

手入れ不足のスギ人工林の物質循環

—地上部および土壌の養分集積量と養分還元量—

片桐 成夫*・金子 信博*・小畠 靖*

Nutrient cycling in a Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don)
stand with insufficient management

Nutrient accumulation in aboveground and soil and
nutrient return by litterfall and rainfall

Shigeo KATAGIRI, Nobuhiro KANEKO
and Yasushi OBATAKE

Summary

The amounts of nutrient elements in aboveground, A₀-horizon and mineral soil and the amounts of nutrient returned by litterfall and rainfall were measured in a 24-year-old Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) stand at Sanbe Forest of Shimane University.

1. Aboveground biomass in the Sugi stand was 174.5 t/ha. The dry weight of dead leaves and branches was 9.5 t/ha. It was clearly owing to the insufficient management of stand. Nitrogen and phosphorus accumulated in leaves and potassium, calcium, and magnesium accumulated in stems.

2. The nutrient accumulations in A₀-horizon were comparatively little and the rates of nutrient accumulation were high in mineral soil.

3. The amount of litterfall was 4.37 t/ha. The amounts of nitrogen and calcium returned by litterfall were larger than those of phosphorus and potassium. Especially, potassium was leached from dead leaves and branches by rainfall.

4. Therefore, the amount of potassium returned by rainfall was large.

5. Nitrogen and phosphorus accumulations concentrated to the aboveground, and potassium and calcium accumulations concentrated to the mineral soil. The amounts of nutrients in dead leaves and branches were 1.4-2.0 times as large as those of nutrient return, because of the death of branches owing to the insufficient management.

1. はじめに

わが国の人工造林は戦後の拡大造林によってスギを中心に大面積に広がっている。これらのスギ人工林の物質生産、現存量、材積については数多くの研究がなされてきた^{1,2,3,4)}。しかし、物質循環に関する研究は少なく、四大学合同調査などのごく一部に限られている^{1,4)}。しかも、リターフォールや降水による養分還元量までを含めて論議され

ているものは見あたらない。

一方で、スギ人工林の間伐、枝打ちなどの手入れ不足が最近になって問題となっている。スギ人工林は人為的に作り出された生態系であり、人間による十分な管理が必要である。本研究はこうした手入れ不足のスギ人工林の物質循環を明らかにし、適切な管理を行う上での問題を物質循環の面から明らかにすることを目的として行った。本報告では地上部および土壌の養分集積量と養分還元量について検討を行った。

* 森林環境学講座

表1 調査地の概況

立木密度	2543本/ha
平均直径	15.7cm
平均樹高	11.9m
平均生枝下高	5.7m
平均枯枝高	3.6m
胸高断面積合計	54.5m ² /ha

なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助金総合研究(A) (課題番号02304023, 代表者赤井龍男) による。

2. 調査地および調査方法

調査地は島根大学農学部附属三瓶演習林多根団地23林班ぬ小班の24年生スギ人工林である。植栽後6~7年間は下刈が行われたが、その後は手入れが全くなされていない。平均傾斜17.4度の北西向き斜面に10m×10mのプロットを設けた。土壌はB1_{D(C)}型である。林分の概況は表1に示したように立木密度約2500本、断面積合計54.5 m²/ha とかなり密な林分である。

地上部現存量は1988年8月に10本の標準木を選んで伐倒し、葉、枝、幹、枯葉、枯枝の重量を測定し、相対成長関係式から推定した。

A₀層は1989年4月、6月、8月、10月に9個の1m×1mの方形区を設けて重量を測定した。

土壌は1989年8月に調査地内に5ヶ所の土壌断面を設け、0-5、5-10、10-20、20-30、30-50、50-70cmの6層に分けて400cc採土円筒を用いて土壌を採取した。

リターフールは10個の1m×1mのリタートラップを設置し、1986年4月から1ヶ月毎にリターを回収し、現在も継続中である。ただし、12月から3月までの4ヶ月間は積雪のためにまとめて回収した。本報告では1986年度分について分析・検計を行った。

降水は林内雨、林外雨、樹幹流を1988年3月から12月まで測定した。林内雨、林外雨は14cm×1mの角雨樋により、樹幹流はビニールホースをらせん状に幹に巻き付けてポリボトルに集めた。

