

ゴルフ場排水中の肥料成分の流出特性と環境への負荷量

富森 聡子・長屋 祐一・田代 豊・谷山 鉄郎

(三重大学生物資源学部)

1994年11月17日受理

要旨 : ゴルフ場で使用される肥料について1993年6月から1994年5月末までの1年間、4日間隔8日間隔で採水し、肥料成分の流出特性を把握し、その負荷量を算出した。結果は次の通りであった。

全窒素は施肥後2~3日で無施肥時に比し高濃度に検出され始め、施肥量の多い5月に最高濃度を示した。全リンも同様、施肥後1~2日で無施肥時に比し検出濃度の上昇がみられ、春期に高濃度を記録した。7種類の肥料が使用され、散布量は年間、約28トンであった。グリーンに最も多量の肥料が散布された。ゴルフ場の流出負荷量は森林の負荷量に比し、全窒素は4倍、全リン43倍と、特に全リンの負荷量が多かった。ゴルフ場の芝草管理と水稻栽培における施肥量を比較すると前者は窒素11.2 kg/10 a, リン14.2 kg/10 a, カリウム10.0 kg/10 aで、後者は窒素8~15 kg/10 a, リン10~20 kg/10 a, カリウム10~20 kg/10 aであるので、肥料の使用量については類似していた。以上のことから、全国のゴルフ場は砂主体で、しかも排水第一に造成されており、かつ芝草管理も類似していることから、ごく一般的な中堅クラスのゴルフ場においても、排水は農業用水や河川、飲料水源、地下水等、周辺環境の水系に負荷をおよぼしていることが示唆された。
キーワード : カリウム, ゴルフ場排水, 全窒素, 全リン, 排水量, 肥料, 流出負荷。

Exhaust Characteristics and Loads of Fertilizer Nutrients in the Drainage from a Golf Course : Satoko TOMIMORI, Yuichi NAGAYA, Yutaka TASHIRO, Tetsuro TANIYAMA (*Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu 514 Japan*)

Abstract : We researched the amount of chemical fertilizer used on a golf course, fertilizer nutrients and flows in the drainage from the golf course every 4 or 8 days during the period from June 1993 to May 1994. Using these data, the exhaust characteristics of fertilizer nutrients were clarified and these loads in the drainage were estimated through survey. The results were as follows : Seven kinds of chemical fertilizers were used in the golf course and a total of about 28 tons of fertilizer were supplied in a year. A large quantity of chemical fertilizer was sprayed on the putting green. Regarding the exhaust characteristic in the drainages, total nitrogen was detected a few days after fertilizer application and showed the highest concentration in May 1994 when lots of fertilizer was given. Total phosphorus was measured immediately after fertilizer application and higher concentrations were found in the spring. The load in the drainage from the golf course was 4 times total nitrogen and 43 times total phosphorus in comparison with those from the forest. From these results, it is suggested that the drainage from golf course pollutes irrigation water, river, drinking water and ground water widely.

Key words : Amount of exhaust water from golf course, Drainage from golf course, Environmental effluent load, Fertilizer, Potassium, Total nitrogen, Total phosphorus.

ゴルフ場はリゾート法の成立にともない、内需拡大、過疎地域の活性化として、多くの森林を伐採し、建設が頻繁に行われている。その結果、全国で2000ヶ所以上のゴルフ場があり、ゴルファーも1500万人を越えたと推定されている。

ゴルフ場の開発は都市近郊から郊外へ、そして、水道水源のある河川の上流域へと広がっている。それにつれて自然環境の破壊や造成工事等に伴う濁水、あるいは使用農薬等による水質の汚染が懸念され、1990年に厚生省は水質目標値¹⁾、環境庁は指針値を定めた²⁾。日本のゴルフ場造成法は全米ゴルフ協会方式を採用し³⁾、排水を第一に考え、砂主体で造成され、芝の管理に重点がおかれて、芝草の管理は日常的に芝の刈り込み、施肥、病虫害、雑草防除、芝の更新および散水等である。これらによってゴル

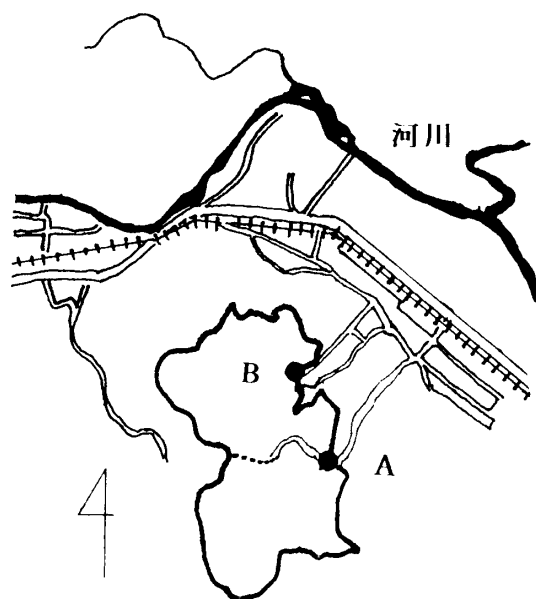
ファーのプレーを良好な状態にすることが芝草のきわめて重要な管理となっている。わが国の低照多雨下では、芝草に病虫害と雑草の多発が予想されるので除草剤、殺虫剤、殺菌剤の農薬や、グリーンのあざやかな緑を維持するために多量の化学肥料が散布されている⁴⁾。現在、ゴルフ場では使用農薬散布ごとに、排水中の農薬検査を自主的に実施し、環境汚染防止に努めるようになっており、農薬除去方法も種々検討されている。しかし、栄養塩類についてはゴルフ場排水の基準値はなく、環境基準の総窒素、総リンとして定められているにすぎない²⁾。現在、河川や地下水等を水道水源としている飲料水において、窒素汚染が広がり亜硝酸性窒素が多量に検出され、乳児にメトヘモグロビン血症の発症や、発ガン性が指摘されるに至っている。地下水中の硝酸性窒

