

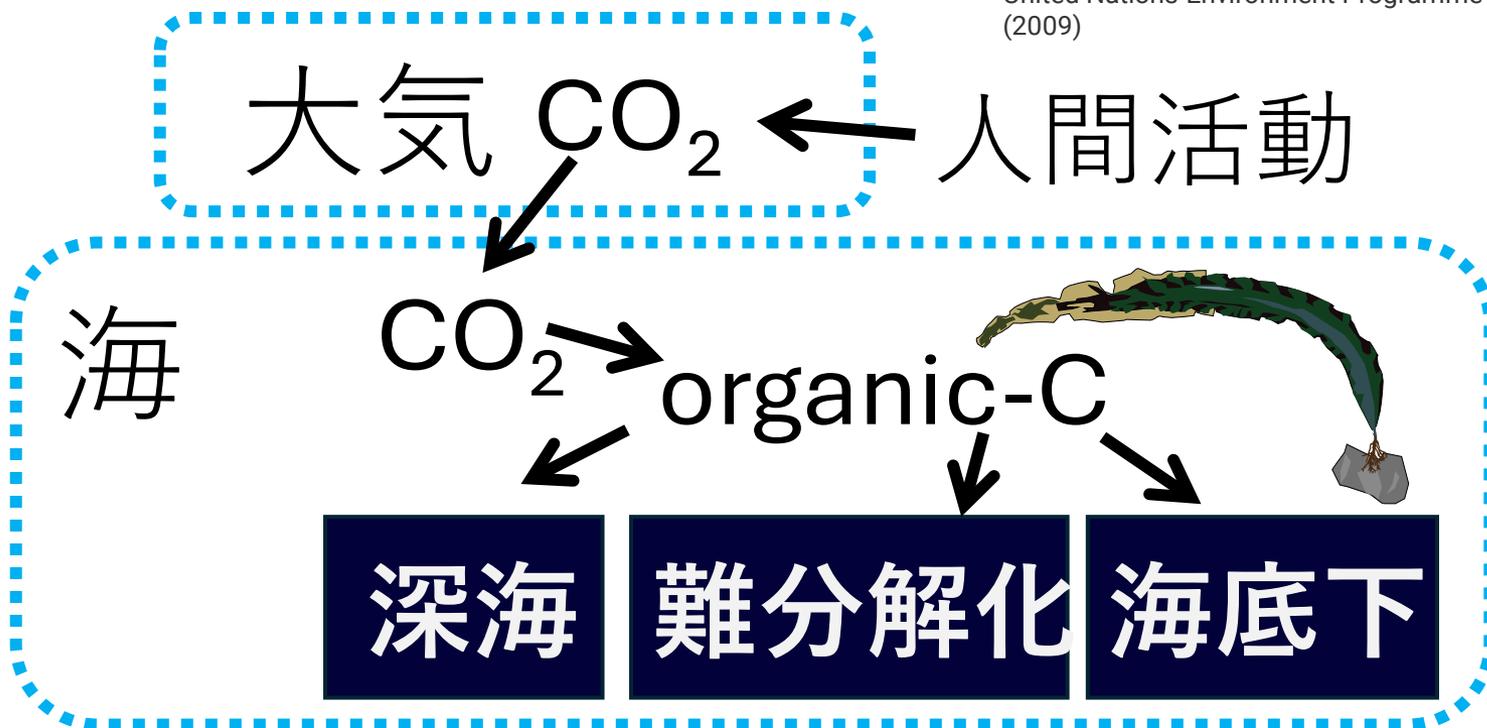
# 海洋生物科学科

大木と学生

コンブによる炭素隔離効果  
(褐藻類ブルーカーボン研究)



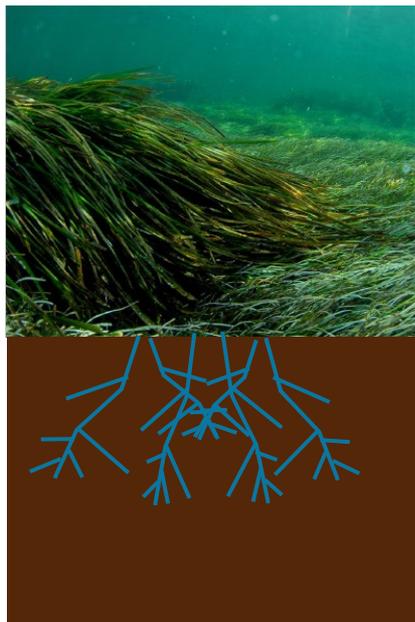
United Nations Environment Programme  
(2009)



私が研究しているのは、コンブによる炭素隔離効果、つまり、褐藻類ブルーカーボン研究です。ブルーカーボンという言葉が生まれたのは、2009年に国連の環境計画により記された、Blue Carbonという報告書です。人間活動により大気中へ放出された二酸化炭素を海が吸収し、その二酸化炭素を海洋植物が吸収、有機炭素に変換、深海や海底下へ炭素を隔離することを意味します。

