

下総台地上の野菜畑における深さ30mまでの土壌水硝酸イオン濃度の実態

八槨 敦・楠田 隆^{*1}・香川 淳^{*2}・古野邦雄^{*2}

キーワード：下総台地，ボーリング調査，土壌水，硝酸イオン濃度，陽イオン濃度

I 緒 言

環境省が実施した平成22年度地下水水質測定の結果では、全国3,733本の井戸の4.3%で、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素濃度が環境基準値の10mg/L(硝酸イオン濃度に換算すると44.3mg/L)を超えている(環境省水・大気環境局, 2012)。なかでも千葉県の基準値超過率は15.3%であり、全国平均より高い。土地利用別では、畜産地帯や野菜・果樹生産地帯の井戸水の硝酸イオン(以下硝酸とする)濃度が高く、畜産廃棄物と施肥に起因する硝酸汚染の進行が指摘されている(熊沢, 1999)。このような状況で、著者らは千葉県の農地に関する窒素収支から、ほ場に残存する窒素量が野菜栽培で多いこと、また、地域別では下総台地上の市町村で多いことを試算している(八槨ら, 2003)。

下総台地の上部は厚さ2.5~5mの関東ローム層で覆われ、関東ロームの最下層には下末吉ロームが位置する(遠藤, 1997)。下末吉ローム起源の常総粘土は、透水性が非常に低く、その上部に局所的な地下水である宙水が形成される(加藤ら, 2011)。この地下水面直上部で、土壌の硝酸濃度が著しく減少することが指摘されている(小川ら, 2000)。著者らも下総台地の野菜畑で、常総粘土が出現する地表面下(以下深さとする)3.75~4mの土壌溶液の硝酸濃度は、深さ1~1.25mに比べて30~40%低いことを明らかにしている(八槨・安西, 2005)。しかし、この調査の深さ3.75~4mの硝酸濃度は、平均で142mg/Lと高く、また台地上の主な土地利用が畑地である集水域からの湧水の硝酸濃度は、90mg/Lを超えている(真行寺ら, 2006)。さらに、下総台地である火山灰台地の57カ所の調査では、井戸の平均深さが44.8mであり、井戸水の硝酸濃度の平均値が25.6mg/Lであった(金子, 1994)。これらのことから、野菜栽培で土壌中に残存した硝酸は、常総粘土以下に移動し、地下水に流出していることが推察される。

関東ロームの下は、砂、シルト及び粘土の互層からなり、関東平野における主要な帯水層といわれる下総層群である(磯崎・菅原, 1986)。そこで、農地の硝酸が下総層群の地下水へ流出する状況を明らかにするために、下総台地上の野菜畑で深さ30mまでのボーリングを行い、土壌水の硝酸濃度の実態を調査した。

II 材料及び方法

1. 調査地点

調査地点は、下総台地の中央部に位置する千葉県富里市立沢地区のバレイショやニンジン等が栽培されている野菜畑で(第1図)、腐植質普通黒ボク土・非埋没腐植質であった。

2. ボーリング方法

地表面から打ち止めまでの全ての土壌試料(コア)を採取する孔径86mmのロータリー式オールコアボーリングによって、深さ30mまで1mごとにコアを採取した。ボーリング及びコアの採取は、(株)両総コンサルタントに委託し、2009年1月27~30日に実施した。

3. 分析方法

土壌試料は、以下の要領で深さ0.5m~29.5mまで1mご



第1図 下総台地の分布と調査地点

受理日2012年8月8日

^{*1}元千葉県環境研究センター

^{*2}千葉県環境研究センター

本報告の概要は、2010年度日本土壌肥科学会関東支部大会において発表した。

とに採取した。1mの各コアの中央部から、pH測定用の土壌を採取するとともに、容積重と三相組成分析用及び土壌水採取用に100mL容の試料円筒（大起理化工業製）で採土した。この試料円筒を毎分10,000回転で、30分間遠心分離して（国産遠心器製H65型Sを使用、回転半径6.1cm）、土壌水を採取した（加藤，1997）。

