

農薬の水産動植物に対する生態リスク評価のための 高次試験法に関する文献調査

石原 悟

独) 農林水産消費安全技術センター 農薬検査部

農薬の生態リスク評価の高次リスク評価への利用が期待される毒性試験や野外試験等について、国内における実施状況に関する文献調査を行った。収集した文献を5つの項目(A-1;室内単一生物試験-水生植物, A-2;室内単一生物試験-水生植物以外, B;室内多生物試験, C;野外試験, D;バイオモニタリング)に分類し取りまとめた。

調査の結果 101 件の文献を収集した。試験生物に焦点をおき情報を整理し、国内で毒性試験や野外試験等を行う際に扱いやすいと考えられる生物種を確認した。

Keywords : 生態リスク評価, 高次評価, 室内多生物種試験, 野外試験, 種の感受性分布

緒 言

農薬の生態リスク評価は、初期的な評価(ワーストケースを想定した保守的な評価)からはじまり、リスクの可能性が認められた場合に高次のリスク評価(より現実的な評価)を実施することが一般的である^{1,2)}。初期リスク評価では、主として室内で実施される単一種の生物を用いた毒性試験の結果(以下、必須データという。)が活用されている。高次のリスク評価では、以下に示す手法が有効であるとされている³⁾

- 1) 必須データに関する精査,
- 2) さらなる単一生物種試験の実施,
- 3) 室内多生物種試験の実施,
- 4) 野外試験の実施。

我が国の水産動植物登録保留基準の設定時には、魚類、甲殻類および藻類の3生物群の試験を必須データとして評価を行っている⁴⁾。現行のリスク評価スキームでは、高次リスク評価に相当する評価は限定的であり、一部の試験生物種(コイ以外の魚種、ユスリカやヨコエビ等)について、試験結果の不確実係数の設定や急性影響濃度の補正への利用、環境中予測濃度の推定で第二段階の予測値(物質の分解性等を考慮した、より精緻な計算方法)を活用するにとどまっている。

現在、室内多生物種試験や野外試験の結果は評価に利用されておらず、農薬の水生毒性評価のための高次リスク評価手法の開発は、喫緊の課題となっている⁵⁾。

農薬の高次生態リスク評価は、生態系の構成要素や文化が異なる欧米諸国の手法をそのまま取

り入れることはできない。実行可能かつより現実的な評価には、地域の特性を考慮することが極めて重要である。

農薬等化学物質の生態リスク評価に関する研究分野は、我が国において盛んな分野とはいえない。そのため、我が国における農薬の水生毒性評価のための高次リスク評価に関する科学的知見は限定的である。また、国内で検討された、さらなる単一生物種試験、室内多生物種試験および野外試験(以下、高次試験という。)について、試験設計や試験結果を縦覧できる資料は認められない。

そこで本調査は、水産動植物に対する農薬の高次リスク評価への利用が期待される高次試験の国内における実施状況および試験内容について、情報収集・整理を行い、高次試験に係る現状と課題を俯瞰できるよう資料にまとめることを目的とした。

なお、本調査では収集する文献を学術論文に限定せず、都道府県の報告書、各種講演要旨等も文献として位置づけ、幅広く情報収集を行った。

調査方法

文献調査を実施する分野を以下の4項目(A-1, A-2, B, CおよびD)に分類した。

- A-1 さらなる単一生物試験種(水生植物)
- A-2 さらなる単一生物試験種(水生植物以外)
- B 室内多生物試験
- C 野外試験
- D バイオモニタリング

Google scholar, AGROPEDIA, J-STAGE 等インターネット上でのキーワード検索を中心に情報の収集を行った。収集した文献を読み込み、同様の研究内容であるものは適宜とりまとめ、本稿では代表的な文献を紹介したい。また、項目毎に試験生物に焦点をおき情報を整理すると共に、水産動植物に対する農薬の高次リスク評価への活用という観点から考察した。

調査結果

調査の結果、延べ 101 件の文献を収集した。項目別の内訳を表 1 に示す。以下、項目別に調査結果の概要を示す。

表 1. 収集した文献数

分野		文献数 (件)
A-1	さらなる単一生物試験種 (水生植物)	22
A-2	さらなる単一生物試験種 (水生植物以外)	26
B	室内多生物試験	22
C	野外試験	27
D	バイオモニタリング	4

1. さらなる単一生物試験種

1.1. 水生植物

収集した 22 件のうち 14 件が藻類 (淡水藻類 7 件, 海産藻類 7 件), 8 件が高等水生植物に関する文献であった。

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, 経済協力開発機構) における藻類生長阻害試験のテストガイドライン (以下 TG201 という.) では 2 種の淡水緑藻 (*Pseudokirchneriella subcapitata* および *Desmodesmus subspicatus*), 1 種の淡水珪藻 (*Navicula pelliculosa*) および 2 種の淡水藍藻 (*Anabaena flos-aquae* および *Synechococcus leopoliensis*) が供試生物として推奨されている。文献調査の結果, OECD 推奨種以外で表 2 に示す生物が TG201 に準じた試験の実施が可能であると考えられた。また, TG201 に準じた試験の実施はできないが, 海産のノリ類や大型藻類の配偶体を供試生物とした毒性試験法について報告が認められた¹⁷⁻¹⁹⁾。

