

土壌の物理性

第71号

1995年1月

巻頭言.....佐久間敏雄...1

小特集「土壌侵食」

寒冷地における凍結融解と土壌侵食

—凍結融解の繰り返しが土壌団粒の配列構造に及ぼす影響—

.....S. M. メディナ・成岡 市・三原真智人・穴瀬 真・安富 六郎...5

寒冷地における凍結融解と土壌侵食

—スレーキング特性に与えるカルシウム添加の影響—

.....饗庭 直樹・三原真智人・成岡 市・安富 六郎・穴瀬 真...11

土壌クラストの形成機作とそれに影響を及ぼす諸条件.....田中 樹...17

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...23

飯田高原の火山灰土野菜畑における土壌侵食の実態と対策.....岩本 保典...31

マサ土造成畑の畑地および法面保全のための在来草種の利用.....鈴木 正昭...37

四国の急傾斜畑地におけるマルチングの土壌侵食防止効果

.....山本 博・遅澤 省子・石原 暁・花野 義雄...41

傾斜畑における営農と土壌保全問題.....長澤 徹明・梅田 安治・井上 京・宗岡 寿美...47

光波式測量機械による造成地の土壌侵食の計測

.....坂西 研二・麓 多門・岩間 秀矩・谷山 一郎・真弓 洋一...53

放射性降下物 (^{137}Cs) による積算土壌侵食の推定.....柏木 淳一・佐久間敏雄...57

編集後記

土壌物理研究会

(1984・11・22改正)

土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行う。
- (1) 研究発表会, 討論会及び見学会などの開催
 - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - (3) 内外の研究, 技術の交流及び他の学会, 諸団体との協力
 - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は, 正会員, 学生会員及び賛助会員, 購読会員の4種とする。
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | | |
|-----------|------|---|---------|
| 正会員 | 年 | 額 | 3,500円 |
| 学生会員 | 年 | 額 | 2,000円 |
| (大学院生を含む) | | | |
| 賛助会員 | 1口年額 | | 15,000円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | | 4,500円 |

広告料 賛助会員 実費
賛助会員以外 実費の5割増

- 第6条 本会に次の会員をおく。任期は2年とする。ただし, 3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名, 副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員から互選する。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本回に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され, 本回の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され, 会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行にに必要な規程は別に定める。

(1993・9・6改訂)

「土壌の物理性」投稿規定

1. 投稿要領

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は, 編集委員会において別途定める閲読基準により決定する。なお, 「報文」は2名, その他は1名の閲読者を編集委員会において決定し, 閲読を依頼する。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたいが, その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。

「報文」一編ごとに報文としての体裁を整え, 独創性があり, 土壌の物理性に関する研究および技術に寄与するとみなされるもの。他誌に未発表のものに限る。
「ノート」新しい事実や, 研究方法の改良などを含む短い報告。

「論説・総説」土壌の物理性に主眼をおき, 広い視野に立って記述したもの。

「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各

分野の参考資料となるように書き改めたもの。

「解説」土壌の物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介など。

「その他」土粒子, 書評など。

- 4) 投稿には下記形式の送り状を付け, 正原稿1部, コピー2部の計3部を送付する。初校のみ著者校正とし, 印刷ずみの原稿は返さない。別刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。
- 5) 本誌に掲載された論文の著作権は, 土壌物理研究会に帰属する。

発表年月日		受付年月日	
種別		原稿枚数	
表題		函表数	表枚 函枚
著者名		写真数	葉
所属		別刷	30部+ 部
キーワード(和文・英文)			

付記: 投稿は下記宛のこと

「土壌物理研究会編集幹事」

巻 頭 言

土壌侵食の研究における時間と空間

佐久間 敏 雄*

1. 最も脆弱な資源

Bennett(1939)が丹念に調べ上げたように、侵食による土壌劣化の問題は人類の文明とともにあった。最初に問題になったのは栄養塩の収奪による生産力の低下である。自然生態系の栄養塩に関するリサイクルシステムは「使い捨て」型の間系と複合することによって短時間の内にその機能をほとんど喪失し、農耕地の荒廃が急速に進行した。化学肥料の発明とその施用技術の確立はこの最初の危機を救った。しかし、陸上生態系が人間系との複合によって失ったものは栄養塩のリサイクル機能だけではなかった。

農耕自体が地表を覆う森林や草原の除去を必要としたのみならず、人口の密集をもたらした、農耕地の傾斜地への展開、薪炭や有機資源の採取による森林資源の消耗を促進した。傾斜地における植被の減少は、流出機構を変化させ、土壌侵食の激化、低地における塩類集積や土砂堆積など、長期にわたる環境変化の引き金になった。これらの変化はゆっくりと進行し、その影響が顕在化したときには、既に修復の手だてがない状態になっていることが多い。また、農耕の開始と人の定住が、陸上生態系の横のつながりにクサビを打ち込み、自然の連鎖を切断したことに注意しなければならない。土壌は広域に分布する資源であるが、空間的な集積度がきわめて低い。すなわち、容積(厚さ)が小さいだけでなく、壊れやすい層構造によって特徴づけられる。各層は独特な生物群集と空間構造をもち、エネルギーと物質の循環によって密接に関係づけられている。このために、連鎖のごくわずかな綻びが、短時間の内に広い地域に拡大することも少なくない。土壌は人間にとって最も重要な資源であり、しかも最も脆弱な資源なのである。

2. 土壌侵食による生産力低下の長期予測

化学肥料によって栄養塩の補給が容易になった現在では、土壌侵食による農地の生産力低下(On-site impacts)はあまり大きな問題ではなくなったとする意見がある。表1はPierceら(1984)による農耕地の土壌侵食と生産力の予測結果である。予測は式(1)のような簡単なモデルによって行われた。

$$PI = \sum_{i=1}^n (Ai \cdot Ci \cdot Di \cdot fw) r \quad (1)$$

ここで、PI: 生産力指数(0-1)、Ai: 有効容水量に関する充足度、Ci: 容積重(根の伸長)に関する充足度、Di: pH(下層土の障害性)に関する充足度、fw: 理想化した根の分布による層別の重み係数(いずれも0-1)、r: 根群域土層の層番号である。式(1)には有効養分に関する指標は含まれていない。作物が必要とする無機養分は施肥によって補給されることを前提にしているからである。

予測の対象は、ほぼ平坦で有効土層の深い北米のコーンベルト地帯で、高水準の施肥・保全対策が行われているものとし、土壌侵食速度(USDA-SCSによる)は予測期間を

表1 土壌侵食による土地生産力低下の予測¹⁾

地 域	予測土壌侵食速度 Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹	予想低下率 %
102A	6	1.7
104	13	2.7
106	21	5.9
105	24	6.4
109	38	7.1
112	16	7.8

1)Pierce(1984)より抄録。

*北海道大学農学部

通じて一定であると仮定した。結果は、土壌侵食速度 $6 \sim 38t \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ に対して、向こう100年間の生産力低下は2—8%と予測された。土壌侵食による土地生産力の低下はとるに足らないもののように見える。しかし、ここで仮定したような優れた条件の土地は、世界的に見てもごく限られていることを指摘しないわけにはいかない。このことを考慮すれば、表1の結果は「きわめて条件の良い土地で、理想的な管理が行われることを前提にしても、畑土壌の基盤的生产力は将来1,000年は持続しない」と読むべきかも知れない。Pierceら(1984)も傾斜地や下層土の性質が不良な土地の生産力低下率は短期間で100%に達することを認めている。100年単位の時間スケールでみれば、現在の畑作は「将来の世代の欲求」(WCED 1987)を充足しかねる事態に直面しているのである。アメリカでは、この程度を予測するためのモデルEPIC(Erosion/Productivity Impact Calculator)が開発された(Sharpley and Williams 1990)。その性能についての検証はこれからであるが、精度・汎用性の高いモデルを開発するには、分野のワクを超えた共同研究が不可欠である。

3. 土壌侵食の環境影響

表2は河川の流送土砂量を大陸別に集計したものである。引用された文献から見ると、Zachar(1982)の推定は1950年代以降の情報を集計したものであり、El Swaifyら(1982)の推定のほうが最近の状況をよく反映していると思われる。後者のほうがやや少ない見積になっているが、アジア、南北アメリカなどの比流出量が大きいのが注目される。河川別の比流出量は示さなかったが、黄河をはじめ、内陸乾燥地域に水源を持つ河川や氷河河川で大きな比流出量が観測されている。

表2 河川の流送土砂量

	濃度 kg m^{-3}	比流出量 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$	報告者等
大陸別			Zachar('82), ()はEl Swaify(1982)による。
ヨーロッパ	0.163	0.75(0.43)	
アジア	0.649	2.08(1.66)	
アフリカ	0.291	0.72(0.47)	
オーストラリア	0.421	0.43(0.32)	
北アメリカ	0.233	1.13(0.73)	
南アメリカ	0.208	1.48(0.93)	

河川の流送土砂量による土壌侵食のアセスメントは、侵食土砂の発生現場をブラックボックスにしているために、侵食発生機構の解明に結びつきにくいという欠点をもつが、一方では、侵食現象の時空間的不均一性に関わりなく比流出量を比較的容易に見積ることができるという利点をもつ。表3(Chen and Luk 1988)は流送土砂量の変化によって流域保全の効果を示したものの一例である。黄河中流の流送土砂はその約30%が保全施設によってトラップされたが、その内70%はテラス畑とその付帯施設に捕捉され、下流域に対する堆積物負荷は大幅に軽減された。この地域(黄土高原)では、1950年代からいろいろな規模の流域について観測が続けられてきた。表3の集計期間は1971—1984となっているが、その解析に際しては1950年代からの観測結果が参照されている。土壌侵食の広域アセスメントには、長期の組織的な観測が不可欠である。

もう一つ注意しておかねばならないのは、風食による土壌起源のエアロゾルである。Uematsu et al.(1983)によれば、北太平洋海域(赤道 \sim N50°)における鉱質エアロゾル供給速度は $6 \sim 12Tg \text{ yr}^{-1}$ 、北大西洋のそれは $60 \sim 200Tg \text{ yr}^{-1}$ に達し、その多くがアジア、アフリカ内陸部の風食に起因する。Irino and Tada(1994)の最近の推定では、日本海南部海域におけるKosa(黄砂)の堆積フラックスは、 $0.7 \sim 1.3g \text{ cm}^{-2} \text{ kyr}^{-1}$ に達する。内陸乾燥地—半乾燥地におけるランドカバーの変化と土壌の乾燥化、風食、陸源性エアロゾルの生成と拡散の機構については不確かなことが多い。国際的・学際的な協力のもとに、実態と機構の把握に努めなければならない。

以上の簡単なスケッチは、土壌侵食の問題が地域問題であるだけでなく、水圏、大気圏の汚染を通じて広域の環境問題につながっていることを示している。より広い視野に立って、そのOff-site impactsを的確に評価できるよう

な研究態勢を整えなければならない。

表3 土壌保全対策の実施による堆積物負荷の減少
(黄河(Shaanxian)、1971-1984) 1)

4. 将来の世代のために

「日本は、急傾斜地が多く、強雨の頻度が高いにもかかわらず、土壌侵食の影響を最小限に食い止め、2,000年の長きにわたって稠密な人口を扶養してきた」という評価は、わが国全体としてはそれほど間違っていない。低地の水田と傾斜地の森林を中心にした保全的土地利用体系のたまものである。表1の結果は、立地条件に恵まれた土地の高インプット畑作といえども、土壌保全の面では、水田農業にはるかに及ばないことを示している。この事情は、わが国だけでなく、アジアモンスーン地域の農業・土地利用についても広くいえることであろう。水田は恵まれた水資源を生かし、持続的な農業を展開するうえで「要」の役割を果たしている。

しかし、地域的にみれば、わが国でもいくつもの綻びが目につく。北海道の傾斜地畑作は初期の段階で大きな挫折を経験したし、沖縄の再開発に際しては、土壌侵食による「赤土汚染」が大きな問題になった。さらに、中山間地域では傾斜地農地の放棄と荒廃が進行しつつある。日本土壌肥料学会が沖縄大会(1993)において土壌保全に関するシンポジウムをもったのはそうした背景によるものであった。本誌の土壌侵食特集はこれに端を発したものである。多くの原著論文が寄せられ、編集委員会が予想した以上に充実した内容になった。この問題に関する土壌物理研究者の関心の高さを示すものであろう。

土壌侵食には多くの要因が関与し、現象の現れかたも多様である。メディナら、饗場らが取り上げた凍結・融解とそれによる粒団の破壊、田中による皮殻形成機構の解明は、耕土管理、営農システムの改善に結びつく重要な成果である。また、松本らによる利用形態と耐食性、岩本による野菜畑の保全問題、鈴木、山本による植被やマルチによる保全に関する研究は、いろいろな工夫をこらして土壌侵食の実態を把握し、生態的保護の重要性を再確認したものである。これらの研究では、経済的行為としての土地利用と土壌保全の技術的要請が鋭く対立する側面も浮き彫りにされている。持続的開発の立場から、傾斜地利用のあり方について技術的意見を明確に提示することが必要であろう。以上の研究が土壌侵食の発生源である畑面の現象に焦点を当てているのに対し、長沢らの研究は土壌侵食による土砂の生産・流出を定量的に把握することによって、発生源における対策を総合化するとともに、水質汚濁による環境影響の軽減をはかることをも視野に入れたものである。"Off-site impacts"を正しく評価し、流域計画や農村計画に生かして行くために不可欠な一ステップであろう。

土壌侵食は時間的にも、空間的にも変異の激しい現象である。伝統的な枠試験による侵食量の定点測定は、こうした変異の激しい現象の面的広がりや定量的に把握するのに適したものは必ずしもいえず、労力、時間、研究コストのロスが大きい。坂西らによる細流の発達に関する定量法の開発や、柏木らの放射性降下物を利用した積算侵食量の推定は、侵食現象の時・空間的変異を克服する研究の一翼を担うものである。複雑な空間構造を有する斜面の土壌移動を的確に把握し、長期の積算侵食土量を正確に見積もることは、長期予測システムの開発、引いては土地利用計画の調整、国レベルでの土地管理体系の見直しのために不可欠な基礎である。今後の発展が期待される。

わが国の中山間地域だけでなく、条件不利地域の土地管理が世界的に問題になっている。これら地域の農業生産機能は限られたものであるが、優れた景観と洪水調節・土砂災害防止機能は、我々にとっても、「将来の世代」にとってもかけがえのない資産である。しかし、その保全と修復には多くの困難が予想される。生態系の成立条件が厳しく、安定性が低いだけでなく、過疎や高齢化によって人間社会の活力が低下しつつあるからである。ここでは、人間系を含めた生態系の横のつながりを重視した研究、保全・修復策が不可欠であろう。学際的科学としての土壌保全学がその維持と修復の基礎であることは言をまたない。既成の研究分野や行政の枠を超えた新しい総合化が必要である。

内 訳	堆積物負荷量 Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹
全 体	22.89
支流域のダムにトラップされた	1.28
灌漑水として農地に還元された	0.95
テラス畑(付帯施設を含む)に蓄積された	4.52
支流の下刻によって増加した	-0.45
減少堆積物負荷の総量	6.30

1)Chen, Y.Z. and S.H. Luk(1988)より計算。

引用文献

- Bennett, H.H., Soil Conservation, 6. Erosion and civilization, 16-54, McGraw Hill, New York (1939)
- Chen, Y.Z. and S.H. Luk, Sediment sources and recent changes in the sediment load of the Yellow River, China, 313-323, Proc. 5th Intern. Soil Conserv. Conf., 5, 312-323, Bangkok (1988)
- El Swaify, S.A., E.W. Dangler, and C.L. Armstrong, Soil erosion by water in the tropics, Res. Extens. Ser., HITAGR, Coll. Trop. Agric. and Human Resour., Univ. Hawaii (1982)
- Irino, T. and R. Tada, Temporal variation of the Kosa flux at ODP site 797, the Japan Sea during last 200ka, Abstr. Intern. Symp. on Global Fluxes of Carbon and Its Related Subst., 98-99, JNC, IGBP(SCJ), Stream. Committ. MASFLEX(STA), Hokkaido Univ., Sapporo (1994)
- Pierce, F.J., W.E. Larson and W.A.P. Graham, Soil Productivity in the Corn Belt: An assessment of erosion's long-term effects, J. Soil and Wat. Conserv., 39, 131-136 (1984)
- Sharpley, A.N. and J.R. Williams (eds.), EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator: 1, Model documentation, USDA Techn. Bull., 1759 (1990)
- Uematsu, M., R.A. Duce, J.M. Prospero, L. Chen, J.T. Merrill, and R.L. McDonald, Transport of mineral aerosol from Asia over the north Pacific Ocean, J. Geophys. Res., 88, C9, 5343-5352 (1983)
- WCED (The World Commission on Environment and Development), "Our common future", Oxford Univ. Press, London (1987)
- Zachar, D., Soil Erosion, Global assessment, Development in Soil Science 10, 462-480, Elsevier, Amsterdam (1982)

報 文

寒冷地における凍結融解と土壌侵食

— 凍結融解の繰り返しが土壌団粒の配列構造に及ぼす影響 —

S.M. メディナ*・成岡 市**・三原真智人**・
穴瀬 真**・安富 六郎***

Freezing-melting and Soil Erosion in Cold Region
— Soil Aggregate Structure as Affected by Repetitive Freezing-melting Processes —

S.M. Medina*・H. Narioka**・M. Mihara**・M. Anase** and R. Yasutomi***

- * College of Agriculture, University of the Philippines at Los Banos, College, Laguna 4031, Philippines
** Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156, Japan
*** Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183, Japan

Summary

In this paper, soil dispersion and structure of particles or aggregates as affected by repetitive freezing-melting processes were examined at a banked slope of a reclaimed field at Abashiri district, Hokkaido. The soil examined was sampled at the volcanic ash subsoil which had a natural structure and almost no history of freezing-melting. The soil was sieved, then packed in plastic containers to an almost homogeneous condition of $\rho_d: 1\text{g/cm}^3$ and moisture: ω_n . Then freezing-melting cycle was done by freezing the samples at -21°C for 17h and melting at $+27 \pm 5^\circ\text{C}$ for 7 h. This is considered as one cycle. After every cycle, dispersion ratio was obtained based on the Middleton method ($D_r 1/50$). Also, soil consistency, measuring liquid limit and plastic limit was done in addition to the soft X-ray image method to determine any change in soil structure with increasing number of cycles.

Results of the investigations show that dispersion ratio increases up to the earlier cycles, after which an equilibrium condition was attained. It was found that dry strength and shear strength decreased gradually after repetitive freezing-melting. It was understood that the clay activity went down during the earlier cycle of freezing-melting and at later stage, the water holding capacity of soil was also reduced. Soft X-ray images through the image process revealed that soil aggregate structure became weak after repetitive freezing-melting and the volume of coarse pores outside the aggregates increased.

Key words: Freezing and melting, Dispersion ratio, Consistency Limit, Soft X-ray image method, Aggregate structure

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 5-9, 1995)

1. はじめに

農地保全の目的を達成させるためには、農地からの土壌流亡を制御し、土壌流亡を的確に予測することによって、合理的な保全方法や営農方法が確立され、農地造成などの面工事が計画できる。USLE式の侵食因子については、従来融雪時における流出の影響が著しい地域で降

雨係数が考慮され、土壌の凍結・凍上については降雨係数と土壌係数が考慮されている。しかし、いずれも地域特性が強い要素であり、その評価は非常に難しい。

わが国において近年多く行われている改良山成畑工などの大規模農地造成では、盛土整形した急勾配かつ斜面長の長い法面が造られることが多く、この法面からの侵

所屬機関 * フィリピン大学ロスバニオス校, Los Banos, College, Laguna 4031, Philippines

** 東京農業大学農学部, 東京都世田谷区桜丘1-1-1

*** 東京農工大学農学部, 東京都府中市幸町3-5-8

キーワード 凍結融解、分散率、コンシステンシー限界、軟X線映像法、団粒構造

食が問題となっている。とくに、北海道東部のような寒冷地では、土壌の凍結によって、農地に限らず農道や水路等農業用施設に被害を受ける事例が多く（土壌保全セミナー(1989)）、また融雪水による侵食や土壌構造の変化によって生じる耐食性の低下も重要な問題となっている。これらはまた、北海道の農牧適地の多くが凍土性の大きい火山灰土で覆われていることが一因でもある（前田ら(1986)）。そして、長沢ら(1981,1986)は、凍結融解の1サイクルによって大間隙が形成され、保水性が変化し、流亡土量が減少することを報告しており、凍結融解土の物理的特性にさまざまな事例があることを示唆している。

これらの問題に注目した筆者らは、寒冷・強風・少降水量地域としての北海道女満別地区改良山成造成畑を調査対象地として選び、侵食形態と侵食量ならびに地温変化などの追跡を行い（安富ら(1992)、穴瀬ら(1992)）、現地での侵食現象を把握する方法論を検討し、冬期から融雪期にかけての無人観測システムの設置方法を工夫した。この現地調査の結果から、長沢らが注目した凍結融解のサイクルが土壌物理性に影響を与えている現象について再確認し、凍結融解のたび重なる繰り返しが土壌構造に及ぼす影響について種々の検討を行った（安富ら(1993,1994)、メディナら(1994)）。

本報は、これまでの検討結果をふまえて、調査地盛土法面から採取した土壌について、凍結融解を実験室内で再現し、その繰り返しが土粒子や団粒の分散性、団粒の構造変化に及ぼす影響などについて検討したものである。

2. 供試土と実験方法

供試土壌を、網走郡女満別町バナクシュベツ農地造成地区(E144°13'27"、N43°52'16")の畑地から採取した。この地域では、大陸性気候の激しい温度差があり、土壌凍結がみられる。本地区の年降水量は平均600~700mmであり、最大でも900mm程度である。月降水量は夏期(7~10月)に多く、冬期(2月)に最少となる。根雪の初日と終日は年により20日程度の前後はあるが、12月上旬頃から始まり4月中旬までに消雪する(図-1)。融雪期における積雪深の減少速度の記録から、融雪水として地表に供給される水量は最大時におよそ90mm/dayと推定される。また融雪が少ない日でも5~10mm/day程度の融雪水が地表に供給されていると推定できる(安富ら(1992))。

供試土壌は、盛土法面の造成に使われたものと同様のもの、秋から冬にかけて数回の試掘調査を行った結果から判断してアイスレンズ形成層より下方の層(軽しゅう黒色火山性土、地山心土)から採取した。この未風乾攪乱土壌を、酢酸ビニール製円筒($\phi 28 \times 49$ mm)および軟X線が透過し易いポリスチレン製角型コンテナ(11.6 \times 6.4 \times 4.2mm)に均一充填して(2mm篩通過、 $\rho_s: 1\text{g/cm}^3$ 、水分: $\omega_s \cong LL$)、凍結融解(-21 $^{\circ}\text{C}$, 17h; 冷凍庫内、+27 \pm 5 $^{\circ}\text{C}$, 7h; 実験室内)を再現させた。なお、凍結温度は長沢ら(1986)の方法に準拠した。これらの小型プラスチック容器は密封して水分蒸発が生じないようにし、供試体の全方向から温度の影響を受けるようにした。そして、凍結融解の各サイクルごとに、円筒の供

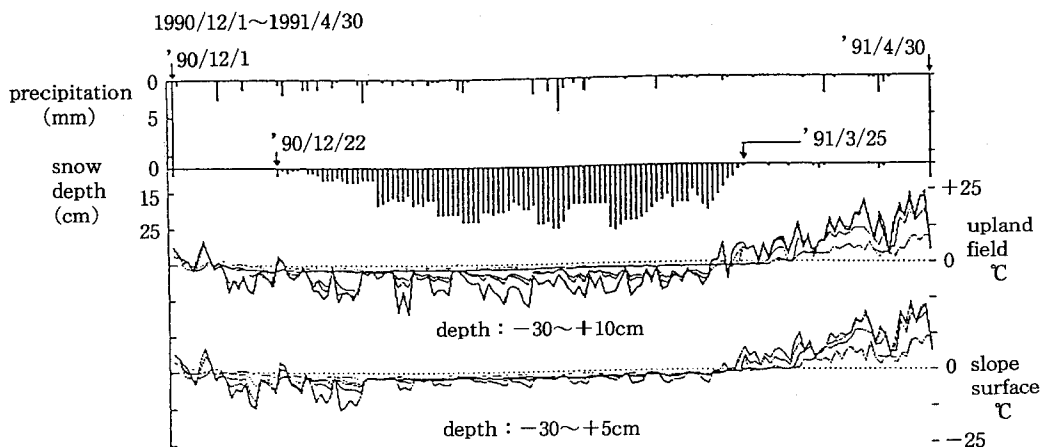


図-1 凍結融解期における積雪深・地温の変化

Fig.1 Relationship between precipitation, snow depth and ground temperature at upland field and slope surface during snow formation and melting periods(1990)

試土壌から分散率（ミドルトン法、対象粒径0.02mm以下）およびコンシステンシー限界（LL、PL）、角型コンテナの供試土壌から軟X線映像（成岡ら(1991)の方法）をそれぞれ求め、土粒子・団粒の分散性や団粒構造の変化を追跡した。

3. 結果と考察

1) 供試土壌の基本的物理性

攪乱採取した供試土壌の測定結果を表-1に示す。なお、粘土分は約16%、CECは約17me/100g、腐植含量は3.4%である（北海道開発局(1989)）。

2) 凍結融解の繰り返しによる分散率の増加

円筒に入れた供試体を多数作り、凍結融解のサイクルごとに3個ずつを抽出して分散実験に供した結果を図-2に示す。

初期には分散率の増加と減少の大きな変動が生じたが、2～5サイクルの間では滑らかな増加傾向がみられ、8サイクル目ではほぼ平衡状態になった。途中で増加速度が最大となり、後に増加速度が鈍化して極限值（98.8%）に近づくこのような傾向は、ゴンベルツ曲線に近似した。ここでは、供試土壌の分散性の程度とその傾向を確かめることを第一義にしたため、凍結融解にかかる温度やインターバル時間等の実験条件は現場圃場の自然現象に必ずしも一致させていないが、凍結融解サイクルの少ない段階ですでに分散率が極限值になることがわかった。

3) 凍結融解の繰り返しによるコンシステンシー限界の変化

凍結融解の繰り返し8サイクルまでの間に分散率が増加する過程（前出図-2）について、液性限界（LL）、塑性限界（PL）および塑性指数（ I_p ）を測定し、図-3に示すような結果を得た。

同図によると、微妙な変移ではあるが、図-2で分散率が滑らかな増加傾向を示し始めた3サイクルあたりから、LLの減少傾向とPLの増加傾向が連動し、 I_p の減少

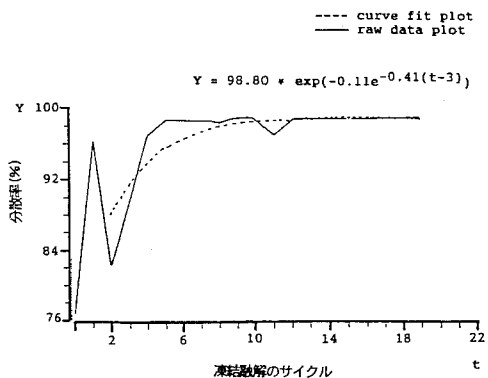


図-2 凍結融解の繰り返しと分散率の増加

Fig.2 Curve fitting analysis of dispersion ratio and freezing-melting cycles

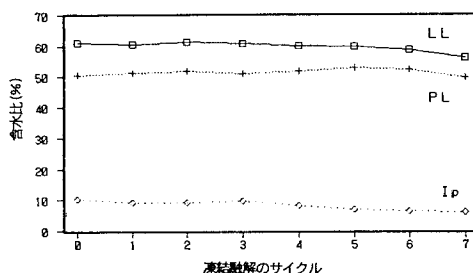


図-3 凍結融解の繰り返しとコンシステンシー限界

Fig.3 Freezing-melting cycles and consistency limit

表-1 供試土壌の基本的物理性

Table 1 Physical characteristics of experimental soil

Texture	ω_n (%)	G_s	PL (%)	LL (%)	ρ_d (g/cm ³)	n (%)	K_s (cm/s)	Color	Hardness (Yamanaka, mm)
LiC	59.0	2.46	51.0	61.0	0.957	61.08	3.18×10^{-5}	10YR 3/4	28.6

土壌分類：軽しょう黒色火山性土。台地に分布し、表層は腐植を含む新期火山灰に覆われ、下層に洪積世堆積物の斜里ローム層が累積する。

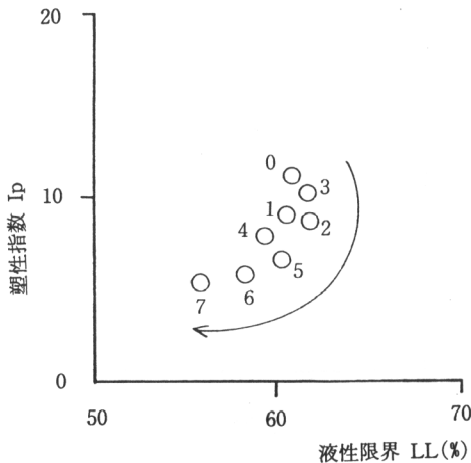


図-4 凍結融解の繰り返しと液性限界・塑性指数の低下

Fig.4 Plasticity chart, soil consistency analysis of soil subjected to freezing-melting cycles

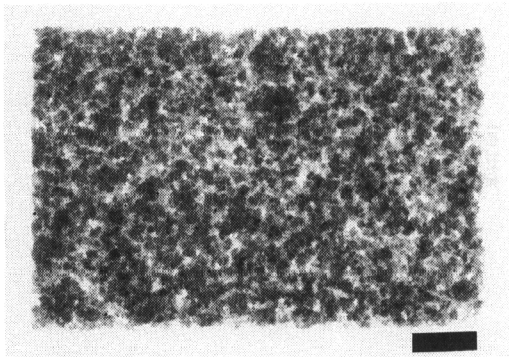


図-5 角型コンテナ内供試土の軟X線透過影像(凍結融解実験前)

Fig.5 Developed soft X-ray radiograph of untreated soil in plastic container. Scale:10mm Thickness =11.6mm, $\rho_s=1.0g/cm^3$, FFD=500mm, Conditions =30sec.3mA, 60kV, Film=FR(FUJI)

