

諏訪湖における農薬負荷とその生物影響に関する研究

宮原 裕一・小松 正知

信州大学 山岳科学総合研究所

Studies on the pesticides load and their biological effects in Lake Suwa

Yuichi MIYABARA, Masashi KOMATSU

Institute of Mountain Science, Shinshu University

キーワード: 諏訪湖、農薬、生物試験

Keywords: Lake Suwa, pesticide, bioassay

1. はじめに

諏訪湖は我が国で最も標高の高い諏訪盆地の北側に位置し、今から約100万年前に、糸魚川-静岡構造線上にできた断層湖と言われている。現在は、湖面積13.3km²に対し、最大水深が6.9m(平均水深約4m)と、平坦で底の浅い皿のような形状をしている。諏訪湖の集水域面積は、湖面積の約40倍の531km²と広く、湖水の平均滞留時間は約40日と短い[1]。したがって、諏訪湖の水質は流入河川の影響を強く受け変動しやすい。

集水域から諏訪湖に流入する河川は、大小合わせて31河川あり、代表的な流入河川である横河川、砥川、上川、宮川の4河川の集水域が全集水域の85%を占めている[1]。このうち、横河川と砥川が湖の北側から、上川と宮川は湖の南側から諏訪湖へと流入している。集水域の土地利用の割合は、森林が58%、草地や耕地が31%、市街地が6.2%となっている[2]。特に、諏訪湖の北側には工場を含む住宅地が、南側には水田等の農地が大きく広がっている。このように諏訪湖周辺の土地利用は場所により大きく異なり、流入河川の水質も変化に富んだものとなっている[3]。前述の

通り、諏訪湖水質は流入河川の影響を強く受けやすく、また、流入河川の水質がそれぞれ異なることから、湖内の水質分布から河川水の流入や、湖水の混合状態を推察することができる。

我々は、2002年より、諏訪湖全域(湖内60地点)の水質分布の調査を行っており、柳町は表層の透明度、懸濁物質、クロロフィルの分布を、宮原は、表層の主要イオンの分布を解析した[4-13]。それら結果は、いずれも諏訪湖表層の水質はほぼ均一であり、東部沿岸域のみ若干水質が異なることを示していた。

さらに、諏訪湖11地点における主要イオンの鉛直分布と、湖水と流入河川水の水質の対比を行ったところ、横河川、砥川、上川および宮川といった比較的流量の大きな河川の河口近くでは、河川水の潜り込みの影響が見られた。同時に観測していた溶存酸素や水温の分布からも、これら河川水の深層への潜り込みが支持された。また、降水時には河川流量が増大するだけでなく、河川水温も低下し、河川水の潜り込みが強く表れやすい事も明らかとなった[14]。

一方、農薬は河川から諏訪湖に流入し、水

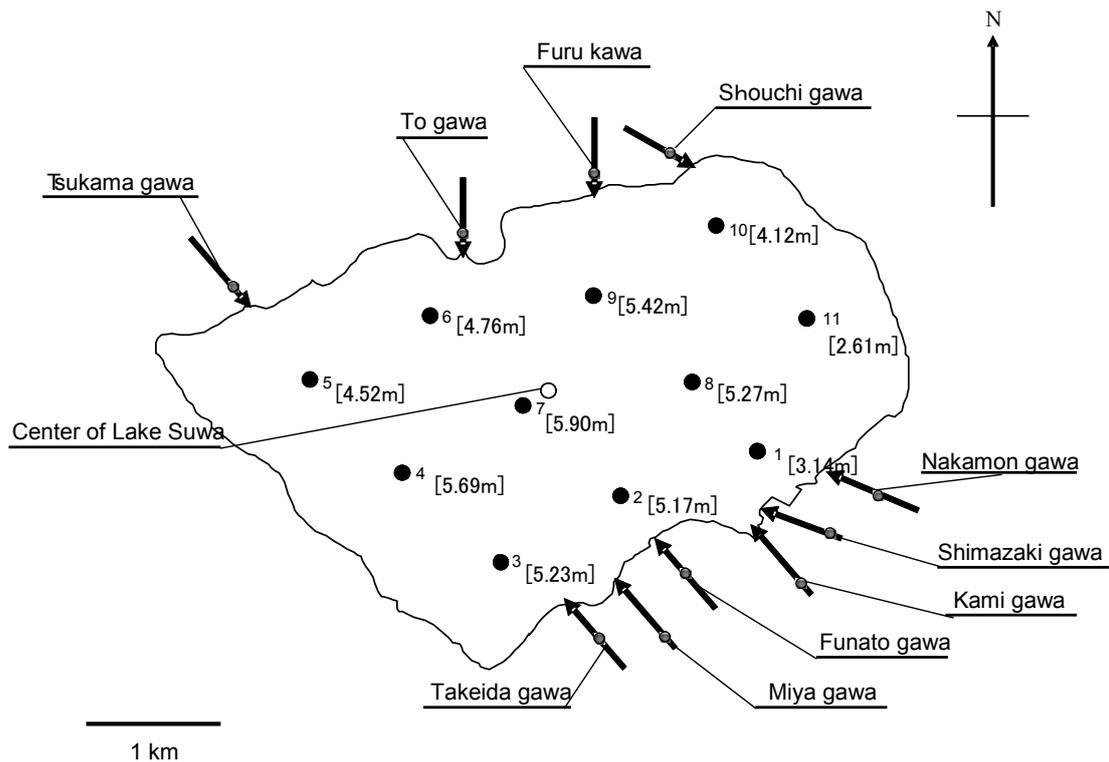


Fig. 1 諏訪湖および諏訪湖流入河川(調査地点)

生生物への影響が懸念される化学物質である。その湖内分布を知ることは、湖水の流動や混合状態を把握するだけではなく、水生生物への影響を評価することにつながる。先に、諏訪湖では、角田(2004)、山下(2006)、田中(2008)、石母田(2010)により、諏訪湖や流入河川水中の農薬濃度の測定が行われたが、農薬の詳細な湖内分布は不明なままであった[15-18]。同時に、環境水の毒性評価のため、オオミジンコを用いた毒性試験も行われたが、同様に、毒性の湖内分布は把握されていなかった。

