

## 葉分析による林木の栄養診断にたいする 2・3 の考察

後 藤 和 秋<sup>(1)</sup>Kazuaki Goro: Some Considerations on the Diagnosis of Nutritive  
Condition of Forest Trees by Leaf Analysis

**要 旨**：葉分析によって、林木の栄養状態を診断するにあたっての基礎的な問題として、採取位置および採取時期が問題となる。この点について検討をおこなった。その結果、林木の葉中の N, P, K および Ca 濃度は、時期によりそれぞれ特有の変化傾向を示し、樹冠部の採取部位により、また葉齢によってかなり異なるが、林木の栄養状態の指標としての葉分析の試料の採取については、一般的には樹冠上部の新しい葉（当年生葉）を9月下旬～10月上旬頃に採取するのが適当であると思われる。

各林木の葉中の各養分濃度をしらべた結果、針葉樹類にくらべ、広葉樹類が一般に高く、林木により養分組成の相違がわかった。

カラマツ、アカマツ、コバノヤマハンノキ、シラカンバを対象に葉の養分濃度と土壌の一般的な化学的性質および林木の成長との関係は、葉の N, P, K および Ca 濃度は土壌の pH, N, C/N 率、置換性カルシウムおよび同飽和度との間に、樹種間の相違はあるがある程度の関連性がみられ、土壌中の養分レベルを反映するものと考えられ、また林木の成長との関連性が認められるので、林木の栄養診断の一つの方法として葉分析は役立つものと考ええる。

## 目 次

1. はじめに	36
2. 研究方法	36
2-1. 実験試料	36
2-2. 実験方法	38
3. 結果および考察	38
3-1. 試料採取による養分濃度の差異	38
(1) 葉内養分濃度の季節的变化	38
(2) 葉の採取位置による養分濃度の差異	43
(3) 林木の個体別の葉内養分濃度の比較	47
3-2. 主要林木の葉内養分濃度	49
3-3. 葉内養分濃度と土壌の化学性	51
(1) 土壌の化学性	51
(2) 林木の葉内養分濃度	54
(3) 葉内養分濃度と土壌の化学性との関係	56
3-4. 葉内養分濃度と林木の成長	59
(1) 林木の成長	61
(2) 葉の養分濃度および養分比	62
(3) 葉内養分濃度および養分比と林木の成長との関係	64
4. 総 括	69
文 献	70

Summary .....74

## 1. はじめに

林木の栄養状態，とくに葉分析についての研究は，林地生産力の増強を考える上に有力な手がかりとなるものであるとして，近年重要視されてきている。また，葉分析は林地肥培試験においても施肥が林木の成長および林木の栄養にどのような影響をおよぼすかを検討する一つの手段としても次第にとり入れられてきている。

一般に，葉の部分の養分濃度が，ほかの部分より高く，植物全体の栄養状態をもっともよくあらわすものと考えられ，葉分析は栄養診断に使用されてきたものと考えられる。

しかし，林木の場合，この葉分析はここ数年やっと研究成果がみられる程度であり，その多くは林地肥培試験などを対象にして，施肥が葉内の養分にどのような影響をおよぼしているかを断片的に調べたものにすぎない<sup>20)22)23)25)26)36)~38)51)57)61)65)66)</sup>。農学の分野，とくに果樹関係における葉分析の研究成績と比較すると，林木での研究成績はすくない。しかし，林木の場合は果樹の場合とは異なり栄養成長だけを対象とすることが普通であり，葉分析の結果だけでもあやまった結論を導びく危険性が少ないものと考えることができよう。したがって，試料の採取方法が適正におこなわれ，気象条件や土壌あるいは植生などの環境条件を考慮して総合的に検討するならば，葉分析によって林木の栄養状態を推定することが可能ではないかと考えられる。

わが国における主要樹種の葉分析についての研究報告<sup>1)7)~12)17)21)33)39)44)49)55)62)~64)</sup>もかなりみられるが，これを体系化するには，まだ充分なデータが集積しているとはいえない。そこで筆者は葉分析による林木の栄養診断についての基礎的な資料をうるために，主として，カラマツ，アカマツ，コバノヤマハンノキおよびシラカンバを対象にして，5～6年間にわたって葉分析をおこない，栄養診断上注意すべき問題点の検討，土壌条件および成長とどのような関係にあるかについて検討をおこない，応用するにあたっての葉分析によって示される林木の栄養状態のいくつかの問題点について考察した。

本研究をおこなうにあたり多大のご配慮をいただいた土じょう部長 塘 隆男博士，東北支場長 中野実技官，種々ご懇切なるご指導と有益なる助言を賜った東北支場育林部長 山谷孝一博士，北海道支場育林部長 原田 洸博士，土じょう部土じょう肥料研究室長 藤田桂治技官に対し，心からお礼を申しあげる。

また，本稿を草するにあたり東北支場育林部土じょう研究室長 丸山明雄技官から適切など助言とご指導をいただいた。

なお本研究は，各試験地の設計，実行は，四国支場土じょう研究室長 佐藤 俊技官，東北支場育林部土じょう研究室 長谷川浩一技官との共同研究の成果の一部であり，現地調査，試料の採取をはじめ分析全般にわたってのご協力と種々ご援助をいただいた。心からお礼を申しあげる。

## 2. 研究方法

### 2-1. 実験試料

葉分析の試料を採取した林分の概況は Table 1 に示すとおりである。

各実験の供試試料は，つぎのように採取した。

Table 1. 葉分析試料採取林の概況  
Actual conditions of forest stand for leaf analysis

場所 Location	樹種 Species	母材 Parent material	地形 Topography	海拔高 Elevation	土壌型 Soil type	林齢 Age	木数密度 Stand density	備考 Note
好摩実験林 Koma experimental forest	カラマツ <i>Larix leptolepis</i>	火山灰 Volcanic ash	丘陵斜面 Hill slope	220	B/b(d)	11	7,500	施肥試験 Fertilized
東北支場構内 Tohoku branch station field	"	"	平坦地 Flat land	190	"	7	4,000	
好摩実験林 Koma experimental forest	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	"	丘陵斜面 Hill slope	250	B/b(d) B/b	15	5,760	
東北支場構内 Tohoku branch station field	"	"	平坦地 Flat land	190	B/b(d)	8	2,500	
"	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	"	"	"	"	4 10	"	
"	コバノヤマハンノキ <i>Alnus inokumae</i>	"	"	"	"	6	"	
"	シラカンバ <i>Betula platyphylla</i>	"	"	"	"	6	"	

(1) 時期別養分濃度についての試料は、カラマツは7および11年生、アカマツは8および15年生、スギは4および10年生、また、コバノヤマハンノキ(以下コバハンと略す)およびシラカンバは6年生の木から、それぞれ4月から12月まで月1回、樹冠上部の枝に着生する当年葉を採取した。

(2) 葉の着生位置、枝階の違いによる葉の養分濃度の比較試料は、カラマツ9年生、アカマツ8年生、スギ(能代営林署管内)53年生、コバハン、シラカンバ10年生の各林分から平均樹高に相当するもの3~5個体を選び供試木として、樹冠を上、下あるいは上、中、下の2~3等分し、それぞれの位置から枝の先端部の当年葉を採取した。

(3) 林木各個体別の葉内養分濃度の比較試料は、カラマツは7年生の5.5~10.2 cmのD.B.H.に相当する個体、アカマツは15年生の4.5~13.4 cmのD.B.H.に相当する個体、各10本を選んで10月に採取した。また、コバハン、シラカンバは10年生のそれぞれのD.B.H.に相当する個体から採取した。いずれも樹冠上部の当年葉である。

(4) 主要林木の葉内養分濃度比較の試料は、バンクスマツ、リギダマツ、ブナ、クヌギの4樹種は東北支場構内見本園から、他樹種についてはTable 1の同構内の試験林からそれぞれ平均木に相当する6~8年生について、樹冠上部の当年葉を10月上旬に採取した。

(5) 葉内養分濃度と土壌の化学性および林木の成長との関係についての試料は、Table 1に示す林分から採取した。

カラマツ試験地は、広葉樹林の皆伐跡地に1956年カラマツをhaあたり7,500木あて植栽した<sup>42)</sup>。1963年から施肥試験を実施し、窒素標準施肥、窒素倍量施肥、3要素施肥、無施肥区の4処理区を設け、Nを基準として、1963年50 g/本、1965年75 kg/ha、1967年150 kg/haの相当量を硫酸、 $\otimes$ スーパー1号

肥料を地表バラマキ法により施肥した。なお、1964年に間伐をして ha あたり2,500本とした林分である。

アカマツ試験地は、佐藤ら<sup>48)</sup>が1952年に植栽し、アカマツ更新試験として実施したもののうちの単植区 (ha あたり5,760本植栽) の一部をひきつぎ、1963年より施肥試験を開始した。3要素施肥、同倍量、無施肥区の3処理区を設け、1963, 1965, 1967年の3回、 $\text{N}$ スーパー1号を $\text{N}$ 基準として ha あたり合計450 kg 相当量を施肥した。

コバハン、シラカンバ試験地は、東北支場構内で施肥モデル試験として実施したものである。試験方法については、すでに詳細に報告したとおりである<sup>7)14)</sup>。

各試験地の土壌および葉の採取は、いずれも各年の10月上旬におこなった。

土壌は、プロット内の5か所を選んで表層より10 cm 以内の深さの土壌(A層)を等量ずつ採取し、よく混合して一試料とした。また、葉は樹冠上部の当年葉を採取した。

## 2-2. 実験方法

葉分析のため採取した試料は、ただちに60°Cの熱風乾燥器で乾燥して、0.5 mm のふるいを通るまで粉砕して分析試料とした。

分析方法は、 $\text{N}$  はケルダール法、 $\text{P}$ ,  $\text{K}$  および  $\text{Ca}$  は試料を硝酸( $\text{HNO}_3$ )—過塩素酸( $\text{HClO}_4$ )により湿式灰化してケイ酸を分離したのち、 $\text{P}$  はモリブデン青法により比色定量し、 $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$  は原子吸光法で分析した。

土壌分析の方法は、 $\text{pH}$  は1:2.5懸濁液についてガラス電極を使用、置換酸度( $\gamma_1$ )は常法により、全炭素はチューリン滴定法、全窒素はケルダール法によった。

置換容量はサク酸アンモン浸出による $\text{P}_{\text{ECH}}$ 法に準じて、置換性カルシウムおよびマグネシウムはサク酸アンモン浸出液をEDTA法によって、それぞれ分析をおこなった。

## 3. 結果および考察

### 3-1. 試料採取方法と葉内養分濃度の差異

#### (1) 葉内養分濃度の季節的变化

葉分析によって葉内の養分濃度を求め、これをもとにして林地—林木の栄養診断ならびに施肥効果の判定などに応用するにあたっては、あらかじめ葉内の養分濃度の時期別変動の概要を知らねばならない。そこで、カラマツ、アカマツ、スギ、コバハンおよびシラカンバの5樹種を対象にして季節的变化を検討した。

カラマツ針葉の養分濃度を時期別に示すと Table 2 のとおりである。

$\text{N}$ は、開葉時の5月が最大を示し、6月には急激に濃度が減少して5月のほぼ半分の濃度になる。その後10月まではほぼ一定の傾向を示すが、11月の落葉期でふたたび急激な減少がみられる。このような変化傾向は、7, 11年生とも同様である。

$\text{P}$ は、 $\text{N}$ と同様に5月が最大であり、その後10月まではほぼ一定であるが、11月には減少する傾向がみられる。

$\text{K}$ は、5月での最大、6月での減少は $\text{N}$ ,  $\text{P}$ と同様の傾向にあるが、11月においての減少はみられなかった。

また、 $\text{Ca}$  は、 $\text{N}$ ,  $\text{P}$  および  $\text{K}$  の変化傾向とは異なり、5月が最も低く、11月に向って次第に増加する



傾向がみられる。

このように、カラマツ針葉の養分濃度は、5月の開葉期にN、PおよびKとも最も高い値を示した。この傾向は、塘<sup>57)</sup>のカラマツ苗木での結果と一致し、開葉期の新葉が高い値を示す落葉性針葉樹としての特徴がみられた。また、11月の落葉期には、NおよびPの減少がみられる。このことは、原田<sup>10)</sup>の結果であきらかなように落葉現象にともなって、この養分は他の部分（幹、枝、根）へ移動するため起こる現象とも考えられる。これにたいし、Ca濃度は落葉期に最大を示し、N、Pと反対の傾向を示したことは、CaはN、Pにくらべて樹体内で移動しにくい要素<sup>80)</sup>であり、落葉期には他の部分へ移動することなく、そのまま土壌中へ還元されることが考えられる。

アカマツの当年生葉および2年生葉の養分濃度を時期別に示すと Table 3 のようになる。

Nは、当年生葉では6月から8～9月にかけて減少し、その後11～12月に向って増加する傾向がみられ、2年生葉では当年生葉より低く、4月から10月にかけて次第に減少する傾向がみられる。

Pは、当年生葉、2年生葉とも、あきらかな時期的変化の傾向がみられない。

Kは、当年生葉ではおおよそ春から秋にかけて減少する傾向がみられるが、2年生葉ではこのような変化はみられない。しかし、N、Pと同様に2年生葉が高い濃度を示している。

また、Caは、全体的にみて4月から9月頃にかけて増加し、その後やや減少する傾向がみられる。しかし、供試木の年齢の若いものが高く、2年生葉が当年生葉より高い濃度を示し、N、P、Kとは傾向を異にしている。

このような、アカマツ針葉の養分濃度の季節的变化については、中塚<sup>32)</sup>、河田<sup>19)</sup>、塘<sup>57)</sup>らの結果と同様であり、アカマツ針葉中では秋における養分の蓄積がおこなわれるものと思われる。

スギ針葉の養分濃度を時期別に示すと Table 4 のとおりである。

Table 4. スギ葉の養分濃度の季節的変動  
Seasonal fluctuation of nutrient concentration in cryptomeria needles

採取時期 Sampling date	林 齡 (年) Age (Year)	養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
		N	P	K	Ca
May	4	1.27	0.04	0.43	0.83
	10	0.85	0.03	0.26	1.07
June	4	1.26	0.12	0.65	0.61
	10	1.43	0.14	0.43	0.79
July	4	1.52	0.14	0.73	0.71
	10	1.21	0.06	0.39	1.28
Aug.	4	1.24	0.12	0.75	0.69
	10	1.29	0.08	0.46	1.04
Sep.	4	1.03	0.12	0.62	1.17
	10	1.29	0.10	0.56	1.50
Oct.	4	1.13	0.16	0.31	1.18
	10	1.30	0.15	0.24	1.68
Nov.	4	1.31	0.18	0.67	1.01
	10	1.19	0.12	0.37	1.53

Nは、6～7月がもっとも高いが、その後の変化はあきらかでない。

Pは、5月から11月へかけて上昇する傾向がみられる。そして、一般に年齢の若い方が高い濃度を示している。

Kは、5月から8月にかけて上昇し、10月に減少する傾向がみられるが、11月には増加する傾向がみられる。Pと同様に年齢の若い方が高い傾向を示す。

また、Caは、一般的にみて春から秋にかけて増加する傾向がみられるが、P、Kと反対に供試木の年齢が古いほどCaは高い値を示す。

このように、スギ針葉の養分濃度は、おおよそ春はいずれの養分も低く、夏はほぼ安定した傾向を示し、秋にはP、Ca濃度の増加する傾向がみられる。そして、P、K濃度は供試木の年齢が若いほど高く、Ca濃度はこれと反対に年齢の古いものが高い傾向にある。

つぎに、コバハンおよびシラカンバ葉の養分濃度を時期別に示すとTable 5のとおりである。

Nは、両樹種とも春の開葉期がもっとも濃度が高く、その後両樹種とも6月まで次第に減少するが、8月頃ふたたび高くなる。シラカンバは秋の落葉期に減少するのに対して、コバハンでは落葉前にわずかの上昇傾向があり、減少しないまま落葉する傾向がみられる。

Pは、Nと同様に開葉時が高く、5月には減少し、その後は両樹種ともほとんど変化がなく落葉期まで

Table 5. コバハン、シラカンバ葉の養分濃度の季節的変動  
Seasonal fluctuation of nutrient concentration in alder and birch leaves

採取時期 Sampling date	樹種 Species	林齢(年) Age (Year)	養分濃度 Nutrient concentration (%)		
			N	P	K
Apr.	コバハン Alder	6	4.72	0.52	1.02
	シラカンバ Birch	6	4.69	0.64	0.95
May	コバハン Alder	6	3.71	0.26	0.93
	シラカンバ Birch	6	3.34	0.37	1.02
June	コバハン Alder	6	2.75	0.17	0.66
	シラカンバ Birch	6	2.36	0.24	0.81
July	コバハン Alder	6	2.71	0.16	0.64
	シラカンバ Birch	6	2.87	0.23	1.16
Aug.	コバハン Alder	6	4.27	0.15	0.79
	シラカンバ Birch	6	3.18	0.21	1.18
Sep.	コバハン Alder	6	2.68	0.18	0.73
	シラカンバ Birch	6	2.51	0.25	1.40
Oct.	コバハン Alder	6	3.47	0.18	0.81
	シラカンバ Birch	6	2.12	0.21	1.05
Nov.	コバハン Alder	6	2.95	0.16	0.88
	シラカンバ Birch	6	1.69	0.20	0.90

ほぼ一定である。

Kは、N、Pの変化とは異なり、両樹種とも変動が大きく、コバハンでは春から夏にかけて減少し、秋にはふたたび上昇する傾向を示す。これにたいして、シラカンバでは春から夏にかけての上昇がみられるようである<sup>7)</sup>。

このように、N濃度が落葉期に極端に低下を示すシラカンバの結果は、朝日<sup>1)</sup>のダケカンバでの結果と同一の傾向である。これに対して、コバハンのN濃度が秋にそれほど低下しないのは窒素固定をおこなう根粒を着生している肥料木としての特性と考えられる。

以上のように、カラマツ、アカマツ、スギ、コバハンおよびシラカンバそれぞれの葉内養分濃度の季節的变化をのべたが、樹種によりおのおの特有の変化を示していることがわかった。

今までの研究成績によれば、葉のN濃度は開葉後成熟するにつれて急激に減少し<sup>24)</sup>、しばらく一定値を

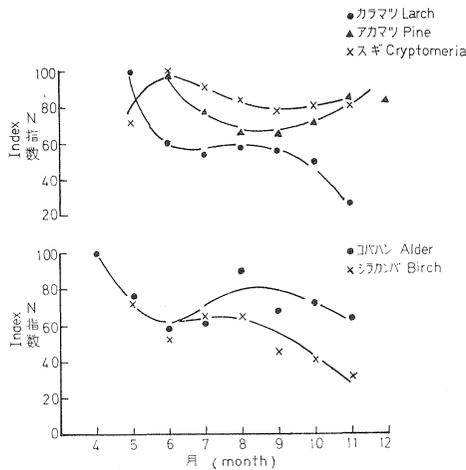


Fig. 1 葉のN濃度の変動  
Seasonal change of nitrogen concentration in leaves.

