

火山灰土壤の耕うんの諸問題

藍 房 和*

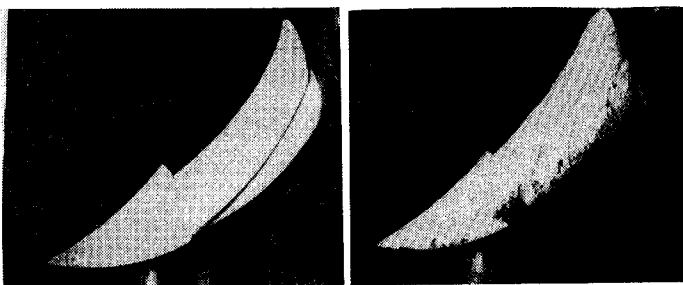
火山灰土壤における耕うん作業技術上の主要な問題としては、つぎのようなものが上げられよう。すなわち、

- (i) トラクタ、犁などの土壤圧結による耕盤形成の問題
 - (ii) トラクタ車輪の滑りや沈下に関する問題
 - (iii) 耕うん時における犁体への土壤付着に関する問題
- などである。(i)の問題は、犁耕を繰り返し実施すると、作土中または作土の下層部に硬化した層ができ、これが作物の生育収量に悪影響を及ぼすというものであり、(ii)は火山灰土壤においては、トラクタの車輪が滑りや沈下を生じやすく、けん引性能が低下して作業に支障をきたすという問題であり、(iii)は、火山灰土壤中にいちじるしく付着性の強い土壤があり、犁体への土壤付着のため、犁の性能がはなだしく減殺され、ひどい場合には作業不能の状態も生ずるという問題である。以上の起因するところは、いずれも火山灰土壤特有の物理的性質からよってきたるものと考えられる。

上記の問題中、(iii)以外のものについては、すでに本誌にも詳細な報文¹⁾²⁾³⁾がみられるので、ここでは(iii)の犁体への土壤付着の問題にのみしぼって農業機械の立場から述べ、会員各位から問題解決のための御指導を得たいと思う。

1. 農機具への土壤付着の実態

図-1は、犁への土壤付着の状況を示めたものである



(a) 未付着犁体 (b) 付着犁体

図-1 犁体面への土壤付着状況

*東京農工大学農学部

る。付着の問題は、犁のみに限ぎられたものでなく、問題の多少は別にして土を取扱う農機具すべてに関した問題でもある。

付着しやすい土壤は、通常火山灰軽しょう土と俗称されているもので、この種の土壤は、わが国の畑地のかなりの部分を占めており、農林省の調査⁴⁾では、総畑面積の23%が軽しょう土であるという。水田においても4%程度はあるが、水田の場合には、作業上そう問題はない。

軽しょう土の分布をみれば、全国的に分布しているが、とくに関東、東北地方に多く、この地方の畑作地帯では、土がつくというなやみは、はなはだしいものがあり、くわを使用していた時代に、付着のひどいところでは三本くわを使用し、しかもその上に竹べらを腰に下げて土を落しながら作業をしたような状態である。

いづれにしろ、農機具への土壤付着は、耕盤形成の問題と共に、水田の機械化よりもむしろ技術的には容易であるはずの畑作の機械化を遅らせてきた主要な因子といえる。

2. 犁体面への土壤付着の様相

(1) 付着の経過と状況

図-2は、付着経過を示めたものである。この図にみられるように付着土量は概括的には犁耕距離の増加と共に増大するが、その増大はジグ・ザグの経過をたど

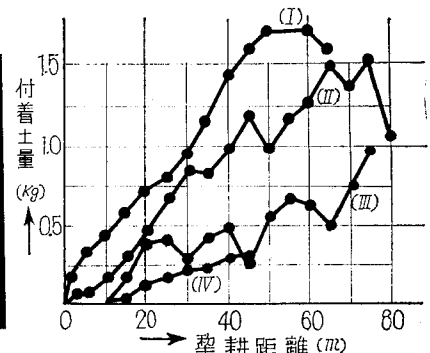


図-2 犁体面への土壤付着の経過
(府中洪積層植壤土)

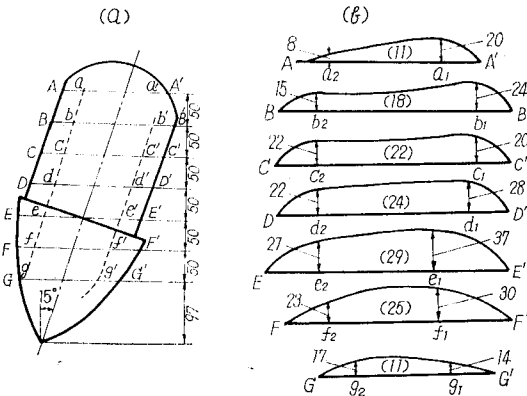


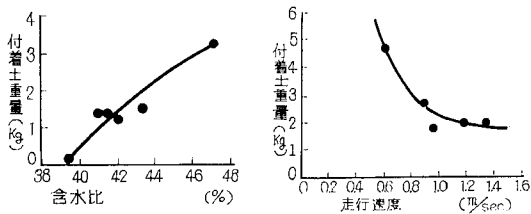
図-3 犁体面上の附着位置

る。すなわち、おおむね 10~15m ごとに不安定期がきて附着土の一部が脱落し、再びすぐに附着が始まり、次第に土量が増加してゆく。しかし、附着土量にはある限界があって、一定以上の量を越せばそれ以上はもう増加しない。これは、附着土量が増大すると、附着土に対する歴土の圧力も大きくなり、附着力よりも歴土の圧力の方が大きくなった部分で附着土は一部脱落し、この附着と脱落を繰り返しつつ附着量はほぼ一定値を保つわけである。限界量に達する犁耕距離は、もちろん土壌条件や作業条件で異なるが、おおむね 40~50m 程度で限界量に達する。

