

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*¹

戸田任重*²・望月康秀*³・川西琢也*⁴・川島博之*⁵

キーワード 硝酸態窒素, 窒素溶脱, 茶園, 水田, 牧ノ原

1. はじめに

茶園, 野菜畑等では, 単位面積当たりの窒素施用量が大きく, しかも酸化的な系であるため, 余剰の窒素肥料は硝酸態窒素となって降水の浸透にともなって溶脱し, 周辺の地下水の硝酸態窒素濃度を高めている場合が報告されている^{1,2)}. また, 農耕地からの窒素流出が貯水池, 湖沼, 内湾等の閉鎖性水域の富栄養化の一因となっていることも指摘されている³⁾. 一方, 水田, 湿地, 溜池等の湛水域は, 脱窒および, イネや水生植物等による吸収により, 高い窒素浄化能を有することが示されている⁴⁻⁶⁾. 国内では, 窒素溶脱を起こしやすい茶園, 野菜畑が台地上に位置し, その下流域に窒素浄化能を有する水田等が広がる土地利用形態が多くみられる. そこで, 窒素流出負荷の大きな地帯と窒素浄化能を有する地帯とを効率的に組み合わせることで, 農耕地からの窒素流出負荷を低減させる, いわゆる「土地利用連鎖系の利用」が昨今提唱されている⁷⁻⁹⁾.

ここでは, このような土地利用連鎖系の利用により, 農耕地からの窒素流出負荷をどの程度低減できるかを推定する目的で研究を行った. このために, 静岡県牧ノ原の茶園-水田連鎖系において, 水田による窒素流出負荷低減効果の現状を定量的に推定し, その問題点, 可能性について検討した.

2. 方法

1) 調査地区の概要

調査は, 静岡県榛原郡相良町片浜地区の大磯川流域で, 1995年1月より12月までの1年間行った(第1図). 同流域は, 牧ノ原台地の東南に位置し, 台地上とそれに続く緩斜面には広大な茶園が広がり, 大磯川は台地崖下の湧水に端を発する. 大磯川を取り囲む急斜面はスギ・シイを中心とする山林になっている. 台地土壌は細粒赤色土である. 静岡県農業試験場の実施している土壌環境基礎調査(定点調査)¹⁰⁾によれば, 調査地域に隣接する榛原町で, 窒素施肥量は792~1030 kgN ha⁻¹ y⁻¹, 平均909 kgN ha⁻¹ y⁻¹ (n=5)であり, 他に豚糞尿パーク, 牛糞・おがくず厩肥等の堆肥を入れている農家もある. 大磯川の水質および流量はR1, R2, およびR3において測定した.

調査対象とした水田(第2図, 2.0 ha)では, 「キヌヒカリ」「ひとめぼれ」「あきたこまち」等が栽培され, 5月下旬~6月初旬に代かき, 田植え, 7月中旬に中干し, 7月下旬に穂肥, 9月初めには灌漑停止, 9月中旬に刈取が行われた. 1995年夏は高温のため水稻の生育が良好で, 刈取は例年よりやや早目であった. この地区を担当するハイナン農業協同組合の標準的施肥基準は窒素で, 元肥36 kgN ha⁻¹, 穂肥42+14 kgN ha⁻¹, 計92 kgN ha⁻¹であるが, 灌漑水に多量の窒素分が含まれているため, 農家によっては1/2程度に減肥している. 灌漑水は大磯川第一堰堤(第1図R1)より取水され, 配水管を通して第2図のK1およびK2の2カ所から給水され, 水田で反復利用(田ごし灌漑)された後, 最終的にはS7, S8の水路を通して流出する. また, 調査対象水田北側の水田を経由した水が土管(S9)から流入していた. 水田土壌は中粗粒強グライド土で, 灌漑期間中は地下水位が地表面近くに達し, 浸透はほとんど認められなかった. 調査水田は5月下旬から8月一杯(99日)の灌漑期以外は湛水していない.

