都市における小河川の環境改善に伴う水生生物の変化

Aquatic Community Changes Occurring with Stream Habitat Improvement in Urban Areas

福島 悟

横浜市環境科学研究所／〒235-0012 神奈川県横浜市磯子区滝頭1-2-15

SATOSHI FUKUSHIMA

Yokohama Environmental Research Institute

/1-2-15 Takigashira, Isogo-ku, Yokohama 235-0012, Japan.

Abstract

Surveys were conducted to clarify the long-term changes of environmental conditions and aquatic organisms in 1996 and 2008 in an urban stream. Water quality in 1996 had recovered compared to past conditions, with BOD concentration about 5 mg/l. By 2008, water quality had recovered further, with BOD not more than 2 mg/l. The number of fish species had increased from 2-13 in 1996 to 7-14 by 2008. Macroinvertebrate species had increased more than 2.5-fold: more than 40 species were identified. Periphytic diatom species also more than doubled: 52-58 species were identified. Results show the relationship between the recovery of water quality and numerical changes in the assemblages of fish, macroinvertebrates and periphytic diatoms. Additionally, results suggest that stream morphology, bed materials, and crossing structures affected the changes in fish. Changes in macroinvertebrates occurred according to bed materials and water temperature.

Key words: Urban stream, improvement, fish, macroinvertebrates, algae

1. はじめに

自然環境の少ない都市域では、河川環境の保全、回復への期待は大きい。親水機能のような快適性と共に、生態系維持機能のような自然性への意識の高まりを反映して、河川行政も変化してきた。環境基本法に基づき、1994年に策定された環境基本計画では、水質、水量、水生生物、水辺地を総合的にとらえた水環境保全対策が強調された。水環境ビジョン懇談会は「これからの水環境のあり方」で、水環境は水質のみならず、水量、水生生物、水辺地を含めた総合的なものとしてとらえる必要性を提言している¹⁾。この提言では街の中の水路や小川など、都市の貴重な小自然の保全も指摘されている。そして、河川審議会は「今後の河川環境のあり方について」で、生物の多様な生育・生息環境の確保、健全な水循環の確保が提言されている²⁾。2002年には「自然再生推進法」が

成立し、自然再生事業が公共事業として位置づけられた。国土交通省は1990年以降「多自然型川づくり」を進めてきたが、その課題として、攪乱や変動の河川計画や管理などへの反映、河川環境の復元力を活用する段階的・順応的な整備や管理の導入などが挙げられた³⁾。「多自然型川づくり」における画一化を見直し、河川が本来有している生物の良好な成育環境に配慮し、あわせて美しい自然景観を保全、創出する「多自然川づくり」⁴⁾事業が、2006年以降に展開されるようになった。

また、自然と共生する社会の実現を目的とした「新・生物多様性国家戦略」が2002年に策定され、展開すべき施策の方向として、保全の強化、自然再生、持続可能な利用が提示され、科学的認識が基本的視点のひとつに挙げられている⁵⁾（環境省自然環境局自然環境計画課2002）。河川的环境変化が生物群集に及ぼす影響についての科学的認識として、水生生物の長期的なモニタリングが、魚

類⁶⁻⁸⁾、底生動物^{7, 9, 10)}、藻類¹¹⁻¹³⁾を対象に行われている。また、自治体の行ったモニタリング調査結果を基に、これらの生物群の概況の変化について報告されている¹⁴⁾。都市河川の環境変化が、魚類、底生動物そして藻類の全ての生物群へ及ぼす影響について、長期的なモニタリングを基に検討された事例はない。そこで、本報は都市小河川の魚類、底生動物、藻類群集の長期的変化と、水質改善あるいは河川改修との関係を明らかにすることを目的として実施した調査結果についてとりまとめた。

2. 研究サイト

横浜市内を流れる阿久和川は、境川支流の柏尾川に注ぐ総延長5.4km、流域面積13.9km²の小河川である。流域は標高60~70mの丘陵地が多いが、近年になって丘陵地の市街化が進み、流域の約60%が宅地化されている。

阿久和川の流域は上流側が瀬谷区、下流側が泉区と戸塚区に含まれる。流域の大部分を占める瀬谷区と泉区の人口を基とした1980年代末の流域人口は、瀬谷区が2.4万人、泉区は3.0万人、計5.4万人であった。2000年代中途では、瀬谷区の人口増加はなかったのに対して、泉区では2.3万人増加し、流域人口は7.7万人となった。このような流域人口の変化は、阿久和川流域の人口密度は早期に上流側で大きくなり、下流側における人口密度の上昇はそれより後になって生じたことを示している。

流域の下水道普及率と本調査範囲の下流のモニタリング地点で測定されたBOD濃度の変化 (Fig. 1) をみると、1980年代末における流域の下水道普及率は80%以下、BOD濃度は10mg/lを越え、著しく有機汚濁した状態であったことを示している。その後、下水道の普及によりBOD濃度の低下が進み、下水道普及率が95%を越えてから、

