

筑波台地下層土壤水中の無機陰イオン濃度

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	吉田, 富男 永塚, 鎮男
巻/号	53巻6号
掲載ページ	p. 486-492
発行年月	1982年12月

筑波台地下層土壌水中の無機陰イオン濃度*

吉田 富男**・永塚 鎮男**

キーワード 下層土壌水, 硝酸イオン, 硫酸イオン, 塩素イオン, 季節的変動

筑波台地の土壌とその特徴については第1報¹⁾に述べたが、その土壌調査の結果にもとづいて、筑波大学近郊の淡色黒ボク土(赤ノッポ)と黒ボク土(黒ノッポ)が隣接して分布する地域を選定し、各土壌型につき、林地、畑、水田に利用されている土地を選択して土壌水採水装置を設置した。以下この淡色黒ボク土の林地、畑、水田を赤ノッポ系列、黒ボク土の林地、畑、水田を黒ノッポ系列とよぶ。これら各土壌の種々の深さから採取した下層土壌水中の無機陰イオン濃度を測定し、その分布とその年、月、週変動を調べた結果を報告する。

1. 実験方法

各地点における土壌水中の無機陰イオンの分布と季節的変動を調べるために、土層中に採水用ポーラスカップを埋めた。採水用ポーラスカップは、長さ8cm、首部直径1.5cmで平均3 μ mの多孔質のものを用いた。

ポーラスカップ上部はシリコンゴム栓で密閉し、ゴム栓を通して内径1mmのステンレス管を挿入し、上端は地表面までの長さのタイゴンチューブと連結した。ポーラスカップの上部は透明のプラスチック管に固定して、粘土による目詰りを防ぐためにポーラスカップの周囲は石英砂を入れたガーゼの小袋に挿入して地中に埋めた。ポーラスカップは、赤ノッポ系列の林地では、90, 180, 280, 455cm、畑では90, 180, 460cm、水田では90, 150, 250cmの深さの位置に埋めた。また黒ノッポ系列の林地では、90, 130, 220, 315cm、畑では90, 220, 315cm、水田では90, 130, 240cmの深さの位置に埋めた(第1図)。

地中へのポーラスカップの挿入に当っては、モーター付のフォーンズ穴掘機(共栄社、OS10型)によって、各土層の深さまで直径10cmのスクリューで穴をあけ、ポーラスカップの固定されたプラスチック管を挿入した。ポーラスカップ挿入後には、土壌穴掘機で掘り出した土層の順に埋め返し、各層ごと上から先端にゴム栓をつけたプラスチック管の棒でつき固めながらもとの位置に戻した。

地表に出た部分のタイゴンチューブは、ピンチコックで締め、雨水の混入を防ぐために蓋をした。後日、この方法で土壌水の採取が困難な箇所が多く、それらの箇所については、ポーラスカップに採水用のステンレス管のほかに、採水を容易にするためにさらにもう一本の短いステンレス管をゴム栓に挿入して地中へ埋め直した。

採水に当っては、ポーラスカップに連結した採水用タイゴンチューブを三方コック付き100ml容、ろ過瓶につなぎ、小型真空ポンプ Handy-Vac II(中村製作所)を用いて採水した。現地での真空ポンプの作動は携帯用発電機(Honda Generator EM300)に連結して行った。ろ過瓶に採取された土壌水は最初の数mlは捨て、その後あらかじめよく洗浄した50ml容のスリ合せの共栓付試験管に移し、実験室にもち帰り分析に供するまで冷蔵庫中に保存した。

採水は1978年9月より開始し、毎月1回定期的に行い1980年9月まで2カ年間連続して行った。また1979年の9月から12月までの期間は、毎週1回採水を行って各土壌中の無機成分の週変動を調査した。

