

森林の水土保持機能の定量化に関する研究

第1報 試験流域の環境調査

地頭蘭 隆・春山 元寿*

(砂防工学研究室)

Quantification of the Function on the Soil and Water Conservation of Forest

I. Environmental Conditions of the Experimental Basin

Takashi JITOUSONO and Motohisa HARUYAMA*

(Laboratory of Erosion Control)

1. ま え が き

森林が水源かん養機能、洪水調節機能、土地保全機能等によって代表される公益的效果により人間の生活環境の保全に重要な影響を及ぼしていることは、従来経験的に知られている。近年、大規模産業や人口の都市集中化による水需要の増大によりもたらされた潜在的な水不足、土地の高度利用に伴う洪水・土砂災害、人工貯水池への流入土砂による貯水容量の低下や汚濁等は、重大な社会問題になっている。これらは必然的に水源地帯における森林の機能の再評価を要求している。森林の公益的機能の測定評価は困難であるが、最近、それを解明し、定量的に把握することを目的とした調査が試みられている。

森林のこのような水土保持機能の解明と定量的評価を行うための基礎資料を得ることを目的として、鹿児島市の水源地帯である甲突川上流に森林理水試験区が設定された。ここでは、試験流域の地形、地質、土壌および植生調査結果について報告する。

2. 調査位置とその概要

森林理水試験区は、Fig. 1 に示すように、鹿児島市を貫流する甲突川支川の川田川上流域に設定されている。

甲突川上流の郡山地域の主な地層は第四紀火山噴出物のシラス、溶結凝灰岩、新第三紀の凝灰質堆積岩類および安山岩である。凝灰質堆積岩類はよく成層し、砂岩・頁岩・泥岩より成り、旧期安山岩上に不整合に乗り、新期安山岩等に被われている。

地形的には、小起伏ないし中起伏の火山地、起伏量 100 m 未満で、台地平坦面の割合が小さい丘陵地、溶岩台地および溶結凝灰岩台地に分類される。

林況に関しては、天然林の主林木はシイ、イチイガシ、ウラジロガシ、シラカシ等のカシ類、タブ、ツバキ、マツ、タケ等である。人工林はスギとヒノキを主体とする。

気象条件に関しては、郡山町における観測資料が Table 1 および 2 に示される。

* 鹿児島大学工学部

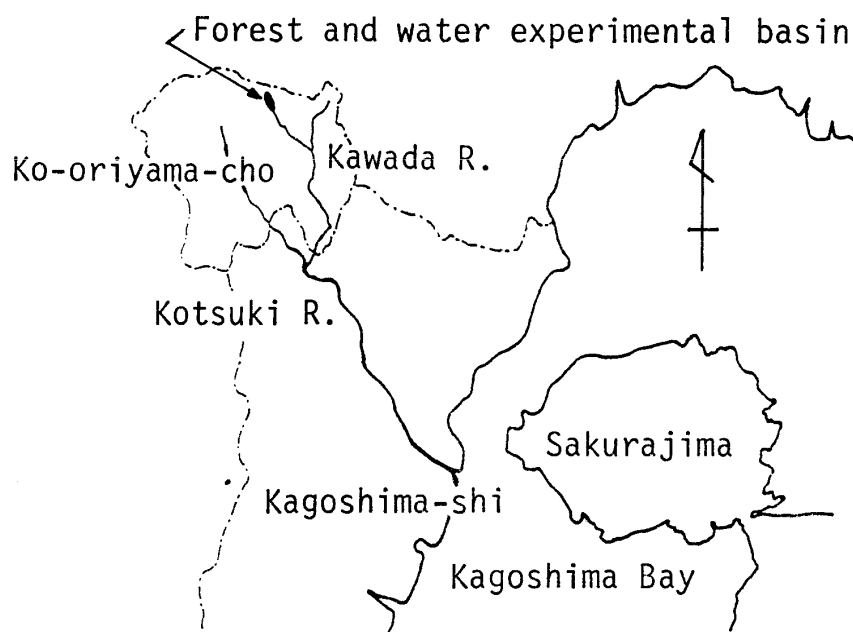


Fig. 1. Location of investigated area.

Table 1. Annual mean temperature and precipitation

Year	Mean temp. (°C)	Precipitation (mm)
1968	15.3	2,410
69	15.6	2,696
70	15.3	2,932
71	15.2	2,965
72	16.4	2,595
73	16.1	1,838
74	16.3	1,811
75	16.5	2,268
76	15.9	2,984
77	16.8	2,203

Table 2. Monthly mean temperature and precipitation (1977)

Month	Mean temp. (°C)	Precipitation (mm)
1	3.4	31
2	4.3	88
3	11.9	260
4	16.4	308
5	18.8	345
6	23.5	558
7	27.8	142
8	27.3	199
9	24.7	84
10	21.1	71
11	14.3	75
12	8.3	42

3. 調査方法

3.1 地形調査

試験流域について航空写真を参考とし、5000分の1地形図によって次の項目を計測した。

- (1) 流域面積： A (ha)
- (2) 最低・最高高度 (m)
- (3) 主流長： L (m)
- (4) 本支流総延長： L_s (m)
- (5) 流域周囲長： M (m)

- (6) 主流平均勾配： H/L (%)，主流源頭と流量観測点の高度差 H (m) と主流長 L (m) の比。
 (7) 流域平均勾配： S ，地形図上に $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ ($50\text{ m} \times 50\text{ m}$) の方眼をかけ，方眼に内接する円内の等高線本数から平均傾斜 θ は次式で計算される。

$$\tan \theta = \frac{h \cdot \sum n}{R \cdot M \cdot N}$$

ここで， h ：等高線間隔(m)

R ：内接円の直径(m)

M ：地形図の縮尺の分母

N ：方眼総数

n ：内接円内の等高線本数

- (8) 流域平均幅： $B = A/L$ (m)
 (9) 形状係数： $A/L^2 = B/L$
 (10) 密集度： K/M ，流域面積と同面積の円の周囲長 K (m) と流域周囲長 M (m) の比。
 (11) 水系密度： L_s/A (m/ha)
 (12) 起伏量：地形図上に $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の方眼をかけ，方眼内の最高点と最低点の標高差を起伏量とする。
 (13) 山ひだ総数，山ひだ密度：地形図上で勾配 21° 以上の斜面の谷地形を山ひだとし，その本数を数える。
 (14) 露出度：地形図に $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の方眼をかけ，方眼の交点において水平に周囲を見回した場合，水平距離 200 m 以内にその交点の標高より低い標高が分布している水平角を露出度とする。
 (15) 流域の傾斜度分布：地形図の等高線間隔を計測し，斜面勾配 10° ごとに傾斜分布図を作成する。

3. 2 地質調査

20万分の1地質図¹⁾，地質図等²⁾³⁾により，調査地域周辺の地質の概要を知る。航空写真判読によりリニアメントから断層を推定する。さらに踏査によって地質・地質構造の詳細な調査を行い，地質図を作成する。

3. 3 微地形区分(斜面形・堆積区分)調査

斜面形は，勾配 25° 未満の尾根筋緩斜面，山腹緩斜面および溪間堆積面，勾配 25° 以上 40° 未満の急傾斜面，勾配 40° 以上の急峻斜面および裸岩地とする。堆積区分は，残積土，匍行土および崩積土とする。斜面形と堆積区分を次のように組み合わせて微地形分類を行う。

- (1) 尾根筋緩斜面：傾斜 25° 未満の狭い稜線状の残積土面。
- (2) 緩斜面：傾斜 25° 未満の山腹斜面。緩傾斜の匍行土，残積土および崩積土を含む。
- (3) 溪間堆積面：傾斜 25° 未満の谷間の堆積面，崩積土面や土石流堆積物面。
- (4) 崩積土面：傾斜 25° 以上 40° 未満の，主として凹型斜面上の堆積面。
- (5) 匍行土面：傾斜 25° 以上 40° 未満の，主として直型ないし凸型斜面上の匍行土面。
- (6) 急峻匍行土面：傾斜 40° 以上の匍行土面。土砂礫の静止角より急勾配であるが，植生に支えられた土壌層が分布する。
- (7) 裸岩地：急崖，露出岩等。

