造園樹木における無給水日数と生存率ならびに土壤水分との関連について

濱 野 周 泰* 古 賀 正**
青 木 司 光***北 沢 清*

On the Relation of No-water-supply Days to Survival Percent and Soil Water Content in Trees for Landscaping

Chikayasu HAMANO, Tadashi KOGA
Yoshimitsu AOKI, Kiyoshi KITAZAWA

摘要：ハマヒサカキ、サツキを供試植物として無給水日数と生存率ならびに土壤水分との関連について実験を行った。両種とも土壤水分の推移を修正指数曲線によるモデルにより予測した。生存率は折れ線回帰によるモデルにより解析を行い、ハマヒサカキは第1折曲点19日、第2折曲点37日、サツキは同41日、同44.75日という値を得た。さらに両種の生存率の折曲点の値を修正指数曲線によるモデルに代入し、その時点の土壤水分を推測した。

1. はじめに

我が国の気候は比較的湿潤な気候にあり、植物の生育に十分な水が供給されているといえる。しかし夏季に干魃が発生するなど常に十分な水が供給されているわけではない。また近來の植栽空間の多様化により乾燥地、無降水空間などの植栽地も出現してきている。このような環境下で植物を健全に生育させるには人為的に給水する必要がある。しかし干魃による植物の被害についての資料は多く見られるが、無降水期間と被害発生時期あるいは給水時期については個々の植物の乾燥に対する耐性が異なること、更に生育環境の違いにより被害発生までの期間に差があることなどから、個々の植物についての具体的な資料はほとんど見られない。また既往の資料に見られる記載は定性的、経験的な判断によるものが多く、具体的な給水計画の資料とはなりにくい状況にある。

本研究は以上のような背景に基づき、造園樹木における無給水日数と生存率ならびに土壤水分との関連について、1984年に実施した実験結果について報告する。

2. 実験材料および方法

(1) 実験場所

東京農業大学厚木中央農場造園部圃場内

ビニールハウス（神奈川県厚木市船子1,737）

(2) 供試植物

造園材料として使用頻度の高い樹木の中から、比較的乾燥害に強いとされるハマヒサカキ (*Eurya emaginata*)、及び夏季の乾燥に比較的弱いとされているサツ

キ (*Rhododendron indicum*) の2種を選定した。

両種とも同一個体から採穂した4年生のさし木苗である。表1は供試植物の植付時の生育寸法である。植付は1/2000aワグナーポット（プラスチック製）を使用し、底部に風乾状態の砂利3kgを敷き、その上に5mm目篩を通した火山灰下層土（神奈川県厚木市採取）をハマヒサカキには8kg、サツキには9kgずつ充填した。なお充填時の土壤水分量は湿量基準で33.6%であった。苗木は無作為に1ポット1本植とした。

Table 1 Experimental plants in Form

n=80, () = S.E., unit : cm, g				
Item	height	width	root diameter	weight
<i>Eurya emaginata</i>	48.50 (0.75)	49.06 (0.89)	1.54 (0.037)	749.33 (35.50)
<i>Rhododendron indicum</i>	23.26 (0.44)	24.66 (0.34)	1.25 (0.068)	124.37 (3.86)

(3) 実験期間

両種ともに7月17日に植付け8月17日までの31日間を灌水、除草などの通常管理による実験準備期間とした。実験は8月18日に開始し、ハマヒサカキは10月27日までの71日間、サツキは11月12日までの87日間行った。

(4) 実験区の設定ならびに測定方法

1実験区は5ポット（個体）とし無給水日数の長さ別に14区を設定、別に標準（無給水日数ゼロ）区を1区設定し合計15区とした。標準区は実験終了まで実験準備期間中と同様の灌水管理を行った。

給水までの無給水日数は近藤¹⁾、岡崎²⁾の知見および乾

* 東京農業大学農学部造園学科 ** 古賀緑地建設㈱ *** 東京農業大学厚木中央農場
* Department of Landscape Architecture, Tokyo University of Agriculture
** KOGA Landscape Constructor Co., Ltd. *** ATSUGI Farm, T. U. A.

