— 土壤条件と根系分布 —

Soil Condition and Growth of the Camphor trees in Sakaide Green Belt (I)

MASUDA, Takuro*, MORIYA, Hitoshi*
and KAJITA, Yoshinori*

植栽地盤（とくに下層）はかなり緻密であり、長谷川式土壤貫入計の貫入値が 10 mm 以上を示す膨軟な層は、多くの地点で表層の 10~20 cm にすぎなかった。ただし、部分的に深くまで軟らかい箇所もあり、良好木の周囲で比較的多くみられた。根元から 50 cm の所に設定した土壤断面における根系分布には不良木と良好木の間で著しい違いがみられた。土壤の緻密さと根系分布の間には密接な関係が認められ、山中式土壤硬度計の指標硬度 20 mm 以上、固相率 60% 以上では根系分布はほとんどみられなかった。気相率と透水係数の間にも高い相関関係が認められ、気相率 20% 以下、透水係数 10^{-3} cm/sec 以下では根系発達に極めて困難であることが認められた。夏季の乾燥時において、不良木と良好木の光合成および蒸散速度に大きな違いがみられた。光合成および蒸散速度の測定結果については次報で詳しく検討する。

坂出市番の州地区は、その名のとおりもともと砂州であったところを埋め立てて造成された臨海工業地帯である。内陸部は市街地となっており、工業地帯と市街地との境界部分に緩衝緑地帯が設けられている。この緩衝緑地帯は A, B, C の 3 地区からなっているが、とくに A 地区は面積 12 ha と最も大きく、外周部に厚い樹林帯を配して緩衝機能を持たせるとともに、内部には野球場

この A 地区は 1975~77 年にかけて造成工事が行われ、1977 年 4 月に供用が開始されている。造成地盤は、浚渫された海底土砂の上に、マサ土が数 10 cm~1 m 程度の厚さに客土されている。

樹木の生育状態についてみると、植樹帯として造成地盤の上にさらに客土して植栽されたところでは概ね良好な生育状態を示しているが、造成地盤にそのまま植栽されたところではやや生育不良を示す個体がみられる。管理事務所の話によると「土がかたい」とのことであった。今回、造成地盤に直接植栽されているクスノキを対

Faculty of Agriculture, Kagawa University

象に土壤条件、根系分布および地上部の生育状態について調査を行ったので、その結果について報告する。なお、本調査を行うにあたって、坂出緩衝緑地管理事務所の方々には大変お世話になった。厚くお礼申し上げる。

2. 調査方法

2.1 調査木

運動広場横の植樹帯（造成地盤のまま）に植栽されているクスノキの中から生育不良木、生育良好木を各2個体ずつ選び、調査対象木（それぞれ不良木-1, 2および良好木-1, 2）とした。これらのクスノキはいずれも1976年秋から1977年春にかけて植栽されたものである。調査時（1990年4月）における各調査木の形状寸法を表1に示した。なお、生育状態の良、不良は目視により判定したものである。不良木は樹高、胸高直径とも良好木に比べて小さく、樹冠（枝張り）も小さい。また、不良木はいずれも主幹が途中で切除されており（切口はかなり古い）、植栽後早い時期に枯れ下がりを経験していることが伺える。

2.2 土壌および根系調査

まず、調査地の土壌条件、とくに緻密さの程度を知るために動貫入試験を行った。動貫入試験器としては長谷川式土壌貫入計を用い、各調査木について根元から25 cm, 50 cm, 100 cm の所で測定を行った（25 cm は1ヶ所, 50 cm, 100 cm については2ヶ所ずつとした）。なお、長谷川式土壌貫入計は、重量2 kgの落錘を50 cm落下させたときのロッド（先端コーンの頂角60°, 底面の直径2 cm）の貫入量（深さ）から土壌の硬さを知るものである。

次いで、各調査木の根元から50 cm離れたところに調査用の土壌断面を設定した。断面の幅は調査木の中心から左に50 cm, 右に1 mの計1.5 mとし、深さは根系分布がほぼみられなくなるまでとした。この断面について、根系調査、土壌硬度調査および土壌試料の採取を行った。

