

国レベルの食飼料システムにおける窒素フローからみた 家畜ふん尿の農地利用

—農地にとって畜産は重要なパートナー(国際土壤年 2015)—

国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター

松本 成夫

1. 食生活における畜産物供給

私たちの毎日の食事において、肉や卵、牛乳などの畜産物を食さない日は殆どないだろう。2014年の食料需給表¹⁾(概算値)によると、国内消費に仕向けられる畜産物生産量は、肉類が593万トン、鶏卵が263万トン、牛乳及び乳製品が1,169

万トンである。そして、国民一人に対し、毎日、83gの肉類、46gの鶏卵、245gの牛乳及び乳製品が供給されている。

このような豊かな畜産物の供給を受けることができるのは畜産業の振興があったためである。家畜飼養頭数の推移²⁾を見ると(図1)、1970~1980年になって現

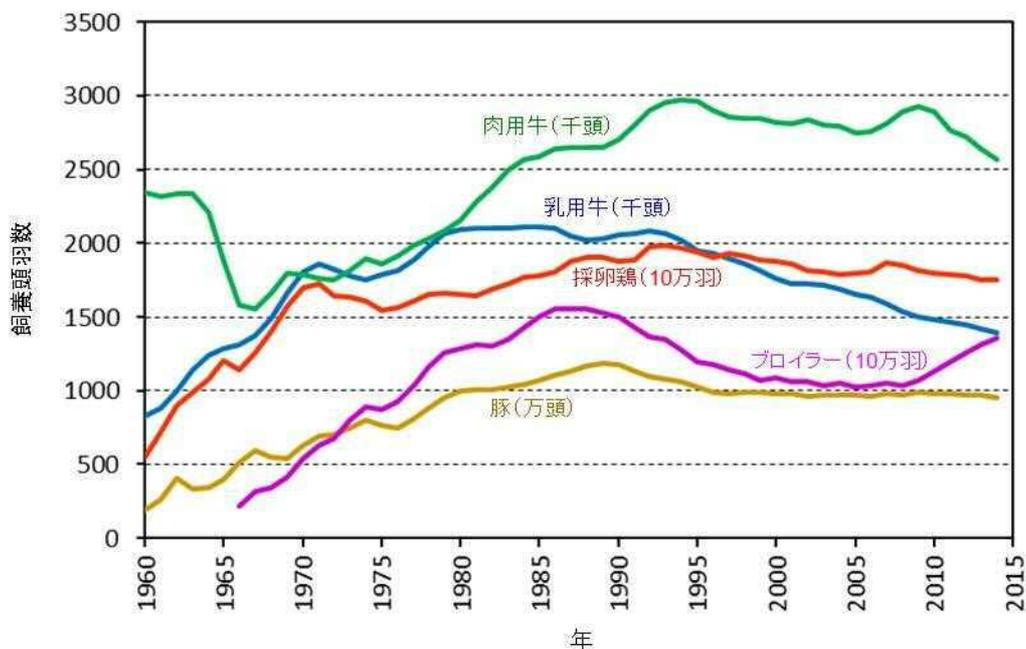


図1 わが国の家畜飼養頭数の推移(畜産統計)

飼養頭羽数の単位は、乳用牛、肉用牛が千頭、豚が万頭、採卵鶏、ブロイラーが10万羽

在の飼養頭数に至ったことがわかる。また、肉類の輸入量が1970年代に、牛乳及び乳製品の輸入量が1990年代に増加して、現在の畜産物供給量となる³⁾。2013年の国民に供給される畜産物のうち国産の割合は肉類が55%、鶏卵が95%、牛乳及び乳製品が63%であり³⁾、わが国の食生活における国内の畜産業の寄与は大きい。

2. 畜産業を支える家畜飼料供給

これだけの畜産物生産量を維持するには、多量の家畜飼料供給が必要である。平成24年度食料・農業・農村白書⁴⁾によると、1970年の国産粗飼料と純国産濃厚飼料の合計は696万TDNトン、輸入濃厚飼料は1,144万TDNトンあり、1980年には国産粗飼料と純国産濃厚飼料の合計が709万TDNトン、輸入濃厚飼料が1,802万TDNトンに増え、それ以降、変化していない。すなわち、畜産の振興は輸入飼料の支えがあって成り立っているのである。

