

中海及び宍道湖の富栄養化と輸入食糧*

若月利之**

Imported Food is contributing to Eutrophication of Lakes
Nakanoumi and Shinji.
Toshiyuki WAKATSUKI

Japan has been imported 27 million tons of foodstuff annually in 1980 s, which contained 0.82 million tons of Nitrogen and 0.16 million tons of phosphorous.

Of the 2300 tons of annual total Nitrogen discharge to lake Nakanoumi and Shinji, domestic wastes and livestock wastes contributed 50 %, 1155 tons. Of the 230 tons of the annual total phosphorous discharge to the two lakes, the domestic wastes and livestock waste contributed 68 %, 156 tons. In 1980 s, most of the nitrogen and phosphorous in the wastes were originated from the imported foodstuffs, while the contribution from imported foodstuffs were less than 30 % in 1960 s.

Although the contribution from surrounding natural environmental components including agricultural land, forests land and rain fall are reached to 42 % of total discharge in nitrogen and 25 % in phosphorous discharge, these contribution can be considered as an essential flows to supply nutrients in order to maintain the ecosystems of the two lakes

Surface soils of crop and forest land have great function to control nitrogen and phosphorous in the two lake ecosystems. Thus, the key point to improve the quality of the two lake water depend on the efficient use of the soils ability to control nitrogen and phosphorous.

本稿では中海と宍道湖を例として、湖水の富栄養化が食糧自給率低下の一つの帰結であることを示そうとした。まず、中海や宍道湖を含めて、富栄養化等の水環境の汚濁は、1960年代以前はあまり深刻ではなかったという共通認識を出発点として、過去20年間で水域の汚濁に関する要因の何が変化し、何が変化していないかを明らかにすることから考察を始めた。このため、土地利用の状況、肥料消費量、家畜飼育頭数、及び食糧の輸入と消費の状況を1960年代と1980年代とで比較した。続いて、中海、宍道湖の集水域生態系における有機物、窒素及び磷の循環の全体像を描いてみた。この循環の中で、土と水は一体のものとして把握する必要があること、また、集水域の土壌は、水を浄化する上で重要な生態学的機能を果たしていることを、大きな枠組の中ではあるが、できるだけ定量的に示そうと試みた。これに対し

* 本論文の内容の一部は中海干拓地の農業ビジョンに関する調査研究報告(同ビジョン研究会、代表、寺田俊郎、1985年3月)で発表した。

** 土壌物理化学研究室

て、地域の自然に関係なく持ち込まれる輸入食糧は人間と家畜を経由するが、ほとんどそのまま垂れ流しの状態にあり、集水域の循環系を破壊していることを示した。

1. 1960年代と1980年代の比較

1~5)

1.1. 国土利用の変化

第1表に国土利用の変化を示した。日本全体としてはこの20年間に農地が約80万ha減少し、宅地、工場、事務所、店舗や道路に転用された。この間、中海、宍道

第1表 国土利用の変化 (万ヘクタール)

	1960年代		1980年代	
	全 国	集水域*	全 国	集水域*
農 用 地	643	4.0	559	2.7
森 林 原 野	2,516	13.1	2,542	13.7
水面,河川,水路	111	2.2	114	2.2
道 路	82	0.3	105	0.5
宅 地	85	0.3	142	0.6
そ の 他	270	0.6	300	0.8
合 計	3,771	20.5	3,777	20.5

* 宍道湖及び中海集水域、以下同じ。

第2表 農地における肥料消費量の変化

		1960年代	1980年代
作付け面積	全国 水域集	800万ha 4.3万ha	570万ha 3.0万ha
窒素肥料消費量 (Nベース)	全国 集水域	69万トン 0.36万トン	64万トン 0.33万トン
磷酸肥料消費量 (Pベース)	全国 集水域	25万トン 0.13万トン	31万トン 0.16万トン

