駒ヶ岳火砕流堆積地における森林造成地の推移と植生回復過程

櫻井彰人*・新谷 融*・柳井清治**

Natural and Managed Forest Recovery after a Volcanic Eruption

SAKURAI, Akihito*, ARAYA, Tohru*, YANAI, Seiiji**

要 旨

1929年に大規模な火山噴火を起こした北海道西南部駒ヶ岳山麓の火砕流堆積地において、噴火後60年間の植生回復の過程と、1963年から始まった木本導入施工地における生長成績から、人為の植栽が森林復元に及ぼす意義に関して検討を行った。調査の結果、再生林は先駆性広葉樹であるヤナギ類、カンバ類、ヤマナラシおよびドロノキの3m以下の矮性林と、移入樹種であるカラマツの稚樹群から構成されていた。年輪解析から、噴火後侵入してきた広葉樹類に変わってカラマツが優勢を占めつつあるが、森林化するまでにはまだ長い時間を要することがわかった。次に、植栽施工地でクロマツ、ハンノキ、シラカンバおよびカラマツの主要導入樹種について成績を調べたところ、カラマツは最も生長がよく最大樹高で10mに達し、ハンノキ、クロマツもこれに次ぐ成績であるが、シラカンバは極めて成績が悪かった。クロマツ、ハンノキ、シラカンバは風倒、幹折れなどの損傷が著しい。また、林内には周辺からミズナラ等の侵入がみられた。土壌化に関しては、主にケヤマハンノキにおいて、経過年数の長いものほど、土層厚、全炭素・窒素ともに高い値を示していた。以上のことから再生林と比較して、木本を導入することにより早期に森林を造成するという目標は達せられたと考えられた。今後は、衰退しつつある導入林をより安定した広葉樹林へと導くことが大きな課題である。

1. はじめに

北海道内には活火山が数多く分布し、1977年の有珠山、1989年の十勝岳など頻繁に噴火して山麓周辺に大きな被害をもたらしている。こうした火山活動により形成された広大な裸地から地表面の侵食が増大するため、この裸地にいかに速く植生を回復させ、森林に復元するかが治山砂防技術の大きな課題となっている⁸⁾。

一般的に、火山噴出物が厚く堆積した場所では、水分や栄養条件が極めて劣悪であるため、木本の植栽には多くの困難を伴い、実際の代表的な森林造成例は昭和新

山³⁾、北海道駒ヶ岳で報告されているほかはあまり見当たらない。また最近では、草本により短期間に地表を被覆する試みが一般的に行われるようになってきたが、残存した導入草本が郷土樹種の侵入を防げ、森林への移行がスムーズに行われないという指摘もある^{4,5,10)}。また、火山性荒廃地での森林造成を行うためには、侵食の防止とともに早期に木本の導入を図ることが重要である⁹⁾。そして木本の導入にともなう様々な問題を解決するためには、荒廃地から森林までの回復プロセスを明らかにするとともに、実際の施工地での工法の評価を行うことが有効である。

1929年に噴火した北海道南西部駒ケ岳では過去30年間にわたり木本導入が行われ、荒廃地はすでに森林により被覆されてきている。同時にここでは自然侵入プロセスも観察でき、火山性荒廃地での植生遷移を知る上での貴重な実験地となっている^{12,17)}。筆者らは駒ケ岳における噴火後60年を経た植生実態と、30年前から実施されてい

キーワード：活火山，火砕流堆積地，植生回復，木本導入

Key words: Active volcano, Pyroclastic flow deposits, Vegetation recovery process, Tree planting

* 北海道大学農学部

Dep. of Forest Science, Fac. of Agri., Hokkaido Univ.

** 北海道立林業試験場

Hokkaido Forest Res. Inst.

る植栽地の生長成績を比較検討し、活火山山麓における森林造成の意義について検討した。

2. 調査地概要

北海道駒ヶ岳 (1133 m) は、北海道西南部渡島半島に位置する活火山であり、過去から活発に噴火活動を繰り返し、1640年の大噴火では大規模な山体崩壊が発生した。さらに、1929年の噴火では、破局的噴火が約14時間継続し、降下軽石と同時に火砕流が発生した。降下軽石堆積物は東から南東山麓に分布しており、火砕流堆積物はほぼすべての方向に流下した。また、噴火終焉後の翌日には降雨のため、二次的な泥流が流下した^{6,11)}。この噴火により、2400 ha におよぶ森林と耕地が一瞬にして裸地となった。現在、火砕流堆積地はカラマツ、ヤマナラシ、ドロノキ、カンバ類を主とする矮性林となっている。また同堆積地の周囲には、カシワ、ミズナラ、ハリギリ等が優先する広葉樹林がみられる。

