

# トドマツ造林木の養分吸収量と造林地における 養分循環ならびに土壌の変化について

山 本 肇<sup>(1)</sup>  
真 田 悦 子<sup>(2)</sup>

## ま え が き

北海道における林地土壌の生産力の向上を計るためには、森林生態系における土壌、林木相互間の養分循環ならびに生理的な面から林木の成長と土壌条件の関係を数多く追究することによって、森林生産力を増大させるための有力な手段と地方維持のための方策ならびに林地肥培などに対する基礎資料が得られ、大きな発展が期待されるものと思われる。したがって本報告は、林木の養分吸収量の総量を調べるためには、林木自体がもつ養分含有量とさらに落葉によって林地に還元される養分含有量をあわせて調べる必要があるものと思われ、同一立地上で林齢別に林木が現在もっている樹体各部位の重量や養分量を調査し、林木の生育過程における重量や養分量の貯えられかたの状態を求めて、林木の養分含有量のおおまかな傾向を間接的に知ることができれば、塘<sup>(3)</sup>が試算している推定法を用いて、林木が伐期までにどの程度の養分を吸収し、そのうち落葉という現象によって、どのくらい養分を林地に還元されるかという大要をはあくできるものと考え、本試験を行なった。ここにその結果について報告する。

この研究の調査ならびに取りまとめにあたって、ご懇切な指導を賜わった林業試験場土壌調査部長橋本与良博士、同土壌肥料科長糖 隆男博士、同土壌第一研究室長松井光瑤技官、同土壌第二研究室長蔵本正義技官ならびに林業試験場北海道支場長寺崎康正技官、同顧問研究員内田丈夫博士、同造林部長柳沢聡雄技官、同経営部長長内 力技官、同土壌研究室長原田 洸技官に、現地調査に深く協力していただいた経営研究室長真辺 昭技官、当研究室真田 勝技官に深く感謝申し上げる。また現地調査にあたって、種々ご援助いただいた滝川林務署関係各位に深い謝意を表する。

## 1. 調査地の概況

### 1-1. 位置・地形

調査地は石狩川の支流、空知川の下流右岸で芦別市にぞくし、北緯 43°33′、東経 142°10′ 付近に位置する。地形は壮年期的な地ほうを呈し、こじわが多く山脚は一般に短い丘陵性の地形をなしている古第三紀層(砂岩、頁岩)の地域で、南西または南に面する 6~10° の傾斜を有し、その標高は 100~160m である。

### 1-2. 気 候

最寄の測候所、盤の沢の調査によれば、年平均気温 5.9°C、最低気温は 1 月の -9.1°C、最高気温は 8 月の 20.7°C、年降水量は 1,723mm、主風の方向は冬期北東、夏期南西である。年平均湿度は 78.3%、積雪量は多く 2 m にも及んでいる。

福井<sup>(6)</sup> の気候区分によれば大気候区 B (すなわち月平均気温 0°C 以下の月数 4 以上)、小気候区 C (夏

1969年12月6日受理

(1)(2) 北海道支場造林部土壌研究室

第1表 気象状況  
Table 1. Meteorological condition

	Month Location	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year Mean
		平均気温 Temp. °C Mean	Uryû	-7.9	-7.1	-2.7	4.3	10.9	16.4	20.9	22.0	17.0	10.3	2.9
	Bannosawa	-9.1	-7.7	-2.7	2.9	9.7	15.5	19.8	20.7	15.9	8.8	1.5	-5.0	5.9
	Bibai	-7.8	-6.9	-2.4	4.3	11.1	16.3	18.6	22.0	16.6	10.1	3.2	-4.2	6.7
最高気温 Temp. °C Max.	Uryû	-2.9	-1.3	2.9	9.7	17.1	22.3	26.1	27.2	22.5	15.9	6.9	-0.4	12.2
	Bannosawa	-3.8	-2.2	2.6	8.6	16.5	22.0	25.1	26.0	21.6	14.6	5.6	-1.0	11.3
	Bibai	-2.7	-1.5	2.7	9.7	17.7	22.7	25.7	27.2	22.4	16.1	7.4	-0.2	12.2
最低気温 Temp. °C Min.	Uryû	-12.9	-12.9	-8.4	-1.0	4.7	10.5	15.8	16.9	11.4	4.8	-1.1	-8.7	1.6
	Bannosawa	-13.8	-13.3	-7.9	-2.7	2.8	8.9	14.5	15.5	10.0	3.1	-2.5	-9.1	3.5
	Bibai	-12.9	-12.2	-7.4	-1.1	4.5	9.8	11.4	16.8	10.8	4.0	-1.0	-8.1	1.2
降水量 Precipitation (mm)	Uryû	129.7	84.9	73.2	54.2	66.2	67.2	107.8	131.7	161.4	129.4	141.6	150.2	1297.5
	Bannosawa	177.3	98.2	113.3	80.7	81.7	89.5	135.4	181.9	191.2	163.7	203.0	207.7	1723.3
	Bibai	100.8	62.2	54.8	47.4	80.7	65.3	127.9	129.1	162.1	126.6	107.4	132.0	1196.4

第2表 調査林分の概要  
Table 2. General condition of the investigated stand

林齢 Age	方位 Direction 傾斜度 Inclination	標高 Altitude	母材 Soil material	地形 Topography	土壌型 Soil type	平均樹高 Tree height	平均 胸高直徑 Diameter at breast	立木本数 No. of trees (Per ha)
8	SW 7°	100 m	古第三紀 頁岩	凹形緩斜面中腹	B <sub>0</sub> (d)	1.0 m	2.8 cm	2,870
12	SW 10°	120	"	凹形緩斜面中腹	B <sub>0</sub> (d)	3.8	5.0	2,726
23	SW 12°	140	"	平衡斜面中腹	B <sub>0</sub> (d)	8.2	11.0	1,849
29	SW 6°	160	"	凸形緩斜面上部	B <sub>0</sub> (d)	10.4	15.0	1,427
35	W 8°	100	"	凹形緩斜面中腹	B <sub>0</sub> (d)	16.2	23.0	1,178

期はいちじるしく高温、冬期はやや低温、降水量大)区に入り、近接する上川盆地、富良野盆地などと相似の内陸性気候を示している。

調査地近辺の気象は、第1表のとおりである。

### 1-3. 調査林分

調査の対象とした林分は、北海道道有林滝川林務署芦別事業区内で、トドマツ8、12、23、29および35年生林分である。

これら林分の概況は第2表に示すとおりである。

## 2. 調査ならびに分析方法

### 2-1. 野外調査(10月上旬)

各調査の対象林分は、0.05haの標準地をとりそのなかの全立木の胸高直径を測定する(8年生については根元直径測定)とともに伐倒木付近で試孔点を取り、土壌断面の観察記録をおこない資料の採取をした。地上部は被圧木および被害木を除き算術平均により標準木を算出し、これに近似の胸高直径を有するものを数本選定し、その中から樹形が正常なものを各林分より2ないし3本ずつ供試木として選定伐倒した。

供試木の成長経過を知るため樹幹解析を行なった。総樹高成長量は第1図に示すとおりである。

この結果からみると各林分はほぼ同様の成長経過をたどり、したがってここに選定した調査林分は、調査目的にはほぼ適合することが認められた。

つぎに供試木の重量測定ならびに養分分析資料の採取にあたっては、樹幹解析のため幹を2mごとに切断する関係上、これら各階層別に幹、枝+葉の生重量を測定し、そのうち一部を管ビンにつめ実験室で水分の測定を行なった。枝+葉はそれぞれ階層別に、大型のビニール袋につめ実験室に持ち帰り、ただちに枝と葉の分離を行ないそれぞれ重量を測定したのち、その資料の一部を細粉にし分析に用いた。また幹については、樹幹解析用の円板を年輪測定したのち細粉し、分析に用いた。なお、現地における樹体各部位の生重量測定は、感量10g、秤量4kgおよび感量200g、秤量80kgの竿秤を使用した。

### 2-2. 土壌ならびに樹体各部位の分析方法

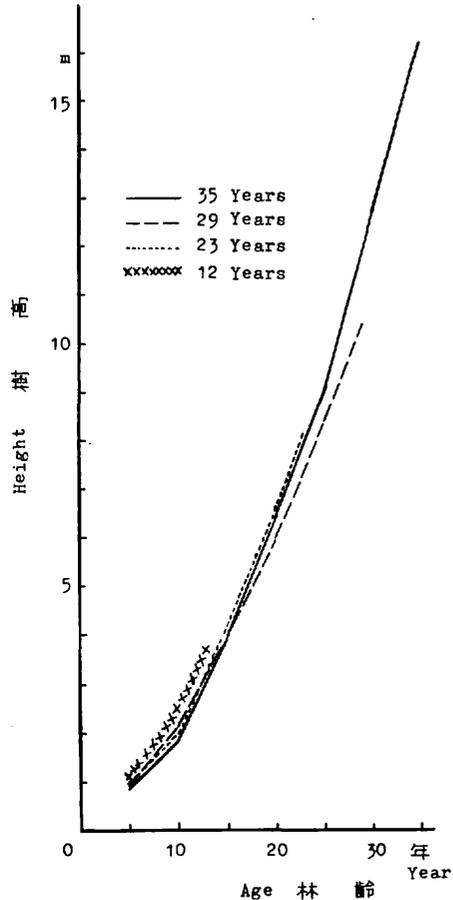
土壌の自然状態の理学的性質は、土壌採取円筒を用い林野土壌調査方法書<sup>25)</sup>によった。土壌の化学的性質および樹体各部位の分析は炭素は酸化滴定法、窒素はKJELDAHL法、置換性石灰はWILLIAMS法、リン酸、カリ、石灰は $H_2SO_4-HNO_3-HClO_4$ を用いて湿式灰化後、リン酸はMolybden blue法、カリは炎光分析法、石灰はEDTA法にそれぞれよって実験を行なった。

## 3. 林木の養分吸収量

### 3-1. 結果と考察

#### 3-1-1. 重量成長

伐倒木の葉、枝、幹の各部位の絶乾重量は第3表に示すとおりである。



第1図 調査木の成長経過

Fig. 1 Growth process of sample trees.

第3表 トドマツの重量成長  
Table 3. Weight-growth of *Abies sachalinensis*

林 齢 Age	単 木 あ た り Dry weight (kg per tree)				ha あ た り Dry weight (Ton per ha)				ha あたり 本 数 Tree numbers per ha
	葉重量 Leaves	枝重量 Branch	幹重量 Stem	計 Total	葉重量 Leaves	枝重量 Branch	幹重量 Stem	計 Total	
8	0.15	0.09	0.12	0.36	0.43	0.26	0.34	1.03	2,870
12	1.55	0.95	3.10	5.60	4.23	2.59	8.45	15.27	2,726
23	6.12	4.66	17.90	28.68	11.32	8.62	33.10	53.04	1,849
29	9.38	11.08	33.70	54.16	13.40	15.81	48.08	77.29	1,427
35	18.63	42.95	104.90	166.48	21.95	50.60	123.57	196.12	1,178

第4表 林齢増加にともなう林木各部位の重量増加指数  
Table 4. Index of dry-weight increment of stem, branches and leaves with increase of stand age

林 齢 Age	葉 Leaves	枝 Branch	幹 Stem	計 Total
8	1.0	1.0	1.0	1.0
12	10.3	13.6	25.8	16.5
23	40.8	66.6	149.2	84.4
29	62.5	123.1	280.8	165.2
35	124.6	477.2	874.1	548.1

この表からトドマツ林木の各部位の絶乾重量成長についてみると、8年生すなわち未閉鎖の状態では、葉の部分が最も多く、ついで幹、枝の順に少なくなっているが、トドマツの林齢が増すにしたがって幹の重量が急激に増加し、35年生時になると幹が最も重く枝、葉の順に少なくなっている。

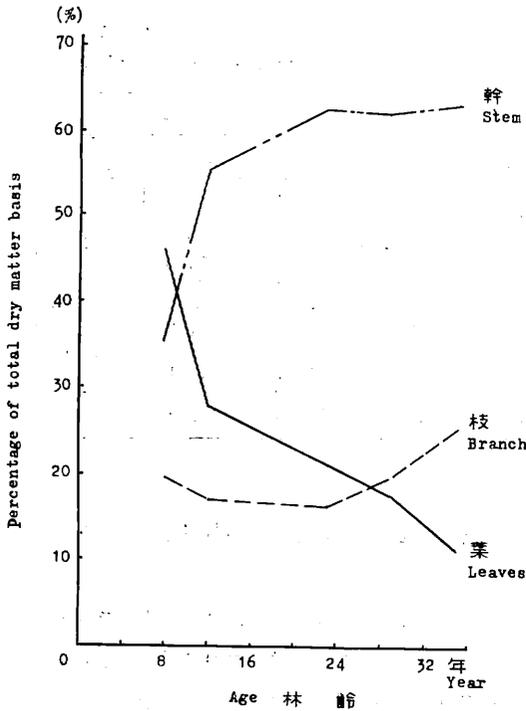
いま8年生時のトドマツの各部位の絶乾重量を1として、各林齢時における重量増加の割合を指数で示すと第4表のようになる。

