

愛媛県内のゴルフ場で使用された農薬調査

仲井哲也 岡 裕三 宇都宮一枝 和氣 誠

Investigation of agricultural chemicals discharged from golf courses in Ehime prefecture

Tetsuya NAKAI, Yuuzou OKA, Kazue UTSUNOMIYA, Makoto WAKE

The agricultural chemicals discharged from golf courses in Ehime prefecture to the waters for public use were investigated from 1991 to 2000. Consequently, the concentrations of any agricultural chemicals used on golf courses in Ehime prefecture were never over the indicator values of Ministry of the Environment. However, 24 of 35 agricultural chemicals used on golf courses were detected in the drainage over the quantity minimum values, and the concentration of Fenitrothion, Isoprothiolone, Propyzamide and Mecoprop were highest of them. Concerning the detection rate for ten years, Flutoluanil for use of sterilizer, Simazine and Terbutcarb for use of herbicide were comparatively high. Total amount of use from 1991 to 2000 was 58970kg, but the amount of use a year was decreasing yearly at all golf courses in Ehime prefecture. And those of herbicide was remarkably decreased, compared with sterilizer and pesticide. Concerning the relationship between the amount of use and the detection rate in Flutoluanil, Simazine and Terbutcarb, the tendency was clearly recognized that the more use of Flutoluanil and Terbutcarb, the higher detection rate. While Simazine and Terbutcarb had not been used since 1995, both of them were detected in subsequent investigation. And, significant relationship was recognized between the amount of use before 1995 and the detection rate of later investigation. Considering the relation between the amount of use and the detection rate, and the relation between the amount of past use and the detection rate of later investigation for every agricultural chemicals, the residual efficacy of agricultural chemicals was strongly suggested.

Keywords: agricultural chemicals, golf course, sterilizer, herbicide, pesticide, residual efficacy

はじめに

ゴルフ場で使用された農薬による公共用水域や地下水の汚染防止を図るため、平成 2 年、環境庁（現環境省）では、「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」（以下「指導指針」という）を制定した。これを受け、愛媛県では平成元年に策定した「愛媛県ゴルフ場農薬適正使用指導要綱」（以下「要綱」という）に定めるゴルフ場に対して、指導指針に基づく農薬の適正使用を指導してきており、その適正使用の確認の観点から、県下の主要なゴルフ場の排水水について使用された農薬を平成 3 年から分析している。

平成 3 年から 5 年までの結果については松原ら¹⁾が取りまとめ、除草剤の検出頻度が高く中でもシマジンが最も多く検出されることを報告している。今回、指針制定以後の平成 3 年から平成 12 年までの 10 年間の調査結果

を取りまとめ、農薬の検出状況などから今後のゴルフ場に対する農薬の適正使用の基礎資料を得るとともに、農薬使用量と検出頻度との関係などについて考察し、若干の知見を得たので報告する。

調査方法

1. 試料の採取

排水水の農薬調査は、愛媛県内の規模が 9 ホール以上のゴルフ場 30 施設（12 年 12 月末現在）を対象とし、施設毎に原則として、コース上の降雨を広範囲に集水していると考えられる排水溝末端の公共用水域への出口（排水口）で採水し分析用試料とした。

なお採水は、農薬の散布時期にあたる 5 月から 11 月の間に年 2 回、降雨量が比較的安定している時期に行った。

2. 分析方法

指導指針により、公共用水域に排出されても環境に影

響を与えない値として「指針値」が定められている 35 農薬（表 1 参照）について分析を行った。農薬の分析は、指針に定める多成分同時分析法（平成 9 年改正²⁾）に準じ、図 1 に示した方法で行った。なお、農薬の抽出方法については、平成 9 年までは n-ヘキサン等による液-液抽出法を用い、平成 10 年以降は固相抽出方法を採用した。

