

# 廃棄物埋立地浸出水の芝地還元における芝草生育への影響解析

寺西靖治\*・今岡 務\*\*

難分解性有機物や多量の塩類の含有などで問題となっている廃棄物埋立地浸出水の高度処理を芝地還元によって図ることを想定し、その運転条件を定める際の重要課題となる芝草への影響について実験的な検討と解析を行った。浸出水の施肥効果とともに実験に供したコウライシバの耐塩性が確認されたが、5000 mg/l以上の塩素イオン濃度域では窒素吸収阻害が顕著となり、生長速度の低下が認められることが明らかとなった。

**Keywords:** leachate from waste disposal site, land application, turfgrass, growth rate

## 1. はじめに

現在、わが国で廃棄物の搬入が行われている埋立地は、生活系廃棄物を主とする一般廃棄物系が約2400カ所、産業廃棄物系が約1300カ所とされている。また、一般廃棄物系埋立地の70%近い約1600カ所は、山間に位置しており<sup>1)</sup>、その多くは通常浸出水と呼ばれる埋立地からの雨水流出水の処理が義務付けられている管理型最終処分場である。浸出水の性状は、一般の都市下水などとはかなり異なっており<sup>2)</sup>、さらに埋立完了後も長期にわたって発生することから、その処理・処分は廃棄物処理計画の成否に係わる重要な問題となっている。

本研究では、このような浸出水を公園やゴルフ場あるいは埋立完了後の処分場跡地などの芝地への灌漑水として用いることにより、その有効利用と高度処理を図ることを想定した。汚水の土壌還元は、水質的な高度処理あるいは地下水の涵養などを主目的に多くの検討例、実施例が見られる<sup>3)~5)</sup>。本研究で着目する芝地への還元についても、Andersonら<sup>6)</sup>によってパミュダグラスを植栽したライシメータでの実験結果が報告されている。しかしながら、廃棄物埋立地浸出水を対象に植生を含めた土壌系の積極的な利用を図ろうとした例は見当たらない。

植生地を対象にこのような特殊な汚水の還元を行う場合には、水質浄化効果の点からだけではなく、当然その健全な生育が得られる範囲で散布条件が決定される必要があり、散布汚水の特性に応じた運転管理指針が定められるべきである。浸出水還元に関しては、直接的な有害物質は処理施設において十分除去されることを前提とすれば、その水質特性と通常の水処理法での除去の難さ

から考えて、浸出水中に多く含有される塩類ないしは塩素イオンによる芝草の生育および土壌の浄化能への多大な影響が第一義的に懸念される。

本論文では、このような廃棄物埋立地浸出水の芝地還元を実施する上であらかじめ解明が必要な要件について、とくに芝草の生育に関する塩素イオンの影響を中心に検討を行った結果を報告する。なお、芝地還元による浸出水の浄化効果に関しては、本実験での結果<sup>7),8)</sup>も用いて詳細な検討を行い、別途報告するものとする。

## 2. 実験方法および実験条件

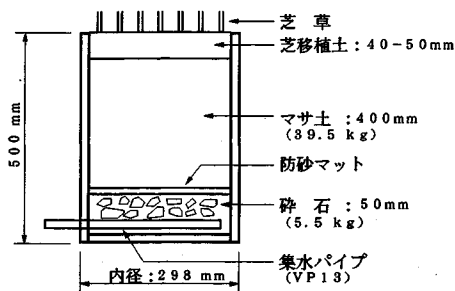
### (1) 実験の概要と方法

実験は、1988年、1989年のそれぞれ6月上旬から12月上旬にかけての約6ヶ月間において、芝草を移植した土壌カラムをガラス温室内に設置して実施した。土壌カラム(硬質塩化ビニル製)の概要を、図-1に示す。散布水として用いた浸出水は、一般廃棄物系の埋立地である広島県S埋立処分場浸出水処理施設の沈殿池越流水であり、エアレーションタンク、生物学的硝化・脱窒、散水床および凝集沈殿を経た処理水である(以下、浸出水と呼ぶ)。また、希釈ならびに食塩の添加により浸出水中の塩類濃度を変化させたものも使用するとともに、対照として広島県S福祉センター汚水処理場の2次処理水(長時間曝気法)も用いた。なお、芝草移植後4週間は水道水の散布により、根付けならびに芝移植土、充填土からの各種物質の洗い出しを図る期間とした。したがって、浸出水等の散布期間は、兩年とも約150日間である。浸出水等は設定水量負荷の1週間分を週2回に分し、まとめてジョウロで散水した。

温室内には、気温測定用のサーミスタ温度センサー、光量子計および自記温湿度計などを配置した。また、土壌カラムの1つには、土壌表面より深さ5cmと30cmの地点に温度センサーを埋め込み、気温とともに温度

\* 正会員 工博 広島大学助教授 工学部地域環境工学 (〒724 広島市鏡山1丁目4-1)

\*\* 正会員 工博 広島大学助手 工学部地域環境工学



図—1 土壌カラムの概要

データロガーにより3時間毎に記録を行った。加えて、散布水質、流出水量・水質、芝草の生長量および窒素・リン含有量などの測定を定期的に行い、実験終了時には、芝草茎根部および土壌の分析も実施した。

(2) 供試芝草

本研究で用いた芝草は、わが国の公園やゴルフ場での最汎用種であるコウライシバ (*Zoysia matrella Merr.*) であり、暖地型芝草のシバ属中芝の1種である。草高は約5~11 cm であり、葉の大きさは通常45~110 mm × 2.7~3.3 mm 程度である<sup>9)</sup>。土壌カラムに移植した芝草は、近隣のゴルフ場で管理育成されたものでターフ状(厚さ4 cm 程度)にして搬入したが、堆肥ないしは腐食質が混在するマサ土層にはふく茎が十分に張り、地上部(茎葉部)は約2 cm 程度の長さ刈り込まれていた。これを水道水で洗浄し、付着土をできるだけ取り除いた後、カラム径となるように裁断して土壌カラムに移植した。

(3) 実験条件

実験条件としては、散布水量と散布塩素イオン濃度を中心に考え、表—1 (1988年) および表—2 (1989年) のように与えた。散布水量は、通常行われている芝生への散水量およびオーバーランド方式による汚水の土壌還元での水量負荷を参考に、1~20 mm/日とした。なお、希釈浸出水は水道水により浸出水を2倍に希釈したものであり、食塩添加浸出水は、NaClの添加により、塩素イオン濃度を5000 mg/l あるいは10000 mg/l に調整したものである。また、D20, SD20 は芝草を移植しない土壌のみのカラムであり、T20K5 はカリウム濃度で5 mg/l となるようにKClを添加した2次処理水の散布カラムである。

(4) 測定項目および方法

水質分析項目は、pH, EC, BOD, COD, Cl<sup>-</sup>, Kje-N, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-P, PO<sub>4</sub>-P を主とし、散布水については、1週間毎に分析を実施した。カラム流出水のpH, EC, BOD および COD については流出直後に分析し、他の項目に関しては、1988年は2週間の、89年では1週間の流出貯留水を分析試料とした。各分析は、下水試験方法に従った。

表—1 各カラムの実験条件 (1988年)

カラム No.	散布水	散布水量 (mm/日)	茎葉部の刈り取りの有無
コウライシバ	浸出水	K20	20 ○
		KN20	20 ×
		K10	10 ○
		K7	7 ○
		K3	3 ○
	希釈浸出水	KN3	3 ×
		K1	1 ○
		H20	20 ○
		H10	10 ○
		H3	3 ○
地下水2次処理水	G20	20 ○	
	GN20	20 ×	
	G10	10 ○	
G3	3 ○		
土壌	D20	浸出水 20	—

表—2 各カラムの実験条件 (1989年)