そこで本研究では、環境水の毒性評価を目的とし、諏訪湖への農薬の流入状態や湖内における農薬分布の調査とあわせ、発光細菌を用いた毒性試験を行った。

2. 方法

2-1 調査地点

水質調査は、諏訪湖内 11 地点、および流入河川 10 地点で行った(Fig. 1)。諏訪湖内の

11 地点は、諏訪湖を 11 のブロックに分割した各々の中心点である。これら 11 地点の水深は、Fig. 1 に示した通りである。また、10 河川は、流量の大きい上川、宮川、砥川といった主要 3 河川と、湖北側の市街地を通る塚間川、古川、承知川、湖南側の市街地を源流とする舟渡川、農業排水の流入する中門川、島崎川、武井田川といった 7 河川である。

2-2 試料採取

諏訪湖では、既に深層への河川水の潜り込みが確認されていることから、深層水を対象に調査を行った。定点において、水深を測定し、湖底から 50cm の水をバンドーン採水器により採取した。河川では紐をつけたバケツを用い、橋の上から河川水を採取した。

採取試料はポリ瓶に入れ持ち帰り、直ちにガラス繊維濾紙(Whatman GF/C)を用いて濾過を行った。各試料につき農薬分析用と毒性試験用に濾液を 500ml ずつガラス瓶に採取し、冷蔵庫に保存した。

Table 1 本研究での分析対象農薬とその回収率

	定量イオン (m/z)	保持時間 (min)	回収率 (%)
除草剤			
ベンスルフロンメチル	411.1	4.81	93.6±4.6
ジメタメトリン	256.2	7.21	92.0±4.5
ジウロン	233.0	4.58	93.6±4.4
ダイムロン	269.1	6.76	89.4±4.6
イマゾスルフロン	413.0	5.06	87.6±8.1
メフェナセット	321.1	6.66	92.5±17.7
プレチラクロール	312.1	9.98	91.5±7.2
ピラゾスルフロン	415.1	6.01	91.4±2.2
シメトリン	214.1	3.79	100.1±4.2
シマジン	202.1	3.53	94.9±3.2
殺菌剤			
イプロベンホス	289.1	7.39	92.7±4.1
イソプロチオラン	291.1	7.51	93.5±2.5
メプロニル	270.2	7.26	92.0±7.8
メタラキシル	280.2	4.56	83.5±12.3
ピロキロン	174.0	3.03	93.5±6.7
フルトラニル	324.1	7.41	99.5±10.7
殺虫剤			
ダイアジノン	305.1	9.21	86.4±4.2
フェノカルブ	208.2	6.03	101.5±8.2
イソキサチオン	314.1	9.53	73.4±9.2

2-4 農薬分析

LC/MS で分析可能な除草剤、殺菌剤、殺虫剤のうち、先行研究で検出された農薬計 19 種類を分析対象とした (Table 1)。そのうち除草剤はシマジン、シメトリン、ベンスルフロンメチル、ダイムロン、ピラゾスルフロン、メフェナセット、イマゾスルフロン、ジウロン、ジメタメトリン、プレチラクロールの 10 種類、殺菌剤はピロキロン、イプロベンホス、イソプロチオラン、メプロニル、フルトラニル、メタラキシルの 6 種類、殺虫剤はダイアジノン、イソキサチオン、フェノカルブの 3 種類である。また、これらの添加回収実験の結果も合わせて Table 1 に示した。

水試料中に含まれている農薬の定量は、重水素置換されたシマジン d5 およびダイアジノン d10 を試料水に添加し、内部標準法で行

なった。採取した濾液 500ml に内部標準物質をそれぞれ 50ng 添加し、次にアセトニトリル 6ml と蒸留水 10ml でコンディショニングを行なった固相カートリッジ (昭和電工 Autoprep PS@Liq) に通水した。通水後、カートリッジに窒素吹き付けを 10 分間行い、固相内の水分を取り除き、アセトニトリル 5ml で試験管へ溶出した。溶出液は窒素気流下で乾固させ、1ml のアセトニトリルに再溶解した。

試料中の農薬の分析には質量分析器付きの高速液体クロマトグラフィー (島津製作所 LC/MS 2010)、分析カラム: 関東化学 Mightysil RP-18 GP (粒子径 3 μm、内径 2mm、長さ 150mm) を用いた。分析条件は、石母田 (2010) に従い、流速: 0.2ml/min、移動相: 0.1% 酢酸水溶液とアセトニトリル、カラムオープン温度: 45℃、CDL 内温度: 200℃、データ収集時間: 15 分、検出

器のイオンモード:ESI ポジティブ、スキャン (m/z=150-500)とした[18]。

2-5 生物試験方法

本研究では、河川水や湖水の毒性を、簡便な毒性試験法として知られる発光細菌試験を用いて評価することを試みた。試験用発光細菌浮遊原液は国立環境研究所から、保存用プラスチックチューブ(4ml)に冷凍保存(-80℃)した状態で提供を受け、以下の試験を行った。ここでは、2012年の試料のみ毒性試験を行った。

本研究では、農薬成分と毒性を対比させるため、固相抽出物について、毒性試験を行った。採取した濾液 500ml は、農薬同様固相(昭和電工 Autoprep PS@Liq)に通水し、アセトニトリル 5ml で試験管へ溶出した。この溶出液を窒素気流下で乾固させ、100 μl のジメチルスルホキシド(ナカライテスク 組織培養用)に再溶解させ試験液とした。

毒性試験では、上記試験液とペンタクロロフェノール(和光純薬)をジメチルスルホキシドに溶解させたポジティブコントロール(20 μg/l)の発光阻害を同時に計測し、感度に変動がないことを確認した。毒性試験は、これら試料 20 μl に mTmed 培地 480 μl を加え、ボルテックスミキサーで混合し、そのうち 60 μl を黒色 96 ウェルプレート(住友ベークライト株式会社 ELISA用プレート S)のA列に分注した。さらに、60 μl の mTmed 培地を全てのウェルに加え、A列からG列まで倍々希釈を行った。また、H列は培地のみの対照区とした。次いで、国立環境研究所から提供された菌液(4ml)に mTmed 培地 30ml を混合したものを、全てのウェルに 60 μl ずつ添加した。その後 96 ウェルプレートをボルテックスミキサーで混合し、5分後にプレート用発光測定装置(アトー株式会社 ルミネッセンサー JNR II)で化学発光の計測を行った。この時、測定装置内の温度は 25℃、測光時間は 1秒とした[19]。

2-6 作図および統計処理

農薬分析および毒性試験により得られたデータに基づき Gsharp ver 3.0 (日本電子計算株式会社)を用いて、諏訪湖内のコンター図を作成した。

また、Excel 統計 2008 を用いて項目間の相関を評価した。

3. 結果

3-1 湖水中農薬濃度と分布

2011年と2012年に諏訪湖下層の湖水から検出された農薬について、11地点の平均濃度を Fig. 2 に示した。これら検出された農薬濃度は、いずれも Table 2 に示した農薬登録保留基準の基準値の 1/10 にも及ばない濃度であった[10]。