トドマツの林齢が増すにしたがって、林木の各部位の乾物量がどのように増加していくかをみると、幹の部分では増加割合が最も大きく、29年生をすぎるところから急激に増加し、35年生時の重量は8年生時の約870倍にも達している。

また、枝の乾物量も幹同様に増加していき、35年生時の枝は8年生時の約480倍になるが、葉の乾物量の場合には、わずか125倍であるにすぎなかった。

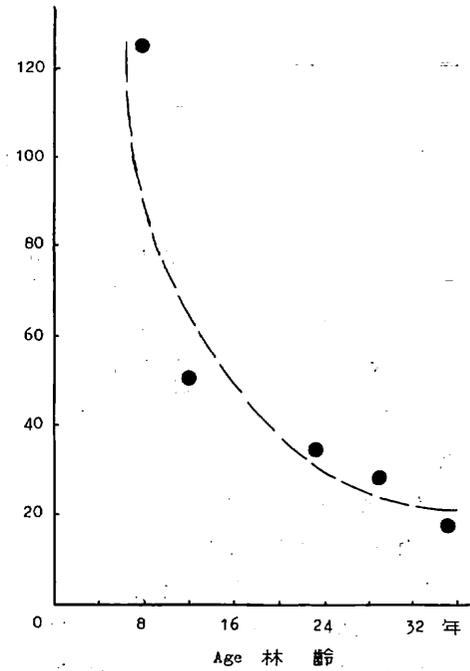
つぎに各林齢における林木の地上各部位の絶乾重量を全地上部絶乾重量に対する分布割合を計算すると、第2図のようになる。すなわち、林齢の増すにしたがって葉への分布割合は減少して幹への分布割合がいちじるしく増加する。つまり、8年生時では葉の量が全体の46%、幹の量は35%となっているが、これが林齢の増大にともなって23年生ころまでは急激に幹への分布割合が増加し、62%に達し、以後35年生まではほとんど変化はない。反面葉への分布割合は、林齢の増大にともなって減少し、35年生の時点では、わずか全体の11%を示すにすぎない。また枝への分布割合は幹ほど急激ではないが、35年生の時点までゆるやかに増加の傾向を示している。

トドマツの林齢が増大するにともなって、葉の部分が相対的に減少して幹の部分が相対的に増加するこ



第2図 全乾物量に対する各部位の乾物分布割合

Fig. 2 Dry matter disposition in each parts of tree at various ages.



第3図 林木の葉と幹の重量比の林齢による変化

Fig. 3 Weight ratio of leaves to stem at various ages of stands.

とを認めたが、さらに葉の部分 (L) と幹の部分 (S) の絶乾重量比 L/S の値の変化をみると、第3図に示すように、この傾向はいっそう明らかになる。

このことは幼齡林時代の造林木は同化器官である葉の部分が多く、林齡の増大にともなって非同化器官である幹材の部分が増積し、いちじるしく増加していくためであり、同時に林木生産過程の特質であるものと考えられる。

3-1-2. トドマツの養分含有量

供試木の各部位における養分含有率および単木あたりの養分含有量は、第5表、第6表に示すとおりで

第5表 トドマツ供試木の3要素含有量

Table 5. Nitrogen, phosphorus and potassium concentration in each part of *Abies sachalinensis* at different ages

林 齡 Age	窒 素 Nitrogen (N%)			リ ン 酸 Phosphorus (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)			カ リ Potassium (K <sub>2</sub> O%)		
	幹 Stem	枝 Branch	葉 Leaves	幹 Stem	枝 Branch	葉 Leaves	幹 Stem	枝 Branch	葉 Leaves
8	0.22	0.51	1.23	0.12	0.49	0.63	0.21	0.60	0.92
12	0.20	0.57	1.42	0.15	0.18	0.40	0.39	0.59	1.11
23	0.18	0.68	1.45	0.05	0.28	0.38	0.19	0.81	0.89
29	0.26	0.65	1.52	0.04	0.14	0.25	0.36	0.56	0.95
35	0.17	0.70	1.65	0.12	0.32	0.24	0.20	0.57	0.89

第6表 トドマツ 供試

Table 6. Nitrogen, phosphorus, potassium and calcium

	林 齡 Age	N				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
		幹 Stem	枝 Branch	葉 Leaves	計 Total	幹 Stem	枝 Branch	葉 Leaves
単木あたり g g per tree	8	0.2	1.4	1.8	3.4	0.1	0.5	0.9
	12	5.6	5.1	21.5	32.2	2.6	1.6	6.1
	23	30.5	24.4	83.3	138.2	7.6	8.3	21.6
	29	51.4	65.1	141.5	257.8	16.7	14.4	25.7
	35	221.1	285.3	304.1	810.5	128.5	126.7	64.5
ha あたり kg kg per ha	8	0.7	3.9	5.2	9.8	0.3	1.3	2.6
	12	15.3	13.9	58.6	87.8	7.1	4.1	16.6
	23	56.5	45.1	153.8	255.4	15.1	15.1	40.0
	29	73.3	92.9	201.7	367.9	23.9	20.5	36.7
	35	260.5	326.2	362.8	949.5	151.4	149.3	69.6

ある。

単木あたりの養分含有量は階層別の各部位について養分含有率をもとめ、階層別の各部位の重量を乗じてこれを合計したものである。

トドマツの3要素含有率の大小は、各部分とも窒素の含有率が最も大きく、つぎにカリでリン酸の含有率は最も小さい。また3要素含有率を部位別にみると、トドマツの窒素含有率は、林齢に関係なく葉の部分に最も多く1.23~1.65%程度、ついで枝、幹の順に減じている。いずれも葉の窒素%の1/2~1/10程度にすぎない。リン酸の含有率も葉の部分に最も多く0.24~0.63%程度含まれ、ついで枝、幹の順に減じているが、いずれも葉のリン酸%の1/2~1/7程度にすぎない。

カリの含有率も葉の部分に最も多く0.89~1.11%程度含まれ、ついで枝・幹の順に減じ、いずれも葉のカリ%の1/2~1/5程度にすぎない。

一般に養分の含有率は、林齢の増大にともなって減少する傾向があるものと考えられたが、今回の調査では幹の部分では林齢の増大にともなって明らかに低下を示しているが、枝および葉については明りょうな漸減的傾向はみられず、枝および葉の窒素では、林齢の増加にともなって逆に増加する傾向を示している。

トドマツの3要素含有量の林齢による変化を各部位別にみると、窒素は8年生より35年生まで葉の部分に最も多く含まれている。これは葉の窒素含有率が他の部分よりきわめて大なるためである。またリン酸およびカリでは、8年生より29年生ころまでは葉の部分に多いが、35年生になると幹におけるリン酸、カリ含有量が急激に増加し、窒素の場合と異なった傾向をみせている。また、地上部全体でみると窒素、リン酸、カリの含有量は、林齢の増大にともない増加し、8年生のトドマツ1本あたり窒素は3.4g、リン酸1.5g、カリ2.1g程度含まれているが、35年生の時点では窒素が810g、リン酸320g、カリ690gに達する。

各林齢ともに窒素の含有量が多く、カリは窒素の2/3~1/2程度であり、リン酸の含有量は窒素の1/2~1/4程度で最も少ない。

8年生時の幹、枝および葉の部分に含まれている各養分量をそれぞれ1とすると、第7表に示すように林齢が増すにしたがい、各養分ともに幹に含まれる量が最もいちじるしく増加している。

さらに林齢の増大にともなって幹、枝および葉への養分集積割合が、どのように変化するかを計算し求

## 木の養分含有量

contents in each part of *Abies sachalinensis*

計 Total	K <sub>2</sub> O				CaO			
	幹 Stem	枝 Branch	葉 Leaves	計 Total	幹 Stem	枝 Branch	葉 Leaves	計 Total
1.5	0.2	0.5	1.4	2.1	0.4	0.7	1.6	2.7
10.3	8.5	5.1	16.2	29.8	8.8	6.2	17.4	32.4
37.5	31.5	20.8	54.1	106.4	32.4	29.3	105.0	166.7
56.8	60.5	50.1	83.7	194.3	63.6	108.2	114.7	286.5
319.7	201.9	287.0	200.5	689.4	232.4	442.1	299.8	974.3
4.2	0.7	1.6	3.9	6.2	1.0	2.1	4.6	7.7
27.8	20.1	13.9	44.0	78.0	23.9	16.9	50.4	91.2
70.2	58.3	38.5	100.0	196.8	59.8	54.2	194.2	308.2
81.1	86.4	72.8	119.5	278.7	90.7	154.8	161.3	406.8
370.3	237.8	338.1	237.2	813.1	285.5	509.0	341.3	1135.8

第7表 養分含有量の増加指数

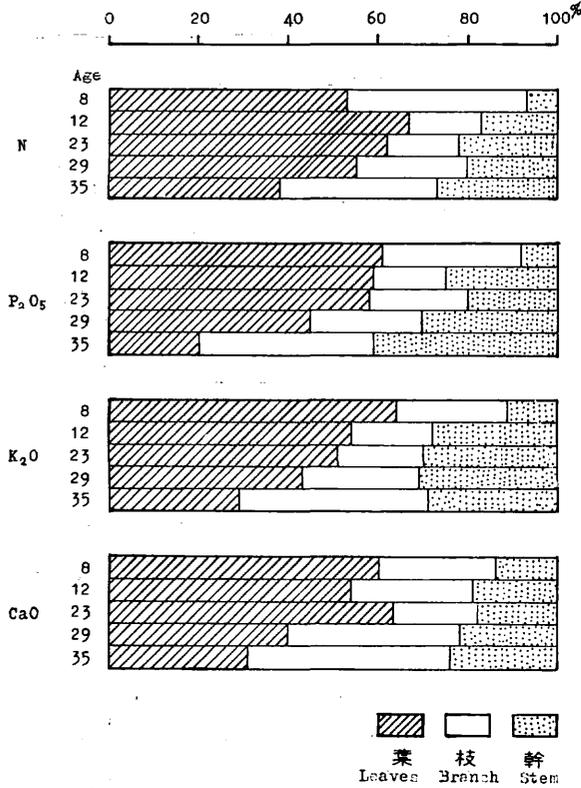
Table 7. Index of nutrient content increment of stem, branches and leaves with increase of stand ages

林 齢 Age	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O			CaO		
	葉 Leaves	枝 Branch	幹 Stem	葉 Leaves	枝 Branch	幹 Stem	葉 Leaves	枝 Branch	幹 Stem	葉 Leaves	枝 Branch	幹 Stem
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	12	4	23	7	4	22	12	10	35	11	9	24
23	46	18	127	24	18	63	40	39	131	66	41	90
29	79	48	214	29	32	139	62	93	252	72	150	177
35	169	211	921	72	282	1071	149	532	841	187	614	646

第8表 林木の各部位への養分集積割合の林齢による変更

Table 8. Transition of nutrient accumulation in each parts of trees at various stand ages

林 齢 Age	部 位		養 分	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
8	葉	Leaves		53	61	64	60
	枝	Branch		40	31	25	26
	幹	Stem		7	8	11	14
12	葉	Leaves		67	59	54	54
	枝	Branch		16	16	18	27
	幹	Stem		17	25	28	19
23	葉	Leaves		62	58	51	63
	枝	Branch		16	22	19	19
	幹	Stem		22	20	30	18
29	葉	Leaves		55	45	43	40
	枝	Branch		25	25	26	38
	幹	Stem		20	30	31	22
35	葉	Leaves		38	20	29	31
	枝	Branch		35	39	42	45
	幹	Stem		27	41	29	24



第4図 林木の各部位への養分集積割合の林齢による変化 (滝川トドマツの場合)

Fig. 4 Transition of nutrient accumulation in each parts of stems, branches and leaves at various ages of stands.

