

# 土壌硬度が根菜類の地下部形状に及ぼす影響

## 第2報 土壌硬度とゴボウの根部形状

森泉昭治・大崎和二

### 緒 言

根菜類の栽培において、土壌環境の良否が根部の生育に大きく影響することは言うまでもない。近年、根菜類では、トレンチャおよび深耕ロータリの普及に伴い下層まで土壌を膨軟化し、その土壌環境を向上させる栽培法が拡大している。根菜類の中では、ゴボウ栽培でのトレンチャ利用が最も早くから行なわれている。そして、最近のゴボウ栽培ではトレンチャによる深耕栽培法が、ほぼ定着したとみられる。

ゴボウの最近の出荷規格をみると、その根部の長さ・直径によって16等級にも細分する市場が出現している。また、ゴボウの根径が余り大きすぎると、商品価値は低下するのが一般的である。これらの事実からして、ゴボウの根部形状をコントロールする栽培技術の向上が望まれている。

根菜類の生育と土壌硬度に関する研究は、従来、種々の面で行なわれているが<sup>1)~5)</sup>、ゴボウの根部形状に関す

る事例は少ない。前報<sup>6)</sup>ではダイコンの根部形状に対する土壌硬度の影響を報告したが、本報ではゴボウの根部形状と土壌硬度との関連について試験し、その検討結果を報告する。

本試験は農場特別実習の一部として、吉田典安・小海秀純両君の多大な援助のもとに実施したものである。記して謝意を表する。

### 試 験 方 法

試験は1978年4~12月に茨城大学農学部付属農場の圃場で実施した。試験圃場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。また、地下水位は年間を通して1m以下であった。

#### 1. 試験区の設定および耕種概要

試験区は5区を設け1区2連制とした。そして、種々の異なった土壌硬度を作り出すために、各区は第1表に示した土壌処理法をとった。

第1表 試験区の設定

区	試 験 区 の 土 壌 処 理
A	トレンチャで深さ約80cmまで掘削後、土を埋め戻した。
B	トレンチャで深さ40~50cmまで掘削後、土を埋め戻した。
C	トレンチャで深さ25~30cmまで掘削後、その溝の底をトラクタ車輪で1回踏圧し土を埋め戻した。
D	トレンチャで深さ25~30cmまで掘削後、その溝の底をトラクタ車輪で3回踏圧し土を埋め戻した。
E	サブソイラで深さ35~43cmまで心土破碎した。

注 1) A・B区の掘削溝幅は30cm, C・D区は40cmであった。

2) 供試トラクタ: 38PS, 総重量1600kg

第2表 耕種概要

品種名	柳川理想	
土壤消毒	4月14日, ネマホルン2ℓ/a(ガス抜き: 4月29日)	
施肥量	元肥	高度化成(15-10-12)6kg/a, 苦土石灰12kg/a 特殊磷酸(磷酸17.0%, マグネシウム3.5%): 1区(5m)当り3kg
	追肥	第1回: 高度化成(15-10-12)6kg/a 第2回: 高度化成(15-10-12)8kg/a 液肥(ほう素マンガ入り窒素複合液肥B5を1200倍)の葉面散布2回
播種期日	5月4日	
播種量	1m当り約23粒(テープシーダ播種)	
間引き	7月3~4日	
栽培密度	畦幅: 100cm, 株間: 12cm	
病害虫防除	ダイアジノン0.2kg/a(粒), ダイファー(水)500倍液2回散布 ディプレックス(乳)1000倍液3回散布	

耕種概要は第2表に示したとおりである。品種は当地方で栽培面積が多い、長根種の柳川理想を用いた。元肥と苦土石灰は、土壤消毒後のガス抜き前に全面散布し、ロータリで深さ15cmまでの表層土と混和した。試験区の設定に大型トラクタを使用したため、畦幅は100cmと慣行法に比べ広くなった。

