

浜名湖流域におけるネオニコチノイド系農薬とフィプロニルの動態

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡県地学会 公開日: 2023-11-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 辻野, 兼範 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/0002000143

浜名湖流域におけるネオニコチノイド系農薬と フィプロニルの動態

辻野 兼 範*

1. はじめに

ネオニコチノイド系農薬 (neonicotinoid, 以下ネオニコ) は, ニコチンに構造が似た日本で開発された浸透性殺虫剤で, 最初に開発されたのはイミダクロプリド (imidacloprid) で1992年に農薬登録され, 主に水稲で使用されている (Kasai et al., 2016). 次に開発されたのがアセタミプリド (acetamiprid) で1995年に登録され果樹・野菜用として使用され (満井, 2016), 有機塩素系農薬に替わり世界的に使用されるようになった. ネオニコの作用は, アセチルコリン神経系の接続部のシナプスで刺激を伝達するアセチルコリンの働きを阻害する神経毒である (Pisa et al., 2017; ネオニコチノイド研究会監訳, 2019). 2006年にアメリカで蜂群崩壊症候群が報告され, ヨーロッパでは1961年から2007年に25%のミツバチ類が減少, 北米では49%の減少が報告された (芳山, 2011). 日本でも, 農林水産省 (2016) の蜂蜜被害事例調査によると平成25-27年度に198件の被害が報告され, 水稲のカメムシ類防除に使用された農薬に曝露されたものと考えられ, 害虫だけでなく益虫にも被害があることが明らかになった.

ネオニコは, イミダクロプリド, チアメトキサム (thiamethoxam), クロチアニジン (clothianidin), アセタミプリド, チアクロプリド (thiacloprid), ジノテフラン (dinotefuran), ニテンピラム (nitenpyram) の7種類で, 同じ神経毒のフィプロニル (fipronil) も使用されている (Kasai et al., 2016). その特性は, 水に溶けやすく浸透性が高く, 根から吸収されて茎花果実に移動する. 残効性があり長期間効果が持続するため使用回数が少なくて済む利点がある. 農業だけでなく家庭用殺虫剤や, シロアリ類駆除などの建築材にも使用され, 身近に存在し使用されている (齋藤ら, 2015).

生態系に悪影響が大きいとして, 欧州委員会 (EU) は2018年にイミダクロプリド, チアメトキサム, クロチアニジンの3種のネオニコの屋外での使用を禁止し (農畜産業振興機構 調査情報部, 2018), 他の国々でも使用が禁止, 制限されるようになった. しかし日本ではEU諸国のような使用制限はない. その毒性は無脊椎動物だけでなく脊椎動物にまで及び, 人の健康への影響が疑われている (青山・平, 2010; 平, 2012).

静岡県の西部に位置する浜名湖流域では, 過去にネオニコの調査が実施されておらず, 実態調査は重要な課題である. 本報告は, 2020年に浜名湖に流入する河川と湖岸でネオニコチノイド系農薬とフィプロニルの濃度調査, および浜名湖に自生するマガキ *Crassostrea gigas* 体内のネオニコチノイド系農薬とフィプロニルの分解物を分析したものである.

2. 材料と方法

水中のネオニコを定量するためにパッシブサンプラー（図1）という受容器と降雨直後に採水する二つの方法で実施した。パッシブサンプラーの作成と分析は、千葉工業大学創造工学部都市環境工学科亀田研究室に依頼して下記の通りに実施された。

(1) **河川水分析方法**：パッシブサンプラーは、専用のケース内に本研究室で作成した、ネオニコチノイド吸着ゲルと吸着速度を調整する拡散調整膜を入れて作成された。吸着ゲルは、40℃程度に加温した1.5%のアガロース（SIGMA-AIDRICH製）水溶液にInertSep® Pharma FFパウダー（GL Sciences製）を6.9%になるよう添加し、電気泳動用のゲル作成キットで0.75 mmの厚さのシートに形成した。また、拡散調整膜は1.5%のアガロースを0.75 mmの厚さにして同様のシートを作成した。最後に拡散調整膜を吸着ゲルの上に積み重ね、さらにその上に親水性PTFEメンブレン（メルク製）をかぶせ、パッシブサンプラーケース内に入れた。

環境中に設置後、回収されたパッシブサンプラーの吸着ゲルにはネオニコチノイドが吸着する。吸着したネオニコチノイド量は、次のように測定した。まず、パッシブサンプラー解体後、吸着ゲルを取り出し、遠沈管内に入れ、さらに内部標準物質としてPL農薬サロゲート混合標準溶液Ⅶ（林純薬製）を10 µl添加した。添加15分後、試薬特級メタノール（和光純薬製）を3 ml添加し、超音波抽出を行い、上澄みのメタノールを回収した。この作業を3回繰り返し、回収された抽出液を窒素パージでほぼ乾固後、LC/MS用メタノール（和光純薬製）を400 µl加え、ミニザルト（Sartorius製）でろ過し、LC/MS/MS用サンプルとした。

採水した試料水中のネオニコチノイド分析は以下のように行った。まず、ろ紙GC-50(ADVANTEC製)でろ過した250 mlの試料水に、内部標準物質としてPL農薬サロゲート混合標準溶液Ⅶを5 µl添加した。添加後、試料水を固相カートリッジInertSep® Pharma (GL Science製)に10 ml/minで通水した。通水後、カートリッジを遠心分離で脱水後、試薬特級メタノール7 mlで溶出した。溶出後、窒素パージでほぼ乾固し、LC/MS用メタノール200 µlを添加し、LC/MS/MS用サンプルとした。

LC/MS/MS用サンプルは液体クロマトグラフトリプル四重極型質量分析計（LC/MS/MS, LC-1100 : Agilent, Quattro Ultima : Waters社 /Micromass社）を用いてMRMモードで測定した。

(2) **マガキの分析方法**：浜名湖各地で採集したマガキは、貝殻を開いて軟体部を取り出し、液体窒素を入れた乳鉢内で凍結粉碎後、試料10 gを遠沈管に入れ、PL農薬サロゲート混合標準溶液Ⅶをさらに50 µl添加し、15分静置後、アセトニトリル特級（和光純薬製）を10 ml加えた。それを10分間超音波抽出した後、10分間振とう機で振とうし、遠沈管にQ-sep 塩を添加した。その後さらに振とうした後、遠心分離（3000rpm）で10分間固形物を沈殿させた。上澄み液のアセトニトリル層1 mlを採取し、4本のQuechers Q-sep Q251 (RESTEK)のDSPEチューブに入れて手で振とう後、遠心分離により固形物を沈殿させた。その上澄み液を1つの遠沈管にまとめて回収し、窒素パージでほぼ乾固した。その後、1 mlのメタノール特級で定容後、共洗い2回分のメタノールとともにGL-Pak Carbograph (GL Science)に添加した。添加後、メタノール特級でネオニコチノイドを溶出し、窒素パージでほぼ乾固させた。最後に200 µlのLCMS用メタノールを加え、LC/MS/MS分析試料とした。

(3) **調査地点**：調査地点を図2に示した。2020年4月～2021年1月における浜名湖流域の主要7河

川の河口 sts. 1-7, 浜名湖の湖岸 sts. 8, 9, 佐鳴湖湖岸のヨシ植栽池 st. 10 において後述する方法で採水を行なった。河口を調査地点にしたのは河川集水域の土地利用の影響が集約すると考え、st. 8は浜名湖北岸で河川水の影響が予想され、st. 9は太平洋から流入する海水と混合し希釈が考えられるからである。また、st. 10は浜名湖とつながる佐鳴湖の湖岸に造成されたヨシ植栽池で佐鳴湖水を常時揚水しており、周囲から水の流入がなく、塩分は佐鳴湖湖岸と同じなのでネオニコ濃度は佐鳴湖水と同濃度と予想し調査地点とした。

