

海綿の水路は巨大ネットワーク



海洋研究開発機構 椿 玲未

海綿動物

- ・ 固着性の濾過食動物（一部、肉食性の種も）.
- ・ あらゆる水域に生息する.
- ・ 種多様性が高い（既記載種約8,600種）.
- ・ 色・形も極めて多様.



ボディスポンジ・事務用スポンジ

もともとは、カイメンを乾燥させたもの
（英語でカイメンはSponge）



<http://www.marinecultures.org/spongefarming/>



採集したカイメンから付着物を取り除き、乾かす



エーゲ海の『スポンジダイバー』



スポンジはカイメンの構造を真似たもの



『よく水を含む **スカスカの構造**』を模倣
???

一見、何の動きもないが…

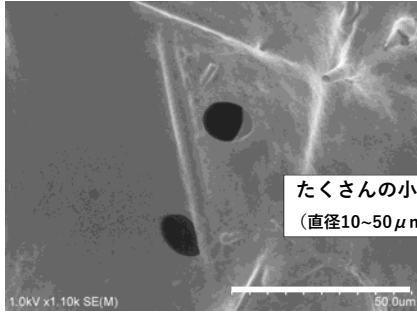


Johnathan Bird's Blue World: Sponges! (from Youtube)

どうやって水流を生み出すのか？
水はどこから入るのか？

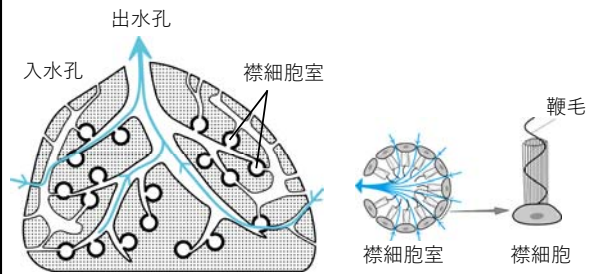
カイメンはどこから水を取り込むのか

体表面の電子顕微鏡写真



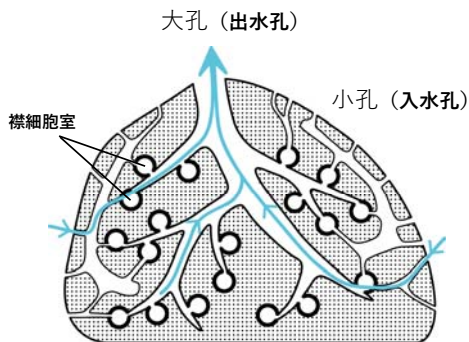
たくさんの小さな孔
(直径10~50 μm程度)

カイメンの体内での水の流れ



鞭毛の動きによって、水の流れを引き起こす。

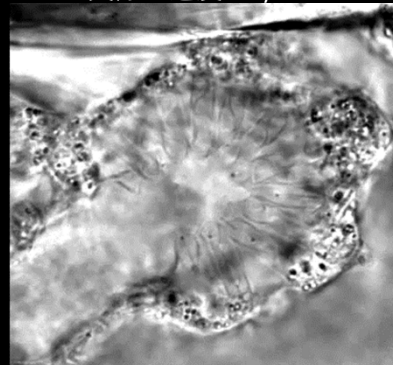
カイメンの体の構造



組織・器官の分化がない

襟細胞室内部の鞭毛の動き

実際の速度の1/100



カイメンは水路なしでは生きていけない



採餌・呼吸・繁殖のすべてを、水路を介して行う。

カイメンのからだつき

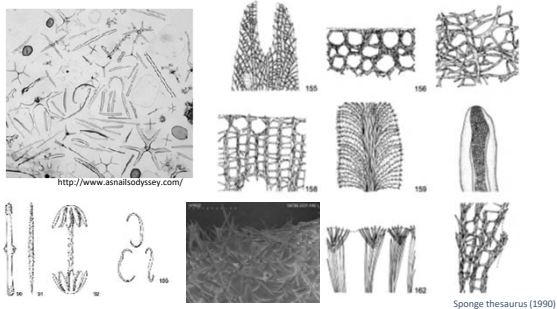
体軸がなく、不定形。



組織・器官をもたない。

どうやって体を支えるのか？

- ・ ガラス質の骨格 (骨片)

