

落葉の養分組成と分解にともなう 変化について

河 田 弘⁽¹⁾

1. は じ め に

森林土壌における落葉の分解は、土壌の生成過程、林木に対する養分の供給等の面から、森林土壌の基本的な重要課題のひとつとして、その重要性が古くから強調されてきた。また、最近わが国の林業においてしだいに関心が高まりつつある地力の維持増進の問題に対処するためにも、落葉の分解についていろいろな角度から行なわれた調査研究の資料が重要な役割を果たすものと考えられる。現在わが国におけるこの方面の研究は資料が少ないが、今後急速に充実することが要請されている重要な課題と考えられる。

落葉の分解過程の研究方法としては、それぞれの目的に応じていろいろな方法が用いられているが、筆者は自然状態における林地の有機物層を対象として、各層位ごとの組成の変化を調べることによって、分解過程における変化を追求することを計画した。

森林土壌における有機物層（腐植層）は形態的に mor および mull の2つの基本型に大別される*が、これらは落葉の分解過程の相違、すなわち、良否によってもたらされる。筆者は上述の立場に立って、さきに mor および mull 型土壌に属する各種の森林土壌における落葉と有機物層の各層位の有機物組成の変化を検討し⁴⁾、また、これらの無機物組成については、mull 型土壌に属する信州地方のカラマツ林についての結果⁵⁾を報告した。

その後残された mor 型土壌の無機物組成についての知見を得るために、木曽谷に位置する王滝国有林管内の寒冷多湿な気候条件下におけるヒノキ、サワラ、ウダイカンバ林について落葉の養分組成の検討を始めると同時に、これらの落葉のそれぞれの林内における分解試験を行なった。

これらの試験および調査はいずれも筆者の木曽分場在勤当時に着手したが、その後間もなく関西支場転任にともなって中止せざるをえなかった。したがって、試料も少なく、十分な結論を得るに至っていないが、今後の参考資料としてとりまとめることにした。

2. 試 料 採 取 地

試料を採取した林分は長野県西筑摩郡王滝村王滝営林署管内王滝国有林に位置するヒノキ林3か所、サワラ林4か所、ウダイカンバ林1か所、計8か所である。これらの林分の立地条件は第1表に示すとおりである。

この地域の気候は年平均気温 7°C、年降水量約 3,500 mm に達し、寒冷多湿である。

Prof. 1~2 はヒノキ、Prof. 4~7 はサワラの天然生老齢過熟林（樹齢 150~200 年）であった。Prof.

* mor および mull のほかにこの両者の中間型として moder を加えて、3型に区分する場合もある。

(1) 関西支場土壌研究室長・元木曽分場土壌研究室長・農学博士

第 1 表 試料採取所の立地条件

Table 1. Site conditions of sampling forests.

断面 番号 Prof. No.	母材 Parent mate- rial	土壌型 Type of soil	海拔高 Height from sea level (m)	方 位 Direc- tion	傾 斜 Incli- nation	地 形 Topography	堆 積 式 Mode of forma- tion	樹 齢 Age of stand (year)	位 置 (林小班) Wor- king unit
ヒノキ林 (Forest of <i>Chamaecyparis obtusa</i>)									
1	石 英 斑 岩 Quartz porphy- ry	P _{w(i)} -Ⅱ	1500	N	10°	山 頂 部 台 地 Mountain top plateau	残積土 Residual soil	150 } 200	232
2		同 上 ibid.	1350	N50°E	32°	山 腹 斜 面 中 腹 Middle of mountain slope	匍行土 Creep soil		208(い)
3		同 上 ibid.	1500	NW	25°	尾 根 Ridge of mountain slope	残積土 Residual soil	32	232
サワラ林 (Forest of <i>Chamaecyparis pisifera</i>)									
4	同 上 Ibid.	P _{w(h)} Ⅱ ~Ⅰ	135	N40°E	30°	山 腹 斜 面 下 部 Lower part of mountain slope	崩積土 Collu- vial soil	150 } 200	208(い)
5		P _{w(i)} -Ⅱ	1440	N	35°	山 腹 斜 面 中 腹 Middle of mountain slope	匍行土 Creep soil		272
6	安山岩 Ande- site	BE	1450	N50°W	32°	山 腹 斜 面 下 部 Lower part of mountain slope	崩積土 Collu- vial soil		267
7	玄武岩 Basalt	BD	1500	N10°E	17°	山 腹 斜 面 中 腹 Middle of mountain slope	匍行土 Creep soil		213
ウダイカンバ林 (Forest of <i>Betula Maximowicziana</i>)									
8	石英斑岩 Quartz por- phyry	P _{w(h)} -Ⅲ	1400	N	35°	山 腹 斜 面 中 腹 Middle of mountain slope	匍行土 Creep soil	24	210

Remarks: Type of soil are as follows.

