

## 60. 農 薬

### 60.1 概 要

#### 60.1.1 農薬の定義

殺菌剤、殺虫剤、殺そ剤、除草剤等、農作物や農産物に被害を与える各種有害生物を防除するための薬剤を総称して農業用薬剤あるいは農薬という。農薬の製造、使用等については、いくつかの法律により規制されているが、この中核となるのが「農薬取締法」である、この法律の第1条において、農薬を「農薬は農作物（樹木及び農林産物を含む）を害する菌、線虫、だに、昆虫、ねずみその他の動植物またはウイルス（病害虫）の防除に用いられる殺菌剤、殺虫剤その他の薬剤及び農作物等の生理機能の増進または抑制に用いられる成長促進剤、発芽抑制剤その他の薬剤」と定義しており、農耕地で使用される薬剤が農薬とみなされる。

#### 60.1.2 農薬の化合物による分類

農薬類を化合物により分類すると表60-1-1のようになる。使用目的等による分類については、60.11.1に示す。

表60-1-1 農薬の分類

区 分	殺 虫 剤	殺 菌 剤	除 草 剤
有機リン系	アセフェート クロルピリホス ジクロルボス(DDVP) ダイアジノン EPN イソキサチオン イソフェンホス ピリダフェンチオン フェニトロチオン(MEP) トリクロルホン(DEP) パラチオン メチルパラチオン メチルジメトン	イプロベンホス(IBP) トルクロホスメチル ホセチル	ブタミホス ベンスリド(SAP)
有機塩素系	HCH(BHC) シス-1、3-ジクロロプロペン トランス-1、3-ジクロロプロペン 1、2-ジクロロプロパン	キャプタン クロロタロニル(TPN)  クロロネブ	
有機窒素系		プロピコナゾール	
カーバメート系	チオジカルブ フェノブカルブ(BPMC)		テルブカルブ ピリブチルカルブ
チオカーバメート系			チオベンカルブ
フェノキシ酸系			メコプロップ(MCPP)
モノ・ジカルボキシイミド系		イプロジオン ペンシクロン	

区 分	殺 虫 剤	殺 菌 剤	除 草 剤
		メプロニル フルトラニル	
有機金属系		オキシシン銅	
酸アミド系			アシュラム プロピザミド ナプロパミド
ジフェニルエーテル系			クロルニトロフェン (CNP)
トリジアン系			シマジン (CAT)
フェニル尿素系			シデュロン メチルダイムロン
ジニトロアニリン系			ベンフルラリン ベンディメタリン
ジメチルジチオカー バメート系		チウラム	
チアジアゾール系		メトリジアゾール (エク ロメゾール)	
ジチオラン系		イソプロチオラン	
ピレスロイド系	エトフェンプロックス		
メトキシアクリレート系		アゾキシストロピン	
ジチオカーバメート系		ポリカーバメート	
フェニルアマイド系		メタラキシル	
グアニジン系		イミノクタジン酢酸塩	
芳香族カルボン酸系			ジチオピル
トリクロルピリジル系			トリクロピル
スルホニル尿素系			ハロスルフロンメチル フラザスルフロン

### 60.1.3 農薬の種類

農薬は、使用目的から、殺虫剤、殺菌剤、除草剤に分類される。その他、殺ダニ剤や誘引剤等の種々の種類があるが、本書では、河川水等に混入する可能性がある環境基準項目、要監視項目、ゴルフ場農薬を対象とする。農薬の物性や環境中の動態等については、60.11.2、60.11.3に示す。

#### 60.1.3.1 殺虫剤

殺虫剤は、農作物等に害を及ぼす昆虫類（卵～成虫）を駆除する薬剤で、昆虫に対して毒性をもつ。殺虫剤は、昆虫への作用から食毒剤、接触毒剤、呼吸毒剤に分けられる。また、化学構造から、有機リン系、有機塩素系、カーバメート系殺虫剤等に分類される。

##### (1) 有機リン系殺虫剤

有機リンの研究は、1934年ドイツにおいて始められ、1944年にはTEPP（0、0、0、0-テトラエチルジチオピロホスフェート）、パラチオン等が合成されている。日本では、1951年パラチオン剤の実地試験が行われ、1954年には国産化も行われて全国的に普及した。パラチオン以外の有機リン剤では、EPN剤（1951年）、マラソン剤（1953年）が米国から輸入され、パラチオンに比べて低毒性であるため、昭和30（1955）年代に入ると徐々に使用量が増えていった。TEPP、パラチオン等の毒性の強い有機リン殺

虫剤は、現在国内では使用禁止となっている。

現在使用されている殺虫剤のうち、有機リン剤が占める範囲は最も大きい。有機リン系農薬の一般的性状は、水に難溶で有機溶媒によく溶け、酸に安定であるが、アルカリ性、光に対して不安定である。また、脂質に溶けやすく浸透性があり、接触毒、食毒、呼吸毒として作用する（上水試験法より）。また、有機リン剤は、適用害虫が広く、食毒作用もあるが、主として接触毒、浸透性殺虫剤として使用され、中には燻蒸剤として用いられるものもある。有機リン殺虫剤の作用機構は、アセチルコリンを分解する酵素（アセチルコリンエステラーゼ）の阻害によるものであり、有機リン系農薬の中で分子内に硫黄（S）原子を有するものは、昆虫体内で酸素添加反応によりP=S体からP=O体（オキソン体）となり、殺虫剤としての活性を発現する<sup>1)</sup>。

## (2) 有機塩素系殺虫剤

DDT、HCH（BHC）、環状ジエン剤（エンドリン、ディルドリン、ヘプタクロル、ベンゾエピン等）のように構造式中に塩素を含んだ化合物を有機塩素系農薬という。日本でも早くから使用された農薬類であり、1938年にDDT、1942年にはHCHが使用され始めた。有機塩素系殺虫剤は、哺乳動物への急性毒性が小さく、広範囲の昆虫に有効で、製造が容易で安価なことから大量に生産されて使用された。しかし、DDT、HCH農薬は、一般に環境中で分解しにくく、水、土壌等の環境中に残留し、また、動物の体内に蓄積されること等の問題が多く、1971年にDDT、HCHは、全面的に使用禁止となった。塩素化環状ジエン化合物であるアルドリン、ディルドリン、エンドリンも一時使用されたが、これらは人畜に対する急性毒性が強いこと、残留性が長いこと、魚毒性が強いことから規制され、1981年に特定化学物質として使用が禁止された。クロルデンは、白アリ駆除剤として使用されたが、環境中で分解されにくく、魚類への蓄積性が高いことから、1987年に特定化学物質として指定され、使用が禁止された。今日では慢性毒性のおそれのないベンゾエピンのみが使用されている。揮発性の高い1、3-ジクロロプロペン、1、2-ジクロロプロパンは、土壌燻蒸剤として線虫駆除等に用いられている。

## (3) カーバメート系殺虫剤

カーバメート系殺虫剤は、塩素、リンを含まず、窒素を含む化合物で、有機リン系殺虫剤に次いで繁用されており、接触毒として作用する。一般的性状は、熱、光、酸に安定であるが、アルカリ性では加水分解されて効力を失う。その生理作用は、有機リン系と同じく昆虫のコリンエステラーゼの阻害である。しかし、その作用は有機リン系とは異なり、カーバメートがコリンエステラーゼと結合して、アセチルコリンを加水分解する酵素作用を阻害する拮抗的阻害である（上水試験法より）。カーバメート系殺虫剤は、有機リン系に比べて害虫に対して選択性が高く、主にウンカ、ヨコバイ、アブラムシ等の小型吸汁性害虫の駆除に使用されている。

### 60.1.3.2 殺菌剤

農作物等を害する細菌、ウイルス、カビ等を防除するものであり、有機金属系、ジメチルジチオカーバメート系、有機塩素系、有機リン系、モノ・ジカルボキシイミド系等の多種類に分類される。殺菌剤は、水稻、野菜、果樹、芝等に散布されるほか、土壌処理及び種子消毒等に使用され、その作用は、タンパク合成の阻害、細胞膜合成の阻害、エネルギー代謝の阻害、生体中のメルカプト基 (-SH基)、アミノ基 (-NH<sub>2</sub>基) への作用、生体中の金属とキレート形成等である。

#### (1) 無機・有機金属系殺菌剤

古くから使用されているボルドー液の無機銅、オキシニに銅イオンをキレート結合させたオキシニ銅が使用されている。その作用は、タンパク質分子内の-SH基に反応して、酵素系の阻害をすることにより殺菌効果を示す。

#### (2) ジメチルジチオカーバメート系殺菌剤

チウラムのように硫黄を4個含むジチオカーバメート系の化合物で、優れた予防効果を持ち、人畜毒性が低い、薬害が少ない等、使用方法が容易であることから、野菜、花、果樹等に広く使用されている。その作用は、生体中の-SH基に反応して、酵素系を阻害する。

#### (3) 有機塩素系殺菌剤

ペンタクロロフェノール (PCP)、キャプタン、クロロタロニル (TPN) のように塩素を含む化合物で、予防効果を主とし、残効性があり、野菜、果樹等に使用される。その作用は、病原体中の酵素タンパク質の-SH基や-NH<sub>2</sub>基と反応して、機能を阻害する。

#### (4) 有機リン系殺菌剤

イプロベンホス (IBP)、トルクロホスメチルのようにリンを含む化合物で、予防効果、治療効果を併せてもち、幅広い抗菌性を示すが、一般に有機塩素系殺菌剤と比較して残効性が劣る。水田、畑等で使用され、稲のイモチ病に効果がある。その作用は、病原体中のリン脂質に作用して細胞質合成を阻害するものと考えられている。

#### (5) モノ・ジカルボキシイミド系殺菌剤

イプロジオン、メプロニル、フルトラニル、ペンシクロン等のクロロフェニル基をもつ化合物で、果樹、野菜、マメ類等に適用される。接触型殺菌剤であり、かびに殺菌性を示すが、細菌、藻類にはほとんど活性がない。その作用は、細胞合成阻害による。

### 60.1.3.3 除草剤

フェノキシ酸系、ジフェニルエーテル系、カーバメート系、酸アミド系、フェニル尿素系、トリアジン系等の多くの種類が使用されている。除草剤は、一年生、多年生雑草に適用し、作物と雑草との栄養と日照に対する競合性を除去、病虫害の育成場所の除去等を目的としている。除草剤には、選択性と非選択性のものがあり、選択性のものは、田畑、ゴルフ場等で使用され、非選択性のものは、道路、空き地等非農耕地で使用される。除草剤の生理作用は、その種類により、害となる植物体への光合成やタンパクの生合成及びエネルギー代謝の阻害、成長ホルモン作用への関与などである。

#### (1) フェノキシ酸系除草剤

メコプロップ (MCPP)、トリクロピル等で、植物ホルモン作用をもち、広葉雑草に有効であり、水田、公園、ゴルフ場の芝生等の除草等に使用される。その作用は、低濃度ではオーキシン作用と同じく細胞膜に作用し、酵素の活性化によりタンパク質の生合成が促進される。しかし、高濃度では代謝調節がされず、植物ホルモン作用を攪乱して枯死させる。

#### (2) ジフェニルエーテル系除草剤

クロロニトロフェン (CNP) 等で、イネへの薬害が少ないことから主に水田で使用されている。これらの除草剤は、植物がクロロフィルを合成できないようにする作用をもつ。

#### (3) カーバメート系除草剤

テルブカルブ (MBPMC) 等で、ゴルフ場等の雑草駆除に使用されている。この作用は、植物のタンパク質合成を阻害する。

#### (4) 酸アミド系除草剤

アシラム、プロピザミド、ナプロパミド等で、水田、畑地、ゴルフ場等で使用されている。選択性が高く、農薬の種類によって作用が異なる。

#### (5) フェニル尿素系除草剤

シデュロン、メチルダイムロン等で、土壌処理剤として使用される。作用は、光合成の阻害によるものであり、一年生、多年生雑草に有効である。

#### (6) トリジアン系除草剤

シマジン等で、土壌処理剤として主に畑地で使用される。作用は、光合成の阻害による。

## 60.2 基準等

### 60.2.1 農薬類の基準等

本書において試験法を記載する農薬類の基準値等を表60-2-1に示す。その他の農薬等、基準値の詳細については資料編を参照されたい。

表60-2-1 農薬に関する基準一覧 (mg/L)

区分	農薬名	環境基準 (健康)	要監視 項目	排水基準	水道法 (農薬類)	ゴルフ場	水質評価 指 針
殺虫剤	アセフェート				0.08	0.8	
	イツキサチオン		0.008		0.008	0.08	
	イソフェンホス				0.001	0.01	
	エトフェンプロックス				0.08	0.8	0.08
	クロルピリホス				0.03	0.04	0.03
	ジクロロボス (DDVP)		0.008		0.008		
	ダイアジノン		0.005		0.005	0.05	
	チオジカルブ				0.08	0.8	
	トリクロロホン (DEP)				0.03	0.3	0.03
	ピリダフェンチオン				0.002	0.02	0.002
	フェニトロチオン (MEP)		0.003		0.003	0.03	
	フェノブカルブ (BPMC)		0.03		0.03		
	EPN		0.006		0.06		
殺菌剤	アゾキシストロピン				0.5	5	
	イソプロチオラン		0.04		0.04	0.4	
	イプロジオン				0.3	3	0.3
	イプロベンホス (IBP)		0.008		0.008		
	イミノクタジン酢酸塩				0.006	0.06※	
	エトリジアゾール				0.004	0.04	
	オキシシン銅		0.04		0.04	0.4	
	キャプタン				0.3	3	
	クロロタロニル (TPN)		0.05		0.05	0.4	
	クロロネブ				0.05	0.5	
	チウラム	0.006		0.06	0.02	0.06	
	トルクロホスメチル				0.2	0.8	0.2
	フルトラニル				0.2	2	0.2
	プロピコナゾール				0.05	0.5	
	殺菌剤	ペンシクロン				0.04	0.4
ホセチル					2	23	
ポリカーバメート					0.03	0.3	
メタラキシル					0.05	0.5	
メプロニル					0.1	1	0.1

区分	農薬名	環境基準 (健康)	要監視 項目	排水基準	水道法 (農薬類)	ゴルフ場	水質評価 指 針
除草剤	アシラム				0.2	2	
	クロルニトロフェン (CNP)				0.0001		
	ジチオピル				0.008	0.08	
	シデュロン				0.3	3	
	シマジン (CAT)	0.003		0.03	0.003	0.03	
	チオベンカルブ	0.02		0.2	0.02		
	テルブカルブ (MBPMC)				0.02	0.2	
	トリクロピル				0.006	0.06	
	ナプロパミド				0.03	0.3	
	ハロスルフロンメチル				0.3	0.3	
	ピリブチカルブ				0.02	0.2	
	ブタミホス				0.01	0.04	0.004
	フラザスルフロン				0.03	0.3	
	プロピザミド		0.008		0.05	0.08	
	ベンスリド (SAP)				0.1	1	0.1
	ペンディメタリン				0.1	0.5	0.1
	ベンフルラリン				0.08	0.8	
	メコプロップ				0.005	0.05	
メチルダイムロン				0.03	0.3		

環境基準 (健康)：人の健康の保護に関する環境基準

要監視項目：水質汚濁に係る要監視項目

排水基準：水質汚濁防止法に基づく排水基準

ゴルフ場：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

水質評価指針：公共用水域等における水質評価指針



## 60.3 環境基準項目（ガスクロマトグラフ質量分析法またはガスクロマトグラフ法、2項目） 除草剤（2項目）シマジン（CAT）、チオベンカルブ。

### 60.3.1 試験方法

シマジン、チオベンカルブの試験方法を表60-3-1に示す。シマジン、チオベンカルブの測定方法としては、ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）、アルカリ熟イオン化検出器（FTD）、電子捕獲型検出器（ECD）を用いたガスクロマトグラフ法（GC）がある。

ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）は、近年、急速に汎用されるようになってきた分析手段であり、磁場型（単収束、二重収束型）、四重極型、イオントラップ型に分類される。

磁場型は、測定定量範囲が一般に $m/z$  1～1,000であり、分解能も優れている。ただし、SIM法による測定を行うには、フラグメントイオンの設定に磁場などを用いて調整することから、設定定量範囲には制限がある。

四重極型は、測定定量範囲が一般に磁場型と比べて狭く、 $m/z$  1～600である。SIM測定は、フラグメントイオンの設定を電圧、電流値で調整することから、任意の質量範囲で多数の質量数を同時に設定できる。四重極型のGC-MSは使用法も簡便であり、汎用型が市販されるようになって、一段と普及している。

イオントラップ型は、イオン化したものの検出方法が先の二法とは異なり、全質量範囲を走査して測定する方法であることから、SIM測定の機能はなく、マスキング法によって測定するため、定量感度が劣ることがある。

本法における定量値の精度と再現性の向上及び検液注入量のバラツキなどによる測定精度の低下を避けるためには、内部標準物質を使用することが望ましい。

内部標準物質は、基本的には、安定で、保持時間が近接し、かつ試料水中には存在せず、分析操作の過程で混入しない物質を選ぶ。近年は、重水素（ $^2\text{H}:\text{D}$ ）や炭素13（ $^{13}\text{C}$ ）などの安定同位体でラベルしたサロゲート物質が内部標準物質として用いられており、回収率のバラツキに影響されずに精度の高い分析値が得られるほか、バックグラウンドの測定が容易になるなど、GC-MS法による分析は信頼性の高いものとなっている。

ガスクロマトグラフ分析法は、GCに注入する検液と標準液の溶媒は同一とする。検水の固相抽出、溶媒抽出による前処理は、GC-MS法とほぼ同様であるが、使用する溶媒のジクロロメタンはECD、FTDに影響を与える。このため、固相抽出では、溶出液に窒素ガスを吹き付け、ジクロロメタンを除去した後、ヘキサンに転溶し、これを検液とする。また、溶媒抽出では、抽出したジクロロメタン層を約5 mLに濃縮後、ヘキサンを加えて更に濃縮し、ヘキサンに転溶する。試料注入にスプリットレス法を用いると高感度分析が可能である。



表60-3-1 シマジン、チオベンカルブの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	表60-3-2 参照	10~20	200	環境庁告示 第59号 付表5に準 拠
試験法2	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法		10~20	1000	
試験法3	固相抽出-ガスクロマトグラフ法		10~20	200	
試験法4	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法		10~20	1000	

JISハンドブック、告示の文章でチェック

表60-3-2 各種検出器の定量範囲

農薬名	GC-MS	GC (FTD)	GC (ECD)
シマジン	0.1 ~ 2 ng	0.05 ~ 1 ng	-
チオベンカルブ	0.05 ~ 1 ng	0.1 ~ 2 ng	0.1 ~ 2 ng*

※ 固相抽出法の場合は、0.05 ~ 1 ng

### 60.3.2 試験方法の概要

#### 60.3.2.1 固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

固相抽出法で得られた検液中のシマジン、チオベンカルブをGC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）または同等の方法で測定し、各農薬類の濃度を求める方法である。

#### 60.3.2.2 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

溶媒抽出法で得られた検液中のシマジン、チオベンカルブをGC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）または同等の方法で測定し、各農薬類の濃度を求める方法である。

#### 60.3.2.3 固相抽出-ガスクロマトグラフ法

固相抽出法で得られた検液中のシマジン、チオベンカルブをGC (FTD) またはGC (ECD) を用いて測定し、シマジン、チオベンカルブの濃度を求める方法である。GC (ECD) は、チオベンカルブに適用する。

#### 60.3.2.4 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法

溶媒抽出法で得られた検液中のシマジン、チオベンカルブをGC (FTD) またはGC (ECD) を用いて測定し、シマジン、チオベンカルブの濃度を求める方法である。GC (ECD) は、チオベンカルブに適用する。

### 60.3.3 試験方法の選定の考え方

人の健康の保護に関する環境基準では、シマジン、チオベンカルブの試験法としてガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）、アルカリ熟イオン化検出器（FTD）、電子捕獲型検出器（ECD）を用いたガスクロマトグラフ法（GC）が示されている。GC-MS及びGC（FTD）法では、シマジン、チオベンカルブの測定ができる。GC（ECD）法は、チオベンカルブのみに適用できるが、コスト等の観点から同時測定を行うことが望まし

い。前処理方法としては、固相抽出法及び溶媒抽出法があるが、作業環境の保全等を考慮し、溶媒使用量の少ない固相抽出法が推奨される。

以上のことから、シマジン、チオベンカルブの測定では、①同時測定が可能で、検出ピークの定性が容易であり、溶媒使用量の少ない固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を用いる。②溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を用いる。また、GC-MS装置がない場合を想定し、③固相抽出-ガスクロマトグラフ法を用いる。④溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法を用いることとする。

#### 60.3.4 試験上の注意事項等

##### 60.3.4.1 試料の採取及び保存

農薬類は種々の化学構造を有しており、その性状から加水分解するなど不安定な物質もあり、試料水の採取および保存には注意を要する。

試料の採取に使用する容器について検討した報告<sup>1)</sup>では、ガラス瓶とポリエチレン容器に保存した場合、ガラス瓶では、ほとんどの農薬で良好な回収率を示した。これに対して、ポリエチレン容器に保存したものでは、回収率が30~50%低下した。ガラス瓶では低下はみられないことから、吸着によって減少したものと考えられる。このことから、試料水の容器はガラス瓶を用い、容器からの汚染を除去するために極性のあるアセトンで洗浄したものを用いる。

試料水の保存に関しては、採取後直ちに抽出などの前処理を行うことを原則としているが、当日処理を行えない場合は冷蔵保存をする。保存中での安定性について検討した報告<sup>2)</sup>によると、河川水中に農薬43種を0.25 µg/L添加して冷蔵庫に保存し、8日後に処理して回収率を求めたところ、ほとんどの農薬は良好な回収率を示したが、イプロジオンとトリクロロホンについては約40~50%回収率が低下した。更に、フェノブカルブ、ダイアジノン、シマジンなども5~7日後で減少している報告<sup>2)</sup>もあり、試料水の前処理はできるだけ速やかに行う必要がある。

##### 60.3.4.2 前処理

試料水中の農薬は、一般に微量であることから、GC-MS法及びGC法による測定が可能な濃度まで濃縮する必要がある。濃縮法としては、吸着樹脂を詰めた固相カラムによる固相抽出法とジクロロメタンによる溶媒抽出法がある。

###### (1) 固相抽出法

検水中のシマジン、チオベンカルブをポリマーゲル系またはオクタデシル基を化学結合したシリカゲル系の固相カラムに吸着させ、アセトンまたはジクロロメタンで溶出する方法である。

###### (2) 溶媒抽出法

検水中に含まれるシマジン、チオベンカルブを塩化ナトリウム共存の下、ジクロロメタンで抽出する方法である。

## 60.4 環境基準項目（高速液体クロマトグラフ法、1項目）

殺菌剤（1項目）チウラム

### 60.4.1 試験方法

チウラムの試験方法を表60-4-1に示す。

表60-4-1 チウラムの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水 量 (mL)	出典
試験法1	固相抽出-高速液体クロマトグラフ法	2~40	10~20	500	環境庁告示第59
試験法2	溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法	2~40	10~20	1000	号付表4に準拠

チウラムは、ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）、またはガスクロマトグラフ法（GC）では熱分解するので、高速液体クロマトグラフ法（HPLC法）を用いる。

図60-4-1に農薬類のHPLC分析の一例を示す。

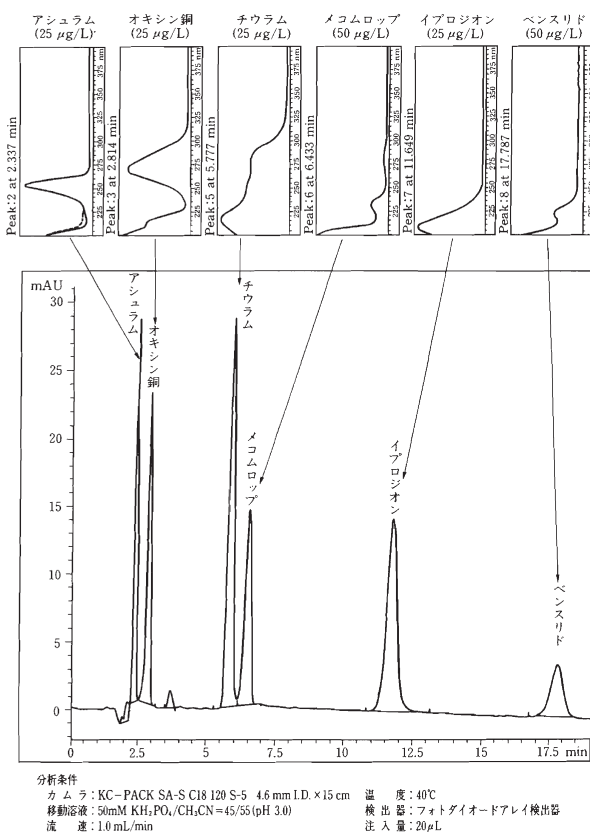


図60-4-1 農薬のHPLC分析例

河川水等では、農薬の溶出位置と同じ保持時間に妨害となるピークが存在する場合があります。特定波長の検出のみでは判定が困難になっている。チウラムやオキシデメトン銅の保持時間に出る妨害ピークは、定量に影響を与えることから、フォトダイオードアレイ検出

器による吸収スペクトルや、測定条件の検討等が重要となっている。フォトダイオードアレイ検出器は、多波長でのクロマトグラムと全波長のスペクトルが連続的に得られるので、定性に優れている。

#### 60.4.2 試験方法の概要

##### 60.4.2.1 固相抽出-高速液体クロマトグラフ法

固相抽出法で得られた検液中のチウラムを、逆相系カラムを装備したHPLCで分離し、紫外分光光度検出器の波長272nmで測定し、濃度を求める方法である。

##### 60.4.2.2 溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法

溶媒抽出法で得られた検液中のチウラムを、逆相系カラムを装備したHPLCで分離し、紫外分光光度検出器の波長272nmで測定し、濃度を求める方法である。

#### 60.4.3 試験方法の選定の考え方

人の健康の保護に関する環境基準では、チウラムの試験法としてHPLC法が示されている。HPLCカラムは、ポリマー系またはこれと同等の性能を有する基材を充填したカラムを用いる。検出器は、紫外分光光度検出器（UV）またはフォトダイオードアレイ検出器を用いる。

前処理法については、固相抽出法及び溶媒抽出法がある。溶媒抽出法は従来から広く採用され、汚濁水でも比較的満足できる抽出効率と再現性が得られているが、多量のジクロロメタンを使用するので、作業環境面、操作効率面で難点がある。したがって、前処理法としては固相抽出法が推奨される。

以上のことから、チウラムの測定では、①固相抽出-高速液体クロマトグラフ法を用いる。②溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法を用いることとする。

#### 60.4.4 試験上の注意事項等

##### 60.4.4.1 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

##### 60.4.4.2 前処理

###### (1) 固相抽出法

水中のチウラムをポリマーゲル系またはオクタデシル基を化学結合したシリカゲル系の固相カラムに吸着させ、アセトニトリルで溶出する方法である。

###### (2) 溶媒抽出法

検水中に含まれるチウラムを塩化ナトリウム共存の下、ジクロロメタンで抽出する方法である。

## 60.5 要監視項目（ガスクロマトグラフ質量分析法またはガスクロマトグラフ法、11項目）

殺虫剤（6項目） EPN、イソキサチオン\*、ダイアジノン\*、フェニトロチオン（MEP）  
\*、ジクロルボス（DDVP）、フェノブカルブ（BPMC）

殺菌剤（3項目） イソプロチオラン\*、クロロタロニル（TPN）\*、イプロベンホス（IBP）

除草剤（2項目） プロピザミド\*、クロルニトロフェン（CNP）

※印はゴルフ場農薬を示す。

### 60.5.1 試験方法

要監視項目11項目の試験方法を表60-5-1に示す。

表60-5-1 農薬類（11項目）の試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法 1	固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	表60-5-2参照		200	平成5年環水企第121号付表第1に準拠
試験法 2	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法			1000	
試験法 3	固相抽出-ガスクロマトグラフ法			200	
試験法 4	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法			1000	

表60-5-2 農薬類の定量範囲及び精度

農薬名	GC-MS		GC (FTD) または (NPD)		GC (FPD)		GC (ECD)	
	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
ジクロルボス	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.02~0.4	10~20
フェノブカルブ	0.1~2	10~20	0.6~12	10~20	-	-	-	-
プロピザミド	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	-	-	0.1~2.0	10~20
ダイアジノン	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.05~1	10~20	0.02~0.4	10~20
クロロタロニル	0.1~2	20~30	0.1~2	10~20	-	-	0.02~0.4	20~30
イプロベンホス	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	-	-
フェニトロチオン	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.02~0.4	10~20
イソプロチオラン	0.1~2	20~30	-	-	-	-	0.02~0.4	10~20
イソキサチオン	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.05~1.0	10~20
クロルニトロフェン	0.1~2	10~20	-	-	-	-	0.02~0.4	10~20
EPN	0.1~2	5~20	0.1~2	10~20	0.1~2	10~20	0.02~0.4	10~20

要監視項目11項目の測定方法としては、ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）及び各種検出器を用いたGC法がある。GC-MS法では、11項目の同時分析ができる。GC法では、FTD検出器を用いた場合、イソプロチオラン、クロルニトロフェンを除く9項目、FPD検出器では、フェノブカルブ、プロピザミド、クロロタロニル、イソプロチオラン、クロルニトロフェンを除く6項目、ECD検出器では、フェノブカルブ、イプロベンホスを除く9項目の同時分析ができる。

## 60.5.2 試験方法の概要

### 60.5.2.1 固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

固相抽出法で得られた検液中の要監視項目の農薬類をGC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）または同等の方法で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

### 60.5.2.2 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

溶媒抽出法で得られた検液中の要監視項目の農薬類をGC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）または同等の方法で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

### 60.5.2.3 固相抽出-ガスクロマトグラフ法

固相抽出法で得られた検液中の要監視項目の農薬類を、各種検出器を用いたGC法で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

### 60.5.2.4 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法

溶媒抽出法で得られた検液中の要監視項目の農薬類を、各種検出器を用いたGC法で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

## 60.5.3 試験方法の選定の考え方

要監視項目11項目の測定方法としては、ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS法）及びアルカリ熱イオン検出器（FTD）、炎光光度検出器（FPD）、または電子捕獲型検出器（ECD）を用いたガスクロマトグラフ法（GC法）が示されている。GC-MS法では、11項目の同時分析ができる。

前処理方法として、固相抽出法、溶媒抽出法があるが、溶媒抽出法は、多量のジクロロメタンを使用する等の作業環境面で難点がある。固相抽出法は、溶媒使用量がきわめて少なく、多検体を効率的に処理できる。

以上のことから、要監視項目の測定では、①固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を用いる。②溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を用いる。③固相抽出-ガスクロマトグラフ法を用いる。④溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法を用いることとする。



