水田の水質浄化容量 (1)

— 水田土壌 (灰色低地土) における肥料成分の年間収支 —

尾崎保夫*・関矢博幸**・木方展治*・阿部 薫*

Purifying Effect of Water Quality in Paddy fields (1) —Annual balance of fertilizer components in the paddy soil—

Yasuo OZAKI*, Hiroyuki SEKIYA**, Nobuharu KIHOU*
and Kaoru ABE*

Abstract

In this study, to clarify purifying effect of water quality in paddy fields, small lysimeters packed with the paddy soil were irrigated 30 mm every other day. $\text{NH}_4\text{-N}$, Total-P, and K concentrations of the irrigation water were 0~10, 0.26 and 5.97 mg/ℓ, respectively. The purifying capacity of $\text{NH}_4\text{-N}$ in the paddy soil was clarified to investigate the relationship between the load of $\text{NH}_4\text{-N}$ and the Total-N concentration in the percolating water.

1) The paddy soil can purify the irrigation water containing the average concentration of 0.93 mg/ℓ Total-N by the suitable water management of the irrigation water.

2) The $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration of the irrigation water was 10 mg/ℓ, and the annual Total-N load was 44.5 g/m². Under these conditions, the Total-N removal rate was about 39.4 g/m² per year during the percolation through the paddy soil.

3) Supplying the irrigation water of 5.97 mg/ℓ K, the annual load of K was 24.8 g/m². Under these conditions, the removal rate of K was 10.6~12.6 g/m² per year.

4) As the inflow and outflow loading of total organic carbon and inorganic carbon were calculated, it became clear that these materials were added to the percolating water from the paddy soil.

5) In order to acquire the percolating water which will satisfy the Environmental Quality Standards for Lakes and Ponds (Class V; Total-N concentration below 1 mg/ℓ), it is necessary to supply the irrigation water whose $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration is lower than 6 mg/ℓ, and control annual Total-N loading below 28.3 g/m².

Key words: paddy field, purification of water quality, ammonium nitrogen, irrigation water, percolating water

*農林水産省 農業研究センター土壌肥料部 水質保全研究室 **現在, 北陸農業試験場水田利用部土壌管理研究室

*Water Quality Control Laboratory, Department of Soils & Fertilizers, National Agriculture Research Center,

1. はじめに

農業生産の集約化・省力化等に伴い農耕地、特に集約野菜畑等から流出した硝酸態窒素（以下、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と略す）等による地下水汚染が世界的に大きな社会問題となっている（Hallberg・1986, Handa・1987, Croll・Hayes・1988, 永井・1991、鶴巻・1991）。このため畑地等からの肥料成分の流出を削減するため、肥料の利用効率を高めるための肥培管理技術の開発や生態系と調和した低投入持続型農業の確立に向けた研究開発が進められている。

一方、畑地等から流出した窒素等を水田やため池の水質浄化機能を有効に活用し、畑地－農業水路・ため池－水田の地形作目連鎖系内で浄化する新たな技術開発が求められている。ここでは、わが国の農耕地（約530万ha）の約54パーセントを占める水田の水質浄化容量を解明するため、 $\text{NO}_3\text{-N}$ よりも水田生態系に与える影響が大きいアンモニア態窒素（以下、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と略す）を用い、かんがい水によるアンモニア態窒素負荷が水田土壌の $\text{NH}_4\text{-N}$ 浄化容量と浸透水の全窒素濃度（以下、 T-N と略す）等に及ぼす影響を調査した。

その結果、肥培管理を適切に行えば、 $\text{NH}_4\text{-N}$ $10\text{mg}/\ell$ を含む平均 T-N 濃度 $10.7\text{mg}/\ell$ のかんがい水が水田作土中を浸透する間（水稻作付期）に T-N 濃度 $0.70\sim 0.74\text{mg}/\ell$ に低下すること、また、平均 T-N 濃度 $0.93\text{mg}/\ell$ （降水程度）のかんがい水が平均 T-N 濃度 $0.58\text{mg}/\ell$ に浄化できること等が明らかになったので、これらの知見を農村地域の水質改善や地下水の水質保全に有効に活用するための基礎資料として取りまとめた。

