

報 文

高原洪積畑地帯における圃場利用形態と土壌侵食特性

松本康夫・天谷孝夫・西村直正

Properties of Soil Erosion conducted by
Furrowing Practices on Upland Diluvial Fields

Yasuo Matsumoto, Takao Amaya and Naomasa Nishimura

Faculty of Agriculture, Gifu University

Summary

Actual furrowing practices and soil erosion conditions were surveyed on sloping farmland of Diluvial volcanic ash soil to make the source of sediment and the runoff process clear. Test fields were composed of some reclaimed fields at original slope after World War II and some at improved slope or by terracing after 1970's, which have been cropped with a Japanese radish in wide area monoculture of the fields with 2-7 slope degrees and 30-100 meters long.

Analysing the geomorphic features of furrowing practices showed that furrows tended to be formed in a more gentle and shorter direction of a field lot along its boundary and the steeper they became under 5 degrees, the shorter they were less than 50 meters long. Factors causing soil erosion were considered to be a furrow direction and a flow treatment at the furrow end. When runoff flowed torrentially along a border, it caused gully erosion and when runoff flowed over a steep slope between fields, it caused strip erosion and when runoff flowed through a few outlets collecting runoff with pillow ridges or ditches, it caused severe erosion like a slope collapse. Accumulating erosion traces showed that gully erosion along borders accounted for the most part (90%) of soil loss and was a main source of sediment. Bare fields without furrows has yielded much more sediment than with furrows.

Therefore, soil conservation practices need a suitable field arrangement for the runoff process and a grass waterway along the border as well as a subsoil pan break and a rotational cropping system. Effective measures which improve soil structure, cropping workability and draining systems in a field are combined to conduct the sustainable furrowing practices.

Key words : Diluvial volcanic ash soil, Sloping fields, Furrowing practices, Soil erosion, Soil conservation
(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 23-29, 1995)

1 はじめに

長良川の源流部には、高原高冷地の立地条件を活かして夏大根の傾斜畑が広がっている。これらの傾斜畑から、主に夏期における強い降雨で貴重な土壌が流亡するような事態が続いている。これまで、流亡した土壌はできる限り地区内にとどめ圃場へ還元する営農努力が払われてきたが、土壌が硬基盤を伴う洪積火山灰からなり細粒質であるため、クロボク土と同様に地区外への流出を避けられない現状にある(松本,1992)。そのため長良川の水質汚濁の疑念を招き、早急な防止対策が求められている。

岐阜大学農学部

近年の自然環境保全に対する要求はきわめて厳しくなっており、このような事態をもはや放置できない状況に至った。河川環境を保全しながら持続的な畑作農業を確立するためには、効果的な土壌保全対策を解明することがきわめて急務になっている。

本研究においては、広範に夏大根の栽培が行われている高原洪積畑の利用形態を通して土壌の流亡源や流出経路を解明するとともに土壌保全の課題を検討した。

キーワード：洪積火山灰土、傾斜畑、畝立て様式、土壌侵食、土壌保全

2 対象地域の概況と調査方法

1. 地域概況

対象地域は、標高1,700m級の峰に囲まれた800~1,000mのなだらかな高原に位置し、地質的には白山火山起源の新規安山岩類（第四紀洪積世）に覆われている（高鷲村史編集委員会，1986）。固結した褐色火山灰の中に転石状に火山礫を挟在する。代表的な表層土の粒径組成は砂分53%、シルト分26%、粘土分21%であり、比重は2.64~2.74（35試料）である。

夏は涼多雨、冬は寒気が厳しく12~3月は根雪に覆われ、年平均気温は11.5℃と低い。第2次大戦後の入植開拓を契機として、1970年から始まった県営農地開発事業を口火に団体営農地造成、最近では、公社営畜産基地建設事業と続き、これらに農家の自力開墾が加わって現在の夏大根を中心とした傾斜畑地帯へと変貌してきた（高鷲村史編集委員会，1986）。

30年間の降水記録によると、降水量は、平均3,300mm、多雨年には4,400mm、少雨年には2,500mmと年変動が激しい。月別の降水分布では6~9月にまとまった降水があり、50mm/h前後の強度の大きい降雨が夏大根の栽培全期間にわたって観測されている。