3. 農薬使用量

要綱に基づき各ゴルフ場から提出される農薬使用状況

表 1 ゴルフ場で使用された農薬の検出状況

		(mg/l)	
農薬名 ¹⁾		検出濃度範囲 ²⁾	指針値
殺虫剤	アセフェート	ND~0.002 (0.001) ³⁾	0.8
	イソキサチオン	ND (0.0008)	0.08
	イソフェンホス	ND (0.0001)	0.01
	クロルピリオス	ND (0.0004)	0.04
	ダイアジノン	ND~0.022 (0.0005)	0.05
	トリクロロホン (DEP)	ND~0.001 (0.001)	0.3
	ピリダフェンチオン	ND~0.002 (0.0002)	0.02
	フェニトロチオン (MEP)	ND~0.029 (0.0003)	0.03
殺菌剤	イソプロチオラン	ND~0.034 (0.001)	0.4
	イプロジオン	ND~0.001 (0.001)	3
	エトリアゾール(エクロキゾール)	ND (0.0004)	0.04
	オキシニル	ND (0.001)	0.4
	キャプタン	ND (0.001)	3
	クロタロニル (TPN)	ND (0.001)	0.4
	クロロネブ	ND (0.001)	0.5
	チウラム(チラム)	ND~0.0016 (0.0006)	0.06
	トルクロホスメチル	ND~0.029 (0.001)	0.8
	フルトラニル	ND~0.023 (0.001)	2
	ベンシクロン	ND~0.011 (0.0001)	0.4
	メタラキシル	ND~0.005 (0.001)	0.5
	除草剤	メブロンル	ND~0.002 (0.001)
アシュラム		ND~0.014 (0.001)	2
ジチオビル		ND~0.0027 (0.0008)	0.08
シマジン (CAT)		ND~0.012 (0.0003)	0.03
テルブカルブ (MBPMC)		ND~0.053 (0.001)	0.2
トリクロピル		ND~0.0016 (0.0006)	0.06
ナプロバミド		ND~0.004 (0.001)	0.3
ピリプチカルブ		ND (0.001)	0.2
ブタミホス		ND (0.0004)	0.04
プロピザミド		ND~0.075 (0.0008)	0.08
ペンスリド (SAP)		ND~0.006 (0.001)	1
ベンディメタリン		ND~0.003 (0.001)	0.5
ベンフルラリン (ベスロジン)		ND~0.001 (0.0001)	0.8
メコプロップ (MCP)		ND~0.041 (0.0005)	0.05
メチルダイムロン	ND (0.001)	0.3	

注) 1) 指針値が定められている農薬は、指針制定当初(平成2年)の21農薬から二度の改正を経て12年12月末現在35農薬である。
2) 県下30施設の10年間、年2回の結果である。
3) ()内は定量下限値

報告書を元に、平成 3 年以降使用実績のある 35 農薬について使用量（原体量）を算出した。

結 果

1. 農薬の検出状況

表 1 には、10 年間の調査結果を農薬毎の検出濃度範囲として示した。これによると、平成 3 年以降ゴルフ場で使用された農薬のいずれも指針値を超えて検出されたことはない。全国的にみた場合、指導指針策定当時は 10 数件あった指針値超過事例も最近では 10 万超の総検体のうち年間数件までに減少³⁾しており、各自治体の指導の成果と考えられる。なお、指針値を超えないまでも定量下限値以上検出した農薬は 35 農薬中 24 農薬であり、その内訳は、殺虫剤が 8 農薬中アセフェートなど 5 農薬、殺菌剤が 13 農薬中イソプロチオランなど 8 農薬、除草剤が 14 農薬中アシュラムなど 11 農薬であり、除草剤の検出割合が殺虫剤、殺菌剤と比べて高く、この傾向は、松原ら¹⁾の報告以後も変わっていない。また、検出濃度ではフェニトロチオン、イソプロチオラン、プロピザミド、メコプロップがそれぞれ 0.029, 0.034, 0.075, 0.04mg/l と指針値は超えないものの比較的高濃度に検出され、アセフェートなど 20 農薬は検出されても指針値をかなり下回っており、また、これら以外の 11 農薬については過去 10 年間年 2 回の調査のいずれも検出されなかったことがない。

2. 農薬の検出頻度

前述のように、過去10年間に35農薬中24農薬が、指針値を超えないまでも定量下限値以上検出された。そこでこれらの24農薬について、10年間の総検体に対する検出された割合を検出頻度として図 2 に示した。図中アセフェートを含む4農薬は、指導指針策定以後追加された農薬であるため、総検体数が他農薬より少なくなっている。これによると、検出頻度は、殺菌剤のフルトラニル、除草剤のシマジン及びテルブカルブが他の農薬と比べて