4. 土壌及び土壌水の採取方法

容積重と三相組成は土壌三相計（大起理化工業製）を用いて、pHは土壌と水の比を1：5として、それぞれ慣行に従って測定した。土壌水の硝酸、塩化物イオン（以下塩素とする）及び硫酸イオン（以下硫酸とする）の陰イオン濃度は、イオンクロマトグラフ（ダイオネクス製IC-20）で測定した。ナトリウムイオン（以下ナトリウムとする）、カリウムイオン（以下カリウムとする）、鉄イオン（以下鉄とする）及びマンガンイオン（以下マンガンとする）の陽

イオン濃度の測定には、ICP発光分光光度計（バリアンテクロノジーズジャパンリミテッド製710-ES）を用いた。

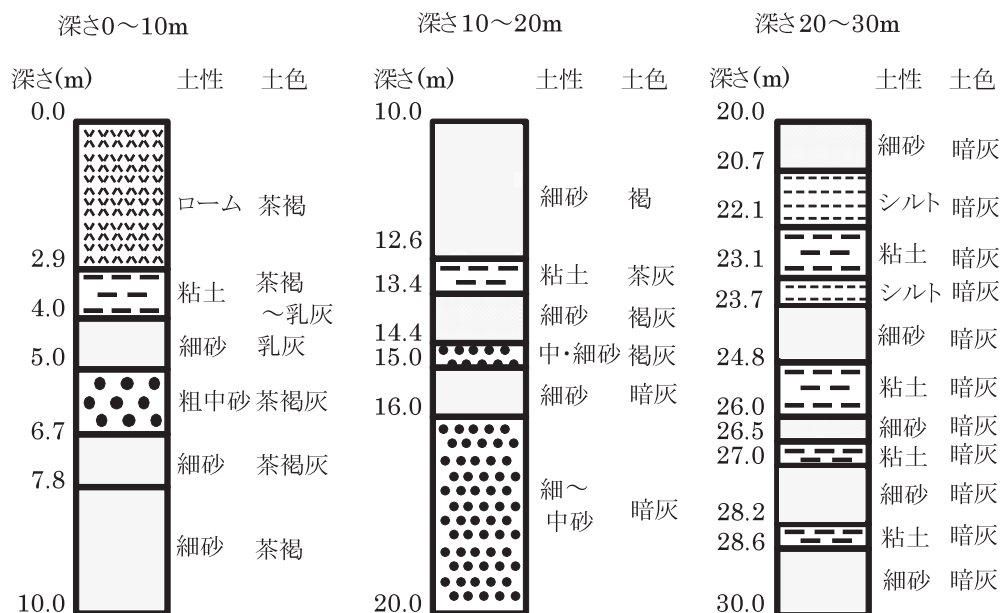
Ⅲ 結 果

1. 調査地点の地質

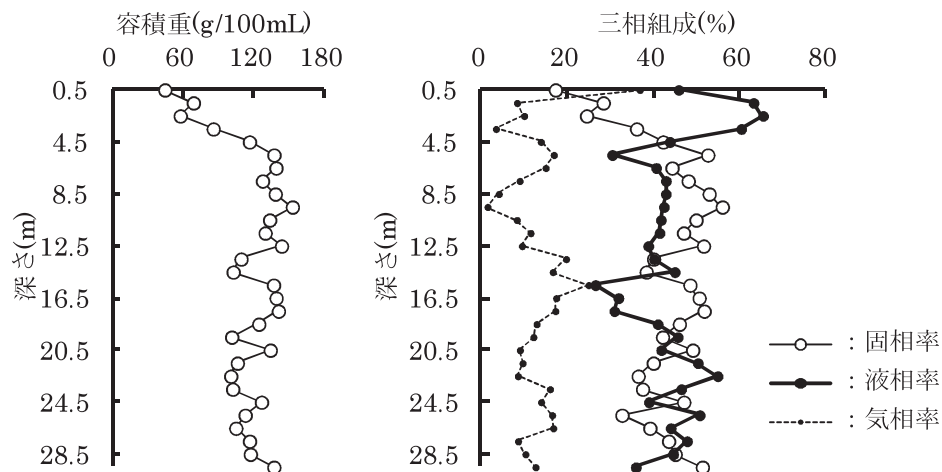
ボーリング調査から作成した柱状図を第2図に示した。調査地点の標高は37mであり、深さ0～2.9mがローム、深さ2.9～4.0mが茶褐～乳灰色の粘土であった。その下の深さ4.0～12.6mが乳灰、褐あるいは茶褐色の砂、深さ12.6～13.4mが茶灰色の粘土であった。さらに、それ以下の深さ13.4～30.0mは、褐灰～暗灰色の砂、シルトあるいは粘土の互層となっていた。