2. 調査方法

対象地域の中から溪流汚濁が顕著にみられる約160haの流域を調査地域に選定した。土地利用と侵食状況を概査した後、現地調査にあたっては、畝立様式、排水処理方法、土壌侵食の状況を詳細に追跡することとした。また、畝の方向と組み合わせを知るには、現地調査では限界があったため、全長1.6m、翼長2.15mのラジコン飛行機を用いて、機体内部にオートフォーカスの35mmカメラを積載し調査地域の上空を高度100~500mで飛行させながら、リモコン操作によって夏期と秋期の航空写真を撮影した（五十崎ら，1976）。さらに、土壌流出量を概算するため、栽培末期にあたる10月下旬、調査地域で発生した土壌侵食の痕跡を一斉に追跡して横断面規模を実測

した。

3 圃場の利用形態

1. 土地利用状況

調査地域の土地利用は、大根畑が52ha、飼料用採草畑が30ha、裸地2ha、荒地1ha、残りの69haが林地や住宅、道路などである。調査地域に含まれる大根畑はほとんど傾斜畑であり、圃場も不整形なものが多い。圃場境界や法面で侵食の痕跡がみられた。草地と荒地では、密生した牧草や雑草によって土壌面が保護され、侵食の痕跡は観察されなかった。一部、隣接した林地を農家が自力開墾し裸地状態で放置しているため、樹枝状にガリ侵食^注が派生し多量の表土が流亡している痕跡が目立った。

圃場の利用形態と土壌侵食の関係を明らかにするため、以下では大根畑を対象として分析を行った。

2. 圃場形態

調査地域に含まれる187筆の大根畑を対象として各圃場の造成形態を調べるために、圃場の斜面長と勾配を調べた。縮尺1:2,500の地形図をもとに各圃場について主要な地形面を探し、その主傾斜方向に向かって斜面の長さ（以下、斜面長と呼ぶ）、上下端の標高差を読みとり、斜面長と標高差から平均勾配（勾配と呼ぶ）を求めた。その結果を図-1に○で整理した。

図-1からわかるように、斜面長はほとんどの圃場が30~100mに分布している。斜面長100mを超える圃場は少なく、全体の6%であり、最も長いものでも150m程度である。勾配については、ほとんどの圃場が2~7°に集中しており、7°以上の圃場は全体の4%、最高でも9°程度である。

各圃場の上限を結ぶと、相対的に右下がりの破線以下に分布する傾向がある。急傾斜になると斜面長を短く抑え、逆に緩傾斜になると斜面長が長くなっても支障のないように造成されていることが分かる。斜面長が100m

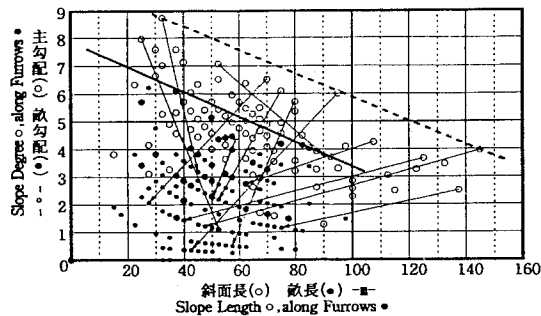


図-1 造成形態と畝形態

Fig. 1 Geomorphic Field Properties and Furrow Formation on the Fields

注 従来、流路状の侵食に対して規模や修復の可否等によって「リル侵食」と「ガリ侵食」という用語が曖昧に使い分けられてきた。本稿では、流路の発達段階によって侵食規模が場所的、時間的に変化する特性を示すこと、修復の可否についても修復効果や農耕水準によって異なることから、すべてガリ侵食とよぶこととした（松本ら，1978）で詳述。

