

## LC/MSによる農薬類の迅速スクリーニング法

長谷川敦子  
(環境保全部)

### Rapid analysis of agricultural chemicals in the river water by LC/MS

Atsuko HASEGAWA  
(Environmental Conservation Division)

キーワード：LC/MS，農薬，河川事故，迅速分析

#### 1 はじめに

神奈川県内の河川においてしばしば魚死亡事故が起こっているが、その原因に農薬の流入が疑われることがある。わが国の登録農薬成分は現在約 500 種類、失効したものも含めると 900 種類を超える。登録成分から天敵、無機物、天然由来成分など機器分析に適さないものを除いてもなお 400 種類近い化学物質がある。そのすべてを測定するのは現実的ではないが、できるだけ多くの農薬について確認する手段を持つことは事故時の速やかな対応に役立つものと思われる。

従来、環境中化学物質の測定で用いられてきた分析法はガスクロマトグラフィー／質量分析法 (GC/MS) がほとんどであったが、対象となるのは低極性で揮発性の高い物質で、そうでないものは分解、誘導体化などを行って揮発しやすい形に変える必要があり、測定対象にできるのは環境中にある化学物質の一部に限られていた。一方、液体クロマトグラフィー／質量分析法 (LC/MS) は難揮発性、高極性物質や熱に不安定な物質など GC/MS では分析困難であった化学物質を測定対象にすることができる分析方法で、近年装置の急速な性能向上により、複雑で未知の共存物質を有する環境試料への応用が検討され始めた。基本的に GC は「揮発するもの」を対象とするのに対し、LC は「溶けるもの」を対象とし、GC よりも広い対象範囲を持つ。

すでに著者は空気中フタル酸ジイソノールなど<sup>1)</sup>、テトラブロモビスフェノール A を含む臭素化難燃剤の測定手法<sup>2)</sup>を報告しており、従来法では精度、感度が不十分であったり分子量が大きすぎて測定困難であった化学物質を環境中から検出できるようになった。農薬類には GC/MS、LC/MS どちらでも測定できるものが多いが、LC/MS で測定可能である方が多いため、なるべく多くの農薬を一斉分析する方法には LC/MS が適していると考え、測定機器には LC/MS を用いることとした。

本研究では LC/MS を用い、なるべく速く、なるべく多くの農薬濃度を確認できるよう、前処理、機器分析条件などを検討し、河川水試料が届いてから 1 日程度で速報値を出せるようなシステムの構築を試みた。その結果、最短で試料水が持ち込まれてから 2 時間程度で約 80 種類、4 時間程度で約 100 種類の農薬をスクリーニング測定し、濃度を求めることが可能となったので報告する。

#### 2 実験方法

##### 2.1 対象物質

検討対象とした農薬は、水道法改正に伴い規制対象となったもの<sup>3)</sup>、公共用水域の規制対象<sup>4)</sup>、ゴルフ場規制対象<sup>5)</sup>、PRTR 対象農薬のうち神奈川県での使用実績があるもの<sup>6)</sup>、環境省化学物質環境実態調査(エコ調査)対象、および魚毒性 C 評価の中から合わせて 124 種類である。

なお、PRTR 法届出排出量の上位に位置する農薬の多くは燻蒸剤であるが、ガスとして使用されるものは揮発性が高いため LC 測定には不向きなものが多く、かつ河川事故の原因にはなりにくいと考えられるので今回は対象としなかった。また、魚毒性 C 評価の農薬にはすでに失効したものも多く標準試薬が入手できなかったものは対象としなかった。

##### 2.2 試薬及び器具

農薬標準品は和光純薬製、関東化学工業製、Riedel-de Haën 製、内部標準物質として用いる DCMU-*d*6 は関東化学工業製を用いた。アセトニトリルは関東化学製 LC/MS 用、アセトン は和光純薬製ダイオキシン測定用、蟻酸は和光純薬製特級、酢酸メチルは関東化学製特級を用いた。水試料から対象物質を抽出するための固相抽出カートリッジとして Absolut Jr. NEXUS (Varian 製 200mg)、ろ過にはシリンジフィルタ(ワットマン製 13mmGD/X, PVDF 0.2μm)を用いた。試料処理に用いるガラス器具はすべて使用直前にアセトンで洗浄して用いた。

