# 放牧状態が林地の浸透および土壌の受蝕性に及ぼす影響

村　井　　宏[1]
岩　崎　勇　作[2]
北　田　正　憲[3]

## I　緒　　言

国土の高度の利用と高い生産性を持った畜産経営の確立発展をはかる見地から，国土面積の3/5以上を占める山地の一部が，畜産的利用の対象の場となりつつある。林地に放牧した場合，家畜の林木に与える影響がまず問題となるが，土地条件に与えられる影響も無視できない。すなわち，無計画な過放牧は土地荒廃の誘因になると考えられ[31)32)]，事実，既往長期にわたって継続された放牧共用林野の一部で，このような現象を見ることができる。もちろん，このような結果には気候・地質・土壌・植生などの立地条件がかなりの関連性を持っている。過放牧にまで至らず，放牧が計画的になされた場合でも，表面に現われるか否かは別として，土地条件になんらかの影響を与えることは当然考えられることである。この影響を客観的に正しく解明することは，土地利用の観点からはもとより，荒廃予防という観点から，きわめて重要なことである。

既往，この関係の研究成果としての国外文献は，かなり多い[3)7)11)12)19)20)21)22)23)24)29)]。これらは，植生の変化と関連させて放牧強度別の流出ならびに土地の浸透能に及ぼす影響や，土壌の容積重や孔隙量などの土壌の物理性に及ぼす変化についての研究や，また，種々な地表処理別の土壌損失の差異や侵蝕などの問題を取り扱ったものである。上記の研究成果を要約すると，例外を除き，一般的に放牧区は禁牧区にくらべて，また，放牧強度が強くなるにつれて流出が増加すること，反面土地の浸透性が減退することがあげられている。土壌の物理性に与える影響としては，踏圧によって容積重が増大し，大孔隙（非毛管孔隙）が減少することが明らかにされている。土壌損失については，放牧強度が強くなるにつれて増加することがわかったが，侵蝕については，地表に露出面が形成されない限り，それほど危険な因子とされていない。

しかし，国内においてはこのような観点から問題を取り扱った報告はほとんどない。近年国立林試の井上楊一郎室長を中心とする営農林牧野研究グループによって，混牧林に関する研究が積極的になされつつあるが，土地条件に与える影響までは手がつけられていない。現実に土地条件に与えた放牧の影響を科学的に究明したいと考えても，多くは放牧記録が不詳であって，その関連性を正しく解明することは，きわめて困難なことである。さいわいに，岩手山麓の国有林内に，本場営農林牧野研究室と東北支場経営第3研究室が主体となって，試験実施中の混牧林試験地がある。ここでは放牧季節と放牧強度を変え，カラマ

---

1969年2月7日受理
（1）　東北支場経営部経営第4研究室長
（2）（3）　東北支場経営部経営第4研究室

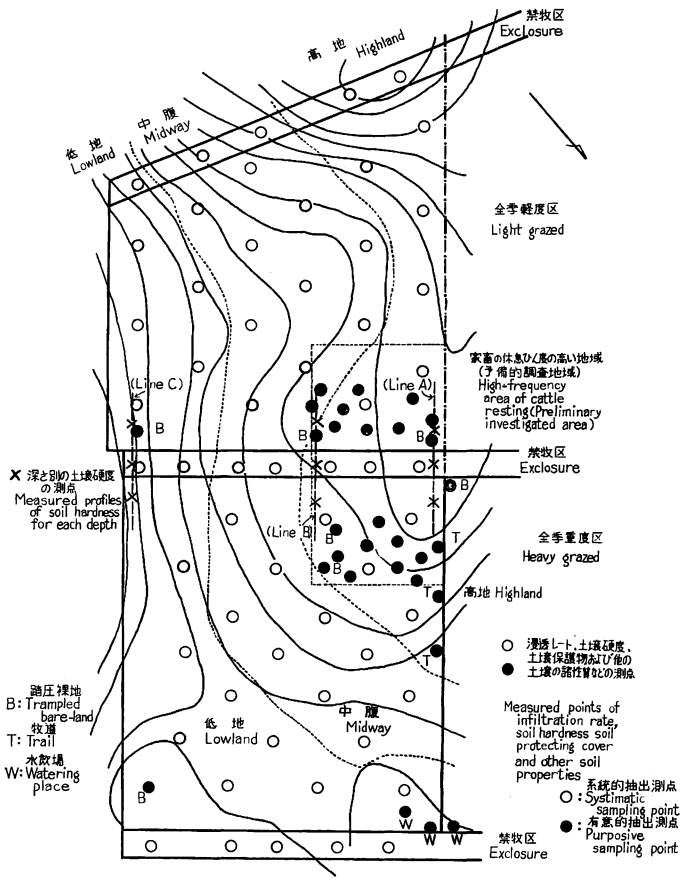
ツ植栽地内に計画的な放牧を行なっている。この研究の主査である井上室長の示唆と支援により，わたくしたちは放牧による林地土壌に及ぼす影響を明らかにするいとぐちとして，この場所の一部を対象に調査を行なった。具体的には，4か年間の試験放牧の終了後，禁牧区を対照とし放牧処理別に調査地点を選び，林地浸透能・土壌硬度などを現地測定し，また各地点の土壌を採取し，実験室において土壌の受蝕性に関連する物理的諸因子を分析した。これらの試験の結果，それぞれにおいてその影響をはあくすることができたので，若干の考察を加え報告するものである。

なお，本研究にあたり貴重な機会と場所をこころよく与えられ，かつ，有益な助言を賜わった本場井上楊一郎営農林牧野研究室長，試験設計に際し適切な示唆とべんたつを賜わった寺崎康正北海道支場長（当時東北支場経営部長），現地調査にあたって種々便宜を与えられた高萩試験地岡野誠一技官（当時東北支場経営第3研究室員）ならびに調査実験に協力された経営第4研究室高橋四郎技官，岩大学生玉川　宏君（現青森県三戸農林事務所）の各位に心からお礼を申し上げるものである。

## II 調　査　地

調査地の状況ならびに放牧試験の詳細については，すでにその試験成績として報告[10]されているので参照されたい。ここでは，その大要を参考までに記す程度にとどめる。

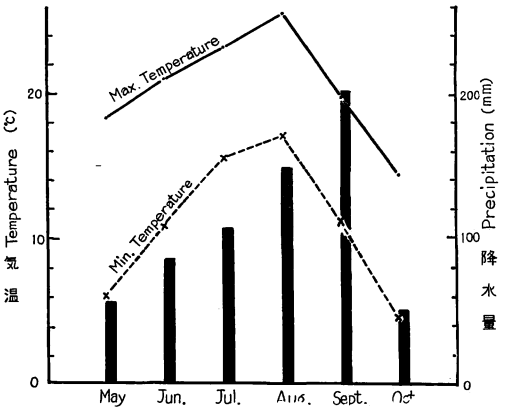
当該地は，岩手山の北東斜面山麓（岩手県西根町大字平笠地内，岩手営林署岩手事業区 525 林班は小班）にあり，1960年にカラマツを植栽（1ha あたり 3,000 本）し，1961 年から放牧試験を実施した場所である。この試験は，放牧の強さ（度合）によって軽度放牧と重度放牧に分け，さらに両区とも春から秋まで通して放牧する全季区と，ある季節だけ放牧する季節牧区（春・夏・秋の3牧区）に区分し，また，放牧を行なわない禁牧区も併設している。わたくしたちの調査の対象地は，第1図に示したように，この試験地の軽度全季区・重度全季区および禁牧区の一部である。放牧の強さは放牧日数と頭数を一定にし




第1図　調査地と各測点
Fig. 1　Study areas and each measured points.

て，面積によって差をつけている。軽度牧区では1頭あたり 1.7 ha，重度牧区では同様に 0.8 ha 程度となる。放牧期間は全季区で6月20日～10月20日までの約120日間であり，1962～1965年までの4か年間継続された。なお，放牧した家畜は役肉牛（黒毛和種）である。

立地条件の概況は，およそ次のように要約される。すなわち，標高 500～550 m，北東面の 5～10°の緩斜地で，土壌母材は岩手山の火山灰および火山放出物からなり，土壌型は B/D(d) で代表される[25]。また，その土性は砂質壌土に属する。この場所はもともとアカマツの天然生林であったものを，1950～1953 年に皆伐し天然更新をはかったが，稚樹の発生が不良で更新が失敗に終わった。地床植生はクマイザサを主とするササ型で，このなかに雑低木類・イネ科草類および雑草類が部分的に認められる。カラマツは植栽後5年経過したが，一般に禁牧区といえども生育が不良で，樹高 1.4～1.9 m に過ぎず，閉鎖になお若干の期間を必要とする。過去4か年間の放牧によって，重・軽両牧区とも地床植生の発達はかなり押さえられ，その個々の形態もわい小化している。




第2図　調査地の夏季期間（1963～1965）の気温と降水量

Fig. 2 Temperature and precipitation in summer( 1963～1965) at study area.