3. 畜産業から発生する家畜ふん尿

(1) 耕地1ha当たりの家畜ふん尿排泄物窒素量

多量の家畜飼料が供給されるということは、多量の家畜排泄物が発生することをもたらす。農林水産省は、平成25年畜産統計などから、家畜排泄物が年間約9千万トン発生すると推計した⁵⁾。この殆どが堆肥化・液肥化されている。

一方、これを受け入れるわが国の耕地面積(田・普通畑・牧草地・樹園地の合計)は平成26年で452万haである⁶⁾。単純に割ると、耕地1ha当り20トンの家

畜排泄物量となる。

(2) 輸入飼料との関係

粗飼料と濃厚飼料の合計約2,500万TDNトンのうち、輸入飼料は約1,800万TDNトンであるため、約70%が輸入飼料となる。家畜排泄物約9千万トンの70%、約6,500万トンが輸入飼料由来であると見て良いだろう。すなわち、耕地1ha当り14トンの家畜排泄物が輸入飼料由来なのである。このため、家畜排泄物をわが国の農地で受け入れることができるかどうかの議論が起るものと考えられる。

4. 飼料供給から畜産物生産・家畜ふん尿等の排出までの窒素フロー

(1) 食飼料供給の窒素フロー

これまで、家畜飼料や排泄物を物量で見えて来たが、そこには水分、炭水化物のエネルギー消費などの要素が加わるため、物量の流れを正確に把握するのは難しいところがある。これに対し、窒素などの養分量に換算すると、その行方を正確に把握することができる。窒素は、生きていく上で重要な養分であり、環境汚染をもたらすことから、窒素量での把握は栄養供給と環境負荷を評価することができる。

織田(2006)⁷⁾は、1997年のわが国の食飼料供給に伴う窒素フローを明らかにした(図2)。このうち畜産業に注目して、窒素フローをみってみる。わが国の畜産業に供給される飼料は、加工業から308千トン窒素、穀類保管から297千トン窒素、輸入乾草・大豆かす等で158千トン窒素、国産牧草で154千トン窒素供給されている。加工業へは国内生産物から117千ト

