生態学的にみたわが国の窒素, リン発生源構造

Ecological Aspects of Nitrogen and Phosphorus Sources in Japan

中 西 弘* 浮 田 正 夫*

Hiroshi NAKANISHI

Masao UKITA

Abstract

The dynamic flow charts on Nitrogen and phosphorus loadings in Japan were drawn with respect to man-made N, P transformation, deriving from natural foods and feeds and industrial fixation of ammonia and phosphate. It was done with relative difficulty, by arrangement various statistics materials with the tracer method, the material balance technics and so on.

The significance of this study is to consider the fundamental causes and policies of control against eutrophication, and to give data of input for the prediction of water quality.

It was pointed out from these charts that the eutrophication in Japan had proceed closely linked to the transition of manuring pattern.

It should be noted that the nutrient cycle, ecologically to be closed, is seriously open, because of introducing large amount of offertilizer and and importing foods and feeds which amount to half of the foods and feeds required in this country. The amount of N and P through chemical industries was 1,287,000 tN and 407,000 tP, and the amount in the foods and feeds was 1,305,000 tN and 199,000 tP, and also coal and petroleum introduced 1,234,000 t of Nitrogen.

It was made clear that Nitrogen loss by gasification and denitrification are counted as potential output of Nitrogen (2,029,000 tN).

From these works, It might be concluded that the policy for eutrophication control has to be urgently directed to recycling N and P resources inorganic wastes to fertilize or feeds.

1. はじめに

著者らは、先に昭和44年における全国の窒素(N), リン(P)排出量の試算を行い、N, P 排出量のそれぞれ88%と67%は人間の食生活とそれを支える肥料に関するものであることを指摘した¹⁾。富栄養化問題に対する根本的な解決はその発生源構造を明らかにして、その結果から抜本的な対策を樹てることにあつて考える。そこで、本稿では、諸統計資料、成分表、その他種々の文献の利用や必要に応じた実施調査を行い、昭和45年におけるわが国の食料を中心とした N, P の動態図を作成し、富栄養化対策との関係を論述した。なお、本稿は第2回環境問題シンポジウムで報告したもの²⁾を骨子として根本的に再検討を行い、修正、改良を加え、より精度の高いものにしたものである。昭和45年といえは若干年月が経過してしまっているが、食料供給量や肥料施用量など重要な

点では現状とほとんど変わっていないので、現在の状況もほぼ満足しているものと考えている。

2. N, P の動態計算の方法と結果

用いた諸統計は昭和45年度のものである。

2.1 食料、農産物中の N, P

国内産の食料や農産物中の N, P量は農林水産統計³⁾の生産量や食品成分表⁴⁾の N, P 含有量より計算した。輸入量(輸出量を差し引いた正味の輸入量)中の N, P 量の計算には麦、大豆については食料需給表⁵⁾の統計を、その他は文献³⁾の統計を用いた。穀類、みかん、バナナ

* 山口大学工学部 Faculty of Engineering, Yamaguchi University 〒755 宇部市常盤台 Tokiwadai, Ube, 755 Japan

Table 1 Amount of N and P contained in Agricultural Products (10^3 t/year, in 1970)

	Amount of Harvest	Net Amount of Imported Products	Amount of Harvest		Net Amount of Imported		Amount of Waste (Unavailable Parts)	
			N	P	N	P	N	P
Cereals (Rice, Wheat)	13,796	5,125	179	18.0	106	18.0		
(Others)	63	9,898	1	0.2	151	28.0	51	27.6
Pulses	504	3,477	22	2.0	204	16.2	4	0.4
Potatoes	6,173	—6	17	2.6	0	0.0	1	0.2
Vegetables	15,419		39	5.3			7	0.8
Fruits	5,459	969	7	0.8	2	0.3	4	0.5
Tea	91		5	0.3			4	0.2
Food from Forest Products	76		0.4	0.03			0	0.0
Industrial Corps related Food	3,172	482	6.8	1.05	42	6.5	43	6.7
Total	44,753	19,945	277	54.1	505	69.0	144	36.4

Table 2 N and P Content in Fishes

	N g/100 g		a/b	P mg/100 g		a/b
	a Total	b Edible		a Total	b Edible	
Horse Mackerel (Aji)	3.07	3.20	0.96	256	200	1.28
Young Yellow Tail (Hamachi)	3.06	3.36	0.91	235	220	1.07
Flat Fish (Karei)	3.18	3.60	0.88	177	151	1.17
Mackerel (Saba)	2.55	2.88	0.89	239	190	1.26
Nipponius (Sawara)	2.44	2.98	0.75	269	210	1.28
Average			0.88			1.21

以外は廃棄部分の N, P 含有量を可食部分のそれと等しいとして計算した。全消費量の廃棄部分中の N, P 量の計算は表 1 の部門別に集計した値につき、食料需給表同部門の歩留り（イモ類～果実）あるいは食品成分表より推定した廃棄率（茶、木の実など）を用いた。ただし穀類については部門別の各品目について計算した結果を合計してまとめた。計算結果を Table 1 に示す。

2.2 水産物中の N, P

計算には文献3)の漁獲量、輸出量、文献4)の N, P 含有量を用いた。廃棄部分のうちわけを求めるために文献4)の廃棄率の値と一般的な5種の魚について実際に分析して求めた可食部分と魚全体の N, P 濃度比を用いて計算した。Table 2 に分析結果を、Table 3 に総括表を示した。なお総魚獲量277千tN, 24.4千tPのうち、近海よりの水揚げはそれぞれ63.2%の175千tNと15.4千tPである。

2.3 粗飼料中の N, P

収穫量は文献3)に記載のものはその値を、その他は肥料年鑑³⁾の飼料作物作付面積と当りhaの収量から計算したものを用いた。N, P 含有量は飼料成分表⁷⁾の値を用いた。その結果をTable 4 示す。

2.4 粗飼料中の N, P

国内消費量、輸入量は飼料便覧⁹⁾の主要濃厚飼料供給量の統計をもとにした。その他に同便覧の輸入統計、文献3), 5)を参考にしてできるだけ個々の飼料をリストアップし、それぞれにつき文献7)の N, P 含有量を乗じて計算した。計算の経過および結果をTable 5 にまとめた。濃厚飼料の総消費量はNで516千t, Pで110千tと集計され、そのうち、国内の食品工業等により産出される不可食部由来の飼料は表中◎を付した項のうち、大豆粕の100%と魚粕、魚粉の項から、魚粉およびホワイトミールの70%を可食部として除外した合計N106千t, P38.0千tと計算される。さらに大豆粕、魚粉を除外せずに加えると、N253千t, P57.0千tとなり、この量が食品加工工程を経由する飼料とみなしてほぼさしかえない。実際に小麦やとうもろこしなども配合飼料工場を経る場合も多いが、上記以外の飼料は直接に畜産業に供給されるものとした。

2.5 畜産物中の N, P

文献3)の枝肉生産量、畜産加工の文献9), 10)などによると殺割合と文献4), 7)の N, P 含有量を用いて計算した。牛、豚、にわりの国内生産量について計算過程をTable 6 に、結果を正味の輸入量の結果とともにTable

Table 3 Amount of N and P contained in Aquatic Products (10^3 t/year, in 1970)