## 2. 3 装置及び測定条件

液体クロマトグラフは、Agilent 製 1100 シリーズ、カラムは化学物質評価研究機構 L-カラム ODS (5 $\mu$ m 2.1  $\times$  150mm)、移動相は 蟻酸で pH3.5 に調整した水 / アセトニトリルで 混合割合を変化させたグラディエント分析を行った。質量分析計は Applied Biosystems MDS SCIEX 製 API3000 三連四重極型質量分析計を用い、イオン化は大気圧化学イオン化法 (APCI) 及びエレクトロスプレーイオン化法 (ESI) で、タンデムイオン化を行った。装置に供給する窒素ガス、純空気は Kaken 製 N<sub>2</sub> generator で調製した。その他の条件を **Table 1** に示した。

**Table 1 Operation conditions of LC/MS**

HPLC (Agilent1100)	
Mobile phase	A:Water (pH3.5 with ant acid) B:Acetonitrile
0 $\rightarrow$ 3min.	A:B=99:1
3 $\rightarrow$ 28min.	A:99 $\rightarrow$ 1 B:1 $\rightarrow$ 99 linear gradient
28 $\rightarrow$ 34min.	A:B=1:99
34 $\rightarrow$ 36min.	A:1 $\rightarrow$ 99 B:99 $\rightarrow$ 1 linear gradient
36 $\rightarrow$ 45min.	A:B=99:1
Flow	200 $\mu$ L/min
Oven temp.	40 $^{\circ}$ C
Injection volume	10 $\mu$ L
MS (API3000)	
Ion source	Heated nebulizer (APCI) Turbo spray (ESI) Tandem ionization
Curtain gas	N <sub>2</sub>
Collision gas	N <sub>2</sub>
Ion source gas	Pure air
Source temp.	350 $^{\circ}$ C

## 2. 4 試料採取

河川水試料はガラス瓶に採取し、当日中に分析した。

## 2. 5 試料前処理法

アセトン 5mL、ついで純水 5mL で洗浄した固相抽出カートリッジに注射筒を取り付け、河川水試料 10mL を注射筒に入れた。蟻酸 10 $\mu$ L を加えて試料水を酸性にした後、カートリッジを通過させ対象物質を抽出した。酢酸メチル 5mL で溶出し、内標準物質として DCMU-d6 (1 $\mu$ g/mL  $\times$  10 $\mu$ L) を添加した。パストゥールピペットなどを用いて溶出液の水相を除去した後、窒素気流下でほとんど乾固するまで濃縮し、アセトニトリルで 1mL としたものを LC/MS 用試料溶液とした。溶液に濁りが生じた場合はろ過して分析に供した。内部標準物質として DCMU-d6 を用いるのは、APCI, ESI, ポジティブ, ネガティブのいずれ

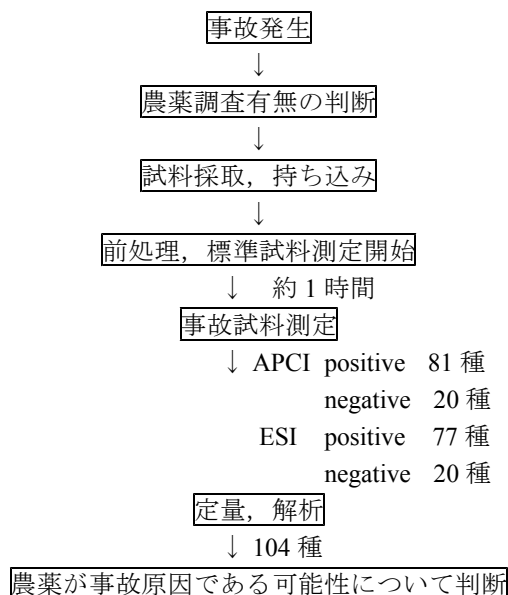
の測定条件でも安定した感度を持つからである。固相抽出管からの溶出に酢酸メチルを用いるのは抽出管の乾燥工程を省略するためである。溶出液は水と有機溶剤に分かれるため、水分を容易に除去することができる。