樹体、A₀層およびリターフールはN、P、K、Mg、Caについて、降水はTotal-N、NH₄-N、NO₃-N、P、K、Mg、Caについて、土壌はC、N、可給態P、置換性Ca、Mg、K、pHについて分析を行った。分析方法はCはチューリン法、Nはケルダール法、Pはモリブデン青比色法、K、Mg、Caは原子吸光法、pHはガラス電極法、可給態PはBRAY No. 4法、NH₄-Nはネスラー比色法、NO₃-Nはフェノール硫酸法を用いた。

3. 結果および考察

1. 地上部現存量および養分量

本調査地は枝打ち、間伐などの保育作業が行われていないために平均高で6m近くまで枝が枯れ上がっている。しかも、3.6m以上の枯枝は付着したままである。そこで、葉、枝、幹のほか枯葉、枯枝についても測定を行った。

10本の標準木の各部分重はD²Hと密接な関係にあり、いずれも両対数で直線近似が出来た。以下に示したように葉、枝、幹は高い相関を示すが、枯葉の場合はいくぶん相関が悪くなっている。しかし、林分の現存量を推定するには十分であろう。

$$\log W_s = 0.9544 \log D^2H - 1.6900 \quad r = 0.998$$

$$\log W_B = 1.4176 \log D^2H - 4.3777 \quad r = 0.985$$

$$\log W_L = 1.2023 \log D^2H - 3.2852 \quad r = 0.979$$

$$\log W_{DB} = 0.7893 \log D^2H - 2.4546 \quad r = 0.896$$

$$\log W_{DL} = 0.4957 \log D^2H - 1.5163 \quad r = 0.801$$

この関係式を用いて推定した現存量は表2に示したように地上部合計が174.5 t/haで、幹がその内の約70%を占めていた。葉量は26.2 t/haとこれまでの測定例の18.5-30.5 t/haに比べて、大きな差はない。また枝の量も13.5 t/haと大きな差はなかった。これに対して、枯死部分の現存量が枝、葉を合わせて約10 t/haに達し、全体の5.4%であった。この林分はほとんど手入れがなされていないためであり、枝、葉の現存量の25%にあたりかなり多いといえよう。

樹体の養分含有率はN・Pでは葉、枯葉が高く、幹が最も低い。Caでは幹がやや低いほかは大きな差がなく、K・Mgでは葉が高い含有率を示した。枯葉、枯れ枝のKの含有率は著しい溶脱のために低下したものと考えられる。

地上部に集積される養分量は表2に示した。Nが枯死部分に多く集積されることとKが枯死部分にほとんど集積されていないことが一つの特徴としてあげられる。また、N・Pは葉への集積が50%を越えるのに対してK・Mg・Caは幹への集積割合が高くなっている。さらに、いずれの元素も乾物重の配分割合に比べて、葉へ

表2 地上部現存量および養分集積量

部位	乾物	N	P	K	Ca	Mg
葉	26.2	285	19.6	86.7	379	56.6
枝	13.5	45	3.4	17.4	147	11.3
幹	125.3	160	12.8	161.6	863	63.9
小計	165.0	490	35.7	265.7	1389	131.8
枯葉	4.1	54	2.6	4.1	69	5.8
枯枝	5.4	13	0.5	1.7	52	4.1
小計	9.5	67	3.1	5.8	120	9.9
合計	174.5	557	38.8	271.5	1509	141.7
単位 (t/ha)	(kg/ha)

の集積率が高いといえる。これらの養分集積量は吉野の⁵⁾30年生スギ人工林に比べると、いずれの元素も多くほぼ1.5倍となっている。

2. A₀層および鉍質土層の養分集積量

森林のA₀層量は季節とともに変化し、落葉広葉樹林では秋の終りに最大で、夏の終りに最小になることが知られている。⁶⁾スギ人工林においても表3に示したように季節によって変動がみられ、8月に最も多く、10月に最も少ない。この傾向はA₀層を組成ごとに分けてみた場合も針葉、枝葉、枝が同様であり、プロット内の場所による変動の大きい大枝のみが4、6月に多くなっている。後述するようにリターフォール量が12-3月の冬の間が多いことからみて、大枝が冬季に落下し、その後林床で分解を受けて小枝や枝葉が大枝から脱落して行くためと考えられる。