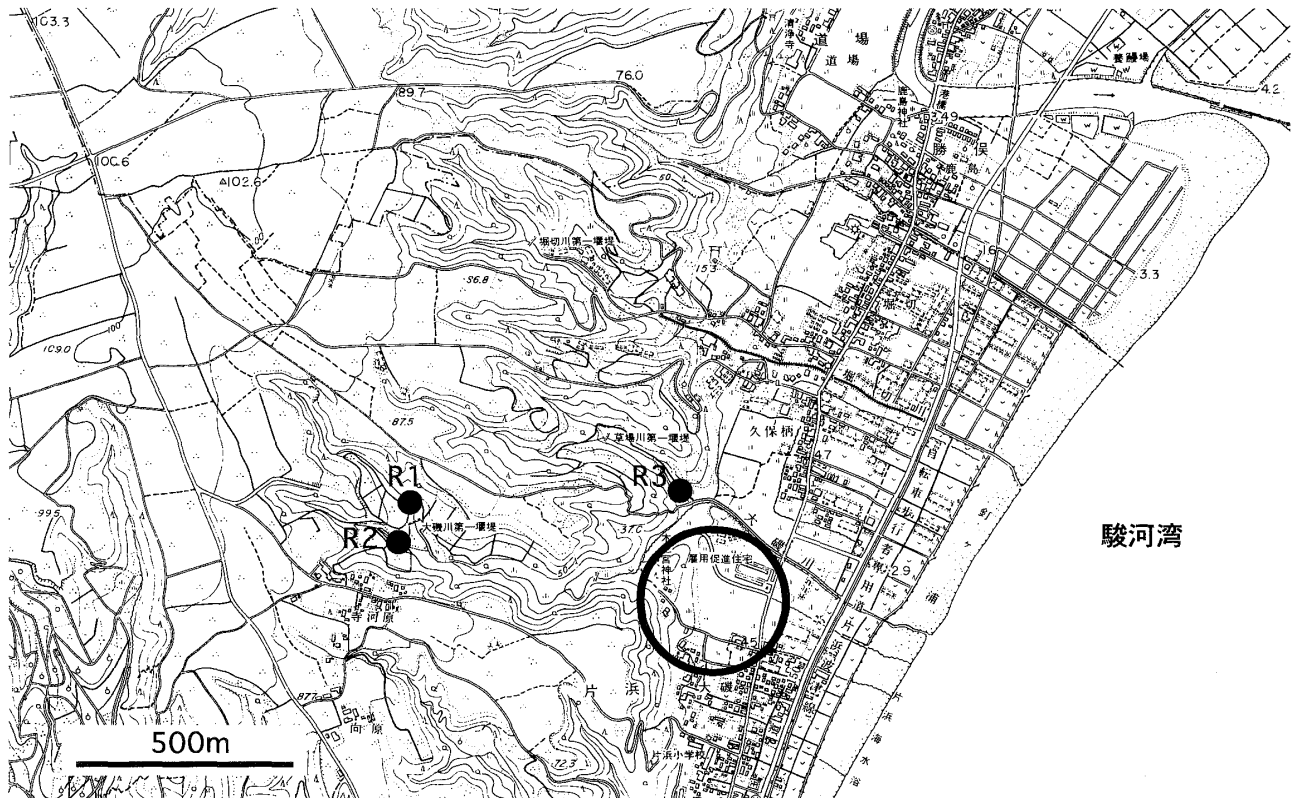
*¹ 本研究は農林水産省指定試験事業, 一般別枠プロジェクト「物質循環の高度化に基づく生態系調和型次世代農業システムの開発」, および文部省科学研究費重点領域研究「人間地球系」の助成を受けた.

*² 静岡県農業試験場海岸砂地分場(現在, 信州大学理学部390 松本市旭3-1-1)

*³ 同上(437-16 静岡県小笠郡浜岡町合戸字海岸4433)

*⁴ 金沢大学工学部(920 金沢市小立野2-40-20)

*⁵ 農業環境技術研究所(305 つくば市観音台3-1-1)
1996年5月20日受付・受理
日本土壤肥科学雑誌 第68巻 第4号 p.369~375(1997)



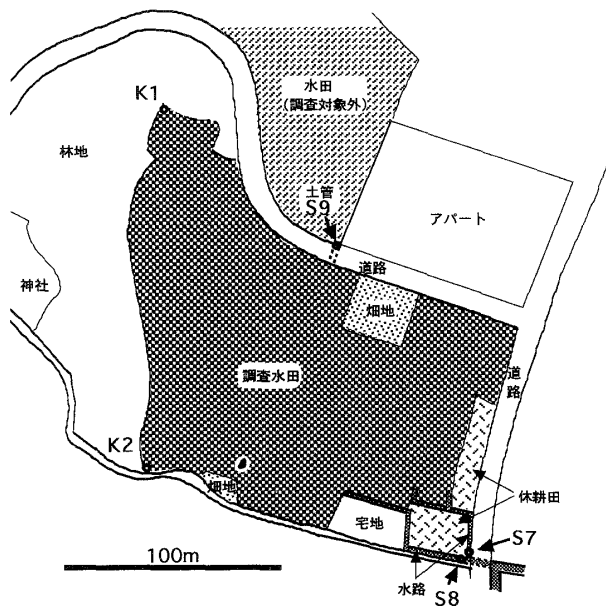
第1図 調査地域と大磯川の採水地点 (R1~3)
丸内は調査水田。等高線は10m間隔。

