

心土破碎耕に関する研究

第2報 トラクタ車輪の踏圧位置と心土破碎の残存効果

森 泉 昭 治

緒 言

心土破碎残存効果の消滅に影響する要因としては、トラクタ・作業機車輪および作業者の足部による踏圧、作業機接地部の圧力など作業に伴う要因が、まず第一にあげられる。また、この他に雨水の土中浸透や作物根の伸長・肥大などによる影響も一要因として考慮する必要がある。したがって、心土破碎効果消滅の全容を解明するには、上記諸要因が総合的にからみあって現われる作物栽培下での調査と各要因ごとの調査が必要となる。

前報¹⁾では青刈りトウモロコシ栽培の実作業と同様に機械を走行させて調査したが、ここでは上記諸要因の中で、心土破碎効果の消滅に大きく関連すると思われるトラクタ車輪の踏圧位置による影響を調査してみた。心土破碎の残存効果を表わす指標には、乾燥密度・孔隙率^{2),3)}などもあるが、本報では「測定が迅速・正確・容易である」と言われている貫入抵抗（以下 q_c 値と略称）を用いて検討した。本試験にあたり、当農場の大崎和二助教授・宮本栄技官の御援助を頂いた。記して謝意を表する。

試 験 方 法

1. 試験区の設定および踏圧の状況

試験場所（茨大農場）は関東ローム層と呼ばれる火山灰土壌であり、その土性区分は第1表のとおりである。また、試験期間中における各深さごとの自然含水比平均を第1表に示した。

心土破碎区は第2表のごとくⅠ～Ⅳ区とし、各区のサブソイラ通過線に対するトラクタ車輪の踏圧位置は、同表に示したとおりである。心土破碎Ⅰ～Ⅳ区の対照区は、Ⅰ～Ⅳ区のサブソイラ通過線に対し供試トラクタの輪距

第1表 試験地の土性区分と自然含水比

| 項目 深さ | 土性区分 | 自然含水比 | |
|----------|------|-------|-------|
| | | 本試験時 | 追加試験時 |
| 5 cm | | 47.2% | 65.2% |
| 10 | CL | 47.0 | 65.4 |
| 15 | | 53.4 | 73.0 |
| 20 | | 61.0 | 67.2 |
| 25 | LiC | 66.8 | 74.8 |
| 30 | | 73.0 | 108.1 |
| 35 | CL | 81.5 | 106.5 |
| 40 | | 78.8 | 116.1 |
| 45 | | 85.3 | 115.1 |

注 1) 本試験：1978年7月，追加試験：1978年10月

2) 土性区分は国際法による。

と同じ132 cm側方（心土破碎区を通過した踏圧車輪に対して反対側の車輪が通過した非心土破碎地点）とし、心土破碎区と車輪踏圧による影響が同じになるようにした。サブソイラの作用深は、心土破碎前の地表面基準で

第2表 心土破碎区の踏圧位置

| 区 | 踏 圧 位 置 |
|---|----------------------------|
| Ⅰ | サブソイラ通過線の真上に車輪中心がくるように踏圧 |
| Ⅱ | サブソイラ通過線の10 cm側方に車輪中心をおき踏圧 |
| Ⅲ | サブソイラ通過線の20 cm側方に車輪中心をおき踏圧 |
| Ⅳ | サブソイラ通過線の30 cm側方に車輪中心をおき踏圧 |

40~45 cm (追加試験では約 50 cm)であった。なお、試験場所は前作の影響を消すため、表土を約 20 cm 耕起・整地しローラで鎮圧した。

トラクタ車輪による踏圧順序とその概要を第3表に示

第3表 踏圧順序とその概要

| No. | 踏 圧 の 状 況 | 図表略号 |
|-----|--|-------|
| 1 | 所定の踏圧位置を深さ約 20 cm, 幅 40 cm 人力で掘削し下層土を 1 回踏圧→埋め戻し後ロータリ掛けしローラで鎮圧 | 下・踏・1 |
| 2 | 踏圧位置の地表面をトラクタで 1 回目踏圧 | 表・踏・1 |
| 3 | 踏圧位置の地表面をトラクタで 2 回目踏圧 | 表・踏・2 |
| 4 | 踏圧位置の地表面をトラクタで 3 回目踏圧 | 表・踏・3 |
| 5 | 踏圧位置を深さ 15~20 cm 人力で掘削し, 下層土の 2 回目踏圧→ロータリ掛けしローラ鎮圧 | 下・踏・2 |

