

## ゴルフ場排水の農薬・肥料成分による水質汚染\*

富森 聡子・長屋 祐一・谷山 鉄郎

(三重大学生物資源学部)

1993年9月16日受理

**要旨:** ゴルフ場で使用される農薬および肥料について1991年6月から1992年5月までの1年間、降雨直後、3ゴルフ場6箇所の排水を採水し、15種類の農薬と窒素、リン、カリウムの分析をした。結果は次の通りであった。除草剤のプロピザミド、シマジン、ナプロパミド、殺菌剤のフルトラニル、イソプロチオラン、キャプタン、トルクロホスメチル、殺虫剤のダイアジノン、フェニトロチオンの9種農薬が検出された。検出頻度は各ゴルフ場で差があり、同一ゴルフ場でも採水地点間で異なった。フルトラニル、イソプロチオラン、キャプタンが高頻度に検出された。検出された農薬は、調査期間中では9月が他の月に比べ全般的に高く、また、高濃度に検出された農薬は、プロピザミド、シマジンであった。検出された農薬の濃度は約半数が $0.1\sim 1.0\mu\text{gL}^{-1}$ の範囲であった。ゴルフ場排水の肥料成分は、周辺の河川水に比べ、窒素、リン、カリウム共に高濃度であった。その濃度変化は、ゴルフ場の芝草管理のための施肥時期と密接に関係していた。

**キーワード:** カリウム、ゴルフ場、水質汚染、窒素、農薬、リン。

**Water Pollution Caused by Agricultural Chemicals and Fertilizers in the Drainage from Golf Links:** Satoko TOMIMORI, Yuichi NAGAYA and Tetsuro TANIYAMA (*Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu 514 Japan*)

**Abstract:** An investigation of agricultural chemicals and chemical fertilizer used by golf links were carried out from June 1991 to May 1992. Immediately after or during the rainfall, sampling for drainage was started at 6 points of 3 golf links. About 15 agricultural chemicals, nitrogen, phosphorus and potassium were analyzed. The following results were obtained. Nine agricultural chemicals including 3 herbicides (Propyzamide, Simazine, Napropamide), 4 bactericides (Flutolanil Isoprothiolane, Captan, Tolclophos-methyl) and 2 insecticides (Diazinon, Fenitrothion) were detected. Detectable frequency was different at the 3 golf links and the 6 sampling points. The highest levels of agricultural chemicals were detected in June, and high levels of Flutolanil, Isoprothiolane and Captan were detected. These concentrations were higher in September, and high levels of Propyzamide and Simazine were detected, and each maximum level was over 8 and  $3\mu\text{gL}^{-1}$ . Many concentrations were from  $0.1$  to  $1.0\mu\text{gL}^{-1}$ . Every component of the chemical fertilizer found in the drainage water from golf links were at high levels in comparison with rivers. Changes in these concentrations were closely related to time of fertilizer application for lawn management.

**Key words:** Agricultural chemicals, Golf links, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Water pollution.

近年、ゴルフ場開発はめざましく、今までは山林であった場所に、ゴルフ場が数多く造成されている。三重県内のゴルフ場数は1991年5月31日現在、既設49カ所、新設13カ所、増設4カ所で<sup>10)</sup>、全国的には2000カ所以上に達している。ゴルフ場で芝草管理に使用される農薬および化学肥料によって、水道水などの水質が汚染されるのではないかという不安が深刻な社会的問題となっている。ゴルフ場は適時灌水により、田畑よりも雑草が生育しやすく、春型、夏型および秋～冬型雑草など年間を通して多種類の雑草防除のため除草剤が使用されている。また、殺虫、殺菌剤も四季を通して使用されている。牧場や作物栽培の管理技術とは著しい違いがみられる。一般にゴルフ場は山間部に造成されるためゴルフ場排水が直接、飲用水源や水田に流入したり田畑の用水

路に流入してきている。従って、作物栽培にも影響するものと思われる。ゴルフ場は雨の日でも使用できるように砂主体で造成され、排水管がゴルフ場全体に敷きつめられており、ゴルフコースの表面に水が溜まらない排水構造となっている。従って、農薬や肥料が散布されると、降雨により湖沼や河川、海洋へ流出し、水質汚染を引き起こすものと考えられる<sup>11)</sup>。ゴルフ場に散布された各種農薬や化学肥料の実態は調査例が少なく不明な点が多い。そこで津市近郊の山間部に位置し、水道水源にも関係する3カ所のゴルフ場を対象として、ゴルフ場からの排水を中心に6カ所を選び、15種類の農薬と化学肥料成分としての窒素、リン、カリウムの実態調査を実施した。

### 調査方法

調査は1991年6月9日より1992年5月16日ま

\* 大要は第193回(1992年4月)および第195回(1993年1月)講演会において発表。

Table 1. List of agricultural chemicals analyzed and their characteristics.

Agricultural chemicals		Characteristics***		
		Fish-toxity*	ADI**	
Propyzamide	(herbicide)	A		Oncogenicity
Simazine	(herbicide)	A		Mutagenicity
Butamifos	(herbicide)	B		
Napropamide	(herbicide)	A		Swelling of liver and kidney
Flutoluanil	(bactericide)	B		
Isoprothiolan	(bactericide)	B		
Captan	(bactericide)	C	0.1	Oncogenicity
Chlorothalonil	(bactericide)	C	0.03	Oncogenicity
Tolclophos-methyl	(bactericide)	A		
Iprodione	(bactericide)	A	0.3	
Diazinon	(insecticide)	Bs	0.002	Influence on the clomatin
Fenitrothion	(insecticide)	B	0.005	Oncogenicity
Isofenphos	(insecticide)	B	0.001	Nurvul disturbance
Chlorpyrifos	(insecticide)	C	0.01	Mutagenicity
Isoxathion	(insecticide)	B		

\* Fish-toxity is ranked from A to D. A is the weakest and D is most toxic.

\*\* ADI: Acceptable Daily Intake ( $\text{mg kg}^{-1}\text{day}^{-1}\text{bw}$  bw: body weight).

\*\*\* The data for these agricultural chemicals were obtained from the Toxicity-Dictionary of Agricultural Chemicals.