Table 2 Experimental plots in *Eurya emarginate* and *Rhododendron indicum*

Experimental plots in <i>Eurya emarginate</i>	No-water supply (days)	Experimental plots in <i>Rhododendron indicum</i>	No-water supply (days)
E - 1	0	R - 1	0
E - 2	18	R - 2	25
E - 3	19	R - 3	26
E - 4	20	R - 4	27
E - 5	21	R - 5	28
E - 6	22	R - 6	29
E - 7	24	R - 7	32
E - 8	26	R - 8	35
E - 9	28	R - 9	38
E - 10	30	R - 10	41
E - 11	32	R - 11	44
E - 12	34	R - 12	47
E - 13	36	R - 13	50
E - 14	38	R - 14	53
E - 15	40	R - 15	56

燥による被害状況を参考に設定した。実験区の設定は表一2に示す通りである。ハマヒサカキ（E区）はE-1区を標準区とし、無給水18日のものをE-2区、その後、同22日のE-6区まで1日毎、E-7区からE-15区までは1日おきに実験区を設定し給水を行った。サツキ（R区）はR-1区を標準区とし、無給水25日のものをR-2区、その後、同29日のR-6区までは1日毎、R-7区からR-15区までは2日おきに実験区を設定し給水を行った。給水は午前10時にポットの排水口から浸出するまで十分に行った。給水を開始した実験区は、実験終了まで実験準備期間中と同様の管理を行った。

Table 3 Results of experiment in *Eurya emarginate*

Experimental plots	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
No-water-supply (days)	0	18	19	20	21	22	24	25	28	30	32	34	36	38	40
no. of plants	5	5	5	5	3	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4
Soil water content (%)	39.7	23.0	22.8	21.6	21.0	21.6	21.5	21.6	20.2	20.2	18.9	18.2	17.5	16.2	17.3
Survival rate (%)	100	100	100	100	66.67	80	75	60	60	75	20	0	0	0	0

Table 4 Results of experiment in *Rhododendron indicum*

Experimental plots	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
No-water-supply (days)	0	25	26	27	28	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56
no. of plants	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4	5	5	4
Soil water content (%)	43.7	28.5	28.8	29.4	28.2	29.1	29.1	28.7	27.8	27.0	26.8	26.3	25.3	25.1	26.0
Survival rate (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	0	0	0	0

土壌水分量は、あらかじめ標準乾燥法³⁾（電気定温乾燥器を用いて105℃で24時間乾燥）により乾燥させた土壌の重さから算出した1ポット当りの土壌重量と各実験区の給水直前の全ポット重量から供試個体、砂利、ポットの単体重量を除いた土壌重量に基づき次式により湿量基準含水率として求めた。

$$M = \frac{W - W_0}{W} \times 100 \%$$

M：湿量基準含水率

W：給水直前の土壌重量

W₀：標準乾燥法による土壌重量

ポット重量の測定と同時に無給水条件下および給水後のしおれ、枯損、回復状況などについて観察を行った。給水による回復の判定は地上部の枯損状態に基づいて決定した。すなわち枯死を含めて著しく被害を受けて樹形が崩壊した場合には、不定芽の萌芽など生理的に生存が確認されても枯死とした。この場合の樹形の崩壊とは枝葉全体の3/4以上が枯死した状態とした。

なお、供試用ポットとは別に両供試植物を各5本ずつ植付けたポットに合計10本のテンションメーターを設置し、各々E-15区、R-15区と同様の管理下にて土壌水分の観察を行った。また、ハウス内2カ所の温度と湿度を自記装置（エース社A R-Y B L 66型）で記録した。

(5) 実験結果の解析

土壌水分の変化には修正指数曲線をあてはめ土壌水分量の推移のモデル化を試みた。生存率には折れ線回帰のあてはめを試みた。折れ線回帰の計算は、大塚⁴⁾によって開発されたプログラム「ORESEN」を用いて本学電算

機室で行った。

3. 実験結果および考察

実験結果は表-3・4に示す通りである。実験は両供試植物とも75個体を用いて行ったが、異常値を示した個体を除いたハマヒサカキ68個体、サツキ70個体の結果について述べる。なお、異常値発生の原因としては、実験開始直前に行ったポット底部の余剰水の排出が不完全であったと考えられる。

(1) 土壌水分量

表-3によればハマヒサカキの土壌水分量は無給水日数の延長とともに漸減することが認められる。この傾向は表-4に示すサツキについても同様である。ハマヒサカキの土壌水分量は無給水ゼロのE-1区が39.7%(24時間容水量PF 1.8相当)、無給水18日のE-2区は23%、同32日のE-11区は18.9%、実験終了時の同40日のE-15区は17.3%であった。テンションメーターによれば無給水4日で24時間容水量のPF 1.8を越え同10日でPF 2.7を示した。サツキの土壌水分量は無給水ゼロのR-1区が43.7%(24時間容水量PF 1.8相当)、無給水25日のR-2区は28.5%、同44日のR-10区は26.8%となり、実験終了時の同56日のR-15区は26.0%であった。テンションメーターによれば無給水4日で24時間容水量のPF 1.8を越え同9日にPF 2.6を示した。無給水日数の延長とともに更に土壌水分張力は高くなることが予測されるが、本実験で使用したテンションメーターでは構造上PF 2.8以上の値は計測できなかった。

