

自然物質を吸着剤としたバッチ試験によるリンの吸着実験

大川内, 順也

九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻生産環境科学教育コース水環境学研究室

エルジャマル, オサマ

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究室

平松, 和昭

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究室

原田, 昌佳

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究室

<https://doi.org/10.15017/25172>

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 67 (2), pp.59-68, 2012-09-20. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

自然物質を吸着剤としたバッチ試験によるリンの吸着実験

大川内 順 也¹・オサマ エルジャマル*

平 松 和 昭・原 田 昌 佳

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究室

(2012年4月27日受付, 2012年5月10日受理)

Phosphorus Adsorption from Aqueous Solution Using Natural Materials

Junya OKAWAUCHI¹, Osama ELJAMAL*, Kazuaki HIRAMATSU
and Masayoshi HARADA

Laboratory of Water Environment Engineering, Division of Bioproduction Environmental Sciences,
Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

はじめに

リンは、植物や動物の生体を構成する主要な元素であるとともに、生命活動の維持に必要なエネルギーの獲得に関する重要な機能を担う必須元素である。また、リンは化学肥料、農薬や殺虫剤などの化学薬品、金属の表面処理、工業用触媒、食品添加物等の原料として、大量にかつ幅広い用途に利用されている。なかでも、リン酸質肥料の原料として使われる量が最も多い。一般にリンはリン鉱石を主原料として作られるが、商業的に利益を上げられるほどの大規模なリン鉱床は一部の地域に偏在し、リン鉱石の生産量は中国、アメリカ、モロッコの上位3カ国で世界の約2/3を占めるなど、資源の安定供給の面で不安材料となっている。

近年ではさらに、人口増加や食の高度化、バイオエタノールの生産による世界的な穀物需要の増加の高まりからリン酸質肥料の需要は増大し、リン鉱石の価格は急騰している。さらに、このままリンの需要が増加傾向で推移すれば、今世紀の後半には経済的に採掘可能なリン鉱石が枯渇するという予想もある。リンが枯渇すれば、食料はもとより低炭素型社会の新エネル

ギーとして期待されているバイオ燃料も生産できなくなる。また、工業用のリンの入手が困難になれば、多くの産業に深刻な影響を及ぼすことになる。わが国は国内で消費するリンのほぼ全てを海外からの輸入に頼っているが、リン鉱石の価格高騰と産出国による資源の輸出規制により、リン鉱石の入手は年々難しくなっている。このようにリン資源の枯渇が大きな問題として考えられる一方で、下水道に流入するリンの量は輸入量の10～20%にも至り、リン排出による環境負荷も喫緊の課題である。都市部周辺に閉鎖的の海域が多いわが国では、リンは富栄養化物質の原因としての除去も求められており、リンの回収・再利用を行う技術の開発が必要とされている。すでに、都市下水などからリンを回収する技術はいくつも開発されており、実験プラントでは高い回収率を実現している。しかし、現状では全国的な下水汚泥からのリンの回収率は非常に低く、多くは海洋に投棄されるか、焼却灰として埋め立てられており、リン資源のリサイクルはうまく機能していない。これは、設備の建設や回収のための吸着剤、回収後の肥料化処理に多大なコストがかかるためである(辻, 2010)。

¹九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻生産環境科学教育コース水環境学研究室

¹Laboratory of Water Environment Engineering, Course of Bioproduction Environmental Sciences, Department of Agro-environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

*Corresponding author (E-mail:osama@agr.kyushu-u.ac.jp)

本論文では、循環型社会への適合とリン回収の低コスト化という目的のため、自然物質によるリン吸着に着目する。はじめに、実験によりリン吸着の効率が低い自然物質を調べる。そして、その物質によるリン吸着特性のモデル化を検討し、実験結果を基に最適なリン吸着モデルを提案する。今後予想される石油資源の枯渇によって、高度な製造過程の必要な吸着剤はコストが大きくなり、経済性が見込めなくなる可能性が高いが、自然界に存在する物質であれば、物質循環の中で利用できるため、入手が容易で持続性が高い。さらに、鉄やアルミニウムといった金属イオンとの結合によるリンの吸着を行う方法と比べて吸着後の化学処理のコストが抑えられるばかりか、設備の建設費も抑えられる。そのため、国内外を問わず技術の広い普及が可能である。

本研究の一部は日本学術振興会研究拠点形成事業(B.アジア・アフリカ学術基盤形成型)および、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究B(課題番号:23380144)の補助を受けた。記して謝意を表します。

