

畑作酪農地帯における栄養塩類 (N, P) の循環*1

大村 邦男*2 黒川 春一*3

道央の畑作酪農地帯における窒素、リンの循環について、環境保全的な見地から検討を行った。調査地域202.2haから流出する窒素量は年間3,794kgで、その内訳は耕地83%, 畜産関連施設11%, 林地等5%, 生活排水1%であった。一方、河川に流入する負荷量は降水による自然負荷量よりも小さく、作物、土壌を介した農地における浄化機能の大きいことを示唆した。リンの流出量は年間285kgで、その内訳は、耕地91%, 畜産関連施設4%, 生活排水3%, 林地等2%であった。一方、河川に流入するリンの負荷量は窒素に比べると少なく、流出量の多くは表面流出によるものと考えられた。したがって、リンの水系への流達を極力抑えるためには、表面流出水に伴う土壌粒子の移動を抑制するための緩衝帯等の設置が有効と思われた。以上、畑作酪農地帯で発生する肥料成分の流出を抑えるためには、農業系内における肥料成分の循環に務め、系外からの流入をできるだけ減らすことが基本と考えられた。

緒 言

近代農業の飛躍的な発展は、品種改良等に伴う増収もさることながら、大型機械の導入や化学肥料、農薬使用に代表されるように、大量の資材投入によって成し遂げられてきた一面をもつといえる。このような資材多投型農業は、生産性の向上に寄与する一方で、土壌の生態系に変化をもたらし、農地の荒廃化を促す要因となっている可能性がある。そして、これらの影響は農業系内に留まらず系外にまで波及しつつあり、最近改めて営農活動が周辺の自然環境に与える影響が問われている。

なかでも、閉鎖系水域で問題になっている富栄養化現象は、周辺から流入される栄養塩類に起因すると言われており、その発生源の一つとして農地が注目されている^{1) 2)}。農地から流出する栄養塩類は、過剰な施肥や大規模な畜産施設に基づく

ものが多く、資材の多投によってもたらされた弊害の一つと考えられる。

このような農業地域周辺の水質保全を考えるに当たっては、従来のように作物根圏域の肥料成分の動態だけではなく、農業系外に流出する成分についても把握しておかなければならず、広範囲にわたる調査が必要となる。

以上のような背景を基に、本調査で畑作酪農地帯における栄養塩類 (N, P) の収支について検討し、物質循環からみた水質保全に関する問題点を明らかにしようとした。

調査地域の概況と調査方法

1. 調査地域の概況

調査対象としたモデル地域は、千歳市南東部に位置する畑作酪農地帯で、面積が202.2ha、地域の年間平均降水量は1,133mm⁴⁾である。

なお、気象、土壌、土地利用等の詳細については前報³⁾に示したとおりである。

2. 負荷量の収支に関する調査

各項目別の負荷量は1984年と1985年の2カ年にわたって調査したもので、両年の結果を総合して年間の負荷量として表した。

1991年6月25日受理

*1 酪農地帯における肥料成分の流出と水質保全 (第5報)

*2 北海道立中央農業試験場 (現、大北農業試験場、098-57 枝幸郡浜頓別町)

*3 同上 (現、電気化学工業株式会社、石灰窒素普及会、060 札幌市中央区)

負荷量のインプットは、自然負荷量を降水量⁴⁾と雨及び雪の分析結果から、施肥及び家畜飼料に伴う負荷量は、肥料・飼料の年間使用量とその成分値から計算した。

また、各農家の実態調査を基に家畜糞尿の農地への還元量を推定し、糞尿の発生量と還元量との差を未利用分として排出される負荷量とした。

一方、負荷量のアウトプットの主体を成す作物による吸収量は、収穫部と残渣部に分けて調査を行った。

また、家畜飼養に伴う発生負荷量は、排泄物の場合は1日当りの量を糞37kg、尿12kgとし⁵⁾、また、産乳に伴う負荷量は当地域の平均産乳量(6, 100kg)を基に、各成分の分析値からそれぞれ計算した。

3. 肥料成分の流出に関する調査

調査地域の流出水量は、降水量から蒸散量を差し引いた値⁴⁾ ⁶⁾ (最大可能流出量に相当)を用いた。また、流出形態は冬期間(12月から4月中旬)の降雪分を表面流出、夏期間の降雨を浸透流出とし、冬期間の浸透流出、夏期間の表面流出については考慮しなかった。

その結果、冬期間の降水量は216mm、夏期間の降水量は930mmで、夏期間はこのうちの494mmが蒸散⁴⁾し、残りの436mmが流出するものと推定された。

なお、流出水量の計算は夏期間早魃に見舞われた1984年を除外し、平年並みの降水量1,146mm(1951-1980年の平均値は1,133mm⁴⁾)を示した1985年の降水量を基に行った。