## 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>)を最大力量70kgまで測定可能にしたものを用いて測定した。したがって、ここでは土壤硬度の指標としてqc値を用いる。測定回数は、各区とも6反復測定とした。なお、測定は土壤水分が明らかに異なった3時期に実施した。

(2) 乾燥密度および自然含水比: 内容積100ccの円筒サンプルに試料を採取後、110°Cで24時間熱乾して求めた。測定時期は乾燥密度の場合3回、自然含水比の場合4回で、1回の測定では各区とも2反復測定とした。なお、測定地点は深さ10~75cm間の4地点とした。

(3) ゴボウの根部形状調査: 掘取り直後の調査を12月22~25日の間に行なった。根径測定にはノギスを用い、長径と短径を測定し、その平均値を根径とした。根

長は、根部上端から根径が5mm以上の部位までの長さとして規定した。岐根は主根が不明のもの、変形根は長径と短径の比が1.2以上のもの、または根部表皮に凹凸のあるものとした。また、1区当りの調査本数は31~32本であった。

## 結 果

### 1. 乾燥密度およびqc値

第3表に各区の乾燥密度を示した。深さ10~15cmではE区の乾燥密度が0.63g/cm<sup>3</sup>と最大で、最小はA区の0.52g/cm<sup>3</sup>であった。深さ30~35cmにおける乾燥密度をみると、D区が0.72g/cm<sup>3</sup>、C区が0.63g/cm<sup>3</sup>であり他区に比較し大きい値を示した。これはC・D区の場合、深さ25~30cm地点をトラクタ車輪で、それぞれ1~3回踏圧した結果の反映とみられる。深さ50cm以下は、A区のみがトレンチャ掘削の処理を施しているが、他区に対し乾燥密度の差は余り認められなかった。各区における深さごとの自然含水比は、第4表のとおりである。測定時期による自然含水比の変動をみると、A区の深さ30~35cm地点の差が、8.6%と最小で、最大はE区の深さ50~55cm地点における52.9%の変動であった。

第3表 各区の乾燥密度

(単位：g/cm<sup>3</sup>)

区 \ 深さ	10～15 cm	30～35 cm	50～55 cm	70～75 cm
A	0.52	0.52	0.51	0.50
B	0.58	0.58	0.55	0.54
C	0.56	0.63	0.55	0.48
D	0.56	0.72	0.50	0.58
E	0.63	0.49	0.56	0.56

注) 上記数値は試験期間中における3時期測定の平均値

第4表 試験期間中の自然含水比

区 \ 深さ	10～15 cm	30～35 cm	50～55 cm	70～75 cm
A	74.2～88.2 %	80.3～ 88.9 %	82.2～ 92.4 %	92.5～103.1 %
B	51.5～79.2	60.3～ 83.5	78.0～126.4	92.5～132.1
C	53.6～73.2	61.5～ 98.2	103.1～125.7	108.6～128.5
D	54.6～73.0	66.9～ 91.1	97.4～124.6	93.1～127.0
E	49.1～67.3	56.5～109.3	73.3～126.2	97.1～128.2

注) 上記の数値は試験期間中における(4月～11月)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	A	B	C	D	E
5 cm	0.92	1.52	1.17	1.01	1.34
10	1.32	1.72	1.29	2.02	1.66
15	1.78	2.53	1.36	2.11	2.25
20	2.63	3.43	1.49	2.55	2.63
25	2.92	3.59	2.19	5.41	3.25
30	3.27	3.54	6.83	9.60	3.86
35	3.87	3.20	9.77	12.19	2.50
40	5.20	3.03	9.67	9.50	3.52
45	4.88	3.23	8.87	8.60	6.15
50	4.70	4.12	8.27	9.47	6.75
55	4.38	8.64	9.00	10.72	10.37
60	3.76	10.84	10.72	10.77	15.38
65	3.43	11.71	11.15	11.56	16.11
70	4.00	13.44	11.66	11.62	15.42
75	4.64	14.60	12.72	13.44	15.10
80	5.07	14.28	12.70	13.69	15.15

