

# カイロウドウケツはもっと効率よく換水を行えないのか？

群馬県立高崎高等学校  
東太壱 花田智紀 西村歩 小池欧世

## 要旨

カイロウドウケツ（図1）とは、養分を得づらい深海に生息する海綿動物の一種である。<sup>1)</sup>その養分補給方法は、海中を漂う有機物微粒子やプランクトンを濾し取るというものであるから、水を効率よく入れ替える必要がある。カイロウドウケツは+45度、-45度で斜めに交わり合う、特殊な骨格構造を持っている。そこで、骨格を構成している格子状構造の角度が、カイロウドウケツが養分を得やすくする、つまり、水を入れ替えやすくするための工夫の一つだと予想した。そこで、3Dプリンターを用い、格子の角度を変えたモデルを作って換水効率を調べる実験を行うと、実際のカイロウドウケツの格子（+45度、-45度）が最も換水効率が高いとわかった。そして、その要因は角度が変わることにより、水が通る穴の大きさも変化することであると予想した。



図1 カイロウドウケツ<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

### 1.1 研究全体の目的

海綿動物（カイロウドウケツ等）の栄養摂取方法は図2のようであると。水の流れを体内に取り込み、その勢いを利用して有機物微粒子やプランクトンを濾し取り、吸収することによって栄養を摂取している。したがって、水を効率よく流し込み、排出する、つまり効率よく「換水」をする必要がある。よって、海綿動物は効率の良い換水のために何らかの工夫を持っていると考えられるが、カイロウドウケツの工夫は明らかになっていない。そこで、カイロウドウケツが効率よく換水をするためにどのような工夫をしているかを調べることにした。そして、カイロウドウケツの骨格構造の角度に着目し、より効率よく換水を行う構造を探すことにした。

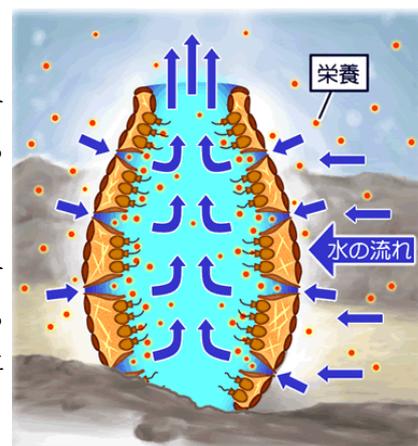
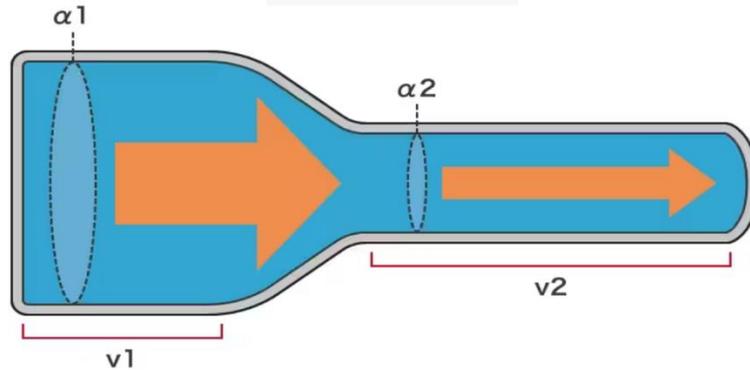


図2 海綿動物の栄養摂取方法<sup>3)</sup>

## 2. 予備実験

### 2.1 予備実験の目的

換水効率<sup>2)</sup>について調べると、図3に示すような法則（以下、流速の法則）があることがわかった。その法則とは、 $(\text{流速}) = (\text{流量}) \div (\text{断面積})$  である。そこで、カイロウドウケツの格子にも図3の法則が成り立っていることを確認し、この実験の指針としようと考えた。



矢印：流量  $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ ：断面積  $v 1$ 、 $v 2$ ：流速

図3 流速と流量の関係<sup>4)</sup>

### 2.2 方法

〈手順〉

1. 穴の大きさを変えた格子構造のモデル (A、B) (図4) を3Dプリンターを用いて作る。
2. このモデルを用いて、換水機能を調べる実験を行う。

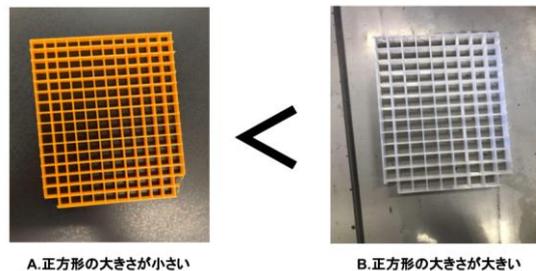


図4 3Dモデル①

実験方法は以下のとおりである。

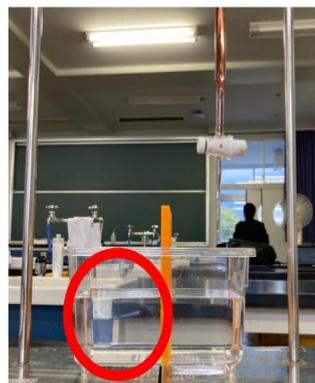
〈使用器具〉

- ・水槽
  - ・ファンタグレープ
- ①糖度が非常に高く (9.8%)、結果に差が出やすい  
②濃い紫色の液体なのでどのくらい移動したかが、視覚的に捉えられる