## 3 結果と考察

### 3. 1 測定条件

検討対象とした 124 種類の農薬のうち、LC/MS 測定に適さないことが明らかな D-D を除いた 123 種類について測定条件を確認した。その結果 LC/MS に感度がなかった農薬 (**Table 2** 中に n.s. と表示) を除いた 104 種類についてその後の検討を行った。それぞれの農薬は **Table 2** の中でモニターイオン欄に数値の入っている条件で測定した。1 回当たりの測定時間は約 45 分である。まず APCI イオン源を用いてポジティブで測定すると 81 種類の農薬が測定される。続いてネガティブで測定すると 20 種類の農薬が測定される。ただしポジティブですでに測定されているものもあり新規には 9 種類である。イオン源を ESI に交換しポジティブ測定すると新規に 8 種類、ネガティブ測定で 6 種類が加わり、3 時間あまりで 104 種類の農薬を測定することができた。検出感度は農薬の種類によって大きく違い、測定当日の機器の調子によっても変化するが、ほとんどの対象農薬について 1 $\mu$ g/L 以下の濃度を検知することができる。

作業手順をフローチャートに示すと以下のようになる。



このうち当センターでの作業は、前処理以降である。前処理に約 1 時間、条件を変えた測定を 4 回行うのに約 3 時間かかるので、1 検体の測定結果が出るまで約 4 時間となる。

**Table 2 Analytical conditions and recoveries (1)**

No.	Name	Monitor ion(m/z)				LOD (µg/L)	Recovery (%)	Fish toxicity
		APCI		ESI				
		Positive	Negative	Positive	Negative			
1	Thiuram	241/88		241/88		0.1	12	C
2	Simazine	202/132		202/132		0.02	101	A
3	Thiobencarb	258/125		258/125		0.06	80	B
4	1,3-Dichloropropene(D-D)					n.a.		B
5	Isoxathion	314/105		314/105		0.05	83	B
6	Diazinon	305/169		305/169		0.001	77	B-s
7	Fenitrothion	278/125				0.9	50	B
8	Isoprothiolane	291/231		291/231		0.02	95	B
9	TPN		247/175			0.2	88	C
10	Propyzamide	256/190		256/190		0.05	91	A
11	Dichlorvos	221/127				0.3	79	B
12	Fenobucarb	208/95		208/95		0.01	83	B-s
13	CNP					n.s.		A
14	CNP-amino	288/93		288/93		0.06	36	
15	Iprobenfos	289/91		289/91		0.02	86	B
16	EPN	324/296				0.5	81	B-s
17	Bentazone			239/132		0.02	106	A
18	Carbofuran	222/165		222/165		0.2	51	
19	2,4-D			219/161		0.02	93	-
20	Triclopyr			254/196		0.04	100	-
21	Acephate	184/143	182/141	184/143	182/141	0.3	31	A
22	Isofenphos	346/245	344/256	346/245	344/256	0.01	81	B
23	Chlorpyrifos	352/200				0.3	73	C
24	Trichlorfon	257/109				0.9	69	B
25	Pyridaphenthion	341/189		341/189		0.07	95	B
26	Iprodione					n.s.		A
27	Echloomezole	247/183				0.3	26	A
28	Oxine-copper	146/128		146/128		0.05	78	B
29	Captan		298/176			0.3	72	C
30	Chloroneb					n.s.		A
31	Tolclophos-methyl	301/125				0.3	81	A
32	Flutolanil	324/282	322/145	324/282	322/145	0.03	109	B
33	Pencycuron	329/125	327/111	329/125	327/111	0.02	88	B
34	Metalaxyl	280/220		280/220		0.01	94	A
35	Mepronil	270/119	268/134	270/119	268/134	0.03	102	B
36	Asulam		229/197	231/156	229/197	0.05	65	A
37	Dithiopyr	402/354	400/352			0.2	42	B
38	Terbucarb	278/166		278/166		0.03	81	A
39	Napropamide	272/129		272/129		0.03	91	A
40	Pyributicarb	331/181		331/181		0.005	75	B
41	Butamifos	333/180		333/180		0.04	76	B
42	Bensulide	398/158	396/213	398/158	396/213	0.04	97	B
43	Benfluralin	336/220				0.5	44	B
44	Pendimethalin	282/212		282/212		0.05	77	B
45	Mecoprop				213/141	0.02	105	A
46	Methylidaimuron	269/151	267/106	269/151		0.007	107	A
47	Alachlor	270/238		270/238		0.05	91	B
48	Carbaryl	202/145		202/145		0.05	96	B
49	Edifenphos	311/283		311/283		0.05	85	B
50	Pyroquilon	174/117		174/117		0.1	92	A
51	Fthalide		271/243			0.4	91	A
52	Mefenacet	299/148		299/148		0.01	107	B
53	Pretilachlor	312/252		312/252		0.009	81	B
54	Isoproc carb	194/95		194/95		0.01	87	B
55	Thiophanate-methyl			343/151	341/149	0.1	36	A
56	Thenylchlor	324/127		324/127		0.02	98	B
57	Methidathion	303/145				0.4	102	B
58	Carpropamid	334/139		334/139		0.07	106	B
59	Bromobutide	312/194		312/194		0.02	96	A
60	Molinate	188/126		188/126		0.04	59	B
61	Procymidone					n.s.		A
62	Anilofos	368/199		368/199		0.02	94	B
63	Atrazine	216/174		216/174		0.02	92	A
64	Dalapon					n.s.		A
65	Dichlobenil					n.s.		A
66	Dimethoate	230/125		230/125		0.04	97	B

