

園芸用土壌によるホウ素吸着特性

環境計画研究室 佐藤 暢晃

1. はじめに

地上波デジタル放送の移行によりブラウン管テレビの廃棄が予想され、その結果、ディスプレイや発光原料からのホウ素の排出が考えられる。ところで、平成13年7月に水質汚染防止法が改正され、ホウ素及びホウ素化合物の排水基準が新たに追加された。許容限度は陸域で10mg/L、海域で230mg/Lで、海域以外については平成16年6月までの3年間150mg/Lの暫定基準が制定された。既存のホウ素処理としては凝集沈殿処理が代表的であるが、コスト面のほか、吸着後の汚泥処理に課題がある。

本研究では、容易・安価かつ効果的なホウ素含有浸出水の漏出防止対策技術および浄化技術を開発、また、ホウ素を吸着した土壌を肥料として用いることを目的として、土壌によるホウ素吸着特性の基礎検討を行う。

2. 研究方法

ホウ素の土壌に対する吸着性能を確認するためには、ホウ素がどの程度の時間で吸着平衡に達するかを確認することが必要である。そこで、5日間の吸着平衡実験を行った。ホウ素の形態変化を考慮して、pH7とpH11に調整した吸着平衡実験を行った。次にホウ素の形態変化に伴う吸着量への影響を確認するために、pHを変化させた各土壌の吸着実験を実施した。さらに、各土壌の吸着性能を確認するため、pHを変化させた吸着実験で高い除去率が確認できたpH値を採用して、ホウ酸濃度を変化させた吸着実験を行い、各土壌の吸着等温式を示す。

一方、各土壌の吸着性能を決める要因を探るため、土壌の元素組成を求めた。元素組成は、土壌一般に広く用いられている蛍光X線分析のほか、王水による分解後、誘導結合プラズマ-発光分析装置(ICP-AES)でも求めた。吸着性能と土壌組成を比較し、考察することによりホウ素吸着特性を検討した。

3. ホウ酸濃度を変化させた吸着実験

ホウ素吸着平衡時間実験により吸着平衡時間を24時間とし、各土壌による最適pHを求めた。それらのデータを基に、ホウ酸濃度を変化させた吸着実験を行い、各土壌の吸着等温式を求めた。園芸土壌を用いた濃度変化によるホウ素除去率を示す(図1)。ホウ素濃度100mg/lでは桐生土を除く土壌で除去率がおおよそ20%~40%であった。ホウ素濃度10mg/lでは赤玉土、黒ボク土中層で除去率60%を超え、ホウ素濃度1.0mg/lでは黒ボク土中層で除去率80%と高い除去率を示した。ホウ素濃度0.1mg/lでは赤玉土で80%以上、黒ボク土中層で90%以上の除去率を示し、黒ボク土表層、桐生土でも40%以上の除去率を示した。桐生土は高濃度での吸着と低濃度での吸着を比較すると他の土壌とは異なる傾向を示した。

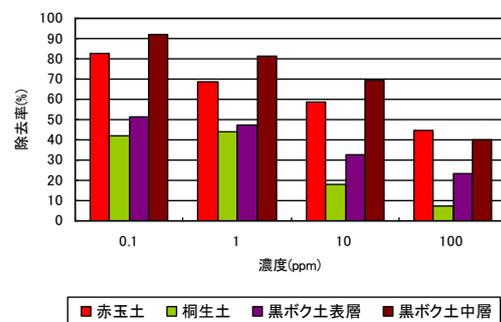


図1. 濃度変化による除去率

濃度ごとに求めた吸着量を用いて等温吸着線を示し、いずれのデータもそれぞれほぼひとつの直線で相関させられた。これは本実験で得られたデータが Freundlich の等温吸着式に適合することを意味している。 α と β はそれぞれ吸着定数と吸着指数と呼ばれるもので、等温度吸着線により得られた値を示す(表1)。 α の値が大きいと同一溶液中の濃度に対して吸着される吸着質の量が大きくなるので、 α を吸着媒と吸着質の相互作用の強さと考えた。その結果、表より吸着性能は黒ボク土中層が一番高く、その次に赤玉土、黒ボク土表層、桐生土となった。