素濃度が上昇する原因は、ゴルフ場や集約的畑作等に撒かれた窒素肥料の河川や地下水への流入が影響をおよぼしているのではないかと^{26,27)}。また、河川の富栄養化を引き起こし、海洋汚染へと進行するものと考えられる。ゴルフ場に散布された肥料の実態は不明な点が多く、報告例が少ない。したがって、今回はゴルフ場に散布された施肥量と、排出濃度・排水量を調査し、芝草管理のための栄養塩類の流出特性と負荷量から、水質汚染対策の基礎資料を提供する目的で実施した。

材料と方法

1. 調査方法

第1図に示した調査対象のゴルフ場は三重県中勢地方に位置し、18ホール118haの面積を有し、1977年7月にオープンした。施設、コース等中堅クラスのごく一般的ゴルフ場を選定し、ゴルフ場側の協力



第1図 ゴルフ場と採水地点 (A, B) の概略

のもとに実施することができた。

調査は1993年6月から1994年5月末までの1年間行った。採水は1993年6月3日から同年9月18日の間は施肥日が不明で4日間隔、施肥日が明確となった同年9月21日以降、同年10月23日までは毎日の調査を実施した。また、測定結果から判断して全窒素、全リン濃度が施肥日以前の低濃度になった以降は8日間隔で採水を行う方法をとった。ゴルフ場の排水口は2カ所で、排水地点はアウトコースの排水口 Station A (以下 St. A と示す)、インコースの排水口 St. B とした。芝草の肥培管理については施肥した肥料名(商品名)、時期、場所および施肥量とし、排水の分析試料については、採水時の排水量、pH 値、導電率、塩素イオン、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、全窒素、リン酸態リン、全リン、カリウムおよびマグネシウムを対象とした。調査期間中の降水量は津地方気象台の資料を用いた。

2. 分析方法

pH 値はガラス電極法、導電率は東亜電波工業製 CM-7 B 電導度計で測定、塩素イオンは硝酸第二水銀法、アンモニア性窒素は α ・ナフトール法、亜硝酸性窒素はスルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法を用い、硝酸性窒素はカドミウム・銅カラム還元法で亜硝酸性窒素および硝酸性窒素を測定し、亜硝酸性窒素を減じた。全窒素はペルオキシニ硫酸カリで高圧酸化分解後カドミウム・銅カラム還元法、リン酸態リンはモリブデン青法、全リンは全窒素と同様、酸化分解後モリブデン青法、カリウムは島津製作所製の原子吸光光度計を用い波長 766.5 nm、マグネシウムは同じく波長 285.5 nm で測定した。以上は JIS K 0102¹⁸⁾、上水試験方法に従った²⁰⁾。

3. 排水量測定方法

排水量の計測方法はゴルフ場からの排水を一定容積の升到導入し、満水までの時間を計測して排水量

第1表 ゴルフ場で使用された肥料名(商品名)と月別散布量(kg)。

肥料名	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
バーディーエース1号		625									625	1260
バーディーエース2号	1911					360						9237
バーディーラッシュ	183						80	80	60		60	
バーディーピーケー	240											
バーディー有機				8043								
マグホス									4825			
バーディーラッシュS											60	
合計	2334	625	0	8043	0	360	80	80	4885	60	685	10497

($L\text{min}^{-1}$)としたが、St. Aの場合ヒューム管の排水路をせき板でせき止め水位が一定となり流速が安定した時の単位時間あたりで計測した。St. Bも同様に測定容器に満水した時間を計測し排水量とした。

結 果

1. 芝草栽培管理

第1表にゴルフ場の年間芝草管理で使用された肥料名(商品名)と施肥量を月別に示した。バーディーエース1号(細粒), バーディーエース2号(普通粒), バーディーラッシュ(粉末であるが水溶液として散布), バーディー有機(粉), マグホス(粒), バーディーラッシュS(液体)の7種類の化学肥料とクロロゲン, ビオグリーン, キラグリーンの栄養剤で

あった。

ゴルフ場の肥培管理は春, 秋の施肥を主体とし, 芝草の生育状況をみながら部分散布やスポット散布が行われた。本調査ゴルフ場の肥培管理は1993年9月と1994年5月が主体で全コースへの施肥であった。降雨前の散布は, 降雨で肥料を溶かし, 施肥効果を促進するためである。1993年6月には約1カ月にわたりグリーン, アプローチ, ティーの各芝地への施肥, 11月ティー, 12月と1994年1月はグリーンへの施肥, 2月はフェアウェイ, アプローチにリンとマグネシウムの散布, 3月, 4月はグリーンへの施肥, 1993年6月から1994年5月末までの1年間における総施肥量は27,649 kgで約28トンに達した。第2表に散布した肥料の商品名と成分比を示した。成分量別にみると, 窒素2,174 kg, リン2,717 kg, カリウム1,930 kg, マグネシウム588 kgであり合計7.4トンであった。第3表に散布した肥料をゴルフ場の場所別に各成分量を換算して示した。フェアウェイに散布されたリンが2,031 kgで最も多く, 同じくフェアウェイの窒素, カリウムの順となり, アプローチに撒かれたマグネシウムは少量であった。第4表は施肥されたゴルフ場の場所別単位面積当たりの成分量を示した。各成分量を 1m^2 単位面積で比較すると, グリーンに撒かれた窒素がもっとも多く21.5 g, 次にグリーンのカリウム, リンの順であった。グリーンに施肥された量は面積当たり施用割合