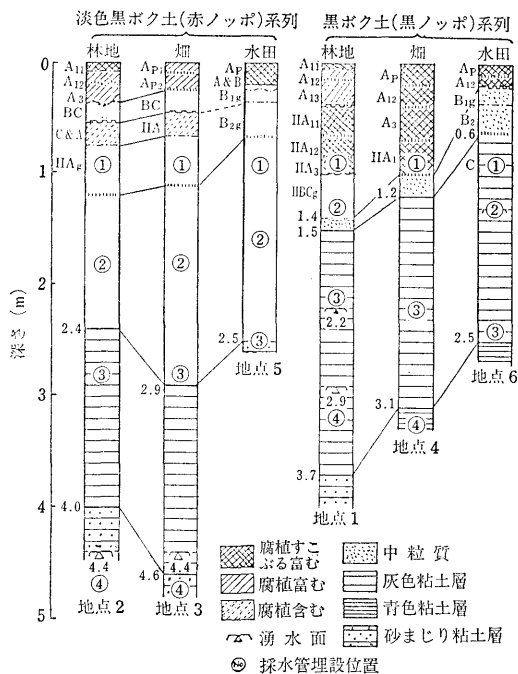
土壌水の無機陰イオンの分析は、イオンクロマトグラフを用いて、硝酸、亜硝酸、リン酸、塩素、硫酸イオンなどの陰イオンの定量を行った。イオンクロマトグラフはDionex社製モデル10を使用した。分離カラムは3mm ϕ ×500mmで低交換容量の陰イオン交換樹脂、除去カラムは6mm ϕ ×250mmで高交換容量の陽イオン交換樹脂、いずれもDionex社のものを使用した。溶離液は0.003M重炭酸ソーダ(NaHCO₃)と0.0024M炭酸ソーダ(Na₂CO₃)の混合液を用いた。土壌水100 μ lをとり、イオンクロマトグラフに注入し、レコーダーに記録されたクロマトグラフのピーク高さから各イオンの量を定量した。

2. 実験結果

採水用ポーラスカップを埋めた赤ノッポおよび黒ノッポ土壌地下90cmの土壌水試料に関しては、黒ノッポ水田の湛水期間を除いてはすべての箇所でも採取不可能であった。結局、赤ノッポ系列からは主として林地で280, 455cm、畑で180, 460cm、水田で250cmの箇所からの土壌水採取にとどまった。また赤ノッポ系列水田の採水装置は途中農家によってとり去られ、採水できなくな

* 筑波台地における土壌水中の無機陰イオン濃度分布と推移(第2報)

** 筑波大学応用生物化学系(305 茨城県新治郡桜村)
昭和56年12月19日受理
日本土壌肥科学雑誌 第53巻 第6号 p.486~492 (1982)



第1図 試験地の土壌断面形態と採水位置

った。黒ノッポ系列からの採水は比較的良好で、林地で 220 と 315cm, 畑で 220 と 315cm, 水田で 90, 130, 240cm から採水できた。ほとんど常時採水可能であった土層の土壌はいずれも常総粘土層や竜ヶ崎砂層に相当する灰色粘土層であり、一部さらにその直下にある青色粘土層あるいは砂まじりの粘土層であった。イオンクロマトグラフを用いた無機イオンの定量においては、硝酸、硫酸、塩素イオンの測定はできたが、亜硝酸とリン酸については全期間を通じて検出できなかった。

1) 土壌水中無機陰イオン濃度の推移

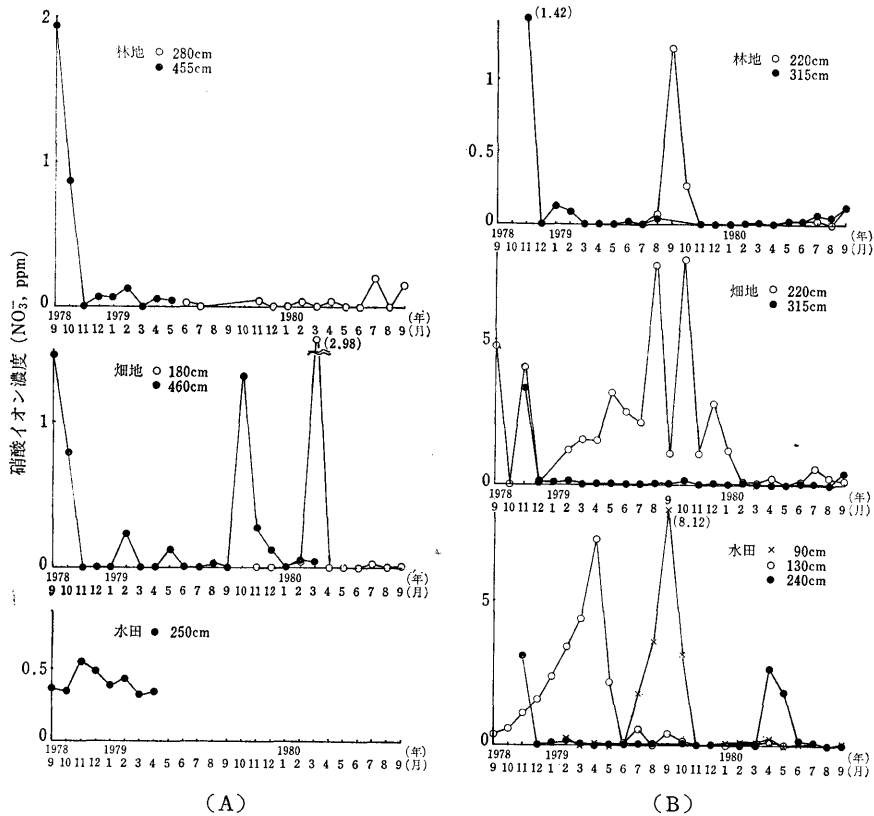
(1) NO₃⁻: 1978 年から 1979 年にかけての硝酸イオン濃度の推移に関しては、赤ノッポ系列(第2図(A))では9月から10月にかけて林地や畑地の下層粘土層(450cm)では1ppm以上になったが、それ以降極端に減少し0.1ppm以下の値を示した。水田での下層粘土層(250cm)では0.3~0.5ppmの濃度で推移した。一方、黒ノッポ系列(第2図(B))でも一般的に9月から11月にかけて上層部でやや高い傾向を示したが、林地、畑地、水田のいずれの下層部、それぞれ315, 315, 240cmの地点では0.1ppm以下の低濃度で推移した。しかし、その上部の常総粘土層、すなわち畑地で220cm, 水田で130cmのところでは、1月から5月頃にかけても高い濃度で推移した。ただ畑の場合は硝酸濃度が8月に7.68ppmで、水田の場合は4月に7.06ppmでそれぞ