**Table 2 Analytical conditions and recoveries (2)**

No.	Name	Monitor ion(m/z)				LOD ( $\mu\text{g/L}$ )	Recovery (%)	Fish toxicity
		APCI		ESI				
		Positive	Negative	Positive	Negative			
67	Diquat					n.s.		A
68	Diurone(DCMU)	233/72	231/186	233/72	231/186	0.05	107	B
69	Bbenzoepin					n.s.		C
70	Ethofenprox			394/177		0.1	45	B
71	Fenthion	279/247				0.2	93	B
72	Glyphosate					n.s.		A
73	Malathion	331/127		331/127		0.1	81	B
74	Methomyl	163/88		163/88		0.06	94	B
75	Benomyl					n.s.		B
76	Benfuracarb	411/252		411/252		0.06	2	B-s
77	Simetryn	214/96		214/96		0.01	99	A
78	Dimepiperate	264/146		264/146		0.01	89	B
79	Phenthoate			321/247		1	85	B-s
80	Buprofezin	306/201		306/201		0.002	96	B
81	Ethylthiometon	275/89				0.3	67	B
82	Probenazole					n.s.		B
83	Esprocarb	266/91		266/91		0.03	71	B
84	Daimuron	269/151	267/106	269/151	267/106	0.009	108	A
85	Bifenox					n.s.		B
86	Bensulfuron-methyl			409/154		0.6	79	A
87	Tricyclazole	190/136		190/136		0.04	105	A
88	Piperophos	354/255		354/255		0.01	87	B
89	Dimethametryn	256/186		256/186		0.02	88	B
90	Azoxystrobin	404/372		404/372		0.02	86	B
91	Iminoctadine triacetate					n.s.		A
92	Fosetyl					n.s.		A
93	Polycarbamate					n.s.		B
94	Harosulfuron			433/252		0.6	93	A
95	Flazasulfuron					n.s.		A
96	Thiodicarb	355/88		355/88		0.08	102	B
97	Propiconazole	342/159		342/159		0.03	104	B
98	Siduron	233/137	231/92	233/137		0.03	98	A
99	Pyriproxyfen	322/96		322/96		0.003	79	B
100	Trifluralin			336/294		0.6	100	B-s
101	Cafenstrole	351/100		351/100		0.06	69	B
102	Ametryne	228/186		228/186		0.003	107	A
103	Bromobutide-debromide	234/116		234/116		0.004	88	
104	Carbendazim			192/160		0.01	94	
105	CVMP	367/127				0.1	107	B
106	Cyanazin	241/214		241/214		0.02	98	A
107	Cycloprothrin					n.s.		B
108	Dazomet					n.s.		A
109	Fenarimol	331/268		331/268		0.2	91	B
110	Fipronil		435/330		435/330	0.02	109	C
111	Furathiocarb			383/195		0.01	83	C
112	Hexaconazole	314/70		314/70		0.03	85	B
113	Monocrotophos	224/127		224/127		0.2	94	A
114	Oxamil					n.s.		B
115	Pentachlorophenol		265/265		265/265	0.04	25	
116	Pentoxazone		352/97			0.5	60	B
117	Prochloraz			376/308		0.01	77	B
118	Pyriminobackmethyl(e)	362/330		362/330		0.002	105	A
119	Pyriminobackmethyl(z)	362/330		362/330		0.002	108	A
120	Quinalphos	299/163		299/163		0.1	83	B
121	Sulprofos	323/219				0.08	52	B
122	Teflitrin		417/341		417/341	0.6	64	C
123	Teflubenzuron		379/196		379/196	0.1	63	B
124	Thifensulfuron-methyl			388/167		0.3	82	A
	Detect	81	20	77	20			
	Remove duplication		9	8	6	Total	104	

