

7. 自然界における窒素の循環と地下水汚染

窒素は大気中に酸素とともに存在し、また、植物や動物等の有機物の主要構成元素であるので、自然界に普遍的に存在し、循環している。産業革命以前の窒素の循環は、細菌と植物のみが大気中の窒素を固定して有機物を合成していたため、うまく自然の循環が成立していたが、近代になって化学工業技術が進歩し、化学的に大気中の窒素を固定し、化学肥料として農地に散布するようになったため、循環量のバランスが大きく変化した。この他、産業の進歩に伴い、燃料（石油、石炭等）の燃焼によって燃料中の窒素は、窒素酸化物として大量に大気中に排出されるようになったことも窒素の循環のバランスを変化させる要因となった。

7-1 土壌環境中における窒素の動態

土壌環境中の窒素は、自然状態では、ほとんどが有機態窒素として存在している。これは、土壌微生物が大気中の窒素ガスを固定し、または土壌中の無機態窒素を有機化して体内組織として有機態窒素を生成することによる。微生物の死滅後、有機態窒素は分解しアンモニア性窒素となる。アンモニア性窒素の一部は揮散し大気中に放出され、またその一部は養分となり植物に吸収され再び有機態窒素に変化する。土壌に残ったアンモニア性窒素は、好気的条件下で土壌微生物により硝化され、亜硝酸性窒素を経て硝酸性窒素に変化する。硝酸性窒素は土壌に吸着されにくいため、一部は土壌水とともに下層へ溶脱され地下水へ移行する。また、嫌気的条件下で硝酸性窒素は、土壌微生物により脱窒作用を受け、亜酸化窒素や窒素ガスに変化し、大気中へ放出される。

近年、有機態窒素やアンモニア性窒素が大量に土壌中に供給されることにより、土壌中の窒素循環のバランスが崩れ、硝酸性窒素等の地下水への移行が増大し、一部の地域において硝酸性窒素等による地下水汚染が生じている。

図 7.1 に、環境中の窒素の形態と変換過程を示す。

7. 自然界における窒素の循環と地下水汚染

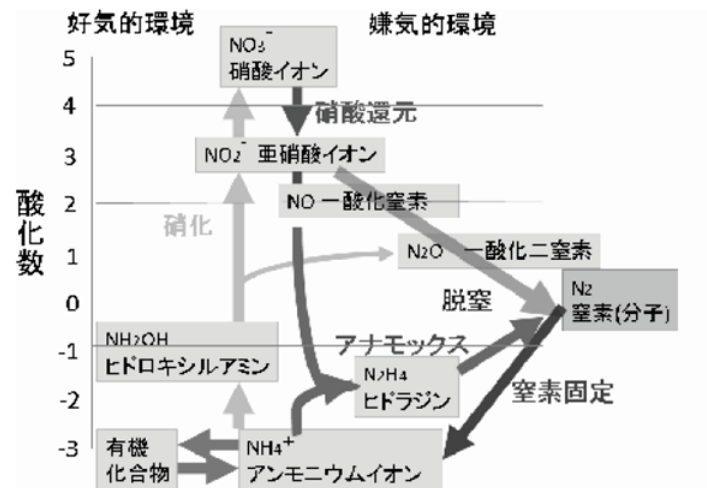
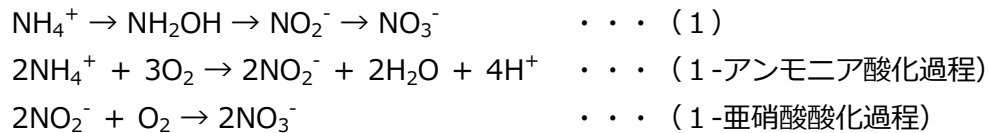


図 7.1 環境中の窒素の形態と変換過程

出典：(独)科学技術振興機構研究開発戦略センター．戦略プロポーザル 持続的窒素循環に向けた統合的研究推進．平成 25 年 2 月．より Canfield ほか (2010) ⁽²³⁾の図から簡略化．
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/SP/CRDS-FY2012-SP-01.pdf>

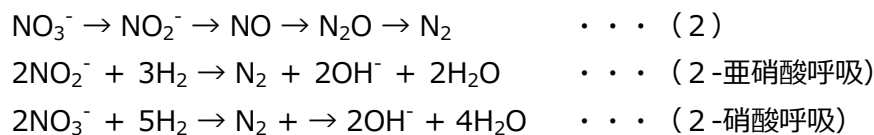
(1) 硝化過程

土壌中のアンモニア性窒素が好気的条件下で硝化菌によって硝酸性窒素にまで変化する過程を硝化過程という。硝化過程を (1) 式に示す。



(2) 脱窒過程

湛水土壌等の嫌気的条件下で硝酸性窒素が脱窒菌により還元され、亜酸化窒素を経由して窒素ガスに変化する過程を脱窒過程という。脱窒過程を (2) 式に示す。



(3) (アンモニア) 揮散

施設土壌や水田土壌等で土壌 pH が高くなると、土壌中のアンモニア性窒素はアンモニアガスとなり大気中に揮散する。

⁽²³⁾ Canfield, D.E; Glazer, A.N.; Falkowski, P.G. The evolution and future of earth's nitrogen cycle. Science, 2010, Vol.330, p192-196.

(4) 無機化

土壌中の有機態窒素が微生物により分解されてアンモニア性窒素に変化する過程を無機化という。

(5) 有機化

土壌微生物が菌体合成のために無機態窒素を吸収し、有機態窒素に変換することを有機化という。

微生物の菌体や代謝産物、植物体中に含まれる有機態窒素は、タンパク態窒素、アミノ糖態窒素、核酸態窒素等にわけられる。

(6) 窒素固定

大気中の窒素ガス (N_2) が空中窒素固定菌や藻類等によって有機物として固定されることを窒素固定という。光合成細菌、らん藻、従属栄養細菌等は単独で、根粒菌はマメ科植物に共生して窒素固定を行う。

(7) 植物吸収

植物は養分としてアンモニア性窒素や硝酸性窒素等の無機態窒素を吸収しており、各植物により窒素の利用率が異なる。水稻や茶樹等のアンモニア性窒素でよりよく生育する好アンモニア性植物と畑作物等の硝酸性窒素でよりよく生育する好硝酸性植物に分けられる。

(8) 溶脱

植物吸収、脱窒、有機化等に利用されずに土壌中に残った硝酸性窒素の一部は、間隙水を経て地下水へ溶脱される。硝酸イオンは陰イオンであるため、土壌には吸着されず、水の流動とともに移動する。

(9) 蓄積

硝化・植物吸収、脱窒等の過程を受けずに土壌中に残った有機態の窒素分は、そのまま土壌中に保存され、蓄積していく。毎年の施肥等で土壌中に蓄積される窒素量が年々増加する場合、溶脱量は大きくなるので地下水汚染を引き起こすリスクは高くなる（蓄積量×溶脱係数（定数）＝溶脱量）。

7. 自然界における窒素の循環と地下水汚染

7-2 窒素循環における硝酸性窒素の生成因子

(1) 植生

森林伐採の結果、植物吸収や微生物等による窒素の有機化が減少し、窒素の無機化が促進され硝酸性窒素の溶脱が起こる。また、樹木による雨水の吸収が低下した結果、土壌が湿潤化し嫌氣的条件となり、脱窒反応を促進し、一部の硝酸性窒素は亜酸化窒素や窒素ガスになって大気圏へ揮散する。揮散する亜酸化窒素は、地球温暖化効果の高いガスであり、窒素循環は地球温暖化防止対策の観点からも重要である。

(2) 微生物

土壌中で窒素循環に係わる微生物は、主に硝酸性窒素を生成する硝化菌、大気中の窒素ガスを固定する根粒菌、窒素をガス化して大気に放出する脱窒菌等であり、これらに関する数々の研究が報告されている。

硝化菌（アンモニア酸化菌、亜硝酸酸化菌）による硝化活性の最適温度は 25℃であり、アンモニア性窒素 20～200 mg/100 g の範囲で高い活性が認められ、硝化の下限 pH は 2.9 付近であるとされている。

土壌中の有機物は微生物により無機化され、その硝化過程は土壌の通気性や温度等に依存し、特に温度が 10℃上昇するごとに硝化速度は 2 倍になることが知られている。

根粒菌の窒素固定活性は、高濃度の無機態窒素や低温により低下する。

水稻の非作付け期間の稲わらのすき込みは、窒素固定能を有するシアノバクテリアが稲わら表面で生育し、無機態窒素を有機化するため、土壌中の硝酸性窒素の流出を抑制する作用がある。

(3) 土壌中の有機物

土壌中の有機物の分解には、有機物の C/N 比が関係していることがわかっている。C/N 比の小さい有機物は一般に分解が早く、アンモニア性窒素のような植物が吸収できる有効態の窒素を生じる。従って、C/N 比が小さい有機物の多い土壌では、有機物から有効態窒素が生成され、植物に利用されない部分の溶脱が起こりやすくなる。

一方、C/N 比が大きい有機物は難分解性で、土壌に加わるとその分解のために微生物活動が高まり、土壌中の無機態窒素の利用も増大するため、植物が吸収できる有効態窒素が不足する。堆肥等の有機質資材の C/N 比と一般的な肥料効果を表 7.1 に示す。

表 7.1 有機質資材の C/N 比と肥料効果

| 有機質資材 | C/N 比 | 肥料効果 |
|-----------------------|-------|---|
| 鶏ふん・豚ふん堆積物 汚泥コンポスト | 10 以下 | 肥料効果は大きいですが、地力増進効果は小さい。 元肥の窒素量を減らす必要がある。 |
| 牛ふん堆肥、もみ殻堆肥 | 10～20 | 大きな肥料効果は期待できないが、地力増進効果がある。 |
| パーク堆肥、おがくず堆肥 | 20 以上 | 肥料効果は小さいが、土壌腐植を富化するため地力増進効果がある。土壌中微生物の窒素成分の吸収により窒素の施肥量を多くする必要がある。 |

(4) 土壌中の水分含量と硝酸性窒素

土壌水分含量が硝酸性窒素の生成に係わることは数々の研究で報告されている。

土壌水分が圃場容水量 (pF = 1.8 相当の圧力状態で土壌に保持しうる水) に至るまでは水分量の増加とともに硝化作用が促進されるが、永久しおれ点 (pF = 4.2 植物に水分を補給しても枯死) に達すると嫌気状態になり硝化作用は抑制される。

野中ら (1996) ⁽²⁴⁾ のライシメーターを用いた砂丘畑地土壌における施肥窒素成分の挙動の研究では、浅層地下水の硝酸性窒素濃度は 100 mm/月以上の浸透水量 (灌水量、降水量) で増加している。

安藤ら (1995) ⁽²⁵⁾ の水田土壌を用いた研究では、乾燥処理により土壌の含水比がほぼ一定になるまでは、含水比の減少に伴って土壌有機態窒素の無機化量が増加し (乾土効果)、水分条件が一定になった後も乾燥期間を延長すると有機態窒素の無機化量が増加するとしている。

これらの研究結果から、土壌水分が圃場容水量に達するまで硝化が促進され、生成した硝酸性窒素は降雨等による地下浸透水とともに地下水へ溶脱されと考えられている。

図 7.2 に、常時監視データの地下水の硝酸性窒素等環境基準超過率と、流域内の河川水の窒素の濃度分布を示す。図 7.2 から、流域内の森林面積率が 66%未満の場合、地下水の硝酸性窒素等濃度が高い場合は、流出する河川水の窒素濃度も高くなっており、このことから流域内での窒素循環量が多くなるに連れて、地下水及び河川水に移行する窒素量も増えることがわかる。

Shindo ら (2009) ⁽²⁶⁾ は、1961 年と 2005 年の日本全体の窒素の収支について対比した結果、耕作地あたりの窒素供給量が約 2 倍に増加していると推定している (1961 年 90 kgN/ha 2005 年 178 kgN/ha)。

さらに、このことから河川水中の窒素濃度が 1961 年に比べて 1998 年では多くの都道府県で上昇しているとしている (図 7.3)。

⁽²⁴⁾ 野中 昌法, 阿部 良悦, 加村 崇雄. 砂丘畑地土壌における施肥窒素成分の下層への移動と地下水の硝酸態窒素濃度の変化. 土肥誌, 1996, vol.67, No.6, p633-639.

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/dojo/67/6/67_KJ00001682587/_pdf/-char/ja)

⁽²⁵⁾ 安藤 豊, 丸本 卓哉, 和田 源七, 中村 勤. 乾燥期間が土壌有機態窒素の無機化, 水稻の窒素吸収に及ぼす影響について. 土肥誌, 1995, vol.66, No.5, p499-505.

