

報 文

山地流域における林地の草地化による 土壌と流出の特性変化

渋谷 勤治郎*

Change of soil properties and runoff characteristics
affected by deforestation to grassland in a mountainous area

Kinjiro Shibuya

National Research Institute of Agricultural Engineering

Summary

Change of landuse from forest to grassland somehow affects soil properties and runoff characteristics of a watershed. Hence, in order to evaluate the effects of the change, two sets of study watersheds, major landuse of which was forest and grassland respectively, were set up for comparison in the Kitakami mountainous area; namely the Nawasirozawa and the Yamaya watersheds, and the Sotoyama-daiiti and the Sotoyama-daini watersheds.

Following results were obtained from the research.

- (1) The surface layer of grassland soil was shown to have different porosity from that of forest soil in respect to macropores.
- (2) Based on the measurements at the watersheds, infiltration capacity was evaluated as medium on grassland soil, while it was large on forest soil.
- (3) Regression analysis of direct runoff, lost rainfall and peak discharge vs. rainfall showed that there were statistically significant differences in the regressions between the Sotoyama-daiiti watershed and the Sotoyama-daini watershed. It was proved that these were caused by difference in proportion of grassland and forest in the watersheds.
- (4) Based on the measurements, it was analyzed that baseflow possibly decreased by the conversion in the Nawasirozawa and the Yamaya watersheds, while it remained unchanged in the Sotoyama-daiiti and the Sotoyama-daini watersheds.
- (5) Distribution factors of the unit hydrograph for each watershed were presented. Runoff hydrographs were also presented based on the typical storms on the watersheds.
- (6) Runoff characteristics and their probable changes by the conversion were summarized based on the original soil properties, and the historical, the present and the future landuse.

Keywords : porosity of soil, infiltration, compaction of soil, runoff, conversion of forest to grassland

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69, 39-47, 1994)

I. はじめに

山地流域で林地を草地に開発する場合、林地は一般に土壌が孔隙に富み、雨水流出における保水機能の高いことが認められていることから、土壌の性質や草地の利用・

管理方法によっては、洪水・濁水ポテンシャルの増大により、出水や濁水の規模や頻度に変化が生じ、農地保全や農業水利に支障を来すことが懸念される。北上山地における草地開発は、開発面積が4万ha以上と大きいこ

*農業工学研究所

キーワード：土壌孔隙，浸入能，土壌の踏圧，流出，林地の草地開発

表-1 調査流域の概要
Table 1 Study watersheds

流域名	面積(ha)	主な植生, 調査法	位置	地質	主流勾配	山腹勾配
苗代沢	67.4	森 林 } 牧草, 森林 } 平行流域法	九戸郡大野村	洪積世砂礫ローム	2.9%	17.1%
山谷	50.0		〃	〃	〃	2.9
外山第1	151.2	森 林 } 牧 草 } 平行流域法	岩手郡玉山村	粘板岩, チャート	5.9	19.8
外山第2	182.3		〃	〃	〃	5.4

注) 各流域の標高は, それぞれ苗代沢181~236m, 山谷192~251m, 外山第1 716~924m, 外山第2 635~877mである。

表-2 調査流域の土地利用
Table 2 Landuse of the watersheds

流域名	針葉樹林	広葉樹林	野草地	造成草地	耕地その他	計	草地造成年度
苗代沢	39.85 (59.1)	25.66 (38.1)	1.89 (2.8)	— (—)	— (—)	67.40 (100.0)	—
山谷	14.34 (28.7)	— (—)	— (—)	35.41 (70.8)	0.25 (0.15)	50.00 (100.0)	1970, 1972
外山第1	151.21 (100.0)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	151.21 (100.0)	—
外山第2	— (—)	— (—)	67.63 (37.1)	96.28 (52.8)	18.39 (10.1)	182.30 (100.0)	1969~71

注) ① カッコ内は全面積に対する百分率を示す。

② 牧草地の放牧強度は320~380CD/ha/y, 生草収量は40~43ton/ha/y程度である。

とから, 林地の草地化による土壌の孔隙分布や浸入能の変化とそれらが流出特性に及ぼす影響についての検討が必要と考えられた。このため, 調査流域を設定して実証的な検討を行った。

II. 調査方法及び基礎資料¹⁾²⁾³⁾

1. 調査流域の設定

草地開発予定地及びその近傍に4箇所の調査流域を設けて, 流域内の林地や草地の土壌の特性を調査して, 流出特性との関係を解明することとした。調査手法は, 平行流域法によることとした。この手法は, 土地利用以外の条件が類似している二つ以上の流域の間で, 林地の多い流域における土壌や流出の特性と草地の多い流域におけるそれらの特性とを比較して変化を推定する方法である。

