

## 金属葉 境界形状の研究

石川県立金沢泉丘高等学校理数科

上松 颯真 梅田 潤 大藪 樹生 早水 遼馬 山本 昂生

### 要旨

金属葉は、イオン化傾向の差で金属イオンが析出したものである。異なる金属片から析出する二つの金属葉が干渉してできる空間を境界線として定義し、これを方程式で表すことで、円であることを結論づけた。

### 1. 研究背景・目的

金属葉という言葉は一般的な言葉ではないかもしれないが、金属樹の一種であり、金属樹は高校の化学でも扱われるほど有名なものである。簡単に原理を説明すると、金属 A イオンを含む水溶液に、それよりもイオン化傾向が大きな単体金属 B を浸すことで酸化還元反応が起こり、水溶液中の金属 A が単体として金属 B の表面に樹枝状に析出するというものである。私たちの研究対象である「金属葉」は、水溶液中の金属イオンを平面上に析出させたものである。



### 2. 先行研究

先行研究において以下のことがわかっている。

「同じ種類の金属を核とする金属葉同士は互いにぶつかることがなく直線形の境界面を形成する。」



ここで私たちは、異なる種類の金属片を核とする金属葉同士が形成する境界面はどのようなものかということについて、以下の 2 点に着目して研究をすすめた。

- a、どちらの金属から成長する金属葉の方が大きく成長するのか。
- b、2つの金属葉が干渉しあってできる境界線はどのような図形になるのか。

### 3. 研究手法

#### 3-1 金属葉の作り方

##### 【器具】

ビーカー、メスシリンダー、シャーレ、三脚、金網、ガスバーナー、ガラス棒、ビニールテープ

##### 【試薬】

水、硫酸銅 (II)、寒天、グリセリン、酢酸ナトリウム、塩酸、単体金属片 (鉄、亜鉛、アルミニウム、スズ)

##### 【手順】

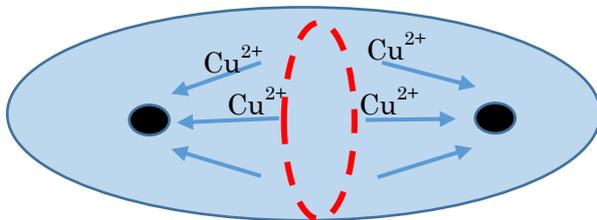
1. 単体金属片を約 1 mm 画にカットする

2. 1.0mol/L の酢酸ナトリウム 50ml、1.0mol/L の塩酸 15ml、水 185ml を用いて緩衝液 (pH5.0 に固定) を作る。
3. 1 をビーカーに入れ、ガスバーナーで加熱する。
4. 沸騰したら火を止め、グリセリン 71.4ml ※1、寒天 2.86g※2 を入れよくかき混ぜる。
5. 50°C まで温度が下がったら硫酸銅 35.7g を加えてよくかき混ぜる。
6. 5 で完成した溶液をシャーレに厚さ 5 mm まで加える。
7. 溶液が固まったら 1 で作った金属片を任意の組み合わせで 2 個おき、シャーレをビニールテープで止め、密閉する。  
 ※1 溶液の乾燥を防ぐため  
 ※2 溶液を固めるため  
 6 までで作成した観点で固めた水溶液を「培地」と呼ぶこととする。

#### 4. 実験の前提として

これまで 2 つの金属葉について、境界面が形成されるということを前提に話をすすめてきたが、なぜ 2 つの金属葉の間に空間ができるのかということは明らかになっていない。そこで私たちはこのことに関して二つの仮説を立てた。