各流出水の成分濃度は融雪期は表面流去水⁷⁾、浸透流出水は気象、土壌、栽培条件等がほぼ同じ箇所で行った調査例⁸⁾を準用した。

また、未利用分の糞尿から流出する負荷量は、堆肥置き場を起点に行った調査結果⁷⁾を用いた。

4. 河川の流量、水質調査

調査地域を流れる河川を対象に流量及び水質調

査を行い、平年並の降水量を示した1985年の結果を基に標準的な流入負荷量を計算した。

なお、流量は下流の定点で流速計測法⁹⁾に依って行い、上流の流量は年間の平均流量比(上流の流量/下流の流量)から求めた。また、水質分析は日本工業規格、排水試験方法に準じて行った¹⁰⁾。

調査結果

1. 項目別負荷量の収支

1) 負荷量のインプット

負荷量のインプットは、耕地では降水及び肥料成分が、また、家畜飼養との関連では飼料中成分によって占められていた。

降水の成分濃度は、Nは雪、雨ともに約1ppmで、雪ではNH₄-Nが、雨ではNO₃-Nが高かった(表-1)。また、Pは雪>雨の傾向を示したが、何れも0.1ppm以下と低い値であった。降水量1,146mmを基に計算した流入負荷量は、調査地域202.2haに年間N, P各々2,375kg, 53kg(11.7, 0.3kg/ha)であった。

次に、肥料成分の負荷量のうち化学肥料による内訳は表-2に示すとおりである。

当地域の施肥量はほぼ北海道の施肥標準並に行われており、施肥に伴う地域全体の負荷量は、草地(84.8ha)ではN, P各々7,293kg, 4,221kg、畑地(62.0ha)では5,275kg, 4,976kgであった。

また、家畜糞尿の還元による負荷量は、N, P各々15,951kg, 2,909kgで、Nは化学肥料を上回っていた(表-3)。

一方、家畜飼養に伴うインプットは(表-4)、給与飼料と放牧時の採食量を合わせると、N, P各々24,754kg, 3,830kgで、これは成牛1頭当りN124kg, P19kgに相当した。

なお、牧草の乾物生産量の2割を占めたマメ科牧草のN固定によるインプットは、当該草種の吸収N分(2,683kg)とし、イネ科牧草に対するN

表1 降水に伴う自然負荷量(インプット)

区分	項目	降水量 (mm/年)	各成分濃度 (ppm)				負荷量 (kg/調査地域*)	
			T-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	N	P
	雨	930	1.01	0.33	0.39	0.013	1,899	24
	雪	216	1.09	0.17	0.60	0.067	476	29
	計	1,146					2,375	53

成分濃度は雨12点、雪15点の平均値。 ※調査地域の面積は202.2ha。

表2 化学肥料施用による負荷量（インプット）

区分	項目 作目 (ha)	施肥量 (kg/ha)		負荷量 (kg/調査地域)	
		N	P	N	P
	草地 (84.8)	86	114	7,293	4,221
畑地	飼料用コーン (23.0)	105	144	2,415	1,446
	小豆 (25.0)	40	165	1,000	1,801
	ビート (10.8)	147	308	1,588	1,452
	バレイショ (1.6)	100	200	160	140
	カボチャ (1.6)	70	196	112	137
	小計 (62.0)			5,275	4,976
合計				12,568	9,197

の移積量については考慮しなかった。

2) 負荷量のアウトプット

負荷量のアウトプットは、大部分が作物による吸収量で、一部は土壌から揮散、流出するものと考えられた（表-5）。また、家畜飼養との関連で発生する負荷は、牛乳、糞、尿及び牛体の増加分に配分される（表-6）。

作物による吸収量（表-5）は、牧草ではN、P各々13,417kg, 1,747kgで、その内の一部（N2,113kg, P230kg）は放牧時の残食分として再び草地に還元される。また、畑作物における吸収量は、N、P各々8,321kg, 1,169kgで、茎葉、根株等の残渣部がN、P吸収量全体の22~30%（N1,926kg, P211kg）であった。

一方、家畜飼養に伴う発生負荷量（表-6）のうち、糞尿の排泄量は3,577 tで、N、P各々17,631kg,

表3 糞尿施用による負荷量（インプット）

区分	項目	還元量 (t)	負荷量 (kg/調査地域)	
			N	P
糞及び堆肥	草地※	128	426	146
	(放牧地)※	270	899	308
	畑地※	2,136	7,113	2,435
	その他	167	556	190
尿及び尿汚水	草地※	560	5,522	15
	(放牧場)※	88	867	2
	畑地◎※	114	1,124	3
	その他	114	1,124	3
合計	還元分※	3,296	15,951	2,909
	未利用分(その他)	281	1,680	193

◎堆肥として還元。

表4 飼料給与による負荷量（インプット） <成牛換算200頭>

区分	成分	給与量 (t/年)	乾物当り含有率 (%)		負荷量 (kg/調査地域)	
			N	P	N	P
購入飼料	配合飼料	240	3.54	0.70	7,576	1,498
	ビートパルプ	15	2.15	0.11	103	5
	ルーサンペレット	10	2.60	0.21	234	19
	小計	265			7,913	1,522
自給飼料	コーンサイレージ	1,300	1.33	0.19	5,546	792
	乾草 (放牧)	400	1.68	0.28	4,956	826
	小計	1,700			16,841	2,308
合計	小計	1,965			24,754	3,830