パッシブサンプラーは網袋に2個入れて流失ないように固定し1ヶ月間設置し、回収時に翌月に新しいパッシブサンプラーを入れて設置した。この回収と設置を2020年4月~2021年1月まで行い、湖岸でも同様な方法で実施した。回収後は冷蔵庫で保管し、千葉工業大学に冷蔵宅配した。パッシブサンプラーによる測定値は、設置期間(1ヶ月)の1日当たりの平均値として算出される。降雨後の採水試料(以下水試料とする)は、マイティーパックに360ml入れて冷蔵宅配した。水試料は、降雨直後の河川水位が上昇し土壌流出により水が濁っている時に採水した。採水時のネオニコの量が算出される。

また、マガキの採集地点(図3)は太田川河口(6/26)、猪鼻湖北岸(6/26)、伊目湖岸(6/25)、村櫛湖岸(6/27)、白山岬湖岸(6/27)の5地点である。各地点では、6-8個体のマガキを沿岸域の礫などから素手により採集した。



図1. パッシブサンプラー.



図2. 浜名湖流域の調査地点.



図3. マガキの採集地点と解体途中のマガキ.



3. 結果と考察

(1) パッシブサンプラー法：日本では河川や湖沼などの水質環境基準にはネオニコとフィプロニルは定められていないので、国内の報告書では「水域の生活環境動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準」(環境省, 2022)と比較している。しかしこの基準値は急性毒性に着目したもので環境中の生物への影響を評価したものではない。そこで本稿は, Morrissey et al. (2015) の記述に従い, 無脊椎動物への影響は, 慢性毒性で 35 ng/l (水生無脊椎動物の 95% を保護), 急性毒性で 200 ng/l が閾値になると評価した。

表1に各月のネオニコ7種の合計値を示した。パッシブサンプラー法では, ネオニコ7種合計値の慢性毒性 35 ng/l 以上が検出されたのは, 全調査の 16% (検出件数 14/ 調査件数 87) で, その中で st. 4 は最も検出率が高く, 調査件数 9 のうち 5 件検出された。200 ng/l 以上の急性毒性は st. 4 で 1 件検出された。降雨直後の水試料は全調査地点で 3 回採水し, 200 ng/l 以上は 31% (検出件数 9/ 調査件数 29) で, st. 4 では毎回検出された。

表1. ネオニコ7種合計. 単位: ng/l, パッシブサンプラー法 (太字35 ng/l以上), 一は欠測を示す。

	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5	st.6	st.7	st.8	st.9	st.10
4月	19.3	7.5	113.4	114.1	31.3	26.8	11.1	1.3	0.0	5.9
5月	25.2	12.7	28.4	252.4	71.3	83.0	15.3	25.3	1.4	49.5
6月	22.9	10.7	77.2	158.4	71.9	69.6	19.0	60.9	23.6	19.8
7月	4.1	12.7	21.8	168.7	30.0	26.0	33.1	21.9	0.0	3.5
8月	11.5	13.0	26.0	107.7	145.4	—	25.0	—	0.0	0.0
9月	7.9	19.7	10.4	28.1	8.9	5.8	—	2.5	0.0	0.0
10月	0.0	1.6	16.2	28.1	19.2	2.0	1.8	3.7	0.0	0.8
11月	0.0	1.6	10.0	4.6	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	2.2
12月	0.0	0.0	2.1	5.8	4.9	4.9	5.6	9.3	0.0	0.0

水試料 単位: ng/l (太字200 ng/l以上).

	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5	st.6	st.7	st.8	st.9	st.10
5月19日	111.5	72.4	102.4	220.9	87.5	30.7	14.3	0.7	0.0	3.7
6月12日	120.0	338.9	286.9	923.5	204.6	326.3	63.7	250.0	8.5	45.9
7月4日	38.6	103.7	498.3	330.5	63.3	61.6	17.8	74.2	6.6	—

表2にパッシブサンプラー法のネオニコとフィプロニルの結果の最小値～最大値, 検出率を, 表3に水試料の結果を示した。図3に検出の多かったジノテフラン, チアメトキサム, イミダクロプリド, クロチアニジンのパッシブサンプラーと水試料の結果を示した。

浜名湖流域の7河川における平均検出率 (検出件数 / 調査件数 61) は, クロチアニジン 75.4% (31/61), イミダクロプリド 62.3% (38/61), チアメトキサム 50.8% (31/61) であった (表2)。

クロチアニジンの検出率は猪鼻湖に流入する釣橋川・宇利山川の合流地点 (st. 4) で 88.9%, 4月から8月にかけて高く, 最大値は7月の 96.5 ng/l であった。今川 (st. 3) でも 88.9% と高いが最大値は6月の 50.1 ng/l で, 都田川 (st. 5) は 77.5% で最大値は8月の 75.5 ng/l であった (表2)。

イミダクロプリドの検出率が高いのも釣橋川・宇利山川の合流地点 (st. 4)で77.8%, 4月から7月にかけて高く最大値は5月の166.8 ng/lで, 他のネオニコの最大値15.2~96.5 ng/lに比べて高い値であった。今川 (st. 3) でも77.8%と高く最大値は83.0 ng/lであった (表2)。

チアメトキサムの検出率は都田川 (st. 5) が77.8%で6月に最大値21.4 ng/l, 伊佐地川 (st. 7) は75%で7月に最大値23.4 ng/lであった。花川 (st. 6) の最大値は6月の42 ng/lであった (表2)。

ジノテフランは釣橋川・宇利山川の合流地点 (st. 4) で最大値は6月に24.6 ng/l, 検出率は66.7%で, アセタミプリドも釣橋川・宇利山川の合流地点 (st. 4) で最大値は8月に15.2 ng/l (表2) で検出率は66.7%であった。最大は都田川 (St. 5) の29.3 ng/lであった (表2)。

ニテンピラムとチアクロプリドは検出下限値以下で検出率はともに0.0%であった (表3)。

(2) **出水時の水試料**: 浜名湖流域の7河川における平均検出率 (検出件数 / 調査件数3) が高い順からイミダクロプリド (100%), クロチアニジン (95.3%), チアメトキサム (90.6%), アセタミプリド (66.1%), ジノテフラン (62%) で, チアクロプリド (23.6%), ニテンピラム (0.0%) であった (表3)。フィプロニルも浜名湖流域の7河川における平均検出率 (検出件数 / 調査件数3) が90.6%と高かった (表3)。最もネオニコ濃度が高かったのは釣橋川・宇利山川の合流地点 (st. 4)で, 6月11日の三ヶ日における降雨82.5 mm (国土交通省気象庁ホームページ三ヶ日) の直後にジノテフラン308.1 ng/l, イミダクロプリド306.0 ng/l, クロチアニジン291.2 ng/lで総量は923.5 ng/lであった (表1, 3)。同地点における同時期 (6月) のパッシブサンプラー分析値 (158.4 ng/l, 表1) の5.8倍もあり, 降雨により土壌が浸食され高濃度のネオニコが流出することを示した。ネオニコチノイド系農薬の濃度が急性毒性の指標である200 ng/lを超えたのは7河川のうち5河川あり, 6月11日の降雨後に太田川 (st. 2) で338.8 ng/l, 花川 (st. 6) で326.2 ng/l, 今川 (st. 3) で286.9 ng/lで, 7河川以外の伊目湖岸 (st. 8) でも急性毒性の指標を超える250.0 ng/lであった (表1, 図4)。出水直後はネオニコ濃度が高く, 土壌からの流出が大きいことが明らかになった。

