

4. 硝酸性窒素等による地下水汚染の実態把握の手法

4-1 硝酸性窒素等による地下水汚染の実態把握の手法 (⇒計画策定編4章4-1-3(1)の詳細情報)

地下水汚染の原因となる硝酸性窒素等の主な供給源としては、大きく生活系、農業系（施肥）、畜産系（家畜排せつ物）が挙げられている。この他、事例としては殆ど無いが、産業系も供給源の一つとして考えられる。地下水汚染の実態把握を目的として実施する地下水汚染調査の一般的な流れは、図4.1に示すとおりであり、資料等調査、現況把握調査、原因究明調査及び効果把握調査の4段階に分けられる。

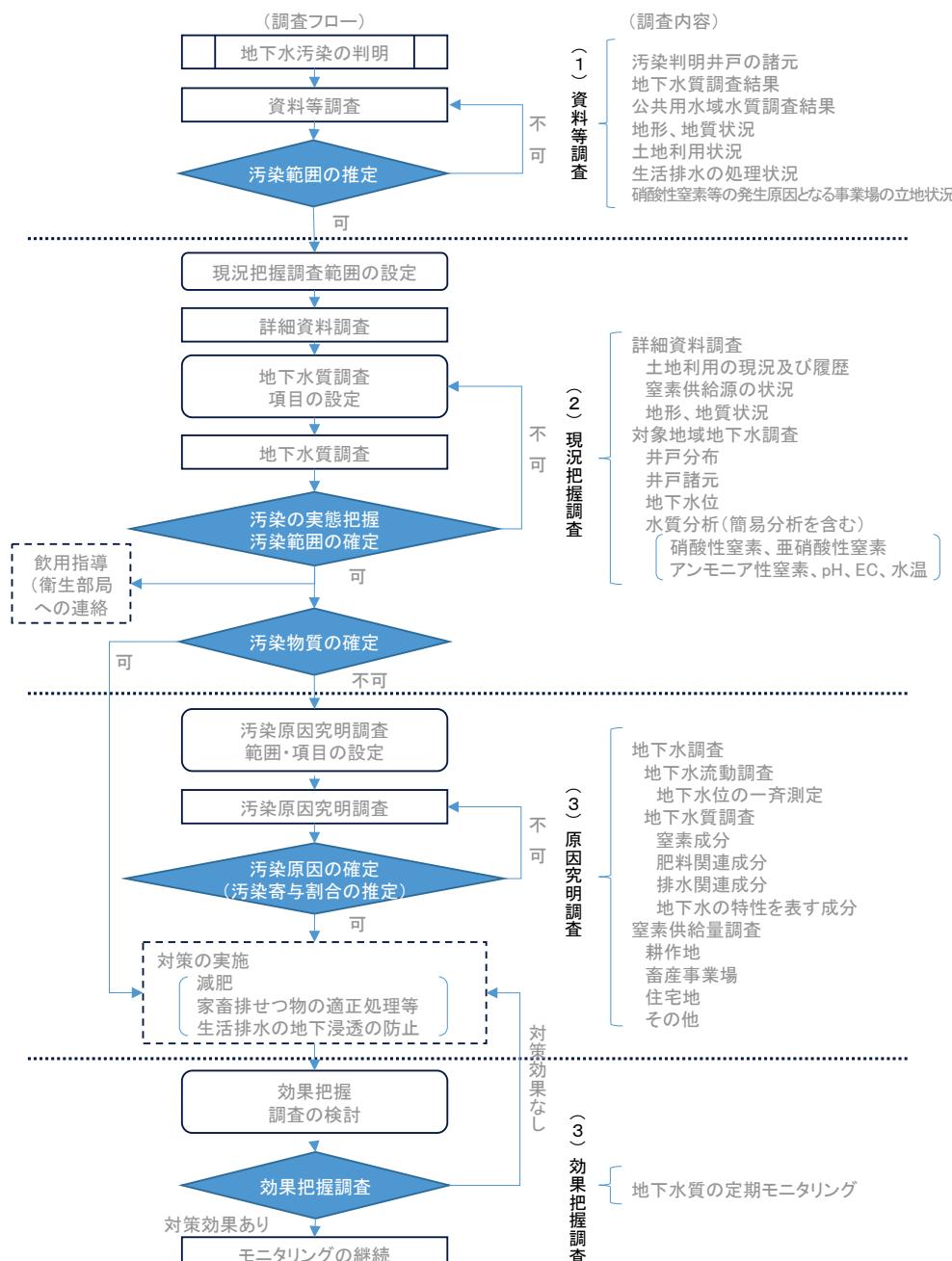


図4.1 地下水汚染調査の一般的な流れ

環境省水環境部地下水・地盤環境室 監修. 硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引き. 公害研究対策センター, 2002, p119に加筆

(1) 資料等調査

都道府県等が実施する水質汚濁防止法に基づく常時監視（地下水質の場合にあっては、「水質汚濁防止法の一部を改正する法律の施行について」（平成元年9月14日付け環水管第189号水質保全局長通知）で示された「地下水質調査方法」のうちの概況調査）、水道事業者が実施する水道原水調査、地方自治体等が実施する水質調査等の結果を収集・整理し、硝酸性窒素等に係る公共用水域及び地下水の汚染の状況を把握する。

汚染が発見された場合には、汚染が発見された場所の周辺地下水または公共用水域の調査、地下水質の常時監視に係る汚染井戸周辺地区調査などを実施することにより、汚染している帯水層、汚染流域、硝酸性窒素等の濃度分布等を可能な限り把握する。

なお、簡易測定法を用いて硝酸性窒素等による地下水汚染の状況の概要を把握した後、公定法により調査・分析を行うことにより、効率的に汚染の範囲、濃度分布を明らかにすることが合理的である。

(2) 現況把握調査

汚染判明地域及びその周辺の地形や地下水流動、地下水涵養地域、公共用水域の集水域等を考慮した範囲を対象に、水文状況、水文地質状況、土地利用状況、窒素供給源の分布状況等の概況を把握するため、関係資料を収集・整理する他、必要に応じて聞き取り調査及び現地調査を行う。収集した資料については、地図上に記入するなど、適切に整理する。

なお、深井戸の汚染の場合には、汚染原因が汚染井戸から相当離れた地下水上流の地域に存在があるので注意を要する。また、汚染の原因が過去の土地利用形態等に起因する場合もあるので、これらについても調査しておくことが望ましい。

窒素化合物は環境中で硝酸性窒素等に変化することに留意し、次の①～⑤にあげる項目に関するデータ等を入手することにより、窒素供給量を把握する。なお、施肥量、排水量、窒素含有量等は、対策対象地域における実測データを入手することが望ましいが、実測データが得られないものについては、文献等により原単位など窒素供給量の算出に必要なデータを入手する。

特に、地下水質の調査にあたっては、地方自治体等が保有する井戸台帳や現地聞き取り調査等により周辺の井戸の分布状況を把握し、地下水の流動や帯水層等を踏まえ、効率的な調査が行われるように調査対象井戸を選定する。汚染判明井戸の取水帯水層が明らかな場合には、汚染判明井戸と同一の帯水層から取水している井戸を選定する。汚染判明井戸の取水帯水層が不明な場合には、汚染判明井戸周辺の取水帯水層が明らかな井戸において調査を行い、汚染されている帯水層を明らかにした後に調査対象井戸を選定する。なお、他の帯水層についても、汚染の有無を確認するために適宜選定しておくことが望ましい。

硝酸性窒素等による地下水汚染が明らかになった場合には、飲用による影響を防止するため、水道関係部局に通知するとともに、井戸所有者への飲用指導、水道事業者への連絡等を実施する。

4. 硝酸性窒素等による地下水汚染の実態把握の手法

現況把握調査を進める上で、ポイントとなる主な調査項目は以下のとおりである。

① 工場・事業場排水

窒素含有水を排出する工場・事業場における排水処理状況、排水量、排水の窒素濃度等

② 家畜排せつ物

家畜の種類、家畜頭数、飼育形態、排せつ物発生量、排せつ物の処理方法別処理状況、排せつ物の窒素含有率等

③ 生活排水

下水道、下水処理区域、農業集落排水処理施設、浄化槽等生活排水処理施設の利用人口及び排水の窒素濃度、単独処理浄化槽の場合の生活雑排水の窒素濃度、地下浸透処理実態等

④ 施肥

耕地面積、作物の種類、年間施肥量、肥料の窒素含有率、施肥基準、栽培作物の窒素吸収量、施肥方法、施肥時期、肥料の種類、施設栽培における排水量・排水水質等

⑤ 自然

人為的な影響を受けていないと考えられる地下水の窒素濃度（大気汚染（排ガス等）由来の降下物・酸性雨等、植物由来、動物由来、土壤微生物由来の窒素量）、降水量及び降水中の窒素濃度、降水浸透率等

(3) 原因究明調査及び効果把握調査（>計画策定編4章4-1-3(2)の詳細情報）

水質調査及び資料等調査の結果を整理し、硝酸性窒素等濃度の分布、供給源の立地・分布、供給源ごとの窒素供給量、地下水の流動、地下水の涵養域、河川の流況等から、下記の事項について検討し、汚染原因を究明する。

- ① 硝酸性窒素等濃度の分布、供給源の立地・分布状況等から、点的供給源のみによるものか、面的供給源が関与しているかを検討する。
- ② 面的供給源が関与していると考えられる場合は、公共用水域の集水域、地下水の流動及び涵養域から関係地域の範囲を設定し、この範囲内の点的供給源も含めた供給源ごとの窒素供給量を整理・比較する。また、地図上に硝酸性窒素等濃度と供給源の立地・分布状況を整理し、検討する。
- ③ 公共用水域の汚染の場合は、硝酸性窒素等の濃度分布に加えて、アンモニア性窒素の濃度分布に特に注意し、当該公共用水域への流入水の水質及び流量を踏まえ、汚染原因を検討する。
- ④ 地下水の汚染が深層である場合は、汚染が浅層である場合に比べて広い範囲の窒素供給源の影響を受けていることも考えられることから、広域的な地質構造や地下水の流動状況なども考慮し検討する。
- ⑤ 汚染の原因が過去の土地利用、井戸の構造等に起因していることもあるので、このことを踏まえて検討する。

また、硝酸性窒素等の挙動を把握するため、硝酸性窒素等濃度と併せて、排水関連成分、肥料関連成分等の項目についても分析しておくことが望ましい。

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

5-1 原因究明と対策効果の把握に関する調査の概要

硝酸性窒素等による地下水汚染調査の「原因究明調査」、「効果把握調査」として一般的な手法を、それぞれの特徴、長所・短所、コスト等について定性的に評価し、表 5.1 に示す。同表では、地下水汚染の実態を質的と量的に区分し、把握する手法を示している。

表 5.1 原因究明と対策効果把握のための手法の整理

項目	地下水調査手法			地下水の窒素負荷発生状況調査	数値シミュレーション手法	
	キーダイアグラム	ヘキサダイアグラム	安定同位体比法	窒素原単位法 (マテリアルフロー)	移流分散拡散モデル	リスク評価モデル
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 主要陽イオンと陰イオンのデータをプロットしてグルーピングを行い、地下水の空間分布状況や汚染の広がり等を把握するのに有効である。 地下水自体の起源の推定にも有効である。 	<ul style="list-style-type: none"> 硝酸性窒素による汚染の広がり等を把握するのに有効である。 地下水の流動時間の推定にも有効である。 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の硝酸性窒素の供給源を推定し、汚染の原因（施肥、家畜ふん尿、他との区別）を推測することが出来る。 	<ul style="list-style-type: none"> 地域の供給源ごとの発生負荷量、地下浸透量などの概要を把握できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 目に見えない地下水の流動状況や水質分布などを可視化出来る。 施肥等の負荷削減シナリオの検討が可能である。 定量的な解析により、汚染の流動時間や対策効果が現れるまでの時間の推定も可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 生産量を変えずに、施肥等の負荷削減シナリオの検討が可能である。
長所	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の水質調査結果から、簡便に汚染の広がりを把握できる。 	<ul style="list-style-type: none"> データが得やすい。 硝酸イオン以外に硫酸イオン等と組み合わせることにより、汚染原因をある程度推定できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 原因をある程度特定できる。ヘキサダイアグラム等と組合せて解析することにより、より推定の精度が高まる。 	<ul style="list-style-type: none"> 発生負荷量から、対策の対象となる供給源を特定できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 負荷削減ケースごとに水質を予測し、効果を定量的に評価できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 3D の流動解析モデルに比べて、簡易に水質を予測し、効果を評価できる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の空間分布の特徴は把握できるが、汚染原因との関連性を判定する点でやや弱い。 	<ul style="list-style-type: none"> 常時監視項目以外の項目について、測定が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 測定できる分析施設が限定され、一般項目の分析コストに比べてやや割高である。 	<ul style="list-style-type: none"> 負荷量が地下水質にリンクしていないので、対策の評価が出来ない。 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水位や河川流出量、地温等の連続実測データが多くないと現況再現が困難。透水係数等の土壤、地質に係るパラメータや、窒素の変換に関する種々の詳細なパラメータの設定が必要。特に温度依存項の設定が難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> まだ、パラメータ等に不確実性がある。 定常モデルなので、長期の非定常な現象に向いていない。
コスト	<ul style="list-style-type: none"> 通常の常時監視調査項目に項目を追加する必要があるが、分析費は安価。 	<ul style="list-style-type: none"> 通常の常時監視調査項目に項目を追加する必要があるが、分析費は安価。 	<ul style="list-style-type: none"> 最近は測定機器が安くなってきたので、分析単価も安くなってきたが、一般項目よりは高価。 	<ul style="list-style-type: none"> 統計資料の解析が主な作業なので安価。 	<ul style="list-style-type: none"> 3次元流動拡散モデルの実行は一般的に高価。 	<ul style="list-style-type: none"> リスク評価モデルは相対的に安価。

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

5-2 地下水調査手法

汚染原因の特定を行い、適切な対策を講じるために、硝酸性窒素等以外の水質項目や、土地利用などの外的要因との関連性についても検討する必要がある。対象となる水質項目としては、「水道事業体において通常測定している項目」と「必要に応じて適宜検討する項目（カルシウムイオン、硫酸イオン、窒素安定同位体比等）」がある。また外的要因としては、土地利用状況、地下水の流動系、集水域面積、降水量等がある。

以下では、詳細水質調査の具体的な内容として「キーダイアグラムによる方法」、「ヘキサダイアグラムによる方法」、「窒素安定同位体比による方法」、「その他の手法（濃度相関マトリックスによる方法）」について概要と事例を示す。

(1) キーダイアグラムによる方法

キーダイアグラムは本来、主要陽イオン、主要陰イオンの組成比を示す2つの三角ダイアグラムと、それを合成して得られる1つの菱形ダイアグラムから構成される。

水質解析を行う場合には、簡略化して菱形ダイアグラムのみで十分な場合が多い（図5.1）。

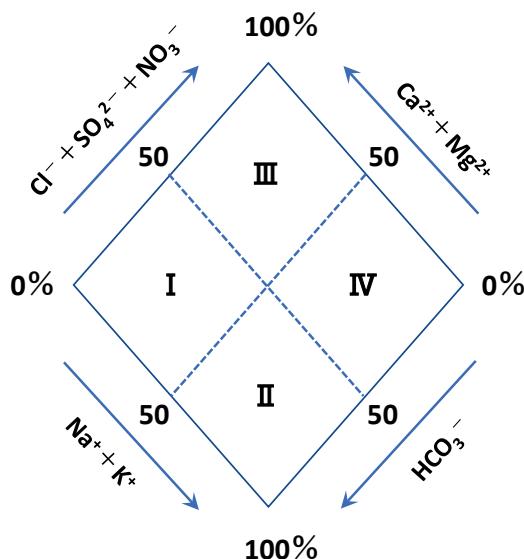


図 5.1 キーダイアグラム

ダイアグラムを作成するには、分子量 N、価数 n から計算される表 5.2 に示す換算係数にて、濃度単位 (mg/L) から当量単位 (mEq/L (mmol_C/L)) に換算して次式の計算を行い、[HCO₃⁻] 軸と [Ca²⁺ + Mg²⁺] 軸の交点にプロットする。

$$[\text{HCO}_3^-]\% = (\text{HCO}_3^-) \div (\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-) \times 100$$

$$[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]\% = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \div (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 100$$

なお、硝酸性窒素 (NO₃-N) 濃度と硝酸イオン (NO₃⁻) 濃度の関係式は下記のとおりである。

$$\text{NO}_3\text{-N} = \text{NO}_3^- \times 14 \div 62$$

表 5.2 mg/L から mEq/L (mmol_c/L) への換算係数

項目	記号	分子量 N	価数 n	換算係数 n/N
炭酸水素イオン	HCO ₃ ⁻	61.02	1	0.0164
塩化物イオン	Cl ⁻	35.45	1	0.0282
硫酸イオン	SO ₄ ²⁻	96.06	2	0.0208
硝酸イオン	NO ₃ ⁻	62.00	1	0.0161
カルシウムイオン	Ca ²⁺	40.08	2	0.0499
マグネシウムイオン	Mg ²⁺	24.31	2	0.0823
ナトリウムイオン	Na ⁺	22.99	1	0.0435
カリウムイオン	K ⁺	39.10	1	0.0256

この方法の利点としては、以下が挙げられている。

- プロットされた位置で水質組成がわかる。
- グルーピングが容易である。
- 異質の水の混合など、グループ間の差異、相互関係がわかる。
- 溶存成分量の多少に関係なく作図できる。
- 多数のサンプルを同時に扱える。

一方、欠点としては、以下がある。

- 比率のみで量的関係がわからない。
- 計算や作図がやや面倒である。
- 同一スペースに集中する場合の作図が困難である。

ただし、欠点とされている作図に関して、現在はコンピュータソフトを使えば問題はない。

図 5.1 にプロットすることにより、地下水の特徴を把握することができる。

例えば、同一の地下水系（同一の水質起源）に属すると考えられる地下水は、その含有量の大小に関係なく、ほぼ同一の箇所に集中する。また、このグラフの I から IV のどの位置にプロットされるのかによって、地下水の性状を次のように分類することができる（樋根、1991）⁽⁴⁾。

⁽⁴⁾ 樋根 勇. 実例による新しい地下水調査法. 山海堂, 1991.

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

(I型) 炭酸塩硬度 (Carbonate Hardness)

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ や $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ により構成される地下水である。主として不圧地下水はこの部分に位置し、循環性の供給型地下水の特徴を有している。被圧地下水もこの地點にあるが、もっと広範囲に散り、徐々に(II)に移行する傾向がある。

(II型) 炭酸アルカリ度 (Carbonate Alkalinity)

NaCO_3 や K_2CO_3 からなり、停滞性の水質であることを示す。停滞性の被圧地下水はこの位置に集まる傾向がある。

(III型) 非炭酸塩硬度 (Non-Carbonate Hardness)

汚染されていない通常の地下水にはあまり見られないが、窒素肥料による影響を受ける場合、このタイプに位置することがある。

(IV型) 非炭酸アルカリ度 (Non-Carbonate Alkalinity)

塩化物や硫酸塩が主体であり、海水の混入や化石塩水の混入した地下水であると考えてよい。

1) キーダイアグラム手法

図 5.2 は、岐阜県各務原台地の地下水試料から作成したキーダイアグラムの例である。

陽イオンは $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ グループ、陰イオンは $[\text{NO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}]$ グループがともに 50%以上にプロットされるⅢ型に該当する試料が多いことがわかる。

のことから、I型やII型にプロットされるような一般的な地下水ではなく、窒素肥料の影響を受けた地下水であることや、このような地下水が台地に広く分布している状況を読みとることができる（寺尾、1996）⁽⁵⁾。

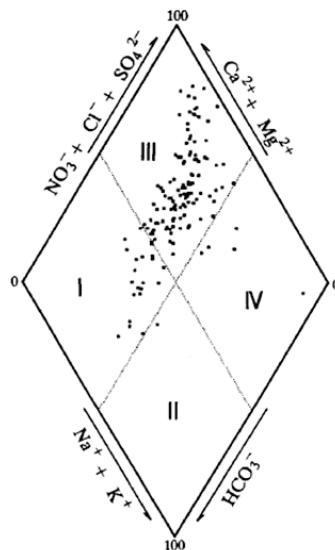


図 5.2 キーダイアグラムの例

出典：寺尾 宏. 畑作地帯の硝酸性窒素による地下水汚染と軽減対策—岐阜県各務原台地における汚染事例—. 水環境学会誌, 1996, Vol.19, No.12, p956-960.

(5) 寺尾 宏. 畑作地帯の硝酸性窒素による地下水汚染と軽減対策—岐阜県各務原台地における汚染事例—. 水環境学会誌, 1996, Vol.19, No.12, p956-960.

2) トリリニアダイアグラム手法

キーダイアグラムの応用例として、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度別に分別して示すトリリニアダイアグラムを作図する手法がある。キーダイアグラムと同じ4つの特性を基本としている（図 5.3）。

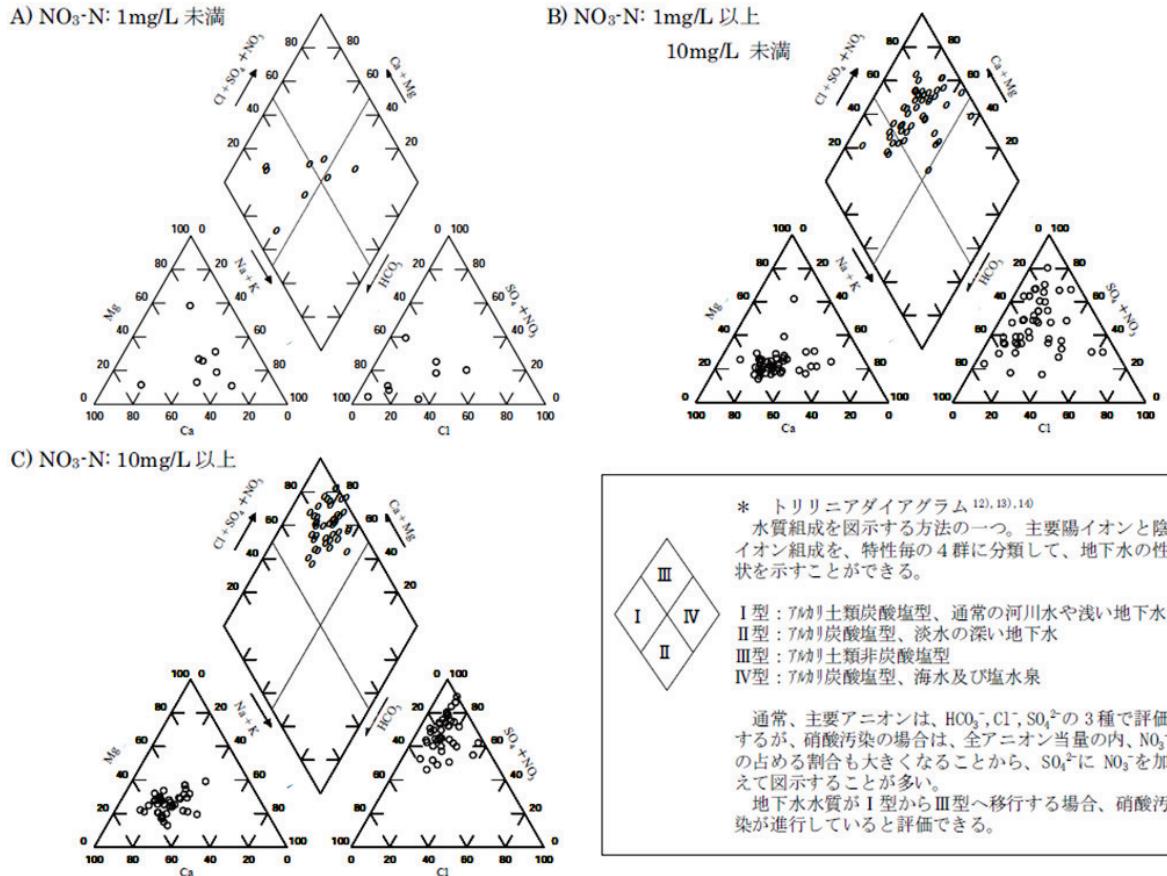


図 5.3 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度別のトリリニアダイアグラムの例

出典：三上 英敏，高田 雅之，三島 啓雄。地下水硝酸汚染に係わる汚染源簡易判定の手順。北海道環境科学センター所報, 2009, Vol.35, p27-34. (https://www.hro.or.jp/list/environmental/research/ies/development/Publication/Report/H20/35_27_34.pdf)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

(2) ヘキサダイアグラムによる方法

ヘキサダイアグラムは、地下水中の主な溶存イオンの等量濃度を3本の水平軸上にプロットし、各点を結んで多角形で表示するものである。図5.4にヘキサダイアグラムの例を示す。0軸を挟んで左側が陽イオンの当量濃度、右側が陰イオンの当量濃度である。

なお、硝酸イオン(NO_3^-)については、黒く塗りつぶすことにより、硝酸性窒素汚染の指標として汚染の程度を強調することができる。黒い部分がない場合は、硝酸イオンが存在しない。

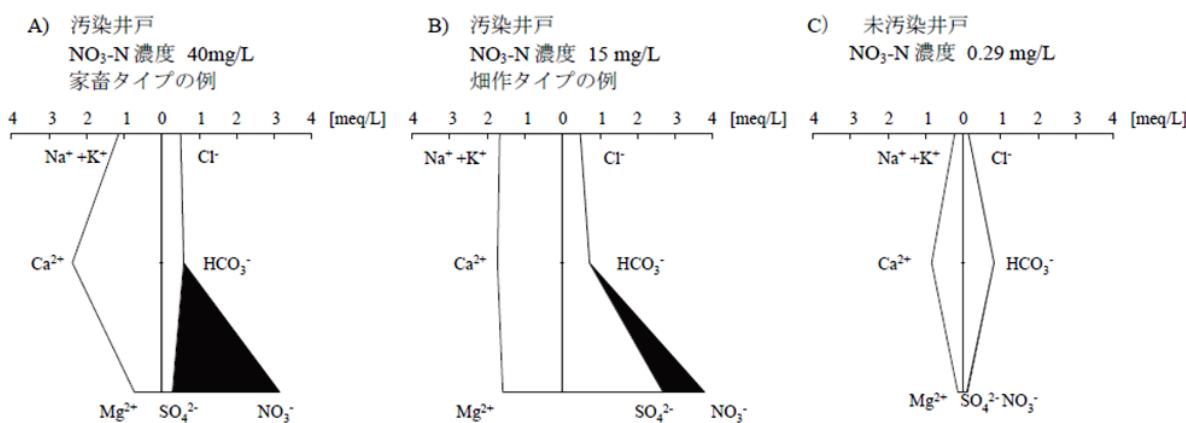


図5.4 特徴的な3パターンのヘキサダイアグラム

ヘキサダイアグラムを用いると主要イオンの組成が視覚的に理解できる。硝酸性窒素汚染が激しくなると、黒く塗りつぶされる部分が大きくなる。また、硫安等の硫酸塩化学肥料を施用している畠地の影響を受ける場合は、 SO_4^{2-} 濃度が大きくなり、右下の白色部分が大きくなる。未汚染地下水はきれいな菱形が描かれる場合が多い。

出典：三上 英敏，高田 雅之，三島 啓雄. 地下水硝酸汚染に係わる汚染源簡易判定の手順. 北海道環境科学研究中心所報, 2009, Vol.35, p27-34. (https://www.hro.or.jp/list/environmental/research/ies/development/Publication/Report/H20/35_27_34.pdf)

この方法の利点として、以下が挙げられている。

- 作図が簡単で、図の形状から水質組成がわかる。
- 図の大小から溶存成分量がわかる。
- NO_3^- を黒く塗りつぶしているので硝酸性窒素汚染の状況を把握しやすい。
- 図形が単純であり比較分類が容易である。

一方、欠点としては、以下のがある。

- 2成分系の混合などの微妙な差がわからない。
- 溶存成分量の差が大きい場合に同一スケールで描けない。
- 温・鉱泉や塩水化地下水など、特定の成分が極端に多い場合の作図が困難である。

一般的に耕作地に化学肥料として硫安、中和剤として苦土石灰を施用した場合、自然状態のヘキサダイアグラムと比較して、硝酸イオン、硫酸イオン、カルシウムイオン及びマグネシウムイオンが増加する。

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

家畜排せつ物由来、化学肥料由来や浄化槽排水由來の窒素が多い場合、ヘキサダイアグラムの右下の濃度 ($\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) が高くなることが考えられる。その場合、供給源の主な判別基準は、表 5.3 に示すように、 SO_4^{2-} の割合と NO_3^- ($\text{NO}_3\text{-N}$) の割合から推定することができる。簡単に、化学肥料が多い場合は硫酸塩濃度が高くなり、家畜排せつ物堆肥や浄化槽排水の場合は硫酸塩濃度が低いことから判断する。

表 5.3 主な窒素供給源の水質的特徴（全イオン当量に対する割合）

	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Na^+	K^+
浄化槽排水	低	高		高	低
化学肥料（硫酸塩）	高	低		低	高
堆肥・家畜排泄物	低	高	高	高	高

出典：三上 英敏，高田 雅之，三島 啓雄。地下水硝酸汚染に係わる汚染源簡易判定の手順。北海道環境科学研究中心所報, 2009, Vol.35, p27-34. (https://www.hro.or.jp/list/environmental/research/ies/development/publication/Report/H20/35_27_34.pdf)

三上ら (2009)⁽⁶⁾の調査事例では、ヘキサダイアグラムと、次に述べる安定同位体の測定結果を併せて解析することにより、より供給源の判定が精度よくできるとしている。

⁽⁶⁾ 三上 英敏，高田 雅之，三島 啓雄。地下水硝酸汚染に係わる汚染源簡易判定の手順。北海道環境科学研究中心所報, 2009, Vol.35, p27-34. (https://www.hro.or.jp/list/environmental/research/ies/development/publication/Report/H20/35_27_34.pdf)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

(3) 窒素安定同位体比による方法

窒素には、 ^{14}N と ^{15}N の2つの安定同位体が存在し、大気中での存在比は 99.635% と 0.365% とほぼ一定である。窒素供給源によってこの2つの安定同位体の存在比がほぼ一定の範囲に収まる性質があることから、この性質を利用して、地下水で検出される窒素の供給源を推定する方法である。

窒素の安定同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ 値は、対象とする物質の ^{15}N と ^{14}N の比 R ($= \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}$) を求め、標準物質（大気中の窒素）の同位体比との差を千分率で表したものであり、次式により算出される。

$$\delta^{15}\text{N} (\text{\%}) = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{air}}) - 1] \times 10^3$$

$$R : \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}} \quad R_{\text{air}} : 3.663 \times 10^{-3} \quad (= 0.365\% \div 99.635\%)$$

$\delta^{15}\text{N}$ は大気中の窒素成分との差として表現されるため、大気中の窒素ガスを固定して製造される無機化学肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、理論上ゼロとなる。

図 5.5 に $\delta^{15}\text{N}$ 値の報告例を示す。図から、降水で $-8\text{~}2\text{\%}$ 、化学肥料で $-7.4\text{~}6.8\text{\%}$ 、家畜排せつ物で $10\text{~}22\text{\%}$ 、下水処理水で $8\text{~}15\text{\%}$ などの値が報告されており、これらの値を目安として窒素の供給源を推定する。

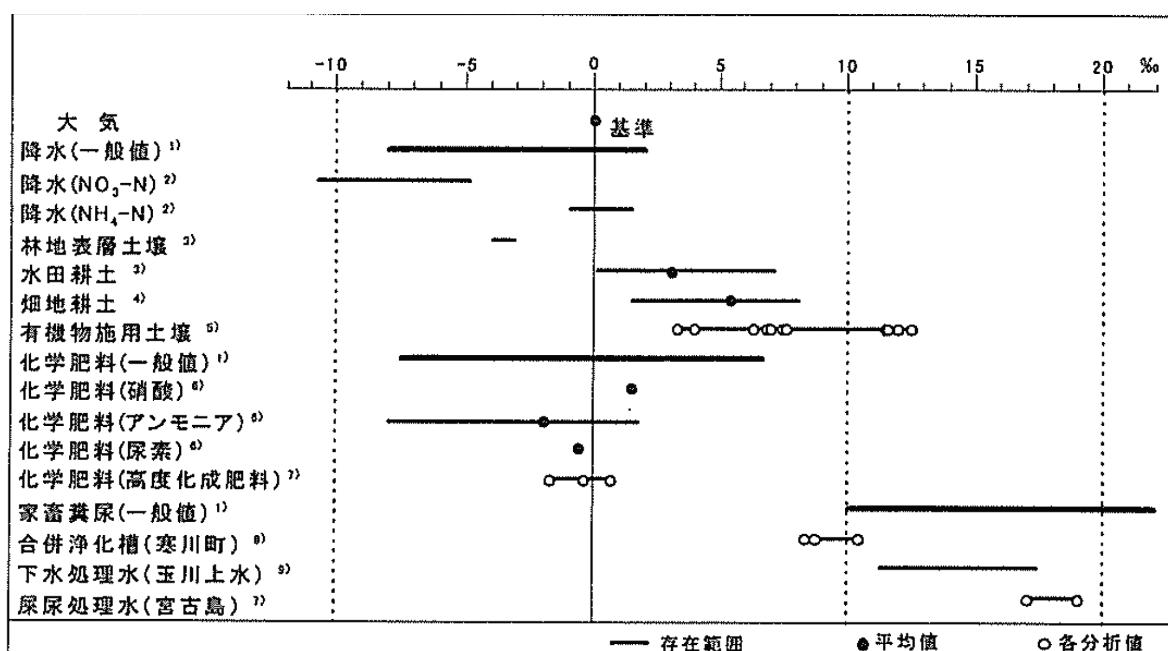


図 5.5 $\delta^{15}\text{N}$ 値の報告例

出典：環境省水環境部地下水・地盤環境室 監修. 硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引き. 公害研究対策センター, 2002, p43.

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

図 5.6 は、全国各地で観測された硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ の関係を示したものである。

地下水中の硝酸性窒素が無機化学肥料に由来する場合、硝酸性窒素濃度の上昇に伴い、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は徐々に減少する。無機化学肥料を使用している山形県試験地では、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の範囲が 1.1~7.9 ‰と低く、硝酸性窒素濃度に対して横に長く伸びる分布を示す。

一方、浄化槽排水由來の窒素成分が多いと見られる香川県試験地では、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の範囲が 4.8~21.2 ‰となっており、観測対象とした地下水の中では最も高い部類に属している。

このように、窒素安定同位体比は土地利用形態をある程度反映し、その指標となりうる。一般に、無機化学肥料施用地では低く、有機態窒素由來の地下水は高めの値を示すことが多い（平田，1996）⁽⁷⁾。

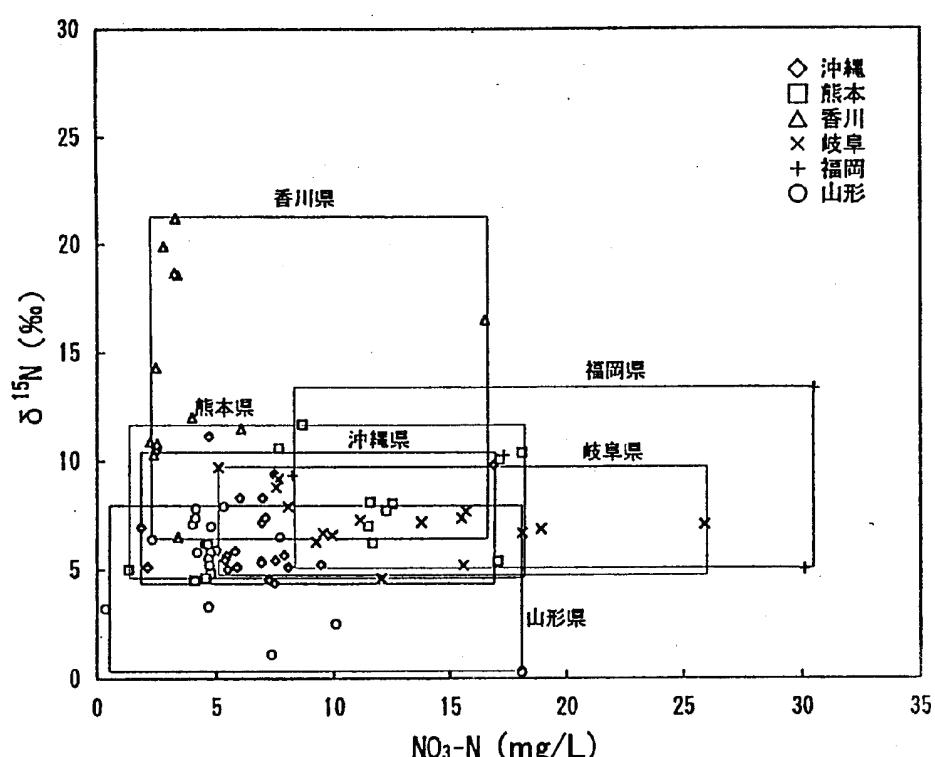


図 5.6 硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ の関係

出典：平田 健正. わが国における硝酸性窒素による地下水汚染の現状と問題点. 水環境学会誌, 1996, Vol.19, No.12, p950-955.