根系調査は10 cm×10 cmの格子枠を用いて行った。土壌断面に格子枠をあて、各格子の中に出て現している全ての根の太さをノギスを用いて測定した。

次いで、土壌断面の樹木正面と右横へ50 cm離れた所の2ヶ所で、山中式土壌硬度計を用いて土壌硬度の垂直分布を測定した（深さ10 cm毎の層別、各層5回測定し、平均値をその層の代表値とした）。土壌硬度を測定した後、100 ml円筒採土器を用いて、非攪乱的に土壌試料を採取し（各地点とも深さ10~20 cm毎に4~5層ずつ採取）、実験室に持ち帰って、三相分布および透水係数を測定した。なお、これらの土壌調査は1990年5月に行った。

2.3 生育状態

調査木の形状寸法については表1に示したとおりである。各調査木の大きさは過去10数年間の成長量の蓄積を表しているものと考えることができる。さらに、現在の生育状態（活力度）を知るために、新葉の展開した4月28日、夏季の8月6日（7月17日以降、約3週間無降雨で土壌はかなり乾燥状態にあった）および8月27日（8月13日から23日までの11日間に約120 mmの降雨があり、土壌は湿潤状態にあった）の3回光合成速度および蒸散速度を測定した。測定には、携帯式光合成蒸散測定装置（LI-6200, LI-COR社製）を用い、測定対象は装置等の都合上、不良木-1と良好木-1の2個体とした。4月28日の測定は午前10時~午後1時の間、東~南向きの葉を対象として行ったが、8月6日と8月27日は午前6時から午後6時まで1時間おきに、各個体について東西南北の4方向の葉を対象として測定を行った。

3. 調査結果および考察

3.1 動貫入試験結果

動貫入試験結果を図1に示す。図の横軸（貫入値）は落錘1回の落下（打撃）で貫入する深さで、この値が大きいほど土壌が軟らかいことを意味する。長谷川ら¹⁾は

表1 調査木の形状寸法
Table 1 Size of the investigated trees

調査木 investigated tree	胸高直径 D _{BH} (cm)	樹高 H (m)	枝下高 H _B (m)	枝張 branch spread (m)
不良木-1 (POOR-1)	12.1	3.2	1.6	2 × 2
不良木-2 (POOR-2)	13.8	4.2	2.2	2 × 2.2
良好木-1 (GOOD-1)	15.6	4.6	1.2	3.2 × 3.6
良好木-2 (GOOD-2)	17.0	4.6	1.6	4 × 4.4

図 1 長谷川式土壌貫入計を用いて測定した土壌硬度の垂直分布
貫入値 1 cm 以下では根系発達が困難であり、5 mm 以下ではほとんど不可能であるとい
うことが報告されている^{1,3)}。L は調査木からの距離。

Fig. 1 Vertical distribution of soil hardness measured with Hasegawa's Soil Penetrometer

It was reported that root development is difficult where the penetration depth is less than 1 cm and almost impossible where it is less than 5 mm^{1,3)}. L is the distance from the tree.

この値を「軟らか度」と呼んでいるが、本報では「貫入値」と呼ぶことにする。貫入値 3 mm 以下の値が数 cm 続いた場合には、根の侵入が不可能な固結層になっているものと判断して貫入試験を打ち切った。

長谷川らは「軟らか度 1.5 cm 以上の土層が 40 cm 以上あれば、大体育育は良好であり、また 30 cm までの深さに軟らか度 1.0 cm 以下の土層があれば生育は不良である¹⁾」としている。増田ら³⁾はマサ土地盤に植栽されたケヤキの根系調査から、貫入値 1 cm 以上であれば根系発達にほぼ支障はないが、5 mm 以下になると根系発達が困難になることを報告している。これらの報告から、貫入値 1 cm という値が根系発達の難易を分けるひとつの目安になると考えることができよう。なお、長谷川式土壌貫入計の貫入値と山中式土壌硬度計の測定値の間には、土壌の種類毎に高い相関関係が認められている^{1,3)}。

