

機械耕うんによる土壌物理性の改良 農業機械化研究所研究第1部

唐 橋 需

Improvement in physical properties of soil by tillage

Motomu KARAHASHI

1st Research Division, Institute of Agricultural Machinery

1. はじめに

耕うん作業は、soil preparation for seeding,つまり播種床造成のために行うのが基本であり、そのための方法としては、プラウで“起こす”ことを根幹とし、ハローで碎土・整地を行う耕起・碎土・整地システムが代表的なものである。ところが、我が国ではロータリで耕起と碎土を同時に行ってしまう方法が一般化した。一方、世界的に見ると、近年サブソイラ等で地中に亀裂を入れる方法が重要な耕起方法になってきている。したがって、現在では、土層を破碎したり、持上げて返したりする多様な耕起方法と、種々の碎土方法の全体を、つまり、広義の意味に「耕うん」という表現を使ってよいものと考えられる。

以上のような耕うん作業によって、播種に適し、かつ根の伸長等、作物の生育に適した状態に土壌を調製するのであるが、耕うん方法の研究について見ると、作業前の土壌物理性等の圃場条件と作業に要したエネルギーの関係を中心として、これに土壌の反転または作物残渣の埋込み、あるいは砕き方といった処理の結果を評価基準に加えるというのが大半であり、耕うん後、特に時間を経過した時の土壌物理性の把握については余り努力を払ってこなかったと言っても過言ではあるまい。今後は耕うん効果の持続性という面から見直してみる必要があると考えるのであるが、ここでは各種の耕うん作業によってどのような処理結果が得られるかについて述べることにする。

なお、土壌物理性の把握のために農業機械の分野で一般的に行っている項目は、土壌密度・含水比・三相分布の測定と円錐貫入抵抗・リングせん断抵抗の測定で、前者のために深さ30cmまで連続して採土することのできる手動式のコアサンブラが筆者等によって開発されたところであり、後者のためには当研究室で改良開発された

SR-2型土壌抵抗測定器が使われることが多くなっている。また、碎土度合の測定には一定網目間隔（当室では1, 2, 3, 4, 5, 7, 10cm）の篩を使用し、重量分布割合と平均土塊径で表示しているが、水田を対象とする場合には、播種床に対する適性の大体の目安になるという意味で、2cm以下の割合を碎土率と呼ぶことが慣行化してきている。ただし、畑の場合には、1cm以下の割合で表現するのが良いとする声が多いようである。

2. ロータリ

我が国では最近、浅耕化が大きな問題になっている。各種の資料を総合すると、水田作土深は、昭和30年代から40年代にかけてはむしろ増加して14~16cmであったものが、昭和50年代になると減少しており、50年代半ばには12~14cmになっているようである。ロータリだけの耕うんの場合は耕深によって作土深がほぼ決定されると考えられるので、確かに耕深は浅くなっているようである。山形県農業試験場の実態調査結果¹⁾によると、我が国で台数の最も多い20PS以下の大きさのトラクタの場合に最も問題が大きく、碎土を高めて速く作業しようとする結果、耕深の平均が約12~13cmとなっている。しかし、根本的には、栽培技術全体の仕組みとして、即ち、13cm農法が出来上がっているのであり、これに適するものとしてロータリが使われているのである。したがって、耕起と碎土を同時に行うためエネルギー要求量の著しく大きいロータリで、15cm以上の耕深を得、しかも能率を下げないで作業しようすればトラクタのかなり的大型化が必要なのであって、現在の使用トラクタを前提とするなら何らかの新しい耕うんシステムが必要になる。