また、水道水基準に用いられる DI 値、すなわち農薬の検出値と目標値の比の積算値も、最大でも 2012年5月9日の 0.0074 と低い値であった。

Table 2 本研究で検出された農薬の毒性

単位: μg/l	
農薬	農薬登録保留基準値
ジウロン	-
ベンスルフロンメチル	56
ピロキロン	3300
シメリン	6.2
メタラキシル	9500
イマゾスルフロン	-
フェノカルブ	1.9
ダイムロン	42
ジメタメリン	12
イプロベンホス	270
フルトラニル	310
イソプロチオラン	920
ダイアジノン	-
イソキサチオン	-
プレチラクロール	2.9

-はデータなし

一方、湖水の農薬組成は季節により大きく変化し、5月にフェノカルブとイソプロイオラン、6月にはイソプロチオラン、7月にダイムロン、8月にはピロキロンが大きな比率を占めていた (Fig. 2)。2011年と2012年で大きな違いは見られなかった。

これらの結果にもとづき、主要な農薬成分

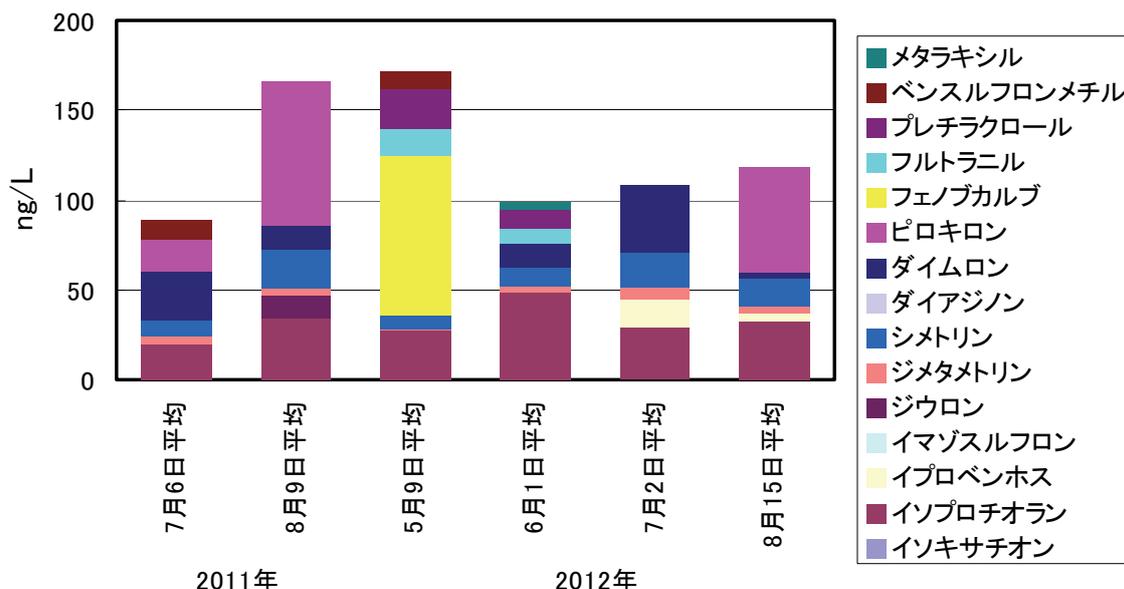


Fig. 2 諏訪湖内の平均農薬濃度の変化

濃度についてコンター図を作成した (Fig. 3)。諏訪湖内の農薬分布は、南部で濃度が高く、北部で低いという傾向が多く見られた。なお、このコンター図は、湖底付近の農薬濃度を示したものであり、その水深は一定ではない。

3-2 河川水中農薬濃度と分布

2011年の対象河川における農薬分析の結果を Fig. 4 に示した。河川により農薬濃度に大きな差が見られ、湖北側の集水域から諏訪湖へ流入する河川では農薬濃度が低く、湖南側から流入する河川では農薬濃度が高かった。そこで2012年は湖南側の5河川を対象を絞り詳細な調査を行った。河川ごとの農薬濃度の季節変化を Fig. 5 に示した。2011年、2012年ともに、河川水から検出された農薬濃度は、湖水同様、農薬登録保留基準の基準値には及ばなかった (Table 2)。しかし、その基準には含まれていないイソキサチオンが2012年5月18日の武井田川から $0.34 \mu\text{g}/\text{l}$ 検出された。これは48時間の急性毒性試験でオオミジンコに半数遊泳障害を引き起こすとされる濃度 ($0.19 \mu\text{g}/\text{l}$) の2倍近い値であった [20, 21]。DI値は、同河川で2012年5月18日に最大となったが、その値は0.11と問題とされる1.0には及ばなかった。

また、河川水の農薬組成は、湖水同様、季節により大きく変動し、5月にイソプロチオラン、6月にはダイムロン、7月にはシメトリン、8月にはピロキロンが大きな比率を占めていた (Fig. 5)。

3-3 発光細菌毒性試験

各試料について7段階の希釈を行い、毒性試験を行ったが、ここでは各試料の最高濃度 (50倍濃縮) の試験区であるA列での発光量と、その対照区であるH列の発光量の比を取り、試料の発光阻害率を算出した。2012年5月9日と6月1日では、湖内全地点で発光阻害が確認された。また、全試験に渡って発光阻害が見られたのは、湖南部のS1と南西部S3であり、6月1日のS1にて最大の毒性 (41.7%の発光阻害) が見られた。これはポジティブコントロールのペンタクロロフェノール $2.6\text{ng}/\text{l}$ に相当した。

この発光阻害率を、毒性の強さの指標とし、コンター図を作成した (Fig. 6)。発光阻害が強く見られたのは、5月9日では湖西部、6月1日では湖南部、7月2日では湖北部と時期により異なっていた。

