

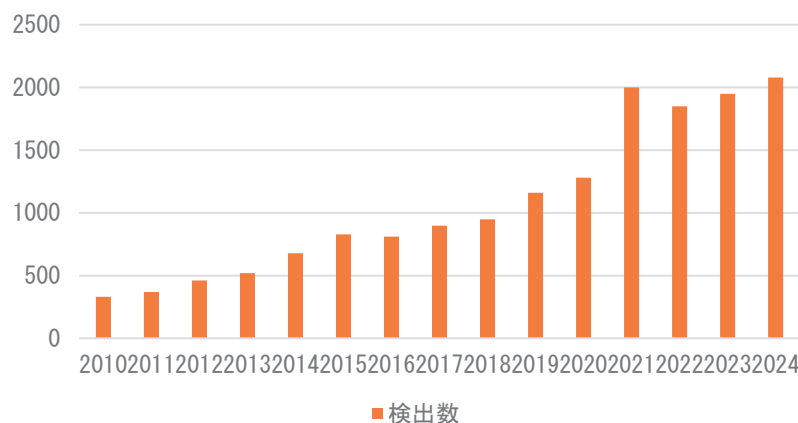
## 第6章 デンマーク・オランダにおける 家畜ふん尿の管理と農地還元

浅井 真康

### 1. はじめに

伝統的な農業経営では、家畜飼養と作物生産を同じ農場内で行う複合的な農業システムを基盤として、家畜ふん尿を肥料として作物生産に利用し、生産された飼料を家畜に与えることで農場内の栄養素をうまく循環させてきた (Martin et al., 2016)。しかしながら、第二次世界大戦後、食料需要の増加またそれに伴う技術体系や市場の変化により、農業経営の専門化・集約化が進み、多くの場面で作物と畜産の生産を結ぶ栄養サイクルが分断されてしまった (Russelle et al., 2007)。その結果、耕種システムでは長期にわたる化学肥料への高い依存、畜産システムでは大量に発生する家畜排せつ物の廃棄、そして農場周辺の水環境や大気汚染、また居住者の生活にも影響を与えることになった (Spiegel et al., 2020)。生産の特化は各地域の土壌環境等と密接に関係することから、特に畜産業が集積する地域にて地下水や表流水の汚染は顕著な問題となっている。

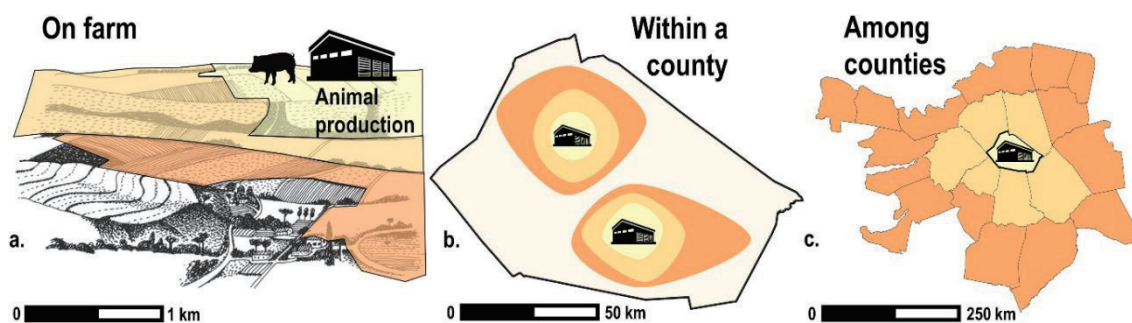
このような農業活動に起因する環境問題、さらに近年の化学肥料や飼料価格の高騰化等を受けて、今一度畜産システムと耕種システムを栄養サイクルの観点で結びつけようという動きが世界的に高まっている。例えば、耕畜連携を意味する「Crop-livestock integration」をキーワードに Google scholar で検索してみると、文献数は増加傾向にあり (第1図)、本テーマの関心の高さが伺える。



第1図 耕畜連携を扱った英語文献の増加

注：Google scholar を用いて各年に発表された文献の検出数を調査した。検索キーワードには、("crop livestock integration") OR ("integrated crop livestock")を用いた。

このような潮流の中で、近年、米国農務省は「Manuresheds」というコンセプトを立ち上げ、畜産集積地域を中心に当コンセプトの普及を図っている。Kleinman et al. (2022)は Manuresheds を「肥料資源としての家畜排せつ物と生産性を維持するために肥料投入が必要な作物生産や放牧活動とを結び付ける地理的な空間」と定義している。また Spiegel et al. (2020)によれば、Manuresheds の考え方は単に個別の複合経営（第2図 a.）に限らず、地域内（米国では郡内と表現）における畜産農家と耕種農家のやりとり（第2図 b.），さらにはより広域的な家畜排せつ物の流通（第2図 c.）等、さまざまな空間的な規模での取組を指す。このような Manuresheds のコンセプトを用いることで、作物生産に必要な栄養素が不足している畑・地区・地域へ、過剰に排出されている家畜排せつ物由来の栄養素を戦略的に届け、利用していくことで、畜産システムと耕種システムの再融合を図り、環境・社会的な課題の解決を目指している。



第2図 Manuresheds の概念図

出所：Spiegel et al. (2020).

一方で Manuresheds を創出し、持続的に管理していくには、家畜排せつ物を管理する畜産農家と受取人である耕種農家との信頼関係の構築やそれを助ける普及員の役割、また肥料として家畜排せつ物が広く利用される上で重要となる処理加工技術の開発と利用、家畜排せつ物をタイムリーかつ安全に輸送するためのインフラ整備、さらにこれらを誘導する制度環境も必要となる（Spiegel et al., 2020）。

本稿では、畜産国として大量に排出される家畜排せつ物を積極的に国内外の農地へと還元させてきたデンマークおよびオランダでの取組に注目し、ひいては両国がどのように Manuresheds 管理を行ってきたかを整理することを目的とする。これらを通じて、Manuresheds の創出ならびに持続的な管理に向けた必要条件を明らかにし、今後日本における取組への示唆とする。

## 2. 調査方法と整理の仕方

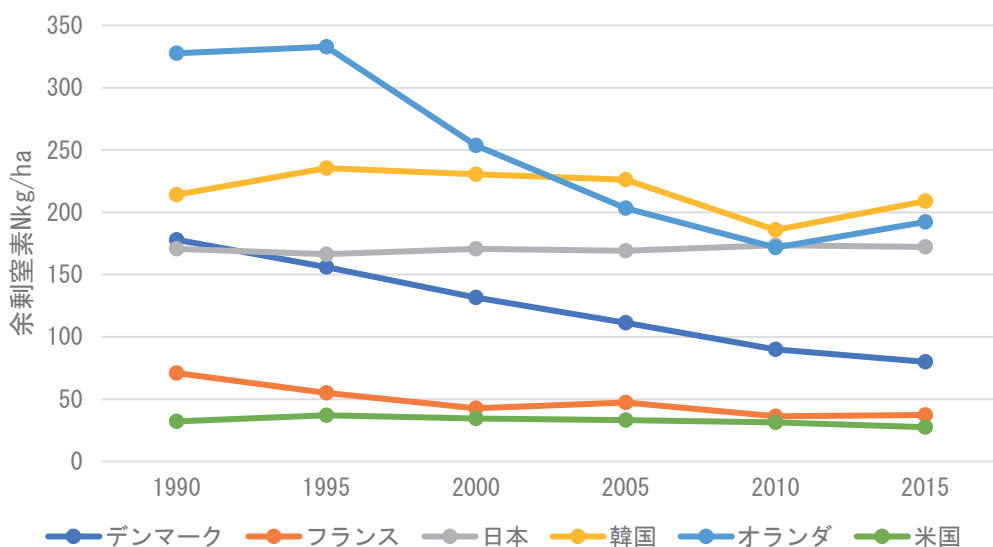
### (1) 調査国の選定：デンマークとオランダ

本稿では、以下3つの理由によりデンマークとオランダの家畜排せつ物の管理および農地還元に関する取組に注目し、先行研究の文献レビュー、関係者への聞き取り調査、そして取りまとめを行った。

まず、両国における **Manuresheds** の実施数の多さである。厳格な環境規制の下、両国では畜産農家から耕種農家へと家畜排せつ物の搬出が頻繁に行われている。例えば、後述するようにデンマークでは全農家の半数が家畜排せつ物を介したやり取りに参加している (Asai et al., 2014a)。

次に、両国ではさまざまな規模の **Manuresheds** が観察される点である。国土面積の6割が農地であるデンマークでは、比較的農地へのアクセスが容易であるため、家畜排せつ物を介した農家同士のやりとりも近距離で実施される場合が多い。他方で、オランダでは東部・南部を中心に畜産業が集積しているため農地アクセスへの競合性が高く、自ずと広域的に家畜排せつ物を流通させる必要があり、国外への輸出も行っている。両国を観察することで、第2図で示したような異なる規模の取組が把握できる点が強みである。

最後に、**Manuresheds** の成功実績である。**Manuresheds** の目的とは、戦略的に家畜排せつ物を農地へと還元することで、農場内および地域内の農業生産システム全体の栄養サイクルの効率を上げ、結果的に化学肥料への依存を下げることである。第3図はOECD加盟国における農業生産で発生した余剰窒素分を当国の全農地面積で割ったもの<sup>(1)</sup>であるが、デンマーク、オランダについては1990年以降、余剰窒素量の削減に成功している。このような成功実績がどのような背景・政策誘導によってもたらされてきたのかを理解することは、OECD加盟国の中でも余剰窒素バランスの値が高く、かつ減少傾向の見られない日本においても参考になると考える。



第3図 OECD加盟国の農業セクターにおける余剰窒素バランスの変遷

出所：OECD (online) *Nutrient balance*.

