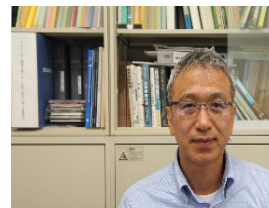


基 調 講 演

テーマ：沿岸域のドレミファ

講 師：広島大学大学院先進理工系科学研究科
准教授 日比野 忠史



略 歴

中央大学理工学部技術員（1992.8.1）
広島大学工学部第四類（建設系）地域環境工学講座助手（1994.7.1）
運輸省港湾技術研究所海洋環境部主任研究官（1997.4.1）
広島大学工学部第四類（建設系）助教授（2001.4.1）
広島大学大学院工学研究科 准教授（2007.4.1）
広島大学大学院工学研究院 准教授（2010.4.1）
広島大学大学院工学研究科 准教授（2017.4.1）
広島大学大学院先進理工系科学研究科 准教授（2020.4.1）
現在に至る

研究活動・著書他

山地流域における降雨について研究（1992.2-1995.6）
連結系水域における水位変動に関する研究（1995.7-1997.3）
閉鎖性水域での水循環について研究（1998.4-現在）
北太平洋の水位振動が沿岸環境に及ぼす影響について研究（2001.4-2010.3）
内湾域での有機泥の循環について研究（2007.4-現在）
アルカリ剤造粒物による水域環境の改善についての研究（2008.4-現在）
堆積泥を燃料とする微生物燃料電池（SMFC）の実用化についての研究（2009.4-現在）
浚渫泥の有効利用についての研究（2018.4-現在）
水質、底質の空間的連続測定を可能にする電極開発（2019.4-現在）

講演概要等

沿岸域の生物生息環境にまつわる現象をおもしろく話す

- ・生物体内の元素組成
- ・光合成は光が水分解、 H^+ 、 e^- を利用して糖を合成すること
- ・光合成や有機物分解で H^+ と e^- が生成（代謝）
- ・尿管結石の形成と有機物の固化-有機泥が固まるメカニズムを考える-
- ・ H^+ と e^- が生命を支える
- ・光合成では光，発電では有機物分解が電子の流れを作る

沿岸域環境のドレミファ

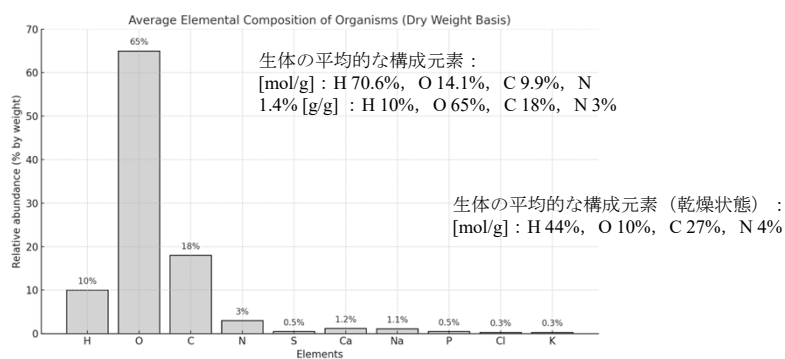
沿岸域の生物生息環境にまつわる現象をおもしろく話す

広島大学 日比野忠史

1

生物体内の元素組成

地球上に生存する生物体は、海産プランクトンも含めて元素組成はほぼ一定である。最も多い元素は酸素であり、重量比60%以上を占めている。

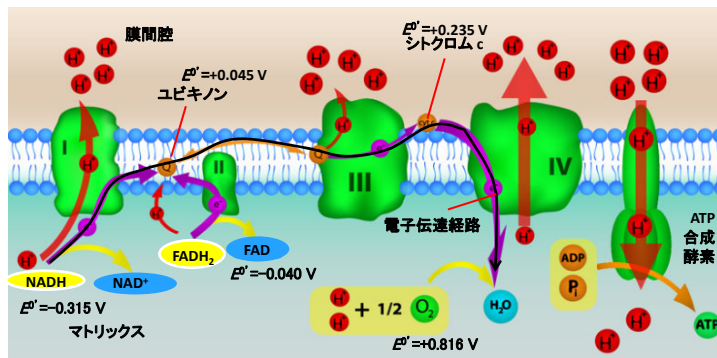


元素の集合体である生物がなぜ活動できるか??