斜面形・堆積区分調査は，5000分の1地形図および現地踏査により行う。

3. 4 土壌調査

各微地形分類ごとに土壌調査用の断面を設定し、次の因子を調査する。

(1) 土壌断面を A_0 (L, F, H) 層, A層, B層およびC層に区分し、各層の厚さ, 色, 山中式土壌硬度計による指標硬度等を調べる。

(2) 各層位の孔隙量を評価するために採土円筒 (直径 5 cm, 高さ 5 cm) により 2 個以上の乱さない試料を採取する。

(3) 土壌調査地周辺の林冠被度, 草本被覆率, 落葉層および腐植層の厚さと被覆率を調べる。林冠被度は, 樹冠が重なり合っているものを密, 樹冠が接しているものを中, および樹冠が離れているものを疎として表示する。

(4) 土壌孔隙は, 粗大孔隙, 粗孔隙および細孔隙に分類し, それぞれ次の関係によって求める。

粗大孔隙量 = 全孔隙量 - 最大容水量

粗孔隙量 = 最大容水量 - 圃場容水量

細孔隙量 = 圃場容水量

全孔隙量 P_t は採土円筒容積 V から土粒子実質部分の容積 V_s を差引いて求める。ここに, $V_s = W_s / G_s \cdot r_w$, W_s : 土粒子重量, G_s : 土粒子比重, r_w : 水の密度である。

土が水を保持する能力を容水量といい, 重量比あるいは容積比で表される。ここでは自然状態の土供試体の容積に対する水の容積の比を採用する。この値は, 土層の厚さ 100 mm 当りの mm 数に相当し, 保水総量を算定するのに便利である。

最大容水量は土壌孔隙が保有し得る最大の水分量である。この状態では土壌孔隙はほとんど水で飽和されており, 飽和度 100 % に近く, $pF=0$ に相当する。測定法は試料を採土円筒に入れたまま, 24~72 時間試料下面から吸水させたときの水分量を計量した。最大容水量の状態でも, 粗大孔隙には部分的に空気が残存しており, これが最小容気量に相当する。

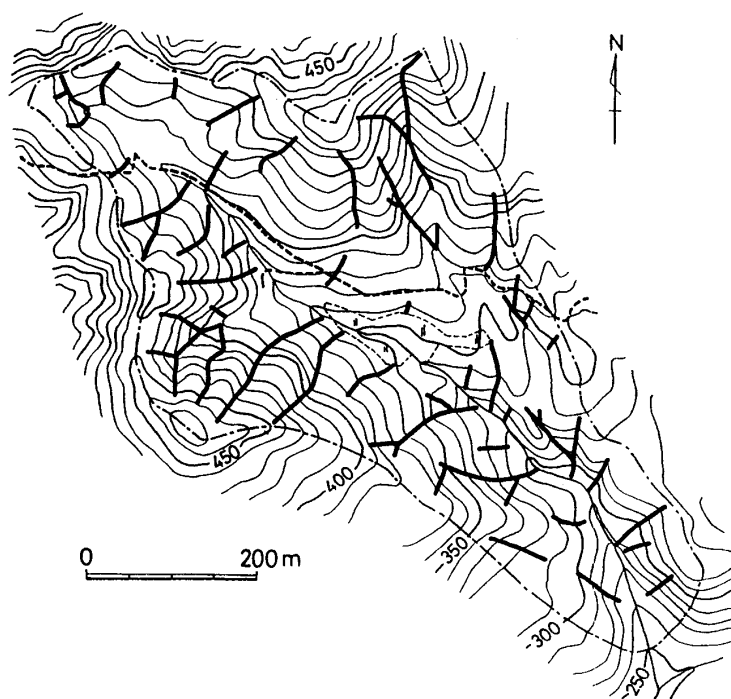


Fig. 2. Topographic map and dissection of relief.

圃場容水量は重力水が下方へ移動し、毛管孔隙（毛管張力）のみによって保持される土壌水分量である。ここでは、最大容水量状態にある試料から蒸発を防止し、24時間重力排水させたときの容水量を圃場容水量とした。この容水量は非毛管孔隙と毛管孔隙の分割点の保水量に対応し、 $pF=1.8$ 程度である。

3.5 林況調査

林況および土地利用状況を森林調査簿、航空写真および踏査などによって調査する。

4. 調査結果および考察

4.1 地 形

流域の平面形状はひずんだ扇形をなし、長軸方向約 1000 m、最大幅約 540 m である。調査流域の地形図を Fig. 2 に、5000分の1地形図によって求めた流域の地況を Table 3 に示す。また、起伏量分布図、山ひだ分布図および傾斜分布図を Fig. 3, Fig. 2 および Fig. 4 に示す。流域平均起伏量は 31 (m/0.25 ha)、山ひだ総数は 55 (本)、山ひだ密度は 2.01 (本/ha)、流域平均露出度は 119 (度) である。

4.2 地質および地質構造

調査流域は新第三紀ないし第四紀更新世と考えられる玄武岩質安山岩、凝灰質堆積岩類（砂岩・頁岩・泥岩）および安山岩によって構成される。Fig. 5 に地質図を示す。主流の標高 320 m 地点には、

Table 3. Topographic factors

Basin area	Altitude	Main stream length	Total stream length	Circumference length	Mean gradient of main stream (°)	Mean gradient of relief (°)	Mean basin width	Shape factor	Compactness factor	Drainage density
(ha)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°)	(°)	(m)			(m/ha)
27.41	250-485	1,010	1,500	2,510	18.3	29.5	271	0.27	0.74	54.7

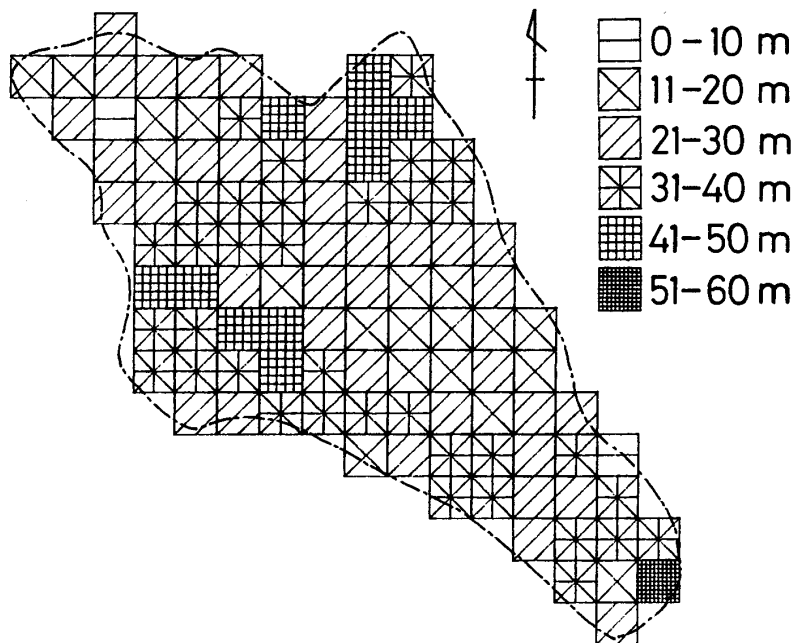


Fig. 3. Relief map.