率がわずかに上がっている。また図-2で分散率が平衡状態に入る6サイクルあたりからLLとPL双方とも減少傾向に移っていることがわかった。

この過程をさらに図-4の塑性図にまとめて表わしたところ、凍結融解サイクルの増加に伴い、下に凸型の低下傾向がみられた。これは変化領域がいずれもA線下方とB線右方の領域にあり、凍結融解の繰り返し初期に I_p が低下し、続いてLLが低下する現象である。

以上の結果から、凍結融解の繰り返しに伴う分散率の増加過程には、①凍結融解初期に粘土活性の低下(I_p の

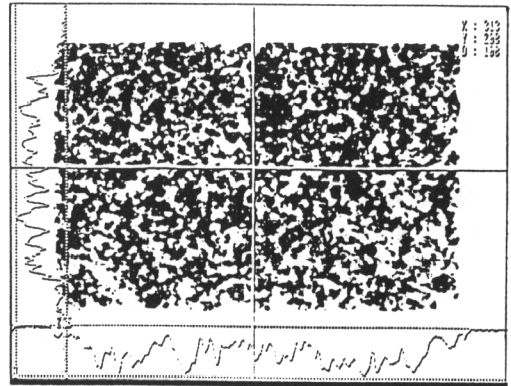


図-6 画像解析による軟X線映像の256階調波形の抽出(図-5と同一試料)

Fig.6 Soft X-ray image of untreated soil(see Fig.5)

Black area : soil aggregate/particles, White area : soil pores, Vertical & Horizontal lines : standard points of reference during X-ray scanning, Wavelength indicates : degree of X-ray transmission, absorption, spatial structure, relative bulk density, aggregate size, High peaks : low density area

低下: Skemptonの定義に基づく)が発生し、②次に土粒子の水分保持能が低下する(LLの低下)というメカニズムが内在していると理解することができる。

4) 軟X線映像による団粒構造の変化の追跡

これまでの論議は、いずれも供試土の団粒構造の変化を攪乱状態で測定・追跡していたため、現実的に圃場レベルで生起する凍結融解を再現しているとはいいがたい。そこで、一つの供試土に対して不攪乱かつ連続的に追跡するために軟X線映像法(成岡ら(1991))を用いた。

角型コンテナ内に平坦・均一に詰めた供試体の上方から軟X線を照射すると、その透過影像は図-5に示すような白黒濃淡で出現する。この影像を画像解析にかけて、画像上の任意線(走査線)の濃淡分布を256階調の波形で表し、その波高、ピーク数、波長等から土粒子・団粒の構造を読みとる(図-6)。走査線は各サイクルごとに画像の同じ位置に設定した。分散率が増加し団粒構造が粗になると、波形のピーク数は増加し波長が短くなった。今後、詳細の波形解析が必要と考えているが、本法によって、相対的な団粒構造の変化を追跡することができ、従来の湿式篩別による団粒分析法では困難であった同一試料の連続測定が可能となった。

この測定結果を表-2に整理して示した。凍結融解サ

表-2 軟X線の画像階調波形分析結果
Table 2 Wavelength analysis of soil at various freezing-melting test cycles

Cycle	Mean Peak Number	Mean Wavelength (mm)
0	10	5.2
1	11	4.9
5	12	4.7
10	13	4.2

イクルの増加につれて波長が減少したことがわかる。これまでの論議を加えて考察すると、この結果は凍結融解が団粒内の膠着力を低下させ、団粒構造の流動と再配列が発生する過程と考えることができ、分散率の急減と I_p の減少がみられる5サイクルまでに団粒径の約10%が減少したことがわかる。

前述の分散率およびコンシステンシーに関する論議では団粒構造の幾何学的変化を直接説明できなかつたが、軟X線映像法の結果を重ね合わせることで団粒構造の質的变化(粘土活性、水分保持能など)と幾何学的変化(配列構造)の双方を解析することができる。

長沢と梅田(1981, 1986)によると、凍結融解によって間隙率が增大するのは飽和透水係数を増加させる質的な変化であるとしている。本論では、間隙率の増加について「凍結融解の繰り返しにつれて団粒周辺部分が崩れ、核となる部分が残存した結果、団粒間隙が増加した」と解釈することができる。しかし、飽和透水係数の増加に関しては、透水経路としての間隙構造についてより詳細な検討が必要と思われる。

4. おわりに

供試土壌の室内実験から、凍結融解の繰り返しに伴い分散率は増加し、まもなく極限值に近づくことが判った。その過程において、塑性指数の低下とそれに続く液性限界の低下が生じていたことがわかった。また、凍結融解により団粒構造が脆弱化し、団粒間隙が増加していく過程を軟X線映像とその画像解析から確認した。

今後の問題として、本調査地の他に多くの事例を経験し、凍結融解が土粒子または団粒の膠着力に及ぼす影響について、できる限り一般論に近づけるよう詳細の検討が必要であり、これは土壌侵食の土壌物理的メカニズムを解明する上で重要な課題であると思われる。

なお、本研究を遂行するにあたり、北海道開発局網走開発建設部、北海道農業土木コンサルタント(株)、岩手大学農学部大塚嘉一郎前教授、東京農工大学饗庭直樹氏(現：滋賀県庁)および青木泰政氏(現：国際航業(株))の方々から貴重なご協力およびご援助をいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 穴瀬 真・成岡 市・S.M.メディナ・安富六郎・三原真智人・青木泰政(1992):寒冷地における融雪と土壌侵食, 2. 寒冷地における土壌侵食, 農業土木学会大会講演要旨:420—421.
- 北海道開発局農業水産部農業計画課編(1989):網走地域の土壌, 農牧地および農牧適地
- 前田 隆・相馬尅之・矢沢正士・藤原彦彦(1986):火山灰土の凍上性および粗粒火山灰土の凍上抑制材としての適正判定に関する研究, 文部省科研費報告(一般研究B, 59460188).
- 長沢徹明・梅田安治(1981):土の耐水性に及ぼす凍結融解作用の影響, 凍結・融解土の特性に関する研究(V), 農土論集, 94:48—54.
- 長沢徹明・梅田安治(1986):土の初期条件による凍結融解土の構造への影響, 凍結・融解土の特性に関する研究(VIII), 農土論集, 123:57—64.
- 成岡市・本間秀明(1991):土壌構造と軟X線, 農土誌, 59(2): 1—6
- S.M.メディナ・成岡 市・穴瀬 真・三原真智人・安富六郎・饗庭 直樹(1994):寒冷地における融雪と土壌侵食, 5.凍結融解の繰り返しと土壌団粒の配列構造に及ぼす影響:農業土木学会大会講演要旨:196—197.
- 土壌保全セミナー編(1989):北海道における農地造成と保全.
- 安富六郎・饗庭直樹・三原真智人・青木泰政・穴瀬 真・成岡市・S.M.メディナ(1993):寒冷地における融雪と土壌侵食, 3.凍結融解が土壌構造に及ぼす影響, 農業土木学会大会講演要旨:184—185.
- 安富六郎・穴瀬 真・成岡 市・三原真智人・S.M.メディナ・饗庭直樹(1994):寒冷地における融雪と土壌侵食, 4. Ca^{2+} 添加による土壌受食性の低減, 農業土木学会大会講演要旨:194—195.
- 安富六郎・青木泰政・三原真智人・穴瀬 真・成岡 市・S.M.メディナ(1992):寒冷地における融雪と土壌侵食, 1. 試験地区選定と調査方法, 農業土木学会大会講演要旨:418—419.

(受稿年月日 1994年5月10日)



報 文

寒冷地における凍結融解と土壌侵食

— スレーキング特性に与えるカルシウム添加の影響 —

饗庭 直樹*・三原真智人**・成岡 市**・安富 六郎***・穴瀬 真**

Freezing—Melting and Soil Erosion in Cold Region
—Effect of Calcium Addition on Slaking Properties—

Naoki Aiba*・Machito Mihara**・Hajime Narioka**・Rokuro Yasutomi***・Makoto Anase**

* Shiga Prefecture, ** Tokyo University of Agriculture

*** Tokyo University of Agriculture and Technology

Summary

The runoff of soil particles occurs severely during snow melting or rainfall in cold region. Freezing and melting cycles affect the soil structure and slaking properties. The authors investigated that the effect of calcium addition on the decrease in slaking percentage.

Soil structure became stable after the addition of CaCl_2 solution. As $\text{Ca}(\text{OH})_2$ suspension was hardly to infiltrate the soil, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ suspension was only effective to increase the stability of soil surface. However, the protection effect was remarkable when $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solid was mixed in the soil.

It is possible to protect the consolidated slopes with the spreading CaCl_2 solution. Also, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solid should be mixed in the soil to protect the slopes at the reclamation.

Key words: Cold region, Soil erosion, Freezing and Melting, Slaking, Calcium

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 11—15, 1995)

1. はじめに

寒冷地において凍結融解に伴う土壌構造の変化や侵食機構は、以前より論議されている重要な課題である(長沢・梅田, 1981・1986)。その一端として前報において Medina, S. M. ら(1995)は土壌が凍結融解の繰り返しを受けると土壌分散性が高まり、団粒構造が破壊されることについて報告した。しかし凍結融解による構造変化や侵食機構のみならず、土壌の保全対策にも興味注がれている。

本報では、寒冷地造成畑法面の融雪期における土壌構造の安定性を高めることを目的として、カルシウムを添加した土壌のスレーキング特性を調べた。寒冷地における有効な土壌保全のため、カルシウムの種類、添加量、添加方法について実証的に検討を行った。カルシウム添加による土壌の物理化学性の変化に関する論議は今後の課題とした。

2. 供試土

研究対象地は北海道網走郡女満別の改良山成畑工による造成畑の盛土法面である。この地域は未熟な火山灰土で覆われており、腐植が少なく粒子が多孔質で軽く、侵食を受けやすいのが特徴である(前田ら, 1986, 梅田ら, 1989)。農地造成事業関係者からの聞き取り調査および土壌断面調査の結果、凍結深さが切土部心土の約60cm深さまで進んでいたと判断されたので、凍結の影響が少ない心土100cm深さの土壌を供試した。100cm³定容量円筒に水分調整した生土である供試土を入れ、ランマー落下回数でエネルギーを等しくして突固め供試体を作成した。供試体の乾燥密度は、法面15~20cm深さの乾燥密度(1.05g/cm³)とした。凍結融解前の供試土における土壌の物理性を表-1に示した。

表-1 供試土における土壌物理性
Physical properties of soil sample

Sampled site	Specific gravity	Particle size distribution (%)			Water content (%)
		Coarse sand	Fine sand	Silt Clay	
Memambetu Hokkaido	2.68	23.3	24.5	28.6 23.6	51.04

*滋賀県庁、**東京農業大学農業部、***東京農工大学農学部

キーワード: 寒冷地、土壌侵食、凍結融解、スレーキング、カルシウム

閉式の供試体における凍結融解の繰り返しには、冷凍庫(-35℃)と恒温室(+20℃±2℃)を用いた。供試体全体が一樣な温度分布になるように凍結時間を17時間、融解時間を7時間として、これを1サイクルとした。

3. 実験方法

1) 土壌のスレーキング試験

スレーキングは土の農学および工学的特性を示す指標の一つであり、粘土分を含む土壌に独特のものである。スレーキングには土性、土壌構造、水分状態、履歴など多くの要因が関与することがわかっている(佐藤, 1983)。しかし測定方法について統一規格が定まっていないので、本試験においては佐藤(1983)の測定方法に準拠した。実験装置を図-1に示した。また崩落率は次式にて求めた。

$$R_{s1} = 100 \times W_1 / W_2$$

但し、 R_{s1} :崩落率(%), W_1 :崩落土の炉乾燥重量(g)、 W_2 :全供試土(崩落土+残留土)の炉乾燥重量(g)である。

一般にスレーキング試験は団粒の分析法、表示法とともに様々な方法がとられている。その原因として、組成と構造性との混同により団粒の概念が必ずしも確立していない問題が指摘されている(山田・横瀬, 1991)。

スレーキング試験において結果の再現性は低いと考えられる。しかし本研究はカルシウムの種類や濃度などを変化させてカルシウム添加がスレーキング特性に与える影響を明らかにしようと試みたもので、同一条件の供試体は各1供試体とした。

2) カルシウムを添加した土壌の凍結融解

団粒形成の要因には、高分解性有機物、炭酸カルシウムなどがある(横瀬・山田, 1977, 山田・古家, 1982)。本研究では、凝集効果、土壌に対する影響、水質に対する影

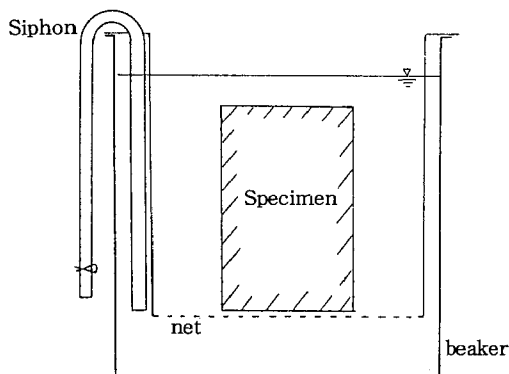


図-1 スレーキング実験装置
Illustration of slaking apparatus

響などを考慮に入れて、カルシウムを添加した土壌の凍結融解によるスレーキング特性の変化を調べた。また各試験で比較のため、カルシウムを添加させない供試体のスレーキング試験を行った。

2-1) 塩化カルシウム溶液の浸潤試験

濃度を変化させた塩化カルシウム(CaCl_2)溶液を供試体に滴下浸潤させ、定容量円筒に密封して恒温室内で24時間静置した。その後、冷凍庫と恒温室で凍結融解の履歴を施した。濃度は乾土100g当たりカルシウムを100mg添加、50mg添加、25mg添加、0mg添加(無添加)して調整した(以下、試料100、試料50など)。

スレーキング試験後、溶液のpHや浮遊物質(SS)を測定した。SSはスレーキング試験終了時の容器内溶液の水面下5cmから25cm³を採水し、HACH社製水質分析器を用いて測定した。

2-2) 水酸化カルシウム懸濁液の浸潤試験

乾土100g当たりカルシウムが200mg、100mg、50mg、0mg(無添加)含まれるように、水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)懸濁液を供試体に滴下浸潤させた(以下、試料200、試料100など)。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は溶解度が低く完全に溶解しないため、この懸濁液を十分攪拌して供試体に滴下浸潤させた。

2-3) 水酸化カルシウム粉の攪拌混合試験

供試土の突固めを行う前に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉を攪拌混合させて、乾土100g当たりカルシウムが200mg、100mg、50mg、0mg(無添加)含まれるように調整した(以下、試料200、試料100など)。

4. 実験結果と考察

1) 塩化カルシウム溶液の浸潤による影響

CaCl_2 は溶解度が高いので供試体に浸透しやすく、氷点降下や Ca^{2+} による凝集効果も期待できる。 CaCl_2 溶液を浸潤させた場合のスレーキング試験結果を図-2に、pH測定結果を図-3に、SS測定結果を図-4に示した。

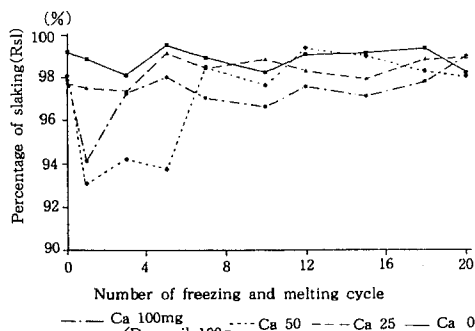


図-2 スレーキング特性に与える CaCl_2 添加の影響
Effect of CaCl_2 addition on slaking property

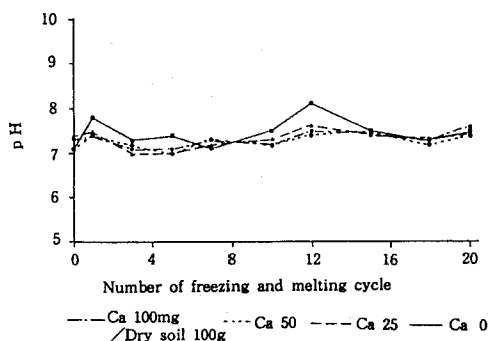


図-3 pHに与えるCaCl₂添加の影響
Effect of CaCl₂ addition on pH

図-2に示したように、試料0と試料25において崩落率の差は小さかったが、試料50や試料100ではカルシウム添加による崩落率の低下は明らかであった。また試料50の崩落率が5サイクル以内で低い値を示したが、5サイクルを越えると崩落率は上昇した。試料100の崩落率は少ないサイクル数において試料50を上回ったが、それ以降は他の試料の崩落率を下回る傾向を示した。また試料100においても0サイクルより1～3サイクルで低い崩落率を示した。

図-3に示したように、凍結融解サイクル数やCaCl₂添加量によるpHの変化は、ほとんど見られなかった。また図-4に示したようにSSは試料0で大きく、試料100では安定して低い値を示した。試料25のSSはサイクル数に対して不安定な値を示しているが、試料100では低い値で安定してサイクル数の影響がほとんどなかった。また試料50のSSは凍結融解初期に安定していたが、サイクル数の増加に従って上昇する傾向を示した。

これらの結果から、試料100ではCa²⁺が溶液中に充分拡散し、SSが低くなったと考えられる。つまり適量のCaCl₂を用いることにより、懸濁水のCa²⁺による凝集効果が発揮できたといえる。

2) 水酸化カルシウム懸濁液の浸潤による影響

Ca(OH)₂は火山灰土壌の酸性矯正ができ、CaCl₂に比べて周辺環境に対する影響が少ないと考えられている。崩落率と凍結融解サイクル数の関係を図-5に、スレーキング試験終了時における溶液のpH測定結果を図-6に示した。

図-5に示したように、試料0の崩落率は他の試料を上回った。試料50と試料100は、サイクル数に従って崩落率が上昇する緩やかな曲線を示した。試料200においては12サイクルで崩落率が一部低下しているが、全体的に増加傾向を示した。試料50および試料100と試料200における崩落率の違いは、Ca(OH)₂懸濁液の濃度が原因と考えられる。Ca(OH)₂が土壌中に浸潤した部分のみ

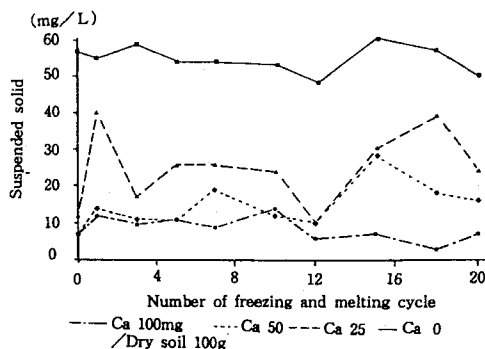


図-4 浮遊物質に与えるCaCl₂添加の影響
Effect of CaCl₂ addition on suspended solid

が崩落せずに金網上に残った。つまり3種類の濃度のCa(OH)₂液はすべて懸濁状態であるが、試料200ではCa(OH)₂懸濁液の粘性が高く、供試体中への浸潤が十分進まなかったと思われる。

これらの結果より、Ca²⁺の効果を期待するにはこれを土壌に十分混合させることが必要であると判断した。また図-6に示したように、Ca(OH)₂添加量に従って溶液のpHはアルカリ性を示した。Ca(OH)₂添加による土壌の酸性矯正の効果を発揮できると思われる。

3) 水酸化カルシウム粉の混合による影響

Ca(OH)₂粉を攪拌混合させた場合のスレーキング試験結果を図-7に、pH測定結果を図-8に、SS測定結果を図-9に示した。

図-7に示したように、試料0の崩落率は他の試料を上回り、カルシウム添加による崩落率の低下が明らかとなった。また試料50～200では膠結作用と粒子間の凝集が原因と見られる崩落率の低下が1～3サイクルで生じた。また図-8に示したように、溶液のpHはCa(OH)₂添加量に従ってアルカリ性を示した。

凍結融解初期のSSは低く、サイクル数の増加に伴っ

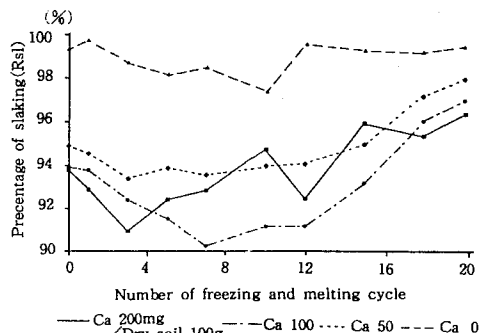


図-5 スレーキング特性に与えるCa(OH)₂添加の影響
Effect of suspended Ca(OH)₂ addition on slaking property

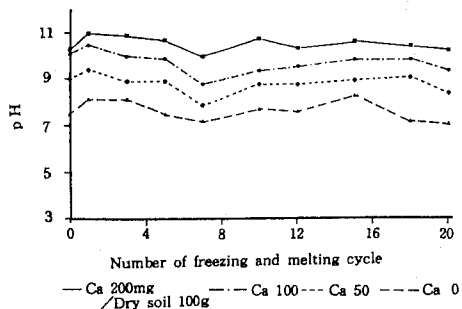


図-6 pHに与えるCa(OH)₂添加の影響
Effect of suspended Ca(OH)₂ addition on pH

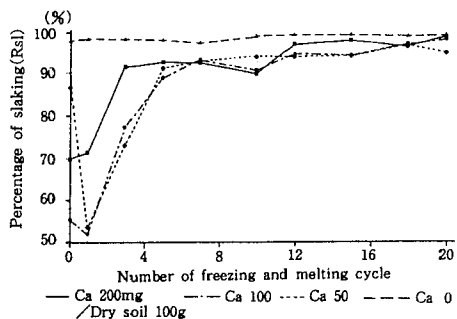


図-7 スレーキング特性に与えるCa(OH)₂混合の影響
Effect of suspended Ca(OH)₂ mixing on slaking property

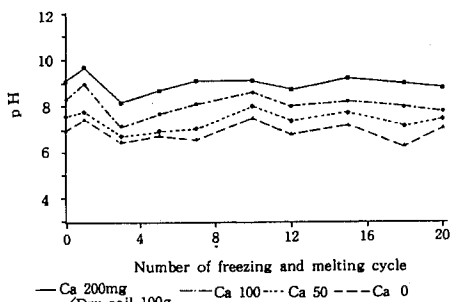


図-8 pHに与えるCa(OH)₂混合の影響
Effect of Ca(OH)₂ mixing on pH

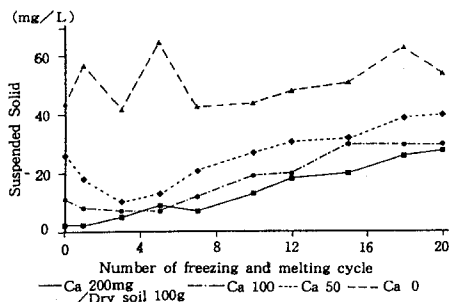


図-9 浮遊物質に与えるCa(OH)₂混合の影響
Effect of Ca(OH)₂ mixing on suspended solid

て上昇した。凍結融解の繰り返しにより団粒保持機能が低下してきたためと思われる。またCa(OH)₂添加量に従ってSSが減少する傾向を示した。

これらの試験結果より、Ca(OH)₂の攪拌混合試料における崩落率は無添加試料を下回った。また試験終了時における攪拌混合試料溶液のSSも無添加試料を下回った。難溶解性のCa(OH)₂の効果を発揮させるためには、土壌中に攪拌混合させることが必要であり、法面散布よりも、Ca(OH)₂を予め混合させた土壌を法面に用いた方が効果的であることがわかった。

5. おわりに

法面土壌における凍結融解が土壌のスレーキング特性に及ぼす影響を低減させるため、施工時にCa(OH)₂を法面土壌に攪拌混合させる1つの方法を考えた。また施工が終了している法面については、高濃度のCaCl₂溶液やCa²⁺を多く含む溶液を表面散布することにより、法面の安定化を期待できることが明らかとなった。

本報では、凍結融解の繰り返しを受けた法面表土の団粒形成を促進することにより土塊を安定させる方法を検討したが、法面の植生被覆やアグロフォーレストリーの導入などの対策も考えられ、今後も検討を続ける必要があろう。

最後に本研究を遂行するにあたり、北海道開発局網走開発建設部関係各位から多大なご協力を賜った。ここに記して深謝申し上げます。

引用文献

土壌保全セミナー(代表:梅田安治)(1989):北海道における農地造成と保全:6-37
 前田隆, 相馬尅之, 矢沢正士, 藤原幸彦(1986):火山灰土の凍上性および粗粒火山灰の凍上抑制材としての適正判定に関する研究(課題番号 59460188), S.61科研費補助金(一般研究B)報告書
 Medina, S.M., 成岡 市, 三原真智人, 穴瀬 真, 安富 六郎(1995):寒冷地における凍結融解と土壌侵食, 凍結融解の繰り返しと土壌団粒の配列構造に及ぼす影響, 土壌の物理性, 71:5-10
 長沢徹明, 梅田安治(1981):土の耐水食性に及ぼす凍結融解作用の影響, 凍結・融解土の特性に関する研究(V), 農土論集, 94:48-54
 長沢徹明, 梅田安治(1986):凍結融解条件による土の構造変化への影響, 凍結・融解土の特性に関する研究(VII), 農土論集, 123:49-55
 佐藤晃一(1983):スレーキング, 土の理工学性実験ガイド, 農業土木学会:123-124

山田宣良, 古家 隆(1982)：圃場における団粒形成因子,
土壌の団粒に関する研究(Ⅳ), 農土論集, 98: 1-6

山田宣良, 横瀬広司(1991)：団粒分布に基づく土壌の団
粒評価法, 農土誌, 59(4): 31-35

横瀬広司, 山田宣良(1977)：団粒を形成する因子につい
て, 土壌の団粒に関する研究(Ⅰ), 農土論集, 70:
1-6

(受稿年月日 1994年5月10日)



資 料

土壌クラストの形成機作とそれに影響を及ぼす諸条件

田中 樹

Mechanism of soil surface crusting and some conditions affecting it

Ueru Tanaka

Faculty of Agriculture, Kyoto University

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 17-21, 1995)

1 はじめに

土壌クラスト (Soil crust: 土壌皮殻、土膜) は、土壌表面に形成される堅密な薄層構造と定義される。なお、降雨や灌水の塗上の薄層形成による目詰り現象をシーリング (Sealing)、その後乾燥過程を経て形成されたものをクラストと呼び分けることがある。

土壌クラストは、その程度の違いはあれ畑土壌では普遍的に見られる現象で、世界各地の農業者や研究者に古くから知られてきた。例えば、19世紀の後半にインド北西部を旅行した英国人が残した文献に、パンジャブ地方の伝統的畑作農業で土壌クラストの破壊を目的とする畜力牽引具が使用されていたことが報告されている (Randhawa, 1980)。土壌クラストの研究は、1930年代後半から始まり、様々な角度からの知見が蓄積され現在に至っているが、今なお検討すべき課題が数多く残されている。

本報では、筆者がこれまで行ってきた土壌クラストの形成機作とそれに影響を及ぼす諸条件の研究の紹介を織り混ぜながら、これまでの知見や問題点を総論的に整理し、今後の研究展開の指針を探る。

2. 農業および土壌保全への影響

土壌クラストは、堅密な薄層部分で僅か数mm程度の厚さに過ぎないが、その影響は作物栽培や土壌保全の様々な局面に及ぶ。

1) 作物栽培および表土管理への影響

発芽阻害: 土壌クラスト形成による直接的な影響は、幼作物の発芽 (芽伸び) の妨害である。これは露地畑に限らず、苗床や施設栽培での灌水でも経験され、播種から出芽までの間に、土壌表面が強い降雨や灌水を受け、その後の乾燥で固結したときに問題となる。乾燥時の収縮

京都大学農学部 (606-01京都市左京区北白川追分町)

キーワード: 土壌クラスト、形成機作、表土管理

性が大きい土壌では、クラストに亀裂が入るため、発芽した幼作物がそれを持ち上げるように伸びるが、収縮性に乏しい土壌では、作物がクラスト層を破ることができず、発芽率が著しく低下する。綿花や種子の小さいミレット類などの栽培では深刻な問題である (Lal, 1986)。本邦に於ても、北海道美瑛町の大豆作での事例報告 (横井ら, 1989) がある。

雨水貯留機能の低下: 膨軟に耕起された耕地でも、ひとたび土壌クラストが形成されるとその透水性が著しく低下し、 10^{-4} cm/secから場合によっては 10^{-6} cm/secのオーダーにまで達する。降雨条件や土壌のクラスト形成に対する感受性にもよるが、わずか一降雨機会の前半 (十分分~数時間) に土壌表層の孔隙が閉塞し、滞水や表面流去水の発生が観察されることがある。透水性低下の問題は、土壌侵食との関係の中で扱われることが多いが、一方で耕地の雨水貯留機能の低下を招き、作物生育への直接的な影響も大きい。特に、集中豪雨的な降雨が多く、その周期の変動も大きい亜湿润~半乾燥熱帯の天水畑での雨水貯留機能の低下は深刻で、干ばつなど農業生産を制限する原因の一つとなる。この問題は、灌漑農業では灌水効率の低下となって現れる。

干害と湿害の助長: 土壌クラストの形成は、干害と湿害の両方を助長する。有原ら (1991) は、インド半乾燥地の Alfisols でクラスト形成による通気性の低下が湿害の誘因になることを示唆した。

作業負荷の増大: 土壌クラストを形成し易い耕地では、しばしば播種のやり直しを余儀なくされたり (横井ら, 1989)、雨水貯留能の向上や土壌侵食の抑制を意図した表土管理が行なわれる (田中, 1991)。

2) 土壌保全への影響

耕起・整地作業から作物が十分に生育するまでの作季

前半は、耕地面の被覆が乏しいため、土壌侵食や土壌クラスト形成が起こりやすい時期である。

多くの研究者が、クラスト形成による透水性の低下に伴い表面流出量が増大することが、土壌侵食の誘因になると指摘している。一方、表面流出量は増えるものの、クラスト形成の過程で土壌表面の粒子の耐剝離性も増すため、結果として土壌流亡が抑えられる場合も考えられる(西村ら, 1991)。いずれにしても、土壌侵食の営力(降雨と流去水の作用)が働く「場」は、僅か数mm程の深さまでであるため、土壌侵食の発生機作の解明や受食性の評価に際しては、降雨特性や地形要因などに加えて、降雨下での土壌表面の刻一刻の物理性的変化(例えば、比較的短時間に起こる粒団の崩壊、孔隙の閉塞および薄層の形成による透水性の低下など)やその難易を考慮する必要がある。