2. 土壌の容積重と三相組成とpH

深さ4.0mまでのローム及び粘土は、それ以下の層に比



第2図 ボーリング調査における柱状図



第3図 土壌の容積重と三相組成の深さに伴う推移

べ、容積重が85g/100mL以下、固相率が概ね35%以下と低く、液相率が概ね45%以上と高かった（第3図）。深さ4.0m以下は、容積重が100g/100mL以上であり、そのうち砂層（n=20）では固相率、液相率及び気相率の平均値及び標準偏差がそれぞれ $47\pm5\%$ 、 $40\pm7\%$ 、 $13\pm5\%$ 、粘土層（n=5）ではそれぞれ $40\pm5\%$ 、 $46\pm6\%$ 、 $14\pm4\%$ であり、粘土層より砂層の固相率が高く液相率が低かった。

土壌のpHは、深さ0.5～14.5mが6.0～7.8であったが、深さ15.5m以下では8.6～9.7と高かった（第4図）。

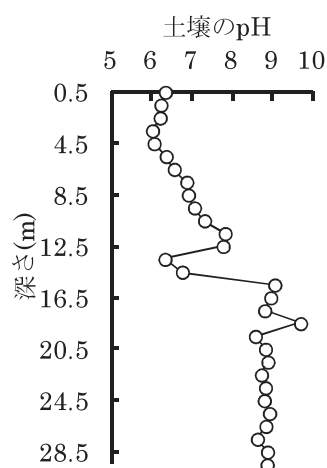
3. 土壌水の陰イオン濃度

土壌水の硝酸濃度は、深さ0.5mと1.5mの上層でそれぞれ107 mg/L、133mg/Lと高く、これに比べて深さ3.5mの粘土層とその直上部の深さ2.5mではそれぞれ34 mg/L、37 mg/Lと低く、上層の約1/3であった（第5図）。しかし、それ以下の深さ4.5～7.5mでは29～78mg/L、深さ10.5～12.5mでは88～118mg/Lと高かった。さらに下層の深さ13.5m以下では、硝酸濃度は2mg/L以下と著しく低かった。塩素濃度は深さ25.5～28.5mが13mg/L以下と低かったの

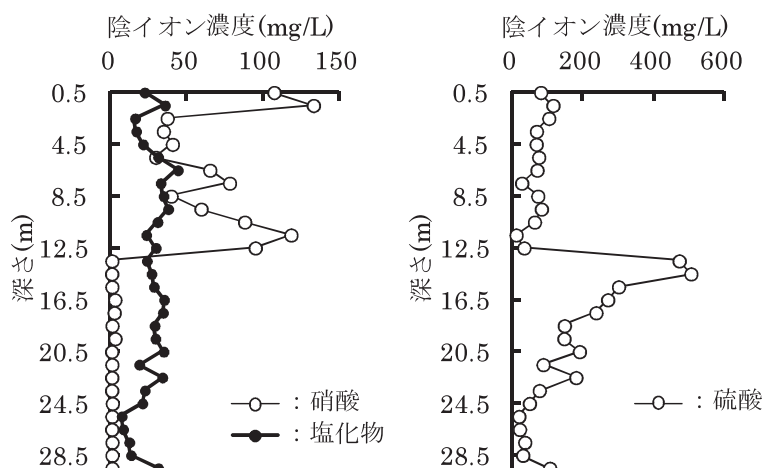
を除くと16～37mg/Lの範囲にあった。硝酸濃度が大幅に低下した13.5mを中心とした深さ11.5～15.5mでは、23～29mg/Lの範囲にあり、大きな差はなかった。硫酸濃度は深さ0.5～12.5mが11～115mg/Lの範囲にあったが、深さ13.5mと14.5mがそれぞれ505 mg/L、472mg/Lで特に高く、それ以下の深さでは漸減する傾向があった。

