

## 窒素フロー収支からみた畑地施肥量削減の効果 - 茶畑の事例 -

松尾宏\*・馬場義輝\*・中村融子\*・徳永隆司\*・北森成治\*  
平田健正\*\*・西川雅高\*\*\*

従来から茶の品質に窒素施肥量が関係していることから、茶畑では多量の窒素施肥が慣行化していた。近年、窒素施肥量の減量が行われつつあるが、茶畑周辺水域の硝酸・亜硝酸性窒素の環境基準（10mg/l）に適合するように窒素施肥量の制御が求められている。

茶畑で、年窒素施肥量の異なる2年間に於ける水収支、窒素収支の調査を行い、施肥量削減が水質に及ぼす効果について検討を行った。試験地では、1997年6月-1998年5月（第1調査年）、1998年6月-1999年5月（第2調査年）にかけて窒素施肥量を1192kg/haから810kg/haまで減らした。各調査年の試験地での窒素収支は概ね均衡を示した。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調査年の73%から第2調査年の38%に減少した。茶畑流出水の硝酸性窒素の年平均濃度は34mg/lから29mg/lまで減少し、窒素施肥の減量効果が認められた。

[キーワード：茶畑，窒素施肥，硝酸性窒素，窒素フラックス]

### 1 はじめに

硝酸・亜硝酸性窒素の環境基準（10mg/l）が1999年2月に設定された。窒素の供給源は生活排水、畜産廃棄物及び畑地での施肥などが考えられる。とくに、施肥に由来する窒素は、降水などの気象、地質、耕作する作物の種類、農業形態などの影響を受けるため、全国的に画一的な污染源対策が取り難く、地域的な対応が必要になるものと考えられる。

福岡県南部では畑作が盛んで、その作物の中でも、茶は単位面積あたりの窒素施肥量が大きい作物である。1990年の調査でも、茶畑周辺溜池の硝酸性窒素濃度は10-30mg/lと高いレベルにあった<sup>1)</sup>。茶は嗜好性食品で、お茶の旨みが商品として重要な意味を持つ。この旨みはアミノ酸と関係があることがわかり、アミノ酸形成に必要な窒素肥料が多用されたことがその背景にある。窒素施肥量（以下窒素ベースで表示）は、1950年代に300kg/ha/年であったものが、1980年代には1000kg/ha/年を超えるようになった<sup>2)</sup>。茶畑での窒素施肥量の削減量と流出水の硝酸性窒素濃度の関係の把握は、環境基準値が設定された今日、社会的に重要な意義を持っている。

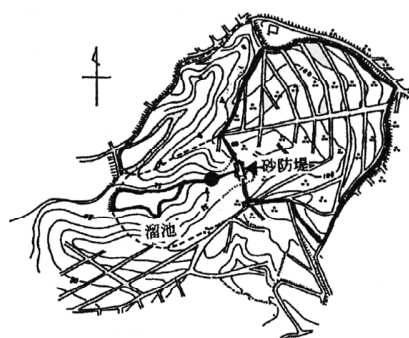
ここでは、茶畑での窒素施肥量削減過程における2カ

年間の窒素フローの調査解明を行ったので、その結果について報告する。

### 2 方法

#### 2・1 調査地域及び調査方法

茶畑の一区画を試験地として調査を行った。試験地は丘陵地帯に位置し、標高は80-100mにある（図1）。試験地付近の平年値は年降水量1887mm、年平均気温16.0である。表層の地質は、概ね泥・砂・礫で構成される河川の高位段丘層で、土壌は褐色森林土壌である<sup>3)</sup>。



：水位計設置場所， □：集水域

図1 試験地の概要

\* 福岡県保健環境研究所

(〒818-0135 福岡県太宰府市大字向佐野39)

\*\* 和歌山大学システム工学部

(〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)

\*\*\* 国立環境研究所

(〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2)

試験地の茶畑(7.51ha)直下の砂防ダムの下から湧水が出ており、小川となって溜池に流入している。この小川に水位計(コーナシステム社製のKADEC-MIZU)を設置し、1時間の間隔で連続的に測定を行った。調査期間は1997年6月-1998年5月(第1調査年)、1998年6月-1999年5月(第2調査年)とし、各調査年に20回の頻度で流量測定並びに試料採取を行った。

