

地形・地目連鎖系における窒素動態と 窒素流出負荷の低減（2）

静岡県農業試験場 海岸砂地分場

主任研究員 宮地直道

4. 水田・休耕田での水質浄化

静岡県では長年茶園の広がる台地からの湧水に由来の河川水が、水田の灌漑水として利用されてきた。水田には脱窒により灌漑水中の硝酸態窒素を窒素ガスに変える水質浄化機能がある。脱窒は土壌中の微生物（脱窒菌）が硝酸態窒素を亜硝酸に変え、さらに亜酸化窒素を経て無害な窒素ガスに変えることにより生じる。この脱窒による単位時間あたりの窒素除去量は、実際の水田での観測値やモデル試験の結果から、流入水中の硝酸態窒素濃度が増加するのに比例して大きくなることが知られている¹⁾。また、休耕田にも同様の水質浄化機能（窒素除去能）があることが明らかにされている²⁾。

一方、水田・休耕田の窒素除去能は立地環境や土壌タイプにより異なる。例えば、地下水位が高く地下浸透量の小さな谷津田の休耕田では冬期間の窒素除去能は低下し、窒素除去能は時間の経過とともに低下する³⁾。また、黒ボク土で還元層が発達していない乾田では窒素除去能が小さい⁴⁾。これに対し、地下浸透量が大きく還元層が発達した灰色低地土の水田では灌漑水の地下浸透過程での脱窒により顕著な窒素除去が行われる⁵⁾。ここでは、静岡県内で茶園排水由来の河川水を灌漑利用している地下浸透水量の小さなグライ低地土と比較的大きな灰色台地土の水田・休耕田での窒素除去能に関する調査結果を紹介する。

4-1) グライ低地土の水田における水質浄化の例⁶⁾

調査を行った約2 haの水田は台地に続く砂地の低地上に位置し、土壌は粗粒質グライ低地土である。灌漑期間中、

地下水位は地表付近にあり、ほとんど地下浸透はない。調査水田は約40枚の水田群からなり、上流側の水田から下流側に田越し灌漑が行われている。これらの水田では‘ひとめぼれ’、‘あきたこまち’などが栽培され、3箇所（A1, 2, 3）から灌漑水が流入して2箇所（B1, 2）から流出している。流入水中の窒素の大半は硝酸態窒素で亜硝酸やアンモニア態窒素はわずかだった。

水田への灌漑水のうち河川水が直接水田に流入しているA1, 2の無機態窒素濃度は平均27.7mgL⁻¹で、調査期間中の変動はわずかだった。いっぽう、別の水田を経由して調査水田に流入しているA3では平均23.0mgL⁻¹で7月に一旦濃度が下がった後、次第に増加した。流出水（B1, 2）の窒素濃度は5月下旬の代かき直後は10mgL⁻¹を越えていたが、6月から7月中旬は10mgL⁻¹以下に低下した。しかし、7月以降は次第に増加し、8月中～下旬には20mgL⁻¹前後に達した（図1）。

図1. グライ低地土の水田における流入水，流出水の窒素濃度の変化

A1～3は流入水，B1，B2は流出水

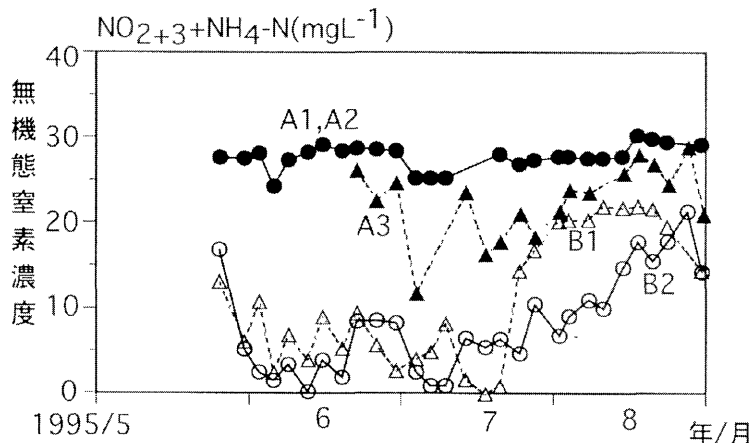
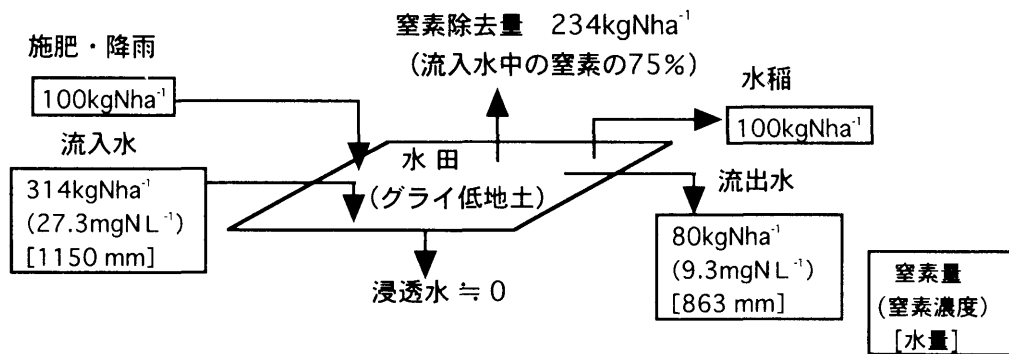


