

水質汚濁物質の流出に関する造成中のゴルフ場における実験

EXPERIMENTS ON POLLUTANTS RUN-OFF IN A GOLF COURSE
UNDER LAND SITE DEVELOPMENT

尾島勝*・向井亨**

By Masaru OJIMA and Akira MUKAI

The purpose of this study is to investigate on the moving characteristics of pollutant matters into the soil and water of a golf course.

As for the behavior of agricultural chemicals and chemical manures scattered on a golf course under the natural conditions, the on-site experiments were carried out. The test samples of water and soil collected from the sampling points were analyzed by chemical methods, and the concentrations of pollutant matters were clarified quantitatively.

Keywords : On-site Experiment, Water Pollution, Pesticides, Chemical Manures, Gaschromatography,

1. はじめに

近年、農業による環境汚染や健康障害が深刻な社会問題になっており、とくにその汚濁源がゴルフ場である場合の批判は大きい。

現在、日本で造成中のゴルフ場は、透水性・排水性を高めるための土壌改良や施工がなされ、その結果として、土壌の保水力・水源かん養力が小さくなり、降雨の大部分は短時間で流出し、地下浸透しにくい構造になっている。

本研究では、ゴルフ場造成に伴う降雨流出の変化状況と、パッティング・グリーン上の散布農業の挙動、とくに農業の土中浸透性や土壌吸着性、植物分解能などを解明することを目的とし現地実験を行い検討したものである。

2. ゴルフ場造成地における地形・地質ならびに降雨・地下水流出特性

2・1 地形・地質特性

ゴルフ場造成地は、面積約 107ha、標高 200～110mの低山地の東側斜面に位置し、大部分はアカマツ、アラカシ群の天然針葉樹林の植生をもち、改造地形のほぼ中央部に 2本の谷筋がある。この山体は、

* 正会員 工博 福山大学教授 工学部土木工学科

** 学生会員 福山大学大学院

(〒729-02 広島県福山市学園町一番地三蔵)

深成岩の花崗岩質であり、岩体の硬さは軟、風化深度は10m以浅の中程度と判定されている。また土壌は大部分が乾性褐色森林土壌の砂ないし砂質土であり、A層（腐食土層）は薄い。深さ0.5mの表層土砂の粒度組成分析によれば、比重2.69、有効径（ D_{10} ）0.07～0.31mm、均等係数（ U_c ）7.1～12のシルト混じり砂に分類される。東側斜面の造成地は、斜度 3° ～ 15° 未満が大部分を占め、 20° 以上～ 40° 未満の急傾斜面がほとんどである西側に比べ緩やかな山体傾斜である。

2・2 降雨・地下水流出特性

(a) 降雨・河川流量

ゴルフ場造成地を含む大佐山は、一級河川芦田川の中流部に位置し年総雨量は約1200mmと少なく、本川における平均渇水流量は府中で $2.90\text{ m}^3/\text{s}$ 程度と小さい。大佐山の西側を流れる支川神谷川は流域面積 74.1 km^2 で、流量の豊・平・低・渇の平均値は 1.04 、 0.50 、 0.30 、 $0.17\text{ m}^3/\text{s}$ である。平成3年と平成4年のゴルフ場造成期間中の建設地点周辺の降雨ならびに河川流況を考察するために、神谷川（川原）流量と降雨量の日変化を図-1に示した。平成3年の川原における河川流況は、豊・平・低・渇は、それぞれ 1.48 、 0.58 、 0.22 、 $0.13\text{ m}^3/\text{s}$ であり、低水および渇水流量が平均値以下であり利水条件からみれば、神谷川水系では平常時より悪い。我々がゴルフ場で現地観測を実施した平成4年3月～9月の期間においては、平水流量 $0.58\text{ m}^3/\text{s}$ を維持している期間が長く、とくに3月～4月、6月中旬～7月、8月中旬～9月下旬の3期間は $1.48\text{ m}^3/\text{s}$ と豊水流量以上を維持している多雨期間であった。

(b) 降雨浸透流出の実測

ゴルフ場造成中の大佐山の原地形を残す 16° ～ 18° の傾斜面の谷筋に、所定の間隔（約12m）に3個の間隙水圧計を設置し、間隙水圧を計測して、降雨に伴う山林地中水分の挙動ならびに流出について明らかにした。計測結果を、それぞれの地下水頭（水位）として日降雨量とともに示したのが図-2である。観測地点No.1～No.3の地下水位の変動波形は、概観的には極めてよく一致しているといえ、と