			Amount of Fish Catch	Total Amount of Fish Catch N P		Amount of Waste (Unavailable Parts) N P		Remarks
Products in Japan	Fish Catch in Coast and Ocean	Fishes	7,245	213.4	18.59	85.2	10.42	Shucked Shellfish
		Shell Fishes	66	1.6	0.11	0	0	
		Cuttle Fish						
		Octopus	818	54.5	4.81	11.0	1.00	
		Shrimp Crab						
		Whale	253	6.4	0.33	0.4	0.08	
	Sea Weeds (Laver etc.)	210	0.6	0.07	0	0	Raw wet weight	
		Total	8,592	276.4	23.91	96.2	11.45	
		Cultured Fish in Shallow Sea	259	3.6	0.30	0.6	0.08	Shucked Shellfish Raw wet weight
	Fish Catch in Inland Sea	39	1.0	0.09	0.2	0.03		
	Cultured Fish in Inland Sea	45	1.3	0.10	0.4	0.04		
Total			8,928	282.4	24.40	97.8	11.66	
Imported Products—Exported Products			103	0.7	0.07	0.5	0.01	

Table 4 Amount of N and P contained in Crude Feeds

	Area under Cultivation * 10^3 ha	Ratio of Harvest ** t/ha	Amount of Harvest 10^6 t	***	Content %		Amount of Harvest (10^3 t)	
					N	P	N	P
Pasture	473	28.0	13.20	17.50	0.54	0.13	94.50	22.75
Chinese Milk Vetch	46	25.8	1.18	1.22	0.40	(0.05)	4.86	0.61
Green Corn	77	38.7	1.97		0.40	0.07	7.88	1.38
Green Oats	29	23.9	0.69		0.62	0.08	4.25	0.55
Green Rye	7.8	24.3	0.19		0.75	0.09	1.43	0.17
Green Soya Beans	0.9	(25)	0.02		0.61	0.12	0.13	0.12
Turnip for Feed	14.8	31.1	0.46	0.59	0.18	0.02	1.06	0.12
Beat for Feed	4.5	(30)	0.14	0.14	0.19	(0.03)	0.26	0.04
Green Rape Seed	0.4	(25)	0.01		0.7	0.07	0.06	0.01
Other Green Vegetable	1.2	(25)	0.03		0.7	0.08	0.21	0.02
Others	12.5	(25)	0.31		0.7	0.08	2.17	0.25
Total	667			22.67			116.8	25.92

* From Table for Food Supply and Demand (1968) P. 230, ** From Production and Utilization of Self-sufficing Feed P. 24 Chikyu Shupan (1965), *** From Pocket Book for Statistics of Fisheries (1972) P. 269, ( ) Estimated Values

7まとめた。なお、廃棄部分の N, P 量は主に牛, 豚, にわとりからであるが、肉および内臓のみを可食部として計算した。輸入量は文献5)の統計によったが、枝肉としての輸入であるから枝肉中骨を廃棄部分として計上している。

2.6 加工食品中の N, P

食品工業の構造を明らかにすることは重要であるが、資料不足のため困難であったので、国内で消費された加工食品中の N, P 量を計算した。国内消費量は食品工業対策懇談会¹¹⁾の資料にもとづき、N, P 含有量は文献4)

によって計算した。輸出入量は食品工業年鑑によった。結果は Table 8 にまとめた。なお、動態図作成の都合上、国内産の畜産食品はすべて食品加工過程を経由するとして扱ったので Table 8 では食品として計上されていない牛肉, 豚肉, とり肉, けい卵, 牛乳の消費量を別に求めておかねばならない。これには国民栄養調査の摂取量のデータを用いることにし、輸入牛肉などの分を差し引いて Table 9 に示すように国内産分の消費量として N61千 t P5.3千 t を得た。

2.7 有機質肥料中の N, P

Table 5 Amount of N and P contained in Concentrated Feed (1970)

Feed	Amount of Imported Feed (10 ³ t)	Amount of Consumption (10 ³ t)	Content (%)		Amount of Imported (10 ³ t)		Amount of (10 ³ t) Consumption		Remark
			N	P	N	P	N	P	
Corn	4,417	4,440	1.44	0.27	61.84	11.93	63.94	11.99	a) 47 p
Kaoliang	3,990	3,990	1.68	0.31	67.83	12.37	67.83	12.37	"
Wheat	136	190	2.02	0.39	2.75	0.53	3.85	0.74	"
Barley	773	828	1.98	0.42	15.46	3.25	16.56	3.48	"
Rice		274	1.23	0.30			3.38	0.67	b) 18 p
Rye (Hadakamugi)		34	1.78	(0.40)			0.61	0.14	"
Rye (Raimugi)	89	89	2.07	0.34	1.87	0.30	1.87	0.30	a) 50 p
Oats	161	161	2.05	0.35	3.38	0.56	3.38	0.56	"
Millet (Awa)		3	1.52	0.28			0.05	0.01	c) 209 p
Deccan Grass(Hie)		9	1.84	(0.30)			0.16	0.03	"
Millet (Kibi)		1	1.89	(0.30)			0.02	0.00	"
Other Corns		328*	(1.76)	(0.30)			5.77	0.98	a)*47 p
Wheat Bran (Fusuma)	958	1,806	2.24	1.17	21.08	11.21	39.73	21.13	a) 47 p
					(36.0)	(19.1)			add imported Wheat Bran
Rice Bran	5	588	2.23	1.82	0.11	0.09	12.94	10.07	"
Barley and Rye Bran		97	2.33	0.19			2.23	0.18	"
Exoleated Rice Bran		421	2.67	1.48			11.37	6.23	c) 209 p
Other Brans	204	950*							a)*47 p
Sweet Potato Starch Bran		48*	0.43	0			0.19	—	*5% of Sweet Potato (for Starch) Consumption
White Potato Starch Bran		82*	0.78	0.20			0.66	0.16	*6% of White Potato Consumption
Beet Pulp Bran	118	118	1.20	0.10	1.42	0.12	1.42	0.12	a) 50 p
Other Brans	86	700	(1.60)	(0.50)	1.38	0.43	11.20	3.50	
Lees of Soya Bean Oil	60	1,590	7.89	0.67	4.74	0.40	125.61	10.65	a) 47 p
	(1,533)				(121.11)	(10.27)			( ) add imported Bean
// Peanut Oil	156	156	8.49	0.65	13.26	1.01	13.26	1.01	a) 50 p
// Cotton Seed Oil	14	14	7.41	1.01	1.04	0.15	1.04	0.15	:
// Other Plant Oil	149	528	7.69	0.86	11.45	1.28	40.58	4.52	a) 47 p
					(40.58)	(4.52)			( ) add Imported Oil Raw Material
Soya Bean	10	10	6.49	0.59	0.65	0.07	0.65	0.07	b) 18 p
Other Beans		38	3.86	0.40			1.50	0.15	"
Sweet Potato		781	0.22	0.065			1.46	0.51	"
White Potato		396	0.30	0.042			1.19	0.17	"
Fish Bran, Fish Meal	81	504	9.60	2.50	7.80	2.00	48.40	12.60	a) 47 p
							(22.4)	(3.9)	( ) Except Edible Part
Powdered Bone and Meat	66	66	9.60	2.50	6.34	1.65	6.34	1.65	a) 51 p
Fish Meal	49	49	13.60	0.35	6.66	0.17	6.66	0.17	"
Feed of adsorbed Fish									

Soluble Meal		95	6.72	2.80			6.37	2.66	a) 66 p
Skim Milk	47	47	5.60	1.04	2.59	0.49	2.59	0.49	a) 51 p
Beef Tallow	55	55	0.05	—	0.03	—	0.03	—	b) 18 p
Alfha Pellet	491	491	2.35	0.32	11.54	1.57	11.54	1.57	a) 49 p
Molasses	295	329	0.51	0.07	1.51	0.21	1.68	0.23	b) 18 p
Total Unedible Feed imported as Feed					91.00	20.78			
Includes Imported Raw Feed Materials					(404)	(70.5)			Soya Bean Bran, Lees etc.
Total Amount of Concentrated Feed Consumption in Japan							516	110.0	
Include Unedible Feed Produced in Japanese Factories							106	38.0	
In clude Soya Bean Bran and Lees							253	57.0	

a) Shiryo Binran (1972), b) Shokuryo Jikyu Hi-yo(1970), c) Pocket Book for Statistics of Agriculture, Forestry and Fisheries (1972), d) Year Book of Fertilizer (1971).

