

## 米国25年振りの畜産環境規制改正を追う(その5) 規制強化のもたらす環境負荷低減の事前評価

(財)畜産環境整備機構  
参与 渡邊昭三

### まえがき

本シリーズその2で説明したように、米国の家畜を囲い込み飼育している畜産経営体(AFOs)は、同国の表流水及び地下水の水質を劣化させる汚染物質の主要な排出源であることが明らかにされている。従って環境保護庁は25年振りに畜産経営体に対する汚染物質削減ガイドラインを改正して、肉牛、酪農、ヴィール生産、雌牛育成、家禽及び養豚業者に対して、家畜排せつ物をより環境に対して適正な方法で管理することを要求することになった。すなわち、AFOsは、フィードロットからの流亡水の低減、農学的に適切な施用率で家畜排せつ物の窒素とリンを土地還元すること、及びその他の環境負荷低減技術を導入して処理施設を改善することを求められている。

本稿では、今回の規制改正を米国の各種畜産経営体に適用した場合、改正前に比べて畜産農場からの汚染物質負荷が全国的にどれだけ低減するのかを、環境保護庁の規制改正理由説明書: Development Document for the Final Revisions to the National Pollutant Discharge Elimination System Regulation and the Effluent Guidelines for Concentrated Animal Feeding Operations, December 2002, Chapter 12から紹介する。

### 1. 現行規制の改正がもたらす汚染物質削減効果を推定するコンピューターモデル・シミュレーション

The Pollutant Loading Reductions for the Revised Effluent Limitations Guidelines for Concentrated Animal Feeding Operation (EPA-821-R-03-007)「環境負荷量報告書」では、現行の規制改正がもたらす汚染物質の負荷低減効果を裏付けするため、環境保護庁が行なったコンピューターモデル・シミュレーションの詳細が記述されている。環境保護庁は13,500の異なるサンプル農場を用いてコンピューターシミュレーションを行なった。それぞれのサンプル農場は家畜の種類、農場規模、所在地、土壌タイプ、排せつ物管理と貯蔵の数種の組み合わせを代表している。それぞれのサンプル農場について、25年間の解析期間にわたる年間汚染物質低減の全国平均を推定する基礎にするため、農場敷地境界における汚染物質負荷を作物圃場1エーカー1年当たりポンドで推定した。全体として、これらのAFO施設と環境との交互作用はサンプル農場の実績のおよそ2億2千8百万シミュレーション日を基礎に解析された。環境保護庁の評価は農場境界における環境負荷低減を第一の柱に、AFOの生産地区(家畜飼育施設及び排せつ物処理施設等設置地区)からの排出を代表するフィードロットと排せつ物貯蔵施設からの汚染物質負荷を合わせた解析を第二の柱として構成されている。第二の汚染物質排出は、一般にフィードロットあるいは排せつ物貯蔵地区から降水量の影響によって生ずる流亡水を含めている。また実際の排出データが存在する場合には、これは少数の事例であるが、貯蔵システムの機能不全と不適切な管理の事例を含んでいる。

これらの負荷の低減はそれぞれの技術選択に際しての利益推定の基礎となる。この期待される利益については、環境と経済の分野から詳細な「利益評価報告」と「経済解析報告書」が環境保護庁から出されている。

この負荷解析は異なる閾値で定義されるCAFOsの全国汚染物質排出削減制度(NPDES)許可シナリオの全て範囲を扱っているため、300家畜単位以上の全てのAFOが評価されている。また改正汚染物質排出制限ガイドラインの異なる閾値への適用に対応するように、農場規模のバラツ

キを選択している。この農場規模の範囲は、汚染物質排出制限ガイドラインが当初から適用されるCAFOsの畜種別サブセットと同様に、新たにCAFOsとして定義されるAFOsの畜種別のサブセットについての負荷低減の推定を可能にしている。この解析における農場規模の詳細については、環境保護庁の「経費報告書」に詳しく記述されている。