BOD濃度は5 mg/lを越えない程度の期間が長く続いたが、近年になってBOD濃度は低下し、水質の回復はさらに進んでいる。

調査地点として阿久和川上流 (阿久和の橋と阿久和三の橋の間) に Site 1、中流 (榎橋と新橋の間) に Site 2、下流 (かもめ橋と片曾橋の間) に Site 3 の3地点を設定した。調査は1996年と2008年に夏季と冬季の2回の調査を行った。また2009年夏季に一部の調査を Site 3 で行った。

下流側の Site 3 は相模湾の河口から約16km上流に位置し、Site 2 はそこから約1.6km上流、Site 1 は Site 2 から約1.2km上流に位置する。

1996年の調査時に、Site 1 では土の護岸が水際まで続き、土丹の川底に砂礫が堆積していた。2005年に左岸に隣接して建設した阿久和川遊水地の供用が開始されたが、遊水地建設に伴い、河道は直線化され、コンクリート護岸が造られ、水路幅の広い開放的な空間となった。一方、自然の河川形態も一部で保全され、護岸の樹木により閉鎖的な部分が残された。

Site 2 では、1996年の調査時に河床は砂礫底であったが、「まほろばの川づくり事業」により護岸整備が進められ、2008年の河川形態は、低水路の両側は低水敷となり、水路幅は狭く、砂礫底の河床部分は一部となり、広い範囲で土丹が露出する河床となっていた。

1971年から始まった「都市小河川河川改修事業」により、阿久和川の下流側はコンクリート護岸と低水路が整備された。Site 3 では、1996年と2008年は、類似した環境状況であったが、2004年以降の「阿久和川環境整備事業」により、川底に石が施設されたことにより、瀬淵はほとんどなくなり、平坦な河床構造となった。

3. 方法

河川流量は、横断方向の一定区間毎に流速と水深を測定し、それらの値と水路の断面積より算出した。水質項目のうちBODはウインクラーアジ化ナトリウム変法で測定し、以下の窒素とリン成分について、1996年はNH₄-Nをインドフェノール青吸光光度法、NO₃-Nはブルシン吸光光度法、PO₄-Pはモリブデン青吸光光度法で測定し、2008年にはそれらをイオンクロマトグラフィー (Dionex DX-120) により測定した。測定、分析結果については夏季と冬季の平均値として示した。

1970~1980年代と1990~2000年代の水温について一元配置分散分析 (One-factor ANOVA) により有意差につい

Fig. 1 Changes in the proportion of sewer services of the stream catchment area and BOD₅ concentrations of the stream water in the downstream site of study area on the Akuwagawa Stream.

て検討した。

対象とした水生生物のうち、魚類と底生動物は定性調査を、珪藻類は定量調査を行った。魚類は投網とタモ網で採集し、種類別に個体数をカウントして記録した。市民共同調査では、調査に参加した子供たちはタモ網で採集し、定置網を調査範囲の上端に設置し、タモ網と定置網で採集されたものをデータとした。底生動物についてはDフレームネット（網目 NGG40）と魚類採集用のタモ網で採集した。珪藻類は河床の石表面から100cm²あたりの付着物をナイロンブラシで擦り落として採取した。

市民共同調査以外の水生生物の調査結果については、夏季と冬季の2回の結果を合わせ示した。また、それぞれの生物群集の1996年と2008年の組成についてカイ二乗検定（Chi-square test）で比較した。

4. 結果および考察

4.1 水環境

河川流量は1996年に比べて2008年には各地点とも減少しており、1988年にSite 1で測定された流量も合わせて示したが、全体的な傾向としては長期的な流量の減少傾向が認められる（Fig. 2A）。また、両調査時における流量の減少率は、下流側の地点で小さい傾向が認められる。流域人口と下水道普及率から河川に流入する家庭排水の量は概算できるが、その減少に比べて河川流量の減少は大きい。このような現象には、都市化の進行による雨水貯留機能の低下や、地下水位の低下などが関連していると思われる。下流側で流量の減少率が小さいことは、流量減少の緩和に流域の湧水が寄与していることを示している。

1996年と2008年のBOD濃度を比べると、各地点とも5 mg/l前後から2 mg/l以下に低下し（Fig. 2B）、水質の回復が進んでいることを示している。

著者らは1988年にSite 1付近とその上流側を対象に調査を行った¹⁵⁾。その調査でSite 1において測定されたBOD濃度は、1996年のそれに比べて明瞭に高い（Fig. 2B）。また、本調査範囲の下流側における同時期のBOD濃度も高い（Fig. 1）。これらは、調査の対象とした全域で、1980年代後半の著しく有機汚濁した状態から、1996年当時には水質の回復がかなり進んでいたことを示している。また、2008年にはNH₄-N濃度は明瞭に低下しているが（Fig. 2C）、NO₃-N濃度とPO₄-P濃度の低下傾向は見られず（Fig. 2D、Fig. 2E）、2008年の調査時においても富栄養な水質となっていた。

Fig. 2 Variability of physico-chemical characteristics in three sites on the Akuwa-gawa Stream.