表 1. ホウ素に関する吸着パラメータ

土壌試料名	α	β
赤玉土	0.038	0.785
黒ボク土表層	0.014	0.823
黒ボク土中層	0.053	0.690
桐生土	0.009	0.666

4. 土壌分析

ICP-AES により分析を行う項目は、文献考察から陰イオンの吸着に関連があると思われる元素、および蛍光 X 線分析で土壌の主要成分(およそ 1.0%以上)と思われる元素を対象として分析を行った。その結果より ICP-AES による分析した結果を示す(図 2)。赤玉土は Al, Fe, Mg, B が他の土壌より多く、黒ボク土表層は P が多い。黒ボク土中層は Fe, Mn, Mg, B が多く、桐生土は他の土壌と比較して Ca が多かった。鹿沼土はどの元素も比較的少ない傾向であった。ゼオライトは K が多く、パーライトはどの元素も微量にしか存在していなかった。くん炭は B が多いが他の元素は微量であった。

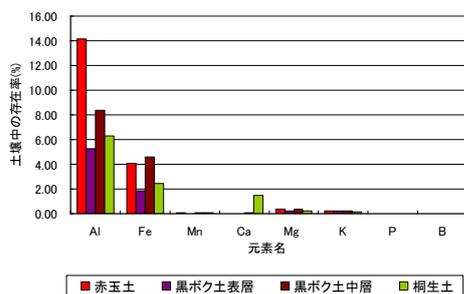


図 2. ICP-AES による分析

5. 吸着性能と各元素の相関

吸着性能 α と各元素を比較することで、吸着性能 α に影響を与える元素を確認した(図 3)。Fe は吸着性能の高い赤玉土、黒ボク土中層で存在率が高く、吸着性能の低い土壌では存在率が低くなった。吸着性能の高い土壌と低い土壌で相関が見られることから土壌中の Fe が吸着と関わっている可能性が考えられる。B は Fe と同様に吸着性能と存在率に相関が見られた。これは B を吸着しやすい土壌がもともとホウ素を多く含んでいると考えられる。これらの結果より、土壌を用いたホウ素吸着では、Fe を多量に含んだ土壌がホウ素の吸着、吸着性能に影響を及ぼしている可能性が指摘された。

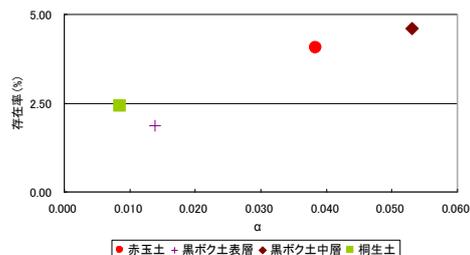


図 3. 吸着性能 α と Fe の比較

6. 吸着性能と元素組成の関係

各土壌の組成値について、同一元素間で基準化を行い、元素間の強度を揃えた上で各土壌の土壌組成をベクトルとする主成分分析を行った(図 4)。Z1 軸は吸着性能、Z2 軸は土壌の肥沃さを表している。Z1 軸に作用している Al, Fe, Mn, Mg がホウ素の吸着と強い関わりがあると考えられた。これらの結果より、ホウ素の吸着には Fe, Al, Mg, Mn が吸着と関わっている可能性が考えられた。ホウ素の吸着には、高い変異電荷を持つ Fe や Al の水酸化物や、表面が正に帯電している pH 条件が大きい Fe, Al, Mg から構成される酸化物が陰イオンの吸着に長けるという報告がある。したがって、土壌を用いたホウ素吸着にも Fe, Al, Mg の水酸化物、または酸化物が関わっているのではないかと考えた。

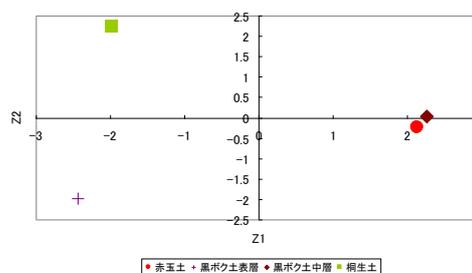


図 4. 土壌中元素による主成分分析

7. まとめ

本研究では、各園芸用土壌に対するホウ素の吸着性能を求め、土壌の元素組成と吸着性能を比較することにより、ホウ素に対する土壌の要因を探った。今後の展開として、今回はホウ素のみを対象としたが、イオン交換樹脂においても陰イオンの吸着優位性があるように、土壌に対して吸着しやすい陰イオンの序列があると考えられる。共存する可能性のある陰イオン中においてどのような位置付けかを見る必要があると考える。