表 2. 試験生物として報告のあった微細藻類

生物名		文献番号	
淡水	緑藻	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	6,7
	珪藻	<i>Achnanthydium minutissimum</i>	8,9,10,11
		<i>Craticula molestiformis</i>	8,10
		<i>Eolimna minima</i>	8,10
		<i>Eolimna subminuscula</i>	8,10
		<i>Fistulifera saprophila</i>	8,10
		<i>Mayamaea atomus</i>	8,10
		<i>Nitzschia palea</i>	8,10,11
		<i>Planothidium frequentissimum</i>	8,10
		<i>Planothidium lanceolatum</i>	8,10
	<i>Sellaphora seminulum</i>	8,10	
	藍藻	<i>Merismopedia tenuissima</i>	9,10
		<i>Pseudanabaena galeata</i>	11
<i>Spirulina platensis</i>		12	
海産	緑藻	<i>Dunaliella</i> sp.	13,14
	珪藻	<i>Chaetoceros gracilis</i>	15
		<i>Nitzschia</i> sp.	16
	ハプト藻	<i>Pavlova lutheri</i>	15

高等水生植物に関して, OECD には現在 *Lemna* 属ウキクサの生長阻害試験 (以下 TG221 という.) およびフサモの毒性試験 (TG238 および TG239) のガイドラインがある。いずれも被子植物 (*Lemna* 属ウキクサ; 単子葉, フサモ; 双子葉) であり, 供試生物としては, TG221 では, 2 種の *Lemna* 属ウキクサ (*Lemna gibba* (イボウキクサ), *Lemna minor* (コウキクサ)), TG238 および TG239 では, ホザキノフサモ (*Myriophyllum Spicatum*) が推奨種とされている。

文献調査の結果, 被子植物としては, 日本に生息する *Lemna* 属ウキクサ 4 種, *Spirodela* 属ウキクサ 1 種, *Wolffia* 属ウキクサ, エピモ, ジュンサイについての報告が認められた (表 3)。供試生物の多くは単子葉の植物であった。

被子植物以外では, シダ植物についての報告が多く (表 3), 文献で使用されていた各種浮遊植物については, TG221 に準じた試験が実施できると考えられた。

表 3. 試験生物として報告のあった高等水生植物

生物名			文献 番号	
被子 植物	単子葉	浮遊	アオウキクサ (<i>L. aoukikusa</i> Beppu et Murata)	20
			ホクリクアオウキクサ (<i>L. aoukikusa</i> Beppu et Murata subsp. <i>hokurikuensis</i> Beppu et Murata)	20
			ナンゴクアオウキクサ (<i>L. aequinoctialis</i> Welw)	20
			ムラサキコウキクサ (<i>L. japonica</i> Landolt)	20
			ウキクサ (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	21
			ミジンコウキクサ (<i>Wolffia globosa</i>)	22
	浮葉	エビモ (<i>Potamogeton crispus</i>)	23	
双子葉	沈水	ジュンサイ (<i>Brasenia schreberi</i>)	24	
シダ植物	浮遊	オオアカウキクサ (<i>Azolla japonica</i>)	21,25,26	
		サンショウモ (<i>Salvinia natans</i>)	21,26,27	
	浮葉/抽水	デンジソウ (<i>Marsilea quadrifolia</i>)	25	
	抽水	ミズニラ (<i>Isoetes japonica</i>)	25	

これらの知見は今後検討が進められると考えられる SSD (種の感受性分布) 法による評価⁵⁾での活用が期待される。

1.2. 水生植物以外の生物

水生植物以外の生物の毒性試験に関する文献として、26 件 (日本環境毒性学会編集の生態毒性試験ハンドブック²⁸⁾を除く) 収集した。そのうち 20 件が水生昆虫に関する文献であった。本稿では、1) 水生昆虫、2) 両生類、3) その他に分類して紹介したい (表 4)。

表 4. 収集した文献数 (水生植物以外の生物)

分野	文献数 (件)
1) 水生昆虫	20
2) 両生類	3
3) その他	3

1.2.1. 水生昆虫

水生節足動物の急性毒性試験に関しては、OECD では現在ユスリカ (*Chironomus* sp.) の遊泳阻害試験 (TG218 および TG219) のガイドラインが採択されている。収集した文献 20 件のうち多くが卵や幼虫期のみ水中で過ごす生活史の生物 (トビケラ、トンボ等) を扱ったものであった (表 5)。