⁽⁷⁾ 平田 健正. わが国における硝酸性窒素による地下水汚染の現状と問題点. 水環境学会誌, 1996, Vol.19, No.12, p950-955.

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

1) 窒素安定同位体比解析事例（宮古島）

窒素の安定同位体比について宮古島で観測された事例を以下に示す。

近藤ら（1997）⁽⁸⁾は、宮古島の観測地点の周辺と上流の土地利用関係を3つに分け、 $\delta^{15}\text{N}$ 値（‰）と硝酸性窒素濃度の関係を調査した。図5.7に $\delta^{15}\text{N}$ 値（‰）と硝酸性窒素濃度の関係を示す。

地下水流動（上流側の土地利用の影響）、脱窒などの影響を受け、分布に重複はあるものの、主要な供給源である農地（化学肥料）と市街地（生活排水）が判別できており、地域の条件を考慮すれば供給源の同定が可能となる。なお、これらの評価には、ある程度の数の試料を分析する必要があり、地下水の流動系、土地利用状況等の基本的情報が必要である。

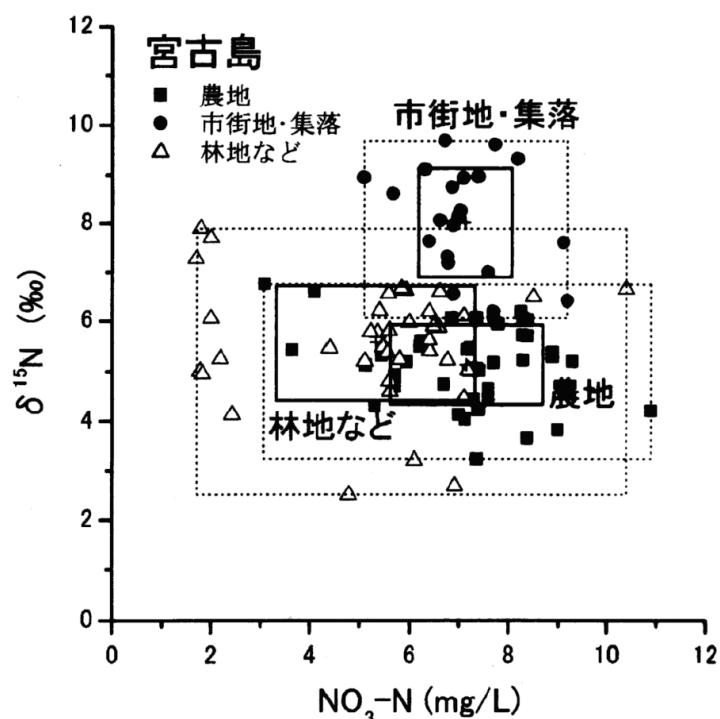


図 5.7 宮古島における硝酸性窒素と窒素安定同位体比の関係

土地利用別に（平均±標準偏差）の四角形（実線）、包絡四角形（点線）を示してある。

出典：田瀬則雄. 水文学における環境同位体の利用. 化学工業, 2003, Vol.67, No.2, p97-99.

⁽⁸⁾ 近藤 洋正, 田瀬 則雄, 平田 健正. 沖縄県宮古島における地下水中の硝酸性窒素の窒素安定同位体比について. 地下水学会誌, 1997, Vol.39, No.1, p1-15.
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jagh1987/39/1/39_1/_pdf/-char/ja)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

この他、窒素の安定同位体比と合わせて硝酸に含まれる酸素の安定同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ 値を用いると、より供給源の推定がしやすくなる⁽⁹⁾。

図 5.8 に様々な窒素化合物がとりうる $\delta^{15}\text{N}$ 値及び $\delta^{18}\text{O}$ 値の範囲を示す。

- 大気窒素を起源とするマメ科植物や肥料中の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 0 付近の値をとる。
- 土壤中の窒素化合物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、インプットとなる化学肥料や家畜ふん尿、降雨などを反映し様々な値をとる。一般に、土壤窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は軽い窒素原子の方が先に溶脱し、植物吸収、脱窒などにより失われるため、0 より高くなる傾向にある。
- 家畜ふん尿や下水中に含まれる窒素化合物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、動物体内における代謝や排泄後のアンモニア揮散による同位体分別などにより高い値をとる。
- 硝化細菌によって生成された NO_3^- の 3 つの酸素原子のうち、2 原子は水由来で、残りの 1 原子は酸素由来となる。よって、植物体や家畜ふん尿、下水、土壤等の有機態窒素やアンモニア性窒素を起源とする硝酸性窒素は、硝化が起こった場所の水及び酸素の $\delta^{18}\text{O}$ 値を反映し、通常は -5 から 15 程度の値をとる。
- 化学肥料に含まれる硝酸中の酸素原子は大気中の酸素を起源とするので、大気中の酸素の同位体比($\delta^{18}\text{O}$ 値 = +23.50 ‰)に近い値をとる。

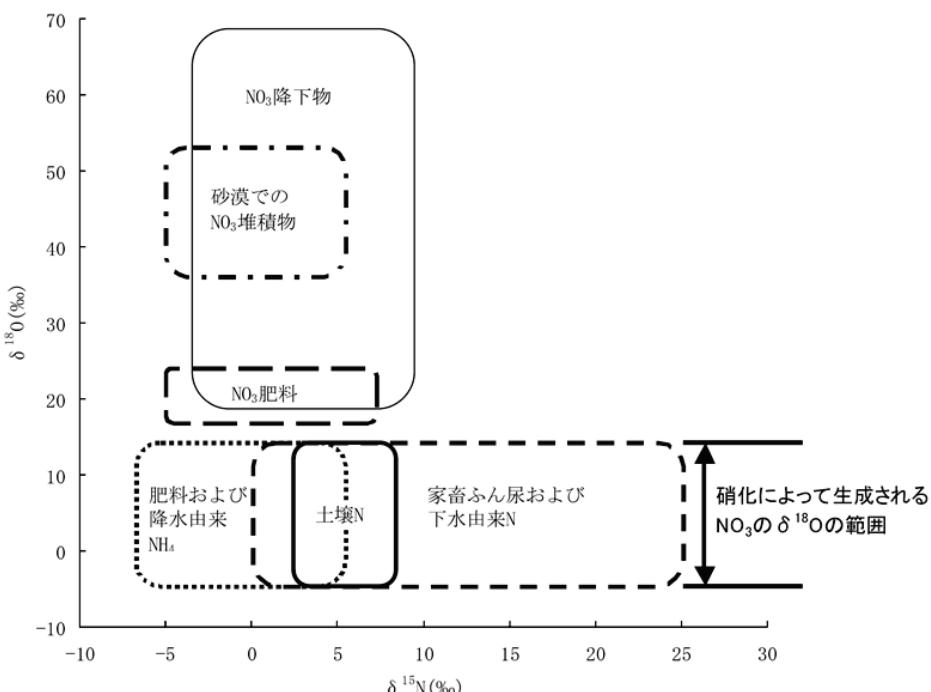


図 5.8 様々な窒素化合物がとりうる $\delta^{15}\text{N}$ 値及び $\delta^{18}\text{O}$ 値の範囲

アンモニア性窒素及び有機態窒素の $\delta^{18}\text{O}$ 値は硝化によって生成されたときの NO_3^- の $\delta^{18}\text{O}$ 値を示す。

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3 月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niae/techdoc/monitoring/index.html>)

⁽⁹⁾ (独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3 月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niae/techdoc/monitoring/index.html>)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

2) 窒素と酸素の安定同位体比解析事例（熊本県）

富家ら（2011）⁽¹⁰⁾は、1960 年から 5 年ごとに実施されている農林業センサス調査の結果から農業から発生する窒素負荷量を推計した。当該センサス調査では、面積の比較的小さな旧市町村単位で農作物別の耕地面積や家畜別の頭数などの情報が得られている。これらのデータを基に、基準施肥量や家畜からの窒素排出量、降水量、窒素溶脱率等を設定し、地下浸透水における硝酸性窒素濃度を推計した。

地下浸透水中の硝酸性窒素濃度の推定にあたり、窒素供給源での土地利用が主に農地であるとして地下への浸透率を一律と仮定し、降雨の約 1/3 (34%) が地下に浸透するものとしている。また、窒素溶脱率については、文献等から、水田で 0.05 (5 %) 、畑及び畜産排出物で 0.35 (35%) と仮定している。図 5.9 に、推計された家畜排せつ物由来の地下浸透水中の硝酸性窒素濃度の推移を示す。また、図 5.10 に、地下水の硝酸性窒素の安定同位体 $\delta^{15}\text{N}$ 値の測定結果を示す。

富家ら（2011）⁽¹⁰⁾は、これら施肥や家畜からの窒素排出量を推定した結果、近年における家畜排せつ物による窒素負荷の増加傾向が明らかで、そのトレンドは地下水涵養域や上流域の地下水硝酸性窒素濃度の上昇傾向に合致するとしている。また、これらの GIS を活用した農林業センサスデータ解析と安定同位体分析の結果から、熊本都市域地下水における硝酸性窒素の主な負荷要因は家畜排せつ物や堆肥等の有機態窒素であると結論している。

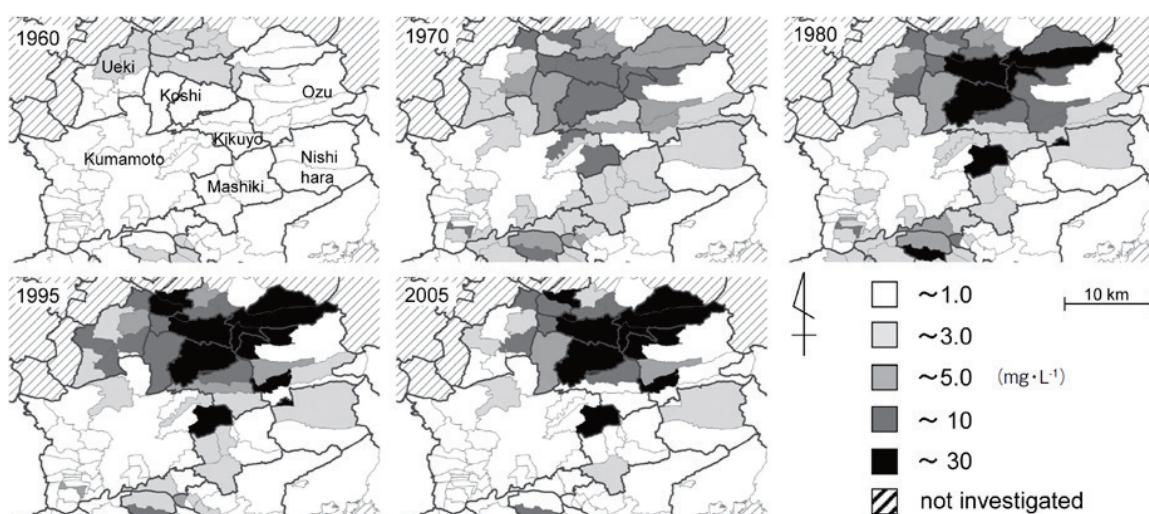


図 5.9 推計された家畜排せつ物由来の地下浸透水中の硝酸性窒素濃度の推移

出典：富家 和男，糸満 尚貴，松山 賢司，柿本 龍治，川越 保徳. 熊本都市域における地下水中硝酸性窒素濃度の現状と地理情報システムおよび窒素安定同位体分析による窒素負荷要因の解明. 水環境学会誌, 2011, Vol.34, No.1, p1-9. (https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe/34/1/34_1_1/_pdf/-char/ja)

(10) 富家 和男，糸満 尚貴，松山 賢司，柿本 龍治，川越 保徳. 熊本都市域における地下水中硝酸性窒素濃度の現状と地理情報システムおよび窒素安定同位体分析による窒素負荷要因の解明. 水環境学会誌, 2011, Vol.34, No.1, p1-9. (https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe/34/1/34_1_1/_pdf/-char/ja)

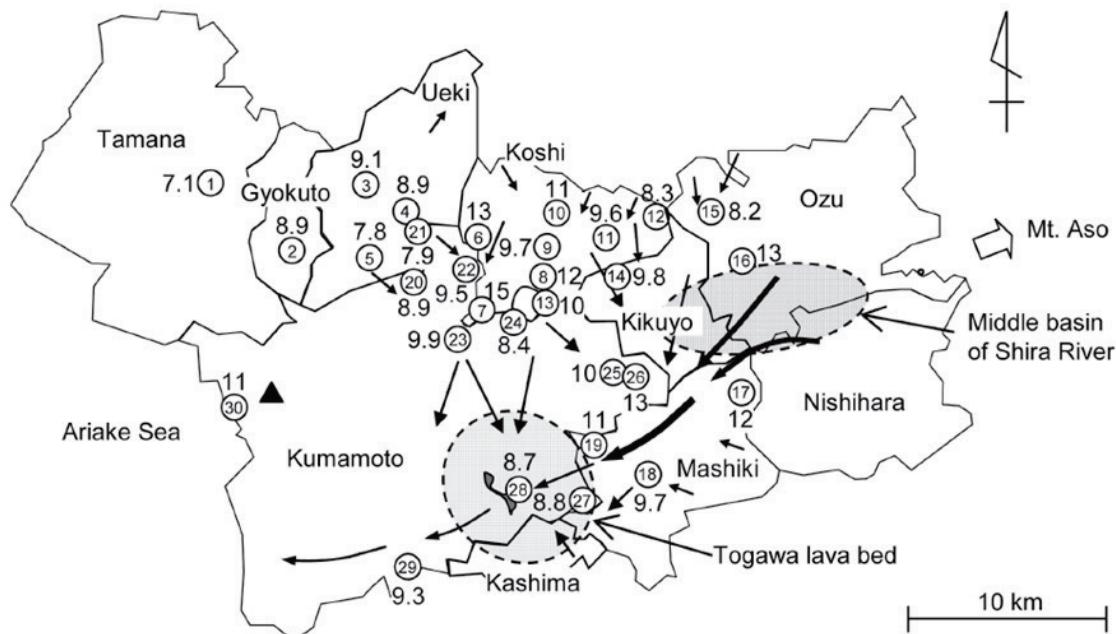


図 5.10 地下水の硝酸性窒素の安定同位体比

注：○番号は試料採取地点番号である。

出典：富家 和男，糸満 尚貴，松山 賢司，柿本 龍治，川越 保徳. 熊本都市域における地下水中硝酸性窒素濃度の現状と地理情報システムおよび窒素安定同位体分析による窒素負荷要因の解明. 水環境学会誌, 2011, Vol.3 4, No.1, p1-9. (https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe/34/1/34_1_1/_pdf/-char/ja)

3) 窒素と酸素の安定同位体比解析事例（茨城県）

以下に $\delta^{15}\text{N}$ 値及び $\delta^{18}\text{O}$ 値を用いた供給源解析事例を示す。

図 5.11 に茨城県の台地畠における地下水位と地下水中の亜酸化窒素の安定同位体比の関係を示す。

茨城県内の台地畠（厚層黒ボク土、畠地では主に化学肥料を施用し、また近傍の養豚農家では 1999 年頃まで素掘りにより家畜ふん尿を廃棄していた）を流下する浅層地下水中の N_2O の $\delta^{15}\text{N}$ 値は高水位期において -20 ‰程度であり、全窒素 (TN) の $\delta^{15}\text{N}$ 値よりもかなり低い。これは高水位期の N_2O は主に硝酸化成の過程で生成していることを示している（図 5.11）。

N_2O の $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値の変動（図 5.11）の要因としては、2種類の N_2O の混合、あるいは脱窒等による N_2O の N_2 への還元が考えられるとしている。

この観測井戸における $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値の変化量はおよそ 1 : 1 であり、一般の脱窒過程における変化量 ($\delta^{15}\text{N} : \delta^{18}\text{O} \approx 1 : 2$) と異なる（図 5.12）。

したがって、この観測井戸における N_2O の $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値の変化は脱窒によるものではなく、地下浸透した肥料成分由来の「軽い（安定同位体比の低い）」 N_2O と水平移動した家畜ふん尿由来の「重い（安定同位体比の高い）」 N_2O との混合比が変わったことによるものであると推測されるとしている。

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

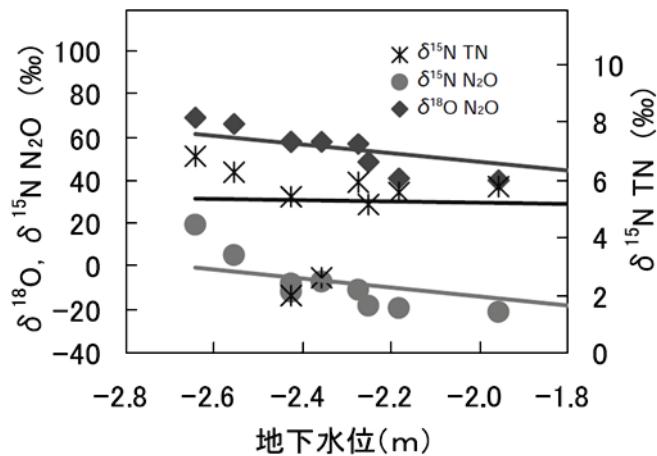


図 5.11 茨城県の台地畑における地下水位と安定同位体比の関係

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3 月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/monitoring/index.html>)

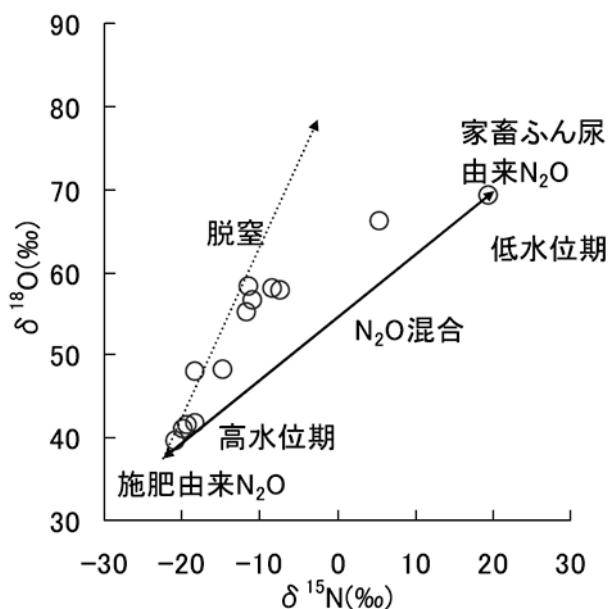


図 5.12 観測井における $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値の変化量

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3 月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/monitoring/index.html>)

(4) その他の手法（濃度相関マトリックスによる方法）

濃度相関マトリックスによる方法は、地下水質の各項目間の相関係数をマトリックス形式で表し、相関係数の大小によって汚染原因を検討する方法である。例えば、硝酸性窒素とカルシウムイオン (Ca^{2+}) やマグネシウムイオン (Mg^{2+}) の相関が高い場合、あるいは窒素肥料の主成分である硫酸イオン (SO_4^{2-}) がカルシウムイオンやマグネシウムイオンと相関が高い場合等には、窒素肥料による汚染の原因が考えられる。このように、検討の対象とする分析項目には、各種のイオン等常時監視調査で通常測定していない項目も含まれるので、必要に応じて適宜こうした項目も追加して測定することが望ましい。

1) 濃度相関マトリックスの事例

表 5.4 は、窒素肥料（硫安）の溶脱により地下水汚染が発生した地域の地下水の濃度相関マトリックスの例である。

硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) と高い相関性を示した項目は、電気伝導率 (EC) 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} であり、相関係数はそれぞれ 0.83、0.76、0.76 であった。また、窒素肥料の主成分である硫酸イオン (SO_4^{2-}) も、電気伝導率、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} との間に、それぞれ 0.86、0.88、0.83 と高い相関性があった。

この事例地域では、窒素肥料とともに土壌の酸性化を防ぐ目的で苦土石灰（カルシウムとマグネシウムを主成分とする肥料）が多量に散布されていることから、肥料に由来する硝酸性窒素と硫酸イオンが、カルシウムイオンやマグネシウムイオンと高い相関関係を持つことから、地下水の硝酸性窒素の供給源は、窒素肥料であると推定できる。

なお、アルカリ度 (CaCO_3) とカルシウムイオンやマグネシウムイオンとの相関性が低いことから、対象地域の地下水に含まれる Ca^{2+} と Mg^{2+} が土壌や岩石からの溶出ではないことが推測され、肥料と一緒に散布された苦土石灰に由来することが裏付けられる。

表 5.4 濃度相関マトリックスの例

	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	アルカリ度 (HCO_3^-)	SiO_2	EC
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.40	0.37	0.76	0.76	0.62	0.58	-0.30	0.12	0.83
Na^+		0.35	0.50	0.42	0.78	0.46	0.24	0.16	0.65
K^+			0.22	0.22	0.48	0.16	-0.15	0.13	0.34
Ca^{2+}				0.87	0.58	0.88	0.23	0.16	0.97
Mg^{2+}					0.56	0.83	0.10	0.16	0.90
Cl^-						0.46	-0.05	0.08	0.72
SO_4^{2-}							0.08	-0.08	0.86
HCO_3^-								0.42	0.14
SiO_2									0.16

備考)サンプル数 n = 141

環境庁水質保全局監修・平田健正編著. 土壤・地下水汚染と対策. (社)日本環境測定分析協会, 1996, p217.
より作成

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

5-3 地下水の窒素負荷発生状況調査（窒素原単位法）

窒素原単位法は、地下水への窒素負荷の発生状況を、原単位法により推定する方法であり、「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係わる地下水汚染調査マニュアル（環境省、1999）」によると以下に示すとおりである。なお、面源から河川、湖沼等の公共用水等に流出する場合の土地利用別原単位の例を表 5.5 に示す。

表 5.5 窒素の供給原単位の例

排出源	調査地域	T-N (kg/ha/年)	T-P (kg/ha/年)	備 考
大気降下物 および降水	京都府・上賀茂	6.11	0.73	自然地域
	滋賀県・大石川	6.71	0.44	自然地域
	滋賀県・草津	15.7	0.52	自然地域
	茨城県・阿見町	12.8	0.09	自然地域
	山形市	15.1	3.09	都市地域、降水量(1163 mm/年)
	北九州市	30.8	1.98	都市地域、降水量(1690 mm/年)
	神戸市	5.1	0.26	都市地域、降水量(1385 mm/年)
	千葉市	27.7	0.50	都市地域、降水量(1460 mm/年)
	秋田県・大潟村	7.6	0.65	農業地域
	石川県・金沢市	7.6	0.45	農業地域
都市地域の 排出負荷	埼玉県・加須市	9.0	1.22	農業地域
	北九州市	33.5	6.5	人口密度(138 人/ha)
	神戸市	34.2	5.8	人口密度(162 人/ha)
	山形市	17.6	3.0	人口密度(79.6 人/ha)
水田	千葉市	19.1	0.9	人口密度(130 人/ha)
	全国 ¹⁾	32.2	1.38	乾田、総流出量
	全国 ¹⁾	19.7	0.45	普通田、総流出量
	全国 ¹⁾	35.9	1.09	湿田、総流出量
	全国 ¹⁾	10.4	0.47	循環灌漑田、総流出量
自然地域の 排出負荷	全国 ¹⁾	40.0	4.90	傾斜地水田、総排出量
	滋賀県・若女 ²⁾	1.83	0.13	面積(0.029 km ²)、 降水量(1567 mm/年)
	滋賀県・朽木 ²⁾	2.66	0.55	面積(0.80 km ²) 降水量(2302 mm/年)
	滋賀県・竜王 ²⁾	4.20	0.23	面積(0.067 km ²) 降水量(2204 mm/年)
	滋賀県・三田川 ²⁾	3.42	0.095	面積(0.32 km ²) 降水量(1527 mm/年)
	滋賀県・和迄川 ²⁾	4.45	0.113	面積(0.28 km ²) 降水量(2074 mm/年)
	茨城県・筑波山	12.7	0.060	
	不明 ²⁾	6.94	0.183	土木学会
	不明 ²⁾	2.57	0.135	土木学会
	滋賀県 ²⁾	4.05	0.135	
	茨城県 ²⁾	3.65	0.219	
	茨城県・霞ヶ浦 ²⁾	2.44	0.215	
	茨城県・霞ヶ浦 ²⁾	3.58	0.117	
	長野県・諏訪湖	3.58	0.12	

1) 國松(1989)水田の汚濁負荷流出量、河川汚濁のモデル解析、技報堂出版、p59

2) 平田・村岡(1989)山林からの流出負荷量、河川汚濁のモデル解析、技報堂出版、p49

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3

月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niae/techdoc/monitoring/index.html>)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

(1) 施肥

施肥による土壌への窒素負荷量は次式から算出する。

Nfy : 施肥による年間窒素負荷量 (kg/年)

Ufi : 土地利用 i の施肥窒素量 (kg/ha/年)

Afi : 土地利用 i の耕地面積 (ha)

(2) 家畜排せつ物

畜産事業所から土壤への窒素負荷量は次式から計算する。

Nay : 家畜排せつ物の処理に伴う土壤への年間窒素負荷量 (kg/年)

U_{aj} : 事業所 j における家畜排せつ物の発生負荷量 (kg/年)

Haj : 事業所 j における家畜排せつ物中の窒素含有率

γ_{aj} : 事業所 j における家畜排せつ物の排出率

〔解説〕

- 家畜排せつ物量と窒素含有率を実測値に基づいて窒素負荷量を求めるのが望ましいが、困難な場合には $(Uaj \times Haj)$ を (家畜排せつ物の窒素原単位×飼養頭数) で置き換える (表 5.6)。
 - 平成 11 年 11 月に、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（家畜排せつ物法）が施行され、その後は家畜排せつ物法対象施設については整備が進み、いわゆる野積み・素掘り等の不適正処理はほぼ解消している。それゆえ、現地調査により、畜産事業所ごとに家畜排せつ物の排出率を求める必要がある。なお、家畜排せつ物法施行以前の素掘り等の処理が行われた跡地から現在も負荷がある可能性が指摘されており、注意が必要である。
 - 湖沼水質保全計画で用いられている畜産排水の排出率を、表 5.7～表 5.9 に示す。
 - 家畜排せつ物を堆肥化する等して、農地で有効利用している場合は(1)式に従う。

表 5.6 家畜ふん尿の窒素原単位

畜種		原単位(kg/頭(羽)/年)*		
		ふん	尿	合計
乳牛	搾乳牛	55.8	55.7	111.5
	乾・未経	13.1	21.1	35.2
	育成牛	31.1	26.8	57.9
肉牛	2歳未満	24.8	22.6	47.4
	2歳以上	22.9	30.4	53.3
	乳用種	23.6	27.9	51.5
豚	肉豚	3.0	9.5	12.5
	繁殖豚	4.0	14.6	18.6
採卵鶏	雛	0.6	-	0.6
	成鶏	1.2	-	1.2
ブロイラー	-	1.0	-	1.0

* : 築城 幹典, 原田 靖生. 我が国における家畜排泄物発生の実態と今後の課題. 環境保全と新しい畜産, 農林水産情報協会, 1997, p15-29.

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3

月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/monitoring/index.html>)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

表 5.7 牛の汚濁負荷原単位と排出率（湖沼水質保全計画で使用している値）

湖沼水質保全計画	策定期	COD			T-N			T-P			備考
		発生負荷量 g/頭/日	排出負荷量 g/頭/日	排出率 %	発生負荷量 g/頭/日	排出負荷量 g/頭/日	排出率 %	発生負荷量 g/頭/日	排出負荷量 g/頭/日	排出率 %	
茨城県 霞ヶ浦	第6期	530	31.7	6.0	247.4	30.3	12.3	34.7	0.17	0.5	乳用牛
		313	18.8	6.0	138.0	16.2	11.8	14.8	0.07	0.5	肉用牛
千葉県 印旛沼	第6期	530	5.3	1.0	290	5.4	1.9	50	1.45	2.9	
千葉県 手賀沼	第6期	530	5.3	1.0	290	5.4	1.9	50	1.45	2.9	
滋賀県 琵琶湖	第6期	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	0.00	0.0	全量農地還元
岡山県 児島湖	第6期	530	26.5	5.0	290	14.5	5.0	50	2.50	5.0	
長野県 諏訪湖	第6期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	存在しない
長野県 野尻湖	第4期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	存在しない
宮城県 釜房ダム	第6期	-	1.2	-	-	2.3	-	-	0.08	-	肉用牛
		-	1.2	-	-	2.3	-	-	0.08	-	乳用牛
島根県 中海	第5期	530	2.6	0.5	290	0.91	0.3	50	0.12	0.2	島根県
		530	2.46	0.5	290	0.51	0.2	50	0.11	0.2	鳥取県
島根県 宍道湖	第5期	530	3.7	0.7	290	4.10	1.4	50	0.24	0.5	
秋田県 八郎湖	第2期	530	31.8	6.0	290	24.8	8.6	50	0.25	0.5	
単純平均値		515	11.3	2.5	276	11.2	3.9	46	0.88	1.6	

注 1) 単純平均値：範囲を有する計画は中間値を集計

注 2) 排出率：排出負荷量／発生負荷量×100

出典：国土交通省水管理・国土保全局下水道部. 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説. 平成27年1月.
(<https://www.mlit.go.jp/common/001065300.pdf>)

表 5.8 豚の汚濁負荷原単位と排出率（湖沼水質保全計画で使用している値）

湖沼水質保全計画	策定期	COD			T-N			T-P			備考
		発生負荷量 g/頭/日	排出負荷量 g/頭/日	排出率 %	発生負荷量 g/頭/日	排出負荷量 g/頭/日	排出率 %	発生負荷量 g/頭/日	排出負荷量 g/頭/日	排出率 %	
茨城県 霞ヶ浦	第6期	130.0	7.9	6.1	35.7	4.1	11.4	9.3	0.05	0.5	
千葉県 印旛沼	第6期	130.0	4.8	3.7	40.0	2.8	7.0	25	2.68	10.7	
千葉県 手賀沼	第6期	130.0	4.8	3.7	40.0	2.8	7.0	25	2.68	10.7	
滋賀県 琵琶湖	第6期	130.0	7.8	6.0	40.0	2.4	6.0	25	2.50	10.0	2010年からは実績の積上げ
岡山県 児島湖	第6期	130.0	6.5	5.0	40.0	2.0	5.0	25	1.25	5.0	
長野県 諏訪湖	第6期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	存在しない
長野県 野尻湖	第4期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	存在しない
宮城県 釜房ダム	第6期	-	0.2	-	-	0.5	-	-	0.04	-	
鳥取県・島根県 中海	第5期	130.0	0.6	0.5	40.0	0.1	0.3	25	0.06	0.23	島根県
		130.0	3.1	2.4	40.0	4.4	11.0	25	0.60	2.4	鳥取県
島根県 宍道湖	第5期	130.0	0.9	0.7	40.0	0.6	1.5	25	0.12	0.5	
秋田県 八郎湖	第2期	130.0	7.8	6.0	40.0	3.4	8.5	25	0.13	0.5	
単純平均値		130.0	4.7	4.1	39.5	2.3	6.5	23	1.09	4.9	

注 1) 単純平均値：範囲を有する計画は中間値を集計

注 2) 排出率：排出負荷量／発生負荷量×100

出典：国土交通省水管理・国土保全局下水道部. 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説. 平成27年1月.
(<https://www.mlit.go.jp/common/001065300.pdf>)

表 5.9 鶏の汚濁負荷原単位と排出率（湖沼水質保全計画で使用している値）

湖沼水質保全計画	策定期	COD			T-N			T-P			備考	
		発生負荷量	排出負荷量	排出率	発生負荷量	排出負荷量	排出率	発生負荷量	排出負荷量	排出率		
		g/頭/日	g/頭/日	%	g/頭/日	g/頭/日	%	g/頭/日	g/頭/日	%		
茨城県	霞ヶ浦	第6期	2.8	0.224	8.0	3.00	0.363	12.1	0.50	0.0025	0.5	採卵鵜
			2.8	0.224	8.0	2.62	0.317	12.1	0.29	0.0015	0.5	肉用鶏
滋賀県	琵琶湖	第6期	-	0.000	0.0	-	0.000	0.0	-	0.0000	0.0	全量農地還元
宮城県	釜房ダム	第6期	-	0.000	0.0	-	0.000	0.0	-	0.0000	0.0	全量農地還元
秋田県	八郎湖	第2期	3.0	0.300	10.0	1.00	0.100	10.0	0.15	0.0020	1.3	
単純平均値			2.9	0.131	4.5	1.91	0.110	5.5	0.27	0.0010	0.5	

注) 排出率: 排出負荷量 / 発生負荷量 × 100

出典：国土交通省水管理・国土保全局下水道部. 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説. 平成 27 年 1 月.
(<https://www.mlit.go.jp/common/001065300.pdf>)

(3) 生活排水

生活排水（し尿・雑排水）の地下浸透による土壤への窒素負荷量は次式から計算する。

Nsy : 生活排水による年間窒素負荷量 (kg/年)

Usy : 単独処理浄化槽排水の原単位 (kg/人/年)

Pu : 単独処理浄化槽排水の地下浸透処理人口 (人)

Msy : 雜排水の原単位 (kg/人/年)

Pm : 雜排水の地下浸透処理人口 (人)

〔解説〕

- 単独処理浄化槽排水及び雑排水の原単位は、調査地の実情に応じた数値を使うことが望ましいが、ない場合は表 5.10 に示す値を用いる。

表 5.10 生活排水の窒素原単位

生活排水の種類	原単位(kg/人/年)
単独処理浄化槽排水	5.2~6.6
雑排水	1.10

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3 月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/monitoring/index.html>)

(4) 商工業排水

商工業排水の地下浸透による土壤への窒素負荷量は次式から計算する。

$$N_{CY} = \sum (U_{CK} \times N_{CK}) \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

Ncy : 商工業排水による年間窒素負荷量 (kg/年)

U_{ck} : 事業所 k における排水の地下浸透量 ($m^3/\text{年}$)

Nck : 事業所 k における排水中の窒素濃度 (kg/m³)

〔解説〕

- 事業所別の排水量及び排水中窒素濃度の実測値に基づいて窒素負荷量を求めるのが望ましい。

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

(5) 硝酸性窒素等の地下水への流入

硝酸性窒素等の地下水への流入には、人間活動に起因するもの（Nart）と自然的原因によるもの（Nnat）があり、それぞれ(5)式と(6)式から年間窒素流入量を計算する。

Nart：人間活動に起因する年間窒素流入量 (kg/年)

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 窒素供給源の種類別の溶脱率

Nnat：自然的原因による年間窒素流入量 (kg/年)

N : 自然地下水中の硝酸性窒素等濃度 (mg/L)

P : 降水量 (mm/年)

A : 調査範囲の面積 (ha)