分析項目は、全窒素、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素などで、JIS K 0102に準拠した。

## 2・2 水収支及び窒素収支の算定方法

### 2・2・1 水収支

茶畑における水収支の主要素のうち、収入としては降水量が最も大きい。乾燥時に灌漑用水も使用されることもあるが、少量のため無視した。支出としては、地表及び植物からの蒸発散、表面流出水、中間流出水(湧水)、地下浸透水等がある。小川での流量(流出水量)は、試験地の表面流出水量及び中間流出水量(湧水)を含んでいる。

#### (1) 降水量

試験地に近いダム管理棟で測定された月降水量を用いた。

#### (2) 流出水量

河川水位の連続測定と流量測定との結果を基に、水位(Hmm)と流量(Qm<sup>3</sup>/時)との相関を示すH-Q回帰式((1)式)を求め、回帰式から流量を算定した。H-Q回帰式より計算された流量データを集水域面積(7.51ha)で除し、流出高(Rmm)を求めた((1-2)式)。

$$Q = 9.74 \times 10^{-6} \times H^{3.22} \quad (R^2=0.843) \quad (1)$$

$$R = Q / 75100 \times 1000 \quad (1-2)$$

#### (3) 蒸発散量

月平均気温(表1)を基に Thornthwaite の式<sup>4)</sup>を用い蒸発散量の計算を行った。

日降水量が1mm以上のときの日蒸発散量を0mmとし、日降水量が1mm未満のときの日蒸発散量は下記の Thornthwaite の式から算定される蒸発散能の値を用い、これを蒸散高とした。

$$EP = 0.533D(10t_j / J)^a \quad (2)$$

$$a = 0.000000675 J^3 - 0.0000771 J^2 + 0.01792 J + 0.49239$$

$$J = (t_j / 5)^{1.514} \quad (j=1-12)$$

EP: 日平均蒸発散量 (mm/日), D: 可照時間 (12時間/日, t<sub>j</sub>: j月の月平均気温 ( )

#### (4) 地下浸透量

地下浸透量は水収支を表す次式の消失高に相当するも

のとして計算した。

$$\text{消失高} = \text{降水量} - \text{流出高} - \text{蒸散高} \quad (3)$$

### 2・2・2 窒素収支

茶畑における窒素フローを表すモデルを図2に示す。茶畑における窒素負荷量は、収入として施肥が最も大きい要素である。また、降水からの窒素負荷量もそれに加わる。一方、支出の要素として、作物による吸収、茶畑流出(表面流出水及び湧水)、地下浸透及び脱窒による大気への揮散が考えられる。

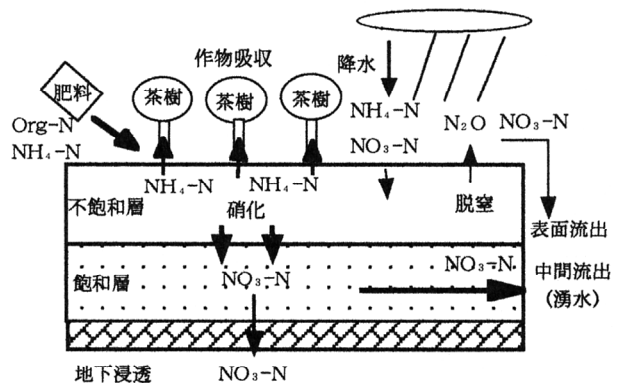


図2 茶畑における窒素フローモデル

#### (1) 降水からの窒素負荷量

日降水量(Pmm/日)と日窒素負荷量(LNkg/ha/日)との間には、次に示される回帰式が成立し、太宰府市と試験地でほぼ同じ係数をもつ次の回帰式に従うと推定される<sup>5)</sup>。(4)式に日降水量を代入し、降水からの窒素負荷量を求めた。

$$LN = 0.052 \times P^{0.469} \quad (4)$$

#### (2) 施肥による窒素負荷量

試験地で施用される肥料の種類はナタネ油粕、硫酸、配合肥料、その他有機肥料などである。茶畑での1haあたりの年窒素施肥量の実績は第1調査年で1192kgであった。過剰施肥の改善が行われつつあり、第2調査年では810kgまで低減化された。

