

トドマツ・広葉樹混交天然林における 養分要素の循環について

上 田 晋 之 助

Investigation on the Nutrients Circulation in the Mixed Natural Forest of Todo-matsu (*Abies sachalinensis* MAST) and Broad Leaved Trees

Shinnosuke UEDA

目 次

要 旨.....	23	2) 養分の落葉・落枝としての還元 —A ₀ 層の平均分解率
はじめに.....	24	3) 土壤層中に保持された養分量と 幹材に年々吸収・固定される養 分量との関係(土壤中養分の消 費の速さ)
1 調査地の概況.....	25	おわりに.....
2 林分の状況と林分現存量.....	25	引用文献.....
3 土 壌 環 境.....	28	Résumé
4 生態系内各部の養分要素含有率.....	30	
5 養分要素の循環.....	32	
1) 生態系内の各部に保持された養 分量とその配分		

要 旨

北海道北部の天塩川流域に広く分布している針・広混交天然林において、その森林生態系内における養分要素(N、P、K、Ca、Mg)の循環機構を調査した。この調査は広葉樹の方が優勢な森林と、逆に針葉樹の方が優勢な森林の2つの林分において行なったが、次のような結果を得た。

1) この両林分の地上部の乾物現存量の総計は ha あたりほぼ 140ton であまり差はなかったが、いずれも下層植生としてのササの量は多かった。また A₀ 層の堆積量は ha あたり 12~20 ton で、このような亜寒帯の森林としては少なかった。

2) 土壤はいずれも砂岩、頁岩を母材とした褐色森林土であったが、蛇紋岩の影響を受けて P の含有率が低く、また Ca/Mg 比の小さい特異な性質を示した。

3) 針葉樹、広葉樹、ササの養分要素の含有率を調べた結果、葉部ではいずれの要素も広葉樹が高く、次いでササ、針葉樹の順であった。また針葉樹の葉では N、P、K の3要素は新葉が高く、旧葉では低くなっていたが、Ca は逆の傾向を示した。

4) この両林分の森林生態系内に保持されていた養分量を算出した結果、その総量は林分により異なっていたが、各要素ともその配分や動きは共通していた。植生中の各部に保持された養分

量と土壤中に貯えられていた養分量を比較した結果、Mg は土壤中にきわめて多いのでその供給力は非常に大きいと思われた。これに次いで Ca、K の順で供給力は大きいと思われた。しかし P は極端に少なく、この両林分の生長には P が制限因子になっているように思われた。

5) 落葉・落枝の林床への還元量を推定した結果、ha あたり年間に乾物として 3,100~5,200 kg が還元され、この中に含まれて N は 41~68kg, P_2O_5 は 7~14kg, K_2O は 36~50kg, CaO は 31~61kg, MgO は 6~11kg が還元されていた。

6) 両林分とも Ao 層の平均分解率は25%前後で意外に速かった。また Ao 層に含まれる各養分の分解・溶脱率より、N は 4年、P は 3~4年、K は僅か 1年前後、Ca は 2~4年、Mg は 3年程度で分解され、生態系内の循環に加わっていくようであった。

7) 林木の幹に吸収、蓄積される養分量より土壤中の各養分の消費の速さをみた結果、可給態養分として P は僅か 18~30年分しか存在せず、ここからも P の不足が必配された。

8) 以上の結果より各養分はこのような亜寒帯の森林としては意外に順調に循環しているように思われた。これには広葉樹の葉と下層植生としてのササの役割りが大きいように思われた。

は じ め に

森林生態系における養分要素の循環は、その森林の生産力や地力維持の機構を決定している因子のなかでも最も重要な問題の 1つである。しかしこの循環のしくみは樹種の相違や環境の諸因子の変化にともなって質的にも量的にも異なってくるのが当然考えられる。

現在我国では各種の森林の物質循環についての調査、研究が各地で行なわれているが、まだその歴史は浅い。したがって異なった環境における各種の森林についてさらに多くの資料を積み重ねていく必要があるように思われる。

北海道の森林の物質循環についての調査、研究はすでに1960年に四手井・堤によって始められており、その成果も報告されている^{1,2,3)}。

また山本、真田らも四手井らとは別の方法で北海道のトドマツ人工林における養分の循環について研究し報告している^{4,5,6,7)}。

しかしこれらの研究はいずれもエゾマツ、トドマツ等の針葉樹の森林についてであり、北海道のもっとも代表的と思われる針・広混交天然林についてはまだ不明な点が多い。

筆者は現在まで外国産マツを主体とした人工林における養分要素の循環機構について調査してきたが、たまたま北海道造林技術センターによって道北地方に広く分布している更新困難な針・広混交天然林の実態を把握するための基礎研究班が組織され、筆者もこの研究班の 1員として土壤環境と養分要素の循環に関する調査を実施する機会を得た。この研究班の終局の目的はこの森林の現在の実態について森林生態学的に各方面より調査することによって、将来の合理的な更新方法を確立するための資料を収集することにあつたが、調査にあたっては直接的には更新方法の確立というような技術的な目標は念頭におかず、あくまでもこの森林の実態を把握することに努めた。

以下にのべるのは筆者の担当したこの森林における養分要素の循環についての調査結果をとりまとめたものである。

最後にこの研究班を発足させ推進された北海道造林技術センターの田中敏文会長、坪井一郎副理事長、故佐藤享理事の各位、また調査にあたっては種々御指導を賜った四手井教授、小滝武夫氏、吉村助教授、赤井助教授に感謝する。同時にこの調査において多くの便宜を提供していただいた道有林美深林務署、音威子府支署の多くの方々にも深く感謝する。

1 調査地の概況

調査は北海道中川郡音威子府村にある道有林、美深経営区214林班と286林班の2つの林分において実施した。

前者の林分は同村の中央を貫流している天塩川の左岸に注ぎ込んでいる支流の物満内川を約4 km さかのぼった所の川ぞいの、ほぼ南向き(S 10°E)斜面にある。また後者の林分は天塩川の右岸に注いでいるルチヒコナイ沢を約3 km さかのぼった地点の南西向き(S 20°E)斜面の中腹部にある。両林分とも標高は200m前後である。

同地域一帯の気候は北海道でも有数の厳寒多雪地帯といわれており、昭和34～昭和43年の10年間の気象観測結果によると、年平均気温4.9°C、年降水量1,649mm、うち平均積雪水量は129 mm、最深積雪は260cmを示し、この間の最低気温は-35.4°Cであった。¹²⁾

また同地域は地形区分上は宗谷山地に属し、起伏のはげしい地帯であるがこの地域を構成している地質は非常に複雑で先白亜系、白亜系、第4系の堆積岩、堆積物の地帯に蛇紋岩、玄武岩、ひん岩等の火成岩類の露出した地帯が複雑に入り混¹³⁾っている。