材料と方法

1. バッチ試験による自然物質のリン吸着特性

(1) 概説

本実験では、物質のリン吸着量を測定するため、バッチ試験を実施した。これは、試験溶液と対象物質をフラスコに入れ、長時間にわたり一定の振動を与えることで変化を促し、その反応を調べるものである。本研究では、既知の濃度の試験溶液250mlが入ったフラスコに対象物質を加え、振動機にかけ、試験溶液の濃度の変化を調べた。このとき、試験溶液の濃度が減れば、その濃度分を対象物質が吸着したことになり、対象物質の質量当たりのリンの吸着量が求められる。

すべてのバッチ試験ではサンプルで振動時間を120時間とした。また、サンプルの採集は振動開始から0, 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120時間経過時点の計10回とし、ピペットを用いて試験溶液上澄み液5mlを採集した。サンプルの採集後、分光光度計(DR2300/東亜ディーケーケー社製)を用いて、リン酸イオン(PO_4^{3-})濃度を測定した。

(2) 試験溶液

顆粒状のリン酸二水素カリウム(KH_2PO_4)を純水1lに溶かし、4つの異なる濃度の PO_4^{3-} 水溶液をそれぞれ1l準備した。濃度はTP換算で5, 30, 100, 150mg/lである。これをフラスコに250mlずつ注ぎ、実験ごとに適当な濃度のものを用いた。このとき、顆粒状の

KH_2PO_4 は全量が純水に溶解し、また電離度は1、すなわち KH_2PO_4 は全て KH_2^+ と PO_4^{3-} に電離するものと見なす。

(3) 吸着物質

本研究では、リン酸の吸着物質として、おがくず、水田土壌、もみ殻、粉末大理石の自然素材に着目し、これらの吸着能力を検討した。表1に吸着物質の化学組成をまとめる。まず、おがくずは材木所において製材の際に発生する木くずのことで、古くから家畜の敷材として使われて来た。これは糞尿の水分を吸収し悪臭を抑え、また敷材としての使用後は畑に有機肥料として散布できる。これはおがくずに窒素酸化物を分解及び吸着させる能力があるからである。しかし、農業技術が発達し、リン鉱石を原料とする合成肥料が登場すると、その利便性の高さからおがくずの利用はほとんどなくなった。そのため、現在では多くの事業者が処理に悩まされている。これを有効に利用することは、処理の負担減にもつながる。

次に水稲収穫後の水田土壌に着目した。土壌は収穫後の水田のものを用いた。水田は農業の多面的機能として水質浄化機能が評価されているが、これは水が鉛直方向に浸透する際に水底の土壌が吸着するろ過の作用、および灌漑期の還元状態において微生物の働きにより脱窒作用が見られるからである。仮に土壌が実験的に高いリンの吸着効率を示すのであれば、リンの回収と再利用のサイクルが円滑に進むことが見込まれる。また、土壌の粒径分布を表2に示す。

もみ殻は、藁と同様に稲作において発生する副産物である。しかし、藁が乾燥させて鋤込むことが多いの

表1 吸着物質の化学組成

元素	質量(%)	元素	質量(%)
おがくず		土壌	
NH ₄	0.00071	Fe ₂ O ₃	7.5
K	0.0478	MnO ₂	0.16
P	0.004	Al ₂ O ₃	16.1
C	44.1	SiO ₂	43.7
N	0.17	C	1.57
		H	0.58
		N	0.14
もみ殻		粉末大理石	
Fe ₂ O ₃	0.0089	CaCO ₃	99.8
Al ₂ O ₃	0.012	SiO ₂	0.1
SiO ₂	1.25		
P ₂ O ₅	0.18		
Na ₂ O	0.02		
K ₂ O	0.65		

表2 土壌の粒径分布

測定方法	粒径 (mm)	通過質量百分率 (%)
	100	
	75	
	53	
	37.5	
	26.5	
	19	
ふるい 分析	9.5	100.0
	4.75	99.3
	2	94.8
	0.85	87.2
	0.425	81.1
	0.25	74.1
	0.106	64.0
	0.075	60.7
沈降 分析	0.0534	56.4
	0.0382	52.8
	0.0245	46.7
	0.0145	38.2
	0.0104	33.3
	0.0074	26.0
	0.0038	16.3
	0.0015	10.2

に対し、もみ殻は古来より燃焼させて燐炭として鋤込んで利用されてきた。これは、もみ殻がカルシウム、リンなどの無機成分を多く含むが、表面をケイ酸質で覆われていることで、撥水性が高く、藁と比べ腐りにくいためである。一般に野焼きをしてから鋤込みを行うのだが、この際に発生する大量かつ強い臭いを持つ煙に問題があり、秋田県では条例で禁止されているほどである。このように、農家はもみ殻の処理に苦慮しているという現状がある。これを有効に利用することは、農家の処理の負担減にもつながる。