我が国における農薬の高次リスク評価への活用という観点では、現行の評価法の評価地点であ

る河川中にも生息する生物であるトビケラ幼虫、カゲロウ幼虫、トンボ幼虫、ホタル幼虫などを用いた手法の活用が期待される。特にコガタシマトビケラを用いた毒性試験は、飼育法³⁵⁾および 1 齢幼虫を用いた毒性試験法のマニュアル³⁶⁾が整備されていることなどから、実用性の高い手法であると考えられた。また、リスクコミュニケーションを円滑に進める (世間一般に理解されやすい) という観点では、トンボやホタルを用いた評価も有効であると考えられた。

1.2.2. 両生類

両生類については、カエルを用いた試験に関する文献およびサンショウウオを用いた試験が認められた。試験に使用されていたカエルの種類は、アフリカツメガエル (*Xenopus laevis*)⁴⁹⁾、エゾアカガエル (*Rena chensinensis*)⁵⁰⁾、ニホンアマガエル (*Hyla japonica*)⁵¹⁾ であった。サンショウウオについては、エゾサンショウウオ (*Hynobius retardatus*)⁵⁰⁾ が使用されている文献が認められた。

1.2.3. その他

貝類では、カワニナ (*Semisulcospira libertina*)⁵¹⁾、サカマキガイ (*Physa acuta*)^{51,52)}、マルタニシ (*Cipangopaludina chinensis*)⁵¹⁾ を用いた毒性試験の報告が認められた。その他、甲殻類のミズムシ (*Asellus hilgendorfi*)⁵²⁾ や淡水性のヒドラ (*Hydra*

表 5. 試験生物として報告のあった水生昆虫

分類	文献数 (件) *	生物名
トビケラ目	10	ウルマーシマトビケラ (<i>Hydropsyche orientalis</i>) ²⁸⁾ コガタシマトビケラ (<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>) ²⁸⁻³⁶⁾ ホタルトビケラ (<i>Nothopsyche ruficollis</i>) ^{28, 37, 38)}
トンボ目	5	アオイトトンボ (<i>Lestes sponsa</i>) ³⁹⁾ アオモンイトトンボ (<i>Ischnura senegalensis</i>) ²⁸⁾ アキアカネ (<i>Sympetrum frequens</i>) ^{40, 41)} アジアイトトンボ (<i>Ischnura asiatica</i>) ²⁸⁾ オニヤンマ (<i>Anotogaster sieboldii</i>) ³⁹⁾ キイトトンボ (<i>Ceriagrion melanurum</i>) ³⁹⁾ クロイトトンボ (<i>Cercion calamorum</i>) ³⁹⁾ タカネトンボ (<i>Somatochlora uchidai</i>) ³⁹⁾ チョウトンボ (<i>Rhyothemis fuliginosa</i>) ³⁹⁾ ナツアカネ (<i>Sympetrum darwinianum</i>) ⁴²⁾ マユタテアカネ (<i>Sympetrum eroticum</i>) ³⁹⁾ モノサシトンボ (<i>Copera annulata</i>) ³⁹⁾
カメムシ目	4	アサヒナコミズムシ (<i>Sigara maikoensis</i>) ^{28, 43, 44)} オオコオイムシ (<i>Diplonychus major</i>) ^{28, 45)} タガメ (<i>Lethocerus deyrollei</i>) ²⁸⁾ ヒメアメンボ (<i>Gerris latiabdominis</i>) ^{28, 46)} ナベブタムシ (<i>Aphelocheirus vittatus</i>) ^{28, 43)} マルミズムシ (<i>Paraplea japonica</i>) ^{28, 43)} マルヒメツヤドロムシ (<i>Zaitzeviaria ovata</i>) ⁴³⁾ ミヅツヤドロムシ (<i>Zaitzevia rivalis</i>) ⁴³⁾
ハエ目	1	チカイエカ (<i>Culex pipens molestus</i>) ^{28, 47)}
カゲロウ目	-	エルモンヒラタカゲロウ (<i>Epeorus latifolium</i>) ²⁸⁾ シロタニガワカゲロウ (<i>Ecdyonurus yoshidae</i>) ²⁸⁾ シロハラコカゲロウ (<i>Baetis thermicas</i>) ²⁸⁾
コウチュウ目	1	ゲンジボタル (<i>Luciola cruciata</i>) ²⁸⁾ ヘイケボタル (<i>Luciola lateralis</i>) ^{28, 48)}

*日本環境毒性学会編集の生態毒性試験ハンドブック²⁸⁾を除く

attenuata)⁵³⁾を試験生物とした毒性試験の報告が認められた。

その他、水産庁では漁場環境の保全と持続的な水産魚介類の利用を目的に、各種海産生物に関する毒性試験指針を取りまとめている。また、環境省ではマダイ (*Pagrus major*) およびクルマエビ (*Penaeus japonicus*) を用いた急性毒性試験法の開発が進んでいる⁵⁴⁾。海産生物を用いた毒性試験法については、眞道による総説⁵⁵⁾に詳しく記載されているので、それを参照にされたい。