## 2. 規制改正により影響をうける農場耕地の区分

環境保護庁の負荷評価は、現行規制の下における全国の堆積物、栄養素、病原体及び金属について表流水と地下水に対する負荷(規制前あるいは基礎水準)並びにいろいろな改正規制ガイドラインに対応する技術導入後(規制改正後のシナリオ)について、これらの負荷を推定している。環境保護庁の全国負荷低減評価は、まず2002年の農務省報告「耕地及び放牧地の栄養素同化能力に対する家畜排せつ物の相対的關係」(本シリーズその2で紹介)に示された方法と同じ方法で家畜排せつ物の産出量を推定することから始めた。次の手順で施肥量を基礎にした農場境界負荷を推定した。この手続きは、「環境負荷量報告書」の第3章に詳しく記述されている。

農場境界における汚染物質負荷を評価する基本は、家畜排せつ物の耕地施用法を合理的に代表する方法を設定することである。耕地はAFOで産出された排せつ物(堆肥やペレットのような処理されたあるいは加工され排えつ物を含めて)の第一義的な終着地である。

解析的な数学的モデルで、水と堆積物の移動を支配している物理的、化学的、生物学的反応過程をシミュレーションすることによって、農業地区からの汚染物質負荷を推定することができる。例えば、「農業管理システムの地下水負荷への影響」(GLEAMS, Knisel et al., 1993)及び「土壌浸食-生産性影響計算法」(EPIC, Sharpley and Williams, 1990)のような圃場スケールモデルによって、圃場境界を離れる流亡水と堆積物のなかの汚染物質を推定することができる。圃場モデルでは、詳細な土壌タイプと作物の種類の情報に基づいて、汚染物質負荷発生と各種の管理技術の影響を詳細に評価することができる。全体として、環境保護庁は農場境界における負荷を計算するために13,500の異なるサンプル農場のデータをGLEAMSにインプットした。

比較のための一貫した基礎を設定するために、環境保護庁は全国的に総計21百万haにのぼる耕地について、AFOと非AFO施設の両方の汚染物質負荷量を検討した。このとき同庁はリンを基礎にした施肥法を用いた。すなわち、この解析に用いた21百万haの耕地全体に対してリンを基礎にした施肥率で施肥すると仮定した。一般に米国では、一定量の家畜排せつ物を耕地に施肥するときには、リンを基礎にして農学的に適切な施肥率で施肥すると、窒素を基礎にして家畜排せつ物を施肥するとき必要とする耕地面積の約7倍の面積を必要とする。21百万haのなかには、施肥の必要量を異にする、従って施肥率を異にする複数のカテゴリーのAFOと非AFO農場が存在する。この際、規制改正後の選択肢で排せつ物の生産量は改正前と変わらない(すなわち排せつ物生産率は一定と仮定)と前提する。しかし、生産されるAFO家畜排せつ物の管理法は変化する。この他の規制改正の影響をうける可能性のある耕地面積の性格付けの総括は表-1に示した。カテゴリーIのAFOの排せつ物生産はその耕地面積の農学的肥料必要量を超えることはない。従って、カテゴリーIの農場は、一般に各種の農地施用の規制シナリオの影響を少しか受けない。カテゴリーIIのAFOsは、彼らが生産した家畜排せつ物の全量を利用できる耕地面積をもっていない。そこで基礎水準(改正前)のもとでは、彼らは耕地に過剰の家畜排せつ物を施用する(このことは環境保護庁の記録によると、農場調査、遵法報告、文献、州の検査報告で多く認められている)。多くの場合、このことは窒素施用基準の2~3倍を施肥する結果となっている。少数に限られた数のサンプル農場では(435モデルのうち34例)窒素施用基準の数倍の量多く施肥する結果となっている。これらの高い家畜排せつ物施用率は作物に対して、悪影響を及ぼすであろう。州立大学の施用率とより濃厚な家畜排せつ物(ブロードキャスターで家禽の排せつ物を散布する時の限界値のような)のために設計された土地施用基準により達成可能な低い施用量を基礎に、環境保護庁はカテゴリーIIの営農における家畜排せつ物の施用率として窒素では施肥基準の5倍を限界と仮定した。カテゴリーIIの少数のケースでは、そうしてもなお過剰の排せつ物があり、過剰の排せつ物は非AFO農場の耕地に移出されている。サンプル農場の8%がこのケースになるが、このサンプル農場で代表されるCAFOsの数は、全国負荷の4%以下を占めるにとどまる。最後にカテゴリーIIIのAFO施設は10エーカーあるいはそれ以下の土地を持ち、全ての家畜排せつ物は非AFO農場の耕地に移出される。以上の説明が、土地所有に関する3カテゴリーの「基礎水準」の条件を構成する。