Table 6 Procedure for Calculation of N and P Content in Livestock Products (1970)

		Ratio of Meat (%)	Amount of Product (10 ³ t)	Content (%)		Amount of Production (10 ³ t)	
				N	P	N	P
Cattle	Dressed (Meat)	42.5	220.8	2.9	0.14	6.40	0.31
	Carcass (Bone)	8.5	44.2	2.8	7.7	1.23	3.40
	Head	3.5	18.2	2.8	3.5	0.51	0.64
	Hide	8.5	44.2	4.2	0.35	1.86	0.15
	Blood	3.25	16.9	1.15	0.013	0.02	0.002
	Tail	0.25	1.3	7.0	5.0	0.09	0.065
	Hoof	1.45	7.5	12.8	1.84	0.96	0.14
	Entrails	31.5	163.8	2.8	0.27	4.59	0.442
(Total)						15.7	5.14
Pig	Dressed (Meat)	61.4	606.0	2.29	0.15	13.88	0.909
	Carcass (Bone)	8.6	84.9	2.8	7.8	2.38	6.62
	Head	5.66	55.9	2.8	3.5	1.57	5.14
	Hide	2.5	24.7	3.3	0.2	0.82	0.049
	Blood	2.56	25.3	1.1	0.1	0.28	0.025
	Tail	0.01	0.1	3.8	6.0	0.00	0.006
	Entrails, Fat	12.8	126.3	3.0	0.25	3.79	0.316
(Total)						22.7	9.88
Chicken	Dressed (Meat)	47	235.5	3.98	0.28	9.37	0.659
	Carcass (Bone)	25	125.3	2.0	3.0	2.51	3.76
Broiler	Entrails	5	25.1	2.82	0.2	0.71	0.05
	Feather	6	30.1	13.4	0.35	4.03	0.11
	Blood	3	15.0	1.1	0.05	0.17	0.008
	Head, Legs	8	40.1	9.31	2.18	3.73	0.874
(Total)						20.5	5.46
Layer	Meat		84.6	3.36	0.28	2.84	0.237
	Bone		45	2.0	3.0	0.9	1.35
	Entails		9	2.82	0.2	0.25	0.018
	Others					2.51	0.355
(Total)						6.5	5.46
Other Meat			15.6	3.25	0.21	0.5	0.03
Egg			1,557	2.03	0.23	31.6	3.58
Milk			5,195	0.455	0.09	23.6	4.68

Table 7 Amount of N and P contained in Livestock Products (10^3 t/year, in 1970)

	Amount of Product in Japan (10^3 t)		Kind of meat	Amount of Net Imported Products (10^3 t)	Content (%)		Amount of Net Imported N and P (10^3 t)		Amount of Waste Parts (10^3 t)		Remarks
	N	P			N	P	N	P	N	P	
Cattle	15.7	5.14	Cattle	33	2.9	1.4	0.96	0.46	0.15	0.423	Except Imported Processing Goods * Waste Ratio 11%
Pig	22.7	9.88	Pig	17	2.35	1.19	0.40	0.202	0.06	0.178	
Chicken	27.0	7.42	Chicken	11	3.26	1.16	0.36	0.127	0.08	0.108	
Milk	23.6	4.68	Milk	561	0.455	0.09	2.27	0.449			
Egg	31.6	3.56	Egg	51*	2.03	0.23	1.04	0.117			
Other Meat	0.5	0.03	Other Meat	143	2.5	0.21	3.58	0.300	0.54	0.270	
Total	121.1	30.73		816			8.9	1.71			
(Waste Parts)	23.5	19.50							0.8	0.98	

Table 8 Amount of N and P contained in Processed Foods (10^3 t, in 1970)

	Amount of Consumption (10^3 t)			Amount of Net Imported Foods (10^3 t)			
	Foods	N	P	Foods	N	P	
Livestock Products	3,398	28.6	4.76	71	7.1	0.19	* Mainly Crude Sugar
Aquatic Products	1,763	60.8	7.08	-241	-7.7	-0.66	
Agricultural Products	7,224	88.8	7.01	3,794*	10.4	1.17	
Condiments	2,735	42.5	3.99	-33	-1.6	-0.02	
Alcoholic Drinks	4,899	3.5	0.56				
Frozen Foods	141	2.3	0.28				
Total	20,160	227	23.7	3,592	6.5	0.69	

Table 9 Amount of Livestock Meat Intake and Egg Intake (Except Processed Foods)

	Amount of Intake (10^3 t)	Content (%)		Amount of Intake (10^3 t)		Amount of Net Imported Parts (Edible)		Intake Amount of Domestic Production		Remarks
		N	P	N	P	N	P	N	P	
Beef	257	2.9	0.14	7.4	0.36	0.8	0.04	6.6	0.32	* Waste Ratio 11%
Pork	572	2.29	0.15	13.1	0.86	0.3	0.02	12.8	0.84	
Chicken	346	3.98	0.28	13.8	0.97	0.3	0.02	13.5	0.95	
Egg	1,551*	2.03	0.23	28.0	3.18			28.0	3.18	
Total	2,726			62.3	5.38	1.4	0.08	60.9	5.29	

肥料として登録されている有機質肥料中の N, P 量を文献3)の肥料成分表, 文献7)の N, P 含有量を用いて計算したところ **Table 10**のように, N 38.3千 t, P 14.2千 t となった。なお実際の統計に上ってきていないが, 肥料にまわっている廃棄物もいくらか存在すると想像される。

2.8 農場収穫残査中の N, P

Table 1に記した廃棄部分は, 一応食料ルートに流通したのちに, 不可食部分を中心としたロスを計上したものであるが, 農産物の場合, その他に農場で発生する収穫残査の量が無視しえない。肥料年鑑 (1978年) では,

昭和46年度における主要作物収穫物残査の発生量を推定しているが, ここではこの考え方をもとに, 昭和45年度における収穫残査中の N, P 量を推定してみた。計算過程および結果は**Table 11**に示すとおりであり, N で151千 t, P で24.0千 t と **Table 1**の不可食部分と比較して N では収穫物残査の方が大, P では小という結果となっている。これらのうち, そのまま農場に残されて土にもどるのが大部分と思われるが, 焼却されたり, 家畜し尿にまわる分もいくらかあるものと考えられる。

2.9 残飯飼料中の N, P

最近, 大橋は東京都における残飯飼料の養豚の実態調

Table 10 Amount of Organic Fertilizer Production (1970)