調査地は、駒ヶ岳北西山麓の森町尾白内地区における1929年火砕流堆積地である。同火砕流は長さ5 km、幅1.5 kmの範囲に堆積しており、その厚さは3~25 mにのぼり⁶⁾、既存の植生は完全に焼失した^{13,15)}(図1)。周辺の潮風防止と表土飛散防止のために、同堆積物上の標高60~360 mの緩斜面において、噴火後34年経過した1963年から民有林治山が開始された。植栽は各年10 ha程度ずつ行われ、現在ではその面積が約200 haに及んでいる(表1)。また、植栽本数は植栽年度によって異なるが、4~10千本/haである。植栽樹種はクロマツ (*Pinus thunbergii*)、ヨーロッパアカマツ (*P. sylvestris*)、ケヤマハンノキ (*Alnus hirsuta*)、シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica*)、カラマツ (*Larix leptolepis*)、グイマツ (*L. gmelini*) およびその育種選抜樹種 F1を主とし、その他アカマツ (*Pinus densiflora*)、バンクスマツ (*P. banksiana*)、ストロブマツ (*P. strobus*)、トドマツ (*Abies sachalinensis*)、ドロノキ (*Populus maximowicz-*

図1 調査地位置図
Fig. 1 Location of the studied sites

表 1 樹種ごとの植栽期間 (1992年度現在)
Table 1 Period of planting and examined plots

Species		Planting years												
		'63	'64	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	'75
<i>Pinus thunbergii</i>	(Pt)	●									●			
<i>Pinus sylvestris</i>	(Psl)				●			●						
<i>Larix leptolepis</i>	(Ll)					●					●	●		●
<i>Larix gmelini</i>	(Lg)													
<i>Alnus hirsuta</i>	(Ah)	●			●	●			●		●			●
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	(Bp)	●			●	●		●			●	●		
Others	(Oths)													
Planting area	(ha)	10.5	12.0	10.0	12.5	7.8	7.3	9.0	15.0	13.4	11.1	19.8	9.3	7.3
Planting density (1000/ha)		10	10	10	10	10	6	6	6	6	6	6	5	5

Species	Planting year													Total (ha)		
	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88		'89	'90
Pt		●					●									37.5
Psl																15.5
Ll						●				●						48.4
Lg							●					●		●		21.4
Ah		●								●		●		●		53.3
Bp																25.1
Oths																31.8
(ha)	0.0	10.7	3.6	5.0	7.0	4.0	6.0	4.0	4.0	21.8	0.0	5.7	2.1	9.2	4.8	232.9
(1000/ha)		5	5	5	5	5	5	5	5	5		4				

注) ラインは植栽期間を表し、●は調査対象地を示す。

Note: Horizontal lines and dots (●) represent period of planting and examined plots.

図 2 植栽地概要

Fig. 2 Location of Oshironai erosion control forests. Each symbol represents examined plots and species. Legend: △, *Pinus* spp. (*P. thunbergii*, *P. sylvestris*); ▲, *Larix* spp. (*L. leptolepis*, *L. gmelinii*); ○, *Alnus hirsuta*; ●, *Betula platyphylla* var. *japonica*; ◆, examined plot of secondary forests on the 1929 pyroclastic flow deposits. Numerals beside each symbol represent planting years.

zii) およびハコネウツギ (*Weigela coraeensis*) の12樹種にのぼっている。植栽地の概要を図2に示したが、植栽年度ごとの帯状植栽地(幅50 m)は幅10~20 mの帯状区に分割され、植栽木はそれぞれの帯状区に樹種ごとに植

栽されており、それらの間に再生林が島状に取り残されている。植栽時にはブルドーザーによる火山礫の破碎と起伏部の整地が行われた。また、径50 cm、深さ50 cmの植栽穴には保水力の増加と施肥のため埋藁・客土などが

施された。

調査地域の気候条件は、北西山麓では年降水量が1120 mm, 年平均気温が8.3°C, 積雪量が1.0 m, 南西山麓ではそれぞれ1290 mm, 7.4°C, 1.0 mであり、双方ともほぼ同様な気候条件にあると考えられ、道内では比較的温暖な気候といえる。

3. 調査方法

調査は火砕流堆積物上の植栽地と自然回復による再生林において以下の方法で行った。植栽地においては、植栽樹種ごとに標高別に同程度ずつ2～4年間隔で計32ヶ所の調査対象区を選び、それぞれに100～200 m²の方形区を設定した(表1, 図2参照)。調査は植栽木の樹高, 胸高直径(樹高1.3 m未満のものは根元径), 生残本数を調べた。また同時にそれぞれの方形区内に5 m×5 mのプロットを取り, 侵入した木本と草本の種類および高さを調べた。また, 侵入木本を一部伐採し, 樹齢からその侵入時期を調べた。なお, これら植栽地の比較対象とするために, 同堆積物上の再生林から, 特に標準的と思われるところにおいて, 10 m×10 mの方形区を1ヶ所設定し, すべての侵入木本について樹種, 樹高を測定し, ついで, 切り取った円盤から樹齢を測定した。さらに, 森林が破壊されてからの経過年数の違いにより森林構造が異なると考えられるため, 駒ヶ岳南麓大沼周辺の1640年山体崩壊堆積地上に成立している森林において, 5 m×20 mの方形区を1ヶ所設定し, 胸高直径1 cm以上の樹木について樹種, 樹高, 胸高直径および樹冠幅を測定した。また, 植栽地内の主な方形区, 再生林および1640年堆積物上の森林において土壌調査を行い, 土壌断面図をとった。さらに, A₀層直下の土を採取し, 実験室に持