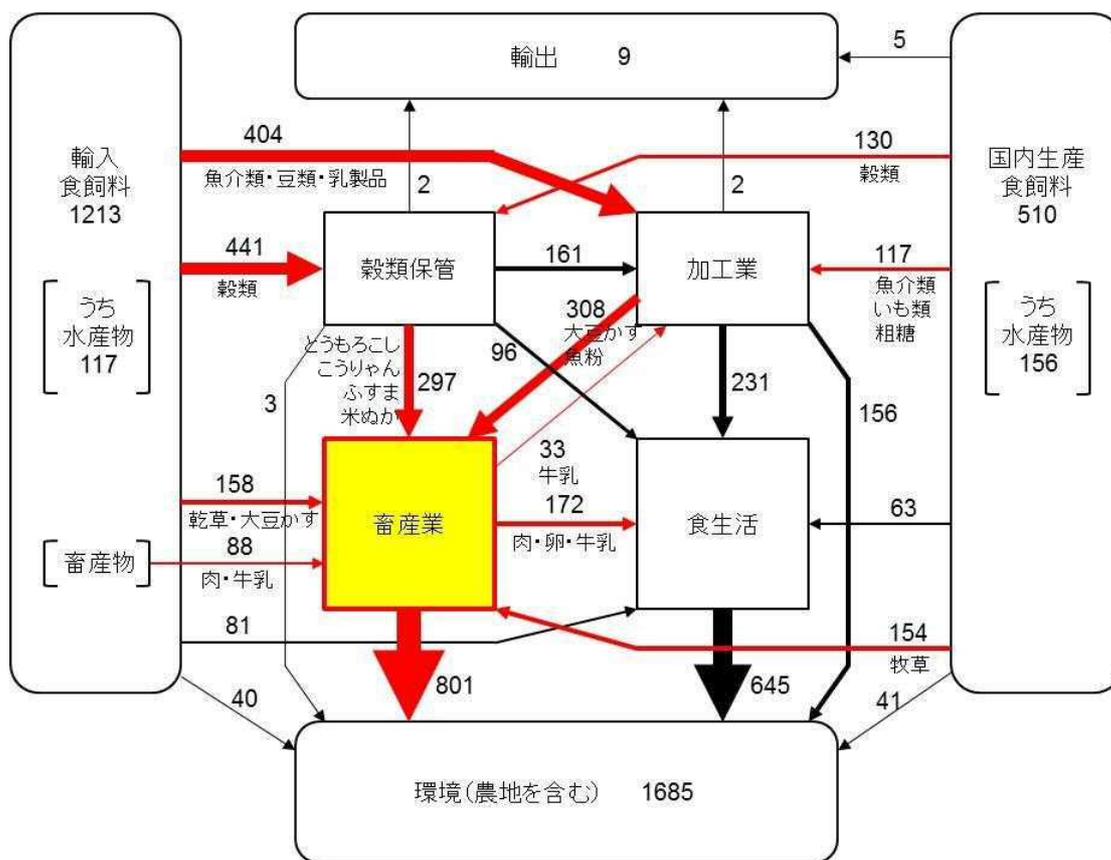


図2 1997年の日本の食飼料供給に伴う窒素フロー(千トン窒素)
織田(2007)⁷⁾の結果を基に作図

ン窒素、輸入から404千トン窒素が供給され、穀類保管へは国内生産物から130千トン窒素、輸入から441千トン窒素が供給されている。加工業では78%が、穀類保管では77%が輸入由来である。なお、この割合で加工業及び穀類保管から畜産業へ供給される窒素量における輸入割合を算出するのは正確ではなく、輸入割合については、今後の研究を待ってから評価する方がよい。

(2) 畜産業の窒素フロー

畜産業から供給される畜産物は205(172+33)千トン窒素であり、これには輸入畜産物88千トン窒素が含まれている。国内の畜産業で生産される畜産物は117

千トン窒素(172+33-88)であることから、わが国に供給される畜産物のうち、輸入畜産物が43%を占めている。スーパーマーケットなどで〇〇国産とあるのをよく見かけ、外食産業で食材に使われていることから、この割合が実感できよう。

917千トン窒素の家畜飼料供給により、畜産物が117千トン窒素(172+33-88)生産され、家畜ふん尿等が801千トン窒素排出されている。この801千トンもの窒素をわが国は受け入れることができるだろうか。国内で生産される食飼料の窒素量は510千トンであり、これと単純に比較すると、畜産業から排出される窒素は、わが国に負荷を与えていると見なせ

る。このため、これを是正することが必要である。

(3) 輸入飼料への依存

これまで見てきたように、輸入飼料がわが国に負荷を与えていることは間違いないと思われる。負荷を低減するためには、輸入飼料を減らすことが必要であると考えられる。しかし、それには、家畜飼料、特に濃厚飼料を国内で生産する体制を整備することが必要である。また、わが国の畜産経営の状況を踏まえることを忘れてはならない。畜産経営が何故輸入飼料に依存したのかを解析し(研究報告例^{8,9,10)})、解決策を立てる必要がある。経営が成り立たなければ、輸入飼料を減らすことはできないと考える。

輸入飼料を減らし、国産飼料を増やすことは必要であるが、畜産関連業だけで実現するのは困難に思える。食料も含めた農地での生産量を増やせば、対策の幅が広がり、実現できるように思える。これについては、6で述べたい。

5. 家畜ふん尿等の農地還元・環境負荷への窒素フロー

(1) 環境負荷への窒素フロー

畜産業から排出される801千トンの窒素量を問題にしたが、家畜ふん尿は堆肥化され、農地に投入され、環境負荷の割合は低いと言われている。そこで、畜産業から排出される窒素量の農地還元・環境負荷の窒素フローを求めてみた。

農林水産バイオリサイクル研究システム化サブチーム(2006)¹¹⁾は、わが国の畜産業から排出される家畜ふん尿等がどのように処理され、利用されているのかを

見積もっている。その結果を参考に、1997年の畜産業及び食生活から排出される窒素の行方を試算した(図3)。

畜産業から排出される家畜ふん尿等は、420千トン窒素が農地に投入され、323千トン窒素が大気環境に揮散し、58千トン窒素が水系環境に流出しているの見積もられた。

農地には、家畜ふん尿420千トン窒素投入の他に、化学肥料が494千トン窒素施用されており、農作物の収穫物として354千トン窒素が農地から持ち出される。このため、農地においては569千トン窒素が過剰となる。