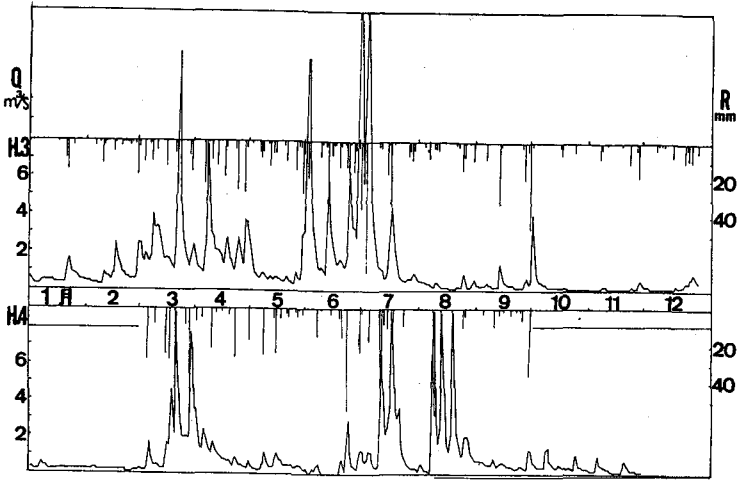


図-1 神谷川（川原）流量および降雨量の日変化

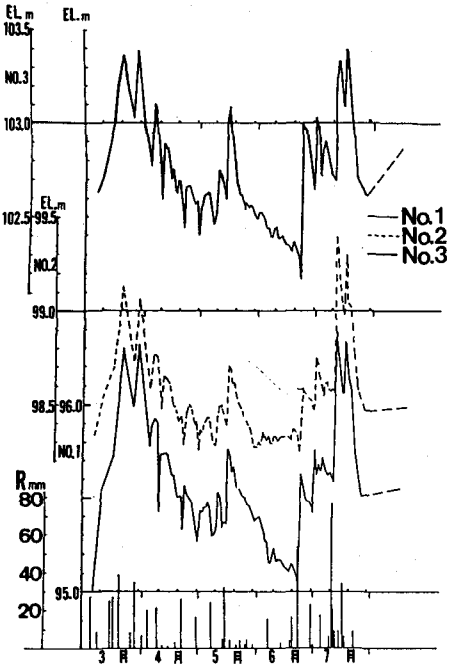


図-2 地下水位および降雨量の日変化

くに20mmを超えるような降雨に対する応答はより明確であり、また、降雨より一日遅れて水位ピークが出現していることがわかる。

実験を行った山林地における透水係数は、土質ボーリング結果に基づく観測用井戸付近の原地盤表層土の10%粒径 ($D_{10} = 0.031\text{cm}$) に対しコツェニー式に基づき計算した結果 0.106cm/s となる。

そこで降雨発生前後の動水勾配を比較した、4月22日、5月15日、6月23日とその翌日に対して透水流速を計算すれば表-1 のようになる。これらをみると、標高の高いNo.3 からNo.2 への浸透流速よりも、No.2 から最下部のNo.1 への浸透流速は減少しており、山腹斜面の下で浸透水の滞留が生じていることがわかる。例えば 5月15日の降雨33mmに対する水位ピークは標高の一番高い測点No.3 では6日後の21日にはほぼ15日の水位状態に戻っているが、測点No.2、No.1 での水位でい減はNo.3 に比べて緩やかでありNo.2 では25日に、最下部測点のNo.1 では31日にはほぼ降雨前の地下水位状態に戻っていることで実証されている。

表-1 大佐山山林地における透水流速

透水流速 (cm/s)	日	4/22	4/23	5/15	5/16	6/23	6/24
No.2~No.1		0.026	0.025	0.026	0.026	0.029	0.026
No.3~No.2		0.038	0.039	0.039	0.040	0.031	0.040

3. ゴルフ場内表流水および地下水の一般水質の調査・分析

3・1 水質調査測点の選定と水質分析法

大佐山東側斜面に造成中のゴルフ場からの雨水や浸透水は、大部分が農業用水利用の大佐池に流入し、戸手川を流れて芦田川に至る。工事中の汚濁水や造成後の汚染水が大佐池に流入することは避けなければならない。

