HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	土壌水分と流出 : 傾斜草地に関する農業土木的研究(III)
Author(s)	桜田, 純司; 梅田, 安治; 長沢, 徹明
Citation	北海道大学農学部牧場研究報告, 13, 19-32
Issue Date	1988-01-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/48915
Type	departmental bulletin paper
File Information	13_19-32.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大・牧場研究報告　13：19－32（1987）

土壌水分と流出

―傾斜草地に関する農業土木的研究（Ⅲ）―

桜田　純司・梅田　安治・長沢　徹明
（北海道大学農学部農業工学科）

要　　旨

桜田純司・梅田安治・長沢徹明（1987）　土壌水分と流出　北海道大学農学部牧場研究報告　13：19－32

草地造成に伴う流出形態の変化について，スロープライシメーターを用いて，降雨による土壌水分張力の変動と降雨～流出現象について検討した。

林地と草地との土壌の物理性を比較すると，林地は草地のそれに比べて透水係数が大きく，非毛管間隙が大きい。

降雨による土壌水分張力の低下については，林地は草地に比べて下層土までの影響が早い時間に現れ，飽和状態になる時間も早いことが認められた。

降雨終了に伴う土壌水分張力の変化をみると，草地はすみやかに土壌水分張力の回復がみられるが，林地での回復は緩慢である。さらに，無降雨日が続き，蒸発散による水分消費段階になると，林地は水分消費が大きく土壌水分張力が大となる。

降雨～流出関係において，草地の流出率は林地より一般に大きいが，降雨が続くと林地の流出率が大きい場合も認められた。草地は表面流出量が多く，林地は残留流出量が多い。

キーワード：草地造成，土壌水分，水収支，降雨，流出

1．は　じ　め　に

土地利用状況と降雨の流出形態の関係については多くの研究がなされている。筆者らも傾斜地における草地造成に伴う流出形態の変化などについて研究をすすめている[1,2,3,4,5,6]。また，これらを基礎的に解明するため，地表面，土中における水の挙動についても検討をすすめている。

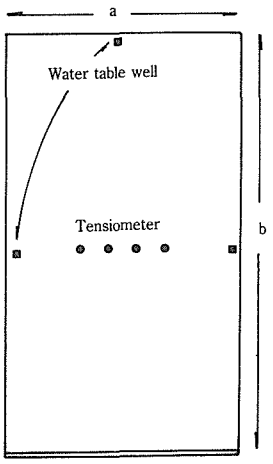
ここでは，スロープライシメータにより降雨に伴う土壌水分の変化挙動と，流出形態，特に残留流出について，草地状態と林地状態とを比較調査することによって検討した。

土壌水分は降雨の土中への浸透状況，排水状況および蒸発散など消費状況から，流出状況の説明因子となるであろう。また，残留流出は土壌の一時的な雨水の貯留性を反映することから，残留流出状況を調査することにより草地と林地との土壌の貯留性の違いを検討することが可能である。

2．調査施設・方法と土壌の水文特性

調査は北海道十勝支庁管内池田町東台地区における自然林地と造成完了後の草地およびFig. 1にその概略図を示した草地と林地のスロープライシメータ2基を用いて行った。その形状は草

地が5.1m×9.4m，林地が5.3m×10.0mである。勾配は草地が約8度，林地が約12度である。このスロープライシメータ末端には表面からの深さ10cmと50cmとに集水板を設け，流出水を捕水するようになっている。また，それぞれのスロープライシメータ内のほぼ中央に表面から10，20，40および60cmの各深さにテンショメータを設置し，土壌水分張力の変化を追跡した。さらに地下水管を各3か所設置し，地下水位の変動も測定した。



	a(m)	b(m)	angle
forest	5.3	10.0	8
grassland	5.1	9.4	12

Fig. 1 Slope lysimeter.

スロープライシメータ内の植生は，草地はマメ科とイネ科の牧草を混播したものであり，牧草播種後4年を経過している。林地はほとんど自然地被状態のままで，灌木等もあり上側半分はミヤコザサがみられるが，下側はほとんどなく雑草が繁茂している。また地表面は一様に枯葉等で覆われている。

スロープライシメータにおける降雨に伴う流出量の調査を行うにあたり，表面流去水および深さ10cmからの流出水を表面流出として取扱った。降雨～流出調査は自然降雨による流出量の測定と散水によるものとの二つの方法で行った。散水はスロープライシメータ内およびその周囲にスプリンクラーを各々2～3基設置して散水分布のばらつきをなくするよう努めた。

自然降雨は週巻転倒マス型雨量計で測定し，散水による降雨はスロープライシメータ内に12個の捕水マスを置き散水開始より1時間毎に散水量を測定し，その算術平均値をその時間での散水量として求めた。総散水量については特に等雨量線図を描き面積雨量を求めたが算術平均値との間にはあまり差はみられなかった。散水中の土壌水分張力の変化と地下水位の変化は1時間ごとに測定したが，散水量の測定とは30分ずらした。