ち帰り, 乾式燃焼法(CNコーダー)により全炭素(%), 全窒素(%)を測定した。以上の調査から, 植栽地と再生林地の比較を行った。

4. 結果と考察

4.1 火山性荒廃地上の再生林の構造

4.1.1 噴火後60年を経過した再生林の構造

1) 構成樹種と樹高

プロットに存在する侵入木は, カラマツ, ヤマナラシ(*Populus sieboldii*), シラカンバ, ヤナギ類{バッコヤナギ(*Salix bakko*), イヌコリヤナギ(*S. integra*)}, ケヤマハンノキ, ホツツジ(*Tripetaleia paniculata*), ノリウツギ(*Hydrangea paniculata*)が認められた(表2)。イヌコリヤナギは匍伏性の灌木であり, その他はカラマツを除いて北海道内に一般的にみられる先駆性広葉樹である。カラマツは北海道内には自生しておらず, 噴火以前から山麓周辺に植栽されたものを母樹として, 火砕流堆積物上に種子を飛来させて繁殖したものと考えられる。侵入数の約1/3はカラマツによって占められ, ついで, ヤマナラシ, ヤナギ類の順となり, その他はわずかである。樹高は1 mまでの小木が全体の約80%を占め, 3 mを超えるものは稀である。林床はススキ(*Miscanthus sinensis*), ヤマハハコ(*Anaphalis margaritacea*)などがわずかに散生するに過ぎず, 径20～30 cm程度の軽石が裸出している。

2) 生長過程

再生林内の10 m×10 mの方形区内にみられた侵入木の根元を切り取り年輪を判読し, 樹高と樹齢の関係を図3に示した。侵入木全体での樹齢構成を見ると, 樹齢は最高で46年のものが認められたが, 全体的には20年生以

表2 北海道駒ヶ岳1929年火砕流堆積地における侵入木本の樹高

Table 2 Number of invading trees in each height grade in the plot (10 m×10 m) on the 1929 pyroclastic flow deposits of Mt. Koma

Species	Height classes in m					Total (No./100 m ²)
	0～0.4	0.4～1	1～2	2～3	3～	
<i>Larix</i> sp.	28	14	5	1		48
<i>Populus sieboldii</i>	3	19	14	2	1	39
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	1	19	7	1	1	29
<i>Salix bakko</i>	3	12	4			19
<i>Salix integra</i>	7	5				12
<i>Tripetaleia paniculata</i>	6	1				7
<i>Hydrangea paniculata</i>	1	2				3
<i>Alnus hirsuta</i>		1				1
Total (No./100 m ²)	49	73	30	4	2	158

図 3 1929年火砕流堆積物上の再生林における樹種別の樹齢と樹高

Fig. 3 Age and height of invaded trees on the 1929 pyroclastic flow deposits

下のものが多かった。樹種別に検討すると、カラマツでは10年生以下が90%含まれ、最近著しく個体数が増加してきていることがわかった。ヤマナラシは樹齢10~40年の間にほぼ一様に分布しており、シラカンパについては46年生のものが1本あるが、全体的には5~30年の中に含まれる。ヤナギ類についても30年を超えるものは稀で、ほぼ10~30年の間に分布することがわかった。

次に樹齢と樹高の関係をみると、カラマツは樹齢と樹高生長がほぼ比例関係にあり、樹齢の大きいものが樹高も高くなっている。しかし、広葉樹類はバツキが大きく、個体数が最も多いヤマナラシは20年、2m前後で樹高生長が頭打ちになり、これ以降20~30年経過しても2mを超えるものは少ない。シラカンパもヤマナラシとほぼ同様に、10~30年までにランダムに分布するが、3mに達するものはほとんどない。ヤナギ類は樹高生長が小さく、30年生以下はその90%が樹高1m以下であった。また生育形態について、カラマツには主だった損傷はみられず、健全な生長を示していたが、ヤマナラシ、シラカンパをはじめとする広葉樹類では、先枯れ、幹折れ・萌芽などの損傷が顕著に認められた。

以上の結果から、広葉樹類の樹高生長が頭打ち、ないしは衰退傾向であること、また、カラマツの著しい増加と上長生長が特徴的であるといえる。全体的には、火砕流堆積物上では自然状態での植生の回復は遅く、林床は軽石が堆積しており、森林を形成するにはさらに長い時間を要するものと思われる。