田口哲：レッドフィールド比：研究の歴史と現状、今後の展望、海の研究 (Oceanography in Japan), 25 (4), pp.123-132, 2016.

2

ミトコンドリアでのATPの生成(複合体 I ~ IVとATP合成酵素)



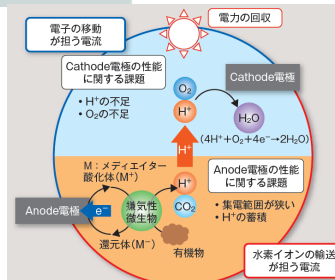
電子伝達系(複合体は中継地点、ユビキノンはキャリア)

酸化還元反応による電子のバトンリレー

全ての生物体はHOCNを主体に生成されている生物体の役割は元素の性質、例えば「Oは電子に貪欲」、「電子の位置エネルギーは結合元素毎に異なる」等によって形成される

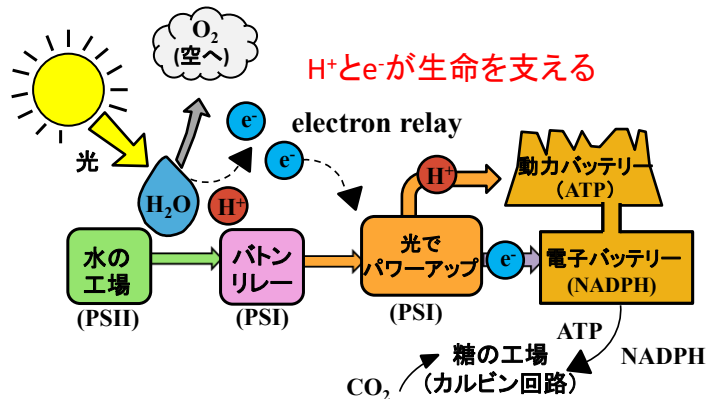
電子の流れは水の流れ(電圧と水圧)

エネルギーの高い場(-)から低い場(+)へ流れ、電子を受け渡す電子伝達物質にリレーされた結果、H⁺がATPを形成していく(光合成と同じ)



3

光合成は光が水分解、H⁺, e⁻を利用して糖を合成すること



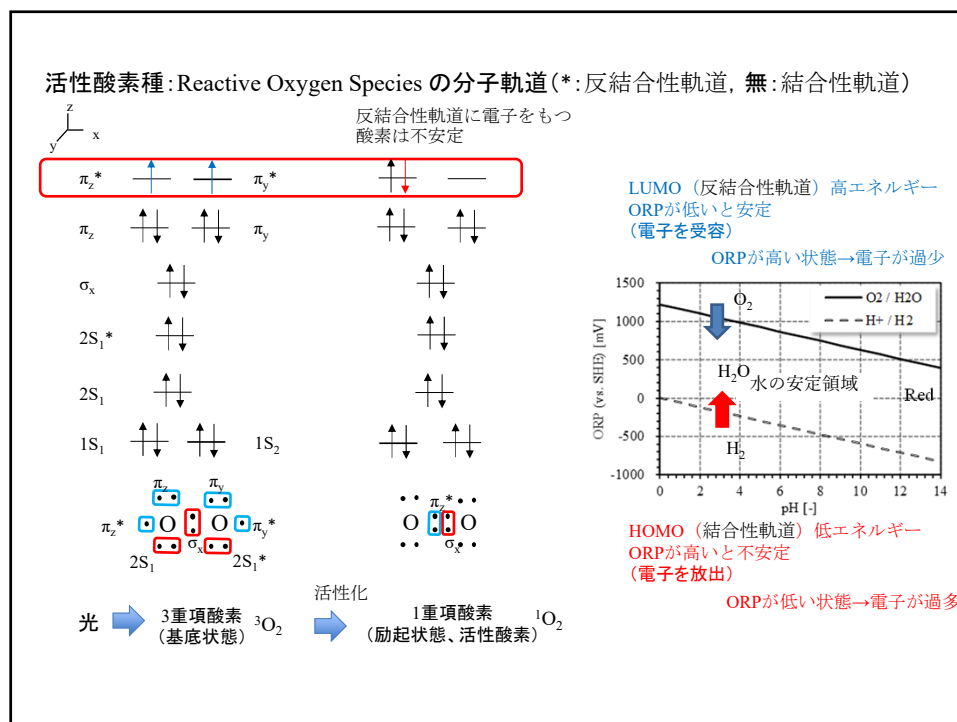
ATP (アデノシン三リン酸)