での期間、降雨日を選んで採水を行った。採水地点は A ゴルフ場調整池排水口 Station 1 (以下 St. と示す)、St.2, St.3 の 3 カ所, B ゴルフ場調整池排水口 St.4, St.5 の 2 カ所, C ゴルフ場調整池排水口 St.6 の計 6 カ所である。

調査対象農薬は、1990 年、環境庁の暫定指針値に示された 21 種農薬<sup>9)</sup>の中から選定した。すなわち、除草剤のプロピザミド、シマジン、ブタミホス、ナプロパミド、殺菌剤のフルトラニル、イソプロチオラン、キャプタン、クロロタロニル、トルクロホスメチル、イプロジオン、殺虫剤のダイアジノン、フェニトロチオン、イソフェンホス、クロルピリホス、イソキサチオンの計 15 種である。第 1 表にその名称と一般的に知られている毒性を示した。肥料成分は全窒素、全リン、カリウムの 3 項目を調査した。ゴルフ場でどのような農薬や化学肥料が、いつ、どの程度、使用されたかは、公表されておらず、使用の有無にかかわらず、15 種類の農薬と化学肥料成分の分析をおこなった。

### 分析 方法

農薬分析は、主として 1990 年 5 月に環境庁および厚生省からの通知の方法に準じて行った<sup>9,12)</sup>。農薬の抽出については固相抽出法で市販の Supelclean™ ENVI™-18 SPE Tubes 6 ml (1 g) を用いて抽出し

た<sup>7,25,28)</sup>。農薬試料の調整は検体搬入後、直ちに固相抽出管に吸着させ、溶出溶剤で溶出させ濃縮した。濁度が高く、固相抽出管が目づまりを起こす可能性がある試料については、前もってガラス繊維ろ紙でろ過し試料水とした。またガスクロマトグラフで検出した農薬はガスクロマトグラフ—質量分析計で確認を行った。検出機器は島津製作所製 ECD (GC-5 A, GC-14 A), FPD (GC-5 A, GC-15 A), FTD (GC-9 A) ガスクロマトグラフおよび GCMS-QP-1000 EX を使用した。

ガスクロマトグラフの測定条件

ECD ガスクロ カラム 3%OV-1 (キャプタンの場合は 2%OV-1), カラム温度 200°C, 注入口温度 250°C,  $\text{N}_2$  60  $\text{ml/min}^{-1}$

FPD ガスクロ カラム 3%OV 1, カラム温度 200°C, 注入口温度 250°C,  $\text{N}_2$  50  $\text{ml/min}^{-1}$ ,  $\text{H}_2$  80  $\text{ml/min}^{-1}$ , 空気 50  $\text{ml/min}^{-1}$

FTD ガスクロ カラム 20 M ULTRA BOND, カラム温度 180°C, 注入口温度 250°C,  $\text{N}_2$  50  $\text{ml/min}^{-1}$ ,  $\text{H}_2$  80  $\text{ml/min}^{-1}$ , 空気 50  $\text{ml/min}^{-1}$

ガスクロマトグラフ—質量分析計の測定条件

カラム・溶融シリカキャピラリカラム, 0.32 mm × 30 m, 膜厚 0.25  $\mu\text{m}$ , カラムオープン温度・3 段昇温プログラム 50°C (1 分) → 100°C (20°Cmin<sup>-1</sup>) → 170°C (10°Cmin<sup>-1</sup>) → 240°C (5°Cmin<sup>-1</sup>) → 240°C (6

Table 2. Frequency of detection of agricultural chemicals in drainage at each sampling point.

Sampling point	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6
Number of sampling	47**	47	46	45	46	46
Count of analysis	705***	705	690	675	690	690
Detected pesticides and count of detection						
Propyzamide	26	26	15	17	18	19
Simazine	31	37	10	3	1	—
Napropamide	—*	—	—	—	—	9
Flutoluanil	39	46	46	34	20	7
Isoprothiolane	39	45	41	17	3	6
Captan	24	19	28	27	26	25
Tolclophos-methyl	4	1	—	7	10	—
Diazinon	4	13	6	1	—	2
Fenitrothion	2	7	1	4	3	2
Total count of detection	169	194	147	110	81	70

\* Undetected.

\*\* Number of sampling in each station.

\*\*\* Number of sampling  $\times$  fifteen pesticides.

分), 注入口・オンカラム試料導入法 (OCI-14) 90°C (1分)  $\rightarrow$  270°C (30°Cmin<sup>-1</sup>)  $\rightarrow$  270°C (6分), キャリアガス ヘリウム, イオン源温度 250°C, イオン化電圧 70 eV, イオン化法 EI

全窒素は高圧酸化分解後, カドミウム銅カラム還元法で行った<sup>13)</sup>. 全リンはペルオキソ二硫酸カリウムで分解後, モリブデン青吸光度法で行った<sup>21)</sup>. カリウムは原子吸光光度計 (島津 AA 640-13) を用い, 波長 766.5 nm で測定した.

## 結 果

### 1. 各調査地点の農薬検出状況

第2表に各調査地点の農薬検出回数を示した. 調査対象農薬 15 種類のうち 9 種類の農薬が検出された. 除草剤プロピザミド, シマジン, ナプロパミド, 殺菌剤フルトラニル, イソプロチオラン, キャプタン, トルクロホスメチル, 殺虫剤ダイアジノン, フェニトロチオンであった. プロピザミド, フルトラニル, イソプロチオラン, キャプタン, フェニトロチオンは St.1~St.6 の全採水地点から検出された. シマジンは St.1~St.5 で, トルクロホスメチルは St. 1, St.2, St.4, St.5 で, ダイアジノンは St.1, St.2, St.3, St.4, St.6 で検出された. 検出された農薬の定量限界値はプロピザミド 0.01  $\mu\text{gL}^{-1}$ , シマジン 0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ , ナプロパミド 1  $\mu\text{gL}^{-1}$ , フルトラニル 0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ , イソプロチオラン 0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ , キャプタン 0.01  $\mu\text{gL}^{-1}$ , トルクロホスメチル 0.01  $\mu\text{gL}^{-1}$ , ダイアジノン 0.01  $\mu\text{gL}^{-1}$ , フェニトロチオン 0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$

とした. 調査期間中の農薬検出回数は 771 回あり全体の 18.6% に対して, 殺菌剤の検出割合は 66.7% で一番多かった. 次は除草剤の 27.5%, 殺虫剤は 5.8% の検出割合で最も低かった. その内訳はフルトラニルが 192 回で一番検出回数が多く, ついでイソプロチオランが 151 回, キャプタンが 149 回, プロピザミドが 121 回, シマジンは 82 回, ダイアジノンは 26 回, トルクロホスメチルが 22 回, フェニトロチオンが 19 回で, ナプロパミドが 9 回と検出回数が一番少なかった. また採水地点では A ゴルフ場の St.2 からの農薬検出回数が 194 回で最も多く, C ゴルフ場の St.6 は 70 回と一番少なかった.

