

# 人工干潟湖における生物による浄化について

木村賢史 三好康彦 嶋津暉之

## 要 旨

東京港野鳥公園の潮入りの池を対象に、生物による浄化能について検討を行った。その結果、池の底質の泥質化が進み、アサリ等の二枚貝や付着動物の減少を招いており、自然生態系や浄化能の維持という点では支障がある。また、底質は、地域によって野鳥の糞による影響が現れていた。生物相は、魚類を除いて、概ね都内湾の浅瀬や人工海浜の生物相と遜色ない種類数を維持していた。

底生動物等による自然浄化量は、7月に25.2kg/日の浄化量を示したが、池内の内部生産量が大きく、収支では10kg/日の流出増であった。一方12月は、底生動物等による自然浄化量と池内での内部生産量とがほぼ均衡しており、流入・流出水の水質には変化として現れなかった。また、7月と12月の底生動物等による浄化量を比較すると、冬季の浄化量は、夏季の約1/16に低下することが明らかとなった。

さらに、砂泥中の脱窒素能を算定した結果、7月では、池内の自然浄化量のうち、寄与率は約30%にも及ぶが、12月は脱窒素量(9.3kg/日)を上回る負荷が池内で発生していた。

潮入りの池を自然生態系を保全し、安定した浄化能を維持するという視点から検討した場合、①海水の交換をより円滑にするとともに、多様な生物が容易に出入りできるようにすること、②泥質化した干潟部や池内は、浚渫と覆砂、砂利浜では石の投入による生物付着面積の拡大により底質の改善を図る等の対応が必要となる。

On the Purification by Living Creatures in Artificial Lagoons

Kenshi Kimura, Yauhiko Miyoshi and Teruyuki Shimazu

## Summary

Purification ability by living creatures was examined at the tidal pond in Bird Park of Tokyo Port. It was found that due to deposits of bivalve and adhesion of short-necked clams, the pond became muddy and animals decreased. As such, there was a hindrance in maintaining the natural ecosystem and purification ability. In addition, the deposits showed the presence of faeces of wild bird at some areas. The biota maintained in this system showed that they were not inferior to the shallows or artificial beach inside Tokyo bay, except fish, in general.

COD purification by benthic animal was 25.2 kgs/day in July where the yielded load was higher by 10 kgs. In December, purification amount and yielded load were in balance and variation of water quality by inflow and outflow was not observed. Comparing the COD purification ability in July and December, the purification ability in winter is reduced by 1/16th with that of summer.

To maintain the stable purification ability and to keep the natural ecosystem of the pond in good condition, the following steps are needed.

- ① Smoother exchange of seawater which would facilitate various creatures to move in and out easily.
- ② The muddy deposits must be removed by dredging and covering by new sand. By having new stones in the gravel beach, the adhesive area could be increased that could magnify adhesion animals and algae. It is necessary to reject the accumulation of pollution substances by measures such as cut-off reeds in winter and expansion of tideland part and gravel beach area.

1 はじめに

自然とのふれあいを求めて今、都市部を中心に人工潟湖を有する公園や野鳥公園が整備されつつある。これらの人工潟湖は、規模は比較的小さいものの、干潟や砂利浜、葦原等も人工的ながら配置され、より自然に近い形での潟湖が形成されている。最近、開発行為による自然環境の減少に対する代償措置として、ミチゲーションという考え方が検討されているが、ここで問題となるのは、ミチゲーションによって、従来存在した自然生態系の機能、例えば、生物による浄化能が修復されるのかということである。

これらの課題のいくつかを検討するために、比較的小規模で、かつ水界の物質収支を把握し易い人工潟湖を対象に調査し、若干の知見を得たので報告する。

2 調査対象

東京都内湾の大井の埋立地に立地する東京港野鳥公園

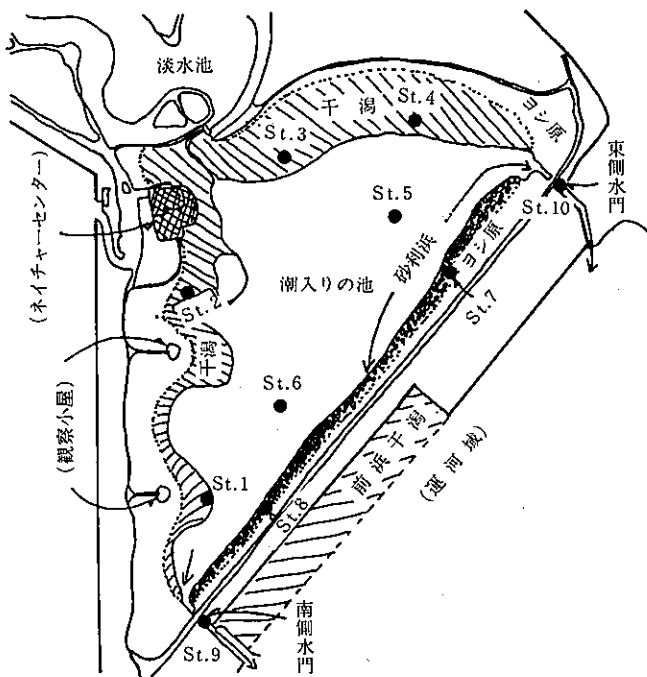


図1 調査地点

内の潮入りの池（汽水池）を調査対象とした。池の面積は、水界部 16378㎡、干潟部 24718㎡、砂利浜7340㎡の計 48436㎡である。池の東側と南側に2か所水門があり、この水門によって、東京湾の海水が潮の干満により出入りしている。また、潮入りの池の上流側には淡水の池があり、豪雨時には淡水が流入してくる。通常は、水門によって仕切られ淡水の流入はほとんどないが、若干の淡水は地層を透して浸出している。水深は浅く、平均水深は1m前後で、最深部でも2m未満である（図1）。

