都市化による湖沼域の土地利用変化と水辺緑地に関する研究

田 畑 貞 寿*
白 子 由 起 子*
金 在 浩**

A Study on the Change of Landuse of Area around Tega Marsh due to Urbanization and Waterfront Open Spaces

Sadatoshi TABATA
Yukiko SHIRAKO
Jaeho KIM

摘要：都市化による湖沼域の水質汚濁が問題となっており、本研究では、千葉県の手賀沼湖沼域を対象に、①都市化による土地利用の変化、②緑被地率の増減と水質の関係を把握し、③汚染の発生源となっている家庭雑排水の処理システムと共に、④水辺緑地による自然浄化効果について知見を得ることを目的に実施した。その結果、都市化要因と水質との関係が明らかとなり、水辺植物を中心とした緑地の浄化効果が考察された。

1. はじめに

湖沼域とくに内水面において、都市化による土地利用の変化、水質汚濁が問題となっている。そのような中で、水質汚濁のメカニズムの解明、水質汚濁対策の調査研究が進められ、気象学的研究、下水処理システムの研究等多くがみられるが、そのほとんどが水質の研究である。

宅地による市街化や都市化による土地利用と内水面についての研究は、田畑ら¹⁾(1979)の行った多摩川流域の研究をはじめ、特に手賀沼湖沼域については、大堀川の総合診断²⁾(1981)や姜ら³⁾(1986)の行った土地利用の変化、緑被地の存続といった研究がみられる。

土地利用と水質に関する研究には、びわ湖流域を対象とした吉良ら⁴⁾(1981)の研究がみられるが、これは水質項目がBOD、CODをはじめとする身近な水質項目とはかけ離れているために水質環境基準値との比較が明らかとなっていない。また興水ら⁵⁾(1984)は、水質環境の総合指標という点に着目して、BODなどの環境基準に対応する畑の割合を30%程度としている。

また水質浄化については、1981年度から環境庁が生活雑排水処理の実態ならびに処理システム等について検討を進めてきている。⁶⁾これに対し、青山⁷⁾(1982)や徳永⁸⁾(1981)は、水生植物、主にホテイアオイを用いた水質浄化を検討している。

一方、緑地保全手法としては、緑被地の存立及び存続の安定域を起伏度から把握した研究(中瀬,⁹⁾1981)や社会的条件と自然的条件から適正な土地利用を導く手法(田畑,¹⁰⁾1979)等がみられる。

このように、各方面からの研究は数多くあるが、湖沼

域についての総合的な研究は少ない。そこで、本研究では既述の研究をふまえて、都市化による水質汚濁が問題となっている手賀沼を対象に、土地利用の変遷を把握し、土地利用と水質の関係を明らかにする一方、手賀沼の水質汚濁に対する住民の認識を捉え、さらに水辺植物などによる緑地の自然浄化効果について知見を得ることを目的に実施した。ここでは手賀沼に関わる全地域を湖沼域と称し、これを排水経路と地形から6つに区分し、流域とした。

なお、研究の分担は、水質と土地利用については金が、住民意識調査及び水辺植物の調査分析は白子が、さらに全体のまとめ及び考察は田畑が行った。

2. 研究の内容及方法

本研究では、手賀沼に流入する河川流域全体を湖沼域と捉え、その湖沼域の宅地化による都市化の状況を把握し、緑被地の構成比を求めた。次に、湖沼域を流域に区分し、その中から緑被地率の異なる4流域を選定し、水質との関係を調べた。その結果、水質の汚濁は緑被地率の高い地域で少なく、BOD10_{ppm}という水質環境基準を達成する緑被地率は70%であるという結果を得た。

BOD、CODと強い正の相関を示すものは、人口密度・市街地面積率であることから、流域を地形や排水経路からユニットに区切り、市街化率、人口密度の異なる地域を対象に流域住民の手賀沼の水質汚濁に関する意識調査を実施した。その中で、水質の浄化、緑地保全を望む声が多くきかれた。

もともと河川や湖沼には自浄作用があり、ある程度の

* 千葉大学園芸学部造園学科 ** 東京工業大学工学部社会工学科

図－1 流域区分及び意識調査対象地

汚濁は浄化できる。この浄化には水中の生物の他、水辺植物も大いに寄与していることは周知の通りである。一方、人為的な処理では完全でないこともあり、¹¹⁾ 水辺緑地の保全は水辺環境を良くし、特に流域住民の身近なレクリエーション空間として役立つと共に、水質の浄化にも役立つことと考えられる。そこで次に、水辺植物を採取して窒素含有量を測定し、水辺植物の自然浄化効果について考察を加えた。

