

画像解析法によるオウトウ「佐藤錦」の根系解析

押田正義・梅宮善章*¹・中村ゆり*^{1*2}・増田欣也*^{1*3}

キーワード：オウトウ, 佐藤錦, 根, 画像解析, T-R率

I 緒 言

近年, 果樹栽培においては, 省力化や早期成園化, 果実の高品質安定生産等を目的に, 根域制限栽培の研究が進められている. 根域制限栽培とは, 根域を一定の土壌容積に制限して栽培し, 土壌水分の制御と根群分布の制限を容易にする栽培方式と定義される (梅宮, 2002). 根域制限栽培には, 土壌容積を制限する方法により, プラスチック等の容器に培土を充填して植え付けるコンテナ方式, 地表に遮根性のあるシートを敷いて培土を盛り植え付ける盛り土方式, 植え穴に遮根シートを敷いて埋め込む植え穴方式などがあり, 樹種や目的により使い分けられている.

オウトウは, 喬木性で樹体が大きくなりやすいうえ, 裂果防止のために雨よけ施設が不可欠である. そのため, 根域制限栽培を行うと低軒高の施設でも栽培が可能となり, 施設費低減の点で有利であることから, 様々な方法が検討されている (松本・本永, 2001; 神尾ら, 2001; 古山ら, 2005; 今川ら, 2011). また, 早期出荷を目的に, 鉢ごと高地に移動して低温処理を行う作型等も検討されている (加藤, 2002).

根域制限栽培した樹は, 根域制限の方法にかかわらず, 地植えの樹と比較して地上部, 地下部ともに小型化するが, 単位土壌容積当たりの根量が増大することから, 地下部重に対する地上部重の割合 (以下 T-R 率とする) が低下することが知られている (高木, 1998). しかし, オウトウでは根域制限栽培樹及び地植え樹のいずれに関しても, 根量や根の分布を調査した事例は少ない.

また, 根量について, 乾物重を調査した報告は多いが, 養水分吸収に直接関係する細根の長さや表面積を調査した報告は少ない. これらの測定には多大な労働力を要するためと考えられるが (山内, 1998), 最近ではコンピューターの

高性能化により, 画像解析法で根長や根表面積を正確に測定するシステムが, 比較的安価に利用できるようになってきた. そのシステムを活用し, ブドウ (梅宮ら, 1999; 金原, 2012), ウンシュウミカン (梅宮ら, 2000; 杉山ら, 2001), ウメ (猿橋ら, 2001), モモ (梅宮ら, 2005; 梅宮ら, 2007) といった樹種において, 様々な栽培条件における根長や根表面積が測定されている.

そこで, 本研究では, オウトウの地植え樹と鉢植え樹について, 画像解析法を用いて根長や根表面積を測定し, 鉢植えによる根域制限がオウトウの地上部及び地下部の生育に及ぼす影響や, 地植え樹における根の分布について明らかにすることを目的とした.

なお, 本研究は, 2001年9月から12月にかけて農業技術研究機構果樹研究所根圏機能研究室 (現農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所栽培・流通利用研究領域) において依頼研究員として行ったものであり, 関係各位には多大な御協力を頂いた. ここに記して深謝の意を表する.

II 材料及び方法

1. 供試植物

試験は, 千葉県農業総合研究センター (現千葉県農林総合研究センター) 生産技術部果樹研究室の圃場 (表層腐植質黒ボク土) に設置された硬質プラスチックハウス内で栽培されている8年生のオウトウ「佐藤錦」(アオバザクラ台, 主幹形) を供試して行った.

2. 試験区の構成

試験区は地植え区と鉢植え区の2区とし, 各区2樹の反復とした.

地植え区は, 1994年3月にハウス内に1年生苗木を定植した. その際, 初期生育の促進を目的に, ベニヤ板で作成した無底の枠 (以下木枠とする; 縦横90cm, 高さ30cm) を設置し, 黒ボク土約240Lにバーク堆肥50kg及びBM熔リン5kgを混合した培養土を充填し, その中央部に苗木を定植した. 植栽間隔は2m×2mとした. なお, 調査時における木枠内の培養土は, 高さ約20cm (体積約160L) に減少していた. 調査を行った2001年度の年間窒素施肥量は, 1樹当たり20gとなるように, 3月に尿素入り硫加磷安555号 (N: 15%, P₂O₅: 15%, K₂O: 15%) を用いて木枠内全

受理日 2013年8月16日

*¹ 農業技術研究機構果樹研究所

*² 現独立行政法人・農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所

*³ 現独立行政法人・農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター

本報の一部は, 園芸学会 (2002年10月, 熊本市) において発表した.

面に全量を施用した。生育期間中の灌水は、土壤表面の乾燥程度を観察して適宜行った。その他の管理は慣行とした。

鉢植え区は、1994年3月に、収穫用コンテナ（縦33cm，横48cm，高さ30cm，容量45L）に、地植え区と同じ組成の培養土を充填し、1年生苗木を定植した。定植5年後の1999年3月に、直径50cm，容量60Lの黒色ポリエチレン製ポットに鉢上げした。その際、コンテナから取り出した根鉢を、ポットに入るよう体積比で約40%切除して円筒形に整形し、定植時と同じ組成の培養土を補充した。調査を行った2001年度の年間窒素施肥量は、1樹当たり70gとなるように、尿素入り硫加磷安555号を用いて、3月から10月にかけて5回に分けてポット内全面に施用した。生育期間中の灌水は、土壤の乾燥程度に応じて点滴灌水で1日当たり約2~6Lとした。その他の管理は慣行とした。