この地区の土壌は腐植質火山灰土で，表土は雌阿寒岳aからなる火山性土壌であり，その代表的な断面をFig. 2に示す。スロープライシメータの土壌の物理性については，おのおの表面，10，

20，30，40cmの各深さの土壌の物理性を求めた。その結果はTable 1に示す。これによると林地表面土壌の間隙率が大きく，また飽和透水係数は草地表面土壌で10^{-5}cm/sと対し，林地表面土壌では10^{-3}cm/sと大きいのが特徴である。

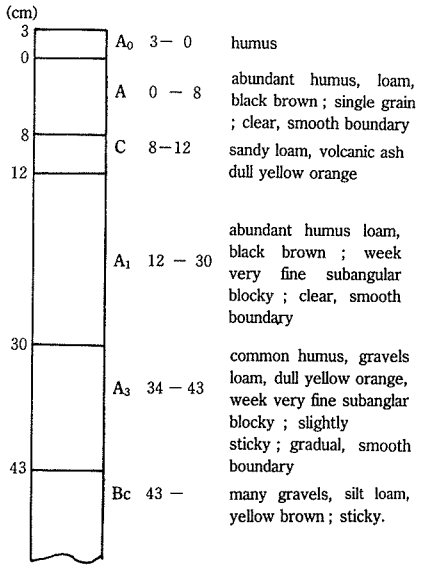


Fig. 2 Soil profile.

特に流出に関係して土壌の間隙についてみるとき，重力排水によって生じる間隙（非毛管間隙）と毛管張力以上の力で保持している水分の占める間隙（毛管間隙）とに分けることができる。この非毛管間隙が降雨時に水分を貯留する間隙となり，中間流出あるいは地下水流出に大きく関係するものと考えられる。

林地・草地の各スロープライシメータ内の試料について土壌水分張力と水分量との関係を求めたものをFig. 3に示す。草地の表面から20cmまでの土壌では，水分張力pF 1.8より小さいところは勾配が急で林地の土壌に比較して移動する水分量が少ないことを示している。

いま毛管間隙と非毛管間隙を分ける指標として，水分張力pF 1.8を採用して土壌間隙を区分した土壌の排水間隙図をFig. 4に示す。全体に対する非毛管間隙の占める割合をみると草地では表面が最も小さく6％，10cmでは8％，20cmでは12％，30cmでは20％，40cmでは25％と深くなるに従って増加するのに対し，林地では20％，26％，16％，18％となっていて，表面から10cmにかけての非毛管間隙が草地より極めて多く，林地の地表部が雨水の一時貯留能力の大きいことがうかがえる。また，このことは林地の透水係数が草地のそれより大きいことなどから，林地土壌は中間流出あるいは地下水流出を発生しやすい状態にあり，一方草地は表面流出を発生しやすい状態にあるといえよう。

Table 1. Phygical properties of soil

station	slope lysimeter (grassland)					slope lysimeter (forest)				
depth (cm)	surface	10	20	30	40	surface	10	20	30	40
specific gravity	2.34	2.29	2.30	2.33	2.34	2.36	2.39	2.43	2.43	2.41
solid phase (%)	28.6	25.8	31.2	23.5	25.7	19.7	27.2	24.0	22.4	24.6
liquid phase (%)	67.5	59.3	49.3	54.8	54.7	55.3	57.8	56.3	55.4	66.3
gaseous phase (%)	3.9	14.9	19.5	21.7	19.6	25.0	15.0	19.7	22.2	9.1
porosity (%)	71.4	74.2	68.8	76.5	74.3	80.3	72.8	76.0	77.6	75.4
cofficient of water conductivity (cm/s)	6.7×10^{-5}	3.5×10^{-4}	7.3×10^{-3}	1.6×10^{-3}	4.6×10^{-3}	6.8×10^{-3}	7.8×10^{-3}	1.0×10^{-4}	4.6×10	4.6×10^{-3}
organic matter content (%)	27.2	12.5	15.6	13.1	11.7	17.8	12.9	9.7	12.3	16.9

station	grassland					forest				
depth (cm)	surface	10	20	30	40	surface	10	20	30	40
specific gravity	—	2.35	2.56	2.58	2.61	—	2.38	2.38	2.46	2.46
solid qhase (%)	—	49.7	47.1	43.0	33.3	—	17.4	22.9	25.0	22.4
liquid phase (%)	—	19.7	40.0	36.0	55.0	—	40.6	53.5	56.6	29.5
gaseous phase (%)	—	30.6	12.9	21.0	11.7	—	42.0	23.6	18.4	48.1
porosity (%)	—	50.3	52.3	57.0	66.7	—	82.6	77.1	75.0	77.6
coefficient of water conductivity (cm/s)	—	5.5×10^{-5}	8.1×10^{-5}	3.4×10^{-4}	1.3×10^{-3}	—	3.8×10^{-2}	1.2×10^{-2}	1.3×10^{-2}	7.8×10^{-3}
organic matter content (%)	—	20.7	19.3	14.5	15.8	—	36.8	23.2	18.8	16.9