2. 室内多生物試験

単一種の生物を用いた試験では、その種に対する影響しか明らかにできない。そこで、生態系へ及ぼす化学物質の影響評価に関し、多生物試験の重要性が指摘されている。しかし、多生物試験は試験手法の標準化が困難であること、結果の評価法が確立されていない等の理由から、化学物質の評価や規制への活用は進んでいない。

本項では、比較的規模の小さい試験系である室内多生物試験について、国内における検討事例 (表 6) を紹介したい。

フラスコサイズで形成される微生物生態系（マイクロコズム）はその群集構成の違いにより、Gnotobiotic 型、Stress-selected 型および Naturally-derived 型に分類される⁵⁶⁾。このうち単独培養で培養した生物種を組み合わせた、種構成既知で個体数計測が可能な Gnotobiotic 型のマイクロコズムは、再現性が良く安定した試験系が確立できるとされている。我が国における研究事例を調査したところ、生産者、分解者、捕食者で構築された Gnotobiotic 型のマイクロコズム（表7）の研究事例が多く認められた⁵⁶⁻⁶⁸⁾。また、マイクロコズムと類似した手法として、既知の複数種微生物から構成された河川モデル生物膜（藻類、細菌など微生物の集合体）を用いた評価手法が島根大学のグループにより検討されていた⁶⁹⁻⁷³⁾。本研究では、河川における生物膜の生態学的重要性に着目し、珪藻と細菌で河川モデル生物膜を人工的に構成し試験に用いていた（表7）。

その他、室内で多生物に対する影響を評価する手法としては、野外より採取した底質（底泥に含まれる休眠卵から孵化した動物プランクトン種から構築）から発生した生物を用いる試験⁷⁴⁻⁷⁶⁾、室内流水式水路で野外より採集した底生動物を飼育し、被験物質を曝露する試験⁷⁷⁾などが認めら

れた。

我が国における農薬の高次リスク評価への活用という観点では、河川モデル生物膜を用いた試験は、藻類に対する影響が懸念される農薬の高次評価への活用が期待される手法であると考えられた。

3. 野外試験

化学物質の評価において、室内毒性試験だけを用いた評価には様々な限界点があり、欧米では農薬の生態リスク評価において、メソコスム（野外モデル生態系試験）の活用が進んでいる。

これまで我が国においても事例は少ないものの農薬の影響評価に関する野外試験について検討されている。本調査では、実際の水田を試験区として調査した試験も野外試験と位置づけ情報を収集した。国内で取り組まれた主な野外試験について、試験区の構造別に分類し表8にまとめた。

農薬の高次リスク評価への活用という観点では、対照区の設定が可能なメソコスムおよび流水型野外水系モデルが有用な手法であると考えられた。

国内で実施された野外試験のうち、国立環境研究所で近年検討が進んでいるメソコスム試験、

表6. 国内における室内多生物試験についての検討事例

研究事例	試験の概要
Gnotobiotic 型マイクロコズム	6-11 種の生物（生産者、分解者、捕食者）を使用した試験 ⁵⁶⁻⁶⁸⁾
河川モデル生物膜	5-6 種の生物（生産者、分解者）を使用した試験 ⁶⁹⁻⁷³⁾
その他	<ul style="list-style-type: none"> 底質（底泥に含まれる休眠卵から孵化した動物プランクトン種から構築）から発生した生物を用いる試験⁷⁴⁻⁷⁶⁾ 室内流水式水路で野外より採集した底生動物を飼育し、被験物質を曝露する試験⁷⁷⁾

表7. 室内多生物試験で試験生物として報告のあった微生物

研究事例	栄養段階	生物名
Gnotobiotic 型マイクロコズム ⁵⁶⁾	生産者	緑藻類 <i>Chlorella</i> sp., <i>Scenedesmus</i> sp. 藍藻類 <i>Tolypothrix</i> sp.
	分解者	細菌類 <i>Bacillus cereus</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Acinetobacter</i> sp., <i>Coryneform bacteria</i>
	捕食者	繊毛虫類 <i>Cyclidium glaucoma</i> 輪虫類 <i>Lecane</i> sp., <i>Philodina erythrophthalma</i> 貧毛類 <i>Aeolosoma hemprichi</i>
河川モデル生物膜 ⁷³⁾	生産者	珪藻類 <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Nitzschia palea</i>
	分解者	細菌類 <i>Pedobacter</i> sp., <i>Stenotrophomonas</i> sp., <i>Aquaspirillum</i> sp.