一方、河川では2012年5月7日の上川で40.9%の発光阻害、最大の毒性が見られた。ま

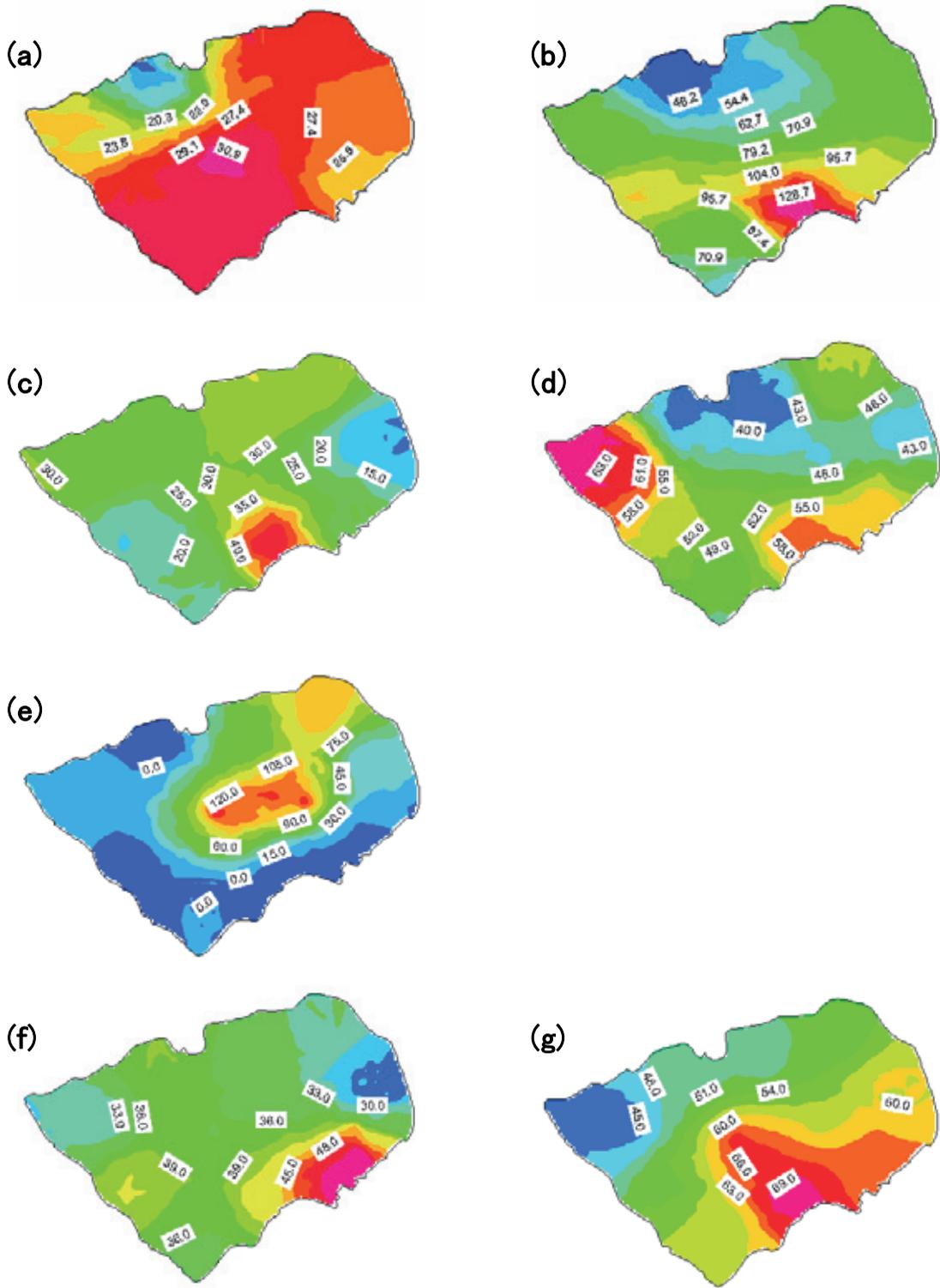


Fig. 3 諏訪湖における主要農薬の湖底付近での濃度分布 (単位:ng/l)