## (2) 文献および聞き取り調査

文献レビューは、2021年5～7月、2024年11月～2025年2月の2期間において実施した。主にデンマーク、オランダの取組を中心に Google scholar を用いて検索を行ったが、それ以外の欧州諸国や米国、カナダ等の文献も調査対象とした。

2021年6月には、デンマーク SEGES（デンマーク農業食料協議会が運営する研究機関）の Leif Knudsen 氏、オランダ家畜ふん尿センター（Nederlands Centrum Mestverwaarding : NCM）でセンター長を務める Jan Roefs 氏、フランス国立農業・食料環境研究所（INRAE）の Laurence Loyon 博士にそれぞれオンライン聞き取り調査を実施した。いずれも自国および欧州地域における家畜排せつ物管理や関連政策に精通した専門家である。

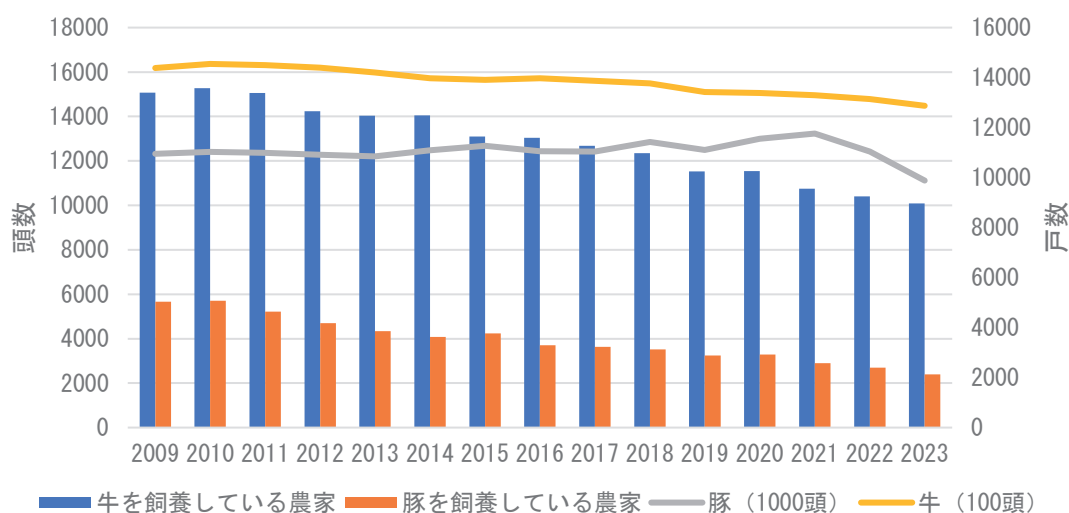
以上から得られた情報は、①各国の畜産事情と Manuresheds の概要、②環境規制、③家畜排せつ物の処理・運搬、④耕種農家との関係性等に基づいて整理した。なお、これらの項目は先進国における酪農セクターのふん尿処理に関して文献レビューを行い、総説論文としてまとめた Niles et al. (2019)を参考にした。

## 3. デンマーク

### (1) Manuresheds の概要

デンマークの国土はおよそ 4.3 万 km<sup>2</sup> で、九州の面積のほぼ同じ小国である。しかし、その国土の 60%は農地（約 2.6 万 km<sup>2</sup>）が占め、集約的な畜産生産に優位性があり、欧州各国や日本・中国等東アジアへ豚肉や乳製品の輸出を盛んに行っている農業国である。国内全体の飼養頭数は過去 15 年平均で牛は 156 万頭（うち乳用牛は 56 万頭）、豚は 1246 万

頭となっている（第4図）。頭数に関しては緩やかな減少傾向にある一方で、畜産を飼養する農家戸数については大幅に減り続けており、経営の規模拡大が進んでいることが見てとれる。2012年のデータとなるが、デンマーク国内全体で年間およそ3500万トンの家畜排せつ物が排出されている（Foged, 2012）。



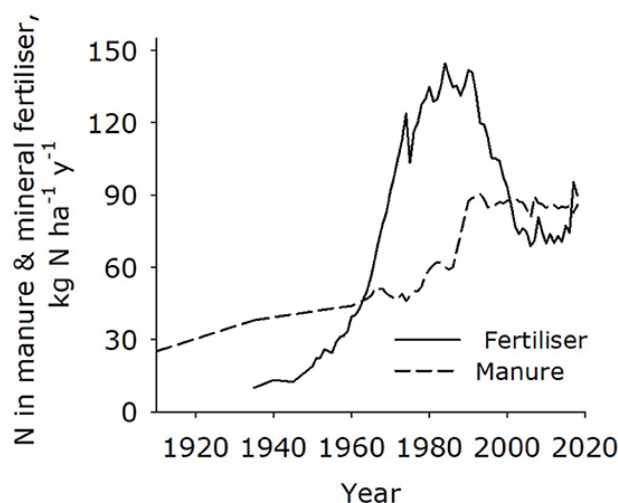
第4図 デンマークにおける家畜頭数および畜産農家の変遷

出所：Statistics Denmark (online) *Farms with livestock*.

デンマークでは土壌条件が地域ごとに大きく異なるため、肥沃な壤土が広がる東の島嶼部では耕種、砂質土が分布する西のエトランド半島部では牧草地をベースとする酪農や養豚に特化し、それぞれ経営の大規模化が進められてきた。他方で、1970年代以降の急速な生産の特化と大規模化は、耕種農家の化学肥料への依存、そして畜産農家からの家畜排せつ物の大量排出を加速させた。特に、国内の最高地点が海拔173メートルと国土の大半が平地であるデンマークでは、飲用水の硝酸汚染や海洋沿岸域での富栄養化等、深刻な問題をもたらした。そこでデンマーク政府は、後述するように家畜排せつ物管理や施肥管理に関する厳しい規制（例：1haあたりの家畜排せつ物由来の窒素・リン散布量の制限や作物毎の施肥計画の作成）を課すことで、地域全体で家畜排せつ物の農地還元を促し、化学肥料利用の削減に成功している（第5図）。

少し古いデータになるが、Asai et al. (2014a)は2009年に国内のほぼ全ての農家（39,038戸）が提出した施肥管理データを用いて「どれほどの農家が家畜排せつ物の譲渡に関与しているか（例：酪農家が自身の農場から出たふん尿を近所の耕種農家へ搬出、あるいは耕種農家が自身の農地へ養豚農家からのスラリーを搬入）」を調査した。これによれば、全農家の50%、農地面積で言えば全体の70%が何らかの形で家畜排せつ物の搬出・搬入に関与していることがわかっている。このような農家同士の家畜排せつ物を介したやり取りは、

主に半径 10km 以内の距離で行われている（Asai et al., 2014a）。



第5図 施用された家畜排せつ物および化学肥料由来の窒素量の変遷

出所：Sommer and Knudsen (2021).

## （2）環境規制

デンマークのように集約的な家畜生産を行ってきた欧州の国・地域では、その弊害として家畜排せつ物に起因する地下水と地表水の硝酸汚染と富栄養化が長年問題視されてきた。そこで、欧州委員会は、窒素・リンの排出削減を目的に 1991 年には EU 硝酸指令 (EU Nitrate Directives) (91/676/EEC) を、2000 年には EU 水枠組み指令 (2000/60/EC) を発令し、各 EU 加盟国が実践する環境規制の基盤を築いた。

例えば、EU 硝酸塩指令に従って、各 EU 加盟国は硝酸汚染や富栄養化が生じている地域またはそのリスクの高い地下水や地表水の集水域を硝酸脆弱地帯として指定せねばならず、脆弱地帯内の農業者は国が定めた行動計画を守ることが義務づけられている。

国内の特定地域を硝酸脆弱地帯とするフランスやスコットランドとは異なり、デンマークは国全体を脆弱地帯と定め、農業者が守るべき行動計画を国内で統一して策定している（浅井，2015）。デンマークの定める具体的な行動計画とは、主に以下のとおりである。

- ① 作物要求に合わせた適正な施肥（家畜排せつ物＋化学合成肥料）を行うこと
- ② 家畜排せつ物由来の窒素 (N) の最大還元量を有機農家および養豚農家ならば 1ha あたり 140kg N，牛を飼養している農家ならば 170kg N にすること
- ③ 家畜排せつ物由来のリン (P) の最大還元量を 1ha あたり 30kg P にすること
- ④ 作物が生育できない冬期の家畜排せつ物の施用を禁止し、その間の家畜排せつ物 (9 か月間分) を貯留できる施設 (スラリータンク) を整備すること
- ⑤ 地下水や地表水を汚染しやすい場所 (傾斜地や表流水近傍等) に肥料やきゅう肥を施用しないこと

- ⑥ アンモニア揮散防止のため、スラリーについてはインジェクターを施用すること
- ⑦ 圃場面積に対し一定の割合で間作物の栽培を行うこと等

これら規制の中でも 1ha あたりの家畜排せつ物窒素の施用規制は、農家の家畜排せつ物管理に多大な影響を与えている。この規制は共通農業政策（CAP）における遵守項目の一つであり、各経営体は施肥計画の提出および年間窒素収支を **Fertilizer Account** と呼ばれる申請書を通じて報告しなければならない。この報告をもとに、毎年ランダムに選出された農家への抜き打ち査察が実施される。違反が確認されると、直接支払いにおける補助金の減額や支払い停止等の罰則が課せられる。