注) 踏圧はNo.1~5まで同一場所を繰り返し行っている。

す。実際の下層土踏圧はプラウ耕の時に行われるが、ここでは可能な限りトラクタ踏圧車輪による影響のみを調べるために、下層踏圧位置を人力で掘削し、踏圧後も人力で埋め戻した。つまり、プラウによる圧力で下層土の心土破碎効果を、消滅させないことへの配慮といえる。供試トラクタは、総重量 1,785 kg (前輪荷重: 690 kg, 後輪荷重: 1,095 kg) で、タイヤ寸法は前輪 6.50-16-6P, 後輪 12.4/11-32-6P である。なお、踏圧時のトラクタスピードは 0.82~1.24 m/sec の範囲であった。

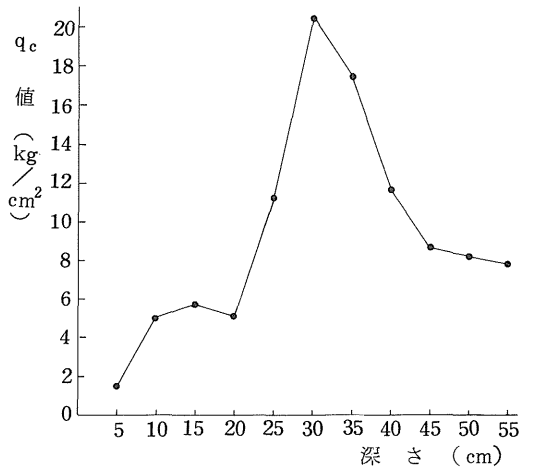
2. 測定方法

各区における q_c 値は土質常数測定器 TN-4 型 (コーン先端角 30°, コーン底面積 3.2 cm², 最大力量 70 kg) を用いて測定した。心土破碎区の測定箇所は、心土破碎の残存効果の判定をし易くするためサブソイラ通過線上

とした。各踏圧後における各区の q_c 値測定点数は 4~10 点であった。なお、この測定点は試験区全長にわたって、その間隔が均等となるようにとった。つまり、場所の相違に伴なう q_c 値の変動が、各踏圧ステップ間の測定値に影響を及ぼさないようにした。