4. 土壌水の陽イオン濃度

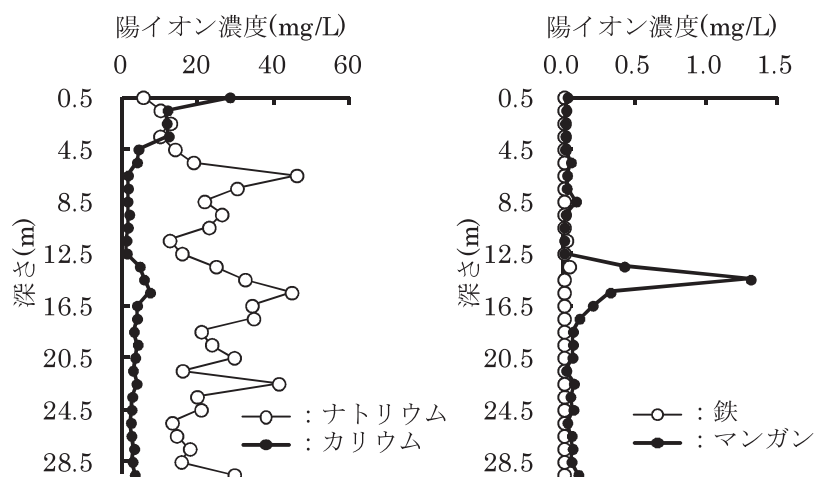
ナトリウムは深さ0.5mが5mg/Lで最も低かったが、それ以下の深さでは平均値と標準偏差が 23 ± 10 mg/Lであり、深さによる一定の変化の傾向は認められなかった（第6図）。カリウムは深さ0.5～3.5mが12～28mg/Lと高く、それ以下の深さは平均値と標準偏差が 3.0 ± 1.4 mg/Lであった。鉄は深さ11.5mが0.02 mg/L、深さ13.5mが0.04mg/Lであったが、それ以外の深さでは0.01mg/L以下と低かった。マンガンは深さ0.5～12.5mが0～0.08mg/Lと低く、深さ13.5m以下が0.02～1.31mg/Lであり、特に深さ13.5～15.5mで0.33～1.31mg/Lと著しく高かった。



第4図 土壌のpHの深さに伴う推移



第5図 土壌水の陰イオン濃度の深さに伴う推移



第6図 土壌水の陽イオン濃度の深さに伴う推移

Ⅳ 考 察

深さ2.9mまでのロームと深さ2.9～4mの粘土は、容積重と固相率が低く、火山灰起源である特性を示していた（松井・黒部，1965）。この深さ2.9～4mが常総粘土に、その下の深さ4～30mが砂、シルト及び粘土の互層であり、下総層群に相当する（磯崎・菅原，1986）と判別された。この下総層群の深さ13.5m以下の土壌は茶灰～暗灰色で、還元的な状態であることを表す灰色系の色（本村・山中，1963）を呈していた。

沖積低地水田地帯の茶園では、深さ2～3mの帯水層は還元的であり、この深さで硝酸が著しく減少する（糟谷ら，2007）。この減少は従属栄養の脱窒菌によると推測され、硫酸濃度の上昇は認められていない。また、黒ボク土畑の地下水面直上部における硝酸の減少も、脱窒に起因するといわれている（小川ら，2000）。本調査においても深さ2.5～3.5mの常総粘土及びその直上において硝酸濃度が減少し、これは従属栄養の脱窒菌によることが推察される。しかし、その下の深さ4.5～12.5mにおける硝酸濃度は高く、この深さまでは農地から流出する硝酸の影響が認められた。一方、深さ13.5m以下では硝酸濃度は2mg/L以下で、著しく低かった。この深さ13.5m前後で、塩素、ナトリウム及びカリウム濃度に顕著な変化はなく、下総台地は山地に隣接していない。これらのことから、深さ13.5m以下での硝酸濃度の低下は、森林等で生じた硝酸濃度が低い地下水が流入したことによるものではないと判断される。

