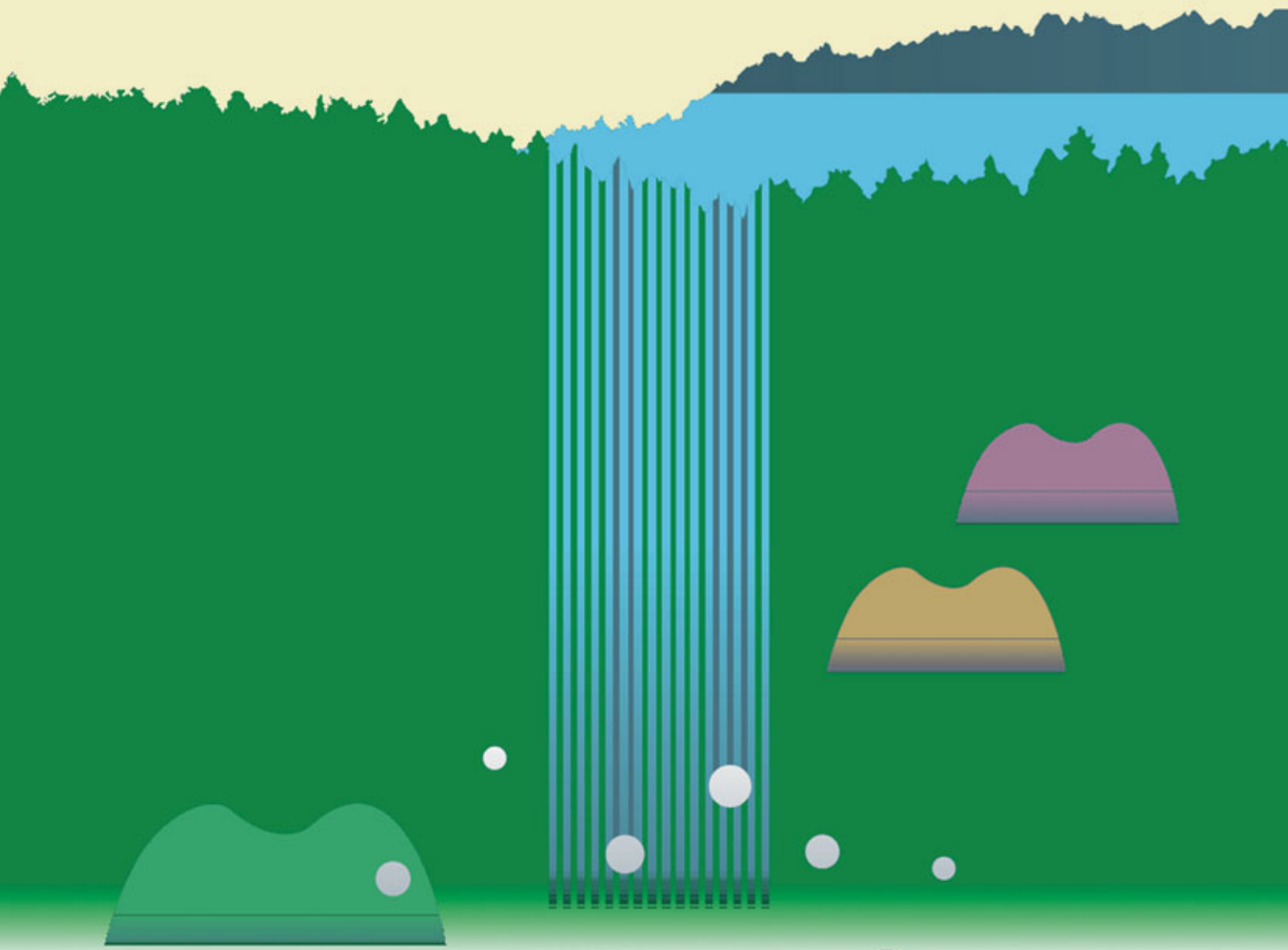


# 森林・農地・水域を通ずる 自然循環機能の高度な利用技術の開発



平成 18 年 3 月

農業環境技術研究所、農業・生物系特定産業技術研究機構  
農業工学研究所、森林総合研究所、水産総合研究センター

# 自然循環プロジェクトの概要

## 研究の趣旨・目的

農林水産業はもともと自然に依存した産業であり、自然に生息する様々な生物の連鎖によって生み出される物質循環の中で営まれてきました。しかし、農林水産業が本来有する自然循環機能、すなわち、自然環境を構成する資源を形成・保全すると同時に、こうした資源を持続的に循環利用する機能については、まだ十分に解明されていません。「森林・農地・水域を通ずる自然循環機能の高度な利用技術の開発（自然循環プロジェクト）」では、森林・農地・水域を通じた自然循環機能を定量的に評価し、生産活動を通じてこの機能を最大限に発揮させ、向上させる技術を開発することをめざしました。

## 自然循環プロジェクトの枠組み

自然循環プロジェクトは、森林・農地・水域に備わっている自然の浄化・循環機能を明らかにし、農林水産業に起因する硝酸性窒素などの環境負荷物質の適正な管理技術の開発をめざして、2000年度から農林水産技術会議事務局によって開始されました。2001年度以降は、農林水産省傘下の研究機関が独立行政法人に移行したため、各研究機関の交付金プロジェクトとして実施されてきました。前期3年（2000～2002年度）、後期3年（2003～2005年度）の合計6年間、次の2つの大課題の下に、森林生態系・耕地生態系・水域生態系を研究の対象としている専門の異なる研究者が協力して研究を進めてきました。

### 1. 地形連鎖系における自然循環機能の解明と向上技術の開発

まず、森林生態系における窒素収支を明らかにしようとしてきました。次に、地域ごとに異なる様々な地形連鎖系<sup>\*</sup>において窒素負荷量を正確に測定するとともに、窒素浄化が期待出来る場所を特定しようとしてきました（<sup>\*</sup>台地上に野菜畑や茶園があり、低地に湧水を灌漑に利用する水田などが連なっている集水域をいう）。

### 2. 流域を対象とした農林水産生態系における自然循環機能の解明と管理指針の策定

矢作川流域など特定の流域を研究の対象として、森林・農地・水域を通ずる自然の循環機能を明らかにするとともに、耕地生態系や水域生態系の管理をめざして、モデルによる解析を試みました。

## 主な成果

1. 森林生態系における窒素収支を明らかにするとともに、間伐が森林から流出する河川の水質に及ぼす影響を明らかにしました。
2. 農地からの窒素流出ポテンシャルを精密に評価するための手法を開発するとともに、窒素が地形連鎖系においてどのように除去されるかを明らかにしました。
3. 河口・沿岸域における貝類などの生物生産が、河川から流入する栄養塩類によって支えられていることを明らかにしました。
4. 矢作川流域を対象に、上流の森林から農地を経て河口に至る窒素・リンの動きを調べた結果、知多湾の生物生産を維持し水質を良好に保つためには、矢作川の流量の維持・管理が重要であることを明らかにしました。

# 研究実施課題

## 1. 地形連鎖系における自然循環機能の解明と向上技術の開発

| 課題番号 | 課題名（前期）                                | 担当機関（前期）                                                                                   |
|------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1100 | 大気－森林－水系における有機物動態、水動態及び水質浄化機能の開発       | 森林総合研究所                                                                                    |
| 1200 | 作物－農地－水系における環境影響物質の動態及び環境容量の解明         | 農業環境技術研究所、中央農業総合研究センター、近畿中国四国農業研究センター、愛知県農業総合試験場、野菜茶業研究所、九州沖縄農業研究センター、広島大学生物生産学部、静岡県農業試験場  |
| 1300 | 水域における環境影響物質の生物群集への影響評価と許容量の解明         | 瀬戸内海区水産研究所、東北区水産研究所、養殖研究所、北海道大学北方生物圏フィールド研究センター、香川大学農学部                                    |
|      | 課題名（後期）                                | 担当期間（後期）                                                                                   |
| 1400 | 森林・農地・水域を通ずる農林水産生態系を利用した自然循環機能の向上技術の開発 | 森林総合研究所、中央農業総合研究センター、広島大学大学院生物圏科学研究科、野菜茶業研究所、近畿中国四国農業研究センター、埼玉県農林総合研究センター、静岡県農業試験場、畜産草地研究所 |

## 2. 流域を対象とした農林水産生態系における自然循環機能の解明と管理指針の策定

|      | 課題名（前期）                 | 担当機関（前期）                                                                                                                    |
|------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2100 | 森林・農地・水域を通ずる環境影響物質の収支解明 | 農業環境技術研究所、愛知県農業総合試験場、森林総合研究所、名古屋大学大学院生命農学研究科、中央水産研究所、愛知県水産試験場、農業工学研究所                                                       |
|      | 課題名（後期）                 | 担当期間（後期）                                                                                                                    |
| 2200 | 自然循環機能の高度発揮のための管理指針の策定  | 森林総合研究所、名古屋大学大学院生命農学研究科、愛知県農業総合試験場、農業環境技術研究所、農業工学研究所、中央水産研究所、愛知県水産試験場、養殖研究所、北海道大学大学院水産科学研究科、北海道区水産研究所、北海道大学北方生物圏フィールド研究センター |

# 森林域における窒素流出の広域評価

〔森林総合研究所・名古屋大学〕

## 研究の背景・ねらい

森林は流域の上流に位置し、木材を生産する機能などの他に、清浄な水の供給源としての機能を備えているため、渓流水の水質を保全する政策に国民の関心が高まっています。2002年には、新たに規制物質として窒素・リンを加えた「第5次水質総量規制」が策定されるなど、水質保全に関する社会的・行政的ニーズが高まっており、農林水産業においても、環境と調和した持続性の高い生産活動を行うことが求められています。この研究では、森林・農地・水域を通じた自然循環機能の向上をめざして、矢作川流域の森林域を対象として、窒素貯留量分布図を作成し、硝酸性窒素生成量に基づく窒素流出の広域評価を行いました。