両供試植物について実測時以外の土壌水分量を推測するために修正指数曲線のあてはめを試みた。その前段階として無給水日数と土壌水分の関係について無給水日数を因子として土壌水分量の分散分析を行ったところ、表-5・6に示す通り、共に0.1%水準で有意性が認めら

Table 5 ANOVA of soil water content in *Eurya emaginate*

S. V.	S. S.	D. F.	M. S.	F. c.
Between samples	2037.9147	14	145.5653	39.2604***
Within samples	196.5073	53	3.7076	

Table 6 ANOVA of soil water content in *Rhododendron indicum*

S. V.	S. S.	D. F.	M. S.	F. c.
Between samples	1332.5410	14	95.1815	49.3384***
Within samples	106.1034	55	1.9291	

れた。この結果に基づき修正指数曲線をあてはめ、ハマヒサカキは次のモデルが得られた。

$$\hat{Y}_E = 15.01 + 24.60 e^{-0.0599x}$$

$\hat{Y}_E$: 土壌水分量, X : 無給水日数

また、サツキは次のモデルが得られた。

$$\hat{Y}_R = 24.85 + 18.68 e^{-0.0546x}$$

$\hat{Y}_R$: 土壌水分量, X : 無給水日数

両モデルについてモデル不適合の検定を行ったところ、いずれのモデルとも棄却され、両モデルの理論値は土壌水分の漸減傾向を極めてよく示すことが認められた。

(2) 生存率

ハマヒサカキおよびサツキの生存率は表-3・4に示す通りである。ハマヒサカキの生存率は実験開始からE-4区(無給水20日)までは全個体が生存し生存率は100%であったが、E-5区(同21日)から枯死個体が発生し生存率の低下が始まった。E-12区(同34日)では全個体が枯死し生存率ゼロとなりE-15区(同40日)に至った。無給水日数を因子として生存率の分散分析を行ったところ表-7に示す通り1%水準で有意性が認められた。こ

Table 7 ANOVA of survival percent in *Eurya emaginate*

S. V.	S. S.	D. F.	M. S.	F. c.
Between samples	10.4657	14	0.7476	6.4249**
Within samples	6.1666	53	0.1164	

の結果から無給水日数を独立変数、生存率を従属変数として回帰分析を行うが、生存率の動きがE-1区からE-4区が横ばい、E-4区からE-12区が低下、E-12区からE-15区が再び横ばいという形態をとることから

Table 8 The value obtained from data matrix of minimum error variance and regression estimates by model of intersecting straight lines in *Eurya emaginate*

No-water-supply (days)	Survival rate (%)	X ₀	X ₁	Regression estimates	Deviate
0.0	100	1.00	19.00	99.66	0.34
18.0	100	1.00	19.00	99.66	0.34
19.0	100	1.00	19.00	99.66	0.34
20.0	100	1.00	20.00	94.13	5.87
21.0	66.67	1.00	21.00	88.60	-21.93
22.0	80	1.00	22.00	83.07	-3.07
24.0	75	1.00	24.00	72.00	3.00
26.0	60	1.00	26.00	60.94	-0.94
28.0	60	1.00	28.00	49.88	10.12
30.0	75	1.00	30.00	38.82	36.18
32.0	20	1.00	32.00	27.53	-7.53
34.0	0.00	1.00	34.00	16.69	-16.69
36.0	0.00	1.00	36.00	5.63	-5.63
38.0	0.00	1.00	37.00	0.1	-0.1
40.0	0.00	1.00	37.00	0.1	-0.1

X₀, X₁ = value obtained from data matrix of minimum error variance

Figure 1 Model of intersecting straight lines and observed means of survival percent in *Eurya emarginate*

