間の幹・個体数

ブナ皆伐母樹保残施業地(調査地: 新潟県上川村)

種名	1998(伐採前)	1999	2000
木本(幹数/m ²)			
アブラチャン	1.9	3.1	2.9
イタヤカエデ	1.4	0.3	0.3
イワガラミ	0.3		
ウワミズザクラ	0.9	0.1	0.1
エゾユズリハ	0.3	0.1	0.1
オオツリバナ	0.1		
オオバクロモジ	6.3	0.4	3.7
キハダ		0.6	1.0
クマイチゴ			0.2
コシアブラ	0.7	0.2	0.3
ササ(チシマザサ・クマイザサ)	11.8	1.0	4.7
シナノキ	0.1		
タラノキ		0.2	0.1
ツタ			0.1
ツタウルシ	6.3	4.0	22%
ツノハシバミ	0.2		
ツリバナ	0.2		
テツカエデ	1.3		
トチノキ	0.3		
ハイイヌガヤ	9.9	1.7	5.4
ハウチワカエデ	0.1		
ハクウンボク	0.1		0.1
ハリギリ			0.1
ヒトツバカエデ	0.1		
ヒメアオキ	23.2	3.3	5.7
ヒメモチ	2.4		0.2
ブナ	9.1	1.0	1.0
ホオノキ	0.1	4.1	3.1
マタタビ		0.1	
ミズキ			0.3
ムシカリ	11.1	0.3	0.5
モミジイチゴ		0.1	
ミヤマイボタ	0.4		
ヤマウルシ	0.1		
ヤマブドウ			0.1
ヤマモミジ	0.1		
合計	81.7	16.1	29.5
草本			
イネ科			0.1
オクノカンズゲ	1.5	1.3	2.3
オタカラコウ		0.1	
ススキ		0.3	0.3
チジミザサ			0.3
ベニバナボロギク		4.6	71.5
メソソバ		0.1	
ミソシダ			0.1
ユキザサ	0.3		0.1
合計	1.8	6.3	74.5

* 2000年の調査におけるツタウルシは、幹単位での把握が困難であったため、被度で把握した。

チャンなどは伐採後に幹数を顕著に増加させていた。伐採後に新たに出現した種としては、キハダ、ハリギリ、タラノキ、ミズキなどがあげられた。しかし一方で、これら以外の中・高木性樹種の多くは出現数を減少させていた。出現種数の総数で見ると、伐採前に27種みられたのが、22種に減少していた。中でも、伐採以前に林床において高い密度で生育していたブナ稚樹のほとんどが伐採によって消失していた。ブナ稚樹は比較的高い耐陰性を持ち、他の植生下でも生存が可能ではあるが、確実な更新のためには、光環境改善直後の初期成長が重要である (Yoshida and Kamitani, 1991)。

この調査地では、2000年の秋にブナの種子が結実していることが観察された。この種子落下からの更新がどれだけ今後の林分構造形成に貢献できるかが今後の継続調査における重要なポイントであるが、ササや他の樹木に対する競争下において、ブナ稚樹はこの幹密度を維持することさえ困難であると予想される。一方では、伐採と種子豊作年とのタイミングが一致した場合には、ブナの優占度がある程度は維持される可能性も考えられ、そうした林分での継続調査も必要である。しかしいづれにしても、ブナ以外の草本・木本種の変化は、ほとんど皆伐地の状況と変わらないともいえ、このような強度の伐採を伴う施業では、ブナ林特有の構造や種構成を維持することは不可能であると結論せざるを得ない。

5. まとめ

針広混交林の択伐は、更新適地の減少を招く一方で、期待された光環境の改善でも、有効に寄与するとは認められなかった。これらの点からみて、調査地域においては、強度の択伐施業を持続的に継続するのは難しいと考えられた。今後こうした施業地を、健全な生態系に復元するために、ササ植被のコントロールや倒木・マウンドの確保・維持等を検討することが必要であろう。

一方、ブナ皆伐母樹保残施業地において、保残された母樹はほとんど機能していなかった。調査地は当面、中低木の疎林として推移すると考えら

れ、植栽などの方法を採らない限り原植生に近い生態系への復元は困難であると考えられた。

非皆伐施業は、皆伐に比べて生態系への負のインパクトが比較的少ないと考えられるが、今回調査を行なった択伐施業地、皆伐母樹保残施業地のいずれにおいても、持続可能性という点から見ると大きな課題が残っていた。今後、森林資源の利用と生態系の保全とを両立させていくためには、上述のような地域に固有な生態的プロセスを充分に考慮した施業、伐採率をより低く抑えた施業を検討する必要がある。また現実には、本研究で示されたように、すでに施業が終了しその後不十分な回復状況で放置された林分が大面積に存在すると考えられることから、こうした林分の復元を考えることがより重要な課題であろう。

6. 謝辞

本研究に助成していただきましたプロ・ナトゥーラ・ファンドに深く感謝いたします。現地調査にご協力いただいた、久保田康裕、久保田加奈、藤田真人、阿部みどり、石黒奈々、新井伸昌、野口麻穂子、藤田知則の各氏にお礼申し上げます。

7. 引用文献

- 藤森隆郎 (1991) 多様な森林施業, 全国林業改良普及協会, 東京, 191pp.
- 春木雅寛 (1982) 十勝川源流部原生自然環境保全地域のエゾマツ、トドマツの倒木更新過程, 十勝川源流部原生自然環境保全地域調査報告書, 219-230.
- 弘田潤・紙谷智彦 (1993) 天然下種更新施業後のブナ林における結実と堅果散布に与える母樹密度の影響, 日林誌75, 313-320.
- Hunter Jr. M. L. (Ed.) (1999) Maintaining biodiversity in forest ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, 698pp.
- Kamitani, T., and Yoshida, T. (1991) The growth response of beech (*Fagus crenata* BLUME) seedlings to the cutting of overstory. J. Jpn. For. Sci., 73, 154-157.

- Kubota, Y., Konno, Y., and Hiura, T. (1994) Stand structure and growth patterns of understorey trees in a coniferous forest, Taisetsuzan National Park, northern Japan. *Ecol. Res.*, 9, 333-341.
- 久保田康裕・渡辺展之・渡辺修・紺野康夫 (1994) 十勝川源流部原生自然環境保全地域における北方森林群集のサイズ構造と林分の更新過程, 十勝川源流部原生自然環境保全地域調査報告書, 3-16.
- Nagaike, T., Kubota, Y., and Watanabe, N., (1999) The effects of selective logging on stand structure and the regeneration of subboreal forests in Hokkaido, northern Japan. *J. For. Res.*, 4, 41-45.
- van Wagner, C. E. (1968) The line intersect method in forest fuel sampling. *For. Sci.* 14, 20-26.

Summary

Objective of this study is to explore implications for sustainable forest management in northern and central Japan. We surveyed present ecological situations of forests where non-clearcut management had been conducted. Tokachi-mitsumata and Uryu forest in Hokkaido are subboreal mixed forests under selective logging system, and Kamikawa forest in Niigata is beech forest under shelter-wood logging system.

The results suggested that all these sites were not managed as sustainable in terms of quantity and quality of stand structure, regeneration and vegetation. We have to examine logging rates to be reduced to mitigate structural and compositional changes, and adoption of significant ecological processes applicable for an actual management (e.g. regeneration on fallen-logs in subboreal mixed forests). Because degraded managed forests, as shown in this study, considered to be frequent, restoration of such forests must be essential to maintain forest ecosystems in Japan.