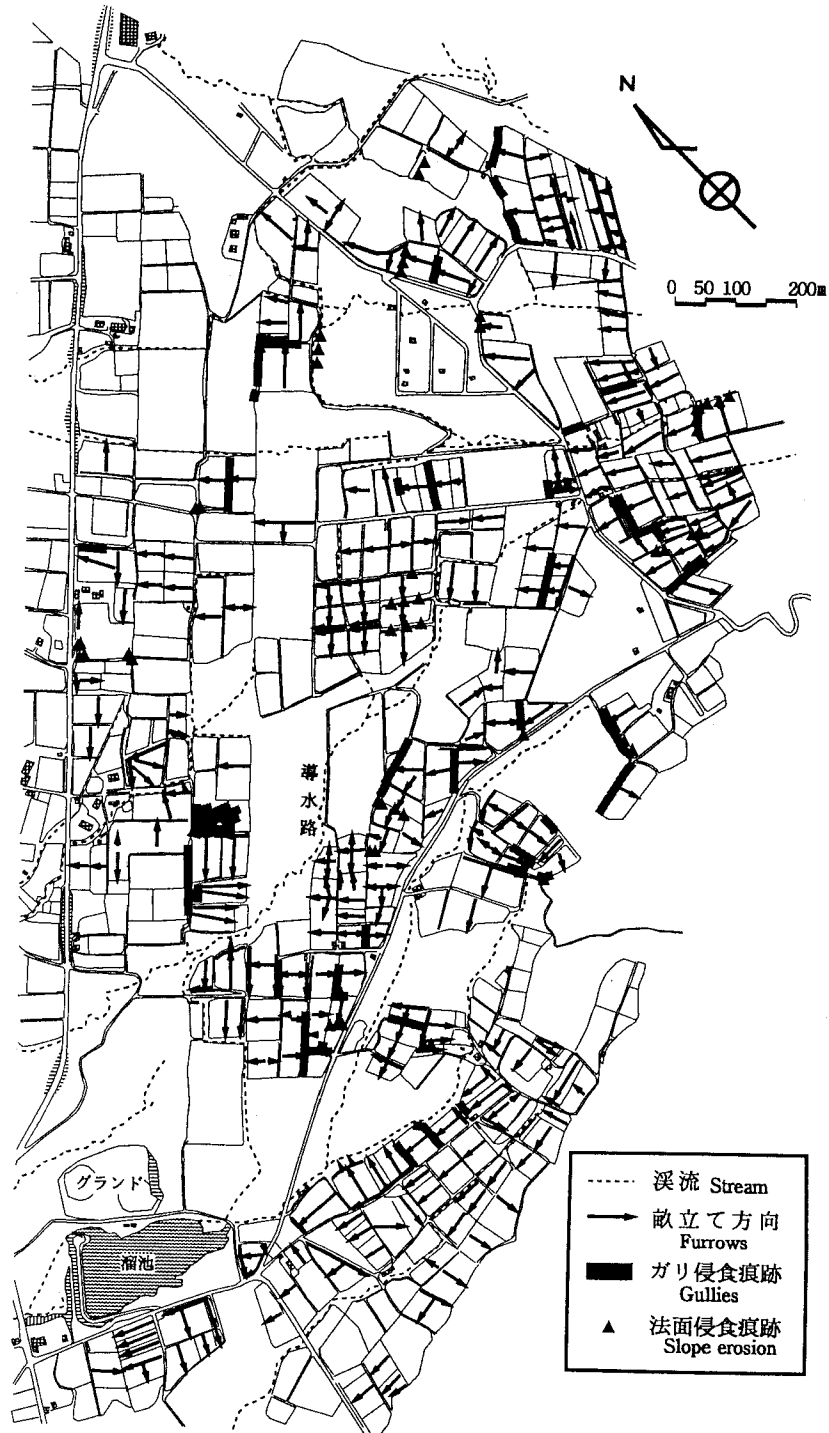


図-2 畝立て方向と土壌侵食の発生状況

Fig. 2 Actual Furrow Directions and Soil Erosion

を超える圃場では勾配がすべて 5° 以下である。ちなみに斜面長と勾配の平均値はそれぞれ60mと 4.5° であった。

3. 畝立ての形態

航空写真をもとに各圃場の畝立て方向を調べ図-2に整理した。矢印の方向が畝の傾斜方向である。圃場の境界方向に沿っているものが多い。大半の圃場で耕起や畝立てなどの作業性を考慮して、圃場の境界方向に沿った畝立てが行われている。

