

6. 土壌中のイオンの分布特性

崔 榮恩・岡田亮介（筑波大学・環境科学研究科）
田瀬則雄（筑波大学・地球科学系）

6.1 はじめに

近年、農業が行なわれている地域を中心として地下水の硝酸・亜硝酸による汚染が深刻化している。多くの場合、汚染の原因として施肥、特に窒素肥料を中心とする化学肥料による影響が大きいと考えられている。そして、化学肥料の多量施肥は地下水汚染ばかりではなく、畑地土壌にも酸性化、地力低下等の深刻な影響を及ぼしている。窒素としての化学肥料の年間施用量は作物の種類によって異なるが、茶は単位面積当たりの施肥量が比較的多い作物であり、また、茶の栽培地の地下水や湧水で高濃度の硝酸・亜硝酸性窒素が検出されている例も多い（小川，1996；佐藤ほか，1995；松山ほか，1993；宮沢，1997）。今後、地下水の硝酸・亜硝酸性窒素を考える上で化学肥料の溶脱が重要な問題であり、土壌中の肥料の成分の分布を明らかにすることが最優先課題であると考えられる。

そこで、狭山茶として知られる茶の栽培地である埼玉県入間市の金子台において、茶畑土壌中のイオンの分布を把握する目的で調査を行なったので、その結果を報告する。

6.2 方法

1) 調査地点

調査の対象として土壌試料の採取を行なった地点は、標高 150 m に位置している茶畑である（図 2-1 の C 地点）。この付近は戦前は桑畑として利用されていたが、茶栽培の開始から多量の化学肥料が継続的に投与され、その土壌は施肥の影響を受けているものと考えられる。また、茶畑との比較の対象として三輪神社の境内においても土壌試料の採取を行なった（図 2-1 の D 地点）。三輪神社はおよそ 700 年前に建立された神社であり、標高 140 m に位置している。その境内の土壌は現在まで肥料等による汚染はなく、自然の状態が保たれていると考えられる。それぞれの地点において深度 20 m までのオールコアボーリングを行ない土壌試料を採取した。両地点ともに関東ロームによって構成される土壌層の層厚はおよそ 10 m であり、その下層には砂礫層がみられた。ローム層は表層から立川ローム層、武蔵野ローム層、下末吉ローム層に分類される。

2) 分析方法

採取した土壌試料は実験室に持ち帰り深度 1 m 毎に数深度の土塊に切り分け、速やかに風乾処理を行ない風乾土試料を作成した。その風乾土試料を用いて土壌層の下限である深度 10 m までを対象に土壌中の水溶性陽イオン・陰イオン、交換性陽イオンの分析を行なった。分析法は以下の通りである。

i) 水溶性陽イオン・陰イオン

ポリエチレンびんに入れた風乾土試料 10 g に純水 50 mL を加えて 1 時間振とう後ろ過し、その試料液を陽イオン (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) は ICP 分析装置で、また、陰イオン (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) はイオンクロマトグラフィーで定量分析した。

ii) 交換性陽イオン

亀和田・柴田 (1997) に従い、風乾土試料 1 g に 0.05M 酢酸アンモニウム - 0.0114M 塩化ストロンチウム溶液 [酢酸アンモニウム ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 3.85 g と塩化ストロンチウム (SrCl_2) 1.81 g を純水に溶かして 1 L とした溶液] 200 mL を加え 1 時間振とう後ろ過し、その試料液の陽イオン (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) を ICP 分析装置で定量した。

