

# 土壌硬度が根菜類の地下部形状に及ぼす影響

## 第3報 土壌硬度とニンジンの根部形状

森泉昭治・大崎和二

### 緒 言

近年、大型トラクタの利用が、畑作での諸作業に拡大している。この大型トラクタ利用に伴う土壌の硬化（緻密化）現象は、農家の間でも作物栽培上の問題点と指摘する声が多い。特に根菜類栽培において、この土壌硬化は大きな障害となる。

根菜類栽培では良質な収穫物を得るために、下層土まで膨軟化して土壌環境を向上させる努力が、従来から行なわれてきた。そして現在、トレンチャあるいは深耕ロータリによる根菜類の深耕栽培法が、ほぼ定着しつつある。

根菜類の生育と土壌硬度に関する研究は、従来、種々の方向で実施されているが<sup>1-5)</sup>、最近の根菜類栽培への諸機械利用を考えると、まだ不十分な面も存在すると思われる。本研究は、土壌硬度と根菜類の地下部形状との関係をより明確にする目的で始め、既にダイコン・ゴボウと土壌硬度との関係は報告した<sup>6),7)</sup>。本報では、長根

種のニンジンの根部形状と土壌硬度との関係について検討し、若干の知見を述べる。

本試験にあたり、当農場の宮本榮技官・日下部住子技官の御協力を頂いた。記して謝意を表する。

### 試 験 方 法

試験は1982年7～12月に茨城大学農学部付属農場の圃場で行なった。試験場所は関東ロームの火山灰土壌で、その土性区分は、LCとLiCが場所および深さによって混在している。試験期間中の地下水位は、9月下旬に55～60cmまで上昇したが、その他の期間は1m以下であった。

#### 1 試験区の設定および耕種概要

供試品種は、国分鮮紅大長ニンジンを用いた。試験区は土壌処理が異なる6区を設け、各区とも4連制とした。試験用の畦は、第1表に示した処理土表面上に高さ15cm、幅30cmのものを人力で作製した。なお、F・T<sub>1</sub>・T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区の最終踏圧後の土表面は、元の地表面と同レベルにした。

第1表 試験区の設定

区	試験区の土壌処理
C	トレンチャで深さ約45cmまで掘削後、土を埋め戻す
F	トレンチャで深さ約45cmまで掘削後、土を3回に分けて埋め戻し、各回ごとに足で2回踏圧
S	サブソイラで深さ約47cmまで心土破碎
T <sub>1</sub>	トレンチャで深さ約25cm掘削後、その土を2回に分けて埋め戻し、各回ごとにトラクタ車輪で1回踏圧
T <sub>2</sub>	同上の方法でトラクタ車輪踏圧2回
T <sub>6</sub>	同上の方法でトラクタ車輪踏圧6回

注) 供試トラクタ：38 PS，総重量1,600 kg

耕種概要は第2表のとおりである。元肥は試験区の土までの表層土と混和した。なお、この耕種概要は、関東地方での慣行にほぼ準じている。

第2表 耕種概要

品 種 名	国分鮮紅大長ニンジン	
施 肥 量	元 肥	有機質化成(8-8-8)18kg/a, 熔燐8kg/a, 苦土石灰10kg/a
	追 肥	第1回(8月28日):有機質化成(8-8-8)8kg/a, 第2回(9月24日):有機質化成(8-8-8)10kg/a
播 種 期 日	7月22日	
栽 培 密 度	畦幅:66cm, 株間:15cm	
間 引 き	第1回目 8月24・25日, 第2回目 9月16日	
病 害 虫 防 除	ポリオキシンAL水和剤500倍液にマラソン乳剤1000倍液を混用して4回散布	

2 測定方法

(1) 土壤硬度:土質常数測定器TN-4型(コーン先端角30°,コーン底面積3.2cm<sup>2</sup>)を用いたので、ここの土壤硬度の指標はqc値となる。測定回数は各区とも6反復測定で、測定深さは50cmまでとした。また、測定は土壤水分が異なる5時期に実施した。