また，放牧試験期間中の当研究室小島忠三郎技官らが行なった気象観測の結果は第2図のようにまとめられる。気候の特色を要約すると，冬季はとくに寒冷なことがまずあげられる。積雪深は 0.5～0.6m に達し，偏西風が卓越するため，風衝面となる凸部は積雪が極端に浅くほとんど地表が露出する状態で，このような場所では土壌の凍結深が 0.2m に達する。夏季5～10月の降水量は 650mm 程度であったが，年降水量は比較的少なく，1,400 mm 前後と推定される。同期間の最高気温の平均は8月が最も高く，26°C，10月が最も低く 15°C である。同じく最低気温は7～8月が 16～17°C であるが，10月には約 4°C となり急激に低下する。冬季間は気象観測は実施しなかったが，周辺の気象庁観測定点（松尾・好摩）から推定すると，年間の最低気温は1月に現われ，平均 -4～-6°C に達するものと考えられる。

## III 調査研究の方法

現地調査は，放牧試験終了直後の 1965 年の秋季と，翌 1966 年の春の2回に分けて行なった。最初は放牧の最も影響の大きかったと推定された休息地域を主体に有意抽出的な予備調査を実施し，つぎに対象地全域にわたっての影響のはあくに主体をおいて系統的調査を実施した。最初の予備的調査の段階で影響程度の比較的低かった土壌関係調査項目の一部は，全体調査の段階で省略したものもある。

本研究は試験放牧前の調査をしなかったので，前後の比較という形ではなく，放牧終了後において禁牧区を対照として，各処理区間の比較という形でなされたものである。したがって，各処理区間の立地条件は，放牧前においてほぼ同一であったという前提に立って考察している。前掲の第1図に示したように，重・軽度両牧区の調査対象面積ならびにその形状は，ほぼ類似しているが，無処理区（禁牧）は帯状で分散し，重・軽度両牧区にくらべかなり小面積である。

第1表　調査項目別の抽出測点数

Table 1. Number of sampling points per each investigated factor

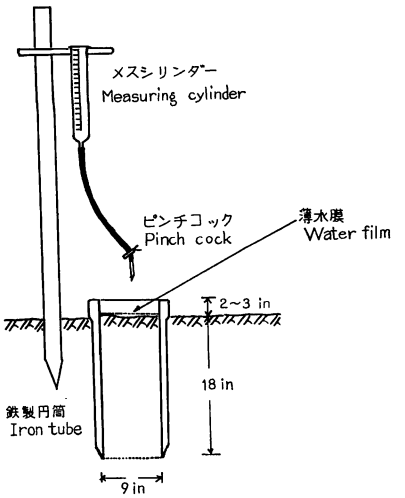
| 区分 Classification | 調査地 Study area / 調査項目 Investigated factor | | 抽出測点数 Number of sampling points | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 放牧処理 Grazing treatments | | | 踏圧裸地 Trampled bare land | | |
| | | | 禁牧 Exclosure | 軽度 Light | 重度 Heavy | 休息地 Bed ground | 牧道 Trail | 水飲場 Watering place |
| 予備調査** Preliminary investigation | 浸透能 Infiltration capacity | | 9 | 9 | 9 | 6 | 3 | 3 |
| | 土壌硬度 Soil hardness | 地表面 Ground surface | 9 | 9 | 9 | 6 | 3 | 3 |
| | | 深さ別 Each depth | 3 | 3 | 3 | 3 | — | — |
| | 土壌試料採取 Soil sampling | | 9 | 9 | 9 | 6 | 3 | 3 |
| | 土壌保護物 Soil protecting cover | | 9 | 9 | 9 | 6 | 3 | 3 |
| 主調査* Main investigation | 浸透能 Infiltration capacity | | 17 | 21 | 21 | — | — | — |
| | 土壌硬度 Soil hardness | 地表面 Ground surface | 17 | 21 | 21 | — | — | — |
| | | 深さ別 Each depth | — | — | — | — | — | — |
| | 土壌試料採取 Soil sampling | | 17 | 21 | 21 | — | — | — |
| | 土壌保護物 Soil protecting cover | | 17 | 21 | 21 | — | — | — |

* 系統的標本抽出　Systematic sampling.　　** 有意的標本抽出　Purposive sampling.

調査項目は，(1)地表保護物の質と量，(2)土壌硬度（地表ならびに各深さ別），(3)林地浸透能，(4)土壌の受蝕性に関連する物理的諸性質（流亡度・膨潤速度・分散率・団粒化率・粘土比・圧結度・容積重・容水量・孔隙量・透水性など）などである。調査にあたっては，上記の諸調査および関連する試料抽出を，同一地点で実施し，止むを得ない場合でもできるかぎり接近させるようにした。これらの測点の位置は前掲の第1図の中に示し，また，抽出標本数は第1表に示した。

各調査項目別に，その具体的な方法の概略を説明する。まず，ここでいう地表保護物とは植被ならびにその遺体であるが，その測定にあたっては，各測点に 1 $m^2$ の方形わくを設置し，それぞれの被覆率・厚さ・重量（気乾）などをはあくし，あわせてその質的状態も観察した。土壌硬度は山中式土壌硬度計[9] を用い絶対硬度と指標硬度で表現した。地表硬度の測定にあたっては，前記の方形区内で地被物を除去した裸地状態で，少なくとも10回以上の測定をくりかえした。深さ別の土壌硬度は，各処理区間を貫く対応線上に測点を取って土壌断面を設定し，0～30 cm 間は深さ 5 cm ごとに，30～50 cm の間は 10 cm ごとに垂直方向の測定を行なった。この場合も各深さごとに10回以上の測定を繰り返すようにした。

林地浸透能は第3図に示したように，平坦または緩斜地形で最も測定に便といわれる MUSGRAVE の円筒浸透計[15] を用いた。この方法は円径 9 in，深さ 18 in の浸透管をできるだけ自然状態を破壊しないように




第3図　浸透能測定に用いた円筒浸透計
Fig. 2　Tube infiltrometer that used to measurement of infiltration.

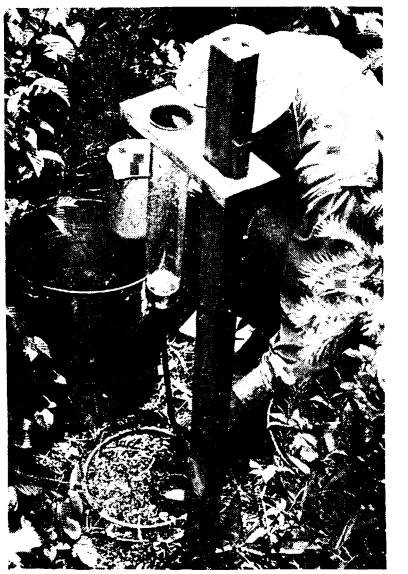


写真 1　円筒浸透計による浸透能の測定中
Photo. 1　Measuring of infiltration capacity by the tube method.

林地に埋め込み，たえず管内の地表面に一定厚さの薄い水膜を形成するように注水し，5分ごとに注水量(浸透量)を測定するものである。1回の測定期間は浸透レートの安定するまでとしたが，特例を除き60分を基準とした。土壌の受蝕性の調査は，上記の測点において0～5 cm と 20～25 cm の2つの深さの位置から自然状態の土壌を採取円筒(400 cc) と袋に採取し，実験室に持ち帰り調査分析した。調査分析項目は前記のとおりであるが，これらの方法については国有林土壌調査方法書[26]その他[13)17)]に準拠して行なった。

## Ⅳ 結果および考察

### 1. 地表保護物の変化

土地保全機能に関連する種々な因子のうち，地床植生・落葉などの地被物の持つ侵蝕防止効果がきわめて大きいことが知られている。とくに落葉などの植物遺体は，土壌有機物の大部分を供給し，また土壌水分の蒸発を抑制し，のぞましい土壌孔隙と透水性を保ち，植被とともに雨滴の衝撃を緩和するから，雨にたたかれた土砂が土壌孔隙に入り込んでつまらせることを防止する。なかでも，混濁水のフィルター効果が最も大きいとされ，土壌侵蝕に関連する因子中では最も高く評価[8)14)]されている。また，JOHNSTON[7)]，RHOADES，RAUZI ら[21)]の報告によっても，放牧区は禁牧区にくらべて，また，放牧強度が強化するにつれて，litter および mulch の量が著しく減少することを明らかにしており，それが雨水のしゃ断損失を少なくするため，土壌の吸収力を低下させていると述べている。

本試験地における放牧前後の植生推移については，すでに前記井上らの研究によって詳細に明らかにされている。ここでは，主として前述のような地表保護という観点から，放牧終了後の段階で，浸透能などを測定した位置(本調査)での植被および地被の量的調査結果を第2表にまとめてみた。これによると，植被率とその現存量，植物遺体被率とその現存量などはともに，放牧区が禁牧区にくらべて大幅に減少している。とくに重度牧区において植物遺体の減少が顕著であった。しかし，植物およびその遺体を含めた全被

第2表　各調査地の土壌保護物（植被およびその遺体）

Table 2.　Soil protecting cover (standing vegetation and litter) on each study area

| 調査地 Study area ／ 土壌保護物** Soil protecting cover | 放牧処理 Grazing treatments 禁牧 Exclosure | 軽度 Light | 重度 Heavy | 休息地*** Bed ground |
|---|---|---|---|---|
| 植被率 Percentage of vegetational cover (%) | 92.8[a]* | 85.9[a] | 82.9[a] | 53.3 |
| 全植物量 Weight of total vegetation (air dry g/m²) | 301.0[a] | 130.0[b] | 86.0[b] | 58.0 |
| 植物遺体の被率 Percentage of litter cover (%) | 100.0[a] | 95.2[a] | 88.6[a] | 10.0 |
| 植物遺体重 Weight of total litter (air dry g/m²) | 774.0[a] | 546.0[a b] | 390.0[b] | 241.0 |
| 植物遺体の平均厚さ Mean depth of litter (cm) | 2.3[a] | 1.5[a b] | 1.0[b] | 0.4 |
| 全被覆率（植物および遺体） Percentage of total cover (%) | 100.0[a] | 97.8[a] | 95.7[a] | 58.3 |
| 全被覆重（植物および遺体）（気乾重） Weight of total cover (air dry g/m²) | 1075.0[a] | 676.0[b] | 476.0[b] | 299.0 |

*同符号をもった平均値は5%の有意水準で差異が認められない。
Means with the same letter superscript are not statistically different from other at the 0.05 level of significance.
**系統的抽出（主調査）の結果による平均値。
Mean value by results of the systematic sampling (main investigation).
***有意的抽出（予備調査）の結果による平均値。
Mean value by results of the purposive sampling (preliminary investigation).