n.a. : Not analyse n.s. : No sensitivity

No.1 ~ 101 : Order was followed by the temporary guidelines value of drinking water (Ministry of Health, Labour and Welfare), No.102 ~ 124 : Alphabet

### 3. 2 添加回収試験

河川水試料 10mL に標準溶液を添加したものと無添加の試料を 2. 5 に従って前処理して分析し、その定量値の差から添加回収率を求めた結果を Table 2 に示した。実験回数は物質によって違うため、回収率の数値は 1 回、もしくは 2, 3 回の平均値である。添加量はほとんどが 10ng で一部感度の低いものは 100ng とした。

試験の結果、回収率 80 % 以上の物質は 71 種類あった。これらは本法で定量することが可能と考えられる。回収率が 50 ~ 80 % の物質は 23 種類あり、精度はやや落ちるものの定量は可能と考えられる。これらを合わせると測定することができた 104 種類の農薬の約 90 % を占めた。回収率が 10 ~ 50 % の 9 種類の農薬はおよその濃度レベルを推定する半定量的な取り扱いとなる。

回収率が 10% に満たなかったベンフラカルブ (Table 2, No.76) のみは本法では定量困難である。実際の試料から検出された場合は河川水を固相抽出せず、ろ過してそのまま測定する必要があり、その場合の検出下限は 0.6 $\mu$ g/L となる。固相抽出を行わないと試験溶液には塩類や固相抽出カートリッジを通過しない着色成分などが含まれるおそれがあり、機器の汚染などの可能性が出てくる。

以上の結果をまとめると、本法の測定対象農薬は 103 種類となった。

### 3. 3 検出感度と毒性

それぞれの農薬の魚毒性発現濃度には大きな違いがあるが、コイに対する 48 時間後の半数致死濃度 (TLm) によって A (10mg/L 以上), B (0.5 ~ 10mg/L), B-s (B のうち特に注意するもの), C (0.5mg/L 以下) にクラス分けされている。測定対象農薬のうち最も毒性の強い C クラスのものは 7 種類あるが、それらの TLm を本法の検出下限 (Table 2, LOD) と比較すると TLm の方が 100 倍以上高濃度である。その他の農薬の LOD もそれぞれの TLm の数百から百万分の一以下なので、本法は魚毒性発現濃度よりはるかに低い濃度を測定できるといえ、水質事故の原因である可能性を判断するのに必要かつ十分な情報が得られると考えられる。