#### (3) 作物の窒素吸収量

茶樹による窒素の吸収量は窒素で10aあたり約40kg/年と推定されている<sup>6)</sup>。したがって、試験地では年間で1haあたり400kgが茶樹に吸収されるものとした。

#### (4) 脱窒による消失

畑地に施用された窒素肥料の一部は、アンモニアとして揮散するか、あるいは、脱窒菌の働きによって硝酸イオンは亜酸化窒素ガス、窒素ガスに還元され、その多くは大気中に揮散する。茶畑土壌のpHは3-5程度と酸性化されているため、アンモニアとしての揮散は無視できると考えられる。また、酸性土壌では、硝酸イオンの多くは亜酸化窒素の段階で脱窒反応が制限されていると考え

られる。茶畑では、窒素施肥量の3.46%が亜酸化窒素となると推定されることから<sup>7)</sup>、ここでは施用された窒素量の3.46%を脱窒量として計算した。

(5) 茶畑流出水の窒素流出負荷量

(1)式に日平均水位を代入して、茶畑からの流出水量(Qm<sup>3</sup>/日)に換算し、その値と窒素濃度の測定値との積から窒素流出負荷量(Lkg/日)を求めた。窒素流出負荷量と流出水量の間には次のL-Q回帰式が成立する(図3)。H-Q回帰式(1)より算定した流出水量をL-Q回帰式に代入することにより、窒素流出負荷量を求めた。

第1調査年： $L=0.026 \times Q^{1.06}$  ( $R^2=0.956$ )，  
 第2調査年： $L=0.030 \times Q^{1.01}$  ( $R^2=0.994$ ) -----(5)

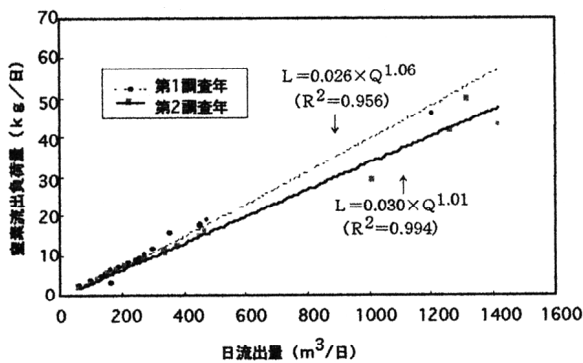


図3 窒素流出負荷量のL-Q曲線

(6) 地下浸透による窒素負荷量

飽和層の水は湧水及び地下浸透水として移動していると考えられることから、深層に移動する地下浸透水の窒素濃度は、茶畑からの中間流出水の濃度に等しいと仮定できる。そこで、地下浸透過水の窒素負荷量は茶畑中間流出水の年平均窒素濃度と地下浸透量の積から算定した。

3 結果と考察

3.1 水収支

降水量，流出高，蒸発高，地下浸透量(消失高)に関する水収支の調査結果を表2に、第1調査年と第2調査年の水収支に関する年間値を図4に示す。第1調査年及び第2調査年の降水量2818mm，1529mmに対し、各62%及び54%が流出水として試験地から流出しており、各20%及び10%が更に地下に浸透していると推計された。なお、地下浸透量には、不明分も含まれているので多少過大評価となっている可能性もある。図4から試験地の域外に流出する水量は降水量と蒸発散量の差によって概ね決定されるものと考えられる。