#### 60.5.4 試験上の注意事項

##### 60.5.4.1 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

##### 60.5.4.2 前処理

###### (1) 固相抽出法

検水中に含まれる要監視項目の農薬類を、ポリマーゲル系またはオクタデシル基を化学結合したシリカゲル系の固相カラムに吸着させ、アセトンまたはジクロロメタンで溶出する方法である。

###### (2) 溶媒抽出法

検水中に含まれる要監視項目の農薬類を、塩化ナトリウム共存の下、ジクロロメタンで抽出する方法である。

## 60.6 要監視項目（高速液体クロマトグラフ法、1項目）

殺菌剤（1項目）オキシシン銅

### 60.6.1 試験方法

オキシシン銅の試験方法を表60-6-1に示す。

表60-6-1 オキシシン銅の試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	固相抽出-高速液体クロマトグラフ法	20~200	10~20	500	平成5年環水企第121
試験法2	溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法	20~200	10~20	1000	号付表第2に準拠

オキシシン銅の測定方法は、高速液体クロマトグラフ法（HPLC）とする。検出器は、紫外分光光度 検出器（UV）、フォトダイオードアレイまたは蛍光検出器を用いることができる。

### 60.6.2 試験方法の概要

#### 60.6.2.1 固相抽出-高速液体クロマトグラフ法

固相抽出法で得られた検液中のオキシシン銅を、逆相系カラムを装備したHPLCで分離し、紫外分光光度検出器の波長240nm、またはフォトダイオードアレイ検出器で測定し、濃度を求める方法である。

#### 60.6.2.2 溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法

溶媒抽出法で得られた検液中のオキシシン銅を、逆相系カラムを装備したHPLCで分離し、紫外分光光度検出器の波長240nm、またはフォトダイオードアレイ検出器で測定し、濃度を求める方法である。

### 60.6.3 試験方法の選定の考え方

オキシシン銅の測定方法は、HPLCが示されている。前処理法としては、固相抽出及び溶媒抽出法があるが、溶媒抽出法は多量のジクロロメタンを使用すること、操作が煩雑となる等から、作業環境、作業効率の面で難点がある。

以上のことから、オキシシン銅の測定では、①固相抽出-高速液体クロマトグラフ法を用いる。②溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法を用いることとする。

### 60.6.4 試験上の注意事項

#### 60.6.4.1 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

#### 60.6.4.2 前処理

##### (1) 固相抽出法

検液中に含まれるオキシ銅をpH3.5でポリマー系の固相カラムに吸着させ、アセトニトリルで溶出する方法である。

##### (2) 溶媒抽出法

検水をpH2以下にして、オキシ銅を8-キノリノールと銅に解離させて水溶性とする。ジクロロメタンで妨害物を除去した後、水層を緩衝液でpH8～10とし、ジクロロメタンで抽出する方法である。

## 60.7 ゴルフ場農薬

### 60.7.1 標準分析方法（個別分析法）

- 殺虫剤（10項目） アセフェート、イソキサチオン、イソフェンホス、エトフェンプロックス、クロルピリホス、ダイアジノン、チオジカルブ、トリクロルホン（DEP）、ピリダフェンチオン、フェニトロチオン
- 殺菌剤（18項目） アゾキシストロビン、イソプロチオラン、イプロジオン、イミノクタジン酢酸塩、エトリジアゾール、オキシシン銅、キャプタン、クロタロニル（TPN）、クロロネブ、チウラム、トルクロホスメチル、フルトラニル、プロピコナゾール、ペンシクロン、ホセチル、ポリカーバメート、メタラキシル、メプロニル
- 除草剤（17項目） アシュラム、ジチオピル、シデュロン、シマジン（CAT）、テルブカルブ（MBPMC）、トリクロピル、ナプロパミド、ハロスルフロンメチル、ピリブチカルブ、ブタミホス、フラザスルフロン、プロピザミド、ベンスリド（SAP）、ペンディメタリン、ベンフルラリン、メコプロップ、メチルダイムロン

#### 60.7.1.1 試験方法

「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（平成13年環水土第234号）」では、個々の農薬について表60-7-1に示す試験方法を定めている。

表60-7-1 ゴルフ場農薬の試験方法一覧（個別分析法）

農薬名	GC-MS	GC			HPLC		定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
		(FTD) (NPD)	(FPD)	(ECD)	(UV)	(FL)				
アセフェート	○		○*1				表60-7-2参照	250	平成13 年環水 土第 234号 別添I	
イソキサチオン		○						400		
イソフェンホス		○						200		
エトフェンプロックス	○				○			200		
クロルピリホス		○						200		
ダイアジノン			○*1					200		
チオジカルブ	○	○	○					200		
トリクロルホン（DEP）			○*1					200		
ピリダフェンチオン			○*1					200		
フェニトロチオン（MEP）			○*1					200		
アゾキシストロビン					○			200		
イソプロチオラン				○				400		
イプロジオン		○						400		
イミノクタジン酢酸塩						○*2		200		
エトリジアゾール				○				400		
オキシシン銅						○		1000		
キャプタン				○				400		

農 薬 名	GC-MS	GC			HPLC		定 量 範 囲 (ng)	精 度 (CV%)	必 要 検水量 (mL)	出 典
		(FTD) (NPD)	(FPD)	(ECD)	(UV)	(FL)				
クロタロニル(TPN)				○			表60-7-2参照	400	平成13 年環水 土 第 234号 別添 I	
クロロネブ				○				400		
チウラム					○			200		
トルクロホスメチル			○ <sup>*1</sup>					200		
フルトラニル		○						400		
プロピコナゾール	○	○						200		
ペンシクロン		○						400		
ホセチル		○ <sup>*3</sup>	○ <sup>*3</sup>					10		
ポリカーバメート					○			200		
メタラキシル	○	○						200		
メプロニル		○						400		
アシュラム		○ <sup>*3</sup>						200		
ジチオピル	○	○		○				200		
シデュロン					○			200		
シマジン		○						400		
テルブカルブ		○						400		
トリクロピル	○				○ <sup>*4</sup>			250	平成13 年環水 土 第 234号 別添 I	
ナプロパミド		○						400		
ハロスルフロンメチル					○			200		
ピリプチカルブ	○	○						100		
ブタミホス			○ <sup>*1</sup>					200		
フラザスルフロン					○			200		
プロピサミド				○				400		
ベンスリド (SAP)		○						400		
ペンディメタリン		○						400		
ベンフルラリン				○				400		
メコプロップ (MCP)				○			200			
メチルダイムロン							400			

※1 Pフィルター（りん用干渉フィルター（波長526nm））を用いる

※2 ポストカラム反応蛍光検出器を用いる

※3 前処理としてメチル誘導体化を行う

※4 トリクロピル酸のみ

表60-7-2 個別分析法における定量範囲及び精度

農 薬 名	GC-MS		GC (FTD) (NPD)		GC (FPD)		GC (ECD)		HPLC (UV)		HPLC (FL)	
	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
アセフェート	0.2~4	10~20	-	-	0.2~4	10~20	-	-	-	-	-	-
イソキサチオン	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
イソフェンホス	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
エトフェンプロックス	-	-	-	-	-	-	-	-	1~20	20~30	-	-
クロルピリホス	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
ダイアジノン	-	-	-	-	0.05~1	10~20	-	-	-	-	-	-
チオジカルブ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
トリクロルホン (DEP)	-	-	-	-	1~20	10~20	-	-	-	-	-	-
ピリダフェンチオン	-	-	-	-	0.2~4	10~20	-	-	-	-	-	-
フェニトロチオン (MEP)	-	-	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-	-	-
アゾキシストロビン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
イソプロチオラン	-	-	-	-	-	-	0.02~0.4	10~20	-	-	-	-
イプロジオン	-	-	0.2~4	20~30	-	-	-	-	-	-	-	-
イミノクタジン酢酸塩	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
エトリジアゾール	-	-	-	-	-	-	0.02~0.4	20~30	-	-	-	-
オキシシン銅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20~200	10~20
キャプタン	-	-	-	-	-	-	0.05~1	20~30	-	-	-	-
クロタロニル(TPN)	-	-	-	-	-	-	0.02~0.4	20~30	-	-	-	-
クロロネブ	-	-	-	-	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-
チウラム	-	-	-	-	-	-	-	-	2~40	10~20	-	-
トルクロホスメチル	-	-	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-	-	-
フルトラニル	-	-	0.2~4	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
プロピコナゾール	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ペンシクロン	-	-	0.4~8	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
ホセチル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ポリカーバメート	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
メタラキシル	0.4~8	10~20	0.4~8	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
メプロニル	-	-	1~20	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
アシュラム	-	-	0.2~4	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
ジチオピル	0.4~8	10~20	0.4~8	20~30	4~80pg	20~30	-	-	-	-	-	-
シデュロン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シマジン	-	-	0.05~1	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
テルブカルブ	-	-	0.4~8	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
トリクロピル	0.2~4	10~20	-	-	-	-	-	-	0.2~4	10~20	-	-
ナプロバミド	-	-	0.4~8	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
ハロスルフロメチル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ピリブチカルブ	0.1~2	10~20	0.05~1	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
ブタミホス	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
フラザスルフロン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
プロピサミド	-	-	-	-	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-
ベンスリド(SAP)	-	-	0.5~10	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-



農 薬 名	GC-MS		GC (FTD) (NPD)		GC (FPD)		GC (ECD)		HPLC (UV)		HPLC (FL)	
	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
ペンディメタリン	-	-	0.1~2	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-
ベンフルラリン	-	-	-	-	-	-	0.02~0.4	10~20	-	-	-	-
メコプロップ(MCPP)	-	-	-	-	-	-	0.05~1	10~20	-	-	-	-
メチルダイムロン	-	-	1.0~20	10~20	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 60.7.1.2 試験方法の概要

ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁防止法に係る暫定指導指針では、45物質の農薬が指定されている。これら農薬の個別分析は、ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）では8項目、各種検出器を用いたガスクロマトグラフ法（GC）のアルカリ熱イオン検出器（FTD）では20項目、炎光光度検出器（FPD）では9項目、電子捕獲型検出器（ECD）では10項目、各種検出器を用いた高速液体クロマトグラフ法（HPLC）の紫外部吸光検出器（UV）では8項目、蛍光分光光度検出器（FL）では2項目の測定が可能である。

#### 60.7.1.3 試験方法の選定の考え方

個別農薬については、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で指定された分析法（表60-7-1）を採用する。

#### 60.7.1.4 試験上の注意事項等

60.3.4、60.4.4、60.6.4を参照。

## 60.7.2 多成分同時分析法

### 60.7.2.1 ガスクロマトグラフ質量分析法（26項目）

- 殺虫剤（6項目） イソキサチオン\*、イソフェンホス、クロルピリホス、ダイアジノン\*、ピリダフェンチオン、フェニトロチオン\*
- 殺菌剤（10項目） イソプロチオラン\*、イプロジオン、キャプタン、クロロタロニル（TPN）\*、トルクロホスメチル、フルトラニル、プロピコナゾール、ペンシクロン、メタラキシル、メプロニル
- 除草剤（10項目） ジチオピル、シマジン（CAT）\*、テルブカルブ（MBPMC）、トリクロピル（トリクロピルブトキシエチル）、ナプロパミド、ブタミホス、プロピザミド\*、ベンスリド（SAP）、ペンディメタリン、メチルダイムロン

#### (1) 試験方法

「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(平成13年環水土第234号)」には、ゴルフ場農薬26項目の多成分同時分析法として、ガスクロマトグラフ質量分析法が示されている。表60-7-3に試験法、表60-7-4に定量範囲及び精度を示す。

表60-7-3 ゴルフ場農薬の試験方法

試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	表60-7-4参照		200	平成13年環水土第234号 別添Ⅱ 1

表60-7-4 多成分同時分析法における定量範囲及び精度

区分	農薬名	ガスクロマトグラフ質量分析法	
		定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
殺虫剤	イソキサチオン	0.1~2	10~20
	イソフェンホス	0.1~2	10~20
	クロルピリホス	0.1~2	10~20
	ダイアジノン	0.1~2	10~20
	ピリダフェンチオン	0.2~4	20~30
	フェニトロチオン	0.1~2	10~20
殺菌剤	イソプロチオラン	0.1~2	20~30
	イプロジオン	0.2~4	20~30
	キャプタン	0.1~2	20~30
	クロロタロニル	0.1~2	20~30
	トルクロホスメチル	0.1~2	10~20
	フルトラニル	0.1~2	20~30
	プロピコナゾール	-	-
	ペンシクロン	0.1~2	10~20

区分	農 薬 名	ガスクロマトグラフ質量分析法	
		定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
殺菌剤	メトラキシル	0.4~8	10~20
	メプロニル	0.1~2	10~20
除草剤	ジチオピル	0.4~8	10~20
	シマジン	0.1~2	10~20
	テルブカルブ	0.1~2	10~20
	トリクロピル (トリクロピルブトキシエチル)	0.4~8	10~20
	ナプロパミド	0.1~2	10~20
	ブタミホス	0.1~2	20~30
	プロピザミド	0.1~2	10~20
	ベンスリド	0.5~10	10~20
	ペンディメタリン	0.1~2	10~20
	メチルダイムロン	0.1~2	10~20

## (2) 試験方法の概要

固相抽出法で得られた検液中の農薬類を、GC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

## (3) 試験上の注意事項

### ① 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

### ② 前処理

#### ア. 固相抽出法

C<sub>18</sub>シリカゲルカラムの下に活性炭カラムを連結した固相抽出カラムを使用して抽出を行い、C<sub>18</sub>シリカゲルカラムをアセトン及びアセトニトリルで展開した溶出液を検液とする。

## 60.7.2.2 ガスクロマトグラフ質量分析法またはガスクロマトグラフ法（2項目）

殺虫剤（2項目） アセフェート、トリクロロホン（DEP）

### (1) 試験方法

「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」には、アセフェート及びトリクロロホンの多成分同時分析法として、ガスクロマトグラフ質量分析法及び蛍光光度型検出器（FPD）を用いたガスクロマトグラフ法が示されている。表60-7-5に試験法、表60-7-6に定量範囲及び精度を示す。

表60-7-5 ゴルフ場農薬の試験方法

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	表60-7-6参照		200	平成13年環水土 第234号 別添Ⅱ 2
試験法2	固相抽出-ガスクロマトグラフ法				

表60-7-6 定量範囲及び精度

農薬名	GC-MS		GC (FPD)	
	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
アセフェート	0.2～4	10～20	0.2～4	10～20
トリクロロホン（DEP）	0.5～10	20～30	1～20	10～20

### (2) 試験法の概要

#### ① 固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

固相抽出法で得られた検液中の農薬類を、GC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

#### ② 固相抽出-ガスクロマトグラフ法

60.3.2.3を参照。（一斉分析参照 Pフィルター使用）

### (3) 試験上の注意事項

#### ① 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

#### ② 前処理

##### ア. 固相抽出法

60.7.2.1(3)b. における活性炭カラムをメタノールで展開し、その溶出液を試験する。

### 60.7.2.3 ガスクロマトグラフ質量分析法またはガスクロマトグラフ法（4項目）

殺菌剤（2項目） エトリジアゾール、クロロネブ

除草剤（2項目） ピリブチカルブ、ベンフルラリン

#### (1) 試験方法

「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」には、エトリジアゾール、クロロネブ、ピリブチカルブ及びベンフルラリンの多成分同時分析法として、ガスクロマトグラフ質量分析法、アルカリ熱イオン型検出器（FTD）、高感度窒素・リン検出器（NPD）若しくは電子捕獲型検出器（ECD）を用いたガスクロマトグラフ法が示されている。表60-7-7に試験法、表60-7-8に定量範囲及び精度を示す。