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/dojo/66/5/66_KJ00001683341/_pdf/-char/ja)

⁽²⁶⁾ Shindo, J. et Al. Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. Soil Science and Plant Nutrition, 2009, Vol.55, p532-545. (<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1111/j.1747-0765.2009.00382.x>)

7. 自然界における窒素の循環と地下水汚染

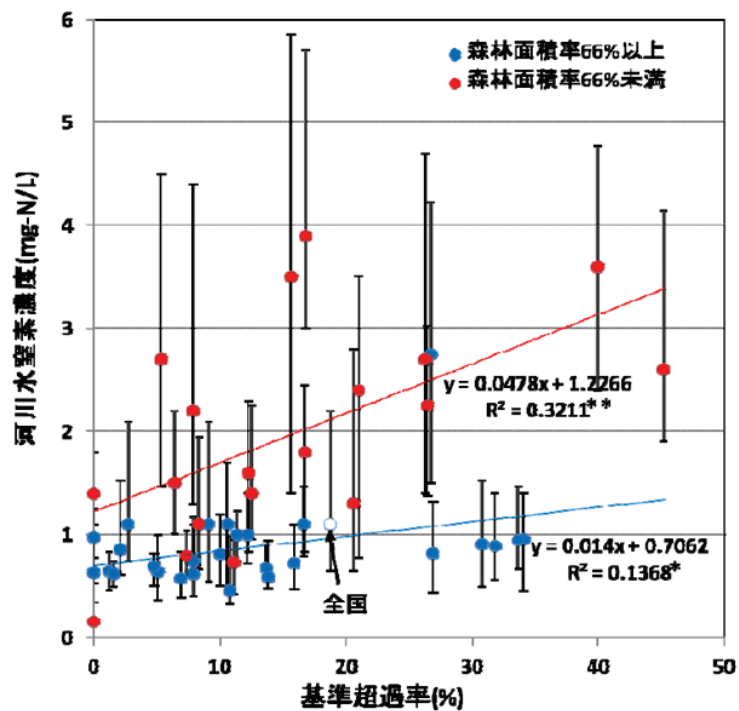


図 7.2 観測井戸中の環境基準超過率（横軸）と河川水窒素濃度分布（中央値と 75%値、25%値）の比較

注）*：5%水準で有意、**：1%水準で有意を表す。

出典：板橋 直. 流域レベルで地下水の硝酸汚染リスクを評価するモデル. 第30回土・水研究会「流域の環境負荷低減のための物質動態モデルの開発と活用」講演要旨, 2013, 図2.

(http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/magazine/156/mgzn15601_6.pdf)

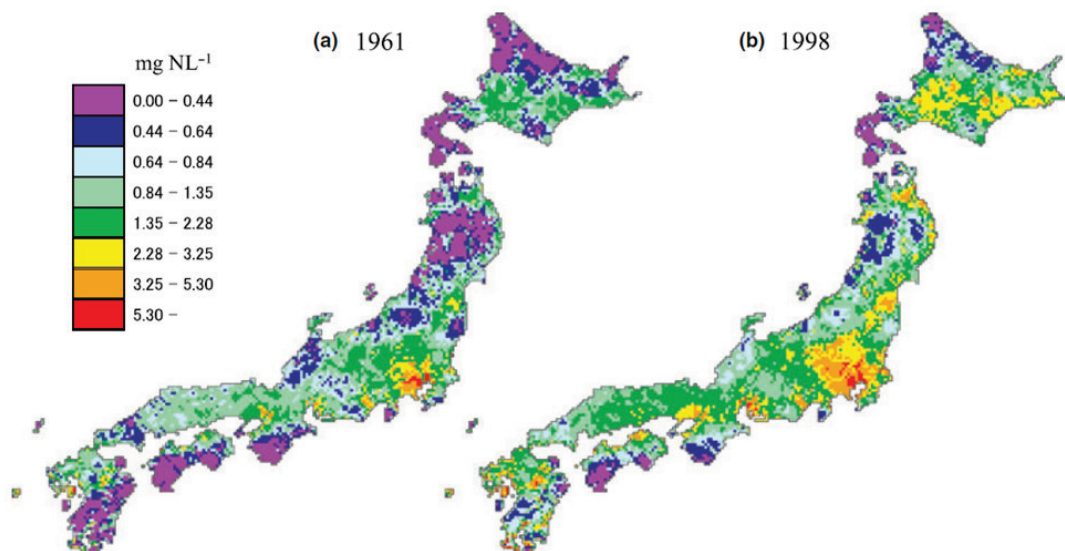


図 7.3 河川水中の窒素の推定濃度（1961年(左図)と1998年(右図)；mgN/L)

出典：Shindo, J. et Al. Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2009, Vol.55, p532-545. (<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1111/j.1747-0765.2009.00382.x>)

8. 我が国における窒素資源循環について

8-1 我が国の窒素の収支

我が国は資源の乏しい島国という自然環境の中で、古くから環境保全・資源利用の仕組みを取り入れた独自の産業構造を生み出してきた。特に、鎖国政策をとっていた江戸時代の農業活動に代表されるように、有機資源に関しては都市部で出されるし尿やバイオマス廃棄物の多くは、近郊農村の農地に還元され、農作物生産の重要な肥料として循環利用され、そこで生産された農作物は再び都市部で消費される等、資源の循環利用がされていた。

しかし、近代国家になると、工業的に合成された化学肥料の大量生産により、し尿等の再利用は少なくなるとともに、農村部から若手の労働力が流出し、重労働となる堆肥を施用することは現実問題として困難となり、結果的に作物生産に必要な成分だけを軽作業で施用できる化学肥料が受け入れられようになった。さらに、公衆衛生の観点から下水道も普及し始め、汲み取りから水洗へ、し尿処理施設から広域下水処理システムへと変化したことにより、資源循環の仕組みは変化してきている（図 8.1）。

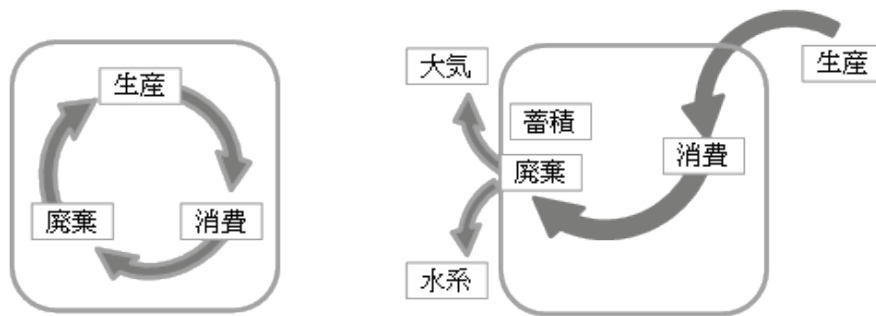


図 8.1 理想的な資源循環型社会システム（左）と現在の社会システム（右）

□：一つのまとまりからなる社会システム（日本、地域等）

⇒：資源（物質、原材料、商品等）の流れ

図 8.2 に、2002 年当時の統計値に基づいた我が国の窒素循環フロー図を、表 8.1 に窒素の収支を示す。

昭和 45 年の人口は約 1.04 億人、平成 10 年の人口は約 1.27 億人で、約 1.2 倍の増加である。わが国全体にインプットされる窒素の総量は 1.2 倍増加しており、これは人口の増加率とほぼ等しいが、食品に係る輸入食料・飼料は 1.8 倍増加しており、人口の増加率を大きく超えている。これを受けて、窒素は生活系への蓄積量が昭和 45 年の 10.8 倍と著しく増加している。また、土地系への蓄積も 1.6 倍と大きくなっている。わが国では、窒素、リンによる閉鎖性水域の富栄養化が問題とされ、また、硝酸性窒素等による地下水汚染の問題も顕在化してきている。輸入食料・飼料を増加させ（すなわち、食料自給率を下げ）、その半分以上を使わずに廃棄していく現在の社会システムのあり方を見直すことによって、排出負荷量の削減対策もより有効になるものと考えられる⁽²⁷⁾。

(27) 環境省，栄養塩類総合管理検討調査報告書—第二編—，平成 14 年 3 月。

8. 我が国における窒素資源循環について

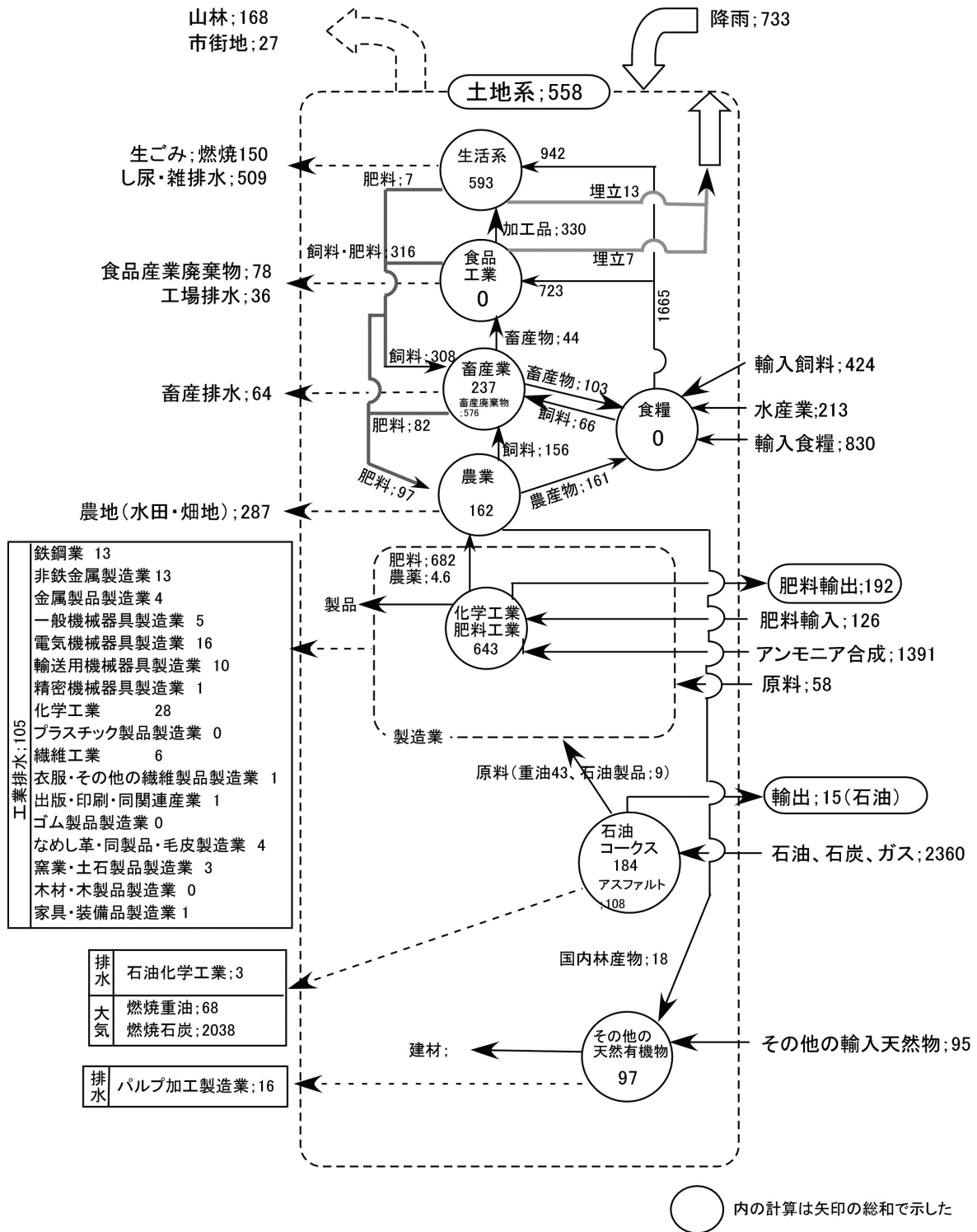


図 8.2 我が国の窒素マテリアルフロー (平成 10 年 単位: 千 t N/年)

環境省, 栄養塩類総合管理検討調査報告書—第二編—, 平成 14 年 3 月, より作成

表 8.1 わが国の窒素の収支（平成 10 年）

| | | 窒素(千t/年) | | | |
|----------------|----------------|------------------|---------|-----------|-----|
| | | 平成10年 | | | |
| 輸入量及び 生産量 | 輸入食糧・飼料 | 1,254 | | | |
| | 水産物 | 213 | | | |
| | 化学肥料・工業原料 | 184 | | | |
| | 国内窒素固定 | 1,391 | | | |
| | 石油・石炭 | 2,360 | | | |
| | その他の天然物 | 95 | | | |
| | 降雨 | 733 | | | |
| 輸出量 | 肥料 | 192 | | | |
| | 石油 | 15 | | | |
| 入り込み量 | 合計 | 6,023 | | | |
| 排出量 (発生負荷量) | 大気 | 家庭ごみの焼却処分 | 150 | | |
| | | 食品工業 | 78 | | |
| | | 化学肥料工業 | - | | |
| | | 畜産業 | - | | |
| | | 石油・石炭の燃焼 | 2,106 | | |
| | | (燃焼排ガスの大気への排出量)* | (421) | | |
| | | その他の産業 | - | | |
| | 大気への発生量; 合計 | | 2,334 | | |
| | 水域 | 生活系 | 家庭し尿雑排水 | 509 | |
| | | | 産業系 | 食品工業 | 36 |
| | | | | 化学肥料工業 | 105 |
| | | | | 石油・石炭 | 3 |
| | | その他の産業 | | 16 | |
| | | 畜産系 | 畜産し尿 | 64 | |
| | | | 土地系 | 農地(水田、畑地) | 287 |
| | | 山林 | | 168 | |
| | 市街地 | 27 | | | |
| 水域への発生量; 合計 | | 1,215 | | | |
| 合計 | | 3,549 | | | |
| 蓄積量 | 生活系 | | 593 | | |
| | 化学肥料工業・食品工業等 | | 643 | | |
| | 畜産廃棄物(農地還元含む) | | 237 | | |
| | その他の天然有機物 | | 97 | | |
| | 土地系(農地を含む) | | 720 | | |
| | 石油・石炭(アスファルト等) | | 184 | | |
| | 合計 | | 2,474 | | |