さて、ロータリによる耕うん後の状態は、碎土とわら刈株等の埋没の程度で測定される。前者は耕うんピッチ（爪の打込み間距離）と土壌条件とによってほぼ定ま

*農業機械化研究所

る。土壌条件としては土性と含水比が大きな要因となり、図-1に示されるように、一般に砕土と所要動力の

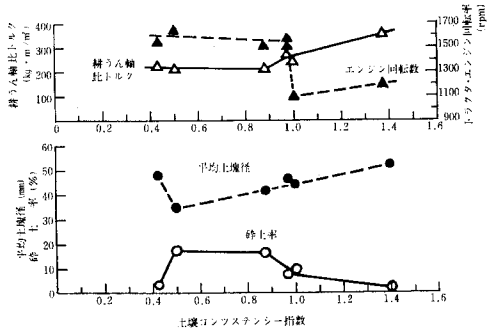


図-1 圃場水分条件とロータリの砕土性能²⁾
(火山灰壤土, 水田転換初年目, 耕うんピッチ 9~10cm, 作業速度0.5m/s)
〔本庄等, 昭和59年〕

両面から見て塑性限界付近が耕うんに適した状態と考えられる²⁾。耕うんピッチは、当然小さくなるほど砕土がよくなる。その一例を図-2に示した。この図で表層部分の平均土塊径が全層の場合より大きくなっていることからわかるように、細かい土塊が下層にやや多くなる傾向が認められる。わら類の埋込みは、適当な耕うんピッチであれば、耕深を最低12cm以上とすることによって、かなり良く行うことができる³⁾。ただし、表-1⁴⁾に示されるように、表層から下層まで大体均一に入った状態となる点がブラウによる埋込み状態とは著しく異なる。

以上のような砕土と埋込みの結果、ロータリ耕うんは土層の攪拌混合と膨軟化をもたらす。この外、耕うん爪の切削面の滑りによって、また、上からたたく作用も加わって、数年で耕盤が生ずるといことが聞かれる。

3. レーキ付アップカットロータリ

従来一般に使用されてきたロータリは、進行方向に向かって爪が打ち下ろすダウンカット式のものであり、それについての特性は前述したとおりである。この普通の

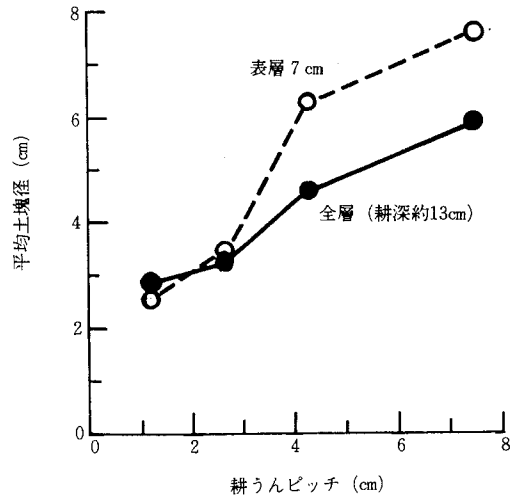


図-2 ロータリの耕うんピッチと砕土状態
(圃場条件: 灰色低地土, SiC, 水稻跡, 含水比45~47%)
〔農機研, 昭和57年度成績より作成〕

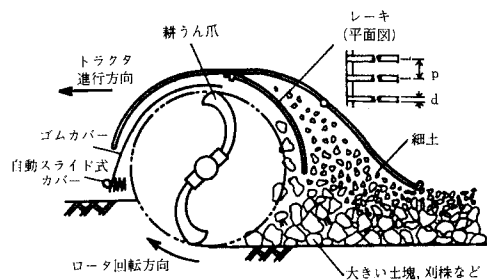


図-3 レーキ付アップカットロータリの構造と作用
注) レーキ棒のピッチp=35~38mm, 直径d=8~10mm。

ロータリとは耕うん爪の回転方向を逆にして、ロータの直後に格子状のレーキを設けたのが図-3のレーキ付アップカットロータリである。このロータリの特徴は、レーキに耕うん土を衝突させることによって、レーキの

表-1 耕うん後の麦稈のすき込み状態⁴⁾

試験区名	耕 深 (cm)	埋 没 率 (%)	埋 没 率 の 内 訳 (%)		
			表 層	上 層	下 層
完全すき込み区	16.0	100	0	0	100
ロータリ精耕区	14.8	91.9	20.7	38.0	41.3
ロータリ粗耕区	16.5	89.0	29.8	44.6	41.8
表 層 耕 区	6.2	65.3	95.0	5.0	0

小麦わら (含水率35%), 麦稈量 (乾物30kg/a, 切断長57mm, 堆肥土 (水田跡持込み), 耕うんピッチ (cm): 精耕区4, 粗耕区8 (九州農試水田作機械化研, 昭和51年度試験成績)