2. 試験方法

1) 試験装置：小型水稻栽培槽（ 0.216m^2 , $54\times 40\times 35\text{cm}$ ）に、図－1のように砂利と砂を5cmの厚さに入れ、その上に谷和原水田の作土（灰色低地土、土性CL, CEC約 $18\text{meq}/100\text{g}$ ）を厚さ19cmとなるよう詰めた。2) 土壌と水の保持量：灰色低地土の充填量は、乾土として 32.5kg で、水の保持量は 36.6ℓ （田面水約 5ℓ を含む）。3) 施肥：被覆尿素（尿素をフタル酸樹脂で被覆し、土壌中への窒素成分の溶出をコントロールした緩効性窒素肥料で、本試験に用いたU-Mタイプは、 25°C 、60～70日間で含有窒

素の80%が溶出する特性を有す）とPKMg化成を用い、Nの施肥量は $5\text{g}/\text{m}^2$ （B区）と $10\text{g}/\text{m}^2$ （A区）の2段階とし、 P_2O_5 と K_2O はいずれも $10\text{g}/\text{m}^2$ 施肥。本試験で用いた被覆尿素は、追肥が省略できる全量基肥型の窒素肥料として、近年開発され、その使用量は徐々に増加している。また、速効性肥料と肥料成分の溶出パターンが異なる数種の被覆肥料を配合し、水稻の窒素吸収パターンに合った窒素溶出パターンを持つ新配合肥料が開発されつつある。4) 移植及びかんがい：6月19日にキヌヒカリを1区当たり6株（3本植）移植、6月23日から $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を5段階に変えたかんがい水（0, 2, 4, 6, $10\text{mg}/\ell$ ）を1日おきに 30mm （ $6.48\ell/2\text{日}$ ）供給した。写真－1は、水稻栽培期間中の様子を撮したものである。収穫（10月14日）後は、B区は作付期間と同様にかんがいを続け、A区はかんがいを中止し降水のみ流

図－1 小型水稻栽培槽（有効容積 57.4ℓ 、槽内の水の保持量 36.6ℓ ）

Fig.1. Small lysimeter packed with the paddy soil

写真－1 水田の水質浄化容量試験装置（貯留槽は、約 100mm 相当の浸透水を溜られる）

Photo.1 Small lysimeters cultivated with the rice plant

入させた。また、かんがい前の48時間に20mm以上の降水があった場合には、かんがいを中止した。本試験では、小型水稻栽培槽の上層8cmに粒径10mm以下の灰色低地土、下層11cmに粒径10～20mmの灰色低地土を充填し、上層8cmのみ施肥・代かきを行ったため、土壌の浸透能は高く、豪雨時でも田面水の表面流出は認められなかった。5) 気温、水温、地温の測定：1日おきの10時に気温、田面水の水温、地温（深さ10cm）を測定。6) 採水・分析：6日ごとに貯留槽の浸透水を計量後、かんがい水、降水および浸透水のpH、EC（導電率）、T-N（全窒素；微量窒素分析装置・TN-7）、T-P（全リン；ベルオキソ二硫酸カリウム法）、K（水溶性カリウム；原子吸光法）、TOC（全有機炭素；全有機炭素分析計・TOC-500）、IC（無機炭素；全有機炭素分析計・TOC-500）等を分析した。

3. 結果と考察

1) 水稻栽培期間中の窒素収支と浸透水の水質

各試験区のかんがい水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と窒素負荷量の関係を表-1にまとめた。水稻栽培期間(116日)中、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 無添加のA-1区とB-1区には、平均T-N濃度0.78mg/ℓのかんがい水が1,395mmと平均T-N濃度0.71mg/ℓの降水が623mm流入したため、かんがい水と降水による流入T-N量は1.53g/m²となった。A区とB区には、被覆尿素を窒素としてそれぞれ10g/m²と5g/m²施肥したため、水稻栽培期間中のT-N負荷量は、A-1区では、11.53g/m²、

B-1区では、6.53g/m²となった。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を10mg/ℓ添加したかんがい水を供給したA-5区とB-5区では、かんがい水と降水による流入T-N量は15.3g/m²となり、栽培期間中のT-N負荷量は、A-5区では25.3g/m²、B-5区では20.3g/m²と著しく高くなった。