大理石は大理石とは石材の石灰岩の一般的な呼び方である。石灰岩は成分に多くのカルシウムを含んでおり、その多くが炭酸カルシウムとなっている。これが水中でリン酸イオンと反応し、リン酸カルシウムを形成すると予想されるため、高いリンの吸着が見込まれる。また、石灰岩は工業用の炭酸カルシウムの原料として、大量に利用されており、一部ではあるが、成形されたものが建築用、または粉状にされたが美術用として流通している。さらに、石灰岩は世界中に広くかつ大量に存在しており、鉱物資源としては珍しくわが国における自給率は100%である。そのため、国際的な環境に左右されず、安定した供給が見込まれるため、吸着剤として有望である。

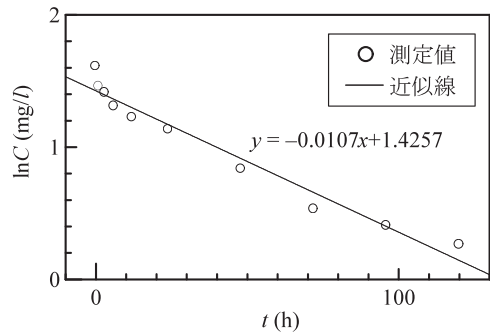


図1 非線形最小二乗法 (例)

2. リン吸着モデル

(1) 概要

本研究の目的は自然物質によるリンの吸着効率を定量化することであるので、実験の結果をもとに解析を行い、各モデルに適合させた。その際のモデル値を測定値と比較することでモデルの再現性を数値化し、再現性の高いモデルを今後の研究に用いることとした。ここで、吸着過程の再現モデルについては、反応速度論モデルと吸着速度論モデル (Karaca *et al.* 2004) をそれぞれ1次反応と2次反応について比較した。また、吸着平衡状態の再現モデルについては、吸着等温式のLangmuir型とFreundlich型を比較した。各モデルは与えられた境界条件をもとに積分を行い、図1のように非線形最小二乗法により係数を求めた。得られた係数を用いた値をモデル値として、測定値と比較することで再現性の検証とした。

(2) 反応速度論モデル

本モデルは反応速度論より式 (1) で表される (日本化学会, 1975)。

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n \quad (1)$$

ここで、 t は経過時間 (h)、 C は溶液中のリン酸濃度を (mg/l)、 k は反応速度定数、 n は反応次数である。初期濃度を C_0 で表すとき、上式の積分より次式を得る。

・1次反応 ($n=1$)

$$\ln C = -kt + C_0 \quad (2)$$

$$C = C_0 \exp(-kt) \quad (3)$$

・2次反応 ($n=2$)

$$\ln \frac{1}{C} = kt + \frac{1}{C_0} \quad (4)$$

$$C = \frac{C_0}{C_0 kt + 1} \quad (5)$$

式 (2), (4) より反応速度定数を逆推定し, 式 (3), (5) を用いたバッチ試験結果の再現を通じて吸着モデルの妥当性を検証した.

(3) 吸着速度論モデル

本モデルは吸着速度論より式 (6) で表される.

$$\frac{dq}{dt} = k(q_e - q)^n \quad (6)$$

ここで, q はリン吸着量 (mg/g), q_e は平衡状態におけるリン吸着量 (mg/g), k は吸着速度定数, n は反応次数である. さらに q は次のように表される.

$$q = (C_0 - C) \cdot \left(\frac{V_L}{m} \right) \quad (7)$$

ここで, V_L は水溶液の容積 (l), m は溶質の質量 (g) である. この場合, 初期条件は $q=0$ であるので, 式 (6) の積分は以下のように求められる.

・1次反応 ($n=1$)

$$\ln(q_e - q) = -kt + \ln q_e \quad (8)$$

$$q = q_e - q_e \exp(-kt) \quad (9)$$

・2次反応 ($n=2$)

$$\frac{t}{q} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{kq_e^2} \quad (10)$$

$$q = \frac{tkq_e^2}{1 + tkq_e} \quad (11)$$

式 (8), (10) より算出した吸着速度定数をもとに, 式 (9), (11) を用いてバッチ試験を再現し, 吸着速度論の適応性について検討した.

(4) 吸着等温式モデル

吸着等温式とは気体 (溶質) が一定温度下において固体に吸着される際の圧力 (濃度) と吸着量の相関関係を表した式である. 吸着等温式にはいくつかの型が知られているが, そのほとんどは経験的に得られたものである. ここでは理論的根拠を持つ Langmuir の式と, 経験式ではあるが適応範囲の広い Freundlich の式をもとにしたモデルから吸着の動態を解析した.