**Fertilizer Account** の申請は耕種パートと畜産パートに分かれている。まず、農地を所有し、耕作を行っている経営者は、第一段階として、作期が始まる前（当年度の4月中旬）までに所有する農地における輪作計画および施肥設計の報告をデンマーク当局（**Danish Agricultural Agency**）へ行うことが義務づけられている。ガイドラインには、圃場の土壌条件に応じた作物の窒素要求量、前年度の作付に関連した作付け開始時点での土壌中の可給態窒素量等が定められており、経営者はこれらを参照して1年間の総窒素施肥量を計算する。

次に、家畜を飼養している経営者は、飼養する家畜の品種および頭数に応じて、1年間に排出される家畜排せつ物に含まれる窒素量を計算する。家畜排せつ物窒素のうち作物に利用される割合（利用率）は、家畜排せつ物の形態（スラリー、たい肥、乾燥ふん）や混合物（敷料や吸水材）の有無、施用の仕方等によって異なるため、経営者はガイドラインに従って的確に計算することが求められる。畜産農家はここで計算される窒素排出量が自分の所有する圃場総面積当たりの窒素投入許容量（170kg N/ha）よりも大きい場合、土地の購入または借入によって圃場面積を拡大、もしくは余剰分の家畜排せつ物を他の農家もしくはバイオガспラントへ搬出しなくてはならない。先行研究によれば、畜産農家の多くが借入による農地の拡大を好む傾向にあることがわかっているが、地代の高騰に伴い、搬入先パートナーを探す経営者が増えている（**Jacobsen, 2011**）。他方、耕種に特化し、家畜を飼養していない耕種農家においても、搬入された窒素量と所有する農地面積とのバランス（170kg N/ha）を遵守する限り、他の農家から家畜排せつ物を受け取ることができる。こうして、畜産農家および他の農家より家畜排せつ物を受け取った農家は作期が済んだ同年の10月から翌年の2月までに、農場全体の窒素収支量を計算し **Danish Agricultural Agency** へ申請する。ここで、家畜排せつ物窒素施用規制に沿って的確に施肥が行われたことが確認されれば、減額なしに補助金の支払いが行われる。

**Fertilizer Account** では、家畜排せつ物の譲渡を行った場合、どの農家へどれだけの家畜排せつ物（単位は窒素量 kg N）が搬入されたのかを受取人のサイン付き契約書を同封して報告しなければならない。家畜排せつ物受け取り農家のサイン付き契約書の提出が義務づけられたのは1998年からである。この際、**CVR** と呼ばれる商業登録番号が各農家の ID 番

号として利用され、農家間の家畜排せつ物の搬出入もこの CVR を通じて追跡することが可能となる。Danish Agricultural Agency はこの情報をもとに、それぞれの経営者が規制内できちんと施肥管理を行っていたか、家畜排せつ物が正しく分配されていたかをクロスチェックしている。デンマーク国内の農家のおよそ9割以上が Fertilizer Account の提出義務者に該当しているため、ほぼ国内全土にわたる農家間の取引（パートナーシップ）が網羅されていることになる。なお、このようなパートナーシップ構築に対して政府は助成金を支給する等の特別な支援は行っておらず、あくまで規制に対する農家同士の自主的な協働行動として捉えられている。

### （3）環境規制の実施に伴う農家・政府の負担

1991年に開始されたEU硝酸指令の執行は、多額な対策費の支出や家畜頭数の大幅削減等、政府や農家への経済的負担が大きく、デンマークもその例外ではない。Sommer and Knudsen (2021)の報告によれば、家畜排せつ物の取り扱い、化学肥料の利用減、キャッチクロープ等の規制により、様々な追加費用、収入減が発生している。例えば、冬季に9か月間に渡って家畜排せつ物を貯留できるスラリートANKの設置が義務付けられているが、4000m<sup>3</sup>のタンクを設立するには約7万ユーロの投資が必要とされ、これは1年間1m<sup>3</sup>あたり1.62ユーロの費用が発生していることになる。この他、規制対応のため、スラリーを一般的なスプレッダーではなく、インジェクターで土壌中に注入するために必要な追加費用は1m<sup>3</sup>あたり0.8ユーロと試算されており、これに加えてスラリー散布のために請負業者を雇う支出も必要となる場合が多い。90年代初頭には、スラリートANKの設置費用の30%を政府が助成する等の支援政策もあったが、現在は行われていない。

農家の経済的な負担に加えて、Sommer and Knudsen (2021)は規制が複雑することによって増大する政府や関係者への負担についても指摘している。例えば、家畜排せつ物管理規則について記した法的文書は90年代には25ページだったものが2020年代には250ページにまで増加した。これに伴い、規制を監視するデンマーク当局の雇用スタッフの数や農家に代わって報告を行うアドバイザー・サービス（民間の普及組織）の利用件数が増加する等、複雑化する規制への対応に追われている。より効果的な規制を制定する上で、各農家はそれぞれが置かれた条件（農地環境や毎年変化する気候等）が加味された高度な柔軟性を求めるが、その柔軟性はまた複雑性を意味するものであり、政府を含めたステークホルダーへの負担が増している。

### （4）農場外への家畜排せつ物の搬出

前述のとおり、デンマークでは厳格な環境規制の下、多くの畜産農家が自身の農場では散布しきれない余剰分の家畜排せつ物を近隣の耕種農家へ譲渡している。それでは、このような取引関係（パートナーシップ）はどのような形態で実施されているのだろうか。

Asai et al. (2014a)は、2012年に無作為に抽出した国内1500の畜産農家に対して、彼らが

「その年に最も多量の家畜排せつ物を搬出したパートナー（第一パートナー）」との取引内容について尋ねたアンケート調査を実施し、644の有効回答を得た。質問項目は、パートナーとの社会関係性や継続期間、パートナー同士のコミュニケーション頻度といった社会的な要素と、家畜排せつ物輸送の最長距離、輸送や散布にかかわる費用および役割分担、家畜排せつ物への金銭支払いの有無といった経済的な要素の二つのパートに分かれており、回答者には質問ごとに用意された回答項目の中から最も当てはまる答えを一つ選ぶよう依頼した（第1表）。

取引内容の特徴としては、半数近くの家畜農家が近隣の耕種農家に譲渡しており、そのためおよそ7割の回答者が5km以内の距離間で搬出作業を行っている。また、コミュニケーション頻度については年に2～5回ほどが最も多く、これは搬出・散布日の相談や実際に受領サインもらう必要があるため等によるものと考えられる。この他、大多数の家畜排せつ物が無料で譲渡されているものの、輸送や散布に係る費用については、受け取り側である耕種農家が負担している場合も、畜産農家が負担する場合と同率で観察された。

第1表 家畜排せつ物を介した取引内容に関する質問項目と回答割合（n=644）

社会的な要素 (%)			経済的な要素 (%)		
パートナーとの社会関係性	隣人	47.8%	排せつ物の最長輸送距離	1 km 以下	12.0%
	家族・親類	6.5%		1～5 km	58.8%
	農業組合等で知り合う	4.2%		5～10 km	23.3%
	農業活動外で知り合う	28.6%		10km 以上	5.9%
	その他（上記以外）	1.9%			
	紹介（取引前は無知）	11.0%			
パートナー間のコミュニケーション頻度	交流無し・年に一度	9.2%	排せつ物への支払いの有無	支払い有	21.4%
	年に2～5回	52.9%		支払い無	78.6%
	月に1度	21.6%			
	週1から毎日	16.3%			
パートナーシップ継続期間	5年以下	28.9%	費用および役割分担（輸送と散布）	譲渡側負担	36.5%
	5～10年	43.2%		受取り側負担	36.9%
	10～15年	19.5%		シェア	26.7%
	15年以上	8.4%			

出所：Asai et al. (2014a).