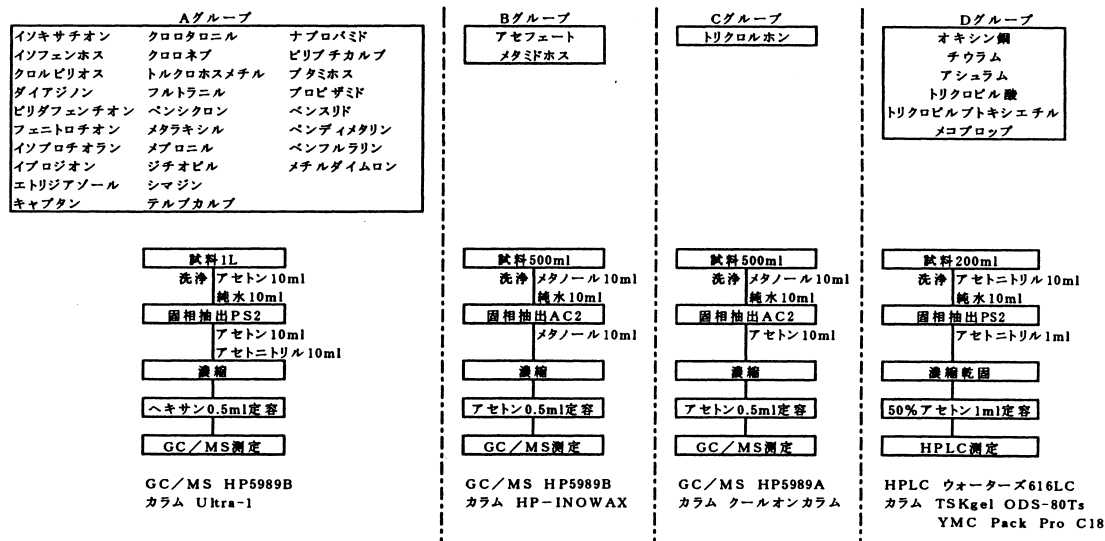


図 1 ゴルフ場農薬分析方法フロー

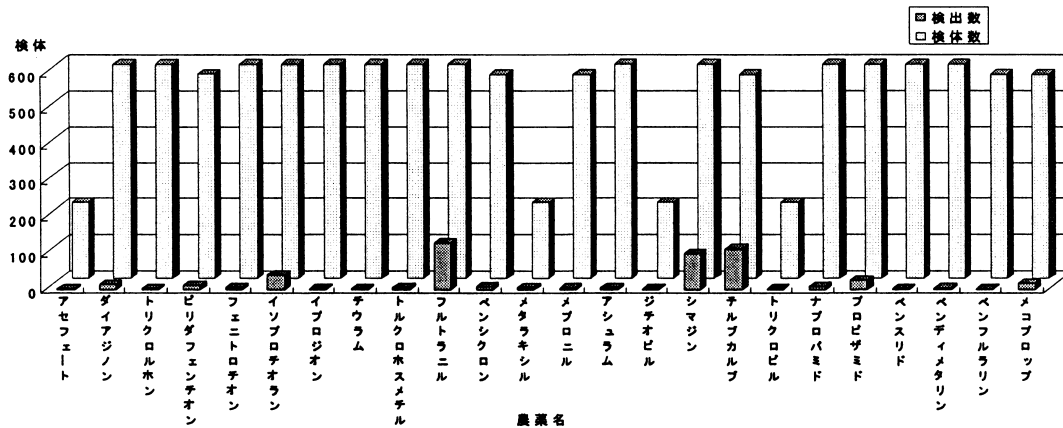


図2 農薬検出状況

検出頻度が比較的高く、それぞれ21.6% (129 / 596), 16.8% (100 / 596), 19.9% (113 / 567)である。次に頻度が高いのは、ダイアジノン、イソプロチオラン、メタラキシル、プロピザミド及びメコプロップで2.4%～6.9% (41 / 596～5 / 210)であった。これら以外の16農薬については、検出頻度は低く1.8%以下であった。

比較的検出頻度が高かったフルトラニル、シマジン、テルブカルブのうち、シマジンは平成7年に農薬取締法で水質汚濁性農薬の指定を受け使用が制限されたため、平成7年以降使用実績がない。また、テルブカルブは平成8年に農薬登録が失効したが、前年の平成7年以降使用されていない。そこでこれらの2農薬が、使用中止の後どのような検出状況にあるかも含め、3農薬の検出頻度に年毎の違いがあるかをみた。結果を図3に示した。これによると、全体として平成10年以降は検出頻度が

低下しているものの、シマジンの平成10年を除き3農薬とも毎年検出され、特に検出頻度の高い傾向の農薬は見られない。また、シマジン、テルブカルブのいずれも使用中止以後も検出され、現在のところ明らかな減少傾向はみられない。