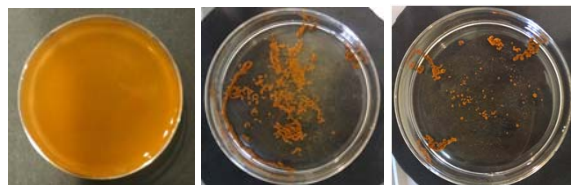


- ・ 繊維状タンパク質 (Spongin fibre)

カイメンはもっとも原始的な多細胞生物

カイメンのすりつぶし実験

細胞レベルまでばらばらにしても、細胞が再集合して、機能的なカイメンになる。



カイメンはもっとも原始的な多細胞生物

では、"カイメン1匹"はどう定義する？

個体の定義：同じ上皮に囲まれたカイメン

The old question of individuality may receive a word here. Microciona is one of that large class of monaxonid sponges which lack definite shape and in which the number of oscula is correlated simply with the size of the mass. While we may look on such a mass from the phylogenetic standpoint as a corm, we speak of it as an individual. Yet it is an individual of which with the stroke of a knife we can make two. Or conversely it is an individual which may be made to fuse with another, the two forming one.

今は1個体のカイメンでも、ナイフを入れたら2個体になる。
逆に、2個体が融合したら1個体になる。

(Wilson 1906)

対称な体を持つカイメン

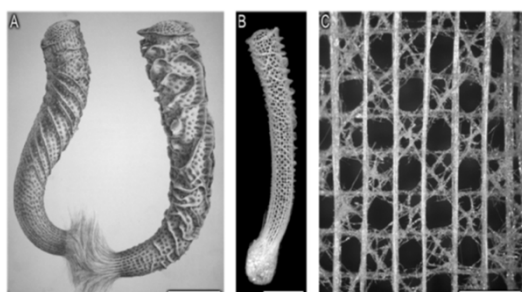
深海にすむカイメンに多い。

カイロウドウケ

ホッスガイ



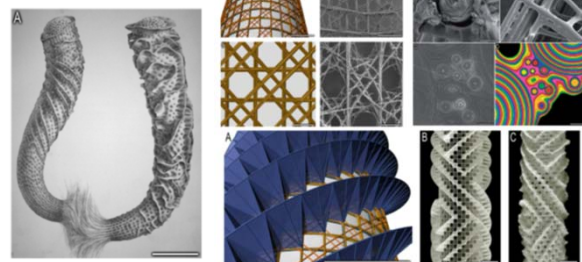
カイロウドウケツの骨組み



(Weaver et al. 2007)

カイロウドウケツの骨組み

最適化された構造。



(Weaver et al. 2007)

- ① 最小の材料作れる。 ② しなやかで丈夫。
- 成長過程などは、まだほとんどわかっていない。

カイロウドウケツの骨組みを模倣した建物

スイス・リー本社ビル (ロンドン)




http://www.venusofdistinction.com/ (Weaver et al. 2007)

空調代も、大幅カット!

カイロウドウケツ (偕老同穴) Venus' flower basket

偕老同穴...共に暮らして老い、死んだ後は同じ墓穴に葬られる
結婚の際に贈られる縁起物


ドウケツエビ



オスメスペアで、ひとつのカイロウドウケツの中にずっと住む。
小さいうちにカイメンに入り、成長するとカイメンから出られなくなる。

水輸送にかかるコスト

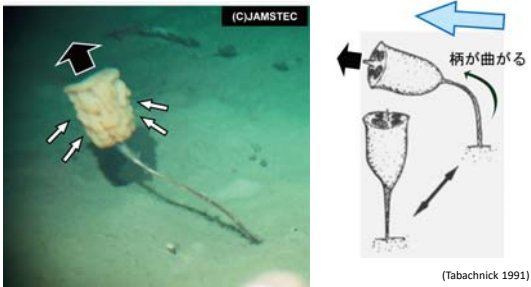
- カイメンは水路を介して体の隅々まで水を届ける必要がある。
- 水流を起こすためにカイメンは全エネルギーのうち約30%も消費! (Hadas et al. 2008)