覆率は重度牧区でも95%を越えており，現況では地表はほとんど露出されていないといってよい。局部的に認められる家畜の踏圧がおもな原因とみなされる裸地は，重度区において全面積のおよそ0.3%，軽度区においておよそ0.2%存在する。これらの裸地は，通称立場と呼ばれる家畜のたまり場や，人為に設置した水飲場の周辺および人畜の通路である。この通路が豪雨の際の水みちとなって少量の土砂移動がなされるが，いまのところこの規模では加速的に拡大する可能性はない。

第3表は，各地点の植生調査の結果を総括したものである。これによってある程度推定できるように，放牧によってササの減衰したことがうかがえ，休息地においてそれが顕著である。また植栽したカラマツやその他の木本類の優占度もかなり低く，植栽木の生育の不良なことを裏書きしている。

写真 2.　踏圧影響の顕著な休息地
Photo. 2　Bed ground where is remarkable effect by trampling.

### 2.　土壌硬度の変化

500kg に近い体重を持つ4つ足の動物が単独または集団で駆け回り，寝ころんだりすることによって，地表土壌がある程度踏み固められることは容易に推察される。事実，本試験地においても禁牧区と放牧区（とくに休息地周辺）を無意識

第3表　調査地の植物組成表
Table 3. Plant composition on each study area

| 生活形組成 Life form | 種名 Species name | 積算優占度* Coverage value (%) 放牧処理** Grazing treatments 禁牧 Exclosure | 軽度 Light | 重度 Heavy | 休息地 Bed ground |
|---|---|---|---|---|---|
| 草本類 Herbs | クマイザサ *Sasa plamata* | 36.2 | 28.4 | 23.7 | 9.2 |
| | シバ *Zoisia japonica* | 16.4 | 15.6 | 18.4 | 18.3 |
| | ヒカゲスゲ *Carex lanceolata* | 13.6 | 5.1 | 13.0 | 7.5 |
| | マイズルソウ *Maianthemum bifolium* | 6.6 | 15.6 | 0.9 | — |
| | オオバコ *Plantago asiatica* | — | — | — | 20.8 |
| | ノガリヤス *Calamagrostis arundinacea* var. *brachytricka* | 7.2 | 3.2 | 2.3 | 0.0 |
| | アケビ *Akebia quinata* | 5.0 | 1.5 | 1.5 | — |
| | ヤマカモジグサ *Brachypodium sylvaticum* | 1.1 | 1.6 | 4.2 | 5.8 |
| | その他の草本類 Other herbs | 28.4 | 40.1 | 36.8 | 1.8 |
| 低木類 Shrubs | クロモジ *Linder umbellata* | 1.4 | 1.2 | 1.0 | — |
| | ノリウツギ *Hydrangea poniculata* | 3.8 | 1.7 | 0.2 | 0.0 |
| | コバノトネリコ *Fraxinus Sieboldiana* | — | 1.9 | 3.1 | — |
| | ヤマウルシ *Rhus trichocarpa* | 0.0 | 1.7 | 2.1 | — |
| | モミジイチゴ *Rubus palmatus* var. *coptophyllus* | 0.6 | 2.1 | 1.0 | 0.0 |
| | ニシキギ *Euonymus alatus* | 0.3 | 2.6 | 0.4 | — |
| | その他の低木類 Other shrubs | 2.8 | 4.9 | 1.0 | 0.0 |
| 木本類 Trees | カラマツ**** *Larix leptolepis* | 17.2 | 0.8 | 1.5 | — |
| | ミズナラ *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* | — | 5.1 | 3.0 | 1.7 |
| | コナラ *Quercus serrata* | 1.4 | 4.3 | 4.3 | — |
| | アカマツ *Pinus densiflora* | 5.9 | 2.0 | 0.7 | — |
| | その他の木本類 Other trees | 10.0 | 10.0 | 8.8 | 1.7 |

* 種の優占度百分率合計 Total percentage of each species dominance / 組成表の方形区数 Quadrat number of the composition table ×100(%)
** 主調査の結果による値　Value by results of main investigation.
*** 予備調査の結果による値　Value by results of preliminary investigation.
**** 植栽による導入種　Introduced species by planting.

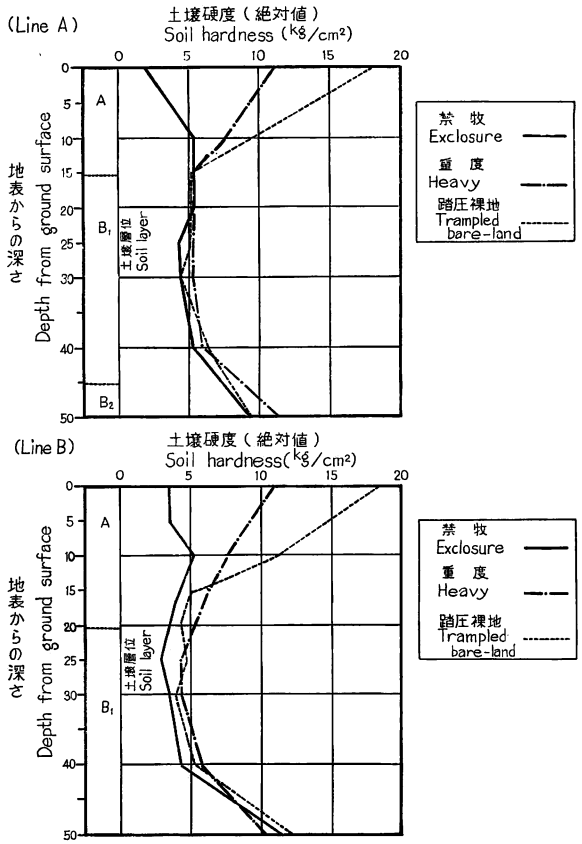
第4表　各調査地の地表の土壌硬度
Table 4.　Soil hardness of ground surface on each study area

| 調査地 Study area | | 土壌硬度（圧入硬度） Soil hardness (penetrating resistance) 絶対値 Absolute value (kg/cm³) | 相対値 Index value (mm) |
|---|---|---|---|
| 放牧処理** Grazing treatment | 禁牧 Exclosure | 2.063$^{a}$* | 11.9$^{a}$ |
| | 軽度 Light | 3.006$^{ab}$ | 14.4$^{ab}$ |
| | 重度 Heavy | 5.274$^{b}$ | 16.6$^{b}$ |
| 踏圧裸地*** Trampled bare land | 休息地 Bed ground | 11.556 | 21.0 |
| | 牧道 Trail | 27.959 | 25.0 |
| | 水飲場 Watering place | 46.386 | 27.0 |

* 同一符号は5％の有意水準で差異の認められなかったことをしめしている。
Means with the same letter superscript are not statistically different from other at the 0.05 level of significance.
** 系統的標本抽出による主調査の結果による平均値。
Mean value of results of main investigation by systematic sampling.
*** 有意的標本抽出による予備調査の結果による平均値。
Mean value of results of preliminary investigation by purposive sampling.

に歩いてみた場合，足の感触によっても地表の固さの差がかなりはっきりと察知できた。硬度計を用いて測定した結果は第4表のとおりで，それは各牧区別の地表硬度(圧入抵抗)の平均値を示したものである。これによると，禁牧区にくらべて両放牧区が大きい値を示している。そして，局部的に存在する休息地・牧道・水飲場などの踏圧頻度の高い地域では著しく硬化していることがわかる。

この硬度の変化がどの程度の深さまで及んでいるかをみるために，同一地形条件のなかに各放牧処理を対応させて土壌断面を設定し，深さ別に測定した結果を第4図に示した。このなかで，第4－1図は緩斜面上部の台地の行動頻度の比較的高い地域のもので，第4－2図は斜面中腹の平均的な地域と考えてよい。この図から，いずれも重度区および休息地（軽度区内）とも，禁牧区にくらべて10～15cm前後の深さまで硬度が有意に増大していることが推察される。とくにこの傾向は，家畜のたまり場となった斜面上部において顕著である。両地点とも，地表から40～50cmの位置が変曲点となって深さが進むにしたがい硬度が大きくなっているが，これは土圧ならびに火




第4図　深さ別の土壌硬度
Fig. 4　Soil hardness of each depth.