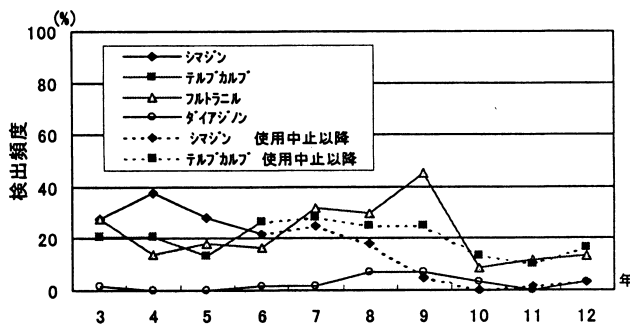


図3 主要農薬の検出頻度の推移

表2 平成3年から12年までのゴルフ場使用農薬使用量*

(単位: kg)

農薬名	平成3年	平成4年	平成5年	平成6年	平成7年	平成8年	平成9年	平成10年	平成11年	平成12年	合計
殺虫剤											
アセフェート	106.1	112.6	84.7	67.5	57.7	97.0	182.0	250.0	149.7	142.7	1250.0
イソキサントシン		0.3	2.3	13.0	19.5	17.5	14.0	27.0	30.0	22.0	145.6
イソフェンホス	111.2		5.5	4.5	0.6	0.7	0.7	4.5	2.0		129.7
クロルピリホス											0.0
ダイアジノン	339.5	384.0	293.0	735.8	664.4	804.1	539.3	588.8	387.5	505.3	5241.7
トリクロルホン	40.0	21.5	7.0	26.0	78.0	47.5	29.0	62.0	77.0	73.5	461.5
ビリダフェンチオン		70.0	137.0	468.9	223.1	192.1	159.6	19.7	14.4	9.1	1293.9
フェニトロチオン	684.0	581.5	976.0	1332.6	1055.5	670.4	668.2	553.7	751.2	444.9	7718.0
小計	1280.7	1169.9	1505.4	2648.2	2098.7	1829.1	1592.7	1505.6	1411.7	1197.4	16239.4
殺菌剤											
イソプロチオラン	288.3	260.9	342.4	408.2	414.0	365.6	375.4	254.5	288.2	173.0	3170.5
イプロジオン	174.2	148.4	148.3	161.4	152.2	118.0	204.8	250.8	194.3	96.7	1649.1
エトリジアゾール				16.5					2.8		19.3
オキシシン銅	41.2	80.4	59.6								181.2
キャプタン	358.4	277.3	11.7								647.4
クロタロニール	266.8	214.3	13.3	3.2							497.6
クロロネブ	7.2	25.4	43.6	70.2	120.9	44.9	86.5	145.6	102.7	130.0	777.0
チウラム	31.6	106.1									137.7
トリクロホスメチル	413.5	368.0	513.3	487.5	543.0	413.3	366.0	402.0	273.8	273.0	4053.4
フルトラニル	464.6	469.6	663.3	637.0	676.3	639.5	598.7	357.7	527.1	341.8	5375.6
ベンシクロン	17.5	109.3	67.5	7.3	46.2	145.5	156.5	164.0	213.2	48.1	975.1
メタラキシル	15.3	23.5	32.8	26.5	33.5	31.4	29.0	22.7	22.2	16.5	253.4
メブロニル	57.8	50.0	52.5	87.5	30.5	52.1	61.0	89.2	87.6	114.6	682.8
小計	2136.3	2133.0	1948.1	1905.0	2016.7	1810.1	1877.9	1686.5	1711.8	1193.7	18419.1
除草剤											
アシユラム	352.6	427.4	70.3	16.7	114.3	147.2	169.6	224.8	120.0	85.6	1728.5
ジチオピル	113.9	170.9	145.6	134.4	219.2	239.0	139.5	144.0	147.8	190.7	1645.0
シマジン	663.7	521.4	503.5	290.6	1.6						1980.8
テルブカルブ	998.0	489.2	248.8	29.4							1765.4
トリクロピル	38.7	8.0	137.3	36.1	31.2	30.8	25.5	29.9	15.8	5.7	359.0
ナプロバミド	216.0	348.2	392.6	607.2	474.4	591.5	419.0	337.5	248.5	116.5	3751.4
ピリブチカルブ	63.5	116.1	71.4	215.3	183.3	163.6	78.5	75.2	68.2	67.7	1102.8
ブタミホス											0.0
プロピザミド	304.5	379.0	606.0	545.0	525.5	629.5	685.0	415.5	375.5	265.5	4731.0
ベンスリド	94.5	52.9	30.0	85.0	72.1	123.0	36.5	40.0	50.0	584.0	
ベンディメタリン	212.0	185.0	122.3	158.7	5.4	253.9	201.5	173.3	338.2	359.1	2009.4
ベンフルラリン	160.0	574.2	316.2	614.9	389.8	447.2	204.3	105.9	208.0	197.0	3217.5
メコプロップ	54.0	97.0	90.1	511.8	314.6	100.8	110.8	44.7	24.4	39.4	1387.6
メチルダィムロン	47.5										47.5
小計	3318.9	3369.2	2704.1	3189.9	2344.3	2675.6	2156.8	1587.3	1586.3	1377.2	24309.6
合計	6736.0	6672.3	6157.8	7743.4	6459.7	6315.0	5627.4	4779.5	4710.0	3768.4	58969.3

