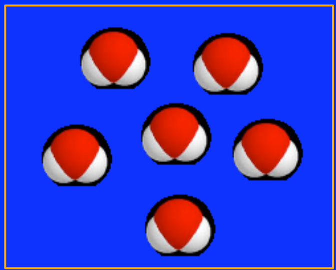
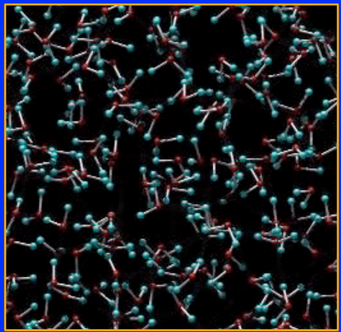
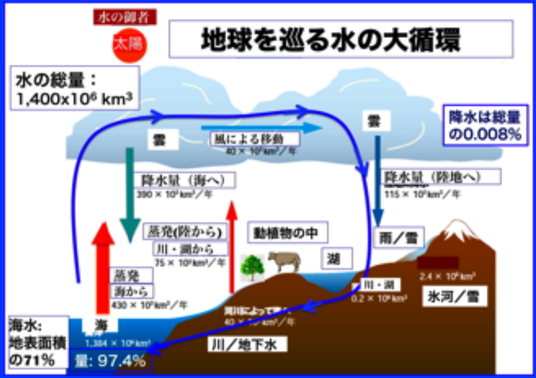
自然と人間生活の中を循環している水
～小中学校教師のための水リテラシー～

吉野輝雄　国際基督教大学





1. ナノスケールで: 水分子のダイナミックな動き
2. 日常のスケールで: 動・植物体内を循環する水
3. マクロなスケールで: 自然界を巡る水
4. 超マクロなスケールで：水と生命の惑星＝地球
5. グローバルな視点で：水危機の時代



講演の狙い

～小中学校教師のための水リテラシー～

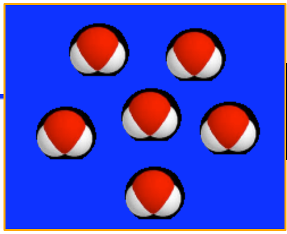
1．小中学校生に話す（教える）教師(地球市民)向けの内容＝Literacy。

2．　話し手(教師)自身が水のおもしろさ、大切さ、凄さに魅せられて話せば、子どもたちも(大人も) 水に興味をもつ ハズ。

3．　実際に話す場合には、子どもの理解度、置かれた環境に合わせてトピックスを選んで頂きたい。

1. ナノスケールで

水には67の異常な性質がある



水分子

Sixty-seven anomalous properties of water

Martin Chaplin,

http://www.lsbu.ac.uk/water/anmlies.html

Emeritus Professor of Applied Science
London South Bank University

Phase Anomalies of Water

三態(相)変化

- Water has unusually high melting point
- Water has unusually high boiling point
- Water has unusually high critical point
- Solid water exists in a wider variety of stable (and metastable) crystal and amorphous structures than other materials
- The thermal conductivity of ice reduces with increasing pressure
- The structure of liquid water changes at high pressure
- Supercooled water has two phas
- Liquid water is easily supercoole
- Liquid water exists at very low te
- Liquid water may be easily supe
- Hot water may freeze faster than
- Warm water vibrates longer than cold water

- 密 度 anomalies
- Water material anomalies
- Water ther 熱的性質 anomalies
- Water 物理的性質