4. 2 魚類の変化

1996年に、上流のSite 1と中流のSite 2で採集された魚類は2種類のみであったが、下流のSite 3では13種類が採集され、上流側2地点より明瞭に種類数は多かった(Fig. 3)。2008年にはSite 1とSite 2の種類数は7、12と明瞭に増加したのに対して、Site 3の種類数は1996年と類似していた(Fig. 3)。阿久和川下流では、1996年から2008年の間に河川改修が行われているが、両調査時とも

Fig. 3 Changes in the species richness of fish communities in three sites at 1996 and 2008 on the Akuwa-gawa Stream. Dotted parts indicate diadromous species.

連続した水際の植生カバーが広い範囲に存在していた。水際の植物などによる植生カバーが魚類の生息環境として重要であることが指摘されており¹⁶⁻¹⁸⁾、両調査時でSite 3に多くの種類が分布した要因のひとつに植生カバー帯の存在が挙げられる。

Table 1に両調査時における各種類の相対出現頻度をまとめた。1996年にはドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus* がSite 1とSite 2で多く、Site 3ではフナ属 *Carassius* spp. とモツゴ *Pseudorasbora parva* がやや多かった。2006年の魚類組成は1996年の組成に比べて全域で変化した(Table 2)。2006年にはドジョウが減少し、下流でのみ確認されたアブラハヤ *Phoxinus logowskii steindachneri* とオイカワ *Zacco platypus* は全域に分布するようになり、アブラハヤは上流側で多く、オイカワは下流側で多く採集されるようになり、メダカ *Oryzias latipes* の増加も目立った。

1996年に多かったドジョウとフナ属は、一時的水域の水田あるいはそれに繋がる水路を産卵場などに利用する¹⁹⁾。1996年当時、阿久和川の上流から中流の広い範囲が、河川を生息場とする魚類の生息に不適な状況であっ

Table 1 Relative abundance of fish species in three sites at 1996 and 2008 on the Akuwa-gawa Stream.

		1996			2008		
		Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 3
Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>			+			+
	<i>Carassius</i> spp.		+	++	++	+	+
	<i>Carassius gibelio langsdorfi</i>	++		+			
	<i>Zacco platypus</i>			+	+	++	+++
	<i>Phoxinus logowskii steindachneri</i>			+	++	++	+
	<i>Pseudorasbora parva</i>			++	+	+	+
	<i>Gnathopogon elongatus</i>			+		+	+
Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+++	+++	+	+	+	+
Siluridae	<i>Silurus asotus</i>			+			+
Plecoglossidae	<i>Plecoglossus altivelis</i>			+		+	+
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>						+
Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>						+
Adrianichthyidae	<i>Oryzias latipes</i>			+	++	+	++
Gobiidae	<i>Gymnogobius petschiliensis</i>					+	
	<i>Rhinogobius</i> sp.CB			+		+	+
	<i>Rhinogobius</i> sp.LD					+	
	<i>Rhinogobius</i> sp.OR				+	+	
Number of individuals		14	36	168	118	375	320

The symbols are: + <10%, ++ ≥10<50%, +++ ≥50%.

Table 2 Results of Chi-square testing for difference in the composition of fish communities on three sites at 1996 and 2008.

	<i>df</i>	χ^2	<i>P</i>
Site 1	28	23.3	0.72
Site 2	46	44.4	0.54
Site 3	54	65.5	0.14

たが、流域に点在する水田が魚類の生息に関連していたと思われる。

2008年調査で示された一時的な水域を利用する種類の減少は、都市化によるこのような環境の消失や、水路の環境変化により生じることが指摘されている²⁰⁾。このような水路と河川との水面の連続性も、魚類に影響を及ぼす大きな要因となる²¹⁾。2008年の調査時に、上流から下流までの間で、阿久和川に流入する水路の末端は、平水時には例外なく落差となっており、水面の連続性はなくなっていた。

横浜市に隣接する川崎市内河川でも、1970年代後半にはフナが多く、1990年代後半にかけて種類数は増加し、オイカワやコイが目立つようになり、その要因として水質や河川構造の改善が挙げられている⁷⁾。また、水質汚濁が進行すると魚類の種類数は減少するが、密度は逆に大きくなり、フナの占める割合が増加する²²⁾。1996年に多く採集された種類は共に、BOD濃度の高いところにも分布し、フナ類とモツゴは2008年に多く採集されたオイカワと共に、やや汚れている水環境の指標に位置付けられている²³⁾。また、2006年に増加したアブラハヤとメダカ、それに加えて2006年に分布が拡大したアユは、オイカワなどより良好な水質の指標種とされている²³⁾。河川における遊離アンモニア濃度の低下がアユの遡上と関係していることも指摘されており^{24, 25)}、水質回復が阿久和川における魚類相変化の大きな要因となっていることを示している。

魚類相の変化には、改修に伴う河川形態の変化も要因のひとつとなっていることが伺える。改修により河道が拡幅し直線化された河川調査では、改修後にドジョウ、フナなどが減少し、オイカワが増加したが、ドジョウについては河床の泥や砂質の消失による土丹露出帯の増加と、河岸植物帯の減少、フナはそれらの後者が、オイカワでは平瀬の拡大がその要因のひとつとして指摘されている⁶⁾。河川改修により河川形態が単純化し、平瀬あるいは浅いトロ状になると、オイカワが優勢になる²²⁾。自然状態が維持された未改修区に比べて、直線化され浅い瀬が多くな