(1)対象地の概要

千葉県柏市、流山市、松戸市など9市町村を流域にもつ手賀沼は、面積65km²、周囲38kmを有している。その湖沼域は大堀川（柏市、流山市）、大津川（松戸市、柏市、鎌ケ谷市、沼南町）、金山落（鎌ケ谷市、沼南町、白井町）、亀成落（印西町、本埜村）、染井入落（沼南町）、手賀沼直接（我孫子市、沼南町、白井町、印西町）の6流域より構成されている。

都心より30kmという立地条件は、都市化の影響も著しく、昭和30年代から宅地化が進み、昭和40年代からはより一層拍車がかけられた。都市化による流域内の人口の急増は、都市施設整備の遅れと共に、手賀沼の水質汚濁の大きな要因となっている。

(2)都市化による土地利用の変化

手賀沼湖沼域の都市化の状況を把握するために、土地利用の変遷について、昭和30、40、50年代の3時点の1/50,000の地形図を用いて、市街地、農地、林地、水

面、その他の5項目を100×100mのメッシュで抽出した。都市化の状況は、湖沼域全体で均一ではないので、湖沼域を流域に区分して都市化の状況をみることにした。流域区分は公共下水道計画図（雨水及び汚水）と1/10,000地形図を中心に6区分とした。各流域別人口は、町丁字別人口¹²⁾を参考に、1/25,000流域区分図と1/25,000松戸・柏・我孫子（大判都市地図）を重ね合わせ、町丁目面積の割合から算定した。

(3)土地利用と水質の関係

土地利用と水質との相関をみるために、土地利用項目別の面積率と水質項目別の濃度を変数として相関分析を行った。水質データは、千葉県公共水域水質測定結果のうち、昭和45年から49年までを昭和40年代、同55年から59年までを50年代として、各々5年間の月別測定データの平均値を用いた。

対象地は、①水質汚濁が問題となっている、②土地利用形態が異なる、③詳細な水質データが得られる等の理由から、図－1流域区分及び意識調査対象地に示すように大堀川、大津川、金山落、亀成落の4流域を選んだ。

(4)住民意識調査

緑被率と水質との関係から、水質環境基準を満たす緑被率が算出されたが、流域の住民が手賀沼の水質汚濁に関してどの程度認識しているかといった実態を捉えるため、意識調査を実施した。ここでは1/10,000手賀沼流域関連公共下水道図の排水区分画や地形から、各流

表一 1 住民意識調查対象地一覧

自治会名	配布数	回収数	回収率 (%)	人口密度 (人/ha)	市街化率 (%)	下水処理形態	
柏市	花山	528	139	26.3	40.6	78.1	たれ瀧し
	松野台	544	252	46.3	43.3	52.3	コミプラ
	登上町	290	227	78.3	74.1	43.4	公共下水道
	刈込	273	241	88.3	31.4	55.7	たれ瀧し
我孫子市	平福山	146	125	85.6	42.3	44.7	たれ瀧し
	我孫子第1	260	168	64.6	66.2	98.4	公共下水道
	若松第2	353	186	52.7	146.4	93.8	公共下水道
	湖北台5丁目	243	159	65.4	52.9	87.1	公共下水道
島原		184	84	45.7	52.9	87.1	公共下水道
	計	2821	1581	56.0			

- 一部たれ流し

表一 2 手賀沼湖沼域における土地利用の変化
(構成比)

	昭和30年代	40年代	50年代
市街地	9.7	22.8	30.6
農 地	50.6	48.1	38.2
林 地	18.9	21.9	13.4
その他	14.0	4.2	14.7
水 面	6.8	3.0	3.1
計	100.0	100.0	100.0

図—2 各ユニット別雑排水量及び水辺植物採取地点

图-3 断面模式图

域をさらにユニットに区分し、人口密度や市街化率を算定した。なお市街化率は、各ユニットごとに、(50年代の市街地面積－30年代の市街地面積) / (ユニット面積－30年代の市街地面積) × 100 により算出した。

