

人工降雨装置付きライシメータによる芝地からの農薬の流出

清水克彦*・松山 稔*・吉倉惇一郎*

要 約

ゴルフ場で使用される農薬の降雨等による公共用水域への流出を把握する手法として、人工降雨装置を備えたライシメータを用い8種類の農薬について検討した。

- 1 表面流去水では浸透排水に比べ農薬が高い濃度で検出された。
- 2 浸透排水中の濃度は、フルトラニル、イソプロチオラン、CAT、プロピザミドが高く、長期間検出され、ダイアジノン、クロルピリホス、イソフェンホス、ペンディメタリンでは低く、検出は短期間であった。
- 3 降雨量の増加により、浸透排水中の農薬濃度が高くなり、流出量も多くなった。また、20 mm 降雨処理による浸透排水からの農薬の流出量と農薬の水溶解度に相関が認められた。フルトラニル、イソプロチオラン、CATでは降雨直後に浸透排水中の農薬濃度が上昇した。
- 4 10 mm の降雨では海砂のほうがマサに比べほとんどの農薬で流出量が多くなった。20 mm 降雨ではマサの方が多くなった。

Runoff and Leaching of Pesticides from Turfy field using Lysimeters and Artificial Rainfall Machines.

Katsuhiko SHIMIZU, Minoru MATSUYAMA, Jun-ichiro YOSHIKURA

Summary

Runoff and leaching of eight pesticides on a golf course were studied using lysimeters and artificial rainfall machines.

- (1) Pesticide concentrations in surface water were higher than the leaching water.
- (2) Leaching water concentrations of flutolanil, isoprothiolane, CAT and propyzamide were remarkable and could be detected for as long as 42 days. For diazinon, chlorpyrifos, isofenphos and pendimethalin, these parameter were less.
- (3) Increase in rainfall affected the concentrations of pesticides and amount of their runoff. Water solubility of pesticides correlated to leaching amount at 20 mm rainfall in Masa lysimeters. Flutolanil, isoprothiolane, CAT showed remarkable peaks just after each rainfall.
- (4) For 10 mm rainfall, amount of almost pesticides runoff from the sea sand lysimeters were more than the Masa lysimeters. For 20 mm rainfall, those from the Masa lysimeters were more than the sea sand lysimeters.

キーワード：農薬、シバ、ライシメータ、流出

緒 言

兵庫県には1994年3月末現在149カ所のゴルフ場があり、北海道に次ぎ全国第2位の数となっている。近年、環境問題に対する関心の高まりからゴルフ場で使用される農薬の周辺環境に及ぼす影響が懸念されてきた。本県においては、ゴルフ場の立地条件が県中部の丘陵地に集中し、河川の上流部にあたることから、公共用水域への農薬の流出が問題となり、1990年より減農薬芝草管理

技術の研究に取り組んできた。

ゴルフ場で使用される農薬の水系への汚染を防止するための濃度基準として、1990年に環境庁から21農薬について「ゴルフ場で使用される農薬による水質汚濁防止に係る暫定指導指針」が出され、その後の追加により現在30農薬について設定されている。さらに農薬の使用方法についても農薬取締法により、農薬の希釈倍率または施用量、年間の使用回数の設定により周辺環境への影響の防止を図っている。

一方、ゴルフ場の芝地に散布された農薬が降雨等により流出するメカニズムについては明らかになっていない

1995年8月31日受理

*中央農業技術センター

点が多く、農薬の安全使用にあたっては系外への流出量の検討とともに散布される農薬の種類も多様であることから簡易な流出量の評価法の開発が必要である。そこで、ライシメータを用い降雨による芝地からの農薬の流出について検討した。

材料及び方法

1 ライシメータの構造

試験は兵庫県立中央農業技術センター内で実施した。ライシメータは、自然降雨の影響がないように屋根を設けた。構造は、縦1 m及び横2 m、深さ80 cmのコンクリート製で、底には碎石を入れ、マサ(花崗岩風化土)を深さ60 cmに充填したもの(以下、マサ区と呼ぶ)と、上層に海砂とピートモスを8:2(V/V)の割合で混合したものを30 cm、その下にマサを30 cm充填したものを(以下、海砂区と呼ぶ)を用いた(図1)。充填土壌の表面は5°の傾斜をつけ表面水が傾斜下方に流れるようにし、ヒメコウライシバを1991年4月に張り付けた。試験は1993年6月~7月に実施し、試験期間中は芝の刈り込みは行なわなかった。