これを耕地面積452万haで割ると、耕地1ha当り窒素量として家畜ふん尿が93kg投入され、化学肥料が109kg施用され、78kgが収穫物として持ち出され、126kgが農地に過剰となる。なお、家畜ふん尿の農地投入窒素量は他の研究結果(Mishima *et al.*, 2010¹²⁾など)と異なるが、家畜ふん尿の堆肥過程での窒素損失の違いに起因するものである。

(2) 農地にとって重要なリサイクル

家畜ふん尿過剰の問題を解決するため、畜産物は輸入した方がよいとの提案を聞くことがある。しかし、家畜ふん尿は堆肥化され、農地に施用されている。家畜ふん尿が少なくなると、化学肥料に依存するようになり(作物残渣の投入はあるが)、農地の肥沃度維持は困難になる。農地にとって畜産業は重要なパートナーなのである。

大気環境へ323千トン窒素が出ているが、これらは畜舎、ふん尿処理時、散布時におけるアンモニア揮散¹³⁾や家畜ふん

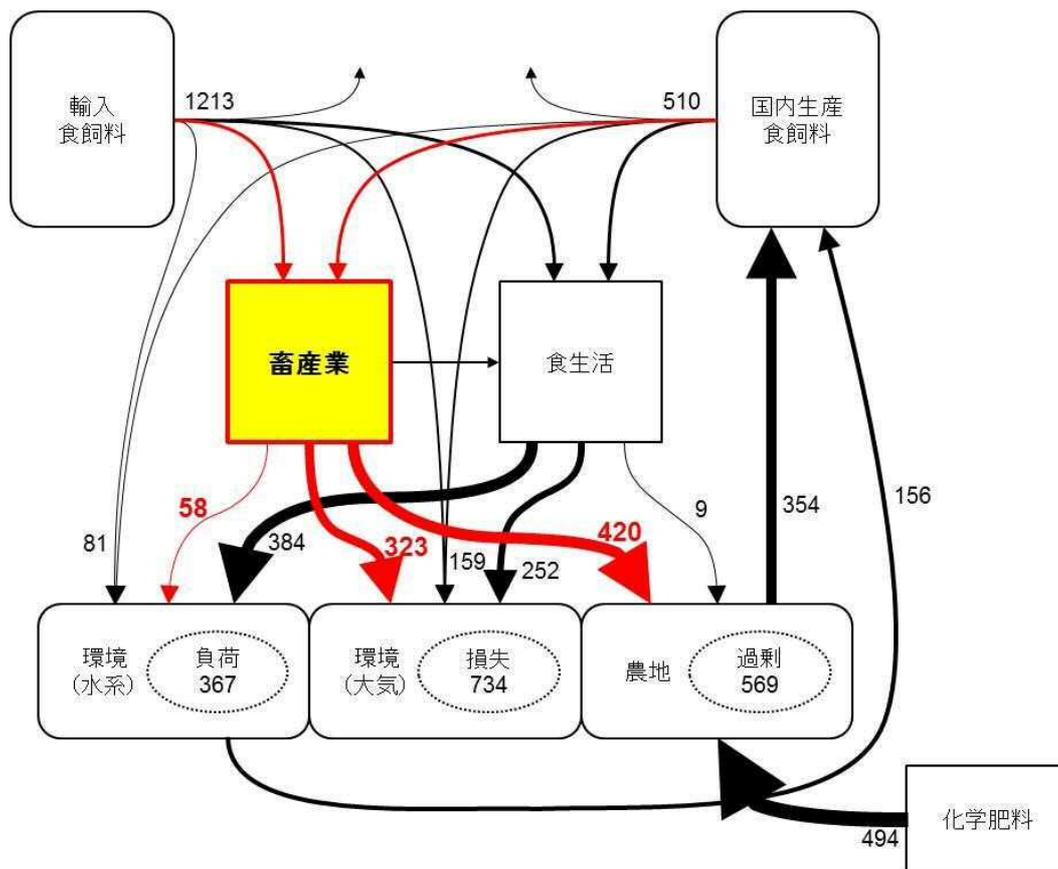


図3 農地、環境(大気、水系)への窒素流入量と収支 (千トン窒素、1997年)
松本(2015)¹⁶⁾の図を改訂

尿曝気処理時の脱窒¹⁴⁾となって窒素が損失する窒素である。なお、揮散したアンモニアは半分が地域内に沈着するとの報告¹⁵⁾があり、わが国への環境負荷が全くないわけではない。