農場外に移出された家畜排せつ物の全ては窒素を基礎に土地施用されると仮定する。この仮定は負荷量の低減率推定値を低くする結果となる。なぜならば、負荷低減はリン基礎の施用率の

もとでより高いからである。そして非AFOs農場は家畜排せつ物を受けとろうとし、窒素を基礎にしたより低い施用率で土地施用するであろう。この仮定は適切であると考えられる。なぜならばこの解析において、環境保護庁はもし農家が同じ圃場の施肥について1回目以上の作業を行なわなければならない(1回はリン基礎で家畜排せつ物を施肥し、もう1回は窒素に対する作物の要求量を満たすために化学肥料窒素を補給する)とすれば、極少ない非AFO農場しか、化学肥料代替物として家畜排せつ物を受け入れないであろうからである。この解析では、家畜排せつ物の他用途利用については考慮していない。なぜならば、加工し、処理し、あるいは付加価値をつけた家畜排せつ物は、依然として土地施用されているからである(その例は堆肥、ペレット化鶏糞、消化した家畜排せつ物、燃焼後の残り灰等)。(表1)

表1 農場条件に基づく規制改正の影響を受ける農場耕地の性格付け

(単位:エーカー)

農場条件	作物基礎の農学的限界	基礎水準面積	選択肢1面積	選択肢2-5面積	選択肢2A面積
カテゴリー I - 農学的施用率で家畜排せつ物を施用するAFOの耕地面積					
	窒素を基礎に施用	1,415,812	1,415,812	784,137	0
	リンを基礎に施用	0	0	1,976,708	4,893,744
カテゴリー II - 農学的施用率を超えて家畜排せつ物を施用するAFOの耕地面積					
	窒素を基礎に施用した農場内面積	1,755,734	1,755,734	910,503	0
	リンを基礎に施用した農場内面積	0	0	3,571,789	7,840,241
	窒素基礎に施用の農場外非AFO面積	350,284	3,171,869	4,543,510	6,137,784
カテゴリー III - 家畜排せつ物を施用する耕地を持たないAFO (AFOから家畜排せつ物を受けとって施用する非AFOの耕地面積)					
	窒素を基礎に施用	2,165,781	2,165,781	2,165,781	2,165,781
窒素基礎での全国排せつ物施用面積		5,687,611	8,509,196	8,403,931	8,303,565
リン基礎での全国排せつ物施用面積		0	0	5,548,497	12,733,985
非AFO農場が化学肥料を施用する面積 (規制改正の選択肢を比較するために用いる耕地全面積)					
	窒素を基礎に施用	15,387,767	12,566,182	7,122,950	37,837
シミュレーションされた全国面積		21,075,378	21,075,378	21,075,378	21,075,378