注) 上記の値は試験期間中の3時期(4・8・11月)の平均値

第5表のqc値をみると、A区は最大でも5.2kg/cm<sup>2</sup>であるのに対し、他区では12~16kg/cm<sup>2</sup>の大きな値が多く地点でみられる。また、A区ではqc値の急増している地点が認められないが、B区では深さ55cm地点、C・D区は深さ30cm地点、E区では深さ45cm地点において、qc値が急増していることが認められた。これらの差異は、A区の場合、深さ80cmまでトレンチ掘削の処理を施したことによる。C・D区のqc値を詳細にみると、深さ30~35cm地点でqc値が急増し、深さ40~45cm地点では減少、そして深さ50~55cm地点からqc値が再び増加することが分る。つまり、深さ35cm地点にqc値の一つのピークがある。これらの現象は、トラクタ車輪踏圧の影響として出現したものと思われる。なお、第5表の結果より、本試験地における自然状態でのqc値は、6kg/cm<sup>2</sup>以上とみられる。

土壌硬度と乾燥密度は比例的関係にあると言われて<sup>7)</sup>。しかし、第3表の各区の乾燥密度と第5表のqc値間では、上記の関係を適合しない個所が認められた。これは乾燥密度とqc値の測定期日が同一でないこと、また同区内でも測定地点が若干ずれたことに起因したと思われる。

## 2. ゴボウの根長・根重・根径

ゴボウの根部生育結果を第6表に示した。根長の最大はA区の93.1cm、最小はE区の71.8cmであり、両者の差は21.3cmと大きな値になった。B・C・D区の根長はA区とE区のはほぼ中間値で、この3区間の根長には大きな差がない。根重はD区の519.7gが最大で、次いでA区>B区>C区>E区の順であった。根長・根重を総合的にみると、E区が両方とも最小であり、各区の中で生育が最も不良と認められた。

第6表 収穫時のゴボウ地下部形状

項目 区	根長	根重	根部中央径	同左の長径・短径の比	根部最大径	同左の長径・短径の比	根形指数
A	93.1 cm	500.3 g	2.9 cm	1.06	3.2 cm	1.08	3.47
B	82.3	459.2	3.1	1.09	3.4	1.12	4.08
C	81.7	453.9	3.0	1.18	3.4	1.21	4.19
D	81.2	519.7	3.1	1.20	3.8	1.15	4.73
E	71.8	420.3	2.6	1.09	3.4	1.10	4.69

- 注 1) 根形指数 = (根部最大径/根長) × 100  
 2) 根部中央径とは根長の中央部位の直径である。

A~E区間の根部中央径は2.6~3.1cmの範囲、また根部最大径は3.2~3.8cmの範囲であった。各区の根部中央径と最大径を対比してみると、A・B・C区の場合、その差が0.3~0.4cmであるのに対し、D・E区の場合、0.7~0.8cmと大きな差が表れている。根部長径と短径の比は、最大径部位・中央径部位ともA区が各区の中で最小値を示した。

根形指数は、その値が小さいほど根部形状が細長であることを意味している。根形指数はA区が3.47と最小であり、D区が4.73と最大値を示した。A~D区間の以上

の結果からすると、根長が大きい区ほど根部最大径および根形指数が、小さくなる傾向が認められる。

## 3. 岐根・変形根の発生割合と発生位置

各区の正常根・岐根・変形根などの発生割合は、第7表のとおりである。また、根部の各種形状については第1図の写真に示したので、参照してもらいたい。正常根はA区で78.1%であったが、B~E区では12.5~21.9%という値で極端に少なくなっている。次に岐根をみると、正常根とは逆にA区が18.8%と最も少なく、B・C・D区が40%前後、そしてE区が64.5%と高い値であ