(2) 乾燥密度および自然含水率:内容積100ccの円筒サンブラに試料を採取し、110°Cで24時間熱乾して求めた。測定時期は試験期間中における4時期で、測定反復数は各区とも3~5回であった。なお、測定地点は深さ45cmまでの3地点とした。

(3) ニンジンの根部形状調査:この調査は12月6~17日の間に行なった。収穫後のニンジン根部は急速に重量が減少すると言われているので<sup>8)</sup>、収穫の翌日中には全て測定が終了するようにした。つまり、各区とも20本をランダムに抜き取り、それを翌日中までに測定、また20本を抜き取るという方法で4反復した。したがって、1区当りの調査本数は80本であった。根長は、根部上端から根径が3mm以上の部位までの長さとして規定した。根径測定はノギスを用い、長径と短径を測定し、その平均値を根径とした。岐根は主根が不明のもの、変形根は根部上端から下端までの間のある部位で根径が急激に変化しているもの、または扁平・クビレ状を呈しているものとした。

結 果

1 乾燥密度および qc 値

各区土壤の深さ別乾燥密度は第3表のとおりである。深さ5~10cmの場合、C区の乾燥密度が0.462g/cm<sup>3</sup>と最小で、最大はS区の0.546g/cm<sup>3</sup>であった。深さ20~25cmの乾燥密度では、T<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の値が他区に比較し大きな値となっている。特にT<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区の乾燥密度の値は、0.717g/cm<sup>3</sup>と0.737g/cm<sup>3</sup>で突出している。これはトラクタ車輪による踏圧の反映とみられる。また、深さ40~45cmでも上記と同様な傾向が認められた。

第4表に各試験区の自然含水率を示した。この表における自然含水率の最小値は7月下旬の測定で、またその最大値は9月下旬の測定で得られた。つまり、本試験期間中においては7~8月が乾燥期、9月が湿潤期であった。

第5表のqc値をみると、C・S区ではqc値が全て約2kg/cm<sup>2</sup>以下と小さい値である。F区のqc値は深さ15cm以下で約2.4kg/cm<sup>2</sup>以上となっているが、これは第1表に示したごとく足で踏圧処理した結果による。T<sub>1</sub>・T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区は深さ15~20cmからqc値が急増し、トラクタ車輪による踏圧の影響が現れている。また、深さ20~40cmまでのqc値をT<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の各区ごとに対比すると、その大きさはT<sub>6</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>区の順であり、トラ

第3表 各区の乾燥密度

(単位：g/cm<sup>3</sup>)

区 \ 深さ	5 ~ 10 cm	20 ~ 25 cm	40 ~ 45 cm
C	0.462 ± 0.013	0.514 ± 0.043	0.572 ± 0.058
F	0.503 ± 0.013	0.548 ± 0.017	0.577 ± 0.041
S	0.546 ± 0.010	0.626 ± 0.049	0.512 ± 0.098
T <sub>1</sub>	0.518 ± 0.013	0.650 ± 0.020	0.578 ± 0.009
T <sub>2</sub>	0.523 ± 0.011	0.717 ± 0.008	0.617 ± 0.053
T <sub>6</sub>	0.526 ± 0.020	0.737 ± 0.019	0.716 ± 0.068

注 1) 数値は4時期測定の平均±標準偏差。  
2) 深さの基準は畦の表面上とした。

第4表 各試験区の自然含水率

区 \ 深さ	5 ~ 10 cm	20 ~ 25 cm	40 ~ 45 cm
C	41.7 ~ 46.5 %	44.4 ~ 52.0 %	44.1 ~ 53.8 %
F	41.7 ~ 44.7	43.3 ~ 51.4	43.4 ~ 52.7
S	38.9 ~ 41.7	39.3 ~ 44.8	44.5 ~ 49.6
T <sub>1</sub>	38.6 ~ 43.9	40.6 ~ 48.8	45.4 ~ 54.5
T <sub>2</sub>	39.2 ~ 42.6	40.1 ~ 46.3	45.7 ~ 54.9
T <sub>6</sub>	38.3 ~ 43.0	39.1 ~ 44.9	40.5 ~ 48.0

注) 数値は試験期間中(7~12月)における4時期測定 of 最小~最大値である。

第5表 各区のqc値

(単位：kg/cm<sup>2</sup>)