れピークに達する時期がずれていた点は興味がある。また水田90cmではその下層130cmの場合と異なり6月頃までは濃度が低いが、7月から9月にかけて比較的高い値を示し、9月には8.12ppmとピークに達した。林地も9月には220cmで1.23ppmと高い値を示した。

翌年1979年から1980年にかけての硝酸イオン濃度の変動は、赤ノッポ林地では280cmの濃度は年中0.1ppm以下で推移した。460cmの地点は採水不能となった。畑で3月に180cm地点で一時的に2.98ppmと高い値を示したがその後著しく減少した。水田の採水装置は引き抜かれ、採水不能となった。黒ノッポでは前年と同様林地では0.1ppm以下で推移したが、畑地の220cmは前年同様、9月から12月頃まで数ppmと比較的高い値で推移し、その後減少した。その下層315cmでは0.1ppm以下と低い値を示した。水田は前年と異なって130cmのところでは、前年同様4月にピークに達したが0.12ppmと濃度が低く、むしろその下層の240cmのところ4月に2.68ppmの濃度ピークを示した。しかし、全般的に前年と比べて硝酸イオン濃度は低かった。

(2) SO₄²⁻: 1978年から1979年にかけての赤ノッポ土壌の硫酸イオン濃度の推移は第3図(A)に示した。この期間は各地とも下層粘土層からしか土壌水を採取できなかったが、1978年9月に比較的高かったがその後減少を示している。林地や畑地ではSO₄²⁻濃度は1ppm以下で推移したが、水田の場合は5ppm程度の濃度を保っていた。林地280cmが6,7月以降、畑地180cmが12月以降、採水できたが、いずれも455cmより高い濃度を示した。一方、黒ノッポ土壌(第3図(B))でも1978年9~11月の硫酸イオン濃度は高く、林地、畑地の下層315cmではその濃度は赤ノッポに比べてずっと高い値であった。その後赤ノッポと同様硫酸イオン濃度は低下するが、水田では林地や畑地に比べて高い濃度で推移した。また林地、畑地で220cm, 水田で130cmの常総粘土層では、硝酸イオンと同様硫酸イオン濃度が高いことが明らかとなった。この層では林地が畑地より高い硫酸イオン濃度を示した。年間の推移でも林地や畑地ではこの層の硫酸イオン濃度が、7~8月頃から上昇するが水田では5~7月の水田湛水開始時期に30ppmをこすピークに達する。水田の90cmでは2月から採水できたが、常時10ppm以上の濃度で推移した。

翌年の1979~1980年の場合も、前年とほぼ同様の傾向を示した。赤ノッポの下層で1ppm以下の濃度で推移したが、畑地180cmは数ppmの濃度で推移した。黒ノッポ系列では220cmの常総粘土層で林地は畑地よ



