造園樹木の耐湿性に関する研究

— 土壤酸化還元電位の低下が生育におよぼす影響について —

岡 本 諒 明*・柳 恒 太 郎**

Studies on the submersion tolerance of trees for landscaping uses
(from the view point of the oxidation-reduction potential in soil)

By Tadaaki OKAMOTO and Kootaro YANAGI

I はじめに

現在、造園の分野において、使用される樹木の性質—ここでは耐湿性は、主に経験から導き出されたところの「強い」、「中位」、「弱い」などの、3～5段階の階級をつけて表わされている。それは、それで、相当の真実を含み、有用なものであるが、もう少し具体的に、数値をもつて定量的に表わすことができないものだろうか。例えば、植栽土壌の与える湿害の大きさ、また、このような土壌条件の下における各種樹木の生育のやり方などが、かなりの正確さをもつて判断することができないものであろうか。この声はよく現場の人達からも聞かされる。たしかに、各種樹木の耐湿性の定量化が進み、数字による階級分けができれば、植栽場所の立地に合った樹種の選択、も不安なく行えるはずである。

しかし、“耐湿性の目安は何でつけるのか”——この問題について解答することは、大変むずかしい。このむずかしさは他の樹木の諸性質を判断する時も、同様に感じられるであろう。これは、唯一の要因から耐湿性が成立っているわけではなく、多くの複合した要因の重なり合せの上に成立つものであるからに他ならない。このような問題の解決の道は、湿害のあらわれる機構や、樹種による耐湿性の差のあらわれる原因を、一つ一つ解明し、それぞれにつき、樹種ごとに判定していくことだろう。

今回の実験においては、次の点について焦点を絞って追求した。すなわち、土壌が水分を過剰にふくみ、土壌通気が不能な状態になった場合に、必然的に土壌自体の理化学的性質に変化がおこる。これは、単に通気不良による酸素欠乏や炭酸ガス過剰だけでなく、土壌中に硫化水素や亜酸化鉄などといった根に有害な還元物質が生成されることをいう。この還元物質生成の程度の指標となるものとして、“土壤酸化還元電位 (Eh)” があげられる。それで、Ehを測定して、土壌の還元化の程度を知り、それと樹木の生育との関係を求め、耐湿性の度合を数値化できるものと考えられる。この関係については、

すでに畑作物については山崎⁴⁾が、果樹については森田^{5),6)}、森田ら^{7),8)}、小林ら⁹⁾ および林ら¹⁰⁾ などにより報告されているが、造園樹木についての、この面からの研究はない。そこで、二、三の樹種を湛水状態のもとで栽培し、Ehの低下が主として造園樹木の生育(伸長量)に及ぼす影響を観察、調査し、各樹種が生育しうる Ehの限界値を知ろうとした。

なお、ここで、本研究に適切な助言を与えられた前教授 堤久雄氏と、実験期間中、栽培管理に協力された岩田徳松、竹島恭一両氏に、深謝の意を表する次第である。

II 実験方法

同一種類の土壌を1/2,000aワグナー・ポットに入れ、供試樹木苗を植付けて、活着し、正常に生育していることを見届けて、人為的に湛水処理を行い、Ehを漸次低下させ、それにともない、各個体の伸長量の測定を行いさらに外観の変化を観察した。

供試樹種は下記の3種類である。いずれも3月中旬に播種した当年生の苗木(実生)である。

○ナンキンハゼ	<i>Sapium sebiferum</i>
○クスノキ	<i>Cinnamomum camphora</i>
○コブシ	<i>Magnolia kobus</i>

土壌は、当農学部大仙圃場内の畑土を、表面3cmほどを除いて、それより下、10～15cmの部分(作土)から取った。この最大容水量は46.1%で、比較的粘質な埴壤土(日本農学法)である。「土壌を湛水状態にした場合の還元状態の発達は、湛水前の土壌の水分含量の影響が極めて著しい」¹⁰⁾といわれるので、ポットに入れる前に、一週間ほど風乾させた。