フィプロニルの最も検出率が高いのは, 笠子川 (st. 1) の66.7%で最大値は8月の7.1 ng/l, 太田川 (St. 2) の66.7%で最大値は9月の4.0 ng/lであった (表2)。フィプロニルはネオニコと傾向が異なり, 浜名湖西部の湖西市を流れる笠子川 (st. 1) で大きく, パッシブサンプラーでは8月と9月で高くなっている (図5)。笠子川はパッシブサンプラー, 出水時ともにネオニコ濃度は最も低く, 田畑で使用される5-7月の時期と1-2ヶ月ずれており, 宅地からの流出が推測できるが詳細なことは今後の課題である。

表2. 浜名湖流域10地点におけるパッシブサンプラーによるネオニコチノイド系農薬分析結果 (2020年4月~2021年1月)。単位: ng/l, 調査回数sts.1-5,10は9回, sts.6-9は8回。辻野 (2021) を一部改変。

	ジノテフラン		ニテンピラム		チアメトキサム	
	最小値- 最大値 (月)	検出率 (%) (検出数)	最小値- 最大値	検出率 (%)	最小値- 最大値 (月)	検出率 (%) (検出数)
笠子川st.1	<2.0-2.3 (9月)	11.1 (1)	<1.8	0		0.0 (0)
太田川st.2	<2.0-2.8 (5月)	33.3 (3)	<1.8	0		44.4 (4)
今川st.3	<2.0-8.1 (6月)	77.8 (7)	<1.8	0	<1.7-7.4 (8月)	33.3 (3)

釣橋川宇利山川st.4	<2.0-24.6 (6月)	66.7 (6)	<1.8	0	<1.7-8.2 (6月)	66.7 (6)
都田川 st.5	<2.0-14.7 (6月)	66.7 (6)	<1.8	0	<1.7	77.8 (7)
花川st.6	<2.0-5.4 (6月)	37.5 (3)	<1.8	0	<1.7-5.8 (8月)	62.5 (5)
伊佐地川st.7	<2.0-4.1 (12月)	25 (2)	<1.8	0	<1.7-23.4 (7月)	75 (6)
河川平均検出率		45.4		0		51.4
浜名湖伊目st.8	<2.0-3.9 (12月)	37.5 (3)	<1.8	0	<1.7-22.5 (6月)	62.5 (5)
浜名湖村櫛st.9	<2.0	0.0 (0)	<1.8	0	<1.7-6.3 (6月)	11.1 (1)
佐鳴湖st.10	<2.0-2.5 (6月)	22.2 (2)	<1.8	0	<1.7-5.0 (6月)	55.6 (5)
検出下限値	1.3		1.5		0.9	

	イミダクロプリド		クロチアニジン		アセタミプリド	
	最小値- 最大値 (月)	検出率(%) (検出数)	最小値- 最大値 (月)	検出率 (%)	最小値- 最大値 (月)	検出率(%) (検出数)
笠子川st.1	<1.3-20.3 (5月)	55.6 (5)	<1.5-17.4 (6月)	66.7 (6)	<0.9-3.8 (4月)	33.3 (3)
太田川st.2	<1.3-7.5 (4月)	55.6 (5)	<1.5-8.5 (9月)	77.8 (7)	<0.9-6.3 (9月)	22.2 (2)
今川st.3	<1.3-83 (4月)	77.8 (7)	<1.5-50.1 (6月)	88.9 (8)	<0.9-3.6 (9月)	22.2 (2)
釣橋川宇利山川st.4	<1.3-166.8(5月)	77.8 (7)	<1.5-96.5 (7月)	88.9 (8)	<0.9-15.2 (8月)	66.7 (6)
都田川 st.5	<1.3-43.3 (5月)	66.7 (6)	<1.5-75.5 (8月)	77.8 (7)	<0.9-29.3 (8月)	22.2 (2)
花川st.6	<1.3-63.3 (5月)	50 (4)	<1.5-9.0 (6月)	62.5 (5)	<0.9-4.1 (5月)	37.5 (3)
伊佐地川st.7	<1.3-8.2 (7月)	50 (4)	<1.5-6.8 (8月)	75 (6)	<0.9-4.5 (8月)	25 (2)
河川平均検出率		62.3		75.4		32.7
浜名湖伊目st.8	<1.3-15.8 (6月)	50 (4)	<1.5-20.0 (6月)	62.5 (5)	<0.9-1.2 (5月)	12.5 (1)
浜名湖村櫛st.9	<1.3-4.8 (6月)	22.2 (2)	<1.5-12.5 (6月)	11.1 (1)	<0.9	0
佐鳴湖st.10	<1.3-31.6 (5月)	44.4 (4)	<1.5-11.5 (5月)	44.4	<0.9	0
検出下限値	1.3		1.5		0.9	

	チアクロプリド		フィプロニル	
	最小値- 最大値	検出率 (%)	最小値- 最大値	検出率 (%)
笠子川st.1	<1.3	0	<0.2-7.1 (8月)	66.7 (6)
太田川st.2	<1.3	0	<0.2-4.0 (9月)	66.7 (6)
今川st.3	<1.3	0	<0.2-3.8 (5月)	33.3 (3)
釣橋川宇利山川st.4	<1.3	0	<0.2-2.5 (5月)	44.4 (4)
都田川 st.5	<1.3	0	<0.2-2.1 (5月)	44.4 (4)
花川st.6	<1.3	0	<0.2-2.6 (5月)	37.5 (3)
伊佐地川st.7	<1.3	0	<0.2-1.6 (5月)	25 (2)
河川平均検出率		0		90.6
浜名湖伊目st.8	<1.3	0	<0.2-0.8 (5月)	25 (2)
浜名湖村櫛st.9	<1.3	0	<0.2-1.6 (5月)	22.2 (2)
佐鳴湖st.10	<1.3	0	<0.2-3.4 (5月)	55.6 (5)
検出下限値	1.3		0.2	