BD Moderately moist brown forest soil. (適潤性褐色森林土)

BE Slightly wetted brown forest soil. (弱湿性褐色森林土)

P_{w(i)}-I Wet podzol (Iron podzol type). [湿性ポドゾル (鉄型)]P_{w(i)}-II Wet podzolic soil (Iron podzol type). [湿性ポドゾル化土壌 (鉄型)]P_{w(h)}-I Wet podzol (Humus podzol type). [湿性ポドゾル (腐植型)]P_{w(h)}-II Wet podzolic soil (Humus podzol type) [湿性ポドゾル化土壌 (腐植型)]P_{w(h)}-III Wet slightly podzolised soil (Humus podzol type). [湿性弱ポドゾル化土壌 (腐植型)]

3は 32 年生のヒノキ人工林であったが、その生育は不良であった。Prof. 8 のウダイカンバ林はヒノキを植栽後侵入したウダイカンバのためにヒノキが被圧され、調査当時ウダイカンバを上木とし、ヒノキ(24年生)を下木とする 2 段林を形成していた。

3. 試 験 方 法

3-1. 分析方法

供試した落葉はいずれも 10~11 月はじめの落葉直後の新鮮な試料を用い、有機物層も同時に採取した。

Carbon は酸化滴定法³⁾, N は KJELDAHL 法を用い、落葉および有機物層は $H_2SO_4-HNO_3-HClO_4$ による湿式分解⁹⁾ 後, P は molybden blue による比色²⁾, K は flame photometer, Ca および Mg は $(NH_4)_2S$ を用いて Mn を除去後 Versenate 法を用いて定量した。土壌の置換性 Ca および Mg は N KCl 浸出液について上述の方法で定量した。

3-2. 林内における落葉の分解試験

Prof. 1 のヒノキ, Prof. 4 のサワラ, Prof. 8 のウダイカンバの落葉をそれぞれの林内において分解試験を行なった。

各林内において, A₀ 層を 1×1 m の広さに取り除き, ナイロン網をしいて, その上に落葉を厚さ 5~10 cm 程度に堆積し, 自然状態において分解を行なった。いずれも落葉直後の 11 月はじめに開始し, 翌年 4 月初旬および 10 月末に, 表層約 1 cm 程度の落葉を除き, その下の落葉を供試した。

4. 土壌の化学的性質 [結果および考察 (1)]

供試した土壌の化学的性質は第 2 表に示すとおりである。

第 2 表 土壌の化学的性質

Table 2. Chemical property of soil. (On dry basis)

断面 番号 Prof. No.	土 壌 型 Type of soil	層 位 Horizon	深 さ Depth from surface (cm)	C %	N %	C-N 率 C-N ratio	置 換 酸 度 Exch. acidity (Y ₁)	置 換 性 Exch.		pH (H ₂ O)
								CaO (m. e. /100 g)	MgO	
ヒノキ林 (Forest of <i>C. obtusa</i>)										
1	P _{w(i)} -I	H-A	3~10	22.2	0.87	25.5	14.6	13.5	3.19	4.35
		A ₂	10~18	7.17	0.38	19.3	35.1	1.15	0.35	3.85
		B ₁	20~30	3.24	0.16	20.9	27.1	0.44	0.12	4.30
		B ₂	38~48	3.36	0.27	19.3	33.1	0.54	0.12	4.80
2	P _{w(i)} -I	A ₁	13~16	17.6	0.95	18.8	24.0	3.26	0.88	3.90
		A ₂	17~27	1.79	0.11	16.3	38.7	0.28	0.07	4.20
		B ₁	30~45	1.67	0.10	16.7	26.7	0.22	trace	4.60
		B ₂	50~60	1.31	0.08	16.4	24.2	0.20	trace	4.70
3	P _{w(i)} -I	H-A	9~13	35.3	1.45	24.3	19.0	11.3	2.46	3.80
		A ₂	15~20	3.83	0.18	21.3	37.5	0.70	0.26	3.80
		B ₁	22~32	2.80	0.14	20.0	44.1	0.30	0.16	4.00
		B ₂	40~50	1.69	0.09	18.8	28.5	0.14	0.03	4.20

第 2 表 (つづき)

Table. 2 (Continued)

断面 番号 Prof. No.	土 壌 型 Type of soil	層 位 Horizon	深 さ Depth from surface (cm)	C %	N %	C-N 率 C-N ratio	置 換 性 Exch. acid 度 Exch. acidity (Y ₁)	置 換 性 Exch.		pH (H ₂ O)
								CaO (m. e. /100 g)	MgO	
サワラ林 (Forest of <i>C. pisifera</i>)										
4	P _{w(h)} II-I	H-A	3~9	24.9	1.29	19.3	27.4	6.08	1.03	3.80
		A ₂	9~11	5.05	0.33	15.3	30.9	0.52	0.18	4.00
		B ₁	12~17	4.69	0.29	16.2	29.3	0.38	0.06	4.20
		B ₂	20~30	4.44	0.25	17.8	13.4	0.16	0.03	4.85
		B ₃	35~40	3.73	0.22	17.0	10.2	0.17	0.01	5.00
5	P _{w(i)} -II	H-A	5~8	25.5	1.39	18.3	32.1	5.08	0.92	3.80
		A ₁	10~20	10.9	0.68	16.0	73.7	0.80	0.37	3.80
		A ₂	22~26	4.94	0.20	24.7	73.3	0.33	0.11	4.05
		B ₁	27~32	4.70	0.26	18.1	57.5	0.36	0.14	4.10
		B ₂	35~45	6.74	0.36	18.7	15.0	0.20	0.08	4.70
		B ₃	48~58	2.48	0.15	16.5	8.6	0.14	0.03	4.80
6	BE	H-A	5~15	25.0	1.66	15.1	65.4	6.16	1.77	3.80
		A	20~30	13.1	0.87	18.0	18.0	0.73	0.40	4.55
		A-B	42~48	12.5	0.86	15.0	15.0	0.46	0.28	4.70
		B	50~60	6.15	0.47	13.1	1.8	0.23	0.05	5.20
7	BD	H-A	3~10	26.0	1.53	17.0	35.1	1.48	1.30	4.00
		A	11~20	16.8	1.20	14.0	40.0	0.45	0.72	4.40
		A-B	25~35	8.64	0.59	14.6	14.0	0.27	0.20	4.80
		B	48~50	4.60	0.31	14.8	5.5	0.14	0.02	5.05
ウダイカンバ林 (Forest of <i>B. Maximowicziana</i>)										
8	P _{w(h)} -III	H-A	3~9	20.8	1.16	17.9	9.8	8.57	2.44	4.25
		A ₂	11~20	4.49	0.28	16.0	37.6	0.65	0.23	4.30
		B ₁	22~32	3.37	0.21	16.0	33.4	0.37	0.12	4.60
		B ₂	38~48	2.99	0.18	16.6	23.7	0.33	0.04	4.80