表5 作物の養分吸収による負荷量 (アウトプット)

作 目	項 目	生量 (t)	乾物量 (t)	乾物当り含有率 (%)		吸収量 (kg/調査地域)		
				N	P	N	P	
草 地 (84.8ha)	1 番 草	2,883 (34 t)	399	1.79	0.26	7,142	1,036	
	2 番 草		229	2.74	0.31	6,275	710	
	計		628			13,417	1,747	
	内 残 草		250			2,113	230	
畑	飼料用コーン (23.0ha)	子 実	1,173	106	1.44	0.28	1,526	297
		茎 葉	(51 t)	159	1.36	0.19	2,162	302
		計		265			3,688	599
	刈り株*		32	1.08	0.12	346	38	
小 豆 (25.0ha)	子 実	118	31	3.61	0.40	1,119	124	
	茎 葉	(1.9 t)	25	1.68	0.16	420	40	
	刈り株		6	1.10	0.09	66	5	
	計 *		31			486	45	
地	ビート (10.8ha)	根 部	400	89	1.39	0.21	1,237	187
		茎 葉*	(37 t)	30	3.10	0.38	930	114
62 ha	ジャガイモ (1.6ha)	根 部	48	10	1.79	0.23	179	23
		茎 葉*	(30 t)	5	3.27	0.27	164	14
カボチャ (1.6ha)	実	48	9	1.91	0.28	172	25	
		(30 t)						
小 計	収 穫 物					6,395	958	
	残 渣 物*					1,926	211	
合 計						8,321	1,169	

生重の () 内はha当りの収量。牧草の残草は収量から飼料の乾草分を差し引き、これに放牧率0.75をかけて計算。

3,102kg, また、産乳(897 t)による負荷量は5,185 kg, 843kgであった。そして、これら排泄物の約90%は農地に還元され、N, Pの1,680, 193kgが放置されて排泄負荷となっていた。

なお、酪農洗剤、搾乳機器の洗浄に伴う負荷の流出が予想されたが、洗剤の無リン化と搾乳機器の性能向上等により、当初考えられていたような大きな比重は占めていないものと推察された¹¹⁾。

次に肥料成分の流出について検討した(表-7, 表-8)。

表6 家畜飼養に伴う発生負荷量 (アウトプット)

項目	発生量 (t)	成分濃度 (ppm)		負荷量 (kg/調査地域)		
		N	P	N	P	
排泄物	糞	2,701	3,330	1,140	8,994	3,079
	尿	876	9,860	26	8,637	23
	計	3,577			17,631	3,102
牛乳**	897	578	94	5,185	843	

* 発生量は1日当り糞37kg, 尿12kgとし、成牛換算200頭相当。

**産乳量は年に1頭当り6.1kg(乳検成績)で、搾乳頭数は147頭。

表7 表面流出水による流出負荷量 (アウトプット)

区 分	項 目	流出水濃度 (ppm)		流出量 (kg/調査地域)	
		N	P	N	P
堆肥置場 (n=4)	対象負荷 糞167 t	556 (16.0)	190 (5.5)	89	10
	最大流出水量				
草地(n=6)	183,168 t	2.61	0.45	478	82
畑地(n=20)	133,920 t	4.72	1.28	632	171
合 計				1,199	263

堆肥置き場の流出水濃度の項の括弧内は流出割合 (%) を示す。

表8 浸透流出による流出負荷量（アウトプット）

区分 (ha)	流出水濃度 (ppm)*		流出量 (kg/調査地域)			
	N	P	N	P		
尿 汚 水 114 t	1,124	3	330	—		
最大可能流出水量 (t)						
草 地 (84.8)	369,728	1.52	0.007	562	3	
畑 地	飼料用コーン等 (26.2)	114,232	6.78	0.006	774	1
	小 豆 (25.0)	109,000	3.77	0.006	411	1
	ビ ー ト (10.8)	47,088	6.41	0.017	302	1
	小 計			1,487	3	
林 地, 原 野 (47.8)	141,700			96	5	

林地及び原野からの流出量は調査地域上流の流入負荷量から計算 ※文献8)より引用

肥料成分の移動は、表面流出と浸透流出に区分される。まず、表面流出水は土壌粒子の移動が著しい畑地では懸濁態成分を中心に高い値を示しており⁷⁾、草地と畑地では異なった。すなわち、草地からの流出負荷量はN、P各々478kg、82kg(5.6、1.0kg/ha)、畑地では632kg、171kg(10.2、2.8kg/ha)で、面積当りの負荷量は畑地>草地の傾向を示した。また、堆積放置されている糞から流出する成分濃度は高く、流出割合(N16%、P5.5%⁷⁾)から計算したN、Pの流出量は各々89kg、10kgであった。

