

大根川の水質（１）

～その変遷と下水道普及に関して（1990～2013年）～

藤野 裕弘*

１．はじめに

秦野市大根地区を流れる大根川は標高240m 程ある弘法山の数か所の湧水を源流としている全長5.2km、下流部での流量が約0.45m³/sec という小河川であり、南矢名、鶴巻、真田、岡崎を流れ鈴川に合流する。自然水が少ないため水のほとんどが生活排水で成り立っている¹⁻⁶⁾。地元住民からの聞き取り調査では、1970年代以前には、魚とりやホタル狩りなどを行う事が出来たそうである。

しかしながら、秦野市は、1970年代の高度経済成長に伴って、首都圏が著しい経済成長を遂げるに従い、東京近郊で小田急線や国道246号線が通っているということから、都内の通勤圏として人口が飛躍的に増加した。結果的に、下水道などのライフラインの整備が遅れ、生活雑排水の多くが下水道を経由せず、直接河川に流入することになった。その頃の大根川は、生活雑排水や各家庭の単独処理浄化槽経由でも処理の不十分な排水が流れ込み、有機物や無機塩類が増加し、水生生物の生息環境を極度に悪化させていた¹⁻⁶⁾。研究室の調査では、1990年7月におけるBOD 平均値は12.91ppm と「生活環境の保全に関する環境基準」においても最低評価のEランクであった¹⁻⁶⁾。環境保全をすべき基準と環境省が定めた値以上である^{7, 8)}。

また、近年の秦野市の下水道普及率は、84.7%（2011年度末）と比較的高い値ではあるが、大根・鶴巻地区に限ると、その約10年前まで下水道普及率は0%であった。秦野下水道施設課によると、大根・鶴巻地区の下水道普及の遅延理由は、1981年代に大根・鶴巻地区の下水道管を浄水管理センターへ通す計画が立てられたが、弘法山とそれに連なる秦野高校付近の地形が隆起しており、技術的、予算的に下水道管を通すことが困難だった為である。

一方、現在では、合併処理浄化槽や下水道の設置により、大根・鶴巻地区の生活排水が、河川に直接流入する割合が減り、大根川の水質は改善の方向へ向かっていると予測出来る³⁾。これは、秦野市が大根・鶴巻処理地区の下水を、下流域にある伊勢原市の伊勢原終末処理場へ処理委託するため、鶴巻中継ポンプ場を建設し、2001年7月より下水道供用を開始した事による。

受理日2019年11月27日

*教養学部人間環境学科自然環境課程

本研究では、1990年7月から行っている6時～24時まで2時間ごとに採水して水質分析を実施し、1日の水質変化を把握する終日調査の結果、毎月1回の定期調査（10時に採水）の結果、各文献資料、行政のヒアリング調査から、都市中小河川における生活排水による水質の汚濁と、下水道の普及に伴う水質改善の傾向を、具体的に明らかにすることを目的とする。

2. 水質調査の概略

調査地点は、図1と写真1～4に示した通りである。採水は、前日から雨の降らない日を選び実施した。St.O1では、毎月1回10：00に採水する定期調査を実施した。St.O2では、朝の6時から夜の24時まで、2時間ごとに採水する終日調査を実施した。

また、2013年7月22日と8月15日には、河川や排水溝の合流前後の水質の関係性を調査する目的で、10時に採水する追加調査（St.O1, O1-1, Oh-1, Oh-2, O2-1, O2-2）を実施した。

採水したサンプルは直ちに実験室に持ち帰り分析を行った。各測定項目の分析方法はJISの工場排水試験法に準じて行った^{10, 11)}。

測定項目は環境省の定める生活環境の保全に関する河川の環境基準項目 pH, BOD（生物化

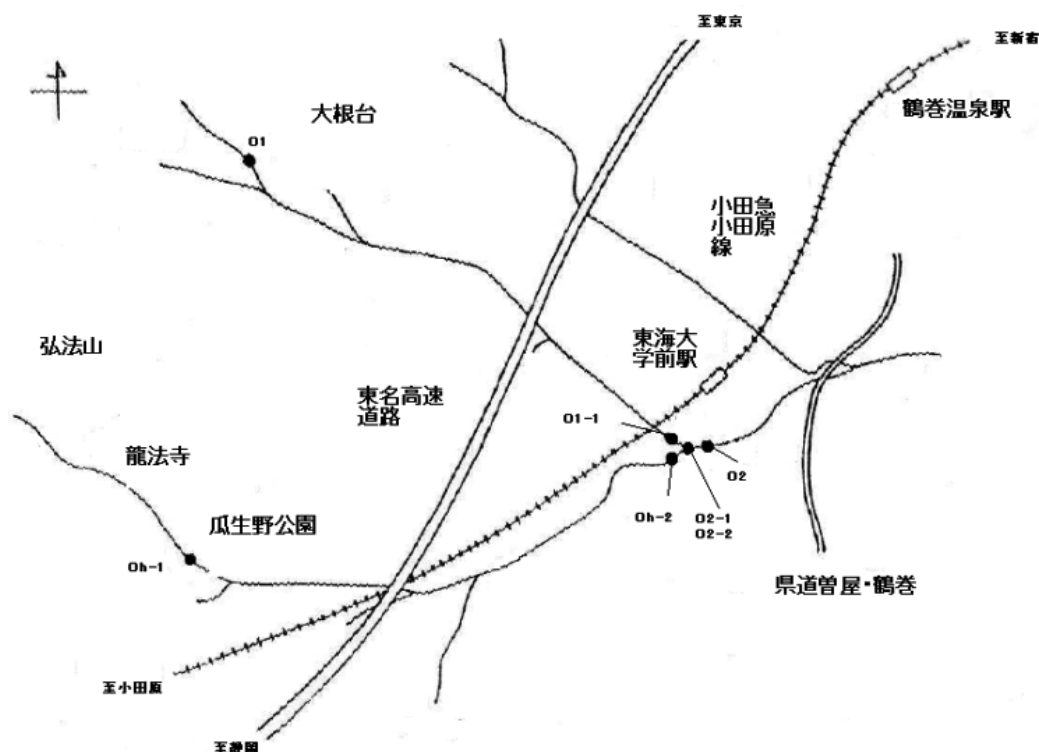


図1 大根川の採水地点



写真1 採水地点 St.Oh-1

写真2 合流地点
(左河川がSt.Oh-2&右河川がSt.O1-1)