* (生産された重油 - 製造業に販売された重油) が全て燃焼と仮定。

環境省、栄養塩類総合管理検討調査報告書—第二編—、平成 14 年 3 月、より作成

図 8.3 は、窒素の収支のバランスにより発生する環境問題をまとめたものである。

我が国における主要な窒素循環は、畜産の糞尿等として発生し、農地に堆肥等として投入される。かつての農山村では、窒素の需給のバランスが保たれ地域循環が成立していたと思われるが、農産物や肥料等の輸入や化学肥料の投入等により、現在、日本の国土全体で見ると、窒素供給が過剰な状況にある。

これにより、水域における富栄養化、地下水中の人体に有害な窒素由来物質（亜硝酸性窒素）の増加、温室効果ガスである亜酸化窒素の発生等の問題がある。

8. 我が国における窒素資源循環について

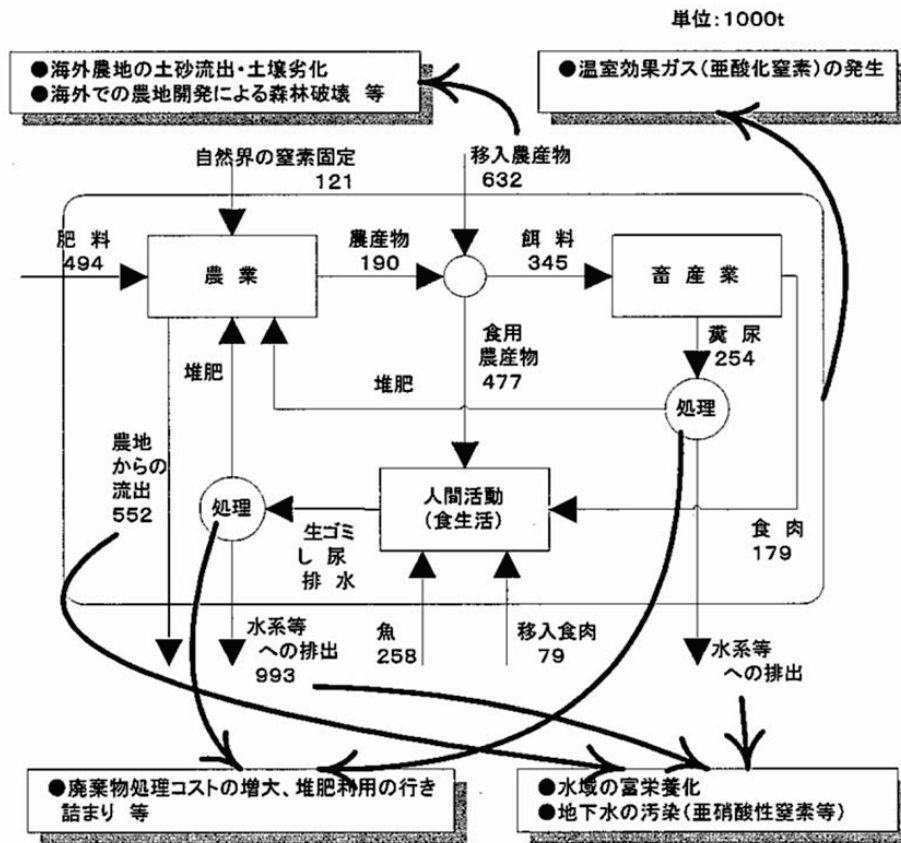


図 8.3 日本の窒素収支（1998年）と収支のアンバランスにより発生する問題群

出典：環境省，我が国におけるバイオマスに由来する炭素及び窒素の循環フロー，第1回「生ごみ等の3R・処理に関する検討会」参考資料4，平成17年9月。

(http://www.env.go.jp/recycle/waste/conf_raw_g/01/ref04.pdf)

8-2 地域における適正な窒素資源循環

地球上の全ての生命活動・社会経済活動にとって、水資源は必要不可欠である。中でも地下水は、身近にある良質な水資源として古くから親しまれ、社会的・経済的に高い価値を持つ一方、その分布・挙動の把握は困難であり、管理・保全が不十分なケースも少なくない。

特に硝酸性窒素等は、その供給源が面的かつ多様（生活排水、家畜排せつ物、施肥等）であり、従来型の点源規制のみでは十分改善が進んでおらず、環境基準の超過率が最も高い項目として残っている。また、その供給源の特性から、良質の地下水資源が多く存在する地域において汚染が顕在化しやすく、地下水資源の保全・活用の観点からもその対策が特に重要である。

なお、こうした硝酸性窒素等による地下水汚染の対策は、窒素の過剰な環境放出を回避することが基本となるが、その際、窒素が植物の生育に必須の元素であることも踏まえ、自然界における健全な窒素循環の確保を目指した窒素資源の有効活用という観点を重視すべきである。

(1) 硝酸性窒素等による地下水汚染対策の基本的考え方

環境省では、過去の事例、既存の科学的知見等を踏まえ、地域における貴重な資源である地下水を保全し次世代に引き継ぐことを究極目標として、硝酸性窒素等による地下水汚染に対する地域総合対策を推進するための支援制度のあり方について検討してきた。

硝酸性窒素等による地下水汚染対策にあたっては、地域ごとにその供給源や汚染の様態も大きく異なることから、地域の自然的・社会的特性、汚染実態、供給源の状況等に応じた最適かつ総合的な対策を計画・実施することが重要となる。

地域においては、以下のような取組を適切に組み合わせ実施することが適切である。

1) 協議会等の設置

地域における対策の円滑な実施のため、自治体、事業者、有識者等ステークホルダーにより構成される協議会等を設置し、必要な連絡調整を行う。特に、硝酸性窒素等による地下水汚染対策にあたっては、行政内部（環境担当部局と農政担当部局等）の密接な連携も鍵となる。

2) 汚染の実態やメカニズムの把握

- 汚染実態把握（濃度測定）
- 供給源の特定、地下水流域への負荷量算定
- 各種対策のケーススタディと費用対効果の検討
- 汚染の将来予測
- 地下水循環と地下水流動状況等の把握

8. 我が国における窒素資源循環について

3) 対策計画の策定

地域における対策計画を策定する。同計画には、地域における地下水資源の存在状況、硝酸性窒素等による地下水汚染実態の把握、主な供給源及び窒素負荷量の把握、対策目標・保全目標の設定、施策メニュー等、必要な内容を盛り込む。

- 汚染の実態やメカニズムの把握を踏まえた、有効かつ総合的な対策計画の策定
- 削減目標量と施策効果の評価方法の策定

4) 汚染対策の実施

- 施肥の適正化（施肥基準や土壌診断を活用した環境保全型農業の推進）
- 家畜排せつ物対策（堆肥化施設、家畜排せつ物処理施設の設置等）
- 生活排水対策（浄化槽の設置等）
- 水源対策（涵養促進への支援等）

5) 施策効果の評価と見直し

一定期間ごとに、上記対策計画等に基づく進捗状況を評価し、必要に応じ計画の見直しを行う。

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

9-1 海外の硝酸性窒素等施策に関する情報

(1) EU の取組

EU は、1991 年に「硝酸塩指令（農業起源の硝酸による汚染からの水系の保護に関する閣僚理事会指令 Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources）」を公布し、農業に起因する硝酸性窒素による地下水・表流水の硝酸汚染や河川・湖沼の富栄養化の削減・防止対策の取組を始めた。

硝酸塩指令（1991）では、地下水や地表水に硝酸汚染が生じているか、そのおそれのある集水域を「硝酸塩脆弱地域」に指定し、脆弱地域内の農業者は硝酸汚染を防止するため、加盟各国が定めた行動計画を守ることが義務とされた。

行動計画には、(1) 窒素の総投入量（家畜排せつ物＋化学肥料）を、土壌やその他からの供給量も考慮して、作物要求に合わせ、適正施肥を行うこと、(2) 家畜排せつ物の農地への最大還元量を 170 kg N/ha にすること、(3) 作物の生育できない冬期間における家畜排せつ物の施用を禁止し、その間の排せつ物を貯留できる施設を整備すること、(4) 地下水や地表水を汚染しやすい場所や時期に、肥料や堆肥を施用しないこと等の規準を定めている。硝酸塩脆弱地域外の農業者には、国の定めた、硝酸汚染と富栄養化の防止のための優良農業規範を自主的に守ることを要請している。

その後さらに、2000 年に「水枠組み指令（EU Water Framework Directive : 共同体の水政策の行動に関する枠組を定める指令 Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy）」を公布した。水枠組み指令の目的は、地域や原因別に対策を構うだけでなく、集水域単位に全ての水系や供給源に対して包括的な取組を行うことにある。

水枠組み指令によって、加盟国には以下の行動計画が義務付けられた。

- 2003 年に河川を中心とした集水域管理区を設定し、管理区ごとに管理所管組織を指定する。
- 2004 年に集水域管理区内の水質状況や汚染原因の把握と経済分析に着手する。
- 2006 年にモニタリングネットワークを設置し、遅くとも 2006 年中に関連情報と見解を開示し、住民を含む関係者の意見を求める。
- 2008 年に集水域管理区ごとに管理プラン案を策定し、2009 年に管理プランを確定する。
- 経済分析と汚染者負担原則を踏まえて、水質浄化・維持に要するコストを回収できる水利用価格を 2010 年までに導入する。
- 遅くとも 2012 年までに 2021 年までの第 1 期対策プログラムを実施する。この中で表流水については 2015 年までに目標を達成する。
- 目標が達成できない場合には、2027 年を最終達成期限とする第 2 期対策プログラムを実施する。

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

このように、EUの水枠組み指令（2000）は、包括的な水質汚染対策の枠組みのロードマップを示すものであるが、特に硝酸汚染に焦点を当てているわけではない。水枠組み指令の目的を達成するための重要な方策の1つとして、硝酸塩指令が位置づけられている。

硝酸塩指令（1991）が公布後、加盟各国は、硝酸塩指令に規定された条項の実施状況を4年ごとに欧州委員会に報告し、欧州委員会はそれらをまとめた欧州議会と閣僚理事会に提出することが規定されている。これまでに、第1回報告書（1992～1995年）、第2回報告書（1996～1999年）、第3回報告書（2000～2003年）、第4回報告書（2004～2007年）及び第5回報告書（2008～2011年）、第6回報告書（2012～2015年）が出されている。

ここでは、2018年5月に公表された「第6回加盟各国の硝酸塩指令実施報告書（EC,2018a, 2018b）」について、特に、地下水汚染に関連する部分を、西尾道徳の環境保全型農業レポート No.339 (<http://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=3849>) を参考にまとめた。

【参考文献】

- European Commission (2018a) : REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012–2015. {SWD(2018) 246 final} Brussels, 4.5.2018 COM (2018) 257 final.
(<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/EN/COM-2018-257-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>)
- European Commission (2018b) : COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Accompanying the document Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012-2015. {COM(2018) 257 final} Brussels, 4.5.2018 SWD(2018) 246 final. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)
- 西尾道徳. EUの2012-15年（第6回）硝酸塩指令実施報告書. 環境保全型農業レポート No.339, 2018. (<https://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=3849>)

1) 肥料使用量

EU 統計局によると、EU における家畜ふん尿窒素の 2012~14 年の使用量は、9,200 t であり、2008~11 年に比べて 2.6%減少している。家畜ふん尿窒素の使用量はハンガリーとラトビアで 5%以上増えたのに対して、ブルガリア、キプロス、チェコ共和国、マルタ、ポーランド、ルーマニア及びスロベニアで 5%以上減少した（図 9.1）。

EU での無機態窒素及びリン酸肥料の全使用量は、2008~11 年で 4%、2012~15 年で 6%増加した。スロバキアでは無機態窒素態肥料の使用量が 30%減少したのに対して、ブルガリアでは無機態窒素の使用量が 56%増加した（図 9.2）。このように加盟国間で大きな違いが見て取れる。