このようなことから、ゴルフ場造成期間中の流出水および地下水の一般水質の変化を監視するため図-3 に示すように、

540 m²のテストグリーン直下集水樹 (①)、6300m²で貯留量 22400m³ の貯留池 (②)、第3調整池 (③) のゴルフ場内3測点に加えて、第3調整池 (地下水) (④)、大佐池出口 (⑤) の2測点を選定しほぼ半月毎に採水した。採水試料の水質分析項目は、COD、SS、T-N、T-Pであり光波分析の原理によるハック社 (米国) のDR2000水質分析器を用いた。

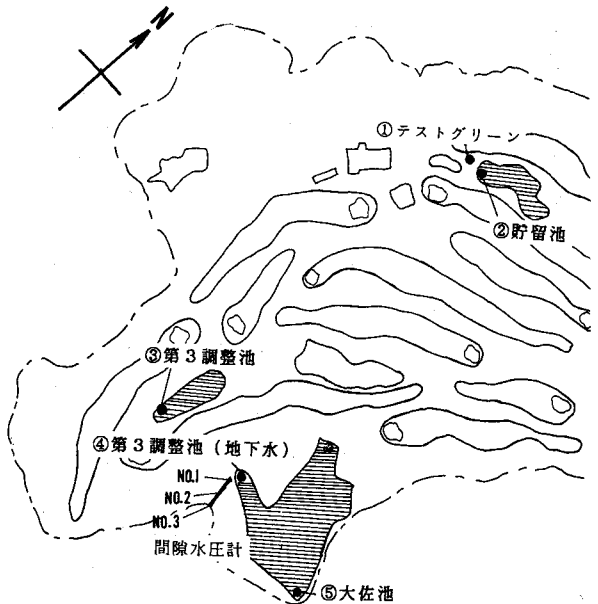


図-3 調査対象ゴルフ場区域図

3・2 水質分析結果とその考察

ゴルフ場のコース造成がほぼ完成した平成4年7月から平成5年1月のほぼ半年間に行った、数回の水質調査結果について考察する。

調査地点ごとに水質調査結果をまとめて示せば表-2 のようである。

採水日の降雨条件をみれば、第1回目の7月31日は長期無降雨期間 (7/23~8/7) のほぼ中間日にあたり、8月19日は断続した強降雨期の直後にあたり、9月3日は8月26日以降の無降雨継続期であり、9月16日は小降雨後、10月1日は9月29日の36mmの降雨後、10月9日は2日間続いた降雨後、1月8日は前日に降雨があった。

テストグリーン
ならびに貯留池の
COD値をみれば、
強降雨後に高い値
を示しており、と
くにテストグリー
ン集水樹にその傾
向が顕著である。
また逆に、長期無
降雨期間中の 7 月
31日の COD 値は
極めて小さいこと
から、グリーン育
成のための施肥や散布農薬からの流出成分に起因するものと
推測できる。

SS 値については、浸透水以外の流れ込みのないテストグ
リーン集水樹の値においては、降雨状態にかかわらず小さな
値を保っているのに対して、表流水の直接流入や他施設から
の流入が考えられる貯留池では数値の変動が大きいがわかる。
しかし、河川水質基準値 25mg/l に比べれば良好な状態にある。

第 3調整池は、ゴルフ場内の最も低い標高に位置し、コース内の
雨水排水の大半が集められる。水質分析の回数が少ないがここに示
した水質項目の各値は、テストグリーン、貯留池のそれに比べてや
や大きいようである。大佐池には、ここに示した第 3調整池谷筋の
地下水と第 2調整池筋の地下水が常時流入しており、その流入量は
それぞれ $613\text{cm}^3/\text{s}$ (日量 約 53m^3)、 $5700\text{cm}^3/\text{s}$ (日量 約
 496m^3) であり、無降雨期間であっても、その量はほとんど変わら
ない。ここで注目されるのは、第 3調整池谷筋の地下水の水質が極
めて悪いことである。特に SS 値が異常に高く、また、COD 値も
かなり高く、何らかの汚染源が考えられるが詳細については不明で
ある。今後十分に調査、検討しておく必要があるだろう。また、大
佐池の COD 値は 9 月 16 日に $24\text{mg}/\text{l}$ を示しているが、強降雨後に
高い値を示す傾向もなくむしろ流入量の増大により濃度希釈が起こ
っていることも考えられる。