Langmuir 型の吸着等温式は, 物質表面への吸着を単分子層のみと仮定したときの, 一定温度における物質の吸着量を圧力の関数として表した理論式である. これは固体による気体の吸着にしばしば用いられるが, 本モデルでは固体による液体の吸着に変換するため, 圧力を濃度として扱う. この式を導出するために, ① 固体表面の吸着分子は単分子膜を形成する, ② 1つの吸着点 (サイト) に1つの分子のみ吸着する, ③ 全ての吸着サイトは等価である, ④ 吸着分子間に相互作用はない, 以上の4つを仮定すると, 吸着平衡状態を次式で表される (田中・田中, 2010).

$$r_a = k_a [v] \cdot C_e \quad (12)$$

$$r_d = k_d [o] \quad (13)$$

ここで, r_a は吸着速度, r_d は脱着速度, k_a は吸着速度定数, k_d は脱着速度定数, k ($k = k_a/k_d$) は吸着平衡定数である. また, $[v]$ と $[o]$ はそれぞれ空きサイトと埋まったサイトとすると, 被覆率は $\theta = [o]/([o] + [v])$ で表される. さらに C_e は溶液の平衡状態における濃度を (mg/l) である. 平衡状態のとき, $r_a = r_d$ であるので, 式 (12), (13) より, 次式を得る.

$$\theta = \frac{kC_e}{1 + kC_e} \quad (14)$$

・Langmuir 型の吸着等温式モデル

$$q_e = q_m \theta = q_m \frac{kC_e}{1 + kC_e} \quad (15)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m k} \cdot \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (16)$$

・Freundlich 型の吸着等温式モデル

$$q_e = kC_e^{\frac{1}{s}} \quad (17)$$

$$\ln(q_e) = \frac{1}{n} \ln(C_e) + \ln(k) \quad (18)$$

ここで, q_m は物質の飽和吸着量 (mg/g) であり, 各モデルにおける吸着定数を k , 吸着指数を s で表す (関, 1997). 式 (16), (18) より定数を推定し, つづいて式 (15), (17) を用いてバッチ試験結果を再現することで吸着等温式の再現性を検証した.

(5) 再現性の検証

以上の吸着モデルの適応性を検証するために, 各モデルを用いてバッチテスト結果を再現した. 各モデルの計算精度をとしてモデル値と測定値の対数の絶対誤差 $absL$ を用いた (Kouznetsova *et al.* 2007). この場合, $absL$ の値が小さいほど計算精度が良いことを表す. 吸着過程再現モデルでは, 反応速度論モデルと吸着速度論モデルの比較を行うために次式で $absL$ を定義した,

・吸着過程再現モデルの検証

$$absL = \frac{\sum |\log C_{exp} - \log C_{mod}|}{m} \quad (19)$$

ここで, C_{exp} はリン濃度の測定値 (mg/l), C_{mod} はリン濃度の計算値, m ($m=10$) は測定データ数である. また, 吸着速度論モデルは値を q (mg/g) で表しているため, 式 (7) を次式のように変形し, C (mg/l) に関して表した.

$$C = C_0 - \frac{m \cdot q}{V_L} \quad (20)$$

ここで, q_{mod} は吸着量の計算値 (mg/g) である.