また、一定林齢時に達するまでに落葉により還元された養分量 (C) の値は、各調査林齢時における調査木の葉の養分含有量の4分の1に相当する量が、落葉による養分の還元量と仮定して求め、実測した林齢以外の林齢における養分還元量は、第5図で示すように、互いに相隣れる調査林齢時の落葉による還元量を直線でつなぎ、図上でもとめこれらを合計した。

ただし、落葉の際には葉部における養分の一部は、葉以外の樹体内に移動されるため、落葉の含有率は着生葉の含有率より低下するものである。

したがって、トドマツの着生葉ならびに落葉の養分分析結果から、着生葉の含有率にたいする落葉の含有率の比の値をもとめると、つぎのとおりである。

	窒素	リン酸	カリ	石灰
着生葉	1.00	1.00	1.00	1.00
落葉	0.83	0.74	0.23	0.86

したがって、上述の値を得ているので、落葉の養分含有量は、上記係数を着生葉の各養分含有率に乗じて計算した。

めると、第8表および第4図のような結果となり、林齢の増大にともない幹の部分へのリン酸集積割合が増大する傾向がみられる。

### 3-2. 林木の養分吸収量の推定

トドマツの養分含有量の分析結果の資料をもとにしてトドマツの一定林齢時にいたる養分吸収量のおおよその傾向を推定した。

この推定方法についてはいろいろと考えられるが、著者らは塘<sup>42)</sup>が、アカマツおよびスギについて推定されている方法に準じ、これに多少修正を加えて一定林齢時における林木の養分吸収量 (A) を次式によって求めた。

$$A = B + C$$

ただし、A: 一定林齢時に達するまでに吸収した全養分量

B: 一定林齢時におけるトドマツの養分含有量

C: 一定林齢時に達するまでに落葉により還元した養分量

上式のBの値は、トドマツ35年生時の養分含有量 (第6表) を用いた。

この結果、一定林齢時35年生に達するまでに落葉により還元された養分量 (C) は、窒素が509g, リン酸99g, カリ91g, 石灰528gの推定値になる。

このようにして上式  $A=B+C$  により計算した結果は第9表に示すとおりである。

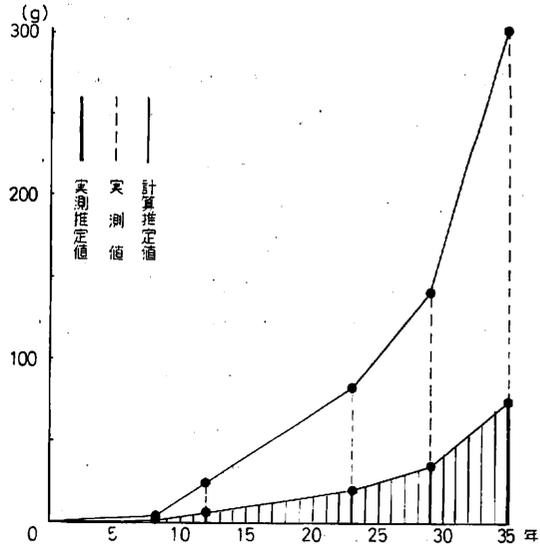
単木あたり一定林齢時に達するまでの吸収された全養分量 (A) は、第9表で示したように窒素1,320g, リン酸420g, カリ780g, 石灰1,500gである。

これらの数値をhaあたりに換算する場合、本数倍したが、実測した林齢以外の林齢における立木本数は、前に示した第5図のようにして、互いに相隣れる調査林齢時の立木本数を直線でむすび、図上で各林齢時の立木本数を求め本数倍した。

それぞれ林齢時における立木本数は、全道トドマツ人工林収穫予想表<sup>33)</sup>に、やや近似値を示していた。

このような計算で林齢35年生時における、haあたりの窒素の吸収量は1,744kg, リン酸の吸収量は542kg, カリの吸収量は962kg, 石灰の吸収量は2,025kgと推定された。

この結果を塘の研究報告のスギおよびアカマツと対比するならば、多少林齢の違いはあるが、本道におけるトドマツでは窒素, カリの吸収量は、スギとやや類似する値を示す傾向にあるが、リン酸の吸収量は非常に多い。またアカマツと比較するならば、窒素で2.7倍, リン酸で3.7倍, カリで2.7倍程度養分吸収量が多い結果になる。



林齢	(A) NO実測値 N(g)	(B) 葉の養分含有量の4%相当する量が落葉による養分還元量と仮定(g)	(C) 葉の養分含有量の(B)×0.83(g)	生葉のN %	落葉のN %
35	304	—	—	1.69	1.43
34 (275)	275	68.7	57.0		
33 (248)	248	62.0	51.5		
32 (221)	221	55.2	45.8		
31 (192)	192	48.0	38.9		
30 (165)	165	41.2	34.2		
29	141	35.2	29.2		
↓	↓	↓	↓		
B	2	0.5	0.4		

一定年齢に達するまでに落葉による還元されたN量508.6g

第5図 落葉による養分還元量の推定法 (Nの場合を示す)

Fig. 5 Deduction of nutrient restoration through fallen leaves.

第9表 林木の養分吸収量の推定値 (単木あたりg数)

Table 9. Amounts of nutrients uptake of mature trees (g per tree)

項目 Items	養分 Nutrients	N	P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
B. 一定年齢時における林木の養分含有量 (35年生) Nutrient immobilized within tree (g)		811	320	689	974
C. 一定年齢時に達するまでに落葉により還元された養分量 Nutrient returned to soil by fallen litter (g)		509	99	91	528
A. 一定年齢時に達するまでに吸収した全養分量 Total amounts of nutrient uptake (g)	$A=B+C$	1,320	419	780	1,502

#### 4. 林地における養分循環

林地と農地との養分経済の基本的な相違点は林地では、森林生態系内で物質循環が行なわれ、その物質循環を通じて森林共同体の生活が保持されていくことである。

この生態系内における土壌と林木間の養分循環を明らかにすることは、地力維持あるいは林地肥培を、林地の養分経済の面から考察するのに重要な役割を果たすものと思われるので、本項においてはこれらの点について考察することにした。

##### 4-1. 林地における養分循環率の試算

林地における土壌と林木間の養分循環のはあくに方法的にもいろいろ問題点が多いが、著者らが第6表の成績から試算した結果は、第10表に示すとおりである。

第10表 トドマツ林の養分循環率 (kg/ha)  
Table 10. Estimate of nutrients cycle of forest trees

項 目 Items	養 分 Nutrients	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
A. 伐採収穫による養分持出し量 (幹材部) Nutrients immobilized within stem timber (Nutrients removal via clear felling) (kg)		260	152	238	273
B. 伐採時の還元量 (枝・葉) Nutrients immobilized within branch, needle and root (at clear felling) (kg)		659	225	574	874
C. 落葉としての還元量 Nutrients returned to soil by fallen litter (kg)		825	165	150	878
D. 伐採時までの全吸収量 $D = A + B + C$ Total amounts of nutrients taken up		1744	542	962	2025
E. 養分循環率 $\frac{B+C}{D}$ (%) Rates of nutrients cycle		85.1	71.9	75.2	86.5
F. 全木集材した場合の養分循環率 $C/D$ (%) Rates of nutrients cycle when fallen litter are removed		47.3	30.4	15.6	43.4

ただしこの場合、 $D = A + B + C$  は

A: 伐採収穫による養分持出し量, B: 伐採時の還元量 (枝・葉), C: トドマツ 35 年生までの毎年の落葉によって林地に還元される推定養分量。

ただし、トドマツの葉は一般に 4 年たつと落葉するので、毎年の落葉量をその年に保有する着生葉の 4 分の 1 とした。またその中に含まれる養分量は、おのおの上記数値をもって推定し、計算した。

D: 伐採時までの全吸収量 (A・B・C の合計)

第10表のCの値を算出するとき、若干の仮定や推定値を用いてあるので、正確なことはわからないが、伐採収穫に際して幹材部だけを林外に搬出した場合の養分循環率は、窒素で85%、リン酸72%、カリ75%、石灰86%となる。また全木集材の場合を考えると、養分循環率は窒素で47%、リン酸30%、カリ16%、石灰43%となる。

このように全木集材を行なった場合、計算上の養分循環率は全幹集材の1/2~1/5程度に低下する。

この結果から全木集材というものは、林地土壌生産力にいかにも悪影響をおよぼすかが察知される。

#### 4-2. 考 察

本項ではトドマツ林の伐採利用による養分奪取量を中心に林地の養分経済について述べ、また養分循環の立場から考察を加えてみる。

35年生トドマツ林が伐採され、幹材部が林外に搬出されたとすると、本研究から単木あたり窒素で約221g、リン酸約129g、カリ約202g、石灰約232gの養分が、またhaあたりでは、窒素260kg、リン酸152kg、カリ238kg、石灰273kgの養分が幹材部とともに林外へ運びだされることになる。この値を35(林齢35年生)で割り、1年間あたりの養分奪取量に換算すると、haあたり窒素は約7.42kg、リン酸4.35kg、カリ6.80kg、石灰7.80kgとなる。塘<sup>42)</sup>の資料から、小麦の年間奪取量と本道におけるトドマツ林の年間養分奪取量を比較すると、トドマツは窒素で農作物の約1/11、リン酸約1/8、カリ1/7、また内山の資料から川村<sup>10)</sup>が大麦で計算した年間奪取量を比較すると、窒素で約1/10、リン酸約1/6、カリ約1/9となり、いずれも林木は農作物にくらべてわずかなものである。

塘<sup>42)</sup>はMAYER-KRAPOLLの文献から、林木の窒素成分の奪取量は農業の場合の1/10であることを記し、スギおよびアカマツはこれとほぼ一致するとしている。著者らのトドマツにおける成績もほぼ上記数値と一致した。

つぎに、林地における養分循環を考察するために、塘は各研究者の算出した養分循環率の値を一括表示し、その結果、林地における養分循環は、一般にリン酸>窒素>カリの順で、カリの循環率をもっとも低いことを指摘しているが、トドマツにおいては窒素>カリ>リン酸の傾向になる。しかし、全木集材した場合の養分循環率をみると、幹材部だけ搬出した場合の養分循環率にくらべてきわめて小さい値を示し、窒素で43%、リン酸30%、カリ16%、石灰43%で、窒素と石灰>リン酸>カリの傾向となる。

全木集材した場合、カリの循環率が小さくなるのは、トドマツの枝に含まれているカリ含有量が多いためであろうと推察される。

このほか、全木集材にともなって機械化の使用など考えると、地表かく乱により浸蝕が生じ、土壌表層養分の損失なども当然起こりうる。それゆえ全木集材なるものが、林地土壌生産力にいかにも悪影響をおよぼすものであるかが想像されるものである。

以上述べた養分循環は、落葉の分解が円滑に行なわれた場合の計算である。しかし、本道のように寒冷な気象条件下では、針葉樹の落葉の分解が困難であることは諸学者によって認められているところである<sup>23)46)</sup>。

したがって、トドマツ一斉林からなる林地の養分経済の面からみた地力維持のためには、とくに林分の閉鎖後における地床に堆積する落葉は、樹体各部位のなかでも多量の養分を含有しているもので、これを少しでも早く分解促進させ、土壌に還元しうるような環境条件を作ることが望ましいものである。筆者はトドマツ落葉の分解が土壌におよぼす影響<sup>51)</sup>のなかで、無間伐区と間伐区の両林地で堆積腐植の変化について検討したが、無間伐区は間伐区にくらべて堆積腐植の現存量は1.62倍の値を示し、エーテル・アルコール可溶性有機物および糖類は多い反面、リグニン様物質ならびに粗蛋白質は少ない値を示している結果を得ている。また無機成分についても、間伐区の場合無間伐区にくらべてまさる傾向を示していた。これは今まで分解緩慢な状態にあった堆積腐植が間伐による環境の変化とともに漸次分解の度合をましたものと考えられる。このような結果から、間伐施業などを取り入れさらに林地肥培による地力維持の向上を計る必要がある。

第11表 土壤細粒の鉱物組成 (細粒百分比)

Table 11. Mineralogical composition of fine grain fraction in the soil (Results expressed in parts of 100)

林齢 Age	土壤型 Soil	層位 Horizon	火山ガラス Volcanic glass (%)	磁鉄鉱 Magnetite (%)	輝石族 Pyroxene (%)	角閃石 Hornblend (%)	長石族 Feldspar family (%)	石英 Quartz (%)	頁岩細粒 Shale fine grain (%)	その他 Others (%)
8	B <sub>0</sub> (d)	A <sub>1</sub>	14.3	2.3	1.8	1.6	21.4	3.3	52.4	2.9
		A <sub>2</sub>	10.1	1.1	1.7	1.7	20.3	3.0	59.7	2.4
		B	4.7	1.0	1.1	1.4	19.4	1.2	68.5	2.7
		C	2.3		0.2	0.1	10.8		85.0	1.6
12	B <sub>0</sub> (d)	A <sub>1</sub>	11.7	1.9	1.7	1.5	20.3	2.7	57.1	3.1
		A <sub>2</sub>	12.3	2.3	2.4	1.9	18.5	2.9	58.2	1.5
		B	7.2	0.7	0.5	1.1	17.1	1.2	70.6	1.6
		C	4.2		0.5	0.3	10.3		86.4	1.3
23	B <sub>0</sub> (d)	A	12.7	1.7	2.1	1.3	19.3	3.4	57.7	1.8
		B	10.1	1.9	1.6	1.4	19.2	3.1	61.1	1.6
		C	4.3		1.2	0.7	15.7	2.0	74.7	1.4
29	B <sub>0</sub> (d)	A	16.9	1.9	1.8	0.9	17.7	3.3	55.9	1.6
		B	13.1	2.1	2.6	0.7	18.3	3.1	58.0	2.1
		C	4.7		1.1	0.3	17.2	1.2	73.7	1.8
35	B <sub>0</sub> (d)	A <sub>1</sub>	17.1	1.4	1.0	0.2	17.6	3.4	58.2	1.1
		A <sub>2</sub>	15.6	1.8	1.6	0.8	17.8	2.9	57.2	2.3
		B	14.2		0.5		15.6	3.8	64.2	1.8
		C	10.2		0.6			6.1	81.2	1.9