## 研究の成果

まず、矢作川流域の森林域について、植生、林相、土壌型、地形などの調査データを収集・整理しました。このデータ・ベースに基づいて、上流部から中流部の森林を適潤性土壌に生育するマツ林（適潤性マツ林）、斜面中下部のスギ・ヒノキ人工林（適潤性スギ・ヒノキ人工林）、尾根付近・斜面上部のスギ・ヒノキ人工林（弱乾性スギ・ヒノキ人工林）、カラマツ林、および適潤性広葉樹林の5つに区分しました。また、中下流域をクロマツ林、アカマツ林、尾根地形部の広葉樹林、および谷地形部の広葉樹林の4つに区分しました。これらの森林タイプごとの窒素貯留量は表1のとおりです。この表に基づいて、矢作川流域の森林全体について、深さ1mまでの土壌の窒素貯留量分布図を作成しました（図1）。

次に、対象流域内の植生や立地環境条件が異なる森林から採取した土壌試料を用いて、室内実験により硝酸性窒素生成量を測定しました。一方、硝酸性窒素生成量を推定する統計モデルを作成するため、土壌型、斜面方位、森林を構成する樹種、標高、斜面位置の5つ要因を硝酸性窒素の生成を左右する説明変数として抽出しました。これら5つの説明変数を用いて、実測値を精度良く予測できる統計モデル（決定係数＝0.84）を開発しました（図2）。この統計モデルによって予測した硝酸性窒素生成量を用いて、流域内の森林土壌の窒素流出を評価しました（図3）。

## 成果の活用

森林域の上流と中下流とを比較すると、窒素貯留量・硝酸性窒素生成量のいずれも上流で大きいことが明らかです。清浄な水の供給源としての機能を維持するためには、上流域の森林を適切に管理することが大切です。

## 問い合わせ先

森林総合研究所 荒木 誠

〒305-8687 つくば市松の里1、TEL：029-873-3211（代表）

表 1 矢作川流域の森林タイプ別面積と土壌窒素貯留量

| 森林タイプ        | 面積 (ha) | 面積率 (%) | 土壌窒素<br>貯留量 (t/ha) |
|--------------|---------|---------|--------------------|
| 適潤性マツ林       | 7,836   | 5.8     | 8.8                |
| 乾性マツ林 (クロマツ) | 10,763  | 8.0     | 3.2                |
| 乾性マツ林 (アカマツ) | 15,036  | 11.2    | 0.9                |
| 適潤性スギ・ヒノキ人工林 | 27,869  | 20.7    | 11.9               |
| 弱乾性スギ・ヒノキ人工林 | 39,373  | 29.3    | 6.4                |
| カラマツ林        | 2,661   | 2.0     | 9.7                |
| 適潤性広葉樹林      | 22,851  | 17.0    | 16.2               |
| 乾性広葉樹林 (尾根部) | 5,241   | 3.9     | 2.7                |
| 乾性広葉樹林 (谷部)  | 2,864   | 2.1     | 3.5                |
| 総面積          | 134,494 | 100.0   |                    |

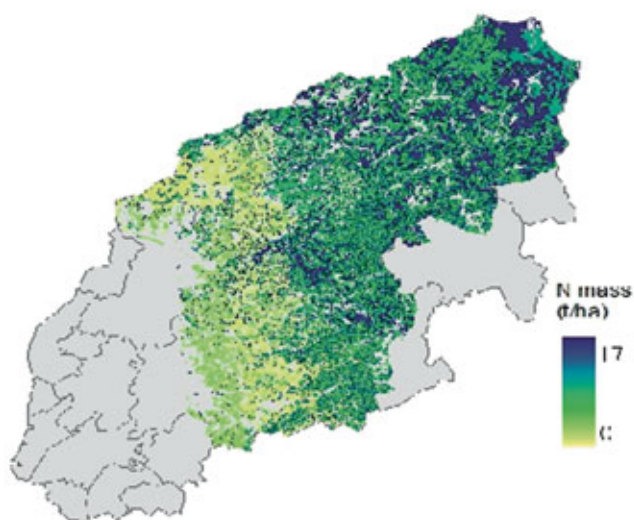


図 1 矢作川流域における森林土壌中の窒素貯留量の分布図

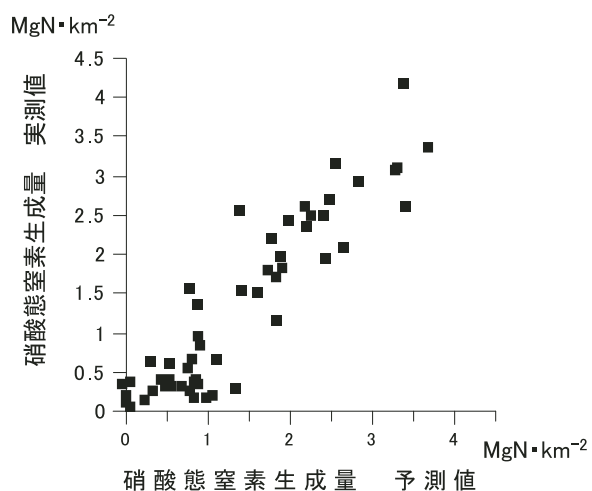


図 2 森林土壌における硝酸態窒素生成量の予測  
実測値はビン培養法により、予測値は重回帰分析により  
求めた。

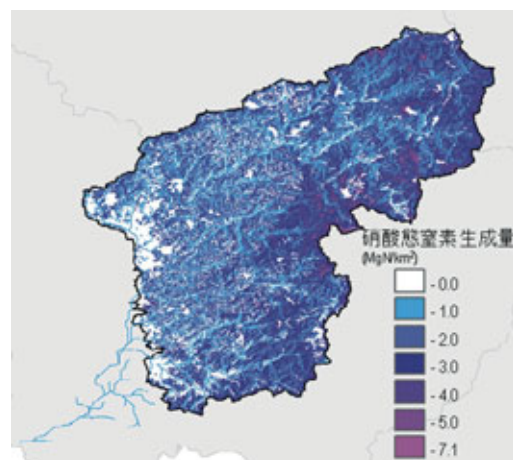


図 3 森林土壌中の硝酸性窒素生成量の分布図  
硝酸態窒素生成量の予測値を面積あたりに換算した (単位 :  
Mg N km<sup>-2</sup>)。

# 間伐による森林小流域からの窒素流出量の変化

[森林総合研究所]

## 研究の背景・ねらい

我が国の森林面積の約 40% を占める人工林では、健全な森を育成するために欠くことのできない間伐が、社会経済的な理由で大幅に遅れています。間伐によって林相が大きく変化すると、窒素の動態も変化すると考えられますが、間伐が渓流水の水量・水質に及ぼす影響を詳しく解析した報告はありません。この研究では、茨城県中部の森林小流域において間伐を行い、植物による窒素吸収の変化、土壌微生物による窒素無機化の変化、並びに流域からの窒素の流出量の変化を、間伐の前後で比較しました。

## 研究の成果

茨城県中部の森林小流域（約 2.3ha）に設置した桂試験地は、斜面中下部の約 1.0ha が約 40 年生スギ人工林で、それ以外の部分はアカマツが混じる落葉広葉樹二次林です。2003 年 12 月にスギ人工林において、本数率にして 33%、材積率にして 25% の間伐を実施し、伐採木は集材せずに林床に放置しました（写真 1）。間伐前後の 2003 年 1 月から 2005 年 12 月までの期間、樹木の窒素増加量、落葉落枝による還元量、樹木による吸収速度、土壌中の窒素無機化量を測定しました。また、間伐 2 年目の 2005 年には間伐した林床に草本が繁茂したため、間伐した場所と隣接する未間伐の場所の間で、草本中の窒素現存量を比較しました。

樹木の窒素吸収速度は材積間伐率とほぼ等しい率で低下し、小流域全体として窒素吸収量が約 14kg 低下しました（図 1）。一方、小流域全体として約 5kg の窒素が、間伐後に繁茂した草本に吸収されていました。土壌中の窒素無機化量は間伐前後で差が認められない（図 2）にもかかわらず、流域からの窒素流出量は 2004 年に 3.7kg 増加し、2005 年には 2003 年のレベルまで低下しました（図 3）。2004 年の窒素流入量はとくに高いわけではなく、むしろ 2005 年に高い傾向が認められており、2004 年における窒素流出量の増加は窒素流入量の増加によるものではありません（図 3）。

以上の結果から、間伐の前後で土壌の窒素無機化量は変化しなかったものの、樹木による吸収が間伐率に見合って低下したために窒素流出量が増加したと考えられます。間伐後 2 年目には、生育が盛んになった下層植生によって土壌中の過剰な無機態窒素が一時的に吸収された結果、窒素流出量が間伐前のレベルまで低下したと考えられます。

## 成果の活用

間伐による窒素流出の増加は比較的小さく、一時的であることが明らかです。この窒素流出を抑制する機能を維持するためには、林床の草本が生育できるように光環境を維持する必要があります。

## 問い合わせ先

森林総合研究所 吉永秀一郎

〒305-8687 つくば市松の里1、TEL：029-873-3211（代表）



間伐  
33% (本数)  
25% (材積)

間伐前 (2003年5月)

間伐直後 (2004年1月)