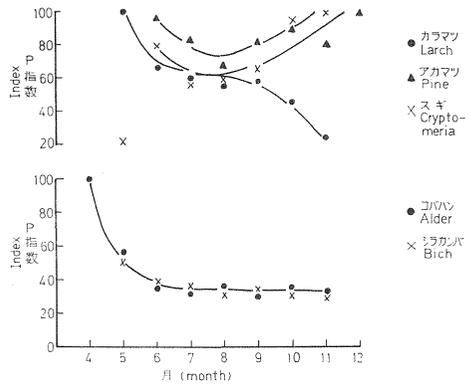


Fig. 2 葉のP濃度の変動  
Seasonal change of phosphorus concentration in leaves.

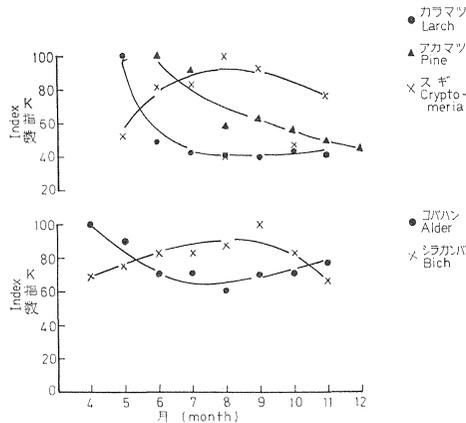


Fig. 3 葉のK濃度の変動  
Seasonal change of potassium concentration in leaves.

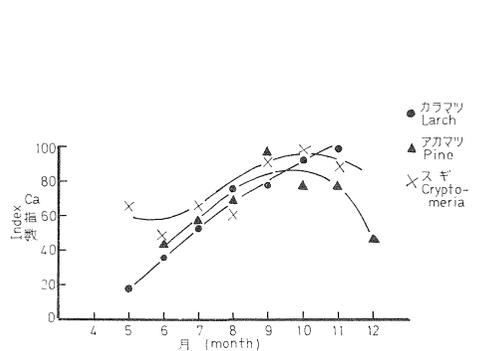


Fig. 4 葉のCa濃度の変動  
Seasonal change of calcium concentration in leaves.

保ち、その後徐々に減少する傾向があるとされている<sup>53)65)</sup>。また、N, P, Kの濃度は一般に落葉期になると急激に減少するのに対して、Ca濃度は落葉期まで増加し続けるとされている<sup>10)35)53)55)67)</sup>。

本報告においても、これと同様にN, P, K濃度ともごく概観的にみれば開葉の初期に高く、その後減少し、しばらくはほぼ一定値を保つようである。また、Ca濃度は時期とともに増加する傾向を認めることができる。

各樹種の葉の養分変動を、各養分の濃度の最大値を100とする相対値を用いて<sup>54)</sup>図示してみると、Fig. 1, 2, 3および4のとおりになる。

N濃度は、各樹種とも開葉とともに葉に多く集積され、やがて減少してゆくが、アカマツは秋から冬にかけてふたたび集積する傾向がある。しかし、カラマツ、コバハン、シラカンバの落葉においては次第に減少する傾向がみられる。

P濃度は、カラマツ、アカマツ、スギではNと同様の傾向にあるが、コバハン、シラカンバでは若干変化の傾向が異なり、春から夏にかけて急激に減少して、その後は冬までほぼ一定である。

K濃度は、開葉期にもっとも高く、次第に減少を示すアカマツ、カラマツ、コバハンと、8~9月頃にもっとも高まる傾向がみられるスギ、シラカンバとに分けられる。

また、Ca濃度は、カラマツ、アカマツ、スギに共通して、時間の経過とともに増加する傾向が認められる。

このように、NとPの変化傾向が似ていることがわかり、この養分が蛋白質構成成分であることを考えると、林木の成長との関連性が深いものと思われる。また、KとCaとは、成長現象に伴ない、栄養生理的作用の場が拡大するにつれて、それだけ要求され、養分要素として吸収されるものようである。

以上のべた、針、広葉樹の葉内養分濃度の季節的变化から葉分析をおこなうにあたって、その採葉時期を考える必要がある。

果樹関係では、葉分析のための採葉時期は葉が十分に成熟した生育中期で、果実の最大肥大期前後が適当とされている<sup>41)</sup>。

常緑の林木の場合、諸外国の例では生育休止期に採取すると安定していると考えられている<sup>40)</sup>。また、芝本<sup>46)</sup>によればHÖHNE(1964)はトウヒでは11月~1月の間が適当と考え、WEHRMAN(1959)はアカマツでは特に10月の終りから11月の終りの期間が適当であるとのべている。

本実験結果であきらかなように開葉初期は養分の変動が激しく、針、広葉樹とも葉分析の採葉時期としては適当でなく、また、晩秋になるとふたたび養分の変動がみられる。すなわち、落葉樹は急激な濃度の低下がみられ、針葉樹、とくにアカマツの場合は養分の増加がみられるので必ずしも生育休止期が安定した値が得られるとは限らないようである。したがって、林木の栄養診断として葉分析の適当な時期は葉内養分濃度の変動が小さく、しかも栄養状態がよく葉内養分濃度に反映する時期と考えられ、葉が十分に成熟した生育中期から後期頃、すなわち、9月下旬から10月上旬頃が適当と考えられる。

## (2) 葉の採取位置による養分濃度の差異

林木の栄養状態の指標としての葉分析の試料は、代謝作用と関係深い養分が、成長や栄養状態に鋭敏に作用して変動する位置から採取することが望ましいが<sup>41)</sup>、この点についてのデータはまだ充分ではないようである。

そこで、とくに試料の採取上問題となる葉の着生位置、枝階の違いによる葉内養分濃度の差異について

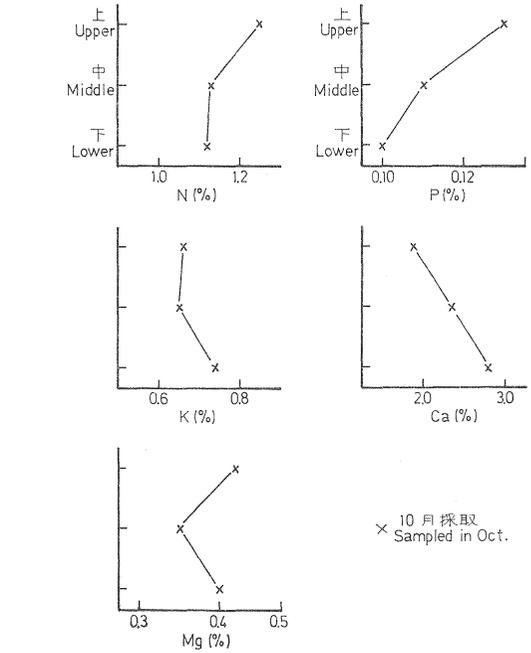
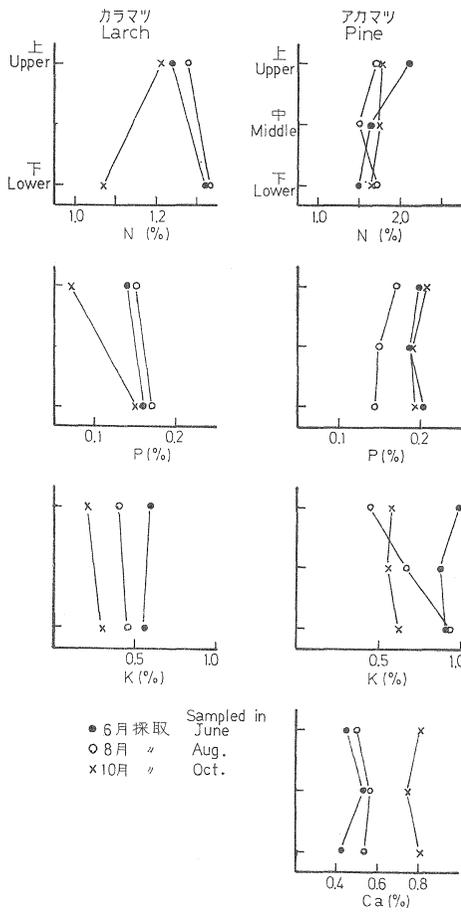


Fig. 6 部位別の葉の養分濃度 (スギ)  
The variation of nutrient concentration in needles with position (Cryptomeria).

Fig. 5 部位別, 季節別の葉の養分濃度  
(カラマツ, アカマツ)  
The variation of nutrient concentration in needles with position and sampling season (Larch, Pine).

検討した。

カラマツ, アカマツ針葉の着生位置別の各時期における養分濃度を示すと Fig. 5 のとおりである。

カラマツでのN濃度は, 6, 8月には下位葉が高く, 10月では反対に上位葉が高い。P濃度は, いずれの時期も下位葉が高い傾向にあるが, K濃度では, 上, 下, 位置, 時期によるあきらかな傾向を認めることはできない。

アカマツでは, 針葉の着生位置別の各時期による養分濃度の差異はあきらかではないが, N, P濃度においては, ほぼ上位葉が高い傾向を示すようであり, K, Ca濃度では一定の傾向を認めることはできない。

スギ針葉の着生位置による養分濃度の違いを示すと Fig. 6 のとおりである。

その結果は, N, P濃度では上位葉が高く, 下位葉で低い傾向を示し, Ca濃度は下位葉が高く, 上位葉で低い傾向が認められる。しかし, K, Mg濃度ではあきらかでない。

つぎに, コバハン, シラカンパについて示すと Fig. 7 のとおりである。

コバハンでは, N, P, K濃度は上位葉と下位葉との間はあきらかではないが, Ca濃度は上位葉が低く, 下位葉で高い傾向がある。

シラカンバでは、N、P濃度は上位葉が高く、下位葉で低い傾向を示し、K、Ca濃度はこれと反対に上位葉が低く、下位葉で高い傾向が認められるようである。

葉の着生位置による養分濃度の違いについてのこれまでの結果をみると、カラマツについて、中島ら<sup>34)</sup>はN濃度は上部より下部に向って次第に高まり、中央部で最高となる。P、K濃度はわずかではあるがNと同様の傾向がみられ、Ca濃度は上部の方に高い傾向がみられるとのべている。また、中村<sup>33)</sup>は、N濃度は上部が低く下方になるにしたがって高くなる傾向にあるが、P、K濃度では違いは認められず、全般的には一定の傾向が認められなかったとのべている。この両者のカラマツでの結果と、本研究の結果とは必ずしも一致した傾向が認められなかった。

アカマツについて、中島ら<sup>35)</sup>はN濃度では上部ほど高く、Ca濃度で下部が高い値を示し、N、P、K濃度は新しい組織に、Ca濃度は古い組織に高いとのべている。また、LAVENDERら<sup>27)</sup>は、ダグラスファーでN、P、K濃度は上位葉が高く、Ca濃度は下位葉で高い傾向のあることを報告している。本結果においてもほぼ同様の傾向がみられた。

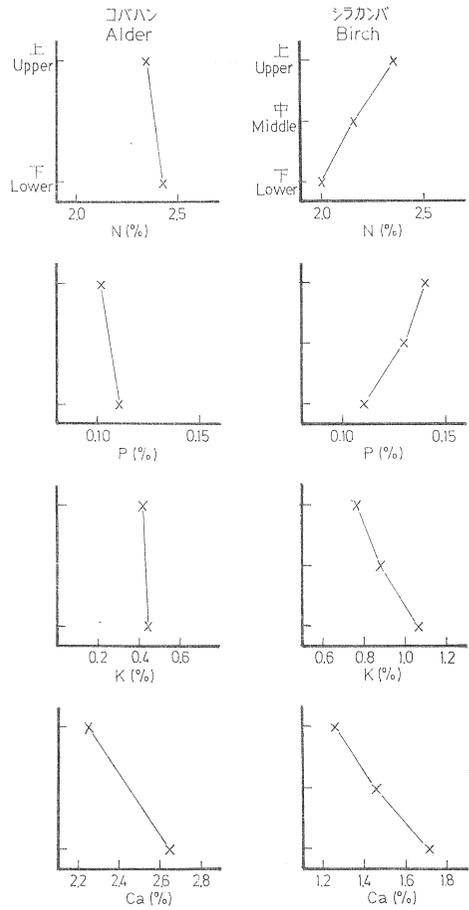
また、スギについては、竹下、東<sup>49)</sup>は、葉の着生位置による相違は認められないとのべている。

一方、竹下ら<sup>50)</sup>の結果では、N、P濃度は上位葉が下位葉よりも高く、Ca濃度では下位葉が上位葉よりも高いとのべている。また、原田、後藤<sup>13)</sup>は、N、P、K濃度は上位葉で高く、下位葉で低い。Ca濃度は逆の関係にあることをあきらかにしている。さらに、沓木<sup>72)</sup>は、N濃度は上部が高く、下部が低いとのべている。

これら諸研究者の結果と本研究のスギの結果については、N、PとCa濃度ではほぼ同様の傾向が認められる。

このような傾向は、シラカンバでもほぼ同様に認められた。

石塚、田中<sup>15)</sup>は、養分のなかに代謝的に吸収される養分と、非代謝的に吸収される養分があり、N、P、K成分は前者に、Ca成分は後者に属する性質のものであると考察している。この考え方から原田<sup>13)</sup>は、代謝的に吸収される養分は上位葉で高濃度、下位葉で低濃度であり、非代謝的に吸収される養分は上位葉で低濃度、下位葉で高濃度の傾向が認められるという。このことと、今回の筆者のカラマツでの結果



× 10月採取  
Sampled in Oct.

Fig. 7 部位別の葉の養分濃度  
(コバハン、シラカンバ)

The variation of nutrient concentration  
in leaves with position (Alder, Birch).