高さ約 10 m の泥岩の滝がある。この滝は断層崖であり、断層の走向は $N 35^{\circ} \sim 45^{\circ} E$ である。断層より上流地域の地層は比較的単純であり、標高約 390 m を境に、泥岩の上に安山岩が乗っている。地質図には示していないが、尾根筋には一部軽石混じり火山灰層が分布している。この安山岩は灰白色を呈し、柱状に砕けやすい。主流最上流部には熱水変質を受けた部分もある。また、流域最高点付近には流紋岩の岩体がある。

断層より下流部の地層は非常に複雑であり、主流谷も断層の一部と考えられる。主流右岸沿いには主流の標高 290 m 地点まで凝灰質堆積岩類が分布し、一方、左岸沿いには玄武岩質安山岩が分布し、標高 290 m 地点で右岸にも連なっている。左岸沿いの玄武岩質安山岩は黒色緻密堅硬で重い。また、

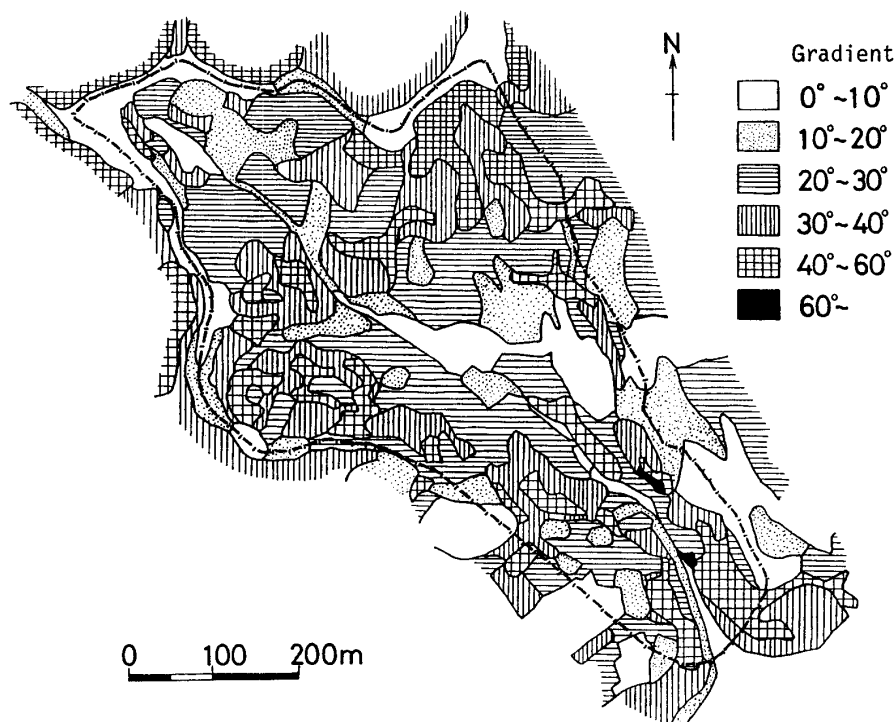


Fig. 4. Slope classification map.

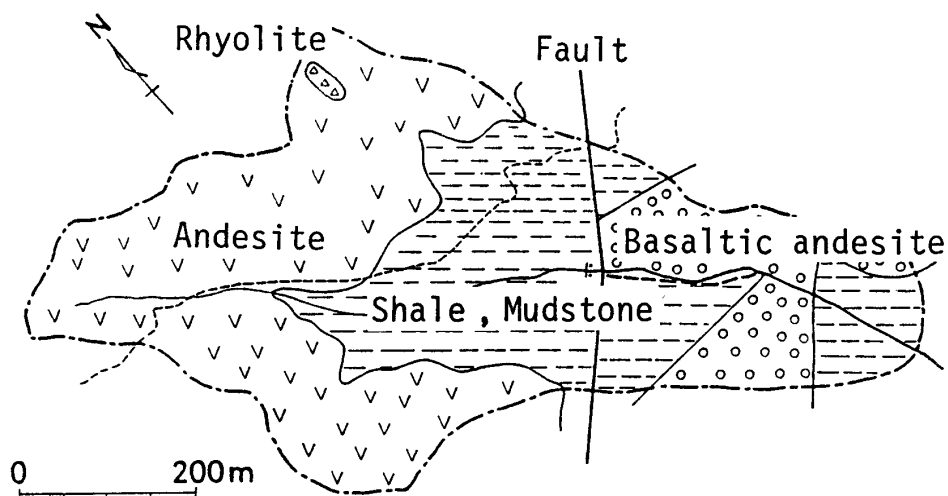


Fig. 5. Geologic map.

滝の近くには多孔質の集塊岩状の安山岩がみられる。玄武岩質安山岩分布地の風化残積土は赤褐色粘土化し、玉石状の堅硬部が残っている。

最下流部は両岸とも凝灰質堆積岩類であり、露出部は褐色であるが、新鮮岩石は濃い灰色を呈する。

4. 3 微地形分類（斜面形・堆積区分）

微地形区分調査により求めた微地形分類図を Fig. 6 に示す。平面的広がりを持った裸岩地は存在しない。微地形区分別の面積および面積率を Table 4 に示す。全流域を森林部と平坦部に分けて示した。農地は主流沿いの標高 340~360 m 付近にある水田で、流域内のほぼ中央部分に位置し、微地形としては緩斜面に分類される。草地は主流下流部左岸の水田跡地であり、微地形としては溪間堆積面に分類される。農地を含む緩斜面率は 23.9%，草地を含む溪間堆積面率は 8.7%である。

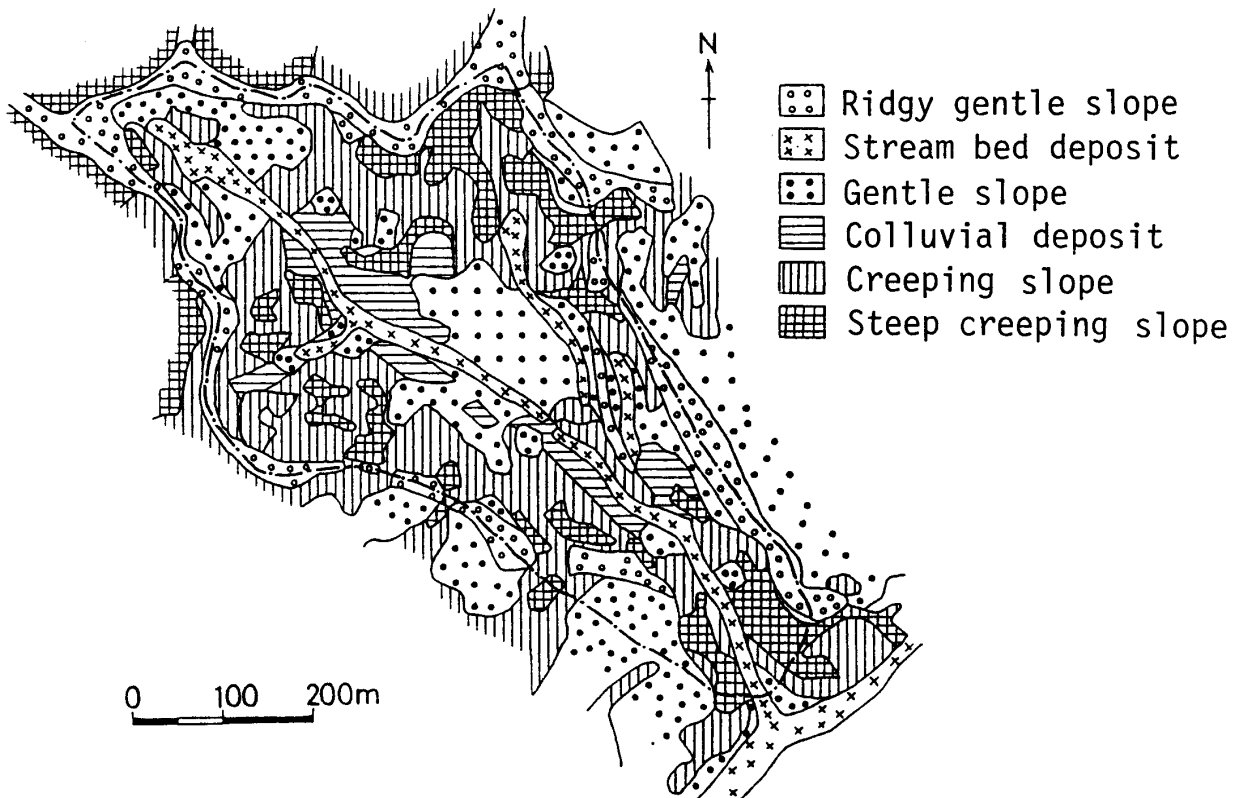


Fig. 6. Micro-topography and deposit divisions map.