図2 グライ低地土の水田における灌漑期間(99日間)中の窒素収支



灌漑期間の99日間の調査水田での1haあたりの窒素収支は、流入水、降雨、施肥からの流入窒素量の合計が414kg Nで、流出水、水稻吸収による流出窒素量の合計が180kg Nとなり、流入水中の窒素量の75%にあたる234kg N(窒素除去速度: 2.36kg N/ha・d⁻¹)が見かけ上除去された(図2)。

灌漑期間中の調査水田における流出水中の硝酸態窒素の安定同位体比(δ¹⁵N値)は流入水に比

表1. 流入・流出水の硝酸態窒素の安定同位体比: δ¹⁵N値(上段%)と濃度(下段括弧内mg L⁻¹)

採水日	灌漑水	流出水	
		B 1	B 2
	7.0	14.1	12.4
95年6月15日	(29.1)	(3.1)	(8.8)
	7.4	13.4	9.1
95年8月11日	(31.6)	(9.5)	(22.0)

べて増加した(表1)。δ¹⁵N値は脱窒が生じると増加することが知られている。水稻による吸収によってもこの値は増加するが、その割合はごく小さいと言われている。このため、本調査水田での234kg Nの見かけの窒素除去は主として水田土壤中での脱窒によると考えられる。

4-2) 灰色台地土の水田における水質浄化の例

調査を行った0.1haの水田は台地の縁辺部に位置し、土壌は礫質灰色台地土で日浸透水量は平均約40mmと大きい。調査水田は6枚の水田群からなり、河

川水および湧水由来の灌漑水は最上流部の水田の水口(R1)から流入し、田越し灌漑により最下流部の水田の水尻(R2)から流出する。これらの圃場では倒伏に強い‘黄金晴’や‘ふじの舞’が栽培され、元肥は施用されていない。流入水中の窒素の大半は硝酸態窒素で亜硝酸やアンモニア態窒素はわずかだった。

調査期間中の流入水の無機態窒素濃度の平均値は21.0mg L⁻¹で、濃度の変動幅は小さかった。流出水の無機態窒素濃度の平均値は17.9mg L⁻¹で、濃度は特に7月中旬~8月中旬にかけて低下する。濃度低下期の水田の流出水(R2)の水温は30℃以上であった(図3)。調査水田における調査期間中の窒素収支は、流入水、降雨、穂肥からの流入窒素量の合計が1762kg N/haで流出水、浸透漏水、水稻吸収による流出窒素量の合計が903kg N/haであり、流入水中の窒素の50%にあた