土壌が還元的になると鉄及びマンガンが溶出するが、マンガンの方がより高いEhで溶出する（山根，1982）。本調査では、深さ13.5mで鉄濃度が若干高い程度であったが、深さ13.5～15.5mのマンガン濃度が顕著に高かった。さらに、深さ13.5m以下では土壌が灰色系であることから、この深さの土壌は還元的な状況にあると判断される。著者らは地下水位が深さ2.2～2.4mである第5帯水層から採取した地下水のpHが高く、これは還元状態における生物的作用で、硝酸イオン等が減少したことによると推測している（酒井ら，2008）。また、深さ40～80mから採取した井戸水のpHが平均7.9と高く、溶存酸素量は少なく、硝酸濃度が低かったことが報告されている（久保田ら，2008）。有機物を含む層では、従属栄養脱窒菌の作用で硝酸濃度が低下するが、この井戸水には硫酸が含まれることから、独立栄養の硫黄脱窒菌により硝酸濃度が低下したことも推察されている。本調査においても、深さ15.5m以下の土壌のpHは高く、深さ13.5と14.5mの硫酸濃度が特に高かった。このことから、硫黄脱窒菌の働きで、深さ13.5m以下の硝酸濃度が著しく低下していることが予測される。

これまでの報告にあるように、常総粘土とその直上で硝酸濃度は低下するが、それ以下の深さ13.5mまでの硝酸濃度は29～118mg/Lと高かった。このように、農地からの硝酸が、下総層群の地下水に高い濃度で流出している実態が明らかとなった。千葉県地質環境インフォメーションバンク（千葉県，2003）では、県の公共事業に係る地質ボーリング調査の情報を公開している。インフォメーションバンクにある下総台地上の調査結果では、深さ15m以下の下層土が暗灰色である地点と、そうでない地点が認められる。下総台地全域の下層土が本調査と同様に還元的条件にあり、土壌水の硝酸濃度が低いかな否かは、今後の調査が必要である。いずれにしても、硝酸濃度が高い湧水が顕在化しており、農地から流出する硝酸の低減化は進めなければならない。

下総台地における深さ5.4～87.0mの井戸の硝酸濃度は、0.1～95.8mg/Lである（金子，1994）。新たな井戸の採掘に際しては、還元的な層から採水することで、硝酸濃度の低い飲用水が得られることが期待される。

Ⅴ 摘 要

畑地の硝酸が地下水に流出する状況を明らかにするために、下総台地の野菜畑で深さ30mのボーリングを行い、土壌水の硝酸イオン濃度の実態を調査した。

1. 調査地点は、深さ0～2.9mがローム、深さ2.9～4.0mが茶褐～乳灰色の常総粘土、深さ4.0～12.6mが主に茶褐灰～褐色の砂、深さ12.6～13.4mが茶灰色の粘土であった。深さ13.4～30.0mは、褐灰～暗灰色の砂、シルトあるいは粘土の互層で、深さ4.0m以下が下総層群と判別された。
2. 土壌水の硝酸イオン濃度は、深さ0.5m及び1.5mで、それぞれ107mg/L、133mg/Lであり、深さ2.5m及び3.5mで、それぞれ37mg/L、34 mg/Lとこれらより低かった。しかし、深さ4.5～7.5mでは29～78mg/L、深さ10.5～12.5mでは88～118mg/Lと高かった。これらのことから、農地の硝酸が常総粘土を通過し、下総層群の地下水に高い濃度で流出していることが明らかとなった。
3. 一方、深さ13.5m以下では、硝酸イオン濃度は2mg/L以下と著しく低かった。深さ13.5～15.5mではマンガンイオン濃度が著しく高く、土壌が灰色であることから還元的な状況にあり、深さ13.5～14.5mの硫酸イオン濃度が高かったことから、硫黄脱窒菌の作用で硝酸イオン濃度が低下していることが推察された。