### 3. 4 実試料の測定結果

県内河川で魚死亡事故が起こり、農薬濃度の確認を行う必要が生じた際に、本法を用いて測定を行った。5 地点 11 検体の結果を Table 3 に示す。比較的使用量の多い殺虫剤や除草剤が検出された。事故の翌日に試料水采取了 Case 2, 4 では、それぞれいくつかの農薬が検出されているが、

いずれも濃度は低く TLm 値に最も近い農薬でも数千分の一以下、多くは数万から数百万分の一で、魚死亡事故の原因と思われる事例はなかった。事故から 2 日目に採取した Case 3 では痕跡量の農薬が測定されたがいずれも LOD 値を下回った。Case 1 では事故当日に事故現場付近の複数地点で採取したが、検出された農薬はごく低濃度で地点間の差もほとんどなかった。同じく事故当日に採取した Case 5 では比較的高濃度の農薬が検出されたが、TLm 値に最も近いカルバリルで 19 $\mu$ g/L と TLm 値の百分の一以下であった。なおカルバリルはカーバメート系殺虫剤で内分泌攪乱化学物質 (いわゆる環境ホルモン) の一つである。平成 15 ~ 17 年に神奈川県が実施した調査では 30 検体中 1 検体から 0.03 $\mu$ g/L<sup>8)</sup>、環境省が平成 10, 12 年に実施した全国調査では 772 検体中 11 検体から最大 0.39 $\mu$ g/L<sup>9)</sup> 検出された。農繁期であれば河川水中から数  $\mu$ g/L の農薬が検出されるのはしばしば見られることであるが、今回の検出例は高い濃度といえる。しかし、事故後数時間で採取された試料中の濃度が TLm 値を大きく下回る農薬が事故原因である可能性は小さいものと思われる。

農薬標準物質及び農薬が検出された検体のクロマトグラムを Fig. 1 に示す。

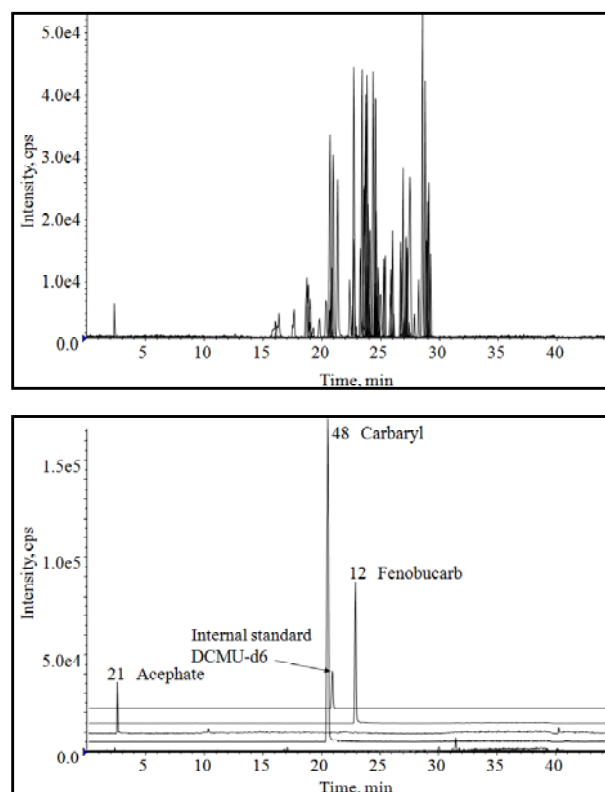


Fig. 1 LC/MS/MS chromatogram of pesticides. Upper; standard 10ng/mL each, APCI positive, and bottom; Case 5 of Table 3, ESI positive.