表-2 レーキ付アップカッターロータリと通常ロータリの性能比較

項 目	機 種	レーキ付アップカッターロータリ	通 常 ロ ー タ リ
表 層 碎 土 率 (種子の発芽に重要な関係)		水田転換1年目で 50~90% (通常ロータリの約2倍)	同条件では 20~50%
稲 株 埋 没 率 〃 露 出 率		95~99% 1~5% (通常ロータリの約1/6)	75~90% 10~25%
耕 う ん 所 要 動 力		通常ロータリより多少大 けん引抵抗でトラクタを 引張る	トラクタを押す方向 に力(推力)が働く

間隙を通過しない粗い土塊や刈株を先に落とし、その上へレーキの間を通過した細かい土塊を落とすという作用を行うことである。したがって、雑草やわら、刈株等の埋込み性能に優れ、下層ほど粗い土塊になるという耕土層の構造とすることができる。その性能は、多くの試験結果をまとめると、表-2のようになる。普通のロータリよりは所要力が大きくなるが、表層碎土と作物残渣埋込み性能の良さが評価されて、当研究室による改良開発後間もなく普及するとともに、ロータの回転方向を変えるだけで普通のロータリにもレーキ付アップカッターロータリにも使えるようにした正逆転両用ロータリがメーカーによって開発されて普及している。

一方、表層に細かい土塊を集中させるため、粘質土壤で、播種後の降雨時期とその後の乾燥によっては、土膜が発生して大豆等の出芽障害を起こすことがあるという、新たな問題も生じている。

なお、普通のロータリよりも更に耕土層が膨軟になるので、播種時には鎮圧する必要がある。ただし、このような膨軟さも、降雨の少ない条件ではかなりの期間持続される⁵⁾ものの、降雨の多い条件下では耕うん後1ヵ月後の固相率は普通のロータリ区と差がなくなるばかりでなく、耕うん前の転換畑のうね部分より土層がしまることがあった⁶⁾。

4. 深耕ロータリ

これは普通のロータリと同じ耕うん方法であるが、最大50cm回り迄耕うんすることができる。しかし、作業速度を増大させると機体が浮上がり、急速に耕深は小さくなる。図-4にその特性を示した⁷⁾。トラクタのPTO軸回転速度を高めるなどしてうまく使うと、耕深20cm回りで比較的能率的な作業を行える可能性のあることがこの図から知られる。

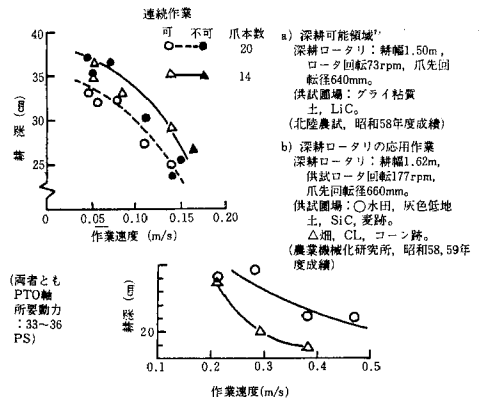


図-4 深耕ロータリの作業特性

5. プラウ

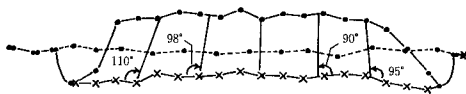
普通プラウと言えばボトム(はつ土板)プラウのこと
で、土層をほぼ完全に反転して作物残渣等を下層に埋没
させることができる点で大変優れているが、大きなけん
引力を要する等のため我が国に適する場面は少なかった。
また、耕起後の溝にトラクタの片側車輪を入れて
走る溝曳きの作業方法となるため、硬い耕盤が生ずる。
その様相を調査した表-3の結果によると、土性によっ
て発生程度が異なるが、大型トラクタのみならず、小
型トラクタによっても生ずることが明らかである⁸⁾。