写真3 排水溝 St.O2-1



写真4 排水溝 St.O2-2

学的酸素要求量), SS (懸濁物質) である。加えて, 洗剤に多く含まれる界面活性剤の LAS (陰イオン界面活性剤: 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム), し尿の流入を推定できるアンモニア態窒素及びオルトリン酸態リンを測定した。LAS と窒素・リンの定量には, 比色法を用いた。さらに, 時間帯における流量の変化を把握するため, St.O2での採水時に, 毎回流速を測定した。

以上, 当該研究に使用したデータは, 1990~2013年の水質分析結果, 及び, 2013年度における7 & 8月の追加調査の結果である。

3. 水質調査の結果及び考察

朝の6時から夜の24時まで2時間ごとに採水した終日調査の結果では, 「大根川のBODに注目して見ると, 1日の中でその値は大きく変化しており, 朝と夕方から夜にかけて増加するなど, 流域住民の生活周期が影響をあたえていることがうかがえる。詳しく見ると, 図2に示したように10時に大きなピークが来て, 夕方に小さなピークが来ている。また, 流量の変化も10時, 14時, 20時に増加する傾向がある。」ことがわかっている¹⁻⁶⁾。これは, 流域からの生活

排水の流入が、流域住民の生活パターンによって変化し、それに伴って BOD が大きく変化していると考えられる。この結果を踏まえ、1 日の中で一番生活排水の流入が最も多く、最も汚濁が顕著な10時の結果を中心に、水質データを以下にまとめてみる。

[BOD]

1990年～1994年における BOD の一日の変化は、図 2 より、6 時から10時にかけて上昇傾向を示し、その後16時から18時に向けて減少している。その後、22時に向けて上昇した後、やや減少を示している。

2007年～2011年における BOD の一日の変化は、図 3 より、1990年～1994年と同様に 6 時から10時にかけて上昇傾向にあり、その後減少し、再びやや増加した後、ほぼ横ばいとなっている。図 2 と図 3 を比較すると、変化の様相は類似しているが、変化の幅（最小値と最大値の差）は、図 2 の方が大きく、図 3 は小さいことがわかる。

一方、秦野市大根・鶴巻地区における下水道普及率（図 4）のグラフからは、1990年～2000 年までの下水道普及率が 0 %、2007年～2011年の下水道普及率が63.4%～82.1%に大きく向上していることがわかる。この下水道普及率が、図 3 の BOD 変化の幅を小さくしている要因と考えられる。

次に、図 5 は下水道普及 0 %の10時の BOD である。図 6 は下水道の供用が開始された後の10時の BOD である。近似直線の傾きからも、図 5 に比べ、図 6 の BOD の減少が早く進んでおり、下水道普及の効果が伺える。

[アンモニア態窒素]

図 7 は下水道普及 0 %の10時のアンモニア態窒素である。図 8 は下水道の供用を開始した後の値である。図 7 の近似直線の傾きが若干上昇傾向にあるのに対し、図 8 の近似直線の傾きは減少傾向である。これはアンモニア態窒素の値が、下水道供用が開始された事で減少に転じた事を示している。

[SS（浮遊物質）]

図 9 は下水道普及 0 %の10時の SS である。図10は下水道の供用を開始した後の10時の SS である。図 9 と図10の近似直線の傾きはともに減少傾向である。傾きからは、SS の値が下水道普及により減少に転じたとは言いきれないが、下水道供用後は下水道普及が進むにつれ、SS の値は減少傾向にある。

[陰イオン界面活性剤：直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム（LAS）]

LAS についてもアンモニア態窒素と同様の傾向がみられるが（図11&12）、2001年以降、大幅に減少している。その理由としては、下水道設置による効果だけでなく、洗剤メーカーが、洗剤の主成分を、微生物に分解されやすい陰イオン界面活性剤から、熱に弱い非イオン界面活性剤（POER など）に移行させている事が考えられる¹²⁾。