## 被子植物によるブルーカーボン

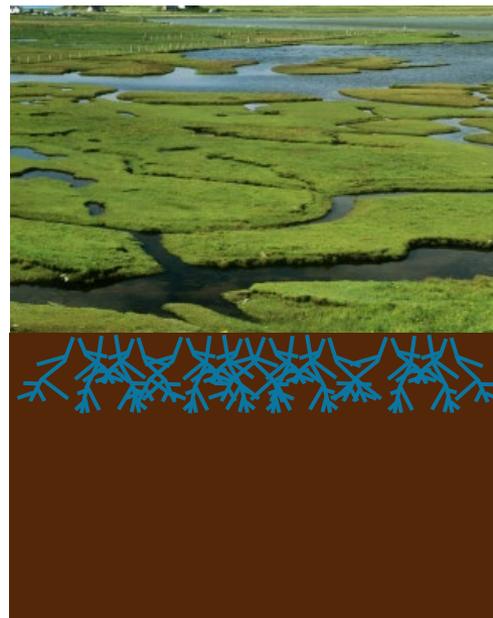
### 海草



### マングローブ



### 塩性湿地



セルロースの根を地中に張るので、炭素が隔離されやすい。

United Nations Environment Programme (2009)

2009年のブルーカーボン報告書で着目されていたのは、海洋被子植物（海草やマングローブ、塩性湿地）による炭素隔離効果だけでした。これらの植物は、セルロースの根を地中に張るので、炭素が海底下に埋没して隔離されやすいからです。