写真1 桂試験地における間伐前後の林相の変化

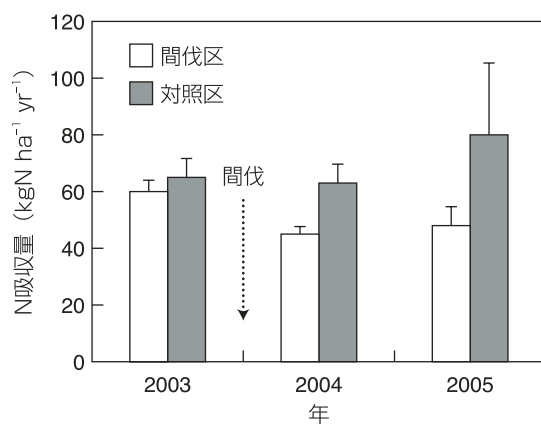


図1 窒素吸収量に対する間伐の影響

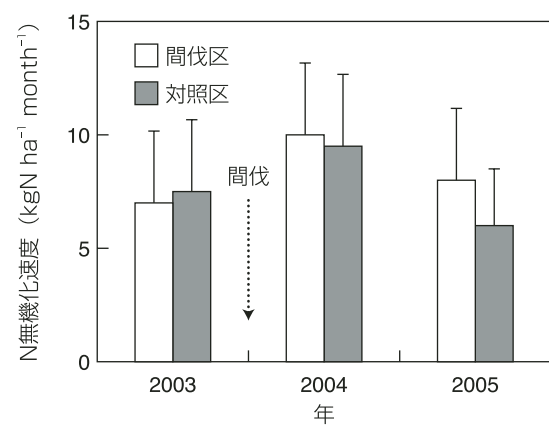


図2 窒素無機加速度に対する間伐の影響

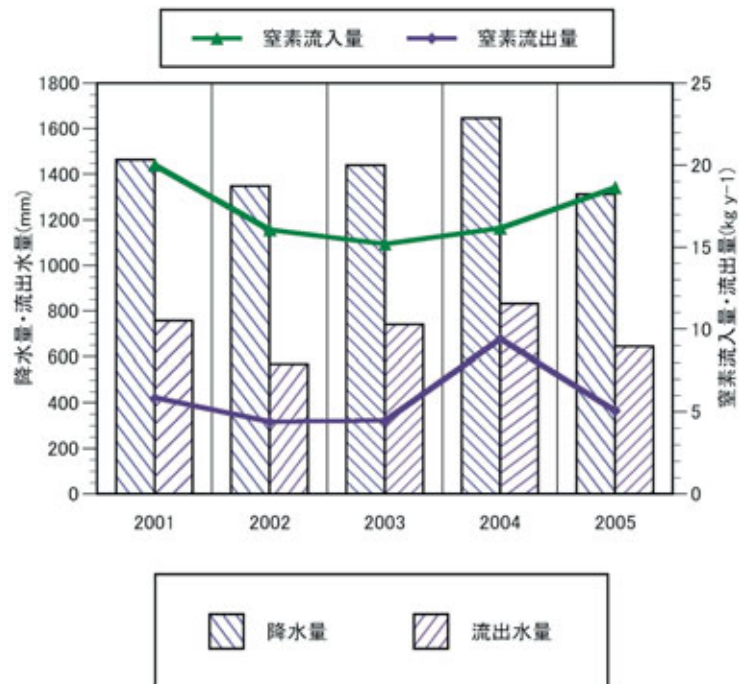


図3 森林域における窒素流入量・流出量の変化  
2003年12月に間伐した後、2004年に窒素流出量が増加した。

# 不攪乱大型土壌コア採取装置の開発とその応用

〔中央農業研究センター〕

## 研究の背景・ねらい

畑地の養分管理が不適切だと窒素成分が地下に流れて（溶脱）、地下水を汚染する恐れがあります。これまでは詰め直した土壌を用いて窒素の溶脱を調べていましたが、それでは土壌構造や層位が元の畑とは全く違うものになってしまいます。この研究では、畑から土壌を丸ごと取ってきて（不攪乱土壌）、養分が地下に移動する様子を自然に近い状態で調べる方法を開発しました。また、土壌タイプや肥培管理が窒素溶脱に及ぼす影響を解析するための数理モデルを開発し、作付け毎の肥培管理が浸透水の硝酸性窒素にどのように影響するのかを理解することができるようになりました。

## 研究の成果

作物が栽培可能な大型土壌コアを採取できる装置を開発しました。この装置はトラクタ後部に装着して動力取り出し軸から動力を得る仕様なので、どのメーカーのトラクタにも取付けられます（写真1）。直径30cm長さ100cmの土壌コアを採取するには、3人で作業した場合、黒ボク土で約20分、赤色土で約90分、砂丘未熟土では約2分しかかかりませんでした。

次に、この不攪乱大型土壌コアを用いて硝酸性窒素等の溶脱をモニタリングするための施設を作製しました。土壌コアを通過した浸透水がスムーズに排出されるように、毛管排水を促すなどの工夫がされています（図1）。このような施設はモノリスライシメータと呼ばれています。

次に、土壌中では化学形態が変化しない臭化物イオン（ $\text{Br}^-$ ）を硝酸性窒素のトレーサとして用いて、モノリスライシメータによる溶脱試験を行いました。 $\text{Br}^-$ の浸透特性と窒素収支から浸透水中の窒素濃度を推定するために、ガンマ確率密度分布関数を基本にした数理モデルを開発しました。このモデルを用いると、化成肥料や堆肥を施用した黒ボク土における浸透水中の窒素濃度をほぼ精度良く推定することができました（図2）。シミュレーション結果から、初年目10月までの溶脱窒素は試験前の施肥来歴によるものであり、3年目の窒素濃度上昇は前年度の夏作と冬作の影響が重なったためであることなどが分かりました。

## 成果の活用

この研究で開発した装置は、土壌タイプや肥培管理が窒素溶脱に及ぼす影響を解析するための試験に活用できます。

## 問い合わせ先

中央農業総合研究センター 竹中 眞

〒305-8687 つくば市観音台3-1-1、TEL：029-838-8828



図1 トラクター3点リンクへの不攪乱大型土壌コア採取装置の接続

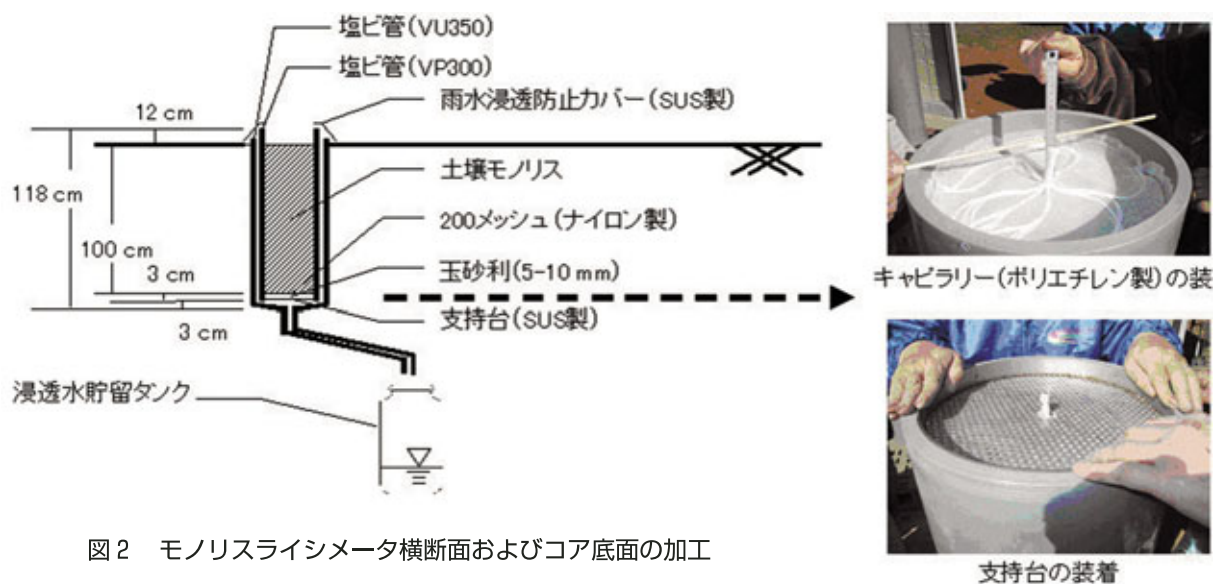


図2 モノリスライシメータ横断面およびコア底面の加工

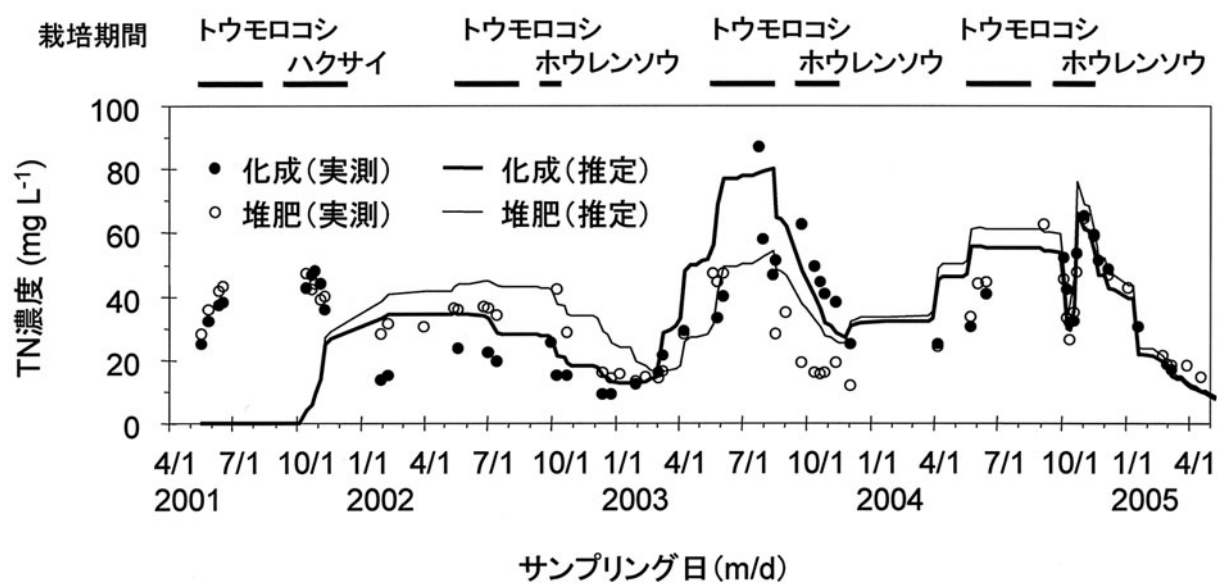


図3 浸透水TN 濃度推定モデルの黒ボク土への適用

# 矢作川流域における面源からの窒素流出ポテンシャルの推定

〔農業環境技術研究所〕

## 研究の背景・ねらい

窒素は水域の生態系を維持するために欠くことの出来ない元素です。しかし、三河湾のような閉鎖性水域へ過剰に流入すると、富栄養化の原因になります。富栄養化を抑制・改善するためには、点源（工場・事業所など）に比べて流出実態が不明確で制御が困難な面源（森林・農地・市街地）の対策が必要と考えられます。ここでは、矢作川流域における窒素発生量および窒素流出ポテンシャルを推定し、霞ヶ浦周辺の小集水域で得られた同様の結果と比較しました。