一方、浸透流出水のN、Pの濃度はほぼ施肥量に対応した値を示しており、年間を通じての平均値は、草地ではN1.52ppm、P0.007ppm、また畑地ではN3.77-6.78ppm、P0.006-0.017ppmであった⁸⁾。これらの結果から、調査地域の耕地からのN、P浸透流出量は、草地ではN、P各々562kg、3kg(6.6、<0.1kg/ha)、畑地では1,487kg、3kg(24.0、<0.1kg/ha)であった。また、未利用分の尿中Nの流出量は、場内で行ったライシメータ試験¹²⁾の最大流出割合(29.4%)を基に計算した結果、尿114tから330kgのNの流出がみられた。

林地からの流出負荷量は、調査地域の上流域661haがほぼ林地で占められていることに着目し、上流の流域面積と調査河川上流の流入負荷量(N1,306kg、P89kg)から求めた結果、N、P各々2.0、0.1kg/haと推定された。

この外にアウトプットとしては、Nの揮散、脱窒が挙げられた。このうち、揮散量は尿汚水を圃場に

散布した時のNH₄-Nの揮散量(T-Nの5%¹²⁾)から計算し、そのN量は1,426kgであった。

なお、生活排水による排出負荷量(N3g、P0.9g/日・人¹³⁾)は、地域内に定住している人数(28名)から求めた。すなわち、生活排水からの排水量は、年間N、P各々31kg、9kgで、これらは排水路を通して直接河川に流入するものと考えられた。

3) 河川の流入負荷量

河川への流入負荷量を明らかにするために、調査地域における河川の流量および水質調査を3月末から11月末までに計12回行った(表-9)。

なお、下流の流量は堰で仕切られた地点で正確な計測が可能であったが、上流は河川断面が一定せず必ずしも満足のゆくデータが得られなかった。そこで、平常時と融雪期に分けて平均流量比(平常時0.93、融雪期0.79)を算出し、この値から上流の流量を求めた。

その結果、日平均流量は上流で11,808t、下流では13,968tであった。この流量から求めた年間の累積流入負荷量は、上流でN、P各々1,306kg、89kg、下流では2,472kg、227kgで、両地点間の差

表9 調査河川の水質成分

成分項目	流量 (t/分)	T-N NO ₃ -NNH ₄ -N (ppm)			T-P PO ₄ -P (ppm)	
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
平均値	9.3	0.94	0.44	0.033	0.086	0.011
最小値	2.4	0.39	0.28	—	0.015	0.003
最大値	26.6	4.47	0.90	0.123	0.404	0.029

であるN1,166kg, P138kgを調査地域から河川に流入した負荷量と考えた。

2. 成分別負荷量の収支

1) 窒素の収支 (表-10)

Nのインプットは、降水による自然流入負荷が7%, 肥料成分による負荷が85%, マメ科牧草のN固定によるものが8%であった。肥料成分の内訳としては、化学肥料37%, 糞尿48%で、糞尿還元による割合が化学肥料を上回っていた。

一方、家畜飼養関連からのNのインプットは、購入飼料32%, 自給飼料・放牧68%で占められていた。

インプットされたNの65%は生産物として収穫されるが、12%は残渣として再び農地に還元されていた。また、流出負荷量はインプットされた総負荷量の10%に相当し、浸透流出量>表面流出量の傾向がみられた。

一方、Nのアウトプットは、家畜飼養関連から

表10 窒素の収支 (kg/年)

区分 項目	草地 84.8ha	畑作 62.0ha	林地等 47.8ha	荒地・宅地 7.6ha	計 202.2ha	家畜飼養関連 200頭	生活 28人
〈インプット〉							
降水	996	728	562	89	2,375 (7)		
肥料成分	15,007	13,512			28,519 (85)		
化学肥料	7,293	5,275			12,568 (37)		
ふん・堆肥	1,325	7,113			*15,951 (48)	購入飼料 7,913 (32)	
尿・汚水	6,389	1,124				自給飼料 10,502 (42)	
放牧						6,339 (26)	
窒素固定	2,683				2,683 (8)		
合計	18,686	14,240	562	89	33,577(100)	24,754(100)	
〈アウトプット〉							
生産物	13,417	8,321			21,738 (65)	牛乳 5,185(21) 還元量	
収穫物	11,304	6,395			17,699 (53)	ふん 8,994(36)→15,951*	
残渣	2,113	1,926			4,039 (12)	尿 8,637(35)	
流出量	1,040	2,119	96	89	3,344 (10)	419	31
表面流出	478	632	96	89	1,295 (4)	89	
浸透流出	562	1,487			2,049 (6)	330	
揮散 (NH ₄ -N)	1,426				1,426 (4)		
合計	15,883	10,440	96	89	26,508 (79)	22,816 (92)	