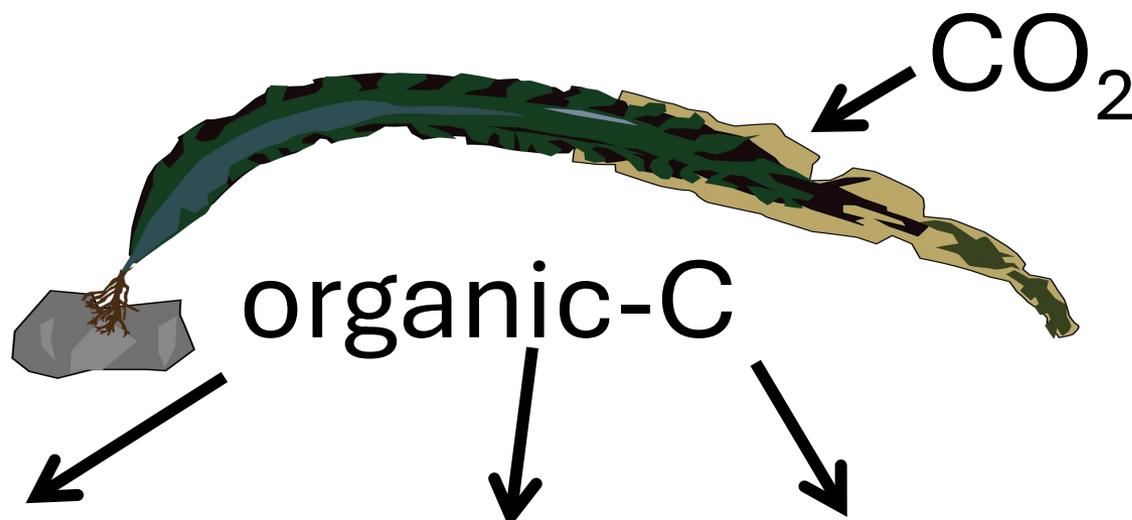
# SEAWEED AS A NATURE-BASED CLIMATE SOLUTION VISION STATEMENT



United Nations  
Global Compact



Uniting business for a better world



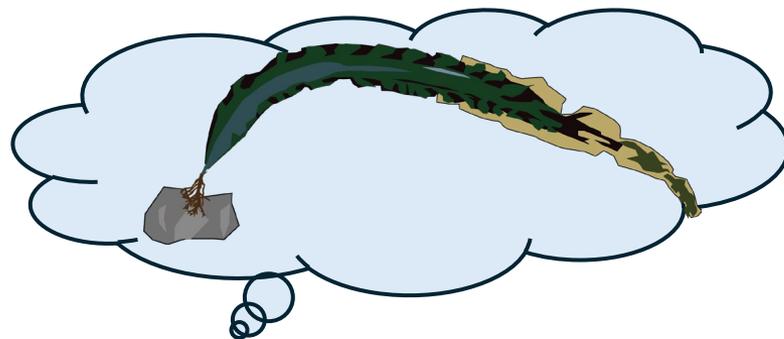
深海

難分解化

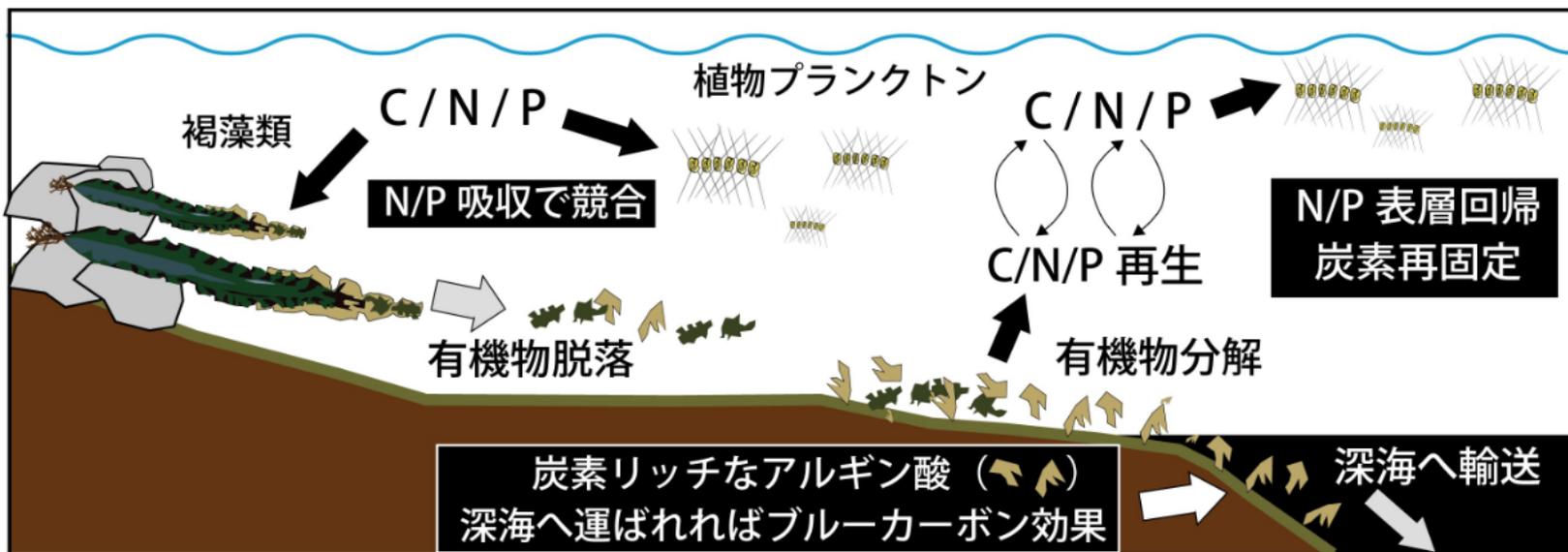
海底下

近年、国連傘下のグローバルコンパクトという団体を始め、ブルーカーボンにおいて、コンブを含む海藻類の効果も大事だろうと期待する声が高まっています。北海道など亜寒帯沿岸の海には、コンブなどの褐藻類の資源が豊かですから、行政や民間企業が褐藻類のブルーカーボンが注目されています。私のような海洋学者が考えるところは、従来のブルーカーボン研究のほとんどが、カーボンの流れだけを追っているのみで、海洋学的なアプローチができていないと思うのです。

## コンブによる炭素隔離効果 (褐藻類ブルーカーボン研究)

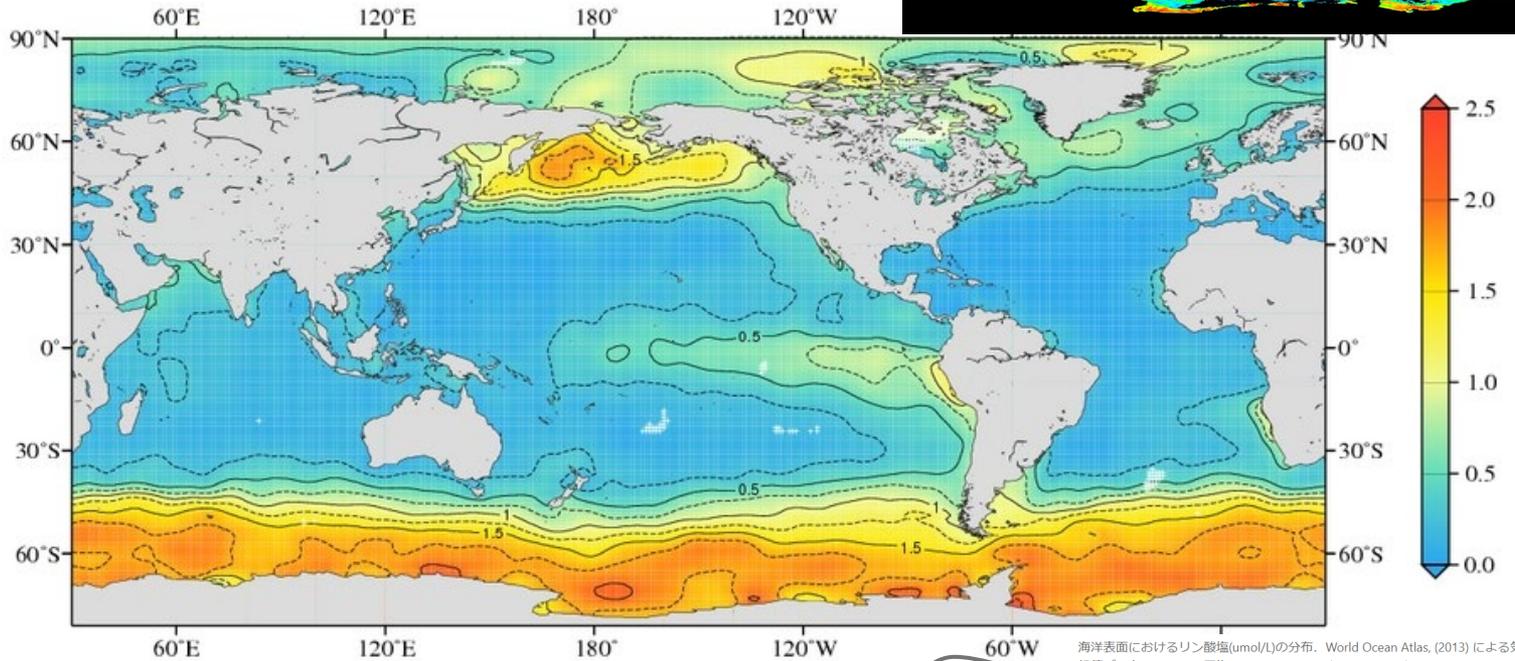
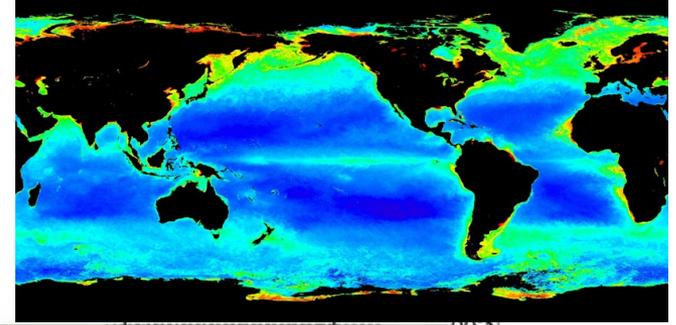