第2図 (A) 淡色黒ボク土(赤ノッポ)系列下層土壤水中の硝酸イオン濃度の推移 (NO_3^- , ppm)
 (B) 黒ボク土(黒ノッポ)系列下層土壤水中の硝酸イオン濃度の推移 (NO_3^- , ppm)

り高い濃度で推移している点では前年と同様だが、季節的変動はあまり顕著でなかった。しかし水田では130cmは採水不能となったが、240cmの土層で3月頃から濃度が高まり、5月には30ppmに達する濃度になった。90cmのところでも5、6月に約20ppmとピークに達した。

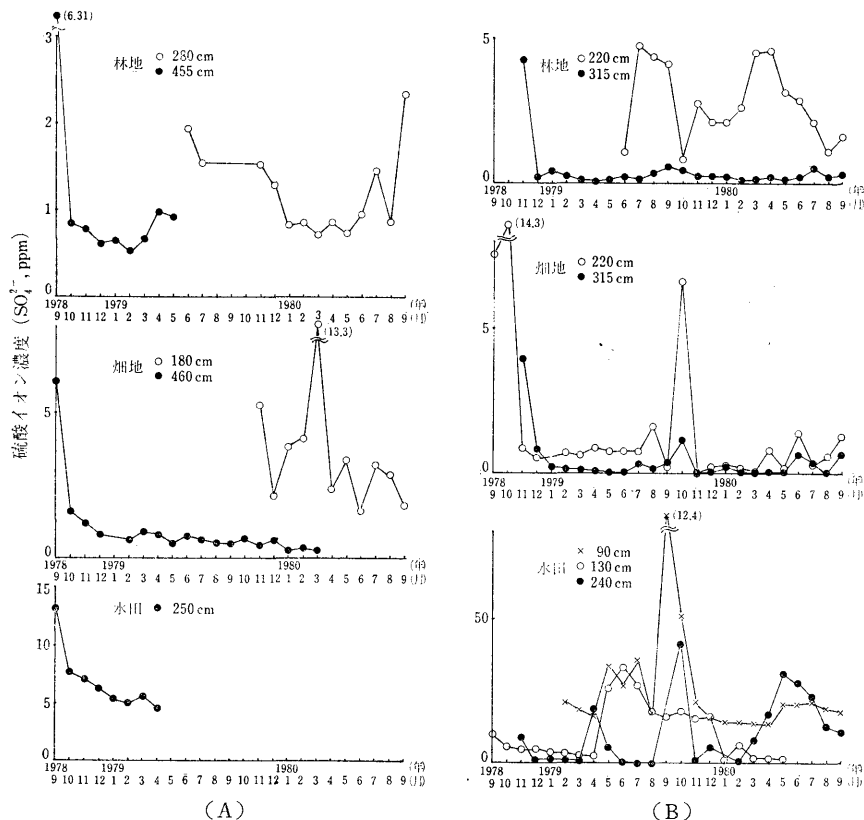
(3) Cl^- : 1978年から1979年にかけての赤ノッポ系列の塩素イオンの年間の濃度推移は第4図(A)に示した。林地、畑地下層では数ppm濃度で推移し、水田ではその数倍の約20ppm濃度で推移した。年間の変動はほとんどみられなかった。塩素の場合には他のイオンと比べて逆に下層ほど高い濃度を示した。黒ノッポ(第4図(B))では赤ノッポに比べて塩素イオン濃度はずっと高く、林地を除いては下層粘土層より上部の常総粘土層で2倍以上の濃度を示している。また、年間の塩素イオン濃度の変動は赤ノッポではほとんどみられなかったが黒ノッポでは林地で徐々に減少しているのが特徴的であった。林地、畑、水田間の濃度の差もあまりなかった。

翌年1979年から1980年にかけての塩素イオン濃度

の推移は、赤ノッポで濃度が多少減少の傾向があるほかは、ほぼ前年と同じ傾向を示した。黒ノッポは前年に比べて濃度の減少がみられるほかは、前年とほぼ同じ傾向を示し、季節的変動も認められず、畑地、水田の差もほとんどみられなかった。しかし、黒ノッポの林地では、1979年10月以降塩素イオン濃度低下が顕著であった。

2) 各種イオン濃度の週変動

上述の結果は毎月、ほぼ月中旬に1回採水したものについて分析を行ったものである。しかし、月1回の分析値では年間を通しての各種イオン濃度、とくに硝酸イオンや硫酸イオンの濃度推移に関して論議するに十分なデータが得られていないかもしれないので、この点を明らかにするため、1979年9月から12月の間に毎週採水を行った土壤水について、硝酸イオン、硫酸イオン、塩素イオンの濃度測定を行った。その結果は、硝酸は第5図(A)、(B)、硫酸は第6図(A)、(B)、塩素は第7図(A)、(B)に示した。この結果からも明らかのように、各週ごとの水試料について多少の変動があっても、その