水系への流出は58千トン窒素と少ない。「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律(平成11年11月1日施行)」により、河川や地下水への家畜排せつ物の流出量が抑制されているためである⁵⁾。

6. 家畜ふん尿を農地で受け入れるためには

(1) 家畜ふん尿と化学肥料の窒素

農地における窒素収支は569千トン過剰となっている。これを低減するための対策として、化学肥料施用量を減らし堆肥で代替すること、国内の農地で生産される食飼料を増加することなどが考えられる。

作物生産を維持するには、化学肥料を堆肥で完全に代替することは難しいと思われるが、実際には、単位面積当りの化学肥料の施用量は低減している¹²⁾。今後、技術開発が進み、消費者の嗜好が変われば、化学肥料施用量の低減はある程度期待できると思われる。

(2) 農地の拡大と利用率の向上

国内の農地で生産される食飼料を増やすことができれば、農地での過剰窒素を低減できる。国内の農地で生産される食飼料の窒素量を増やすには、農地の拡大と利用率の向上、窒素吸収量の向上が考えられる。農地の拡大と利用率の向上について、過去の状況を踏まえて試算してみる。1960年の作付延べ面積は約830万haであり、農地利用率は140%であった。それに比べて、1997年の作付延べ面積は約470万ha、農地利用率は95%と伴に低くなっている。1997年の作物による窒素吸収量のまま、作付延べ面積を1960年にまで拡大すると、農地で生産される食飼料の窒素量は約1.8倍に増加し、625千トンもの窒素が作物に吸収されると見積もられる。家畜ふん尿の農地への投入窒素量420千トンを受け入れることができるのである。

(3) 化学肥料施用量低減

ここで、化学肥料が問題になる。作付面積が約1.8倍に増加したので、化学肥料も約1.8倍の874千トン窒素に増やすと、過剰窒素はむしろ増加する(569千トン→678千トン)。農地での過剰窒素量を0にするには、化学肥料施用量を196千トン(625-420-9)に低下させる必要がある。すなわち、1997年に化学肥料で施用されている109kg/haの窒素量を24kg/haまでに低減することを意味する。これはかなりチャレンジングな提案である。

(4) 家畜ふん尿堆肥の課題

家畜ふん尿堆肥の施用を試算する際、リン不足とカリ過剰のことが問題になる。また、農地での窒素動態も考慮する必要

がある。本報では、窒素の投入、持出のみの試算で評価を行っており、更なる検討が必要であることは異存ない。しかし、こうした試算で得られる結果からでも、どこにどのように問題があるのかを知ることができ、対策としてどこまでできるのかを推測することができる。ここで提示した数値に向き合っていれば、と思う。

7. 他の国での国レベルの畜産業にかかる窒素フロー

わが国においては、輸入飼料に依存して畜産を行い、国民に畜産物を供給すると伴に、多量の家畜ふん尿を農地に投入していることがわかった。では、他の国でも同じような状況なのだろうか。

(1) オランダ

1995年のオランダ¹⁷⁾では、家畜飼料を496千トン窒素輸入し、国内生産飼料391千トン窒素と伴に家畜を養い、147千トン窒素の畜産物を生産し輸出している。家畜ふん尿は668千トン窒素発生し、堆肥化されて512千トン窒素が農地に投入される。農地には化学肥料窒素が398千トン施用され、563千トン窒素が農地から流出している。

(2) スウェーデン

1995年のスウェーデン¹⁸⁾では、家畜飼料を25千トン窒素輸入し、国内生産飼料127千トン窒素と伴に家畜を養い、44千トン窒素の畜産物を生産し、国内で消費されている。家畜ふん尿は54千トン窒素が環境に流出し、61千トン窒素が堆肥化されて農地に投入される。農地には化学肥料窒素が201千トン施用され、162千ト