- 電子リレーによりH⁺がチラコイド内腔にため込まれる
- そのプロトン勾配(動力バッテリー)がATP合成酵素を回してATPを合成
- 糖をつくるときの「エネルギー(力仕事用の電池)」

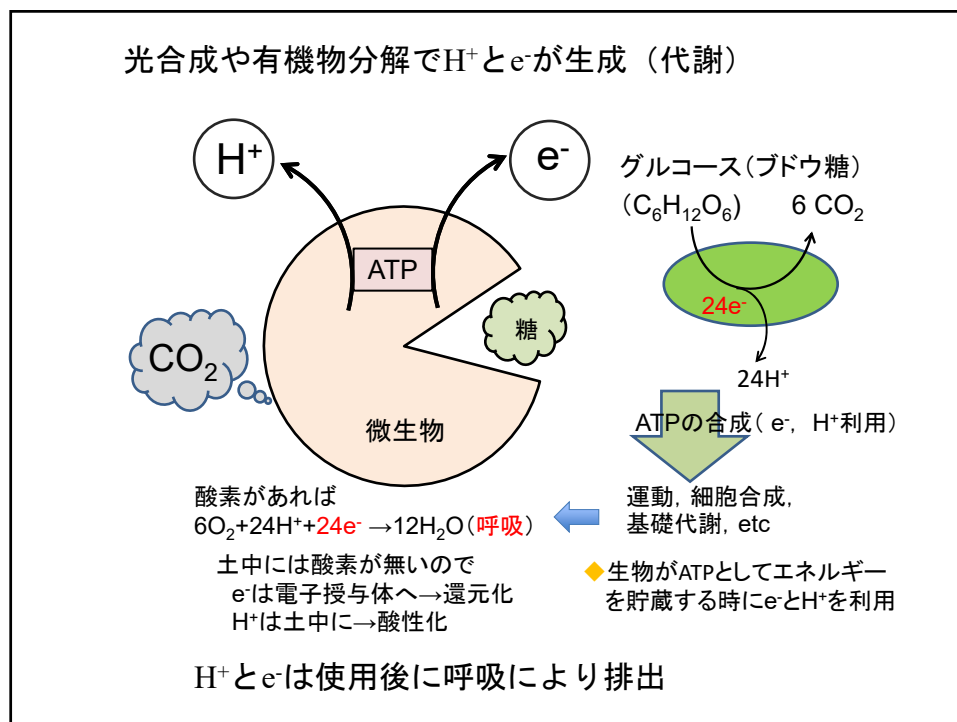
NADPH (ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸)

- 電子が最終的にNADP⁺に渡され、H⁺と結合してNADPHになる
- 糖をつくるときの「還元力(電子バッテリー)」
- CO₂を糖に変えるのに必要な電子供給源