またこの地域は森林植物帯上からは温帯北部から亜寒帯に位置し、針・広混交林帯、針葉樹林帯、ダケカンバ帯が交互に入り組¹⁴⁾んでいる。

調査した林分の地質はいずれも白亜系エゾ層群に属し、土壌は砂岩、頁岩を主母材としていたが、両林分とも調査地の尾根部または上流部0.2～0.5kmのきわめて近接した所に超塩基性岩といわれる紋蛇岩の露出した地帯が広がっており、土壌の崩壊や地すべり等によって移動した蛇紋岩性の土壌が相当量混入していると思われ、この影響で調査地はかなり特異な土壌層を形成していた。

また調査した林分はいずれも針・広混交の複層林で、林相はミヅナラ、シナノキ、カエデ類、ニレ類、カンバ類、ハリギリなどの広葉樹にトドマツとごく少数のエゾマツが混交し、下層植生としてササ類が密生している。しかし広葉樹に比べて214林班では針葉樹が少なく、286林班では針葉樹の方が多い林相であった。

また同地域一帯の同様な天然林のなかでは214林班は針葉樹の後継稚樹の更新がきわめて悪く、典型的な更新困難地とされているが、286林班は同地域としては比較的針葉樹の更新は良好である。

したがって気象、土壌等の環境条件が似かよっていながら異なった更新状態を示しているこの2つの林分を比較する目的もあって以上の調査林分を選定した。

調査は1970年8月に214林班を、1971年8月に286林班について全く同様の方法で実施した。

2 林分の状況と林分現存量

地上部林分の優勢木についてはそれぞれの調査林分中に214林班では1 haの、286林班では0.16haの標準地を設定し、樹種、胸高直径、樹高の毎木調査を実施した。その結果この両林分では針・広の割合は異なっていたがほぼ共通した樹種で構成されていた。すなわち針葉樹としては両林分ともトドマツが主で僅かにエドマツが混っていた。また広葉樹の種類は多く、214林班では15樹種、286林班では8樹種がみられたが、共通して多かったのはミヅナラ、イタヤカエデ、シナノキ、ダケカンバ、ハリギリ、ハウノキ等であった。

つぎに標準地内よりいろいろな大きさの供試木(針葉樹数本、広葉樹10数本づつ)を地際より伐倒し、地際(0m)から地上0.3mまでと、それ以上は胸高(1.3m)、2.3m……と各1mの層

ごとに切り離し、幹、枝、葉の生重量をただちに計測し、サンプリングによる絶乾率からそれぞれの乾重量を求めた。

以上の結果から供試木各個体の胸高直径 (D) と樹高 (H) の D^2H ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}$) に対する幹重量 (W_S , kg), 枝重量 (W_B , kg), 葉重量 (W_L , kg) の相対生長関係式を求めた結果はつぎのようである。

214 林班

針葉樹 (トドマツ)

$$W_S = 0.0346 (D^2H)^{0.929}$$

$$W_B = 0.01355 (D^2H)^{0.896}$$

$$W_L = 0.00764 (D^2H)^{0.883}$$

広葉樹 (15樹種共通)

$$W_S = 0.0295 (D^2H)^{0.964}$$

$$W_B = 0.00405 (D^2H)^{1.067}$$

$$W_L = 0.00589 (D^2H)^{0.786}$$

286 林班

針葉樹 (トドマツ)

$$W_S = 0.06741 (D^2H)^{0.8505}$$

$$W_B = 0.01703 (D^2H)^{0.893}$$

$$W_L = 0.06462 (D^2H)^{0.6115}$$

広葉樹 (8樹種共通)

$$W_S = 0.398 (D^2H)^{0.921}$$

$$W_B = 0.00841 (D^2H)^{0.962}$$

$$W_L = 0.00436 (D^2H)^{0.779}$$

さらにこの相対生長関係式をさきの毎木調査結果にあてはめ、樹種毎の幹、枝、葉の ha あたり現存量を算出した結果を表-1に示す。

Table 1-1. Species of dominant trees and its biomass in the forest block 214. (ton / ha)

	Species	Number of standing tree	Stem (ton)	Branches (ton)	Leaves (ton)	Total (ton)	
Coniferous tree	* <i>Abies sachalinensis</i> トドマツ	130	25.53	7.42	3.68	36.63	
Broad leaved tree	<i>Quercus crispula</i> ミヅナラ	56	21.07	8.50	0.67	30.24	
	<i>Acer mono Maxim var. marmoratum</i> イタヤカエデ	102	15.00	5.64	0.53	21.17	
	<i>Tilia japonica</i> シナノキ	52	9.07	3.39	0.33	12.79	
	<i>Betula Maximowicziana</i> ウダイカンバ	69	6.51	2.30	0.26	9.07	
	<i>Kalopanax pictus</i> ハリギリ	13	2.70	1.04	0.09	3.83	
	<i>Alunus hirsuta</i> ケヤマハンノキ	40	2.67	0.90	0.12	3.69	
	<i>Fraxinus mandshurica var. japonica</i> ヤチダモ	33	2.41	0.85	0.10	3.36	
	<i>Magnolia obovata</i> ホオノキ	15	0.97	0.30	0.04	1.31	
	<i>Betula lutea</i> キハダ	14	0.86	0.28	0.04	1.18	
	<i>Ulmus laciniata</i> オヒヨウニレ	8	0.80	0.29	0.04	1.13	
	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i> Franch. et sav. コシアブラ	6	0.40	0.14	0.02	0.56	
	<i>Sorbus commixta</i> ナナカマド	6	0.21	0.06	0.01	0.28	
	<i>Salix sp.</i> ヤナギ	2	0.13	0.04	0.006	0.18	
	<i>Sorbus alnifolia</i> アヅキナシ	1	0.01	0.004	0.001	0.02	
	<i>Prunus Jamasakura Sieb. var. Spontanea</i> ヤマザクラ	1	0.01	0.004	0.001	0.02	
		Total	418	62.82	23.74	2.26	88.82
		Sum total	548	88.35	31.16	5.94	125.45

* Include one of *Picea Glehnii*

Table 1—2. Species of dominant trees and its biomass in the forest block 286. (ton / ha)

	Species	Number of standing tree	Stem (ton)	Branches (ton)	Leaves (ton)	Total (ton)
Coniferous tree	<i>Abies sachalinensis</i> トドマツ	331	51.41	19.71	4.89	76.01
	<i>Picea Glehnii</i> アカエゾマツ	6	1.22	0.46	0.12	1.80
	<i>Picea jezoensis</i> クロエゾマツ	6	0.51	0.18	0.07	0.76
	Total	343	53.14	20.35	5.08	78.57
Broad leaved tree	<i>Betula Ermanii</i> ダケカンバ	75	16.14	5.01	0.41	21.56
	<i>Quercus crispula</i> ミヅナラ	44	11.45	3.61	0.31	15.37
	<i>Acer mono</i> Maxim var. <i>marmoratum</i> イタヤカエデ	13	2.81	0.87	0.08	3.76
	<i>Tilia japonica</i> シナノキ	19	2.36	0.95	0.07	3.38
	<i>Magnolia obovata</i> ホオノキ	19	0.05	0.01	0.003	0.06
	<i>Kalopanax pictus</i> ハリギリ	19	0.04	0.01	0.002	0.05
	<i>Betula Maximowicziana</i> ウダイカンバ	6	0.01	0.002	0.001	0.01
	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i> Franch. et sav. コシアブラ	13	0.01	0.002	0.001	0.01
	Total	208	32.87	10.46	0.88	44.20
Sum total	551	86.01	30.81	5.96	122.77	

