

林地転用の放牧草地と水土保持

森林保全研究班⁽¹⁾

Forest Conservation Research Team : Grazing Grassland Converted
from Forest Land and Soil and Water Conservation

要 旨：林地から転用造成された草地・伐採跡の自然草地および林地における放牧が地表状態、浸透能、水流出および土砂流出に及ぼす影響が岩手、熊本両県下の既設放牧草地および林地を調査地とし、通常の方法で放牧利用されている状態で調査された。またこの調査を補完するため岩手県下に試験地が設定され、試験的に林地を転換して草地とし、傾斜、草地管理および放牧強度を管理して同様の事項について試験が行われた。5か年の研究の結果つぎの主要成果がえられた。(1) 林地転用牧草地では牛の踏圧、草地管理のための自走機械の転圧により、表層土の物理性は変化し、かつ牛道、休息地、水飲場等の裸地が必ず生ずる。裸地の発生は放牧強度とともに地況条件によっても変わる。牛道の裸地は傾斜はば20°以上で発生し、急傾斜地では面積率20~30%に及ぶことがある。(2) 林地転用牧草地では浸透能は低下し、しばしば禁牧林地の1/3~1/4となり、とくに牛道等の裸地で著しい。(3) 林地転用牧草地では禁牧林地に比べて地表流出水量および流出率は大きくなる。草地では無放牧でも禁牧林地より大きい。(4) 流出土砂量も林地転用牧草地では禁牧林地よりも大きい。既設牧場では溪岸部の荒れとここからの流出土砂が一般に著しいこと、草地造成時の強雨による水土流出がとくに大きいことが注目された。しかし林地転用牧草地における水土流出の増加量は地況・気象諸条件によっても左右されるのでいまだ一般的にはいえない。

目 次

1. はじめに	107
2. 既設放牧地における調査	109
A 岩手県地区	109
B 熊本県地区	126
3. 放牧試験地による試験	147
4. 既往の研究結果との対比	167
5. 総 括	168
文 献	170
Summary	172

1. はじめに

肉牛増産のため、山地における林地の放牧人工草地への転換や林内放牧が増加しようとしている。林野庁でも畜産振興への協力と放牧の林木保育効果の検討のため肉用牛生産育成実験事業を昭和42度から実施している。

しかし一方で林地のこのような畜産的利用には水土保持上の問題が懸念されることは諸外国の先例やわが国の戦前における軍馬放牧の実態などから十分考えられる。しかるにこの問題の検討は従来きわめて不

十分であった。このため早急かつ十分な調査研究が強く要請されるようになってきた。そこで林業試験場では研究班を組織し、いわゆる林業試験場プロジェクト研究の1つとして5か年（1971年4月～1976年3月）にわたりこの問題を検討することとなった。

その目的はつぎのように設定された。「山地における成林内および幼齡林内（野草地）放牧，林地から転換された人工草地での放牧による植生，地表および表層土の変化とこれらに伴う土壤浸食および水流出の変化の態様と程度を2，3の代表的地域で植生，土壤，地形，気象，放牧強度の各条件との関連と禁牧林地におけるこれらとの比較で明らかにし，こんご増加が予想される林畜共用林の選定，林地の放牧草地への転換，既成山地放牧地における水土保持対策の計画立案等に際しての基礎資料を得る。」

代表的地域として岩手県，熊本県地区を選び，主要な自然条件および放牧条件からみて代表的な既成牧場，すなわち林地から転換造成された放牧人工草地，放牧自然草地および林内放牧地に調査地を選び，さらに周辺の禁牧林地にも調査地を設定して，上記目的に添う調査を行った。さらにこれら調査を補完するため岩手県下の国有林に試験地を設定し，放牧強度，地形，草地管理などの主要条件をコントロールした比較試験もあわせて行った。上記調査では調査条件に不規則な変動がおり，検討に不十分な面が生ずるので，これを補うためである。

研究はつぎの体制で行った。

本場防災部	(主査)	中野秀章	
		難波宣士(副査)	秋谷孝一，故森沢万佐男
		故杉山利治，近嵐弘栄，竹内信治	
本場経営部		井上楊一郎	
東北支場経営部		村井宏(副査)	岩崎勇作，北田健二
		北田正憲，片岡健次郎	
		神長每夫，川崎金治，小川澄，高橋辰五郎	
九州支場育林部		河野良治(副査)	竹下幸，志水俊夫
		黒木重郎	

本場研究員は支場副査と協力して研究設計にあたり，支場研究員が調査，試験の実行を担当し，本場研究員が一部これに協力した。なお，とりまとめと執筆は本文のように分担し，中野が全体の調整にあたった。

なおこの研究には青森営林局造林課，同局姫神肉用牛生産育成実験牧場，岩手営林署，岩手県肉牛生産公社，大野牧場，住田第2牧場，室根高原牧場，岩手県畜産試験場，同外山分場，熊本県小国町役場，同町農業協同組合，三共牧場の関係者各位に多大のご援助をいただいた。ここに記して深く感謝する。

2. 既設放牧地における調査

A 岩手県地区

村井 宏, 岩崎勇作, 北田健二, 北田正憲, 片岡健次郎
 神長毎夫, 川崎金治, 小川 澄

1) 調査の方法

(1) 調査地

岩手県下の北上山地内に以下述べる6か所の既設放牧地を調査地として選定した。

これらのおおよその位置を Fig. 1 に示す。

各調査地の概要をつぎに述べる。

a. 姫神調査地

調査地は青森営林局姫神肉用牛生産育成実験牧場で、岩手県岩手郡玉山村地内にある。

ここはカラマツ幼齢造林地を対象に昭和44年度に開設された混牧林試験地であって、姫神岳(1,125 m)の東北面中腹部に位置し、標高600~1,000 mの範囲であるが、その上部斜面を除き大部分は緩斜地である。気象条件について述べると、平均気温は7.3°C、最高気温の平均10.8°C、最低気温の平均2.0°C、年降水量1,363 mm、

最深積雪は1.2 mである。全面積は約1,000 haで、このうちおおよそ半分の地域で夏期間(5~11月)に約160頭の肉用牛(日本短角種)を1群約50頭として適度の輪換放牧が行われている。樹林地の樹種はカラマツが大部分であるが一部に残存林分として広葉樹天然林がある。基岩は花崗岩であるが、表層には火山灰をかぶっており、土壌は黒色土(B_{1b}型)で代表される。本調査地ではこの中の特定牧区とその中に設定された禁牧区域を対象地として放牧による林地の裸地発生状況、地表の浸食深、植生・地被物の変化や土壌物理性に与えた影響を調べた。近年林内への放牧によって植栽木に対する若干の傷害や溪流周辺の崩れや豪雨時の流出土砂がいくらか目につくようになってきている。

b. 小石川調査地

調査地は岩手県畜産試験場小石川放牧試験地で、岩手県岩手郡玉山村岩洞地内にある。

ここは明治9年に県営牧野として開牧され、以後宮内省御料牧場、農林省種畜牧場等の変遷を経て現在に至っている。戦前火入れの慣行があったが戦後は中止され、また薪炭材としての広葉樹の需要激減にともない放置されたため、ナラ類を主体とする広葉樹天然林に移行したが、以後これを伐採して人工草地としている。気象条件について述べると平均気温6.4°C、最高気温の平均11.0°C、最低気温の平均2.0°C、年降水量1,349 mm、最深積雪1.0 mでいわゆる少雪寒冷地帯である。標高は700~1,000 mで、地形は

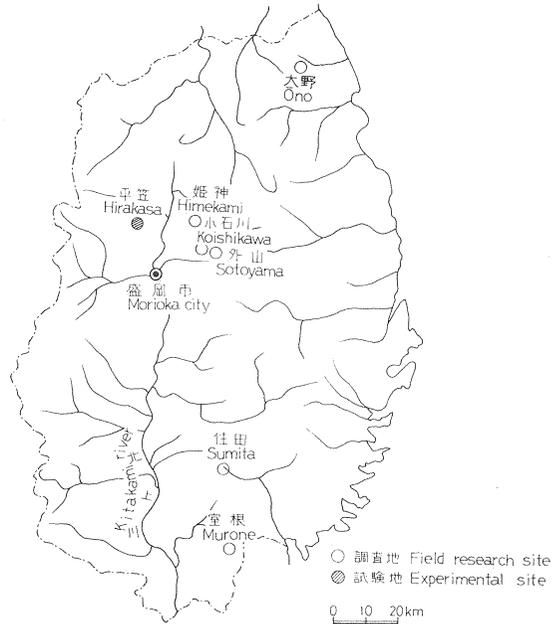


Fig. 1 岩手県地区の調査地と試験地
 Location of the field research site and experimental site in Iwate district.

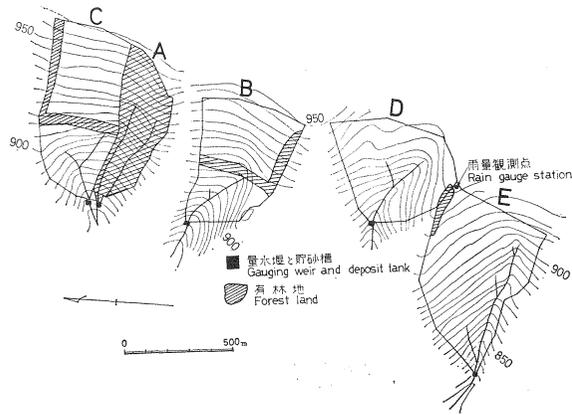


Fig. 2 小石川調査地の5調査流域
Five research basins in Koishikawa
research site.

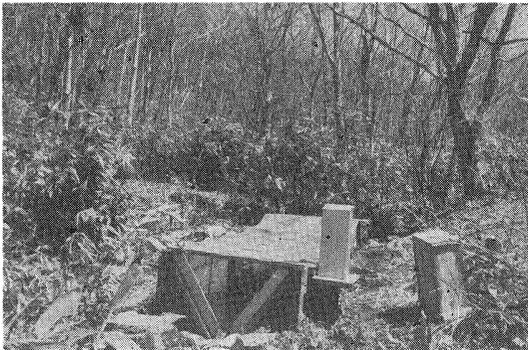


Photo. 1 小石川調査地の禁牧有林地流域
(A区)
Non-grazing forest basin
(Koishikawa).

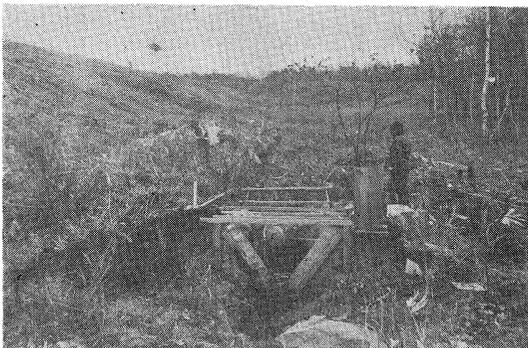


Photo. 2 小石川調査地の放牧皆伐跡地
(E区)
Grazing clear cut area
(Koishikawa).

老年期のそれで、なだらかな斜面が多い。近年沢沿いに浸食が目につくようになってきた。地質は古生層で、基岩は硅岩およびチャートであるが、表層は火山灰でおおわれ、土壌は黒色土（B/b(d)型）で代表される。既往の放牧記録は不詳であるが、昭和50年度より約60頭を1群とする肉用牛（日本短角種）の放牧を夏期間（5～11月）実施している。当該地域の最上流部に Fig. 2 のように禁牧区を含む5区の小調査流域（Photo. 1, 2）を設定し、流域単位に放牧による水や土砂の流出状況、裸地の発生状態などを調べた。

c. 外山調査地

調査地は岩手畜産試験場外山放牧試験地で、岩手県岩手郡玉山村外山にある。

ここはナラ類を主とする広葉樹天然林とアカマツ疎林であったが、昭和39～40年にかなりの面積にわたり耕起法により人工草地を造成し、以後肉用牛（日本短角種および黒毛和種）を放牧してきたところである。放牧は1群50～60頭を基準に年6回程度輪換方式により放牧されてきた。気象条件（観測地点：藪川）についてみると、平均気温6°C、最高気温の平均11.5°C、最低気温の平均0.6°C、年降水量1,510mm、最深積雪0.5mで、小石川調査地と同様に北上山地の典型的な少雪寒冷地である。標高500～750mで、地形は15°前後のゆるやかな斜面が連続しており、地質は古生層で粘板岩やチャートを基岩とするが、火山灰が厚く堆積しており、土壌型は黒色土（B/b(d)型）で代表される。この調査地は林地を人工草地に大規模に転換したことにより関連する溪流の流況が変化したといわれるところである。ここでは周辺の林地を対象にして放牧人工草地や自然草地などと比較しながら浸透能や土壌物理性を調べた。

d. 室根調査地

調査地は大東町、千厩町、室根村共同事業室根高原牧場で、岩手県東磐井郡室根村にある。

ここは室根山（895m）の北東山腹の標高460～730mの地域にあるが、昭和20年ごろまで森林・原野が馬の採草・放牧地として利用されてきた。気象条件（観測地点：千厩）について述べると平均気温11.2°C、最高気温の平均16.4°C、最低気温の平均5.6°C、年降水量1,099mm、最深積雪0.4mで他の調査地に比べて比較的温暖なところである。昭和43年度から、傾斜15°以下の緩斜地を耕起方式により、また15°～20°の場所は蹄耕法により人工草地を造成している。地質は花崗岩類で土壌はその風化堆積物であって黒色土（B/b(d)型）で代表され、受食性が比較的高い。ここでは夏期間（5～11月）に700頭、周年に200頭の乳牛を周辺地区の農家から預託されて放牧している。森林・原野から人工草地に転換した当初、豪雨によって浸食を受け多量の土砂流出を起こした経緯がある。

本調査地においても外山調査地と同様に周辺の禁牧林地を対象として放牧人工草地や放牧自然草地と比較しながら浸透能や土壌の物理性を調査した。

e. 大野調査地

調査地は岩手県肉牛生産公社大野牧場で、岩手県九戸郡大野村大野にある。

ここはアカマツ・コナラ・カシワなどの天然林やそれらの山火事跡地（昭和44年5月被災）を大面積にわたって機械耕起や蹄耕法によって人工草地化し、放牧ならびに採草を行っているところである。気象条件について述べると平均気温は9.3°C、年降水量1,046mm、最深積雪0.3mの少雪寒冷地である。標高は160～250mで低く、傾斜は15°前後のゆるやかな波状台地を形成している。基岩は花崗岩類で、土壌はその風化物から成り、褐色森林土（Bb(d)型）で代表される。昭和46年度から190haの草地を対象に約340頭の肉用牛（日本短角種）を夏期間（5～11月）放牧している。本調査地では外山調査地と

ほぼ同様な内容の調査を実施した。

f. 住田調査地

調査地は岩手県肉牛生産公社住田第 2 牧場で、岩手県気仙郡住田町世田米にある。

ここはナラ類を主とする広葉樹天然林を伐採し、主として耕起法によって人工草地化し、放牧ならびに採草を行っているところである (Photo. 3~5)。気象条件について述べると平均気温 9.2°C、年降水量 1,170 mm、最深積雪 1.0 m である。標高は 560~730 m で、傾斜 20° 前後の波状丘陵地である。基岩は古生層に属する輝緑凝灰岩および粘板岩であり、表層には火山灰が厚く堆積し、土壌は黒色土 (B_{fb} 型) で代表される。昭和 48 年度から 120 ha の人工草地を対象に約 120 頭の肉用牛 (黒毛和種) を夏期間 (5~11月) 放牧している。本調査地においても室根調査地とほぼ同様な内容の調査を実施したが、特に比較



Photo. 3 放牧人工草地内の雨裂 (住田)
Gully and rill erosion on grazing tame grassland (Sumita).

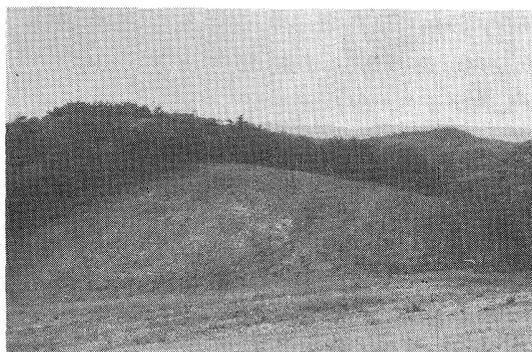


Photo. 4 天然広葉樹林を皆伐して造成された耕起人工草地 (住田)
Cultivated grassland developed after the clearing of natural broad leaved forest (Sumita).

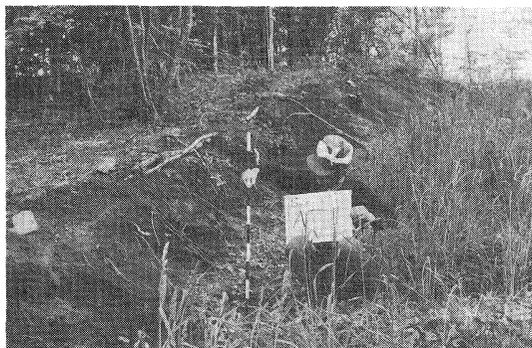


Photo. 5 林地を草地に転換するための抜根によって約 60 cm の地表低下が起こった (住田)
Ground sinking occurred at a depth of about 60 cm owing to the removal of stump with the development of grassland after the forest clearing (Sumita).

Table 1. 各調査地の土地条件 (岩手県地区)
Land conditions of research site (Iwate district)

調査地 Research site	地 目 Land category	調査区 Re- search plot No.	高 度 Eleva- tion (m)	傾 斜 Gradi- ent (°)	地 質 Geology	土 壌 型 Soil type	植 被 Vegetal cover	既 往 の 土 地 利 用 Land use in the past	
大 野 Ōno	広葉樹林地 Broad leaved forest land	1	200	15	第 4 紀 Quaternary	B _h (d)	ミズナラ <i>Quercus crispula</i>	長期間薪炭林 Coppice forest over a long term	
	耕起造成草地 Cultivated grassland	2		16			オーチャードグラス Orchard grass	造成後 2 年 Two years after the establishment	
	蹄耕法造成草地 Hoof cultivated grassland	3		15			火山灰 Volcanic ashes	"	"
	不耕起造成草地 Uncultivated grassland	4		15			"	"	"
	耕起裸地 Bare fallow	5		15			"	"	造成直後 Just after the establishment
外 山 Sotoyama	広葉樹林地 Broad leaved forest land	6	750	13	古 生 代 Paleozoic Strata	B _h (d)	ミズナラ <i>Quercus crispula</i>	長期間軽度放牧 Light grazing over a long term	
	自然草地 Native grassland	7		22			シスバ <i>Zoysia japonica</i>	"	
	耕起造成草地 Cultivated grassland	8		22			オーチャードグラス Orchard grass	造成後 2 年 Two years after the establishment	
	蹄耕法造成草地 Hoof cultivated grassland	9		20			粘板岩 Clay slate	"	"
室 根 Murone	針葉樹林地 Coniferous forest land	10	580	19	花 崗 岩 Granite	B _h (d)	アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	長期間用材林 Saw-timber forest over a long term	
	自然草地 Native grassland	11		22			ススキ <i>Miscanthus sinensis</i>	長期間軽度放牧 Light grazing over a long term	
	耕起造成草地 Cultivated grassland	12		20			オーチャードグラス Orchard grass	造成後 2 年 Two years after the establishment	
住 田 Sumita	広葉樹林地 Broad leaved forest land	13	720	21	古 生 層 Paleozoic strata	B _h (d)	ミズナラ <i>Quercus crispula</i>	長期間用材林 Saw-timber forest over a long term	
	皆伐跡地 Clear cut area	14		15			オーチャードグラス Orchard grass	伐採直後 Just after clear cutting	
	耕起造成草地 Cultivated grassland	15		19			"	造成後 2 年 Two years after the establishment	
	蹄耕法造成草地 Hoof cultivated grassland	16		20			"	造成後 3 年 Three years after the establishment	

のため林地のほか皆伐跡地（トラクタ集材による地表の攪乱が激しい）も加えて実施した。

(2) 調査区

各調査地においては、その調査目的から地被別、または放牧状態別に 3～5 区の調査区を設定した。これらの各区は放牧前ないし草地造成前における自然立地条件に顕著な差異のなかったものであるように選択されている。Table 1 に各調査地内に設定した調査区別の地被および地文諸条件を示した。

(3) 測定方法

姫神および小石川調査地では放牧地内の裸地発生状況を調べたが、線状法および面状法によって行った。前者は傾斜に沿って数本の線を定め、2 m ごとに区分してこの線にかかる裸地の長さを測定する方法である。小石川調査地で実施した各調査小流域からの水および土砂の流出量は Fig. 3 に示したような量水堰を設置し、簡易自記水位計（ウイジン工業社製 LS-30型、月巻）を用いて観測した。

姫神・室根・大野・住田の各調査地で浸透能を測定したが、この測器は平笠試験地（後述）で用いたと同じ林試東北型浸透計（Photo. 6, 7）のほかロッキーマウンテン型浸透計（Photo. 8）、マスグレーブ型

円筒浸透計²⁾などを用いた。散水式の場合には降雨強度を 20～150 mm/hr の範囲に変化させて実験を行っている。現地における土壌硬度の測定は山中式硬度計²⁾を用い、土壌の物理性は 400 cc の採土円筒で採取した試料を実験室に持ち帰り分析している。地床植生や落葉地被物などは各調査区内に 1 m × 1 m の方形区をおおむね系統的に設定し、被度は目測により、重量は現地で総量を秤量し、その一部を持ち帰って乾燥（48 時間、80 °C）し、絶乾重として換算した。

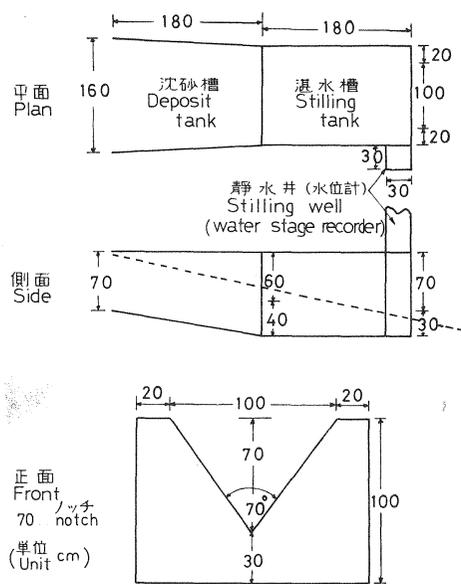


Fig. 3 量水堰 (小石川)
Gauging weir (Koishikawa).

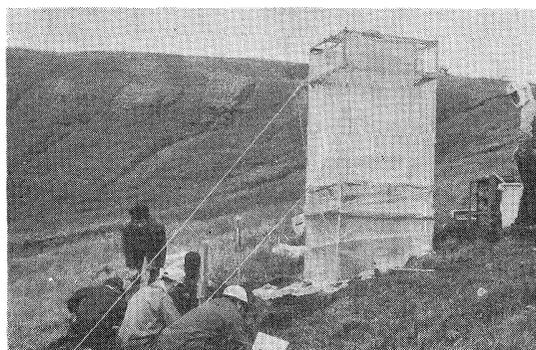


Photo. 6 住田調査地における林試東北型浸透計による浸透能調査
Infiltration test F. E. S. type infiltrimeter (Sumita).

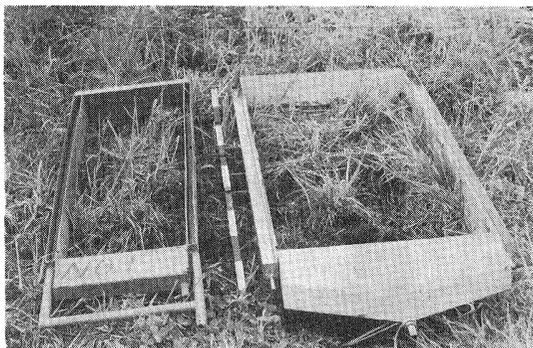


Photo. 7 浸透計のプロットわく
左：ロッキーマウンテン型，
右：林試東北型。
Plot frames of R. M.
(left) and F. E. S. infiltra-
meters (right).

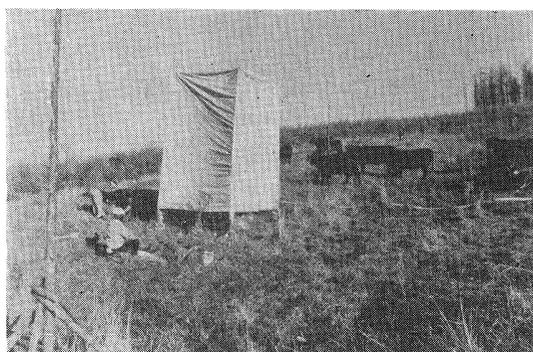


Photo. 8 姫神調査地におけるロッキーマ
ウンテン型浸透計による浸透能調
査
Infiltration test with Rocky
Mountain type infiltrator
(Himekami).

2) 調査の結果

(1) 放牧林地と禁牧林地の比較

(i) 地表保護物の差異

森林の水土保全機能は落葉・地床植物などの地表保護におうところが大きい。Table 2 は姫神調査地（IV牧区）で、3年間放牧した後の地表保護物の状況を禁牧林区と比較しながら示した結果である。この牧区は面積約 31 ha で牧区内に 10 m × 10 m，または 10 m × 20 m の方形の禁牧林区がいくつか設置されている。この牧区には年間一定期間輪換方式により 1 群約 50 頭の牛が放牧されているが、調査結果によると放牧林区は禁牧林区に比べて地表保護物の減少傾向がみられる。とくに放牧林区内に局部的に分布する牛のたまり場（休息地）では落葉地被物量は禁牧林区の 1/3 以下となっている。

放牧によって造林地内の草本類や雑木類の地床植生が衰退することは、それを家畜の飼料としている以上当然のことであり、一方植栽木の保育上は望ましいことであり、育林作業の省力化をはかる混牧林施業のねらいでもある。しかし落葉地被物まで消失させることは土地保全上望ましくない。さきに村井ら³⁾が報告したように平笠混牧林試験地における調査結果でも、カラマツ幼齡林で 4 年間放牧したところ落葉地被物量は禁牧林区を 100 とした場合、軽度放牧林区 70%，重度放牧林区 50%，休息地 30% であった。

(ii) 裸地の発生状況

姫神調査地の XII 牧区において、放牧林区における裸地の発生状況を調査した。この牧区の放牧条件は前記の IV 牧区とはほぼ同様であるが放牧期間は 2 か年である。牧区のほぼ中央部を線状法によって調べた結果が Fig. 4 に示されている。ただし禁牧林区は調査線にそって帯状に設定されていないので、放牧林区

Table 2. 姫神調査地の地被状態
Vegetal cover condition in Himekami research site

地被状態 Vegetal cover condition	禁牧林地 Non-grazing forest land	放牧林地 Grazing forest land	休息地 Bed ground
植被率 (%) Percentage of vegetal cover (%)	100	92	72
植物量 (気乾重) (g/m ²) Air dry weight of vegetation (g/m ²)	169	88	82
植物遺体被覆率 (%) Percentage of litter cover (%)	100	88	75
植物遺体量 (気乾重) (g/m ²) Air dry weight of litter (g/m ²)	1,173	630	362
植物遺体堆積の平均厚さ (cm) Mean thickness of litter (cm)	3.9	1.9	1.2
全地被被覆率 (植物および遺体) (%) Percentage of total cover (%)	100	97	93
全地被量 (植物および遺体気乾重) (g/m ²) Air dry weight of total cover (g/m ²)	1,342	718	444

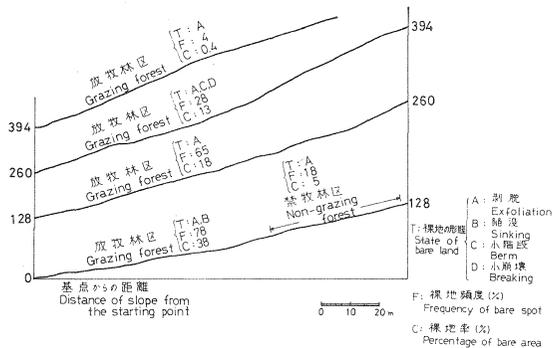


Fig. 4 斜面の位置別の裸地発生状態
(姫神調査地Ⅻ牧区)
Outbreak of bare area by the location
on slope (Himekami).