カラム No.	散布水	散布水量 (mm/日)	添加物質 (mg/l)	
コウライシバ	浸出水	S20	20	
		S10	10	
		S7	7	
	食塩添加	S20C5	20	Cl <sup>-</sup> 5,000
		S7C5	7	Cl <sup>-</sup> 5,000
	浸出水	S20C10	20	Cl <sup>-</sup> 10,000
		S7C10	7	Cl <sup>-</sup> 10,000
	地下水2次処理水	T20	20	
		T20K5	20	加K (KCl) 5.0
	土壌	SD20	浸出水 20	

芝草の生長量は、4週を収穫間隔の基準とする茎葉部の刈り取りを、1988年では7/14, 8/11, 9/8, 10/6 および12/2の5回実施し、1989年には8/9, 9/6, 10/5 および12/21の4回行って計測した。刈り取りは、残存茎葉部の草高が30 mm となるように行い、刈り取った茎葉部の重量は乾物量で表示した。あわせてケルダール分解法により、窒素・リン含有量の測定も実施した。また、最終刈り取り日には、地下部に関しても、ピーカー内で付着土を洗い落としながら、根部を回収し、重量および窒素・リン含有量の測定を行った。

蒸発散量は、散布水量と流出水量の差から1週間毎に求め、それを日量表示した。したがって、土壌内水分量の変化は無視したものになっているが、散布サイクルが一定なのでその影響は小さいものと考えた。

3. 実験結果

(1) 気象条件と散布水質

実験期間中の気象条件と散布浸出水の水質を、収穫日を基準とした4週毎の平均値によって表—3, 4に示す。浸出水は、同じ表に示した2次処理水と比較して、

表—3 1988年の散布水質と気象条件

散布水	浸出水					2次 処理水
	7月	8月	9月	10月	11月	
散布期間	7/14- 8/10	8/11- 9/7	9/8- 10/5	10/6- 11/2	11/3- 12/1	7/14- 12/1
pH	8.01	7.89	7.97	8.06	7.97	7.99
EC	7.07	5.46	5.17	4.79	4.12	0.32
DO	6.9	6.6	6.7	8.5	9.9	7.9
BOD	1.6	1.8	2.3	1.0	1.6	0.5
COD	18.6	23.1	24.7	19.4	19.7	4.0
TOC	21.7	21.1	-	74.5	19.4	5.0
T-N	39.51	45.26	50.35	43.32	41.04	9.44
Kje-N	2.90	4.48	13.65	1.81	1.85	0.32
NH <sub>4</sub> -N	1.23	3.96	12.90	0.40	0.36	0.04
NO <sub>2</sub> -N	1.10	1.90	2.14	0.01	0.02	0.01
NO <sub>3</sub> -N	35.52	38.89	34.59	41.49	39.17	9.12
T-P	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.67
PO <sub>4</sub> -P	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.57
Cl <sup>-</sup>	2.080	1.510	1.440	1.300	1.203	37.3
温室内平均 気温 (°C)	24.8	24.9	21.8	15.7	10.1	
平均土温 [5cm] (°C)	27.1	27.2	24.7	18.7	12.4	
平均土温 [30cm] (°C)	26.7	26.6	23.9	17.8	11.8	
光量子量 (E/m <sup>2</sup> /日)	38.4	21.6	20.3	26.1	17.8	

[単位: EC ; mS/cm, pHを除くその他の水質項目 ; mg/l]

表—4 1989年の散布水質と気象条件

散布水	浸出水					2次 処理水
	7月	8月	9月	10月	11月	
散布期間	7/6- 8/9	8/10- 9/6	9/7- 10/4	10/5- 11/1	11/2- 11/29	7/6- 11/29
pH	8.12	8.03	8.13	8.03	7.98	7.52
EC	5.90	5.23	7.34	6.28	5.77	0.35
DO	6.7	5.0	7.2	7.5	9.5	7.8
BOD	0.3	2.4	0.5	2.6	1.2	0.6
COD	17.5	33.6	23.2	45.8	38.8	4.5
TOC	36.8	64.3	61.4	101.7	54.6	7.1
T-N	27.27	19.62	14.65	56.29	57.35	8.24
Kje-N	2.00	13.21	3.00	36.00	3.08	0.29
NH <sub>4</sub> -N	0.38	8.46	2.29	35.71	0.13	0.06
NO <sub>2</sub> -N	0.01	0.49	0.23	2.00	0.02	<0.01
NO <sub>3</sub> -N	25.25	5.92	10.33	17.43	54.24	7.92
T-P	0.01	0.02	0.04	0.06	0.06	1.22
PO <sub>4</sub> -P	0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	1.22
Cl <sup>-</sup>	1.460	1.730	2.280	1.995	1.875	38.5
温室内平均 気温 (°C)	28.2	26.1	22.9	18.0	14.1	
平均土温 [5cm] (°C)	30.3	28.3	27.1	20.8	17.1	
平均土温 [30cm] (°C)	31.9	29.5	27.9	21.4	17.3	
光量子量 (E/m <sup>2</sup> /日)	38.2	18.4	43.2	-	-	

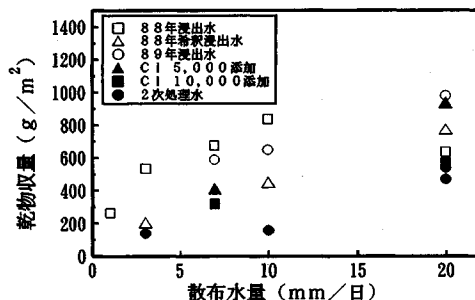
[単位: EC ; mS/cm, pHを除くその他の水質項目 ; mg/l]

COD, 窒素および塩素イオン濃度が高く, 逆にリン濃度が低いことが特徴である。窒素に関しては, 浸出水処理施設における硝化・脱窒工程の稼働の良否によって, 濃度的に, また形態的に変動が見られるが, 多くは硝酸性窒素が主成分となっている。塩素イオンについては, 1200~2300 mg/l 程度を示し, EC も 4.1~7.3 mS/cm の高い値となっている。通常の作物に対する灌漑水基準では, 0.75 mS/cm 以下が望ましい<sup>10)</sup>とされていることを考えると, 芝草の生育に対しても影響を及ぼす可能性は高いと言える。さらに, 清水ら<sup>11)</sup>の報告にあるように, 焼却灰の占める割合によっては10000 mg/l を越える塩素イオン濃度を有する浸出水の発生も見られる。浸出水への食塩の添加は, これを勘案したものである。

気象条件については, 両年とも夏季での天候が不順であり, とくに1989年の8月下旬では台風の上陸などにより, 快晴日での50 E/m<sup>2</sup>/日前後の値と比較してかなりの光量子量の低下が記録された。また, 秋季においては, 1989年の方が晴天日が多く, 平均気温も10月以降では前年より4°C 前後高めめの値となった。なお, 温室内のため, 気温の値は外気温よりも全般的に高いものであり, 土温はさらにそれが顕著であった。

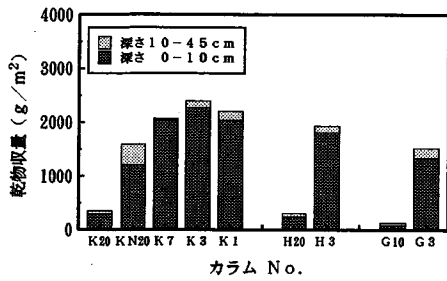
(2) 散布水およびその水量負荷と芝草の生育

芝草の生長は, 図-2 に示すようにいずれの散布水を



図—2 散布水量と茎葉部総乾物収量の関係

用いた場合にも散布水量が大きいほど, 生長量が高くなる傾向が見られ, 水量負荷が生育への大きな影響因子となっていることは明らかである。また, 同じ水量負荷のカラムと比較すると, K20を除けば, いずれも浸出水散布カラムの乾物収量が2次処理水や希釈浸出水散布カラムを上回り, 534~979 g/m<sup>2</sup> で最大となっている。K20については, 9月中旬頃から枯死が見られ始め, 10月下旬にはほぼ全体に及んだが, 実験終了時にカラム内土壌を回収した際, 体長30mm程度のコガネムシの幼虫が多数(31個体)確認されたため, この幼虫による根部の食害が枯死を招いたものと考えられる。同様な幼虫は, KH20およびG10でも30個体近く確認され, K20とともにG10の被害が大きかった。図-3の実験終