### 2. 月別の農薬検出状況

第3表は検出された 9 種類の農薬について月別に比較した. 月別の農薬検出回数は 6 月が最も多く 180 回検出されたが, 2 月は 14 回と一年中で最も農薬検出回数が低かった. 農薬検出割合で見ると, 年間を通してどの月も検出され, 著しい差は見られなかった. 第3表中の星印は農薬検出濃度が他の検出濃度に比し, より高濃度に検出された試料に付した. 9 月は 5 種類の農薬が高濃度に検出され, 他の月に比べ多かった. 各種農薬の月別検出状況を見るとプロピザミドは 1991 年 9 月から検出され始め, 同年 12 月から 1992 年 2 月の間では全試料から検出された. またその検出割合は 1991 年 9 月を除いて高かった. シマジンは 1991 年 9 月と 1992 年 3~5 月に高濃度を検出した. またナプロパミドは 1992 年 3~5 月に検出された. プロピザミド, シマジン, ナプロパ

Table 3. Monthly count of detection of agricultural chemicals in drainage from golf links.

Month	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
Number of sampling	58#	36	24	24	24	18	6	6	5	34	24	18
Count of analysis	870##	540	360	360	360	270	90	90	75	510	360	270
Detected pesticides and count of detection												
Propyzamide	—**	—	—	7*	18*	17*	6	6	5	30	20	12
Simazine	24	11	6	5*	—	4	2	2	1	9*	11*	7*
Napropamide	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2*	4*	3
Flutoluanil	35	19	17	18*	19	14	4	4	4	25	18	15
Isoprothiolane	35	16	13*	11*	10	10	3	3	4	18	15	13
Captan	53	22	14	14	17	5	4	—	—	10	9	1
Tolclophos-methyl	16	1	1	1	—	1	—	—	—	—	—	2
Diazinon	17	8	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fenitrothion	—	5	8*	6*	—	—	—	—	—	—	—	—
Total count of detection	180	82	60	62	64	51	19	15	14	94	77	53

\* Some of them were higher concentration.

\*\* Undetected.

# Number of sampling in each station.

## Number of sampling × fifteen pesticides.

ミドなどの除草剤は一年中、種類は異なったが検出された。殺菌剤のフルトラニルとイソプロチオランは調査期間中、検出割合が大きく変動することなく、絶えず検出された。殺虫剤のダイアジノンは1991年6~8月、フェニトロチオンは1991年7~9月の夏季に検出された。また、フェニトロチオンは、1991年8月、9月に高濃度の排出が見られた。

### 3. 検出された農薬の濃度

第4表は検出された9種類の農薬を濃度範囲別に検出回数を示した。検出された農薬の濃度は0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ ~1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ の範囲で最も検出回数が多く、386回は農薬検出回数の約半数を占めた。しかし、定量限界値を少し下回る痕跡程度の検出レベルが408回あり、回数ではそれを上回っていた。1990年に厚生省で定められた水質目標値を越えて検出されたのが、調査期間中に25回あり、また、同年環境庁が示したゴルフ場排水指針値を越えたのが4回あった。1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以上で検出回数が多い農薬はフルトラニルの69回で全体の8.9%、次はイソプロチオランとシマジンの27回で3.5%、プロピザミド20回で2.6%であった。0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以下で検出回数が多い農薬はキャプタンの141回と全体の18.3%、次はプロピザミドの56回で7.3%の検出率であった。検出された個々の農薬をみると、プロピザミドは厚生省の水質目標値8  $\mu\text{gL}^{-1}$ を越えた検出回数が6回あり、調査期間中に検出されたプロピザミドのうちで5%を占めていた。また1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以上検出されたのは16.5%、0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ ~1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ の範囲に検出された

のは37.2%、0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以下で検出されたのは46.3%であった。シマジンは厚生省の水質目標値3  $\mu\text{gL}^{-1}$ を越えた回数は19回あり、そのうち環境庁の排水指針値を越えたのが4回あった。また、1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以上検出されたのが27回あり、調査期間中に検出されたシマジンのうちで32.9%を占め、0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ ~1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ の範囲で検出されたのは65.9%であった。フルトラニルは1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以上の検出回数が69回で、年間検出数の35.9%、0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ ~1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ の範囲に検出されたのは63.5%であった。イソプロチオランは1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以上検出されたのが27回でイソプロチオラン全体の17.9%、0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ ~1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ の範囲が122回で80.8%の高い検出率を示した。キャプタンは1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以上が3回でキャプタン全体の2.0%、0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ ~1.0  $\mu\text{gL}^{-1}$ は3.4%、0.1  $\mu\text{gL}^{-1}$ 以下が94.6%と低濃度範囲での検出がほとんどであった。また、ダイアジノンは検出回数が26回、痕跡値が214回、痕跡値の方が約8倍多かった。フェニトロチオンも同様に検出回数が19回、痕跡値が68回、痕跡値の方が3.6倍多かった。

### 4. 降雨による排水量別農薬検出回数

採水は、降雨日ごとに行った。ゴルフ場の排水量は、当日、前日、前前日の降雨量が大きく影響すると思われる。排水量別に農薬の検出状況を第5表に示した。排水量を5段階に分けた。予備調査で各採水地点ごとの排水量を把握し、中間の水量を3とした。それよりやや少量は2、1は少量とした。また、やや

Table 4. Frequency of detection of agricultural chemicals in drainage at each concentration level.