湖集水域でも農地が約1万ha 減少した。減少分の約半分は湖岸の水田で宅地や道路等に転用された。残りの減少は山地の棚田であり、それらは放棄されたり植林された。集水域の農地の減少率は全国平均、約13%、の2倍以上になっている。

ここで、海中と宍道湖の諸元を要約しておく。宍道湖の流域面積、水面面積、平均貯水量は、それぞれ、1230 km², 81km², 3.7×10⁸m³ で、中海は 640km², 97km², 5.1×10⁸m³ である。年間の平均淡水流入量、海水流入量は宍道湖がそれぞれ、15×10⁸m³, 2×10⁸m³, 中海が 25×10⁸m³ 及び 34×10⁸m³ である。年間の平均塩分濃度、COD, 総窒素及び総磷濃度は、宍道湖がそれぞれ 2100ppm, 4.1ppm, 0.7ppm, 0.06ppm, 中海が 10900 ppm, 3.5ppm, 0.6ppm, 0.06ppm となっている。水質指標である COD, 窒素, 磷濃度は夏期に悪化し、冬期には改善するという年間変動を繰り返す。集水域の人

第3表 家畜飼育頭数の変化

		1960年代	1980年代
肉牛	全国	230万頭	230万頭
	集水域	5.0万頭	3.5万頭
乳牛	全国	150万頭	210万頭
	集水域	0.4万頭	1.0万頭
豚	全国	300万頭	1,040万頭
	集水域	2.0万頭	6.0万頭
鶏	全国	5,500万羽	25,300万羽
	集水域	60万羽	100万羽

第4表 食糧消費と供給事情の変化

		1960年代	1980年代	1980/1960比
人口	全国	9100万人	11870万人	1.3
	集水域	37万人	42万人	1.1
穀類消費量 (g/1人1日)		410g	304g	0.7
野菜, 豆, 澱粉	(")	406g	412g	1.1
果実	(")	61g	107g	1.8
魚貝類	(")	79g	93g	1.2
牛乳, 乳製品	(")	61g	181g	3.0
肉類	(")	31g	104g	3.4
油脂	(")	12g	41g	3.4
輸入量(全国)				
大豆 (万トン/年)		100万トン	430万トン	4.3
大麦, 小麦 (")		270万トン	730万トン	2.7
濃厚飼料 (")		190万トン	1500万トン	7.9
輸入食糧中に含まれる				
窒素 (Nトン/年)*		16万トン	82万トン	5.1
磷 (Pトン/年)*		2.9万トン	15万トン	5.1

* 輸入食糧の平均N及びP濃度を大豆はそれぞれ、5%0.7%、麦類は2%、0.4%、濃厚飼料は3%、0.6%⁹⁾として計算した。

口は1985年時点で、宍道湖が17万人、中海25万人で合計42万人である。

1.2. 肥料消費量の変化

第2表に肥料消費量と作付け面積の変化を示す。作付け面積の減少率は耕地面積の減少率よりもさらに大きい。全国では1960年代の約800万ha が、1985年には600万ha 弱にまで著減している。島根県全体、宍道湖及び中海集水域の減少率は全国平均と同じ水準にある。この20年間、窒素及び磷酸肥料の消費量はあまり変化していない。しかし、耕地面積と作付け面積が減少したので単位面積当りの肥料消費量は1960年代と比べて約30%増加している。宍道湖及び中海集水域の耕地 1ha 当りの施肥量は、1960年代の窒素 (N ベース, 以下同じ) 83kg, 磷 (P ベース, 以下同じ) 30kg が、1980年代には N 110 kg, P 53kg に増加した。しかし、堆肥等の施用量が1960年代では平均6.5トン/ha あったのに、1980年代には3.4トン/ha に減少した。この堆肥の平均 N および P 濃度をそれぞれ、0.5%、0.12%⁹⁾として計算すると、堆肥に由来する N, P, 量はヘクタール当り、1960年代はそれぞれ、33kg, 8kg, 1980年代はそれぞれ 17kg, 4kg になる。また、この他に用いられた有機質肥料を含めると、ヘクタール当りの全施用量は窒素の場合は過去20年間あまり変化せず、約 130kg あり、磷は1960年代の約 45kg から、1980年代の約 60kg にやや増加している。