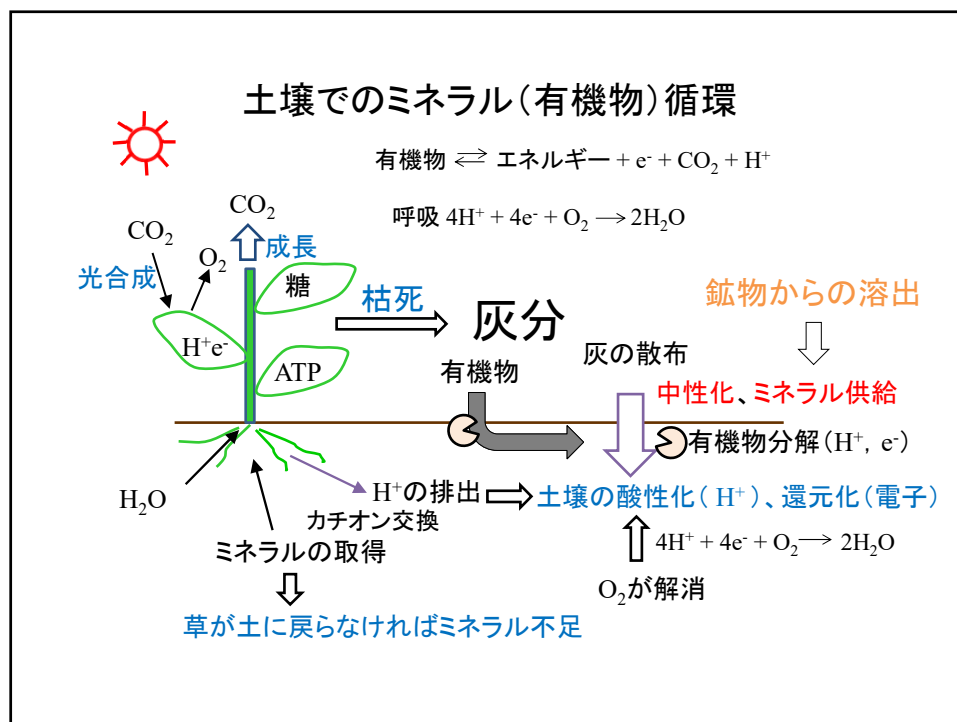
4



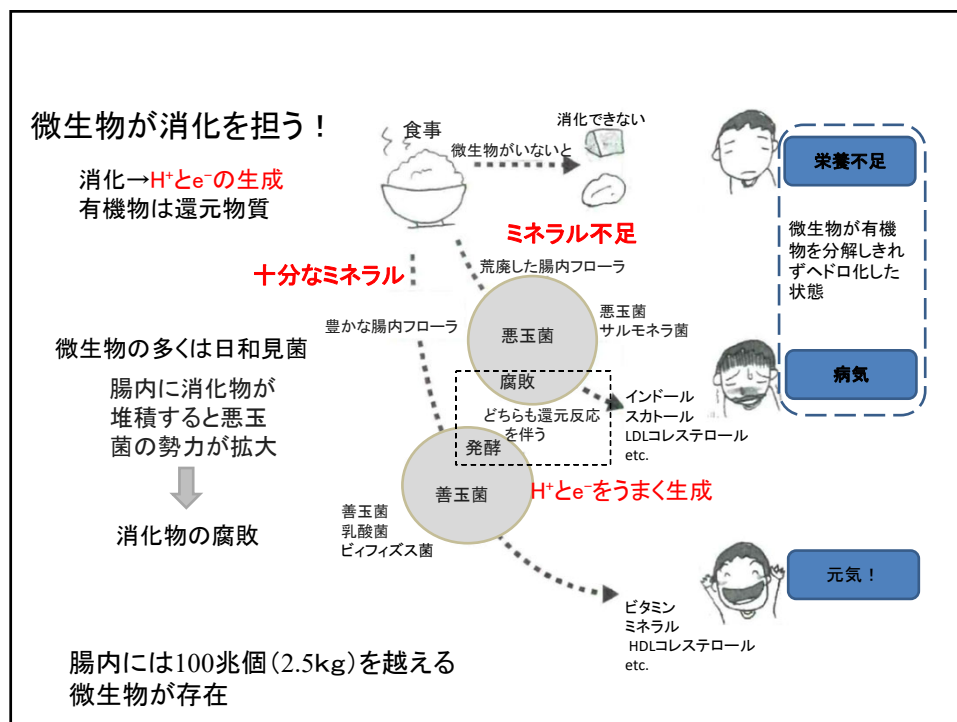
5



6



7



8



9

尿管結石の形成と有機物の固化

-有機物が固まるメカニズムを考える-

固化・・・非品質(アモルファス)・結晶の形成

固体化のタイプ	酸塩基反応との関係	生成形態
結晶化	酸性条件で中和 → 水素結合で秩序化	結晶(規則構造)
アモルファス化	塩基で可溶化 ⇄ 酸で再プロトン化 → 凝集	非品質沈殿・ゲル
分解・再固化	塩基で膨潤・分解 → 乾燥や縮合で固体化	再生セルロース、縮合リグニン(炭化残渣)

湯の花がパイプをつまらせる
 鍾乳石や真珠(CaCO₃とタンパク質)と同じ、結石は人間の造る真珠？

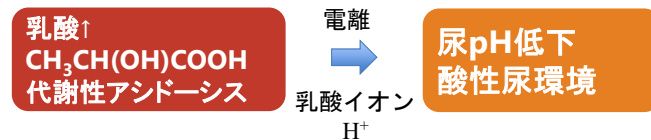
10

尿管結石の形成のメカニズム(1～5)