Common Fertilizer	Amount of Production (10 ³ t)	Content (%)		Amount of Production (10 ³ t)	Special Fertilizer	Amount of Production (10 ³ t)		Content (%)		Amount of Production (10 ³ t)	
		N	P			N	P			N	P
Draff of Soya Beans	62.2	7.52	0.77	4.68	0.48	2.02	(3.97)	(7)	0.14	0.08	
" Rape Seed Oil	201.1	5.06	1.08	10.18	2.17	19.11	(3.06)	(8)	1.53	0.59	
" Cotton Seed Oil	55.7	5.68	1.14	3.16	0.64	1.19	0.36	10.8	0.13	0.00	
" Peanut Oil	0.02	6.55	0.58	—	—	0.42	(1.3)	(6)	0.25	0.01	
" Linseed Oil	0.45	5.07	0.87	0.02	0.01	0.13	(1)	7	0.01	—	
" Sesame Seed Oil	0.14	5.79	1.27	0.01	0.01	1.17	(8.72)	0.64	0.10	0.01	
" Castor Oil	28.5	4.98	0.90	1.42	0.26	0.52	(1)	7	0.04	0.01	
" Rice Bran Oil	9.06	2.14	1.85	0.19	0.17	121.35	(3.06)	(8)	9.71	3.71	
" Other Grass Seed Oil	5.93	(5.5)	(1.1)	0.33	0.07	4.17	(1.3)	(6)	0.25	0.05	
" Capox Oil	16.2	4.81	0.98	0.78	0.16	0.88	0.96	8.2	0.07	0.08	
" Palm Oil	0.01	3.14	0.58	—	—	4.57	9.74	4.13	0.19	0.45	
" Paulownia Oil	0.00			—	—	0.40	1.84	12.8	0.05	0.01	
" Soy Sauce	0.67	4.1	(0.5)	0.03	0.00	0.98	0.025	7.81	0.08	0.00	
Byproduct of Amino Acid	0.56	(6)	(0.5)	0.03	0.00	1.11	0.38	6.28	0.10	0.01	
Powder of Meat Draff	4.16	8.2	0.96	0.34	0.04	1.04	—	4.5	0.05	—	
Bone and Meat Powder	10.57	9.6	2.5	1.02	0.26	18.90	0.10	2.03	0.38	0.02	
Steamed Hoof Powder	3.53	(10)	(3.5)	0.35	0.12	0.75	(1)	7	0.05	0.01	
" Bone and Hoof Powder	0.20	10.5	3.66	0.02	0.01	1.53	0.5	6	0.09	0.01	
" Feather Powder	2.27	(7)	(0.5)	0.17	0.00	3.50	(0.2)	1	0.04	0.01	
Dried Blood Powder	0.36	11.6	0.74	0.04	0.00	2.77	—	1	0.03	—	
Raw Bone Powder	13.02	4.02	10.16	0.52	1.32						
Steamed Bone Powder	35.62	4.13	9.74	1.47	3.47						
Steam Hide Powder	6.80	7.08	(0.7)	0.48	0.05						
					Total				38.3	14.2	

Table 11 Amount of N and P contained in the Residue of Main Agricultural Products (10^3 t/year, in 1970)

	Amount of Harvest(10^3 t)	Amount of Residue(10^3 t)	Content (%) N P	Amount of Residue (10^3 t) N P	Remarks Concerning The Ratio of Residue
Rice	12,689	Chaff	0.28 0.05	8.9 1.59	Chaff/Unhulld Rice=0.25
Barley	1,107	Straw	0.5 0.087	94.4 16.42	Chaff/Straw=0.83*(Asano 1976 27.9/60.6, 7.4/20.3)
Wheat		Straw	9.57 1.35	9.6 1.36	
		Bran			
Sweet Potato	2,564	Leaf Runner	0.24 (0.024)	2.1 0.21	34% as N/P=10
White Potato	3,609	Stalk, Leaf	0.35 (0.035)	4.2 0.42	33 "
Soy Bean	126	"	0.82 0.09	1.2 0.13	116
Red Bean	109	"	0.82 0.09	2.0 0.22	220 From Soy Bean Leaf
Peanut	124	"	0.54 (0.054)	0.9 0.09	136 as N/P=10
Corn	33	Stalk, Pod	0.54 (0.054)	0.3 0.03	150
Buck Wheat	17	"			200 From Rice Straw
Millet (Awa)	3	Straw	0.5 0.087	0.6 0.10	382
Deccan Grass	9	"			300
Millet (Kibi)	1	"			117
Rape Seed	30	Stalk, Pod	0.42 0.06	0.9 0.13	765 From Unripes Rape Seed
Greens and Fruits	4,317	Stalk, Leaf Runner	0.53 (0.053)	6.9 0.69	30 Runner of Pumkin N/P=10
Beans (Unripe)	488	"	0.50 0.05	3.2 0.32	130 Runner of Peas N/P=10
Vegetables	6,039	Leaf	0.29 0.03	8.8 0.91	50 Leaf of Cabbage
Edible	4,563	Stalk, Leaf	0.42 0.03*	3.8 0.27	20 From Table of Food Component
Pasture	5,110		4.46 0.63	4.5 0.63	20 Green Corn, Green Soy Bean etc.
Fruits	5,459	Fallen Leaf	0.54 (0.054)	4.8 0.48	16.3 Gold Leaf Plant as N/P=10
Total	46,397			157.1 24.00	Ratio of Residues are obtained from Year-Book of Fertilizer P. 66 (1977)

Table 12 N and P Content in Domestic Waste used in Agriculture

	Ratio of Agriculturally Used Domestic Waste (1970)	Base of Calculation		Amount of Agricultural Use(10 ³ t)	
				N	P
Night Soil	27% (Includes Reclaiming Disposal)	N 8 g /Capita, Day 103, 720, 000 Person	365	92	
		Day 0.27			12.7
		P 1.1			
Solid Waste	7.0% and 93 0.015 (Composting)	N 1.34 g /Capita, Day 103, 720, 000 Person	365	4.3	
		" 0.084			0.47
		P 0.147			
Sewage Sludge	Solid Sludge was utilized in farm land as fertilizer.	N 50,500 t	0.025	1.3	
		P	0.084		0.40
Night Soil Sludge	40.3% of Night Soil was treated in 1970. 20% of N.S. was restored in Farm Land.	N 7.5 g /Capita, Day 103, 720	0.403	1.4	
			0.06		
		P	"	0.30	0.86
Total (Restoration to Farm Land, Forest Disposal, and Reclamation Disposal)				99	14.4

Table 13 Summary of N and P Content in Food and Feed (10³ t; in 1970)

	Amount of Production in Japan		Amount of Consumption in Japan		Difference Between Imported and Exported		Remarks
	N	P	N	P	N	P	
Agricultural Products	277	54.1			505	69.0	N522 P71.4
Aquatic Products	282	24.4			1	0.0	
Livestock Products	121	30.7			9	1.7	
Processed Food			227	23.7	7	0.7	
Residue of Harvest from Farm Land	157	24.0					Concentrated Feed (By-Product of Processed Food) N253 P57.0
Crude Feed	117	25.9					
Concentrated Feed			516	110.0	91	20.8	
Organic Fertilizer			38	14.2			
Total					613	92.2	

Table 14 N and P Content in Waste Part of Feed (10³ t, in 1970)

	N	P	
Agricultural Products (Waste in Farm Land)	114 (157)	36.4 (24.0)	* Includes Bone in Imported Meat.
Livestock Products*	24	20.5	
Aquatic Products	98	11.7	
Total	236	68.6	

査について報告しているが¹⁴⁾、これによると東京都内の集団給食場 (9,400事業所)、飲食店 (30店) 等へのアンケート調査などにより残飯量を推定し、都内全体で1日96万t発生し、うち30万tが養豚業者に回収されているとしている。また残飯の性状については、計15検体の平均値として、水分70.6%、N0.984%、P0.076%を得ている。飼料成分表にもNの分析値があるが水分量を合わせるとN0.59 (旅館) 0.92 (一般家庭) 1.29 (米国) などの値が記されている。東京都の場合は給食業、飲食

店などは全国平均よりも多く、この結果をそのまま用いると過大評価となると思われる。仮に単位人口口当りの発生量は東京都の1/2、回収率は1/3倍として、N,P含有量は上述の値を適用して、残飯飼料中のN,P量を推定するとN17千t、P1.3千tとなる。

2.10 し尿およびごみの農地還元分中の N, P

し尿、ごみの農地還元分、下水汚泥、し尿汚泥の農地還元分中のN,P量推定の計算経過および結果をTable 12に示した。し尿が主体となるが、これらは純粋な農地

Fig. 1 Nitrogen Mass Balance in Japan (1970).