6.3 結果および考察

図 6-1 に土壤中の水溶性陰イオン含有量の分布を示した。水溶性 Cl^- は全深度に渡って茶畑と神社でほぼ同じ値を示し、1.2 meq/kg と一定していた。一方、水溶性 NO_3^- , SO_4^{2-} は茶畑において著しく含有量が多い傾向がみられた。水溶性 NO_3^- は深度 3 m 付近までが特に含有量が多く、神社でおよそ 3 meq/kg を示したのに対して茶畑では 10.15 meq/kg を示し、深度 1.4 m 付近では 17 meq/kg に達した。そして深度 5 m 付近まで含有量が減少するが、それ以下の深度においても神社の 0.5 meq/kg に対して茶畑では 5 meq/kg 前後の値を保っていた。水溶性 SO_4^{2-} は神社では全深度において検出されなかったが、茶畑では深度 1 m 付近でおよそ 6 meq/kg、深度 4 m 付近まで 1.2 meq/kg を示した。深度 5 m 前後からは茶畑においてもほとんどの深度で検出されなかった。また、図 6-2 には土壤中の水溶性陽イオン含有量の分布を示した。水溶性陽イオンでは Ca^{2+} , K^+ および Mg^{2+} が茶畑において著しく高い値を示した。水溶性 Ca^{2+} は茶畑において深度 2 m 付近がおよそ 12 meq/kg と神社の 1 meq/kg と比較して著しく高い値を示した。深度 5 m 付近までは急激に含有量が減少するが、それ以下の深度においても 1.3 meq/kg と神社よりも高い値を示した。水溶性 K^+ は神社において土壤中の値がほぼ 0 を示したのに対して茶畑では深度 6 m までの深度において 2.6 meq/kg を示した。水溶性 Mg^{2+} は深度による濃度の変化は小さかったが、深度 3 m 付近までと深度 5 m 以下の深度において茶畑における値が神社よりも高くなる傾向がみられた。水溶性 Na^+ は深度 6 m 付近までは茶畑、神社ともに 1 meq/kg 前後の値を示しほぼ一定であったが、それ以下の深度においては茶畑の値が神社を若干上回る傾向がみられた。金子台において茶畑に施与される化学肥料は NH_4^+ , SO_4^{2-} , K^+ が主成分であり、また酸