さらに Asai et al. (2014a)では、回収したデータについて、様々な社会的および経済的な要素（変数）について多重対応分析（MCA）を行い、情報をできるだけ損なわずに少数の変数に縮約した上でクラスター分析を行った。本作業によって、より近い取引内容を実施しているグループ（クラスター）ごとへの分類が可能となり、その特徴を観察しやすくな

る。この結果、以下4つのパートナーシップの形態が明らかになった。

グループ1：“ビジネス型（有機）パートナーシップ”（n=87）

本グループのパートナーシップは主に経済的な動機によって結ばれた取引で構成される。具体的には、普及員等の専門家を介して知り合った農家同士で構成されている場合が多く、最近設立されたパートナーシップであり、輸送距離が長く（5km以上、全体の4割は10km以上）、パートナー間のコミュニケーションがほとんどないことが特徴である。また、このグループには有機農家同士のパートナーシップが多い。このグループにおける費用分担は、畜産農家が単独で輸送と散布にかかる費用を負担することは少なく、代わりに耕種農家が引き受けるか、両者で分担することが多い。

グループ2：“安定型パートナーシップ”（n=106）

本グループでは、パートナーは主に家族・親戚や近隣の農家である場合が多く、親しい間柄の農家同士で構成されていることが特徴。他のグループと比較して、取引の継続期間が長く、パートナー同士のコミュニケーションが頻繁に図られ（週1回から毎日）、輸送距離は短い傾向にある。

グループ3：“近隣型パートナーシップ”（n=274）

近隣の農家間でパートナーシップを結ぶ本グループが本調査では最も多く観察された。グループ2とは対照的に、このグループでは輸送距離が短いにもかかわらず、パートナー間のコミュニケーションは比較的少ない（年間2～5回）。このパートナーシップでは、供給者である畜産農家が家畜排せつ物の輸送と農地への散布の両方を負担している場合が多い。

グループ4：“農外ネットワーク型パートナーシップ”（n=177）

本パートナーシップは、今回の調査で観察された2番目に大きいグループで、農業活動外で知り合った耕種農家とやり取りをしている場合が多い。この取引の継続期間は比較的浅く、パートナー間のコミュニケーションは近隣型パートナーシップよりは頻繁に行われている（半年～2か月に1回ほど）。輸送距離は比較的遠いものの（5～10km）、ビジネス型（有機）パートナーシップのやり取りよりは近い。

環境規制への対応から多くの畜産農家が耕種農家とパートナーシップを構築しており、これらの多くが上記の“近隣型パートナーシップ”に該当するものと考えられる。最もコストを抑えて対応すべく、近場で簡素な形態で実施されている。また、多くの畜産農家が家畜排せつ物の余剰を抱え、地域内で飽和状態になっている中で、耕種農家に受け取ってもらうべく、その輸送や散布にかかる費用も畜産農家がサービスとして負担している点が

特徴と言える。

他方で、輸送距離が最も長い傾向にあるのが“ビジネス型（有機）パートナーシップ”であるが、この多くが有機農家同士の取引であることに注意する必要がある。デンマークの有機農家が施肥できるのは、きゅう肥、乾燥きゅう肥、脱水家禽ふん、家禽糞を含む家畜ふんたい肥、たい肥化きゅう肥、および液状家畜排泄物に限られており、基本的には有機認証を受けた畜産農家からの家畜排せつ物由来でなくてはならない<sup>(2)</sup>。このため有機耕種農家の多くは、たとえ距離が離れていても有機畜産農家から家畜排せつ物の搬出を希望し、さらに家畜排せつ物そのものに対して、輸送費等も含めて金銭を支払う傾向にある（浅井，2015）。

このような環境規制あるいは有機認証のルールによって、家畜排せつ物の価値が大きく異なり、パートナーシップの形態も大きく異なる点は興味深い。その一方で、“安定型パートナーシップ”や“農外型ネットワークパートナーシップ”のように、親族や農業以外の活動で知り合った耕種農家と密な連絡を取り合いながら連携を図っている取組が一定数観察されたことも、単に規制対応とは限らない、より自発的で持続的な取組が行われているという点で重要である。

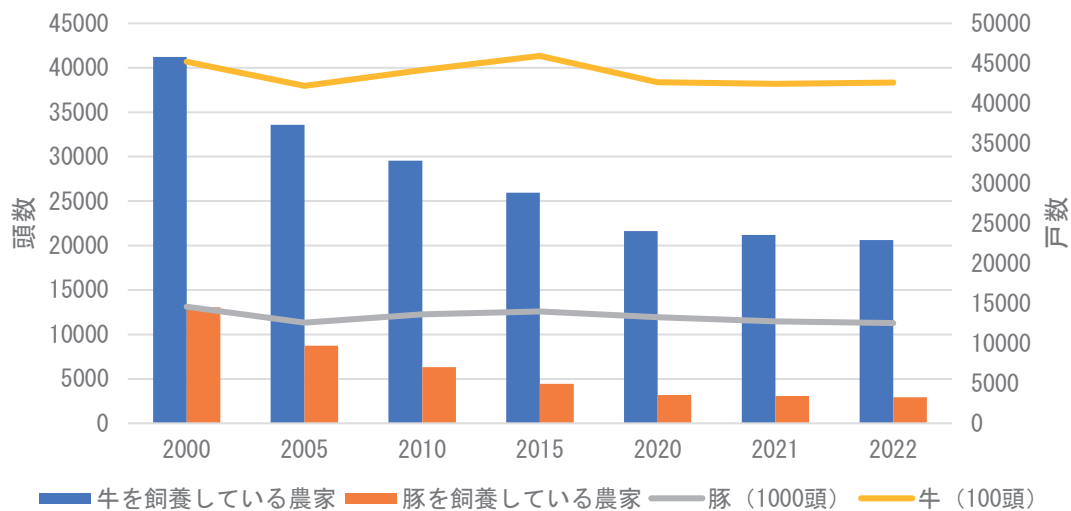
## 4. オランダ

### (1) Manuresheds の概要

オランダの国土面積は約 4.1 万 km<sup>2</sup> でデンマークよりやや小さいが、輸出額ベースでは米国に次ぐ世界第2位の農産品輸出国である（OECD, 2023a）。園芸作物に加えて、古くから畜産業が盛んであり、そのため家畜飼養頭数も多い。2022年には、オランダ国内で1,130万頭の豚、380万頭の牛が飼養されており、豚に関してデンマークと同規模であるものの、牛については同国の倍以上の頭数が飼養されていた（第6図）。このような事情から、2020年の家畜飼養密度は、EU27か国の平均値が1haあたり0.7LSU<sup>(3)</sup>であるのに対して、オランダは3.4LSU/haとEU圏内で最も高い（Eurostat, online）。なお、デンマークの家畜飼養密度は1.6LSU/haである。

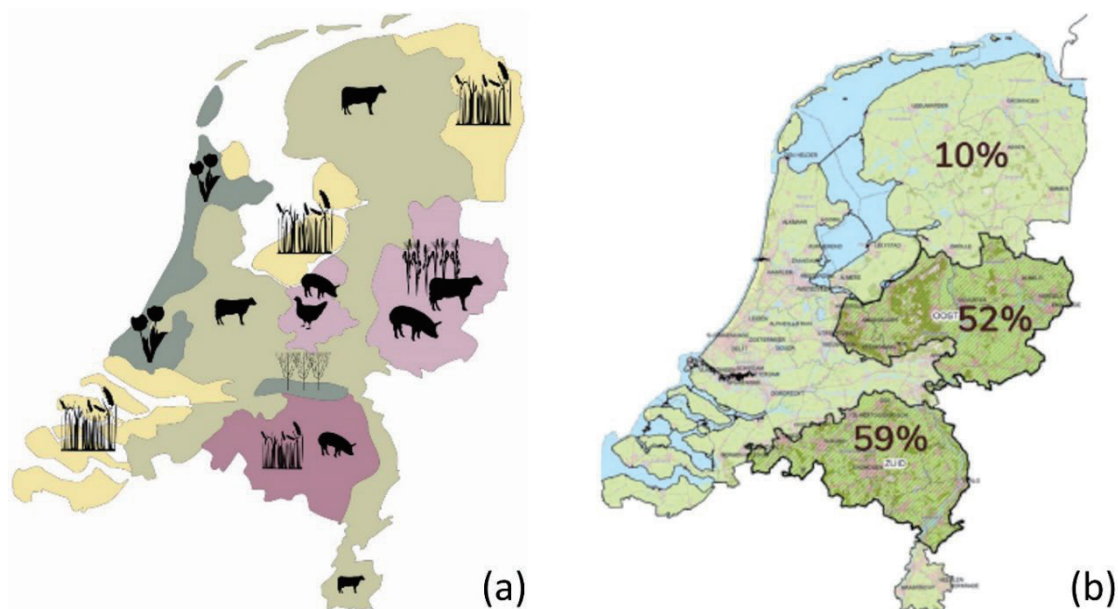
オランダ国内の畜産業は、北部と西部に集中する酪農、そして南部と東部に集中する養豚に分けることができる（第7図(a)）。北部・西部で酪農を営む農家の多くは自ら牧草地を所有していることから、環境規制で定められた範囲内でまず自身の草地にスラリー状の家畜ふん尿を散布し、余剰分が発生する場合には近隣の耕種農家へ譲渡するケースが多い。ただし、後述するように散布量に関する特例措置が2024～2026年にかけて全廃されることから余剰量は変わりつつある。その一方で、南部・東部の養豚農家の中には自作農地を所有していない経営もあり、農場内で処理しきれない排せつ物の余剰が発生している。そのため、輸送に適した加工処理（水分含量の低下や栄養含有量の向上）を施して、たい肥、ペレット等の形状で国内あるいは国外に搬出している。後述するように、これは南部・東

部に課された環境規制によるところが大きい。



第6図 オランダにおける家畜頭数および畜産農家の変遷

出所：StatLine (online a) Agriculture; crops, livestock and land use by general farm type, region.



第7図 オランダの主な農業システム (a) と家畜排せつ物加工義務の指定地域 (b)

出所：Nederlands Centrum Mestverwaarding (2024).