(a) 2011年7月6日 ダイモン

(b) 2011年8月9日 ヒロキロン

(c) 2012年5月9日 イップロフオラン

(d) 2012年5月9日 フェナルブ

(e) 2012年6月1日 イップロフオラン

(f) 2012年7月2日 ダイモン

(g) 2012年8月15日 ヒロキロン

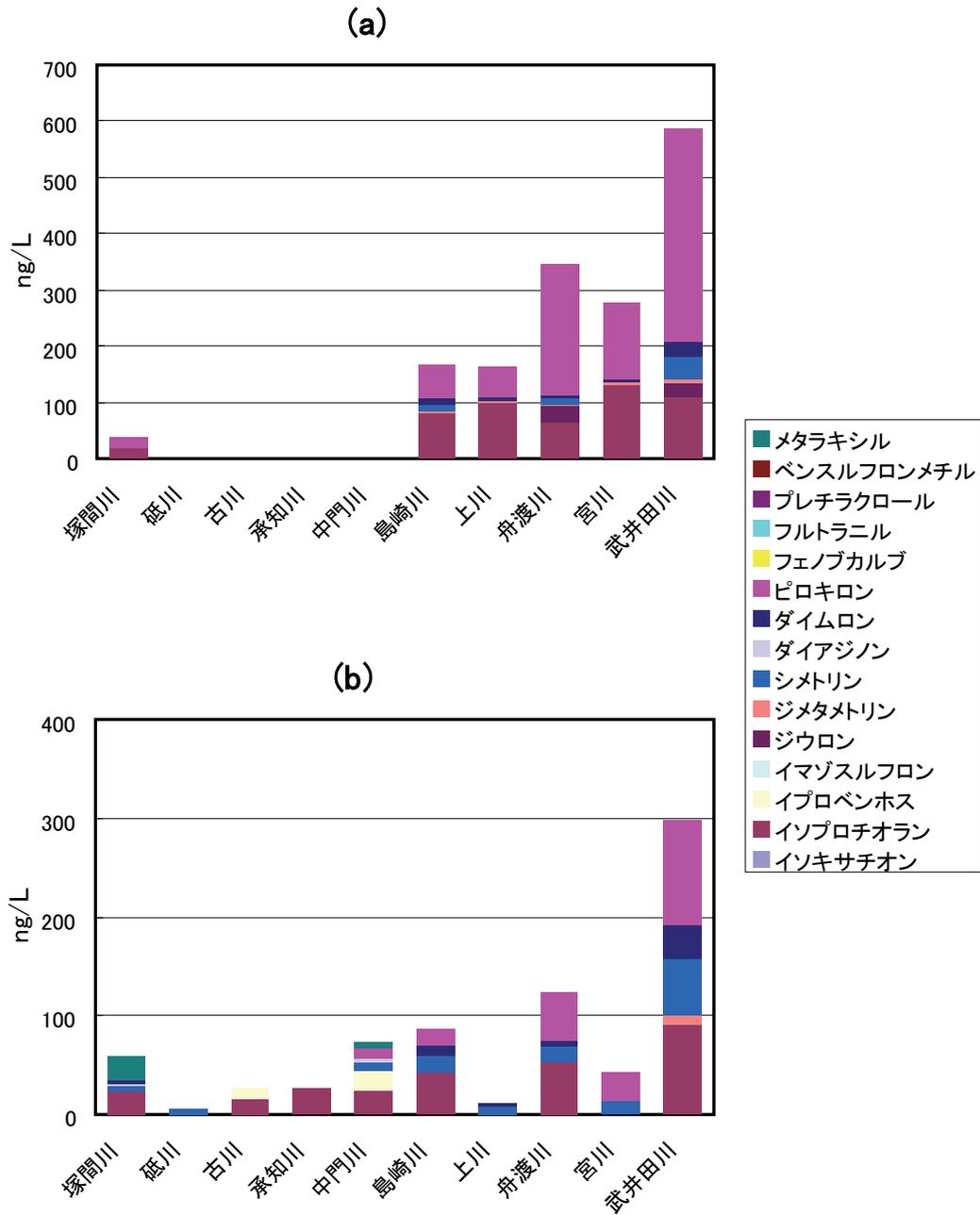


Fig. 4 諏訪湖流入河川水中の農薬濃度(2011年)