さて、不良木-1, 2 の測定結果をみると、貫入値が 1 cm 以上であるのは、根元周囲 50 cm までの範囲では深さ 20 cm まで、根元から 1 m の所では表面数 cm に過ぎない。貫入試験であるということおよび先端コーンの形状からみて、表面 2~3 cm の貫入値が過大に測定されることはやむを得ない。この点を考慮すると、根元から 1 m の所では地表面から下層まで著しく緻密であるといっていよう。深さ 30 cm 以下の下層はほとんどの箇所が貫入値 5 mm 以下の固結層である。な

お、不良木-1 の根元から 25 cm の所の深さ 50 cm 前後の層は貫入値 3 cm 前後とかなり軟らかいが、その上(深さ 20~30 cm)に貫入値 5~6 mm の固結層があり、必ずしも根系発達にとって条件がよいとはいえない。

良好木-1 の測定結果をみると、全体的な傾向は不良木とあまりかわらないが、部分的には深さ 30 cm 付近まで貫入値 1 cm 以上を示す箇所がみられる。

良好木-2 では、根元から 50 cm の範囲内は深さ 40 cm 程度までは貫入値 1 cm 以上となっている(部分的には深さ 60 cm 以下まで膨軟である)。

以上、動貫入試験結果について検討したが、実際の根系分布はどうであろうか。次に、土壌断面調査結果について検討する。

3.2 土壌断面調査結果

3.2.1 土壌硬度

土壌硬度測定結果を表 2 に示す。

不良木-1 の正面では、深さ 20 cm までは土壌硬度 17~19 mm、深さ 20~40 cm では約 25 mm、深さ 40 cm 以下で再び 17 mm 程度になっている。これは動貫入試験の根元から 25 cm の所の結果とよく似ている。なお、土壌断面は調査木から 50 cm の所に設定したが、動貫入試験(根元から 50 cm)実施位置と必ずしも同じではないので、調査木正面の土壌硬度と動貫入試験(根元から 50 cm)の結果が異なる傾向を示す場合もある。調査木正面から横へ 50 cm 離れた所では、地表面から

表 2 山中式土壌硬度計を用いて測定した土壌硬度
Table 2 Soil hardness measured with Yamanaka's Soil Hardness Tester

深 さ depth (cm)	不良木-1 POOR-1		不良木-2 POOR-2		良好木-1 GOOD-1		良好木-2 GOOD-2	
	正面 center	横 side	正面 center	横 side	正面 center	横 side	正面 center	横 side
0-10	16.8	17.2	7.6	17.6	9.8	12.8	13.8	10.8
10-20	19.4	14.8	12.6	14.4	15.8	16.0	14.0	12.0
20-30	24.8	12.6	18.6	18.6	21.0	27.4	21.2	20.8
30-40	25.2	11.0	25.2	25.0	23.0	27.4	26.0	24.0
40-50	17.2	9.2	22.4	24.8	23.8	25.8	26.8	24.8
50-60	16.6	8.6	21.0	21.0	20.4	27.0	22.2	25.6
60-70	16.4	12.8	23.0	16.0				13.6
70-80	14.2	14.2						

○土壌断面は調査木の根元から 50 cm 離れたところに設定した。この土壌断面の樹木正面と横へ 50 cm 離れた位置の 2 箇所土壌硬度を測定した。表の数値は山中式土壌硬度計の指数硬度 (mm) で、5 回測定の平均値である。

The soil profile was set up at a distance of 50 cm from the tree. Soil hardness was measured at the center of the tree and at the side of 50 cm from the center on the profile wall. Data in Table 2 shows the average soil hardness of 5 times measurements (mm).