図—3 実験終了時の茎根部重量

了時茎根部乾物収量においても、これら3つのカラムは異常な低さを示している。

また、食塩添加浸出水の場合、S20C5を除き明らかな生長量の低下が認められ、塩分の増加による生育阻害が示された。一方、期間内の刈り取りを行わなかったKN20、GN20では、ほふく茎がカラム外にも伸張したため、その他のカラムの値とは比較できないが、その乾物収量は浸出水散布カラムであるKN20が3080 g/m<sup>2</sup>と、2次処理水散布カラムGN20の1954 g/m<sup>2</sup>を大きく上回った。

以上の結果から、本実験で用いた浸出水は水質的にはコウライシバの生育に対してとくに阻害は与えないと判断され、また水量負荷とともに、施肥効果に係る水質的な要因が芝草の収量に大きな影響を及ぼしていると言える。

### (3) 芝草の生育の季節変動と塩素イオンの影響

ここでは、1989年の実験での結果を中心に芝草の生育の季節変動と塩素イオンの影響について述べる。

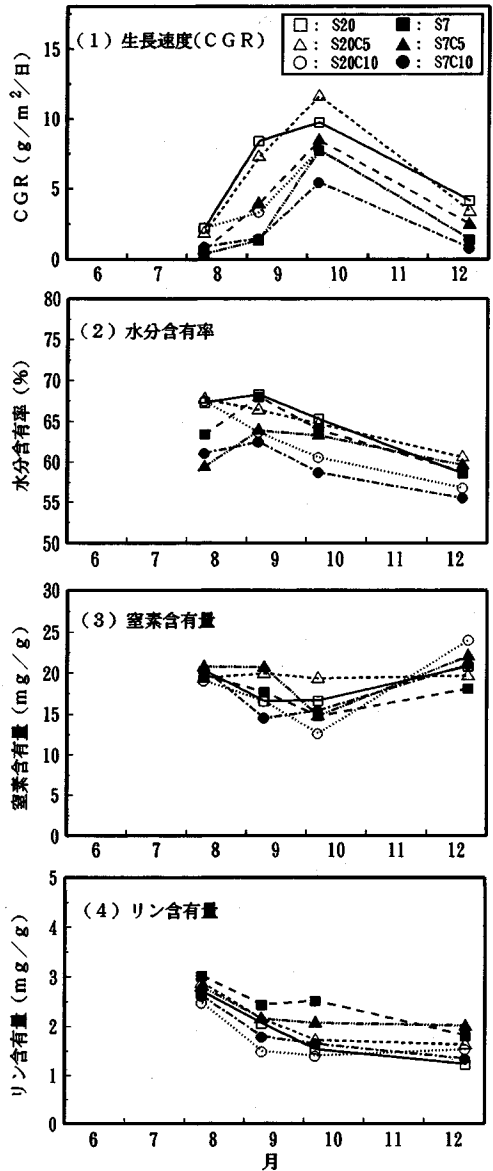
#### a) 生長速度 (CGR)

植物の生長の度合いを示す指標としてよく用いられるものに個体群生長速度 (CGR: Crop Growth Rate) があり、次式で求められる。

$$CGR = \frac{W_{t_2} - W_{t_1}}{A \cdot (t_2 - t_1)} \quad (\text{g/m}^2/\text{日}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $W_{t_1}$ 、 $W_{t_2}$ : 時間  $t_1$  および  $t_2$  における植物量、 $A$ : 栽培面積。

図—4 (1) が、各収穫日に得られた茎葉部乾物収量をもとに求めた CGR を示したものである。乾物収量はいずれのカラムでも、10月6日の収穫日に164~349 g/m<sup>2</sup>の最大値を示し、CGRも5.5~11.6 g/m<sup>2</sup>/日の範囲で最大となった。一方、10~12月の期間の生長については、乾物収量では9~10月での値に近い60~314 g/m<sup>2</sup>が得られ、1988年の同時期の値を大きく上回った。1989年の場合、気温および日射量のいずれもが88年より高く、気象条件の差が表れたものと推測される。しかしながら、これをCGRで示せば、0.80~4.14 g/m<sup>2</sup>/日となり、図にあるように秋季から冬季にかけての生長の



図—4 コウライシバの生育の経時変化

低下がよく理解される。

下関のゴルフ場での調査では、4月から11月にかけて7.9~134.0 g/m<sup>2</sup>の月別乾物収量がコウライシバグリーンに関して報告されており、5~8月での生育が旺盛とされている<sup>12)</sup>。本実験の場合、温室内での栽培であることや実験開始当初の芝の根付きの関係もあり、多少傾向は異なっているが、表—3, 4 に示した平均気温から判断すれば、22~25°Cの期間での生長量が高く、20°C以下となる時季には生育も低下すると言える。

また、カラム間の比較では概ね S20 ≧ S20C5 > S10 > S7 > S20C10 > S7C5 > S7C10 となっている。すなわち、散布水量が小さく、かつ塩素イオン濃度が高い

表—5 9月期における単位乾物収量当たりの蒸発散量

かたNo.	乾物収量 (g/m <sup>2</sup> )	水分含有率 (%)	固定水分量 (mm)	蒸発散量 (mm)	e <sub>v</sub> (gH <sub>2</sub> O/g乾物)
S20	292.6	65.3	0.55	141.3	482.9
S20C5	348.6	64.7	0.64	96.5	276.8
S20C10	233.8	60.6	0.36	73.3	313.5
S10	258.2	64.7	0.47	101.0	391.2
S7	253.9	64.0	0.45	89.5	352.5
S7C5	232.4	63.3	0.40	52.9	227.6
S7C10	163.5	58.7	0.23	57.8	353.5
T20	264.0	66.4	0.52	94.7	358.7
T20K5	199.4	65.2	0.37	94.8	475.4

ほど、生長の低下が顕著である。

b) 水分含有率

茎葉部の水分含有率の変化を、図—4(2)に示す。全期間では55～68%の範囲にあり、夏季から冬季に向けて低下していく傾向が見られるが、これは一般的な傾向である。また、散布塩素イオン濃度を10000 mg/lとした場合、無添加の場合よりも5%程度低い値を示すが5000 mg/lの場合、散布水量が多いS20C5ではそれほど差がなく、7mm/日のS7C5では夏季に顕著な差が生じた。

このような水分含有率の低下は、本実験の場合散布水量負荷の多寡と土壌内水分中の塩分の増加に起因すると考えられるが、生長そのものにどのような影響を与えているかは明らかではない。表—5は、10月収穫時の新鮮物中の水分含量と単位乾物収量換算したその間(9月期：9/7～10/5)の蒸発散量 e<sub>v</sub>(gH<sub>2</sub>O/g 乾物)をまとめたものである。収穫量の最大値はS20C5の348.6 g/m<sup>2</sup>であるが、固定された水分量は雨量表示すれば0.64 mmであり、蒸発散量96.5 mmと比較して極く少量と言える。ただし、通常草本植物が1gの有機物を生産するために280～840gの水を蒸散によって消費する<sup>13)</sup>こと、また蒸発散量の測定値には土壌面からの蒸発量も含んでいることを勘案すれば、食塩添加カラムならびにS7での単位乾物収量当りの蒸発散量228～353 gH<sub>2</sub>O/gは、これらのカラムの環境がコウライシパの水分吸収に対して厳しいものであることを示唆する結果と言える。

c) 窒素含有量

図—4(3)に、茎葉部の窒素含有量の変動を示す。得られた値は12.7～23.9 mg/gの範囲にあり、S20C5を除き、9月および10月での測定値で低下が見られた。コウライシパの窒素含有量としては、無肥料(無窒素)区で11.6～13.4 mg/g、施肥区で22.1～34.7 mg/gが報告されており<sup>14)</sup>、これらとの比較で考えると、本実験でのコウライシパの窒素吸収は、かなり制約を受けた条件下でのものであったと言える。これは、表—4に示した10～11月での散布窒素濃度の顕著な増大と12月収穫時の窒素含有量の増加が対応していることから推測