3 調査方法

(1) 水質・底質及び底生動物調査

調査は、図1に示す10地点を、7、9、12、3月の4回行った。物理化学分析用の海水と砂泥のサンプル採取、底生動物の定量調査のための採泥を行った。採泥は、水界ではエクマンバージン型採泥器で1地点6回（採泥面積 0.135㎡）、干潟部は、スコップで4回一定面(0.768㎡)を採泥し、1回分を底質の物理化学分析用に、残りを底生動物の定量調査に用いた。底泥は、1mmメッシュの篩にかけ、回収された底生動物を約7~8%のホルマリンで固定し、測定用試料とした。底生動物は種の同定と個体数・湿重量の計測を行った。底質の分析では、底質COD、強熱減量、全硫化物、酸化還元電位(ORP)、粒度組成、窒素、りんを測定した。分析は、粒度組成がJIS A 1204、他の項目は底質調査法IIに従った。水質は、COD、窒素、りん、クロロフィルa、植物カロチノイド、TOC等10項目を測定した。このうち、クロロフィルa、植物カロチノイドはPERSONS&STRICKLAND(1961)の改良法(西条)で分析した。

同時に地点水域の水深、水温、PH、塩分、DO(溶存酸素量)を測定するとともに、水門でCOD、窒素、りん、流速等の連続測定を行い、物質収支を把握した。

(2) 底質の脱窒素速度測定の実験

干潟部4地点、池内2地点の砂泥を直径5cm、高さ60cmの円筒型アクリルパイプに高さ5cmのコアサンプルと

して採取し、上部海水を新鮮な海水と置換した後、ヘリウムガス(0.5ℓ/min)で、1回5分間の残存ガス追い出しを2回行い、実験用検体とした。実験(図2)は、20℃で2日間静置後、再びヘリウムガスで発生ガスを追い出し、採取用バッグに捕集して、TCDGCで窒素ガスを測定した。同様に、さらに3日後の窒素ガスも測定した。

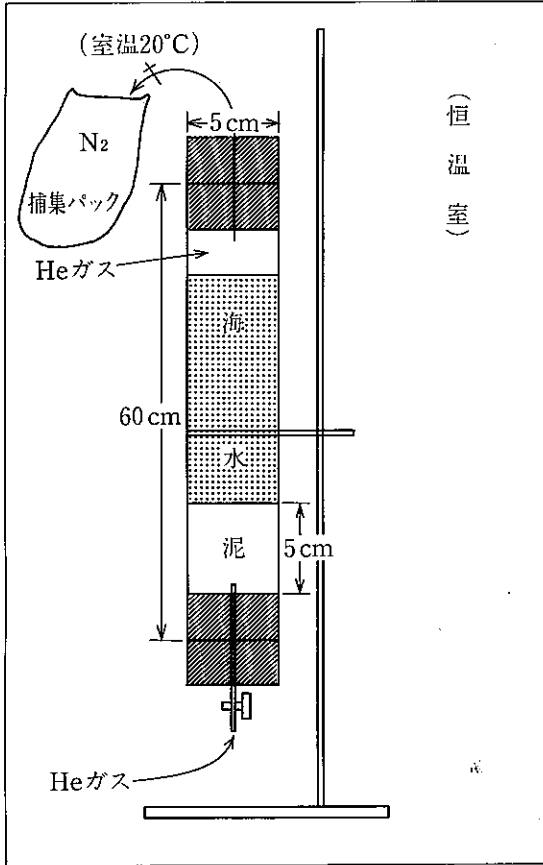


図2 底泥の脱窒素速度実験

#### 4 結果と考察

##### (1) 潮入りの池の現況

###### ア 水質

潮入りの池内の季節別水質変化を表1に示す。7月は、月平均のCOD、TOC、T-Nいずれも他の月に比べて高く、特に、COD、TOCは2~3倍高い値を示している。その後、水温の低下する秋、冬に向かうとともに低下していく。7月に高い値を示す原因は、クロロフィルaの変化からもプランクトンの影響が強いと考えられる。7月の全CODに占める懸濁性COD、同じく懸濁性TOCの比率が、他の季節に比べて最も高いが、この値がプランクトンによるものとする、7月のCOD、TOCの4~5割はプランクトンの発生によって説明できる。なお、溶解性CODやTOCの中にはプランクトン起因性のものが一部含まれるため、実際のプランクトン起因性COD、TOCは4~5割をさらに上回ることが推測される。

また、野鳥の飛来が急増する12月(図3)の水質をみると、T-Nが各月のなかで最も高く、しかもその99%はTDN(溶解性全窒素)である。りんについても、TDP(溶解性全りん)が高く、野鳥の糞による影響が推定される。

次に、南側水門での7月と12月のCOD、クロロフィルa、植物カロチノイドの時間変動を検討する(図4、5)。7月は、池外への流出が止まる1-2時間前後からCOD、クロロフィルa、カロチノイドの値が急激に高まるが、これは、池内の海水の減少に伴う底泥の巻き上げによるものである。その後、流出から流入に転換し、水質は低下していくが、特に、夜間の水質は、流入、流出にかかわらず低下が著しい。このような傾向は、程度

表1 潮入りの池内の水質の概況

	7月		9月		12月		3月	
	平均	(最小~最大)	平均	(最小~最大)	平均	(最小~最大)	平均	(最小~最大)
PH	8.48	(8.1~8.6)	7.46	(7.2~7.8)	7.66	(7.5~7.7)	8.1	(7.8~8.6)
COD (mg/l)	12.3	(8.1~18.1)	6.2	(5.4~8.0)	5.0	(4.7~5.3)	4.3	(3.6~5.6)
濾過COD(%)	6.3	(4.6~9.8)	3.5	(3.3~3.9)	4.1	(3.7~4.5)	3.2	(2.7~3.7)
TOC (%)	7.2	(5.1~10.4)	3.2	(2.7~4.2)	2.4	(2.2~2.6)	2.8	(2.5~3.2)
濾過TOC(%)	4.0	(3.7~4.2)	2.6	(2.4~2.7)	2.4	(2.4~2.7)	2.6	(2.3~2.9)
T-N (%)	3.69	(3.32~4.27)	2.45	(2.08~2.86)	5.43	(4.83~5.96)	4.25	(3.19~5.51)
TDN (%)	2.81	(2.5~3.2)	2.42	(1.97~2.83)	5.39	(4.80~5.90)	4.16	(3.08~5.40)
T-P (%)	0.47	(0.37~0.57)	0.36	(0.32~0.44)	0.40	(0.34~0.43)	0.24	(0.22~0.29)
TDP (%)	0.24	(0.16~0.30)	0.29	(0.27~0.31)	0.38	(0.31~0.42)	0.24	(0.31~0.42)
PO4-P (%)	0.22	(0.15~0.26)	0.24	(0.21~0.27)	0.36	(0.29~0.40)	0.17	(0.15~0.22)
NH4-N (%)	0.36	(0.28~0.48)	0.89	(0.81~1.02)	3.48	(2.93~3.82)	2.39	(1.38~3.36)
NOx-N (%)	1.10	(0.94~1.26)	0.81	(0.57~0.98)	1.85	(1.62~2.01)	1.16	(1.02~1.42)
クロロフィルa (mg/m <sup>3</sup> )	137	(92~207)	19.1	(4.4~32.0)	1.1	(0.4~3.1)	3.8	(1.2~8.0)