### 海洋学的アプローチでブルーカーボンを研究



海洋植物が光合成するには、海水中の栄養成分である窒素やリンが欠かせません。褐藻類や植物プランクトンは、表層にある窒素やリンを巡って競合関係にあるわけです。どこかで褐藻類が大きく繁茂すれば、その分の栄養成分が吸収され、別の場所で植物プランクトンによる光合成が抑えられてしまうはずですが、炭素、窒素、リンの流れを追って、ブルーカーボンを評価すべきなのです。私が、褐藻類のブルーカーボンに期待する理由は、皆さんご存じのように、コンブなど褐藻類はネバネバの多糖類を豊富に含むところです。コンブのネバネバの代表がアルギン酸なのですが、アルギン酸のような炭素リッチな有機物が優先的に深海へ運ばれば、ブルーカーボン効果が発揮されるはずなのです。私は、それを調べようとして、炭素、窒素、リンの流れを追いつつ、アルギン酸の行方を調べようとしています。この絵に書いたような、海洋学的アプローチでブルーカーボン研究をしようと、学生たちを巻き込んで、研究を進めています。

# 海洋表面のリン酸塩分布 (主要栄養成分)



海洋表面におけるリン酸塩(μmol/L)の分布. World Ocean Atlas, (2013) による気候値データ(1955-2012平均) NOAA, National Oceanographic Data Center(NODC) <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/index.html>

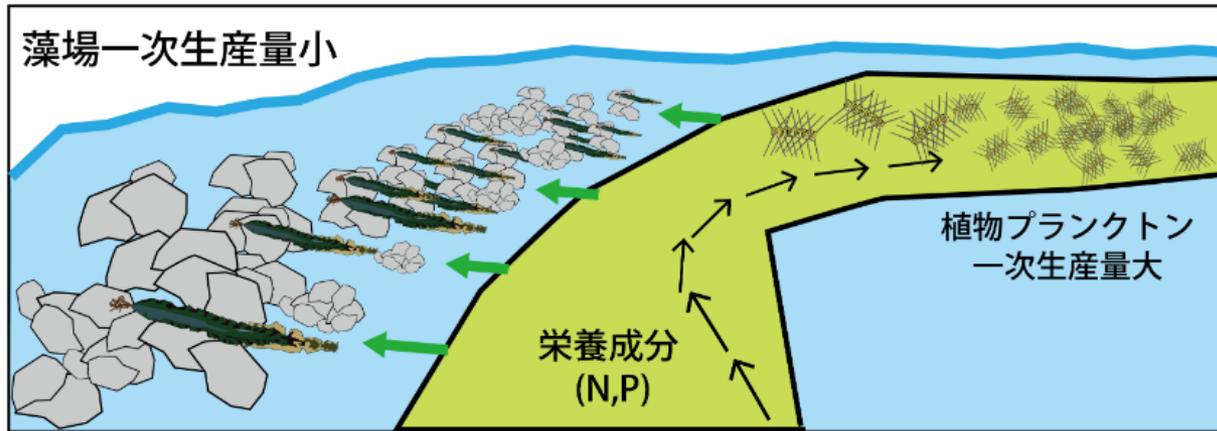
とても大事!

光にも

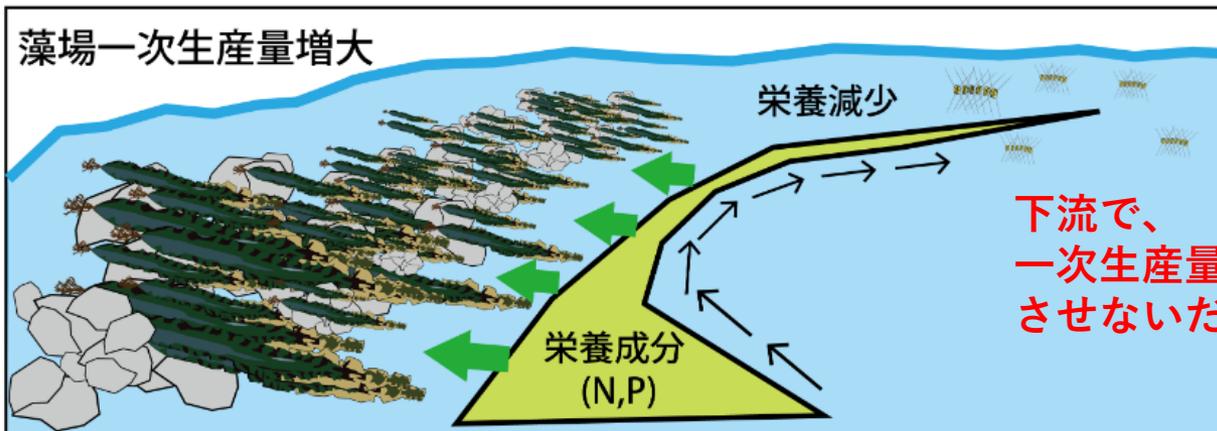
**海洋の一次生産は、栄養成分の供給量で制限されている**

海洋表層のリン酸塩の水平分布の図を示します。赤色ほど、リン酸塩が豊富であることを意味します。リン酸塩は、主要な栄養成分の一つです。これを見ると、亜寒帯の表面でリン酸塩が豊富で、亜熱帯で少ない。よく見ると、赤道湧昇がある場所でもリン酸が豊富にあります。表面クロロフィルの分布図を並べて見ます。リン酸塩が豊富な場所で、クロロフィル濃度が高く、基礎生産が活発であることが分かります。このような図から、海洋表層への栄養塩の供給量が、海洋一次生産を決めていることが推定されるわけです。