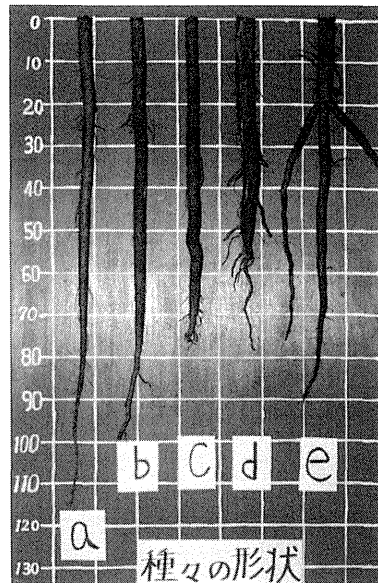
第7表 正常根・岐根・変形根などの割合 (%)

区	項目	正常根	岐根	変形根
A		78.1	18.8	6.3
B		21.9	40.6	59.4
C		12.5	37.5	78.1
D		19.4	38.7	64.5
E		16.1	64.5	41.9

注) 変形根とは根形が扁平(長径/短径 $\geq$ 1.2)あるいは表皮に凹凸のあるもの。

った。変形根も岐根と同様にA区が6.3%と最小で、他区は40%以上の高い割合を示した。特に、C区の変形根発生割合は78.1%と高率であった。

第8表の数値は、岐根・変形根の発生割合が多いB～E区について、その発生位置を深さごとに整理したものである。岐根の発生位置はB区の場合50cm以下、C・D区の場合40cm以下で急増している。変形根の発生位置は、B区の場合深さ50～60cm間で89.5%、C・D区の場合深さ20～30cm間で80～92%と一定地点に集中していることが認められた。E区における変形根の発生位置は、他区に比べると多くの地点に分散していることが特徴的である。



第1図 根部の各種形状

注) aとb：正常根，cとd：変形根  
e：岐根

## 考 察

前述の結果のごとく、根長にはA区>B区>C区>D区>E区の関係が認められ、根部最大径と根形指数は、E区を除くと、これと逆の関係が認められている。一方、

第8表 岐根・変形根の発生位置 (%)

区	項目	B		C		D		E	
		岐根	変形根	岐根	変形根	岐根	変形根	岐根	変形根
深さ	20 cm未満	0	0	0	0	6.7	10.0	9.5	7.7
	20～30	5.3	0	0	92.0	0	80.0	9.5	7.7
	30～40	0	0	5.9	8.0	13.3	10.0	42.9	15.4
	40～50	5.3	10.5	23.5	0	20.0	0	9.5	53.8
	50～60	21.1	89.5	41.2	0	40.0	0	19.0	15.4
	60～70	36.8	0	0	0	6.7	0	4.8	0
	70 cm以上	31.6	0	29.4	0	13.3	0	4.8	0

注 1) 変形根については変形しはじめた点をもって、その発生位置とした。  
2) 上記の値は、第7表に示した岐根・変形根発生率の発生部位別内訳である。

深さ80cmまでのqc値(第5表)を総体的にみると、当然A区が最小で、次いでB区、C区、D区の順となっている。したがって、これらの事実は、qc値が小さい所ほど根部形状は細長になることを示唆している。また、qc値は土壤硬度の一つの指標であるから、根長・根径に土壤の硬さが影響していると推察される。

qc値が小さいA区(5.2kg/cm<sup>2</sup>以下)では、他区に比較し正常根が大幅に多く(第7表)、逆に岐根と変形根は少ない。そして、B・C・D区の岐根・変形根の発生位置(第8表)は、約90%以上がトレンチャでの掘削深以下であった。トレンチャによる掘削深以下の地点は、qc値が(約7kg/cm<sup>2</sup>以上)大きいことを考え合せると、岐根・変形根の発生にも土壤硬度が関係していると考察される。

E区における岐根発生割合は、64.5%と全区の中で最も多い。また、その岐根発生位置は、qc値の比較的小さい深さ30~40cm間が42.9%と高い割合を示した。この点は、上記した他区と明らかに異なった傾向である。これはサブソイラ掛けにより深さ30~40cm間に空洞が生じ、主根の生長点を枯死させたため、qc値が小さくても岐根が増加したものと思われる。