深さ \ 区	C	F	S	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>6</sub>
5 cm	1.20 ± 0.21	1.18 ± 0.18	1.18 ± 0.22	1.10 ± 0.21	1.24 ± 0.25	1.20 ± 0.24
10	1.32 ± 0.11	1.50 ± 0.39	1.48 ± 0.34	1.48 ± 0.49	1.46 ± 0.21	1.52 ± 0.22
15	1.50 ± 0.29	2.46 ± 0.46	1.48 ± 0.41	3.26 ± 1.50	4.42 ± 1.60	4.24 ± 2.18
20	1.70 ± 0.53	2.98 ± 0.79	1.62 ± 0.59	4.68 ± 1.60	7.10 ± 1.89	8.23 ± 2.83
25	1.74 ± 0.68	2.42 ± 0.53	1.76 ± 0.69	5.08 ± 1.95	6.62 ± 1.73	7.60 ± 2.49
30	1.74 ± 0.78	2.44 ± 0.74	1.92 ± 0.81	5.78 ± 1.93	6.76 ± 2.08	7.32 ± 2.76
35	1.78 ± 0.71	2.66 ± 0.94	1.96 ± 0.72	6.14 ± 1.74	6.62 ± 1.80	8.58 ± 3.38
40	1.86 ± 0.82	2.62 ± 0.93	2.06 ± 1.04	6.74 ± 1.21	6.74 ± 1.47	9.10 ± 1.95
45	1.80 ± 0.78	2.60 ± 0.92	2.00 ± 1.21	6.98 ± 0.50	6.94 ± 0.96	8.16 ± 1.39

注) 上記の数値は試験期間中における5時期測定 of 平均±標準偏差。

クタ踏圧回数の差異がqc値に認められる。

## 2 ニンジンの生育状況

第6表に収穫時のニンジンの生育結果を示した。各区の中で根長が最大のS区と最小のT<sub>6</sub>区との間では、その差が16.4cmと大きな値となった。トラクタ車輪で踏圧したT<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の根長は、他区に比べて全て小さかった。

また、踏圧回数が多い区ほど根長が短くなることが認められた。

各区の根部最大径は5.1~5.7cm、根部中央径は2.6~3.2cmの範囲の値であった。T<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の根部最大径と中央径は、他区と比較し全て大きい。そして、車輪踏圧回数の多い区ほど、根部最大径と中央径は大きくなる

第6表 収穫時におけるニンジンの生育状況

区	項目	根長	根重	葉重	根部最大径	根部中央径	根形指数(1)	根形指数(2)
C		37.0 cm	286.0 g	201.3 g	5.1 cm	2.7 cm	7.83	14.42
F		42.9	314.2	217.5	5.1	2.6	6.37	12.22
S		43.7	370.7	239.3	5.3	2.9	7.01	12.51
T <sub>1</sub>		33.2	302.9	221.8	5.5	3.0	9.64	17.39
T <sub>2</sub>		30.6	302.7	225.8	5.6	3.0	10.99	19.48
T <sub>6</sub>		27.3	292.6	226.1	5.7	3.2	13.44	22.34

注 1) 根形指数(1) = 根部中央径/根長 × 100, 根形指数(2) = 根部最大径/根長 × 100

2) 調査本数 74 ~ 80 個体

ことが認められた。これらは、上記の根長の場合に対し逆の現象である。根形指数はF区が最小で、T<sub>6</sub>区が最大値を示した。また、根形指数は根長に対する根径の比であるから、前記の事実より当然T<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の方が、C・F・S区より大きな値となっている。