3. 土壌クラストの性状評価

土壌クラストは、僅か数mm程度の厚さを持つ薄層構造であるため、従来法ではその性状の直接測定には困難があった。定量的な物理性評価法の確立は、クラスト形成の程度の判定やそれに影響を及ぼす諸条件(降雨特性、土壌の性質など)との関係付け、農業および土壌保全への影響を評価する前提である。土壌クラストの性状評価は、主として形態観察(Duley, 1939; McIntyre, 1958; Casenava et Valentin, 1989)、画像解析による形態的特徴の定量評価(Onofiook and Singer, 1984; Tanaka and Kyuma, 1992; Tanaka et al. 1992)、貫入硬度計による評価(Drew, 1971)および透水性の測定を通じて行われてきた。

筆者は、図-1に示す手順で土壌クラストの形成程度の評価を行なった。土壌クラスト試料は、日本各地の畑土壌から篩別した粒径1.0~2.0mmの自然団粒あるいは人為的に造粒した人工粒団を、図-2のようにプラスチック製の試料円筒(内径50mm、高さ50mm)に充填し、砂柱法、加圧板法、蒸気圧法などにより任意の水分状態に調節して、次いで2分間ないし5分間の人工降雨(降雨強度4.48mm/min、水滴径2.7mm、落下高1.5m)および自然降雨を作用させて得た。形態観察では、実体顕微鏡による降雨処理前後の土壌表面の状態(粒団の崩壊程度、細粒質の沈積など)や偏光顕微鏡による土壌表層断面(薄片試料)の形態(粒子配列、孔隙の状態、緻密層の位置と厚さなど)および肉眼による降雨処理中の土壌粒子の挙動や飛沫、滞水の発生の様子を記録した。透水性パラメータによる定量評価の手順は、人工降雨あるいは自然降雨処理した試料をプラスチック円筒ごと透水性測定装置にかけ、透水性($K = \text{cm/sec}$)を測定し、その負

対数($-\log K$ 値)を土壌クラストの形成程度を示す指標値として採用するというものである(田中, 未発表)。これは、この値が大きいかほど透水性が低く、すなわち土壌クラストの形成程度が大きいことを表す。この手順は、一度に多点数の試料を対象として土壌クラストの形成程度をの判定できる簡便な方法である。

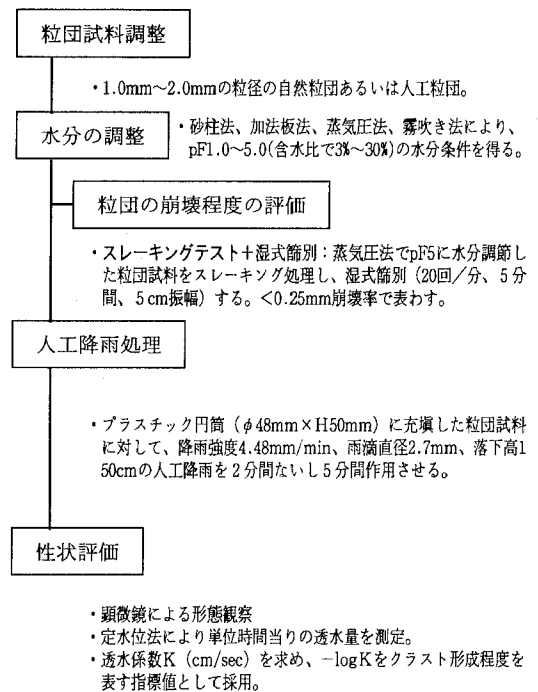


図-1 本研究で用いた土壌クラストの性状評価の手順
Fig. 1 Procedures of the evaluation on the properties of soil surface crusts

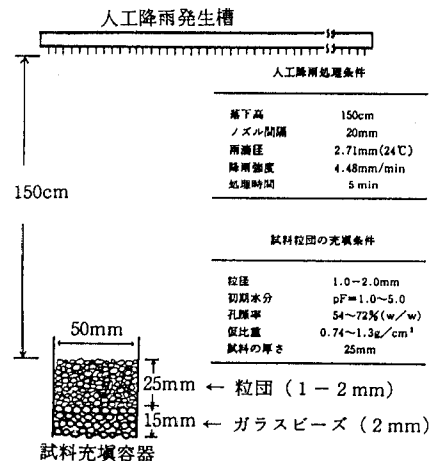


図-2 人工降雨条件および供試試料
Fig. 2 Condition of simulated rainfall treatment and packed aggregates

4. 土壌クラストの形成過程および形態の類型

土壌クラストの形成過程の基本型は、以下のように説明できる(田中,1994)。まず、雨滴の作用(降雨直後にはスレーキング、その後はインパクト)により土壌表面の粒団の崩壊・細粒化が起こる。粒団が雨滴に対して不安定な土壌では、短時間のうちに極表面に堅密な薄層を形成する。やや安定な粗粒質の土壌では、インパクトや雨水の浸透により微小粒団や細粒質が孔隙に入り、表面よりやや下に比較的密な薄層を形成する。これらを「Structural crust」と呼ぶ。雨滴のインパクトにより土壌表面は練り返しを受け、土壌粒子は更に密に充填される。土壌表面の平坦部や凹部では、透水能の低下に伴う滞水が起こり、インパクトは減衰するものの、攪拌作用により細粒子が懸濁する。土壌表面の凸部や傾斜部からは、細粒子が表面流去水で凹部に運ばれ、再堆積して「Depositional crust」を形成する。降雨履歴を反映して、クラスト層が幾つかの薄層を持つこともある。細粒化する粒子の多い土壌では降雨後、平坦部や凹部に極めて薄い沈積層(Seal skin)が形成される。実際に野外で観察されるクラストの形態は、降雨履歴、水食や風食、耕作履歴などを反映して多様である。

本研究では、人工降雨処理により人為的に土壌クラストを得たが、その形成過程は上記と同様と推定され、また形態は、次のように区分された。①タイプA：幾分崩壊しているが形状をとどめた粒団が顕著で、堅密層の形成が弱いかほとんど認められない；②タイプB：表面から数mm下方に小粒団からなる比較的密な層(Washed-in layer)を有する；③タイプC：粒団の崩壊による密な層とその表面に細粒質の沈積による被膜(Seal skin)を有する；④タイプD：タイプCと類似の形態を有するが、表面は粗砂が顕著でSeal skinは認められない。

5. 土壌クラスト形成に影響を及ぼす諸条件

土壌クラストの形成程度に影響を及ぼす諸条件は、環境要因(例えば、降雨特性、微・小地形、土面被覆の程度)と土壌要因に分けられる。また、これら以外の要因として、耕作履歴や灌漑水の水质などが挙げられる。一般論として、クラスト形成に影響を及ぼす土壌要因として、降雨前の土壌表面の初期状態(水分、粒団径あるいは孔隙径の分布)や土壌の理化学的諸性質(土性、土壌粒子の分散性、カチオンの組成、有機物、Fe・Alなどの非晶質成分、卓越する粘土鉱物の種類、粒団の安定性など)が示唆されている。しかしながら、クラストの性状評価法が未確立で、多試料についての検討が立ち後れているため、定量的関係の把握はまだなされていない。ここでは、土壌要因についてこれまでに筆者が得た知見

表-1 透水性パラメータ(-logK値)により評価されるクラスト形成程度と相関が見られた土壌の性質
Table 1 Relationship between crusting susceptibility and some soil properties affecting it

項目	評価指標(-logK値)との相関
< 0.25mm粒団の割合	0.725**
非晶質アルミニウム (Alo)	-0.570**
非晶質鉄 (Feo)	-0.458**

**：1%有意水準、n=58

を紹介する。

1) 土壌クラスト形成に影響を及ぼす土壌の諸性質

透水性パラメータ(-logK値)をクラスト形成程度の指標として、日本各地の畑土壌58点について、その物理的、理化学的および化学的諸性質との対応を調べた結果、土壌クラストの形成の難易と粒団の安定性(<0.25mm崩壊率、 $r=0.752^{**}$)、酸性シュウ酸塩溶液可溶性の非晶質アルミニウム(Alo、 $r=-0.570^{**}$)および非晶質鉄(Feo、 $r=-0.458^{**}$)との間に有為な相関が認められた(表-1)。なお、<0.25mm崩壊率とは、pF5相当に水分調整した粒径1.0~2.0mmの粒団試料を水中に落とし、さらに緩やかに水中篩別した時に0.25mm以下に崩壊する粒団の割合であり、この値が大きければ粒団の安定性が低いことを意味する(田中,未発表)。相関が認められた性質のうち後二者は、粒団の安定性に影響を及ぼす性質と考えられるので、土壌クラストの形成は、雨滴の作用や濡れに対する粒団の安定性や粒子の挙動に左右されるといえる。これは、先述の人工降雨下での土壌クラスト形成過程の観察とも一致する。なお、有機物や分散性など今回対応が見られなかった諸性質の影響については、後述する降雨処理前の土壌の初期条件により打ち消されている可能性も否定できず、今後の検証が必要である。

2) 土壌の初期水分条件と土壌クラストの形成

土壌表面の初期条件(水分、土塊の粒径、被覆の有無など)のクラスト形成への影響を把握することは、その形成機作の解明や圃場での対策に有用な情報を与える。そこで、本研究では、風乾細土に水を加え練り返しにより人為的に造粒した粒団試料を用いて、土壌の初期水分条件、それに対応する粒団の安定性およびクラスト形成程度との関係付けを試みた。図-3は、その一例を示すもので、次のように解釈できる。①粒団の安定性(スレーキングによる崩壊程度)とクラスト形成程度は、いずれも初期水分条件の違いに左右される、②クラスト形成の難易は、臨界スレーキング水分点(Critical slaking

moisture content) を境とする水分領域と概ね対応し、乾燥領域と半湿/半乾領域でクラスト形成程度が大きく、湿潤領域で小さい、③初期水分条件と降雨処理時間の違いを反映したクラスト形成程度の変化から、「スレーキング型」と「インパクト型」の形成機作が考えられる。これらの初期水分領域で起こる土壌クラストの形成過程は、Bresson and Cadot (1992)の模式図により説明できる。例えば、湿潤な土壌面に雨滴が作用する場合、スレーキングによる崩壊は起こらず、インパクトにより粒団が徐々に削削しクラスト層が形成され(図-4、上)、一方、乾いた土壌面ではスレーキングによる急激な粒団の崩壊と孔隙の閉塞が短時間におこる(図-4、右下)。

6. 土壌クラスト研究の進捗状況と今後の展開

土壌表面は、土壌界と大気界の界面にあって、常に種々の営力にさらされ刻々と変化する。土壌クラスト形成のようなごく表層の物理性の悪化や土壌侵食などは、まさにこの界面で起こる現象であり、農耕地の利用や保全に及ぼす影響も大きい。本報告を終えるにあたって、土壌クラスト研究の進捗状況と今後取り組むべき課題を表-2に示して結びとしたい。

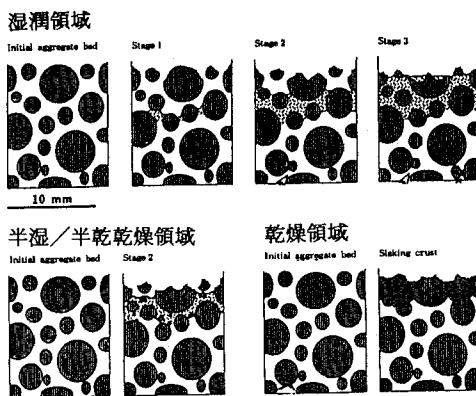


図-4 異なる水分領域のもとでの土壌クラストの形態と形成過程(Bresson and Cadot, 1992より引用)
Fig. 4 Process of crust development under different moisture condition (cited from Bresson and Cadot, 1992)

表-2 土壌クラスト研究をめぐる諸課題と研究の進捗度
Table 2 Future topics on the study of soil crusting

1. クラストの性状の測定(観察)方法の検討
 - 光学顕微鏡・電子顕微鏡観察(◎)、画像解析(○)
 - 透水性による評価(○)、硬度など(△)
2. クラストの形成機作の解明
 - 形態観察による形成機作の説明(◎)
 - 環境要因との関係(定量的把握): 降雨(△)、微・小地形(×)、被覆(×)
 - 土壌要因との関係(定量的把握): 粒段の性質(○)、初期水分条件(○)
3. クラスト形成傾向の評価(潜在的クラスト形成土壌の分級)
 - 評価の方法と指標の確立(○)
 - 土壌の諸性質との定量的関係付け(×)
 - 発生予測あるいは潜在的クラスト形成土壌の分級(×)
4. 土壌侵食との関係
 - 土壌侵食の諸パラメータとの定量的関係付け(×)
 - 受食性評価、土壌侵食予測式への組み込み(×)
5. 農業および土壌保全への影響評価と対策
 - 作物生育への影響: 幼作物の伸長の妨害(○)
 - 表層物理性悪化の実態: 通気性の不良化(△)、雨水貯留機能の低下(×)
 - 土壌侵食(前出)
 - 対策の検討: クラスト形成による畑作全般への影響の評価(×)、砂容土・石膏などの効果(○)、農法的対応の事例収集(×)

註: () 内の◎○△×は、進捗度を表わす

謝 辞

本報告は、久馬一剛博士(元京都大学教授)、横井義雄氏(道央農試)および京都大学農学部土壌学研究室の学生諸氏との研究を通じて得られた成果を中間的に取りまとめ、1993年度日本土壌肥料学会沖縄大会シンポジウムで発表したものである。研究の実施に際しては、日本生命財団より研究助成をして頂いた。また、岩間秀炬博士(農環研)には、この研究が発展途上であるにもかかわらず、当シンポジウムでの発表の機会を与えて頂いた。記して謝意を表します。

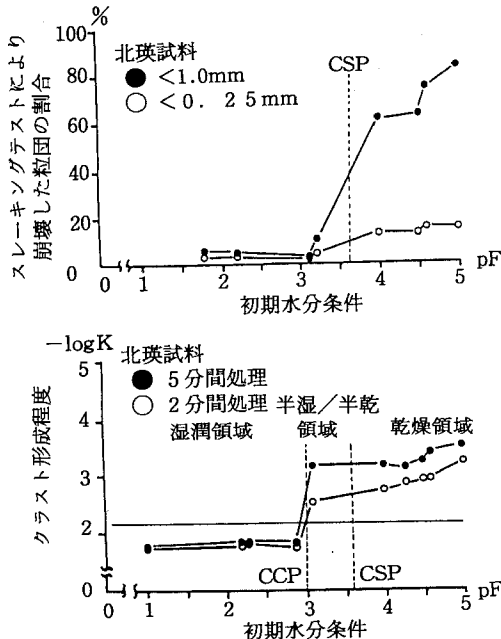


図-3 初期水分条件と粒団の崩壊程度および土壌クラストの形成程度
Fig. 3 Effect of initial moisture condition over aggregate disintegration and degree of crusting

引用文献

- 有原丈二・阿江教治・岡田謙介：インドの半乾燥熱帯地域の土壌の物理性と作物生産、土壌の物理性、第63号、13-18 (1991)
- Bresson, L.M. and Cadot, L. : Illuviation and structural crust formation on loamy temperate soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 1565-1570 (1992)
- Casenava, A. et Valentin, C. : Les etats de surface de la Saherienne. *Actiques. Paris.* (1989)
- Drew, L.O., Gardner, T.H. and Dickson, D.G. : Seedling thrust versus soil strength. *Trans. ASAE*, 14, 315-318 (1971)
- Duley, F.L. : Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4, 60-64 (1939)
- Lal, R. : Soil surface management in the tropics for intensive land use and high and sustained production. In *Advances in Soil Science*, Vol. 5, Ed. B.A. Stewart, 1-109, Springer-Verlag, New York (1986)
- McIntyre, D.S. : Permeability measurement of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Sci.*, 85, 185-189 (1958)
- 西村拓・中野政詩・宮崎毅：室内人工降雨装置による土壌流出量の予測、*農土誌*、59(3)、283-288 (1991)
- Onofiok, O. and Singer, M.J. : Scanning electron microscope studies of surface crusts formed by simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 1137-1143 (1984)
- Randhawa, M.S. : A history of agriculture in India. vol 3, Indian Council of agricultural Research (ICAR), New Delhi (1980)
- Tanaka, U. and Kyuma, K. : Quantification of morphological characteristics of crust by thin section-image analyzing method (TS-IA method). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38(2), 369-373 (1992)
- Tanaka, U., Yokoi, Y. and Kyuma, K. : Morphological characteristics of soil surface crusts formed under simulated rainfall. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38(4), 655-664 (1992)
- 田中樹：インド亜大陸の伝統農法に半乾燥地農業成立の要件と展開の可能性を探る、トヨタ財団助成研究報告書 (1991)
- 田中樹：土壌クラストとその形成条件、農業技術大系、第3巻、農文協 (1994)
- 横井義雄・長谷川進・坂本宣崇：堅密固結性土壌に対する砂質火砕流堆積物の客土効果、*北農*、56巻 (1989)
- (受稿年月日 1994年6月3日)



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

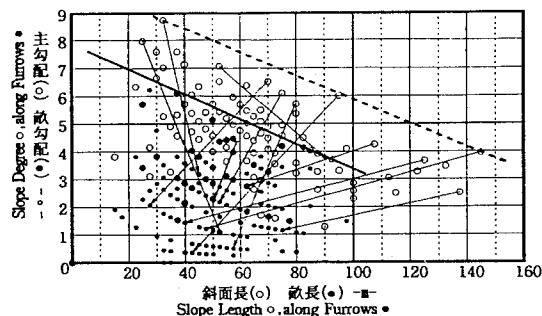


図-1 造成形態と畝形態

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。

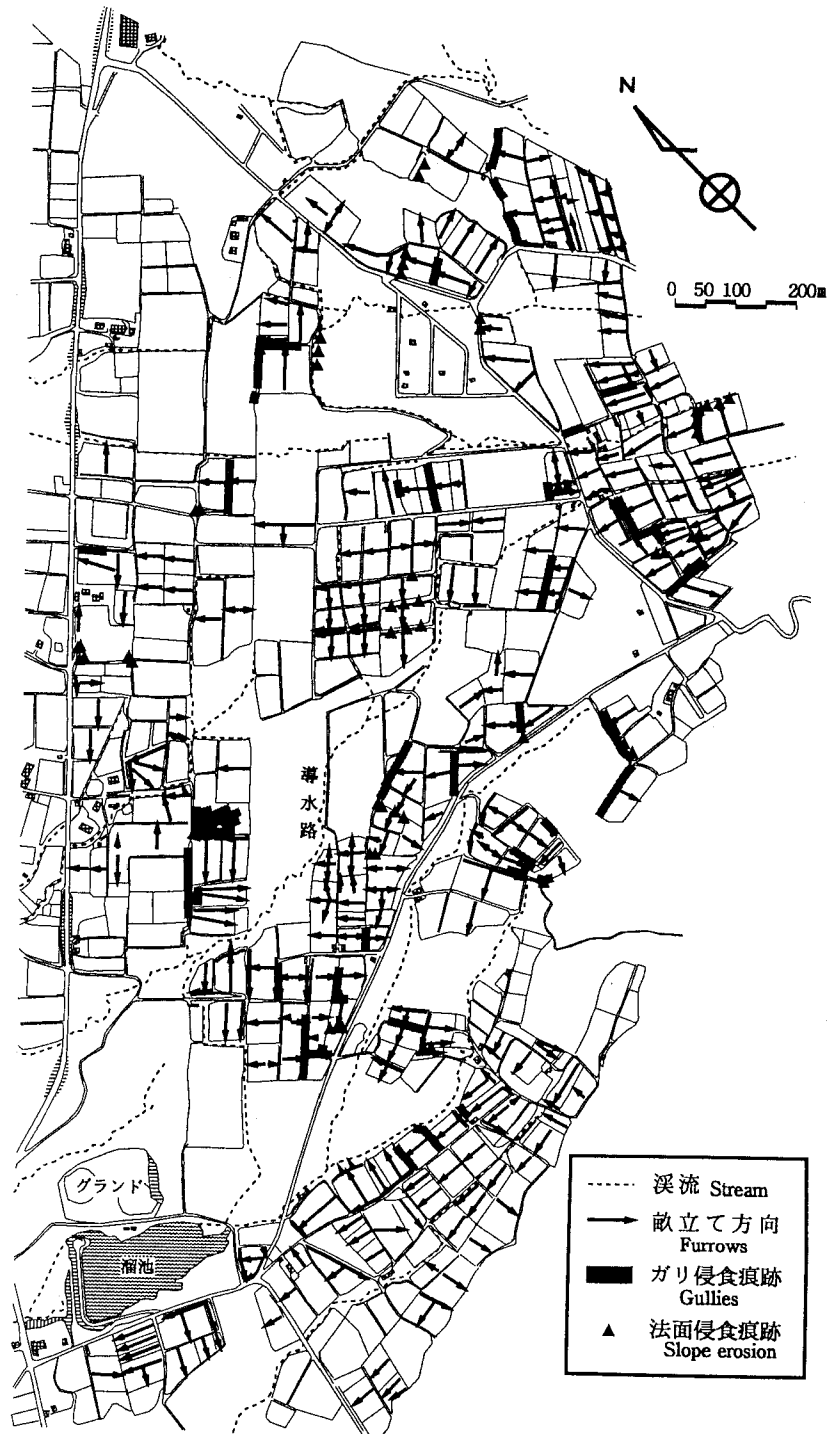


図-2 畝立て方向と土壌侵食の発生状況

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。

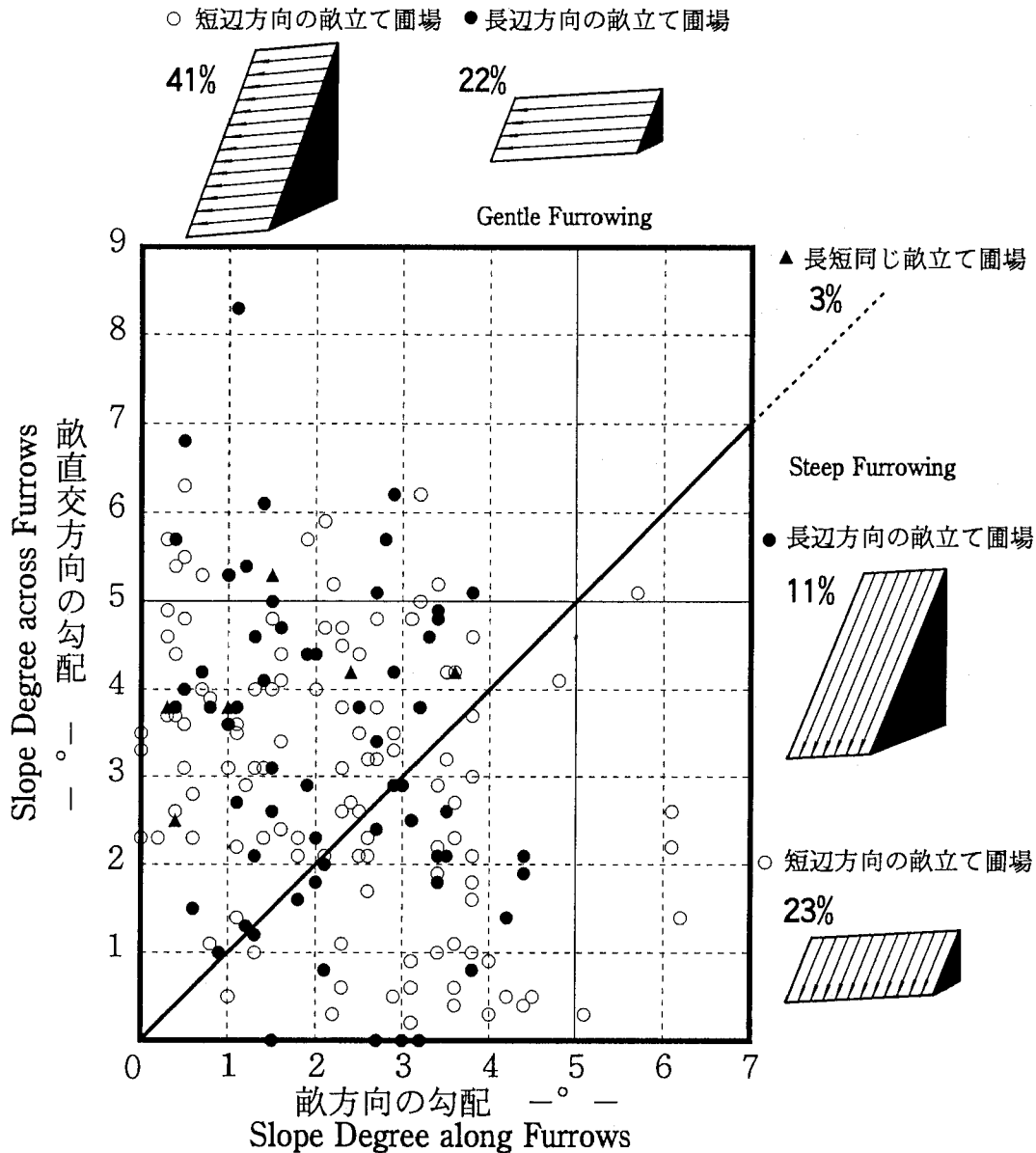


図-3 畝立て方向と圃場形態の関係
Fig. 3 Furrowing Practices on Test Fields

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みると、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みると、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)



資料

飯田高原の火山灰土野菜畑における土壌侵食の実態と対策

岩本 保典

Soil Conservation Practices for Vegetable Production
on Volcanic Ash Soils in Handa
Highland Region of Kyushu

Yasunori IWAMOTO

Oita Prefectural Agricultural Research Center Usa, Oita, 872-01 Japan

Key words : vegetable production in highland, reclamation of wild grassland, rainy season, soil erosion, plant residue

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 31-36, 1995)

1. はじめに

九州中部の標高500~1,000mに分布する久住、飯田、阿蘇の火山灰土地帯は、夏秋期に野菜生産の適温条件を有する数少ない高冷地であり、夏秋キャベツ、夏ダイコンの主要な産地となっている(山下1990, 岩本1985)。近年、ダイコン作付面積の拡大とキャベツの連作障害である根こぶ病を回避するため、新たに野草地を原地形のままロータリ耕で開畑した傾斜畑での栽培が増加している。しかし、野菜栽培期間が主として梅雨期をはさんだ多雨期の6~9月に限定されることから土壌侵食が激しく、開畑地の荒廃が顕在化し、景観上も大きな問題となっており、土壌侵食防止対策が緊急課題となっている。そこで、こうした背景を踏まえ、飯田高原の火山灰土野菜畑における土壌侵食防止対策について1982~1988年の7年間にわたる研究成果(岩本1993)を概説する。

2. 飯田高原における土壌侵食

2-1 梅雨期の降雨特性

飯田高原は九州の最高峰久住山の北麓に位置し、標高は800~1,000m、土壌は久住、阿蘇、霧島など数次の火山噴出物の堆積層からなる厚層多腐植質黒ボク土である(日土肥学会九州大会運営委員会1971, 1982, 土壌調査研究会1982)。年平均気温は10.9℃、7、8月の平均気温は22℃で冷涼である。

調査を行った1982~1987年の年降水量は平均2,445mmで、キャベツ栽培期間6~9月の総降水量は1,492mmであった。この6~9月の降水量は本州高冷地のキャベツ産地姫恋村の年降水量に相当する。毎年梅雨期には2~3週間にわたる連続降雨日があり(表-1)、その降水量は6~9月降水量の47%を占めていた。

また、表-1に1982~1987年までの限界降雨強度

表-1 梅雨を主とする降雨の特性値

調査項目	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年
降雨月日	7.11~25	7.4~5 15~17	6.13~7.1	6.21~7.3	6.21~29 7.4~15	7.1~8 14~24
内無降雨の日数	1	0	2	1	0	0
降水量(mm)	940.5	422.0	452.5	805.0	927.5	675.5
3mm/10min以上の降水量(mm)	409.0	253.5	95.5	334.0	400.0	197.0
平均の降雨強度(mm/10min)	5.1	7.0	4.3	4.5	6.0	4.4
運動エネルギーの積算値* ($\times 10^6 \text{erg}$)	12.9	8.6	2.8	10.1	13.1	5.9

* 三原の計算式 $e = 21400i^{1.22}$ (e : 運動エネルギー- erg/cm^2 , 10min. i : 降雨強度 $\text{mm}/10\text{min}$)より算出し、 e の値を積算した。

3 mm/10min以上の積算降水量およびそれを積算降雨時間で除した平均の降雨強度、さらに三原 (1951) の計算式による 3 mm/10min以上の降雨の運動エネルギーの積算値を示したが、年次間の変動が大きいことが解る。

2-2 キャベツ畑の土壌侵食とその要因

現地のキャベツ畑では、降雨の表面排水や機械作業に都合がよい上下方向の作畦が多く、高さ約30cmの高畦栽培が行われている。したがって、雨水は畦間に集まりその底部と側面を削りながら流下するため、流出水・土量が増加しやすい条件を有している。また、激しい表土流出や畦の崩壊流出が観察された事例は、上部斜面の野草地から畑地内に流入する水量が多い場合に著しい侵食が惹起されている。したがって、畑地内への流入水防止は重要な対策となる。他方、ダイコンはキャベツに比べ栽培管理、収穫作業に労力がかからないため、開畑面積が広く、傾斜度も4~15度と大きい場合が多い。ただし、栽培様式が上下方向の平畦で栽培されるのでキャベツの畦立て栽培より表面流去水の発生量は少ない。しかし、土層の浸透能を超える降雨が続くとリルを生じ、雨水の集まる微凹地で作土層が広く流出するスポット状の侵食が観察された。

