オオミジンコによる河川水中の化学物質の有害性モニタリング

菊地 幹夫, 若林 明子

(1996年10月11日受付)

Monitoring the Biological Effects of Chemicals in River Water using *Daphnia magna*Mikio Kikuchi^{*1} and Meiko Wakabayashi^{*1}

A biomonitoring test was used to assess whether rivers and streams maintained sufficient water quality to support aquatic life. *Daphnia magna* were exposed to the water samples collected from 17 sites of 13 rivers and streams in Tokyo and its suburbs and the acute response of *D. magna* was monitored.

The mobility of the organism was acutely inhibited in the water of six rivers and streams tested. Discharge to these sites was from paddy field, and was a significant proportion of the total flow of the streams and rivers. Gas chromatography-mass spectroscopy of the samples revealed the presence of some pesticides in the water samples. Determination of the toxicity of organophosphate insecticides such as fenitrothion and diazinon to *D. magna* showed 50% inhibition concentration of mobility at 48-hr exposure (48 h-EC₅₀) of 0.10 to 1.0 µg/l. The concentrations of these insecticides in the water samples correlated well with the toxicity measurements of each sample. These insecticide concentrations accounted for most of the toxicity.

This biomonitoring test using *D. magna* was highly sensitive and simple. The significance of detecting these insecticides at acutely toxic concentrations to *D. magna* in some waters of the streams and rivers indicates that they have an adverse effect on some aquatic lives such as crustacean and benthic insects.

キーワード：農薬汚染，殺虫剤，フェニトロチオン，ダイアジノン，オオミジンコ，甲殻類，遊泳阻害

近年になって、河川水はいろいろな化学物質で汚染されていることがわかってきた。このため1993年には人の健康の保護に関する水質環境基準が大幅に改定されるとともに、要監視項目が設定され、河川水の水質監視が強化された。またこれらの化学物質は水界生態系に悪影響を与えていることが懸念され、実際に水田地帯を流れる一部の河川では農薬による水生生物への被害が顕在化している。¹⁻⁶⁾ しかしこれは限られた特定の農村地域でのみで起きているのか、それとももっと広範囲にわたるのか、さらに大都市やその近郊にまでも生じているのだろうか。東京地域の河川水は種々の化学物質で汚染されているが、⁷⁾ その汚染レベルが水生生物にとってどの程度有害であるかについてはわかっていない。

河川水中の化学物質による水生生物への影響を直接的

・具体的に明らかにし、汚染を評価するためには、バイオアッセイを用いることが最も適切である。水界生態系を構成する代表的な生物である甲殻類の一つであるミジンコ類を用いる試験方法は、農薬の急性毒性試験⁸⁾に用いられるとともに日本工業規格で規格化されており、⁹⁾ 試験方法としての完成度も高く、データの信頼性も良好である。またミジンコ類を用いるバイオアッセイはすでに河川¹⁰⁻¹⁴⁾や排水¹⁵⁾についていくつかの実績がある。

この研究では、オオミジンコ *Daphnia magna* を用いて東京およびその近郊の河川水を濃縮せずに直接にバイオアッセイすることにより、これらの河川の水質がどの程度の範囲にわたって、またどの季節にミジンコ類ひいては甲殻類の生息に有害であるか検討すること、また検水を化学分析してその原因物質を探索することを目的と

^{*1}東京都環境科学研究所 (The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection, Shinsuna, Koto, Tokyo 136, Japan).

した。

実験方法

河川水でのオオミジンコの遊泳阻害試験 河川水の採取地点を Fig. 1 に、また調査した河川の概況を Table 1 に示した。^{16), *2, *3} なお秋川, 程久保川と残堀川は多摩川の支川, 成木川は荒川の支川, 柳瀬川は新河岸川の支川, 大場川は中川の支川, 毛長川は綾瀬川の支川である。1994 年 5~7 月にこれらの河川で採水し, また中川の定点 (埼玉県吉川市) で 1994 年 4 月から 1995 年 4 月まで 1 年間にわたって採水した。この河川水をポリビンに入れて -18°C で凍結保存し, 試験の直前に解凍して検水とした。

試験には *D. magna* (クローン A) を用いた。オオミジンコは脱塩素水道水 (平均水質: 硬度 = 70 mg/l (CaCO_3 として), pH = 6.9) または市販のミネラルウォーター ((株) 菊水: 秩父わか清水, 平均水質: 硬度 = 70 mg/l, pH = 7.6, 塩化物イオン = 4 mg/l) を用いて, *Chlorella* sp. (クロレラ工業株) または実験室で培