3.2 窒素収支

第1調査年と第2調査年の降水，施肥，作物吸収，流

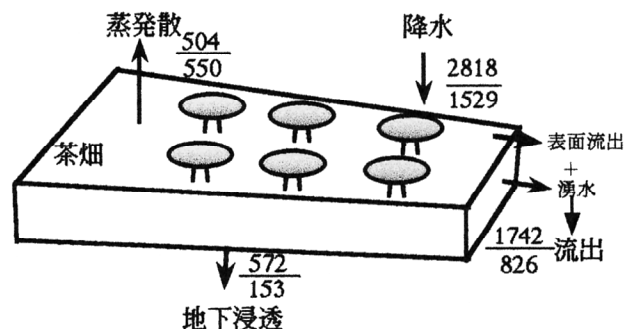
出及び地下浸透の過程における茶畑での窒素フローの収支の調査結果を表3に示す。また、年間値の窒素収支を図5に示す。ここでは、アンモニア性窒素，有機性窒素として存在すると考えられる土壌堆積量については無視できるものと仮定し、計算している。土壌中を移動する窒素は殆どが硝酸性窒素の形態であり、地下水の硝酸性窒素汚染に關与する重要な因子であると考えられる<sup>8)</sup>。

第1調査年で、収入は施肥と降水の合量1216kg/haに対し、支出は表面及び中間流出(湧水)が662kg/haで地下浸透が205kg/haと推計された。窒素換算で施肥量の約56%が流出し、約17%が更に深層に地下浸透していることになる。

第2調査年で、収入は施肥と降水の合量827kg/haに対し支出は表面及び中間流出(湧水)が261kg/haで地下浸透が49kg/haと推計された。窒素換算で施肥量の約32%が流出し、約6%が更に深層に地下浸透していることになる。

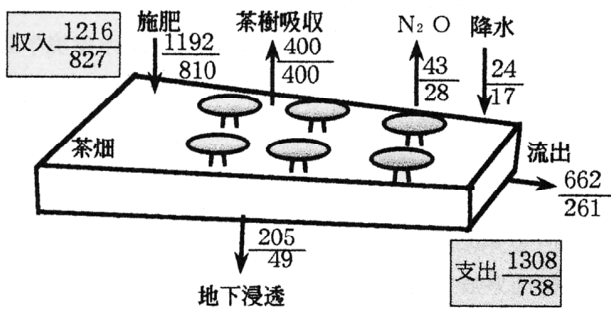
試験地の域外へ流出する窒素負荷量(表面・中間流出と深層への地下浸透の合量)は窒素施肥量に対して、第1調査年の73%から第2調査年の38%と減少した。また、試験地の域外へ流出する窒素負荷量は、第1調査年を100とすると第2調査年で36まで減少し、窒素施肥の減量効果が顕著に現れていることを示した。

第1調査年と第2調査年の窒素の収支バランスを支出/収入の比で表示すると1.08及び0.89となり、分析あるいは流量などの測定誤差を考慮すると、窒素の収支は概ね均衡がとれていると考えられる。このような短期間での窒素収支の均衡は、試験地で中間流出水量が多く、水の移動が早いことを示している。また、図5から、試験地域外への窒素流出に大きく関与している因子は施肥量と茶樹の吸収量であることがわかる。即ち適正施肥(施肥量と茶樹の吸収量の差を小さくすること)が試験地域外への窒素流出量削減のために重要であることが示唆される。



数値：上段 第1調査年，下段 第2調査年

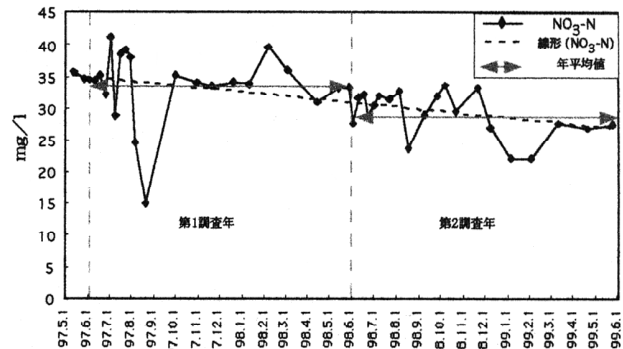
図4 茶畑における水収支 (mm/年)



数值：上段 第1調査年，下段 第2調査年  
**図5** 茶畑における窒素収支 (kg/ha/年)