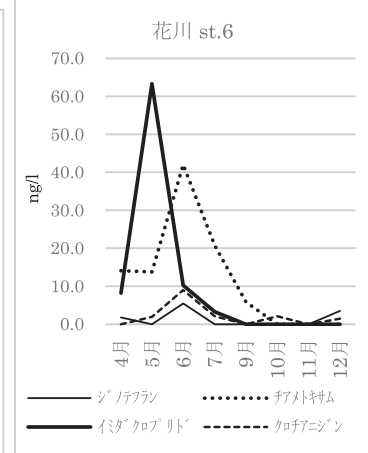
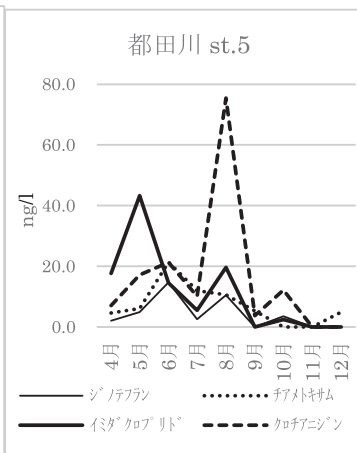
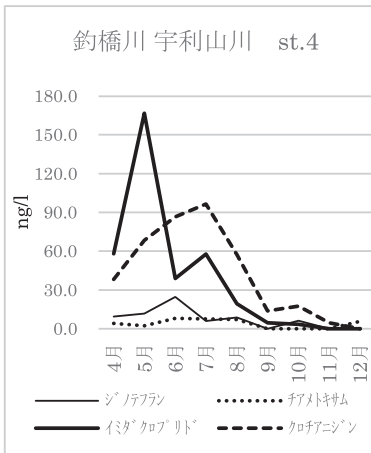
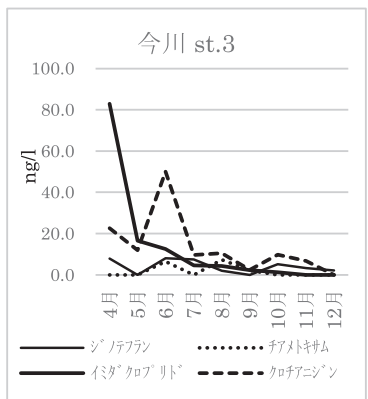
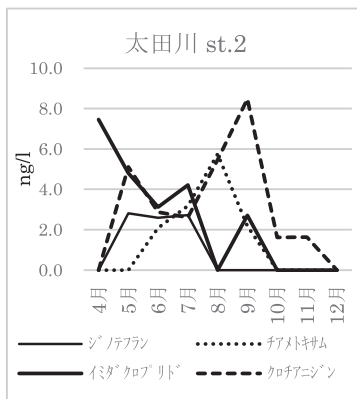
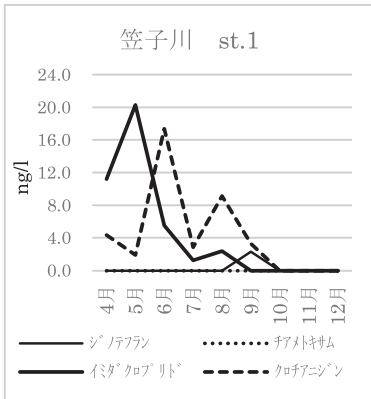
表3. 浜名湖流域10地点における2020年5月19日, 6月12日, 7月4日の降雨後の水試料によるネオニコチノイド系農薬分析結果. 降雨量 (三ヶ日2020年) 5月16日42.5 mm, 6月11日82.5 mm, 7月4日71.0 mm, 単位: ng/l.

	ジノテフラン		ニテンピラム		チアメトキサム	
	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)
笠子川st.1	<3.2	0	<2.8	0	<2.0-8.1 (5/19)	67
太田川st.2	<3.2-41.6 (7/4)	67	<2.8	0	5.9-20.8 (6/12)	100
今川st.3	24.3-66.3 (6/12)	100	<2.8	0	<2.0-8.2 (7/4)	67
釣橋川宇利山川st.4	29.-308.1 (6/12)	100	<2.8	0	4.0-14.3 (6/12)	100
都田川 st.5	16.5-83.6 (6/12)	100	<2.8	0	6.5-29.3 (6/12)	100
花川st.6	<3.2-38.2 (6/12)	67	<2.8	0	7.4-55.1 (6/12)	100
伊佐地川st.7	<3.2	0	<2.8	0	3.6-11.2 (6/12)	100
河川平均検出率		62		0		90.6
浜名湖伊目st.8	<3.2-42.8 (6/12)	67	<2.8	0	<2.0-37 (6/12)	67
浜名湖村櫛st.9	<3.2	0	<2.8	0	<2.0-3.1 (6/12)	67
佐鳴湖st.10	<3.2-13.4 (6/12)	50	<2.8	0	<2.0-4.0 (6/12)	50
検出下限値	3.2		2.8		2.0	

	イミダクロプリド		クロチアニジン		アセタミプリド	
	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)
笠子川st.1	19-52.5 (5/19)	100	19.6-75.8 (6/12)	100	<1.4-5.7 (6/12)	67
太田川st.2	30.3-199.3 (6/12)	100	22.3-79.1 (6/12)	100	<1.4-1.9 (5/19)	67
今川st.3	41.1-229 (7/4)	100	33.3-195.1 (7/4)	100	<1.4-3.8 (5/19)	67
釣橋川宇利山川st.4	67.9-306 (6/12)	100	92-291.2 (6/12)	100	<1.4-26 (5/19)	67
都田川 st.5	20.6-64.4 (6/12)	100	15.9-27.3 (6/12)	100	<1.4-5.0 (5/19)	33
花川st.6	14.3-187 (6/12)	100	<2.3-41 (6/12)	67	2.4-5.4 (5/19)	100
伊佐地川st.7	4.9-31.6 (6/12)	100	3.7-19.5 (6/12)	100	<1.4-2.1 (5/19)	67
河川平均検出率		100		95.3		66.1
浜名湖伊目st.8	<2.4-121.2 (6/12)	67	2.3-43.6 (6/12)	67	<1.4-5.7 (6/12)	33
浜名湖村櫛st.9	<2.4	0	<2.3-5.3 (6/12)	67	<1.4	0
佐鳴湖st.10	3.7-21.9 (6/12)	100	<2.3-5.1 (6/12)	50	<1.4	50
検出下限値	3.2		2.8		2.0	

	チアクロプリド		フィプロニル	
	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)	最小値- 最大値(月/日)	検出率 (%)
笠子川st.1	<2.0	0	0.9-5.0 (5/19)	100
太田川st.2	<2.0-2.1 (7/4)	33	1.3-2.7 (5/19)	100
今川st.3	<2.0-12.6 (7/4)	33	<0.2-3.5 (5/19)	67

釣橋川宇利山川st.4	<2.0-4.9 (7/4)	33	<0.2-0.5 (5/19)	67
都田川 st.5	<2.0	33	<0.4-0.7 (6/12)	100
花川st.6	<2.0-4.0 (7/4)	0	0.8-3.7 (6/12)	100
伊佐地川st.7	<2.0	0	0.5-19 (6/12)	100
河川平均検出率		23.6		90.6
浜名湖伊目st.8	<2.0	0	<0.2-3.0 (6/12)	67
浜名湖村櫛st.9	<2.0	0	<0.2-0.4 (7/4)	67
佐鳴湖st.10	<2.0	0	0.3-1.6 (6/12)	100
検出下限値		2		0.2