深さ 80 cm まで全て土壌硬度 20 mm 以下である。管理事務所の話では、土壌膨軟化のために 2～3 年前からオーガーで穴をあけて施肥をするようにしているとのことであり、この箇所はその穴だと思われる。後でみるように、この箇所は根系分布も比較的多い。

不良木-2 では、正面、横ともに深さ 30 cm までは土壌硬度 20 mm 以下であるが、深さ 30～40 cm の層は土壌硬度 25 mm 以上を示す固結層となっている。動貫入試験では深さ 20～40 cm の間で貫入値 2～3 mm を示しており、どちらの結果からみてもこの層が固結層と

表 3 土壌断面における根系分布状況
Table 3 Root distribution on the soil profile wall

深 さ depth (cm)	根の直径階別出現本数 root number classified by root diameter (mm)						根の断面積 cross section area of root (mm ² /100 cm ²)	
	0—2	2—5	5—10	10—20	20—30	30—40	40—50	
不良木—1 (POOR-1)								
0—10	6	5		1				8.6
10—20	11	12	3	1				16.1 avarage
20—30	12	8	2					8.7 0～60 cm
30—40	9	10	1					4.9 =7.8
40—50	15	7	1					4.3
50—60	6	6	1					3.9
不良木—2 (POOR-2)								
0—10	18	17	1					8.7
10—20	30	28	5					23.8 avarage
20—30	50	24	5	2				47.0 0～60 cm
30—40	9	6	2					5.4 =14.9
40—50	5		1					3.6
50—60	5	2						0.7
60—70	4	5						1.5
良好木—1 (GOOD-1)								
0—10	20	18						7.1
10—20	29	37	7	6	1	1		166.6 avarage
20—30	13	13	3	2				29.5 0～60 cm
30—40		2	3	1			1	126.9 =57.1
40—50	4	6	1					4.6
50—60		3	1					7.6
良好木—2 (GOO-2)								
0—10	65	7	1		1			28.6
10—20	103	32	11	9	1	1		191.0 avarage
20—30	17	11	3	2	1			47.6 0～60 cm
30—40	20	11	4	2		1		69.8 =56.2
40—50								0.0
50—60								0.0

○土壌断面は調査木の根元から 50 cm 離れた所に設定した。根系調査は土壌断面の樹木正面から左へ 50 cm、右へ 1 m の計 1.5 m の幅で行った。

The soil profile wall was set up at a distance of 50 cm from each investigated tree.

Root distribution was measured in 1.5 m wide, 50 cm left and 1 m right of the center, on the soil profile wall.

なっていることが認められる。

良好木-1では、正面、横ともに深さ 20 cm までは土壌硬度 20 mm 以下であるが、深さ 20 cm 以下は土壌硬度 20 mm を超え、とくに横では 27 mm を超える値となっている。この箇所は動貫入試験の根元から 1 m の所（深さ 20 cm 以下の貫入値 2~3 mm）と同じ土層だと思われる。

良好木-2でも、土壌硬度 20 mm 以下は深さ 20 cm までで、深さ 30 cm 以下では土壌硬度 24 mm を超える固結層となっている。動貫入試験（根元から 50 cm）では下層まで比較的軟らかい箇所が認められたが、土壌硬度の測定結果には出ていない。土壌の硬さには場所によってかなりバラツキがあるといえる。

3.2.2 根系分布

土壌断面における根系分布の状況を表 3 に示す。不良木と良好木の間で根系発達には大きな差がみられる。まず直径 10 mm 以上の根についてみると、不良木は共に直径 10~20 mm のものが 2 本あるだけで、直径 20 mm 以上の根はない。良好木-1 は直径 10~20 mm が 9 本、20 mm 以上が 3 本（最も太い根は 45 mm）あり、良好木-2 は直径 10~20 mm が 13 本、20~40 mm が 5 本となっている。植栽後 10 数年を経過して、根元から

50 cm の所で直径 10 mm 以上の根がわずか 2 本というのは、これまでの多くの知見からみても根系発達が不良であるといつてよい。

根の断面積の垂直分布をみると、不良木では深さ 20~30 cm までに多く、それ以下では非常に少なくなっているのに対し、良好木では深さ 40 cm までは大きな断面積を示している。深さ 60 cm までに出現している根の平均断面積は不良木-1 ($7.8 \text{ mm}^2/100 \text{ cm}^2$)、不良木-2 (14.9)、良好木-1 (57.1)、良好木-2 (56.2) であり、不良木と良好木で大きな差がある。

