

# 農耕地における栄養塩類及び重金属類の収支とその環境影響評価

三島慎一郎（独立行政法人農業環境技術研究所）

shin@affrc.go.jp

日本の農耕地における窒素・リン酸等の収支を、統計データと養分収支モデルから算定する方法を確立し、わが国農耕地における窒素とリン酸の収支の動向、ならびに農地への重金属類の負荷量を明らかにした。それらに基づき、化学肥料の削減技術や家畜ふん尿施用・飼料作物の多収技術の導入によって窒素過剰を低減できることを明らかにし、また、実際の環境への影響を照会した。

はじめに

窒素とリン酸は作物生産に必須の肥料成分であるが、その一方で、過剰な施用による地下水の汚染等の水環境の悪化が問題となっている。また、化学肥料や家畜ふん尿堆肥中の微量重金属が、それらの長期間にわたる施用によって農地へ蓄積するのではないかと危惧されている。本研究は、統計データ等から国、地方レベルでの農耕地における養分等の流れを求め、環境負荷のポテンシャルの定量化を試みた。また、環境負荷のポテンシャルを低減するその方策について、窒素に焦点を当てて検討を行った。そして農業由来の窒素による環境負荷ポテンシャルと実際の河川水質との対応をみることで検証を試みた。

## 1. わが国の農耕地における窒素とリン酸の収支と環境負荷ポテンシャルの定量と経年変化<sup>1,2,3)</sup>

OECD では農業が環境に与える影響の指標化を行っている。その中で農地表面収支法による窒素・リン酸収支が挙げられており、日本の窒素収支は OECD 各国の中で4番目に多く、環境への悪影響が危惧されている。そこで、OECD の農地表面収支法の枠組みを日本の実情に合わせて改変して枠組みを開発した(図 1)。この枠組みは、国単位だけでなく、都道府県・市町村単位にも適用できる。この枠組みに沿って農林水産省統計による耕地面積、作物収量、家畜の飼養頭羽数を標準飼料成分表や畜産物生産費などの各種公的資料・文献による窒素・リン酸量

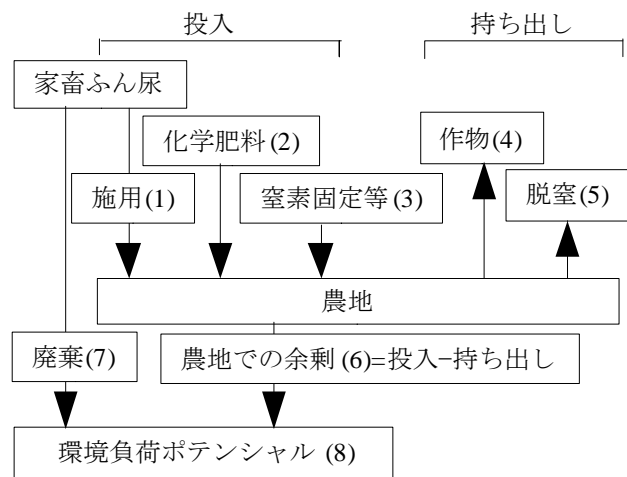


図1.養分収支算定の枠組み

の情報を基に、わが国の農耕地における窒素・リン酸の収支を算定した(表 1)。量は全て耕地面積あたりで示すことで、耕地面積減少の影響を取り除いて年度間の比較を行えるようにした。

化学肥料としての窒素・リン酸の投入量は 1985 年に最大となり、以後減少していた。農地への家畜ふん尿の施用量は 1990 年に最大となった。作物生産により持ち出された窒素・リン酸量はそれぞれ 1985 年・1990 年に最大となった。農地に投入される窒素・リン酸量から持ち出される窒素・リン酸量を差し引くことにより求められる農地で余剰となる窒素・リン酸量は、1985 年に最大となり以後減少した。家畜ふん尿中の廃棄される窒素・リン酸量は 1980 年から 2002 年まで増加傾向にあった。これは肥料資源の無駄にしていることであり、環境保全上もまた問題である。農地での余剰と廃棄さ