Concentration	>1.0 $\mu\text{gL}^{-1}$	1.0~0.1 $\mu\text{gL}^{-1}$	<0.1 $\mu\text{gL}^{-1}$
Detected pesticides and count of detection			
Propyzamide*	20	45	56
Simazine**	27	54	1
Napropamide	9	—***	—
Flutolanil	69	122	1
Isoprothiolane	27	122	2
Captan	3	5	141
Tolclophos-methyl	—	14	8
Diazinon	—	10	16
Fenitrothion	3	14	2
Total count of detection	158	386	227

\* The Ministry of Welfare guides the concentration of Propyzamide less than 8  $\mu\text{gL}^{-1}$ , but 6 samples were higher.

\*\* The Ministry of Welfare guides the concentration of Simazine less than 3  $\mu\text{gL}^{-1}$ , but 19 samples were higher.

\*\*\* Undetected.

Table 5. Frequency of detection of agricultural chemicals in drainage at each volume of water.

Volume of water*	>5	4	3	2	<1
Detected pesticides and count of detection					
Propyzamide	7	31	27	15	41
Simazine	2	24	32	8	14
Napropamide	—**	2	5	2	—
Flutolanil	15	70	49	27	29
Isoprothiolane	10	51	42	20	26
Captan	14	59	46	18	7
Tolclophos-methyl	4	11	2	3	—
Diazinon	1	9	12	3	1
Fenitrothion	5	10	3	1	—
Total count of detection	58	267	218	97	118

\* The volume of water in the drain is ranked when we have sampling. 3 is ordinary, 5 is much, and 1 is less one.

\*\* Undetected.

多量は4とし5を多量とした。1991年6月の降雨量の合計は181 mmであり、7月は231.5 mm、8月は144.5 mm、9月は321 mm、10月は225 mm、11月は118 mm、12月は50.5 mm、1992年1月は37.5 mm、2月は21.5 mm、3月は142 mm、4月は153.5 mm、5月は164 mmであった。そして水量と降雨量の関係を見ると水量《1以下》の場合の平均降雨量は6~10 mmであり、《2》は11~15 mm、《3》は21~25 mm、《4》は26~30 mm、《5以上》は36~40 mmであった。通常の水量よりやや多量の《4》の場合が267回で農薬検出回数が最も多く、また、それ以上の、降雨により水量が増えて《5以上》となると、逆に農薬の検出回数は最も少なくなった。フルトラニル、

イソプロチオランは、いずれの水量でも検出割合が多かった。フルトラニル、キャプタンは《4》や《5以上》と大雨の場合に検出されやすい。他方プロピザミドは《1以下》の降雨量の少ない場合に検出されやすかった。第6表は検出された農薬個々について水量別の検出割合を示した。トルクロホスメチル、フェニトロチオンは検出された回数のうち《4》や《5以上》の水量の場合が約8割を占めた。

##### 5. ゴルフ場排水中の各種農薬の経時変化

除草剤のプロピザミドは3ゴルフ場排水中より検出され、シマジンはA、Bゴルフ場排水中、ナプロパミドはCゴルフ場排水中より検出された。第1図に3ゴルフ場排水中の除草剤の経時変化を示した。

Table 6. Percentage of detection of agricultural chemicals in drainage at volume of water.

Volume of water*	>5	4	3	2	<1	count of detection
	(%)**	(%)	(%)	(%)	(%)	
Propyzamide	5.8	25.6	22.3	12.4	33.9	121
Simazine	2.5	30.0	40.0	10.0	17.5	82
Napropamide	0	22.2	55.5	22.2	0	9
Flutoluanil	7.9	36.8	25.8	14.2	15.3	192
Isoprotiolane	6.7	34.2	28.2	13.4	17.4	151
Captan	9.7	41.0	31.9	12.5	4.9	149
Tolclophos-methyl	20.0	55.0	10.0	15.0	0	22
Diazinon	3.8	34.6	46.2	11.5	3.8	26
Fenitrothion	26.3	52.6	15.8	5.3	0	19

\* For abbreviation, see Table 5.

\*\* (%) is percentage of detection.

A ゴルフ場排水から検出されたシマジンは調査開始から8月末までは、採水日ごとに  $1 \mu\text{gL}^{-1}$  以下の低濃度であったが、連続して検出された。とくに9月14日は環境庁の暫定指針値  $30 \mu\text{gL}^{-1}$  を越え  $31.0 \mu\text{gL}^{-1}$  を検出した。翌日の9月15日には厚生省の水質目標値  $3 \mu\text{gL}^{-1}$  を越えて  $16.8 \mu\text{gL}^{-1}$  を検出した。その後は検出されず、11月19日から2月1日までは  $0.2 \mu\text{gL}^{-1} \sim 0.3 \mu\text{gL}^{-1}$  の濃度で連続して検出された。3月24日に  $26.8 \mu\text{gL}^{-1}$  と再び高濃度に検出され、最高値  $84.0 \mu\text{gL}^{-1}$  を検出した後、徐々に減少し、5月後半の降雨日まで厚生省の目標値を越えて、しかも連続して検出された。また、プロピザミドは9月14日のシマジンが高濃度に検出された日と同時に厚生省の目標値  $8 \mu\text{gL}^{-1}$  を越え、10月1日まで続いた。その後、12月17日までは減少し調査期間の最終日まで  $0.1 \sim 0.5 \mu\text{gL}^{-1}$  の濃度で検出された。B ゴルフ場排水中のプロピザミドは10月17日から検出され、5月16日まで  $0.01 \sim 0.2 \mu\text{gL}^{-1}$  の低濃度で検出された。C ゴルフ場排水中のプロピザミドは10月17日に検出され、次の降雨日10月27日に  $65.0 \mu\text{gL}^{-1}$  の高濃度を検出し、その後、約2カ月で減少したが、調査期間の最終日まで検出された。また、ナプロパミドは、1992年3月24日に検出され、調査最終日まで毎回検出された。除草剤は9月中旬から10月末までの期間と3月下旬から4月初旬までの期間の2回のピークがみられた。3 ゴルフ場排水中の殺菌剤の経時変化を第2図に示した。A ゴルフ場排水中のフルトラニルとイソプロチオランは調査期間中、つまり一年中、高濃度を検出し、フルトラニルの最高検出濃度は9月15日の  $13.5 \mu\text{gL}^{-1}$  であった。2回のピークがあり、8月下旬から