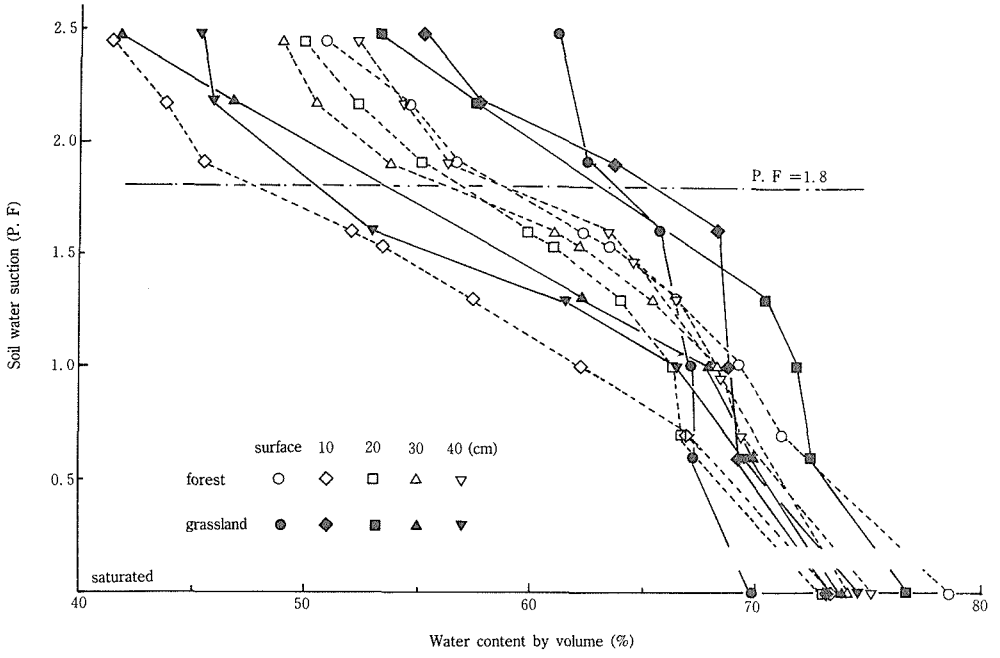


Fig. 3 Relation between soil water and water content.

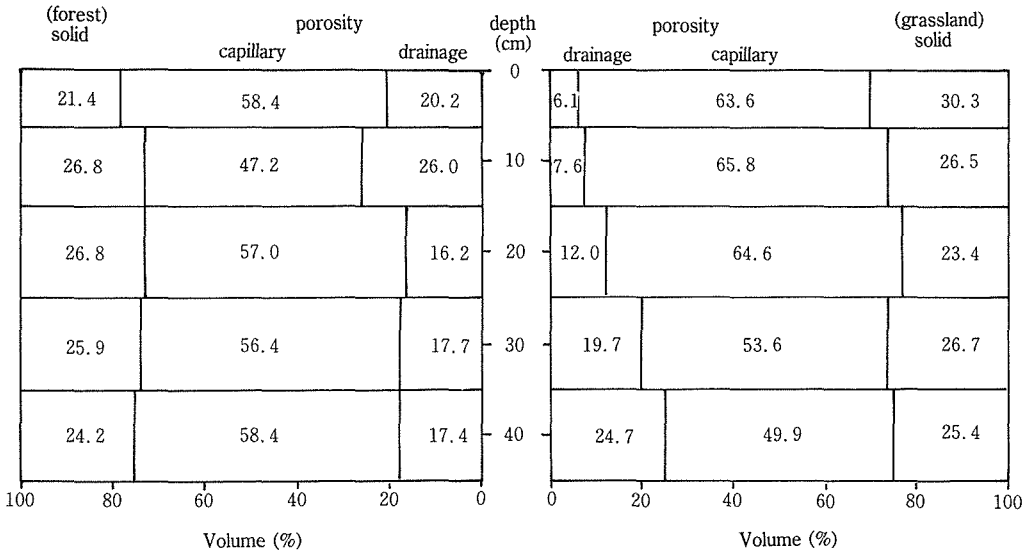


Fig. 4 Distribution of drainage porosity.

3．降雨と土壌水分の変動

スロープライシメータ内に設置したテンショメータを用いて降雨（散水）による土壌水分張力の変化を測定した。林地·草地における散水前から散水終了まで(草地散水量82.2㎜,林地55.9㎜,散水時間3.5時間）およびその後の時間経過に伴う土壌水分の変化の例を Fig. 5 に示した。このとき林地では地下水位が高く深さ60㎝で飽和状態を示している。

林地は散水開始後0.5時間で深さ10㎝の土壌水分張力の低下が著しいが，深さ20㎝ではほとんど変化はみられない。それはササ等の根群域の間隙が関係していると考える。1.5時間では深さ10,40㎝が飽和状態になり，これが散水終了まで続く。

一方，草地は散水開始から0.5時間までは，各深さ10，20，40，60㎝ともほとんど土壌水分張力の変化は認められない。1.5時間で，10，20㎝の土壌水分張力の低下が著しく，特に深さ10㎝は飽和状態に近く，土壌水分がきわめて多くなるが，深さ60㎝ではまだ変化が生じていない。さらに1時間経過すると，深さ10，20，40㎝は飽和状態になっているが，深さ60㎝では若干の土壌水分張力の低下がみれるのみである。深さ60㎝は3.5時間後に初めて飽和状態を示している。