δp ：降水浸透率

〔解説〕

- 溶脱率は、土壤に負荷された窒素が硝酸イオンや亜硝酸イオンの形態で地下水へ流入する割合であり、作物の種類、土壤の種類、施肥法等の条件によって異なる。
 - 溶脱率の設定にあたっては、調査地域の実情に応じた適当な値を選定する（表 5.11、表 5.12）。
 - 降水量と地下浸透量の関係は次式で表される。
 - P (降水量) = E (蒸発散量) + Rs (表面流出量) + Rg (地下浸透量)
 - 降水浸透率 ($\delta p = Rg/P$) の全国平均値は 0.22 であるが、降水浸透率は対象地域の不透水性面積によって異なる。武蔵野台地では、降水量を 1,500 mm/年、不透水性面積の割合を 40%とした場合には、地下浸透量は 420 mm/年（降水浸透率：0.28）となる。また、不透水性面積の割合を 80%とした場合には、地下浸透量は 140 mm/年（降水浸透率：0.093）となる。

表 5.11 土地利用別の窒素溶脱率（参考値）

負荷源	土地利用	溶脱率(%)
施肥	畠	20~50
	水田	0~10
	草地	5~20
家畜排せつ物	畜産事業所	60~100
生活排水	住宅地	80~100
商工業排水	商工業地	80~100

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3 月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/monitoring/index.html>)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

表 5.12 畑地の窒素溶脱率

測定地	土壤	作物	施肥量 (kg /ha)	有機物 ¹⁾ (kg /ha)	雨・灌漑 ²⁾ (kg /ha)	溶脱量 (kg/ha)	溶脱率 (%)
鹿児島	黒ボク土	陸稻/コムギ/カンショ/ エンバク/ローズグラス	257	0		87	34
鹿児島	黒ボク土	陸稻/コムギ/カンショ/ エンバク/ローズグラス	257	0		83	32
大分	黒ボク土	カンショ/コムギ	140	0		41	29
大分	黒ボク土	カンショ/コムギ	140	247		63	16
大分	黒ボク土	カンショ/コムギ	140	739		180	20
大分	黒ボク土	サトイモ/キャベツ	372	0		162	44
大分	黒ボク土	サトイモ/キャベツ	372	247		211	34
大分	黒ボク土	サトイモ/キャベツ	372	739		376	34
大分	黒ボク土	飼料作	332	0		35	11
大分	黒ボク土	飼料作	332	247		63	11
大分	黒ボク土	飼料作	332	739		220	21
愛知	第三紀	キャベツ/ハクサイ	600			24	4
愛知	洪積	キャベツ/ハクサイ	600			118	20
愛知	沖積	キャベツ/ハクサイ	600			109	18
愛知	第三紀	キャベツ/ハクサイ	600			70	12
千葉	砂質土	ホウレンソウ	300			20	7
千葉	砂質土	ホウレンソウ	300			19	6
静岡	砂土	コマツナ	100		10	29	26
静岡	砂土	コマツナ	200		10	58	28
静岡	砂土	コマツナ	300		10	118	38
群馬	黒ボク土	スイートコーン/ホウレンソウ	200	0		118	59
群馬	黒ボク土	スイートコーン/ホウレンソウ	200	200		247	62
群馬	黒ボク土	スイートコーン/ホウレンソウ	200	500		496	71
群馬	黒ボク土	スイートコーン/ホウレンソウ	200	1190		1052	76
香川	花崗岩	草地	176.2		10.4	2	1
香川	花崗岩	草地	176.2	71.2	10.4	2	1
香川	花崗岩	草地	143.8		10.4	3	2
香川	花崗岩	イネ/タマネギ	353.8		21.4	70	19
香川	花崗岩	イネ/裸麦	241.3		21.4	20	7
三重	黒ボク土	キャベツ	300			135	45
三重	黄色土	キャベツ	300			62	21
千葉	黒ボク土	陸稻/サトイモ/キャベツ	372		6	81	21
千葉	砂質土	陸稻/サトイモ/キャベツ	372		6	159	42
千葉	黒ボク土	陸稻/サトイモ	175		7	105	57
千葉	黒ボク土	陸稻/サトイモ	175		7	92	50
千葉	砂質土	陸稻/サトイモ	175		7	93	51
千葉	砂質土	陸稻/サトイモ	175		7	71	39
新潟	砂丘未熟土	ダイコン/タバコ	318.42	111.79	40.91	289	61
新潟	砂丘未熟土	ダイコン/タバコ	0		40.91	105	256
宮崎	黒ボク土	ソルガム/イタリアン	450			123	27
宮崎	黒ボク土	ソルガム/イタリアン	450			138	31
宮崎	黒ボク土	ソルガム/イタリアン	450			141	31
宮崎	黒ボク土	ソルガム/イタリアンライグラス	0	543		93	17
宮崎	黒ボク土	ソルガム/イタリアンライグラス	450	543		171	17
宮崎	黒ボク土	ソルガム/イタリアンライグラス	675	543		243	20

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

岐阜	黒ボク土	ニンジン	0	45	—
岐阜	黒ボク土	ニンジン	500	305	61
岐阜	黒ボク土	ニンジン	400	130	33
岐阜	黒ボク土	ニンジン	0	51	—
岐阜	黒ボク土	ニンジン	500	362	72
岐阜	黒ボク土	ニンジン	400	172	43
鳥取	砂丘未熟土	ナガイモ	396	422	106
鳥取	砂丘未熟土	ナガイモ	0	226	—
鳥取	砂丘未熟土	ナガイモ	320	404	126
鳥取	砂丘未熟土	ナガイモ	400	382	96
鳥取	黒ボク土	シバ	330	116	35
鳥取	黒ボク土	シバ	260	70	27
鳥取	黒ボク土	シバ	330	111	34
長崎	細粒赤色土	ニンジン/ショウガ/ バレイショ/トウモロコシ	26 0	30	117
長崎	細粒赤色土	バレイショ/トウモロコシ ニンジン/ショウガ/	26 31	47	82
長崎	細粒赤色土	バレイショ/トウモロコシ	26 79	74	71
長崎	細粒赤色土	バレイショ/トウモロコシ	19 0	13	73
長崎	細粒赤色土	バレイショ/トウモロコシ	19 31	27	54
長崎	細粒赤色土	バレイショ/トウモロコシ	19 79	53	54
山形	砂丘未熟土	メロン	800	546	68
山形	砂丘未熟土	メロン	1000	743	74
山形	砂丘未熟土	メロン	1200	879	73
福岡	灰色低地土	トウモロコシ/イタリアンライグラ ス	410	150	37
福岡	灰色低地土	トウモロコシ/イタリアンライグラ ス	410	135	33
福岡	灰色低地土	トウモロコシ/イタリアンライグラ ス	410	160	39
福岡	灰色低地土	トウモロコシ/イタリアンライグラ ス	0	25	—
茨城	黒ボク土	トウモロコシ/ハクサイ/ ソルガム/ダイコン/ニンジン	342.5	4.7	76 22
茨城	黒ボク土	トウモロコシ/ハクサイ/ ソルガム/ダイコン/ニンジン	0	4.7	5 —
茨城	黒ボク土	トウモロコシ/ハクサイ/ ソルガム/ダイコン/ニンジン	342.5 73	4.7	60 14
茨城	黒ボク土	トウモロコシ/ハクサイ/ ソルガム/ダイコン/ニンジン	595	4.7	150 25
茨城	黒ボク土	トウモロコシ/コムギ/ニンジン	407	12.9	3 1
茨城	黒ボク土	トウモロコシ/コムギ/ニンジン	407	12.9	6 1
茨城	黒ボク土	トウモロコシ/コムギ/ニンジン	407	12.9	11 3
茨城	灰色低地土	トウモロコシ/コムギ/ニンジン	407	12.9	23 5
茨城	灰色低地土	トウモロコシ/コムギ/ニンジン	407	12.9	19 5
茨城	灰色低地土	トウモロコシ/コムギ/ニンジン	407	12.9	76 18

1) 堆肥等の形態で施用した有機物中の窒素

2) 雨水および灌漑水中の窒素

出典：(独)農業環境技術研究所. 水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル改訂版. 平成 18 年 3 月. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/monitoring/index.html>)

5-4 数値シミュレーション手法 (⇒計画策定編 4章 4-1-4(3)の詳細情報)

(1) 移流分散モデル

数値シミュレーションは、地下水の流動が目に見えないことから、地質データや気象データ、観測井でのデータ及び湧水・河川等の観測データ等を使用し、移流分散モデルを用いて解析し、地下水の流動と物質の拡散の様子を把握する手法である。

地下水の移流分散モデルでは、一般的に移流分散解析が用いられており、運動方程式、連続の式、移流分散方程式からなる連立微分方程式を、空間的、時間的に解くものである。

代表的な移流分散モデルを表 5.13 に示す。

表 5.13 代表的な移流分散モデルの比較

主要機能		WEP モデル	MODFLOW	Dtransu-3D	GETFLOWS
概要	開発機関	(独)土木研究所	U.S.Geological Survey	岡山大学他	東京大学他
	次元	2D	3D	3D	3D
	離散化手法	有限差分法	有限差分法	有限要素法	積分型有限差分法
地下水 流動	地表流との結合	○	-	-	○
	飽和・不飽和	○	飽和のみ	○	○
	透水異方性	-	○	○	○
	空気流との干渉	-	-	-	○
物質 移動	多相流れ	-	-	-	○
	密度流	-	-	○	○
	熱移動	○	-	-	○
	移流・分散	-	○	○	○
	吸着(平衡)	-	○	○	○
	吸着(非平衡)	-	○	○	○
	崩壊・減衰	-	○	○	○
	相変化(揮発)	-	-	-	○
	溶解	-	-	-	○

国土交通省国土技術政策総合研究所. 土壤・地下水汚染が水域に及ぼす影響に関する研究. 国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告, 2006, No.12. (<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/kpr/prn0012.htm>) より作成

硝酸性窒素等による地下水汚染は、過剰施肥や家畜排せつ物の不適正処理や生活排水の地下浸透等により、土壤へ供給された窒素が硝酸性窒素等に変化し、地下水へ移行することによって起こるが、土壤中に地下水が存在しない地層（不飽和帯）の硝酸性窒素等の輸送媒体は土壤水（間隙水）である。

また、地下水が存在する地層（飽和帯）における硝酸性窒素等の輸送媒体は地下水であり、不飽和帯と飽和帯では硝酸性窒素等の移流分散の要因は異なる。

そして、地層中の物質の移動速度は、地層の化学特性（物質の吸着や脱着特性、嫌気・好気条件等）や物理的性状（空隙率や密度等）に大きく左右される。

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

このため、数値シミュレーションでは、予測の対象となる地域の地質と地下水の状況について、あらかじめ十分に把握しておくことが必要である。

(2) リスク評価モデル

(独)農業環境技術研究所では、平成18年度～平成22年度にかけて、硝酸性窒素による地下水汚染リスク評価システムの構築を行っている。

1) モデル構築の背景

農地土壤からの水と硝酸性窒素の溶脱は、地下水への流入水中の硝酸濃度を決める主要因である。このうち、溶脱水量は、主な項目の水収支として、

$$\text{溶脱水量} = (\text{降雨量} + \text{灌漑水量}) - (\text{表面流去} + \text{蒸発散量})$$

で求められる。

他方、溶脱する硝酸性窒素量は、土壤有機物の変化や無機化や有機化による形態変化を無視すれば、土壤表面での窒素収支として、

$$\text{溶脱する硝酸性窒素量} = (\text{施肥} + \text{施用有機物} + \text{大気降下物} + \text{作物体還元量} + \text{窒素固定} + \text{灌漑水}) - (\text{作物体の持ち出し量} + \text{脱窒} \cdot \text{揮散})$$

として求められる。

しかし、これらから求められる溶脱水中の窒素濃度は、作物ごとに決まった値となり、硝酸性窒素による地下水汚染を回避するためには、溶脱水量を増やすか、溶脱窒素量を減らすか、の二通りの選択肢しかない。現実的には施肥や有機物施用量を削減することが主体となるが、何をどの程度減らすかについての情報は別に求める必要がある。

さらに、水収支に大きな影響を及ぼす降雨量は、蒸発散量に比べ年ごとの変動が大きく、降雨量の変化は、窒素収支にも影響を及ぼす。例えば、施肥直後のまとまった雨や年間を通じた降雨量の増加は土壤中からの硝酸溶脱を促進し、作物による吸収量を減らす場合もある。

このように、不確実な気象条件の変動に対応して作物生産（収穫量）を維持しながら、硝酸溶脱量の削減を図るために、現行の栽培体系のみならず、新たな栽培体系においても窒素動態を、できるだけ簡易に把握できる手法の開発が必要である。このような空間的・時間的に変動を持つ営農に伴う窒素動態を取り扱うためには、数値モデルを用いることが有効となる。

2) モデルの特徴

このモデルでは、地下水の流動シミュレーションで硝酸性窒素濃度を再現するのではなく、地下水に流入する地下浸透水中の窒素濃度が環境基準（年平均値で 10 mg-N/L）を超過することとし、この確率をリスクと考える。そして、ある地点を対象に行われる営農で生じる地下浸透水量と窒素負荷量から算定される地下水への流入水中窒素濃度の変動に対してリスクを評価するという点が特徴である。

また、一般に農業に起因する硝酸性窒素による地下水汚染は、帶水層の上部で顕著であり、また観測井の直上またはごく近傍の土地利用を反映することから、当該地下水の水質改善を目的とする場合は、比較的限られた範囲を対象とするだけでもよいと考えている。

さらに、こうした地下水の汚染は面的な広がりを持っていること、ひいては表面水の汚染にもつながっていることを踏まえ、モニタリングの容易な河川水質管理を対象の一つと位置づけて、その流域範囲を地下水汚染の面的な広がりの検討単位として扱うこととするとしている点で特徴的である。

3) モデルの構造

農地由来の硝酸性窒素による地下水汚染リスク評価システム RealN (Risk evaluation for agricultural leached Nitrogen, (独) 農業環境技術研究所, 2011a⁽¹¹⁾; 前田ら, 2012⁽¹²⁾) は、「点」である農地と「面」である河川流域を対象とするモデルを組み合わせ、流域内の個々の地点における地下水中硝酸性窒素濃度と汚染リスクを評価するシステムとして開発された。そして、その結果として「面」の出力である河川水中の窒素濃度が予測される(図 5.13)。

ここで、「点」のモデルは、鉛直一次元の窒素溶脱予測モデル LEACHM (Leaching Estimation and Chemistry Model ; Hutson, 2003⁽¹³⁾) を日本の畠地に多い黒ボク土への適用等を目指して改良したもので(朝田ら, 2011a⁽¹⁴⁾; 朝田ら, 2011b⁽¹⁵⁾)、国内のさまざまな土壤、作物の栽培を対象に、有機物を含む窒素投入に対する作物吸収、土壤有機物変化量、溶脱窒素量等を計算する(図 5.14)。

LEACHM モデル入力データは、1) 気象条件：アメダス日別データ、2) 基準蒸発散量：FAO Penmann-Monteith 式による ET0 の週平均値、3) 土壤の物理的・化学的性質：定点調査データの地目・土壤統群・層位別平均値とそれに基づく水分保持曲線・不飽和透水係数パラメータ (van Genuchten-Mualem モデル)、4) 作付体系・肥培管理・目標収量等：県の野菜栽培基準、耕種基準等 (crop management standard)、5) 地下水位：地域の地質柱状図に基づき内挿、等である。水移動は Richards 式、溶質輸送は移流分散式に従うとしている。

⁽¹¹⁾ (独)農業環境技術研究所. 農地由来の硝酸性窒素による地下水汚染リスク評価システム RealN の開発.

2011. (http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/result/result27/result27_66.html)

⁽¹²⁾ 前田 守弘, 河野 憲治, 谷山 一郎, 上園 一郎, 脇門 英美, 加藤 邦彦, 井上 京, 中村 真人, 板橋 直, 矢部 光保. 家畜排せつ物の利活用と水質問題から考える有機物管理の次世代パラダイム. 土肥誌, 2012, Vol.83, No.2, p203-209.

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/dojo/83/2/83_KJ00008583257/_pdf/-char/ja)

⁽¹³⁾ Hutson, J.L. LEACHM Ver. 4.1. Res. Ser. No. R03-1, Dep. of Crop and Soil. Sciences, Cornell Univ., Ithaca, NY, 2003.

⁽¹⁴⁾ 朝田 景, 江口 定夫, 浦川 梨恵子, 青木 和博, 板橋 直, 中村 乾, 加藤 英孝. 農業集水域を対象とした窒素負荷軽減シナリオによる地下水汚染リスク評価. 土肥要旨集, 2011, Vol.57, p6.

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/dohikouen/57/0/57_6_2/_pdf/-char/ja)

⁽¹⁵⁾ 朝田 景, 江口 定夫, 浦川 梨恵子, 青木 和博, 板橋 直, 中村 乾, 加藤 英孝. 農業由来窒素の負荷軽減シナリオによる地下水汚染リスクの評価. 土肥要旨集, 2011, Vol.57, p311.

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/dohikouen/57/0/57_311_3/_pdf/-char/ja)

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

「面」のモデル MacT (Mixing areal chemical Transport、(独)農業環境技術研究所, 2011b⁽¹⁶⁾) は、流域を地質や土壤、土地利用等の GIS データと、統計資料に基づく農地の分布等で表現し、「点」の計算結果を入力として、地下水流動で生じる混合や、地下水中の脱窒除去による濃度変化を計算する。流域最下流点となる河川水窒素濃度は、以上の計算の結果として出力される（図 5.15）。

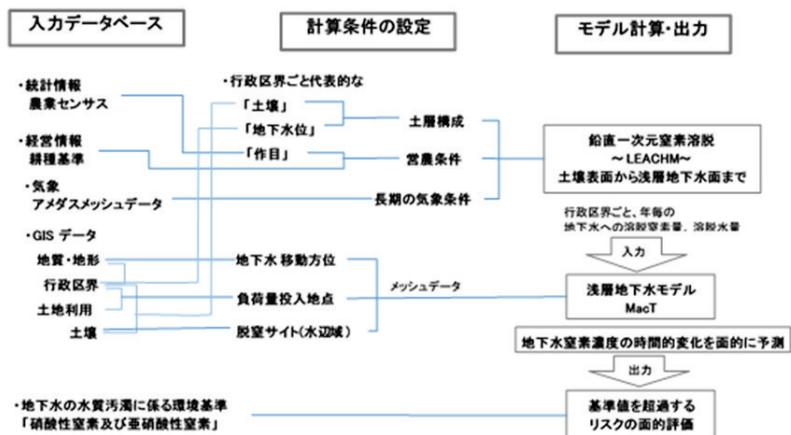


図 5.13 硝酸性窒素による地下水汚染リスク評価システム RealN の構造

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

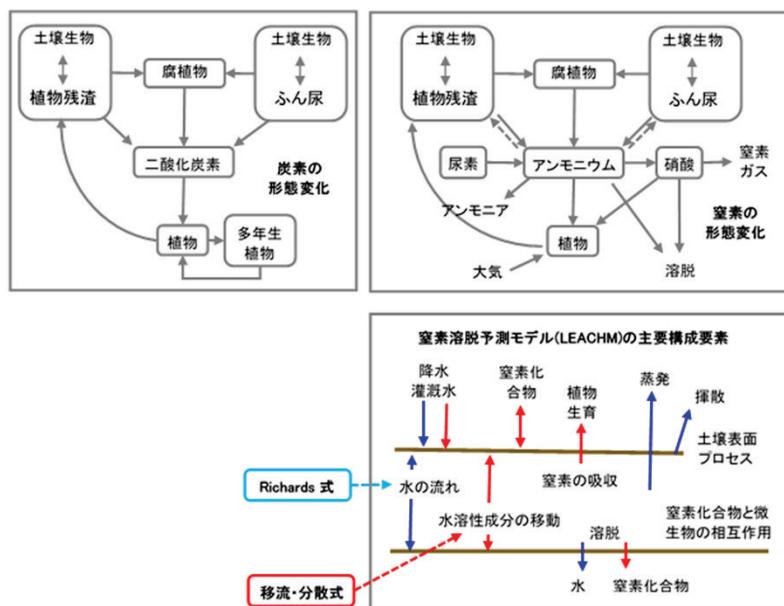


図 5.14 窒素溶脱予測モデル (LEACHM) の概要 (Hutson(2003)⁽¹³⁾を一部改変)

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

(16) (独)農業環境技術研究所. 浅層地下水を通じた環境負荷物質の混合・減衰と濃度分布を面的に予測するための GIS モデル MacT の開発. 2011.

(http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/result/result27/result27_64.html)

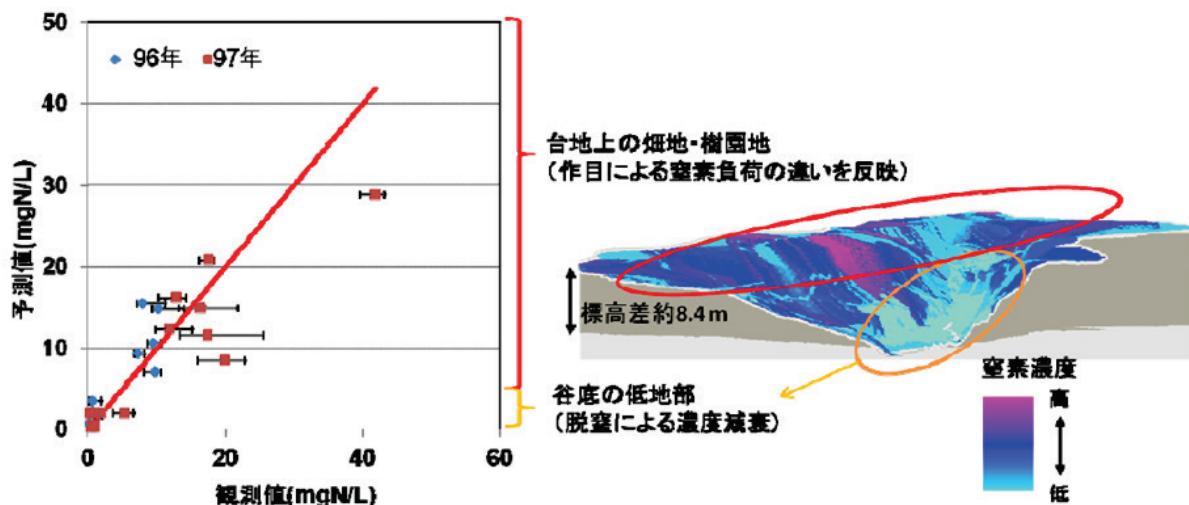


図 5.15 MacT の適用例 ((独) 農業環境技術研究所(2011b)⁽¹⁶⁾)

谷津地形における台地上の畠地・樹園地での窒素負荷の違いによる地下水窒素濃度の分布、及び低地部における脱窒による濃度減衰の結果生じる低濃度域を表現

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

4) 解析事例

本解析で対象としたH川は、K水系への流入河川の一つであり、水質汚濁が進行している。同河川流域は面積およそ 46 km^2 で、その約4割が畠地として利用されている。畠地の多くは、平坦な洪積台地面を覆う火山灰ローム層及び黒ボク土上にある。同流域は果菜類の産地として知られ、2000 年世界農林業センサスを用いて農業集落単位で見た場合、流域内の大部分の集落で当該果菜の栽培が主体であり、これにいも類が続く。台地上の畠地からの地下浸透水が、浅層の地下水系を通じて河川の汚濁源となっている。

流域内畠地で代表的な作物を施肥基準に従って栽培する条件による窒素動態を検討した。

県の栽培基準では、この作物の栽培体系に対する窒素投入は、施肥基準量は 100 kg-N/ha 、これに有機物として 20 t/ha の施用が推奨されている。有機物として流通量の多い牛ふん堆肥を使う場合、両者の合計窒素施用量は約 260 kg-N/ha となる。

対して窒素持ち出し量は、目標収量 30 t/ha による吸収窒素量がおよそ 100 kg-N/ha である。以上から、土壤に残される余剰窒素量（溶脱窒素量）は、投入量 - 持ち出し量で 160 kg-N/ha となる。また、当該地点での余剰水量（溶脱水量）は、平均的な降水量と蒸発散量の差し引きにより、 625 mm と推定される。このような簡易な収支計算によって、この作付け体系による地下水への溶脱水中硝酸濃度は 26 mg-N/L と推定された。

LEACHM に地域の 1978 年～2008 年 (31 年分) の気象条件を与えて、この体系により生じる窒素動態を計算した。年間の窒素吸収量の範囲は、 $101\sim105 \text{ kg-N/ha}$ と安定していることが予測された。しかし、降雨量の年変動に伴い、年間溶脱水量は $242\sim1,204 \text{ mm}$ 、地下水への溶脱窒素量は $61\sim287 \text{ kg-N/ha}$ と大きく変動すると予測され、この結果、浅層

5. 硝酸性窒素等による地下水汚染の原因と対策効果の調査手法

地下水への溶脱水の窒素濃度は 19~27 mg-N/L の範囲で変動することが予測された（図 5.16）。

次に、流域内の 42 集落を対象に、各集落での代表的な作付けにおける 31 年分の気象条件により得られた溶脱水量、溶脱窒素量のデータセットを MacT に入力し、地下水中窒素濃度の面的な分布を推定した。

このうち、平均的な気象条件における地下水中窒素濃度の分布は図 5.17（左図）に示すとおりであり、県の測定値と比較したところ、妥当な結果であることが把握された。

5) リスク低減シナリオ

主要果菜類の生産を維持しつつ、地下水への溶脱水中窒素濃度を低減する管理を検討した。

LEACHM を使うことにより、この土壤では地力窒素の供給源となる土壤有機物量を維持するために、作物残渣の還元以上の有機物投入が必要であること、また、溶脱水中窒素濃度及び汚染リスク低下には、有機物を含めた土壤への総窒素投入量を溶脱水量に見合う量にまで抑制する必要性が示唆された。

これを実現する管理の一例として、化学肥料の半減と、削減分に相当する窒素量のみを供給する有機物施用に変更することが有効と考えられた（朝田ら, 2011a）⁽¹⁴⁾。

このことにより、作物の窒素吸収量を確保しながら、溶脱窒素量、溶脱水中窒素濃度を大幅に低減し、結果として地下水汚染リスクを低く保つことができると予測された。

そして、この栽培体系の変更を流域内に広範囲に普及することにより、河川水窒素濃度を周辺の都市河川程度にまで低下させると予測された（図 5.18）。

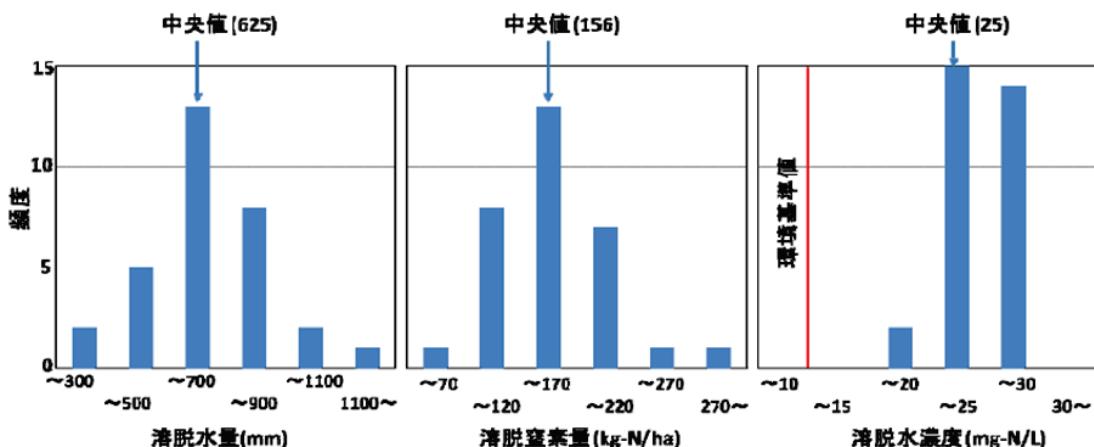


図 5.16 LEACHM で予測された施肥基準準拠での果菜類栽培における年間の浸透水量、溶脱窒素量、浸透水中窒素濃度の頻度分布 (n=31)

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

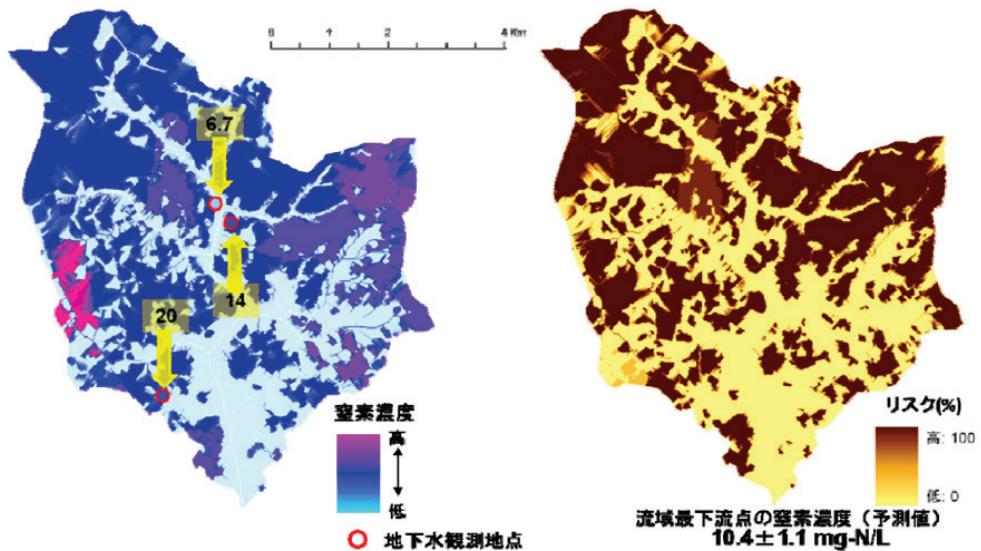


図 5.17 K水系H川流域の代表的な作目による標準的な気象条件の年の地下水窒素濃度分布

(左)と気象の変動を考慮した時の環境基準値を超過するリスク評価図(右)

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

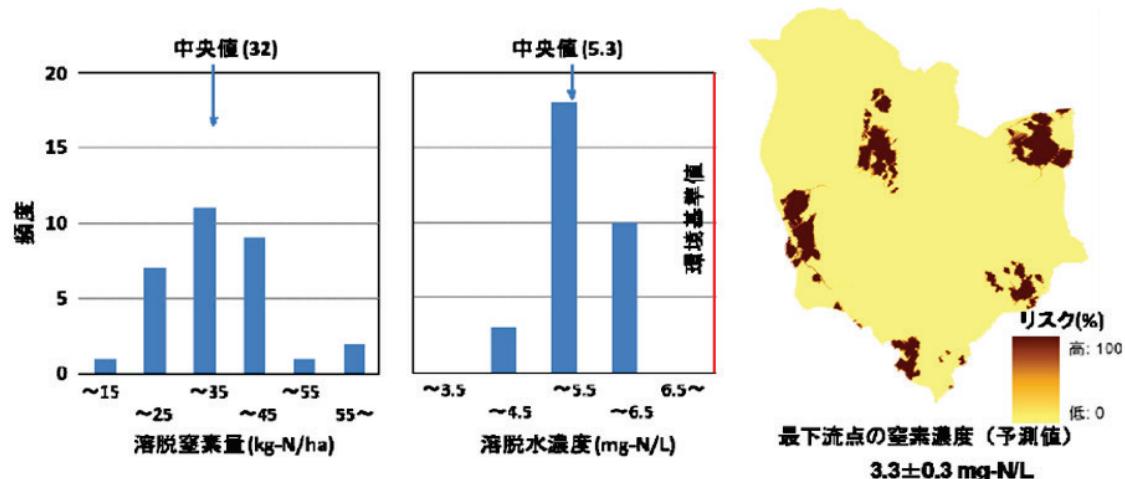


図 5.18 主要果菜類の管理変更（化学肥料半減、削減分に相当する窒素量を有機物で代替）による溶脱窒素量と溶脱水窒素濃度の頻度分布（n=31）と、そのときに予測される地下水汚染リスク評価図

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

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

6-1 硝酸性窒素等による地下水汚染対策に係るこれまでの取組

(1) 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る主な地下水質保全施策

環境省では、土壤・地下水汚染に関して様々な取組を行ってきた。そのうち、硝酸性窒素等による地下水汚染に係る主な取組を表 6.1 に示す。

表 6.1 これまでの硝酸性窒素等による地下水汚染対策に係る環境省の主な取組

年次	取組の内容
平成元年 8月	「特定地下浸透水の浸透の制限」 水質汚濁防止法の改正により、有害物質使用特定施設に係る有害物質を含む特定地下浸透水の地下への排出を禁止した。
平成 5 年 3 月	「要監視項目の指針値の設定」 環境基準健康項目に加え、要監視項目が新設され、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の指針値(10 mg/L)が設定された。
平成 8 年 6 月	「地下水の水質の浄化に係る措置命令等」 平成 8 年 6 月の水質汚濁防止法の改正により、特定事業場において有害物質に該当する物質を含む水の地下への浸透により発生した地下水質の汚染について浄化措置命令を発出できる規定を創設した。
平成 11 年 1 月	「土壤・地下水汚染に係る調査・対策指針」の策定 土壤・地下水汚染について、調査から対策までの手法を示した指針を策定した。
平成 11 年 2 月	「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の環境基準値」の設定 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素を、要監視項目から環境基準健康項目及び地下水の水質汚濁に係る環境基準に移行し、環境基準値(10 mg/L)を設定した。
平成 13 年 7 月	「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る水質汚染対策マニュアル」の策定 硝酸性窒素等による地下水汚染が常時監視等により判明した場合に、都道府県等が汚染原因の把握や負荷削減対策等を実施する際の調査内容、留意点等を示したマニュアルを策定した。
平成 13 年 7 月	「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素に係る土壤管理指針」の策定 施肥対策を含めた土壤管理の進め方の手法を示した指針を、農林水産省とともに策定した。
平成 16 年 7 月	「硝酸性窒素による地下水汚染対策事例集」の作成 地方公共団体等による地域の実情に応じた硝酸性窒素等対策を推進するため、先進的な地方公共団体の窒素負荷削減対策に関する取組事例等を紹介した事例集を作成した。 (参照： http://www.env.go.jp/water/chikasui_jiban.html)
平成 16 年度 ～ 平成 20 年度	「硝酸性窒素浄化技術開発普及等調査」の実施 硝酸性窒素等浄化技術について、実際の汚染地域において実証調査を実施し、技術の有効性・経済性・適用条件等を評価し、面的に広がりのある硝酸性窒素等による地下水汚染を効果的に浄化するための手法を確立する調査を実施した。 啓発用パンフレット「未来へつなごう私たちの地下水－気づいていますか？硝酸性窒素汚染－」及び実証調査等に係る浄化技術について取りまとめた「硝酸性窒素による地下水汚染対策手法技術集」を作成した。 (参照： http://www.env.go.jp/water/chikasui_jiban.html)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

年次	取組の内容
平成 17 年度 ～ 平成 19 年度	「硝酸性窒素総合対策モデル事業」の実施 硝酸性窒素等による地下水汚染が認められる地域において、汚染原因の把握、地域の実情に応じた実行可能な硝酸性窒素等対策の立案・実施、対策の効果の定量的な予測・評価に必要となる調査を実施し、総合的な対策の実施を支援する事業を実施した。
平成 26 年度 ～ 平成 28 年度	「地域循環型バイオガスシステム構築モデル事業」の実施 家畜排せつ物由来のバイオガスを活用しつつ、処理残渣の適正な利活用を徹底し、地域資源の循環による自立・分散型エネルギー供給と、地下水への窒素負荷を低減することによる環境負荷の少ない地域づくりを同時に推進するモデルシステムを構築するための調査・検討を実施した。
平成 27 年度～	「硝酸性窒素等地域総合対策制度」 硝酸性窒素等の地下水汚染対策に取り組む地域を対象として、地域の課題や要望に応じて支援を行う制度。平成 27 年度から令和 2 年度にかけては、千葉県、栃木県、宮崎県及び鹿児島県、長崎県について、過去の事例や既存の科学的知見を踏まえた地域の総合対策を推進した。
平成 28 年 5 月	「硝酸性窒素等による地下水汚染対策マニュアル」の作成 平成 13 年策定のマニュアルに、硝酸性窒素等に係る土壤管理指針、参考資料集（H13.12）、地下水汚染調査マニュアル（H11.3）の内容を統合、更新し、水循環基本計画の内容を踏まえ、硝酸性窒素等に係る地下水汚染の調査及び対策の技術的手法を整理した。