結果および考察

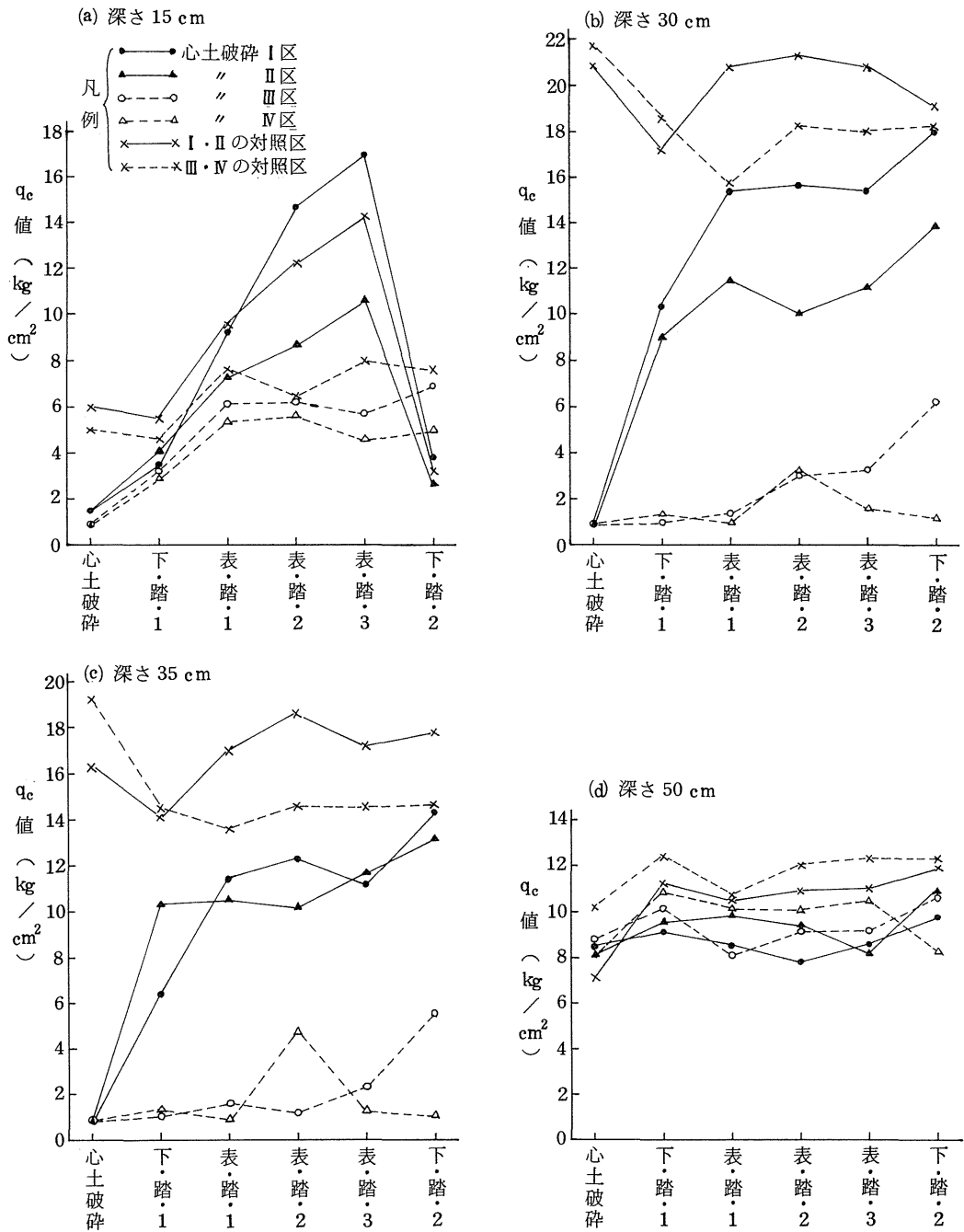
第1図における心土破碎前の深さ別 q_c 値をみると、深さ 30~35 cm の所に耕盤が認められる。そして、この耕盤は q_c 値が 17.4~20.5 kg/cm² と相当硬い盤になっている。深さ 20 cm までの q_c 値は 6 kg/cm² 以下と他の所に比較して小さいが、これは前述したごとく試験開始前に耕起・整地したことの影響による。



第1図 試験区の心土破碎前における貫入抵抗
注) 上図の q_c 値は I~IV 区の平均値

第2図にはサブソイラの作用深、耕起の深さ、踏圧状況などを勘案した代表的深さの各踏圧後 q_c 値を示した。つまり、深さ 30 cm と 35 cm は耕盤の位置に相当し、下層踏圧の影響を大きく受ける。これに対し深さ 15 cm の位置は、下層踏圧を受けない耕起の深さ以内であり、また深さ 50 cm の位置はサブソイラの作用深外で踏圧の影響も小さい。

深さ 15 cm の場合、車輪接地面下の I・II 区と接地面外の III・IV 区との間の q_c 値は、表層踏圧の回数増に従



第2図 各踏圧ステップにおける貫入抵抗

- 注 1) ●印は q_c 値 0.92 kg/cm^2 (土質常数測定器の適用限界) 以下の意味。
 2) 深さの基準は心土破碎前の地表面としている。

ってその差が現われてきている。またⅠ区とⅡ区との間にも明確な差が現われているが、これはⅠ区の場合、前後輪両方の接地面下であるのに対し、Ⅱ区では後輪だけの接地面下になることに起因すると考えられる。下層踏圧1・2回後の q_c 値は、Ⅰ～Ⅳ区間で余り差が見られない。そして心土破砕区と対照区との差は、深さ30 cmおよび35 cmの所に比較すると、全踏圧ステップを通して小さい。これは下層踏圧後のロータリ掛けにより、土壤条件が均一化されたためである。