第2表 ゴルフ場で使用された肥料名とその成分比。

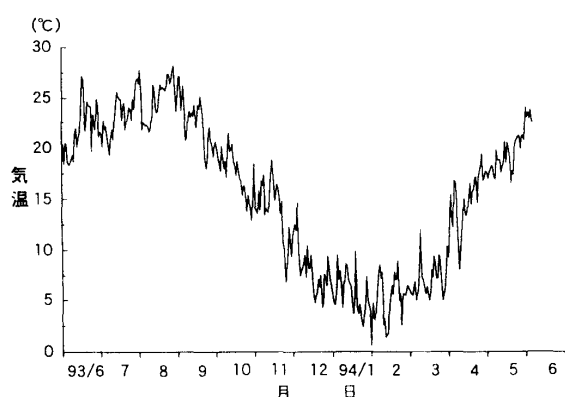
肥料名	成分比 (%)			
	N	P	K	Mg
バーディーエース1号	10	10	10	3
バーディーエース2号	10	8	8	3
バーディーラッシュ	25	10	10	
バーディーピーケー		12	18	4
バーディー有機	8	8	8	
マグホス		17		3.5
バーディーラッシュS	18	8	12	
クロロゲン	2.6	4	2	
ビオグリーン	2.1	4.3	0.6	
キラグリーン	2.8	1.5	2	1

第3表 ゴルフ場の場所別面積と成分別肥料の年間散布量 (kg)。

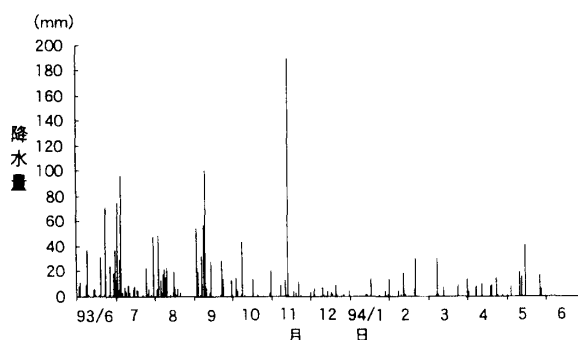
面積場所	7815 m ²	7500 m ²	17142 m ²	146125 m ²	14695 m ²
	コウライグリーン	ベントグリーン	ティー	フェアウェイ	アプローチ
肥料成分					
窒素		330	235	1462	147
リン		245	236	2031	205
カリウム		264	250	1286	130
マグネシウム		61	70	416	41

第4表 ゴルフ場の場所別単位面積当たりの成分別施肥量 (gm^{-2})。

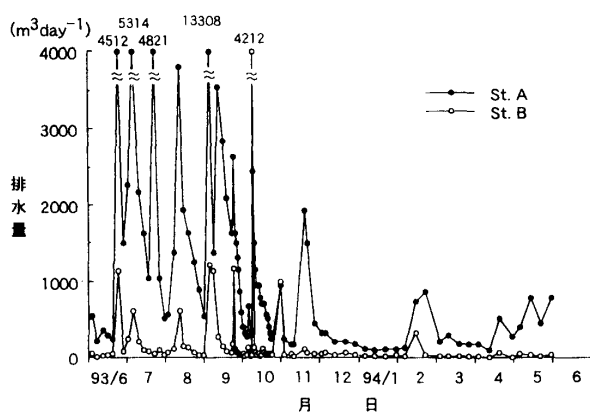
面積場所	7815 m ²	7500 m ²	17142 m ²	146125 m ²	14695 m ²
	コウライグリーン	ベントグリーン	ティー	フェアウェイ	アプローチ
肥料成分					
窒素	21.5		13.7	10.0	10.0
リン	16.0		13.8	13.9	14.0
カリウム	17.2		14.6	8.8	8.8
マグネシウム	4.0		4.1	2.8	2.8
計	58.7		42.2	35.5	35.6



第2図 調査期間中の気温(津気象台調べ)。



第3図 調査期間中の降水量(津気象台調べ)。



第4図 ゴルフ場からの排水量。

が最も高く、フェアウェイとアプローチは、ほぼ同じ割合で肥料が撒かれた。

2. 排水量

調査を開始した1993年6月からは降水量が平年より多く、気温も低かった。とくに施肥時期に雨天の日が続いた。第2図に気温、第3図に降水量を示した。

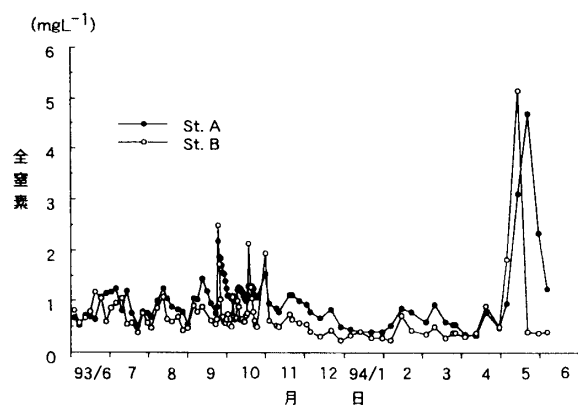
St. Aの排水量を第4図に示した。台風の影響を受けた1993年9月4日を除いて、1日の排水量が3千トン以上に達した日が5回あった。7月から9月の排水量が多く、12月から5月にかけては少量であった。夏の排水量は冬に比較して約6倍多かった。St. BはSt. Aに比べ排水量は少なかった。9月4日のSt. Aの排水量は前日の台風による降雨の影響を受けて急増したが、St. Bは次の採水日9月7日の排水量にも影響をおよぼした。このことからSt. Aへ流入する降雨は、排水管を通して速やかに排水路に流出するのに対し、St. Bは土壌中へ一時蓄えられた後、流れ出てくるものと考えられ、St. AとSt. Bの流出パターンは異なっていた。9月、10月の排水量は多量で、1、3および4月は少量で、その差は約18倍であった。第5表の月別平均排水量と月別総降水量の関係をみるとSt. Aは $r=0.926$ と高い正の有意な相関関係がみられ、St. Aへ流入する降雨は、排水管を通して速やかに排水路に流出することが裏づけられた。