## 研究の成果

農地では肥料・家畜排泄物の施用が、市街地では人の生活に伴って排出されるし尿・生活雑排水が、主な窒素の発生源と考えられます。そこで、各種の統計資料に基づいて1950年以降の窒素発生量を推定した結果、生活由来の窒素が最大であり、人口増加に伴い大きく増加していることが分かりました（図1）。家畜排せつ物由来の窒素は畜産業の縮小に伴い漸減する傾向にあり、施肥由来の窒素は、茶園・施設栽培では増加しているものの、全耕地面積の減少に伴い全体として減少する傾向にあることが分かりました（図1）。

農地・市街地における窒素発生量に降水由来の窒素を加え、様々な排水処理によって除去される窒素を除き、施肥窒素の作土層からの溶脱率等を考慮して、窒素流出ポテンシャルを推定しました（図2a）。1975年と2000年を比較すると、生活由来のポテンシャルの占める割合が高まっています（図2a、右）。また、霞ヶ浦周辺の小集水域におけるポテンシャルと比較すると、面積当たりのポテンシャルは矢作川流域の方が低いけれども、生活由来のポテンシャルは矢作川流域の方が著しく高いことが分かりました（図2a、b）。

また、矢作川流域内の長期的な気象データ（岡崎）から降雨量と蒸発散量を算出して、浸透水量（降雨－蒸発散）を求めました。農地由来および降雨由来の窒素流出ポテンシャルの合計を農地面積当たりに換算したのち、浸透水量（降雨－蒸発散）で割り算することにより、農地直下の浸透水中窒素濃度を推定し、旧市町村単位の分布図を作成しました（図3）。1975年と2000年を比較すると、窒素による地下水の汚染リスクが高い市町村が減少していることが分かります。

## 成果の活用

矢作川流域から三河湾への過剰な窒素流入を抑制するためには、生活由来の窒素流出を削減することが大切であり、農業については環境保全型農業を一層推進し、施肥や有機物管理を適正に行う必要があります。

## 問い合わせ先

農業環境技術研究所 坂西 研二

〒305-8604 つくば市観音台3-1-3、TEL：029-838-8326

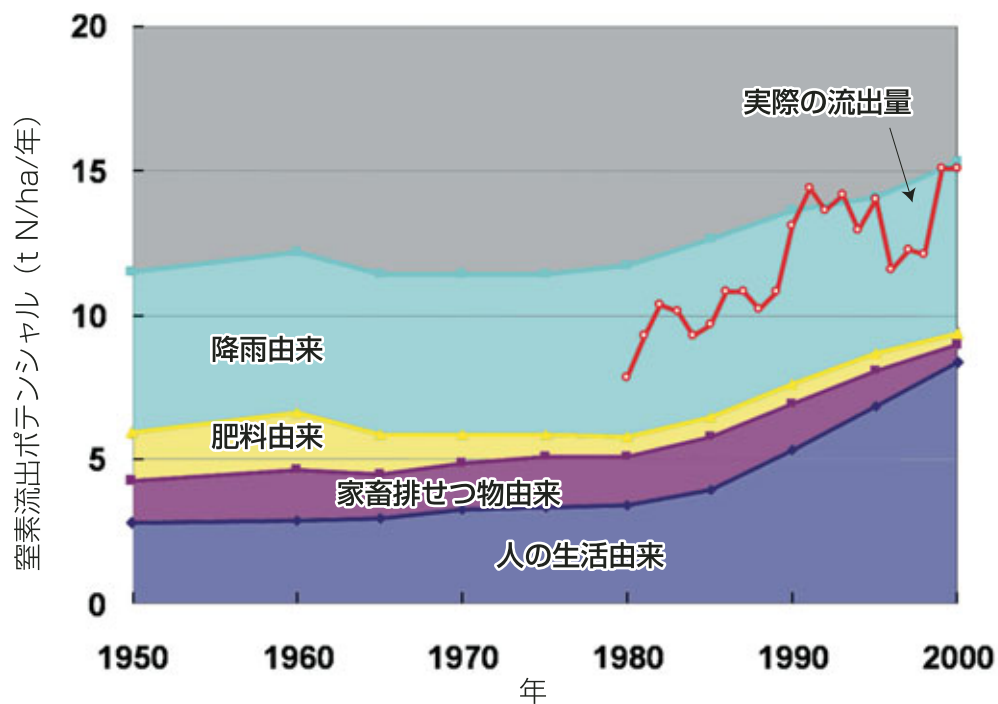


図1 矢作川流域における窒素流出ポテンシャルの推移

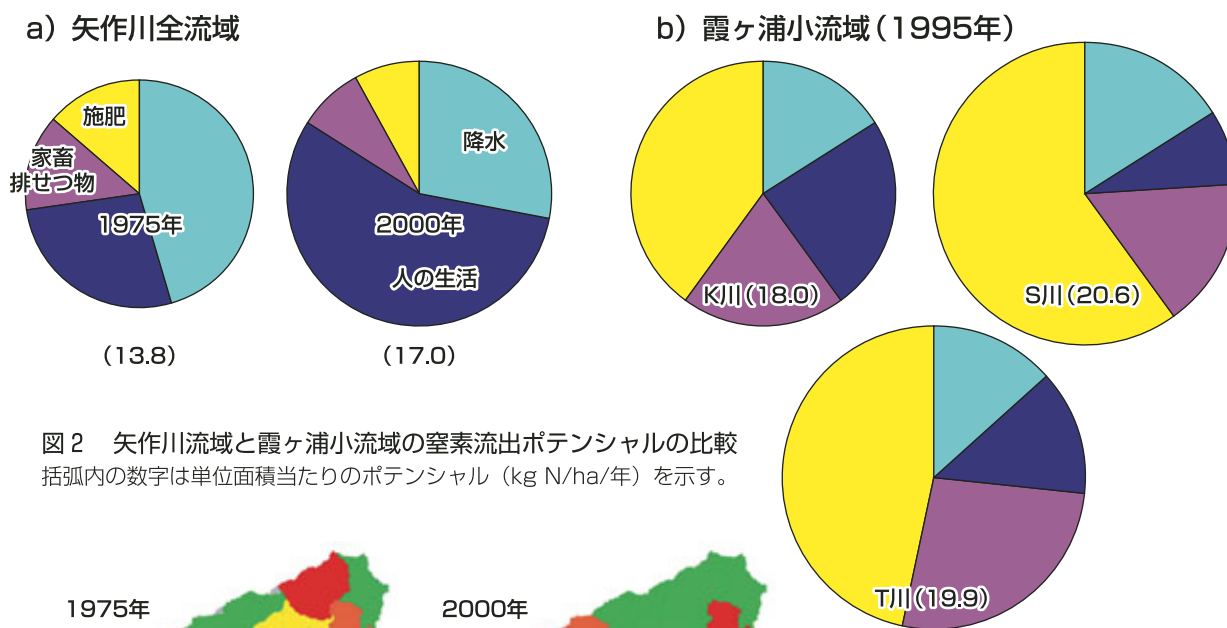


図2 矢作川流域と霞ヶ浦小流域の窒素流出ポテンシャルの比較  
括弧内の数字は単位面積当たりのポテンシャル (kg N/ha/年) を示す。

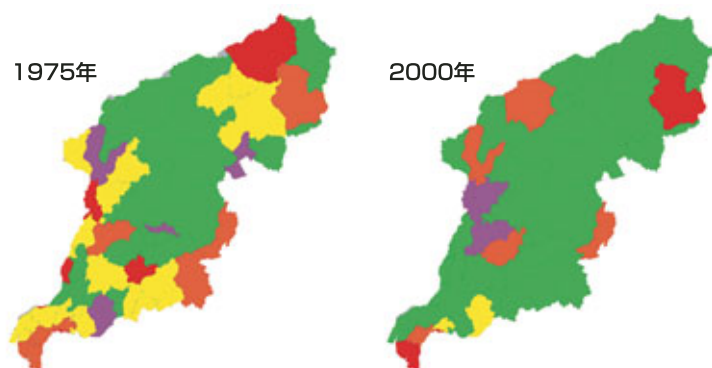


図3 農地直下の地下水中窒素濃度の分布図  
浸透水中の窒素濃度を5段階に区分し、矢作川流域の旧市町村単位で着色して示す  
(赤、>15ppm；オレンジ、>10ppm；ピンク、>8ppm；黄色、>5ppm；黄緑、5ppm)。

# 台地上の茶園に囲まれた水田群では脱窒が局所的に起きている

〔愛知県農業総合試験場・農業環境技術研究所〕

## 研究の背景・ねらい

洪積台地につながる沖積低地では、浅層地下水中の硝酸性窒素濃度が低いことが分かっており、脱窒が起きている可能性が高いと考えられます。しかし、実際にどの場所でどのような条件が整えば、脱窒が起きるのか不明でした。この研究では、洪積台地から沖積低地への地下水の流れに伴い、脱窒が局所的に起きていることを明らかにしました。