折れ線モデルのタイプ8（平原－傾斜－平原）方法Aのあてはめを試みた。その結果、次の折れ線回帰式が得られた。

●折れ線回帰式

$$\hat{Y}_E = 2.0475 X_0 - 0.055312 X_1$$

X_0 , X_1 : 最終的に求められた折れ線に対応するデータ行列から得られる値

この折れ線モデルは観測値に1%水準で適合することが認められた。表-8は表-3の無給水日数および生存率から最終的に求められた折れ線に対応するデータ行列(X_0 , X_1), ならびに折れ線モデルによる推定値を示したものである。このモデルからハマヒサカキの生存率の折曲点として、第1折曲点19,000日、第2折曲点37,000日という値が得られた。すなわち枯死個体の発生が始まるのは無給水19日であり、全個体の枯死が始まるのは同37日という結果である。図-1は、この折れ線モデルによる結果を図化したものである。

Table 9 ANOVA of survival percent in *Rhododendron indicum*

S. V.	S. S.	D. F.	M. S.	F. c.
Between samples	13.95	14	0.9964	73.0713**
Within samples	0.75	55	0.0136	

サツキの生存率は実験開始からR-10区(無給水41日)までは全個体が生存し生存率は100%であったが、R-11区(同44日)から多くの枯死個体が発生し、著しい生存率の低下が見られ、R-12区(同47日)に全個体が枯死し生存率ゼロとなりR-15区(同56日)に至った。ハマヒサカキと同様に分散分析を行ったところ表-9に示す通り1%水準で有意性が認められた。そこで折れ線モデルのあてはめを試みたところ、次の回帰式が得られた。

Table 10 The value obtained from data matrix of minimum error variance and regression estimates by model of intersecting straight lines in *Rhododendron indicum*

No-water-supply (days)	Survival rate (%)	X_0	X_1	Regression estimates	Deviate
0.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
25.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
26.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
27.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
28.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
29.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
32.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
35.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
38.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
41.0	100	1.00	41.00	100.09	-0.09
44.0	25	1.00	44.00	20.70	4.30
47.0	0.00	1.00	44.75	0.86	-0.86
50.0	0.00	1.00	44.75	0.86	-0.86
53.0	0.00	1.00	44.75	0.86	-0.86
56.0	0.00	1.00	44.75	0.86	-0.86

X_0 , X_1 =value obtained from data matrix of minimum error variance

Figure 2 Model of intersecting straight lines and observed means of survival percent in *Rhododendron indicum*

●折れ線回帰式

$\hat{Y}_R = 11.370 X_0 - 0.25292 X_1$ X_0, X_1 : 前述同様
この折れ線モデルは観測値に1%水準で適合することが認められた。表-10はハマヒサカキと同様に求められたデータ行列 (X_0, X_1) , および推定値を示したものである。このモデルからサツキの生存率の折曲点として第1折曲点41,000日, 第2折曲点44,750日という値が得られた。すなわちサツキの枯死個体の発生が始まるのは無給水41日であり, 全個体の枯死が始まるのは無給水44.75日という結果である。図-2は, この折れ線モデルによる結果を図化したものである。

なお, 実験期間中のハウス内の温度と湿度を同農場内の屋外記録と比較すると, いずれも平均値でハウス内が最高気温39.47度で屋外よりも15.11度高く, 同じく最低気温は21.75度で6.54度高い。湿度はハウス内が62%で屋外よりも10.92%低い値であった。

4. 総合考察

ハマヒサカキの無給水日数に対する土壌水分量の回帰は修正指数曲線がよく適合した。生存率の回帰は折れ線モデルにより求められた。そこで折れ線モデルによって求められた第1折曲点と第2折曲点の値を修正指数曲線のモデルに代入し, その時点の土壌水分量を求めたところ, 無給水19日のそれは23.0%, 同37日では17.7%である。本実験では, 関東ローム表土のしおれ係数とされ

る土壌水分量25%を無給水16日(土壌水分量24.4%)で下回った。この結果は, 牛島⁵⁾の関東ローム表土では植物が利用可能な水分は15日分保水されるとする説に近い値である。無給水8日(土壌水分量30.2%)ころには新梢のしおれが見られ, 無給水10日にはPF2.7に達していたことから, この頃より植物の利用可能な水分の不足が始まったと推察される。枯死個体の発生が始まる無給水19日ころには成葉の全部または大部分が変色し生気を失い, 同37日には全個体の葉が茶色に変色し枯葉あるいは枯葉同然であった。干害を被ったハマヒサカキを回復させるには, 初期のしおれ現象が発生してから10日以内, すなわち無給水19日以内に給水する必要がある, 同19日以降では日数の経過と共に生存率は低下し, 無給水37日以降の給水では回復の可能性は皆無と考えられる。