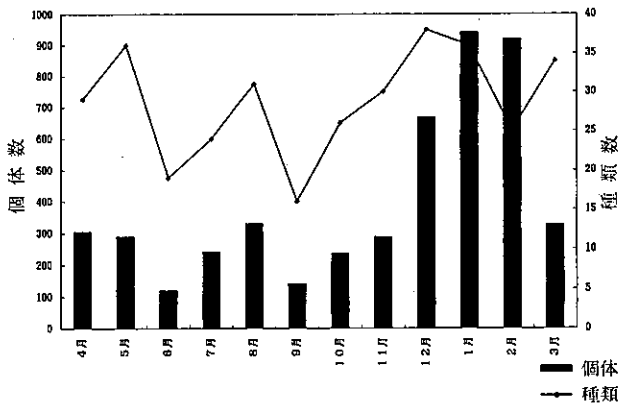


図3 潮入りの池における野鳥の種類数・個体数の月別変化 (1994年)

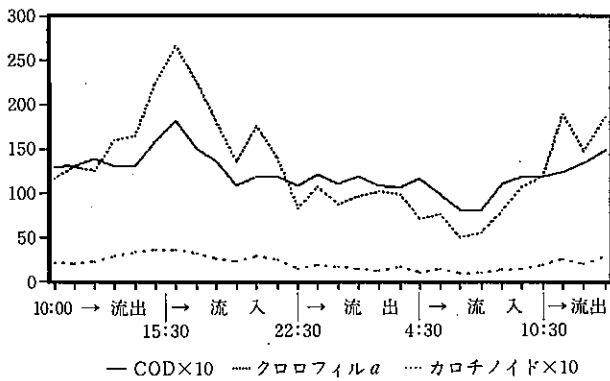


図4 潮入りの池の夏季の水質日間変動 (7月)

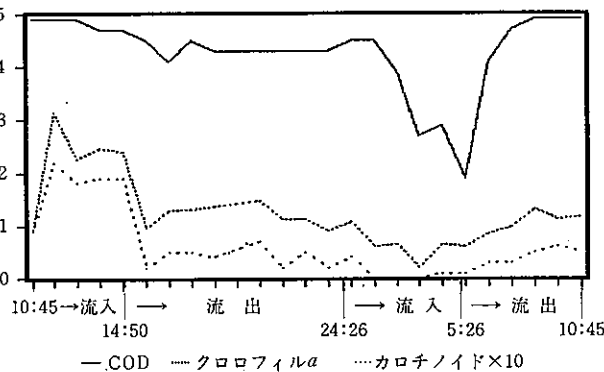


図5 潮入りの池の冬季の水質日間変動 (12月)

の差はあるものの12月でも見られる。この原因として、夜間におけるプランクトンの垂直移動が考えられる。移動能力のあるプランクトンの多くは趨光性を有しており、夜間は下層に分散するが、夜明けとともに表層に集まる。このため、夜間に流入流出する表層水中のプランクトンは、極めて少ないことが予想される。このことは、クロロフィルa やカロチノイドの変化からも読み取れる。12月の水質変化では、7月に比べてCODとクロロフィルa、カロチノイドとの関連性が弱く、CODがクロロ

フィルを有するプランクトン以外のものに依存していることがわかる。

イ 底質

底質環境を地点毎 (表2) にみると、干潟部に比べて池内のST5、6は底質COD、T-N、T-P、T-S (全硫化物)、強熱減量いずれも高く、有機汚濁が進んでいる。しかし、野鳥の糞と池外からの汚濁物の流入以外、特に発生源を有していないため、濃度的には、最大で底質COD 8mg/g、T-N 1.3mg/g、T-P 0.72mg/g、T-S 0.36mg/g、強熱減量7.4%と、都内湾の底質と比べると低い。ただし、シルト・粘土分は、干潟部で平均31%、池内65%と、自然干潟 (盤洲干潟や三番瀬では3%前後) と比べるとかなり高い比率であり、また野鳥公園側の調査でも底質の泥質化が進んでいると報告している。

表2 潮入りの池の底質の概況 (4回調査の平均値)

	底質COD (mg/g)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	全硫化物 (mg/g)	強熱減量 (%)	シルト粘土分 (%)
St. 1	3.4	0.40	0.31	0.03	2.6	27
St. 2	2.7	0.40	0.33	0.03	2.4	26
St. 3	3.8	0.61	0.44	0.05	3.4	35
St. 4	3.7	0.57	0.43	0.06	3.3	39
St. 5	6.5	1.09	0.61	0.21	6.5	75
St. 6	6.5	0.92	0.49	0.13	5.2	55
平均	4.4	0.67	0.44	0.06	3.9	43

\* St. 1 ~ 4 は干潟部、St. 5, 6は池内の地点。

全地点の平均値で見ると、底質COD 4.4mg/g、T-N 0.67mg/g、T-P 0.44mg/g、T-S 0.06mg/g、強熱減量3.9%であり、三枚洲や葛西人工海浜 (西) の平均底質COD 1~3 mg/g、T-N 0.1mg/g、T-P 0.2mg/g、T-S 0.1mg/g未満、強熱減量2%前後と比べると、若干高目である。