れる家畜ふん尿を足した農業生産による環境負荷ポテンシャルとなる窒素・リン酸量は1985年に最大となり以後減少傾向にあった。しかしその量は国際的には依然高い水準にありより一層の低減が求められるであろう。肥料の利用効率を改善し化学肥料を削減する、化学肥料の家畜ふん尿による代替、作物の増産等の方策が考えられる。

表1. 耕地面積あたりの窒素・リン酸の流れと収支

		1980年	1985年	1990年	1997年	2002年
耕地面積	( $\times 10^3$ ha)	5,461	5,379	5,243	4,949	4,862
家畜ふん尿施用(1)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	96	102	106	80	75
	(kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	48	51	52	37	34
化学肥料(2)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	107	128	114	102	96
	(kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	122	134	132	120	100
窒素固定等(3)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	36	37	38	36	17
作物(4)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	61	70	70	66	59
	(kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	22	26	27	25	23
脱窒(5)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	47	47	44	42	40
農地での余剰(6)=(1+2+3-4-5)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	131	148	143	109	91
	(kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	148	159	156	132	111
廃棄家畜ふん尿(7)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	10	14	15	40	40
	(kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	5	8	9	23	20
環境負荷ポテンシャル(8)=(6+7)	(kgN ha <sup>-1</sup> )	141	162	158	149	131
	(kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	154	166	165	155	131

括弧内の数字は図1の箱内の数字に対応する

## 2. 養分収支算定データベースの構築<sup>4)</sup>

養分の流れと環境負荷ポテンシャルを推定するためには労力と時間を要するが、都道府県・市町村といった単位での簡易に求めることが出来れば、農業生産の偏りを養分の流れの偏りとして明示でき、地域計画に寄与できる。そこで農林水産省研究計算センターの基礎数値情報の統計を用いることにより、図1の枠組みに基づいた養分収支を都道府県・市町村レベルで算定できるデータベースシステムを構築した。その構造を図2に示す。本システムは熊本県内の市町村での家畜ふん尿の発生量推定などに活用された。

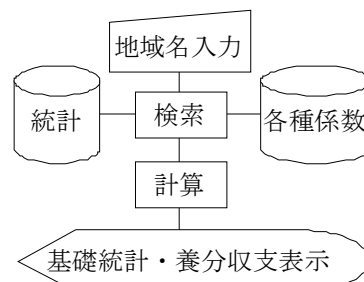


図2 養分収支算定システムの構造

## 3. 地域における窒素による環境負荷ポテンシャルの地域間差とその要因及び改善提案<sup>5,6)</sup>

養分収支算定データベースを用いることにより、都道府県単位で耕地面積あたりの窒素の流れを推定した。その結果、環境負荷ポテンシャルとなる窒素量は29から505kgN ha<sup>-1</sup>と大きく異なっていた。その要因として、化学肥料の投入量が多いことと家畜ふん尿の発生量が多いことが挙げられた。

そこで、耕地面積あたりの化学肥料の投入量が日本で最も多いA県と耕地面積あたりの家畜ふん尿の発生量が日本で3番目に多いB県を取り上げ、A県では開発・普及段階にある緩効性肥料を用いた化学肥料の削減技術導入した場合を、B県ではA県と同様の化学肥料の削減技術と畜産草地研究所で開発された家畜ふん尿の多給・飼料作物の超

表2. 環境負荷ポテンシャルの改善案

	A県		B県	
	現状	試算	現状	試算
家畜ふん尿施用(1)	76	109	121	140
化学肥料(2)	360	235	217	164
窒素固定等(3)	21	21	15	15
作物(4)	62	62	69	95
脱窒(5)	35	35	37	37
農地での余剰(6)	366	268	249	187
廃棄家畜ふん尿(7)	47	15	106	86
環境負荷ポテンシャル(8)	413	283	355	274