1.3. 家畜飼育頭数の変化

第3表に示したように、過去20年、集水域では肉牛が減り、乳牛が増加しているが、両者の合計頭数はあまり変化していない。全国的には乳牛が150万頭から210万頭に増加したが肉牛は230万頭のよこばいになっている。顕著な増加を示しているのは、豚と鶏である。集水域では、特に豚の増加が著しい。全国的にも、島根県としても、また、集水域でも約3倍に増加している。

1.4. 食糧消費と供給事情の変化

第4表にあるように、過去20年間で日本人一人当りの牛乳、乳製品、肉類及び油脂の消費量は顕著に増加した。この増加を支えたのは大豆、麦類、及び濃厚飼料の輸入である。昨今の輸入食糧約2700万トンは 1100万ha の農地に相当するという推定もあり、これは全国耕地面積の2倍に当る。輸入大豆、麦及び濃厚飼料の平均N濃度をそれぞれ5%、2%、3%、平均P濃度をそれぞれ0.7%、0.4%、0.6%とすると、全輸入食糧中の窒素は、1980年代では、82万トン、Pは15万トンに達している。三輪も同様の推定値、1982年でNが80万トン、Pが16万

トン、を發表している。一方、1960年代では輸入食糧により持ち込まれていたNとP量はそれぞれ15万トン、2.9万トンにすぎなかった。三輪も同様の推定値、1960年でNが16.5万トン、Pが2.9万トンを發表している。

2. 宍道湖及び中海への窒素及び磷負荷の生態学的全体像

第1図及び第2図はそれぞれ1980年時点での宍道湖及び中海への窒素及び磷負荷の生態学的全体像を図化したものである。単なる負荷量ではなく、それらをもたらす背景となる人間、家畜、農地、山林地等への年間インプット量とアウトプット量及びそれらのそれらの生態学的単位の現存量の大きさも示した。

宍道湖、中海へのCOD、全窒素及び全磷負荷量は島根県と農林水産省がそれぞれ実測に基づく推定値を發表している(第4表)。表に示すように総負荷量は両者のデータは良く一致している。発生源別の負荷量に少し食い違いがあるが、ここでは両者の平均値に基づいて考察を進める。

人間一人当りの窒素と磷の排出量の原単位は1980年時点の調査では以下のようにになっている。

N: 12g/人日 (し尿より 9g, 雑排水より 3g)

P: 1.5g/人日 (し尿より 0.75g, 雑排水より 0.75g)

宍道湖及び中海集水域の人々の平均排出原単位としてこの値を用いると、集水域人口42万人の合計排出量は以下のようになる。

N: $12g \times 365日 \times 42万人 \times 10^{-6} = 1840 \text{ トン/年}$,

P: $1.5g \times 365日 \times 42万人 \times 10^{-6} = 230 \text{ トン/年}$.

年々の人体への蓄積は無視できるので、上記の排出量は消費量に等しいと見て良い。

牛と豚の排出量原単位として以下の値が与えられている。

N: 400g/頭日 (牛), 40g/頭日 (豚),

P: 60g/頭日 (牛), 25g/頭日 (豚)。

第3表より、集水域の乳と肉牛の合計頭数は4.5万頭、豚は約6万頭なので、人と同様の計算で牛と豚の合計排出量を求めると、N=7400トン、P=1540トンになる。

また、全国の鶏の総数は25300万羽でその総N、P排出量は各17万トン、12万トンと推定されている。これを集水域の総数約100万羽で割り振ると、N=600トン、P=460トンになる。以上の合計量、N=8000トン、P=2000トンが家畜の排出量になる。飼料消費量の約20%が生産物として出荷され、約80%が排出されると仮定して消費量(インプット)と出荷量が算出された。