4. パッティング・グリーン散布農薬の挙動に関する現地実験

4・1 テストグリーンの構造と計測器機

図-4 に示すような面積 540m^2 のサンドグリーンをテスト
グリーンとした。

グリーン構造は、4~5cm 厚の芝(ペント)土の下に、15cm 厚の細砂、20cm 厚の粗砂が敷かれ、最下
部には暗渠排水管が図に示すように、ほぼ 5m 間隔で木枝状に配敷されている。実際のグリーンは飽和
度 50 % 程度であることが望ましく、通常の降雨や散水に対してはグリーンの土湿状態はほとんど変化

表-2 水質測定結果

① テストグリーン

項目	観測日	7/31	8/19	8/3	8/16	10/1	10/9	1/9
COD (mg/l)	0	22	12.5	15	27.5	20	31	
SS (mg/l)	12.5	8.5	3	2	2.5	3	5	
T-N (mg/l)	1.7	7.9	4.3	6.6	9.4	8.0	3.8	
T-P (mg/l)	0	1.25	0.05	0.57	0.58	0.40	0.80	

② 貯留池

項目	観測日	7/31	8/19	8/3	8/16	10/1	10/9	1/9
COD (mg/l)	1	17	14.5	19	20.5	14	21	
SS (mg/l)	8	6	7.5	5	19.5	14.5	5.5	
T-N (mg/l)	2.5	6.0	5.1	6.6	7.6	9.5	8.3	
T-P (mg/l)	0	0.57	0.05	0.67	0.58	0.27	0.72	

③ 第 3調整池

項目	観測日	7/31	8/19	8/3	8/16	10/1	10/9	1/9
COD (mg/l)		21				18		
SS (mg/l)		7.5				38.5		
T-N (mg/l)		10.7				8.3		
T-P (mg/l)		0				0.80		

④ 第 3調整池 (地下水)

項目	観測日	7/31	8/19	8/3	8/16	10/1	10/9	1/9
COD (mg/l)	19	22.5	18.5	22	24		24	
SS (mg/l)	243	84.5	115	85	234		88.5	
T-N (mg/l)	6.5	(7.1)	(5.4)	104.3	(10.8)			
T-P (mg/l)	9	0	0.05	0	0.10			

⑤ 大佐池

項目	観測日	7/31	8/19	8/3	8/16	10/1	10/9	1/9
COD (mg/l)	8	16.5	11.5	24	19.5			
SS (mg/l)	4	10	18	14	156			
T-N (mg/l)	8	6.5	20	4.1	6.9			
T-P (mg/l)	0.12	0.83	0.12	0	0.10			

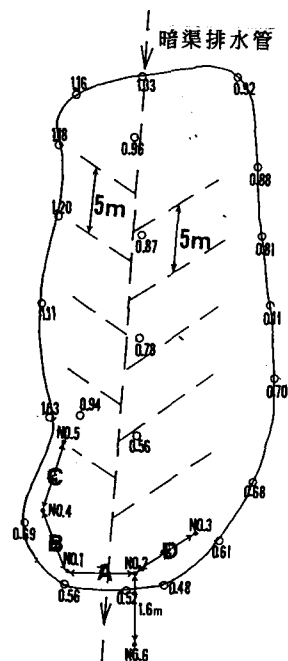


図-4 実験用パッティンググリーン

しない。グリーンの水分会(水分)変動を明らかにするために図のようにグリーンの下端部に6本のテンシオメータを埋設し、原則的には所定量の散水終了後の毎日定時(A.M. 7:00)に計測した。また、それぞれのテンシオメータ設置の中間点(A~Dの4箇所)からφ=20mmのホールカッターにより、25cm厚の砂柱試料を採取し、5cm毎の採土試料に分割して土中残留農薬の定量分析に供した。また採土日にはテストグリーンからの浸透排水集出槽と貯留池からも採水し、同じく農薬の検出分析を行った。

4・2 採水試料の農薬濃度の分析とその考察

農薬検出試料の採取日ならびに農薬検出値を表-3にまとめて示した。なお今回の分析ではテストグリーンへ散布される殺虫剤のMEPと殺菌剤のフルトラニルについてのみ行った。しかしながら、採水試料には他の薬剤、肥料等の成分も含まれていることから、分析法はGC-MS法を選んだ。得られた分析結果より以下のような考察ができる。