ン窒素が過剰となっている。

(3) 中国桃源県

2006年の中国湖南省桃源県¹⁹⁾では、放牧・採草地から11.9千トン窒素の飼料と農地から8.1千トン窒素の飼料が供給されている。畜産物生産物は2.2千トン窒素が地域内で消費され、2.7千トン窒素が県外に出されている。家畜ふん尿は4.6千トン窒素が放牧・採草地に投入され、

10.8千トン窒素が堆肥化されて農地に投入されている。農地には化学肥料窒素が34.5千トン施用され、10.0千トン窒素が河川に流出している。

(4) 各国の比較検討

これらの窒素フローを比較しやすいように、畜産物生産窒素量を10として表1に示した。

表1 畜産生産に伴う窒素フローの比較

国	輸入飼料	国産飼料	畜産物生産	畜産物輸出	家畜ふん尿	堆肥投入	化学肥料	負荷・過剰
オランダ	34	27	10	8*	45	35	27	38
スウェーデン	6	29	10	0	26	14	46	37
中国桃源県	0	41	10	6	31	30	70	20
日本	62*	16*	10	0	68	36	42	49

畜産物生産窒素量を10として相対値で表示

* 推定値

オランダは畜産物輸出国であり、そのために飼料を輸入している。家畜ふん尿が大量に出て、堆肥化されて農地に投入されているが、化学肥料投入量を抑えて、環境負荷の低減を図っている。

スウェーデンは国産飼料で家畜を飼養し、国内に供給している。堆肥投入量が低い分、化学肥料を増やしている。そのため、農地での過剰窒素量が出る。

中国桃源県は県内飼料で家畜を飼養し、畜産物のおよそ半分を県外に出している。家畜ふん尿を全て農地に投入し、多量の化学肥料も施用しているが、作物に吸収されているため、環境負荷は低く抑えられている。

これらに比べると、日本は輸入飼料がかなり多い。家畜ふん尿発生量が多いため、堆肥投入量が多くなり、化学肥料も加わり、農地での過剰窒素はかなり多くなっている。こうして見ると、わが国の輸入飼料依存の畜産業がもたらす環境・農地への負荷の状況がよくわかる。

上に示した2ヶ国、1地域では、家畜ふん尿を堆肥として投入して、循環利用するようにしており、そのため、環境負荷や農地での過剰が抑えられていると言える。

8. 資源の循環利用を基本に

窒素の循環利用の視点で見ると、輸入

食飼料と化学肥料は系外から持ち込まれる窒素である。持ち込まれた窒素は、循環系のどこか(農地)に蓄積するか、系外に流出(環境負荷)するかのいずれかである。系内で発生した排出物を利用することが、資源の有効利用と環境負荷の低減に繋がる。

グローバル化は私たちに豊かな生活を提供してくれる。適地適作、適材適所でお互いを支え合う合理的なシステムであると言われる。これに対して、国や地域レベルの資源循環を基本とする考え方は、豊かな生活を否定し、Win-Win の関係を崩すため、あり得ないと言われる。しかし、物を移動させることは、エネルギーがかかり、損失が生まれる(こぼれ落ちることと品質悪化の両方がある)。国内や地域内で生産する方がエネルギーや資材の投入が大きくなる場合があることは理解している。それでも、資源利用において、まずは、域内循環利用を考えることが必要なのではないかと思う。

輸入するということは、生産したところから養分(資源)を奪ってくることを意味する。Miwa(1990)²⁰⁾は77ヶ国の食料輸出入を窒素量で見積もり、アメリカ合衆国、アルゼンチン、カナダ、オーストラリア、フランスから大量の窒素が輸出されていることを示した。これら食飼料生産国は化学肥料や地域資源を投入して生産を行っているが、これらの投入がままならなくなると、土壌養分や地域資源の枯渇が問題になると予想される。資源の循環利用の観点からは、グローバル化した現代において、重要性を増したのだと考える。