試料採取地は安山岩に由来する Prof. 6 BE 型土壌および玄武岩に由来する Prof. 7 BD 型土壌を除くと、いずれも石英斑岩に由来する湿性ポドゾルに属する。これらの土壌の鉱質土層はいずれも強酸性を呈し、置換性 CaO および MgO 含有率は小さかった。Prof. 6 および 7 の BE および BD 型土壌は肉眼的には鉄およびアルミニウムの溶脱および集積は認められなかったが、置換性塩基の溶脱はいちじるしく進行し、鉱質土層はいずれもかなりの強酸性を呈していることが認められた。

一部の断面において見られた H-A 層は、いずれも強酸性を呈していたが、置換性 CaO および MgO 含有率は各断面ごとにかなり大きな相違がみられた。今回の試料ではヒノキ>ウダイカンバ>サワラの順に減少を示した。後述の第 3 表に示した全 CaO および MgO 含有率も同様の傾向を示していたが、このような H-A 層の CaO および MgO 含有率の相違は、樹種の影響によるものか、または他の原因によるものかは今後の検討にまきたい。

5. 落葉および有機物層の養分組成 [結果および考察 (2)]

供試した落葉および有機物層の組成は第3表に示すとおりである。

5-1. 落葉の組成

ヒノキの落葉では、樹齢の若い Prof. 3 (32 年生) は Prof. 1~2 の老齢林 (150~200 年生) に比べると、N 含有率はきわめて大きく、P および Mg 含有率も大きかったが、Ca 含有率は多少低く、K 含有率は明りょうな相違を認め難かった。

筆者はさきにカラマツの落葉について、樹齢の増大にともなって N および P 含有率の減少、Ca 含有率のゆるやかな増大が認められるが、K および Mg 含有率は一定の関係を認め難いことを報告³⁾したが、今回のヒノキ林についても Mg を除く各元素について同様の傾向が認められた。

第3表 有機物層の組成
Table 3. Composition of organic matter layer. (Per cent on dry basis)

断面番 Prof. No.	層位 Layer	深さ Depth from surface (cm)	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	pH (H ₂ O)
ヒノキ林 (Forest of <i>C. obtusa</i>)										
1	L	0~1	58.7	0.76	77.2	0.060	0.43	1.58	0.11	4.25
	F	1~2	45.9	1.20	38.3	0.075	0.19	1.05	0.16	4.80
	H-A	2~10	22.2	0.87	25.5	0.044	0.33	0.36	0.10	4.35
2	L	0~1	58.2	0.64	90.9	0.050	0.31	1.54	0.061	4.30
	F	1~3	49.8	1.31	38.0	0.059	0.10	0.97	0.059	4.50
	H	3~12	45.8	1.86	24.6	0.055	0.25	0.55	0.095	3.80
3	L	0~1	59.3	1.24	47.8	0.075	0.41	1.43	0.13	4.30
	F	1~2	46.6	1.28	36.4	0.079	0.35	0.70	0.092	4.50
	H	2~9	40.5	1.74	23.3	0.070	0.52	0.61	0.12	3.90
	H-A	9~13	35.3	1.45	24.3	0.034	0.64	0.33	0.093	3.80
サワラ林 (Forest of <i>C. pisifera</i>)										
4	L	0~1	59.9	0.98	61.1	0.079	0.42	1.35	0.062	4.45
	F	1~9	45.4	1.41	32.2	0.16	0.21	0.71	0.042	4.10
	H-A	3~9	24.9	1.29	19.3	0.055	0.43	0.18	0.047	3.80
5	L	0~1	60.4	0.72	83.9	0.048	0.27	1.26	0.10	4.80
	F	1~3	48.5	2.02	24.0	0.14	0.22	0.70	0.080	4.10
	H-A	3~8	25.5	1.39	18.3	0.039	0.59	0.16	0.064	3.80
6	L	0~2	57.8	0.80	72.3	0.067	0.31	1.31	0.10	4.60
	F	2~4	50.5	2.03	24.3	0.15	0.20	1.03	0.082	4.60
	H-A	4~15	25.0	1.66	15.1	0.17	0.40	0.28	0.11	3.80
7	L	0~1	61.2	0.99	61.8	0.085	0.41	1.34	0.12	4.85
	F	1~3	39.4	2.00	19.7	0.22	0.31	0.46	0.050	4.20
	H-A	3~10	26.0	1.55	17.0	0.30	0.43	0.078	0.040	4.00
ウダイカンバ (Forest of <i>B. Maximowicziana</i>)										
8	L	0~1	56.7	1.56	36.3	0.045	0.73	0.67	0.17	4.60
	F	1~3	37.1	1.60	23.2	0.094	0.34	0.49	0.12	4.60
	H-A	3~9	20.8	1.16	17.9	0.045	0.46	0.22	0.081	4.25

Remark : L were freshly fallen leaves.