ここでは、野草地を開畑し、飯田高原の慣行的なキャベツ栽培に即して設置した標準区における1982~1987年

の土壌侵食とその要因について述べる。標高880mのススキを有占草種とする野草地を1982年5月開畑し、試験圃場を設定した(図-1)。自然地形をそのまま利用するため、傾斜6.2~7.2°の1号圃(面積360m²)、傾斜4.2~5.6°の2号圃(同480m²)に分割した。斜面長はUSLEの標準区画(Mitchell 1980, 細山田・柿田1984)に近い20mとした。標準区は1号圃に位置し、面積は60m²、畦幅125cm、畦の高さ30cmの上下高畦を2畦配置した。毎年、耕起、作畦、施肥は5月下旬~6月上旬、キャベツの定植は6月下旬とし、収穫を9月中、下旬に行った。表面流去水、流出土の調査は6~9月のみ行い、表面流去水量は試験区の下端に設けた第1タンク(容積1.0m³)、第2タンク(同0.5m³)内の水位と量水器のメータで測定した。流出土量は幅3m、奥行0.6m、深さ0.5mのコンクリート製の受けと第1タンク内に沈積した土壌の全量を測定した。測定は降雨が止むごとに行った。

降雨の表面流去は降雨強度0.8~1.0mm/10min、1~2日間降水量約20mm以上で始まり、降雨強度が大きくなるにつれて表面流去率が増加した。6~9月降水量に対する表面流去率は、1984年は降水量1200mmに対し27%、1985年は1483mmに対し34%(一部推定値を含む)であった。梅雨期の連続降雨中の表面流去率をみると、1984年に降水量301mmに対して55%、1985年に224mmに対して62%という高い数値が観測された。1982、1986年では、表-1に示したように、降雨の運動エネルギー積算値が大きかったことから表面流去率は1984及び1985年の数値をさらに上回っていたことが推定できる。

土壌流出は降雨強度2.7~3.0mm/10min、1~2日間降水量30mm以上で発生し、4.0mm/10min以上の降雨強度になると20mm以下の降水量でも発生した。キャベツ栽培期間(6~9月)6年間の流出土量は平均値で乾土重 $56.5 \pm 25.2 \text{ Mg ha}^{-1}$ 、土層深に換算して14mmとなった。そして、その82.5±8.9%は梅雨期の連続降雨によって発生していた(表-2)。

梅雨をはさむ6、7月においては、降雨の表面流去率が30%を越えると流出土量が急増する関係がみられた(図-2)。しかし、8~9月になると様相を異にし、

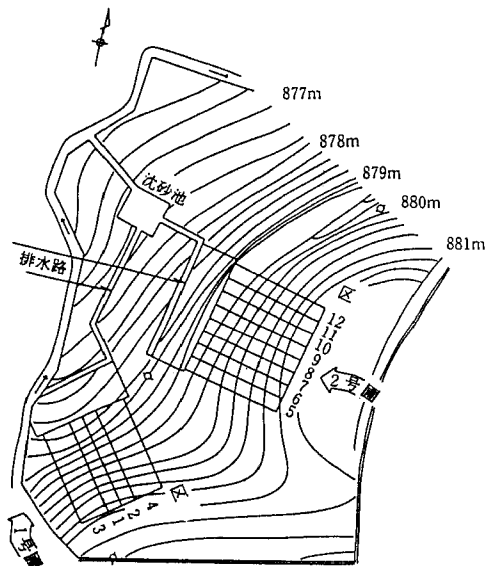


図-1 試験圃場の地形と試験区の設定(1982年)
(標準区は1号圃、区1)

表-2 キャベツ栽培期間の流出土量(標準区)

調査年	測定期間	(乾土 Mg ha^{-1})	
		平均値	標準偏差
1982	6~9月	56.5	25.2
~	梅雨期	48.2	26.4
1987	8~9月	5.1	4.1

表面流去率が30~40%と高くなっても流出土量は増加せず、図-2のような関係はみられなかった。その理由として、6、7月には、第1に梅雨による連続的な降雨があること、第2に耕起、作畦から間がなく土壌が膨軟で流出しやすい状態にあること、第3にキャベツの地表被覆率が低く裸地状態に近いことがあげられる。これらは飯田高原のキャベツ栽培では避け難い問題点となっている。

2-3 野草地開畑後の受食性の増加

野草地を開畑したキャベツ畑やダイコン畑の事例をみると、開畑当初は土壌侵食が抑制されている傾向が伺われた。

そこで、1982~1987年の梅雨期の連続降雨における降雨強度 3 mm/10min以上の降雨の運動エネルギー積算

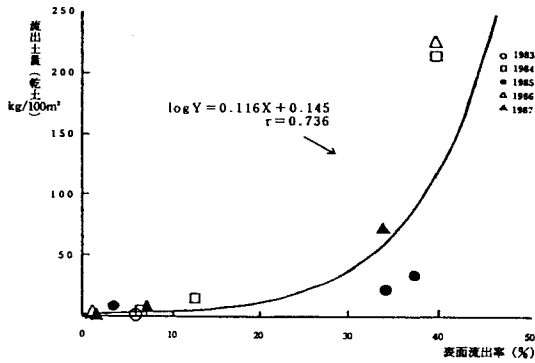


図-2 流出土調査時ごとの流出土量と降雨の表面流去率の関係(6、7月,標準区)

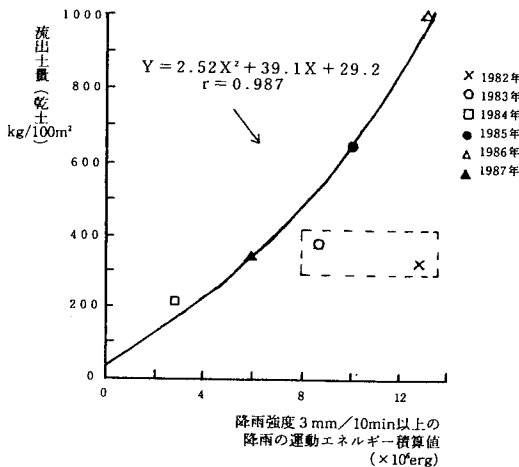


図-3 野草地開畑後の梅雨期間における流出土量と降雨の運動エネルギー積算値の関係(標準区)

値をX軸に、標準区の流出土量をY軸にとってみると、図-3のように開畑3年目以降の1984年から1987年では降雨の運動エネルギー積算値が大きい年ほど流出土量が増加しており、開畑年の1982年、そして2年目の1983年はこの回帰式から大きくはずれていた。降雨の運動エネルギー積算値の単位量あたり流出土量を求めたところ、野草地開畑直後の1982年を1.0とすると、1983年1.8、1984年3.0と急激に増加していた。このことから、開畑初年目、2年目は土壌侵食が抑制されていることが明らかになった。

こうした開畑1~2年目の侵食抑制は、野草地を直接ロータリ耕で開畑しているため、表-3に示したように、野草の刈株や根の残渣物が多量に混入していたためと考えられた。なお、3年目以降の侵食量の増大は、混入残渣物の経年的な減少からも明らかのように、野草残渣の混入による土壌侵食防止効果が失われたものと推察された。

3. 土壌侵食防止対策の効果とその実用性

3-1 土壌侵食防止対策の効果

キャベツ栽培における土壌侵食防止対策の効果を明らかにするために、前記の試験圃場を用いて、キャベツ単作、上下高畦の慣行的な栽培(標準区)に対する作畦方法、牧草帯導入、フィルムマルチ栽培、裏作を入れた作付様式について検討した。

その結果、有効な対策とされる等高線高畦栽培(図-4の区3)ならびに上下高畦栽培・下方牧草帯導入(同区4)を行うと、キャベツ栽培期間(6~9月)の流出土量は標準区(同区1)に比べて前者で80%、後者で30%減少し大きな効果を示した。しかし、前者では畦間に停滞水が発生し、後者は圃場内下部へ土壌が堆積し、キャベツに湿害をもたらす傾向がみられた。

上下高畦のフィルムマルチ栽培(図-4の区5)では降雨の表面流去率が高まり、畦間土壌の流出が著しかつ

表-3 開畑後の野草残渣(刈株と根)量とそのC/N比の変化 (乾物当たり)

年	残渣量(g/m ²)	C/N比
1982	1565	115
1983	714	85
1984	485	65
1985	301	52
1986	182	
1987	123	

注) 野草地の開畑は1982年5月、ロータリ耕起後、深さ0~15cmを毎年5月に調査した。

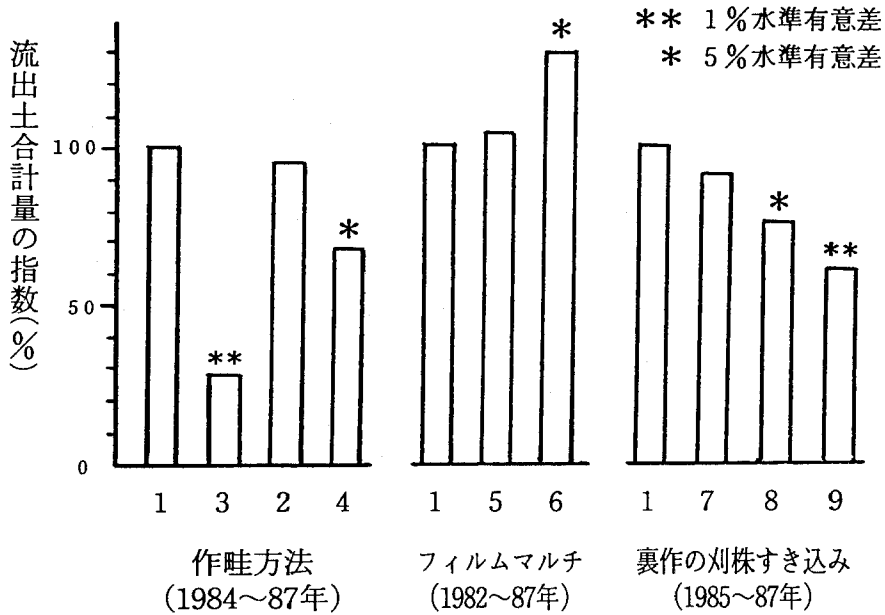


図-4 キャベツ栽培期間 (6~9月) における侵食防止対策の効果比較

区1：標準(上下高畦)，区3：等高線高畦，区2：上下平畦(但し、1985、87年は低畦)，
 区4：上下高畦・下方牧草帯導入，区5：フィルムマルチ，区6：部分フィルムマルチ，
 区7：裏作イタリアン跡，区8：裏作ライムギ跡，区9：裏作ライムギ25cm高刈跡

表-4 裏作物のすき込み量とそのC/N比

作物	年	刈株 (g/m ²)	根 (g/m ²)	C/N比 (乾物当たり)	
				刈株	根
イタリアンライグラス*	1983~	150 ± 57	236 ± 100	31	33
	1987				
ライムギ**	1983~	371 ± 51	285 ± 51	65	42
	1987				
ライムギ***	1985~	479 ± 74	305 ± 76		
	1987				

注) 刈取りの高さは、*約5cm**約15cm***約25cm

た。流出土量は野草地開畑2年目までは標準区よりやや少なかったが3年目以降では逆に増加し、その土壌侵食防止効果は小さかった。

次に野草残渣の土壌侵食防止効果に着目して、裏作を導入し、その残渣すき込みと上下高畦栽培組合わせの効果を検討した。裏作にキャベツ収穫後の10月上旬までにイタリアンライグラス(同区7)あるいはライムギ(同

区8)を播種し、翌5月中旬に青刈して持ち出し、刈株をすき込み後、上下高畦でキャベツを栽培した。裏作物残渣のすき込み量を表-4に示した。その土壌侵食防止効果はライムギの方が大きく、ライムギ刈株をすき込んだキャベツ栽培では標準区に比べ、流出土量が25%減少した。さらに、刈取りの高さを25cmとしてライムギ刈株すき込み量を多くすると(同区9)、流出土量は40%

表-5 キャベツの収量に及ぼす裏作の刈株すき込みの効果

処 理	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	平均
裏作なし・上下高畦 (標準区)	100 (38.1)	100 (48.2)	100 (42.8)	100 (41.4)	100 (24.0)	100 (44.4)	100 (39.8)
裏作イタリアン跡		106	115	120	106	98	109
裏作ライムギ跡		104	106	110	126	96	106
裏作ライムギ高刈跡				111	133	87	106

注) () 内数字は、キャベツ収量実数 Mg ha^{-1}

減少した。裏作を導入した場合のキャベツの収量は表-5に示すようにいずれも増収した。

なお、飯田高原ではキャベツ収穫後の10月から翌年5月頃までの水食ならびに風食は比較的少ないが、裏作ライムギの導入はこの期間の土壌侵食防止にも有効であった。

3-2 土壌侵食防止対策の実用性

飯田高原のキャベツやダイコン栽培は多雨年は低収となりやすく、土壌の多湿が収量の制限要因となっている。したがって、キャベツの生育には表面流去水の迅速な排水が望ましく、キャベツ畑の土壌侵食防止にはその停滞貯留、流去速度の減少が望ましいという矛盾がある。

裏作ライムギ高刈り刈株すき込み・上下高畦による土壌侵食効果は、主にライムギ残渣の土壌表面被覆によるものである。また上下高畦は排水に有利であるためキャベツの減収を招く危険性が小さく、表-5のように増収効果があることから、飯田高原のキャベツ畑の土壌侵食防止対策として実用性が高く、普及しやすい。

等高線高畦あるいは牧草帯の土壌侵食防止効果は、それぞれ表面流去水の貯留と流去速度の低減によるものであるが、その効果が大きいほど土壌は多湿状態が長く続く。したがって、それらの実用性の評価には、梓試験区より大きな規模の圃場において、キャベツの生育、収量に及ぼす影響等を検討することが必要となる。そこで、1988年に1号圃と2号圃の小区画の境界を取り除いてそれぞれ1枚の圃場(面積)とし、実際の栽培に近い面積で等高線高畦、上下高畦・下方牧草帯を検討した。等高線高畦の圃場(2号圃)では、微地形によるわずかな傾斜に添って表面流去水が畦間を流去し、集水される場所で停滞水や畦の部分的崩壊が発生した。キャベツの収量は停滞水が少なかった場所で平均 $41.3 \pm 2.5 \text{Mg ha}^{-1}$ であったのに対し、しばしば停滞水を生じた場所では平均 $32.9 \pm 0.8 \text{Mg ha}^{-1}$ で20%も減収となった。上下高畦・下方牧草帯の圃場(1号圃)は、牧草帯に近い斜面下部の畦間と牧草帯内部に流出土が堆積して多湿となり、キャ

ベツの収量は牧草帯に近い斜面下部の場所で26%の減収となった。これらの結果から、等高線高畦と上下高畦・下方牧草帯の対策は、飯田高原のキャベツ栽培では多湿による生育不良の発生がネックとなり、いずれもその実用性は低いと評価せざるを得なかった。

4. 土地利用方式への提案

久住、飯田、阿蘇の高原地域は、大規模草地開発を基盤とする大型畜産経営が推進されてきたと同時に、夏秋期野菜の九州域内供給基地としての役割も大きく、近年その役割は益々重要となっている。しかるに、野草地開畑による野菜栽培は、開畑適地に限界があること、高原地域の土壌保全、自然景観維持の点にも問題があり、開畑規模と畑地配置の適正化、開畑後の土壌侵食防止、跡地荒廃対策が急務となっている。

本論文では上記の研究に基づき、開畑後の土壌侵食防止、跡地荒廃対策などを基幹とした望ましい土地利用方式として、野草地→野菜畑→牧草地、および牧草地の更新時を利用する牧草地→野菜畑→牧草地といった長期計画的な野草地、牧草地、野菜畑を組合わせた輪換方式を提案する。これは野草地および牧草地に蓄積された有機物による土壌侵食防止効果の合理的利用を基本とするものである。なお、野菜畑の期間は2年を限度としている。

引用文献

- 土壌調査研究会(1982):あるいて見る九州の土壌—土壌調査の方法と利活用—, 231~240.
- 細山田健三・柿田甲子郎(1984):土壌侵食と降雨および土壌因子, 第1報, 宮大農報, 31:263~269.
- 岩本保典(1985):西日本地域高冷地における葉根菜類の栽培現況とその問題点, 昭和60年度課題別検討会資料, 野菜試, 41~47.
- 岩本保典(1993):飯田高原の火山灰土野菜畑における土壌侵食と対策, 大分農技セ特別研報, 1:1~67.
- 三原義秋(1951):雨滴と土壌侵蝕, 農技研報, A1:1

～59.

Mitcell, J. K. and Bubenzer, G. D. (1980) : Soil loss estimation in soil erosion, pp 312,

Edited by M. J. Kirkby and R.P.C.Morgan, John Wiley & Sons, Inc.

日本土壌肥料学会九州大会運営委員会 (1971) : 九州の土壌と農業, 115～137.

日本土壌肥料学会九州大会運営委員会 (1982) : 筑後川流域の土壌と農業, 38～50.

山下正隆 (1990) : 葉根菜類の高温期栽培における生育特性, 九州農業研究, 52 : 1～3.

(受稿年月日 1994年5月16日)

資 料

マサ土造成畑の畑面および法面保全のための 在来草種の利用

鈴木 正昭

Utilization of the native wild grasses for conservation of
granitic soils after land leveling

Masaaki SUZUKI

Chugoku National Agricultural Experiment Station

Present address : Japan International Research Center for Agricultural
Science, Tsukuba, 305 Japan

Key words : Soil conservation, Large-scale land leveling, Granitic
soils, Native wild grass, Grass stripe

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 37~40, 1995)

1 はじめに

近畿中国地域では、これまでに16地区で国営の農地開発事業が進められており、その総面積は予定地を含めると1.3万ヘクタールに及んでいる。これに県及び団体営のものを含めると、当該地域の畑地総面積14万ヘクタールのはぼ1割に達している(農林水産省中国農試, 1990)。これらの開発農地では、大量の切土、盛土を伴う改良山成畑工による造成が大半を占め、未熟下層土の露出と表土への混入が避けられない状況となっている。これら造成畑の未熟土壌は理化学性が劣悪で、養水分の保持力が低く、受食性が高い。特に、当地域に広く分布する花崗岩風化物に由来する「マサ土」は造成畑の代表的なものであり、造成直後の畑面や法面では植被の発達が遅い。また、圃場は一般に大型機械で管理するため、圃区的面積は広く、しかも単一な作物が長い畦で栽培されることが多い。大型機械は踏圧による耕盤層の形成を、また、大区画圃場の長い畦は表面流去水の集中などを伴い易く、これらはいずれも降雨による侵食を促す要因となっている。

このような造成畑では、迅速な熟化を図ると同時に、水食を主とする侵食の防止が重要であり、営農の現場に導入しうる技術開発が早急になされる必要がある。そのため、中国農試総合研究第2チームでは、1963年より造成地土壌の侵食を防止し、迅速な熟化を図る手段の一つとして、熱帯マメ科緑肥作物の導入と利用を取り上げ、また、有効な土壌保全対策として在来草種の利用方策について検討を加えてきた。ここでは、後者の結果につい

て概要を紹介する。

2. 法面・畑面保全のための在来草種の利用

草生地の法面保護にはケンタッキー31フェスク(トールフェスク)、クリーピングレッドフェスクやウィーピングラブグラスなど外来草種が倉田(1979)により導入され、以来広く利用されてきた。また、倉田は保全用の草種として、チカラシバ、オヒシバ、カラスノエンドウなど多数の在来草種を紹介している。秋山と土居(1988)は、マサ土の法面保全ではクロマツ、ヒメヤシャブシ、ヤマハギ、シバなどが適合する植物であるとした。根本(1988)は養分の乏しいマサ土法面の保護に外来草の混播で緑化を施した場合には、年次の経過とともに草種の単一化と衰退が進行して、2次的に周辺から在来の植物が侵入することから、2次植生の早期安定化を図るために、在来草種であるチガヤに注目して、種子の発芽率、播種深度と発芽の関係及び株分け繁殖の苗質について検討した。

余田ら(1990)は1982年路傍のイネ科在来植物に注目し、チカラシバ、カゼクサの植生帯を畑面あるいは法面最上部に苗移植法で造成し、その生存能力について、外来種であるウィーピングラブグラス、メリケンカルカヤなどとの比較試験を行った。この試験によれば、カゼクサは殆ど3年で消失し、メリケンカルカヤは年々衰退し6年目には殆ど消失した。そして、6年以上残存していたのはラブグラスとチカラシバだけであった。傾斜5度の圃場において、5m間隔で等高線に沿って苗移植によっ

中国農業試験場 〒721 広島県福山市西深津町6-12-1

(現国際農林水産業研究センター 〒305 つくば市大わし1-2, TEL 0298-38-6347)

キーワード: 侵食防止、在来草種、造成畑、マサ土、植土帯

て造成した植生帯を7年後に調査したところ、ラブリグラス、チカラシバとも植生帯の上方部に土壌が堆積し、株も徐々に上部方向に発達して、圃場は傾斜2度のテラス状のものとなっていた(図-1)。

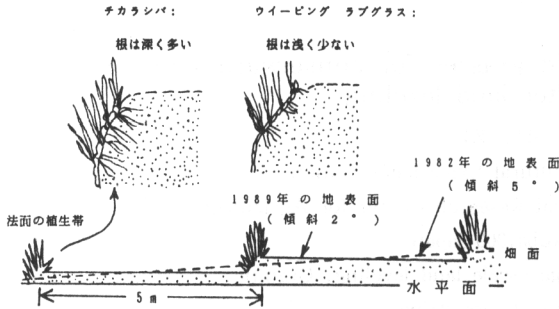


図-1 植生帯の造成によって畑面の傾斜角度が緩和された事例(余田ら, 1990)

これら植物の根の形状は、ラブリグラスが短く浅く分布するのに対し、チカラシバの根は長く深く分布していた。

なお、ラブリグラスとチカラシバは、その後、株分けして植え替えを行ったが、11年経過後も健在であった。特にチカラシバは圃場の仕切として圃場からの土壌流出の防止、あるいは承排水路への土砂流入防止用の植生帯として極めて効果的な役割を果たしていた(写真1、2)。



写真1 畑面におけるチカラシバの植生帯



写真2 法面におけるチカラシバの植生帯

3. 在来植物(草種、野草)の生育特性

筆者らは、造成農地などの保全植生として、これまでにチカラシバ、カゼクサ、トダシバ、ネズミノオなどを比較的有望な草種と考え、これらの生育特性や現場への定着性について検討を進めてきた。

余田と鈴木(1991)は、これらの草種について、法面保護などに広く利用されているトールフェスクを対照として、アレロパシーの研究分野で用いられる置換栽培法(Dekker et al., 1983)を適用し、草種の組み合わせ条件下における生育特性をポットを用いて、苗移植により検討した(図-2)。この結果、地上部の生育が安定する組み合わせは、チカラシバとネズミノオ、次いでチカラシバとトダシバで、その混植比はいずれもチカラシバ50%以下の場合が優れていた。しかし、根系の発達については逆にチカラシバとトダシバ、次いでチカラシバとネズミノオとの組み合わせが優れ、その混植比もチカラシバの割合が多い方が優れていた。また、在来種とトールフェスクとの組み合わせでは、いずれも在来種が優勢となり、その生育は在来種間の組み合わせよりも劣った。

この実験結果から、チカラシバやネズミノオなどは単独でも効果は高いが、適当な組み合わせによりさらに効果的な植生帯の造成が可能なが示唆された。例えば、チカラシバとトダシバの混植では、地上部と根がともに強靱なチカラシバと根茎から硬質な芽生を多数発生し、

資料：マサ土造成畑の畑面および法面保全のための在来草種の利用

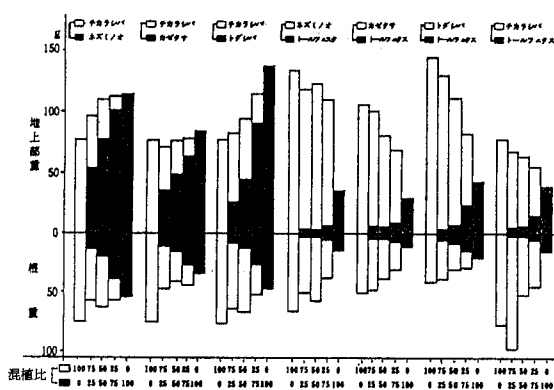


図-2 混植比が在来草種の生育に及ぼす影響（余田と鈴木，1991）

（表示は8個体当りの乾物重。縦×横×深さ＝43cm×32cm×21cmのコンテナに10.5cm×8cmの栽植密度で草丈5cmの苗16個体を4個体×4列、無肥で移植）

株が強固なトダシバの特性とが結合されるため、このような組み合わせで植生帯を作れば土壌流出防止効果が高まることも期待されよう。

しかし、以上の結果は水分条件が好適に保たれる場合（十分に灌水したポット試験）でのものであった。そこで、現場での定着能力を明らかにするために、1991年に吉村ら（1992）はマサ土造成畑（中国農試天神圃場）にチカラシバ、ネズミノオ、カゼクサおよびトダシバを播種および苗移植による植生帯の造成を試みた。その結果、生育の優劣はチカラシバ>ネズミノオ=カゼクサ>トダシバの順となった。また、これらを混植した場合にはチカラシバが圧倒的に優位となった。特に初期生育の遅いトダシバは梅雨期以降降雨が少なく、土壌が乾燥したため生育も抑制されたと推定された。

このようにトダシバが土壌の乾燥に対し比較的弱いことは、保水力の小さい未熟土壌で速やかに植生帯の形成を図る上で大きな欠点と考えられる。これは圃場試験の結果がポット試験結果と一致しなかった例となったが、このような現象は土壌水分を左右する気象条件が地域や年次により異なるため、現地への導入に際してしばしば起こりうると思われる。

また、余田と鈴木（1991）は同一の在来植物（草種、野草）でも採取場所が異なれば生育特性も異なることがあることを見だしており、在来種を用いる場合の留意点として認識しておく必要があろう。

4. 利用上の問題点

以上明らかのように、チカラシバやネズミノオは特に注目される草種である。しかし、チカラシバは草地など永年性作物を栽培する場では強害雑草として扱われている（林と沢村，1989）。また、成熟した種子には剛毛があり、衣服に付着し易いため農作業に支障をきたすなどの欠点を有している（吉村ら，1992）。林と沢村（1989）は、出穂期に5～6cmの高さで刈払えばほぼ全ての生長点を除去できるとした。吉村ら（1992）も、刈り取り後の保全効果を考慮して刈り取り高さについて検討したところ、出穂期における15cm程度の高刈りでも種子生産の防止効果が高いことを見だした。また、中国農業試験場での長年にわたる試用実績から、畑地に造成したチカラシバの植生帯は、その周囲の耕耘を続けていれば圃場内での雑草化は全く問題とならないことが確認された。

このように、チカラシバは両刃の剣のような面を有する草種であるが、生育特性を踏まえた管理をすれば、極めて強靱で侵食防止に有効な植生帯として利用できると言えよう。吉村ら（1992）はウィーピングラググラスにみられるように、冬期の地上部の枯れ上がりが野火を誘発する危険性のあることから、地際に青い部分を残すネズミノオのような特性も大切に必要性を指摘しており、今後の草種選定基準の一つの要素として考える必要があろう。

5. 今後の課題

在来植物（草種、野草）を保全に役立てるために、農地内外に導入するに際し、以下の諸点に留意して検討してきた。すなわち、

- ①四季を通して高い土壌保全効果を有すること
- ②現場への定着性が容易で定着後の持続力があること
- ③形成された植生帯の維持・管理作業が容易なこと
- ④隣接圃場へ侵入、雑草化しないこと
- ⑤植生が病害虫の発生、越冬などの場とならないこと
- ⑥種子の入手、調整、保存が容易なこと、などである。

これまで述べてきたように、チカラシバはこれらの多くの問題点を乗り越える草種であるといえる。不稔系統種の発見・利用、土壌や気象条件に適合する草種の組み合わせの検討も今後の課題である。

また、本研究で扱った草種は郷土種のごく一部にすぎない。今後さらに望ましい特性を持った草種の探索も必要であるし、初期生育の旺盛な外来種との連携で、スムーズな植生遷移が行われるような手法の開発も行われる必要があろう。

農耕地の土壌侵食防止対策については、今後、地形、

気象、土壌、耕作などのさまざまな条件に対応可能な、具体的で農家が使いやすい対策技術のマニュアルを整える必要があろう。

文 献

- 秋山昌弘・土居典秀(1988):研究成果,204:27-30.農林水産技術会議事務局
- Dekker, J.H., W.F. Meggitt and A.R. Putnam(1983): Experimental methodologies to evaluate allelopathic plant interactions. *J.Chem.Ecol.*, 9:945-981.
- 林 治雄・沢村 浩(1989):草地飼料作研究成果最新情報, 4:97-98.
- 倉田益二郎(1979):緑化工技術, p.142-145, 森北出版, 東京.
- 根本清一(1988):研究成果, 204:20-25.農林水産技術会議事務局
- 農林水産省中国農試(1990):図説近畿中国地域農業, p.2-22.
- 余田康郎・箱石 正・山本克巳(1990):開発農用地における法面・圃面保全のための郷土植物の評価, 中国農試総合研究成果資料, 1:194-206.
- 余田康郎・鈴木正昭(1991):開発農用地における法面・圃面保全のための郷土植物の利用, 中国農試総合研究成果資料, 2:105-124.
- 吉村義則・村上泰臣・鈴木正昭(1992):チカラシバの刈取り時期とその後の出穂・生育, 中国農試総合研究成果資料, 3:68-75.
- 吉村義則・鈴木正昭・村上泰臣(1992):郷土植物の圃場への導入と草種の組み合わせ, 中国農試総合研究成果資料, 3:58-67.

(受稿年月日 1994年5月16日)

報 文

四国の急傾斜畑地におけるマルチングの土壌侵食防止効果

山本 博・遅澤 省子・石原 暁・花野 義雄

Effects of straw mulch on soil erosion from steep slopes in Shikoku, Japan

Hiroshi Yamamoto, Seiko Osozawa, Akira Ishihara and Yoshio Hanano

Shikoku National Agricultural Experiment Station, Zentsuji-765, Japan

Summary

In order to clarify the straw mulch effect on slopes steeper than 18%, soil losses were measured for three rates of straw mulch and four stages of slope steepness. Mulch applied at a rate of 1 ton/10a greatly reduced soil erosion 0.073% as compared with no mulch. Both soil loss and water runoff from soybean-planted slopes with mulch were almost constant with the increase of slope steepness, nevertheless soil losses per unit area of bare slopes increased as the 2.6 power of the slope steepness. Straw mulch reduced the surface runoff and controlled the rill erosion on the slopes with the steepness between 18% and 44%.