第9表に根長・根径・根形指数などのt検定結果を示

した。まずA区をみると、根長と根形指数の結果は、他の全区に対し1%水準で有意差を示している。また、根部の長径と短径の比におけるt検定でも、A区はC・D・E区に対し有意差が認められている。なお、A区は第6表のとおり、根部長径と短径の比が、最大径部位・中央径部位とも最小となっている。したがって、A区のゴボウは統計的にみても、他区に比べ細長で丸形の根部形状であると言える。次にB・C・D区間のt検定結果をみると、B区とD区の間では根形指数を含む3項目で、1%水準の有意差が認められている。また、B区対C区およびC区対D区の間でも、それぞれ1項目ずつ有意差が示されている。つまり、これらの区間でも、qc値の相異がゴボウの根部形状に変化を与えている傾向を示した。なお、E区と他区の間では、多くの個所で有意差が認められている。しかし、E区の場合、前述したごとく土中空隙などqc値以外の要因が根部形状に大きく影響しているため、他区との関係は単純でないものと考えられる。

以上の考察より、土壤硬度がゴボウの根部形状に影響していることは、ほぼ明らかである。そして本試験結果からみると、良好な根部形状を得るには、深さ80cm位までqc値6kg/cm<sup>2</sup>以下の土壤条件にすることが、実際の栽培上、大切であると思われる。このqc値は長崎らが<sup>3)</sup>

第9表 根長・根形指数などのT検定結果

項目 対応区	根長	根部最大径	根部中央径	根形指数	最大径部位の 長径・短径比	中央径部位の 長径・短径比
A-B	**	—	—	**	—	—
A-C	**	—	—	**	**	**
A-D	**	**	—	**	**	**
A-E	**	—	*	**	—	*
B-C	—	—	—	—	—	**
B-D	—	**	—	**	—	**
B-E	**	—	**	**	—	—
C-D	—	*	—	—	—	—
C-E	**	—	**	—	**	**
D-E	**	*	**	—	—	**

注) \*印: 5%水準で有意差あり, \*\*印: 1%水準で有意差あり, d・f=60~62

ダイコンの試験で得た値とほぼ一致している。

前報でも記したが、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をもたらすと言われている<sup>8), 9)</sup>。これらの三要因と根部形状との関連についての解析は、本試験では不可能である。また、qc値の小さいA区でも岐根・変形根が発生しているように、根部形状に影響する要因は<sup>10), 11)</sup>多岐にわたる。したがって、土壌硬度以外の影響要因を極力排除して、先の土壌硬度に関連した各種の要因が、どのようにゴボウの根部形状に影響するのか、細密な試験が今後必要と思われる。

## 要 約

根菜類の栽培では、土壌硬度が問題となるケースが多い。ゴボウ栽培ではトレンチャによる深耕栽培法が定着しつつある。一方、ゴボウの出荷規格の細分化と商品価値向上の両面からして、根部形状をコントロールする栽培技術の向上が望まれている。しかし、土壌硬度とゴボウの根部形状に関する試験事例は少ない。本試験では長根種の柳川理想を用い、qc値（土壌硬度の指標）が異なる土壌条件の5区を設け、ゴボウの根部形状と土壌硬度との関連を検討してみた。

主な結果は次のとおりである。

(1) 根長にはA区>B区>C区>D区>E区の関係が認められ、根部最大径と根形指数はE区を除き、これと逆の関係になった。第5表の各区のqc値からして、上記の結果は、qc値が小さい所ほど根部形状が細長であることを意味している。そして、qc値は土壌硬度の指標であるから、根長・根径に土壌硬度が影響しているものと推察される。