2 供試農薬と施用量

供試した農薬は、芝に登録適用があり、試験開始当時の県下ゴルフ場で使用量の多かった殺虫剤ダイアジノン40%乳剤、同クロルピリホス40%乳剤、同イソフェンホス5%粒剤、殺菌剤フルトラニル25%とイソプロチオラン20%の混合水和剤、除草剤CAT50%水和剤、同プロピザミド50%水和剤、同ベンディメタリン45%フロアブルを用いた。各薬剤の施用量及び投下成分量は表1に示した。

散布方法は、乳剤、水和剤、フロアブルは所定量に希釈し、ジョロで芝表面に散布した。粒剤は手で均一に散布した。

3 降雨処理と採水方法

降雨は、降雨装置(大起理化工業製)により農薬散布1日後、3日後、7日後、14日後、21日後、28日後、35日後に行なった。降雨量は時間雨量60 mmの強度で、10分間(雨量10 mmに相当)と20分間(雨量20 mmに相当)行なった。

採水は、表面流去水を採用するため土壌表面の傾斜下部と、浸透排水を採用するためライシメータの底部の2カ所の排水口から行なった。採水間隔は、表面水については降雨処理の当日、浸透排水は農薬散布14日後の降雨処理までは降雨処理の当日、翌日、2日後及び次の降雨処理日の降雨前に水量と農薬濃度の測定を行なった。農薬散布21日以降は、降雨処理の翌日、次の降雨処理前に行なった。

4 分析方法

採取した表面流去水と浸透排水は、保存期間中の分解による消失を防ぐために採水当日に農薬の抽出を行なった。

表面流去水からの農薬の抽出は、ジクロロメタンを用いて次のように行なった。まず、よく混合した表面流去水から200 mlを採取し、塩化ナトリウム5 gとジクロロメタン50 mlを加えて5分間振とうし、静置後ジクロロメタン層を分取した。水層に再度ジクロロメタン50 mlを加え、振とうし、ジクロロメタン層を取り、前回のものと合わせた。ジクロロメタン溶液は、無水硫酸ナトリウムで脱水後、40℃下でロータリーエバポレータによりジクロロメタンを留去し、アセトンで5 mlに定容した。

浸透排水からの農薬の抽出は固層抽出法により次のように行なった。浸透排水をよく混合した後500 mlを採取し、予めメタノール5 ml、蒸留水10 mlでコンディショニングしたODS-カートリッジカラム(Mega Bond Elute C₁₈® カラムサイズ1 g/6 ml)に約10 ml/分の流量で通過させ農薬を吸着させた。カラムからの溶出は酢酸エチル10 mlで行なった。溶出液は無水硫酸ナトリウム

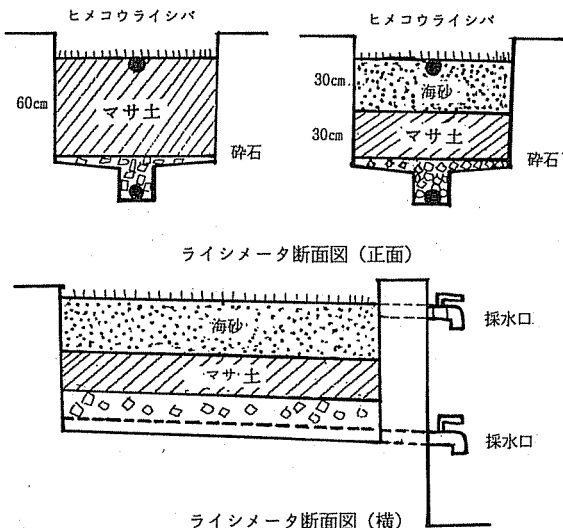


図1 ライシメータの構造

表1 供試薬剤と成分投下量

農薬名	施用量	成分投下量
ダイアジノン	40%乳剤 1000倍 1ℓ/m ²	800mg/区
クロルピリホス	40%乳剤 1000倍 1ℓ/m ²	800
イソフェンホス	5%粒剤 6g/m ²	600
フルトラニル25%+イソプロチオラン20% 水和剤	500倍 1ℓ/m ²	フルトラニル 1000 イソプロチオラン 800
CAT	50%水和剤 0.3g/m ²	300
プロピザミド	50%水和剤 0.5g/m ²	500
ベンディメタリン45%フロアブル	0.5g/m ²	450