1. 激運動・低酸素・代謝異常などによる乳酸 ($C_3H_6O_3$) の上昇

アシドーシス

血液中のpHが酸性側（通常pH 7.35未満）に低下



血液酸性化 → 腎尿細管で H^+ 排泄増加 → 尿pH低下

乳酸濃度との関係

- 乳酸は強い有機酸で、代謝性アシドーシス時（激しい運動、低酸素、肝機能低下など）に乳酸血中・尿中濃度が上昇
- 血中乳酸が上がると、腎臓からの H^+ 排泄が増え、尿pHが低下（酸性化）

11

代謝性アシドーシスの発生と代償反応

乳酸↑
($C_3H_6O_3$)
代謝性アシドーシス

代謝性アシドーシス (metabolic acidosis) は、
血液中のpHが酸性側に低下する病態のうち、
原因が代謝性（呼吸以外）にあるものを指す

代謝: 物質の光合成・分解とそれに伴うエネルギー変換

酸産生上昇 / 酸排泄低下 / HCO_3^- 喪失(体外への排出)

(生産性を産生という)

血中 HCO_3^- 低下

pH低下 (アシドーシス)

血液酸性化 → 腎尿細管で H^+ 排泄増加 → 尿pH低下

呼吸性代償 (過換気⇔ PCO_2 低下)

呼吸による CO_2 調節 (CO_2 は単なる排泄物ではなく、生きるために重要)

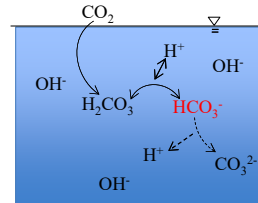
12

血しょう中の重炭酸イオン (HCO_3^-) の役割

(海水への CO_2 混入と同じ作用、 CO_2 による緩衝効果)

ヒトの主要な緩衝系 (炭酸-重炭酸緩衝系) の塩基成分として、血液のpHを一定に保つ中心的役割

CO_2 によるpHの調整



(1) 酸塩基平衡の維持 (pH=7.4程度に保つ)

HCO_3^- は血液中で水素イオン (H^+) と結合して炭酸 (H_2CO_3) を形成し、pH変動を抑える

(2) CO_2 の運搬形態としての役割

代謝で生じた CO_2 の約 **70%** は、赤血球内で水和反応により HCO_3^- に変換され、血漿を通じて肺に運ばれる

(3) 腎臓での酸排泄・塩基再生

腎臓は尿細管で HCO_3^- を再吸収し、必要に応じて新たに HCO_3^- を生成

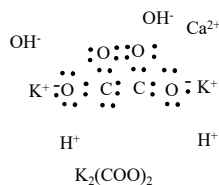
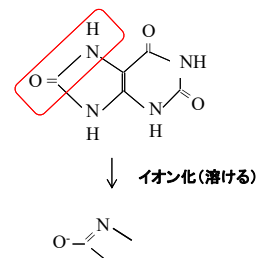
アシドーシス時は H^+ の排泄を増やし、 HCO_3^- 再生を促進

13

2. 酸性尿における尿酸溶解度低下 尿酸($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$) $\rightleftharpoons$ 尿酸結晶 (固体)

尿pH低下
酸性尿環境

尿酸溶解度低下
 $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3 \rightarrow$ 尿酸結晶



尿酸結晶 + シュウ酸Ca被膜
複合結石形成条件

- 尿酸の溶解度 (H^+ の電離) はpH低下で急減 $\rightarrow$ 尿酸結晶化を促進
- 尿が酸性化するとシュウ酸カリウムもカルシウムと反応しやすくなり、尿酸結晶上にシュウ酸カルシウムが沈着する条件が整う

14

シュウ酸カリウム・尿酸結晶化の関係

【代謝性アシドーシス → 尿酸結晶化 → シュウ酸Ca沈着】

3. 尿酸結晶が核 (nucleus) となる

尿酸溶解度低下
 $C_5H_4N_4O_3 \rightarrow$ 尿酸結晶



核形成 (尿酸結晶表面)

4. 酸性化すると尿中シュウ酸カリウム ($K_2C_2O_4$) の K^+ が Ca^{2+} と置き代わる
($CaC_2O_4 \downarrow$)

シュウ酸カルシウムを生成
 $K_2C_2O_4 + Ca^{2+} \rightarrow CaC_2O_4 \downarrow + 2K^+$

5. ヘテロ核形成 :