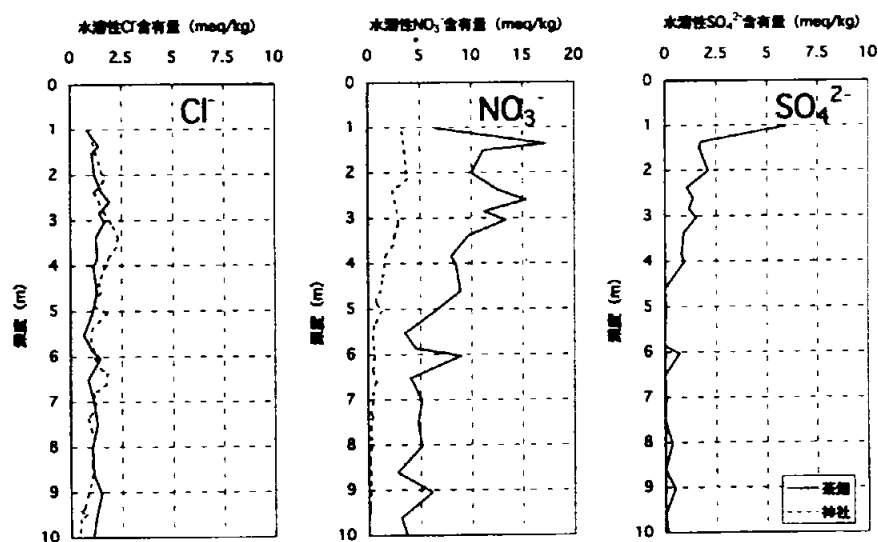


図 6-1 土壤中の水溶性陰イオン含有量の分布

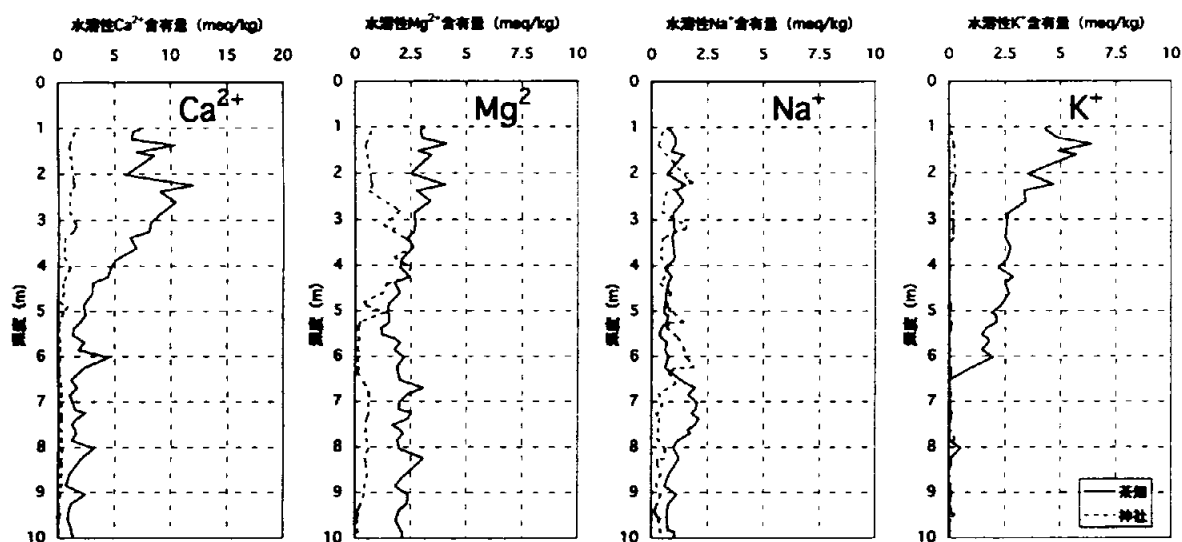


図 6-2 土壌中の水溶性陽イオン含有量の分布

化防止剤として肥料とともに投与される苦土石灰には Ca^{2+} 、 Mg^{2+} が含まれる。 NH_4^+ は土壌に投与されると硝酸化成作用をうけて速やかに NO_3^- に変化することから、茶畑の土壌表層で水溶性の NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} が卓越するのは施肥の直接的な影響であると考えられる。

図 6-3 には茶畑土壌中の水溶性イオンのバランスを示した。陰イオンと陽イオンのプロファイルがほぼ一致する傾向がみられることから、両者が電氣的にバランスしていることが明らかである。一般的に陰イオンは陽イオンよりも土壌固相との反応が小さいために、土壌に肥料が投与されると、施与陰イオンがそのまま土壌中に水溶性陰イオンとして残されがちであり、残された陰イオンが陽イオンの行動を支配していると考えられている（今井・岡島，1979）。特に窒素源として硫酸アンモニウム等のアンモニウム塩を投入する場合、陽イオンの NH_4^+ が硝酸化成作用によって陰イオンの NO_3^- に変化する。この過程で生成する H^+ が土壌固相の交換性 Ca^{2+} と交換吸着され、土

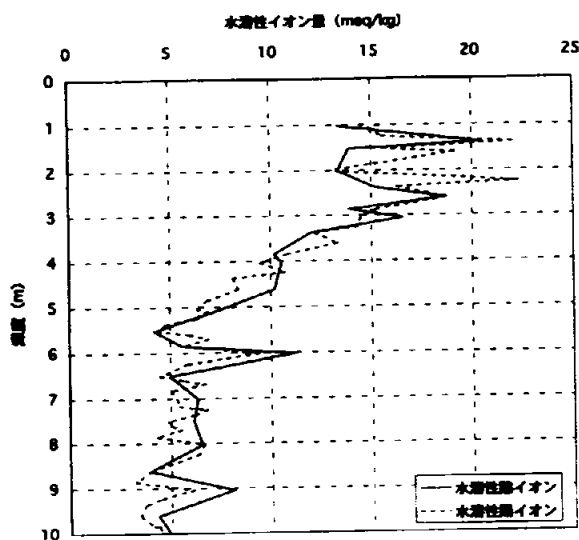


図 6-3 茶畑土壌中の水溶性イオンのバランス

壤液相中に Ca^{2+} が溶出する現象が岡島ほか (1974) によって示され、土壤中の水溶性陰イオンと陽イオンが 1:1 の関係を保持している場合は、硝酸化成による硝酸の生成が水溶性イオンの組成に重要な役割をはたしていると考えられる。したがって、茶畑に投与される K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} は土壤中でいったんは土壤に吸着保持されるが、硝酸化成作用によって生じる H^+ との交換によって溶出し、水溶性陽イオンとして存在するようになると考えられる。また、深度 5 m 付近までに水溶性 NO_3^- , SO_4^{2-} 含有量が急激に低下する傾向がみられたが、これは、土壤の吸着 (7 章参照) によるものであると考えられる。このような陰イオン含有量の低下にともなって陽イオンは電氣的に過剰になることが推測されるが、その過剰分は交換性陽イオンとして再び土壤に吸着保持されることが考えられる。そこで、図 6-4 には土壤中の交換性陽イオン含有量の分布を示した。交換性陽イオンでは茶畑土壤中の Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} の蓄積が顕著にみられ、その深度は Ca^{2+} が深度 5 m, K^+ は深度 6 m, そして Mg^{2+} は深度 3 m 付近にまでおよび、水溶性陽イオンのプロファイルとほぼ同じ傾向がみられた。そして、図 6-5 には土壤中の交換性陽イオン含有量 (総量) の分布を示した。茶畑において深度 6 m 付近までの交換性陽イオンの蓄積が顕著にみられたが、それ以下の深度においては、茶畑と神社でほぼ同じ値を示した。これらの結果から、肥料または酸化防止剤として投与された陽イオンのほとんどが深度 6 m までの表層土壤中に吸着保持されている可能性が示唆された。一方、深度 6 m 以下の深層土壤中においては、土壤表層において窒素肥料の成分である NH_4^+ から硝酸化成作用によって生じた水溶性 NO_3^- がおよそ 5 meq/kg と高い値を示し、それに対応する水溶性陽イオンでは Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ 卓越していた。図 6-4 および図 6-5 から深層土壤中には下末吉ロームに多く含まれる角閃石起源であると考えられる交換性 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ が天然で豊富に存在していることが示唆され、また、施肥によって供給される陽イオンは土壤深層にはほとんどおよばないことから、深度 6 m 以下の深層土壤中卓越する水溶性 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ は NO_3^- とのバランスを保つために土壤固相から溶出してきていると考えられる。