Table 2. Biomass of above-ground parts per hectare in experimental forests. (ton / ha)

Forest		Species	Stem (ton)	Branches (ton)	Leaves (ton)	Total (ton)
Forest block 214	Dominant tree	Coniferous tree	25.5	7.4	3.7	36.6
		Broad leaved tree	62.8	23.7	2.3	88.8
	Ground flora	*Sasa	12.7	—	3.0	15.7
		Shrub	0.5	—	0.1	0.6
	Total		101.5	31.1	9.1	141.7
Forest block 286	Dominant tree	Coniferous tree	53.1	20.4	5.1	78.6
		Broad leaved tree	32.9	10.5	0.9	44.3
	Ground flora	*Sasa	6.6	—	1.7	8.3
		Shrub	1.9	—	0.7	2.6
	Total		94.5	30.9	8.4	133.8

* *Sasa Kurilensis* Makino et Shibata var. *genuina* Nakai

以上の結果より、これらの調査林分における DBH 4cm 以上の針葉樹、広葉樹の幹、枝、葉の現存量の合計量は両林分ともほぼ 120 ton / ha であまり大きな差はなかった。

しかし針葉樹：広葉樹の割合は 214 林班ではほぼ 1 : 2 の比率で広葉樹が多かったのに比べ、286 林班ではこの比率が逆転し、針葉樹の方が多いことを示している。

つぎに両林分とも下層植生としてはチシマザサがほぼ 1.3~1.5m の高さで全域に密生し、この中にオオカメノキ、ナナカマド、イタヤカエデ、トドマツ等の幼樹とツルシキミ、エゾユヅリハ等のかん木が混っていた。また広葉樹の大径木にはイワガラミ、ツタウルシ、マタタビなどのつる性植物がまきついているのもかなりみられた。

しかし下層植生の量は両林分とも場所によるバラツキがかなりみられるので、いずれも調査林分内に 1×1m の調査区をランダムに 8~12か所選んで調査し、その平均値を用いることにした。

この結果は表—2の中に示したが、ササとかん木の合計量で 214 林班では ha あたり約 16ton、286 林班でも約 11ton を示したが、その大部分はササで占められていた。

またササの量は 214 林班に比べ 286 林班では約半分に減少していたが、かん木の量はむしろ 286 林班に多く、なかでも針葉樹の幼稚樹が多かった。

以上のように、林木と下層植生を合わせた林分の ha あたり現存量は表—2に示したように 130~140 ton 程度となり、両林分にあまり差はなかった。

3 土 壤 環 境

Ao 層の堆積量の測定は下層植生の場合と同様に調査林分中に 1×1m の調査区を 6~8か所設けて行なった。

この結果は林分内の位置によるバラツキがかなりあったが、その平均の ha あたり換算量は 214 林班で 20.6 ton、286 林班では 12.0 ton であった。この数値はこのような亜寒帯の森林としては他に比べて少なかった。^{2,3)}

鉍質土層の調査は各林分内に基岩に達するまでの試坑を掘り、その断面にあらわれた特徴を観察し、ついでその林分をもっともよく代表すると思われる断面 2か所について深さ別に 0~5cm、5~20cm、20~35cm、35~50cm、50~基岩層に分け、それぞれより 400cc 容採土円筒を用いて試料を採取し、理化学性の分析を行なった。同時に鉍質土層中の養分量の算出の基礎となる細土量を知るために各深さ毎の一定容積中の細土量 (<2mm) を測定し、この量より各深さ毎の ha あたり細土量に換算し、さらにそれぞれの林分内 2か所の平均値を算出した。

以上の調査について土壌断面の観察結果については表—3に示したが、214 林班では同じ林分内において 2つの土壌型がみられた。すなわちこの林分は比較的谷筋に近いので、谷ぞいの山脚部は地下水が軽く停滞しているためにやや湿性となり、ここでは B_F 型となっていたが、ここよりやや上った山腹斜面は比較的排水もよいため B_O 型となっていた。これに対して 286 林班では谷筋よりやや離れているために全林分とも B_O 型となっていた。また土壌層の厚さは 214 林班の B_F 型の所はほぼ 55cm、同じく B_O 型の所は 65cm であったが、286 林班ではほぼ 100cm とかなり厚かった。またこの 3土壌型を通じて、A 層は比較的薄く、B 層はやや発達して層位の分化も認められたが、明瞭な C 層は認められなかった。

土壌の理学的性質の検定結果については図—1に示したように 214 林班の B_F 型土壌では最表層 (0~5cm) の容積重が 60前後を示したが下層では 90~130 を示し、かなり重いち密な土壌であった。

またこの土壌では図より明らかなように保水力は全般に少ないが、下層になる程さらに少なく

Table 3. Description of soil profile in experimental forests.

Stand	Soil type	Horizon	Depth from surface (cm)	*Soil color	Texture	Structure	Hardness	Definition of boundary
Forest block 214	B _F	A ₀	7~0	10YR 4/4	—	—	—	Distinct
		A	0~8	7.5YR 2/3	Clay loam	Granular	Soft	Distinct
		B ₁	8~17	10YR 5/4	Clay loam	Nutty	Hard	Indistinct
		B ₂	17~43	10YR 5/6	Clay	Blocky	Hard	Indistinct
		B ₃	43~55	10YR 6/4	Clay	Non structure	Hard	Indistinct
	B _C	A ₀	6~0	10YR 4/4	—	—	—	Distinct
		A	0~5	7.5YR 3/4	Clay loam	Granular	Soft	Distinct
		B ₁	5~35	7.5YR 5/6	Clay loam	Nutty	Hard	Indistinct
		B ₂	35~50	10YR 4/6	Clay loam	Blocky	Hard	Indistinct
		B ₃	50~65	10YR 5/4	Clay loam	Non structure	Hard	Indistinct
Forest block 286	B _C	A ₀	3~0	10YR 4/4	—	—	—	Distinct
		A	0~6	7.5YR 3/3	Clay	Granular	Soft	Distinct
		B ₁	6~40	10YR 5/4	Clay	Blocky	Hard	Indistinct
		B ₂	40~90	10YR 5/4	Clay	Non structure	Hard	Indistinct
		B ₃	90~100	10YR 6/2	Clay	Non structure	Hard	Indistinct

* By Standard Color Chart of Japan Agriculture, Forestry & Fisheries Reserch Council

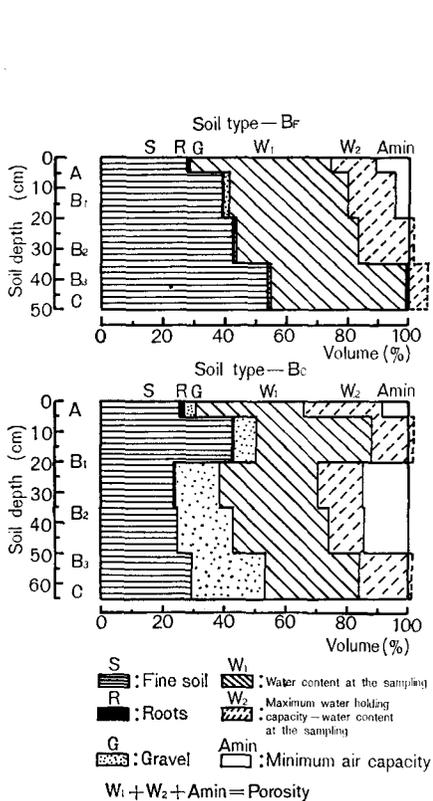


Fig. 1-1. Physical properties of soil at Forest block 214.