第3図 (A) 淡色黒ボク土(赤ノッポ)系列下層土壌水中の硫酸イオン濃度の推移 (SO₄²⁻, ppm)
 (B) 黒ボク土(黒ノッポ)系列下層土壌水中の硫酸イオン濃度の推移 (SO₄²⁻, ppm)

傾向に関しては年間を通しての月ごとの濃度推移を討議する場合の支障となるほどの大きいふれはないと思われる。

3. 考 察

筑波地区に分布する関東ローム層火山灰台地、筑波大学付近の赤ノッポ系列と黒ノッポ系列の各断面中数箇所採水装置を埋設して土壌水を採取した。しかし、本研究に用いた採水装置では、湛水期間の水田表層をのぞいては、表層90cmのところでは採取できなかった。自然表層から約2m付近に存在する、いわゆる常総粘土層のところと、さらにその下方の表層から約4m付近に分布する竜ヶ崎砂層の位置に相当する箇所分布する粘土層のところからは、ほぼ常時採取できた。

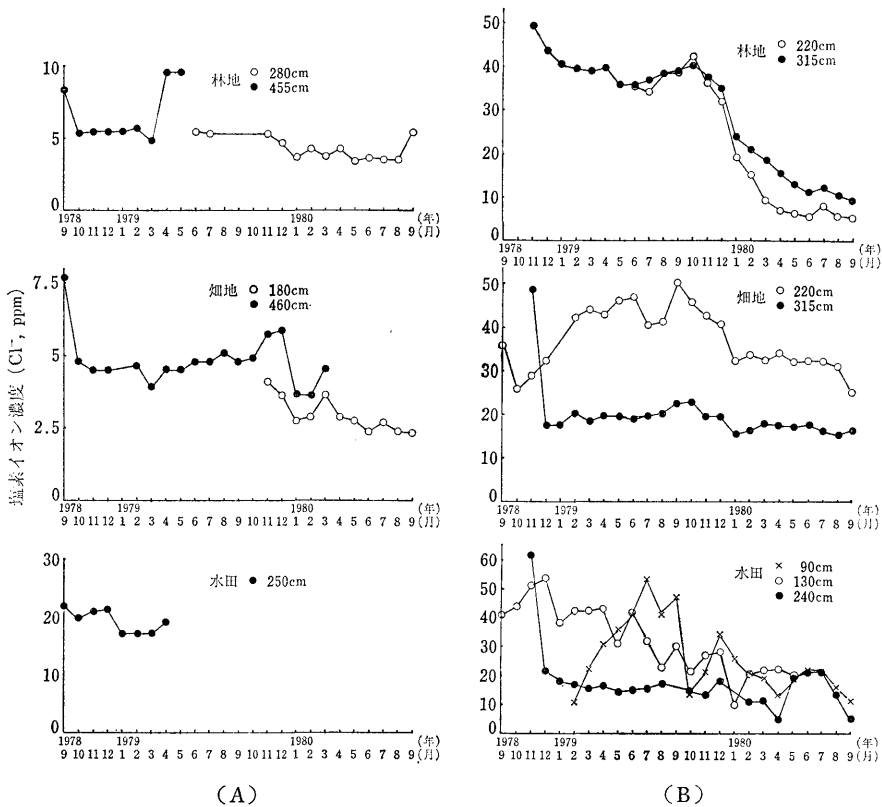
筑波大学付近の関東ローム地区では、無機陰イオンの下層での存在量や表層からの移行はきわめて少ないことが推定された。本研究の結果、春先の農耕期間や、夏から秋にかけて、硝酸イオンあるいは硫酸イオン濃度の一

時的上昇が、常総粘土層付近の土壌水で認められた。しかし、その下層の竜ヶ崎粘土層では赤ノッポ畑で秋にやや高い硝酸濃度を示した以外は、常時いずれのイオンも低い濃度で推移した。赤ノッポに比べて黒ノッポでは一般的に無機陰イオン濃度が高い傾向にあり、下層2m付近に分布する常総粘土層には時期的に硝酸イオンや硫酸イオンが集積する可能性があるが、微生物による脱窒、硫酸還元作用を受けて消失するため、下層へ移行しないことが考えられる。