が顕著なのは沢頭の部分で微地形が抱き込み状になっているため、その急斜面はほとんど裸地化している。牧区全体の裸地(面積)率は10%に満たないが豪雨のたびごとにこの牧区から多量の土砂が流出している形跡がみとめられ、その発生源は搬路や牛道・溪流周辺の裸地と判断された。

なお Fig. 4 で裸地頻度とは線状法で測定線を一定長さで区分したとき、全区分数に対する裸地の存在した区分数の百分率であり、裸地率とは全長に対する裸地部の総延長の百分率である。

(iii) 地表硬度および浸透能の差異

牛の踏圧によって地表が硬化することは容易に考えられることであり、前記の平笠混放牧林試験地での調査結果³⁾でうかがえたところである。Table 3 は姫神調査地のⅣ牧区の地表硬度の測定結果である。地表

との関連を平行的に比較することはできなかった。この結果によると、斜面長500mを越すような、かつ緩やかな斜面では牛は草生の豊富な斜面下部に滞在する割合が多いためか、その区域とくに裸地がめだっている。この牧区のはほぼ中央部には主伐時のトラクタ集材路が斜面を蛇行しながら下降しており、これに沿って牛の歩行による裸地がひろがっている。

また溪流が牛の水飲場となる関係から溪岸が崩落したり、周辺が陥没したりして発生した裸地が多い。とくに林地破壊

Table 3. 傾斜，放牧の有無および地被別の表層土壌の硬度（姫神）
Hardness of surface soil by slope, grazing
and ground cover (Himekami)

傾斜，放牧および地被 Slope, grazing and ground cover		硬 度 Soil hardness (kg/cm ³)
平坦地 Flat area (0~5°)	禁牧林地 Non-grazing forest land	2.5
	放牧林地 Grazing forest land	4.4
	休息地 Bed ground	6.4
	牛道 Cow trail	7.7
傾斜地 Slope (20~25°)	禁牧林地 Non-grazing forest land	3.0
	放牧自然草地 Grazing native grassland	7.7
	放牧人工草地 Grazing tame grassland	11.6

Table 4. 傾斜，放牧の有無および地被別の浸透強度（姫神）
Infiltration rate by slope, grazing and ground cover (Himekami)

傾斜，放牧および地被 Slope, grazing and ground cover		平均降雨強度 Mean rainfall intensity (mm/hr)	浸 透 強 度 (mm/hr) Infiltration rate			
			前半30分間 1st. 30 mins.	後半30分間 2nd. 30 mins.	終 期 Final	1時間平均 Hourly mean
平坦地 Flat area (0~5°)	禁牧林地 Non-grazing forest land	—	306	171	173	226
	放牧林地 Grazing forest land	—	114	52	51	83
	放牧人工草地 Grazing tame grassland	—	52	6	5	41
	休息地 Bed ground	—	74	22	20	48
	牛道 Cow trail	—	37	15	12	25
傾斜地 Slope (20~25°)	禁牧林地 Non-grazing forest land	138	125	124	124	124
	放牧自然草地 Grazing native grassland	145	40	20	20	30
	放牧人工草地 Grazing tame grassland	152	34	9	8	14

硬度は山中式土壌硬度計による絶対硬度で表現しているが，禁牧林区の値に対して放牧林区のそれは1.7倍，放牧自然草地区（幼齢林区）は2.6倍，放牧人工草地および休息地や牛道などでは2.5~3.8倍となっている。地表硬度が高くなるということは一般的に土壌が堅密化し，容積重が増大することを意味する。この結果として土壌孔隙に質的および量的な変化を与えることが考えられるが，ここでは土壌物理性の調査を実施しなかった。

落葉地被物が減少し，土壌物理性が悪化することによって土地の浸透性も劣化することが当然考えられる。Table 4 は姫神調査地のⅣ牧区で3年間放牧が行われた後禁牧林区を対象にしながら各地点で浸透

能を測定した結果である。これによると平坦地、傾斜地ともに禁牧林区に比べて放牧林区の浸透能が著しく低下しており、とくに休息地や牛道などの踏圧裸地で著しい。すなわち終期浸透強度で比較すると、禁牧林区を 100% とした場合に放牧自然草地区（幼齡林地）は 24~37%、放牧人工草地区は 11~18%、踏圧裸地は 11~21% に過ぎない。

(2) 人工草地・自然草地・林地の比較

(i) 地表および表層土壌

前述のように室根・大野・住田・外山の各調査地は森林や原野を機械力によって大規模に人工草地化し、採草および放牧に供しているところである。草地への転換前の林地でも家畜の放牧に供された経歴をもつが、人工草地化したことによって水土流出の態様に有意な変化があらわれたといわれている。森林・自然草地、人工草地という植被の差異もさることながら草地造成の過程や収穫・施肥などの管理作業の過程での自走機械による転圧や放牧牛の踏圧が土地の水文的条件になんらかの悪影響を与えたものと考えられる。

Table 5. 各調査地の地被別の土壌物理性⁷⁾ (岩手県地区)
Physical properties of soil by the land category in each research site (Iwate)

調査地 Research site	調査区 ¹⁾ Research plot	圧結度 ²⁾ Compactness (%)		全孔隙量 ³⁾ Total porosity (%)		非毛管孔隙量 ⁴⁾ Non-capillary porosity (%)		透水強度 ⁵⁾ Percolation rate (cc/min)		硬 度 ⁶⁾ Soil hardness (kg/cm ³)	
		0~5	20~25	0~5	20~25	0~5	20~25	0~5	20~25	0~5	20~25
大 野 Ōno	1	68	74	76	73	13	7	54	64	2.3	4.4
	2	87	76	67	59	6	6	17	21	5.6	6.7
	3	84	91	61	50	5	5	13	10	6.5	39.3
	4	74	79	69	69	6	8	18	42	9.5	66.0
	5	79	81	63	65	6	7	29	26	2.1	11.1
外 山 Sotoyama	6	73	65	79	81	10	9	23	38	1.4	4.4
	7	75	66	77	83	6	13	10	17	3.9	4.7
	8	85	65	74	72	4	7	8	14	12.6	5.8
	9	80	61	75	82	5	8	8	18	15.8	6.5
室 根 Murone	10	71	71	68	72	18	5	172	30	0.8	4.1
	11	72	69	71	73	13	3	75	26	3.7	7.3
	12	74	71	67	70	5	5	45	12	11.6	5.7
住 田 Sumita	13	61	61	74	73	13	8	117	45	1.1	5.8
	14	70	66	73	75	4	5	46	21	1.6	7.8
	15	64	73	63	55	8	6	28	37	2.8	12.3
	16	73	74	63	59	5	6	6	26	6.7	5.6

1) Table 1 参照。 See Table 1.

2) = {(自然状態の容積重)/(最圧密状態の容積重)} × 100
= {(Bulk density at natural condition)/(Bulk density at the most thick condition)} × 100

3), 4) 細土の容積の百分率。 Percentage of volume of fine soil.

5) 簡易透水測定器で測定。 Measured by simple percolation meter.

6) 山中式土壌硬度計で測定。 Measured by YAMANAKA's soil hardness meter.

7) 自然状態の土壌で測定。 Measured with natural soil.

人工草地を表土が全般的に固結していることは確かで、このことは実際に現地を歩いたときの感触によっても察知できる。このような人工草地化が土壤に及ぼした影響を明らかにするため、各調査地の地区別に表層部の深さ 0~5 cm と 20~25 cm の両位置で、土壤試料をできる限り自然状態のまま採取し、その物理性を調べた。その結果は Table 5 に示したとおりであるが、これによると人工草地は林地よりも圧結度が高くなり、非毛管孔隙量が減少し、透水性も低下している。このような傾向は 0~5 cm の深さで顕著である。

Fig. 5 は外山調査地各地区別に地表から 0.5 m までの範囲について深さ別の土壤硬度を測定した結果である。これによると人工草地の地表は林地や自然草地に比べて著しく硬くなっており、その傾向は 5~10 cm 付近までに及んでいるようにみられる。

(ii) 浸透能の差異

Fig. 6 は室根・大野・住田・外山の各調査地において地区別の浸透能を測定した結果である。これは降雨強度をほぼ一定（平均 160 mm/hr）にして 1 時間散水した場合の終期の安定した浸透強度である。

これによると各調査地とも転換前の林地や自然草地に比べて人工草地の浸透能は明らかに小さく、林地の 20% 程度に過ぎない。ただ大野調査地の耕起造成直後の裸地では古く草地化された場所よりもむしろ大きな値を示している。しかし地表保護物がまったくないために浸透実験の際に多量の土砂（13 ton/ha/hr）を流出させている。なお住田調査地の皆伐跡地の浸透能もかなり低い値を示したが、この場所はトラ

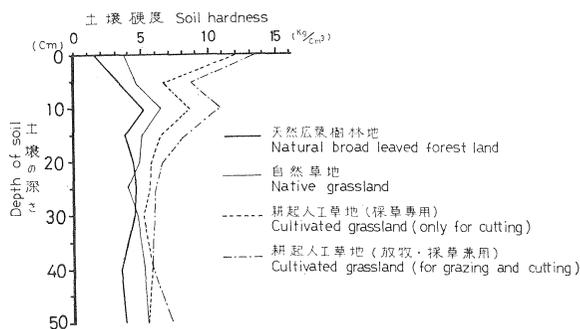


Fig. 5 地被別、深さ別の土壤硬度（外山）
Soil hardness of soil by depth and cover type (Sotoyama).

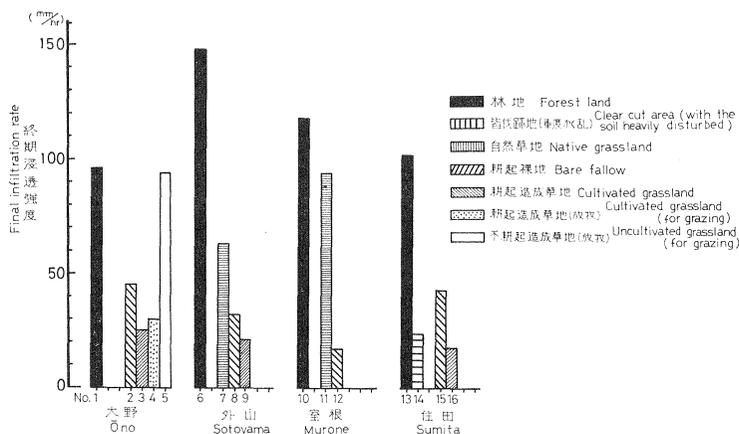


Fig. 6 地被別の終期浸透強度の比較
Comparisons in final infiltration rate by cover type for 4 research sites.

クタ集材により地表が重度に攪乱され、圧密された状態にあった。

このように造成草地の場合には耕起によって膨軟になった土壌もしいに雨水流ではこぼれる微粒子による孔隙の目づまりや人・自走機械・牛による加圧によって土壌が圧縮されて孔隙が減少するものと考えられる。この場合通常小さな孔径の孔隙は水によって占められており、荷重が加わっても変化を受けにくく、構造破壊を受けるのは主に非毛管孔隙とみられる。土地の浸透能の大小はこの非毛管孔隙量に支配されることが大きく、その変化は雨水の流出に広範かつ直接的な影響をあたえる。渋谷ら⁴⁾の調査によっても林地を牧草地化することによって表層土層の排水性が劣化する傾向にあることが明らかにされ、踏圧の度合の大きい程その影響が大きいことが示されている。

(3) 禁牧林地流域と各種放牧草地流域の比較

(i) 植被および施業状況

前述のように小石川調査地では小流域単位に調査した。対象小流域は Table 6 に示すとおり禁牧林地 (A) 1 区のほか放牧した皆伐跡地 (自然草地) 2 区 (B, E), 人工草地 (不耕起造成) 2 区 (C, D) 計 5 区であって、人工草地と皆伐跡地 (自然草地) 各 1 区には水土保持を目的とする林帯 (幅 30 m) を流域の中央部に等高線に沿って配備している。保護樹帯は伐採前の森林をそのまま残存させたもので、禁牧林地の林相と同様なナラ類, サクラ類を主とする落葉広葉樹の天然林である。なお各調査流域の面積は 5~8 ha の範囲であり、また B, C 両区の林帯残存の面積率は 13~14% 程度となっている。

1973, 1974 の両年に放牧試験開始のために森林伐採が行われ、1974 年秋に牧草播種が行われた。放牧は 1975 年春から開始されたもので、したがって本研究における調査期間は放牧 1 年目だけである。同年の放牧は 5~11 月の期間で、その放牧実績は Table 7 に示したとおりである。これによってもわかるように各区に対する放牧の程度に差がみられ、B, D 区は成牛換算で 150 前後、C, E 区はその 1/6~1/3 に過ぎない。いずれにしても放牧強度はかなり強く重度の範ちゅうに入ると考えられる。

つぎに草地造成前の林況および林床植生について述べる。林況はミズナラを主とする天然広葉樹林で、林齢 41~45 年, 31~35 年の 2 林分にわけられる。高齢林分は上部の緩斜台地にあり、この部分は庇蔭林として施業され、疎林である。この疎林の成立本数は 600 本/ha, 樹高 14~15 m, 胸高直径 17~18 cm である。若い方の林分は成立本数 ha 当たり 3,000~5,000 本, 胸高直径 7~10 cm, 樹高 7~10 m である。林床植生は上木の成立本数が多いため、全被度が 30% 内外と比較的疎である。おもな出現植物種をあげ

Table 6. 各調査流域の面積と試験条件 (小石川)
Area and experimental conditions for each
research basin (Koishikawa)

調査流域 Research basin	面積 Area (ha)	試 験 条 件 Experimental conditions
A	5.2	広葉樹天然林地, 禁牧 Natural broad leaved forest land and non-grazing
B	6.1	皆伐跡地, 保護樹帶有, 放牧 Clear cut area, shelter belt and grazing
C	7.1	人工草地, 保護樹帶有, 放牧 Tame grassland, shelter belt and grazing
D	6.0	人工草地, 放牧 Tame grassland and grazing
E	8.1	皆伐跡地, 放牧 Clear cut area and grazing

Table 7. 各調査流域の放牧実績（小石川）
Results of grazing for each research basin (Koishikawa)

調査流域 Research basin	放牧日数 Days of grazing	頭数 Head (Cow day/ha)
B	50	146
C	19	53
D	59	154
E	19	26

Table 8. 人工草地流域の草の収量と牛の採食利用率（小石川）
Grass yield of tame grassland basins and its use factor (Koishikawa)

調査流域 Research basin	収量 Yield (kg/10 a)*	利用率 Use factor (%)
C	4,715	89
D	5,580	88

* 生重量 Fresh weight

Table 9. 皆伐跡地と保護樹帯の草の収量と牛の採食利用率（小石川）
Grass yield of clear cut area and shelter belt and its use factor (Koishikawa)

調査流域 Research basin		収量 Yield (kg/10 a)*			利用率 Use factor (%)	収量 Yield (kg/10 a)		利用率 Use factor (%)
		放牧前 Before grazing	禁牧区 Non- grazing area	放牧区 Grazing area		禁牧区 Non- grazing area	放牧区 Grazing area	
B	期日 Date	Jun., 19, 1975	Jul., 30, 1975			Sept., 22, 1975		
	皆伐後2年 Two years after cutting 保護樹帯 Shelter belt	81 51	186 46	67 69	64 0	357 45	61 10	83 78
C	期日 Date	May, 28, 1975	Jul., 30, 1975			Oct., 1, 1975		
	皆伐後1年 One year after cutting 保護樹帯 Shelter belt	84 21	262 25	46 36	82 0	341 46	59 4	83 91
D	期日 Date	Jun., 4, 1975	Jul., 30, 1975			Oct., 2, 1975		
	皆伐後1年 One year after cutting	51	238	51	79	352	58	84
E	期日 Date	Jun., 12, 1975	Aug., 1, 1975			Sept., 22, 1975		
	皆伐後1年 One year after cutting	114	199	48	76	333	46	86

* 生重量 Fresh weight

れば草本類ではクマイザサ、ヤマカモジグサ、ヒカゲスゲ、ミヤマカンスゲ、ワラビなどで、木本類ではサクラ類、ミズナラ、イタヤカエデ、モミジイチゴ、ハシバミなどである。クマイザサは全域的に出現し、局部的に優占しているところもある。

人工草地の造成に際しては立木を伐採し、搬出後、末木・枝条を集積し、焼却した。1974年8月にトラクタを用い、整理跡地に直接基肥を散布し、人力によって播種した。基肥量は10a当たりCaCO₃ 150 kg, N 10 kg, P₂O₅ 29 kg, K₂O 7 kgである。牧草類はペレニアルライグラス、オーチャードグラス、

クリーピングメドウフェスク、ケンタッキーブルーグラス、チモシー、ケンタッキー31フェスク、レッドトップ、ラジノクローバーの 8 種を 5.2 kg 混播した。放牧初年の追肥量は N 12 kg, P₂O₅ 6 kg, K₂O 6 kg, Mg 3 kg である。

放牧初年目の植生状況について調査結果を要約すると Table 8, 9 のとおりである。すなわち人工草地についてみると牧草類の生育は良好で、1975 年後半にはほぼ 100% に近い植被率となった。年 6 回刈り取りによる合計生草量は 10 a 当たり平均約 5.3 ton であった。6 回放牧の平均採食利用率は 88% となった。皆伐跡地の野草についてみると前生種や侵入種が急速に発達していった。禁牧林区においては 8 月中旬に植被率が 70~80% であったが、放牧区では放牧牛の採食と踏み付けにより植被率は 20~40% と低減の傾向がみられた。とくに沢沿いの傾斜地では表土が牛の踏み付けにより下方に剥落し、植生の発達が阻害された。放牧区内で出現率の高い草本類はタチツボスミレ、アオスゲ、ナンブアザミ、ニガナ、タンポポ、ネバリタデなどであった。クマイザサや木本類その他草本類のいずれも開葉、伸長中につきつぎと採食され、70~90% という高い採食利用率が示された。

(ii) 流出水量

降水量および流量の観測は伐採処理前の 1973 年春から実施したが、冬季間は量水堰が埋雪するため欠測した。量水堰の水位流量曲線式の決定には岩手大学農学部の青木、石井両教官の協力を得て室内流路実験を行い、現地観測結果をこれに加味した。その結果、Fig. 7 に示す水位流量曲線と実験式が得られた。

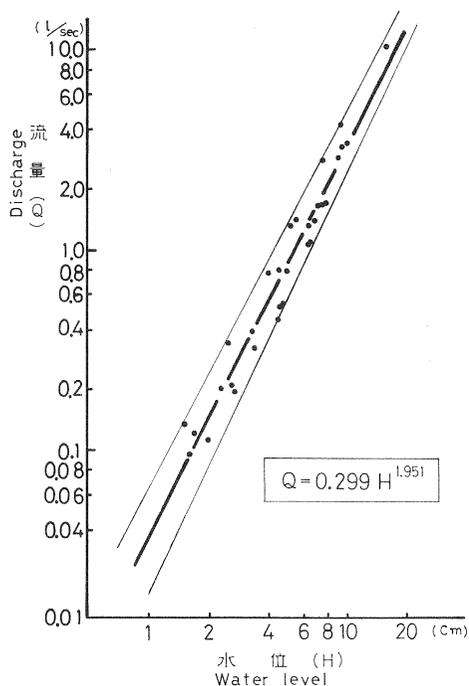


Fig. 7 小石川調査地の量水堰の水位—流量曲線式
A water level—discharge rating equation for V-notch weir at Koishikawa research basin.

現地は 4 月下旬まで積雪があり、流出への融雪の影響は 5 月までみられ、また放牧は 5 月中旬から開始されているので、流出水量の考察は 6~10 月の 5 か月間について行うこととした。

Table 10 は放牧期間 (1975 年 6~10 月) に観測された総降雨量とその間の総流出量および流出率を示したものである。これによると禁牧林地 (A) より放牧草地の 4 区 (B~E) の方が流出率が 10% 前後大きい傾向がみられる。月流出量について検討してみると、いずれも禁牧林地よりも放牧草地の方が大きくなっているが、この関係を示したのが Fig. 8 である。林地よりも草地の流出量が多くなる原因の 1 つはやはり伐採にともなう遮断損失雨量の減少、伐出作業や放牧などによる浸透能の低下も無関係ではないと推察される。事実当該地は緩傾斜地が多いため伐採木の搬出はトラクタで行われ、その運行によって土地は著しく攪乱・圧密されている。

つぎに同期間中に得られたピーク流量とピーク時の時雨量の関係を示したのが Fig. 9 である。放牧人工草地は D 区、放牧皆伐跡地は E 区のデー

Table 10. 各調査流域の総流出量と流出率（小石川）
Total runoff and coefficient of runoff for each research basin (Koishikawa)

	調査流域 Research basin					備考 Remarks
	A	B	C	D	E	
総流出量 Total runoff (mm)	323	362	375	370	420	観測期間 Observation term Jun.~Oct. 1975
流出率 Coefficient of runoff (%)	53	60	62	61	70	総雨量 Total rainfall 604 mm

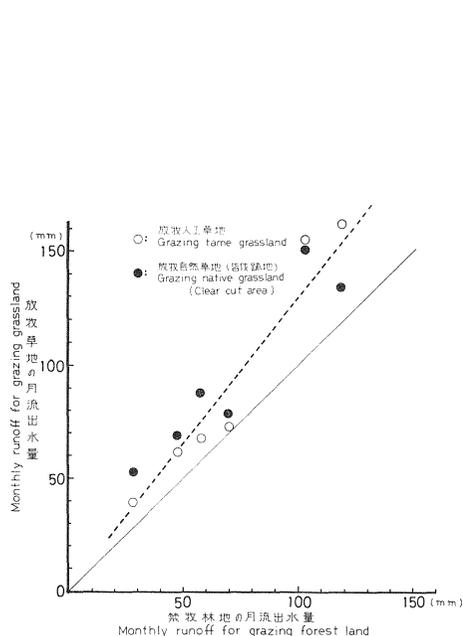


Fig. 8 禁牧林地と放牧草地の月流出量の関係（小石川）

Relation between the monthly runoffs for grazing grassland and non-grazing forest land basins (Koishikawa).

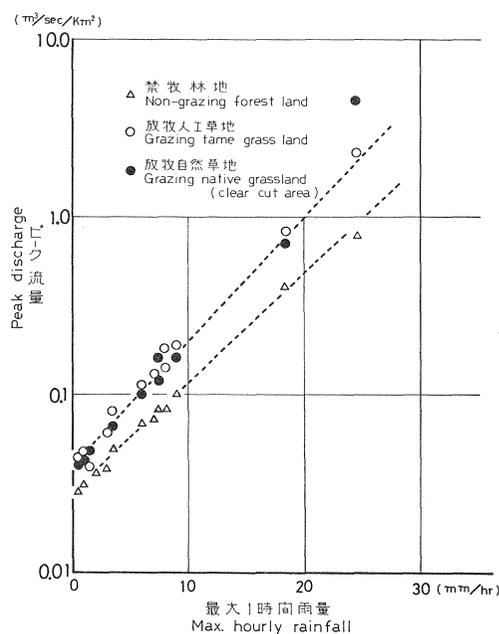


Fig. 9 禁牧林地と放牧草地の最大1時間雨量とピーク流量の関係（小石川）
Relations between Max. hourly rainfall and peak discharge for grazing grassland and non-grazing forest basins (Koishikawa).

タを用いた。これによるとピーク流量とピーク時の時雨量との間に有意な相関関係がみられ、また禁牧林地よりも放牧草地の方が大きいことが知られる。しかしわずかの観測期間であり、データも少なく、またピーク流量はそのときの時雨量のほか先行雨量も関係するので、さらにデータの集積を待って検討を加える必要がある。

なお人工草地と皆伐跡地とも保護樹帯の有無による流出水量の違いの有無を検討したが現在までのところ有意な差異はみられなかった。これは流水の経路との関連で必ずしも適切な配置がなされなかったことや、林帯内への牛の侵入が排除されなかったことなどが関係しているものと考えられる。

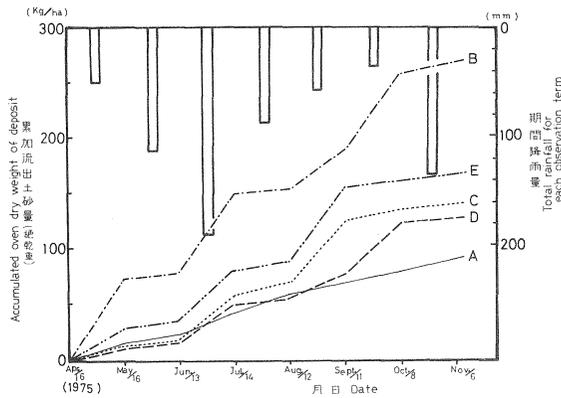


Fig. 10 各調査流域別の累加流出土砂量 (小石川)
Accumulated oven dry weight of deposit by research basins (Koishikawa).