A₀層の養分量は図1に示したように季節によって変動するが、乾物重に比べると季節変化は明らかではない。Nが50-75 kg/ha、Pが1.8-4.4 kg/ha、Kが4.7-7.6 kg/ha、Mgが6.6-14.4 kg/ha、Caが69-170 kg/ha⁵⁾であった。これらの養分集積は吉野や秋田のスギ人工林に比べてやや少ないといえる。手入れ不足のために樹体に枯死したままで付着している枝葉が多いことが原因と考えられる。

鉍質土層の養分集積量は5ヶ所の平均でCが233 t/ha、Nが13.5 t/ha、Pが302 kg/ha、Kが179 kg/ha、Mgが163 kg/ha、Caが897 kg/haであった(表4)。⁵⁾吉野、秋田のスギ人工林と比較するとC、N、P

表3 A₀層量の季節変化

	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	
針葉	1.08	1.05	1.34	1.17	t/ha
枝葉	2.28	2.68	3.67	1.83	t/ha
枝	1.18	1.35	2.18	1.10	t/ha
大枝	4.38	4.37	3.28	3.44	t/ha
その他	1.54	1.71	1.56	1.11	t/ha
乾物	10.46	11.16	12.03	8.65	t/ha

表4 土壌の養分集積量

No.	C	N	P	K	Ca	Mg
2-9	151	8.8	309	127	786	144
3-2	202	12.8	257	181	736	132
7-5	263	16.2	341	177	1173	206
8-8	209	13.3	284	197	756	156
9-3	339	16.2	320	210	1032	175
平均	232.9	13.5	301.9	178.5	896.8	162.5
A ₀ 層	—	0.066	1.8	5.1	164.2	10.4
土壌	232.9	13.5	301.9	178.5	896.8	162.5
計	232.9	13.566	303.7	183.6	1061.0	172.9
	(t/ha)			(kg/ha)		

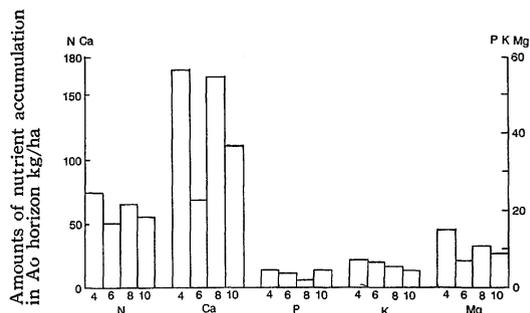


図1 スギ人工林におけるA₀層の養分集積量の変化

は明らかに多いが、置換性K、Mg、Caは少ない。本調査地の土壌がB1D(d)型であるためにC・Nは多くなったと考えられる。

3. リターフォールによる養分還元量

スギの枝葉は枯死後すぐに落下せずに物理的な刺激を受けて落下すると考えられている。⁷⁾したがって、落葉広葉樹林などとは異なりその季節変化は生理的な要因によらず、かなり不規則なものになると考えられる。図2にスギ林のリターフォールの季節変化を1年枝、2-4年枝、葉片、種子・花、その他に分けて示した。全体としては12-3月の間に最も多く、種子・花を除くいずれの組成もこの冬季間に多くなっている。これは降雪による物理的な加重によって引き起こされたものである。前述したように手入れ不足になっているこの林分では枯葉・枯枝が10 t/ha近く付着しており、これらが降雪によって冬季に落下したものであろう。また、冬季の積雪は年によって変動があるために、スギ林のリターフォール量は年変動が大きいと考えられる。安藤によるとスギ林の年間リターフォール量は3.5-8.2 t/ha、⁹⁾勝野らによると6.3 t/haであり、かなり変動幅が大きい。本調査地の年間リターフォール量は表5に示したように4.3 t/ha比較的小さい方にはいる。

リターフォールの養分含有率は元素、組成によって異なった季節変化を示すが、図3の2-4年枝、種子・花、その他のように年間を通して比較的安定している。顕著な変化を示すものをあげると1年枝のNのように8月に高く10月に低いもの、葉片のように7-11月の分解進行期に高い含有率を示すもの、種子・花のCa・Kのように8-10月に高い含有率を示すものがある。¹⁰⁾しかし、落葉広葉樹林のリターフォールのN・P・Kのように開葉期に含有率が高く、落葉期に含有率が低下するといった明らかな傾向はみられなかった。この原因として、スギの枝葉が枯死してすぐに脱落するのではなく、樹上にしばらく付着し分解・溶脱を受けてから落下すること、