テストグリーンからの浸透流出水およびゴルフ場内の流出水を集めた貯留池からの検出値は、MEPについては全く問題はない。フルトラニルについては農薬散布は、6月15日、7月18日、8月1日の3回であり、最後の農薬散布から約3週間後の8月19日の検出値において前日の40mmの降雨の影響もあって、1.153ppmと高い値が検出され、さらに15日後の検出値においても1.146ppmと、ともにゴルフ場排水指針値(2.0ppm)に近い値が検出されている。また3ヵ月後の10月1日の検出値においても0.249ppmと水道水質目標値(0.2ppm)を上回る値が検出されるなど危険性をはらんでいると指摘できる。しかし貯水量の大きい貯留池水からの検出値には全く問題はなく、希釈による効果が大いといえる。

4・3 採土試料中の残留農薬濃度の分析

とその考察

(a) MEPについては表-3および図-5より明らかなように散布農薬の総量を決定できないがテストグリーンの残留農薬の大部分が層厚5~7cmの芝および芝土中から検出されていることがわかる。農薬散布直後の9月3日の検出値に注目すれば、芝土層からの検出値は5~3.5ppmでありゴルフ場からの排水許容値(0.1ppm)をはるかに超えているが、それより下部砂層からの検出値は0.18ppm以下と急減していることがわかる。すなわち、MEPの砂層下部への移行は極めてわずかであるといえる。さらに、それから約2週間後の9月16日の検出値をみれば、この期間中の降雨がほとんどないにもかかわらず芝土層はもちろん砂中各層の検出値が大幅に減少していることから、大気中への揮散や植物分解能、土壌分解能が極めて大きいことが推測できる。

(b) フルトラニルは表-3から明らかなように検出値の大部分は水道水質目標値(0.2ppm)を超えており、検出値の最大値は7.944ppmとゴルフ場排水指針値(2.0ppm)のほぼ4倍である。また下部層からも高濃度値が検出されている。これらの検出値の変化を降雨記録とともに時系列的に示したものが図-6である。

表-3 現地実験の農薬検出値

「MEP」

	7/14	7/31	8/12	8/19	9/3	9/16	10/1
採取日	7/14	7/31	8/12	8/19	9/3	9/16	10/1
(A) 芝		0.078	0.209	0.829	0.210	0.206	
L1		0.000	0.026	0.104	0.027	0.000	
L2		0.021	0.000	0.101	0.033	0.028	
L3		0.020	0.000	0.075	0.054	0.032	
(B) 芝		0.273	0.195	3.430	0.265	0.148	
L1		0.000	0.032	0.125	0.058	0.025	
L2		0.000	0.020	0.094	0.031	0.032	
L3		0.000	0.035	0.129	0.047	0.000	
(C) 芝		0.096	0.119	5.188	0.169	0.000	
L1		0.000	0.026	0.180	0.046	0.021	
L2		0.000	0.055	0.104	0.020	0.021	
L3		0.000	0.055	0.130	0.000	0.036	
(D) 芝		0.080	0.216	3.587	0.124	0.000	
L1		0.000	0.072	0.091	0.028	0.000	
L2		0.000	0.077	0.049	0.031	0.031	
L3		0.000	0.102	0.023	0.026	0.026	
貯留池	0.044	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	
貯留池	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	

「フルトラニル」

	6/15	7/18	8/1	8/19	9/3	9/16	10/1
採取日	6/15	7/18	8/1	8/19	9/3	9/16	10/1
(A) 芝		2.422	3.644	3.200	7.944	1.142	
L1		0.199	1.081	0.613	2.090	0.485	
L2		0.388	0.621	0.738	0.757	0.459	
L3		0.270	0.618	1.401	0.868	0.893	
(B) 芝		1.300	3.558	3.884	2.373	4.155	
L1		0.282	0.292	0.980	1.484	1.718	
L2		0.099	0.894	0.578	0.897	0.396	
L3		0.082	0.600	0.740	0.961	1.457	
(C) 芝		3.749	6.358	1.654	1.489	1.996	
L1		0.086	1.436	0.609	0.565	0.734	
L2		0.060	0.473	1.104	0.379	0.294	
L3		0.072	0.492	0.707	0.550	0.791	
(D) 芝		4.022	6.146	3.527	2.925	4.460	
L1		0.287	0.582	0.918	0.829	0.548	
L2		0.143	0.582	0.454	0.750	0.467	
L3		0.128	0.537	0.537	1.739	0.714	
貯留池	0.107	0.490	1.153	1.146	0.378	0.249	
貯留池	0.000	0.010	0.016	0.015	0.007	0.013	