3. 全窒素の流出特性

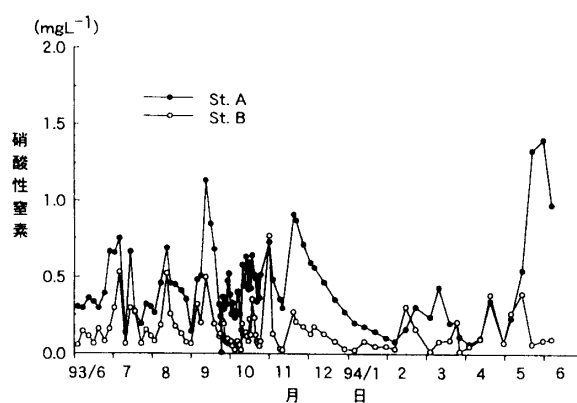
第5図に全窒素の経時変化を示した。1993年9月18日から21日のバーディー有機8,041kgと1994年5月2日から21日のバーディーエース1号と2号、合計10,317kgの2回が主な施肥であった。全窒素のピークは1993年9月23日から10月30日の第1ピークと1994年5月5日から29日の第2ピークがあった。これら2つのピークはいずれも施肥後より2日から5日後に最高値に達した。第1ピークは、フェアウェイとアプローチの施肥で、窒素の成分量

第5表 月別平均排水量と月別総降水量。

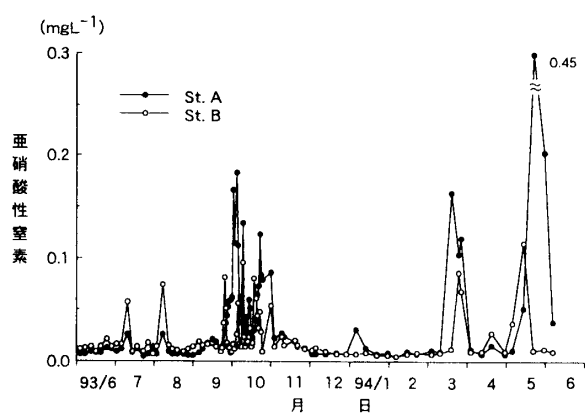
月	1993年					1994年						
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
排水量 (m³/日)												
St. A	1093	2352	1501	2446	702	749	247	110	578	218	266	602
St. B	194	174	150	311	284	51	47	20	121	13	19	33
総降水量 (mm)												
	255	337	180	351.5	102	228.5	37	20	73.5	46	64	104



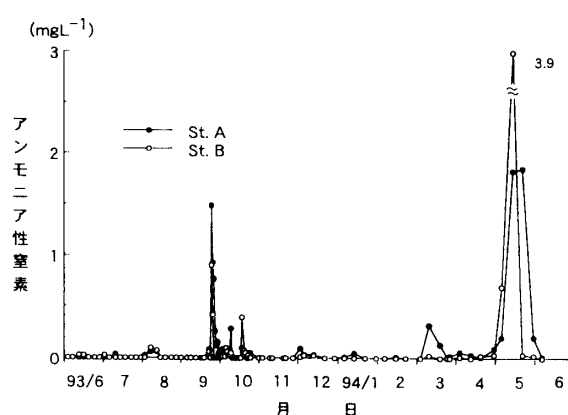
第5図 全窒素の経時変化。



第6図 硝酸性窒素の経時変化。



第7図 亜硝酸性窒素の経時変化。



第8図 アンモニア性窒素の経時変化。

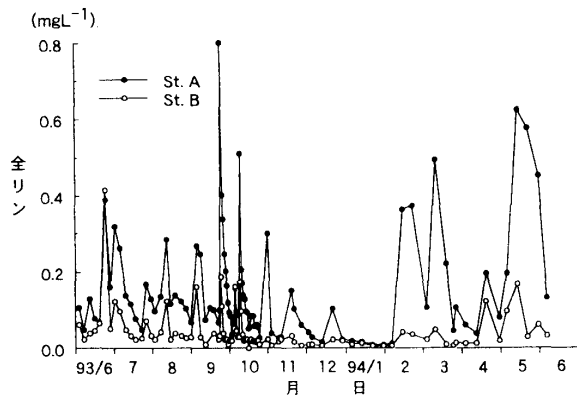
として 644 kg であった。第2ピークはコース全体の施肥で、成分で 1,050 kg に達した。第1ピーク、第2ピークとも全窒素は St. A より St. B の方が高濃度を示した。第1ピーク 2.5 mgL^{-1} 、第2ピーク 5.2 mgL^{-1} であり、施肥量が多くなるほど、濃度も高くなることを示した。窒素の施肥量が少ない12月、1月および2月は全窒素の排出濃度も低かった。第2ピークの主因は排水性の高いグリーンの施肥時期と一致し、土壌に吸着されることが少なく、したがって窒素の排出量も高かったものと考えられた。

第6図に1年間の硝酸性窒素の流出結果を示した。St. Aの方がSt. Bに比較して、全般的に高濃度で推移し、とくに1994年5月21日から調査終了日までの期間、その差は大であった。St. Aの場合、全窒素の第1ピークと硝酸性窒素のピークとは一致せず、9月11日の 1.13 mgL^{-1} が高濃度を示した。St. Aの硝酸性窒素は全窒素の第2ピークの1/2以下の濃度で、次の採水日(5月29日)に最高濃度 1.4 mgL^{-1} を示した。St. Bは10月30日に年間最大ピークを示したが、その他は 0.5 mgL^{-1} 以下の低い値で推移した。第7図に亜硝酸性窒素の年間流出結果

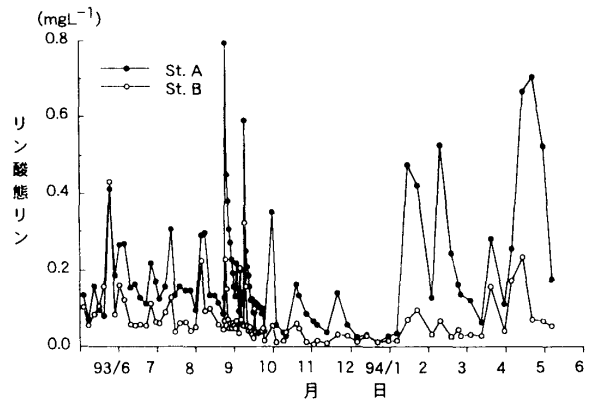
を示した。St. Aでは、10月3日、3月18日および5月21日と3ピークがみられたが、5月21日は最高濃度 0.45 mgL^{-1} を示した。St. Bは5月13日の 0.115 mgL^{-1} が最高濃度であった。