吸着等温式による吸着平衡状態再現モデルについては、吸着等温式のLangmuir型とFreundlich型の比較を行うため、式 (3.21) を用いた。

・吸着平衡状態再現モデルの検証

$$absL = \frac{\sum |\log q_{e,exp} - \log q_{e,mod}|}{m} \quad (21)$$

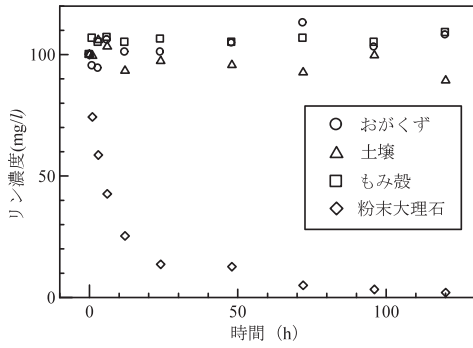


図2 自然物質を吸着剤としたバッチテストの結果

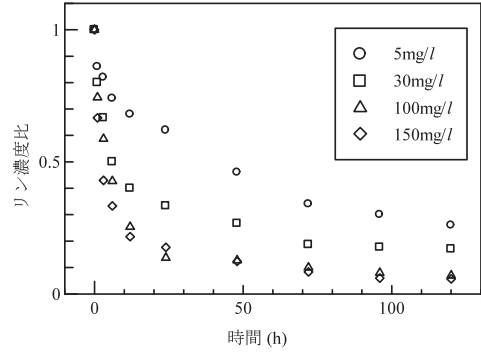


図3 粉末大理石によるリン吸着量の測定結果
ここで、y軸は試験溶液の初期濃度を1としたときの推移である。

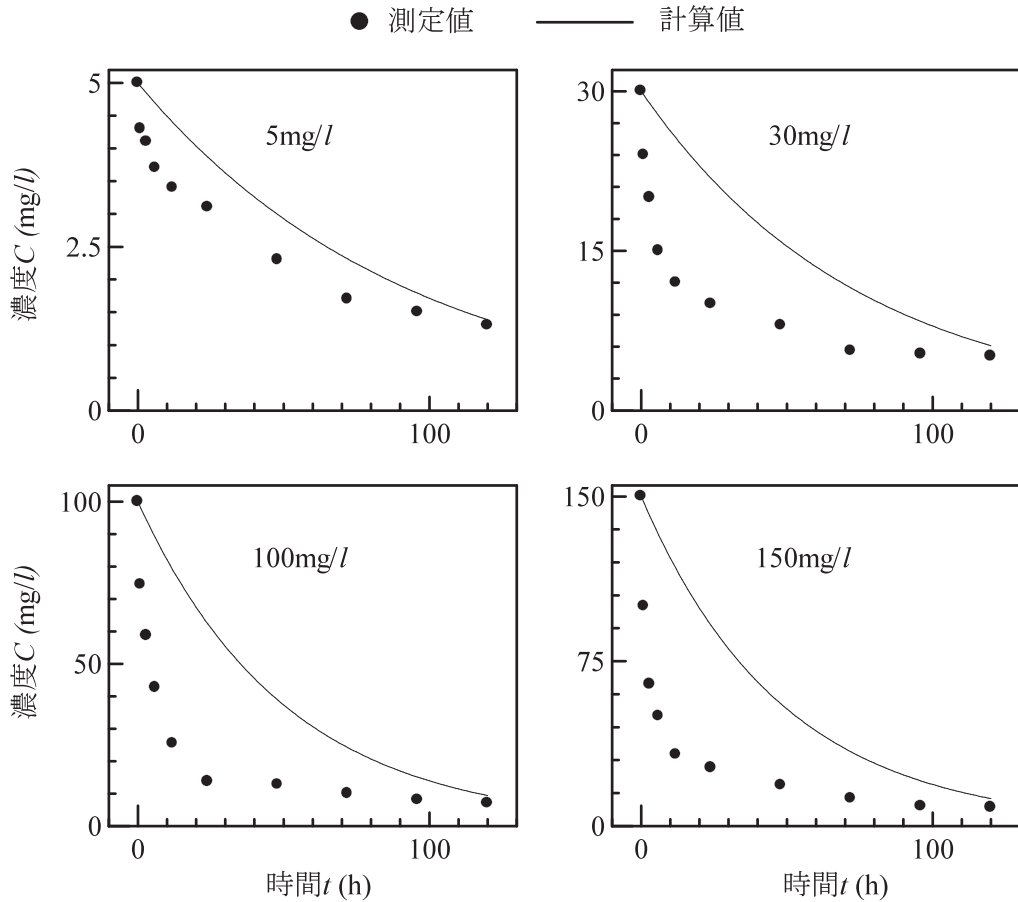


図4 反応速度論モデル1次反応の再現

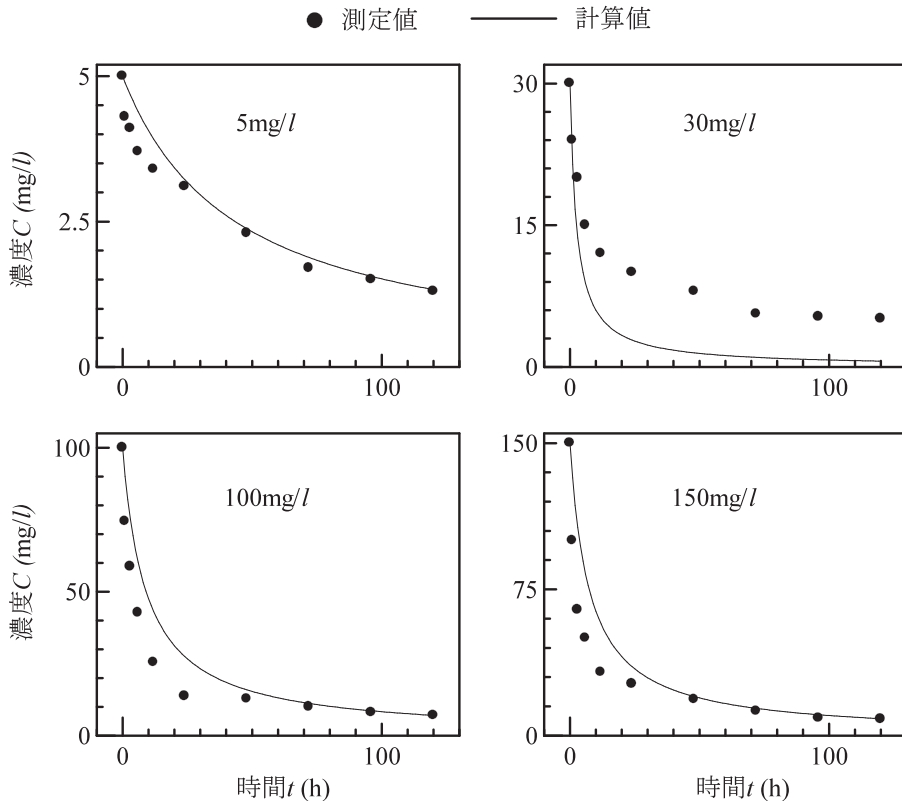


図5 反応速度論モデル2次反応の再現

ここで、 $q_{e,exp}$ は平衡状態におけるリン吸着量の測定値、 $q_{e,mod}$ は平衡状態におけるリン吸着量の計算値、 m ($m=4$) は測定データ数である。

結果と考察

1. バッチ試験結果