(iii) 流出土砂量と裸地の発生状況

各区からの流出土砂量は量水堰に付属させた沈砂槽によって捕そくし、ほぼ定期的に取り出して秤量した。放牧期間の1975年5～10月の観測結果は Fig. 10 のとおりであるが流出土砂量は累加量で示されている。これによると禁牧林地(A)に比べて各放牧流域の方が流出土砂量が多くなり、とくにB区(放牧、野草地、保護樹帯残置)がとびぬけて多くなっている。現在までのところB区を含め各区とも0.1～0.3 ton/haの範囲であり、単位面積に換算した場合それほど多い流出土砂量ではないが、この中には浮遊または流動状態の土粒子や沈砂槽からまれに溢流した分は含まれていない。

このような流出土砂の根源を知るため、放牧した1975年の夏季の豪雨後と放牧終了後の1976年春季に現地調査を行った。全般的にいえることは沢沿いの低地部分とくに溪岸部の破壊が著しいことである。これは牛の水飲みなどの行動によって発生したもので、とくに湿潤なため表土が破壊されやすい。溪岸急斜部は人工草地区であっても牧草の播種を行わなかったため各区共通してこの部分が裸地化している。B区がとくに流出土砂量が多いのは谷頭部分が牛の行動によって崩壊し、この土砂が直接溪流に流入している結果である(Photo. 9)。またトラクタ集材の作業道が沢に接しているE区ではその裸地面が浸食溝となり土砂が直接溪流に流入している。保護樹帯はC区とD区に配備されているが谷頭より上部に位置するため溪流保全には直接役立っていない。しかしC区においては樹帯上部からの浸食土砂を抑止していることが確認された。溪間部を除く山腹傾斜部では裸地が局部的に発生してもそれが溝状浸食に移行するような状態がみられない。



Photo. 9 牛による溪岸の破壊 (小石川)
Breaking of brook side by cattle trampling (Koishikawa).

Table 11. 放牧による裸地の発生状況（小石川）
Outbreak of bare area after grazing (Koishikawa)

地目 Land category	平均傾斜 Mean gradient (°)	調査線の数 Number of survey line	放牧 Grazing	基底被度 Cover degree of plant base (%)	落葉被度 Cover degree of litter (%)	裸地率 Per- centage of bare area (%)
皆伐後1年目 First year after clear cutting	24	2	無 Non-grazing	29	42	29
“	21	7	有 Grazing	18	13	70
皆伐後3年目 Third year after clear cutting	21	2	有 Grazing	16	26	58
保護樹帯 Shelter belt	13	2	無 Non-grazing	5	92	3
“	15	5	有 Grazing	1	74	25
人工草地 Tame grassland	22	4	有 Grazing	96	—	4

放牧区内の裸地の発生状況を定量的に把握するために線状法で測定を行った。すなわち各放牧区内で10 m単位の測定線を数本設定し、植被や裸地率を測定した結果がTable 11に示すとおりである。同様な皆伐跡地でも放牧地では裸地が多く、また同様な保護樹帯内でも放牧牛が侵入すると裸地が多くなることからわかる。

3) ま と め

a. 姫神調査地（混牧林）での調査結果によると禁牧林地に比べて放牧林地の浸透能は明らかに低い。また放牧は表土（0～5 cm）の土壤物理性、とくに容積重、透水性、非毛管孔隙量に影響して土地の受食性を高めることが知られた。

b. 外山、大野、住田、室根の各調査地（既成放牧地）での調査結果によると、転換前の林地に比べて耕起人工草地の浸透能は低く、地表は硬くなっており、土壤物理性は変化している。このおもな原因は造成、刈り取り、施肥などの各時期に導入される大型自走機械による転圧や牛の踏圧によるものと考えられた。

また造成初期の状態では植被の発達が不十分で浮き土が多いので水土の異常流出が大雨時に起こることも認められた。

c. いずれの放牧区でも放牧の繰り返し実施により牛の行動にもとづく裸地の数や面積は漸増していくのが一般的傾向である。しかし著しいものの発生場所はかなり限定されるようである。その中で沢沿いの部分の破壊は一般に顕著であり、直接溪流に土砂が流入するので被害も大きい。

d. 小石川調査地における流量の比較観測結果によると、禁牧林地流域（ナラ、サクラ類）に比べて他の4区の放牧草地流域（自然草地、人工草地）のピーク流量がかなり高まることがわかった。また総流出水量を比較してみると耕地よりも放牧草地で明らかに大きい。流出土砂量は禁牧林地より放牧草地の方が多い傾向がみられたが、とび抜けて多かったのは立木伐採搬出時の地表攪乱、圧密の程度の著しい区であった。

e. 水土保全を目的として人工草地と自然草地の放牧区内に幅30 mの保護樹帯が配備されたが、その結果土砂流出の面で多少の制御効果がみられたが、水流出の面では顕著な影響がみとめられなかった。これは林帯の配置位置が必ずしも適当でなかったことと林内に牛の侵入を許したことによるものと考えられた。

B 熊本県地区

河野良治, 竹下 幸, 志水俊夫

黒木重郎

1) 調査の方法

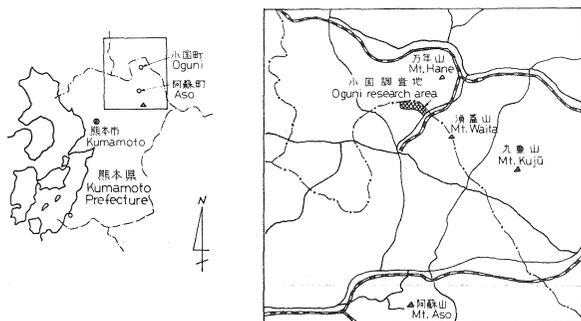


Fig. 11 小国調査地の位置
Location of Oguni research site.

(1) 調査地

調査地は熊本県北部の阿蘇郡小国町大字西里字麻生釣にある小国農業協同組合経営の三共牧場（面積約 75 ha）および蛭石肉用牛繁殖センター（面積約 42 ha）内に設定された（Fig. 11）。海拔高約 650～800 m で、周辺の地形は東南方向約 7 km に九重山系の湧蓋山（1,500 m）、北々東方向約 5 km に万年山（1,140 m）があり、これらの

山麓はゆるやかな台地状を呈している。調査地の傾斜は 20～35°、表層地質は輝石安山岩、角閃石安山岩を基岩として火山噴出物が堆積したものであり、上部（峯筋）には露岩がみられる。土壌は表土として黒色土が 30～100 cm 程度被覆し、その下部に転石がまじり褐色土があるのが一般的傾向である。

森林は一般にカシワ、クヌギを主とする林（樹高 3～8 m）であるが、調査地周辺にはスギ人工幼齢林も多く分布している。人工草地は主としてオーチャードグラス、イタリアンライグラス、ケンタッキー-31 フェスク、ホワイトクローバーなどの牧草である。自然草地（野草地）および広葉樹林内ではススキ、トダシバ、ネザサ、ワラビ、キク科草本が主として分布している。

三共牧場は乳牛用として経営され、ジャージー種が主体で、ブラウンスイスも若干飼育されている。繁殖センターは肉牛の繁殖育成が目的で、褐毛和種のほかアバディンアンガス種、ヘレフォード種も飼育されている。放牧は両牧場とも人工草地を主体に行っており、野草地は牧草の生育状況に応じて一時的に利用されている。放牧群構成は三共牧場は主として乾乳期にある成牛を、また繁殖センターは子牛および成牛を 1 群とした昼夜放牧で輪換方式をとっている。放牧施設は両牧場に共通のものとして牧道、牧柵、水飲み場、給塩場、看視舎、畜舎、追い込み場、機械器具庫、乾草舎、堆肥舎などで、このほか三共牧場では搾乳所、薬浴槽、バンカーサイロなども施設されている。

(2) 調査区

小国調査地内に蹄耕法造成による放牧人工草地（Photo. 10）、放牧林地（Photo. 11）、放牧自然草地（野草地）（Photo. 12）、主としてクヌギ・カシワから成る広葉樹林地（Photo. 13）の 4 調査区を設定した。広葉樹林地は比較の基準としての区である。各調査区の配置は Fig. 12 に示されている。

a. 放牧人工草地

従来は禁牧林地と同じくクヌギ・カシワ林地であったが、昭和 43～44 年には林内放牧が行われ、昭和 45 年に大部分の立木が伐採・除去されて蹄耕法により人工草地として造成され、昭和 46 年から放牧が行われている。この草地は山腹面を縦割りにして 6 牧区に分画されており、全面積は 11.6 ha である。一般に山腹下部は 10° 内外の緩傾斜であるが、一部の凸地形部は 25～30° の急傾斜となっている。山腹上部は

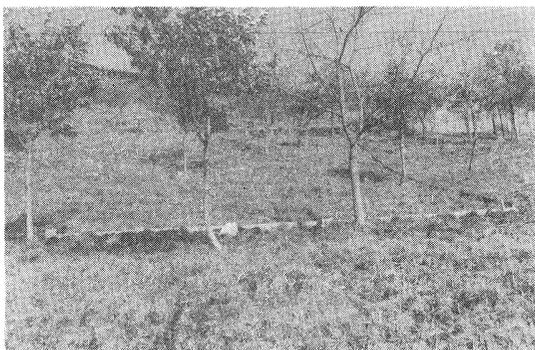


Photo. 10 放牧人工草地（小国）
Grazing tame grassland
(Oguni).

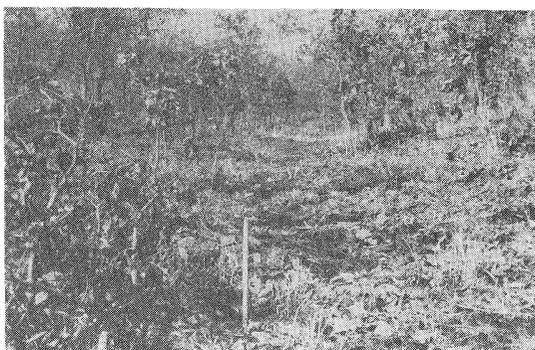


Photo. 11 放牧林地（小国）
Grazing forest land
(Oguni).

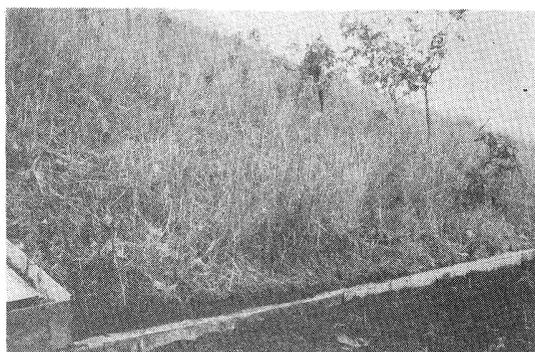


Photo. 12 放牧自然草地（小国）
Grazing native grassland
(Oguni).

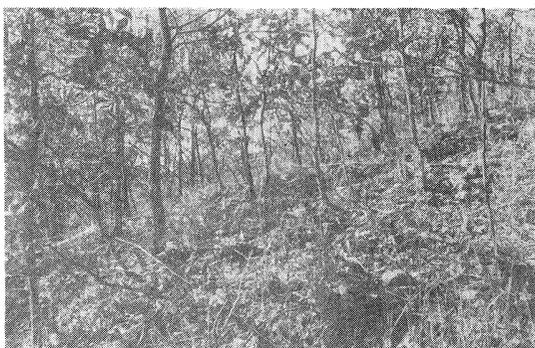


Photo. 13 禁牧広葉樹林地（小国）
Non-grazing broad leaved
forest land (Oguni).

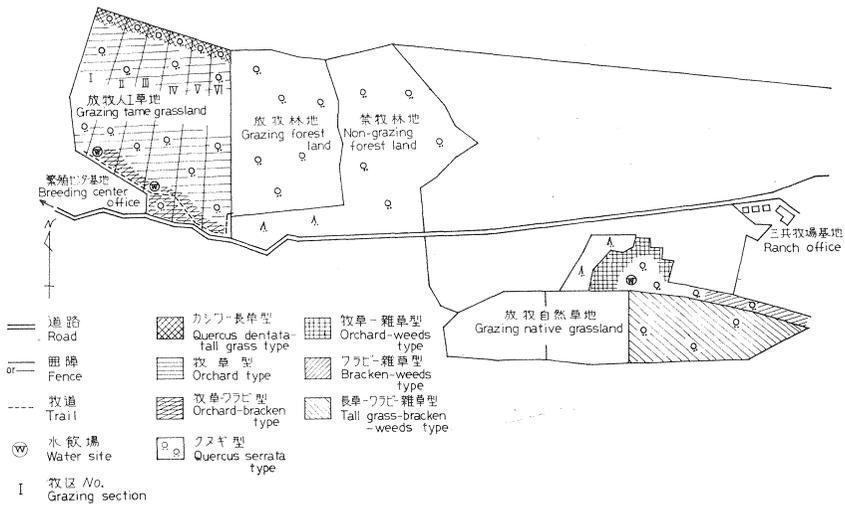


Fig. 12 放牧施設と植被型(小国)
Grazing facilities and vegetation types (Oguni).

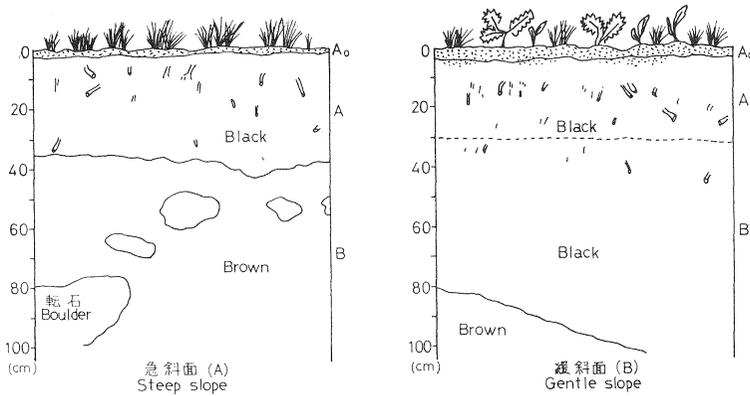


Fig. 13 放牧人工草地の土壤断面(小国)
Soil profile in grazing tame grassland (Oguni).

30° 前後の急傾斜地であり、一部に露岩地もある。土壌は B/m 型土壌で平均して深さ 30~100 cm 程度である (Fig. 13) が、急斜面では 30~50 cm 程度で浅く、緩斜面では 80~100 cm で深い。

植生型は牧草型、牧草-ワラビ型、カシワ-長草型、クスギ型の 4 型である。牧草型が全牧区の主体で、オーチャードグラス、ケンタッキー31フェスク、H I ライグラスから成るが、なかでもオーチャードグラスが優勢で、被度は 75~100% である。斜面下部の一部に牧草-ワラビ型がみられる。この型の中では被度、草丈とも牧草類が優勢である。ワラビのほかにネザサ、ヒメジョオン、ベニバナポロギクなどがみられる。斜面上部の一部にカシワ-長草型がみられる。樹高 1 m 程度のカシワとススキを主とし、ヒメジョオン、モミジイチゴなどをまじえる。草地造成時に庇蔭木として点的にクスギが残された。樹高は 4~5 m である。

b. 放牧林地

クスギ・カシワ林地で、昭和43年に放牧が開始された。面積は6.92 haである。傾斜は山腹下部で10~20°程度、上部では20~35°程度である。土壌はやはり黒色土で急斜面では30~60 cm程度の深さであり（Fig. 14）、山腹下部の緩斜地では表層の黒色土と下部の褐色土との間に灰色の部分がある。広葉樹林の林冠は萌芽更新で上下2層になっている。胸高直径4 cm以上、樹高3 m以上の立木本数は約3,100本/ha、平均胸高直径5 cm、平均樹高3.6 m、材積23 m³/haである。下層木の本数は約2,100本/haである。林冠うっ閉度は約3/4である（Fig. 15）。

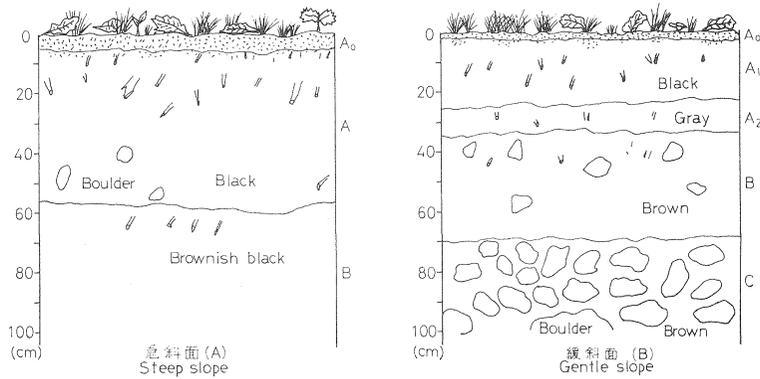


Fig. 14 放牧林地の土壌断面（小国）
Soil profile in grazing forest land (Oguni).

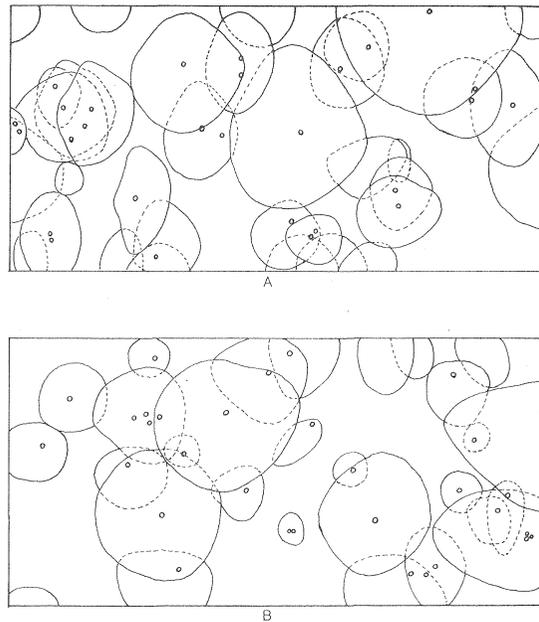


Fig. 15 放牧林地の樹冠投影図（小国）
Projection chart of tree crown for grazing forest (Oguni).

c. 放牧自然草地

三共牧場開設前の昭和 36 年から放牧地または採草地として利用されてきた。現在は夏季間に放牧が行われている。面積は約 4.0 ha である。全般に凹凸の少ない平衡斜面で、傾斜は 25~30° である。土壌は B/m 型土壌で、山腹下部緩斜面では上下層黒色土の間に褐色火山灰土が挟んでいる (Fig. 16)。山腹上部急斜面では表層が黒色土、下層は褐色土である。植生は全面にわたって長草—ワラビ—雑草型である。ススキは盛夏時には 140 cm 内外の草丈となり優勢であり、ワラビも 50 cm 内外でススキについて多い。長草ではススキのほかトダシバ、オオアブラススキがみられ、雑草ではオトコヨモギ、シラヤマギク、アキノキリンソウなどがみられる。カシワの樹高 1.5 m 程度のものが点在する。

d. 禁牧林地

調査地一帯はスギ人工造林が盛んに行われているが、クヌギ、カシワを主とする雑木林もかなり残存しており、現在の放牧地区も以前はクヌギ・カシワ林地であったことから比較調査の基準としてこの禁牧林地をえらんだ。地形は放牧林地とほぼ同様で、傾斜は山腹下部で 10~20°、上部で 20~25° 程度である。

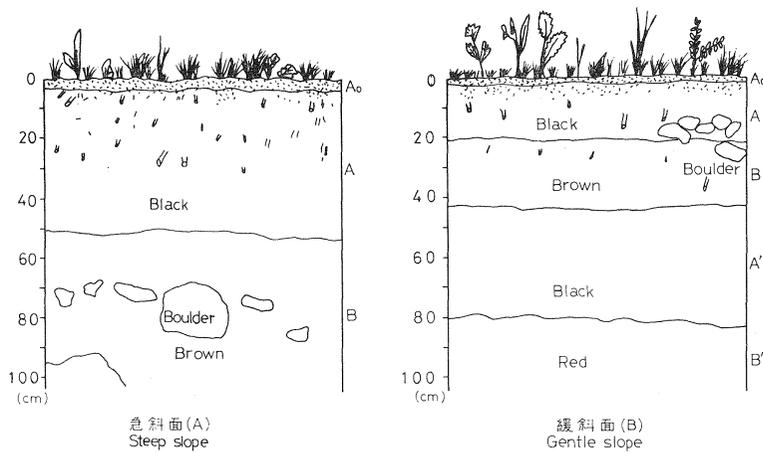


Fig. 16 放牧自然草地の土壌断面 (小国)
Soil profile in grazing native grassland (Oguni).

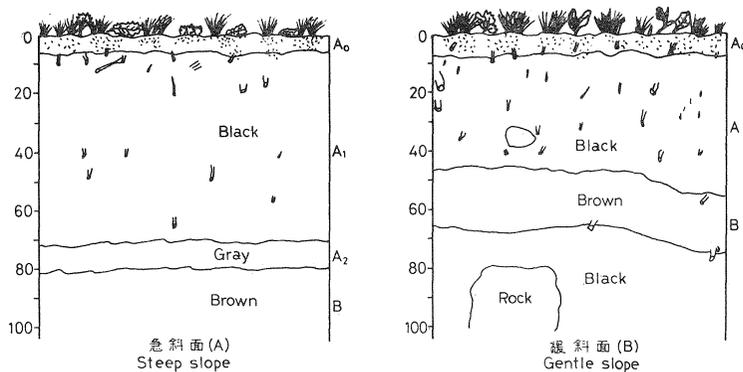


Fig. 17 禁牧林地の土壌断面 (小国)
Soil profile in non-grazing broad leaved forest land (Oguni).

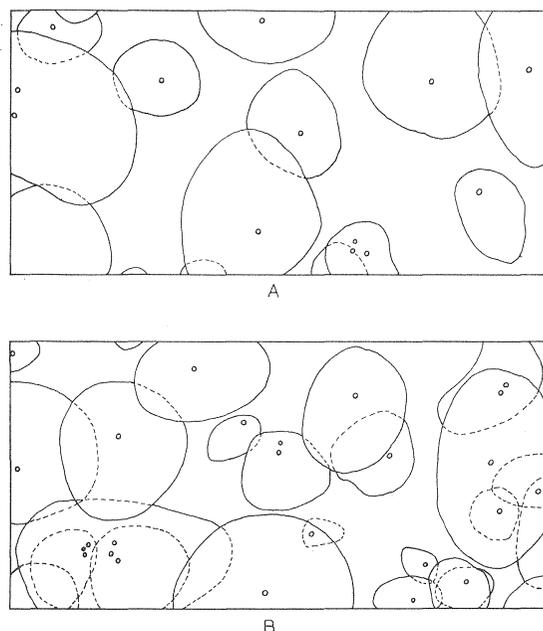


Fig. 18 禁牧林地の樹冠投影図
(小国)
Projection chart of tree crown
in non-grazing forest land
(Oguni).

土壌は深さ 40~70 cm の黒色土で、緩斜地では上下層の黒色土の間に褐色土が 20 cm 程度挟在する (Fig. 17)。上層木の立木本数は約 2,900 本/ha、平均樹高 4 m、平均胸高直径 6 cm、材積は 34 m³/ha である。下層木の本数は約 2,400 本/ha である。うっ閉度は 3/4 である (Fig. 18)。

(3) 測定方法

前述の 4 調査区に急斜地 (28~30°, A) と緩斜地 (20~21°, B) の各地点、計 8 地点で、ロッキーマウンテン型浸透計により浸透能および土砂流出量を比較測定した。この測器は散水装置によって約 2 m 平方の地表に散水させるもので浸透能および土砂流出量の測定対象となる区域は傾斜方向に 80 cm、等高線方向に 30 cm の長方形で高さ 15 cm の鋼製フレームを適宜さしこんで区画される。測定に先立って約 100 mm/hr になるように調節を行いながら約 30 分間散水して土壌を湿潤にし、その後 1 時間を測定時間とした。散水量と地表流出水量との差をもって浸透水量とした。なお風による散水の乱れを防止するため周囲および上方はシートによって遮へいされた。散水強度は 100 mm/hr であった。

ロッキーマウンテン型浸透計の散水強度は上述の程度にとどまったので、マスグレープ型浸透計による浸透能比較測定も行った。すなわち各放牧区で牛の踏圧の比較の少ない地点 A と多い地点 B との各 2 地点および基準の禁牧林地における土壌の比較的軟弱な地点 A と堅硬な地点 B の計 8 地点で測定した。測定は円筒を地中にさしこんで設定してから約 3 か月間放置したあとの 1973 年 9 月に第 1 回、1 年半経過した 1975 年の 3 月に第 2 回を行った。測定時間は 60 分間、注入水量を測定して浸透水量とした。

流出土砂量の地被別比較測定はロッキーマウンテン型浸透計により浸透水量と同時にを行ったほか、各調査区に地表流出区 (プロット) を設定して行い、また調査流域を設定して行った。ロッキーマウンテン型浸透計による測定ではわくの下流端に流出する地表流出水の土砂をあつめ、絶乾にして秤量した。プロットによる測定は、傾斜方向に 40 m、等高線方向に 10 m の長方形プロットを設け、プロット下流端にコンクリート製 U 字溝 (幅 18 cm × 深さ 18 cm) を置いて流出土砂受けとして行った (Photo. 12 参照)。前同

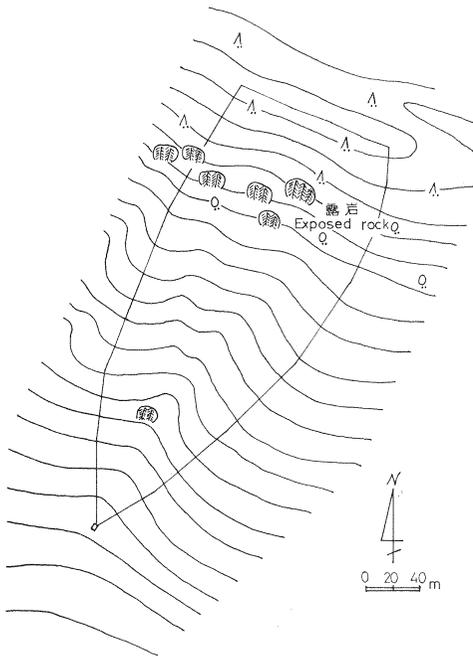


Fig. 19 放牧人工草地の調査流域 (小国)
A research basin with grazing tame grassland (Oguni).

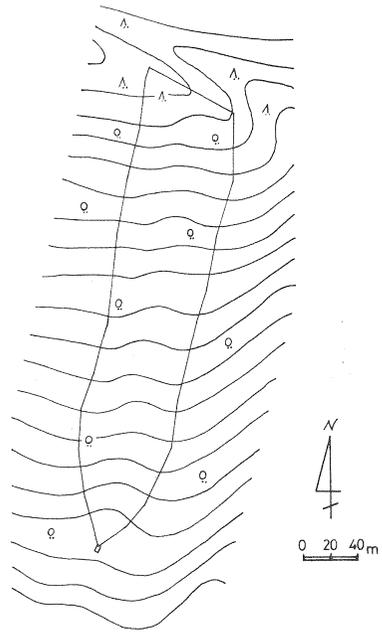


Fig. 20 放牧林地の調査流域 (小国)
A research basin with grazing forest (Oguni).