第8図にアンモニア性窒素の年間流出状況を示した。St. Bは5月13日に最高濃度 3.9 mgL^{-1} を検出した。St. Aは9月13日と5月13日から21日の2ピークがあった。しかしながら、 0.03 mgL^{-1} 以下の濃度がほとんどであった。

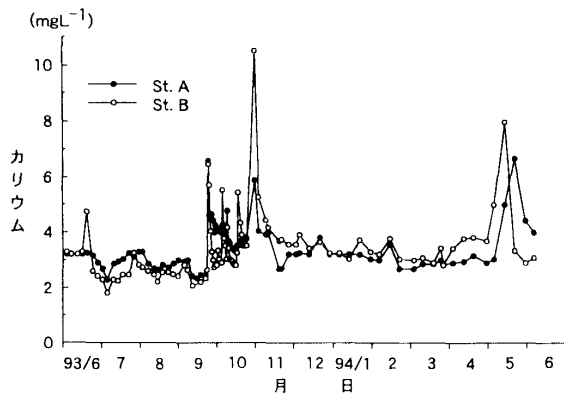
第5図の全窒素の第1ピークについて St. A, St. Bともに9月23日に高濃度に検出されたが、アンモニア性窒素も同一日に両採水地点とも、高濃度に検出された。また第2ピーク(5月13日)も同様に、St. Bで全窒素が最高濃度に、アンモニア性窒素も St. Bで 3.9 mgL^{-1} の年間を通して最高濃度に達した。全窒素とアンモニア性窒素の高濃度検出パターンは類似していた。また、全窒素と硝酸性窒素の挙動は類似パターンを示したが、硝酸性窒素と亜硝酸性窒素は St. Aの方がSt. Bに比較して、低濃度であった。St. Bでは亜硝酸性窒素とアンモニア性窒素の検出パターンは類似していた。



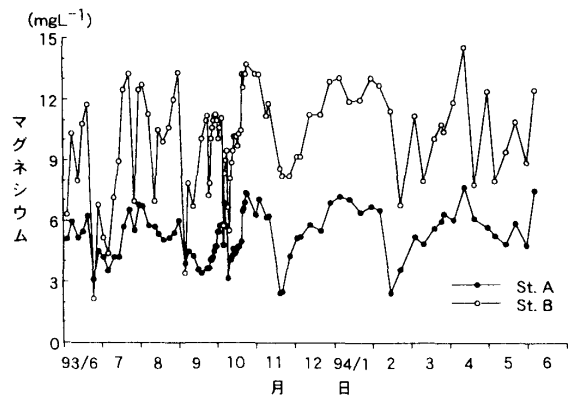
第9図 全リンの経時変化.



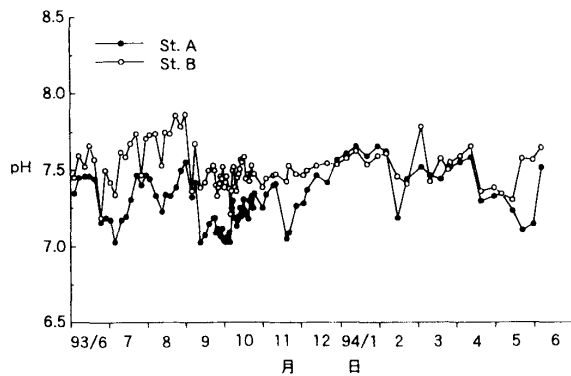
第10図 リン酸態リンの経時変化.



第11図 カリウムの経時変化.



第12図 マグネシウムの経時変化.



第13図 pHの経時変化.

4. リンの流出特性

第9図に全リンの経時変化を、第10図にリン酸態リンを示した。調査期間中で最も高濃度に検出されたのは9月23日、St. Aの0.8 mgL⁻¹であった。St. AはSt. Bに比較し全リンとリン酸態リンは高濃度であった。また検出パターンも類似していた。9月下旬、2~3月、5月の3回、リンは多量に施肥され、いずれも散布後、直ちに検出され始めた。全リンは

ティーやグリーンに成分量で50~80 kgと比較的少量の施肥の場合においても、高濃度の値を示した。リン酸態リンは2~5月にも多量に流出した。

5. カリウムとマグネシウムの流出特性

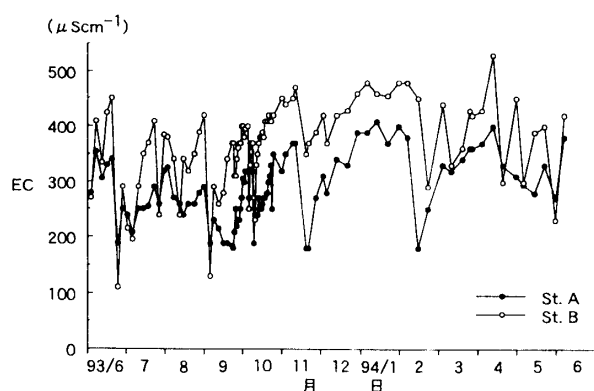
第11図にカリウムの経時変化を示した。カリウムが多量に施肥された時期は9月と5月であった。St. BはSt. Aより高濃度に検出された。10月30日は10.5 mgL⁻¹と最高濃度を示し、調査期間の平均濃度は3.46 mgL⁻¹であったが、施肥量が多量であった2回の散布時にピークを示した。

マグネシウムの経時変化を第12図に示した。マグネシウムはSt. Bの方が高濃度であり、調査項目のなかでSt. AとSt. Bの検出濃度差が最も大きく、また、濃度変化も大きかった。マグネシウムは季節変化はなく、施肥時期、施肥量の影響は考えられず主な特性はみられなかった。