しかし、塩素イオンに関しては、微生物の影響を受けないため、かなり下層まで浸透する可能性が高いことが推察できた。

最近の研究では、かなり多量の有機窒素成分を土壌へ添加しても下層1m以下の硝酸分布は少ないことが報告されている^{4,6-10}。

また雨水の関東ローム浸透速度は年間1m以下と推定されており^{2,3}、シルトローム土壌で3カ月に8~10.4cmと報告され⁹、植生による土壌水の吸収量なども考



第 4 図 (A) 淡色黒ボク土 (赤ノッポ) 系列下層土壤水中の塩素イオン濃度の推移 (Cl⁻, ppm)
 (B) 黒ボク土 (黒ノッポ) 系列下層土壤水中の塩素イオン濃度の推移 (Cl⁻, ppm)

え合せると、硝酸の下層土への浸透速度はかなり遅く、その間に土壤中の微生物による脱窒や硫酸還元作用を受けることが推定できる。

硫酸イオンの土壤浸透についての報告は少ないが、塩素イオンについては降雨水量と相関があり、硝酸イオンに比べて下層への浸透流亡率が高いことが報告されている^{1,5,12)}。砂質の土壤地帯では地下水の硝酸イオンと塩素イオンの比率はほぼ等しい値となっている¹³⁾。

本実験で得られた結果は、従来まで報告されているような下層土壤での物理化学ないしは微生物学的特性が、土壤へ添加される各種無機陰イオンの挙動に大きく影響するという事実を支持するものである。

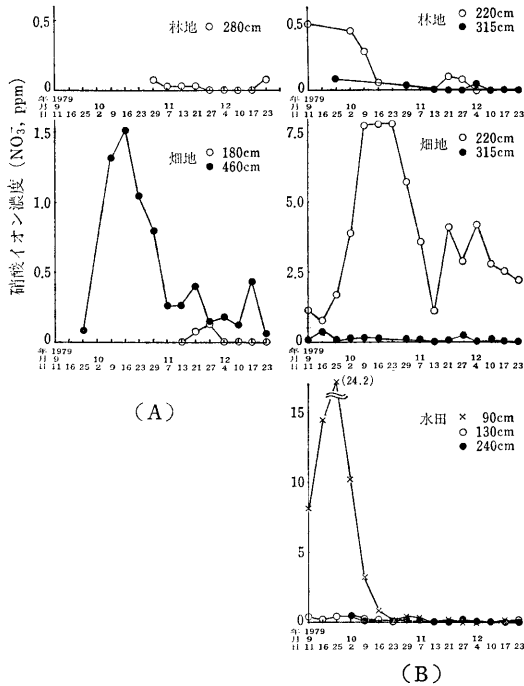
4. むすび

本研究の結果、筑波台地における洪積性火山灰土においては各種土地利用形態を異にした林地、畑地、水田、各断面土壤で、土壤水に含まれている硝酸、硫酸、塩素、リン酸などの無機陰イオン濃度はきわめて低いことが明

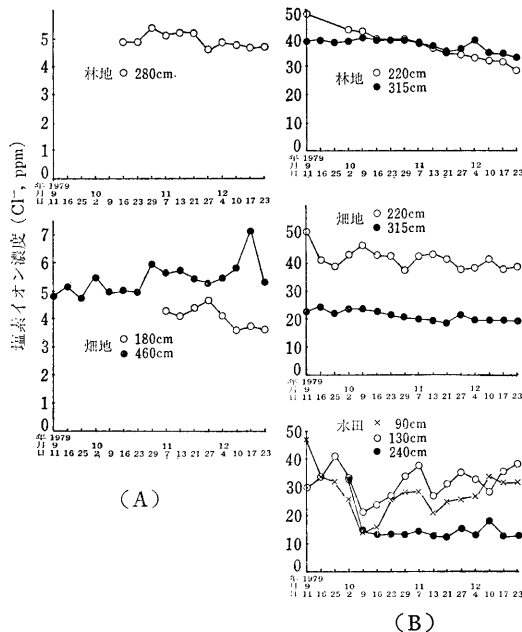
らかになった。しかし、各地帯で土壤成因を異にした赤ノッポ (淡色黒ボク土) と黒ノッポ (湿性黒ボク土) との比較では、地下約 2m 付近に分布する常総粘土層までの土壤水中の各種イオン濃度は黒ノッポで高い値を示した。黒ボク土 (黒ノッポ) のイオン濃度は季節的変動がみられ、硝酸イオンや硫酸イオンに関しては、畑地では秋 9 月頃にピークを示し、水田では湛水時の 5 月頃にピークを示す傾向がみられた。塩素イオンに関しては季節的変動はほとんどみられなかった。リン酸イオンは本実験に用いた定量法ではほとんど検出されなかった。また、地下 4m 付近の竜ヶ崎砂層に相当する位置に分布する粘土層には、いずれの場合も各種無機陰イオン濃度はきわめて低く、季節的変動もほとんど認められなかった。