第12表 示差熱分析による試料中の含有粘土鉱物

Table 12. Clay minerals present in samples identified by differential thermal analysis

林分 Age	土壤型 Soil type	層位 Horizon	アロフェン Allophane	ハロイサイト Halloysite	カオリナイト Kaolinite	ギブサイト Gibbsite
8	B <sub>0</sub> (d)	A <sub>1</sub>		++		
		A <sub>2</sub>		++		
		B		+++	+	+
		C		++++	++	
12	B <sub>0</sub> (d)	A <sub>1</sub>		++		
		A <sub>2</sub>		+		
		B		++	+	+
		C		++++	++	
23	B <sub>0</sub> (d)	A		+		
		B		++	+	
		C		++	+	
29	B <sub>0</sub> (d)	A	+	++		
		B		++	+	+
		C		+++	++	
35	B <sub>0</sub> (d)	A <sub>1</sub>	+	++		
		A <sub>2</sub>		+		
		B		+++	+	+
		C		++++	++	

鉱物の示差熱曲線

D: T. A. curves of minerals

低い 高い

Low → High

+ ++ +++ +++++

## 5. 林齢の増大にともなう土壌の変化

前項でのべたように、林地と林木間では絶えず養分の循環が行なわれている。したがって、森林成立から時間が異なれば、土壌の性質も異なってくることは当然考えられる。

そこで本稿においては、林齢の増大にともなう、林地土壌の諸性質がどのような変化を示すかという点について、前記調査の場所(1-3)で調べた。

この場合、同一林分で継続的に調査することが最も望ましいのであるが、現実には非常に困難である。したがって本研究では、第11表および第12表で示すように同一地域における同一母材、同一土壌型に成立している種々の林齢の林分で土壌を調査し、林齢の増大にともなう土壌の変化を検討した。

## 5-1. 結 果

## 5-1-1. 土壌断面の形態

土壌断面の形態は、第13表に示すとおりである。

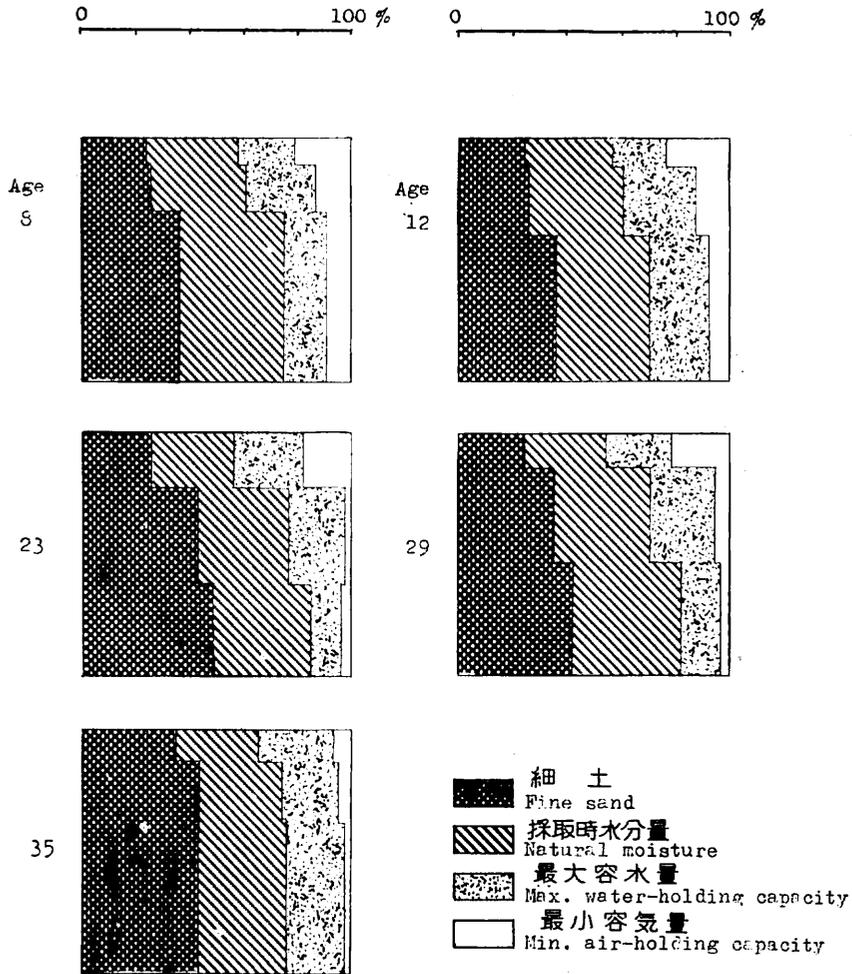
第13表 断面形態  
Table 13. Description of soil profile

林 齢 Age	層 位 Horizon	厚 さ Thickness (cm)	色 Colour	腐 植 Humus	土 性 Texture	構 造 Structure	堅密度 Compact- ness	土壌型 Soil type
8	A <sub>1</sub>	5	7.5YR 3/3	富む	SCL	Cr	しょう 軟 やや堅 堅	B <sub>u</sub> (d)
	A <sub>2</sub>	14	7.5YR 4/4	含む	L	Gr		
	B	26	7.5YR 5/5	乏しい	SL	Gr, Nu		
	C	16+	7.5YR 6/6	"	SL			
12	A <sub>1</sub>	5	7.5YR 4/3	富む	L	Cr	しょう 軟 堅 "	B <sub>u</sub> (d)
	A <sub>2</sub>	13	7.5YR 5/4	含む	L	Gr		
	B	27	7.5YR 6/5	乏しい	SL	Gr, Nu		
	C	18+	7.5YR 6/6	"	SL			
23	A	10	7.5YR 5/5	含む	L	Gr, Nu	軟 堅 "	B <sub>u</sub> (d)
	B	18	7.5YR 6/5	乏しい	L	Nu		
	C	24+	7.5YR 6/6	"	SL			
29	A	6	7.5YR 5/4	富む	L	Gr	軟 堅 "	B <sub>u</sub> (d)
	B	18	7.5YR 6/5	乏しい	SL	Gr, Nu		
	C	21+	7.5YR 6/6	"	SL			
35	A <sub>1</sub>	6	7.5YR 4/4	含む	L	Gr	軟 堅 "	B <sub>u</sub> (d)
	A <sub>2</sub>	11	7.5YR 5/4	乏しい	SL	Gr		
	B	39	7.5YR 6/5	"	SL	Gr, Nu		
	C	11+	7.5YR 6/6	"	SL			

## 5-1-2. 自然状態の理学的性質

林木の成長と土壌の理学的性質に関する研究報告は数多くみられるが<sup>(20)(88)(49)</sup>、林齢の増大にともなう、土壌の理学的性質がどのように変化するかについての報告は、ほとんどみられないようである。

したがって、著者らの結果、すなわち第14表および第6図をもとにして検討するならば、第14表で示すように、林齢の増大にともない、とくにB層では容積重の増大、孔隙量および最小容気量の減少が目だっている。反面鉬質土壌表層ではA<sub>0</sub>層からの有機物などの供給および林床植生などの細根が広く分布するため、土壌を疎しょうにし、B層と異なった結果を示し、林齢の増大による理化学的の差異はみられない。つぎに、水分問題について検討するならば、この地方における降水分布は、狭い範囲で調査地を設定し



第 6 図 林 齢 別 の 土 壌 理 学 性

Fig. 6 Physical properties of the soils.

た関係上、降水量については一様とみなすことができる。

土壌水分を比較する場合には、時期別の相違により異なるもので、時期を異にして採取した土壌の水分状態をはあくし比較することは、適当と思われないので、同一時に資料を採取し比較検討した。

つまり自然状態における採取時水分量は、第 7 図で示すように林齢の増大にともない、A 層、B 層ともに減少の傾向をしめし、とくに B 層にあっては、はなはだしく減少していることが認められる。

またこれらの数値から飽水度<sup>20)</sup>を求めてみると、第 8 図の結果を得る。

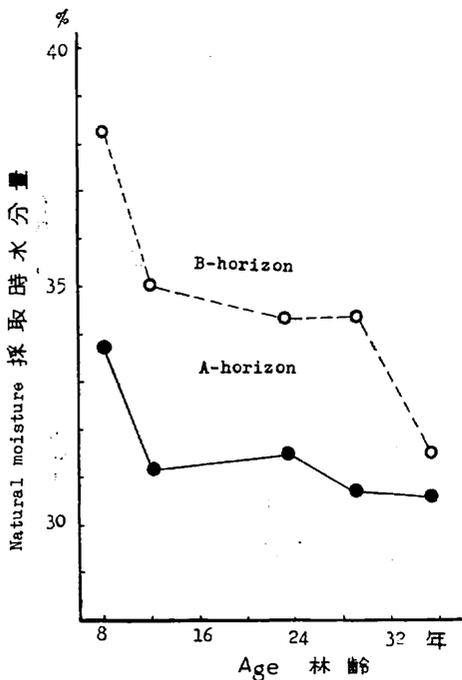
この値は土壌の粗密度および土壌構造のちがいによって多少影響されることが考えられ、かならずしも水湿状態の十分な標示法とはいえないが、林齢の増大にともなって飽水度は低下の傾向をしめしている。しかし、山本<sup>49)</sup>が土壌の諸性質とトドマツの成長に関する報告のなかで、飽水度 55~80% 程度を適潤な土壌としている点を考えると、今回の各林分の土壌は一応適潤性の範囲にはいるものと思われる。

また土壌水分の飽差を調べた結果は、第 9 図のとおりであり、各林分ともに最大容水量は、第 14 表で示

第14表 理学的性質

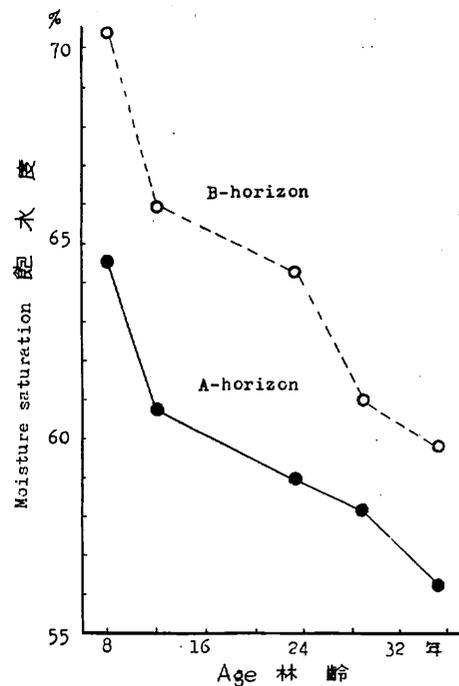
Table 14. Physical properties of the soils

林齡 Age	層位 Horizon	機械的組成 Mechanical components of soils (%)				土性 Texture	容積重 Volume weight	容積に対する表示 Indication of the total volume (%)			
		粗砂 Coarse sand	細砂 Fine sand	微砂 Silt	粘土 Clay			孔隙量 Porosity	最大 容水量 Max. water capacity	最少 容氣量 Min. air capacity	採取時 水分量 Natural moisture content
8	A <sub>1</sub>	16.66	45.90	21.34	16.10	SCL	50.76	74.12	52.35	21.77	33.72
	A <sub>2</sub>	16.78	46.80	28.10	8.32	L	52.37	73.16	59.24	13.92	35.16
	B	19.50	47.41	25.78	7.31	SL	64.13	64.13	54.17	9.96	38.17
	C	21.36	48.92	23.26	6.46	SL					
12	A <sub>1</sub>	14.05	30.69	44.88	10.38	L	51.76	74.77	51.21	23.56	31.07
	A <sub>2</sub>	14.82	32.75	43.66	8.77	L	56.97	72.16	58.96	13.20	34.76
	B	27.14	46.38	19.26	7.22	SL	84.16	62.77	53.07	9.70	34.99
	C	27.98	45.79	22.20	4.03	SL					
23	A	14.21	35.73	41.49	8.57	L	55.77	72.56	53.35	19.21	31.51
	B	16.96	42.46	38.81	5.77	L	102.92	55.90	52.61	3.29	34.33
	C	26.23	55.39	11.77	6.61	SL	108.94	51.69	47.58	4.11	37.33
29	A	16.78	46.80	30.36	6.06	L	53.62	73.62	51.99	21.63	30.72
	B	19.50	47.41	24.15	8.94	SL	84.35	63.12	57.12	6.00	34.87
	C	25.81	45.79	22.20	6.20	SL	107.97	57.90	54.28	3.72	39.44
35	A <sub>1</sub>	10.97	51.60	24.76	12.67	L	76.03	62.60	53.42	7.18	30.60
	A <sub>2</sub>	14.48	52.63	23.58	9.31	SL	88.19	58.60	52.72	5.88	31.00
	B	15.96	52.81	23.45	7.78	SL	85.73	55.30	52.81	2.49	31.51
	C	26.00	50.59	18.21	5.26	SL					



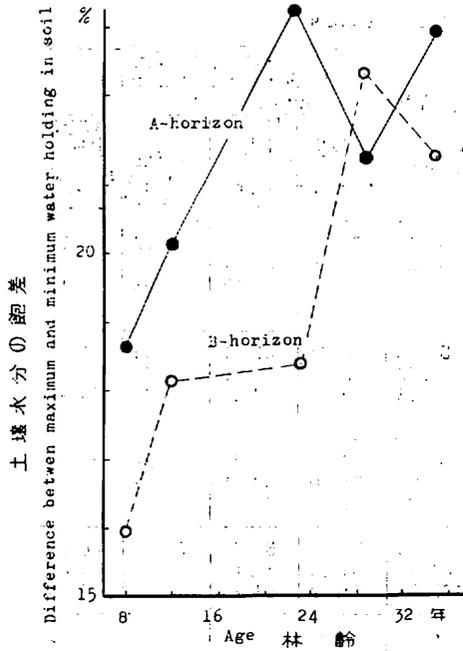
第7図 林齡別にみた採取時水分量

Fig. 7 Natural moisture content of the soils at various ages of stand.