4.1.2 噴火後350年を経過した森林の構造

1640年山体崩壊堆積物上に成立している再生林内の、5m×20mの方形区内にみられた胸高直径1cm以上の侵入木は、コナラ (*Quercus serrata*)、ミズナラ (*Q. mongolica* var. *grosseserrata*)、イタヤカエデ (*Acer mono*)、アズキナシ (*Sorbus alnifolia*) など9樹種である(表3)。本数的には、イタヤカエデ、コナラ、ミズナラがその過半を占めている。樹高に関しても10m以上のものではこれら3種が8割を占め、ミズナラでは20mを超すものもみられ、典型的なイタヤカエデ・コナラ林分である。これらの側面図および樹冠投影図を図4に示した。4.1.1に前述したカラマツ主体の再生林においても、300年後にはこのようなイタヤカエデ、コナラなどが優占する広葉樹林へと移行するものと思われる。

4.2 植栽地の生育状況

4.2.1 植栽木の樹高、直径生長

植栽地におけるクロマツ類(ヨーロッパアカマツを含む)、カラマツ類(グイマツを含む)、ケヤマハンノキおよびシラカンパの樹高、胸高直径と経過年数の関係を図5、表4に示した。全体的に経過年数が多いほど樹高が高く、直径も大きくなっている。植栽後10年ですでに再生林の最高樹高(3m)を超えており、20年で6m、25年で最高10mに達する。しかし、これ以降はやや減衰傾向にあり、生長が頭打ちになった。樹種的にみると、最も樹高が高く生長がよいのはカラマツ類であり、ついで、ハンノキ、クロマツ類になっている。カラマツ類は10年

表3 北海道駒ヶ岳1640年山体崩壊堆積地における侵入木本の樹高

Table 3 Number of invading trees in each height grade in the plot (5 m×20 m) on the 1640 debris avalanche deposits of Mt. Koma

Species	Height classes in m						Total (No./100 m ²)
	0~2	2~5	5~10	10~15	15~20	20~	
<i>Acer mono</i>		3	1	2			6
<i>Quercus serrata</i>	2			1	2		5
<i>Quercus mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>		1			1	2	4
<i>Sorbus alnifolia</i>		1	1	1			3
<i>Prunus sargentii</i>		1		1			2
<i>Tilia japonica</i>		1	1				2
<i>Maakia amurensis</i> var. <i>buergeri</i>			1				1
<i>Pinus koraiensis</i>		1					1
<i>Hydrangea paniculata</i>	1						1
Total (No./100 m ²)	3	8	4	5	3	2	25

図4 1640年山体崩壊堆積物上に成立している森林の側面図および樹冠投影図

図示された木はいずれも胸高直径1 cm以上。

Fig. 4 Profile and crown projection of the secondary forest on the 1640 debris avalanche deposits. Trees presented in the profile and crown projection are above 1 cm in D.B.H., respectively. Legend: A, *Acer mono*; H, *Hydrangea paniculata*; M, *Maakia amurensis* var. *buergeri*; Pn, *Pinus koraiensis*; Pr, *Prunus sargentii*; Qm, *Quercus mongolica* var. *grosseserrata*; Qs, *Quercus serrata*; S, *Sorbus alnifolia*; T, *Tilia japonica*.

までは2 m前後と生長は良くないが、徐々に生長量が大きくなり、15~25年で4~10 mに達する。このカラマツは同堆積物上の再生林方形区でも侵入木の大部分を占め、生長も極めて良かったが、植栽木においても同様で、火山礫地帯に適した樹種であるといえる。ハンノキやクロマツ類では20年前後までは生長が良く6~8 mに達するが、その後生長量は徐々に低下する。これは後で述べるように、樹体の枯れ上がりや幹折れなど生理的・物理的な障害によるものが多い。カンパ類は樹高、直径生長ともに極めて悪く、20年で2 m前後のもののみみられた。

4.2.2 植栽木の生育形態

単位面積当たりの植栽本数（初期植栽密度）に対する

図5 植栽木の平均樹高および標準偏差

Fig. 5 Height growth in planted tree species

Legend: Δ , *Pinus* spp. (*P. thunbergii*, *P. sylvestris*); $\blacktriangle$, *Larix* spp. (*L. leptolepis*, *L. gmelini*); $\circ$, *Alnus hirsuta*; $\bullet$, *Betula platyphylla* var. *japonica*.