(a) 2011年7月6日

(b) 2011年8月9日

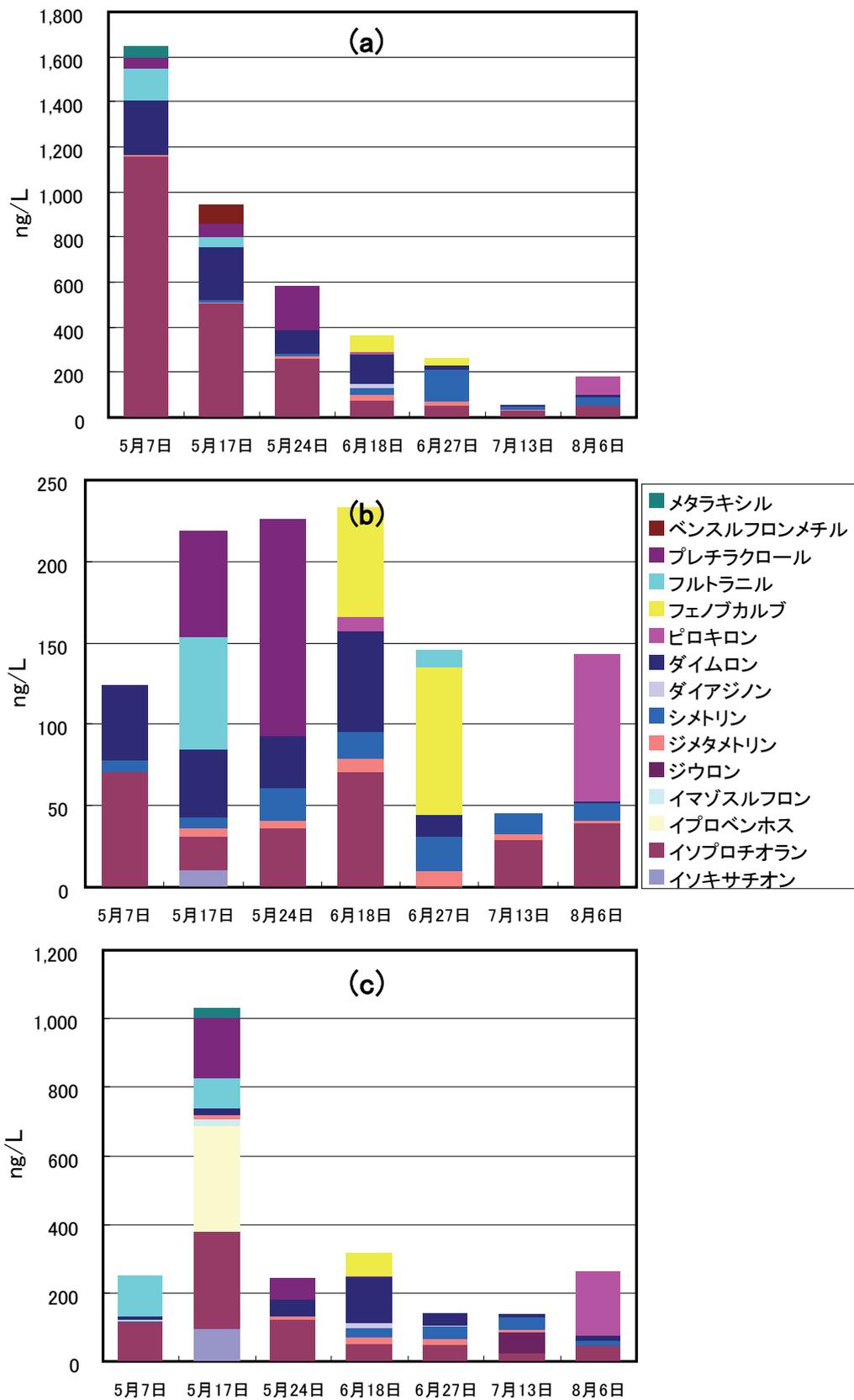


Fig. 5 諏訪湖流入河川水中の農薬濃度の季節変動(2012年)
 (a) 島崎川 (b) 上川 (c) 舟渡川

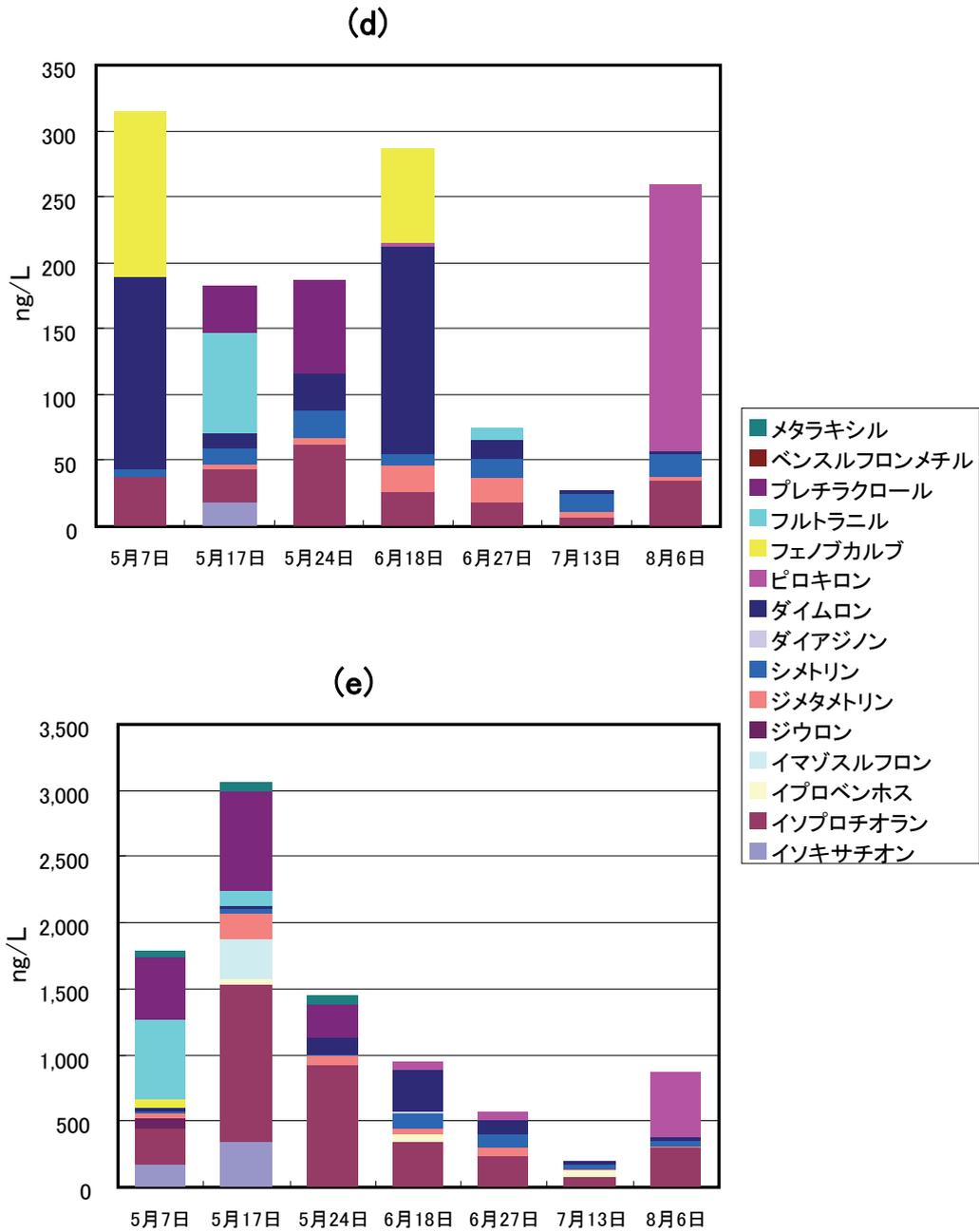


Fig. 5 諏訪湖流入河川水中の農薬濃度の季節変動(2012年)
 (d) 宮川 (e) 武井田川

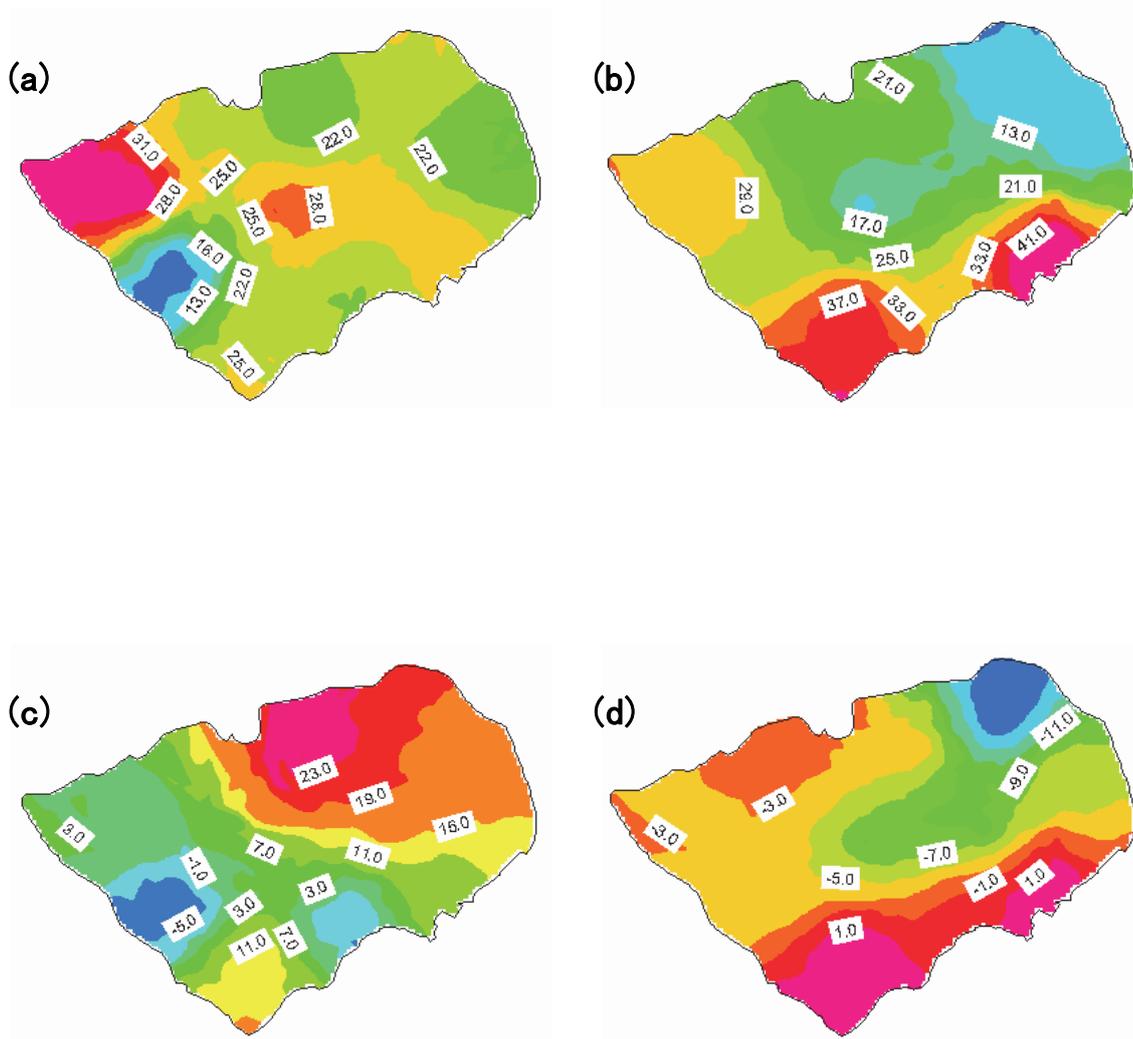


Fig. 6 諏訪湖における毒性値(発光阻害率)の分布(2012年)(単位:%)