養した *Selenastrum capricornutum* を餌として水温 20~21°C で飼育した。

遊泳阻害試験は JIS K0229 「化学物質などによるミジンコ類の遊泳阻害試験方法」に準拠して行った。河川水約 20 ml の中に産出後 24 時間以内の幼体 5 頭を入れたものを 4 連つくて試験し, 48 時間後に 20 頭中何頭が遊泳阻害を受けたかの比率 (%) で遊泳阻害を示した。遊泳阻害の判定については, 容器を穏やかにかき混ぜた後, たとえ 15 秒間の観察期間中に触角を動かしたり少々はうことができて, 遊泳しないものを遊泳阻害とした。試験中, 水は交換せず, また給餌はしなかった。pH 7.0~8.0 (この範囲に入らない検水については pH を調節した), 水温 20~21°C, 照度 1,000~2,000 ルックス (16 時間明-8 時間暗), 溶存酸素 7 mg/l 以上とした。また対照水には上記のミネラルウォーターを用いた。この試験条件はオオミジンコにとって良好であり, 14 の対照試験において遊泳阻害は 280 頭中の 1 頭にのみ認められただけである。

河川水中の農薬の分析 1994 年 6 月に河川水をガラ

Fig. 1. Location of sampling sites of river water and results on the inhibition of mobility of *D. magna*.

■ inhibited
□ not inhibited

*2 東京都環境保全局: 平成 6 年度公共用水域の水質測定結果 (総括編), 1996, pp. 382-383.

*3 東京都建設局資料.

Table 1. The characteristics of the river tested *2, *3, 16)

River	Catchment Area, km ²	River Length, km	Low Water Flux, * m ³ /s
Tama River (Branch)	1,240	138	15 (Den'en-chofu)
Aki Stream	147	34	—
Zanbori Stream	35	14	—
Hodokubo Stream	5	4	—
Edo River	200	55	45 (Noda)
Naka River (Branch)	991	103	22 (Yoshikawa)
Ooba Stream	40	16	—
Ayase River (Branch)	178	49	—
Kenaga Stream	—	10	—
Ara River (Branch)	2,940	174	49 (Akigase)
Naruki Stream	54	20	—
Shingashi River (Branch)	390	34	—
Yanase Stream	96	20	—

* average for 1990 to 1994.

スピニンに採取し、冷蔵して実験室に搬入した。常法**にしたがってガスクロマトグラフ/質量分析計 (GC/MS) または高速液体クロマトグラフ (HPLC) を用いて農薬を分析した。

農薬についてのオオミジンコ遊泳阻害試験 農薬としては製剤または試薬 (Table 2) を用い、濃度はすべて有効成分換算して示した。製剤は蒸留水に乳化させ、試薬はジメチルスルホキシド (特級) に溶解させて用いた。

上記のミネラルウォーターを希釈水として用い、これに一定量の農薬溶液を添加して試験水とした。試薬の溶剤として用いたジメチルスルホキシドの試験水中での濃度は最大で 200 mg/l であるが、この濃度で溶剤はオオミジンコに影響を与えないことを確認した。

公比 1.8 で数段階の曝露濃度の試験水を調製し、河川水の場合と同様な条件下で遊泳阻害試験を行った。曝露濃度は実測しなかった。設定濃度と 48 時間曝露後の遊泳阻害率を対数正規確率紙にプロットして半数遊泳阻害濃度 (48 h-EC₅₀) を算出した。

結果と考察

河川水でのオオミジンコの遊泳阻害 地域的な特徴をみるために、16 地点の河川水について試験した。Fig. 1 に示したように、江戸川、荒川、成木川、多摩川 (羽村、拝島、砧、田園調布)、秋川、新河岸川、柳瀬川の河川水ではオオミジンコの遊泳は阻害されないが、綾瀬川、大場川、毛長川、程久保川、残堀川の河川水では全頭で遊泳が阻害された。また中川では二回の試験のうち一回は全頭で遊泳が阻害された。この試験から、中川等いくつかの河川水にはオオミジンコに遊泳阻害を引き起こす物質が含まれていることがわかった。

季節的な特徴をみるために、中川の定点で 1 年間モ

Table 2. The common name, chemical name, and the purity and information of the pesticides used in the bioassay