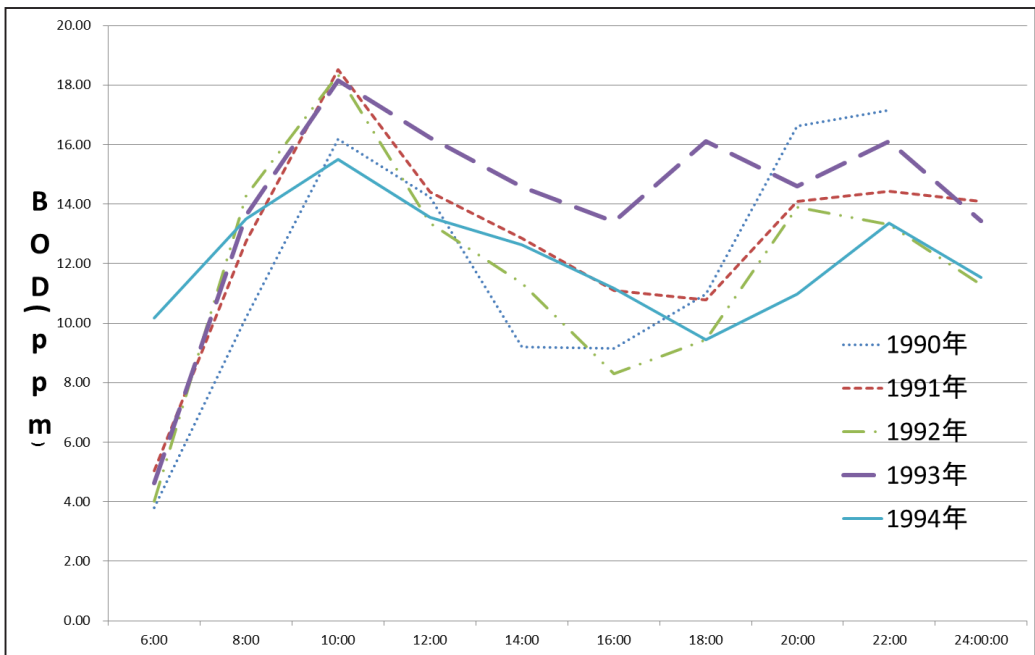


図2 大根川（St.O2）における1日のBOD変化（1990年4月～1994年12月の月平均値）

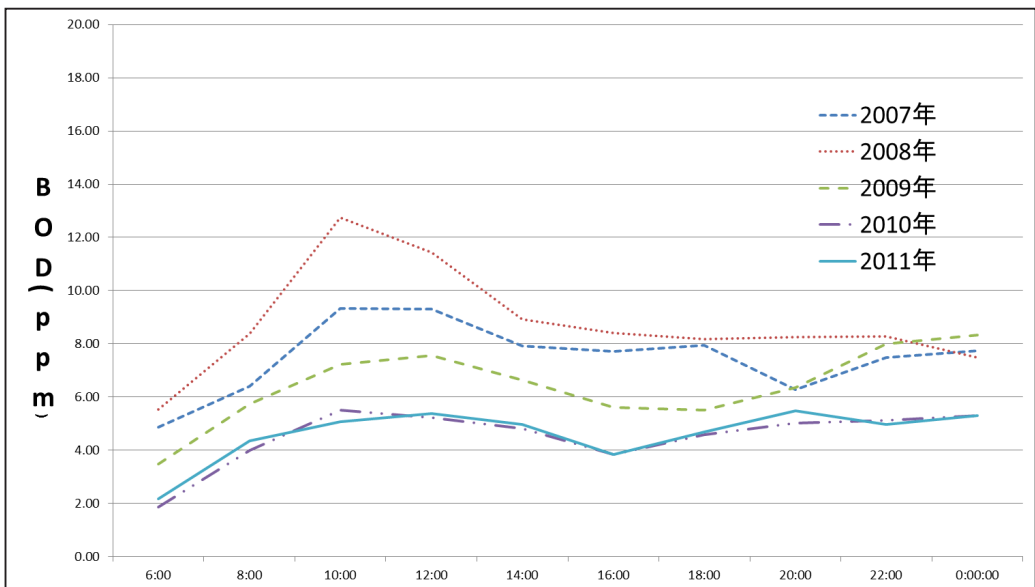


図3 大根川（St.O2）における1日のBOD変化（2007年1月～2011年12月の月平均値）

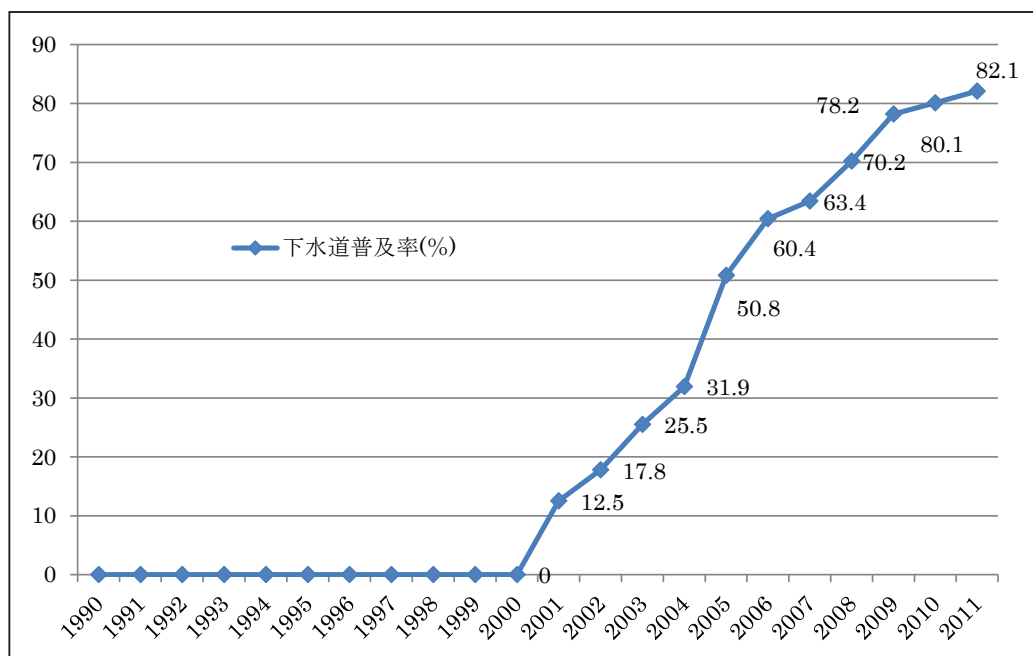


図4 秦野市大根・鶴巻地区における下水道普及率（1990年～2011年）

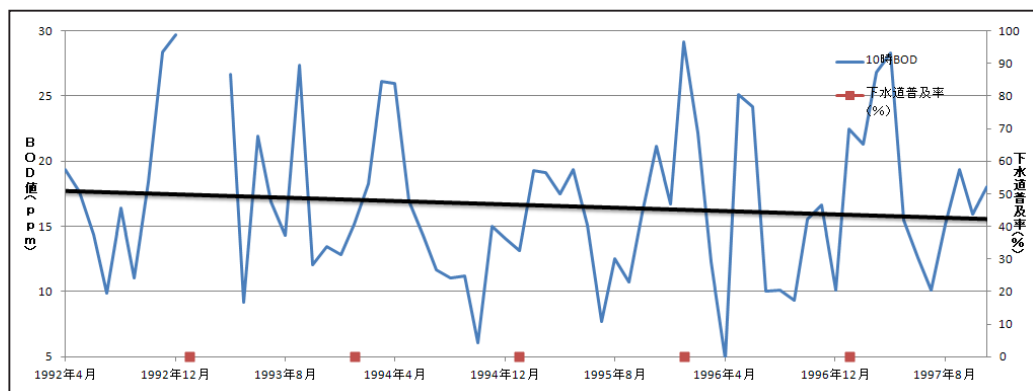


図5 大根川（St.O2）における10時のBOD（1990年4月～2001年6月）

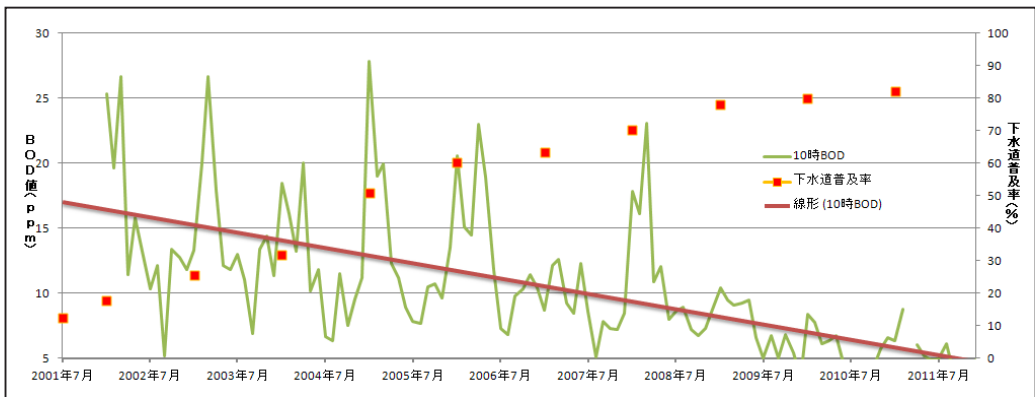