# 藻場の一次生産量が少なければ、栄養成分の吸収が少ない

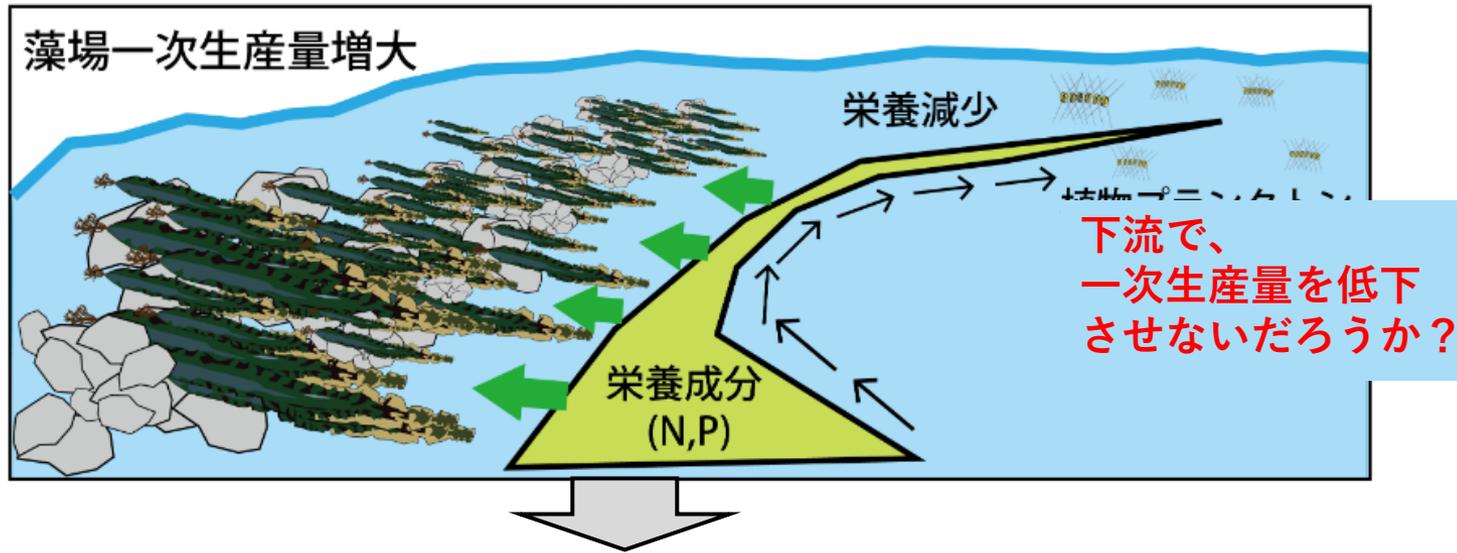


# 藻場の一次生産量が増えれば、栄養成分の吸収が増える。



では、外洋から流れてくる水に曝されるような海岸付近ではどうでしょうか？冬場は、栄養豊富な水が表層にあって、その水が海岸付近にも押し寄せます。海岸付近で大型藻類が疎らにしか存在しなければ、大型藻類に消費される栄養は極わずかで、流れの下流では、栄養が多く残されていて、春になると、その栄養を植物プランクトンが使い尽くします。この状態から、大型藻類が大繁殖するとどうなるのでしょうか。より多くの栄養が大型藻類に消費されて、下流での植物プランクトンによる基礎生産量は減るはずですが。

藻場の一次生産量が増えれば、栄養成分の吸収が増える。



藻場を増やしても、炭素吸収・隔離効果は生まれないのか？

そうとも言えない、2つの理由（期待）

1. 大型藻類と植物プランクトンが生長する時期の違い
2. 大型藻類は炭素リッチなネバネバ物質（酸性多糖）を持つ

これだけを考えると、海岸付近で藻場を増やしても、海洋全体では、炭素吸収や隔離効果は生まれないことになってしまいます。このような観点があるので、ブルーカーボン进行评估する際には、炭素の流れだけでなく、栄養成分の窒素やリンの流れも知る必要があるのです。それでは、ブルーカーボン効果は期待できないのか？という、そうとも言えない、二つの理由、二つの期待されることがあることを紹介します。一つ目は、大型藻類と植物プランクトンが大きく生長する時期が異なることです。二つ目は、大型藻類は、炭素リッチなネバネバ物質の酸性多糖を豊富に持つことです。きょうは、二つ目の可能性を検証する研究に関係する実験をみなさんにやってもらいます。

# 昆布のネバネバ（アルギン酸） $(C_6H_8O_6)_n$



アルギン酸が粒子化して、  
深海へ運ばれるか？を研究しています。

今日の実験：アルギン酸の粒子化を実感する

このようなコンブから流れ出るネバネバの正体がアルギン酸です。化学式を見ても分かるように、炭素と水素、酸素で構成される炭水化物です。このような炭素リッチな物質が深海へ運ばれてくれば、表層で窒素やリンといった栄養成分を失うことなく、炭素が隔離される効果が生まれます。では、このようなネバネバが海水中を落ちてゆくことがあるのでしょうか？現時点では、私たちもわかりません。そのようなことを実験的に調べようとしているのです。今日の実験では、アルギン酸の粒子化を実感してもらいます。