かんがい水と降水による肥料成分とTOC、ICの年間流入量をまとめたのが表-2である。本試験では、水道水のかんがい水としたが、残留塩素を除去するため6日分を大型ポリ容器にため、これに $\text{PO}_4\text{-P}$ を0.2mg/ℓ補填したものをを用いた。各成分の平均濃度は、かんがい水と降水による各成分の年間総流入量(mg)をそれぞれの総流入水量(ℓ)で割った水量加重平均濃度で表示した。かんがい水と降水による肥料成分の年間流入量は、Kが24.81g/m²、T-Nが5.20g/m²、T-Pが1.03g/m²となった。

かんがい水に $\text{NH}_4\text{-N}$ を10mg/ℓ添加したA-5区の浸透水の各成分濃度の変動を図-2に示した。かんがい水には、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 10mg/ℓを含め、平均10.65mg/ℓのT-Nを含んでいた。浸透水のT-N濃度は、栽培開始時に1mg/ℓを越えたが、それ以降安定し、作付期間の水量加重平均濃度は0.74mg/ℓとなった。Kは、初期には約6.5mg/ℓであったが、徐々に低下し、収穫時には、約2.0mg/ℓに低下した。T-Pの水量加重平均濃度は、0.009mg/ℓで全栽培期間中ほとんど検出されなかった。一方、TOC濃度は、栽培開始時には、約3.8mg/ℓであったが、8月中旬から急激に高くなり、9～10mg/ℓに達した後、再び低下した。ICは、栽培開始時には、

表-1 かんがい水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と窒素負荷量（水稻栽培期間）

Table 1 $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration of the irrigation water and loadings of nitrogen

試験区	$\text{NH}_4\text{-N}$ 添加濃度 (mg/ℓ)	かんがい水のT-N濃度の 平均値(mg/ℓ)	かんがい水と降水による流入T-N量 (ℓ, g/m ²)	窒素施肥量 (F, g/m ²)	I + F (g/m ²)
A-1	0	0.78	1.53	10	11.53
A-2	2	2.81	4.36	10	14.36
A-3	4	4.72	7.03	10	17.03
A-4	6	6.66	9.73	10	19.73
A-5	10	10.65	15.30	10	25.30
B-1	0	0.78	1.53	5	6.53
B-2	2	2.81	4.36	5	9.36
B-3	4	4.72	7.03	5	12.03
B-4	6	6.66	9.73	5	14.73
B-5	10	10.65	15.30	5	20.30

1) 栽培期間中のかんがい水量1,395mm (1,395 ℓ/m²)

2) 降水中のT-N濃度の平均値0.71mg/ℓ, 降水量623mm (623 ℓ/m²)

表一 2 かんがい水と降水による肥料成分の年間流入量 (NH₄-N 無添加区)

Table 2 Annual loadings of the fertilizer components caused by irrigation and precipitation

項目	かんがい水の平均濃度 ¹⁾ (mg/ℓ)		降水の平均濃度 ¹⁾ (mg/ℓ)		かんがい水+降水	
	作付期間 ²⁾ (1,395mm)	非作付期間 ³⁾ (2,640mm)	作付期間 (623mm)	非作付期間 (801mm)	平均濃度 ¹⁾ (mg/ℓ)	全流入量 (g/m ²)
全窒素	0.78	1.01	0.71	1.26	0.95	5.20
全リン	0.276	0.259	0.005	0.008	0.189	1.03
カリウム	6.33	5.97	0.08	0.24	4.54	24.81
全有機炭素	2.83	2.10	2.03	1.22	2.15	11.74
無機炭素	12.03	11.78	0.01	0.007	8.77	47.88

1) 水量加重平均濃度

2) 1989年6/19~10/13の116日間

3) 1989年10/14~1990年5/29の228日間

図一 2 浸透水中の肥料成分, 全有機炭素及び無機炭素の濃度変動 (A-5区、かんがい水の NH₄-N 濃度 10mg/ℓ)

Fig.2. Seasonal variations in concentrations of fertilizer components of the percolating water (NH₄-N 10mg/ℓ)

6.9mg/ℓであったが、徐々に高くなり、8月26日には、59.2mg/ℓの最高値に達した後 TOC と同様な変動パターンを示した。

水稻栽培期間中の窒素収支と収量を表一 3 にまとめた。被覆尿素を m² 当り 5g と 10g 施用した A 区、B 区とも、かんがい水の NH₄-N 濃度が高くなる程、