り開放環境となった改修区でオイカワの密度が大きき²⁶⁾、改修区がオイカワの分布の中心となっていることが指摘されている²⁷⁾。

阿久和川の上流では、1980年代後半の水質汚濁は著しく、水中の懸濁態有機物の多くが淵に堆積することにより、水質は下流側で改善する傾向が認められていた¹⁵⁾。1996年にSite 1の河床は土丹の上に砂礫が堆積していたが、有機物の蓄積も多かったことが推察され、中流でも同じような傾向があったと考えられる。その後の河川改修と水質の回復により、有機物の蓄積が少なくなると共に、河床は土丹が広く露出するようになった。このような、改修に伴う河床の変化、河床材料の移動と河床掘削による水際の植物の減少も、Site 1とSite 2におけるドジョウの変化に関連していると考えられる。また、他の多くの調査に示されているように、水深の浅いトロ状の流れに改修されたSite 3は、オイカワの生息に適した環境となっている。

阿久和川では、オイカワが下流側に分布しているのに対して、アブラハヤは上流側に分布するようになった。多自然改修された都市小河川では、オイカワの密度が最も大きく、次いでアブラハヤの密度が大きかったが、両種が共に広く分布し、アブラハヤはオイカワに比して上流側で密度が大きい傾向が見られている²⁸⁾。

落差工が多く設置された河川の、周縁性淡水魚と通し回遊魚の分布状況から、阿久和川で確認された種類では、ボラ*Mugil cephalus cephalus*、アユ*Plecoglossus altivelis*、スミウキゴリ*Gymnogobius petschiliensis*、トウヨシノボリ*Rhinogobius* sp.ORの順に河川構造物の影響が大きくなることが指摘されている²⁹⁾。阿久和川と同じ境川水系の支流では、シマヨシノボリ、オオヨシノボリ、トウヨシノボリなどのハゼ科の種類が生息し、それらのうちでトウヨシノボリが最も上流まで遡上していた²⁸⁾。

Site 2とSite 3の間に、1996年には3箇所落差工があったが、2008年には横断構造物は傾斜工1箇所のみとなった。また、そこからSite 1までの間に12箇所の落差工と傾斜工があり、高さはまちまちであるが最大1mの落差のものがある。この区間は1996年から2008年までの間に河川改修されていない。各地点で採集された通し回遊魚の種類数をFig. 3に示したが、下流からの遡上が容易なSite 2で通し回遊魚の種類数は多くなっている。そこからSite 1までの移動は容易ではないが、河川形態の影響が小さいトウヨシノボリはSite 1でも確認されるようになった。また、遊泳性のアブラハヤはSite 2だけでなく、Site 1でも多く分布するようになった。本来、このよう

な種類の上流への分布拡大は、横断構造物の影響を強く受ける。都市河川に特徴的な降雨時の雨水の大量流入に伴う水位上昇が、アブラハヤの上流への移動を可能としたのであろう。しかし、上流の種類数が少ないことに、横断構造物により水面が不連続となっている影響が示されている。

アユの分布にも横断構造物の影響がみられる。2008年にアユはSite 3だけでなく、Site 2にも分布していた(Table 1)。また、2008年11月にSite 2とSite 3で行ったアユの仔魚調査では、Site 3で仔魚が確認され、阿久和川でアユの産卵も行われていることが確認された。Table 3に2008年と2009年にSite 3で実施した市民共同調査結果をまとめたが、2008年にアユが採集されているのに対して、2009年には採集されなかった。この間に、柏尾川の改修工事により河床が掘り下げられ、柏尾川の阿久和川末端近くに、高さ1 m程度の落差工が造られた。2009年のアユが河川に遡上を始める春から8月上旬までの間、柏尾川の大きな水位上昇はなかった。8月10日の降雨で、初めて落差工の上下流で水面の高さはほぼ同じとなった。

2008年の調査で、過去に採集されていない種類が採集されるようになったが、それらの多くは、海から時折河川に入り込む周縁性淡水魚と河川と海とを行き来する通し回遊魚であった。新たに設置された落差工が、アユだけでなく、多くの周縁性淡水魚や通し回遊魚の遡上へ影響を及ぼすことが危惧される。

4. 3 底生動物の変化

底生動物は1996年に3地点で共に20種類に満たなかったが、2008年には40種を超え、各地点で種類数の変化は類似していた (Fig. 4)。

1996年と2008年に高い頻度で出現した種類をTable 4にまとめた。1996年には全地点でミズミズ科 *Naididae* gen. spp. が多く出現した。ミズミズ科は、横浜市の生物指標で指標種にはリストされていないが、汚濁階級指数は最も汚れた水質ランクに位置づけられている²³⁾。ミズミズ科以外に、サホコカゲロウ *Baetis sahoensis*、ユスリカのレオクリコトプス属 *Rheocricotopus* sp. とパラトリコクラディウス属 *Paratrachocladus* sp. が目立つ存在であった。2008年の底生動物組成は全域で1996年とは異なり (Table 5)、全地点で外来種のフロリダミズヨ

Fig. 4 Changes in the species richness of macroinvertebrate communities in three sites at 1996 and 2008 on the Akuwa-gawa Stream.