## 研究の成果

洪積台地上の茶園に隣接した水田群を選定して、観測井戸を設置しました。この水田群は北側を矢作川、三方を台地に囲まれており、地形は南東から北西方向に傾斜しています（図1、○で囲った数字は観測地点の番号）。調査地の土層分布は、土壌貫入抵抗調査により明らかにしました（図1）。この方法は、5kgの重りを50cmの高さから自由落下させ、10cm貫入させるのに要した打撃回数（Nd）を鉛直方向に連続的に測定するものです。得られたチャートの砂質土層（帯水層）と粘質土層（難透水層）の標高を繋ぐことで、水脈の区分と流れ方向を確認しました（図3）。

下層土の脱窒能、地下水中の硝酸性窒素濃度、その窒素安定同位体自然存在比を測定した結果、地点4の地下2.0～2.5mおよび地点5の地下0.5mで、明らかに脱窒が起きていました（図1・2）。これらの地点は洪積土壌と沖積土壌の境界付近にあり、他の地点では脱窒が認められないことから、脱窒は局所的に起きていると考えられます。

また、井戸内水位の標高が地点T2から地点5の方向に低くなっていたことから、地下水が東から西へ流れていることが明らかとなりました。さらに、深さ別井戸の水位データから、地点5の1.0～2.0mを流れる地下水は地点5の0.5mより水位が高いため、一部は上向きの流れとなって上層へ浸透すると考えられます（図3、白抜き矢印）。この地下水の流れと井戸水の水質ヘキサダイアグラムにより、浅層地下水の水質特性を明らかにしました。すなわち、同じ水脈の井戸水では、陽イオン組成に大きな差違が認められませんが、地点5付近では陰イオン組成のうち硝酸イオン（ $\text{NO}_3^-$ ）と重炭酸イオン（ $\text{HCO}_3^-$ ）の比率のみが異なるので、脱窒の有無が判定できます。すなわち、茶園から砂質土層へ移動した硝酸性窒素は、水田下層を通過する過程で除去されることが明らかです（図3）。

## 成果の活用

洪積台地上の茶園に隣接した水田群において、脱窒が起こる場所は洪積土壌と沖積土壌の境界付近に局在しているので、その場所を適切に管理することが大切です。

## 問い合わせ先

農業環境技術研究所 坂西 研二

〒305-8604 つくば市観音台3-1-3、TEL：029-838-8326

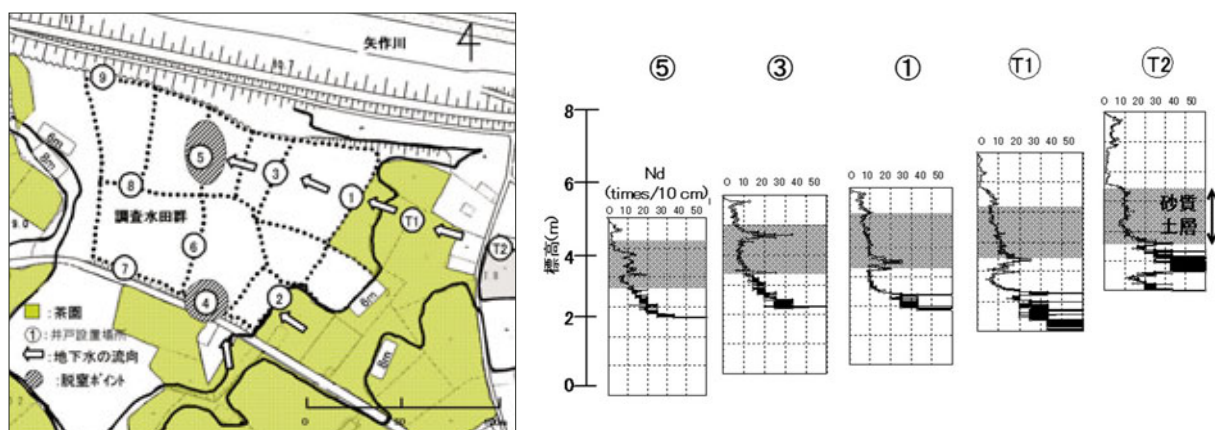


図1 調査の概要および土壌貫入抵抗調査

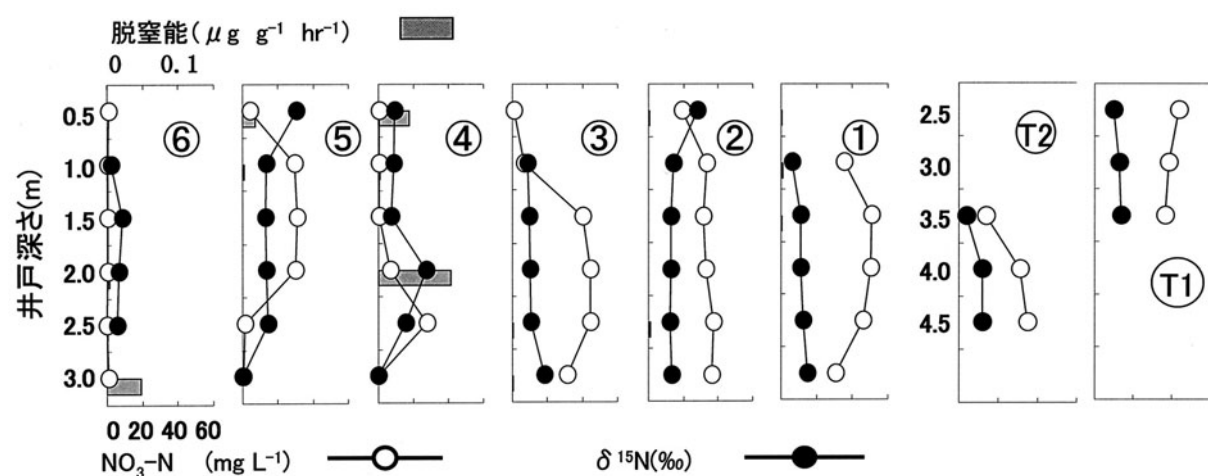


図2 水田下層土の脱窒能と地下水中の硝酸性窒素濃度、及び安定同位体自然存在比

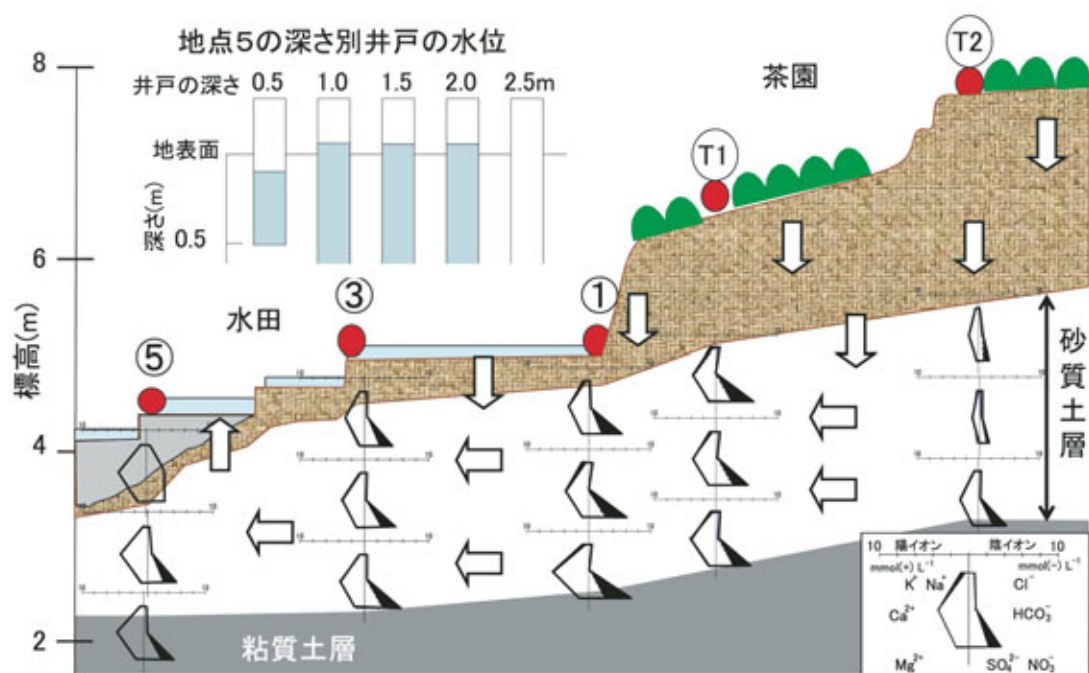


図3 茶園-水田地形連鎖系における土層構造、地下水の流動、及び水質ヘキサダイアグラム

# 冬期掛け流し灌漑により硝酸性窒素除去を行う場合の必要水田面積の算出法

## 〔静岡県農業試験場〕

### 研究の背景・ねらい

台地上に茶園がある地域では、過去に行われた多量の施肥によって茶園下の深層に集積した高濃度の硝酸性窒素が河川へ流出し、大きな問題になっています。こうした河川水の窒素を除去するために、水田・休耕田の脱窒機能を活用することが有効です。河川水へは年間を通して一定の硝酸性窒素の負荷があるため、これまで未検討であった冬期についても、河川水を水田・休耕田に灌漑（かんがい）して窒素を除去することを考える必要があります。この研究では、冬期における休耕田の窒素除去特性に着目して、水質浄化のために必要な水田面積の算出法を提案しました。

### 研究の成果

休耕田の通年掛け流し灌漑によって河川水から硝酸性窒素の除去を図る場合（写真 1）、表面流去水中での脱窒作用による除去能力は低温期に低下します（図 1）。これに対して、滞留時間が長い降下浸透水中での除去能力は温度に関わらず安定しており、水温が 2 ～ 40℃の範囲では、硝酸性窒素濃度は環境基準値以下となることが分かりました（図 1）。

また、降下浸透水中での窒素の除去は年間の全窒素除去量の 33%を占めており（図 2）、この降下浸透の影響は無視できません。むしろ、温度の低下による除去速度の低下がみられないため、冬期においては、降下浸透水中での窒素除去の寄与が相対的に大きくなります。

