

### 3. 生態系の観点からみた下水再生システムのあり方に関する研究

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦  
 研究官 荒谷 裕介  
 研究官 平出 亮輔

#### 1. はじめに

下水道の普及に伴って下水処理水の量も増加し、平成15年度で年間約137億 $m^3$ の処理水が日本全国の下水処理場から放流されるに至り<sup>1)</sup>、水循環における下水道の役割が増す中で、処理水を有効活用することによって、良好な水環境の創出等に役立てる機運が高まっている。都市部においては、都市化の過程で失われた水との触れ合いの場を再生・創出するために、下水処理水を積極的に活用することによってせせらぎ等の水辺環境を整備する事例が増えている<sup>2)</sup>。せせらぎ等の水辺環境は、様々な水生生物が生息する貴重な空間として位置づけられることから、下水処理水の性状が水生生物に影響を及ぼすと考えられる。しかし、これらの水辺環境に生息する水生生物と下水処理水の性状との関係については明確になっていないのが現状である。

これまで、栄養塩類濃度の違いが付着藻類相に及ぼす影響に関する室内水路実験を行い、1)硝酸性窒素( $NO_3-N$ )濃度が1.1~43mg/Lの濃度範囲においては、付着藻類生物量との関係は認められない、2)リン酸態リン( $PO_4-P$ )濃度が0.04~0.09mg/Lの濃度範囲において、 $PO_4-P$ 濃度が高くなるにつれて付着藻類生物量が増加するとともに緑藻類が優占する傾向を示す、との知見を得ている<sup>3)</sup>。

本調査は、栄養塩類に関する室内水路実験で得られた知見を検証することを目的として、人工のせせらぎ水路を対象としたフィールド調査を実施した。対象としたせせらぎ水路は、水道水を用いて暫定的に運転された後に、下水処理水を再生水として活用することによって本格的に運転が開始された施設である。水道水と再生水では栄養塩類濃度が異なることから、栄養塩類濃度の変化と水路内に形成される付着藻類相の関係を比較・検討した。

#### 2. 調査方法

##### 2.1. 調査期間および調査箇所

香川県多度津町は、①下水処理場の水資源を活用した節水型リサイクル社会の形成、②公共用水域の水質及び環境保全、③慢性的渇水に対する安全度の向上、④人と水との接点としての自然的水環境の再生・安らぎある町空間の創出、の4つのテーマを柱とした「多度津町再生水利用計画」を策定している<sup>4)</sup>。この計画では、香川県中讃流域下水道金倉川浄化センターの下水処理水のうち10,000 $m^3$ /日を町の独自施設である水環境処理施設においてオゾン処理や活性炭吸着処理などを行った後に、農業用水、河川浄化用水、親水用水等に利用することとしている<sup>4)</sup>。同計画において整備された施設の一部である栄町せせらぎ水路（以下、せせらぎ水路）は、平成13年11月より水道水を用いて暫定運転が開始され、平成16年5月より、下水処理水を用いた運転が開始された。

本調査は、水道水による運転期間のうち平成16年1月~平成16年3月（以下、水道水調査1）、平成16年2月~平成16年3月（以下、水道水調査2）、再生水による運転期間のうち平成16年9月~平成16年11月（以下、再生水調査1）、平成17年1月~平成17年3月（以下、再生水調査2）の合計4回実施した。

全長92.2m、幅0.7mのせせらぎ水路上流の吐水口（放流下）直下の1地点を調査地点とした。水路への供

給水は、水道水、若しくは標準活性汚泥法によって処理された未消毒の処理水を水環境処理施設でさらに[ろ過⇒オゾン消毒⇒活性炭吸着]処理された再生水である。せせらぎ水路流末に達した水は再度水路上流までポンプアップされて循環利用される（6 ターン/日）。循環の過程で蒸発等により減少した水量を補給する目的で給水されるとともに、消毒を目的として循環水の一部に[ろ過⇒紫外線消毒]処理がされている。水道水から再生水による運転に切り替える際は、全ての水を排出した後改めて再生水を供給し、水道水の影響を排除したうえで運転を再開した。