2023年のデータによれば1年間で約7,465万トンの家畜排せつ物が発生した。このうちの84%は牛, 11%が豚, 5%が鶏およびその他の家畜由来となっている (StatLine, online b)。

同年の日本国内における家畜排せつ物発生量は約 8,000 万トンであることから、オランダでの発生量がいかに高いかが理解できる。

なお、オランダでは、家畜排せつ物発生量を窒素およびリン酸塩に換算して報告することが多い。これに基づく、2023 年における上記の家畜排せつ物発生量は、47.1 万トンの窒素、14.6 万トンのリンに相当する。多くの家畜排せつ物は自身または近隣の農地に還元されるが、環境規制もとで余剰分は発生しており、毎年 4~5 万トンの窒素（2023 年値は 4 万トン）、3 万トンのリン（2023 年値は 2.9 万トン）がオランダ国外へ輸出されている。この国外輸出は 2006 年以降、増加傾向にあり、OECD（2023a）によれば、毎年、豚由来のリン約 1.8 万トンが近隣のドイツ、フランス、ベルギーを中心に搬出されている。

オランダでは、家畜排せつ物の循環利用に向けて、畜産農家、運搬業者、アグリビジネス関連企業等の連携促進を図ることを目的としたコンソーシアムである *Nederlands Centrum Mestverwaarding*（オランダ家畜ふん尿センター、以下 NCM）が 2018 年に設立された。ベルギーでは、同様のコンソーシアムが 25 年前から存在しており、NCM は本取組をモデルにしたものである。活動予算の半分は政府予算で、残りはアグリビジネス企業からの出資で成り立っている。正職員はセンター長を含め数名ほどである。家畜排せつ物に関する 20 ほどのプロジェクトを常時実施しており、コンサル業者、大学等へ発注している。この他、旗艦レポートである「*Landelijke rapportage en inventarisatie export en verwerking dierlijke mest*（家畜排せつ物の輸出と処理に関する国家報告と目録）」を毎年作成し、オランダ国内における家畜排せつ物の排出・処理・輸出に関する動向を報告している。

## （2）環境規制

オランダにおける家畜排せつ物に関する政策は、1986 年に定められた肥料法 (*Meststoffenwet*)、1991 年の EU 硝酸塩指令 (91/676/EC) および 2000 年の EU 水枠組み指令 (2000/60/EC) に基づく「オランダ行動計画」を中心に成り立っている。肥料法は、窒素とリンの環境放出の削減を目的に、肥料の施用基準に関する規定、家畜排せつ物の加工処理等に関する規定、肥料成分等に関する規定を主に定めている。また「オランダ行動計画」では、家畜排せつ物の農地への施用に関して定めており、家畜排せつ物の施用基準や家畜排せつ物を散布できる時期等が規定されている。家畜排せつ物に関する政策は複雑であることから、以下には主要対策に絞って紹介する。

まず、オランダでは家畜排せつ物由来の窒素とリン酸塩の排出量の上限値を国レベルで定めている。現在、畜産業全体の年間上限値として、窒素 54.4 万トン、リン酸塩 17.29 万トンが課されている。このうち乳用牛由来の窒素は 28.18 万トン、リンは 8.49 万トン、養豚では窒素 9.91 万トン、リン酸 3.97 万トン、さらに家禽の場合は窒素 6.03 万トン、リン酸 2.74 万トンとなっている。これらの値は集約的な畜産による水質汚染の防止を目的に欧州委員会との協議によって定められたものであり、オランダ政府は毎年の排出量を上限値以下に抑えなくてはならない。

しかしながら、2015年3月末に生乳クォータ制度が廃止されたことをうけて、生産者の増産意欲が高まり、乳用牛飼養頭数が増えたため、リンに関してその排出上限値を2015年、2016年と2年続けて超過してしまった。このため欧州委員会の勧告の下、オランダ政府は2017年の排出に関してリン酸塩排出削減計画を策定し、上限値まで引き下げることを約束した。

本リン酸塩排出削減計画では、酪農、養豚および養鶏部門で1.08万トンのリン酸塩を削減することが目標とされ、その内の75.9%分は酪農部門に課された。酪農における削減計画は、頭数削減計画（生産者に対し処分した頭数に応じて奨励金が支払われた）、営農中止計画（2017年中に経営を中止する生産者に対して奨励金が支払われた）、飼料削減計画（乳用牛用配合飼料中のリン酸塩の含有量を1kgあたり4.3グラム以下に抑える）の3本柱で構成された（農畜産業振興機構、2017）。結果、2017年における家畜排せつ物由来のリン酸塩排出量は16.79万トンで、欧州委員会が定めた排出上限値（17.29万トン）を3年ぶりに下回った（農畜産業振興機構、2018）。

2006年には、デンマークと同様、農業部門から地下水や地表水に浸出する硝酸塩やリン酸塩を減らすことを目的に家畜排せつ物の農地への施用制限が導入された（Blanken et al., 2019）。EU硝酸塩指令に基づき、家畜排せつ物由来の窒素（N）施用量は、1haあたり年間170kgとなっている。ただし、草地放牧による牛排せつ物由来の窒素については230kgまたは250kgN/haまで散布が許可される例外措置が設けられ、諸条件を満たした酪農家はその恩恵を受けてきた。しかしながら、家畜飼養密度がEU圏内で群を抜いて高く、また家畜排せつ物のずさんな管理を問題視した欧州委員会の通達により本例外措置の廃止が決定された（USDA, 2024）。これによりオランダ国内では2023年より段階的に上限値が引き下げられており、2026年には全ての畜産農家が170kg N/haの統一ルールに従わなくてはならない。本例外措置はデンマークとアイルランドでも実施されていたが、いずれの国々でもそれぞれ2024年と2025年に廃止された（USDA, 2024）。

この他、家畜飼養密度が高い国内の3地域において、自ら所有する農地に施用できる量を上回る家畜排せつ物が発生した畜産農家に対して、余剰分の一部について原則、国外輸出を前提に加工を施すことが2018年より義務づけられた（家畜排せつ物加工義務）（前田・石井, 2020）。なお、この加工義務は畜産農家間での取引が許可されている。該当する農家は、余剰量に政府が決めた割合を掛けて算出した数量分（リンベース）をたい肥ペレット等に加工しなくてはならない。本割合は毎年更新されるが、養豚が密集している南部および東部地域の割合が高く設定されている（第7図(b)）。2024年については、南部地域では余剰分の59%を、東部地域では52%、北部地域では10%を加工する。

デンマーク同様、窒素・リン流出防止の観点から作物生育期間外での家畜排せつ物の農地施用は禁止されている（前田・石井, 2020）。例えば、スラリー状の家畜排せつ物に関して、草地には2月16日～8月31日、耕作地には2月16日～9月15日の期間のみ散布ができる。散布可能期間においても、土壌が凍結したり雪に覆われたりした場合には散布

できない。スラリーの散布に関しては、アンモニア揮散防止の関連からインジェクターの施用が義務づけられている。散布禁止期間中は家畜排せつ物を農場内で貯留する必要があることから、最低6か月分の家畜排せつ物を貯めることができる容量を持った（スラリー）タンクの保有も義務づけられている（前田・石井，2020）。

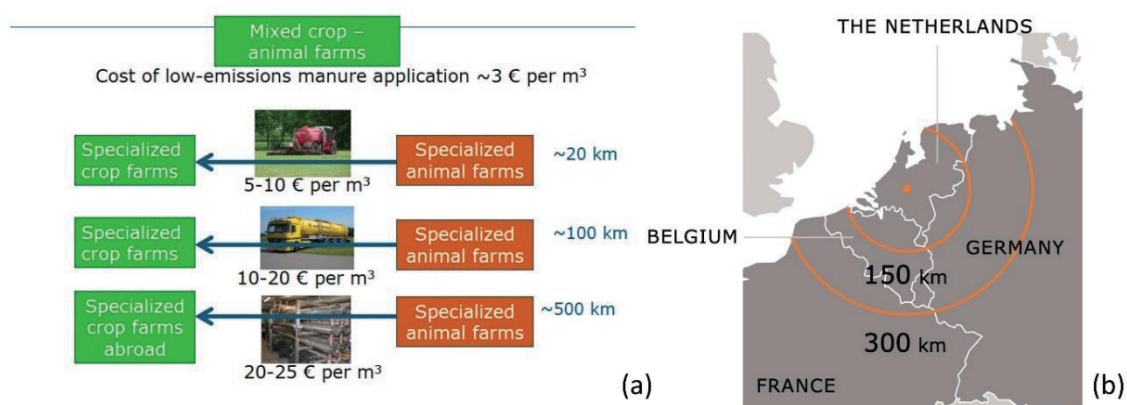
### （3）農場外への家畜排せつ物の搬出

NCM の Roefs 氏によれば、余剰分が発生した際の家畜排せつ物の農場外搬出に関しては、本作業に特化した運送業者が収集・輸送を担っている。通常、個々の畜産農家が運送業者に直接依頼するケースが多い。不正な投棄を防ぐため、運送トラックには GPS が搭載されており、搬出先の追跡が可能となっている。また、環境規制への対応として、自身の農場外へ排せつ物の搬出を行った畜産農家は、受け取り者（耕種農家）の署名付きの受領証を政府に提出する義務がある。

近隣の耕種農家へ譲渡する場合には、畜産農家自身が耕種農家へ連絡を取り、散布時期や量等について相談するが、遠方の場合には、運送業者が引き取り先を見つけ、交渉するケースが多い。また、輸送のために加工処理する場合には、大規模経営であれば自身の農場内で加工を行うこともあるが、例えば農協が近隣の畜産農家を束ね、共同で加工処理を行う場合もある。

Oenema (2020)によれば、輸送・処理・散布作業にかかる費用の合算はおよそ  $1\text{m}^3$  あたり 5～25 ユーロと試算されている。ただし、これは輸送距離や加工処理によっても大きく異なる。例えば、20km 以内の近隣農家であれば  $1\text{m}^3$  あたり 5～10 ユーロであるが、ベルギー・ドイツ、フランスといった近隣国へ輸出した際には、20～25 ユーロかかる（第8図）。ただし、これらはコロナ禍、ウクライナ侵攻前に算出された値であることから、現在はより高い費用がかかっている。例えば、2024年2月時点での牛の家畜排せつ物の処理費用は  $1\text{m}^3$  あたり 30 ユーロ、豚については 32.50 ユーロとされ、1年前から 10 ユーロも高騰したとの報告もある (USDA, 2024)。この背景には、資材やエネルギーの高騰に加えて、前述のように 230 kg または 250 kg N/ha まで散布できる例外措置が段階的に廃止に向かっており、酪農家を中心に散布先である農地を巡って競合が増えたり、増えた余剰分を貯留できるスラリータンクの増設等に追加費用を割いたりしていることが原因とされている。

なお、デンマークと同様に家畜排せつ物処理にかかる費用は全て畜産農家が負担するものとされ、政府からの補助金等の支援はない。ただし、メタン発酵や焼却処理を通じて発生した電気へのプレミアム買取制度は除く。



第8図 距離に応じた家畜排せつ物処理費用 (a) とオランダ国外の輸送先 (b)

出所：Oenema (2020).