表 8. 国内における野外試験についての検討事例

試験区の構造	1区の大きさ	試験期間	調査項目（生物）
メソコスム(水田式) ⁷⁸⁻⁸⁴⁾	水田型(人工水田, 流水) 8.32 m ² (1.6 m×5.2 m)	約 4 ヶ月	動物プランクトン, 底生生物, 水生昆虫類, 試験生物の試験区内への導入(ヒメダカ)
メソコスム(止水式) ^{79, 85)}	タンク型(止水) 直径 1.015 m(0.81 m ²)	約 5 ヶ月	動物プランクトン, 底生生物, 付着生物, 水生動物(ホウネンエビや水生昆虫), 試験生物の試験区内への導入(ヒメダカ)
流水型水系モデル 1 ⁸⁶⁻⁸⁹⁾	60 m ² (3 m×20 m) (河川を想定)	約 2 ヶ月	プランクトン, 付着藻類, 水生昆虫の個体数, 試験生物の試験区内への導入(ミジンコ類, ヒメダカ)
流水型水系モデル 2 ⁸⁹⁻⁹⁵⁾	10 m ² (1 m×10 m) (河川を想定)	約 2 ヶ月	付着藻類, 大型藻類(アオミドロ類), ウキクサ類, 水生植物(ヒルムシロ), ミジンコ類などの個体数
隔離水界(湖) ⁹⁶⁾	4.8 m×4.8 m×0.7 m	約 3 ヶ月	クロロフィル, 植物プランクトンの個体数, 動物プランクトンの個体数など
隔離水界(人工池) ^{97, 98)}	直径 1 m×3.8 m(円柱)	1~2 ヶ月	クロロフィル, 植物プランクトン, バクテリア, 動物プランクトン, 底生動物
野外水田 1 ⁹⁹⁾	167 m ² (1.67 a)	約 2 ヶ月	ミジンコ目, 昆虫類の個体数
野外水田 2 ¹⁰⁰⁾	不明	約 5 ヶ月	水生昆虫の個体数
野外水田 3 ¹⁰¹⁾	不明	約 3 ヶ月	水生昆虫, クモ類, カエル幼生等の個体数
野外水田 4 ¹⁰²⁾	50.4 m ² (4.2 m×12 m)	約 1 ヶ月	ユスリカ類幼虫, 水生昆虫の密度, 試験生物の試験区内への導入(コオイムシ幼虫)
野外水田 5 ¹⁰³⁾	水田 51 または 72 枚	約 1 ヶ月	赤トンボ羽化殻数
野外人工水路 ^{97, 104)}	長さ 100 m, 幅 23 cm	1~2 ヶ月	クロロフィル, 底生動物(残存数および流下数)

表 9. 野外試験（メソコスムおよび流水型野外水系モデル）の試験条件の比較

試験条件/試験の種類		メソコスム ⁸³⁾ (国立環境研究所, 水田式)	メソコスム ⁸⁵⁾ (国立環境研究所, 止水式)	流水型水系モデル ⁸⁷⁾ (日本植物防疫協会)	流水型水系モデル ⁹²⁾ (日本植物調節剤研究協会)
1 区の規模		8.32 m ² (1.6 m×5.2 m)	0.81 m ² (直径 1.015 m)	60 m ² (3 m×20 m)	10 m ² (1 m×10 m)
調査期間		約 4 ヶ月	約 5 ヶ月	約 2 ヶ月	約 2 ヶ月
生物調査の回数または頻度		13 回	1 回/2 週間	25 回	9 回
被験物質		殺虫剤 (系内施用)	殺虫剤 (系内施用)	除草剤および殺虫剤 (系外施用)	除草剤 (系外施用)
調査 生物	植物プランクトン	×	×	○	○
	動物プランクトン	○	○	○ミジンコ類の導入あり	○(ミジンコ類のみ)
	水生昆虫類	○	○	○	×
	底生生物	○	○	×	×
	付着生物	×	○(動物)	○(藻類)	○(藻類)
	水生植物	○	×	×	○
	魚類	○試験区内へ導入(ヒメダカ)	○試験区内へ導入(ヒメダカ)	○試験区内へ導入(ヒメダカ)	×
農薬残留濃度分析		あり	あり	あり	あり
水質調査		濁度, pH, DO	濁度, pH, DO	pH, DO, クロロフィル a	濁度, pH, 全窒素, 全リン

日本植物防疫協会および日本植物調節剤研究会で行われた流水型野外水系モデルについて、試験規模、調査期間、調査生物等の試験条件について比較した結果を表9に示す。

4. バイオモニタリング

バイオモニタリングは、リアルタイムで生物反応を監視し、環境リスクをモニタリングする手法である。調査方法としては、細菌、細胞、酵素等を用いた簡易検定法^{105, 106}や生物個体を用いた方法^{107, 108}等様々な手法が示されている。

我が国の河川における実施例では、試験生物として、単細胞緑藻、ウキクサ等の水草、小型の淡水エビ（ヌカエビ、*Paratya compressa improvisa*）、カゲロウ幼虫を利用した報告が認められた^{107, 108}。