そこで、冬期において、水質浄化のために水田に河川水を灌漑した場合を想定し、降下浸透の影響を考慮した、浄化に必要な水田面積を算出する推定式を作成しました。推定式の詳細に関する説明は省略しますが、灌漑水の水量、硝酸性窒素濃度、水温、灌漑する水田の降下浸透速度、水田通過後の硝酸性窒素濃度（設定値）を入力することで、設定値まで田面水中の窒素濃度を低下させるために必要な水田面積を算出することができます（図 3）。この推定式の精度を検証するためにシミュレーションを行った結果、写真 1 の試験地で水温が 2 ～ 37℃の範囲では、表面流去水の硝酸性窒素濃度を満足のいく精度で予測できることが分かりました。

### 成果の活用

水田・休耕田を活用した水質浄化対策の立案に活用できます。この推定式の作出に用いた各パラメータの範囲は河川の窒素濃度（18 ～ 33mgNL<sup>-1</sup>）、水田面積（17 ～ 50m<sup>2</sup>）、河川水の流入量（0.2 ～ 10m<sup>3</sup>/d）、水温（2.4 ～ 37℃）です。

### 問い合わせ先

中央農業総合研究センター 竹中 眞

〒305-8666 つくば市観音台3-1-1、TEL：029-838-8828



写真1 休耕田の掛け流し灌漑による硝酸性窒素除去試験

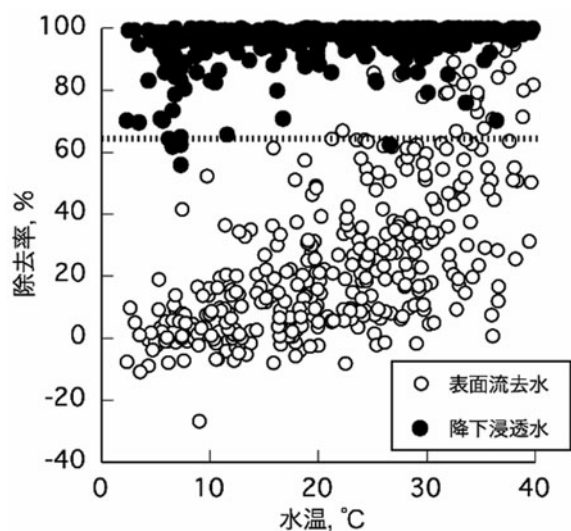


図1 表面流去水と降下浸透水の窒素除去率の温度依存性

流入水の硝酸性窒素濃度は8年間の平均で $27\text{mg L}^{-1}$ 。破線は硝酸性窒素濃度が $10\text{mg L}^{-1}$ となる除去率。除去率 = (流入水の硝酸性窒素濃度 - 流出水の硝酸性窒素濃度) / (流入水の硝酸性窒素濃度)。

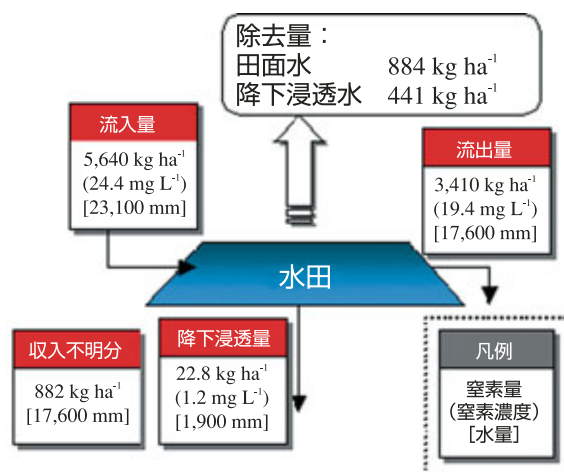


図2 休耕田での窒素収支

2004年4月～2005年3月の計364日の水および窒素の収支。

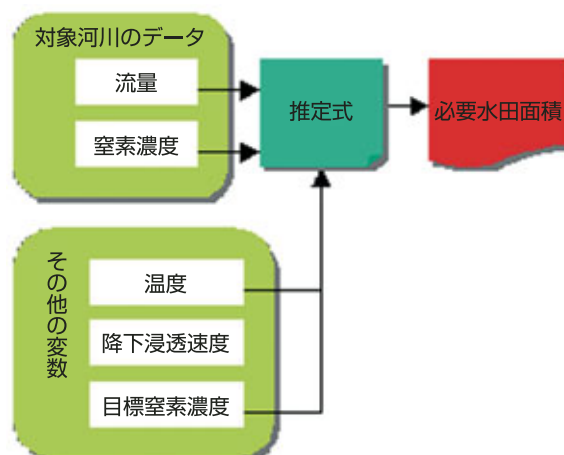


図3 必要面積の算出の概念図

対象河川に関する2つのデータとそれ以外の3つの変数から水田の必要面積が算出できます。

# 広島湾における低次生産構造と窒素循環の全体像

〔瀬戸内海区水産研究所〕

## 研究の背景・ねらい

森林・農地・市街地から河川を通じて沿岸域へ負荷された栄養塩類は、植物プランクトンや海藻類などの基礎生産者に取り込まれ、食物網によって高次の生産者に受け渡され、その一部は漁獲等により再び陸へと循環します。しかし、沿岸域では藻場、干潟、海水中、海底などで複雑かつ固有の生産・分解が行われており、その実態は不明でした。この研究では、広島湾を対象として、プランクトン、藻場、干潟、カキ養殖場などの生産力や浄化機能を把握し、負荷された栄養塩類の循環経路と収支を明らかにしました。

## 研究の成果

広島湾における藻場面積は合計で 101ha（アマモ場 78ha、ガラモ場 21ha、その他の藻場 2ha）でした（表 1）。海藻および海草の年平均現存量はアマモ場、ガラモ場、その他の藻場でそれぞれ 0.1、1.3、0.4kgDW/m<sup>2</sup>と推定され、草・藻体の窒素含量を 2% として計算した年間の窒素固定量は 24.2ton でした。一方、これまで全く不明であった浮遊性アオサの分布量を調査した結果、現存量は 3,473ton と非常に多く、年間窒素固定量は 93ton に達すること、この値は藻場のほぼ 3 倍に相当することが明らかになりました（図 1）。

広島湾はマガキの養殖が盛んであり、近年の水揚げ量は 2 万トン（むき身重量）前後で推移していることから、湾内の窒素固定および陸への循環にとってマガキは極めて重要な生物です。漁獲統計や聞き取り調査等の結果から、広島湾における養殖マガキ現存量は窒素換算で年間およそ 445ton と見積もられ、うち 286ton が漁獲として採り上げられることが明らかとなりました（図 2）。また、産卵期間中に環境水中に放出されるマガキ幼生は窒素に換算して年間 186ton に達し、このうち約 40ton が他海域への拡散・移流として系外へ流出することが明らかとなりました。さらに、生育過程において偽糞等により年間 1,300ton が水中に放出され、また死亡等によって 100ton が海底に沈降するものと見積もられました。

一方、天然のマガキについても航空写真や現地調査によって現存量を推定し、年間 1,350ton（窒素換算で 20ton）にのぼることを明らかにしました。これは養殖マガキの 4% 強に相当し、湾内の物質循環に及ぼす天然マガキの影響は少ないといえます。

以上のデータを基に、ボックスモデルによって輸送フラックスを解析し、広島湾北部海域を中心とした窒素循環と収支を取りまとめました（図 3）。

## 成果の活用

広島湾北部海域に流入した窒素の大部分は植物プランクトンに取り込まれますが、さらに高次の生産者（魚・貝等）に利用される割合は小さいと考えられます。

## 問い合わせ先

北海道水産研究所 福田 雅明

〒085-0802 釧路市桂恋 116、TEL：0154-92-1717

表1 広島湾における類型別藻場の現存量、生産量、窒素吸収量

|     | 藻場タイプ | 優占種    | 面積<br>(ha) | 年平均現存量<br>(kgDW/m <sup>2</sup> ) | 総現存量<br>(DW ton) | 生産量<br>(DW ton) | 窒素吸収量<br>(N ton/year) |
|-----|-------|--------|------------|----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| 湾北部 | アマモ場  | アマモ    | 34         | 0.1                              | 63               | 272             | 5.4                   |
|     | ガラモ場  | ノコギリモク | 2          | 1.3                              | 46               | 55              | 1.1                   |
|     | その他   | フサイワズタ | 2          | 0.4                              | 12               | 12              | 0.2                   |
|     | 小 計   |        | 38         | 1.8                              | 121              | 339             | 6.7                   |
| 湾中部 | アマモ場  | アマモ    | 44         | 0.1                              | 88               | 352             | 7                     |
|     | ガラモ場  | ノコギリモク | 19         | 1.3                              | 437              | 524             | 10.5                  |
|     | その他   | フサイワズタ | 0          | 0.4                              | 0                | 0               | 0                     |
|     | 小 計   |        | 63         | 1.8                              | 525              | 876             | 17.5                  |
|     | 合 計   |        | 101        | 3.6                              | 646              | 1,216           | 24.2                  |

環境庁による海域生物環境調査報告書（1994年3月 環境庁自然保護局）の藻場のタイプ別面積と、瀬戸内水研の現存量調査などの結果を合わせて藻場の窒素吸収量を推定した結果、藻場による年間窒素固定量は24.2トンにのぼることが分かりました。