土壌硬度調査結果との関係はいま一つ明らかではないが、動貫入試験結果のところでもみたように良好木の周辺の方が部分的に深くまで軟らかい箇所が多く、根系の侵入できるチャンスが多かったものと考えられる。

3.3 土壌物理性相互の関係と根系発達

山中式土壌硬度計の測定値と固相率の間には高い相関関係のあることが認められているが^{2,3)}、今回の調査結果でも両者の間に高い相関関係が認められた（図 2）。土壌硬度 20 mm 以上、固相率 60% 以上では根系分布はほとんどみられず、逆に土壌硬度 20 mm 以下、固相率 60% 以下（とくに 56% 以下）ではほとんどの箇所で見られる根系分布がみられた。丹原⁷⁾、古賀²⁾の温州ミカン園に

図 2 固相率と土壌硬度（山中式土壌硬度計使用）の関係

Fig. 2 Relation between solid phase ratio and soil hardness measured with Yamanaka's Soil Hardness Tester

○: 根系あり (Root was found)

●: 根系なし (Root was not found)

図 3 気相率と透水係数の関係

Fig. 3 Relation between air phase ratio and permeability

○: 根系あり (Root was found)

●: 根系なし (Root was not found)

おける調査、および森本⁶⁾、増田ら^{3,4)}の公園・緑地におけるケヤキ、ソメイヨシノの調査においてもほぼ同様の数値が報告されている。土壌の緻密さと根系発達の関係は、樹種による違いはあまりないものと考えられる。古賀²⁾は同じ温州ミカンでも砂質土と埴質土で根系発達の条件が若干異なることを指摘しているが、これまでの研究を総合してみると、砂質土では固相率 55~60%、埴質土では 50~55% が根系発達の難易を分ける境界値になっているといえるようである。ただし、これは非火山灰土についての基準である。火山灰土では条件は全く異なっており、固相率 30% 以上になると根系発達は抑制され、40% 以上では極めて困難であるといわれている⁶⁾。

土壌が緻密であるということは、根が物理的に侵入できないということと同時に通気透水性を不良にし、根腐れの原因となる。土壌の気相率と通気透水性の指標となる透水係数の関係を図 3 に示した。両者の間には高い相関関係が認められ、古賀²⁾が温州ミカン園の土壌について測定した非毛管孔隙（ pF 1.5）と透水係数の関係とほぼ一致している。土壌試料採取時の水分張力を測定していないが、今回の土壌断面調査（試料採取）は各調査木とも降雨数日後に行っており、古賀の測定結果とよく一致することから、ほぼ圃場含水量に近い水分状態にあったものと考えられる。根系分布との関係をみると（勿論、若干の幅を持ってみる必要はあるが）、気相率 20%、透水係数 10^{-3}cm/sec という数値がひとつの目安になるといえる。

3.4 光合成

新葉が展開した 4 月 28 日における各個体の光合成、蒸散速度にはほとんど差はみられなかった。しかし、乾燥が続いた（約 3 週間無降雨）後の 8 月 6 日には、不良木と良好木の間に大きな差がみられた。その後、8 月 13 日~23 日の間に約 120 mm の降雨があった後の 8 月 27 日においては、不良木と良好木の差は 8 月 6 日ほど大きくはなかった。根系分布の違いが、夏季の乾燥時における集水力の差となっており、それが生育の良否となって現れているものと考えられる。なお、光合成速度および蒸散速度の測定結果については、次報で詳しく検討する。

4. ま と め

坂出緩衝緑地に植栽されているクスノキから生育不良木、生育良好木を各 2 個体ずつ選び、土壌条件（とくに緻密さ）と根系分布の関係について調査を行った。

植栽地盤は全般的に著しく緻密であり、とくに深さ

20~30 cm 以下の下層では長谷川式土壌貫入計の貫入値（1 回の打撃で貫入する深さ）が 5 mm 以下を示す箇所が多かった。ただし、地盤は均質ではなく、部分的には下層まで貫入値 1 cm 以上を示す箇所もあり、生育良好木の根元周囲ではこのような膨軟な箇所が比較的多くみられた。