2) 流量, 降水量および水質

河川流量 (第1図 R1, R2, R3) および水田流入量 (第2図 S9)・流出量 (第2図 S7, S8) は, 流速計 (広井電気式) を用いて, 河川に関しては3~10月は月2回, 他の月は月1回, 水田に関しては週2~3回の頻度で測定した。第2図のK1, K2における灌漑水量は, 20Lバケツを用いて7~8回実測し, その時の受水バケツ (20Lブリキバケツに幅15cm, 深さ20cmの三角形の切れ込みを入れたもの) の水深と流量の関係式 (二次式) を求めておいて, 受水バケツの水深を週2~3回の頻度で測定し算出した。

採水は流量測定ごとに行い, ガラス繊維ろ紙 (ワットマンGF/Cフィルター) でろ過後, 硝酸・亜硝酸態窒素はイオンクロマトグラフ法 (ダイオネクスDX100) で, アンモニア態窒素はフローインジェクション法 (ティーター5020) で分析した。なお, S9における初期の流量, 水質データは取得していなかったため, 同地点の6月下旬の観測値で代用した。

降水量は, 静岡県茶業試験場 (静岡県小笠郡菊川町) の観測値¹¹⁾ を用いた。降水の水質は, 静岡県農業試験場海岸砂地分場 (静岡県小笠郡浜岡町) において降雨を



第2図 調査水田
K1, K2: 灌漑水供給口, S9: 北側水田からの流入口, S7, S8: 流出口。

1週間ごとに採取し、無機態窒素に関して上記の方法で分析した。

3) 硝酸態窒素の安定同位体比

1995年6月15日および8月11日の2回、灌漑水および水田流出水を各1L採水し、ろ過後、1粒の水酸化ナトリウムを添加し(アンモニア態窒素除去のため)、ロータリーエバポレーターを用いて5~10mLに濃縮した。その濃縮液の一部をデバルダ合金粉末を用いてアンモニア態窒素に還元、水蒸気蒸留、濃縮後、真空ラインを用いて窒素ガスに変換、精製し、その安定同位体比を質量分析計(フィニガンマツト, デルタS)で測定した^{12,13)}。なお、窒素ガスへの変換、精製および安定同位体比の測定は昭光通商(株)に委託した。窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$ 値)は、大気からの千分偏差として次式で表される¹²⁾。

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left(\frac{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N} \text{ 試料}}{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N} \text{ 大気}} - 1 \right) \times 1000$$

3. 結 果

1) 大磯川の硝酸態窒素濃度と窒素流出量

大磯川の硝酸態窒素濃度は、いずれの地点とも、4月にやや低下したものの、季節変化はほとんどなく、1年間を通してほぼ一定であった(第3図)。年間の平均濃度は、R1で29.6 mgN L⁻¹ (標準偏差, sd=1.8), R2で32.5 mgN L⁻¹ (sd=1.9), R3で19.0 mgN L⁻¹ (sd=2.0)であった。同様の硝酸態窒素濃度、季節変化は前年の1994年にも認められた。亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素はほとんど検出されなかった。3地点合計の河川流量(図略)と窒素流出量は、4月から7月にかけて多く、秋季から冬季は少なかった。3地点合計の年間の河川流量は $1.17 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ y}^{-1}$ 、年間窒素流出量は $3.34 \times 10^4 \text{ kgN y}^{-1}$ であった。

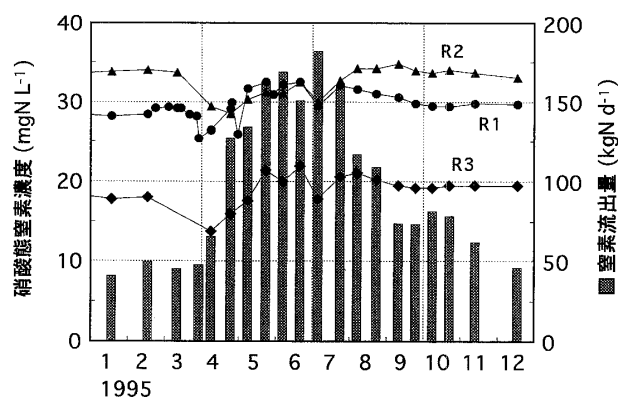
2) 調査水田における窒素濃度変化と窒素除去量

水田灌漑水(K1, K2)の窒素濃度(亜硝酸, アンモニア態窒素は微量で、ほとんどは硝酸態窒素)は、灌漑期間中はほぼ一定で、平均濃度は27.7 mgN L⁻¹ (sd=1.5)であった(第4図)。北側の水田を経由した流入水(S9)の窒素濃度は、灌漑水よりもやや低く、平均濃度は23.0 mgN L⁻¹ (sd=3.7)であった。水田流出水(S7, S8)の窒素濃度は、灌漑水・流入水の濃度に比べ著しく低く、5月下旬の代かき直後は10 mgN L⁻¹を越えていたが、6月から7月中旬は10 mgN L⁻¹以下に低下した。しかし、7月下旬以降次第に増加し、S8では8月初旬に、またS7では8月下旬にいずれも20 mgN L⁻¹前後に達した。7月下旬以降の流出水の窒素濃度の