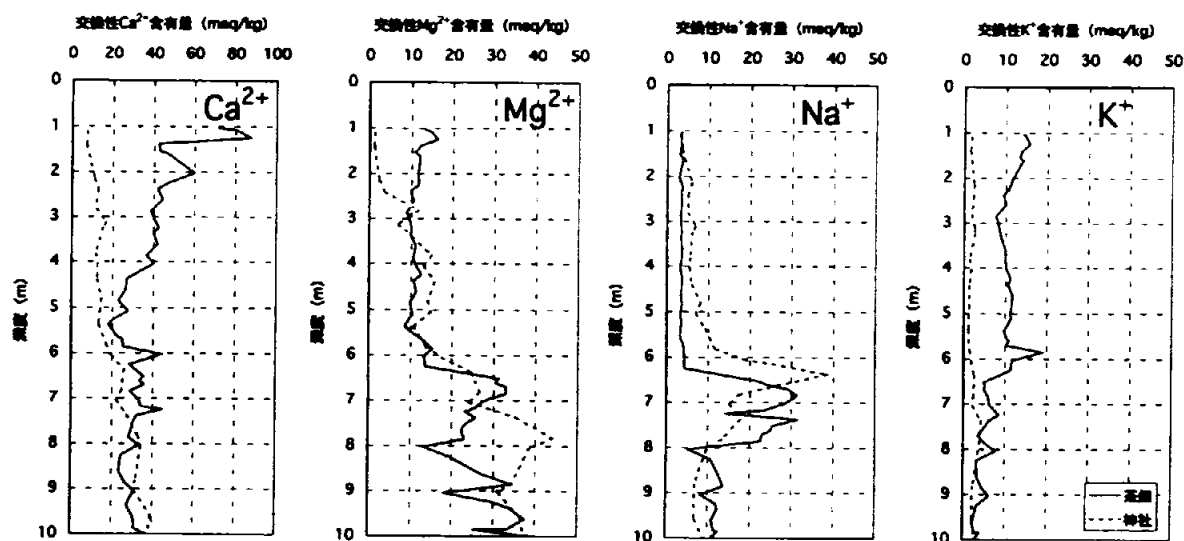


図 6-4 土壤中の交換性陽イオン含有量の分布

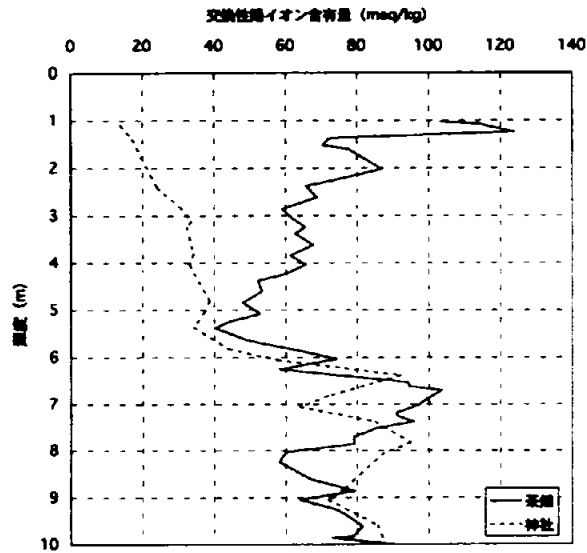


図 6-5 土壌中の交換性陽イオン含有量（総量）の分布

図 6-6 には茶畑土壌中の水溶性イオン含有量の分布とイオンの構成比を示した。本調査地点においては、化学肥料が長期にわたって継続的に投与された結果、深度 6 m 付近までの表層土壌中には施肥の直接的な影響で水溶性 NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} が卓越し、そして深度 6 m 以下の深層土壌中には水溶性 NO_3^- , そして土壌固相から溶出した Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ が卓越することが明らかになった。