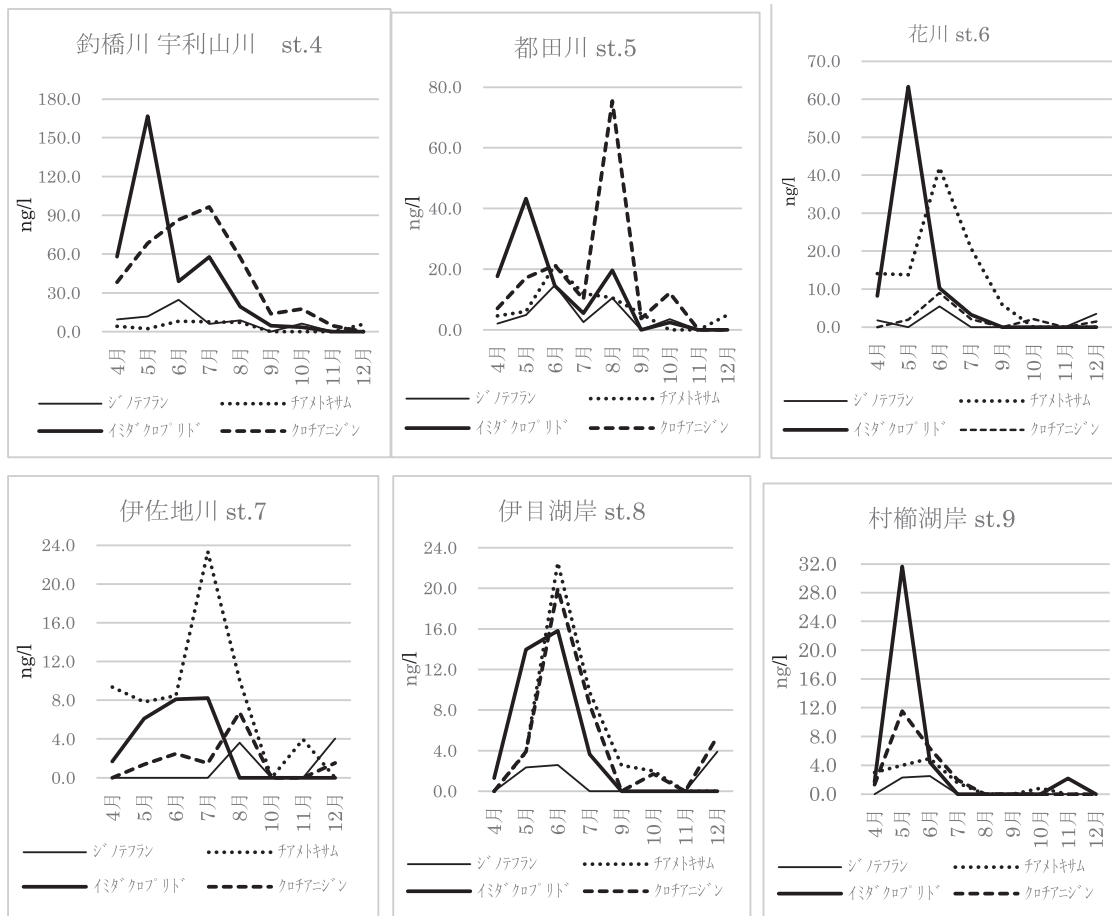


図4. 浜名湖流域のネオニコチノイド系農薬（パッシブサンプラー）4種の濃度変化（2020）.

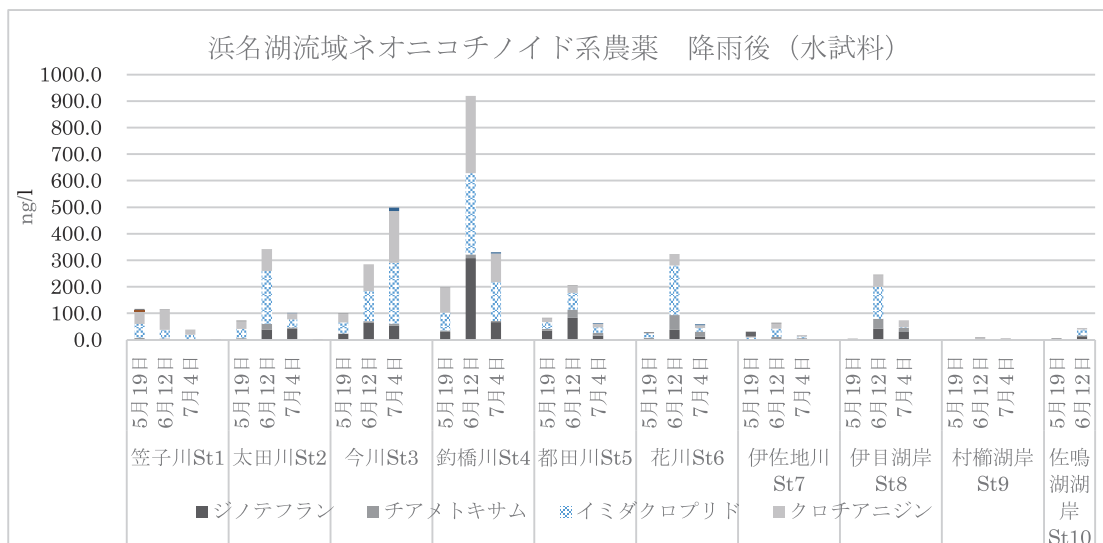


図5. 浜名湖流域における降雨後の水試料のネオニコチノイド系農薬4種の濃度変化(2020). 辻野(2021)を一部改変.

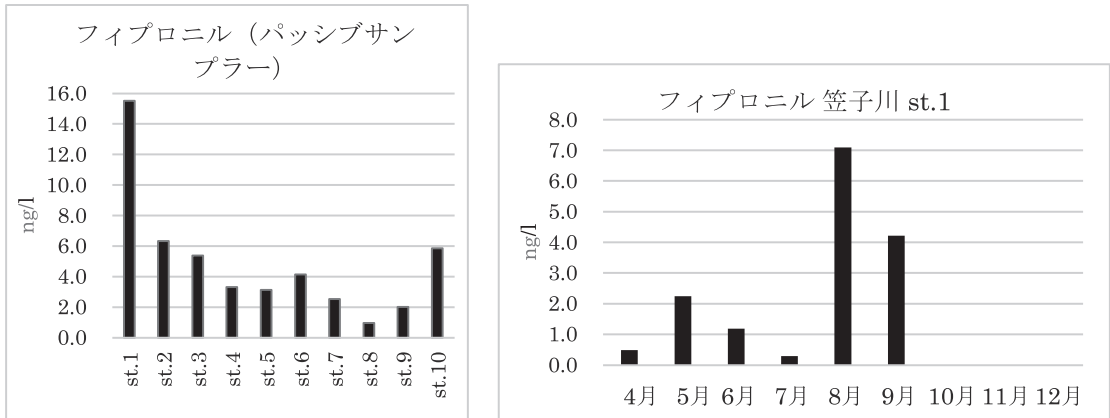


図6. 浜名湖流域のネオニコチノイド系農薬フィプロニル（パッシブサンプラー）の濃度変化（2020）。

(3) **三ヶ日町の土地利用**:三ヶ日町は山に囲まれ、南向きの斜面を開発したミカン園が造成され、三ヶ日町農業協同組合柑橘課発行の「柑橘病虫害防除暦」によると、柑橘病虫害防除剤で使用するネオニコ農薬は、5月6月にアドマイヤー（イミダクロプリド）と9月にモスピラン（アセタミプリド）、ミカン苗木用として5月にアクタラ（チアメトキサム）、6月～8月にダントツ（クロチアニジン）である（三ヶ日町農業協同組合柑橘課，2021）。

ネオニコ濃度が最も高いのは、パッシブサンプラーと出水時ともに釣橋川と宇利山川が合流するst. 4で（図3, 4）、この地域はミカン栽培で有名な三ヶ日町で集水域にはミカン園が集中している。浜名湖流域の土地利用（浜松市，2008）を図6に示した。

この2河川流域の果樹園面積は、752 ha（面積率35%）と高く（浜松市，2008）、南向きの傾斜地に囲まれ、流出する農薬は河川に流入しやすくネオニコの検出率と濃度が高いと考えられる。また、水稲防除剤としてスタークル粒剤（ジノテフラン）が、8月の出穂時に釣橋川、宇利山川下流域の水田（2.45 ha）で約74 kg 使用されている（三ヶ日町農業協同組合，2021）。本研究期間中、st. 4で降雨後（6/12）にイミダクロプリドとクロチアニジンが多く検出されたのは、6月に使用される柑橘病虫害防除剤アドマイヤー（イミダクロプリド）、ダントツ（クロチアニジン）の影響と考えられる。