注：上記の他、農林水産省等と連携し、取組を実施している。

これまでの関係者の取組の成果として、特に代表的な事例を表 6.2 に示す。

多くの事例では 5 年以上 12 年近くの変化から、地下水中の硝酸性窒素等濃度の低減傾向を評価しており、地下水質の変化を見るのに 5 年～10 年といった長期のスパンが必要と思われる。茨城県の事例では、2 年では変化が見られなかったとしているが、福岡県の事例では 2 年間で効果が見られたとしている。

表 6.2 窒素負荷削減対策の事例

自治体	期間	窒素負荷削減対策の事例
茨城県	2004 年～ 2006 年の 2 年間の変 化	茨城県の北浦を調査地とし、家畜排せつ物法施行（2004 年 11 月）により家畜排せつ物の処理を素掘り貯留地から簡易処理施設へ転換した前後 2 年間の栄養塩の流出傾向について考察した。 この結果、平均アンモニア性窒素濃度が 1.9 mg/L から 1.1 mg/L へ、平均アンモニア性窒素負荷量が 6.3 kg/d から 2.6 kg/d に減少した。一方、平均硝酸性窒素濃度や平均硝酸性窒素負荷量には大きな変化が見られなかったが、これは簡易処理施設から生じた汚泥等を堆肥として施用しているためと考えられた。
群馬県	2000 年～ 2005 年の 5 年間の変 化	平成 17 年度の地下水概況調査において硝酸性窒素の環境基準超過率が低減した要因を統計学的に考察した。 この結果、平成 12 年度から平成 16 年度は 23.8～29.8% で推移していた硝酸性窒素等の環境基準超過率が平成 17 年度には 13.8% と改善した。これは、畠面積、家畜飼養頭数、農業人口に関連する何らかの変化と関連していることが示唆され、家畜排せつ物法の実行や畠地への施肥量減少がその要因の一つと考えられた。

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

自治体	期間	窒素負荷削減対策の事例
静岡県	1997 年～ 2009 年の 12 年間の 変化	減肥が進行している茶園が集積した台地とその周縁部の小河川、湧水及び井水をモニタリングした。この結果、窒素施肥量は減少し、22 河川中 17 河川で有意な硝酸性窒素濃度の減少が認められ、茶園での施肥量削減の効果と考えられた。 湧水においても 9 地点中 7 地点で硝酸性窒素濃度の減少傾向が観察され、1997 年には 60 mg/L 超であった観察地点の硝酸性窒素濃度は 2009 年では 20 mg/L であった。
岐阜県	1988 年～ 2000 年の 12 年間の 変化	ニンジンの畑作地帯である岐阜県各務原市において 1988 年から減肥を開始した。この結果、1990 年に 30 mg/L であった調査地点では、2000 年に 22 mg/L、1984 年に 20 mg/L 超であった調査地点では、2000 年に 12 mg/L へと減少した。
三重県	1997 年～ 2004 年の 7 年間の変 化	茶栽培が盛んな三重県鈴鹿市において環境負荷削減を目的として 1997 年から施肥削減へ取り組んだ。この結果、1 m 深度での実験圃茶園地下水の推定硝酸性窒素濃度は、実証区で約 20 mg/L、慣行区では約 40 mg/L（いずれも 2004 年 10 月の試験終了時）であり、試験期間中慣行区の半分以下で推移し、環境負荷が低減されたことが明らかとなつた。
福岡県	1997 年～ 1999 年の 2 年間の変 化	茶畠において、窒素施肥量を 1,192 kg/ha から 810 kg/ha まで減量する取組を実施した。この結果、試験地の域外に流出する窒素負荷量は、年窒素施肥量に対して第 1 調査年（1997 年 6 月～1998 年 5 月）の 73% から第 2 調査年（1998 年 6 月～1999 年 5 月）の 38% に減少した。また、茶畠流出水（湧水）の硝酸性窒素の年平均濃度は第 1 調査年の 34 mg/L から第 2 調査年の 29 mg/L まで減少し、窒素施肥量の減少による効果が認められた。
沖縄県 宮古島市	1989 年～ 2008 年の 19 年間の 変化	サトウキビへの単位面積当たりの施肥量の低下、施肥時期の改善等に取り組んだ。この結果、硝酸性窒素濃度は、1989 年の平均～8 mg/L（島内 13 地点）から 2008 年には平均 5.0～5.7 mg/L に低減した。

6-2 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る主な供給源の種類

(1) 農業系

1) 施肥

肥料として畠地や果樹園等に供給されたアンモニア性窒素や硝酸性窒素は作物により吸収される。一方、作物に吸収されず畠地に残存したアンモニア性窒素は、大部分が土壤粒子や土壤有機物に吸着されるが、残存した硝酸性窒素は土壤粒子にほとんど吸着することなく地下水へ溶脱する。畠地や果樹園等での施肥量は作物によって大きく異なる。特に多肥の畠地においては硝酸性窒素の溶脱が大きくなる場合があり、こうした場合には施肥量の低減化や土地改良等の対策が行われているところがある。

2) 施肥における課題

農地が面的な広がりを有した供給源であるため負荷状況の把握が困難であり、その精度を向上させる必要がある。また、対策ごとの効果を適切に把握し負荷削減効果を定量的に評価する必要がある。一方、各地域で行われている土壤診断や施肥基準を活用した施肥の適正化の取組について、そのような取組が地下水の水質改善にどの程度貢献し得るかを実証した研究は少ない。その理由として、肥料削減の効果が地下水・河川の水質に反映されるまでに、数年以上の時間遅れが生じることや、施肥の削減前に土壤中に蓄積された窒素分の影響が指摘されている。

(2) 畜産系

1) 家畜排せつ物

家畜排せつ物は有機資材として適正に堆肥化された後、農耕地や牧草地等に施肥され、窒素分の多くは農作物や牧草等に吸収されることによって窒素資源の循環が図られる。一部は溶脱して地下水に流入する。しかし、堆肥や液肥等の過剰施肥等が硝酸性窒素等による地下水汚染の供給源となる可能性が考えられる。

堆肥として土壤に散布する家畜排せつ物について、①排せつ物が飛散・流出、悪臭の発生、周辺の地下水汚染等生活環境の保全上の支障が生ずるおそれがある場合、②農地等において必要とされる肥料成分量を明らかに超過して排せつ物を散布している場合（農林水産省より公表されている施肥基準や土壤診断基準を参照）には、当該排せつ物は産業廃棄物に該当する場合がある。

家畜排せつ物の廃棄物該当性については、その物の性状、排出の状況、通常の取引形態、取引価値の有無及び占有者の意思等を総合的に勘案して判断することとなり、廃棄物と判断される場合には、廃棄物処理法に従って適正に処理する必要がある。

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

2) 家畜排せつ物における課題

家畜排せつ物法により、家畜排せつ物の処理・保管施設の構造基準や管理方法等を定めた管理基準に則して、家畜排せつ物の管理が行われている。家畜排せつ物は、堆肥化により、土壤改良資材や肥料としての有効活用が期待されるものであるが、十分な堆肥の利用先が確保できなければ、過剰施肥のおそれがあり、耕畜連携による堆肥の広域流通利用等、家畜排せつ物の発生量に応じた堆肥の利用先の確保が課題である。

また、家畜排せつ物は土壤中での分解が緩速であることから、家畜排せつ物法施行以前の素掘り等の処理が行われた跡地から現在も負荷がある可能性が指摘されている。

(3) 生活系

1) 生活系排水

未処理の生活排水が公共用水域に排出される過程で地下浸透し、硝酸性窒素等による地下水汚染の供給源となる場合がある。また、単独処理浄化槽からの排水の地下浸透処理等が原因になる場合もある。

また、生活系の污水が地下浸透した場合、アンモニア性窒素は生物分解を受けて硝酸性窒素や亜硝酸性窒素に酸化されるが、そのような変化を行っても抜本的な対策を行ったことはならないので、栄養塩類の除去機能を持つ高度処理浄化槽の整備等、生物学的硝化・脱窒が適切に行われる処理システムの普及が必要である。

2) 生活系排水の課題

硝酸性窒素等による地下水汚染の供給源として生活系排水が挙げられる場合、周辺の状況を調査して他に供給源となる要因が見当たらないときは、生活系排水を供給源として取り上げる場合があるが、実証された事例は殆どない。都市域で殆どの地表面が舗装されており、農業系・畜産系が供給源ではないことが明らかな場合は、他の供給源について検討が必要である。

(4) 産業系

1) 産業系排水

全般的に、工場や事業場での窒素の使用については、表面洗浄に硝酸を用いる金属・機械製造業など、主として酸化型窒素を用いる場合と、原料にタンパク質を含む食料品製造業など、還元型窒素を用いる場合があり、この窒素の酸化還元タイプにより排水処理方法が大きく異なる。産業系からの環境負荷削減対策の実施にあたっては、インプット対策（原材料、副原料、薬品等の検討）とプロセス対策（作業工程の改善）を十分に行い、非意図的な地下浸透の防止と、排水処理対策を行うことが重要である。

2) 硝酸性窒素等に係る排水基準

硝酸性窒素等について、平成 13 年に一般排水基準（100 mg/L（水環境中のアンモニア性窒素の硝化のメカニズムを考慮し、アンモニア性窒素については転換係数 0.4 を掛けた上で、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素及びアンモニア性窒素の総和を 100 とする））が設定された。その際、27 業種については直ちにこれに対応をすることが困難であるとして、3年間の期限で暫定排水基準を設定した。その後、3年ごとに暫定排水基準の見直しを実施し、一般排水基準への移行を進めており、平成 16 年 7 月、平成 19 年 7 月、平成 22 年 7 月、平成 25 年 7 月、平成 28 年 7 月、令和元年 7 月に見直しが行われてきた。現在は、令和 4 年 6 月を期限として硝酸性窒素等に係る暫定排水基準が 7 業種（畜産農業、貴金属製造・再生業、酸化コバルト製造業、ジルコニウム化合物製造業、モリブデン化合物製造業、バナジウム化合物製造業、下水道業）に適用されている。

また、下水道法では下水道法上の特定施設から公共下水道または流域下水道に排除される下水の硝酸性窒素、亜硝酸性窒素及びアンモニア性窒素の含有量に関する水質規制を、下水道法の基準の範囲内で下水道管理者が条例で定めることができることとしている。

3) 産業系排水の課題

地下水汚染の供給源である工場・事業場を特定または推定することは極めて困難である。周辺の状況から、農業系、畜産系、生活系の供給源が考えられないときに工場・事業場が供給源として考えることになるが、原材料や製造プロセス、地下浸透防止対策の状況や施設管理の状況等を調査して特定しなければならないので、工場・事業者の協力が前提となる。

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

6-3 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る主な供給源対策 (►計画策定編 4章 4-1-4(2)の詳細情報)

表 6.3 に、これまでの知見を整理して得られた硝酸性窒素等による地下水汚染対策のメニューを示す。

表 6.3 硝酸性窒素等による地下水汚染対策の主なメニュー

1. 窒素負荷削減策（窒素投入量の削減）	
1.1 農業系における対策	
1) 施肥の適正化	【対策促進策】
(1) 施肥基準や土壤診断等に基づく適正施肥等を実施、環境保全型農業の推進	<ul style="list-style-type: none">・啓発活動の継続・施肥基準や土壤分析を活用した硝酸性窒素等の供給源の解明・改善技術の効果の評価（収量・品質、営農面）・効果を評価し、継続するための仕組みの構築
2) 効率的な施肥の実施	
(1) 肥料流亡の抑制	<ul style="list-style-type: none">・肥料流亡抑制を目的とした施肥方法の開発・啓発活動の継続・改善技術の効果の評価（収量・品質、営農面）
(2) 局所施肥技術の導入	<ul style="list-style-type: none">・啓発活動の継続・改善技術の効果の評価（収量・品質、営農面）・効果を評価し、継続するための仕組みの構築
(3) 肥効調節型肥料の活用	<ul style="list-style-type: none">・同上
1.2 畜産系における対策	
1) 地域内過剰窒素の抑制	
(1) 堆肥利用の促進	<ul style="list-style-type: none">・啓発活動の継続・在庫、需要供給量情報の提供・改善技術の効果の評価（収量・品質、営農面）・効果を評価し、継続するための仕組みの構築
(2) 他分野への利用促進	<ul style="list-style-type: none">・地域ぐるみでの理解の促進と利用の普及・促進・行政、受益農家、その他関係者間による組織での運営・他分野用途開発への支援、助成等
1.3 生活排水対策	
1) 汚水処理人口普及率の向上	<ul style="list-style-type: none">・公共下水道、農業集落排水への接続促進・コミュニティプラント、合併処理浄化槽の設置・所管官庁/部署との連携を図り、既存制度への地下水汚染対策要件の組み込み
2. 窒素負荷影響の削減（窒素取出し量の増加）	
2.1 作付け体系の見直し	
1) 輪作・緑肥の活用	<ul style="list-style-type: none">・啓発活動の継続・作付体系の見直し・改善技術の効果の評価（収量・品質、営農面）・効果を評価し、継続するための仕組みの構築
2.2 地形や土地利用形態を利用した自然浄化の活用	
1) 水田・休耕田の活用	<ul style="list-style-type: none">・啓発活動の継続・改善技術の効果の評価（収量・品質、営農面）・効果を評価し、継続するための仕組みの構築
2) 湿地・湧水地の活用	<ul style="list-style-type: none">・同上

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

表 6.4 に、主な供給源対策に関して、その特徴、長所・短所、コスト等について定性的に評価し、取りまとめた。

表 6.4 主な供給源対策の整理

項目	施肥対策	家畜排せつ物対策		生活排水対策
		堆肥化等を通じた農地還元	浄化処理	
特徴	・都道府県等が策定する「施肥基準」、「減肥基準」等は、土壤診断結果等とともに適正施肥に向けた取組で活用される。	・家畜排せつ物法により、家畜排せつ物の管理基準が定められている。 ・堆肥化等を通じた農地還元は、最も一般的な処理・利用方法である。	・家畜排せつ物法により、家畜排せつ物の管理基準が定められている。 ・公共用水域に放流する場合は、法に基づく排水基準が適用される。	・合併処理浄化槽等により、生活排水を処理し、表流水を改善することにより、窒素の地下浸透を改善する。
長所	・施肥量の適正化による肥料コストの低減が可能である。	・堆肥等を施用できる農耕地や牧草地が十分に確保されている場合は、資源循環が可能である。(メタン発酵消化液も同じ)	・尿など液状物の還元農地がない場合に、浄化後に水質基準を満たしていれば放流が可能である。	・河川水や湖沼水の硝酸性窒素等汚染が顕著な地域では、効果が得られやすい。
短所	・最適施肥量は、土壤条件や気象条件によって異なることから「施肥基準」等の基準は、画一的な運用になじまない性格のものであり、柔軟できめ細かな対応が求められる。	・堆肥等を施用できる農耕地や牧草地が十分に確保できない場合は、過剰施肥となって地下水汚染のおそれがある。(メタン発酵消化液も同じ)	・機械の運転に習熟する必要がある。 ・機械の設置費用・ランニング費用がかかる。	・高度処理型の浄化槽施設が必要である。
コスト	・土壤診断に係るコストが発生するが、肥料コストの低減が可能である。	・堆肥等を施用できる農耕地や牧草地の確保が困難な場合、広域流通を行うとすると、運送代等のコストが発生する。	・浄化設備と運転費用が必要である。	・公共下水道のような集中処理と、浄化槽による分散処理を最適に組み合わせることにより、地域の排水処理のコストを最適化できる。

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

(1) 農業系における対策

施肥対策を適切に進めるため、関連施策として、以下の法制度等が実施されている。

1) 持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律（「持続農業法」平成 11 年 10 月施行）

A) 趣旨

全国的に、堆肥等による土づくりと化学肥料・化学合成農薬の使用の削減を一体的に行う「持続性の高い農業生産方式」の導入を促進する措置を講じ、環境と調和のとれた持続的な農業生産の確保を図る。

B) 持続性の高い農業生産方式の導入計画

- 農業者が、都道府県の作成した持続性の高い農業生産方式の導入指針に基づき、
 - ア. 土づくり技術（堆肥等の有機質資材の施用）
 - イ. 化学肥料の使用低減技術（局所施肥、有機質肥料の施用等）
 - ウ. 化学合成農薬の使用低減技術（機械除草、生物農薬の利用、マルチ栽培等）の 3 技術すべてに取り組むことを内容とする持続性の高い農業生産方式の導入計画を作成
- 都道府県知事が導入計画を認定（認定を受けた農業者：エコファーマー）

C) 支援策

持続性の高い農業生産方式を導入する農業者に対する支援措置

- 導入計画の認定を受けた農業者に対する農業改良資金(環境保全型農業導入資金(無利子資金))の貸付けに関する特例措置
(償還期間の延長 (10 年 (内据え置き期間 3 年) →12 年 (同 3 年))

D) 施行状況

a) エコファーマー累積新規認定件数

- エコファーマーの累積新規認定件数は、令和元年度末時点で約 31 万件となっている（図 6.1）。

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

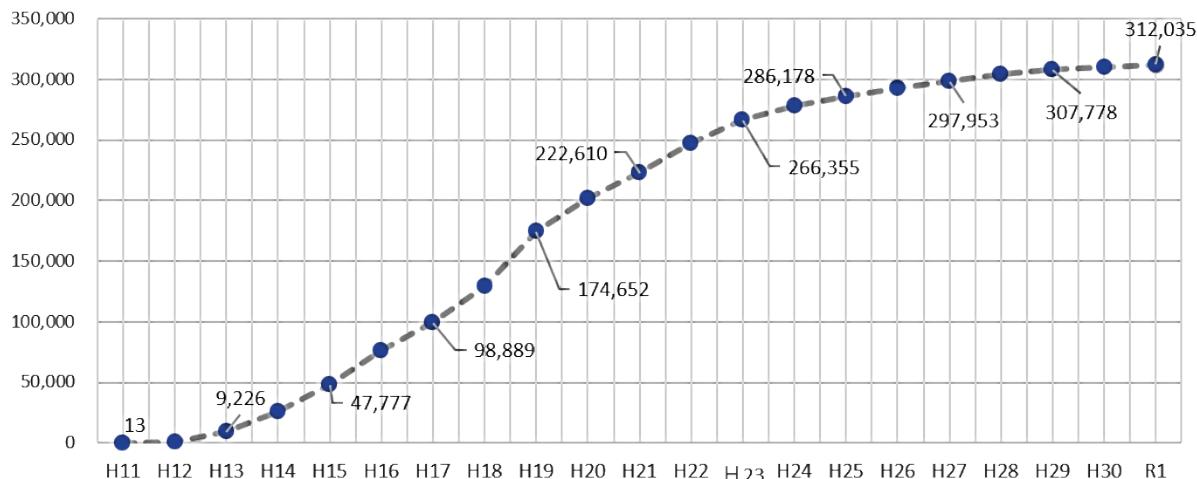


図 6.1 エコファーマーの累積新規認定件数の推移

出典：農林水産省より提供

b) (参考 1) 農業者における環境負荷軽減に資する技術の導入実態

- 環境に配慮した農業生産に資する技術に関する一般農業者を対象としたモニター調査によると、土づくり技術の導入を実施していない者は 9%、化学合成肥料使用低減技術の導入を実施していない者は 19%となっている（表 6.5）。

表 6.5 技術の導入状況

○ 技術の導入状況（調査対象者1,024人、うちエコファーマー25%）

土づくり	割合	化学肥料使用低減	割合
たい肥の施用	52.3%	有機質肥料の施用	49.3%
たい肥を除く有機質資材の施用	49.4%	肥効調節型肥料の施用	39.2%
緑肥作物の利用	19.8%	局所施肥	34.7%
実施していない	9.0%	実施していない	18.7%

化学合成農薬使用低減	割合		割合
機械除草	49.2%	光利用技術	9.0%
マルチ栽培	30.0%	生物農薬の利用	7.9%
温湯種子消毒	24.7%	フェロモン剤の利用	7.8%
被覆栽培	18.4%	土壤還元消毒技術	5.5%
抵抗性品種栽培・台木の利用	16.0%	対抗植物の利用	4.7%
天然物質由来の農薬の利用	13.0%	除草用動物の利用	1.7%
熱利用土壤消毒技術	10.1%	実施していない	18.4%

平成30年度農林水産情報交流ネットワーク事業全国調査「環境保全に配慮した農業生産に資する技術の導入実態に関する意識・意向調査」

出典：農林水産省より提供

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

c) (参考 2) 化学肥料の使用実態

- 環境に配慮した農業技術の導入に向けた意識の進展に伴い、単位面積当たりの化学肥料施用量は減少傾向で推移している（図 6.2）。

（単位:kgN/10a）

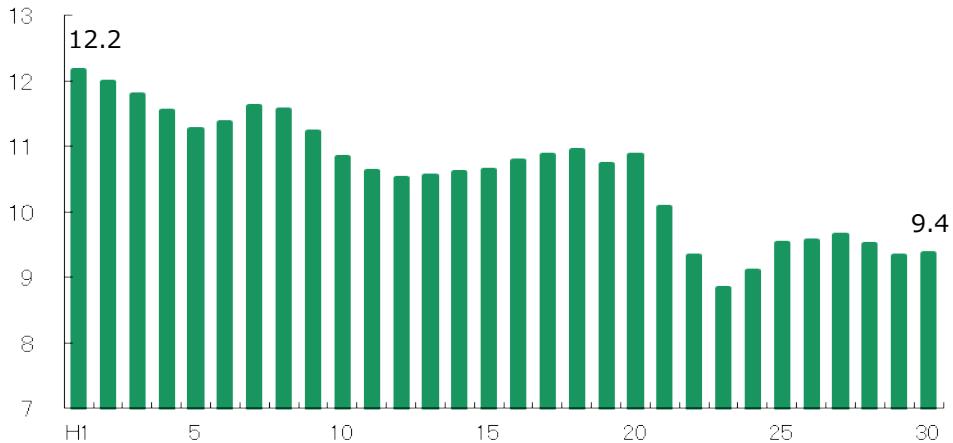


図 6.2 単位面積当たりの化学肥料需要量の推移

農林水産省. 耕地及び作付面積統計. 及び農林統計協会編. ポケット肥料要覧. を基に農林水産省で作成

2) 施肥基準等

適正な施肥のため、都道府県が次のような技術的資料を策定している（都道府県により名称は異なる。また、土壤診断基準値と減肥基準については、策定していない都道府県がある）。

- 施肥基準
ある作物を栽培する際に必要な施肥の時期や量の目安を調べる際等に利用。
- 土壤診断基準値
土壤分析の結果から、自分の圃場の状態を把握する際等に利用。
- 減肥基準
圃場に肥料成分が過剰に蓄積しており、作物の収量・品質に影響のない範囲で施肥量を調節する際等に利用。

施肥にあたっては、「施肥基準」を目安として行うほか、定期的に土壤分析を行い、その結果を「土壤診断基準値」と照らし合わせて圃場の状態を把握するとともに、圃場に肥料成分が過剰に蓄積している場合には、「減肥基準」を参考に肥料の種類や施肥量を見直すことが重要とされている。

また、都道府県の施肥基準には、必要な施肥量や施肥の時期だけではなく、施肥に関する基本知識や、より効率的に施肥を行うための技術等も記載されており、取組を進める上で参考となる内容となっている。

3) 有機農業の推進に関する法律（「有機農業推進法」平成 18 年 12 月施行）

A) 概要

有機農業の推進に関し、基本理念を定め、国及び地方公共団体の責務を明らかにするとともに、有機農業の推進に関する施策の基本となる事項を定めることにより、有機農業の推進に関する施策を総合的に講じ、もって有機農業の発展を図ることを目的とする。

国や地方公共団体の責務や、農林水産大臣による有機農業の推進に関する基本的な方針の策定、都道府県における推進計画の策定、有機農業者等への支援、技術開発等の促進、消費者の理解と関心の増進、有機農業者と消費者の相互理解の増進、調査の実施、有機農業者等の意見の反映等について定められている。

a) 有機農業推進のための支援策

i) 有機農業への取組の支援

我が国における国際水準の有機農業の取組を推進するため、有機農業指導員の育成、新たに有機農業に取り組む農業者の技術習得等による人材育成、オーガニックビジネスの拠点的な産地づくりによる有機農産物の安定供給体制の構築、小売等の事業者と連携して行う需要喚起等の取組を支援する。

ii) 環境保全型農業直接支払

平成 23 年度から、化学肥料及び化学合成農薬を原則 5 割以上低減する取組と合わせて行う地球温暖化防止や生物多様性保全等に効果の高い営農活動に取り組む農業者の組織する団体等に対して支援を行う。

4) 環境保全型農業直接支払交付金

A) 概要

化学肥料及び化学合成農薬を原則 5 割以上低減する取組と合わせて、地球温暖化防止や生物多様性保全等に効果の高い営農活動に取り組む農業者の組織する団体等を支援することを目的として、平成 23 年度から実施している。

平成 27 年度からは、農業・農村の有する多面的機能の維持・発揮を図るため、「農業の有する多面的機能の発揮の促進に関する法律」に基づく制度として実施している。

B) 支援内容

a) 対象者

農業者の組織する団体、一定の条件を満たす農業者等

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

b) 支援対象活動

化学肥料及び化学合成農薬を原則 5 割以上低減する取組と合わせて行う地球温暖化防止や生物多様性保全等に効果の高い営農活動に取り組む場合に支援を行う。その対象となる活動には全国共通取組と地域特認取組がある。

i) 全国共通取組

「有機農業」、「堆肥の施用」、「カバークロップの作付け」、「リビングマルチ」、「草生栽培」、「不耕起播種」、「長期中干し」、「秋耕」を支援する。

ii) 地域特認取組

地域の環境や農業の実態等を勘案した上で都道府県が申請を行い、地域を限定して支援の対象とする取組。取組例としては、「IPM (Integrated Pest Management、総合的病害虫・雑草管理)」や「冬期湛水管理」等がある。

iii) 交付単価

全国共通取組と地域特認取組のそれぞれの交付単価は表 6.6 に示すとおりである。

表 6.6 対象取組と交付単価

全国共通取組		交付単価 (国と地方の合計)
有機農業	そば等雑穀、飼料作物以外	12,000円/10a
	このうち、炭素貯留効果の高い有機農業を実施する場合に限り※1、2,000円を加算。	
	そば等雑穀、飼料作物	3,000円/10a
堆肥の施用 ※2		4,400円/10a
カバークロップ		6,000円/10a
リビングマルチ (うち、小麦・大麦等)		5,400円/10a (3,200円/10a)
草生栽培		5,000円/10a
不耕起播種 ※3		3,000円/10a
長期中干し		800円/10a
秋耕		800円/10a

地域特認取組	
地域特認取組 ※4 地域の環境や農業の実態等を勘案した上で、都道府県が申請を行い、地域を限定して支援の対象とする取組	交付単価は 都道府県が決定

※ 1 「炭素貯留効果の高い有機農業」を選択する場合、土壤診断を実施するとともに、堆肥の施用、カバークロップ、リビングマルチ、草生栽培のいずれかを実施すること。

※ 2 堆肥の施用とは「炭素貯留効果の高い堆肥の水質保全に資する施用」のこと。
都道府県によって交付単価が異なる場合がある。

※ 3 前作の畝を利用して、畝の播種部分のみ耕起する専用播種機により播種を行う取組。

※ 4 対象取組や交付単価は、承認を受けた都道府県により異なる。

農林水産省. 環境保全型農業直接支払交付金実施要綱. 令和 2 年 3 月. (https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/youkou_r2.pdf) 及び農林水産省. 環境保全型農業直接支払交付金実施要領. 令和 2 年 6 月. (https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/youryou_r2.pdf) を基に農林水産省で作成

c) 取組状況

環境保全型農業直接支払交付金の取組状況は、平成 23 年度の制度開始から平成 29 年度まで拡大傾向で推移していたが、平成 30 年度から、同一ほ場での複数取組に対する支援を廃止したこと等により、実施面積、実施市町村数ともに減少した。環境型農業直接交付金の実施状況は表 6.7 に示すとおりである。

表 6.7 環境保全型農業直接支払交付金の実施状況

年度	実施件数 (件)	実施面積 (ha)	実施市町村数	交付金額 (百万円)
平成 23 年度	6,622	17,009	773	1,331
平成 24 年度	12,985	41,439	885	2,996
平成 25 年度	15,240	51,114	918	3,082
平成 26 年度	15,920	57,744	931	3,396
平成 27 年度	4,081	74,180	872	4,213
平成 28 年度	3,740	84,566	888	4,578
平成 29 年度	3,822	89,082	899	4,587
平成 30 年度	3,609	79,465	885	4,514
令和元年度	3,479	79,839	887	4,543

農林水産省. 令和元年度 環境保全型農業直接支払交付金の実施状況 生産局. 令和 2 年 8 月. (https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/other/attach/pdf/r1jisshi-1.pdf) より作成

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

(2) 畜産系における対策（家畜排せつ物対策）

家畜排せつ物対策は、以下に示すとおりである。

1) 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（「家畜排せつ物法」平成 11 年施行）

A) 概要

a) 法制度の概要

野積み・素掘りを解消し家畜排せつ物の管理（処理や保管）の適正化を図りつつ、家畜排せつ物の利用促進を図ることにより、健全な畜産業の発展に資する目的で、平成 11 年公布された。この法律では、法律の施行日から 5 年間について、法律に関する一部の規定の適用が猶予されていたが、平成 16 年 11 月 1 日に本格施行（すべての規定が適用）されている。

家畜排せつ物法の基本的枠組みを図 6.3 に示す。

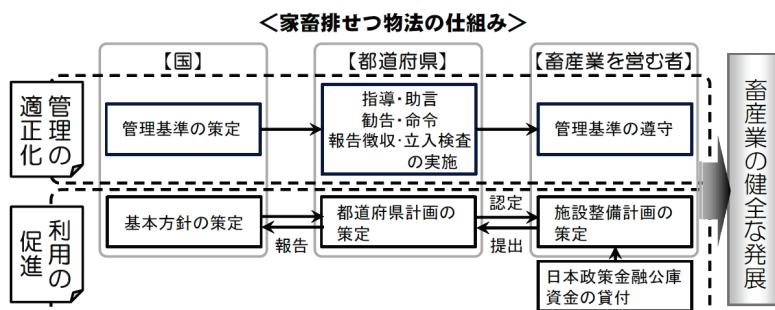


図 6.3 家畜排せつ物法の基本的枠組み

出典：農林水産省. 家畜排せつ物法施行状況等調査結果（令和元年 12 月 1 日時点）. 令和 2 年 10 月.

（https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/housekou_2019.pdf）

b) 家畜排せつ物の発生状況

家畜排せつ物発生量の推移及び畜種別に見た排せつ物発生量の推移を図 6.4、表 6.8 に示す。

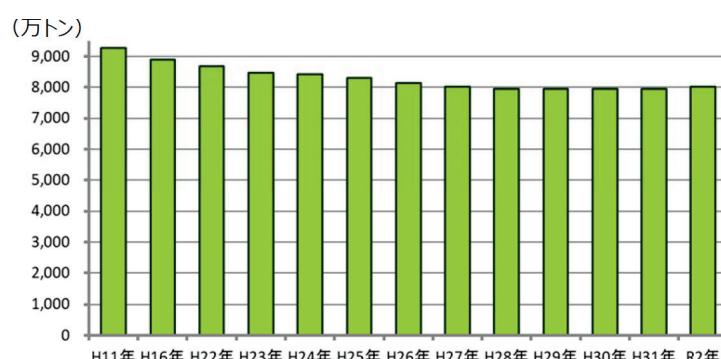


図 6.4 家畜排せつ物発生量の推移

出典：農林水産省. 畜産環境をめぐる情勢. 令和 3 年 2 月.

（<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/index.html>）

表 6.8 畜種別に見た家畜排せつ物発生量

畜種	発生量(万トン)
乳用牛	2,186
肉用牛	2,358
豚	2,115
採卵鶏	791
ブロイラー	563
合計	8,013

出典：農林水産省「畜産統計」等から推計

注：豚及び採卵鶏は農業センサス実施年のために、H31年2月1日時点の頭羽数により推計

出典：農林水産省. 畜産環境をめぐる情勢. 令和3年2月.

(<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/index.html>)

図 6.5 に耕地面積当たりの家畜排せつ物発生量を示す。

排せつ物発生量は都道府県間で大きな格差があり、特に、南九州等一部の畜産地帯では、他地域に比べ相対的に耕地面積当たりの家畜排せつ物発生量が大きい。

このことから、これらの地域では、耕畜農家のニーズを踏まえた堆肥の高品質化と、その広域流通の推進等の取組も重要とされている。

(窒素ベース)

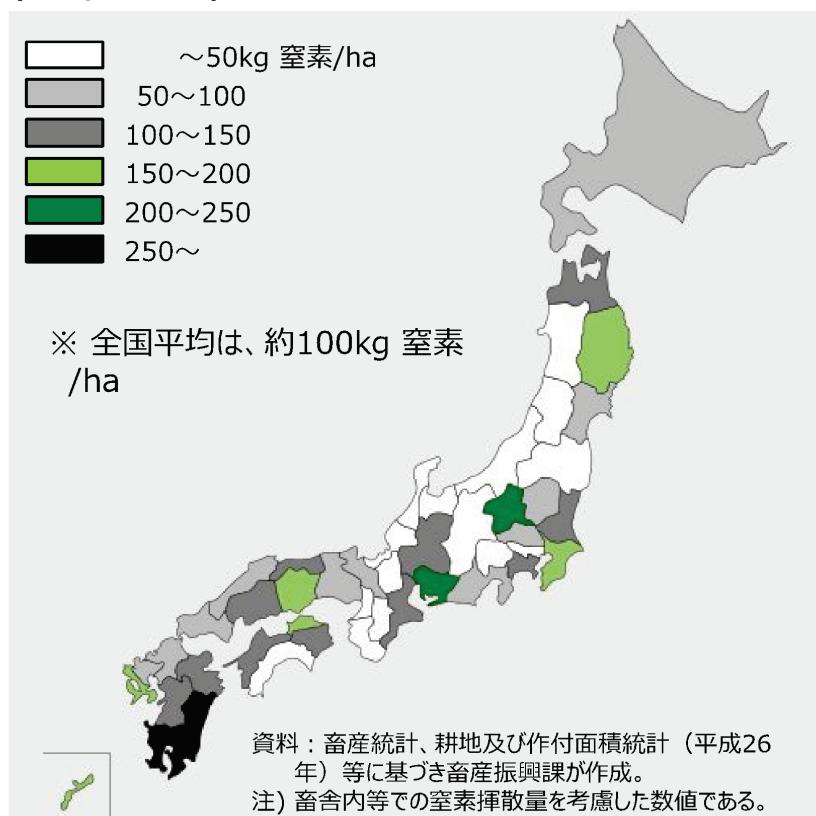


図 6.5 耕地面積当たりの家畜排せつ物発生量

(窒素ベース、窒素揮散量を考慮した場合)

出典：農林水産省. 畜産環境をめぐる情勢. 令和3年2月.