まず4種類の吸着物質に対し、同一のリン濃度(100mg/l)の試験溶液を用いてバッチ試験を行い、その結果を図2に示す。同図から粉末大理石のみがリン吸着の効果が見られた。そこで粉末大理石を用いて異なる4種類の初期リン濃度(5, 30, 100, 150mg/l)の試験溶液を用いてバッチ試験を行い、その結果を図3に示す。同図より、溶液の初期濃度によって、吸着過程や平衡状態に対する濃度に違いが見られた。特に、低濃度のときほど初期濃度に対する吸着速度比が小さいこと、リン濃度が100mg/lと150mg/lのときの吸着速度比はほぼ等しいこと、また平衡状態における濃度は初期濃度の大きさに相関があることが挙げられる。

図3に示された結果に対し、先の章に示したように吸着過程と吸着平衡状態に分けてモデル化を行った。その結果を図4～図8に示す。

2. 吸着モデルの比較

図4～図8に示すモデル値と測定値の比較において、再現性を表す値を表3に示した。同表から、吸着過程再現モデルである反応速度論モデルと吸着速度論モデルの双方で二次反応の方が一次反応より再現性が良好であることが分かる。また、モデル間においては吸着速度論モデルは反応速度論モデルより概ね再現性が高かった。よって、吸着速度論モデルの二次反応が、粉末大理石と PO_4^{3-} 水溶液の吸着動態を最も良好に再現していると言える。さらに、吸着平衡状態の再現モデルについては、吸着等温式のLangmuir型が $absL_2=0.0500$ 、Freundlich型が $absL_2=0.1773$ であり、Langmuir型の方が吸着の平衡状態を良好に再現しているといえる。