これらのユニークな性質が
私たちの生命と地球環境を支えている。

Q：　水の異常な性質とは？

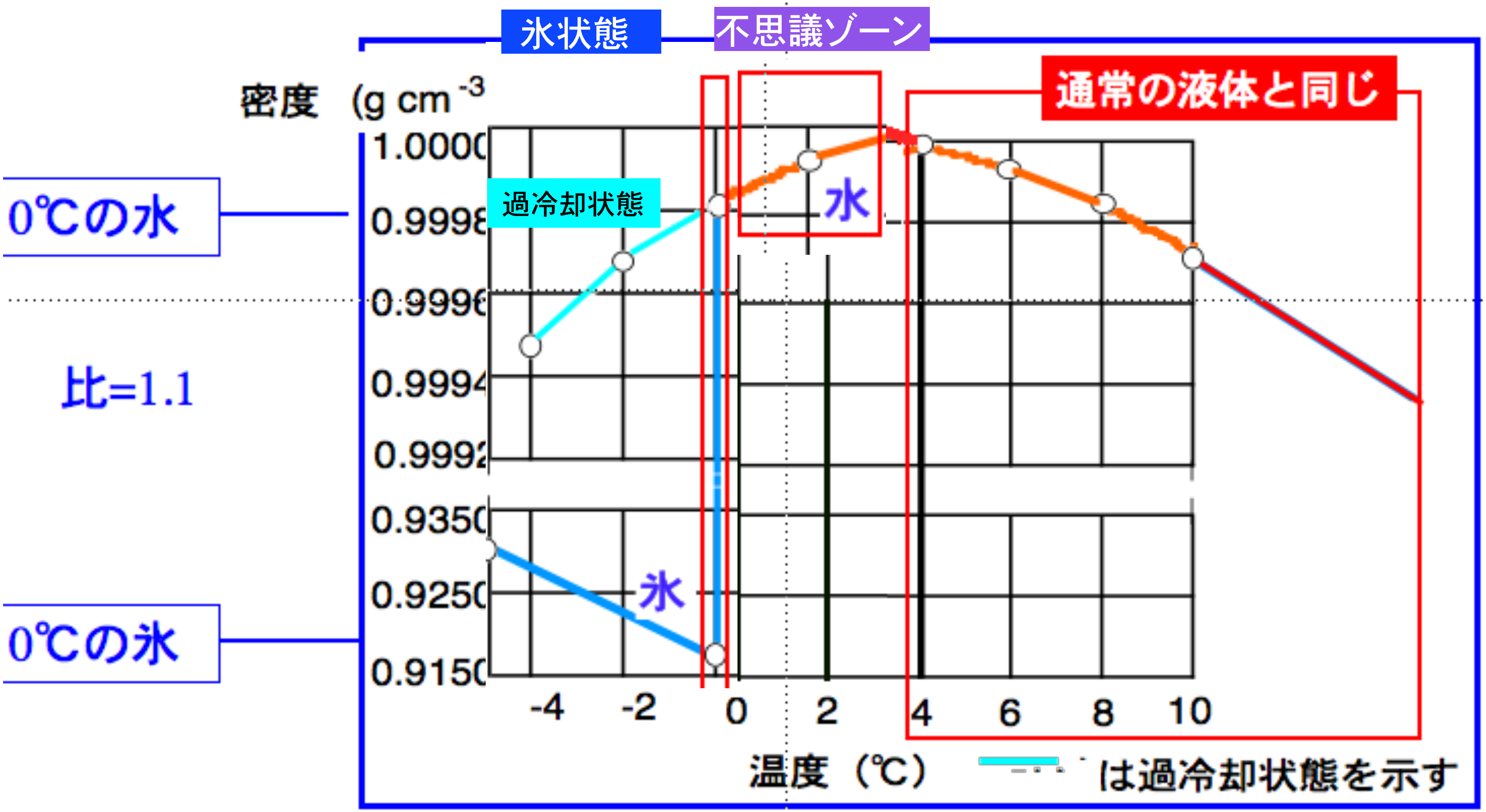
1.通常の物質と異なり、液体から固体になると密度が小さくなる。浮く）
2.液体としての密度は、4℃で最大となり、その前後で減少する。 **密度**
4℃以上の温度では、通常の液体のように温度上昇とともに減少する。

3.水は温まり難く、冷めにくい液体である。（比熱が非常に大きい）　比熱＝1cal/g
4.水は蒸発しにくい液体である。蒸発熱＝540 cal/g
5.水は簡単な分子構造のわりには沸点が高い。沸点＝100℃ **熱的性質**
周期表の仲間の分子 (H_2S, H_2Se, H_2Te)中では異常に高い。
6.水の融点（氷点）は、簡単な分子構造のわりには高い。氷点＝0℃
7.氷はなかなか解けにくい。融解熱＝80cal/g
8.氷は圧力をかけると融点（氷点）が下がる。通常の物質とは逆の傾向。