(2) qc値が小さいA区(5.2kg/cm<sup>2</sup>以下)では、他区に比較し正常根が大幅に多く、逆に岐根と変形根は少なかった。そして、B～D区の岐根・変形根の発生位置は、約90%以上がトレンチャでの掘削深以下であった。したがって、岐根・変形根の発生にも、土壌硬度が関与していると考察される。

(3) E区(サブソイラで心土破碎)ではqc値が小さい

地点で、多くの岐根が発生した。これはサブソイラ掛けにより地中に空洞が生じ、主根の生長点を枯死させたためと思われる。

(4) 根長と根形指数のt検定結果では、A区に対し他の全区とも1%水準で有意差が認められた。また、根部の長径と短径の比におけるt検定でも、A区はC～E区に対し有意差が認められた。したがって、A区のコボウは統計的にみても、他区に比べ細長・丸形の根部形状であると言える。なお、B区対D区のt検定結果でも、3項目で有意差がみられた。

(5) 本試験結果からすると、ゴボウの良好な根部形状を得るには、qc値で6kg/cm<sup>2</sup>以下の土壌条件にすることが、実際の栽培上でも必要と考えられる。このqc値は長崎らが<sup>3)</sup>、ダイコンの試験で得た値とほぼ一致している。

(6) 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、根部肥大に対する機械的抵抗を生じると言われている<sup>8), 9)</sup>。したがって、次の段階として、これらの各要因がどのようにゴボウの根部形に影響するのかなど、細密な試験が必要と思われる。

## 文 献

- 1) 川延謹造・市瀬猛文・森田勇：農及園，**38**，1719（1963）
- 2) 鎌田嘉孝：土壌の物理性，**14**，4（1966）
- 3) 長崎明・三熊政明・高橋伸寿：土壌の物理性，**9**，38（1963）
- 4) 西谷国宏・三好坦：農及園，**40**，1265（1965）
- 5) 川村秋男・古賀汎・山崎清功：四国農業試験場報告，**23**，53（1970）
- 6) 森泉昭治・大崎和二：茨大農学術報告，**31**，79，（1983）
- 7) 吉田勲：土壌の物理性，**19**，3（1968）
- 8) 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
- 9) 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

- 10) 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. 24 (1976) 農山漁村文化協会  
11) 伊藤克己・塩野勇：現代農業技術双書—ダイコン・カブ・ニンジン・ゴボウ—, p. 271 (1971) 家の光協会

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

### II. On the root shape of edible burdock

SHOJI MORIIZUMI and KAZUJI OSAKI

The increase of soil hardness becomes various problems on the cultivation of root vegetables. This paper deals with the relation between soil hardness and the underground part shape of the burdock in the several experimental plots. The soil hardness was measured with cone penetrometer (cone angle ;  $30^\circ$ , cross section area of cone ;  $3.2\text{cm}^2$ ) in this investigation.

The results were as follows.

- 1) The root length decreased in proportion to increase of cone index. The root diameter and root shape index (root diameter/root length $\times 100$ ) became the opposite relation for aforesaid result. These results signify for slender root shape to be yielded by the decrease of soil hardness. Therefore, it was assumed that soil hardness had influence on the root length and diameter.
- 2) The ratio of normal root shape in A plot where cone index was less than  $5.2\text{kg}/\text{cm}^2$  showed maximum value in all plots. On the other hand, the ratio of branched root and deformed root showed remarkably small value in comparison with other plots. The large majority of occurring point of branched root and deformed root in B~D plots (cone index : B~D>A) were observed at place under the depth of tillage with trencher. So, it is confirmed that soil hardness have an effect on occurring of branched root and deformed root.
- 3) The test of significance was conducted between five experimental plots about root length, root diameter and root shape index. In the result of this test, significance level of 1 % was recognized between each plots. Synthesizing the experiment results of this paper, it is desirable that cone index of cultivating field is less than  $6\text{kg}/\text{cm}^2$  in order to get the good root shape of the burdock.

(Sci. Rep. Fac. Agr. Ibaraki Univ., No.32, 53 ~ 60, 1984)