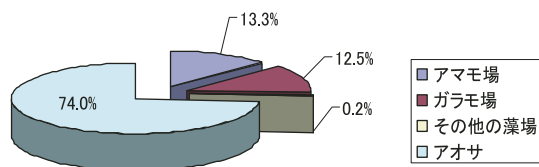


図1 広島湾における藻場および浮遊アオサによる年間窒素吸収量の相対比率

浮遊性アオサ類の分布実態調査を行ったところ、年間窒素固定量は93トンに達し、他の藻場のほぼ3倍に達することが明らかとなりました。

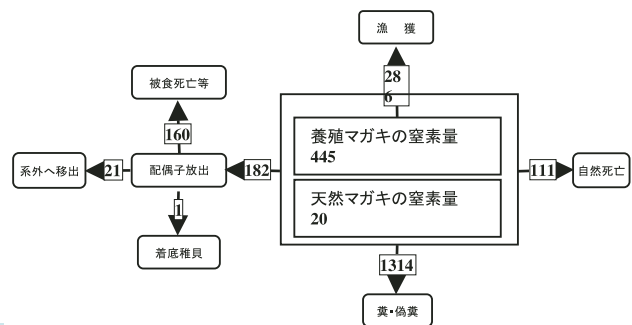


図2 広島湾におけるマガキを介した窒素のうごき（数値は年平均；トン）

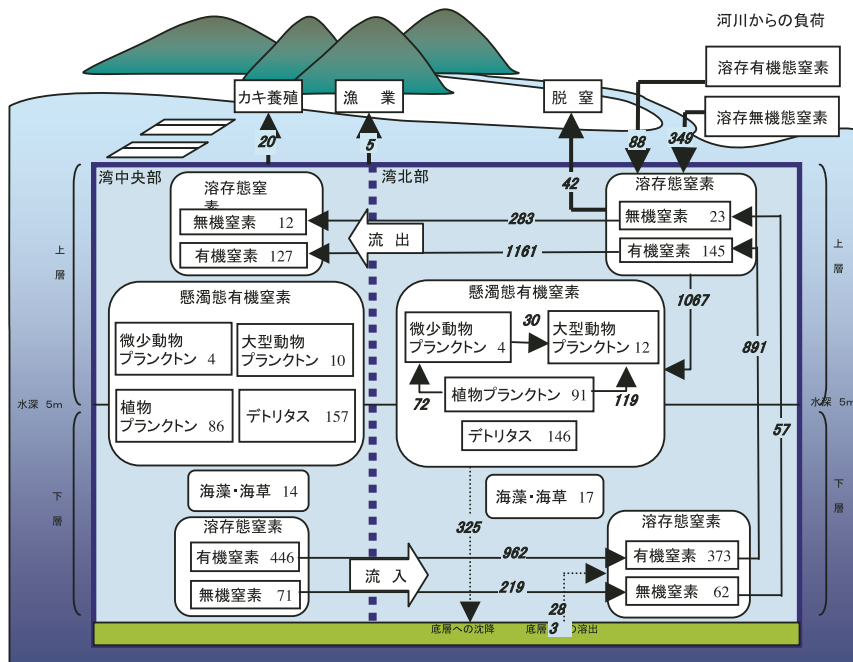


図3 広島湾における窒素循環過程の模式的推定図

広島湾における栄養塩濃度および、プランクトン、海藻、海草、マガキ等の現存量と生産速度等を把握し、窒素の循環過程を明らかにして、各生物の年間平均現存量（枠内数値；ton N）と循環する窒素の月平均フラックス（斜体文字；ton N/月）を推定し

# 矢作川水系の自然循環機能に基づく知多湾生態系の予測・管理手法

[中央水産研究所・愛知県水産試験場]

## 研究の背景・ねらい

森林・農地・市街地から河川へ流出した栄養塩類は、上流域から河口域までの生物過程や漁獲によって除去されます。しかし、栄養塩類の負荷量が除去機能を上回るか、何らかの理由で除去機能が劣化すると、貧酸素水塊や赤潮が発生して湾内の生態系に深刻な影響を及ぼします。この研究では、矢作川と知多湾を対象として、栄養塩類の負荷量をモニタリングし、河川内のアユと河口域のアサリ・ノリによる除去機能を定量化しました。さらに、知多湾の低次生態系モデルを構築して、流出負荷の変動に伴う湾内の水質変動を予測し、湾内の生態系を最適に維持する方法を提案しました。

## 研究の成果

2000年から、矢作川河口において、栄養塩類の負荷量をモニタリングしました。リンは懸濁態での負荷が多いため、河川流量による変動が大きく、とくに2000年9月の東海豪雨時には、豪雨後1週間の負荷量が年間総負荷量の6割に達しました(図1)。一方、窒素は溶存態での負荷が多く(図1)、下流域の支流からの負荷が多いことが分かりました(図2)。以上の結果から、窒素濃度の低い本流の流量が低下したり、湾内の海水交換率が低下したりすると、知多湾内に貧酸素水塊や赤潮が発生する可能性が高くなります。すなわち、豪雨・渇水のような気象変動、ダム操作等による河川負荷量の変動によって、知多湾内の水質は大きな影響を受けると考えられます。

そこで、河川負荷量の変動に伴う湾内水質の変動を予測するために、矢作川からの負荷を直接組み込んだ知多湾の3次元低次生態系モデルを開発しました。例年、湾奥部西部の低層では夏季に貧酸素水塊が発生しますが、モデルによる負荷応答実験で河川流量の最小値が $20\text{m}^3/\text{s}$ を下回らないように調整したところ(負荷量は調査結果をもとに流量から換算)、溶存酸素濃度が $3\text{mg/L}$ 未満の貧酸素水塊の発達が抑制されることが分かりました(図3)。また、負荷応答実験により、流量を $10\text{m}^3/\text{s}$ 以上維持しないと秋冬季の湾奥部での珪藻赤潮の発生頻度が増大することが分かりました。

夏季(6～10月)の貧酸素水域面積とアサリ漁獲量(美浜漁協)との間(図4)に、また秋冬季(10～12月)の赤潮発生延べ日数とノリ生産量との間(図5)に明瞭な負の相関関係があることから、知多湾のアサリとノリの持続的生産には矢作川の流量を維持・管理する必要があります。

## 成果の活用

矢作川の生物生産を維持し、これらの生物生産と漁獲によって負荷物質を除去するためには、矢作川の流量を維持・管理することが大切です。

## 問い合わせ先

北海道区水産研究所 福田 雅明

〒085-0802 釧路市桂恋116、TEL: 0154-92-1717

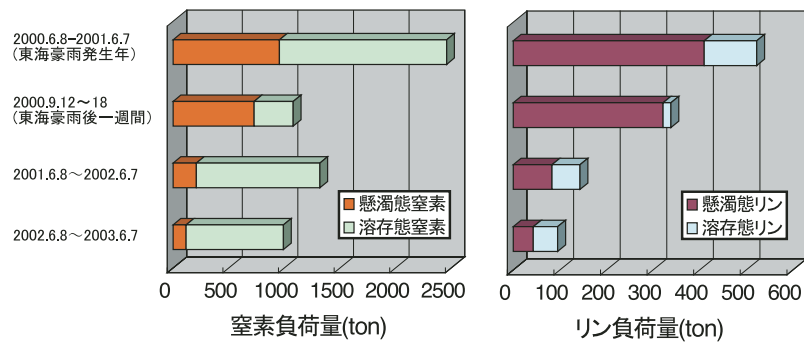


図1 矢作川から知多湾へのリン・窒素の年間負荷量

2000年から継続している矢作川～知多湾のモニタリング調査により、窒素、リン等の栄養物質の負荷量は年々変動しており、特に、東海豪雨の際には、豪雨後わずか1週間で年間負荷量の半分程度を占める負荷が知多湾にもたらされたことが分かりました。

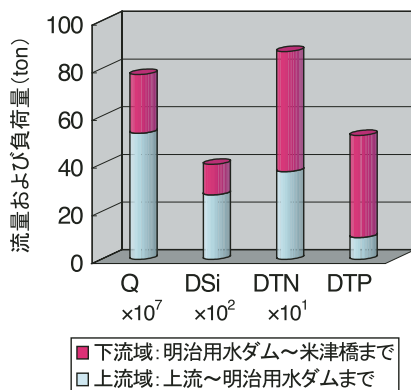


図2 矢作川における上流域と下流域の負荷量  
(2002年6月～2003年6月). Q: 河川流量, DSi: 溶存態ケイ素, DTN: 溶存態窒素, DTP: 溶存態リン.

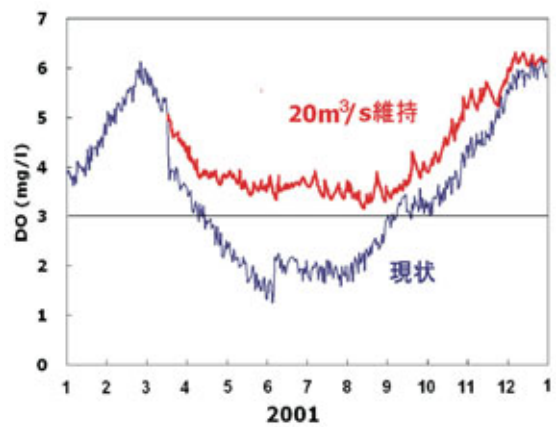


図3 モデル応答実験による知多湾奥西部の低層における溶存酸素量の変動特性.  
現実の流量を与えた場合と、流量の最小値が20m<sup>3</sup>/sを下回らないように設定した場合の比較(2001年の場合)。