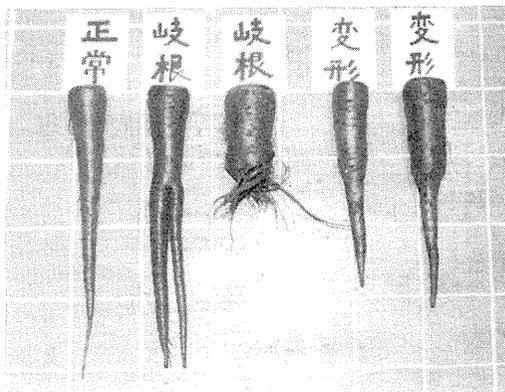
根重はS区が最大で370.7g、C区が286.0gと最小であった。トラクタ車輪による踏圧区(T<sub>1</sub>・T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区)と無踏圧区(C・F・S区)との根重間には、根長のような明確な差がみられなかった。葉重は根長・根重と比較すると、各区間の差が小さかった。なお、S区は根長・根重・葉重とも最大であり、各区の中で生育が最良であった。

## 3 岐根・変形根などの発生割合

正常根・岐根・変形根の発生割合は、第7表のとおりである。また、それらの代表的なものを第1図の写真に示した。各区の正常根の割合をみると、C・F区は80.0~86.3%と高い値であり、T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区が10.0~13.8%と極端に低い値であった。岐根発生割合はS区が46.3

%となり、全区の中で最も多く、その岐根発生位置は、サブソイラ通過時に生じた空洞のある深さ30~40cm間に集中していた。T<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の岐根発生割合は、8.8~16.3%であり、トラクタ車輪で踏圧処理をした割には小さい値であった。

変形根はT<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区が73.8~82.5%と特に高い発生割合となった。そして、これらの変形根の発生位置は、



第1図 根部の各種形状

第7表 正常根・岐根・変形根などの割合

区	項目	正常根	岐根	変形根
C		80.0%	20.0%	0%
F		86.3	10.0	3.8
S		48.7	46.3	5.0
T <sub>1</sub>		65.0	8.8	26.3
T <sub>2</sub>		10.0	11.3	82.5
T <sub>6</sub>		13.8	16.3	73.8

注) 根部の各種形状については第1図を参照のこと。

全て深さ15~20cmの間に認められた。トラクタ車輪踏圧がないC・F・S区の変形根発生割合は5%以下であり、T<sub>1</sub>・T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区に比較すると非常に小さい値であった。なお、C区の場合、変形根は全く発生しなかった。

## 考 察

前述の結果によると、トラクタ車輪による踏圧区の根長は無踏圧区より小さく、また踏圧区の中では、その根長にT<sub>6</sub>区<T<sub>2</sub>区<T<sub>1</sub>区の関係が明らかに認められた。一方、根部最大径・中央径と根形指数は、上記と逆の関係が認められている。また、土壌硬度の指標である第5表のqc値を総体的にみると、そのqc値はC・S区<F区<T<sub>1</sub>区<T<sub>2</sub>区<T<sub>6</sub>区の順となっている。これらの諸事実から、qc値が大きい区ほどニンジンの根長は短く、根径が大きくなると言える。したがって、土壌硬度がニンジンの根部形状に及ぼす影響は大きいものと推察される。なお、根形指数は、その値が小さいほど細長の根部形状であることを意味している。この根形指数はF区が最小であり、F区のqc値がC・S区より若干大きいことを考えると、前述の考察に反している。これは土壌硬度の僅少差による根部形状への影響より、他の要因による影響の方が大きかったためと思われる。

qc値が大きいT<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区は、他区に比べ正常根が極端に少なく、逆に変形根が非常に多い。そして、この変形根の発生位置は、全てqc値が増大する深さ15~20cm間となっていた。つまり、土壌硬度の変化が変形根の

発生に関与していると考察される。S区のqc値は2kg/cm<sup>2</sup>以下でF・T<sub>1</sub>・T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区のqc値より小さいが、岐根が全区中で最も多い。これはサブソイラ通過時に生じた地中の空洞部分で、ニンジンの主根の生長点が枯死したためと考えられる。なお、この現象は前報<sup>7)</sup>のゴボウ栽培の時にも生じた。

第8表は根長・根径・根形指数などのt検定結果である。根長はF-S区間の対応を除いて、他の全ての対応区間で有意差が認められた。根部中央径・最大径のt検定結果は、T<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の各々と他区との対応の大部分で有意差が示されている。しかし、T<sub>1</sub>・T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区間内の検定とC・F・S区間内の検定では、2個所で有意差が見られるにすぎない。また、根形指数の場合、T<sub>1</sub>~T<sub>6</sub>区の各々と他区間との全てに、その有意差が1%水準で認められている。これらの諸結果より統計的にみても、明らかに土壌硬度がニンジンの根部形状に影響していると考察される。