一般に 1979 年度に比べて 1980 年度の無機陰イオン濃度は低い傾向を示した。

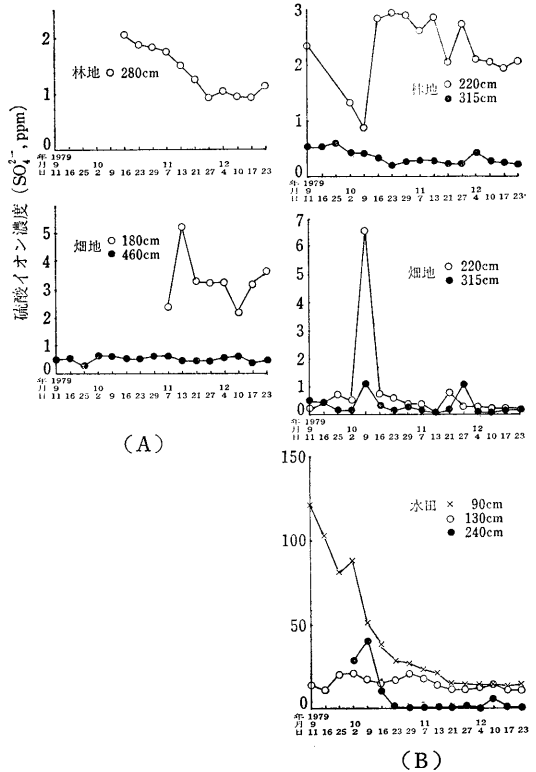
各種無機陰イオンのうち、硝酸イオンと硫酸イオンに関しては下層の土壤中で微生物的還元を受けるが、塩素



第5図 (A) 淡色黒ボク土(赤ノツボ)系列下層土壤水中の硝酸イオン濃度の週変動 (NO_3^- , ppm)
 (B) 黒ボク土(黒ノツボ)系列下層土壤水中の硝酸イオン濃度の週変動 (NO_3^- , ppm)



第7図 (A) 淡色黒ボク土(赤ノツボ)系列下層土壤水中の塩素イオン濃度の週変動 (Cl^- , ppm)
 (B) 黒ボク土(黒ノツボ)系列下層土壤水中の塩素イオン濃度の週変動 (Cl^- , ppm)



第6図 (A) 淡色黒ボク土(赤ノツボ)系列下層土壤水中の硫酸イオン濃度の週変動 (SO_4^{2-} , ppm)
 (B) 黒ボク土(黒ノツボ)系列下層土壤水中の硫酸イオン濃度の週変動 (SO_4^{2-} , ppm)

イオンは微生物の作用を受けずに下層へ浸透することが推定された。

謝辞 本研究の一部は、文部省特別研究「環境科学」(No. 303024, 研究代表者東京大学理学部佐伯敏郎教授)の賛助によって行ったものである。

また本研究において、イオンクロマトグラフによる無機陰イオン濃度分析についてご教示いただいた国立公害研究所水質土壤環境部主任研究員高松武次郎博士に感謝致します。

文 献

- 1) CAMERON, D. R., KOWALENKO, C. G. and IVARSON, K. C.: Nitrogen and Chloride Leaching in a Sandy Field Plot. *Soil Sci.*, 126, 174~180 (1978)
- 2) 榎根 勇・田中 正・嶋田 純: 環境トリチウムで追跡した関東ロー層中の土壤水の移動, 地理評, 53, 225~237 (1980)
- 3) 木村重彦: 地下水へのトリチウム利用, 原子力工業, 1 (4), 32~37 (1975)
- 4) KING, L. D. and MORRIS, H. D.: Land Disposal of Liquid Sewage Sludge. III. The Effect of Soil Nitrate. *J. Environ. Qual.*, 1, 442~446 (1972)