バイオモニタリングは、農薬の登録前におけるリスク評価への活用という観点では期待できる手法ではないが、登録後の規制効果の評価などに活用できる成果であることから本調査で情報収集を行った。

おわりに

本調査では、水産動植物に対する農薬の高次リスク評価への利用が期待される高次試験の国内における実施状況について情報収集を行った。試験生物に焦点をおき調査結果をまとめ、国内での検討で扱いやすいと考えられる生物種について確認した。本資料の情報がより合理的な評価システムの確立につながれば幸いである。

参考文献

- 1) http://ec.europa.eu/food/fs/sfp/ph_ps/pro/wrkdoc/wrkdoc10_en.pdf (Accessed 11 Aug., 2015)
- 2) http://www.epa.gov/oppefed1/ecorisk_ders/toera_analysis_eco.htm (Accessed 11 Aug., 2015)
- 3) P.J. Campbell, D.J.S. Arnold, T.C.M. Brock, N.J. Grandy, W. Heger, F. Heimbach, S.J. Maund & M. Streloke: "Guidance Document on Higher-Tier Aquatic Risk Assessment of Pesticides (HARAP)," SETAC-Europe Publication, Brussels, 1999.
- 4) <http://www.env.go.jp/hourei/06/000039.html> (Accessed 29 July, 2015)
- 5) <http://www.env.go.jp/council/10dojo/y104-26/ref13.pdf> (Accessed 29 July, 2015)

- 6) 木下典子, 神谷 律, 細谷夏実: 大妻女子大学紀要, 社会情報学研究 13, 2004.
- 7) 田中仁志: 東北大学学位論文, 甲第 10367 号, 2005.
- 8) 石原 悟: 環境毒性学会誌 9(2), 101-113(2006).
- 9) 石原 悟: 農環研ニュース 66, 5-6, (2005).
- 10) 石原 悟: 農環研報 25, 1-92, (2008).
- 11) <http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/algae/> (Accessed 29 July, 2015)
- 12) 勝又政和, 小池隆, 西川正隆, 土屋広司: 水環境学会誌 28(1), 23-28(2005).
- 13) 堀家直哉, 西川 淳, 田中仁志, 中村省吾: 水環境学会誌 25(8), 485-490(2002).
- 14) 三尋木全子, 菊地幹夫, 澤井 淳: 環境毒性学会誌 15(1), 11-16(2002).
- 15) 眞道幸司, 岸田智徳, 吉川貴志, 伊藤康男: 日本マリンエンジニアリング学会誌 47(5), 30-35(2012).
- 16) 山本民次, 浅岡 聡, 原口浩一: 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要 47, 53-59, 2008.
- 17) 丸山俊朗, 三浦昭雄: 水環境学会誌 16(5), 327-338(1993).
- 18) 高見徹, 丸山俊朗, 鈴木祥広, 三浦昭雄: 土木学会論文集 566, 71-80(1997).
- 19) 高見徹, 丸山俊朗, 鈴木祥広, 三浦昭雄: 水環境学会誌 22(1), 29-34(1999).
- 20) 石原 悟, 佃 美和, 清野義人: 環境毒性学会誌 13(2), 131-139(2010).
- 21) 相田美喜, 池田浩明, 石坂眞澄, 伊藤一幸, 白井健二: 日本雑草学会第43回講演会講演要旨集, p.196, 2004.
- 22) 石原 悟, 近藤美和: 農薬調査研究報告 4, 1-4, (2012).
- 23) 細木大輔, 池田浩明: 日本生態学会第57回全国大会講演要旨, (2010). <http://www.esj.ne.jp/meeting/abst/57/P3-164.html> (Accessed 30 July, 2015)
- 24) 伊藤一幸, 西村誠一, 石坂眞澄, 高木和広: 日本雑草学会第 38 回講演会講演要旨集, p.312-313, 1999.
- 25) 相田美喜, 伊藤一幸, 池田浩明, 原田直國, 石井康雄, 白井健二: 日本雑草学会第 42 回講演会講演要旨集, p.46-47, 2003.
- 26) 相田美喜: 筑波大学学位論文, 博甲第 4023 号,