家畜と人間の体内における窒素と磷の現存量は以下のようにして推定した。人間、牛、豚、及び鶏の平均体重

をそれぞれ、50kg, 400kg, 100kg, 2kg とし平均濃度は人間の値、N=5.1%, P=0.6%を用いて現存量を計算した。家畜も人間も同じく哺乳類であるので、N、P濃度には大きな違いはないと仮定している。

農地の作土深を15cm、容積重を1.0g/ccとすると、集水域2.7万haの農地作土の全重量は 4.1×10^7 トンになる。有機炭素の平均濃度を3.3%, C/N比を12, P含有量を0.09%として現存量を計算した。これは川口と久馬が報告している日本の水田作土の平均値である。作物による吸収量は稲で代表させ、玄米中のN、P濃度を各1.4%, 0.2%、収量を4.7トン/ha、全吸収量に対する玄米への移行率を50%として計算した。

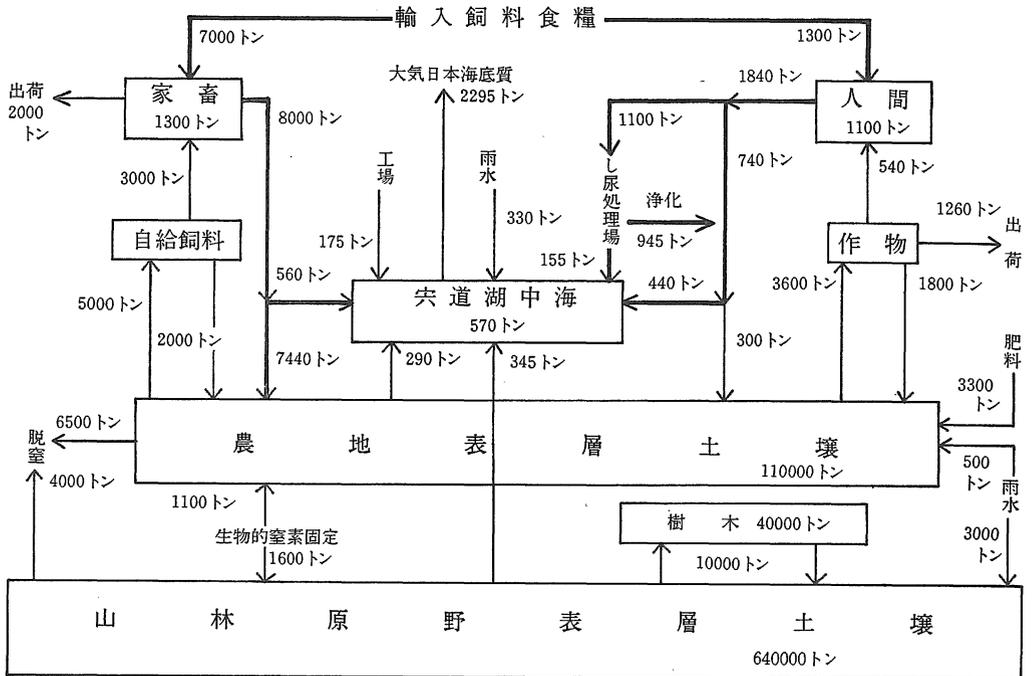
山林地の表層土壌15cmの仮比重を1.0g/ccとすると、山林地13.7万haの表層土壌の全重量は 20.6×10^7 トンになる。日本の褐色森林土と赤黄色土の平均値に基づいて、有機炭素含量を5.0%, C/N比を16, P含量を0.05%として山林地の表層土壌中の現存量を計算した。樹木中の現存量はブナ、スギ、ヒノキ、マツについての堤のデータに基づいて計算した。即ち、窒素の土壌中蓄積量と樹木中の現存量の比は約18.5:1、年間の循環量は現存量の4分の1である。