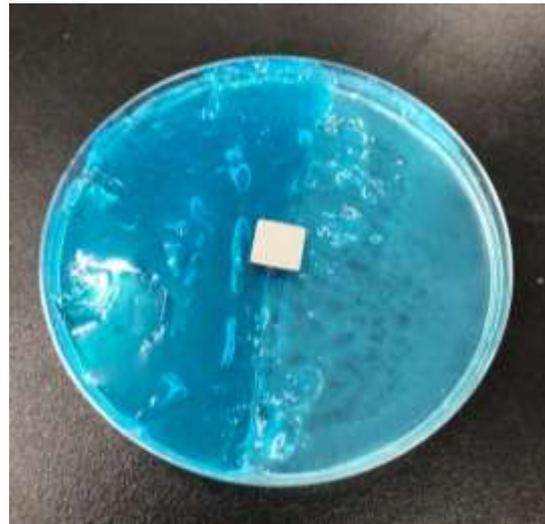
①水溶液中の局地的な金属イオン濃度の勾配によって金属葉が成長しにくい場所ができるため。



両金属葉の間の銅イオン濃度が局地的に低くなる

②両金属片が酸化される際に電子を放出するため、それらが反発しあった結果金属葉間に空間が生まれる。

①について実験装置を作り検証した



上写真について、一方はモル濃度 0.89mol/L、他方はモル濃度 0.445mol/L である。これの中央に鉄片を設置し、2 週間様子を見る。

結果

左側 0.89mol/L 右側 0.445mol/L  
 硫酸銅 (II) 水溶液



金属葉の成長速度についてモル濃度の差によってとくに違いが見られなかった。

つまり、金属イオンの濃度差によって金属葉の成長速度は変化しない。

考察

本実験 2 種類の濃度での観察しか行っていない。つまり、局地的な濃度勾配によって濃度がほとんど 0 の地点ができたとき、そこへは明らかに金属葉は成長し得ない。これにより金属葉同士が干渉し合うものと仮定すると本実

験は現段階では不十分であり、現在追加の実験をすすめている。

## 5. 観点 a について

### 5-1 仮説

「どちらの金属から成長する金属葉の方が大きく成長するのか。」

このことに対して私たちは、培地上におく二つの金属片のうち、イオン化傾向が大きなものから析出する金属葉の方が大きくなるという仮説を立てた。イオン化傾向が大きな単体金属片の方が速くイオンとして水溶液中の銅イオンと酸化還元反応を起こすと予想したためである。

### 5-2 実験及び結果

上記の仮説を検証するために二つの実験結果を比較した。

亜鉛片（左）と鉄片（右）



鉄片（左）とアルミニウム片（右）



いずれの場合においても仮説 a に反してイオン化傾向の小さな金属片から析出する金属葉の成長速度が大きいことが分かった。

### 5-3 考察

金属葉が、核となる金属葉のイオン化傾向に無関係に成長した原因として、金属特有の性質があると考えられる。

例えば鉄について、写真「」にあるように金属葉の周辺には褐色が見られる。これは  $Fe^{3+}$  である。さらに  $Fe^{3+}$  は「 $Fe \rightarrow Fe^{3+} + 3e^-$ 」の反応を促進することが知られている。一方でアルミニウムについて、単体金属片の表面に酸化皮膜を作り不動態になることが知られている。このことから反応が促進されにくく、金属葉も大きく成長しなかったと考えられる。

すなわち、我々の仮説では、「イオン化傾向」という一面的な性質に着目していたが、実際には各金属が固有に持つ性質も金属葉の成長速度及び金属葉の大きさに影響を大きく与えていたものと考えられる。

## 6. 観点 b について

「2つの金属葉が干渉しあっている境界線はどのような図形になるのか」

### 6-1 結果

仮説の検証のため、5-2で行った実験経過を改めて観察する。

31件中22件で円のような形になっているということが確認された。

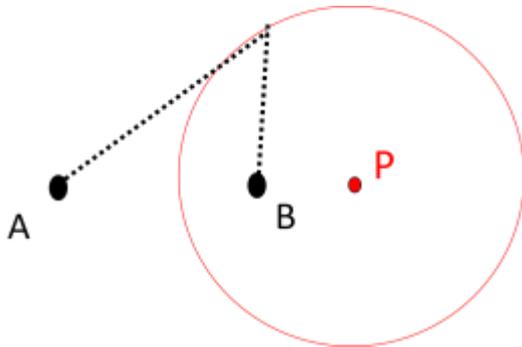
### 6-2 考察

上記の実験においてなぜ円のような境界線が得られたのだろうか。ここで私たちは「アポロニウスの円」を考える。

まず、それぞれの金属片から成長する金属葉の成長速度の大きさが一定であると仮定した。（この仮定については議論の余地が残されているかもしれないが、この仮定のもと考察を進める。）