- 2006.
- 27) 石原 悟: 農薬調査研究報告 5, 1-4, (2013).
- 28) 日本環境毒性学会編: 生態影響試験ハンドブック, 朝倉書店, 2003.
- 29) 多田満: 環境毒性学会誌 5(1), 13-19(2002).
- 30) 農林水産省: プロジェクト研究成果シリーズ 471, 355-362, 2009.
- 31) 堀尾剛, 横山淳史, 岩船敬, 永井孝志: 日本陸水学会講演要旨集, 講演番号 1K06, 2008.
- 32) 横山淳史: 農薬バイオサイエンス研究会講演要旨集, p13-16, 2008.
- 33) A. Yokoyama, K. Ohtsu, T. Iwafune, T. Nagai, S. Ishihara, Y. Kobara, T. Horio and S. Endo: J. Pestic. Sci. 34(1), 13-20 (2009).
- 34) A. Yokoyama: J. Pestic. Sci. 36(3), 434-439 (2011)(in Japanese).
- 35) [http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/caddisfly/monitoring\(2\)_2400.pdf](http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/caddisfly/monitoring(2)_2400.pdf) (Accessed 24 Aug, 2015)
- 36) [http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/caddisfly/monitoring\(1\)_2400.pdf](http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/caddisfly/monitoring(1)_2400.pdf) (Accessed 24 Aug, 2015)
- 37) 島田武憲, 野崎隆夫: 環境毒性学会誌 3(2), 39-46(2000).
- 38) 野崎隆夫, 島田武憲: 全国公害研会誌 21(2), 91-95, (1996).
- 39) 石田勝義, 村田道雄: 農学部学術報告 28, 1-12, 1992.
- 40) 嶋田知英, 小川和雄, 三輪誠, 斎藤茂雄: 関東東山病害虫研究会報 51, 167-170, 2004.
- 41) 神宮字寛, 上田哲行, 五箇公一, 日鷹一雅, 松良俊明: 農業農村工学会論文集 259, 35-41, 2009.
- 42) 酒井裕史, Dang Quoc THUYET, 渡邊裕純, 神宮字寛: 農業農村工学会全国大会講演要旨集, 2010
<http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/jsidre/search/PDFs/10/10/P08-15.pdf> (Accessed 24 Aug, 2015)
- 43) 緒方健: 環境毒性学会誌 3(2), 83-86(2000).
- 44) 緒方健: 環境毒性学会誌 4(1), 29-34(2001).
- 45) 昆野安彦: 環境毒性学会誌 3(2), 87-90(2000).
- 46) 昆野安彦: 日本応用動物昆虫学会誌 43(3), 137-138(1999).
- 47) 多田満, 畠山成久, 小神野豊: 環境毒性学会誌 2(1), 53-63(1999).
- 48) 環境庁委託業務報告書: 平成 6 年度農薬生態影響調査-農薬のホタルに対する毒性影響評価試験-, 1995.
- 49) 山藤憲明: 日本農薬学会誌 31(4), 461-464(2006).
- 50) 服部哇作: 北海道立衛生研究所報 24, 152-453, (1974).
- 51) 昆野安彦: 環境毒性学会誌 3(1), 11-14(2000).
- 52) 菊池哲志, 亀井正治, 大久保新也, 安野正之: 衛生動物 43(2), 65-70(1992).
- 53) 楠井隆史, 佐藤美和子, C. Blaise: 環境技術 26(4), 260-263(1996).
- 54) <https://www.nies.go.jp/risk/seminar/h171129/text3-2.pdf> (Accessed 16 Sep., 2015)
- 55) 眞道幸司: 海生研報 15, 41-62, (2012).
- 56) 賀数邦彦: 福島大学学位論文, 2013.
<https://kaken.nii.ac.jp/d/p/04650505/1993/3/ja.ja.html> (Accessed 9 Sep., 2015)
- 57) 高木博夫, 橋本真理子, 高松良江, 稲森悠平: 水環境学会誌 17(10), 650-660(1994).
- 58) 稲森悠平, 高松良江, 須藤隆一: 廃棄物学会誌 9(5), 368-378, 1998.
- 59) 稲森悠平, 小松央子, 竹田絵里子, 石立律: 日本水処理生物学会講演要旨, p99, 2000.
- 60) 魏晟旭, 国安祐子, 稲森悠平: 日本水処理生物学会講演要旨, p28, 2001.
- 61) 魏晟旭, 国安祐子, 稲森悠平: 日本水環境学会年会講演集, p445, 2002.
- 62) 魏晟旭, 稲森悠平: 日本水処理生物学会講演要旨, p149, 2002.
- 63) https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/S2-09.pdf (Accessed 10 Sep., 2015)
- 64) 賀数邦彦, 稲森隆平, 徐開欽, 熊田純, 稲森悠平: 水環境学会誌 37(6), 251-257(2014).
- 65) 村上和仁, 林秀明: 環境情報科学論文集, 25, 221-226, 2011.
- 66) 林秀明, 村上和仁, 小濱暁子: 土木学会論文集 G, 68(7), 635-640, 2012.
- 67) 柴田賢一: 横浜国立大学学位論文, 博乙第 393 号, 2014.
- 68) 井藤和人, 林昌平, 巢山弘介, 山本広基: 日本農薬学会講演要旨集, p47, 2006.
- 69) 林昌平, 井藤和人, 巢山弘介: 日本リスク研究学会第 20 回研究発表会講演論文集, Vol. 20, 2007.
- 70) 林昌平, 井藤和人, 巢山弘介: 日本農薬学会講演要旨集, p57, 2007.