尿酸結晶表面にシュウ酸Caが沈着

→ 複合結石 (尿酸核 + シュウ酸カルシウム被膜) 形成

15

ヘテロ核形成

異質な界面 (壁面・異物・既存結晶など) を足場にして結晶の核が形成される現象

特徴

- 均質核形成 (溶液中で自発的に核形成) に比べて、必要な過飽和度や過冷却度が低い
- 固体表面や異物が「結晶成長におけるテンプレート」となり、分子やイオンが配列しやすくなる
- 自然界での結晶化 (鍾乳石、真珠等) や生体内結晶化 (尿酸結晶、腎結石等) では、ほとんどがヘテロ核形成

① 異質表面の存在
(壁面・異物・既存結晶)



② 分子・イオンの吸着
(配列開始)
表面に溶質分子が吸着し、結晶構造の“ひな型”を形成



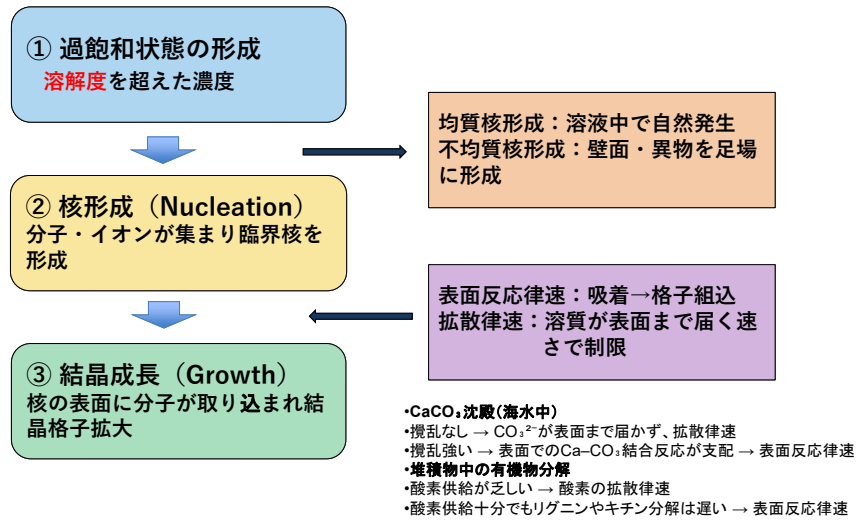
③ 自由エネルギー障壁の低下
(接触角の影響)
接触角が小さいほど、核形成の自由エネルギー障壁が低くなる



④ 臨界核形成と結晶成長
臨界サイズを超えると、結晶成長が自発的に進む

16

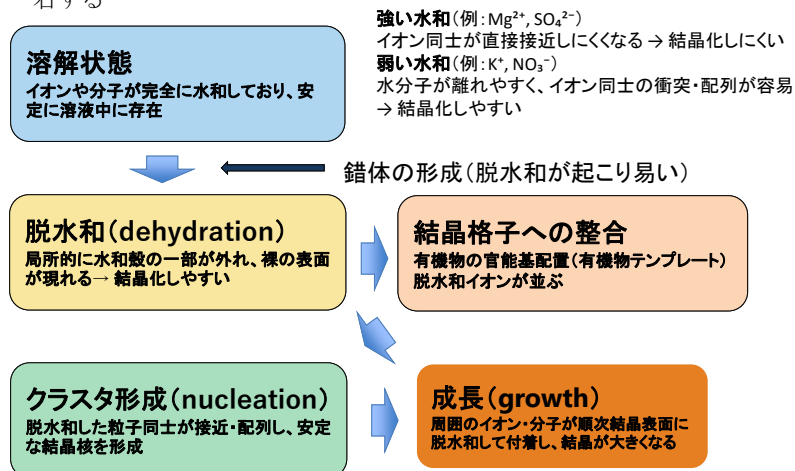
結晶化のメカニズム（核形成と成長）



17

水和, 錯体とも結晶化に重要

水和 (hydration) と結晶化 (crystallization) は、溶液中の分子やイオンが固体結晶構造を形成するまでのプロセスで密接に関係
特にイオン結晶や分子結晶の形成では、水和が結晶化の難易度や速度を左右する



18

沿岸域環境のドレミファ

環境調査の計画、分析の基本

何を測れば何かわかるか

生態系と底質の循環を理解して、計画を立て、分析を企画する