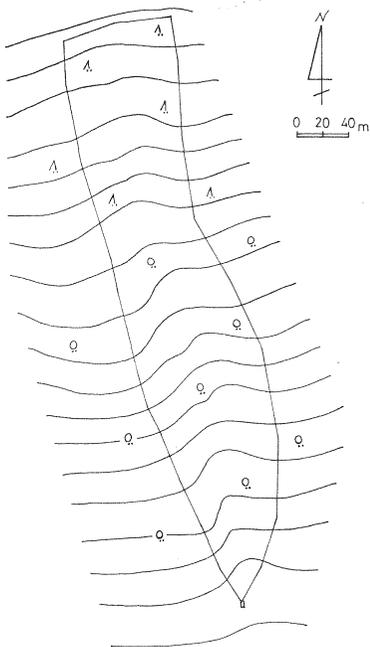


Fig. 21 禁牧林地の調査流域 (小国)
A research basin with non-grazing forest (Oguni).

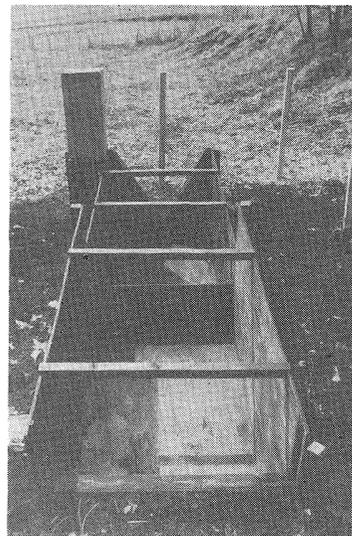


Photo. 14 沈砂槽 (小国)
A deposit tank (Oguni).

様ある期間内の流入土砂をみつめ絶乾して秤量した。各プロットの傾斜は放牧人工草地区 27°, 放牧林地 29°, 放牧自然草地区 30°, 基準禁牧林地区 29°で各区ともほぼ等しいものであった。放牧は経営者の方針によって行われたもので、この測定のために規制されることはなかった。各調査区のうち放牧人工草地、放牧林地および基準区としての禁牧林地の3者では小流域（Fig. 19~21）の形で区画できたので流域下流端に Photo. 14 に示すような量水施設を設置し、その沈砂槽に流入した土砂の容積を、プロットにおける流出土砂測定時期と同じ時期に測定した。流域面積は放牧人工草地 3.908 ha, 放牧林地 2.364 ha, 禁牧林地 3.730 ha である。なお放牧自然草地区は地形の関係で流域が設定できなかった。

ロッキーマウンテン型浸透計による浸透能測定時には当然地表流出水量が測定された。プロットによる流出土砂量の測定と同時に土砂受けからの流出水を計数器付転倒ます型量水器に（Fig. 22）によって測定した。測定時期（測定期間）は流出土砂量のそれに同じである。流出土砂量を測定した各流域では流出水量も測定した。すなわち前述の量水施設の湛水槽の一端にステンレスエッジの三角ノッチをつけて量水堰とし（Fig. 23, Photo. 15）、これに36日巻簡易自記水位計を付属して行った。流量計算のための水位流量曲線式は九州支場構内実験室に現地設置のものと同じ施設をおき、実験によって決定した。得られた式はつぎのとおりである。

$$\log Q = 2.3041 \log H - 0.4424$$

ここで、 Q ：流出水量，cc/s, H ：溢流水深，mm。

この式では接近流速を無視している。現地では厳密には無視することに無理があるが、算出流出量と実

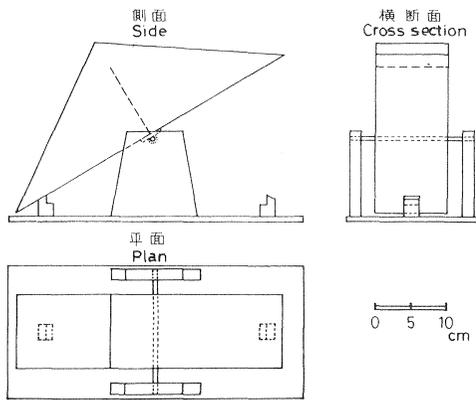


Fig. 22 転倒ます型量水器 (小国)
Tipping bucket type water meter (Oguni).

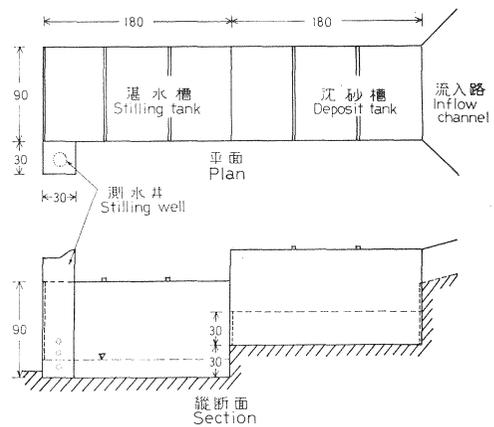


Fig. 23 量水堰 (小国)
Gauging weir (Oguni).

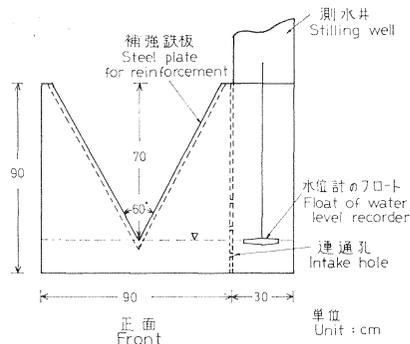




Photo. 15 量水堰 (小国)
A gauging weir (Oguni).

測値との間の誤差率は最大で ±5% 以内におさまったので、流量計算にはこの式を用いた。

(4) 放牧および草地管理の経過

人工草地では4月中旬に開牧し、10月下旬に終牧しており、この間6牧区を4~7回輪換放牧している。1回の滞牧日数は5日間内外である。ただし1975年はダニの大発生により8月以降の放牧は中止された。自然草地では5~6月および8~9月ごろ放牧されるが、1972、1973年は1回だけ、1974、1975年では2回実施された。滞牧日数は1回目では12~17日間、2回目では約8日間である。林地では7月および9~10月に放牧され、放牧回数は2~3回、滞牧回数は1回8日間内外であるが、人工草地と同様にダニ発生のため1975年には放牧が中止された。

放牧程度を家畜単位でみると、Table 12 のようである。ただし18か月齢以上のものを1.0、6~18か月齢のものを0.7、6か月齢以下のものを0.3として計算された。人工草地においては8月以降放牧を中止した1975年を除けばha当たり369~423、3年間平均398単位が放牧された。1975年は254にとどまったから4年間の平均では362単位となった。自然草地では77~208、4年間平均148が放牧され、林地では86~131、3年間平均102単位が放牧された。したがって1972~1974年の3年間についてみれば、林地の放牧を100

Table 12. 各調査区の年別放牧実績 (小国)
Results of grazing on each research plot (Oguni)

地 目 Land category	放 牧 回 Grazing time	頭 数 Head (Cow day/ha)			
		1972	1973	1974	1975
放牧人工草地 Grazing tame grassland	1	57	57	65	61
	2	72	112	77	53
	3	71	75	35	82
	4	68	78	72	58
	5	45	83	26	
	6	56		49	
	7	54		45	
	計 Total		423	405	369
放牧林地 Grazing forest land	1	85	30	80	
	2	26	56	10	
	3	20			
	計 Total		131	86	90
放牧自然草地 Grazing native grassland	1	142	77	51	55
	2	66		100	99
	計 Total		208	77	151

としたとき自然草地では 142, 人工草地では 390 となり, 自然草地は林地の 1.4 倍, 人工草地は約 4 倍となる。

人工草地は 1970 年に造成されたが, 1971 年以後は追肥として 10 a 当たり草地用化成肥料を 20~45 kg, 密成燐肥を 10 kg 施用し, 牧草種子の追播も 1971 年に 10 a 当たり約 1 kg を散播し, ワラビその他雑草の刈り払いを毎年実施している。

(5) 気象条件

わが国全土の一部として九州を気候区分すると九州型, 瀬戸内型, 南海型の気候区に分けられる。調査地は九州型地域に属する。さらに九州だけを対象とし, 気候要素のうち気温, 降水量, 日射量を取り, 気温は 1 日の平均気温 6°C, 降水量は年間降水量 2,000 mm, 日照時間は 150 時間を基準として九州を気候区分すると, 日本海型, 内海型, 西海型, 内陸型, 南海型, 山地型, 亜熱帯型の 7 型にわけられ, 調査地は山地型に属する。この型は中央部の山地地域のそれで, 年平均気温 15°C 以下で夏季でも 30°C をこえることはまれである。11 月から 4 月にかけて霜がおりることがあり, また 12 月から 3 月にかけて雪が降ることもある。雨は平地より一般に多く年降水量は 2,000 mm をこえる。調査期間中の調査地の降水量および気温を Table 13, 14 にそれぞれ示した。

Table 13. 調査期間中の小国の月雨量および最大日雨量
Monthly rainfall and the max. daily rainfall during
research period at Oguni

(mm)

年 Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1972	月雨量 M. r.				174	404	296	147	97	57	90	72
	最大日雨量 M. d. r.				36	189	83	30	35	21	32	25
1973	月雨量 M. r.	52	112	39	432	236	258	230	95	168	101	23
	最大日雨量 M. d. r.	19	45	14	133	84	110	130	37	40	37	17
1974	月雨量 M. r.	26	64	136	214	65	214	490	135	252	185	(38)
	最大日雨量 M. d. r.	26	23	26	80	15	75	96	85	83	48	(25)
1975	月雨量 M. r.	65	121	48	294	86	702	253*	146	130	129	124*
	最大日雨量 M. d. r.	26*	39	19	49	14	137*	66*	33	36	41	55*
1976	月雨量 M. r.	22*	259*	129*								
	最大日雨量 M. d. r.	8*	100*	24								

*: 南小国の測値 Data for Minami-Oguni

M. r.: Monthly rainfall

M. d. r.: Max. daily rainfall

Table 14. 調査期間中の小国の月の気温
Monthly temperature during research period at Oguni (°C)

年 Year	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
1972~ '73	\bar{i}_a -max			26.4	26.5	22.6	18.1	12.0	8.1	4.8	5.0	9.3
	\bar{i}_a -min			18.7	15.9	14.0	8.3	4.2	-1.0	-2.2	-4.5	0.5
	T_m			22.6	22.5	18.4	13.2	8.0	3.6	1.3	0.6	4.9
	T_{max}			29.5	31.4	29.0	23.0	18.8	15.6	10.5	13.6	16.9
	T_{min}			15.3	13.0	8.0	2.0	-3.1	-7.3	-7.3	-10.8	-4.0
1973~ '74	\bar{i}_a -max	17.1	18.9	21.5	27.4	27.9	21.5	17.8	10.6	3.7	4.7	12.2
	\bar{i}_a -min	7.1	9.4	12.8	19.1	19.6	14.3	8.6	1.2	-4.1	-4.4	2.6
	T_m	12.3	14.2	17.2	23.3	23.8	18.0	13.0	6.0	-0.3	-0.3	7.5
	T_{max}	25.6	23.0	25.8	31.0	30.2	25.9	24.5	18.8	9.9	9.1	22.2
	T_{min}	0	3.0	8.1	16.8	17.3	5.5	3.8	-5.0	-9.9	-7.8	-5.1
1974~ '75	\bar{i}_a -max	17.4	22.0	22.4	25.5	26.5	22.9	17.2	11.3	4.7	2.9	8.0
	\bar{i}_a -min	8.3	13.2	16.4	18.6	18.2	13.9	9.8	4.1	-1.2	-2.0	-2.2
	T_m	12.9	17.7	19.5	22.1	22.4	18.3	13.5	7.7	1.8	0.5	2.9
	T_{max}	24.5	27.8	27.2	29.6	31.3	29.0	21.8	9.5	12.9	10.0	12.5
	T_{min}	2.5	7.1	12.0	15.0	15.8	8.0	0.2	-2.0	-5.5	-8.0	-8.9
1975~ '76	\bar{i}_a -max	14.6	17.7	24.2	24.6		24.8				7.1	8.0
	\bar{i}_a -min	6.0	8.5	16.0	18.1		16.9				-1.4	-1.8
	T_m	10.3	13.1	20.1	21.4		20.9				2.9	3.1
	T_{max}	23.3	23.5	28.1	26.9		27.9				14.2	16.0
	T_{min}	-2.6	5.0	10.0	15.5		12.5				-6.2	-7.5

注 \bar{i}_a -max: 日最高気温の月平均値 Monthly mean of daily max. temperature
 Note \bar{i}_a -min: 日最低気温の月平均値 Monthly mean of daily min. temperature
 T_m : 月平均気温 Monthly mean temperature
 T_{max} : 月最高気温 Monthly max. temperature
 T_{min} : 月最低気温 Monthly min. temperature

2) 調査の結果

放牧人工草地、放牧自然草地、放牧林地および基準とする禁牧林地の間で植被、地表および表層土壌、浸透能、流出土砂量、流出水量について比較した結果を以下に述べる。

(1) 草量と採食状況

調査期間における生草生産量は人工草地では10aあたり2,300~3,000kg、平均2,660kg、同じく自然草地では430~810kg、平均645kg、同じく林地では430kg内外であった。3者の比数をみると、林地を100とすれば自然草地は150、人工草地は618となる。つぎに牛による採食利用率をみると放牧人工草地では53~66% (平均60%)、放牧自然草地では42~57% (平均50%)、放牧林地では30~35% (平均33%)で、人工草地、自然草地、林地の順に利用率は低くなっている。

なお人工草地は斜面長が200m余におよび、全般に斜面下部が緩斜地帯、中部と上部が急斜地帯であり、水飲み場は下部の緩斜地に設けられていた。そこで斜面の位置と牛の採食利用率との関係を調べたが斜面上部では、年によって異なるが、44~57%、中部では52~66%、下部では59~75%で下部ほど牛の採食は多かった。

Table 15. 各調査区における地表硬度(小国)
Hardness of surface soil for each research plot (Oguni) (kg/cm³)

草地 Grass area	放牧人工草地 Grazing tame grassland				放牧自然草地 Grazing native grassland		放牧林地 Grazing forest land		禁牧林地 Non-grazing forest land		
	踏圧裸地 Bare area by trampling	牛道 Cow trail	水みち Water path	牛道内水みち Water path with in cow trail	草地(下部) Grass area (Down part of slope)	草地(上部) Grass area (Upper part of slope)	牛道 Cow trail	林地 Forest area	水みち Water path	林地 Forest area	水みち Water path
2.2	3.5	4.2	4.4	44.8	2.5	1.0	4.0	1.1	3.0	1.7	3.0

(2) 地表および表層土壌

Table 15 は山中式土壤硬度計を用いて各調査区内の地表硬度を測定した結果である。一般に硬度は土壤組織、土壤水分などによって異なるが、ここでは同一火山灰土を対象とし、同一時期に測定しているので、土地利用による硬度差の比較ができよう。放牧区と禁牧林地との間には全体的傾向としては大きな差は認められないが、放牧区内の牛道およびこれから生じた水みち、休息地、水飲み場など牛の踏圧が集中するところでは当然きわめて高い値が示されている。この表で放牧自然草地および放牧林地の硬度が放牧人工草地のそれよりも小さいのは、測定前の放牧が人工草地では 422 C. d/ha であったのに対して自然草地では 208 C. d/ha、放牧林地では 131 C. d/ha と軽度であったことが関係していると考えられた。

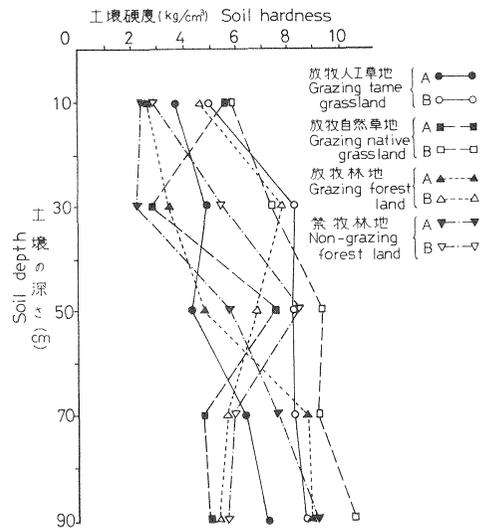


Fig. 24 各調査区の土壤硬度(小国)
Soil hardness for each research plot (Oguni).

Fig. 24 は後述のロッキーマウンテン型浸透計による浸透能測定地点(各調査区ごとに2地点)での土壤硬度測定値を示す。地表下 10 cm とそれ以深 20 cm ごとの測値で、いずれも 6~10 回測定平均である。この図によれば 10 cm 深の硬度では放牧自然草地に最大で、禁放林地に最小であり、他の放牧区がこれらの間にくることがみとめられる。踏圧差の影響と考えられる。しかし 30 cm 深さで深の土層ではこのような相対的関係がみとめられない。また急斜地(30°程度)と緩斜地(20°程度)で表層土の硬度を比較すると前者のそれが後者のそれより小さいことが認められた。これも急斜地は緩斜地よりも牛による踏み付けの頻度が少ないことに関係すると考えられた。

Table 16 に各調査区の急斜部(30°程度)と緩斜部(20°程度)の表層および深さ 20 cm の土壤の理学性の測定結果を示した。測定は自然状態での密度、飽水状態での密度、乾燥密度、含水比、容積重、最大含水量、真比重、間隙比、飽和度、透水強度、圧結度、pH、分散率、耐水度の 14 項目について行われたが、顕著な差が地目間であらわれたのは、Table 16 に示されている 6 項目であった。この表で以下の

Table 16. 各調査区における土壌の物理性 (小国)
Physical properties of soil in each research plos (Oguni)

	土壌深 Soil depth (cm)	放牧人工草地 Grazing tame grassland		放牧林地 Grazing forest land		禁牧林地 Non-grazing forest land		放牧自然草地 Grazing native grassland	
		A	B	A	B	A	B	A	B
乾燥密度 Dry density (g/cm ³)	表層	0.6	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.6
	20	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.8
容積重 Bulk density (%)	表層	59	41	41	49	34	38	43	63
	20	54	46	42	63	42	40	43	81
間隙比 Void ratio	表層	2.7	4.1	3.5	3.2	4.7	4.1	3.9	2.6
	20	3.3	3.9	3.7	2.6	3.7	3.8	4.3	2.1
透水強度 Percolation rate (cc/mm)	表層	32	40	75	14	77	141	11	17
	20	42	51	28	25	40	22	9	18
pH	表層	5.4	5.2	5.6	5.3	4.8	4.9	5.0	5.1
	20	5.5	5.2	5.7	5.5	4.8	4.8	5.0	5.1
耐水度 Water resisting quality (sec)	表層	141	754	553	363	989	952	301	604
	20	101	90	176	122	146	126	157	299

注 A:急斜地 B:緩斜地
Note Steep slope Gentle slope

ことがみとめられる。表層土の乾燥密度、容積重は禁牧林地のそれらが急斜地、緩斜地とも最小である。20 cm 深さについてもほぼ同様のことがみとめられる。また間隙比、透水強度、耐水度については禁牧林地の表層土のそれが急斜地、緩斜地とも最大である。しかし 20 cm 深の土壌ではこのようにいえない。これらのことから踏圧の影響が土壌の理化学性のある種のものについては表層土で、また他のものについては 20 cm 程度まで及ぶものと考えられた。しかし各放牧区の間での踏圧の影響の大小関係は明瞭には認められなかった。

pH についても禁牧林地と他の放牧区には差がみられた。牛の排泄物の影響と考えられた。しかし放牧

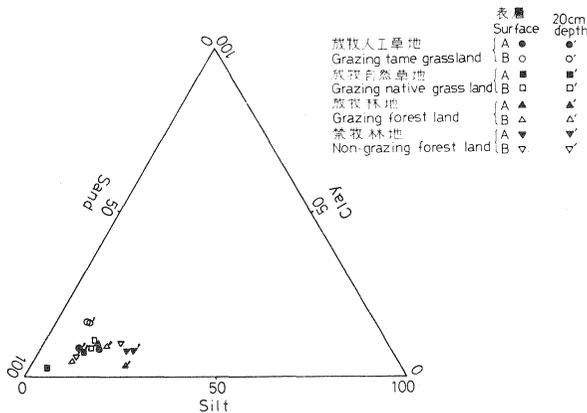


Fig. 25 土性図 (小国)
Triangle of soil textural classes (Oguni).

区の間差は明瞭ではない。

また各調査区の土性を代表地点の土層について測定した結果を Fig. 25 に示した。この図から大部分は砂質壤土とみられる。

(3) 浸透能

各調査区でロッキーマウンテン型浸透計を用いて浸透能が測定された。その結果は Fig. 26 のとおりである。これによれば禁牧林地での浸透能は他の放牧区のそれらよりも常に大きく、林地の浸透性がすぐれていることと放牧

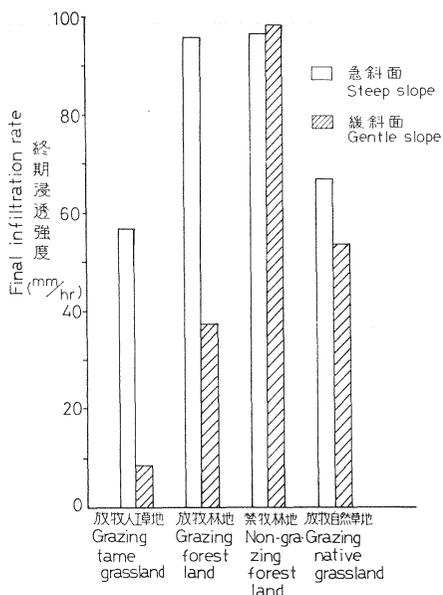


Fig. 26 各調査区の終期浸透強度 (小国)
Final infiltration rate for each research plot (Oguni).

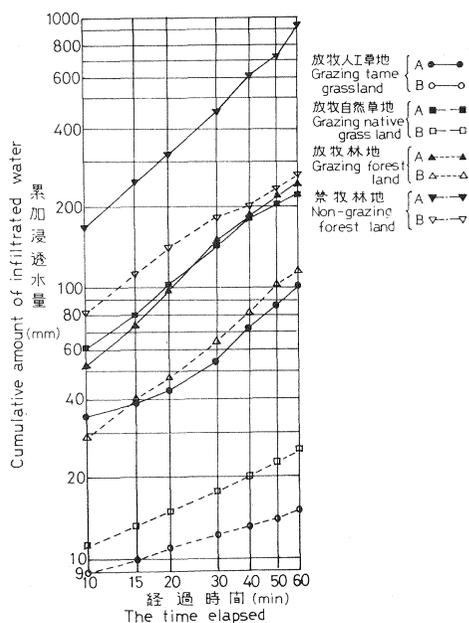


Fig. 27 各調査区の浸透経過 (小国)
(マスグレーブ型浸透計, 1973年9月測定)
Process of infiltration for each research plot (Oguni).
(Musgrave's infiltrometer, Sept. 1973)

Table 17. マスグレーブ型浸透計による浸透強度 (1973年9月測定) (小国)
Infiltration rate by MUSGRAVE'S infiltrometer (Sept., 1973) (Oguni)

	放牧人工草地 Grazing tame grassland		放牧林地 Grazing forest land		禁牧林地 Non-grazing forest land		放牧自然草地 Grazing native grassland	
	A	B	A	B	A	B	A	B
初期浸透強度 Initial infiltration rate	441	233	315	136	1,202	602	1,108	325
終期浸透強度 Final infiltration rate	285	185	222	82	879	791	883	516

注 A: 踏圧の少ない地点 Less trampling spot
Note B: 踏圧の多い地点 More trampling spot

による浸透能の低下を明らかに示している。林地でも放牧によって浸透性が劣化することが知られたが、しかし急斜面では禁牧林地との差がほとんどない。急斜面では踏圧の機会が緩斜面よりも少ないためと考えられる。なお禁牧林地では緩斜面と急斜面とでほとんど差がなかったが一般には林地では前者の方が後者より浸透能が高いといわれている。他の放牧区では急斜面の方が緩斜面より浸透性に富む結果となっているが、これはやはり緩斜面ほど牛の踏圧の頻度が大きいという事実と符合するものと考えられる。なお以上の浸透強度測定におけるロッキーマウンテン型浸透計の散水強度は 100 mm/hr である。したがってここに示した浸透強度はいわゆる最大終期浸透強度、すなわち浸透能ではない。

そこで給水強度のさらに大きいマスグレーブ型浸透計による測定も実施した。すなわち 1973 年および

1975 年に同じ地点で各 1 回ずつ実施した。

1973 年 9 月の測定結果を Fig. 27 と Table 17 に示す。これによると 60 分間の終期浸透強度が各調査区とも踏圧の少ない地点 (A) と踏圧の多い地点 (B) とで異なり常に後者のそれが前者より小さく、またそれぞれ前者の測値グループ、後者の測値グループ群についていえば放牧林地、放牧人工草地、放牧自然草地、禁牧林地の順に浸透強度が大きいことが知られる。

ロッキーマウンテン型浸透計による緩斜地測定結果と比較すると放牧林地と放牧人工草地の順位が逆転しているが、これは放牧林地での測定地点が踏圧頻度の高い部分に偏った結果と考えられた。いずれにしても放牧区では禁牧林地よりもかなり低い浸透強度を示している。

マスグレーブは浸透水量と注水開始からの経過時間との関係を次式で示した。

$$I = bt^a$$

ここで、 I : 累加浸透水量、 t : 経過時間、 a, b : 定数。

上式で a は受蝕性の指標として安定指数とも呼ばれ、難波⁹⁾らによれば、 a の値が大きいことは降水開始後の時間とともに浸透水量が減少していく時の減じ方が小さく、雨水の吸水に対して安定性のあることを示す。各調査区 A, B 両地点での a の値は Table 18 のとおりである。

この a の値は放牧林地、放牧人工草地、放牧自然草地、禁牧林地の順に大きくなる。

以上で放牧区がいずれも禁牧林地より浸透性が劣っていることは確かといえようが、放牧区 3 者間の差異はあるとしても順位については一般的にこのようになるとはいえない。この測定では放牧林地の測定地点が踏圧頻度の高い部分に偏ったことが考えられ、また放牧人工草地では放牧強度が大きかったのに対して放牧自然草地では測定時期が放牧終了後かなり経過してからになった。このため前 2 者に対して後者が大きい浸透強度になったことも考えられるからである。

Table 18. 各調査区での a (安定係数) の値 (小国)
Value of a , coefficient of stability, for each research plot (Oguni)

		放牧人工草地 Grazing tame grassland		放牧林地 Grazing forest land		禁牧林地 Non-grazing forest land		放牧自然草地 Grazing native grassland	
		A	B	A	B	A	B	A	B
Sept.,	1973	0.88	0.90	0.88	0.86	0.91	1.16	0.92	1.10
Mar.,	1975	0.65	0.28	0.88	0.81	0.96	0.69	0.79	0.79

注 A : 踏圧の少ない地点 Less trampling spot
Note B : 踏圧の多い地点 More trampling spot

Table 19. 各地での a (安定係数) の値
Value of a , coefficient of stability for various area

	火山岩地域 (岩手) Volcanic rock area (Iwate)	ローム地域 (東京) Roam area (Tokyo)	三紀層地域 (愛知) Tertiary area (Aichi)	花崗岩地域 (愛知) Granitic area (Aichi)	古生層地域 (岡山) Paleozoic area (Okayama)
林地 Forest land	0.72	0.68	0.75	0.24	0.84
裸地 Bare land	0.65	0.55	0.49	0.38	0.79