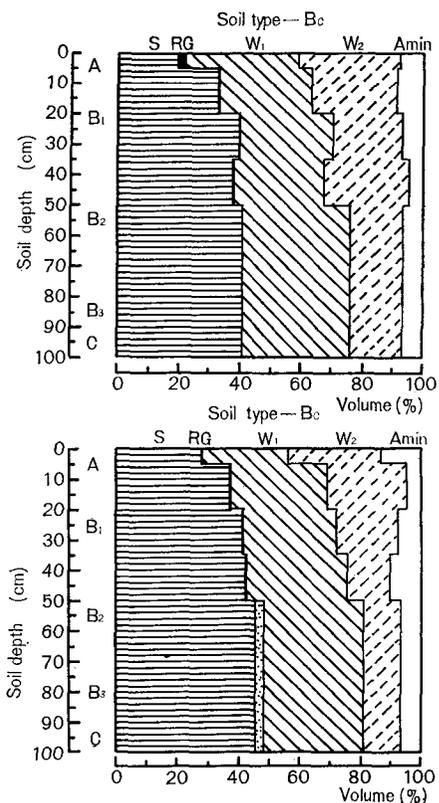


Fig. 1-2. Physical properties of soil at Forest block 286.

なる傾向が明らかに認められる。このため下層土の最小容気量はマイナスを示す程少なかった。これは細土中の粘土膠質物が抱水した場合異常に膨潤する性質をもっているためと思われるが、このためこの土壤型の所では長雨の後では酸素欠乏を起こしているものと思われる。同林班でも B₀ 型の所は B₁ 型の所と基本的には同様な性質をもっているようであるが、礫 (>2mm) の含量は多く、また最小容気量はやや増加しているようであった。

これに対して 286 林班では全林分にわたってほぼ同じような理学的性質を示し、容積重も最表層では 40~60 程度、下層でも 75~100 程度でかなり良好であり、また保水力、最小容気量も 214 林班に比べればかなり多くなっているようであった。なお土壤の酸性はいずれもやや強かった。

4 生態系内各部の養分要素含有率

これらの化学分析用の試料は優勢木については幹、枝、葉別に採取したが針葉樹は新葉、旧葉に分けた。なお上層木 ($H \geq 10m$) と中層木 ($H \leq 10m$) に養分要素の含有率に差があるかも知れなかったので、それぞれ別に試料を採取し分析した。下層植生についてはササとその他のかん木に分け、葉と幹(枝を含む)に分けた。

これらの分析用試料はいずれも林分を代表できるようにするため優勢木については伐倒調査した資料木数本~十数本の各部分毎よりできるだけ多量の試料を集め、よく混合してからその一部をとって分析用試料とした。したがって広葉樹は数樹種が混合されていることになる。

これらの試料はその一部は含水率の測定用に、他は 70~90°C で乾燥後、粉碎して用いた。

以上の分析結果はすべて含水率の測定結果より乾物あたりに換算して表-4 に示した。

この表より針葉樹、広葉樹、ササ、かん木の各部分の養分要素の含有率の大部分はこの 2 林分の間に明らかな差は認められなかった。またこの 2 林分の分析結果を通じてつぎのことがいえるようである。

すなわち針葉樹、広葉樹、ササ、かん木とも Ca 以外の各養分要素は葉部において高い含有率を示すことは当然として、ついで枝、幹の順で低下している。また針葉樹、広葉樹、ササの 3 種を比べると、葉部ではいずれの要素も常に広葉樹が高い含有率を示したが、幹、枝では要素によってまちまちで一定の傾向は認められなかった。

つぎに常緑針葉樹の針葉中の養分の含有率は葉齢によって変化し、新葉は旧葉よりも N、P、K の含有率は高いが、旧葉になるにしたがって低下していき、Ca、Mg はこれとは逆の動きをするといわれている^{8,9,10,11)}。またこの場合、K および Mg は一定の傾向を示さないともいわれている¹⁵⁾。

この林分の針葉樹(トドマツ)の新葉と旧葉を比べると、N、P、K の 3 要素では新葉の含有率が高いのに対し、Ca のみは旧葉の方がかなり高くなり、新葉より旧葉になるにしたがって Ca が葉部に蓄積していく様相がかなり明瞭に認められた。しかし Mg は傾向としては判然としなかった。

Ao 層の養分要素の含有率も表-4 に合わせ示したが、この 2 林分を比べると N、P、K の含有率はほぼ同程度であったが、Ca、Mg の 2 要素では 286 林班でやや低い含有率を示していることが認められる。しかしこの原因については明らかでない。

つぎに鉍質土層中の細土の養分要素の含有率の分析結果は表-5 に示したが、ここにあげたケルダール法で分析した N と熱塩酸可溶成分として定量した各養分はそれぞれ土壤中に含まれていた全養分とみなし、1%規定塩酸可溶成分と置換性成分として定量した各養分はそのうちの植物に吸収、利用され得る形態である可給態養分とみなして考察することにした。

この表より両林分の土壤は比較的似た性質を示していることが認められる。しかし両林分とも

Table 4. Content of nutrients in each parts of dominant tree, ground flora and Ao layer.
(% on dry matter)