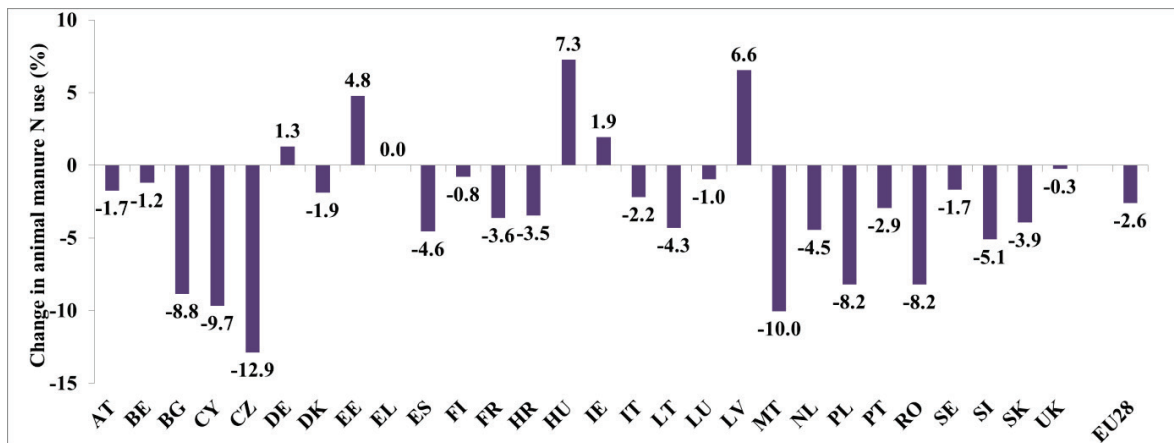


図 9.1 EU における家畜ふん尿窒素の使用量の変化（2008-2011 と 2012-2015）

出典：European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

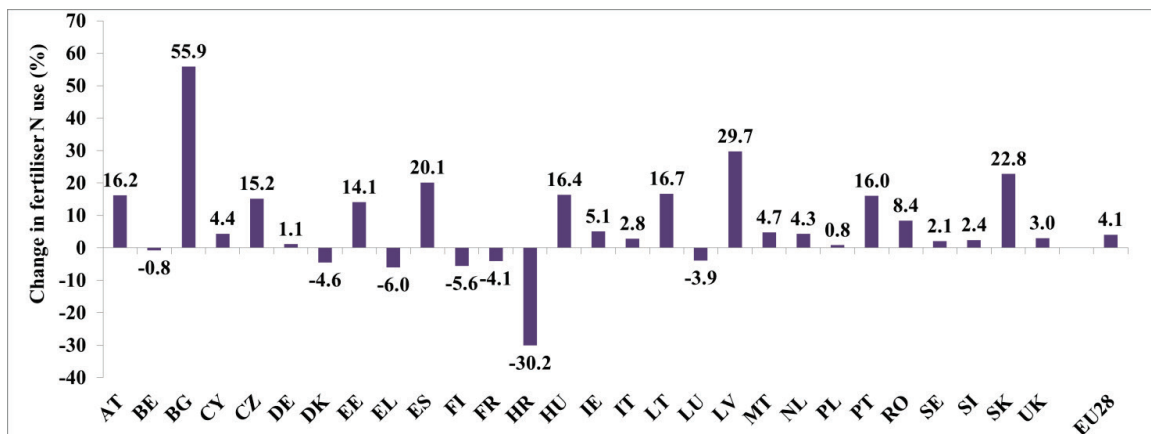


図 9.2 EU における無機態窒素肥料の使用量の変化（2008-2011 と 2012-2015）

出典：European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

2) 窒素収支

硝酸塩指令は、作物に必要なとする適正量を施用して損失を回避するように、農場レベルで収支のとれた施肥を行うことを推奨している。

2008～11年と2012～15年の間に、EUでの窒素収支は31.8 kg N/haから32.5 kg N/haへ若干増加した。加盟国間で大きな隔たりが見られるが、前期間に比べ環境への潜在的損失の可能性が増したことを意味している。

2012～14年の期間に、ルーマニアを除く全ての加盟国で余剰窒素が生じた。窒素余剰量が非常に大きかった(>50 kg/ha)のは、ベルギー、キプロス、チェコ共和国、デンマーク、ルクセンブルク、オランダ及びイギリスであった(図9.3)。

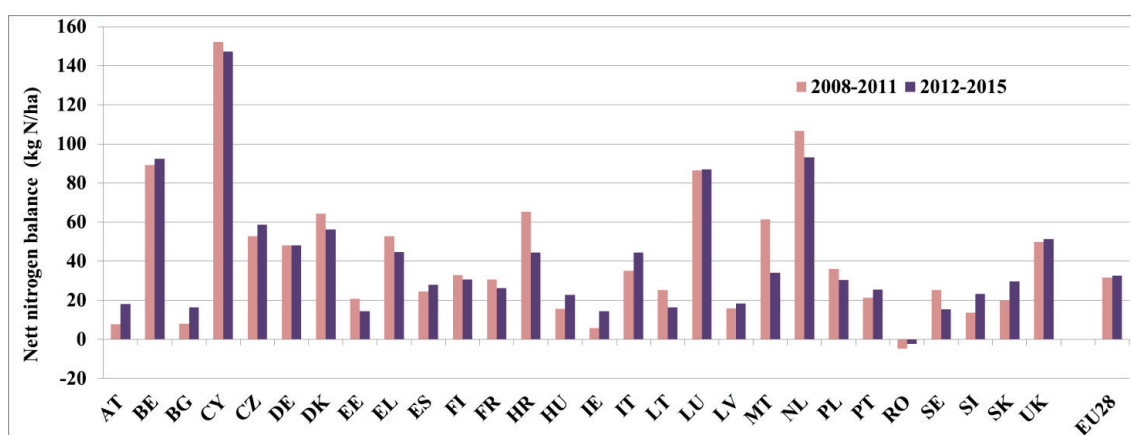


図 9.3 EUにおける平均窒素収支(2008-2011と2012-2015)

出典: European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

3) 農業からの環境への窒素負荷

農業から水環境への窒素負荷の影響に関する情報は、全ての加盟国から報告されているわけではないが、農業は依然として環境への主たる窒素供給源であると報告する加盟国もある。それらの国々において前報告期間と本報告期間について比較すると、平均窒素負荷量は3%減少した。

4) 地下水のモニタリングの状況

EU加盟28カ国における2012～15年の地下水モニタリング地点の総数は34,901であり、前回の期間と同程度であった。EU全体では1000 km²当たり8地点である。1000 km²当たりのモニタリング地点がもっとも多かったのは、マルタとベルギーでそれぞれ1000 km²当たり130と97地点であった。一方、1000 km²当たりのモニタリング地点が最も少なかったのはフィンランドとスウェーデンで、1000 km²当たり1地点未満であった(図9.4参照)。

また、平均サンプリング頻度は年間約2回だが、デンマーク、ラトビア、ポーランド及びスウェーデンでは年1回未満、ベルギーとクロアチアでは年間約5回と、国によって幅がある(図9.5参照)。

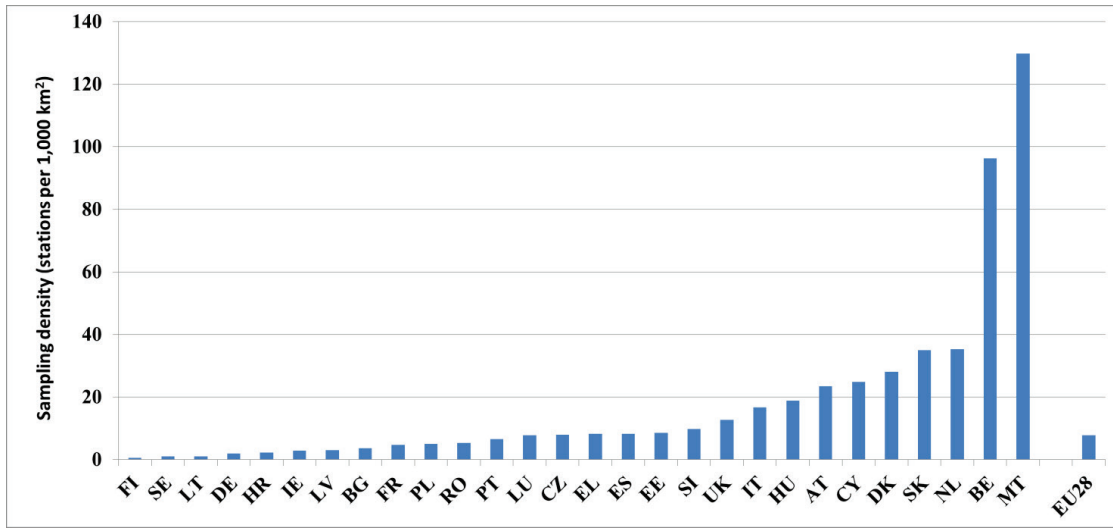


図 9.4 EU 加盟国の地下水モニタリング地点数 (地点/1000 km²)

出典 : European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

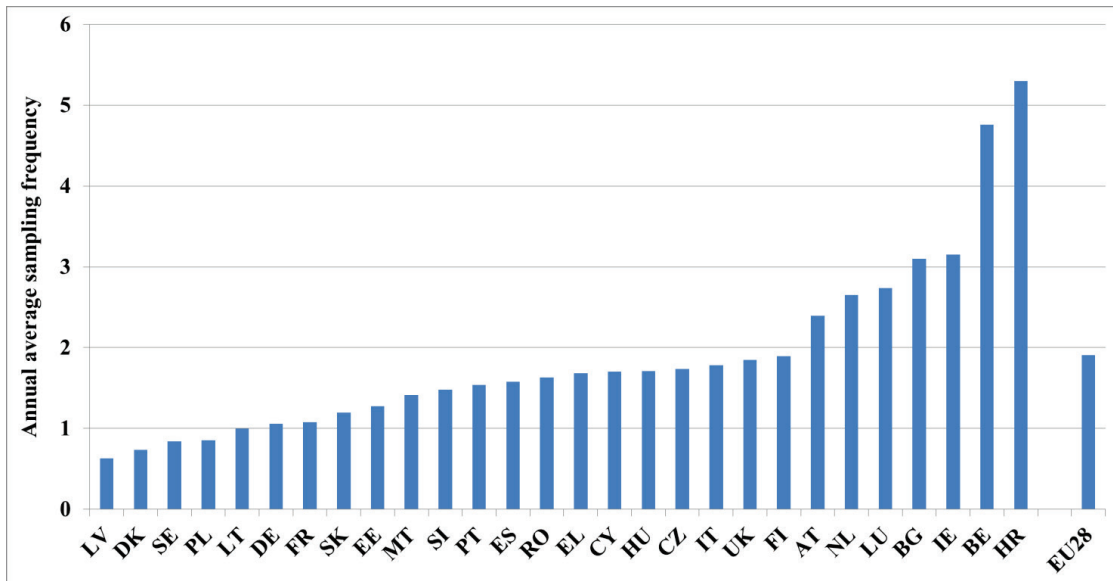


図 9.5 EU 加盟国の地下水モニタリング頻度 (回/年)

出典 : European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

5) 地下水質の状況

2012～15年には、地下水モニタリング地点うち13.2%が50 mg NO₃/Lを超え、5.7%が40～50 mg/Lであった。前回の期間において14.4%が50 mg NO₃/Lを超え、5.9%が40～50 mg/Lであったのに対して水質はやや改善している（図9.6）。

なお、加盟国間でおおきな差があり、アイルランド、フィンランド及びスウェーデンでは、平均で50 mg/Lを超える地下水モニタリング地点はほぼなかった。これに対して、マルタ、ドイツ及びスペインでは、地下水モニタリング地点のうちそれぞれ71%、28%及び21.5%が50 mg NO₃/Lを超えた。しかし、加盟国間でのデータの比較は、モニタリング網や政策の違いにより限界がある。

また、50 mg NO₃/L以上の地下水モニタリング地点は深さ5～15 mで多く認められた（図9.7）。

2012～15年と2008～11年のモニタリング結果を比較すると、水質は74%のモニタリング地点で同じか改善され、地下水モニタリング地点の42%が横ばい、32%が減少傾向を示した。一方、地下水モニタリング地点の26%は悪化し、前回期間と類似していた。前回よりも水質が改善した地下水モニタリング地点の割合が最も高かったのは、ブルガリア（40.9%）、マルタ（46.3%）とポルトガル（43.6%）で、最も横ばいが多かったのはスウェーデン（98%）、悪化した地下水モニタリング地点の割合が最も高かったのはエストニア（44.4%）、マルタ（43.9%）及びリトアニア（58.5%）であった（図9.8）。このように、汚染地域の水質は以前にもまして悪化していった。その一方で、浄化地域の水質は改善していくという二極化現象が見られた。