草地と林地とを比較すると散水初期では，林地の深さ10，40㎝の土壌水分張力の低下速度が大きく，浸透性が大きなことがうかがえるが，草地では造成による圧密と根群域のため透水性が小さく降雨による水分張力の低下速度が小さい。

散水終了後の土壌水分張力の変動を各深さごとに追跡すると Fig. 6 にみるように，林地では

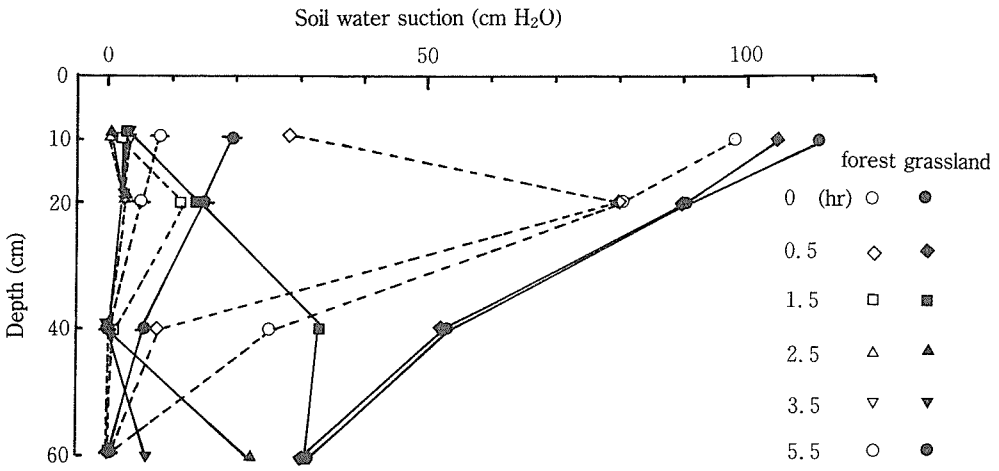


Fig. 5 Decrease in soil water due to rainfall.

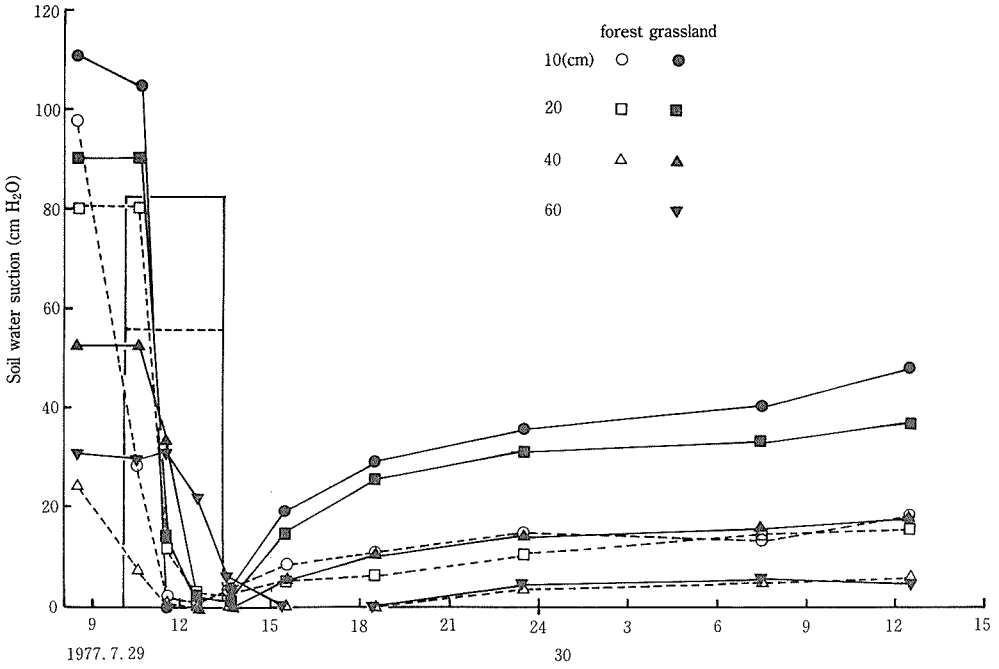


Fig. 6 Restoration of ability of soil to absorb water.