される。気温その他の要因の影響もあり、単純に判断はできないが、窒素に係わる環境が図—4(1)に示したカラム間の生長の差異に対して影響を及ぼしていることは考えられる。

d) リン含有量

リン含有量の変化を図—4(4)に示す。8月収穫時での値2.5～3.2 mg/gと比較すると、9月以降はやや低下が見られたものの、カラム毎では1.2～2.5 mg/gの範囲でほぼ一定の値を示した。また、9月以降のデータを見ると、中程度の生長を示したS7、S7C5でのリン含有量が高く、塩素イオン高負荷カラムであるS20C10、S7C10では1.4～1.8 mg/gの低い値となった。ただし、良好な生長を示したS20も12月には1.23 mg/gに低下している。これに対し、1 mg/l前後のリン濃度を有していた2次処理水の散布カラムでは、1.9～3.3 mg/gの高いリン含有量が得られたが、その生長量は明らかに浸出水散布カラムを下回っている(図—2)。すなわち、リンに関しては実験開始時の芝移植土によって持込まれた量で充足されており、生長を制限するほどには到らなかったと考えられる。また、これらの結果はコウライシパが生長に必要な量以上のリンを吸収し、蓄積することを示唆するものと言える。

4. 考 察

(1) 芝草の生長に及ぼす各種要因の影響解析

生長すなわち植物組織の増加は、葉による生長素材の供給過程(光合成)と、生長部位における光合成産物の組織への転換過程(生長)に分けて考えられるが、生長の度合いは光合成産物の供給量によって決まる場合と生長部位の活性によって抑制される場合とがある。前者の状態をソース(source)が、後者をシンク(sink)がそれぞれ制限要因となっているとされる<sup>15)</sup>。このソース活性とシンク活性は必ずしも独立的ではなく、高等植物においては、余った光合成産物は体内に貯蔵されるが、当然それは無制限ではなく、環境によって規定される生長の容量に見合うように光合成速度、すなわちソース活性がフィードバック的に制限されることが知られている。

このシンクとソースの定量的表現は、次のように与えられている<sup>16)</sup>。

$$\begin{aligned} \text{ソース(シンク)強度} &= [\text{ソース(シンク)のサイズ}] \\ &\times [\text{ソース(シンク)活性}] \\ &\dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Warren Wilsonは、このシンク活性の指標として相対成長率(RGR: Relative Growth Rate)を用いたが、このRGR(ここでは簡略してkで表す)は比生長速度とも呼ばれ、次式で求められる。

$$k = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} \dots\dots\dots (3)$$

その後、Thornley はソース・シンクの関係を生長に係わる物質により規定し、対象とする生長素材  $X$  のソース強度  $F_x$  を、「植物のある器官から物質  $X$  が輸送(供給)される純速度」と定義した<sup>17)</sup>。したがって、ソースサイズとして全乾物量  $W$  を採用すれば、式(2)より

$$[\text{ソース活性}]_x = F_x / W \dots\dots\dots (4)$$

となる。一方、生長すなわち乾物生産が生長素材  $X$  の供給によって規定されている状態では、次式が成立つ。

$$dW/dt = Y_x \cdot [-F_x] \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $Y_x$  : 乾物への  $X$  の転換係数。

シンク強度は、ソース強度の負と定義されることから、式(4)、(5)よりシンク活性を次式で表示できる。

$$[\text{シンク活性}]_x = \frac{1}{Y_x} \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} \dots\dots\dots (6)$$

これより、Thornley は厳密には  $k$  とシンク活性は区別すべきとしているが、生長素材を限定する以前での生長の活性の指標として、 $k$  を用いることの有効性は式(6)から逆に理解しやすい。さらに、Thornley は重要な生長素材である炭水化合物と窒素に着目し、その2基質反応式をもとにシンク活性のモデル化を提示しており<sup>18)</sup>、これを比生長速度  $k$  との関係で示せば、次式のようである。

$$k = \frac{k_{\max} \cdot C \cdot N}{1 + \sigma_c C + \sigma_n N + \sigma_{cn} C \cdot N} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 $k_{\max}$  : 最大比生長速度、 $C, N$  : 植物体中の炭素化合物と窒素の濃度、 $\sigma_c, \sigma_n, \sigma_{cn}$  : 定数。

しかしながら、水耕栽培のような場合を除き、直接  $W$  の時間変化を計測することは困難であり、本研究においても  $W$  に関するデータは収穫乾物量が主である。そこで、本研究では  $W$  として茎葉部を対象とし、また式(2)を変形した次式を用いて各収穫日間での  $k$  の算出を行った。

$$k = \frac{\ln[\Delta W_t + W_s] - \ln[W_s]}{\Delta t} \text{ (1/日)} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $\Delta W_t, W_s$  : 収穫日  $t$  における収穫乾物量 (g) およびその前の収穫日における残存茎葉部の乾物量 (g)、 $\Delta t$  : 収穫日間の日数。

この式(8)においても、 $W_s$  の評価が難しいが、ここでは実験開始時の移植芝草重量と最終刈り取り後における残存芝草重量に兩年を通して大きな差がなかったことから、最終刈り取り後における残存芝草重量から茎根部重量を差引いたものを用いることとした。S20, S10 および S7 での測定の結果、388.0~552.4 g/m<sup>2</sup> が得られ、平均値 453.8 g/m<sup>2</sup> を兩年での実験期間を通した  $W_s$  として採用した。なお、本項での解析には食塩添加浸出水散布カラムでのデータは用いていない。

本実験では、光合成産物(炭素化合物)の測定を行っていないため、直接式(7)を用いることはできないが、

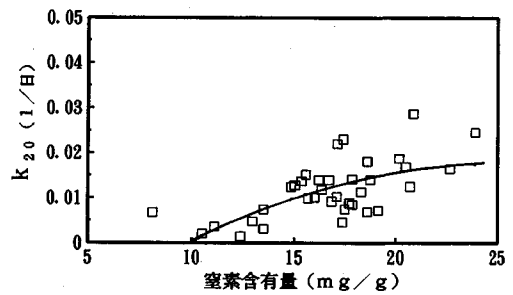


図-5 比生長速度と窒素含有量との関係

式(8)をもとに本実験で得られた  $k$  と  $N$  との関係、 $N$  として収穫茎葉部の窒素含有量  $C_N$  (mg/g) を採用して示したものが、図-5である。ここで、 $k$  については後述する温度の影響を補正し、20°Cでの値に標準化した  $k_{20}$  によって示してある。図-5より、 $k$  と窒素含有量の間は 10 mg/g 付近を原点とする飽和型の関係を認めることができる。したがって、この関係を次式によって表示した。

$$k_{20} = \frac{k_{\max \cdot 20} (C_N - C_{N\min})}{K_{CN} + (C_N - C_{N\min})} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $k_{\max \cdot 20}$  : 20°Cにおける最大比生長速度、 $C_{N\min}$  : 最低窒素含有量、 $K_{CN}$  : 飽和定数。

$C_{N\min}$  は、細胞合成に最低必要な窒素量を意味すると考えられ、ここでは前述した無施肥(無窒素)区での報告値および本実験での結果をもとに 10 mg/g として、式(9)の回帰分析を行った。その結果、 $k_{\max \cdot 20}$  として 0.0307 (1/日)、 $K_{CN}$  として 10.45 mg/g が得られた。図中の実線が、その回帰式を示す。

