解 説

大阪府における食料供給・消費による窒素・磷循環の試算

岡田 一郎*・山本 勝彦*・南 哲朗**・中井 真司***

1. はじめに

大阪湾においては、大阪府域等からの流入汚濁負荷が大きく閉鎖性水域という性質から、水質の悪化を招いているが、とりわけ、窒素、磷等の栄養塩類の大量供給による富栄養化が顕在化している。このため、大阪府では、瀬戸内海の富栄養化防止対策として瀬戸内海環境保全特別措置法に基づき、昭和55年5月に昭和54年度を基準年とする「磷及びその化合物に係る削減指導方針」を策定し、以降5年毎に計画の見直しを行っている。さらに、平成8年7月には平成6年度を基準年とする「窒素及びその化合物並びに磷及びその化合物に係る削減指導方針」を策定し、新たに窒素を削減対象物質に加えている。

累次にわたる対策の結果、府域での公共用水域へ排出された磷の量は、図-1のように昭和54年度の14.1トン/日から平成6年度には7.8トン/日まで削減されているものの、生活系の占める割合としては同61%から59%と横ばいの状態である。

このような状況から、生活に起因する負荷量を削減するための施策メニューが求められており、その中でも日常生活に最も不可欠な食生活に着目し、食料の生産（収穫、漁獲、畜産）、加工、供給、廃棄・排出といった食料供給・消費のプロセスを通して、窒素、磷の循環を捉えることにより、水質環境の改善につながる定量化手法を確立することが重要である。

また、物質循環の面から環境問題の本質を捉えることは、地球規模レベルで環境問題を考える上で重要であり、自治体レベルにおいても、自らの地域内

図-1 磷およびその化合物の負荷量の推移

での発生負荷と海外を含めた地域外への負荷依存など、地域的な負荷構造を考慮した新たな施策展開へ繋げていくことが期待できる。

このため、国立環境研究所の地球環境研究センターでは、地方自治体が地球環境問題を視野に入れて施策を講じるために必要なデータ整備のあり方を検討するため、平成8年12月に検討会^{注1)}を設置し、公害監視センターもメンバーとして参画した。同検討会において、地球環境問題を物質循環の視点で捉えることが重要であるとの認識から、今回は、国内レベルでの食料供給による窒素収支の研究事例¹⁾を参考に、大阪府という地方自治体レベルのスケールで窒素、磷の循環量を試算し適用事例として発表した。

今回の試算では、地球環境問題に取り組んでいく上で、環境に対する府民の意識高揚につながる指標、たとえば、豊かな食生活を享受することによる府民1人ひとりの環境への負荷や、府民が食料需要を満たすために発生する大阪府外での食料生産等による環境負荷などの定量化も試みたので報告する。