Table 3 Analytical results of the river water

Accident date	Sampling date	No.	Detected pesticide	Concentration(μg/L)				
				s-1	s-2	s-3	s-4	s-5
Case1	2006/05/23	2006/05/23	6 Diazinon	0.003	0.001	0.003	<0.001	<0.001
			12 Fenobucarb	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01
			111 Furathiocarb	0.016	0.005	0.023	0.005	0.008
			118 Pyriminobackmethyl(e)	0.004	0.002	0.005	<0.002	<0.002
-----								
Case2	2006/08/07	2006/08/08	119 Pyriminobackmethyl(z)	0.006	0.005	0.014	0.002	0.003
			5 Isoxathion	0.03				
			21 Acephate	0.3				
			111 Furathiocarb	0.068				
			118 Pyriminobackmethyl(e)	0.020				
-----								
Case3	2006/09/09	2006/09/11	119 Pyriminobackmethyl(z)	0.029				
			12 Fenobucarb	trace				
			118 Pyriminobackmethyl(e)	trace				
-----								
Case4	2006/12/10	2006/12/11	119 Pyriminobackmethyl(z)	trace				
			6 Diazinon	0.021	0.066	<0.001		
			21 Acephate	<0.3	25	<0.3		
-----								
Case5	2007/04/24	2007/04/24	99 Pyriproxyfen	0.10	0.04	<0.003		
			12 Fenobucarb	4.4				
			21 Acephate	3.3				
-----								
			48 Carbaryl	19				

4 まとめ

通常の河川水中農薬濃度測定では数百 mL から 1000mL の試料水を用い、SS 分をろ過して別処理し、pH を調整して一定速度で固相抽出するため、測定機器にかけられる試験溶液を調製するまでに約 4 時間必要となる。本法ではできるだけ迅速に測定値を出すため、少ない試料を簡易に処理しているため定量精度はやや低くなる。しかし測定対象農薬が事故原因である可能性があるかどうかの判断には十分な情報が得られると考えられる。

農繁期には事故でなくても高濃度の農薬がしばしば検出される。そのような事例が予想される場合には、事故現場上流の水も併せて分析すると判断材料になる。

事故から時間がたてば原因物質濃度は急速に低下すると考えられる。本法はほとんどの測定対象農薬について魚に影響を与えうる濃度よりはるかに低い濃度レベルを測定できるが、事故原因の痕跡をとらえるにはできるだけ早い時期に採水することが必要である。なお平成 16 年に PCP (有効成分ペンタクロロフェノール, 平成 2 年登録失効, 魚毒性 C) 約 250g が下水に流れる事故があったが、4 日後に採取した河川水から検出下限の 10 倍以上の濃度で検出している。

これらの検討結果より、試料水が午前中に届けばおおむね当日中に約 100 種類の農薬濃度の速報値が出せる体制を構築することができた。事故から採水までの時間、事故の規模、水流の速度など現場の状況と合わせて判断すれば、迅速な行政対応に役立てることができると思われる。

参考文献

- 1) 長谷川敦子：分析化学, **52**, 15-20(2003)
- 2) 長谷川敦子他：平成 17 年度版神奈川県環境科学センター研究報告, **28**, 101-105(2005)
- 3) 環境省環境保健部環境安全課：平成14年度化学物質分析法開発調査報告書, 243-249(2003)
- 4) 厚生労働省：水道水質基準について, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/konkyo0303.html>, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/dl/nouyaku.pdf>
- 5) 環境省：公共用水域等における農薬の水質評価指針, [http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/law\\_data/f406kansuido0086.htm](http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/law_data/f406kansuido0086.htm)
- 6) 環境省：ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁の防止に係る暫定指導指針について, [http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/law\\_data/f402kansuido0077.htm#](http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/law_data/f402kansuido0077.htm#)
- 7) 神奈川県：神奈川県の環境排出量, <http://www.k-erc.pref.kanagawa.jp/prtr/H17data/kensaku1.htm>
- 8) 三島聡子他：平成 18 年度版神奈川県環境科学センター研究報告, **29**, 101-105(2006)
- 9) 環境省：平成 15 年度内分泌かく乱化学物質における環境実態調査結果のまとめ(2004), <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1602/mat/mat02-1.pdf>

経常研究 [平成 17 ~ 18 年度]

課題名：水質事故時における農薬の迅速スクリーニング法の開発