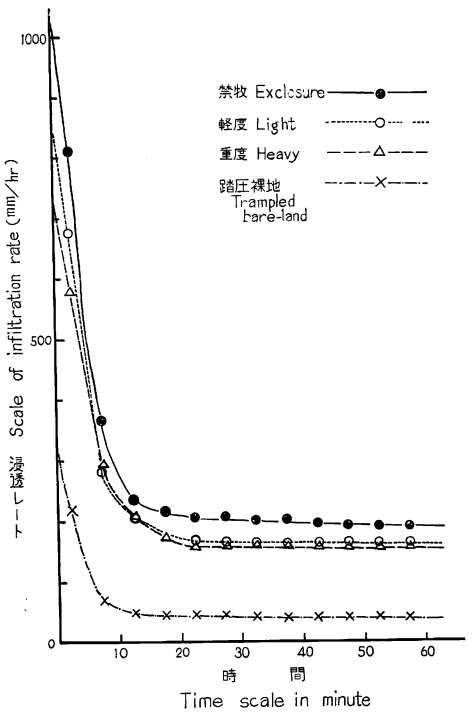
山放出物の堆積過程に関連する影響と考えられる。岩手山麓の火山放出物の堆積断面では堆積が数度にくりかえされ，また，火山砂層・礫層・盤層など硬度に本質的な差異のある層位を火山灰層の中にはさむ場合が多いが本測定地点では地表からおよそ 50 cm までは，おおむね一様な黒色の砂質壌土の堆積であって，地表からの踏圧の影響を知ろうとするうえで好都合であった。

土壌硬度は，きわめて簡易に測定できるが，それ自体指標的な価値にとどまるものと考えられ，むしろ踏圧によって固結したことによって土壌が圧密化し，雨水の浸透を妨げることにより，加速侵蝕に結びつくものと考えられる。また，ここでは直接に研究の対象としていないが，植栽木の生育の面から考えても，踏圧によって表土の通気，通水性を低下させ，好ましくない影響を与えることになるであろう。土壌硬度は測定時の土湿とか土性によってもある程度影響を受けることが山中ら[32]によって知られているが，本調査地でほぼ同一の土性であるとみなされるものの，測定時が異なるので，土湿には若干の変化があり，正確には，それによって補正すべきであったが，ここでは一応無視している。

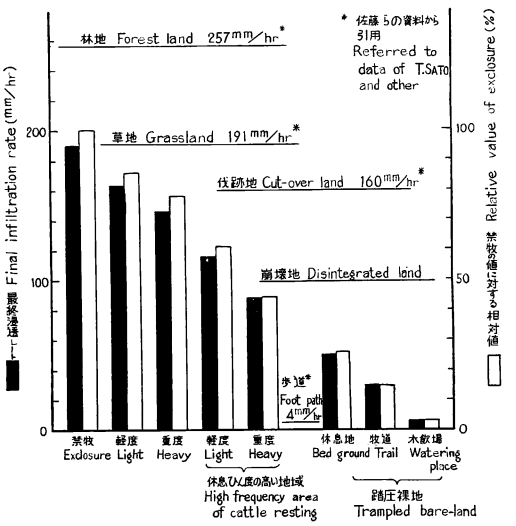
### 3. 林地浸透能の変化

地表保護被が減少し，表土が硬化すれば，必然的に土地浸透能の低下に結びつく。雨水の浸透分が減少すれば流出分が増加し，土壌中に供給され貯留される水分が少なくなることになる。また，一時出水が多ければ多いほど水の運搬力が増大し，地被物や土壌が流出し，ひいては水蝕溝の発達を招くようになるだろう。降雨時間（$t$）と積算浸透量（$I$）との間には，$I=b\,t^a$ という関係式が成り立つことは，MUSGRAVE ら[4]によってすでに明らかにされている。

円筒浸透計による本調査の測定結果も，おおむねこの浸透式を満足させている。第5図は，各放牧処理別の平均浸透曲線を示したものであり，これを見てもわかるように降雨（給水）開始からおよそ 20～30 分を




第5図　各処理区の平均浸透曲線
（降雨期間と浸透レートの関係）
Fig. 5 Mean infiltration curves of each treatment. —Relation of infiltration rate to rain duration—




第6図　各処理区の最終浸透レートの比較
Fig. 6 Comparison of final infiltration rate of each treatment.

第5表　各調査地の浸透能
Table 5. Infiltration capacity on each study area

| 調査地 Study area | | 浸透レート Infiltration rate (mm/hr) 前半30分 First 30 miuntes | 後半30分 Second 30 minutes | 最終 Final | 1時間平均(測定期間) Mean of 1 hour |
|---|---|---|---|---|---|
| 放牧処理** Grazing treatment | 禁牧 Exclosure | 328.8$^{a}$* | 193.6$^{a}$ | 188.9$^{a}$ | 261.4$^{a}$ |
| | 軽度 Light | 295.7$^{b}$ | 164.9$^{b}$ | 162.7$^{b}$ | 230.3$^{b}$ |
| | 重度 Heavy | 262.6$^{c}$ | 150.1$^{b}$ | 149.4$^{b}$ | 205.6$^{c}$ |
| 踏圧裸地*** Trampled bare land | 休息地 Bed ground | 89.0 | 50.0 | 50.0 | 55.0 |
| | 牧道 Trail | 35.7 | 27.0 | 27.0 | 31.3 |
| | 水飲場 Watering place | 22.0 | 6.0 | 6.0 | 12.0 |

* 同一符号は5%の有意水準で差異の認められなかったことをしめしている。
Mean with the same letter superscript are not statistically different from other at the 0.05 level of significance.
** 系統的標本抽出による主調査の結果による平均値。
Mean value of results of main investigation by systematic sampling.
*** 有意的標本抽出による予備調査の結果による平均値。
Mean value of results of preliminary investigation by purposive sampling.

経過すると，浸透レートが一定値に近づくことが明らかであって，消耗現象特有の減衰曲線を描いている。

また，第5表は各処理別の降雨期間ごとの浸透レートの平均値を示したものである。これによると，各期間別の浸透レートとも禁牧区にくらべて放牧区がかなり減少している傾向があり，とくに局部的に見られる水飲場・牧道・休息地などにおいて顕著である。ただ，禁牧区では浸透レートの絶対値は他のいずれよりも大きいが，前半30分から後半30分にかけての減衰率が思ったより大きかった。本来，禁牧区であれば土壌の耐蝕性が相対的に放牧区よりも高いと考えられるから，透水性のよい多孔質な構造が破壊されないままで高い浸透性を維持できると考えられるが，ここでは必ずしもそのような顕著な傾向を示していない。この原因は，踏圧されない膨軟な禁牧区の表土の容水量が大きいのに対し，もともと下層土が比較的小さかったことが関係しているかもしれない。

安定した浸透レートの最終値（ここでは給水後 45～60 分の平均値）を最小浸透能とみなし，これをわかりやすく図示したのが第6図である。この図の中に，参考までにわたくしたちが，かって東北地方の山地帯において携帯用山地浸透計を用いて，地被状態別の浸透能を測定した平均値を示した[28]。浸透能の測定方法が異なり，かつ，立地条件も異なるが，禁牧区では最小浸透能が約 190 mm/hr であるので，林地平均のおよそ，80%伐跡地のそれのおよそ 120 % となり，伐採後12年（植栽後5年）の場所としては平均的な値を示す場所と判断される。これに対し放牧区は，160 mm/hr 前後であるから伐跡地の程度であり，また，踏圧頻度の高かった休息地などは歩道などの値にほぼ近いことを示している。

### 4. 他の土壌の諸性質の変化

踏圧の影響を直接的に受けた地表部0～5cmと，影響限界点付近と考えられる20～25cmの両位置から土壌試料を採取し，雨水の浸透ならびに侵蝕に関連を持つ諸性質を調査分析した結果が第6表のとおりである。

まず，流亡度と膨潤速度はヴィレンスキー[13]の方法によったものである。前者については直径10cmの

円板型供試料全体に対する流亡土壌の百分率で示し，散水時間は 15 分間とした。試料が 15 分以内で全部水蝕された場合には，その時間を記録した。したがって，この消耗量が大きく速度が速いほど受蝕性が高いことになる。この結果では 0～5 cm で，禁牧＜軽度＜重度＜踏圧裸地となり，禁牧と他区の差異が顕著である。後者については，直径 3.5 cm の円柱型供試料が，水中で切断落下する瞬間を完全な膨軟の時間とし秒計で求めた。この場合速度が速いほど受蝕性が高いことになり，0～5 cm の測定結果は上記の流亡度と逆の禁牧＞軽度＞重度＞踏圧裸地の順となり，各処理間に有意差が認められた。なお，20～25 cm の位置は，試料不足から実験をしなかった。

分散率は MIDDLETON の提案した[5] $\frac{\text{粒団試料中 0.05mm 以下の粒子量}}{\text{粒団状態でない試料の同じ大きさの粒子量}}\times 100(\%)$ によって求