で脱水後、酢酸エチルを40℃下でロータリーエバポレータにより留去し、アセトンで5 ml に定容した。

なお、試薬のアセトン、ジクロロメタン、メタノール、酢酸エチルについては残留農薬分析用、無水硫酸ナトリウムと塩化ナトリウムについては試薬特級を用いた。

測定は、ダイアジノン、クロルピリホス、イソフェンホスについてはFPD-GCを、フルトラニル、イソプロチオラン、プロピザミドについてはECD-GCを、CAT、ペンディメタリンについてはFTD-GCをそれぞれ用いた。

今回の分析の回収率は、表面排水及び浸透排水において各農薬とも80%以上、検出限界濃度はダイアジノン、クロルピリホス、イソフェンホス、CAT、ペンディメタリンがそれぞれ1.0 ppb、フルトラニル、イソプロチオラン、プロピザミドが各0.5 ppbであった。

結 果

表面流去水は、マサ区の20 mm 降雨処理の農薬散布1日後と3日後の2回だけ採取できたが海砂区では表面流去水は発生しなかった。表面水中の農薬濃度は表2のようにフルトラニルとイソプロチオランは薬剤散布1日後と3日後でほとんど差がなかったが、その他の薬剤は3日後のほうが低くなった。

浸透排水は、20 mm 降雨ではマサ区と海砂区で水量に大きな差はなかった。10 mm 降雨では海砂区のほうがマサ区に比べ浸透排水の量が多かった。42日間の総排出量は、総降雨量が10 mm 降雨処理で140 ℓ、20 mm 降雨処理で280 ℓに対し、マサ区及び海砂区の20 mm 降雨処理

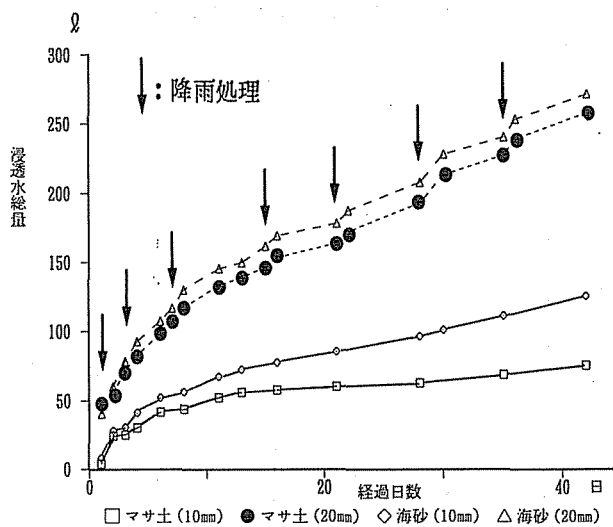


図2 ライシメータの浸透水量

表2 マサ区、20 mm 降雨における表面流去水中の農薬濃度

経過日数	水量	ダイアジノン	クロルピリホス	イソフェンホス	フルトラニル	イソプロチオラン	CAT	プロピザミド	ペンディメタリン
1日後	2.8 ℓ	1792ppb	104ppb	438ppb	388ppb	900ppb	869ppb	1188ppb	1196ppb
3日後	2.5	810	62	292	488	850	752	750	733

と海砂区の10 mm 降雨処理では降雨量のほぼ100%、マサ区の10 mm 降雨処理では約53%であった(図2)。

浸透排水中のダイアジノンは、マサ区、海砂区とも10 mm 降雨のほうが20 mm 降雨に比べ低濃度で推移した。マサ区の20 mm 降雨では農薬散布3日後、7日後の降雨により大きなピークを示し、160 ppbを超える高い値を示した(図3)。