人口密度・市街地面積率がBOD、CODと相関をもつことを参考に、①人口密度に差がある ②市街化率が異なる ③下水処理形態が異なる等の理由から表-1住民意識調査対象地一覧及び図-1に示すように柏市及び我孫子市の9自治会を選定した。調査は、1985年11月～1986年1月において留置法で行った。

調査項目は、①手賀沼の水質汚濁について ②浄化対策について等である。なお、この調査に関わった回答者は、30～50代の主婦及び会社員・公務員が約80%で、特に自治会による差はみられない。

(5)水辺植物などによる自然浄化調査

ユニットごとに一人当りの家庭雑排水量を $250 \text{ } \ell / \text{日}$ ¹³⁾として算定し、図示したのが図-2 各ユニット別雑排水量及び水辺植物採取地点である。このうち都市化が著しく、人口密度の最も高い大堀川流域を対象に11カ所で水辺植物を採取し、その浄化機能について知見を得ることとした。植物による窒素、リン、カリウム含有率を測定したが、そのうち浄化機能効果としてここでは主として窒素の含有率に着目し考察を行った。

水辺植物は1985年10月10日に茎葉を採取し、乾燥、粉碎後サリチル硫酸分解法により分析した。採取場所の一例を図-3断面模式図に示す。

3 結果と考察

(1)都市化による土地利用の変化

30年代から50年代の手賀沼湖沼域の土地利用の変化を表-2 手賀沼湖沼域における土地利用の変化に示した。市街地は30年代で湖沼域全体の10%に満たないが、50年代では30%を上回る拡大がみられる。各年代の土地利用の変遷の状況を示す図-4では、柏駅を中心とする市街地の拡大（大堀川、大津川の2流域にわたる部分）が著しく、40年代以降に我孫子市を中心とする手賀沼直接の流域部分の市街化、さらに大津川流域のモザイク状の市街化が進み、50年代に至っている。農地（水田、畑、果樹園）は、30年代には50%を占めていたが、50年代には38%台に減少し、市街地の増加と対称的である。

市街地の拡大は、人が集住する領域の増加と同時に市街地以外の土地利用面積の後退を意味する。人口と産業が集積する市街地における生活・産業に伴う排水の行きつく先は手賀沼である。手賀沼は閉鎖された水域だけに元来外的干渉—ことに人為の影響を受けやすいことから市街地の拡大と汚濁のかかわりは容易に推測できる。

(2) 緑被地率の増減と水質の関係

ここでは緑被地率の異なる 4 流域を対象に、土地利用

と水質との関係を知るために各土地利用項目別の面積率と水質項目別濃度間の相関を求めた。

各変数間の相関係数を計算してまとめたのが表-3 昭和50年代の土地利用面積率と水質との相関である。また、有意水準10%を基準に限界値（ $r = 0.900$ ）以上のものは下線で示し、相関係数 $r = 0.990$ 以上の強い相関を示すものは□で囲んで示した。この表から、土地利用面積率と水質濃度の間には人口密度及び市街地面積率がBOD、COD、ABSと正の相関を示し、樹林地、農地等がこれらの項目と負の相関を示すことが明らかとなった。水田が、人間活動と正の相関をもつBOD、CODと強い負の相関を示すのに対して、畑は透視度とは正の相関、 PO_4 - P及び全リンとは負の相関をもち、水田、畑は双方とも水質を改善する作用を示す。果樹園と広葉樹林の面積率がどの水質項目とも相関を示さないのは、その面積が他の項目に比べて著しく小さいのが原因であると判断さ

れる。これらの分析結果をもとに、特にBODと強い相関を示す市街地面積率、水田率、緑被地率を回帰させ、水質環境基準であるBOD10ppmに対応する各面積率を求めた。水田面積率及び緑被地面積率とBODの関係を図示したのが、図-5、6である。その結果、市街地面積率が25%、水田面積率が10%前後、緑被地面積率が70%という値を得た。これらの数値は特定地域の分析結果であり、また標本数も少ないために、一般性をもたせるには不十分な点が多い。しかし、多くの流域を対象にこのような分析を重ねることによって一定の環境水準を維持していく上での一つの目安を得ることは可能であろう。

(3)各家庭における雑排水の処理システム

手賀沼の存在及びその水質汚濁に対する認識率はかなり高く、9自治会とも96~100%を占めた。手賀沼の水質汚濁の最大の原因は、図-7 水質汚濁の原因にみられるように、家庭雑排水¹⁴⁾であると答えた人が65~81%を占めたが、自分の家の雑排水が手賀沼に流入していることを知っている人は、早稲田、刈込、松野台、花山でそれぞれ93%、65%、56%、48%である。これらのうち松野台を除く3自治会の下水処理形態はたれ流しである。一方、公共下水道利用の若松第2、湖北台5丁目、島原

