

# 使い捨てカイロを利用した水の浄化

## 抄 録

本研究では使い捨てカイロを主成分とした鉄イオン溶出体（以下、鉄炭団子）とクエン酸を加えたクエン酸鉄炭団子を用いて水環境が改善されるかを検証する。また、使い捨てカイロにおける以下の主要メーカーの品物の成分差を調査する。なぜなら、鉄炭団子・クエン酸鉄炭団子を作成するにあたって影響を及ぼさないかを判別するためだ。結果からは大きな変化はみられなかった。

本研究では、クエン酸鉄炭団子による川の水の浄化を確認する実験1とクエン酸鉄炭団子と鉄炭団子を比較する実験2の二つの実験を行う。実験1は大阪府大津川にて採取した水のPhを計測し、匂いや水質を記録する。ビンの容量は1050mlにした。実験1の一つの瓶あたりの河川の水は800ml、クエン酸鉄炭団子は30gにした。実験結果から、水酸化鉄（Ⅲ）へ変化したと考えられる。よって水質改善は行われず、別の物質へ変化したといえる。要因としては、川の水が塩基性であったことが考えられる。実験2は蒸留水100ml、クエン酸鉄炭団子・鉄炭団子は10gである。実験結果は、クエン酸鉄炭団子を投入した方が黄緑色の水溶液、鉄炭団子を投入した方が無色透明の水溶液であった。これらの結果より、クエン酸鉄炭団子を投入することでクエン酸鉄錯体が生成されたと考えられる。

これらの結果より、鉄炭団子、クエン酸鉄炭団子双方とも、二価鉄イオンを溶出しヘドロの減少・富栄養化の改善を行うと結論付けた。

なお、クエン酸鉄炭団子はクエン酸鉄錯体を生成するため、長期的な溶出が必要（磯焼けなど）な際に使用するのが適切である。ただし、塩基性が高い条件下など特定の条件下では別の物質へ変化してしまうため、今後さらなる研究が求められる。

キーワード：使い捨てカイロ、鉄イオン溶出体の活用、水環境の改善、カイロの回収

## 1. はじめに

### 1.1 研究動機

この研究に取り組んだきっかけは、私自身、使い捨てカイロをよく利用するが使用後廃棄する姿を見て、もったいなく感じたからだ。また、現在使い捨てカイロは冬にしか需要がなく、他の代用品も登場しつつある現状からも、環境への負荷が少ない仕組みで再利用したい。

使い捨てカイロの再利用方法は、消臭剤や肥料等もあるが、本物の製品よりは劣る。そのため、使い捨てカイロだからこそできる鉄炭団子の作成が最も効果的だと考える。鉄炭団子とは、水中に投入することにより、ヘドロの固定化・無害化に伴う水環境の改善がなされるからである。

このように鉄炭団子として加工し活用することで、社会的な意味で使い捨てではなくなるのではないかと考えた。

## 1.2 研究目的

ヘドロのない川の水において、クエン酸鉄炭団子を投入した際に水環境が改善されるのか検証する。また、クエン酸鉄炭団子を入れるべき川の水環境を明らかにする。先行研究より、明らかとなっている鉄炭団子と比較も行い、使い捨てカイロの新たな活用方法を模索する。

そして、使い捨てカイロの回収を普及させるためには、どのような取り組みが必要になるかを、コンタクト ケース・レンズの回収事業より比較し検討する。

## 2. 研究方法

### 2.1 文献調査

#### 鉄炭団子の原理と効果

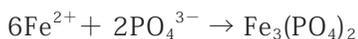
鉄イオン溶出体は、使用済み使い捨てカイロと残飯（団子状になるものなら可）で作成される。水中に投入することで、これらが接触し、電池の作用により効率的に二価鉄イオン ( $\text{Fe}^{2+}$ ) が溶出される。

鉄炭団子の効果は、全国各地の水圏環境浄化活動において「鉄イオン溶出体」を用いることで、悪臭が抑制され水生植物や 海藻が繁茂する等水質浄化が認められている（杉本、2010）。