調査流域の概要, 土地利用及び土壌を表-1, 2及び3に示す。なお詳細は文献1)~3)を参照されたい。

2. 土壌及び流出の調査方法

(1) 流域における土壌の物理的性質の計測

流域内の土地利用, 植生等に関して代表と認められる1~4地点で表層30cmの土壌の物理性を計測した。計測方法は, 地点ごとに100ml不攪乱試料を深さ5~10, 15~20, 25~30cmから各2個採取し, 粒度分析, 真比重, 仮比重及びpF・含水率関係の測定を行った。pF・

表-3 調査流域の土壌
Table 3 Soil of the watersheds

流域	山頂	山腹	谷底
苗代沢	小軽米統	雪谷統	和座川統
山谷	〃	中山統	田頭統
外山第1	物見山統	大尺山統	天ヶ森統
外山第2	〃	中山統	上浮島統

注) 厚層黒ボク土壌: 和座川統, 田頭統, 上浮島統
淡色黒ボク土壌: 小軽米統
黒ボク土壌: 上記以外の各統

含水率は, それぞれpF1.0, 1.5は土柱法, pF2.0, 2.5は吸引法, pF3.0, 4.0は遠心法によって測定した。

なお, 山谷及び外山第2の造成草地は, 計測時にそれぞれ造成後1~3年, 2~4年経過していた。

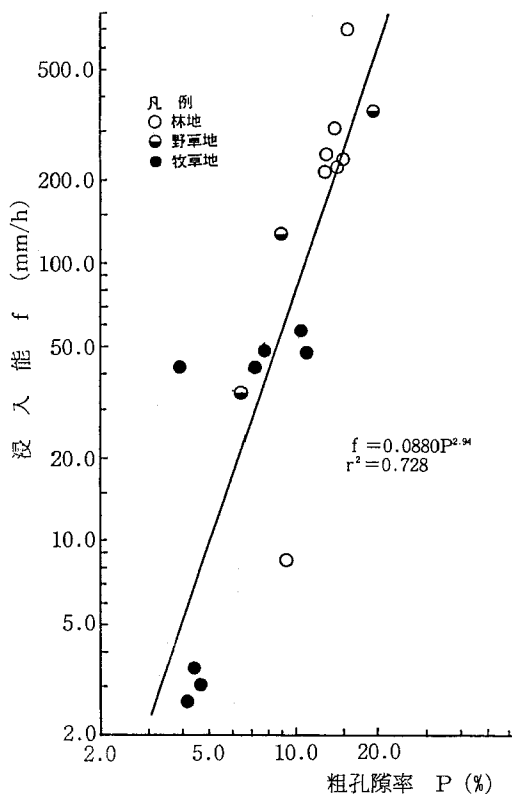
(2) 浸入能の計測

浸入能測定は, 流域内の代表地点で直径30cmの円筒浸入計を用い, 浸入計の打ち込み深さ20cm, 湛水深5cm (傾斜地にあっては最大水深が5cm) の条件で行った。1地点の測定時間は1~1.5時間であり, 浸入レートがほぼ一定になった時の値を浸入能とした。なお, 浸入能と土壌の計測は同一地点で行い, 両者の関係を調べた。

(図-1参照)

(3) 雨量観測及び流量測定

雨量観測は, 初め水位計と一体構造になったφ14cmの秤量型雨量計を用いたが, 立木の影響を避けるために逐次設置場所を自由に選べるφ20cmの転倒樹型に交換した。



注) ①粗孔隙は深さ5~10, 15~20cmのうち小さい値。
②北上地域の他の調査地点のデータを含む。

図-1 粗孔隙率・浸入能関係
Fig. 1 Macropores vs. infiltration capacity

流量測定は、三角堰または四角堰を用いて、堰の越流水深を自記水位計で測定し流量公式により流量に換算した。苗代沢・山谷流域においては高さ80cmの直角三角堰を用い、外山第1・外山第2流域においては切欠幅80cmの四角堰を用いた。流量公式としては、直角三角堰には沼知・黒川・淵沢公式を、四角堰については板谷・手島公式を用いた。なお、流量公式の適用条件から大きく逸脱することのないように、各量水堰の上流には静水池を設け、水路底と堰縁との間隔を10cm以上に保つように適宜堆積土砂の排除に努めた。