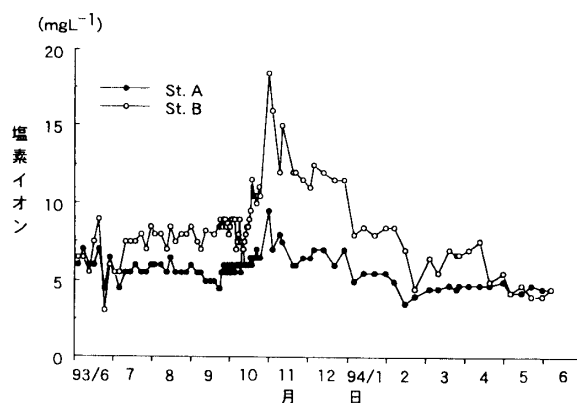
6. pH値、導電率および塩素イオンの流出特性

第13図に示すようにpH値は調査期間中、安定しており、pH7~8の範囲であった。施肥時期、施肥量、季節の変化に密接な関係はみられなかった。

第14図に導電率の経時変化を示した。導電率は



第14図 導電率の経時変化。



第15図 塩素イオンの経時変化。

第6表 ゴルフ場から排出される栄養塩の月別負荷量 (kg)。

	1993年						1994年						
		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
全窒素	St. A	33	68	47	94	26	24	6	1	13	5	5	52
	St. B	6	5	4	12	10	1	0.6	0.2	2	0.2	0.4	2
全リン	St. A	10	14	9	21	5	3	0.5	0.1	7	2	2	10
	St. B	2	0.6	0.4	2	2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1
カリ	St. A	102	206	129	246	87	66	25	11	50	19	24	90
	St. B	16	12	11	36	45	6	5	2	13	1	2	5

100 μS ~500 μS の変動を示したが、施肥量の多少についての特性はみられなかった。St. BはSt. Aより高い値を示したが、導電率の推移は類似の傾向を示した。

第15図の塩素イオンは10月中旬より12月末ではやや高濃度を示した。10月30日のSt. Bは最高濃度の18.5 mgL^{-1} を検出したが施肥時期と一致せず、他の薬剤や土壌改良剤からの流出と考えられた。

7. 流出負荷量

1日の流出負荷量は1日の排水量と検出濃度の積算として示した。1993年6月から1994年5月末日までの1年間、全窒素負荷量は第5表の月別平均流量および月別総降水量から、St. A 374 kg, St. B 46 kgであり、ゴルフ場から417 kgの全窒素が排出された。月別負荷量を第6表に示した。ゴルフ場の窒素の成分別施肥量は2,174 kgであったので、その流出率は19.2%であった。同様に全リン負荷量はSt. A 83.6 kg, St. B 7.5 kgで合計91.1 kgであった。リンの施肥量は2,717 kgで、流出率は3.4%と窒素に比較して約1/6の排出量であった。カリウム負荷量はSt. A 1,055 kg, St. B 154 kg, 合計1,209 kgで流出率は62.6%となった。マグネシウム負荷量はSt. A 1,508 kg, St. B 325 kg, 合計1,833 kgが多

量に河川へと流入した。

考 察

全窒素の高濃度ピークを示したのは、主施肥としての9月下旬と5月中旬であったが、年間平均全窒素濃度としてはSt. Aで比較的低い1.056 mgL^{-1} の値を示した。12月から春の肥料を撒く以前までは、農業用水基準1 mgL^{-1} 以下であったが、施肥後は1 mgL^{-1} 前後の濃度であり、全窒素は土壌や、排水路に残留し、冬のスポット的な施肥においても0.4 mgL^{-1} 以上の流出濃度であった。ゴルフ場排水が農業用水に流入した場合、pH値は最適生育範囲を超え、窒素は過多となり、導電率は300 μScm^{-1} 以上で米の収量への影響が考えられることから、イネ栽培に、悪い影響をおよぼす可能性がある¹⁴⁾。国松ら¹²⁾はゴルフ場流出水と森林流出水の水質を比較し、ゴルフ場や森林流出水とも全窒素は冬期に低濃度を示し春から秋に高濃度となる季節変化を認め、ゴルフ場の方がより鮮明であると報告した。このことはゴルフ場は人工的に肥料が撒かれ、森林は落葉等の窒素が春から秋にかけて降雨により侵出するものである。森林の全窒素の平均は0.34 mgL^{-1} であり、調査ゴルフ場の冬期の全窒素濃度に近似してい

た。このことからゴルフ場も冬期に施肥しなければ森林と同様の傾向を示すものと考えられた。施肥の多少で排水の窒素濃度が左右されることが認められた。

全リンも同様、国松ら¹²⁾は、森林 0.008 mgL^{-1} 、ゴルフ場 0.13 mgL^{-1} であるとした。本調査では、平均 0.189 mgL^{-1} であり、国松らのゴルフ場調査と類似した値を示した。しかし環境基準 0.1 mgL^{-1} 以下であったのは、11月上旬、12月上旬および1月の短期間であり、その他は、高濃度の値を示した。ゴルフ場排水の全リンの低濃度は 0.02 mgL^{-1} であり、森林の排出水よりもゴルフ場排水の方が汚濁されていた。ゴルフ場排水はリンの汚濁が大きいのが特徴的であった。

筆者ら²⁶⁾は開設後、間もないゴルフ場排水を1年間、降雨後すみやかに採水し、農薬、化学肥料成分の実態を調査した。その結果、9種の農薬が検出され、シマジンとプロピザミドの2種類が環境庁の排水指針値を越えて検出された。肥料成分は全窒素が 9.4 mgL^{-1} 、全リン 2.9 mgL^{-1} 、カリウム 30.6 mgL^{-1} と最高濃度を検出した。この結果と今回の調査を比較検討すると、開設直後と開設17年間での土壌の違いがあり、前者は、いまだ芝草地として完成されず、多量の肥料が投入されると、降雨とともに肥料が流亡したものと考えられた。また、芝の肥培管理、気象、土性等を考慮した、グリーンキーパーの施肥管理技術の相違も大きな要因となるといえよう。以上のことから今後の課題として、1. ゴルフ場排水の肥料成分の基準値を設定し、適切な施肥量の管理技術の向上、ならびに環境汚染に対処するグリーンキーパーの育成。2. 降雨で流亡しにくく、少量で栄養効果が現れる肥料の開発。3. ゴルフ場のごとく苛酷な刈取りをくり返す環境下でも生育できる芝草の品種改良。4. 降雨を予想して散布し、雨水で浸透させるという施肥方法から肥料の剤型の工夫の4点があげられる。