第8図 林齡別にみた飽水度

Fig. 8 Moisture saturation of the soils at various ages of stand.



第9図 林齢別にみた土壌水分の飽差

Fig. 9 Difference between maximum and minimum water holding in soil in various ages stands.

したように極端な差異は認められないのであるが、林齢の増大にともないA層およびB層ともに飽差は大となる。また各林分におけるA層はB層にくらべて飽差が大きい傾向をしめしている。

以上の結果から、総括し考察するならば、林齢の高いものは林分が閉鎖状態にあって、落葉による堆積腐植層が形成され地床植生も消失する。このような状態のもとでは降雨による水分は、とくに針葉の落葉をとおして鉱質土壌へ侵入することが容易でないことと、林木の生育にともなう水分吸収利用と相まって、鉱質土壌では多少乾燥の方向へ進みつつあることが、本結果からうかがい知れるものと思われる。しかし、閉鎖前は降雨による水分の鉱質土壌への侵入は容易であり、ために幼齢林の土壌水分の飽差は林齢の高いものにくらべて、小さい値を示していたものと解される。

5-1-3. 土壌の化学的性質

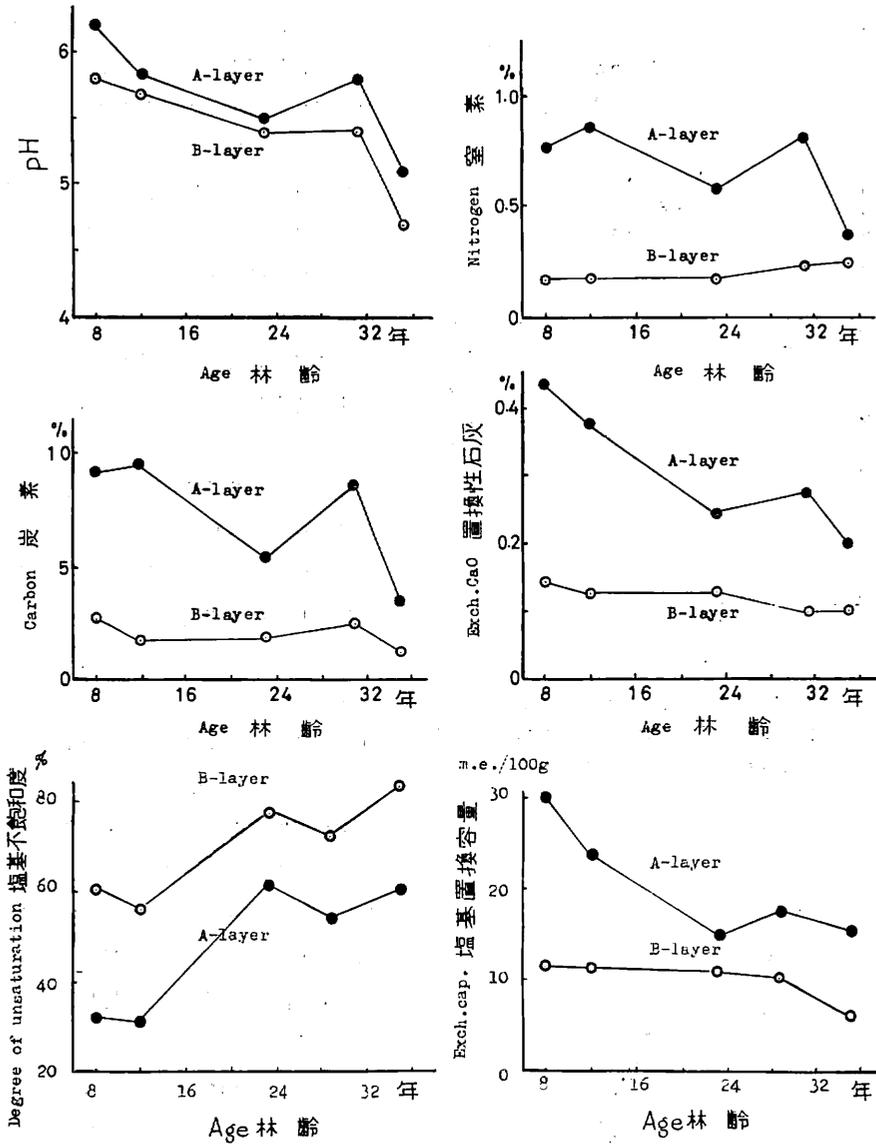
各林分の化学的性質を示すと、第15表および第10図のとおりである。

これらの結果から、林齢の増大にともなう化学的性質の変化をA層についてみると、一般的な傾向として

第15表 化学的性質

Table 15. Chemical properties of the soils

林齢 Age	層位 Horizon	厚さ Thickness (cm)	pH	置換酸度 Exch. acidity ( $\gamma_1$ )	炭素 Carbon (%)	窒素 Nitrogen (%)	炭素率 C/N ratio	置換性 石炭酸 Exch. CaO (%)	置換性 水素 Exch. H (m.e./100g)	塩基置換容量 Exch. cap. (/100g)	塩基不飽和度 Degree of unsaturation (%)
8	A <sub>1</sub>	5	6.2	1.5	9.18	0.765	12	0.447	9.7	29.93	32.41
	A <sub>2</sub>	14	6.0	7.3	5.64	0.438	13	0.301	8.5	19.16	44.36
	B	26	5.8	9.9	2.58	0.172	15	0.146	6.8	11.33	60.02
	C	+16	5.9	10.3	0.72	0.048	15	0.101			
12	A <sub>1</sub>	5	5.8	1.3	9.53	0.866	11	0.387	7.3	23.55	30.99
	A <sub>2</sub>	13	5.7	6.9	5.01	0.502	10	0.231	6.6	14.53	45.42
	B	27	5.7	10.6	1.81	0.184	10	0.131	6.3	11.21	56.19
	C	+18	5.8	11.2	0.78	0.071	11	0.112			
23	A	10	5.5	1.9	5.46	0.588	9	0.247	9.1	14.83	61.36
	B	18	5.4	7.5	1.86	0.196	9	0.134	8.5	10.96	77.55
	C	+24	5.7	12.5	0.66	0.076	9	0.108			
29	A	6	5.8	1.9	8.59	0.825	10	0.276	9.3	17.41	53.41
	B	18	5.4	4.8	2.34	0.225	10	0.105	7.2	10.11	71.21
	C	+21	5.6	11.9	0.82	0.086	10	0.097			
35	A <sub>1</sub>	6	5.1	3.1	3.52	0.391	9	0.204	9.2	15.25	60.33
	A <sub>2</sub>	11	4.7	15.6	2.29	0.270	8	0.102	6.8	8.53	79.72
	B	39	4.6	8.8	1.14	0.139	8	0.033	5.1	6.11	83.61

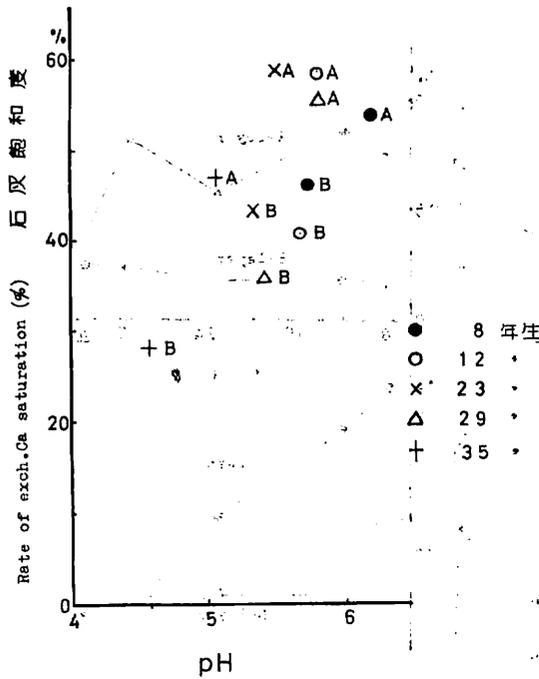


第10図 林齢別にみた化学的性質

Fig. 10 Chemical properties of the soils at various ages of stands.

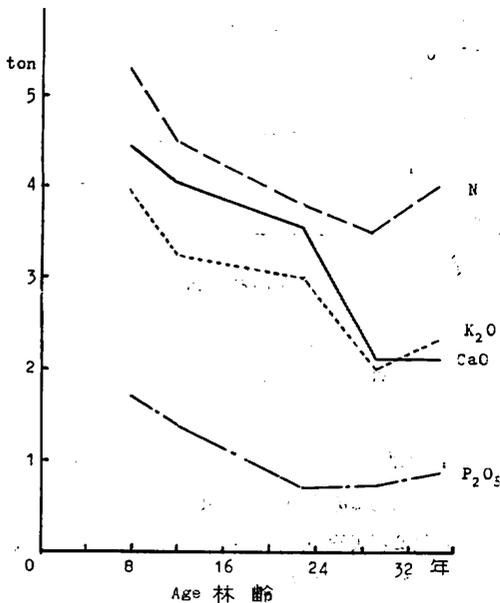
pH, 炭素, 窒素, 置換性石灰および塩基置換容量は低下し, 反面置換酸度, 塩基不飽和度は上昇の傾向を示す。またB層では pH の低下, 塩基不飽和度の上昇を示す傾向にあるが, 他の項目についてはほとんど変化はみとめられず一定の値を示している。また pH の変化は石灰飽和度, 塩基置換容量の変化と一致した傾向を示す。さらに pH と石灰飽和度との関係を見ると, 第11図のように pH と石灰飽和度とのあいだには, 明らかに正の相関性を示す傾向がみられる。

上記の結果は, 多くの学者によって指摘されているように, 鉍質土壌表層上に堆積した有機物の無機化にともなって, 塩基を供給することに原因しているものと思われる。またトドマツ落葉のように分解困難



第11図 pHと石灰飽和度との関係

Fig. 11 Relation between pH and rate of exch. Ca saturation.



第12図 鉱質土壌中の養分量

Fig. 12 Nutrients in the mineral soil (ton/ha).