3. 調査流域の土壌の孔隙及び浸入能のデータ

調査地点の土壌孔隙データを表-4に示す。土層の排水性は、 $pF0 \sim 1.7$ の孔隙率(粗孔隙率)との関係から4分級に区分して表示した。即ち、粗孔隙率が5%以下は緻密で排水性に乏しく、5~10%は排水性がやや不良、10~15%は排水性が良好、15%以上では排水性が過

大(秀)とした。有効水分量は、 $pF2.5 \sim 4.0$ の孔隙率との関係から、4分級し、7.5%以下で少ない、7.5~12.5%でやや少ない、12.5~17.5%で中位、17.5%以上で多めに区分した。排水性及び有効水分量は表-4に併記した。

調査流域の浸入能測定値を表-5に示す。浸入能は、測定法により計測値が異なるため絶対分級は困難であるが、ここではアメリカ合衆国土壌保全局の分級⁵⁾を参考にして、254mm/h以上を非常に速い、127~254mm/hを速い、63~127mm/hをやや速い、20~63mm/hを中位、5~20mm/hをやや遅い、1~5mm/hを遅い、1mm/h以下を非常に遅いとした。

4. 降雨及び流出データ

降雨及び流出データは個々には示さないが、後述の雨量・直接流出量関係の解析に用いた降雨数は全流域の延べ個数で253降雨、また降雨・ピーク流出関係の解析に用いた降雨数は、106降雨である。直接流出は、量水曲線の低減部における第2折曲点と立ち上がり点とを結ぶ直線で分離した。

III. 林地の草地化による土壌孔隙、浸入能及び流出の特性変化についての分析

1. 土壌の物理性の分析

(1) 土性及び土壌の比重

苗代沢・山谷流域では、砂質ローム、真比重2.16~2.71、仮比重0.462~0.875であり、外山第1・第2流域では、砂質ローム、ローム、シルト質ローム、真比重2.36~2.65、仮比重0.418~0.590である。試料数が同じではないので厳密な比較はできないが、(1)外山第2の土壌が比較的細粒土(L, SiL)であるのに対して、その他の流域は比較的粗粒土(SL)からなる。(2)真比重は牧草地の表層(深さ5~10cm)で小さく、2.19~2.36である。(3)仮比重が0.4~0.5の小さな値は、苗代沢や外山第1の林地の表層・下層及び外山第2の牧草地の中・下層(深さ15~30cm)に見られる。仮比重0.5~0.9の比較的大きな値は、苗代沢・山谷の各層及び外山第2の牧草地の表層に見られる。

(2) 土壌の孔隙分布

全孔隙率で見ると、ほとんどの流域で60~80%であり、差異は少ない。粗孔隙率で見ると、苗代沢・山谷流域では、7.8~27.1%、外山第1・第2流域では、3.9~20.8%である。牧草地の表層(深さ5~10cm)では、山谷で7.8~10.4%、外山第2で3.9~11.0%といった比較的小きな値が見られる。(表-4参照)

表-4 調査流域の土壌の孔隙特性の林地と草地による差異
Table 4 Porosity of the soils of forests and grasslands in the watersheds

流域名	植生	深さ(cm)	土性	仮比重	孔隙率(%)	pF0~1.7(%)	pF2.5~4.0(%)	排水性	有効水分量
苗代沢	アカマツ	5-10	SL	0.462	72.0	27.1	15.8	秀	中
		15-20	〃	0.615	70.7	15.5	9.8	良	やや少
		25-30	〃	0.587	68.2	17.1	11.5	秀	〃
〃	コナラ カシワ	5-10	〃	0.644	67.5	14.3	13.4	良	中
		15-20	〃	0.611	68.0	17.5	13.7	秀	〃
		25-30	〃	0.534	71.3	11.8	6.7	良	少
山谷	牧草(放牧)	5-10	〃	0.638	70.3	10.4	16.5	〃	中
		15-20	〃	0.609	69.4	10.6	9.4	〃	やや少
		25-30	〃	0.566	70.0	13.5	9.2	〃	〃
〃	牧草(兼用)	5-10	〃	0.875	66.9	7.8	15.0	やや不良	中
		15-20	〃	0.785	68.5	8.0	12.8	〃	〃
		25-30	〃	0.662	75.9	11.2	8.7	良	やや少
〃	野草	5-10	〃	0.601	76.6	18.4	12.1	秀	〃
		15-20	〃	0.569	78.8	20.1	10.0	〃	〃
		25-30	〃	0.533	79.9	24.4	7.8	〃	〃
〃	粗林	5-10	〃	0.712	72.0	19.2	12.5	〃	〃
		15-20	〃	0.778	70.8	15.0	10.9	良	〃
		25-30	〃	0.832	71.5	18.7	10.2	秀	〃
外山第1	カラマツ	5-10	SL	0.443	81.0	20.8	16.3	〃	中
		15-20	〃	0.510	76.4	12.9	15.1	良	〃
		25-30	〃	0.418	81.8	11.7	19.1	〃	多
外山第2	牧草(放牧)	5-10	L	0.519	74.1	7.2	25.0	やや不良	〃
		15-20	SL	0.434	78.7	10.0	16.0	良	中
		25-30	〃	0.436	78.6	15.5	13.2	〃	〃
〃	放草(兼用)	5-10	SiL	0.575	75.9	3.9	15.8	不良	〃
		15-20	〃	0.519	81.9	10.7	16.9	良	〃
		25-30	〃	0.496	80.5	13.6	12.5	〃	〃
〃	牧草(兼用)	5-10	〃	0.590	75.4	11.0	18.2	〃	多
		15-20	〃	0.456	80.3	18.6	16.4	秀	中
		25-30	〃	0.480	82.0	16.1	8.8	〃	やや少