図-4 土地利用の変遷

図-5 水田面積率とBODの関係

図-6 緑被地面積率とBODの関係

図-7 水質汚濁の原因

表-4 窒素含有率 (乾物中 %)

植物名	窒素含有率	植物名	窒素含有率
ミゾソバ	2.54	カナムグラ	3.07
ツクサ	2.14	ホソアオゲイトウ	2.34
ヨシ	2.01	オオイヌタデ	1.89
ガマ	1.78	セイタカアワダチソウ	2.29

表-3 昭和50年代の土地利用面積率と水質との相関

	人口密度	市街地	樹林地	畑	水田	荒地・ 墓地	果樹園	針葉樹	広葉樹	農地	緑地
容存酸素 (D.O)	-0.960	-0.994	0.951	0.807	0.963	0.693	0.003	0.889	-0.258	0.971	0.983
BOD	0.937	0.990	-0.969	-0.869	-0.997	-0.775	0.243	-0.951	0.474	-0.944	-0.993
COD	0.889	0.977	-0.923	-0.927	-0.997	-0.757	0.221	-0.895	0.402	-0.974	-0.970
大腸菌群数	0.917	0.799	-0.911	-0.379	-0.731	-0.957	0.133	-0.912	0.531	-0.603	-0.834
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	0.438	0.611	-0.572	-0.881	-0.748	0.097	0.753	-0.650	0.700	-0.628	-0.627
亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N)	0.187	0.423	-0.312	-0.851	-0.579	-0.475	0.617	-0.364	0.426	-0.543	-0.415
硝酸態窒素 (NO ₃ -N)	-0.727	-0.543	0.616	-0.011	0.382	0.577	0.497	0.523	0.081	-0.402	0.425
全窒素(T-N)	0.336	0.527	-0.476	-0.855	-0.677	-0.376	0.766	-0.558	0.664	-0.566	-0.541
リン酸態リン (PO ₄ -P)	0.626	0.800	-0.712	-0.993	-0.894	-0.468	0.465	-0.725	0.473	-0.857	-0.793
全リン(T-P)	0.702	0.858	-0.777	-0.994	-0.955	-0.526	0.410	-0.780	0.462	-0.902	-0.851
ABS	0.972	0.880	-0.953	0.480	-0.807	-0.923	0.030	-0.892	0.744	-0.724	-0.901
透視度	-0.450	-0.663	-0.084	0.978	0.781	0.284	-0.482	0.564	-0.398	0.766	0.649
浮遊物質 (S.S)	-0.197	0.030	0.159	-0.552	-0.215	0.097	0.753	-0.054	0.452	-0.138	-0.036

—: 相関係数 0.900 以上

□: 相関係数 0.990 以上

では、家庭雑排水が直接手賀沼に流入することはないのに、65～78%の人が流入しているものと考えている。

このような中で、家庭でできる浄化対策として、家庭雑排水を流す際の各自の工夫は、全自治会とも74～88%の人が必要と感じ、使用済みの油を流しに流さない、流しに汚紙袋をつけた三角コーナーを置き、残飯などを入れる等の工夫がみられた。また、今後実践したい工夫としては、食器や鍋などの油の汚れは紙でふいてから洗う、中性洗剤を使用しない等があげられた。

本調査から家庭雑排水の流路が目に見えることは、住民が流路について認識するきっかけとなっていることがわかり、そこから浄化対策を講じることにつながるものと考えられる。

手賀沼に対する今後の対策としては、全自治会とも70%以上の人が改善すべきだと考え、水質の浄化に併せて現況の自然を残し、周辺の緑化及び水辺緑地の整備を進めるといった環境の保全を望んでいることが明らかとなった。

このように、手賀沼の水質汚濁は、家庭雑排水の流路となっている小河川の汚濁で、下水処理システムの整備対策が急務となっている一方、中小河川や休耕田のヨシ群落などによる自然浄化法の開発も必要だと考えられる。したがって、これらの中小河川及び水田や休耕田などに分布する水生植物ないしは水辺植物がもつ浄化機能について調査する必要性が生じた。そこで、その内容を以下