畝立て形態を分類すると、まず全ての畝を同一方向に等間隔で立てた圃場が全圃場の6割、次いで圃場の上、下流端に畝方向と直角方向に2~3本の枕畝を立てた圃場が多く、上流側が全圃場の2割、下流側で畝を立てた圃場が1割であった。枕畝の形態をとる圃場は、圃場の上部か下部が法面になっており、法面からの排水が圃場に流入しないよう排除したり、圃場からの排水が直接法面に流入しないよう工夫している。また、畝立て時のトラクターの転回部をあてている。

その他に畝の方向を傾斜に合わせてほぼ等高線方向にしたり、途中から方向を変えたり、畝を途中で切り欠いた圃場もみられた。畝立て作業に労力を要するが、このような畝立ては、一部の農家が排水や土壌侵食に特に注意を払っていることを実証している。

圃場の畝立て形態を分析するために、圃場の畝方向を記入した地形図から、畝方向の斜面長(以下、畝長と呼ぶ)と標高差を求め、平均勾配を計算して図-1にあわせて●で示した。大半の圃場の畝は、勾配 5° 以下、畝長が20~80mに抑えられていることがわかる。また、実線で示したように、勾配が大きくなるにつれて徐々に畝を短くする傾向が認められる。造成形態と比較対照すると、図中に例示したように圃場の傾斜と斜面長は、畝立てによって大きく緩和して利用されていることがわかる。ちなみに、全圃場の畝方向の勾配と畝長の平均値は、それぞれ50mと 2° である。

畝立てが圃場の形状によって長辺と短辺のどちらの方向に選択されたのか、その傾向を畝方向の斜面長と畝の直角方向の斜面長の関係から調べてみると、調査地域の圃場は短辺方向に沿った畝立てが全圃場の6割、長辺方向がほぼ4割であった(長短辺方向が同じ圃場は3%)。また、長辺方向に100m以上に及ぶ圃場は、全ての圃場で短辺方向に畝を立てていることがわかった。すなわち、農家は圃場の境界方向の中から、斜面長が100m以上にならないように畝長を抑えているといえる。

次に、圃場の形態と畝立て方向の関係を調べるために、図-3のように長辺方向の畝立て(●)、短辺方向の畝立て(○)、両方向同じ場合(▲)に区別して、横軸に

畝方向の勾配、縦軸に畝の直角方向の勾配をとって各圃場の分布を調べた。模式図のように、畝方向の勾配が畝直角方向の勾配より大きい圃場は長辺、短辺いずれかの方向から、傾斜の強い方向を選んだことになり、その逆の場合は傾斜の緩い方向を選んだことになる。

畝を形態別に分類すると、図-3に示した割合のとおりであり、結果的に傾斜を強い方向へ選んだ圃場は全圃場のほぼ3割、傾斜を緩い方向へ選んだ圃場は7割弱で、最も多いことがわかる。

畝立て形態は土壌流亡を左右する重要な要因である。圃場に降った雨は畝間を流れ、圃場の畝立てが急になるほど畝間の土壌が流亡しやすい。逆に緩くなるほど流速が抑えられ畝間の土壌は流亡しにくい。しかし、畝間からの排水が圃場境界に至ると直角方向に急勾配で流れるため次第に集まった排水の流速が増し、圃場境界に沿ってガリ状の侵食を起しやすくなる。調査地域の圃場は、畝間の土壌保全にかなっていない反面、圃場の境界に侵食を招きやすい畝立て形態が多いといえよう。

4. 流末処理の形態

圃場の流末排水処理の状況を調査した結果、畝間から法面や園内管理道などの側溝に直接排水したり、排水溝や枕畝などを利用して導水し、道路(農道)側溝や溪流、法面に排水するものに大別できる。園内の側溝は、畝とほぼ直角方向に圃場下部に設けられた管理や作業用の道路などに沿って畝間からの排水が集まりながら流れる水路であり、全圃場の半数がこの排水方法を採用している。