(注)各選択肢のシナリオについて次のように定義されている。

- 基礎水準: 規制改正前の施肥状態すなわち現状ということ。カテゴリー I、II、III農場における家畜排せつ物からの窒素の施用量は、農学的施用率の1~5倍である。この時の農場の汚染物質負荷量を比較の基礎として、規制改正後の各選択肢による負荷量を比較し、その低減効果を評価する。
- 選択肢1: カテゴリー I、II、III農場で窒素の農学的施用率を超過して家畜排せつ物を施用することを禁止することを基準とする。基礎水準で作物の要求量を越えて家畜排せつ物を受け入れていた面積が減る。その分、非AFO農場の耕地で化学肥料の代わりに家畜排せつ物の施用が増える。
- 選択肢2-5: カテゴリー I、II、III農場で家畜排せつ物の施用は、農学的窒素施用率で行なうか、あるいはリンの土壌分析の現状に基づく、リンを基礎にした施用率で行なう。このときの不足分は化学肥料で補う。
- 選択肢2a: カテゴリー I、II、III農場の全ての耕地に対してリンの農学的施用率で家畜排せつ物の施肥を行なう。このときの不足分は化学肥料で補う。
- 非AFO農場: 選択肢にかかわらず、ここの耕地への家畜排せつ物の施用は、窒素の農学的施用率を基準に行なう。家畜排泄物を施用しない耕地には化学肥料で必要量を施肥する。

### 3. 基礎水準(改正前)からの変化についてのコンピューターモデル・シミュレーションによる推定

以下に説明する規制改正後のシナリオは、作物の要求量に合せた施用率で家畜排せつ物を施用することによって基礎水準から施用量が減少することを示す。表-1に示したように環境保護庁の評価では、窒素基礎とリン基礎で耕地に施肥にすることを区別している。検討した選択肢のもとで、農学的施用率でAFOの家畜排せつ物を利用することは、結果的に非AFO農場の耕地で作物収量を維持するのに必要な化学肥料の減少させる。

この化学肥料の削減は、次に示すように全国的汚染物質負荷量の推定に影響する。窒素を基礎にして家畜排せつ物を農学的施用率で施用することは一般に結果的にリンの過剰施用となることに注意を要する。このことは時の経過に従って土壌リンの蓄積を起し、流亡水のリンが増加する。流亡水の高いリン含量は表流水の水質を劣化させることが知られている。加えて、家畜排せつ物をリンを基礎にして農学的施用率で施用すると結果的に窒素の不足を起す。規制の改正を評価する時に、環境保護庁は作物の全窒素要求量を満たすために化学肥料が施用されることを仮定している。同様に環境保護庁は家畜排せつ物を直接圃場表面に施肥することと土壌に混合することを対置して考慮している。これらの二つの施用方法は堆積物と栄養素の移動に対して明らかに異なる影響を及ぼすことが知られている。そこでこのシミュレーション法では両方の施用法の回数と負荷のその後の変化を考慮している。

表1に定義された農場カテゴリーに基づいて、表2はAFOと非AFOの圃場に対する栄養素施用について規制改正の選択肢を示している。表2はいかにこれらの選択肢が、農学的な施肥に対する要件を確立しているか、すなわち窒素を基礎に施肥するかあるいはリンを基礎に施肥するか、また異なる管理方式のもとでの作物圃场面積の区分がいかに異なるかを示している。特に、窒素を基礎にした施用率のもとでのカテゴリーI(農場で生産されるすべての排せつ物を同化するのに十分な耕地をもつ農場)の農場数が、リンを基礎にした施用率のもとでのカテゴリーIの数より少ないことである。全てのシナリオのもとでの全農家数は一定である。

技術選択肢1では、窒素の農学的施用率を超過して家畜排せつ物を施用することを禁ずることを基準としている。このシナリオは、作物の窒素要求量を越えて排せつ物を受け入れる耕地が基礎水準から減少する(約3百万エーカー)という差が起こる。反面非AFO農場の耕地において、化学肥料の代わりに家畜排せつ物の利用が増加するという差を示す。言い換えれば、カテゴリーI農場は家畜排せつ物を窒素を基礎にして施用し続けることになり、カテゴリーIII農場は自己農場外に排せつ物の移出すること続け、カテゴリーII農場は(自己農場及び契約耕種農場等を合わせて)より広い面積に排せつ物を散布することになる。