クロルピリホスは、試験期間を通じて10 mm 降雨ではマサ区、海砂区とも浸透排水からは検出されなかった。20 mm 降雨では海砂区で農薬散布3日及び7日後に10 ppb前後のピークを示し、その後は2 ppb程度の検出がみられた。マサ区の20 mm 降雨では散布7日後の降雨処理の後、緩やかに濃度が上昇し、22日後まで検出された(図

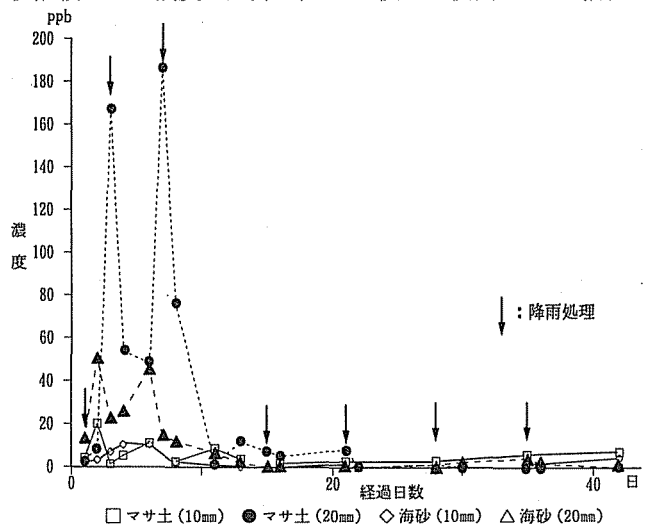


図3 ダイアジノンの浸透排水からの流出

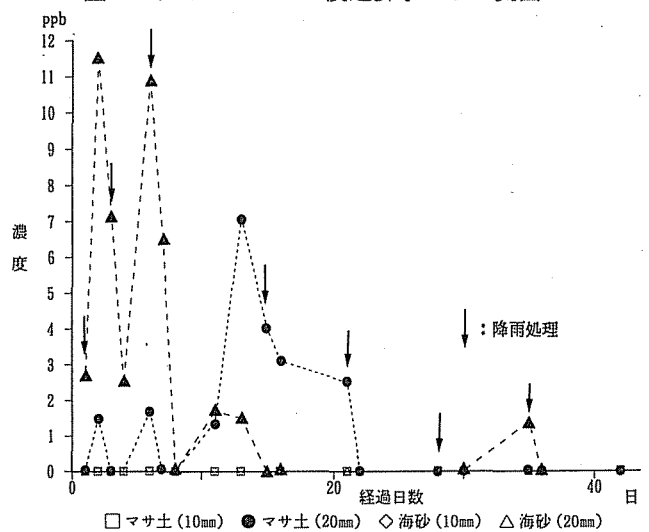


図4 クロルピリホスの浸透排水からの流出

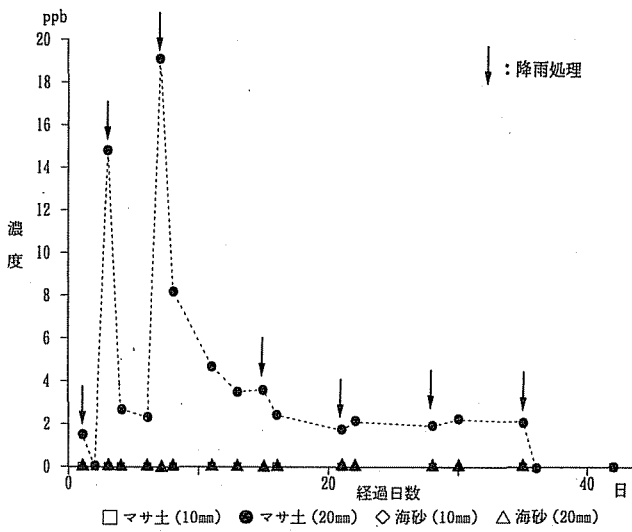


図5 イソフェンホスの浸透排水からの流出

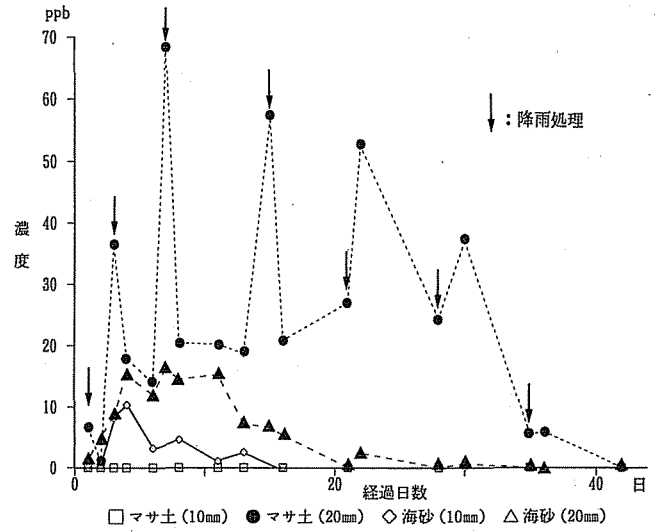


図8 CATの浸透排水からの流出

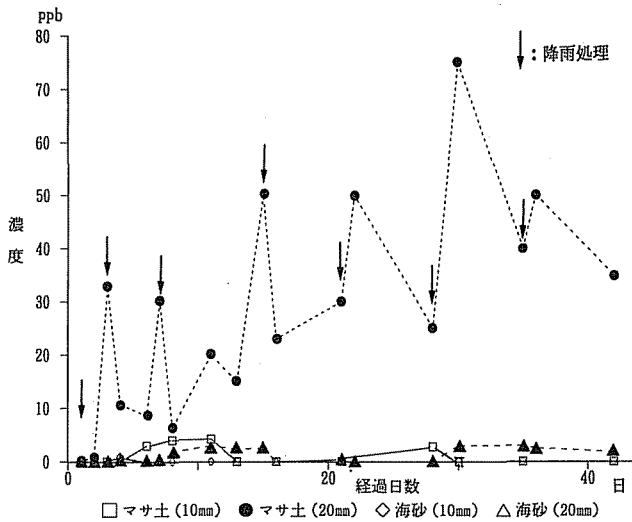


図6 フルトラニルの浸透排水からの流出

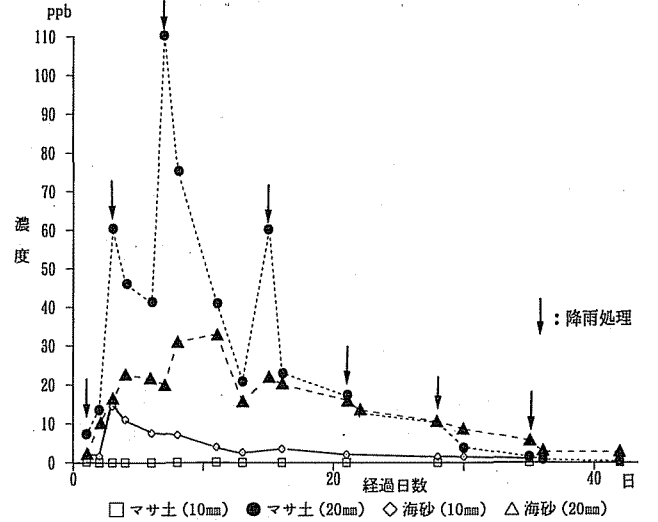


図9 プロピザミドの浸透排水からの流出

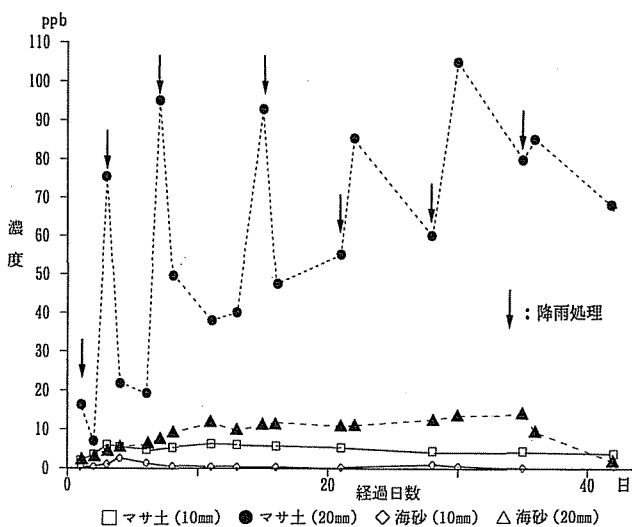


図7 イソプロトクロランの浸透排水からの流出

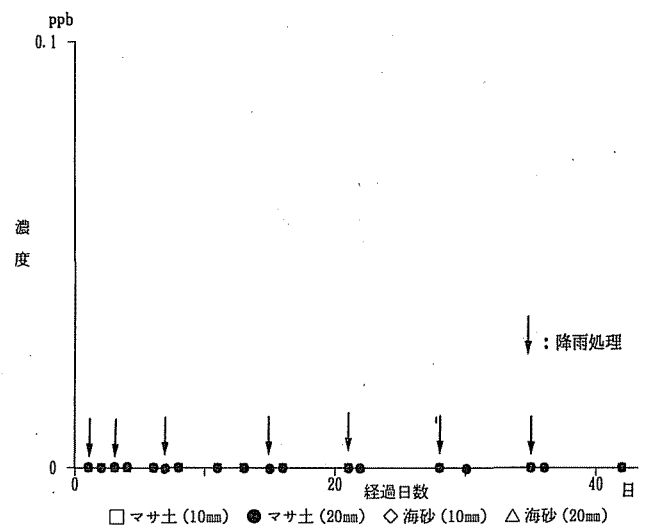