還元以外に埋立処分，山林投棄なども含んでいる。生活廃棄物に由来する N, P の農地還元量の合計は N99 千 t P 14.4 千 t になった。

2.11 食料，飼料の輸入量

総括表(Table 13)に示すごとく，食料，飼料合せて正味の輸入量は N613 千 t，P92.2 千 t となり，食飼料の入

力合計と比較すると N613/1,155=53%，P=92.2/168.3=55%とどちらも輸入依存率が 50% を越えている。輸入量のうち，飼料のうちわけは直接飼料としての輸入分が N91 千 t，P20.8 千 t であるが，輸入原料に由来する油粕などの飼料の輸入をみると N404 千 t，P70.5 千 t と全輸入量のそれぞれ 66% と 76% を占めており，飼料輸

Table 15 N and P Budget in Food (g/Capita, Day, in 1970)

	Obtained Data			Revised Data for Net Food	
	N	P		N	P
Consumed Food	15.28	1.53	Consumed Net Food	14.50	1.48
Solid Waste	1.05	0.12	Solid Waste	0.41	0.06
Waste Water	0.26	0.11	Waste Water	0.26	0.01

Fig. 2 Phosphorus Mass Balance in Japan (1970).

入のウェイトが食料より高いことがわかる。

2.12 不可食部分の N, P 量

食料中の N, P 量の計算は, N, P の動きをとらえることを目的としているので, 不可食分(廃棄部)を含めたものを対象にしたが, 同時にそれらの内訳も求めてきた。ここでそれらを集計してみると Table 14 のようになる。農場の収穫残査を除外して N で 23.6 千 t, P で 68.6 千 t の発生量となっている。2.4 で記したごとく濃厚飼料のうち, 食品加工過程より副生する不可食部分由来のものが, N 106 千 t, P 38.0 千 t であり, 有機質肥料が N 38 千 t, P 14.2 千 t であるから合せて, N 144 千 t, P 52.2 千 t となる。したがって N では $144/236=61\%$, P では $52.2/68.6=76\%$ が飼料または肥料として回収されていることになる。

2.13 食飼料中の N, P 動態図の作成

前節までに得られた値を総括して, わが国の昭和45年時点の食飼料中の N, P 動態図を Fig. 1 と Fig. 2 に表現した。図中 ( ) をつけない値はこれまでに得られた値であり, ( ) をつけた値は次の手順により推定した値である。収支をとる場合, N については脱窒素による気化損失がある可能性があるので注意を要する。家庭食生活への N, P 入力計は, 紙食料供給量 N 13.23 g/人・日, P 1.51 g/人・日を基本にして用い, それに純食料につ

いて家庭にもち込まれる不可食分の量を著者らの宇部市で行った調査結果¹⁵⁾より (Table 15), N 0.67, P 0.07 g/人・日とし, これより N 525 千 t, P 59.4 千 t を求めたものである。計算に用いた条件は本研究で検討したものがほとんどであり, Table 16, Table 17 に示すとおりである。そのうちの任意的な仮定に立ったものをあげると, 1) し尿処理汚泥の農地還元率 20%, 2) 食品流通加工過程から発生する有機性廃棄物のうち, 飼料, 肥料として登録されているものの他に, 飼料, 肥料にまわっている分の割合をどちらも 15% としたこと, 3) 農場で発生する収穫量の 10% が飼料として利用されるとしたことなどである。

一口に食, 飼料中の N, P の動きといっても, 国内生産, 消費, 輸出, 輸入, 一次加工, 二次加工, 可食部, 不可食部など非常に複雑であり, 図の作成にはよほどの注意深さが必要である。Fig. 1, Fig. 2 は何回もの修正ののち得られたものであり, 著者としてはおおむね満足できるものとなっていると考えている。以下, 2, 3 の点で他の方法で求めた値との対応を考えてみる。

1) 食品流通加工過程からの N, P 負荷

後述の工場排水の負荷実測値より類推した N, P 負荷の N 15 千 t/年, P 2.3 千 t/年であり, 著者らが昭和44年の食品工業の排出負荷を推定した結果でいうと N 33 千

Table 16 Calculation Procedure of Nitrogen in Figure 1 (10^3 t /Year)

	Procedure	Result
a Wheat, Corn Kaoliang etc.	$516 - 91 - 253 =$ Concentrated Feed Imported Feed Concentrated Feed from Food Waste	172
b Rice, Fish, Vegetable, etc. Fresh Foods	$(13.23 \text{ g/Capita, Day} + 0.64) \times 365 \text{ Day} \times 103,720,000$ Net Food Supply Food Waste Person $= 525, 525 - 227 - 61 =$	237
c Materials for Food Processing	$1172 - 91 - 172 - 237 =$ a b	672
d Garbage (From Food) " (Incineration, Reclamation)	$(0.85 \text{ g/Capita, Day} + 0.64) \times 365 \text{ Day} \times 103,720,000$ Eatable Parts = 56.4 Person $56.4 - 4.3 + (0.49 \text{ g/Capita, Day} \times 365 \text{ Day}$ Land Disposal Vaporized Loss etc. Refuse $\times 103,000,000 \text{ Person}) =$	71
e Material Balance of Domestic Sewage (From Food) From Unit of Pollution Load	Land Disposal Part of Sewage Caused from Food Source (Except Night Soil) $525 - 71 - 17 - 88 =$ Feed from Left over Meal $(10.39 \text{ g/Capita, Day} + 1.25 \times 365 \times 103,720,000)$ Night Soil Domestic Sewage, from Food $= 441, 441 - (99 - 4) =$	338 (346)
f Recovery as Fertilizer and Feed from Food Processing or Transport Process	$790 - 227 - 61 - 253 - 38$ Consumption of Intake of Recovery Organic Processing Food Meat and Egg Feed Fertilizer $= 211,$ As Recovery Rate of Feed and Fertilizer is 15%. $211 \times 0.15 = 27, n/p=5, 2.6 \times 5 = 13, \text{ As Average} =$	20
g Waste Water Load in Food Transport Process	$211 - 20 - 20 =$ (Include Garbage)	171
h Feed from Harvest Residue	$157 \times 0.1 =$ (10% of Harvest Residue is utilized as Food)	16
i Amount of Livestock Excrement	$91 + 172 + 253 + 20 + 117$ Concentrated Feed Pasture Crude Feed $+ 16 + 17 = 686$ Harvest Residue Left Over Meal $686 - 3 - 118 =$ Raw Material of Lether Industry Raw Material Food Processing	565 (482)
j Land Disposal Part of Livestock Excrement Disposed in Land	$(236 + 9 + 139 + 22) \times 0.95^* + 76 \times 0.75^* = 443$ Cattle Horse Layer Broiler Pig * Ratio of Land Disposal	443
k Livestock Excrement Disposed in Otherways	$482 - 443$	39

l Waste Water Load from Farm Land	$688 + 443 + 99 + 38 + 20 = 1,287$ Chemical Fertilizer Night Soil, Refuse Livestock Excrement Organic Fertilizer $1,287 \times 0.2 =$	257

Table 17 Calculation Procedure of Phosphorus in Figure 2 (10^3 t/Year)