図6 大根川（St.O2）における10時のBOD（2001年7月～2012年12月）

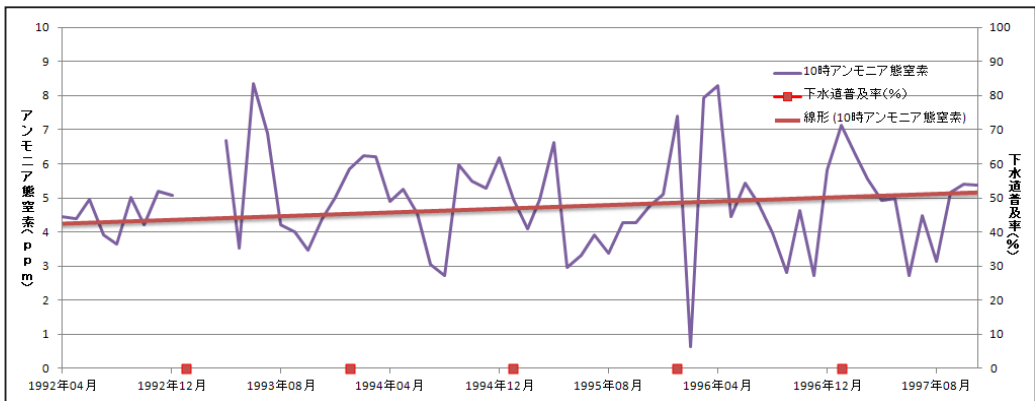


図7 大根川（St.O2）における10時のアンモニア態窒素（1990年4月～2001年6月）

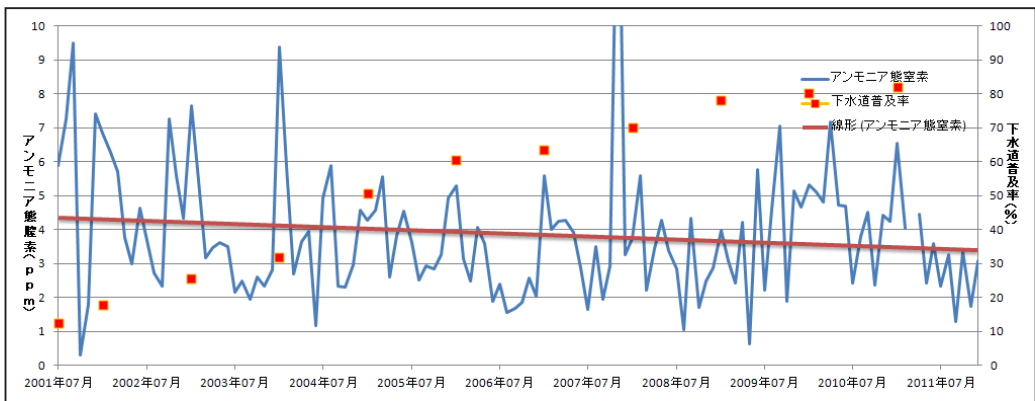


図8 大根川（St.O2）における10時のアンモニア態窒素（2001年7月～2012年12月）

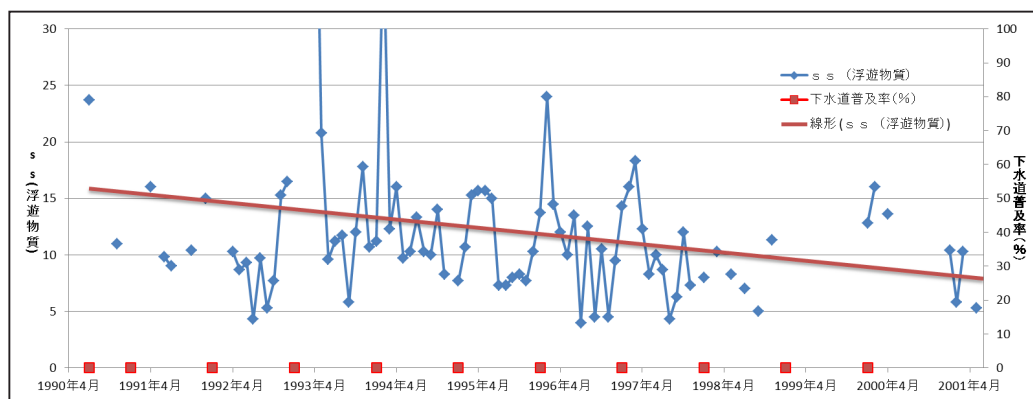


図9 大根川 (St.O2) における10時の SS (1990年 4月～2001年 6月)

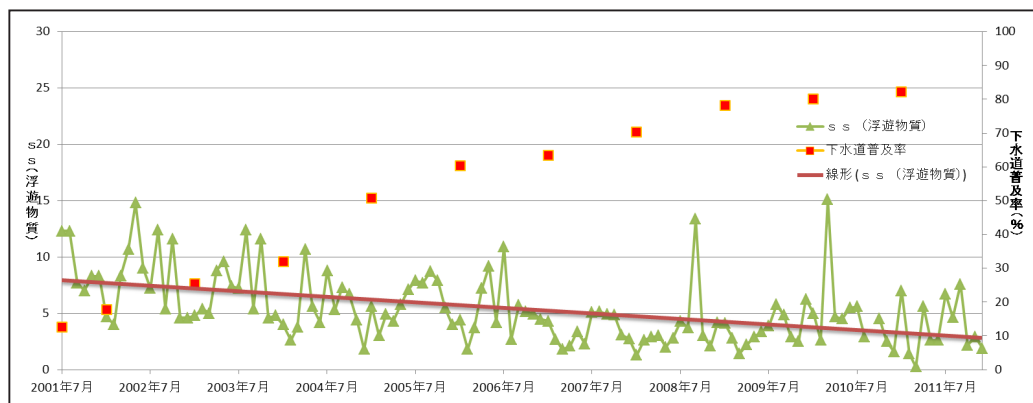


図10 大根川 (St.O2) における10時の SS (2001年 7月～2011年12月)