Elements			N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO	
			Block 214	Block 286	Block 214	Block 286	Block 214	Block 286	Block 214	Block 286	Block 214	Block 286
Coniferous tree	Upper story H _≥ 10m	1 year needles	1,401	1,691	0.258	0.296	1.249	1,406	0.644	0.330	0.133	0.185
		Old needles	1,036	1,002	0.229	0.199	0.921	0.762	1.979	1.840	0.232	0.122
		Stem	0.140	0.142	0.207	0.153	0.249	0.141	0.242	0.150	0.033	0.035
		Living branches	0.335	0.390	0.174	0.136	0.363	0.228	1.300	0.902	0.158	0.088
		Dead branches	—	0.402	—	0.145	—	0.091	—	0.945	—	0.090
	Middle story H _≤ 10m	1 year needles	1.035	1.227	0.325	0.376	1.316	1.275	0.275	0.515	0.210	0.126
		Old needles	1.082	1.160	0.488	0.215	0.726	0.675	0.986	0.639	0.191	0.078
		Stem	0.108	0.214	0.105	0.135	0.214	0.358	0.251	0.155	0.041	0.081
		Living branches	0.353	0.453	0.199	0.110	0.428	0.292	0.457	0.592	0.157	0.111
		Broad leaved tree	Upper story H _≥ 10m	Leaves	2.012	2.429	0.358	0.314	1.200	2.014	1.899	0.955
Stem	0.178			0.202	0.152	0.095	0.195	0.240	0.179	0.398	0.054	0.063
Living branches	0.399			0.635	0.169	0.133	0.358	0.277	1.140	0.455	0.117	0.116
Middle story H _≤ 10m	Leaves		1.924	2.499	0.325	0.475	1.616	2.096	1.822	1.067	0.536	0.468
	Stem and living branches		0.208	0.409	0.148	0.139	0.186	0.396	0.166	0.521	0.050	0.088
Ground flora	*Sasa	Leaves	1.459	1.595	0.248	0.232	0.980	0.998	0.302	0.466	0.195	0.155
		Culm	0.310	0.362	0.190	0.139	0.580	0.804	0.037	0.134	0.054	0.037
	Shrub	Leaves	1.451	2.285	0.312	0.338	1.218	1.894	1.783	1.664	0.431	0.408
		Stem	0.162	0.318	0.143	0.183	0.186	1.218	0.201	0.208	0.039	0.044
Ao layer			1.362	1.305	0.228	0.233	0.271	0.306	1.324	0.567	0.255	0.159

* *Sasa Kurilensis* Makino et Shibata var. *genuina* Nakai.

Table 5. Average content of nutrients in fine soil (<2mm). (% on dry matter)

Forest	Depth	Total-N	Hot-HCl soluble				1/5N-HCl soluble		Exchangeable	
			P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Forest block 214	0~5	0.329	0.030	0.375	0.427	1.397	0.0030	0.027	0.106	0.052
	5~20	0.122	0.012	0.518	0.106	1.911	0.0003	0.012	0.041	0.034
	20~35	0.199	0.011	0.589	0.087	1.207	0.0002	0.010	0.039	0.038
	35~50	0.065	0.009	0.774	0.098	1.420	0.0004	0.010	0.053	0.050
	50~65	0.029	0.008	0.887	0.077	1.333	0.0004	0.008	0.016	0.024
Forest block 286	0~5	0.438	0.030	0.362	0.284	0.537	0.0019	0.023	0.112	0.052
	5~20	0.200	0.013	0.443	0.188	0.601	0.0005	0.019	0.045	0.030
	20~35	0.108	0.010	0.636	0.088	0.735	0.0003	0.014	0.039	0.033
	35~50	0.089	0.009	0.499	0.063	0.903	0.0003	0.013	0.035	0.025
	50~100	0.081	0.010	1.216	0.066	0.937	0.0003	0.008	0.026	0.035

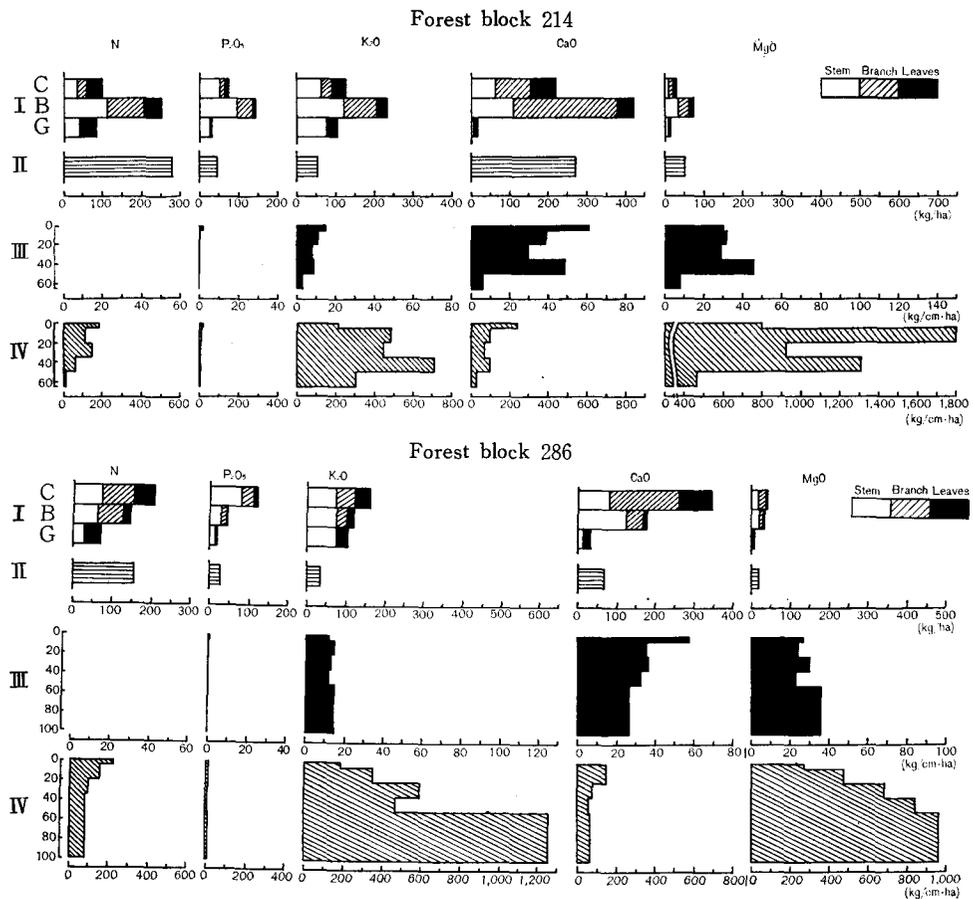
に P の含有率がかなり低いことと Mg の含有率が異常に高いことが注目される。このような性質はいずれも土壌の母材の性質由来するものであろうが、両林分ともに主母材としての砂岩、頁岩の他に蛇紋岩が相当量混入していたことはさきのべた。この蛇紋岩を母材とした土壌は Mg の含有量が異常に多く、このため Ca / Mg 比が不釣り合いに小さくなり、また Mo の毒性もあって植物群落の発達はきわめて不良になるといわれている^{19,20)}。

この両林分の Ca / Mg 比は熱塩酸可溶成分で 0.31~0.07、置換性成分でも 2.04~0.74 を示し、蛇紋岩の影響をかなり強く受けているように思われた。

日本の林地土壌の大部分は Mg に比べて Ca の含有率が数倍以上高いのが普通であり、Ca/Mg 比が 1 を割ることはほとんどないといわれている。したがってこの両林分の土壌はこの点においてかなり特異な性質をもっているといえよう。

5 養分要素の循環

1) 生態系内の各部に保持された養分量とその配分



- I...Nutrients in above-ground parts. (C...Coniferous tree, B...Broad leaved tree, G...Ground flora.)
 II...Nutrients in Ao layer.
 III...Available nutrients in soil layer. (Depth of soil layer.....cm)
 IV...Total nutrients in soil layer. (Depth of soil layer.....cm)

Fig. 2. Distribution of nutrients in the different compartment of forest ecosystems.