(a) 2012年5月9日 (b) 2012年6月1日

(c) 2012年7月2日 (d) 2012年8月15日

Table 3 発光細菌を用いた河川水の毒性評価（発光阻害率）

	島崎川	上川	舟渡川	宮川	武井田川
5月7日	40.4	40.9	32.9	26.7	34.1
5月18日	-13.6	-19.2	-14.2	-11.5	-2.9
5月24日	34.6	29.0	32.2	37.2	31.4
6月6日	-19.4	-0.3	-20.7	-24.1	-10.8
6月18日	1.6	-2.8	-3.2	-3.2	-7.4
6月27日	1.0	-4.9	19.6	-7.9	-10.0
7月13日	1.9	-8.8	-4.1	0.9	2.8
8月7日	-0.7	-1.1	1.0	-4.9	-13.8

た、5月7日と5月24日は5河川全ての試料で発光阻害が見られた。しかし、その間にあたる5月18日の試料では、前後の試料と農薬組成に大きな違いがないにもかかわらず発光阻害は確認されなかった。

さらに、発光阻害と各要素の相関を調べた。2012年6月1日のプレチラクロール、検出農薬積算値、DI値以外に発光阻害率と相関する項目を確認することはできなかった。

4. 考察

4-1. 諏訪湖における農薬分布とその濃度変化

諏訪湖水中の農薬組成の季節変化は、稲作で使用される農薬の順番と近いものであり、河川水でもほぼ同様な変化が見られたことから、湖水は集水域での水田農薬による影響を強く受けていると言える。農薬の分布を見ても、湖南側から流入する河川水中の農薬濃度は高く、湖南部でも農薬濃度が高いなど、水田の広がる湖南側の集水域の特徴が見られた。このように、先の主要イオン同様、農薬濃度の異なる河川水の潜り込みにより、諏訪湖下層では、農薬の分布が不均一となっていることが明らかとなった。これは、下層は表層と異なり風による水平方向の混合が及びにくいことに加え、夏期には水温成層により鉛直混合も抑制されたためと考えられた。

5月から6月にかけて主要流入河川である

上川や宮川で濃度が低かったイソプロチオランが湖水から高濃度で検出されたことから、上川や宮川のような大河川だけでなく、水田排水が流れ込み農薬濃度の高い島崎川、舟渡川、武井田川のような小河川も諏訪湖の農薬汚染を考える上で重要な存在と言える。

これら諏訪湖に近接する水田排水の流れ込む河川では、上川や宮川と比べ、農薬濃度が高く、5月から農薬濃度が減少し続けたのに対し、上川、宮川では6月にも濃度が増加していた (Fig. 5)。これは、上流域と下流域の農薬の使用時期の差が現れたものと考えられた。

先行研究の山下(2006)による上川と湖心の農薬の測定結果でも、5月末と7月末に農薬濃度が増えるといった本研究と同様な傾向が見られていたが、同じ時期の上川から、本研究の3倍以上の濃度の農薬が検出されていた。また、石母田(2010)や山下(2006)による2005年から2009年の調査では、2005年以降ダイアジノン、シメトリンが、2007年以降イプロベンホスやピロキロンの検出最高濃度が減少していた [16-18]。そして本研究を行なった2011年と2012年では、これら農薬の最高濃度がさらに大きく減少していた (Table 4)。これは、諏訪湖に流入する農薬が減少傾向にあるか、使用される農薬の成分が変化し、分析対象外の農薬成分が増加したためと考えられた。

Table 4 諏訪地域で検出された農薬の最高濃度(単位: $\mu\text{g/l}$)

	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2011年	2012年
イプロベンホス	1.8	3.9	3.39	0.51	0.36	0.019	0.39
ピロキロン	8.51	7.89	6.39	0.92	2.1	0.38	0.49
イソプロチオラン	1.46	0.82	1.11	0.2	0.4	0.13	1.15
シメトリン	6.06	0.92	0.21	0.03	0.06	0.05	0.12
プレチラクロール	0.09	0.02	0.62	n.d.	n.d.	n.d.	0.75
メフェナセット	0.34	0.28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ジウロン	0.54	n.d.	0.12	n.d.	n.d.	0.03	n.d.
ダイアジノン	2.12	0.42	0.17	0.05	0.02	n.d.	0.01

n.d.は未検出

4-2. 諏訪湖湖水の毒性について

本研究で検出された農薬濃度から水道水の基準として用いられる DI 値を算出したところ、全ての試料で低く、最大のものでも 0.11 であった。仮に計測できていない要素を加えたとしても環境水の毒性はそれほど高くはならないと考えた。また、2012年5月18日の武井田川からイソキサチオンがオオミジンコの半数遊泳阻害濃度の2倍に近い値で検出されたことを除けば、検出された農薬濃度はいずれも低く、湖内では農薬による水生生物への影響は小さいと考えられた。ただし、武井田川のように河口付近で高濃度となった農薬が水生生物に影響を及ぼす可能性は否定できない。

一方、発光細菌による毒性試験を行ったところ、いくつもの試料から毒性（発光阻害）が検出された。明確な発光阻害が観察された5月7日および5月27日の河川水の試料と、それらの間にあたり、対照区以上の発光がみられた5月18日の試料では、農薬濃度に明確な差が見られなかった。また、2012年5月24日の河川水よりも6月1日の湖水の農薬濃度は低かったにもかかわらず、湖水試料の発光阻害率が高くなっていた。さらに、水田排水の流入する河川では農薬濃度が比較的高かったが、それよりも農薬濃度の低い上川や宮川の方が毒性の高いという結果も得られた。い

ずれも水中から検出された農薬濃度がそのまま毒性に反映していなかった。

本研究で確認された毒性と分析値の対応が良くなかった原因の一つとして分析対象農薬と実際の使用農薬の乖離が考えられた。使用される農薬成分は年々変化するため、化学分析でその変化を追うのは困難である。一方、毒性試験は存在する化学物質が変わろうとも同じ形で毒性の強弱として生物影響を評価できる。したがって、環境水の毒性評価のため、化学分析だけではなく生物試験を併用し、その毒性を監視し続けることが重要であると考えられた。