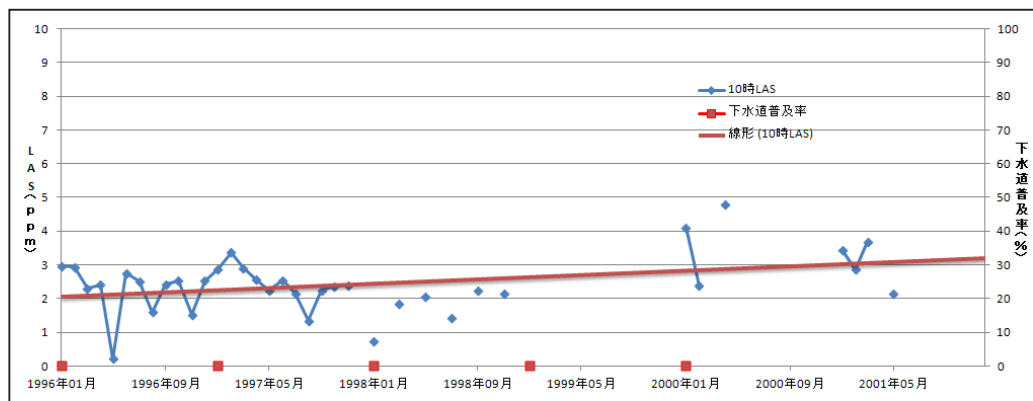


図11 大根川 (St.O2) における10時の LAS (1996年 1月～2001年 6月)

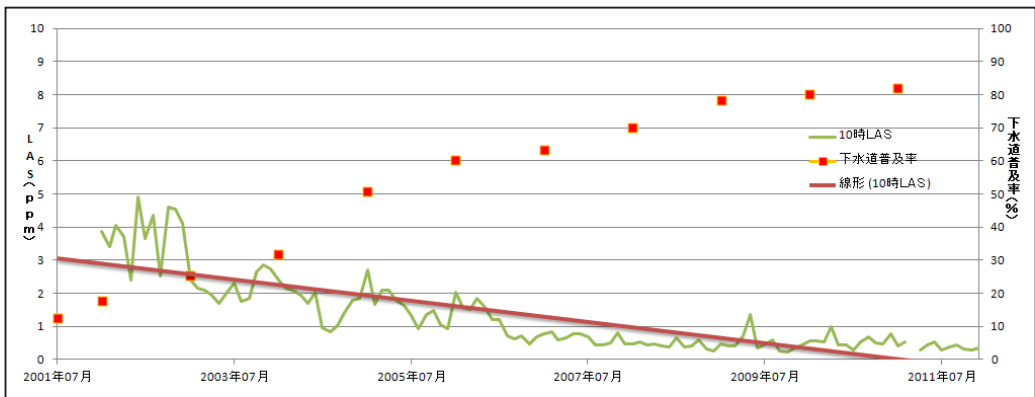


図12 大根川（St.O2）における10時のLAS（2001年7月～2012年12月）

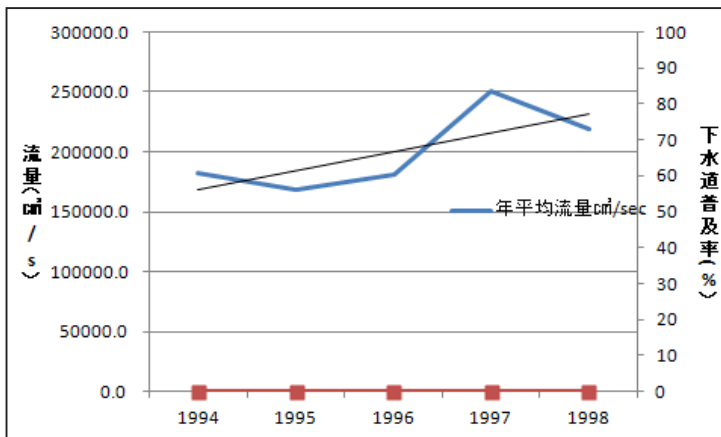


図13 大根川（St.O2）における10時の流量年平均値（1994年～1998年）

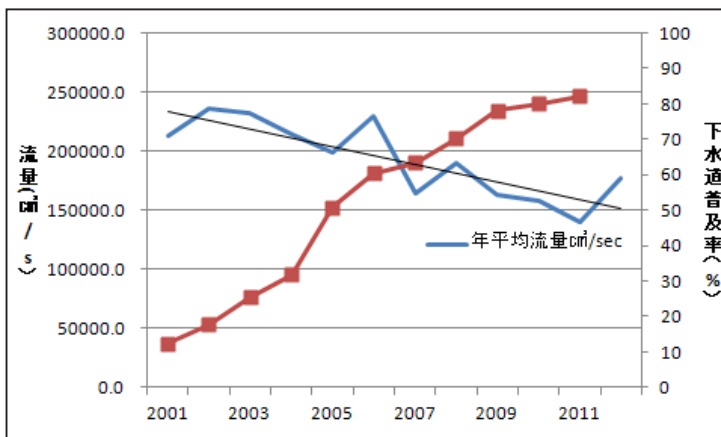


図14 大根川（St.O2）における10時の流量年平均値（2001年～2012年）

〔流量〕

図13と図14は大根川（St.O2）における10時の流量の年平均と下水道普及率を比較したグラフである。図13が1994年から1998年、図14が2001年から2012年である。下水道普及率0％の時には流量は増加している（図13）のに対して、下水道の供用が開始されてから、普及率が高くなるとともに流量が減少している（図14）。大根川への生活排水の流入量が多く、それが下水道設置と共に減少したことから、大根川全体の水量が減少した事が理解できる。この流量の減少は、大根川に生息する水生生物には、大きな影響を与えることが予想される。

4. 生活環境の保全に関する環境基準から見た水質

表1は、各測定項目のそれぞれの測定開始時から5年間の結果の平均値と、2008年～2012年（5年間）の平均値をまとめたものである。生活環境の保全に関する環境基準に当てはめてみると、測定開始5年間の下水道普及0％の10時の値は、BODがE評価となっている。E類型は工業用水3級、環境保全が必要であり、利用するには特殊な浄水操作が必要とされている¹¹⁾。

一方、下水普及が進んだ近年5年間の平均値は、C類型である。これは、工業用水1級として利用でき、沈殿操作などによる通常の浄水操作を用いる必要があるが、農業用水として利用できる水質状態である¹²⁾。これも、下水道普及の効果を示す一例である。