1973年9月測定での小国における a の値と各地でのそれとを比較するため Table 19 を示したが、小国の各測定区での a の値は他地方でのそれより大きく、放牧区でも各地の林地のそれらより大きな値となっている。これは小国地方の黒色土が孔隙性に富むためではないかと考えられるが、しかし測定円筒を挿入設定してから3か月程度で土壌が一部人為的に膨軟にされた直後に測定されたこともおおいに関係があるろう。したがって小国のこの値と他の各地の値をただちに比較することには無理があるかも知れない。また姫神調査地での測定によれば終期浸透強度が放牧人工草地5~8、放牧自然草地20~51、禁牧林地124~172 mm/hr という事例があったが、同じ注水式浸透計によっても小国の値がかなり大きくなっている。これも上述のことと同様な理由によるものであろう。

以上は測定円筒挿入設定後3か月の1973年9月にマスグレーブ型浸透計で測定した結果であるが、さらに同じ測定円筒を用いて1975年3月に再度測定を行った。その結果を Fig. 28, Table 20 に示した。この場合の60分間終期浸透強度は前回測定値よりもいずれも小さいものとなった。これは測定円筒を挿入設定してから約1年9か月を経過して一時的に膨軟になった一部の土壌もかたまっていたと考えられること、前は夏期であったが今回は初春で土壌水分に差があったと考えられることなどによるものであろう。60分間の終期浸透強度はA地点に大きくB地点で小さいことは前回とまったく同じであるが、A、B各地点グループで順位をみると放牧人工草地、放牧自然草地、放牧林地、禁牧林地の順に大きくなり、放牧区はいずれも禁牧林地より浸透性が低いことが示されている。各放牧区間の順位では放牧林地が放牧人工草地、放牧自然草地より高くなったが、これは前回測定と異なり今回測定では放牧林地での測定が放牧終了後約6か月を経て行われたことにも関係があるものと考えられる。

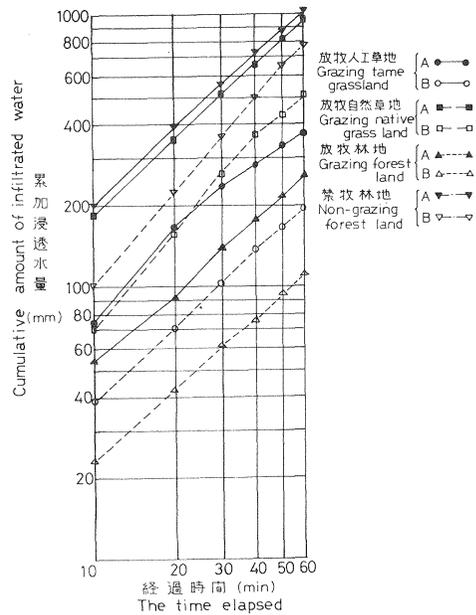


Fig. 28 各調査区の浸透経過（小国）
（マスグレーブ型浸透計，1975年3月測定）
Process of infiltration for each research plot (Oguni).
(Musgrave's infiltrometer, Mar. 1975)

Table 20. マスグレーブ型浸透計による浸透強度（1975年3月測定）（小国）
Infiltration rate by MUSGRAVE'S infiltrometer (Mar., 1975), (Oguni)

	放牧人工草地 Grazing tame grassland		放牧林地 Grazing forest land		禁牧林地 Non-grazing forest land		放牧自然草地 Grazing native grassland	
	A	B	A	B	A	B	A	B
初期浸透強度 Initial infiltration rate	198	54	182	174	972	498	354	72
終期浸透強度 Final infiltration rate	108	12	150	96	870	228	180	12

(mm/hr)

1975年3月測定による α の値を Table 18 に併記してあるが、これも放牧林地の値は禁牧林地のそれに匹敵するようで、他の放牧区のそれらより大きい値を示している。終期浸透強度を Table 20 に示したが、これも放牧林地の値は他の放牧区のそれらより大きい値を示している。これらのことから放牧林地では放牧終了後比較的短期間に浸透能が回復する傾向があるといえるのかも知れない。

(4) 流出土砂量

前述のロッキーマウンテン型浸透計による浸透能測定の際、地表流出中の土砂量を測定し、各調査区ごとに傾斜の緩急別に結果をまとめたのが Fig. 29 である。調査区別では禁牧林地の流出土砂がきわめて少ないのがめだっている。また草地は林地にくらべて流出土砂量が多いといえるかも知れない。地表傾斜別では、禁牧林地では急斜面よりも緩斜面で流出土砂量が少ないが、放牧区では急斜面よりも緩斜面の方が流出土砂量が多い。これは放牧牛の行動が緩斜面において比較的活発であることと符合すると考えられる。Fig. 30 は地表流出水量と流出土砂量との関係を示したものである。両者の関係は次式であらわされる。

$$\log r = 0.0052 S_r + 0.6289$$

ここで、 r : 地表流出水量 (mm/hr), S_r : 流出土砂量 (kg/ha/hr)。

この図でとびはなれた1点は放牧林地の緩斜面での測値であるが、とびはなれた理由はいろいろ考えられるが特定のそれに限定できない。

Table 21 は各調査区内に設けた地表流出区(プロット)からの年間流出土砂量、年間の C. d あたりの流出土砂量を示す。測定期間は1972~1976年の4か年である。各測定期間の流出土砂量は変動がはげしいが、雨量、放牧頭数、放牧期間、土地利用状況などが変動していることに符合するものと考えられ

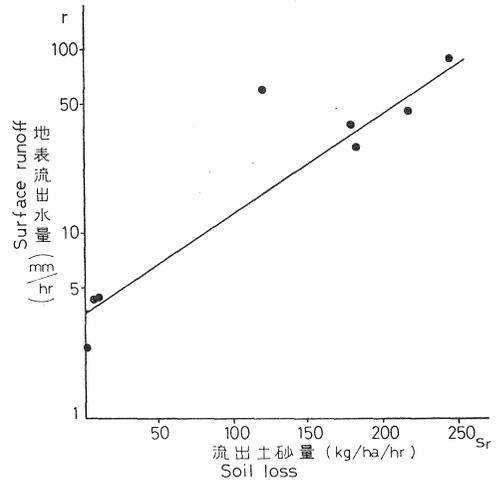
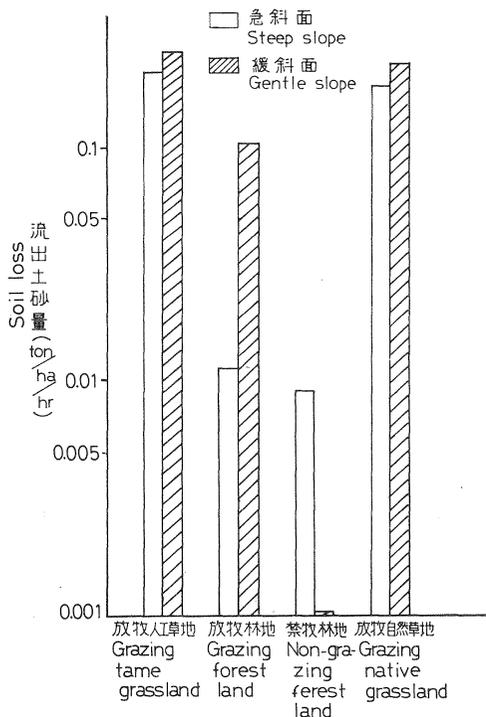


Fig. 30 地表流出水量と流出土砂量との関係 (小国)

Relation between surface run-off and soil loss (Oguni).

Fig. 29 各調査区の流出土砂量 (小国)
Soil loss for each research plot (Oguni).

る。年間流出土砂量の調査区別順位は放牧区間では年によって異なり、一定しないが、常に禁牧林地では最少である。また Fig. 31 から概して林地では草地よりも流出土砂量が少ないといえるかも知れない。この図で放牧自然草地の年流出土砂量が他区よりもかなり多いのは放牧のほかに草地改良のため毎年火入れを行っているという事実が符合すると考えられる、ただし1974年の測値が林地のそれらと同等の小値であるのはこの年だけ火入れを実施しなかったことに符合すると考えられる。放牧各区の流出土砂量から禁牧林地の流出土砂量を差し引いた量を、かりに放牧の影響による流出土砂量として C. d/ha あたりの流出土砂量 (kg/C. d/ha) を Table 21 に併記した。これらの値を比較すると放牧人工草地で少なく、ついで放牧林地、放牧自然草地と多くなっており、放牧強度に関しては人工草地は比較的浸食に強いといえる

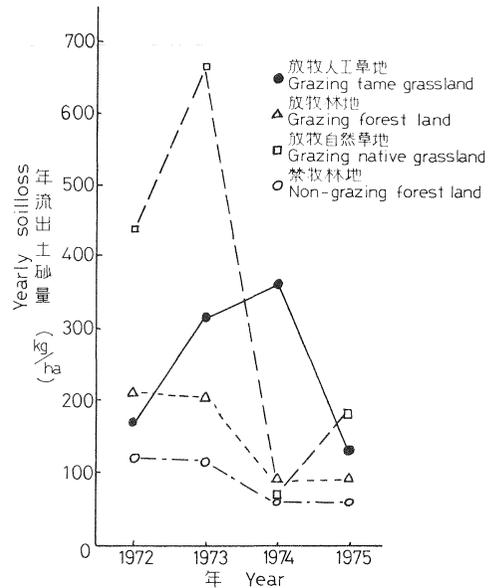


Fig. 31 各調査区の年流出土砂量 (小国)
Yearly soil loss for each research plot (Oguni).

るかも知れない。また第1, 第2年目の最終回測定は前年の放牧終了後から当年の春までの期間に対するもので、林地区 (落葉樹林) は草地よりもかえって地被状態が比較的悪いときがあり、一方草地では放牧していない。このため流出土砂量は放牧林地、禁牧林地、放牧人工草地、放牧自然草地の順に少なくなるという場合がおこるものと考えられる。以上の結果から地表流出区からの流出土砂量は年間としては禁牧林地が常に少なく、放牧各区で多いといえる。ただし放牧自然草地の場合火入れが行われることも流出土砂量を多くする大きな原因となっていると考えられる。また放牧と豪雨が時期的に重なった場合は流出土砂量がとくに多くなること、放牧の影響は放牧終了後それほど長期にわたらないことも知られた。

放牧人工草地、放牧林地、禁牧林地の各調査区では区内に小流域を設定し、その流出土砂量を測定した。その結果を Table 22 に示した。この結果もプロット測定の場合と同様放牧期における流出土砂量は禁牧林地で最少である。しかし放牧林地の値は放牧人工草地のそれより大きく、プロットの結果と異なる。流出土砂量は地形、とくに集水面積の大きさに非常に左右される、たとえば面積が大きいと斜面または流路の途中で沈積する機会が多くなることが考えられる。このため面積の小さい放牧林地流域の流出土砂量が面積の大きい放牧人工草地のそれより多くなったものと考えられる。他にも理由があると思われるがここでは明らかにできなかった。

(5) 地表流出水量

ロッキーマウンテン型浸透計による地表流出水量は当然 Fig. 26 の各浸透能測値 (浸透水量) と逆の関係にあるから、浸透強度の大きい調査区では流出水量が少ない。

地表流出区 (プロット) で流出土砂量と同時に測定した年間の地表流出量の結果を Table 23 に示している。この表によれば、一般に地表流出水量はきわめて少なく、その量は放牧人工草地の1例を除いて、降雨量の1%にもみたく、表土である黒色土の浸透がきわめて良好なことが示されている。一部に欠測が

Table 21. 各調査区からの流出土砂量(小国)
Soil loss for each research plot (Oguni)

(kg/ha)¹⁾

測定期間 Term	放牧人工草地 Grazing tame grassland	放牧林地 Grazing forest land	禁牧林地 Non-grazing forest land	放牧自然草地 Grazing native grassland
May 13~Jun. 12, 1972	41	7	5	10
Jun. 13~Jul. 12	42	52	36	314
Jul. 13~Sept. 12	14	21	13	76
Oct. 7~Nov. 20	7	15	4	5
Nov. 21~Apr. 6, 1973	69	130	70	43
計 Total	173	225	128	448
C. d/ha	274	111		208
kg/C. d/ha ²⁾	0.17	0.87		1.53
Apr. 7~May 23, 1973	39	54	50	516
May 24~Jul. 20	115	8	8	123
Jul. 21~Sept. 17	48	33	4	16
Sept. 18~Nov. 15	103	40	6	9
Nov. 16~Mar. 29, 1974	22	75	51	11
計 Total	327	210	119	675
C. d/ha	405	86		77
kg/C. d/ha	0.51	1.08		7.23
Mar. 30~May 29, 1974	5	13	18	15
May 30~Jun. 10	32	20	4	11
Jun. 11~Jun. 28	5	3	2	3
Jun. 29~Jul. 29	90	15	2	13
Jul. 30~Sept. 6	144	13	4	6
Sept. 7~Oct. 4	38	6	6	5
Oct. 5~Nov. 12	12	5	4	3
Nov. 13~Feb. 6, 1975	18	3	7	6
Feb. 7~Mar. 7	11	8	8	5
Mar. 8~Apr. 10	11	12	12	12
計 Total	366	98	67	79
C. d/ha	323	89		151
kg/C. d/ha	0.93	0.36		0.08
Apr. 11~May 8, 1975	5	3	4	9
May 9~Jun. 10	8	10	4	11
Jun. 11~Jul. 14	4	17	3	144
Jul. 15~Aug. 6	13	11	3	8
Aug. 7~Sept. 3	3	9	2	3
Sept. 4~Oct. 7	3	7	2	3
Oct. 8~Nov. 7	16	7	1	1
Nov. 8~Dec. 11	27	4	1	0
Dec. 12~Jan. 16, 1976	10	8	9	1
Jan. 17~Feb. 12	11	13	9	0
Feb. 13~Mar. 23	38	10	13	3
計 Total	138	99	51	183
C. d/ha	(254)	—		145
kg/C. d/ha	(0.34)	—		0.90

1) 絶乾重量 Oven dry weight

2) (放牧各区の年流出土砂量-禁牧林地の年流出土砂量)÷C. d/ha
(Yearly soil loss for each grazing plot-Yearly soil loss for non-grazing plot)÷C. d/ha

Table 22. 各調査流域の流出土砂量 (小国)
Soil loss for each research basin (Oguni)

(t/ha)*

測定期間 Term	放牧人工草地 Grazing tame grassland	放牧林地 Grazing forest land	禁牧林地 Non-grazing forest land
Mar. 30~May 29, 1974	3	28	4
May 30~Jun. 10	27	30	1
Jun. 11~Jun. 28	22	31	1
Jun. 29~Jul. 29	16	213	0
Jul. 30~Sept. 6	35	108	0
Sept. 7~Oct. 4	2	10	0
計 Total	105	420	6

* 湿土容積 Volume of wet soil

Table 23. 各調査区の地表流出水量と雨量 (小国)
Surface runoff and rainfall for each research plot (Oguni)

測定期間 Term	放牧人工草地 Grazing tame grassland (m ³ /ha)	放牧林地 Grazing forest land (m ³ /ha)	禁牧林地 Non-grazing forest land (m ³ /ha)	放牧自然草地 Grazing native grassland (m ³ /ha)	雨量 Rainfall (mm)
May 24~Jul. 20, 1973	10.2	9.3	7.4	2.4	300
Jul. 21~Sept. 17	31.8	26.4	9.3	20.1	390
Sept. 18~Nov. 15	8.5	10.8	5.0	12.0	166
Nov. 16~Mar. 29, 1974	6.6	12.0	9.8	13.4	239
計 Total	57.1	58.5	31.5	47.9	1,095
Mar. 30~May 29, 1974	20.8	21.2	17.1	26.1	279
May 30~Jun. 10	9.9	5.2	2.2	2.7	73
Jun. 11~Jun. 28	8.3	9.5	2.5	5.4	156
Jun. 29~Jul. 29	45.3	38.2	21.3	26.1	468
Jul. 30~Sept. 6	6.8	19.6	9.6	8.1	210
Sept. 7~Oct. 4	11.1	—	5.9	8.4	244
Oct. 5~Nov. 12	8.2	—	4.9	6.0	175
Nov. 13~Feb. 6, 1975	8.8	5.5	1.8	8.2	221
Feb. 7~Mar. 7	2.1	1.2	0.6	1.0	59
Mar. 8~Apr. 10	5.6	5.7	2.9	5.1	130
計 Total	126.9	(106.1)	68.8	97.1	2,015
Apr. 11~May 8, 1975	7.2	10.0	7.3	7.8	208
May 9~Jun. 10	5.1	7.2	4.3	6.1	143
Jun. 11~Jul. 14	29.2	31.7	29.5	55.3	784
Jul. 15~Aug. 6	0.7	0.4	0.3	0.5	104
Aug. 7~Sept. 3	5.2	4.4	2.5	4.4	136
Sept. 4~Oct. 7	5.1	6.8	2.8	5.9	178
Oct. 8~Nov. 7	4.1	4.6	0.5	4.9	91
Nov. 8~Dec. 11	4.4	7.3	0.3	6.1	153
Dec. 12~Jan. 16, 1976	0.4	0.7	0.2	0.5	15
Jan. 17~Feb. 12	0.3	0.6	0	0.3	5
Feb. 13~Mar. 23	7.2	7.7	4.3	8.5	338
計 Total	68.9	81.4	52.0	100.3	2,155

Table 24. 各調査流域のピーク流量と時雨量 (小国)
Peak discharge and correlated hourly rainfall for
each research basin (Oguni)

No.	月 Month	時雨量 Hourly rainfall (mm/hr)	先行雨量* Antecedent rainfall (mm)	ピーク流量 (l/s/ha)		
				放牧人工草地 Grazing tame grassland	放牧林地 Grazing forest land	禁牧林地 Non-grazing forest land
1	Jul. 1974	18	6	3.57	5.91	0.04
2	"	12	29	2.11	3.49	0.04
3	"	10	10	3.74	3.49	
4	"	9	2	0.69	2.90	
5	"	14	15	12.48	8.37	0.06
6	"	37	1	39.52	33.49	0.53
7	"	23	11	62.86	34.23	0.02
8	"	25	3	29.82	22.19	
9	"	12	1	3.09	2.37	
10	"	16	13	12.72	4.61	
11	"	8	17	16.84	3.70	
12	"	9	25	19.37	6.48	
13	"	22	12	1.99	3.49	
14	"	16	0	24.53	24.62	0.04
15	Aug. 1974	32	0	25.54	48.37	0.01
16	"	22	16	23.54	11.33	0.02
17	"	9	20	3.24	1.62	
18	Sept. 1974	16	1	0.01	4.61	
19	"	10	10	1.43	1.25	
20	"	11	12	1.87	4.14	
21	"	11	19	3.57	2.05	
22	"	9	23	2.24	2.05	0.04
23	"	10	24	2.50	0.93	
24	"	7	7	0.05	0.66	
25	"	4	2	0.04	0.01	

* ピーク出現前3時間内の雨量
Total rainfall within 3 hours before peak flow.

あって十分比較できないが、各年の総流出水量の調査区別順位は放牧人工草地、放牧林地、放牧自然草地、禁牧林地の順で、禁牧林地で最少となっている。ただし個々の測定期間ごとにとみると必ずしも一定ではない。とくに冬季間では地被状態が林地より草地の方が良好であった場合もあったためと考えられる。

前述の小流域で測定し得られたピーク流量とその時の雨量を Table 24 に示した。この期間に放牧人工草地、放牧林地の両流域では 25 回、禁牧林地では 9 回のピーク流量が測定された。この表によれば禁牧林地の測値は同時に測定された他の 2 流域のそれらより常に小さい値を示している。このことから放牧流域のピーク流量は禁牧林地に比してかなり大きくなるものと考えられよう。ただし流域の地形、大きさの違いがあるから、こんども調査を重ねる必要がある。

放牧人工草地流域と放牧林地流域のピーク流量を比較すると、放牧人工草地のそれが放牧林地のそれより大きい場合は 13 例、逆の場合は 8 例、残り 4 例はほとんど差がない。しかしこの傾向は同じ 1 日のうちでも逆になった場合もあり、また両者の平均値をとると放牧人工草地 11.9 l/s/ha、放牧林地 9.5 l/s/ha で

有意な差とは認められなかったこともあり、必ずしも放牧人工草地の方が放牧林地よりピーク流量が常に大きくなるとはいえないようである。このことはまたピーク流量への影響は林冠の有無より放牧の有無の方が大きいことを示しているのかも知れない。

つぎにこれら3流域の共通の雨によるピーク流量について時雨量との関係はそれぞれつぎの直線回帰式であらわされた。

$$Q_{ag} = 1.616 P_0 - 8.734 \text{ (放牧人工草地)}$$

$$Q_{gf} = 1.147 P_0 - 5.917 \text{ (放牧林地)}$$

$$Q_f = 0.016 P_0 - 0.203 \text{ (禁牧林地)}$$

ここで、 Q ：ピーク流量、 P_0 ：時雨量。

またピーク現出時前3時間内の積算降雨量をも考慮にいれて重回帰関係を調べたところ次式であらわされた。

$$Q_{ag} = 1.501 P_0 + 0.265 P_3 - 13.189 \text{ (放牧人工草地)}$$

$$Q_{gf} = 1.067 P_0 - 0.004 P_3 - 7.621 \text{ (放牧林地)}$$

$$Q_f = 0.017 P_0 + 0.001 P_3 - 0.235 \text{ (禁牧林地)}$$

ここで、 P_3 ：ピーク時前3時間内の先行雨量。ただし前2式は1%有意水準、禁牧林地の式は5%有意水準以下であった。

上述のことから、いちおう放牧人工草地、放牧林地の両流域ではピーク流量が禁牧林地よりかなり大きくなるものといえよう。

3. 放牧試験地による試験

村井 宏, 岩崎勇作, 北田健二, 北田正憲, 片岡健次郎
神長每夫, 川崎金治, 小川 澄

1) 試験の方法

(1) 試験地の概要

試験地は岩手県岩手郡西根町平笠, 上坊山国有林 526 林班内に設けられた。ここは Fig. 32 に示すように岩手山 (2,040 m) の北東麓にある。気候の特色として、まず冬季寒冷なこと、つぎに偏西風が卓越するために風衝面となる凸部地形は積雪が少なく地表が露出するため 0.2 m 以上も土壌が凍結することがあげられる。試験期間中の気象観測結果は後述するが暖候期 (5~10月) の降雨量は 650 mm 前後、年総量は 1,300 mm 前後であった。気温は 8 月が最高で平均最高気温は 26.2°C, 最低は 1 月にあらわれ、平均最低気温は -7.9°C である。なお最深積雪は 0.5~1.0 m である。

標高は 500~550 m, 北東面斜面で、傾斜は 5~40° にわたり変化に富む。土壌母材は岩手山噴

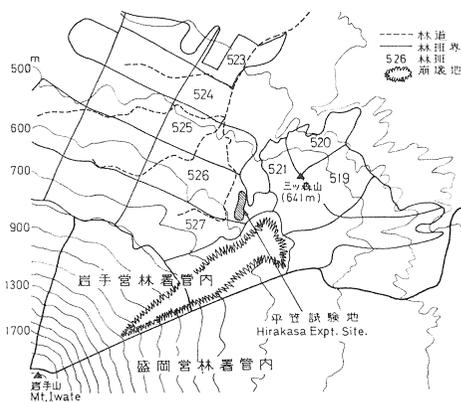


Fig. 32 平笠試験地の位置
Location of Hirakasa experimental site.

火による新しい火山放出物で、土壤型は B/b(d) で代表され、未熟な砂質壤土である。弱酸性で、置換酸度は低く、燐酸吸収力が高い。表層に堆積するスコリアは腐植で汚染されている。

試験地設定前の森林は、東北地方の低山地帯の代表的な森林型と考えられるアカマツ—コナラ—クリ群叢に属する針広混交林であった。アカマツの樹高は 17~19 m、下層木の広葉樹類は 10 m 前後であった。地床植物はクマイザサが優占し、イヌヨモギ、スズラン、アキノキリンソウなどがみられ、低木類にはクロモジ、アオダモ、ハンバミなどがみられた。この森林は一般的な用材生産林として施業されてきたもので、過去に放牧されたことはない。

試験地設定のための立木伐採は 1971 年の秋に実施された。その際伐採木の集材は主にトラクタが用いられたため一部の林床は著しく攪乱または圧密された。また伐採木の枝条を伐採跡地の各所にまとめて焼却したため、その場所の落葉など地被物も完全に燃焼し、円斑状裸地が生じた。この人為裸地を全域についてまとめてみるとブルドーザによるものが 18 か所、約 910 m²、焼却によるものが 51 か所、約 460 m² となり、全試験地面積の 13.5% に達していた。

(2) 試験の実行

(i) 試験区および観測施設

天然生の約 70 年生アカマツ林地とその皆伐跡地に Fig. 33 (Photo. 16~21) に示すような試験区を配置し、Table 25 のような試験処理を行った。試験区と観測施設などは伐採の完了した 1971 年秋から試験放牧を開始した 1972 年春にかけて設定した。すなわち各試験区に地表流出区(斜面長 40 m、幅 20 m を基準)を 1 区ずつ設定したが、その位置は前掲の Fig. 33 の中に示されている。地表流出区の下端にはコンクリート U 字溝を連結して設置し、流出土砂を補そくした。流出水はフィルターを通過して木製量水槽に導入され、貯水変化は自記水位計で記録された。また放牧による地表変動を把握するため各区に 5~10 m 間隔で 3 cm 角の木杭を打ちこみ、定期的にその高さを測定し、また線状法による裸地調査の基準点とした。

(ii) 各試験区の植被およびその取り扱い

禁牧林地：

立木本数は ha 当たりアカマツ 530 本、広葉樹 150 本、計 680 本で、材積は 313 m³ である。立木の分布は Fig. 34 に示されている。

放牧林地：

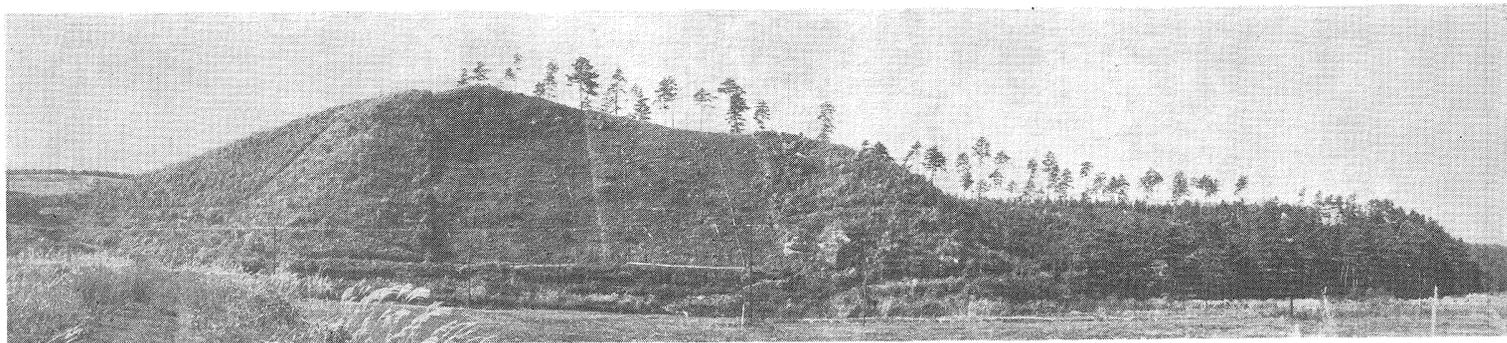
立木本数はアカマツ 330 本、広葉樹 20 本、計 350 本で材積は 205 m³ である。禁牧林地と同様立木の配置は不均一で林冠の空開地がある。アカマツの樹高 17~19 m、広葉樹は 6~10 m である。林床木本類は除去されず、そのままとされた。

放牧皆伐跡地：

アカマツ伐採後に末木、枝条は集積、焼却された。しかし地表の木本類、ササは除去されず、そのまま放牧が実行された。

放牧人工草地：

急斜地では木本類を刈り払い、アカマツの末木、枝条とともに人力で集積し、焼却した。緩斜地ではレーキドーザ(約 13 ton)により伐根が林床の木本類、末木、枝条とともに区外に運びだされたが、そのため表土は掻き起こされて耕起の必要がなくなり、そのあとレーキドーザによる地ならしだけが行われ



←緩・人・重→ | ←急・伐・重→ | ←急・伐・禁→ | ←急・人・重→ | ←急・人・中→ | ←急・伐・中→ | ←急・林・中→ | ←急・林・禁→
 G・T・H | S・C・H | S・C・N | S・T・H | S・T・M | S・C・M | S・F・M | S・F・N

Photo. 16 平笠試験地の全景
 A bird's-eye view of Hirakasa experimental site.