3. 樹体の解体調査

解体調査は2001年10月から12月にかけて行った。調査時の樹体の大きさは、主幹長の平均値が地植え区で4.66m，鉢植え区で3.57m，幹周の平均値が地植え区で51.1cm，鉢植え区で30.4cmであった。調査方法は地上部と地下部を分けて以下のとおりとした。

地上部は、地植え区、鉢植え区とも接ぎ木部で主幹を切断し、主幹、側枝、1年生枝及び葉に分別した。葉は、地植え区は1樹当たり葉数の約15%に当たる600~1,100枚，鉢植え区は1樹当たり葉数の約25%に当たる300枚を無作為に選んで葉面積を測定し、1葉当たり葉面積に葉数を乗じて1樹当たりの葉面積を算出した。その後、各部位を105°Cで定量に達するまで乾燥し、乾物重を測定した。

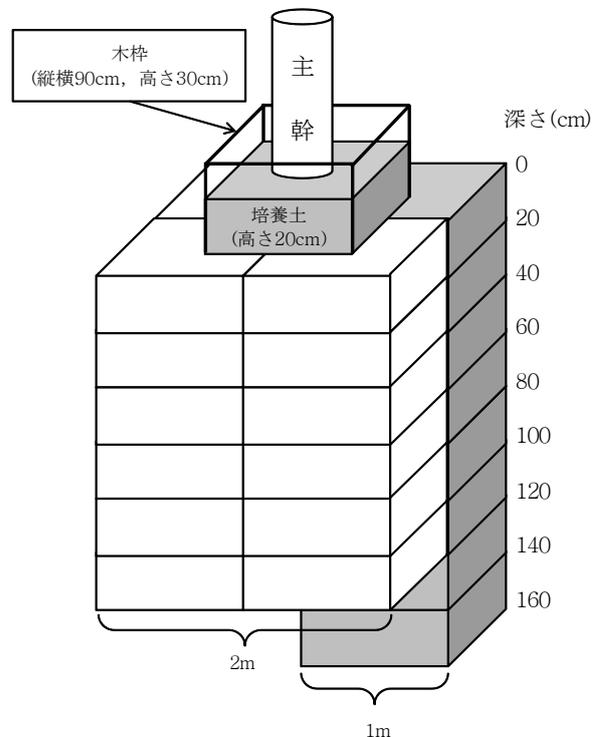
地下部は、地植え区では、深さ120cmまでは主幹を中心とした2m×2mの正方形の範囲を、深さ20cmごとに根を含む土壤全体を掘り取って調査した（第1図）。深さ120~160cmは、それまでの4分の1（主幹の直下を一つの頂点とした1m×1mの正方形の範囲）を、深さ20cmごとに掘り取って調査し、結果を4倍することで全体量を推定した。鉢植え区では、ポット内の全ての根を調査した。

根長及び根表面積は、梅宮ら（2000）の方法に準じて測定した。すなわち、根を含んだ土壤を洗面器に入れ、水で土壤を洗い流し、ピンセットを用いて根を拾い集めた。収集した根はノギスを用いて、幹から連続する塊状の部位を根幹、直径20mmを超える根を極大根、直径10mmを超え20mm以下を大根、直径5mmを超え10mm以下を中根、直径2mmを超え5mm以下を小根、直径2mm以下を細根として分別した。細根は長さ1cm程度、その他の根は直径より長くなるように切断した後、A4大の根長測定用のガラス板上に重ならないように広げた。根が動かないように同じガラス板上から重ね、透過式スキャナーでTIFF形式の画像（グレースケール256階調，500dpi）として保存した。得られた根

の画像から、根系画像解析ソフト WinRHIZO（Regent Instrument Inc.）を用いて、根長及び根表面積を測定した。なお細根は、WinRHIZOの機能を用いて根径0.2mmごとに分級した根長及び根表面積を求めた。測定後の根は105°Cで定量に達するまで乾燥し、乾物重を測定した。なお、地植え区の小根以上の根長及び根表面積は、4分の1樹分を測定して乾物重から1樹当たりの値を推定した。

4. 根圏域のち密度調査

解体調査終了後に、地植え区の根圏域のち密度（硬度）を、山中式土壤硬度計を用いて調査した。測定は、地表から深さ120cmまでは、掘り取りにより生じた土壤断面の中央及び左右に50cm離れた位置について、深さ20cmごとに行った。深さ120~160cmでは、掘り取りにより生じた土壤断面の中央について、深さ20cmごとに測定した。



第1図 地植え区の地下部の調査方法

- 注1) 根乾物重は網掛け及び白色の部分に含まれる全ての根を調査した。
 2) 根長及び根表面積は網掛けの部分は全ての根を調査し、白色の部分は細根のみ調査して小根以上は乾物重から推定した。
 3) 深さ120~160cmは網掛けの部分の測定値を4倍して推定した。

III 結 果

1. 地植え区と鉢植え区における生育反応

(1) 乾物重及びT-R率

部位別の乾物重及びT-R率を第1表に示した。地植え区では乾物重のばらつきが大きく、特に地上部で顕著であ

った。平均では地上部合計が 31.60kg、地下部合計が 10.08kg であり、割合ではそれぞれ 74.8%及び 25.2%であった。鉢植え区では乾物重のばらつきは小さく、平均では地上部合計が 5.71kg、地下部合計が 2.22kg であり、割合ではそれぞれ 72.0%及び 28.0%であった。地上部の割合は地植え区が鉢植え区に比べて大きく、地下部の割合は地植え区が鉢植え区に比べて小さかった。

T-R 率は、地植え区でばらつきが大きかったが、平均では地植え区の 3.05 に対し、鉢植え区では 2.57 とやや小さかった。

(2) 根径別の根長及び根表面積

根径別の根長を第 2 表に示した。地植え区では、1 樹当たりの根長合計が平均約 4.74km で、そのうち細根が約 4.31km と 90.9%を占めた。鉢植え区では、1 樹当たりの根長合計が平均約 1.36km で、そのうち細根が約 1.30km と 96.1%を占め、細根の割合は地植え区に比べ高かった。