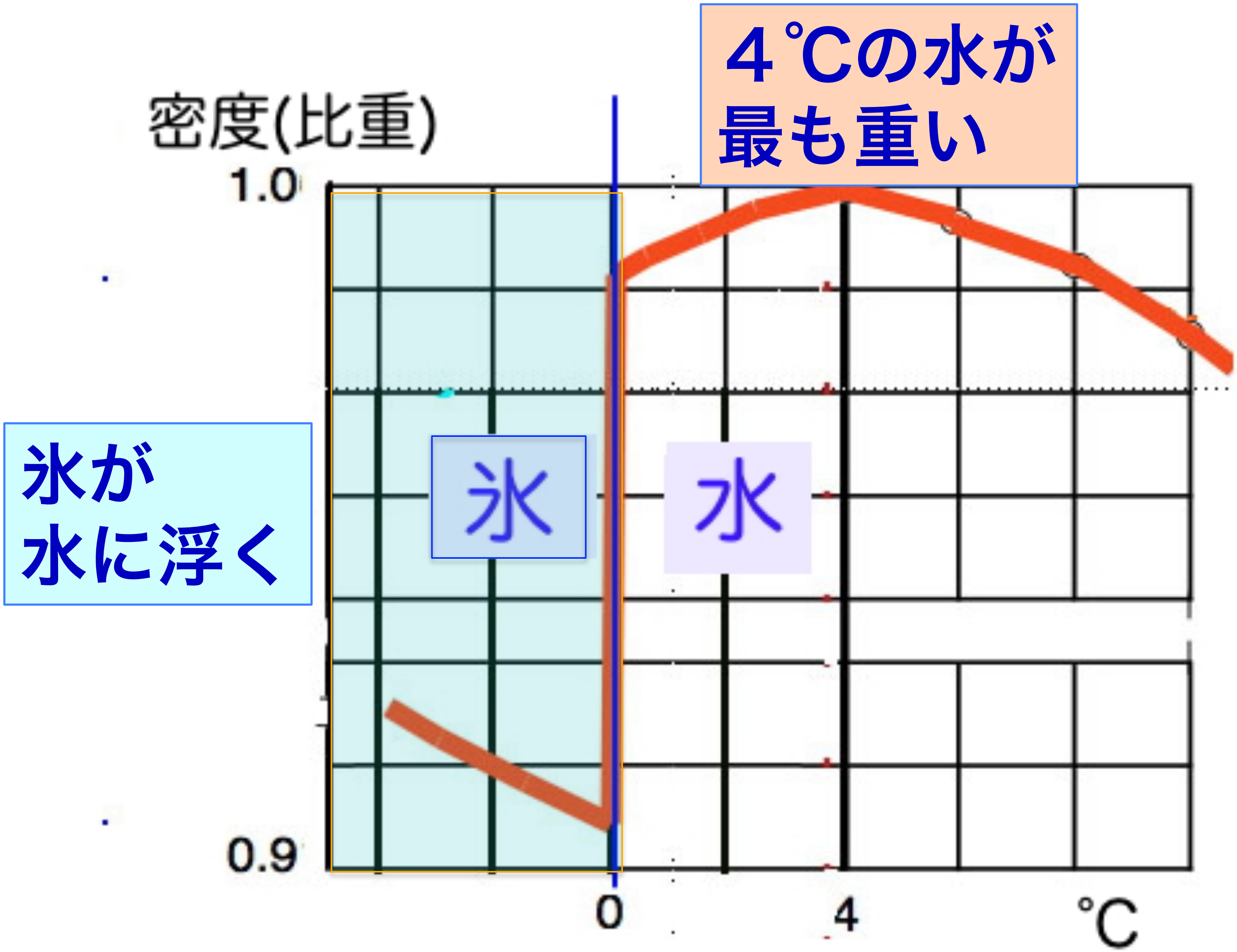
9.水は大きな溶解力をもつ。身近に見られるの液体の大部分は水溶液。
植物、動物の細胞、体液もミネラル成分、タンパク質、糖質等が溶けている水溶液。 **物理的性質**
10.水は非常に大きな表面張力（凝集力,毛管現象）をもつ（水銀Hgに次ぐ）。
11.通常の生活条件下で液体,気体,固体状態と状態変化を見ることが可能
12.極性が大きい（大きな双極子モーメント、誘電率）

水は”異常な”液体か?