Common name	Chemical name	Formulation (active ingredient)
dichlorvos (DDVP)	2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate	emulsifiable concentrate (50%)
diazinon	O,O-diethyl O-2-isopropyl-6-methyl-pyrimidin-4-yl phosphorothioate	emulsifiable concentrate (40%)
fenitrothion (MEP)	O,O-dimethyl O-4-nitro-m-tolyl phosphorothioate	emulsifiable concentrate (50%)
isoxathion	O,O-diethyl O-5-phenylisoxazol-3-yl phosphorothioate	reagent (98%)
phenthion (MPP)	O,O-dimethyl O-4-methylthio-m-tolyl phosphorothioate	reagent (98%)
fenobucarb (BPMC)	2-sec-butylphenyl methylcarbamate	reagent (>98%)
iprobefos (IBP)	S-benzyl O,O-di-isopropyl phosphorothioate	reagent (98%)
isoprothiolane	di-isopropyl 1,3-dithiolan-2-ylidenemalonate	reagent (>99%)

** 環境庁通達、環水規第 121 号、水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準の測定方法および要監視項目の測定方法について (1993 年 4 月 28 日)。

Fig. 2. Inhibition of mobility of *D. magna* in water sampled from Naka River at Yoshikawa (Saitama) from 1994 to 1995.

■ inhibited
□ not inhibited

ニタリングし、結果を Fig. 2 に示した。6~7 月には高い頻度で遊泳が阻害されたが、他の時期にも時々遊泳阻害がみられた。例えば 8 月には大雨による河川の増水の直後に阻害を受けた。定点から約 2 km 下流の八条橋の水質を見ると、有機汚濁指標の生物化学的酸素要求量 (BOD) の年度平均値は 5.3 mg/l であるが、BOD は夏に低く、冬に高い値となる。⁴⁵ したがってこの地点では BOD 濃度の増大がオオミジンコに遊泳阻害を引き起こす一因とはなっていない。

原因物質の探索 東京地域の河川水はいろいろな化学物質で汚染されている⁷が、その中でミジンコ類に毒性が強いものの一つとして農薬がある。農耕地用の農薬は春から夏にかけて水系を汚染する。¹⁷⁻¹⁹ また河川水中でのオオミジンコの遊泳状況を観察すると、遊泳阻害に先立って、激しい興奮状態がみられた。この挙動は有機りん系殺虫剤等に特徴的な反応であり、またミジンコ類はこれらの農薬に対する感受性が非常に高いことが知られている。そこで 6 月に採取した河川水について、水質環境基準の要監視項目に定められている農薬 11 種の濃度を化学分析し、結果を Table 3 に示した。あわせて文献^{20,21} からオオミジンコの 24 時間半数致死濃度 (24 h-LC₅₀) を引用し、また各地点で検出された農薬について影響の大きさを示す尺度として [農薬濃度/24 h-LC₅₀] を求め、その総和値を計算して Table 3 に示した。ただし 24 h-LC₅₀ が入手できないプロピザミドの場合にはミジンコ *Daphnia pulex* の 3 h-LC₅₀²² で代用した。化学

分析の結果と比較すると、農薬が検出される地点の多くではオオミジンコに遊泳阻害がみられること、しかもこの総和値が約 0.1 を越えると遊泳阻害が現われることがわかる。なお残堀川では例外的にこれらの農薬が検出されないにもかかわらず、オオミジンコに遊泳阻害が見られた。

そこで検出された農薬について 48 h-EC₅₀ を求め、Table 3 に示した。これらの農薬のうち有機りん系殺虫剤の 48 h-EC₅₀ は 0.1~0.9 µg/l でオオミジンコに遊泳阻害をおこし、しかも 48 h-EC₅₀ は 24 h-LC₅₀ 値のおよそ 1/10 の値であることがわかった。

遊泳阻害がみられた河川 (残堀川を除く) では、河川水から検出された農薬の濃度はこの 48 h-EC₅₀ 値付近あるいはそれ以上であり、また遊泳阻害が見られない河川で検出された濃度はこの 48 h-EC₅₀ 値よりも小さかった。そこでこれらの 48 h-EC₅₀ 値を用いて、各地点で同様に [農薬濃度/48 h-EC₅₀] を求めてその総和値を計算すると (Table 3)、この値がおよそ 1 を超えると遊泳阻害が現われることがわかる。このことは遊泳阻害の主要な原因物質がこれらの有機りん系殺虫剤であることを示している。

残堀川では原因物質は明らかでないが、調査地点のすぐ上に流入している農業用水ではかんがい期にザリガニが生息しなくなることから、ある種の農薬が原因ではないかと考えている。

すでに畠山らは、水田地帯を流れる河川の水を集める

⁴⁵ 埼玉県環境部：平成 6 年度公共用水域および地下水の水質測定結果 (資料編)，1995，p. 38.