雨水よりの寄与は平均雨量1957mm、平均N濃度0.95ppm、平均P濃度0.023ppmの実測地から求めた。

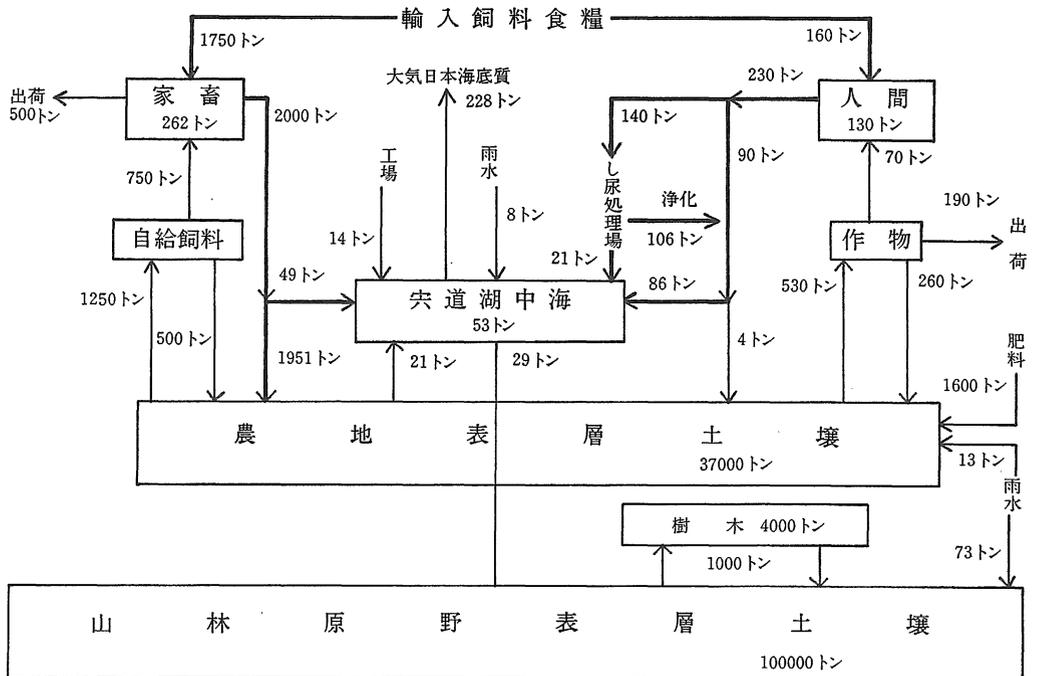
農地や山林地での窒素固定や脱窒素量の実測値は非常にばらついている。豆科植物の場合は10~290kg/ha、水田では30~40kg/ha、非豆科植物では2~8kg/haの値が報告されている。ここでは、年間の窒素固定量として、山林地で約10kg/ha、農地で約30kg/haの推定値を用いる。また、年間の脱窒量は総負荷量の40%、林地では30%として推定値を与えた。

農地への年間窒素負荷量には畜産廃棄物中の総量8000kgから湖水への年間流出量560トン差し引いた7440kgと、化学肥料としてN=3300トンを含めた。また、磷も同様に畜産廃棄物からP=1952トン、化学肥料からP=1600トンの寄与を含めた。

以上が1980年時点での宍道湖及び中海への窒素及び磷負荷の生態学的全体像である。これらの計算に用いた諸数値が全て宍道湖及び中海集水域のまま適用可能であるとは言えないかもしれない。かなりの誤差も含まれよう。特に、農地や山林地土壌中の現存量は、図では表層15cmしか考慮していないので、実際の現存量はこれらの推定値よりかなり大きくなると思われる。しかし、ここで意図していることは、粗削りの第一近似ではあるが、宍道湖や中海の汚濁の原因を考える上で不可欠の、各生態学的要素の基本的骨格をはっきり示したいということである。