図-3は、犁体面上の各位置における附着状態を示めたものである。測定は、「へら」の上端から垂直距離 50mm ごとの位置で、附着土の厚さならびに表面形状を測定している。同図(b)中の数字は附着土の厚さであり、カッコの数字は平均厚さである。

附着土は、概して犁体の上端および下端は少なく「すき先」と「へら」の接合部付近が最も多い。また、断面の形からみると、「すき先」先端部では進行方向に向かって中心より右側の方に最厚部があり、「へら」の上部にゆくにしたがって左側に移る。附着土の硬さは、「すき先」の先端に近いほど硬く、それより上部にゆくにしたがって軟らかくなり、そして軟らかい部分は、衝撃や振動によって脱落しやすい。

以上のような附着状態と犁体面が犁耕中に受ける圧力



(a) 圃場含水比と附着土量 (b) 走行速度と附着土量

図-4 作業条件と附着土量 (鴻巣洪積層植壤土)

とを考え合わせてみると、おおむね犁体面の受ける圧力が大きいと思われる部分に附着が大である。したがって、土に対する垂直圧力が大なるほど附着性も大きいと考えられる。

(2) 附着と作業条件

図-4は、鎬木氏らの試験結果⁵⁾で、同図(a)は圃場の含水量と附着土量を示めている。この圃場の水分変化の範囲は、通常38~47%程度で、含水量39%以下ではほとんどつかず、それより水分が多くなると急激に附着量が増加している。農工大農場におけるわれわれの試験結果でも、圃場の含水量の変化範囲は年間通じて非常に小さく、その変化範囲内ではやはり含水量が多いほど附着量が増大する。

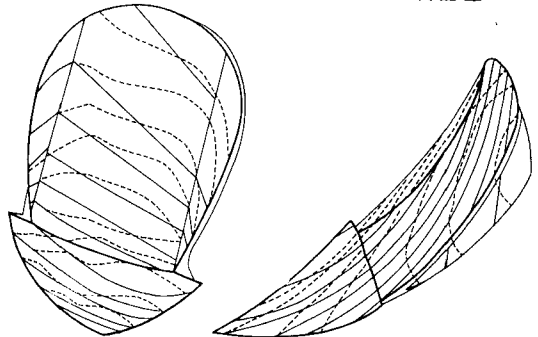
同図(b)は、トラクタの走行速度と附着土量の関係を示めたもので、附着土量は速度が増加するとともに減少している。これは低速の場合は歴土の投てき作用が不良となるため、歴土が犁体面上に停滞することによって考えられる。

耕深ならびに耕幅については、耕深を増せば附着量は増加し、その関係は放物線である。また耕幅も大きくとるにしたがって増すが、耕幅が耕深の1.5倍以上になると、歴土の流れが安定するためにかえって附着量は減少する。作業時の圃場の膨軟度は附着性ととくに関係があり、膨軟なほど附着が大となる。

(3) 附着による犁体曲面の変化とその作業に及ぼす

(a) 正面図

(b) 側面図



(c) 平面図

図-5 土壤附着による犁体曲面の変化

影響

犁体曲面は、土壤粒子の付着の経過にしたがって漸次変化する。図—5は、光学的プロフィログラフを用いて、未付着犁体の犁体線図と付着犁体の線図を描写して重ね合わせたものである。図中の実線は、未付着犁体のもの、すなわち犁が本来有する曲面を示めしており、点線は付着土が限界量に達したときの付着土の表面を示めす線図である。付着が始まると歴土は付着土の表面上を滑動するので、付着土表面が実質的に犁体曲面となる。図にみられるように、犁本来の曲面は全く失なわれて、新たな曲面が形成されている。したがって、本来犁に与えられている扛起角 (α)、反転角 (β)、投擲角 (γ) 等も全く違ったものとなる。たとえば、いま反転角についてみると、図(a) (正面図) における犁体線上の任意の点において水平線を引けば、その水平線と犁体線の接線とのなす角度が、その点の位置の反転角を示めす。図にみられるように反転角は犁体中心部でいちじるしく小さくなっており、また左側部では反転方向とは逆の負の角度に変化している。これでは、とうてい良好な反転性能を期待することは無理である。扛起角、投擲角も同様にいちじるしい変化がみられる。

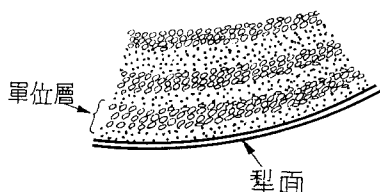
以上のように土がつくと、作業上つぎのような支障をきたす。

- (i) 犁体曲面の変化のため、反転、投擲が悪くなり、溝開きも不完全となる。
- (ii) 犁床にも土壤が付着し、サクション (Suction) がなくなって、犁は不安定となり、けん引抵抗が増大する。
- (iii) 犁の切断力が弱まり、安定不良となってけん引抵抗が増大する。
- (iv) 犁の安定が悪いので操縦が困難となり、運転者の疲労が増大する。