表60-7-7 ゴルフ場農薬の試験方法

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	表60-7-8参照		200	平成13年環水土 第234号 別添Ⅱ 3
試験法2	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法				

表60-7-8 定量範囲及び精度

農薬名	GC-MS		GC (FTD) または (NPD)		GC (ECD)	
	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
エトリジアゾール	0.3~6	10~20	-	-	0.02~0.4	20~30
クロロネブ	0.1~2	10~20	-	-	0.1~2	10~20
ピリブチカルブ	0.1~2	10~20	0.05~1	10~20	?	?
ベンフルラリン	0.1~2	10~20	-	-	0.02~0.4	10~20

#### (2) 試験法の概要

##### ① 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

溶媒抽出法で得られた検液中の農薬類を、GC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

##### ② 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法

溶媒抽出法で得られた検液中の農薬類を、各種検出器を用いたGC法で測定し、各農薬の濃度を求める方法である。

(3) 試験上の注意事項

① 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

② 前処理

ア. 溶媒抽出法

検水中に含まれる農薬類を、塩化ナトリウム共存の下、酢酸エチルで抽出する。



#### 60.7.2.4 ガスクロマトグラフ質量分析法またはガスクロマトグラフ法（1項目）

殺虫剤（1項目） メタミドホス

##### (1) 試験方法

「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」には、メタミドホスの分析法として、ガスクロマトグラフ質量分析法及び炎光光度型検出器（FPD）を用いたガスクロマトグラフ法が示されている。表60-7-9に試験法、表60-7-10に定量範囲及び精度を示す。

表60-7-9 ゴルフ場農薬の試験方法

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	ガスクロマトグラフ質量分析法	表60-7-10参照		200	平成13年環水土 第234号 別添Ⅱ 4
試験法2	ガスクロマトグラフ法				

表60-7-10 定量範囲及び精度

農薬名	GC-MS		GC (FPD)	
	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
メタミドホス	-	-	-	-

##### (2) 試験法の概要

###### ① ガスクロマトグラフ質量分析法

検液中のメタミドホスを、GC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）で測定し濃度を求める方法である。

###### ② 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法

検液中のメタミドホスを、炎光光度型検出器（FPD、Pフィルター付き）を用いたガスクロマトグラフ法で測定し濃度を求める方法である。

##### (3) 試験上の注意事項

###### ① 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

### 60.7.2.5 高速液体クロマトグラフ法 (10項目)

殺菌剤 (3項目) アゾキシストロピン、オキシシン銅、チウラム

除草剤 (7項目) アシユラム、イソキサベン、シデュロン、トリクロピル酸、ハロスルフロンメチル、フラザスルフロン、メコプロップ

#### (1) 試験方法

「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」には、ゴルフ場農薬10項目の多成分同時分析法として、紫外分光光度型検出器 (UV) を用いた高速液体クロマトグラフ法が示されている。表60-7-11に試験法、表60-7-12に定量範囲及び精度を示す。

表60-7-11 ゴルフ場農薬の試験方法

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法 1	固相抽出-高速液体クロマトグラフ法	表60-7-12参照		250	平成13年環水土 第234号 別添Ⅱ 5

表60-7-12 定量範囲及び精度

区分	農薬名	高速液体クロマトグラフ法	
		定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
殺菌剤	アゾキシストロピン	-	-
	オキシシン銅	20~200	10~20
	チウラム	2~40	10~20
除草剤	アシユラム	4~80	20~30
	イソキサベン	-	-
	シデュロン	-	-
	トリクロピル酸	5~100	10~20
	ハロスルフロンメチル	-	-
	フラザスルフロン	-	-
	メコプロップ	20~200	10~20

#### (2) 試験法の概要

##### ① 高速液体クロマトグラフ法

固相抽出法で得られた検液中の農薬類を、逆相系カラムを装備したHPLCで分離し、紫外分光光度検出器で測定し、濃度を求める方法である。

#### (3) 試験上の注意事項

##### ① 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

② 前処理

ア. 固相抽出法

検液中に含まれる農薬類をpH3.5でポリマー系の固相カラムに吸着させ、アセトニトリルで溶出する方法である。

## 60.8 農薬の一斉分析（ガスクロマトグラフ質量分析法、32項目）

殺虫剤（10項目） イソキサチオン<sup>\*</sup>、イソフェンホス、クロルピリホス、ダイアジノン<sup>\*</sup>、フェニトロチオン<sup>\*</sup>、トリクロロホン（DEP）、ピリダフェンチオン、EPN<sup>\*</sup>、ジクロロボス<sup>\*</sup>、フェノブカルブ<sup>\*</sup>

殺菌剤（11項目） イソプロチオラン<sup>\*</sup>、エトリジアゾール、キャプタン、イプロジオン、クロロタロニル（TPN）<sup>\*</sup>、クロロネブ、トルクロホスメチル、フルトラニル、ペンシクロン、メプロニル、イプロベンホス（IBP）<sup>\*</sup>

除草剤（11項目） シマジン（CAT）<sup>\*</sup>、テルブカルブ（MBPMC）、ナプロパミド、ブタミホス、プロピザミド<sup>\*</sup>、ベンフルラリン、ペンディメタリン、メチルダイムロン、チオベンカルブ<sup>\*</sup>、クロルニトロフェン（CNP）<sup>\*</sup>、ベンスリド（SAP）

※印は環境基準、要監視項目を示す。

### 60.8.1 試験方法

GC-MS法は定性、定量性に優れ、上記32項目の農薬の一斉分析が可能である<sup>3)</sup>。また、水質事故では、河川等に流入した農薬の種類が不明の場合が多く、一斉分析が特に必要となる。したがって、農薬32項目の一斉分析法としてGC-MS法を採用する。農薬類の一斉分析法を表60-8-1に示す。

表60-8-1 農薬類の一斉分析の試験方法

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	表60-8-2参照		500	上水試験法 <sup>-2001</sup> VI-4 2に準拠
試験法2	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法			1000	

表60-8-2 定量範囲及び精度

区分	農薬名	ガスクロマトグラフ質量分析法		
		定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	
要監視項目（11項目）	EPN	0.1～2	10～20	
	ジクロロボス（DDVP）	0.1～2	10～20	
	フェノブカルブ（BPMC）	0.1～2	10～20	
	イプロベンホス（IBP）	0.1～2	10～20	
	クロルニトロフェン（CNP）	0.1～2	10～20	
	ゴルフ場 農薬 （26項目）	プロピザミド	0.1～2	10～20
		イソキサチオン	0.1～2	10～20
		ダイアジノン	0.1～2	10～20
		フェニトロチオン（MEP）	0.1～2	10～20
		イソプロチオラン	0.1～2	20～30
		クロロタロニル（TPN）	0.1～2	20～30
イソフェンホス		0.1～2	10～20	

区 分	農 薬 名	ガスクロマトグラフ質量分析法	
		定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
ゴルフ場農薬 (26項目)	クロルピリホス	0.1~2	10~20
	トリクロルホン (DEP)	0.5~10	20~30
	ピリダフェンチオン	0.2~4	20~30
	エトリジアゾール	0.3~6	10~20
	キャプタン	0.1~2	20~30
	クロロネブ	0.1~2	10~20
	トルクロホスメチル	0.1~2	10~20
	フルトラニル	0.4~8	20~30
	ペンシクロン	0.1~2	10~20
	メプロニル	0.1~2	10~20
	テルブカルブ (MPBMC)	0.1~2	10~20
	ナプロパミド	0.1~2	10~20
	ブタミホス	0.1~2	20~30
	ベンフルラリ	0.1~2	10~20
	ペンディメタリン	0.1~2	10~20
	メチルダイムロン	0.1~2	10~20
	イプロジオン	0.2~4	20~30
	ベンスリド	0.5~10	10~20
基準項目 (2項目)	シマジン	0.1~2	10~20
	チオベンカルブ	0.05~1	10~20

## 60.8.2 試験方法の概要

### 60.8.2.1 固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

固相抽出法で得られた検液中の農薬類をGC-MS法により選択イオン検出法 (SIM法) または同等の方法で測定し、各農薬類の濃度を求める方法である。

### 60.8.2.2 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

溶媒抽出法で得られた検液中の農薬類をGC-MS法により選択イオン検出法 (SIM法) または同等の方法で測定し、各農薬類の濃度を求める方法である。

## 60.8.3 試験方法の選定の考え方

農薬類の一般的な前処理方法は、溶媒抽出法であるが、多量のジクロロメタンを用いて抽出操作を行う等、作業環境面や、操作効率面で難点がある。溶媒抽出法に代わる前処理法として、固相抽出法があり、多くの検討例がある。固相抽出法は、溶媒の使用量がきわめて少なく、多検体を効率的に処理できる利点を持つ。よって、農薬32項目の一斉分析では、①有機溶媒使用量が少ない固相抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を用いる。②溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を用いることとする。

#### 60.8.4 試験上の注意事項等

##### 60.8.4.1 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

##### 60.8.4.2 前処理

###### (1) 固相抽出法

検水中の農薬類をポリマーゲル系またはオクタデシル基を化学結合したシリカゲル系の固相カラムに吸着させ、アセトン等で溶出する方法である。

###### (2) 溶媒抽出法

検水中に含まれる農薬類を塩化ナトリウム共存の下、ジクロロメタンで抽出する方法である。

## 60.9 農薬の一斉分析（高速液体クロマトグラフ法、6項目）

殺菌剤（3項目） チウラム<sup>\*</sup>、オキシシン銅<sup>\*</sup>、イプロジオン

除草剤（3項目） アシュラム、ベンスリド（SAP）、メコプロップ（MCP）

※印は環境基準、要監視項目を示す。

### 60.9.1 試験方法

ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）やガスクロマトグラフ法（GC）では測定が困難な農薬類については、高速液体クロマトグラフ（HPLC）法を用いて測定する。HPLC法の検出器は、紫外分光光度検出器（UV）またはフォトダイオードアレイ検出器を用いる。分析法を表60-9-1に示す。

表60-9-1 農薬類の一斉分析の試験方法

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	固相抽出-高速液体クロマトグラフ法	表60-9-2参照		500 <sup>*</sup>	上水試験法 <sup>-2001</sup> VI-4 2 JIS K 0128 <sup>-2000</sup> に準拠
試験法2	溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法			1000	

※アシュラムを測定する場合は、200mLとする。

表60-9-2 農薬類の定量範囲及び精度（イプロジオン、ベンスリド以外JIS確認）

農薬名	HPLC (UV)	
	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)
チウラム	2~40	10~20
オキシシン銅	20~200	10~20
イプロジオン	10~500	10~20
アシュラム	4~80	10~20
ベンスリド (SAP)	10~500	10~20
メコプロップ (MCP)	20~200	10~20

### 60.9.2 試験方法の概要

#### 60.9.2.1 固相抽出-高速液体クロマトグラフ法

固相抽出法で得られた検液中の農薬類をポリマーゲルカラムまたは同等の分離性能を示す分離管を装備したHPLCで分離し、紫外分光光度検出器またはフォトダイオードアレイで測定し、農薬類の濃度を求める方法である。

#### 60.9.2.2 溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法

固相抽出法で得られた検液中の農薬類をポリマーゲルカラムまたは同等の分離性能を示す分離管を装備したHPLCで分離し、紫外分光光度検出器またはフォトダイオードア

レイで測定し、農薬類の濃度を求める方法である。

### 60.9.3 試験方法の選定の考え方

ここで扱う農薬類の抽出方法には、溶媒抽出法及び固相抽出法があるが、溶媒抽出法は、個別の農薬で抽出法が異なること、多量の溶媒を用いる等、一斉分析の抽出法として難点がある。固相抽出法は、溶媒の使用量が少なく、多成分を同時に処理できる。よって、これらの農薬類の一斉分析では、①有機溶媒使用量が少ない固相抽出-高速液体クロマトグラフ法を用いる。②溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法を用いることとする。

### 60.9.4 試験上の注意事項等

#### 60.9.4.1 試料の採取及び保存

60.3.4.1を参照。

#### 60.9.4.2 前処理

##### (1) 固相抽出法

検水中の農薬類をポリマーゲル系の固相カラムに吸着させ、アセトニトリルで溶出する方法である。

##### (2) 溶媒抽出法

検水中に含まれる農薬類を有機溶媒で抽出する方法である。



60.10 HCH（ガスクロマトグラフ質量分析法またはガスクロマトグラフ法、4項目）  
有機塩素系殺虫剤（4項目）  $\alpha$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\gamma$ -HCH、 $\delta$ -HCH

60.10.1 試験方法

HCH類の測定方法としては、ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）、電子捕獲検出器（ECD）によるガスクロマトグラフ法（GC）がある。分析法を表60-10-1に示す。

表60-10-1 HCHの試験方法一覧

	試験方法の名称	定量範囲 (ng)	精度 (CV%)	必要検水量 (mL)	出典
試験法1	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法	0.1~10	~20	1000	上水試験法 <sup>2001</sup>
試験法2	溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法	0.01~1.0	~20	1000	VI-4 2に準拠

60.10.2 試験方法の概要

60.10.2.1 溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法

溶媒抽出で得られた検液中のHCHをGC-MS法により選択イオン検出法（SIM法）または同等の方法で測定し、HCHの濃度を求める方法である。

60.10.2.2 溶媒抽出-高速液体クロマトグラフ法

溶媒抽出で得られた検液中のHCHをECD検出器を用いたGC法で測定し、HCHの濃度を求める方法である。

60.10.3 試験方法の選定の考え方

HCHの前処理方法は、抽出効率の安定性が確認されている溶媒抽出法を用いる。なお、固相抽出法は、回収実験等で再現性、精度が良好であることを確認できた場合に使用する。検出感度は、GC（ECD）法の方がGC-MS法よりも高いが、ECD検出器は夾雑物の影響を受けやすく、クリーンアップ操作を行う場合が多い。また、他の農薬との一斉分析を考慮した場合、GC-MS法の方が簡便である。

よって、HCHの分析では、①溶媒抽出-ガスクロマトグラフ質量分析法を用いる。②溶媒抽出-ガスクロマトグラフ法を用いることとする。

60.10.4 試験上の注意事項等

60.10.4.1 試料の採取及び保存

60.4.3.1を参照。

60.10.4.2 前処理

(1) 溶媒抽出法

検水中に含まれるHCHを塩化ナトリウム共存の下、ジクロロメタンで抽出する方法である。

## 60.11 その他

### 60.11.1 農薬に関する法律の変遷

表60-11-1に農薬に関する法律の変遷を示す。

農薬に関する基準については、有機リン（パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン、EPNの合計）があるのみであった。しかし、水質汚濁に係る環境基準（平成5年3月8日付環境庁告示第16号）に、1,3-ジクロロプロペン（シス体とトランス体の合計）、チウラム、シマジン、チオベンカルブの4種類が追加され、有機リンは、製造、使用がされていないことから削除（ただし、EPNについては要監視項目として指針値が定められている）され、要監視項目として12項目に指針値が設定された。なお、クロルニトロフェン（CNP）は、要監視項目となっているが、胆嚢がんと関連性が示唆されたこと等から、指針値の根拠となる従来のADI（acceptable daily intake：一日摂取許容量）を取り消し、がんとの因果関係が判明するまではADIを設定しないこととなり、これに伴い、指針値は削除となっている<sup>2)</sup>。一方、これらの施策により、公共用水域等での水質汚濁に関する目標が定められている農薬以外の農薬でも、空中散布等により一時的に使用されるものもある。このため、農薬による水質汚濁の防止対策の一環として、空中散布等で使用されているもので、基準値等が定められていないものについて指針値が設定されている。