第1図 1980年時点の宍道湖及び中海への窒素負荷（Nベース）の生態学的全体像。四角内のそれぞれの数値は現存量を、矢印線の横の数値は年間のインプット及びアウトプット量を示す。太線は輸入食糧に由来する窒素の主な経路を示す。



第2図 1980年時点の宍道湖及び中海への磷負荷（Pベース）の生態学的全体像。四角内のそれぞれの数値は現存量を、矢印線の横の数値は年間のインプット及びアウトプット量を示す。太線は輸入食糧に由来する磷の主な経路を示す。

第5表 宍道湖及び中海への発生源別年間流入
負荷量（トン／年）

発 生 源	全磷 (T-P)		全窒素 (T-N)		COD	
	島根県 ¹⁾ 農水省 ¹⁾		島根県 ¹⁾ 農水省 ¹⁾		島根県 ¹⁾ 農水省 ¹⁾	
家 庭	96	86	550	330	3420	1740
工 場*	18	46	253	410	2465	5800
畜 産	—	46	—	460	—	810
農 地	—	20	—	240	—	240
畜産+農地	71	—	996	—	792	—
山林原野等**	31	42	580	770	5400	3020
合 計	216	240	2379	2210	12077	11610

* 下水と、し尿処理工場からの負荷を含む。

** 雨水からの寄与を含む。

3. 宍道湖及び中海の富栄養化の原因

第1図と第2図から富栄養化をもたらす窒素と磷は主として輸入食糧から来ていることがわかる。輸入糧は主として一般家庭と牛豚鶏により消費され、その大部分はそのまま排出される。したがって湖水の汚濁は1) 家庭排水、2) 畜産排水からの負荷の急増によってもたらされることがわかる。これに、3) 陸域での農地の減少や農地への有機物の還元量が急減し、土壌の持つ浄化能が十分に使われていないことが相乗的に組み合わさっているものと考えられる。以下考察する。

3.1. 家庭排水

第1図及び第2図に示したように集水域の全住民の排出する窒素1840トンのうち440トンは直接、155トンは処理場等を経由して間接に湖水に負荷されている。磷は230トンのうち86トンと21トンは同様に直接、間接に湖水に放出されている。窒素は1840トンのうち1245トン（68%）、磷は230トンのうち123トン（53%）は浄化されたり農地還元されていることになっている。

島根県の発表では昭和55年時点での生活排水の処理状況は雑排水がほとんど無処理で、し尿は60%が汲み取り処理、15%が単独浄化槽処理、農地還元は25%となっている。し尿の汲み取り処理や農地還元は高度の浄化能が得られるが、単独浄化槽や下水道システムのような処理効率の低い方法に移行しつつあり、このままではますます負荷量が增大する方向にある。

3.2. 畜産廃棄物

輸入飼料に依存する（飼料自給率は1980年で約30%にすぎない²⁾）現在の工業的畜産では、基本的構図は家庭排水の場合とおなじである。しかも、消費量、排水量ともに極めて大きい。しかし、宍道湖中海への負荷量は非常に小さい推定値が与えられている。窒素では排出量94%、磷は98%が浄化されたり農地還元されていることとなる。畜産廃棄物は浄化処理がほとんどされていないと考えられるので、上記の数値に信頼性があるとするなら

ば、農地への還元がかなり良くなされていることを示す。しかし、野積み状態での放置がかなりあること、さらには直接の投棄もありうる。これは、現在の畜産が農地に依拠しない畜産であるかぎり避けられないことかも知れない。たとえ、わずかに10%のたれ流しがあっても、宍道湖中海への負荷はNで800トン、Pで200トンという巨大な負荷量になる。

