

木質担体が収集した鉄バクテリア集積物のリン吸着特性と
面源負荷の削減効果

Phosphorus adsorption and non-point load reduction using biogenic iron oxides
collected on woody biomass by the iron-oxidizing bacteria method

○槇原さゆり*, 武田育郎**, 宗村広昭**, 佐藤裕和**

○Sayuri MAKIHARA, Ikuo TAKEDA, Hiroaki SOMURA, Hirokazu SATO

1. はじめに

地下水や浸透水の流入が多い自然水域の底部において、しばしば観察される赤褐色または黄褐色の鉄バクテリア集積物には、リン吸着能を持つ酸化鉄とそれに吸着したリンが多く存在している。したがって、鉄バクテリア集積物は、水域からのリン回収や循環利用に重要な役割を果たしうると考えられる。このようなことから、自然水域において木質バイオマスを用いた担体で鉄バクテリア集積物を集め、これをリン酸肥料又はリン吸着材としてそのまま利用できる形態で効率的に回収することを試みている¹⁾²⁾。著者らは、酢酸が鉄バクテリアの増殖に有効であるという知見があることから、酢酸処理した木質担体を用いて浸漬試験を行ってきたが、さらにサンプル数を増やし、統計的手法を用いて検討した。また、鉄バクテリア集積物は、水域で拡散するリンを濃縮しているとも言えることから、本方法における河川水中のリンの濃縮率を求めた。さらに、木質担体に担持した酸化鉄の吸着材としての機能を定量評価するため、攪拌条件での吸着実験を行い、これまでの静置条件の吸着特性²⁾と比較した。また、担体が吸着したリンについて、これまで報告した Bray-2 リン酸に加え、全リン (T-P) を測定し、水域からの負荷削減量を面源汚濁の観点から検討した。

2. 研究方法

浸漬試験は、島根県東部の鉄バクテリア集積物の堆積が見られる水田排水路で行った。鉄バクテリア集積物を担持させる担体には、これまでのスギ担体 (AB10S) と、これを酢酸溶液に1週間漬けたもの (CH3) の2種類を用いた。これらを微細孔のある容器に入れて水域に浸漬させ、3~5週後に回収した。そして、担体に担持した酸化鉄 (フェナントロリン法) とリン (植物に利用可能な画分である Bray-2 リン酸) を計測し、これらの結果に統計的な有意差があるかどうかを調べた。木質バイオマスのリン濃縮率の算定は、回収した担体のリン吸着量 (mg/g) と河川のリン酸濃度を ppm に換算し、前者を後者で除して算出した。吸着実験については、浸漬試験後のスギ担体 1g を 10mg/L のリン酸 ($\text{PO}_4\text{-P}$) 溶液 40mL に入れ、攪拌条件下でのリン酸の濃度変化を調べた。攪拌はシーソー (40RPM) で行い、リン酸の定量前に遠心分離 (3000RPM を 15 分間) した。木質担体に吸着した T-P の測定は、強酸で長時間にわたってリン抽出を行う硝酸-硫酸分解法による。面源からの負荷削減の効果については、農地に施用する化学肥料と同重量の木質担体を用いてリンを回収し、これを農地に散布する場合を仮定して検討した。すなわち、化学肥料を散布する労力と同等の労力を、木質担体にも投入することが可能という前提条件とした。そして面源汚濁の観点から、1ha あたりのリン負荷削減量について算出した。

*島根大学大学院生物資源科学研究科, Graduate school of Life & Environmental Science, Shimane University