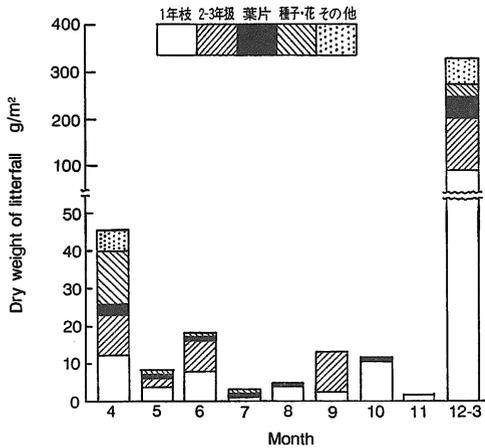


図2 スギ人工林のリターフォールの季節変化

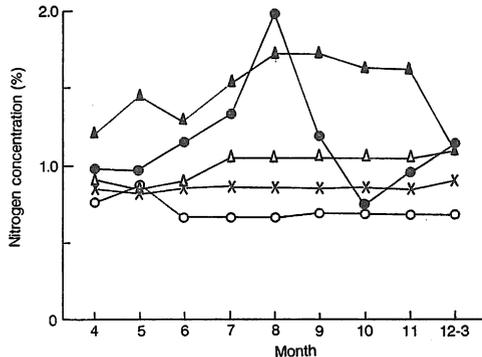


図3 リターフォールの窒素含有率の変化

● 1年枝 ○ 2-4年枝 ▲ 葉片・分解葉
△ 種子・花 × その他

本調査地では手入れ不足のために枯葉・枯死がリターフォールの2年分近く付着しているために、リターフォール中に新しく枯死した部分や古い枯死部分を含んでいることが考えられる。

これらのリターフォールに含まれて林地へ還元される養分量は表5に示した。Ca・Nが多く、P・Kが少ない。特にKの還元量は芦生の落葉広葉樹林の斜面上部の9.5 kg/ha、下部の28.9 kg/ha、三瓶の落葉広葉樹林の13.9~15.5 kg/ha¹¹⁾に比べて少ない。リターフォールの約2年分にあたる枯死した枝葉が樹冠に付着したままであるために、落下までの間に溶脱されるためである。

4. 降水による養分還元量

降水による養分還元量は一般に溶脱されやすいKが多く、N・Pなどは林木に吸着されることがあるといわれている⁵⁾。本調査地では枯死した状態で付着している枝葉の量が多いために養分の溶脱が考えられる。図4はNH₄-NおよびKの季節変化を示したものであるが、

表5 リターフォールによる養分還元量

	乾物	N	P	K	Ca	Mg
1年枝	1.32	14.7	0.47	1.32	22.9	2.44
2-4年枝	1.45	10.0	0.52	0.51	18.0	2.47
葉片・分解葉	0.54	6.1	0.33	0.48	8.6	0.73
種子・花	0.45	4.6	0.40	0.98	7.2	0.55
その他	0.61	5.4	0.30	0.61	3.2	0.72
合計	4.37	40.8	2.01	3.92	59.9	6.91
	(t/ha)	(kg/ha)	

採水の時期によってその濃度は大きく変化している。林内雨、林外雨の養分濃度に比べて樹幹流の養分濃度が高くなっている。この傾向は他の元素についてもみられ、P・K・Mgでは樹幹流>林内雨>林外雨の順に濃度が低下している。

一方、pHは林内雨が最も大きく、樹幹流が最も小さい。林外雨のpHの変化は5前後で変化し、明らかに酸性雨といえる。これが樹冠を通過すると酸性が弱まりpH6前後に変化している。これは降水が樹冠を通過する際にKなどの塩基類を溶脱させて酸性が弱まるためであろう。一方、樹幹を伝って流出する樹幹流はさらに酸性が強まり、pH4前後に変化している。樹皮から溶脱される物質には有機酸が多く含まれるためと考えられる。