図3. 灰色台地土の水田における流入水、流出水の窒素濃度の変化

R1は流入水、R2は流出水

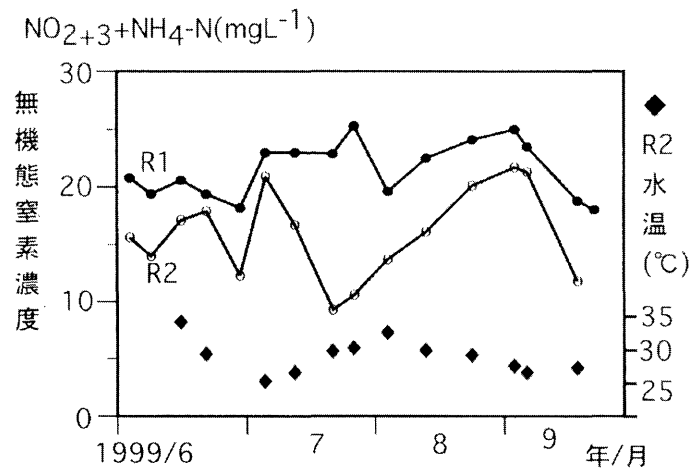
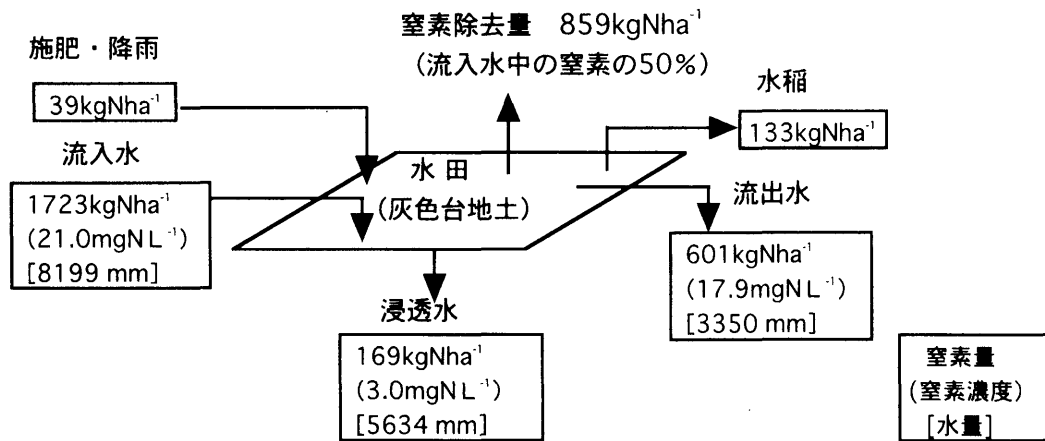


図 4. 灰色台地土の水田における灌漑期間 (121日間) 中の窒素収支



る 859kgNha^{-1} (窒素除去速度: $7.10\text{kgNha}^{-1}\text{d}^{-1}$) の窒素が見かけ上除去された (図 4)。

このようにグライ低地土, 灰色台地土の水田ともに高い窒素除去能が確認された。グライ低地土と灰色台地土の水田とでは試験面積や単位面積あたりの流入水量などが異なるため直接的な比較は困難だが, 見かけ上, 単位面積あたりの窒素除去速度は灰色台地土の方が大きい。これは, 灰色台地土ではグライ低地土に比べ灌漑期間中の浸透水量が大きく, 地下浸透過程での脱窒による窒素除去量が大きいためと推察される。

5. 休耕田の試験圃場における水質浄化の例

前述のグライ低地土の水田に隣接した休耕田圃場に2つの試験区を設け, 通年河川水を灌漑して窒素収支を調べた。試験区の一つはノビエ, ホタルイなどの雑草が生えたままの区 (雑草区) で, もう一つは雑草を抜き最初の1年半の間に稲ワラを 0.6kg m^{-2} づつ3回鋤込み代かきした区 (稲ワラ区) である。各試験区の面積は 50m^2 (幅 2.5m × 長さ 20m) である。

その結果, 1年間の中でも4~9月の間と10~3月の間では水質・水量の変化に相違が見られた。両試験区とも日中の水温が 20°C 以

上になる4~9月は流出水の窒素濃度は低かったが, 水温が低下する10~3月では高かった (図 5)。また, 4~9月は地下水位が高いため浸透水量は低く抑えられたが, 10~3月は地下水位が低く浸透水量は大きかった。浸透水の窒素濃度は両区とも通年 1mgL^{-1} 以下であった。このため雑草区を例に時期別の窒素除去量をみると4~9月には流入窒素の94%にあたる 1120kgNha^{-1} が, 10~3月には58%にあたる 1257kgNha^{-1} が除去された (図 6)。なお, 雑草による年間の窒素吸収量は 18kgNha^{-1} とわずかであった。

97年10月から98年9月にかけての年間平均の見かけの窒素除去量は, 雑草区で 2377kgNha^{-1} (窒素除去速度: $6.51\text{kgNha}^{-1}\text{d}^{-1}$), 稲ワラ区で 2174kgNha^{-1} (窒素除去速度: $5.96\text{kgNha}^{-1}\text{d}^{-1}$)