Table 6. カラマツ葉の枝階別の養分濃度  
Nutrient concentration in larch needles on twig of  
different position

枝階別 Position of twig	養分濃度 Nutrient concentration (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
1年枝 (対生葉) 1-year old twig (Opposite leaves)	2.28	0.14	0.49	0.98	0.47
	2.25	0.13	0.63	0.82	0.38
	2.11	0.19	0.66	1.18	0.50
	2.24	0.16	0.63	1.02	0.51
(平均値) (mean)	(2.22)	(0.16)	(0.60)	(1.00)	(0.47)
2年枝 (輪生葉) 2-year old twig (Verticillate leaves)	1.98	0.13	0.41	1.03	0.38
	2.36	0.13	0.58	0.96	0.35
	2.26	0.17	0.58	1.27	0.37
	2.48	0.16	0.53	0.87	0.36
(平均値) (mean)	(2.27)	(0.15)	(0.53)	(1.03)	(0.37)

を除く成績からみて、林木の栄養状態の指標としての葉分析のための試料の採取位置は、代謝作用と関係が深い養分が、林木の栄養状態に鋭敏に作用して変動する位置から採取するのが適当ではないかと考えられる。

WHITE<sup>67)</sup>は、樹冠の中央部の葉を採取するのが適当と述べているが、原田<sup>18)</sup>、GESSSELら<sup>6)</sup>および WELLS<sup>68)</sup>は、樹冠上部から採取するのが適当と述べていることからもうなずかれることであり、それには樹冠上部の葉がもっとも適していると考えられる。

つぎに、カラマツの葉を1年枝に着生する対生葉、2年枝に着生する輪生葉別に養分濃度をしらべてみると、Table 6 に示すとおりである。

N, P および Ca 濃度では、対生葉と輪生葉との間にはあきらかな相違がみられないが、K, Mg 濃度で対生葉の方がわずかに高い傾向を示すようである。

中村<sup>89)</sup>は、各樹齢のカラマツについて新梢、古梢別に比較し、各樹齢を通じて養分は全般的に古梢葉が新梢葉よりも高い値を示すことを指摘しているが、本実験とは着生葉の採取方法が異なるので比較できなく、今回の対生、輪生葉別では養分濃度の相違を認めることができなかった。

また、アカマツ針葉を Fig. 8 に示すわけ方にしたがって葉齢、枝階別の各時期における養分濃度を比較すると、Fig. 9 のとおりである。全般的な傾向として、N, P および K 濃度は、6, 7 月には2年生葉より当年生葉で高く、葉齢が同じ場合には枝階の新しい方が高いようである。しかし、8 月には規則性が若干乱れ、9 月には当年生葉を除けば逆に2年生葉では枝階の古い方で高くなる。Ca 濃度は、N, P および K 濃度の場合とは逆に当年生葉より2年生葉でいずれの枝階においても高く、9 月においては当年生葉が2年生葉より高くなる傾向がみられる。

LEYTON<sup>29)</sup>は、若い Scots pine の葉齢、枝階別の葉の N 濃度をしらべ、2年生葉は当年生葉より濃度が低く、頂端部の当年生葉は他の位置に着生したものより高いと報告している。また、原田、佐藤<sup>12)</sup>は、8年生のアカマツ針葉の養分濃度をしらべ、葉齢別では N, P, K 濃度は2年生葉より当年生葉で高く、Ca 濃度は逆に当年生葉より2年生葉で高い傾向がみられる。枝階別では N の場合同じ葉齢であっても枝

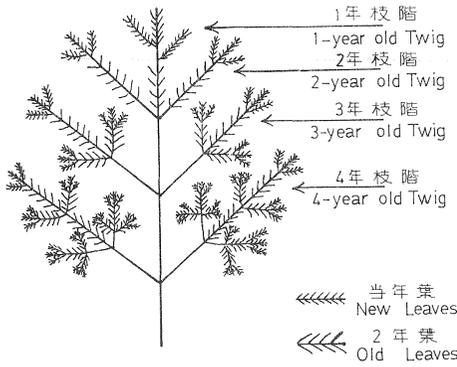


Fig. 8 枝階と葉齢のわけ方  
How to divide twigs and needles according to the age.

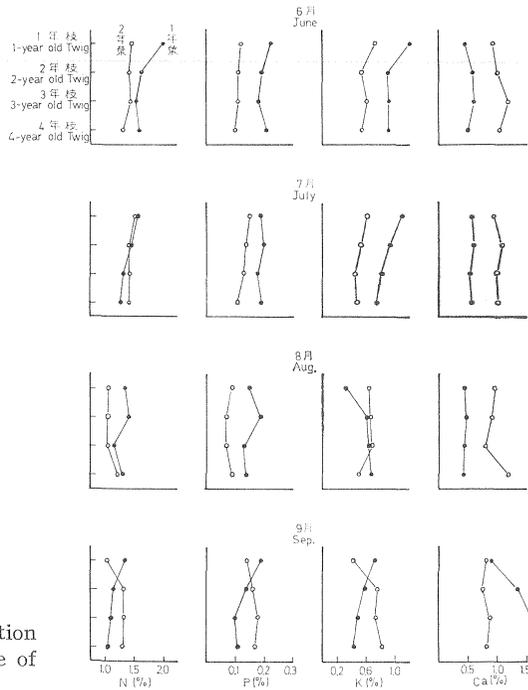


Fig. 9 枝階別, 葉齢別の葉の養分濃度  
The variation of nutrient concentration in needles with twig position and age of needles.

階の若いほど高く, Ca の場合は 2 年生葉では若いほど低い傾向がみられると報告している。

これらの報告と本実験の結果は, ほぼ同様の傾向が認められる。すなわち, 葉齢別では N, P, K 濃度は 2 年生葉より当年生葉で高い場合が多く, Ca 濃度は逆に 2 年生葉で高い場合が多い。また, 枝階別では N, P, K 濃度は枝階の新しいほど高い傾向を示し, Ca 濃度は枝階の新しいほど低い傾向を示す場合が多いようである。

### (3) 林木の個体別の葉内養分濃度の比較

葉分析によって林木の栄養状態を指標とする場合, あるいは, 林木, 林分のもつ養分量を推定するときの試料の採取については, 一般的に同一林分内での平均的な林木に相当する個体から採取するのが従来から適当とされているが, その妥当性を検討する目的で林木の各胸高直径 (D.B.H.) 別の葉内養分濃度を比較した。

カラマツについてみると, Table 7 に示すとおりである。

N, Ca 濃度では, 個体の大小と濃度との関係があきらかでないが, P 濃度は, わずかに D.B.H. の小さいものが高く, K 濃度は, D.B.H. の大きいものの個体が高い傾向にある。

アカマツについては, Table 8 に示すとおりであり, いずれの養分濃度とも D.B.H. の大小との間には一定の傾向を認めることはできないようである。

また, コバハン, シラカンバについては, Table 9 に示すとおりである。

N, P, K 濃度では, コバハン, シラカンバともあきらかな関係は認められないが, Ca 濃度では D.B.H. の小さいものに高い傾向があることがコバハンには認められるようであるが, シラカンバには認められない。

Table 7. カラマツの胸高直径別と葉の養分濃度との関係

Relations between tree size and nutrient concentration in needles of larch

胸高直径 D. B. H. (cm)	養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
	N	P	K	Ca
10.2	2.44	0.15	0.96	0.43
9.7	2.11	0.14	0.65	0.55
8.4	2.16	0.17	0.62	0.47
8.2	2.38	0.17	0.81	0.48
7.4	1.78	0.16	0.46	0.63
7.2	2.34	0.17	0.68	0.44
6.8	2.67	0.19	0.62	0.53
6.3	2.17	0.16	0.49	0.54
5.6	2.34	0.19	0.68	0.46
5.3	2.22	0.18	0.46	0.60

Table 8. アカマツの胸高直径別と葉の養分濃度との関係

Relations between tree size and nutrient concentration in needles of pine

胸高直径 D. B. H. (cm)	養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
	N	P	K	Ca
13.4	1.48	0.15	0.63	0.23
10.8	1.28	0.13	0.61	0.28
10.6	1.46	0.15	0.62	0.28
8.9	1.51	0.16	0.69	0.24
7.7	1.43	0.16	0.71	0.31
7.4	1.47	0.16	0.57	0.38
5.9	1.27	0.13	0.74	0.30
5.4	1.14	0.10	0.49	0.21
5.0	1.57	0.19	0.77	0.30
4.5	1.37	0.13	0.82	0.20

Table 9. コバハン、シラカンバの胸高直径別と葉の養分濃度との関係

Relations between tree size nutrient concentration in needles of alder and birch

樹 種 Species	胸高直径 D. B. H. (cm)	養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
		N	P	K	Ca
コバノヤマハン ノキ Alder	17.5	2.28	0.15	0.35	1.99
	16.0	2.42	0.16	0.35	2.09
	15.0	2.24	0.15	0.53	2.25
	13.5	2.25	0.11	0.36	2.54
	12.5	2.23	0.14	0.38	2.55
シラカンバ Birch	12.5	2.37	0.14	0.76	1.06
	10.5	2.54	0.18	1.11	1.44
	10.0	2.37	0.12	0.56	1.31
	8.5	2.39	0.16	0.85	1.36
	7.0	2.29	0.12	0.81	1.23

以上のように、同一林分内での個体の大きさと葉内養分濃度との間には、カラマツではP、K濃度、コバハンではCa濃度がD.B.H.の大きさと関連して、わずかに増減するという傾向がみられるようであるが、アカマツ、シラカンバでは各養分とも、そのような傾向がみられない。

堤<sup>59)</sup>のスギ、四大学合同調査班<sup>78)</sup>のカラマツでの調査結果は、同一林分内では個体の大きさに応じて養分が変化するという一定の傾向を認めることができないとのべている。このことと同様、本結果も概観的にみると、むしろ個体の大小に無関係にみられるバラツキの方が大きいように考えられる。しかし、本結果は、個体の大きさをD.B.H.だけから判断していること、また、供試個体数が少ないことなどがあり、さらに今後の検討を必要としている。

## 3-2. 主要林木の葉内養分濃度

葉分析を林木の栄養診断ならびに施肥効果の判定などに応用する場合の基礎資料の一つとして、主要林木それぞれの葉内養分濃度を知っておく必要がある。

そのために、スギ、カラマツ、アカマツ、バンクスマツ、リギダマツの針葉樹と、コバハン、シラカンバ、ブナ、クヌギの広葉樹について、ほぼ同様の土壌条件のところに植栽された同齢のものを葉分析し、それぞれの林木の葉内養分濃度について比較検討をおこなった。

各林木の葉内養分濃度を示すと Table 10 のとおりである。

N濃度は、一般に広葉樹類が高い。とくにその中でコバハンが約3.0%程度を示し、もっとも高く、ついでクヌギ、ブナ、シラカンバ等は約1.7~2.2%程度である。これにたいして、針葉樹類は低く、マツ類

Table 10. 樹種別の葉の養分濃度  
Nutrient concentration in leaves of various species

樹種 Species	林齢(年) Age (Year)	養分濃度 Nutrient concentration (%)			
		N	P	K	Ca
スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	6	1.29	0.29	0.98	1.16
	7	1.08	0.16	0.60	1.24
	8	1.18	0.18	0.63	1.53
	(average)	(1.18)	(0.21)	(0.74)	(1.31)
アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	6	1.68	0.15	0.83	0.64
	7	1.88	0.16	0.60	0.53
	8	1.65	0.17	0.53	0.68
	(average)	(1.74)	(0.16)	(0.65)	(0.62)
カラマツ <i>Larix leptolepis</i>	6	1.28	0.11	0.68	0.48
	7	1.31	0.12	0.55	0.51
	8	1.35	0.11	0.61	0.50
	(average)	(1.31)	(0.11)	(0.61)	(0.50)
バンクスマツ <i>Pinus banksiana</i>	6	1.66	0.21	0.44	0.42
	7	1.29	0.12	0.57	0.42
	8	1.73	0.11	0.39	0.54
	(average)	(1.56)	(0.15)	(0.47)	(0.46)
リギダマツ <i>Pinus rigida</i>	6	1.64	0.17	0.45	0.41
	7	1.42	0.12	0.40	0.53
	8	1.65	0.17	0.61	0.42
	(average)	(1.57)	(0.15)	(0.49)	(0.45)
コバノヤマハンノキ <i>Alnus inokumae</i>	6	3.47	0.18	0.81	2.13
	7	3.22	0.20	0.68	1.98
	8	3.04	0.16	0.59	2.90
	(average)	(3.24)	(0.18)	(0.69)	(2.34)
シラカンバ <i>Betula platyphylla</i>	6	2.12	0.21	1.05	1.29
	7	1.95	0.20	0.96	1.06
	8	1.78	0.20	0.94	1.67
	(average)	(1.95)	(0.20)	(0.98)	(1.34)
ブナ <i>Fagus crenata</i>	6	1.70	0.14	0.65	1.63
	7	2.01	0.13	0.51	1.13
	8	2.18	0.17	0.62	1.43
	(average)	(1.96)	(0.15)	(0.59)	(1.40)
クヌギ <i>Quercus acutissima</i>	6	2.21	0.18	0.77	1.05
	7	2.17	0.17	0.79	1.25
	8	2.22	0.12	0.79	1.76
	(average)	(2.20)	(0.16)	(0.78)	(1.35)

が約1.3~1.9%, スギが約1.2%前後である。

このような針葉樹類と広葉樹類の N 濃度の違いについては、堤ら<sup>60)</sup>の結果でも、針葉樹類が 0.9~1.4%, 常緑広葉樹が1.0~2.3%, 落葉樹が1.7~3.2%となっている。

P 濃度はN濃度とは異なり、針、広葉樹間あるいは樹種間のあきらかな差異は認められない。

K 濃度はN濃度ほどあきらかでないが、広葉樹類が一般に高く、針葉樹類は低い傾向を示している。とくにシラカンバがもっとも高い。

また、Ca 濃度は N 濃度と同様に広葉樹類が高く、1.0~2.8%程度を示し、とくに、コバハンは2.0%以上でもっとも高い。これにたいして、針葉樹類は低く、約0.3~1.5%の範囲にあり、その中ではスギが高く、マツ類は約0.5%以下のように低い値を示した。

以上のように、各養分とも広葉樹類の濃度が高く、針葉樹類は低い傾向がみられ、とくに、その傾向は N と Ca 濃度で顕著である。

朝日<sup>2)</sup>、Coil ら<sup>4)</sup>は、落葉により土壤へ還元される養分のうち N と Ca が土壤有機物の分解、物理性改善に影響することが大きいことから、葉の Ca 濃度による樹種の類別をおこなっている。

また、森田<sup>31)</sup>は、落葉の無機組成を調べ、森林土壤の構造の発達程度は Ca 含量と関係が深いと考えており、この点から Ca によって、樹種の類別を試み、また他の成分についても濃度によって3段階に類別している。

筆者も上記の諸氏にならい、N, P, K および Ca 濃度を3段階に分けて、葉内養分濃度による樹種の類別をしてみると Table 11 に示すとおりとなる。これによれば、N による類別と Ca による類別とは比較的よく一致しているが、その他の養分についてはあまり関連がみられない。しかし、全体的にみて各養分とも、もっとも高いのはコバハン、シラカンバであり、低いのは、カラマツ、マツ類である。スギはN濃度においてもっとも低い中間のグループに入っている。また、これら4つの養分のうち N はもっとも高く、P はもっとも低いことは、ほとんど、すべての樹種に共通しているが、K と Ca のうちのどちらが

Table 11. 養分濃度による樹種の類別  
Grading of nutrient concentration of various tree species

養分 Nutrient	濃度 (%) Concentration	樹種 Species
N	1.0~2.0	スギ, カラマツ, リギダマツ, バンクスマツ, アカマツ, シラカンバ ブナ, クスギ コバノヤマハンノキ
	2.0~3.0	
	3.0~	
P	~0.15	カラマツ, バンクスマツ, ブナ リギダマツ, クスギ, アカマツ, コバノヤマハンノキ, スギ シラカンバ
	0.15~0.20	
	0.20~	
K	0.4~0.6	バンクスマツ, リギダマツ ブナ, カラマツ, アカマツ, コバノヤマハンノキ, スギ, クスギ シラカンバ
	0.6~0.8	
	0.8~	
Ca	~1.0	リギダマツ, バンクスマツ, カラマツ, アカマツ スギ, シラカンバ, クスギ, ブナ コバノヤマハンノキ
	1.0~2.0	
	2.0~	

より高いかは一定していない。そこで、この点に着目してこれら9つの樹種を類別してみると、 $N > Ca > K > P$ の順に濃度が低くなるコバハン、シラカンバ、ブナ、クスギ、 $N > K > Ca > P$ の順に低くなり、しかも各養分濃度のもっとも低いカラマツ、アカマツ等のマツ類、 $N = Ca > K > P$ の順に低くなるスギの3つのタイプに分けられる。

このように、各林木の養分濃度を比較すると、一般に広葉樹類が高く、これにたいして、針葉樹類は低い、針葉樹のなかでもスギは中庸の養分濃度を示すようである。

### 3-3. 葉内養分濃度と土壤の化学性

林地施肥は直接あるいは間接に林木の成長、土壤の化学的諸性質、葉の養分濃度に影響し、また、一方これにともなって土壤に変化をもたらす、このことがまた葉の養分濃度に影響するという相互関係が考えられる。

このような関係について検討するため、カラマツ、アカマツ、コバハンおよびシラカンバ林を対象に継続的な調査を4～6年間にわたって実施した。これらの調査結果をもとに、葉内養分濃度が土壤の化学性とどのような関連性を有するかについて検討した。