*農薬使用量は原体として換算した。

3. 農薬使用量

表2には県内の全ゴルフ場で使用された35農薬の10年間にわたる使用状況を示した。

また、図4-1にはこれをもとに全農薬及び剤別の年間使用量の推移を、図4-2には10年間の使用量が4000kg以上あった農薬の年間使用量の推移を示した。

これによると、10年間の全農薬58970kgで、その内訳は殺虫剤16240kg、殺菌剤18420kg、除草剤25600kgであった。使用量が最も多い農薬はフェニトロチオンの7720kgで、以下フルトラニル、ダイアジノン、プロピザミド、トリクロホスメチルの順で、それぞれ5380、5240、4730、4050kgであった。なお、クロルピリホス、ブタミホスについては、全ゴルフ場で使用実績はない。

また、農薬使用量の推移については、平成6年の殺虫剤フェニトロチオンの使用量増加にみられるように病害虫の発生状況に応じた使用量の変動があるが、全体的には減少傾向にあり、平成12年の全農薬使用量は、最も使用量の多かった平成6年と較べて半減している。

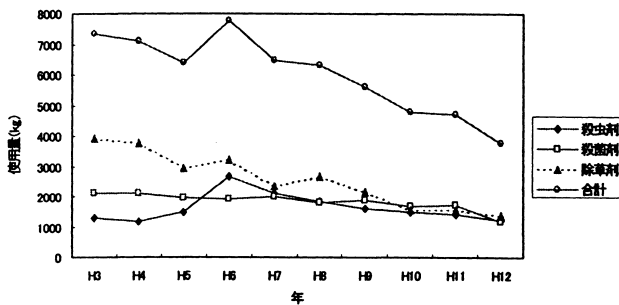


図4-1 平成3年から12年までのゴルフ場農薬使用量

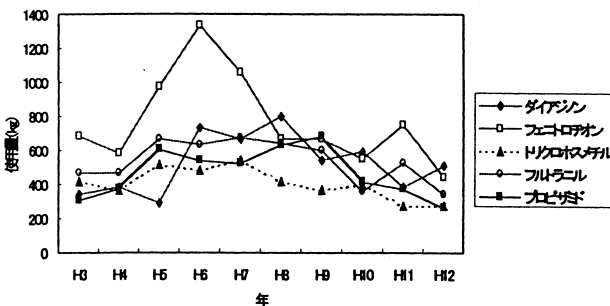


図4-2 平成3年から12年までのゴルフ場農薬使用量(成分別)

考 察

平成3年から平成12年まで、県下のゴルフ場からの排水の農薬を調査した結果、使用実績のある35農薬中24農薬が定量下限値を超えて検出され、フルトラニル、シマジン、テルブカルブは検出頻度が比較的高く、また年により検出頻度に差はあるが、ほぼ毎年、この3農薬が検出されていることが明らかになった。農薬の検出要因としては、農薬が持つ理化学性による残留性が最も大きなものと考えられるが、単位面積あたりの一回の

使用量すなわち植物の吸収速度や環境中での分解速度を超えて使用されていないかという点とともに使用量の絶対量も考えられる。農薬の使用状況については、各ゴルフ場から農薬の使用量の詳細な報告があり、使用量の全量把握が可能である。また、単位面積あたりの一回の使用量すなわち適正使用については、いずれのゴルフ場も適正量を使用したことが確認されている。そこで、今回は使用量の絶対量と検出頻度との関係を考察した。

図5～9には、各ゴルフ場におけるフルトラニル、シマジンおよびテルブカルブの過去の使用量と検出頻度との関係を示した。図中では、過去に使用実績のないゴルフ場は除くとともにシマジン、テルブカルブなど途中から使用が中止された農薬については検出頻度を使用中止の前後に分けて関係をみている。