Table 3. The relationship between pesticides concentration ($\mu\text{g/l}$) and the mobility inhibition of *D. magna* in the various river waters

Sampling site in Tokyo ^{*1}	Oxine-copper	Dichlorvos	Fenobucarb	Chlorothalonil	Iprobenfos	Propizamide	Diazinon	Fenitrothion	Isoprotolane	Isosaxthion	Chloronitrofen	Mobility inhibition, %	Toxic unit 1 ^{*2}	Toxic unit 2 ^{*3}
Edo R.	ND ^{**}	ND	0.4	ND	0.1	ND	0.2	ND	0.1	ND	ND	5	0.04	0.23
Tama R., Hamura	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5	0	0
Tama R., Haijima	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5	0	0
Tama R., Kinuta	ND	ND	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0	0.01
Tama R., Den'enchofu	ND	ND	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5	0	0.01
Aki Stream	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0	0
Naruki Stream	ND	ND	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	ND	ND	0	0.01	0.03
Naka R.	ND	0.1	0.4	ND	1.4	ND	0.5	0.1	0.8	ND	ND	100	0.15	1.24
Ooba Stream	ND	0.5	1.6	ND	0.9	ND	0.5	2.7	0.9	ND	ND	100	1.06	6.80
Ayase R.	ND	0.1	1.3	ND	0.3	ND	2.1	0.1	0.5	ND	ND	100	0.35	3.15
Kenaga Stream	ND	0.3	0.4	ND	ND	ND	2.7	0.7	ND	ND	ND	100	0.62	5.57
Shingashi R.	ND	ND	1.0	ND	0.9	ND	0.7	0.1	ND	ND	ND	0	0.15	1.01
Yanase Stream	ND	ND	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0	0.01
Hodokubo Stream	ND	0.7	ND	ND	ND	ND	ND	0.7	ND	ND	ND	100	0.41	4.43
Zanburi Stream	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	100	0	0
LC ₅₀ ^{*5}	450	3.5	33	75	85	>40000	8.5	3.4	3300	0.73	3800			
48h-EC ₅₀	—	0.20	13	—	>500	—	0.87	0.75	>1000	0.10	—			

^{*1} Test waters were sampled on June, 1994.^{*2} Toxic unit 1 = $\Sigma [\text{conc. in water } (\mu\text{g/l}) / \text{LC}_{50} (\mu\text{g/l})]$.^{*3} Toxic unit 2 = $\Sigma [\text{conc. in water } (\mu\text{g/l}) / 48\text{h-EC}_{50} (\mu\text{g/l})]$.^{**} ND for Oxine-copper is below 4 $\mu\text{g/l}$, and ND's for the others are below 0.1 $\mu\text{g/l}$.^{*5} reference²⁰⁻²²⁾

霞ヶ浦水系の河川水と小貝川の河川水を濃縮しないで直接試験し、春から夏にかけてヌカエビが死亡することを見出し、その原因が殺虫剤や殺菌剤であることを明らかにした。²⁻⁵⁾ しかし以下に述べるそのほかの報告では、オオミジンコに対して有害な物質が河川水中に含まれていることを明らかにしたが、いずれも原因物質の特定に至っていない。例えば細川に¹²⁾は淀川に流入する支川の河川水は濃縮しなくてもオオミジンコに有害であるが、本川では濃縮した場合に有害となることを報告した。また Hendriks ら^{10,13)}はライン川で、Galassi ら¹¹⁾はイタリアの Po 川で、岡村ら¹⁴⁾は児島湖流域の河川で、河川水中にオオミジンコに有害な物質が含まれていることを報告している。

水質汚染の経路と生態系へのリスク オオミジンコに遊泳阻害が観察された河川のうち、大場川、毛長川、残堀川、程久保川、綾瀬川は中小河川であり、いずれも流域に農耕地を有し、直接あるいは農業用排水路を経て水田の排水を受け入れている。中川は流域が 991 Km²で上流部に広大な農耕地を有し、かんがい期には利根川、荒川から取水された農業用水の落水により流量が豊かでおおむね 50 m³/s 以上となり、非かんがい期には 10~