#### (1) 土壤の化学性

カラマツおよびアカマツ林土壤の化学的性質の経年変化については、Table 12, 13のとおりである。

酸度関係では、カラマツ林は林齢の増加とともにpHは次第に低下する傾向がみられるようであるが、アカマツ林はあきらかでない。

しかし、両樹種とも施肥による土壤の酸性化は、pHと平行して置換酸度がいくぶん大きくなっていることからうかがわれる。

炭素および窒素では、いずれも変化はあきらかでないが、カラマツでは施肥区の方が低く、アカマツでは高い傾向がみられる。この施肥による増加あるいは減少する傾向が両樹種の落葉分解のメカニズムが異なるためのものであるかについては、今後の究明にまたなければならない。

C-N率では、両樹種とも年変化はあきらかでないが、アカマツ林の方がカラマツ林より大きい傾向がみられる。施肥によりC-N率の低下がみられるとの報告もあるが<sup>16)25)52)</sup>、今回の結果ではこのような傾向はみられなかった。

置換容量では、両樹種とも年変化および施肥の影響はあきらかでない。置換性塩基でも同様であるが、置換性カルシウムでは、アカマツ林よりカラマツ林の方に多い傾向がみられるようである。

このように、カラマツおよびアカマツ林土壤の化学的諸性質の経年変化および施肥の影響についてはあきらかな傾向を認めることはできないようである。

つぎに、コバハンおよびシラカンバ林土壤の化学的性質についてみると、Table 14, 15に示すとおりである。

酸度関係では、コバハンでは植栽時にpH 6、置換酸度1.0であったものが6～10年経過した時点でpH 5、置換酸度は4.0を示し、土壤の酸性化がみられる。このことは、山谷、柳谷<sup>69)</sup>の報告でもあきらかである。また、施肥による土壤の酸性化の傾向が認められる。シラカンバでは、経年変化はあきらかでないが、施肥による土壤の酸性化の傾向がうかがわれる。

炭素、窒素では、両樹種とも経年変化は認めがたく、また、置換容量でもこのことは同様である。置換性塩基類においても同様、経年変化はあきらかでないが、施肥区が無施肥区より低い傾向を示している。

Table 12. カラマツ林土壤の化学的性質  
Chemical properties of soil in larch stand

林 齡 (年) Age (Year)	層 位 Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	置換酸度 Exch. acidity (y <sub>1</sub> )	炭 素 Carbon (%)	窒 素 Nitro- gen (%)	炭素率 C-N ratio	置換容量 Cation exch. capacity (m. e)	置換性カ ルシウム Exch. Ca (m. e)	置換性マグ ネシウム Exch. Mg (m. e)	カルシウ ム飽和度 Degree of Ca satura- tion
8	A <sub>1</sub>	6.4	0.6	6.2	0.51	12.2	29.0	14.60	1.61	50.3
	"	6.5	0.6	6.3	0.45	14.0	28.2	15.02	2.15	53.2
9	A <sub>1</sub>	6.3	0.6	6.2	0.49	12.7	33.6	16.36	0.80	48.8
	"	6.6	0.6	6.5	0.51	12.7	31.8	17.63	1.02	55.5
10	A <sub>1</sub>	6.0	0.5	5.9	0.49	12.0	24.3	14.76	0.32	60.7
	"	6.2	0.5	6.9	0.60	11.5	41.2	18.78	1.89	45.6
11	A <sub>1</sub>	5.7	0.5	6.0	0.51	11.7	30.1	15.50	0.78	51.6
	"	6.0	0.5	7.2	0.63	11.4	35.3	17.82	2.13	50.5
12	A <sub>1</sub>	5.5	2.3	7.6	0.62	12.2	33.0	18.55	0.98	56.2
	"	6.0	1.0	9.4	0.79	11.9	34.3	18.16	3.04	53.0
13	A <sub>1</sub>	5.7	1.1	4.4	0.43	10.2	23.7	16.03	1.47	67.6
	"	6.0	0.6	8.1	0.62	13.1	35.2	18.80	21.6	53.4
14	A <sub>1</sub>	5.9	1.9	7.2	0.51	14.1	32.2	13.59	1.37	42.2
	"	6.0	1.0	7.3	0.64	11.4	30.6	17.38	2.56	56.8

注) 上段：施肥区  
下段：無施肥区

Remarks) Upper : Fertilized  
Lower : Unfertilized

Table 13. アカマツ林土壤の化学的性質  
Chemical properties of soil in pine stand

林 齡 (年) Age (Year)	層 位 Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	置換酸度 Exch. acidity (y <sub>1</sub> )	炭 素 Carbon (%)	窒 素 Nitro- gen (%)	炭素率 C-N ratio	置換容量 Cation exch. capacity (m. e)	置換性カ ルシウム Exch. Ca (m. e)	置換性マグ ネシウム Exch. Mg (m. e)	カルシウ ム飽和度 Degree of Ca satura- tion
13	A	5.0	1.1	9.2	0.62	14.8	31.5	6.24	0.83	19.8
	"	5.5	1.1	6.0	0.45	13.3	30.3	6.55	1.06	21.6
14	A	5.3	1.1	9.4	0.68	13.8	30.4	7.46	0.88	24.5
	"	5.6	1.1	5.8	0.42	13.9	25.6	7.95	11.8	31.1
15	A	4.7	4.6	9.8	0.63	15.6	33.3	6.87	18.0	20.7
	"	5.3	2.3	8.6	0.54	15.9	34.0	9.91	1.87	29.2
16	A	5.6	2.3	8.6	0.60	14.3	34.8	12.78	1.96	36.8
	"	5.9	1.5	5.0	0.38	13.2	25.0	9.03	1.47	36.2

注) 上段：施肥区  
下段：無施肥区

Remarks) Upper : Fertilized  
Lower : Unfertilized

Table 14. コバノヤマハンノキ林土壌の化学的性質  
Chemical properties of soil in alder stand

林 齡 (年) Age (Year)	層 位 Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	置換酸度 Exch. acidity (%)	炭 素 Carbon (%)	窒 素 Nitro- gen (%)	炭素率 C-N ratio	置換容量 Cation exch. capacity (m. e)	置換性カ ルシウム Exch. Ca (m. e)	置換性マグ ネシウム Exch. Mg (m. e)	カルシウ ム飽和度 Degree of Ca satura- tion
1	A <sub>1</sub>	5.8	1.0	10.8	0.85	12.7	42.1	12.44	0.80	29.6
6	"	5.3	3.4	9.9	0.82	12.1	32.6	4.89	0.33	15.0
		5.7	1.5	9.9	0.79	12.5	31.8	7.36	0.32	23.1
7	"	5.2	2.3	10.0	0.81	12.3	40.4	6.08	0.20	15.1
		5.5	2.3	10.2	0.80	12.8	29.3	6.97	1.08	23.8
8	"	5.0	2.3	10.9	0.95	11.5	43.0	6.87	0.98	16.0
		5.2	2.3	11.2	0.97	11.5	40.4	9.52	0.79	23.6
9	"	5.1	3.8	10.2	0.85	12.0	41.8	6.28	0.88	15.0
		5.3	2.5	11.3	0.95	11.9	44.3	9.72	1.08	22.0
10	"	5.1	3.8	11.1	0.87	12.8	39.0	5.61	0.79	14.4
		5.4	2.3	11.7	0.94	12.4	41.8	8.94	1.28	21.4

注) 上段：施肥区  
下段：無施肥区

Remarks) Upper : Fertilized  
Lower : Unfertilized

Table 15. シラカンバ林土壌の化学的性質  
Chemical properties of soil in birch stand

林 齡 (年) Age (Year)	層 位 Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	置換酸度 Exch. acidity (%)	炭 素 Carbon (%)	窒 素 Nitro- gen (%)	炭素率 C-N ratio	置換容量 Cation exch. capacity (m. e)	置換性カ ルシウム Exch. Ca (m. e)	置換性マグ ネシウム Exch. Mg (m. e)	カルシウ ム飽和度 Degree of Ca satura- tion
1	A <sub>1</sub>	5.8	1.0	10.8	0.85	12.7	42.1	12.44	0.80	29.6
6	"	5.6	0.9	9.7	0.76	12.8	34.6	6.27	0.42	18.2
		6.0	0.5	9.5	0.77	12.3	34.9	9.72	1.52	27.9
7	"	5.5	2.3	9.5	0.83	11.4	38.0	61.8	0.98	16.3
		5.7	1.1	9.6	0.80	12.0	37.9	8.64	0.86	22.8
8	"	5.2	3.4	10.9	0.87	12.5	39.3	5.32	0.84	13.6
		5.7	1.1	10.4	0.87	12.0	44.3	10.07	1.64	22.7
9	"	5.8	3.8	9.5	0.81	11.7	37.5	5.59	1.28	14.9
		6.0	1.3	9.9	0.85	11.6	37.4	8.84	2.16	23.6
10	"	5.5	2.5	10.1	0.82	12.3	38.7	5.99	1.67	15.5
		6.0	1.3	10.0	0.83	12.0	40.4	9.03	2.65	22.4

注) 上段：施肥区  
下段：無施肥区

Remarks) Upper : Fertilized  
Lower : Unfertilized

このように、コバハン、シラカンバ林においては、施肥により土壌の酸性化が進行し、置換性塩基の減少の傾向がみられる。これは土壌の酸性化にもとづくものと考えられるようである。

土壌の化学的性質に対する施肥の影響についてはいくつかの報告がみられ、スギ林に関して、原田<sup>13)</sup>は施肥により表層の土壌の炭素、窒素が高くなる傾向を認め、川名ら<sup>25)</sup>は施肥区の C-N 率が無施肥にくらべて小さくなり、土壌有機物の分解が促進され、土壌に対して良い影響をあたえたとのべている。また、塘<sup>57)</sup>は、施肥区は無施肥の土壌に比べて置換性カルシウムが多いとのべており、佐藤ら<sup>42)</sup>は、肥効のあらわれている林地では、とくにカルシウム、マグネシウム飽和度に顕著な差がみられ、施肥の土壌の化学性におよぼす影響を認めている。カラマツ林に関して竹下ら<sup>52)</sup>は、炭素および C-N 率で施肥区が小さい値を示すとのべており、アカマツ林に関して塘<sup>57)</sup>は、施肥区で窒素はかなり増大し、C-N 率は小さくなり、置換性カルシウムも多くなるとのべている。また、伊藤、植田<sup>16)</sup>は、施肥により C-N 率が低下したとのべている。そのほか、塩崎、永桶<sup>47)</sup>は、エゾマツ林に関して施肥により炭素、窒素および置換性カルシウムが増大したとのべている。

以上の諸研究者の結果は、樹種によって異なる場合もあり、全般的に共通する傾向をみいだすことは困難ではあるが、施肥による土壌中の炭素、窒素および置換性カルシウムの増大、C-N 率の低下などの傾向は認められるようである。

今回の筆者の結果は、上述の諸研究者の結果と一致する傾向を認めることができないが、コバハン、シラカンバ林での施肥による土壌の置換性カルシウム、マグネシウムの減少の傾向が認められた。

## (2) 林木の葉内養分濃度

カラマツ、アカマツ針葉の養分濃度は、Table 16, 17 に示すとおりである。

両樹種とも 2, 3 の例外をのぞけば、葉の N, P, K 濃度が施肥によって増加していることがわかる。この傾向は N 濃度が最も明瞭である。これにたいして、Ca 濃度はアカマツではわずかに増加しているが、カラマツではあきらかな傾向は認められない。

経年変化は、カラマツでは N, P 濃度は一定の傾向がみられないが、K, Ca 濃度では年齢の増加にともなって増大する傾向がみられる。また、アカマツでは N 濃度の変化傾向がみられないが、P, K 濃度は減少の傾向を示し、Ca 濃度は増大する傾向が認められる。

一般に、樹齢の違いによって樹体各部の養分濃度が変化する傾向が知られている。すなわち、原田<sup>13)</sup>は、林齢別にスギの各部の養分濃度をしらべ、林齢の増加にともなって各部位の養分濃度は低下するとのべており、また、四大学合同調査班<sup>74)</sup>の結果では、林齢が増すにつれて、N, P および K 濃度は低下し、Ca 濃度では一定した変化を示さないとのべている。一方、これにたいして、塘ら<sup>56)</sup>は、アカマツでは林齢の増加にともなう一定の変化を示さないと報告している。

このように、スギについては、N, P および K 濃度は林齢の増加にともなって減少する傾向がみられるようである。しかし、今回の結果では、アカマツ針葉の P, K 濃度およびカラマツ針葉の K 濃度は、林齢の増大とともに減じ、Ca 濃度は増加を示す傾向がみられた。このことは、今回対象とした樹種の林齢が数年生で、若いためなのか、あるいは、芝本<sup>49)</sup>が指摘する Ca による K の吸収がみられるイオン間の拮抗作用による反応としてみるべきものなのか、今後の検討をまたなければならない。

つぎに、コバハンおよびシラカンバの葉内養分濃度についてみると Table 18, 19 に示すとおりである。

Table 16. カラマツ針葉の養分濃度  
Nutrient concentration in larch needles

林齡(年) Age (Year)	処 理 Treatment		養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
			N	P	K	Ca
8	施 肥	Fertilized	1.55	0.15	0.30	0.43
	無 施 肥	Unfertilized	1.03	0.11	0.25	0.40
9	施 肥	Fertilized	2.03	0.14	0.28	0.50
	無 施 肥	Unfertilized	1.92	0.13	0.26	0.53
10	施 肥	Fertilized	2.07	0.19	0.54	0.48
	無 施 肥	Unfertilized	2.03	0.17	0.56	0.54
11	施 肥	Fertilized	2.13	0.28	0.74	0.63
	無 施 肥	Unfertilized	2.18	0.21	0.67	0.56
12	施 肥	Fertilized	2.08	0.30	0.78	0.52
	無 施 肥	Unfertilized	1.94	0.20	0.68	0.94
13	施 肥	Fertilized	1.79	0.23	0.80	1.26
	無 施 肥	Unfertilized	1.74	0.15	0.75	1.30

Table 17. アカマツ針葉の養分濃度  
Nutrient concentration in pine needles

林齡(年) Age (Year)	処 理 Treatment		養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
			N	P	K	Ca
12	施 肥	Fertilized	1.79	0.35	0.87	0.40
	無 施 肥	Unfertilized	1.60	0.38	0.79	0.36
13	施 肥	Fertilized	1.92	0.20	0.64	0.40
	無 施 肥	Unfertilized	1.42	0.16	0.62	0.38
14	施 肥	Fertilized	1.61	0.17	0.65	0.46
	無 施 肥	Unfertilized	1.46	0.13	0.60	0.42
15	施 肥	Fertilized	1.78	0.19	0.62	0.41
	無 施 肥	Unfertilized	1.64	0.15	0.58	0.40
16	施 肥	Fertilized	1.57	0.15	0.64	0.68
	無 施 肥	Unfertilized	1.55	0.17	0.60	0.55

両樹種とも、施肥区の方が N, P, K 濃度においてはやや高い傾向を示しているが、Ca 濃度は逆に低い傾向を示している。

経年変化については、コバハンでは N, P, K 濃度とも年齢増加とともに減少の傾向を示すが、Ca 濃度はあきらかでない、シラカンバでは各養分とも、いずれも年齢増加にともなって減少する傾向がみられる。これは前述の諸研究者のスギでの結果とほぼ一致した傾向であって、山本<sup>70)</sup>のシラカンバの結果では、林齡の増加にともなって N, P 濃度は減少の傾向がみられ、Ca 濃度は増加の傾向を示すとのべており、今回の結果とは異なっている。

以上の4樹種について、N濃度を比較すると、コバハンでは2.5~3.5%程度であるのに対して、カラマ

Table 18. コバノヤマハンノキ葉の養分濃度  
Nutrient concentration in alder leaves

林齡(年) Age (Year)	処 理 Treatment	養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
		N	P	K	Ca
6	施 肥 Fertilized	3.39	0.20	0.72	2.05
	無 施 肥 Unfertilized	3.49	0.18	0.81	2.13
7	施 肥 Fertilized	3.30	0.24	0.70	2.00
	無 施 肥 Unfertilized	3.22	0.20	0.68	1.98
8	施 肥 Fertilized	3.19	0.18	0.65	2.47
	無 施 肥 Unfertilized	3.04	0.16	0.59	2.90
9	施 肥 Fertilized	2.58	0.16	0.63	2.10
	無 施 肥 Unfertilized	2.75	0.15	0.48	2.96
10	施 肥 Fertilized	2.40	0.10	0.41	2.21
	無 施 肥 Unfertilized	2.30	0.08	0.42	2.29

Table 19. シラカンバ葉の養分濃度  
Nutrient concentration in birch leaves

林齡(年) Age (Year)	処 理 Treatment	養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
		N	P	K	Ca
6	施 肥 Fertilized	2.13	0.20	1.24	1.38
	無 施 肥 Unfertilized	2.12	0.21	1.05	1.69
7	施 肥 Fertilized	2.03	0.22	1.13	1.32
	無 施 肥 Unfertilized	1.95	0.20	0.96	1.66
8	施 肥 Fertilized	1.58	0.32	1.10	1.28
	無 施 肥 Unfertilized	1.78	0.20	0.94	1.67
9	施 肥 Fertilized	1.65	0.18	0.79	1.24
	無 施 肥 Unfertilized	1.88	0.14	0.80	1.55
10	施 肥 Fertilized	1.68	0.13	0.60	1.24
	無 施 肥 Unfertilized	1.76	0.15	0.92	1.46

ツ、アカマツ、シラカンバは1.0~2.5%程度であり、前述のようにコバハンが他樹種よりはるかに高く、肥料木としての特徴を示している<sup>58)</sup>。

(3) 葉内養分濃度と土壌の化学性との関係

葉の養分濃度と土壌の化学的性質との関係を示すと、Fig. 10~15 のとおりである。

土壌の pH と葉の養分濃度との関係は、Fig. 10 のとおりであり、カラマツはP、K濃度が pH の低下とともに増加する傾向は認められるが、Ca 濃度では関連性は認められない。また、アカマツでは P 濃度がほぼ関連性を示すが、K 濃度ではその傾向は認められなく、Ca 濃度はある程度正の関係を認めることができる。

つぎに、コバハン、シラカンバでの関係をみると、Fig. 11 のとおりであり、コバハンはいずれも関連

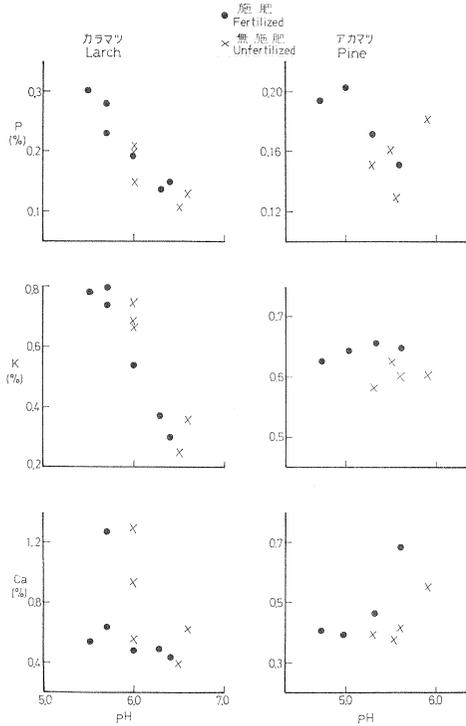


Fig. 10 土壌の pH と葉の P, K および Ca 濃度との関係

Relations between the P, K and Ca content in leaves and the pH of soils.