## 2.2. 分析

調査地点に素焼き製の付着板をサンプリング回数分設置し、約1～2週間おきに付着板を回収して付着藻類を採取するとともに、水質分析用サンプルも併せて採取し、下記の項目について分析を行った。

### 2.2.1. 付着藻類

種名および細胞数について分析を行った。試料をよく混合して全容量を測定した後一定量を取って顕微鏡で観察し、同定及び計数を行った。

### 2.2.2. 水質

pH、溶存酸素(DO)、生物学的酸素要求量(BOD)、窒素化合物、リン化合物及び総残留塩素について分析を行った。

pH及びDOは、HORIBA社製水質チェッカーU-10を用いたガラス電極法(pH)及び隔膜式ガルバニ電池法(DO)により測定した。

BODは、河川水質試験方法(案)<sup>5)9</sup>に記載の一般希釈法により測定した。

窒素化合物(T-N,NO<sub>3</sub>-N,NO<sub>2</sub>-N,NH<sub>4</sub>-N)は、河川水質試験方法(案)<sup>5)53</sup>に記載の自動分析法及びペルオキシ二硫酸カリウム分解-銅・カドミウムカラム還元法により測定した。

リン化合物(T-P,PO<sub>4</sub>-P)は、河川水質試験方法(案)<sup>5)54</sup>に記載の自動分析法及びペルオキシ二硫酸カリウム分解-吸光光度法により測定した。

総残留塩素は、SIBATA社製残留塩素測定器を用いたDPD法により測定した。

## 3. 調査結果及び考察

### 3.1. 調査期間におけるせせらぎ水路の環境条件

調査期間におけるせせらぎ水路の環境条件を表-1に示す。

流速は、4回の調査で大きな違いは見られず、水道水調査1,2において15～19 cm/s、再生水調査1,2において11～13 cm/sであった。一方、水深は、水道水調査1,2において13cmであったのに対し、再生水調査1,2において26～27cmと再生水調査時に約2倍深かった。流速及び水深の違いは、水道水から再生水へ運転を切り替えた際に流量を変更したことが原因と考えられる。

表-1 せせらぎ水路の環境条件(調査期間平均値)

項目	単位	水道水		再生水	
		1回目	2回目	1回目	2回目
		H16.1-H16.3	H16.2-H16.3	H16.9-H16.11	H17.1-H17.3
水深	cm	13	13	27	26
流速	cm/s	19	15	11	13
気温	℃	7.1	9.8	24	10
水温	℃	9.4	12	25	11
pH		7.8	8.0	7.3	7.5
DO	mg/L	9.0	8.7	6.3	9.6
BOD	mg/L	8.4 × 10 <sup>-1</sup>	7.1 × 10 <sup>-1</sup>	7.4 × 10 <sup>-1</sup>	8.6 × 10 <sup>-1</sup>
T-N	mg/L	8.8 × 10 <sup>-1</sup>	6.8 × 10 <sup>-1</sup>	6.9	6.9
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	2.0 × 10 <sup>-2</sup>	8.8 × 10 <sup>-3</sup>	2.4 × 10 <sup>-2</sup>	2.7 × 10 <sup>-2</sup>
NO <sub>2</sub> -N	mg/L	1.0 × 10 <sup>-2</sup>	6.5 × 10 <sup>-3</sup>	2.4 × 10 <sup>-2</sup>	4.6 × 10 <sup>-2</sup>
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	6.1 × 10 <sup>-1</sup>	3.9 × 10 <sup>-1</sup>	5.6	5.7
T-P	mg/L	2.9 × 10 <sup>-2</sup>	2.7 × 10 <sup>-2</sup>	1.7 × 10 <sup>-2</sup>	4.4 × 10 <sup>-2</sup>
PO <sub>4</sub> -P	mg/L	8.4 × 10 <sup>-3</sup>	5.6 × 10 <sup>-3</sup>	7.8 × 10 <sup>-3</sup>	1.2 × 10 <sup>-2</sup>
総残留塩素	mg/L	ND	ND	—	—
N/P比	mol/mol	50	48	501	344