### 3.3 流出水の硝酸性窒素濃度変化

調査期間での流出水の硝酸性窒素の濃度変化を図6に示す。硝酸性窒素の年平均濃度は第1調査年の34mg/lから第2調査年の29mg/lまで減少した。



**図6** 茶畑流出水の硝酸性窒素の季節変動

**表1** 月平均気温の推移

月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	平均
第1調査年	22.5	26.1	26.7	21.6	16.5	13	3.6	4.4	8.1	9.1	16.8	20.2	15.7
第2調査年	22.3	26.5	27.6	24.8	19.4	12.4	8.2	4.7	4.9	10.1	13.5	18.6	16.1

単位：

**表2** 水収支計算

月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	計
月降水量													
第1調査年	208	836	352	249	7	214	111	143	64	133	246	255	2818
第2調査年	506	160	174	69	186	11	21	25	44	89	96	148	1529
月流出高													
第1調査年	84	516	187	143	127	103	56	88	99	91	93	155	1742
第2調査年	188	126	83	57	60	49	32	28	31	42	72	58	826
月蒸発散量													
第1調査年	85	69	79	62	55	25	3	3	12	15	36	60	504
第2調査年	51	82	114	99	50	29	14	5	4	15	27	60	550
月消失高													
第1調査年	39	251	86	44	-175	86	52	52	-41	27	117	40	572
第2調査年	267	-48	-23	-87	76	-67	-25	-8	9	32	-3	30	153

単位:mm

**表3** 窒素フロー収支計算

月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	計
降水からの窒素負荷量													
第1調査年	1.7	4.7	2.7	2.1	0.1	1.6	1.4	2	0.9	1.6	2.5	2.3	23.7
第2調査年	3.8	2.2	1.4	0.9	1.9	0.2	0.3	0.4	1	1.5	1.4	1.4	16.5
施肥による窒素負荷量													
第1調査年	216	0	196	196	0	0	0	0	100	300	134	50	1192
第2調査年	0	0	140	130	0	0	0	0	100	300	90	50	810
流出水による窒素流出負荷量													
第1調査年	30	213	71	53	47	38	19	32	36	33	33	56	662
第2調査年	60	40	26	18	19	16	10	9	10	13	23	18	261
地下浸透による窒素流出負荷量													
第1調査年	14	89	30	16	-62	30	18	18	-15	10	41	14	205
第2調査年	85	-15	-7	-28	24	-21	-8	-3	3	10	-1	10	49

単位:kg/ha

水収支，窒素収支の調査結果から，畑地域外の流出水の硝酸性窒素濃度(Cmg/l)は次式で概算できることになる。

$$C = (F - IN) / (P - ET) \times 100 \text{ -----(6)}$$

F：窒素施肥量(kg/ha/年)，IN：作物の取込量(kg/ha/年)，P：降水量(mm/年)，ET：蒸散高(mm/年)

第1調査年，第2調査年の値をこの式に代入すると硝酸性窒素濃度は各調査年で35mg/l，42mg/lとなり，第1調査年でほぼ合っているが，第2調査年でかなり現状と異なる結果となっている。この原因は次のように考えられる。第2調査年では，窒素収支で収入827kg/haに対し支出738kg/haと89kg/haほど少ない。これを，硝酸性窒素濃度に換算すると9mg/lに相当し，この値だけ予測値より下回ることになる。窒素支出の減少要因として，第1調査年と比べ第2調査年の年降水量が1289mmも少なかったため，地中での水の移動が遅くなり，調査年内に投入された窒素量の一部が土壌に滞留していることが考えられる<sup>8)</sup>。茶畑では茶樹の剪定が行われるが，その摘採分の20%（窒素量で30-60kg/ha程度）が茶樹と土壌を循環しているとの報告もある<sup>9)</sup>。(6)式はこのような土壌堆積分の窒素量を無視しているが，水質予測の精度を上げるためには，土壌堆積窒素量を組み込んだ窒素フローモデルの検討が更に必要であると考えられる。

#### 4 まとめ

年窒素施肥量の異なる2年間の茶畑での水収支及び窒素収支の調査結果から次のようなことがわかった。

1) 窒素施肥量を1192kg/haから810kg/haまで減らすことによって，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調査年の73%から第2調査年の38%に減少した。