3.3. 農地土壌の持つ浄化能の利用率低下

すでに見たように、宍道湖中海集水域では過去20年間で農地が約1.3万ha減少した。このように絶対量としての農地の減少に加え農地利用率はさらに減少している。1960年代には輸入飼料や食糧として入って来た窒素や磷は現在の5分の1程度（第4表）にすぎなかった。この地域では、家畜数や人口は余り変化していない（第1、3表）。飼料や食糧自給率は70%を下回ってはいなかった。また肥料の消費量はあまり変化していない。このことはNやPの農地循環量が現在と過去ではかなり異なっていることを示す。循環量は食糧自給率にほぼ等しいと考えられるので、1960年代が約70%、1980年代は約30%程度であったと推定される。食糧輸入は、かつては、家畜や人間の排出物の浄化の基本的機能を果たしていたNやPの循環の経路を破壊（あるいは否定）するものとなっていると考えてよいだろう。かくして、陸域での農地土壌の持つ巨大な浄化能の利用率も急速に減少した。以下項を改めて、土壌の浄化能がどのようなものであるかを見てゆこう。

4. 土壌の浄化能

第1図及び第2図に示したように、山林地では年々の1次生産量は、平衡状態ではそのまま分解消費され次の生産のサイクルに入る。窒素及び磷の循環経路は安定しており系外への流出は極めて少ない。それに対して農耕地では窒素や磷が化学肥料の形で大量に入る。注目すべきは輸入飼料に依存する畜産などによるインプットが化学肥料に相当あるいは2倍以上もの量になっていることである。第1図や第2図ではこれらは全て農地に還元されているとしてあるが、実際には農地を通さず直接放流するものも相当量あるのではないかと思われる。また雨水による寄与も無視できない。雨水として入る量は、広大な面積を占める山林地ではNが3000トン、Pが73トンもある。しかし、農地では雨水からのN、Pが各500トン、13トンに対し、湖水への負荷はN、Pが各290トン、21トンという推定値である。山林地から湖水に負荷される量はNが345トン、Pが29トンにすぎない。農地からの磷を除けば雨水をも浄化していると言える。農林地の持つ浄化能の大きさが分かる。

農林地への年間のインプットとアウトプットを比較す

ると、農林地の浄化機能のたぐい稀な能力がさらにはつきりする。即ち、窒素はインプットが農地で約1.6万トンに対し湖水への流出はわずか290トンにすぎない。山林地ではインプット1.5万トンに対し、湖水への負荷は345トンにすぎない。浄化率を以下の式、

$$\text{浄化率} = (\text{全アウトプット} - \text{湖水へのアウトプット}) \div (\text{全インプット}) \times 100$$

で定義すると、窒素浄化率は農地で98.2%、山林地で97.6%になる。同様の計算で、磷浄化率は、農地が99.5%、山林地が97.3%に達する。農林地の浄化能はどのような人工的な浄化装置も及ばないものであることがわかる。

また、農林地の表層土壌だけを見ても窒素及び磷の現存量はインプットと比べて極めて大きい。農地では窒素が6.7倍、磷が8.5倍、山林地では窒素が50.7倍、磷が93.2倍もある。現存量は湖水への負荷量と比べるとさらに大きい。自然界における生態学的要素の安定性はそのストックの大きさ（現存量）とフローの大きさ（アウトプットやインプットの大きさ）の比が大きければ大きい程安定であると考えられる。このことから考えると、農林地よりの負荷量は過去20年、あるいはそれ以前からほとんど変化していないことが分かる。また、人間による制御は困難なことが分かる。むしろ、集水域の農林地からの栄養塩類の湖水への負荷は魚貝類を含む湖の生態系を維持するのに必要なものと考えることができる。

一方、農林地とは対照的に家畜や人間の消費量や排出量は窒素も磷も、現存量よりむしろ大きい。第1図や第2図に示したように、人間のもつ窒素及び磷の現存量はインプット及びアウトプットの約半分、家畜はそれぞれ、わずか13%と16%に過ぎない。またインプットしたものはほとんどそのまま垂れ流す。このことは家畜や生活排水が汚濁源としていかに生態学的に不安定で、かつ、危険な存在であるかを示している。このことは、逆に湖水への負荷量を軽減するための浄化処理は農林地からの流出を軽減することにくらべ、遙かに効率的にしかも容易に行うことができることを示している。