第6表　各調査地の土壌の諸性質

Table 6.　Soil properties of each study area

| 調査項目 Investigated factor | 放牧処理 Grazing treatment** | | | | | | 踏圧裸地*** Trampled bare land | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 禁牧 Exclosure | | 軽度 Light | | 重度 Heavy | | | |
| | 0～5 cm | 20～25cm | 0～5 cm | 20～25cm | 0～5 cm | 20～25cm | 0～5 cm | 20～25cm |
| 流亡度 Erodibility (%) | $64.9^{a}$* | — | $82.7^{b}$ | — | $88.9^{b}$ | — | 80.0 | — |
| 膨潤速度 Rapidity of swelling (sec) | $459.4^{a}$ | — | $126.0^{b}$ | — | $78.7^{c}$ | — | 76.9 | — |
| 分散率 Dispersion ratio (%) | $38.8^{a}$ | $38.5^{a}$ | $33.9^{a}$ | $41.5^{a}$ | $36.9^{a}$ | $43.6^{a}$ | 38.2 | 44.2 |
| 粘土比 Clay ratio (%) | $9.7^{a}$ | $17.0^{a}$ | $10.5^{a}$ | $20.5^{a}$ | $12.0^{a}$ | $24.0^{a}$ | 19.1 | 14.0 |
| 自然状態の容積重 Volume weight (%) | $52.9^{a}$ | $71.4^{a}$ | $54.4^{a}$ | $70.7^{a}$ | $58.2^{a}$ | $73.7^{a}$ | 91.3 | 83.2 |
| 圧結度 Compactness (%) | $75.3^{a}$ | $81.5^{a}$ | $77.7^{ab}$ | $84.7^{ab}$ | $82.6^{b}$ | $85.7^{b}$ | 102.5 | 59.7 |
| 全孔隙量 Total porosity (%) | $69.9^{a}$ | $69.0^{a}$ | $68.4^{a}$ | $66.0^{a}$ | $64.2^{b}$ | $67.2^{a}$ | 60.0 | 73.3 |
| 非毛管孔隙量 Non-capillary porosity(%) (%) | $19.5^{a}$ | $12.4^{a}$ | $12.6^{b}$ | $10.1^{ab}$ | $7.8^{c}$ | $8.3^{b}$ | 5.6 | 6.5 |
| 容水量 Water-holding capacity(%) | $65.4^{a}$ | $68.9^{a}$ | $67.4^{a}$ | $66.4^{a}$ | $70.1^{a}$ | $64.3^{a}$ | 65.5 | 74.0 |
| 団粒化率 Aggregation (%) | $26.1^{a}$ | — | $25.9^{a}$ | — | $25.6^{a}$ | — | 22.8 | — |
| 有機物含量 Organic matter (%) | $18.6^{a}$ | $7.2^{a}$ | $18.0^{a}$ | $7.9^{a}$ | $17.8^{a}$ | $7.3^{a}$ | 10.2 | 6.9 |
| 透水性 (cc/min) Percolation rate | $133.9^{a}$ | $62.9^{a}$ | $70.8^{b}$ | $49.3^{b}$ | $45.0^{c}$ | $32.9^{c}$ | 13.8 | 27.8 |
| pH | $6.1^{a}$ | $6.6^{a}$ | $6.1^{a}$ | $6.5^{a}$ | $5.9^{a}$ | $6.6^{a}$ | 6.2 | 6.4 |
| 安定指標 Stability index | $0.547^{a}$ | | $0.527^{ab}$ | | $0.502^{b}$ | | 0.442 | |

* 同一符号は5％の有意水準で差異の認められなかったことを示している。
Means with the same letter superscript are not statistically different from other at the 0.05 level of significance.

** 系統的標本抽出による主調査の結果の平均値。
Mean value of results of main investigation by systematic sampling.

*** 有意的標本抽出による予備調査の結果による平均値。
Mean value of results of preliminary investigation by purposive sampling.

めたものであって，この値が小さければ 0.05 mm 以下の細粒の耐水性粒団が多いことを示す。この結果では 0～5 cm で禁牧＜軽度＜重度＜踏圧裸地となり，放牧の度合が強化されるほど若干大きくなる傾向が認められ，とくに家畜の行動頻度の高かった踏圧裸地において顕著である。すなわち，踏圧によって直接細粒の耐水性粒団が破壊されたか，または，地表保護物の減少の結果，雨滴による衝撃が大きくなり受蝕性が増加したものと推定される。粘土比は Bouyoucos[2] の提案した

$$\frac{\text{砂}(0.2\sim2.0\,\text{mm})+\text{微砂}\ (0.002\sim0.02\,\text{mm})}{\text{粘土}(0.002\,\text{mm以下})}\times100(\%)$$

によって求めたものであって，砂や微砂が粘土にくらべて多い場合は，耐水性粒団の形成されることが少ないので，侵蝕されやすいということが基礎となっている。したがって，この数値が大きくなれば粘土の割合が少ないことになり，受蝕性が高くなっているといえる。しかし，この結果では放牧処理間に顕著な差異がなく，わずかに踏圧裸地でやや大きい値を示したのが目だっている。

土壌の機械的組成は本質的には母材とその風化生成過程に関連するものであって，粘土比に若干の差異が認められたことは，踏圧によって土壌が直接的に影響されたというよりも，減退した浸透能のため微粒子が流亡した結果と推察される。安定指標とは，前記の Musgrave の時間—浸透量の関係式 $I=b\,t^a$ の指数 $a$ のことで，土壌構造の破壊をなるべく少なくした自然状態下の現地土壌について測定しうる受蝕性指標として川口[8]，難波ら[16] がさきに提案したものである。したがって，土壌試料の分析値ではないが，参考までに本表に挿入した。この値では顕著な差異はないが，禁牧＞軽度＞重度＞踏圧裸地の傾向があり，踏圧裸地でやや明確な差異が認められた。これは，地被物の有無の差異，土壌構造の耐水性の強弱などが影響しているものと推察される。

容積重は採取円筒で採取した自然状態のものである。この結果では，0～5 cm で禁牧・軽度・重度の各区間は大きな差異が認められないが，踏圧裸地は極端に大きくなっている。20～25 cm では地表より全般的に大きくなっているが，各処理間には有意な差異が認められない。Orr[19] は放牧によって集まって採食する場所で，保護柵の中と外で土壌の容積重を調べた結果，4か所のうち2か所は 0～2，2～4 in の深さで有意差を認め，1か所では 0～2 in の深さのみで有意差を認めたが，他の1か所では差異がなかったと報告している。容積重に対して圧結度は $\frac{\text{自然状態の容積重}}{\text{もっとも密な状態の容積重}}\times100(\%)$ で表現されるが，比重の違いが消去できるうえ，土壌硬度との相関も比較的高く圧密の度合を知るのに好都合である。この結果では 0～5 cm で禁牧＜軽度＜重度＜踏圧裸地の順となり，放牧強度が強くなるにつれて大きくなり，踏圧裸地ではとくに顕著で 100% を越えている。

全孔隙と非毛管孔隙とも自然状態の細土容積に対するもので，また，毛管と非毛管の臨界点は pF 1.7 としている。この結果では，全孔隙は 0～5 cm の位置で踏圧裸地が他よりも 10% 程度小さいが，それ以外は明確な差異が認められない。透水性に大きく関係を持つといわれる非毛管孔隙量は，0～5 cm で禁牧区で大きく，踏圧裸地でとくに小さくおよそ 1/4に減じていることが明らかである。20～25cm では，全般的に地表よりも小さい値を示しているが，顕著な差異が認められない。Baver によると，Cecil 土壌を圧縮した結果として非毛管孔隙の量と大きさに減少をきたしたと述べ，また，伊藤[6] も火山灰土壌を用いて実験し，非毛管孔隙・透水係数が減じ，仮比重が増したと報告している。前記の Orr[19] の試験結果では，踏圧によって全孔隙量ではあまり差がなかったが，非毛管孔隙は禁牧区が大きく，毛管孔隙は放牧区の方が多いと述べている。

団粒化率は 0.1 mm 以上の粗粒の耐水性団粒の形成割合を示しており，美園の方法[17] に準拠し，試料

は採取時の水分状態で分析した。この結果では，0～5 cm の位置でも放牧処理による影響はほとんど感知できず，また，本表の中には記載されていないが，0.1～7 mm までの5粒径段階の分布状態においても，明らかな特色が認められなかった。透水性は真下の方法[14]によったが，0～5 cm で禁牧区がとくに大きく，踏圧裸地でとくに小さい。重度・軽度両放牧区も禁牧区に比べると，およそ 1/2 に減じ，踏圧裸地で 1/10 に満たない。また，20～25 cm においても禁牧＞軽度＞重度＞踏圧裸地の傾向は認められるが，0～5 cm ほど顕著ではない。容水量・pH・有機物含量などにおいては，処理別にいずれも明らかな差異が認められない。

### 5. 浸透能と他の土壌諸性質との関係

踏圧によって，放牧区の林地浸透能がある程度減少したことは前述のとおりである。この減少に，土壌の諸因子のうち何が直接影響したか究明するために，調査した全資料を深さ別におのおの58個を集積し，因子間の相関関係を求めてみた。第7表は，0～5 cm の位置で採取した試料に対して，また第8表は 20～25cm の位置で採取した試料に対してのものである。ただし，浸透能(浸透レートの最終値，平均浸透レー

第7表　浸透能と土壌因子との相関関係
Table 7. Correlation of between infiltration capacity and some soil properties in 0～5 cm depth (1)