Table 4. Area(ha) and area ratio(%) for each micro-topography and deposit division

Basin area	Forest land (Mountain)						Plain land	
	Ridgy gentle slope	Stream bed deposit	Gentle slope	Colluvial deposit	Creeping slope	Steep creeping slope	Farm land	Grassy land
ha 27.41	3.29	2.22	5.77	2.30	8.35	4.52	0.78	0.18
% 100.0	12.0	8.0	21.1	8.4	30.5	16.5	2.8	0.7

面積的には、匍行土面が最も多く、次いで緩斜面、急峻匍行土面であり、溪間堆積面および崩積土面は少ない。一般に、残積土は尾根筋緩斜面や山腹の緩斜面に分布し、崩積土は山腹脚部、谷沿いの斜面および溪間の平坦面に分布し、匍行土は山腹の斜面および急峻面に分布する。また、溪間には土石流堆積物があり、山腹の緩斜面には、凹地形の場合崩積土、直型および凸地形の場合匍行土あるいは残積土が分布している。

4. 4 土 壤

森林の模式的な土壌断面を Fig. 7 に示す。

最表層は A_0 層と呼ばれる森林特有の有機物層で、上部から L, F および H 層に細分される。L 層は新鮮な落葉枝その他新しい植物遺体層（落葉層）であり、F 層は原組織が残る落葉枝の半分解層（腐葉層）であり、H 層は原組織を留めないまでに分解が進んだ有機物層（腐植層）である。有機物分解の遅い土地では A_0 層、とくに H 層が発達する。分解がやや速いときは H 層を欠き、分解が極めて速ければ L 層だけとなる。

A 層（表層、溶脱層）は有機物と無機物の混合層で、一般に黒色を呈し、腐植を集積する層であると同時に、腐植、粘土、鉄、アルミナなどを溶脱する層である。この層は有機物の影響で土壌粗孔隙に富み、浸透能や保水能が下層に比べて大きい。A 層からの溶脱物質を集積する層が B 層（下層、集積層）であり、A 層に比べて明色（赤、黄、褐色）を呈する。さらに風化されて粘土化している。C 層（基層）は、岩石が風化を受けているが、原組織を残す土壌母材層である。火山灰質ローム層もこの層に属する。新鮮な基岩が D 層である。

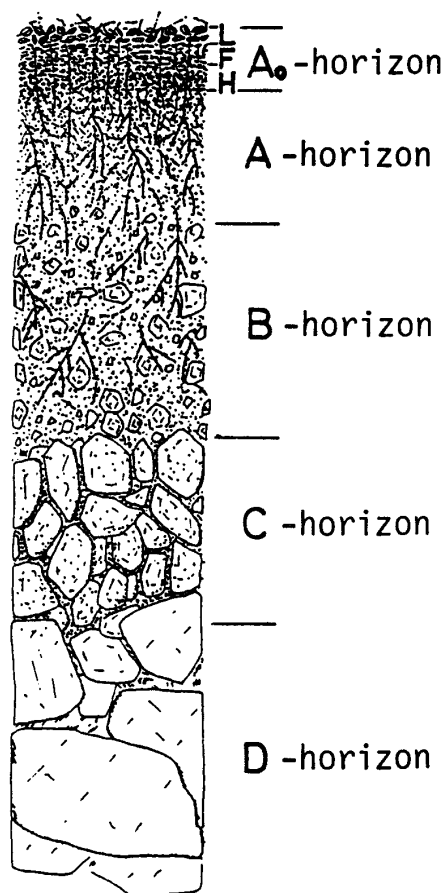


Fig. 7. Schematic profile of forest soil.

この流域内の土壌調査地点を Fig. 8 に、調査地点の概況を Table 5 に示す。Table 6~11 は調査結果を微地形区分ごとにまとめたものであり、また、Fig. 9 は微地形区分ごとに各土壌層位の粗大

Table 5. Conditions of soil survey points

Micro-topography and deposit division	No.	Superior stand			Herb covering ratio (%)	Leaf litter layer		Humus layer		Basement rock
		Type of forest	Age of stand (years)	Stand density		Thickness (cm)	Covering ratio (%)	Thickness (cm)	Covering ratio (%)	
Ridgy gentle slope	7	Jap. cypress f.	3	sparse	100	0.5	80	0.5	80	Mudstone
	12	Jap. cypress f.	22	dense	30	2	80	1	80	Basaltic andesite
	16	Jap. cedar, Broad leaved f.	33	dense	10	4	100	1	80	Andesite
	19	Broad leaved f.	80	dense	0	4	80	3	80	Andesite
Stream bed deposit	9	Jap. cedar f.	31	medium	60	4	100	1	90	Mudstone
	15	Jap. cedar f.	35	medium	80	7	100	3	100	Andesite
Gentle slope	3	Jap. cypress f.	12	medium	60	3	80	1	80	Basaltic andesite
	6	Jap. cypress f.	22	dense	80	2	80	1	80	Mudstone
	13	Jap. cedar, Broad leaved f.	33	sparse	80	4	100	1	90	Mudstone
	17	Broad leaved f.	35	dense	10	5	100	1	100	Andesite
Colluvial deposit	4	Broad leaved f.	38	dense	5	6	100	1	50	Basaltic andesite
	18	Broad leaved, Jap. cedar f.	36	dense	50	3	90	1	90	Andesite
	22	Jap. cedar f.	37	medium	80	5	100	3	100	Mudstone
Creeping slope	5	Broad leaved f.	38	dense	30	6	100	1	50	Basaltic andesite
	8	Jap. cypress f.	3	sparse	100	3	80	2	80	Mudstone
	10	Jap. cedar f.	31	medium	60	5	100	1	90	Andesite
	14	Broad leaved f.	33	dense	30	4	100	1	90	Andesite
	20	Jap. cypress f.	5	sparse	100	2	100	1	100	Andesite
Steep creeping slope	1	Jap. cypress f.	22	medium	80	0.5	10	0.5	10	Mudstone
	2	Jap. cedar f.	15	medium	5	5	80	0	0	Basaltic andesite
	11	Jap. cedar f.	31	medium	60	4	80	1	60	Rhyolite
	21	Jap. cedar f.	5	sparse	100	3	100	2	100	Mudstone

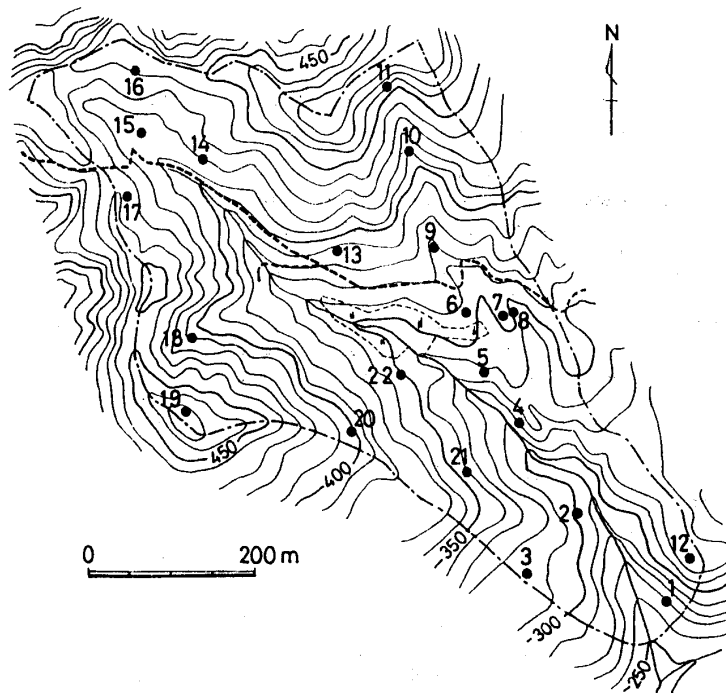


Fig. 8. Points of soil survey.