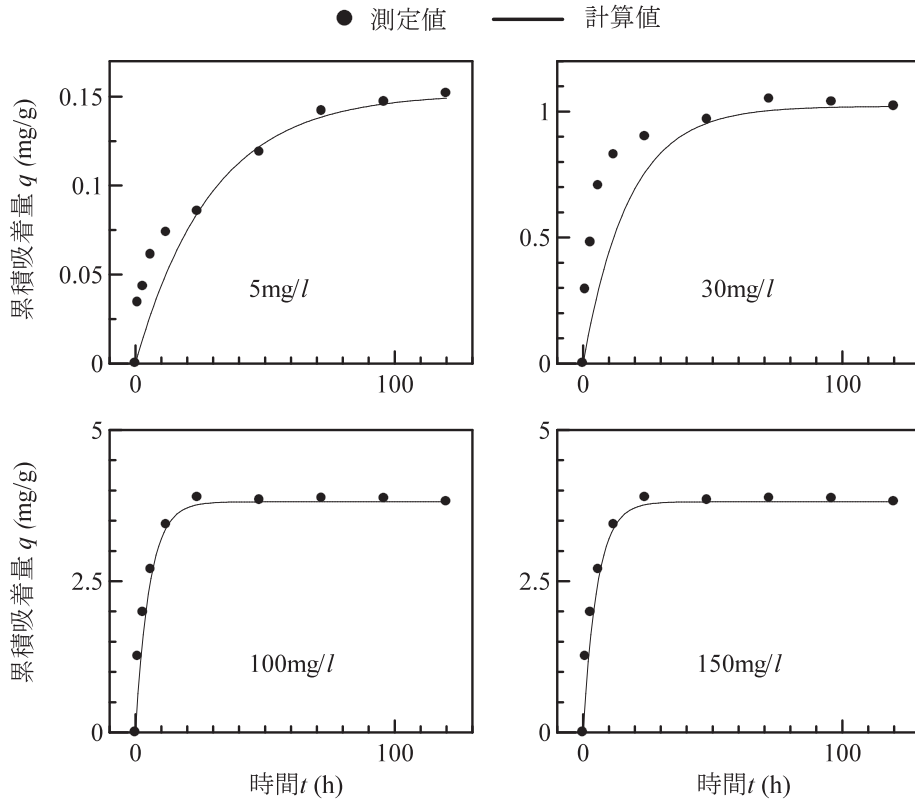


図6 反応速度論モデル1次反応の再現

要 約

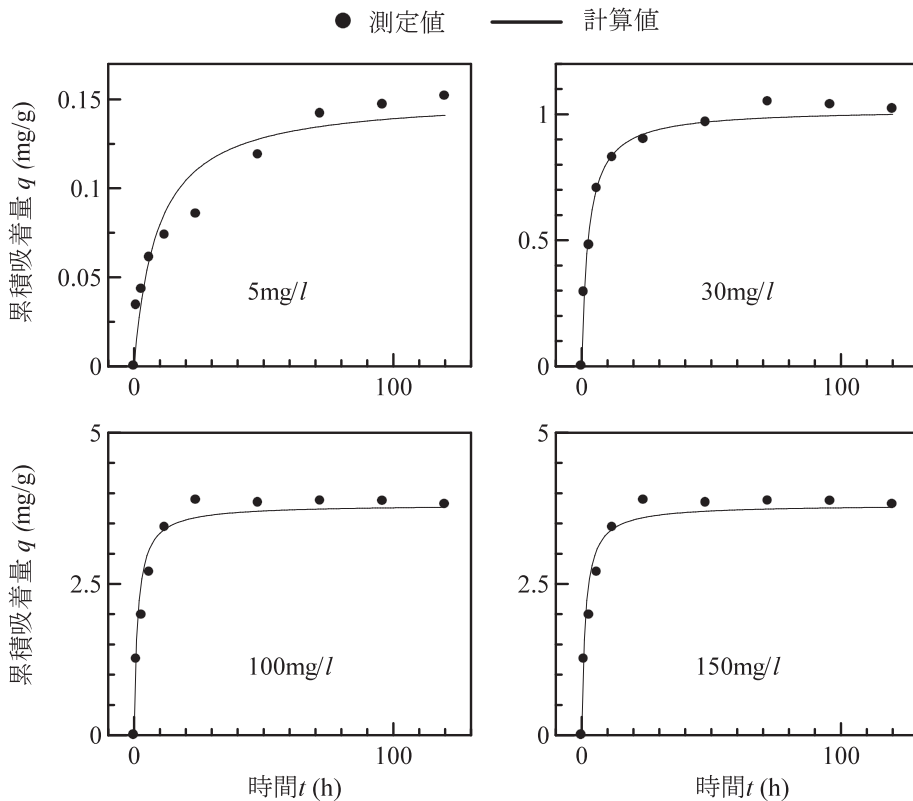
化学肥料の主原料であるリン鉱石を取り巻く国際環境は悪化し、その使用量のほぼ100%を輸入に頼るわが国では、今後のリンの安定供給が不安視されている。一方で、貴重であるはずのリンは下水道へ大量に流入し、多くは海洋へ放出され、一部では濃度が高すぎるために海洋の富栄養化を招いている。このような状況で、安定した運用が見込まれ、かつ再利用しやすいリンの回収システムの構築はわが国においては急務となっている。

本実験では、この回収システムの要である吸着剤として適当な物質の特定、その吸着動態の解析を行った。実験の対象物質としては、供給が安定し、再利用しやすく、また今後見込まれる石油の枯渇に影響が少ないという条件から自然物質であるおがくず、土壌、もみ殻、粉末大理石を選択した。これらの自然物質に対し PO_4^{3-} 水溶液において吸着実験を行った。その結果、

粉末大理石のみが大きなリン吸着量を示したことから、異なる濃度における粉末大理石の吸着量を測定し、その動態解析を行った。

吸着の過程を再現するモデルは、濃度に依存する反応速度論モデル、および吸着量に依存する吸着速度論モデルの2種類を用いた。これらのモデルはそれぞれ一次または二次反応と仮定した。吸着の平衡状態を再現するモデルは、吸着等温式の中から理論式のLangmuir型、および経験式のFreundlich型の2種類を用いた。それぞれのモデルを比較し、精度の良いものを選択した。

比較の結果、吸着の過程の再現においては、反応速度論モデルと吸着速度論モデルの双方で二次反応がより高い再現性を示した。また、全濃度の平均の再現性では、反応速度論モデルより吸着速度論モデルの方が良好であった。また、吸着等温式による吸着の平衡状態の再現においては、理論式であるLangmuir型の方が経験式であるFreundlich型より、再現性が良好で