したがって、あまり付着のひどいときは、作業の実施は不能となる。

3. 付着土の構造

付着土の断面を合成樹脂固定法により固定し調べると、図—6の模式図に示めすように構造がみられる⁶⁾。それはちょうど、木材の年輪のようで、これは付着の生長経過を示めている。圃場における付着の観察結果とこの構造から付着経過を推察すれば、犁体面への付着は、付着土が最初から厚く付着するもの



図—6 付着土の構造

ではなく、初めは土壤粒子の一部が犁体面に付着し、その土壤粒子を母体として、その上部に他の土壤粒子が付着し、だんだんにその厚みを増してくるものと考えられる。

つぎに付着土の粒径組成をみてみると、付着土の組成は、犁耕圃場のそれとは明らかに異なり、その大部分は粒径の小さい微砂と粘土に占められ、とくに粘土が多い。この事実からも上述の付着の経過をうかがうことができる。恐らく、犁体面上を歴土か滑動する過程で、表面活性の大きい粒子のみが犁体へ付着を始め、その土壤粒子にさらに他の土壤粒子が吸着されて次第に付着量を増してゆくものと考えられる⁷⁾。

4. 付着と土壤の物理性

付着性の強い土とそうでない土との間の土壤の物理性の差は、必ずしも明瞭でないが、付着性に関係深い事項について整理してみると表—1のようである。

表—1 付着性と土壤の物理性

項目	付着性からみた特徴
1. 凝集力	火山灰土壌の凝集力は小さいことが知られているが、これは静的条件下における特徴で、動荷重により圧結したような場合は、必ずしも小さくはない。
2. 粘着力	粘着力の大小と付着性の大小とは直接的な関係はみられないが、凝集力と組合せて考えると特徴が出てくる。
3. 圧縮性	付着の大きい土壌は、圧縮による容積変化が大である。
4. 土性	付着性の強い火山灰土壌は壤土から植土の間であるが、その間での土性と付着性の大小とはあまり関係がない。
5. 土壤構造	付着性の強い土壌ほど団粒で構成された多孔の海绵状構造をもっており、土塊を形成しない。また、この構造は比較的弱い力で破壊されやすい。
6. 団粒の強さ	機械的力に対する強さは、火山灰土壌は他の種の土壌よりは強い。しかし、付着性の強い軽しよう土の団粒は、そうでないものより弱い。
7. 腐植含有量	多いものほど付着性弱く、少ないものほど付着が大。
8. 含水量	付着性の強いものほど、最大含水量が大きい。

よくつく土は、つかない土に比べて、圧縮による容積変化が大きく、土壤構造は付着性の強い土壌ほど団粒で構成された多孔の海绵状構造をもっており、この構造は比較的弱い力で破壊されやすい。団粒の強さは、よくつく土ほど機械的力に対する抵抗性が弱くてこわれやすく、腐植含有量の少ないものほど、付着しやす。またよくつく土ほど、最大含水量が大きいことが特徴として上げられる。

犁体への土壤付着の問題は、前述の付着経過ならびに付着土の構造からして、二つの問題として考えられる。

すなわち、第一は犁体材料への土壌粒子の付着であり、第二はその付着した土壌粒子が母体となって、付着土が増加してゆく過程の問題である。第一の問題は、土壌粒子と犁体材料との親和力に関したものであり、第二の問題は土壌粒子相互間の親和力に関したものである。そして、前者は主として土壌の粘着力により、後者は凝集力によるものと考えられる。

粘着力および凝集力について、米田氏⁹⁾は、「粘着力は固相界面における液相の牽引力に関連する現象であり、この場合水分子は土粒表面およびこれと接触せる物体に付着して両者間に皮膜を形成し、土壌の他物体への付着はかかる皮膜の媒体を通じて行なわれる。これに対して湿潤土壌の凝集力とは、隣接せる粒子間に皮膜水として存在する液相の分子間引力に機械的成分が相互に牽引、連結することによる」と述べている。

ここで、筆者の粗雑な見解を許していただくならば、上記の粘着力、凝集力に対する考え方をもとに、その観点から付着をみれば、それは土壌水液と固体（犁体材料と土壌粒子）とのぬれ（wetting）の問題に帰するものと思われ、土がつくためには、まず犁体材料ならびに土壌粒子が水によってぬれるということが第一条件であらぬれやすいかどうかということが、付着性の大小を示めり、すものとする。

いまぬれの問題として付着力を考えれば、土壌水液と固体との付着強さに置きかえられる。そこで、液体が固体に付着する場合、液体および固体の単位面積当りの表面自由エネルギーをそれぞれ γ_s , γ_L とし、その液体と固体との接触面における界面自由エネルギーを単位面積について γ_{SL} とすれば、付着の仕事 W_A は、

$$W_A = \gamma_s + \gamma_L - \gamma_{SL}$$

で示され、さらに図-7のように液滴が固体面上において平衡の位置を占めた場合を考えると、

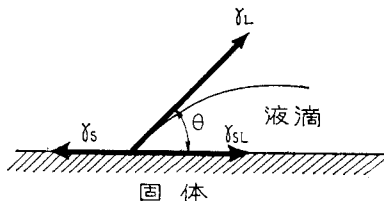


図-7 ぬれの平衡

$$W_A = \gamma_L (1 + \cos \theta)$$

なる関係が得られる⁹⁾。 W_A は、接触面において固体から液体を単位面積だけ引き離すに要する強さを示すものであり、 θ は液滴の接触角である。上式では、付着力はその液体の凝集力より大きな値をもち得ないこととなるが、付着力が凝集力より大なる場合については、固体