| | 平均浸透レート Mean infiltration rate (mm/hr) | 植物遺体重 Weight of total litter (g/m) | 地表土壌硬度 Soil hardness (kg/cm³) | 自然状態の容積重 Volume weight (%) | 圧結度 Compactness (%) | 全孔隙量 Total porosity (%) | 非毛管孔隙量 Non-capillary porosity (%) | 容水量 Water holding capacity (%) | 透水性 Percoration rate (cc/min) | 分散率 Dispersion ratio(%) | 粘土比 Clay ratio (%) | 有機物含量 Organic matter (%) | 団粒化率 Aggregation (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最終浸透レート Final infiltration rate (mm/hr) | | | | | | | | | | | | | |
| 平均浸透レート Mean infiltration rate (mm/hr) | | | | | | | | | | | | | |
| 植物遺体重 Weight of total litter (g/m) | 0.273* | 0.324* | | | | | | | | | | | |
| 地表土壌硬度 Soil hardness (kg/cm³) | −0.388** | −0.563*** | −0.238 | | | | | | | | | | |
| 自然状態の容積重 Volume weight (%) | −0.363** | −0.479*** | −0.143 | 0.549*** | | | | | | | | | |
| 圧結度 Compactness (%) | −0.395** | −0.496*** | −0.132 | 0.556*** | 0.834*** | | | | | | | | |
| 全孔隙量 Total porosity (%) | 0.470*** | 0.575*** | 0.087 | −0.496*** | −0.706*** | −0.500 | | | | | | | |
| 非毛管孔隙量 Non-capillary porosity (%) | 0.385** | 0.446*** | 0.163 | −0.616*** | −0.350** | −0.519*** | 0.293* | | | | | | |
| 容水量 Water holding capacity (%) | 0.198 | −0.178 | −0.140 | −0.030 | −0.406** | −0.321* | 0.385** | −0.195 | | | | | |
| 透水性 Percoration rate (cc/min) | 0.281* | 0.365** | 0.205 | −0.622*** | −0.412** | −0.511*** | 0.348** | 0.762*** | 0.049 | | | | |
| 分散率 Dispersion ratio(%) | 0.272* | 0.241 | −0.078 | −0.120 | −0.210 | −0.110 | 0.242 | 0.103 | 0.113 | −0.061 | | | |
| 粘土比 Clay ratio (%) | 0.167 | 0.218 | 0.322** | −0.096 | 0.063 | −0.012 | 0.029 | 0.110 | −0.062 | 0.159 | 0.138 | | |
| 有機物含量 Organic matter (%) | 0.072 | 0.074 | 0.157 | −0.143 | −0.376** | −0.341** | 0.050 | 0.087 | −0.038 | −0.021 | −0.024 | −0.124 | |
| 団粒化率 Aggregation (%) | 0.047 | 0.112 | −0.055 | −0.152 | −0.306* | −0.301* | 0.290* | −0.060 | −0.176 | −0.034 | −0.081 | −0.001 | 0.023 |

* 5%水準で有意。Significant at the 0.05 level ($r=0.256$).
** 1%水準で有意。Significant at the 0.01 level ($r=0.333$).
*** 0.1%水準で有意。Significant at the 0.001 level ($r=0.419$).

第8表　浸透能と土壌因子との相関関係 (2)
Table 8. Correlation of between infiltration capacity and some soil properties in 20～24 cm depth (2)

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最終浸透レート Final infiltration rate (mm/hr) | | | | | | | | | | | | |
| 平均浸透レート Mean infiltration rate (mm/hr) | 0.931*** | | | | | | | | | | | |
| 植物遺体重 Weight of total litter (g/m²) | 0.273* | 0.324* | | | | | | | | | | |
| 地表土壌硬度 Soil hardness (kg/cm³) | −0.388** | −0.563*** | −0.238 | | | | | | | | | |
| 自然状態の容積重 Volume weight (%) | 0.207 | 0.308* | 0.263 | −0.257* | | | | | | | | |
| 圧結度 Compactness (%) | 0.074 | 0.132 | 0.011 | −0.063 | 0.625*** | | | | | | | |
| 全孔隙量 Total porosity (%) | 0.216 | 0.311* | −0.230 | 0.270* | −0.845*** | −0.390** | | | | | | |
| 非毛管孔隙量 Non-capillary porosity (%) | 0.370** | 0.392** | 0.152 | −0.488*** | 0.119*** | −0.102 | −0.201 | | | | | |
| 容水量 Water holding capacity | −0.194 | −0.275* | 0.253 | 0.206 | −0.716 | −0.697 | 0.694 | −0.128 | | | | |
| 透水性 Percoration rate (cc/min) | 0.201 | 0.288* | 0.217 | −0.416** | −0.044 | −0.261* | −0.081 | 0.508*** | −0.013 | | | |
| 分散率 Dispersion ratio (%) | 0.080 | 0.110 | 0.072 | −0.059 | 0.215 | −0.030 | −0.182 | 0.183 | −0.004 | 0.159 | | |
| 粘土比 Clay ratio (%) | 0.273* | 0.310* | 0.045 | −0.129 | 0.075 | 0.095 | −0.197 | 0.261* | −0.229 | −0.020 | 0.365** | |
| 有機物含量 Organic matter (%) | 0.075 | 0.084 | −0.010 | 0.166 | −0.289* | −0.008 | 0.272* | −0.043 | 0.093 | 0.186 | −0.275* | −0.050 |

* 5%水準で有意。Significant at the 0.05 level ($r$=0.256).
** 1%水準で有意。Significant at the 0.01 level ($r$=0.333).
*** 0.1%水準で有意。Significant at the 0.001 level ($r$=0.419).

ト）および地表硬度は，両位置の数値ともに地表部での測定値である。これらによると，浸透能には両位置ともに全孔隙量および非毛管孔隙量と比較的高い正の相関関係があることが明らかである。浸透または透水現象には，土壌中の全孔隙より非毛管孔隙が直接関係すると考えられているが，ここでは両者が密に関連し，とくに 20～25cm の深さでは後者が高い関係を示した。また，地表硬度が大きくなれば浸透が減退しているが，地表硬度には容積重や圧結度がつよく影響しており，とくに後者が顕著である。そして，浸透に関しては，表層においてのみ容積重および圧結度との負の相関関係は高く有意である。このほか，有機物含量・団粒化率・粘土比などとの間には関係が低く，地被物・容水量・分散率・透水性などとの関係は，ある程度認められるものの顕著ではない。また，全般的に 0～5 cm の位置に比べて，20～25 cm の方が，浸透と土壌因子との相関関係がかなり低い。さらに，同じ浸透を表現する因子のなかでも，降雨全期間（60分）の平均浸透レートの方が，降雨の末期（45～60分）の安定した最小レートよりも土壌との相関関係がやや高くなっているようである。

### 6. 立地条件の差異による影響

家畜の行動は放牧区内均一になされるものではなく，したがって，その土地や植生に与える影響も区々である。上掲の各牧区の資料は対象地域内において系統的ランダムに抽出した標本に基づいている。平均

値の分散の大きいことは，同一放牧処理区内でも受けた影響が一様性を欠いていることを示している。家畜の behavior 確認のための追跡調査は，前記井上らによって局部的・時限的になされているが，いまだ十分に明らかにされていない。影響度合の強弱によって明確に土地区分することは困難であるが，予備調査は家畜の休息行動頻度の比較的高い斜面上部の台地（第1図参照）を対象にしている。

浸透能（浸透レートの最終値）と地表硬度を取りあげ，全面系統抽出した本調査の結果を比較したのが第9表のとおりである。これによると，重度・軽度両放牧区で前者の浸透能が後者に比較してかなり小さくなっており，また，地表硬度はかなり大きくなっていることがわかる。それに対して，禁牧区では両者に大幅な差異が認められないので，両放牧区内の測定値の差異はそのまま家畜の行動頻度の差異に関連しているものと考えられる。事実，この台地域内には家畜のたまり場となった踏圧裸地が集中し，地被物が散乱し，地床植生の生育も劣勢である。

一方，全面系統調査の結果から，逆に家畜の行動頻度に関連して，地形別に差異があるか否か検討してみた(土地区分は第1図参照)。この結果は第10表のとおりであるが，ここでは軽度・重度両放牧区を総括して，およそ等高線に沿って3区分している。これによると，浸透能は高地＜中腹＜低地の順になっているが，各平均値の分散が大きく，かつ，地形区分間の差が小さい。しかも，地表の土壌硬度では必ずしもこの順に対応していない。したがって，このような地形区分では，家畜の行動頻度の多寡による影響は，明らかにされなかった。

軽度・重度両放牧区を対象に，各測点で放牧終了後に調査した方形区内の植生状態によって，その優占度から4区分し，浸透能と土壌硬度と比較したのが第11表である。放牧によって植生の量および質的構成が変化したことは，すでに前記井上らの報告によっても明らかにされているが，ここでは放牧前同一植生であったものが，放牧によってこのような型に変化したということを指しているものではない。したがって，家畜の踏圧によって植生がある程度変化したとしても，現況における植生型間の相対的な比較にとどめておきたい。

これによると，最終浸透レートは，シバ生地がイネ科草本・雑草類・ササ生地や木本類などよりかなり低くなり，地表硬度はそれに対応してその逆の傾向を示している。このシバ生地は必ずしも今回の試験放牧によるものではなく，他の人為的な影響によって出現したようであるが，このなかで最も浸透能が小さ

第9表　家畜の休息ひん度の高い区域の浸透能と地表硬度

Table 9. Infiltration capacity and hardness of ground surface on the high frequency parts of cattle resting

| 調査項目 Investigated factor | 放牧処理 Grazing treatment | | |
|---|---|---|---|
| | 禁牧 Exclosure | 軽度 Light | 重度 Heavy |
| 最終浸透レート* Final infiltration rate (mm/hr.) | 195.9 (103.7)** | 116.4 (77.8) | 88.0 (56.8) |
| 地表硬度* Hardness of ground surface (kg/cm³) | 1.949 (94.5) | 4.893 (162.8) | 5.607 (106.3) |

*有意的標本抽出による予備調査の結果の平均値。
Mean value of results of preliminary investigation by purposive sampling.
**系統的標本抽出による主調査のデータに対する相対値。
Relative value of main investigation by systematic sampling.

第10表　放牧地域の地形区分別の浸透能と地表硬度
Table 10. Infiltration capacity and hardness of ground surface on each geographical position of the grazing area

| 調査項目 Investigated factor | 地形区分 Classification of geographical position | | |
|---|---|---|---|
| | 高地 High land | 中腹 Midway | 低地 Low land |
| 最終浸透レート* Final infiltration rate (mm/hr) | 140.5±76.3 | 150.6±54.1 | 153.1±41.1 |
| 地表硬度* Hardness of ground surface (kg/cm³) | 4.819±2.005 | 3.611±1.505 | 4.680±1.764 |

*系統的標本抽出による主調査の結果の平均値。
Mean value of results of main investigation by systematic sampling.