今後も多くの農薬について、使用量、毒性等の知見より、新たな農薬が規制や基準の中に追加される可能性がある。

表60-11-1 農薬等に関する法律の変遷

法 律 等	年 月 日	省 庁 令 等	内 容
ゴルフ場で使用される農薬の暫定指導指針値	平成2年5月24日	環水土第77号	指針値：21農薬
ゴルフ場使用農薬に係る水道水の暫定水質目標	平成2年5月31日 (平成5年12月廃止)	衛水第152号	目標値：21農薬
ゴルフ場で使用される農薬の暫定指導指針値	平成3年7月30日	環水土第109号	指針値：9農薬 追加
ゴルフ場で使用される農薬の暫定指導指針値	平成4年12月21日	環水土第187号	指針値変更：1農薬 (フェニトロチオン)
ゴルフ場で使用される農薬の暫定指導指針値	平成9年4月24日	環水土第100号	指針値：5農薬 追加
ゴルフ場で使用される農薬の暫定指導指針値	平成13年12月28日	環水土第234号	指針値：10農薬 追加
環境基本法	平成15年11月5日 平成16年3月31日	環境省告示第123号 環水企発第 040331003号 環水土発第 040331005号	環境基準：4農薬 要監視項目：12農薬
水道基準に関する省令	平成4年12月21日	厚生省令第69号 衛水第264号	水道水質基準：4農薬 監視項目：11農薬
水道基準に関する省令	平成11年6月29日	衛水第39号	監視項目：4農薬 追加
水質汚濁防止法	平成19年6月1日	環境省令第14号	排水基準：4農薬
環境庁公共用水域水質評価指針	平成6年4月15日	環水土第86号	指針値：27農薬

### 60.11.2 農薬の使用目的等による分類

農薬をその使用目的や有効成分により細かく分類すると、図60-11-1、60-11-2のようになる。

### 60.11.3 農薬の物性

農薬を正確に分析するためには、それぞれの物理化学的特性を把握する必要がある。表60-11-2に主な農薬の物性を示す<sup>4)</sup>。なお、土壌殺虫剤として使用されているシス及びトランス-1,3-ジクロロプロペン (D-D)、1,2-ジクロロプロパンについては、揮発性有機化合物を参照する。

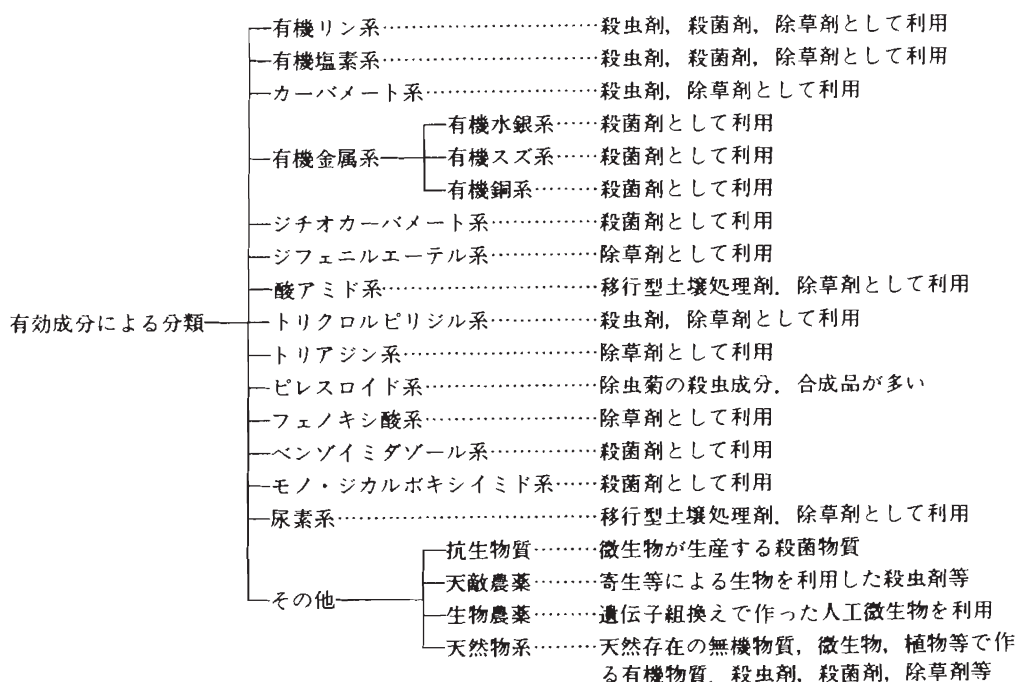


図60-11-1 有効成分による農薬の分類

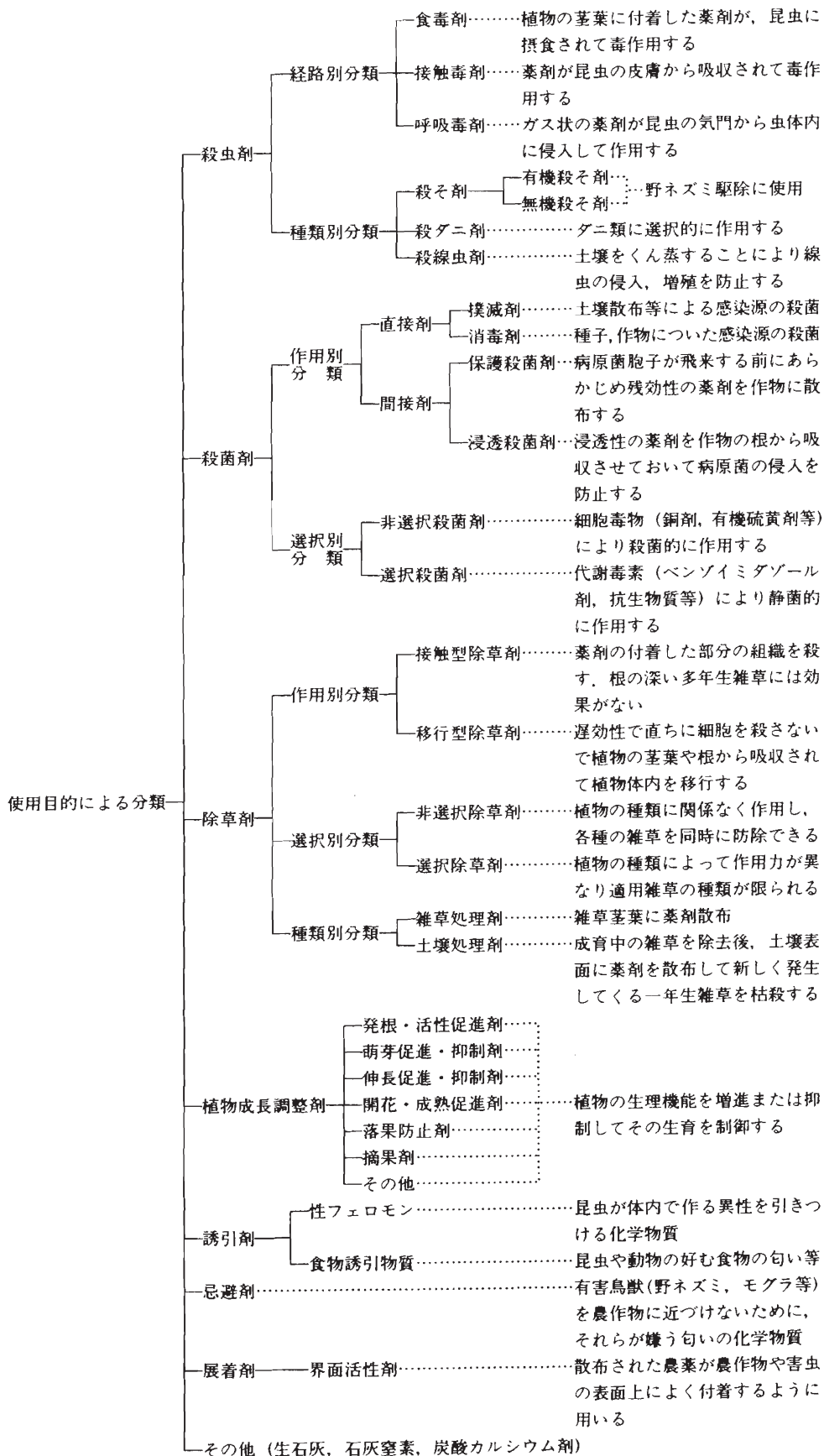


図60-11-2 使用目的による農薬の分類

表60-11-2 農薬の物性

	農薬名	ISO名	記号	性状	臭気	分子式	分子量	
殺	ジクロロボス	Dichlorvos	DDVP	淡黄色液体	—	C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> P	221.0	
	フェノカルブ	Fenobucarb	BPMC	無色結晶	—	C <sub>12</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>2</sub>	207.3	
	ダイアジノン	Diazinon	—	無色液体	エステル臭	C <sub>12</sub> H <sub>21</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> PS	304.4	
	フェニトロチオン	Fenitrothion	MEP	黄色液体	—	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> NO <sub>5</sub> PS	277.3	
	イソキサチオン	Isoxathion	—	微黄色液体	—	C <sub>13</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>4</sub> PS	313.3	
	EPN		—	淡黄色結晶	—	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> NO <sub>4</sub> PS	323.3	
	ピリダフェンチオン	Pyridaphenthion	—	淡黄色固体	—	C <sub>14</sub> H <sub>17</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> PS	340.4	
	クロルピリホス	Chlorpyrifos	—	白色結晶	—	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>3</sub> NO <sub>3</sub>	350.6	
	虫	トリクロロホン	Trichlorfon	DEP	白色結晶	—	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>4</sub> P	257.4
		イソフェンホス	Isofenphos	—	無色油	弱特異臭	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> NO <sub>4</sub>	345.4
剤	パラチオン		—	黄橙色液体	—	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> NO <sub>5</sub> PS	291.3	
	メチルパラチオン		—	白色結晶	—	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> NO <sub>5</sub> PS	263.2	
	メチルジメトン		—	微黄色液体	—	C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> O <sub>3</sub> PS <sub>2</sub>	230.3	
	HCH		BHC	白-褐色粉末	無臭	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	290.9	
	シス-1,3-ジクロロプロペン		D-D	淡黄色液体	刺激臭	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	110.9	
	トランス-1,3-ジクロロプロペン			淡黄色液体	刺激臭	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	110.9	
	1,2-ジクロロプロパン		—	液体	特異臭	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub>	113.0	
	殺	チウラム	Thiuram	TMTD	白色結晶	—	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	240.4
		クロロタロニル	Chlorothalonil	TPN	白色結晶	—	C <sub>8</sub> Cl <sub>4</sub> N <sub>2</sub>	265.9
		イプロベンホス	Iprobenfos	IBP	—	—	C <sub>13</sub> H <sub>21</sub> O <sub>3</sub> PS	288.4
イソプロチオラン		Isoprothiolane	—	白色結晶	—	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	290.4	
オキシン銅		Oxine-copper	—	黄緑色粉末	—	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Cu	351.9	
イプロジオン		Iprodione	—	白色結晶	—	C <sub>13</sub> H <sub>13</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	330.2	
菌		エトリジアゾール	Etridiazole	—	淡黄色液体	—	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>2</sub> OS	247.5
		クロロネブ	Chloroneb	—	白色結晶	—	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	207.1
剤		トルクロホスメチル	Tolclophos-methyl	—	白色粉末	—	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> PS	301.1
		フルトラニル	Flutolanil	—	白色結晶	—	C <sub>17</sub> H <sub>16</sub> F <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	323.3
	ペンシクロン	Pencycuron	—	白色結晶	—	C <sub>19</sub> H <sub>21</sub> ClN <sub>2</sub> O	328.8	
	メプロニル	Mepronil	—	白色結晶	—	C <sub>17</sub> H <sub>19</sub> NO <sub>2</sub>	269.3	
	キャプタン	Captan	—	白色結晶	無臭	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> S	300.6	
	シマジン	Sumazine	CAT	白色結晶	—	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> ClN <sub>5</sub>	201.7	
	チオベンカルブ	Thiobencarb	—	淡黄色液体	—	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> ClNOS	257.8	
	プロピザミド	Propyzamide	—	白色粉末	—	C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>2</sub> NO	256.1	
	クロルニトロフェン	Chlornitrofen	CNP	淡黄色粉末	—	C <sub>12</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>3</sub> NO <sub>3</sub>	318.5	
	アシラム	Asulam	—	結晶	—	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S	230.2	
草	ナプロバミド	Napropamide	—	黄褐色結晶	—	C <sub>17</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>2</sub>	271.4	
	ブタミホス	Butamifos	—	黄茶色液体	—	C <sub>13</sub> H <sub>21</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> PS	332.4	
	ベンスリド	bensulide	SAP	淡黄色液体	—	C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> NO <sub>4</sub> PS <sub>3</sub>	397.5	
	ベンフルラリン	Benfluralin	—	黄橙色結晶	—	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> F <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	335.3	
剤	ペンディメタリン	Pendimethalin	—	橙黄色結晶	—	C <sub>13</sub> H <sub>19</sub> N <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	281.3	
	メコプロップ	Mecoprop	MCPP	無色結晶	—	C <sub>10</sub> H <sub>11</sub> ClO <sub>3</sub>	214.7	
	メチルダイムロン	Methyl dymron	—	無色針状結晶	—	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> N <sub>2</sub> O	268.4	
	テルブカルブ	Terbucarb	MBPMC	白色結晶	—	C <sub>17</sub> H <sub>27</sub> NO <sub>2</sub>	277.4	