深さ30 cmと35 cmにおけるⅠ・Ⅱ区を総体的にみると、まず下層踏圧1回と表層踏圧1回目で q_c 値が急増し、その後の表層踏圧2・3回目の処理段階では q_c 値の変動が小さい。そして、下層踏圧2回目でまた q_c 値が増大するという傾向が認められる。ここでの表層踏圧2・3回目の結果は、ある一定の q_c 値(10~15 kg/cm²)に達すると表層からの車輪踏圧の影響が、この深さでは小さいことを意味している。また、これはトラクタ踏圧による土中圧力・土壤圧縮量が、深さと共に急減する^{4),5)}ということも適合している。Ⅰ・Ⅱ区の深さ30 cmと35 cmにおける q_c 値の増大は、全体の64.1~88.6%が下層踏圧によるものであった。この結果と前記の表層踏圧の検討より、下層踏圧が硬い盤を生成する主要因と推察できるし、さらに心土破砕効果を大きく消滅させると考えられる。

深さ30 cmと35 cmのⅢ区(車輪接地面より側方5 cmの地点)の場合、 q_c 値は踏圧ステップに従い順次増大しているが、最大の q_c 値でも6.2 kg/cm²であり、Ⅰ・Ⅱ区の値に比較すれば半分以下の値である。車輪接地面から15 cm側方のⅣ区の場合、表層踏圧2回後の q_c 値がⅢ区より多少大きくなっているが、これを除けば一般にⅢ区よりも小さい傾向を示している。そしてⅣ区では下層踏圧2回後の q_c 値が1.2 kg/cm²と非常に小さく、しかも踏圧ステップ総体でみても q_c 値の増大傾向が認められない。この点は他区と異なる特徴である。以上のⅢ・Ⅳ区の諸結果は、トラクタ踏圧による q_c 値への影響が、車輪接地面外では大変小さいことを示している。特に、車輪接地面から15 cm側方の地点では、その影響が殆ど

ないとみてよいだろう。このことは、 q_c 値と乾燥密度との間に一定の関係がある⁶⁾ことを前提とすれば、「トラクタ踏圧面下、つまり垂直方向の土壤圧縮に対し側方への土壤圧縮はほとんどない」という、坪井らの報告⁷⁾とも適合性がある。

心土破砕Ⅰ～Ⅳ区とその対照区との関係を総括して深さ30 cm・35 cmの場合でみると、Ⅰ・Ⅱ区では踏圧ステップが進むに従い対照区に相当近づいているが、Ⅲ・Ⅳ区では下層踏圧2回後でも対照区との間に大きな差がある。したがって、心土破砕効果はⅢ・Ⅳ区の方が、Ⅰ・Ⅱ区よりも遥かに大きく残存していると考えられる。なお、本試験では下層踏圧後に表層をローラで鎮圧(第3表)しているが、Ⅲ・Ⅳ区の心土破砕→下層踏圧1回後の q_c 値変動は殆どない。この事より、ローラ(幅244 cm,重量645 kg)鎮圧は、深さ30 cm・35 cmの q_c 値に影響を与えていないと言えよう。

深さ50 cmの場合、第2図の各踏圧後における q_c 値の変動は少なく安定している。これは、前述のごとく外的影響が小さいことによる。この深さ50 cmの位置は、他の深さの所と対比の意味で図中に入れたが、心土破砕効果との直接的関連はないので参考程度にみてほしい。

第4表に心土破砕区(Ⅰ～Ⅳ区)と対照区との q_c 値t検定結果を示す。なお、 q_c 値の現場測定では、場所による変動が時折はいりこむ恐れがあるので、ここでの有意水準は信頼性を高めるため1%を採用した。表中の深さ5~15 cmは全て心土破砕区と対照区との q_c 値間に有意差が認められず、また深さ20 cmでもⅠ区の2個所を除いて同様の有意差が認められない。これはロータリ掛けにより、全区の土壤条件が均一化された反映とみなせる。Ⅰ・Ⅱ区の深さ25~45 cmの場合、表層踏圧2回目ぐらいから有意差を示さない個所が多くなっている。これに対しⅢ・Ⅳ区の深さ25 cm以下では、大部分の個所で心土破砕区と対照区の q_c 値間に有意差が認められている。したがって、Ⅰ・Ⅱ区では心土破砕の効果が部分的にしか残っていないが、Ⅲ・Ⅳ区では全踏圧ステップを通して殆どの個所で、心土破砕の効果が残存していると推定される。