Table 6. Results of soil surveys and tests (Ridgy gentle slope)

No.	Soil horizon	Color	Thickness (cm)	Porosity (%)				Space of pore (mm)				Gradient (°)
				Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	
7	Ao		1	—	—	—	—	—	—	—	—	5
	A	Blackish brown	5	2.7	10.1	63.4	76.2	1.4	5.1	31.7	38.2	
	B	Blackish brown	13	4.6	16.9	58.8	80.3	6.0	22.0	76.4	104.4	
	C	Grayish brown	8	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		27					(7.4)*	(27.1)	(108.1)	(142.6)	
12	Ao		3	—	—	—	—	—	—	—	—	0
	A	Black	6	7.9	19.8	50.3	78.0	4.7	11.9	30.2	46.8	
	B	Blackish brown	73	4.9	5.1	54.8	64.8	35.8	37.2	400.0	473.0	
	C	Brown	(68)**	6.4	3.1	50.4	59.9	43.5	21.1	342.7	407.3	
	Total		(150)					84.0	70.2	772.9	927.1	
16	Ao		5	—	—	—	—	—	—	—	—	24
	A	Blackish brown	10	12.1	21.7	51.2	85.0	12.1	21.7	51.2	85.0	
	B	Dark brown	25	6.9	6.7	63.3	76.9	17.3	16.8	158.3	192.4	
	C	Brown	(110)	6.4	5.5	64.2	76.1	70.4	60.5	706.2	837.1	
	Total		(150)					99.8	99.0	915.7	1114.5	
19	Ao		7	24.8	10.9	57.0	92.7	17.4	7.6	39.9	64.9	10
	A	Black	20	4.3	14.5	62.9	81.7	8.6	29.0	125.8	163.4	
	B	Dark brown	20	5.2	9.4	63.9	78.5	10.4	18.8	127.8	157.0	
	C	Brown	(103)	5.7	6.9	62.5	75.1	58.7	71.1	643.8	773.6	
	Total		(150)					77.7	118.9	897.4	1094.0	
Mean	Ao			—	—	—	—	—	—	—	—	10
	A			6.8	16.5	57.0	80.3	6.7	16.9	59.7	83.3	
	B			5.4	9.5	60.2	75.1	17.4	23.7	190.6	231.7	
	C			6.2	5.2	59.0	70.4	57.5	50.9	564.2	672.6	
	Total							81.6	91.5	814.5	987.6	

* Thickness of A and B-horizons of forest soil without measurement of C-horizon.

** Thickness of C-horizon in case of assuming 150cm of forest soil.

Table 7. Results of soil surveys and tests (Stream bed deposit)

No.	Soil horizon	Color	Thickness (cm)	Porosity (%)				Space of pore (mm)				Gradient (°)
				Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	
9	Ao		5	—	—	—	—	—	—	—	—	17
	A	Blackish brown	9	12.7	21.4	47.6	81.7	11.4	19.3	42.8	73.5	
	B	Dark brown	60	4.9	7.0	59.5	71.4	29.4	42.0	357.0	428.4	
	C	Brown	(76)	4.3	1.1	62.0	67.4	32.7	8.4	471.2	512.3	
	Total		(150)					73.5	69.7	871.0	1014.2	
15	Ao		10	—	—	—	—	—	—	—	—	5
	A	Black	13	11.7	14.9	59.7	86.3	15.2	19.4	77.6	112.2	
	B	Blackish brown	25	3.7	8.6	63.9	76.2	9.3	21.5	159.8	190.6	
	C	Blackish brown	(102)	5.3	6.0	65.5	76.8	54.1	61.2	668.1	783.4	
	Total		(150)					78.6	102.1	905.5	1086.2	
Mean	Ao			—	—	—	—	—	—	—	—	11
	A			12.2	18.2	53.7	84.1	13.3	19.4	60.2	92.9	
	B			4.3	7.8	61.7	73.8	19.4	31.8	258.4	309.6	
	C			4.8	3.6	63.8	72.2	43.4	34.8	569.7	647.9	
	Total							76.1	86.0	888.3	1050.4	

Table 8. Results of soil surveys and tests (Gentle slope)

No.	Soil horizon	Color	Thickness (cm)	Porosity (%)				Space of pore (mm)				Gradient (°)
				Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	
3	A ₀		1	—	—	—	—	—	—	—	—	23
	A	Black	7	4.9	6.2	60.6	71.7	3.4	4.3	42.4	50.1	
	B	Blackish brown	122	2.3	2.2	63.0	67.5	28.1	26.8	768.6	823.5	
	C	Brown	(20)	1.6	1.1	60.2	62.9	3.2	2.2	120.4	125.8	
	Total		(150)					34.7	33.3	931.4	999.4	
6	A ₀		3	—	—	—	—	—	—	—	—	8
	A	Blackish brown	19	4.4	13.9	64.7	83.0	8.4	26.4	122.9	157.7	
	B	Brown	128	5.3	3.4	71.3	80.0	67.8	43.5	912.6	1023.9	
	C	Grayish brown	20	0.7	1.5	69.1	71.3	1.4	3.0	138.2	142.6	
	Total		170					77.6	72.9	1173.7	1324.2	
13	A ₀		5	—	—	—	—	—	—	—	—	20
	A	Black	5	7.8	12.8	56.0	76.6	3.9	6.4	28.0	38.3	
	B	Blackish brown	37	3.8	10.1	62.9	76.8	14.1	37.4	232.7	284.2	
	C	Brown	(103)	2.7	1.2	72.0	75.9	27.8	12.4	741.6	781.8	
	Total		(150)					45.8	56.2	1002.3	1104.3	
17	A ₀		7	29.7	13.8	45.3	88.8	20.8	9.7	31.7	62.2	18
	A	Black	8	9.3	15.0	55.2	79.5	7.4	12.0	44.2	63.6	
	B	Dark brown	28	6.2	12.3	60.1	78.6	17.4	34.4	168.3	220.1	
	C	Reddish brown	50	5.8	12.5	66.5	84.8	29.0	62.5	332.5	424.0	
	Total		93					53.8	108.9	545.0	707.7	
Mean	A ₀			—	—	—	—	—	—	—	—	17
	A			6.6	12.0	59.1	77.7	5.8	12.3	59.4	77.5	
	B			4.4	7.0	64.3	75.7	31.9	35.5	520.6	588.0	
	C			2.7	4.1	67.0	73.8	15.4	20.0	333.2	368.6	
	Total							53.1	67.8	913.2	1034.1	

孔隙，粗孔隙，細孔隙および土粒子の占める平均体積率を図示したものである。孔隙量は土壌層位の厚さに孔隙率を乗じて求め，mm 高で表示されている。ここで，基岩層（D層）が深くてC層の厚さが測定できなかった場合は，（A+B+C）層の厚さが 150 cm（ただし，急峻匍行土面においてはそれ以外の微地形面に比べて土壌層が浅いので 100 cm）となるようにC層の厚さを限定した。各微地形ごとの平均孔隙率および平均孔隙量の算定においては A₀ 層は考慮しないこととした。崩積土面および匍行土面においては，C層に堅硬な転石が多く採土できない地点があった。

孔隙率についてみると，ほぼすべての調査地点の各土壌層位において土供試体の容積の50%以上が毛管水を保持する細孔隙である。細孔隙中の水分は重力によっては移動せず，蒸発によって移動する。Fig. 9 によると，各孔隙率は一般に下層位ほど小さくなっている。粗大孔隙率および粗孔隙率を微地形区分ごとに比較すると，匍行土面，溪間堆積面，崩積土面および尾根筋緩斜面で大きく，急峻匍行土面および緩斜面で小さい傾向がみられる。

（A+B）層の平均厚さは，基岩地質が安山岩の場合 49 cm（資料数： $n=8$ ，標準偏差： $\sigma_n=13.1$ ），凝灰質堆積岩類の場合 59 cm（ $n=8$ ， $\sigma_n=42.5$ ），および玄武岩質安山岩の場合 79 cm（ $n=6$ ， $\sigma_n=27.0$ ）である。また，A層の平均厚さは，安山岩 13 cm（ $n=8$ ， $\sigma_n=3.9$ ），凝灰質堆積岩 14 cm（ $n=8$ ， $\sigma_n=9.8$ ），玄武岩質安山岩 7 cm（ $n=6$ ， $\sigma_n=1.6$ ）である。

土壌の指標硬度と孔隙率の関係を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。土壌母材の違い，層位の違い等を無視して指標硬度と孔隙率の関係をプロットしているので，かなりのばらつきがみられる。土壌硬

Table 9. Results of soil surveys and tests (Colluvial deposit)