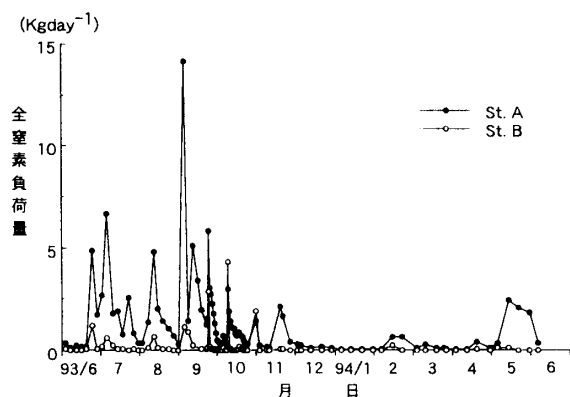
橘²³⁾は、北海道の森林河川について富栄養化レベル(全窒素 $0.5 \sim 1.3 \text{ mgL}^{-1}$ 、全リン $0.01 \sim 0.09 \text{ mgL}^{-1}$)にあるとし、植生がしっかりした森林からは栄養塩類を豊富に含んだ水が流出すると報告した。4、5月に全窒素は高濃度を示し、全リンは6から8月にかけて蓄積栄養塩類の溶出が著しく、河川の濃度を高めているとした。森林流出水で、すでに富栄養化のレベルに達している河川水にゴルフ場排水が流入し、海洋へと流出するが、急激なゴルフ場

の増加で海洋汚染へと進行する恐れがある^{1,17)}。

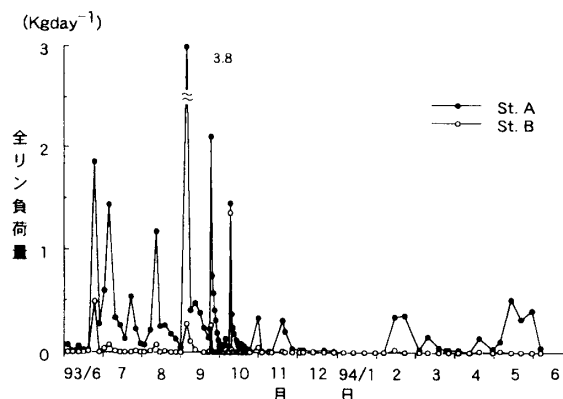
1993年6月中央公害対策審議会から海域の窒素およびリンの環境基準および排水基準の設定について答申された²⁸⁾。もっとも緩い基準値でも全窒素 1.0 mgL^{-1} 以下、全リン 0.09 mgL^{-1} 以下を設定した。すでに地下水の硝酸性窒素汚染が進行しており^{15,21,25)}、水道水源にまで汚染が広がり⁷⁾、その対策に苦慮している^{10,16)}。わが国では、浅井戸の汚染が多く近郊農業地域の畑作地帯で顕著であり、EC諸国、米国でも1990年代に解決しなければならない最大の環境問題の1つといわれている^{2,3,4)}。窒素、リン除去法は多数報告されているが、いくつものプロセスを経て除去されるので多くの費用、労力を要し、困難である^{6,22,27)}。

調査ゴルフ場の年間施肥量は10アール当たり窒素 11.2 kg 、リン 14.1 kg 、カリウム 10.0 kg であった。他のゴルフ場の年間施肥量は10アール当たり従来の慣用的なものをベントグラスグリーンでみると、窒素 $30 \sim 40 \text{ kg}$ 、リン $25 \sim 30 \text{ kg}$ 、カリウム $25 \sim 30 \text{ kg}$ 、コウライシバグリーンではベントの約80%前後の量であり¹⁹⁾、本調査ゴルフ場の方が、窒素で1/3、リンで、1/2カリウムで1/3程度の量であり低投入管理が行われていた。水稻の場合の施肥は、窒素で $8 \sim 15 \text{ kg}$ 、リンで $10 \sim 20 \text{ kg}$ 、カリウムで $10 \sim 18 \text{ kg}$ 程度であるので⁵⁾、肥料の使用量は類似していた。イグサの栽培と比較すると¹³⁾、10アール当たり、窒素で $40 \sim 45 \text{ kg}$ 、リンで $7 \sim 10 \text{ kg}$ 、カリウムで $32 \sim 36 \text{ kg}$ 程度であり、リンの施肥量はゴルフ場の方がやや多かった。また、2年生茶樹の施肥と比較すると同様に窒素で 24 kg 、リンで 4.4 kg 、カリウムで 12.0 kg であり¹³⁾、リンの施肥量は3倍ゴルフ場の方が多使用であった。農業の施肥管理も重要視され、低投入持続型農業(Low Input Sustainable Agriculture, LISA)が提唱されている。ゴルフ場は砂主体、排水第一で造成されているが、田畑は自然の土壌であり、農業生産の場である。

橘²³⁾は森林河川のカリウム、マグネシウムはそれぞれ 0.7 mgL^{-1} 、 1.7 mgL^{-1} で季節変動の大きな差はないとした。本報のゴルフ場排水中のカリウムは施肥時期、施肥量と関係があり濃度も約5倍高く、過剰の施肥であるといえよう。マグネシウムは採水地点別でも濃度差がみられ、施肥のみではなく、地質由来や土壌改良材が影響をおよぼしているものと考えられた。本調査ゴルフ場の年間負荷量は、第6表に示したが、単位を年間、 km^2 当たり換算すると