	Procedure	Results (10^3 t)
a Wheat, Corn Kaoliang Fish Powder, Soy Bean Draff, etc.	$110 - 20.8 - 57.0 =$ Concentrated Feed Imported Feed Concentrated Feed from Food Waste	32.2
b Rice, Fish, Vegetable etc. Fresh Food	$(1.51 \text{ g/Capita, Day} + 0.06) \times 365 \text{ Day} \times 103,720,000$ Net Food Supply Food Waste Person $= 59.4 - 59.4 - 23.7 - 5.3 =$	30.4
c Materials for Food Processing	$170.7 - 20.8 - 32.2 - 30.4 =$ a b	87.3
d Garbage (From Food) " (Incineration, Reclamation)	$(0.087 \text{ g/Capita, Day} + 0.06) \times 365 \times 103,720,000 = 5.6$ Eatable Parts $5.6 - 0.5 + (0.017 \text{ g/Capita, Day} \times 365 \times 103,720,000 =$ Land Disposal Refuse, Vaporized Loss etc.	5.7
e Waste Water Load (from Material Balance)	$59.4 - 5.7 - 1.3 - 14.4 =$ Feed from Left over Meal, Land Disposal of Domestic Waste $(1.143 \text{ g/Capita, Day} + 0.223) \times 365 \times 103,720,000 = 51.7$ Night Soil, Domestic Sewage Caused from Food $51.7 - (14.4 - 0.5) =$	38.0 (37.8)
f Recovery as Fertilizer and Feed from Food Processing or Transport Process	$117.8 - 23.7 - 5.3 - 5.7 - 14.2 = 17.6$ Processing Food, Meat and Egg, Organic Fertilizer Consumption Intake As Recovery Rate of Feed and Fertilizer is 15%. $17.6 \times 0.15 =$	2.6
g Waste Water Load in Food Transport Process	$17.2 - 2.6 - 2.6 =$ (Include Garbage)	12.4
h Feed from Harvest Residue	$24.0 \times 0.1 =$ (10% of Harvest Residue is utilized as Food)	2.4
i Amount of Livestock Excrement (From Material Balance)	$20.8 + 32.2 + 57.0 + 2.6 + 25.9 +$ Concentrated Feed Fasture as Crude Feed $2.4 + 1.3 = 142.2$ Harvest Residue, Left Over Meal $142.2 - 0.2 - 30.5 =$ Raw Material of Leather Industry Raw Material of Food Processing	115 (118)
j Amount of Livestock Excrement (Land Disposal Parts)	$(32.8 + 1.3 + 46.5 + 7.5) \times 0.95^* + 0.75 = 106.3$ Cattle Horse Layer Broyley Pig * Ratio of Land Disposal $106.3 \times 111.2/118 =$	100.1

k Livestock Excrement Disposed in Other Ways	111.5 - 100.1	=	11.4
l Waste Water Load From Farm Land	285 + 100.1 + 14.4 + 14.7 + 2.6 = 416.3 Chemical Fertilizer Night Soil, Refuse Livestock Excrement Organic Fertilizer 416.3 × 0.02 =		8.3

Table 18 Amount of N and P contained in Other Natural Products (1970)

	Amount of Product in Japan		Amount of Imported Goods		Total (10 ³ t)	
	N	P	N	P	N	P
Raw Silk	3.3	—	1.1	—	4.4	—
Cotton			10.0	—	10.0	—
Wool			32.2	0.22	32.3	0.22
Hide	2.7	0.02	7.2	0.58	9.9	0.78
Raw Wood	32.7	2.46	19.3	3.53	52.0	5.99
Industrial Corps	5	0.7	1.3	0.13	6.3	0.13
Total	44	3.2	71	4.5	115	7.6

Table 19 Calculation Procedure of N Content in Synthetic Resins and Fiber

Use, Kind of Resin	Amount of Production (t)		N Content	Ratio of Use (%)	Amount of N(10 ³ t)
Plastic Material					
Nylon Resin	Caprolactam	349,407	14/108	4.7	2.1
Abs, As	Acrylonitril	423,785	14/53	11.0	12.3
Rubber				2.4	2.7
Urea Resin		535,684	28/120	14.5	18.1
Melamine Resin	Melamine	102,628	140/357	6.1	2.4
// Board				16.7	6.8
Poly Urethane	As N	8,900-1,500		54.9	4.1
				Total	48.5
Adhesive					
Urea Resin				73.3	91.5
Melamine Resin				57.2	23.0
				Total	114.5
Paint					
Urea Resin				0.8	1.0
Melamine Resin				14.1	5.6
				Total	6.6
Paper Processing					
Urea Resin				2.8	3.5
Melamine Resin				2.4	1.0
				Total	4.5
Fiber Processing					
Urea Resin				8.2	10.2
Melamine Resin				3.5	1.4
Poly Urethane				3.1	0.2
				Total	11.8

Rubber etc.					
Poly Urthane				42.0	3.1
				Total	3.6
Synthetic Fiber					
Acryl Fiber	Acrylonitrile	423,785	14/53	64.2	39.8*
Nylon Fiber	Caprolactam	349,407	14/108	87.7	23.9**
				Total	63.7
Export Material					
Acrylonitril		423,785	14/53	13.1	14.7
Caprolactam		349,407	14/108	6.27	2.8
Nylon Tip	Caprolactam	349,407	14/108	1.5	0.7
Acrylic Fiber					32.1*
Nylon Fiber					15.8*
TDI					1.5
Other Nitrogen			(0.1)		0.4
Cyclic Compound					
				Total	68

* Consumption in Japan 55.4%, Export from Japan 44.6%.

** Consumption in Japan 60.2%. Export from Japan 39.8%

t/年, P4.0千t/年となっている。これらをFig. 1, Fig. 2の値N171千t, P12.4千tと比較するとかなり後者の方が大きい。後者の値には、飼料、肥料にまわる以外の焼却されたり埋立てられたりする廃棄物も含まれていること、食料需給表で考慮されているように流通過程での減耗量もかなりあると思われることなどを考えれば、まずまずの値といってよいであろう。Nについては流通、加工の段階での脱窒や揮散によるロスも考えられる。

2) 食品由来の生活排水負荷

し尿の土地還元、し尿、下水汚泥の農地還元分を除いた食品由来の生活排水負荷は家庭食生活への全収支から求めるとN338, P38.0千t、著者らが設定した負荷原単位より求めると、N346, P37.8千tとなり、おおむね一致した値となっている。Nで若干差のみられる原因は525千tの入力の見積は、負荷原単位の設定の際に用いた12.98g/人・日より大きい13.23g/人・日という純食料供給量にもとづいて行ったが、なお低めの見積りとなったこともあると考えられる。

3) 家畜ふん尿中のN,P 負荷

家畜ふん尿の排泄量と性状の分析値より推定した家畜ふん尿のN,P 負荷発生量は年間N482, P118千tとなった。これをFig. 1, Fig. 2のN565, P111.5千tと比較するとPでかなりよく一致しているが、Nでは収支からの許容値の方が83千tも多いことになっている。この原因は、家畜飼養過程でのNの脱窒、揮散が無視できないことによるものと考えられる。

このようにみてくるとFig. 1, Fig. 2のN,P の動態はかなり実態に近いものが描けているものと思われる。ここで注意すべきはNの気化ロスが各過程でかなり無視しえぬものであることである。

2.14 その他の天然物中のN,P

食飼料以外の天然センイ、木材などの中のN,P 量は資料不足のため十分な計算ができないが、食飼料との比較のために、国内生産量および輸入量中のN,P 量の推定値のみをTable 18にまとめた。生産量、輸出入量は文献3)の統計を用いた。羊毛、生糸のN含有量はたん白質100%として計算した。綿花、天然ゴムのN含有量は化学便覧応用編¹⁶⁾によった。原木の場合は国産針葉、ラワンなどの4樹種群に対し次式で計算した。原木材積×幹材率(0.83~0.85)×比重(0.45~0.6)×N含有量(0.06~0.14%)or P含有量(0.01~0.02%)+原木材積×樹皮率(0.15~0.17)×比重(0.5~0.6)×N含有量(0.10~0.20%)or P含有量(0.01~0.03%)