フルトラニルについては、10年間の使用量と検出頻度との間に99%の有意水準で相関関係が認められ(図5)、使用量の多いゴルフ場ほど検出頻度も高い。これは、フルトラニルが水への移行性が強いすなわち流出しやすいことによる⁴⁾と考えられる。

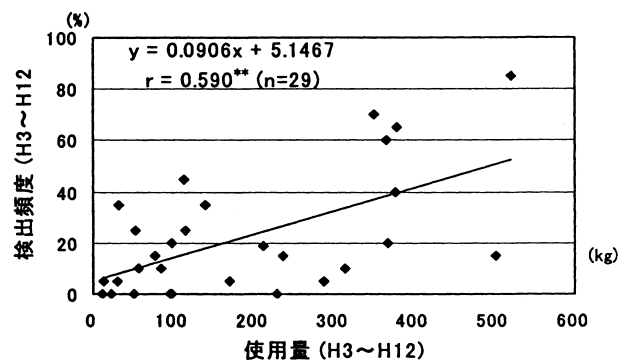


図5 農薬の使用量と検出頻度との関係(フルトラニル)

シマジンについては、平成3年から平成6年までの使用量の多いゴルフ場ほど検出頻度が高い傾向が見られる(図6、中段)が、有意な相関関係はみられず、10年間の検出頻度との間にも関係がみられない(図6、下段)。これは、それぞれのゴルフ場での散布実態、土壌条件、排水溝までの地理的条件などの違いが検出頻度に影響しているものと考えられる。一般に、シマジンを含むs-トリアジン系除草剤は、土壌に散布された後植物が薬効成分を経根吸収して効果が発現する薬剤であり、かなり長期の残効性を持つ⁶⁾といわれている。図3にも示したように、使用中止以後も検出頻度は低下しているものの平成12年においても検出されており、これには当然ながら過去の使用が影響している。すなわち、図6の上段に示したように使用中止以後の検出頻度と過去の使用量との間には95%の有意水準で相関関係が認められる。また、検出頻度を使用中止後の2年間に限った場合は相関関係がさらに強くなり(図7)、使用量と検出頻度との関係が一層明らかである。なお、図3と図7からシマジンの残効性は概ね2年程度と推察される。

テルブカルブもシマジンと同様途中から使用が中止された農薬である。しかし、シマジンと異なって使用されている間の使用量と検出頻度及び平成3年から平成6年までの使用量と10年間の検出頻度との間にも有意な相関関係が認められている。これは、シマジン以上の残効性を持つためと考えられ、図8の上段のように過去の使用量と使用中止後の5年間の検出頻度との関係の方が、

図9の中止直後の3年間の関係より強いことから推察できる。なお、テルブカルブについては、他県の調査結果でも農薬登録が失効した平成8年以降に検出された報告例^(7,8)がある。

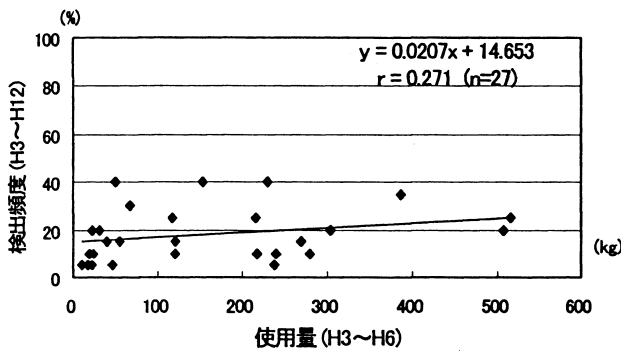
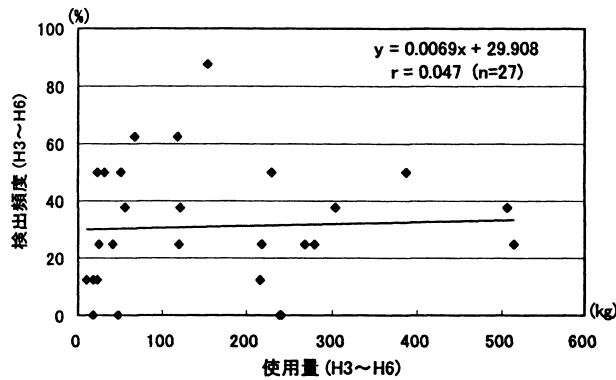
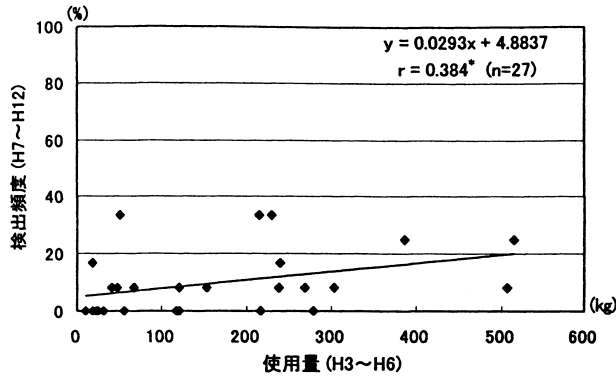