表中 () 内はインプットの総負荷量33,577kgに対する割合を示す。

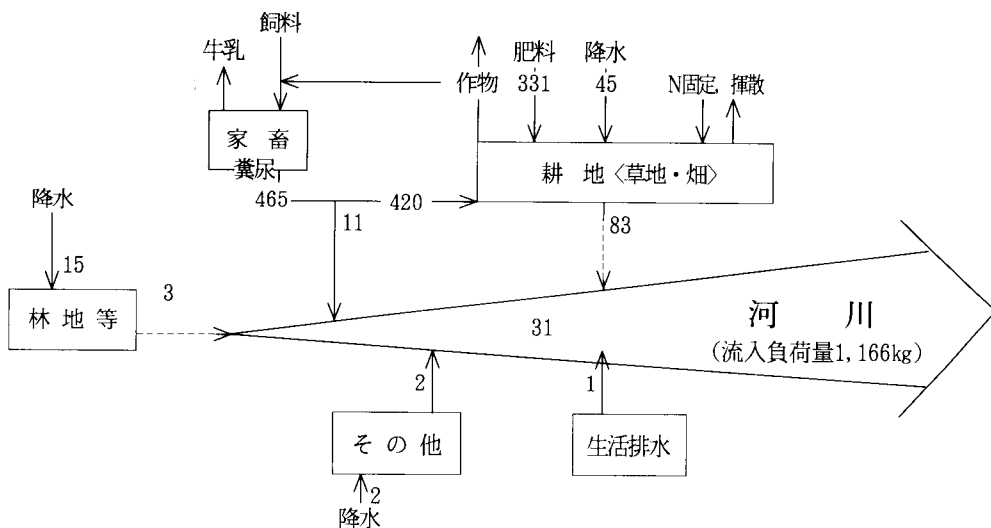


図1 調査地域の窒素の年間総流出量(3,794kg) 基にしたダイヤグラム (図中の数字は総流出量を100とした指数。)

は、21%が牛乳として、また、糞、尿に各々36%、35%が排出され、糞尿中のNの15,951kgが農地に還元されていた。

次に、Nの流出負荷量を地目別にみると、林地から96kg(2.0kg/ha)、草地から1,040kg(12.3kg/ha)、畑地から2,119kg(34.2kg/ha)であった。また、畜産関連施設からのN流出負荷量は419kgで、生活排水による流出負荷量は31kgであった。これらN負荷量の合計量は3,794kgで、総流出量

に対する各割合は、耕地83%（草地27%、畑地56%）、畜産施設11%、林地等5%、生活排水1%であった（図-1）。しかし、実際に河川に流入したN負荷量は1,166kgで、総流出負荷量の31%であった。この差は、集水域や流出水量の過大評価、河川に到達するまでの土壌吸着、浸透による地下への流出等が関係しているものと推察された。

2) リンの収支（表-11）

Pのインプットは、降水による自然流入負荷量

表11 リンの収支 (kg/年)

区分 項目	草地 84.8ha	畑作 62.0ha	林地等 47.8ha	荒地・宅地 7.6ha	計 202.2ha	家畜飼養関連 200頭	生活 28人
〈インプット〉							
降水	22	16	13	2	53 (<1)		
肥料成分	4,692	7,414			12,106 (100)	購入飼料 1,522 (40)	
化学肥料	4,221	4,976			9,197 (76)	自給飼料 1,618 (42)	
ふん・堆肥	454	2,435			*2,909 (24)	放牧 690 (18)	
尿・汚水	17	(3)					
合計	4,714	7,448	13	2	12,159 (100)	3,830(100)	
〈アウトプット〉							
生産物	1,747	1,169			2,916 (24)	牛乳 843(22) 還元量	
収穫物	1,517	958			2,475 (20)	ふん 3,079(80)→2,909*	
残渣	230	211			441 (4)	尿 23 (1)	
流出量	85	174	5	2	266 (2)	10	9
表面流出	82	171	5	2	260 (2)	10	
浸透流出	3	3			6 (<1)	-	
合計	1,832	1,343	5	2	3,182 (26)	3,945(103)	

表中()内はインプットの総負荷量12,159kgに対する割合(%)を示す。

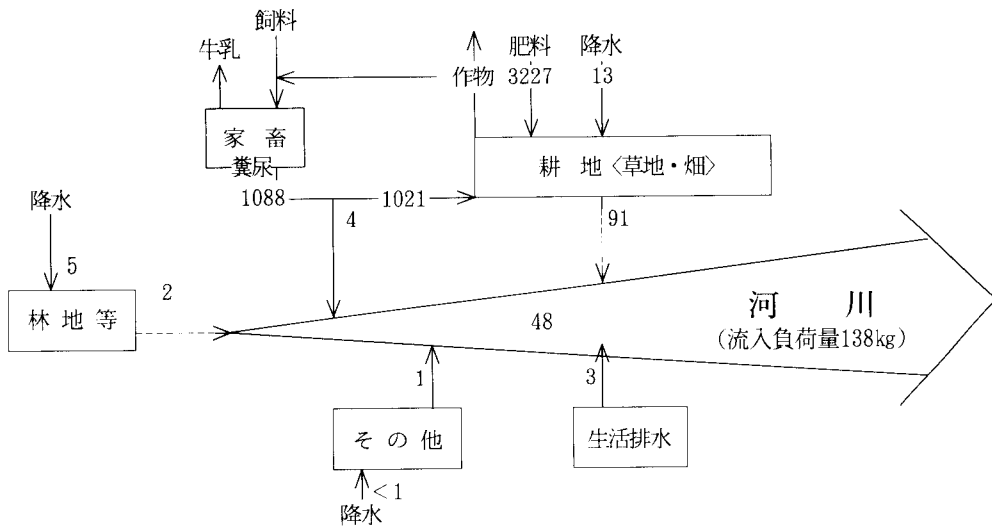


図2 調査地域のリンの年間総流出量(285kg)基にしたダイヤグラム (図中の数字は総流出量を100とした指数。)