Table 3 Relative abundance of fish species collected in collaboration research with citizens at 2007 and 2008 on the Site 3 on the Akuwa-gawa Stream.

		Site 3	
		Jul. 2008	Jul. 2009
Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	コイ	+
	<i>Carassius</i> spp.	フナ属	+
	<i>Zacco platypus</i>	オイカワ	+++
	<i>Phoxinus logowskii steindachneri</i>	アブラハヤ	++
	<i>Pseudorasbora parva</i>	モツゴ	+
	<i>Gnathopogon elongatus</i>	タモロコ	+
Plecoglossidae	<i>Plecoglossus altivelis</i>	アユ	++
Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	カダヤシ	+
Adrianichthyidae	<i>Oryzias latipes</i>	メダカ	++
Gobiidae	<i>Rhinogobius</i> sp.CB	シマヨシノボリ	+
	<i>Trideniger brevispinis</i>	スマチチブ	+
Number of individuals		58	193

The symbols are: + <10%, ++ ≥10<50%, +++ ≥50%.

Table 4 Relative abundance of typical macroinvertebrate species in three sites at 1996 and 2008 on the Akuwa-gawa Stream.

			1996			2008		
			Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 3
Nainiidae	Naididae gen. spp.	ミズミミズ科	+++	+++	+++			
Asellidae	<i>Asellus hilgendorffii</i>	ミズムシ	+	+	+	+	++	+
Crangonyctidae	<i>Crangonyx floridanus</i>	フロリダマミズヨコエビ				++	++	++
Baetidae	<i>Baetis sahoensis</i>	サホコカゲロウ	++	+	+	+	+	+
	<i>Baetis</i> sp. H	Hコカゲロウ				+	++	+
	<i>Baetis</i> sp. J	Jコカゲロウ				+	++	+
Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i> sp.	ヒメトビケラ属				+	+	++
Philopotamidae	<i>Cheumatopsyche</i> sp.	コガタシマトビケラ属				+	+	++
Chironomidae	<i>Rheocricotopus</i> sp.	レオクリコトブス属	++	+	+			
	<i>Paratrichocladius</i> sp.	パタトリコクラディウス属	+	+	++			
Number of individuals			9,754	21,144	4,875	1,392	2,194	1,975

The symbols are: + <10%, ++ ≥10<50%, +++ ≥50%.

Table 5 Results of Chi-square testing for difference in the composition of macroinvertebrate communities on three sites at 1996 and 2008.

	df	χ^2	P
Site 1	154	182	0.06
Site 2	174	199	0.09
Site 3	158	161	0.42

コエビ *Crangonyx floridanus* が目立つようになり、ミズムシ *Asellus hilgendorffii*、Hコカゲロウ *Baetis* sp.H、Jコカゲロウ *Baetis* sp.J、ヒメトビケラ属 *Hydroptila* sp.、コガタシマトビケラ属 *Cheumatopsyche* sp. も目立つようになった。2008年に目立つようになった種類は、1996年に多く出現したイトミミズ科より良好な水質の環境に生息しており²⁹⁾、底生動物組成にも水質の回復傾向が認められる。

近年になって我が国に移入されたフロリダマミズヨコエビは、急激に分布が拡大していることが指摘され、横浜市内の河川でも、2000年に阿久和川が合流する柏尾川と境川で初めて採集された^{30, 31)}。フロリダマミズヨコエビは、暖かな水域に生息できることから、在来のヨコエビ類が生息できない環境にも分布を拡大する可能性が高いと指摘されている³²⁾。阿久和川の流入する柏尾川における近年（1990年～2000年代）の水温は、1970～1980年代に比べて、統計的に有意な差はない（ $P > 0.05$, One-factor ANOVA, $F=0.16$, $df=1, 23$, $P=0.69$ ）が、上昇傾向が見られる（Fig. 5）。このような柏尾川における水温の

Fig. 5 Changes in average water temperature of from 1976 to 1985 (n=10) and from 1998 to 2007 (n=10) on the downstream site of study area.