比重等の値は土木材料学¹⁷⁾や文献16)を参考にして採用した。

国内生産、正味輸入量を合わせた全消費量は、Nで115千t, Pで7.6千tと食飼料の1172千tN, 171千tPと比較すると1桁オーダが低い。また製品はほとんど耐久消費材であり、焼却により処分されることが多いと考えられ、水に関係してくるのはさらにその一部にすぎない。ただ皮革、羊毛工業の排水は負荷源としてもかなり大きいものである。

2.15 工業化されたアンモニアの行方

Table 20 Calculation Procedure of Amount of Phosphorus in the Phosphorus Industry

Item	P 10 ³ t	Reliable Sources
a Production of Phosphate Fertilizer	290	Ref. 13 52 p
b Consumption of //	285	Ref. 13 47 p
c Export of //	12	// 54 p
d Import of //	14	Ref. 18 468 p
e Stock of //	2	Ref. 13 55 p
f Phosphorus as Industrial Chemicals	90.1	Industrial Phosphorus produced in Wet Process 60.7 (Ref. 18, 468 p) P in Dry Process 21.9 (Ref. 18, 480 p) Derivatives of P in Dry Process 7.5 (Ref. 18, 480 p)
g Exported Industrial Chemicals	12	Ref. 19 (Triphosphate 10.1 Phosphate in Dry Process 1.1 etc.)
h Detergent	26.4	Ref. 18 479 p
i Food	2.4	Ref. 19
j Feed	8.3	Ref. 18 468 p
k Others	26.7	Total of Industrial Chemicals 7.500-(g+h+i+j)
l Loss in Secondary Product	14	f 90.1-75.8=14
m Loss in Primary Product	41	Estimation from Phosphorus Loss in 1969 and Ratio of Imported Mineral Phosphate in 1969 and 1970
	5	Material Balance of Phosphate Fertilizer
	36	41-5=36

N関連工業の構造については、既報²⁾においては昭和44年の、また昭和50年度の実態を別の機会に報告しているが²³⁾、ここでは食飼料中のN、Pの動きとの関係をつかむために、昭和45年度におけるアンモニアの行方を追跡してみた。N化合物の工業生産には、窒素と水素からアンモニアの合成、カルシウムカーバイドからの石灰窒素の製造、石炭乾留や石油精製にともなう副生アンモニアの回収の三つが考えられる。i) まずアンモニア合成は化学工業年鑑¹⁵⁾より昭和45年肥料年度で2,733千tNであった。ii) 石灰窒素中のN量は、文献3)の需給実績および消費量より66千tであり、そのうち肥料用は36千tである。iii) 石炭、石油中のN量は平均的な含有量を知することは困難であるが、ここではそれぞれ1%と0.2%として、それぞれの昭和45年における消費量8,920万tと196,724千kl(比重0.87)を乗じると、N量は892千tと342千t、合わせて1,234千tとなる。このうち、主として石炭乾留工程から副生硫安として回収されたものがNとして104千tとなっている。iv) 肥料生産量および消費量、輸出力は文献13)の肥料需給実績、消費量より求めた。ただし、肥料輸出力には一部工業用のア系製品の輸出が含まれているため、これを差し引いた。v) ア系製品輸出力は文献18)のア系製品各品目需給、昭和45年肥料年度実績見込の輸出力を集計したものである。vi) 合成樹脂等の生産量および輸出力については文献18)

の統計を用い、Table 19のような手順で計算した。vii) 水系への負荷量としては、N関連化学工業として、既報¹⁾に従い、製造ロスにNH₃生産量の10%の273千tN、うち水系ロスを128千tNとした。石炭工業からのロスは0.5kg/t石炭乾留量であり、これに昭和45年度の石炭乾留量61,400千tを乗じ、31千tNが算出される。一方、石油工業からのロスは処理前の発生負荷として9.5kgN/日×0.5×300日×3,669/250=214千tN(0.5重質油脱硫が昭和45年当時はそう多くなかったことを考慮した。)を得た。実際の排出負荷量はおそらくこの1割程度ではないかと考えられる。アスファルトはN含有量0.5%に生産量3,581千tを乗じて求めた。viii) その他の製品、燃料中のN量は収支より差し引きで求めた。したがって、これらの1部(とくに後者)には製造工程での気化ロスがいくらか含まれている可能性がある。

2.16 工業生産されたリン酸の行方

Nと同様、Pについて既報²⁾には昭和44年度の、別の機会には昭和50年度のリン酸工業の構造を述べるので、ここでは食飼料サイクルと対応させる意味で、工業生産されたPの行方を大略計算して、Fig. 2の下半分に示した。計算手順はTable 20, 21に示したとおりである。

リン酸の由来は、ほとんど海外から輸入されるリン鉱石であり、昭和45年における輸入量は3,008千tである。

Table 21 Production Amount of Industrial Phosphorus (10^3 t, in 1970)

Production	P	Remarks
Dry Process		
Phosphoric Acid	15.5	Amount of Shipment (Ref. 20, 480 p Tab. 14-8)-3.3
Secondary Products of Phosphoric Acids	3.3	
Derivatives of Phosphorus	7.5	
Wet Process		
Phosphoric Acid (for Feed)	8.3	Ref. 20, 468 p
Sodium Tripolyphosphoric Acid	37.7	Ref. 20, 479 p
Potassium Pyrophosphate	0.6	Ref. 21
Calcium Dihydrogen Phosphate	2.9	Ref. 21
Total	75.3	

一方、リン製品の方から計算されたPの総量は417千tとなり、これが正しいものとする、リン鉱石のP含有量は $416/2,941=14.18\%$ となる。昭和50年度における輸入リン鉱石のP含有量加重平均値は昭和52年度化学工業年鑑²⁰⁾、463Pの国別輸入量と含有量や文献¹⁶⁾、²¹⁾を参考にして計算すると14.99%となるから、上記の値には肥料中の不溶性リンの見落としが若干あるかも知れない。

肥料の生産量は290千tP、工業薬品の生産量は77千tPである。工業薬品のうち、Fig. 2の上半分と関係の深い洗剤、食品、飼料用のP量をぬきだしておいた。水域への排出量は既報²⁾とも考え合わせて、昭和45年時点ではおおよそ20千tP/年前後であったと推定される²⁴⁾。

Table 22 Input of N and P for Japan (10^3 t, in 1970)

	N	P
Food, Feed	1,305	199
Other Natural Products	115	8
N and P Chemical Products	1,287*	407**
Petroleum	342	
Coal	892	
Total	3,941	614

* $2,733+66-1,386-126$, ** $417+14-11-22$

Table 23 Output of N and P for Japan (10^3 t, in 1970)

Source	N	P
Domestic Life	338	38
Food Processing Industry	66	12
Livestock Industry	39	11
Farm Land	257	8
Chemical Industry	128	22
Coal and Petroleum	33*	
Total	861	91

* $\text{Coal } 31 + \text{Petroleum } 21 \times 0.1 = 33$

3. 考 察

Table 22に昭和45年度におけるわが国で働いているN, P量を各項目ごとにまとめてみた。もちろん、水域へ影響するポテンシャルはこれらの量の比較ではできないので、本稿の段階では吟味は十分ではないが水域への排出量を参考にまでにまとめておくとTable 23のようになる。はっきりした寄与率を求める精度ではないが、一応の目安となるであろう。Table 22をみると、食飼料の輸入だけでもは生態レベルを逸脱している可能性が十分あるにもかかわらず、なおその上にN, Pとも約2倍量が人為により国内で動いていることになる。化学製品の消費量が小さく、食料も自給していた時代では、農地と人間をめぐるN, Pサイクルはほぼ閉られていて、そのために農地は収穫不足気味で農業生産は不安定であった。しかし生態学的にみれば系は安定であったわけである。化学肥料の投入がなされるようになって安定した高収穫が得られるようになったことは事実であり、評価さ

Table 24 N and P Material Balance for Japan (10^3 t, in 1970)

Input	N	P
Chemical Fertilizer	688	285
Organic "	38	14
Night Soil, Refuse	98	14
Livestock Excrement	443	100
Total	1,267	413
Output	N	P
Food Concentrated Feed	277	54
Crude Feed	133	28
Run-off from Farm Land	257	8
Total	667	90
Input-Output	600	323

Fig. 3 N and P Material Balance in Japan Farm Land (1970).