表 4 樹種ごとの年度別平均樹高および平均直径
Table 4 Height and D.B.H. of planting trees

Sp.	Planting years	Passage years	Mean height $\pm$ SD	Mean D.B.H. $\pm$ SD
			(m)	(cm)
<i>Pinus</i> spp.	1963	29	8.7 $\pm$ 1.38	13.5 $\pm$ 3.43
	1966 Psl	26	8.5 $\pm$ 1.24	10.6 $\pm$ 3.36
	1969 Psl	23	8.1 $\pm$ 1.10	12.5 $\pm$ 3.19
	1972	20	3.9 $\pm$ 1.00	6.5 $\pm$ 2.52
	1977	15	3.4 $\pm$ 0.82	5.9 $\pm$ 1.81
	1982	10	2.8 $\pm$ 0.76	3.7 $\pm$ 1.63
<i>Larix</i> spp.	1967	25	10.7 $\pm$ 1.42	14.3 $\pm$ 3.01
	1972	20	7.1 $\pm$ 1.42	10.8 $\pm$ 3.60
	1973	19	4.5 $\pm$ 1.10	6.8 $\pm$ 2.28
	1975	17	2.6 $\pm$ 0.83	3.6 $\pm$ 1.27
	1981	11	3.6 $\pm$ 1.09	4.4 $\pm$ 1.55
	1982 Lg	10	3.8 $\pm$ 1.49	4.2 $\pm$ 2.44
	1985	7	4.3 $\pm$ 0.96	4.8 $\pm$ 1.49
	1985 Lg	7	1.5 $\pm$ 0.42	0.9 $\pm$ 0.65
	1987 Lg	5	2.9 $\pm$ 0.64	2.6 $\pm$ 0.98
	1989 Lg	3	1.9 $\pm$ 0.31	1.1 $\pm$ 0.37
<i>Alnus hirsuta</i>	1963	29	8.9 $\pm$ 1.97	10.9 $\pm$ 2.10
	1966	26	7.7 $\pm$ 1.69	10.4 $\pm$ 2.18
	1967	25	9.4 $\pm$ 1.60	9.8 $\pm$ 2.52
	1970	22	7.5 $\pm$ 1.47	10.9 $\pm$ 2.75
	1972	20	5.5 $\pm$ 1.22	7.8 $\pm$ 2.75
	1975	17	5.1 $\pm$ 0.71	6.4 $\pm$ 1.55
	1977	15	3.8 $\pm$ 1.03	5.1 $\pm$ 2.13
	1985	7	1.6 $\pm$ 0.53	1.0 $\pm$ 0.65
	1987	5	2.4 $\pm$ 0.89	2.1 $\pm$ 1.28
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	1989	3	2.0 $\pm$ 0.54	1.3 $\pm$ 0.88
	1963	29	6.5 $\pm$ 2.08	6.6 $\pm$ 2.19
	1966	26	6.3 $\pm$ 1.33	5.9 $\pm$ 1.74
	1967	25	10.4 $\pm$ 2.24	10.2 $\pm$ 3.29
	1969	23	6.4 $\pm$ 1.47	6.0 $\pm$ 1.99
	1972	20	3.7 $\pm$ 0.95	3.3 $\pm$ 1.17
	1973	19	2.2 $\pm$ 1.05	2.4 $\pm$ 1.40

Notes: In *Pinus* spp. and *Larix* spp., Psl and Lg represent *Pinus sylvestris* and *Larix gmelini*, others are *Pinus thunbergii*, *Larix leptolepis*.

生残本数の割合を植栽樹木の生残率とし、図 6 に示した。植栽から10年前後まで経過したもの（初期植栽密度 4～5 千本/ha）の多くは70%以上と高い生残を示す。しかし15～20年ほど経過したもの（同 5～6 千本/ha）は40～80%とバラツキが大きい。クロマツ類やハンノキでは植栽密度別にみても生残率は低いが、シラカンバ（同 6 千本/ha）において高い値のものも認められる。さらに25年以上経過したもの（同10千本/ha）では全樹種ともに40%以下の値を示す。特にハンノキでは生残率は低くなり、逆にシラカンバではやや高い値を示し、樹高生長と

は逆の傾向を示している。これはハンノキなどでは樹高生長・被陰効果が大きいために、生長の悪いものは枯死したが、シラカンバでは生長が悪くそれほど被陰されないため、多くの個体が残存したものと解釈される。

上述した植栽木の生長障害形態には、生理的障害による先枯れ、物理的な風による幹折れ、萌芽などがみられる。調査した生残木本数に対する障害木本数の割合を植栽樹木の損傷率とし、図 7 に示した。全体的には植栽後経過年数の長いものほど損傷率が高くなっており、樹種的な差も著しい。植栽後10年までは損傷率は20%以下で

あるが、15年を経過して急激に損傷が進み、20年を経過した時点で70%に達するものもある。特にシラカンパは損傷が著しく、そのほとんどが幹折れ、先折れおよび先枯れなどの生理的・物理的な損傷を受けていた。またケヤマハンノキは10~30%程度の損傷であったが、形態的には先枯れの損傷が多かった。やや高標高に植えられたカラマツには、駒ヶ岳からの吹き下ろし風による梢頭部の

の枯損が多くみられた。さらにヨーロッパアカマツ、クロマツでは風倒による根返りの被害が著しく、火砕流堆積地での根張りの浅さが原因と思われる。

4.2.3 植栽地への植生侵入

方形区内の調査プロット (5 m × 5 m) 32ヶ所では出現した樹種と密度 (5 m × 5 m を100 m² に換算) を図8に示す。出現種はカンパ類、ヤナギ類、カラマツ、クロマツ、

図6 植栽木の生残率

Fig. 6 Survival rates (S.R.) in planted trees. S.R. = (No. of remaining trees/No. of planted trees) × 100. For each symbol, refer to Fig. 5. Numerals above each symbol represent planting density (1000/ha).