科学的なメカニズムとしては、二価鉄イオンによって、ヘドロ内の難溶性の硫化物（硫化鉄  $\text{FeS}$  等）や原子状硫黄 ( $\text{S}_0$ ) が沈殿・無毒化される。（Canfield 1989 ; Howarth Stewart 1992 ; Giordano Et Al. 1996）

この反応により悪臭の原因である硫化水素が抑制される。同様に特定悪臭物質であるメチルメルカプタンも抑制されることも確認されている。（佐々木剛、杉本幹生、2003）

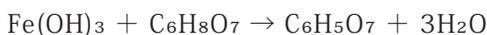
また、リン酸イオン濃度に関しては、鉄イオンと結合し不溶性リン酸鉄となり、減少したと考えられる。このことから、下記の反応がわかる。



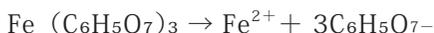
しかしながら、亜硝酸イオン濃度、硝酸イオン濃度の低減は見られなかった。（折原修ら、2013）

#### クエン酸鉄の原理と効果

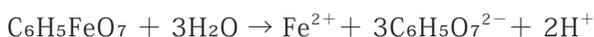
クエン酸鉄炭団子とは鉄炭団子に無水クエン酸を加えたものである。主成分は、使用済み使い捨てカイロの内容物である水酸化鉄（Ⅲ）と無水クエン酸である。（杉本幹生、2002）



鉄炭団子と同様、水中に投入することで、これらが接触し、電池の作用により効率的に二価鉄イオンが溶出される。クエン酸鉄炭団子では、クエン酸イオンも同時に溶出される。



水中では溶出されたクエン酸イオンが二価鉄イオンを捉えて安定化することで、クエン酸鉄（Ⅲ）錯体（以下、クエン酸鉄錯体）が生成される。



クエン酸鉄イオンは、水中の重金属イオンの除去や水中のカルシウムイオンやマグネシウムイオンをキレートし硬水を軟水に変化させることができる。このほかにも、金属イオン

と結びつきキレート錯体として供給し、生物の利用しやすいものとなる。実際には磯焼けの回復にむけて設置されたこともある。

### 使い捨てカイロのメーカーによる成分差

使い捨てカイロにおける以下の主要メーカーの品物の成分差を調査する。(表1参照)また、鉄炭団子・クエン酸鉄炭団子を作成するにあたって影響を及ぼさないかを判別する。なお本研究で使用した商品は小林製薬株式会社の「桐灰カイロ(貼らないタイプ)」である。

表1 「使い捨てカイロ主要メーカー商品の内容物」

メーカー	商品名	内容物
小林製薬	桐灰カイロ (貼らないタイプ)	鉄粉・水・活性炭・吸水性樹脂・バーミキュライト・塩類
アイリスオーヤマ	ぼかぼか家族 (貼らないタイプ)	鉄粉・水・活性炭・バーミキュライト・塩類・高吸水性樹脂
エステー	貼らないオンボックス	鉄粉・水・木粉・活性炭・バーミキュライト・塩類・吸水性樹脂
ロETTE	ホカロン貼るタイプ	鉄粉・水・活性炭・バーミキュライト・塩類・吸水性樹脂・木粉

すべて、内容物に大きな差がないことがわかる。木粉や吸水性樹脂は酸化促進するもので、必要不可欠な内容物は鉄粉・水・活性炭・バーミキュライト・塩類である。なお、貼るタイプと貼らないタイプは粘着の有無のみであり、内容物に差はない。

## 2.2 実験手順

### 実験準備品

本研究で用意した実験準備品は表2のとおりである。クエン酸鉄団子は、先行研究より使い捨てカイロの中身と無水クエン酸、残飯・でんぷんのりで作成した。鉄炭団子は、使い捨てカイロの中身とでんぷんのりで作成した。いずれも、残飯・でんぷんのりは団子状にするためのものとして用いた。

表2 「実験準備品」( )内は量

購入品	作成・採取物
水素イオン濃度計測計(1本)	クエン酸鉄団子(240g)
パケットテスト(5セット×20個)	鉄炭団子(10g)
蒸留水(少々)	川の水(640mL)
お茶パック(10個)	
ピン(10個)	