穂数及び穂重は大きくなった。田淵らは、水田の水質浄化機能の評価に、汚濁物質の流出量と流入量の差、すなわち差引き排出量を用いることを提案している (田淵・高村、1985)。T-N の差引き排出量がマイナスの場合は、かんがい水が水田作土を浸透する際に T-N は浄化され、プラスの場合は負荷され

ることを示している。表－3より、T-Nの差引き排出量は流入負荷量が多くなる程低下し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ $10\text{mg}/\ell$ のA-5区、B-5区ともマイナス $14.3\text{g}/\text{m}^2$ となり、水稻栽培期間中に m^2 当り 14.3g の窒素が除去されることが分かった。また、適切な肥培管理を行えば、水田土壌はT-N濃度 $0.78\text{mg}/\ell$ (降水程度)のかんがい水を浄化出来ることが判明した。

2) 水田作土(灰色低地土)における肥料成分等の年間収支と浸透水の水質

小型水稻栽培槽を用い、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を $0\sim 10\text{mg}/\ell$ 添加したかんがい水を1日置きに 30mm 供給した際のT-Nの年間収支を表－4にまとめた。浸透水のT-N濃度の平均値は、B-5区を除き、作付期間より非作付期間の方が低く、冬期でも窒素浄化機能が

表－3 水稻栽培期間中の窒素収支と収量

Table 3 Nitrogen balance and the yield of rice during the cropping season

$\text{NH}_4\text{-N}$ 添加濃度 (mg/ℓ)	流入 T-N 量 ($\text{I}, \text{g}/\text{m}^2$)	浸透水の T-N 濃度の平均値 (mg/ℓ)	浸透水量 (m^3/m^2)	流出 T-N 量 ($\text{E}, \text{g}/\text{m}^2$)	差引き排出量 ($\text{E-I}, \text{g}/\text{m}^2$)	穂 重	わら重
						(g/m^2)	(g/m^2)
0 (A-1)	1.53	0.93	1.416	1.32	－ 0.21	592	509
2 (A-2)	4.36	0.76	1.433	1.09	－ 3.27	583	563
4 (A-3)	7.03	0.74	1.388	1.03	－ 6.00	578	611
6 (A-4)	9.73	0.71	1.383	0.99	－ 8.74	625	599
10 (A-5)	15.30	0.74	1.305	0.97	－14.33	757	720
0 (B-1)	1.53	0.81	1.435	1.16	－ 0.37	456	397
2 (B-2)	4.36	0.75	1.562	1.17	－ 3.19	490	415
4 (B-3)	7.03	0.73	1.472	1.08	－ 5.95	511	481
6 (B-4)	9.73	0.72	1.466	1.06	－ 8.67	547	526
10 (B-5)	15.30	0.70	1.392	0.97	－14.33	661	657

1) 栽培期間：116日（6月19日～10月13日）

2) 窒素施肥量（被覆尿素 U-M），A 区： $10\text{g}/\text{m}^2$ ，B 区： $5\text{g}/\text{m}^2$

表－4 水田作土における年間窒素収支

Table 4 Annual balance of total-N in the paddy soil

かんがい水の全窒素濃度の平均値 ¹⁾ (mg/ℓ)	年間の窒素流入量 (g/m^2)	浸透水の全窒素濃度の平均値 ¹⁾ (mg/ℓ)		年間の窒素流出量 (g/m^2)	差引き排出量 (g/m^2)
		作付期間 ²⁾	非作付期間 ³⁾		
0.93 (B-1)	5.20	0.81	0.48	2.59	-2.61
2.81 (B-2)	12.79	0.75	0.46	2.53	-10.26
4.73 (B-3)	20.55	0.73	0.64	2.98	-17.57
6.66 (B-4)	28.32	0.72	0.65	2.97	-25.35
10.67 (B-5)	44.51	0.70	1.43	5.12	-39.39
0.78 (A-1)	2.54	0.93	0.48	1.50	-1.04
2.81 (A-2)	5.37	0.76	0.49	1.28	-4.09
4.72 (A-3)	8.04	0.74	0.43	1.23	-6.81
6.66 (A-4)	10.74	0.71	0.44	1.17	-9.57
10.65 (A-5)	16.31	0.74	0.49	1.19	-15.12