Key words: soil conservation, straw mulch, slope steepness, runoff

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 41-46, 1995)

1. はじめに

農耕地表面に藁や野草を用いてマルチング(敷藁・敷草)をすることは、有効な土壌保全の方法の一つとして知られている。四国には傾斜角15度以上の急傾斜畑地が広く分布しており、こうした畑地では土壌の侵食を防止するためのマルチングが、古くから行われ(伊藤, 1958)、その量は10aあたり0.75t~1tに達する(石原, 1992)。しかし、近年の過疎化、住民の高齢化の進行により、耕作放棄が進み、マルチングを行わない裸地状態の圃場が増加している。四国のこのような急傾斜畑地では、強雨に伴って表土の流出が生じている。そこでマルチングの土壌侵食防止効果を明らかにしておくことは、耕作放棄地の侵食を防止し、土壌流出による下流への環境悪化を防止するために必要となってきた。

マルチングの侵食防止効果については、おもに斜面の勾配や、地表を被覆する藁・草の量を変えて、無被覆状態と比較することで検討されてきた(たとえば、Borst and Woodburn, 1942; 川村, 1966; Lal, 1976; Lattanzi et al., 1974; Mannering and Meyer, 1963; Meyer et al., 1970)。しかし、勾配の大きさは20%

農林水産省四国農業試験場 〒765 善通寺市仙遊町
キーワード: 土壌保全、マルチング、斜面勾配、流出水

(傾斜角11°)以下を対象とすることが多く、四国の畑地にみられるような急傾斜畑地を対象としたマルチング効果の検討はほとんどないようである。そこで、本研究では急傾斜畑地におけるマルチングの役割を、(1)傾斜角15度の圃場に敷く藁の量を変えて、土壌流出の減少効果を見る敷藁量試験と、(2)圃場の傾斜角を変えて、敷藁を施した作付け地と放棄裸地における土壌流出と地表水流出との差異を見る勾配試験とから検討した。

2. 研究方法

敷藁量の効果をみる試験では、高知県大豊町に幅5m、水平長19.2m、勾配27%(傾斜角15°)の試験区を三区設定した。一区は敷藁量が0の裸地区とし、他の二区には稲藁をそれぞれ0.3t/10a、1t/10aの割合で均一に散布した。地表面は1992年秋に耕起後、作畝せずに放置してあった畑をレーキでほぼ一様に均して1993年5月から試験を開始した。土壌は、結晶片岩を母岩とする細礫を含み降下火山灰を混入する結晶片岩質土壌で、耕土層の厚さは15~30cmである。表層の土性は軽埴土で、試験開始時の乾燥密度は0.84 g/cm³であった。土壌流出量は、

2週間毎に斜面下端の土砂溜に堆積した土砂を測定した。侵食深は、直径5mm、長さ50cmのグラスファイバー製丸棒(侵食ピン)を、長さ20cmを露出させて鉛直に埋設し、その露出長の測定より得た。この侵食ピンは各区毎に横断方向に1m間隔で5本、縦断方向に2m間隔で10本、合計50本を設置したが(図-1参照)、リル壁などで侵食ピンに接して地表面の高さが異なる場合には、低い位置の地表面を測定した。

斜面の勾配の効果をみる試験は、香川県善通寺市の試験場構内に勾配18.0%(傾斜角10.2°)、25.3%(14.2°)、34.8%(19.2°)、43.9%(23.7°)の畑地を2区ずつ、合計8区造成して行った。各圃場の大きさは幅8m、水平長11.5mである。試験は、1992年7月に全区を耕起し、ソバとキャベツを続けて作付した後、1993年6月から各勾配の二区のうち、一方をマルチングをした大豆作付区とし、他方を裸地区として行った。作付区では稲藁を0.3t/10aの割合で均一に散布した。作付区の地表面には、圃場の横断方向に沿う畝立てにより比高5cm程度の横畝が60cm間隔で形成された。裸地区では、前作の畝をレーキで均して、ほぼ一様な状態とした。土壌は風化の進んだ花崗岩を母材とする花崗岩質土壌で、耕土層の厚さは25~30cmである。表層の土性は砂壤土で、試験開始時の乾燥密度は1.22 g/cm³であった。土壌流出量と流出水量は、

一雨毎にその総量を斜面下端において、それぞれ土砂溜、および貯水槽と水道用メーターによって測定した。

降雨量は、各試験とも圃場近くに置かれた精度0.5mmの転倒ます式雨量計による10分毎の記録によった。また、試験圃場の長さはそれぞれの地域の急傾斜畑地の区画で普通に見られる大きさとし、また幅については各試験地で可能な大きさをとるようにした。結晶片岩質土壌についてはUniversal Soil Loss Equation (USLE)の標準試験区(斜面長22.1m)と同程度の斜面長での試験はまだないようなので、そうした基礎資料となることもめざした。そこで、本稿では各試験毎にマルチングの効果についてのべる。

3. 結果・考察

1) 敷藁量効果試験

敷藁区と裸地区における土壌流出量を表-1に示す。裸地区では、60分間最大降雨強度が68mm/hrに達する豪雨に対応して、多量の土壌流出があり、全期間で136.3kgに達した。敷藁0.3t/10a区では豪雨のピークよりおくれ土壌流出のピークが生じた。1t/10a区では土壌流出量は明瞭なピークを示さずにきわめて少量である。図-1には侵食ピンによる地表高変化の場所的差異を示す。裸地区では平均-7.70mmの地表変化(低下にマイナス符号をつける)が生じた。とくに、斜面上端からの水平長7~15mの範囲では最大-36mmを含む活発な変化となった。しかし、土壌流出量からみた平均侵食量(侵食にマイナス符号をつける)は-1.7mmであったから、土層の収縮と土粒子の洗脱による沈下が同時に生じていると判断される。敷藁0.3t/10a区では比較的地表変化量が大きく、土壌流出が降雨のピークより遅れたことから、斜面内では侵食と堆積の繰り返しによる斜面下方への移動が推定される。1t/10a区では、土壌流出量はわずかであったから、斜面内での変化はほとんどが垂直な方向の地表の低下によると推定される。

総土壌流出量について、裸地区に対する敷藁区の比は0.3t/10a区、1t/10a区でそれぞれ0.00745、0.00073となった(表-1)。したがって、マルチングによる土壌侵食を抑制する効果はきわめて大きく、1t/10aの敷藁量では土壌侵食量はほとんど無視しうる事がわかる。

2) 勾配効果試験

敷藁作付区と裸地区における一雨毎の降雨、土壌流出量、および地表流出水量を表-2に示す。一雨毎の降雨条件と土壌流出量との関係については種々の検討がされているが、ここではMeyer(1981)の解析と同様に降雨強度と侵食速度との関係をみでみる。ここで、降雨強度には一雨の継続性と侵食に寄与する強度を考慮して、60

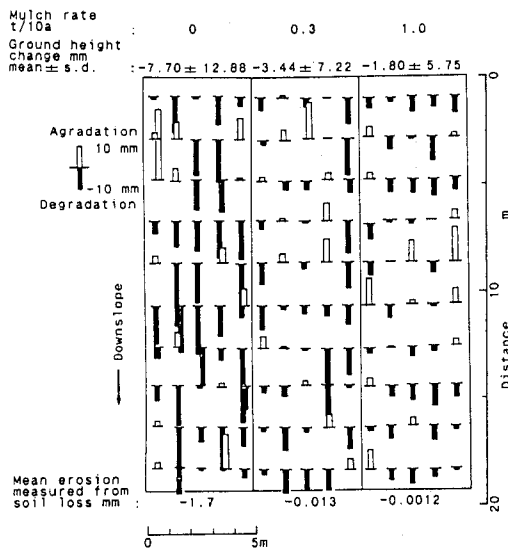


図-1 侵食ピンを用いた地表高変化の場所的差異
Fig. 1 Areal distribution of ground surface change measured by using erosion pins.

試験圃場と侵食ピンの位置を水平面に投影して地表高変化を棒グラフで示す。

報文：四国の急傾斜畑地におけるマルチングの土壌侵食防止効果

表-1 2週間毎に測定した土壌流出量にみる敷藁量の効果
Table 1 Effect of straw mulch on the soil loss measured every two weeks.

番号	測定期間 1993年	降雨量 P mm	60分間最 大降雨強 度 I ₆₀ mm/hr	土壌流出量 Ms		
				裸地 区	敷藁 0.3t /10a区	g 敷藁 lt /10a区
1	5/26~6/17	240.5	11.5	78	128	25
2	6/17~6/30	253.5	14.0	451	0	0
3	6/30~7/16	227.5	24.5	2344	21	23
4	7/16~8/3	998.5	68.0	70586	53	19
5	8/3~8/17	414.0	52.0	47539	553	5
6	8/17~9/2	71.0	25.0	5648	146	17
7	9/2~9/16	309.5	60.0	9555	89	5
8	9/16~10/1	97.5	10.5	131	8	3
9	10/1~10/15	116.5	7.5	9	19	3
総量				136341	1017	100
単位水平面積当りの総量, g/m ²				1420.2	10.6	1.04
裸地区に対する比				1	0.00745	0.00073

降雨：森林総研四国支所林地保全研究室による測定，試験区水平面積：96m²

表-2 降雨毎に測定した土壌流出量と地表流出水量にみる斜面勾配の効果
Table 2 Effect of slope steepness on the soil loss and the water runoff measured every rain-storm.

番号	降雨量 P mm	60分間最 大降雨強 度 I ₆₀ mm/hr	18.0%		18.0%		25.3%		25.3%		34.6%		34.8%		43.9%		43.9%		18.0%		18.0%		25.3%		25.3%		34.8%		34.8%		43.9%		43.9%	
			裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区	裸地 区	敷藁 付区		
1	26.0	11.0	284	948	100	378	966	460	6130	466	47.0	158.7	30.0	119.0	123.0	56.0	74.0	134.1	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
2	79.0	21.0	4401	2148	4818	866	30084	1728	70395	870	17.0	1244.8	374.1	221.8	150.0	755.3	970.4	1168.6	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
3	62.5	7.5	996	915	675	234	1285	305	2361	324	36.0	105.3	93.0	10.0	184.0	56.1	1978.0	148.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
4	68.5	19.5	1574	630	1574	475	6280	642	13739	536	n.d.	482.2	77.0	174.0	6.5	181.4	1265.7	833.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
5	39.0	4.5	15	120	466	10	498	60	675	0	37.0	171.3	41.0	9.0	40.0	84.0	516.2	44.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
6	19.5	15.0	66	186	60	150	340	12	975	50	64.5	143.9	33.0	8.0	128.5	79.0	1553.8	81.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
7	21.5	9.5	514	377	305	305	225	128	675	161	62.0	34.0	18.0	10.0	89.0	10.0	122.0	69.5	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
8	40.5	10.5	203	260	257	51	1301	434	575	130	82.0	231.0	16.5	32.0	151.0	87.5	171.0	37.5	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
9	31.0	16.5	290	273	418	50	707	546	980	40	115.5	104.0	25.0	19.0	117.5	25.0	137.0	42.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
10	17.5	6.0	128	514	0	0	434	209	658	434	85.0	49.5	13.0	4.0	102.0	2.5	95.0	63.5	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
11	95.5	17.5	1386	385	755	50	8673	434	12437	188	163.8	740.8	816.7	1085.5	165.1	10.4	4151.6	142.5	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
12	84.5	28.0	6576	n.d.	2586	n.d.	24772	384	11161	n.d.	470.2	813.7	1714.1	77.5	461.3	293.0	5678.2	457.6	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
13	88.5	10.0	421	40	177	32	1316	0	515	39	168.0	296.5	113.0	n.d.	509.0	89.0	365.2	158.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
14	29.5	19.0	675	140	199	42	4740	110	690	106	276.0	308.0	129.9	138.5	124.5	125.0	439.9	225.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
15	31.0	9.0	110	10	n.d.	n.d.	140	20	65	15	117.0	77.0	38.4	31.5	122.2	13.8	119.0	53.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
16	53.0	12.5	602	90	280	10	14247	10	45	20	185.8	202.2	126.0	22.0	1789.4	27.0	529.4	80.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
17	23.5	4.0	20	n.d.	60	10	70	30	52	10	108.5	58.1	21.0	34.0	142.0	13.0	118.0	92.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
18	30.5	5.0	80	40	20	n.d.	380	n.d.	20	40	134.0	43.0	29.0	23.0	239.0	4.0	107.0	75.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
19	43.5	5.0	150	60	110	30	7490	25	70	65	181.0	174.0	71.0	90.0	1599.9	75.0	236.0	51.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
20	13.0	3.5	100	0	20	0	20	0	60	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
総量			18591	7136	12880	2693	103998	5537	122188	3494	2350.3	5438.0	3779.7	2108.8	6243.9	1987.0	18627.4	3955.3	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
単位水平面積当りの総量, g/m ²			202.1	77.6	140.0	29.3	1130.4	60.2	1328.1	38.0	25.5	59.1	41.1	22.9	67.9	21.6	202.5	43.0	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%
裸地区に対する比			1	0.384	1	0.209	1	0.053	1	0.029	1	2.314	1	0.558	1	0.318	1	0.212	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%	18.0%	18.0%	25.3%	25.3%	34.8%	34.8%	43.9%	43.9%

n.d. : 未測定、 測定期間：1993年6月27日～11月2日， 試験区水平面積：92m²。

分間最大降雨強度 I_{60} をとりあげ、また侵食速度 E を圃場水平面積あたり、降雨継続時間あたりの土壌流出量で定義する。降雨継続時間は降雨量 P を60分間最大降雨強度 I_{60} で除したもので定義し、最大強度の降雨が継続した場合の時間で表す。勾配 $S=43.9\%$ の斜面における関係を図-2に示す。 E を I_{60} のべき乗の関係式で表すと、表-3に示すように、敷藁作付区ではバラツキが大きい。一方、 E は I_{60} の1.6~2.2乗に比例する。Meyer (1981)によると、インターリル(リル間地)では、侵食速度は降雨強度の2乗に比例することが得られている。したがって、本試験は自然降雨によるもので、一雨が均一な降雨強度ではないが、敷藁作付区では明瞭なリルが観察されなかったこととあわせると、おもにインターリルの侵食状態と対応するものと考えられる。一方、裸地区では E は I_{60} の2.2~3.1乗となり、勾配が大きいほど増加傾向が大きくなった。これに関連して、降雨と流出の関連を見てみる。

地表流出水の発生状況を60分間最大降雨強度 I_{60} に対する流出率 f (地表流出水量 R を、降雨量 P と試験枠面積との積で除したもの) の変化からみると、敷藁作付区ではいずれの勾配でも I_{60} の増加にともなって f が10%までに直線的に漸増する傾向が認められた。裸地区では同様に直線的に増加するが、その増加割合は急斜面ほど大きい傾向にあり、とくに、34.8%と43.9%の勾配では、図-3に例示するように、 I_{60} の増加とともに20~80%の高い流出率の事例が生じた。この場合には侵食速度が比較的大きく(図-2)、こうした高流出率時には土層中に直径3~4cmのパイプ状の水路が形成され、その地表への開口部から下流側に数cm幅のリルが形成されたことが観察された。したがって、裸地では60分間最大降雨強度の増加とともに、インターリルの侵食から、リルを伴う侵食へと変化しており、それがべき乗の指数を大きくさせていると考えられる。

次に、単位水平面積あたりの土壌流出量と地表流出水量の総量とは表-2に示すように、裸地区では斜面の勾配の増加とともに増す。一方、敷藁作付区では、18.0%の勾配では他の勾配と比べ、流出水量が多くそのために土壌流出量が大きくなる傾向があるが、全体としてオーダー的には一定である。単位水平面積あたりの総土壌流出量 A と勾配 $S(=\tan \theta, \theta: \text{傾斜角})$ との関係を図-4に示すと、裸地区では、べき乗の回帰式で表すと $A=0.081S^{2.57}$ となる。敷藁作付区では勾配にともなって急増しないので、裸地区と敷藁区との差が勾配の増加とともに大きくなる。こうした違いは、裸地区では勾配とともに地表流出水が増加し、リルが形成されるのに対し、敷藁作付区では、藁の被覆により地表流出成分の増加が抑

えられるためにリルの形成を少なくし、おもにインターリルでの侵食が生じたためと判断される。したがって、この測定範囲では急斜面ほどマルチングが水と土壌の両方の保全に有効であることがわかる。

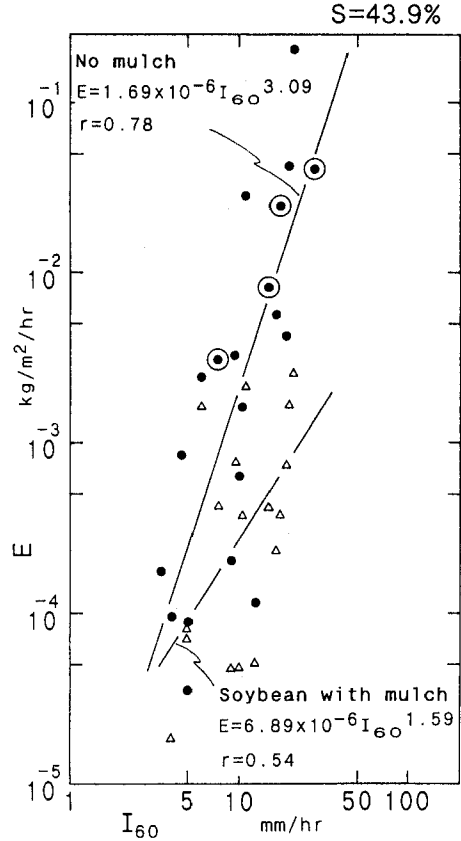


図-2 60分間最大降雨強度 I_{60} と侵食速度 E との関係
 Fig. 2 Relationship between the maximum 60-minutes rainfall intensity I_{60} and the erosion rate E .
 ●: 裸地区, △: 敷藁作付区, ⊙: 裸地区で流出率が30%以上のデータ点(図-3参照)。

表-3 $E = a I_{60}^b$ における比例定数 a と指数 b
 Table 3 Proportions (a) and exponents (b) in the equation $E = a I_{60}^b$ for different slope steepnesses and treatments.

勾配 %	処理区	a $\times 10^{-6}$	b	データ数 n	相関係数 r
18.0	裸地	2.45	2.55	20	0.87
18.0	敷藁作付	8.80	1.78	17	0.55
25.3	裸地	4.39	2.19	18	0.85
25.3	敷藁作付	1.14	2.18	15	0.65
34.8	裸地	5.99	2.76	20	0.83
34.8	敷藁作付	5.41	1.81	17	0.62
43.9	裸地	1.69	3.09	20	0.78
43.9	敷藁作付	6.89	1.59	17	0.54

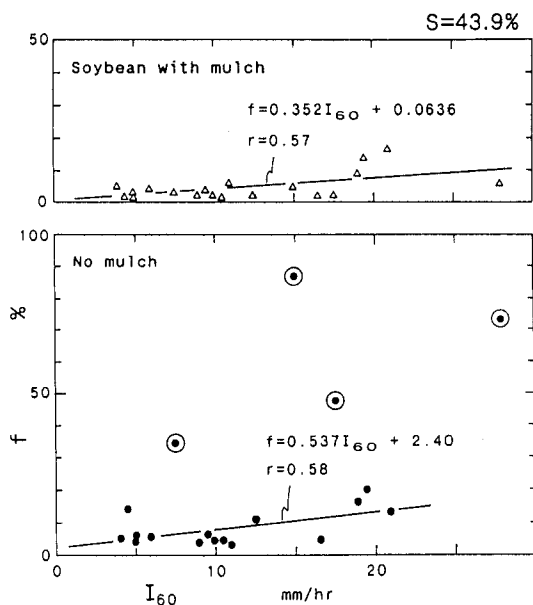


図-3 60分間最大降雨強度 I_{60} と流出率 f との関係
 Fig. 3 Relationship between the maximum 60-minutes rainfall intensity I_{60} and the runoff ratio f .
 ● : 裸地区, △ : 敷藁作付区, ◎ : 裸地区で流出率が30%以上のデータ点で、裸地区の回帰式にはこのデータ点を含まない。

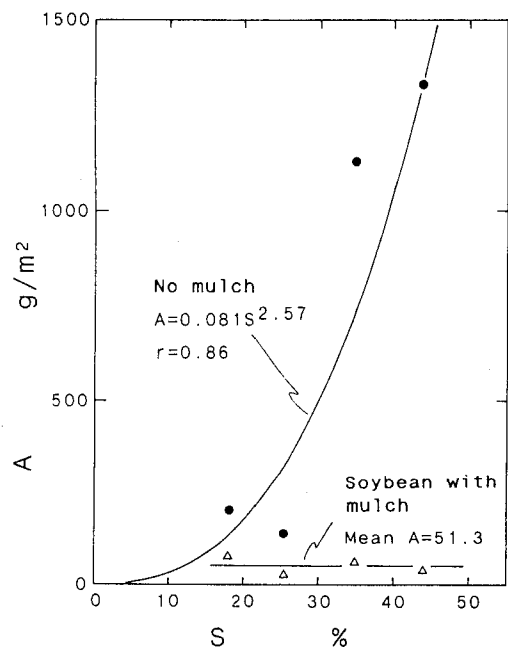


図-4 斜面勾配 S と単位面積当りの土壌流出量 A との関係
 Fig. 4 Relationship between the slope steepness S and the soil loss per unit area of plot A .

4. おわりに

四国の急傾斜畑地における慣行であるマルチングの侵食抑制効果について、限られた自然降雨の条件下であるが、次のような特徴が得られた。

(1) 敷藁量の侵食に与える効果は、0.3t/10aの割合では圃場内で土壌の侵食と堆積を生じさせたのに対し、1t/10aの割合ではほぼ土壌の流出を止めた。

(2) 土壌流出量は裸地区では斜面勾配の2.6乗に比例して増加するのに対し、敷藁作付区では勾配に伴う急増はみられず、オーダー的に一定である。

(3) 勾配18%~44%の急斜面において、マルチングは地表流出の増加を抑え、リルの発達を少なくしていると判断された。

謝辞

本試験は農業環境技術研究所、森林総合研究所、中国農業試験場、四国農業試験場による共同研究の一環として行われた。また、大豊町の三谷雄喜氏の圃場を試験地に借用させていただいた。ここに記して、関係の各位に謝意を表します。

引用文献

- Borst, H. L. and Woodburn, R. (1942) : The effect of mulching and methods of cultivation on run-off and erosion from Muskingum silt loam. *Agric. Engr.*, 23:19-22.
- 井田 明・氏家 勉・小谷 晃・東尾久雄(1987) : 麦作導入による傾斜キャベツ畑の土壌侵食防止効果, 土肥誌, 58(2) : 243-246.
- 石原 暁(1992) : 土地を守る傾斜地農業, 農林統計調査, 92(4) : 9-15.
- 伊藤健次(1958) : 傾斜地農業, p252, 地球出版, 東京.
- 川村秋男(1966) : 瀬戸内軟質土壌の侵食性とその保全に関する研究, 四国農業の新技术, 3 : 117-230.
- Lal, R. (1976) : Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria, II. Effects of mulch rates. *Geoderma*, 16 : 377-387.
- Lattanzi, A. R., Meyer, L. D. and Baumgardner, M.F. (1974) : Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38 : 946-950.
- Mannering, J. V. and Meyer, L. D. (1963) : The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27 : 84-86.
- Meyer, L. D. (1981) : How rain intensity affects

interrill erosion. Trans. of the ASAE, 24 : 1472
-1475.

Meyer, L. D., Wichmeier, W. H. and Foster,
G. R.(1970) : Mulch rates required for erosion
control on steep slopes. Soil Sci. Soc. Amer.
Proc., 34 : 928-931.

(受稿年月日 1994年6月9日)

報 文

傾斜畑における営農と土壌保全問題

長澤 徹明・梅田 安治・井上 京・宗岡 寿美

Soil Conservation at the Farming Process on Sloping Arable Land

Tetuaki Nagasawa, Yasuharu Umeda,
Takashi Inoue and Toshimi Muneoka

Faculty of Agriculture, Hokkaido University

Summary

Rainfall and suspended sediment concentration were observed at the sloping arable land of Tokachi district in Hokkaido. Erodibility factor of the USLE obtained by 10 minutes interval data of rainfall were relatively large in autumn. But suspended sediment concentration of runoff water from the arable land was closely correlated to the tillage rather than the rainfall conditions.

Suspended sediment concentration rises extremely high after tillage even the rainfall erodibility is relatively low. Tillage must be concerned as one of the most significant issue of the soil conservation at the sloping arable land.

Key words: sloping arable land, farmland management, soil conservation, USLE, suspended sediment

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 47-51, 1995)

1 まえがき

傾斜畑においてしばしば発生する土壌侵食(水食)は、圃場の生産性はもちろん、流域の水環境をも劣化させ、地域の環境に大きな影響をおよぼす。いま、地域保全のため農業を持続しようとするとき、地域生態系として調和した生産システムを構築しなければならない。すなわち、農地・圃場の保全的営農管理対応とともに、地域・流域としての土地利用体系に関する総合的検討が必要であろう。

傾斜畑においては、水食抑制のためさまざまな営農管理が行われている。たとえば、耕起は緻密な畑基盤を改良し、透水性、保水性を向上させる。これにより、地表流出水が減少し、水食抑制効果が期待される。北海道では、作物収穫～積雪の期間裸地状態となる場合が多く、水食の可能性が高い。対策として、この時期の耕起が考えられるが、その有効性等に関するデータは少ない。

本報では、傾斜畑地区において連続測定された降雨量、浮流土砂濃度のデータをもとに、降雨の侵食性評価、営

農と表土の流亡との関係などについて検討し、傾斜畑における営農と農地保全上の問題に関して考察を加えた。

2. 調査

調査は、十勝管内南東部の浦幌町に位置する稲穂地区を対象として実施した。浦幌町の土地利用は、林地が65%、畑地が14%、草地が2%である。農地のうち65%は浦幌川などの河川周辺の平坦地に、35%は傾斜が5°～18°の丘陵地に分布している(十勝年鑑, 1992)。浦幌における1979年～1990年の平均気温は5.8℃、平均降水量は895.7mmであり(1992年版北海道のアメダス統計I, 1993)、比較的寒冷小雪の地域である。

稲穂地区は、浦幌町市街の北西に位置し、改良山成畑を中心に637haの農地造成が行われた。地区内に設定した調査対象圃場は図-1に示すような形状であり、平均勾配はおよそ7%、面積は2.85haである。造成の最終工程で有機物(牛舎堆肥)が施用されたのち農家へ引渡され、1991年秋～1992年夏、1992年秋～1993年夏には秋

キーワード: 傾斜畑, 営農管理, 土壌保全, USLE, 浮流土砂

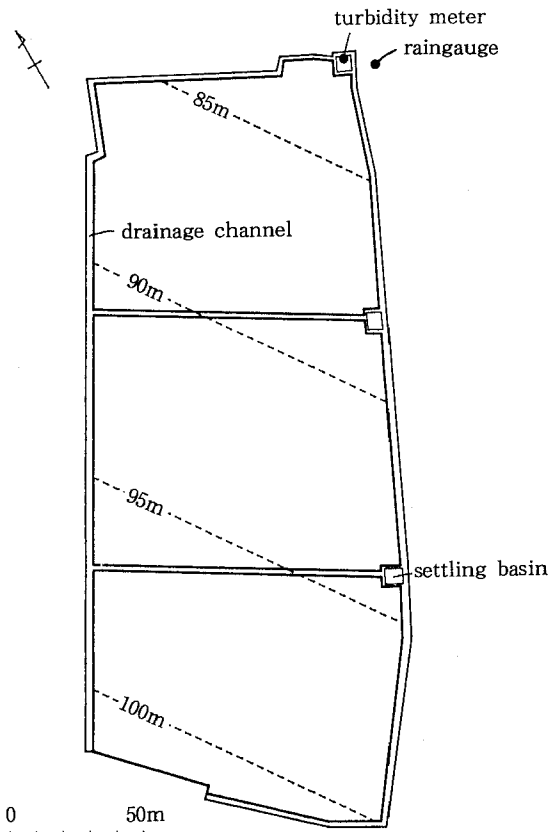


図-1 調査圃場と観測地点
Fig. 1 Experiment field and measuring points

播コムギが栽培された。

降雨による侵食性を解析するため、圃場の近傍に転倒ます型雨量計(0.5mm精度)を設置し、1992年3月26日～11月5日の期間、10分間雨量の観測を行った。

また、圃場下流端の沈砂池内に濁度計(北斗理研, MA-212D型)感部を設置し、沈砂池に流入する畑面流出水の濁度(ppm)を10分間隔で測定して浮流土砂濃度(mg/ℓ)を推定することとした。濁度の測定期間は1992年8月5日～11月5日である。

沈砂池に流入する畑面流出水中の浮遊物質(SS)は土砂成分が卓越し、 $(SS) = (\text{浮流土砂濃度})$ とみなしても大きな誤差にはならない(長澤ら, 1986)。いま、観測および実験を通じて濁度計指示値(ppm)と浮遊物質(mg/ℓ)とのあいだには、 $Y = 1.98X$ (X :濁度計指示値, Y :浮遊物質, $r = 0.999$, $n = 14$)、の関係が得られた。この回帰式により、濁度の観測データから浮流土砂濃度を推定した。

3. 降雨の侵食性評価

水食による土壌流亡の予測方法として、現在広く利用されているものにUSLE (Universal Soil Loss Equation, 汎用土壌流亡量予測式)がある。USLEは、侵食を許容量以下に抑制するための手法で、わが国でも適用が進められている(長澤ら, 1993)。USLEは、降雨や土壌の性質、傾斜畑の状態を定量化した係数によって流亡土量を予測するもので、次式によって表される。

$$A = RKLSCP$$

A: 予測流亡土量 (t/ha), R: 降雨係数 ($\text{m}^3 \cdot \text{tf}/\text{ha} \cdot \text{h}$), K: 土壌係数 ($\text{t} \cdot \text{h}/\text{m}^3 \cdot \text{tf}$), L: 斜面長係数 (以下, 無次元), S: 傾斜係数, C: 作物係数, P: 保全係数