佐藤ほか（2016）は、神奈川県相模川流域の河川調査で、ネオニコの検出状況は採水地点ごとで異なり、それは採水地点ごとのネオニコの種類の違い、農薬の使用時期、降雨後の濃度上昇などに原因があるとした。農薬の使用時期における濃度上昇が観測され、多くの採水地点で降雨後の河川水位上昇時に濃度が高くなる傾向があり、6月の降雨直後にはイミダクロプリドの最大値は104 ng/l、チアメトキサムの最大値は202 ng/lとなり、降雨により農薬が河川に流入していたとしている。また、浜名湖流域でも同様の傾向で4月から9月までのネオニコ農薬使用時期に測定値が増加し、水試料の最大値は6月11日の降雨後のst. 4で、ジノテフラン308 ng/l、イミダクロプリド306 ng/l、クロチアニジン291 ng/lが検出され（図4）、傾斜地で土壤流出が発生しやすいためと考えられる。ジノテフランは柑橘用ではなく水稲用として使用され（三ヶ日町農業協同組合，2021）、調査地点のst. 4周辺では稲作も行われており、ジノテフランは水田での使用と考えられる。今後はミカン園と水田から

の流出を区別して採水し調査する必要がある。

浜名湖の湖岸 (sts. 8, 9) のネオニコ濃度は河口域 (sts. 1-7) に比べて低く、これは湖水と混合希釈されるためと考えられるが、浜名湖北部の伊目湖岸 st. 8 では5, 6月に高く、秋以降低くなる傾向がある (図3)。主にジノテフラン、イミダクロプリド、クロチアニジンの濃度が高く、近接する都田川からの影響が考えられる。6月11日の降雨後の st. 8 は200 ng/l 以上もあり (図4)、河川水の影響が大きく現れている。南岸の村櫛湖岸 st. 9 は全調査期間中 35 ng/l を超えることはなく (図4)、低濃度で流入する海水との混合希釈のためと考えられる。

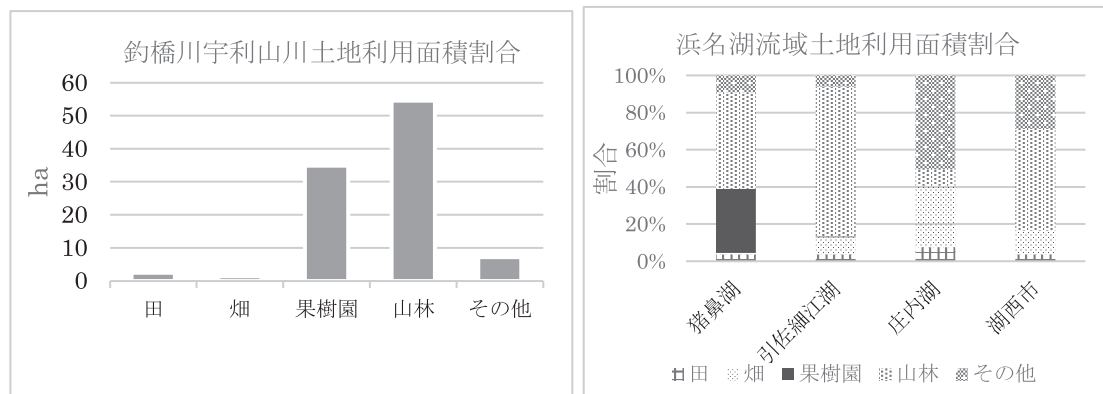


図7. 釣橋川宇利山川と浜名湖流域の土地利用図 (浜松市, 2008を基に作成)。

ネオニコの水生生物への影響評価は急性毒性に着目し、「水域の生活環境動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準」(環境省, 2022)と「水産動植物 PEC」は最高濃度で算出されている。本調査の最高濃度を表4に示す。パッシブサンプラー法と水試料ともに基準値以下であるが、この基準値は特定の生物に対する急性毒性試験、急性阻害試験の算定結果であり、これにより生態系への影響は低いとは判断できない。生態系への影響は、低濃度・長期間曝露による慢性毒性被害が考えられるが、日本はこの研究が不十分で評価ができない現状であるので、低濃度・長期曝露試験による水生生物への影響を解明する必要がある。生態系への影響は被害が拡大してからの対策では遅いからである。

表4. 浜名湖流域におけるネオニコチノイド系農薬とフィプロニルの最大計測値と環境省 (2022) による水産 PECと農薬登録保留基準との比較. 単位: $\mu\text{g/l}$.

	最大値 (パッシブ) (本研究)	最大値 (水試料) (本研究)	水産 PEC (環境省, 2022)	農薬登録保留 基準 (環境省, 2022)
ジノテフラン	0.025 (st. 4)	0.308 (st. 4)	9.0	12
ニテンピラム	< 0.0018 (全地点)	< 0.0028 (全地点)	6.0	11
チアメトキサム	0.042 (st. 6)	0.055 (st. 6)	0.58	3.5
イミダクロプリド	0.167 (st. 4)	0.306 (st. 4)	1.0	1.9
クロチアニジン	0.097 (st. 4)	0.291 (st. 4)	0.79	2.8
アセタミプリド	0.029 (st. 5)	0.026 (st. 4)	1.1	2.5
チアクロプリド	< 0.0013 (全地点)	0.013 (st. 3)	0.45	3.6
フィプロニル	0.0071 (st. 1)	0.019 (st. 7)	0.02	0.024

(4) マガキの中のネオニコ分解生成物：マガキ軟体部のネオニコチノイド系農薬7種類とフィプロニルの添加回収率（標準物質を一定量加えて添加量が正確に回収できたかを定量する方法）は73.3-124.3%と良好な結果であったが、環境中試料からは全て検出下限値以下であった（表5）。一方、イミダクロプリドは光によりさまざまな物質に分解される（宮本ほか，2015）ことが報告されており、その一分解生成物であるデスニトロイミダクロプリドが今回検出された。ただし、デスニトロイミダクロプリドのマガキ添加回収率が25.3%と低かったため、今回の分析結果は低めの分析値と考えられるが、猪鼻湖（st. 4周辺）で0.9 µg/kg、太田川（st. 2）で0.1 µg/kg（表5，図8）であった。

猪鼻湖のマガキ採集地点はst. 4から約500 mと近く、st. 4のパッシブサンプラー法ではイミダクロプリドは5月166.8 ng/lと高濃度であったため、湖水からマガキに取り込まれ、分解されることでデスニトロイミダクロプリドになり検出されたと考えられる。オーストラリア・サザンクロス大学の研究グループは、イミダクロプリドがイタボガキ科の1種 *Saccostrea glomerata* の免疫系に影響を与えやすい状態にあることを示している（Ewere et al., 2020）。浜名湖のマガキは重要な養殖水産資源であるため調査を継続する必要がある。また、湖内5地点の底生動物の二枚貝類は、有機汚泥の指標種であるシズクガイ *Theora fragilis* が多く、優占率は猪鼻湖の中央で91.5%、細江湖中央で93.3%であった（辻野，2021）。今後はこれら優占種のネオニコ分解生成物の調査も必要である。

表5. 浜名湖湖岸のマガキ採集個体数と軟体部重量及び体内のネオニコチノイド系農薬とフィプロニルの分解物濃度。単位:µg/kg.