表1 生活環境の保全に関する環境基準及び測定開始5年間と近年（2008年から2012年）の平均値

類型	利用目的 の適応性	水素イオン 濃度 (pH)	生物化学的 酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 (SS)	溶存酸素量 (DO)	測定項目	測定開始 5年間 平均値	近年(2008 ～2012) 平均値
AA	水道1級	6.5 ～ 8.5	1mg /ℓ以下	25mg /ℓ以下	7.5mg /ℓ以上	pH	7.55	7.92
A	水道2級 水産2級 水浴	6.5 ～ 8.5	2mg /ℓ以下	25mg /ℓ以下	7.5mg /ℓ以上	BOD	17.34 mg/ℓ	6.98 mg/ℓ
B	水道3級 水産2級	6.5 ～ 8.5	3mg /ℓ以下	25mg /ℓ以下	5mg /ℓ以上	SS	13.98 mg/ℓ	4.10 mg/ℓ
C	水産3級 工業用水 1級	6.5 ～ 8.5	5mg /ℓ以下	50mg /ℓ以下	5mg /ℓ以上	DO	5.50 mg/ℓ	6.73 mg/ℓ
D	工業用水 2級 農業用水	6.0 ～ 8.5	8mg /ℓ以下	100mg /ℓ以下	2mg /ℓ以上	アンモニア 態窒素	4.25 mg/ℓ	3.57 mg/ℓ
E	工業用水 3級 環境保全	6.0 ～ 8.5	10mg /ℓ以下	ゴミなどの浮 遊が認められ ない事	2mg /ℓ以上	LAS	2.54 mg/ℓ	0.44 mg/ℓ

さらに、長祥は、水生生物へのストレスの要因は「①生物の食餌の質、量及び季節的利用可能性の変化②水質の悪化（水温の変化、過度の濁度及び過度の浮遊土砂を含む）③生息地（底質も含む）の改変④水量または流況の生じる時期の乱れ⑤生物間の相互作用である。」としている⁸⁾。従って、下水道普及による水質改善は、水質の悪化による生態系へのストレスをへらすことは明らかであり、水中生態系の保全へとつながる。

5. 追加調査についての結果及び考察

追加調査の結果は、図15から図20にまとめて示した。

[BOD]

源流に近い St.Oh-1 の BOD は、St.O1 と同様の値である。表 1 の生活環境の保全に関する環境基準においても AA 類型に分類される。

次に、St.O2 とその少し上流にある St.O1-1 及び St.Oh-2 の値を比較する。7 月、8 月の平均値は、St.O1-1 が 6.41ppm、St.Oh-2 が 5.28ppm であり、合流後の St.O2 (4.46ppm) より高くなっている。これは、2 河川が合流した直後に流れ込む排水 (St.O2-1) の BOD が低く (1.00ppm)、希釈されている可能性が考えられる。しかしながら、もう一つの排水 (St.O2-2) が 130.14ppm と異常に高くなっている (図16)。St.O2-1 が合併浄化槽経由、St.O2-2 が直接流入する排水と予想できるが、St.O2-2 の流量自体が非常に少ないため、St.O2 の値を大きく上昇させるまでに至っていないと考えられる。

[溶存酸素：DO]

図17は溶存酸素の調査結果を示している。採水地点全て (St.O1, St.Oh-1, St.Oh-2, St.O2) において、6 ppm 以上を示している。生活環境の保全に関する環境基準では、B 類型以上に該当することから、現状では、特に問題は感じられない。

[アンモニア態窒素及びオルトリン酸態リン]

図18はアンモニア態窒素、図19はオルトリン酸態リンの調査結果を示している。アンモニア態窒素に注目すると、源流に近い瓜生野公園方面から流れてくる St.Oh-1 ではあるが、7 月、8 月の平均値が 3.67ppm であり、同じ上流域の St.O1 (0.25ppm) を大きく上回る値となり、それより下流の St.O2 よりやや少ない程度である。オルトリン酸態リンも同様の傾向である。

St.Oh-1 は、弘法山山腹にある大根川の源流の一つに近い場所に位置しており、周囲にはミカン畑他の農地が点在している。St.O1 は、弘法山に連なる山麓の山腹にある大根川の源流の一つに近い場所にあり、周囲にはやはり農地が点在している。しかしながら、St.Oh-1 の周囲は、宅地開発が進んでおり、住宅やマンションが立ち並んでいる。従って、農業排水に加え、生活排水の影響も考えることができる。

また、農業排水には、肥料や農薬等の残留物が含まれている場合もあり、アンモニア態窒素

やオルトリン酸態リンの値に影響している可能性が考えられる。宮崎によれば、「流入水は表面流去により Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SiO^2 及び NO^{3-} 濃度が低下し、また地下浸透により NO^{3-} 濃度が低下し、 NH^{4+} 濃度が上昇する傾向が示された。」とある¹³⁾。よって、地下に浸透した農業排水由来の湧水がアンモニア態窒素を増加させる要因の一つになることがわかる。

[陰イオン界面活性剤：直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS)]

図20は、LAS の調査結果を示している。

LAS の値は、下流域の方が上流域より高い値になっており、生活排水の影響が示唆される。

また、7月、St.O1-1とSt.Oh-2が合流した後、すぐ下流のSt.O2のLASの値が急激に上昇しており、8月、St.O2のLASの値は、逆に、St.O1-1とSt.Oh-2の値より減少している。これは、BODの項目でも述べているが、2河川が合流した直後に流れ込む排水(St.O2-1とSt.O2-2)の影響によると推測される。

LASは生物毒性があることが知られている。水生生物の呼吸器系に大きく影響を与え、一定の濃度以上に水生生物が暴露された場合、死に至らしめることが報告されており、注意が必要である^{12, 14-20)}。

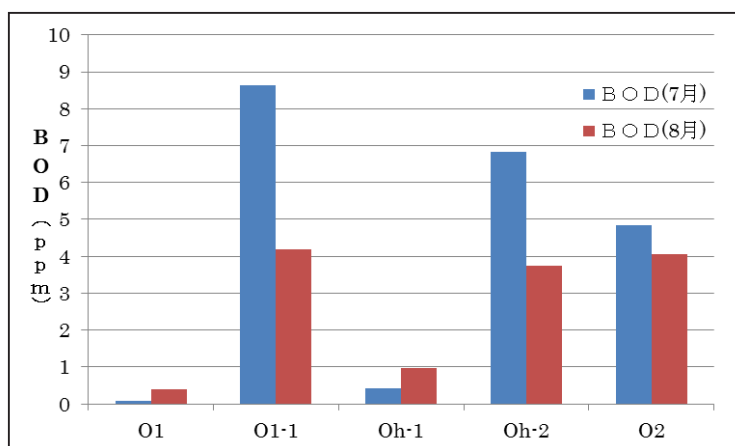


図15 大根川上流域における BOD (7月, 8月)