の表面自由エネルギーが吸着膜の存在のため γ_s より低下していると考え、その低下度を π とすると、

$$W_A = \gamma_L (1 + \cos \theta) + \pi$$

なる式が与えられる¹⁰⁾。

いづれにしろ、接触角 θ が小なるほど付着力は大きくなる。筆者らは、目下、各種犁体材料についての水滴の接触角を測定し、それと土壌付着性について検討しているが、概ね水の接触角の小さい材料は付着性が大きく、一般に金属材料は表面が汚れやすく、そのため接触角がいちじるしく小さくなり、付着性の強い傾向がうかがえた。また、各種材料の中でテフロンがとくに接触角が大きく、付着性の小なることが知れた。

5. 土壌の犁体付着対策

犁体に対する土壌付着を軽減するためには、土壌の物理性の改良と犁の改良という二方向からの対策が考えられるが、これまで具体的に実施されてきたのは、主として犁の改良面からの対策である。

(1) 土壌の物理性の改良

付着性を軽減するために、これまでに石灰砂、腐植質、土壌改良剤等の混入による改良が試みられた。山中氏¹¹⁾は、石灰の施用が土壌の凝集力に及ぼす影響について述べており、山崎氏¹²⁾は鋼土に砂を加えた場合は、砂の混合量が50%以上にならぬとほとんど効果がないが、石灰を加えた場合は、粘着力を減少させるのに有効であることを指摘した。

鍋木氏⁹⁾は、石灰添加について少くとも40%以上加えねば付着性を軽減するに有効ではないので実用性に乏しいとし、さらに土壌改良剤（A-22）が付着性に対してどのような影響を与えるかを調査した。A-22処理土壌は無処理土壌にくらべて塑性限界、容水量ともかなり小さく、土壌構造は、無処理土壌が比較的小塊の多いのに対して、処理土壌は細かい粒子が集って大塊をなしており、しかもこの大塊を改良剤が包んでいるため吸水力が小さく、細い粒子が十分付着作用を行なわないために付着性が小さくなることを認めた。

(2) 犁の改良

土のつかない犁の研究は、古くからいろいろな研究が行われてきた。

たとえば、ドイツにおいて重粘土壌の犁体へら面に粘着するのを防ぐために、「へら」面に水液を流し、部分的に土壌に泥液性を与えてやることを知り、このような方法を検討したが、軽しょう土地では、一層付着性を増す結果であった。

付着は土壌粒子が犁体面上を滑動するとき、「へら」

面が帯電する結果によるのではないかと考え、「へら」を硬質陶器にした犁の研究も行なわれた。しかし、これも一層付着が多く、かつ陶器は曲面を与えるのがむづかしく、大量生産が困難な面もあって研究は中止された。さらにゴム材料で作った犁も実験されたが、これも目的を達しなかった。

犁耕中に「へら」の背面をハンマーでたたき、付着した土壌を衝撃により落す構造のプラウの試作も行なわれた。しかし、これも実験の結果は、犁耕中は「へら」面を歴土が強く圧しているの、わずかの衝撃では土を落す効果がないことを知るにとどまった。

以上の他にもいろいろな試みが行なわれたが、決定的なものではなく、昭和27年に至って犁の「へら」が従来のものように一枚板ではなくフォーク状にした、いわゆる「フォークべら」型犁が発表された。この犁は付着に対してかなり有効なものとして認められ、それ以後は、畑用犁はほとんど「フォークへら」型となり、この犁をもとにして改良が進められ、現在一般に使われているような形態の軽しょう土犁となった。

いろいろな研究経過の中で、付着に対する犁の改良上とくに認められた点は、犁の吸い込み (Suction) を強くすれば、たとえ土が付着しても、ある程度耕起が継続できる。すなわち、犁の Suction を大きくとれば「へら」面に土が付着しても、犁体の土中へのさきり込みが強いので作業が可能である。「すき先」、「へら」、等の面積が大であると付着しやすいので、これらはいずれも小さくし、かつ「へら」はフォーク型等として土との接触面積をできるだけ小さくする。また、「すき先」、「へら」の曲面が強いつきは、犁体面へ土壌粒子が強く押しつけられ、犁体面上での土の流れが不良となって付着が増大する。したがって、「すき先」、「へら」の曲率を緩にした単一の曲面を与えるといふ等が犁の改良上認められた事項である。

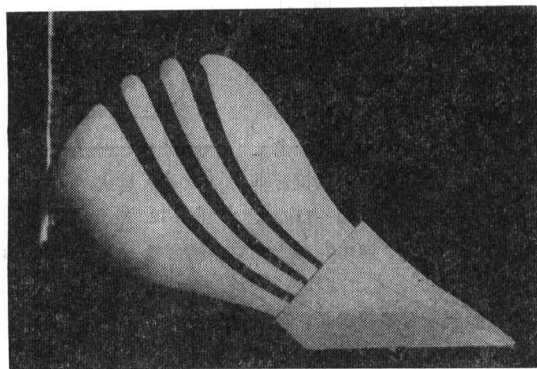


図-8 現用の畑用犁

以上のような点から、現在一般に使用されている軽しょう土用犁は図-8の犁のように、(i)「すき先」、「へら」が比較的小さい、(ii)「すき先」、「へら」の曲率が小さい、(iii) 接触面積の小さいフォーク型へら、(iv) Suction が大きい、等の特徴をもっている。