に述べる。

(4)水辺植物などによる自然浄化効果

都市化の著しい大堀川流域を対象に、11カ所で水辺植物の採取を行った。採取した植物は、セイトカアワダチソウ、カナムグラ、ミゾソバ、ヨシ、オオイヌタデ、ツユクサ、ガマ、オオクサキビ、ススキ、チカラシバ、カゼクサ、アズマネザサ、アオミズ、エノコログサ、ホソアオゲイトウ、ヨモギ、アレチウリ、イヌビエ、チヂミザサの19種である。窒素含有率の高いものを表-4 窒素含有率に示す。カナムグラ、ミゾソバ、ホソアオゲイトウ、セイトカアワダチソウ、ツユクサ、ヨシ等が窒素含有率が高いことから、自然浄化効果があるものと考えられる。今後、水辺緑地の自然浄化効果について、より正確な知見を得るために水辺植物及び水生植物による水質の浄化機能を測定すると同時に、ヨシ群落の存在には豊富な生物相の確保といった効果がある¹⁵⁾ことから、ヨシ群落などがどの位浄化に役立つかといった研究が、今後の課題として残されている。

4. おわりに

本研究により、手賀沼湖沼域の土地利用や土地利用と水質との関係が明らかとなった。一方、住民意識調査からその実態を把握できたものと考ええる。手賀沼は首都圏からのレクリエーション空間としても、また流域住民の身近なレクリエーション空間としても貴重な自然であり、水質汚濁の問題を早急に解決する必要に迫られている。現在、水辺緑地による自然浄化効果については、考察のところで指摘した通りであるが、今後、湖沼域の水辺緑地の造成手法のための研究がなされる必要がある。

補註および文献

- 1) 田畑貞寿(1979): 都市のグリーンマトリックス: 鹿島出版会
- 2) 千葉県水質保全研究所(1981): 大堀川河川総合診断報告書
- 3) 姜榮祚・赤坂信・田畑貞寿(1986): 手賀沼集水域の土地利用の変化と緑被地の存続について: 千葉大学環境科学研究報告 第11巻
- 4) 吉良龍夫・山倉拓夫・浜端悦治・吉岡龍馬(1981): びわ湖流入河川の水質と流域状況の相関関係: 環境科学研究報告書
- 5) 興水肇・田畑貞寿・井手久登・田代順孝(1984): 緑と居住環境: 古今書院
- 6) 生活雑排水対策調査検討会(1981): 生活雑排水対策調査(中間報告): 公害と対策 Vol 19, No 4
- 7) 青山勲(1982): 水生植物を利用した水質改善: 用水と廃水 Vol 24, No 1
- 8) 徳永隆司(1981): 水生植物の水質汚濁防止への利用: 用水と廃水 Vol 23, No 2
- 9) 中瀬勲(1981): 流域を基礎にした緑地計画に関する研究: 大阪府立大紀要
- 10) 1) に同じ
- 11) 三井嘉都夫・佐藤典人・宮垣津繁・池英助(1986): 河川の水質汚濁化と屎処理排水(I): 水利科学No 167
- 12) 千葉県市町村別・町丁字別人口(1985): 千葉県
- 13) 住宅団地屋外施設設計資料集編集委員会(1977): 住宅団地屋外施設設計資料集: (社)日本住宅協会
- 14) 家庭雑排水とは台所や風呂などの家庭からの排水のことで、これに屎尿を含めたものを家庭排水という。
- 15) 鈴木紀雄(1986): 湖辺の環境保全の理念: 環境科学シンポジウム講演報告集

Summary : Due to urbanization waterpollution of inland hydrosphere, especially lakes and marshs has become one of the most serious problems in recent years. The object area of this study is Tega marsh in Chiba prefecture. It was investigated the changes in landuse due to urbanization, and the relationship between the ratio of greenary and waterquality. Moreover, this study was intended to sum up the effects of natural purgation capacity with waterfront green space due to the treatment system of household wastewater disposition. According to the correlation analysis, it was made clear that the relation of population density and the rate of urbanized area with BOD or COD was very tight. The rate of urbanized area which satisfy the hydroenvironmental criterion by BOD should be 25%. Question paper analysis shows that the inhabitants of high urbanized area are highly interested in the problem of waterpollution and they desire the stablishment of waterquality purgation planning. Finally, authors proposed that the setting of green area with waterfront plants as one of the successive method has considerable effect in purgation of waterquality.