1) 水量加重平均濃度

2) 1989年，6/19～10/13の116日間

3) 1989年10/14～1990，5/29の228日間

4) 降水量 $1,424\text{mm}$ ($1.45\text{gN}/\text{m}^2$)

5) B区：かんがい水量 $4,035\text{mm}$ (非作付期間もかんがいを行う)

6) A区：かんがい水量 $1,395\text{mm}$ (非作付期間は降水のみ)

相当高く維持されていることが分かった。かんがい水と降水によるT-N流入量が最も少ないA-1区では、 m^2 当年間2.5gのT-Nが流入し、1.5gのT-Nが浸透水とともに流出した。従って、A-1区のT-N差引き排出量は、 m^2 当年マイナス1gとなった。また、窒素流入量が最も多かったB-5区では、 m^2 当りのT-N年間流入量は44.5g、流出量は5.1gとなり、年間約39.4gの窒素が水田作土を浸透する間に除去された。これらの結果を基に、流入水と浸透水の平均T-N濃度と窒素の年間収支を図-3のようになる。かんがい水に $\text{NH}_4\text{-N}$ を $10\text{mg}/\ell$ 添加したB-5区の浸透水の平均T-N濃度は、 $1.19\text{mg}/\ell$ となったが、その他の区の平均T-N濃度は、 $0.6\sim 0.8\text{mg}/\ell$ と極めて低くかった。作付

期間のみ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 $0\sim 10\text{mg}/\ell$ のかんがい水を提供したA-1～A-5区の年間窒素流出量は、 m^2 当年り $1.17\sim 1.5\text{g}$ でほとんど変化がなく、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を $10\text{mg}/\ell$ 添加したかんがい水を水稻作付期間中供給しても浸透水の水質悪化を引き起こさないことが判明した。

表-5には、全リンの年間収支を示した。非作付期間中もかんがいをを行ったB区では、非作付期間中の浸透水のT-P濃度はやや高くなったが、いずれも $0.02\text{mg}/\ell$ 以下でほとんど流出していない。T-Pの差引き排出量は、A区では、 m^2 当年りマイナス約 0.4g 、B区ではマイナス約 1.0g となり、かんがい水が水田作土中を浸透する間にT-Pは除去されることが分かった。

図-3 水田作土における全窒素の年間収支と平均全窒素濃度

Fig.3. Annual balance of Total-N and the average concentration of Total-N in the percolating water

同様に、カリウムの年間収支を表－6にまとめた。かんがい水と降水を含めたKの水量加重平均濃度は、作付期間には4.40mg/ℓ、非作付期間には4.63mg/ℓであった。作付期間中の浸透水の平均K濃度は、A区、B区とも4.2～4.9mg/ℓの範囲であったが、非作付期間には1.9～2.6mg/ℓに低下した。m²当りのKの差引き排出量は、A区では、マイナス1.3～2.2g、年間を通してかんがいたB区では、マイナス10.6～12.6gとなった。表－6は、年間かんがいを行うと1m²の水田作土に最大で12.6gのカリウムが蓄積することを示唆している。

浸透水の有機炭素（TOC）濃度とその年間収支を表－7に示した。浸透水の平均TOC濃度は、作付期間には6.7～8.1mg/ℓであったが、非作付期間には2.9～5.5mg/ℓに低下した。非作付期間中かんがいを行わなかったA区の浸透水のTOC濃度は5mg/ℓ前後で変化がなかったのに対し、B区の浸透水のTOC濃度はかんがい水のNH₄-N濃度が高くなる程低下し、NH₄-Nを10mg/ℓ添加したB-5区では、最低の2.9mg/ℓとなり、浸透水のTOCが脱窒の水素供与体の一部として利用されている可能性を示した。また、m²当りのTOCの差引き排出量は、

表－5 水田作土における全リンの年間収支
Table 5 Annual balance of total-P in the paddy soil

試験区	作 付 期 間			非 作 付 期 間			年間の差引き 排出量 (g/m ²)
	流入 T-P 量	浸透水の平均 T-P 濃度	流出 T-P 量	流入 T-P 量	浸透水の平均 T-P 濃度	流出 T-P 量	
	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	
B-1	0.388	0.010	0.014	0.645	0.022	0.064	-0.955
B-2	0.388	0.010	0.015	0.645	0.015	0.044	-0.974
B-3	0.388	0.009	0.013	0.645	0.021	0.061	-0.959
B-4	0.388	0.008	0.012	0.645	0.018	0.053	-0.968
B-5	0.388	0.009	0.012	0.645	0.011	0.032	-0.989
A-1	0.388	0.009	0.013	0.007	0.010	0.004	-0.378
A-2	0.388	0.009	0.012	0.007	0.009	0.003	-0.380
A-3	0.388	0.010	0.015	0.007	0.007	0.003	-0.377
A-4	0.388	0.009	0.012	0.007	0.014	0.006	-0.377
A-5	0.388	0.009	0.012	0.007	0.012	0.005	-0.378