あった。

本論文ではフラスコの中での物質と試験溶液を機械的に攪拌し反応を見たので、今後はより実践に近い環境における物質のリンの吸着効率の測定を行う方針である。具体的には、流水中または貯水中での物質のリンの吸着量を測定するための実験を行う。また今回は、初めに4つの自然物質を用意したにも関わらず、粉末大理石以外はリンの吸着が見られず、結果として粉末大理石のみの吸着動態の解析になってしまったため、他の自然物質からリンの吸着効率の高い物質を探し出すことも今後の重要な課題となる。

キ ャ ワ ー ド

バッチ試験, 反応速度論, 吸着等温式, 吸着モデル, 粉末大理石

文 献

Kouznetsova I., P. Bayer, M. Ebert and M. Finkel
2007 Modelling the long-term performance of

zero-valent iron using a spatio-temporal approach for iron aging. *Journal of Contaminant Hydrology*, **90**: 58-80

日本化学会 1975 化学の原典5-反応速度論, 学会出版センター, 178-180頁

Karaca S., A. Gürses, M. Ejder and M. Acıkyıldız 2004 Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of phosphate on dolomite. *Journal of Colloid and Interface Science*, **277**: 257-263

関 一彦 1997 物理化学入門コース2, 岩波書店, 321-326頁

田中一義・田中庸裕 2010 化学マスター講座物理化学, 丸善株式会社, 411-442, 443-472頁

辻 秀之 2010 吸着剤によるリン回収技術, 東芝レビュー, **65**, No.9: 48, 49

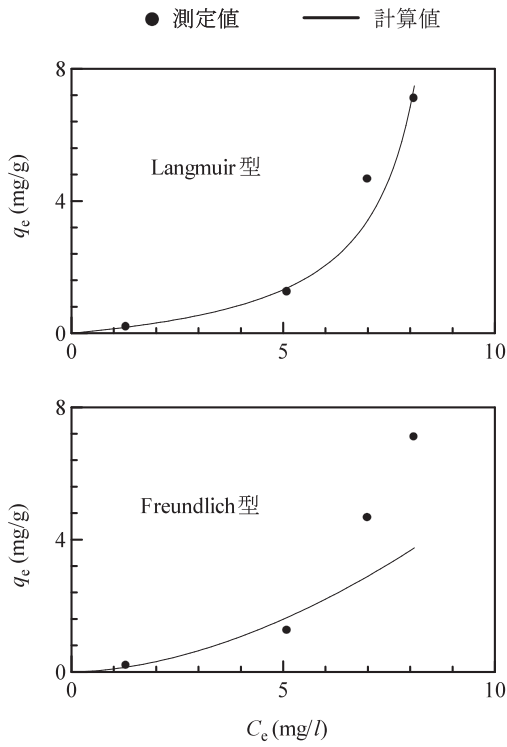


図8 吸着等温式の再現

表3 吸着過程再現モデルの比較 (absL)

	反応速度論モデル		吸着速度論モデル	
	一次反応	二次反応	一次反応	二次反応
5mg/l	0.0796	0.0351	0.0312	0.0386
30mg/l	0.2068	0.1084	0.0854	0.0295
100mg/l	0.3068	0.1056	0.0381	0.0805
150mg/l	0.3459	0.1103	0.4228	0.0456
平均	0.2348	0.0801	0.1444	0.0486

Summary

The environmental stability of global reserves of rock phosphate is deteriorating due to excess consumption. Phosphate is mostly obtained from mined rock phosphate and the main direction of phosphate application is focused on agriculture where it is used as fertilizer. Presently, Japan 100% depends on imports from overseas for all phosphate materials consumed in Japan. Therefore, there are concerns on the supply stability of fertilizer in the future. At the same time large quantity of phosphorus is available in wastewater, and phosphorus released from wastewater into resource water area constitutes the main risk for reduced water quality. For that it is necessary to investigate various techniques and materials that could contribute to the removal and recycling of phosphorus from wastewater.

In this study four different natural materials marble dust, sawdust, soil, and rice husk were chosen in order to test their phosphorus sorption capacity. The sorption of phosphorus using these materials was studied by conducting batch tests and kinetic sorption model.

The kinetic models based on kinetic reaction, pseudo equation and isotherm equation was applied to predict rate constants of sorption. Through investigations to understand the mechanism of phosphorus sorption onto the natural materials using kinetic sorption models, pseudo second order is the most accurate under the sorption process models, and Langmuir type of isotherm equation is the most accurate under the sorption equivalent model.

Batch tests and kinetic sorption models results showed that using the marble dust as sorbent could be removed more than 90% of phosphorus from aqueous solution.

To investigate more about phosphorus removal from wastewater, in next step the batch test results will be integrated to conduct column experiment for the purpose of practice.

Key words: batch test, chemical kinetics, adsorption isotherm, adsorption model, marble dust