表-5 調査流域の浸入能測定値
Table 5 Infiltration capacity

地域名	土地利用	最終浸入能	浸入能の分級	植生	地形	勾配	土色(表層/下層)
苗代沢	松林	682mm/h	非常に速い	アカマツ	山腹上部	14°	10YR 2/1 /10YR 3/3
〃	雑木林	223	速い	コナラ, カシワ	山腹中部	13	10YR 1.7/1 /10YR 2/2
〃	野道	18	やや遅い	ノシバ	野道	平	-
山谷	雑木粗林	234	非常に速い	ハンノキ, コナラ	山腹中部	5	10YR 3/4 /10YR 4/6
〃	野草	349	〃	カヤ, ハギ	山腹上部	12	7.5YR 4/4 /7.5YR 3/2
〃	牧草(放)	57	中位の	オーチャード, ラジノ	〃	15	7.5YR 3/4
〃	〃(兼)	47	〃	〃	〃	14	7.5YR 5/4 /7.5YR 4/6
外山第1	松林	212	速い	アカマツ	山腹下部	8	10YR 2/2 /10YR 3/4
外山第2	牧草(放)	43	中位の	オーチャード, ラジノ	山腹中部	10	10YR 2/2 /10YR 3/4-4/4
〃	〃(兼)	42	〃	〃, チモシー	〃	2	10YR 3/4-2/2 /10YR 4/6
〃	〃(兼)	47	〃	〃	山腹下部	3	10YR 3/4-2/1 /10YR 4/6

2. 浸入特性の分析

苗代沢・山谷流域では、47~682mm/h、外山第1・外山第2流域では、42~212mm/hである。全測定地点11点のうち「速い」又は「非常に速い」は5地点で全体の46%を占める。残り6地点(全体の54%)は「やや遅い」又は「中位」の分級に入る。次に、林地・草地別に

見ると林地では5地点のうち4地点で「速い」又は「非常に速い」である。残る1地点は「やや遅い」であり、林地内の野道における測定値で、踏圧の影響を受けているものと考えられる。一方、牧草地では、5地点とも「中位」の分級に入る。また野草地の1地点は、「非常に速い」であった。

以上を総括すると、林地の浸入能は「非常に速い」ないし「速い」であり、これを草地化すると「中位」に変化すると概観できる。

3. 草地率を考慮した雨量・直接流出量関係

草地率を考慮した雨量・直接流出量*関係（雨量・有効雨量**関係）、又は雨量・損失雨量***関係は、Hewlettらの方法⁹⁾を参考にして(1)及び(2)式に示す回帰式を用いて定式化を行うこととした。この方法により、草地率を含む項の偏回帰係数若しくは回帰定数の値がゼロと統計的に有意差があるか否かに基づき、雨量・有効雨量関係若しくは雨量・損失雨量関係が草地率に依存するか否かを検定できる。なお、損失雨量における上限値の出現など雨量・損失雨量関係が雨量・有効雨量関係とは異なる傾向を示すケースのあることを考慮して、両関係について検討を進めた。

$$\log R_E = b_0 + b_1 T + b_2 \log R + b_3 T \log R \quad \dots\dots(1)$$

$$\log R_L = b_0' + b_1' T + b_2' \log R + b_3' T \log R \quad \dots\dots(2)$$

但し、R：雨量(mm)、R_E：有効雨量(mm)、R_L：損失雨量(mm)、T：草地率（＝草地面積／流域面積）、b₀、b₁、b₂、b₃、b₀'、b₁'、b₂'、b₃'：回帰定数及び偏回帰係数。