No.	Soil horizon	Color	Thickness (cm)	Porosity (%)				Space of pore (mm)				Gradient (*)
				Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	
4	A ₀		5	—	—	—	—	—	—	—	—	35
	A	Black	10	14.1	15.6	45.9	75.6	14.1	15.6	45.9	75.6	
	B	Blackish brown	70	2.9	8.9	49.5	61.3	20.3	62.3	346.5	429.1	
	C	Grayish brown	(65)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(150)					(34.4)	(77.9)	(392.4)	(504.7)	
18	A ₀		5	25.0	17.8	43.2	86.0	12.5	8.9	21.6	43.0	22
	A	Black	15	2.8	21.5	58.6	82.9	4.2	32.3	87.9	124.4	
	B	Blackish brown	55	9.2	14.0	56.6	79.8	50.6	77.0	311.3	438.9	
	C	Brown	(75)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(150)					(54.8)	(109.3)	(399.2)	(563.3)	
22	A ₀		8	—	—	—	—	—	—	—	—	18
	A	Black	32	6.2	19.3	62.1	87.6	19.8	61.8	198.7	280.3	
	B	Brown	70	5.3	6.6	73.3	85.2	37.1	46.2	513.1	596.4	
	C	Brown	(40)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(150)					(56.9)	(108.0)	(711.8)	(876.7)	
Mean	A ₀			—	—	—	—	—	—	—	—	25
	A			7.7	18.8	55.5	82.0	12.7	36.6	110.8	160.1	
	B			5.8	9.8	59.8	75.4	36.0	61.8	390.3	488.1	
	C			—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total							(48.7)	(98.4)	(501.1)	(648.2)	

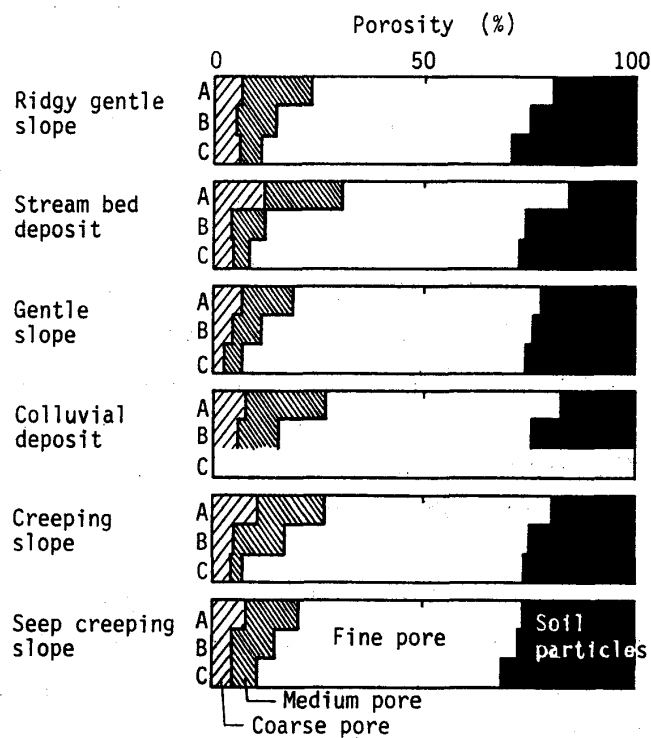


Fig. 9. Mean porosities for each micro-topography and deposit division.

Table 10. Results of soil surveys and tests (Creeping slope)

No.	Soil horizon	Color	Thickness (cm)	Porosity (%)				Space of pore (mm)				Gradient (°)
				Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	
5	A ₀		5	—	—	—	—	—	—	—	—	30
	A	Blackish brown	8	8.3	19.2	48.2	75.7	6.6	15.4	38.6	60.6	
	B	Blackish brown	72	3.1	13.9	56.8	73.8	22.3	100.1	409.0	531.4	
	C	Grayish brown	(65)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(150)					(28.9)	(115.5)	(447.6)	(592.0)	
8	A ₀		1	—	—	—	—	—	—	—	—	35
	A	Blackish brown	8	7.7	12.5	59.6	79.8	6.2	10.0	47.7	63.9	
	B	Brown	20	3.8	5.4	67.2	76.4	7.6	10.8	134.4	152.8	
	C	Reddish brown	(121)	4.2	2.4	66.9	73.5	50.8	29.0	809.5	889.3	
	Total		(150)					64.6	49.8	991.6	1106.0	
10	A ₀		5	—	—	—	—	—	—	—	—	30
	A	Black	8	11.9	22.9	44.7	79.5	9.5	18.3	35.8	63.6	
	B	Blackish brown	58	6.2	15.0	55.9	77.1	36.0	87.0	324.2	447.2	
	C	Brown	(79)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(150)					(45.5)	(105.3)	(360.0)	(510.8)	
14	A ₀		5	—	—	—	—	—	—	—	—	35
	A	Blackish brown	15	21.2	9.8	51.7	82.7	31.8	14.7	77.6	124.1	
	B	Blackish brown	40	4.7	16.2	53.1	74.0	18.8	64.8	212.4	296.0	
	C	Brown	(90)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(150)					(50.6)	(79.5)	(290.0)	(420.1)	
20	A ₀		4	—	—	—	—	—	—	—	—	40
	A	Black	15	4.6	15.6	63.4	83.6	6.9	23.4	95.1	125.4	
	B	Brown	40	7.0	10.5	55.0	72.5	28.0	42.0	220.0	290.0	
	C	Grayish brown	(91)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(150)					(34.9)	(65.4)	(315.1)	(415.4)	
Mean	A ₀			—	—	—	—	—	—	—	—	34
	A			10.7	16.0	53.5	80.2	12.2	16.4	59.0	87.6	
	B			5.0	12.2	57.6	74.8	22.5	60.9	260.0	343.4	
	C			4.2	2.4	66.9	73.5	50.8	29.0	809.5	889.3	
	Total							85.5	106.3	1128.5	1320.3	

度は、土壌の団結力、粘着力、粒度組成、密度、構造、堆積状態、粒子配列の方向性、風化度、含水比など物理化学的性質が相互に関連した結果として測定されるもので⁴⁾、孔隙だけの関数ではない。したがって、指標硬度から孔隙率を推定することは困難である。

Table 12 は、各微地形区分ごとに (A + B + C) 層の平均粗大孔隙量および平均粗孔隙量を示したものである。ただし、崩積土面については C 層の採土ができなかったため (A + B) 層の孔隙量である。流域全体の孔隙量は、各微地形区分ごとの孔隙量にそれぞれの区分面積を乗じて、その和を流域面積で除したものである。粗大孔隙量および粗孔隙量は、匍行土面、尾根筋緩斜面および溪間堆積面で大きく、緩斜面および急峻匍行土面で小さい傾向にある。崩積土面は、C 層の孔隙量が測定されなかったが、大きい部類にはいると思われる。

4. 5 流域の有効貯留量

粗大孔隙量と粗孔隙量の和に流域面積を乗じたものが流域貯留量と考えられるが、貯留量は傾斜や粗大孔隙の性質によって変化するものである。山腹傾斜が急になれば、土中からの排水量が増加し、

Table 11. Results of soil surveys and tests (Steep creeping slope)

No.	Soil horizon	Color	Thickness (cm)	Porosity (%)				Space of pore (mm)				Gradient (°)
				Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	Coarse pore	Medium pore	Fine pore	Total pore	
1	A ₀		1	—	—	—	—	—	—	—	—	40
	A	Black	25	7.6	12.5	51.7	71.8	19.0	31.3	129.3	179.6	
	B	Blackish brown	17	4.4	10.7	59.7	74.8	7.5	18.2	101.5	127.2	
	C	Blackish brown	33	5.7	10.1	54.1	69.9	18.8	33.3	178.5	230.6	
	Total		76					45.3	82.8	409.3	537.4	
2	A ₀		5	—	—	—	—	—	—	—	—	40
	A	Black	5	11.5	10.3	46.9	68.7	5.8	5.2	23.5	34.5	
	B	Blackish brown	60	5.3	17.0	47.3	69.6	31.8	102.0	283.8	417.6	
	C	Blackish brown	(30)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Total		(100)					(37.6)	(107.2)	(307.3)	(452.1)	
11	A ₀		4	—	—	—	—	—	—	—	—	40
	A	Black	8	6.5	17.8	55.9	80.2	5.2	14.2	44.7	64.1	
	B	Brown	30	3.9	8.0	62.9	74.8	11.7	24.0	188.7	224.4	
	C	Grayish brown	(58)	4.8	1.8	59.7	66.3	27.8	10.4	346.3	384.5	
	Total		(100)					44.7	48.6	579.7	673.0	
21	A ₀		5	—	—	—	—	—	—	—	—	42
	A	Black	5	6.4	9.5	57.2	73.1	3.2	4.8	28.6	36.6	
	B	Blackish brown	15	3.9	5.6	61.0	70.5	5.9	8.4	91.5	105.8	
	C	Grayish brown	(75)	2.4	7.0	60.0	69.4	18.0	52.5	450.0	520.5	
	Total		(100)					27.1	65.7	570.1	662.9	
Mean	A ₀			—	—	—	—	—	—	—	—	41
	A			8.0	12.5	52.9	73.4	8.3	13.9	56.5	78.7	
	B			4.4	10.3	57.7	72.4	14.2	38.2	166.4	218.8	
	C			4.3	6.3	57.9	68.5	21.5	32.1	324.9	378.5	
	Total							44.0	84.2	547.8	676.0	