図10 ペンディメタリンの浸透排水からの流出

4).

イソフェンホスは、海砂区の10mm, 20mm降雨, マサ区の10mm降雨とも浸透排水からは検出されなかった。

マサ区の20mm降雨では農薬散布3日後, 7日後の降雨直後に大きなピークを示し, その後1か月間緩やかに減少した(図5)。

フルトラニルは、海砂区の10mm降雨では浸透排水中にほとんど検出されず、20mm降雨でも数ppbしか検出されなかった。マサ区の10mm降雨では農薬散布後2週間数ppb程度検出されたが、その後は検出されなかった。20mm降雨では各降雨処理の直後に浸透排水中の濃度が大きく上昇し、散布42日後においても30ppb検出された(図6)。

イソプロチオランは、浸透排水には海砂区の10mm降雨で1ppb以下の低い濃度で42日間ほとんど一定状態のまま推移し、20mm降雨ではやや高く10ppb程度で同

表3 薬剤処理後42日間のライシメータからの流出量

農薬名	処理	表面流去水	浸透排水	計
ダイアジノン	マサ 10mm降雨	—	25	25 (0.003%)
	20mm	7043	7070	14113 (1.76)
	海砂 10mm降雨	—	398	398 (0.05)
	20mm	—	3513	3513 (0.44)
クロルピリホス	マサ 10mm降雨	—	0	0 (0.00%)
	20mm	447	177	624 (0.08)
	海砂 10mm降雨	—	0	0 (0.00)
	20mm	—	774	774 (0.10)