温度による水の密度変化を測定する。



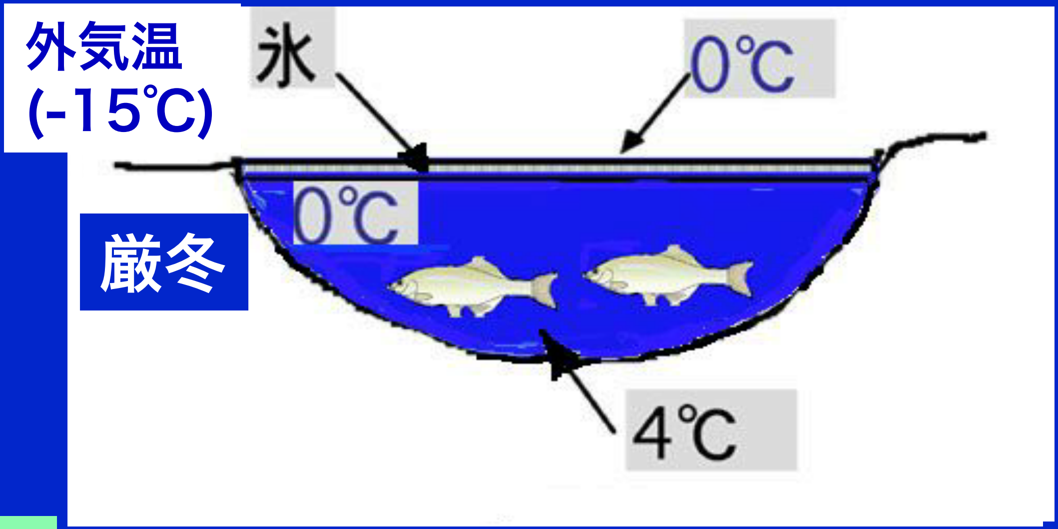
水が異常なところはどこか？



Q： 厳冬（氷点下15℃）の釧路湖でも ワカサギはなぜ凍え死なないのか？

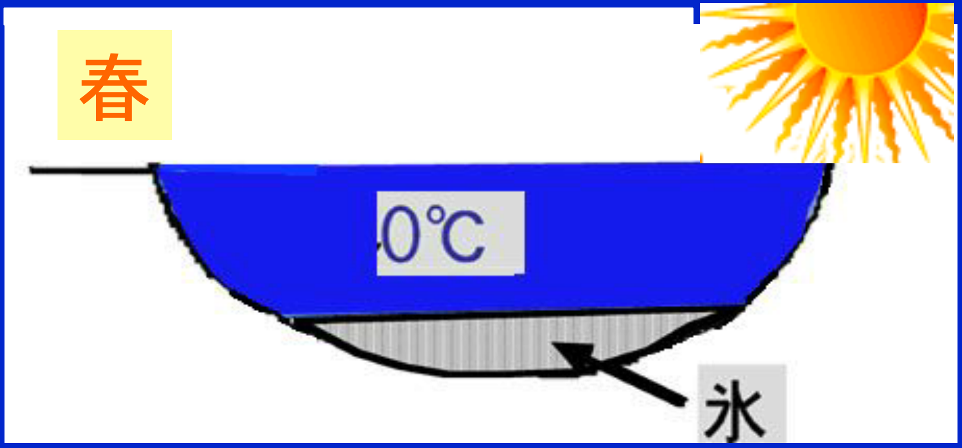
湖の表面に氷が厚く張っている

しかし、湖底の水温は4℃



水が他の物質と同じように

もしも氷の密度が水よりも大きかったならば---

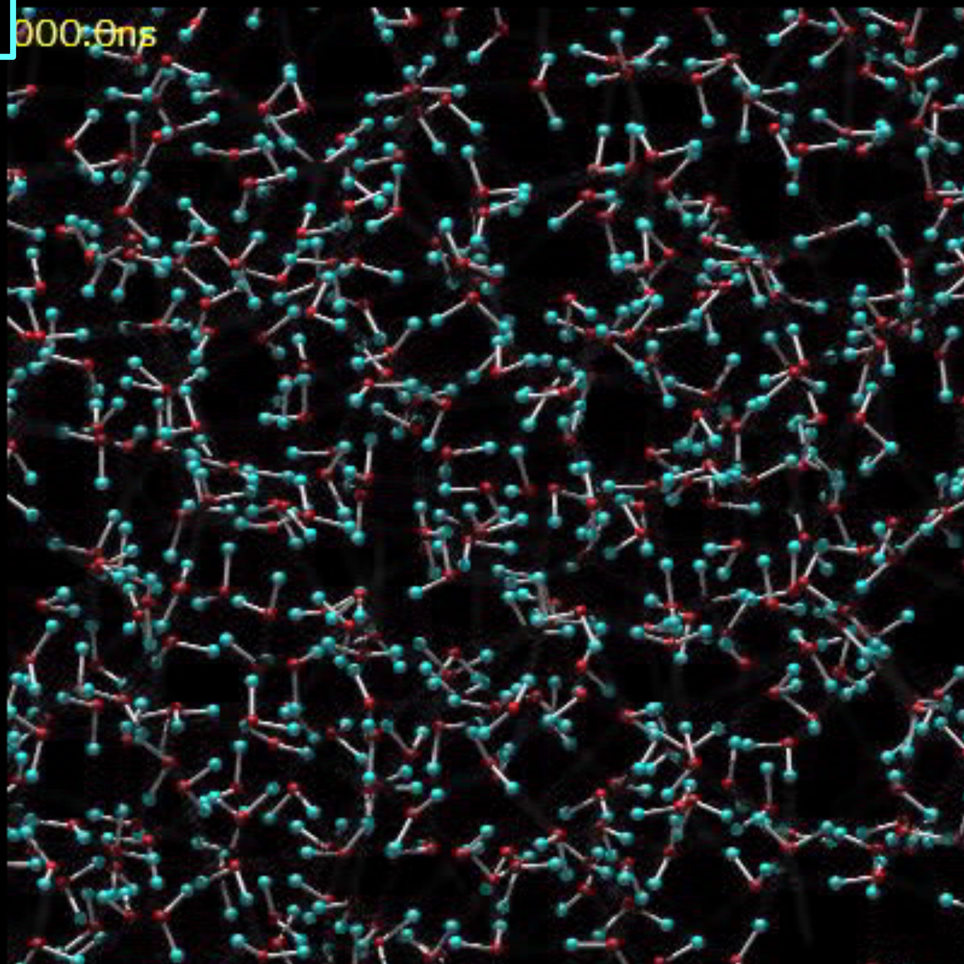


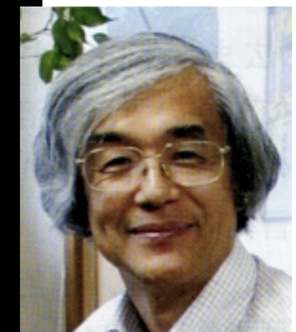
しかも、氷の融解熱は大きい
80cal/g （融けにくい）

常に動き回っている水分子