上昇は、阿久和川などの合流河川の水温を反映したものであり、阿久和川でも同じ傾向があると考えられる。その背景に、都市域での特異的な気温の上昇³³⁾、気温に依存して変動する都市河川の水温³⁴⁾がある。Fig.5に見られる水温の上昇傾向が、阿久和川でフロリダマミズヨコエビが多くなった要因と思われる。

横浜市内の河川全域を対象としたモニタリング調査結果を見ると、フロリダマミズヨコエビは2002年に鶴見川、帷子川、境川の6地点に分布し³⁵⁾、2008年にはその倍以上の13地点で生息が確認され、横浜市内でも急激に分布が拡大している。このような分布拡大に、下水処理水が流入する河川における水温の上昇³⁶⁾が関係していると考えられる。また、本調査におけるフロリダマミズヨコエビの高い出現頻度は、本種が他の河川でも底生動物群集

の多くを占める可能性があることを示している。

ミズミズ科は掘潜型の収集採集食者で、河床に蓄積された有機物を摂食する。ミズミズ科が1996年に目立ったのは、ドジョウの生息環境でふれたように、河床の有機物が多い環境となっていたことを反映したものと思われる。2008年にはSite 3で石の間などに巣を造る固着型のヒメトビケラ属とコガタシマトビケラ属が多く確認された。ここでは近年の河川改修で石が施設され、施設された石は沈み石の状態となり、ほとんど移動しない安定した状態となっている。河川の安定化に伴う造網型トビケラ類の増加は、ダム下流河川で多く観察されている現象である^{37, 38)}。ヒメトビケラ属やコガタシマトビケラ属の消長は、底生動物群集が河床材料の影響を受けていることを示している。

4. 4 付着珪藻の変化

河川の付着藻類群集は珪藻類、藍藻類、緑藻類などで構成されるが、都市河川では藻類群集の構成種は珪藻類が多い³⁹⁾。そのため、ここでは藻類群集を代表し、生態的情報が多い珪藻類を対象とした。1996年に確認された種類は、3地点で21~28種類で、魚類や底生動物より多い。また、2008年に各地点の種類数は、2.1~2.5倍の52

~58種類に共に増加した (Fig. 6)

クサビケイソウ *Gomphonema parvulum* とハリケイソウ *Nitzschia palea* が1996年の各地点で高い頻度で出現し、フネケイソウ *Navicula seminulum* の頻度が高い地点もあった (Table 6)。2008年の組成は全域で異なり (Table 7)、フネケイソウ *Navicula gregaria* が各地点で高い頻度となり、1996年に分布が確認されていないハリケイソウ 2種類 *Nitzschia fonticola* と *Nitzschia inconspicua* も、高い頻度で出現する地点があった。1996年に高い頻度で出現した種類が、横浜市内河川の珪藻群集で3%以上となった地点のBOD濃度の平均値は共に8 mg/l と高

Fig. 6 Changes in the species richness of periphytic diatom communities in three sites at 1996 and 2008 on the Akuwa-gawa Stream.

Table 6 Relative abundance of typical periphytic diatom species in three sites at 1996 and 2008 on the Akuwa-gawa Stream.

			1996			2008		
			Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 3
Melosiraceae	<i>Melosira varians</i>	チャヅツケイソウ				++	+	++
Diatomaceae	<i>Diatoma vulgaris</i>	イタケイソウ				+	+	+
Naviculaceae	<i>Gomphonema parvulum</i>	クサビケイソウ	+++	+++	+++	+	+	+
	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	クサビケイソウ	++	+		+		
	<i>Navicula gregaria</i>	フネケイソウ	+		+	+++	+++	+++
	<i>Navicula seminulum</i>	フネケイソウ	++	+++	+		+	
	<i>Navicula ventralis</i>	フネケイソウ				+	+	+
Achnanthaceae	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>saprophila</i>	マガリケイソウ	+	++				
	<i>Cocconeis placentula</i>	コバンケイソウ				+	+	+
	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	マガリクサビケイソウ				++		+
Nitzschiaceae	<i>Nitzschia fonticola</i>	ハリケイソウ				+++	+++	+
	<i>Nitzschia inconspicua</i>	ハリケイソウ					+	+++
	<i>Nitzschia palea</i>	ハリケイソウ	+++	+++	+++	+	+	+
	<i>Nitzschia paleacea</i>	ハリケイソウ				++	+	+
Number of cells (/ mm ²)			144	2,220	2,700	35,400	33,000	262,00

The symbols are: + <5%, ++ ≥5<10%, +++ ≥10%.

Table 7 Results of Chi-square testing for difference in the composition of periphytic diatom communities on three sites at 1996 and 2008.

	df	χ^2	P
Site 1	216	247	0.07
Site 2	38	52.4	0.06
Site 3	198	224	0.10

く²³⁾、東京都の生物指標でこれらの種類は最も汚濁が進んだ段階の指標種とされている⁴⁰⁾。それに対して、2008年に多くなった*Navicula gregaria*の場合、BOD濃度の平均値は3.5mg/lである²³⁾。河川珪藻群集の種多様性の回復は、河川水が減少する冬季の水質改善が進み、BOD濃度が6 mg/l程度に低下すると、河川珪藻群集の種多様性が増大し、汚濁に適応しない種類の増加に伴う群集構造の変化はその後に生じている¹²⁾。これらは、2008年に各地点で形成されていた珪藻群集は、水質の改善を反映したものであることを示している。

珪藻類の種類数の増加は約2.5倍までであったが、底生動物のそれは2.5倍以上で、地点別には0.5倍以上の相違がある。これは河川の水質回復期における水と川底の状況が異なることを示唆するものである。1996年のBOD濃度は5 mg/lで、それ以前に比べて、水質の回復が進んでいることは明らかである。しかし、底生動物群集の特徴に見られるように、川底には有機物が多く蓄積し、生物の生息環境としては水と川底とはかなり異なる状況となっていた。その後、流入する有機物の減少、期間中の大きな攪乱により、水質の回復は更に進んだが、有機物の減少による川底環境の回復はより大きかったことが、珪藻類と底生動物における種類数の変化に現れている。