なものが、林齢の増大にともない表層に堆積するので、鉱質土壌表層はその腐植の影響を顕著にうけているように考えられる。

このことは第10図でみられるように、A層において変化がはなはだしく、B層では極端な変化はみられていないことから解される。

さらに林齢別に鉱質土壌 (haあたり×深さ50

cm) の窒素、リン酸、カリ、石灰の現存養分

量を見るならば、第12図に示すように、林齢の

増大にともなって上記現存養分量は減少の傾向

がみられるが、林齢29年生をすぎるところから、

窒素の現存養分量はわずかに増している。また

前述の化学的性質の面からみるならば、林齢29

年生時における pH、炭素および塩基置換容量

は増大し、塩基不飽和度は減少をしめしている。

これらの点をあわせて考えるならば、つまり

トドマツ落葉という分解緩慢なものによって、

年々加えられ、堆積していた落葉が、林齢25年

生時に第1回の弱度の間伐が行なわれ、ために

諸種の環境の変化、とくに地温その他の変化が

生じ、さらに太陽光線の地床に到達する量の増

加、空気の流通も良好となり、いままで分解緩

慢な状態にあった堆積腐植は、この環境の変化

とともに漸次分解の度を増したものであろう

と考えられる。

#### 5-1-4. 有機物の変質状態

堆積腐植 (A<sub>0</sub>層) は土壌養分の源であり、また

土壌に対する出発点でもあるので、A<sub>0</sub>層の

堆積状態や形態の差異は土壌の諸性質を支配す

る大きな要因であり、とくに森林土壌においては

重要視しなければならないであろう。

地表の堆積腐植は、破壊、分解されて amor-

phous の新しい Organic complex を生成して

いくものである。

したがって、著者らは林齢の異なった各林分

における土壌腐植の形態について検討した。

土壌成分としての腐植の重要性は、今日の土

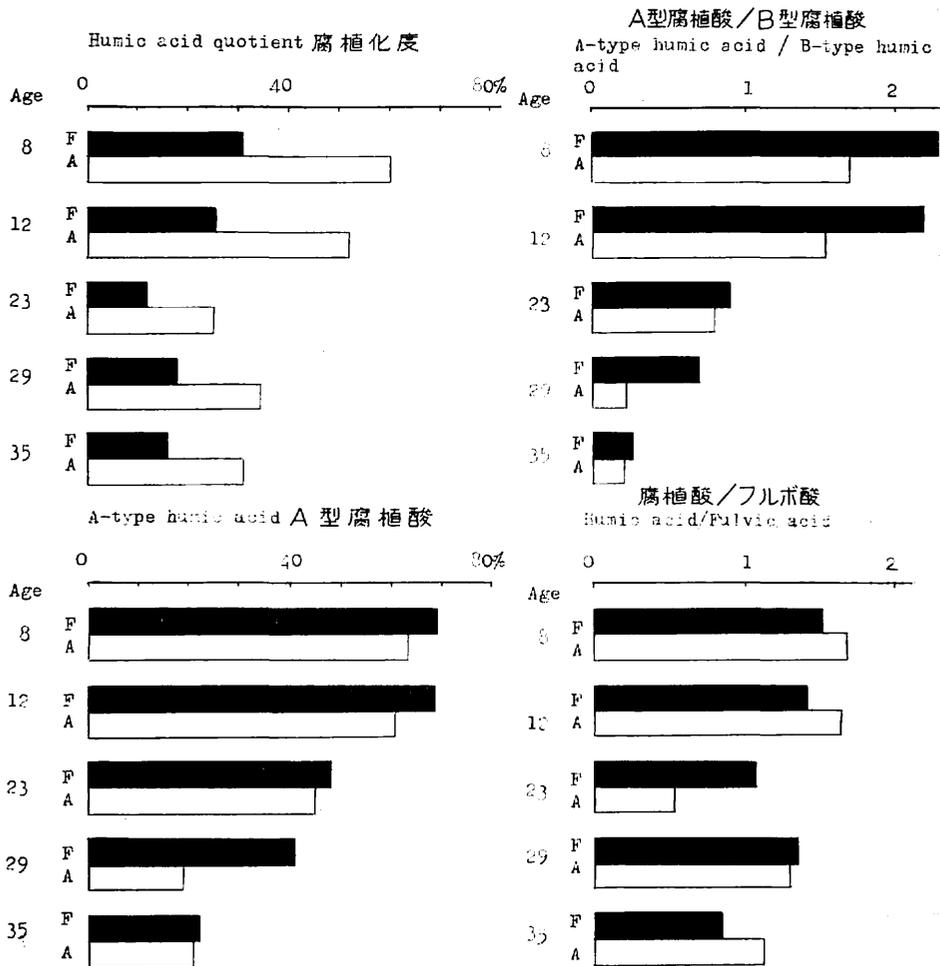
壌学が独立する以前から、すでに注目され多くの学者によって研究されてきていることは、弘法によって詳細に説明されている<sup>14)15)16)</sup>。

土壌腐植の形態や性質については SIMON<sup>32)</sup>, SPRINGER<sup>31)</sup>, TJULIN<sup>39)</sup>, WAKSMAN<sup>47)48)</sup>の諸学者によってそれぞれの立場から研究されている。

一方わが国においては、終戦後農耕地土壌を対象として弘法<sup>12)13)</sup>, 熊田<sup>17)</sup>, 小坂<sup>18)</sup>そのほかの諸氏によって研究されてきた。

しかしながら、森林土壌についての、この方面における研究はきわめて少なく、わずかに河田<sup>9)</sup>, 内田<sup>46)</sup>, 山谷<sup>52)</sup>の研究がみられるだけで、ほとんど未開の分野のように考えられる。

腐植の定量について、SIMON<sup>31)</sup>はシュウ酸ソーダ、亜化ソーダなどに可溶の腐植酸は真性腐植酸を意味し、しかも腐朽生成物はこの溶液に溶解しないとし、さらに酢酸塩緩衝液は真性腐植酸のみを溶解し、苛性ソーダは腐植酸のほかに腐朽性物質、粗腐植中の溶解容易な中間生成物ならびに低分子化合物であるフ



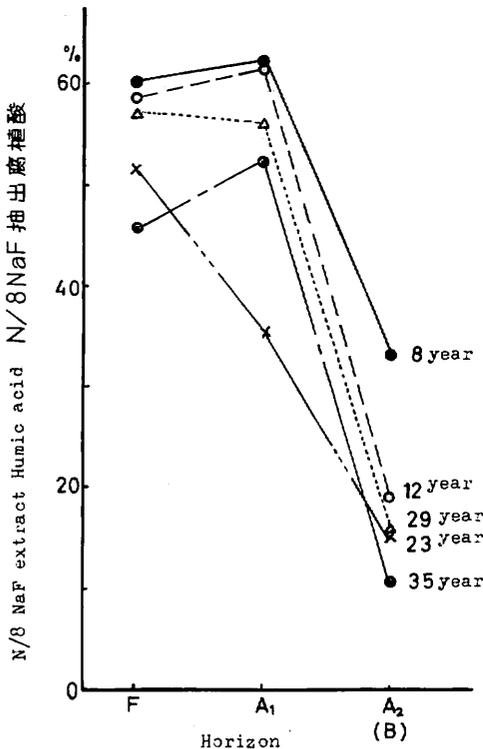
第13図 腐植の形態  
Fig. 13 Type of humus (N 8 NaF extract humus).

ルボ酸を溶解するとしている。

このような事実から、本報告の腐植の定量については、SIMON 法にしたがい、真性腐植酸ならびに、苛性ソーダ可溶性有機物はそれぞれ過マンガン酸カリの消費量の割合から、SIMON にらって腐植化度(HQ)を求めた。この結果は第13図に示すとおりである。

これらの結果から各林分における各土壌につて腐植化度の比較を行なうと、F 層およびA 層ともに林齢の増大にともない、腐植化度は低い値を示す傾向にみられる。しかし、林齢29年生および林齢35年生の林分下の土壌は、林齢23年生のものにくらべてやや高い腐植化度を示している。さきに5-1-3のところ、林齢23年生の林分下の土壌にくらべて、林齢29年生における林分下の土壌の化学的性質がまざっていることを述べたが、本結果の腐植化度の数値からみても、上述の結果をうらがきできるものであろう。

つぎに腐植酸/フルボ酸の比をみるならば、F 層ならびにA 層ともに林齢の増大にもなって減少の傾向が認められるが、29年生時の林分下における土壌ではわずかに大きい値を示す傾向がある。さらにA 層だけについてみるならば、有機物含有量の多いということは、腐植酸/フルボ酸の比が大となり、反面有機物含有量の少ない土壌では、上記の比は小となる傾向にそれぞれ認められるようであった。この点、足立<sup>1)</sup>がのべている結果とやや一致するようである。



第14図 層位別にみた N/8 NaF 抽出腐植酸  
Fig. 14 Humic acid in each layer extracted by N/8 NaF.

また、N/8 NaF 抽出腐植酸ならびにフルボ酸を、おのおの過マンガン酸カリ消費量でもとめ、これを百分率によって示し、各林分の各層土壌における腐植酸の分布状態をしらべてみた。結果は第14図に示すとおりである。

腐植酸は各林分の土壌ともにF 層から A<sub>1</sub> 層へわずかに増加する傾向にあるが、A<sub>2</sub> 層ないしB 層に至ると、急激に減少している。この結果フルボ酸は下層への移動が考えられる。この点、山谷<sup>2)</sup>が、津軽半島のヒバ林土壌で認めた傾向と同様である。

また土壌中の腐植酸の垂直的分布をみると、林齢の高い林分ほど A<sub>1</sub> 層から A<sub>2</sub> 層にかけて腐植酸が急激に低下する傾向が認められるようである。しかし、林齢23年生における土壌の場合、第 14 図によってみられるように、A<sub>1</sub> 層の腐植酸の減少は A<sub>0</sub> 層の物質循環が円滑に働き得られない環境条件下にあったため、腐植化の程度が低い多量の腐朽性物質を集積し、上述のような結果を示したものであろうと推察される。

さらに N/8 NaF 可溶性腐植酸のうち、酢酸塩緩衝液(pH 4.0)に溶解する腐植酸を真性腐植酸とし、これをさらに硫酸マグネシウムによって沈殿する部分をA型腐植酸とし、沈殿しない部分をB型腐植酸と

した。

この2つの型はSPRINGER<sup>35)</sup>の分類では、A型腐植酸は灰色腐植酸、B型腐植酸は褐色腐植酸に相当するものであり、腐植が石灰などの存在で安定してくると、しだいにA型の割合が多くなるといわれている。また、A型はB型にくらべてきわめて安定であり、腐植珪酸塩複合体を形成するものであるとし、なおB型はHumoligninより腐植化の進んだ腐植酸であって、A型よりは不安定であり溶脱を受けやすいものであるとしている。

実験結果のA型腐植酸についてみるならば、林齢8年生ならびに林齢12年生における林分下のF層およびA層は、B型腐植酸にくらべて、約2倍の値を示している。しかし、林齢が増して23、29年生の林齢になると、土壌中のB型腐植酸はA型腐植酸より、ややまさるようになる。さらに林齢35年生の林分下の土壌になると、F層およびA層ともにA型腐植酸は急激に減少し、ほとんどB型腐植酸によって占められている傾向がみとめられる。

さらに、A型腐植酸/B型腐植酸の比をみると、林齢8、12年生の林分下のF層およびA層の比は、1以上を示すが、林齢23、29、35年生の林分下のF層およびA層はともに上記の比は、1以下の小さい値を示している。

要するに林齢の増大にともない、F層およびA層は、A型腐植酸/B型腐植酸の比は減少を示す傾向にあることが認められる。

以上の結果から、堆積腐植を構成する有機物の分解過程において、林齢の若い林分すなわち、閉鎖前は腐植化作用が、他の林分(23、29、35年生)のものにくらべて、やや円滑に行なわれるに反し、林齢の高い林分のものではむしろ腐朽化作用のみうけ、粒径の小さい有機膠質物として存在し、塩基に不飽和の状態で存在していることがうかがわれる。

#### 5-1-5. シュウ酸アンモン可溶の $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ および $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量

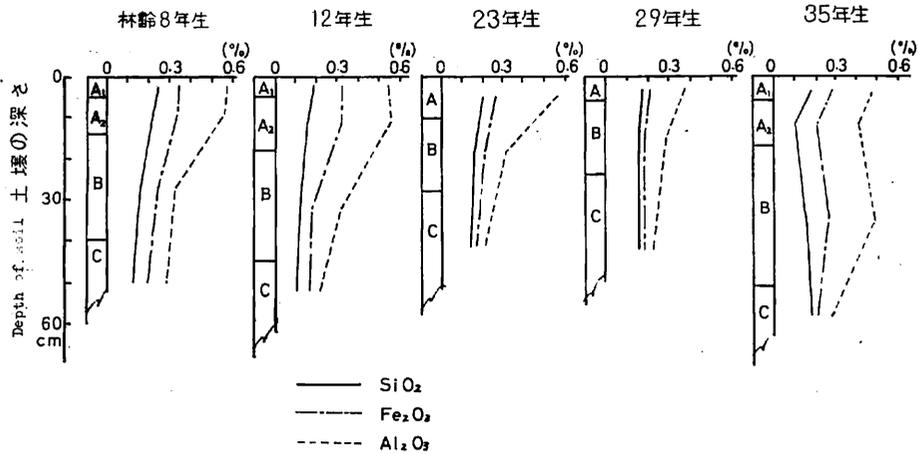
土壌の性質は母材のちがいが、生成様式のちがいによって、それぞれ異なることは生成論的立場からすでにいくつかの報告がある<sup>2)26)36)</sup>。

しかし、同一地域の同一母材から生成された土壌が、造林経歴の異なることによって、どれだけその土壌が変化するかという点についての立場から検討した論文は少ない。

そこで本項では、林齢の異なるトドマツ林土壌をシュウ酸アンモンで処理し、そこに溶出してくる2-3酸化物について検討を加えた。

酸性シュウ酸アンモンに溶解してくるところの  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  量について LUNDBLAD<sup>19)</sup> は、TAMM<sup>37)</sup> の酸性シュウ酸塩法を採用して灰白土と褐色森林土の化学的差異は、土層の外観的性状の相違によって異なっていることを報告している。すなわち、灰白色の  $A_2$  層にあっては、酸性シュウ酸塩に溶解してくる  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  は少量であり、B層では最大値を示すが、反面褐色森林土においては、A層がむしろ大なる値を示すと述べている。また、酸性シュウ酸塩によって溶出してくるところの  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  量は、土壌中の両性膠質を組成するところの諸成分の全体量でなく、その一部にすぎないが、しかしこれら老朽せざる膠質を組成するところの成分量であると報告している。

著者らは LUNDBLAD の所説にしたがって、土壌膠質物の集積状態を知るため、酸性シュウ酸アンモンをもって本供試土壌を処理し、ここに溶出してくる  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  および  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  量を測定した結果を、層断面における分布状態として示すと第15図である。



第15図 シュウ酸アンモン可溶の  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  量

Fig. 15 Amounts of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  soluble in TAMM's acid ammonium-oxalate solution.