粗大孔隙は地中水の貯留機能としての役割よりもむしろ排水路としての機能を持ち、粗孔隙が貯留機能を持つとすると、林地の有効貯留量は次式で計算される⁵⁾。

$$S_e = P(1 - k \cdot r \cdot \sin \alpha)$$

ここで、 S_e : 有効貯留量 (mm)

P : 粗孔隙量 (mm)

k : 定数 (=0.13)

α : 傾斜度

r : 粗大孔隙率 (%)

$P \cdot k \cdot r \cdot \sin \alpha$ は、降雨後早期に中間流出として排水される量に対応する。

各微地形区分ごとの有効貯留量を Table 13 に示す。(A + B + C) 層の有効貯留量は、尾根筋緩斜面、溪間堆積面、崩積土面、匍行土面、緩斜面、急峻匍行土面の順に小さくなる。ただし、崩積土面においては (A + B) 層の貯留量である。この大小関係は粗孔隙量の微地形区分ごとの大小関係と多少異なる。その原因は上式において貯留機能を持つ粗孔隙の容量を地表面の傾斜で補正したことにある。しかし全体的な傾向では変わりはない。

流域全体としては、粗大孔隙量 18228 m³ (665 m³/ha)、粗孔隙量 24450 m³ (892 m³/ha)、および有効貯留量 16912 m³ (617 m³/ha) となる。九州地方では降水量が多いため、細孔隙はほとんど水に

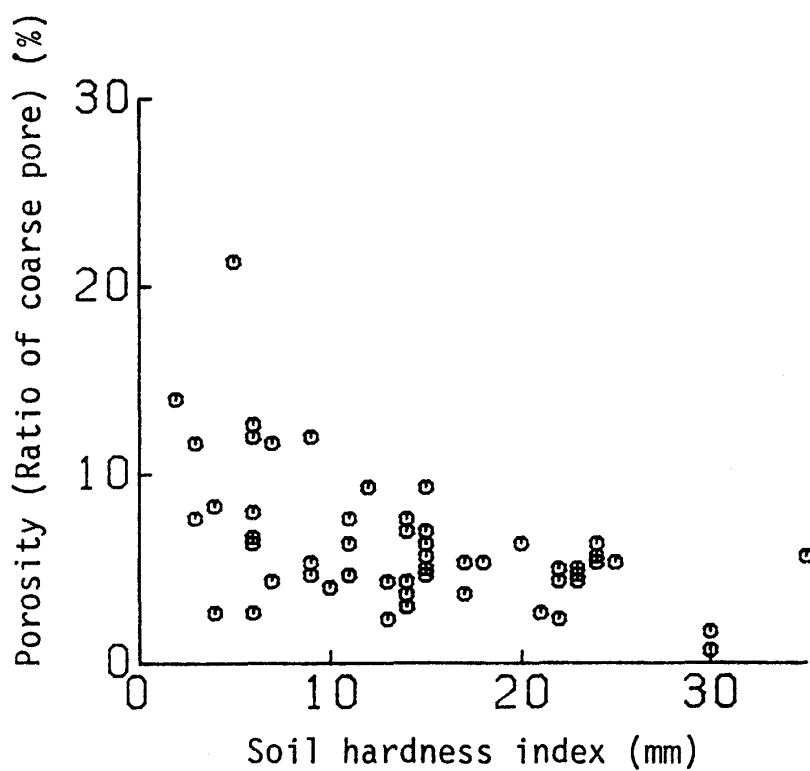


Fig. 10. Relationship between porosity (ratio of coarse pore) and soil hardness index.

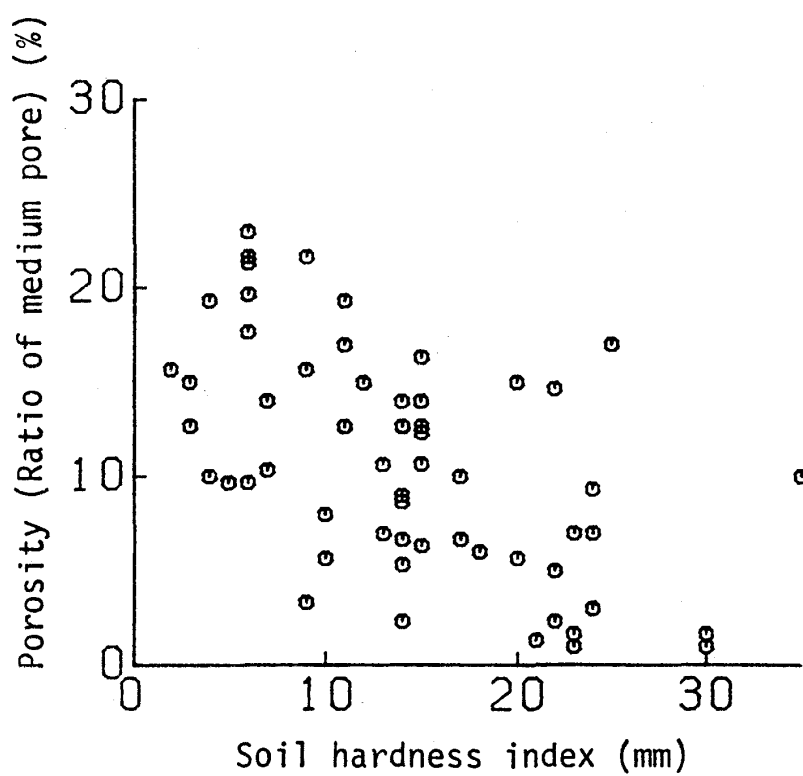


Fig. 11. Relationship between porosity (ratio of medium pore) and soil hardness index.

Table 12. Coarse pore space and medium pore space for each micro-topography and deposit division

Micro-topography and deposit division		Ridgy gentle slope	Stream bed deposit	Gentle slope	Colluvial deposit	Creeping slope	Steep creeping slope	Basin
Area	(ha)	3.29	2.40	6.55	2.30	8.35	4.52	27.41
Coarse pore space	(mm)	81.6	76.1	53.1	(48.7)*	85.5	44.0	66.5
Medium pore space	(mm)	91.5	86.0	67.8	(98.4)	106.3	84.2	89.2
Total	(mm)	173.1	162.1	120.9	(147.1)	191.8	128.2	155.7

* Pore space of A and B-horizons of forest soil without measurement of C-horizon.

Table 13. Effective storage capacity for each micro-topography and deposit division

Micro-topography and deposit division		Ridgy gentle slope	Stream bed deposit	Gentle slope	Colluvial deposit	Creeping slope	Steep creeping slope	Basin
Mean gradient (°)		10	11	17	25	34	41	
Effective storage capacity (mm)	A-horizon	14.3	13.5	9.2	21.1	3.6	4.4	8.7
	B-horizon	20.8	28.4	29.6	42.1	38.8	23.9	31.3
	C-horizon	43.8	30.7	17.9	—	20.1	20.3	21.7
	Total	78.9	72.6	56.7	(63.2)*	62.5	48.6	61.7

* Total of A and B-horizons of forest soil without measurement of C-horizon.