根径別の根表面積を第 3 表に示した。地植え区では、1 樹当たりの根表面積合計が平均約 15.91m² で、そのうち細根が約 7.40m² と 46.5%を占めた。鉢植え区では、1 樹

当たりの根表面積合計が平均約 2.85 m² で、そのうち細根が約 1.85 m² と 64.8%を占め、細根の割合は地植え区に比べ高かった。

養水分の吸収に重要な役割を果たすと考えられる細根について、根径 0.2mm ごとに分級し、より詳細に調査した。根長及び根表面積の分布は、それぞれ第 2 図及び第 3 図のとおりであり、最も多かったのは地植え区、鉢植え区とも根径 0.2~0.4mm の根であった。分布の形も類似していたが、鉢植え区が地植え区に比べて根径 0.4mm 以下の細根の割合が高かった。

(3) 細根長及び細根表面積と細根重との関係

細根長及び細根表面積と細根重との関係を第 4 表に示した。細根重当たりの細根長は、地植え区が 7.8m/g、鉢植え区が 12.2m/g、細根重当たりの細根表面積は、地植え区が 133.5cm²/g、鉢植え区が 173.7cm²/g と、いずれも鉢植え区が大きかった。

(4) 葉と細根との関係

葉数及び葉面積と、細根長及び細根表面積の関係を第 5 表に示した。1 樹当たり葉数及び葉面積は、地植え区では

第1表 栽培方法を異にするオウトウ「佐藤錦」の部位別乾物重 (kg/樹) 及びT-R率

| 区 | 反復 | 地上部 | | | | | 地下部 | | | | | | | 地上部 + 地下部 | T-R率 |
|-----|--------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-----------|------|
| | | 葉 | 1年生枝 | 側枝 | 主幹 | 合計 | 根幹 | 極大根 | 大根 | 中根 | 小根 | 細根 | 合計 | | |
| 地植え | 1 | 3.43 | 2.56 | 12.42 | 23.75 | 42.15 | 2.45 | 2.70 | 2.84 | 1.91 | 1.19 | 0.60 | 11.69 | 53.85 | 3.61 |
| | 2 | 1.97 | 1.19 | 5.26 | 12.63 | 21.05 | 2.99 | 1.29 | 1.56 | 1.17 | 0.93 | 0.51 | 8.46 | 29.51 | 2.49 |
| | 平均 | 2.70 | 1.88 | 8.84 | 18.19 | 31.60 | 2.72 | 2.00 | 2.20 | 1.54 | 1.06 | 0.55 | 10.08 | 41.68 | 3.05 |
| | 割合 (%) | 6.5 | 4.4 | 20.4 | 43.4 | 74.8 | 7.3 | 4.7 | 5.3 | 3.7 | 2.7 | 1.4 | 25.2 | 100 | |
| 鉢植え | 1 | 0.60 | 0.27 | 1.75 | 3.83 | 6.46 | 1.33 | 0.22 | 0.30 | 0.30 | 0.18 | 0.12 | 2.45 | 8.90 | 2.64 |
| | 2 | 0.43 | 0.14 | 1.10 | 3.30 | 4.97 | 1.36 | 0.05 | 0.16 | 0.21 | 0.12 | 0.09 | 1.99 | 6.96 | 2.50 |
| | 平均 | 0.52 | 0.21 | 1.43 | 3.56 | 5.71 | 1.34 | 0.13 | 0.23 | 0.25 | 0.15 | 0.11 | 2.22 | 7.93 | 2.57 |
| | 割合 (%) | 6.5 | 2.5 | 17.7 | 45.2 | 72.0 | 17.2 | 1.6 | 2.9 | 3.2 | 1.9 | 1.3 | 28.0 | 100 | |

注) 地下部は、根径をφ, 単位をmmとして、以下の基準で区分した。

極大根 (20<φ), 大根 (10<φ≤20), 中根 (5<φ≤10), 小根 (2<φ≤5), 細根 (φ≤2)。

第2表 栽培方法を異にするオウトウ「佐藤錦」の根径別の根長 (km/樹)

| 区 | 反復 | 極大根 | 大根 | 中根 | 小根 | 細根 | 合計 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 地植え | 1 | 0.0046 | 0.0436 | 0.0899 | 0.2943 | 4.1706 | 4.6031 |
| | 2 | 0.0064 | 0.0402 | 0.1076 | 0.2759 | 4.4525 | 4.8826 |
| | 平均 | 0.0055 | 0.0419 | 0.0988 | 0.2851 | 4.3116 | 4.7429 |
| | 割合 (%) | | 0.1 | 0.9 | 2.1 | 6.0 | 90.9 |
| 鉢植え | 1 | 0.0005 | 0.0027 | 0.0102 | 0.0411 | 1.3569 | 1.4114 |
| | 2 | 0.0004 | 0.0037 | 0.0136 | 0.0348 | 1.2469 | 1.2994 |
| | 平均 | 0.0004 | 0.0032 | 0.0119 | 0.0380 | 1.3019 | 1.3554 |
| | 割合 (%) | | 0.0 | 0.2 | 0.9 | 2.8 | 96.1 |