ND: 0.05mg/L以下

水温は、気温の低い時期の調査である水道水調査 1,2 及び再生水調査 2 においてそれぞれ 9.4~12°C、11°C と大きな違いが見られなかった。一般的に、下水処理水の水温は河川水や水道水に比べて高いが、今回の調査地点が処理施設から幹線延長で約 4km 離れていることから送水過程で水温が低下し、従って調査地点においては処理水が要因と考えられる水温の差は現れなかったものと推察される。一方、気温が高い時期の調査である再生水調査 1 においては 25°C と高い値を示した。

pH、DO 及び BOD については、4 回の調査で大きな違いは見られず、それぞれ 7.3~8.0(pH)、6.3~9.6 mg/L(DO)、 $7.1 \times 10^{-1} \sim 8.6 \times 10^{-1}$  mg/L(BOD)であった。

窒素については、硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 濃度に関して、水道水調査 1,2 と再生水調査 1,2 の間で大きな違いが見られた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の差が全窒素(T-N)濃度の違いに現れ、水道水調査時に  $6.8 \times 10^{-1} \sim 8.8 \times 10^{-1}$  mg/Lであったのに対し、再生水調査時は 6.9mg/Lと一桁近く高い値となった。

リンについては、全リン(T-P)濃度は 4 回の調査で大きな違いは見られず  $1.7 \times 10^{-2} \sim 4.4 \times 10^{-2}$  mg/L(T-P)の範囲にあった。一方、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )濃度は、再生水調査 2 において僅かに高い状態であり、水道水調査 1,2 及び再生水調査 1 において  $5.6 \times 10^{-3} \sim 8.4 \times 10^{-3}$  mg/Lであったのに対し、再生水調査 2 においては  $1.2 \times 10^{-2}$  mg/Lであった。

水道水調査 1,2 における総残留塩素濃度は検出限界 (0.05mg/L) 以下となった。これは、循環水に対して補給されている水道水が僅かであること、循環運転中に落ち葉等還元物質によって塩素が消費されたこと等によるものと考えられる。

### 3.2. 生物量

付着藻類生物量の経日変化を図-1 に示す。

調査期間における最大生物量については、水道水調査と再生水調査の間で大きな違いは見られず、水道水に対して一桁近く高い再生水の T-N 及び  $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は生物量に影響を与えなかった。著者らが行った既往の研究結果から栄養塩類濃度と付着藻類との関連性に関して、1) $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が  $1.1 \sim 4.3$