次に、野鳥の糞による影響を検討する。野鳥が多く集まるのは、12~2月 (図3) であり、この3か月で平成6年度に潮入りの池に飛来した鳥の個体数4796羽の5割以上を占める。したがって、この時期は、野鳥の糞による底質への影響も大きいと考えられる。野鳥の糞にはT-P、T-Nが多く含まれることから、T-P、T-Nの月別

・地点別変化をみると、12月の干潟部ST3、4及び、池内のST5が他の月、地点に比べて全般的に高い値を示していた。これらの月、地点は、野鳥の飛来が集中し、かつ野鳥の数が多く確認される月、地点と一致している。

#### ウ 生物相

潮入りの池の生物相をみると、人工的に造成したにもかかわらず、比較的種の多様性は高い。

野鳥の過去3年の種類数と個体数の経年変化<sup>1)2)3)</sup>をみると、種類数で66~71種と比較的安定しているのに対して、個体数は3517~7667個体と変化が大きい。種類数は、環境保全局<sup>4)5)6)</sup>の確認種類数(多摩川河口等7か所での総確認種類数は、平成3~5年度で44~52種)を上回っており、人工的に造成した公園ながらも、その機能を十分に果たしている。月別の変化では、前述したように渡り鳥の飛来が集中する12~2月に、個体数、そして種類数も概ねピークがあり、池の水域環境への影響がまた大きい季節でもある。また、この時期は、鳥による底生動物等の生物の捕食量も多いと考えられることから、生物による浄化能にも影響を及ぼす。本調査では、鳥による捕食が、池の浄化にプラス、あるいはマイナスに寄与するかは明らかにできなかったが、ゴカイ等の底生動物の生活環の短いことや汚濁物を摂取して成長した底生動物等の系外への排除という点から考えて、池の浄化に有利に働いていると推測される。

生息魚類については、野鳥公園側の調査結果<sup>1)2)3)</sup>によると、ボラ、マハゼが優占しており、これらを中心に平成4年度5科7種、5年度5科7種、6年度7科10種を確認している。一方、環境保全局が毎月調査している結果<sup>4)5)6)</sup>では、葛西人工海浜で平成3年度17科31種、4年度16科35種、5年度12科24種を確認しており、当データと比較すると潮入りの池の種類数は少ない。この原因として、捕獲方法の違いによる影響とともに、潮入りの池の立地要因、すなわち①海水の出入りが幅3mの2か所の水門のみであること②水門には、一部改善されているとはいえ、浮遊物流入防止のための格子が付いており、小型魚以外の出入りが難しいこと③水門が運河部の行き止まりに位置しているため、水の流れも弱く内湾性の強い魚種以外は出入りする機会がないこと等も関係していると考えられる。

なお、かつては、東京湾の干潟に普通にみられたものの、現在は限られた水域のみとなったトビハゼが、潮入

りの池では平成4年度<sup>1)</sup>に、葛西人工海浜<sup>4)</sup>では平成3年度に初めて確認されており、人工的に造成した環境でも種の多様性に貢献していることがわかる。

付着動物を含めた底生動物では、筆者らの一定枠内の現存量調査(出現種類数の確認には不十分な面もある。)によると、干潟・池底部で26種、砂利浜36種をあわせた総種類数は50種であった(表3、4)。干潟部・池内の種類数は、夏季から冬季、春季に向かって増える傾向にあるのに対して、個体数は9月に減少した後増加しているが、湿重量は減少傾向を示しており、水温の低下と共に1個体当たりの小型化が進んでいく。これは、水温の低下に伴う大型個体の沖合やより深い巣穴への移動による捕獲数の減少と初冬から春季にかけて再生産された小型個体数の増加の結果である。一方、砂利浜では、冬季に種類数が減少し、春季に再び増加するという傾向がみられる。湿重量もほぼ同様の傾向で、冬季に7、9月の約1/10に減少するが、繁殖期に当たる3月に再び増加するというパターンを示している。

ちなみに、同様の方法による自然干潟の盤洲干潟<sup>7)</sup>の種類数は80~95種であり、潮入りの池の1.6~2倍の種類数であった。一方、野鳥公園側の干潟部のみの種類数確認調査<sup>1)2)3)</sup>では、平成4年度31種、5年度28種、6年度25種を確認しており、双方の調査をあわせると、潮入りの池は合計で70種前後の底生動物が生息しているものと考えられる。横浜市金沢地区の人工海浜や広島県の五日市人工干潟<sup>8)</sup>での種類数確認調査では、80~100種を確認しており、人工海浜(干潟)と遜色ない種類数を維持している。

なお、潮入りの池ではコメツキガニ、チゴガニ、クロベンケイガニ等、カニが11種出現している。採取方法の違いはあるものの、環境保全局が平成5年度に行った葛西人工海浜等16か所の底生動物調査<sup>9)</sup>で確認された種類数5種と比べても、2倍以上の出現数であり、カニにとっては良好な生息環境といえる。

現存量(湿重量)をみると、4回の調査いずれも干潟・池底部ではゴカイとイトゴカイ科のCapitellidaeが70~93%を、砂利浜ではコウロエンカワヒバリとマガキが67~95%を占めており、特定の数種によって現存量が維持されている。