上のような特徴をもつ現用の犁は、一応作業に支障のない程度に付着をとどめ得るものになっている。しかしながら、これはあくまでも土のつかないことを第一義に考えたもので、本来、犁が有すべき性能をほとんど犠牲にしたもので、完全なものとはいえない。

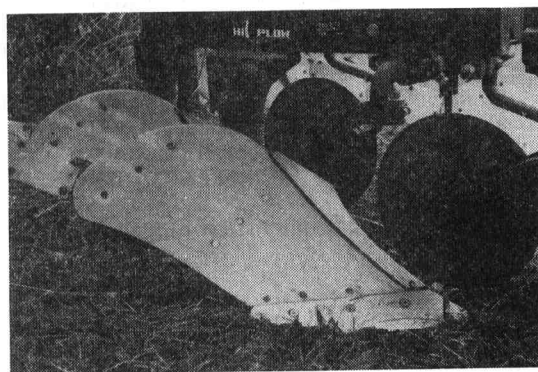


図-9 合成樹脂面材の犁

最近、図-9に示すような合成樹脂を用いた特殊面材の犁が発表され、ほとんど土のつかないことで注目されている。しかし、この犁は、土はつかないが、耐摩耗性に問題がある。摩耗を減らすために鉄粉などの耐摩耗材を混入すると、摩耗は減少するが、また土がつくという結果になる。したがって、犁体材料として最も効果的な材料を選択するためには、やはり、なぜ土がつくのかという本質的な問題が一層究明されなければならない。

6. むすび

犁体への土壌付着の問題は、これまで述べたように根本的には未解決である。付着問題の根本的な解決のためには、どうしても、なぜ土がつくのかという本質的な問題の究明が必要である。そのためには、土壌自体に関する研究として、今後は、機械的エネルギーによる土壌粒子の物理化学的性質の変化とそれに接する外相ならびに界面の変化、いわゆる mechanochemistry 的研究等も加わってゆくことが必要と思われる。

付着問題の本質的な究明は、単に犁だけの問題にとどまらず、土に接する農機具全般に通ずるものがある。たとえば、トラクタの走行性能の向上は、いかに車輪に土をつけるかという問題として考えることができ、相通ずるものである。会員各位のご指導ならびに関係の研究の進

展を願う次第である。

引 用 文 献

- 1) 長崎明ら：大型トラクタの踏圧が畑土壌の物理性と作物の生育におよぼす影響，土壤の物理性 第9号，p. 38
- 2) 山田忍：犁底盤について，同上 第10号 p. 31
- 3) 佐藤清美：畑の畜力耕起による耕盤形成と今後の問題点，同上 第10号 p. 39
- 4) 農林省農林改良局研究部：軽鬆土の分布面積，低位生産地改良資料 第19号
- 5) 籾木豪夫ら：犁の切削特性に関する研究 第Ⅱ報，犁体面への土壤付着について，関東々山農試研究報 (16) p. 309
- 6) 田原虎次ら：農機具の接地部における土壤粒子の付着性に関する基礎的研究 第3報，農機誌 第15巻 3・4号
- 7) 藍房和ら：犁体付着土壤の組成について，農機学会第26回講演要旨 p. 43
- 8) 米田茂男：土壤の物理的性質，農学講座 第2巻 p. 192
- 9) 日本化学会編：異面化学，実験化学講座 (7) p. 65
- 10) 高分子学会編：接着 (理論と応用)，p. 108
- 11) 山中金次郎：土壤の凝集力に関する研究，農技研報 B (6)
- 12) 山崎不二夫：鋼土の粘着力に及ぼす石灰の影響，農土研 第8巻4号

〔討論〕

横井肇 (農技研)・安富六郎 (東大農) すきに対する土の付着の機構 (一次付着，二次付着を含めて) をどのように考えたらよいか。講演者のようにぬれの問題として考えることも一つの方法と思うが，土と金属の場合の適応については必ずしも同意できない。

藍房和 付着という現象は，一見単純に見えながらそれに関連し影響をおよぼす因子はきわめて多いので，いろいろな立場から論ずることができると思う。答えにならないかも知れないが，先程，お話し申し上げたような付着土の構造から考えると，一次付着は，犁体面上を歴土が滑動する過程で，犁体が歴土中の土粒子を引き離なしてゆく問題であり，二次付着は，その付着した土粒子が，さらにその面上を滑動する歴土の中より土粒子を引き離なしてゆく問題として考えられ。そして，この歴土中から土粒子を引離なすことに対して，土壤水の犁体材料や土粒子に対するぬれが大きな関連があると思う。

きわめて乾燥している土壤，あるいは極端に水分の多い土壤では，ぬれの問題とは考えられないが，圃場における水分変化の範囲，つまり，通常犁耕作業の行なわれる含水量程度を対象にしては，ぬれは大きな関係があると思う。極端に乾燥している土壤の場合は，犁体材料面の粗度等の表面の形質が問題であり，極端に水分が多い場合は，犁体面上の土の滑動は，流体摩擦のような状態が想定され，ぬれはあまり関係なくなってしまうのでは

ないかと思う。

安富六郎 土の付着しないすきとして帯電の極性の等しい材料を用いるとか，機械的に附着土をハギとるといった対策，或いはゴムのような変形し易い材料を用いることは考えられないか。

藍房和 帯電の問題は重要なことで，今後研究を進める必要があると思う。

機械的に附着土をはぎ取ることは，ディスクプラウは別にして，これまでに試みた結果では，スクレーパの部分に土がたまって，かえって付着を増すことになり，またけん引抵抗が増大して具合がわるい。