このように、多少データのバラツキはあるが、式(9)のような関係が直接認められたことは、窒素に比較して光合成産物の供給はある程度十分であり、窒素が生長の律速となっていることを示唆するものと言える。

次に、式(9)の回帰式をもとにそれぞれの  $k$  の値から  $k_{\max}$  を求め、期間内平均気温  $T$  との関係を図-6に示した。温度は各種生物反応に影響を及ぼすが、コウライシバの場合、平均気温とすれば高いと言える 22~25°C (後述の式(10)からは 22.8°C) で生長速度が最大となると判断され、暖地型芝草である特性を裏付ける結果と考えられた。また、それ以上の温度では低下する傾向が見られたため、3次式を用いて回帰分析を行い、次式を得た。

$$k_{\max \cdot T} = k_{\max \cdot 20} (7.63 - 1.46T + 0.0908T^2 - 0.00172T^3) \text{ (12°C < T < 26°C)} \dots\dots (10)$$

ここで、 $k_{\max \cdot T}$  :  $T$ °Cにおける最大比生長速度。なお、式(9)、(10)中の係数は、両式の回帰分析をそれぞれによる補正値が前回と値とほぼ等しくなり、かつ両式から得られる  $k_{\max \cdot 20}$  が概ね一致するまで交互に繰り返して決

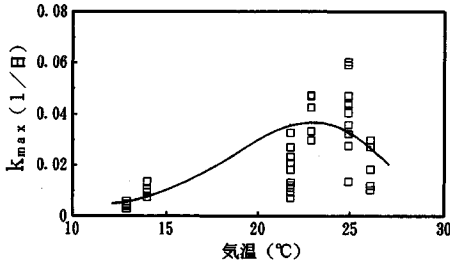


図-6 比生長速度と温度の関係

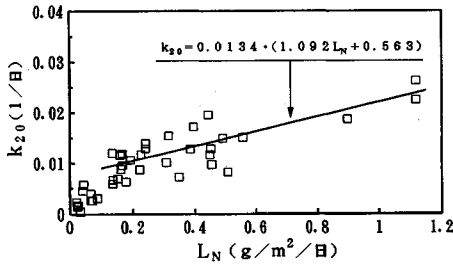


図-7 比生長速度と窒素負荷速度との関係

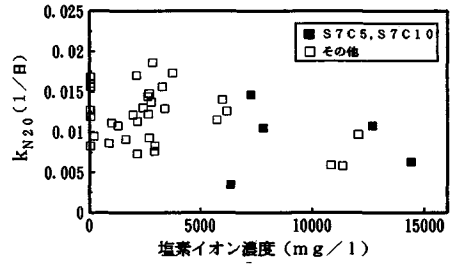


図-8  $k_{N20}$  と流出塩素イオン濃度との関係

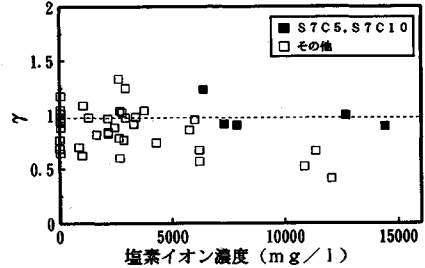


図-9  $\gamma$  から見た生長速度に及ぼす塩素イオンの影響

定したものである。図-6中の実線が、 $k_{max-20}=0.0307$  (1/日)とした式(10)を示す。

これら各パラメータの値と比較し得るデータは芝草では見当たらないが、著者らはホテイアオイの比生長速度の解析を行い、20°Cでの $k$ としてコウライシバの $k_{max-20}$ よりかなり高い0.063(1/日)を得ている<sup>19)</sup>。ホテイアオイは、旺盛な繁殖力で知られている亜熱帯性の大型水生植物であり、その差が現れたものと考えられる。なお、日射量は温度と共に植物の生長に対する重要な影響要因と考えられるが、本実験の結果からは比生長速度と光量子量(光合成有効波長域での光量子束密度の積算値)との間に有意な関係が得られなかったため、影響因子としての採用は控えた。

次に、散布条件による影響を検討したが、 $k$ と良い関係を示した要因は、図-7に示す散布窒素負荷速度 $L_N$ である。ただし、図から理解されるように、20°Cでの値に補正した $k_{20}$ への影響の度合いは、0.15 g/m<sup>2</sup>/日付近の散布窒素負荷速度を境に異なっている。0.15 g/m<sup>2</sup>/日以下のデータは、ほとんどが3 mm/日以下の散布水量のカラムでのものであり、おそらくは水量負荷の影響により強く支配されているものと思われる。 $L_N$ が0.15 g/m<sup>2</sup>/日以上の場合、その増加に伴い、 $k_{20}$ はほぼ比例的に高くなっており、その関係は次式で表示できた。

$$k_{20} = k_{N20} \cdot (1.092 L_N + 0.563) \quad 0.15 < L_N (\text{g/m}^2/\text{日}) < 1.1 \dots \dots (11)$$

ここで、 $k_{N20}$ は $L_N=0.4$  g/m<sup>2</sup>/日の時の $k_{20}$ であり、0.0134(1/日)が回帰分析の結果からは得られた。

図-7より、図-5に示した茎葉部内の窒素含有量と $k$ の変動が散布窒素負荷に起因しており、シンク活性が窒素に係わるソース活性によって支配されている状態に

あると推定できる。

(2) 塩素イオンの影響に関する解析

図-8は、 $L_N$ が0.15 g/m<sup>2</sup>/日以上での $k$ のデータを、式(10)、(11)により $k_{N20}$ に標準化した値( $T=20^\circ\text{C}$ 、 $L_N=0.4$  g/m<sup>2</sup>/日)と、それぞれの収穫期間内の平均流出塩素イオン濃度との関係を示したものである。ここで、流出塩素イオン濃度は蒸発散による濃縮作用を受け、散布水濃度よりも高い値となる。その影響は、散布水量が小さいほど大きく、食塩添加浸出水散布カラムでのCGRの低下傾向とも一致する。5000 mg/l以上のデータは、いずれも食塩添加浸出水カラムで得られた値である。この図から明らかなように、塩素イオン濃度の増加に伴い、コウライシバの生長速度は低下する傾向がある。しかしながら、その顕著な影響が見られるのは10000 mg/l以上の高い濃度であり、これを電気伝導度で示せば24 mS/cm程度である。北村<sup>20)</sup>は、芝生用植物の中でもコウライシバなど日本芝が耐塩性に優れていることを報告しているが、大麦など耐塩性の高いとされる作物で12 mS/cm程度(ただし、土壌飽和抽出液での値)が限界とされる<sup>21)</sup>ことから、図-8はコウライシバの優れた耐塩性を定量的に示す結果と言える。

このような $k$ に対する塩分の影響の機構としては、水分の吸収阻害による生長阻害と養分の吸収阻害による影響が考えられる。図-9は、式(9)、(11)を用いて各データから得られる2種の補正值 $k_{max-20}$  ( $[k_{max-20}]_{obs}$ )と $k_{N20}$  ( $[k_{N20}]_{obs}$ )をもとに、次式で求められる $\gamma$ と流出塩素イオン濃度の関係を示したものである。

$$\gamma = \frac{[k_{N20}]_{obs} / [k_{max-20}]_{obs}}{[k_{N20} / k_{max-20}]_{std}} \dots \dots (12)$$