2. 算定方法

算定方法は、国内レベルでの食料供給による窒素収支の事例を基本とし、表1（次ページ）のステージ別の生産量、加工量、供給量および廃棄量を求め、

* 大阪府公害監視センター

Ichiro OKADA, Katsuhiro YAMAMOTO

** (財)地球環境センター 事業部企画課 Tetsuo MINAMI

*** 大阪府環境指導室 Shinji NAKAI

表1 ステージ別算定方法の概略

人間 (Man)	IN	摂取： Σ [大阪府食料別純食料量【穀物等，肉・卵・牛，水産物，油脂類等】(t/年)] × [食料別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]…①
	OUT	排水：[大阪府総人口(人)] × [N (又は P) の生活系排水発生原単位 (g/人・日) *] × [365 (日/年)]
農耕地 (Field)	IN	肥料： Σ [大阪府穀物等別作付面積 (ha)] × [穀物等別 N (P) の施肥量 (kg/10a) **]
	OUT	収穫： Σ [大阪府穀物等別収穫量 (ha)] × [穀物等別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]…② 溶脱：[大阪府肥料 N (P) 量 (t/年)] - [大阪府収穫 N (P) 量 (t/年)]
穀物等 (Crop)	IN	収穫：②式 府外から流入： Σ {[大阪府穀物等別消費仕向量 (除く種子用) (t/年)] - [大阪府穀物等別収穫量 (t/年)]} × [穀物等別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]
	OUT	摂取：①式 廃棄： Σ {[大阪府穀物等別減耗量 (t/年)] + [大阪府穀物等別 (粗食 - 純食) 量 (t/年)]} × [穀物等別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)] 飼料： Σ [全国穀類別飼料用量 (t/年)] × [大阪府家畜【牛，豚，鶏】総重量/全国家畜総重量] × [穀物等別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]…③
家畜 (Livestock)	IN	飼料 (穀類等)：③式 飼料 (水産物)：[全国魚介類飼料用量 (t/年)] × [大阪府家畜総重量/全国家畜総重量] × [魚貝類 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]…④ 飼料 (油脂類)：{ Σ [全国豆類別加工用量 (t/年)] × [豆類別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)] - Σ [全国油脂類等別消費仕向量 (t/年)] × [油脂類等別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]} × [大阪府家畜総重量/全国家畜総重量]…⑤
	OUT	精肉等 (肉類)： Σ [大阪府家畜別出荷頭羽数 (頭/年)] × [家畜別精肉重量 (kg/頭) ⁶⁾] × [家畜別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]…⑥ (卵)：[大阪府卵出荷量 (t/年)] × [卵 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]…⑥ 糞尿： Σ [大阪府家畜別飼育頭羽数 (頭)] × [家畜別排泄量 (kg/頭・日) ⁸⁾] × [365 (日/年)] × [家畜別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]
肉，卵，牛乳 (Meat, Egg & Milk)	IN	精肉等：⑥式 府外から流入 (肉類)： Σ {[大阪府肉類粗食量 (t/年)] - [大阪府家畜別出荷頭羽数 (頭/年)]} × [肉類別精肉重量 (kg/頭)] × [肉類別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)] (卵・牛乳)： Σ {[大阪府卵・牛乳別粗食量 (t/年)] - [大阪府卵牛乳別出荷量 (t/年)]} × [卵・牛乳別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]
	OUT	摂取：①式 廃棄： Σ {[大阪府家畜別出荷頭羽数 (頭/年)] + [肉類別非精肉重量 (kg/頭)]} × [肉類別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]
水産物 (Fish)	IN	水揚げ： Σ [大阪府水産物別漁獲量 (t/年)] × [水産物 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g) ¹⁰⁾] 府外からの流入： Σ {[大阪府魚介類消費仕向量 (t/年)] - [大阪府漁獲量 (t/年)]} × [大阪府水産物別流通量構成比率] × [水産物別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]
	OUT	摂取：①式 廃棄： Σ {[大阪府魚介類減耗量 (t/年)] + [大阪府魚介類 (粗食 - 純食) 量 (t/年)]} × [魚介類別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)] 飼料：④式
油脂類等*** (Oil etc)	IN	原材料： Σ [全国穀類・豆類別加工量 (t/年)] × [穀類・豆類別油脂类等利用率] × [穀類・豆類別平均大阪府/全国油脂等別生産額比] × [穀類・豆類別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)]
	OUT	摂取：①式 廃棄： Σ {[大阪府油脂類等別減耗量 (t/年)] + [大阪府油脂類等別 (粗食 - 純食) 量 (t/年)]} × [油脂類等別 N の含有量 (g/100g) 又は P の含有量 (mg/100g)] 飼料：⑤式 府外への流出：[大阪府油脂類等原材料 N (P) 量 (t/年)] - [大阪府油脂類等摂取 N (P) 量 (t/年)] - [大阪府油脂類等廃棄 N (P) 量 (t/年)] - [大阪府油脂類等飼料 N (P) 量 (t/年)]

*生活排水の原単位は，し尿と雑排水の合算値とした，** P の施肥量は，燐酸 (P₂O₅) から燐換算した値。

***油脂類等は，みそ類，しょうゆ類，植物油類，果実酒，ビール，清酒，蒸留酒を対象とした。

食料別の窒素（タンパク質から換算）および燐の各含有量を乗じることにより窒素、燐の物質収支を算定した。どの地方自治体でも試算できるよう、容易に入手可能な国所管の各種統計データ（例：農林水産統計²⁾、工業統計³⁾）や全国共通となるデータブック（例：食料需給表⁴⁾、食品成分表⁵⁾）を極力利用することに努めた。

3. 算定結果

大阪府における窒素および燐の算定結果をそれぞれ図-2および図-3に示す。ステージ別で見ると以下のような結果が得られた。

3.1 人間 (Man)

平成6年度の全国総人口125,034千人のうち、大阪府は8,720千人であり東京都に次ぐ人口規模である。食料需給表による消費仕向量は国民1人あたりの平均的な値で与えられているため大阪府の純食料は大きく、全体で窒素46千トン/年、燐4千トン/年を摂取したことになる。

一方、し尿等生活排水としての排出量は窒素が38千トン/年、燐が4千トン/年であった。

3.2 農耕地 (Field)