- 5) LANGDALE, G. W., LEONARD, R. A., FLEMING, W. G. and JACKSON, W. A.: Nitrogen and Chloride Movement in Small Upland Piedmont Watersheds. I. Nitrate-Nitrogen and Chloride Distribution of Soil Profiles. *ibid.*, 8, 49~57 (1979).
- 6) LIEBHARD, W. C., GOLT, C. and TUPIN, J.: Nitrate and Ammonium Concentrations of Ground Water Resulting from Poultry Manure Applications. *ibid.*, 8, 211~215 (1979)
- 7) LUND, L. J., ADRIANO, D. C. and PRATT, P. F.: Nitrate Concentrations in Deep Soil Cores as Affected to Soil Profile Characteristics. *ibid.*, 3, 78~82 (1974)
- 8) MEEK, B. D., GRASS, L. B. and MACKENZIE, A. J.: Applied Nitrogen Losses in Relation to Oxygen Status of Soil. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 33, 575~578(1969)
- 9) MEEK, B. D., GRASS, L. B., WILLARDSON, L. S. and MACKENZIE, A. J.: Nitrate Transformation in a Column with a Controlled Water Tables. *ibid.*, 34, 235~239 (1970)
- 10) 森 久之・藤井国博・吉田富男: 下水汚泥の土壌還元による汚泥成分の分解, 土肥誌, 51, 435~440 (1980)
- 11) 永塚鎮男・大羽 裕: 筑波台地における土壌の分布様式と成因的特徴, 同上, 53, 457~464 (1982)
- 12) PRATT, P. F., JONES, W. W. and HUNSAKER, V. E.: Nitrate in Deep Soil Profile in Relation to Fertilizer Rates and Leaching Volume. *J. Environ. Qual.*, 1, 97~102 (1972)
- 13) SAFFIGNA, P. G. and KEENEY, D. R.: Nitrate and Chloride in Ground Water under Irrigated Agriculture in Central Wisconsin. *Ground Water*, 15, 170~177 (1977)

|||||書

評

Soil Degradation—Proceedings of the
Land Use Seminar on Soil
Degradation

D. BOELS, D. B. DAVIES and
A. E. JOHNSTON 編
280 pp. Hfl. 75.00/US \$ 30.00,
A. A. Balkema, P. O. Box 1675,
Rotterdam, Netherlands, 1982

最近、世界的にみて将来に対する安定した食糧確保の観点から土壌の劣化 (Soil Degradation) に対する関心がひじょうに高い。土壌の劣化の内容は土壌侵食や砂漠化、土壌汚染、土壌のち密化、土壌中の有機物の減少等、多岐にわたるが、本書では土壌のち密化と有機物問題に焦点を絞っている。その理由は、本書が欧州経済共同体に援助されて、1980年10月オランダ・ワーゲニンゲンで開催された“Soil Degradation”に関するセミナーの報告書で、EEC地域の土壌の劣化の諸問題の解明を中心としたからであろう。したがって、過去長年にわたり、牧畜や農耕が営まれてきた西欧の土壌が近代的な農業形態 (本書では、大型農機具の導入、輪作時の草地導入の廃止、単一栽培などをあげている) の影響を受けたときの実例紹介と将来に対する予測を試みているのが本書の特色である。

本書は次の2章と最後に結論と勧告が載せられている。

① 物理的な土壌の劣化

ここでは、大型農機具導入による表土および次表層土のち密化が論じられ、内容はひじょうに理解しやすい。さらに、土壌のち密化に伴う根圏域の減少や作物収量の減少や、ミニムまたはゼロティレッジのときのち密化も論じられている。また改良策を論じるとともに、アセスメントを試みているのがひじょうに興味深い。

② 土壌中における有機物の減耗と蓄積

有名なローザムステッドにおける有機物などの長期連用試験の結果はもちろん、ほかに数か国で行われている長期試験の結果もあわせて紹介されている。多くの場合、基本的に輪作であるために、単一栽培と異なり、図表を詳細に検討するとき困難を伴うことが多いが、いずれも貴重なデータである。そのなかで、とくに長期にわたる牧草以外の単一栽培による土壌中の有機物含有量の漸減に警鐘を与えている。一部のレポートにおいてはこれらの数式化が試みられ、アセスメントを行っている。

いずれのレポートも欧州人の一部にとときき認められるような難解な英文ではなくて、ひじょうに理解しやすい。

EEC諸国の農業はかなり集約化されており、その意味で日本の農業に近い点も多く、本書で提起された問題点の多くはわれわれにも参考になる点が多い。

(農業技術研究所 仲谷紀男)