氷結過程のシミュレーション

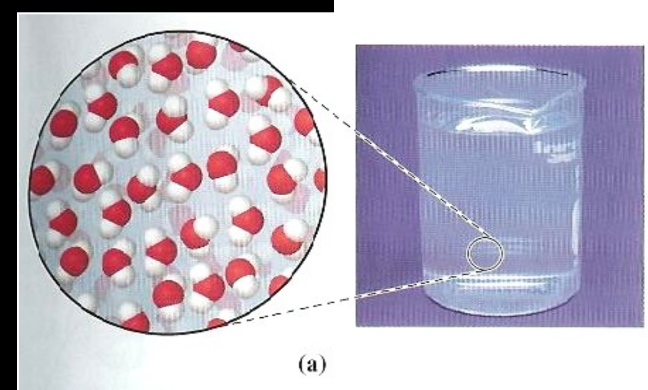
ナノスケールの世界

10^{-9} cm





大峰巌博士
分子研所長

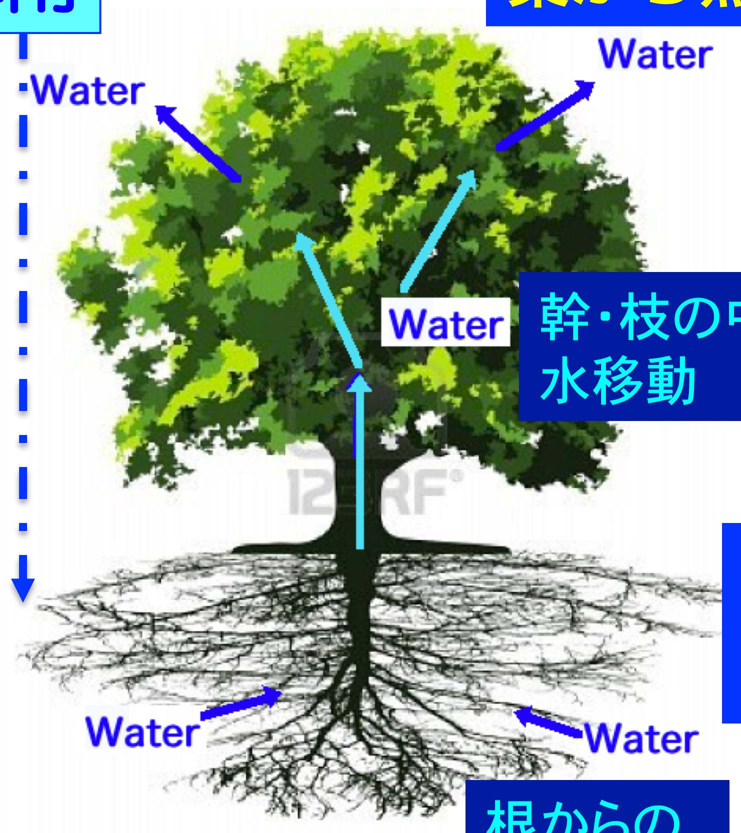


2. 日常のスケールで

植物、動物体内を循環する水

降雨

葉から蒸散



幹・枝の中の
水移動

根からの
水吸収

毛細管現象
＋ポンプ

心臓（ポンプ）

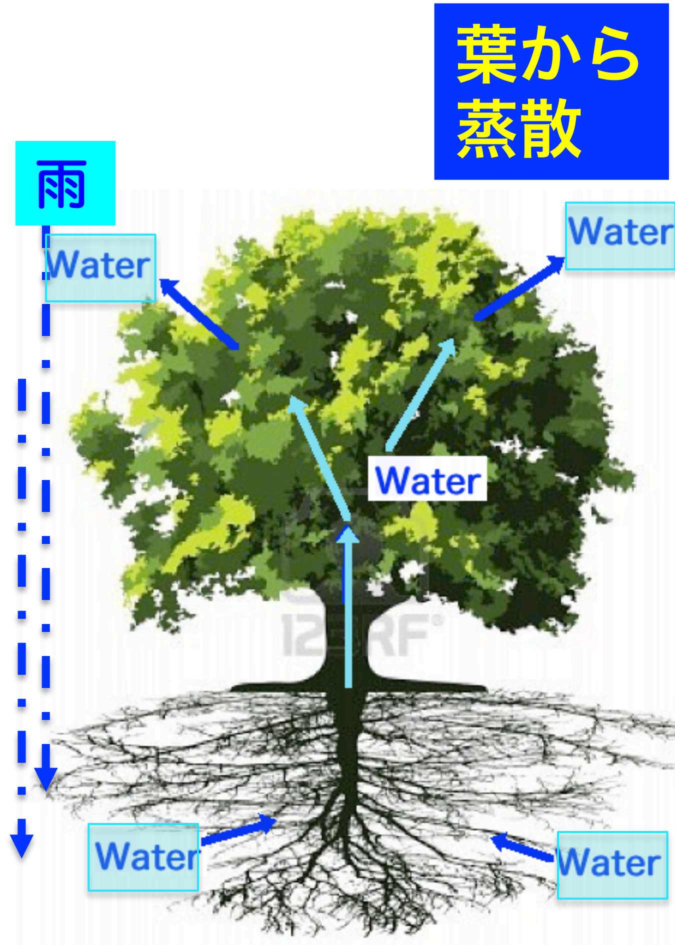
体内を巡る
（毛細）血管

身体の隅々まで
栄養物と酸素を
運ぶ。

・植物中の水循環

- ミネラル、栄養分を溶かした水が根から吸収され、幹・枝通じて上昇し、葉・花・実に運ばれる。この過程が植物の命を支えている。