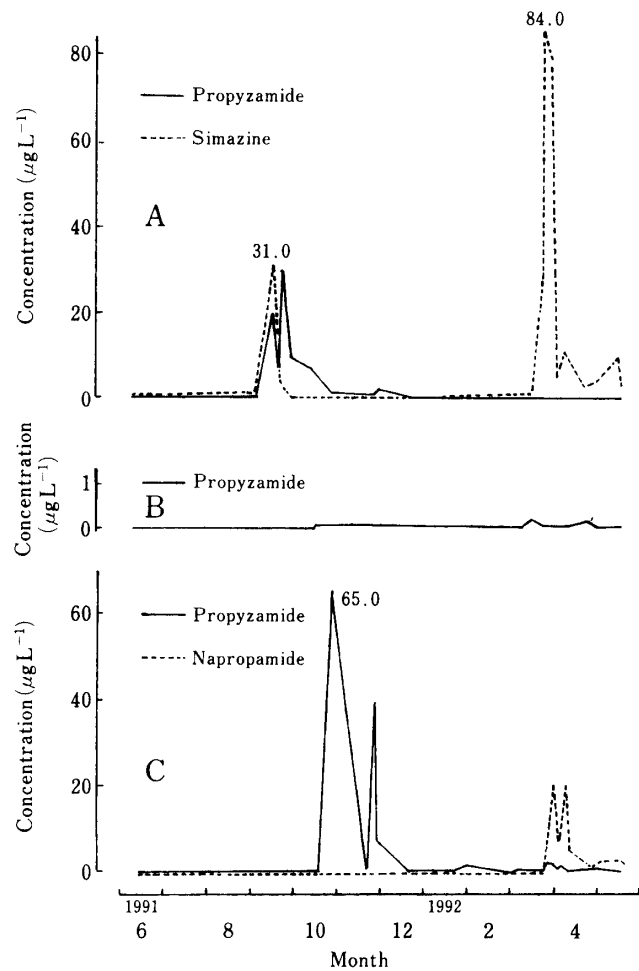


Fig. 1. Monthly changes in herbicides concentration of the drainage from each golf link.

9月末までと4月であった。キャプタンについては、調査開始から12月までは、低濃度ではあるが頻繁に検出された。キャプタンはゴルフ場での使用が禁止されているものである。フルトラニルとイソプロチ

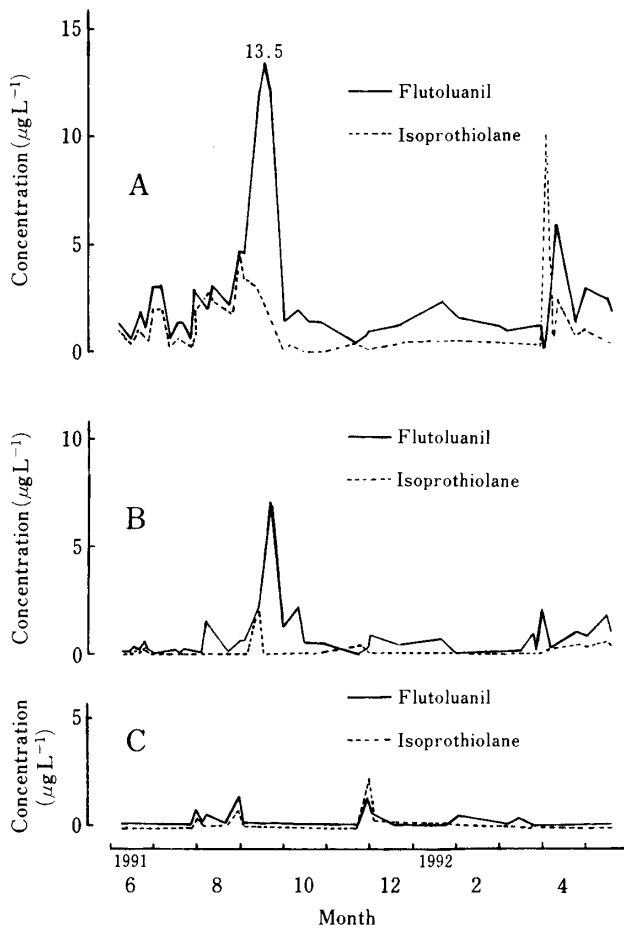


Fig. 2. Monthly changes in bactericides concentration of the drainage from each golf link.

オランは類似した検出パターンを示した。

#### 6. ゴルフ場からの化学肥料成分の流出

第3図は3ゴルフ場排水中の全窒素について経時変化を示したものである。Aゴルフ場は3カ所(St.1~St.3)の排水口を調査したが、St.1の7月中旬の $2.4 \text{ mgL}^{-1}$ のピークを除くと調査期間中 $1 \text{ mgL}^{-1}$ 前後で、大きな濃度変化はなかった。Bゴルフ場は3ゴルフ場の中で調査期間を通して全窒素の検出量が最も高かった。St.4の排水口では6月中旬~下旬に $3.0 \text{ mgL}^{-1}$ の高濃度で検出され、その後は $0.3 \sim 1.5 \text{ mgL}^{-1}$ の範囲で推移した。また、4月23日に再び $2.6 \text{ mgL}^{-1}$ を検出し、次の降雨日である5月1日の採水では最高値 $9.4 \text{ mgL}^{-1}$ を検出した。その後 $1 \text{ mgL}^{-1}$ に低下した。St.5はSt.4と同様に推移したが、St.4に比べると検出濃度は、やや低い。6月下旬~7月上旬のSt.5のピークはSt.4のピークから約10日遅れであった。St.6のCゴルフ場排水は10月1日の $1.7 \text{ mgL}^{-1}$ 、5月16日の $1.8 \text{ mgL}^{-1}$ と2回やや高濃度を検出したが、それ以外の期間は $1$