ゴム材料も実際に使ってみたことがあるが，どうもあまり効果がなく，よけいつくようであった。

小中俊雄 (農事試) 犁体などへの土壤の付着現象を，1) 犁体材料への土壤粒子の付着と，2) 付着した土壤粒子が母体となって付着土が増加するという二段階の過程に分けて考察された点にも賛同するものですが，そこで使われている土壤の粘着力，凝集力などの術語の定義について，多

少明確でない点を感じましたので，私の解釈を述べさせていただけます。“土壤の凝集力”とよんでおられるものは，土壤のせん断抵抗と垂直圧力との関係が図-10のように，クーロンの公式 ($\tau = c + \sigma \tan \phi$) が成立

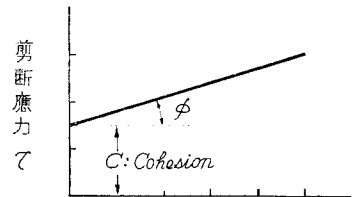


図-10 剪断抵抗

する場合の c:

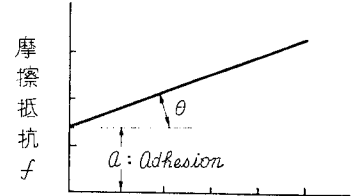


図-11 摩擦抵抗 (土と金属などの)

Cohesion (土質力学方面ではこれを粘着力とよぶ) のことであると推察しました。“土壤の粘着力”とは，土と金属などの間の摩擦抵抗と垂直圧力との関係が図-11のよ

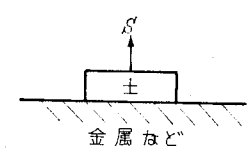


図-12 接着抵抗

うに， $f = a + p \tan \theta$ が成り立つ場合の a: Adhesion (付着力などとよばれる) のことか，図-12のように，土と金属などの接着面に垂直方向の引き離す力: s (これも Adhesion, 付着力とよぶことがある) のことか，a と s では力学的意味と実際の測定値も多少異なるので

すが、そのあとの文節で、 s のことを“付着力”とよんでおられるので、氏は前者のを粘着力とよばれたのでしょうか。この点の使いわけに疑問を感じましたがいかがでしょうか。

また、付着力 s が凝集力 c より相対的に大きいときに付着現象が起こりやすいと解釈しました。

なお、付着性の小なる材料としてあげられたテフロンは、近年家庭用品にまで使われて有名になりましたが、数年前ハワイ大学でプラウ犁体面にテフロンを塗装して土の付着性を実験した例があることと、アイオワ州立大学の耕うん機械実験用の土壌槽の鎮圧ローラー表面などにテフロンを塗装して、土の付着の防止に実用化していたことなど、ついでながら報告させていただきます。

藍房和 術語の定義をせずに、不用意に使ったので、ご指摘はごもっともで、つぎのような考え方で凝集力、粘着力、付着力という使い分けをしました。

凝集力 (cohesion, Kohäsion), 粘着力 (stickiness, adhesion, Adhäsion) 付着力という用語は、これまで多くの人によって、同種の物質相互間または異種の物質間の密着、結合を引き離なそうとするときに生ずる力に関して用いられてきましたが、これらの用語の中で凝集力という言葉は、大体いづれの場合をみても同種の物質相互間の力に関して用いられており、粘着力、付着力という言葉は他物質間の力に関して使われているようです。そして、粘着力、付着力という言葉に関しては、使いわけが不明確で、大体同じような意味に使われているようです。そこで、筆者は、土粒子相互間の力に関しては凝集力、土粒子と犁体間に関しては粘着力、付着力を用いることにし、さらに粘着力と付着力については、付着問題の考察の便宜上、粘着力は犁体と土粒子の摩擦力に關したものとし、付着力は犁体面についた土を垂直方向に引き離なそうとするときの力について言うことにしました。したがって、小中氏の示めされた三つの図についていえば、図-10中の c は凝集力、図-11中の a は粘着力、図-12の s は付着力となります。

犁体と土の付着は、犁体面と土との摩擦力が、その犁体面と土粒子の接触界面にきわめて近い位置における土のせん断力よりも大きい場合に、すなわち、 $f > \tau$ のとき、書きかえれば、

$$a + p \tan \theta > c + \sigma \tan \phi$$

のような条件によって、土がつくものと考えています。上式において、せん断位置と摩擦面とはきわめて近い距離を考えますので垂直圧力 p と σ は、 $p = \sigma$ と考えてよいのではないかと思います。

木谷養 (三重大農) 土壌の付着理論には様々の立場が

考えられるが、力学的平衡から考えると、ほぼ次のようになると思われる。今、犁体面の接線方向に沿って x 軸をとり、法線方向に y 軸をとると、犁体表面 ($y=0$) に接した土壌の微小要素が歴の流れから引き離されて犁体に付着するには、微小要素とこれに隣接した土壌境界面にはたらく x 方向のせん断応力 τ と、これに抗して、犁体面が微小要素をとどめようとする力 R (単位面積当り) との間に、 $\tau < R$ の関係がなければならぬ。

犁体面への垂直圧力を σ_0 とすれば、微小厚さの要素と隣接土壌との境界面にも、ほぼ同じ垂直応力が働いていると考えてよいであろう。したがって、土壌に対する Coulomb 法則より、内部摩擦角を ϕ 、粘着力を c とすれば、せん断応力は $\tau = c + \sigma_0 \tan \phi$ で表わされる。