単位: kgN ha<sup>-1</sup>

括弧内の数字は図1の箱内の数字に対応する

多収技術を導入した場合を試算した。その結果を表 2 に示す。作付けされる作物やその栽培面積、家畜の飼養頭羽数を変えることなく、化学肥料を減らし家畜ふん尿を積極的に利用することで、両県では環境負荷ポテンシャルを低減できる技術的可能性が示された。しかし、B 県より家畜ふん尿の発生量が多い県では、県内での処理を前提とする限り、施用する農地の不足から環境負荷ポテンシャルの低減は出来ず、畜産の制限または飼料生産の増加が必要であることが示された。

#### 4. 農業生産に伴う重金属類の農地や環境への負荷<sup>7,8)</sup>

主要な重金属類として亜鉛・銅、カドミウムを選び、農林水産省統計などの統計資料を基礎情報として、化学肥料中の濃度の実測と各種文献の情報を用いることで亜鉛・銅・カドミウムの量に換算し、1997 年に関してそれらの流れと農地負荷量を推定した。

結果を表 3 に示す。亜鉛・銅の化学肥料による持ち込みは作物による持ち出しよりも少ないが、家畜ふん尿によって多量に持ち込まれており、これらの元素は農地では蓄積傾向にある。廃棄家畜ふん尿は多量の亜鉛・銅を含んでいた。カドミウムの持ち込みの主体は化学肥料であり、家畜ふん尿の寄与は少ない。家畜ふん尿を化学肥料の代替物として利用することは、亜鉛・銅の農地蓄積を倍化し、カドミウム蓄積は変化しないと推計された。窒素・リン酸資源として家畜ふん尿は価値があるが、亜鉛・銅の負荷の面では問題があり、特に家畜ふん尿を集中して与える地域や農地では蓄積が問題化することが危惧される。

表3. 重金属類の収支と負荷

	Zn	Cu	Cd
家畜ふん尿施用(1)	352	77	0.49
化学肥料(2)	67	14	1.60
作物(4)	128	25	N.A.
農地蓄積(6)=(1+2-4)	292	66	2.09
廃棄家畜ふん尿(7)	298	85	0.32

単位:g ha<sup>-1</sup>; N.A.:データなし  
括弧内の数字は図1の箱内の数字に対応

#### 5. 環境負荷ポテンシャルとなる窒素の量と河川水中の窒素量の対応<sup>9)</sup>

栃木県の思川と那珂川の二つの集水域を対象として、集水域内での窒素の流れに関するモデルを構築し、2000 年の農業センサスとデータベースシステムの各種係数を用いて窒素の流れを定量し、農業生産で余剰となり環境負荷ポテンシャルとなる窒素量を求めた。次に河川年鑑や河川水質のデータベースから求めた平均的窒素濃度と河川水流量から両集水域の出口での窒素流量を求め、また生活に伴う窒素排出の原単位と浄化槽による窒素除去率から流域住民による河川への生活排水による窒素負荷量を求めて、両者の差から面源負荷の窒素量を求めた。流域における窒素負荷のホットスポットといえる農業生産に伴う環境負荷ポテンシャルとなる窒素量と面源負荷の窒素量の比較を行うことにより、環境負荷ポテンシャルとなる窒素量と実際の窒素負荷に関して考察を行った。

求めた窒素の流れを図 3 に示す。思川では化学肥料に由来する農地での過剰が環境負荷ポテンシャルの主体であり、那珂川では家畜ふん尿の廃棄が環境負荷ポテンシャルの主体であり、耕地面積あたりの農業生産に伴う環境負荷ポテンシャルの発生量は同等であった。両方の河川共に水質には面源負荷の方が生活排水よりも多く寄与していると推定された。河川を流出する窒素量は思川で多く、生活排水