FISHER<sup>3)</sup> は、18年生の広葉樹林地での堆積腐植は Mull の形態をとっているにもかかわらず、同一立地の 80年生の White pine の造林地では Mor の形態をとり、さらにポドゾル化作用を明らかに受けていると述べ、また PLOCHMANN<sup>24)</sup> は、広葉樹林帯を樹種更改して針葉樹を植栽し、単純林の植栽をくり返した場合、林地の表層土はしだいに養分の減少とともに土壤の悪化をきたし、ついにはポドゾル化し成長量は低下し、もとの広葉樹林より生産性が減退するものであるとしている。内田<sup>46)</sup> は北海道における針葉樹林の堆積腐植に関する研究のなかで、針葉樹林では有機物の分解がおそく、有機物が厚く堆積し Mor の形態を示し、養分の循環系を停滞させることを指摘している。著者らは前報の「トドマツ落葉の分解が土壤におよぼす影響」の報告において、余市地方の同一立地条件を有するところで、初め成林した広葉樹を皆伐し、そのあとにトドマツを造林し、32年経過時点におけるトドマツ林土壤を調査した結果、隣接の広葉樹林においては、FISHER<sup>3)</sup> が述べているように堆積腐植は Mull の形態を示し、溶脱集積の程度はきわめて微弱であったが、反面トドマツ造林地では Mor の形態を示し、明りように溶脱集積の状態を認めている。

第15図の著者らの結果では、林齢 8, 12, 23, および 29年生のそれぞれの林分下にある土壤では、 $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  および  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  量はいずれも表層から下層にむかって減少しているが、林齢 35年生の林分下の鉾質土壤では、前者と異なった傾向を示している。すなわち、 $\text{SiO}_2$  量は  $\text{A}_2$  層で減少し、B層で増大の傾向にみられる。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  量では  $\text{A}_1$  層から  $\text{A}_2$  層に至りわずかに減少しているが、B層になると多少増加し 0.49% を示している。また、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  量では  $\text{Al}_2\text{O}_3$  量と同様に  $\text{A}_1$  層より  $\text{A}_2$  層で減少し、B層で増加し、やや弱い漂白化作用を受けつつあるものと思われる。

### 5-2. 考 察

林木はその成長過程において土壤各層から養分を吸収し、一部非同化器管にたくわえ、のちずいじ落葉落枝の形で地表面に還元する。すなわち、物質循環をくり返しているものである。

したがって、その落葉類が良好な立地環境条件下に還元された場合には、土壤中の生物、微生物の活発な働きによって有機物はよく分解され、C/N 率の低い腐植が生成され、しかも Mull 状の腐植を形成し

て土壌の団粒化は促進され、理化学的性質はなおいっそう良好になるとともに、窒素・リン酸・カリ・石灰・その他の林木の養分の有効化も促進され、林木の成長に反映し、その結果土壌と林木の間の養分循環を加速度的に良好に導くものである。

しかしながら、北海道では寒冷な気象条件と相まって、間伐の施業がおくれると上述のように、針葉樹一斉林からなる林地では、分解困難とされているトドマツ落葉がしだいに厚く堆積するものである。

したがって、地表面に堆積した腐植層をすみやかに分解させ、その中に含まれる栄養分を、ふたたび林木に吸収利用させるような立地環境条件を作るという対策が必要であろう。

このような観点に立脚した立地学的見地から、林木の成長促進、土壌悪化の防止ならびに生物、微生物などの働きやすい立地環境条件を作りだすための施業のひとつとして、間伐という問題があるように思われる。

本稿の5-1-3の土壌の化学的性質のところでも述べたように、林齢25年生時に第1回の弱い間伐が実行されている。したがって、その林地は前と異なる諸種の環境の変化が生じ、これらの変化の総合的影響がその土壌の上であられ、そのため落葉その他の動植物残体の分解状態が変化し、前述のように土壌の理化学的性質ならびに腐植の形態のうえに大きな影響を及ぼしている。しかし第1回の間伐後、時間の経過とともに、林分はふたたび閉鎖状態を保つようになる。ために落葉類による堆積腐植の形成がみられるようになり、前述の結果のように林齢35年生に至ると、土壌は悪化の方向へ誘引されるような傾向が認められる。したがって、この時期において間伐をくり返し、たえず有機物および栄養分の補給を行なうような林地環境を作るべき必要があろう。

要するに、森林土壌の性質は森林の存在によって作りあげられてきたものであるといっても過言ではない。つまり林分の取扱い方法によって、鉍質土壌の性質に影響をあたえることは、既述の結果からあきらかである。

今日の林業経営をみると、与えられた地力に満足せずに、さらに林木の成長量を増大するために、林地肥培などの技術の導入がみられている。

これらは土壌の生産力を少しでも高め、維持しようとする意味で、はなはだ重要な問題であることは述べるまでもないことである。

ここで、上述の林地肥培の問題であるが、これは主としてその対象を無機質肥料にかぎられており、この無機質肥料の重要なことは確かであるが、しかし有機物の問題については全く考慮が払われていない。この点手落ちといわねばならないであろう。すなわち、土壌中の有機物は直接、間接に林地の肥沃度に大きな意味をもつことは周知の事実であって、もとより地位の良否は土壌の有機物量だけによるものでなく、有機物の多いほど地位がよくなるということではないが、しかし森林土壌にとって有機物はその肥沃度の母体であることは確かである。したがって、林木を生産する林業では、落葉によって供給される有機物それ自体および落葉による栄養分の回転は、森林土壌にとって最も大きな意義をもっているものと考えられる。

## 6. 総 括

北海道における森林土壌の生産力増強は、現下の急務にあり、またその生産力の保続を計るためには地力維持の問題は重要である。

研究面においては、林木の成長にともなう養分吸収と林地における養分循環の実態をはあくし、林齢の増大にともなう林木の養分吸収経過、林地土壌の変化過程などを研究することが必要である。本報告は以上の考え方にもとづき次のような試験研究を行なったものである。

(1) 調査地は石狩川の支流、空知川の下流右岸、芦別市にぞくする滝川林務管内である。地形は壮年期的な地ぼうを呈し、こじわが多く山脚は一般に短い丘陵性の地形をなし、古第三紀層の地域で標高 100~160m で南西または南に面する緩傾斜地である。

#### (2) トドマツ造林木の養分吸収量

1) 林木の各部位の乾物分布割合は、8年生時までは同化器官である葉部に大きく、約46%、幹で35%を示すが、林齢の増大にともなう幹部の分布割合が大となり35年生時で葉部11%、幹部63%程度になる。

2) 林木の養分含有率は、窒素、リン酸、カリの3要素ともに同化器官である葉部において高い値を示し、幹、枝部では葉部のほぼ1/2~1/10の低い値を示し、幹部においては最も低い値を示していた。

3) 林齢が増大するにともなう各養分ともに幹に含まれる量が、他の部位にくらべて急激に増加する。今回の調査の範囲では、伐採に際して幹材部の林外搬出にともなう持ち出し養分量は、トドマツ(35年生)の場合には、haあたり窒素250kg、リン酸152kg、カリ238kg、石灰273kgと計算された。この値を伐採時林齢で割り、林木の1年間あたりの平均養分持ち出し量を計算し、農作物のそれとくらべると窒素は約1/10~1/11、リン酸1/6~1/8、カリ1/7~1/9である。

4) 1本あたりトドマツの養分吸収量の推定値は、今回の調査範囲では窒素1,320g、リン酸420g、カリ780g、石灰1,500g、またhaあたりでは窒素1,740kg、リン酸540kg、カリ960kg、石灰2,030kgと概算される。

#### (3) 林地の養分循環率

前述の林木養分含有量の調査成績を基にして、林地の養分循環の試算を行なった。その結果はつぎのとおりである。

今回の調査範囲におけるトドマツ林地の養分循環率は、窒素で85%、リン酸72%、カリ75%、石灰86%であり、農作物の場合にくらべてきわめて高い養分循環率を示す。また全木集材が行なわれた場合には、窒素43%、リン酸30%、カリ16%、石灰43%となり、その養分循環率はきわめて低くなる。この養分循環率は落葉というものの分解が円滑に働き、行なわれた場合の計算である。北海道のように寒冷な気象条件下では、堆積腐植の分解も思うように促進されない。このような点を考えあわせると、実際には養分循環率というものはもっと低いものであろうと思われる。

#### (4) 林木の成長過程における土壌の変化

林齢の増大にともなう林地土壌の変化について検討した。その結果はつぎのとおりである。

1) 調査対象の林地は、いずれも古第三紀層を母材とするB<sub>b</sub>(d)型土壌である。また、これらの土壌の粘土鉱物は、ハロイサイトを主体とし、これにカオリナイト、ギブサイトをともなう。

#### 2) 理学的性質

a) B層の理学的性は、林齢の増大にともない容積重が増し、孔隙量および最少容水量が減少している。反面A層では各林分ともにA<sub>0</sub>層から多少なりとも有機物が補給され、しかも細根が広く分布するため土壌を疎しょうにしているためか、林齢が増大しても理学的性質はあまり変化しない。

b) 同一時点に水分状態をしらべた。各林分ともにB層はA層にくらべて水分量が多いが、林齢の増大にともないAおよびB層ともに水分が減少する傾向があり、とくにB層にあっては著しい。

c) 林齢の増大にともない林分が閉鎖すると落葉による堆積腐植が形成される。このような状態では降水の鉱質土壌中への浸透が落葉層に阻止されることと、林木の生育にともなう水分利用吸収の増加と相まって、鉱質土壌は多少乾性の方向へ進みつつあるのではないかと思われる。

### 3) 化学的性質

a) 林齢の増大にともなう化学的性質についてみると、A層では一般的な傾向として、pH、炭素、窒素、置換性石灰量および塩基置換容量などは低下するが、置換酸度、塩基不飽和度は高い。またB層ではpHが低く、塩基不飽和度が高いが他の項目については一定の傾向はみられない。これは林齢の増大によって自ずから樹冠の閉鎖度を増し、立地環境条件も異なってくるので、有機物の分解が劣り無機化が遅滞しているためと思われる。

b) 林齢29年生時の林地土壌では、pH、炭素および塩基置換容量の増大、反面塩基不飽和度の減少がみられる。またhaあたり×深さ50cmの窒素、リン酸、カリ、石灰の現存養分量は増大している。このことは林分が閉鎖状態にあった林齢25年生時に第1回の間伐が施行され、ために年々加わった分解緩慢であった堆積腐植が漸次分解の度を増したための結果と考えられる。

### 4) 腐植の形態

a) 腐植化度はFおよびA層ともに、林齢の増大にともない低下する傾向がみられる。しかし林齢29年生時には林齢23年生時より土壌の腐植化度は高い。また腐植酸/フルボ酸比も同様の傾向にある。

b) A型腐植酸およびB型腐植酸についてみれば、林齢8および林齢12年生における土壌中のA型腐植酸はB型腐植酸にくらべて、約2倍の値を示しているが、林齢の増大にともない逆に土壌中のB型腐植酸の方が多くなり、さらに林齢35年生に至ると、A型腐植酸は減少し、ほとんどB型腐植酸のみとなる。

A型腐植酸/B型腐植酸の比は、林齢8、12年生における林地のF層、A層ともに1より大きく、林齢23、29年生では、ともに1以下の値を示す。また35年生に至るとこの比はさらに低下する。

### 5) $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ および $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の含量

土壌膠質物の集積状態を知るため酸性シュウ酸アンモンをもって土壌を処理し、ここに溶出してくる $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ を測定した。

林齢別にみると、 $\text{SiO}_2$ は林齢29年生ころまでは、いずれも表層から下層にむかって減少しているが、林齢35年生に至ると前者の林分とは異なりA<sub>2</sub>層で減少しB層で増加する。また $\text{Al}_2\text{O}_3$ および $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 量はA<sub>1</sub>層よりA<sub>2</sub>層に至りわずかに減少するが、B層では多少増加の傾向が認められた。