深さ10，20cmでは散水終了より約1時間で回復を開始する。2時間後では深さ10，20cmでわずかに土壌水分張力の回復，すなわち土壌水分の減少への経過がみられるのに対して，深さ40cmでは5時間近くも飽和状態が持続している。

草地では，深さ10cmでは散水終了直後から，深さ20，40cmでは散水終了後1時間経過した後，水分張力の回復を開始する。散水終了後2時間の土壌水分減少量をみると10cm＞20cm＞40cmと上層ほど大きく，排水過程の特徴を示している。

散水終了に伴う土壌水分張力の回復は，林地より草地の方が大きく，草地は早い時期に深さ40cmにも効果が現われるのに対し，林地では回復が小さいうえに，深さ40cmでは長時間飽和状態を維持している等の差異が認められる。草地と林地の特徴的な差として，草地は散水終了後10時間までの回復速度が極めて大きく，その後は回復速度が緩慢となるのに対し，林地の初期回復速度は小さく，その後も同じ勾配で回復していくことがあげられる。回復の著しい草地の深さ10cmでも24時間後の土壌水分張力は50cmH_2O 以下で，まだ重力排水の段階と考えられる。また草地は各深さごとに水分張力が異なるが，林地の深さ10cmと20cmはほとんど差がない。これは林地では，土壌水が排水されずらいこと，およびササや樹木等の根により上層からと同時に下層からも水分が消費されるためと考えられる。

長期間の土壌水分張力の変動については，夏期の降雨量の多少によりその変動が異なる。例えば，1976年は自然林地での土壌水分張力が草地造成区に比べて著しく大きな値を示したが，1977年は草地よりも大きな値を示すことはなかった。このことは，降雨の多い期間は草地の土壌水分張力は林地より大きく，すなわち林地が草地より土壌水分が多いことを示し，一方，降雨が少ない期間は林地の土壌水分張力は草地に比べて極めて大きい値を持ち，林地が草地より水分が少ないことを示している。長期間の土壌水分張力の変動について，その例を Fig. 7 に示す。

これらについては，林地ではミヤコザサが優勢であり，その地下茎は約20cmの深さで平面的に広く分布していて，この地下茎から細い根がさらに下層に延びている。また，灌木等の立木の根はさらに深層まで発達している。これに対して，草地では表面から深さ10～20cmまで牧草の根が密になっているのみである。このため無降雨日数が増すと，林地では林床植物および立木等による全層にわたる水分消費型で，土壌水分の減少は著しくなる。一方，草地では蒸発散による表層部根群域からの上層水分消費型とみられ，全体的にみるならば水分消費は少くなっているのであろう。

この土壌水分張力の変化パターンから，水分消費機構について降雨直後土壌の非毛管間隙からの重力水による排除段階と，次の毛管間隙からの蒸発散による水分消費段階との2つが想定できる。草地では林地よりも重力水の排除段階にすみやかに入り，その後にくる蒸発散による水分消費段階では林地の方が草地に比べて影響が大きいといえる。無降雨日数の大きいときの林地と草地の土壌水分張力変化パターンを Fig. 8 に示す。

このことは散水の影響を受けない自然林地と一般草地との例でも，無降雨日数が10日間続いた

とき，林地では草地より地下水位が高いにもかかわらず，高い土壌水分張力が認められ，すなわち林地の方が草地よりも土壌水分が少なくなり，蒸発散により水の消費量の多いことを示している。

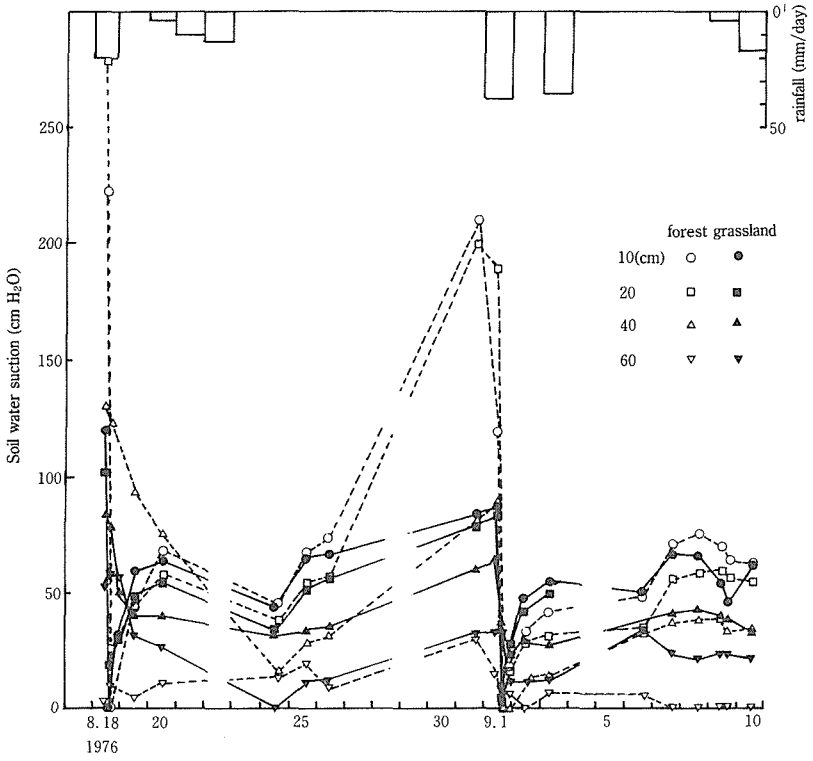


Fig. 7 Fluctuation of soil water for extended period.