図7 植栽木の損傷率

Fig. 7 Rates of injured trees (R.I.) in planted trees. R.I. (%) = (No. of injured trees/No. of examined trees) × 100. For each symbol, refer to Fig. 5.

図8 植栽地における侵入樹種ごとの侵入密度

Fig. 8 Number of invaded trees on the planted area

アカマツ（ヨーロッパアカマツ）およびコナラ類など36樹種に及ぶ。そのうちシラカンバ、カラマツが15年以下の若い植栽地に60～130本/100 m²の密度で出現するが、

図9 樹種別侵入時期

Fig. 9 Frequency distribution of passage years for invasion after plantation

Legend: □, *Alnus hirsuta*, *Betula platyphylla* var. *japonica*; ▨, *Salix* spp., *Populus maximowiczii*; ▩, *Larix* sp., *Pinus* spp.; ■, *Quercus dentata*, *Acer palmatum*.

20年を経過してからは0.4本/100 m²以下と減少する。これは樹冠の鬱閉により、これらの幼樹が生育できなくなるためと思われる。また、カラマツは火山礫が裸出しているところに多く出現していた。その他ヤマナラシ、ヤナギ類といった先駆性広葉樹類は30年を通して高密度に出現していた。一方コナラ類は、植栽後20年以降の植栽地に多く出現していたが、これらは周辺の母樹群からネズミや鳥などの動物によって散布されたものと思われる。その他ナナカマド (*Sorbus commixta*) など鳥によって散布される樹種もみられるようになり、周辺に樹林があることによる動物に付随した効果もみられるようになる。次に侵入木を一部伐採し、その樹齢から侵入時期を求めた(図9)。それによるとシラカンバ、ハンノキ、ヤナギ類およびカラマツなどの先駆性樹種の約8割は植栽後10年以内に侵入・定着しているものであった。一方、ミズナラ、カシワ (*Quercus dentata*) などのコナラ類は植栽後10年ほどで侵入したものもみられたが、その多くは20年以上経過した後に着定したものであった。また侵入草本については、ススキ、ヤマハハコ、オオイタドリ (*Reynoutria sachalinensis*)、オオヨモギ (*Artemisia*

図10 植栽地および再生林における土壌断面図

Fig. 10 Soil profiles of the plantation forests and secondary forests on the volcanic devastated areas. Legend: ▨, A₀ horizon; ▩, A horizon; ▩, B horizon; ▩, C horizon. Notes: 1) Numerals above represent passage years after plantation, and planting years and abbreviations are indicated in parentheses below them. Ah, *Alnus hirsuta*; Bp, *Betula platyphylla* var. *japonica*; Lg, *Larix gmelini*; Psl, *Pinus sylvestris*; Pt, *Pinus thunbergii*. 2) Numerals above represent passage years after eruption of Mt. Koma., and years of eruption are indicated in parentheses below them.

montana), アキタブキ (*Petasites japonicus* subsp. *giganteus*) が多くみられ, 経過年数が長いプロットほど草本全体の被度は高い値を示していた。以上のことから, 樹冠が閉鎖されるまでは, ヤナギ類, ヤマナラシ, カンバ類などの先駆性広葉樹が多く侵入, 定着しているが, 時間を経るにしたがってそれらの樹種は減少し, 20年を経過して以降, ミズナラ, カシワ, ナナカマドなど動物によって種子が運ばれる樹種も定着するようになり, 全体の種数としても増加する傾向がみられた。

4.2.4 林地の土壌化

各調査対象区が同一火砕流堆積物上にあること, また, 植栽時に同様に火山礫の破碎および整地を行っていることから, 植栽前の地表条件は同一とみなせるため, 植栽樹種や植栽年度(経過年数)が土壌構造・成分に大きく影響するものと思われる。

主な植栽地および再生林の土壌構造を図10に示した。植栽後10年以下のプロットではA層の発達のみならず, リター層(A₀層)の集積も少なく, A₀層直下に赤褐色の火砕流堆積物がみられた。植栽後10~20年経過した場合でも, ハンノキにおいて2~3cmのA₀層および数cmの暗褐色のA層が発達するのみである。20年を経過した植栽地においても同様に, ハンノキのみでやや厚いA層がみられた。針葉樹の植栽地では分解があまり進まず, 2cm程度のA₀層が床下に堆積する。一方, 再生林においては, 60年経過したにも関わらず, 1cm程度のA₀層が堆積しているにすぎず, 土壌化は進んでいない。しかし350年経過した再生林では, 4cmほどのA₀層の下に10cmほどのA, B層が形成されており, 土壌化が進んだものと思われる。