- ・ビーカー
- ・糖度計
- ・3Dプリンターを用いて作ったモデル
- ・ビュレット
- ・しきり

→かき混ぜる際のスクロース粒子の移動がないようにするため。

### 〈実験の手順〉



1. 水槽に900mlの水を入れる
2. 左図のように3Dモデルを置く
3. 25mlのファンタグレープをビュレットに入れる
4. ファンタグレープの滴下開始
5. 滴下開始から45秒待つ
6. 左図の○の部分をかき混ぜ、糖度計に取る

図5 実験の手順

### 2.3 結果と結果からわかること

結果は図6のようになった。穴の面積が小さい格子のほうが、穴の面積が大きい格子よりも測定した糖度が高い。つまり、換水効率が高い。よって、カイロウドウケツの格子にも流速の法則が成り立っていると言える。

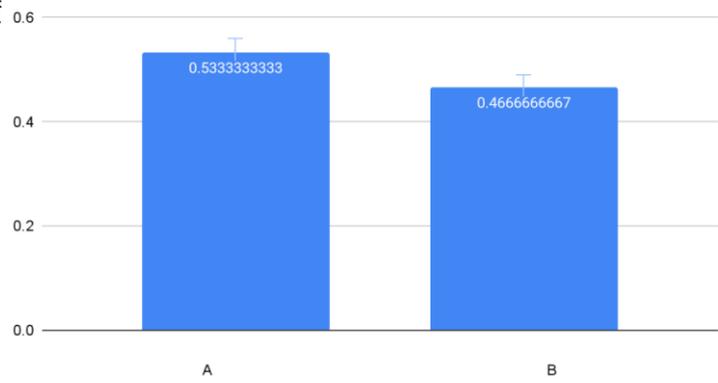


図6 糖度計を用いて測定した糖度 (%)

### 3. 実験

#### 実験① 角度を変えるとどのような変化が見られるのか？

##### 3.1.1 仮説

本来のカイロウドウケツの格子構造の角度（45度、-45度）よりも、+30度、-60度で交わらせた格子構造のほうが効率よく換水を行える。（右図のAはカイロウドウケツの構造をモデル化したもので、Bは実際のカイロウドウケツの構造の拡大図である。斜めの格子が交わり合っていることが確認できる。）

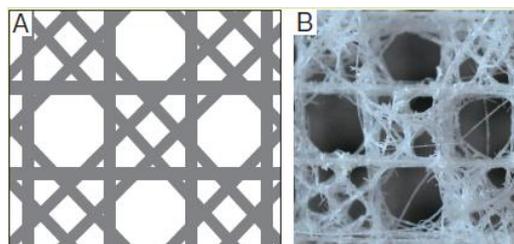


図7 A カイロウドウケツの構造のモデル  
B カイロウドウケツの実際の構造

##### 3.1.2 仮説の根拠

参考文献<sup>5)</sup>に45度の格子は構造的な強度に優れているという趣旨の説明があった。そこで、構造的な強度に優れているならば、換水効率についてはあまり優れていないのではないかと考えた。また、30度と60度は実際のカイロウドウケツの格子の角度である、45度と同じ有名角なので、なにか関係があるのではないかと考えた。

##### 3.1.3 実験方法

実験方法は2.2と同様である。ただし、用いる3Dモデルは右図のようである。実際のカイロウドウケツの格子構造はBであり、+30度、-60度の格子構造はCである。ゆえに、Cで測定した糖度が、最も高ければ、仮説が正しいと言える。また、B、C、DのモデルはAのモデルに斜めの構造を足して作ったものである。

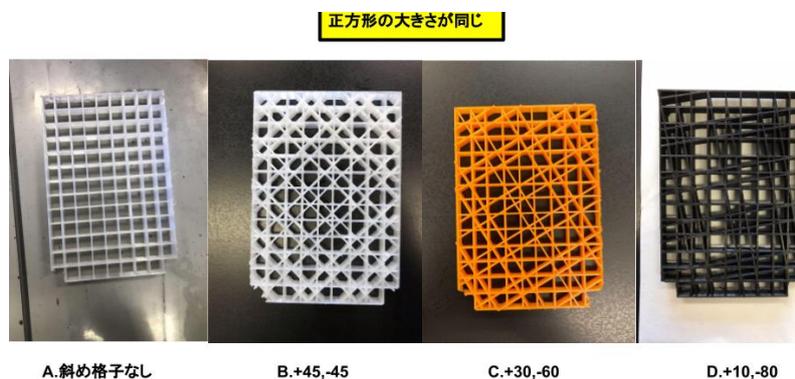


図8 実験に使用した格子構造のモデル

##### 3.1.4 結果と結果からわかること

- ・斜めの格子があるモデルのほうが、斜めの格子がないモデルよりも換水効率が高い。
- ・斜めの格子が交わる角度は換水効率に影響する。
- ・「+45度、-45度の格子」が4つの中では最も換水効率が優れていると言える。