図 5. グライ低地土の休耕田 (雑草区、稲ワラ区) における流入水, 流出水の窒素濃度の変化

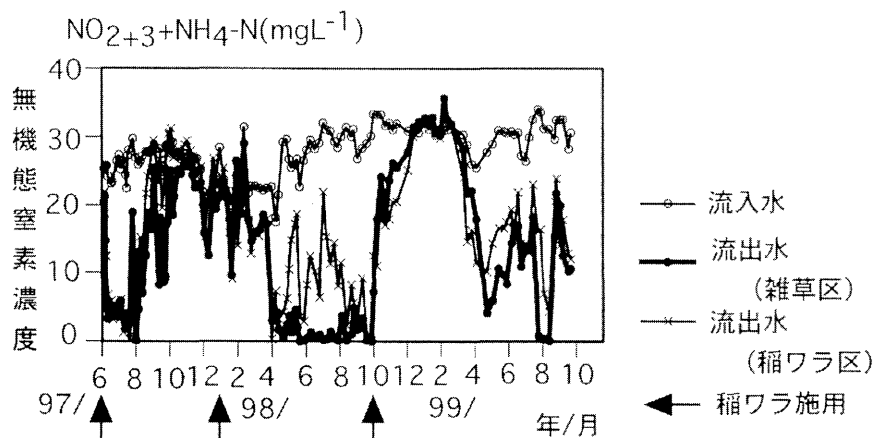
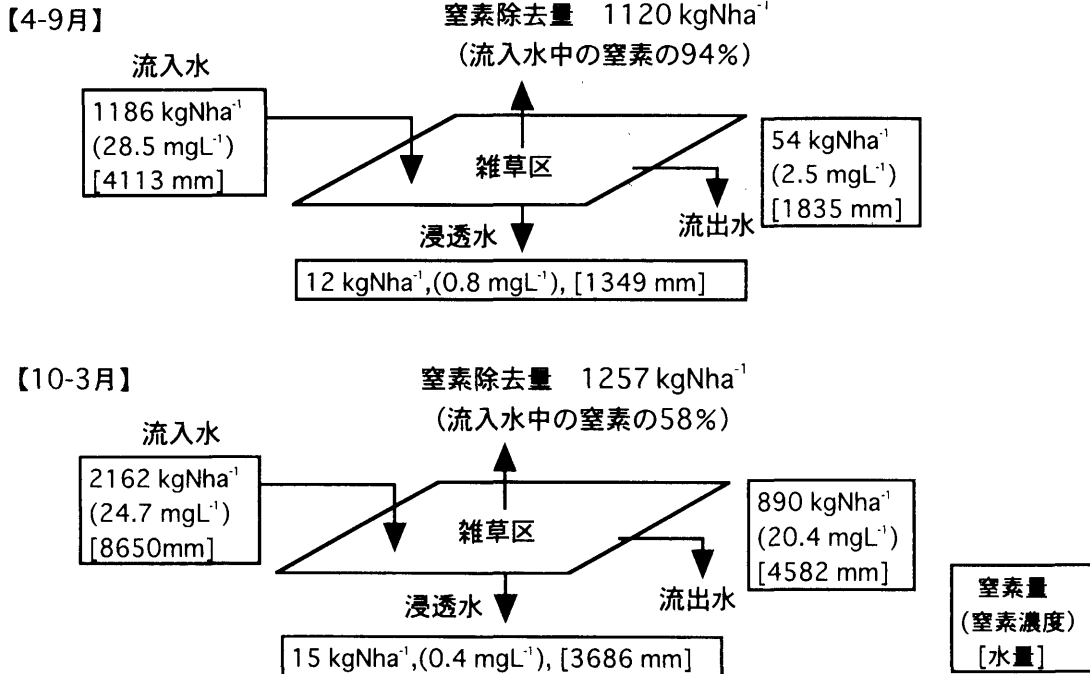
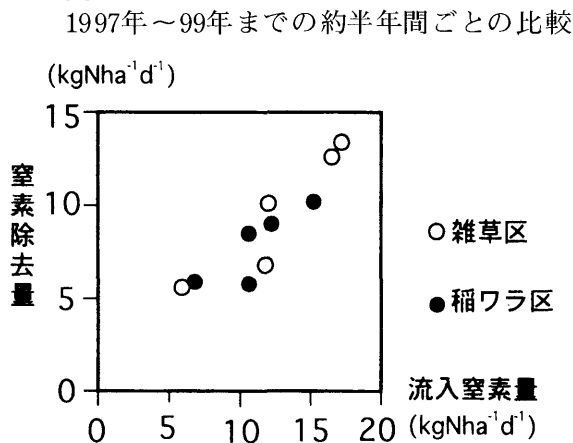


図 6. 休耕田（雑草区）における時期別の窒素収支 (97年10月～98年9月)