化学名	沸点℃ (mmHg)	融点℃	水溶解度 (mg/L)	用途及び使用方法
2,2-dichlorovinyl dimethyl phosphate	35(0.05)	—	10 000	果樹, 畑地害虫駆除
2-sec-butyl phenyl methyl carbamate	112(0.02)	32.0	610	水田, 畑地害虫駆除
O,O-diethyl O-2-isopropyl-6-methylpyrimidin-4-yl phosphorothioate	83(0.0002)	—	60	水田, 畑地, 果樹, 殺ダニ効果等
O,O-dimethyl O-4-nitro-m-tolyl phosphorothioate	118.0(0.05)	0.3	14	水田, 畑地, 果樹, 衛生害虫駆除等
O,O-diethyl O-5-phenylisoxazol-3-yl phosphorothioate	160.0(0.05)	—	1.9	畑地, 果樹等害虫駆除
ethyl-p-nitrophenyl phenylphosphonothioate	—	36.0	3.1	水田, 畑地, 果樹等防除, 殺ダニ効果
O,O-diethyl O-(2,3-dihydro-3-oxo-2-phenyl pyridazin-6-yl) phosphorothioate	—	54.0	難 溶	水田, 畑地害虫駆除, 白蟻駆除
O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate	—	42.2	2	果樹, 樹木, 芝生の防除, 土壌害虫駆除
dimethyl-2,2,2-trichloro-1-hydroxyethyl phosphonate	100(0.1)	83.0	120 000	水田, 畑地, 果樹害虫駆除
O-ethyl O-2-isopropoxycarbonylphenyl isopropylphosphoramidothioate	120(0.01)	12.0	23.8	芝生, 林業等土壌害虫駆除
O,O-diethyl O-4-nitrophenyl phosphorothioate	157.0(0.6)	6.1	11	水田, 畑地, 果樹等防除, 殺ダニ効果
O,O-dimethyl O-4-nitrophenyl phosphorothioate	154	35~36	55.6	水田, 畑地, 果樹等防除, 殺ダニ効果
S-2-ethylthioethyl O,O-dimethyl phosphorothioate	78(0.2)	—	330	水田, 畑地, 果樹等防除, 殺ダニ効果
1,2,3,4,5,6-hexachloro cyclohexane	—	112.97 体	難 溶	稲稈腐敗防止の秋ウンカ駆除(使用中止)
cis-1,3-dichloropropene	104.3	—	1 000	土壌線虫専用
trans-1,3-dichloropropene	112	—	1 000	土壌線虫専用
1,2-dichloropropane	96.8	-100.5	2 700	土壌線虫専用
tetramethylthiuram disulfide	129(20)	155.0	30	加硫剤, 種子消毒
tetrachloroisophthalonitrile	350.0	250.0	0.6	園芸作物, 野菜, 果樹の防かび剤
S-benzyl diisopropyl phosphorothioate	126(0.04)	22.5~23.8	1 000	稲イモチ病
diisopropyl 1,3-dithiolan-2-ylidenemalonate	167.0	54.0~54.5	48	防かび, 植物成長調節, 稲のイモチ病
bis(quinolin-8-olate)copper	—	>200.0	難 溶	麦雪腐れ病, ウドンコ病, ベト病, 炭そ病等
3-(3,5-dichlorophenyl)-N-isopropyl-2,4-dioximidazolidin-1-yl-carboxamide	—	130.0	13	防かび, 胞子発芽抑制, 菌糸伸張抑制
ethyl-3-trichloromethyl-1,2,4-thiazol-5-ylether	94.5	—	50	野菜, タバコ等の防除
1,4-dichloro-2,5-dimethoxybenzene	268	133~135	8	芝腐れ病, ブラウンパッチに適用
O-2,6-dichloro-p-tolyl O,O-dimethyl phosphorobisphate	—	79.0~79.5	難 溶	野菜, 芝, 木材の防腐, 予防効果がある
α,α,α-trifluoro-3'-isopropoxy-0-toluanilide	—	104~105	9.6	稲稈枯れ病防除, 担糸菌に抗菌力あり
1-(4-chlorobenzyl)-1-cyclopentyl-3-phenylurea	—	132~133	0.4	水稲枯れ病, イグサ等に散布
3'-isopropoxy-2-methylbenzanilide	225	92~93	12.7	芝, 種子, 種イモ等の殺菌
N-(trichloromethylthio)-4-cyclohexene-1,2-dicarboximide	—	178.0	3.3	防かび, 防汚剤
2-chloro-4,6-bis(ethylamino)-1,3,5-triazine	—	225~227	5	水田, 畑地
S-p-chlorobenzyl-diethylthiocarbamate	126~129	3.3	30	莖葉, 土壌処理
3,5-dichloro-N-(1,1-dimethyl-2-propynyl)benzamide	—	155~156	15	夏季雑草, 越冬雑草
p-nitrophenyl 2,4,6-trichlorophenylether	210(6~7)	107	0.25	水田初期除草剤
[(4-aminophenyl)sulfonyl]carbamic acid methylester	—	143~144	5 000	春~秋の展開期に使用
N,N-diethyl-1-(1-naphthoxy)propionamide	—	74.8~75.5	70	芝, 堤とう, 道路の一年生雑草, 広葉雑草駆除
O-ethyl O-6-nitro-m-tolyl-sec-butylphosphoroamidothioate	168(0.1)	—	5.1	水稲, 畑地, 芝, 一年生イネ科雑草駆除
O,O-di-isopropyl S-2-benzenesulfonamidoethylphosphorodithioate	—	34.4	25	芝, 畑地, 一年生広葉雑草発生防止
N-butyl-N-ethyl-α,α,α-trifluoro-2,6-dinitro-p-toluidine	—	65.0~65.5	1.0	芝生, 畑地, 非農耕地等のイネ科雑草防除
N-(1-ethylpropyl)-2,6-dinitro-3,4-xylydine	330	58.0	0.3	芝生, 畑地の一年生雑草, 広葉雑草
(R) or (RS)-2-(4-chloro-2-tolylloxy)propionic acid	—	94.0~95.0	620	一年生雑草防除, 莖葉処理による
1-(α,α-dimethylbenzyl)-3-methyl-3-phenylurea	—	73.0	120	公園等の一年生雑草
2,6-di-tert-butyl-p-tolyl methylcarbamate	—	201	6	芝生, 畑地の一年生雑草, 土壌散布による



#### 60.11.4 環境における農薬の挙動

図60-11-3に示すように、環境中に散布された農薬の一部は、散布域内から水系環境に入る場合がある。水系への移行は、落水、溶出によるものが大半で、水溶性（水溶解度）が高い農薬ほど落水に伴って水系に入りやすく、溶出しやすい。水系に入った農薬は、SS等に吸着し、水との平衡関係を保ちながら分解していくと考えられる。

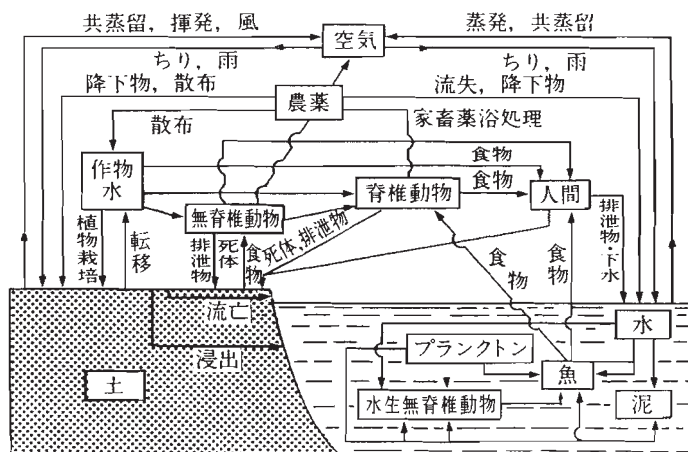


図60-11-3 環境における農薬の循環<sup>5)</sup>

##### 60.11.4.1 水圏における挙動

農薬の水圏中の挙動に関して、農薬の環境中拡散の媒体としての水圏の問題と、水生生物に対する農薬の影響、及び生物による濃縮の問題が注目される。農地等では、直接、河川と連結している水系をもつ場所や、近辺に河川がある場合が多い。農耕地に施用された農薬の相当部分がそのような河川水に入り込むことがある。また、土壤条件によっては、地下水まで浸透する場合もある。その他、地表の土壤が雨によって流されて、河川水に入り、土壤に吸着されている農薬がそれに随伴して河川に移動することもある。一方、海洋に流入した農薬は、海水と共沸して大気中に移動して、それが再び雨水とともに降下する。このように農薬の環境中における拡散は、水系、雨水による部分が大きな位置を占める。

##### 60.11.4.2 土壌中における挙動

土壌中の農薬は、土壤粒子や土壌中の腐植、植物遺体等に吸着される。一般には、土壤表層より約10cmの深さの作土層、特に1～2cmの表層中に留まり、それ以下の地層には浸透していかないが、例えば砂質土壤等のような保持力の小さい土壤や、多雨条件あるいは高い地下水位などの場合、地下浸透が問題となる。除草剤の場合、表層で数mm深度に大部分吸着されて存在するように合成されたものが多く、土壤表層近くにいわれる薬剤処理層を形成する。これによって除草効果を発現するが、水田の場合は、農薬を散布して土壤表層に定着させた直後に農作業等によって土壤を攪乱すると、灌排水の流れとともに農薬が農地以外に流出することがある。

土壌中の農薬に関して、その化学的変化と土壌生物に対する影響の2点が重要である。化学的変化には、光分解や土壌粒子の触媒作用による非生物分解もあるが、土壌微生物による代謝反応が主なものとなっている。土壌残留性は、土壌半減期を目安とするが、現在日本では100日を超えるものは使用されていないし、1年を超える農薬の登録は、認められていない。

#### 60.11.4.3 生物濃縮

いったん水系に流出した農薬は、水生生物の体内に取り込まれ、多くの場合、周囲の水中濃度よりも高い体内濃度で蓄積される。また、この生物濃縮は、食物連鎖によるものがある。DDTやHCH等の有機塩素系殺虫剤は、生物濃縮がきわめて高く、生物に対する慢性毒性を現す原因となっている。河川に流入した農薬類の河川中及び生物中の濃縮の模式図を図60-11-4に示す。

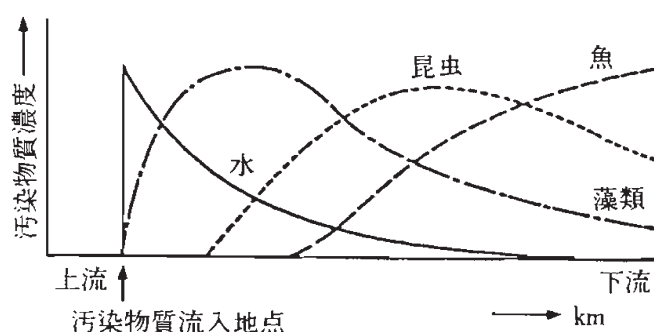


図60-11-4 河川に流入した農薬等の河川中及び生物中の濃度変化の模式図<sup>5)</sup>

#### 60.11.4.4 農薬の基礎的性質と環境挙動の関連性

環境における農薬の挙動に関する野外実験データは少なく、主に実験室レベルでの検討結果が多くみられる。環境中の農薬の挙動等を予想するために用いられる実験系と挙動との関係を表60-11-3に示す。

表60-11-3 農薬の挙動に関する実験系と予想される環境中の挙動

実験系	予想される環境挙動
物理化学的分解試験	消失のしやすさ, 熱, 光に対する分解の過程, 塩素等による分解と生成物の環境影響
生分解試験	一般河川等における分解過程, 半減期
保存性	消失のしやすさ, 水中の半減期
オクタノール/水分配係数	生体移行性, 土壌吸着性, 流出の程度

表60-11-3のオクタノール/水分配係数は、環境中の農薬の挙動を把握するうえでよい指標となる<sup>6)</sup>。この分配系は、農薬等の有機物がどのくらい水に移行するのかを把握するために用いられる。表60-11-4に農薬のオクタノール/水分配係数 (logPow値) の一例を示す。また、図60-11-5に分配系と環境挙動との関係を示す。



表60-11-4 農薬のオクタノール/水分配係数<sup>4, 6, 7)</sup>

農薬名	log <i>P<sub>ow</sub></i> 値	農薬名	log <i>P<sub>ow</sub></i> 値	農薬名	log <i>P<sub>ow</sub></i> 値
イソプロチオラン	3.32	キャプタン	1.51	シマジン	1.6~2.51
チオベンカルブ	3.40	クロルピリホス	4.96	クロルニトロフェン	4.5
イプロベンホス	2.6	オキシシン銅	3.12	クロタロニル	2.3~4.38
トリクロルホン	1.13	プロピザミド	2.3~3.27	パラチオン	2.6~3.81
フェニトロチオン	2.2~3.58	ジクロルボス	1.47	メチルパラチオン	2.74
ダイアジノン	2.9~3.81	イソキサチオン	2.9	メチルジメトン	1.34
フェノブカルブ	1.9	EPN	3.85	チウラム	9.3

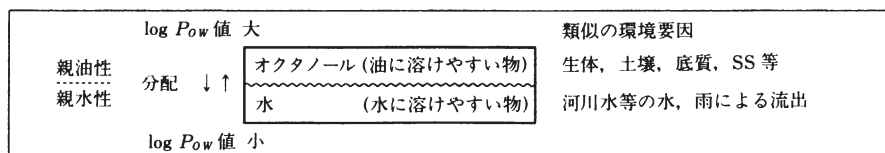


図60-11-5 オクタノール/水分配係数と環境挙動との関係

例えば、土壌と水との分配や底質と水との分配は、単純に脂質と水と間の分配に置き換えることはできないが、土壌や底質中に含まれる有機物含量をベースとして考えることにより、オクタノール/水分配係数を指標として用いることができる。すなわち、分配係数が大きい農薬ほど、土壌残留性が大きいと予想される。

一方、土壌や底質は、主成分として粘土等の岩石成分を含んでおり、イオン交換性（陽イオン、陰イオンと親和性があること）も強い。このため、水溶性物質が強く吸着されることがある。例えばパラコートは、水溶性でオクタノール/水分配係数のきわめて小さい物質であるが、土壌や底質に強く結合するのは、その強い塩基性にある。

ゴルフ場農薬等の地下浸透が問題となっているが、土壌層での吸着は、土壌中の有機物相が第一の役割を果たしていると考えられるので、オクタノール/水分配係数の小さい（親水性が高い）、分子量の小さい物質ほど地下浸透しやすいと想定される。また、地層的には有機物の少ない砂層のような地域で地下浸透しやすいと考えられる。

農薬の環境中での輸送過程として、ガス状または乾性沈着物として気圏を移動することがある。ガス状での移動が、地球規模で問題となっている例としてHCHがある。HCHは、現在日本では使用されていないが、*α*-HCHでは、蒸気圧 $0.54 \times 10^{-2}$  mmHg (20)の値が示されている。この程度の蒸気圧をもつ物質は、気圏を媒体として移行する可能性がある<sup>7)</sup>。

環境中の農薬の濃度を決定しているのは、これらの平衡定数だけでなく、生分解や光分解等による環境からの除去過程も重要である。生分解は、土壌微生物によるものが主なものと考えられるが、殺菌土壌でも進行するケースがあり、これは生分解以外の化学反応によるものとみなされる。

農薬を分析する立場においては、以上のような農薬の挙動を把握しておく必要がある。すなわち、試料採取から測定まで目的とする農薬の保存性、分解性を考慮しなければ、正確な分析値は得られない。

表60-11-5は、水中農薬の分解性、揮発性を示したものである<sup>1、4、8)</sup>。

揮発性損失をみると、殺虫剤のクロルピリホス、HCH類が、殺菌剤では、エトリジアゾール、クロロネブ、キャプタン、イブロジオンが、除草剤では、ベンフルラリン、ペンデイメタリンが大きい。

水中分解性をみると、EPN、ジクロルポス等の有機リン系農薬の消失が速い。塩素分解性は、イソフェンホス、チウラム、ブタミホス、ペンスリドが高く、残留塩素の多い水中では、これらの農薬は検出されないと考えられる。生分解性は、採取試料水に含まれる微生物相によりかなり違ったものになると思われるが、大体塩素分解性が高い農薬は、生分解を受けやすい傾向にある。

表60-11-5 農薬の性状<sup>1, 4, 8)</sup>

区分	農薬名	半減期(日)			塩素分解 <sup>*1</sup>	生分解 <sup>*2</sup>	光分解 <sup>*3</sup>
		水中	土壌中	水中揮発性			
殺	ジクロルボス	2.5	0.2			◎	
	フェノブカルブ	125	50水田	>999		△	
	ダイアジノン	1~40	1~112	34.6	B	◎	△
	フェニトロチオン	4~154	4~200	>999	B	◎	
	イソキサチオン	15~160	15~42	>999	B		
	EPN	2.5~14分	4~6水田	>999			
虫	ピリダフェンチオン			34.66	B	◎	
	クロルピリホス	6~70		3.65	B	◎	●
	トリクロルホン		3~4水田		E		
	イソフェンホス				A		
剤	バラチオン			69.31			
	メチルバラチオン						
	メチルジメトン						
	HCH			4.15(α)			
殺	1,3-ジクロロプロベン						
	チウラム	5.3			A		
	クロロタロニル	3~6			E	◎	
	イプロベンホス	4~50	7~16	69.31		△	
	イソプロチオラン		>150	>999	B	◎	
	オキシ銅	5			B		
菌	イプロジオン			8.66	D	○	
	エトリジアゾール			1.82	E	△	
	クロロネブ			4.62	E	△	
	トルクロホスメチル				B	◎	
剤	フルトラニル			>999	C	●	
	ベンシクロン				E	○	
	メプロニル			69.31	C	○	
	キャプタン			4.08	C		
除	シマジン	11~700	30~230	69.31	E	×	
	チオベンカルブ	4~6		>999		◎	
	プロピザミド			>999	E	×	
	クロルニトロフェン	18	6~19水田	23.1		△	○
草	アシュラム				B		
	ナプロバミド			>999	D	△	
	ブタミホス	1.2~231			A	◎	
	ベンスリド		100~115		A	△	
	ベンフルラリン			0.89	D	○	
	ペンディメタリン	3~39		3.85	E	●	
剤	メコプロップ				E		
	メチルダイムロン				E		
	テルブカルブ			>999	E	△	

\*1 塩素分解 A:処理直後に分解 B:1時間以内に50%分解 C:1時間に50~90%残存したもの D:1日後に90%以下に減少したもの E:1日後でも90%.