サワラの落葉の組成を相互に比較すると、Ca および Mg 含有率は相違が少なかったが、N, P, K 含有率はかなりの相違を示していた。しかしながら、これらの N, P, K 含有率の相違は土壌型、母材、地形等との関連性は明らかではなかった。また、ヒノキの老齢林と比べると、N および P 含有率はやや大きく、Ca 含有率はやや低かったが、とくにいちじるしい相違ではなかった。

ウダイカンバの落葉は樹齢の近い Prof. 3 のヒノキと比べると、N, K, Mg 含有率は高く、P および Ca 含有率は低かった。

林木の落葉の組成については、落葉の Ca 含有率の多少が土壌の置換性 Ca、酸性等に大きな影響をおよぼし、さらに、これらの土壌の諸性質は土壌微生物および小動物 (micro fauna) 等の有機物の分解活動に大きな影響をおよぼすために、落葉の Ca 含有率を基準にして樹種を分類しようとするいくつかの試案が出されている。LUTZ および CHANDLER⁸⁾ は $>2\%$ 、 $2\sim1\%$ 、 1% の 3 段階に区分し、朝日¹⁾ は 0.5% 刻みに 5 段階に区分した。

今回の結果を朝日の区分にあてはめると、ヒノキは富む ($2.0\sim1.5\%$) ないし中庸 ($1.5\sim1.0\%$) のグループに、サワラは中庸のグループに、ウダイカンバは低い ($1.0\sim0.5\%$) グループに属する。

5-2. 落葉の分解過程における変化 (F, H および H-A 層の組成)

5-2-1. F 層の組成

F 層では落葉に比べると、C 含有率の減少、N および P 含有率の増大、K および Ca 含有率の減少が明りょうに認められた。Mg 含有率は Prof. 1~2 を除くといずれも明りょうに減少を示した。

落葉の分解がすすむにつれて、微生物ないし小動物の分解活動によって、Carbon 化合物は energy 源としての消失が行なわれ、N および P は一部は林木による吸収ないしは雨水による流亡が考えられるが、多くは菌体ないし小動物体内の成分として残留するために、相対的に C 含有率の減少と N および P 含有率の増大をもたらすものといえよう。

K 含有率は今回の結果もさきに報告した mull 型土壌に属するカラマツ林⁵⁾ の場合も、いずれも落葉に比べると F 層ではいちじるしい減少を示した。この点は落葉中の K は他の成分と異なり、分解過程の進行とは関連性が少なく、雨水によって容易に溶脱されるためであろうと推定される。

K の雨水による溶脱については、後述の落葉の分解試験の結果も同様の推定を裏付けたが、LUNT⁶⁾ も冬期間に落葉中の K が急速に溶脱されることを明らかにしている。このような落葉中の K の他の成分と異なった特性は、分解過程を考える場合にきわめて重要な問題と思われる。

Ca 含有率は各断面いずれも明りょうな減少を示した。筆者はさきに mull 型土壌に属するカラマツ林では、落葉に比べて F 層の Ca 含有率の増大と pH の上昇がみられること⁵⁾ を明らかにしたが、今回の mor 型土壌では Ca 含有率の減少を示したことは、落葉の分解過程における mor および mull の 2 つの型のそれぞれの特徴を明りょうに示すものといえよう。

Mg 含有率は今回の結果および前述の mull 型土壌のカラマツ林⁵⁾ では、一部の例外を除いて全般的にはそれぞれ Ca 含有率と同様の変化が認められた。

これらの結果は、落葉の分解の良好な場合には酸性物質 (酸性腐植) の生成が少ないために塩基の溶脱が少なく、分解の不良な場合には多量の酸性物質の生成のために塩基の溶脱がはげしいことを示すものといえよう。

pH は落葉に比べると、ヒノキではいずれも上昇を示し、Prof. 6 のサワラ林および Prof. 8 のウダイ

カンバ林では変化を示さなかったが、その他のサワラ林ではいずれも低下を示した。筆者は mull 型土壌では F 層の pH は落葉に比べて上昇を示すが⁴³⁾、mor 型土壌では樹種によって異なり、ヒノキ林では明りょうな低下を示さない場合および上昇の認められる場合のあることを報告⁴⁾したが、今回の結果はいずれも上昇を示した。この点は次に述べる林内の分解試験で示したように、mor 型土壌でも分解の初期には急激な pH の上昇を示し、その後分解が進むにつれて徐々に pH の低下が行なわれるものと推定されたが、このような分解過程の進行の程度によって影響されているのではないと思われる。