引用文献

- 1) 農林水産省大臣官房食料安全保障課(2015)食料需給表 平成26年度.
- 2) 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課(2015)畜産統計 長期累計統計一覽.
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/>.
- 3) 農林水産省大臣官房食料安全保障課(2014)食料需給表 平成25年度品目別累年表.
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/zyukyu/>.
- 4) 農林水産省(2013)平成24年度食料・農業・農村白書 第1部 食料・農業・農村の動向 第3章 農業の持続的な発展に向けた取り組み 第5節 主要農畜産物の生産等の動向(19) 飼料作物等.
- 5) 農林水産省(2015)畜産環境対策. 家畜排泄物の発生と管理の状況.
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/02_kanri/.
- 6) 農林水産省大臣官房統計部(2014)農林水産統計 平成26年耕地面積.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/pdf/menseki_kouti_14-1.pdf
- 7) 織田健次郎(2006)わが国の食飼料システムにおける1980年代以降の窒素動態の変遷. 日本土壌肥科学雑誌, 77, 517-524.
- 8) 長命洋佑・広岡博之(2009)肉用繁殖雌牛経営における国産自給飼料の利活用の変遷と今後の展望(1). 畜産の研究, 63(8), 785-791.

- 9) 種村高一・丹波美次・阿部 亮(2008) 都府県酪農の経営と技術を考える 1. 飼料価格上昇が酪農経営に及ぼす影響の定量的な評価と考察. 畜産の研究, 62(5), 539-542.
- 10) 藤田直聡・久保田哲史・若林勝史(2009) 酪農経営の動向と飼料作物生産における技術開発ニーズ. 北海道農業研究センター農業経営研究, 102, 19-40.
- 11) 農林水産バイオリサイクル研究システムかサブチーム(2006) バイオマス利活用システムの設計と評価. 農業工学研究所.
- 12) Mishima, S., Endo, A. and Kohyama, K. (2010) Nitrogen and phosphate balance on crop production in Japan on national and prefectural scales. (日本の作物生産における窒素とリンのバランスを国及び県のスケールで見る) *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 87, 159-173.
- 13) 寶示戸雅之・池口厚男・神山和則・島田和宏・荻野暁史・三島慎一郎・賀来康一(2003) わが国農耕地における窒素負荷の都道府県別評価と改善シナリオ. 日本土壤肥料学雑誌, 74, 467-474.
- 14) 遠藤 悟・芹澤駿治(2004) 簡易曝気によるスラリーや家畜尿の処理技術の確立. 静岡県畜産試験場試験研究報告 30, 39-45.
- 15) 寶示戸雅之(2011) 農業由来のアンモニア負荷—その環境影響と対策. 博友社, 113-136.
- 16) 松本成夫(2015) 私たちの食が日本の土壌と環境を壊している. 日本土壤肥料学会編. 世界の土・日本の土壌は今—地球環境・異常気象・食料問題を土から見ると—農山漁村文化協会, 99-110.
- 17) Olsthoorn, C.S.M. and Fong, N.P.K. (1998) The anthropogenic nitrogen cycle in the Netherlands. (オランダにおける人為的窒素循環) *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, 269-276.
- 18) Granstedt, A. (2000) Increasing the efficiency of plant nutrient recycling within the agricultural system as a way of reducing the load to the environment - experience from Sweden and Finland. (農業システム内における作物の養分循環効率の向上、環境負荷を低減するひとつの方法として—スウェーデンとフィンランドの経験から) *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80, 169-185.
- 19) Liu, C., Wang, Q., Mizuochi, M., Yang Y. and Ishimura, S. (2007) Human behavioral impact on nitrogen flow - A case study of the rural areas of the middle and lower reaches. (窒素フローにインパクトを与える人間活動—地域のケーススタディーから) *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125, 84-92.
- 20) Miwa, E. (1990) Global nutrient flow and degradation of soils and environment. (地球的養分フローと土壌及び環境の破壊—第14回国際土壌科学会議論文集) *Transaction of 14th International Congress of Soil Science*. 271-276.



2015

国際土壌年

<http://jssspn.jp/soils2015/>

一般社団法人日本土壌肥料学会のホームページより

土壌は農業開発、食糧安全保障、および陸上生態系サービスの基盤であることから、地球上の生命と環境を支える要です。土壌の持続的な利用・保全のためには、適切な科学的情報の蓄積が不可欠であると同時に、一般の人々（市民、農家、政策決定者等）に、限りある土壌資源についての理解を深めてもらうことが緊急の課題です。

全世界で土壌資源についての認知度を高めるため、2013年12月に行われた国際連合総会において、12月5日を世界土壌デーと定め、2015年を国際土壌年とする決議文が採択されました。

2015年は日本をはじめ、世界各国で様々なイベントが開催される予定です。