\*2 生分解 ◎:100~90%分解 ○:90~70%分解 ●:70~50%分解 △:50~30%分解 ×:10~0%分解.

\*3 光分解 ◎:100~90%分解 ○:90~50%分解 ●:50~30%分解 △:30~10%分解.

#### 60.11.4.5 各農薬の環境中の挙動等

##### (1) 農薬類の水中における分解

A類型指定の河川水に、シマジン0.03mg/L、ペンディメタリン0.25mg/L、ブタミホス0.04 mg/Lの濃度となるように標準品を添加した後に、30℃、光照射（蛍光灯7000ルクス）の条件で分解をみた例がある。

その結果を表60-11-6に示す<sup>9)</sup>。シマジンは、3日以降分解がみられている。ペンディメタリンとブタミホスは、14日以降、完全に分解したものと思われる。

表60-11-6 シマジン、ペンディメタリン、ブタミホスの水中分解<sup>10)</sup>

経過日数(日)	残存率(%)		
	シマジン	ペンディメタリン	ブタミホス
0	100.0	100.0	100.0
1	80.0	95.4	72.7
2	87.1	122.8	58.8
3	102.2	94.4	38.8
6	67.6	27.6	4.9
14	27.8	51.2	0.0
22	27.4	0.0	0.0
34	52.7	0.0	0.0
56	23.5	0.0	0.0
125	16.0	0.0	0.0

同様の検討が農薬28種類について行われている<sup>10)</sup>。各農薬の経時変化を表60-11-7及び図60-11-6に示す。シマジンとプロピザミドは、分解性が低い。テルブカルブからフユノブカルブの9種類は、20日後に50%以上残存している。ペンディメタリンからイブロジオンの7種類は、20日後に少量残存している。チオペンカルブからピリダフェンチオンの8種類は、10日後に大部分が分解している。クロルピリホスとクロロタロニルは、分解が速い。

表60-11-7 自然河川水と滅菌河川水における農薬の分解性<sup>10)</sup>

農薬名	自然水(%) [日]	滅菌水(%) [日]	農薬名	自然水(%) [日]	滅菌水(%) [日]
シマジン	121 [20]	127 [20]	ベンシクロン	30 [20]	97 [20]
プロピザミド	88 [20]	106 [20]	メプロニル	30 [20]	103 [20]
テルブカルブ	70 [20]	97 [20]	ベンフルラリン	19 [20]	95 [20]
シメトリン	74 [20]	107 [20]	イブロジオン	13 [20]	0 [2]
クロルニトロフェン	63 [20]	114 [20]	チオペンカルブ	0 [20]	105 [20]
ベンスリド	62 [20]	71 [20]	ブタミホス	0 [15]	94 [20]
イブロベンホス	61 [20]	76 [20]	フェニトロチオン	0 [15]	86 [20]
エトリジアゾール	57 [20]	94 [20]	トルクロホスメチル	0 [15]	97 [20]
クロロネブ	58 [20]	96 [20]	ダイアジノン	0 [15]	83 [20]
ナプロバミド	52 [20]	114 [20]	ジクロルボス	0 [15]	9 [20]
フェノブカルブ	84 [20]	43 [20]	イソプロチオラン	0 [15]	95 [20]
ペンディメタリン	39 [20]	112 [20]	ピリダフェンチオン	0 [15]	76 [20]
シデュロン	35 [20]	106 [20]	クロルピリホス	0 [10]	77 [20]
フルトラニル	32 [20]	96 [20]	クロロタロニル	0 [10]	69 [20]

(2) 土壌中の残留性

表60-11-8に農薬類の土壌中における残留期間を示す。クロルデン、DDT、HCH等の有機塩素系に属する農薬類の残留期間が長い。

表60-11-8 農薬の土壌中での残留期間<sup>5)</sup>

農薬名	残留期間*	農薬名	残留期間*	農薬名	残留期間*
クロルデン	5年	プロバジン	18カ月	2,4 PA	1カ月
DDT	4年	シマジン	12カ月	ダイアジノン	12週
HCH	3年	アトラジン	10カ月	ダイシストン	4週
ディルドリン	3年	ジフェナミド	8カ月	パラチオン	1週
ヘプタクロルエポキシド	3年	クロル ICP	8カ月	馬拉ソン	1週
アルドリン	2年	トリフルラリン	6カ月	—	—
ヘプタクロル	2年	2,4,5-T	5カ月		

\* 残留期間は、土壌中で75～100%消失するまでの期間。

農業の河川底質への吸着性に関する検討例では、ベンフルラリン、ペンダイメタリン、CNP、EPNは底質への吸着性が特に強く、DDVP、モリネート、BPMC等は吸着されにくいという結果が得られている<sup>11)</sup>。

### 60.11.5 農薬の使用時期と適用病害

#### 60.11.5.1 農地等における使用時期

主な農薬の一般的な使用時期と適用病害等は、図60-11-6及び表60-11-9、60-11-10に示すとおりである。殺虫剤は、害虫の発生の多い夏季に使用が集中している。殺菌剤は、予防効果を期待するため、四季を通して適用される傾向にあり、除草剤は、春期（3～4月）、秋期（9～10月）の散布が多い傾向にある。

図60-11-6 農薬の使用時期<sup>1)</sup>

区分	農薬名 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
殺虫剤	フェニトロチオン				----								
	ピリダフェンチオン						---		---				
	イソキサチオン						----		----		---		
	クロルピリホス						---		----				
	ダイアジノン							---		---		---	
殺菌剤	イソプロチオラン						----		----				
	イプロジオン		---		----						----		
	トルクロホスメチル				----							---	
	ペンシクロン				----								
	オキシシン銅 チウラム		---				----				----		
除草剤	アシュラム				----								
	シマジン				----								
	ブタミホス										----		
	ベンスリド				----						----		
	テルブカルブ				----						----		
	プロピザミド										----		
	ベンフルラリン										----		
	メコプロップ							---			----		
メチルダイムロン				----						----			

表60-11-9 農薬の適用病害等（その1）<sup>11、12)</sup>

区分	農薬名	剤型	適用病害等	作物	使用時期・方法等
殺虫剤	インキサチオン	乳剤	スジキリヨトウ シバツトガ		散布
	クロルピリホス	乳剤	シバツトガ スジキリヨトウ コガネムシ(幼虫) シバオサゾウムシ		散布
	ダイアジノン	乳剤	コガネムシ(幼虫)		散布
		メソミル 粒剤	シバツトガ スジキリヨトウ コガネムシ(幼虫) シバオサゾウムシ		
	トリクロロホン	乳剤	ヨトウムシ		散布
	フェニトロチオン	乳剤	コガネムシ(幼虫) シバツトガ スジキリヨトウ		散布
	ピリダフェンチオン	粒剤	コガネムシ		散布
殺菌剤	インプロチオラン (フルトラニル)	水和剤	リゾクトニアラージバッチ さび病 雪腐小粒菌核病 雪腐小粒菌核病 カーブラリア葉枯病 ヘルミンスポリウム葉枯病	芝 芝 ブルーグラス ベントグラス ベントグラス バミュダグラス ベントグラス	発病初期に散布(8回以内) 根雪前 根雪前
		粒剤	雪腐小粒菌核病 紅色雪腐病	ベントグラス ブルーグラス	
	イブロジオン	水和剤	ブラウンバッチ リゾクトニアラージバッチ	芝 芝	発病前
	オキシ銅		雪腐病		根雪前に2～3回散布
	キャプタン	水和剤	ブラウンバッチ ピシウムバッチ	芝	発病初期から7～10日間隔散布
		チウラム 水和剤	コウライバッチ ブラウンバッチ	コウライ芝 洋芝	10～4月
	クロロタロニル			芝 ベントグラス	散布
	トルクロホスメチル		雪腐小粒菌核病	芝 ベントグラス	根雪前
	フルトラニル	プロピコナ ゾール 水和剤		芝 ベントグラス	
	ベンシクロン	水和剤	リゾクトニアラージバッチ	日本芝	発病初期
エトリジアゾール		春はげ症	芝	芝の休眠期から萌芽期に予防散布	
クロロネブ		雪腐病	芝	根雪前	
メブロニル		さび病	日本芝		

表60-11-10 農薬の適用病害等 (その2) <sup>11, 12)</sup>

区分	農薬名	剤型	適用病害等	作物	使用時期・方法等
除	アシュラム	液剤	1年生雑草	日本芝	秋～春(芝発芽前)及び芝生育期に散布(茎葉兼土壌処理)
	シマジン	水和剤	畑地1年生雑草	芝	春(ヒメシバの発生期) 夏(7～8月) 秋(スズメノカタビラ発生期) 全面土壌散布
	ナプロバミド	水和剤	メヒシバ	芝	雑草発生前に全面土壌散布
	ブタミホス	水和剤	畑地1年生雑草 キク科を除く	コウライシバ	秋期雑草発生前に全面土壌散布
草	ベンスリド		イネ科, カヤツリ グサ科の雑草 1年生雑草	コウライシバ	2月下旬～4月 8月下旬～10月 全面土壌散布
	ペンディメタリン	水和剤	畑地1年生雑草 キク科を除く	コウライシバ	雑草発生前に全面土壌散布
	メコプロップ		1年生及び多年生雑草	日本芝	雑草発生前に土壌散布
剤	メチルダイムロン		イネ科, カヤツリ グサ科の雑草 1年生雑草  冬生畑地雑草	芝	春期の雑草発生前   秋期の雑草発生前

60.11.5.2 ゴルフ場における使用時期

静岡県下のあるゴルフ場における病害発生時期と農薬の散布時期のスケジュールの例を図60-11-7に示す。ゴルフ場では、グリーン、ティーグラウンド、ラフ等により使用されている芝の種類が異なったり、高冷地、温暖な地域によって発生する病害等の時期や種類は異なる。

区分	農薬名 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
殺虫剤	ダイアジノン												
	イソキサチオン												
害虫	スジキリヨトウ												
	タマナガヤ												
	コガネムシ類												
殺菌剤	チウラム												
	メフロニル												
	フルトラニル												
	イプロジオン												
	キャプタン												
	ベノミル												
病害	ペンシクロン												
	イエローバッチ												
	リゾトニアラージバッチ												
	ブラウンバッチ												
	グラーズボット												
雑草	葉枯病												
	アシュラム												
除草剤	ペンディメタリン												
	プロピザミド												
	トリクロピル												
	ビリフチカルブ												
雑草	ヒメクダ												
	アオスゲ												
	スズメノカタビラ												
	ハマスゲ												
	タンポポ												
クローバー													

図60-11-7 ゴルフ場農薬の使用時期と病害等の発生時期日<sup>12)</sup>



### 60.11.6 農薬の毒性等

農薬類の人畜毒性及び魚毒性については、表60-11-11及び表60-11-12に示すようにそれぞれ分類されている<sup>11)</sup>。

表60-11-11 急性毒性（人畜毒性）の分類<sup>11)</sup>

分 類	経口 (LD <sub>50</sub> )	経皮 (LD <sub>50</sub> )	吸入 (LD <sub>50</sub> )
毒 物	kg 当り30 mg 以下	kg 当り100 mg 以下	200 ppm (1時間) 以下
劇 物	30 mg を超えて300 mg 以下	100 mg を超えて1 000 mg 以下	200 ppm を超えて2 000 ppm (1時間) 以下
特 定 毒 物	毒物のうち、その毒性がきわめて強く、当該物質が広く一般に使用されるか、または使用されると考えられるもの等で、危険性のおそれが著しいもの		
普 通 物	毒物劇物取締法によって規定された特定毒物、毒物、劇物以外のもの		

表60-11-12 有効成分の魚毒性分類<sup>11)</sup>

分 類	該 当 基 準
1. A類相当の薬剤	コイに対する48時間後の LC <sub>50</sub> (半数致死濃度)値が10 ppm 以上で、ミジンコ類に対する3時間後の LC <sub>50</sub> 値が0.5 ppm 以上であるもの
2. B類相当の薬剤 a. B類 b. B-s類	コイに対する48時間後の LC <sub>50</sub> 値が0.5~10 ppm の範囲であるか、コイに対する48時間後の LC <sub>50</sub> 値が10 ppm 以上であっても、ミジンコ類に対する LC <sub>50</sub> 値が0.5 ppm 以下であるもの B類に属する薬剤のうち、水田使用および空中散布されるもので、コイに対する48時間後の LC <sub>50</sub> 値が2 ppm 以下のもの、コイ以外で0.5 ppm 以下の値を示す魚類のあることがわかっているもの等
3. C類相当の薬剤	コイに対する48時間後の LC <sub>50</sub> 値が0.5 ppm 以下であるもの
4. D類相当の薬剤	水質汚濁性農薬

表60-11-13に農薬類の毒性に関するデータを示す<sup>4)</sup>。表中のNOAEL (no-Observed adverse effectlevel) は最大無作用量、ADI (acceptable dailyintake) は一日摂取許容量、TWA (time weight average) は時間荷重平均値を表す。TWAは、大気中等の化学物質の濃度が1日のうちに変動する場合、一定の時間ごとに大気中濃度を測定し、その濃度とその持続時間の積を総和し、さらに総時間 で割った値をいう。また、発がん性の分類は、US.EPAの分類に従っている。