以上にのべた地上部林分の各部分毎の現存量, Ao 層量, 鈳質土層中の各深さ毎の細土量にそれぞれの養分要素の含有率を乗じて, この両林分の森林生態系内に保持されていた養分量を算出し, 図-2 に示した。

またこの養分量を地上部林分, Ao 層, 鈳質土層の3部分にとりまとめた結果を表-6 に示した。

以上の結果よりこの両林分の地上部林分に保持されていた養分量はいずれの要素も 286 林班がやや少ないが, 大差はなくほぼ同量を保持していたといえる。

しかし表-1 に示した針葉樹と広葉樹の現存量の構成割合がそのまま反映されて, 両林分の針葉樹, 広葉樹の割合は逆転していた。

また両林分とも下層植生の占める割合はかなり大きく, 地上部林分中の総量に対して N は 20%弱, P は10%余, K は25%前後, Ca は5%弱, Mg は10%余を示した。

したがってこのような天然林での養分の循環を考える場合, 下層植生の果たしている役割りは無視できないと思われる。

またこの割合が養分の種類によって異なっていることは注目される。すなわち N と K は他の養分に比べて下層植生中に保持されていた割合が大きく, Ca は少ないことが認められる。これは下層植生(大部分がチンマザサ)が土壌より養分を吸収する際に針葉樹や広葉樹に比べて相対的に N と K を多く吸収し, 反対に Ca は少ない性質をもっているためと思われる。

Ao 層に保持された養分量はいずれの要素も 286 林班は 214 林班よりもかなり少なかった。これは Ao 層の堆積量そのものが 286 林班で少なかったためであるが, Ca, Mg の2要素が特に

Table 6. Amount of nutrients in each compartments of forest ecosystem in kg per hectre.
(kg / ha)

Forest	Parts in ecosystem		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Forest block 214	Above-ground parts		438	250	466	655	115
	Ao layer		281	47	56	273	53
	Mineral soil layer (65cm)	Total nutrients	6,009	559	30,524	5,483	71,566
		Available nutrients	—	23	543	2,149	1,886
	Total	Calculated from total nutrients in soil layer	6,728	856	31,046	6,411	71,734
Calculated from available nutrients in soil layer		—	320	1,065	3,077	2,054	
Forest block 286	Above-ground parts		429	184	389	559	87
	Ao layer		156	28	37	68	19
	Mineral soil layer (100cm)	Total nutrients	10,473	1,024	84,888	8,518	79,896
		Available nutrients	—	34	1,386	3,231	3,111
	Total	Calculated from total nutrients in soil layer	11,058	1,236	85,314	9,145	80,002
Calculated from available nutrients in soil layer		—	246	1,812	3,858	3,217	

少ないことが認められる。これは Ao 層の養分要素の含有率の項でのべたように、原因は明らかではないがこの 2 要素の含有率がやや低かったことに起因する。

鉍質土層中の養分量は全養分、可給態養分ともいずれの要素も 214 林班に比べて 286 林班の方がかなり多かった。これは主に土層の厚さの違いが影響したためであるが、これからも 286 林班の方が肥沃であるといえよう。

以上を総合した全生態系内の総量に対する地下部 (Ao 層と鉍質土層) 養分量の割合をみると、鉍質土層中を全養分として計上した場合はいずれの要素も 70% 以上が地下部に存在していることになり、林木の生長のためにはきわめて余裕があるように見える。しかし鉍質土層中の可給態養分だけでみた場合、要素によってはゆとりが少ないことがうかがわれる。

いまこれを図—2 より、地上部林分中に保持されていた養分量に対する地下部 (Ao 層と鉍質土層) 養分量の割合を、各要素ごとにみていくと、この 2 林分の間ではその余裕の程度は違っていても各要素はともにほぼ共通した動きをしていることが認められる。すなわち Mg は地下部に保持されている養分量が地上部林分中の養分量に対してきわめて多く、現在の地上部林分への汲み上げ量に対して供給力がきわめて大きいことが理解できる。このことは生態系内におけるこの要素の循環がきわめて余裕をもって行なわれているものといえよう。

これについて Ca、K の順で地下部の割合が大きくなり循環に余裕のあることがわかる。

これに対して P は地上部に対する地下部の割合が極端に少なく、供給力は非常に小さいものと思われた。したがってこの両林分を通じて林分の生長のためには P の不足が制限因子になっているように思われた。

N は現在のところ可給態養分として分析する方法がみあたらないので全 N 成分としての養分量しか計上できなかった。このため確かなことはいえないが、N は P ほどではないにしても供給力にやや余裕が少ないように思われた。

2) 養分の落葉・落枝としての還元—Ao 層の平均分解率と各養分要素の分解・溶脱率

前章では生態系内の各部に保持されていた養分量についてのべたが、この養分量の絶対量は多いほどその林地の生産力は高くなるものと思われる。しかしたとえその林地にある種の養分が不足していても、その要素の生態系内における循環速度が速くなればその不足をある程度補っているものと思われる。

この循環速度にもっとも大きな影響を及ぼす因子としてはその林地の林床へ毎年還元されていく落葉・落枝が分解され、無機化されていって再び植物が吸収・利用できる形態に変えられていく速さがあげられる。

この速さについては毎年林床へ供給される落葉・落枝量を現存する Ao 層量で除した値を平均分解率とし、その逆数を分解に要する年数としてあらわすことができる。

本調査でもこの速さをみるために年間の落葉・落枝としての乾物還元量の推定を行なった。この推定の方法は落葉樹の場合はその全葉量を、常緑樹の場合は新葉量を年間の落葉量と同じとみなすか、または全葉量を着葉年数で割ればおおよその推定は可能だといわれている^{15,21)}。本調査でもこの方法により年間の落葉量を推定した¹⁵⁾。なおトマツの着葉年数は 4 年との調査結果もあるが、この両林分で調査した結果は明らかに 5 年と思われたので全葉量の 1/5 を年間の落葉量とみなした。また広葉樹は全葉が毎年落葉するものとした。チシマザサの葉については新葉と旧葉の割合の調査結果より全葉量の 1/3 を年間の落葉量とみなした。またチシマザサの稈についてはその新竹歩合の調査結果から全体の 1/8.3 が年年枯死し林床へ還元していくものとみなした。

このようにして推定した乾物還元量にそれぞれの養分要素の含有率を乗じて、各要素の年間の

Table 7. Amount of annual restitution of litter and nutrient. (kg / ha·yr)

Forest	Species		Dry matter	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
Forest block 214	Dominant tree	Coniferous tree	Needle	736	7.6	1.7	6.8	14.3	1.74
		Broad leaved tree	Leaves	2,240	45.0	8.0	27.5	42.5	12.3
	Ground flora	Sasa	Leaves	600	8.8	1.5	5.9	1.8	1.2
			Culm	1,530	4.7	2.9	8.9	0.6	0.8
		Shrub	Leaves	100	1.5	0.3	1.2	1.8	0.4
	Total			5,206	67.6	14.4	50.3	61.0	16.4
Forest block 286	Dominant tree	Coniferous tree	Needle	1,000	10.0	2.0	7.6	18.4	1.2
		Broad Leaved tree	Leaves	800	19.4	2.5	16.1	7.6	3.5
	Ground flora	Sasa	Leaves	340	5.4	0.8	3.4	1.6	0.5
			Culm	795	2.9	1.1	6.4	1.1	0.3
		Shrub	Leaves	140	3.2	0.5	2.7	2.3	0.6
	Total			3,075	40.9	6.9	36.2	31.0	6.1