また, 火砕流堆積物上に植栽した結果, 土壌構造および成分がどのように変化したかをみるために, 土壌厚(A₀層およびA層)および全炭素(%), 全窒素(%), C/N比の時間的推移を図11に示す。ここでは同堆積物上に新たに形成されたものに注目したため, A₀層およびA層双方あわせた土壌厚の値を示したところ, いずれも経過年数に従い土壌厚が増しているが, 他の3種に比べてケヤマハンノキが高い値を示す傾向がみられる。全炭素(%)については, 植栽後20年ほどまでのクロマツ類, カラマツ類, ケヤマハンノキでは, 3%以下と非常に低い値を示している。ケヤマハンノキでは15年過ぎから, 他の3種では20年過ぎからその割合は急激に増加し, 高いものでは15%近いものもある。全窒素(%)についても全炭素と同様な傾向を示し, 15~20年過ぎから急激に高い値を示すようになる。C/N比に関しては全体的にやや右下がりであるとともに低下する傾向にあり, 10~20程

図11 植栽地および再生林の土壌厚およびC, N値
Fig. 11 Soil conditions of tree plantation areas in each planting year and secondary forests.
For each symbol except for *, refer to Fig. 5.
* represent secondary forests on the devastated areas by eruptions of Mt. Koma in 1929 (63yrs.) and 1640 (352yrs.).

度に収斂するものとみられた。全体的にみると, ケヤマハンノキで炭素(有機物), 窒素の供給が盛んであるが, カラマツ類ではそれが低く, クロマツ類, シラカンバではその中間的であることがわかった。一方再生林においては, 噴火後60数年経過しているにも関わらず, いずれも低い値を示し, 土壌化が進んでいないことがわかった。

4.3 植生の回復過程と森林造成の意義

4.3.1 植生の回復過程

今回の調査結果と過去の植生記載^{7,15,17)}とをあわせ, 火砕流堆積地の植生回復過程を検討してみる。

堆積地形成直後には、ワラビ、オオイタドリ、オオブキ、ススキなどの多年生草本が侵入・発生した。4～5年経過してから、火山噴火による被害の少なかった森林（島状地）から種子が飛来し、イヌコリヤナギ、ミネヤナギ、バッコヤナギ、ヤマナラシ、シラカンパ、ウダイカンパ、ノリウツギ、ナナカマドなどの稚樹が確認されている。これらの大部分の種子は、羽毛のついた軽量の風散布型種子であり、裸地面積の広大な火山性荒廃地において、初期侵入条件に見合ったものばかりである。噴火後10年を経過した時点では、木本の侵入が目立って増加しており、その中で優勢を占めるのがバッコヤナギ、シラカンパ、ドロノキの3種であり、草本では、ススキ、アキタブキ、オオイタドリ的大型草本であった。その他、コケ類の侵入が記載されている。

形成後20年を経過した1948年には、木本ではドロノキ、カンパ類が増加しているが、バッコヤナギ、イヌコリヤナギは横這いかやや減少する傾向がみられた。また樹高も、ドロノキ、シラカンパでは2～3mに達するものもみられたが、ヤナギ類はほとんど生長していない。40年後の植生実態については、館脇（1966）の詳細な調査によると、火砕流堆積地の山麓下部ではドロノキ林、あるいは、ドロノキ、シラカンパを主とする群落によって構成されていた。

今回の調査の結果、こうした在来の広葉樹類は生長が頭打ちで、変わってカラマツが優勢を占めつつある。すなわち、先駆性広葉樹類は噴火後早期に森林を形成するが、その後、侵入と衰退を繰り返して今日に至っていることがわかった。一方カラマツは、北海道の自生種ではないが、近年著しく増加しており、樹高と樹齢構成など

からみて、今後カラマツを主体とする森林が形成されていくものと思われる。

4.3.2 活火山山麓における森林造成の意義

活火山山麓では、火砕流・溶岩流あるいは火山灰降下などによる森林消失跡地に、独特の純林状の再生林が観察され、それらの森林構造の特質が火山活動履歴を表していることが指摘されている（樽前山：新谷・西山，1989；十勝岳：新谷ら，1991；有珠山：柳井，1981）。しかし、火山性荒廃裸地に自然回復によって森林が再生するためには、長大な時間を要し、この間、周辺下流域、特に沿岸養殖漁場を抱える火山体では、細粒土砂流出被害は継続する。そこで、良好な水産漁場への被害を軽減させるために行われた駒ヶ岳山麓の植栽地は以下のように評価される。

人為的に植栽したカラマツでは、植栽後25年ですでに樹高10mを超える林が形成され、再生林と比較して全く異なる構造となっており、自然状態で60年を経過して形成できなかった過程をすでに20～30年で達成していることがわかった。また、20年以上経過した植栽地内には、ミズナラ、カシワなど周辺の極相種的な樹木の稚樹も多く侵入、定着しており、最終的には大沼周辺における約350年前の山体崩壊堆積物上に見られるようなミズナラを主体とする広葉樹林（図4参照）へと緩やかに移行していると考えられる。一方、20年を経過した植栽木は、先枯れ、幹折れなどの損傷が著しく、樹高生長が限界に達しているようである。また土壌に関しては、 A_0 層・ A 層厚、全炭素（%）、全窒素（%）ともに、時間経過に伴い高い値を示している。これについては、堆積直後の火砕流堆積物は極めて侵食されやすく、地表の安定化が遅