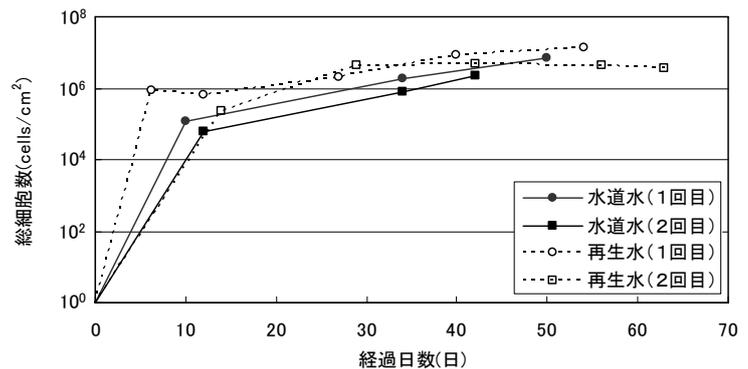


図-1 付着藻類生物量の経日変化

$\times 10^1$  mg/Lの濃度範囲においては、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と付着藻類生物量との関係は認められない、2) $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が  $4.0 \times 10^{-2} \sim 9.0 \times 10^{-2}$  mg/Lの濃度範囲において、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高くなるにつれて生物量が増加する、との知見を得ている<sup>3)</sup>。再生水調査 1,2 における $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度はそれぞれ 5.6 mg/L、5.7 mg/Lと既往の研究結果の濃度範囲にある一方、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は  $7.8 \times 10^{-3}$  mg/L、 $1.2 \times 10^{-2}$  mg/Lと既往の研究よりもさらに低い濃度レベルにあった。従って、再生水調査 1,2 は $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が生物量に影響を及ぼす栄養制限下にあり、水道水調査 1,2 と生物量の点で大きな違いが見られなかったものと推定される。

栄養塩類以外に付着藻類の増殖を支配する環境要因として水温や光が挙げられるが、水温や光条件が異なっていたと考えられる水道水調査と再生水調査において生物量に大きな違いが見られなかった。水温および光が複雑に作用する水環境において栄養塩類のうちリン濃度を低下させたことがその要因と考えられるが、今後、実験等を行うことによってさらに検討する必要性がある。

### 3.3. 出現種

類別細胞数の経日変化を図-2 に、調査期間において細胞数が最大 (以下、最大細胞数) となった時点の類別細胞数を図-3 に、細胞数による優占上位 3 種を表-2 にそれぞれ示す。