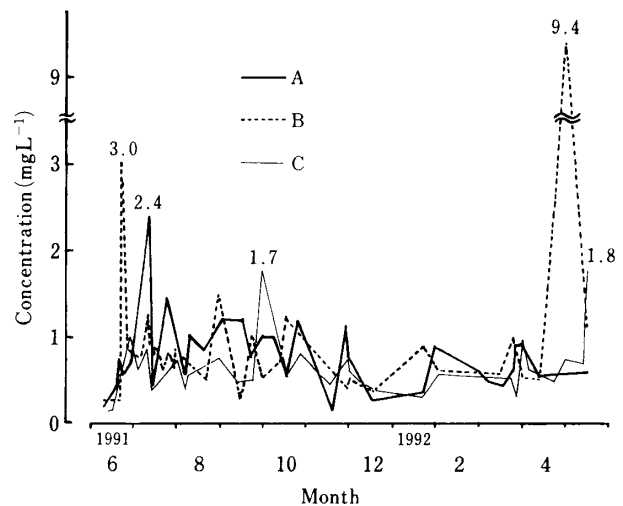


Fig. 3. Monthly changes in total nitrogen concentration of the drainage from each golf link.

$\text{mgL}^{-1}$ 以下であった。全窒素量は3ゴルフ場の中でCゴルフ場が低かった。第4図は全リンの経時変化を示したものである。Bゴルフ場排水中の全リンは、AおよびCゴルフ場に比べ調査期間中の濃度が高かった。Bゴルフ場St.4およびSt.5の排水中の全リンは、類似した挙動を示し5月1日に $2.9 \text{ mgL}^{-1}$ の最高濃度を検出した。3月の初めから中旬までを除いた調査期間中、Bゴルフ場排水中から $0.1 \text{ mgL}^{-1}$ を上回ってリンが検出された。Aゴルフ場排水中の全リンは、調査開始の6月より9月中旬までは $0.1 \text{ mgL}^{-1}$ 以下であったが、9月中旬から11月末までは $0.4 \text{ mgL}^{-1}$ まで上昇し、12月から3月下旬までは低濃度であり、それ以降はやや高くなる傾向を示した。Cゴルフ場排水中の全リンは、6月から9月中旬までは $0.1 \text{ mgL}^{-1}$ 以下であったが、それ以降から11月末までは、やや高く $0.3 \text{ mgL}^{-1}$ 前後であり、4月末には低下したが5月に入るとやや高くなる傾向を示した。第5図はカリウム濃度の経時変化を示した。Aゴルフ場排水中のカリウム濃度は、6月下旬~7月上旬に高い値を示し、中でも6月30日の $30.6 \text{ mgL}^{-1}$ は調査期間中で最も高濃度であった。その他の地点では、ほぼ一定の推移を示した。Bゴルフ場はAゴルフ場と同様に6月下旬~7月上旬に高い値を示した。しかし6月中旬、3月上旬と5月初めにカリウム濃度の上昇が認められた。Cゴルフ場はAおよびBゴルフ場に比し、調査期間中の排水中カリウム濃度は安定していた。しかし、AおよびBゴルフ場がピークを示した同時期に低濃度ではあるが $6.0 \text{ mgL}^{-1}$ のピークを示した。

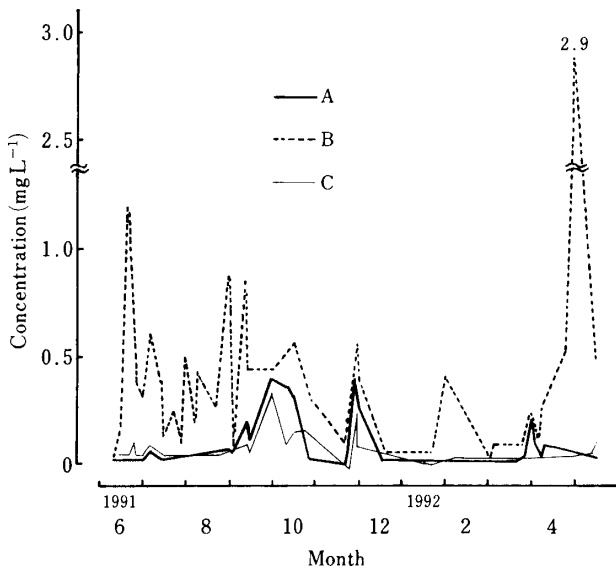


Fig. 4. Monthly changes in total phosphorus concentration of the drainage from each golf link.

考 察

1991年6月から1992年5月までの1年間の調査で9種の農薬が検出された。それぞれの検出状況を見ると、277検体のうち同一サンプルより1~5種類の農薬が同時に検出された。検出率をみるとフルトラニル69.3%、イソプロチオラン54.5%、キャプタン53.8%、プロピザミド43.7%、シマジン29.6%、ダイアジノン9.4%、トルクロホスメチル7.9%、フェニトロチオン6.9%、ナプロパミド3.2%であった。環境庁は1991年度のゴルフ場使用農薬水質調査結果を公表した<sup>22)</sup>。その結果によると、本調査の方が高い検出率を示した。このことは、砂主体で、しかも排水管が埋設されたゴルフ場では、使用された農薬や化学肥料成分が降雨時に流出されやすいものと考え降雨中または降雨直後に採水する方法をとったことが、降雨と無関係に調査された環境庁の報告と異なるものと考えられた。ゴルフ場排水中から検出された各農薬の濃度においても、1990年に制定された厚生省の水質目標値<sup>12)</sup>や環境庁の指針値<sup>9)</sup>を超えた。以上のことから、本調査のごとく、ゴルフ場排水については、降雨時または降雨直後の調査が、きわめて重要であることを示唆している。

ゴルフ場排水や河川における農薬の検出状況を見ると、兵庫県<sup>26)</sup>、大分県<sup>20)</sup>や長野県<sup>24)</sup>のゴルフ場使用農薬についての実態調査の結果、検出された農薬は、本調査と同様にシマジン、イソプロチオラン、フルトラニル、MBPMC、ダイアジノンなどであっ