20 m³/s に低下する。¹⁶⁾ このようにいずれの河川でも農業用水の落水があることが特徴であり、これが主に田に散布された有機りん系殺虫剤を河川に輸送し、河川水の汚染を引き起こしたと考えられる。上流や支川に農耕地を有しながらも、水量の多い江戸川や多摩川の河川水では遊泳阻害が見られなかったが、これらの河川では遊泳阻害を示さないレベルまで有機りん系殺虫剤が希釈されたためと考えられる。

ミジンコ類は水生生物の中では感受性の比較的高い種類に入る生物の一つであり、また甲殻類への影響の指標生物と考えられている。調査した 13 河川中 6 河川でオオミジンコに遊泳阻害が観察されたことは東京およびその近郊でも広範囲の河川の水質が甲殻類の生息に有害であることを示し、また中川での 1 年間の調査で農業を多用する季節にはこの有害性が継続することが明らかになったことから、これらの河川では直接的には甲殻類の生息に、また間接的には水界生態系に対して高いリスクがあることがわかる。これらの河川では有機りん系殺虫剤による汚染を早急に改善する必要がある。なおこれらの河川の中には、BOD が高くて溶存酸素濃度が低く、生物の生息に適しない河川もあるが、BOD の改善は必

ずしも甲殻類の生息の改善に寄与しないことは明らかである。

なおオオミジンコに遊泳阻害を起こさないことは即水界生態系に安全であることにはならず、安全性の確認には分類学上大きく離れた少なくとも数種の生物を用いることが必要とは言うまでもない。

濃縮しない河川水をオオミジンコで試験する利点 著者らは採取した河川水にオオミジンコを直接入れてその挙動を観察することにより、河川水中に甲殻類に有害な化学物質が含まれているかどうかを簡単、安価かつ鋭敏に明らかにでき、また有機りん系殺虫剤による $1\mu\text{g/l}$ 以下の汚染の地域的な特徴と季節変化を明らかにできた。

多くの研究^{10-14,23)}では、バイオアッセイにあたって河川水中の化学物質を ODS カラム等で濃縮してから試験している。しかしこれらの方法では、手間がかかり、また濃縮にともなう汚染物質のロスや変質、あるいはきょう雑物の濃縮によるマトリックスの変化などの問題点がある。しかし、著者らが今回用いた方法は有機りん系殺虫剤による汚染レベルに対して十分な感度を有するので、前処理としての濃縮を必要としない。このため、バイオアッセイの手間がかかる等の上記で指摘した問題点を解決できた。また本法は河川水の有害性を直接に計測できるメリットを持つ。

またオオミジンコは試験生物としていくつかのメリットを持つ。畠山²⁻⁵⁾や狩谷²³⁾はヌカエビの致死を指標としているが、ヌカエビに対する LC_{50} はフェニトロチオンで $1\mu\text{g/l}$ 、ダイアジノンで $6\mu\text{g/l}$ 、フェンチオンで $1\mu\text{g/l}$ である。一方オオミジンコに対する 48h-EC_{50} はフェニトロチオンで $0.75\mu\text{g/l}$ 、ダイアジノンで $0.87\mu\text{g/l}$ (Table 3)、フェンチオンで $1.0\mu\text{g/l}$ であり、ヌカエビの LC_{50} とくらべて同等ないしは $1/7$ と低かった。また細川¹²⁾もオオミジンコに対する 48h-EC_{50} をフェニトロチオンで $0.77\mu\text{g/l}$ 、ダイアジノンで $0.25\mu\text{g/l}$ と報告している。このように著者らの用いたオオミジンコの遊泳阻害を指標とする方法は、①ヌカエビを用いるよりも感度が高い。また、②試験生物として歴史が長いので、多種類の化学物質の毒性データがそろっており、原因物質の探索が容易である。また他の水生生物への影響を推定することが可能である。③クローンを用いることにより、データの再現性を高めることができる。④オオミジンコは飼育が簡単であり、ライフサイクルも短い。飼育も実験も小規模で行うことができる。例えば 1 頭あたり 2ml の試験水があれば遊泳阻害試験を行うことができる。このことは試験のコストを低くする、などの特徴をもつ。

これらの調査は東京都環境保全局水質保全部水質監視課と共同で実施したものであり、水質環境基準の要監視項目の農薬の濃度分析は水質監視課が帝人エコ・サイエンス㈱に委託して行った。