(<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/index.html>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

B) 家畜排せつ物の管理の適正化のための措置

a) 管理基準の遵守

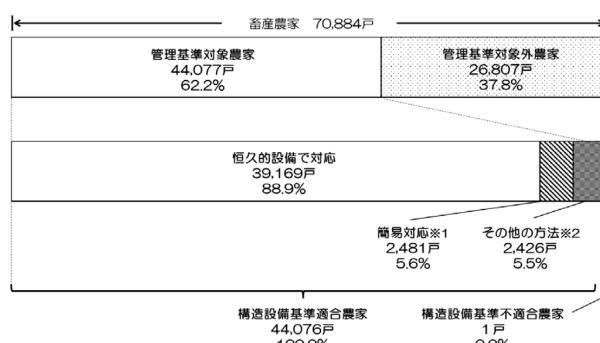
管理基準の具体的な内容は、次に示すとおりである。

- 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施行規則（以下「施行規則」という。）第1条第1項第1号 たい肥舎その他の家畜排せつ物の処理又は保管の用に供する施設（以下「管理施設」という。）の構造設備に関する基準
 - イ. 固形状の家畜排せつ物の管理施設は、床を不浸透性材料（コンクリート等污水が浸透しないものをいう。以下同じ。）で築造し、適當な覆い及び側壁を設けること。
 - ロ. 液状の家畜排せつ物の管理施設は、不浸透性材料で築造した貯留槽とすること。
- 施行規則第1条第1項第2号 家畜排せつ物の管理の方法に関する基準
 - イ. 家畜排せつ物は管理施設において管理すること。
 - ロ. 管理施設の定期的な点検を行うこと。
 - ハ. 管理施設の床、覆い、側壁又は槽に破損があるときは、遅滞なく修繕を行うこと。
 - 二. 送風装置等を設置している場合は、当該装置の維持管理を適切に行うこと。
 - ホ. 家畜排せつ物の年間の発生量、処理の方法及び処理の方法別の数量について記録すること。

なお、牛10頭未満、豚100頭未満、鶏2,000羽未満、馬10頭未満の小規模畜産農家には管理基準は適用されない。

令和元年12月1日時点の管理基準対象農家は44,077戸（62.2%）で、管理基準対象外農家は26,807戸（37.8%）である。管理基準対象農家のほぼ100%が構造設備基準に適合している。（図6.6）。

法に基づく行政指導である指導及び助言は14戸、勧告は1戸の畜産農家に対して実施され、命令に至った事例はない。



※1 「簡易対応」には、恒久的な施設に該当しないような場合（防水シートによる被覆等の対応）が含まれる。

※2 「その他の方法」には、畜舎から場への直接散布、周年放牧、廃棄物処理としての委託処分、下水道利用等が含まれる。

注) 割合は、小数点第2位を四捨五入し、単位に満たないものは「0.0%」と表記。

図6.6 家畜排せつ物法の施行状況調査結果の概要（令和元年12月1日時点）

出典：農林水産省. 家畜排せつ物法施行状況等調査結果（令和元年12月1日時点）. 令和2年10月.
(https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/housekou_2019.pdf)

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構の平成 25 年度家畜ふん尿利用研究会資料（平成 25 年 11 月）によると、平成 11 年 11 月に「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（以下「家畜排せつ物法」という。）の施行後、野積み・素掘り等の不適正な管理が平成 11 年時点で約 900 万 t/年であったものが 5 年後の平成 16 年 12 月時点で約 100 万 t/年に減少し、発生量の約 9 割（約 8,000 万 t/年）が堆肥化処理、液肥化処理等されているとしている（図 6.7）。

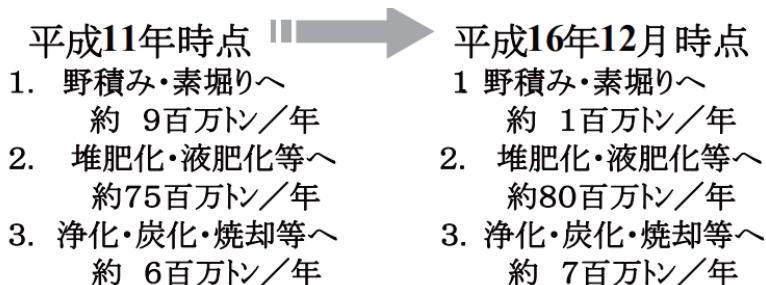


図 6.7 家畜排せつ物の発生と管理の状況

出典：農林水産省. 畜産環境の現状と行政の動向. 平成 25 年度家畜ふん尿利用研究会資料, 2013, p1-10.
(http://www.naro.affrc.go.jp/archive/nilgs/kenkyukai/files/kachikufunnyo2013_koen01.pdf)

2) 家畜排せつ物の管理

家畜排せつ物法が施工される平成 11 年以前は、家畜排せつ物発生量の 10 %が、野積み・素掘りなどで不適切に処理されていた（田瀬, 2014）⁽¹⁷⁾。野積みや素掘りが使用埋設後も供給源となっていると考えられる。よって、供給源の同定や対策を行う際は、過去の野積みや素掘り処理の状況の調査を行う必要がある。

過去の野積みや素掘り処理の状況の調査は、基本的には農家や周囲への聞き取りにより把握することとなる。聞き取り内容は、過去の野積みや素掘りの有無、場所、規模、処理量、対策の有無などが考えられる。

また田瀬（2014）⁽¹⁷⁾では、野積みや素掘り跡については、埋設物の掘削除去が最も効果的であるとし、可能であれば、掘削したものを廃棄物として処理するのではなく、堆肥として利用できれば処理も容易になると考えられている。

(17) 田瀬 則雄. 環境中の窒素の流れと地下水の硝酸性窒素汚染. 畜産環境情報, 2014, Vol.54, p1-14.
(https://www.leio.or.jp/pub_train/publication/tkj/tkj54/tkj54-1.pdf)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

3) 家畜排せつ物の処理・保管方法

家畜排せつ物の管理（処理・保管）方法には、発生する家畜排せつ物の性状や処理後の利用形態に応じ、様々な方法がある。我が国の場合には、国土が狭く、都市と農村の混住化が進んでいることが背景となり、欧米では一般的で無い堆肥化処理や浄化処理が多く行われる等、諸外国に比べて多様な処理・保管方法が用いられている。

図 6.8 に我が国における家畜排せつ物の一般的な処理・保管方法を示す。

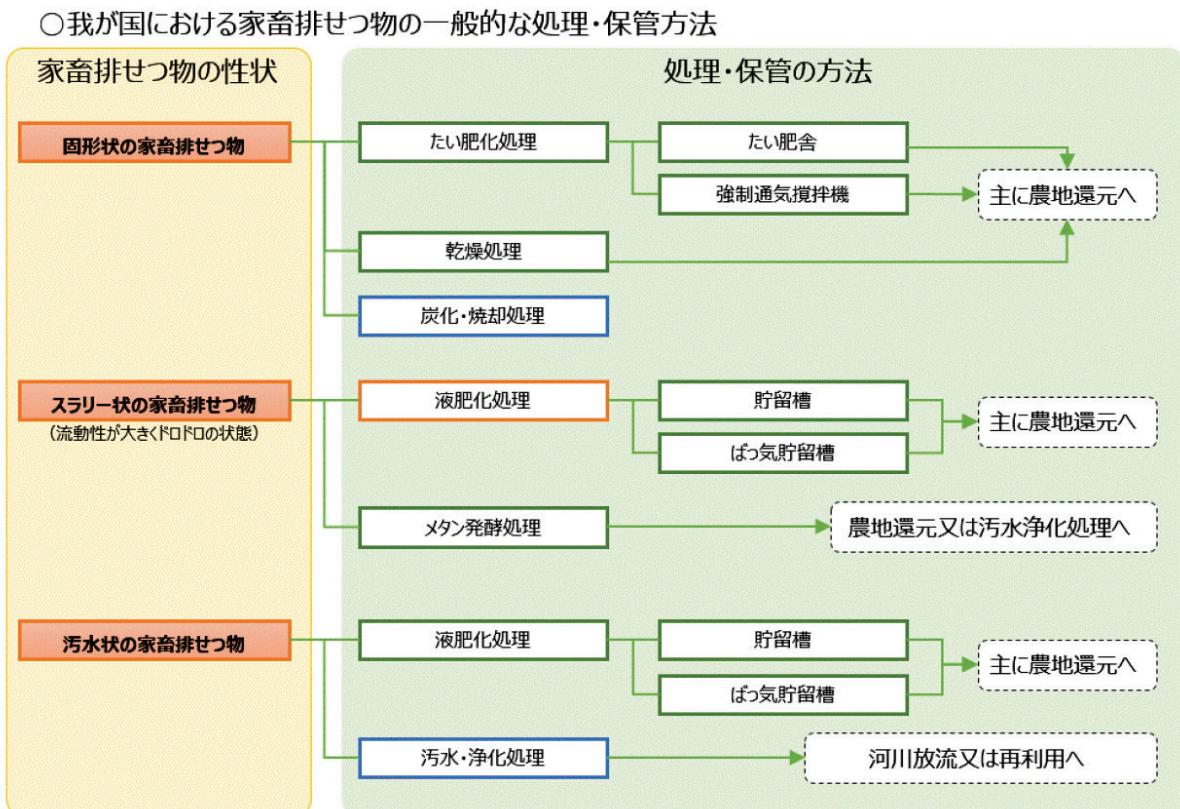


図 6.8 我が国における家畜排せつ物の一般的な処理・保管方法

出典：農林水産省 HP. 家畜排せつ物の発生と管理の状況.

(https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/02_kanri/)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

家畜排せつ物の家畜排せつ物の資源化方法には、表 6.9 に示すように、肥料利用、飼料利用、エネルギー利用、その他の利用がある。肥料利用が主要な資源化方法だが、一部エネルギー利用されているのが現状である（羽賀，2006）⁽¹⁸⁾。

また、表 6.10 に、家畜排せつ物の処理利用方式の比較を示す。

表 6.9 家畜排せつ物の資源化利用の特徴

利用方法	処理方法	利用形態	効 果	課 題
肥料利用	堆肥化	堆肥	腐熟した有機質肥料	低揮散・高品質・低コスト、流通利用
	乾燥	乾燥ふん	有機質肥料	流通利用
	スラリー処理	液肥	有機質肥料	主に自家利用
	結晶化	MAP ¹⁾	リン酸肥料	実証試験段階
飼料利用	乾燥	DPW ²⁾ など	飼料生産	消化率低い
	サイレージ	ウエイストレージ ³⁾ など	飼料生産	消化率低い
	灰化	焼却灰	飼料添加資材	実証試験段階
エネルギー利用	直接燃焼	温水・発電	ふんの減量、省エネ	排ガス、粉塵
	熱分解	熱分解ガス	燃料生産	タール等廃棄物
	石油化	石油状物質	燃料生産	試験研究段階
	堆肥化	温水、温風	省エネ	エネルギー量少ない
	メタン発酵	メタンガス	燃料生産	消化液処理・利用
その他の利用	炭化	炭化物	土壤改良資材など	用途拡大
	培養	クロレラ、酵母など	飼料生産など	試験研究段階
	栽培	ミミズ、昆虫など	飼料生産など	試験研究段階
		きのこなど	食料生産	馬ふんのみ

注：1) MAP: Magnesium Ammonium Phosphate の略。

2) DPW: Dried Poultry Waste の略、乾燥処理した鶏ふん。

3) ウエイストレージ：ウエイストとサイレージの造語、家畜ふんをサイレージ処理したもの。

出典：羽賀 清典. 家畜排泄物のバイオマス利用. フードシステム研究, 2006, Vol.13, No.2, p22-31.

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsr1994/13/2/13_2_22/_pdf)

表 6.10 家畜排せつ物の処理利用方式の比較

	堆肥化	炭 化	焼 却
適用規模	中、小規模	中規模	大規模
長 所	<ul style="list-style-type: none"> ・機械が少ない ・運転が容易 ・維持管理費が安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・減量化率が高い ・製品の用途が広い ・長期保存が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・減量化率が非常に高い ・熱利用が可能
短 所	<ul style="list-style-type: none"> ・製品量が多い ・日数がかかる ・スペースが必要 ・臭気対策が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料費がかさむ 	<ul style="list-style-type: none"> ・灰の処分が必要 ・燃料費がかさむ ・補修費がかさむ
減量化率	50～70%	80～90%	90～95%
減容化率	45～65%	55～80%	90～95%
二次公害対策	アンモニア対策必要	乾燥排ガス対策必要 騒音・振動に留意 一部必要	排ガス対策必要 騒音・振動に留意 必要
ダイキン対策	不要		
建設費	小	中	大
維持管理費	小	中	大
運転者資格	不要	必要	必要

(財) 畜産環境整備機構. 家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化施設に関する手引き. (財) 畜産環境整備機構, 2005, p7. より作成

(18) 羽賀 清典. 家畜排泄物のバイオマス利用. フードシステム研究, 2006, Vol.13, No.2, p22-31. (https://www.jstage.jst.go.jp/article/jfsr1994/13/2/13_2_22/_pdf)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

A) 堆肥化技術

a) 家畜排せつ物の堆肥化技術の概要

家畜排せつ物の肥料としての利用には、含まれている窒素、リン酸、カリ等の肥料成分の利用が重要であるが、有機質（堆肥）としての価値も重視される。特に、最近では耕種農家の土づくりの推進のため、耕種農家のニーズに合った高品質な堆肥の生産が重要とされている。

豚舎汚水は、アンモニウムイオン、リン酸イオン、マグネシウムイオンを適當なモル比で含むので、リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）の結晶として回収することができ、MAPの結晶化物は、肥料等のリン資源として有効利用することができる。

羽賀（2006）⁽¹⁸⁾は、堆肥化技術は、わが国における家畜排せつ物処理・利用技術の基幹技術であるが、欧米諸国では、液状の排せつ物（液肥）利用を基幹技術としている点で大きな違いがあるとしている。

メタン発酵技術については後述するが、欧米、特にドイツでは家畜排せつ物のメタン発酵ガス化施設が多数設置されており、この要因としてメタン発酵後に生じる消化液（液肥）が有効に利用されていることが挙げられている。一方、わが国では堆肥化施設の設置数に比べて、消化液（液肥）の利用を前提とするメタン発酵施設の設置数が少ないことが指摘されている。

図6.9に堆肥化施設・装置の分類を示す。また、図6.10に用いられている方法の割合を示す。

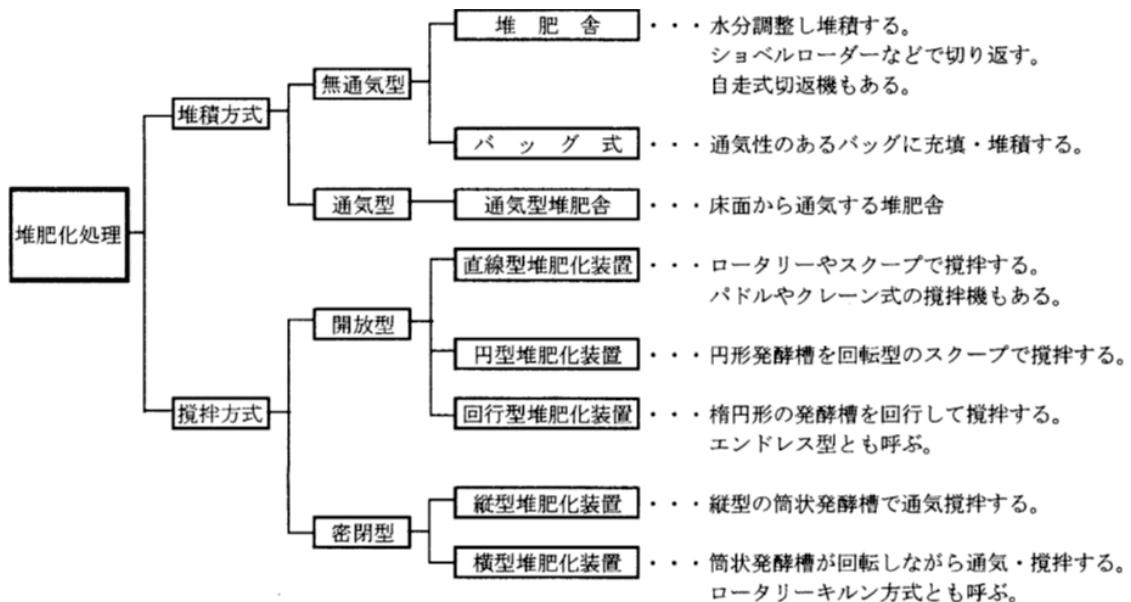


図 6.9 堆肥化施設・装置の分類

出典：(社)中央畜産会. 堆肥化施設設計マニュアル. (社)中央畜産会, 2000, p33.

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

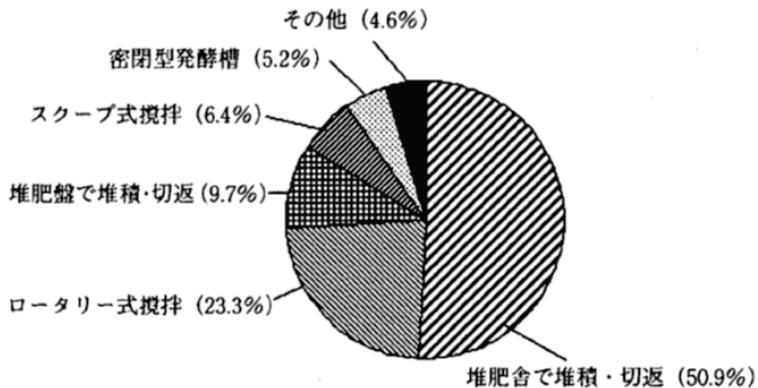


図 6.10 用いられている堆肥化施設の種類

出典：農林水産省. 家畜排せつ物等のたい肥化施設の設置・運営状況調査報告書. 農林統計協会, 2000, p12.

堆肥化には、堆積方式（通気装置のあるものと無いもの）と攪拌方式の2つに分類され、攪拌方式はさらに密閉型（縦型または横型拡販装置付け）、開放型（ロータリーやスクープ等の攪拌装置付）に分類される。堆積方式がもっとも低コストであり、攪拌装置や密閉発酵槽は装備が多くなる分だけコスト高となる。

どの畜種でも堆積方式はよく利用されるが、牛ふんでは堆積型と開放型が一般的に多く、豚ふんや鶏ふんでは、開放型や密閉縦型が多い。

全国の堆肥化施設の種類をみると、図 6.10 に示すように、堆肥舎で堆積・切り返しが 50.9%、ロータリー式攪拌が 23.3%となっており、簡易で低コストな施設が志向されている。

これら施設の設置にあたっては、農林水産省は、堆肥舎等の建築コストガイドライン（表 6.11）を示しており、例えば、発酵舎を含む堆肥舎（500 m²未満）では 37,000 円/m²である。

表 6.11 堆肥舎等の建築コストガイドライン（平成 27 年 2 月改定）

区分		単位当たりの施設整備額	
		一般地域	特別地域
堆肥舎 (発酵舎含む)	500m ² 未満	37	41
	500m ² 以上	35	36
屋根掛け	500m ² 未満	21	24
	500m ² 以上	18	21
尿貯留施設	1,000m ³ 未満	30	30
	1,000m ³ 以上	25	25
スラリータンク	2,000m ³ 未満	20	20
	2,000m ³ 以上	17	17

注1)工事費には施設の設計費は含むが、機械類の費用は含まない。

注2)地域区分は以下のとおり。

一般地域: 特別地域以外の地域

特別地域: 以下のいずれかに該当する地域を言う。

①豪雪地帯対策特別措置法第二条により指定された地域

②離島振興法第二条により指定された地域(小笠原諸島振興開発特別措置法及び奄美群島振興開発特別措置法並びに沖縄振興特別措置法の対象地域を含む)

出典：農林水産省. 畜産環境をめぐる情勢. 平成 29 年 1 月.

(https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/201701_meguji.pdf)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

b) 堆肥利用の現状と課題

家畜頭羽数等のデータを基にして、全国の家畜排せつ物発生量を推定すると、窒素ベースで約 64 万 N t/年となるが、このうち、堆肥等を経て農地に還元される量は約 42.9 万 N t/年と推定されている。約 30% は、揮散等によって大気へ放出されている（図 6.11）。

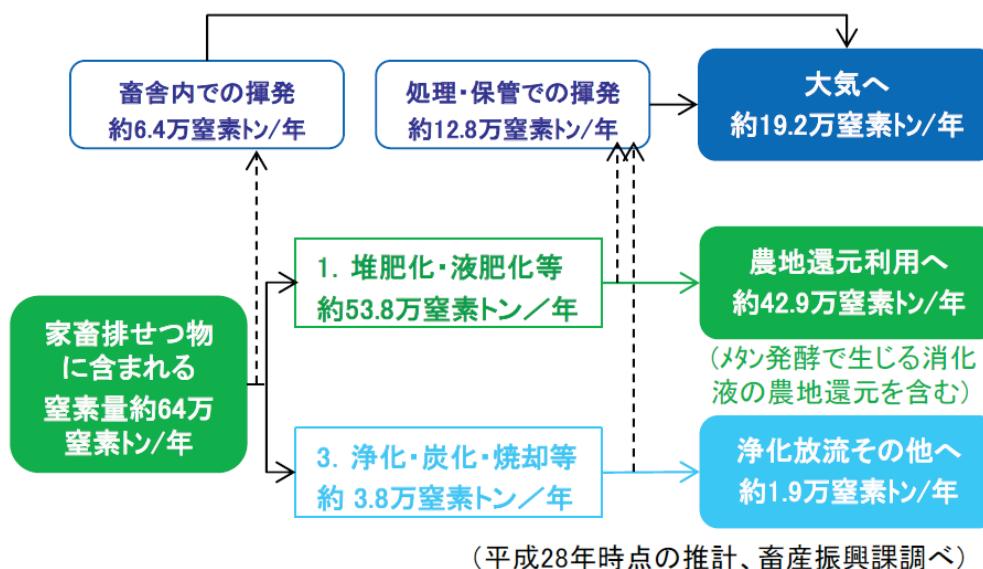


図 6.11 家畜排せつ物中の窒素の流れ

出典：農林水産省. 畜産環境をめぐる情勢. 平成 29 年 1 月.

(https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/201701_meguji.pdf)

一方、作付面積や作物の窒素利用率等のデータを基にして、全国の農地の窒素受入可能量を推定すると、約 110 万 N t/年となる（化学肥料由来の窒素量約 40 万 N t/年を含む）（図 6.12）。

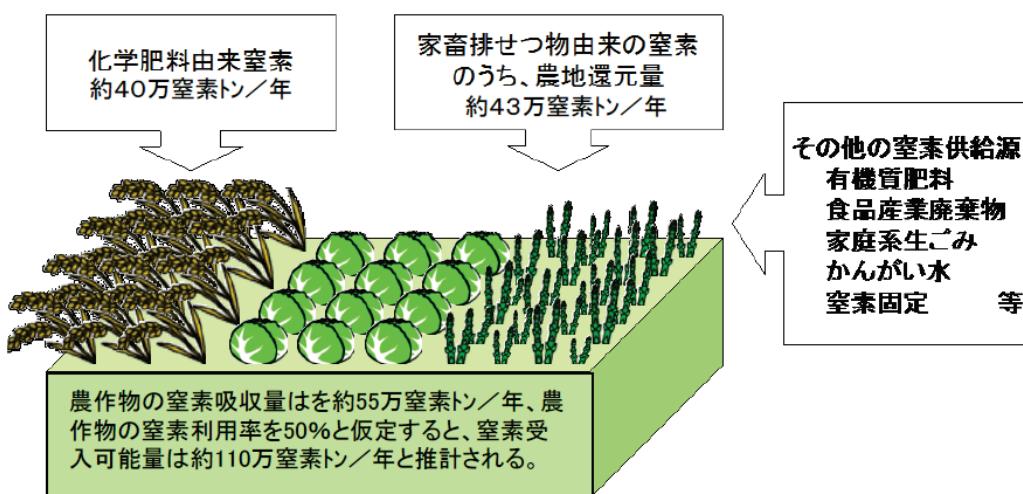


図 6.12 農地の窒素受入可能量と投入・還元量

出典：農林水産省. 畜産環境をめぐる情勢. 平成 29 年 1 月.

(https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/201701_meguji.pdf)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

また、推定された家畜排せつ物由来の農地還元量に化学肥料由来のものを加えた窒素量は、農地における受入可能な窒素量とほぼ等しいことから、全国レベルの窒素収支で考えれば、特に家畜排せつ物の窒素が過剰という状況にはないと考えられている。

しかしながら、地域別の状況を見ると、耕地面積当たりの家畜排せつ物発生量は都道府県間で大きな格差があることが指摘されている。

寶示戸ら（2003）⁽¹⁹⁾は、2001 年の都道府県別統計データを用いて、耕地に投入される窒素（化学肥料、家畜排せつ物、降雨、生物的窒素固定）と耕地から収奪された窒素（作物吸収、脱窒、アンモニア揮散）との差の窒素（余剰窒素）の全てが、降水量と蒸発散量の差の水量（余剰水量）に溶けて溶脱すると仮定して、耕地における溶脱水中の窒素濃度を試算している。その結果を用いて、西尾（2005）⁽²⁰⁾が作成した分布図を図 6.13 に示す。

この計算では、地域の外に搬出された家畜排せつ物は考慮されていない。また、家畜排せつ物由来の窒素はすべて無機化されると仮定しているので、推定された溶脱水中の窒素濃度は実際よりも高めである可能性がある。

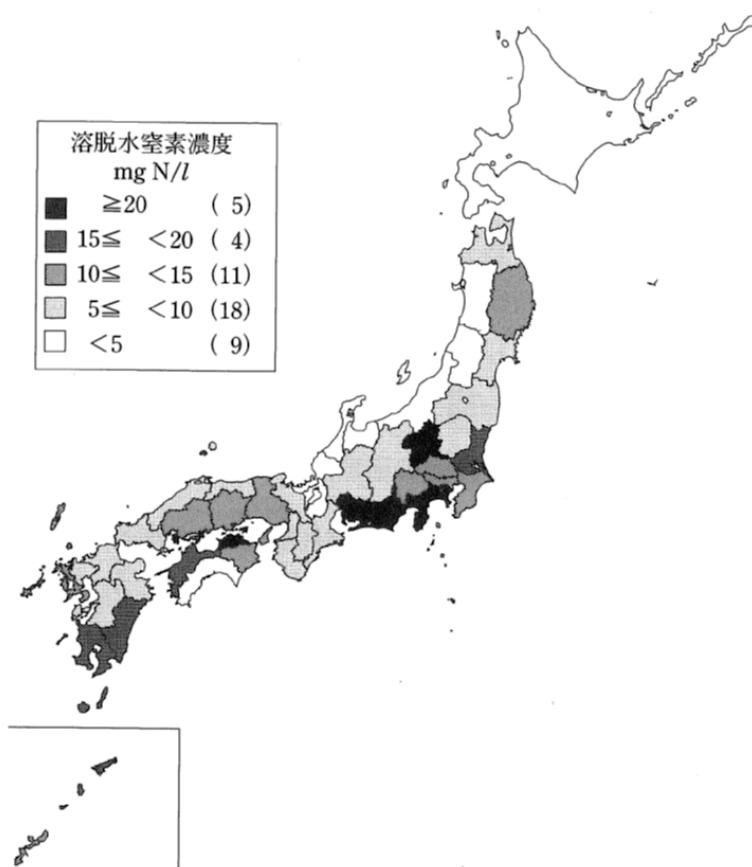


図 6.13 都道府県別の耕地からの溶脱水中の推定窒素濃度の分布（2001 年）

出典：西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005, p172.

(19) 寶示戸 雅之、池口 厚男、神山 和則、島田 和宏、荻野 晓史、三島 慎一郎、賀来 康一. 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. 土肥誌, 2003, Vol.74, No.4, p467-474.

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/dojo/74/4/74_KJ00002486123/_pdf/-char/ja)

(20) 西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005.

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

この試算結果によると、北海道及び北陸等では耕地からの溶脱水中の窒素濃度は、5 mgN/L 未満であるが、群馬県、神奈川県、静岡県、愛知県及び香川県では 20 mgN/L 以上であった。全国平均では 7.8 mgN/L であったとしている。

余剰水量で割る前の耕地の余剰窒素量の多い都道府県は、静岡県 398 kgN/ha、宮崎県 366 kgN/ha、鹿児島県 320 kgN/ha、愛知県 261 kgN/ha、群馬県 244 kgN/ha であったが、宮崎県と鹿児島県では余剰水量が多いために 20 mgN/L 未満となっている。逆に、香川県では余剰窒素量が 173 mgN/ha と他より少ないが、余剰水量が少ないために溶脱水中の窒素濃度が 30 mgN/L と最も高かったとしている。

耕地から溶脱した窒素は、一部は表流水に流入し、一部は地下水に移行するので、ここで試算されている窒素濃度が全て地下水に流入するものではないが、潜在的な地下水汚染リスクを相対的に評価することができる。

西尾（2005）⁽²⁰⁾は、畑土壤における有機質肥料及び堆肥からの無機態窒素放出に関して、実測データから予測式を検討している（図 6.14）。

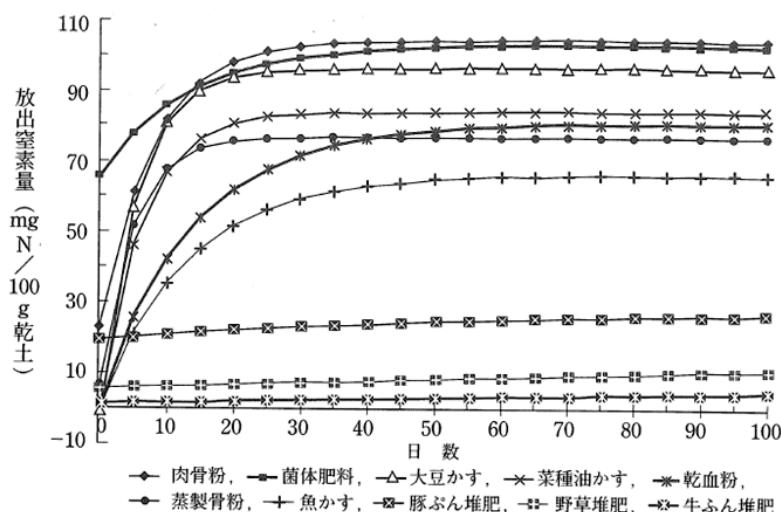


図 6.14 畑土壤における有機質肥料及び堆肥からの無機態窒素放出予測式

（標準温度 25°C、郡司掛・久保、1996 より作図）

出典：西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005, p265.

全農では、このような予測式を応用した「施肥名人」という施肥改善支援システムのソフトを販売している。このソフトは、標準温度での係数を実測地温に換算する温度変換日数法を組み込んでおり、地温データ、化成肥料、有機質肥料、被覆肥料等の肥料、堆肥、地力からの窒素量をシミュレートすることが出来る。しかし、堆肥を連用する場合には、次第に誤差が蓄積すると考えられている。

施用された堆肥からの窒素の無機化の状況を図 6.15 に示す。

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

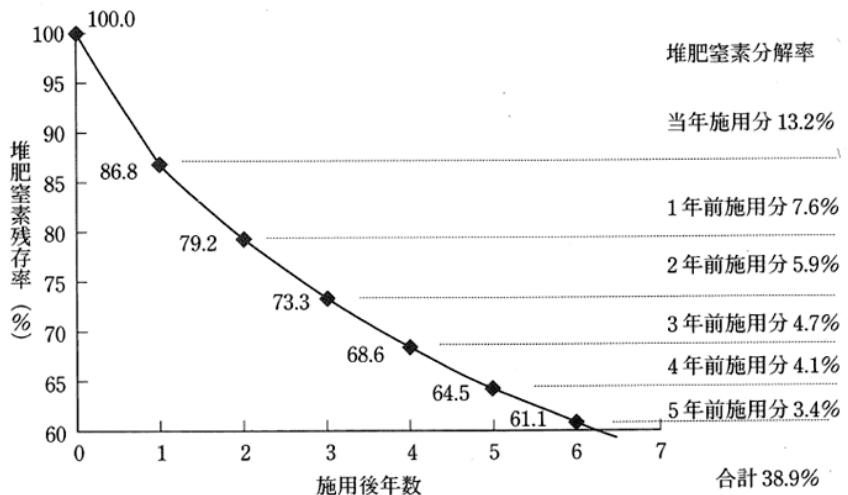


図 6.15 土壤に施用した稻わら堆肥の全窒素の残存率と分解率の変化

出典：西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005, p266.

西尾（2005）⁽²⁰⁾は、これらの実測データに基づき、施用された有機資材の分解予測式を検討している。

分解予測式

$$\begin{aligned} \text{蓄積率 } Y_t = & a \cdot 0.01 \cdot (1 - 0.01 t) / (1 - 0.01) + c \cdot 0.63 \cdot (1 - 0.63 t) / (1 - 0.63) \\ & + f \cdot 0.955 \cdot (1 - 0.955 t) / (1 - 0.955) \end{aligned}$$

放出率 = $1 - Y$

$a + c + f = 1$ (a, c, f : 施用した有機資材中の分解速度の異なる画分の割合)

t : 連用年数

パラメータ a, c, f に関しては、表 6.12 に示すような値が示されている。

表 6.12 同一資材を毎年同量ずつ連用した際の
有機資材の分解予測式の窒素に関するパラメータ

	a	c	f
余剰汚泥	0.65	0.28	0.07
小麦わら	-1.83	1.63	1.20
糞がら	0.19	-0.11	0.92
水稻根	-0.35	0.63	0.72
稻わら	-0.40	0.95	0.45
未熟稻わら堆肥	-0.06	0.26	0.80
中熟稻わら堆肥	0.03	0.18	0.79
完熟稻わら堆肥	0.15	0.11	0.74
牛ふん堆肥	0.04	0.15	0.81
乾燥牛ふん	0.10	0.58	0.32
豚ふん堆肥	0.02	0.39	0.59
牛ふんおがくず堆肥	0.04	0.11	0.85
豚ふんおがくず堆肥	0.02	0.34	0.64
パーク堆肥	0.14	-0.08	0.96
おがくず	-0.03	-2.77	3.80

(a, c, f は分解のしやすさから区別した有機物の3つの画分の係数)

注 農林水産技術会議事務局, 1985から抜粋・追加。

出典：西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005, p268.

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

上記の分解予測式に、表 6.12 に示した窒素のパラメータを当てはめれば、連用 t 年目の無機態窒素の放出率が計算でき、放出率を施用有機物資材中の全窒素含量に乗ずれば、連用 t 年目の無機態窒素放出量が計算できる（図 6.16）。

上記の式で連用年数 (t) を無限大にすると、蓄積率が 0、放出率が 1 になる。すなわち、長年にわたって同一種類の資材を連用していると、1 年間に施用した資材中の全窒素含量がすべて 1 年間に無機化され続けるようになり、平衡状態に達する。

平衡状態に達するまでの年数は資材によって異なり、そこに至るまでは同一量を連用しても無機態窒素の放出量が増加し続けることとなる。

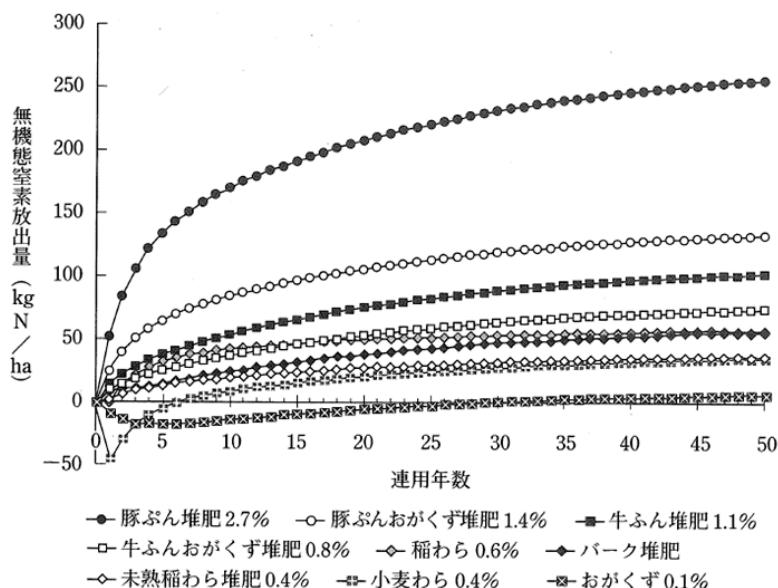


図 6.16 代表的有機物資材を毎年 10 t/ha ずつ連用した時の無機態窒素の放出の状況

出典：西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005, p269.