第4表 心土破碎区と対照区における貫入抵抗のt検定結果

| 区 | | 深さ (cm) | | | | | | | | | |
|-----|-------|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 踏圧順 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| I | 下・踏・1 | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | |
| | 表・踏・1 | | | | ※ | ※ | | ※ | | | |
| | 表・踏・2 | | | | ※ | ※ | | | | | |
| II | 下・踏・1 | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 表・踏・1 | | | | | ※ | ※ | ※ | | | |
| | 表・踏・2 | | | | | ※ | ※ | | | | |
| III | 下・踏・1 | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 表・踏・1 | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 表・踏・2 | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| IV | 下・踏・1 | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 表・踏・1 | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 表・踏・2 | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |

注 1) ※印は1%有意水準で心土破碎区の q_c 値の方が対照区より小さいことを意味している ($d \cdot f = 9 \sim 18$)。
 2) 斜線部はサブソイラの作用深以下の所。

第5表は本試験に対し自然含水比（第1表）が平均で約22%高い状態で、他は全て本試験とほぼ同条件下で実施した追加試験の q_c 値 t 検定結果である。この結果では、深さ25cmにおいて有意差を示さない個所が、第4表に比較し全区とも多くなっている。これはロータリ掛けの深さが、本試験の時に比較し、やや不整一であったことによると思われる。深さ30~45cmの場合、I・II区では有意差を示さない個所が見られるが、III・IV区では全ての個所で有意差が認められる。これらを通してみれば、第5表の総体的傾向は第4表とほぼ同じとみられ

第5表 追加試験における貫入抵抗のt検定結果

| 区 | | 深さ (cm) | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | | 踏圧順 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | |
| I | 下・踏・1 | | | | | | ※ | | | ※ | ※ | ※ | |
| | 表・踏・1 | | | | | | | ※ | ※ | | | | |
| | 表・踏・2 | | | | | | | ※ | ※ | ※ | | | |
| II | 下・踏・1 | | | | | | ※ | ※ | | ※ | ※ | ※ | |
| | 表・踏・1 | | | | | ※ | | ※ | ※ | ※ | | | |
| | 表・踏・2 | | | | | ※ | | ※ | ※ | ※ | | | |
| III | 下・踏・1 | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | | |
| | 表・踏・1 | | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | |
| | 表・踏・2 | | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | |
| IV | 下・踏・1 | | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | |
| | 表・踏・1 | | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | |
| | 表・踏・2 | | | | | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | |

注 1) 有意水準1%, $d \cdot f = 4 \sim 10$, ※印の意味は第4表と同じ。
 2) 追加試験時の自然含水比は本試験（第4表）時に対し11~32%ほど高い。

る。

前記の諸検討結果より、心土破碎の残存効果に対するトラクタ車輪踏圧の影響は、車輪接地面下を主に検討すればほぼ推察が可能と考えられる。したがって、ある作業体系においてトラクタ車輪の接地面積下に、心土破碎跡の何割がはいるかを調べるのが大切となる。また、耕起後における心土破碎の効果は下層に残存し、その残存効果消滅に下層踏圧が大きく関連することからして、下層踏圧を連続的に多数回与えた場合について、今後調べる必要があると思われる。

要 約

心土破碎効果の残存に影響する要因は種々考えられる

が、その中で今回はサブソイラ通過線に対するトラクタ車輪の踏圧位置を変え、心土破碎の残存効果を調べてみた。心土破碎の残存効果を表わす指標は、土質常数測定器による貫入抵抗 (q_c 値) を用い、各踏圧後の q_c 値変動および t 検定結果で心土破碎効果の残存を検討した。

主な検討結果は次のとおりである。

1) 心土破碎前(試験開始時)の地表面基準で耕盤と認められる深さは、30~35 cmの位置であった。この深さのⅠ・Ⅱ区(車輪接地面下)では、下層踏圧による q_c 値の増大が全体の64.1~88.6%を占めていた。また、表層踏圧2~3回目による q_c 値の増大は殆どなかった。