第11表　放牧地域の植生区分別の浸透能と地表硬度
Table 11. Infiltration capacity and hardness of ground surface on each vegetative cover of the grazing area

| 調査項目 Investigated factor | 植生区分 Vegetative cover | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ササ生地 Sasa palmata | イネ科草本・雑草類 Gramineae herbs and other herbs | シバ生地 *Zoisia japonica* | 木本類 Trees and shrubs |
| 最終浸透レート* Final infiltration rate (mm/hr) | 162.0±47.95 | 163.7±67.35 | 109.3±47.38 | 152.2±46.86 |
| 地表硬度* Hardness of ground surface (kg/cm³) | 4.648±1.962 | 3.563±1.2640 | 5.791±1.2164 | 2.944±0.985 |

*系統的標本抽出による主調査の結果の平均値。
Mean value of results of main investigation by systematic sampling.

く，かつ，地表が硬化していることが注目される。なお，本表のなかに含まれていないが，試みに測定した結果，カラマツ植栽木の樹冠下が明らかにその外よりも浸透能が大きく，地表硬度が小さい傾向があったが，これは家畜が直接その中に踏み込む頻度が少ないこと，また，植栽時に植穴を掘る際に自然土壌を耕耘したことなどが関係しているかもしれない。

### 7. 受蝕性限界についての検討

踏圧の結果として，明確な侵蝕の発達がなかったが，どの程度まで受蝕性が高まったであろうか。受蝕性には前記の土壌の諸性質がほとんど直接的・間接的に関係することは考えられる。しかし，直接的に受蝕性を示す指標として実用価値の高いのは，分散率・粘土比・侵蝕率・安定指標などといわれている。難波ら[16]は既往の研究成果を中心に，各指標の限界値を試みに提案している。これによると，耐蝕・非耐蝕を判定する場合の限界値はおおむね分散率15，粘土比25，安定指標0.6としている。いまのところ，新たな指標やその限界値を提案するほどの資料を持たないので，前記の難波らのものを引用し，第6表の結果と照合してまとめたのが第12表である。これによると処理の差はともかくとして，この調査地の土壌は全般的に受蝕度のやや高い土壌であるということがわかる。これは砂分に富み，構造の発達の弱い火山灰砂という母材に基因するものと理解される。表中の括弧は3段階に分けた受蝕度（1＜2＜3）を示すが，処理によってこれが移動するほどの影響を受けていないといえよう。ただし，放牧地内の休息地では大きくなっていることが注目される。現実にある荒廃放牧共用林野の実態などからみて，侵蝕の発生はこのような

第12表　各指標の受蝕度
Table 12. Erodibility degree of each index

| 受蝕性指標 Erodibility index | 受蝕度 Erodibility degree* | | | 禁牧 Exclosure | | 軽度 Light | | 重度 Heavy | | 踏圧裸地 Trampled bare land | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 0～5 (cm) | 20～25 (cm) | 0～5 (cm) | 20～25 (cm) | 0～5 (cm) | 20～25 (cm) | 0～5 (cm) | 20～25 (cm) |
| 分散比 Dispersion ratio | 15＜ | 15～30 | ＞30 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 粘土比 Clay ratio | 25＜ | 25～50 | ＞50 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 安定指標 Stability index | ＞0.6 | 0.6～0.4 | 0.4＜ | 2 | | 2 | | 2 | | 1 | |

*難波・韮沢による試案　By NANBA and NIRASAWA.

たまり場から起こり，漸次拡大していくことが明らかであり，放牧管理面での十分な留意が必要である。

## V 結　　言

コントロールされた4年間の試験放牧の結果，土地条件にある程度の影響を与えたことがわかった。しかし，明確な形での侵蝕はなく，かつ，通常過放牧地などにみられるくぼみ状の裸地や小階段状の表土崩落などの移動現象は認められなかった。家畜のたまり場等に局部的に平面状の裸地がみられたが，重度・軽度両放牧区とも植被および地被などの地表保護物がなお全面に残存していた。ただ，侵蝕防止に最も効果的な働きをする落葉層などの地被物が，雨滴の衝撃防止，雨水の濾過効果や土湿の蒸発抑止に必要な厚さといわれる1/2 in を，重度区では下回ってきていることは注目しなければならない。土地条件に与えた比較的明確な影響は，踏圧による地表土壌の硬化（圧密化）と浸透能の減退である。前者については，家畜の行動頻度の高い地域でも地表下10～15cm 程度に限定されるが，圧結度で禁牧区にくらべ放牧区がおよそ10%（踏圧裸地では40%）増加している。この結果，土壌の孔隙量を減少させ，浸透能を禁牧区にくらべておよそ20%（踏圧裸地では80%）減衰させている。

牧柵に局限された地域内であっても，家畜の行動は均一性を欠き，地形的にみてある部分に集中するようである。この結果，土地条件に与えた影響も一様ではなかった。すなわち，調査標本を全面から系統的に抽出した場合では，標本値の変動が大きく処理間の差は少なかったが，家畜の休息地域となった高台地では，禁牧区に比べて顕著な差異が認められた。家畜との関連において土地条件に及ぼす影響を考える場合，その behavior の確認のもとに，地形や植生型によって層化したサンプリングがぜひとも必要である。

今回の調査方法は，放牧前後の比較ではなく，放牧終了後に禁牧区と放牧区とパラレルに比較するものであった。禁牧区は地形に沿って両牧区の間と両側に配置されてはいるが，放牧区に比べてかなり狭いものであり，このような比較方法のために必ずしも十分ではない。本調査では放牧開始前ほぼ同一な土地条件にあったという前提で比較しているので，考察を進めるうえでかなりの問題点を包含していることは無視できない。今後の新たな研究に際しては，できうるならば放牧開始前においても調査しておくべきものと考えられる。土地保全上からみて，家畜の影響を考える場合の調査項目としては，やはり流出と侵蝕に関連する因子ということが考えられる。前者については各牧区全域から集水捕捉するのがのぞましいが，指標としては浸透能が代表的なものとしてあげられるが，後者についてはいまのところ1つだけの指標に

よって土壌の受蝕・非受蝕を判定しうるようなものはないが，いずれにしても地被物も含め現地の自然状態を破壊しない条件ではあくできるものがのぞましい。生産力に結びつく土壌の物理性としては，圧結度が最も顕著に踏圧の影響を示すことになるだろう。また土壌条件に与える影響をどの程度まで許容できるのか，その限界値が明確にされるべきであり，また，定量的な解明につながらなければならないが，今後の問題として残されている。

結局，全域的に判断した場合，重度区でさえ，この程度の放牧では林地に顕著な損傷を与えてはいないが，限られた期間（4年間）で少頭（2頭1群）放牧であり，しかも地形的には平坦～緩傾斜（5°前後）であったという諸条件を考慮に入れなければならないであろう。

## VI 摘　　要

この研究は，岩手山麓にある混牧林試験地の一部で行なったものである。試験地域は 1962～1965 年の4か年間にわたって，2種の強度で家畜（和牛）を放牧した区域と，その両区に隣接する禁牧区を対象とした。軽度区は夏季6か月間 1.7 ha/1家畜単位，同じく重度区は 0.8 ha の放牧レートであった。試験地域は東向きの緩斜面で，標高は 500～550m であった。気候条件は冬季に寒冷であり，1962～1965年の5～10月の夏期間の平均降水量はおよそ 650 mm であった。土壌は火山灰とその放出物による砂質ロームに分類された。試験地域には植栽による5年生のカラマツが生育していた。

野外における調査は，試験放牧後の 1965 年の秋と 1966 年の春の2回にわたって行なわれた。放牧前に調査を行なわなかったので，この報告における討議は各放牧処理間の比較に限定された。浸透能はマスグレーブの円筒法で，また，土壌硬度は山中式の土壌硬度計の方法で測定された。他の調査項目は土壌保護物および土壌の受蝕性に関連する物理的諸因子であった。

この研究の目的は，荒廃防止の観点から林地へ家畜を放牧することによる影響を明らかにすることであった。これらの結果は次のように要約される。

(1) 土壌保護物（植被および植物遺体）は，放牧によって明らかに減少した。植被は禁牧区に比較して重度区は重量でおよそ 1/3 に，また，軽度区で同じくおよそ 1/2 になった。

(2) 家畜の行動のために発生した踏圧裸地は各放牧区の全面積に対して，重度区でおよそ 0.3%，軽度区でおよそ 0.2% 以下であった。これらの裸地は，休息地・牧道および水飲場の3種に概略的に分類された。

(3) 放牧区の地表は全般に硬化し，また，土地の浸透機能は若干低下した。すなわち，重度区の土壌硬度は，禁牧区にくらべて統計的に有意差が認められた。放牧区の最終浸透レートは禁牧区にくらべておよそ20%減少した。踏圧裸地では，その影響は顕著に見い出された。

(4) 深さ別の土壌硬度の測定結果，踏圧の影響は，地表から 10～15cm に達することが推定された。これらの測定は，禁牧区をはさんで近接する軽度区と重度区で行なわれた。その部分は比較的家畜の休息頻度の高い場所であった。

(5) 家畜の踏圧による他の土壌の性質に及ぼす影響は，明らかではなかった。しかしながら，0～5 cm の深さの地表土壌では，圧結度・透水レートおよび非毛管孔隙量などの測定値において，禁牧区に比較し若干の変化がうかがえた。