2) 硝酸性窒素の年平均濃度は第1調査年の34mg/lから第2調査年の29mg/lまで減少し，窒素施肥量の減量の効果が認められた。

3) 第1調査年と第2調査年の窒素の収支バランスを支出/収入の比で表示すると1.08及び0.89となり，茶畑の窒素の収支は概ねバランスがとれた。しかし，精度の高い水質予測を行うには土壌堆積窒素量まで含めたモデルの検討が更に必要と考えられる。

#### 謝辞

本調査を行うにあたり，広川町役場，福岡県農業総合試験場から基礎データの提供を頂いた。また，加藤忠司（元国立野菜・茶業試験場），烏山光昭（鹿児島県農業試験場）の両氏から，本研究に関する貴重な資料の提供を

頂いた。ここに深謝します。

なお，本調査は環境庁から福岡県への委託により実施されたものである。本稿の一部は第2回日本水環境学会シンポジウムで発表した。

#### 文献

- 1) 松尾宏ら：茶畑を集水域とする溜池の酸性化現象について，用水と廃水，34(2)，18-23，1992。
- 2) 福岡県農政部農業技術課：福岡県茶施肥基準，pp.52-53，1985。
- 3) 福岡県農政部農地計画課：土地分類基本調査，久留米編，1982。
- 4) C.W.Thornthwaite：An approach toward a rational classification of climate，Geograph. Rev.，38，55-94，1948。
- 5) 松尾宏ら：福岡県における降下物負荷量の変動特性，用水と廃水，37(12)，5-10，1995。
- 6) 烏山光昭：茶園における肥沃度・肥裁管理，環境保全型農業を巡る壤肥沃度管理，日本土壌協会，pp.59-64，1996。
- 7) 馬場義輝ら：酸性化した茶畑におけるN<sub>2</sub>Oの生成，第6回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，pp.255-258，1998。
- 8) 平田健正ら：土壌・地下水汚染と対策，pp.228-239；東京，(社)日本環境測定分析協会。
- 9) 保科次雄ら：土壌中におけるチャ有機物の分解と茶樹による窒素の再吸収，茶業研究報告，No.55，30-36，1982。

The changes of nitrogen flux for decreasing of the annual amount of fertilizer for a tea field.

Hiroshi MATSUO, Yoshiteru BABA, Yuko NAKAMURA, Takashi TOKUNAGA, Shigeji KITAMORI,  
Tatemasa HIRATA and Masataka NISHIKAWA

*Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,  
39Mukaizano,Dazaifu,Fukuoka818-0135,Japan*

There has been a tendency for tea fields to be overfertilized in order to cultivate a higher quality of tea, which has resulted in nitrate contamination of groundwater beneath the tea fields. To meet the environmental standard of nitrate concentration in groundwater and to maintain the quality of tea, controls of the amounts of fertilizer used are required.

We investigated the annual flux of water and nitrogen in a tea field for 2 consecutive years, when the amount of fertilizer used in each year was different, in order to study the effect of the reduced amount of fertilizer on nitrate contamination in groundwater. The annual flux was determined by the precipitation amount, the amount of the fertilizer used, the infiltration of rainfall, the nitrogen release by denitrification, the nitrogen intake of the plants and the runoff from the field. The amount of fertilizer was reduced from 1192kgN/ha in the first year (June 1997 and May 1998) to 810kgN/ha in the second year (June 1998 and May 1999). The total input of nitrogen flux was almost equal to the total output in each year. The annual output of nitrogen flux was 73% of the total nitrogen used as fertilizer in first year, which decreased to 38% in the second year. The annual mean concentration of nitrate in runoff out of the tea field decreased from 34mgN/l in the first year to 29mgN/l in the second year, and the tea quality was sustained.

The findings in our study showed that an improvement of nitrate contamination in groundwater is possible by reducing the amount of fertilizer used and by monitoring the annual nitrate flux.

[ key words : fertilizer, tea field, nitrate , groundwater, contamination, nitrogen flux ]