実験区の設定は、各樹種とも下記のとおりである。

- 処理区—ポット内の土壌面より高く湛水した
- 対照区—実験期間中、つねに土壌水分含量を、最適水分含量と考えられる最大容水量の60%¹⁾に保持した。

上記の各区につき5ポットづつ用意し、1ポットに3本植とした。すなわち、1樹種につき実生木15本を使用

* 大阪府立大学農学部

** 奥アンツーカー K. K.

した。

実験場所は、大阪府立大学農学部内の、通風のよいビニール・ハウスの中である。それ故、太陽光線は、その上に張られた0.1 mm厚の透明ビニール膜1枚を通過した後、植物に使われたことになる。

実験期間は1964年6月から9月までである。3月中旬に播種して育ててきた実生木を6月8日にワグナー・ポットに植付け、すべてのポットについて土壌水分が最大容水量の60%の含水量を保つように水分管理を行い、2ヶ月後の8月8日に植傷みの影響がなくなったことを伸長量の伸びを調べることによって確認し、灌水処理を開始した。(これ以後、土壌酸化還元電位 (Eh) の測定と地上部伸長量の測定を2日または3日ごとに行つた。)

9月4日、実験を終了した。

Eh の測定方法は BROWN¹¹⁾ の方法に準じた。すなわち、土壌約30gを50 ml容ビーカーに入れ、一度煮沸、冷却した純水を5~10 ml加え、ガラス棒にて混ぜて、白金電極を挿入し、軽く振盪して、20分後に測定した。白金電極は市販の15.5 mm²の面積をもつ円板状電極を使用した。比較電極はKCl飽和液甘汞電極である。pHの測定はガラス電極pHメーターで行つた。pHの変化によるEhの変化割合 (dEh/dpH) は西垣ら¹²⁾及び林ら¹³⁾の値を採用した。すなわち、dEh/dpHを60m.v.とした。Ehのメーター直読の値をpH 6.0に換算して、“Eh₆”で表わした。土壌採取方法は、採取時の根部の損傷をおそれて、植物が植付けられていないポットを、処理区、対照区とも3ポットづつ用意し、いずれも地表面下10cmのところから採取した。(Ehの測定値は3つの値の平均であらわされている。)

なお、地上部伸長量の測定値は、主幹、主枝および側枝の伸びをmm単位まで測定し、それらの合計をもつて表わされている。

Ⅲ 実験結果

結果は、第1図、第2図および第3図に示すとおりである。すなわち、ナンキンハゼでは8月8日に灌水処理を開始した。処理区の伸長が、27日間経過した9月4日においても、対照区のものとはほぼ同じ程度の伸長を続けていた。(写真1および2) 処理区では、下葉(3~5枚)に紅葉現象がみられ、落葉がわずかながらあつた。また、下葉(7~8枚)の葉柄に“上偏生長によるたわみ”(Epinastic curvature)がみられた。また、水ぎわから2cmほどの間の幹に“皮目”が多数あらわれた。水中部分の幹からは、処理後1週間ぐらいから、水中に新根が発生した。これは他の2樹種ではみられなかつた現象である。主枝発生は7月27日~8月3日で、側枝発生は8月24日~31日であつた。一方、Eh₆は、対照区で

第1図 処理によるナンキンハゼの伸長量の変化

第2図 処理によるクスノキの伸長量の変化

第3図 処理によるコブシの伸長量の変化

は428m. v. から383m. v. の間を保持し続けていたにもかかわらず、処理区では処理開始時に428m. v. あつたのが、9月4日には、それまで漸次低下し、-142m. v. まで下つている。(第4図参照)

クスノキでは、対照区が順調に生長しているにもかかわらず、処理区においては処理開始後6日目頃から伸長が少し緩慢になり、20日目には伸長は停止してしまつた。この伸長の鈍化と平行して、写真3にみられるように葉に“上偏生長によるたわみ”(Epinastic curvature)が