これに対して、最近注目を集めているのが駆動ディス
クハロー型プラウである。これは、シングル(単列)デ
ィスクハローの形状をしており、作業幅が大きいが、デ
ィスクをPTO軸動力を使って強制回転させることでけん
引抵抗が小さくなるため、小型トラクタでも輪距より
大きな作業幅のプラウを引張ることができる。したがっ
て能率的な耕起作業をできるだけでなく、未耕起地をト
ラクタが走る丘曳きの作業となるため、また、ディスク
周縁の刃が立って削る作用のため、耕盤を作り難いと考

表-3 トラクタ耕と馬耕における壟溝底下の比貫入抵抗⁸⁾

試験地	土性	区別	トラクタ導入年数	トラクタの大きさ HP	プラウの耕深 cm	比貫入抵抗 kg/cm ²	備考
十勝	火山性壤土	トラクタ耕	9年	9.8	18~21	6~8	9年間の影響 心土が固いため 1年の影響
		馬耕	—	—	21	3~5	
	埴壤土	トラクタ耕	4年	36.5	18	6~8	
		馬耕	—	—	14	5~8	
美幌	火山性壤土	トラクタ耕	1年	58.5	15	6~8	4年間の影響
		馬耕	—	—	10	5~6	
石狩高岡	埴壤土	トラクタ耕	4年前に心土耕	36.5	21	5.5~8	1回耕の影響
		馬耕	—	—	15	2.5~4	
石狩高岡	壤土	トラクタ耕	初テスト	58.5	24	6~12	1回耕の影響
		馬耕	—	—	21	4.5~6	

(常松 栄等, 1967より作成)



キヤング角25°, 耕幅194cm, 耕深: 平均12.9cm, 最大約18cm,
作業速度0.56m/s, 平均けん引抵抗686N (70kgf), 滑り
率1.1% (トラクタ: 50.7kW, 69Pa, 2.64t), 平均PTO軸所
要動力28.0kW (38.1PS), 平均総所要動力28.4kW (38.6PS),
うね高さ約35cm。

図-5 駆動ディスクハロー型プラウによる耕起作業結果
(水稻跡, 灰色低地土, SiC, 含水比42~43%,
液性指数0.25~0.30, 0~15cm平均小型円錐貫
入抵抗814kPa, 8.3kgf/cm²)
(農機研, 昭和59年度土一機械系研究委員会成果より)

えられる。しかし、図-5に示したように、土壌が硬いと回転するディスクによっても食込みが不足して耕深が不十分となったり、またツーウェイ（寄せうね）式の中割部が浮いて耕盤が中高の波状を呈したりする外、壟の反転程度が90°~110°にしか過ぎず、刈株とわらのすき込みが不完全である。ただし、れきが斜めに立っていることで乾燥が進むと期待されている。また、ロータリとボトムプラウの中間的な反転作用が、畑などの地力の向上に適する可能性を秘めていると思われる。

6. 新しい耕うんシステムの探索

いま米国では、地表面に作物残渣を残した状態（無耕うん）で心土破碎機状のものを通しつつ、その破碎条の上に播種していくという減少耕うんシステムが、土壌流亡の防止に効果が高い上に、沿岸地方では排水性が向上して収量が増加する等の長所があって、かなりの地域に導入されつつある⁹⁾¹⁰⁾と言われる。我が国では、深耕は、一方では排水性の向上をもたらすことで増収に寄与

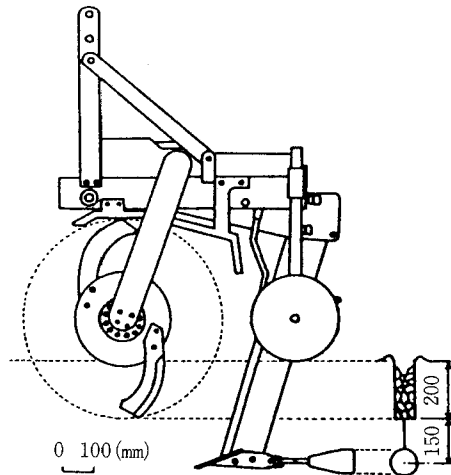


図-6 爪打込み同期式溝切りロータリ
付振動弾丸暗渠せん孔機

[主要諸元]