## 文 献

- 1) 足立嗣雄：火山灰土壌の腐植組成に関する考察，ペドロジスト，7，pp.2~12，(1963)
- 2) CLINE, M.G.: Profile studies of normal soil of New York (I). Soil profile sequence involving brown forest, graybrown podzolic, and brown podzolic soils. Soil Sci., 68, pp.259~272, (1947)
- 3) FISHER, G.M.: Comparative germination of species on various kinds of surface-soil material in the western white pine type. Ecology, 16, p.606, (1935)
- 4) 原田 泰：土壌の種類および肥料を異にせる場合トドマツ，エゾマツの生育状態と施肥料について，

- 御料林, 133, pp. 2~15, (1939)
- 5) 橋本与良：瘠悪林地とその改良, 林野庁, (1956)
  - 6) 福井英一郎：気候学, 古今書院, (1928)
  - 7) 伊藤悦夫：主として地力維持について, これからの造林, 林野共済, pp. 149~151, (1962)
  - 8) 鎗木徳二：地力改良の問題点, 北方林業, pp. 151~152, (1960)
  - 9) 河田 弘：森林土壌の化学的性質および腐植の形態に関する研究, 林野土調報, 10, pp. 1~108, (1959)
  - 10) 川村一水：土壌学講話, 養賢堂, p. 153, (1934)
  - 11) 久保哲茂・森田禧代子・竹原秀雄：植被の土壌に与える影響について, (I), (II), 日林講, 76, pp. 136~140, (1965)
  - 12) 弘法健三：開墾地土壌の熟成過程における腐植の形態変化, 東大立地研究会, 2, pp. 1~7, (1949)
  - 13) 弘法健三：畑土壌の化学的研究 (II), 日土肥誌, 21, pp. 69~70, (1950)
  - 14) 弘法健三：腐植についての覚書 (I), 日土肥誌, 21, pp. 125~128, (1950)
  - 15) 弘法健三：腐植についての覚書 (II), 日土肥誌, 21, pp. 306~310, (1950)
  - 16) 弘法健三：腐植についての覚書 (III), 日土肥誌, 21, pp. 145~147, (1951)
  - 17) 熊田恭一：水田土壌の腐植質に関する研究 (I), 日土肥誌, 20, pp. 45~48, (1949)
  - 18) 小坂二郎・井磧 昭：土壌型と腐植の形態との関係に関する研究 (第 1 報), 日土肥誌, 21, pp. 279~282, (1951)
  - 19) LUNDBLAD, K.: Studies on podzols and brown forest soils; II Soil Sci., 41, pp. 295~313, (1936)
  - 20) 真下育久：森林土壌の理化学的性質とスギ, ヒノキの成長に関する研究, 林野土調報, 11, pp. 1~182, (1960)
  - 21) 三島 懋・菅野高穂・谷口三佐男：広葉樹二次林の林分改善と林種転換 (I), 日林北支講, 13, pp. 49~53, (1964)
  - 22) 農業技術協会：作物試験法, pp. 269~299, (1955)
  - 23) 大政正隆・森 経一：落葉に関する 2, 3 の研究, 帝林林試報告, 3, pp. 39~101, (1937)
  - 24) PLOCHMANN, R.: The struggle for mixed forest. American forest, 8, (1960)
  - 25) 林業試験場：林野土壌調査方法書, (1955)
  - 26) 佐々木清一・石塚喜明：北海道における土壌の風化過程について (第 5 報完), 日土肥誌, 25, pp. 129~136, (1954)
  - 27) 佐藤大七郎：林木成長論資料 (I), その他, 東大演習林報告, 48, pp. 65~88, (1955)
  - 28) 四手井綱英・堤 利夫：天然生トドマツ林の乾物炭分現存量 (予報), 日林講, 72, pp. 177~179, (1962)
  - 29) 四手井綱英・堤 利夫：林地の有機物集積量とその平均分解率と気候との関係, 日林誌, 44, pp. 297~303, (1962)
  - 30) 四手井綱英：アカマツ林の造成, 地球出版, p. 28, (1963)
  - 31) SIMON, K.: Ueber die Herstellung von Humusextrakten mit neutralen Mitteln. Zeitschr. f. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenk., 14, p. 252, (1929)
  - 32) SIMON, K. und H. SPEICHERMAN, : Beiträge zur Humusuntersuchungsmethodik. Bodenk. und Pflanzenernähr. 8, pp. 129~151, (1938)
  - 33) 森林計画研究会北海道林務部支部：北海道の主要樹種林分収穫表, pp. 26~27, (1960)
  - 34) SPRINGER, U.: Neuere Methoden zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen. Zeitschr. f. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenk., 22, p. 135, (1931)

- 35) SPRINGER, U. : Zur kenntniss der Bindungsformen der Humusstoffe besonders in Waldböden. Zeitschr. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenk., 45, pp.327~352, (1951)
- 36) 竹原秀雄・久保哲茂・細川一信：木曾地方における石英斑岩に由来するポドゾル化土壌について，日林誌，39，pp.419~426，(1957)
- 37) TAMM, O. : Uber die Oxalatmethode in der chemischen Bodenanalyse. Meddel. statens. Skogarförsöksanst., 34, pp.1~20, (1932)
- 38) 寺田喜助：北海道森林土壌の地域性ならびにトドマツ地位指数と土壌因子に関する研究，道立林試研究報告，4，pp.5~101，(1967)
- 39) TJULIN, A. T. : The composition and structure of soil organo-mineral gels and soil fertility. Soil Sci., 45, pp.343~357, (1938)
- 40) 塘 隆男・原田 洸：林木の養分含有量に関する研究（Ⅰ），年齢別にみたスギの重量と肥料三要素の含有量について，日林講，66，pp.75~77，(1956)
- 41) 塘 隆男・原田 洸：林木の養分含有量に関する研究（Ⅱ），年齢別にみたアカマツの養分含有量について，日林講，69，pp.182~184，(1959)
- 42) 塘 隆男：わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究，林試研報，137，pp.5~136，(1962)
- 43) 堤 利夫：林木の落葉の分解について，京大演報，26，pp.59~87，(1956)
- 44) 堤 利夫・四手井綱英・岡村 厳：森林の落葉の分解について（Ⅱ），京大演報，33，pp.187~198，(1961)
- 45) 堤 利夫・河原輝彦・四手井綱英：森林生態系における養分循環について（Ⅰ） 個体および林分の地上部の養分量，日林誌，50，pp.66~74，(1968)
- 46) 内田丈夫：北海道における針葉樹林の堆積腐植に関する研究，林試研報，114，205 pp.，(1959)
- 47) WAKSMAN, S. A. and K. R. STEVENS : A critical study of the method for determining the nature and abundance of soil organic matter. Soil Sci., 30, pp.97~116, (1930)
- 48) WAKSMAN, S. A. : Humus,—origin, chemical composition and importance in nature. (1936)
- 49) 山本 肇：土壌の性質とトドマツの成長，林野土調報，12，pp.157~233，(1962)
- 50) 山本 肇・真田 勝・真田悦子：トドマツの生育と養分含有量の関係ならびに地力維持に関する2，3の考察について，林試北支報，pp.32~55，(1965)
- 51) 山本 肇・真田悦子：トドマツ落葉の分解が土壌におよぼす影響，林試研報，
- 52) 山谷孝一：津軽半島南部ヒバ林土壌について，林野土調報，12，pp.2~128，(1956)
- 53) 山谷孝一：ヒバ林地帯における土壌と森林生育との関係，林野土調報，12，135pp.，(1962)
- 54) ZONN, S. V. (遠藤健二郎訳)：森林と土壌，日林協，pp.61~133，(1959)

**Nutrients Uptake by Planted Todo-fir (*Abies sachalinensis* MAST.)  
Nutrient Circulation and a Change of Soil in Forest Land**

Tadashi YAMAMOTO<sup>(1)</sup> and Etsuko SANADA<sup>(2)</sup>

(Résumé)

As for preservation of forest soil productivity, we conducted the following studies.

1. Tokiwa area at right-hand shore of the Sorachi river, a branch of Ishikari river, under the jurisdiction of Takikawa Prefectural District Forestry Office, Tokiwa city, Hokkaido, was surveyed.

Topography of this area is rugged hills belonging to paleo-tertiary. The area lowers gradually towards the south-west or the south and is 100~160m above sea level.

2. Nutrients uptake by planted Todo-fir.

1) Distribution of dry materials in tree is 46% in leaves and 35% in stem of young trees 8 years old, while 11% in leaves and 63% in stem of 35-year-old trees.

2) Contents of N, P, K is high in leaves, and 1/2~1/10 of those in trunk and branches, especially low in the former.

3) With the advance of stand age, nutrient contents in stem increase more remarkably than in other parts of tree. These nutrients are carried out from stands with harvest cutting. With 35-year-old Todo-fir, carried out nutrients are surveyed as N 260kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 152kg, K<sub>2</sub>O 238kg, CaO 273kg. Yearly mean values can be gained with division of these values by cutting age. Compared with agriculture crops, yearly mean values are as follows : N 1/10~1/11, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1/6~1/8, K<sub>2</sub>O 1/7~1/9.

4) From our analysis, nutrients absorption with individual Todo-fir of cutting age can be presumed as N 1,320g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 420g, K<sub>2</sub>O 780g and CaO 1,500g. Total value per 1 hectare is N 1,740kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 540kg, K<sub>2</sub>O 960kg and CaO 2,030kg.

3. Nutrient circulation in forest land.

1) Nutrient circulation was calculated as N 85%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 72%, K<sub>2</sub>O 75%, CaO 86%. These percentages are high contrasted with agriculture crops.

2) In the case of whole stem skidding, nutrient circulation lowers as N 43%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 30%, K<sub>2</sub>O 16%, CaO 43% and forest soil productivity lowers remarkably.

3) It is said that K circulation is low in trees and highest in field crops. This is because of K accumulation in tree stems.

As decomposition of fallen leaves is delayed in northern districts as in Hokkaido, nutrient circulation may be lower than the above-mentioned.

4. Change of soil with growing stages of trees.

1) Soils of surveyed areas are paleo-tertiary in origin and belong to Bd (d) type. Clay minerals in these soils are mainly Halloysite accompanied with Kaolinite, Gibbsite.

2) Physical properties.

a) With advance of stand age, increment of volume weight and diminution of air capacity

---

Received December 6, 1969

(1) (2) Soils Unit, Silviculture Division, Hokkaido Branch Station.

in B horizon are observed. But, physical properties of soil do not change remarkably with stand age.

b) Water content in B horizon is more than in A horizon with each stand, and with advance of stand age, water content diminishes both in A and B horizon, especially in the latter.

c) When humus accumulates on the soil surface, diminution of water penetration into soil and water absorption by trees may bring about dry soil type.

### 3) Chemical properties.

a) With advance of stand age, generally, pH value, values of C, N and exchange Ca and base exchange capacity lower and exchange acidity and the degree of base unsaturation increase in A horizon. As for B horizon, pH value is low and the degree of base unsaturation is high, caused by stagnation of decomposition of organic matters under dense crown cover.

b) In the soil under 29-year-old stand, increments in pH value, C content and base exchange capacity and diminution in the degree of base unsaturation are recognized. Contents of N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  and CaO per hectare ( $\times 50$ cm depth) increase. As the first thinning was practiced in the stand at the age of 25 years, decomposition of humus was promoted and might have brought out these results.

### 4) Form of humus.

a) Degrees of humification both in F layer and A horizon decrease with advance of stand age. But higher value is observed in the soil under the 29-year-old stand than the 23. Concerning humic acid/fulvic acid ratio, there was observed a similar tendency. This might be the effect of thinning.

b) Contents of A humic acid are twice that of B humic acid in soil under 8 and 12 year stands, but with advance of stand age, the latter exceed the former. Furthermore, in the 35-year stand, the most part of humic acid consist of B-type. Values of A type/B type are more than 1 in F layer and A horizon under stands 8 and 12 years old, while under those 23 and 27 years old the ratios are less than 1. Under the 35-year-old stand the ratio lowers further, indicating the state of base unsaturation. With the latter stand, there is a threat of eluviation as mentioned by SPRINGER.

### 5) Contents of $SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ .

a) Following LUNDBLAD's methods, soils were treated with ammonium-oxalate, and solved  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  were measured to determine accumulation of colloidal substances in soil.

b) Colloidal substances in F layer are less than in other layers of soil under stands younger than 29-year-old, while volume of  $SiO_2$  diminishes in  $A_2$  and increases in  $B_2$  horizon of soil under the 35-year-old stand. Volumes of  $Al_2O_3$  and  $Fe_2O_3$  slightly less in  $A_1$  than  $A_2$  horizon, and increase remarkably in B horizon. The low value of A humic acid/B humic acid and base unsaturation in the soil under the 35-year-old stand might be the cause of these results.

6) From the foregoing it is concluded that repeated thinning to promote decomposition of humus layer is desirable to maintain forest soil productivity.