顕著にあらわれた。しかし、葉色については白化 (chlorosis) はもちろん、目立つた変化はみられなかった。また水ぎわの幹に“皮目”がわずかながら観察された。主枝発生は7月17日～24日で、側枝の発生は8月3日～10日であった。伸長が停止した28日の E_h は -104m. v. であった。

コブシについては、処理後3日目頃から葉に生氣がなくなつて、4日目で、一部の個体に生長点が萎れ、黒変し、たれ下がる現象があらわれた。そして6日目にはすべての個体の伸長が停止した。この頃には、全個体に葉に黄化がみられ、3個体に葉縁の萎れによる巻き込みや枯死がみられた。(写真5および7) 伸長が停止した8月14日の E_h は 163m. v. で、黒変や萎れがおこった時の E_h は 250m. v. 附近であった。

実験期間が盛夏であり、しかもポット側面に陽光が当たる状態にあつたので、ポット土壌(表面より15cm下)の地温を測定した。その結果、最高温度は8月17日～21日にあらわれ、処理区においては 34.7°C で、対照区では 32.5°C であった。最低温度は7月17日～20日の間にあり、処理区では 22.5°C で、対照区では 22.0°C であった。

Ⅳ 考察

湿害の機構については、古くから研究が行われているにかかわらず、まだ十分に明らかにされていない。現在

第4図 湛水区伸長停止時における土壌酸化還元電位測定値

ナンキンハゼ (●—●)、クスノキ (■—■)、コブシ (▲—▲) の湛水区の伸長停止は、コブシで14日、クスノキで28日であった。(伸長量は処理開始時の伸長量を100としてあらわされている。) 一方 E_h は対照区 (○—○) は 400m. v. 前後を保っているが、処理区 (×—×) は日数とともに低下して、8月14日には約 160m. v. 、28日で約 -100m. v. になった。ナンキンハゼの伸長量は停止しなかった。

わかっている所では、湿害は次の2面より起る⁴⁾と考えられている。すなわち土壌が過湿になってくると、土壤空気が減少し、それにともない、通気が悪くなってくる。すると土中に酸素欠乏と炭酸ガス過剰が起り、それらが生育を減退させる。(一次湿害) また他の面は、酸素欠乏が続くと、土壌中に有機物などが存在するとき、それが嫌氣的に分解せられ、亜酸化鉄、硫化水素及び有機酸などの有害な還元物質となる。そしてそれらが根群に害を与える。(二次湿害) このような還元物質の生成という土壌の質的变化は、土壌の酸化還元電位 (E_h) の測定により、おおよそ知ることができる。すなわち、 E_h が高い電位を持つていると、土壌は酸化状態にあり、 E_h が低いと還元状態になつている。そして、 E_h が低下すればするほど、還元状態が進んでいることを示している。酸化状態と還元状態との境界の E_h の値は 300m. v. といわれている。

今回の湛水による E_h の低下と樹木の伸長量の変化についての実験結果では、ナンキンハゼは、第4図、写真1及び2で明らかなように、処理区、対照区ともに大差なく伸長し、9月4日には E_h が -140m. v. になつたにもかかわらず、なお生長を続けていた。クスノキについては、 E_h が $+100\text{m. v.}$ 附近から伸長に鈍化がおり、 -100m. v. 附近で伸長が停止した。コブシについては 250m. v. 附近においてすでに生長点が枯死したり、葉の萎れが現われている。そして、 160m. v. 附近で、完全に伸長が停止している。