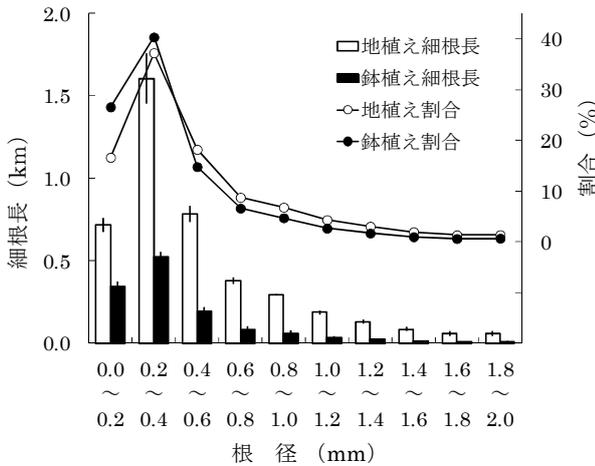
注) 地下部は、根径をφ, 単位をmmとして、以下の基準で区分した。

極大根 (20<φ), 大根 (10<φ≤20), 中根 (5<φ≤10), 小根 (2<φ≤5), 細根 (φ≤2)。

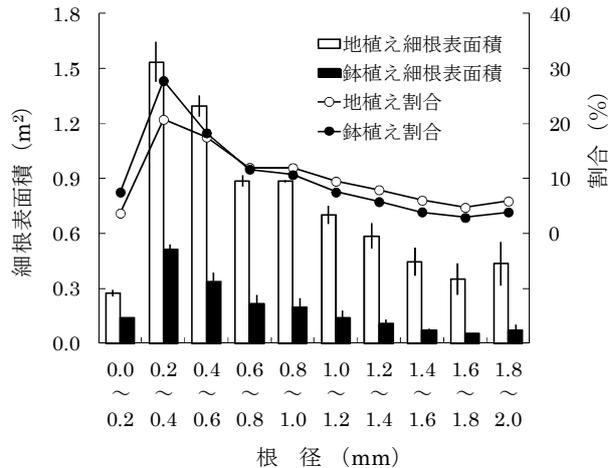
第3表 栽培方法を異にするアウトウ「佐藤錦」の根径別の根表面積(m²/樹)

| 区 | 反復 | 極大根 | 大根 | 中根 | 小根 | 細根 | 合計 |
|-----|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 地植え | 1 | 0.65 | 2.43 | 2.48 | 3.24 | 7.53 | 16.33 |
| | 2 | 0.57 | 1.95 | 2.71 | 2.98 | 7.26 | 15.48 |
| | 平均 | 0.61 | 2.19 | 2.60 | 3.11 | 7.40 | 15.91 |
| | 割合(%) | 3.8 | 13.8 | 16.3 | 19.6 | 46.5 | 100 |
| 鉢植え | 1 | 0.06 | 0.18 | 0.36 | 0.49 | 2.00 | 3.09 |
| | 2 | 0.03 | 0.16 | 0.35 | 0.38 | 1.70 | 2.61 |
| | 平均 | 0.05 | 0.17 | 0.35 | 0.43 | 1.85 | 2.85 |
| | 割合(%) | 1.6 | 5.9 | 12.4 | 15.3 | 64.8 | 100 |

注) 地下部は、根径をφ, 単位をmmとして、以下の基準で区分した。
 極大根 (20<φ), 大根 (10<φ≤20), 中根 (5<φ≤10), 小根 (2<φ≤5), 細根 (φ≤2)。



第2図 栽培方法を異にするアウトウ「佐藤錦」の根径別の細根長分布及び割合
 注) バーは標準誤差 (n=2) を表す。



第3図 栽培方法を異にするアウトウ「佐藤錦」の根径別の細根表面積分布及び割合
 注) バーは標準誤差 (n=2) を表す。

第4表 栽培方法を異にするアウトウ「佐藤錦」の細根長及び細根表面積と細根重との関係

| 区 | 細根長/細根重(m/g) | 細根表面積/細根重(cm ² /g) |
|-----|--------------|-------------------------------|
| 地植え | 7.8 ± 1.2 | 133.5 ± 11.2 |
| 鉢植え | 12.2 ± 1.9 | 173.7 ± 17.6 |

注) 値は平均値±標準誤差 (n=2) を表す。

反復間のばらつきが大きかったが、平均ではそれぞれ約 6,000 枚及び 35.3 m²であった。鉢植え区ではばらつきは小さく、平均ではそれぞれ約 1,300 枚及び 5.9 m²であった。1 葉当たり細根長、1 葉当たり細根表面積及び葉面積当たり細根表面積は、地植え区では反復間のばらつきが大きく、平均ではそれぞれ 79.2cm, 13.4cm²及び 0.23 であった。鉢植え区ではばらつきは小さく、平均ではそれぞれ 100.4cm, 14.2cm²及び 0.32 で、いずれも地植え区に比べ大きかった。

2. 地植え区における根の分布と根圏域のち密度

(1) 地植え区における根の分布

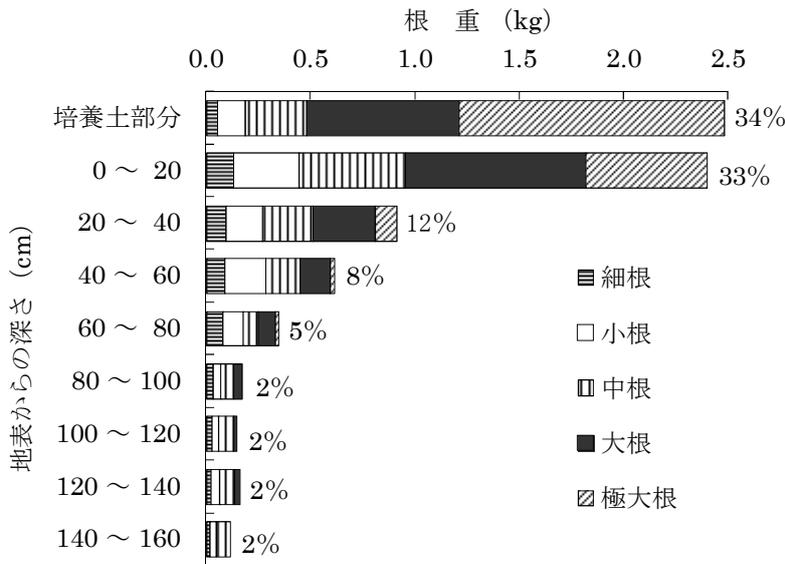
地植え区における深さ別の根重の分布を第 4 図に示し

た。地上 0~20cm の培養土部分及び深さ 0~20cm の土壤中に多くの根が分布し、その割合は培養土部分が 34%、深さ 0~20cm が 33%であった。根径別にみると、極大根は深さ 80cm まで、大根は深さ 140cm まで、中根、小根及び細根は深さ 160cm まで分布していた。