ここで、 $[k_{N20} / k_{max-20}]_{std} = 0.0134 / 0.0307$ 。

すなわち、 $k_{N20}$  散布窒素負荷に対応する補正  $k$  値であるのに対して、 $k_{\max-20}$  は内部窒素濃度に対応する補正值であることから、何らかの理由により窒素吸収が阻害され、窒素含有量の低下と生長阻害が生じれば、散布窒素負荷に対応して得られるべき値よりも  $[k_{N20}]_{\text{obs}}$  は小さくなり、一方  $[k_{\max-20}]_{\text{obs}}$  は窒素含有量の減少に応じて補正されるため、その値は  $[k_{\max-20}]_{\text{std}}=0.0307$  に近いものとなろう。したがって、 $Y$  が小さくなるほど、その  $k$  は何らかの原因によって窒素の吸収阻害を受け、低下したものと言える。

図-9の塩素イオンの影響には、 $\gamma$  に低下が見られるグループとほぼ1に近い値を取る2つのグループが認められた。低下したグループは、食塩添加浸出水の20 mm 散布カラムでのものであり、他方は7 mm 散布カラムであった。すなわち、20 mm 散布では窒素の供給は十分であるにも関わらず、塩分の増加により明らかに窒素の吸収阻害とそれに起因する生長阻害が生じたと判断できる。一方、7 mm 散布カラムでは  $\gamma$  の低下が認められないが、図-8に示したように  $[k_{N20}]_{\text{obs}}$  そのものには低下が見られることから、 $[k_{\max-20}]_{\text{obs}}$  の方も  $[k_{N20}]_{\text{obs}}$  の低下に相応して小さくなっていることを意味する。これは、食塩添加浸出水の7 mm 散布カラムでの生長阻害に対して、窒素の吸収阻害以外の要因も強く関係していることを示唆するものである。おそらく、2つのグループが散布水量の多寡に基づくことから、水分吸収阻害ないしは体内での水分ストレスに起因すると推測される。いくらかの重力水を含む通常の土壌での水ポテンシャルは、マトリックポテンシャル (-0.01 MPa 前後) に浸透ポテンシャルによる低下を加えても -0.05 MPa 程度とされる<sup>22)</sup>。それに対して、NaCl 3% 溶液の浸透圧が 2.501 MPa となる<sup>23)</sup> ことから、塩素イオン 10 000 mg/l の溶液の浸透ポテンシャルは -1.4 MPa 程度にはなる。通常の植物体内の水ポテンシャルは、-1 MPa 前後であるため、根による水分吸収にとって食塩添加浸出水散布土壌はかなり厳しい環境になっていると言える。コウライシバは、その体内水ポテンシャルを一般の植物よりかなり低いものに維持できるものと思われる。これらの解明にはコウライシバの体内水ポテンシャルの測定など、より詳細な検討が必要であり、今後の課題としたい。

(3) コウライシバの窒素吸収速度に関する解析

前項で明らかにしたように、コウライシバの生長には窒素環境が大きく関わっており、窒素に関するソース活性の検討が重要な課題となる。 $F_x$  の定義から、それは根による窒素吸収速度と同値である。しかしながら、窒素に関しては土壌内での吸着あるいは脱着などの現象も含む可能性があるため、流出水中の窒素濃度の変化速度をもって吸収速度を解析することは困難である。そこで、ここでは茎葉部の窒素含有量変化をもとに、次式を用い

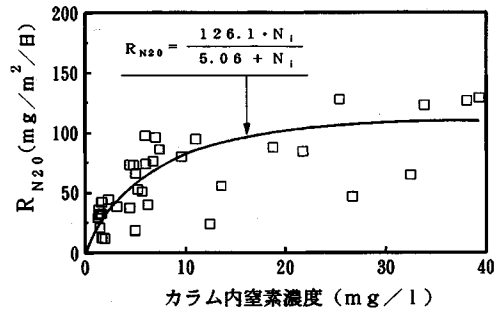


図-10 窒素吸収速度とカラム内窒素濃度との関係

て各収穫日間での体内窒素量の増加速度を求め、吸収速度とした<sup>24)</sup>。

$$R_N = d[W_i \cdot C_N] / dt$$

$$= W_i \cdot C_N \{ (1/W_i) \cdot (dW_i/dt) + (1/C_N) \cdot (dC_N/dt) \} \dots \dots \dots (13)$$

ここで、 $R_N$ ：単位面積当りの窒素吸収速度 (mg/m<sup>2</sup>/日)。さらに、 $W_i$  と  $C_N$  については、収穫日間 (日数： $\Delta t$ ) の中間値とし、次式から求めた。

$$W_i = W_{i0} \cdot \exp \{ k \cdot (\Delta t / 2) \}$$

$$C_N = C_{N0} \cdot \exp \{ n \cdot (\Delta t / 2) \} \dots \dots \dots (14)$$

ここで、 $W_{i0}$ ：前回の収穫での残存茎葉部重量 ( $W_s$  を採用)、 $C_{N0}$ ：前回の収穫茎葉部の窒素含有量、 $n$ ： $(1/C_N) \cdot (dC_N/dt)$ 。

植物根による各種イオンの吸収速度は、根周囲のイオン濃度に対して Michaelis-Menten 型の式に従うことが知られている<sup>25)</sup> が、根周囲のイオン濃度を直接測定することは困難であり、ここでも期間内平均流出全無機態窒素濃度をもとにカラム内濃度の推定を行って用いた。すなわち、散布全窒素濃度がカラム流出端に向かって指数関数的に減少すると仮定し<sup>26)</sup>、両者の濃度から深さ方向の中間地点での濃度を求めた。 $R_N$  については後述する土温の影響を考慮し、得られた式 (16) 中の影響関数をもとに 20°C での値  $R_{N20}$  に標準化して用いた。その結果、図-10に示すように、 $R_{N20}$  とカラム内窒素濃度  $N_{in}$  との間には飽和型の関係が認められ、これを次式によって表示した。

$$R_{N20} = \frac{R_{N\max-20} \cdot N_{in}}{K_{IN} + N_{in}} \dots \dots \dots (15)$$

ここで、 $R_{N\max-20}$ ：20°C における単位面積当りの最大窒素吸収速度 (mg/m<sup>2</sup>/日)、 $K_{IN}$ ：飽和定数 (mg/l)。なお、この窒素吸収をソース活性として取り扱うには、式 (4) にあるようにソースサイズを考慮すべきであり、 $R_N$  をソースサイズ例えば根部重量  $W_R$  などで除した比吸収速度  $r_N$  を用いる方が適当であろうが、各カラムでの  $W_R$  の推定が困難であったため、全吸収速度を直接用いた。また、Michaelis-Menten 型の式との対応からも、



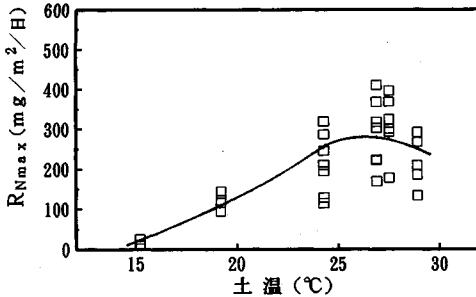


図-11 窒素吸収速度に及ぼす温度の影響

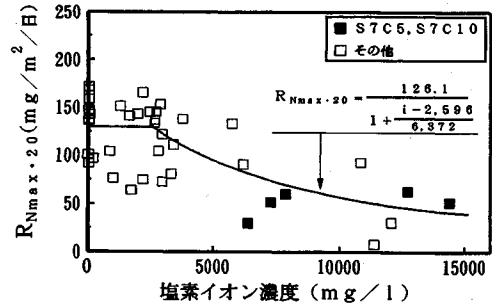


図-12 窒素吸収速度に及ぼす塩素イオンの影響

$R_{Nmax-20} = W_R \cdot r_{Nmax-20}$  であり、厳密に言えば定数ではないが、回帰分析の結果、 $K_{IN} = 5.06 \text{ mg/l}$  とともに  $R_{Nmax-20} = 126.1 \text{ mg/m}^2/\text{日}$  を得た。これは、ソースサイズのカラム間の相違ないしは時間変化がそれほど大きくなかったことを示唆する結果とも言える。ちなみに、 $W_s$  を求めた S20, S10 および S7 での実験終了時での根部乾物重量としては、 $1258 \sim 2036 \text{ g/m}^2$  が得られており、やや乱暴であるが、この平均値  $1585.8 \text{ g/m}^2$  によると、 $r_{Nmax-20} = 0.080 \text{ mg/g/日}$  と推定できる。