Table 25 Nitrogen Loss by Volatilization (in 1970)

	Loss by Vaporization (N 10 ³ t)	% of Vaporization	Procedure of Calculation
Domestic Life	16	3	0.43 g /Capita, Day×365×103, 72, 000
Food Processing Industry	105	13	171-(33×2)
Livestock	83	12	565-482
Farm Land	600	47	
Chemical Industry	145	5	273-128
Coal and Petroleum	1, 080	88	1, 061+21×0.9 (Removal Rate)

れるべきである。しかしながら、化学肥料、食料、飼料の輸入、その他の形で、大量の N, P が系外から持ち込まれると系外へ同じような速度で持ち去られないかぎり、系内に蓄積する。富栄養化の根本原因がここに存在することは疑う余地がない。蓄積量がある程度まで達すると新しい定常状態が成立する。それが好ましい状態かどうかは別として、その入力条件に対する富栄養化の根本的コントロールのためには許容できる、あるいはもっとも望ましい系の状態が維持されるような入力条件をセットすることが必要になる。すなわち、具体的には有機肥料、回収肥料の代替による化学肥料の低減、食料自給率の向上などが考えられるが、これが生態学的にみた富栄養化対策のあり方である。

次に農地における N, P の収支をこれまでに得られた値を用いて整理してみると Table 24 と Fig. 3 のごとくなる。N, P とも農地においては年々かなりの入超になっており、N では脱窒、P では土壌による固定が重要な要素で、これらがどの程度まで周囲の環境に悪影響を与えずに大きい入超をカバーしているかを含めて、農地における N, P 収支の実態が明らかにされることが是非とも必要であろう。化学肥料の代替になりうる食飼料由来の未回収有機物の量は、Fig. 1 より N は $(56.4 - 4.3) + 338 + (171 - 790 \times 0.13) + 39 = 497$ 千 t (ただし 0.13: 仮定脱窒率)、P は $38.0 + 5.7 + 12.4 + 11.4 = 67.5$ 千 t であり、N は化学肥料の 72%、P では 24% に相当する。

N は P とは異なり、各プロセスでの気化ロスがかなり大きいようであり、いずれも精度のよい議論にはならないが、一応、Table 16, Table 17 から大略そのレベルを推定してみると Table 25 のようになり、燃料の燃焼は別としても、農地や畜産の場でもかなりの割合で気化ロスが存在するようである。このようにならべてみると、家庭においても気化率は外国の医学の文献をもとにして、0.43 g / 人・日に対し 3% となっているが、もう少し大きい可能性もある。農地における気化率は、肥料成分の流出率を 20% としたためか、47% とかなり大きくでているが、気化ロス 600 千 t N のうち、140 千 t は収穫残渣の形で農場の土表面に出ていることになるので、この分についての農地の場合は窒素固定量を差し引いた正味の脱窒量でいっているの、かなり大きい量であるといえる。

その他の問題点として、燃料としての合成セソイ、合成樹脂などの形で、N が 255 千 t / 年が蓄積されており、これらが本格的に廃棄される時には、処理方法についても注意を払う必要がある。石油、石炭の燃焼→大気汚染→降雨→水質の因果関係もチェックする必要があるが、これらの点については別の機会に報告している。

(原稿受理: 昭和 54 年 5 月 21 日)

一引用文献一

- 1) 浮田正夫, 中西 弘他 “富栄養化の原因と対策” 公害と対策 8(5) 69~85 (1972), 公害と対策 8(6)

- 69～83 (1972).
- 2) 浮田正夫, 中西 弘 “N, P 発生源に関する考察” 第2回環境問題シンポジウム講演集 (土木学会) 47～52 (1473).
- 3) ポケット農林水産統計 (1972) 農林統計調査部
- 4) 日本食品標準成分表, 科学技術庁
- 5) 食料需給表 (昭和45年度) 農林統計協会
- 6) 肥料年鑑 (1971) 肥料協会新聞部
- 7) 森本 宏 “肥料学” 養賢堂 巻末
- 8) 飼料便覧 (1972) 農林流通飼料課
- 9) 中西, 藤巻ら “畜産物利用学” 朝倉書店
- 10) 桜井芳人ら “統合食料工業” 恒星社厚生閣
- 11) 食品工業対策懇談会 “これからの食料消費” 地球出版
- 12) 食糧年鑑 (1972), 日本食糧新聞社
- 13) ポケット肥料要覧 (1973) 農林統計協会
- 14) 大橋昭也 “都市残飯の乾燥処理による飼料的利用” 畜産の研究 32(9) 55～58 (1978).
- 15) 浮田正夫, 中西 弘: 土木学会第28回学術講演会講演概要集Ⅱ 495 (1973)
- 16) 化学便覧 (応用編) 日本化学会編 (1973)
- 17) 岡田ら, 土木材料学 国民科学社
- 18) 化学工業年鑑 (昭和47年版) 化学工業日報社
- 19) 無機薬品の実績と見通し (昭45～46年度) 日本無機薬品協会
- 20) 化学工業年鑑 (昭52年版), 463 p., 化学工業日報社
- 21) 化学プロセス集成 化学工業協会編 東京化学同人
- 22) 浮田正夫, 中西 弘 “大気を経由する窒素負荷について” 一瀬戸内海を中心にして一環境技術 7(9) 516 (1978).

日本水質汚濁研究会運営委員会名簿

委員長	上田喜一	昭和大学歯学部衛生・口腔衛生学教室教授
副委員長	合田健	国立公害研究所水質土壌環境部長
委員	田口勝久	茨城県公害技術センター所長
“	檜山義夫	東京大学総合研究資料館水産部名誉教授
“	今泉常正	東京大学工学部資源開発工学科教授
“	岩井重久	京都大学名誉教授
“	小島貞男	㈱日本水道コンサルタント中央研究所長
“	左合正雄	東京理科大学理工学部土木工学科教授
“	澤村良二	日本大学理工学部薬学科教授
“	佐谷戸安好	国立衛生試験所環境衛生化学部環境衛生室長
“	植松喜稔	通産省工業技術院化学技術研究所主任研究官
“	山県登	国立公衆衛生院放射線衛生学部長
“	吉田多摩夫	東京水産大学海洋環境工学科教授
“	石原透	通産省工業技術院公害資源研究所公害第3部長
“	柏谷衛	日本下水道事業団試験研修本部試験部長
“	増島博	農林水産省農事試験場水質研究室長
監事	岩塚良三	中央大学理工学部土木工学科教授
“	新田忠雄	日本エヌ・ユー・エス㈱顧問
幹事	真柄泰基	国立公衆衛生院衛生工学部施設計画室長
幹事	村上健	建設省土木研究所下水道部水質研究室長
“	松尾友矩	東京大学工学部都市工学科助教授
“	片山徹	環境庁大気保全局水質管理課課長補佐
“	鈴木基之	東京大学生産技術研究所助教授
“	茂庭竹生	東海大学工学部土木工学科講師
“	須藤隆一	国立公害研究所水質土壌環境部陸水環境研究室長
“	岡田光正	国立公害研究所水質土壌環境部陸水環境研究室研究員