採集地点	個体数	軟体部重量 (g)
太田川河口	7	25.4
猪鼻湖岸	8	25.0
伊目湖岸	6	30.5
白山岬湖岸	6	34.7
村櫛湖岸	6	24.3

採集地点	ジノテフラン	ニテンピラム	チアメトキサム	イミダクロプリド	クロチアニジン	アセタミプリド
太田川河口	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
猪鼻湖岸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
伊目湖岸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
白山岬湖岸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
村櫛湖岸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
検出下限値	0.08	0.14	0.1	0.12	0.12	0.08
添加回収率 (%)	124.3	73.3	105.2	119.2	89.8	108.5

採集地点	チアクロプリド	デスニトロイミダクロプリド	フィプロニル	フィプロニルスルホン	フィプロニルスルフィド
太田川河口	N.D.	0.1	N.D.	N.D.	N.D.
猪鼻湖岸	N.D.	0.9	N.D.	1.0	N.D.
伊目湖岸	N.D.	N.D.	N.D.	1.0	1.2
白山岬湖岸	N.D.	0.2	N.D.	0.5	N.D.
村櫛湖岸	N.D.	0.4	N.D.	0.5	N.D.
検出下限値	0.10	0.08	0.01	0.01	0.02
添加回収率 (%)	104.2	25.3	124.7	90.8	101.0

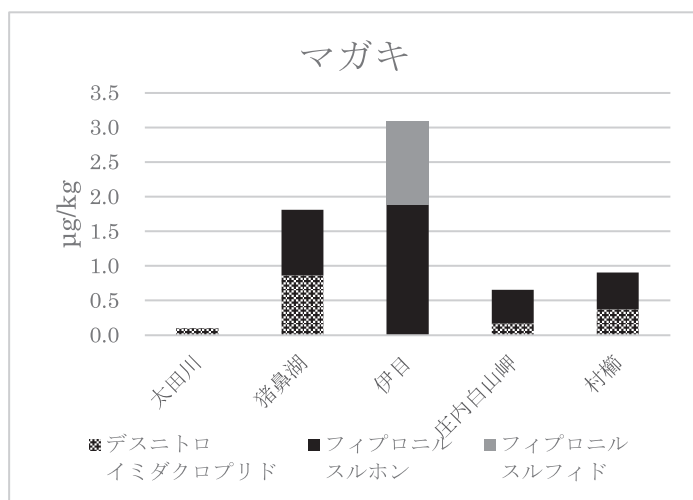


図8. 浜名湖湖岸5地点で採集されたマガキ軟体部中のフィプロニルとイミダクロプリドの分解生成物の濃度。辻野 (2021) を一部改変。

(5) 予防原則の適用と RNA 農業への期待：海外のネオニコ使用の規制の考え方は予防原則を適用している (日本弁護士連合会, 2017)。予防原則とは「人の生命・健康や自然に対して大きな影響を及ぼす可能性が懸念されている物質や活動について、たとえその悪影響に対する科学的な解明が不十分であっても、全ての関係者は十分な防護対策を実施すべきである」(日本弁護士連合会, 2017) という考え方で、環境省 (2017) の「生物多様性白書」には「予防的な取り組み方法」の中で、一度問題が発生すれば、長期間にわたる極めて深刻な不可逆的な影響をもたらす可能性があるため、科学的証拠が欠如していることを理由に対策を遅らせず、知見の充実に努めながら、予防的な対策を講じるべきであるとしている。

H31 年の国会質問 (川内, 2019) で「ネオニコ使用に予防原則を適用する考えはないか」という質問に対して、答弁 (安倍, 2019) は「予防原則の意味するところが明らかでない」とし問題をはぐらかすような回答をしている。日本は高度経済成長のころは公害列島とも揶揄され、水俣病をはじめ人

の健康と命を奪ってきた歴史がある。これに学ばば、健康被害が現れてからの規制では遅く、医療関係者からはすでに健康被害が現れているという報告（平・青山，2006）もあり、予防原則を適用しネオニコ規制に踏み切るべきである。

農林水産省（2021）は、化学農薬の使用低減に向けた開発・普及の中で、RNA 農薬の開発が2040年頃までに進むとしている。この農薬はRNA干渉（RNAi）法による遺伝子機能抑制を使用した害虫防除法で、害虫ごとに標的遺伝子を探索し、二本鎖RNAを植物に直接撒布し、それを食べた害虫の遺伝子の働きを阻害し駆除するというもので、効果は速効的で標的種に特異的に働き、周辺環境への安全性も期待できるとしている（Nishide et al., 2020）。

新しい農薬が開発されると、その利点が強調されるが、使用により生態系や人への健康被害が明らかになり、中止、開発を繰り返してきた歴史がある。まるで「いちごっこ」のようであり、RNA農薬が期待通りに開発が進み、効果を産むかどうかは今後の研究による。

4. まとめ

- (1) 浜名湖流域の7河川河口における2020年4-12月のネオニコの検出率（検出件数/調査件数61）は、クロチアニジン75.4%、イミダクロプリド62.3%、チアメトキサム50.8%で、猪鼻湖に流入する釣橋川と宇利山川が合流する地点（st. 4）が特に高く、慢性毒性の指標である35 ng/lを4月から5月の1日平均値で超え、降雨1日後の6月12日には急性毒性の指標である200 ng/lをも超える高値であった。
- (2) 三ヶ日町はみかん栽培が盛んで、殺虫剤としてアドマイヤー（イミダクロプリド）、モスピラン（クロチアニジン）が使用されている（三ヶ日町農業協同組合柑橘課，2021）。本研究において、同地域で6月の降雨後に水試料のイミダクロプリドとクロチアニジンの値が最も高かったのは、その時期に使用されている農薬の影響が考えられる。
- (3) 湖岸は河口に比べるとネオニコ濃度は低く、湖水により希釈されるためと考えられるが、都田川が流入する北部では、降雨1日後（6/12）には200 ng/l以上もあり、河川の影響が及ぶと考えられる。
- (4) マガキの軟体部から検出されたイミダクロプリドの分解物はデスニトロイミダクロプリドで、猪鼻湖で0.9 µg/kg（参考値）であった。

5. おわりに

殺虫剤は害虫だけではなく、益虫など他の昆虫をも駆除する怖れがある。昆虫は、鳥類をはじめ魚類、両生類、爬虫類、小型哺乳類の餌となり、捕食者がいるから昆虫の数も一定に保たれている。また土壌中の昆虫などの節足動物は分解者として生産者と消費者をつなぐ重要な働きをしている。昆虫の数の減少は捕食者の生存を危ぶみ、ひいては生態系全体に影響を与えるので、昆虫の数の減少は人への警告としても捉えるべきである。害虫は、人にとっては「対立する」存在のように見える。しかし、生き物は対立して生きているのではなく、食物網にみられるように互いにつながり関係性の中で生きている。共存社会であるからこそ、今日多様な生物が進化し生存しているのである。

近代農業は生産性至上主義で、農薬の開発はそれを支えてきたが、自然に大きな負荷を与える農業

でもある。化学肥料が土壌を劣化させ、農薬が生態系を破壊し、人への健康被害の恐れもあるという反省から生まれたのが環境保全型農業である。田畑を自然から「孤立させる」のではなく、生き物の働きを利用し、自然との調和をめざす持続型農業である。消費者も自然保全と安全な農作物への意識は高く、消費者のニーズが環境保全型農業を支援するようになってきている。農作物は見栄えが良くなくても、多少の虫食いがあっても味には変わりがないことは生産者が一番よく知っており、生産者も消費者も食品を無駄にしたくないという考えは同じである。フードロスという言葉が定着し、これまで廃棄してきた規格外の農産物が低価格で購入できるようになり、そのような農産物が流通する仕組みが広がれば、環境保全型農業を支援することにもなる。新農薬の開発は環境保全型農業にも貢献する必要がある、農薬の開発は国民参画で意思決定できるようにしたい。