図5 農薬の使用量と検出頻度との関係(シマジン)(I)

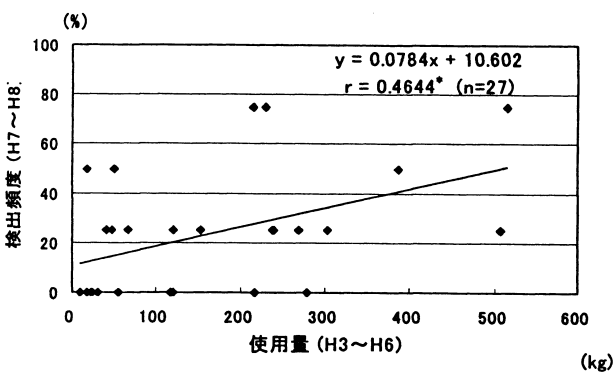


図7 農薬の使用量と検出頻度との関係(シマジン)(II)

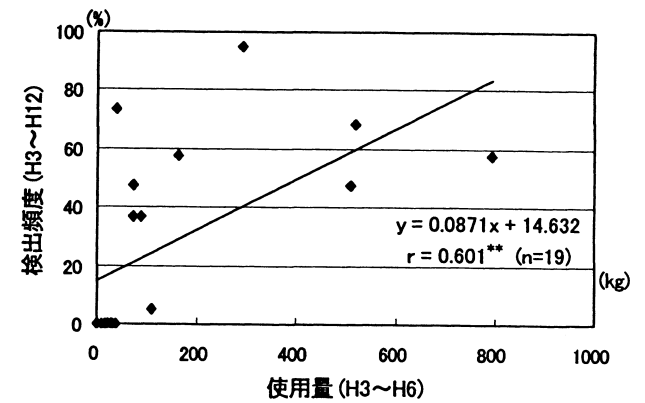
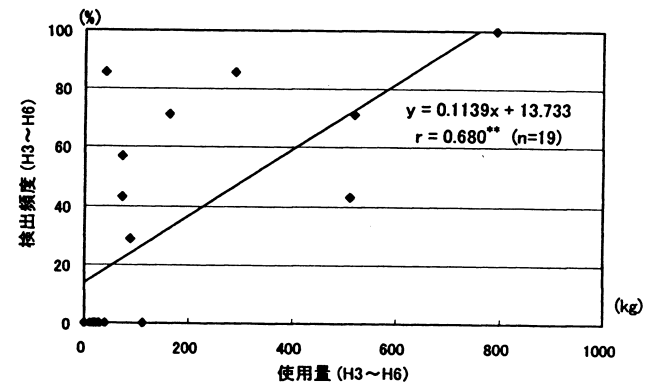
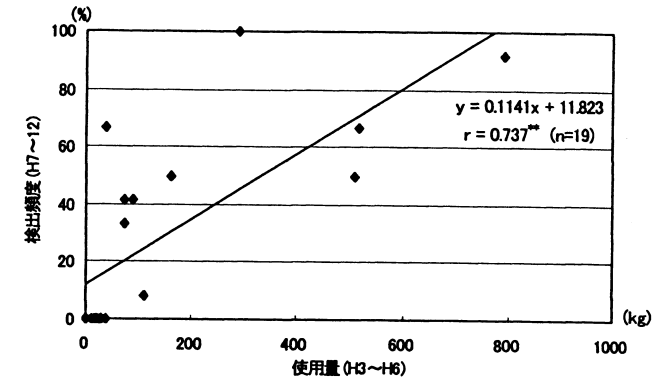


図8 農薬の使用量と検出頻度との関係(テルブカルブ)(I)