底質の泥質化に伴い、砂質を好むアサリやシオフキ等の二枚貝の減少と砂泥質を好むゴカイ等の多毛類の増加

表3 干潟部及び池内（6地点平均）の底生動物の概要

	7月	9月	12月	3月	平均
種類数	12	14	15	18	26(総数)
個体数(/m <sup>2</sup> )	3754	1911	2199	2482	2586
湿重量(g/m <sup>2</sup> )	371.75	185.02	115.59	27.61	174.99
優占種 (個体数/m <sup>2</sup> )	①Neanthes japonica (ゴカイ) <2996> ②Melita sp. <462> (ヨコエビ科) ③Capitellidae <240> (イトゴカイ科)	①ゴカイ <1063> ②イトゴカイ科 <569> ③ヨコエビ科 <215>	①イトゴカイ科 <1334> ②ゴカイ <774> ③ヨコエビ科 <32>	①イトゴカイ科 <1334> ②Pseudopolydora sp. (スピオ科) <179> ③ゴカイ <125>	
湿重量上位種 (g/m <sup>2</sup> )	①ゴカイ <258.49> ②Macrophthalmus japonicus (ヤマトオサガニ) <70.14> ③Ruditapes philippinarum (アサリ) <39.44>	①ゴカイ科 <168.52> ②イトゴカイ科 <3.99> ③アサリ <3.73>	①ゴカイ科 <97.21> ②イトゴカイ科 <10.06> ③Musculus senhousia (ホトギスガ) <3.19>	①イトゴカイ科 <13.18> ②ゴカイ <8.21> ③アサリ <1.99>	

表4 砂利浜（2地点平均）の付着動物の概要

	7月	9月	12月	3月	平均
種類数	22	16	10	23	36(総数)
個体数(/m <sup>2</sup> )	29036	9629	4804	11691	13790
湿重量(g/m <sup>2</sup> )	13356.81	15158.55	1570.42	11125.27	10302.76
優占種 (個体数/m <sup>2</sup> )	①Corophium sp. (コウロエンカワヒバリ科) <18603> ②Neanthes succinea (イトゴカイ科) <1693> ③Limnoperna fortunei kikuchi (コウロエンカワヒバリ) <1250>	①Balanus amphitrite hawaiiensis (タテジマフジツボ科) <4783> ②コウロエンカワヒバリ <2544> ③マガキ <573>	①コウロエンカワヒバリ <1710> ②タテジマフジツボ <1945> ③Balanus amphitrite albicostatus (タテジマフジツボ科) <356>	①Corophium sp. (コウロエンカワヒバリ科) <6190> ②コウロエンカワヒバリ <1979> ③タテジマフジツボ <1728>	
湿重量上位種 (g/m <sup>2</sup> )	①Crassostrea gigas (マガキ) <10939.07> ②Limnoperna fortunei kikuchi (コウロエンカワヒバリ) <1820.31> ③Balanus improvisus (ヨコエビ科) <436.37>	①マガキ <11842.63> ②コウロエンカワヒバリ <2135.42> ③タテジマフジツボ <975.35>	①マガキ <593.93> ②コウロエンカワヒバリ <459.12> ③タテジマフジツボ <326.39>	①マガキ <8387.76> ②コウロエンカワヒバリ <1935.33> ③タテジマフジツボ <646.36>	

という現象が顕在化しつつある。また、砂利浜の石の半分程度が泥に埋もれており、付着動物や付着藻類の付着面積を減少させている。自然生態系や安定した浄化能の保持という点で問題がある。

(2) 潮入りの池の浄化能

ア 物質収支

7月(大潮時)、9月(大潮時)、12月(長潮時)、平成7年3月(中潮)の年4回の調査(図6)から、潮入りの池では1回の干潮、あるいは満潮により、最小5千から最大3.5万 $m^2$ の海水が、日間では33000~66000 $m^3$ が池に出入りしていた。池の容量を計測した結果、7月の大潮時の干潮で約18000 $m^3$ 、満潮で約40000 $m^3$ であることから、1回の潮汐で最大、池の水の90%弱が交換していることになる。それに伴い、7月ではCODが流入で日間594kg、流出で604kg、差引10kgが池から負荷増として流出しているのに対して、T-Nでは51kg、T-Pでは1.2kgが池内で減少、すなわち浄化されている計算となる。同様に、9月はCOD6kg、T-P6.8kgが負荷増として流出しているのに対して、T-Nは9.7kg減少している。

一方、12月は、CODが19.6kg池内で減少しているのに対して、T-Nで7.4kg、T-Pで0.75kgの負荷増、3月ではCODで10.9kgの減少に対して、T-N21.2kg、T-P1.38kgの負荷増となっており、7、9月に比べて各水質項目の変動傾向が異なる。この原因を推測するために、流入・流出水1 $m^3$ 当たりのCOD、T-N、T-P量の変化を検討する。例えば、7月の潮汐毎の変化(図7)をみると、CODではプランクトンの繁殖する昼間に高くなり負荷増になっているのに対して、T-Nは2回の潮汐のいずれの流出水も流入水より減少しており、池内で浄化されていることがわかる。T-Pは、日間負荷量では1.2kgの浄化となっているが、図7にみるように、濃度的にはほとんど変化していないことがわかる。池内のT-P自然浄化量を池内のT-P発生量が相殺していると考えられる。