解析の対象とした降雨は、残雪、凍結等の影響を除くために、5月中旬から10月下旬までのものとした。実際に解析に用いた降雨数は、流域により56～74である。各調査流域の降雨・流出データを用いて(1)及び(2)式を適用して求めた回帰定数及び偏回帰係数を表-6及び7に示した。なお、重相関係数の有意性の検定は(3)式で、偏回帰係数の有意性の検定は(4)式で行い、表-6及び7に併記した。

$$F = \{(n-4)/3\} \{R^2/(1-R^2)\} \quad \dots\dots(3)$$

$$F > F^3_{n-4}(\alpha)$$

但し、R：重相関係数、F³_{n-4}は自由度(3, n-4)のF分布の上側確率αの値とする。

$$t = b_i / \sigma(b_i) \quad \dots\dots(4)$$

$$t > t(n-4, \alpha/2)$$

但し、t(n-4, α/2)は自由度n-4のt分布の上側確率α/2の値である。σ(b_i)：偏回帰係数b_iの標準誤差、i=1又は2又は3。

表-6及び7によると、草地率に関する偏回帰係数b₁、b₂、b₁'、b₂'について、雨量・直接流出量関係では、外山第1・外山第2の流域対で(1)式におけるb₁が5%有意であり、雨量・損失雨量関係では、同じく外山第1・

表-6 雨量・有効雨量関係式の回帰定数及び偏回帰係数
Table 6 Regression coefficients of rainfall vs. effective rainfall relations

流域名	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	S	R ²
苗代沢谷	-1.7629	0.4887	1.4100**	-0.2766	0.2516	0.7382**
山						
外山第1	-2.2568	0.4950*	1.5842**	-0.1309	0.2450	0.7458**
外山第2						

注) **: 1%有意, *: 5%有意, S: 標準誤差, R²: 重相関係数の2乗

表-7 雨量・損失雨量関係式の回帰定数及び偏回帰係数
Table 7 Regression coefficients of rainfall vs. lost rainfall relations

流域名	b ₀ '	b ₁ '	b ₂ '	b ₃ '	S'	R ² '
苗代沢谷	0.03700	-0.03408	0.9493**	0.01046	0.04020	0.9832**
山						
外山第1	0.04888	0.006644	0.9502**	-0.05940*	0.04706	0.9659**
外山第2						

注) 表-6に同じ

* 雨水が地表を流れて河道に入り流出する表面流出成分、比較的浅い土層内を側方に移動して河道に入り流出する中間流出成分及び河道降水の和。直接流出＝流出－基底流出。

**雨量のうち直接流出になる部分。

***雨量のうち基底流出、地下水貯留量変化、土壌水分補給、蒸発散等に寄与する部分。損失雨量＝雨量－有効雨量。

外山第2の対で(2)式における b_3' が5%有意である。これらは、雨量と直接流出量(有効雨量)又は損失雨量との関係に草地率により有意差があることを示す。偏回帰係数は $b_1 > 0$, $b_3' < 0$ であるから、同じ雨量に対して草地率の増大により有効雨量の増大と損失雨量の減少が起こることを示している。苗代沢・山谷流域については、雨量と有効雨量又は損失雨量との関係に対して、5%有意水準では草地率による有意差を見いだすことはできない。

4. 降雨とピーク流出との関係

降雨とピーク流出との関係を前述に準じて(5)式により定式化する。

$$\log q_p = c_0 + c_1 T + c_2 \log r_p + c_3 T \log r_p + c_4 \log R_s + c_5 T \log R_s \quad \dots\dots(5)$$

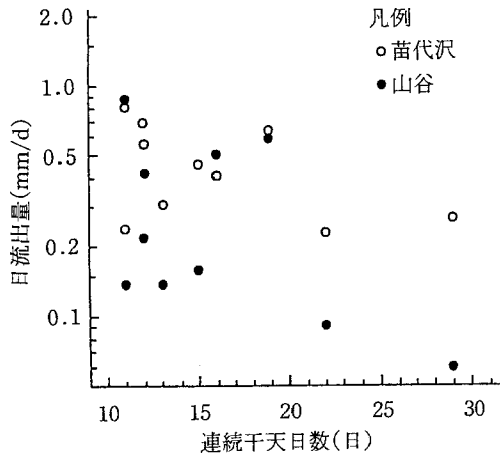


図-2 連続干天日数・日流出量関係 (苗代沢・山谷)
Fig. 2 Dry spell vs. baseflow (Nawasirozawa, Yamaya)