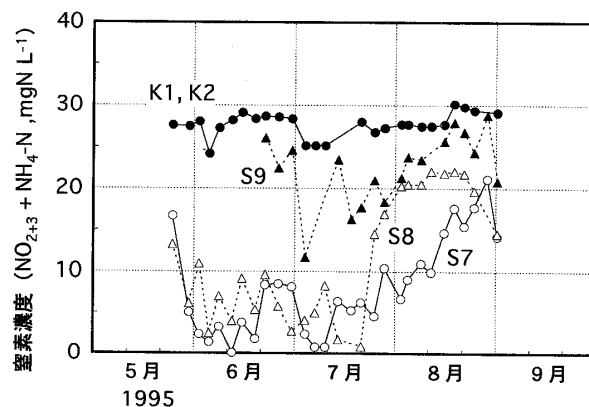
増加は、間断灌漑のため、湛水している水田面積が減少し、田面水の滞留時間が減少したためである。なお、灌漑期間中の田面水の平均的な滞留時間は、田面水深を5cmとして計算すると4.2日になる。

水田への単位面積当たりの灌漑水による窒素流入量(施肥, 降雨は除く)は、1~4 kgN ha⁻¹ d⁻¹, 平均3.1 kgN ha⁻¹ d⁻¹ (sd=1.4), 窒素流出量は0~2 kgN ha⁻¹ d⁻¹, 平均0.8 kgN ha⁻¹ d⁻¹ (sd=0.6)であり、両者の差し引きから得られる見かけの窒素除去量は1~3 kgN ha⁻¹ d⁻¹, 平均2.3 kgN ha⁻¹ d⁻¹ (sd=1.1)であった(第5図)。7月中旬の窒素流入・流出量の低下は、間断灌漑によるものである。灌漑期間(99日)の窒素の流入・流出を積算すると、灌漑水, 流入水として負荷された窒素量が314 kgN ha⁻¹, 流出水として流出する窒素量が80 kgN ha⁻¹になり、差し引き234 kgN ha⁻¹が調査水田を流下中に除去されるという結果になった。

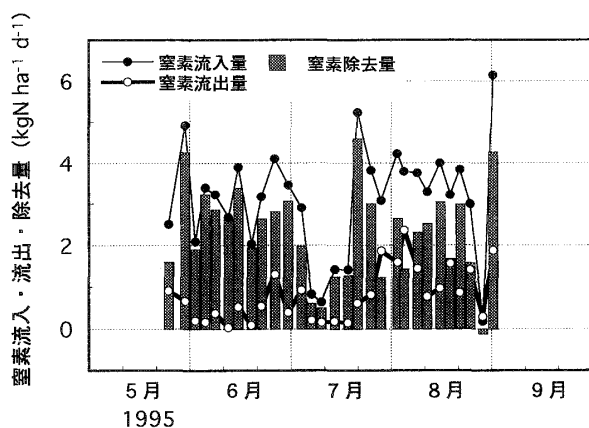
水田灌漑水と流出水の硝酸態窒素の安定同位体比($\delta^{15}\text{N}$ 値)を硝酸態窒素濃度とともに第1表に示した。



第3図 大磯川の硝酸態窒素濃度と窒素流出量
R1~R3は第1図の地点を示す。



第4図 調査水田における流入水・流出水の窒素濃度
K1, K2, S7~S9は第2図の地点を示す。



第 5 図 調査水田における窒素流入量, 流出量, 除去量

第 1 表 水田灌漑水と流出水の硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (上段, ‰) と硝酸態窒素濃度 (下段括弧内, mgN L^{-1})

採水日	水田灌漑水		水田流出水	
			S7	S8
'95年6月15日	7.0	14.1	12.4	
	[29.1]	[3.1]	[8.8]	
'95年8月11日	7.4	13.4	9.1	
	[31.6]	[9.5]	[22.0]	