技術選択肢2から5までは、それぞれの農場の土壌の分析値の状況に応じて、窒素かリンどちらかの制限栄養素に基づく排せつ物施用率を実施することになる。環境保護庁は、各州の家畜飼養施設の窒素を基礎にした施肥率にするかリンを基礎にした施肥率にするかの割合を決定するために、土壌リン分析地図及び農務省データを用いた。この方法は、アイダホ州を除く50州中49州に関する自然資源局の非公式調査を基礎にしている。その理由は当該報告が、これらの州が自然資源局の栄養素管理基準590に適合するようにリン指数(PI)を使用する計画を報告しているからである。(表2)

技術選択肢2ではより少ないカテゴリーIとこれに対応するより多いカテゴリーII農場がある。カテゴリーI農場はリン基礎で施肥した場合に、作物の窒素要求量の全体に合致するように、家畜排せつ物に化学肥料の窒素を加えて施肥することになる。その上リンが選択肢2から5の制限因子となるので、カテゴリーII農場において600万ha(耕地面積全体は800万ha)が追加的に施用率の変化の影響を受ける。技術選択肢2Aでは、耕地を持つすべてのAFOsが窒素を作物の利用率に合わせて窒素を補給することにより、リンを基礎にして自己農場に家畜排せつ物を施肥することを仮定する。技術選択肢2Aは、もし全ての自己農場の排せつ物がリンを基礎にして施用されると仮定して、負荷の上限の変化を決定するための感度分析として行なったものである。技術選択肢2のもとでは全てのAFOsの12%から60%がリンを基礎にして排せつ物を施肥し、一方残りのAFOsは選択肢1と同じく窒素を基礎にして施肥を続けることになる。

表2 規制選択肢の概要

--	--

評価した規制選択肢	主な内容の記述	
	AFO の 耕地	非 AFO の 耕地
基礎水準(規制前)	カテゴリー I、II、III 農場の耕地へ窒素基準量の1~5倍で家畜排せつ物施用、あるいは化学肥料	家畜排せつ物を窒素の農 農学的施用率で施肥。 家畜排せつ物を施用しな い耕地へは化学肥料を全 面積が必要とする量を施 肥する。
選択肢1	カテゴリー I、II、III 農場の耕地へ農学的窒素施用率の窒素を施肥、あるいは化学肥料	
選択肢2~5	カテゴリー I、II、III 農場の耕地へ農学的窒素施用率あるいは現状の土壌リン水準によるリン基礎の施用率で家畜排せつ物を施用、あるいは化学肥料	
選択肢2a	カテゴリー I、II、III 農場の耕地へリンの農学的施用率で家畜排せつ物を施肥あるいは化学肥料	

#### 4. 生産地区由来の負荷推定の方法

環境保護庁は生産地区からの流亡水及びその他の排出物を計算する独立した方法を確立した。環境保護庁は現行の汚染物質排出制限ガイドラインに規制されるCAFOsの全てが遵法していると仮定する。従ってこれらの農場では、流亡水負荷の減少は起こらない。中規模の農場(1,000家畜単位に以下のAFOs)ではフィードロットあるいは家畜排せつ物貯蔵施設からの流亡水があるかも知れない。この目的の分析のために、環境保護庁は液体排せつ物貯蔵施設(池及びラグーン)は、自然資源保全局コード313廃棄物貯蔵施設あるいは同コード359廃棄物処理ラグーンを守って設計されていると仮定する。それぞれのAFOsの貯蔵容量(日数)は農務省家畜衛生モニタリングシステムのデータ、現地調査及び立ち入り検査/遵法報告に基づいている。次に環境保護庁はサンプル農場が所在する郡の気候の代表値を決めるために25年間の毎日の測候所の降水量と蒸発データを利用した。それぞれのサンプル農場の平均年間オーバーフローを推定するために、天候、排せつ物発生量及び畜舎・施設管理排水を25年間毎日追跡した。多くのサンプル農場で特に豚、家禽、酪農経営では、この方法を用いてはオーバーフローが経験されていない。同様に堆積された排せつ物あるいは被覆なしの畜ふん・敷料の堆積からの流亡水も計算した。