#### (4) 耕種農家とのやり取り

オランダ国内においては、家畜排せつ物の余剰分が常に発生している状態にあるため、基本的には国内の耕種農家へは無料で提供されている。さらに散布先の確保が難しい場合には、供給側（畜産農家や運送業者）が受け入れに対して支払いを行うこともある。例えば、de Koeijer et al. (2014)によれば、1トンあたり1~14ユーロを畜産農家が耕種農家へ支払っているとの報告もある。これは家畜排せつ物の質や輸送距離によって異なる。

一方で、散布費用に関しては、耕種側が負担する場合もある。オランダ国内の主な散布先は、乳用牛由来のふん尿であれば牧草地やサイレージコーン、養豚由来の場合は冬小麦、馬鈴薯、甜菜等の栽培時に施肥される。

#### (5) 国外への輸出

前述のように2018年から開始された家畜排せつ物加工義務に伴い、養豚・養鶏が密集している南部および東部地域を中心に加工処理された豚糞、鶏糞の国外輸出の割合が増加している。第8図(b)が示すように、豚糞の主な輸出先は150~300km圏内のベルギー、ドイツ、フランスが多く、他方で鶏糞（ペレットと焼却処理後の灰）については肥料の原料としてアジア等へのEU圏外へも輸出されている。

なお、衛生面の観点から、家畜排せつ物を国外輸出する際には、加工処理が義務づけられている。これはEU Animal By-Products Regulation (EU規則142/2011)にて定められており、具体的には、「70度以上の熱処理を最低60分間行う」等の処置を含む。なお、本対応はオランダに限らずEU加盟国で共通となっている。

NCMのRoefs氏によれば、各国（ベルギー、ドイツ、フランス）に肥料取り扱いメーカーを中心とした卸先があり、家畜排せつ物の輸送形態や取引内容はメーカーの希望や交渉次第となっている。このような海外販路を開拓したのは、規制下における畜産農家および運搬業者であり、オランダ政府が何かしらの政策的な支援を行ったことはないという。

ただし、家畜排せつ物の循環利用の促進を目的として立ち上げられたコンソーシアムである NCM の運営費用の半分は政府予算である。

## 5. おわりに：Manuresheds の創出に向けて

上記のデンマークおよびオランダでの取組を参考に、本節では Manuresheds の成立に大きく影響を与えると考える「土地利用・地理的条件」、「環境規制」、「農家の能力や意識」、「投入財等の価格変動」、「社会ネットワーク」の5点から考察を行う。なお、ここでは文献レビューで抽出された上記二か国以外の取組や議論についても触れ、日本における Manuresheds の創出に向けた示唆とする。

### (1) 土地利用・地理的条件

Manuresheds 成立の第一条件として、まず家畜排せつ物を還元できる農地への物理的なアクセス性が考えられる。具体的には、どれほどの広大な自作農地を保有しているか、または近隣に散布できる農地があるか、そして輸送する際の道路等のインフラ整備がされているかである。デンマークやオランダで広く観察されるように、基本的には貯留施設の確保、散布時期および散布方法の遵守がなされていれば、家畜排せつ物に対しては特別な処理はせず、そのまま自作地あるいは近隣の農地に還元することが主流となっている。他方で、オランダの東部・南部地域のように、農地アクセスの競合性が高い地域では、たい肥化やペレット化によって水分含有量を減らし、輸送に向けた形に処理した上で、広域的な流通を行っている。いずれも輸送費用を最小限にとどめようという行動原理に基づくものと理解できる。家畜排せつ物利用の経済性を分析した米国の Araj et al. (2001)や Paudel et al. (2009)も、家畜排せつ物が化学合成肥料の代替として広く利用されるかどうかは、畜舎から耕作地への距離とその輸送費用に大きく依存すると結論づけている。この他、インフラ整備が進んでいるデンマークやオランダでは問題となっていないが、悪路等の農村地域における交通事情が未発達であることが家畜排せつ物の広域的な農地還元を妨げているとの報告もある (Paudel et al., 2009)。

他方で、家畜排せつ物の広域流通を妨げる一番のボトルネックは運搬費用であることから、これを改善するような革新的な技術の開発も期待される。例えば、近年では家畜ふん尿処理技術の進歩によって、ふん尿から窒素分を回収して利用する RENURE (REcovered Nitrogen from manURE) 肥料の製造が可能になった。現在「RENURE」の名称で流通させるため、その規格や規制の制定が EU 内で議論されている。しかしながら、RENURE 肥料の製造コストは現在トンあたり 22 ユーロとされており、広く普及されるには依然としてハードルは高い (USDA, 2024)。

## （2）環境規制

1991年に発令されたEU硝酸指令を受けて、各EU加盟国は、硝酸汚染や富栄養化が生じている地域またはそのおそれのある地下水や地表水の集水域を硝酸脆弱地帯に指定し、脆弱地帯内の農業者には各国が定める行動計画の遵守を義務として課してきた（浅井，2015）。国全体が脆弱地帯であるデンマークやオランダでは、そのほかのEU加盟国と比べても特に厳格な規制を農家に課し、余剰窒素・リンの大幅な削減に成功している。両国では多数の農家が家畜排せつ物を介したパートナーシップに参加しているが、その多くが環境規制への対応に起因していることは間違いない。

一方で、現行のパートナーシップへの政策的な支援はほとんど行われておらず、汚染者負担の原則の下、処理に係る費用は全て農家（主に畜産農家）が負担している。また、より現場環境に即した効果的な政策を実施するために規制自体も複雑化しており、その実施状況を検査し、運用する政府側の負担も増加傾向にある。循環型農業の実施が高い社会コストを支払うことによって実現されていることは考慮する必要があるだろう。

## （3）農家の能力や意識

環境規制の実施がもたらした功績の一つとして、畜産農家および耕種農家ともに家畜排せつ物管理および施肥管理への理解、ひいては環境経営への意識が大きく向上したことが挙げられる。デンマークやオランダの農業者は常に厳格な環境規制への対応を求められており、施肥計画から実際の家畜排せつ物管理、そして当局への実際の施肥量の報告等、高度な知識と経営能力が必要になる。実際には、多くの農家はアドバイザーサービス（民間の普及組織）に有償でコンサルティングを依頼し、彼らに代理申告を任せているが、もちろん最終的な意思決定は農家自身である。一方で、聞き取り調査によれば、このような環境規制への対応がこなせるのは主に大規模経営であり、小中規模の経営体や、自作地の多い地域の農家では環境への意識は低い傾向にあるとの意見もあった。年々厳しくなる環境規制が特に小中規模の畜産農家の離農を促し、代わりに高度にプロフェッショナルな経営の規模拡大化につながっているとも言える（第4図、第6図）。

土壌別、作物別に窒素とリンの施用量が定められているデンマーク、オランダでは、耕種農家に関しても施肥管理への意識が非常に高いと言われている。しかしながら、環境規制の下、無料で家畜排せつ物を受けとることが慣例となっており、その価値を低く見積もる傾向にあり、ひいては対価を支払うという感覚も低い傾向にある（Asai et al., 2014a）。例えば、Tur-Cardona et al. (2018)はデンマークとオランダを含む欧州7か国における耕種農家に対して、彼らに有機肥料（Bio-based fertilizers）の選好性を明らかにするアンケート調査を行った。具体的には、有機肥料に求める質（形状、窒素含有量の不確実性、衛生面、有機炭素量、即効性等）と、化学肥料を1ユーロ/N kgとした場合、有機肥料に対していくらであれば支払えるか（支払い意思額）を尋ねた。本結果によれば、何も処理が行われていない場合には、ほぼ無料（0.0001ユーロ/N kg）、滅菌等の衛生面での処理がなされて

いれば0.47ユーロ/Nkg, 仮に化学肥料と同質の場合でも化学肥料の76% (0.76ユーロ/Nkg) の価格であれば購入するというシビアな回答を得ている。最も評価が高かったのはペレット加工 (0.86ユーロ/Nkg) であるが, その製造費用を考慮すれば, 畜産農家の負担が大きいことには変わりはない。このような状況を打破するためにも, まずは肥料に関する耕種農家のニーズを正しく把握し, 戦略的に家畜排せつ物の付加価値を上げていく取組がより必要になるだろう。