注: S7とS8は第2図の地点を示す。

6月, 8月いずれも, 流出水の硝酸態窒素濃度は灌漑水に比べ低下し, 逆に $\delta^{15}\text{N}$ 値は増加していた。

4. 考 察

1) 茶園からの窒素溶脱

大磯川上流部の牧ノ原台地は, 起伏が少なく緩やかな斜面となっており, 地表面地形から, 大磯川の集水域を特定することは難しい。ここでは, 降水量, 流量のデータから採水地点上流の集水域を推定した。静岡県茶業試験場の降水量データ¹¹⁾ (1995年の年間降水量1637mm) と梁瀬ら¹⁴⁾ が静岡県金谷の茶園 (「やぶきた」9年生) で測定した蒸発散比 (0.6~1.5) とを用いて算出した1995年の年間浸透水量は855mmである。大磯川3地点合計の年間流量は $1.17 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ y}^{-1}$ であったから, その集水面積は137haと推定される。第1図からわかるようにその大部分は茶園であろう。ただし, この中には大磯川に隣接した急斜面の山林19.4haと, 他に道路や宅地が含まれる。大磯川の年間窒素流出量は $3.34 \times 10^4 \text{ kgN y}^{-1}$ であったので, 大磯川集水域の単位面積当たり窒素溶脱量 (表面流はほとんどない) は $244 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, 山林からの溶脱はほとんどないとすると (文献¹⁵⁾ では $0.6 \sim 5.5 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ が報告されて

いるが, 本調査地域では高濃度の硝酸態窒素を含む地下水から樹木が窒素成分を吸収している可能性もある), 茶園からの単位面積当たり溶脱量は $284 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と推定される。この値は, 堆肥を除く施肥量 ($909 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) の31.2%に相当する。今回の推定値には茶園以外の道路や宅地も含まれているため, 茶園そのものからの窒素溶脱量はさらに多いものと考えられる。

木方・結田¹⁶⁾ が神奈川県茶園 (堆肥以外の普通肥料施肥量 $727 \sim 951 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) で, 深さ2~3mの土壌間隙水硝酸態窒素濃度に浸透水量を掛け合わせて求めた窒素溶脱量は $268 \sim 278 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (施肥窒素量の29~37%) であった。また, 長谷川ら¹⁷⁾ は滋賀県茶園 (施肥量 $646 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) で, 水質・流量調査に基づいて窒素溶脱量を $238 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ (施肥窒素量の37%) と推定している。静岡県茶業試験場¹⁸⁾ がライシメーターを用いて測定した結果では, 窒素施肥量が540および 1080 kgN ha^{-1} の時に, 溶脱量はそれぞれ152 (施肥窒素量の28%) および 547 kgN ha^{-1} (51%) であった。本研究で得られた茶園からの溶脱量の推定値 ($284 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, 施肥窒素量の31%) は, 同程度の施肥を行っている神奈川県茶園での推定値に極めて近い。

2) 水田での窒素除去

水田での窒素除去速度と流入水の硝酸態窒素濃度との間には比例関係がみられ¹⁹⁾, 高濃度の窒素を含む灌漑水の流入する水田では, 流入窒素量よりも流出窒素量が少なく, 水田は窒素に関して浄化能を示す¹⁵⁾。流入水の硝酸態窒素濃度が 30 mgN L^{-1} 付近では, 窒素除去速度は $0.2 \sim 0.5 \text{ gN m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ が報告されており¹⁹⁾, 今回の調査水田で灌漑期に得られた値 ($2.3 \text{ kgN ha}^{-1} \text{ d}^{-1} = 0.23 \text{ gN m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) もこれとほぼ同等である。

本調査は, 灌漑期のみ調査であり, 非灌漑期の降水にとりもなる窒素流出量は測定していない。滋賀県の透水性の悪い水田では, 非作付け期間の表面流出負荷量が9年間の平均で, 14.4 kgN ha^{-1} になることが報告されている²⁰⁾。本調査水田でも, 非灌漑期の窒素流出量を含めれば, 年間を通しての窒素除去量としては, 灌漑期に得られた 234 kgN ha^{-1} よりも低下することが予想される。現時点では, 調査水田における測定値がないので, 以下の計算では, とりあえず水田における年間の窒素除去速度として灌漑期の 234 kgN ha^{-1} をそのまま用いることにする。

調査水田では, 窒素のインプットとして, 流入水による窒素負荷のほかに, 田面への降水による直接負荷 6.9 kgN ha^{-1} (灌漑期間降水量430mm, 平均窒素濃度1.6

mgN L⁻¹), 施肥由来の窒素 92 kgN ha⁻¹ (標準施肥量で計算, 減肥している農家もあるので実際はこれより少ない) と窒素固定がある。窒素のアウトプットとしては, 流出水中の窒素量に加えて, 水稻による吸収 110 kgN ha⁻¹ と脱窒, 土壌残存がある。土壌中の窒素量は経年的には平衡状態にあるとすれば, 調査水田での窒素除去は, 水稻による吸収と脱窒によるものであろう。水稻による窒素吸収量は降雨と施肥による窒素負荷量を相殺する程度なので, 調査水田での窒素除去には脱窒の寄与が大きいと考えられる。