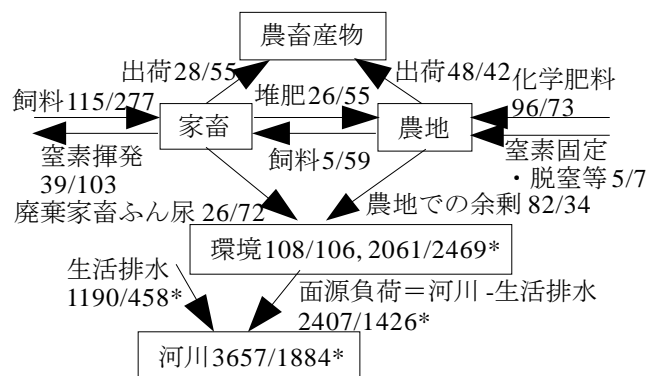


図3. 集水域での窒素・リン酸の流れ  
数字は、思川/那珂川、単位は無印 :kg ha耕地<sup>-1</sup> \*:Mg

の寄与もまた思川で多かった。流域環境への農業由来の窒素負荷は、思川の方が那珂川のよりもより大きく河川水質に影響したと推定される。この要因としては、農業生産からの窒素負荷の元となる窒素源が化学肥料由来であるか、家畜ふん尿由来であるかといった違いや、時間遅れの問題などが考えられる。

#### 謝辞

ここに挙げた研究は農業環境技術研究所で行われた。所では、松本成夫博士には農業生産に伴う物質の流れに関する研究の基礎を授けて頂き、西尾道徳元所長・斎藤雅典コーディネーターには研究者としてのあらゆる能力を鍛えて頂いた。また所内外の多くの研究者からご指導を頂き、議論を重ねることが出来たことが、研究を培う中で滋養となり成果となった。ここに深く感謝の意を表したい。研究の根幹であるシステム生態学的発想は、堀越孝雄広島大学名誉教授と中根周歩広島大学教授によるものであり、ここに深謝する。また、多くの知識の教授と議論を重ねる場を提供していただくとともに、農学進歩賞にご推薦頂いた日本土壌肥料学会の皆様には厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

- 1) Mishima S., Matsumoto N., Oda K. (1999) Nitrogen flow associated with agricultural practices and environmental risk in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 45: 881-889.
- 2) Mishima S. (2001) Recent trend of nitrogen flow associated agricultural production in Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 47: 157-166
- 3) Mishima S., Taniguchi S., Komada M. (2006) Recent trends in nitrogen and phosphate use and balance on Japanese farmland, *Soil Science and Plant Nutrition*, 52: 556-563.
- 4) 三島慎一郎・松森信・井上恒久 (2003) 都道府県・市町村単位での窒素収支算出を行うデータベースの構築、*日本土壌肥料学雑誌*、75: 275-281.
- 5) Mishima S. (2002) The recent trend of agricultural nitrogen flow in Japan and improvement plans, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 63: 151-163.
- 6) Mishima S. (2001) Quantitative evaluation of environmental risk associated with nitrogen flow in agricultural production and mitigation plan for 2 typical prefectures in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 47: 511-518
- 7) Mishima S., Kimura R., Inoue T. (2004) Estimation of cadmium load on Japanese farmland associated with the application of chemical fertilizers and livestock excreta, *Soil Science and Plant Nutrition*, 50: 263-267
- 8) Mishima S., Taniguchi S., Kawasaki A., Komada Mm (2005) Estimation of zinc and copper balance in Japanese farmland soil associated with application of chemical fertilizers and livestock excreta, *Soil Science and Plant Nutrition*, 51: 437-442
- 9) Mishima S., Taniguchi S., Kohyama K., Komada M. (2007) Relationship between nitrogen and phosphate surplus from agricultural production and river water quality in two types of production structure. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53: 318-327

#### **Nutrients and heavy metals balance on Japanese farmland and evaluation of environmental load by them**

Shin-Ichiro Mishima (National Institute for Agro-Environmental Sciences)

shin@affrc.go.jp