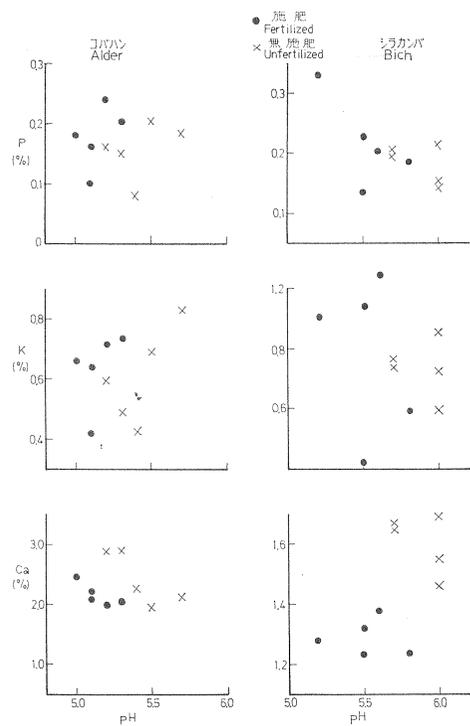


Fig. 11 土壌の pH と葉の P, K および Ca 濃度との関係

Relations between the P, K and Ca content in leaves and the pH of soils.

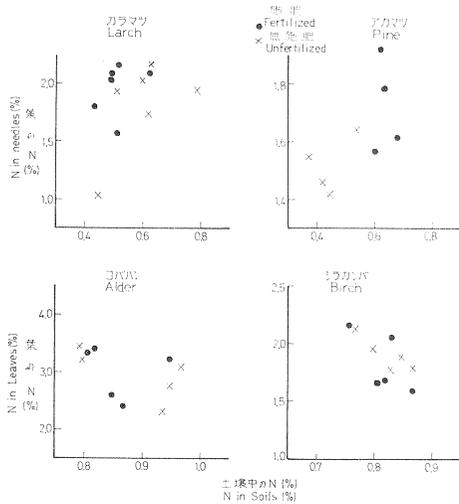


Fig. 12 土壌の N と葉の N 濃度との関係  
Relations between the N content in soils and the one in leaves.

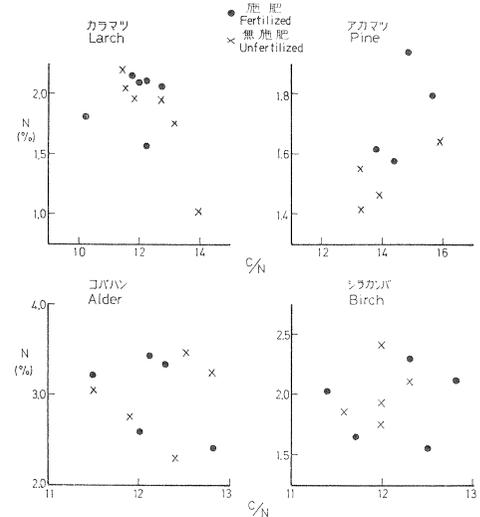


Fig. 13 土壌の C-N 率と葉の N 濃度との関係  
Relations between the C-N ratio of soils and the N content in leaves.

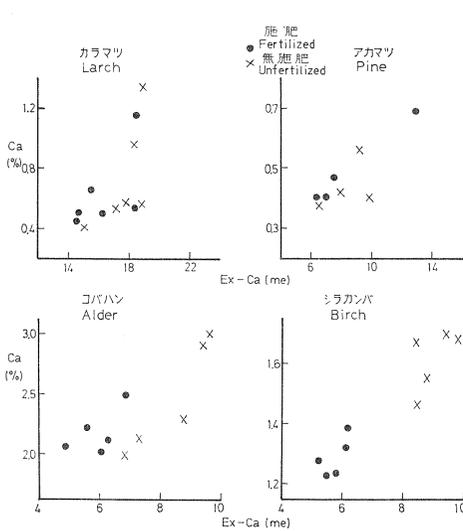


Fig. 14 土壤の置換性カルシウムと葉の Ca 濃度との関係

Relations between the content of exchangeable Ca in soils and the Ca content in leaves.

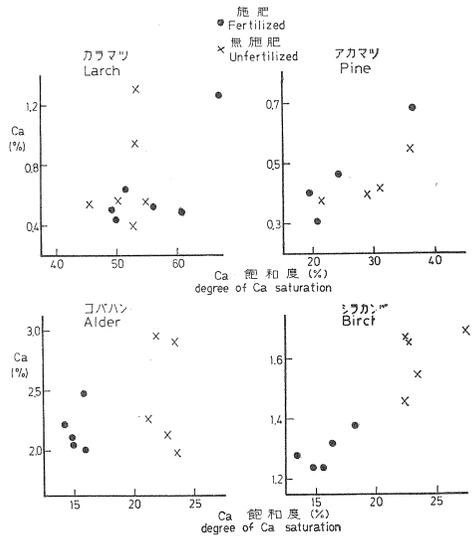


Fig. 15 土壤のカルシウム飽和度と葉の Ca 濃度との関係

Relations between the Ca saturation degree of soils and the Ca content in leaves.

性を認めることはできない。シラカンバでは P 濃度との関連性がわずかに認められる程度で、K, Ca 濃度では認められない。

土壤中の N と葉の N 濃度との関係は、Fig. 12 に示すとおりであきらかなものではないが、カラマツ、アカマツでは、土壤中の N が増加すると葉中の N 濃度が増加するという正の関係がみられるのに対して、コバハン、シラカンバは負の関係がみられるようである。

土壤の C-N 率と葉の N 濃度との関係は、Fig. 13 に示すとおりであり、カラマツは土壤の C-N 率の低下にともなって、葉の N 濃度の増加を示す負の関係がみられ、アカマツでは土壤の C-N 率の増大にともなって、葉の N 濃度も増加する正の関係がみられるようである。しかし、コバハン、シラカンバにおいては関連性を認めることができない。

土壤の置換性カルシウムおよび同飽和度と葉の Ca 濃度との関係は、Fig. 14 および 15 に示すとおりであり、カラマツでは関連性を認めることができない。しかし、アカマツ、シラカンバでは土壤中の置換性カルシウムあるいは同飽和度の増大にともなって葉中の Ca 濃度が増加する傾向が認められる。また、コバハンでは土壤の置換性カルシウムの増大によって葉の Ca 濃度も高くなる傾向が認められるようであるが、カルシウム飽和度とは関連性を認めることはできない。

土壤の化学性と林木の葉の養分濃度との関係について、諸外国の結果では、BARD<sup>8)</sup>は、土壤の pH の低下にともなって各種の針、広葉樹の葉の P および K 濃度が増加すると報告している。FLETCHER<sup>5)</sup>は、土壤中の P と葉の P 濃度間に相関があることを報告し、WELLS<sup>68)</sup>は土壤中の可溶性 N と葉の N 濃度、有効態 P と P 濃度の相関を認める報告をしている。

わが国の結果では、芝木、田島<sup>44)</sup>のヒノキ林では、土壤中の N と葉中の N 濃度との間には一定の関係がみられなかったと報告している。河田<sup>21)</sup>は、アカマツ針葉の N, Ca 濃度は表層土の C-N 率、置換性

カルシウム、同飽和度に関連性を示したが、Ca濃度は地形的因子の影響が大きいのべている。また、山本、真田<sup>71)</sup>によれば土壌の表層のC-N率、置換性カルシウムおよび同飽和度とトドマツ葉の養分濃度との間にわずかながら関連性が認められるようであるとべている。

以上のように、それぞれ対象としている樹種は異なるが、諸外国の結果では土壌の化学性と葉の養分濃度との関連性を認めている場合が多い。しかし、わが国における結果では関連性を認めている場合が少く、一定の傾向をみいだすことは困難のようである。

前述のとおり、今回の筆者の結果は、土壌のpHと葉のP、KおよびCa濃度との間に、また、土壌の置換性カルシウム、同飽和度と葉のCa濃度との間に関連性を認めることができた。しかし、本結果においては、葉分析値と一般的な化学性との関係をみたものにすぎなく、土壌養分としてのP、KおよびCa等との関係については今後の研究課題である。

また、伊藤<sup>72)</sup>は、立地区分に対応した葉分析をおこない、その分析値は土壌の栄養的特徴をかなり良く反映するのべており、河田ら<sup>21)</sup>は、針葉の養分濃度におよぼす斜面地形の影響はかなり普遍性を有するとみなしている。このような結果からみて、葉内養分濃度と土壌条件との関係では関連性があつたり、なかったりするのは今までのデータのとり方に問題があるからと考えられ、地域、地形ごとに、あるいは土壌型を基準にして実施した場合にはその関連があきらかになるのではないかと考えられる。

#### 3-4. 葉内養分濃度と林木の成長

林木の栄養状態が成長とどのような関係にあるのかをあきらかにすることは、林木の栄養診断、あるいは施肥効果の判定などを考えてゆく上にも重要である。また、施肥が林木の栄養状態にどのような影響を

Table 20. カラマツの成長  
Growth of larch trees

林 齡 (年) Age (Year)	樹 高 Height (m)		胸高直径 D.B.H. (cm)	
	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized
8 (1963)	7.4	7.5	7.6	7.3
9 (1964)	$\frac{7.8}{7.1\sim 8.6}$ (0.4)	$\frac{7.9}{7.6\sim 8.3}$ (0.4)	$\frac{8.1}{7.6\sim 8.5}$ (0.5)	$\frac{7.7}{7.3\sim 8.1}$ (0.4)
10 (1965)	$\frac{8.4}{7.8\sim 9.1}$ (0.6)	$\frac{8.4}{8.0\sim 8.9}$ (0.5)	$\frac{8.5}{8.0\sim 9.0}$ (0.4)	$\frac{8.1}{7.6\sim 8.5}$ (0.4)
11 (1966)	$\frac{9.2}{8.3\sim 10.0}$ (0.8)	$\frac{9.0}{8.5\sim 9.5}$ (0.6)	$\frac{9.2}{8.6\sim 9.8}$ (0.7)	$\frac{8.6}{8.1\sim 9.0}$ (0.5)
12 (1967)	$\frac{9.8}{9.0\sim 10.7}$ (0.6)	$\frac{9.5}{9.0\sim 10.1}$ (0.5)	$\frac{10.1}{9.4\sim 10.8}$ (0.9)	$\frac{9.4}{8.9\sim 10.0}$ (0.8)
13 (1968)	$\frac{10.4}{9.7\sim 11.4}$ (0.6)	$\frac{10.0}{9.5\sim 10.6}$ (0.5)	$\frac{10.9}{10.1\sim 11.7}$ (0.8)	$\frac{10.1}{9.5\sim 10.8}$ (0.7)

注) 分子は平均値、分母は範囲を示す。

Remarks) Numerator shows average and denominator shows range.

( ) 成長量, Increment

Table 21. アカマツの成長  
Growth of pine trees

林 齡 (年) Age (Year)	樹 高 Height (m)		胸高直径 D. B. H. (cm)	
	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized
12 (1964)	$\frac{4.8}{4.2\sim 5.6}$	$\frac{4.7}{4.2\sim 5.5}$	$\frac{6.1}{5.0\sim 7.0}$	$\frac{6.4}{3.8\sim 8.7}$
13 (1965)	$\frac{5.5}{5.0\sim 5.9}$ (0.7)	$\frac{5.4}{4.7\sim 5.8}$ (0.7)	$\frac{6.6}{5.3\sim 7.9}$ (0.5)	$\frac{6.7}{3.9\sim 9.1}$ (0.3)
14 (1966)	$\frac{6.1}{5.4\sim 6.8}$ (0.6)	$\frac{5.8}{5.1\sim 6.7}$ (0.4)	$\frac{7.0}{5.8\sim 8.7}$ (0.4)	$\frac{7.1}{4.0\sim 9.8}$ (0.4)
15 (1967)	$\frac{6.6}{5.6\sim 7.6}$ (0.5)	$\frac{6.3}{5.5\sim 7.0}$ (0.5)	$\frac{7.5}{6.0\sim 9.8}$ (0.5)	$\frac{7.4}{4.2\sim 10.2}$ (0.3)
16 (1968)	$\frac{7.2}{6.0\sim 8.1}$ (0.6)	$\frac{6.8}{6.1\sim 7.2}$ (0.5)	$\frac{8.0}{7.0\sim 11.7}$ (0.5)	$\frac{7.8}{4.5\sim 11.0}$ (0.4)

注) 分子は平均値, 分母は範囲を示す。

Remarks) Numerator shows average and denominator shows range.

( ) 成長量, Increment

Table 22. コバノヤマハンノキの成長  
Growth of alder trees

林 齡 (年) Age (Year)	樹 高 Height (m)		胸高直径 D. B. H. (cm)	
	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized
4 (1964)	$\frac{8.3}{7.4\sim 9.3}$	$\frac{7.3}{6.1\sim 8.5}$	$\frac{8.7}{5.6\sim 12.4}$	$\frac{7.6}{6.2\sim 9.5}$
5 (1965)	$\frac{9.3}{8.5\sim 10.0}$ (1.0)	$\frac{8.3}{7.1\sim 9.1}$ (1.0)	$\frac{10.2}{6.8\sim 13.8}$ (1.5)	$\frac{8.9}{7.6\sim 10.9}$ (1.3)
6 (1966)	$\frac{9.6}{8.9\sim 10.4}$ (0.3)	$\frac{8.8}{7.6\sim 9.4}$ (0.5)	$\frac{11.3}{7.3\sim 14.6}$ (1.1)	$\frac{10.2}{8.3\sim 12.0}$ (1.3)
7 (1967)	$\frac{10.3}{9.1\sim 10.8}$ (0.7)	$\frac{9.7}{7.8\sim 10.0}$ (0.9)	$\frac{12.2}{8.4\sim 16.2}$ (0.9)	$\frac{11.2}{9.0\sim 14.0}$ (1.0)
8 (1968)	$\frac{10.8}{9.5\sim 11.4}$ (0.5)	$\frac{10.3}{8.2\sim 10.5}$ (0.6)	$\frac{12.8}{9.0\sim 16.9}$ (0.6)	$\frac{11.9}{9.5\sim 15.0}$ (0.7)
10 (1970)	$\frac{11.6}{9.6\sim 13.2}$ (0.8)	$\frac{11.3}{8.4\sim 12.7}$ (1.0)	$\frac{13.8}{10.0\sim 17.5}$ (1.0)	$\frac{13.5}{10.5\sim 17.0}$ (1.6)

注) 分子は平均値, 分母は範囲を示す。

Remarks) Numerator shows average and denominator shows range.