全重160kg, 弾丸最大直径80mm,
標準振動数 9 Hz, 標準振幅32mm,
爪先回転径650mm, 切削幅50mm。

すると推察できる。当研究室では、水田転換畑における排水促進の一層の向上を行わしめる方法として、図-6の構造の作業機と施工法を開発してきたのであるが、今後はこのような土層処理の方法を前述のような耕うんシステムに組入れることを試みようとしている。マリツェフ農法(1958)¹¹⁾によると、完全反転の耕作方法には欠陥があるのであって、数年に1回、はつ土板なしプラウで作土を反転しない深耕を行い、毎年の収穫を終った後に浅耕しておくのが地力増進と水分保持のために最適である。我が国でも、千葉県農業試験場でプラウとロータリによる耕うんシステムが野菜の生育と収量及び土壌

に及ぼす影響についての7年間の試験が行われている。このような長期にわたる広範囲な土壌と作物、気象条件に対する試験によって、数年サイクルの単位で見た適正な土壌管理方法を確立することが、今最も求められている課題であると思う。

7. 結 語

耕うん作業は、現在では土壌処理に係る幅広い意味に解されるべきであるとの観点に立って、それがもたらす土壌構造の変化を主体にして解説した。しかし、この分野の研究では、耕うん後、特に時間の経過に伴う土壌物理性の変化の把握は余りなされていなかった。今後は耕うん効果をその持続性の面から見直す必要があり、その中から我が国における土壌と作物と気象条件に適した新しい耕うんシステムが生まれるであろうと考える。

参 考 文 献

- 1) 深澤昭吾・榎谷精治・小南 力・安達真道：水田耕土確保についての一考察，農業機械学会東北支部報31，1～4，1984
- 2) 本庄弘幸・富田 貢・沢村宣志：水田転換畑における耕うん・碎土作業について，第1報圃場水分条件とロータリの碎土性能，北農，51，1，1～13，昭和59年
- 3) 農事試験場作業技術部作業技術第1研究室：藁稈類・植物残体の処理法，昭和51年度特別研究「水稲・裏作物による作付体系と高位生産技術に関する研究」推進会議資料，135～138，昭和52年
- 4) 九州農業試験場作物第1部水田作機械化研究室：藁稈類の処理法，同上，147～151，昭和52年
- 5) 伊澤敏彦・後藤隆志・金須正幸・藤井清信：土壌物理性の改善に関する研究，農業機械研究所研究成績55-2，39～43，昭和56年
- 6) 藤井清信・後藤隆志：同上，同上56-1，39～42，昭和57年
- 7) 北陸農業試験場経営土地利用部機械化研究室：重粘土壌の耕うん法（深耕ロータリ耕うん，昭和58年度北陸農業試験場研究成績・計画概要集—機械作業—，2，昭和59年
- 8) 常松 栄・吉田富穂・松居勝広・池内義則・南部悟・宮本啓二：トラクターによる踏圧現象に関する研究（第1報），プラウ耕時の踏圧，農業機械学会北海道支部会報第9号，126～134，1967
- 9) C. Hammond, J. T. Reid, W. E. Seigler : Seedbed Preparation behind Row Subsoilers, Trans. ASAE, 24(4), 897～901, 904, 1981
- 10) E. D. Threadgill : Residual Tillage Effects as Determined by Cone Index, Trans. ASAE, 25(4), 859～863, 867, 1982
- 11) 亀井建三・倉田 貞 訳編：新しい耕作法—マリツェフ農法，理論社，1958

質 疑 応 答

諸遊（農環研） アップカットロータリで細かい土塊が地表付近に集まるが，降雨後固くなるのは川里圃場の土壌の例ですか。

唐橋（農業機械化研） 川里土壌では強いたまり水が2回あり，春起こしの状態よりも固くなってしまいました。なぜ土が固くなるのかというのには，やはり雨の作用とその後の乾燥収縮が考えられますが，このへんはむしろ教えていただきたい。アップカットというのは表面に細かいものを集めますから，大雨でなくても雨がきて乾燥しますと特に粘土質土壌では表面がかちかちになる場合があります。このような状態になると，例えばダイズなどは種子を持ち上げきれなくてちぎれてしまうような発芽障害の問題もできます。これにつきましても細かいものばかりでなく粗いものも混った方がよいといった事をいっておられる方もいます。そういった土膜の問題もアップカットにはあります。