深さ別の細根長の分布を第 5 図に示した。最も多くの細根が存在したのは深さ 0~20cm で、全細根長の 27%を占めた。また、培養土部分及び深さ 80cm までの土壤には、それぞれ全細根長の 13~15%が含まれたのに対し、深さ 80cm よりも深いところではそれぞれ 4~6%とその割合が大幅に低下した。根径別にみると、最も多い根径は 0.2~0.4mm で、その細根が占める割合は、培養土部分及び

第5表 栽培方法を異にするオウトウ「佐藤錦」の葉数及び葉面積と細根長及び細根表面積との関係

| 区 | 反復 | 葉数 (枚/樹) | 葉面積 (m ² /樹) | 1葉当たり 細根長 (cm) | 1葉当たり 細根表面積 (cm ²) | 葉面積 当たり 細根表面積 |
|-------------|----|-------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 地 植 え | 1 | 7,777 | 47.1 | 53.6 | 9.7 | 0.16 |
| | 2 | 4,248 | 23.5 | 104.8 | 17.1 | 0.31 |
| | 平均 | 6,013 | 35.3 | 79.2 | 13.4 | 0.23 |
| 鉢 植 え | 1 | 1,374 | 7.2 | 98.8 | 14.5 | 0.28 |
| | 2 | 1,221 | 4.7 | 102.1 | 13.9 | 0.36 |
| | 平均 | 1,298 | 5.9 | 100.4 | 14.2 | 0.32 |



第4図 オウトウ「佐藤錦」の地植え区における深さ別の根重の分布

注1) 根幹は除く。

2) グラフ内の数字は全根重に対するその深さの根重の割合。

深さ0~20cmで44%と高かったのに対し、深さ20cmよりも深いところではそれぞれ26~35%と低かった。

深さ別の細根表面積の分布を第6図に示した。細根長とほぼ同様に、深さ0~20cmの土壤には全細根表面積の25%、培養土部分及び深さ80cmまでの土壤にはそれぞれ全細根表面積の12~15%が含まれたのに対し、深さ80cmよりも深いところではそれぞれ4~6%とその割合が大幅に低下した。根径別にみると、最も多い根径は0.2~0.4mmで、その細根が占める割合は、培養土部分で32%、深さ0~20cmで27%と高かったのに対し、深さ20cmよりも深いところではそれぞれ12~18%と低かった。

(2) 根圏域のち密度

地植え区の代表的な土壤断面及び根圏域のち密度を写真1に示した。深さ40~50cmまでは黒ボク土で、深さ60~70cmに耕うんされた層があり、それ以下は腐植含量の少ない黒ボク土(赤土)であった。根圏域のち密度は、

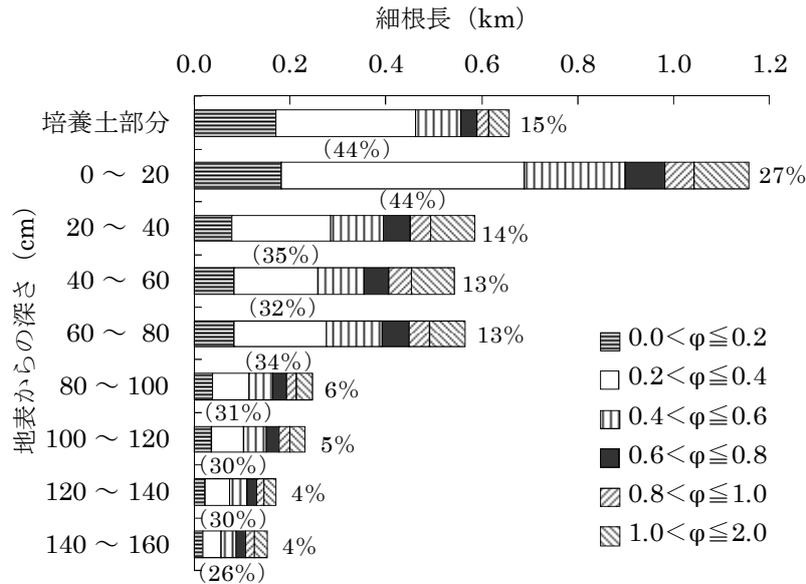
深さ0~20cmが18.1mm、深さ20~40cmが15.8mmと軟らかかったが、深さ40~60cmよりも深いところでは20mm以上で、深くなるほど硬くなる傾向がみられた。

IV 考 察

1. 鉢植えによる根域制限が地上部及び地下部の生育に及ぼす影響

(1) 地上部と地下部との関係

根域制限栽培した樹は、根域制限の方法にかかわらず、地植えの樹と比較してT-R率が低下することが知られている(高木, 1998)。例えばモモにおいては、地植え栽培のT-R率が2.92であったのに対し、ポリエチレンネットを利用したポットによる容積220Lの根域制限栽培では1.27であった(松波ら, 2001)。また、ワセウンシュウでは、地植え栽培のT-R率が3.5であったのに対し、容積