表－6 水田作土におけるカリウムの年間収支
Table 6 Annual balance of potassium in the paddy soil

試験区	作 付 期 間			非 作 付 期 間			年間の差引き 排出量 (g/m ²)
	流入 K 量	浸透水の平均 K 濃度	流出 K 量	流入 K 量	浸透水の平均 K 濃度	流出 K 量	
	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	
B-1	8.87	4.50	6.46	15.94	1.92	5.75	-12.60
B-2	8.87	4.22	6.59	15.94	1.92	5.73	-12.49
B-3	8.87	4.74	6.98	15.94	2.36	6.98	-10.85
B-4	8.87	4.62	6.78	15.94	2.30	6.77	-11.26
B-5	8.87	4.87	6.78	15.94	2.57	7.48	-10.55
A-1	8.87	4.84	6.85	0.19	2.31	0.88	- 1.33
A-2	8.87	4.59	6.57	0.19	2.23	0.87	- 1.62
A-3	8.87	4.41	6.11	0.19	1.99	0.93	- 2.02
A-4	8.87	4.42	6.11	0.19	1.96	0.77	- 2.18
A-5	8.87	4.76	6.21	0.19	1.85	0.83	- 2.02

A区ではプラス4.9～7.1g、B区ではプラス6.1～13.7gとなり、浸透水の移流に伴い水田作土から下層土に相当量の有機炭素が負荷されていることが示唆された。これらの有機炭素は、下層土に生息している微生物等により分解、利用され、地下水や河川にすべて流出することはないが、浸透水中のTOC濃度が高くないような水田土壌の管理を行う必要がある。

また、無機炭素（IC）の年間収支をまとめると表－8のようになる。年間かんがいしたB区の浸透水の平均IC濃度は、作付期間には29.3～32.4mg/ℓ

であったが、非作付期間には11.4～12.2mg/ℓに低下した。一方、A区の浸透水の平均IC濃度は、作付期間と非作付期間で大差がなかった。B-1区のICの年間流出量は、約83g/m²となり、m²当り年間約83gの無機炭素が、作土から下層土に供給されることを示した。しかし、かんがい水中にも約12mg/ℓのICが含まれているので、ICの差引き排出量は非作付期間にかんがいを行なわなかったA区の方が大きくなった。浸透水のIC濃度は、水田作土の微生物活性の指標となるが、湛水土壌のpH域での土壌の緩衝能等の影響を受けるので、さらに検討が必

表－7 水田作土における全有機炭素の年間収支

Table 7 Annual balance of total organic carbon in the paddy soil

試験区	作 付 期 間			非 作 付 期 間			年間の差引き 排出量 (g/m ²)
	流入 TOC 量	浸透水の平均 TOC 濃度	流出 TOC 量	流入 TOC 量	浸透水の平均 TOC 濃度	流出 TOC 量	
	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	
B-1	5.21	7.98	11.46	6.53	4.65	13.92	13.64
B-2	5.21	7.26	11.34	6.53	4.72	14.06	13.66
B-3	5.21	6.83	10.06	6.53	4.16	12.31	10.63
B-4	5.21	6.70	9.82	6.53	3.47	10.23	8.31
B-5	5.21	6.67	9.28	6.53	2.93	8.51	6.05
A-1	5.21	8.06	11.41	0.98	5.05	1.92	7.14
A-2	5.21	7.73	11.09	0.98	5.55	2.17	7.07
A-3	5.21	7.40	10.27	0.98	5.25	2.45	6.53
A-4	5.21	6.84	9.47	0.98	4.40	1.74	5.02
A-5	5.21	6.66	8.69	0.98	5.33	2.40	4.90