つまり、この深さでは10~15 kg/cm²の q_c 値に達すると、表層からの車輪踏圧の影響が小さいことを意味している。

2) Ⅰ・Ⅱ区の深さ30 cmと35 cmの場合、表層踏圧3回と下層踏圧2回でその q_c 値は13.3~18.0 kg/cm² となった。これに対しⅢ・Ⅳ区(車輪接地面外)の q_c 値は1.1~6.2 kg/cm²の範囲であり、しかもⅣ区は踏圧ステップに沿った q_c 値の増大が認められなかった。この結果より、トラクタ車輪接地面外では、車輪踏圧による心土破碎残存効果への影響が、非常に小さいと言えよう。

3) t 検定結果によるとⅠ・Ⅱ区の深さ25~45 cm間において、心土破碎区と対照区とで有意差(1%水準)を認められない個所が多かった。これに対しⅢ・Ⅳ区の

深さ25 cm以下では、大部分の個所でその有意差が認められた。したがって、Ⅰ・Ⅱ区では心土破碎の効果が部分的にしか残っていないが、Ⅲ・Ⅳ区では全踏圧ステップを通じて、その効果が大部分残っていると推察される。

4) 諸結果をまとめると、心土破碎の残存効果に対するトラクタ車輪踏圧の影響は、車輪接地面下を主に検討すれば、ほぼ推察が可能と思われる。したがって、各作業体系の各トラクタ作業により、心土破碎跡の何割が車輪接地面下になるかを調べる必要がある。

文 献

- 1) 森泉昭治・大崎和二：茨大農学術報告，25，107 (1977)
- 2) 常松栄・吉田富穂・松居勝広・池内義則・南部悟・吉田一男・石谷栄一：農機誌，26，251 (1965)
- 3) 農業機械学会：農業機械ハンドブック，p.504 (1969) コロナ社
- 4) 伊佐務：農機学会総会講演要旨，26，20 (1967)
- 5) 長崎明・三熊政明・高橋伸寿：土壌の物理性，9，42 (1963)
- 6) 石井和夫：同上，13，39 (1965)
- 7) 石井和夫・徳永美治：土肥誌，38，366 (1967)
- 8) スネデカー(畑村又好訳)：統計的方法，(1968) 岩波書店

Studies on the Effects of Subsoiling

II. On the relation between the traffic position of tractor for subsoiling line and the lasting effect of pan-breaking

SHOJI MORIIZUMI

The lasting effect of pan-breaking disappears by the various factors. This paper reports the results of study on the relation between the lasting effect of pan-breaking and the traffic position of tractor for subsoiling line. In this paper, the index of the lasting effect of pan-breaking used the soil penetrating resistance which was measured with cone-penetrometer (cone angle; 30° , cross section area of cone; 3.2cm^2).

The results were as follows.

1. The hard pan existed at the depth of 30~35cm when this investigation was begun. At this depth in I plot and II plot (tread pressure on locus and 10cm side position for subsoiling line), the increase of penetrating resistance by tread pressure on lower layer was 64.1~88.6% of increase throughout the all processes. The tread pressure on surface soil didn't influence the penetrating resistance of this depth after the penetrating resistance value reached 10~15 kg/cm^2 .
2. The each values of penetrating resistance in III plot and IV plot (tread pressure on 20cm and 30cm side position for subsoiling line) were throughout all processes smaller than I plot and II plot at 30~35cm depth, and the maximum in III plot and IV plot was very small value of 6.2 kg/cm^2 . Therefore, it was found that the tread pressure didn't almost influence the lasting effect of pan-breaking in the place outside wheel contact area.
3. The lasting effect of pan-breaking disappeared at many points in I plot and II plot according to the result of statistical analysis. However, the effect of pan-breaking in III plot and IV plot was recognized at the greater part.
4. The influence of tread pressure against the lasting effect of pan-breaking can be conjectured by discussing those under the ground contact area of tractor wheel. Therefore, it needs to investigate the area of traffic soil compaction in the various working process to utilize tractor.

(Sci. Rep. Fac. Agr. Ibaraki Univ., No. 27, 173~179, 1979)