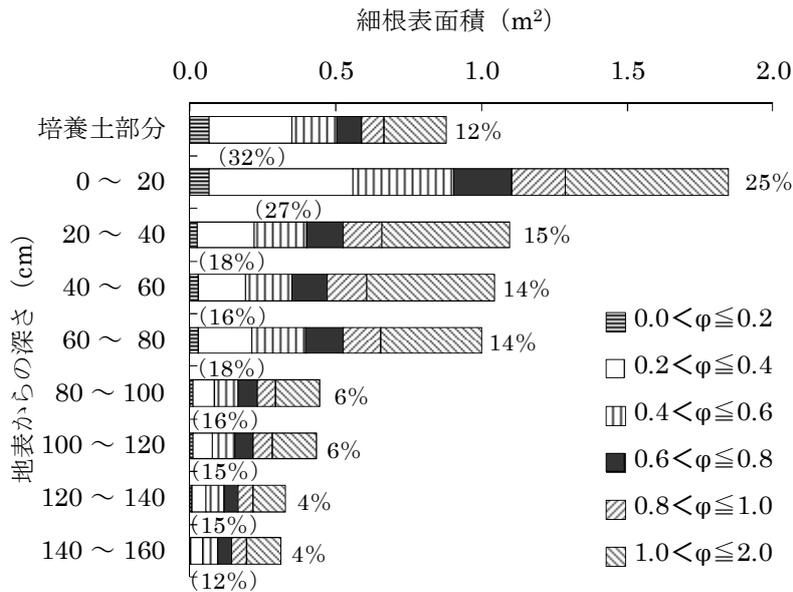
第5図 オウトウ「佐藤錦」の地植え区における深さ別の細根長の分布

注1) φは根径を表す。

2) 棒グラフ先端の数字は全細根長に対するその深さの細根長の割合。

3) 棒グラフ下の括弧内の数字はその深さの細根長に対する根径0.2~0.4mmの細根長の割合。

4) 根径1.0~2.0mmの細根長も根径0.2mmごとに調査したがいずれもわずかであったため合計して示した。



第6図 オウトウ「佐藤錦」の地植え区における深さ別の細根表面積の分布

注1) φは根径を表す。

2) 棒グラフ先端の数字は全細根表面積に対するその深さの細根表面積の割合。

3) 棒グラフ下の括弧内の数字はその深さの細根表面積に対する根径0.2~0.4mmの細根表面積の割合。

4) 根径1.0~2.0mmの細根表面積も根径0.2mmごとに調査したがいずれもわずかであったため合計して示した。

750Lの高うねマルチ栽培では2.3~2.8であった(松本ら, 2006)。しかし, 今川ら(2011)は4年生のオウトウ「高砂」において根域制限及び整枝法の違いが乾物重に及ぼす影響を調査し, T-R率は地植えの盃状形が2.44, 容積55Lの不織布ポットを利用した根域制限一本仕立てが2.97と,

根域制限によりT-R率が上昇したと報告している。

本試験におけるT-R率は, 平均では地植え区の3.05に対して鉢植え区は2.57と低下したが, その差は先に述べたモモやワセウンシュウに比べて小さく, ばらつきも大きかった。差が小さかったのは, 樹種の違いや根域制限の程

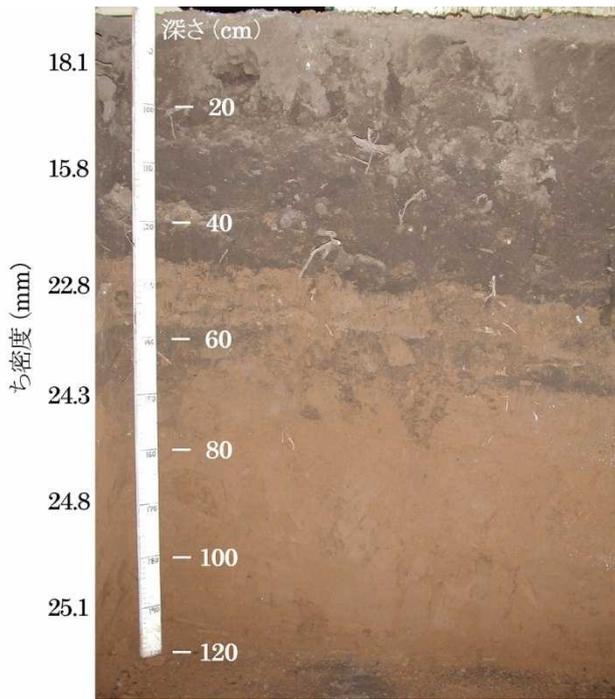


写真1 地植え区の土壌断面及び根圏域のち密度

注1) 山中式土壌硬度計で測定した。

2) 深さ140cm及び160cmのち密度はそれぞれ25.0mm及び26.4mm。

度による可能性もあるが、地植え区に高さ20cmの培養土部分を設けたことが、根域を広げて根量を増やし、T-R率を低下させる効果があったこと、及び鉢植え区において鉢上げの際に根を含む培養土を約40%切除したことが、T-R率を上昇させる効果があったことが影響していると推察される。一方、ばらつきが大きかったのは、反復が2樹と少ないうえ、地植え区の1樹がハウスの隅にあったため他の樹より強せん定になり、地上部が地下部に比べて極めて小さくなったことが一因と考えられる。