また，浸透能と土壌因子間の相関関係では，0～5 cm の深さでは全孔隙量・圧結度，地表の土壌硬度・

非毛管孔隙量および容積重などとの間に，また，20～25 cm の深さでは非毛管孔隙との間のみに有意な高い係数が認められた。

(6) 土地へ及ぼす踏圧の影響は，放牧区内において均一性を欠くことが認められた。そのおもな理由は放牧内における家畜の行動が局部的になるということにある。その影響は，予備的調査の実施した高台において，また，放牧区内に点在する踏圧裸地において，より明確にはあくされた。

(7) 結局は，この試験放牧は雨水の浸透機能や地表土壌の2，3の物理性に若干の影響を与えたとしても，土壌侵蝕の発達はまったく認められなかった。これらの知見は，このような条件下での林地放牧では土地保全の観点から，ほとんど危険のないことを示唆している。

## 文　　献


1) Baver, L. D.: Soil physics (野口・福田訳). 朝倉書店, pp. 245～246, (1958)
2) Bouyoucos, C. J.: The clay ratio as a criterion of susceptibility of soil to erosion. Jour. Amer. Agron., 27, p.738, (1935)
3) Branson, F. A., F. Miller and I. S. Mcqueen: Effects on contour furrowing, grazing intensities and soils on infiltration rates, soil moisture and vegetation near Fort Peck Montanna. Soil and Water Conserv., **15**, 3, pp. 151～158, (1962)
4) Free, G. R., G. M. Browning, and G. W., Musgrave: Relative infiltration and related physical characteristics of certain soils. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull., 729, (1940)
5) 船引真吾・青峰重範: 土壌実験法, 養賢堂, pp. 68～69, (1963)
6) 伊藤精延: 火山灰土の床締めに関する基礎的実験, 農土研, **32**. 7, pp. 372～375, (1965)
7) Johnston, Alexander: Effects of grazing intensity and cover on the Water-intake rate of fescue grassland. Jour. Rang. Mangt., **15**, 12, pp. 79～82, (1962)
8) 川口武雄: 山地土壌侵蝕の研究（第1報）従来の資料による統計的研究, 林試研報, 70, pp.1～14, (1951)
9) 木屋製作所: 土壌実験器具使用法, 木屋製作所企画部, pp.23～27, (1956)
10) 経営部経営第2科営農林牧野研究室, 東北支場経営部経営第3研究室: 混牧林経営に関する基礎的研究（第5報）東北地方における針葉樹人工林の役肉牛放牧について, 林試研報, 212, pp, 1～58, (1968)
11) Leithered, Horace L.: Runoff in relation to range condition in the Big Bend-Davis mountain section of Texas. Jour. Rang. Mangt., **12**, 2, pp. 83～87, (1957)
12) Liacos, Leonidas G.: Water yield as influenced by degree of grazing in the California winter grassland. Jour. Rang. Mangt. **15**, 1, pp. 34～41, (1962)
13) 満鉄調査局訳: 土壌侵蝕防止の研究, 博文館, pp.160～192, (1943)
14) 真下育久:森林土壌の理学的性質とスギ, ヒノキの成長に関する研究, 国有林土調報, 11, pp.35～36, (1960)
15) Musgrave, G. W. and G.R. Free: Preliminary report on a determination of comparative infiltration-rates on some major soil types. Hydrology, pp. 345～349, (1937)
16) 難波宣士・韮沢倭子: 山地土壌侵蝕の研究（第2報）土壌の受蝕性指標, 林試研報, 70, pp. 33～46, (1954)
17) 農林省振興局監修: 土壌肥料全編, 養賢堂, pp.790～795, (1958)
18) 農林省林業試験場, 林野庁: 国有林林野土壌調査方法書, 財団法人林野共済会, p. 47, (1955)
19) Orr, Howard K.: Soil porosity and bulk density on grazed and protected Kentucky

Bluegrass range in the Black Hills. Jour. Rang. Mangt., **13**, 2, pp. 80～86, (1960)

20) RAUZI, Frank: Water-intake studies on range soils at three locations in the Northern Plains. Jour. Rang. Mangt., **14**, 4, pp. 179～184, (1960)

21) RAUZI, Frank and Armine R. KUHLMAN: Water intake as affected by soil and vegetation on certain Western South Dakota rangelands. Jour. Rang. Mangt., **14**, 5, pp. 267～271, (1961)

22) RAUZI, Frank: Water intake and plant composition as affected by differential grazing on rangeland. Soil and Water Conserv. **18**, 3, pp. 114～116, (1963)

23) RAUZI Frank and Darrye E. SMIKA: Water intake rangeland as affected by simulated grazing and fertilization. Jour. Rang. Mangt., **16**, 3, pp.125～128, (1963)

24) RHOADES, Edd, D. Lowell F. LOCKE, Howard M. TAYLOR and E. H. MCILVAIN: Water intake on a sandy range as affected by 20 years of differential cattle stocking rates. Jour. Rang., Mangt. **17**, 4, pp.185～190, (1964)

25) 林野庁，青森営林局: 青森営林局土壌調査報告（北上川流域経営計画），(1965)

26) ROST, C. O. and C. A. ROWLES: Study of factors affecting the stability of aggregates. Proc. Soil Sci. of Amer. 5, p.142, (1940)

27) SAMPSON, Arther W.: Range management principles and practices.（中田　功訳）pp. 509～529, (1952)

28) 佐藤　正・村上与助・村井　宏・関川慶一郎: 新しい型の山地浸透計による測定成績（第2報），林試研報，99, pp. 25～57, (1957)

29) 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, pp. 103～106, (1964)

30) 地理調査所地図部編: 日本の土地利用，古今書院，pp.75～81, (1955)

31) WILM, H.G.: 森林と流域（松尾兎洋訳，森林の公益的効用の一部），水利科学研究所，pp. 31～51, (1962)

32) 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, pp. 343～347. (1965)

# Effects of Grazing Condition on the Infiltration and Erodibilities of Soil on the Forest Land

Hiroshi MURAI, Yuusaku IWASAKI and Masanori KITADA

(Résumé)

The studies were conducted on a part of the experimental range of forest grazing located in the west hills of Mt. Iwate. The study areas were formed exclosure and areas that had been grazed by cattle at two rates for 4 years from 1962 to 1965. Intensity and rate of grazing for 6 months covering summer was 1.7 ha per animal unit at the lightly-grazed pasture, and 0.8 ha per animal unit at the heavily-grazed one. The study areas had a gentle slope to the east and the altitude was from 500 m to 550m above sea level. The climatic condition was very cold in winter, and the average precipitation (of summer duration) from May to October was approximately 650 mm for the period from 1962 to 1965. The soil was classified in sand loam of the volcanic ash and its products. A 5-year-old planted Karamatsu (*Larix leptolepis*) forest was growing on the study areas.

The investigations at the field were conducted twice in autumn of 1965 and spring of 1966 at the finish of the experimental grazing. Because no investigations were conducted before the grazing opening, the discussions in this report were limited to comparison between each grazing treatment. The infiltration capacity was measured by means of MUSGRAVE's tube, and the soil hardness was measured by means of YAMANAKA's soil penetrometer. Other investigated factors were the soil protecting cover and some soil physical properties.

The purpose of these studies was to determine the effects of cattle grazing on the forest land from the view point of preventing denudation. Results observed are summarized as follows:

(1) Soil protecting cover (standing vegetation and litter) was decreased considerably by the cattle grazing. The standing vegetation was decreased below 1/3 weight on the heavy and below 1/2 weight on the light as compared with the exclosure.

(2) The trampled bare-lands that had been broken due to the cattle behavior were on more than about 0.3 percent on the heavy and about 0.2 percent on the light of total area of each pasture. These bare-lands were classified roughly into three types, namely, bed ground, trail and watering place.

(3) Ground surface of the grazed pastures were hardened generally and infiltration function of the land was decreased by a small degree. More specifically stated, the soil hardness on the heavy was recognized statistically different from the exclosure at 0.05 level of significance. The final infiltration rates on the grazed pastures were decreased approximately 20 percent as compared with the exclosure, and on the trampled barelands, the effects were found remarkably.

---

Received February 7, 1969.

(1) Management Unit IV, Forest Management Division, Tôhoku Branch Station; Concurrently, Technical Coordination Section, Tôhoku Branch Station.

(2), (3) Management Unit IV, Forest Management Division, Tôhoku Branch Station.

(4) Concerning results of the measurement of soil hardness on each soil depth, the trampled effects were presumed to amount to 10～15 cm from ground surface. These measurements were conducted at the light and the heavy grazed pastures in the exclosure. Relatively high frequency was seen in the cattle resting parts.

(5) The effects on other soil properties by the cattle trampling were not particularly remarkable. In the surface soil of 0～5 cm depth, however, slight variations were impressed to the measurement values of compactness, percolation rate and dispersion ratio as compared with the exclosure. Correlation between infiltration capacity and some soil factors (total porosite, compactness, soil hardness of ground surface, non-capillary porosity and volume weight) of 0～5 cm depth gave highly significant coefficient. Especially, between non-capillary porosity of 20～25 cm depth same relations were recognized.

(6) The trampled effects to the land were recognized as lacking uniformity in the grazed pastures, the main reason being that the behavior of cattle was partially on the grazing areas. The effects were seen clearly in the high land on which preliminary investigations were conducted and trampled bare-land which were studied in the grazed pastures.

(7) To summarize, the experimental grazing had a slight influence on the infiltration function of rainfall and some physical properties of the surface soil, but the development of soil erosion could not quite be recognized. These findings suggest that the forest grazing thus far studied pose hardly any danger from the view point of land conservation.