また、Caの濃度は5-6月の間に林内雨、林外雨、

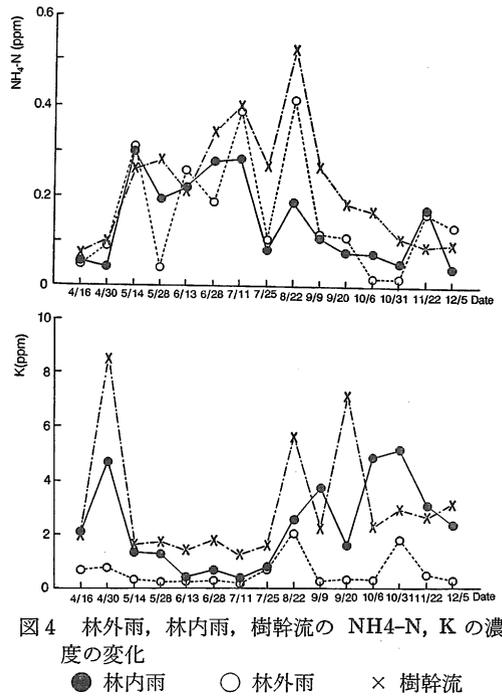


図4 林外雨、林内雨、樹幹流のNH₄-N、Kの濃度の変化

● 林内雨 ○ 林外雨 × 樹幹流

樹幹流ともに特に高い値を示したが、その原因については明らかではない。

降水中に含まれる養分量については表6に示した。林外雨として系外から供給される養分はCaが特に多く100 kg/haに達している。Mg, Kがこれについて多く、N・Pの順となっている。林内雨による林地への養分供給量はP・Kが林外雨より多くなる以外は林外雨よりやや少なくなっている。また、樹幹流による林地への養分供給量は林内雨の10%以下であった。

その結果、降水により林地へ還元される養分量はKが18.2 kg/haと最も多く、Caが5.8 kg/ha、Pが0.3 kg/ha、全チッ素が0.5 kg/haであった。これに対して、NH₄-Nは樹冠に吸着されていた。Kの還元量はリターフォールによる還元量よりも多く、約4.5倍であった。その他の元素はリターフォールによる還元量の方がはるかに多かった。

5. 手入れ不足のスギ人工林での物質循環の特徴

森林の物質循環を論ずるには生態系のコンパートメントモデルにあてはめてみるとその特徴をとらえることが容易である。三瓶演習林¹¹⁾の落葉広葉樹林の物質循環についてはすでに報告した。本調査地におけるN・P・K・Ca・Mgの物質循環諸量を図5に示した。この図には樹体による養分吸収量が示されていない。また、本調査地が手入れ不足のスギ人工林であるために樹体部分に枯死枝葉を分けて示してある。養分の集積部分は樹体、枯死部分、A₄層、土壌の4つである。その中で土壌への集積が多いのがNとPで樹体への集積の2.6～9倍である。これに対して、K, Caは樹体への集積が土壌への集積より多く1.5倍程度である。Mgはやや土壌への集積が多いが大きな差はない。落葉広葉樹林では全ての元素が土壌への集積が多かったのに比べて、スギ人工林では樹体への集積が多くなっていることが1つの特徴である。これには枝葉量が落葉広葉樹林に比べて多いことによるもので、とくに葉への養分集積がK, Caでは樹体の1/3に達している。

第2の特徴としてリターフォールによる養分還元量が落葉広葉樹林に比べて少ないことがあげられる。リターフォール量は4.37 t/haと落葉広葉樹林に比べてとくに少なくはないが、枯死してから脱落までの期間が長いために養分の溶脱を受けることとスギの針葉の養分含有率が落葉広葉樹に比べると低いこと¹²⁾により養分量は少なくなっている。したがって、A₀層に集積される養分量も落葉広葉樹林に比べるとCaを除いて少ない。その結果、養分の林地での平均分解率はA₀層でN: 62.8, P: 128.3, K: 433.3, Ca: 40.0, Mg: 62.5%, 土壌

表6 降水による養分還元量

	Tot-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
林外雨(a)	6.8	2.91	1.35	0.31	9.1	96.9	11.2
林内雨(b)	6.8	1.88	1.27	0.59	25.5	96.0	10.2
樹幹流(c)	0.5	0.18	0.11	0.02	1.9	6.8	0.6
b - a	0.0	-1.03	-0.08	0.29	16.3	-0.9	-1.0
b + c - a	0.5	-0.86	0.03	0.31	18.2	5.8	-0.4