サツキの無給水日数に対する土壌水分量の回帰は修正指数曲線がよく適合した。ハマヒサカキの場合と同様に, 折れ線モデルによる第1および第2折曲点の値を修正指数曲線のモデルに代入し, その時点の土壌水分量を求めたところ, 無給水41日のそれは26.8%, 同44.75日では26.5%である。サツキは無給水10日(土壌水分量35.7%)ころから新梢のしおれ, 生気の消失が認められ, 無給水9日には土壌水分がPF2.6を示していたことから, この頃より土壌水分の不足による影響が開始したことが推察される。無給水41日ころには, 殆ど全ての個体の葉が生気を失い下垂し, 同44日ころには大部分の個体の葉が茶色

に変色した。干害を被ったサツキを給水により回復させるには、初期のしおれ現象が発生してから30日以内、すなわち無給水41日以内の給水が必要であり、無給水44.75日、実際には44日以降の給水では回復の可能性は皆無と考えられる。

実験結果に基づいてハマヒサカキとサツキを比較すると、無給水条件下においてサツキはハマヒサカキより長期間生存することが認められた。この結果は、従来のサツキに関する知見とは異なるものであるが、ハマヒサカキは無給水37日以降でも給水により根元付近から不定芽の萌芽が確認され、生理的には乾燥に対して耐性の強いことが観察された。また、実験準備期間を31日間としたが、この活着期間が耐性に影響を及ぼしたことも考えられる。従って、本研究の結果からサツキがハマヒサカキよりも乾燥に対して強い耐性を示すとは断定できないが、植付け後、約1カ月間灌水等の管理を行った後、無給水条件下にさらされた場合、サツキがハマヒサカキよりも強い耐性を示すと結論される。

本実験は、同一条件下で行ったが、ハマヒサカキとサツキの土壤水分量に差が生じた。その要因として両供試

木の形態の差が土壤水分算出時に影響したことが考えられる。この点については今後、さらに検討を加えたい。

本研究の遂行にあたり本学客員教授川谷豊彦先生、本学電算機室態谷惟明先生には懇篤なる指導、助言を頂き、また、本学厚木中央農場造園部の方々には多大の助力を頂いた。ここに心より謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 近藤三雄, 他(1982): 緑化用植物の耐干(乾)性に関する実験的研究: 緑化工技術9(1), 1-9
- 2) 岡崎文彬(1951): 土壤含水量がスギおよびヒノキの稚苗の育成ならびに体内水分生理に及ぼす影響: 日本林学会誌33(10), 323-325
- 3) 工業計測技術大系編集委員会(1965): 湿度, 水分測定, 工業計測技術大系10: 日刊工業新聞社, 157
- 4) 大塚雅雄(1978): 折れ線モデルのあてはめ: 農林研究計算センター報告A第14号
- 5) 牛島忠広(1979): 植物の水ストレスと乾燥耐性: 芝草研究8(2), 5-12

Summary : With a view to elucidating the relations between no-water-supply (days) and soil water content (%) and survival rate(%) in trees for landscaping, the present study was conducted in 1984 by pot experiment, *Eurya emarginata* and *Rhododendron indicum* being selected as materials. Soil used, subsoil of Andosol. Fifteen levels of no-water-supply (days), in *Eurya*, 0, 18 (1) 22, 24 (2) 40days, in *Rhododendron*, 0, 25 (1) 29, 32 (3) 56 days.

In regard to changes in soil water content (%) in the pot by no-water-supply (days), fitting of modified exponential equation curve was done.

The model in *Eurya*.

$$\hat{Y}_E = 15.01 + 24.60e^{-0.0599X} \quad x: \text{no-water-supply (days)}$$

The model in *Rhododendron*.

$$\hat{Y}_R = 24.85 + 18.68e^{-0.0546X} \quad x: \text{no-water-supply (days)}$$

With regard to changes in the regression equation (Ootsuka's type-8 method-A) survival rate (%) by no-water-supply (days), fitting of Ootsuka's by intersecting straight lines was done in both species.

As for *Eurya*, the following regression equation by intersecting straight lines was obtained, the first (I_1) and second (I_2) intersecting points being 19.000 and 37.000days, respectively.

As for *Rhododendron*, the following regression equation by intersecting straight lines was obtained, I_1 and I_2 being 41.000 and 44.750days respectively.

$$\hat{Y}_E = 2.0475x_0 - 0.055312x_1$$

$$\hat{Y}_R = 11.370x_0 - 0.25292x_1$$

x_0, x_1 : values obtained from data matrix of minimum error variance

It was seen the experiment that *Rhododendron* survived for longer a time than *Eurya* under field conditions or in to conduct experiments in other soils.