また、先行研究では、オオミジンコを毒性試験に用いていたが、5月から6月、7月後半から8月、あるいは秋季に遊泳阻害が見られていた[16-18]。特に湖水では7月末から毒性が増すと石母田(2010)が報告している[18]。しかし、本研究の発光細菌試験で、季節の上では同時期の湖水から、毒性を確認することはできず、これは生物種による反応の差と考えられた。先行研究では、湖内の生態系への農薬の影響について考えるため、オオミジンコを用いていたが、環境水の毒性評価を行うためには、異なった成分に反応を示す複数の生物種を用いた試験を行うべきであると考えた。

本研究の試料では、全試料を通じて、毒性

実験時の最高濃度である 50 倍濃縮で、1 度も半数影響が見られなかった。これは都内 3 河川の環境水について同様な発光細菌試験を行ない、50 倍濃縮以下で半数影響が見られた佐々木ら(1998)の結果と比べると[22]、本研究で試験した試料の毒性は、それほど高いものではないと言える。

本研究で環境水が毒性を示した原因を明らかにするため、発光細菌試験の結果と本研究での化学分析の結果について相関を見たが、発光阻害と高い相関がみられたのは、6 月 1 日の諏訪湖試料のプレチラクロール、検出農薬積算値、DI 値のみであった。また、7 月と 8 月は発光阻害が見られず、農薬の濃度も低かったため相関を見ることはできなかった。発光阻害の確認された 5 月と 6 月を比較すると、上述の通り、6 月に検出農薬積算値と発光阻害率に相関がみられた。これは、諏訪湖周辺での田植えが 5 月 10 日から 20 日の間に集中して行われ、田植え前後に使用された農薬が諏訪湖へ流入したためと考えた。一方、5 月の発光阻害は、湖水と河川水の両方から観察されたため、河川から流入したものに起因すると考えられたが、測定した水田農薬とは相関せず、稲作とは関係のない化学物質が原因となっていた可能性もある。

そこで、JA グリーンファーム諏訪にて聞き取り調査を行ったところ、2012 年度は、本研究の分析対象外であるピリブチカルブやヒドロキシイソキサゾール等 23 種もの農薬が諏訪地域で使用されていたことが判明した。これらは、主に稲作の初期剤として使われており、5 月や 6 月に見られた毒性は、これら分析対象としていない農薬が主な原因となっていた可能性が強い。

5. まとめ

環境水の農薬分析と生物試験による毒性評価に違いが見られた。その原因として、分析対象農薬と実際の使用農薬との乖離が考えられた。使用される農薬が変化すると、農薬分析から環境水の毒性を評価するのは困難であ

る。また、本研究の発光細菌にはオオミジンコとは異なる成分に反応すると考えられたことから、環境水の毒性評価を行うにあたり、化学分析と合わせ、異なった成分に反応を示す複数の生物種による生物試験を行う必要があるといえる。

謝辞

独立行政法人国立環境研究所環境リスク研究センターの白石不二雄博士、中島大介博士には、発光細菌試験に関し、発光細菌の培養、提供、実験手順の指導をしていただきました。また、長野県諏訪建設事務所より、発光プレートリーダー等、毒性試験を行うために必要な機材を長期間貸していただきました。皆様のご協力により、本研究を行うことができました。この場を借りて心よりお礼申し上げます。

引用文献

- [1] 沖野外輝夫、花里孝幸編 (2005) : アオコが消えた諏訪湖. p44-48. 信濃毎日新聞社.
- [2] 門司正三、高井康雄 (1984) : 陸水と人間活動. p9-10. p137-138. 東京大学出版.
- [3] 宮原裕一、石母田誠、今井晶子 (2008) : 諏訪湖流入河川の一斉調査. 信州大学環境科学年報, 30, 15-20.
- [4] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一 (2004) : 2003年夏季における諏訪湖の水質分布. 信州大学環境科学年報, 26, 55-67.
- [5] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一 (2005) : 2004年夏季における諏訪湖の水質分布. 信州大学環境科学年報, 27, 17-30.
- [6] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一 (2006) : 2005年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布. 信州大学環境科学年報, 28, 23-37.
- [7] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一、山本雅道 (2007) : 2006年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布. 信州大学環境科学年報, 29, 5-23.
- [8] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一、山本雅道 (2008) : 2007年夏季における諏訪湖の水

平・垂直水質分布. 信州大学環境科学年報, 30, 21-39.

[9] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一、山本雅道 (2009) : 2008年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布. 信州大学環境科学年報, 31, 11-29.

[10] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一、山本雅道 (2010) : 2009年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布. 信州大学環境科学年報, 32, 17-35.

[11] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一、山本雅道 (2011) : 2010年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布. 信州大学環境科学年報, 33, 17-35.

[12] 柳町晴美、花里孝幸、宮原裕一、山本雅道 (2012) : 2011年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布. 信州大学環境科学年報, 34, 17-35.

[13] 宮原裕一、今井晶子、柳町晴美 (2009) : 諏訪湖における主要イオンの分布に関する研究. 信州大学環境科学年報, 31, 30-47.

[14] 宮原裕一、小松正知 (2011) : 諏訪湖水質分布の季節変動とその要因. 信州大学環境科学年報, 33, 25-45.

[15] 角田紗代子 (2004) : 河川水中の農薬モニタリングとその毒性評価に関する研究. 信州大学理学部物質循環学科平成 15 年度卒業論文

[16] 山下智代 (2006) : 諏訪湖およびその流入河川水中の農薬が動物プランクトンに及ぼす影響. 信州大学理学部物質循環学科平成 17 年度卒業論文

[17] 田中薫 (2008) : 長野県諏訪湖における毒性要因の解析. 信州大学理学部物質循環学科平成 19 年度卒業論文

[18] 石母田誠、田中薫、山下智代、角田紗代子、宮原裕一 (2010) : 諏訪地域水質中における除草剤の長期的な変遷とその分布. 環境化学, 20, 241-248.

[19] 白石不二雄、佐々木裕子、白石寛明 (1999) : 発光細菌遺伝毒性試験法の改良と廃棄物埋立地浸出水の遺伝毒性モニタリングへの

の応用. 環境化学, 9, 329-338.

[20] 環境省:水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準について

<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun.html>

[21] 金澤純 (1996) : 農薬の環境特性と毒性データ集, 合同出版.

[22] 佐々木裕子、菊池幹夫、芳住登紀子、木瀬晴美、松井道子、渡辺のぶ子、志村眞理、大田黒幹夫、若林明子 (1998) : 水環境中の有害化学物質把握のためのバイオアッセイと化学分析, 東京都環境科学年報, 93-100.

(原稿受付 2013. 3. 11)