枕畝や圃場の下流端に排水溝を作り、畝間からの排水を集めて流している圃場は、全体の3割強に及び、畝間から法面に直接排水が流れないようにしている。圃場内の排水溝で集められた排水が流末の法面に流された場合、大規模な法面侵食につながる。圃場の中には、法面にトタンや種などでシュート水路を作り保護している事例があり、農家の土壌侵食に対する工夫がみられた。

また、下部に法面をもつ圃場の中には、法面に直接排水しているものも多く、全体の2割強に及んでいる。法面に直接排水している圃場ではビニールシートで法肩を覆ったり、丸太で保護している事例がみられた。

林地に隣接した圃場は、林内へ直接放流を行っている場合が多く、全体の約3割に及ぶ。土壌が溪流に流入する前に林床の腐植層や低草木によってろ過され、土壌流出を緩和する働きがある。林内放流による排水処理は、結果的に土壌の流出抑制につながり、再評価すべき優れた工夫の1つである。

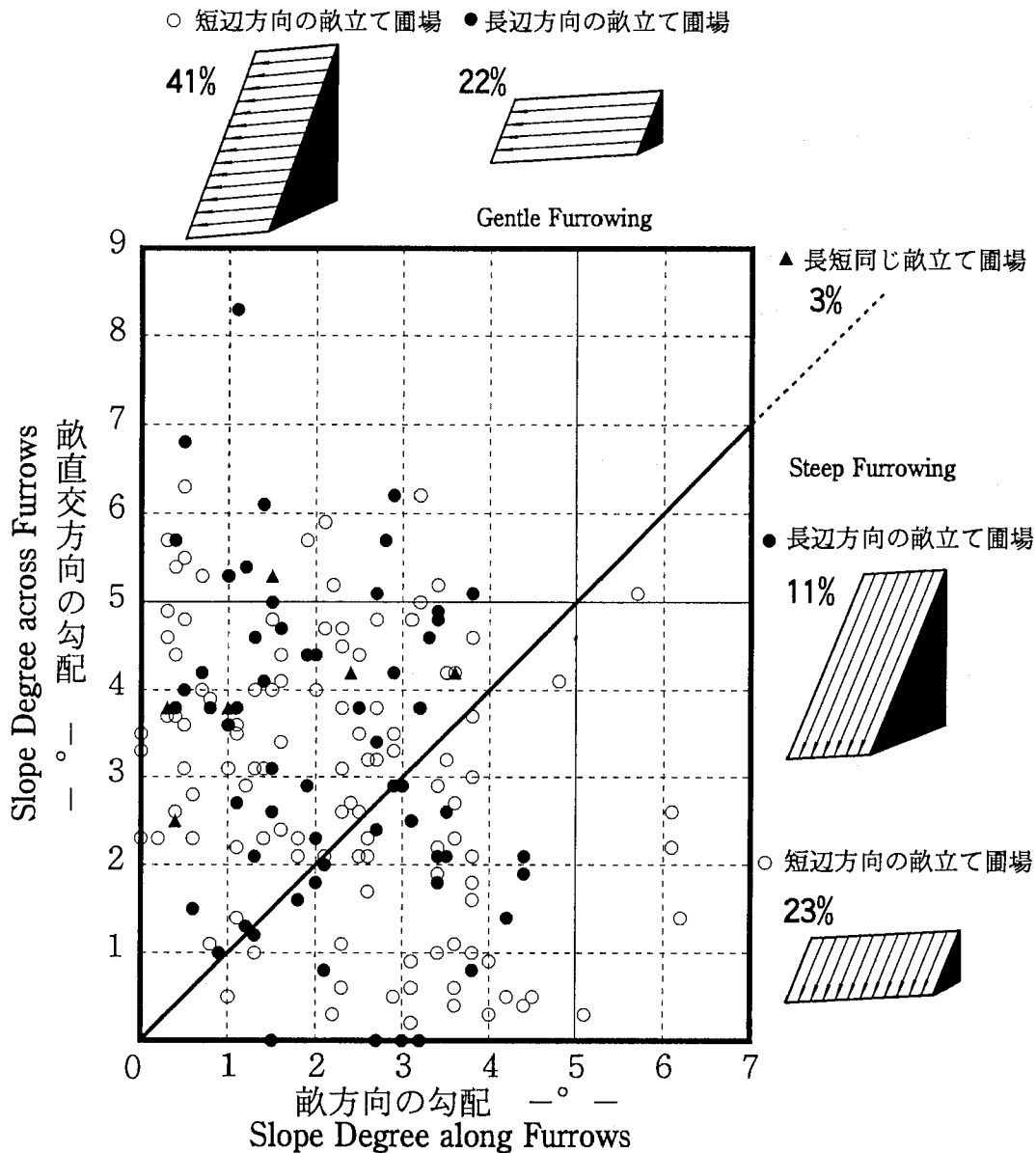


図-3 畝立て方向と圃場形態の関係
Fig. 3 Furrowing Practices on Test Fields

4 土壌侵食状況

1. 土壌侵食の形態

土壌侵食状況を調査した結果、圃場の畝間に及んで侵食の痕跡がみられることは希であり、流末の排水処理に起因して侵食を起こしていることが多い。侵食形態は、畝間流末にあたる圃場の側端や下端、あるいは裸地面がガリ状に侵食された痕跡をもつもの（タイプI）と、法面が侵食された痕跡をもつものに大別でき、法面侵食は、さらに2つに分けることができる。1つは、法面が筋状に侵食された痕跡（タイプII）をもち、法面の表土が流

され基盤層が露出している。2つめは、流末から法面の1ヶ所に放流されてできた洗掘痕跡（タイプIII）である。

調査地域内の土壌侵食の発生状況は図-2にあわせて示したとおりである。図中で太い塗りつぶし部がガリ侵食部、▲部が法面侵食部を表す。