次に降水量に起因しない排水・放流が毎年起こる頻度を決定するために、環境保護庁は入手できる州の立ち入り検査記録と排水・放流記録及び大学研究を精査した。例えば、ノースカロライナ州の研究では、3郡の養豚農場の許可条件違反の発生確率を解明し、そして、工学的及び管理上の要因が違反の発生に関係していることを明らかにした。これらの排出・放流は一般に稀で、それがすべてのサンプル農場に分散している場合には、これらの排水・放流に帰せられる負荷の減少は少ない。しかしながら、多くの排水・放流が完全に州の立ち入り検査/遵法報告に完全に記録されていないので、環境保護庁はこの推定方法は控えめで全排水・放流の発生を過小評価していると確信している。

最後に環境保護庁は、直接的水理学的連携をもつ地下水が表流水の汚染に対する寄与を評価した。ノースカロライナ州 (Sheffield, 2002) とアイオワ州 (ISU, 1999) で行われた総合的研究では、漏出率は土壌タイプと底張り工作(もしあるとすれば)によって変化するが、全ての液状貯留物は漏出することを結論している。多くのラグーン漏出の研究では、地下水系による汚染物質の移動のシミュレーションによって地下水への負荷を推定している。これに関するサンプル農場モデルで、環境保護庁はシルト・ローム土壌に設置された底張りのある家畜排せつ物貯蔵構造から、年間1エーカー当たり2,000ポンド漏出したと仮定している。この参考値が、Clapp and Hornberger (1978) の研究に基礎付けられた他の土壌タイプ(すなわち土壌透過性)について、直接的また間接的家畜排せつ物貯蔵施設漏出負荷を推定するのに使用されている。しかしながらこれらの漏出値は土壌中で移動しないアンモニウムに対するものである。アンモニウムが移動するためには、アンモニウムを硝酸塩に酸化するための酸素が存在しなければならない。一度硝酸塩が形成さ

れると、それは地下水のなかに漏出する。ラグーンの下は一般に湿潤で嫌氣的であるためラグーン底積層の外層においてのみ酸化とそれに続く漏出が起こるのであろう。従って環境保護庁は、排せつ物貯蔵構造の底部に存在するアンモニア態窒素の10%が硝酸態窒素の形で地下水に達すると仮定している。Sobecki and Clipper (1999)は、AFOの所在地の土壌性状による家畜排せつ物貯蔵構造の地下水汚染の可能性を評価することにより、どのくらいの数の排せつ物貯蔵構造が直接的漏出をしているかを決定した。これらの構造で直接表面と連絡のあるものでは、汚染負荷は直接表流水と連絡すると考えられ、また地下水系での汚染物質の同化は起こらないと仮定される。

## 5. 特定場所の負荷を全国負荷に転換すること

それぞれのサンプル農場モデルは、1セットの家畜種、農場規模、排せつ物施用技術、同施用率及び農場所在地の組み合わせを代表している。また、これらのサンプル農場モデルは3種の耕地所有状況のカテゴリー及び数種の土壌タイプにわたっている。環境保護庁の年間全国の総計汚染物質負荷は、全国の全てのAFO施設についてのサンプル農場モデルの組み合わせからの1農場当たりの汚染物質負荷を割り当てることにより計算されている。このように、それぞれのサンプル農場モデルは全AFO集団の小部分の行動パターンを代表している。サンプル農場負荷はついでAFO地域へと外挿され、事実上全国的汚染物質負荷へと拡張された。

GLEAMSへのサンプルモデルのインプットを調整するために、環境保護庁はフォートラン言語を用いて、負荷推定ツール(LET)と呼ばれているプロセッサを開発した。このプログラムは、数種の大きなデータベースからデータを抽出し、GLEAMSに適したデータファイルを形成して、GLEAMSにインプットして最終的にGLEAMSのアウトプットを規制する。LETはまた露地のフィードロット、排せつ物堆積、流亡水及び漏出するラグーンからの汚染物質推定値を統合する。地域的汚染物質負荷を得るためには、これらの農場当たりの生産地区(家畜飼育施設及び家畜排せつ物処理施設設置地区)からの汚染物質負荷あるいはエーカー当たりの土地施用負荷に、特定の州、農場規模、家畜種及び排せつ物管理システムの頻度を乗じている。これらの地域的負荷は次に全国的負荷を得るために合計される。シミュレーションは、窒素・リン・堆積物・ふん大腸菌・ふん連鎖球菌・金属について行なわれている。そのうち次の諸表は窒素及びリンについて、農場境界負荷と対策選択肢による低減の評価の結果を示す。(表3～表6)