同様に、12月では、日間収支でCODは19.6kgの浄化となっているが、濃度的(図7)には流出水が若干高まっており、水質的にはほとんど浄化されていない。

以上のことから、夏季のCODは、池内のプランクトンの繁殖などによる内部生産が池内の自然浄化量を上回ることににより負荷増となり、またT-Nの減少は、自

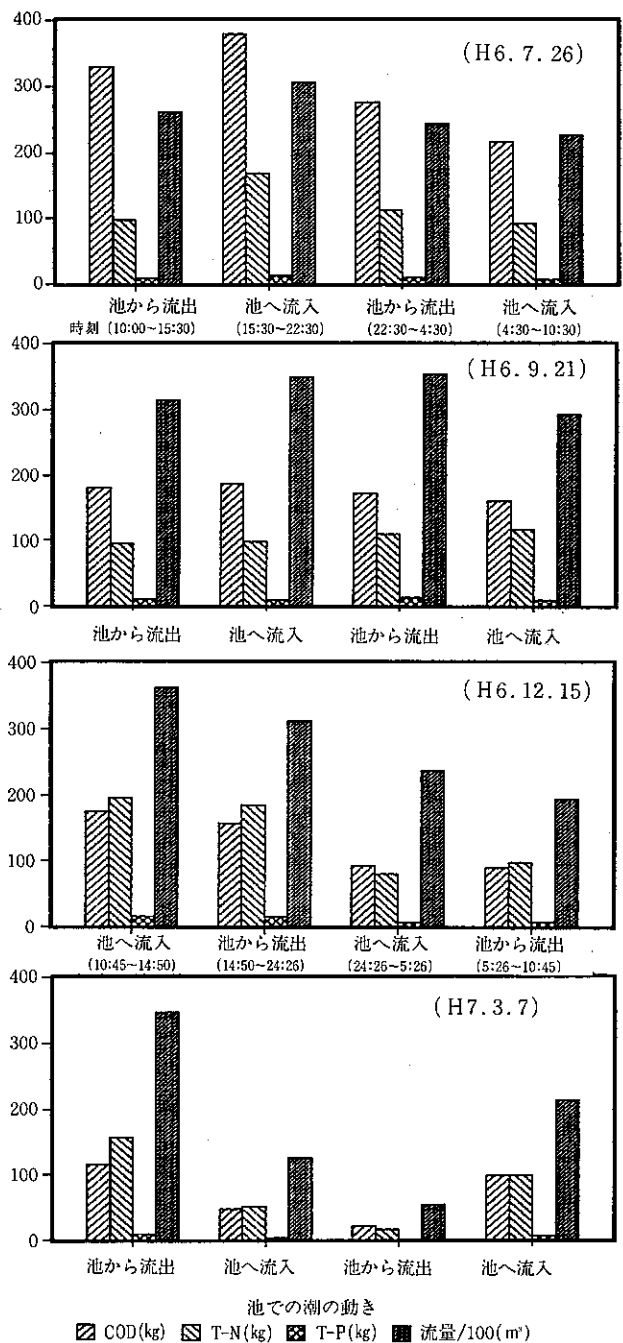


図6 潮入りの池での1日の物質収支(各月別)

然沈降とともにバクテリアによる脱窒作用や付着藻類、付着動物を含む底生動物等の生物による取り込みが寄与していると考えられる。

イ 生物による浄化能

浄化には、物理化学的な要因として、凝集、沈澱、吸着、系外への流出、生物的な要因としては、生物による捕食、同化、分解、吸収等がある。潮入りの池のように閉鎖的な水域では、自然沈降による浄化寄与率が大きい

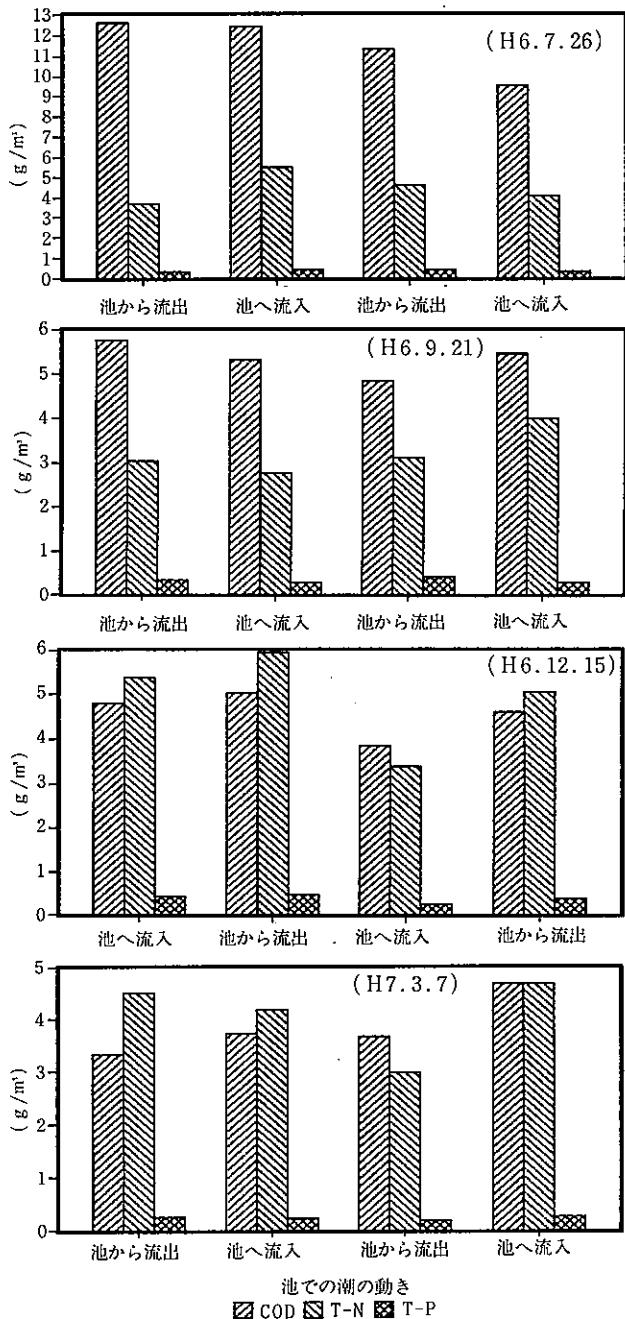


図7 潮入りの池での潮汐毎の海水1㎡当たりの物質収支 (各月別)

が、単なる沈澱では再度水環境に回帰する率も高い。沈降した有機物は砂泥中のバクテリアや底生動物、魚類等の生物による摂取、すなわち食物連鎖の流れに乗ることが重要であり、そのことによって初めて浄化されたといえる。

そこで、池内の生物によるCOD浄化量を試算してみる。

底生動物による干潟部及び池内の浄化量は、1992年報

による方法で算定した結果、1㎡当たりの日間浄化量は、7月の現存量を用いると0.30g、同様に9月0.06g、12月0.03g、3月0.01gであり、平均で0.1g/㎡/日、年間で38g/㎡のCOD浄化量を示した。