文 献

- 1) S. Hatakeyama and Y. Sugaya: A freshwater shrimp (*Paratya compressa improvisa*) as a sensitive test organism to pesticides. *Environ. Pollution*, **59**, 325-336 (1989).
- 2) 畠山成久, 白石寛明, 浜田篤信: 霞ヶ浦水系河川のヌカエビ (*Paratya compressa improvisa*) 生物試験による農薬毒性の季節変動. 水質汚濁研究, **14**, 460-468 (1991).
- 3) S. Hatakeyama, H. Shiraishi, and Y. Sugaya: Monitoring of the overall pesticide toxicity of river water to aquatic organisms using a freshwater shrimp, *Paratya compressa improvisa*. *Chemosphere*, **22**, 229-235 (1991).
- 4) 畠山成久: セレナストラム・ヌカエビの生物試験による除草剤・殺虫剤の潜在的生態影響モニタリング, 用水と廃水, **35**, 337-343 (1993).
- 5) 国立環境研究所: 水環境における化学物質の長期曝露による相乗的生態系影響に関する研究, 国立環境研究所特別研究報告 SR-19-95, 1995.
- 6) 畠山成久, 福嶋悟, 笠井文絵, 白石寛明: 河川の藻類生産に及ぼす除草剤の影響評価, *Jpn. J. Limnol.*, **53**, 327-340 (1992).
- 7) 佐々木裕子, 森田一夫, 和田照美: 東京における水環境の化学物質モニタリング, 水環境学会誌, **18**, 655-662 (1995).
- 8) 奈良正人: 水生生物に対する農薬毒性試験法の現状と問題点, 「水生生物と農薬 理論応用編」(金沢 純, 田中二良編著), サイエンス社, 東京, 1979, pp. 193-204.
- 9) 日本工業規格 JIS K0229 化学物質などによるミジンコ類の遊泳阻害試験方法. 日本規格協会, 東京, 1992.
- 10) A. J. Hendriks and M. D. A. Stouten: Monitoring the response of microcontaminants by Dynamic *Daphnia magna* and *Leuciscus idus* assays in the Rhine Delta: Biological early warning as a useful supplement. *Ecotoxicol. Environ. Saftey*, **26**, 265-279 (1993).
- 11) S. Galassi, L. Guzzella, M. Mingazzini, L. Vigano, S. Capri, and S. Sora: Toxicological and chemical characterization of organic micropollutants in River Po waters (Italy), *Water Res.*, **26**, 19-27 (1992).
- 12) M. Hosokawa, G. Endo, and K. Kuroda: Acute toxic effect of River Yodo water (Japan) on *Daphnia magna*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **55**, 419-425 (1995).
- 13) A. J. Hendriks, J. L. Maas-Diepeveen, A. Noordsij, and M. A. Van Der Gaag: Monitoring response of XAD-concentrated water in the Rhine Delta: A Major part of the toxic compounds remains unidentified. *Water Res.*, **28**, 581-598 (1994).
- 14) 岡村秀雄, 大森元子, 羅 栄, 青山勲: 農地帯における河川水がミジンコ遊泳に及ぼす影響, 環境技術, **25**, 145-148 (1996).
- 15) J. R. Amato, D. I. Mount, E. J. Durhan, M. T. Lukasewycz, G. T. Ankley, and E. D. Robert: An example of the identification of diazinon as a primary toxicant in an effluent, *Environ. Toxicol. Chem.*, **11**, 209-216 (1992).
- 16) 日本河川協会編, 建設省河川局監修: 日本河川水質年鑑, 山海堂, 東京, 1996.
- 17) 伏脇裕一, 浦野敏平: 農薬による環境汚染の現状と課題, 用水と廃水, **34**, 1003-1014 (1992).
- 18) 福嶋 実: 水環境における人工有機化合物の動態と生物

- 濃縮機構に関する研究, 学位論文, 京都大学, 1996, 44p.
- 19) 山口之彦, 福嶋 実, 藤田忠雄, 山田明男: 淀川水系における農薬の分布および季節変動, 環境化学, 1, 56-63 (1991).
- 20) 西内康浩: 農薬の水生動物に対する影響評価-VI オオミジンコに対する毒性, 生態化学, 8(2), 15-20 (1985).
- 21) 西内康浩: 農薬の水生動物に対する影響評価-X オオミジンコに対する毒性(2), 生態化学, 9(4), 16-22 (1989).
- 22) 西内康浩編著: 続・水生生物と農薬 急性毒性資料編Ⅱ, サイエンティスト社, 東京, p. 224, 1983.
- 23) 符谷貞二: へい死事故原因調査法, 「新編水質汚濁調査指針」(日本水産資源保護協会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp. 451-514.