以上の諸考察からして、土壌硬度がニンジンの根部形状に影響していることは、ほぼ明瞭である。本試験結果からすると、実栽培において良質な根部形状を得るには、qc値で5~6kg/cm<sup>2</sup>以下、乾燥密度で約0.65g/cm<sup>3</sup>以下の土壌条件とすることが望まれる。このqc値は、前報<sup>7)</sup>で報告したゴボウの場合とほぼ同じである。また、乾燥密度は、一般に火山灰土壌で望ましいとされている値(0.75g/cm<sup>3</sup>以下)より<sup>9)</sup>小さい値となった。トラクタ車輪で踏圧した土壌条件下では、ニンジンの根が偏平化したという報告例がある<sup>8)</sup>。しかし、本試験の変形根の中では偏平化したものより、急激に根径が小さくなったもの(第1図)が圧倒的に多かった。この相違に対する原因は不明であるので、今後の検討課題としたい。土壌硬度の増大は同時に土壌中の通気性・水分移動の減少、根部肥大に対する物理的抵抗の増加をもたらすと言われている<sup>10),11)</sup>。したがって、今後はこれらの三要因をコントロールして、各々の要因とニンジンの根部形状との関連を追究する必要がある。

第8表 根長・根径・根形指数などのt検定結果

対応区	項目	根 長	根部中央径	根部最大径	根形指数(1)	根形指数(2)
C - F		**	—	—	**	**
C - S		**	—	—	—	—
C - T <sub>1</sub>		**	*	**	**	**
C - T <sub>2</sub>		**	*	**	**	**
C - T <sub>6</sub>		**	**	**	**	**
F - S		—	**	—	—	—
F - T <sub>1</sub>		**	**	**	**	**
F - T <sub>2</sub>		**	**	**	**	**
F - T <sub>6</sub>		**	**	**	**	**
S - T <sub>1</sub>		**	—	—	**	**
S - T <sub>2</sub>		**	*	*	**	**
S - T <sub>6</sub>		**	*	**	**	**
T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub>		*	—	—	—	—
T <sub>1</sub> - T <sub>6</sub>		**	*	—	**	**
T <sub>2</sub> - T <sub>6</sub>		**	—	—	*	**

注 1) \*印: 5%水準で有意差あり, \*\*印: 1%水準で有意差あり,  $d \cdot f = 148 \sim 156$   
 2) 根形指数(1)・(2)については第6表を参照のこと。

### 要 約

大型トラクタ利用に伴う土壌の硬化(緻密化)現象は、農家の間でも作物栽培上の問題点と指摘する声が多い。特に根菜類栽培において、この土壌硬化は大きな障害となる。本試験では長根種の国分鮮紅大長ニンジンを用い、土壌硬度が異なる6区を設け調査し、ニンジンの根部形状と土壌硬度との関係を検討した。なお、土壌硬度の指標はqc値を用いた。

主な結果は以下のとおりである。

(1) トラクタ車輪で踏圧処理した区(T<sub>1</sub>・T<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区)の根長は、無踏圧区(C・F・S区)よりも全て小さく、また踏圧処理した区の中では、踏圧回数の多い区ほど根長が短くなることが認められた。他方、根部最大径・中央径と根形指数は、上記根長とは逆の関係が認められて

いる。これらの結果は、第5表のqc値からみて、qc値が小さい区ほどニンジンの根部形状が細長であることを意味している。また、土壌硬度の変化がニンジンの根部形状に関与したものと考察される。なお、ニンジンの根重・葉重とqc値との間には、一定の関係がみられなかった。

(2) qc値が大きいT<sub>2</sub>・T<sub>6</sub>区では、正常根が10.0～13.8%と他区に比ぶ少なく、逆に変形根が73.8～82.5%と多かった。そして、この変形根の発生位置は、qc値が増大する深さ15～20cm間に集中していた。したがって、ここでも土壌硬度が変形根の発生に関与しているものと推察される。岐根発生割合は、S区が46.3%と全区中で最も高かった。これはサブソイラ通過時に生じた地中の空洞部分で、主根の生長点が枯死したためと思われる。