# アルギン酸の構造とゲル化（粒子化）

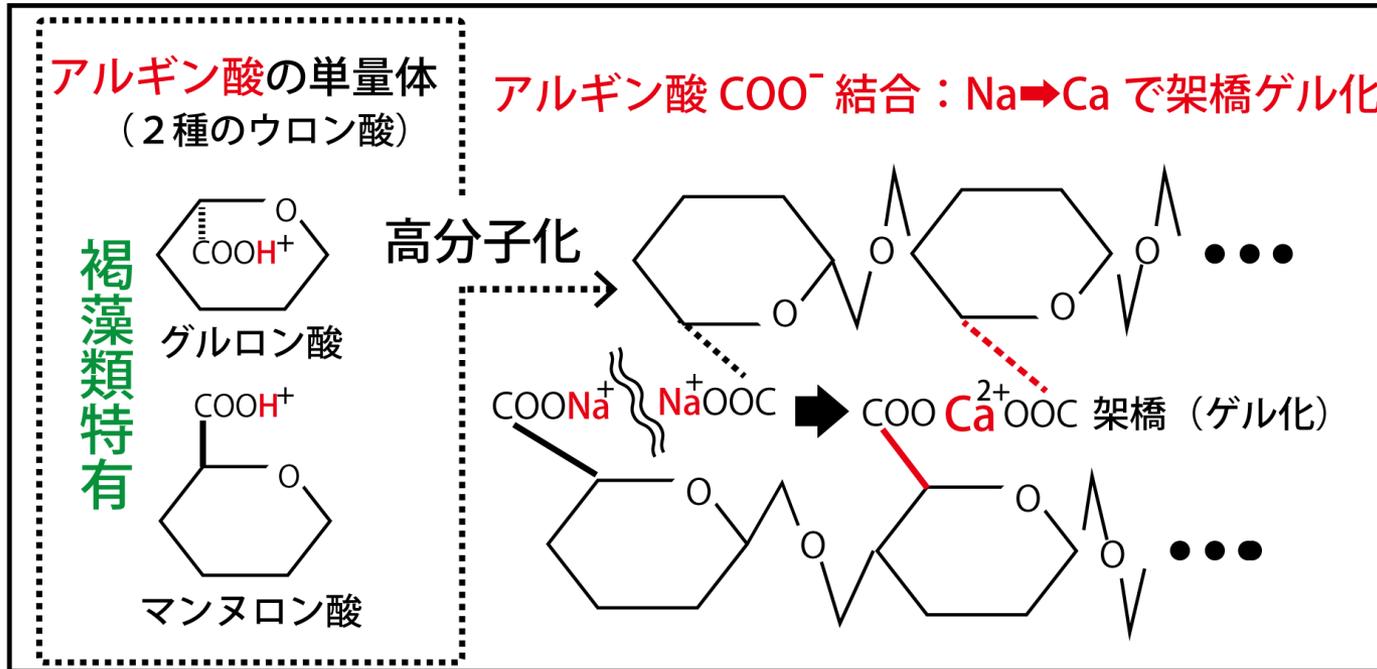
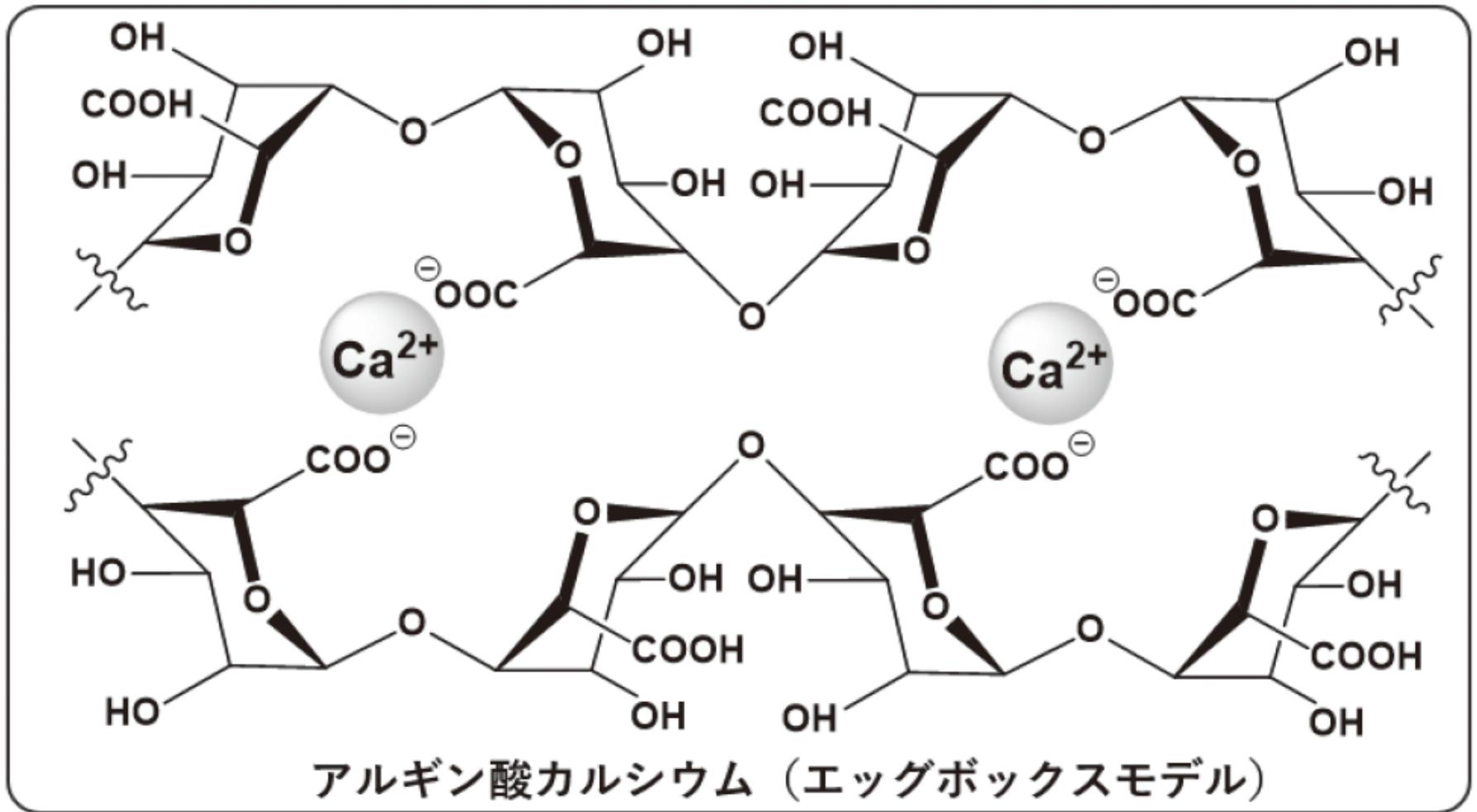