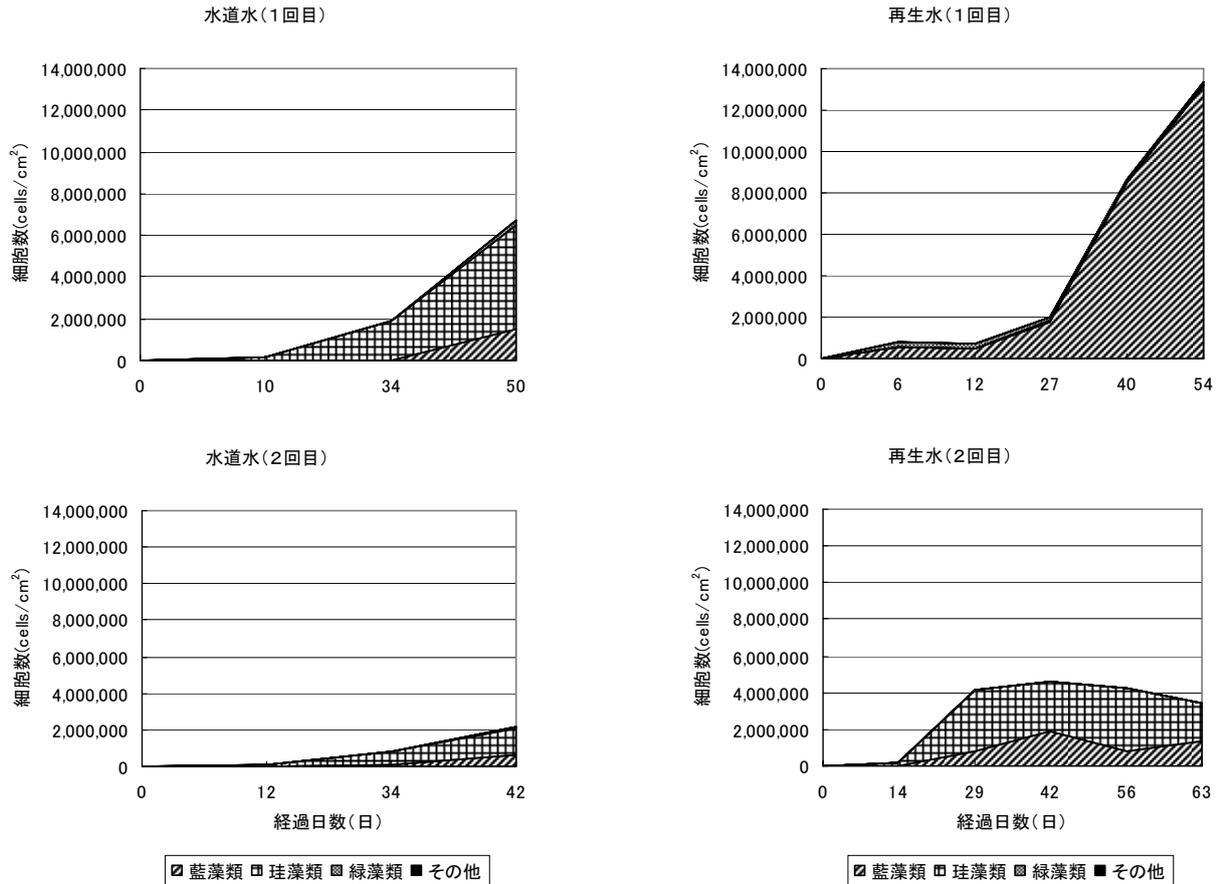


図-2 類別細胞数の経日変化

水道水調査 1,2 においては、調査開始時点では珪藻類が出現し、日数が経過してから藍藻類が出現し始めたのに対し、再生水調査 1 では、調査開始時点で藍藻類及び緑藻類が出現し、日数の経過とともに藍藻類の優占性が高まった(図-2、図-3)。水道水調査 1,2 においては、珪藻類の *Achnanthes* 属、*Synedra* 属、*Cymbella* 属、藍藻類の *Phormidium* 属、*Oscillatoria* 属が優占して出現したのに対し、再生水調査 1 においては、藍藻類の *Phormidium* 属、*Homoeothrix* 属、*Aphanocapsa* 属、PLEUROCAPSACEAE、緑藻類の *Ulothrix* 属、CHLOROPHYCEAE が優占し、珪藻類は優占種上位 3 種に現れなかった。優占種上位 3 種において *Phormidiumu* 属が僅かに共通した種として挙げられるが、再生水調査 1 の 6 日目以降には優占種として出現しなかったことから、水道水調査 1,2 と再生水調査 1 は、ほぼ異なった種の構成となっていた(表-2)。

再生水調査 2 においては、調査開始時点から終了に至るまで藍藻類及び珪藻類が出現し、最大細胞数時の類別細胞数においても水道水調査 1,2 の出現傾向と類似していた(図-2、図-3)。一方、優占種上位 3 種を比較すると、再生水調査 2 においては、珪藻類の *Fragilaria* 属、*Achnanthes* 属、藍藻類の *Phormidium* 属、*Aphanocapsa* 属、緑藻類の *Ulothrix* 属が優占していた。珪藻類の *Achnanthes* 属および藍藻類の *Phormidium* 属が僅かに水道水調査 1,2 と共通した優占種であったが、珪藻類や藍藻類が優占する傾向は水道水調査 1,2 と

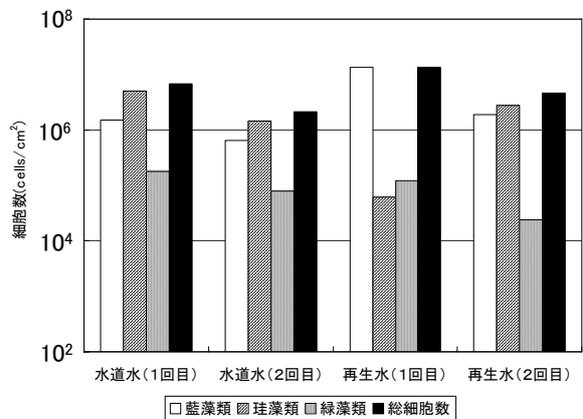


図-3 類別細胞数(最大細胞数時)