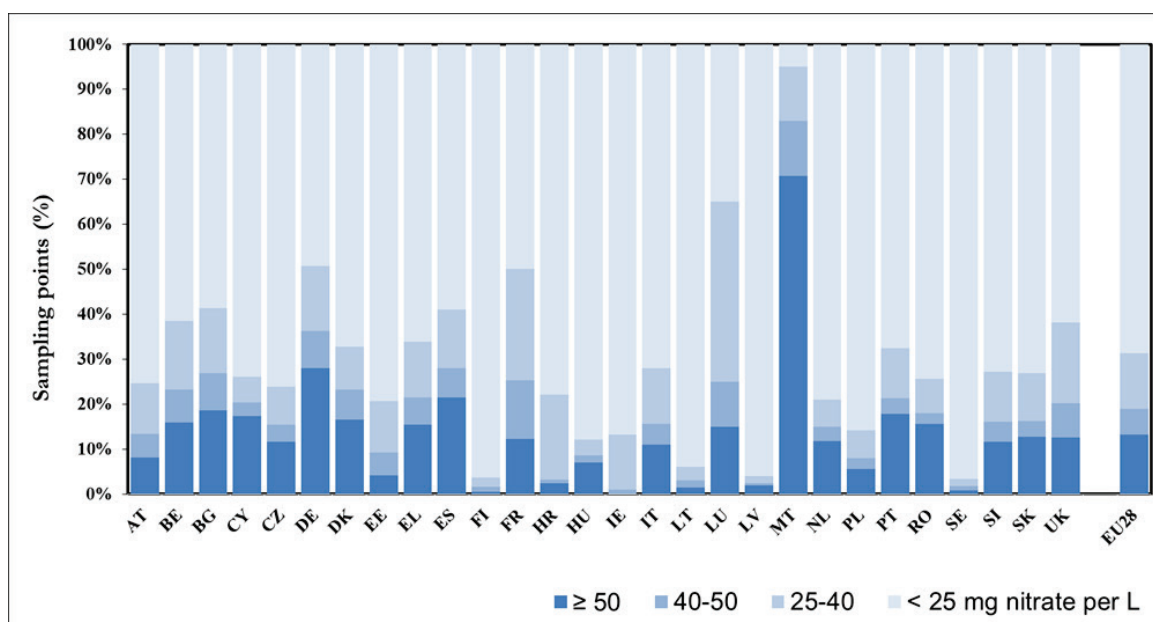


図 9.6 EU 加盟 28 力国の地下水硝酸濃度の状況

出典：European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

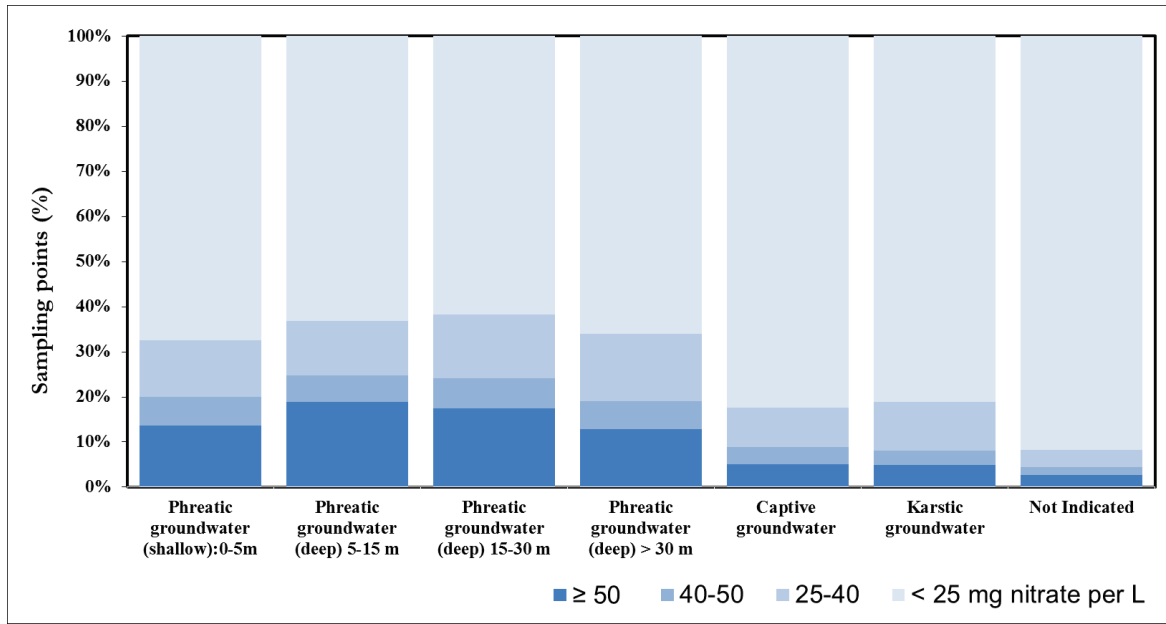


図 9.7 EU 加盟 28 力国の深度ごとの地下水硝酸濃度の状況

出典 : European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

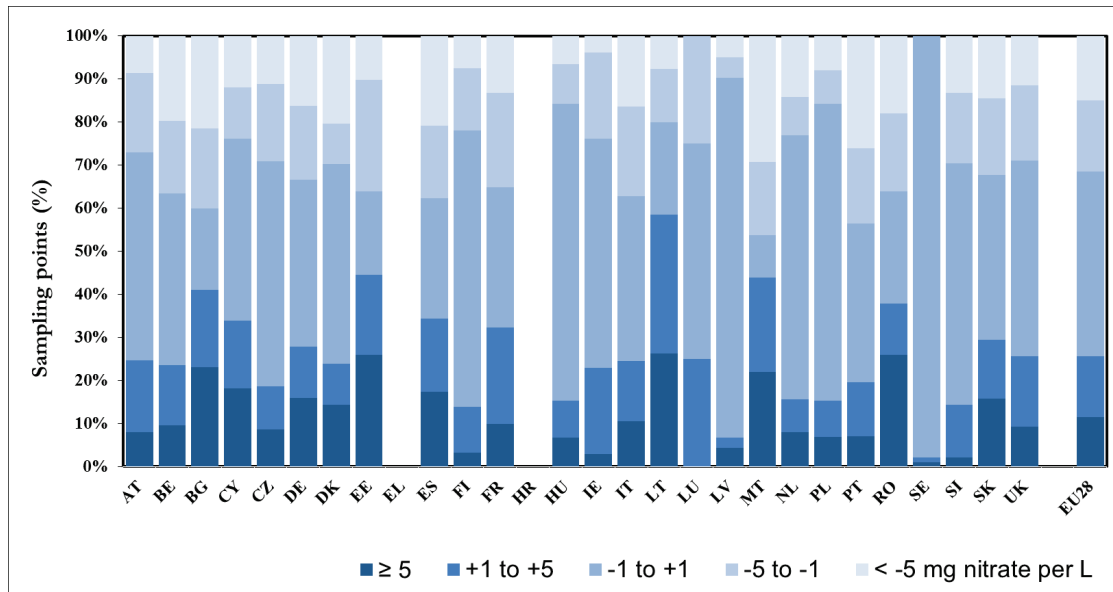


図 9.8 EU 加盟 28 力国の地下水硝酸濃度の傾向

出典 : European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

6) 硝酸塩脆弱地域 (NVZ) の指定状況

硝酸塩指令 (1991) では、汚染の生じている水域、あるいはそのおそれのある水域に流れ出る地域を硝酸塩脆弱地域 (Nitrate Vulnerable Zone) として指定するように加盟国に求めている。硝酸塩脆弱地域を指定する際は、特定地域を指定する代わりに農地全体へ行動計画を適用してもよいとしている。オーストリア、デンマーク、フィンランド、ドイツ、アイルランド、リトアニア、ルクセンブルク、マルタ、オランダ、ルーマニア、スロベニア、ベルギーのフランダース地方、北アイルランドはその手法を採用している。硝酸塩脆弱地域は図 9.9 に示すとおりである。

硝酸塩脆弱地帯の総面積は、2012 年の 1,951,898 km² から 2015 年には約 2,175,861 km² に増加し、農地の約 61%を占めるようになった。これは、EU の農地のうち 61%の地域で収支のとれた施肥を達成するという義務が生じることを意味する。

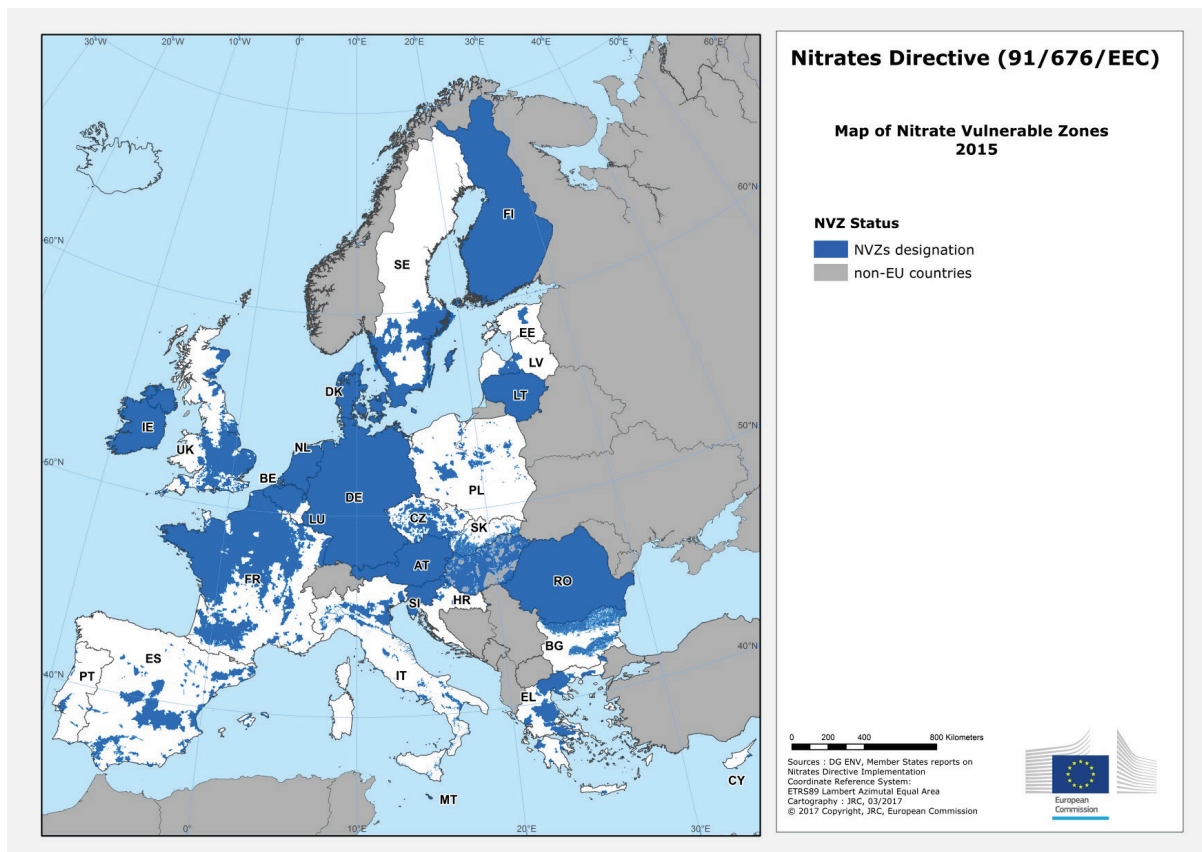


図 9.9 硝酸塩脆弱地域の指定状況 (2015)

青：硝酸塩脆弱指定地域

出典：European Commission (2018b). (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0246&from=de>)

7) 行動計画

加盟国は、指定した硝酸塩脆弱地帯または国土全体に、行動計画を策定することが義務づけられている。加盟国の多くは、2012～15年の報告期間に行動計画の新規策定または改訂を行った。

農業由来の窒素による水質汚染の減少とさらなる水質悪化を防ぐことが、行動計画の目的である。収支のとれた施肥を確保する肥料施用基準を定義することが、最も重要な課題の一つである。ほぼ全ての加盟国は、各作物生産に認められた全窒素量の規定量を受け入れている。

もうひとつの重要な問題は、家畜排せつ物の貯蔵である。全ての加盟国は、貯留容量を含めて家畜排せつ物の貯蔵について条項を設けているものの、農場レベルでの現在利用可能な貯蔵容量についての情報収集など、より強化した行動が必要である。

全国土に行動計画を適用している加盟国では、地域的要因やホットスポットごとに適した方法を適用させることが最大の課題となっている。このため、行動計画のなかで対策を強化する地域を指定している加盟国もある。

詳しく見ていくと、加盟国は、「できの悪い農場」（負荷量の大きい）のような特殊環境に的を絞って、「できの良い農場」には柔軟性を持たせている。この方法は興味深いものであるが、明確な環境目標、より厳しい実施方法と正確な養分管理計画を伴っている場合にだけ、成果がえられる。

8) 水質予測

加盟国が採用する水質予測の方法は、主に傾向分析、シナリオ評価及びモデル解析に基づいている。またそれらは農業における過去の分析と将来的な発展に関連付けられているものもある。しかしながら、これらの予測は、気候や土壌の条件の大きなばらつきやそれらが水質に影響することにより、特有の不確実性を含んでいる。

「農村開発プログラム」に含まれているいくつかの農業環境対策の実施と行動計画の方法との組合せにより、12の加盟国と2つの地域は地下水と表流水中の硝酸塩濃度のさらなる減少を予測している。

7つの加盟国と3つの地域は、将来の水質について明確な予測を明示していない。例えば、一部の水域については水質の改善が予測され、かつ別の水域については水質の悪化が予測されている。

3つの加盟国（クロアチア、ギリシャ、ポルトガル）は、水質の予測について報告を出さなかった。キプロスとベルギー（フランダース地方）は、対策の施行時期と効果発現時期の間の時間のずれまたは気候条件や水文学のために予測が不可能であったと報告した。

9) 家畜排せつ物窒素施用規制値の例外措置

硝酸塩指令は、同付属書 III に規定された客観的な基準が満たされ、例外措置として認められる量が指令の目的達成を損なわないならば、硝酸塩脆弱地帯において家畜排せつ物由来の窒素を年最大 170 kg/ha を上回る投入を認めている。特例措置の恩恵を受ける農家に求められた管理基準は、養分計画と農地管理についての追加規制が義務として加えられた行動計画よりもさらに厳しいものである。

この家畜排せつ物由来の窒素量の特例措置は、指令の施行の際、欧州委員会を支援する「硝酸塩委員会」の意見を踏まえて、欧州委員会によって承認される。2015 年末時点で例外措置は 6 つの加盟国で認められている。全国土で例外措置が認められている国（デンマーク、オランダ、アイルランド）、またはその一部地方（ベルギーのフランダース地方、イタリアのエミリアロマーニャ州、ロンバルディア州、ピエモンテ州、ベネト州、イギリスのイングランド、スコットランド、ウェールズ、北アイルランド）で認められている。