第16図 全窒素負荷量の経時変化。



第17図 全リン負荷量の経時変化。

全窒素で2,160 kg, 全リン470 kgとなった。橋²³⁾の森林河川負荷量と比較すると、全窒素で約4倍, 全リンで約41倍の負荷量であった。また, 単位を年間, ha 当りに換算すると全窒素で21.6 kg, 全リン4.7 kg となって, 国松ら¹²⁾のゴルフ場負荷量に比較して, 全窒素で約1.7倍, 全リンで1.3倍多かった。このことは, ゴルフ場の排水量に関して, 降水量の相違によるものと考えられた。またゴルフ場と水田の年間, ha 当たり全窒素, 全リンの流出負荷量を比較すると, 水田の全窒素は10~40 kg, 全リンは0.5~5 kg であり¹²⁾, 本調査ゴルフ場の負荷量と同程度であった。また, 武田ら²⁴⁾の水田における調査によると, 水田の窒素の物質収支は土壌と施肥によって供給された窒素量と水稻吸収量とは, ほぼ同程度であり, また窒素固定量と脱窒, 揮散量も同程度であった。芝の窒素, リン, カリウムの吸収率はそれぞれベントグラスで60~70%, 12%, 35~40%, コウライシバで40%, 12%, 40~45%であり, かなりの量が流亡, 揮散している¹⁹⁾といえよう。

全窒素の負荷量の経時変化を第16図, 全リンの負荷量の経時変化を第17図に示した。全窒素, 全リンが高濃度に検出されても, 排水量の違いにより環境への流出量は異なり, 降水量が多い時期での肥培方法の見直しが必要であろう。柏原⁹⁾は全窒素, 全リンは流量の増大に伴い負荷量は増大するとし, 降雨による影響は水量の増大する時刻に一致するとした。つまり排水中の濃度測定にとどまらず排水量の測定が必要であり, 負荷量を算出することが環境汚染を防止するうえで重要であるといえよう。全国のゴルフ場数を2000カ所とした場合, しかもゴルフ場の規模を本調査ゴルフ場(低投入型)と同程度とし, 排水量も同量と仮定すると, 年間, 窒素834トン, リン182トン, カリウム2,418トン, マグネシウム

3,666トン, 塩素イオン4,222トンが環境へ排出されるものと推定された。

謝辞: 本調査研究にあたり多大なご協力をいただきました三重大学作物学研究室池田勝彦教授, 同津田誠助教授, 三重県衛生研究所長倉田英雄氏, 同生活衛生課長橋爪清博士に深謝いたします。また, 採水に協力していただいた三重大学生物資源学部4年生広瀬紀香氏に, 快く調査にご理解し, ご協力をいただきました池田グリーン(株), 小島肥料店の方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

1. 服部明彦 1986. 沿岸水域における窒素, リンの挙動. 用水と廃水 28: 20-28.
2. 早瀬達郎 1993. 米国・EC における地下水硝酸汚染の現状 [1]. 農及園 68: 544-548.
3. 早瀬達郎 1993. 米国・EC における地下水硝酸汚染の現状 [2]. 農及園 68: 633-666.
4. 早瀬達郎 1993. 米国・EC における地下水硝酸汚染の現状 [3]. 農及園 68: 1165-1168.
5. 星川清親 1991. 新編食用作物. 養賢堂, 東京. 120-179.
6. 稲森悠平・高井智丈・須藤隆一 1993. 窒素リン対策の最新動向と除去技術. 資源環境対策 29: 728-739.
7. 池田鉄哉 1992. 水道水源を取り巻く近年の状況. 資源環境対策 28: 722-728.
8. 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. 1-6.
9. 柏原正純・米田幸次 1980. 兵庫県市川における水質・負荷量と流量の関係について (II). 公害と対策 16: 48-54.
10. 川村和彦・森田弘昭 1994. 土壌・地下水汚染の現状と対策の今後. 資源環境対策 30: 785-800.
11. 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. 1-4.
12. 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: 961-969.

13. 栗原 浩 1981. 工芸作物学. 農文協, 東京. 65—155.
14. 増島 博 1984. 農業土木技術者のための水質入門 (その2)—水質と作物生育—. 農土誌 52: 817—822.
15. 森田弘昭 1994. わが国の地下水汚染の実態と対策. 用水と廃水 36: 422—425.
16. 明賀春樹 1994. 硝酸性窒素で汚染された地下水の修復技術. 用水と廃水 36: 703—710.
17. 中西 弘 1986. 海域に流入する排水中の窒素, リン収支. 用水と廃水 28: 29—39.
18. 日本規格協会 1993. 工場排水試験方法 JIS K 0102. 日本規格協会, 東京. 1—327.
19. 日本芝草学会 1988. 芝生と緑化. ソフトサイエンス社, 東京. 286—310.
20. 日本水道協会 1993. 上水試験方法. 日本水道協会, 東京. 80—270.
21. 坂本 康・中村文雄・風間ふたば 1994. 地下水を水源とする水道水の硝酸性窒素濃度の地理的分布と時間的変動. 水道協会誌 62: 17—28.
22. 鈴木基之・藤井隆夫 1992. 地下水中の硝酸態窒素除去を目的とした繰り返し内生脱窒プロセスの検討. 水環境誌 15: 850—856.
23. 橘 治国 1993. 懸濁物質の流出・流下と水環境への影響. 水環境誌 16: 450—456.
24. 武田育郎・国松孝男・小林慎太郎・丸山利輔 1991. 水田土壌中の窒素・リン成分と汚濁負荷流出—水田群からの汚濁負荷流出に関する研究 (III)—. 農土論集 153: 73—78.
25. 田代 豊・谷山鉄郎 1994. 沖永良部島における農業形態と地下水の硝酸性窒素濃度の分布. 熱帯農業 38: 202—206.
26. 富森聡子・長屋祐一・谷山鉄郎 1994. ゴルフ場排水中の農薬・肥料成分による水質汚染. 日作紀 63: 442—451.
27. 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: 427—434.
28. 柳下正治 1993. 海域の窒素および磷に係わる環境基準等の設定について (中公害答申). 水環境誌 16: 534—539.