また、水質回復に伴う珪藻群集の変化から、自然環境の再生の進行について、冷水性種を指標とした季節性の再現により検討されている³⁶⁾。2008年には冷水性のイタケイソウ*Diatoma vulgaris*が、上流から下流まで分布するようになった。このような冷水性種の出現は、阿久和川の広い範囲で、藻類群集に季節的な特徴が現れるようになったことを示している。

5. まとめ

横浜市内を流れる小河川の阿久和川を対象に、近年における水環境と生物生息の変化、生物分布と環境との関係を明らかにするため、1996年と2008年に上流から下流の地点で調査を行った。

阿久和川の河川水量は減少している傾向がみられた。1996年における水質は、それ以前に比べて回復し、BOD濃度は5 mg/l前後であった。2008年には水質の回復がさらに進んでBOD濃度は2 mg/l以下となった。

魚類は1996年の2～13種類から2008年には7～14種に増加し、上流と中流における増加が顕著であった。過去にはドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*、フナ属 *Carassius* spp.、モツゴ *Pseudorasbora parva*が多かったが、オイカワ *Zacco platypus*、アブラハヤ *Phoxinus logowskii steindachneri*、メダカ *Oryzias latipes*が多く出現するようになった。魚類相の変化や分布状況に、水質だけでなく、河川形態、河床材料、横断構造物が関係していることが示された。

底生動物の種類数は各地点で2.5倍以上増加し、40種類以上が確認されるようになった。1996年にはミズミズ科 *Naididae* gen spp.が多く出現したのに対して、2008年には外来種のフロリダミズヨコエビ *Crangonyx floridanus*が目立つようになった。このような底生動物の変化に、水質の回復、河川改修に伴う河床材料の変化、水温上昇が影響を及ぼしていることが示唆された。

付着珪藻類の種類数も各地点で2倍以上増加し、52～58種類が確認された。クサビケイソウ *Gomphonema parvulum*とハリケイソウ *Nitzschia palea*が1996年に多かったが、2008年にはフネケイソウ *Navicula gregaria*が多くなり、群集構造に水質回復を反映した変化と共に、季節的な特徴が現れるようになった。

謝 辞

横浜市環境科学研究所の樋口文夫博士には現地調査に協力いただくと共に、本稿に対して多くの助言をいただいた。ここに記して深謝する。

引用文献

- 1) 水環境ビジョン懇談会：これからの水環境のありかた・失われた「水と人との関係」の回復と新たな展開を目指して、環境庁水質保全局、112pp、(1995)
- 2) 河川審議会：河川審議会答申「今後の河川環境のあり方について」、15pp、(1995)
- 3) 国土交通省河川局河川環境課・治水課：多自然型川づくりの10年、河川、2001 (10)、27-32、(2001)
- 4) 多自然川づくりレビュー委員会：多自然川づくりへの展開（これからの川づくりの目指すべき方向性と推進のための施策）、10pp、(2006)
- 5) 環境省自然環境局自然環境計画課：新・生物多様性国家戦略、268pp、(2002)
- 6) 島谷幸宏・小栗幸雄・萱場祐一：中小河川改修前後