但し、 q_p : ピーク流出(mm/h), r_p : 集中時間*内の平均降雨強度(mm/h), R_s : ピーク発生までの累加雨量(mm), T : 草地率, c_0, c_1, \dots, c_5 : 回帰定数及び偏回帰係数。この回帰定数及び偏回帰係数は、流域面積、土壌など流域特性により異なる値をとる。

有意性の検定は、(3)及び(4)式に準じて行い。但し、重相関係数Rの有意性の検定に用いるF値の自由度は(5, n-6)であり、各偏回帰係数の有意性の検定に用いるt値の自由度は(n-6)である。この解析に用いた降雨は、集中時間内の平均降雨強度 r_p が概ね4 mm/h以上のものであり、各流域の降雨数は、流域により17~36である。降雨・ピーク流出関係の回帰定数及び偏回帰係数を表-8に示す。草地率に関する偏回帰係数は c_1, c_3, c_5 であり、表-8によれば、外山第1・第2の流域対のみ c_3 が10%有意である。

5. 低水流出状況

1972年~1980年にわたり、5月下旬から10月下旬の間の連続干天により出現した湧水流出を干天日数と関連させて図-2及び3に示す。連続干天の定義は、種々考

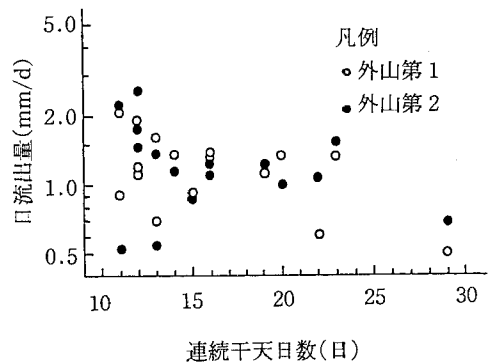


図-3 連続干天日数・日流出量関係 (外山第1・外山第2)
Fig. 3 Dry spell vs. baseflow (Sotoyama-daiiti, Sotoyama-daini)

表-8 降雨・ピーク流出関係式の回帰定数及び偏回帰係数
Table 8 Regression coefficients of rainfall vs. peak discharge relations

流域名	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	S	R^2	集中時間(h)
苗代沢	-1.8645	-0.04679	0.3540	0.7261	0.8344**	-0.2616	0.2142	0.6511**	3.0
山谷									
外山第1	-2.0971	0.3549	0.009671	0.6184*	1.0376**	-0.1964	0.1845	0.8132**	3.0
外山第2									

注) **: 1%有意, *: 5%有意, +: 10%有意, S: 標準誤差, R^2 : 重相関係数の2乗

*流域内の最遠点に降った雨水が流域の最下流部まで到達するのに要する時間。

られるが、ここでは高標高の山地流域を含むことを考慮して、1日3mm以下の雨量を無効とみなし、連続干天は中断されないものとした。ただし、1～3mmの雨量のあった日は干天日に入れないこととした。

このような定義によると、観測期間中に出現した連続干天の中で最も長いものは、1973年6月24日から7月28日までの29日間であり、次いで、1980年9月14日から10月6日までの23日、1973年8月4日から8月27日までの22日間、及び1978年6月24日から7月17日までの20日間などであった。

各流域の低水流出（湧水流出）の特性は次のようにまとめられる。

(1)1972年～1980年中の最小湧水流出は、それぞれ外山第2（0.53mm/d）>外山第1（0.51）>苗代沢（0.24）>山谷（0.06）であった。

(2)苗代沢流域と山谷流域の比較によると、草地の多い山谷流域の湧水流出が小さく、両流域の差異が認められる。外山第1・外山第2流域では、草地率の大小による湧水流出の多寡は明かではない。

6. 流量配分率及びその草地率との関係

雨量・損失雨量回帰式から有効雨量を求め、流量配分率*を最小二乗法⁷⁾により算出し、表-9に示す。単位時間は、集中時間を考慮して0.5hとした。降雨・流出データから算出された配分率の降雨ごとのばらつきに対しては、平均化した値を示した。草地率による配分率の差は、外山第1・外山第2の対では明瞭で、草地率の大きい外山第2で最大配分率も大きい。即ち、0.5h当たりの流量配分率の最大値で見ると次のようになった。外山第2（0.28）>山谷（0.18）>苗代沢（0.17）>外山第1（0.13）