- 72) 林昌平, 井藤和人, 巢山弘介: 日本農薬学会講演要旨集, p71, 2008.
- 73) 林昌平, 井藤和人, 巢山弘介: 日本農薬学会誌 36(2), 243-247(2011).
- 74) 坂本正樹, 田中嘉成: 日本陸水学会講演要旨集, 講演番号 P12, 2009.
- 75) 張光玄, 坂本正樹, 花里孝幸: 日本陸水学会講演要旨集, 69, p45, 2005.
- 76) 花里孝幸: 環境毒性学会誌 9(2), 43-50(2006).
- 77) 多田満: 環境毒性学会誌 1(2), 65-73(1998).
- 78) 早坂大亮, 鈴木一隆, 是永知子, 諸岡 (斎藤) 歩希, 野村拓志, 深澤圭太, Francisco Sanchez-Bayo, 五箇公一: 日本農薬学会誌 38(2), 101-107(2013).
- 79) 早坂大亮, 永井孝志, 五箇公一: 日本生態学会誌 63, 193-206(2013).
- 80) D. Hayasaka: J. Pestic. Sci. 39(3), 172-173 (2014).
- 81) D. Hayasaka, T. Korenaga, F. S. Bayo, K. Goka: Ecotoxicology 21, 191-201(2012).
- 82) 国立環境研究所: 平成 22 年度農薬による生物多様性への影響調査業務報告書, 2011.
- 83) 国立環境研究所: 平成 23 年度農薬による生物多様性への影響調査業務報告書, 2012.
- 84) 国立環境研究所: 平成 24 年度農薬による生物多様性への影響調査業務報告書, 2013.
- 85) 国立環境研究所: 平成 25 年度農薬による生物多様性への影響調査業務報告書, 2014.
- 86) 藤田俊一: 第 3 回有機化学物質研究会要旨集, 2003.
- 87) 日本植物防疫協会: 平成 14 年度農薬生態影響野外調査 (メソコズム試験) 結果報告書, 2003.
- 88) 日本農薬学会編: 農薬の環境科学最前線, p198-211, ソフトサイエンス社, 2004.
- 89) 畠山成久編: 化学物質の生態リスク評価と規制-農薬編-, p198-207, アイピーシー, 2006.
- 90) 日本植物調節剤研究協会研究所: 平成 13 年度農薬生態影響野外調査 (モデル圃場試験) 報告書, 2002.
- 91) 日本植物調節剤研究協会研究所: 平成 14 年度農薬生態影響野外調査 (モデル水系試験) 報告書, 2003.
- 92) 日本植物調節剤研究協会研究所: 平成 15 年度農薬生態影響野外調査 (モデル水系試験) 報告書, 2004.
- 93) 村岡哲郎: 農薬バイオサイエンス研究会講演要旨集(野外水系モデルを用いた水田系外に流出した除草剤による藻類等への影響評価), 6, p25-28, 2008.
- 94) 村岡哲郎: 第 26 回農薬環境動態研究会要旨 (除草剤の生態系影響評価のためのメソコズム試験), 2009.
- 95) 村岡哲郎, 大津和久, 中村直紀: 雑草研究 56, 49(2011).
- 96) 西條八束, 坂本充編: メソコズム 湖沼生態系の解析, 名古屋大学出版会, 1993.
- 97) 国立公害研究所研究報告第 99 号: 有害汚染物質による水界生態系のかく乱と回復過程に関する研究, 1986.
- 98) 国立公害研究所特別研究報告 SR-4-'90: 野外の実験生態系を用いた農薬の影響解析, p42-50, 1990.
- 99) 昆野安彦: 環境毒性学会誌 3(1), 33-37(2000).
- 100) 小山淳, 城所隆, 小野亨, 宮城県古川農業試験場研究報告, 5, 31-42(2005).
- 101) T.P. Yan, 日鷹一雅: 日本生態学会第 48 回全国大会講演要旨, p296, (2001).
- 102) 本林隆, 源河正明, T. K. Phong, 渡邊裕純: 日本応用動物昆虫学会誌, 56(4), 169-172(2012).
- 103) 粟生田忠雄, 片野海, 遠山和成, 神宮字寛: 新潟大学農学部研究報告, 65(2), 131-135, (2013).
- 104) 国立公害研究所研究報告第 62 号: 野外水路による殺虫剤の生態影響の実験的研究, p19-28, 1984.
- 105) 岡村秀雄, 青山勳: 日本農薬学会誌 23(2), 166-173(1998).
- 106) 西甲介, 大川秀郎: 日本農薬学会誌 27(2), 157-165(2002).
- 107) 畠山成久, 菅谷芳雄, 春日清一: 環境科学学会誌 13(2), 271-276(2000).
- 108) 菅谷芳雄: 環境毒性学会誌 9(2), 61-68(2006).