**島根大学生物資源科学部, Faculty of Life & Environmental Science, Shimane University

キーワード: 木質バイオマス, 鉄バクテリア, リン回収, 酢酸, 攪拌, 負荷削減

3. 結果と考察

浸漬試験の結果（図1）より、鉄（Fe）、Bray-2 リン酸（Bray-2P）の両方において AB10S より CH3 の吸着量が多かったが、統計的な有意差は見られなかった。したがって、酢酸処理によって鉄とリンの吸着は増加するものの、それに見合ったコストと手間をかける価値があるかについては疑問に思われた。また、木質担体のリン濃縮率は約 5,800～約 7,900 倍となり、本方法は水域のリンの乱雑さの減少に寄与しうると考えられた。攪拌条件下における吸着実験（図2）では、10mg/L のリン酸溶液の濃度は、2 日で約 3.7mg/L にまで低下し、1 日のリン吸着速度は 3.14mg/L となった。一方、静置条件下での1日の吸着速度は 0.233mg/L であったので²⁾、攪拌条件下の方が、静置条件下より約 13 倍早いと言えた。浸漬試験後の木質担体における T-P の測定結果は、平均すると約 0.410mg/g であった（表1）。弱酸で短時間の抽出による Bray-2 リン酸の値は、T-P の 64.9%に相当していた。この%値にはバラつきが見られたが、これは、鉄表面における吸着水や水酸基の構造が複雑であることに原因があると考えられた。そしてこの T-P 値を用いて算出した面源負荷削減量（表2）は 0.308kg/ha となった。この値は、たとえば湖沼水質保全計画での水田のリン原単位の平均値（1.13 kg/ha）の約 27.3%に相当していた。また、滋賀県の推進する「環境こだわり農業」で報告されているリン負荷削減量の平均値³⁾と同程度とも言えた。

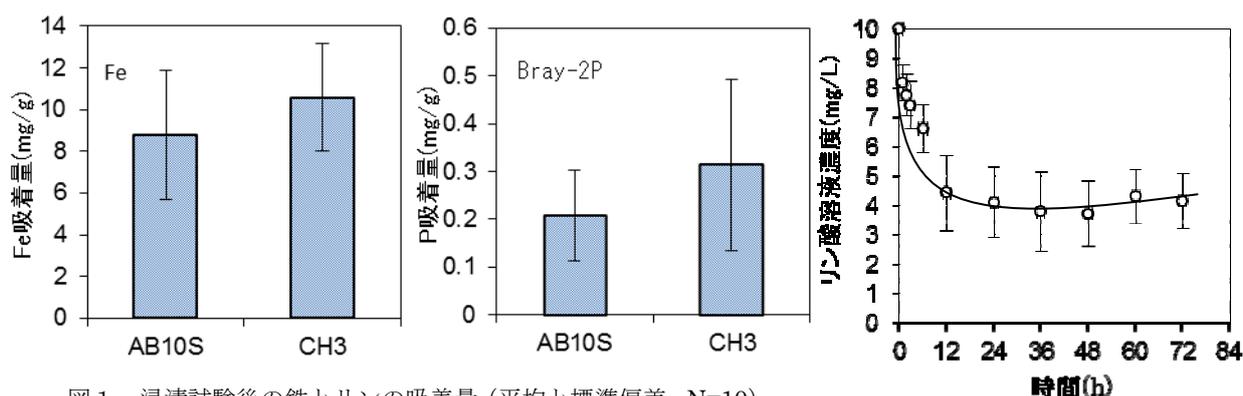


図1 浸漬試験後の鉄とリンの吸着量（平均と標準偏差，N=10）

図2 攪拌条件下における吸着実験結果

表1 木質担体の T-P と Bray-2 リン酸

| サンプル | T-P① (mg/g) | Bray-2P② (mg/g) | ②/①×100 (%) |
|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| AB10S090714-090818 | 0.356 | 0.341 | 95.7 |
| AB12S081004-081125 | 0.318 | 0.117 | 36.7 |
| AB10H090714-090729 | 0.512 | 0.400 | 78.1 |
| AB11H090519-090616 | 0.453 | 0.220 | 49.0 |
| 平均値 | 0.410 | 0.270 | 64.9 |

表2 鉄バクテリアによる負荷削減効果

| 項目 | 負荷量 (kg/ha) | 備考 |
|---|----------------|---------------------|
| リン原単位(水田) | 1.13 | 湖沼水質保全計画での平均値 |
| リン負荷削減量 (本研究) | 0.308 | 化学肥料と同量の担体を使用 |
| リン負荷削減量 (環境こだわり農業2005) ³⁾ | 0.08 | 1.17kg/ha→1.09kg/ha |
| リン負荷削減量 (環境こだわり農業2006) ³⁾ | 0.41 | 1.52kg/ha→1.11kg/ha |

4. おわりに

ここで回収した木質担体はそのまま農地に散布でき、リンの抽出工程や回収した吸着資材の処分を別途考える必要がないため、本方法は、リン資源の循環利用や負荷削減としての安価な対策となりうると考えられた。また、鉄は土壌の構成元素のなかで3番目に多い元素であり、鉄バクテリアも条件（弱酸性でわずかに嫌気的な環境）が整えば世界中でごく普通に見られる微生物であるため、多くの場所での応用が可能と考えられた。

文献：1)武田他（2008）環境技術，37，347-351. 2)Takeda et al (2010) Ecological Engineering, 36, 1064-1069. 3) 蓮川他（2009）滋賀農技セ研報 48：1-21