( ) 成長量, Increment

Table 23. シラカンバの成長  
Growth of birch trees

林 齡 (年) Age (Year)	樹 高 Height (m)		胸高直径 D. B. H. (cm)	
	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized	施 肥 Fertilized	無 施 肥 Unfertilized
4 (1964)	$\frac{5.5}{4.2\sim 6.5}$	$\frac{4.3}{2.0\sim 5.4}$	$\frac{6.1}{3.7\sim 8.2}$	$\frac{4.4}{2.3\sim 5.8}$
5 (1965)	$\frac{6.7}{5.2\sim 7.9}$ (1.2)	$\frac{5.4}{2.6\sim 6.8}$ (1.1)	$\frac{7.6}{4.2\sim 9.8}$ (1.5)	$\frac{5.3}{3.1\sim 7.0}$ (0.9)
6 (1966)	$\frac{8.2}{6.2\sim 9.2}$ (1.5)	$\frac{6.5}{4.8\sim 7.4}$ (1.1)	$\frac{8.5}{4.5\sim 11.5}$ (0.9)	$\frac{6.4}{3.9\sim 8.3}$ (1.1)
7 (1967)	$\frac{8.8}{6.6\sim 10.1}$ (0.6)	$\frac{7.5}{5.8\sim 8.7}$ (1.0)	$\frac{9.2}{5.0\sim 13.0}$ (0.7)	$\frac{6.7}{4.0\sim 8.5}$ (0.3)
8 (1968)	$\frac{9.6}{6.9\sim 11.0}$ (0.8)	$\frac{8.7}{6.6\sim 10.1}$ (1.2)	$\frac{9.7}{5.7\sim 13.6}$ (0.5)	$\frac{7.3}{4.3\sim 9.4}$ (0.6)
9 (1969)	$\frac{10.5}{7.3\sim 12.2}$ (0.9)	$\frac{9.6}{6.8\sim 11.3}$ (0.9)	$\frac{9.9}{5.8\sim 14.1}$ (0.2)	$\frac{7.8}{4.4\sim 10.2}$ (0.5)
10 (1970)	$\frac{11.3}{8.0\sim 13.3}$ (0.8)	$\frac{10.5}{7.3\sim 12.6}$ (0.9)	$\frac{10.1}{6.0\sim 15.5}$ (0.2)	$\frac{8.1}{4.5\sim 11.0}$ (0.3)

注) 分子は平均値, 分母は範囲を示す。

Remarks) Numerator shows average and denominator shows range.

( ) 成長量, Increment

およぼすかをあきらかにすることは、今後の林地肥培の研究を推進させるためにも、あるいは林地生産力の維持ないし向上をはかる上にもきわめて重要と考える。

本項は、施肥による林木の成長量の増大を調べる目的で実施しているカラマツ、アカマツ、コバハン、シラカンバの各試験について、葉分析によって示される林木の栄養状態が成長とどのような関連性を有するかについて検討したものである。

#### (1) 林木の成長

試験区内の約50本を各年の秋季に樹高、胸高直径を測定し、成長を調べた。

カラマツ、アカマツの成長は、Table 20, 21 に示すとおりである。

カラマツの成長におよぼす施肥の影響は、樹高に対してわずかに認められる程度であり、アカマツにおいても同様、わずかに認められる程度であった。

つぎに、コバハン、シラカンバの成長は、Table 22, 23 に示すとおりである。

植栽後6年間の成長経過は、両樹種とも樹高成長は直線的な上昇を示したが、それ以降の10年までの成長は次第に低下の傾向を示している。その後、施肥をおこなわないので、成長におよぼす施肥の影響を認めることはできなく、初期の施肥効果が持続したという程度であり、その影響は次第に認められなくなってきている。

(2) 葉の養分濃度および濃度比

カラマツ, アカマツ, コバハン, シラカンバについての葉内養分濃度は, すでに Table 16~19 に示し, 前項でのべたとおりである。

ここでは, その養分濃度から葉内の各養分の相互関係をあらわす, N/P, N/K, K/P および N/Ca 等の養分比を求めた結果についてのべる。

カラマツの養分比は, Table 24 に示すとおりである。N/P 比は, 年変化はあきらかでないが, N/K 比は, 年齢増加とともに次第に小さくなる傾向がみられる。K/P 比は, N/K 比とほぼ同じ値を示すが次第

Table 24. カラマツ針葉の養分比  
Nutrition balance in larch needles

林齡(年) Age (Year)	処 理 Treatment	養 分 比 Nutrition balance			
		N/P	N/K	K/P	N/Ca
8	施 肥 Fertilized	10.3	5.2	2.0	4.6
	無 施 肥 Unfertilized	9.4	4.1	2.3	2.6
9	施 肥 Fertilized	14.5	5.3	2.0	4.1
	無 施 肥 Unfertilized	14.8	5.3	2.0	3.6
10	施 肥 Fertilized	10.9	3.8	2.8	4.3
	無 施 肥 Unfertilized	11.9	3.6	3.3	3.8
11	施 肥 Fertilized	7.6	2.9	2.6	3.4
	無 施 肥 Unfertilized	10.4	3.3	3.2	3.9
12	施 肥 Fertilized	6.9	2.7	2.6	4.0
	無 施 肥 Unfertilized	9.7	2.9	3.4	2.1
13	施 肥 Fertilized	7.8	2.2	3.5	1.4
	無 施 肥 Unfertilized	11.6	2.3	5.0	1.3

Table 25. アカマツ針葉の養分比  
Nutrition balance in pine needles

林齡(年) Age (Year)	処 理 Treatment	養 分 比 Nutrition balance			
		N/P	N/K	K/P	N/Ca
12	施 肥 Fertilized	5.1	2.1	2.5	4.5
	無 肥 施 Unfertilized	4.2	2.0	2.1	4.4
13	施 肥 Fertilized	9.6	3.0	3.2	4.8
	無 施 肥 Unfertilized	8.9	2.3	3.9	3.7
14	施 肥 Fertilized	9.5	2.5	3.8	3.5
	無 施 肥 Unfertilized	11.2	2.4	4.6	3.5
15	施 肥 Fertilized	9.4	2.9	3.3	4.3
	無 施 肥 Unfertilized	10.9	2.8	3.9	4.1
16	施 肥 Fertilized	10.5	2.5	4.3	2.3
	無 施 肥 Unfertilized	9.1	2.6	3.5	2.8

に大きくなるようである。

カラマツの養分比について、中村<sup>83)</sup>は、N/K比は優良木が不良木に比べ小さい値を示したが、N/P、N/CaおよびK/P比では優良木と不良木との間に相違がみられないと指摘している。一方、河田<sup>18)</sup>は、成長の良好な施肥区の場合、これらの値は減少を示したと述べている。

しかし、本結果では、K/P比は施肥区の方が小さい値を示しているが、N/Ca比では逆に施肥区が大きい値を示した。

アカマツの養分比を示すとTable 25のとおりである。ここではN/P比をのぞくと、比がかなり限られた範囲内ではほぼ一定の割合を保っているようである。このような傾向は、河田<sup>21)</sup>の結果と同様のものである。

Table 26. コバノヤマハンノキ葉の養分比  
Nutrition balance in alder leaves

林齢(年) Age (Year)	処 理 Treatment	養 分 比 Nutrition balance			
		N/P	N/K	K/P	N/Ca
6	施 肥 Fertilized	17.0	4.7	3.6	1.7
	無 施 肥 Unfertilized	19.3	4.3	4.5	1.6
7	施 肥 Fertilized	13.8	4.7	2.9	1.7
	無 施 肥 Unfertilized	16.1	4.7	3.4	1.6
8	施 肥 Fertilized	17.7	4.9	3.6	1.3
	無 施 肥 Unfertilized	19.0	5.2	3.7	1.1
9	施 肥 Fertilized	16.1	4.1	3.9	1.2
	無 施 肥 Unfertilized	18.3	5.7	3.2	0.9
10	施 肥 Fertilized	24.0	5.9	4.1	1.1
	無 施 肥 Unfertilized	28.8	5.5	5.3	1.0

Table 27. シラカンバ葉の養分比  
Nutrition balance in birch leaves

林齢(年) Age (Year)	処 理 Treatment	養 分 比 Nutrition balance			
		N/P	N/K	K/P	N/Ca
6	施 肥 Fertilized	10.7	1.7	6.2	1.5
	無 肥 施 Unfertilized	10.1	2.0	5.0	1.3
7	施 肥 Fertilized	9.2	1.8	5.1	1.5
	無 施 肥 Unfertilized	9.8	2.0	4.8	1.2
8	施 肥 Fertilized	4.9	1.4	3.4	1.2
	無 施 肥 Unfertilized	8.9	1.9	4.7	1.1
9	施 肥 Fertilized	9.2	2.1	4.4	1.3
	無 施 肥 Unfertilized	13.4	2.4	5.7	1.2
10	施 肥 Fertilized	12.9	2.8	4.6	1.4
	無 施 肥 Unfertilized	11.7	1.9	6.1	1.2

Table 28. カラマツ, アカマツ, コバノヤマハンノキおよびシラカンバ葉の養分濃度  
The range of the nutrient concentration and the nutrition balance in larch,

樹種 Species (林齡)	処 理 Treatment	養 分 濃 度 Nutrient concentration (%)			
		N	P	K	Ca
カ ラ マ ツ Larch (8~13)	施 肥 Fertilized	1.55~2.13	0.14~0.30	0.28~0.80	0.48~1.26
	無 施 肥 Unfertilized	1.03~2.18	0.13~0.21	0.25~0.75	0.54~1.30
ア カ マ ツ Pine (12~16)	施 肥 Fertilized	1.57~1.92	0.15~0.35	0.62~0.87	0.31~0.68
	無 施 肥 Unfertilized	1.42~1.64	0.13~0.38	0.58~0.79	0.38~0.55
コバノヤマハンノキ Alder (6~10)	施 肥 Fertilized	2.40~3.39	0.10~0.24	0.41~0.72	2.00~2.47
	無 施 肥 Unfertilized	2.30~3.47	0.08~0.20	0.42~0.81	1.98~2.96
シ ラ カ ン バ Birch (6~10)	施 肥 Fertilized	1.58~2.13	0.13~0.32	0.60~1.24	1.24~1.38
	無 施 肥 Unfertilized	1.76~2.12	0.14~0.21	0.80~1.05	1.46~1.69

つぎに、コバハン、シラカンバの養分比を示すと、Table 26, 27 のとおりである。これらによると、N/P, N/K および N/P 比において、コバハンがシラカンバよりいずれも高い値を示している。しかし、N/Ca 比では、両樹種ともほぼ一定の割合を示すようである。

以上のべた4樹種の養分濃度、養分比の範囲について総括的に示したのが Table 28 である。

葉内養分濃度について樹種間の比較は前述のとおりであり、ここでは重複をさけるが、各樹種の数年間における養分の変動をみると、N 濃度ではコバハン、P 濃度ではアカマツ、K 濃度ではシラカンバ、Ca 濃度ではコバハンがそれぞれ高い濃度を示している。

このように、落葉樹の養分濃度は針葉樹のそれより高い傾向が認められるが、しかし、林木の葉内養分濃度は、立地条件や樹齡、季節によって変わるため、個々の場合における樹種差はこれらの条件の影響を受けて不明瞭になる場合がみられることについては、堤ら<sup>60)</sup>が指摘しておるとおりである。

養分比については、N/P 比はコバハンが14~29の値で大きく、ほかの樹種は4~14とその値は小さい。このことは、コバハンがいわゆる肥料木であるため、N濃度が高く、その割合にP濃度は高くない養分組成上の特徴をあらわしているものと思われる。N/K 比は、各樹種とも2~6の値を示し、その値の範囲の多少は樹種により差異はみられるが、N/P 比ほど顕著でない。K/P 比もほぼ同様の範囲にある。また、N/Ca は、1~5の値の範囲内にあるが、その中でも針葉樹のカラマツ、アカマツはその値が大きい。これに対して、広葉樹のコバハン、シラカンバは1前後であり、他養分比にくらべてほぼ一定の割合を示しており、針葉樹と広葉樹の栄養生理上の特性を示すものとして興味ある点であろう。

### (3) 葉内養分濃度および養分比と林木の成長との関係

カラマツ針葉の養分濃度と樹高および胸高直径との関係を図示すると、Fig. 16, 17 のとおりである。

その結果、K濃度については、樹高、胸高直径の増大ともなって増加する正の関係が認められる。また、P, Ca 濃度についてもわずかながら同様の関係が認められるようであるが、N濃度ではあきらかではなかった。このように、カラマツ針葉の P, K および Ca 濃度と成長との間にはある程度の関連性がみられる。

カラマツの針葉の養分濃度と成長との関係について、中村<sup>33)</sup>は、針葉のN, K濃度は成長と密接な関連性を示すが、P, Ca 濃度は一定の関係が認められないとしている。また、竹下、東<sup>49)</sup>は、針葉中のN, P

および養分比の範囲  
pine, alder and birch leaves

養 分 比 Nutrition balance			
N/P	N/K	K/P	N/Ca
6.9~14.5	2.2~5.3	2.0~3.5	1.4~4.3
9.4~14.8	2.3~5.3	2.0~5.0	1.3~3.9
5.1~10.5	2.1~3.0	2.5~4.3	2.3~4.8
4.2~11.2	2.0~2.8	2.1~4.6	2.8~4.1
13.8~24.0	4.1~5.9	2.9~4.1	1.1~1.7
16.1~28.8	4.3~5.7	3.2~5.3	0.9~1.6
4.9~12.9	1.4~2.8	3.4~6.2	1.2~1.5
8.9~13.4	1.9~2.4	4.7~6.1	1.1~1.5

濃度は成長と関連を有するが, K, Ca 濃度は関連性が認められないと報告している。河田<sup>18)</sup>は, P, K, Ca 濃度は成長と関連性が認められたと報告している。そのほかLEYTON<sup>28)</sup>は, N, P, K濃度と樹高との間に関連性が認められ, とくにNとK濃度に有意な関係が認められたと報告している。

このように, カラマツ針葉の養分濃度と成長との関係について, 諸研究者の結果は必ずしも一致した傾向を示していない。これらの点については今後の研究結果を待たなければならぬところであるが, 今回の筆者の結果

は上述のとおり, 河田<sup>18)</sup>の結果と一致した傾向を示しており, とくにK濃度においては諸研究者の結果と一致する場合が多く, K濃度はカラマツの成長と関係の深い養分といえるようである。

アカマツの針葉の養分濃度と樹高, 胸高直径との関係について図示すると, Fig. 18, 19 のとおりである。針葉中のN, K濃度は成長とは関連性があきらかでないが, P, Ca 濃度と成長との関係ではわずかに関連を示すようである。すなわち, 樹高, 胸高直径の増大にともなってP濃度は減少するという負の関係に対して, Ca 濃度は増加するという正の関係が認められるようである。

アカマツの針葉の養分濃度と成長との関係について, 河田ら<sup>21)</sup>は, 針葉のN, P濃度と樹高とは関連性を示すが, K, Ca 濃度は地形的因子の影響を受け, 二次的に成長との関連を示すものと指摘している。

トドマツについて, 山本, 真田<sup>22)</sup>は, N, P, K, Ca 濃度と樹高とは関連性は認められなく, むしろ最近5年間の樹高成長量とN, P, K濃度との関連性を示したのに反して, Ca濃度ではあきらかでなかつ

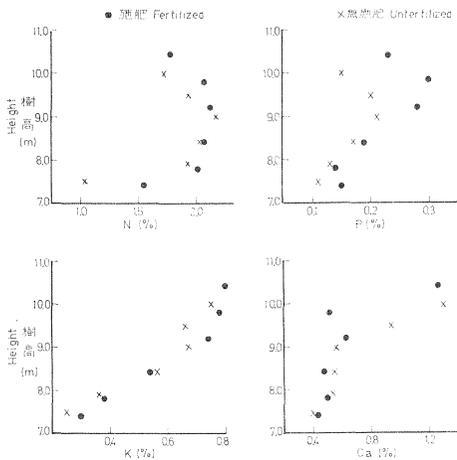


Fig. 16 カラマツ葉の養分濃度と樹高との関係  
Relations between the nutrient concentration in needles and the tree height of larch.

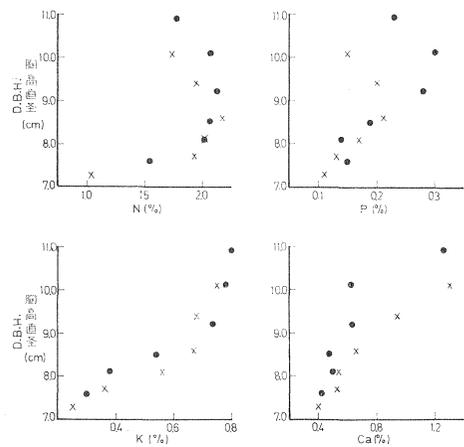


Fig. 17 カラマツ葉の養分濃度と胸高直径との関係  
Relation between the nutrient concentration in needles and the D.B.H. of larch.