表60-11-13 農薬の毒性等

区分	農薬名	急性・慢性毒性(mg/kg)		人畜毒性	魚毒性
		ラット LD <sub>50</sub> 経口	備考		
殺	ジクロルボス	56~80	皮膚刺激	劇	B
	フェノブカルブ	350~660		劇(2%以下普)	Bs
	ダイアジノン	76~100	経口経皮毒性	劇(1%以下普)	B
	フェニトロチオン	250~800		普	B
	イツキサチオン	112		劇(2%以下普)	B
	EPN	8~45	神経毒性	毒(1.5%以下普)	Bs
	ピリダフェンチオン	770~850	中程度の毒性	普	B
虫	クロルピリホス	97	経皮毒性あり	劇	C
	トリクロルホン	150~450	経皮毒性	普	B
剤	イツフェンホス	20~50		劇	B
	パラチオン	3.6~13		特毒	B
	メチルパラチオン	14~24		特毒	A
	メチルジメトン	180		特毒	A
	HCH	88	神経毒性	劇	
	1,3-ジクロロプロベン	250~500	肺水腫, 呼吸困難	普	B
	チウラム	1 200		普	C
殺	クロロタロニル	10 000	皮膚のかぶれ	普	C
	イプロベンホス	490		普	B
	イソプロチオラン	1 200~1 300	経皮毒性	普	B
	オキシシン銅	4 700~10 000		普	C
	イブロジオン	3 500~4 000	低毒性	普	A
	菌	エトリジアゾール	1 100	低毒性	普
クロロネブ		1 100		普	A
剤	トルクロホスメチル	5 000	目に刺激あり	劇	A
	フルトラニル	1 000		普	B
	ベンシクロン	>5 000		普	B
	メプロニル	10 000		普	B
	キャプタン	10 000		普	C
	シマジン	>5 000		普	A
除	チオベンカルブ	1 900		普	B
	プロピザミド	5 600~8 500		普	A
	クロルニトロフェン	11 000	接触性皮膚炎	普	A
	アシュラム	2 000		普	A
	ナプロバミド	4 700~5 000	低毒性	普	A
草	ブタミホス	400~1 100	中程度の毒性	普	B
	ベンスリド	270~770	中程度の毒性	普	B
	ベンフルラリン	>10 000		普	B
剤	ペンディメタリン	1 100~1 300	普通物	普	B
	メコブロップ	650	中程度の毒性	普	B
	メチルタイムロン	3 900~5 800		普	A
	テルブカルブ	>34 000		普	A

区分	農薬名	健康への影響						
		NOAEL (mg/kg)	ADI (mg/kg/日)	TWA (mg/m <sup>3</sup> )	変異原性	発がん性	催奇形性	
殺	ジクロルボス	0.08	0.004	0.90	(+)	B2		
	フェノブカルブ		0.006	5.0	(-)			
	ダイアジノン		0.002	0.1	(-)	E		
	フェニトロチオン		0.005		(+)			
	イソキサチオン		0.003		(-)			
	EPN		0.0023				×	
	ピリダフェンチオン				(-)			
虫	クロルピリホス		0.0015	0.2	(-)		○	
	トリクロルホン				(+)			
剤	イソフェンホス	1	0.001	5.0	(-)			
	パラチオン		0.012		(-)			
	メチルパラチオン					D		
	メチルジメトン				(+)			
	HCH							
	1,3-ジクロロプロベン				(+)	B2	×	
殺	チウラム		0.023	0.1	(+)		○	
	クロロタロニル		0.015		(-)	B2		
	イプロベンホス		0.003		(-)			
	イソプロチオラン		0.016		(-)			
	オキシシン銅				(+)			
	イプロジオン	1000	0.3					
	菌	エトリジアゾール				(+)		
クロロネブ		2500			(-)			
トルクロホスメチル								
剤	フルトラニル			2.5				
	ベンシクロン	50~500						
	メプロニル							
	キャプタン				(+)	B2		
除	シマジン		0.0013		(+)	C		
	チオベンカルブ							
	プロピザミド	300	0.003		(-)			
	クロルニトロフェン				(-)	胆嚢がん		
	アシュラム		0.08		(-)			
	ナプロバミド	30			(-)			
	草	ブタミホス						
ベンスリド		250			(-)			
ベンフルラリン		1000		2.5	(-)			
剤		ベンディメタリン	100					
		メコプロップ				(-)		○
		メチルダイムロン				(-)		
	テルブカルブ							

### 60.11.7 SSからの回収

水環境で種々のプロセスから発生する浮遊物質（SS）は、汚染物質を輸送する重要な媒介として認識されている。土粒子と会合して水中に入り込んでいる農薬は、ろ液の数万倍のレベルで土粒子に残留しているという例がある。また、SSは、土粒子以外に有機性のものがあり、オクタノール/水分係数の大きな農薬は、有機性のSSに吸着していると考えられる。したがって、水中に入

り込んだ農薬の影響をしらべるには、SSに吸着したものを含めて測定する必要がある。この目的で、SSからの回収方法を検討している例を表60-11-14に示す<sup>13)</sup>。

表60-11-14 SSからの抽出例<sup>13)</sup>

試料	抽出方法	抽出操作	分析対象物質
河川水	溶媒抽出	GFPを共栓三角フラスコに入れ、アセトン、次いでヘキサンで抽出。水でアセトンを除去後、ヘキサンを分析に供する	有機塩素系農薬、PCB
河川水	溶媒抽出	ガラスウールを110℃、3時間乾燥。100 mLのヘキサン/アセトン(41:59)で抽出する	有機塩素系農薬、PCB
海水	還流	50 mLの丸底フラスコに入れて、20 mLのアセトンで1時間還流する。次いで20 mLのヘキサンで2時間還流する	HCH, HCB, ミレックス, クロルデン類, エンドスルファン, フェニトロチオン, メチルパラチオン, マラチオン
河川水	超音波	遠心脱水後、窒素気流で乾燥させる。サンプルを乳ばちですりつぶし、遠心管に入れアセトンと10% KOHを4滴加え、超音波破碎機で抽出。有機溶媒を分離する(200 mL×2)。次いでヘキサンを加え、同様に操作して抽出する	シマジン, アトラジン
都市流出水	溶媒抽出	ジクロロメタン/メタノール(2:1)抽出を行い、エバポレーターで蒸発・乾固後、ヘキサンに溶解する	炭化水素類
海水	溶媒抽出	凍結保存したフィルター上の湿潤したSSをアセトン/ヘキサン(50:0, 30:30, 30:30)で3回抽出する。アセトンを水洗除去してから、脱水、エバポレーターで濃縮する	クロロベンゼン
湖水	ソックスレー抽出	50 mLのアセトンとともにガラスジャーに保存した試料を150 mLのアセトン/ヘキサン(1:1)で48時間ソックスレー抽出する。100 mLの水で3回洗浄、KD濃縮	PCB, DDE, HCB
淡水域	溶媒抽出	凍結乾燥後、ジクロロメタン抽出する	有機塩素系農薬、PCB

### 60.11.8 標準溶液の安定性

農薬標準品の安定性について、表60-11-15の条件で検討した例では、直射日光を避ければ、保存性は良い結果となっている<sup>14)</sup>。直射日光下で分解がみられる農薬は、有機リン系のジスルホトン、フェンチオン、バミドナオン、フェンスルホチオン、ジメトエート、有機含窒素系のメトリブジン、ジユトフエンカルブ、アルジカルブ、ピリミカーブ、エチオフエンカルブ、キノメチオネート、ピレスロイド系のピレトリンとなっている。

これらの農薬の化学構造は、有機リン系では、ホスホロジチオネートとホスホロチオレート系、有機含窒素系では、ほとんどがカーバメート系である。したがって、これらの系に属する農薬標準品は、直射日光を避けて保存する。

表60-11-15 安定性実験の条件<sup>14)</sup>

対 象 農 薬	有機リン系農薬(P) 20種類	ジスルホトン, フェンチオン, キナルホス, マラチオン, フェニトロチオン, パラチオン, メチルパラチオン, バミドチオン, フェンスルホチオン, ホサロン, ジクロルボス, エトプロホス, エトリムホス, クロルピリホス, ジメトエート, フェントエート, $\alpha$ -CVP, $\beta$ -CVP, EDDP, EPN
	有機含窒素系農薬(N) 19種類	クロルプロファム, エスプロカルブ, メトリブジン, ジエトフェンカルブ, ベンディメタリン, プレチクラクロール, フルトラニル, アミトラズ, メプロニル, ビテルタノール, アルジカルブ, オキサミル, アルジカルブスルホン, ベンダイオカルブ, ビリミカーブ, エチオフェンカルブ, キノメチオネート, クロフェンテジン, メフェナセツト
	ピレスロイド系農薬(PY) 7種類	ピレトリン, ベルメトリン, フルシトリネート, デルタメトリン, シハロトリン, シベルメトリン, トラロメトリン
使用 溶媒	アセトン, 酢酸エチル, ヘキサン(すべて残留農薬分析用)	
調製 濃度	P,N系: 10, 1, 0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ PY系: 100, 10, 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$	
保存 条件	A: 室温・遮光, B: 室温・非遮光, C: 4℃・遮光, D: 室温・直射日光 期 間 P系農薬: 0, 7, 14, 21日目 N系, PY系: 0, 3, 7, 14, 21日目	

保存溶媒は、ヘキサンが最も安定で、保存濃度は、高濃度ほど安定な傾向になっている。低濃度のものは、1週間以上の使用は避けるのが望ましいと結論している。

#### 60.11.9 固相抽出-GC-MS法による添加回収実験

2種類の河川水に農薬32項目の標準液を添加して行った一斉分析による添加回収試験の結果を 表60-11-16に示す<sup>15)</sup>。固相カラムには、カートリッジ型でODS系のENVI-18 (500mg/6 mL) を使用し、固相カラムからの農薬の溶出にはジクロロメタンを用いた。試料の通水は、吸引により行い、固相カラムの脱水には、遠心分離 (3000rpm、10分間) を用いた。試料の妨害物質を除くためフロリジルによるクリーンアップ操作を行った。

#### 分析条件

- ① ガスクロマトグラフ: HP5890シリーズII (ヒューレットパッカー社製)  
カラム: HP-5 Trace Analysis (30m × 0.25mmID, 0.1  $\mu\text{m}$ )  
キャリアーガス: He (8 psi)  
注入方法: スプリットレス (1.5分後パージ)  
注入口温度: 250℃  
カラム温度: 600c (1.5min) → 200c/min → 1600c (0 min) → 100c/min → 2400c (4.0min)

→ 200c/min→3100c (2.0min)

注入量：1 μL

② 質量分析計：オートマス50（日本電子製）イオン化方式：電子衝撃イオン化法（EI法）電子加速電圧：70V イオン化電流：258 μA

インターフェイス温度：2500c

スキャンレンジ：50～350amu

スキャンスピード：300m/s

表60-11-16 固相抽出GC-MS法による添加回収試験結果<sup>15)</sup> (n = 5)

試料	都市河川水(SS 15mg/L, COD 13mg/L)				濁水時河川水(SS 14mg/L, COD 3.2mg/L)			
	1 μg/L		10 μg/L		1 μg/L		10 μg/L	
	回収率 (%)	CV (%)	回収率 (%)	CV (%)	回収率 (%)	CV (%)	回収率 (%)	CV (%)
エトリジアゾール	84.7	5.1	64.6	9.5	62.4	16.0	61.0	5.8
クロロネブ	97.9	6.5	82.9	9.1	105.0	15.2	76.4	5.4
フェノブカルブ	116.0	5.3	90.4	4.0	104.0	11.0	91.0	4.4
ベンフルラリン	90.1	4.7	75.5	8.1	79.4	8.6	76.3	2.5
ベンシクロン	99.4	6.6	89.1	2.8	105.0	7.9	91.0	4.4
シマジン	110.0	6.1	75.5	8.1	79.4	8.6	76.3	2.5
プロピザミド	111.0	6.9	94.7	3.3	98.3	6.7	92.7	3.3
ダイアジノン	105.0	5.8	85.2	5.2	90.8	11.9	88.6	5.0
クロロタロニル	86.1	5.9	75.3	3.3	85.4	8.7	85.4	4.4
イプロベンホス	121.0	8.2	93.4	3.5	94.1	8.0	93.1	4.2
テルブカルブ	111.0	6.6	94.7	4.5	95.9	10.4	91.8	3.8
トルクロホスメチル	101.0	4.9	86.7	5.3	90.2	8.8	88.5	4.0
フェニトロチオン	117.0	6.3	84.6	2.8	94.2	6.6	89.7	4.2
チオベンカルブ	106.0	6.2	91.4	2.4	95.4	7.9	92.6	3.8
クロルピリホス	106.0	4.7	81.1	6.3	86.6	9.2	86.4	3.3
ベンディメタリン	104.0	5.1	82.2	4.2	88.4	7.9	84.1	2.9
メチルダイムロン	108.0	7.1	83.5	5.5	88.7	9.6	90.4	4.2
イソフェンホス	116.0	8.0	87.5	4.7	85.6	9.5	89.5	4.1
キャプタン	118.0	10.3	72.5	5.3	80.9	9.3	75.4	8.8
ブタミホス	113.0	9.4	89.4	1.5	86.8	9.5	85.8	4.2
ナプロバミド	107.0	8.1	93.8	4.0	94.0	9.1	88.6	3.3
フルトラニル	118.0	9.0	86.6	4.5	93.3	9.8	89.7	3.9
イソプロチオラン	109.0	7.5	86.0	5.1	89.2	11.0	87.5	4.6
イソキサチオン	118.0	8.7	78.6	5.1	86.4	14.4	82.6	9.9
メプロニル	136.0	8.8	87.4	5.1	93.5	10.3	88.0	3.6

試料	都市河川水(SS 15mg/L, COD 13mg/L)				濁水時河川水(SS 14mg/L, COD 3.2mg/L)			
	1 $\mu\text{g/L}$		10 $\mu\text{g/L}$		1 $\mu\text{g/L}$		10 $\mu\text{g/L}$	
項目	回収率 (%)	CV (%)	回収率 (%)	CV (%)	回収率 (%)	CV (%)	回収率 (%)	CV (%)
クロルニトロフェン	116.0	4.6	78.6	5.0	92.8	5.8	83.3	4.0
ピリダフェンチオン	120.0	9.0	73.9	4.0	78.6	7.1	72.7	4.2
イプロジオン	123.0	6.1	82.8	4.2	89.4	6.9	83.6	3.3
EPN	117.0	5.5	80.3	3.0	91.0	6.0	82.7	3.4
ベンスリド*	134.0	13.7	76.6	5.8	100.0	6.2	89.4	5.1
ジクロロボス	—	—	—	—	—	—	—	—
トリクロロホン	—	—	—	—	—	—	—	—

\* ベンスリドのみ50  $\mu\text{g/L}$ .

## 参考文献

- 1) 日本水道協会：上水試験方法 解説編，2001.
- 2) 井上嘉高：水道と農薬，水道協会雑誌，63（4），1，1994.
- 3) JIS K 0128 用水・排水中の農薬試験方法，1994.
- 4) a) 平成3年度環境庁委託業務結果報告書，水質環境基準検討調査，1991.  
b) 平成4年度環境庁委託業務結果報告書，水質環境基準検討調査，1992.
- 5) 河村武，岩城英夫：環境科学 I - 自然科学系 - ，p.186-205，朝倉書店.
- 6) 奥村為男：環境における農薬分析，環境分析協議会，資料No.107,1992.
- 7) 森田昌敏・寺沢潤一：農薬の物性，水質汚濁研究，14（2），7，1991.
- 8) 奥村為男：農薬の揮発速度について，環境化学，1（1），38,1991.
- 9) 北野隆一・山田豊・長澤武夫・森本温威：京都府衛公研年報，No.36,151,1991.
- 10) 佐来栄治・早川修二・荒木恵一：三重県環境科学センター研究報告，No.13,65,1993.
- 11) 香月繁孝・数賀山靖・後藤宗玄：農薬便覧一第8版-，農文協，1995.
- 12) 化学工業日報社：ゴルフ場管理と農薬の手引き，1992.
- 13) 環境庁水質保全局水質規制課監修：新しい水質環境基準とその分析法，環境化学研究会編，1993.
- 14) 平原嘉親・成田美加子・岡本浩一郎・三好智子・宮田昌弘・鯉口智・長谷川眞住・鎌倉和政・山名孝善・外海泰秀：農薬標準溶液の経時的安定性について，衛生化学，40（4），393,1994.
- 15) 国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所：二河川水質試験方法の比較試験業務報告書，1996.