次に、得られた飽和定数と式 (15) をもとに、各  $R_N$  に対応する  $R_{Nmax}(R_{Nmax-T})$  を求め、期間内平均土温  $T_s$  (°C) との関係を図-11 に示した。前述したように、土温は気温よりも全般的に高かったため、 $k$  の場合と同様にして得た次の 3 次回帰式からは、 $k$  の場合よりもやや高い  $26.7^\circ\text{C}$  において窒素吸収速度はピークになると推定された。

$$R_{Nmax-T} = R_{Nmax-20} (15.01 - 2.52T_s + 0.135T_s^2 - 0.00220T_s^3) \quad (15^\circ\text{C} < T_s < 29^\circ\text{C}) \quad (16)$$

図中の実線が式 (16) ( $R_{Nmax-20} = 126.1 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ ) を示す。

次に、各  $R_N$  のデータから式 (15), (16) をもとに  $R_{Nmax-20}$  を求め、流出塩素イオン濃度との関係を図-12 に示した。図-8 の  $k_{N20}$  と同様な低下が見られるが、より低濃度で影響が現れる傾向が認められた。ここでは、次式によって定式化を行った。

$$R_{Nmax-20} = \frac{R_{Nmax-20}^*}{1 + \{(i - i_{cr})/K_i\}} \quad (i > i_{cr}) \quad (17)$$

式 (17) は、非拮抗阻害型の酵素反応速度式<sup>27)</sup> を模したものであり、阻害剤 (濃度:  $i$ ) の影響が現れ始める濃度を  $i_{cr}$  として考慮したものである。したがって、 $i \leq i_{cr}$  では  $R_{Nmax-20} = R_{Nmax-20}^*$  であり、 $R_{Nmax-20}^* = 126.1 \text{ mg/m}^2/\text{日}$  となると考えた。

$i_{cr}$  および  $K_i$  の決定は、食塩添加浸出水散布カラムのデータのみを用いて行い、 $i_{cr} = 2596 \text{ mg/l}$  および  $K_i = 6372 \text{ mg/l}$  を回帰分析によって得た。 $K_i$  は、 $R_{Nmax-20} = (R_{Nmax-20}^*)/2$  となる時の阻害剤濃度を示す定数であ

り、この値から、 $R_{Nmax-20}$  への塩素イオンの影響が、 $k_{N20}$  よりも早い段階で現れているのが理解できる。

なお、7 mm 散布について、 $R_{Nmax-20}$  の低下は明らかであるが、 $k$  の解析結果を参考にすれば、それは窒素吸収に対する直接阻害よりも、水分吸収阻害等その他の要因によってシンク活性が低下し、最終的には制限された可能性が大きい。したがって、前述したように高塩分濃度域における芝草の体内水分状態を始めとする水分ストレス状態と、シンク活性および窒素吸収との関連を明らかにすることが、より広範囲の条件下でのコウライシバの生長と蒸散作用のモデル化を可能とし、芝地での浸透水量と水質の予測に資することになると考える。

## 5. おわりに

本研究では、廃棄物埋立地浸出水の芝地還元処理を実施するに当たって、あらかじめ解明が必要となる芝草の生育への影響について、コウライシバを対象として、浸出水の水質特性ならびに散布条件に着目し、検討を行った。得られた知見は、以下のようにまとめられる。

(1) 散布水量が大きいほど、コウライシバの乾物収量は増加し、本研究で用いた浸出水の施肥効果が確認された。また、食塩の添加により塩素イオン濃度を高めた浸出水を用いた場合、散布水量が小さく、かつ塩素イオン濃度の高いほど強い生長阻害が認められた。

(2) 茎葉部の刈り取り乾物量をもとに、比生長速度  $k$  を求め、各種要因との関係を検討した結果、茎葉部の窒素含有量との間に双曲線型の関係が認められる一方、散布窒素負荷の増大に伴う  $k$  の上昇が見られ、窒素環境が生長の重要な要因となっていることが明らかとなった。また、窒素含有量  $10 \text{ mg/g}$  を原点とした回帰分析により、 $20^\circ\text{C}$  でのコウライシバの最大比生長速度として  $0.0307 (1/\text{日})$ 、飽和定数として  $10.45 \text{ mg/g}$  を得た。すなわち、窒素含有量  $20.45 \text{ mg/g}$  の状態での比生長速度は、最大比生長速度の  $1/2$  となる。

(3) 気象条件として気温に着目した場合、比生長速度は  $22.8^\circ\text{C}$  をピークとする 3 次式で表示でき、コウライシバが暖地型の芝草である特性が確認された。

(4) 塩素イオンの増加に伴う顕著な  $k$  の低下は、10 000 mg/l 以上の高い濃度で見られ、コウライシバの優れた耐塩性が定量的に示された。また、7 mm/日の低い水量負荷の場合、高塩素イオン濃度域での生長阻害は、窒素吸収に対する影響によるものだけではなく、水分吸収阻害に基づく可能性のあることが指摘された。

(5) コウライシバの窒素吸収速度は、カラム内全無機態窒素濃度に対して、飽和型の関係を示し、飽和定数として 5.06 mg/l を得た。また、最大吸収速度は 20°C で 126.1 mg/m<sup>2</sup>/日となり、根部重量を考慮した最大比吸収速度は 0.08 mg/g/日になると推定された。

(6) 最大窒素吸収速度は、塩素イオン濃度の増加に伴い、低下し、6 400 mg/l 程度の濃度で 1/2 の吸収速度となることが明らかとなった。したがって、 $k$  よりも低い塩素イオン濃度で窒素吸収は影響を受け、塩素イオンの増加によるコウライシバの生長阻害が窒素吸収阻害と密接な関係にあることが裏付けられた。

謝辞：本研究を行うにあたって、研究室の学生諸君を始めとする多くの方に協力を頂いた。とくに、本安邦成君（現、広島県）、亀田洋一君（現、大和ハウス工業）、末広和也君（現、積水ハウス）には、熱心な協力を受けた。ここに、記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 環境産業新聞社：'89 廃棄物年鑑，p. 55, 1988.
- 2) 池口 孝：埋立地における水質汚濁防止対策，水質汚濁研究，Vol. 12, No. 3, pp. 161~165, 1989.
- 3) Abernathy, A.R. et al. : Overland flow wastewater treatment at Easley, S.C., Journal WPCF, Vol. 57, No. 4, pp. 291~299, 1985.
- 4) 國松孝男ほか：山林河川（滋賀県北西部）の水質と 2 次処理水の山林散布の影響，森林文化研究，Vol. 7, No. 1, pp. 217~239, 1986.
- 5) 寺西靖治ほか：下水処理水の長期山地還元（1），（2），下水道協会誌（論文集 No. 1），Vol. 27, No. 316, pp. 70~87, 1990.
- 6) Anderson, E.L. et al. : Reclamation of waste-water with soil-turf filter, Journal WPCF, Vol. 53, No. 9, pp. 1402~1412, 1981.