大阪府の作付面積15千ヘクタールであるが、平野部が少なく宅地化の進行により府の面積189千ヘクタールの8%にすぎない。肥料の投下量は、作物毎に作付面積あたりの施肥量として与えられており、大阪府では窒素2070トン/年、燐890トン/年であった。うち、農作物への摂取量は収穫量とタンパク質、燐の含有量から算定し窒素857トン/年、燐165トン/年となっている。これにより肥料の窒素および燐の作物への吸収率は窒素41%、燐19%と一般的な各肥料成分の吸収率に一致している。

図-2 大阪府内の食料供給・消費による窒素循環

図-3 大阪府内の食料供給・消費による燐循環

また、肥料の溶脱量は大阪府の施肥量が少ないため、汚濁負荷の占める割合としてはかなり小さい。

3.3 穀物等 (Crop)

大阪府での穀物等農作物の収穫量は200千トン/年と少なく、その約15倍の農作物が輸入を含め府外から流入している。このため、窒素28千トン/年、燐5千トン/年が流入し大阪府収穫分は共に僅か3%程度にすぎない。また、大阪府の消費仕向量が大きいため、これに起因する廃棄量は窒素5千トン/年、燐0.8

千トン/年となる。

3.4 家畜 (Livestock)

家畜についても大阪府での飼育数は少なく、乳用牛、肉用牛、豚、排卵鶏の総数の全国に占める割合は0.2%にすぎないため、家畜による糞尿量は窒素1043トン/年、燐164トン/年であった。

3.5 肉、卵、牛乳 (Meat, Egg&Milk)

大阪府外から流入する牛、豚、鶏、卵、牛乳の何れも割合が大きく、窒素13千トン/年、燐0.8千トン/年が流入し大阪府飼育分は窒素0.3%、燐0.4%程度にすぎない。

3.6 水産物 (Fish)

大阪府での水産物の漁獲量は22千トン/年と少なく、その約25倍の水産物が輸入を含め府外から流入している。このため、窒素15千トン/年、燐2千トン/年が流入し大阪府漁獲分は窒素5%、燐6%程度にすぎない。また、大阪府の消費仕向量が大きいため、これに起因する廃棄量は窒素8千トン/年、燐0.5千トン/年となる。

3.7 油脂類等 (Oil etc)

油脂類等のうち、蒸留酒は生産額ベースで全国の16%を大阪府が占めているが、他では植物油類の1%などである。穀物から原材料として窒素3338トン/年、燐442千トン/年が利用され、そのほとんどが製品となって大阪府内で消費される勘定である。また、一部は物質収支から府外へ流出していることになる。

今回のような窒素、燐の収支計算では、農林水産省の食料需給表と食品成分表のデータを活用することにより比較的容易に収支バランスの精度を確保することができ、地方自治体単位で試算するにあたっては、地域特性を知る上で自治体固有のデータを取り入れることが重要である。

特に、食料を供給するための基幹産業となる自治体単位の農林水産業関係のデータは不可欠であ

り、大阪府の試算には、大阪農林水産統計から大阪府漁獲量、水産物流通量、作物収穫量および家畜飼育頭羽数など、大阪府の転作作物の指針(平成4年1月)から大阪府農作物施肥量、工業統計調査(平成6年)から大阪府油脂類等工業生産額などのデータを引用した。

4. 考 察

今回試算した窒素、燐の循環(図-2および図-3)について、他の手法で算定したデータと比較して検証をおこなった。大阪府では、瀬戸内海環境保全特別措置法に基づき窒素および燐を対象とした削減指導方針を策定しているが、公共用水域へ排出される現状年次および計画年次の負荷量の算定には、

表2 窒素、燐の試算値(発生量)と大阪府削減方針による負荷量の比較
(1) H6年度 窒素負荷量

排水形態	排出源	試算値		府削減現状値	1-B/A
		府発生量(A)* t/年	単位発生量 g/年・人	府負荷量(B)** t/年	N浄化率(C) %
Waste①	Crop	4,764	546	—	—
Waste②	Meat	1,193	137	—	—
Waste③	Fish	7,649	877	—	—
Waste④	Oil	7	1	—	—
Subtotal		13,613	1,561	—	—
Leakage	Field	1,212	139	782	35.5
Excreta	Livestock	1,043	120	420	59.7
Sewage	Man	38,193	4,380	24,711	35.3
Total		54,061	6,200	25,913	