この時、以下の数学的な性質を金属葉の同士の干渉に適用することができる。

※「異なる2点A、Bから一定の距離の比にある点Pの軌跡は円となり、この円をアポロニウスの円という。」原理は以下の図に示す。



これがどのようにして金属葉同士の干渉に応用することができるかについて説明する。

まず金属Aからの金属葉の成長速度をa、金属Bからの金属葉の成長速度をbとする(a、bは一定)。このとき、ある時間tが経過したとき、ある点Pで両金属葉が交わる(実際には干渉する)とき、 $AP:BP=at:bt=a:b$ (=一定)となる。すなわち、両金属葉が計算上交わる任意の点PにおいてA、Bからの距離の比は一定であると言える。つまり、上記※に応用することができ、二つの金属葉が干渉しあっている部分は円の一部になるという仮説を導き出した。

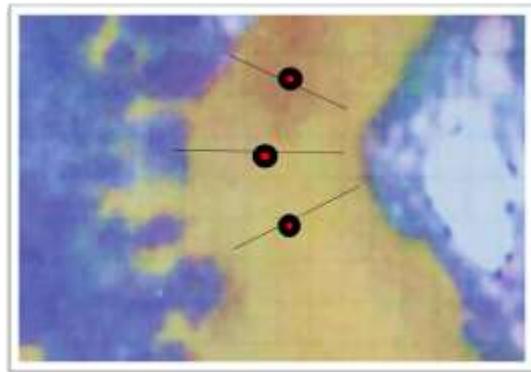
上記の仮説をもとに、私たちの実験で得られたデータにおいて以下の操作を行った。

(1) シャーレをプリンター機にセットし、方眼紙にシャーレ内の金属葉を拡大印刷する

### (2) 境界線の定義

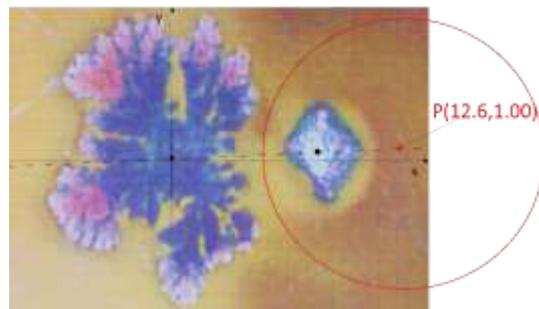
境界線の定義は、二つの金属葉の同士の最短距離を結んだ直線の中点を繋いだものとし、これによって得られた曲線を境界線の概形とする

(図)



(3) 作図

(2) で得られた曲線を円とみなして、中心及び半径を設定し作図する。



この作図の操作については以下の問題点が挙げられる

- ・作図した円と、実際の境界線についてどれほど整合性が保証できるか。
- ・各金属葉の成長速度を正確に測ることが難しいため、両金属葉の成長速度比が分からず、作図ではなく、計算によって円の方程式を導出することができない。

## 7. 結論

シャーレ上に析出する金属葉を図形として捉え、数学的要素を見出し、数式化するという事は実験方法にも先例がほとんどない。それでも我々は境界線を定義し、円の方程式であらわすことができた。一方で実験方法について培地上におく金属片の大きさや形状を厳密には統一できなかったことや、金属葉境界に関してそもそも金属葉同士の距離が大きすぎて境界といえるのか、またその定義の仕方は合理的なのか、

等正確性や論理性に欠ける点があるのでこの点を改善していく必要がある。

## 8. 謝辞

本研究にご協力くださった北陸先端科学技術大学院大学の小田和司先生や本校教師の谷口豊先生をはじめとし、多くの先生方の深く感謝申し上げます。

## 9. 参考文献

- ・金属葉の成長と形
- ・電池とイオン化傾向 銀金属葉の成長と形
- ・金属葉の成長過程 (金沢泉丘高校理数科 2016年度 太田他4人による)