(3) 根部中央径・最大径の  $t$  検定結果では、 $T_1 \sim T_6$  区の各々他区との対応の大部分で、有意差が認められた。一方、 $T_1 \sim T_6$  区間内、 $C \cdot F \cdot S$  区間内の対応では、2 個所で有意差が見られるにすぎない。また、根形指数については、 $T_1 \sim T_6$  区と各対応区間との全てに、1%水準で有意差が認められた。したがって、統計的にも、土壌硬度がニンジンの根部形状に影響を及ぼしていると推察される。

(4) 本試験結果からすると、ニンジンの実栽培において良質な根部形状を得るには、 $qc$  値で  $5 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$  以下、乾燥密度で約  $0.65 \text{ g/cm}^3$  以下の土壌条件とすることが望まれる。この  $qc$  値は、前報<sup>7)</sup>におけるゴボウの場合とほぼ同じ値であった。

## 文 献

- 1) 鎌田嘉孝：土壌の物理性，**14**，4 (1966)
- 2) 川延謹造・市瀬猛文・森田勇：農及園，**38**，1719 (1963)
- 3) 川村秋男・古賀汎・山崎清功：四国農業試験場報告，**23**，53 (1970)
- 4) 長崎明・三熊政明・高橋伸寿：土壌の物理性，**9**，38 (1963)
- 5) 西谷国宏・三好坦：農及園，**40**，1265 (1965)
- 6) 森泉昭治・大崎和二：茨大農学術報告，**31**，79，(1983)
- 7) 森泉昭治・大崎和二：同 上，**32**，53，(1984)
- 8) 農山漁村文化協会編：新野菜全書—ダイコン・ニンジン・カブ・ゴボウ—，p. 255 (1976) 農山漁村文化協会
- 9) 農林省農林水産技術会議事務局編：総合野菜畑作技術事典Ⅵ，p. 64 (1977) 農林統計協会
- 10) R. Scott Russell (田中典幸訳)：作物の根系と土壌，p. 223 (1981) 農山漁村文化協会
- 11) 土壌物理研究会編：土壌の物理性と植物生育，p. 11，p. 41 (1979) 養賢堂

## Studies on the Relation between Soil Hardness and the Underground Part Shape of Root Vegetables

### III. On the root shape of carrot

SHOJI MORIIZUMI and KAZUJI OSAKI

The phenomena of soil hardening with tractor utilization have been indicated the problem on the various crop growth by many farmers. This paper deals with the relation between soil hardness and the underground part shape of carrot in the six experiment plots. The soil hardness expressed in terms of soil penetration resistance values of cone penetrometer.

The results were as follows.

- 1) The root length of the plots ( $T_1$ ,  $T_2$  and  $T_6$  plot) trod with tractor wheel was less than other plots (C, F and S plot). In the plots trod with tractor wheel, its root length became short in proportion to increase of tractor tread pressure. The root diameter and root shape index (root diameter/root length  $\times$  100) were recognized the opposite relation for aforesaid results.
- 2) The ratio of normal root shape in  $T_2$  and  $T_6$  plots were the small values of 10—13.8%. On the other hand, the ratio of deformed root shape showed the large values of 73.8—82.5% in these plots. The large majority of occuring point of the deformed root were observed at the place where cone index increased. So, it was assumed that soil hardness had influence on the occuring of deformed root.
- 3) The statistical analysis about root length, root diameter and root shape index was conducted between six plots. There was significant difference between  $T_1$ — $T_6$  plots and C—S plots in the aforesaid items.
- 4) Synthesizing the experiment results of this paper, it was infered that the soil hardness influenced the root shape of carrot. Therefore, it is desirable that cultivated soil is the dry bulk density below  $0.65 \text{ g/cm}^3$  and the cone index below  $5\text{--}6 \text{ kg/cm}^2$  in order to get the good root shape of carrot.

(Sci. Rep. Fac. Agr. Ibaraki Univ., No.33, 95 ~ 102, 1985)