ところで, 脱窒の過程では大きな同位体分別が起き, 残った硝酸態窒素の同位体比が高くなることはよく知られている^{21,22)}。一方, 高等植物による硝酸態窒素の吸収では, このような同位体分別は無視できるほど小さい²³⁾ ので, 硝酸態窒素の水稻吸収による $\delta^{15}\text{N}$ 値の増加は小さいと考えられる。また, 降水の硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は概して低く (-10~0%)²⁴⁾, 第1表で示された流出水の硝酸態窒素濃度の低下および $\delta^{15}\text{N}$ 値の増加が降水の希釈によるものとは考えられない。観測された硝酸態窒素の同位体比の増加からも, 本調査水田での硝酸態窒素濃度の減少には脱窒が大きく関与していたことが示唆される。

3) 牧ノ原周辺の茶園-水田連鎖系による窒素流出負荷低減

今回得られた, 茶園からの溶脱速度の推定値, 284 kgN ha⁻¹ y⁻¹ と水田での浄化速度 234 kgN ha⁻¹ y⁻¹ とを用いて, 牧ノ原周辺の茶園-水田連鎖系での窒素流出負荷低減効果について検討した。牧ノ原台地の大部分は, 金谷町, 菊川町, 小笠町, 浜岡町, 島田市大井川右岸, 榛原町, 吉田町, 相良町で構成され, これら8市町合計の茶栽培面積は 6540 ha, 水田面積は 3810 ha である²⁵⁾。この水田のうち 2424 ha は大井川からの河川灌漑水を利用しているので除外すると, 茶園排水の流入している水田面積は 1386 ha と考えられる。以上の数値を用いて計算すると, 牧ノ原の茶園からは年間 1.86×10^6 kgN y⁻¹ の窒素溶脱があり, そのうち 3.24×10^5 kgN y⁻¹ (17.4%) が水田で除去されていると推定される。牧ノ原周辺では, 茶園からの浸透水は一度地下水になってから下流の水田に流入している場合が多いので, 水田は台地地下水の水質保全にはさほど役立たないが, 茶園を含む農耕地からの窒素流出負荷の低減に現状では2割弱寄与しているものと考えられる。

高濃度の硝酸態窒素を含む水を水田に灌漑することは水稻の倒伏を招き易く, コシヒカリは栽培しにくい。水田を窒素浄化の目的でも利用するならば, 水口付近の水

田では耐肥性の強い品種を栽培する, 窒素施肥量を減らす, 水口付近には休耕田を配置する等の措置が必要であろう。牧ノ原周辺の水田地帯の窒素浄化機能をさらに高めるには, 河川(大井川)灌漑水と, 硝酸態窒素濃度の高い湧水, 溜池水, 集水域内の中小河川の河川水等との混合利用により窒素浄化に関わる水田面積を増やすこと, および現状では湛水していない非灌漑期の水田の湛水により窒素浄化期間を延長すること等の対策を今後検討していく必要があると考える。

5. 要 約

静岡県牧ノ原の茶園-水田連鎖系において, 水田による窒素流出負荷低減量を推定した。

1) 牧ノ原地域の1河川である大磯川の硝酸態窒素濃度は, 季節変化をほとんど示さず, 各採水地点の年間の平均濃度は, それぞれ 29.6 mgN L⁻¹ (sd=1.8), 32.5 mgN L⁻¹ (sd=1.9), 19.0 mgN L⁻¹ (sd=2.0) であった。年間流量は 1.17×10^6 m³ y⁻¹, 年間窒素流出量は 3.34×10^4 kgN y⁻¹ であった。

2) 調査水田における灌漑期間(99日)の窒素収支は, 流入窒素量が 314 kgN ha⁻¹, 流出窒素量が 80 kgN ha⁻¹ で, 差し引き 234 kgN ha⁻¹ が調査水田を流下中に除去された。水田での窒素収支と流入水, 流出水中の硝酸態窒素の安定同位体比の変化から, 調査水田での窒素除去では脱窒の寄与が大きいことが示唆された。

3) 降水量, 河川流量, 茶園蒸発散量に基づいて求めた集水域面積(137 ha, うち山林 19 ha) と河川窒素流出量とから, 茶園からの窒素溶脱量を 284 kgN ha⁻¹ y⁻¹ と推定した。この値は, 堆肥を除く施肥量(909 kgN ha⁻¹ y⁻¹) の 31.2% に相当した。

4) 単位面積当たりの茶園からの窒素溶脱量, 水田における窒素除去量, および牧ノ原周辺市町の茶園, 水田面積(大井川用水灌漑面積を除く)を用いて, 牧ノ原の茶園-水田連鎖系における窒素動態を算出した。その結果, 牧ノ原の茶園からの年間窒素溶脱量は 1.86×10^6 kgN y⁻¹, 水田における窒素除去量は 3.24×10^5 kgN y⁻¹ と推定された。現状の茶園-水田連鎖系による窒素流出負荷低減効果は2割弱(17.4%)と考えられる。