5. 要 約

過去20年間の土地利用、肥料消費量、家畜飼育頭数、食糧消費と供給事情の変化を調べ、宍道湖及び中海への窒素及び磷負荷の生態学的全体像を明らかにした。

1980年時点で、毎年日本には約2700万トンの食糧や飼料が輸入されている。これは約1100万haの農地の生産量に匹敵する。

宍道湖及び中海への年間窒素総負荷量約2300トンのうち、家畜と生活排水からの寄与が50%を占めている。磷については総負荷量約230トンのうち約68%が家畜と生活排水由来である。過去20年間で、湖水への窒素及び磷

負荷を急増させたのは、これら家畜や生活排水からの寄与が急増したためであり、これは急増した輸入食糧に由来するものであることを示した。

一方、農地、山林地、雨水からの寄与は窒素で42%、磷で25%に達するが、これらの生態学的要素からの寄与は、汚濁ではなくて湖の生態系維持のために必要不可欠の栄養元素の供給であると考えべきこと、これらの生態学的要素は窒素及び磷に関して極めて高い浄化能力を持つことを示した。そして、この農林地の浄化機能をいかに有効に利用するかが湖水浄化のポイントになるものと思われる。

引 用 文 献

1. 島根県：宍道湖中海水質管理計画，1～44，1983。
2. 矢野恒太記念会編：日本国勢図会，国勢社，1961年，1971年，1984年版。
3. 中四国農政局島根統計情報事務所編：島根県農林業の推移—統計が表す15年の変貌，1～232，1977。
4. 同上編：島根県農林水産統計年報，1986～1988，1～210，1988。
5. 日本土壌肥料学会編：山陰の土壌と農業，1～251，1980。
6. 副島伸一：土肥誌，54，74～81，1983。
7. 島根県肥飼料検査所：肥料飼料便覧，20周年記念誌，1～272，1985。
8. 亀高正夫，堀口雅昭，石橋 晃，古谷 修：基礎家畜飼養学，養賢堂，1-293，1984。
9. 奥田 東：肥料学概論，養賢堂，1～386，1974。
10. 高橋英一：施肥農業の基礎，養賢堂，1～359，1984。
11. 三輪睿太郎：土の健康と物質循環，博友社，117～140，1988。
12. 農業土木学会，宍道湖中海淡水化に伴う水管理及び生態変化に関する研究委員会編：宍道湖中海淡水化に関連する水質及び生態の挙動について，中間報告，1～642，1983。
13. 伊藤俊美：下水道実務講座2，下水道計画，山海堂。
14. 鶴飼信美：畜産の研究，38，331～334，1984。
15. 松島美一，高島良正：生命の無機化学，広川，1～257，1984。
16. Kawaguchi, K. and Kyuma, K.: Paddy soils in Tropical Asia., Uni. Hawaii, 1～258, 1978.
17. 有光一登：林野土壌の種類と性質，日本の森林土壌，日本の林業技術協会，41～63，1983。
18. 堤 利夫：陸上植物群落の物質生産 I b—森林の物質循環，生態学講座7巻，共立，1～60，1973。
19. 川上誠一：宍道湖の水質と汚濁物質の流入負荷，第172回日本農芸化学会西日本支部会シンポジウム，水圏の動態における諸問題，1～45，1981。
20. Stevenson, F. J.: Cycles of Soil, John Wiley and Sons, 1～380, 1986.
21. Brady, N. C.: The nature and properties of Soils, Macmillan, 1～750, 1984.
22. 川口桂三郎編：水田土壌学，講談社，1～583，1978。
23. 新見 正，有水 彊：汚水の土壌浄化法研究—総論一，1～495，毛管浄化研究会，1977。