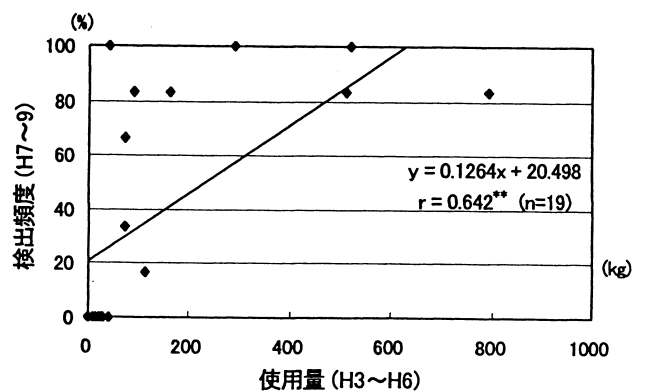


図9 農薬の使用量と検出頻度との関係(テルブカルブ)(II)

以上のように、定量下限値を超えて検出された、フルトラニル、シマジン、テルブカルブは農薬の使用量が当該年及びその後の検出に影響していることが明らかになったが、使用量と検出頻度との関係は農薬毎に異なっている。この大きな要因として、残効性が挙げられ、例えば、気化し易くしかも水移行性も強いダイアジノン^{5,10)}は、残効性が乏しく、これら3農薬と同じ程度あるいはそれ以上使用されているにもかかわらず、検出頻度はきわめて低い。また、フェニトロチオンもダイアジノンと同様、使用例が多いにもかかわらず検出頻度が低いが、フェニトロチオンはフルトラニル等と比較して水溶性が強いなどの性状^{9,10)}の違いがあるため、残効性に影響を及ぼしたと考えられる。

経済的な側面から残効性の強い農薬を選ぶか、または薬効を発揮した後は速やかに分解する農薬を選ぶか議論のあるところであるが、環境に与える影響を最小限度に抑えるという見方をすれば、後者のような農薬の方が適当と考えられる。今回の調査で、農薬の性状の違いによる残効性への影響がうかがわれたが、今後さらにゴルフ場から排出される農薬の使用実態を詳細に調査するとともに、ゴルフ場における農薬の土壌吸着、分解等の基本的な挙動を明らかにしていく必要があると思われる。

まとめ

平成3年から平成12年まで、県内ゴルフ場で使用された農薬の公共用水域への排出状況を調査した。

その結果、

1. 平成3年から平成12年までの10年間、環境庁の指針値を超えたゴルフ場はなかった。
2. 使用35農薬中24農薬が定量下限値以上検出され、なかでもフェニトロチオン、イソプロチオラン、プロピザミド、メコプロップが検出濃度が高かった。
3. 10年間の総検体に対する検出された割合である検出頻度をみると、殺菌剤のフルトラニル、除草剤のシマジン及びテルブカルブが比較的高かった。

4. ゴルフ場で使用された農薬の使用量は、10年間で58970 kgであり、この内、最も多量に使用された農薬はフェニトロチオンで、以下フルトラニル、ダイアジノン、プロザミド、トリクロホスメチルの順であった。
5. 検出頻度の高いフルトラニル、シマジン、テルブカルブについて、使用量と検出頻度との関係を見ると、フルトラニル、テルブカルブは使用量が多いゴルフ場ほど検出頻度が高い傾向が明らかに認められた。
6. シマジンとテルブカルブは平成7年から使用されていないが、その後の調査でも検出されており、過去の使用量と検出頻度との間に有意な相関関係が認められた。
7. 農薬ごとの使用量と検出頻度との関係、過去の使用量とその後の検出頻度との関係は、農薬の残効性を強く示唆するものであった。

文 献

- 1) 松原洋ほか：愛媛県環境保全センター所報，15，64～68（1995）
- 2) 環境庁水質保全局長通知：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，環水土第77号（平成2年5月24日）
- 3) 農業工業会：農薬ニュースレーダー，No.21(1999)
- 4) 愛媛県ゴルフ場病害虫等防除指針（平成13年），（2001）
- 5) 香月繁孝ほか：農薬便覧（第8版），343（1995）
- 6) 山下恭平ほか：農薬の科学，305（1979）
- 7) 鈴木俊也ほか：東京都立衛生研究所年報，49，210～217（1998）
- 8) 鳥羽峰樹ほか：環境化学，7，47～52（1997）
- 9) 宮澤長次郎ほか：最新農薬データブック，ソフトサイエンス社，178，196（1989）
- 10) 上杉康彦ほか：最新農薬データブック，ソフトサイエンス社，339，355（1997）