本報では、このUSLEの降雨係数Rによって対象地区における降雨の侵食性を評価した。評価対象となる侵食性の一連降雨(以降, 侵食性降雨)とは、降雨の間隔が6時間以内の場合を一連降雨とみなし、①総降雨量が12.7mm以上、②総降雨量が12.7mm以下の場合でも最大降雨強度が6.35mm/15min以上、のどちらかの条件を満たす降雨のことである。

調査では、Rの基本的構成要素であるE I値の算定に比較的良く適合する10分間雨量データを用い、一連降雨のE I値($E I_{30}$)を以下の手順で算出した。

$$E_k = 210 + 89 \log I_k$$

I_k : 各10分間降雨強度(cm/h)

E_k : 降雨強度 I_k の降雨量1cmあたりの運動エネルギー($\text{m} \cdot \text{tf}/\text{ha} \cdot \text{cm}$)

$$E = \sum (E_k \cdot r_k) / 100$$

r_k : 各10分間降雨量(cm)

E: 一連降雨の運動エネルギー
(hundred of $\text{m} \cdot \text{tf}/\text{ha}$)

$$R = \sum (E \cdot I_{30})$$

I_{30} : 一連降雨の最大30分降雨強度(cm/h)

このときE I値とは、一連降雨の総運動エネルギーEと最大30分降雨強度 I_{30} との積であり、降雨の持つ分離力、運搬力を評価する因子である。そしてE I₃₀の年間合計値がRとなる。寒冷地では、融雪、融凍に伴う侵食を考慮してRを補正する必要があるが、ここでは降雨のみを検討の対象とした。

1992年には、侵食性降雨が13回発生し、Rは192.72 $\text{m}^3 \cdot \text{tf}/\text{ha} \cdot \text{h}$ であった(表-1)。とくに8月上旬から9月中旬にかけて降雨の侵食性が高い。しかし、必ずしも降雨の性質が表土の流亡挙動を決定づけるのではなく、後述するように作物生育状況や営農管理作業によって畑面の受食性は大きく影響される。

表-1 USLEにおける侵食性降雨の EI_{30} 値
Table 1 EI_{30} value of erosive rainfall of USLE (1992)

Duration (1992)	Rainfall amount (mm)	I_{30} (mm/h)	EI_{30} ($m^2 \cdot tf/ha \cdot h$)
4/16	14.5	4.0	0.94
5/7-8	20.0	4.0	1.30
5/24-26	28.0	7.0	3.48
6/8-9	61.0	9.0	9.68
6/11-12	48.5	21.0	21.40
8/8-9	85.0	38.0	72.24
8/13	30.5	11.0	6.08
8/14-15	27.0	11.0	5.18
8/19-20	38.5	20.0	16.12
9/9-12	148.5	16.0	44.00
9/24-25	32.5	8.0	4.44
9/29-30	17.5	5.0	1.48
10/9-10	45.0	8.0	6.38

Rainfall and runoff factor, R
= $\Sigma (EI_{30}) = 192.72 (m^2 \cdot tf/ha \cdot h)$

4. 営農と水食との関係について

1) 一連降雨による水食

本地区における水食の実態を把握するため、一連降雨における水食・流亡挙動を検討した。解析の対象は、8月5日～11月5日の期間、侵食性降雨も含めて水食・流亡が発生した計12回の一連降雨である。このとき、収穫、耕起、播種といった営農作業も検討の対象とした。

図-2は、降雨時における沈砂池内の浮流土砂濃度(C)の時間的推移の一例を示したものであり、畑面からの土壌流亡を定性的にとらえることができる。これは、秋播コムギの収穫前における降雨～流亡挙動である。8月9日の午後の降雨では沈砂池の浮流土砂濃度が上昇し、かなりの土壌流亡が推定されるが、午前の15mm程度の雨では土壌流亡はまったく生じていない。

一方、収穫後であっても耕起前であれば、かなり大きな降雨にもかかわらず流亡性は低い(図-3)。耕起以前では、降雨強度に対応して浮流土砂濃度が変化し、最大降雨強度のときにピーク浮流土砂濃度(C_p)が発生するが多い。

これに対して耕起後では、降雨開始後しばらくの間は浮流土砂濃度が低く抑えられているが、降雨の継続に伴い浮流土砂濃度は大きく上昇する(図-4)。また、この例のように耕起前と比較して降雨量、降雨強度ともに小さいにもかかわらず、高いピーク浮流土砂濃度を示す

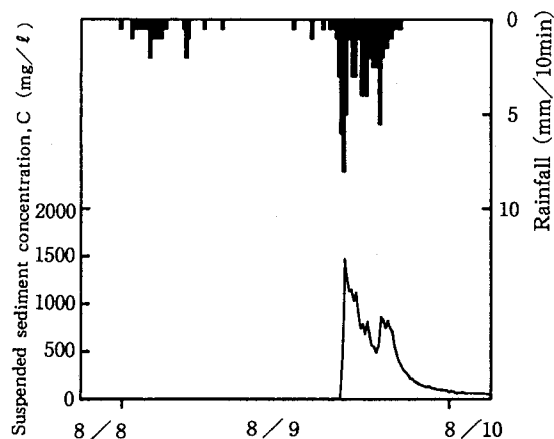


図-2 降雨に伴う浮流土砂濃度Cの変化(収穫前, 1992)
Fig. 2 Change of suspended sediment concentration, C with rainfall (pre-harvest, 1992)

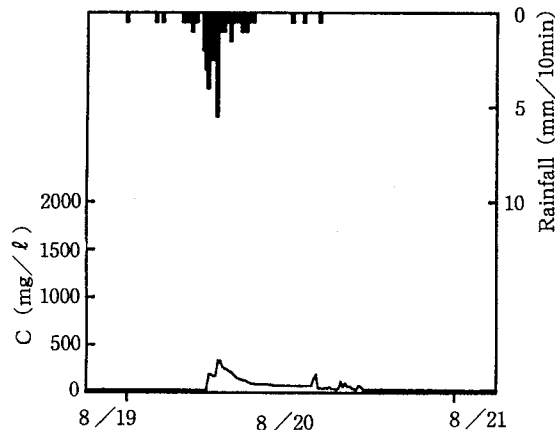


図-3 降雨に伴うCの変化(収穫後・耕起前, 1992)
Fig. 3 Change of C with rainfall (post-harvest, pre-tillage, 1992)

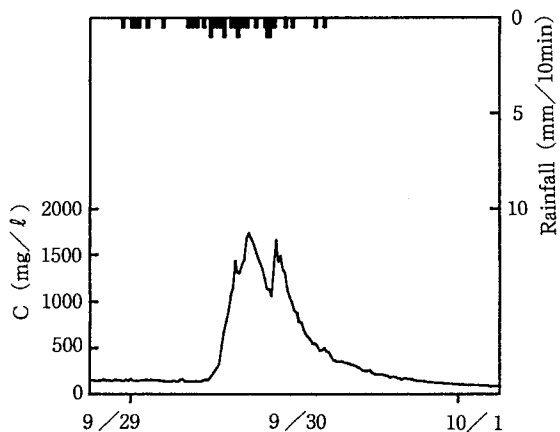


図-4 降雨に伴うCの変化(起耕後, 1992)
Fig. 4 Change of C with rainfall (post-tillage, 1992)

場合が多い。

浮流土砂濃度の挙動に対する降雨の影響を降雨量とピーク浮流土砂濃度の関係でみると、両者の間には相関性は認められないが(図-5)、降雨条件をEI値で表すと、耕起前については一定の相関性が認められる(図-6)。さらに注目されるのは、耕起の前後による挙動の違いである。上述のように、耕起後では降雨量、EI値が小さ

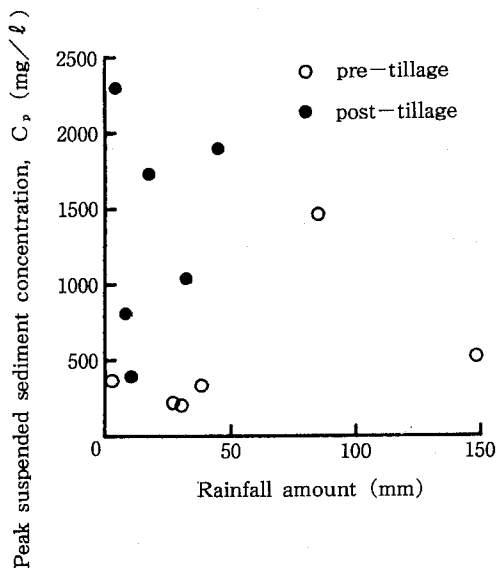


図-5 ピーク浮流土砂濃度 C_p と総降雨量との関係(1992)
Fig. 5 Relation between peak suspended sediment concentration, C_p and rainfall amount(1992)

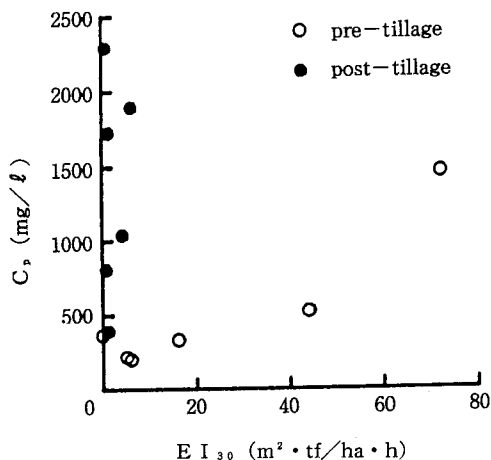


図-6 C_p と EI_{30} との関係(1992)
Fig. 6 Relation between C_p and EI_{30} (1992)

くても高いピーク浮流土砂濃度が発生している。

こうした結果が明示するように、本傾斜畑における水食～流亡現象には、コムギの栽培・収穫、あるいは圃場全面にわたる耕起作業が大きく影響をおよぼしている。

2) 営農作業と水食

図-7は、降雨～水食・流亡の関係を営農との関連の中で検討するため、夏から秋にかけての日降雨量(mm/d)と日平均浮流土砂濃度(mg/l)の推移をみたものである。収穫前のデータは少ないが、8月8日～9日のEI値の大きな降雨(図中ハッチング)に対しても、浮流土砂濃度は比較的低い。また、収穫後～耕起前の期間にも降雨が多発しているが、浮流土砂濃度は低く推移している。しかし、耕起直後には、比較的小さな降雨に対しても浮流土砂濃度は急激に高くなっている。こうしたことから、耕起が降雨～流亡挙動に極めて大きな影響をおよぼしていることは明らかである。

耕起作業以前の浮流土砂濃度の抑制傾向は、作物(秋播コムギ)や作物残滓による畑面の被覆、根系による土壌保持、あるいは畑面表層の土壌構造の安定化、などにより、表土の侵食～流亡が抑制されたことによるものと考えられる。これに対して、耕起後における浮流土砂濃度の上昇傾向は、畑面が裸地状態であったことに加え、耕起・攪乱による土壌構造の不安定化、に起因するものである。

耕起は雨水の浸透を促すため、降雨開始直後は流亡が抑制されるが、降雨が継続して表面流出が発生するに伴い表土の流亡を促進させることを示している。

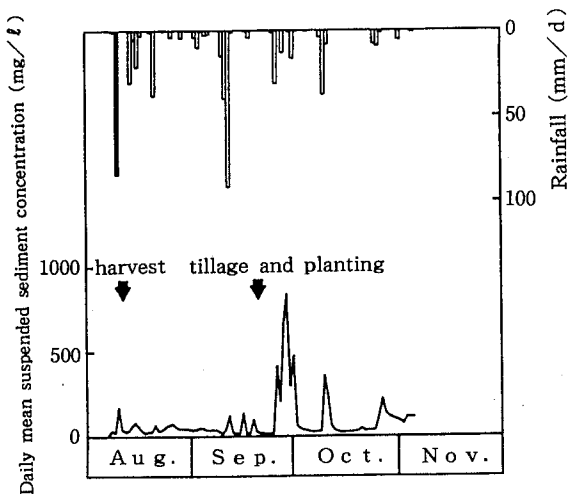


図-7 日降雨量に伴う日平均浮流土砂濃度の変化(1992)
Fig. 7 Change of daily mean suspended sediment concentration with daily rainfall amount(1992)

5. あとがき

秋おこしは、十勝地方の一般的な営農作業体系の一つであり、翌春の繁忙期における作業軽減や、降雨・融雪水の浸透・貯留（その波及効果たる侵食抑制）などを目的として行われている。しかし、浮流土砂濃度による降雨～流亡の検討結果にみられるとおり、水食抑制対策としての耕起には効果が認められない。こうした事例が明示するように、傾斜畑の保全には予断を許さない難しい問題が多くあるように思われる。農地の生産性維持のみならず、地域の環境保全にも配慮した営農体系を構築するためにも、傾斜畑における営農作業が農地保全におよぼす影響を定量的に評価する調査・検討を今後行う必要がある。

本調査の実施にあたり、現地調査圃場の所有者である馬場孝文氏、および関係諸機関に様々なご協力をいただいた。記して謝意を表する。

引用文献

- 十勝毎日新聞社編(1992)：十勝年鑑，pp.60-62,十勝毎日新聞社
- 1992年版北海道のアメダス統計Ⅰ(1993)，p.298, (財)日本気象協会北海道支部
- 長澤徹明, 片岡隆四, 梅田安治, 桜田純司(1986)：濁度計による河川浮流土砂量の推定, 農土論集, 125:81-87
- 長澤徹明, 梅田安治, 李里漫(1993)：USLEにおける降雨係数の評価について—北海道における土壌侵食抑制に関する研究(Ⅰ)—, 農土論集, 165:121-127

(受稿年月日 1994年4月30日)



資 料

光波式測量機械による造成地の土壌侵食の計測

坂西 研二・麓 多 門・岩間 秀矩・谷山 一郎・真弓 洋一*

Measurement of Soil Erosion in Reclaimed Land with Optical Land Surveyer

Kenji Banzai, Tamon Fumoto, Hidenori Iwama, Ichiro Taniyama and Hirokazu Mayumi*

National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

*Tohoku National Agricultural Experiment Station, Morioka, Iwate, 020-01 Japan

Key words: Optical Land Surveyer, land survey, soil erosion, deposition, contour line map

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 53-56, 1995)

1 はじめに

傾斜地に富み台風など豪雨に見舞われる我が国では、土壌侵食の防止は基本的に重要である。我が国農地における侵食問題の重要性を示す一例として、地力増進法における生産力可能性分級基準がある。この分級のⅢとⅣとは、正当な収量をあげ、また正当な土壌管理を行う上に、土壌的にみてかなり大きな制限あるいは阻害因子（表土の厚さ、表土の礫含量、土地の乾湿、自然肥沃度、養分の豊否、災害性、傾斜、侵食等々）があり、あるいはまた土壌悪化の危険性のかかなり大きい土である。このⅢまたはⅣに該当する事業指定地域は全国で37万ha、内約10万haにおいて侵食が問題であるとされている。

農地における土壌侵食を防止するため侵食発生の実態を把握し、発生機構を明らかにする必要があるが、従来侵食研究は傾斜枠（面積数10m²以下）や土壌トラップによる調査が主体であった。したがって、実際農地での侵食量は、これら小面積における調査から推定するとどまってきた。

実圃場における侵食量の正確な把握には、微地形変化量の測定が必要であるが、従来のレベル測量を中心とした測定では、作業後の計算を含め時間と人手を必要とした。誤差の大きさも機器の操作の習熟度に関係し、一般の使用者によるmm単位の測定は不可能であった。そこで、圃場規模で土壌侵食量および移動堆積量を正確に簡易に測定するために光波式測量機械を用いる手法の確立をはかった。

2. 装置の特徴

光波式測量機械は、単に距離と角度が測られるだけでなく、本体内部に計算機能を持ち、3次元座標に変換さ

農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1

*東北農業試験場 〒020-01 盛岡市下厨川

キーワード：光波式測量機械、地形測量、侵食、堆積、等高線図

れた出力が可能である。測定値の精度（標準偏差）は、距離に関し $5\text{mm} + 2\text{ppm} \times D$ (D :測定距離), 角度に関し $4''$ である。筆者らの測定距離は、最大でも100m前後であり、上述の精度式により5.02mmの誤差が考えられる。

一測定の所要時間は約1分、一日約500点の標高と位置座標を最低2人で容易に、短時間に能率良く測量できる。これは従来の測量からすると一週間程度の作業にあたり、大幅な短縮が可能である。

3. 地形量の測量の手順

本機を用い、圃場の微地形を凡そ数m間隔のメッシュで位置座標 (x_i, y_i, z_i) を測定する。

その作業手順は以下の通りである。①図1の装置の直下から原点に向かう基準線を決める。高さ座標の補正と

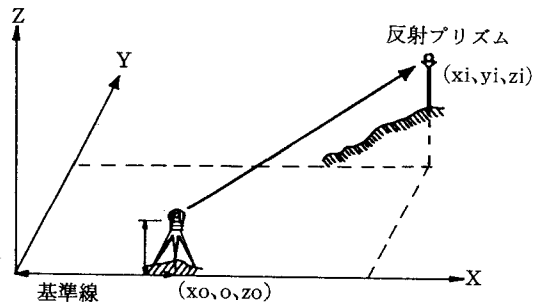


図-1 座標測量の模式図

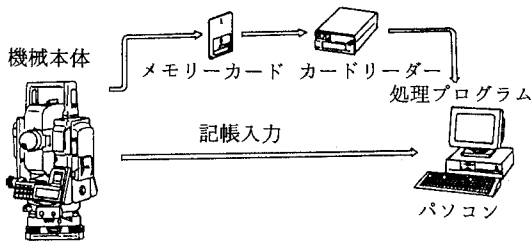


図-2 データ処理の構成

して本機械とプリズムの高さを入力する。

- ②反射プリズムを一定距離で移動させ、焦点を合わせる。
- ③座標データの記録は2通り、画面に表示された値を記帳する、表示なしにメモリーカードに記録する(図2)。
- ④データ処理では、図化した際見やすいように座標軸を回転させる等の前処理を行い、市販の地形プログラムにより等高線図を作成する。

4. 等高線作図法

等高線図の作成において不規則に分布している測定データの処理として、このランダムな配置のまま三角形分割により等高線を描くこともできるが、ここでは一般的な格子データに変換する方法を用いることにした。この方法(塩野ら,1988)は、以下のような理論に基づいているが、既に市販のプログラムの中に組み込まれており、ここでは概要を述べるに留める。

[格子データへの変換]

長方形の領域を $N_x \times N_y$ の格子で区分し、最適な曲面($z=f(x,y)$)を形成する格子点の値 $f_{i,j}$ を計算する。具体的には、ある格子セル($x_i \leq x \leq x_{i+1}, y_j \leq y \leq y_{j+1}$)内部における $f(x,y)$ の値は、四隅の格子点の値($f_{i,j}, f_{i+1,j}, f_{i,j+1}, f_{i+1,j+1}$)と次式のような線形補間で近似される。

$$f(x,y) = (1-\xi)(1-\eta)f_{i,j} + (1-\xi)\eta f_{i,j+1} + \xi(1-\eta)f_{i+1,j} + \xi\eta f_{i+1,j+1} \quad (1)$$

$$\xi = (x-x_i)/\Delta x, \quad \eta = (y-y_j)/\Delta y$$

Δx と Δy は、 x 軸と y 軸方向の格子間隔である。

さらに、 N 個の地点(x_k, y_k) ($k=1, 2, \dots, N$)における測定値(標高) z_k を表す式($f(x_k, y_k) = z_k$)は、格子点の値 $f_{i,j}$ ($i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, N$)を未知数とする次の連立1次方程式で示される。

$$(1-\xi_k)(1-\eta_k)f_{i(k),j(k)} + (1-\xi_k)\eta_k f_{i(k),j(k)+1} + \xi_k(1-\eta_k)f_{i(k)+1,j(k)} + \xi_k\eta_k f_{i(k)+1,j(k)+1} = z_k \quad (2)$$

一般的にデータ数に比較して格子数が多く、データの空白が生じている格子セルでは格子点の値 $f_{i,j}$ が(2)式の中に現れてこない。そのため、(2)式の連立方程式は不定であり、いいかえれば、連立方程式を満たす解 $f=(f_{11}, f_{12}, \dots, f_{ij}, \dots, f_{NN})$ は多数存在している。

次にそれらの連立1次方程式を満足する解の中で最も滑らかな曲面をもつものを選ぶという手順をとる。以後の計算法については、塩野ら(1988)を参照されたい。

5. 侵食量及び堆積量の推定

圃場内に生じた侵食量あるいは上砂堆積量を現在の地形測量データと前回あるいは造成時の地形図との比較により求めた。

すなわち、畑地造成時の図面からも格子点座標を作り、両者の格子データについて基準標高を決め、その上でできる土柱量(体積)を格子毎に計算するもので、各格子にできる土柱量の差によって侵食か堆積が決められる。さらに、各格子点の標高差を地形変化量として、前述の作図法で等高線図に示した。

6. 現地圃場への適用

調査圃場は、国営塩那台地農地開発事業によって、1984年造成された栃木県那須町の傾斜畑(百駄団地)とした。調査畑は改良山成り工法で造成され、褐色森林土造成相に分類される。面積は0.29~1.37ha、平均斜面長41~137m、傾斜は0.9~6.8度であり、表層の土性はSL、分散率は34%と受食性が高く、表層下部の土壤飽和透水係数は 10^{-5} cm/sと小さかった。作付けは1984年から行われ、開始当時はたばこを、85年からソバと小麦の輪作を行っている。

1984年~1991年まで調査したところ、百駄団地の沈砂池の大半は、造成から3年で6、7割が土砂で埋まってしまった。現在は、圃場周辺に設けられた承水路の縁に侵食土が堆積し、トラクター等の耕耘作業も加わり小さな堤ができていたため、圃場からの流出水の流込みが少なく、土砂の流入はほとんど見られない状況であった。

1991年9月の降雨時における表面流出の発生と侵食状況を調査したが、ソバの開花時期でもあり、草丈も伸び、土壌の被覆率もよく、顕著な表面流出や侵食は見られなかった。

周辺を含めた調査圃場の全体図は、図3に示す通り、全体で11の圃場に分割される。その内、5で示したのが図4であり、4m間隔のメッシュで600~500点の座標測量を行った。

□ 畑 ■ 林地 ▨ 盛土法面 ▩ 切土法面 ■ 沈砂地

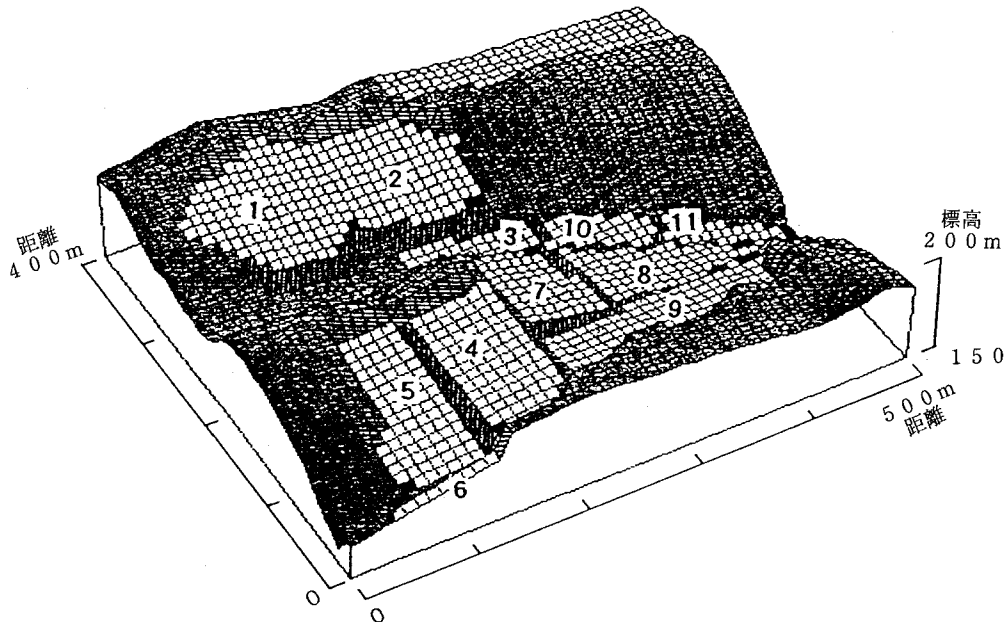


図-3 塩那台地農地開発百駄団地現況図

7. 適用結果

土砂の侵食移動は、一般に降雨による流出に伴って起こる。圃場や承水路の管理の良い圃場であれば、そこを通過した侵食土砂は沈砂池で堆積することになる。したがって、沈砂池内の土砂の堆積変化を測定すれば、侵食土砂の測定は可能である。しかし、前述したように沈砂池や承水路の管理が十分でなく、土砂は末端の沈砂池まで届かず、圃場内の下部に堆積したと推定された。

測量した圃場について等高線図を作成したが、その中の一つを図4～6で示した。矩形圃場（造成後8年）の測量したポイントは577点（図4）であり、それら座標値は前述の等高線作図法を用いて41×41の格子点座標に変換された。造成時の格子点座標についても同様に作成し、両者を等高線で比較した（図5）。

造成時の値を基準として、各格子点の標高差を求め、侵食であれば負で示し、土砂の堆積があれば正の値で示した（図6）。

圃場での侵食は表面を流れる雨水と同様に等高線に対し垂直に移動が見られ、流された土壌は下流部で多く堆積していた。結果、侵食は斜面中央部と中流部で見られる。上流部でも土砂の堆積が見られるが、圃場外からの土壌

の流入も少なくない。

この圃場の現在及び造成時の各格子の体積計算（土柱法）から、侵食と堆積の差し引き量は、堆積が大きく345m³であった。

しかしながら、造成農地の標高が設計通りの値になっているとは限らないことから、両者（設計値、測定値）のデータには精度上の差があることを付加しておきたい。

8. 測定における留意点

①造成後の地形の変化は、侵食でなく土の圧密沈下等によることもあるので、土壌断面の調査や土壌物理試験を行い、総合的判断する必要がある。

②圃場の測量では、土壌が安定している時期を選ぶのが望ましい。もし、耕起直後であれば、土壌が膨軟となるため、測点では踏み固めて元の標高に戻す必要がある。

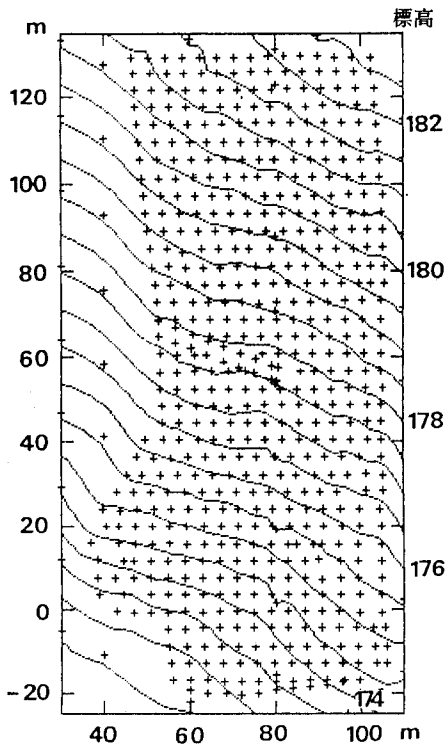


図-4 測定点 (577点) と等高線

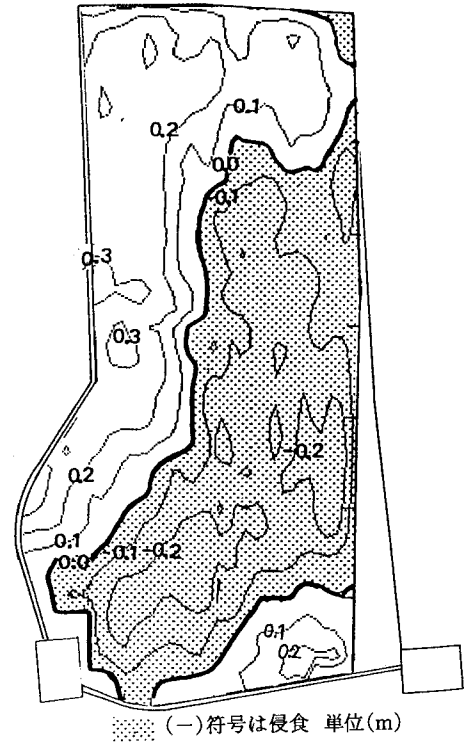


図-6 土砂の侵食と堆積状況

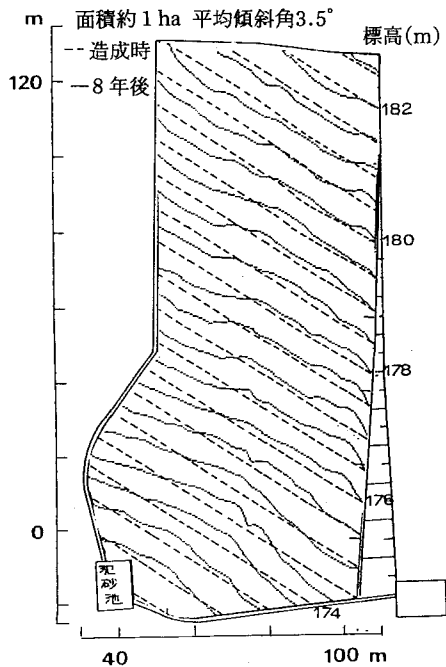


図-5 造成時と現在の等高線

9. おわりに

本装置を用いたメッシュ測量による調査は、長期間じわじわと表土が薄くなっていくような侵食・移動量の推定に適している。今後、この手法を用いて圃場規模での土壌侵食の実態把握、保全対策の評価ならびに傾斜枠規模での侵食理論の圃場規模への展開を図り、また土壌調査等と結合させ、土壌劣化の評価手法としても展開していくつもりである。

引用文献

塩野清治他(1988):BASICによるコンターマップII応用編,82-87,共立出版,東京

(受稿年月日 1994年5月16日)

放射性降下物 (^{137}Cs) による積算土壌侵食量の推定

柏木淳一・佐久間敏雄

Estimating the amount of soil losses using fallout radionuclide (^{137}Cs)

Jun'ichi Kashiwagi and Toshio Sakuma
Faculty of Agriculture, Hokkaido University

Summary

In the hilly area, intensity of soil erosion mainly depends on topographical location, slope and slope type, i.e. convex and concave. Therefore, it is difficult to correctly estimate accumulated amount of soil loss and redeposition at each site and its special distribution pattern on the slopes. Recently ^{137}Cs is attracting attention as an effective tracer of soil material movement. ^{137}Cs is an artificial fallout radionuclide caused by nuclear experiments in atmosphere during 1960's. ^{137}Cs is evenly deposited on the soil surfaces and is strongly absorbed by soil solid particles.