図1 アルギン酸の単量体（ウロン酸）とゲル化

アルギン酸を構成しているのは、グルロン酸やマンヌロン酸です。グルロン酸とマンヌロン酸は化学式は同じですが、立体構造が違います。これら二つは自然界に4種存在するウロン酸グループのうち2種類で、コンブやワカメなど褐藻類特有の物質です。グルロン酸やマンヌロン酸が高分子化したものがアルギン酸です。なぜ、「酸」という言葉が付くのでしょうか。COOH基を持っていて、その水素が遊離すると酸性を呈するからです。水素が遊離して、海水中のナトリウムイオンが結合すると、粘性を有する液体になります。ここに、カルシウムなど二価の陽イオンが結合するとどうなるのでしょうか。ふたつのアルギン酸のCOO<sup>-</sup>基と結合できるので、隣り合うアルギン酸を結合する役割をもちます。そうすることで、強固な粒子（ゲル粒子）になるのです。

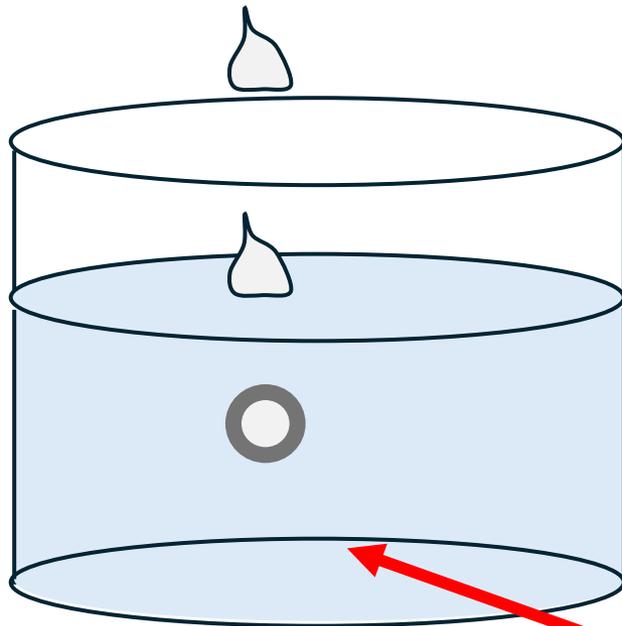


カルシウムの原子半径が、アルギン酸の立体構造の隙間にピッタリ合うため、アルギン酸カルシウムは強固なゲル粒子になるのです。ちなみに、同じ二価の陽イオンであるマグネシウムでは、強固なゲル粒子にはなりません。結合力が弱いからでしょう。



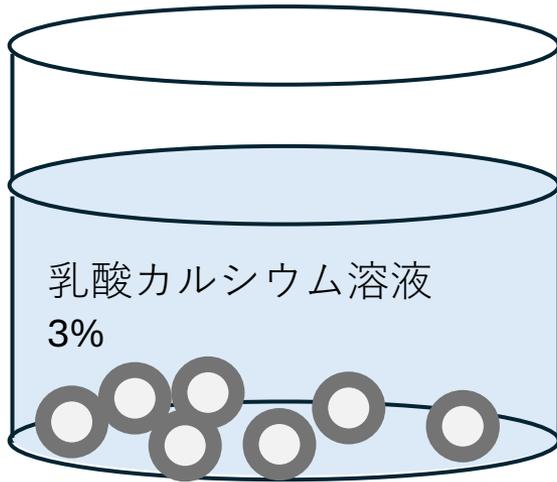
(粘性液体)

アルギン酸ナトリウム (or カリウム)