イソフェンホス	マサ 10mm降雨	—	0	0 (0.00%)
	20mm	1954	837	2791 (0.47)
	海砂 10mm降雨	—	0	0 (0.00)
	20mm	—	0	0 (0.00)
フルトラニル	マサ 10mm降雨	—	86	86 (0.01%)
	20mm	2304	6414	8718 (0.87)
	海砂 10mm降雨	—	11	11 (0.001)
	20mm	—	272	272 (0.03)
イソプロチオラン	マサ 10mm降雨	—	338	338 (0.04%)
	20mm	4645	13772	18417 (2.30)
	海砂 10mm降雨	—	85	85 (0.01)
	20mm	—	2003	2003 (0.25)
CAT	マサ 10mm降雨	—	0	0 (0.00%)
	20mm	4312	5246	9558 (3.19)
	海砂 10mm降雨	—	207	207 (0.07)
	20mm	—	1471	1471 (0.49)
プロピザミド	マサ 10mm降雨	—	2	2 (0.000%)
	20mm	5200	6426	11626 (2.33)
	海砂 10mm降雨	—	439	439 (0.09)
	20mm	—	3601	3601 (0.72)
ペンディメタリン	マサ 10mm降雨	—	0	0 (0.00%)
	20mm	5181	0	5181 (1.15)
	海砂 10mm降雨	—	0	0 (0.00)
	20mm	—	0	0 (0.00)