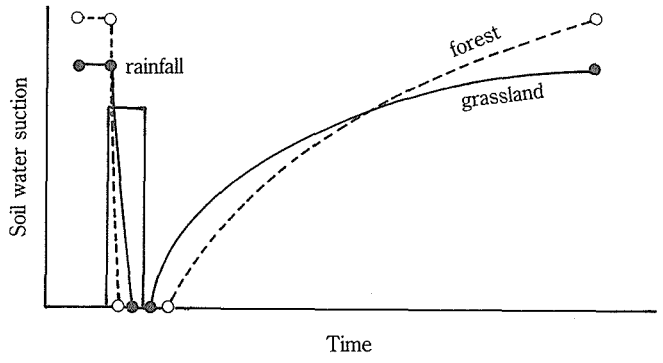


Fig. 8 Fluctuation pattern of soil wather.

4. 降雨と流出

1976, 1977年に試みたスロープライシメータによる自然降雨および散水試験の流出諸元をTable 2に示す。自然降雨は小降雨について，散水は比較的短時間に多降雨量の場合の資料となるであろう。

Table 2. Values of runoff analysis by slope lysimeter.

(forest)

no	date	sprinkling	no rain (day)	rainfoll (mm)	duration (hr)	runoff discharge (mm)	percentage of runoff (%)	storage runoff (mm)
1	1976.10. 5	*	0	29.1	3	1.36	4.7	0.12
2	10. 5	*	20	39.4	4	1.38	3.5	0.11
3	10. 6	*	0	36.0	5	2.11	5.9	0.18
4	10. 6	*	0	15.1	1	0.77	5.1	0.29
5	10. 7	*	0	24.5	2	1.28	5.2	0.27
6	1977. 7.15	*	4	56.9	3	1.08	1.9	0.25
7	7.29	*	6	55.9	3.5	2.66	4.8	0.13
8	7.22		6	6.0	1	0.31	5.1	0.04
9	8. 4		5	16.0	15	1.14	7.1	0.09
10	8. 5		0	4.0	2	0.37	8.1	0.18
11	8. 6		0	13.5	4.5	1.23	9.5	0.13
12	8. 8		1	23.0	21	1.92	8.3	0.22
13	8.10	*	0	74.5	2	5.87	7.9	0.38
14	8.16		5	40.0	25	-	-	-
15	8.24	*	6	57.5	2.5	2.33	4.1	0.27
16	8.28		3	7.0	21	0.52	7.4	0.09
17	9. 3		5	21.0	15	-	-	-
18	9. 7	*	2	40.5	2	3.04	7.5	0.31
19	9. 8		0	21.0	22	2.02	9.6	0.16

(grassland)

no	date	sprinkling	no rain (day)	rainfoll (mm)	duration (hr)	runoff discharge (mm)	percentage of runoff (%)	storage runoff (mm)
1	1976.10. 5	*	0	28.8	3	3.13	10.9	0.08
2	10. 5	*	20	45.3	4	2.31	5.1	0.10
3	10. 6	*	0	42.0	5	4.71	11.2	0.12
4	10. 6	*	0	10.1	1	0.90	8.9	0.11
5	10. 7	*	0	27.4	2	3.86	14.1	0.16
6	1977. 7.15	*	4	43.4	3	4.49	14.3	0.27
7	7.29	*	6	82.2	3.5	7.97	9.7	0.06
8	7.22		6	6.0	1	0.76	12.7	0
9	8. 4		5	16.0	15	1.09	6.8	0
10	8. 5		0	4.0	2	0.35	7.7	0.02
11	8. 6		0	13.5	4.5	-	-	-
12	8. 8		1	23.0	21	1.80	7.8	0.04
13	8.10	*	0	54.1	2	16.04	29.6	0.68
14	8.16		5	40.0	25	-	-	-
15	8.24	*	6	83.1	2.5	7.62	9.2	0.39
16	8.28		3	7.0	21	0.30	4.2	0.01
17	9. 3		5	21.0	15	1.52	6.2	0.01
18	9. 7	*	2	61.3	2	7.25	11.8	0.51
19	9. 8		0	21.0	22	1.78	8.5	0.52

降雨量，平均降雨強度，流出率について，それぞれ自然降雨と散水の場合に分けて検討する。自然降雨の場合，降雨量の範囲は4.0～40.0mm，平均降雨強度1.2mm/ hr，平均流出率は草地7.7%，林地8.3%となっている。散水試験では降雨量の範囲は10.5～83.1mm，平均降雨強度は草地17.1mm/ hr，林地15.3mm/ hr であり，平均流出率は，草地12.2%，林地5.1%である。

このように小さい自然降雨の場合は，草地と林地との流出率に差がなく，いくぶん林地の方が大きい値を示すことが多い。また，これら自然降雨の１～２日前に降雨や，散水を行っていることが度々あった。そのためもあり草地と林地との流出率の差が顕著ではなかったと考える。これに対して，散水，すなわち降雨強度の大きい場合は草地の流出率が林地に比べて著しく大きい値を示している。

降水量と流出量との関係を Fig. 9 に示す。降水量の小さい範囲では両者の間の差はほとんどないが，一般に，表面流出量は草地が林地より大きく，草地は指数関数的な増加を，林地では直線的な増加傾向を示している。