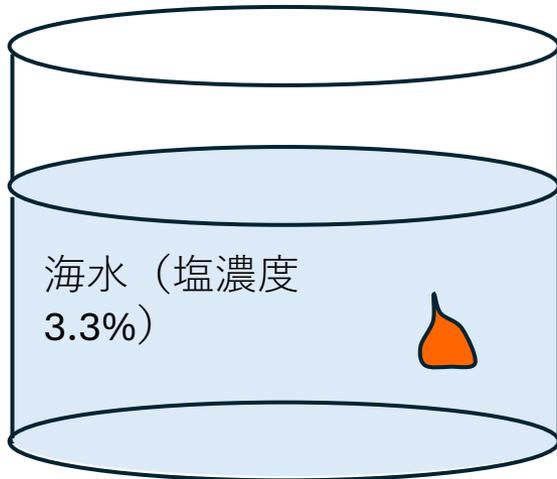
乳酸カルシウム溶液 ( $\text{Ca}^{2+}$ たくさん)

コンブ体内では、アルギン酸の多くはアルギン酸カリウムの粘性液体として存在すると思われます。その粘性液体を、高濃度のカルシウム溶液に滴下したらどうなるでしょうか。人工イクラ様の物が出来上がります。



乳酸カルシウム溶液3% ( $\text{Ca}^{2+}$ : 0.14 mol/L相当) に、アルギン酸ナトリウム溶液1%を入れると、人工イクラ様の粒子が沈殿する。

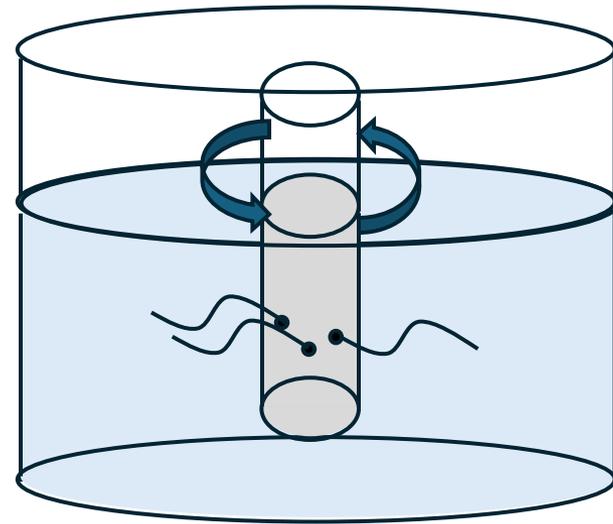
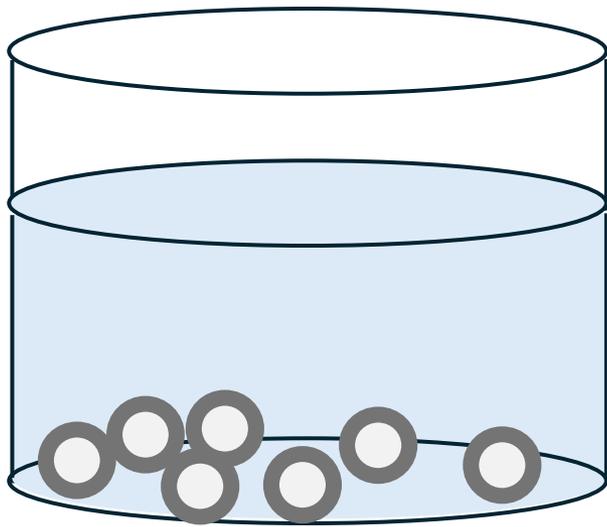
ここまでは理科の実験でよくやられる



塩濃度 3.3%の海水 ( $\text{Ca}^{2+}$ : 0.01 mol/L相当) に、アルギン酸ナトリウム溶液1%を入れると、アルギン酸は粒子として沈殿するのだろうか？ (沈殿するならば、コンブのネバネバが炭素隔離効果を持つと言えるのではないか？)

- ➡着色したアルギン酸ナトリウムを海水に入れてみよう。
- ➡コンブから放出されたアルギン酸が、深海まで運ばれるか？想像しよう。

人工イクラを作った際のカルシウム溶液は、3%乳酸カルシウム溶液です。カルシウムイオン濃度で0.14 mol/Lに相当します。では、海水にアルギン酸ナトリウムを入れると、同じように人工イクラ様の粒子ができて、それが海水中で沈むのでしょうか？ 目に見えるように、アルギン酸ナトリウムを赤色に染めて、海水に滴下してみましょう。比較対象として、真水にアルギン酸ナトリウムを滴下してみます。両者、どのような違いがあるのか、観察しましょう。観察した結果は、最後のページのメモ欄に記しておきましょう。



コンブから、繊維を作ってみよう！

- ・よく混ぜる
- ・つぶす
- ・糸状に出す
- ・エタノール脱水しましょう

追加の実験をやります。

コンブなどは、食物繊維が豊富といわれます。食物繊維とは、人間が消化できない炭水化物のことで、コンブの食物繊維の代表がアルギン酸です。繊維といわれても、人工イクラでは繊維っぽくありませんね。それでは、コンブから、繊維を作ってみましょう。人工イクラをよく混ぜる、つぶしてみるなどしてください。ちょっとした道具を使って、糸状に出すのも試してください。

アルギン酸ナトリウムを海水に入れたらどうなった？ 真水に入れたときとの違いは？

褐藻類（コンブやワカメ）のアルギン酸が本当に深海へ運ばれるのだろうか？（こんな実験、あんな観測が必要だろう）

食物繊維と呼ばれるアルギン酸、どのような方法で繊維らしいものを作れたか（失敗例、成功例、理由、感想など）

2024/8/5（午前中）北海道大学水産学部オープンキャンパス  
実験（コンブのネバネバアルギン酸：担当大木）

この資料PDFダウンロード

<https://repun-app.fish.hokudai.ac.jp/course/view.php?id=2013#section-8>



⇐ 大木淳之の研究や海洋化学の情報沢山  
LASBOSサイトへ。