一方、砂利浜の付着動物による年間浄化量では、コウロエンカワヒバリとマガキ、フジツボ類で全現存量の93~99%を占めているため、これらの浄化量で付着動物の浄化量とした。コウロエンカワヒバリの浄化量は、(水質COD×ろ過水量(350ml/肉湿重量g/hr)×粒状COD比率(30%)×ろ水時間(18hr)×ろ過効率(60%)×有機体生産量・エネルギー消費量(45%)×身の量(現存量×0.3))/1000から算定した。同様にして、カキとフジツボも算定した。ただし、カキのろ過水量は、広島水試<sup>9)</sup>の間接ろ過水量(ℓ/肉湿重量g/hr)=0.066t-0.308、t:水温、から水温20℃のときの1ℓ/g/hrとし、身の比率を実測から18%とした。フジツボについては、ろ過水量200ml/g/hr<sup>10)</sup>を使用した。

以上の条件で計算した結果、1㎡当たりの日間浄化量は、7月の付着動物の現存量を用いると7.12g、同様に9月4.93g、12月0.22g、3月1.92gであり、平均で3.3g、年間で1.2kgのCOD浄化量を示した。

以上の結果から、潮入りの池での7月と12月の底生動物や付着動物による浄化量を算定する。

7月の底生動物による干潟部・池内域の1㎡当たり浄化量は0.3g/日であるから、干潟部・池内域の面積41096㎡×0.3g=12.2kgの浄化量となる。砂利浜の付着動物の1㎡当たり浄化量は、7.1g/日であり、砂利浜面積7340㎡のうち約1/4の1835㎡に付着動物が生息していることから、1835×7.1g=13kgの浄化量となる。

一方、7月の潮入りの池からの日間COD量は、日間物質収支から10kgの流出増である。

したがって、7月は、池内の付着動物を含む底生動物により、1日当たり25.2kgの浄化量があることになる。調査当時の生物による全浄化量を25.2kgと仮定すると、池内でのCOD内部生産量は25.2+10=35.2kgと計算される。実際は、魚類等による浄化もあるため、池内の内部生産量はさらに高い値と考えられる。

12月の底生動物による干潟部・池内域の1㎡当たり浄化量は0.03g/日であることから、干潟部・池内域の面積41096m2×0.03g=1.2kgの浄化量となる。砂利浜の付着動物の1㎡当たり浄化量は、0.22g/日であり、砂利



浜面積7340m<sup>2</sup>のうち約1/4の1835m<sup>2</sup>に付着動物が生息しており、1835×0.22g=0.4kgの浄化量となる。一方、12月の潮入りの池からの日間COD量は、日間物質収支から19.6kgの減少であるが、流入・流出水のCOD濃度はほとんど変化がない。

すなわち、12月では、池内の生物による浄化量(1.6kg)等の自然浄化量が池内の内部生産量によって相殺され、水質的な変化としては現れていないと考えられる。

また、7月と12月の底生動物等による浄化能を比較すると、冬季の浄化能は、夏季の約1/16に低下することが明らかとなった。

なお、ここで注意すべきことは、12月の付着動物の現存量が7月の現存量の約11%まで激減していることである。採取地点のズレによる誤差が多少あるとしても、大部分は夏季から冬季の間に死亡・脱落し、池内の負荷増大の原因になっていることである。これに対して、底生動物の現存量は、12月には7月の約30%まで減少するが、この原因は、死亡というよりはむしろ、水温の低下に伴う沖合への移動やより深い巣穴への移動による採取量の減少が影響しているものと考えられる。この意味で、底生動物のほうが安定的な浄化に寄与しているといえる。

次に、池の干潟部・池内域の砂泥中の細菌による脱窒素能を室内実験により検討した。当方法は、従来の方法(砂泥コアを攪乱させないで行う方法)とは異なり、酸素を追い出すHeガスの注入によって、砂泥コアを攪乱させていることである。また、実験に使用したコアは、予備実験の結果から、脱窒素能が高い砂泥表層から5cmのコアを使用した。なお、通常の浅海域の砂泥では、表層から数mm、あるいは数cmで無酸素状態となることから、この付近で脱窒作用が働いているといわれる。潮入りの池の砂泥(厚さ数mmから数cm)のORP(酸化還元電位)は、常にマイナスであることから、この付近で脱窒作用が活発に働いていると考えられる。そこで、脱窒の作用層を無酸素層から下層5mmまでとして求めた。

以上の条件で実験した結果、図8に示すように、脱窒素速度は、25~322mgN/m<sup>2</sup>/日と温度により大きく差が生じており、温度の低下とともに減少していく。夏季は冬季の10倍以上の脱窒素能を示し、夏季は脱窒素菌の活性が高いことがわかる。なお、測定方法が異なるため単純比較はできないが、他の文献では、Nishio<sup>(11)(12)</sup>らが、多摩川河口で43.4~266mgN/m<sup>2</sup>/日、小田和湾の

浅瀬で0~12.6mgN/m<sup>2</sup>/日、外国の浅瀬の例<sup>(13)</sup>では0~112mgN/m<sup>2</sup>/日程度の値を得ている。これらの測定値と比べると、今回の値は若干高い。この原因として、コアを攪乱させたことによる脱窒機能の向上に加えて、干潟面における底生動物の多数の巣穴の存在が指摘できる。巣穴内の壁面は、薄い酸化層と還元層との間で脱窒作用が活発に行われている。潮入りの池の干潟には、巣穴を形成するカニ、ニホンスナモグリ、ゴカイ等が多数生息している。現場調査では、ニホンスナモグリの巣穴を1m<sup>2</sup>当たり60~100個を、またゴカイは夏季に1m<sup>2</sup>当たり2990個を確認しており、脱窒の場の拡大に寄与していると考えられる。

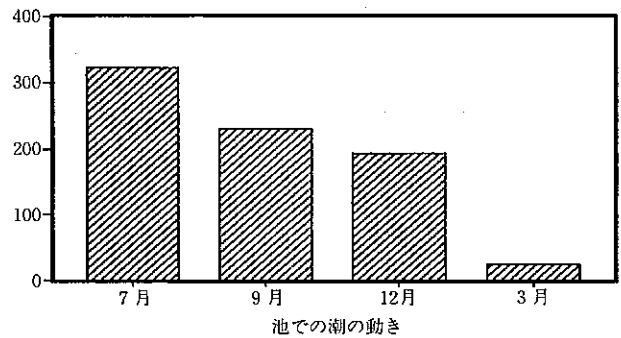


図8 潮入りの池の月別脱窒素速度 (mgN/m<sup>2</sup>/day) (砂泥厚さ5mmとして計算した)