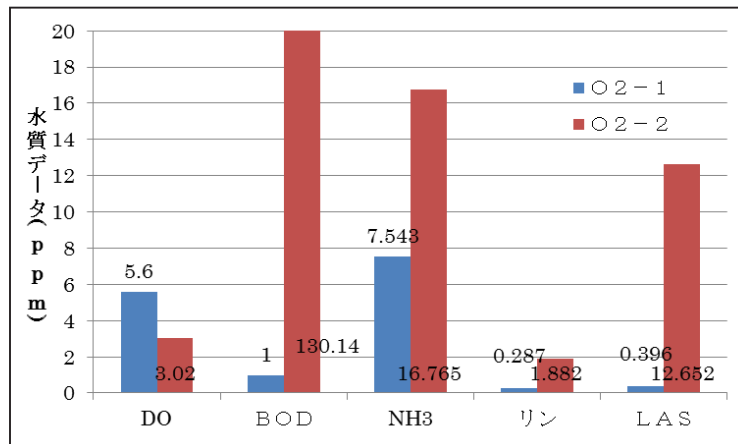


図16 St.O2-1と St.O2-2の水質分析結果（8月15日）

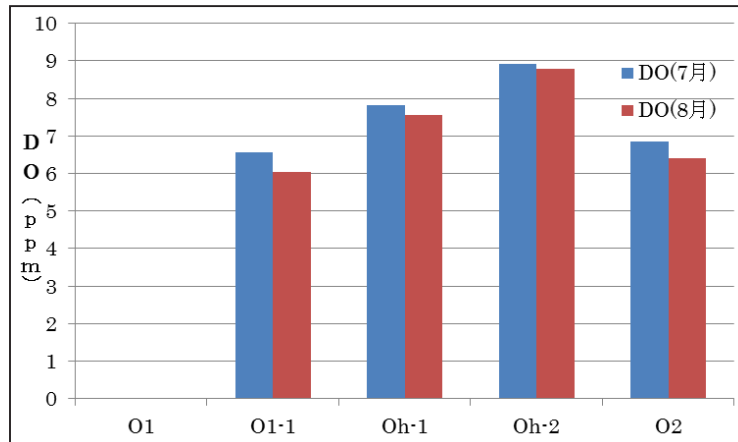


図17 大根川上流域における DO（7月，8月）

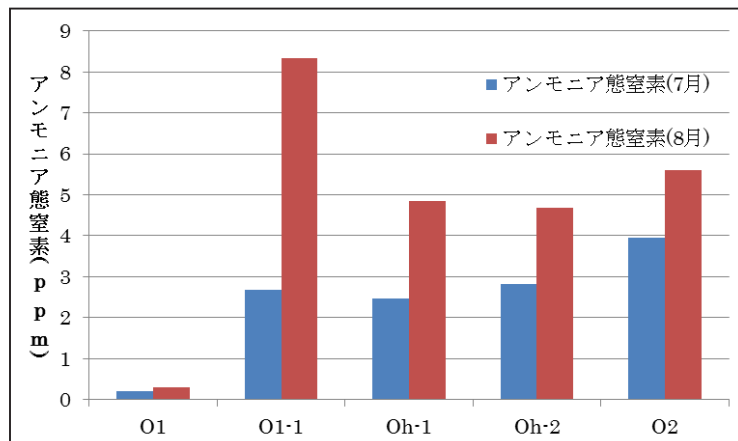


図18 大根川上流域におけるアンモニア態窒素（7月，8月）

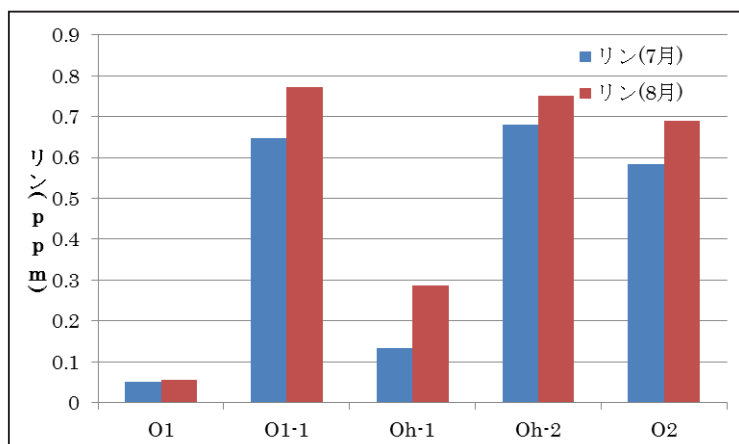


図19 大根川上流域におけるオルトリン酸態リン（7月，8月）

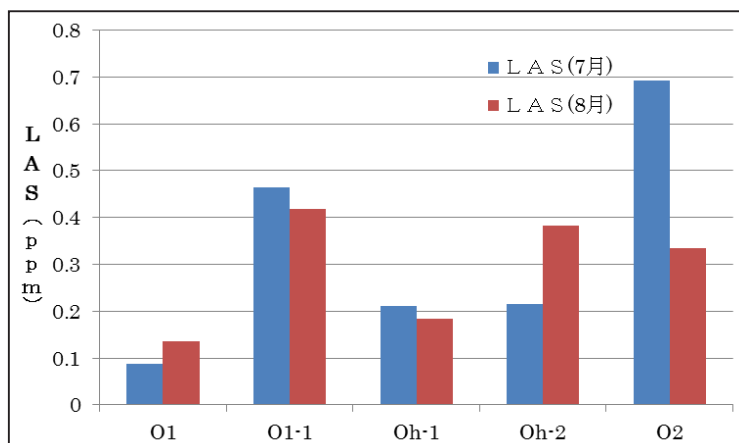


図20 大根川上流域におけるLAS（7月，8月）

6. 今後の課題

今回の秦野市下水道施設課への聞き取りにより，はじめに述べた秦野市と伊勢原市の取組に加え，以下の2つの事項が把握できた。

- ①広域事業の実現理由は利害の一致によるものである。秦野市では下水処理が可能になった事，伊勢原市としては受け入れ費用をもらうことで，収入源となった。
- ②今後も下水道普及が進みさらに流量が増加するため，伊勢原市は終末処理場の受け入れの拡大を行っている。