10) 硝酸塩指令違反訴訟

2017 年 7 月時点で、7 加盟国に対して欧州委員会から欧州司法裁判所に対して、下記の訴訟がなされていた。

フランスは硝酸塩脆弱地帯の指定について、ギリシャとポーランドは硝酸塩脆弱地帯の指定及び行動計画について、スロバキアはモニタリング、硝酸塩脆弱地帯の指定及び行動計画について、ブルガリア、ドイツ、ベルギー（ワロン地域）は行動計画について。

11) 今後の課題

淡水と地下水の硝酸塩濃度は前報告期間よりもやや改善した。行動計画が良い結果をもたらした加盟国もあれば、さらなる汚染の削減と防止が求められる加盟国もあり、さまざまな状況が EU で存在した。はっきりとした進捗は認められるが、農業からの養分の過剰負荷は、引き続き水環境へ影響を与える最大の要因のひとつとなっている。水枠組み指令で確立されたように、良好な水の生態学的環境を実現するために取り組まれる必要がある。

前報告期間と同様に、資料不足や加盟国により適用された富栄養化を評価するための手法の違いにより、富栄養化についての結論がでなかった。委員会は富栄養化の評価のための共通の手法の運用が、水に関する法律のより統一された適用に必要であると考えている。しかし、富栄養化の問題はバルト海などの多くの地域に残っていると結論を下すこともできる。

2012～2015 年の地下水のモニタリング密度は 2008～2011 年と同様であった。

モニタリング地点の転換は、水質の傾向の精度に影響を与えていないことを確認する必要がある。

さらに、モニタリング強化の余地が残っている加盟国もある。これは汚染の範囲や傾向に関するデータの比較可能性の改善や、EU 全体の水質の詳細の把握やすべての汚染水を検出する手助けになる。

硝酸塩脆弱地帯の総面積は 2012 年から増加し続けている。しかし、汚染を引き起こす水域に流れ出る全ての地域を硝酸塩脆弱地帯に指定した加盟国では、行動計画の実効性を確保するための努力すべき点はまだ残っている。

全体的に、測定の強化と収支のとれた施肥を達成するために改善された手法により、行動計画は改善してきている。しかし、いくつかの課題はまだ存在している。例えば、全国土に行動計画を適用させた加盟国では、地域的要因やホットスポットごとに適した手法が必要となっている。農場レベルでさらに柔軟な取組を持たせている行動計画は、農家の当事者意識や関与を高めていると考えられる。明確な環境目標や、正確な測定、より厳しいな実施方法と正確な養分管理計画の選択と実行のための農家への効果的な助言と支援が伴っている場合にだけ、この手法は結果をもたらすと考えられる。

無機質肥料、土壌改良剤やかんがい用の再生水や既に土壌に存在する養分のような有機質肥料以外のすべての養分の流入量を考慮に入れる正確な方法が課題である。また、効果的な肥料管理により水や大気への養分損失を防ぐことも課題である。栄養排せつの計算とデータ収集の共通の方法は、さらに統一された養分収支の推定と堆肥からの養分のさらなる効果的な使用を可能にする。

ある特定課題の解決策を提案する研究と改革の統合的利用方法については、より一層の注意が必要である。EU の研究プロジェクトは、富栄養化を評価するためのさらに統一された共通の手法と、例えば最先端のモニタリング方法に基づく水質モニタリングの強化と効果的な行動計画の改善に対して知見を提供してくれる。

いくつかの加盟国において、革新的な肥料処理技術の開発のための努力が継続されている。循環経済行動計画を踏まえて、これらの前向きな流れは、主要養分にとって代わることでできる養分の再利用を促進する機会を提供している。主要な課題は、主要養分よりも少なくとも同等かそれよりも高い環境的で農業的な性能をもつ再利用品を入手することである。

また、作業文書の「EU における農業と持続的な水管理」で述べられているように、管理や関係者間（農業と環境の関係当局、農家、水道会社、水利用者など）の対話や連帯した組織的な計画の強化を改善する必要がある。これに関連して、「自然、人間や経済への行動計画」もまた、加盟国に自然指令と硝酸塩指令の相乗効果の改善を要求している。

最後に、透明性の向上、より集中的な報告と管理上の負担軽減の観点から、委員会は「効果的な環境報告の行動」のために必要な措置を講じていくことになるであろう。

(2) イギリスにおける硝酸対策

イギリス（注：厳密にはイングランド地方である）は、EU の硝酸塩指令（1991）を規定どおりに施行せず、2000 年 12 月に欧州司法裁判所から違法の裁定を受けた。

これを受けて、硝酸塩指令に即して、自国の農業に起因した硝酸汚染防止を図る法律を強化する方針を 2008 年 7 月に決定し、その結果「2008 年硝酸汚染防止規則」が 2008 年に国会で承認され、2009 年 1 月 1 日から施行された。

その後、「硝酸汚染防止規則」は、2009 年、2012 年、2013 年と毎年のように改正されて、現在、「硝酸汚染防止（改正）および水資源（汚染防止）（サイレージ、スラリーおよび農業用燃料油）（改正）規則 2013 年」The Nitrate Pollution Prevention (Amendment) and Water Resources (Control of Pollution) (Silage, Slurry and Agricultural Fuel Oil) (England) (Amendment) Regulations 2013 と改称されている。

これらの改正によって、2013 年 5 月 17 日、2014 年 1 月、2014 年 5 月ないし 2015 年秋から新たな規制が施行される。こうした新たな規制の追加に対応して、DEFRA（環境農業農村地域省）は、硝酸塩脆弱地域に指定された地域内の農業者が遵守すべき規制の内容、遵守するための技術的対応方策等を解説したガイドブック（2013 年～2016 年用）を 2013 年に刊行した。

以下では、その主要点を紹介する。

【参考文献】

- DEFRA. Guidance on complying with the rules for Nitrate Vulnerable Zones in England for 2013 to 2016. 2013. (<https://www.nutrientmanagement.org/assets/12071>)
- 西尾道徳. イングランドが硝酸脆弱地帯の農地管理規定を強化. 環境保全型農業レポート No.231, 2013. (<https://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=2788>)

1) 家畜排せつ物窒素の施用上限量

イギリスにおいても、硝酸塩指令に準拠して、硝酸塩脆弱地域（NVZ）に指定された地域においては、家畜排せつ物の施用量（放牧家畜による直接排泄や施用を合わせて）を、暦年（1 月 1 日から始まる 1 年）の 1 年間に家畜排せつ物中の窒素量で 170 kg/ha を超えてはならないと規定している。これは、草地、飼料畑、耕地、樹園地等の農場の農場全体での平均値である。換言すると、全農地での平均値を 170 kg N/ha 以下に確保できるなら、一部圃場には 170 kg N/ha よりも多く施用しても良い、ということになる。

イギリスの標準的係数では、乳牛成畜（乳量 9,000 L 超）は排せつ物で年間 115 kg N/頭の窒素を排泄するので、170 kg N/ha 以下の排せつ物窒素量に抑えるには、年間 1.5 頭/ha しか飼養できないことになる（西尾, 2013）。

農場から他の農場等に搬出された家畜排せつ物は計算から除外することができるが、家畜排せつ物を農場の外に搬出する合意が失敗した際の緊急時対応プランを事前に作っておき、その詳細を保持しておくことがガイドブックで求められている。

なお、イギリスの独自規定として、農場の農地の少なくとも 80%を牧草地として確保し、家畜排せつ物の上限量を、放牧家畜で 250 kg N/ha、非放牧家畜で 170 kg N/ha を遵守で

きる証拠を示すことができる場合には、放牧草地での上限値を 250 kg/ha に増やすことができる規則を新たに施行した（既存の硝酸塩脆弱地域では 2013 年 5 月 17 日から、新規に硝酸塩脆弱地域に指定された場合は 2014 年 1 月 1 日から）。

A) 窒素施用量の最大上限値

窒素施用量には 2 つの上限値が設定されている。

1 つは、農地に施用する有機質資材の施用量を、12 か月間に全窒素量で 250 kg/ha を超してはならないことである。家畜排せつ物窒素の上限量が 170 kg/ha なので、これを超える 80 kg/ha の全窒素は、家畜排せつ物以外の有機質資材のものでなければならない。

この枠組の上で、主要作物には窒素施用量の最大上限値が決められている。当初は、コムギ、オオムギ、油料ナタネ、シュガービート、ジャガイモ、飼料用トウモロコシ、露地ビーンズ、エンドウ、イネ科牧草だけであったが、2014 年 1 月 1 日から主要野菜が追加される。

なお、ここでいう窒素施用量は、当作において、化学肥料からの無機態窒素と有機質資材から供給される可給態窒素を合わせた量である。

有機質資材中の可給態窒素量は、全窒素量中の割合で表示されている。

全窒素量は、サンプルの分析、ガイドブックにある標準値、販売元の分析値、DEFRA が刊行している肥料と施肥についての詳しい技術指導書の肥料マニュアル（DEFRA (2010) Fertiliser Manual (RB209) 8th Edition.）の値を使用する。

また、可給態窒素割合は、ガイドブックや肥料マニュアルに標準値が書かれている。

例えば、ジャガイモの N 最大上限値は 270 kg/ha だが、家畜排せつ物由来の窒素施用量を 270 kg/ha に上げることはできない。家畜排せつ物由来の窒素（全窒素）は 170 kg/ha までで、残りの窒素は化学肥料や他の有機質資材で施用しなければならない。

また、スラリーの可給態窒素の割合が、標準値を改正するたびに高くなっていることが注目される。例えば、牛スラリーの可給態窒素割合は、2009 年 20%、2012 年 35%、2014 年 40%と次第に高く設定されてきているが、これは初めから可給態割合を実際に近い高い値に設定すると、対応できない家畜生産農場が続出するため、農場の対応状況を踏まえて、次第に高めてきたためと推定されるとしている（西尾, 2013）。

なお、有機質資材と訳したのは、“organic manure”のことで、家畜排せつ物（スラリー、固形家畜排せつ物（家禽ふん、ワラ等の敷料と混合した家畜排せつ物））とその他の有機質資材（消化汚泥を固液分離した液体と汚泥等）を合わせたものである。“organic manure”を有機質肥料と訳すと、魚粉、油粕等の有機質肥料を連想させるが、これらイギリスではほとんど使われていないので、誤解を避けるために有機質資材と訳したとしている（西尾, 2013）。

窒素施用量の最大上限値は、農場全体をとおした作物ないし作物グループ別の平均窒素施用量に適用される。このため、一部の圃場で最大上限値よりも多く施用し、他の圃場で同じ作物への施用量を少なくして、平均施用量が最大上限値以下にして施用しても良いとされている。

B) 窒素施用プランの作成

各圃場の作物別に窒素施用プランを作ることが要求されている。プランには、下記のステップに従った事を示す記録を添付しなければならない。

- ステップ 1：生育期間中に作物に吸収可能と考えられる土壌供給窒素量を計算（土壌窒素供給量）
- ステップ 2：土壌窒素供給量を考慮して、作物に施用すべき至適窒素量を計算（作物窒素要求量）
- ステップ 3：施用するつもり有機質資材から、それを施用した生育期間中に作物が吸収できると考えられる窒素量を計算（作物可給態窒素量）
- ステップ 4：必要な化学肥料量を計算

a) ステップ 1：土壌窒素供給量

土壌窒素供給量 Soil nitrogen supply (SNS) は、前作に施肥した肥料の残りを含め、生育期間中に作物に吸収可能になる窒素の土壌中の量 (kg N/ha) で、土壌からの溶脱等による窒素ロス量を考慮してある。具体的には、施肥・播種を行う前か、その直後の春または秋に、深さ 90 cm までの根域内で土壌から供給される窒素量で、次の合計値である。

- (a) 根域内土壌に存在する無機態窒素量
- (b) 上記無機態窒素量測定時に作物が既に栽培されていた場合は、作物の吸収していた窒素量
- (c) その後の生育期間中に、土壌有機物と作物残渣から無機化されてくる窒素量

肥料マニュアルには、前作物の種類、土壌タイプ、降水量等による標準的な土壌窒素供給量が、土壌窒素供給量指標 (SNS 指標) として、年間 61 kg/ha 未満の「0」から、240 kg N/ha を超える「6」まで 7 段階にランク分けされてまとめられている。

例えば、前作に穀物を栽培した作土の深い肥沃なシルト質土壌で、降雨量 600 mm 未満なら、土壌窒素供給量指標は「2」（81~100 kg/ha）、600~700 mm なら「1」（61~80 kg N/ha）となる。肥料マニュアルの標準的な値を使用して良い。根域内の無機態窒素量は、土壌の依頼分析で測定することもできる。

b) ステップ 2：作物窒素要求量

肥料マニュアルは、作物窒素要求量を、販売額と肥料代金を考慮して、経済的に最も得になる収量を上げるために「作物に供給すべき窒素量」と定義している。

例えば、コムギでは、肥料窒素 1 kg の代金を支払うのに要する作物収量を損益分岐点として、標準の損益分岐点を 5 : 1、つまり、肥料窒素 1 kg の代金を支払うのに要する作物収量を 5 kg として、作物の標準窒素要求量を土壌窒素供給量指標別の値として提示している。