草地と林地との流出率の関係を Fig. 10に示す。多くの場合，流出率は草地が林地より大きい。これはそれぞれ土壌の間隙構造すなわち水分保持量が影響しているであろう。

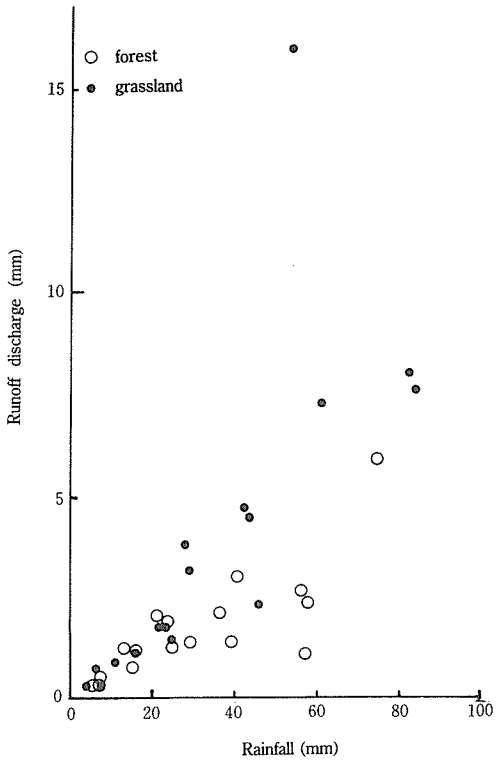


Fig. 9 Relation between rainfall and runoff discharge.

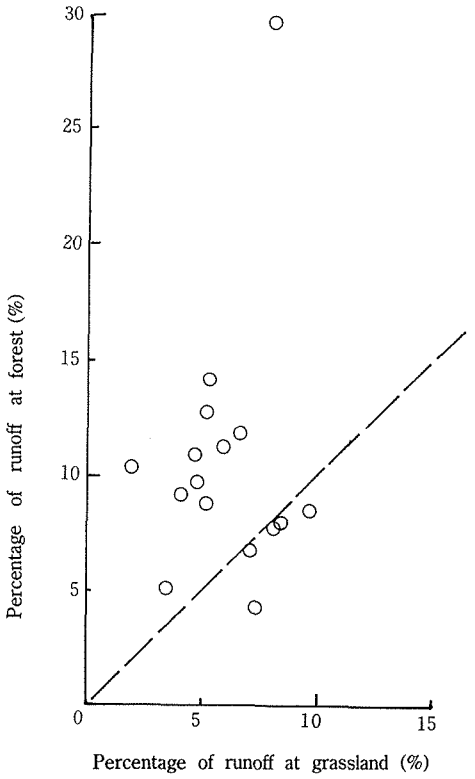


Fig. 10 Relation between percentage of runoff at forest and grassland.

また，散水量と流出量との関係を Fig. 11に示す。林地・草地の単位時間当りの流出量を散水強度の関係について比較するとほぼ同じ傾向を示す。しかし，林地の初期のみが著しく小さい値を示し，林地が散水開始時にはほとんど流出のない様子がわかる。このことは，林地では遮断降水量，土壌の浸入性が大きいことを示している。

降雨および散水終了後の流出に林地と草地とでかなりの差が認められたので，降雨終了後の流出を残留流出[7]として検討することとする。これは降雨終了時に表層に滞留している水量から浸透量を差引いた値とみることができる。

林地の残留流出量は0.04～0.38㎜の範囲にあり，平均0.19㎜，残留流出時間は3～13時間と大きい。一方，草地は0.02～0.69㎜，平均0.15㎜となるがばらつきが大きく，残留流出時間も5時間以下と共に林地に比べて小さい。

いま，降雨量に対する残留流出量をみると草地は1.3%以下で平均0.4%，林地は0.3～4.5%の範囲となり，平均1.0%と林地は草地の2倍の値を示している。また，流出量にしめる残留流出量は，草地は12.0%以下で平均4.0%，林地は6.5～48.7%の範囲で平均15.1%と林地は草地の3