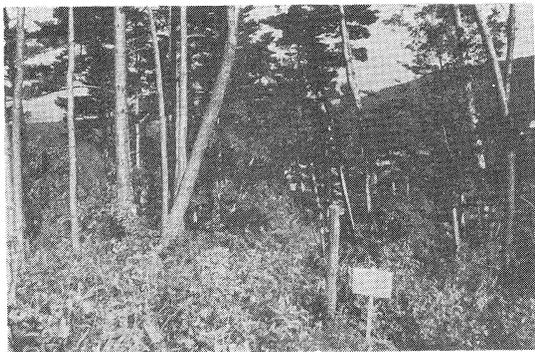


Photo. 17 急・林・禁區 (平笠)
 S・F・N plot (Hirakasa).



Photo. 18 急・林・中區 (放牧4年目) (平笠)
 S・F・M plot (Fourth year with grazing) (Hirakasa).



Photo. 19 急・伐・重区 (放牧 4 年目)
(平笠)
S・C・H plot (Fourth year
with grazing) (Hirakasa).

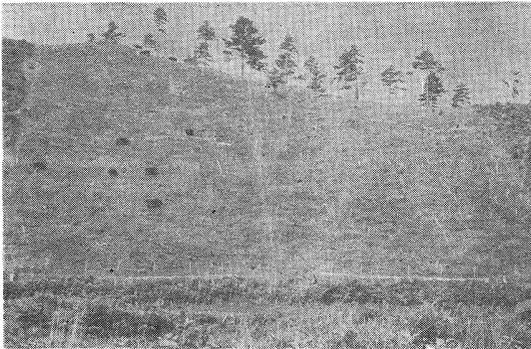


Photo. 20 急・人・中区と急・人・重区
(放牧 4 年目) (平笠)
S・T・M plot and S・T・H
plot (Fourth year with grazing)
(Hirakasa).

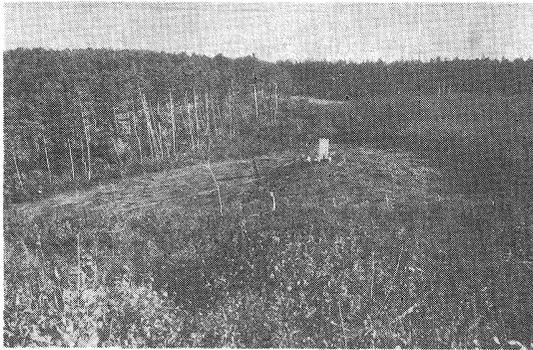


Photo. 21 緩・人・重区 (放牧 4 年目)
(平笠)
G・T・H plot (Fourth year
with grazing) (Hirakasa).

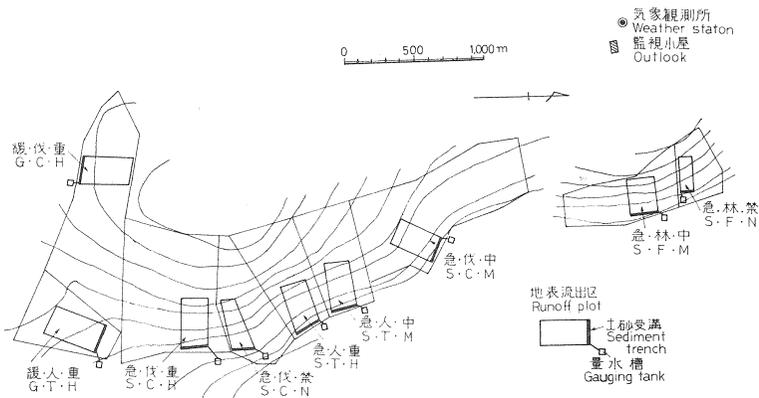


Fig. 33 試験区と
測定施設 (平笠)
Experimental
plots and
equipment
(Hirakasa).

Table 25. 試験区と試験処理（平笠）
Experimental plots and treatments (Hirakasa)

試験区 Experimental plot	傾斜 Gradient	地被 Ground cover	植生 Vegetation	放牧 Grazing	面積 Area (m ²)
急・林・禁 S・F・N	急傾斜 Steep slope	森林地 Forest land	アカマツ天然林 Akamatsu (<i>P. densiflora</i>) natural forest	禁牧 Non	1,200
急・林・中 S・F・M				中庸 Moderate	2,800
急・伐・禁 S・C・N		皆伐跡地 Clear cut area	広葉樹低木類 Broad leaved shrub	禁牧 Non	2,700
急・伐・中 S・C・M				中庸 Moderate	5,800
急・伐・重 S・C・H				重度 Heavy	5,800
急・人・中 S・T・M		人工草地 Tame grassland	オーチャードグラス Orchard grass	中庸 Moderate	2,700
急・人・重 S・T・H				重度 Heavy	2,700
緩・伐・重 G・C・H	緩傾斜 Gentle slope	皆伐跡地 Clear cut area	広葉樹低木類 Broad leaved shrub	重度 Heavy	5,800
緩・人・重 G・T・H		人工草地 Tame grassland			オーチャードグラス Orchard grass

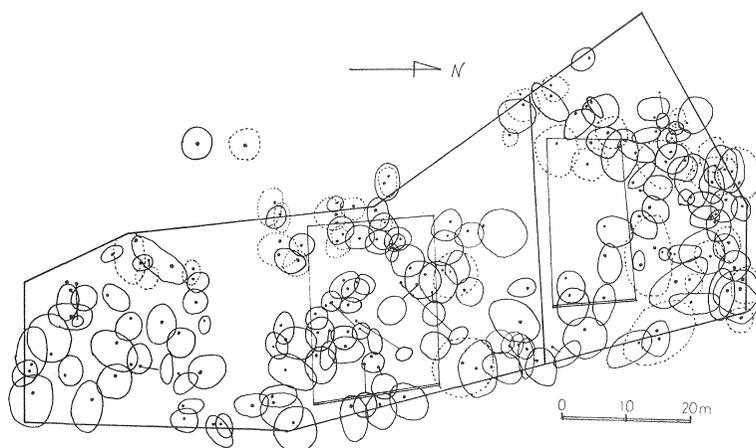


Fig. 34 林地区（急・林・禁区，急・林・中区）の立木分布（平笠）
Distribution of trees in two forest plots;
S・F・N and S・F・M (Hirakasa).

た。一般に草地造成事業では急傾斜地においては不耕起造成法，緩傾斜地においては耕起造成法がとられるので，この試験でも同様の方法をとった。土壌改良剤として炭酸カルシウムを 10 a あたり 100 kg 散布し，また基肥として草地化成肥料と 過磷酸石灰を成分量で 10 a あたり N 8.2 kg, P₂O₅ 10.4 kg, K₂O 8.2 kg の割合で施用した。播種は 9 月中，下旬に行い，10 a あたりオーチャードグラス 1.5 kg, ケンタッキ

— 31 フェスク 1.5 kg, ケンタッキーブルーグラス 1.0 kg, ペレニアルライグラス 0.5 kg, 計 4.5 kg を用いた。

(iii) 草地および放牧管理

人工草地の追肥：

追肥量は小原⁹⁾の施肥設計をもとにして生草収量 10 a 当たり 5 ton を目標とし、うち 1 ton 分は放牧牛の糞尿によるものとし、4 ton 分の施肥量とした。すなわち 1972 年は 2 回、1973～1975 年は 3 回に分割施用し、計 N 20 kg, P₂O₅ 8 kg, K₂O 16 kg を年間施与した。

供試牛と放牧：

黒毛和種の繁殖用成牛と育成牛を用い、輪換放牧回数は皆伐跡地と成林地が 2 回、人工草地は 5～6 回とした。放牧強度の中庸度と重度は採食利用率によって差をつけた。すなわち皆伐跡地では利用率 50～60% を中庸度区、80～90% を重度区とし、人工草地では 60～70% が中庸度区、70～80% 内外を重度区とした。

各牧区に貯水槽を設置して配管、給水した。放牧牛の健康、病牛の発生状況についてはとくに異常を認めなかった。

2) 試験の結果

(1) 気 象

試験地の北端の高地(標高 548 m)に気象観測施設を設置し、1971 年春から気温、湿度、風向、風速、雨量、日照などを長期自己記録装置により 1976 年春まで継続観測した。また冬季の積雪状況を把握するため毎年 3 月上旬(最深積雪時)に積雪深、積雪密度、土壤凍結深などを測定した。

Table 26 は観測期間 5 か年の各気象要素の平均値を示したものである。この結果を周辺の奥羽山系、北上山系、平野部のものと比較検討してみたところ全般に最高気温が低いこと、4～5 月の風がやや強いこと、各月の日照時間がやや少ないことなどが特徴と考えられた。

牧草など植生の生育に主として関連する気象要素は生育期間(5～10月)の気温と雨量であり、水や土砂の流出との関連では雨量とくに降雨強度が問題となる。各年の 5～10 月の平均気温とその較差を Fig.

Table 26. 平 笠 の 気 候

Climate at Hirakasa

(1971～1975)

		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	平均 Mean
気 温 Temperature (°C)	最 高 Max.	-1.7	-1.6	0.7	11.2	17.6	20.2	25.1	26.2	20.5	13.9	6.2	-0.5	11.5
	最 低 Min.	-7.9	-8.4	-6.9	1.4	5.5	11.4	16.4	18.0	12.7	5.4	-1.6	-6.3	3.3
	平 均 Mean	-4.8	-5.0	-3.1	6.3	11.6	15.8	20.8	22.1	16.6	9.7	2.3	-3.8	7.4
湿 度 Humidity (%)	最 小 Min.	25	21	19	9	11	24	20	31	28	13	19	26	
	平 均 Mean	49	54	55	56	60	76	78	78	76	73	66	56	65
平均風速 (m/s) Mean wind velocity		3.3	3.8	3.7	5.7	5.4	3.6	3.3	2.5	3.7	3.6	3.8	3.6	3.8
日照時間 (hr) Duration of sunshine		138	152	180	181	258	184	201	208	148	160	139	87	170
雨 量 (mm) Rainfall		×	×	×	×	93	125	133	267	196	135	152	×	

× 測定せず Non-observation

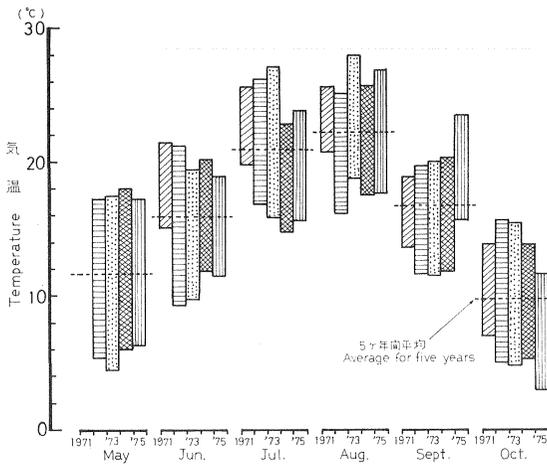


Fig. 35 試験期間中の月別の最高、最低気温（平笠）
Monthly max. and min. temperature during the experimental period (Hirakasa).

Table 27. 地表流出および流出土砂観測期間中の降雨（平笠）
Rainfall during the soil and water runoff observation term (Hirakasa)

観測期間 Term	Jun. 10~Dec. 6 1972	Jun. 8~Nov. 13 1973	Jun. 5~Nov. 29 1974	May 22~Nov. 18 1975
総雨量 (mm) Total rainfall	1,260	529	870	848
最大日雨量 (mm) Max. daily rainfall	96	215	120	99
最大時雨量 (mm/hr) Max. hourly rainfall	23	45	21	
10 mm 以上の降雨回数 Frequency of rainfall > 10 mm	38	19	26	26

35 に、また同期間の雨量とその日最多量を Table 27 に示した。これらによっても明らかなように各年とも8月は気温は高く、雨量も多いが、月別雨量や月最大量は年によってかなりの変動がみられる。なお月平均気温から当該地の温量指数と寒量指数を計算したところ前者は 69°C、後者は 30°C という値が得られた。

つぎに冬の積雪状況についてみる。当該地は一部の試験区を除き東向き斜面で、冬の偏西風の風背面となるため降雪が局所に吹きこもらる傾向があり、年によって若干異なるが最深積雪は 100 cm 前後に達する。風衝面にあった森林が皆伐されたため山頂部に小規模の雪庇が形成される。南面する一部試験区は風で降雪が吹きはらわれるので、最深積雪は 50~60 cm であって、風あたりがとくに強い山頂部は深さ 0.1~0.3 m 程度土壌が凍結する。しかしながら積雪の移動や土壌凍結が起因となって地表が破壊されるような状況は道路のり面以外には認められなかった。

(2) 放牧状況

放牧季節と回数：

皆伐跡地と林地では 6 月下旬~7 月上旬と 9 月の 2 回放牧した。人工草地は 5 月下旬~10 月中旬の間に前期 2 年間は 5 回、後期 2 年間は 6 回輪換放牧を行ったが、緩斜地では草生状態により前期は 3~4 回で

Table 28. 各試験区の年別の Cow day. (平笠)
Cow day by year for each experimental plot (Hirakasa)

試験区 Experimental plot	1972	1973	1974	1975	計 Total	平均 Average
急・林・中 S・F・M	67	79	67	58	271	68
急・伐・中 S・C・M	95	145	83	114	437	109
急・伐・重 S・C・H	83	108	107	96	394	99
緩・伐・重 G・C・H	99	107	96	84	386	97
急・人・中 S・T・M	353	507	510	505	1,875	469
急・人・重 S・T・H	532	775	767	661	2,735	684
緩・人・重 G・T・H	379	719	763	677	2,538	635

あった。

Cow day (C. d) :

各区の4年間の ha 当たり Cow day は Table 28 のとおりである。すなわち林地においては年平均 ha 当たり 68, 皆伐跡地では 97~109 で大きな差はなく, しかも中庸度区が 109 で最も大きい, これはこの区の可食草量が他の区(重度放牧)よりも多量であったためであり, 採食利用率についての吟味は後に述べる。人工草地では急傾斜・中庸度放牧区が年平均 469, 急傾斜・重度放牧区が 684, 緩傾斜・中庸度放牧区が 635 となり, 中庸度区は約 470, 重度区は 640~680 となる。これを林地と対比すれば皆伐跡地は 1.4~1.6 倍, 人工草地は約 7~10 倍となる。放牧牛の増体重量は4年間をとおしてみれば中庸度区では増, 重度区ではやや減の傾向がみられた。

なお傾斜地における放牧牛の行動を知るために 1973 年と 1975 年の 2 回にわたって早朝から夕刻まで調査を行った。早朝および夕方は観察により, その他の時間ではメモーションカメラによって撮影した。放牧牛の行動は季節および植生型, 牧養力や滞在日数その他の要因によって異なるが, この調査の限りでは皆伐跡地と人工草地のいずれでも調査した時間のおおよそ 40% を傾斜の緩な 1, 2 の地点で過ごし, 60% 内外を採食・移動にあてていることがわかった。このため皆伐跡地(野草地)では休息場所が完全に裸地化して草生が回復しがい状態になった。人工草地においても同様に緩傾斜地に休息するための裸地が発生するけれども牧草類の生育がおう盛なため回復して裸地面積が縮少する場合もあった。

(3) 放牧の影響

(i) 植被に対する影響

生草収量および生産量 :

各回の入牧時の生草重量の合計によって各区の年次別推移をみれば Table 29 のとおりである。林地においては初年目 10 a 当たり約 680 kg を示したが, 年ごとに減少し, 4 年目には約 500 kg となった。これは主としてクマイザサの衰退によるものと思われる。つぎに皆伐跡地では各牧区とも初年目に比べて 4 年目は増加したが, 中庸度区の 66% の増に対して 重度区は急斜地, 緩斜地とも 20% 台の増加にとどまり, 両者間に違いがみられた。人工草地では各区とも 3 年目までは増加し, 4 年目に若干減少したが, 初年と 4 年目の対比では 4 年目が急斜地の中庸度区の約 90% の増に対して, 重度区は 50% であった。なお

Table 29. 各試験区の年別、放牧回ごとの草の現存量（平笠）
Standing crop at every grazing time by year for
each experimental plot (Hirakasa) (kg)*

試験区 Experimental plot	1972	1973	1974	1975	平均 Average
急・林・中 S・F・M	679	536	530	497	561
急・伐・中 S・C・M	578	611	704	960	713
急・伐・重 S・C・H	479	366	496	610	488
緩・伐・重 G・C・H	453	482	495	558	497
急・人・中 S・T・M	2,875	4,424	5,751	5,509	4,640
急・人・重 S・T・H	3,331	4,684	5,710	4,979	4,676
緩・人・重 G・T・H	1,840	3,843	4,595	4,116	3,599

* 生重量 Fresh weight

Table 30. 各試験区の年別草生産量（平笠）
Grass yield by year for each experimental plot
(Hirakasa) (kg)*

試験区 Experimental plot	1972	1973	1974	1975	平均 Average
急・林・中 S・F・M	439	329	323	283	344
急・伐・中 S・C・M	367	390	415	575	437
急・伐・重 S・C・H	341	283	322	369	329
緩・伐・重 G・C・H	418	370	307	362	364
急・人・中 S・T・M	1,979	3,715	3,501	4,276	3,368
急・人・重 S・T・H	2,491	4,185	4,402	4,222	3,825
緩・人・重 G・T・H	1,567	3,371	3,566	3,458	2,991

* 生重量 Fresh weight

Table 31. 各試験区の放牧牛の採食利用率（平笠）
Use factor by cattle for each experimental plot
(Hirakasa) (%)

試験区 Experimental plot	1972	1973	1974	1975	平均 Average
急・林・中 S・F・M	36	32	30	26	31
急・伐・中 S・C・M	42	39	27	31	35
急・伐・重 S・C・H	61	59	58	36	54
緩・伐・重 G・C・H	79	62	43	45	57
急・人・中 S・T・M	60	79	57	73	67
急・人・重 S・T・H	67	85	73	82	77
緩・人・重 G・T・H	84	86	75	82	82

緩斜地の重度区では初年の草生状態がとくに不良であったから、これに対比すれば4年目は約100%の増となっている。2年目と4年目を比較しても若干の増を示している。この表には示していないが禁牧区においても林地では27%、皆伐跡地では78%の増であった。

以上は放牧時の収量の合計であるが、各牧区の生産量についてみれば Table 30 のようである。生産量 = (第1回入牧時収量) + (第2回入牧時草量 - 第1回退牧時残草量) + (第3回入牧時草量 - 第2回退牧時残草量) + …… + (第N回入牧時草量 - 第N-1回退牧時残草量) によって求めた。林地においては10a 当たり約280~440 kg, 4年間の平均で344 kg で年ごとに漸減している。皆伐跡地の急傾斜地では中庸度区が平均437 kg, 重度区が329 kg で、中庸度区は漸増、重度区は横ばい状態であり、緩斜地重度区も急斜地重度区に似た傾向を示した。人工草地の急斜地では軽重の差は顕著ではなく、10a 当たり年間3.4~3.8 ton の生産量をあげ、緩斜地重度区は約3.0 ton であった。なお牛道による裸地が等高線状に分布しているので、調査プロットはこれを横断する8×0.5 m の長方形とした。

利用率と放牧強度：

入牧時草量の年合計と退牧時残草量の年合計の関係から牛の採食利用率の年平均を求めれば Table 31 のとおりである。すなわち林地では26~36%, 平均31% を示し、皆伐跡地の急斜地では中庸度区が平均35%, 重度区は54%, 緩斜地重度区は57% であった。人工草地では急斜地中庸度区が平均67%, 重度区が77%, 緩斜地重度区は82% であった。したがって当初計画よりも皆伐跡地は利用率が相当低く、人工草地では中庸度区、重度区とも計画どおりであった。

放牧強度を検討するためにつぎの式を用いてみた。

$$\frac{\text{牧区当たり草量} \times \text{適正利用率}}{\text{牧区当たり総 C. d} \times 1 \text{ C. d の採食量}}$$

なお適正利用率は皆伐跡地0.5, 人工草地0.7とし、1 C. d. の採食量は自然草地40 kg, 人工草地60 kg とした。そして除して得た指数が1.0内外のときは中庸度, 1.2以上は軽度, 0.8以下は重度とした。4年間の平均で林地が1.1, 皆伐跡地の急斜地中庸度区が0.9, 重度区が0.6, 緩斜地重度区が0.7となり、人工草地の急斜地中庸度区が1.2, 重度区が0.8, 緩斜地重度区が0.7となった。

急斜地人工草地の斜面位置別利用率：

急斜地中庸度区、重度区ともに斜面上部が緩斜の台地状で固定休息地となっている。したがって一般に休息地を基点に行動し、斜面の上部より下部に向って採食範囲を広げてゆき、中庸度区ではしばしば斜面の最下端5 m 幅位が食い残されていた。そこで斜面の上部、中部、下部の3地域に分け、利用率との関係を見たのが Table 32 である。4年間の平均によると中庸度区においては上部78%, 中部73%, 下部57% で、上部から下部へと次第に低下し、差が21% となっている。重度区では上部87%, 中部81%, 下部が70% で、傾向は同じであるが重度区はいずれも高率を示し、下部においても70% となっている。すなわち牛の行動密度が下部になるにしたがい低くなっているものといえよう。

(ii) 地表面の変化

裸地発生状況：

毎年秋試験放牧の終了した段階に各牧区で発生した裸地の面状調査を行った。ここでいう裸地とはおよそ0.5 m² 以上のまとまった、あるいは連続した形のもので、それ以下の小規模なものは含んでいない。また家畜の行動とそれ以外のブルドーザ(伐採木搬出)や伐採木の末木や枝条の焼却などによるものとを

Table 32. 急傾斜人工草地区の斜面位置別の採食利用率（平笠）
Use factor by cattle by location on slope of S・T・M and S・T・H plots
(Hirakasa) (%)

試 験 区 Experimental plot		1972	1973	1974	1975	平 均 Average
中庸度放牧 Moderate grazing (S・T・M)	上 部 Upper part	77	87	69	80	78
	中 部 Middle part	71	83	67	72	73
	下 部 Lower part	49	74	40	65	57
重 度 放 牧 Heavy grazing (S・T・H)	上 部 Upper part	87	88	85	86	87
	中 部 Middle part	78	86	75	83	81
	下 部 Lower part	64	85	59	74	70

Table 33. 各試験区における年別裸地発生（平笠）
Outbreak of bare area in each research plot by year (Hirakasa)

試 験 区 Experimental plot	1972 放 牧 1 年 目 First year with grazing						1973 放 牧 2 年 目 Second year with grazing		1974 放 牧 3 年 目 Third year with grazing		1975 放 牧 4 年 目 Fourth year with grazing	
	牛の行動による By cattle's behavior		その他原因による By other causes		計 Total		N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)
	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)						
	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)	N.B.S.	P.B.S. (%)
急・林・禁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
急・F・N	39	6	0	0	39	6	210	7	325	21	471	40
急・林・中	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
急・伐・禁	57	3	41	13	98	16	347	13	388	27	429	16
急・C・N	107	11	10	2	117	13	365	22	314	23	304	27
急・伐・中	144	7	0	0	144	7	307	12	307	23	163	18
急・C・M	226	12	0	0	226	12	348	23	522	40	300	38
急・伐・重	5	2	71	9	76	11	132	11	202	15	171	15
急・C・H	222	6	0	0	222	6	352	6	152	5	167	4
急・人・中												
急・T・M												
急・人・重												
急・T・H												
緩・伐・重												
緩・C・H												
緩・人・重												
緩・T・H												

N. B. S. : ha 当たり箇所数 Number of bare spot per ha

P. B. S. : 裸 地 率 Percentage of bare spot

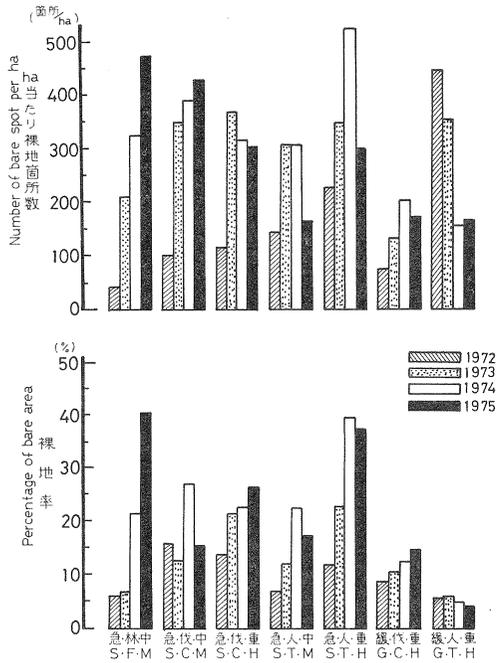


Fig. 36 各試験区における年別裸地発生 (平笠)
Outbreak of bare spot in each research plot by year (Hirakasa).

Photo. 22 急・人・重区の尾根平坦面の
の休息地の平坦 (A型) 裸地
(平笠)
A cattle's bed ground
("A" type bare area) on
ridge flat area on S・T・H
plot (Hirakasa).