満たされている⁵⁾とすると、この流域では、土壌層によって豪雨時一時的に粗大孔隙量と粗孔隙量の合計 42678 m³ (1557 m³/ha) の雨水が保留可能である。粗孔隙量と有効貯留量の差に粗大孔隙量を加えた 25766 m³ (940 m³/ha) の雨水の一部は、豪雨中および豪雨直後の中間流出となり、残りの部分が地下深層へ浸透し、深層地下水かん養量となる。有効貯留量が森林土壌による保留水量であり、長期の中間流出を構成し、あるいは岩盤貯留地下水（深層地下水）とともに基底流量に寄与すると考えられる。これらは、森林の水源かん養効果の1つの評価となると考えられるが、評価値の妥当性は降雨量と流出量の実測値から今後検討されなければならない。

4. 6 森林の現況

流域の森林の状況を Fig. 12 に示す。流域面積 27.41 ha のうち 95.5 % の 26.18 ha が森林、ほかにはモウソウ竹林、原野草地、農地（水田）、沢敷である。原野草地のうち 0.18 ha は水田跡地である。森林は人工林率が非常に高く、86.1%の面積を占める。天然林は壮齢広葉樹林のみである。人工針葉樹林はスギ、ヒノキであり、人工混交林はスギと広葉樹からなり、人工広葉樹林はアオモジである。

5. 要 約

森林の水土保持機能を解明し、定量的に把握することを目的として、鹿児島市を流れる甲突川上流水源地に森林理水試験区が設定された。今回は、試験流域の地形、地質、土壌および植生調査結果について報告した。以下得られた結果をまとめると次のようである。

1) 試験流域の平面形状はひずんだ扇形をなし、長軸方向約 1000 m、最大幅約 540 m、面積 27.41 ha である (Fig. 2)。流域の地形計測結果が Fig. 2~4 および Table 3 に示される。

2) 流域の地質は、新第三紀ないし第四紀更新世と考えられる玄武岩質安山岩、凝灰質堆積岩類および安山岩より構成される (Fig. 5)。

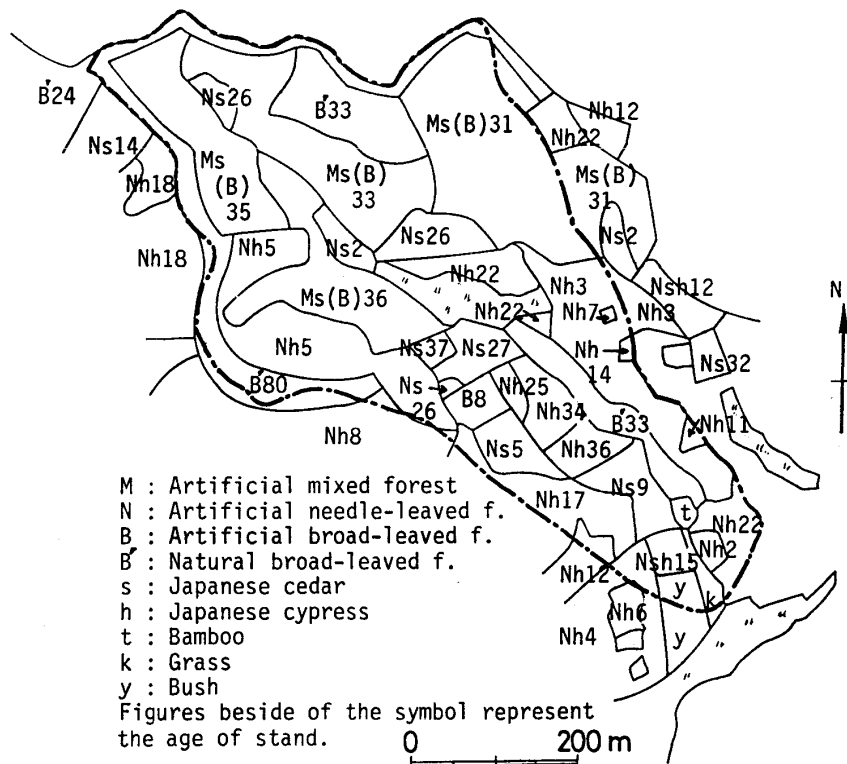


Fig. 12. Conditions of forest

3) 斜面形と堆積様式により、流域を尾根筋緩斜面、緩斜面、溪間堆積面、崩積土面、匍行土面および急峻匍行土面に区分し、微地形分類図を作成した (Fig. 6)。

4) 土壌孔隙は粗大孔隙、粗孔隙および細孔隙に分類され、森林土壌の貯水容量を評価するために、微地形区分ごとの孔隙率および孔隙量の測定が行われた (Table 6~11)。

5) 孔隙率は、一般に下層位ほど小さくなる。平均粗大孔隙率および粗孔隙率を微地形区分ごとに比較すると、匍行土面、溪間堆積面、崩積土面および尾根筋緩斜面で大きく、急峻匍行土面および緩斜面で小さい傾向がみられる (Fig. 9)。

6) 土壌の指標硬度と粗大および粗孔隙率の関係を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。これらの図により、指標硬度から孔隙率を推定することは困難である。

7) 平均粗大孔隙量および粗孔隙量を微地形区分ごとにまとめると Table 12 が得られる。

8) 森林土壌の有効貯留量の推定値を微地形区分ごとに Table 13 に示す。有効貯留量は、尾根筋緩斜面、溪間堆積面、崩積土面、匍行土面、緩斜面、急峻匍行土面の順に小さくなる傾向にある。

9) 流域の森林の現況を Fig. 12 に示す。流域面積のうち 95.5 % を森林が占め、その人工林率は非常に高く、86.1%である。

参 考 文 献

- 1) 鹿児島地学調査研究会：20万分の1 鹿児島県地質図及同説明書。鹿児島県 (1967)。
- 2) 鹿児島県：土地分類基本調査「川内」(1974)。
- 3) 太田良平：川内地域の地質。地質調査所 (1971)。
- 4) 春山元寿：硬度によるシラスの工学的判別分類法。応用地質, Vol. 16, No. 2, 40-47 (1975)。
- 5) 竹下敬司・高木潤治：暖帯林地の水保全環境に関する土壌及び地形的研究。福岡県林業試験場時報, No. 26, 1-51 (1977)。

Summary

Forest and water experimental basin is established in a headwater of the Kotsuki River through Kagoshima-shi, in order to investigate and understand the function on the soil and water conservation of forest quantitatively. In this paper, the environmental conditions of the experimental basin are described. They are summarized as follows:

1) The experimental basin with fan shape is about 1,000 m in length, about 540 m in maximum width and 27.41 ha in area (Fig. 2). The results of topographic analysis are showed in Fig. 2 to 4 and Table 3.

2) The geology is constituted of basaltic andesite, tuffaceous sedimentary rocks and andesite of Neogene and Pleistocene (Fig. 5).

3) According to types of slope and forms of debris deposits, the basin is divided into six different categories: ridgy gentle slope, stream bed deposit, gentle slope, colluvial deposit, creeping slope and steep creeping slope (Fig. 6).

4) Soil pores are classified into three groups: coarse, medium and fine pores. Porosity (%) and pore space (mm) of each micro-topography and deposit division are measured, in order to estimate the storage capacity of forest soil (Table 6 to 11).

5) Porosity generally decreases with the increase in depth from earth surface. The ratio of both the coarse and the medium pores (porosity) of creeping slope, stream bed deposit, colluvial deposit and ridgy gentle slope is apt to be higher than that of steep creeping slope and gentle slope (Fig. 9).

6) The relationships between soil hardness index and ratios of coarse and medium pores (porosities) are showed in Figs. 10 and 11. By using these figures, it is difficult to estimate porosities from soil hardness index.

7) The coarse and medium pore spaces for each micro-topography and deposit division are showed in Fig. 12.

8) The estimated values of effective storage capacity of forest soil for each division are showed in Table 13. They occur in order of decreasing as ridgy gentle slope, stream bed deposit, colluvial deposit, creeping slope, gentle slope and steep creeping slope.

9) Fig. 12 shows the forest conditions of the basin. Forest, which has a very high ratio of artificial forest, 86.1 per cent, occupies 95.5 per cent of the basin area.