一方、 R の方は、土壌と犁体面の乾燥摩擦係数を μ_w 、犁体面への凝着力を c_w として、

$R = \mu_w \sigma_0 + c_w$ で表わすことができよう。乾燥摩擦と考えることは、含水量の大きい土壌では抵抗を感じるかも知れないが、金属摩擦における完全潤滑の領域においてさえ部分的に乾燥摩擦が入っていることを考えれば、土壌においても乾燥摩擦が部分的に入っている、上の式のような形になると考えるのが自然であろう。そこで、以上から、

$$c + \sigma_0 \tan \phi < \mu_w \sigma_0 + c_w$$

$$\text{故に } (\mu_w - \tan \phi) \sigma_0 + (c_w - c) > 0$$

したがって、付着力は $\mu_w - \tan \phi$ 、および $c_w - c$ が大きく、かつ犁体面垂直圧力が大きいほど大となる。付着土の成長機構に関しては、垂直応力の y 方向変化 $\sigma(y)$ 、および σ が変化するときの c および ϕ の微小な変化を問題にしなければならない。これらの変化について調べ関数形が明らかにされれば、微小要素について微分方程式を立てることができよう。

なお、ここにのべた摩擦論的アプローチの他に、次のような方法も一度検討してみるべきと思われる。

- (1) 粉体工学における dynamic な付着の研究方法²⁾
- (2) 接着工学における物理化学的研究方法³⁾⁴⁾
- (3) 附着性の強い土壌と弱い土壌との力学的差異を系統的に明らかにする研究

なお藍氏の論文では、農業機械技術者の立場からみた火山灰土壌耕うんの問題がとりあげられているが、たとえば、同じ問題を作物を中心に考えたとき、耕盤による根の伸長阻害とならんで、土壌が破壊され、播種床としての構造が劣化する問題がとりあげられるべきであろう。付着性の強い軽しよ土は海綿状の構造をもっているものが多く、その組織は比較的弱い力で破壊されるからである。せん断力による土壌構造の破壊の問題は、付

着の問題とある意味ではうらはらの関係にあると思われる。すなわち、多くの場合、土粒子の付着は、犁体面またはすでに犁に付着した土壌層への付着力と土壌構造から切り離されるに要する力の大小によって決り、構造のせん断抵抗力が低く、付着力が相対的に大きい土壌ほど犁体に付着しやすいと考えられるからである。この点からして、圃場における土壌構造破壊の研究は付着問題を解く一つの鍵ではないかと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 曾田範宗, 摩擦と潤滑 p. 40 岩波 1954
- 2) 井伊谷綱一編, 粉体工学ハンドブック p. 132 朝倉 1966
- 3) Fowkes, F.M.; Determination of intermolecular forces by surface-chemical techniques, ASTM special Technical Publ. No. 360 p. 20 1964
- 4) Dahlquist, C.A.; Adhesion and cleavage stress at interfaces between solids and a pressure-sensitive adhesive, *ibid.* p. 46 1964

藍房和 付着問題に対する摩擦論的考察は、きわめて有力であり、重要なことと考えている。しかし、実験的には、摩擦研究はどろ沼みたいなものだとよく言われるように、なかなかむづかしい。

木谷氏の示めされた犁体への付着条件

$$(\mu_w - \tan \phi) \sigma_0 + (c_w - c) > 0$$

については、筆者も全く同様に考えている。本文中に述べたこれまでの軽しょう土犁の改良経過は、式中の垂直圧力 σ_0 を、ひたすら小さくすることに努めてきたものといえる。すなわち、改良犁の特徴として「へら」の曲率を大きくしないことは、垂直圧力を減ずることであり、またフォーク型としているのは、フォーク間の空間は $\sigma_0 = 0$ としたものといえる。しかし、垂直圧力を減ずるためのこのような方法による付着の防止は、反転や投てき性能の減殺をまぬがれない。したがって、理想的な犁の完成のためには、いま式中の $\tan \phi$ と c は、土壌自体のものとして変え難いと考え、犁体材料と土壌との関連における μ_w と c_w を小さくすることに期待される。筆者が犁体材料と土粒子に対する土壌のぬれの問題を提起したのは、ぬれがこの μ_w と c_w に関連する重要な因子と考えたからである。水にぬれにくい材料であるテフロンと土との摩擦係数は、金属材料と土の場合の $1/2$ 程度である。

単に用語上の問題かもしれないが、木谷氏は、犁体と土壌との摩擦状態を乾燥摩擦とされたが、筆者は境界摩擦と考えている。摩擦試験を行って観察してみると、一般によく用いられている図-13のような境界摩擦の模型と合致するように見受けられる。

付着機構の究明に関して幾つかの方法論を提起されて

いるが、いづれも有効な方法として、全く同感である。中でも接着工学における物理的研究方法は効果的な手法と考えられる。付

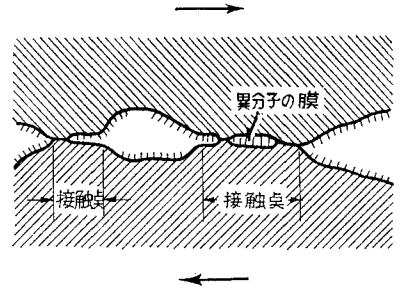


図-13 境界摩擦の模型

着現象といったような複雑な因子がからみ合った現象は、体系化は難かしいと思われるので、分子間力と付着、帯電と付着、ぬれと付着、界面化学と付着、表面の性質と付着、付着の動力学、付着のレオロジー等といったような多くの観点から研究を進め、土壌付着現象に対する圍繞をせばめてゆく必要があると思う。