## 実験1 『クエン酸鉄炭団子による川の水の浄化』

実験1は大阪府大津川にて採取した水のPhを計測し、匂いや水質を記録する。ビンの容量は1050mlにした。実験1の一つの瓶あたりの河川の水は800ml、クエン酸鉄団子は30gにした。実験期間はおよそ二週間程度を目安とする。

## 実験2 『クエン酸鉄炭団子と鉄炭団子比較』

実験2は蒸留水100ml、クエン酸鉄炭団子・鉄炭団子は10gである。蒸留水に双方の団子を入れPhを計測し、匂いや水質を記録し、比較する。実験期間はおよそ二週間程度を目安とする。

## 2.3 分析方法

### 仮説

本研究の仮説は、以下の三つである。

- ①クエン酸鉄炭団子によるヘドロのない川の水の浄化は、ヘドロのある環境よりやや劣るが効果はあるのではないか。

(ヘドロに溶け込む有害物質が川の水にもあると考えたため。)

- ②鉄炭団子とクエン酸鉄炭団子では、後者の方が水環境改善を促すのではないか。

(キレート鉄が生成されるため。)

- ③使い捨てカイロの回収が社会的に普及していないのは、販売会社が回収を行っていないからではないか。

(販売会社とは別の会社が行っているため。)

また、以下のような基準も設けた。

### 水環境改善の基準

本実験で用いる鉄炭団子は、ヘドロや磯焼けなどによって悪化した水環境をもとにもどし、水環境を改善するものであるから、環境省の生活環境の保全に関する環境基準より環境保全にあたる部分を目標値として定める。また、環境省の資料にない項目は、多くの資料より最低限の環境を読み取り定めた。(鳥谷明弘、傳谷卓也.水質データの基礎知識)(共立パックス「徳用川の水調査セット」説明書)

調査項目、目標値は以下の通りである。

- ①COD (5mg/L以下): 水中の有機物などを酸化剤で分解する時に消費される酸素量を表した数値。
- ②アンモニウム態窒素 (0.2mg/L以下): 水中にアンモニウム塩として含まれている窒素の量。主としてし尿や家庭下水中の有機物の分解や工場排水に起因するものである。
- ③亜硝酸態窒素 (0.05mg/L以下): 水中の硝酸塩中の窒素と、亜硝酸塩中の窒素との合計量。窒素肥料、腐敗した動植物、家庭排水、下水等に由来する。
- ④硝酸態窒素 (2.0mg/L以下): 窒素が化学反応により酸化したものである。由来は亜硝酸態窒素と同様。
- ⑤リン酸リン (0.065mg/L以下): リン酸イオンとして存在する。栄養塩として藻類に吸収利用されるため、富栄養化現象の直接的な原因物質となる。

⑥水素イオン濃度（6.0以上8.5以下）：水溶液の酸性、塩基性を示す指数

※水素イオン濃度以外はパックテストで行った。いずれも数値の小さい方が環境に良い。

### 実験前調査

本実験では、実験前調査として採取する河川の水を、水環境改善の基準にて紹介した6つの水環境指標の調査を行った。その河川のデータと目標値と比較した。表3、表4のとおりである。

本実験で用いた表3の河川の水は大阪府泉大津市を流れる大津川にて河口より2.6km地点で採取した。

表3 大津川、水質データ（2022. 8.2測定）

指標	測定値	目標値
COD	8.0mg/L	5mg/L以下
アンモニウム態窒素	0.2mg/L	0.2mg/L以下
亜硝酸態窒素	0.1mg/L	0.05mg/L以下
硝酸態窒素	4.0mg/L	2.0mg/L以下
リン酸リン	0.5mg/L	0.065mg/L以下
水素イオン濃度	8.44	6.0以上8.5未満

表3より、基準値を上回っているのはCOD、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、リン酸リンである。よって有機物が多く水中の酸素量が少ないこと、富栄養化現象の手前の状況であることが読み取れる。