以上のことより、耐湿性の側面と考えられる土壌酸化還元電位の低下に対する抵抗性は、ナンキンハゼがもつとも強く、次いでクスノキ、コブシの順であった。

林ら¹⁰⁾も各種の果樹について実験を行い、伸長の停止した E_h を測定し、イチジク $360\sim 370\text{m. v.}$ 、モモ $330\sim 350\text{m. v.}$ 、ナシ、リンゴ $260\sim 280\text{m. v.}$ 、カキ 200m. v. 、ブドウ $170\sim 180\text{m. v.}$ と報告している。これを比較するについては、① E_h 測定法に違いがある。② E_h 低下に要した日数が異なる。③ 土壌というものの性質上、土壌 E_h の測定値の誤差がどうしても大きくなり、不安定である¹²⁾、などを考慮しなければならないが、コブシはナシ、リンゴと同じ程度の値となつている。クスノキについては、果樹のうち、最も低い値を示したブドウよりもさらに低い値を示している。ナンキンハゼにあつては、果樹では考えられないほどの低い値で、正常に生育したことになる。一般的には、クスノキは耐湿性が中位といわれている¹³⁾にもかかわらず、上の果樹類のどれよりも強かつたが、果樹類は栽培種のために耐湿性が劣つているのかも知れない。それにしても、ナン

写真1 ナンキンハゼ処理区

写真2 ナンキンハゼ対照区 (9月5日)

写真3 クスノキ処理区

写真4 クスノキ対照区 (9月5日)

キンハゼは異常に強いといえよう。

ナンキンハゼ稚樹が異常に強かつたことをさらに検討してみると、実験結果の項で述べたように、処理後1週間目頃から、水につかつた幹より水中に、適湿な土壌ではみられないような太い根が発生した。過湿な土壌中に発生した根は繊細さが失なわれると¹⁴⁾いう報告や、水耕栽培中の根も太くなることが、他の実験において観察されたことから考えれば、過湿状態に適応した根が発生したのであつて、これより、水分や養分の吸収がかなりあつたのではないかと考えられる。また、根元の幹に皮目が発生したことも観察したが、これにより地下部へ酸素供給が相当行われたものと思われる。^{15), 16), 17), 18)}以上の事が処理区の生長を対照区のそれと変らないものにしたと考えられる。

V 摘要

ナンキンハゼ、クスノキ及びコブシの稚樹を供試材料として、それらを湛水状態で栽培し、土壌酸化還元電位 (E_h) の低下がこれらの生育におよぼす影響を、主として伸長量を測定することにより調べ、この面よみ耐湿性の強弱を比較した。その結果は次の通りである。

1. 各稚樹の伸長が停止した時の E_h の値は次の通りである。

ナンキンハゼ: $-140m.v.$ になつても停止せず

クスノキ: $-100m.v.$ 附近

コブシ: $+160m.v.$ 附近

コブシにおいては $250m.v.$ 附近より、クスノキにおいては $90m.w.$ 附近より、しだいに生長が緩慢になることが認められた。

写真5 コブシ処理区

写真6 コブシ対照区 (9月5日)

写真7 湛水によるコブシの生長点枯死状況 (8月13日)

2. このことからみると、 E_h の抵抗性からみた耐湿性は、ナンキンハゼがもつとも強く、次いでクスノキ、コブシの順であつた。これは一般にいわれているところと一致する。
3. 伸長停止に先立つて、コブシは生長点の枯死や葉のまき込みが、クスノキは葉の上偏生長によるたわみが、ナンキンハゼは下葉の紅葉と落葉が観察された。
4. ナンキンハゼは、異常なまでの耐湿性の強さを示したが、これは処理期間中に観察された水中への太根の発生と皮目の発達に負うところが大きいと考えられる。