土壌構造破壊の問題も御指摘の通りと思う。土壌構造破壊の問題は、付着だけの問題でなく火山灰土の耕うんの問題として、はじめにあげた耕盤形成の問題、車輪の沈下や滑りの問題とも共通するもので、火山灰土の土壌構造や団粒がせん断や圧縮などの機械的力に対して弱いというところに起因するものと思われる。

須藤清次 (山形大農) (1) 付着 土が犁に付着する問題は指摘されているように一般的にも重要である。しかしこれを固体(犁, 土粒子)——水——土粒子としただけでは解決されたことにはならない。この場合には固体と水の付着は不問にされ、架橋の役をなす水素結合が考えられているわけであるから、この論理は現代では通用しないと思う。また藍氏のあげた界面エネルギー論はそのものは正確でも、エネルギー論は結果論であるから付着の説明としては直接的でない。

付着の機構は私にはわからないので、付着しにくい材料を実験的に選択するよりほかはない。しかし次にマスとしての土の挙動ならばいろいろと考えることができよう。例えば、耕耘による圧縮・犁の振動・歴条による摩擦・これらの影響下での付着土の面の安定などの要素を考慮して検討されよう。フォークへらや深さ・幅比や速度などによる付着量の低下は歴条の細粉化を促進することにより、犁面の土圧を減じていると考えられないだろうか。一方含水量の増大に伴う付着量の増大は土の弾性の歪限界が大になって細粉化が行なわれ難いためとも考えられる。

付着土の層化と土性の微細化は興味のひかれる問題である。これは付着土量の10~15m周期の変化と関係していると考えられる。付着による篩作用は藍氏のいう通り

と思う。

サクシオンが付着を小にするのはわかるような気がするが、もう少し説明を加えてもらいたい。

(2) 畑の機械化 付着の問題を畑の機械化の阻害因とみたり、土壌改良と結びつけたりする考え方は、農業機械のあり方についていえば本末顛倒のように思われる。

いま到達したフォーク犁のような改良犁が犁耕の特性を犠牲にしているという意味はどういうことが理解しがたいように思う。

藍房和 御指摘のように、なぜ土がつくのかという根本命題に対しては、犁体材料、水、土粒子とつづけただけでは、何の意味もない。ただ筆者は、犁体材料や土粒子に対して水の介在の仕方が付着性に大きな意味をもつのではないかということを強調したのである。

付着の真因については、せんじつめれば広い意味での分子間力による結合にほかならないから、ご指摘の水素結合や、Van der Waals 力（分散力、Keesom 力、誘起力）、電荷移動力等を考えねばならないと思う。

犁の改良は、結果的には付着しにくい材料を実験的に選択してゆくことになるが、犁の材料としては、付着のほか強度、耐摩耗性、工作の難易、価格等いろいろな条件を考えねばならないから、たくさんの材料の中から開雲に選択してゆくのではなく、付着性に関して何らかの選択の手がかりがほしいのである。

含水量の増大にともなう付着量の増大については、付着は犁体面と土粒子の摩擦抵抗が、土粒子相互間のせん断抵抗より相対的に大となったときに生ずると考えるので、水分増加により、犁体面へ薄い水の吸着膜ができ、それにより摩擦抵抗が増大することになるのではないかと考えている。御説のように細粉化が阻ばまれるのならば、むしろ付着は減少するものと思う。

サクシオンの大小は、直接付着にはあまり関係がない。軽しよう土犁がサクシオンを大きくとっているの

は、小さいと、土がついたときにサクシオンがなくなってしまう、犁が上中にさきり込まなくなるため、かなり土がついても、必要なサクシオンが保てるように大きな隙間を与えているのである。

付着問題を畑の機械化の一阻害因子と見たことや土壌改良に触れたことについて、農業機械の立場からは本末顛倒とのことだが、本末顛倒かどうか分らぬが、歴史的にみると昭和15年における牛馬耕の普及面積は、水田では約73%に達しているのに、畑では約46%、北海道を除けば約29%という低いもので、第二次大戦に入って労力の不足から畑の作付放棄する農家がいちじるしく増大した。当時の農林省としては、この畑の作付放棄を防ぐことは重要な課題で、そのためには畑の機械化を推進する必要がある、第一に取り上げたのが土のつかない犁の改良であった。そして、農林省の呼びかけにより、犁のメーカを主体とし、学術振興会、帝国馬匹協会、全国農業会等が参加して研究が開始されたのである。

土壌改良の問題については、農業機械の分野には、大きく分けると機械の製作や改良の分野と機械利用の分野があり、機械の効率的利用のために、機械の対象物である土壌や作物を機械に適合させるための研究が行なわれている。

現在、到達した改良犁が、犁が本来有すべき性能を犠牲にしているという意味は、付着防止のために土圧を減ずる必要から、犁体曲面を緩にし、あるいは「へら」をフォーク型にしているが、これは、反転や投擲性能あるいは溝こぼれ等の点からのぞましいことではない。しかし、土をつけないためには仕方がないということで黙視しているのである。もし、土のつかない理想的な材料が見つかるならば、犁本来の性能を発揮する所望の曲面を与え、「へら」もフォーク型とすることなく一枚へらにすることが可能である。