水流を起こすコストを下げることは海綿にとって重要な課題

カイメンの水流節約戦略

① 周りの水流の利用

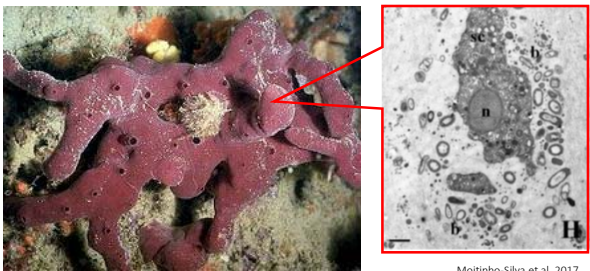


水の流れ
柄が曲がる

(Tabachnick 1991)

カイメンの水流節約戦略

② 光合成微生物から栄養をもらいうける



カイメン シアノバクテリア

Moitinho-Silva et al. 2017

カイメンの水流節約戦略

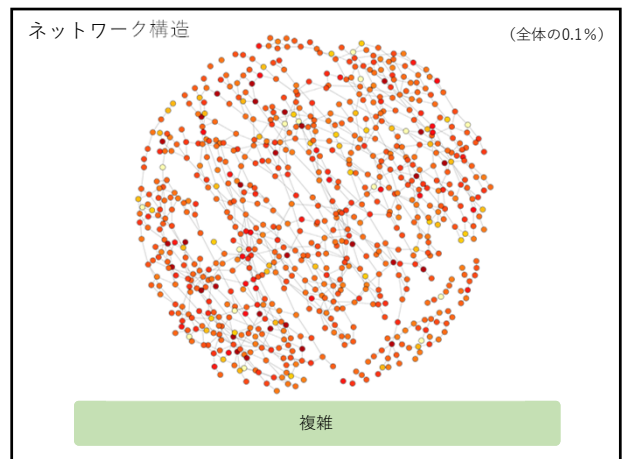
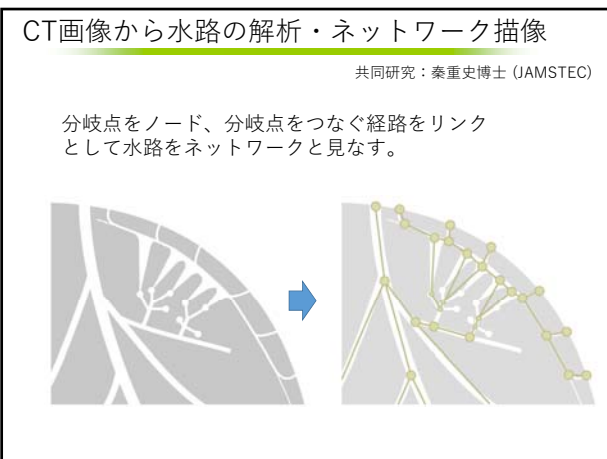
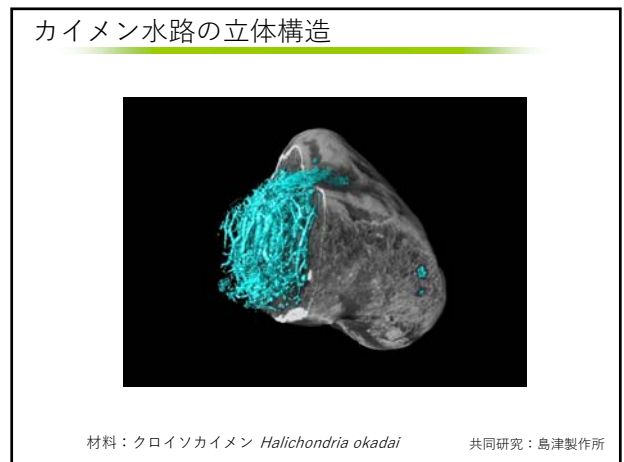
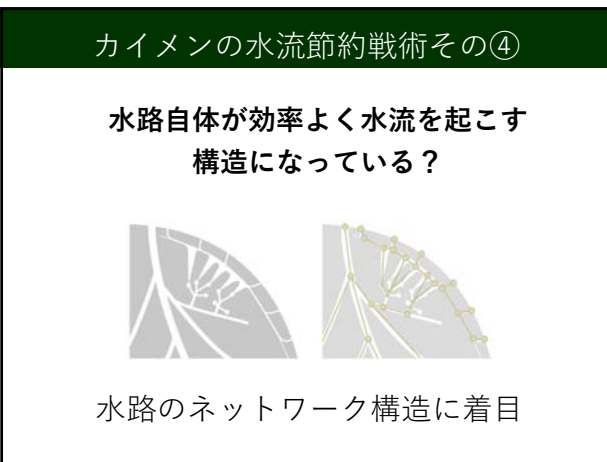
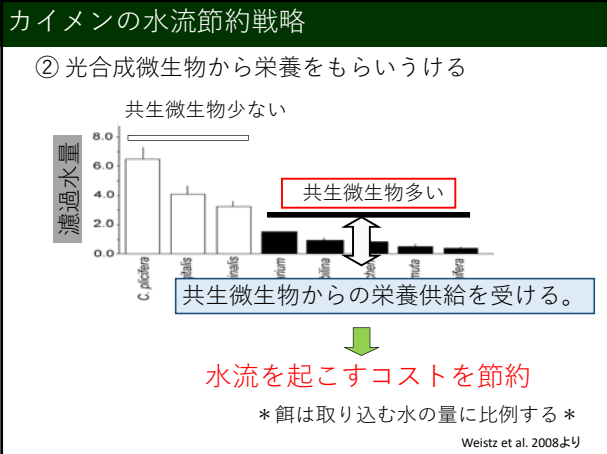
② 光合成微生物から栄養をもらいうける