参考文献

- 1) 森田義彦他：果樹の生育に及ぼす土壤の物理的組成の研究 (Ⅲ)、園学雑18~20, 22 1949~52.
- 2) _____ : _____ (Ⅱ)、——17, 20, 1948. '51.
- 3) 小林章他2名：果樹根群の耐水性に関する研究 (Ⅱ)、園芸学研究集録5, 61~64, 1951.
- 4) 山崎 伝：農業技術研究所報告B1, 1~92, 1952.
- 5) 森田修二：土壤の酸化還元電位に関する研究 (Ⅰ)、日土肥雑13 (7), 451~460, 1939.
- 6) _____ : _____ (Ⅱ)、——14 (7), 411~425, 1940.
- 7) 森田義彦、石原正義：果樹の生育に及ぼす土壤の物理的組成の研究 (Ⅰ)、園学雑17 (1, 2), 92~99, 19 48.
- 8) _____、_____ : _____ (Ⅰ)、——19(1), 13~22, 1950.
- 9) 小林章他2名：果樹根群の耐水性に関する研究(Ⅳ) 農及園 29(4), 547~548, 1954.
- 10) 林真二・脇坂幸雄：果樹の湿害について、園学雑25 (1), 59~68, 1957.
- 11) Brown, L. E. : Oxidation-reduction potentials in soil. 1. Principles and electrometric determination,

- Soil Sci. 37, 65-76, 1936.
- 12) 戸刈義次他編：続作物試験法、499-540, 1962.
 - 13) 関口鏑太郎編：設計施工造園技術、114-131, 1960.
 - 14) Weaver, J. E. : Root development of field crops, 1926. (続作物試験法及び作物生理講座(3)より引用)
 - 15) Kramer, P. J. : Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil, Plant Physiol. 26, 722-736, 1951.
 - 16) 有門博樹：大豆の過湿に対する反応、特にその解剖学的差異について、日作紀 23(1), 28-36, 1954.
 - 17) ———— : ————
——、——— 23(4), 285-286, 1955.
 - 18) ———— : ————
——、———, 287-288, 1955.
 - 19) Kramer, P. J. : Physiology of trees, 504-508, 1960.
 - 20) Childers, N. F. & White, D. G. : Influence of submersion of the roots on transpiration, apparent photosynthesis, and respiration of young apple trees, Plant Physiol. 17, 603-618, 1942.
 - 21) Jackson W. T. : The relative importance of factors causing injury to shoot of flooded tomato plants, Amer. Jour. Bot. 43, 637-639, 1951.
 - 22) Lundegårdh, H. : Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben, 1957.
 - 23) 戸刈義次、他編：作物生理講座 (3), 160-178, 1961.

Summary

In the present paper, the results of the experime-

nts on the effects of oxidation-reduction potential in soil on the elongation of seedling trees are reported with special reference of *Sapium sebiferum*, *Cinnamomum camphora* and *Magnolia kobus*. The results are summarized as follows :

1. The elongation of tree shoots was stopped by submersion in the soil having following values of Eh_6 .

<i>Sapium sebiferum</i>	over -140m. v. (no stopping)
<i>Cinnamomum camphora</i>	about -100m. v.
<i>Magnolia kobus</i>	about +160m. v.
2. On the results above mentioned, submersion tolerance Judging from resistance against dropping of Eh_6 was arranged in the order of *S. sebiferum*, *C. camphora* and *M. kobus*. This is in accord with field observations.
3. In advance of stopping of elongation, observations are as follows :

<i>S. sebiferum</i> :	red coloring and dropping of the lower leaves
<i>C. camphora</i> :	epinastic curvature of leaves
<i>M. kobus</i> :	necrosis of growing point
4. Development of thick roots in water and leticels at the stem were observed at *S. sebiferum*. These facts seem to suggest a reason of excellent submersion tolerance of that.

(昭和39年度造園学会秋季大会発表)

(46. 1. 25受付)

昭和45年度第3回理事会記録

1971年2月26日

於 東京大学

出席：横山会長、久保、池原、宇野、川本、日下部、福富、内山（各理事）
野田坂、野口、萩原（各幹事）

報告事項

- 1 秋期大会決算

- 2 財政現況
- 3 各常務理事報告

協議事項

- 1 学会賞の件
- 2 賛助会員募集について
- 3 春季大会の件
- 4 春季大会の定款改正を提案することについて
- 5 造園士の件
- 6 その他（入会の承認など）