還元量を算出し、その結果を表一七に示した。

その結果この両林分の林床へは ha あたりにして年間ほぼ 3,100~5,200kg の落葉・落枝が供給されていることになり、その中に含まれる養分量としては N は 41~68kg, P₂O₅ は 7~14kg, K₂O は 36~50kg, CaO は 31~61kg, MgO は 6~16kg となった。この量は意外に多く、トドマツ純林やシラカンバ林で測定された結果に比べて N, P, K の 3 要素の還元量はかなり大きい結果を示した。しかしこのトドマツ林やシラカンバ林での測定例は²¹⁾いずれも主林木による還元量だけを測定しており、下層植生による還元量を無視しているようである。

この両林分では下層植生のうちのササによる還元量が全還元量に対して N ではほぼ20%, P と K ではそれぞれ30%弱を占めており、かなり大量になることは注目される。したがってこのような天然林ではササのような下層植生による養分の循環が無視し得ないばかりか、かなり重要な因子を占めていることに注意しなければならない。しかしササによる養分の還元量としては Ca は全体の僅か4~9%, Mg は12~13%しか占めていないこともこの表より認められる。これは前にものべたようにササが林木に比べて Ca, Mg の2要素を吸収する力が相対的に少ないためと思われる。

また以上の養分要素の還元量をこの両林分の間で比較すると、いずれの要素も 286 林班の方がかなり少ない。この原因の大半はササによる還元量が少なかったことであるが、地上部林分の構成が 214 林班では広葉樹の方が多かったのに対し、286 林班では針葉樹の方が多かったことも影響している。したがってこのような天然林では針・広の構成比率の変化も各養分の還元量に影響しているといえる。

以上にのべた落葉・落枝の乾物還元量をその林分の Ao 層量で除して平均分解率を算出し、表一八に示した。またおのおのの養分要素についてもその還元量を Ao 層中の養分量で除した値

Table 8. Average decomposition rate of Ao layer and each nutrients.

Forest	Ao layer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Forest block 214	25.3 %	24.1 %	30.6 %	90.1 %	22.4 %	31.2 %
Forest block 286	25.6	26.2	24.7	98.6	45.7	32.1

を算出し、仮にこれをその要素の分解・溶脱率と名づけて同じ表—8に示した。

この逆数が分解・溶脱に要する年数となるが、Ao層そのものはほぼ4年程度で分解されることになり、またNはほぼ4年、Pは3~4年、Kは僅か1年程度で、Caは2~4年、Mgは3年程度で分解され、溶脱されて物質循環に加わっていくことになる。

この分解の速さは西日本の暖帯のマツ林で調べられた結果よりは遅いが、²²⁾本林分のような亜寒帯の森林としては予想外に速い結果であった。これは広葉樹とササの葉が分解を容易にしているためと思われる。

またこの数値をこの両林分で比較すると、Ao層の平均分解率でも、各養分の分解・溶脱率もほぼ等しい結果を示した。

地上部林分の構成は214林班では広葉樹が多く、286林班では針葉樹が多かったがこの平均分解率や分解・溶脱率がほぼ等しいことは注目される。このような寒冷地では針葉樹のみの純林では分解がきわめて不良となって物質循環の速度が遅くなり、このため養分の供給の面で不利益をまぬがれえないが、広葉樹を混交することによって分解が容易になることはよく知られた事実である。しかしこの平均分解率に影響をおよぼす混交の割合については今までほとんど知られていなかったが、この両林分でほぼ等しかったことから少なくとも針葉樹の割合を286林班の程度にまで高めても物質循環面からみたら有利さを失わないといえよう。このことは今後の天然林施業の面で参考にすべきことと思われる。

3) 土壤層中に保持された養分量と幹材に年々吸収・固定される養分量との関係（土壤中養分の消費の速さ）

林木の葉や枝、またはチシマザサの葉や稈に保持されていた養分要素はいずれ落葉・落枝となって林床へかえされ、分解して循環に加わっていくが、林木の幹に吸収・保持された養分はみかけ上の量としてはそのまま林分中にとどまり、林床へかえされることはない。したがって年々の幹の生長に使われた量に相当するだけの養分が毎年土壤層（Ao層を含む）より減少していくはずである。

この量をみるためこの両林分の針葉樹と広葉樹の樹幹折解を行なって、最近1年間の幹の幹物生長量をもとめ、この量にそれぞれの養分要素の含有率を乗じてこの1年間に幹に吸収・保持された養分量を求めて、表—9に示した。

この結果これらの林分では最近1年間の幹の幹物生長量がhaあたりにして1,600~2,300kgとなり、この中に吸収・保持された養分要素はNは2.7~3.8kg、P₂O₅は2.0~3.9kg、K₂Oは3.0~4.8kg、CaOは4.2~4.5kg、MgOは0.8~1.1kgとなった。したがってこの1年間に以上の量に相当するだけの養分要素が土壤層より減少していったと思われる。

このような土壤層中の養分の消費の速さの目安を得るためにAo層、土壤層中に保持されていた養分量を最近1年間に幹に吸収・保持された養分量で除した値を算出し、表—10に示した。

これは今後この年間吸収量で各養分要素が幹に蓄積されていった場合、現在の土壤層中の養分

Table 9. Amount of nutrients of current annual uptake in stem. (kg / ha)

Forest	Species	Current annual stem increment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Forest block 214	Coniferous tree	705	0.99	1.46	1.76	1.71	0.23
	Broad leaved tree	1,573	2.80	2.39	3.07	2.82	0.85
	Total	2,278	3.79	3.85	4.83	4.53	1.08
Forest block 286	Coniferous tree	861	1.22	1.32	1.21	1.29	0.30
	Broad leaved tree	734	1.48	0.70	1.76	2.92	0.46
	Total	1,595	2.70	2.02	2.97	4.21	0.76

Table 10. Amount of nutrients in Ao layer and soil compared with amount of current annual uptake in stem.