謝 辞 調査地の選定に関しては, 相良町農林水産課今村剛男氏に御協力いただきました。静岡県茶業試験場太田充氏ならびに森田明雄氏には, 茶園に関する資料や貴重な御意見の提供をいただきました。現地調査では海岸砂地分場澤瀬仁志氏のお世話になり, 土壌分類, 水稻栽培等に関しては堀田柏分場長から貴重な助言をいただきました。記して謝意を表します。

文 献

- 1) 永井 茂：地下水汚染の水文化化学的アプローチ—無機汚染の実態と問題点—, 地下水学会誌, **33**, 145~154 (1991)
- 2) 川西琢也・川島博之・尾崎保夫：地下水の硝酸態窒素濃度の上昇と農業生産—諸外国の研究事例のとりまとめと今後の課題—, 用水と廃水, **33**, 17~28 (1991)
- 3) 田淵俊雄：農地排水と水質汚濁, 農土誌, **43**, 525~529 (1975)
- 4) 小川吉雄・酒井 一：水田における窒素浄化機能の解明, 土肥誌, **56**, 1~9 (1985)
- 5) 細見正明：湿地による水質浄化, 用水と廃水, **32**, 716~719 (1990)
- 6) 戸田任重・松本英一・宮崎龍雄・芝野和夫・川島博之：灌漑用溜池における硝酸態窒素の消失, 土肥誌, **65**, 266~273 (1994)
- 7) 尾崎保夫：農耕地からの窒素負荷の削減, 用水と廃水, **32**, 881~889 (1990)
- 8) 田淵俊雄：水田と環境問題, 農土誌, **59**, 1263~1267 (1991)
- 9) 日高 伸：環境保全型農業と水田の水質浄化機能 (1) (2), 農業技術, **50**, 393~397, 448~451 (1995)
- 10) 静岡県農業試験場：土壤環境基礎調査 (定点調査) 成績書—中部地域— (3 巡回), 資料第 1846 号, 50 pp. (1992)
- 11) 静岡県茶業試験場：1995 年気象表 (1995)
- 12) 和田英太郎：安定同位元素のトレーサー利用 (V) 質量分析法による ^{15}N の測定と利用 (1), *Radioisotopes*, **25**, 676~685 (1976)
- 13) MULVANEY, R. L.: Mass spectrometry; in Nitrogen isotope techniques, ed. R. KNOWLES and T. H. BLACKBURN, p. 11~57, Academic Press, Inc., San Diego (1993)
- 14) 梁瀬好充・田中静夫・青野英也：茶園における蒸発散量の日変化と季節変化, 茶技研, **43**, 1~11 (1971)
- 15) 田淵俊雄・高村義親：集水域からの窒素・リンの流出, p. 38~47, 75~129, 東京大学出版会, 東京 (1985)
- 16) 木方展治・結田康一：茶園および隣接林地の土壤水中硝酸態窒素の垂直分布, 土肥誌, **62**, 156~164 (1991)
- 17) 長谷川清善・奥村茂夫・小林正幸・中村 稔：茶園・水田連鎖地形における富栄養化成分の行動, 滋賀農試研報, **26**, 34~41 (1985)
- 18) 静岡県茶業試験場：環境庁委託業務結果報告書, 土壤汚染機構解析調査 (総合とりまとめ), 93 pp. (1980)
- 19) 田淵俊雄・鈴木誠治・高村義親：非稲作期の谷津田における畑地流出水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の除去について, 農土論集, **104**, 9~15 (1983)
- 20) 國松孝男・羅 栄・須戸 幹・武田育郎：非作付期間の田からの水質汚濁物質の表面流出, 同上, **170**, 45~54 (1994)
- 21) MARIOTTI, A., GERMON, J. C., HURBERT, P., KAISER, P., LETOLLE, R., TARDIEUX, A. and TARDIEUX, P.: Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: Some principles; illustration for the denitrification and nitrification processes. *Plant Soil*, **62**, 413~430 (1981)
- 22) 米山忠克・笹川英夫：土壤-植物系における炭素, 窒素, 酸素, 水素, イオウの安定同位体自然存在比: 1987 年以降の研究の進歩, 土肥誌, **65**, 585~598 (1994)
- 23) YONEYAMA, T. and KANEKO, A.: Variations in the natural abundance of ^{15}N in nitrogenous fractions of Komatsuna plants supplied with nitrate. *Plant Cell Physiol.*, **30**, 957~962 (1989)
- 24) MACKO, S. W. and OSTROM, N. E.: Pollution studies using stable isotopes; in Stable isotopes in ecology and environmental science, ed. K. LAJTHA and R. H. MICHENER, p. 45~62, Blackwell Scientific Publications, Oxford (1994)
- 25) 関東農政局静岡統計情報事務所：第 42 次静岡農林水産統計年報農林編 (平成 6~7 年), 245 pp. (1995)

Estimation of Reduction in Nitrogen Load by Tea and Paddy Field Land System in Makinohara Area of Shizuoka

Hideshige TODA¹, Yasuhide MOCHIZUKI, Takuya KAWANISHI* and Hiroyuki KAWASHIMA**
(Coastal Sand Branch, Shizuoka Prefect. Agric. Exp. Stn., *Fac. Tech., Kanazawa Univ.,
**Natl. Inst. Agro-Environ. Sci., present address; ¹ Fac. Sci., Shinshu Univ.)