表-2 優占種上位3種

## 水道水(1回目)

経過日数	第1優占種			第2優占種			第3優占種			優占上位3種占有率
	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	
10日	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	73%	<i>Synedra rumpens</i>	珪藻	11%	<i>Cymbella turgidula</i>	珪藻	9.4%	94%
34日	<i>Synedra rumpens</i>	珪藻	74%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	24%	<i>Cymbella turgidula</i>	珪藻	0.50%	99%
50日	<i>Synedra rumpens</i>	珪藻	55%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	18%	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	11%	84%

## 水道水(2回目)

経過日数	第1優占種			第2優占種			第3優占種			優占上位3種占有率
	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	
12日	<i>Synedra rumpens</i>	珪藻	87%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	6.8%	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	4.4%	98%
34日	<i>Synedra rumpens</i>	珪藻	56%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	24%	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	13%	94%
42日	<i>Synedra rumpens</i>	珪藻	60%	<i>Oscillatoria</i> sp.	藍藻	18%	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	9.7%	87%

## 再生水(1回目)

経過日数	第1優占種			第2優占種			第3優占種			優占上位3種占有率
	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	
6日	<i>Phormidium mucicola</i>	藍藻	44%	<i>Ulothrix</i> sp.	緑藻	30%	<i>Homoeothrix janthina</i>	藍藻	18%	92%
12日	<i>Homoeothrix janthina</i>	藍藻	38%	<i>Ulothrix</i> sp.	緑藻	31%	<i>Aphanocapsa</i> sp.	藍藻	19%	88%
27日	<i>Homoeothrix janthina</i>	藍藻	84%	<i>Ulothrix</i> sp.	緑藻	7.4%	CHLOROPHYCEAE	緑藻	3.6%	95%
40日	<i>Homoeothrix janthina</i>	藍藻	98%	<i>Ulothrix</i> sp.	緑藻	1.1%	PLEUROCAPSACEAE	藍藻	0.50%	99%
54日	<i>Homoeothrix janthina</i>	藍藻	97%	<i>Aphanocapsa</i> sp.	藍藻	1.2%	<i>Ulothrix</i> sp.	緑藻	0.90%	100%

## 再生水(2回目)

経過日数	第1優占種			第2優占種			第3優占種			優占上位3種占有率
	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	種名		細胞数占有率	
14日	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>gracilis</i>	珪藻	85%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	13%	<i>Ulothrix</i> sp.	緑藻	1.3%	99%
29日	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>gracilis</i>	珪藻	72%	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	15%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	8.1%	95%
42日	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>gracilis</i>	珪藻	45%	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	35%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	13%	93%
56日	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>gracilis</i>	珪藻	42%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	35%	<i>Aphanocapsa</i> sp.	藍藻	12%	89%
63日	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>gracilis</i>	珪藻	49%	<i>Phormidium</i> sp.	藍藻	38%	<i>Achnanthes minutissima</i>	珪藻	8.7%	95%

類似していた(表-2)。

再生水調査2と比較して水温が高い再生水調査1において、藍藻類の *Phormidium* 属や *Homoeothrix* 属が調査期間を通じて第1優占種であったこと、水道水調査1から2にかけて水温が高くなるにつれて藍藻類の *Phormidium* 属が調査の早い段階から優占して出現したことから、水温と藍藻類の優占性に関係があることがうかがわれる。水温の変化と付着藻類相との関連性について、今後、さらに検討を行う必要がある。

NO<sub>3</sub>-N濃度が  $3.9 \times 10^{-1} \sim 6.1 \times 10^{-1}$  mg/L、PO<sub>4</sub>-P濃度が  $5.6 \times 10^{-3} \sim 8.4 \times 10^{-3}$  mg/Lの濃度範囲にある水道水