のことから、標準的な施肥量を目標とした場合、目標レベルを維持するためには毎年の施用量を減少させなければならないことになる（図 6.17）。

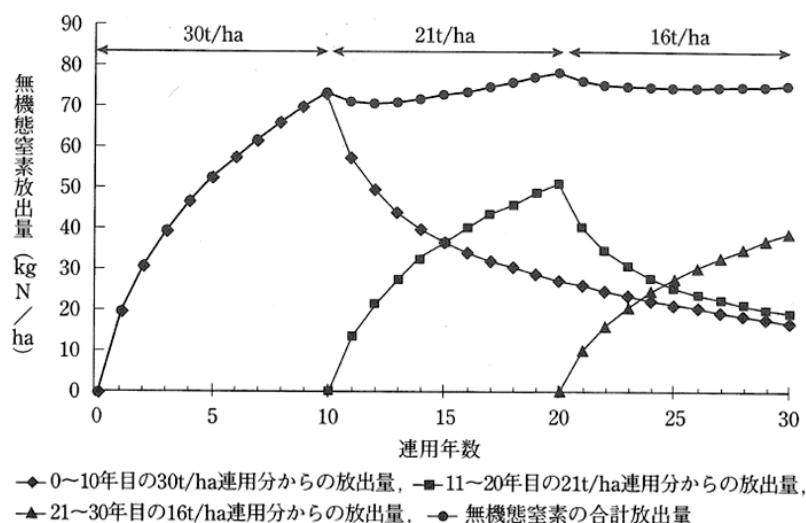


図 6.17 目標レベル(80 kgN/ha)を維持するための稲わら堆肥の連用の仕方の一例

（稲わら堆肥の全窒素含量を現物 0.49% と仮定）

出典：西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005, p271.

図 6.17 に示した例では、10 年後を目標に 30 t/ha という多めの堆肥を施用した場合、同じ量を毎年施用し続けると、すぐに窒素過剰になってしまうので、11~20 年目は 21 t/ha ずつ、21~30 年目は 16 t/ha ずつ連用すると、ほぼ目標レベルの 75 kg/ha の無機態窒素の放出を維持することができる。

全窒素含有率が現物で 1 %の豚ふんおがくず堆肥を用いて、無機態窒素を年間 80 kg/ha 放出させることを目標にして、1 年目に多めの 20 t/ha を施用し、2 年目からの年間施用量を計算した例を、図 6.18 に示す。

2 年目からは施用量を徐々に減らし、最終的に施用した豚ふん堆肥中の全窒素が 1 年間に全て無機化されるようにするために、年間施用量は 8 t/ha (80 kgN/ha) となる。

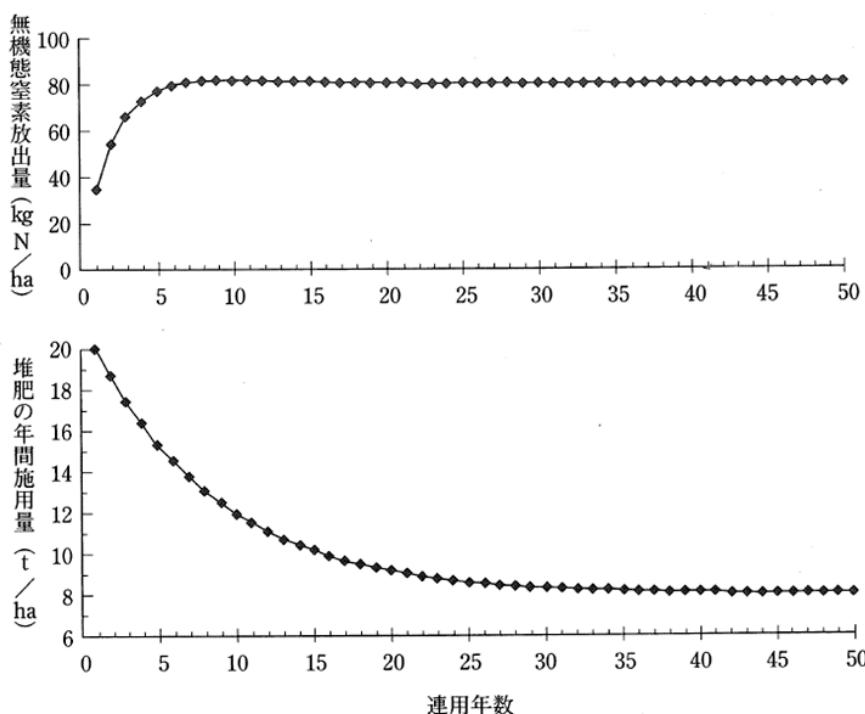


図 6.18 年間 80 kgN/ha の無機態窒素の放出を維持するための豚ふんおがくず堆肥の連用の仕方の一例

(豚糞ふんおがくず堆肥の全窒素含量を現物 1 %と仮定)

出典：西尾道徳. 農業と環境汚染. 農文協, 2005, p272.

c) 飼料利用

飼料利用は、家畜ふん中に残った未消化栄養成分を再利用する方法である。飼料の肥効を高めることは家畜ふん中の未消化の栄養分を少なくすることであるから、家畜ふんを飼料とすることは自己矛盾的であるが、試験研究例は多いようである。

特に、採卵鶏ふん焼却灰は、カルシウムとリンの比率が約 2 : 1 であり、これは肥育豚やプロイラーの要求量の比率に近いことから飼料の無機リン源としての利用が研究されている（羽賀, 2006）⁽¹⁸⁾。

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

d) エネルギー利用

エネルギー利用には直接燃焼法、熱分解ガス化、石油化、堆肥の発酵熱の回収、メタン発酵法の5つの方法がある。いずれも家畜排せつ物に豊富に含まれる有機物（乾物当たり80%前後）を直接燃焼させるか、燃料物質（メタンガスや石油等）に変換してエネルギー利用するものである。

エネルギー利用した後の残渣の処理にも留意する必要があり、汚泥や排水の処理のためにエネルギーを使わなければならないため、エネルギー収支が重要な課題となる。

e) その他の利用

その他、炭化して減量化し、土壤改良資材等新たな資材化がある。また、排せつ物中の有機物や無機物を栄養源として、新たなバイオマスを生産するものがある。クロレラ、酵母等の単細胞バイオマスの生産と飼料等への利用、マッシュルーム等の栽培、ミミズや昆虫類等の培養が試みられている。

f) 畜産施設から発生する汚水の処理・利用方法

豚、牛、鶏の生産施設から発生する汚水に関しては、処理して放流する以外に、液肥化して利用したり、メタンガス化して利用する等の方法もある（図6.19）。

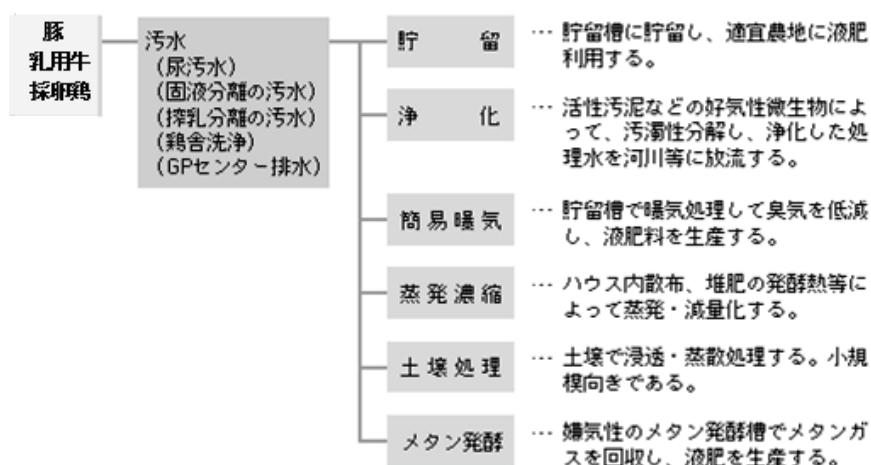


図 6.19 畜産施設から発生する汚水の処理・利用方法

出典：(社)中央畜産会. 畜産環境保全指導マニュアル改訂版. (社)中央畜産会, 2002, p38.

4) 畜産環境対策に必要な施設整備に対する主な支援策（令和2年度）

畜産環境対策に必要な施設整備に対する主な支援策は表 6.13 に示すとおりである。

表 6.13 畜産環境対策に必要な施設整備に対する主な支援策（令和2年度）

	事業名等	支援内容	備考
補助事業	強い農業づくり交付金	共同利用の浄化処理施設や脱臭施設の整備を支援	
	畜産・酪農収益力強化整備等特別対策事業（畜産クラスター事業）	地域ぐるみで収益力を向上させる取組に必要な施設や機械の整備を支援。畜産環境対策の取組を優先的に採択・配分する「環境枠」を設置	・畜産クラスター計画において、中心的な経営体として位置付けが必要 ・売電施設等は対象外
	堆肥舎等長寿命化推進事業	堆肥舎・汚水処理施設等の経年劣化の実態調査、補修や簡易な堆肥化処理施設の整備の実証、補修マニュアルの作成を支援	
	畜産環境対策総合支援事業	高品質な堆肥の生産に資する堆肥化処理施設やペレット化施設等の整備、高度な脱臭施設、汚水処理施設の整備を支援	・畜産農家を含む協議会の設置が必要 ・売電施設等は対象外
	家畜バイオマス地産地消緊急対策	家畜排せつ物等のバイオマスを活用し、エネルギーの地産地消に資するバイオマスマルチの導入等を支援	
	公共事業	飼料生産基盤の整備等に合わせ、必要な家畜排せつ物処理施設の整備を支援	・畜産環境総合対策事業等
	再生可能エネルギー事業者支援事業	バイオマスを利用した熱利用施設の整備を支援	・経済産業省の事業
リース	再生可能エネルギー・電気・熱自立的普及促進事業	バイオマスを利用した発電や熱利用施設の整備を支援	・環境省の事業
	畜産高度化推進リース事業	畜産環境対策等に必要な施設機械を貸し付け	
融資	畜産経営環境調和推進資金	畜産環境対策に必要な施設機械の整備に要する資金を融資	・家畜排せつ物法に基づく計画認定が必要 ・スーパーL資金等
	その他融資		
税制特例	汚水処理施設に係る固定資産税の特例	汚水処理施設を新設する場合に、固定資産税の課税標準を5年間1/2等に軽減	・施設の単純更新は対象外
	汚水処理施設に係る事業所税の特例	汚水処理施設に係る事業所税の資産割の課税標準となる事業所床面積を3/4控除	
	再生可能エネルギー発電設備に係る固定資産税の特例	再生可能エネルギー発電設備を新設する場合に、固定資産税の課税標準を5年間2/3等に軽減	

農林水産省、畜産環境をめぐる情勢、令和3年2月。

(<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/index.html>) に加筆

5) 家畜排せつ物堆肥の活用事例（千葉県における事例）

千葉県では、家畜ふん堆肥の施用試験や分析結果を基に、堆肥有効活用ツールとして「堆肥のクオリティチャート作成システム」、「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム」、「施肥設計支援システム『工コ FIT』」を作成し、公開している。

A) 堆肥のクオリティチャート作成システム

家畜ふん堆肥は原料や製造方法によって、肥料成分の多少の度合い等の特性は様々である。このため、生産・利用するそれぞれの堆肥についてその特性を把握することが大切である。しかし、堆肥の成分値等から個々の堆肥の特徴を把握することは困難である。「堆肥のクオリティチャート作成システム（クオリティチャート）」では、肥料成分の多少の度合いが図表化され、堆肥の特徴が簡単に把握できる。

B) 家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム

家畜ふん堆肥は概して肥料成分を多く含んでいるので、堆肥の肥料的効果を考慮して施用する必要がある。しかし、その施用量をもとめる計算は非常に煩雑である。「家畜ふん堆肥

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

利用促進ナビゲーションシステム（堆肥ナビ）」では、この施用量を簡単に算出することができる。また、「堆肥ナビ」では特性把握の一助とするため、個々の堆肥の成分値等を家畜ふん堆肥の種類ごとの平均値と比較し、その結果を図表化することができる。

C) 施肥設計支援システム「エコ FIT」

化学肥料減肥分を堆肥や有機質肥料で代替する場合に、肥料成分量を過不足なく満たす堆肥、有機質肥料、化学肥料の施用量を算出するシステムである。「家畜ふん堆肥利用促進ナビゲーションシステム（堆肥ナビ）」の機能に加え、複数の成分を含む肥料の施用量計算、追肥の計算、「ちば工コ農業」栽培基準に基づいた各種肥料の施用量が計算できる。

家畜ふん堆肥施用量の算出の考え方は次のとおりである。

- ア. 家畜ふん堆肥は基肥の代替資材と位置づける。
- イ. 基肥窒素施用量の30%を代替の目安とする。
- ウ. 堆肥中の肥料成分は、肥効率を掛けて有効成分量に換算する。
- エ. 他の成分が過剰になる場合は、施用量を減らす。

家畜ふん堆肥は稻わら堆肥より肥料成分が多いため、過剰に施用した場合には農作物が過繁茂になったり、硝酸性窒素等による地下水汚染の供給源となる可能性がある。このため、家畜ふん堆肥の施用量を決める場合、その肥料的効果を考慮する必要がある。

図6.20に示すように、家畜ふん堆肥の肥料的効果を考慮しない施肥設計では、化学肥料に家畜ふん堆肥中の肥料成分が上乗せされてしまう。そこで、家畜ふん堆肥の施用量について、肥料的効果を考慮した施用量とともに、化学肥料の施用量を減らし肥料成分が上乗せされないようにする。

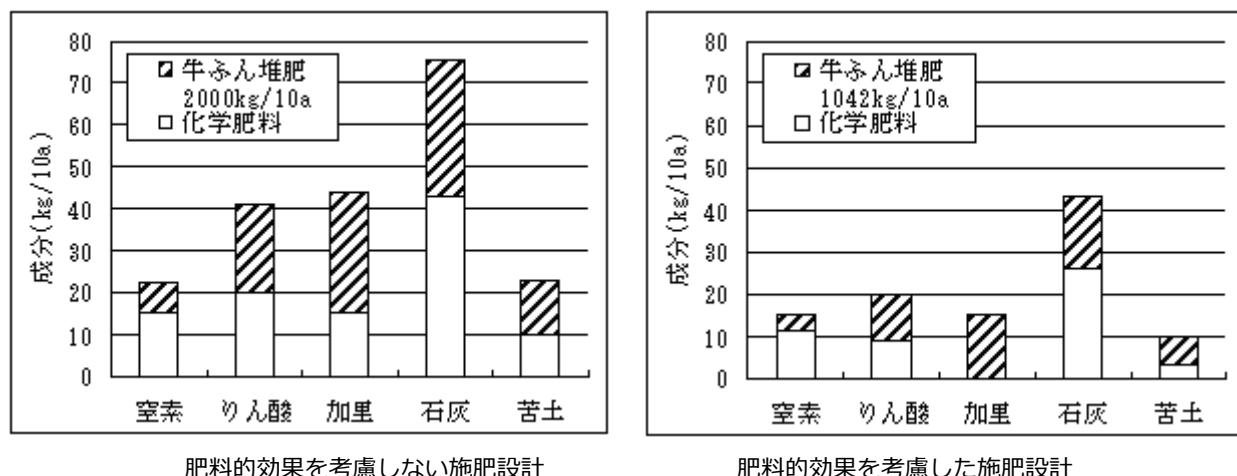


図 6.20 家畜ふん堆肥の肥料的効果を考慮した場合と
しない場合の化学肥料と堆肥施用量の違い

出典：千葉県 HP. 堆肥施用量の算出法.
(<https://www.pref.chiba.lg.jp/chikusan/taihiriyousanshutsuhou.html>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

D) 堆肥利用促進の事例（千葉県堆肥利用促進ネットワーク）

千葉県農林水産部畜産課では、堆肥の生産者、価格、成分比等の情報をインターネット上で公開し、堆肥の利用促進を図っている（図 6.21 及び図 6.22）。

○千葉県堆肥利用促進ネットワーク

図 6.21 千葉県堆肥利用促進ネットワーク検索画面

出典：千葉県 HP. 千葉県堆肥利用促進ネットワーク検索画面.

(<https://www.pref.chiba.lg.jp/chikusan/taihiryou/kensaku.html>)

会員番号 特殊肥料生産者届出 番号	主な 原料 ふん	氏名/ 団体名	販売場所 住所	提供価格(円)			配送可 否	ほ 場 散 布 の 可 否	す き 込 み の 可 否	肥料成分 N:P:K(%)
				バラ(t)	袋價格	袋單位				
0110000100 千葉県第 1775号	乳牛 ふん			完熟 10,000 円/2t 未完熟 5,000 円/2t	-	-	可 (堆肥価 格に含 む)	否	否	0.9:1.0:2.1
011000020 千葉県第 2039号	乳牛 ふん			10,000 円/2t シングル1台	-	-	車で30 分範囲 まで可	相 談	否	1.5:2.4:5.4

図 6.22 堆肥生産者・団体一覧表（例：千葉地域）

出典：千葉県 HP. 堆肥生産者・団体一覧表（千葉地域）.

(<https://www.pref.chiba.lg.jp/chikusan/taihiryou/00chiba/ichiran.html>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策



【参考 家畜排せつ物法の管理基準対象外の家畜による窒素負荷量の試算】

飼養頭数規模別飼養頭数の統計値から、家畜排せつ物法の管理基準対象外の家畜頭数を集計し、表 6.14 に示す窒素の供給源原単位を用いて、窒素の発生量を推定した。さらに、総発生量に占める管理基準対象外の家畜の窒素発生量の比率を求めた。

なお、発生量の原単位は、処理する前の家畜排せつ物中の窒素含有量である。

表 6.14 家畜による窒素供給源原単位

項目	牛	豚
水量(L/頭/日)	45~135	13.5
BOD(g/頭/日)	640	200
SS(g/頭/日)	3,000	700
T-N(g/頭/日)	290	40
T-P(g/頭/日)	50	25
COD(g/頭/日)	530	130

国土交通省水管理・国土保全局下水道部. 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説.

平成 27 年 1 月. (<https://www.mlit.go.jp/common/001065300.pdf>) より作成

我が国で飼養されている家畜（ここでは、平成 25 年 2 月時点の肉用牛、乳用牛、肥育豚を対象）は、牛（乳用牛と肉用牛）400 万頭、豚 964 万頭であり、このうち管理基準対象外の牛は 17 万 3000 頭（4.3%）、豚は 4 万 8000 頭（0.5%）である。なお、乳用牛の飼養頭数の規模別区分の最小単位は 1 ~ 19 頭であるが、当該層の平均飼養頭数は 17.7 頭/戸で、10 頭以下層は少ないと推計されることから、20% の頭数で推算した。この結果、飼養されている家畜から発生する窒素の年間総発生量は、563,139 t N/年であり、その 3.4% が管理基準対象外の窒素発生量と推定された。



【参考 家畜排せつ物処理における下水道の活用事例（神奈川県の事例）】

神奈川県横浜市、綾瀬市、相模原市では、1990 年台頃に畜舎排水を公共下水道に放流している事例があった。市街化調整区域で肉豚 800~1000 頭の規模の畜産農家で、施設（管渠）整備費の半額について公的補助を受けた。下水道使用料金は個人負担で、当時の経済状況で 1 頭あたり 30~60 円/月程度であったとされている⁽²¹⁾。

白柳（2010）によれば、神奈川県内では通常、家畜の糞については処理を通じて堆肥化し、尿については処理をした後に河川へ排水している。しかし、相模原市においては、公共下水が広く普及しているため、家畜の尿を下水に流している。そのため畜産農家は糞のみを処理すればよいという、県内では特殊な地域であるとしており、現在でも下水道への放流は行われているようである⁽²²⁾。

(21) 押田 敏雄, 福安 嗣昭, 光崎 研一. 都市地域における畜舎排水の公共下水道への直接放流処理. 廃棄物学会誌, 1994, Vol.5, No.4, p357-363. (https://www.jstage.jst.go.jp/article/wmr1990/5/4/5_4_357/_pdf/-char/ja)

(22) 白柳 かさね. 神奈川県相模原市における家畜排泄物の処理と堆肥の利用—有機物資源の適正な循環にむけて—. エクメーネ研究, 2010, Vol.1, p33-54. (<https://geo.africa.kyoto-u.ac.jp/ekumene/wp-content/uploads/sites/3/3ed9420b9958f33e616908e075441896.pdf>)

(3) 生活排水対策

単独処理浄化槽からの排水の地下浸透処理等が、硝酸性窒素等による地下水汚染の供給源になっている地域がある。生活系の汚水が地下浸透した場合、アンモニア性窒素は生物分解を受けて硝酸性窒素や亜硝酸性窒素に酸化されるが、そのような変化を行っても抜本的な対策を行ったことにはならないので、合併処理浄化槽の整備を含め、生物学的硝化・脱窒が適切に行われる処理システムの普及が必要である。

環境省では、生活排水対策の一環として旧来の単独処理浄化槽から浄化槽（合併処理浄化槽）への転換を推進している。図 6.23 に令和元年度末の都市規模別汚水処理人口普及率、表 6.15 に令和元年度末の都道府県別汚水処理人口普及状況を示す。令和元年度末で総人口の約 9 %が浄化槽を使用している。

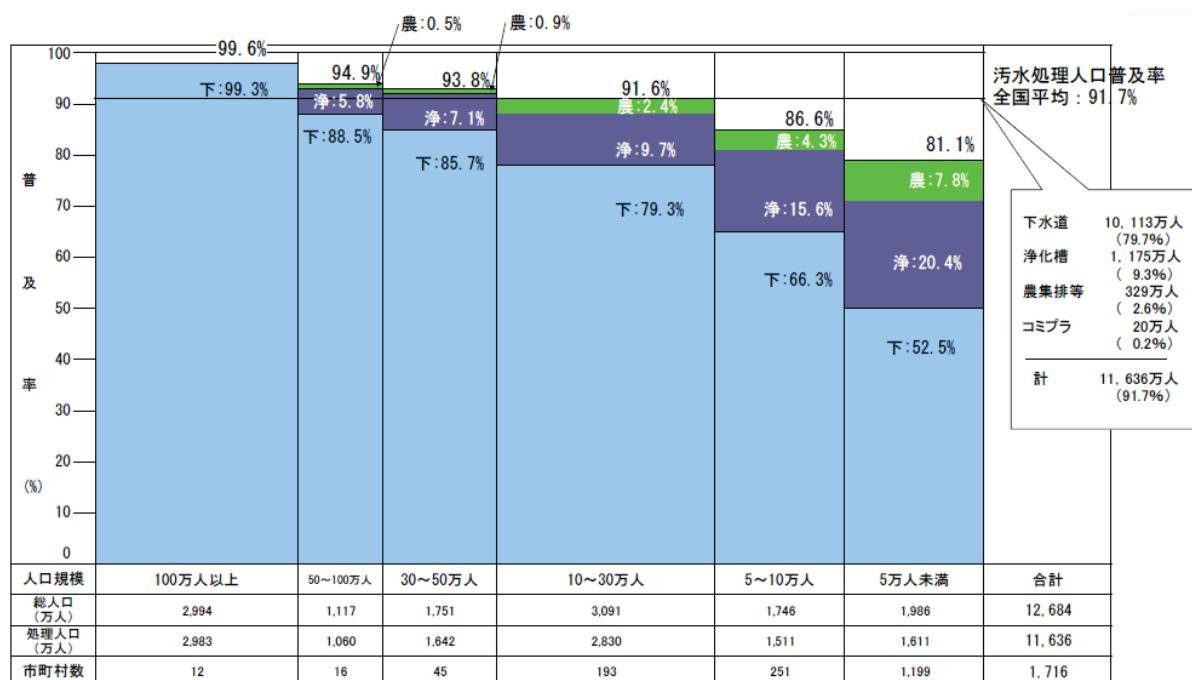


図 6.23 都市規模別汚水処理人口普及率

出典：環境省環境再生・資源循環局廃棄物適正処理推進課浄化槽推進室. 令和元年度末の汚水処理人口普及状況について. 令和2年9月. (<https://www.env.go.jp/press/files/jp/114654.pdf>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

表 6.15 令和元年度末の浄化槽の普及人口及び普及率

都道府県名	汚水処理人口 普及率	順位	総人口 (千人)	汚水処理 人口 計 (千人)	下 水 道 (千人)	農業集落 排水施設等 (千人)	合併処理 浄化槽 (千人)	(令和元年度末)			
								うち 浄化槽市町 村整備推進 事業等分 (千人)	うち 浄化槽設置 整備事業分 (千人)	うち 左記以外分 (千人)	コミュニティ ・プラント (千人)
北海道	95.7%	10	5,240	5,017	4,789	65	163	53	66	44	0
青森県	80.1%	41	1,266	1,013	772	114	128	11	41	76	0
岩手県	82.6%	35	1,228	1,014	746	101	165	40	97	29	2
宮城県	92.3%	17	2,283	2,107	1,883	66	157	39	80	38	2
秋田県	88.0%	23	979	861	648	101	112	21	68	23	0
山形県	93.1%	13	1,076	1,002	835	76	91	16	46	29	0
福島県	83.7%	34	1,854	1,551	1,003	121	427	38	265	124	1
茨城県	85.6%	31	2,913	2,493	1,836	156	491	13	204	274	10
栃木県	87.7%	24	1,960	1,719	1,331	81	305	6	241	58	1
群馬県	81.8%	38	1,964	1,607	1,073	121	388	24	245	119	24
埼玉県	92.8%	16	7,392	6,861	6,054	93	712	24	191	498	1
千葉県	89.1%	20	6,321	5,631	4,771	48	805	11	290	504	8
東京都	99.8%	1	13,866	13,835	13,804	2	27	5	9	13	2
神奈川県	98.1%	5	9,217	9,045	8,927	3	115	4	38	73	0
新潟県	88.3%	22	2,225	1,965	1,699	142	123	14	41	69	0
富山県	97.2%	8	1,052	1,022	903	86	30	1	19	10	3
石川県	94.4%	12	1,135	1,071	956	60	53	10	14	30	2
福井県	96.4%	9	777	749	629	86	34	2	26	6	0
山梨県	83.8%	33	823	690	548	15	122	8	48	66	5
長野県	98.1%	6	2,078	2,037	1,748	173	115	16	81	18	1
岐阜県	92.9%	15	2,025	1,880	1,555	113	208	9	135	63	4
静岡県	82.2%	36	3,697	3,039	2,364	30	632	16	384	233	13
愛知県	91.4%	18	7,564	6,912	5,999	149	755	22	246	487	10
三重県	86.0%	30	1,808	1,554	1,011	98	442	17	228	197	3
滋賀県	98.9%	2	1,419	1,403	1,293	76	35	0	13	21	0
京都府	98.4%	4	2,538	2,497	2,410	41	46	11	24	11	0
大阪府	98.0%	7	8,844	8,664	8,511	1	152	4	18	130	0
兵庫県	98.9%	3	5,534	5,473	5,165	148	99	9	62	27	60
奈良県	89.3%	19	1,350	1,205	1,097	7	101	4	34	63	1
和歌山県	66.0%	46	950	627	265	44	317	14	191	112	0
鳥取県	94.8%	11	558	529	404	95	30	5	14	12	0
島根県	81.3%	40	676	549	336	99	111	29	50	32	4
岡山県	87.3%	27	1,898	1,657	1,302	39	317	18	207	93	0
広島県	88.8%	21	2,819	2,503	2,137	52	309	14	153	141	5
山口県	87.5%	25	1,362	1,192	909	64	219	7	135	76	0
徳島県	63.4%	47	738	468	136	20	305	14	169	122	8
香川県	78.8%	43	977	770	447	16	306	14	242	50	0
愛媛県	80.0%	42	1,363	1,091	755	38	296	25	167	105	1
高知県	74.6%	45	704	525	282	21	221	13	132	76	1
福岡県	93.0%	14	5,120	4,760	4,230	55	462	55	277	130	12
佐賀県	84.7%	32	820	694	508	60	127	44	64	19	0
長崎県	81.7%	39	1,341	1,095	847	48	195	15	140	40	5
熊本県	87.4%	26	1,762	1,540	1,215	70	255	32	174	49	0
大分県	77.7%	44	1,146	890	590	33	267	11	174	82	1
宮崎県	87.1%	28	1,089	948	658	49	242	18	185	39	0
鹿児島県	81.9%	37	1,618	1,326	687	41	593	46	418	129	5
沖縄県	86.4%	29	1,476	1,276	1,064	68	144	13	5	126	0
全国計	91.7%		126,843	116,361	101,131	3,287	11,746	831	6,149	4,766	196

- (注) 1. 整備人口は四捨五入を行ったため、合計が合わないことがある。
 2. 令和元年度調査は、福島県において、東日本大震災の影響により調査不能な市町村（大熊町、双葉町、葛尾村）を除いた値を公表している。
 3. 福島県については、上記市町村以外でも東日本大震災に伴う避難の影響により人口が流動していることに留意する必要がある。

出典：環境省環境再生・資源循環局廃棄物適正処理推進課浄化槽推進室. 令和元年度末の汚水処理人口普及状況について. 令和2年9月. (<https://www.env.go.jp/press/files/jp/114654.pdf>)

6-4 窒素負荷削減対策の実施状況

過剰な施肥、家畜排せつ物の不適正処理、生活排水の地下浸透に起因する硝酸性窒素等による地下水汚染は、広範囲に及ぶ場合が多いため、発生源対策、すなわち地下水への窒素負荷削減が重要な対策となる。具体的な内容としては、施肥については都道府県等が定める施肥基準等の土壤管理に関する指導内容の遵守、家畜排せつ物の不適正処理については「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」に基づく措置の推進や野積み・素掘り等の不適切な管理の解消、生活排水の地下浸透については下水道等生活排水処理施設の整備、生活排水の排水路等の整備といった対策がある。

硝酸性窒素等による地下水汚染の事例 3,239 件について、窒素負荷削減対策の実施状況を表 6.16 に示す。窒素負荷削減対策を実施しているのは 1,150 件で、硝酸性窒素等による地下水汚染事例の 36% であった。

一方、汚染原因が不明である事例については、窒素負荷削減対策に取り組む割合は少ない（1,360 件中 225 件、17%）。窒素負荷削減対策の推進のためには、その前段階である汚染原因の究明を、より一層推進する必要があると考えられる。さらに、汚染原因の全てが明確になっていない段階でも、供給源と汚染との間に相応の関係が認められる場合は、負荷削減対策を実施することが必要である。

表 6.16 窒素負荷削減対策等の実施状況

窒素負荷削減対策の実施状況	合計	件 数	
		汚染原因が 特定または推定	汚染原因が 不明
窒素負荷削減対策実施 (複数回答有り)	1,150 (1,046)	925 (851)	225 (195)
施肥量の適正化	1,048 (948)	831 (760)	217 (188)
家畜排せつ物の適正処理	835 (772)	641 (598)	194 (174)
生活排水の適正処理	696 (632)	564 (528)	132 (104)
その他	70 (69)	68 (67)	2 (2)
検討中	507 (411)	353 (293)	154 (118)
予定なし・無回答	1,609 (1,184)	628 (501)	981 (683)
母数	3,239 (2,616)	1,879 (1,620)	1,360 (996)

注 1：括弧内の数値は、令和元年度末時点の超過事例及び一時達成事例の合計数。（内数）

注 2：窒素負荷削減対策に複数回答や汚染原因の把握状況に無回答があるため、各件数の和と母数や合計は必ずしも一致しない。

環境省水・大気環境局. 令和元年度地下水質測定結果. 令和 3 年 2 月.