矢作川モニタリング調査により、上流域と下流域で負荷物質の量と組成が異なることが分かりました。

モデル実験により、最小河川流量を維持することで貧酸素水塊の発達が抑制されることが示されました。

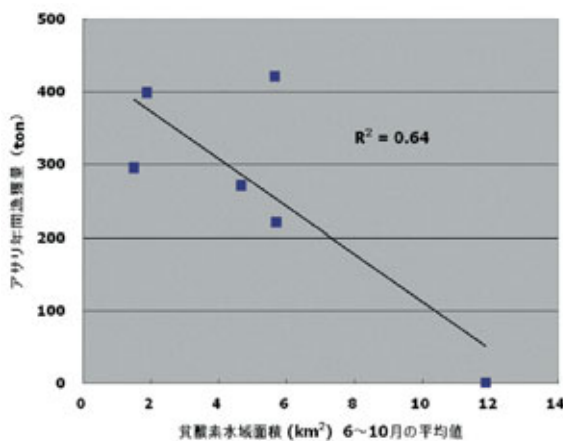


図4 知多湾のアサリ漁獲量と貧酸素水域面積との関係  
(1993～2002年, 2000年は除く)。

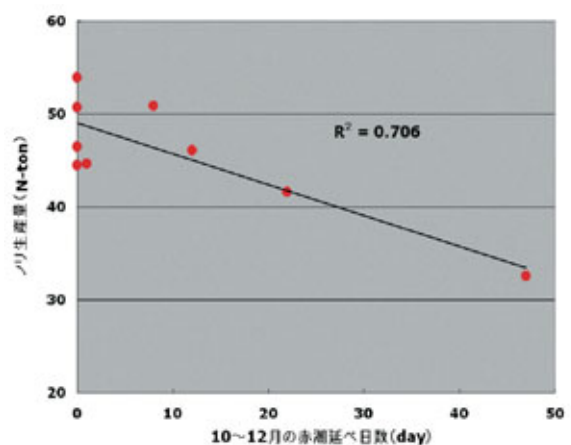


図5 知多湾のノリ生産量と赤潮発生日数との関係  
(1993～2002年, 2000年は除く)。

各種統計資料を解析した結果、夏季に貧酸素水域が大きく発達するとアサリの漁獲が悪く、秋冬季に赤潮の発生が多いとノリの生産が落ちることが分かりました。

## 森林・農地から流入する物質が河口・沿岸域の生物生産を支えている

[北海道区水産研究所・北海道大学]

### 研究の背景・ねらい

河口・沿岸域の豊かな生物生産は、森林・農地から流入する物質が生態系内を循環することによって支えられています（図1）。河口・沿岸域の生物生産を健全に維持するためには、流入物質の質・量を適切に管理する必要があります。この研究では、流入物質がこの水域の生物生産に繋がる経路と、重要な水産資源である二枚貝類（アサリ・ウバガイ）が流入物質を利用する経路とを明らかにし、生物の側からその影響を評価しました。

### 研究の成果

森林・農地から河口・沿岸域に流入する物質は無機栄養塩類と溶存態・粒状態の有機物に分けられます（図1）。これらの流入物質は植物プランクトンなど微細藻類と微生物群集とによって低次生産に利用され、粒状態の有機物は海水中の微生物群集によって速やかに分解されました（図2）。

次に、河川の河口域に広がる干潟や汽水湖沼を調査した結果、森林・農地から流入する栄養塩類は、まず微細藻類の生産に利用され、これがアサリの高い生産性を支えていることが分かりました。干潟では泥表面の底棲珪藻が、汽水湖沼ではアマモなど海草の付着珪藻類が主要な微細藻類であり、アサリの消化管内容物中にも含まれていました。また、沿岸砂浜のウバガイの安定同位体比を測定した結果、底棲珪藻類が主な餌料源であることが示唆されました（図3）。

また、二枚貝類の消化管内容物を顕微鏡観察すると、微細藻類の量は無定形の有機物であるデトリタスより少量でした（図4）。海水中には、微細藻類の他に、細菌や微小動物プランクトンなどの微生物類とデトリタスとが集まった粒子が存在します（写真1）。アサリの消化管内容物からも細菌や微小動物プランクトンの遺伝子が検出されているので、これらの微生物を含む複合生物粒子も二枚貝類など濾過食ベントスの餌料源となっていると考えられます。

以上の結果から、1）河口・沿岸域に流入する物質のうち無機栄養塩類は微細藻類によって有機物に再生産されてから二枚貝類によって餌として利用されること、2）河口・沿岸域に流入する有機物は直接二枚貝類の餌にはならず、微生物群集による分解作用を経て河口・沿岸海域の生物生産系に組み込まれていくことが示されました。

### 成果の活用

森林・農地から河口・沿岸域に流入する物質を基点として、二枚貝類の生産に至る食物連鎖の経路を確保しつつ、干潟の保全・再生に取り組む必要があります。

### 問い合わせ先

北海道区水産研究所 福田雅明

〒085-0802 釧路市桂恋116、TEL：0154-92-1717

河川からの流入物質 → 沿岸海域の生物生産

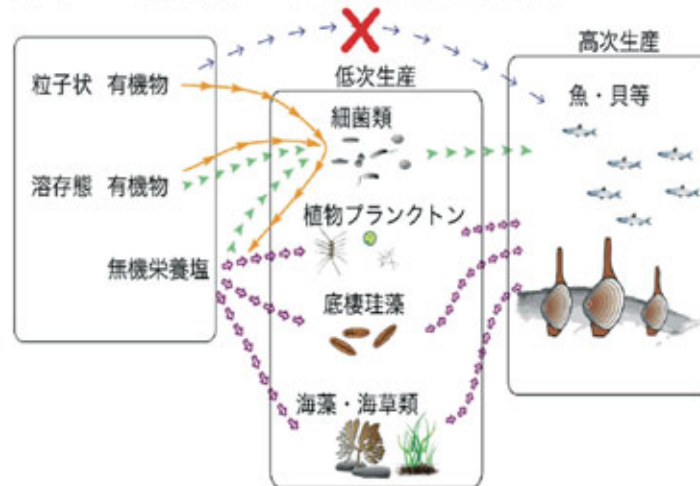


図1 陸域起源物質の河口・沿岸海域生物群集による利用の形態

物質は生態系内を複数の経路で流通・循環し、陸起源物質は海域低次生産機構の分解・合成プロセスを経由して二枚貝類の生産に貢献する。

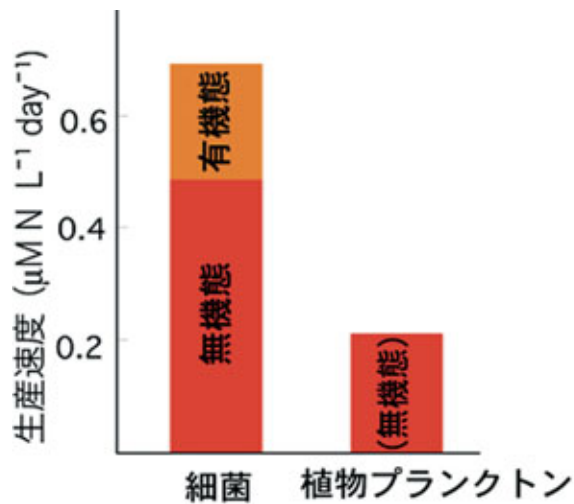


図2 海水中の細菌・植物プランクトンの生産速度と窒素の取り込み形態

細菌は無機態窒素を利用して菌体生産を行い、生産速度は植物プランクトンを上回る。

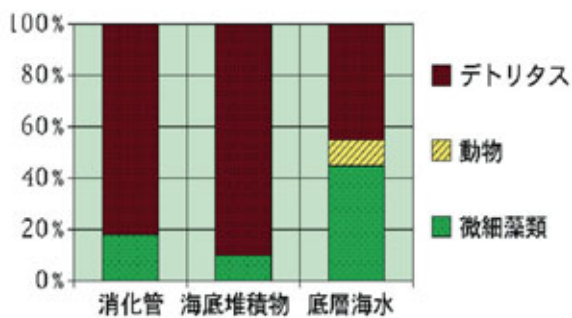


図4 浜中湾産ウバガイの消化管内容物

植物プランクトンなど微細藻類は少なく、デトリタスが多い。

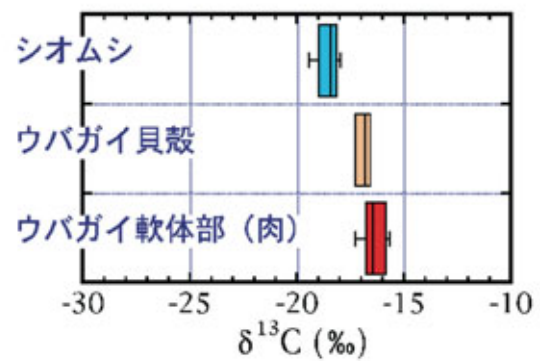


図3 浜中湾産ベントスの炭素安定同位体比 δ<sup>13</sup>C 値

ウバガイ・シオムシ等のベントスの値は付着珪藻：-15～-20‰に近く、陸上植物の値：-30～-23‰からは隔たっている。

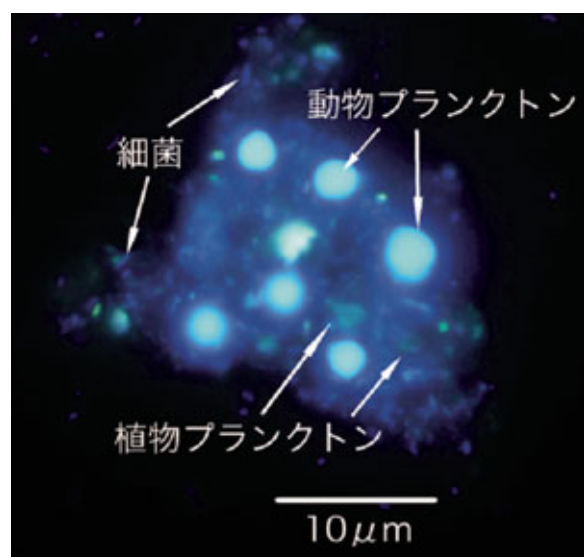


写真1 微生物が集めた粒子

植物プランクトンの他、細菌や動物プランクトンが多数含まれる (DNA 蛍光染色)

●問い合わせ先

---

主 査 農業環境技術研究所 齋藤雅典  
〒305-8604 つくば市観音台3-1-3、TEL：029-838-8300

推進責任者 農業環境技術研究所 菅原和夫  
〒305-8604 つくば市観音台3-1-3、TEL：029-838-8322

○注意事項 本資料に収録した成果などの無断転用は固く禁止いたします。また、本資料の  
3～6頁は「森林の水・土・空気をまもる（森林総合研究所、2006）」に準  
拠しています。