土壌硬度（山中式土壌硬度計使用）と固相率の間には高い相関関係が認められ、土壌硬度 20 mm 以上、固相率 60% 以上の所では根系分布はほとんどみられなかった。これはマサ土地盤に植栽されたケヤキの場合³⁾と全く同じである。気相率と透水係数の間にも高い相関関係が認められ、気相率 20% 以下、透水係数 10^{-3}cm/sec 以下では根系発達が極めて困難であることが示唆された。

不良木と良好木の根系分布には大きな違いがみられた。根元から 50 cm の所に設定した土壌断面に出現した根の断面積（深さ 60 cm までの平均値）は、不良木-1, 2 がそれぞれ 7.8, 14.9 $\text{mm}^2/100 \text{cm}^2$ であり、良好木-1, 2 はそれぞれ 57.1, 56.2 $\text{mm}^2/100 \text{cm}^2$ であった。また、不良木では直径 10~20 mm の根がそれぞれ 2 本ずつみられただけで他は全て 10 mm 以下であったのに対し、良好木-1 では直径 10~20 mm 9 本、20 mm 以上 3 本、良好木-2 ではそれぞれ 13 本、5 本であった。

光合成速度は 4 月 28 日においては、不良木と良好木の間に差はみられなかったが、夏季の乾燥時（約 3 週間無降雨が続いていた 8 月 6 日）においては両者の間に大きな差がみられた。環境条件が厳しくなった時期に、根系分布の違いの影響が出ているものと考えられる。光合成、蒸散速度の測定結果については次報で詳しく検討する。

文 献

- 1) 長谷川秀三・川九邦雄・今川映二郎：長谷川式土壌貫入計による緑化地の土壌調査，昭和 56 年度日本造園学会春季大会発表要旨，43-44，1981
- 2) 古賀 汎：温州みかん園における下層土の物理性に関する研究，四国農業試験場報告，25，119-232，1972
- 3) 増田拓朗・藤原賢一・吉田重幸：ケヤキの生育に及ぼす土壌物理性の影響，香川大学農学部学術報告，34（2），157-162，1983
- 4) 増田拓朗・岩瀬泰徳：丸亀城（亀山公園）におけるソメイヨシノの生育と土壌条件，日本緑化工学会誌，15（2），36-44，1989
- 5) 森本幸裕：固結土壌における樹木生育とその診断に関する事例的研究，瓜生（京都芸術短大紀要）3，19-29，1977
- 6) 日本造園学会土壌分科会：緑化事業における植栽基盤整備マニュアル（分科会試案），造園雑誌，48（2），133-145，1984
- 7) 丹原一寛：愛媛県における柑橘園土壌の物理性に関する研究，愛媛県農業試験場報告，9，1-108，1969

Summary

Soil condition and growth of the Camphor trees (*Cinnamomum Camphora* SIEB.) were investigated in Sakaide Green Belt, Kagawa. Four Campher trees were selected, two showed poor growth and two showed relatively good growth.

Soil was very compacted there, and only surface 10-20 cm layer was comparatively loose where the penetration depth of Hasegawa's Soil Penetrometer showed over 10 mm, but in the deeper layer soil was very hard and the penetration depth showed less than 5-6 mm. However, some loosen spots were partially found, at these spots soil was soft from surface to the deeper layer, especially around the good growth trees. The root distribution on the soil profile at a distance of 50 cm from each tree was remarkably different between the poor growth trees and the good growth trees. A close relation was found between soil compactness and root distribution. It was supposed that root development is difficult where soil hardness measured with Yamanaka's Soil Hardness Tester is over 20 mm or solid phase ratio is over 60%. A close correlation was also found between air phase ratio and permeability of soil, and it was supposed that root development is difficult where air phase ratio is less than 20% and permeability is less than 10^{-3} cm/sec.

Photosynthesis and transpiration of the trees will be discussed in the following paper.