流量配分率のパターンを比較すると、草地率の大きい流域は林地流域に比べて、ピーク配分率が大きく、またその発生が遅れる傾向が認められる。その傾向は外山第1・第2の流域対では顕著であるが、苗代沢・山谷の流域対では顕著ではない。

表-9 流量配分率
Table 9 Distribution factors

流域名	0~0.5(h)	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5以後	基底長(h)
苗代沢	0.01	0.10	0.13	0.17	0.12	0.08	0.07	0.06	0.05	0.21	16.5±4.7
山谷	0.02	0.04	0.06	0.13	0.18	0.16	0.06	0.04	0.03	0.28	22.7±8.1
外山第1	0.04	0.09	0.13	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.44	17.7±7.3
外山第2	0.01	0.03	0.19	0.28	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04	0.10	13.5±3.0

注) 基底長はゼロでない流量配分率を有する時間の長さ、即ち単位有効雨量からの直接流出の継続時間であり、上表には平均値と標準誤差を掲げてある。

*単位時間に単位有効雨量（ここでは0.5hに1mm）が生じた場合の直接流出量の経時的配分率。

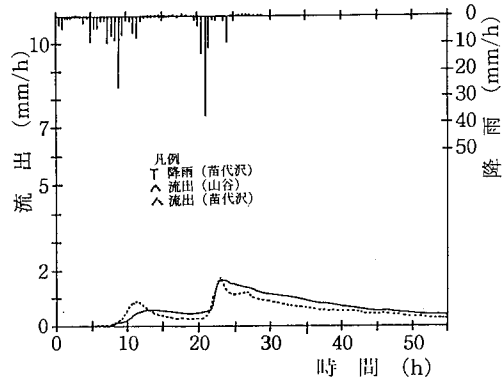


図-4 流出曲線（苗代沢，山谷）
Fig. 4 Hydrograph (Nawasirozawa, Yamaya)

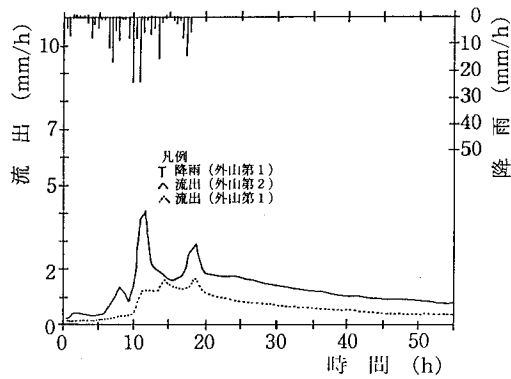


図-5 流出曲線（外山第1，外山第2）
Fig. 5 Hydrograph (Sotoyama-daiiti, Sotoyama-daini)

7. 流出曲線の比較

北上地域の代表的な大雨事例について流出曲線を図-4, 5に掲げる。苗代沢・山谷については、1974年7月22～26日の降雨（両者とも105.2mm）からの流出、外山第1・第2については、1974年7月31日～8月3日の

降雨（それぞれ108, 100mm）からの流出を示す。これらの量水曲線の形状から、流出特性における苗代沢・山谷流域対での類似性及び外山第1・第2流域対での差異が読み取れる。

IV. 林地の草地化による流出の変化についての

総合考察

土壌の物理性や流出の特性についての解析から得られた知見を用いて、林地の草地化による高水流出の変化傾向を総括して表-10に示す。北上山地のように、従前の放牧による踏圧履歴のある野草地や矮林地を草地化する場合においては、過放牧や植生の荒廃を招くような利用・管理を避け、高水流出の増加傾向を抑止する利用・管理を堅持することが必要不可欠である。

林地の草地化による流域特性の変化を土壌の孔隙分布の変化及び浸入能の変化で代表させ、また流出特性の変化を雨量・直接流出関係及び降雨・ピーク流出関係の変化並びに低水流出特性の変化で代表させて表-11示す。土壌等流域の特性と流出の特性との関係については、草地化により粗孔隙率及び浸入能は著しく変化するものの、それらの流出特性への影響は必ずしも鋭敏ではない。北

上地区では、地形的な条件もあって、以前から沢筋に林地をかなり多く存置する草地造成法を適用してきたこと、草地造成は主に山成工法により行われてきたため排水路等の水みちの増加が生じにくかったことなどが、土壌特性の変化が流出特性に及ぼす影響を緩和してきたものと考えられる。また、低水流出に関しては、草地開発・利用における土壌浸入能の低下により地下水補給は減少傾向にあるものの、土工切り盛りの少ない山成工法による地層構造の保存がその特性への影響を小さくしているものと考えられる。ただし、植生・土地利用の変化により蒸発散が変化して低水流出特性に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