であり稲ワラ鋤込みによる窒素浄化能の強化は認められなかった。両試験区における97年6月から99年9月までの約半年単位での見かけの窒素除去量は流入窒素量にほぼ比例する（図7）。一方、流入窒素量に対する見かけの窒素除去量の割合は試験開始以来2年以上にわたり6割以上と高く維持された。なお、これらの試験区では短冊状の細長い区に灌漑水を一様に流したために水の流れが均一で、流れが不均一になる実際の休耕田圃場に比べて窒素除去効率は高いと思われる。

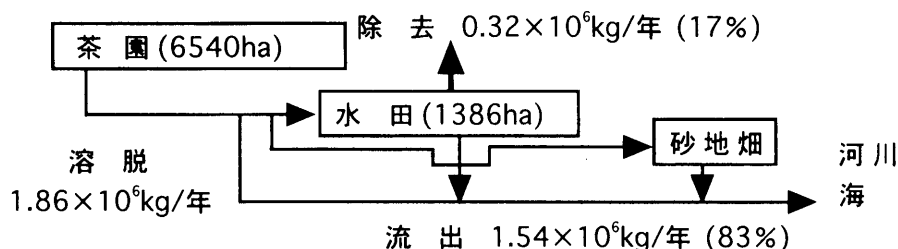
図 7. 休耕田における流入窒素量と窒素除去量の関係



6. 台地周辺域における窒素収支の試算

茶園から溶脱した窒素を含む河川水はその一部が台地周辺の水田で灌漑水として利用され、さらに下流側の砂地畑でも灌漑水として利用されている。そして、このような水田や砂地畑で利用されなかった茶園排水は河川を通じて直接海に流出する。以下に静岡県中部の牧ノ原台地周辺の水田における茶園排水中の余剰窒素の除去程度の試算結果⁶⁾を紹介する。ここでは牧ノ原台地の茶園面積を6540ha、台地周辺の水田面積を3810haとし、このうち茶園排水を灌漑利用している水田面積を1386haとした。また、茶園からの年間の溶脱窒素量を284kgha⁻¹と仮定し、牧ノ原台地全体の茶園からは年間、1.86×10⁶kg (6540ha×284kgha⁻¹)の窒素が溶脱したと試算した。一方、水田での窒素除去能が1年間のうち灌漑期間の約100日間のみ働いたとし、4-1)で示したグライ土の水田での1年間に234kgha⁻¹の窒素を除去するとの値を用いると、牧ノ原台地周辺の水田では1年間に0.32×10⁶kg (1386ha×234kgha⁻¹)の窒素が除去できると考えられる。すなわち現在、茶園からの溶脱窒素のうちの約17%が周辺の水田で除去されていると試算される（図8）。

図8. 牧ノ原台地およびその周辺域における窒素の流れ



このように、茶園排水中の余剰窒素の除去という観点から見ると、現状では必ずしも水田が十分に活用されているとはいえない。このため、茶園排水中の窒素をより積極的に除去するためには、茶園排水を含まない農業用水に茶園排水を混合して窒素除去に関わる水田面積を増やす、現在は灌漑していない水稻非作付け期の水田にも茶園排水を含む水を入れて窒素除去期間を延長するなどの対策が有効である。また、未利用の休耕田も水質浄化の場であるとみなし、通年灌漑することも考えるべきであろう。ただし、水田、休耕田ともに水質浄化機能を高度に発現するための具体的な水管理方法などは明かではなく、今後の重要な検討課題である。

参 考 文 献

- 1) 田淵俊雄・末正奈緒希・高梨めぐみ：水田湛水による硝酸態窒素の除去試験。農土誌55, 761—766 (1987)
- 2) 田淵俊雄・篠田鎮嗣・黒田久雄：休耕田を活用した窒素除去の試み。農土誌61, 1123—1128 (1993)
- 3) 田淵俊雄・志村もと子・尾野充彦：休耕田における窒素除去試験の結果と実用性の検討。農土誌64, 345—350 (1996)
- 4) 小川吉雄・酒井 一：水田における水質浄化機能の解明。土肥誌56, 1—9 (1985)
- 5) 糟谷真宏・小竹美恵子：地下水かんがい由来する硝酸態窒素の水田における除去。土肥誌68, 651—658 (1997)
- 6) 戸田任重・望月康秀・川西琢也・川島博之：静岡県牧ノ原における茶園—水田連鎖系による窒素流出負荷低減効果の推定。土肥誌68, 369—375 (1997)