地上部と地下部との関係を、養水分吸収の観点から考察する際には、葉と細根との割合が有効な指標となりうる。トウモロコシでは、根表面積当たりの葉面積の増加に伴い、個体の吸水能力が低下することが明らかになっている(何ら, 1998)。山本(1984)は、セイヨウナシの葉やけ発生と根の状態との関係を調査し、夏期の遮光湿潤処理は根表面積当たりの葉面積を増大させ、樹体の水収支の不均衡を大きくして葉やけ発生を助長すると考察している。猿橋ら(2001)は、ウメ「紅サシ」における1葉当たり細根長、1葉当たり細根表面積及び葉面積当たり細根表面積はいずれも水田転換園が普通畑に比べ高いことを認め、水田転換園は透水性が悪いため降雨後に過湿による水分ストレスがかかり、葉に対する細根の割合が増加したと考察している。本試験では、1葉当たり細根長、1葉当たり細根表面積及び葉面積当たり細根表面積のいずれも、平均ではわずかながら鉢植え区が地植え区に比べ大きかった。これ

は、金原(2012)も述べているとおり、根域制限により樹体に水分ストレスがかかるため細根の発達が促進され、葉に対する細根の割合が高まったものと考えられる。なお、地植え区の1樹は鉢植え区と同程度の値であったが、これは既に述べたように、強せん定により地上部が小さくなったことが一因と考えられる。

(2) 細根長及び細根表面積

根域制限により細根が発達することは多くの樹種で認められている。オウトウにおいても、不織布ポットを利用して育成した「佐藤錦」の大苗は、地植えで育成した大苗に比べて細根の割合が高いとの報告がある(須藤ら, 2003)。本試験でも、根長の合計に対する細根長の割合や、根表面積の合計に対する細根表面積の割合は鉢植え区が地植え区に比べて高く、根域制限により細根の発達が促進された結果であると考えられる。

細根の根径別分布は、これまでいくつかの樹種において報告されている。ウンシュウミカンでは、根域制限栽培の「宮川早生」で根径0.4~0.6mm(梅宮ら, 2000)、地植えの「青島温州」で根径0.3~0.6mm(杉山ら, 2001)の細根が最も多かった。ブドウ「巨峰」では、培土量30~150Lの根域制限栽培樹及び地植え樹に共通して根径0.5mmの細根が最も多く、養水分吸収には樹種に共通して根径0.5mmの細根が主要な役割を担っていると推察している(金原, 2012)。本試験では、地植え区及び鉢植え区ともに、ウンシュウミカンやブドウに比べてやや細い、根径0.2~0.4mmの細根が最も多かった。根径と養水分吸収能力との関係は明らかでないが、量的に多いこの太さの細根は、生理的に重要な役割を果たしていると推察される。

細根の根径別分布の割合から、全細根に占める根径0.4mm以下の細根の割合は、鉢植え区が地植え区に比べて高かった。また、細根重当たりの細根長及び細根表面積は、いずれも鉢植え区が地植え区に比べて大きかった。これらのことから、鉢植えによる根域制限栽培は地植えに比較して、より細い根の発達を促進すると考えられる。

細根長や細根表面積の測定は、画像解析法を用いても多くの労働力を要する。これらの測定作業を省力化するため、ウメ(猿橋ら, 2001)やブドウ(金原, 2012)では、細根重から細根長及び細根表面積を推定する回帰式が提案されている。本試験では、反復数が少ないため回帰式を算出できなかったが、細根重当たりの細根長及び細根表面積の値を係数に用いることで、細根長及び細根表面積を推定することが可能である。

2. 地植え樹における根の分布

須藤(1993)は、黒ボク土のオウトウ園土壌の維持すべき目標値として、根域の深さは50cm、ち密度は18mm以下としている。また、オウトウは深さ20cmまでに大部

分の根が存在すると述べている。

本試験の地植え区における根圏域の密度は、深さ40cmまでは概ね18mm以下であり、細根の発達に適した条件であったと考えられる。深さ別の根の分布をみると、根幹を除く全根重の67%が深さ20cmまでに含まれていた。また、養水分吸収を担う細根は、深さ20cmまでに全細根長の42%、全細根表面積の37%が存在した。さらに、根径0.2~0.4mmの細根の占める割合は、深さ20cmまでが特に高かった。このように、深さ40cmまで土壌条件が良好でも、深さ20cmまでに多くの根が分布することが確認され、須藤(1993)の報告と一致した。このことは、土壌改良や局所施肥を行う際は、深さ20cmまでを重点的に実施することで高い効果が期待できることを示唆していると考えられる。

V 摘 要

オウトウ「佐藤錦」の地植え樹と鉢植え樹について、画像解析法を用いて根長や根表面積を測定し、鉢植えによる根域制限が地上部及び地下部の生育に及ぼす影響や、地植え樹の根の分布を調査した。

1. 部位別の乾物重は、地植え区では反復間でばらつきが大きかったが、平均では地上部合計が31.60kg、地下部合計が10.08kgであった。鉢植え区では、地上部合計が5.71kg、地下部合計が2.22kgであった。T-R率は、地植え区でばらつきが大きかったが、平均では地植え区の3.05に対し、鉢植え区では2.57とやや小さかった。
2. 根長の合計は地植え区が約4.74km、鉢植え区が約1.36kmであった。根表面積の合計は地植え区が15.91m²、鉢植え区が2.85m²であった。
3. 1葉当たり細根長、1葉当たり細根表面積及び葉面積当たり細根表面積は、地植え区ではばらつきが大きかったものの、平均ではいずれも鉢植え区が大きく、鉢植えによる根域制限で生じた水分ストレスが細根の発達を促進したと推察された。
4. 細根の根径別分布は、地植え区及び鉢植え区のいずれも根径0.2~0.4mmが最も多く、この太さの細根が生理的に重要な役割を果たしていると考えられた。一方、全細根に占める根径0.4mm以下の細根の割合は鉢植え区が地植え区に比べて高く、鉢植えによる根域制限はより細い根の発達を促進すると推察された。
5. 地植え区では深さ20cmまでに、根幹を除く全根重の67%、全細根長の42%、全細根表面積の37%と多くの根が分布した。
6. 以上から、オウトウでは鉢植えによる根域制限栽培により、地植えに比べて細根が発達することが明らかにな