(kg/ha)

全体でN: 0.30, P: 0.76, K: 12.0, Ca: 6.2, Mg: 3.8%と落葉広葉樹林に比べると小さい。また、地上部の集積量からみた養分の回転率も4.7-8.4%と小さい。

第3の特徴としては枯死枝葉の樹体への付着量が多いことがあげられる。間伐、枝打ちなどの手入れ不足のために林分が過密で枝が高くまで枯れ上がっている。そのために枯死枝葉の量はリターフォール量のほぼ2倍となっている。これを養分量でみてもCaが2.0倍、Nが1.6倍、Pが1.55倍、Kが1.49倍、Mgが1.4倍と非常に多い。このように枯死後樹体に付着している間に分解を受け、降水による溶脱を受けることは手入れ不足のスギ人工林での特徴といえよう。閉鎖にともない枝打ち、間伐などの保育作業が十分に行われるスギ人工林では間伐によって持ち出される養分損失もあるが、生きた枝葉に含まれる養分が林床に供給される。生原ら、相場らは育林作業が生態系内での物質の移動に与える影響を調べ、枝打ちによって大量の養分が林地に還元されること、緑枝の供給が林床での分解無機化に対して元素間で異なった影響を及ぼすと報告している。

今後はこうした保育作業の違いが物質循環にどのような変化をもたらすかを明らかにし、労働力不足となってきた林業の中でスギ人工林の保育作業をいかに省力化できるか物質循環の面から検討する必要がある。

4. 摘 要

三瓶演習林内の24年生スギ人工林で地上部養分量、A₀層および土壌養分量、リターフォール、降水による養分還元量を測定し、手入れ不足のスギ人工林の物質循環について検討した。

1. 地上部現存量は174.5 t/haであった。枯死枝葉の現存量が9.5 t/haと手入れ不足の影響が明らかであった。養分の集積はN・Pが葉に多く、K・Ca・Mgは幹に多かった。
2. A₀層の養分量は比較的少なく、鉱質土層への集積割合が高かった。
3. リターフォール量は4.37 t/haで、養分還元量はCa・Nが多く、P・Kが少なかった。とくにKの還元