図12 火砕流堆積地での森林形成過程と木本導入の意義

Fig. 12 Forest recovery process and significance of tree planting on the pyroclastic flow deposits

れるため¹⁶⁾、侵入植生も種子流亡などにより定着が困難であり、植生回復には時間がかかり、結果として土壌発達も遅れると考えられる。これに対し、火砕流堆積物上に木本を植栽することにより表土の安定化をはかり、さらに、植栽木の生長に伴い、地表への落葉落枝の供給が継続されるため、上述したような土壌化が促進されるであろうと推測される。したがって、火砕流堆積物上に木本を植栽することにより、樹木による地上空間構造ならびに表土の植生被覆および土壌化が促進され、自然状態より早期に森林を造成するという第一義的な目的は達成されているといえよう (図12)。

以上のことから、自然状態で植生回復が困難な場所で、このような砂防林を造成することにより、森林化へのプロセスを大きく促進させ、早期に活火山山麓を安定した森林空間に造り上げることが可能となることがわかった。今後は、衰退しつつある植栽林をいかに速く次のステージである広葉樹林へと移行させていくかが大きな課題である。広葉樹林の主体となり得るミズナラなどは種子が大きく、その侵入は基本的には種子の供給条件 (母樹位置、動物の存在など) に左右されるため、人為的な種子の散布や補植などが有効であろう。これらの具体的な手法については、今後さらに検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 新谷 融・西山泰弘：樽前火山山麓の土砂害防止に関する研究，北大演研報46(2)，271-285，1989
- 2) 新谷 融・清水 収・西山泰弘：十勝岳火山山麓における火山泥流と土砂害の発生履歴に関する研究，北大演研報48(1)，191-232，1991
- 3) 東 三郎：地表変動論，北大図書刊行会，pp. 280，1979
- 4) 岩川幹夫：混播における木本植物の成立 (I)，治山17(2)，43-46，1972
- 5) 岩川幹夫：同上 (II)，治山17(3)，68-74，1972
- 6) 勝井義雄・篠沢達也・知本康男・山田裕丈：北海道駒ヶ岳の歴史時代の火砕流，火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害，自然災害科学特別計画研究成果，91-113，1986
- 7) 松井善喜：駒岳爆発後11年間に於ける植生遷移，日林大会号，47-57，1940
- 8) 岡村俊邦：活火山地域における森林の成立過程に関する砂防学的研究，地下資源調査所報告57，29-69，1985
- 9) 岡村俊邦・柳井清治：噴火荒廃地における森林の成立過程に関する砂防学的研究，新砂防40(1)，5-13，1987
- 10) 新村義昭・伊藤重右エ門・成田俊司・清水 一：山腹植生工施工地への木本の侵入—渡島駒ヶ岳火山性荒廃地における調査例—，日林北支講30，255-258，1981
- 11) 鈴木建夫・勝井義雄・鎌田耕太郎：北海道駒ヶ岳1929年火砕流の堆積地形と堆積物の粒度分布，火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害，自然災害科学特別計画研究成果，61-90，1986
- 12) 館脇 操・柴草良悦・松下彰夫・小島 寛：渡島駒ヶ岳の植生，日本森林植生研究会，pp. 82，1966
- 13) 津村昌一：駒ヶ岳爆発による森林の被害及復興に就いて，北海道林業会報27，753-769，1929
- 14) 柳井清治：火山山麓における森林形成に関する実験的研究，北大農修論，pp. 118，1981
- 15) 吉井義次：駒ヶ岳爆発後の植物群落，生態学研究8(2~3)，170-220，1942
- 16) 横山勝三：大規模火砕流堆積物の地形—その特性と問題点—，地形6(2)，131-152，1985
- 17) YOSHIOKA, K: Development and recovery of vegetation since the 1929 eruption of Mt. Komagatake, Hokkaido., Ecological Review 16(4)，271-292，1966 (1993.10.28受理)

Summary

The natural vegetation process and the effect of afforestation work were studied on the pumice plain of Komagatake volcano, southern Hokkaido, Japan. The barren land, newly formed after a huge eruption in 1929, was mainly revegetated naturally by willows (*Salix reinii* and *Salix integra*), birches (*Betula platyphylla*), poplars (*Populus sieboldii* and *Populus maximowiczii*), and larch (*Larix leptolepis*). All the trees had extremely low growth rates attaining less than 3 m in height over 60 years; low water and nutrient availability probably limited growth. Tree ring analysis demonstrated that willow, poplar and birch have steadily invaded over the first 40 years, but that the non-native larch has remarkably increased within the past ten years. The forests have been changing from early successional deciduous trees to larch. The tree plantation work to promote earlier forest establishment was also carried out for the past 30 years. Four species were planted: larch, alder, pine and birch. The planted larch had the highest growth rate, followed by alder and pine. These planted trees reached 5 m to 8 m in height with the exception of birch. Soil condition on the understory of the plantations were remarkably improved compared to natural sites with a well-developed A-horizon and high nitrogen content. Plantations are successful for rapidly establishing forest and accelerating succession process on land devastated by volcanic activity.