タイプIのガリ侵食は、幅約30cm、深さ約15cm程度の規模（最小幅10cm、深さ5cm程度）であり、側岸部が明瞭に残されている。また規模の大きなものになると幅1m、深さ50cm程度に及び、溪流や路床が滝のようになっているのがみられた。図-2から、ガリ侵食は圃場の

境界に沿って発生している場合が多く、排水が畝間の下流側に集まり、ガリが発生したことがわかる。一連のガリ侵食は、調査地域内の43ヵ所にわたってみられた。

タイプIIの法面侵食は、排水が畝間から直接、法面に放流された場合と、弾丸暗渠の排水口から浸透水が流れ出て侵食された場合がある。弾丸暗渠は、圃場排水のために、約1～2m間隔で施されたものである。このタイプの侵食痕跡は9ヵ所でみられた。

タイプIIIの法面侵食は、畝の途中や流末に枕畝や排水溝を設け、集められた排水がそれらの流末端から法面に排水される形態をとっている。このタイプの侵食痕跡は14ヵ所でみられた。

侵食形態別に畝立て形態との関係を見ると、まず、タイプIのガリは、複数の圃場から排水が合流して流れ込んで起きたものがあるが、畝を長辺方向に立てている圃場が4割、短辺方向が6割、また畝を急傾斜方向に立てた圃場が3割、緩傾斜方向は7割であった。斜面長についてみると、侵食の起きた圃場の大半は長辺が50m以上の圃場である。すなわち、このタイプのガリ侵食は、斜面の大きな圃場あるいは複数の圃場から多量の排水が流れ込んだり、または緩傾斜方向の畝間から急勾配方向に排水が流れた場合によく起きている。

タイプIIの法面侵食の痕跡は、圃場に降った雨が畝間を通して、直接法面に排水された場合に該当しており、法面に植生の活着が見られない。畝を長辺方向に立てた圃場が3割、短辺方向が7割、また畝を急傾斜方向に立てた圃場が7割、緩傾斜方向が3割であった。すなわち、畝を短辺方向または急傾斜方向に立て迅速な排水が強く意識されていることがわかる。

タイプIIIの法面侵食は、圃場の流末端から法面の1ヵ所に排水される場合に当たり、タイプIと同様の傾向を示し、圃場の多くは短辺方向で緩傾斜方向に畝を立てている。多量の排水が1ヵ所から法面に流れ込んだためである。