※ 単位：μg%は投下成分比

表4 農薬の水溶解度とライシメータからの42日間の流出量との相関係数

	マサ区		海砂区	
	10mm降雨 浸透排水	20mm降雨 表面流去水	20mm降雨 浸透排水	10mm降雨 浸透排水
水溶解度	0.678	0.406	0.742*	0.314
				0.505

* : t検定により5%有意

じように推移した。

マサ区では10mm降雨では5ppb程度で一定であったが、20mm降雨では各降雨直後にピークを示し、農薬散布42日後には約70ppbまで上昇した(図7)。

CATは、マサ区の10mm降雨では試験期間中浸透排水の濃度は検出限界以下であったが、20mm降雨では各降雨処理直後にピークを示し、農薬散布7日後の降雨直後約70ppbまで上昇し、その後ゆるやかに低下した。海砂区の10mm降雨では農薬散布3日後の降雨直後に10ppbまで上昇したがその後減少し20日以降は検出されなくなった。20mm降雨でも同じく約15ppbまで上昇し約1週間程度この濃度を保ったがその後減少し、散布1か月以降はほとんど検出されなくなった(図8)。

プロピザミドは、マサ区10mm降雨では浸透排水中に検出されなかった。20mm降雨では農薬散布3日後、7日後、14日後の降雨直後にピークを示したがその後は緩やかに減少した。海砂区の10mm降雨では薬剤散布3日後に約15ppbまで上昇し、その後減少した。20mm降雨では薬剤散布10日後に約30ppbまで上昇しその後緩やかに減少した(図9)。

ペンディメタリンは、10mm降雨及び20mm降雨の海砂区及びマサ区とも浸透排水中に検出されなかった(図10)。

各農薬の表面流去水、浸透排水からの散布後42日間の流出量と投下成分量に対する流出率を求めた(表3)。マサ区の場合、降雨量10mmではイソプロチオランが流出率0.04%、フルトラニル0.01%、ダイアジノン0.003%となった。雨量が20mmになると各農薬で流出量が多くなり、CATで3.19%を最高に、ダイアジノン、イソプロチオラン、プロピザミド、ペンディメタリンで数%の値であった。しかし、クロルピリホス、イソフェンホスは0.08%、0.47%と低かった。海砂区の10mm降雨では、プロピザミド0.09%、CAT0.07%、ダイアジノン0.05%、イソプロチオラン0.01%となった。20mm降雨では、マサのように流出率は大きく増加せず、プロピザミドの0.72%が最高であった。

考 察

ゴルフ場の芝地に散布された農薬が周辺水系へ流出する経路としては、降雨や灌水などにより発生する表面流去水や浸透排水によるものが考えられる。今回の試験に用いたライシメータは、ゴルフ場のグリーンを想定した海砂及びマサを充填したものとフェアウェイを想定したマサのみを充填した2種類のものであったが、供試した8農薬のほとんどが表面流去水、浸透排水中から検出され、

いずれの農薬も表面流去水中の濃度は浸透排水に比べ数倍から数十倍高かった。このことから、実際のゴルフ場においても農薬散布直後の強い降雨には十分注意する必要がある。しかし、その流出期間や量は農薬により異なり、また降雨量や散布された土壌によっても違いがあった。一般的に土壌からの農薬の浸透流出を考えると、流出期間の短かった農薬は土壌中での分解が速いこと、流出濃度の低かった農薬は土壌及び芝への吸着が強いことがその要因として挙げられる。今回供試した農薬の中では有機リン系殺虫剤であるダイアジノン、クロルピリホス、イソフェンホスは、散布後比較的短期間のみ流出が認められ、流出率も低かったことから土壌中での分解が速く、吸着も強かったと考えられる。一方、殺菌剤のフルトラニル及びイソプロチオラン、除草剤のCAT、プロピザミドは、土壌での分解も遅く、吸着もそれほど強くなかったことから散布後徐々に濃度の上昇が認められ流出期間も長くなり、流出率も高くなったと考えられる。しかし、これらは大気中への揮散も含め複合的に作用しており今後さらに農薬の土壌中での消長を検討する必要がある。