が僅かで、大部分が肥料成分で占められていた。その中の76%は化学肥料によるもので、Pが系外からの負荷に依存する割合の高いことを示していた。

一方、家畜飼養関連のPのインプットは、購入飼料40%、自給飼料・放牧が60%で構成され、Nに比べると購入飼料に依存している割合が高かった。

インプットされたPの24%は生産物として収穫され、Nに比べると作物残渣の割合が少なかった。また、Pの流出負荷量はインプットされた総負荷量の2%で、その大部分は表面流出によるものであった。Pの負荷量のアウトプットは、インプットされた負荷量の26%と少なく、大半が土壌に蓄積されているものと考えられた。

なお、耕地には多量の施肥リンが蓄積されており、累積負荷量も含めた場合の流出割合はさらに低い値になるものと推察された。

また、家畜飼養関連のPのアウトプットの配分は、牛乳22%、糞80%、尿1%で、糞に対する排出割合が高く、尿で低いのが特徴的であった。

次に、Pの流出量を地目別にみると、林地5kg (林地0.1kg/ha)、草地85kg (1.0kg/ha)、畑地174kg (2.8kg/ha)で、単位面積当りの流出負荷量はNと同様に畑地>草地の傾向を示した。また、畜産関連施設からのP流出量は10kgで、生活排水に伴う排水負荷量は9kgであった。

Pの総流出量は285kgで、流出割合は耕地が91% (草地30%、畑地61%)、畜産施設4%、生活排水3%、林地等が2%であった(図-2)。

一方、Pの河川への流入負荷量は138kgで、総流出負荷量の48%に相当した。この値は、施肥リンの多くが土壌に固定されていることを考慮すると大きな値であるが、河川への流入負荷量の中に、流下過程で発生する河床からの懸濁態成分の回帰¹⁴⁾による負荷量も加わっているためと推察された。

総合考察

化学農業、資材多投型農業とも言われる近代農業は、生産性の向上に大きく貢献してきた。そして、酪農経営の規模拡大も化学肥料、大型施設および購入飼料に依存し、高泌乳牛を主流とした飼養法が勧められてきた。

反面、こうした資材多投型農業は土壌生態系の変化を促すとともに、周辺環境に多大な影響を与えている。

なかでも、全国的に水域の富栄養化が問題になっており^{15) 16)}、その発生源の一つとして農業地域からの肥料成分の流出が指摘されている。肥料成分の流出は、過剰な施肥によってもたらされている場合が多く、資材多投型農業による弊害の一つと考えられる。農地排水が水系に及ぼす影響については、水の流れが捕らえやすい水田を中心に数多くの解析がなされてきたが^{17) 18)}、畑地等における収支については水の動態が複雑なことから調査例は少ない。

本調査では、北海道の代表的な営農形態の一つである畑作と酪農の混同経営を行っている地域を対象に、富栄養化と関連の深い成分である窒素、リンの循環について環境保全的な見地から検討した。

調査地域のNの負荷収支は、インプットの92%が降水、施肥(化学肥料、家畜糞尿)で、作物による収奪がアウトプットの主体(65%)を成している。

地域からの流出負荷量は、系外から多量のインプットがあるにもかかわらず、総収入の10%程度と低く、作物、土壌生態系を介した農地の浄化機能の大きいことを示唆している。

この点を詳細にながめてみると、窒素のインプットは降水、施肥が主体である。その中で降水による自然負荷量は2,375kgで、調査地域からの総流出負荷量の63%に相当し、この値は河川への流入負荷量を上回っている。

一方、施肥による負荷量をみると、酪農家から発生する糞尿中の窒素量は、当該農家が使用している化学肥料よりも多い傾向にあり、環境汚染を防止する上でも糞尿の有効利用^{20) 21)}は重要と考える。

窒素のインプットで特異的なものとしては、マメ科植物による空中窒素の固定がある。草地ではマメ科牧草とイネ科牧草との適正比率が保たれている条件下では、窒素少肥でも高い生産性が維持されるため²³⁾、窒素施肥の削減が可能となる。すなわち、マメ科牧草の適性維持は、草地の生産性の面ばかりでなく、栄養塩類の系外への流出を抑えるためにも有効である。

窒素のアウトプットは、作物による収奪が主体を成し、流出負荷量はインプットの10%を占めており、この他にも揮散、脱窒による損失が挙げられる。本調査と付随して行った調査では¹²⁾、窒素の揮散量は全窒素量の5%であったが、地温が上昇する夏期にはさらに高まる²²⁾ことが予想された。すなわち、脱窒等を含めた大気中へのアウトプットは大きな位置を占めており、農地の浄化能の大きさとその役割の重要性を再認識すべきと考える。