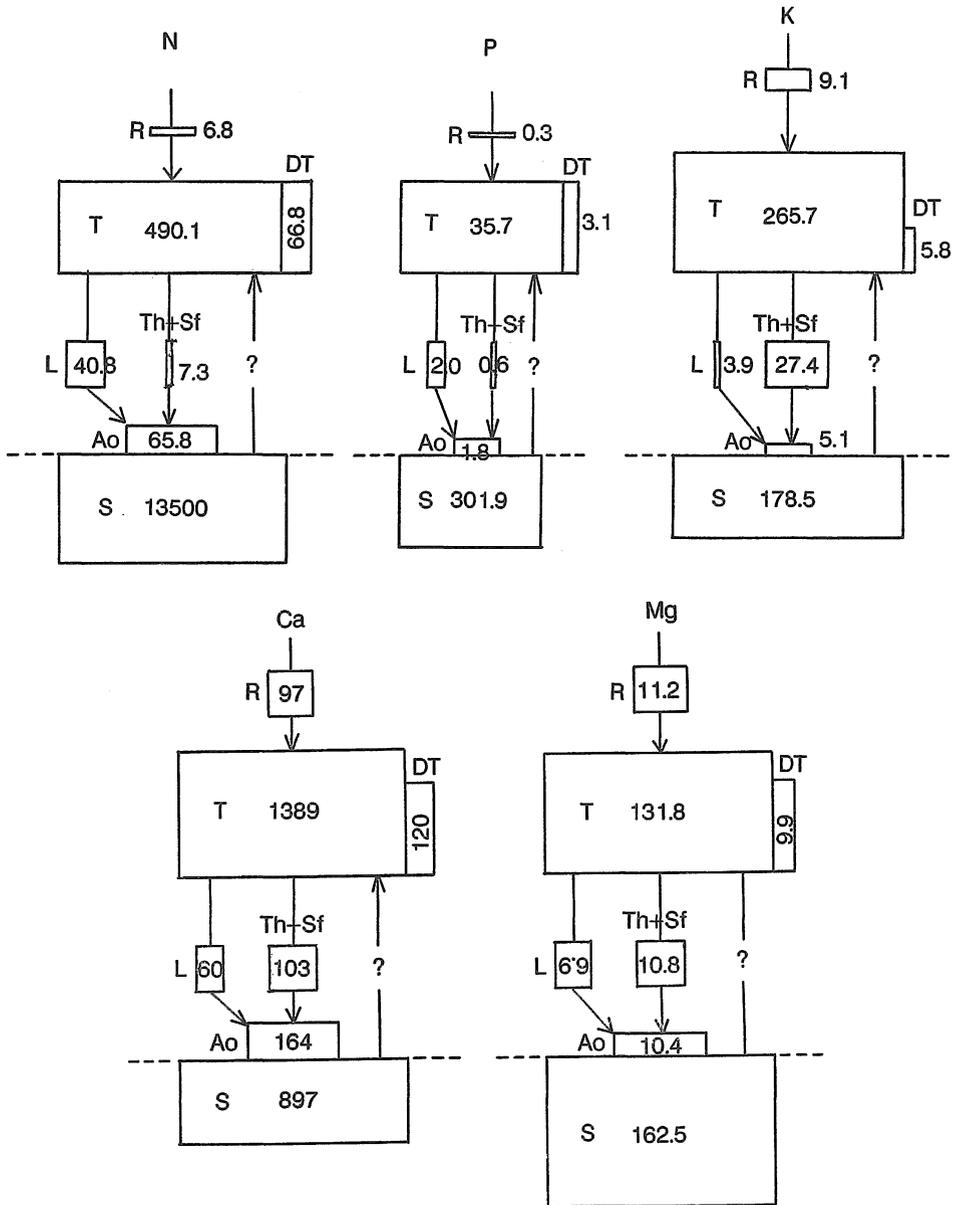


図5 スギ人工林の養分集積量および養分循環量

T: 樹体 DT: 枯死枝葉 A₀: A₀層 S: 鉱質土層 L: リターフォール
 R: 林外雨 Th: 林内雨 Sf: 樹幹流

量が少なく、樹上で溶脱を受けていた。

4. 降水による養分還元量は K が最も多く、Ca・P がこれに次いでいた。NH₄-N は逆に樹冠に吸着されていた。

5. 系内での物質の集積は樹体への集積が N・P で多く、K・Ca は土壌への集積が多かった。枯死枝葉の養分量が

養分還元量の1.4~2.0倍に達し、手入れ不足による枝の枯れ上がりの影響が明らかであった。

5. 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。第III報，1-63，日林協，東京，1966

- 2) 佐藤大七郎：陸上植物群落の物質生産 Ia 森林，共立出版，東京，1973
- 4) 原田 洸・佐藤久男・堀田 庸・只木良也：日林誌 51(5)：125-133, 1969
- 4) 只木良也・尾方信夫・長友安男・吉岡 清・宮川良幸：日林誌 46(7)：246-253, 1964
- 5) 堤 利夫：陸上植物群落の物質生産 Ib 森林の物質循環：p. 50, 共立出版，東京，1973
- 6) 片桐成夫・石井 弘・三宅 登：島根大農研報 12：85-91, 1978
- 7) 宮本知子・安藤 貴・谷本丈夫・竹内寛興：日林論 83回：260-262, 1972
- 8) 安藤 貴・竹内寛興・宮本知子：林試四国支場年報 (S 43)：16-18, 1969
- 9) 勝野真澄・萩原秋男・穂積和夫：日林論 95回：363-364, 1984
- 10) 片桐成夫・堤 利夫：日林誌 55(3)：83-90, 1973
- 11) 片桐成夫：日生態会誌 38(2)：135-145, 1988
- 12) KATAGIRI, S. and S. HARA: Bull. Fac. Agric. Shimane Univ. 23: 31-38, 1989
- 13) 生原喜久雄・相場芳憲・相浦英春・長谷川 敬：日林誌 67(11)：464-467, 1985
- 14) 相場芳憲・生原喜久雄・近藤 晃・池田直弥：日林誌 67(3)：73-81, 1985
- 15) 相場芳憲・生原喜久雄・近藤 晃：日林誌 67(8)：297-304, 1985