To grasp the relation between soil erosion and topographical parameters, we conducted ^{137}Cs measurements for 26 sites of an undulating field in hilly area of central Hokkaido. About 60% of the survey sites showed the measured ^{137}Cs concentration (MCs $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$) less than 2, while its standard in Hokkaido (SCs) was $3.44\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Extremely severe soil erosion was recognized on interfluvial and convex creep slopes. At the upper margin of the field with steep convex slope, the minimum value of MCs ($0.16\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$) was observed and average soil loss per year was estimated at about 12% (3 cm in depth). On the contrary, the MCs values at some sites alluvial toeslopes apparently exceeded the SCs, indicating the redeposition of ^{137}Cs enriched soil materials. The distribution patterns of MCs, Ap+Ab horizon thickness and total carbon content were comparable but showed somewhat different features. ^{137}Cs accumulation method proved to be more effective in estimating reliable values compared to the other methods utilizing Ap+Ab layer thickness and total carbon content. However, it is most important to obtain the local standard of ^{137}Cs accumulation in the nearby undisturbed slopes.

Key Words ; Erosion, Fallout radionuclide, Special variability, Key layer, Carbon content

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 71, 57-62, 1995)

1. はじめに

これまでの土壌侵食量調査の問題点は、侵食作用の空間的・時間的変動が大きく、積算侵食量とその空間的分布が把握できなかったことである。そこで大気中の核爆発によって生じた人工放射性核種である ^{137}Cs をトレーサーに用いて、土壌侵食量を推定する試みが行われている。

この ^{137}Cs は1945年からその存在が確認され、1952年後半から地球規模に広がった。1961年から1963年にかけて核実験が最も頻繁に行われたために、それに伴い ^{137}Cs の降下量が増加した。我国では1963年に顕著なピークが認められ、その後急減している(大貫ら, 1984; McCallan et al., 1980)。この大気中の ^{137}Cs は、降雨にともなっ

北海道大学農学部 〒060 札幌市北区北9条西9丁目

キーワード: 土壌侵食、放射性降下物、空間的変動、鍵層、全炭素含量

て落下し地表面に均一に蓄積される。 ^{137}Cs は土壌の微細粒子に特異吸着され、土壌中では容易に脱着しない。したがって、土壌溶液に溶けた状態で移動することはなく、ほとんどが吸着された微細粒子とともに移動する(大貫、和達,1983;大貫ら,1984)のために、未攪乱土壌ではその表面に著しい集積が見られる(Ritchie et al.,1970; McCallan et al.,1980;Squire and Middleton,1966)。札幌の未墾地の土壌では、 ^{137}Cs 含量は、表層で最も多く、深さ10cm以下では激減し、深さ40cmの土壌からは検出されなかったと報告されている(福田,1985)。このような吸着特性と水平沈着性から、 ^{137}Cs は1960年代中葉以降の土壌物質の移動・集積を追跡するためのトレーサーとして非常に有効である。

Rogowski and Tamura(1970)は、土壌表面状態の異なる条件での土壌侵食の枠試験に ^{137}Cs をトレーサーとして用いており、カナダの平原地帯(De Jong and Kachanoski,1988;Sutherland and De Jong,1990)やオーストラリアの傾斜地畑(McCallan et al.,1980; Longmore et al.,1983)においては、土壌侵食量を推定するのに適用できることが示されている。また堆積や沈殿によって累層した堆積様式を示す土壌の、 ^{137}Cs 含量分布からは、 ^{137}Cs 堆積層の上下に堆積する層の年代を推定できることが示されている(Ritchie and McHenry, 1974)。

本報告の目的は、この ^{137}Cs の特性に注目し、傾斜地畑における積算侵食量の空間的分布を推定する上での有効性を確かめるとともに、積算侵食量と地形因子の関係について検討することである。

2. 調査地および方法

(1) 調査地

調査地は、上川支庁上富良野町の熔結凝灰岩を基盤とする波状性丘陵地に位置し、土壌は中粒質の酸性褐色森林土(Typic Dystrachrepts)である。調査圃場は開墾以後調査時点まで80年以上連続して耕耘された古い傾斜地畑で、北東向きに平均22.7%の主傾斜を持ち、これにはほぼ直行する方向に3つの凸部と4つの凹部が連続する複合斜面からなる。本報告で対象としたのは、東側の斜面に位置する26地点である(図-1)。

(2) 調査法

1) 土壌断面調査および試料の採取

調査は14m間隔のメッシュ法により、深さ約80cmの試坑を設け土壌断面調査を行い、各層から攪乱および未攪乱土壌サンプルを採取した。なお調査およびサンプリングは1988年8月におこなった。

2) 調査地の地形解析

この調査地点の地形を評価するために、まず基図上で

Dalrymple et al.(1968)が、土壌カテナと斜面の形態・位置の関係から経験的に定義した5種類のモデル斜面に分類した。すなわち斜面上部から稜線部緩斜面

(Interfluve)、凸型クリープ斜面(Convex Creep Slope)、等斉輸送斜面(Transportational Midslope)、崩積性緩斜面(Colluvial Footslope)、沖積性緩斜面(Alluvial Toeslope)が連続して複合斜面を形成しているものと認められた(図-2)。加えて、7.5×7.5m単位のデジタルマップを作成し、調査地点の標高、斜面長、平均・最大勾配ならびに凹凸を算出した。

2) ^{137}Cs の比活性測定

表層部における土壌粒子の移動を定量的に評価するために、Ap層内の ^{137}Cs 含量を測定した。分析用試料は風乾後粉碎し、孔径2mmのふるいで乾式し別したのち、内径7cmのポリ容器に高さ9cmまで充填したものを測定試料とした。測定は北海道大学ラジオアイソトープ総合センターのGe-Li半導体検出装置付γ線スペクトロメータを用い、24時間計測によって ^{137}Cs の比活性を求めた。γ線の標準線源により、測定サンプルの検出器との幾何学的位置関係および自然崩壊速度を考慮して、計数効率を算出し補正した。測定された ^{137}Cs 含量(kBq/g乾土)を、Ap層全体の平均含有率を示すものと仮定して蓄積量に換算し面積濃度(kBq/m²)として表した。

またCNコーダーによる乾式燃焼法とチューリン法により、全炭素含量の測定を併せて行った。

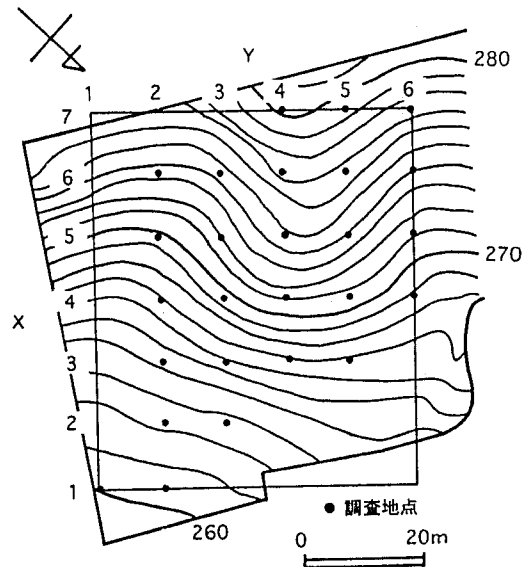


図-1 調査地の概要

Fig.1 Contour map of the study area showing the locations of the sampling points

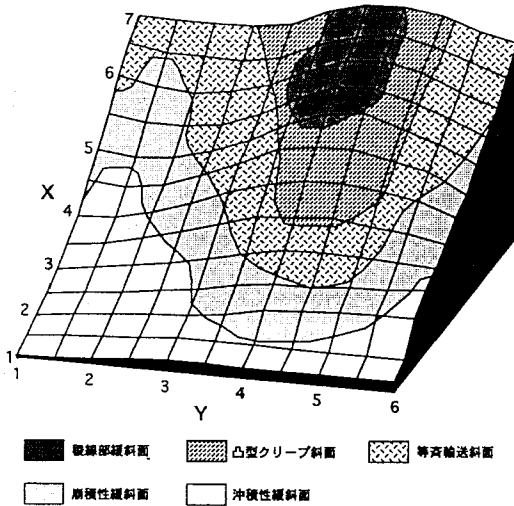


図-2 モデル斜面による調査地の地形分類
Fig.2 Distribution of landform elements in study site

3. 結果と考察

¹³⁷Cs含量を測定した地点は標高260~280mの低い稜線を含む斜面上に分布していた。調査地の地表面勾配は稜線部緩斜面では20%以下であったが、斜面下方に向かって増大し、等斉輸送斜面では30%以上と最も大きく、再び減少し、沖積性緩斜面では10%以下の緩勾配に移行する斜面構成を示していた。また東側の斜面では、崩積性緩斜面が深くまで入り込んでいるが、西側の斜面では地形変化が相対的に激しく、特に地点(6,6)~(4,6)にかけては強い凹型の地形を示していた。土壌断面調査からこの凹地には、深さ約75cmのガリーを埋設・復旧した痕跡が認められた。

¹³⁷Csの蓄積量は、その地域の気象条件や大気中での¹³⁷Csの量と存在する高度に関係しているために、地域間では差が認められる。したがって、調査地周辺で1960年以降に土壌侵食・堆積作用が生じていない土壌の¹³⁷Cs蓄積量を標準値として設定しなければならないが、本調査地周辺では、既壛地や1960年以降に植林されたと推定される二次林が多く未攪乱土壌を採るのが困難であり、また標準値として適当な値は報告されていなかった。そこで、Radioactivity Survey Data in Japan (1971~1984)から引用した1970~1984年における札幌市の平坦な未壛地の値(3.84kBq/m²)と、1984年に調査された道央の日本海側に位置する共和町の閉じた斜面から得られた¹³⁷Cs蓄積量の平均値(3.70kBq/m²) (Sakuma and Takeuchi, 1988)を比較し、自然崩壊を考慮して標準値を3.44kBq/m²と設定した。したがって実測値がこの標

表-1 ¹³⁷Cs蓄積量の基本統計量
Table 1 Statistical analysis of ¹³⁷Cs concentration

データ数	平均	最小値	最大値	標準偏差	変動係数
26	2.04	0.16	4.16	1.02	0.50

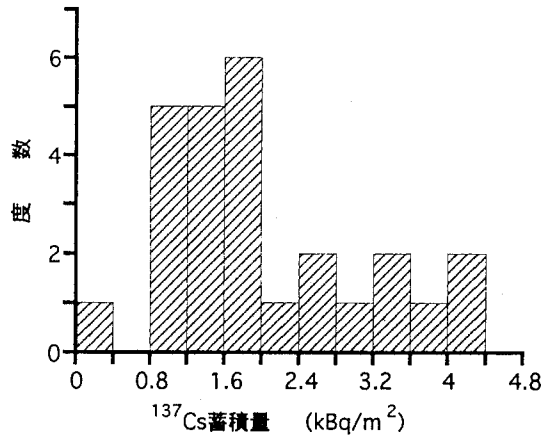


図-3 ¹³⁷Cs蓄積量の度数分布
Fig.3 Frequency distribution of ¹³⁷Cs concentration

準値よりも大きいほど堆積作用が優勢で、小さくなるほど侵食作用が優勢であることを示している。

表-1に表層(Ap層)の¹³⁷Cs蓄積量の基本統計量を示す。蓄積量のレンジは0.16~4.16kBq/m²、平均値は2.04kBq/m²であった。平均値は標準値のほぼ半分に相当し、この25年間に対象圃場外への表土流亡によって¹³⁷Csの蓄積量が半減したことを示している。

最大値は4.16kBq/m²で標準値をわずかに上回っていたにすぎず、ヒストグラム(図-3)からみると0.80~2.00kBq/m²の範囲に60%以上の地点が含まれており、激しい侵食が起こっていたと推定される地点が大半を占めていた。札幌での¹³⁷Csの降下量は、1963年をピークに1967年以降にはほとんど検出されないレベルに減少している。したがって、上部からの移送による¹³⁷Csの供給がない稜線部緩斜面について、1) 1963年に降下した¹³⁷Csが作土中に均一に攪拌・吸着され、2) それ以降、侵食によって流亡した分が、毎年の耕耘によって¹³⁷Csを含まない心土と混合、希釈され作土が形成される、と仮定して侵食土量を推定した。侵食土量の算出は以下の式による。

$$Cs_i = Cs_s \times (1 - L/100)^t$$

L: 侵食土量(%) Cs_s: ¹³⁷Cs含量の標準値(3.44kBq/m²)

Cs_i: 地点iでの¹³⁷Cs濃度(kBq/m²)

t: 1963年からの経過年数(25年)

稜線部緩斜面で得られた最低値の 0.16kBq/m^2 を ^{137}Cs 濃度として用いると、1963-1988の25年間について、稜線部緩斜面における年間の侵食土量は作土深の11.5% (2.9cm/年)と推定される。Wischmeier and Smith (1978)による許容侵食速度(Soil Loss Tolerance Limit)は、容積重を 1g/cm^3 とすれば約 $0.06-0.13\text{cm/年}$ であるから、稜線部緩斜面における侵食速度はその約30倍であったことになる。同様に計算すると、 ^{137}Cs の平均濃度 2.04kBq/m^2 に対しては侵食土量は2.1%となるが、稜線部緩斜面以外では仮定2)が成り立たないので、上記の推定値は実際の移動土量を過小評価していることになる。表層部を面状侵食によって移動する土壌は、同時に ^{137}Cs を輸送するのでその希釈率が低下すると考えら

れる。これを考慮した移動土量の精密な検討は別稿にゆずるが、 ^{137}Cs 濃度はそれ自身、侵食・削剥と堆積による作土成分の消長を示す指標になる。

図-4に ^{137}Cs 蓄積量の空間的な分布を示す。図から明らかのように 1.2kBq/m^2 以下を示す侵食相は稜線部緩斜面、凸型クリープ斜面に広がっており、その中心は凸型の強い稜線上部に見られ、最小値 0.16kBq/m^2 は耕耘による削剥が著しい隣接圃場との境界部にみられた。また地点(4,5)~(5,5)にかけての急勾配を示した凸型クリープ斜面から等斉輸送斜面の境界部でも 1.2kBq/m^2 以下の小さな値を示していた。等斉輸送斜面から崩積性緩斜面にかけては蓄積量の増加傾向が激しく、沖積性緩斜面ではほぼ標準値に近い値および標準値よりも大きな値を示していた。堆積相である 3.44kBq/m^2 以上の地点は沖積性緩斜面の部分に偏在していた。

デジタルマップから算出した地形因子と ^{137}Cs 蓄積量の関係は、勾配やUSLE式における地形関数とは有意な負の相関が、斜面長とは正の関係が認められた(表-2)。このことは、斜面長が短い稜線部緩斜面や勾配の大きな凸型クリープ斜面では、削剥作用が優勢であることを示唆している。

傾斜地畑では、表面流出水に起因する水食が侵食の主体である。表面流出水によって土壌表面の有機質に富む土壌が侵食部から堆積部に運搬されるため、有機物含量や腐植層(A層)厚のデータが侵食・堆積作用の強度を推定する指標になると考えられる。図-5、6に全炭素含量と(Ap+Ab)層厚の分布図を示す。全炭素は ^{137}Cs と非常に似た分布を示しており、 ^{137}Cs 蓄積量が 2.70kBq/m^2 以上の部分は全炭素含量の2.3%以上の部分に対応し

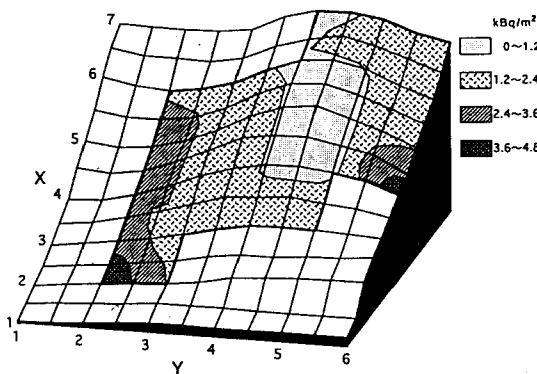


図-4 ^{137}Cs 蓄積量の空間的分布

Fig.4 Spacial distribution of ^{137}Cs concentration in study site

表-2 ^{137}Cs 蓄積量と微地形パラメータの相関係数

Table 2 Correlation coefficient of ^{137}Cs concentration vs. topographical parameter

標高	斜面長	平均勾配	最大勾配	#平均凹凸	#最大凹凸
-0.66**	0.64**	-0.64**	-0.59**	-0.32	-0.49*
L'	S'	L' S'			
-0.56*	-0.62**	-0.58*			

*, ** ; それぞれ95%, 99%水準で有意

#凹凸は以下の式により算出し、平均凹凸は4方向の値の平均、最大凹凸は流線方向の値である。

$$\text{凹凸} = 100 \times (H - ((H1 - H2) / 2 + H2)) \times \text{Cos } \theta$$

H ; 測定地点の標高(m) H1, H2 ; 隣接地点の標高(H1 ≥ H2) (m) θ ; H1, H2間の傾斜角度

L' = (L/22.13)^p L ; 斜面長(m) p ; 0.3~0.6の値の指数

S' = (0.43 + 0.30I + 0.043I²) / 6.613 I ; 斜面勾配(%)

L' S' = Lp / 100(1.36 + 0.97I + 0.1385I²)

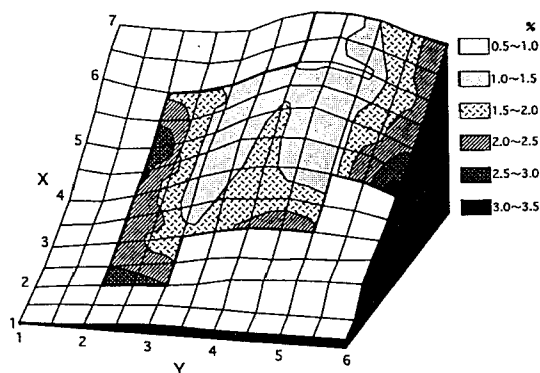


図-5 全炭素含量の空間的分布

Fig.5 Spatial distribution of total carbon content in study site

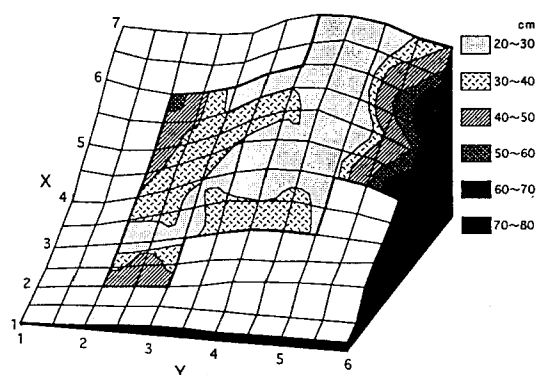


図-6 (Ap+Ab) 層厚の空間的分布

Fig.6 Spatial distribution of Ap+Ab horizon thickness

ていた。しかし侵食相と認められた稜線部緩斜面、凸型クリープ斜面では両者の分布には多少の違いが認められた。すなわち ^{137}Cs では稜線部緩斜面を中心に小さな値を示す地点が一様に広がっていたが、全炭素の小さな値は稜線部緩斜面と地点(5,3)付近に2極化しており、その中間の凸型クリープ斜面では1.5以上の値もみられた。

(Ap+Ab)層厚と ^{137}Cs の関係はそれぞれ稜線部緩斜面、凸型クリープ斜面で小さな値を、崩積性緩斜面、沖積性緩斜面で大きな値を持つといった基本的な分布傾向は一致していたが、 ^{137}Cs 蓄積量は高いが、(Ap+Ab)層は薄い地点、 ^{137}Cs 蓄積量は低い、(Ap+Ab)層は厚い地点が存在していた。この現象はガリーを修復した跡が見られた地点(地点(6,6)~(4,6))で特に顕著であった。

60cm以上の厚い(Ap+Ab)層を持つ地点のAb層からは ^{137}Cs がほとんど検出されなかった。したがってこのガリーは ^{137}Cs の蓄積が始まる1960年以前に生じたものと考えられ、厚い(Ap+Ab)層を持つ地点(6,6)では、1960年以降は削剥作用が優勢であったと推定される。また稜線部緩斜面、凸型クリープ斜面に分布する地点の土壌断面は、Ap/C型になっており、鍵層としてのAb層を欠くこと、毎年の耕耘によって25cm内外の層厚が維持されていることなどのために、断面構成と層厚から積算侵食量を推定することは不可能である。

傾斜畑における積算侵食量の空間的な分布を評価する場合、全炭素含量や(Ap+Ab)層厚は有効な指標となることが示された。しかし、前者は有機物の供給速度(作物残渣等の供給量)や消失速度(分解)が地点によって異なること、また後者では、前に指摘したように明瞭な鍵層を欠く場合は、侵食相での評価が難しいなどの問題が存在する。この点で ^{137}Cs 含量は分析に時間とコストがかかるが、吸着特性と水平堆積性から有効なトレーサーとして利用できることが示された。標準値との比較により、本調査地では稜線部や凸型クリープ斜面の急勾配部分では激しい侵食が、また堆積部分は沖積性緩斜面に遍在していることが明らかになった。なおここでは、標準値として札幌市の平坦な未墾地と共和町の閉じた斜面の実測値から得られた ^{137}Cs 蓄積量の平均値を採用したが、 ^{137}Cs の降下量は地域格差が認められているために、これについては再検討の余地がある。 ^{137}Cs 蓄積量から積算侵食深を求めるには、標準値を地域毎に決定する必要がある。

4. 要約

放射性降下物である ^{137}Cs をトレーサーとして、傾斜地畑における土壌物質移動の評価を行った。調査地は土壌物質の移動に対して開放系であり、過去25年間に表土の約40%が系外に流亡しているものと推定された。稜線部緩斜面と凸型クリープ斜面において激しい侵食が生じており、稜線部緩斜面に位置する隣接圃場との境界部分では年平均侵食量は作土層の11.5%と見積もられ、沖積性緩斜面においてのみ堆積相が認められた。特に、ガリーの修復により厚い(Ap+Ab)層をもつ地点は、 ^{137}Cs 蓄積量の測定結果から侵食相に分類された。

^{137}Cs による土壌物質移動の推定と比較して、有機物含量は地点間の供給・分解速度の差の影響を受けるため、また土壌断面形態による手法では継続的な農作業により一定の厚さを示す作土が保たれているため、正確な積算侵食量を推定することは困難である。したがって ^{137}Cs による侵食土量の推定はより精度の高い方法であると考えられるが、地域間により降下形態や量が異なるために対

象地域の標準値を設定することが重要となる。また ^{137}Cs 蓄積量から精度の高い積算侵食量の空間的な分布を推定するためには、斜面上部から流入する土壌物質の ^{137}Cs 含量をどのように評価するかが今後の課題である。

参考文献

- Dalrymple, J.B., Blong, R.J. and Conacher, A.J.: An Hypothetical Nine Unit Landsurface Model. *Zeit. Geomorph.*, 12: 60-76.
- De Jong, E. and Kachanoski, R.G. (1988): The Importance of Erosion in the Carbon Balance of Praire Soils. *Can. J. Soil Sci.*, 68: 111-119.
- 福田一義 (1985): 土壌中のセシウム-137および自然放射性核種について 道衛研所報, 第35集
- Longmore(McCallan), M.E., O'Leary, B.M., Rose, C.W. and A.L.Chandica (1983): Mapping Soil Erosion and Accumulation with the Fallout Isotope Caesium-137. *Aust. J. Soil Res.*, 21: 373-385.
- McCallan, M.E., O'Leary, B.M. and Rose, C.W. (1980): Redistribution of Caesium-137 by Erosion and Deposition on an Australian Soil. *Aust. J. Soil Res.*, 18: 119-128.
- National Institute of Radiological Sciences (1971, 1976, 1978, 1979, 1979, 1980, 1980, 1981, 1983, 1984): Radioactivity Survey Data in Japan :32, 41, 45, 49, 50, 52, 54, 59, 66, 70.
- 大貫敏彦、大塚芳郎、小川弘道 他 (1984): 帯水砂層中における放射性核種 (^{60}Co , ^{89}Sr および ^{137}Cs) の移動 保健物理, 19: 13-18.
- 大貫敏彦、和達嘉樹 (1983): 砂層中におけるCs-137の移動 日本原子力学会誌, 25(6): 74-81
- Ritchie, J.C., Clebsch, E.E.C. and Rudolph, W.K. (1970): Distribution of Fallout and Natural Gamma Radionuclides in Litter, Humus and Surface Mineral Soil Layers under Natural Vegetation in the Great Smoky Mountains, North Carolina Tennessee. *Health Physics Pergamon Press*, 18: 479-489.
- Ritchie, J.C. and McHenry, J.R. (1974): Estimating Soil Erosion from the Redistribution of Fallout ^{137}Cs . *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38: 137-139.
- Rogowski, A.S. and Tamura, T. (1970): Erosional Behavior of Cesium-137. *Health Physics Pergamon Press*, 18: 467-477.
- Sakuma, T. and Takeuchi, H. (1988): Spacial Variation of Soil due to Accelerated Erosion in the Hilly Areas of Hokkaido. *Japan. Proc. 5th Intern. Soil Conserv. Conf.*, S.Rimwanichled 1: 579-587.
- Squire, M.N. and Middleton, L.J. (1966): Behaviour of Cs137 in Soils and Pastures a Long Time Experiment. *Radiation Botany*, 6: 413-423.
- Sutherland, R.A. and De Jong, E. (1990): Estimation of Sediment Redistribution within Agricultural Fields Using Caesium-137, Crystal Springs, Saskatchewan Canada. *Applied Geography*, 10: 205-221.
- Wischmeir, W.H. and Smith, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses, A guide to conservation planning, *Agri. Handbook 537*, Washington D.C., U.S. Department of Agriculture.