また、水質保全を考えるうえで、N成分は水の動きに伴う移動量が大きいことから重要である。特に、窒素質肥料の過剰施用は、施肥養分だけでなく土壌に含まれている成分の溶脱をも助長している。このようなNの流出を抑制するためには、過剰な施肥を避け、輪作体系の中で土壌養分の均衡を図るなどの工夫も必要とされている¹⁹⁾。

以上述べてきたように、窒素の循環は、降水による自然負荷、マメ科植物による窒素固定、土壌微生物の働きによる揮散、脱窒等、自然環境の影響を強く受けている。これら一連の循環系の中で注目されるのは、系外から多量のインプットがあるにもかかわらず、河川への流入負荷量が降水による自然負荷量よりも少ないことである。このことは植物・土壌生態系を介した農地の浄化機能の大きいことを示唆しており、自然界の窒素の循環を考えるうえで重要な点といえる。

リンの自然負荷量は僅かで、大部分が系外からのインプットによる。また、施肥リンの作物による利用率は窒素に比べると低く、土壌に固定される量が多い。そのため、土壌からのリンの流出は、異常にリンが蓄積されている場合や、特殊な土壌を除いてほとんど問題にならないものとする。しかし、リンは水生動植物が増殖するうえで制限因子になっている場合が多く、例え微量であっても水域の富栄養化を考えるうえでは重要な意味を持っている。

リンの河川への流達は、大部分が表面流去水に

よる懸濁態リンの移動によるものとする。表面流去水に伴うリンの移動は、融雪期を中心に発生し⁷⁾、裸地条件でより顕著に行われており、冬期間に植生のない畑地では粒子態リンの移動量が大きい。このようなリンの流出を防止するには、耕起時期を含めた作業体系を配慮するとともに、流出水の移動を抑制するために緩衝地帯の設置が有効とされている²⁴⁾。

特に、リンの資源は世界的にも偏在しており、我が国ではその供給を海外に依存していることから、系内に取り込んだ資源の利用率を高める必要がある。また、大量のリンを含む糞の積極的利用を図り、農業系内におけるリンの循環を高めることが大切と考える。

最後に、水系の循環が一旦悪化した場合には、その周辺の生態系全体に影響を及ぼすことになり、元の姿を取り戻すには多大な時間と経費を必要とする。自然循環系を基礎とした省資源型の営農について再考し、その利点を追求することが大切であり、周辺環境との調和が保たれてこそ真の土地利用型農業が維持されるものとする。この点では、畑作・酪農混同地帯は物質循環農業を行ううえで恵まれた環境条件下にあり、広大な土地基盤をもつ北海道でなければ実現できない営農形態といえよう。

すなわち、家畜飼養に伴って発生する糞尿の有効利用は、系外からの肥料及び購入飼料の流入を抑えるための代替資源であり、これらの利用は飼料作物を含めた生産物の生産性の向上と産乳効果の増進をもたらすことであろう。その結果、過剰投資による栄養塩類の流出は抑えられ、環境汚染の防止にもつながってゆくものとする。

謝辞： 本稿を提出するにあたって御指導、ご校閲をいただいた環境資源部長菊地晃二氏、農芸化学部長相馬暁氏、天北農業試験場長大崎玄佐雄氏に対し謝辞を表す。また、本試験を行うに当たってご協力をいただいた環境保全科長土居晃郎氏はじめ研究員諸氏に対し感謝する。