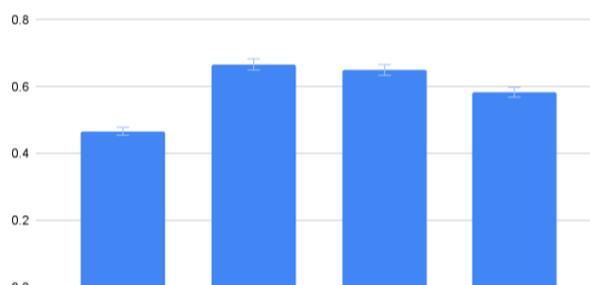


図9 糖度計を用いて測定した糖度 (%)

##### 3.1.5 考察

格子によって仕切られることで、水が通ることのできる隙間の面積の割合が変化することが換水効率に影響を与えたのではないかと考えられる。これは、モデルにも流速の法則が成り立つことから予想できる。

## 実験② 換水効率に影響を及ぼすのは何であるのか？

### 3.2.1 仮説

流速の法則に基づいて、格子構造の角度によって生まれる隙間の大きさや数の違いが、換水効率に影響を及ぼしていると考えた。

### 3.2.2 方法

作成した格子構造の隙間をそのサイズから大（格子の1/2以上）・中（格子の1/4以上）・小（格子の1/8以上）・極小（1/8未満）に分類し、穴の大きさの割合を比較し、換水効率と照合する。「大」は断面積が大きいため流速が小さいが、「中」と「小」は断面積が比較的小さいため流速が大きくなると考えられる。「極小」は断面積が小さすぎるため、むしろスクロースの粒子が通れないため換水効率は小さくなると考えられる。

### 3.2.3 結果

表1 実験の結果

換水効率の序列	格子構造の角度	大	中	小	極小
①	+45度・-45度	27.6%	24.70%	31.80%	15.90%
②	+30度・-60度	24.2%	10.5%	45.4%	19.90%
③	+10度・-80度	47.2%	20.6%	19.8%	12.3%

### 3.2.4 結果からわかること

「+45度、-45度の格子」と「+30度、-60度の格子」は「中」と「小」の割合が高い。「+30度、-60度の格子」は「極小」が比較的多い。「+10度、-80度の格子」は「大」が約半分を占めていて、とても多い。

### 3.2.5 考察

実験1から、換水効率が高いと言える「+45度、-45度の格子」と「+30度、-60度の格子」は「中」と「小」の割合が高いことから、「中」と「小」は換水機能が高いと考えられる。また、実験1で換水効率が比較的低いと言える「+10度、-80度の格子」に「大」が多いことから、「大」は換水機能が低いと考えられる。また「極小」の割合が比較的高い「+30度、-60度の格子」は、「中」と「小」の割合は「+45度、-45度の格子」とほとんど同じであるが、少しだけ換水効率が低いので、「極小」は換水機能が低いと考えられる。また、スクロース粒子の大きさが「極小」の隙間の大きさよりも大きい箇所もあるので、それも影響していると考えられる。したがって、斜めの格子の角度を変えることによって、水が通る穴の面積の区切り方を変えて、「中」と「小」の割合をより高く、「大」と「極小」の割合をより低くすれば換水効率の高い格子構造を作ることが出来ると予想される。

## 4. まとめ

### 4.1 結論 カイロウドウケツ

カイロウドウケツは、格子の角度を変えることで、より効率よく換水を行うことができる可能性がある。構造的な強度と換水効率の両立を目指した結果が、「+45度、-45度の格子」であったと予想される。

### 4.2 今後の展望（課題）

今後様々な角度の構造で実験を重ねることで、より構造的な強度と換水効率を高い水準で両立する構造を発見できる可能性がある。これらの構造を日常生活に活かす方法を模索する。例えば、網戸にこの構造を導入することで、強度が高まるとともに、より涼しい網戸を作れるようになるかもしれない。

## 謝辞

鈴木先生をはじめとした、この研究に協力してくださったすべての方々、本当にありがとうございました。

## 参考文献

- 1) 椿玲未 (2021). カイメン すてきなスカスカ. 岩波書店
- 2) 美ら海生き物図鑑 マーシャルカイロウドウケツ  
<https://churaumi.okinawa/fishbook/1459383412/>
- 3) 生物史から、自然の摂理を読み解く  
<http://www.seibutsushi.net/blog/2008/03/419.html>
- 4) 流量知識.com 「流速とは」  
<https://www.keyence.co.jp/ss/products/process/flowmeter/>
- 5) 『工務店細胞が「建設」する深海のスカイツリー』  
<http://sponge.sci.kyoto-u.ac.jp/kairoudouketsu-2.html>