Photo. 23 急・人・重区の急斜面の階段
状 (C型) 裸地 (平笠)
Bare berm ("C" type bare
spot) on steep slope on S・
T・H plot (Hirakasa).



Photo. 24 急・人・重区の急斜面の小崩壊（D型）裸地（平笠）
Breaking (“D” type) bare spot on steep slope on S·T·H plot (Hirakasa).

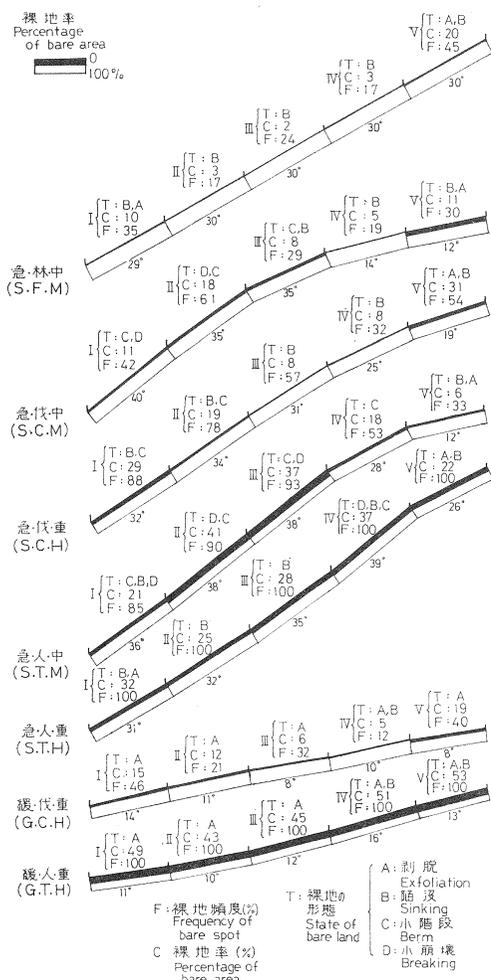


Fig. 37 各試験区の斜面の位置別の裸地発生状態（放牧1年目，1972）（平笠）
Outbreak of bare area by location on slope of each experimental plot (First year with grazing, 1972) (Hirakasa).

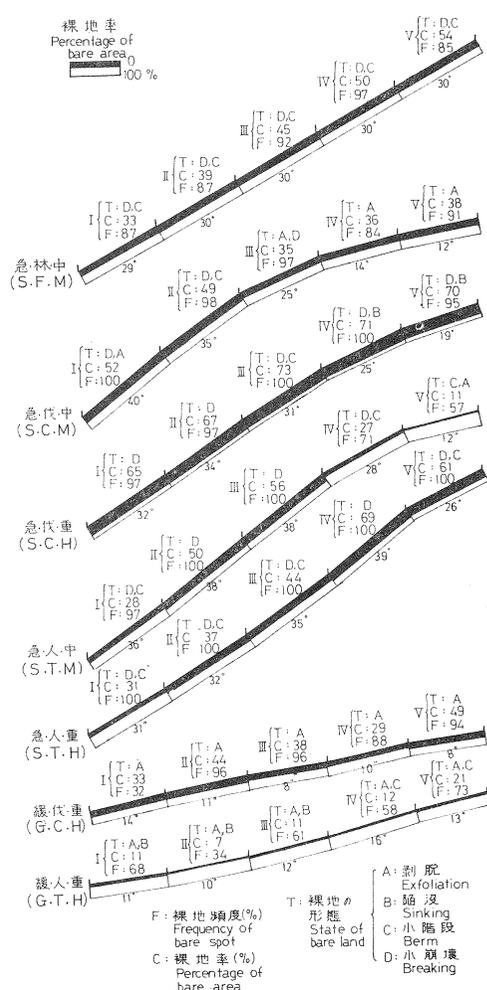


Fig. 38 各試験区の斜面の位置別の裸地発生状態（放牧4年終了後，1975）（平笠）
Outbreak of bare area by location on slope of each experimental plot (Fourth year with grazing, 1975) (Hirakasa).

区別したが、毎年放牧がくりかえされるにつれて漸次両者が混然となっていった。この調査結果は Table 33 に総括したとおりであり、また主に牛の行動で発生したとみられる裸地の発生状況を年別に示したのが Fig. 36 である。これによると、放牧各区にはかなりの裸地発生が認められ、かつ年の経過とともに全体として増加の傾向がみられる。しかし緩斜地の人工草地は当初裸地が多発したものの年数の経過とともにむしろ減少していることが注目される。なお禁牧区では裸地の発生はなかった。

つぎに斜面の位置および傾斜角別に裸地発生状況を把握するために各区に傾斜に沿って数本の線を張り、線状法により裸地率と裸地形態を毎年秋に調査した。この方法は固定杭を基準とし、2 m ごとに区分して線にかかる植被や裸地の長さを精測したものである。この結果によって斜面の位置別にどのような特色がみられるかを検討してみた。すなわち各試験区の斜面をおよそ 5 分し、各部位別に発生した裸地の形態、発生頻度、裸地率などをまとめたのが Fig. 37, 38 (Photo. 22~24) である。ここでは放牧初年目と 4 年目の各秋季の結果を比較して示したが、両者の間にかなりの差異が認められる。

人工草地の緩斜、重度区を除き、放牧初年に比べて 4 年目は全体的に裸地率が増加していることは確かである。人工草地の緩斜、重度区はまったく逆の傾向で、4 年目の方が著しく裸地率が減少している。また各区とも初年は斜面の位置別の裸地率に若干の差異が認められたが、4 年目となるとあまり差異がない程裸地が拡大された。裸地発生頻度についてみると初年目に比べて全体に著しく増大し、緩斜の人工草地重度区を除き、各区とも 100% に近い数値となっている。人工草地の緩斜、重度区は当初 100% に近い裸地発生頻度を示したのに 4 年目には 34~74%、平均 59% にとどまっている。

裸地形態についてみると、急斜地の各区では初年に陥没型 (B)、または小階段型 (C) が多発したが、4 年目になるとこれが小崩壊型 (D) に移行している。これに対し緩斜地では初年、4 年目とも深さのあまりない剥脱型 (A) のものが主体で、両年の間に顕著な変化があらわれていない。なお急傾斜地の各区においても斜面頂部の緩斜部には剥脱型 (A) の裸地が分布しており、この場所は休息地となっている。

上述の線状調査による結果を各区を一括して 2 m ごとの傾斜角別の裸地の形態別組成率を放牧初年

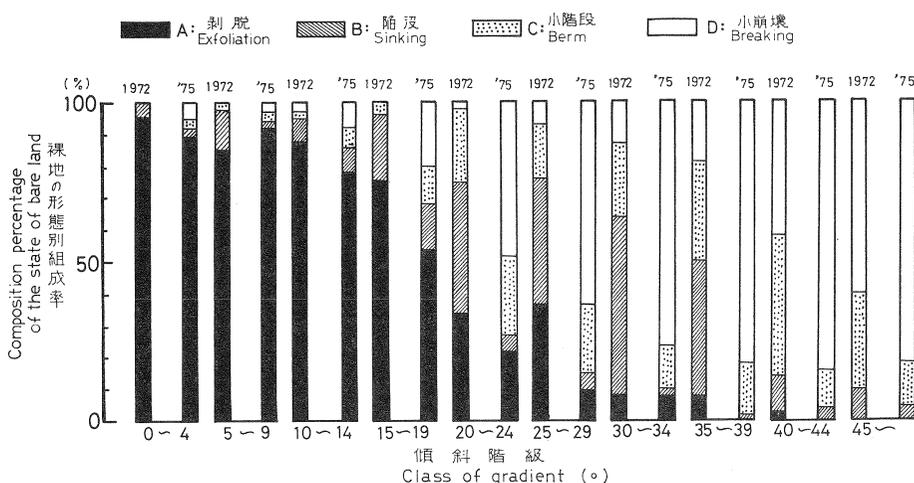


Fig. 39 傾斜階級別の裸地形態別組成率 (平笠)

Composition percentage of the state of bare land by class of gradient (Hirakasa).

（1972年）と4年目を対比して示したのが Fig. 39 である。これによると 15° 未満の緩斜地では剥脱型（A）が大部分を占め、傾斜が急になるにつれて小階段型（C）の占める割合が高まり、30° を越えると小崩壊型（D）が増大している。また、放牧初年（1972年）と4年目（1975年）の比較では当初陥没型（B）ないし小階段型（C）であったものが、放牧のくりかえしとともに小崩壊型（D）が急増していることが明らかである。

また線状調査の際に用いた固定杭により地表変動深を調べた。この杭は斜面長 20 m 間隔に当初露出高を正しく 5 cm とし、毎年秋に露出高ないし堆積高を精測した。各区の年別の測定結果は Table 34 にまとめたとおりである。ここで変化深とは杭の基準高からの増減の絶対値の平均を示し、損失高とは減深だけの平均を示している。これによると各区とも年別に有意の差が認められ、放牧初年はそれ以降の年に比べて変化深、損失深とも明らかに大きな値を示している。

変化深と損失深を各処理別にみると有意な差が認められ、急斜地の林地や皆伐跡地の各区の値が人工草地の各区よりも大きい。このことは人工草地の場合牧草が地表をほぼ完全におおい、その根系によって表土をよく緊縛していることがあげられる。その点林地や皆伐跡地では地床植生が乏しく、牛の踏圧に対して抵抗力が弱いといえよう。なおここでいう損失深とは表土が浸食された深さのほかに牛によって踏圧されて沈下した分も含まれている。

牛道および休息地の裸地化：

ここで牛道というのは放牧牛のくりかえし歩行によって造られた小道（Trail）のことをいう。放牧地の傾斜度が平坦ないし緩傾斜の場合は放牧牛の歩行によって発生する一定した通路はほとんどできないが、急斜地では放牧を重ねるにつれて歩行のための通り道が形成され、固定される。そして一般に牛道は等高線にそって発生するため斜面は階段状となり路面は裸地となる。また休息地というのは放牧牛が集合して停止または伏臥の状態での休息する地域（Bed ground）のことをいい、この場所もおのずから固定されるため草生はみられず裸地化するが、このほうの分布は急斜地よりも平坦地ないしは緩斜地に多い。

放牧を行った7牧区のうち牛道がみられたのは急斜地の5牧区で植生（人工草地、皆伐跡野草地および

Table 34. 各試験区の年別の地表の変化深と損失深（平笠）
 Changed and lost depths of ground surface in each experimental plot by year (Hirakasa)

(mm)

試験区 Experimental plot	固定杭の数 Number of gauge stick	変化深 Changed depth				損失深 Lost depth			
		1972	1973	1974	1975	1972	1973	1974	1975
急・林・中 S・F・M	24	66	39	20	28	60	29	28	11
急・伐・中 S・C・M	33	54	18	5	18	54	13	18	8
急・伐・重 S・C・H	36	65	39	9	16	61	35	16	6
緩・伐・重 G・C・H	38	29	21	11	18	26	16	18	16
急・人・中 S・T・M	42	34	22	14	25	30	13	25	8
急・人・重 S・T・H	28	51	29	8	15	48	24	15	3
緩・人・重 G・T・H	35	56	27	4	11	53	20	11	7

林地)や放牧強度とは関係なく発生し、緩斜地の 2 牧区にはみられない。牛道の幅と植生、牛の採食利用率、傾斜などの関係は顕著ではなく、平均して 45~49 cm であった。もっともこの試験では放牧は 4 年間で終わっており、かりにこんども長期にわたって放牧が続行されるとすれば急斜地では幅は広くなる可能性も考えられる。牛道の延長距離には放牧区間の差が認められ、人工草地においては 10 a 当たり約 370~430 m、林地は約 350 m、皆伐跡地は約 175~230 m で、傾斜の急な人工草地の距離がとくに長く、また人工草地と皆伐跡地の両植生とも放牧強度が重度の区ほど牛道の延長距離も長い傾向がみられた。

牛道によって裸地となった路面の水平面積についてみれば、人工草地では 10 a 当たり 210~236 m²、皆伐跡地は 98~126 m²、林地 164 m² となり、したがって各牧区の水平面積に対する牛道敷面積率は人工草地では 24% (重度区)~21% (中庸度区)、皆伐跡地は 13% (重度区)~10% (中庸度区)、林地は 16% となり、人工草地は皆伐跡地の 2 倍に近い裸地面積を示している。

また牛道の形成により、沈下および土壌流去の生じた斜面面積は 10 a 当たり人工草地は 257~308 m²、皆伐跡地 116~163 m²、林地 207 m² となり、この面積の牧区斜面積に対する比率は人工草地では 31% (重度)~26% (中庸度)、皆伐跡地は 16% (重度)~12% (中庸度)、林地 21% となる。したがって正味の草地面積は人工草地の場合は重度区は全面積の 69%、中庸度区でも 74% と著しく減少し、実際に放牧牛が利用し得る草地は相当に少なくなっているという結果となる。これに対して皆伐跡地は 84~88% であったが、林地は 79% で人工草地や皆伐跡地の中間であった。つぎに傾斜角別にこの面積をみれば人工草地では 20° まではその面積率は 2% にとどまっているが、20~34° では 11~26% に増加し、34~40° では 39~41% を示し、草生地面積は全面積の約 60~65% にすぎない。皆伐跡野草地では 27° までは 3~13%、27~40° では 20~25% であった。

牛の休息地として発生した裸地は各牧区でみられ、人工草地の緩傾斜重度区、急傾斜中庸度区、急傾斜重度区の 3 区では 2~3%、皆伐跡地の急斜地は 1 (軽度)~6 (重度)% で緩斜地は 3%、そして林地では 3% であった。したがって皆伐跡地の急斜地重度区を除けば 1~3% で、斜面上部の緩斜地に主として発生している。

(iii) 浸透能および土壌物理性の変化

浸透能測定には林試東北型浸透計 (散水式⁷⁾) を用いた。この測器は幅 0.5 m、斜面長 1.0 m、深さ 5 cm の大きさで、1.0 m 方形範囲に高さ 1.5 m の位置からほぼ均一に散水させることができる。この試験においては放牧前 (1971 年) と放牧終了後 (1975 年) に各区においてこの測器を用いて 2~3 点ずつ平均的な地表状態を示す場所で浸透能の測定を行った。この場合散水強度は 150 mm/hr 前後とし、散水時間は 1 時間とした。この測定結果は Table 35 に示されている。

急斜地の禁牧の林地区および皆伐跡地区では放牧前には測定しなかったが、試験期間の 4 か年をとおして無処理であったから試験終了時点の値をもって試験前の値とみなしても大差はないと考えられる。表中の終期浸透強度の相対値によって各区を比較すると、急斜地と緩斜地ともに皆伐跡地の浸透能が放牧によってもとの 20% 以下に低下していることが知られる。これに対して林地は中庸度とはいえかなりの程度の放牧にもかかわらず皆伐跡地ほどに顕著に低下していないことは注目値する。

つぎに試験開始前と終了後に各区の土壌調査を実施した結果を述べる。現地観察ならびに土壌試料採取位置は各区の斜面上、中、下の 3 地点である。Table 36 は土壌受食性に関連する因子を示したものであるが、土壌硬度と落葉地被物は現地測定により、流亡度、分散率、粘土比などは試料を実験室に持ちかえ

Table 35. 第1回放牧開始前および最終放牧終了後の各試験区の浸透強度の比較（平笠）
 Comparison between infiltration rate in each experimental plot
 just before the first grazing and one after the last grazing
 (Hirakasa) (mm/hr)

試験区 Experimental plot	1971 第1回放牧開始前 Before the first grazing				1975 最終放牧終了後 After the last grazing			
	前半30分の 平均強度 Mean rate for first 30 mins.	後半30分の 平均強度 Mean rate for second 30 mins.	終期強度 Final rate	終期強度 の比数 Relative value of final rate	前半30分の 平均強度 Mean rate for first 30 mins.	後半30分の 平均強度 Mean rate for second 30 mins.	終期強度 Final rate	終期強度 の比数 Relative value of final rate
	急・林・禁 S・F・N	—	—	—	—	126	119	109
急・林・中 S・F・M	136	134	135	100	103	95	92	68
急・伐・禁 S・C・N	—	—	—	—	111	99	98	—
急・伐・中 S・C・M	120	119	114	100	—	—	—	—
急・伐・重 S・C・H	145	143	142	100	38	24	23	17
急・人・中 S・T・M	140	123	121	100	—	—	—	—
急・人・重 S・T・H	125	130	136	100	76	55	54	40
緩・伐・重 G・C・H	139	142	138	100	37	21	19	14
緩・人・重 G・T・H	94	89	90	100	67	56	49	55

り分析した結果である。これによると、各放牧区とも試験開始前にくらべて終了後には地表保護に重要な役割を果たす落葉地被物量が大幅に減少していることがわかる。これは主として牛のけちらしと風による飛散によるものと考えられる。また土壌硬度も各放牧区ともに牛の踏圧によってかなり硬化しており、とくに地表部において顕著である。流亡度など他の因子は両時点において顕著な差異がみられない。

Table 37 は上記以外の一一般の土壌物理性を調べた結果である。これらはすべて 400 cc の採土円筒によって自然状態で採取し、実験室で測定したものである。これによると全般的に各放牧区ともに試験開始前に比べて終了後のものに土壌に与えた放牧の影響が反映している。とくに透水強度にそれが端的にあらわれ、0~5 cm の位置ではもとの値の 1/2~1/4 減少している。このほか地表部の容積重、圧結度などは放牧後に増大し、また非毛管孔隙量は減少している。その他の因子については両時点において顕著な差異がみとめられない。

(iv) 地表流出水量および流出土砂量

各区内に設定した地表流出区で試験期間中地表流出水量および流出土砂量を測定した。試験した4か年間の観測結果は Table 38 に要約された。これによると地表流出量は各区とも微量で、期間内降雨量の 0.3% 以下にすぎない。土壌は前述のように砂質の火山灰から成り、全体的に浸透性がきわめて良好なことや試験期間中は比較的強雨が少なかったことが、このような結果になった理由と考えられる。しかし試験の初年と第4年目の流出率を比較すると、降雨のあり方を考慮にいれても地表流出率は第4年目に大きくなっていることが認められる。この理由として放牧区では放牧のくりかえしの影響が考えられる。しかし禁牧区についても同じ傾向であり、その理由が明らかにできないので、この試験の結果だけでは放牧による地表流出率の増加を明確にはできない。こんごの試験にまつほかない。

Table 36. 第1回放牧開始前および最終放牧終了後の各試験区の土壤受食性の比較 (平笠)
Comparison between the erodibility of soil in each experimental plot just before the first grazing and one after the last grazing (Hirakasa)

試 験 区 Experimental plot	土 壤 深 Soil depth 0~5 cm										土 壤 深 Soil depth 20~25 cm								
	流 亡 度 Erodibility (%)		分 散 率 Dispersion ratio (%)		粘 土 比 Clay ratio (%)		硬 度 Soil hardness (kg/cm ³)		落 葉 地 被 物 Litter (kg/m ²)		流 亡 度 Erodibility (%)		分 散 率 Dispersion ratio (%)		粘 土 比 Clay ratio (%)		硬 度 Soil hardness (kg/cm ³)		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
急・林・禁 S・F・N	—	70		27	—	9	—	0.4	—	1.5	—	100		35	—	11	—	2.5	
急・林・中 S・F・M	全 域 All area	77	63	28	30	9	13	0.4	2.0	2.6	0.5	100	100	42	35	7	13	1.7	3.0
	休 息 地 Bed ground		84		32		13		6.4			100		35		11		4.4	
急・伐・禁 S・C・N	—	76		28	—	11	—	0.9	—	1.4	—	100		27		11	—	1.7	
急・伐・中 S・C・M	全 域 All area	94	91	33	35	8	11	1.1	3.6	9.3	0.2	100	100	29	28	10	13	2.1	2.1
	休 息 地 Bed ground		100		36		11		28.0			100		23		11		5.3	
急・伐・重 S・C・H	全 域 All area	66	100	32	37	10	11	0.9	1.4	1.9	0.1	100	100	22	27	7	10	0.9	1.7
	休 息 地 Bed ground		100		40		7		22.1			100		43		6		17.7	
急・人・中 S・T・M	全 域 All area	94	92	34	38	10	12	1.1	3.6	0.3	0.1	100	100	36	31	7	12	0.7	3.6
	休 息 地 Bed ground		100		49		11		14.2			100		43		13		5.3	
急・人・重 S・T・H	全 域 All area	97	100	37	34	10	14	1.4	9.4	0.4	0.1	100	100	39	41	10	11	1.7	4.4
	休 息 地 Bed ground		100		31		9		46.4			100		31		10		7.7	
緩・伐・重 G・C・H	全 域 All area	95	100	39	35	10	10	2.1	6.4	1.8	0.3	100	100	40	33	5	12	2.5	4.4
	休 息 地 Bed ground		100		39		12		11.6			100		25		7		4.4	
緩・人・重 G・T・H	全 域 All area	100	100	60	46	8	13	1.4	14.2	0.0	0.0	100	100	50	42	6	13	3.6	11.6
	休 息 地 Bed ground		100		55		10		22.1			100		29		12		28.0	

注 A : 第1回放牧開始前 (1971) Just before the first grazing
Note B : 最終放牧終了後 (1975) After the last grazing

Table 37. 第1回放牧開始前および最終放牧終了後の各試験区の土壌物理性の比較(平笠)
 Comparison between the physical properties of soil in each experimental plot just before the first grazing and one after the last grazing (Hirakasa)

試験区 Experimental plot	土 壌 深 Soil depth 0~5 cm											土 壌 深 Soil depth 20~25 cm												
	圧結度 Com- pactness (%)		容積重 Bulk density (%)		全孔隙量 Total porosity (%)		非毛管孔隙量 Non- capillary porosity (%)		容水量 Water holding capacity (%)		透水強度 Percola- tion rate (cc/min)		圧結度 Com- pactness (%)		容積重 Bulk density (%)		全孔隙量 Total porosity (%)		非毛管孔隙量 Non- capillary porosity (%)		容水量 Water holding capacity (%)		透水強度 Percola- tion rate (cc/min)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
急・林・禁 S・F・N		62		57		72		13		58		149		75		83		63		13		56		116
急・林・中 S・F・M	49	71	38	61	82	72	13	9	72	70	167	50	70	84	76	73	67	69	14	8	62	65	111	94
急・伐・禁 S・C・N		68		59		73		8		64		118		73		75		70		11		67		121
急・伐・中 S・C・M	55	81	47	69	78	69	18	5	65	69	270	65	72	71	76	81	65	68	12	14	66	59	168	135
急・伐・重 S・C・H	51	72	45	75	76	63	12	9	63	61	151	54	75	72	88	81	57	63	14	16	53	60	145	136
急・人・中 S・T・M	44	70	45	68	78	70	15	7	67	67	103	28	72	77	89	87	60	59	16	16	55	53	108	167
急・人・重 S・T・H	44	80	39	68	81	69	13	7	70	65	112	43	77	74	81	82	65	64	20	12	58	60	109	118
緩・伐・重 G・C・H	82	75	56	75	67	64	11	8	63	56	171	34	83	74	90	98	55	62	16	12	50	53	135	145
緩・人・重 G・T・H	68	86	82	104	60	52	9	9	59	54	128	34	83	68	96	71	55	64	8	5	57	66	78	25
		100		106		51		6		55		10		65		60		75		4		70		21

注 A: 第1回放牧開始前(1971) Just before the first grazing
 Note B: 最終放牧終了後(1975) After the last grazing

Table 38. 各試験区の地表流出水量と流出土砂量 (平笠)
Surface runoff and soil loss for each experimental plot (Hirakasa)

試験区 Experimental plot	Jun. 10~Dec. 6, 1972 雨量 1,260mm Rainfall			Jun. 8~Nov. 13, 1973 雨量 529mm Rainfall			Jun. 5~Nov. 29, 1974 雨量 870mm Rainfall			May 22~Nov. 18, 1975 雨量 848mm Rainfall		
	地表流出水量 Surface runoff		流出土砂量	地表流出水量 Surface runoff		流出土砂量	地表流出水量 Surface runoff		流出土砂量	地表流出水量 Surface runoff		流出土砂量
	(mm)	流出率 Coefficient of runoff (%)	Soil loss (kg/ha)*	(mm)	流出率 Coefficient of runoff (%)	Soil loss (kg/ha)	(mm)	流出率 Coefficient of runoff (%)	Soil loss (kg/ha)	(mm)	流出率 Coefficient of runoff (%)	Soil loss (kg/ha)
		(%)			(%)			(%)			(%)	
急・林・禁 S・F・N	1.2	0.10	586	0.3	0.06	163	1.4	0.16	25	2.3	0.27	7
急・林・中 S・F・M	0.2	0.02	798	0.1	0.00	227	0.4	0.00	26	1.2	0.14	22
急・伐・禁 S・C・N	1.1	0.00	292	0.4	0.08	58	0.2	0.02	4	1.0	0.18	6
急・伐・中 S・C・M	1.7	0.09	328	0.0	0.00	87	0.3	0.00	24	2.1	0.28	35
急・伐・重 S・C・H	1.2	0.10	648	0.5	0.09	397	1.1	0.13	12	1.7	0.20	17
急・人・中 S・T・M	1.2	0.10	278	0.6	0.11	157	0.9	0.01	10	2.1	0.28	15
急・人・重 S・T・H	0.0	0.00	971	0.5	0.09	47	1.0	0.11	9	1.9	0.22	10
緩・伐・重 G・C・H	0.8	0.06	292	0.6	0.11	337	1.0	0.11	13	2.3	0.27	15
緩・人・重 G・T・H	2.0	0.16	10,792	0.9	0.17	917	1.4	0.16	49	2.1	0.28	8

* 絶乾重 Oven dry weight

つぎに流出土砂量についてみる。まず各区とも試験初年の量が他の年のそれにくらべてきわめて大きいことがみられる。これは地表流出区画や測定設備の施設および草地造成等の諸作業により多量の浮き土が生じ、これが地表流出水により容易に流出したためと考えられる。したがってこの不安定土砂の減少と安定により試験 2 年目および 3 年目には流出土砂ははるかに少なくなった。前述のように高い浸透性の土壌であるため元来地表流出水量がきわめて少なく、このため流出土砂量もきわめて少ないはずであると考えられる。しかしながら試験 4 年目には放牧区では放牧のくりかえしにより前述のように裸地が増加し、地表流出水量が大きくなって流出土砂も 3 年目よりも多くなる傾向をうかがわせた。そして急斜放牧区では崩れた土砂で斜面の中部あるいは下部に堆積するものがみられ、こんど流出する可能性が十分考えられた。とにかく草地造成初年の不安定土砂の流出にはとくに注意を要することだけは明らかであろう。