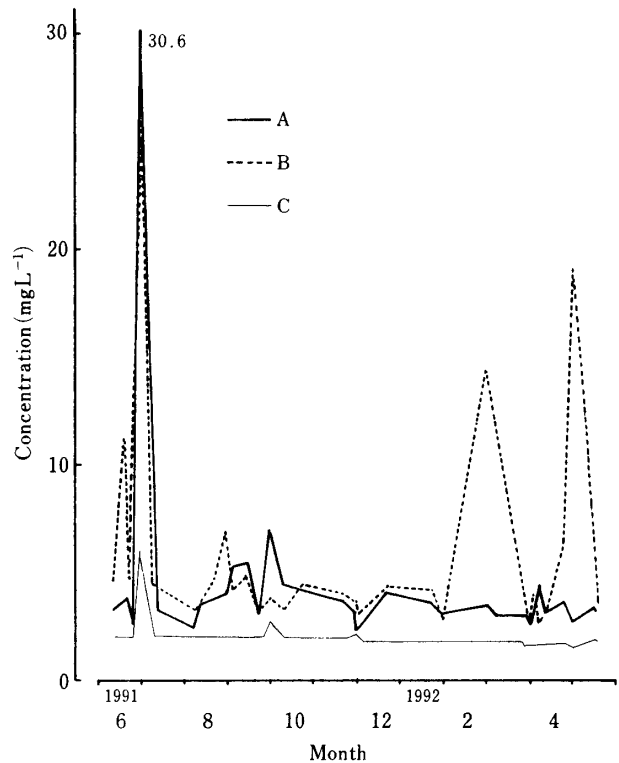


Fig. 5. Monthly changes in potassium concentration of the drainage from each golf link.

た。このことは、農薬の使用量や使用頻度の多い農薬が検出されやすいばかりではなく、イソプロチオラン、フルトラニル、シマジンは検出されやすい農薬である<sup>5)</sup>ことが本調査でも確認された。Aゴルフ場排水中のプロピザミド、フルトラニル、キャプタンについては排水量と、それぞれの農薬検出濃度の相関係数はプロピザミド  $r=0.234$   $p<0.01$ 、フルトラニル  $r=0.159$   $p<0.05$ 、キャプタン  $r=0.292$   $p<0.001$  であり有意な正の相関関係がみられた。丸<sup>15)</sup>や山口ら<sup>30)</sup>は農薬の水溶解度と流出率との間には、正の相関関係があると報告した。伏脇ら<sup>3)</sup>は水溶解度の高い農薬ほど水に溶けやすいとし、本調査結果から、9種の農薬の検出回数の順位、および各農薬の高濃度に検出された濃度の順位と水溶解度とは一致しなかった。このことはゴルフ場における芝草の管理、農薬の使用量、使用回数、散布後の天候、水溶解度、土壌吸着力<sup>27)</sup>、農薬の剤型、分解、残留性、農薬の使用場所、使用時期等と密接に関係しているものと考えられた。

現在、日本のゴルフ場における芝草管理はI期、II期、III期、IV期と雑草の発芽や生長など年間を通して、除草体系として確立されているため<sup>23)</sup>、農薬は年間を通して検出された。シマジン、ナプロパミド、



プロピザミドなどの半減期の長い農薬の使用量を減らし、ダイアジノンやキャプタンのような易分解性農薬<sup>2,4,6)</sup>にかえていくことも重要と思われる。水田除草に使用された除草剤は田植後1週間目に検出ピークがあることと、使用回数が少ないことなど<sup>6)</sup>、ゴルフ場排水とは著しく、栽培管理が異なっている。ゴルフ場におけるグリーンの更新にあたっては、砂主体から農薬、化学肥料成分を吸着、保持する有機物の多い田畑のように土壌改良することが望まれる<sup>18)</sup>。ゴルフ場のグリーンは、とくに冬期においても緑色の芝草が要求されるため、寒地型草種であるベントグラスが全国的に利用されてきた<sup>19)</sup>。高温多湿のわが国においては、とくに夏期に病虫害が発生しやすいことに加え、液肥を含む固型化学肥料が多量に施用されている<sup>19)</sup>。グリーンでは毎日のごとく刈る込まれることから、芝草の再生能力が低下し、根の生長が抑制され、病虫害に強い健全な芝草に育ちにくいと考えられる。このことも、病虫害発生の予防として、殺虫および殺菌剤などが量的にも、使用頻度も多くなっているゆえんであるといえよう。それゆえ日本の風土に適し、耐病性および耐寒性、再生能力の高い芝草の品質改良が望まれる。千葉県および佐賀県の一部のゴルフ場では無農薬管理がなされているが、技術的に多額の人件費を要し、全国的な広がりになるとは思えない。しかしながら、近年、病虫害防除として、微生物の利用による防除法などの研究報告もみられる\*。

ゴルフ場排水の化学肥料成分についてみると、全窒素は4月中旬から初夏にかけて高濃度に検出されたことから、ゴルフ場排水が直接、水田等に流入した場合、水稻の徒長などの生育異常となるが、Aゴルフ場排水の流入する水田で、このような徒長現象が水口付近で見られた。農業用水中の窒素濃度が $1\text{mgL}^{-1}$ 以上では、水稻は過繁茂となりやすく、病虫害の被害を受けやすいと考えられている<sup>17)</sup>。穂首分化期の窒素過多は下位節間の伸長をまねき倒伏や登熟不良を引き起こす恐れがある<sup>17)</sup>。ゴルフ場排水の流入する河川水を飲料の水源としている場合、水質基準近くまで汚染される時期もあると考えるので長野県のごとく、水源保護条例などの対策が必要と思われる。富栄養化の要因としては窒素、リン、カリ