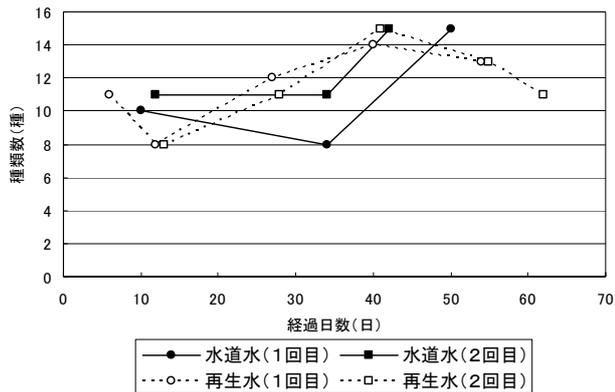


図-4 種類数の経日変化

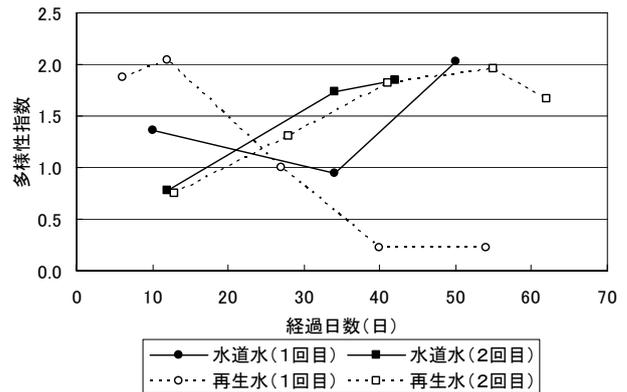


図-5 多様性指数の経日変化

調査 1,2 においては緑藻類が優占種として出現しなかったのに対し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が  $5.6\sim 5.7\text{ mg/L}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が  $7.8 \times 10^{-3} \sim 1.2 \times 10^{-2}\text{ mg/L}$  の濃度範囲にある再生水調査 1,2 において、緑藻類の *Ulothrix* 属や *CHLOROPHYCEAE* が優占して出現した。著者らが行った室内実験水路を用いた研究によると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が  $4.1\sim 4.4\text{ mg/L}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が  $4.0 \times 10^{-2} \sim 9.0 \times 10^{-1}\text{ mg/L}$  の濃度範囲において、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高くなるにつれて緑藻類が優占する傾向を示した<sup>3)</sup>。また、著者らが行った現地調査によると、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が  $4.4\sim 6.8\text{ mg/L}$  の濃度レベルにおいて、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が  $7.0 \times 10^{-2} \sim 3.7 \times 10^{-1}\text{ mg/L}$  から  $7.9 \times 10^{-1} \sim 1.2\text{ mg/L}$  の濃度レベルに高くなるに従って緑藻類が優占して出現した<sup>3)</sup>。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度と糸状性緑藻類との関連性に関する知見<sup>6,7,8)</sup>もあることから、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が緑藻類の優占性に影響を及ぼしているものと考えられる。

### 3.4. 多様性

調査期間における経過日数と種類数の関係を図-4 に、Shannonの多様性指数<sup>9)</sup>との関係を図-5 にそれぞれ示す。4回の調査において種類数に大きな違いは見られず、8～15種の範囲内にあった。一方、多様性指数については、再生水調査 1 において他の3ケースと大きく異なる傾向を示し、調査開始時点では最も高かったのに対し、時間の経過とともに極端に低下し、調査終了時点では最も低い値を示した。調査開始6日後には、藍藻類の *Phormidium mucicola* が 44%、緑藻類の *Ulothrix* sp. が 30%、藍藻類の *Homoeothrix janthina* が 18% であったのに対し、調査終了時の 54 日後には、*Homoeothrix janthina* が 97% と大幅に増加し、*Ulothrix* sp. が 0.90% と極端に減少したことが、多様性指数が低下した原因である。