2. 土壌流出量の概算

調査地域内における土壌流出量の概略を知るために、侵食痕跡を実測してその体積から推測することとした。計算にあたっては、1連の侵食痕跡について侵食規模がほぼ一様か、ほぼ連続的に変化していると思われる部分に分け、それぞれに対して、その上流端から下流端まで3～4ヵ所(最大間隔10m以内)について、ほぼ等間隔に代表的な侵食横断面の幅(矩形で近似できない場合、上幅と底幅)と深さを計測し、これらの平均値に延長を乗じて体積を求めた。なお、ガリ侵食の中には、農家の掘削した排水溝がガリ状に侵食されたものも見られ、掘削部分を控除して計算した。裸地圃場の樹枝状の侵食痕

跡に対しては、斜面のほぼ傾斜方向に10m間隔に基準線を設け、基準線と交差する侵食横断面形を実測し、横断面積に支配延長を積和して体積を求めた。これらの一連の計算方法では、細部に及ぶ土壌流出量は期待できないが、ほぼ同じ程度の精度で広域にわたる土壌流出の実態や場所的な特性を抽出することができ、取り急ぎ、土壌流出量の数量的なオーダーを把握することができると判断した。

土壌侵食の形態別に土壌流出量を試算してみると、タイプIのガリ侵食は土壌流出量が196m³となり、タイプIIの法面侵食は10m³、タイプIIIの法面侵食は22m³であり、総計228m³に及んでいる。ガリ侵食は全流出土壌量の9割弱を占め、法面侵食は、それぞれ1割に満たない程度である。これらの数値は年間の一連降雨で流出した量ではないが、圃場面のガリ発達の際の降雨に対する免疫性(松本ら、1978)、さらに年間サイクルの圃場面の耕起・碎土を考慮すると、ガリ侵食に伴う流出は、ほぼ1栽培期間におけるものと考えてよい。一方で、法面侵食は経年的に累積する傾向をもつので同期間をとるとやや過大評価になる可能性があることを付記しておきたい。実際には計測できない面状の土壌侵食を含めると、一層多量の土壌が流出しているが、ガリ侵食による土壌流出量がほぼ9割を占めており、土壌流出の主要な供給源であることがわかった。

最後に、水系別土地利用に注目して1haあたりの単位土壌流出量を計算し、表-1に整理した。開墾直後の裸地が含まれるため流域4の土壌流出量がひとときわ多い。裸地状態で放置された圃場が流出土壌の主要な供給源になっている。単位土壌流出量と土地利用の関係を見ると、例外も少なくないが、流域に含まれる畑地と裸地の割合が高いほど土壌流出が多い傾向にあることがわかる。

表-1 流域土地利用からみた単位土壌流出量

Table 1 Unit Soil Loss every Drainage Area from Test Fields

流域 No. Area	圃場面積 (ha) Fields	畑地 (ha) Crop	裸地 (ha) Bare	畑・裸地 割合(%) Ratio	単位流出土 量(m ³ /ha) Unit loss
1	16.6	12.3	0.0	74	5.9
2	26.6	22.3	0.5	86	3.4
3	1.6	0.0	0.0	0	0.0
4	3.6	0.9	0.5	38	16.6
5	5.2	4.1	0.0	79	-
6	12.8	8.1	0.8	69	0.4
7	15.4	3.0	0.6	24	1.0
8	2.4	0.0	0.0	0	0.0
9	1.2	1.2	0.0	97	3.3
計(平均)	85.4	51.9	2.4	64	2.7

5 土壌保全の課題

調査の結果から、主要な土壌保全上の課題を整理すると、次のとおりである

(1)圃場形態に関しては、相対的に傾斜が強く、不整形な圃場が多い。農家は畝を立てることによって傾斜を緩和し、畝の長さを調節して利用しているが、不整形であるために、作業性を犠牲にせざるを得ない。また、作業性や排水を優先した場合には、土壌侵食を助長するような畝立てになることも少なくない。作業性や排水面から保全性の高い畝立てや圃場の利用方式を誘導するよう圃場形態を整えることが重要である。