(受稿年月日 1994年8月10日)

第16期活動計画決まる

平成6年11月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、9月28日から30日までの3日間、第120回総会を開催しました。今回の日本学術会議だよりでは、総会の概要及び第16期活動計画についてお知らせします。

日本学術会議第120回総会報告

日本学術会議第120回総会は、平成6年9月28日から3日間にわたって開催されました。

この中で、①第16期の活動の指針となる「第16期活動計画(申合せ)」を賛成多数で可決しました。その他②第2部世話担当の「環境法学・環境政策学研究連絡委員会」の設置及び第3部世話担当の「技術革新問題研究連絡委員会」を「技術革新・技術移転問題研究連絡委員会」に名称変更することを内容とした日本学術会議会則の改正、③運営審議会附置将来計画委員会を改組して、移転準備委員会を設置することをいずれも賛成多数で可決しました。

なお、活動計画の内容は、下記のとおりです。

第16期活動計画(申合せ)

今世紀後半、世界は大きく変化し、今や重大な転換期を迎えるに至った。人類は、多くの新たな問題に直面し、21世紀に向けてその生存と繁栄のための新たな世界秩序を模索している。ここにおいて人類の「知」の適切な行使が求められ、学術に対する期待が高まるとともに、学術自体のあり方もまた問いなおされようとしている。このような世界情勢の中で、我が国の諸活動における学術の重要性はますます増大しており、我が国の将来は一に学術の発展にかかっているといっても過言ではない。

本会議は、科学が文化国家の基礎であるという確信に立って、科学者の総意の下に、我が国の平和的復興、人類社会の福祉に貢献し、世界の学界と提携して学術の進歩に寄与することを使命として設立された(日本学術会議法前文)。その後半世紀にわたり、本会議は我が国の科学者の内外に対する代表機関として、学術の進展に貢献してきたが、上記の学術の重要性にかんがみ、本会議の果たすべき役割は、さらに増大しつつある。

本会議は、その役割を遂行するために、以下のとおり第16期における活動計画を定め、人文・社会科学及び自然科学を網羅する我が国唯一の機関であるという特色を生かしつつ、これに即して活動する。

1. 活動の視点

日本学術会議は、第16期の活動において、以下の視点を重視する。

(1) 歴史的転換期における新たな展望の探求

人類の歴史は、今や重大な転換期を迎え、その先行きはきわめて不透明である。人類社会は、21世紀に向けてその未来を切り開くために、学術の発展をますます必要とし、学術の主体性を確立することを求めている。日本学術会議は、学術と社会との深い関わりに思いをいたし、人文・社会科学及び自然科学にわたる我が国の科学者の

総意を結集し、人類社会の新たな展望の探求のために、学術が果たすべき役割を考察する。

(2) 日本の学術研究体制の方向づけ

学術が果たすべき役割からみたととき、日本の学術研究体制の現状には、早急に改善すべき点が多々存在する。特に、その中軸をなす大学、研究機関、学術団体は、研究の進歩に伴う新たな専門分化や、急速に進行しつつある学術の国際化、情報化に早急に対応することを迫られている。また、これらは、研究上の後継者を含む人材育成における深刻な困難に直面し、その克服の方法を模索している。日本学術会議は、日本の学術研究体制が新たな状況に対応し、人類社会の期待に応える研究成果を生み出すことができるように、その方向づけについて協力する。

(3) 国際学術活動への積極的貢献

我が国における学術の国際交流は、従来ややもすると先進諸国の学術を受容することに重点が置かれてきた。しかし、今や我が国には、国際平和の推進や環境問題の解決等、地球的、国際的規模の課題について、自らの研究を充実させつつ、広く世界の学術の発展に積極的に寄与することが求められている。

このため、日本学術会議は、日本の学術が受け身の態勢を脱し、その特色を生かしつつ、世界の学術の発展のためにイニシアティブを発揮することができるように、自らの役割を果たすべきである。

2. 重点課題

日本学術会議が対応すべき学術上の課題としては、(1)各学術分野に共通する学術研究体制上の当面の重要課題、(2)現在、人類社会が直面している重要課題で、人文・社会科学から自然科学にわたる総合的な知見が必要とされているもの、(3)今後重要となってくると予想される学術的な重要課題のうち、本会議として特に先見性を発揮して研究環境の整備等を訴えるべきもの、が考えられる。

本会議は、これらの中から早急に取り組むべき重点課題を設定し、人文・社会科学から自然科学にわたる全分野の科学者の意見を結集して検討にあたる。

これらのうち、特に緊急な対応を要する課題は、機動的かつ早急に審議を行い、その結果を対外的に発表する。さらに、第16期中に発生するであろう新たな問題についても、遅滞なく対応する。

日本学術会議は、発足して50年近くになるが、本会議そのもののあり方についても常に検討を続ける必要がある。

現時点において取り組むべき重点課題を以下に示す。

(1) 21世紀に向けての新しい学術の動向

「知」の総合化や学術諸分野の再編成など、新しい学術の動向を、とりわけパラダイムの転換を中心に把握し、21世紀に向けての学術のあり方について検討する。

(2) 学術研究体制の整備

① 学術団体の支援・強化方策

さまざまな困難に直面している学術団体の現状を踏まえ、その支援・強化等の方策について検討する。

② 大学・研究機関における研究基盤の改革

大学院重点化やセンター・オブ・エクセレンスの構想等我が国の研究体制の新しい動向を把握し、大学・研究機関における研究基盤の改革について検討する。

③ 優れた研究者の養成・確保と教育

若者が理工系を始めとして長期の学習を要する学術分野を離れる傾向が指摘されていることから、優れた研究者の養成・確保方策について、教育のあり方をも含めて検討する。

(3) 科学者の地位と社会的責任

女性科学者の研究環境の改善について声明を發した第15期に引き続き、学問・思想の自由、科学者の地位と倫理・社会的責任について検討を深める。特に、我が国の若手研究者の研究環境を改善し、研究意欲を向上させるために、科学者の地位・処遇、研究費の配分、業績評価のあり方等について検討する。

(4) 学術情報・資料の充実・整備

① 学術における情報化の推進

今後極めて重要となるデータベースの作成やコンピュータ・ネットワーク・システムの整備など、学術における情報化の推進方策について検討する。

② 公的資料等の保存・施設の整備と公開

公的資料等の保存、その施設・設備の整備と公開手続の確立についてさらに前進させる。

③ 知的財産権

急速な情報技術の進展に伴い、顕在化してきた知的財産権の問題について、専門家の養成の問題をも含めて検討する。

(5) 国際学術交流・協力の推進

① 学術における国際化の推進と国際対応力の強化

学術分野における国際化の推進と国際対応力の強化方策について、いわゆるメガサイエンスにおける国際協力のあり方をも含めて検討する。

② 国際的にバランスのとれた学術交流・協力のあり方

欧米諸国との交流に偏っている現状を見直し、バランスのとれた学術交流・協力を実現するために、アジアを始めとする世界の諸地域との学術交流・協力のあり方や交流・協力のための基盤の育成方策について検討する。

③ 学術国際貢献のための新システム

学術分野における国際貢献のために必要とされ、第15期において検討された新たなシステムの構築について、さらに努力する。

(6) 高齢化社会の多面的検討

高齢化の急速な進行に直面しつつも、健やかに老いることのできる社会の実現のため、生き甲斐の問題や小児期からのライフスタイルの改善、雇用・年金・医療・福祉など高齢化社会に伴う経済上、法律上の諸問題、高齢化社会に向けての研究開発体制、高齢化社会に適合する医療とケアのシステムなどについて、老人医学を始めとする諸科学が協力して多面的に検討する。

(7) 生命科学の進展と社会的合意の形成

生命科学とその応用の急速な進展をもたらす倫理的、社会的諸問題について、自然科学と人文・社会科学との協力の下に検討し、これら諸問題の解決方策の検討及びこれに対する社会的合意の形成に資する。

(8) 学術と産業

学術と産業の関わりの実態分析の上に立ち、今日の学術と産業とがそれぞれにとって有する意義と問題点を明らかにするとともに、企業と大学・研究機関における適切な研究の役割分担や基礎的研究の研究体制など、学

術と産業との関係のあり方を行政の位置づけをも含めて検討する。

(9) 地球環境と人間活動

人類の経済社会活動の拡大等に伴い深刻化している環境問題について、エネルギーや土地の利用などの人間活動との関連や、ライフスタイルのあり方、人口と食糧の問題の検討を含め、持続可能な発展のための方策、及びこれに対する我が国の貢献のあり方について検討する。

(10) 脳の科学とこころの問題

今後の学術研究において重要な学際的課題となることが予想される脳の科学とこころの問題について、21世紀に向けての学術研究上の課題と展望とを明らかにするとともに、今後の研究体制のあり方について検討する。

(11) アジア・太平洋地域における平和と共生

国際的な平和の問題が新たな様相を呈している冷戦後の世界情勢を検討する中で、特にアジア・太平洋地域における平和と安全に関連する諸要因を分析し、貧困の克服と福祉の増進、経済発展と科学技術、文化の相互関係と多様な価値の共存の問題など、平和と共生に寄与するための学術的視点について、アジア・太平洋地域に重点を置いて検討する。

(12) グローバリゼーションと社会構造の変化

世界が、国際化・情報化・市場経済化などを通じてグローバルゼーションに向かって大きく変化している中で、我が国の産業空洞化、日本型経営・雇用慣行の変化、多国籍企業や知的財産権の問題、市民生活・文化へのインパクトなど社会構造に生じている新しい課題を洞察し、これに抜本的に対処するため、学術的視点から検討する。

3. 重点課題の審議

上記の重点課題の審議は、常置委員会及び今期の当初設置する特別委員会(別表2)がこれにあたる。両委員会は、速やかに審議を行い、第16期中(緊急性のあるものについては、1年ないし2年以内)に検討結果を発表する。常置委員会、特別委員会及び研究連絡委員会は、相互の連絡・協力を密にする。

なお、常置委員会及び特別委員会の所掌事項は別表1及び2に示すとおりである。

(別表1及び別表2省略)

※参考

<常置委員会名> (事項)

第1常置 研究連絡委員会活動活性化の方策及び日本学術会議の組織に関する事。

第2常置 学問・思想の自由並びに科学者の倫理と社会的責任及び地位の向上に関する事。

第3常置 学術の動向の現状分析及び学術の発展の長期的動向に関する事。

第4常置 創造的研究醸成のための学術体制に関する事及び学術関係諸機関との連携に関する事。

第5常置 学術情報・資料に関する事。

第6常置 国際学術交流・協力に関する事(第7常置委員会の事項に属するものを除く)。

第7常置 学術に関する国際団体への対応及びその団体が行う国際学術協力事業・計画への対応に関する事。

<特別委員会名>

高齢化社会の多面的検討

生命科学の進展と社会的合意の形成

学術と産業

研究者の養成・確保と教育

地球環境と人間活動

脳の科学とこころの問題

アジア・太平洋地域における平和と共生

グローバリゼーションと社会構造の変化

(注) 特別委の検討事項は「2重点課題」の関係項に同じ。

—編集後記—

1992年に開催された地球サミット、およびここで採択された「アジェンダ21」は、地球環境問題に対する国際的な認識の一つの表出であると云えよう。これを契機に、新聞、TVなどの各種メディア、あるいは書籍によって、多種多様な環境問題がとりあげられるようになった。いわゆる環境問題は、生態系への人為作用が許容の範囲を越えて加えられることにより、人間自体も一構成要素である系が、不可逆的に変質していくプロセスととらえることが出来よう。生産活動の結果として放出される有害汚濁物質は、大気を汚染し、酸性雨の原因となる。また、フロンや炭酸ガスによる大気圏の環境変化、各種化合物や重金属、栄養塩類の流出による水圏の汚濁など、枚挙にいとまがない。

こうしたなかで、土壌侵食現象もまた重要な環境問題の一つと位置付けられる。地球上の生物生存の基盤である土壌は脆弱な地球の被膜に過ぎず、利用にあたっては一定の配慮が必要である。土壌（ここでは耕土）が流亡するとき、その影響は農業の範囲に止まらない。たとえば、侵食土砂が水系に流入して拡散すると、水環境生態

系に重大な影響を及ぼしかねない。また、侵食が引き金になって植物被覆が破壊され、広い面積が沙漠化するなどの実態がある。

土壌侵食がもたらす影響は多岐にわたるが、その原因もまた様々である。なかでも重要、かつ深刻なのは政治経済的側面が影を落とす。謂わば「社会現象」としての侵食問題である。したがって、侵食抑制に対する理工学的アプローチには限界があることを認めざるを得ない。しがしながら、侵食問題を正しく理解し、地域生態系保全に対する位置付けを認識し、情報を発信することは、われわれに課せられた責務であろう。

侵食の原因を分析し、定量評価する作業を通じて、保全上の処方箋を出すべく、各方面の研究が積み上げられている。本号に寄せられた報文は、多面的な研究成果ではあるが、勿論これら以外の問題も山積している。土壌侵食をめぐる諸問題への読者諸氏の関心増嵩が、本特集企画の意図でもある。

長澤 徹 明

編集委員会からのお知らせ

土壌の物理性第73号(1995年10月発行)では、一般投稿とともに、小特集「土壌の環境維持管理」の原稿を募集いたします。

小特集「土壌の環境維持管理」のねらいと原稿募集要領

酸性雨、廃棄物投棄、森林伐採による侵食など、陸上生態系の要である土壌環境へのインパクトの増加が懸念されています。一方、土壌にはもともと諸物質の吸着、固定、微生物分解などによる浄化機能があり、その機能を生かして浄水システムが作られてきました。このシステムを環境維持管理に適用して、土地利用計画を考えようとする試みがなされています。水田や湿地の浄化機能、酸性雨耐性機構の研究などがそれです。また、外部環境からのインパクトを考慮した農耕地維持管理をめざさねば、これまでの豊かな農地を持続できないばかりか、農地自身が外部環境へインパクトを与えることになります。したがって、農地などの「環境容量マップ」の作成が望まれています。

そのためには、1) 土壌の浄化能特性の整理、浄化能を支配する土壌特性値の簡便な予察方法、それらの空間的变化などの基礎研究、2) 土壌および土地利用現況の調査方法をふくめた実態調査研究、3) 土地利用計画と将来予測のための土壌の環境維持管理のモデル構築研究が必要と思われます。

本小特集ではそれらに関わる報文、ノートおよび資料を募集します。なお、原稿は執筆規定にのっとり作成して下さい。

原稿の締切りは、1995年5月末日といたします。

なお原稿は下記までお送り下さい。多数の投稿を期待しております。

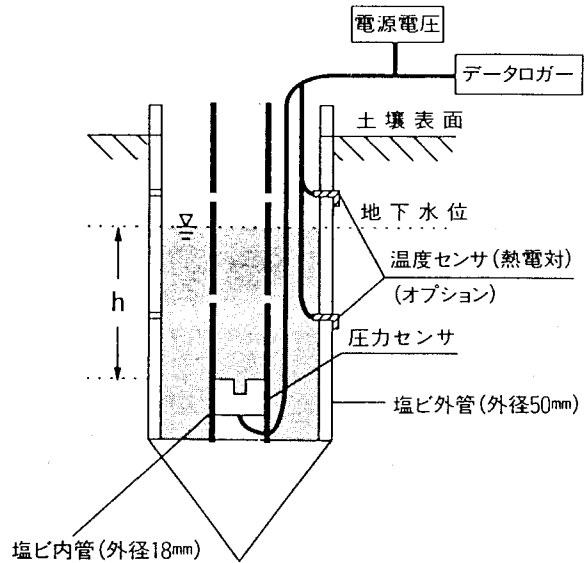
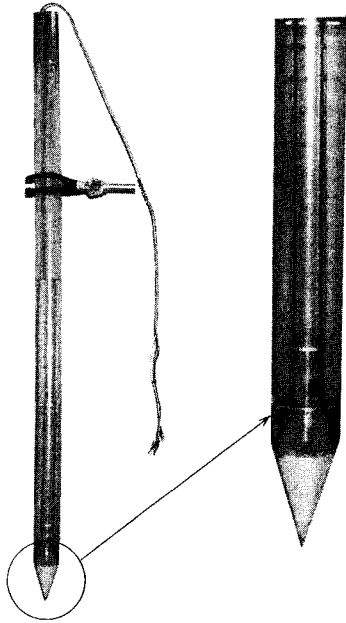
〒252 藤沢市亀井野1866 日本大学農獣医学部

河野 英一

地下水の動きを迅速かつ容易に見る

圧力センサ式地下水位メータ (EN-GW-501)

1. 構成



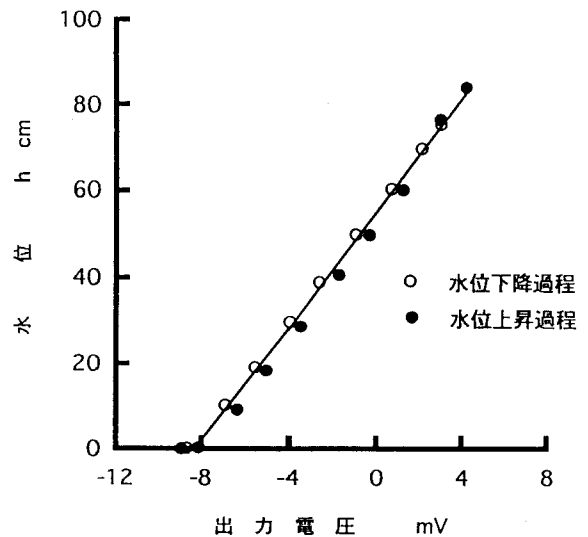
2. 圧力センサ (拡散型半導体圧力変換器)

1)仕様

定格圧力	0~ 9.81×10^{-2} MPa (0~1000cmH ₂ O)
最大圧力	0.196MPa
動作精度	±0.3% FS (0~50℃)
ヒステリシス	定格圧力の1%以下
アナログ出力	
オフセット電圧	±5 mV (0 MPa)
スパン電圧	100 mV ±50mV
駆動電流	1.5 [mA]

2)特性

圧力センサの出力電圧の初期値(水位0cm)によらず水位と出力電圧は直線関係を保ち、ヒステリシスは非常に小さい(直線性/ヒステリシス=±0.3%FS)



3. 地下水位メータ仕様

1)標準仕様	外管・内管 1 m 延長ケーブル 5 m
2)オプション	外管・内管 1 m以上 電源装置 埋設用オーガー

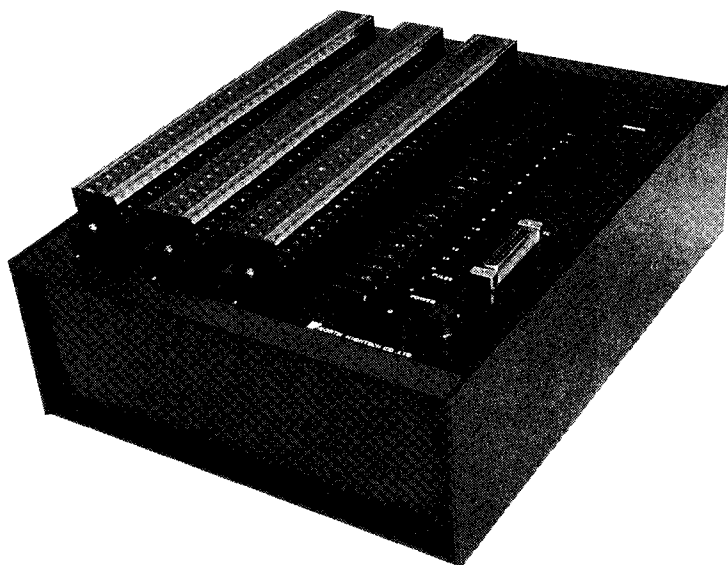
エンドウ理化

〒001 札幌市北区新琴似10条7丁目3-16

☎ (011) 763-1088

FAX (011) 763-1667

最も進んでいるパソコン時代のロガー「IDL-3200」



センサ対応がマルチ

±5mV, ±50mV, ±500mV, ±1V, ±5V, Pt100, 熱電対, 歪みゲージのマルチシグナルコンディショナ内蔵。センサを個別に各点に指定, 混在できる。センサ変換器を必要としないから計測コストが抜群

センサ電源を供給

センサ電源を必要とするセンサにはサンプリング10秒前からDC12V 200mAが供給されます

多チャンネル

アナログセンサ入力8チャンネル単位で最大256チャンネルまでのデータロガーを供給します。各機には転倒・降雨量パルス入力が1ヶ付いています

12Vバッテリー動作

経済的な12Vバッテリー動作。8Vまで低下しても動作。-温度の低温時はリチウム電池を推奨。アルカリ電池単1(約8AH)は常温の環境に推奨

ネットワーク

回線にモデムで接続するとパソコンとのテレメータ。多数のRS-232C機器とフィールドのLAN構築及び構内LANイーサネットともネットワークを構築

マイナス温度に強いマシン

-25℃~45℃動作機器は標準 -40℃から動作機器も出荷します

ロガーの機能を高める演算機能

専用演算回路による平均 積算 ピーク 敷き値積算 コンバータアナログ出力 パルスカウント



計測の未来をひらく

株式会社 **ノース・ハイテック**

〒060 札幌市中央区北2条西3丁目敷島ビル3F
TEL.011-232-3388 FAX.011-232-3288 ☎0120-053388

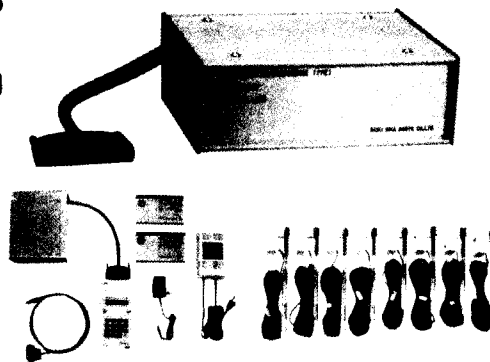
Daiki SOIL & MOISTURE

テンシオメータ 自記タイプ

DIK-3020

土壌水の吸引力の変化を刻々測定し、データロガーにデータを収録します。電源の無い野外ではバッテリーを使用します。

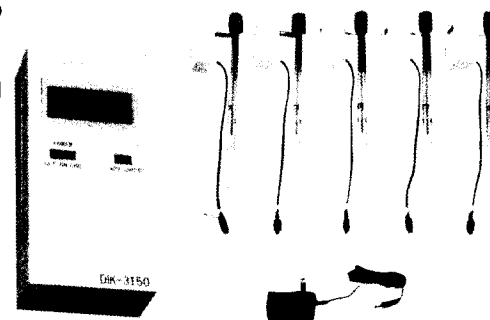
(測定点数8、測定範囲 pF 0~3)



テンシオメータ 表示タイプ

DIK-3150

現場に於ける土壌水分の吸引力を簡便に読み取る測定器です。1台の測定本体を携帯して多数の測定箇所順次接続しながら数値を読み取ることができます。



貫入式土壌硬度計

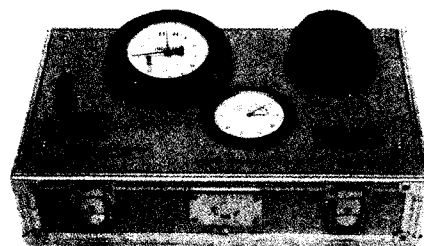
DIK-5520



土中にさし込むだけで各深さに対応した抵抗値が自動的に連続記録されます。

土壌三相計

DIK-1120



実容積(固相+液相)と全重量が現場で迅速に測れます。

SPAD[®]開発製品

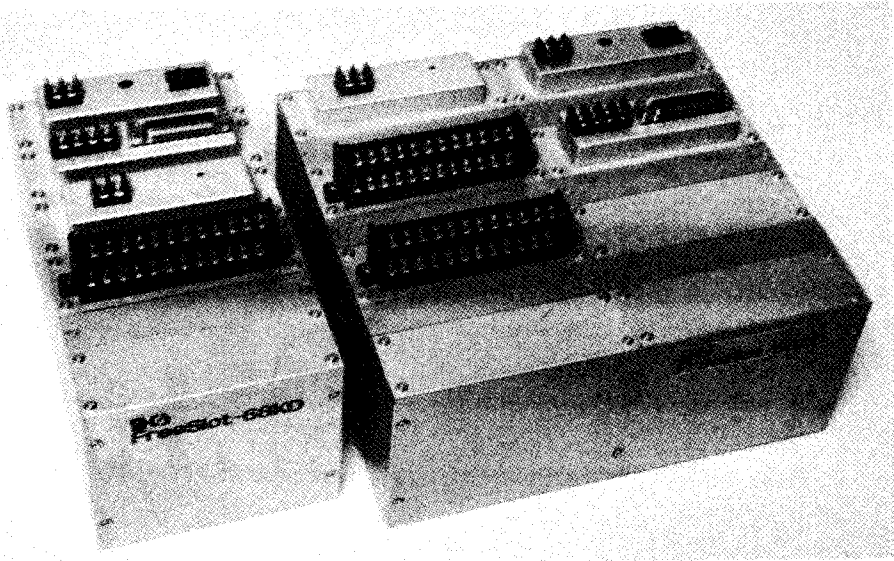
ダイキ
DIK 大起理化工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久7-60-3 TEL03-3810-2181

新製品

多機能・多チャンネル・データロガー

FreeSlot-68KDシリーズ



FreeSlot-68KDは、優れた通信機能により各種遠隔監視/制御システムに使用できる多機能データ収集・伝送装置です。(特許申請中)

特長

拡張性に優れている

16 bit CPU (68000)、mcs バスラインにより、フリースロットを実現、汎用4チャンネル・メモリ・各演算ボード等豊富なオプションを簡単に増設できます。(オプションボードを自由に組み合わせて使用できます)

多様なセンサ出力に対応

電圧(8レンジ)・電流・温度・歪みが入力できます。標準でパルス入力を2ch装備しており、雨量計等のパルス出力タイプのセンサを接続することができます。

広い動作温度範囲

広い温度範囲で(-20℃~+60℃)動作できます。
-40℃~+80℃仕様・防水筐体(防水コネクタ)仕様もお客様の希望により承ります。
(受注生産)

多様な測定インターバル機能

チャンネル単位、測定期間により二段階の測定インターバルを設定でき多様な測定ができます。

パソコンで簡単にデータ回収

付属の基本ソフトでデータ回収・データ表示・テキスト変換等ができます。
(オプションソフト追加でデータ処理ソフトグレードアップ可)

RS-232C通信機能

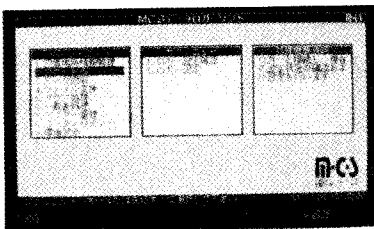
モデム(オプション)を使用し、NTT回線でパソコンと通信ができます。

3電源方式

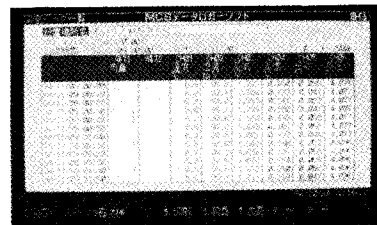
AC100V、外部電池(DC12~24V)、内蔵電池(オプション)で動作可能です。

FreeSlot-68KD 基本ソフト例

メニュー画面

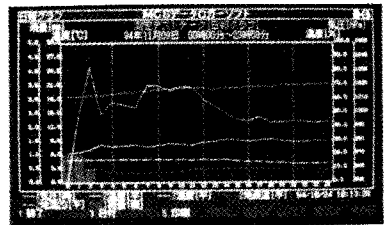


測定データ表示



FreeSlot-68KD オプションソフト例

グラフ表示(オプション)



製造・発売元



有限会社 エム・シー・エス

〒064 札幌市中央区南4条西10丁目1004番1
南4条ユニハウス

TEL 011-562-5547 FAX 011-563-2555

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿の執筆は、日本語原稿の場合は、400字詰横書き原稿用紙を用いる。ワードプロセッサを使用する場合は、A4判で横25字、縦23行とし、上左右30mm、下端に50mmの余白をとる。英語原稿の場合は、A4判ダブルスペースで作成する。
- 2) 原稿枚数は、図表を含めて刷り上がり6ページ以内とする（日本語原稿では、刷り上がり1ページは、2300字で、ワードプロセッサ使用の場合は4枚が1ページに相当する。英語原稿では、刷り上がり1ページは、4600字）。

表題・著者名・キーワード

- 3) 表題は内容を簡潔に表すものとする。
- 4) 日本語で原稿を作成する場合には、表題、著者名の順に記す。次に英語で表題、著者名（フルネーム）、所属機関（住所）を記す。原稿1ページ目の脚注に、日本語で所属機関（住所）を記入し、ついで5個以内のキーワードを記す。
- 5) 英語で原稿を作成する場合には、表題、著者名、所属機関の順に記す。ついで300語程度のABSTRACTを記し、その下に5個以内のキーワードを記す。

本文

- 6) 本文は、1.はじめに、2.実験方法、3.結果、4.考察のように章に分けて見出しをつけ、必要に応じて、1),2),3),・・・と節に分け小見出しをつける。章・節の番号はアラビア数字を用いる。
- 7) 文体はひらがな漢字混じりの横書き口語体とし、できるだけわかりやすい表現にする。
- 8) 術語以外は常用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 9) 句読点・括弧・ハイフンは普通1画を与える。数字・小数点・ローマ字は1画に2字をあてる。
- 10) 数字はアラビア数字を用い、漢数字は普通の字句にのみ用いる。
- 11) 外国人名は欧字とし、最初の文字のみ大文字とする。ただし中国人名などは漢字でよい。術語になっている外国人名は、カタカナ書きとする（例：ダルシー則、ストークスの法則）。
- 12) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。中国等の地名は漢字でもよい。日本語の地名も周知されていないものは、ひらがなを併記する。
- 13) ゴシック、イタリック、ボールドの字体は鉛筆で指定する。ギリシャ文字、上付き、下付き文字、あるいは1（エル）と1（イチ）のようにまぎらわしい文字が混在するときにも、誤植防止のため鉛筆で指定する。
- 14) 述語は原則として文部省編学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 15) 略語、略号を使うときは、はじめにそれが出る箇所で、正式名称とともに記す（例：液性限界(LL)）。
- 16) 動植物の名称はカタカナ書きにし、必要に応じてラテン語学名をイタリックでつける。

- 17) 数量の単位は原則としてSIを用いる。
- 18) 文献の引用は著者名、年号をつける。著者が2名の場合は、両者の名字と年号を記す。3名以上の場合は、以下の例に従う（Tanaka et al. (1994) は・・・；竹中ら（1960）は・・・；・・・（Tayler et al.,1945）.）。
- 19) 図・表・写真番号は図-1、表-1、写真-1のように書く。
- 20) 謝辞は本文末尾につける。
- 21) 英文原稿も上記に準じる。ただし英文の適正化は、著者の責任において行うこと。

英文要約

- 22) 報文には300語以内の英文要約をつける。
- 23) 英文要約の下に、5個以内のキーワードを記す。

図・表・写真

- 24) 図、表、写真は必要最少限度とし、同一事項を表と図に重複させることはできるだけ避ける。
- 25) 図、表、写真1つごとに、A4判で作成する。事故を避けるために、余白に著者名を鉛筆で記す。図、写真にはその番号も鉛筆で記す。
- 26) 図はそのまま印刷するので、白紙に黒インクできれいに書く。これと同程度の鮮明さを持つ、プロッタ、プリンタによる図は受け付ける。製版に適さない図は書き直しを要求することがある。
- 27) 図は刷り上がりの大きさを指定し、2倍くらいに大きく書く。図中の線の太さ、文字の大きさは、刷り上がりの大きさを考慮して決める。なお図および写真中の文字は希望があれば写植する。その場合には、図中の文字は鉛筆で薄く記入する。
- 28) 地図には定尺をつけ、何万分の1などの縮尺を指定しない。顕微鏡写真などには定尺をつけ、何倍などの拡大率を指定しない。
- 29) 日本語報文原稿の図・表・写真の表題には日本語と英語を併記する。
- 30) 図、写真の表題は別紙にまとめて記す。

引用文献

- 31) 文献は本文のあとに、著者名のABC順に書く。未発表・私信は引用文献として記載しない。
- 32) 書き方の様式は以下のようにする。
Bouma, J. and Dekker, L. W. (1978) : A case study on infiltration into dry clay soil, I. Morphological observations. *Geoderma*, 20 : 27-40.
Cambell, G. S. (1974) : A simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, 117 : 311-314.
FAO (1988) : Revised legend of the FAO-UNESCO Soil Map of the World. p.119, FAO, Roma.
岩田進午 (1970) : 土壌物理とペドロロジー, ペドロジスト14 : 28-33.
山崎不二夫監修 (1969) : 土壌物理, p 55, 養賢堂, 東京.
竹中 肇 (1965) : 収縮挙動よりみた土の工学的性質, 農土論集, 14 : 32-35.

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No.71

January 1995

Contents

Foreword	T. Sakuma	1
Special editing for "Soil Erosion"		
Freezing-melting and soil erosion in cold region -Soil aggregate structure as affected by repetitive freezing-melting processes-	S. M. Medina, H. Narioka, M. Mihara, M. Anase, R. Yasutomi	5
Freezing-melting and soil erosion in cold region -Effect of calcium addition on slaking properties	N. Aiba, M. Mihara, H. Narioka, R. Yasutomi, M. Anase	11
Mechanism of soil surface crusting and some conditions affecting it	U. Tanaka	17
Properties of soil erosion conducted by furrowing practices on upland diluvial fields	Y. Matsumoto, T. Amaya, N. Nishimura	23
Soil conservation practices for vegetable production on volcanic ash soils in Handa highland region of Kyushu	Y. Iwamoto	31
Utilization of the native wild grasses for conservation of granitic soils after land leveling	M. Suzuki	37
Effects of straw mulch on soil erosion from steep slopes in Shikoku, Japan	H. Yamamoto, S. Osozawa, A. Ishihara, Y. Hanano	41
Soil conservation at the farming process on sloping arable land	T. Nagasawa, Y. Umeda, T. Inoue, T. Muneoka	47
Measurement of soil erosion in reclaimed land with optical land surveyer	K. Banzai, T. Fumio, H. Iwama, I. Taniyama, H. Mayumi	53
Estimating the amount of soil losses using fallout radionuclide (¹³⁷ Cs)	J. Kashiwagi, T. Sakuma	57

Published by Research Association of Soil Physics, Japan
Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Hokkaido University
Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, 060, Japan
President Toshio Sakuma