一般的には、多様な生物が生息する環境が生物にとって好ましい環境と思われるが、再生水調査 1 において多様性低下の要因となった藍藻類の *Homoeothrix janthina* は、日本の比較的清浄な河川における代表的な付着藻類群集であるとの報告がある<sup>10,11)</sup>。従って、生物にとって良好な生息環境との視点から評価するためには、多様性以外に汚濁指数等生物生息環境に関する指標を用いるとともにさらに知見を収集することによって総合的に評価する必要がある。

## 4. まとめ

本調査は、水道水による運転から下水処理水を再生水として活用した運転に変更された人工のせせらぎ水路を調査対象とし、水道水および再生水の栄養塩類濃度の違いと水路に形成される付着藻類相の関係を比較・検討することによって、下水処理水を活用することによる水生生物相に及ぼす影響を解明することを試みた。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ 下水処理水を再生水として活用した場合でも、リンを水道水と同じレベルにまで低下させることによって付着藻類の生物量に影響を及ぼさない可能性が示された。

- ・ 再生水によって創出された水辺環境において、日本の比較的清浄な河川における代表的な付着藻類群集の一つである藍藻類の *Homoeothrix janthina* が優占して出現した。
- ・ 1月～3月の調査においては、水道水調査、再生水調査ともに珪藻類および藍藻類が優占して出現し、類別細胞数にも大きな違いは見られなかった。
- ・ 付着藻類の種類数については、水道水及び再生水で形成された水辺環境において大きな違いは見られなかった。

今後は、栄養塩類濃度以外の影響因子である水温や光条件と付着藻類相の関係に関する基礎的データを蓄積することによって、今回得られた調査結果を詳細に分析するとともに、下水処理水を再生水として活用する場合に求められる下水処理レベルの目標設定や、再利用先の水辺環境のあり方に関する基礎情報としたい。

謝辞：本調査を行うにあたりご協力いただいた多度津町役場建設下水道課の皆様には厚く御礼申し上げます。

なお、本研究は、地球環境保全等試験研究費により実施されたものである。

#### 【参考文献】

- 1)下水道統計 平成15年度版、(社)日本下水道協会
- 2)日本の下水道 平成16年版、(社)日本下水道協会
- 3)荒谷裕介、竹歳健治、田嶋淳、中島英一郎、南山瑞彦：下水処理水中の栄養塩類濃度および残留塩素濃度と放流先に生成する付着藻類相の関係、下水道協会誌、Vol.42、No.510、111-123、2005/04
- 4)田中貫吾：多度津町再生水利用計画について、下水道協会誌、Vol.41、No.506、36-39、2004/12
- 5)河川水質試験方法(案)1997年版、技報堂出版
- 6)久納 誠、丹羽 薫：糸状藻類の溶解性オルトリン酸態リンの吸収能における濃度および水温依存性、水環境学会誌、第20巻、第4号、269-277、1997
- 7)Elwood J.W., Newbold J.D. Trimble A.F. and Stark A.F. (1981). The Limiting Role of Phosphorus in a Woodland Stream Ecosystem: Effects of P Enrichment on Leaf Decomposition and Primary Producers. *Ecology*, 62(1), 146-158.
- 8) Rosemarin A.S. (1983). Direct Examination of Growing Filaments to Determine Phosphate Growth Kinetics in *Cladophora glomerata* (L.) Kutz and *Stigeoclonium tenue* (Agardh) Kutz. In: *Periphyton of Freshwater Ecosystems*, Wetzel R.G. (ed.), Dr. W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands, 111-119.
- 9) 秋山優、有賀祐勝、坂本充、横浜康継 共編：藻類の生態、596-597、内田老鶴圃
- 10)後藤敏一、根来健一郎：清澄な河川 宇川(京都府)の珪藻植生、陸水学雑誌 47、77-86、1986
- 11)田中志穂子、渡辺仁治：日本の清浄河川における代表的付着藻類群集 *Homoeothrix janthina*-*Achnanthes japonica* 群集の形成過程、藻類 Jpn.J.Phycol.38、167-177、June 20、1990