高 微生物密度 低

<i>Erylus formosus</i>	<i>Ircinia variabilis</i>	<i>Dysidea fragilis</i>	<i>Halichondria panicea</i>
<i>Petrosia ficiformis</i>	<i>Rhopaloeides odorabile</i>		

Gloeckner et al. 2014; Moitinho-Silva et al. 2017

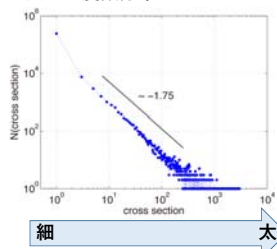
カイメン1個当たり 個体数 10^5 to 10^6 10^8 to 10^{10}



CT画像から水路の解析・ネットワーク描像

リンク（水路）の太さの度数分布

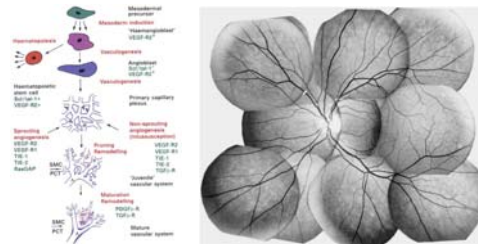
共同研究：秦重史博士 (JAMSTEC)



べき分布 → スケールフリー（特徴的な太さがない）
 ランダムな故障や攻撃に強い

フラクタル？

フラクタル構造は生物の形態に広く見られる。血管、腸壁、肺、etc.

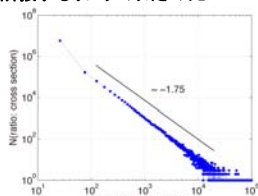


フラクタルの数理的な特徴

1. フラクタル構造は限られた体積内で表面積を最大化する。
 → 栄養吸収・ガス交換などにおける最適構造？
2. フラクタル構造はべき分布（スケールフリー性）を与える。

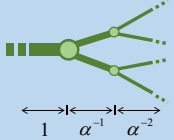
ノンフラクタル・スケールフリー

隣接するリンクの太さの比

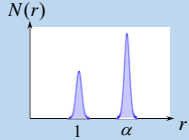


太さの比も同じ指数のべき分布
 ← ランダム・スケールフリー

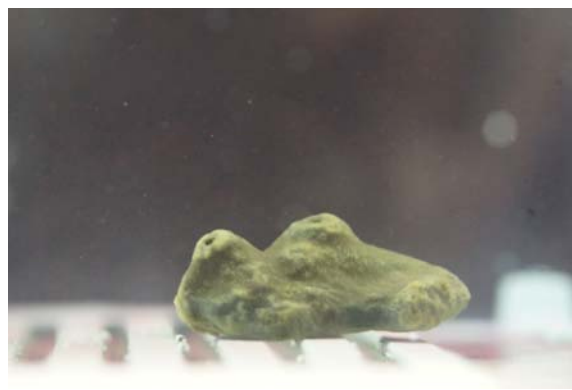
フラクタルなら・・・



デルタ関数！



PIV法による水の流れの可視化



PIV法による水の流れの可視化



(4倍速)

出水孔の詰りに対して、迅速に流速が変化する

PIV法による外部水流の可視化