- の生物生息空間と魚類相の変化、水工論文集、38、337-344、(1994)
- 7) 丸山朝子・喜内博子・柎一成・張山嘉道：川崎市河川の魚類と底生動物分布の推移 (1977-2000)、川崎市公害研究所年報、28、22-28、(2001)
 - 8) 渡邊光一・佐藤孝司・東信行：青森県における小河川魚類の群集構造変化とその要因について～1980年代と2000年代の比較～、応用生態工学会第11回研究発表会講演集、83-86、(2007)
 - 9) 後勢久右衛門：大和吉野川における瀬の底生動物群集の遷移、日本生態学会誌、18、147-156、(1968)
 - 10) 風間真理・土屋十圓・平井正風：河川改修や洪水の攪乱がベントスに与える影響とその評価に関する研究、河川技術に関する論文集、6、107-112、(2000)
 - 11) Brown, B. J. and Olive, J. H.: Diatom communities in the Cuyahoga River (USA): change in species composition between 1974 and 1992 following renovation in wastewater management, *Ohio J. Sci.*, 95, 254-260, (1995)
 - 12) Fukushima, S. and Fukushima H.: Effects of reduction of sewage effluent on periphytic diatom assemblage in a lotic system, *Diatom*, 13, 93-103 (1997)
 - 13) 福嶋悟・奥山美峰・青木節男・福島博：他水系の水が流入する都市河川における水質回復に伴う珪藻群集の長期的変化、*Diatom*、16、27-36 (2000)
 - 14) 風間真理・和波一夫：都内河川における水生生物と水環境の変化、用水と廃水、40、1047-1052 (1998)
 - 15) 小市佳延・福嶋悟・福島博：都市河川における自浄作用 (第3報) —舞岡川・阿久和川・鳥山川—、横浜市公害研究所報、14、85-95 (1990)
 - 16) 渡辺亮一・島谷幸宏・山崎雅義・梶谷憲靖：裂田水路における水際構造の違いが水生生物に与える影響に関する研究、応用生態工学会第9回研究発表会講演集、55-57 (2005)
 - 17) 秋野淳一・佐川志朗・矢崎博芳・真田誠至・青木繁幸・萱場祐一：新境川における河川護岸タイプの類型化と魚類生息量の季節変化、応用生態工学会第11回研究発表会講演集、93-96 (2007)
 - 18) 佐川志朗・萱場祐一・秋野淳一・青木繁幸・大森徹治：ショートカット河道における増水時の魚類の避難場所特性、土木技術資料、51(3)、12-15 (2009)
 - 19) 斉藤憲治・片野修・小泉顕雄：淡水魚の水田周辺における一時的水域への新入と産卵、日本生態学会誌、38、35-47 (1988)
 - 20) 片野修：魚類保全の視点からみた水田生態系、滋賀県琵琶湖研究所報、19、72-76 (2004)
 - 21) 田代優秋・上月康則・佐藤陽一・大久保美知子・村上仁士：都市近郊農業水路の魚類群集に及ぼす水路構造と河川との連続性の影響、水工学論文集、50、1219-1224 (2006)
 - 22) 水野信彦・後勢久右衛門：河川の生態学、生態学研究シリーズ2、245pp、築地書館、東京 (1972)
 - 23) 横浜市環境保全局：河川生物指標改訂に関する報告書、136pp (2005)
 - 24) 風間真理・小倉紀雄：神田川におけるアユ遡上の水質要因に関する研究、水環境学会誌、24、745-749 (2001)
 - 25) 松尾光郎・武下明義・関根雅彦・中島美行・浮田正夫：水質汚濁がアユの行動に与える影響の定量解析、第39回環境工学研究フォーラム講演集・2002、125-127 (2002)
 - 26) 樋口文夫・水尾寛己・福嶋悟・前川渡：いたち川中流域の多自然型改修区と未改修区における魚類の分布様式、大岡川・境川水系生態調査報告書、横浜市環境科学研究所、環境研資料123、101-127 (1996)
 - 27) 樋口文夫・水尾寛己・福嶋悟・前川渡：多自然型河川の魚類分布様式—オイカワとアブラハヤ—、水、40(10)、16-23 (1998)
 - 28) 樋口文夫・福嶋悟・小市佳延・下村光一郎：和泉川の魚類流程分布と河川環境、横浜市環境科学研究所報、32、62-72 (2008)
 - 29) 樋口文夫・福嶋悟・宇都誠一郎：大岡川の人工構造物による魚類流程分布に与える影響に関する調査報告、横浜市環境科学研究所報、29、30-57 (2005)
 - 30) 金田彰二・倉西良一・石綿進一・東城幸治・清水孝男・平良祐之・佐竹潔：日本における外来種フロリダミズヨコエビ (*Crangonys floridanus* Bousfield) の分布の現状、陸水学雑誌、48、449-460 (2007)
 - 31) 倉西良一：多摩川に侵入した外来動物『フロリダミズヨコエビ』の分布・分散の現状と生態系への影響予測、財団法人東急環境浄化財団、96pp (2009)
 - 32) 竹門康弘：外来淡水産底生無脊椎動物の進入実態と防除に向けた課題、陸水学雑誌、68、445-447 (2007)
 - 33) 倉林輝世・福田亜佐子：横浜市におけるヒートアイランド現象が及ぼす熱中症や動植物への影響、横浜市環境科学研究所報、29、92-96 (2005)
 - 34) 中室克彦・奥野智史・高田聡子・田口寛・井上知明・上田彬博・福永勲・加賀城直哉・服部幸和・厚井弘志：都市河川水の水温に及ぼす下水処理場放流水の影響、水環境学会誌、29、177-181 (2006)
 - 35) 金田彰二・福嶋悟：横浜市内河川の底生動物相 (第10報、2002～2003年)、横浜の川と海の生物 (第10報・河川編)、83-108、横浜市環境保全局 (2004)
 - 36) 福嶋悟：都市河川の珪藻群集における季節性の再生、*Diatom*、20、171-178 (2004)
 - 37) 波多野主亮・竹門康弘・池淵周一：貯留ダム下流の環境変化と底生動物群集の様式、京都大学防災研究所年報、48B、919-933 (2005)
 - 38) 松井明：大石ダムが下流河川の底生動物群集 (特に造網型トビケラ類) に及ぼす影響、応用生態工学、11、175-182 (2008)
 - 39) 福嶋悟：都市河川における付着藻類群集の長期的変遷、水処理技術、48、103-110 (2007)
 - 40) 東京都環境保全局水質保全部：東京の生きものと環境—河川水生生物総合解析調査報告書— (その2)、413pp (1998)

(受付 2009.11.19)

(受理 2009.12.27)