引用文献

- 1) 桜井善雄. “農地排水による河川及び地下水の汚染”. 農業土木学会誌. **43**, 14-20(1975).
- 2) 米田茂男. “農地排水による肥料成分の排出機構, 1-14”. 農業及園芸. **55**(10)-57(4) (1980-82).
- 3) 大村邦男, 黒川春一. “農業地域を流れる小河川の水質変化”. 北海道立農試集報. **61**, 31-39 (1990).
- 4) 農林水産省育苗管理センター胆振農場. “気象月報”. (1984-1986).
- 5) 鈴木省三, 新出陽三, 吉井邦雄, 滝本勇治. “乳牛の排泄生理に関する研究”. 帯広畜大研報. **5**, 45-54 (1967).
- 6) 札幌管区気象台編. “北海道の気象”. 日本気象協会北海道本部. 1982. p. 19-41.
- 7) 大村邦男, 黒川春一. “融雪期の表面流去水が河川の水質に及ぼす影響”. 北海道立農試集報. **62**, 35-45 (1991).
- 8) 大村邦男. “農耕地における肥料成分の流出”. 農業土木学会北海道支部会講演要旨集. **38**. 74-77 (1989).
- 9) 建設省河川局監修. “建設省河川砂防技術基準”. 山海堂. 1977. p. 31.
- 10) 日本工業標準調査会. “工業排水試験方法”. 1981. 日本規格協会.
- 11) 大村邦男, 黒川春一. “畜産排出物が環境に及ぼす影響, 酪農排出物及びその処理法”. 日本土壤肥料学会講演要旨集. **30**, p. 234 (1984).
- 12) 北海道立中央農試, 環境保全部. “環境(水質)保全からみた牛糞尿の施用限界量の設定”. 昭和64年普及奨励ならびに指導参考事項. 北海道農務部編. 1989. p. 336-338.
- 13) 建設省編. “流域別下水道整備総合計画調査指針と解析”. 1980.
- 14) 大村邦男, 黒田春一. “河川の底泥が水質に及ぼす影響”. 日本土壤肥料学会北海道支部会講演要旨集. p. 16, (1989).
- 15) 松村 隆. “水質保全対策の推移, 富栄養化問題を中心に”. 公害と対策. **19**, 709-715 (1983).
- 16) 上野益三. “湖の富栄養化とそれに関する二, 三の問題”. 甲南女子大研究紀要. **3**, 113-131 (1966).
- 17) 中田 均, 川村才十二, 澤重孝. “農耕地における肥料成分に関する研究, 1. 水田ライシメータにおける肥料成分の行動と収支”. 滋賀県農試研報. **18**, 60-69 (1976).
- 18) 高村義親, 田淵俊雄, 鈴木誠治, 張替泰, 上野忠男, 久保田治夫. “水田の物質収支に関する研究, 1. 霞ヶ浦流域の水田における窒素およびリンの動向と収支について”. 日本土肥学会雑誌. **47**, 398-405 (1976).
- 19) 小川吉雄, 酒井一. “畑地からの窒素の流出制御-環境保全・省資源的施肥への提言”. 農業及園芸. **61**, 15-20 (1986).
- 20) 松中照夫, 小関純一, 近藤熙. “根鋤地方の混播採草地に対する液状きゅう肥の連年施用効用”. 北農. **56**(3), 7-24 (1989).
- 21) 大村邦男, 赤城仰哉. “根鋤火山灰草地の施肥法改善, 6. 草地に対する堆きゅう肥の施用効果について”. 北農. **50**(6), 1-23 (1983).
- 22) 農林水産技術会議事務局編. “農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究”. 1977. p. 169-177(研究成果 102).
- 23) 大村邦男, 木曾誠二, 赤城仰哉. “火山灰草地における施肥管理が草地の経年変化に及ぼす影響”. 北海道立農試集報. **52**, 65-75(1985).
- 24) Witner, M.C.H. "Surface water quality in relation to soil type, land use and discharge in rural catchment area". Water Sci. Technol. **17**, 1155-1164 (1985).

Cerculation of Nutrient Salts (N, P) in an Upland Farming and Dairying Area at the Central Area of Hokkaido.

Kunio OHMURA*¹ and Haruichi KUROKAWA*²

Summary

The circulation of nitrogen and phosphorus in an agricultural system and the outflow of them from the system were examined in an upland farming and dairying area at the central area of Hokkaido.

The breakdown of the nitrogen input in cultivated lands is as follows : 7% due to rainfall, 37% due to chemical fertilizers, 48% due to the reduction of feces and urin and 8% due to nitrogen fixed by leguminous pasturage. It is estimated that 65% of the nitrogen is absorbed and utilized by crops while 10% flows out from the system.

It is assumed that the output of nitrogen due to vaporization and denitrification might amount to a considerably large portion in the nitrogen input/output.

In the nitrogen input relating to the feeding of livestock, on the other hand, 32% and 68% of nitrogen originate respectively from purchased feeds and selfsupplied feeds including grazing. The nitrogen output breakdown in this case is as follows: 21% into cow's milk, 36% into feces and 35% into urine.

The nitrogen flow-load on rivers is smaller than the natural load caused by rainfall, which suggests that farm land has an effective purification function through crops and soil.

The major portion of the phosphorus input is due to fertilizers.

Its breakdown is as follows: 76% due to chemical fertilizers and 24% due to the reduction of feces and urine. 24% of the phosphorus is absorbed and utilized by crops, 2% flows into surface runoff water and the most portion of the balance is seemingly fixed in the soil.

In the phosphorus input relating to the feeding of livestock, on the other hand, 40% and 60% of phosphorus originate respectively from purchased feeds and selfsupplied feeds. The phosphorus output breakdown in this case is as follows: 22% into cow's milk, 80% into feces and less than 1% into urine, showing a high ratio of feces.

Compared with nitrogen, phosphorus largely depends on the feeding of livestock as well as the input from the outside. Only a small amount of phosphorus flows out from the system. However it is important to minimize the flow of phosphorus into watery systems, since phosphorus frequently serves as a limiting factor of eutrophication. It is said that the flow of phosphorus can be effectively prevented by locating a buffer zone for suppressing the migration of surface runoff water.

In order to suppress the outflow of fertilizer components in an upland farming and dairying area, therefore, it seems basically important to promote the circulation of the fertilizer components in the agricultural system and to minimize the input from the outside.

*¹Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan.

*²Denki Kagaku Kogyo K. K, Chuo, Sapporo, Hokkaido, 060 Japan.