また、水素イオン濃度の値より、若干塩基性であることもわかる。

## 3. 実験結果

### 実験1

表4の通りになった。酸化が進み、赤褐色の沈殿が出てきていることから、実験後の水の色から、水酸化鉄（Ⅲ）へ変化したと考えられる。よって水質改善が行われず、別の物質へ変化したといえる。

表4 実験1結果

ph（水素イオン濃度）	8.44→7.33→4.98
匂い	腐乱臭
水質（見た目）	赤褐色の沈殿

### 実験2

図2, 3のようになった。図2には鉄炭団子、図3にはクエン酸鉄炭団子の投入後の写真である。鉄炭団子を投入した方は無色透明、クエン酸鉄炭団子を投入した方は黄緑色で透明になっている。



図1 実験後の水

クエン酸鉄錯体は黄緑色をしており、図3より生成されたと考えられる。



図2 鉄炭団子の投入（9月26日～10月6日）



図3 クエン酸鉄炭団子の投入（9月26日～10月6日）

#### 4. 考察

##### 実験1 要因

実験1では、川の水のPhは8.44であり塩基性であったため、水酸化鉄(Ⅲ)が生成された。



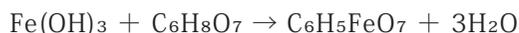
二価鉄イオン + クエン酸イオン + 水素イオン → 水酸化鉄(Ⅲ) + クエン酸イオン

上記の反応があったと考えられる。

※ヘドロの汚水物質と吸着して安定するため上記の時点では、電氣的に中性ではない。

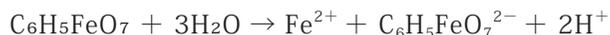
##### 実験2 クエン酸鉄炭団子の原理

水の色より、クエン酸鉄イオンが確認できるため下記の順に反応すると考えられる。



水酸化鉄(Ⅲ) + 無水クエン酸 → クエン酸鉄 + 水

水中に投入することで



クエン酸鉄 + 水 → 二価鉄イオン + クエン酸イオン + 水素イオン

がみられる。

※ヘドロの汚水物質と吸着して安定するため上記の時点では、電氣的に中性ではない。

クエン酸イオンは金属イオンと結びつく性質があるため、二価鉄イオンと結びつきクエン酸鉄錯体が生成されることもある。ただし、川の水では生成されなかった。

## 5. 結論

鉄炭団子、クエン酸鉄炭団子双方とも、二価鉄イオンを溶出しヘドロの減少・富栄養化の改善を行う。

なお、クエン酸鉄炭団子はクエン酸鉄錯体を生成するため、長期的な溶出が必要（磯焼けなど）な際に使用するのが適切である。ただし、塩基性が高い条件下など特定の条件下では別の物質へ変化する。

今後の課題としてはクエン酸鉄炭団子の原理を明らかにすることがあげられる。そのうえで、鉄炭団子・クエン酸鉄炭団子の具体的な使用方法や量などを調査し、入れるべき環境を数値化することを目指す。また使い捨てカイロの回収については、販売会社の参入や回収後の流れの確立が求められる。

## 参考文献

株式会社エプト 『鉄炭団子について』

<http://tottoriept.com/dangocom>（2023年7月28日）

株式会社Go-Green-Group 『Go Grenn Cube』

<https://go-green-group.com/gogrenncube>（2023年7月28日）

共立パックテスト 『徳用川の水調査セット』説明書

佐々木剛・杉本幹生（2003）『鉄イオン溶出体によるヘドロ底泥中の揮発性硫黄化合物除去』

杉本幹生（2002）『フルボ酸鉄と相似クエン酸鉄の作り方と使用法』

mode:inline（resona-fdn.or.jp）

夏池真史ら（2016）『自然水中における鉄の化学種と生物利用性—鉄と有機物の動態からみる森・川・海のつながり—』

山脇学園中学校高等学校 折原修（平成25年度）『東京ヘドロ浄化プロジェクト』

有限会社翠水 <https://www.suisui52.co.jp/divalent/33961.html>（2023年8月9日）