表－8 水田作土における無機炭素の年間収支

Table 8 Annual balance of inorganic carbon in the paddy soil

試験区	作 付 期 間			非 作 付 期 間			年間の差引き 排出量 (g/m ²)
	流入 IC 量	浸透水の平均 IC 濃度	流出 IC 量	流入 IC 量	浸透水の平均 IC 濃度	流出 IC 量	
	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	(g/m ²)	(mg/ℓ)	(g/m ²)	
B-1	16.78	32.41	46.53	31.10	12.15	36.38	35.03
B-2	16.78	29.57	46.19	31.10	11.69	34.81	33.12
B-3	16.78	31.63	46.57	31.10	12.12	35.85	34.54
B-4	16.78	29.31	42.98	31.10	11.36	33.46	28.56
B-5	16.78	30.82	42.88	31.10	11.61	33.73	28.73
A-1	16.78	35.93	50.88	0.01	38.42	14.64	48.73
A-2	16.78	34.51	49.46	0.01	38.09	14.91	47.58
A-3	16.78	32.37	44.92	0.01	35.21	16.42	44.55
A-4	16.78	30.82	42.63	0.01	26.30	10.38	36.22
A-5	16.78	30.19	39.38	0.01	31.83	14.31	36.90

要である。

3) 水田の水質浄化機能の活用と今後の課題

先の試験結果は、窒素、リン、カリウム等の栄養塩類を高濃度を含むかんがい水を供給しても、その負荷量が水田の水質浄化容量を越えなければ、水田生態系の吸着、分解、吸収、脱窒作用等により、かんがい水が水田作土中を浸透する間にこれら栄養塩類は除去され、極めて良好な浸透水が下層土に供給されることを示唆している。表-4より、湖沼の環境基準(類型V; 全窒素濃度1 mg/ℓ以下)を満たす浸透水を得るには、かんがい水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を6 mg/ℓ以下とし、年間のT-N負荷量を28.3g/m²に抑える必要がある。上記条件で水田を管理すると、年間25.4g/m²(作付期間1日当り、0.75kg/ha)の窒素が除去され、極めて窒素濃度の低い浸透水(平均T-N濃度0.67mg/ℓ)が下層土に供給されることが判明した。

これまで、水田の水質浄化機能に関しては、数多くの調査研究が実施され、1日、1ha当りの窒素除去量としては、0.5~0.9kg(田淵ほか、1987)、0.95kg(長谷川ほか、1985)、0.75~1.93kg(國松ほか、1980)、0.35~4.2kg(高村ほか、1983)等の値が報告されている。本試験の年間窒素除去量より算出した1日、1ha当りの窒素除去量は、0.69kg($\text{NH}_4\text{-N}$; 6 mg/ℓ)と1.08kg($\text{NH}_4\text{-N}$; 10mg/ℓ)となり、上記調査結果ともほぼ一致している。

一方、かんがい水として利用可能な限界窒素濃度は、気象条件、栽培品種、かんがい水の窒素形態および肥培管理法等により異なるが、3 mg/ℓ(森川ほか、1982)、5 mg/ℓ(日高、1990)と報告されている。また、窒素濃度の高いかんがい水を生育後期まで供給すると、米の品質は低下する(尾崎ほか、1992)ので、今後は、かんがい水による窒素負荷量と負荷時期が、米の品質等に及ぼす影響をさらに詳細に調査、検討する必要がある。

さらに、農村地域の都市化および工場の内陸部への進出に伴う河川への下水処理水等の排出により、かんがい水中には、窒素等の肥料成分だけでなく、重金属等の有害物質が含まれる可能性が高くなっている。従って、これら汚濁物質を高濃度を含むかんがい水の利用に際しては、有害物質の土壌蓄積や農作物の安全性を含めた総合的な検討が必要である。

農村と都市との物質循環を円滑にし、新たな共存関係を確立するためには、工場の生産システムおよび我々の生活様式を物質循環の適正化の観点から総合的に見直すとともに、污水处理の高度化を一層推進する必要がある。

4. まとめ

灰色低地土を充填した小型水稻栽培槽を用い、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度0~10mg/ℓ、T-P濃度0.26mg/ℓ、K濃度5.97mg/ℓのかんがい水を1日置きに、30mm供給し、水田土壌の水質浄化容量を調査し、以下の結果を得た。