これらのメカニズムの検証は、今後の課題と考える。

V. おわりに

北上山地の林地の草地化についての実証的研究により次の成果を得た。

(1)土壌の粗孔隙率は、林地と草地では表層で大いに異なること、また牧草地の利用が進むと全層（0~30cm）で異なる傾向を示すことを明らかにした。

(2)浸入能は、実測によると林地の「速い」から牧草地

表-10 林地の草地化による高水流出変化傾向の分類
Table 10 Probable changes in storm runoff due to conversion of forest to grassland

黒ボク土壌の厚さ	踏圧履歴	土壌の粒度	草地利用による踏圧	林地の流出	草地の流出	流出の変化傾向	備考
厚い	少	粗	少	小	小	小	苗代沢・山谷
厚い	少	粗	多	小	小~やや大	小~やや大	
厚い	少	細	少	小	小~やや大	小~やや大	外山第1・外山第2
厚い	少	細	多	小	大	大	
厚い	多	粗~細	少~多	大	大	小	
薄い	少	粗	少	やや大	やや大	小	
薄い	少	粗	多	やや大	やや大~大	やや大	
薄い	少	細	少	やや大	やや大	小~やや大	
薄い	少	細	多	やや大	大	大	
薄い	多	粗~細	少~多	大	大	小	

表-11 流域特性の変化と流出特性の変化（林地→草地）
Table 11 Probable changes in the characteristics of runoff and watersheds due to conversion of forest to grassland

流域名	粗孔隙率	浸入能	直接流出量	ピーク流出	低水流出
苗代沢	大 → 中~やや小	速い → 中位	やや増える	変わらない	やや減る
山谷					
外山第1	大~ → 中~	速い → 中位	増える	増える	変わらない
外山第2					

の「中位の」への移行が見られた。

(3)粗孔隙率と浸入能の同時測定で得られたデータから両者の回帰式を求めた。浸入能は粗孔隙率の2.94乗に比例することが示された。

(4)雨量・直接流出量関係の統計的解析により、外山第1・外山第2の流域対では草地率の増大に伴って直接流出が増加する傾向が統計的に有意であることが示された。

(5)雨量・損失雨量関係においても、外山第1・外山第2流域対で草地率による統計的有意差が認められた。

(6)降雨・ピーク流出関係において、外山第1・外山第2流域対で草地率による統計的有意差が見いだされた。

(7)草地化による低水流出特性の変化は、苗代沢・山谷流域対で草地率の増大により低水流出が減少する傾向が見みられた。

(8)流出曲線の特性検討のために、最小二乗法を用いて流出配分率を算出し、これを流域ごとに示し、また相互に比較した。

(9)代表的な大雨事例について流出曲線を掲げ、流出特性とその異同を表示した。

(10)流域の特性、履歴、及び利用状況による流出状況及びその変化を類型化して示した。

(11)林地の草地化による流域特性の変化と流出特性の変化について、調査流域ごとに粗孔隙率の変化、浸入能の変化、直接流出量の変化、ピーク流出の変化および低水流出の変化を総括した。これらの検証は今後の課題と考える。

(12)外山第2及び山谷流域は、土壌の孔隙分布や浸入能の測定値に基づいて類似性が確認できれば、当該地域における草地利用の進んだ流域の典型とみなして、林地を草地に開発利用する場合の土壌の孔隙分布、浸入能、流出等の特性の変化方向を推定する場合の基礎資料とすることが出来よう。

謝辞

本研究に関する御指導と助言の労を取られた茨城大学農学部教授岩田進午先生に衷心より感謝の意を表します。また、現地観測にご協力を頂いた東北農政局北上調査事務所の関係者に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 渋谷勤治郎：北上山地における草地造成に伴う降雨流出関係の変化に関する調査報告(1)，農土試技報A10，pp1～23，(1974)
- 2) 渋谷勤治郎：同上(II)，農土試技報A13，pp1～

17，(1976)

3) 渋谷勤治郎：同上(III)，農土試技報149(WM-1)，pp1～25，(1983)

4) Helmut Kohnke：Soil Physics，McGraw-Hill，p78，(1968)

5) Helmut Kohnke：Soil Physics，McGraw-Hill，p30，(1968)

6) Hewlett, J.D. and Helvy, J.D.：Effects of forest clear-felling on the storm hydrograph, Water Resources Res., 6(3), pp768～782, (1970)

7) 渋谷勤治郎：単位図による流出解析，農土試技報F7，pp1～11，(1972)

(受稿年月日 1993年12月7日)