謝辞

本研究は一般社団法人アクト・ビヨンド・トラストの公募助成（2020年度）を受けて実施し、本文中の分析方法は千葉工業大学創造工学部都市環境工学科の亀田豊教授に執筆していただき、同研究室の分析技師の藤田恵美子氏に分析していただきました。これらの方々に心より謝意を表します。

引用文献

- 安倍晋三 (2019) : 内閣総理大臣答弁第 21 号 内閣衆質 198 第 21 号 平成 31 年 2 月 15 日 [https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_shitsumon_pdf_t.nsf/html/shitsumon/pdfT/b198021.pdf/\\$File/b198021.pdf](https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_shitsumon_pdf_t.nsf/html/shitsumon/pdfT/b198021.pdf/$File/b198021.pdf) 2021 年 11 月閲覧
- 青山美子・平久美子 (2010) : 農薬と人体被害の実態 (1) (2). 土と健康, 419-421 抜粋, <https://www.1971joaa.org/子どもと健康/> 2022 年 4 月閲覧.
- Ewere, E. E., Reichelt-Brushett, A. and Benkendorff, K. (2020) : The neonicotinoid insecticide imidacloprid, but not salinity, impacts the immune system of Sydney rock oyster, *Saccostrea glomerata*. *Science of The Total Environment*, 742, 140538. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.140538.
- 浜松市 (2008) : 浜名湖排出負荷量調査業務委託報告書 (平成 20 年度). 126pp.
- 環境省 (2017) : 平成 29 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書. 第 6 章 各種施策の基盤, 各主体の参加及び国際協力に係る施策. https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/pdf/2_6.pdf 2021 年 12 月閲覧
- 環境省 (2022) : 水域の生活環境動植物の被害防止に係る農薬登録基準 (最終改正 令和 4 年 2 月 16 日) <http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun.html> 2022 年 4 月閲覧
- 川内博史 (2019) : 衆議院質問第 21 号 ネオニコチノイド系農薬等に関する質問主意書. [https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_shitsumon_pdf_s.nsf/html/shitsumon/pdfS/a198021.pdf/\\$File/a198021.pdf](https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_shitsumon_pdf_s.nsf/html/shitsumon/pdfS/a198021.pdf/$File/a198021.pdf) 2021 年 11 月閲覧
- Kasai, A., Hayashi, T. I., Ohnishi, H., Suzuki, K., Hayasaka, D. and Goka K. (2016) : Fipronil application on rice paddy fields reduces densities of common skimmer and scarlet skimmer. *Scientific Reports*, 6, 23055. DOI: 10.1038/srep23055.

- 国土交通省気象庁ホームページ：https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_sl.php?prec_no=50&block_no=47654&year=2020&month=06&day=12&view= 2022年9月閲覧
- 三ヶ日町農業協同組合柑橘課 (2021)：柑橘病虫害防除暦 (令和3年)。1p.
- 三ヶ日町農業協同組合 (2021)：水稲防除暦 (令和3年)。1p.
- 満井 順 (2016)：モスピランの開発の経緯を振り返って。農業時代, 197, 23-25.
https://www.nippon-soda.co.jp/nougyo/pdf/no197/197_023.pdf
- 宮本信一・岡村哲郎・安田侑右・山本 潤・石川英律 (2015)：農薬の環境変化体の生態影響, i-NET, 41, 8-9. https://ideacon.jp/technology/inet/vol41/vol41_new04s.pdf 2022年3月閲覧
- Morrissey, C. A., Mineau, P., Devries, J. H., Sanchez-Bayo, F., Liess, M., Cavallaro, M. C. and Liber, K. (2015)：Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: a review. *Environment International*, 74, 291-303.
- ネオニコチノイド研究会監訳 (2019)：浸透性殺虫剤に関する世界的な統合評価書(WIA)の更新版 第2部:生物と生態系への影響。35-86. https://www.actbeyondtrust.org/wp-content/uploads/2019/11/WIA2JP_2.pdf 2022年4月閲覧
- 日本弁護士連合会 (2017)：ネオニコチノイド系農薬の使用禁止に関する意見書. https://www.nichibenren.or.jp/library/ja/opinion/report/data/2017/opinion_171221_2.pdf 2021年11月閲覧
- Nishide, Y., Kageyama, D., Hatakeyama, M., Yokoi, K., Jouraku, A., Tanaka, H., Koga, R., Futahashi, R. and Fukatsu, T. (2020)：Diversity and function of multicopper oxidase genes in the stinkbug *Plautia stali*. *Scientific Reports*, 10, 3464. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60340-8>.
- 農畜産業振興機構 調査情報部 (2018)：国際情報コーナー。欧州委員会, 3種類のネオニコチノイド系農薬の屋外での使用禁止を決定 (EU). https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01_002218.html 2021年11月閲覧
- 農林水産省 (2016)：蜂蜜被害事例調査 (平成25年度～平成27年度) https://www.maff.go.jp/j/nouyaku/n_mitubati/honeybee_survey.html 2022年4月閲覧.
- 農林水産省 (2021)：(参考) 各目標の達成に向けた技術の内容 (現在から2030年頃まで/2040年頃から). <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/team1-12.pdf> 2022年4月閲覧
- Pisa, L., Goulson, D., Yang, E.-C., Gibbons, D., Sánchez-Bayo, F., Mitchell, E., Aebi, A., van der Sluijs, J., MacQuarrie, C. J. K., Giorio, C., Yim Long, E., McField, M., van Lexmond, M. B. and Bonmatin, J.-M. (2017)：An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: impacts on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 11749-11797. DOI 10.1007/s11356-017-0341-3.
- 斎藤育江・大貫 文・鈴木俊也・栗田雅行 (2015)：シロアリ駆除剤由来のネオニコチノイド系殺虫剤による室内環境汚染. 東京都健康安全研究センター研究年報, 66, 225-233.
- 佐藤 学・村上 仁・小坂浩司・浅見真理・鎌田基之 (2016)：神奈川県相模川流域における河川水及び水道水のネオニコチノイド系農薬等の実態調査. 水環境学会誌, 39, 153-162.

- 平 久美子 (2012) : ネオニコチノイド系殺虫剤のヒトへの影響—その1 : 物質としての特徴, ヒトにおける知見—. 臨床環境医学, 21, 24-34.
- 平 久美子・青山美子 (2006) : 2005年に一定地域のネオニコチノイド系および有機リン系殺虫剤散布後自覚症状を訴え受診した患者の心電図所見とその季節変動. 臨床環境, 15, 114-123.
- 辻野兼範 (2021) : 浜名湖流域におけるネオニコチノイド系農薬の濃度分布. 一般社団法人アクト・ビヨンド・トラスト 2020年度事業報告, ネオニコチノイド系農薬問題部門公募助成最終報告. <https://www.actbeyondtrust.org/wp-content/uploads/2021/06/tsujino01.pdf> 2022年4月閲覧
- 芳山三喜雄 (2011) : 世界におけるミツバチ減少の現状と欧米における要因. ミツバチ科学, 28, 65-72. <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030831164.pdf> 2022年4月閲覧