5-2-2. H および H-A 層の組成

F 層からさらに分解が進行した H 層ないし H-A 層では次のような変化が認められた。

H 層の形成されていた Prof. 2 および 3 のヒノキ林では、F 層に比べて H 層の C 含有率の減少、N、K および Mg 含有率の増大、Ca 含有率、C-N 率および pH の低下が明りょうに認められた。また、P 含有率はわずかな低下を示したにとどまった。K および Mg の変化については理由は明らかではないが、その他の変化については、上述の落葉から F 層に至る場合と同様の経過をたどるためと考えられる。

その他の林地では H 層の形成は認められず、F 層からかなり多量の鉱質物を混じえた H-A 層に推移した。これらの H-A 層では、C、N、Ca 含有率の低下、C-N 率の減少、pH の低下、K 含有率の増大が認められた。また、P 含有率は Prof. 6 および 7 の BE および BD 型土壌では増大を示したが、他はいずれも減少を示し、Mg 含有率は一定の傾向を示さなかった。

これらの点は上述の有機物の分解過程の進行にともなう変化と同時に、一般に有機物層に比べると P 含有率が低く、K 含有率の高い鉱質土層の混和が行なわれるためではないかと推定される。

6. 林内における落葉の分解試験

林内の自然状態における落葉の分解にともなう組成の変化は第 4 表に示すとおりである。

6-1. 翌年春における結果 (冬期間における変化)

いずれの場合も翌春 4 月には前年秋の落葉直後に比べると、C 含有率は明りょうな相違を示さなかったが、N、P、Ca 含有率の増大と C-N 率の減少が認められた。これらの変化はヒノキ、ウダイカンバではかなり明りょうであったが、サワラでは小さかった。また、K 含有率はいずれの場合も明りょうな低下を示したが、Mg 含有率はヒノキでは変化を示さず、サワラでは多少の減少を、ウダイカンバでは多少の増大を示し、一定の傾向がみられなかった。pH はヒノキ、サワラでは明りょうに上昇を示したが、ウダイカンバでは変化がみられなかった。

これらの各林地の所在地は、冬期間は積雪 2 m に達する寒冷多湿な地域であるが、上述の結果は冬期間に積雪下においても落葉の分解が徐々に進行することを示すものといえよう。この点は野外における観察でも、翌春には供試した落葉はいずれもまだ原形を呈し、破碎されていなかったが、前年秋よりもかなり暗色を呈していたことから推定された。

冬期間に落葉から K が多量に溶脱されていたことは注目に値しよう。この点は LUNT⁶⁷⁾によってすでに指摘されているが、筆者の結果も同様であった。落葉中の K が他の成分とはいちじるしく異なった性質を有することは、落葉の分解過程を考える場合に、見逃すことのできない重要な問題であろう。

6-2. 翌年秋における結果 (1 年後における変化)

試験開始後 1 年を経過した翌年秋には、いずれの落葉も春に比べると、N、P 含有率の増大と C-N 率

第 4 表 落葉の分解に伴う養分組成の変化

Table 4. Changes of nutrient composition of freshly fallen leaves in process of decomposition,

乾物当 %, (Per cent on dry basis)

試料採取時期 Date of sampling	C	N	C-N率 C-N ratio	P	K	Ca	Mg	pH (H ₂ O)
Prof. 1 ヒノキ林 (Forest of <i>C. obtusa</i>)								
新鮮な落葉 (11 月初め) Freshly fallen needle (beginning of Nov.)	58.7	0.76	77.2	0.060	0.43	1.58	0.11	4.25
5 か月後 (翌年 4 月初め) After 5 months (beginning of Apr., next year)	59.5	0.96	62.0	0.069	0.18	1.82	0.11	5.20
1 年後 (翌年 10 月末) After 1 year (end of Oct., next year)	55.4	1.08	51.3	0.076	0.11	1.78	0.084	5.80
Prof. 4 サワラ林 (Forest of <i>C. pisifera</i>)								
新鮮な落葉 (11 月初め) Freshly fallen needle (beginning of Nov.)	59.9	0.98	61.1	0.079	0.42	1.35	0.092	4.45
5 か月後 (翌年 4 月初め) After 5 months (beginning of Apr., next year)	58.3	1.09	53.5	0.085	0.21	1.49	0.082	5.00
1 年後 (翌年 10 月末) After 1 year (end of Oct., next year)	51.5	1.35	38.1	0.090	0.16	1.56	0.073	5.50
Prof. 8 ウダイカンバ林 (Forest of <i>B. Maximowicziana</i>)								
新鮮な落葉 (11 月初め) Freshly fallen leaves (beginning of Nov.)	56.7	1.56	36.3	0.045	0.73	0.67	0.17	4.60
5 か月後 (翌年 4 月初め) After 5 months (beginning of Apr., next year)	55.5	1.83	30.3	0.054	0.18	0.76	0.18	4.60
1 年後 (翌年 10 月末) After 1 year (end of Oct., next year)	53.9	2.18	24.7	0.068	0.13	0.77	0.11	4.60

の減少がさらにけんちょに認められた。K 含有率はさらに低下を示したが、春～秋における減少は落葉直後～翌春までの低下に比べるとゆるやかであった。Ca 含有率はサワラでは春よりさらに増大を示したが、増加の程度は落葉直後～翌春までの増大に比べるとゆるやかであった。また、ヒノキ、ウダイカンバでは春に比べると明りょうな変化を示さなかった。Mg 含有率はいずれも春に比べると減少を示した。pH はヒノキ、サワラでは春よりさらに上昇したが、ウダイカンバでは変化を示さなかった。