土壌窒素供給量指標が「2」（土壌窒素供給量 81~100 kg/ha）の場合、窒素要求量は、秋・初冬播きコムギだと、軽しような砂質土壌で 100 kg N/ha、土層の浅い土壌で 210 kg

N/ha、土層の深い粘土質土壌で 190 kg N/ha である。肥料代金や農産物販売額が変動した場合には窒素要求量を調整することになる。

施肥マニュアルでは、主要な作物について経済的に最も得になる収量を上げるのに必要な窒素要求量を、土壌窒素供給量指標の大きさに応じて表によって示している。

c) ステップ 3 : 作物可給態窒素量

通常の無機化学肥料中の作物可給態窒素量は、ラベルに表示されている。

d) ステップ 4 : 必要な化学肥料量

土壌窒素供給量を除いた作物窒素要求量から、施用する有機質資材から供給される可給態窒素量を差し引いた、残りの窒素量を化学肥料で供給する。

C) 低集約農業での記録の一部免除

下記の条件を満たす低集約農業者は、化学肥料と有機質資材の実際の詳しい施用についての記録の保持を免除された（従来からの硝酸塩脆弱地域では 2013 年 5 月 17 日から、新たに指定された硝酸塩脆弱地域では 2013 年 7 月 1 日から）。

- (a) 農地の少なくとも 80% が草地であり、かつ、
- (b) 100 kg N/ha を超える窒素を、有機質資材（家畜によって直接圃場に施用される排せつ物 N を含む）で施用せず、かつ
- (c) 90 kg N/ha を超える窒素を、化学肥料で施用せず。かつ、
- (d) 外部から有機質資材を農場に持ち込まない。

この規則を活用したい場合は、上記の低集約農業者基準を遵守していることを示す十分な情報（圃場ごとの肥料記録）を記録しておく必要がある。

D) 堆肥だけ施用の場合の特例

「硝酸汚染防止規則」において、「農場管理者は農場の農地に施用する有機質資材の施用量を 12 か月間に窒素総量で 250 kg/ha を超えてはならない。」と規定されていた。これが 2013 年 4 月の改正によって、下記が追加された（既往の硝酸塩脆弱地域では 2013 年 5 月 17 日から、新規の硝酸塩脆弱地域では 2014 年 1 月 1 日から施行）。

- (a) 農場管理者は、農場の農地に施用する有機質資材の施用量を、12 か月間に窒素総量で 250 kg/ha を超してはならない。
- (b) 農場管理者は上記(a)項で規定された上限値を、農場管理者が認証を受けた植物廃棄物の堆肥ないし植物/食品廃棄物の堆肥の形態の有機質資材を、下記(c)と(d)項の要件を満たすなら、超えることができる。
- (c) 上記(b)項を行おうとする農場管理者は、農場内の農地にヘクタールに施用する植物廃棄物の堆肥ないし植物/食品廃棄物の堆肥中の窒素総量が下記を超えないように確保しなければならない。

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

- a) 堆肥をマルチとして散布する場合や土壌に混和する場合のいずれであっても、2年間の施用量が 500 kg を超えない。
- b) 果樹園（リンゴ属、ナシ属、サクラ属のもの）でマルチとして施用する場合に、4年間に 1,000 kg を超えない。
- (d) 農場管理者は、(c)項に規定された農地に、a)及び b)にしたがって施用している期間内に他の有機質資材を施用してはならない。

E) 固体有機質資材の野積みによる一時的貯留の許可

「硝酸汚染防止規則」で、家禽ふん等固体有機質資材の野積みによる一時的貯留は、野積み期間やその使用について記録を保持するなら、当初から許可されていた。この実施について、新たな条件が追加された（新旧硝酸塩脆弱地域とも、2014年1月1日から施行）。

- (1) 自立堆積物として堆積するのに十分な固形物であること
- (2) 堆積資材内から自然に廃液が流出してこないこと
- (3) 敷料のない家禽ふんは不透水性シートで被覆すること
- (4) 下記には設置してはならない
 - (a) 表流水（水路を含む）や農地排水路から 10 m以内
 - (b) 湧水、井戸、掘削孔から 50 m以内
 - (c) 冠水・湛水する可能性があると考えられる農地
- (5) 下記を行なわなければならない
 - (a) 少なくとも 12 か月ごとに一時的圃場堆積物を移動させる
 - (b) 同じ場所に戻るには、少なくとも 2 年間の間を置く
 - (c) 一時的圃場堆積に使用した場所と、使用した期日の記録を保持する

なお、水分が多すぎる有機質資材を貯留するには、建物内や不透水性盤での貯留といった別の方策を確保する必要がある。排出された液はスラリーに分類され、収集して貯留しなければならない。しかし、いったん十分量の廃液が漏出してより固形になったなら、一時的圃場堆積に移すことができる。

この規定から、敷料と混合された家畜排せつ物は一次堆肥化が終わって、汁液の漏出が納まれば、上記の条件を守りつつ、圃場に野積みできると理解できる。

2) 有機質資材の散布禁止場所と施用方法

「硝酸汚染防止規則」によって、下記の農地には有機質資材が常時施用禁止になっている。

- (a) 表流水(水路、一時的に乾いた水路、パイプ水路)の両側、少なくとも 10 m ずつの範囲
- (b) 湧水、井戸、掘削孔から少なくとも 50 m の範囲
- (c) 傾斜 12 度の急傾斜地
- (d) 前 24 時間のうち、12 時間超にわたって湛水、冠水、積雪ないし凍結している土壌（早朝に凍結していても日中に溶ける場合には施用を行うことができる）
- (e) 借地契約、悪臭理由、特別科学的な重要地、農業環境事業参加等による散布禁止地。ただし、特別科学的な重要地、農業環境事業参加地でも、ワラと混合した固形家畜ふ

んは、6月1日から10月31日の間に施用することができる。また、表流水に直接散布せずに、年間の総量がha当たり12.5tを超えないなら、表流水の両側10mよりも近くに散布することができる。

(f)石ころだらけや凸凹地で、散布機を効率的かつ安全に使用できない場所

2013年5月から、下記の改正が施行された。

(a)精密排せつ物散布装置（バンド状散布機*や浅いインジェクター**を用いて、スラリー、下水汚泥の嫌気消化液を散布する場合には、表流水から6m超離れていれば散布できる。

*バンド状散布機：ホースの引きずり式や滑走部の引きずり式の散布機

**浅いインジェクター：土壌表面下10cmより浅い位置への注入式とドリブルバー施用式散布機

3) 速効性窒素含量の高い有機質資材の施用禁止期間

「硝酸汚染防止規則」によって従来から、速効性窒素含量の高い有機質資材（スラリー、家禽ふん、液状消化汚泥等、全窒素含量の30%超が作物に容易に吸収される形態の窒素となっている有機質資材）は、不適切な時期に施用すると水を汚染するリスクがかなり高い。そのため、こうしたタイプの有機質資材を散布してはならない「禁止期間」が設けられている。

- 砂質土壌ないし土層の浅い土壌：草地（9月1日～12月31日）、耕地（8月1日～12月31日）
- 他の全ての土壌：草地（10月15日～1月31日）、耕地（10月1日～1月31日）

例外として下記を認める。

(a)2013年に初めて硝酸塩脆弱地域に指定された場合には、2015年7月を過ぎてから禁止期間を遵守する。

(b)砂質土壌ないし土層の浅い土壌の耕地に9月15日かそれ以前に作物を播種した場合、8月1日と9月15日の間（両日を含む）に有機質資材を施用することができる。

(c)有機農業者か正式の有機転換農業者の場合には、禁止期間中に下記の作物に最大量（150kg N/ha）まで施用することが許される。

(d)冬作油料ナタネでは、禁止期間の開始日と10月末日の間に施用することができる。

(e)アスパラガス、アブラナ科、イネ科牧草、越冬性サラダタマネギ（春に玉が大きくならないうちに、莖葉を収穫するもの）、球根タマネギでは、禁止期間の開始日と2月末日の間に施用できる。

(f)公認の有資格アドバイザーによるアドバイス書面に基づく場合は、禁止期間中であっても他の作物に施用できる。

9-2 窒素循環変化が起こす環境問題の認識の変化⁽²⁸⁾

人間活動による窒素循環の改変は、次のような環境問題を引き起こしている。窒素循環の改変は、一つの畜舎の付近の強い汚染から、全地球規模で現われる温室効果まで、様々な空間規模を持っている。

- 農地に与えられた窒素肥料の一部及び作物消費による反応性窒素を含む畜産廃物や生活排水が環境中に出ることによって、地下水・河川水等が汚染される。また、湖沼や沿岸海洋水域の富栄養化が起き、その結果として特定種生物の大発生（赤潮・緑潮）、無酸素水塊の形成等が起きる。
- 燃焼によって大気へ窒素酸化物（NO_x）が排出される。NO_xは健康上有害であり、また対流圏オゾンの主成分とする光化学スモッグの原因物質ともなるが、一部は大気によって運ばれそこで降下沈着する。沈着には降水に伴う湿性沈着（酸性雨の一部）と、気体分子あるいはエアロゾル粒子として地表に達する乾性沈着の両方がある。これは陸上植生への害をもたらすこともあり、また水域への反応性窒素負荷に加わる。
- 農地に与えられた窒素肥料は、条件によっては、大気への一酸化二窒素（N₂O）排出を増加させる。これは温室効果を強化し気候変動に寄与する。
- アンモニア合成に使われる化石燃料により大気へCO₂が排出され、温室効果を強化し気候変動に寄与する。

⁽²⁸⁾ (独)科学技術振興機構研究開発戦略センター. 戦略プロポーザル 持続的窒素循環に向けた統合的研究推進. 平成 25 年 2 月. (<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/SP/CRDS-FY2012-SP-01.pdf>)

9-3 国際的な窒素循環研究の状況⁽²⁸⁾

(1) 窒素循環に関する研究者の連合組織

国際窒素イニシアティブ（International Nitrogen Initiative, INI <https://initrogen.org/>）がある。Scientific Committee on Problems of the Environment（SCOPE）とInternational Geosphere Biosphere Programme（IGBP）のそれぞれ一環とされている。6つの地域プロジェクト（アフリカ、東アジア、ヨーロッパ、ラテンアメリカ、北アメリカ、南アジア）がある。東アジアの代表は中国の Xiaotang Ju 教授（China Agricultural University）である。

(2) 窒素循環アセスメント

国際的政策への活用を想定して、窒素循環の現状・対策技術・各対策技術に応じた将来見通し等の科学的知見を総括する活動が始まっている。これは気候変動枠組条約に対するIPCCの役割と類似で、科学研究及び行政等の報告をレビューするものである。汚染による損失と対策費用の比較等の経済面のアセスメントも含む。

ヨーロッパでは、ヨーロッパ窒素循環アセスメントが行われ、その結果が出版されている（Sutton ほか, 2011）⁽²⁹⁾。また、欧州科学財団の推進する窒素循環プログラムでは、窒素による主要な環境問題の頭文字を組み合わせて‘ACT AS GROUP’をキャッチコピーとしている（図 9.10）。

INI では全地球規模の窒素循環アセスメントを構想している。陸源海洋汚染防止条約（GPA）あるいは生物多様性条約（CBD）への貢献を想定している。

INI の北アメリカ地域センターでは、アメリカ合衆国の窒素循環の環境や健康への影響と気候変動との関係に関する評価報告書（Suddick and Davidson, 2012）⁽³⁰⁾を出している。

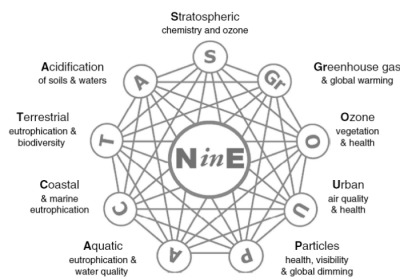


図 9.10 ヨーロッパにおける窒素循環（N in E）と関連する環境問題を表すスキーム

出典：Sutton, M.A. et al. The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press, 2011, Figure 5.5. (http://www.nine-esf.org/files/ena_doc/ENA_pdfs/ENA_c5.pdf)

⁽²⁹⁾ Sutton, M.A. et al. The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press, 2011. (<http://www.nine-esf.org/node/360/ENA-Book.html>)

⁽³⁰⁾ Suddick, E.C.; Davidson, E.A. The Role of Nitrogen in Climate Change and the Impacts of Nitrogen-Climate Interactions on Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Agriculture and Human Health in the United States. A technical report submitted to the US National Climate Assessment. North American Nitrogen Center of the International Nitrogen Initiative. 2012. (<http://www.woodwellclimate.org/wp-content/uploads/2015/09/SuddicketalWHRC.12.pdf>)

索引

あ

| | |
|----------------|---|
| IPM | 120 |
| 浅井戸 | 20, 21, 74 |
| 安定同位体比 | 79, 80, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92 |
| アンモニア性窒素 | 2, 78, 89, 109, 111, 112, 113, 141, 155, 156, 157, 158 |

い

| | |
|------------|--|
| EC | 93, 167, 168 |
| EU | 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 177, 178 |
| 移流分散 | 79, 101, 103 |
| 飲用指導 | 23, 43, 77 |

え

| | |
|---------------|------------------------------|
| 液肥 | 111, 125, 128, 136 |
| エコファーマー | 13, 14, 15, 16, 67, 116, 117 |
| MT3D | 53 |