地方分権一括法が進んだ事により，自治体ごとによる独自の施策が実施されているが，秦野市については，地形上の問題で設置できなかった生活排水処理を目的とした下水道を，伊勢原市

との広域事業で解決した事が理解できる。他の分野においても、同様の取組で課題の解決を検討すべきと考えられる。

一方、『水的环境戦略』では、「持続可能な発展のため、生態系を破壊しないために統合的に考え、統合的に運営せよという事を水環境で考えた場合、水質と水量の折り合い、そして水循環には覚悟が必要」と述べられている²¹⁾。大根川の調査結果からも、下水道普及が進む事で、水質は改善されているが、流量が減少傾向にある事がわかる。従って、全ての生活排水を下水道へ流し、排水処理を行うのではなく、住宅他がまばらに存在する上流域では、排水処理は合併処理浄化槽を用い、河川の流量を維持させる事が必要と考えられる。秦野市内の河川によっては、2012年度の降水量の少なさから、河川が完全に渇水してしまっている場所も散見された。

また、『水インフラ戦略―「スマート下水道」20の提言』では、「閉鎖性水域に下水処理水を排出するスウェーデン・オランダ・ドイツは、窒素・リンの全量を高度処理しているが、日本の高度処理率は全体の18.1%（2009）となっている」と述べられている²²⁾。日本の下水処理場は、コスト面から標準処理までしか行っていないところが多く、窒素、リンの除去が不十分である²³⁾。これでは富栄養化を完全に防ぐことはできない。しかしながら、日本の中でも、琵琶湖を含む滋賀県の高度処理率は全国1位であるといわれている。大根川に限った事ではないが、今後の下水道分野において、高度処理設備の義務化を図る必要があると考えられる。平成17年度に「下水道法大改正」が行われ、高度処理における排出権取引制度が導入されたが、整備期限が法律・政令等で定められていない事も問題の一つであると考えられる。

謝辞

この論文の取りまとめは、大学院人間環境学研究科の大学院生（当時）の今井貴大君の努力によるところが多大である。この場を借りて、深く御礼申し上げます。

また、これまでに河川の水質分析にかかわってくれた当研究室の学生並びに院生諸君に感謝いたします。

引用文献

- 1) 藤野裕弘・宇波惇夫 他：大根川の水質と汚染状況（1）。東海大学紀要教養学部。第22輯。173-201（1991）。
- 2) 藤野裕弘・宇波惇夫 他：大根川の水質と汚染状況（2）。東海大学紀要教養学部。第23輯。285-310（1992）。
- 3) 藤野裕弘・宇波惇夫 他：大根川の水質と汚染状況（3）。東海大学紀要教養学部。第24輯。321-350（1993）。
- 4) 藤野裕弘・宇波惇夫 他：大根川の水質と汚染状況（4）。東海大学紀要教養学部。第25輯。139-156（1994）。
- 5) 藤野裕弘・宇波惇夫 他：大根川の水質と汚染状況（5）。東海大学紀要教養学部。第26輯。301-316（1995）。
- 6) 藤野裕弘・宇波惇夫 他：大根川の水質と汚染状況（6）。東海大学紀要教養学部。第27輯。191-210（1996）。

- 7) 戸田光春：農業と公害―農業用水の水質保全―，初版，地球出版株式会社，32-55（1970）。
- 8) 長祥隆：水環境と生態系の復元―河川・湖沼・湿地の保全技術と戦略，初版，技報堂出版株式会社，202-204（1999）。
- 9) 秦野市下水道部・下水道河川整備課編：秦野市公共下水道全体計画見直し，14p（2011）。
- 10) 森五郎編集：工場排水試験方法 JIS K 0102-（1986），第1版，日本規格協会，東京，254p（1988）。
- 11) 並木博編集：詳解工場排水試験方法，第2版，日本規格協会，東京，518p（1986）。
- 12) 小林勇：恐るべき水汚染合成化学物質で破壊される水環境，第15版，合同出版株式会社，73-76（1996）。
- 13) 宮崎成生：水田を通過する農業用水の水質変化の実態，栃木農試研報，No55，45-55（2005）。
- 14) 渡辺哲男・北見秀明 他：ヒメダカを用いた毒性評価と化学分析との関係について，東海大学紀要教養学部，第33輯，101-108（2002）。
- 15) 藤野裕弘：界面活性剤の淡水魚に対する毒性とその試験方法―ノニルフェノールの魚類への影響（毒性試験を中心に）―，東海大学紀要教養学部，第34輯，327-329（2003）。
- 16) 藤野裕弘・片岡弘子 他：合成洗剤成分のヒメダカへの影響（1）―陰イオン界面活性剤の半数致死濃度を中心として―，東海大学紀要教養学部，第36輯，201-210（2005）。
- 17) 藤野裕弘：合成洗剤成分のヒメダカへの影響（2）―合成洗剤数種の半数致死濃度を中心として―，東海大学紀要教養学部，第37輯，181-191（2006）。
- 18) 藤野裕弘・片岡弘子 他：合成洗剤成分のヒメダカへの影響（3）―光学顕微鏡観察による組織への影響を中心として―，東海大学紀要教養学部，第38輯，1-12（2007）。
- 19) 藤野裕弘・市田恵美：合成洗剤成分のヒメダカへの影響（4）―電子顕微鏡観察を中心として―，東海大学紀要教養学部，第39輯，1-17（2008）。
- 20) 佐久間史郎・藤野裕弘：合成洗剤成分のヒメダカへの影響（5）―洗濯用合成洗剤数種の半数致死濃度を中心として―，東海大学紀要教養学部，第40輯，21-31（2009）。
- 21) 中西準子：水の世界戦略，第一版，岩波新書，212-215（1994）。
- 22) 谷戸善彦：21世紀の水インフラ戦略―「スマート下水道」20の提言―，第1版，理工図書株式会社，270p（2011）。
- 23) 稲森悠平・山海敏弘：生活排水対策のための高度処理浄化槽の普及と展開に向けて，高度処理浄化槽開発技術研究委員会編，ぎょうせい，279p（2002）。