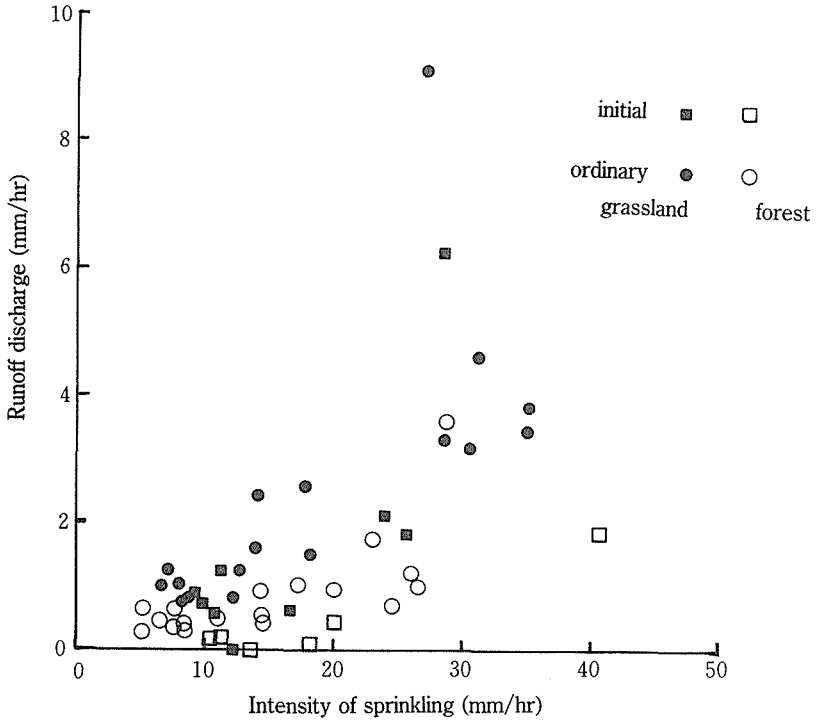


Fig. 11 Relation between intensity of sprinkling and runoff discharge for an hour.

倍以上の値を示している。これらのことは林地の表層は草地に比べて貯留量が大きく降水を徐々に流出させる性質があることを示している。

5．お　わ　り　に

傾斜地における草地造成にともなう流出形態の変化を解明するため，スロープライシメータを用いて土壌水分張力の変動および降雨～流出関係の調査を行った。林地および草地の降雨にともなう土壌水分張力の低下・回復パターンについての知見を得ることができた。また，長期間にわたり無降雨期間が長く降雨量が少ないとき，林地に比べて草地の土壌水分の消費が小さいことが認められた。これは林地の蒸発散量が草地のそれよりも多いためと考えられる。降雨～流出現象においては，草地は林地に比べて大きい流出率を示す。しかし，降雨が連続している場合は林地の流出率が大きくなるなど，傾斜地の土地利用と降雨～流出関係は，降雨条件，土壌水分条件などにより極めて複雑な現象を示した。今後，このようなスロープライシメータなどによる傾斜地の降雨にともなう水の挙動を解明するため各種の調査をすすめるとともに，流域としての流出解析へ，これらの適用を検討することが重要である。

この研究をすすめるにあたり，ご指導・討議いただいた北海道大学農学部片岡隆四教授（現・名誉教授）に厚くお礼申しあげる。また現地調査にあたってご便宜とご協力をいただいた関係機関の各位，土地改良学教室の学生諸君に感謝する。

引 用 文 献

1）片岡隆四，梅田安治・桜田純司，長沢徹明：東台・天塩高台地区における水収支の調査－草地開発の水収支への影響(1)－，農業土木学会北海道支部研究発表会講演要旨集，pp 1～5，(1977)
2）桜田純司，片岡隆四，梅田安治，長沢徹明：伐木の進捗と流出－草地開発の水収支への影響(2)－，農業土木学会北海道支部研究発表会講演要旨集，pp 6～8，(1977)
3）桜田純司，土佐久幸，片岡隆四，梅田安治，長沢徹明：土壌水分と流出－草地表発の水収支への影響(3)－，農業土木学会北海道支部研究発表会講演要旨集，pp 9～10，(1977)
4）片隆四，梅田安治，桜田純司，長沢徹明：草地開発の水収支への影響，北海道開発局（1983）
5）梅田安治，長沢徹明，水谷　環：ササ地の草地化と降雨の浸入－傾斜草地に関する農業土木的研究(Ⅰ)－，北海道大学農学部付属牧場研究報告　12，p 15～32（1985）
6）長沢徹明，梅田安治：山林傾斜地における草地造成と保全－傾斜草地に関する農業土木的研究(Ⅱ)－，北海道大学農学部邦文紀要15．2，pp 159～168（1987）
7）C.O.ウィスラー，E F.ブレーター，五十嵐正次訳：水文学入門，pp 180～183（1973）

Soil Water and Runoff on Forest and Grassland

— Engineering Study on Hillslope Grassland (III) —

Junji SAKURADA, Yasuharu UMEDA and Tetuaki NAGASAWA

Department of Agricultural Engineering,

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

A study of the change in runoff resulting from grassland development on a hillslope was made. We investigated the changes in soil water suction at rainfall; rainfall and runoff phenomina with a slope lysimeter.

1) The physical properties of forest soil showed a large coefficient of water conductivity and drainage porosity than grassland soil.
2) Decreases in soil water suction due to rainfall in forests was found to be more rapid and to lead to saturation sooner than on grassland.
3) Restoration of the ability of soil to absorb water after rain is rapid on grassland, while it is slow in forests. When rain does not fall for extended period and soil water decreases due to evapotranspiration, the ability of forest soils to absorb water increases, showing the large decrease in soil water content.
4) The percentage of runoff resulting from rainfull on grassland is generally higher than from forests.
5) The relation between rainfall and runoff shows that grassland droduces much surface runoff, and that forests have relatively more storage runoff.

key words: Grassland development, Soil water, Water balance, Rainfall, Runoff