#### (4) 投入財等の価格変動

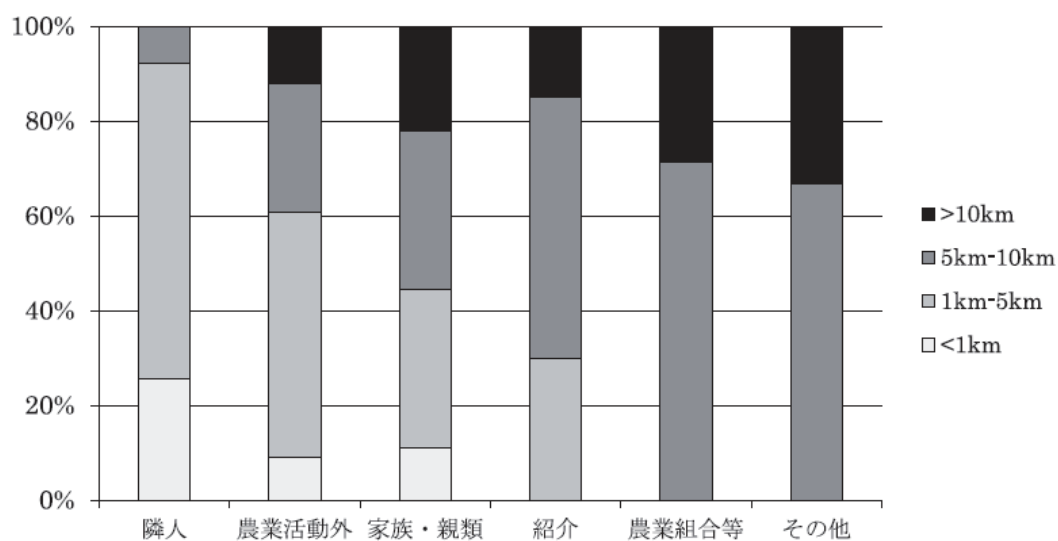
冒頭で述べたように現在, 耕畜連携を扱った研究論文・報告書が世界的に増えている(第1図)。これは, 持続可能な農業あるいは循環型農業の実現に向けた社会的関心が高まっていることに加えて, 現在の化学肥料や飼料価格の高騰も大きく影響していることが考えられ, 家畜排せつ物の農地還元を促進する好機である。筆者の把握する限り, このような投入財価格の高騰がどれほど *Manuresheds* の創出に影響を与えているのかを実証的に明らかにした研究はまだ報告されていないが, 例えば, 近年ではOECD加盟国でも化学肥料の代わりに家畜排せつ物由来の窒素・リンの利用を促す政策的な支援も実施されており, 実際に家畜排せつ物を介した新規の取組も多数開始されているものと考えられる(OECD, 2023b)。

しかしながら, 継続的に家畜排せつ物が排出される畜産農家にとっては, 耕種農家とのやり取りが, 例えば化学肥料の価格が高騰している時期のみで終了してしまうと大問題となる。実際, デンマークの畜産農家がパートナー(耕種農家)に求める理想像を尋ねた *Asai et al. (2014b)*によれば, 多くの回答者が長期的なやり取りが望める相手を希望する傾向にあることがわかっている。他方で, 家畜排せつ物を利用している耕種農家のすべてが必ずしも家畜排せつ物を好んで引き取っているわけではなく, 作物収量への効果が高く, 臭いも少ない化学合成肥料の利用をより好む耕種農家も多い。前述のように, 超過的に排出される家畜排せつ物を分配せねばならない畜産農家は, 取引の合意形成において弱い立場にあり, 家畜排せつ物の受け取りの決定権は耕種農家側にあることが多い。

そこで, このような市場価格等の外部因子に影響されやすい耕種農家の日和見的な行動を避け, 中長期的に *Manuresheds* を維持していく手段を見つける必要がある。例えば, デンマークやオランダのいくつかの畜産農家では, 最低限の受け取り量や契約期間を記した契約書を作成し, それを耕種農家と交わすことで, 毎年確実に家畜排せつ物の搬出入が行われるよう工夫している。また, 両国では規制対応として, 耕種農家が家畜排せつ物を受け取った場合には, 彼らの署名も政府機関に提出する必要があるが, このような制度も実際のやり取りを担保する仕組みとして一定の役割を果たしていると聞いている。普及員やコントラクター等, 第三者を介して家畜排せつ物の搬出入を行うことも, やり取りの確実性を高める上で有効だろう。

### （5）社会ネットワーク

Manuresheds 成立条件として「農地への物理的なアクセス性」を指摘したが、耕種農家への社会的なアクセス性（社会ネットワーク）も非常に重要である。受け取り手である耕種農家との良好な関係なしに、家畜排せつ物受け取りの了承を経て、農地へ散布することは難しいからである。Battel (2006)や Núñez and McCann (2004)は、家畜排せつ物を肥料とする上での阻害要因としては、輸送費用に加えて、臭いや家畜排せつ物中の雑草種子の混入、施肥のタイミング、施肥機による土壌の踏み固め等があるとしている。これらを加味し、それでも耕種農家も受け取ってもらうには、畜産農家のきめ細かい対応が必要となる。例えば、Asai et al. (2018)は北海道・十勝平野においてバイオガスプラントから発生する消化液を液肥として利用している耕種農家とそうではない農家に聞き取り調査を行い、消化液の受け入れ条件として、耕種側の輪作体系を把握し、散布時期や量、また散布のやり方に関して畜産農家からきめ細かい対応をしてもらうことが重要であることを指摘している。そのためには、お互いが比較的近い距離に位置し、必要最低限のコミュニケーションがすぐにとれる間柄であることが重要である。デンマークの調査でも、近距離でお互い気心の知れた相手とパートナーシップを結ぶ傾向が高いという背景には、このような心理的要因が作用しているためと理解できる（第9図）。



第9図 パートナー同士の社会関係性と牛排せつ物の最長輸送距離との相関関係

注：デンマーク・ユトランド半島西部における有機農家同士および慣行農家同士の取引内容（n=123）より作成。

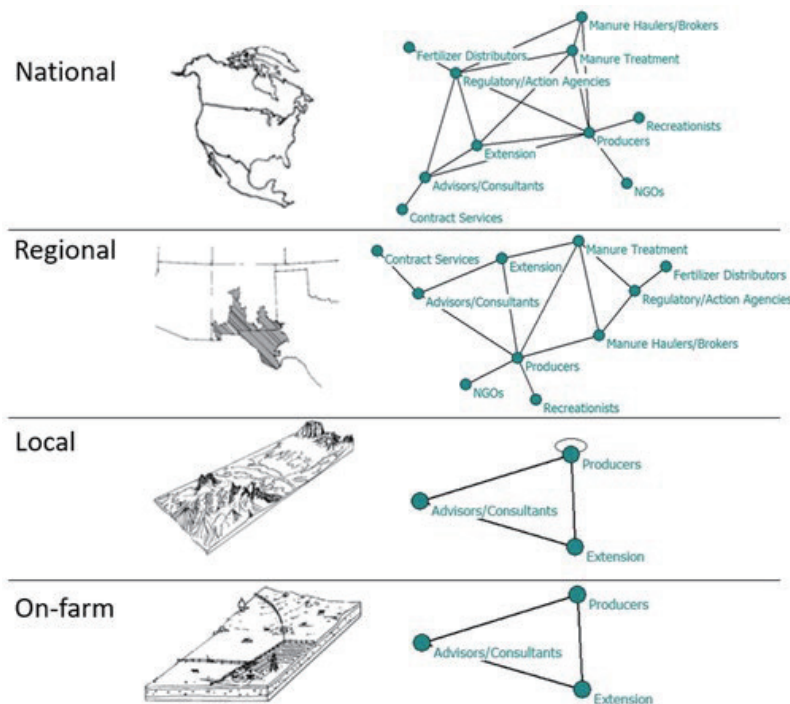
出所：浅井（2015）。

一方で、オランダのように必ずしも近距離内で全ての余剰家畜排せつ物が処理できるとは限らず、広域的に家畜排せつ物を流通させていく必要もある。その際、農家に代わって受取先を探し出し、必要に応じて調整役を担ってくれる普及員や運搬業者の役割が重要となる。第9図が示すように、デンマークでも距離が離れるほど、第三者（主に普及員）を

介した紹介が多くなる傾向にある。またオランダでは前述のように家畜排せつ物の取り扱いを専門に扱う運搬業者が受取先と調整することが多く、また国外輸出となると肥料メーカー等の別の経済主体も関わってくる。

このように家畜排せつ物の流通規模が大きくなるにつれて、それに応じて関わる主体が増え、より複雑な社会ネットワークが形成される仕組みを Meredith et al. (2022)は実証している。Meredith らは、米国における家畜ふん尿の循環システム構築 (Manureshed) において、どのような関係主体の連携が重要かを国内事例研究から調査し、社会ネットワーク分析を行った (第 10 図)。これによれば、農家レベル、ローカルレベルの取組では、主に生産者 (畜産および耕種)、普及員、農業コンサルタントの 3 者が主要な主体となるが、地域や国レベルのように規模が大きくなると、上記 3 者に加えてコントラクターや肥料処理会社 (Manure treatment)、肥料メーカー、NGO 等の合計 17 の主体が関わっているという。

このように多様な主体が参加し、複雑な Manureshed がうまく機能するための条件として、Kleinman et al. (2022)は、①どの地域に余剰窒素が発生し、どの地域で栄養素が不足しているのか、地域間の資源賦存量を正しくマッピングして評価し、関係主体間で共有されること、そして②各主体の専門性を超えて調整役を担う “Manure Broker” が存在することの 2 点を強調している。オランダでは①と②の役割を担う主体として、家畜ふん尿センター (NCM) が 2018 年に設立された。日本においても、より広域的に家畜排せつ物を流通させていくためには、このようなコンソーシアムを立ち上げることも有効であると考えられる。



第 10 図 米国の Manuresheds に関わるアクター間の取組規模別の社会ネットワーク  
出所 : Meredith et al. (2022).