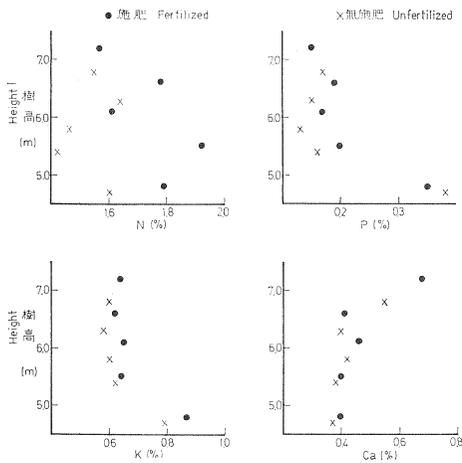


Fig. 18 アカマツ葉の養分濃度と樹高との関係  
Relations between the nutrient concentration in needles and the tree height of pine.

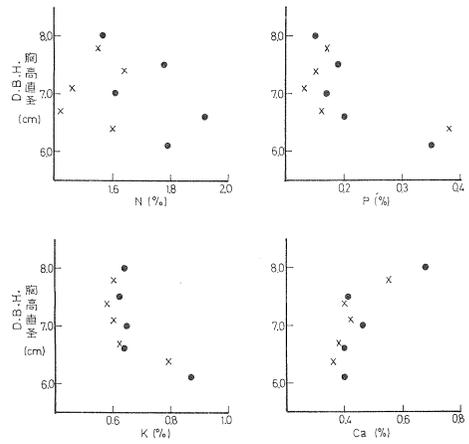


Fig. 19 アカマツ葉の養分濃度と胸高直径との関係  
Relations between the nutrient concentration in needles and the D. B. H. of pine.

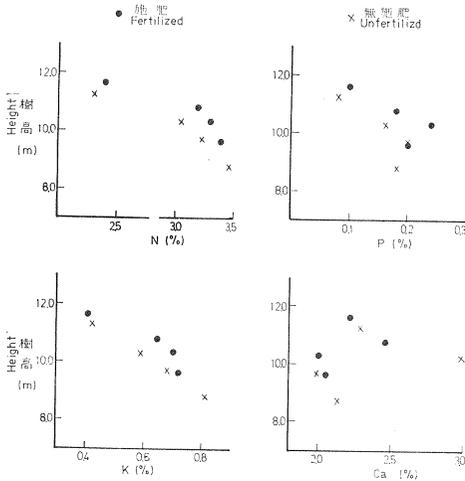


Fig. 20 コバハン葉の養分濃度と樹高との関係  
Relations between the nutrient concentration in leaves and tree height of alder.

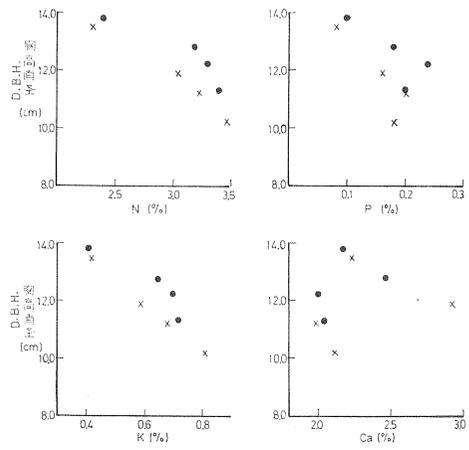


Fig. 21 コバハン葉の養分濃度と胸高直径との関係  
Relations between the nutrient concentration in leaves and the D. B. H. of alder.

たと報告している。また、大友、原田<sup>89)</sup>は、N、K濃度と樹高および伸長量との間で関連性が認められたが、P濃度では関連性はみられなく、エゾマツについてはN濃度が関連性を示し、P、K濃度では関係がみられなかったと報告している。

今回の筆者のアカマツでの結果は上述のとおり、養分濃度と成長との間にあきらかな関連性を認めることができなかったことは、塘<sup>57)</sup>が指摘するように、アカマツの成長は前年に蓄積された養分に支配されるということによって関連を認めることができなかったものか、あるいは、河田ら<sup>21)</sup>の指摘するように、ある養分は二次的に成長との関連性を示すためなのか、あきらかにすることはできなかった。

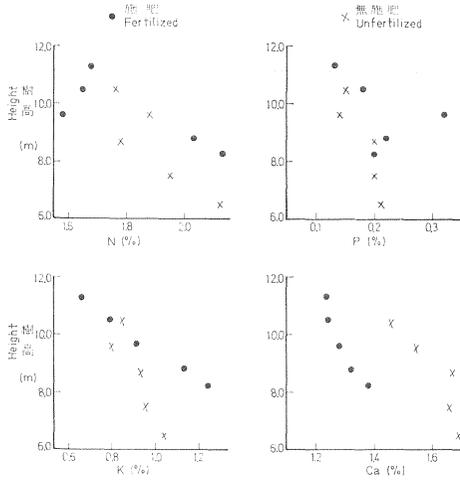


Fig. 22 シラカンバ葉の養分濃度と樹高との関係  
Relations between the nutrient concentration in leaves and the tree height of birch.

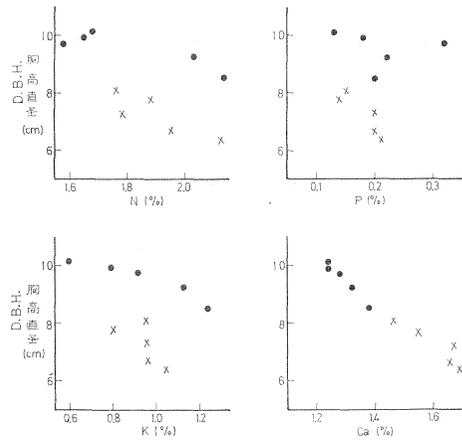


Fig. 23 シラカンバ葉の養分濃度と胸高直径との関係  
Relations between the nutrient concentration in leaves the D. B. H. of birch.

つぎに、コバハンの葉の養分濃度と樹高、胸高直径との関係を図示すると、Fig. 20, 21 のとおりである。葉の N, K 濃度と成長との間にある程度関係は認められる。すなわち、樹高・胸高直径の増大ともなって N, K 濃度が減少するという負の関係がみられる。しかし、P, Ca 濃度との間ではあきらかな関連を認めることはできない。

シラカンバの葉の養分濃度と樹高、胸高直径との関係を図示すると、Fig. 22, 23 のとおりであり、N, K および Ca 濃度との間にはある程度関連性がある。すなわち、N, K 濃度と樹高との関係、あるいは、Ca 濃度と胸高直径との間に関連性が認められた。その関係はいずれもコバハンでの結果と同様に負の関係にある。

カラマツ、アカマツ、トドマツ等の林木の葉内養分濃度と成長との関係について諸研究者の結果は前述のとおりであるが、ヒノキについて、芝木、田島<sup>44)</sup>は、葉の N, P, Ca 濃度と樹高との間には密接な関係がみられたことを指摘し、スギについて、原田<sup>13)</sup>は、幼齢木の場合、葉の N, P, K 濃度と樹高は正の相関が認められ、壮齢木の場合、葉の N, P, K 濃度と最近 5 年間の成長量とは正の相関の傾向が認められると報告している。

以上のように、針葉樹の葉の養分濃度と成長との関連性は認められ、とくに、針葉の N 濃度では共通的に認められているが、その他の成分については一定の傾向が認められていない。しかし、広葉樹の葉の養分濃度と成長との関係については、筆者の知るかぎりでは報告例をみる事ができな

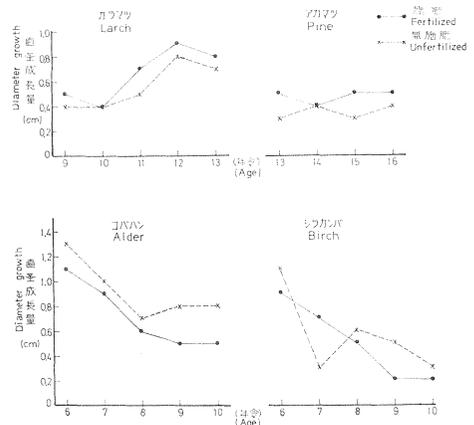


Fig. 24 胸高直径成長量の変化  
Change of annual diameter growth.

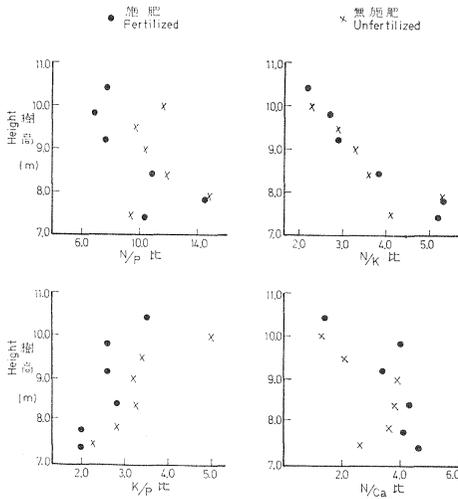


Fig. 25 カラマツ葉の養分比と樹高との関係  
Relations between the nutrition balance in needles and the tree height of larch.

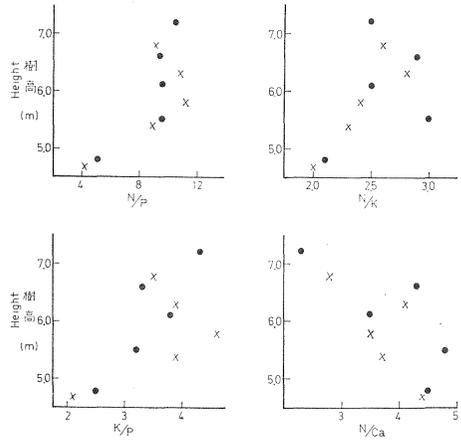


Fig. 26 アカマツ葉の養分比と樹高との関係  
Relations between the nutrition balance in needles and the tree height of pine.

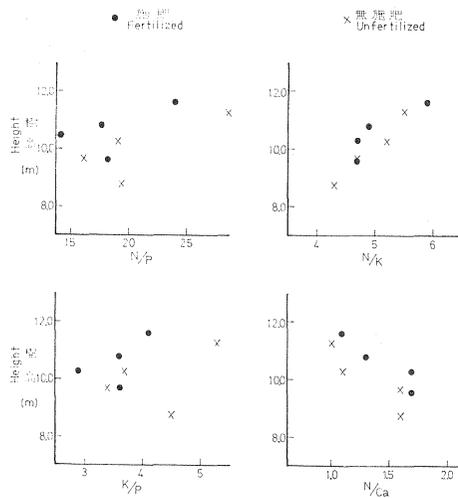


Fig. 27 コバハン葉の養分比と樹高との関係  
Relations between the nutrition balance in leaves and the tree height of alder.

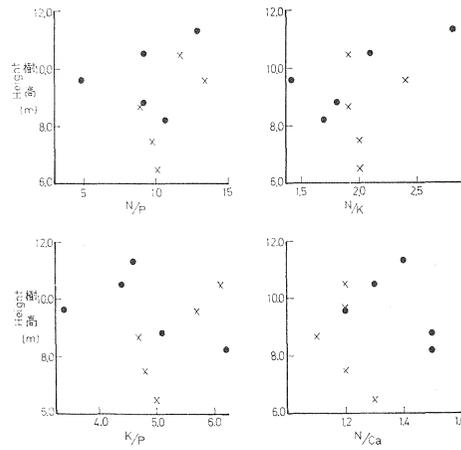


Fig. 28 シラカンバ葉の養分比と樹高との関係  
Relations between the nutrition balance in leaves and the tree height of birch.

い。この調査では前述のようにカラマツ、アカマツの養分濃度と成長との間では、おおむね正の関係が示されたのにたいして、コバハン、シラカンバでは負の関係がみとめられた。このことは、Fig. 24 のカラマツ、アカマツ、コバハン、シラカンバの成長状態をみてもうなずかれるであろう。

林木の葉の養分比と樹高との関係について図示すると、Fig. 25~28 に示すとおりである。カラマツは、樹高の増大とともに K/P 比は増加する正の関係がみられるようであるが、N/P、N/K および N/Ca 比では逆にその値は減少するという負の関係がみられるようである。この傾向については、河田<sup>18)</sup>の結果とほぼ同様の傾向を示し、とくに、N/K 比では成長との間に密接な関連性を認めることは中村<sup>38)</sup>が指摘する

結果と同様である。

アカマツは、成長の増大とともに N/K, K/P 比は増加する傾向、あるいは、N/Ca 比は減少する傾向がみられるようであるが、いずれもあきらかな関係としては認められない。河田ら<sup>21)</sup>は樹高成長と N/K 比, N/P 比との関連性を認めているが、今回のアカマツの成長と葉内養分濃度との関係であきらかにできなかったと同様に、養分比でも認めることはできなかった。

また、コバハンでは、樹高との間では N/K 比は増加する正の関係を、あるいは、N/Ca 比が減少する負の関係を認めることができるようであるが、シラカンバでは、いずれの養分比でも関係を認めることはできなかった。

以上のように、カラマツでの結果を除くと養分比と成長との間では密接な関連性を認めることができないが、これは養分比の変化と成長の増大を関連づけて考えるより、むしろ河田、衣笠<sup>22)</sup>の見解のように成長量は葉中の各養分濃度に示される土壤中の各養分レベルによって支配され、葉の養分比は土壤中の各養分レベルの相互の関係(比率)を示すものとする方が妥当のように思われる。

しかし、林木の成長の相違にともなって、葉内養分濃度はかなりの相違を示すにもかかわらず、養分の量的な比がかなり限られた範囲内ではほぼ一定の割合を保つことは、今後の林木の栄養状態を解明するための有力な手がかりになるのではないかと思われる。

このように、林木の栄養状態は林木の成長を支配する主要な因子であり、葉分析によって示される葉内養分濃度は成長と密接な関連性を示すものとみなしてさしつかえないように思われる。

#### 4. 総 括

1) 葉分析によつて、林木の栄養状態を判断するにあたっては、いくつかの基礎的な問題があり、その点について2, 3の検討をおこなった。

(i) カラマツ, アカマツ, スギ, コバハンおよびシラカンバ等の葉の N, P, K および Ca 濃度の季節的变化は、それぞれ樹種により特有の変化を示すことが認められる (Fig. 1~4)。すなわち、N, P 濃度ではアカマツとスギが、また、コバハンとシラカンバがほぼ同様の季節変化を示し、K 濃度では樹種により、それぞれ変化傾向を異にしており、Ca 濃度ではほぼ各樹種とも同様の変化を示し、春から秋にかけて増加する。このような各樹種の葉内の養分濃度の季節的变化から葉分析の試料の採取時期としては、葉が十分に展開成熟した生育中期から後期前半(9月下旬~10月上旬)頃が適当であると考えた。

(ii) つぎに、葉の採取にあたって、どの位置から採取するのが適当であるのかが問題となる。この問題について、本研究結果と今までの研究成績からつぎのように考えた。

葉の養分濃度を着生位置別(樹冠を上, 中, 下に分け)に、カラマツ, アカマツ, スギ, コバハン, シラカンバの各樹種について調べた結果は、樹種、養分要素による多少の例外もみられるが全般的な傾向として、N, P および K 濃度は樹冠上部の葉で高く、下部の葉で低い傾向があり、Ca 濃度では逆に上部の葉で低く、下部の葉で高い傾向がみられた。

また、アカマツの新しい葉(当年生葉)と古い葉(2年生葉)との養分濃度の比較では、N, P および K 濃度は新しい葉に高く、Ca 濃度では古い葉に高いという傾向が認められた。以上のことから、林木の栄養状態の指標としての採取位置は、一般には樹冠上部の新しい葉を採取するのが適当であると考えた。

(iii) そのほか、林木の個体の大きさ、すなわち、D. B. H. (胸高直径)による葉の養分濃度の変動を

比較検討した結果、葉分析による林木の栄養状態の診断、あるいは林木、林分のもつ養分量を推定する場合の試料の採取にあたっては、同一林分内での D. B. H. が平均的なものに相当する個体から採取するのが適当であると思われた。

2) ほぼ同一条件のもとに生育する 6～8 年生のスギ、カラマツ、アカマツ、バンクスマツ、リギダマツの針葉樹とコバハン、シラカンバ、ブナ、クヌギの広葉樹について、葉内養分濃度を比較した。

各養分とも針葉樹類にくらべて広葉樹類が一般に高く、とくにその中でコバハン、シラカンバが高い傾向を示した。針葉樹間ではスギが高い濃度を示した。

各樹種をその養分濃度および養分組成上から 3 つのグループに類別してみた (Table 11)。すなわち、各養分とも最も高いものは、コバハン、シラカンバであり、低いものは、カラマツ、マツ類である。スギは N 濃度においては最も低い中間のグループに入っている。