まず農場規模別にみると、対策シナリオでの大規模CAFOsでの農場境界汚染物質負荷の低減は明らかであるが、中規模CAFOsではその低減効果が極少ないか認められない。

大規模CAFOsの窒素負荷では、肉牛、酪農で顕著な低減効果が認められる。家禽がこれに次ぐが、養豚では最も低減効果が低い。全体として19%～29%の低減が期待される。基礎水準負荷では家禽が他部門より約2～3倍多い。

大規模CAFOsのリン負荷では、全体として窒素の場合より低減効果が低いが、家禽・酪農の低減効果が最も高く、次いで肉牛である。養豚の低減効果が最も低い。全体として11%～25%の低減が期待される。

中規模CAFOsの窒素負荷では、肉牛・酪農で極少ない低減が見られるが、養豚・家禽では殆ど低減効果が見られない。全体として1%～3%の低減しか期待されない。

中規模CAFOsのリン負荷では、酪農・養豚で極少ない低減が見られるが、肉牛・家禽では効果が見られない。全体として1%～4%の低減しか期待できない。

表3 大型CAFOsの農場境界における窒素負荷と対策選択肢による低減  
(単位:百万ポンド/年)

部 門	基礎水準	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢5
肉 牛	106 (100)	60 (57)	58 (55)	51 (48)	58 (55)
酪 農	45 (100)	31 (69)	30 (67)	27 (60)	30 (67)
養 豚	89 (100)	87 (98)	85 (96)	75 (84)	110 (124)
家 禽	189 (100)	159 (84)	152 (80)	150 (79)	147 (78)
合 計	428 (100)	338 (79)	323 (75)	304 (71)	345 (81)

表4 大型CAFOsの農場境界におけるリンの負荷と対策選択肢による低減  
(単位:百万ポンド/年)

部 門	基礎水準	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢5
肉 牛	105 (100)	89 (85)	82 (78)	82 (82)	82 (82)
酪 農	19 (100)	16 (84)	14 (74)	14 (74)	14 (74)
養 豚	26 (100)	26 (100)	22 (85)	22 (85)	18 (69)
家 禽	80 (100)	71 (89)	61 (76)	61 (76)	59 (74)
合 計	230 (100)	202 (89)	178 (77)	178 (77)	173 (75)

表5 中型CAFOsの農場境界における窒素の負荷と対策選択肢による低減  
(単位:百万ポンド/年)

部 門	基礎水準	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢5
肉 牛	24 (100)	23 (96)	23 (96)	23 (96)	23 (96)
酪 農	60 (100)	56 (93)	55 (92)	53 (88)	55 (92)
養 豚	101 (100)	101 (100)	100 (99)	98 (97)	102 (101)
家 禽	173 (100)	172 (99)	172 (99)	172 (99)	172 (99)
合 計	358 (100)	353 (99)	351 (98)	347 (97)	353 (99)

表6 中型CAFOsの農場境界におけるリンの負荷と対策選択肢による低減  
(単位:百万ポンド/年)

部 門	基礎水準	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢5
肉 牛	17 (100)	17 (100)	17 (100)	17 (100)	17 (100)
酪 農	24 (100)	23 (96)	22 (92)	22 (92)	22 (92)
養 豚	22 (100)	22 (100)	21 (95)	21 (95)	20 (91)
家 禽	79 (100)	78 (99)	78 (99)	78 (99)	78 (99)
合 計	141 (100)	140 (99)	137 (97)	137 (97)	136(96)