農薬の水を介した流出現象には、その薬剤の水溶解性が大きな要因となることも考えられる。そこで今回の8農薬の水溶解度²⁾と流出量の多かったマサ区20mm降雨の浸透排水による流出量の相関をみたところ、水溶解度と流出量の間に関連係数0.742(5%有意)の相関を示した(表4)。表面流去水及び海砂区については水溶解度と流出量とに相関は低かった。表面流去水による流出量と水溶解度との相関が低かったのは、製剤を用いたため農薬成分の水溶解度と異なったためと考えられる。雨量と総流出量との関係を見ると、検出されなかったイソフェンホスの海砂区とベンディメタリンを除いて、雨量が多くなると総流出量は多くなった(表3)。

土壌と農薬の流出との関係を見ると10mm降雨ではダイアジノン、CAT、プロピザミドがマサ区より海砂区のほうが流出量が多かったが、フルトラニル、イソプロチオランではマサ区のほうが多くなった。しかし、20mm降雨では総流出量はマサ区のほうが多く、クロルピリホスを除いては浸透排水のみの流出量においてもマサ区が海砂区より多くなった。このように農薬の降雨による流出は、雨量が少ない場合には土壌吸着の影響を受けるため農薬の種類により違いが出るが、表面流去水が発生するような多量の降雨条件下では、この要因は弱くなり、ほとんどの農薬では雨量の増加により流出量も多くなると考えられる。

ゴルフ場で使用される農薬の水系への流出を調査した

研究事例は膨大な労力を必要とするため少ない。小田中らは、ライシメータ試験から17農薬の浸透流出を検出したところ、本研究でも取り上げたイソプロチオラン、フルトラニルを含め5農薬の浸透量が多いことを報告している³⁾。酒井らはグリーンを使って降雨による浸透排水中の農薬の流出を調査し、ダイアジノンが比較的流出しにくく、フルトラニルや、イソプロチオランが流出しやすいことを報告している^{4,5)}。また、鬼原らはゴルフ場の調整池で農薬のモニタリングを行いCAT、フルトラニル、イソプロチオランが年間を通じて高頻度で検出され、CAT、フルトラニルは降雨直後に濃度の上昇が認められると報告している¹⁾。環境庁では全国的に行なった水質調査結果を毎年発表しており、本試験実施前年の平成4年度、30農薬について約11万検体の調査では、ダイアジノンが検出率2.1%、クロルピリホスが0.46%、イソフェンホスが0.3%、フルトラニル25.5%、イソプロチオラン13.4%、CAT15.0%、プロピザミド4.6%、ベンディメタリン0.89%と平均検出率4.1%からみて、本試験の流出傾向と同様の傾向が推測される。

しかし、今回のライシメータ試験の値と他のライシメータ試験では降雨量や充填土壌に違いがあるため厳密に比較することができず、実際のゴルフ場での測定値もそのままライシメータの値と一致することはないが、降雨量などの試験条件に検討を加えることにより、ライシメータを用いてゴルフ場での農薬の流出をより正確に予測することが可能と考えられる。

引用文献

- (1) 鬼原久和・松中昭一(1991): ゴルフ場に施用された農薬の挙動に関する研究 調整池の農薬濃度のモニタリング: 日本農薬学会 第16回大会要旨集, 122
- (2) 農薬残留分析法研究班編(1995): 最新農薬の残留分析法(中央法規出版): 146, 190, 322, 370, 374, 479, 541, 582
- (3) 小田中芳次・谷口敏彦・島村裕二・飯島和昭・狛由起子・武智朋子・俣野修身(1994): ゴルフ場における農薬の表面流出および地下浸透: 日本農薬学会誌 19, 1-10
- (4) 酒井 隆・内山武夫・広田秀憲(1991): ゴルフ場グリーンでの地下排水による農薬流出について: 日本芝草学会平成3年度春季大会講演要旨集, 93-94
- (5) 酒井 隆・石塚千司・島津是之・大城和文・内山武夫・広田秀憲(1992): ゴルフ場グリーンでの地下排水による農薬流出についてII: 日本芝草学会 平成4年度春季大会講演要旨集, 93-94