3) 林木の栄養状態は、直接、葉の養分濃度に反映し、また、葉の養分濃度は、土壤中の養分レベルを反映するものであるといわれる。その関係をみるため、カラマツ、アカマツ、コバハン、シラカンバを対象として、葉内養分濃度と土壌の化学性 (pH、窒素、C/N、置換性カルシウムおよび同飽和度) との関係について検討した。その結果は、土壌の pH と葉の P (カラマツ、アカマツ、シラカンバ)、K (カラマツ)、および Ca (アカマツ、シラカンバ) 濃度との関連性が認められた (Fig. 10, 11)。また、土壌中の窒素および C-N 率と葉の N 濃度ではカラマツだけに関連性を認めることができ、また土壌中の置換性カルシウムおよび同飽和度と葉の Ca 濃度との関係ではアカマツ、シラカンバ、コバハンで関連性を認めることができた (Fig. 14, 15)。

4) 施肥によって土壌中の養分レベルを変化させた場合、葉の養分濃度が高まることは果して林木の成長増大ということにつながるものかということが問題である。この解明にあたっては、まず林木の栄養状態が成長とどのような関係にあるのかをあきらかにすることであり、葉の養分濃度および養分比と成長 (樹高、胸高直径) との関係を経験的に検討した。

その結果は、カラマツでは、K 濃度との間で関連性が認められ、P、Ca 濃度はほぼ関連性を示したが、N 濃度では関係を認めることができなかった。アカマツでは、P、Ca 濃度でわずかに関連性を示すにすぎなかった。コバハンでは N、K 濃度で、シラカンバは N、K および Ca 濃度との間で、それぞれ関連性が認められた。

また、養分比と樹高との関係では、カラマツは K/P 比で正、N/P、N/K および N/Ca 比で負の関連性を示し、コバハンはある程度 N/K 比で正、N/Ca 比で負の関連性を認めることができるが、アカマツ、シラカンバではいずれの養分比とも関連性を認めることはできなかった。

## 文 献

- 1) 朝日正美：森林植生と土壌との相互作用 (I) 樹木の葉分析、日林誌、40, 4, 135～138, (1958)
- 2) ————：同上、(II) 樹木の成分吸収とかんきょうとの関係、同上、44, 9, 225～230, (1962)
- 3) BARD, G. E.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 10, 419～422, (1945) [河田ら、林試研報199より再引用]
- 4) COIL, T. S.: Composition of the leaf litter of forest tree. Soil Sci., 43, 349～355, (1937)
- 5) FLETCHER, P. W. and J. OCHRYMOWYCH: Mineral nutrition and growth of eastern red cedar in Missouri. Univ. of Missouri Agr. Exp. Sta., Bull., 577, 16, (1955)

- 6) GESSEL, S. P., K. J. TURNBULL and TREMBLAY: How to fertilize trees and measure response. National Plant Food Institute, 1~67, (1960)
- 7) 後藤和秋・長谷川浩一・山谷孝一: コバノヤマハンノキおよびシラカンバの成長経過と葉内養分濃度の変化, 19回日林東北支講, 10~14, (1968)
- 8) ———: 土壌の化学的性質と葉の養分濃度との関係について(I)—カラマツおよびアカマツ—, 23回日林東北支講, 82~84, (1972)
- 9) ———: 同上, (II)—コバノヤマハンノキおよびシラカンバ—, 同上, 85~87, (1972)
- 10) 原田 洸: 落葉期におけるカラマツの葉の養分の動き, 日林誌, **46**, 4, 124~128, (1964)
- 11) ———: 後藤和秋: スギ幼齡木の葉分析に関する2~3の考察, 75回日林講, 273~275, (1964)
- 12) ———: 佐藤久男: 8年生アカマツの葉の枝階別, 葉齡別の養分濃度, 日林誌, **50**, 11, 351~353, (1968)
- 13) ———: スギの成長と養分含有量およびこれに及ぼす施肥の効果に関する研究, 林試研報, 230, 1~104, (1970)
- 14) 育林第4研究室: コバノヤマハンノキの肥培について, 東北支場たより, 18, (1963)
- 15) 石塚喜明・田中 明: 水稻の栄養生理, 養賢堂, 5~20, (1963)
- 16) 伊藤忠夫・植田正幸: アカマツ幼齡造林地の立地別試験, 日林誌, **48**, 5, 213~220, (1966)
- 17) ———: 森林立地地区とその栄養的解析の必要性について, 森林と肥培, **67**, 4, 4~6, (1971)
- 18) 河田 弘: 湿性ポドゾルにおけるカラマツ幼齡木の施肥試験, カラマツの成長および針葉の組成におよぼす施肥の影響, 林試研報, 162, 143~162, (1964)
- 19) ———: アカマツ1—1苗の時期別養分吸収について, 同上, 187, 27~52, (1966)
- 20) ———: 衣笠忠司: 高野山国有林におけるスギ, ヒノキ幼齡林施肥試験, [関西地方における林地施肥試験(第1報)], 同上, 191, 115~136, (1966)
- 21) ———: 丸山明雄・衣笠忠司: 関西地方のアカマツ林土壌に関する研究(第1報)アカマツ針葉の養分組織(葉分析)と成長および土壌条件との関係, 同上, 199, 67~97, (1967)
- 22) ———: 衣笠忠司: スギ幼齡林施肥試験, 関西地方における林地施肥試験(第2報), 同上, 216, 75~97, (1968)
- 23) ———: ———: 広島県姥ヶ原国有林におけるクロマツ幼齡林施肥試験, 同上(第3報), 同上, 219, 121~136, (1969)
- 24) 河原輝彦・岩坪五郎・西村武二・堤 利夫: カンレンボク模型林分における物質の動き, 日林誌, **50**, 5, 125~134, (1968)
- 25) 川名 明・相場芳憲・生原喜久雄・毛呂 真: 壮齡木の肥培に関する研究(I), スギ壮齡木の肥効について(その1), 農工大演習林報, **7**, 1~8, (1968)
- 26) 桑原武男: 林地肥培効果測定調査, 広島林試研報, (昭和36年度)
- 27) LAVENDER, D. P. and R. L. CARMICHAEL: Effect of three variables on mineral concentrations in Douglas-fir needles. For. Sci., **12**, 4, 441~446, (1966)
- 28) LEYTON, L.: The relationship between the growth and mineral composition of the foliage of Japanese larch. Plant and Soil, **7**, 2, 167~177, (1956)
- 29) LEYTON, L.: The relationship between the growth and mineral nutrition of conifers. The physiology of forest trees, 323~345, (1957)
- 30) 三井進午・今泉吉郎: 作物の要素欠乏一診断と対策一, 博友社, 366 pp., (1958)
- 31) 森田禧代子: 本邦主要樹種の落葉の無機組成, 林試研報, 243, 33~50, (1972)
- 32) 中塚友一郎: 樹木及樹苗の生理化学的研究(第3報), 針葉の無機成分及窒素量の季節変化, 日林誌, **31**, 5, 1~6, (1949)
- 33) 中村 健: 葉分析によるカラマツの栄養診断に関する研究, 信大農紀要, **2**, 4, 378~419, (1961)
- 34) 中島幸雄・山畑一善・藤本幸司・辻田昭夫・舛岡 学・穂井田泰行: 四国におけるカラマツ林造成

- の可能性について, 愛媛大学演習林報, **3**, 22~47, (1965)
- 35) ———・辻田昭夫: アカマツ樹体内の養分分布について, 同上, **5**, 17~29, (1967)
- 36) 中島精之・山内幸平・牧野内文夫: 林地肥培効果測定調査, 鹿児島林試研報, **10**, 129~152, (1952)
- 37) 中崎哲二・西本哲明: 林地肥培試験効果測定調査, 山口林試業報 (昭和36年度)
- 38) 野村静男・奥貫春夫・井野 宏: 林地肥培試験効果測定調査, 埼玉林試業報 (昭和36年度)
- 39) 大友玲子・原田 洸: トドマツ, エゾマツ, アカエゾマツ当年葉の養分濃度と樹高生長の関係および養分要求度についての考察, 日林北海道支講, **19**, 113~115, (1970)
- 40) 林地肥培研究会: 肥培とその効果, 農林出版, 72 pp., (1961)
- 41) 佐藤公一: 果樹葉分析に関する研究〔1〕, 農技研報, **E**, 1~72, (1952)
- 42) 佐藤 俊・山谷孝一・長谷川浩一・後藤和秋・西田豊昭・柳谷清子: 東北地方における主要造林樹種の幼齡時の施肥効果について, 林試研報, **167**, 93~190, (1964)
- 43) 佐藤 亨・及川恵司・宮崎 榊: アカマツ更新の方法と施肥の効果について, 同上, **147**, 1~43, (1962)
- 44) 芝本武夫・田島俊夫: 林木の葉分析に関する研究 (第1報)
- 45) ———: 林木栄養における基本的植物生理法則, 森林と肥培, **52**, 5~7, (1968)
- 46) ———訳: 土壤分析および葉分析の表明価値 (prof. Dr. R. THEMLITZ), 森林と肥培, **60**, 4~9, (1970)
- 47) 塩崎正雄・永桶留蔵: 堆積腐植の分解に関する研究 (1), エゾマツ人工林における堆積腐植の分解と土壤浸透水の成分に及ぼす石灰, 尿素施肥の効果, 林試研報, **242**, 1~19, (1971)
- 48) 竹下純一郎・東 基: 10回日林中支講, 1~3, (1962)〔河田 弘・林試研報162より引用〕
- 49) ———・———: 林地肥培に関する研究 (5報), 葉の栄養成分の含有率と施肥効果 (予報), 岐阜林試研報, **7**, 80~83, (1962)
- 50) ———・———・石原猛志・塘 隆男: 成木施肥試験 (1), 6年間採穂した22年生スギ林分に対する効果 (第1報), 74回日林講, 137~140, (1963)
- 51) ———・———: スギ肥培事例の調査について, 岐阜林試研報, **9**, 23~28, (1965)
- 52) ———・———・山口 清: 林地肥培に関する研究 (IX), カラマツ林における施肥が土壤の理化学的性質に及ぼす影響 (3), 78回日林講, 297~299, (1967)
- 53) TAMM, C. O.: Seasonal variation in composition of birch leaves, *Physiol. Plant*, **4**, 461~469, (1951)
- 54) 田中 明: 水稻生育経過の栄養生理学, 生物科学, **7**, 99~104, (1955)
- 55) 辰巳修三: 主要広葉樹の栄養生理に関する研究, 葉分析に基づく無機養分の季節的变化について, 72回日林講, 174~175, (1962)
- 56) 塘 隆男・原田 洸・及川伸夫: 林木の養分含量に関する研究 (第2報), 年齢別にみたアカマツの養分含量について, 69回同上, 182~184, (1959)
- 57) ———: 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**, 1~158, (1962)
- 58) ———・藤田桂治・岩崎美代: コバノヤマハンノキの幼齡木の養分吸収, 79回日林講, 132~134, (1968)
- 59) 堤 利夫: スギ樹体の養分量について, 日林誌, **47**, **3**, 105~108, (1965)
- 60) ———・河原輝彦・四手井綱英: 森林生態系における養分の循環について (I), 個体および林分の地上部の養分量, 同上, **50**, **3**, 66~74, (1968)
- 61) 東内嘉美・寺坂富貴雄・横尾一行: スギの林地施肥培効果測定調査, 岡山林試研報, **3**, 21~32, (1963)
- 62) 脇 孝介: 林木の植物栄養生理的研究における葉分析法の適用性について (第1報)—スギ肥培木

- における成長と葉分析値一, 日林九州支論文集, 25, 121~123, (1971)
- 63) ————: 同上, (第2報) —地位の異なる林地における林木の成長と葉分析値一, 同上, 25, 123~125, (1971)
- 64) ————: 同上, (Ⅲ) —スギ針葉の養分の季節的変動について一, 83回日林講, 109~110, (1972)
- 65) 植田正幸・伊藤忠夫・川名 明: 壮齡林の肥培に関する研究—スギ壯齡林に対する生育相別施肥試験一, 茨城林試研報, 5, 1~14, (1970)
- 66) 内邦 博: 成木施肥試験, 鹿児島林試研報(昭和39年度)
- 67) WHITE, D. P.: Variation in the nitrogen, phosphorus and potassium contents of pine needles with season, crown position, and sample treatment. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 18, 326~330, (1954)
- 68) WELLS, C. G.: Nutrient relationships between soils and needles of Loblolly pine. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29, 5, 621~624, (1965)
- 69) 山谷孝一, 柳谷清子: コバノヤマハンノキの葉分解試験, 79回日林講, 130~132, (1968)
- 70) 山本 肇: 林木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一, 林試研報, 182, 43~65, (1965)
- 71) ————・真田悦子: トドマツ針葉の養分組成と成長および土壤条件との関係, 同上, 229, 23~62, (1970)
- 72) 汰木達郎: 林木の成長を支配する要因に関する解析的研究, 九大演習林報, 37, 85~178, (1964)
- 73) 四大学(北大, 東大, 京大, 大阪市大)および信大合同調査班: 森林の生産力に関する研究, 第II報, 信州産カラマツ林について, 日林協, 1~60, (1964)
- 74) 四大学合同調査班: 同上, 第III報, スギ人工林の物質生産について, 同上, 1~63, (1966)

Some Considerations on the Diagnosis of Nutritive Condition  
on Forest Trees by Leaf Analysis

Kazuaki Goto<sup>(1)</sup>

Summary

1. Some discussions on leaf analysis were made, necessary for investigating the several nutrient amounts contained in forest trees.

1) The seasonal trends were examined on nutrient concentrations in mesophyll of *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica*, *Alnus inokumae* and *Betula platyphylla* var. *japonica*.

As shown in Fig. 1 and Fig. 2, *Pinus densiflora* and *Cryptomeria japonica*, and *Alnus inokumae* and *Betula platyphylla* var. *japonica* were like each other in their seasonal trends of the nitrogen concentration and the phosphorus concentration, respectively. But, the trends of the calcium concentration were not always uniform among different species.

As shown in Fig. 3, every species showed almost equal pattern on the seasonal trend of the calcium concentration, that is, it gradually increases from spring to fall.

2) Nutrient concentrations were also examined at every leaf position in a crown.

As seen from Fig. 5, Fig. 6 and Fig. 7, the higher concentration on nitrogen, phosphorus and kalium were found in the upper leaves of the crown, but on calcium, in the lower.

3) Comparisons in nutrient concentration were made between new leaves and old ones of *Pinus densiflora*.

The high concentrations on nitrogen, phosphorus and kalium were found in new leaves, but on calcium, in old ones.

2. Comparisons in nutrient concentration were made between leaves of coniferous trees\* and ones of broad-leaved trees\*\*.

The higher concentrations were found in leaves of broad-leaved trees more than conifers, as given in Table 10.

Each species was classified into 3 groups shown in Table 11, at every nutrient concentration and at every component.

Judging from above-mentioned facts, it is thought to be the best that samples for leaf analysis should be collected from new leaves of the upper parts of a crown.

3. Relationships were discussed between nutrient concentration of leaf and chemical property of soil, on *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora*, *Alnus inokumae* and *Betula platyphylla* var. *japonica*.

1) As shown in Fig. 10 and Fig. 11, some correlations were found between pH of soil and the nitrogen, phosphorus or kalium concentration of leaf.

2) Correlations were not found between the nitrogen concentration of leaf and one of soil or C-N ratio of soil.

\* *Larix leptolepis*, *Pinus densiflora*, *Cryptomeria japonica*, *Pinus rigida*, *Pinus banksiana*

\*\* *Quercus acutissima*, *Fagus crenata*, *Alnus inokumae*, *Betula platyphylla* var. *japonica*

Received June 28, 1976

(1) Tôhoku Branch Station.

3) On *Pinus densiflora*, *Alnus inokumae* and *Betula platyphylla* var. *japonica*, some correlations were found between the amount of exchangeable calcium in soil or the degree of calcium saturation and the calcium concentration of leaf.

4. Relationships were discussed between forest tree growth and nutrient concentration of leaf.

1) Correlation between them was rather vividly found in the kalium concentration of *Larix leptolepis*.

In the phosphorus and calcium concentration, they can also be found slightly, as seen from Fig. 16 and Fig. 17.

2) It was faintly found in the phosphorus and calcium concentration of *Pinus densiflora*.

3) It was clearly found in the nitrogen and kalium concentration of *Alnus inokumae*.

4) It was found in the nitrogen, kalium and calcium concentration of *Betula platyphylla* var. *japonica*.

5. Nutrient amounts contained in forest trees which were made clear through leaf analysis can be considered as a reflection of the nutrient amount in soil, because that there exist the facts that the correlations were found between nutrient concentration of leaf and forest tree growth.

Therefore, this method of "leaf analysis" is thought to be useful for investigating the several nutrient amounts contained in forest trees.

In this paper, the author discussed some questions caused from using such a method.