(2)畑面の利用については、収穫を優先する余り畑面が全面にわたって植栽に供されるため、圃場の周辺に草生帯のような土砂を滞留させる場所がとれない。畝間の排水が圃場の境界に集まりガリ侵食を誘発したり、一部では、畝間や流末部から直接、法面に排水して法面侵食を招いている。堅固な排水路が整っていれば、畝間を排水路に直結して安全に排水を導くことができるが、土羽の排水溝では、畝間を伝ってガリ状の侵食が波及する恐れがある。畝間の流末には、できる限り草生帯や緩やかな堆砂帯を確保したい。さらに、畝のない裸地においてはガリが樹枝状に発達し多量の表土が流亡している。畑面に広がるガリ侵食は農地の生産力を低下させ、耕作放棄にいたる危険性をもっており、早急に対処すべき重要な問題である。また、畝を立てるだけでも土壌侵食の抑制には大きく役立っていることを強調したい。

(3)土層構造に関しては、下層に不透水性の硬基盤が広がり、雨水が浸透しにくいために表土が飽和しやすく流れやすい特性がある。さらに、表土が薄く、微細な塊状粒子のまま流亡する傾向がある。相対的に沈降しやすい土壌であるため、流出を抑制するには分散的に土砂溜を配置するのが有効であるが、土壌分析の結果から耕作履歴や肥培管理等によって沈澱凝集の遅れる土壌に変質する特性(H.Frenkel, 1989)をもっていることがわかった(詳細は別稿)。基本的に流亡が始まるのを遅らせる土層改良が必要である。雨水浸透を促進し、土壌が飽和しにくいよう心土破碎や深耕を行ったり、暗渠を敷設する必要がある。

(4)土壌構造の面から構造劣化が機械化単作農業につきものである。いきおい、排水が重視されたり、作業性が優先され、表土を心土から補う心土耕作に移行しがちである。連作障害対策を含めた長期的な視点から輪作体系を導入し、有機質肥料による肥培管理を行いながら土壌構造の改善につなげる必要がある。ただし、今後の肥培管理方法を検討することが早急に求められる。

(5)現状の圃場利用形態のもとでは、土壌保全上、基本

的に限界がある。圃場整備や農林地の一体整備を行い、圃場形態の再編整備を行うとともに、保全管理を容易にするよう道路を舗装したり、換地処分を活用して分散錯圃の解消を図る必要がある。今後、保全性の高い圃場の形態と保全管理様式を明らかにする必要があり、一層の実態調査や現地試験を継続して圃場形態や肥培管理と土壌侵食の関係を解明することが求められる。

謝 辞

本研究にあたり、岐阜県農政部農地計画課を始め、農地建設課、郡上土地改良事業所ならびに高鷲村役場土地改良課の関係各位には多大なご援助と温かいご協力を賜った。また、調査にあたっては、全国農林統計協会連合会、張中氏を始め、岐阜大学農学部農村計画学研究室、農地工学研究室に在籍する大学院生及び専攻生諸氏の労を惜しまぬご協力をいただいた。ご支援いただいた各位に対して、心からお礼申し上げる。

引用文献

- H.Frenkel, M.V.Frey, G.H.Goodall & W.B.Russell(1989):Effect of Soil Surface Amendments on Runoff and Erosion from Simulated Rain Applied to a Sesquioxidic soil, S. Afr. J. Plant Soil, 6(3):197-202
- 五十崎恒・松本康夫・張中(1976):リモートセンシングによる開墾畑の土壌水分分布調査,農土論集,62:1-8
- 松本康夫(1992):クロボク土からなる傾斜畑の耕地利用形態と土壌保全対策、土壌の物理性,66:55-63
- 松本康夫・丸山利輔・長堀金造・高橋強・今尾昭夫・福桜盛一(1978):ガリ発達の過程と流亡土砂量、農土論集,77:53-60
- 高鷲村史編集委員会(1986):高鷲村史(統編):15-16
同上:336-375

(受稿年月日 1994年4月22日)