(https://www.env.go.jp/water/report/r02-03/post_2.html) より作成

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

6-5 過剰施肥対策に関する参考情報

都道府県における施肥基準等関連情報は農林水産省 HP (https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozan_type/h_sehi_kizyun/index.html) に掲載されている。このうち基準等の一例として、「北海道施肥ガイド 2015」に掲載されている土壤診断基準例を表 6.17 に、土壤診断結果に基づく施肥基準例を表 6.18 に示す。また、農林水産省が整理している都道府県別の施肥基準・土壤診断基準・減肥基準等の資料一覧を表 6.19 に示す。

さらに、都道府県における土壤診断等関連情報について、掲載されている主な情報と URL を表 6.20 に示す。山形県、福島県、栃木県、神奈川県、三重県、及び山口県では土壤診断ソフト（システム）が公開されている。これらの例を図 6.24～図 6.29 に示す。

表 6.17 「北海道施肥ガイド 2015」での基準例（抜粋）

(1) 土壤診断基準

1) 物理性に関する基準値

診 斷 基 準			留 意 事 項	備 考
診 斷 項 目	基 準 値	単 位		
作土の深さ	20～30	cm		耕起前または収穫期頃
有効土層の深さ	50以上	cm		層厚10cm以上の石礫、盤層、ち密層(山中式硬度計25mm以上)までの深さ。
心土のち密度	16～20	mm	過湿、過乾状態での測定は避ける。	山中式硬度計
作土の固相率	火山性土 25～30 低地土・台地土 40以下	vol. %		・耕起前または収穫期頃 ・採取位置は地表下10cm前後とする。
容積重	火山性土 70～90 低地土・台地土 90～110	g/100 mL		・耕起前または収穫期頃 ・採取位置は地表下10cm前後とする。
作土の粗孔隙率	15～25	vol. %	必要気相率の作物間差 ・最も多い(24%以上) ----菜豆 ・比較的多い(20%以上) ----大麦、小麦、てんさい、大豆 ・比較的低い(15%程度) ----えん麦	・pF1.5における気相率 ・多雨(50mm以上)24時間後の気相率で示しても良い。
作土の易有効水容量	10以上	vol. %		pF1.5～3.0領域の孔隙量
作土の碎土率	70以上	%	耕うん碎土後の碎土層から試料を採取する。	20mm以下の土塊の乾土重%
飽和透水係数	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	cm/s		有効土層を対象
地下水位	60以下	cm		當時地下水位
耕盤層の判定	20以上	mm	過湿、過乾状態での測定は避ける。	耕起層直下10cm程度の山中式硬度計の読み。 貫入式硬度計の場合は1.5MPaを判定基準とする。

出典：北海道農政部. 北海道施肥ガイド 2015（施肥標準・診断基準・施肥対応）. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部編, 平成 27 年 12 月. (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/shs/clean/sehiguid2015.htm>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

表 6.17 「北海道施肥ガイド 2015」での基準例（抜粋）（続き）

2) 化学性に関する基準値（作土対象）

診断項目	基準値	単位	留意事項	備考
pH(H ₂ O)	5.5~6.5		てんさいは基準値領域内で高pH側、ばれいしょは低pH側、小麦、豆類は両者の中間が望ましい。 てんさい「そう根病」、ばれいしょ「そうか病」の常発地では5.5とする。	
有効態リン酸(P ₂ O ₅)	10~30	mg/100g	春まき小麦は20~30mg/100gが望ましい。	トルオーグ法(30分間振とう)
交換性石灰(CaO) 粗粒質土壤 100~170 中粒質土壤 170~350 細粒質・泥炭土壤 350~490		mg/100g	石灰含量よりpH(H ₂ O)の状態を優先して対策を講じる。 CEC (me/100g) の区分 粗粒質土壤：7~12 中粒質土壤：12~25 細粒質・泥炭土壤：25~35	13ページも参照
交換性苦土(MgO)	25~45	mg/100g	蛇紋岩質土壤では基準値以上の場合が多い。	
交換性カリ(K ₂ O)	15~30	mg/100g		
石灰飽和度	40~60	%		
塩基飽和度	60~80	%		
石灰・苦土比(Ca/Mg)	6以下			当量比
苦土・カリ比(Mg/K)	2以上		苦土含量が基準値未満の場合に特に重視して対応を図る。	当量比
易還元性マンガン(Mn)	50~500	ppm	高pH土壤で欠乏しやすく、排水不良地では過剰害が発生しやすい。	0.2%ハイドロキサン含有 中性IN-酢安可溶
交換性マンガン(Mn)	4~10	ppm	pH5.5~6.5の小麦は場を対象とする。	中性IN-酢安抽出
熱水可溶性ホウ素(B)	0.5~1.0	ppm	高pH、砂質土壤、泥炭土壤では欠乏しやすい。	热水抽出法
可溶性亜鉛(Zn)	2~40	ppm	高pH、砂礫質土壤では欠乏しやすい。	0.1N-塩酸抽出法(1:5)
可溶性銅(Cu)	上限値8.0 下限値は留意事項参照	ppm	麦類では欠乏が、小豆では過剰害が発生しやすい。 下限値 腐植5%未満：0.7 (ppm) 腐植5~10%：0.5 腐植10%以上：0.3	0.1N-塩酸抽出法(1:5)
交換性ニッケル(Ni)	5以下	ppm	過剰害に留意する。蛇紋岩質土壤で高く、特にpH6.0以下の酸性土壤では過剰害が発生しやすい。耐性は作物間で相違し、キャベツ、かぼちゃなどは5ppm以下でも過剰害が生じる危険がある。	中性IN-酢安抽出

出典：北海道農政部. 北海道施肥ガイド 2015（施肥標準・診断基準・施肥対応）. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部編, 平成 27 年 12 月. (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/shs/clean/sehiguide2015.htm>)

表 6.18 「北海道施肥ガイド 2015」での施肥基準例

A 施肥標準

(単位: kg/10a)

要素	地帯区分	基準収量	低地土	泥炭土	火山性土	台地土
窒素(N) 道南、道央、道北の一部 (1~11)		580	14	12	14	14
網走(13~14)		720	18	16	18	18
十勝山麓(15)		650	16	—	16	16
十勝中央部(16)		720	18	—	18	—
十勝沿海および釧路の一部 (17)		620	15	13	15	—
根釧内陸(18A)		540	—	—	13	—
リン酸(P ₂ O ₅) 全道			12	14	15	14
カリ(K ₂ O) 全道			9	10	10	9
苦土(MgO) 全道			3	4	4	4

出典：北海道農政部. 北海道施肥ガイド 2015（施肥標準・診断基準・施肥対応）. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部編, 平成 27 年 12 月. (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/shs/clean/sehiguide2015.htm>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

表 6.19 都道府県における施肥基準・土壤診断基準・減肥基準

	施肥基準		土壤診断基準		減肥基準	
	名称	最終改正	名称	最終改正	名称	最終改正
北海道	北海道施肥ガイド2015	平成27年12月	北海道施肥ガイド2015	平成27年12月	北海道施肥ガイド2015	平成27年12月
青森県	稻作改善指導要領 畑作物生産指導要領 やさしい栽培の手引き りんご生産指導要項 特産果樹栽培指導要項 花き栽培の手引き(戦略品目改訂版)	平成23年3月 平成19年3月 平成14年3月 平成28年3月 平成27年3月 平成23年3月	稻作改善指導要領 畑作物生産指導要領 やさしい栽培の手引き りんご生産指導要項 特産果樹栽培指導要項 花き栽培の手引き(戦略品目改訂版)	平成23年3月 平成19年3月 平成14年3月 平成28年3月 平成27年3月 平成23年3月	健康な土づくり技術マニュアル	平成20年12月
岩手県	岩手県農作物施肥管理指針	平成26年9月	岩手県農作物施肥管理指針	平成26年9月	岩手県農作物施肥管理指針	平成26年9月
宮城県	宮城の稻作指導指針(基本編) みやぎの麦類・大豆生産振興指針 みやぎの野菜指導指針 みやぎの花き栽培指導指針 みやぎの果樹指導指針	平成31年3月 平成19年1月 平成18年3月 平成14年12月 平成5年3月	宮城の稻作指導指針(基本編) みやぎの麦類・大豆生産振興指針 みやぎの野菜指導指針 みやぎの花き栽培指導指針 みやぎの果樹指導指針	平成20年2月 平成19年1月 平成18年3月 平成14年12月 平成5年3月	肥料価格の高騰に向けた対応方針について	平成20年10月
秋田県	平成28年度版稻作指導指針 秋田県果樹指導指針 野菜栽培技術指針 大豆指導指針 飼料用米栽培マニュアル	平成28年3月 平成16年3月 平成19年3月 平成27年3月 平成27年3月	平成28年度版稻作指導指針 野菜栽培技術指針 大豆指導指針	平成28年3月 平成19年3月 平成27年3月	秋田県減肥マニュアル	平成23年2月
山形県	農作物の施肥基準	令和元年6月			低コスト生産に向けた技術指導の手引き(暫定版)	平成20年10月
福島県	福島県施肥基準	平成31年3月	福島県施肥基準	平成18年3月	福島県施肥基準	平成18年3月
茨城県	普通作物栽培基準(含む、工芸作物) 野菜栽培基準 果樹栽培基準 花き栽培基準 飼料作物栽培基準	平成30年8月 平成21年3月 平成28年2月 平成30年8月 平成31年3月	土壤・作物栄養診断マニュアル	平成27年3月	生産資材高騰に対応する技術支援マニュアル	平成20年9月
栃木県	農作物施肥基準	平成18年1月	農作物施肥基準	平成18年1月	農作物施肥基準	平成18年1月
群馬県	群馬県作物別施肥基準・土壤診断基準	平成16年3月	群馬県作物別施肥基準・土壤診断基準	平成16年3月		
埼玉県	主要農作物施肥基準	平成30年3月	主要農作物施肥基準	平成30年3月	主要農作物施肥基準	平成30年3月
千葉県	主要農作物等施肥基準	平成31年3月	主要農作物等施肥基準	平成31年3月	主要農作物等施肥基準、施肥設計支援システム	平成31年3月
東京都	東京都農作物施肥基準	平成17年3月	土壤診断基準	平成元年2月		
神奈川県	神奈川県作物別施肥基準	平成31年4月	神奈川県作物別施肥基準	平成31年4月	神奈川県作物別施肥基準	平成31年4月
山梨県	農作物施肥基準	平成23年3月	農作物施肥基準	平成23年3月	肥料価格高騰に対応した適正施肥マニュアル	平成20年10月
長野県	長野県施肥基準	平成30年3月	肥料価格高騰対策の手引き	平成20年9月	肥料価格高騰対策の手引き	平成20年9月

	施肥基準		土壤診断基準		減肥基準	
	名称	最終改正	名称	最終改正	名称	最終改正
静岡県	静岡県土壤肥料ハンドブック	平成29年3月	静岡県土壤肥料ハンドブック	平成29年3月	肥料価格高騰に伴う施肥技術対策指針	平成20年10月 平成29年3月
新潟県	水稲栽培指針 野菜栽培指針 果樹指導指針 花き栽培指針(球根養成・球根切花) 花き栽培指針(1. 2年切花・宿根切花、花壇用苗もの)	平成29年3月 平成22年3月 平成31年3月 平成26年3月 平成13年3月	新潟県における土づくりの進め方	平成17年2月	新潟県における施肥コスト低減の進め方	平成20年11月
富山県	水稲・大豆・大麦栽培技術指針 園芸作物栽培マニュアル	平成28年3月 平成18年3月	水稲・大豆・大麦栽培技術指針 園芸作物栽培マニュアル	平成28年3月 平成18年3月	水稲・大豆・大麦栽培技術指針	平成28年3月
石川県	農業技術対策指導指針 持続性の高い農業生産方式の導入指針	平成30年4月 平成29年5月	農業技術対策指導指針	平成30年4月	水田土壤の実態と改良マニュアル、園芸作物のための施肥コスト低減マニュアル	平成21年3月
福井県	施肥の手引き	平成26年3月	施肥の手引き	平成26年3月	当面の肥料価格高騰への対応	平成20年10月
岐阜県	主要園芸作物標準技術体系(野菜・果樹・特産・花き)(資料編) 岐阜県水稻栽培指針 麦・大豆栽培指針	平成28年3月 平成13年3月 平成26年3月	主要園芸作物標準技術体系(野菜・果樹・特産・花き)(資料編) 麥・大豆栽培指針 岐阜県水稻栽培指針 土づくりマニュアル(水田版)	平成28年3月 平成26年3月 平成13年3月 平成9年9月	岐阜県施肥コスト低減対策指針	平成20年10月
愛知県	農作物の施肥基準	平成28年3月	農作物の施肥基準	平成28年3月	平成20年肥料価格高騰対策技術指針	平成20年9月
三重県	適正施肥の手引き	平成21年3月			適正施肥の手引き	平成27年3月
滋賀県	稲作技術指導指針 売れる麦・大豆づくりに向けての指針 土づくり技術対策指針	平成27年2月 平成24年3月 平成14年3月	稲作技術指導指針 売れる麦・大豆づくりに向けての指針 土づくり技術対策指針 肥料節減に向けた技術対策集	平成27年2月 平成24年3月 平成14年3月 平成20年9月	肥料節減に向けた技術対策集 環境にこだわり農業営農技術指針	平成20年9月 平成29年3月
京都府	京都府における環境にやさしい農業技術指針	平成12年1月	土づくり推進指導資料	平成14年3月	土づくり推進指導資料	平成14年3月
大阪府	「特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」における慣行ヘル一覧(大阪府)	平成30年12月				
兵庫県	ひょうごの土づくり指針	平成30年3月	ひょうごの土づくり指針	平成30年3月	ひょうごの土づくり指針	平成30年3月
奈良県	農作物の施肥基準	平成21年3月	土壤診断基準値	昭和58年1月	農作物の施肥基準	平成21年3月
和歌山县	土壤肥料対策指針(改訂版)	平成31年3月	土壤肥料対策指針(改訂版)	平成31年3月	土壤診断と堆肥活用による肥料節減指針	平成20年7月
鳥取県	鳥取県特別栽培農産物に係る慣行基準	平成27年1月	くらく土壤診断の手引き	平成23年3月	土壤診断に基づくリン酸・カリの施肥量の自安	平成20年11月
島根県	土壤肥料対策指導指針 (旧)水稻・大豆・小豆栽培指導指針	平成19年3月 平成28年4月	土壤肥料対策指導指針 肥料コスト低減マニュアル	平成19年3月 平成21年4月	肥料コスト低減マニュアル	平成21年4月
岡山県	稻作技術指針 岡山県良質生産振興方針 岡山県大豆生産振興推進方針 土壤診断とづくりの手引き	平成19年3月 平成27年9月 平成20年6月 平成27年3月	岡山県における土壤診断基準値の一覧	平成26年2月	施肥コスト低減対策	平成20年9月

出典：農林水産省、都道府県施肥基準等（整理表）。令和元年6月。

(https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozon_type/h_sehi_kizyun/attach/pdf/index-14.pdf)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

表 6.19 都道府県における施肥基準・土壤診断基準・減肥基準（続き）

	施肥基準		土壤診断基準		減肥基準	
	名称	最終改正	名称	最終改正	名称	最終改正
広島県	水稻・麦・大豆栽培基準	平成26年3月	土壤診断基準値	昭和58年		
山口県	山口県稲作技術指導指針 山口県大豆栽培技術指針 平成28年度果樹栽培指導指針	平成12年3月 平成23年1月 平成27年3月	山口県稲作栽培指導指針 山口県大豆栽培技術資料 果樹の栽培資料	平成12年3月 平成23年1月 平成27年3月	エコ50水稲栽培マニュアル エコ100水稲栽培マニュアル エコ100ハウスぼうれんそうマニュアル 農業生産資材等高騰に関する農業技術・経営対策	平成23年7月 平成24年9月 平成25年3月 平成21年3月
徳島県	主要農作物施肥基準	平成18年3月	主要農作物施肥基準	平成18年3月	徳島県主要品目減肥マニュアル	平成22年3月
香川県	特別栽培農産物ガイドラインにおける施肥償行レベル	平成28年10月	土づくりの手引き	平成20年4月		
愛媛県	愛媛県施肥基準(平成28年度版)	平成28年3月	愛媛県施肥基準(平成28年度版)	平成28年3月	愛媛県施肥基準(平成28年度版)	平成28年3月
高知県	高知県施肥基準 平成28年度水稻耕種基準	平成22年3月 平成28年3月	分析測定診断テキスト「診断の手引き」	平成26年3月		
福岡県	福岡県水稻・麦施肥基準 福岡県野菜施肥基準 福岡県花き施肥基準 福岡県果樹施肥基準 福岡県茶施肥基準 福岡県飼料施肥基準	平成30年3月 平成31年3月 平成27年3月 平成29年3月 平成25年3月 平成28年3月	福岡県水稻・麦施肥基準 福岡県野菜施肥基準 福岡県花き施肥基準 福岡県果樹施肥基準 福岡県茶施肥基準 福岡県飼料施肥基準	平成30年3月 平成31年3月 平成27年3月 平成29年3月 平成25年3月 平成28年3月	主要農作物の肥料節減指針	平成22年3月
佐賀県	施肥・病害虫防除・雑草防除のてびき(水稻・大豆・果樹・茶) 施肥・病害虫防除・雑草防除のてびき(麦類・野菜・花き・飼料作物)	平成30年11月 平成30年8月	施肥・病害虫防除・雑草防除のてびき(水稻・大豆・果樹・茶) 施肥・病害虫防除・雑草防除のてびき(麦類・野菜・花き・飼料作物)	平成30年11月 平成30年8月	施肥・病害虫防除・雑草防除のてびき(水稻・大豆・果樹・茶) 施肥・病害虫防除・雑草防除のてびき(麦類・野菜・花き・飼料作物)	平成30年11月 平成30年8月
長崎県	長崎県農林業基準技術(土壤肥料部門)	平成26年2月	長崎県農林業基準技術(土壤肥料部門)	平成26年2月	長崎県農林業基準技術(土壤肥料部門)	平成26年2月
熊本県	くまもとの米魅力アップ技術対策 熊本のやさしく耕種基準> いくさ栽培・量表加工基準 茶生産技術指針	平成20年3月 平成24年3月 平成16年3月 平成31年3月	くまもとグリーン農業を進める施肥ガイド2013	平成26年3月	くまもとグリーン農業を進める施肥ガイド2013	平成26年3月
大分県	主要農作物施肥及び土壤改良指導指針	平成23年3月	園芸作物における土壤診断基準	平成1年1月		
宮崎県	主要作物の施肥基準	平成11年3月	主要作物の土壤診断基準	平成9年3月		
鹿児島県	鹿児島県土壤管理指針(県内向け)のため非	平成26年12月	鹿児島県土壤管理指針(県内向け)のため非	平成26年12月		
沖縄	沖縄県野菜栽培要領 沖縄県花き栽培要領 沖縄県果樹栽培要領 沖縄県機野菜栽培指針 さとうきび栽培指針 ひじめはれ栽培指針	平成26年3月 平成25年3月 平成23年12月 平成16年3月 平成26年3月 平成17年3月				

出典：農林水産省. 都道府県施肥基準等（整理表）. 令和元年6月.

(https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozan_type/h_sehi_kizyun/attach/pdf/index-14.pdf)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

表 6.20 都道府県における土壤診断等関連情報一覧

都道府県	主な掲載情報	URL
北海道	施肥設計手順	http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gjf/kankyo/dojousindansehisekkitejun1205.pdf
青森県	「健康な土づくり」技術マニュアル（改訂版）	https://www.pref.aomori.lg.jp/sangyo/agri/2008-0710_tutidukuri_top.html
岩手県	土壤診断 Q&A	https://www.pref.iwate.jp/sangyoukouyou/nougyou/nougyougisus/seisan/1007692.html
宮城県	土づくりに関する技術	https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/noenkan/eco-ef-01.html
山形県	土づくり支援システム	http://agrin.jp/hp/minorin/
福島県	土壤診断・施肥設計支援システム	https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/55772.pdf
栃木県	栃木県土壤診断プログラム (たい肥活用による減肥診断ソフト)	http://www.pref.tochigi.lg.jp/g04/gizyutu/dojousinndann2.html
埼玉県	土壤診断に基づく施肥設計	https://www.pref.saitama.lg.jp/a0903/sehimanual.html
千葉県	土壤診断の活用	https://www.pref.chiba.lg.jp/annou/documents/3103sehikijun_4kankyou.pdf
神奈川県	土壤診断・施肥設計プログラム	https://www.pref.kanagawa.jp/docs/cf7/cnt/f450010/p970351.html
富山県	土壤診断マニュアル	http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1612/kj00017475.html
愛知県	土壤診断基準	https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/210039.pdf
三重県	土壤診断・堆肥流通支援システム	https://www.taihi.pref.mie.lg.jp/U620000.aspx
兵庫県	土壤の診断基準	https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk09/documents/hiryo-shishin.pdf
和歌山県	土壤肥料対策指針（改訂版）	https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070300/071400/ecoform/shishin/mokuzi2_d/fil/shishinzenbun.pdf
島根県	肥料コスト低減マニュアル	https://www.pref.shimane.lg.jp/nogyogijutsu/gijutsu/hiryou_teigen/index.data/manuaru.pdf
岡山県	土壤診断基準値	https://www.pref.okayama.jp/site/22/423636.html
山口県	土壤診断・施肥計算ソフト	https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a17300/gijutukeiei/dojoushindan.html
徳島県	土壤診断基準	https://www.pref.tokushima.lg.jp/ippannokata/sangyo/nogyo/2010091000382/
高知県	土壤診断基準値	https://www.nogyo.tosa.pref.kochi.lg.jp/download/?t=LD&id=5581&fid=29558
長崎県	土壤診断基準	https://www.pref.nagasaki.jp/enourin/content/seisansya/dj/shindan01.html
大分県	土壤診断に基づいた施肥設計	https://www.pref.oita.jp/uploaded/life/235689_216453_misc.pdf
鹿児島県	土壤診断とその活用	http://www.pref.kagoshima.jp/ag05/documents/81177_20200716102627-1.pdf

WEB 検索により作成

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

土づくり支援システム「みのりん」

山形県農業総合研究センター

TOP 。 施肥基準 。 堆肥標準施用量 堆肥データベース 堆肥診断 。 土壤診断 。 施肥設計

2020年7月29日

■土壤診断

▼土壤情報入力 ー 診断する土壤の分析値を入力してください。※は必須項目です。
ー 栽培形態および土壤の種類を選択してください。

ほ場情報

受付番号	新規		
栽培形態	選択してください ▼ ※		
栽培面積	a(アール)		
土壤分析日	2020 ▼ 年 7 ▼ 月 29 ▼ 日		
ほ場場所			
土壤の種類	選択してください ▼ ※		
土壤化學性	単位	測定値	下限値
仮比重	g/ml		
pH	(H ₂ O)		※
pH	(KCl)		
EC	dS/m		※
硝酸態窒素	mg/100g		
アンモニア態窒素	mg/100g		
可給態窒素	mg/100g		
可給態リン酸	mg/100g		※
交換性K	mg/100g		※
交換性Ca	mg/100g		※
交換性Mg	mg/100g		※
CEC	me/100g		※
塩基飽和度	%		
K飽和度	%		
Ca飽和度	%		
Mg飽和度	%		
Ca/Mg比	(当量比)		
Mg/K比	(当量比)		

▼デジタル土壤図(市町村別)

▼土壤の簡易分析法
♦土壤の簡易分析



すすむ

■あぐりん | ■エコエリアやまがた | ■リンク集 | ■用語解説 | ■問い合わせ

図 6.24 山形県土づくり支援システムの例

出典：山形県農業総合研究センターHP. 土づくり支援システム「みのりん」.
(<http://agrin.jp/hp/minorin/dojyoushindan/index.html>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

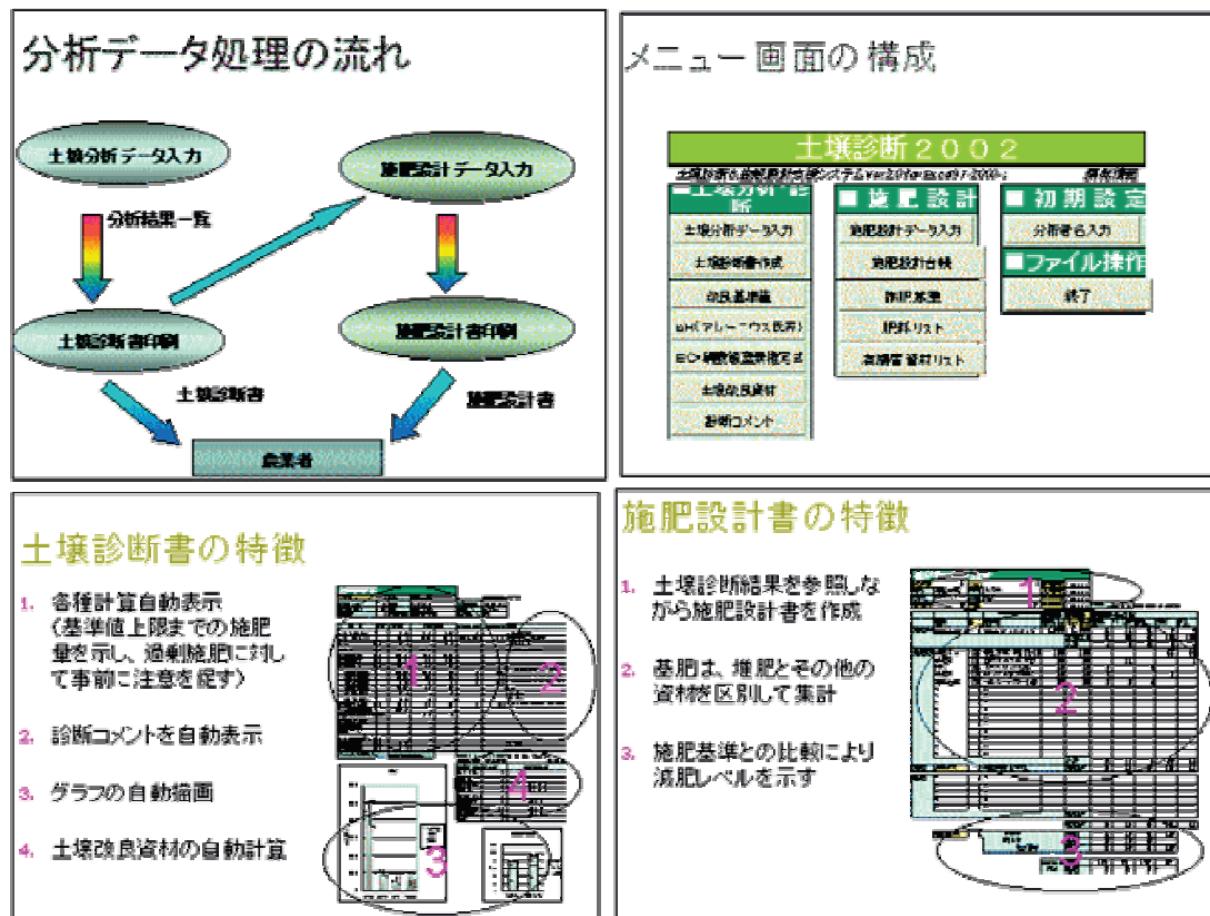


図 6.25 福島県土壤診断・施肥設計支援システムの概要

出典：福島県、「土壤診断・施肥設計支援システム」のご利用について。
(<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/55772.pdf>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策



**TEL. 028-626-3086
FAX. 028-626-3012
〒321-0974 栃木県宇都宮市竹林町1030-2**

たい肥活用による減肥診断ソフト taihisoft

1 ダウンロード
下のリンクをクリックしてください。
[たい肥活用による減肥診断ソフトのダウンロード](#)

2 注意事項
このソフトは、エクセルのマクロで作成してあります。
このソフトを動作するには、マクロの設定が必要です。このソフトの「表紙」シートを参考にマクロの設定をしてから使用してください。

3 作成の目的
肥料価格の大幅な上昇等により、たい肥等の未利用有機物資源の活用による肥料コストの低減が求められています。
そこで、化学肥料の節減に向けて、たい肥活用を促進するため、化学肥料からたい肥中の有効成分量を差し引いた施肥設計がエクセル上で簡単に行えるソフトを開発しました。

4 特徴
(1) たい肥の種類、施用量と栽培する作物を入力すると、たい肥の肥効を見込んだ化学肥料施肥量が計算できます。また、化学肥料の窒素施肥を慣行の5割減にする場合のたい肥施用量と化学肥料施肥量が計算できます。
(2) 通常の計算は、県農作物施肥基準に基づきますが、たい肥の肥効率の設定や土壤診断結果に基づく計算もできます。

入力	たい肥	種類、施用量、 ※ 現物成分(%)、※ 肥効率、※ 代替率
	作物	作物名、栽培型、品種等 ※ 慣行施肥量、※ 追肥の減肥設定
	土壌	※ 土壤診断値

(※ :オプション)

↓

出力	・ たい肥の肥効を見込んだ化学肥料施肥量 ・ 化学肥料の窒素を慣行の5割減にする場合のたい肥施用量と化学肥料施肥量 ・ 基肥に対する代替率に応じたたい肥施用量と化学肥料施肥量
----	---

※本ソフトに関するお問い合わせは、栃木県農政部経営技術課(028-623-2322)までお願いします。

トップページ
農業環境指導センター
検査課
防除課
肥料
肥料の販売
たい肥（特殊肥料）の生産
普通肥料の生産
肥料関連情報
たい肥活用による減肥診断
飼料
飼料・飼料添加物の販売
農薬
農薬安全使用
農薬の販売
お問い合わせ

検査関係業務報告

防除指針

アクセス位置情報
業務内容
リンク

図 6.26 栃木県土壤診断プログラム（たい肥活用による減肥診断ソフト）説明ページ

出典：栃木県農業環境指導センターHP. たい肥活用による減肥診断ソフト.

(<http://www.jppn.ne.jp/tochigi/kensa/taihisoft.html>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

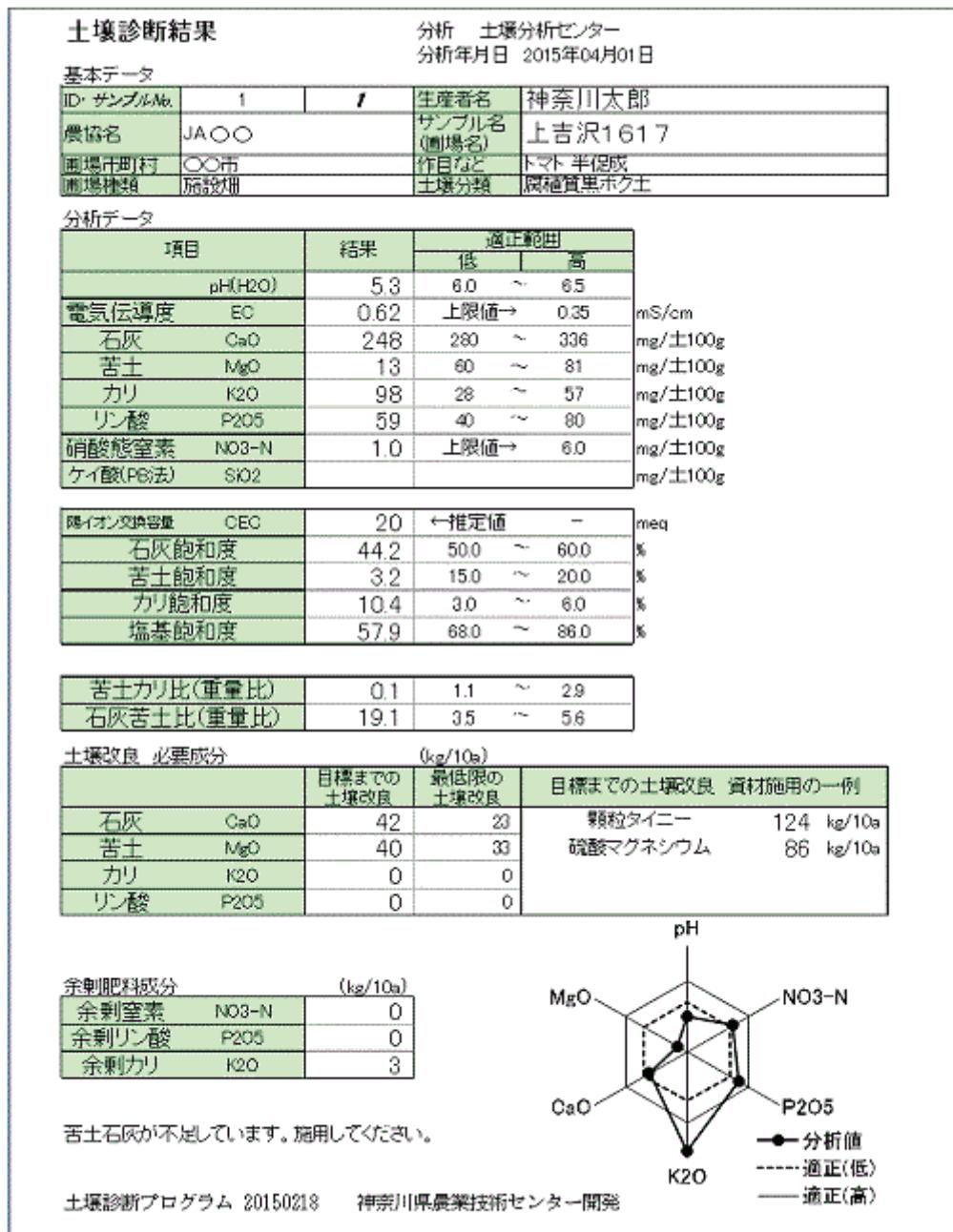


図 6.27 神奈川県土壤診断プログラム診断結果例

出典：神奈川県 HP. 土壤診断・施肥設計プログラム ダウンロード。
(<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/cf7/cnt/f450010/p970351.html#1>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

[戻る]

土壤診断のみ実施画面

ここでは、「土壤化学性」の「測定値」が自由に入力でき、概ねの土壤診断結果をテストシステムで閲覧することができます。

- 1 作物を選んでから、品目を選んでください。

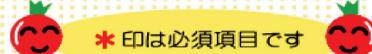
作物 : 野菜（一般葉菜類） ▼ 品目 : アスパラガス（立茎栽培 2年目以降） ▼

- 2 土壌の種類を選んでください。

土壌 : 黒ボク土 ▼

- 3 土壌の測定値を入力してください。

※ 「Tab」キーを押下することにより、次の項目へ移動することができます。



土壤化学性	(単位)	測定値	備考
* pH		0	H ₂ O
* EC	(mS)	0	浸出比 1:5
* 腐植	(%)	0	T-C(%) × 1.73
可給態ケイ酸	(mg)	0	
* 交換性カルシウム	(mg)	0	石灰
* 交換性マグネシウム	(mg)	0	苦土
* 交換性カリウム	(mg)	0	加里
* CEC	(me)	0	陽イオン交換容量
* 可給態リン酸	(mg)	0	トルオーグ法
リン酸吸収係数		0	
アンモニア態 N	(mg)	0	
硝酸態 N	(mg)	0	

- 4 使用する堆肥を下記から選択すると土壤診断に進みます。

地区 : 指定しない ▼ 原料・主たる副資材 : 指定しない ▼

畜種 : 指定しない ▼ 堆肥化期間 : 指定しない ▼

検索

詳細	堆肥業者名称	堆肥名称	畜種
選択 詳細	伊藤養鶏場（伊藤峯好）	有効鶏ふん	採卵鶏
選択 詳細	伊藤いち男養鶏場	確認中	採卵鶏
選択 詳細	松葉養豚（松葉幸道）	発酵豚ふん	養豚
選択 詳細	サイトウファーム（斎藤 宏樹）	発酵和牛堆肥 サングリーン	肉用牛
選択 詳細	中尾畜産（中尾教昭）	ビタコンエース	肉用牛
選択 詳細	株伊藤養鶏	発酵鶏糞	採卵鶏
選択 詳細	鈴鹿ポートリー（近藤博信）	有機トップ1、Suzuka有機など	採卵鶏
選択 詳細	藤田 栄一	発酵鶏糞	採卵鶏
選択 詳細	（有）清水養鶏	発酵鶏糞	採卵鶏
選択 詳細	服部養鶏（服部光春）	乾燥鶏糞	採卵鶏
1 2 3 4 5 6 7 8			

堆肥を使用しないで診断に進む



<ご注意>

診断結果はあくまで目安であり、実際には気候など様々な条件を考慮する必要があります。

図 6.28 三重県土壤診断支援システム例

出典：三重県 HP. 土壤診断のみ実施画面. (<https://www.taihi.pref.mie.lg.jp/U62000E.aspx>)

6. 硝酸性窒素等による地下水汚染に係る対策

2019年1月1日

土壤分析の結果と処方箋

栽培品目 水稻		診断基準 水稻（普通土）		整理番号 1			
秀忠様 調査地点 あそこ				いけいけ農林事務所農業部			
連番 1 地目 水田 面積 5 a				電話 083-900-0000			
分析項目	参考データ					診断基準値	評価
	2000	2002	2004	2006	2008		
pH (°-h)	5.4	5.8	5.7	5.7	5.6	6.0 ~ 7.0	やや低い
腐植 (w/v %)	2.6	2.5	2.5	2.4	3.0	3.0 ~ 5.0	適切
全窒素 (w/v %)	0.13	0.14	0.14	0.14	0.16	0.15 ~ 0.17	腐植に対し適切
炭素/窒素比 (C/N)	11.5	10.5	10.3	10.1	11.0	10 ~ 12	一般的に10~12
可給態窒素 (mg/100cm ³)	9.1	9.5	11.1	10.8	10.2	5 ~ 10	適切
塩基置換容量(CEC) (me)	8.5	9.2	8.1	10.0	8.2	12 以上	保肥力はやや低い
塩基飽和度 (%) 3成分	66.8	64.5	60.7	59.0	55.1	92 ~ 112	塩基類不足
交 石灰 (mg/100cm ³)	113.0	127.0	102.0	132.0	102.0	158 ~ 193	石灰不足
換 苦土 (〃)	24.0	25.7	22.7	21.4	15.2	29 ~ 36	苦土不足
性 加里 (〃)	21.6	6.3	7.1	6.0	6.1	21 ~ 25	加里不足
						-	
石灰苦土比 (Ca/Mg)	3.4	3.6	3.2	4.4	4.8	2.0 ~ 6.0	バランス適切
苦土加里比 (Mg/K)	2.6	9.5	7.5	8.3	5.8	2.0 ~ 4.0	バランス悪い
可給態磷酸 (mg/100cm ³)	25.4	16.1	23.0	16.3	20.1	10 ~ 20	磷酸適切
						-	
可給態珪酸 (mg/100cm ³)	1.5	5.8	5.0	8.2	8.4	18.0 ~ 30.0	珪酸不足
遊離酸化鉄 (w/v %)	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8 ~ 2.0	鉄やや不足
堆肥 施用量	1,000 Kg/10 最後は混合 (注 1)						
鶏糞 施用量	0 a						
含鉄資材 施用量	100 ミネラル G (注 3)						
元肥の提案	肥料の種類	慣行	新しい元肥量(案)(マイナスは過剰量)と肥料名	コメント 作土深15 cm 仮比重1で計算			
	りん酸質肥料		-76 28重焼成(1.0倍率)				
	加里質肥料		49 硅酸加里				
	石灰質肥料		82 炭カル				
	苦土肥料		27 マグゴールド				
	けい酸質肥料		34 ケイカル(粒)(3倍率)				
	緩効性肥料		60 LPSS複合 522号				

注1 一律量の堆肥を施用する。(窒素以外の肥効計算)
注2 鶏糞無施用
注3 一律の量の含鉄資材を施用する。(肥効計算)

pH規制値 7.5

養分の過不足グラフ

(基準値を100とした%表示 塩基置換容量と遊離酸化鉄は100%が最大値)

判定点 水稻 95 点

基準値100%の太線より内側が不足、外側が過剰です。

土壤診断 フリーソフト 版本: 2019.1.1 Ver. 11.0

判定点とは、土壤の化学的なバランス面から点数化したものです。

図 6.29 山口県土壤診断・施肥計算ソフトによる分析結果例

山口県農林総合技術センター 土壤診断 施肥計算ソフト「できすぎ君 2020」の使い方 2020年1月.