8月19日の検出値に注目すれば、農業散布後19日を経過し、その間に前日の44mmをはじめ 8日 60mm、9日 24mm、12日 24mm、13日 14mm のかなりの降雨量にもかかわらず、芝土層内の残留農業濃度値は 3.56~6.36ppmと大きく、芝や土への吸着性はかなり強いことがわかる。また、下部砂層からの検出値も長い無降雨期間直後の 7月31日の検出値に比べれば数倍大きくっており、降雨浸透に伴う農業の下部砂層への移行や、グリーンの地形勾配に沿った下方移流が生じていることがわかる。さらに 9月16日の検出値をみれば、地盤高の低い測点への農業の集積の様相がうかがえる。すなわち、(C)よりも(B)の検出値の方が大きく、一番低い地盤面の(A)ではさらに値が増大しており、表層の芝土層では 7.94ppmの最高値が検出されている。また(A)よりは少し高い地盤面であるがグリーン全体としては下流端に近い(D)でも下部砂層に濃度集中がみられる。このようなことより、フルトラニルは残効性が高く、また浸透移行性も大きいことが確認された。

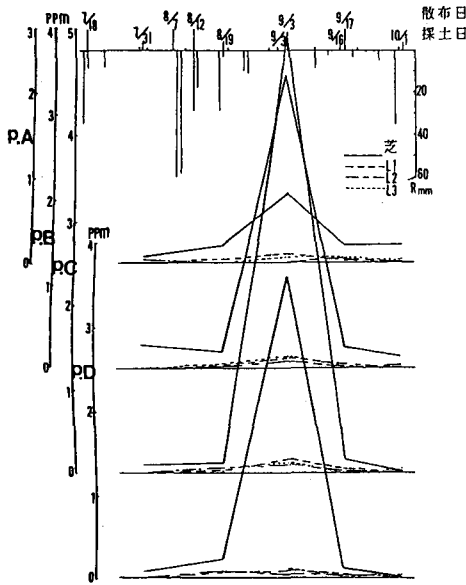


図-5 MEPの土中残留と移流状況

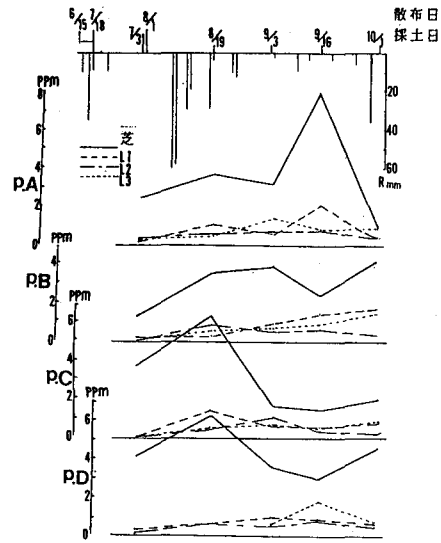


図-6 フルトラニルの土中残留と移流状況

5. あとがき

本研究で取り組んだ農業や化学肥料によるゴルフ場の水質汚染の問題は、本質的な解明が必要であるが、その定量的評価に関しては困難な点も多い。自然条件下での現地調査であるから、厳密な同じ条件を繰り返すことは不可能であり、また、散布した農業や肥料は時間的に消費分解されるものであるから物質の定量的収支関係を求めることもかなり困難である。しかし、本研究では実時間スケールでの水質汚濁物質の流出特性をかなり定量的に分析し、明らかにすることが出来た。

なお、本研究の場を与えていただき、ご協力をいただいた(株)備後開発に記して謝意を表します。また、農業の化学分析に対し、ご教示いただきました福山大学生物工学科の松浦史登先生にも謝意を表します。

本研究の一部はすでに第25回国際水理学会議において発表した。

参考文献

Masaru OJIMA・Fumito MATSUURA and Katsuya HORI: Experimental Analysis on Moving Characteristics of Pesticides Scattered in Putting-Greens of Golf Courses, XXV IAHR, D-10, pp.328~335, 1993.