った。また、地植え区では深さ20cmまでに多くの根が分布したことから、土壌改良や局所施肥を行う際は、この深さを重点的に実施することで高い効果が期待できると考えられた。

VI 引用文献

- 古山竜二・高畑正人・中嶋和幸(2005)オウトウの根域制限Y字形仕立てにおける栽培適性について。滋賀農総セ農試研報. 45: 44-50.
- 何偉生・中山敬一・于貴瑞(1998)トウモロコシの根表面積が水吸収および蒸散に及ぼす影響。千葉大園学報. 52: 157-164.
- 今川順一・西川智晴・林良考・藤浦建史・赤瀬章(2011)不織布ポットを利用した根域制限一本仕立てによるオウトウの早期成園化技術。近畿中国四国農業研究. 18: 73-78.
- 神尾真司・田口誠・柳瀬関三・高木晃(2001)オウトウのコンテナ栽培に関する研究。岐阜中農研報告. 1: 9-18.
- 金原啓一(2012)ブドウの盛土式根圏制御栽培法に関する研究。栃木農研試報. 70: 1-38.
- 加藤秀一(2002)コンテナを用いたオウトウの根域制限栽培。農耕と園芸. 57: 204-207.
- 松本和紀・矢羽田二郎・牛島孝策・栗原実(2006)ワセウシユウの高うねマルチ栽培における根域制限方法と生育、収量、果実品質。福岡農総試研報. 25: 65-70.
- 松本辰也・本永尚彦(2001)オウトウのポット栽培による早期多収技術。新潟農総研研報. 3: 49-54.
- 松波達也・吉岡正明・平井一幸・本間素子・渡辺一郎(2001)ポリエチレンネットを利用したポットによるモモの根域制限栽培法。群馬園試研報. 6: 7-38.
- 猿橋由恵・梅宮善章・渡辺毅・冬廣吉郎・中村ゆり・増田欣也(2001)画像解析法によるウメ「紅サシ」の根系計測。園学雑. 70(別1): 205.
- 須藤佐蔵(1993)土壌管理。農業技術大系果樹編4オウトウ基本技術編. pp.53-56の3. 農文協. 東京.
- 須藤佐蔵・我孫子裕樹・工藤信(2003)不織布ポット利用によるオウトウ大苗の花芽着生促進効果と植え傷み軽減法。東北農業研究. 56: 173-174.
- 杉山泰之・福田雅仁・梅宮善章・吉川公規・中村ゆり・増田欣也(2001)画像解析法による樹齢の異なるウシユウミカンの根系構成解析。園学雑. 70(別1): 183.
- 高木敏彦(1998)果樹の根域制限。根の事典(根の事典編集委員会編). pp.276-278. 朝倉書店. 東京.

- 梅宮善章（2002）根域制限による落葉果樹根の特性. 農耕と園芸. 57 : 196-199.
- 梅宮善章・金原啓一・中村ゆり（1999）画像解析法による根域制限ブドウ樹の根系計測. 根の研究. 8 : 152.
- 梅宮善章・中西正憲・吉川公規・中村ゆり（2000）画像解析法による根域制限栽培温州みかんの根系計測. 園学雑. 69（別1） : 201.
- 梅宮善章・谷口弘行・井上博道・中村ゆり（2005）パーク堆肥による土壌改良がモモ根系パラメーターに及ぼす影響. 根の研究. 14 : 197.
- 梅宮善章・谷口弘行・井上博道・中村ゆり（2007）土壌改良資材の部分施用によるモモ再生根の特徴. 根の研究. 16 : 180.
- 山本隆儀（1984）セイヨウナシの葉やけに関する研究. 山形大学学位論文. pp.59-70.
- 山内章（1998）根の測定形質と形態指標. 根の事典（根の事典編集委員会 編）. pp.374-375. 朝倉書店. 東京

Image Analysis of Root Systems in Field- and Pot-grown 'Satonishiki' Sweet Cherry

Masayoshi OSHIDA, Yoshiaki UMEMIYA, Yuri NAKAMURA,
and Kinya MASUDA

Key words: image analysis, root, Satonishiki, sweet cherry, T-R ratio

Summary

To clarify the effect of root restriction on top and root growth responses in 'Satonishiki' sweet cherry, we used image analysis to investigate root length and root surface area in field- and pot-grown trees.

1. In field-grown trees, the top and root dry weights per tree were 31.60 and 10.08 kg, respectively, whereas in 60-L pot-grown trees they were 5.71 and 2.22 kg. The top to root ratio was 3.05 in field-grown trees and 2.57 in pot-grown trees.
2. In field- and pot-grown trees the total root length per tree was 4.74 and 1.36 km, respectively; the total root surface area per tree was 15.91 and 2.85 m².
3. Indexes representing the relationship between fine root and leaf, such as fine root length per leaf, fine root surface area per leaf, and fine root surface area per leaf area, were larger in pot-grown trees than in field-grown trees.
4. When fine roots were classified in diameter increments of 0.2 mm, the 0.2- to 0.4-mm diameter class was the largest, suggesting that fine roots in this diameter class are physiologically important. The length of roots in the 0- to 0.4-mm diameter class as a ratio of the total length of fine roots was higher in pot-grown trees than in field-grown trees.
5. In field-grown trees, the soil 20 cm below the ground was abundant in roots (67% of total root dry weight, 42% of total fine root length, and 37% of total fine root surface area).
6. These results suggest that, in sweet cherry, root restriction caused by potting stimulates fine root development. In field-grown trees, many of the roots were distributed 20 cm below the ground, suggesting that this zone is crucial in soil improvement or in localized deep placement of fertilizer.