1 年を経過したのちには、いずれの落葉も春に比べるとさらに暗色を呈し、ヒノキ、サワラは鱗片状に破碎され、ウダイカンバは葉柄およびおもな葉脈を残して、その他の部分はかなり細く破碎されていた。

筆者は当初上述の mor 型土壌における落葉と F 層の組成の相違から、分解過程の進行にともなって Ca および Mg 含有率の低下と pH の低下 (ヒノキ林以外で) を予想したが、試験結果は予想に反して分解の初期には Ca 濃度の増大がみられ、また、pH は低下を示さず、一部の落葉は pH の上昇を示し

たことはすこぶる興味ある事実であった。

1年を経過したのちのこれらの落葉の分解過程は、C-N 率等からみて、各林地の F 層の段階まで進行しているとは考えられなかった。これらの落葉は翌年春～秋にかけて、いずれの場合も N, P 含有率の増大と K 含有率の低下は落葉期～翌春に比べてさらに進化したのに対して、Ca 含有率はヒノキ、ウダイカンバではほとんど変化を示さず、サワラでは Ca 濃度は増大を示したが、増加の程度は落葉期～翌春に比べるとゆるやかであったこと、また、Mg 含有率はいずれも減少を示していたことは、次のような考え方を裏付けるものといえよう。すなわち、落葉の分解の不良な mor 型腐植を生成する場合でも、おそらく分解の初期の段階では易分解性の有機物が消費されるために酸性腐植の生成は少なく、そのために相対的に Ca 濃度と pH の上昇をもたらすが、そのご徐々に分解され難い有機物の分解される段階に移るにしたがって、徐々に酸性腐植の生成が増大し、それにとまって Ca および Mg の溶脱と pH の低下が徐々に進行することを暗示しているように思われる。さらに、落葉中の Mg は Ca よりも溶脱されやすいことを示しているといえよう。これらの点については、今回の試験が1年間で打ち切られたために十分な成果をうるに至らなかったもので、なお今後の検討を待たなければならないと思われる。

7. お わ り に

1) この報文は mor 型土壌の落葉の分解過程における養分組成の変化を明らかにするために行なった次のような調査および試験結果を報告したものである。

a) 木曽谷に位置する王滝国有林のヒノキ林3か所、サワラ林4か所、ウダイカンバ林1か所の落葉および有機物層の C, N, P, K, Ca および Mg 含有率の検討。

b) ヒノキ、サワラ、ウダイカンバ林各1か所において、林内の自然条件下におけるそれぞれの落葉の1か年間の分解試験。

2) これらの調査および試験の結果次の諸点が明らかにされた。

a) mor 型土壌における落葉の分解過程は Ca 含有率の減少によって明りょうに特徴づけられる。

b) mor 型土壌における落葉の分解の初期には pH は低下せず、一部は上昇を示し、Ca 濃度は増大するが、ある程度の期間が経過したのち徐々に Ca 濃度の減少と pH の低下がはじまることが推定された。

c) 落葉中の K は他の諸成分と異なり、落葉後急速に溶脱される。

稿を終わるにあたり、終始ご懇切なご指導を賜わった顧問研究員大政正隆博士、多大のご配慮をいただいた木曽分場長梅原 博技官、元関西支場長徳本孝彦技官に心からの感謝をささげるしだいである。

文 献

- 1) 朝日正美 (ASAHI, M.): 日林誌 (Jour. Jap. Forest), 40, pp. 135~138, (1958)
- 2) 池田長生: 日化誌, 72, pp. 23~26, (1951)
- 3) 河田 弘 (KAWADA, H.): 林野土調報 (Forest Soils of Japan), 8, pp. 67~80, (1957)
- 4) ——— (Ibid.): 林試報 (Bull. Gov. Forest Exp. Stat.), 128, pp. 115~144, (1961)
- 5) ——— (Ibid.): 同上 (Ibid.), 136, pp. 1~33, (1962)

- 6) LUNT, H. A. : Jour. forestry, 31, pp. 943~945, (1933)
- 7) Ibid. : Ibid., 33, pp. 607~609, (1935)
- 8) LUTZ, H.J. and CHANDLER, R. F. Jr. : Forest soils, New York, (1951)
- 9) PIPER, C.S. : Soil and plant analysis, New York. (1950)

A Study on Changes of Nutrient Composition of Freshly Fallen Leaves in Process of Decomposition.

Hiroshi KAWADA

(Résumé)

The forest soil scientists attach much importance to the decomposing processes of forest leaf litters that powerfully affect the forming processes of forest soils, the chemical and physical properties of them, the nutrient supplies needed by forest stands and so on. The humus types that affect the decomposing processes of the forest leaf litters are broadly divisible into two main types, i. e. mor and mull. For throwing light upon these problems, the decomposing process of the leaf litter should be examined from many aspects. In the author's opinion, at the outset the information on the changes of the compositions in the decomposing process under natural conditions obtained by the comparison of the composition of the freshly fallen leaves with that of the organic matter layers of the forest soil would be necessary. Previously, the author reported information on the organic matter compositions of some coniferous and deciduous forests belonging to both types of humus⁴⁾. Subsequently, he gave further observations concerning the nitrogen and mineral compositions on some larch forests belonging to mull⁵⁾.

In this report, the author discusses the information on the changes of the nutrient compositions of freshly fallen leaves in their decomposing processes on some coniferous and deciduous forests belonging to mor.