Ⅵ 引用文献

- 千葉県（2003）千葉県地質環境インフォメーションバンク.
<http://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index>
- 遠藤秀典（1997）千葉県の自然史本編2千葉県の大地.
pp.269-280. 千葉県.
- 磯崎義正・菅原利夫（1986）日本の地下水. pp.237-269.
地球社. 東京.
- 金子文宜（1994）千葉県における農業用地下水水質の地域特性. 土肥誌. 65:175-183.
- 環境省水・大気環境局（2012）平成22年度地下水質測定結果. 29pp.
- 糟谷真宏・恒川 歩・前田美恵子（2007）矢作川下流沖積地帯の茶園地下水における脱窒による硝酸イオンの消失. 愛知農試研報. 39:89-94.
- 加藤晶子・風岡 修・楠田 隆・酒井 豊（2011）北総台地における常総粘土層の深度分布に関する研究. 千葉環境研七年报. 10:150-151.
- 加藤哲郎（1997）土壌環境分析法. pp.14-19. 博友社. 東京.
- 久保田富次郎・三浦理司・高木強治・人見忠良・濱田康治・松森堅治（2008）帯水層別の地下水水質からみた深層土壌・地質圏の窒素循環. 農業農村工学会講演要旨集. 794-795.
- 熊沢喜久雄（1999）地下水の硝酸態窒素汚染の現況. 土肥誌. 70:207-213.
- 松井 健・黒部 隆（1965）関東ローム. その起源と性状. pp.242-244. 築地書館. 東京.
- 本村 悟・山中金次郎（1963）土壌のグライ化に関する研究（第4報）還元土色の発達と土壌中のFe（Ⅱ）との関係. 土肥誌. 34:428-432.
- 小川吉雄・加藤英孝・陽 捷行（2000）地下水面直上部における降下浸透水中の硝酸態窒素の消長と土壌の脱窒能. 土肥誌. 71:494-501.
- 酒井 豊・風岡 修・楠田 隆・村越道弘・八槨明子・飯高次夫・吉田 剛・山本真理（2008）印西市浦部地区地下水のイオン濃度. 千葉環境研七年报. 7:176-177.
- 真行寺孝・大塚栄一・金子文宜・松丸恒夫（2006）湧水中の $\delta^{15}\text{N}$ 及びイオン組成解析による下総台地の硝酸汚染の実態. 千葉農総研研報. 5:95-103.
- 八槨 敦・安西徹郎（2005）下総台地黒ボク下層における硝酸態窒素の実態と環境負荷評価. 千葉農総研研報. 4:107-115.
- 八槨 敦・斉藤研二・安西徹郎（2003）千葉県における農地に関する窒素収支. 千葉農総研研報. 2:66-77.
- 山根一郎（1982）水田土壌学. pp.155-164. 農文協. 東京.

Nitrate Ion Concentrations in Soil Water to 30 m Depth in a Vegetable Field on the Shimousa Tableland, Japan

Atsushi YAMAKI, Takashi KUSUDA, Atsushi KAGAWA and Kunio FURUNO

Key words : cation concentration, geological survey, nitrate ion concentration, Shimousa tableland, soil water

Summary

In vegetable fields on the Shimousa Tableland, on the Boso Peninsula, Japan, we surveyed the nitrate ion concentrations in the soil water to 30 m depth and elucidated the nitrate ion content of upland field outflows into groundwater.

1. At the survey point there was loam at 0 to 2.9 m depth and dark brown or grayish-white Joso clay at 2.9 to 4.0 m depth. At 4.0 to 12.6 m there was mainly brownish gray or brown sand, and at 12.6 to 13.4 m we found brownish gray clay. Sand, silt or clay that was brownish gray or dark gray was found at 13.4 to 30.0 m depth.
2. The nitrate ion concentrations in the soil water at depths of 0.5 m and 1.5 m were high, at 133 mg/L and 107 mg/L, respectively. At depths of 2.5 m and 3.5 m the nitrate ion concentrations were lower, at 34 mg/L and 37 mg/L respectively. The nitrate ion concentrations at 4.5 to 7.5 m were 88 to 118 mg/L, and at 10.5 to 12.5 m they were 29 to 78 mg/L. These findings could be explained by the passage of nitrate ions through the Joso clay and their outflow into the groundwater of the Shimousa group at high concentration.
3. At depths of greater than 13.5 m, nitrate ion concentrations in the soil water were 2 mg/L or less. At 13.5 to 15.5 m, manganese ion concentrations were high and sulfate concentrations were high. Nitrate concentrations in this zone might have been decreased by the action of sulfur denitrifying bacteria.