(Amount in Ao layer and soil / Amount of current annual uptake in stem)

Forest	Form of nutrients in soil	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Forest block 214	Total nutrient	1,627	155	6,228	1,249	65,108
	Available nutrient	—	18	122	525	1,762
Forest block 286	Total nutrient	3,937	521	28,594	2,039	105,151
	Available nutrient	—	31	358	784	4,118

が今後何年間で吸収・消費しつくされるかを示している。

表—10より明らかなように全養分量としては P の 150~500 年分以上から、Mg の 65,000~105,000 年分以上が Ao 層と土壤層中に存在し、両林分ともきわめて余裕があるように見える。しかし土壤層中を可給態養分としてみた場合、P では僅か18~30年分しか保持されていないことになる。もちろんこれからの長年月には不可給態養分の可給化も徐々に進行していくので、ここに示した年月で養分が消費しつくされるということではないが、ここでもこの両林分を通じて P が極端に不足していることがうかがわれる。これに対して可給態養分量としては K は 120~360 年分が存在していることを示しており、この要素では比較的余裕があるように思われる。また Ca は 530~780年分、Mg にいたっては 1,700~4,100 年分以上が存在していることを示しているので、これら2つの要素はきわめて余裕があるといえよう。

また N は可給態養分量としては測定できなかったが、全養分量として分析した結果からみて P よりは余裕があるように思われた。

なお以上の数値をこの両林分の間で比較すると、いずれの要素も 286 林班の方が余裕が大きいことが認められる。この点からも 214 林班に比べて 286 林班の方が肥沃であり、生態系内における養分要素の循環もかなり余裕をもって行なわれているようであるが、各養分要素ごとに示した傾向は全く同様であった。

おわりに

以上のべてきたように各養分はこのような亜寒帯の森林としては意外に順調に生態系内を循環

しているように思われた。これには広葉樹の落葉が Ao 層の分解を容易にしているだけでなく、下層植生としてのササの落葉が果たしている役割りを無視することができないように思われる。このような天然林では今まで針葉樹稚樹の更新の面からササは邪魔物としてみられがちであったが、この点も含めて今後検討していきたい。

引用文献

- 1) 四大学合同調査班：森林の生産力に関する研究 (1)北海道の主要針葉樹林について，国策パルプ，(1960)
- 2) 四手井綱英・堤利夫：天然性トドマツ林の乾物，養分現存量（予報），72回日林講，177～179，(1962)
- 3) 四手井綱英・堤利夫：林地の有機物集積量とその年分解率の関係，日林誌，44，297～303，(1962)
- 4) 山本肇・真田悦子：トドマツ針葉の養分組成と成長および土壌条件との関係，林試研報，229，22～62，(1970)
- 5) 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，229，64～92，(1970)
- 6) 山本肇・真田悦子：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，林試研報，229，93～121，(1970)
- 7) 山本肇：トドマツ人工林の成長と土壌，わかりやすい林業研究解説シリーズ，No 47，日本林業技術協会，(1971)
- 8) 赤井龍男・古野東州・上田晋之助・佐野宗一：テードマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，40，26～49，(1968)
- 9) 赤井龍男・上田晋之助・古野東州：スラッシュマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，41，56～79，(1970)
- 10) 赤井龍男・上田晋之助・古野東州：ストローブマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，42，143～162，(1971)
- 11) 赤井龍男・上田晋之助・古野東州・斎藤秀樹：テードマツ壮令林の物質生産機構，京大演報，43，85～105，(1972)
- 12) 道有林第二課：物満内天然林の解析と施業法，北海道林務部，(1970)
- 13) 長谷川潔・長尾拾一・藤江力・高橋俊正：5万分の1地質図「音威子府」，開発庁，(1962)
- 14) 館脇操 汎針広混交林，I～VII，北方林業，7～9，(1955～1957)
- 15) 河田弘 森林生態系における養分循環（総説），森林立地，8，No. 1，1～16 (1971)
- 16) 朝日正美：森林植生と土壌との相互作用，日林誌，40，135～138 (1958)
- 17) 河田弘：アカマツ1—1苗の時期別養分吸収について，林試研報，187，27～52 (1966)
- 18) OVERTON J. D. ・ H. A. I. MADGWICK : Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine, Forest science, 5, 344～355 (1959)
- 19) 吉良竜夫：生態系の状態決定要因，植物生態学(2)，12～17，古今書院，(1960)
- 20) JENNY, H. : Role of the plant factor in the pedogenic functions, Ecology, 39, 5～16, (1958)
- 21) 山本肇：森林の生育と養分含有量について——とくにシラカンバの着葉量およびその無機成分，林試研報，182，43～65 (1965)
- 22) 上田晋之助：マツ林の地力維持と増進，松と人生，208～231，明玄書房 (1972)
- 23) 上田晋之助：トドマツ・広葉樹混交林における養分要素の循環について，日林講，83，110～112 (1972)
- 24) 上田晋之助：トドマツ・広葉樹混交林における養分要素の循環について（II）—更新がやや良好な林分の調査結果について—，日林講，84，85～87 (1973)

Résumé

The present report deals with the mechanism of nutrients circulation in the forest ecosystem in mixed natural forests in the northern part of Hokkaido.

The investigation was conducted in two types of forest. One of them was a forest in which the broad leaved trees predominate over the coniferous trees, and the other one was the opposite.

The forest floor in those forests are covered by dense sasa (*Sasa kurilensis* Makino et Shibata) and thin shrubs.

The results are as follows :

1) The biomass of each species of dominant trees estimated by the method of allometric relation between each part of the sampled trees and D^2H (D : diameter at breast height, H : tree height), was about 120 ton/ha (Table 1). In order to estimate the biomass of ground flora, sasa and shrubs grown in sample plots were directly weighed. The data of those fresh weights were converted into oven-dry weight basis. Total biomass of above-ground parts in those forests were about 140 ton/ha (Table 2), without much difference between the two types.

2) The parent rocks of soil in those forests were sandstone, shale and serpentine rock. The physical properties of soil layer were compact (Fig. 1) and the other characteristics are shown in Table 3. The content of phosphorous in fine soil was low, but that of magnesium was extremely high, and Ca-Mg ratio was exceedingly low. This seems to be caused by the effect of weathering of serpentine rock (Table 5).

3) The leaf nutrient content of broad leaved trees and sasa was slightly higher than that of coniferous trees. The content of nitrogen, phosphorous and potassium in the leaves of coniferous trees is high in new needles, but low in old ones. The calcium content of new needles is lower than that of old ones (Table 4).

4) The amount of nutrients (N, P_2O_5 , K_2O , CaO and MgO) in forest ecosystem are shown in Table 6. Fig. 2 shows the distribution of nutrients in each compartment of the system. The amount of total and available magnesium reserves in soil was extremely large in comparison to the amount of uptake by vegetation. Calcium and potassium reserves in soil were sufficient. But that of phosphorous was very deficient, so that this may be the limiting factor for tree growth.

5) The annual restitution amount of litter was estimated as 3,100-5,200 kg/ha·yr, and the five nutrient elements in litter were 41-68 ; N, 7-14 ; P_2O_5 , 36-50 ; K_2O , 31-61 ; CaO and 6-11 ; MgO, kg/ha·yr (Table 7).

6) The amount of Ao layer was 12-20 ton/ha on oven-dry weight basis. The average decomposition rate of Ao layer was about 25% in those forests, and the rates of each nutrient element were 24-26% of N, 25-31% of P_2O_5 , 90-99% of K_2O , 22-46% of CaO and 31-32% of MgO (Table 8).

7) The amount of available phosphorous in soil was only 18-30 times of annual uptake in stem. The shortage of phosphorous, therefore, is critical respecting tree growth in the future (Table 9 and 10).

8) From the results mentioned above, the nutrients circulation of this type of forest in a subfrigid zone is considered to be a smooth circulation.