〔注〕

- (1) OECD における窒素の養分バランス指標の計算方法は次のとおり。まず該当国の農地全体に対して持ち込まれる窒素の全インプット量を計算する。これは肥料、家畜ふん尿、降雨、微生物による窒素固定、種苗等を含む。次に耕種作物、果樹や茶樹、飼料作物によって、吸収されて圃場外に搬出される窒素の全アウトプット量を計算する。インプット量とアウトプット量の差を「養分バランス」として、その国全体の農地面積 ha あたりの養分量 kg で表示を行う。
- (2) デンマークの有機農業では、1 ha あたり最大 70 kg の窒素は慣行農場由来の家畜排せつ物であっても施肥が認められている。詳細は浅井（2015）を参照のこと。
- (3) LSU（家畜単位）とは、家畜の飼養密度を表す指標として用いられる係数で、2 歳以上の雄牛：1.0LSU、1 歳以上 2 歳未満の牛：0.7LSU、体重 50kg 以上の繁殖雌豚：0.5LSU、体重 20kg 未満の子豚：0.027LSU、他の豚：0.3LSU などとなっている。

〔引用文献〕

- Araji, A.A., Abdo, Z.O. and Joyce, P. (2001) Efficient use of animal manure on cropland - economic analysis. *Bioresource Technology* 79(2): 179–191.
- Asai, M., Moraine, M., Ryschawy, J., de Wit, J., Hoshide, A.K. and Martin, G. (2018) Critical factors to crop-livestock integration beyond the farm level: A cross-analysis of worldwide case studies. *Land Use Policy* 73: 184–194.
- 浅井真康（2015）「デンマーク有機農業における家畜排せつ物の取引を介したパートナーシップの現状」『農林水産政策研究』24：1-26.
- Asai, M., Langer, V., and Frederiksen, P. (2014a) Responding to environmental regulations through collaborative arrangements: Social aspects of manure partnerships in Denmark. *Livestock Science* 167: 370–380.
- Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P. and Jacobsen, B.H. (2014b) Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study in Denmark. *Agricultural Systems* 128: 55–65.
- Battel, R.D. (2006) Farmer willingness to enter into manure exchange agreements: Differences based on age and farm size. *Journal of Extension* 44 (3): 14.
- Blanken, M., Verweij, C., Mulder, K. (2019) Why Novel Sanitary Systems are Hardly Introduced?. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* 7(1): 13-27.
- de Koeijer, T. J., Blokland, P. W., Daatselaar, C. H. G., Helming, J. F. M., and Luesink, H. H. (2014) *Scenario's voor grondgebondenheid: een verkenning van de varianten binnen het wetsvoorstel Verantwoorde groei melkveehouderij*, (Report/LEI; No. 14-128). LEI. (オランダ語) <https://edepot.wur.nl/326436>（2025年11月13日アクセス）。
- Eurostat (online), Agri-environmental indicator - livestock patterns - Statistics Explained, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental\\_indicator\\_-](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-)

- [\\_livestock\\_patterns](#) (2025年11月13日アクセス) .
- Foged, H. L. (2012) Livestock Manure to Energy: Status, Technologies and Innovation in Denmark. <https://www.foodbiocluster.dk/Files/Files/FBCD/Projekter/Livestock-Manure-to-Energy.pdf> (2025年11月13日アクセス) .
- Jacobsen, B.H. (2011) Costs of slurry separation technologies and alternative use of the solid fraction for biogas production or burning – a Danish perspective. *International Journal of Agricultural Management* 1(2):11-22.
- Kleinman, P. J. A., Spiegel, S. A., Silveira, M. L., Baker, J. M., Dell, C. J., Bittman, S., Cibin, R., Vadas, P. A., Buser, M. D. and Tsegaye, T. (2022) Envisioning the manureshed: Toward comprehensive integration of modern crop and animal production. *Journal of Environmental Quality* 51(4): 481–493.
- 前田絵梨・石井清栄 (2020) 「オランダ養豚における家畜排せつ物処理の取り組み～持続可能な養豚のために～」 『畜産の情報』2020年2月号  
[https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05\\_000968.html](https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_000968.html) (2025年11月13日アクセス) .
- Martin, G., Moraine, M., Ryschawy, J., Magne, M.-A., Asai, M., Sarthou, J.-P., Duru, M. and Therond, O. (2016) Crop-livestock integration beyond the farm level: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 36: 53.
- Meredith, G. R., Spiegel, S., Kleinman, P. J. A., and Harmel, D. (2022) The social networks of manureshed management. *Journal of Environmental Quality* 51(4): 566–579.
- Nederlands Centrum Mestverwaarding (2024) Landelijke rapportage en inventarisatie export en verwerking dierlijke mest 2024. <https://www.mestverwaarding.nl/storage/article/files/2024/11/6743179b59079.pdf>(2025年11月13日アクセス) .
- Niles, M.T., Horner, C., Chintala, R. and Tricarico, J. (2019) A review of determinants for dairy farmer decision making on manure management strategies in high-income countries. *Environmental Research Letters* 14: 053004.
- 農畜産業振興機構 (2017) 「オランダの環境規制に伴う乳牛とうたの状況 (EU)」 ,  
[https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01\\_002011.html](https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01_002011.html) (2025年11月13日アクセス) .
- 農畜産業振興機構 (2018) 「家畜由来のリン酸塩排出量, EU基準を下回る (オランダ)」 ,  
[https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01\\_002124.html](https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01_002124.html) (2025年11月13日アクセス) .
- Núñez, J. and McCann, L.M.J. (2004) Crop farmers' willingness to use manure. American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Denver, Colorado, <https://doi.org/10.22004/ag.econ.19932> (2025年11月13日アクセス) .
- OECD (online), *Nutrient balance*, <https://www.oecd.org/en/data/indicators/nutrient-balance.html> (2025年11月13日アクセス) .
- OECD (2023a) *Policies for the Future of Farming and Food in the Netherlands*, OECD Agriculture and Food Policy Reviews, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/bb16dea4-en> (2025年11月13日アクセス) .
- OECD (2023b) *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2023: Adapting Agriculture to Climate Change*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b14de474-en> (2025年11月13日アクセス) .
- Oenema (2020) *Changes in nutrient management policy and nutrient balances in dairy farming in The Netherlands*,

- International Workshop on Improving NUE in Dairy Farming System through Crop Livestock Integration, Japan, 12-14 February, 2020.
- Paudel, K.P., Bhattarai, K., Gauthier, W.M. and Hall, L.M. (2009) Geographic information systems (GIS) based model of dairy manure transportation and application with environmental quality consideration. *Waste Management* 29(5): 1634–1643.
- Russelle, M.P., Entz, M.H., Franzluebbers, A.J. (2007) Reconsidering integrated crop–livestock systems in North America. *Agronomy Journal* 99(2): 325–334.
- Sommer, S.G. and Knudsen, L. (2021) Impact of Danish livestock and manure management regulations on nitrogen pollution, crop production, and economy. *Frontiers in Sustainability* 2: 1–15.
- Spiegel, S., Kleinman, P.J.A., Endale, D., Bryant, R., Dell, C., Goslee, S., Meinen, R., Flynn, C., Baker, J., Bittman, S., Browning, D., Carter, J., Cavigelli, M., Duncan, E., Gowda, P., Li, X., McCarty, G., Cibin, R., Silveria, M., . . . and Yang, Q. (2020) Manuresheds: Advancing nutrient recycling in U.S. agriculture. *Agricultural Systems* 182: 102813.
- Statistics Denmark (online) *Farms with livestock*, <https://www.dst.dk/en/Statistik/emner/erhvervsliv/landbrug-gartneri-og-skovbrug/landbrug-med-dyr> (2025年11月13日アクセス) .
- StatLine (online a) *Agriculture; crops, livestock and land use by general farm type, region*, <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/en/dataset/80783eng/table?dl=94646&ts=1739849316147> (2025年11月13日アクセス) .
- StatLine (online b) *Dierlijke mest; productie en mineralenuitscheiding, diercategorie, regio*, <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83982NED/table?dl=EC0A> (2025年11月13日アクセス) .
- Tur-Cardona J, Bonnichsen O, Speelman S, et al. (2018) Farmers’ reasons to accept bio-based fertilizers: a choice experiment in seven different European countries. *Journal of Cleaner Production* 197: 406-416.
- USDA (2024) Dutch Loss of Manure Derogation. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. [https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dutch%20Loss%20of%20Manure%20Derogation\\_The%20Hague\\_Netherlands\\_NL2024-0007](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dutch%20Loss%20of%20Manure%20Derogation_The%20Hague_Netherlands_NL2024-0007) (2025年11月13日アクセス) .