- 7) 本安邦成他：廃棄物埋立地浸出水の芝地散布処理—第 2 報 水質浄化効果について—，土木学会第 44 回年次学術講演会講演概要集第 2 部，pp. 950~951, 1989.
- 8) 今岡 務・寺西靖治：廃棄物埋立地浸出水の芝地還元における汚濁物質除去特性，第 2 回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp. 245~248, 1991.
- 9) 日本芝草学会編：新訂芝生と緑化，ソフトサイエンス社，p. 16, 1988.
- 10) 楠本正康・吉田富男：汚水の土壌処理に関する技術指針（1），用水と廃水，Vol. 29, No. 6, pp. 48~54, 1987.
- 11) 清水典徳ほか：一般廃棄物埋立地の浸出水及び処理水の性状について，第 10 回全国都市清掃研究発表会講演論文集，pp. 213~215, 1989.
- 12) 江原 薫：芝草と芝地 造成と管理，養賢堂，p. 108, 1984.
- 13) Fitter, A.H. and Hay, R.K.M. (太田安定他訳)：植物の環境と生理，学会出版センター，p. 170, 1985.
- 14) 前出 12)，pp. 105~106.
- 15) 岩城英夫編：群落の機能と生産，植物生態学講座 3，朝倉書店，p. 166, 1979.
- 16) eds. Rees, A.R. et al. : Crop processes in controlled environment, Academic Press, London, p. 15, 1972.
- 17) Thornley, J.H.M. : Mathematical models in plant physiology, Academic Press, London, p. 38, 1976.
- 18) 前出 17)，p. 174.
- 19) Imaoka, T. and Teranishi, S. : Rates of nutrient uptake and growth of the water hyacinth [*Eichhornia crassipes* (Mart.) solms], Water Research, Vol. 22, No. 8, pp. 943~951, 1988.
- 20) 造園雑誌，Vol. 33, No. 4, pp. 28~33, 1970.
- 21) 久馬一剛ほか：新土壌学，朝倉書店，p. 238, 1984.
- 22) 長野敏英ほか：農業気象環境学，朝倉書店，p. 90~91, 1986.
- 23) 前出 22)
- 24) Milthorpe, F.L. and Moorby, J. (玖村敦彦・深井周訳)：作物生理学，朝倉書店，p. 85~86, 1981.
- 25) Hewitt, E.J. and Smith, T.A. (鈴木米三・高橋英一訳)：植物の無機栄養，理工学社，pp. 65~66, 1979.
- 26) 山口登志子・寺西靖治：土壌内硝化速度の時空分布，衛生工学研究論文集，Vol. 22, pp. 1~6, 1986.
- 27) 合葉修一・永井史郎：生物化学工学—反応速度論—，科学技術社，pp. 141~143, 1975.

(1991.11.22 受付)

EFFECTS OF THE APPLICATION OF LEACHATE FROM WASTE DISPOSAL SITE ON THE GROWTH OF TURFGRASS

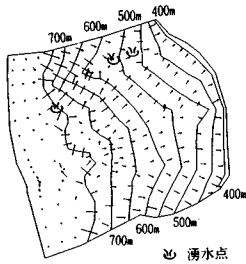
Seiji TERANISHI and Tsutomu IMAOKA

Leachate from waste disposal site often contains refractory organic compound and / or high concentrations of nitrogen and salts. In this paper, the leachate application experiments were performed to investigate the availability of soil-turf filter system for advanced treatment, and the effects of the leachate irrigation on the growth of turfgrass (*Zoysia matrella* Merr.) was studied. As the application rate increased from 3 to 20 mm/day, the biomass yield of *Z. matrella* increased. It was concluded that *Z. matrella* possessed superior salt tolerance. However, the nitrogen uptake of *Z. matrella* was inhibited when the chloride (Cl<sup>-</sup>) concentration was over 5 000 mg/l, and when Cl<sup>-</sup> concentration was beyond 10 000 mg/l, the growth rate decreased to half of the no chloride addition experimental run.

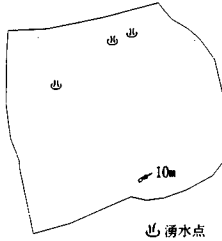
あの地下水解析ソフトがさらに機能充実!

# UNISSF<sub>ユニセフ(V-2)</sub>

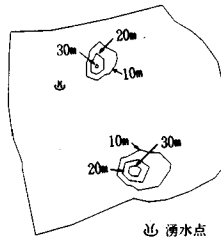
スピーディな同定・安価な解析



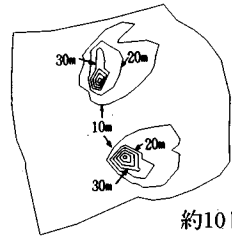
初期状態の地下水流



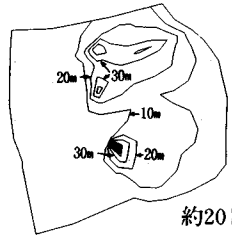
トンネル掘削開始直後



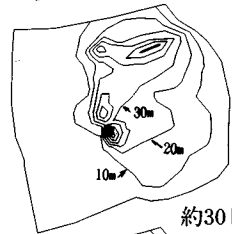
約4日後



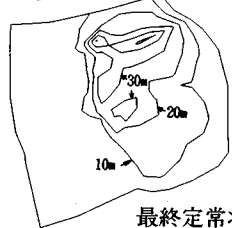
約10日後



約20日後



約30日後



最終定常状態

特長 ○有限要素法による準3次元解析を中心とした地下水の流れのトータルシステムです。

○観測水位と計算水位より、非線形最小二乗法を用いて帯水層定数の同定が可能です。(逆解析手法)

○建設・土木工事(掘削・ディープウェルその他)の解析に対応する多くの機能を備えています。

○メッシュ・ジュネレータにより、モデル(要素分割)作成の手間を軽減できます。

○図化処理プログラムにより、結果の確認が容易に行えます。

適応機種: SUN, NEWS, HP,  
IBM 30XX, FACOM-Mシリーズ 他

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

## IPA 情報処理振興事業協会

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3  
(06)241-4121 営業担当: 岩崎

移流拡散解析プログラム

未来設計企業  
CRC

# MATRAN EX

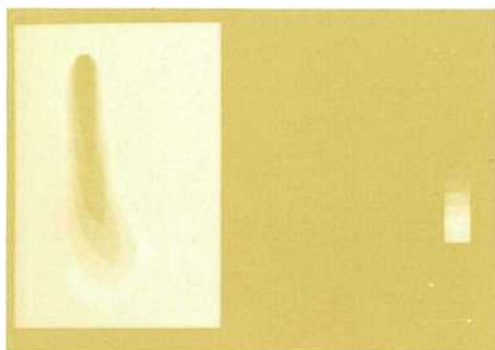
地下水汚染  
の解析に!

塩水くさび  
農薬汚染  
廃棄物処理  
その他

飽和・不飽和浸透解析に、移流分散・拡散を考慮。  
EXtensiveな問題に適用可能なEXcellentなプログラム。

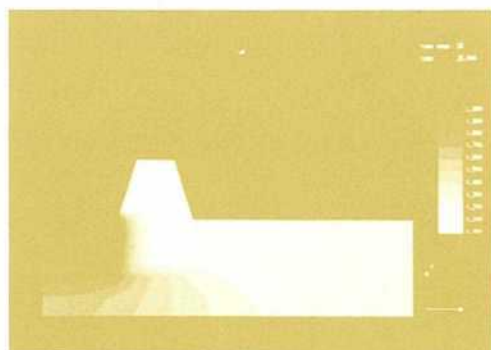
## プログラムの特長

- 断面(EXV)および平面(EXH)の解析が可能
- 充実した解析機能
  - 定常・非定常解析 (断面、平面)
  - 軸対称解析 (断面)
  - 降雨 (断面、平面)
  - 揚水・注水 (断面、平面)
  - 浸出面 (断面)
  - 材質変更 (断面、平面)
  - 境界条件の変更 (断面、平面)
  - 水位・濃度の経時変化 (断面、平面)
- 豊富なグラフィック出力 (濃度コンター図、流速ベクトル図、濃度の時間推移グラフ 他)



濃度コンター図 (平面解析例)

画面出力図



濃度コンター図 (断面解析例)

画面出力図

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3  
(06)241-4121 営業担当: 岩崎