1. Sampling forests.

The sampling forests were located in Ōtaki National Forest in Nagano Prefecture. This region is a high mountain area under cold and humid climatic conditions. Its annual precipitation is about 3500 mm and annual average temperature about 7°C.

The site conditions of the sampling forests are shown in Table 1.

2. Method of analysis.

The analytical methods of soils, leaves and organic matter layers were as follows :

Carbon was determined by the chromic acid titration method³⁾ and nitrogen by KJEL-DAHL's method. Ca and Mg were determined by the Versenate method and K by the flame photometer. P was determined by the molybden blue method colorimetrically.

The mineral elements of the leaves and organic matter layers were determined after wet ashing with $\text{HClO}_4\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3$. Their Ca and Mg were determined after the removal of Mn by $(\text{NH}_4)_2\text{S}$. Exchangeable Ca and Mg of soil were extracted by 2.5 parts of N KCl solution shaken one hour.

3. The chemical properties of soils.

The chemical properties of the sampling forest soils are shown in Table 2.

The sampling forest soils except Prof. 6 and 7 originated from quartz porphyry and belonged to the wet podzolic soil. Their mineral horizons were very acidic and very poor in exchangeable Ca and Mg. On the Prof. 6 and 7, originated from andesite and basalt and belonging to the slightly wet and the moderately moist brown forest soils, the eluviation and illuviation of iron and aluminium were not recognized in the field observations. However, their mineral horizons were acidic and poor in exchangeable Ca and Mg the same as the above-mentioned wet podzolic soils.

The H-A layers in some profiles were very acidic and their exchangeable Ca and Mg contents were widely different. Among the tested forests, the H-A layers of the *Chamaecyparis obtusa* forests were most abundant, that of the *Betula Maximowicziana* ranked next, and that of the *Chamaecyparis pisifera* was least. The elucidation of the causes of these differences was left for further investigation.

4. The nutrient compositions of the freshly fallen leaves and their changes in the process of decomposition.

The nutrient compositions of the freshly fallen leaves and the organic matter layers are shown in Table 3.

4-1. The nutrient compositions of the freshly fallen leaves.

On the nutrient compositions of the *C. obtusa* needles, that of the Prof. 3, young forest, was remarkably more abundant in nitrogen, abundant in P and Mg, but a little less in Ca than that of the Prof. 1 and 2, very aged forests. However, no clear relation was observed on their K contents. It was very interesting that these relations between the nutrient contents except Mg and the ages of the forest stands agreed with those of the freshly fallen larch needles that the author previously reported⁹⁾.

On the *C. pisifera* needles, the differences of the Ca and Mg contents were little, but that of the N, P and K were considerable. However, no certain relation among these differences of the latter nutrients and the types of soil, the parent materials of soil and the topographies was observed. The *C. Pisifera* needles were somewhat more abundant in N and P, and a little less in Ca and than that of the aged *C. obtusa* needles. However, these differences were not significant.

On the *B. Maximowicziana* leaves, they were more abundant in N, K and Mg, but less in P and Ca than those of the young *C. obtusa* needles (Prof. 3).

On the composition of the leaves of the forest trees, their Ca contents receive particular attention by forest soil scientists because of their influences on the exchangeable Ca contents and the acidities of the soils. Furthermore, the latter affect the activities of the soil microflora and microfauna.

Some attempts have been made to divide the forest tree leaves into groups according to their Ca contents. LUTZ and CHANDLER⁸⁾ divided theirs into three groups, i. e. more than 2%, 2~1% and less than 1%. In this country, ASAH¹⁾ classified them into five groups, i. e. more than 2.0%, 2.0~1.5%, 1.5~1.0%, 1.0~0.5% and less than 0.5%. According to the latter system, the *C. obtusa* belonged to the rich (2.0~1.5%)~medium (1.5~1.0%) groups, the *C. pisifera* to the medium group, and the *B. Maximowicziana* to the low (1.0~0.5%) group.

4-2. The changes in the decomposing process of the freshly fallen leaves (the compositions of the F, H and H-A layers).

4-2-1. The compositions of F layers.

Comparing the compositions of F layers of the tested forests with that of their freshly fallen leaves, the increments of N and P contents and the decreases of C, Ca and K contents were clearly recognized. The Mg contents of F layers were decreased except that of Prof. 1 and 2 as compared with the freshly fallen leaves.

According to the progress of the decomposing processes of the leaves by the soil microflora and microfauna, the losses of the carbon compounds for their energy sources and the maintenances of the nitrogen and the phosphorus for their body materials induced the relative decrease of the carbon content and the relative increments of the nitrogen and phosphorus contents of the F layers in comparison with the fallen leaves.

On the K contents, previously, the author got similar results on the larch forests belonging to mull⁵⁾. The K of the freshly fallen leaves would be easily leached out by the rainfall without any relation to the progress of their decomposing processes.

On the leaching of K of the fallen leaves by the rainfall, LUNT confirmed the rapid decreases of K contents of the fallen leaves during winter^{6,7)}. Furthermore, as undermentioned, the results of the decomposing tests of the leaves under natural conditions confirmed this finding.