3) ま と め

a. 放牧区では牛の行動により裸地が発生する。発生は放牧年数が経過するにつれて多くなるが、それは放牧強度よりもより強く立地条件の違いによってなされた。すなわち急傾斜地は緩傾斜地よりも皆伐跡地は人工草地よりも地表面の裸出が著しい。

b. 裸地の形態は傾斜によって特徴がみられ、またこれは放牧の繰りかえしによって変化していく。すなわち急傾斜地には当初階段状裸地が形成されるが、これが徐々に崩れて面状裸地に移行していった。平坦な台地面は牛のたまり場となるので広くて深さのない裸地が発生した。

c. 放牧人工草地の急傾斜部の草の採食利用率は、重度放牧区では斜面の上、中、下部で差異が少ないのに対して中庸度区では上部から下部へとだいに少なくなり、上下の差が 20% 程度みられた。

d. 牛道は植生や放牧強度と無関係に主として急傾斜地に多発するが、その幅は 45～50 cm であり、10 a 当たり人工草地 370～430 m、皆伐跡地 75～230 m、林地 350 m 前後に達した。

e. 緩傾斜の耕起人工草地では造成当年の流出土砂量が多量（約 1 ton/ha）であったが、2 年目以降になると重度放牧にもかかわらず牧草の発達によって流出土砂量は急減し、他の各放牧区とほぼ同様に少量となった。

f. 試験開始前と終了後に各試験区で浸透能調査が行われたが、放牧皆伐跡地のそれは放牧前の 20% 以下に低下した。しかし林地は重度放牧にもかかわらずそれほど著しく低下しなかった。同様にして土壤物理性が調査されたが、放牧の影響は透水性、容積重、非毛管孔隙量などにとくにあらわれ、またとくに 0～5 cm 深さの土層の透水強度が放牧前の 1/2～1/4 に減少した。

4. 既往の研究結果との対比

村井 宏

(i) 放牧による地表の荒れ

放牧地においては放牧牛の休息または歩行による裸地が生じ、これが浸食発生の原因になることは過去の調査から明らか⁹⁾⁸⁾である。そして裸地発生は傾斜が急になるほど、放牧強度が高いほど、また放牧年数が累加されるほど、局地から広域へと拡大されるようで、この事実はこの研究でも認められた。とくに森林、皆伐跡地、人工草地の 3 地目間で比較した場合皆伐跡地は自然植生の回復力が弱いため放牧による地被破壊が顕著であることが知られた。森林では A₀ 層が剥脱されて裸地化がおこっても落葉の再堆積によって容易に被覆されるし、人工草地では牧草の生育がおう盛な場合はひとたび裸地化しても回復しやすい。

(ii) 放牧による地表浸食と土砂流出量

放牧によって斜面上に裸地が発生しても土壤の受食性が低く、浸食管力が小さければ雨水浸食は加速されず流出土砂も少ない。ただしその場所が乾燥した風衝地では放牧によって裸地化したところから風食が発生し、また少雪寒冷地であれば土壤の凍結、融解現象によって裸地が拡大することが知られている¹⁾。

また牛や自走機械によって圧密裸地化した場所は土壤の物理性が著しく悪化しているため水みちとなりやすい。この研究による姫神、小石川調査地や平笠試験地等でみられたが、牧草地造成のため立木伐採が行われ、トラクタ集材が実施された跡地が牛の踏圧によって拡大され、明らかに浸食みちとなっていた。

裸地発生位置と流出土砂量との間には密接な関係がみられた。また造成草地の微小地形と浸食および崩壊との関係も密接であった。たとえば西村ら⁹⁾¹⁰⁾によって凹地形の急傾斜地が最も弱いことが指摘されているが、この試験でも谷頭の凹部や溪岸部は湿潤なため家畜の水飲みなどの行動によって破壊されやすく、かつ崩壊土砂が直接下流へ流送されやすいことが認められた。

(iii) 放牧による土壤物理性の悪化

放牧によって土壤硬度が高まることが知られているが、成牛の踏圧が平地でも人の 6～8 倍といわれていることを考えれば当然であろう¹¹⁾。牛の脚による荷重は動的で、圧力のほかに縦方向の剪断力も加わることになるので、土壤構造の破壊現象は単純ではない¹²⁾。放牧によって一般に土壤の固相率が高まり、気相率が減少するが¹³⁾¹⁴⁾、これらはとくに重度放牧の場合に著しい⁹⁾。さらに土地の浸透能⁹⁾¹³⁾¹⁵⁾ および透水性^{16)~21)}が低下し、土壤の非毛管孔隙が減少し²²⁾²³⁾、受食性も増大し、それが牛道、水飲場などで顕著¹³⁾

であることが知られている。これらの事実はこの研究でも明らかになったが、その影響は有林地においては皆伐跡地、人工草地などより小さいことが知られた。またこのような影響は急傾斜部分より緩傾斜ないし平坦面で著しく、また土層のごく表層部 (0~5 cm 深さ) で大きい。

耕起人工草地についてはとくに土壤の物理性の悪化がめだつことが知られているが、このおもな原因は造成をはじめ施肥、収穫などの管理作業のための大型自走機械による転圧と考えられる。この研究でも耕起人工草地の土壤物理性の劣化は明らかにされ、またこれに伴って造成初期の土壤浸食が顕著なことが平笠試験地で確かめられている。

(iv) 林地から放牧草地へ転換されたことによる水流出の変化

林地を大面積に人工草地化し、放牧した場合に溪流流出状態が変化することは想像されるが従来実測した例がなかった。放牧牛による踏圧のための表土硬化、牧草の根系による表土の盤状化、いわゆるルートマットなどが地表水流出に関連をもつことは容易に推量される^{24)~26)}。近年に至って金内²⁷⁾、渋谷⁴⁾らによって阿武隈山地や北上山地の大規模草地開発地で放牧による流出変化の観測が開始されているが、林地に比べて人工草地の流出率が大きく、直接流出量が多いことがしだいに認められてきている。この試験においても小石川調査地で林地を転換して人工草地とし、1年間放牧を実施したところ禁牧林地よりも流出率が大きく、かつピーク流出量が大きくなる傾向が認められた。

5. 総 括

中野 秀章, 井上楊一郎, 村井 宏, 河野良治

(i) 結 論

林地を草地に転換して放牧が行われると明らかに地表状態と表層土の物理的性質が変化する。すなわち当然林木が牧草に変わり、地表を直接おおう植被は牛の採食、踏み荒らしによって放牧草地では禁牧林地より少なくなり、かつなんらかの裸地を生ずる。もちろん裸地の発生は合理的草地および放牧管理でかなり抑制することができるが皆無にはできない。牛の休息地 (夏季は風通しのよい緩斜地)、水飲場などの裸地は必ず生じ、牧柵沿いの牛道もしばしば生じ、急傾斜地 (おおよそ 20° 以上) では等高線方向の牛道裸地が生じる。これらの裸地の面積は牧区の 20~30% にも及ぶことがある。林地でも放牧が行われるときは以上に類したことが多かれ少なかれ生じる。

転換草地でも放牧林地でも牛の踏圧その他による裸地に限らず一般に表土が硬化し、その孔隙量が減少し、容積重が増し、透水性が劣化する。ことに転換人工草地では牛の踏圧のほか大型自走機械による転圧も有力な原因となる。ただし理学性の劣化をうける表土の深さは 10 cm 程度までである。

表土の理学性が劣化するため、その浸透能は低下し、しばしば禁牧林地の 1/3~1/4 となる。とくに休息地、水飲場、牛道などの裸地では低下が甚だしい。

浸透能の低下は当然転換放牧草地、放牧林地からの地表流出水量を禁牧林地のそれより大きくする。当然ピーク流量あるいは洪水流量を大きくし、この研究では林地転用の放牧草地や放牧林地のピーク流量は禁牧林地のその数十倍ないし数百倍の値が観測された。地表流出水量の増加は、雨量が一定のときは、地下水流出量の減少を意味し、水源涵養上望ましくないこととなる。しかしここではこの測定は実施しなかった。

裸地が多く、地表流出水量が多いことは当然雨滴浸食にはじまる地表浸食を大きくし、溪流、河川への

土砂流出量を大きくする。この試験では放牧草地、放牧林地のそれは禁牧林地の数倍の値が測定された。ここでとくに注意を要するのは草地造成中あるいは造成後しばらくの間に降雨があったときの水土流出がしばしば著しいことである。

しかし地表流出量、流出土砂量の増大の絶対量は放牧および草地の管理条件はもちろん放牧地の地形、土壌、気象とくに降雨条件によっても異なるので一般的にいうことは困難である。そしてここで放牧条件にはその強度が重要因子であることは当然であるが、牛の放牧区域のコントロールいかに重要条件で、牧区内の溪流沿いに谷頭部に牛の行動がおよぶとき、あるいは休息地や水飲場施設などが流路に近いところ、あるいは流路への排水の容易なところにあるときは流路への流出土砂量が著しく多い。

なお九州、阿蘇地方の自然草地では古くより春季開牧前に火入れる習慣があり、その是非はいろいろ論議²⁸⁾のあるところであるが、この調査では火入れは土砂流出を増加するおそれがあるとみられた。

(ii) 放牧草地への林地転用に対する当面の提言

上述の結論から林地に放牧し、あるいはこれを転換して放牧草地とする場合、いずれも洪水害防止あるいは水源保全上ならぬかの問題があることは明らかである。したがって林地の畜産的利用開発にあたっては十分な水土保持上の配慮がなされねばならない。これにはおおよそつぎのことが考えられる。

まず開発地の選定を誤らないことが重要である。すなわち地形、土壌、気象等の諸水文条件や下流の社会条件から判断して水土流出災害の危険性の非常に高い地域、あるいは水源確保上の重要性の非常に高い地域での開発地採択は慎重でなければならない。ことに開発計画面積が、開発の影響を考慮しなければならない対象地域面積に対してかなり大きい場合、あるいは開発予定区域が対象地域内の集落その他の財物にかなり接近しているような場合は慎重を期さなければなるまい。このような観点での開発地域の判定方法の考え方²⁹⁾³⁰⁾などが参考になろう。

林内放牧地の選定にあっても以上に準じた注意が必要である。

林地を転換して草地を造成し、あるいは伐採跡地に放牧する場合まず立地条件を考慮して立木の伐採、搬出、とくに集材については地表を荒らすことの少ない手法を選び、かつ慎重な実行をする必要がある。たとえばトラクタによる夏山集材では搬路の裸地が生じ、後日までこれが土壌浸食源となることがあるので注意を要する。つぎに機械による耕起造成ではもちろんのこと、簡易不耕起造成でも浮き土砂流出の危険のできるだけ少ない実行を考える必要がある。すなわち草地造成で水土保持上最も問題なのは造成途中で豪雨に襲来された場合の浮き土砂の大量流出である。この防止には造成工事の時期の適正な選択や予防工作物の先行施設が考えられる。また耕起造成は傾斜 15° 以内の地域にとどめ、15~20° 前後の地域は不耕起造成とし、30° 前後までは野草地とし、さらに 30° 以上の急斜地では放牧利用をできる限り避けるか、やむを得ない場合でもごく軽度の林内放牧にすることが望ましい。西村らもほぼ同様の意見を述べている⁹⁾。必要に応じて、草地の水土保持機能を補完するため貯砂、貯水ダムのごとき代替工作物の付設も考えられるべきである。

放牧にあつては確実に裸地となる牛の休息地、水飲場施設の位置をできる限り溪流から遠ざけるよう配慮し、またその下流側に庇蔭をかねた高木樹帯あるいは低木叢帯を配置し、また牛の侵入により崩れる可能性の高い急斜溪岸部には林帯を残置することが溪流への土砂流出防止に有効と考えられる。牛道裸地がしばしば牧柵沿いに生じるが、この意味で溪流に接近し、かつ平行した牧柵は望ましくないことが多いので注意を要する。一般に過放牧にならない合理的な輪換放牧が草地管理上のみならず水土保持上も必要な

ことは当然であるが、ことに局所的な急斜部分、草生不良地、複合斜面もしくは下降斜面の上部をなす急斜谷頭部や急斜溪岸への牛の侵入を排除するような施設をほどこすことは土砂流出防止にきわめて有効と考えられる。長大な一様斜面には等高線保護樹帯を設けることも有効であろう。また放牧によって裸地の発生が多くなったとき、たとえば裸地面積率が10%程度をこえるか、斜面に雨裂が発生したときはその地区を禁牧地とする。ことに豪雨期の放牧をさけるといったきめ細かい放牧管理ができればまことに土砂流出防止上有効であろう。

林内放牧でも以上に準じた注意が必要である。とくに成林内放牧は草生量が少なく、かつ放牧後の再生産のおそいことなどから、放牧頭数は人工草地に比べて相当低いものにおさえられるべきであろう。また皆伐跡地の初期放牧も草生量からみてあるいは水土保持上からみて当然軽度であるべきであろう。

(iii) 残された問題点

林地の放牧やその放牧人工草地への転換が土地あるいは水文条件に与える影響については既往の内外の調査にこの調査結果を加えることによって多くのことが明らかになってきた。ことに個別現象の定性的な面ではほぼ明らかにされたとしてよからう。しかし量的な面ではいまだきわめて不十分である。さらにこのような影響は当然立地条件や放牧技術など土地利用条件によっても支配されるが、いまだ立地条件、土地利用条件の調査もきわめて不十分である。また1流域内に占める採草・放牧草地あるいは放牧林地の位置、面積率、放牧庄などと水土流出量との量的関係はいまだ明らかではない。したがってこんごこれらのことを明らかにするため立地条件、土地利用条件別に系統的に調査地を設けてより多くの実証資料をつみ重ねる必要がある。

さきに草地の水土保持機能を補完するため、適所に保護樹帯を設ける（残置する）ことを提言したが、その有効な配置位置、規模、林分構造、取り扱い方法等については関係研究者あるいは技術者が当面いちおうの見当をつけることにならうが、これらについての実証的資料はいまだきわめて不十分である。こんご樹帯の設定、取り扱いの基準設定ないしは合理化のための調査、試験が必要であろう。補完工作物に関しても事情は同様であろう。

なお放牧牛の糞尿と渓流水質の関係の究明もこんごに残された水保全問題の1つであろう。「山地放牧場での水質検査の結果、大雨時を除いては、通常の放牧強度では山地放牧により放牧地に水源を有する沢水といえども汚濁はないものと考えられた」という調査事例⁸¹⁾などがあるが、なおこんご放牧地の沢水あるいは湧水等について放牧の強度・区域、気象条件、水流出条件との関連で水質を多数地点で調査を重ねて、この点を確かめる必要があろう。

文 献

- 1) 村井 宏・北田正憲：放牧共用林野における山地荒廃の実態，83日林講，356～358，(1972)
- 2) 山中金次郎・松尾憲一：土壌硬度に関する研究（第1報），日土肥，33(7)，343～347，(1965)
- 3) 村井 宏・岩崎勇作・北田正憲：放牧状態が林地の浸透および土壌の受食性に及ぼす影響，林試研報，223，69～90，(1969)
- 4) 農業土木試験場土地改良部第1研究室：北上山地における広域草地造成に伴う降雨流出関係の変化に関する調査報告（昭和45年度～48年度），東北農政局阿武隈地域総合開発調査事務所，1～52，(1974)
- 5) 難波宣士・蕨沢倭子：山地土壌侵食の研究（第2報），土壌の受蝕性指標，林試研報，95，91～120，

- (1957)
- 6) 小原道郎：肥培管理（6），草地飼料作物に関する土壤肥料研究会集録，209～216，（1967）
 - 7) MURAI Hiroshi, Yusaku IWASAKI and Masanori ISHII : Effects on hydrological conditions by the exchanging of ground cover from forest land to grass land. The Hydrological Characteristics of Riverbasins Symposium, IAHS-AISH Publication No. 117, 457～464, (1975)
 - 8) 鎌田悦男：山地傾斜地の草地開発（上），畜産コンサルタント，9，31～35，（1973）
 - 9) 西村 格・石田良作・須山哲男：草地の造成と開発計画に関する研究，草試研報，8，1～10，（1976）
 - 10) 須山哲男・川鍋祐夫・前野休明：草地の造成の開発計画に関する研究，草試研報，3，18～24，（1973）
 - 11) 佐藤晃一・桜井雄二：牧野の造成・管理と土壤の物理性，農土誌，43，12，27～30，（1975）
 - 12) 八幡敏雄：土壤物理性（その11），農土誌，42，2，39～45，（1974）
 - 13) 加甲艶照・豊田広三：傾斜草地の土壤の物理性について，土壤の物理性，土壤物理研究会，25，24～27，（1971）
 - 14) 小原道郎・宮内紀一・小瀬川康雄：草地土壤の特性，畜試研報，7，65～85，（1964）
 - 15) BRANSON, F. A., F. MILLER and I. S. McQUEEN : Effects of contour furrowing, grazing intensities and soils on infiltration rates, soil moisture and vegetation near Fort Peck, Montana. Soil and Water Conservation, 15, 3, 151～158, (1962)
 - 16) JOHNSON, A : Effects of grazing intensity and cover on the water-intake rate of fescue grassland. Jour. Rang. Mangt., 15, 12, 79～82, (1962)
 - 17) RAUZI, F. : Water-intake studies on range soils at three locations in the northern plains. Jour. Rang. Mangt., 14, 4, 179～184, (1960)
 - 18) ——— and A. R. KUHLMAN : Water intake as affected by soil and vegetation on certain western South Dakota rangelands. Jour. Rang. Mangt., 14, 5, 267～271, (1961)
 - 19) ——— and D. E. SMIKA : Water intake rangeland as affected by simulated grazing and fertilization. Jour. Rang. Mangt., 16, 3, 125～128, (1963)
 - 20) ——— : Water intake and plant composition as affected by differential grazing on rangeland. Soil and Water Conserv., 18, 3, 114～116, (1963)
 - 21) RHOADES, E., D. L. F. LOCKE, H. M. TAGLOR and E. M. MCHLVAIN : Water intake on a sandy range as affected by 20 years of differential cattle stocking rates. Jour. Rang. Mangt. 17, 4, 185～190, (1964)
 - 22) HAFEZ, A. A. R. : Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. Soil Sci., 18, 1, 53～59, (1974)
 - 23) ORR, H. K. : Soil porosity and bulk density on grazed and protected Kentucky bluegrass range in the Black Hills. Jour. Rang. Mangt., 13, 2, 80～86, (1960)
 - 24) LEITHERED, H. L. : Runoff in relation to range condition in the Big Bend Davis mountain section of Texas. Jour. Rang. Mangt., 12, 2, 83～87, (1957)
 - 25) LIACOS, L. G. : Water yield as influenced by degree of grazing in the California winter grassland. Jour. Rang. Mangt., 15, 1, 34～41, (1962)
 - 26) SHARP, A. L., J. J. BOND, J. W. NEUBERGER, A. R. KUHLMAN and J. K. LEUIS : Runoff as affected by intensity of grazing on rangeland. Soil and Water Conserv., 19, 3, 103～106, (1964)
 - 27) 金内英司：草地造成方式調査報告書（IV），東北農政局阿武隈地域総合開発調査事務所，1～46，（1976）
 - 28) 井上楊一郎：草地経営の技術，地球出版，276～285，（1957）
 - 29) 中野秀章：森林の水土保全機能とその活用，わかりやすい林業研究解説シリーズ，日本林業技術協会，51，pp. 72，（1973）

- 30) 中野秀章：国土保全地帯の摘出，水源かん養地帯の摘出，森林資源の総合的利用のための地帯区分に関する調査報告，科学技術庁資源調査会報告，64，166～186，(1973)
- 31) 森田琢磨・林 兼六・鎌田寿彦・上野誠志郎：山村における畜産開発と環境保全，山村振興と自然環境保全（Ⅱ），昭和50年度山村振興特別調査報告，179～240，(1975)

Grazing Grassland Converted from Forest Land and Soil and Water Conservation

Forest Conservation Research Team⁽¹⁾

Summary

In recent years the strong need for a production increase of beef cattle require the expansion and development of grazing grassland in mountaneous forest areas and the grazing in forest land. But fears are entertained for the effects it will have on the environment, especially the soil and water conservation problem.

Consequently, the necessity has been brought about to clear the change in soil and water runoffs after the clear cutting of the forest, subsequently developing the grassland and grazing, in forest land in order to get the basic materials on rationalizations of grazing grassland development from forest land and forest grazing.

To realize this, studies were carried out during the 1971~1975 period by field researches in the existing grazing grassland converted from forest land, and the experiment on the experimental site specially provided to supply a deficiency in field researches by the cooperation of researchers at Tôhoku and Kyûshû Branch Stations. Forest Influences and Forest Management Division of Central Station, Government Forest Experiment Station under team leader, Hidenori NAKANO.

1. Research in the existing grazing grassland

Hiroshi MURAI, Yûsaku IWASAKI, Kenji KITADA, Masanori KITADA and Kenjiro KATAOKA,
Tsuneo KAMINAGA, Kinji KAWASAKI and Sumiru OGAWA.
Yoshiharu KÔNO, Miyuki TAKESHITA and Toshio SHIMIZU.
Jûro KUROKI.

Five grazing grasslands converted from forest land in Iwate prefecture were selected as the research sites. They are Koishikawa, Ôno, Sotoyama, Murone and Sumita research sites (Fig. 1, Photos. 3~5). Their conditions in land and climate are elevation of 160~1,000 m, slope of 13~22°, black soil or forest brown soil, mean annual temperature of 6~11°C, mean annual precipitation of 1,050~1,510 mm, and maximum depth of snow pack of 0.3~1.2 m. The grazing grasslands contain the hoof-cultivated one and the cultivated one. Grazing of beef

Received December 20, 1976

(1) Forest Management Division, Forest Influences Division, Tôhoku and Kyûshû Branch Stations

cattle was carried out mainly during the summer season in a rotation method with a group of 50~60 head. Vegetal condition and past landuse of research sites are shown in Table 1.

Himekami research site (Fig. 1) has a young forest of Karamatsu, *Larix leptolepis*, an elevation of 600~1,000 m, a slope of 20~25°, black soil, mean annual temperature of 7°C, the maximum depth of snow pack of 1.2 m. Vegetal cover are shown in Table 2.

In the said six research sites, research plots were provided for forest land, clear cut area, cultivated grassland, non-cultivated grassland, native grassland to make a comparative research of the condition of ground cover, outbreak of bare land, physical properties of surface soil, infiltration capacity to each other. The survey line method was applied for the research of ground cover and bare land, YAMANAKA's method, putting the small metal cone into soil, for the soil hardness research, and Rocky Mountain type and Government Forest Experiment Station, Tôhoku Branch Station type infiltrometers for the infiltration research (Photos. 6~8).

Small research basins as shown in Fig. 2, Table 6 and Photos. 1, 2 were arranged in Koishikawa research site. In each basin the grazing was applied as shown in Table 7. Tables 8 and 9 show the use of grass by cattle. Surface runoff and amount of soil loss from each basin were measured with the simple gauging weir and deposit tank as shown in Fig. 3 and Photo. 2. A water level—discharge rating equation for the said gauging weir is shown in Fig. 7.

A research site, Oguni, was selected in Kumamoto prefecture (Fig. 11). Four research plots by land category were arranged in Oguni research site as shown in Fig. 12, Photos. 10~13. Land and weather conditions of the research plots were elevation of 650~800 m, slope of 20~35°, black soil, mean annual temperature of 11°C, mean annual precipitation of 2,000 mm, no snow (Figs. 13, 14, 16, 17, 25, Tables 13, 14). Fig. 12 shows the ground cover condition of each research plot, Figs. 15 and 18 the projection chart of tree crown for forest plot. Tame grassland plot is one converted from forest land. Grazing was carried out on three plots except one forest plot with the result as shown in Table 12.

Each plot was used for comparative research of ground cover condition, physical properties of surface soil and infiltration capacity. Rocky Mountain type and Musgrave type infiltrometers were used for the infiltration test. Surface runoff and soil loss were measured for the runoff plot provided in each research plot (Fig. 22). Moreover, three small research basins were set up in grazing tame grassland, grazing forest land and non-grazing forest land as shown Fig. 19~21, and their surface runoff and amount of sediment were measured (Fig. 23, Photos. 14, 15).

2. Research in the experimental site

Hiroshi MURAI, Yûsaku IWASAKI, Kenji KITADA, Masanori KITADA and Kenjirô KATAOKA.
Tsuneo KAMINAGA, Kinji KAWASAKI and Sumiru OGAWA.

An experimental site was provided in Hirakasa National Forest in Iwate prefecture (Fig. 32). The land and weather conditions of Hirakasa experimental site are elevation of 500~550 m, slope of 5~40°, black soil, mean annual temperature of 9°C, mean annual precipitation of 1,300 mm, the maximum depth of snow pack of 1 m (Fig. 35, Tables 26, 27). Part of Akamatsu (*Pinus densiflora*) natural forest was cut and converted into grassland, and nine experimental plots were set up by slope, vegetal cover condition and intensity of grazing as shown Fig. 33, Table 25, Photos. 16~21. Results of beef cattle grazing are shown in Table 28. The projec-

tion charts of tree crown in forest plot are shown in Fig. 34.

In each experimental plot, physical properties and erodibility of soil and infiltration capacity were researched just before the first experimental grazing and after the last one. And grass yield, use by cattle and outbreak of bare land were measured every year (Tables 29~32). Small runoff plots were provided in every plot as shown in Fig. 33 in order to get measurements of surface runoff and soil loss.

3. Findings

Hidenori NAKANO, Yôichiro INOUE, Hiroshi MURAI and Yoshiharu Kôno.

(1) When the forest land is converted into grassland and grazed, the ground cover naturally changes into grass from trees, and then its amount decreases compared with that of forest land by grazing and trampling by cattle. Furthermore, the bare land always outbreaks on parts of the land as the trail, bed ground, drinking site for cattle and others (Figs. 4, 36~39, Tables 11, 33, 34, Photos. 22~24). Contour cow trail outbreaks in steep slope with over 20°. The state of bare spots was different by location and gradient of slope, and area of bare land often formed 20 to 30% of plot area.

Grazing in forest land was attended with conditions that correspond to the above mentioned.

(2) In grazing grassland and forest land, trampling made the soil hard, decreased the porosity and the permeability of soil (Figs. 5, 24, Tables 3, 5, 15, 16, 36, 37).

(3) The infiltration capacities of grazing grassland and forest land were lower, often at 1/4~1/3, than that of non-grazing forest land, extreme in its bare area, such as cow trail, bed ground, and others (Figs. 6, 26~28, Tables 4, 17~20, 35).

(4) Surface runoffs from grazing grassland and forest land were more than that of non-grazing land. Peak discharges of grazing lands were tens to one hundred times the size of that from non-grazing forest land (Figs. 8, 9, 30, Tables 10, 23, 24, 38).

(5) Soil losses of grazing grassland and forest land were more than that of non-grazing forest land (Figs 10, 29~31, Tables 21, 22, 38).

But as the amount of soil and water runoffs were influenced by land and weather conditions and control of grass as well as grazing intensity, it is difficult to state in generalized figures the difference between the runoffs of grazing land and those of non-grazing land.

There were two facts to be noted: one of them was the fact that the severe soil and water runoff were caused by heavy rain in the course of developing grassland and for some time after development; and another is that more sediment ran out into stream with the shore and the head trampled down by cattle (Photo. 9).