お

| | |
|------------------|--------|
| 汚染井戸周辺地区調査 | 77 |
| 汚染範囲 | 12, 66 |
| 汚染メカニズム | 50, 51 |
| 温室効果ガス | 163 |

か

| | |
|--------------|--|
| 概況調査 | 6, 7, 47, 77, 109 |
| 解析モデル | 79 |
| 化学肥料 | 14, 15, 16, 36, 43, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 106, 107, 116, 118, 119, 120, 130, 131, 138, 155, 161, 163, 167, 179, 180, 181 |
| 拡散 | 63, 72, 79, 101 |
| 可視化 | 79 |
| 過剰施肥 | 3, 12, 62, 101, 111, 112, 115, 144 |
| 家畜排せつ物 | 4, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 23, 25, 34, 36, 39, 43, 50, 66, 67, 68, 76, 78, 85, 86, 90, 95, 101, 103, 109, 111, 112, 115, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, |

| | |
|----------------|--|
| | 130, 131, 136, 137, 140, 143, 165, 166, 167, 175, 176, 178, 179, 182 |
| 家畜排せつ物法 | 73, 95, 109, 112, 115, 122, 124, 125, 140 |
| カバークロープ | 120 |
| 環境基準 | 1, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 26, 27, 28, 37, 38, 45, 48, 49, 53, 61, 65, 66, 67, 68, 71, 72, 73, 74, 102, 108, 109, 159, 160, 165 |
| 環境基準値 | 1, 5, 21, 107, 108 |
| 環境基本法 | 5 |
| 環境保全型農業 | 14, 16, 17, 36, 43, 114, 116, 119, 120, 121, 166, 168, 178 |
| 関係機関 | 22, 42, 75 |
| 間隙水 | 101, 157 |
| 監視調査 | 7, 43, 45, 47 |
| 涵養 | 16, 27, 37, 78, 166 |
| き | |
| キーダイアグラム | 79, 80, 82, 83 |
| 揮発性有機化合物 | 10 |
| GAP | 17 |
| 協議会 | 16, 18, 19, 22, 30, 36, 39, 49, 52, 63, 67, 75, 165 |
| 供給源 | 5, 8, 12, 30, 50, 52, 67, 68, 76, 77, 78, 79, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 93, 98, 106, 111, 112, 113, 114, 115, 125, 138, 140, 141, 143, 165, 166, 167, 170 |
| く | |
| 掘削除去 | 125 |
| け | |
| 継続監視調査 | 6, 7, 60 |
| 下水道法 | 113 |
| 原因究明 | 8, 79 |
| 原因究明調査 | 76, 78, 79 |
| 現況再現 | 75, 79 |
| 現況把握 | 76, 77, 78 |
| 減肥 | 19, 52, 53, 61, 63, 110, 138, 148, 151 |
| 減肥基準 | 115, 118, 144, 146, 147 |
| こ | |
| 合意形成 | 30 |

| | |
|--------------|---------------------------|
| 効果把握調査 | 78, 79 |
| 公共用水域 | 1, 5, 26, 45, 77, 78, 115 |
| 耕畜連携 | 36, 112 |

さ

| | |
|-------------|--------------|
| 最終段階 | 75 |
| 産業系 | 76, 112, 113 |
| 産業廃棄物 | 111 |

し

| | |
|----------------|--|
| C/N 比 | 158 |
| JA | 20, 28, 49, 65, 67 |
| 持続農業法 | 116 |
| 実態把握 | 76, 165 |
| シミュレーション | 18, 32, 33, 53, 61, 63, 79, 101, 102 |
| 浄化 | 10, 16, 17, 43, 45, 67, 73, 78, 85, 87, 108, 112, 114, 115, 126, 141, 142, 166, 167, 172 |
| 硝酸塩指令 | 167, 168, 170, 174, 176, 177, 178 |
| 硝酸汚染防止規則 | 178, 181, 182, 183 |
| 常時監視 | 6, 65, 77, 79, 93, 108, 159 |
| 将来予測 | 32, 46, 61, 63, 165 |
| 初期段階 | 14, 75 |
| 植物吸収 | 89, 157, 158 |
| 飼料 | 3, 16, 43, 73, 127, 135, 136, 161, 178, 179 |
| 深層地下水 | 50, 59 |

す

| | |
|---------------|--|
| 水源 | 4, 27, 43, 61, 62, 71, 75, 166 |
| 水質汚濁防止法 | 2, 5, 6, 8, 26, 34, 47, 65, 68, 73, 77, 108 |
| 水質基準 | 2, 17, 43, 115 |
| 水質測定計画 | 6, 47, 68 |
| 水道 | 2, 12, 15, 16, 17, 19, 20, 30, 36, 43, 61, 62, 67, 68, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 96, 97, 113, 114, 115, 140, 143, 161, 177 |
| 水道水源 | 5, 37, 38, 49, 50, 61, 62, 63 |
| 水文 | 77, 88, 175 |
| 素掘り | 23, 25, 91, 95, 109, 112, 122, 125, 143 |

せ

| | |
|-----------|----------------------------|
| 生活系 | 24, 76, 112, 113, 141, 161 |
|-----------|----------------------------|

| | |
|----------------------|--|
| 生活排水..... | 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 28, 29, 30, 34, 36, 43, 45, 65, 66, 67, 68, 71, 72, 73, 74, 78, 88, 97, 101, 112, 114, 115, 141, 143, 165, 166, 184 |
| 生活用水..... | 20, 27, 74 |
| 施肥 | 3, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 23, 34, 36, 39, 43, 63, 66, 67, 68, 76, 77, 78, 79, 90, 95, 98, 102, 108, 109, 110, 111, 114, 115, 116, 118, 132, 134, 137, 138, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 152, 154, 157, 158, 159, 165, 166, 170, 174, 175, 177, 179, 180, 181 |
| 施肥基準..... | 43, 67, 68, 78, 105, 106, 111, 114, 115, 118, 143, 144, 145, 146, 147, 166 |
| 浅層地下水..... | 50, 59, 91, 104, 106, 159 |
| そ | |
| 総合的病虫害・雑草管理 | 120 |
| 測定計画..... | 65 |
| た | |
| 対策計画..... | 13, 19, 22, 23, 25, 65, 67, 68, 166 |
| 対策効果..... | 22, 53, 67, 75, 79 |
| 帯水層 | 57, 61, 63, 77, 102 |
| 堆肥化 | 95, 111, 112, 115, 125, 126, 127, 128, 129, 140, 166, 182 |
| 単独処理浄化槽 | 17, 43, 67, 73, 78, 97, 112, 141 |
| ち | |
| 地域総合対策 | 17, 109, 165 |
| 地下浸透..... | 5, 9, 12, 78, 79, 90, 91, 97, 98, 101, 102, 105, 108, 112, 113, 115, 141, 143, 159 |
| 地下水位..... | 59, 61, 75, 79, 91, 92, 103 |
| 地下水汚染リスク評価システム | 102, 103, 104 |
| 地下水解析..... | 18, 19, 33, 46 |
| 地下水解析モデル | 46 |
| 地下水涵養..... | 43, 59, 63, 77, 90 |
| 地下水質..... | 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 32, 34, 36, 41, 43, 45, 47, 63, 66, 67, 68, 69, 77, 79, 93, 108, 109, 143, 172 |
| 地下水質測定計画 | 34 |
| 地下水浄化..... | 10, 11, 45 |

| | |
|----------------|---|
| 地下水流動..... | 34, 52, 53, 77, 88, 101, 104, 165 |
| 地下水利用..... | 17, 20, 27, 37, 49, 61, 65, 71, 72, 73, 74 |
| 地球温暖化..... | 119, 120, 158 |
| 畜産..... | 3, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 36, 43, 67, 68, 71, 72, 73, 74, 90, 95, 113, 122, 123, 124, 125, 127, 128, 129, 130, 136, 137, 139, 140, 163, 184 |
| 畜産系..... | 18, 19, 20, 24, 27, 28, 29, 37, 65, 76, 111, 112, 113, 114, 122 |
| 蓄積..... | 4, 24, 25, 62, 75, 111, 118, 132, 133, 134, 157, 161 |
| 地形..... | 20, 27, 37, 49, 61, 65, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 105, 114 |
| 地質..... | 17, 77, 79, 101, 102, 103, 104 |
| 地質構造..... | 63, 78 |
| 窒素原単位..... | 79, 94, 95, 97 |
| 窒素固定..... | 102, 131, 157, 158 |
| 窒素循環..... | 155, 156, 158, 159, 161, 163, 165, 167, 184, 185 |
| 窒素負荷..... | 11, 12, 13, 14, 24, 25, 65, 66, 68, 73, 79, 90, 91, 94, 95, 97, 102, 103, 105, 109, 110, 114, 131, 140, 143, 166, 170, 184 |
| 窒素負荷削減対策..... | 108, 109, 143 |
| 窒素溶脱予測モデル..... | 103, 104 |
| 中間段階..... | 75 |
| つ | |
| 追跡調査..... | 34 |
| て | |
| 適正施肥..... | 13, 15, 16, 43, 45, 67, 114, 115, 167 |
| 電気伝導率..... | 93 |
| と | |
| 同位体..... | 85, 86, 88, 89, 90, 91 |
| 冬期湛水管理..... | 120 |
| 透水係数..... | 79, 103 |
| 特定事業場..... | 108 |
| 土壌診断..... | 16, 23, 111, 114, 115, 118, 144, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 154, 166 |
| 土地利用..... | 21, 77, 78, 80, 87, 88, 94, 95, 98, 102, 104, 114 |

| | |
|-------------------|------------|
| 土地利用状況..... | 77, 80, 88 |
| 取組段階..... | 70 |
| トリリニアダイアグラム | 83 |

の

| | |
|------------------|--|
| 農業 | 4, 12, 14, 17, 22, 30, 34, 36, 38, 39, 43, 45, 62, 63, 71, 72, 73, 74, 78, 89, 90, 92, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 103, 104, 105, 109, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 125, 131, 132, 133, 134, 135, 138, 144, 145, 149, 151, 161, 167, 170, 175, 176, 177, 178, 181, 182, 183 |
| 農業系 | 18, 19, 20, 24, 27, 28, 29, 37, 49, 61, 65, 76, 111, 112, 113, 114, 116 |
| 農業生産工程管理 | 17 |
| 農地還元..... | 115, 131 |
| 濃度相関マトリックス | 80, 93 |
| 濃度分布..... | 77, 78, 104, 107, 159, 160 |
| 野積み | 23, 95, 122, 125, 143, 182 |

は

| | |
|--------------|--------------------|
| バイオマス..... | 127, 136, 161, 164 |
| 廃棄物処理法 | 111 |
| 排水基準..... | 2, 113, 115 |

ひ

| | |
|--------------|------------------------------|
| 被圧地下水..... | 82 |
| pH | 4, 156, 158 |
| 表流水 | 115, 132, 167, 175, 182, 183 |
| 肥料マニュアル..... | 179, 180 |

ふ

| | |
|------------|------------------------------|
| 不圧地下水..... | 63, 82 |
| VOC | 10, 11 |
| 富栄養化..... | 161, 163, 167, 176, 177, 184 |
| 深井戸 | 21, 74, 77 |
| 不適正処理..... | 9, 12, 67, 68, 95, 101, 143 |
| 不飽和帯..... | 101 |

へ

| | |
|-----------------|--------------------|
| ヘキサダイアグラム | 21, 79, 80, 84, 85 |
|-----------------|--------------------|

ほ

| | |
|-----------|-----|
| 法令 | 45 |
| 飽和帯 | 101 |

ま

| | |
|------------|---------------|
| MacT | 104, 105, 106 |
|------------|---------------|

み

| | |
|---------------|-------------|
| 見える化 | 75 |
| 水収支 | 102 |
| 水循環 | 17, 32, 165 |
| 水循環基本計画 | 109 |

む

| | |
|-------------|--|
| 無機態窒素 | 132, 134, 135, 155, 157, 158, 169, 180 |
|-------------|--|

め

| | |
|------------------|---------------|
| メタン発酵 | 115, 128, 136 |
| メトヘモグロビン血症 | 1, 2, 4 |

も

| | |
|---------------|--|
| 目標設定 | 52 |
| 目標値 | 16, 41, 42 |
| MODFLOW | 53, 101 |
| モニタリング | 17, 18, 19, 23, 26, 34, 47, 57, 58, 59, 61, 63, 64, 67, 68, 89, 92, 94, 95, 97, 98, 100, 103, 110, 167, 170, 171, 172, 176, 177 |

ゆ

| | |
|---------------------|-------------------------------|
| 有機態窒素 | 24, 87, 89, 90, 155, 157, 159 |
| 有機農業推進法 | 119 |
| 有機農業の推進に関する法律 | 119 |

よ

| | |
|-------------|---|
| 要監視項目 | 5, 108 |
| 揚水 | 11 |
| 溶脱 | 24, 32, 52, 62, 89, 90, 93, 98, 99, 102, 103, 105, 106, 107, 111, 131, 132, 155, 157, 158, 159, 180 |

り

| | |
|--------------|--------------------|
| RealN | 103, 104 |
| LEACHM | 103, 104, 105, 106 |

| | |
|------------|--|
| リスク評価..... | 79, 102, 103, 107 |
| 流域..... | 17, 27, 37, 43, 77, 90, 96, 97, 103, 104, 105, 106, 107, 113, 140, 159, 165 |
| 緑肥..... | 114 |