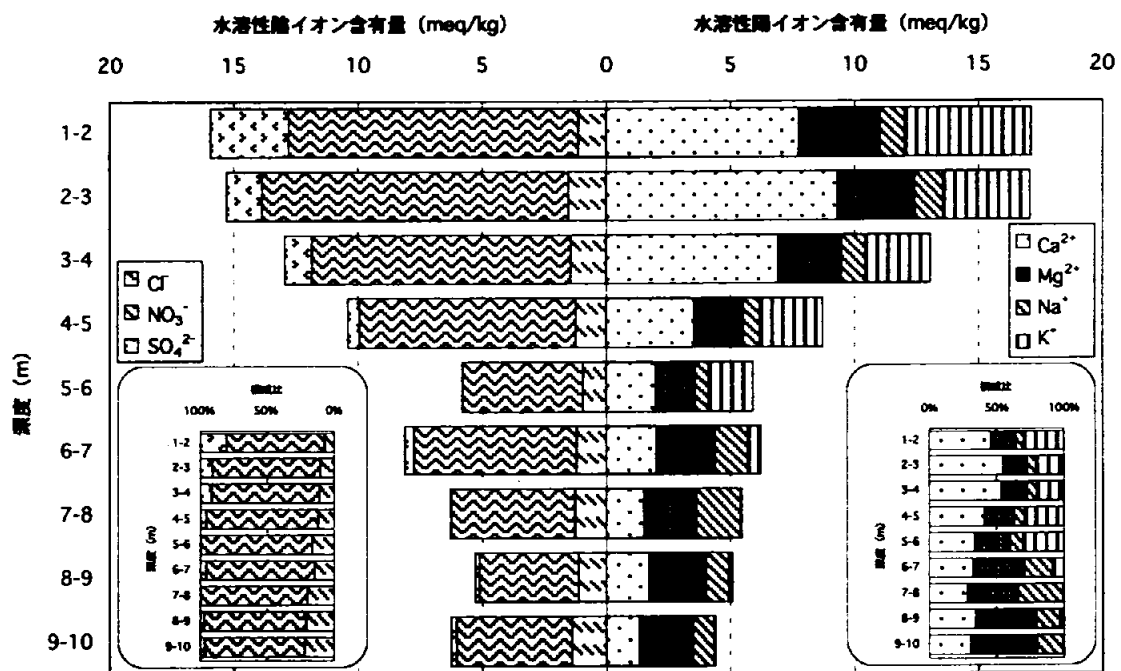


図 6-6 茶畑土壌中の水溶性イオン含有量の分布とイオンの構成比

文 献

- 今井弘樹・岡島秀夫 (1979) : 土壤の養分保持能に関する研究 (第 1 報) CEC, AEC が土壤溶液のイオン濃度におよぼす影響. 日本土壤肥料学雑誌, 50, 33-39.
- 岡島秀夫・今井弘樹・牧田規子 (1974) : 土壤の養分供給能に関する研究 (第 3 報) 硝酸化成にともなう固相養分の放出について. 日本土壤肥料学雑誌, 45, 389-394.
- 小川裕美 (1996) : 地下水中の硝酸性窒素の汚染源に関する研究. 平成 7 年度筑波大学環境科学研究科修士論文.
- 亀和田國彦・柴田和幸 (1997) : 陽イオン交換容量の測定を要さない土壤試料のための簡易な交換性陽イオンの侵出法. 日本土壤肥料学雑誌, 68, 61-64.
- 佐藤浩文・国包章一・眞柄泰基・田中和博 (1995) : 硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染の事例調査. 第 46 回全国水道研究発表会講演集, 518-519.
- 桧山哲哉・宮岡邦任・嶋田 純・坂寺一洋・S. Dapaah-Siakwan・辻村真貴・島野安雄・榎根 勇 (1993) : 金子台付近における不圧地下水—水質の空間分布と地形段丘面による差異—. 筑波大学水理実験センター報告, 18, 29-39.
- 宮沢直樹 (1997) : 埼玉県入間市付近における不圧地下水の水質特性について. 平成 8 年度筑波大学環境科学研究科修士論文.