以上のことから、潮入りの池は、通常の干潟に比べて高い脱窒素能を有していると推定されるが、断定するにはデータが不足している。今後、無攪乱コアによる脱窒素速度の確認やゴカイ等の巣穴の有無による脱窒素速度への影響についてさらに検討する必要がある。

脱窒素菌の浄化寄与率をみると、例えば、7月の場合、日間の物質収支で51.7kgの浄化となっている。池の全面で脱窒作用が働いているとすると、7月の脱窒素速度は322mgN/m<sup>2</sup>/日であるから、48436m<sup>2</sup>×322mg/m<sup>2</sup>/日=15.6kgの窒素が脱窒作用により除去されたことになる。すなわち、7月では砂泥中の細菌による窒素除去寄与率は、池の全浄化量の約30%に及ぶと算定された。ちなみに、12月の1日当たり脱窒量は9.3kgであるが、日間の物質収支では7.4kgの流出増となっており、脱窒量を上回るT-Nが池で発生している計算になる。この原因として、冬季に飛来数が増す野鳥の糞による影響が考えられる。

生息魚類の浄化能については、今後の検討課題である

が、魚類は移動能力が大きいいため、特定の水域の安定した浄化要因とはなりにくい面がある。ただし、当池には、水門の格子が障害となって池内で成長した魚類（公園側の調査によると、体長60cmを超えるボラが多数生息）は、池外に出ることができないため、魚類による安定した池内の浄化という点では、短期的には有利に働いていると考えられる。特に、ボラはデトリタスフィーダーであることから、底質改善の寄与率が高い。しかし、安定した浄化という視点から捉えるなら、きめ細やかな食物連鎖の構築が必要であり、成長した魚類は、速やかに系外（池外）へ流出することによって池内への浄化寄与率は一層高まる。このことは、自然生態系の保全・修復にもつながるものであり、その意味でも池内への生物の出入りは極力円滑に行われるようにしていく必要がある。

## 5 まとめ

潮入りの池を調査した結果、次のことが明らかとなった。

①池の水質は、夏季にプランクトンの影響を強く受けて、昼夜で大きな差が生じるとともに、夏季のCOD、TOCの約4～5割がプランクトン起因と推定された。

②底質の有機汚濁は、特に高くはないが、泥質化が進んでいる。また、地域によっては野鳥の糞の影響を強く受けているようである。

③生物相は、魚類を除いて、概ね都内湾の浅瀬や人工海浜の生物相と遜色ない種類数を維持していた。

ただし、底質の泥質化は、アサリ等の二枚貝や付着動物の減少を招いている。

④池の水収支では、1回の潮汐で5000から最大35000m<sup>3</sup>の海水が、日間では33000～66000m<sup>3</sup>が池に出入りしていた。1回の潮汐で最大、池の水の90%弱が交換していた。

⑤池内のCOD浄化量を検討した結果、7月は底生動物等による浄化量(25.2kg/日)を上回る負荷が発生し、12月は底生動物等による浄化量(1.6kg/日)などの自然浄化量とほぼ均衡する負荷が池内で発生していた。

また、7月と12月の底生動物等による浄化能を比較すると、冬季の浄化能は、夏季の約1/16に低下することが明らかとなった。

⑥砂泥中の脱窒能を算定すると、7月は池の浄化量のうち、脱窒の寄与率は約30%にも及んだ。しかし、12月

は脱窒量を上回る負荷が発生していた。

⑦潮入りの池の自然生態系を保全し、安定した浄化能を維持するための一般的方法としては、1)海水の交換をより円滑にするとともに、多様な生物が容易に出入りできるようにすること、2)泥質化した干潟部や池内は、浚渫と覆砂により、底質の改善を行う。3)砂利浜の石の半分程度は泥に埋もれているため、新たに石を投入して付着動物や付着藻類の付着面積を拡大させること、4)冬場における葦原の刈り込みによる蓄積汚濁物の系外への排除、5)地理的に余裕があるならば、干潟部と砂利浜の面積を拡大し、生物による浄化能を高める等の措置が指摘できる。

なお、本調査に当たって協力をいただいた東京港野鳥公園事務所の川船管理課長、安藤康弘氏ら「日本野鳥の会」の皆さん、(株)セルコの赤澤豊氏、新日本環境調査(株)の鈴木弘七氏、中河課長、及び基盤研究部の森氏、安藤氏に心から感謝します。

## 参考文献

- 1) (財)東京港埠頭公社：東京港野鳥公園観察指導業務委託実施報告書，平成5年4月。
- 2) (財)東京港埠頭公社：東京港野鳥公園観察指導業務委託実施報告書，平成6年4月。
- 3) (財)東京港埠頭公社：東京港野鳥公園観察指導業務委託実施報告書，平成7年4月。
- 4) 東京都環境保全局水質保全部：水生生物調査結果報告書，平成4年3月。
- 5) 東京都環境保全局水質保全部：水生生物調査結果報告書，平成5年3月。
- 6) 東京都環境保全局水質保全部：水生生物調査結果報告書，平成6年3月。
- 7) 木村賢史ら：人工海浜（干潟）の浄化能について，東京都環境科学研究所年報，1992，p89-101。
- 8) 今村均：「干潟・沿岸域等における環境保全技術」講習会，工業技術会，1993.11。
- 9) 広島県水産試験場：二枚貝養殖漁場における適正収容力に関する研究，昭和61年3月。
- 10) 堀江毅：海域の物質循環過程のモデル化と浄化効果の予測手法について，運輸省港湾技術研究所報告，第26巻第4号，pp.57-123，(1987)。

- 11) T.Nishio ,I.Koike, and A.Hattori:Appl. Environ. Microbiol.,43 ,648-653(1982).
- 12) T.Nishio ,I.Koike, and A.Hattori:Appl. Environ. Microbiol.,45 ,444-450(1983).
- 13) T.H.Blackburn and J.Sorensen:Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments ,1988.