1) 被覆尿素10gN/m²施用区の穂重は、5 gN/m²施用区に比べ13~30%高くなったが、水稻作付期間中の浸透水の平均T-N濃度は、施肥窒素量の影響を受けず、いずれも1 mg/ℓ以下となった。

2) 適切な肥培管理を行えば、水田土壌(灰色低地土)は平均T-N濃度0.93mg/ℓ(降水程度)のかんがい水を平均T-N濃度0.58mg/ℓに浄化できることを示した。

3) $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度10mg/ℓのかんがい水の供給により、m²当り年間44.5gの窒素が流入し、水田作土を浸透する間に、脱窒、水稻吸収等により約39.4gの窒素が除去された。

4) $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度10mg/ℓのかんがい水を水稻栽培期間のみ供給したA-5区(作付期間116日のT-N負荷量15.3g/m²)の浸透水の水量加重平均濃度は、0.68mg/ℓで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 無添加区の0.84mg/ℓより低くなった。これらの結果は、作付期間のみ $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度10mg/ℓのかんがい水を供給しても、浸透水の水質悪化を引き起こさないことを示唆している。

5) 平均T-P濃度0.26mg/ℓのかんがい水を供給したところ、浸透水の平均T-P濃度は0.01~0.02mg/ℓと極めて低く、m²当り年間約1gのT-Pが除去された。

6) 平均K濃度5.97mg/ℓのかんがい水の供給により、m²当り年間24.8gのKが流入し、水田作土を浸透する間に10.6~12.6gのKが除去された。

7) 全有機炭素と無機炭素の差引き排出量は、いずれもプラスとなり、これらの物質は、かんがい水が水田作土を浸透する間に、負荷されることが分かった。

8) 湖沼の環境基準(類型V: 全窒素濃度1 mg/ℓ

以下)を満たす浸透水を得るには、かんがい水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を 6 mg/l 以下とし、年間 T-N 流入量を m^2 当り 28.3g (1 ha 当り 283kg)程度に抑える必要がある。

9) 窒素濃度の高いかんがい水を生育後期まで供給すると、倒伏および米の品質低下を引き起こす可能性がある。かんがい水による窒素負荷量と負荷時期が、米の品質等に及ぼす影響をさらに詳細に調査、解析する必要がある。

参 考 文 献

- 尾崎保夫・尾崎秀子・木方展治・阿部 薫(1992): 水田の水質浄化容量と米の品質に及ぼすかんがい水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の影響、日本土壤肥科学会講演要旨集、38、166p.
- 國松孝男・中村七郎・金木亮一(1980): 処理水の水田還元-希釈液肥カンガイにおける $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と水田の N 収支-、農業土木学会誌、48-11、797~804.
- 高村義親・鈴木誠治・古賀康夫・田淵俊雄(1983): 湛水土壤ライシメーターにおける硝酸態窒素および塩素イオンの動向と収支について、日本土壤肥科学雑誌、54-1、37~44.
- 田淵俊雄・高村義親(1985): 「集水域からの窒素・リンの流出」、東京大学出版会、1~226p.

- 田淵俊雄・末正奈緒希・高梨めぐみ(1987): 水田湛水による硝酸態窒素の除去試験、農業土木学会誌、55-8、761~766.
- 鶴巻道二(1991): 浅層地下水の硝酸態窒素による汚染、日本地下水学会1991年度秋季講演会要旨、54~59.
- 永井 茂(1991): 地下水汚染の水文学的アプローチ-無機汚染の実態と問題点-、日本地下水学会誌、33-3、145~154.
- 長谷川清善・奥村茂夫・小林正幸・中村 稔(1985): 茶園・水田連鎖地形における富栄養化成分の行動、滋賀農試報、26、34~41.
- 日高 伸(1990): 水稻の生育・土壌に及ぼす灌がい水質の影響とその限界濃度に関する研究、埼玉農試研報、44、1~100.
- 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.
- Croll, B. T. and Hayes, C. R. (1988): Nitrate and water supplies in the United Kingdom, Environmental Pollution, 50, 163~187.
- Hallberg, G. R. (1986): From loes to herbicides, agriculture and groundwater quality, J. Soil and Water Conservation, 41, 357~364.
- Handa, B. K. (1987): Nitrate content of ground water in India, Fertilizer News, 32-6, 11~29.
- (受付: 1992年5月18日、受理: 1992年8月14日)