(2) H6年度 燐負荷量

排出形態	排出源	試算値		府削減現状値	1-B/A
		府発生量(A)* t/年	単位発生量 g/年・人	府負荷量(B)** t/年	P浄化率(C) %
Waste①	Crop	806	92	—	—
Waste②	Meat	741	85	—	—
Waste③	Fish	467	54	—	—
Waste④	Oil	1	0	—	—
Subtotal		2,015	231	—	—
Leakage	Field	725	83	17	97.7
Excreta	Livestock	164	19	142	13.2
Sewage	Man	3,756	431	1,679	55.3
Total		6,660	764	1,838	

* 発生量：浄化プロセス前(負荷発生点)

**負荷量：浄化プロセス後(公共用水域流達点)

表3 大阪府民の食生活に関する農畜産資源(平成6年度)

	大阪府内分 (A)	大阪府外分 (B)	府外依存率 (B/A+B)
家畜飼育数			
①牛	3.9千頭	915.0千頭	99.6%
②豚	191.1千頭	1428.3千頭	98.7%
③食用鶏	0羽	14156.4千羽	100%
農耕地 作付面積	15.4千ha	385.0千ha	96.2%
収穫量	203.3千t	2939.3千t	93.6%

水質の実測値のない項目に関しては原単位を用いている。このうち、平成6年度である現況年次の負荷量(以下「削減現状値」と、今回試算した負荷量のうち、対比可能な農耕地(Field)、家畜(Livestock)、人間(Man)について表2のとおり整理した。

表2の削減現状値の負荷量とは、下水処理場、合併浄化槽、し尿処理場等の排水浄化施設だけでなく、土壌浸透による自然浄化能、家畜からの糞尿の堆肥化などを含めた、広義な意味での「浄化プロセス」を経て公共用水域に流達する時点の負荷量であり、一方、今回の試算した窒素、磷の発生量とは各発生点におけるもので浄化プロセスの投入前での値を意味している。

よって、これらの値から浄化プロセス前後での削減率を浄化率とみなして計算すると、表2のとおり、窒素では農耕地からの溶脱分36%、家畜からの糞尿分60%、人間からの生活排出分35%であり、一方、磷では農耕地からの溶脱分98%、家畜からの糞尿分13%、人間からの生活排出分55%であった。

今回の試算では算出境界を大阪府域に限定しているが、大阪府民の食生活による窒素、磷の循環を考えるためには、府外から流入する農作物に係る施肥量や溶脱量、家畜からの糞尿も考慮しなければならない。そこで、表3のとおり大阪府民の全食料需要を満たすために必要な家畜頭数、農耕地面積を求めた上で、府外への排出相当分の窒素、磷の量を算出した。

その算出結果から、大阪府民の食生活に起因する農耕地および家畜からの窒素、磷の汚濁負

荷のうち大阪府内排出分はごく僅かであり、その大部分は府外で排出していることになり、その量は生活系排水による汚濁量を大きく上回っている(図-4)。日本の食料需給の海外依存が強まる中で環境負荷の外への依存が問題となっているが、大阪府レベルで見ても類似の構造を見ることができる。

謝 辞：本研究を進めるにあたり、貴重な資料の提供やご助言をいただいた農林水産省農業環境技術研究所の川島博之の主任研究官および研究の機会やご指導をいただいた国立環境研究所地球環境研究センターの方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 川島 博之：わが国における食糧供給と窒素循環，環境科学会誌，9，27（1996）
- 2) 近畿農政局大阪統計情報事務所 編：大阪農林水産統計年報（1994～1995年版）（1995）
- 3) 通商産業大臣官房調査統計部 編：工業統計調査（1994年版）産業細分類別統計表（1997）
- 4) 農林水産大臣官房調査課 編：食糧需給表（1994年版）（1996）
- 5) 香川 綾 監修：4訂食品成分表1997，女子栄養大学出版（1997）
- 6) 橋本 吉雄ら 編：食肉・肉製品ハンドブック，朝倉書店（1970）
- 7) 鷹尾 亨 編：牛乳・乳製品の実際知識第3版，東洋経済新聞社（1989）
- 8) 亀岡 俊則：環境に与える家畜ふん尿の資源量の推定とその処理体系，大阪農業，29-2，54（1992）
- 9) 堺市水田農業確立対策促進会議編：転作作物の指針，62（1992）
- 10) 竹内 昌昭編：魚肉の栄養成分とその利用，12-15，58（1990）

注1) 地方自治体の環境管理のための地球環境データ整備検討会(平成8年12月設置 事務局：環境庁国立環境研究所 地球環境研究センター)

図-4 大阪府民の食生活に供する窒素、磷の府内外への負荷 (平成6年度)