ウム、鉄等の10種類の元素やB群ビタミン等があり<sup>29)</sup>、窒素 $0.20\text{mgL}^{-1}$ 、リン $0.02\text{mgL}^{-1}$ を同時に超えると富栄養化する可能性があるとして報告している<sup>10)</sup>。Bゴルフ場排水の全窒素、全リンは調査期間中、高濃度であり、多量の肥料が散布されたものと推定された。3ゴルフ場とも9月中旬~11月末にかけて、リン濃度が高く5月から再び高濃度で検出される傾向を示した。国松ら<sup>14)</sup>はゴルフ場からの流出水は森林からの流出水よりも窒素、リンが高濃度を示したと報告した。窒素やリンは湖沼や海洋の過栄養化や赤潮などの原因となり、とくにリンの流出が水汚染では重要視されている。足立ら<sup>1)</sup>は、高濃度で検出された河川の全リンは生活排水が主因であるとしたが、本報告は山間部で生活圏上流におけるゴルフ場排水の調査であり、生活排水の流入は全くなく、ゴルフ場使用の肥料成分の流出以外には、その原因は考えられなかった。肥料成分の分析結果からBゴルフ場は他のゴルフ場と比較し、とくに肥料の流出が多量であったことから、水質汚染源としてゴルフ場の芝草管理技術の改善が必要であると思われる。

本調査は三重県津市近郊の3ゴルフ場についての調査ではあるが、ゴルフ場の造成方法や芝草管理は全国のゴルフ場も基本的には類似していることから、全国的な調査方法の見直しとモニタリングが必要と思われる。

**謝辞:** 本調査研究の実施にあたり、多大のご協力をいただいた三重県衛生研究所所長倉田英雄氏、同生活衛生課長橋爪清博士、三重大学教授池田勝彦博士、同助教授津田誠博士に深謝いたします。

## 引用文献

1. 足立昌子・林光子・菱田貴子・掘端智江・小林正 1985. 兵庫県南部における湖沼並びに河川水中の全リン及び全窒素の定量結果について. 衛生化学 31: 426-431.
2. 土橋均・辰野道昭 1988. 有機リン系農薬ダイアジノン、ジクロロボスの水溶液あるいは塩酸酸性溶液中での分解物の同定と経時変化. 衛生化学 34: 371-375.
3. 伏脇裕一・浦野紘平 1992. 農薬による環境汚染の現状と課題. 用水と廃水 34: 3-14.
4. 早川修二・佐来英治・加藤進・金丸豪 1992. 農薬の分解性について—蒸留水、河川水、海水中での分解性の比較—. 三重環科センター報 12: 26-30.
5. 堀秀朗・加藤充哉・塚林裕・橋場久雄 1992. 芝地散布農薬の降雨時流出について. 環境化学 2: 65-70.
6. 飯塚宏栄・岩撫才次郎 1982. 水田除草剤の河川水の

\* 久能均 1993. 芝地に発生するグラススポット病の生物防除に関する研究, 微生物資材によるラージパッチの防除. 日本緑地環境研究会委託研究中間報告. 日本緑地環境研究会.

- 流出. 用水と廃水 24:13-19.
7. 陰地義樹・宇野正清・永美大志・田中 健 1989. 農薬残留分析の簡易迅速化の検討. 奈良衛研年報 23: 95-98.
  8. 金沢 純 1992. 農薬の環境科学. 合同出版, 東京. 1-259.
  9. 環境庁水質保全局 1990. ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁防止に係わる暫定指導指針.
  10. 加藤信弥・佐竹武典・関 敏彦 1981. 水質における全リン分析法の検討. 公害と対策 17: 61-64.
  11. 桂 英二・小川 広・小島弘幸 1992. ゴルフ場の模擬グリーンにおける農薬流出について. 北海道衛研年報 42: 61-67.
  12. 厚生省生活衛生局 1990. ゴルフ場使用農薬に係わる水道水の安全対策について.
  13. 厚生省生活衛生局水道環境部 1985. 上水試験方法. 日本水道協会, 東京. 285-289.
  14. 国松孝男・須戸 幹 1990. ゴルフ場の汚濁負荷とその削減. 用水と廃水 32: 13-21.
  15. 丸 論 1990. 水田用ライシメータからの農薬流出と水溶解度の関係. 日本農薬学会誌 15: 385-394.
  16. 三重県環境白書 1991. 三重県総務部学事文書課. 61-62.
  17. 森川昌記 1982. 水質汚濁が稲作に及ぼす影響. 第1報 汚濁物質濃度と稲作の関係. 千葉農試研報 23: 83-89.
  18. 中村幸二 1990. 土壌等環境における農薬の動態. 日本農薬学会誌 15: 271-281.
  19. 日本芝草学会 1988. 芝草と緑化. ソフトサイエンス社, 東京. 29-35.
  20. 二村哲男・坂田隆一・城井 堅 1991. ゴルフ場排水の農薬分析結果について. 大分県衛生環境研究センター年報 19: 91-101.
  21. 工場排水試験方法 JIS K 0102 1985. 日本規格協会, 東京. 150-154.
  22. 尾川 毅 1992. 最近のゴルフ場における農薬問題とその対策. 資源環境対策 28: 35-42.
  23. 谷山鉄郎 1991. 日本ゴルフ列島. 講談社現代新書, 東京. 1-189.
  24. 寺沢潤一・月岡 忠・宮島 勲・武田洋一 1991. ゴルフ場における農薬調査. 長野県衛公研報 14: 13-20.
  25. 富森聡子 1991. ゴルフ場農薬の固相抽出に関する研究. 第24回東海薬剤師学術大会抄録. 17.
  26. 辻 英高・逸見希子・市橋啓子・築谷尚嗣 1992. ゴルフ場使用農薬に係わる水道原水の水質調査. 用水と廃水 32: 32-35.
  27. 辻 正彦・中野 武・奥野年秀 1991. ゴルフ場農薬の流出モニタリング. 環境化学 1: 32-35.
  28. 津山明宣・青山大器・大野浩之・服部昌子 1989. Sep Pak C<sub>18</sub> カートリッジカラムを用いた水中有機塩素系農薬の分析. 名古屋市衛研報 35: 109-113.
  29. 浦野紘平・立川裕隆 1987. 排水中のリン除去技術の特徴と経済性. 用水と廃水 29: 3-12.
  30. 山口之彦・福嶋 実・藤田忠雄・山田明男 1991. 淀川水系における農薬の分布および季節変動. 環境化学 1: 56-63.