(<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a17300/gijutukeiei/dojoushindan.html>) より作成

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 土壤環境中における窒素の動態

土壤環境中の窒素は、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、土壤微生物が大気中の窒素ガスを固定し、または土壤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。土壤に残ったアンモニア性窒素は、好気的条件下で土壤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。硝酸性窒素は土壤に吸着されにくいため、一部は土壤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、土壤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壤中に供給されることにより、土壤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

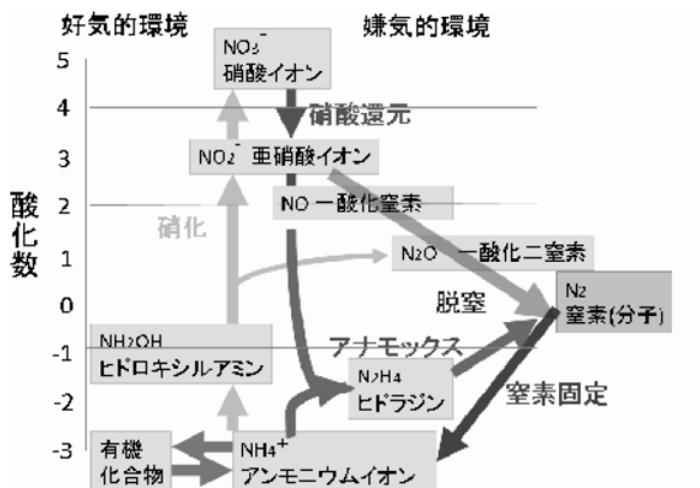
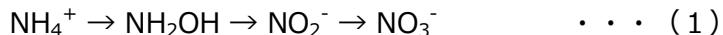


図 7.1 環境中の窒素の形態と変換過程

出典：(独)科学技術振興機構研究開発戦略センター. 戰略プロポーザル 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.
[\(https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/SP/CRDS-FY2012-SP-01.pdf\)](https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2012/SP/CRDS-FY2012-SP-01.pdf)

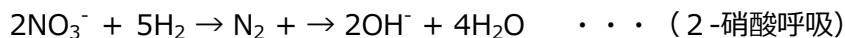
(1) 硝化過程

土壤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

湛水土壤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ふ。脱窒過程を（2）式に示す。



(3) (アンモニア) 挥散

施設土壤や水田土壤等で土壤 pH が高くなると、土壤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

土壤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

土壤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) 植物吸收

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

植物吸收、脱窒、有機化等に利用されずに土壤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、土壤には吸着されず、水の流動とともに移動する。

(9) 蓄積

硝化・植物吸收、脱窒等の過程を受けずに土壤中に残った有機態の窒素分は、そのまま土壤中に保存され、蓄積していく。毎年の施肥等で土壤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、土壤が湿潤化し嫌気的条件となり、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

土壤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。

土壤中の有機物は微生物により無機化され、その硝化過程は土壤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稻わらのすき込みは、窒素固定能を有するシアノバクテリアが稻わら表面で生育し、無機態窒素を有機化するため、土壤中の硝酸性窒素の流出を抑制する作用がある。

(3) 土壤中の有機物

土壤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壤では、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、土壤に加わるとその分解のために微生物活動が高まり、土壤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。
バーク堆肥、おがくず堆肥	20 以上	肥料効果は小さいが、土壤腐植を富化するため地力増進効果がある。土壤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) 土壤中の水分含量と硝酸性窒素

土壤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。

土壤水分が圃場容水量 ($pF = 1.8$ 相当の圧力状態で土壤に保持しうる水) 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畠地土壤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⁾ の水田土壤を用いた研究では、乾燥処理により土壤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壤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、土壤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ると考えられている。

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いる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. 砂丘畠地土壤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. 乾燥期間が土壤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

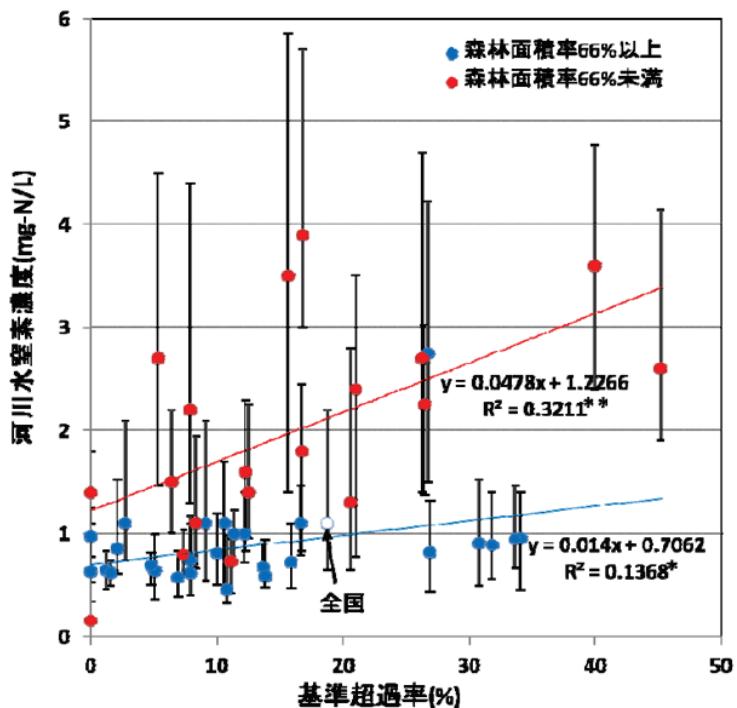


図 7.2 観測井戸中の環境基準超過率（横軸）と河川水窒素濃度分布（中央値と 75% 値、25% 値）の比較

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)

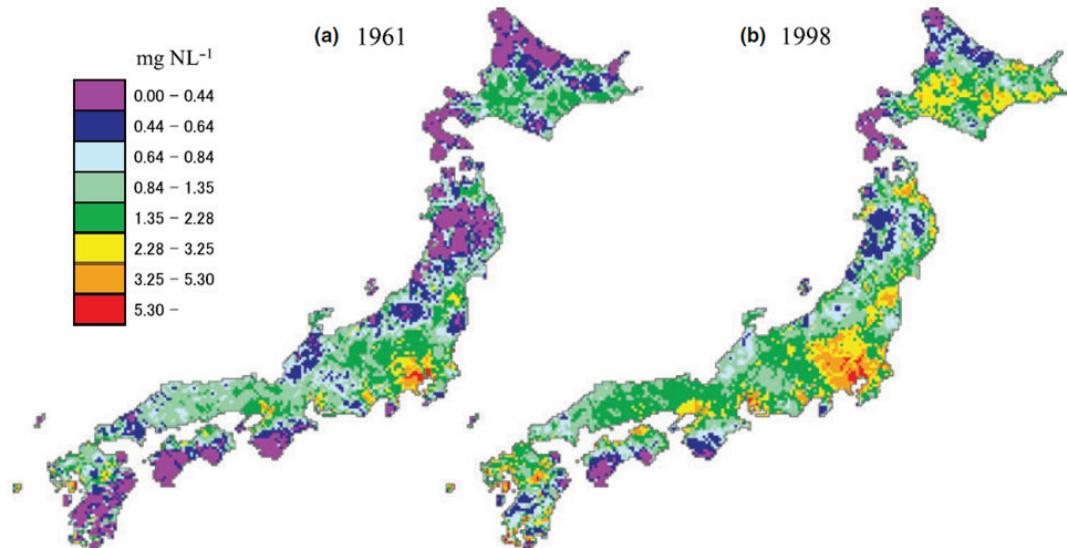


図 7.3 河川水中の窒素の推定濃度（1961 年(左図)と 1998 年(右図) ; mgN/L)

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）。

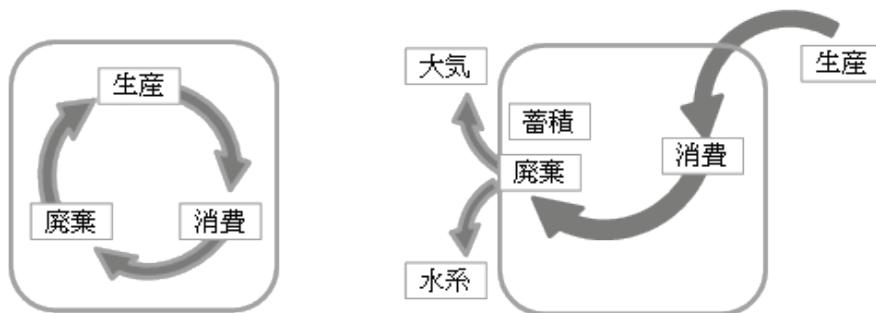


図 8.1 理想的な資源循環型社会システム（左）と現在の社会システム（右）

□：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、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

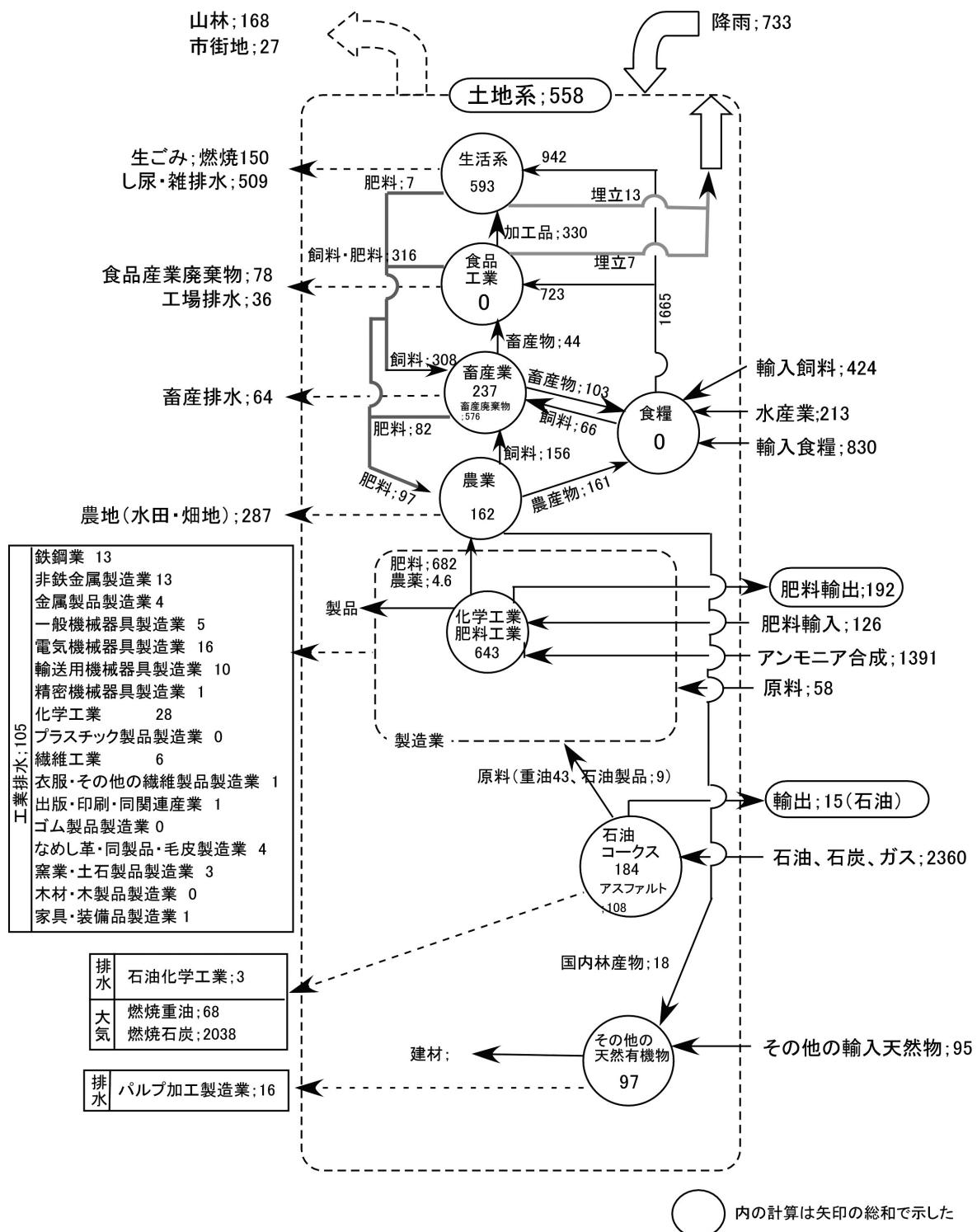


図 8.2 我が国の窒素マテリアルフロー（平成 10 年 単位：千 t N/年）

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、畠地)	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

* (生産された重油ー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

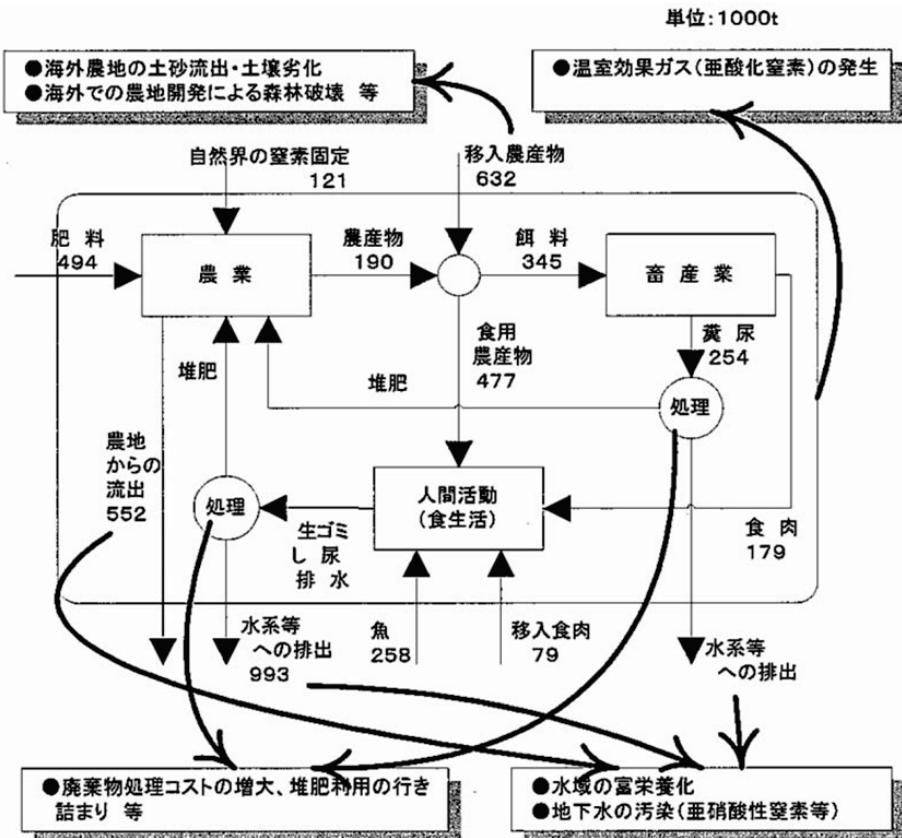


図 8.3 日本の窒素収支（1998 年）と収支のアンバランスにより発生する問題群

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て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（施肥基準や土壤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ずるだけでなく、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>）を参考に取りまとめた。

【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。

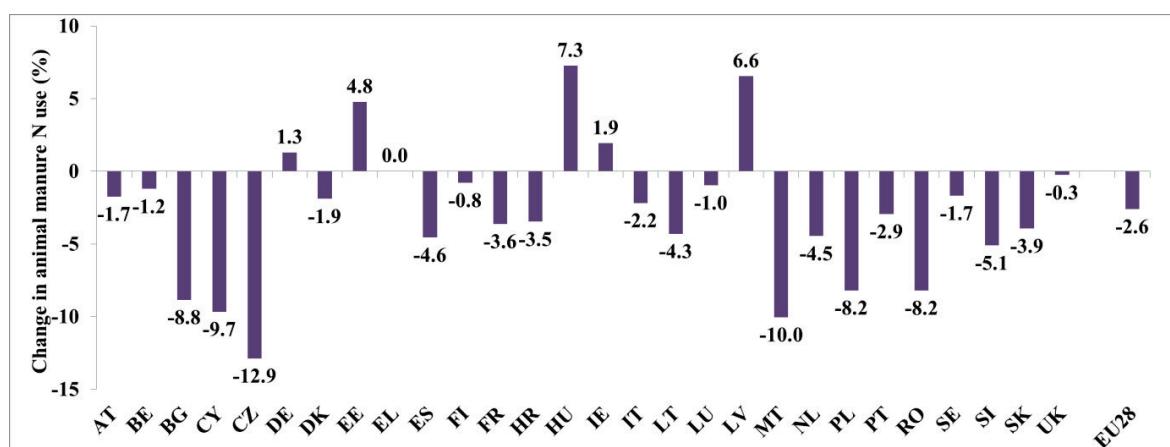


図 9.1 EU における家畜ふん尿窒素の使用量の変化（2008-2011 と 2012-2015）

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

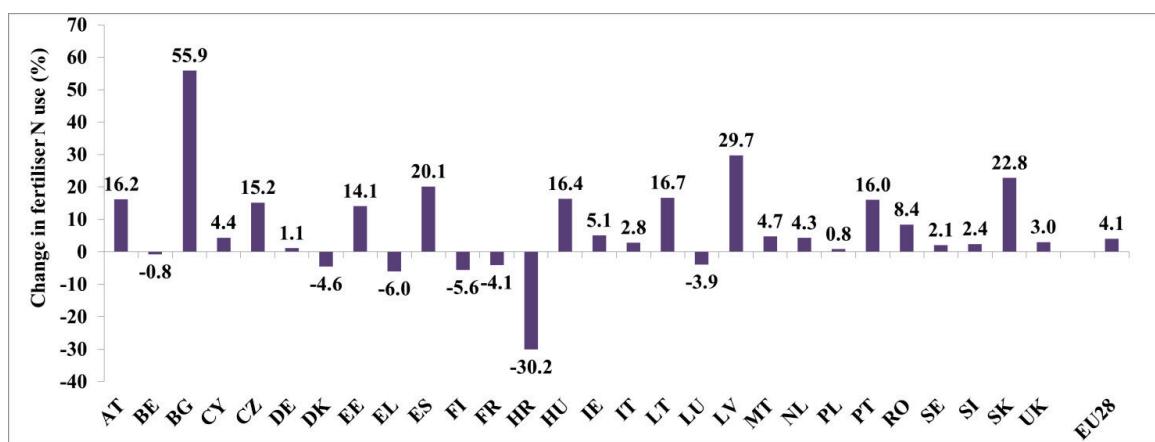


図 9.2 EU における無機窒素態肥料の使用量の変化（2008-2011 と 2012-2015）

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）。

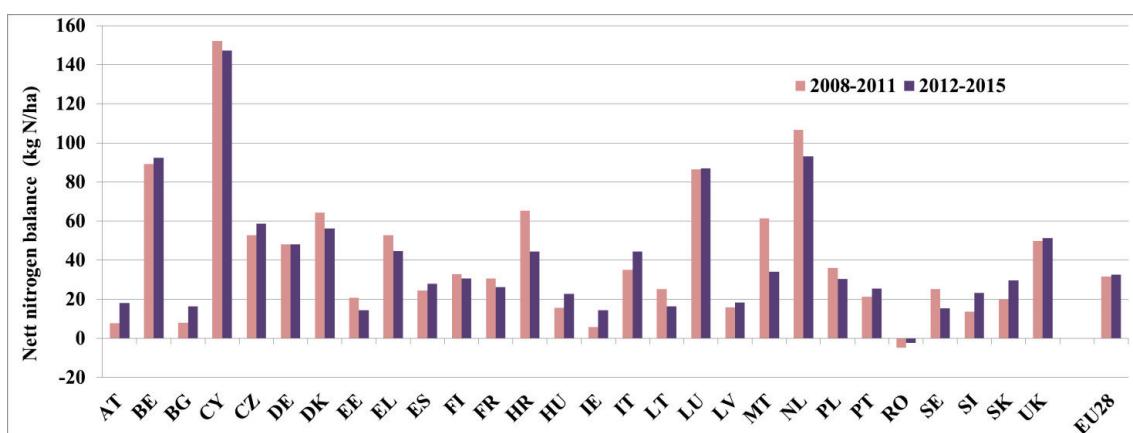


図 9.3 EU における平均窒素収支（2008-2011 と 2012-2015）

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

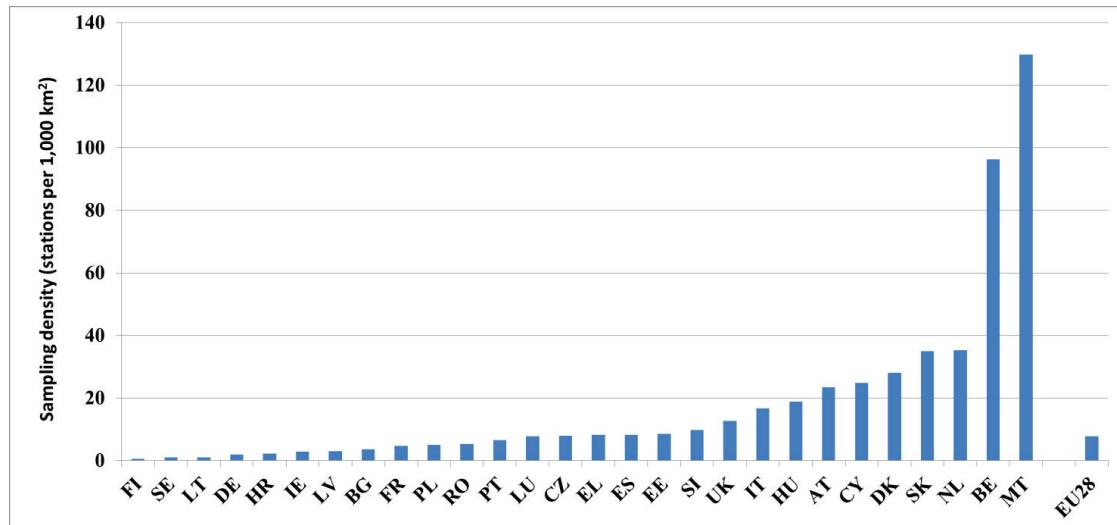
3) 農業からの環境への窒素負荷

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 力国における 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>)

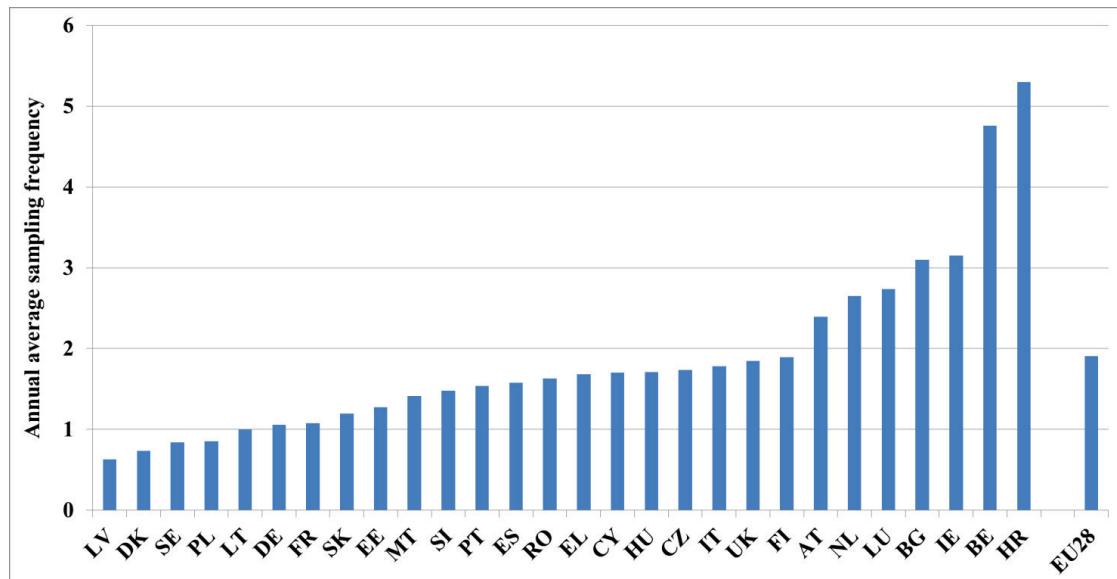


図 9.5 EU 加盟国の地下水モニタリング頻度（回/年）

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

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

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を超える、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を超える、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。

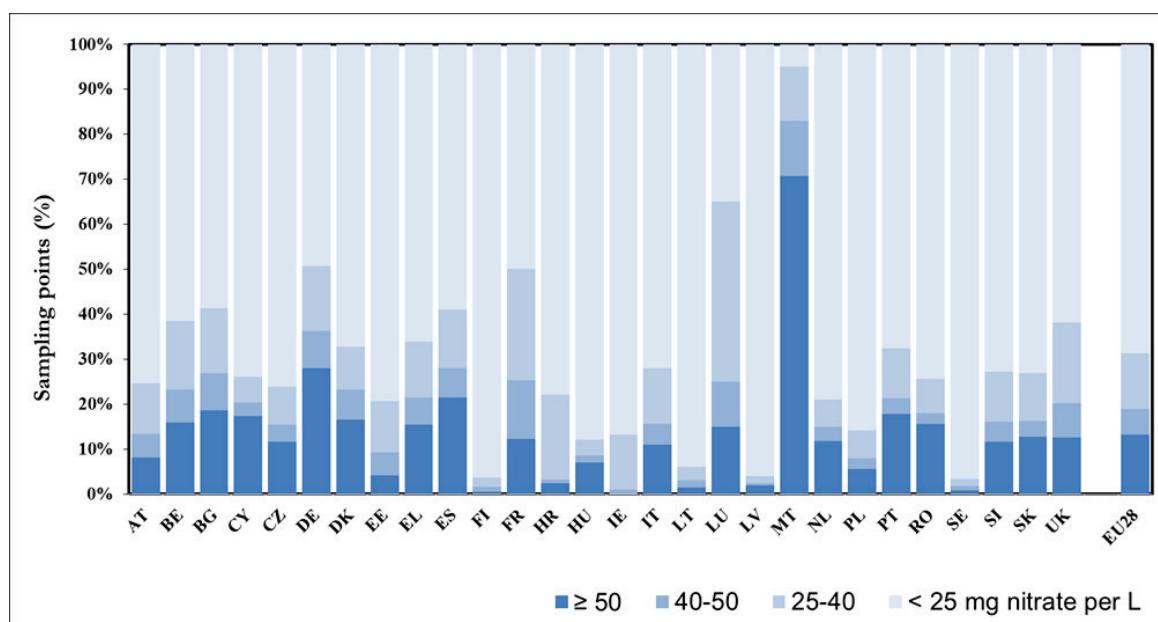


図9.6 EU加盟28カ国の地下水硝酸濃度の状況

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

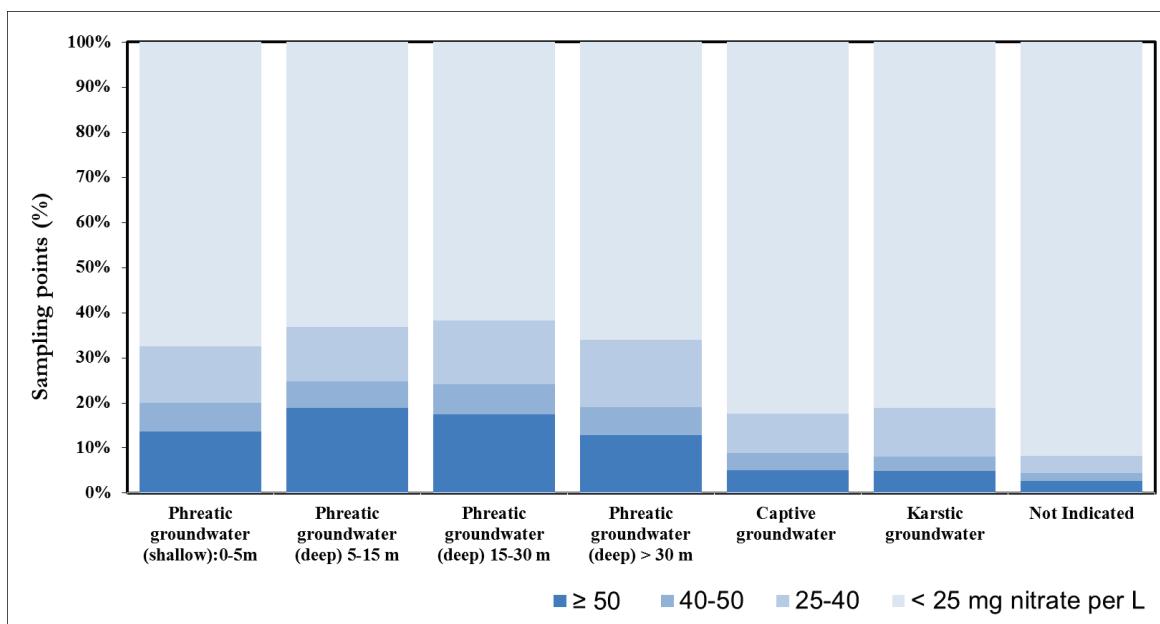


図 9.7 EU 加盟 28 力国の深度ごとの地下水硝酸濃度の状況

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

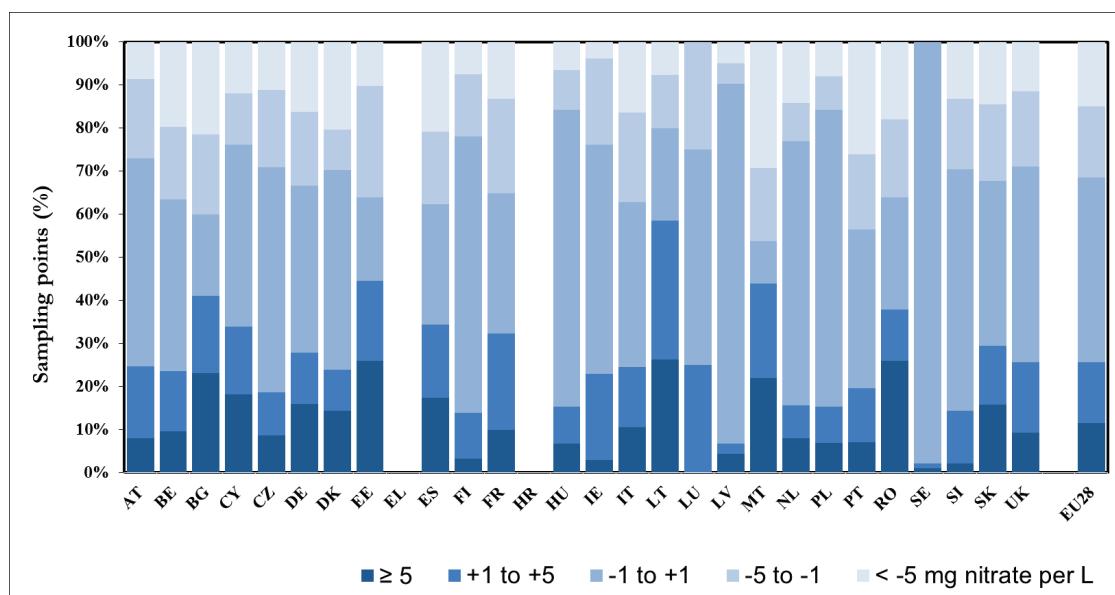


図 9.8 EU 加盟 28 力国の地下水硝酸濃度の傾向

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。

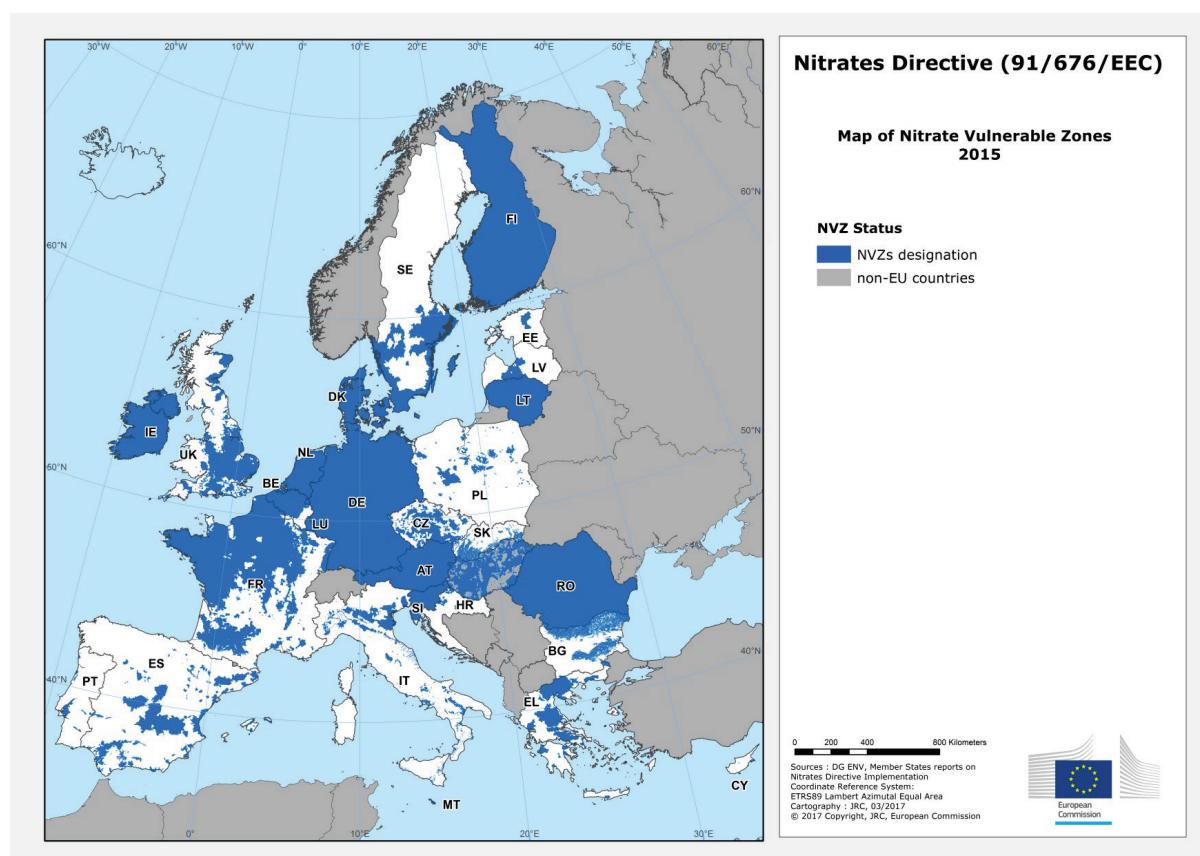


図 9.9 硝酸塩脆弱地域の指定状況（2015）

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。

詳しく見していくと、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り、「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、気候や土壤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、対策の実施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. 海外の窒素循環政策と研究の動向

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つた。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で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、土壤改良剤やかんがい用の再生水や既に土壤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い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、主要養分に取って代わることの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）の対話や連携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。

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

(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、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。換算すると、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”的ことで、家畜排せつ物（スラリー、固体家畜排せつ物（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。

9. 海外の窒素循環政策と研究の動向

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壤供給窒素量を計算（土壤窒素供給量）
- ステップ 2：土壤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：施用するつもりの有機質資材から、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：土壤窒素供給量

土壤窒素供給量 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壤中の量 (kg N/ha) で、土壤からの溶脱等による窒素口吐量を考慮してある。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 までの根域内で土壤から供給される窒素量で、次の合計値である。

- (a)根域内土壤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、土壤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、前作作物の種類、土壤タイプ、降水量等による標準的な土壤窒素供給量が、土壤窒素供給量指標 (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壤で、降雨量 600 mm 未満なら、土壤窒素供給量指標は「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、土壤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壤窒素供給量指標別の値として提示している。

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

N/ha、土層の深い粘土質土壤で 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ために必要な窒素要求量を、土壤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

土壤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壤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、水分が多く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壤（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：土壤表面下10cmより深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。

- 砂質土壤ないし土層の浅い土壤：草地（9月1日～12月31日）、耕地（8月1日～12月31日）
- 他の全ての土壤：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)砂質土壤ないし土層の浅い土壤の耕地に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)アスピラガス、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、茎葉を収穫するもの）、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. 海外の窒素循環政策と研究の動向

9-2 窒素循環改変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（NOx）が排出される。NOxは健康上有害であり、また対流圏オゾンを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ー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 國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。

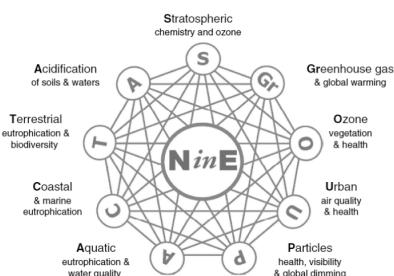


図 9.10 ヨーロッパにおける窒素循環 (N in E) と関連する環境問題を表すスキーム

出典 : Sutton, M.A. et al. The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press, 2011, Figure5.5. (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,

家畜排せつ物法	130, 131, 136, 137, 140, 143, 165, 166, 167, 175, 176, 178, 179, 182
カバークロップ	73, 95, 109, 112, 115, 122, 124, 125, 140, 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
<	
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

総合的病害虫・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
帶水層	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

地下水流动	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
土壤診断	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

被压地下水 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

の

- 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

- RealIN 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