In the Makinohara area of Shizuoka Prefecture, by measuring the flow rate and nitrate concentration of a stream throughout the year in 1995, we estimated the nitrogen leaching rate from a tea field in its catchment basin. The nitrate concentration of the stream showed little seasonal variation at each branch, with annual averages of 29.6, 19.0 and 32.5 mgN L⁻¹, respectively. The total annual nitrogen outflow from the stream was 3.34×10^4 kgN y⁻¹. Based on the annual flow rate of the stream, the annual rainfall and the evapo-transpiration data reported for the tea field, we estimated the drainage area of the stream as 137 ha, (mainly composed of a tea field and forest area of 19.4 ha) and estimated the leaching rate from the tea field as 284 kgN ha⁻¹ y⁻¹.

In the paddy field receiving irrigation water from the small stream above, the nitrogen inflow integrated over the irrigation period of 99 d was 314 kgN ha⁻¹ and the nitrogen outflow was 80 kgN ha⁻¹. The amount of nitrogen removed in the paddy field reached 234 kgN ha⁻¹. The nitrogen

budget and stable nitrogen isotope ratios of nitrate in the inflow and outflow indicate that denitrification was the main contribution to nitrogen removal in the paddy field.

Using the leaching rate from the tea field and nitrogen removal rate of the paddy field as obtained above, and agricultural statistical data for the tea and paddy fields in the Makinohara area, we estimated the total amount of nitrogen leached out from the tea field as 1.86×10^6 kgN y^{-1} , and that 3.24×10^5 kgN y^{-1} was removed in the paddy field. In the Makinohara area, the reduction of nitrogen load by the tea and paddy field land system was estimated to be 17.4 % under present conditions.

Key words Makinohara, nitrate, nitrogen leaching, paddy field, tea field

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 68, 369-375, 1997)

書 評

新版 酸性雨

—複合作用と生態系に与える影響—

大喜多敏一 監修

「酸性雨」編集委員会・(社)ゴルファーの緑化促進協力会 編

B 5 判, 309 pp., 8,665 円

博友社 (東京), 1996 年

酸性雨については、地球規模の環境問題として、広く一般の関心が高まっている。本書は、1989年に出版された『酸性雨—生態系に与える影響—』の改訂版であり、旧版以後の最新の研究成果をとり入れ、酸性雨の問題に対し、より一層理解を深められるような内容としたものである。

本書の“Ⅰ. 概論”の部分では、酸性降下物の歴史と発生源、発生のメカニズム、酸性降下物の世界的な現状と被害、森林衰退や湖沼、河川、土壤生態系に及ぼす酸性降下物の影響等について全般的な事柄を簡潔に説明しており、要点を把握し易い。

“Ⅱ. 各論”の部分では、個々の関心に応じて、必要な情報を得ることができる。例えば、“第7章 酸性降下物等の土壤生態系に及ぼす影響”では、土壤の諸性質や生物過程に及ぼす酸性降下物の影響について各国で行

われた最近の研究成果を網羅しており、引用・参考文献も記載されているので、研究動向を把握するのに役立つ。また、第4章で、“林木の衰退と酸性降下物の影響”、第5章で、“森林生態系に与える酸性降下物の影響の機作”が論述されている他、第8章で、“酸性雨の農作物への影響”、第9章で、“果樹および茶樹に対する酸性雨の影響”について述べられており、農林業に対する酸性雨の影響に重点が置かれた内容となっている。

さらに、本書では、表題にもあるように複合作用について言及している。例えば、森林衰退の原因究明のためには、酸性雨というような単一作用のみでなく、オキシダント等の大気汚染物質としてのガス類との複合影響を検討する必要があることや果樹に使われるボルドー合剤等の農薬は酸性雨との複合影響があることを指摘している。また、洗剤に含まれる界面活性剤との間にも複合の影響が現れるという。このように本書では、酸性雨の問題においては単に酸性の強さの影響だけでなく、他の色々な要因との複合影響を考慮して、今後幅広く研究を進めていく必要性を説いている。

以上のように、本書はこの種の研究に取り組まれている諸氏並びにそれ以外の方々の多面的な興味に対応し得る書物であり、是非一読をお勧めしたい。

(農業研究センター 三浦憲蔵)