On the Ca and Mg contents, their decreases in F layers as compared with the contents in the freshly fallen leaves with a few exceptions on Mg were characteristic of the mor. The production of large amounts of the acidic substances during the inferior decomposing processes of the leaves on the mor accelerated intensely the eluviation of the bases. As the author previously pointed out, the Ca and Mg contents of the F layers clearly characterised the decomposing processes of the leaves of both types of humus, mor and mull⁵⁾.

On the pH values, their changes in F layers were variable and showed no certain tendencies. The author's previous results showed that they increased in the F layers on the mull, but they were variable on the mor as in these sampling forests⁴⁾. As undermentioned, the facts show that the pH values of the leaves rapidly increase at the beginning of their decomposing processes and after that they decrease gradually as suggested by the decomposing tests of the leaves in the forests under natural conditions. Therefore, the pH values would be affected by the degrees of the progress of the decomposing process.

4-2-2. The compositions of the H and H-A layers.

On the H layers of Prof. 2 and 3, the decreases of C and Ca contents, C-N ratios and pH values, slight decreases of P contents and increments of N, K and Mg contents as compared with those of their F layers were recognized. The elucidation of the causes of the increments of the K and Mg contents in the H layers must be left for future study. The other changes would be induced by the above-mentioned effects in the decomposing process of the soil microflora and microfauna.

In other forests, the H-A layers containing a fairly large amount of mineral matter were formed under the F layers. The decreases of C, N and Ca contents, C-N ratios and pH values and the increments of K contents in the H-A layers considered comparatively with the F layers were recognized. Furthermore, their P contents were decreased except Prof. 6 and 7, but as regards their Mg contents no certain tendencies were observed. These were induced by the mixing of the surface mineral soils that were poor in N and P and rich

in K into the H-A layers.

5. The decomposing tests of the freshly fallen leaves in their forests under natural conditions.

For throwing light upon the decomposing processes in detail, decomposing tests of the freshly fallen leaves of *C. obtusa* (Prof. 1), *C. pisifera* (Prof. 4) and *B. Maximowicziana* (Prof. 8) were done in each forest under natural conditions for one year after their defoliations.

After removing the organic matter layers in 1×1 m, a nylon net was laid upon the surface mineral horizon. The net was covered over 5~10 cm in thickness with the freshly fallen leaves. Their decomposing processes proceeded under natural conditions. A part of them were collected at the beginning of April and the rest at the end of October in the following year.

The changes of the nutrient compositions are shown in Table 4.

In April of the next year, the increments of the N, P and Ca and the decreases of the C-N ratios were recognized in every case. They were not so distinguished on *C. pisifera* in comparison with *C. obtusa* and *B. Maximowicziana*. The K contents were clearly decreased in all cases, but the changes of Mg contents showed no certain tendency. The pH values of *C. obtusa* and *C. pisifera* increased clearly but that of *B. Maximowicziana* was changeless.

The region in which these tested forests were located was under very cold and humid climatic conditions and subject to snow drift over 2 m deep. A very interesting fact that is that the above-mentioned changes in the compositions of the fallen leaves suggested the gradual proceeding of their decomposing processes during the winter under the thick snow drift. And as at the beginning of April of the next year the field observations revealed that the tested leaves were more dark in color than they were in the previous late autumn the above-mentioned suggestion is well supported.

The vigorous decreases of K content during winter in every case are worthy of note, since they suggest that the properties of K in the leaves were remarkably different in comparison with that of the other elements.

At the end of October in the next year, just one year after, the increments of the N and P contents and the decreases of C-N ratios proceeded more remarkably than at the beginning of April. Their K contents decreased, but their decreasing rates were more gradual than during the winter.

The Ca contents of *C. pisifera* increased gradually, but those of *C. obtusa* and *B. Maximowicziana* were changeless. The Mg contents decreased in all cases. The pH values of *C. obtusa* and *C. pisifera* increased, but values of *B. Maximowicziana* were changeless. In the autumn of the next year, all the leaves tested were darker in color than in the spring of the same year, and they were cracked in fine pieces.

The author pre-supposed from the data on the differences of the compositions between the freshly fallen leaves and the F layers that in their decomposing processes the decreases of the Ca and Mg contents and the pH values (except *C. obtusa*) would take place. However, the above-mentioned data were contrary to the author's anticipation.

The decomposing process of these leaves would not proceed until similar stages of the F layers from the view point of the C-N ratios. This would support the following opinion that, even on the mor, with an inferior decomposing process of the leaves, the production of the acidic substances would be less because of the consumption of the easily decompos-

ble substances by the soil microflora and microfauna, and it would induce relative increments of Ca contents and the pH values. After that the decomposing processes would shift to the stages in which the undecomposable substances are attacked by the microflora and microfauna and the production of the acidic substances would be gradually increased. It would induce the eluviation of the Ca and Mg and the decrease of the pH values. Furthermore, the above-mentioned results on the tested leaves suggested that the Mg were more easily eluviated than the Ca.

Unfortunately, the unexpected transference of the author from Kiso Sub-branch to Kansai Branch resulted in the discontinuance of this test for more than one year. The author hopes to confirm the above-mentioned hypothesis in future by conducting a similar design for longer periods.

6. Acknowledgement.

The author wishes to express his gratitude to Dr. M. OHMASA, his respected teacher, for his helpful direction and kind guidance, and to Mr. H. UMEHARA, Director of Kiso Subbranch, and Mr. T. TOKUMOTO, Director of Kansai Branch, for their encouragement in carrying out this work.