## 6. 結び:米国の規制改正の流れから我が国への当面の教訓を拾う。

家畜排せつ物の畜種別原単位の提示、それに基づく県別、全国的排出量の推定、耕地面積当たりの負荷量の推定が提示されて久しい。ここで提案したいのは、これら家畜排せつ物の量的推定の更なる精密化・正確化とそれが環境負荷を起す場と経路の定義の明確化である。

このことは、近い将来行政的にも、持続的生産を目指す生産者の家畜飼養技術、環境対策技術、経営戦略選択の立場からも求められるようになる。

まず量的精密化・正確化のためには、家畜家禽の正味排せつ物の産生基礎としての、年齢、生産状態等と農場内におけるこれらの状態の持続期間を総合して、それぞれの畜種の年間排せつ量を推定し、総排せつ量を推定することである。

次に環境負荷を考える場の問題である。これまで畜産農家の環境問題を考える時、排せつ物が集積する畜舎と処理施設周辺を点源的に注目されてきたように思える。一般に排せつ物を還元できる十分な耕地を持つ農場の場合には、場の定義としてまず農場全体、その中で家畜生産と排せつ物処理施設が集中している畜舎・施設地区と排せつ物が施肥される圃場地区を定義しなければならない。この二つ地区では、環境汚染問題の発生メカニズムが異なるからである。

畜産農家には、上述のように自己完結のできる農家(類型1)と、耕地は持っているが、自家生産の排せつ物全部還元するには不十分で排せつ物の余剰を生ずる農家(類型2)と全く耕地を持たない経営体(類型3)があり、これらの地域内での相対的排せつ物生産の分布を把握することが必要となる。これらの関係の中で、余剰の排せつ物を処理した堆肥が流通することになり、その流れにおける環境負荷の動きの推定も行わなければならない。

耕地に対する負荷量推定の基礎として、従来広域的には、作物・耕地の窒素必要量を基礎に計算が行なわれている。しかし、施肥法の合理性からは、栄養素を過剰にしない制限因子でまず家畜排せつ物施肥量をきめ、不足する栄養素を他の資材(化学肥料)で補給するのが通常である。本章でみてきたとおり、米国の土壌条件では窒素よりリンを基礎にした負荷量の計算が重要で、むしろ家畜排せつ物栄養素負荷管理のためには、リンを基礎にした方が合理的である。一方我が国においては、作物への施肥の視点からは、土壌の性質からリンは土壌成分と結合して、不動化されるので、リンの過剰は一般に問題にならないとされている。最近我が国で特に牛排せつ物の還元ではカリが制限因子となることが注意されている。窒素負荷を基礎にした計算では、家畜排せつ物を最も多く施肥できることになり、このときリンあるいはカリの過剰施肥が起こりうる。ただしリンの過剰施肥による表面流亡が起これば生態系の富栄養化の原因となることに注意しなければならない。今後、家畜排せつ物の耕地負荷量の提示では、カリを制限因子とした現実的推定がと表面流亡の対策が望まれる。

最後に、上記3類型の農場それぞれの環境負荷量推定である。現在、独立行政法人畜産草地研究所を中心にして、畜舎・施設地区を中止にした環境負荷量の原単位の設定のプロジェクト研究が行われている。これらからやがて畜舎・施設地区での環境負荷推定のシミュレーションが可能になろう。可及的速やかに研究の完結することを期待したい。

次に農場境界における負荷推定を可能にするシミュレーション法の開発である。(典型的には、類型1、類型2農場に適用される。)また、同様に家畜排せつ物が移出された先の耕種農場での農場境界負荷も計算しなければならない。以上を総計して畜産の環境負荷が推定されることになる。農場境界負荷の推定には、作物、土壌、地形、施肥方式、その地区の気候等の情報が整備されなければならない。わが国の研究体制の現状では、どうやってこれらの対応組織が可能になるか、多くの努力が必要と思われるが、まず畜産側から提案し農業環境研究勢力が結集されることを切望する。