最後に,水は葉（気孔）から空気中に蒸散する。
この“循環ポンプ”によって植物は灼熱化を防いでいる。



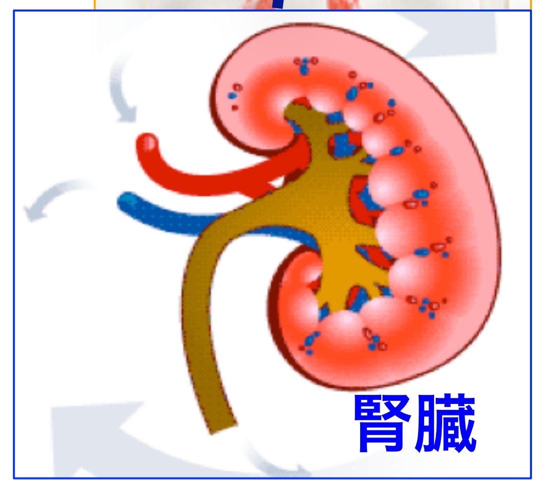
・動物（人）体内の水循環

水は毛細血管を通じ、体内の隅々にまで酸素と栄養物を運ぶ。

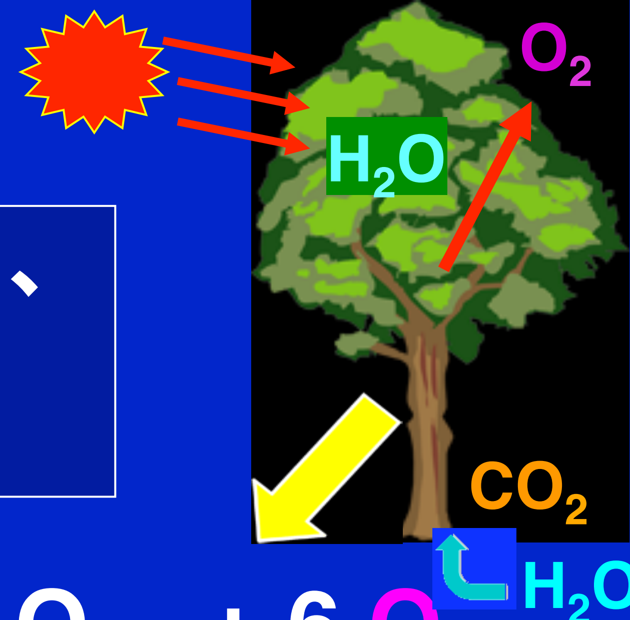
帰路では、老廃物を腎臓に運ぶ。
ろ過した血液は心臓(ポンプ)に戻り、再び体内を循環する。

人は一日約２.5Lの水を摂取、
同量の水を排泄。

体内ではその100倍量の水がリサイクル。
腎臓は水再生／廃棄物除去装置。



Q: 光合成とは？



緑の植物が、太陽光（エネルギー）により、二酸化炭素と水からブドウ糖（栄養源）と酸素を合成する過程。

$$6\ H_2O + 6\ CO_2 \xrightarrow[\text{緑色植物}]{\text{太陽光}} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

水　二酸化炭素　酸素

ブドウ糖→デンプン
(栄養源)
セルロース
(植物組織)

光合成の意味:

- **水と二酸化炭素は燃焼、呼吸によってエネルギーを獲得した後の“燃えかす”。**
- **光合成は、太陽エネルギーを取り入れて“燃えかす”を価値のある有機物（栄養源）と酸素に変える再生産システム。**

●**光合成は、地球上の植物、動物の命を支える物質を生産するために必須の“生命維持工場”である。**

3. マクロなスケールで

自然環境における水の姿

森・川・草・雨

水稲/水田

雲

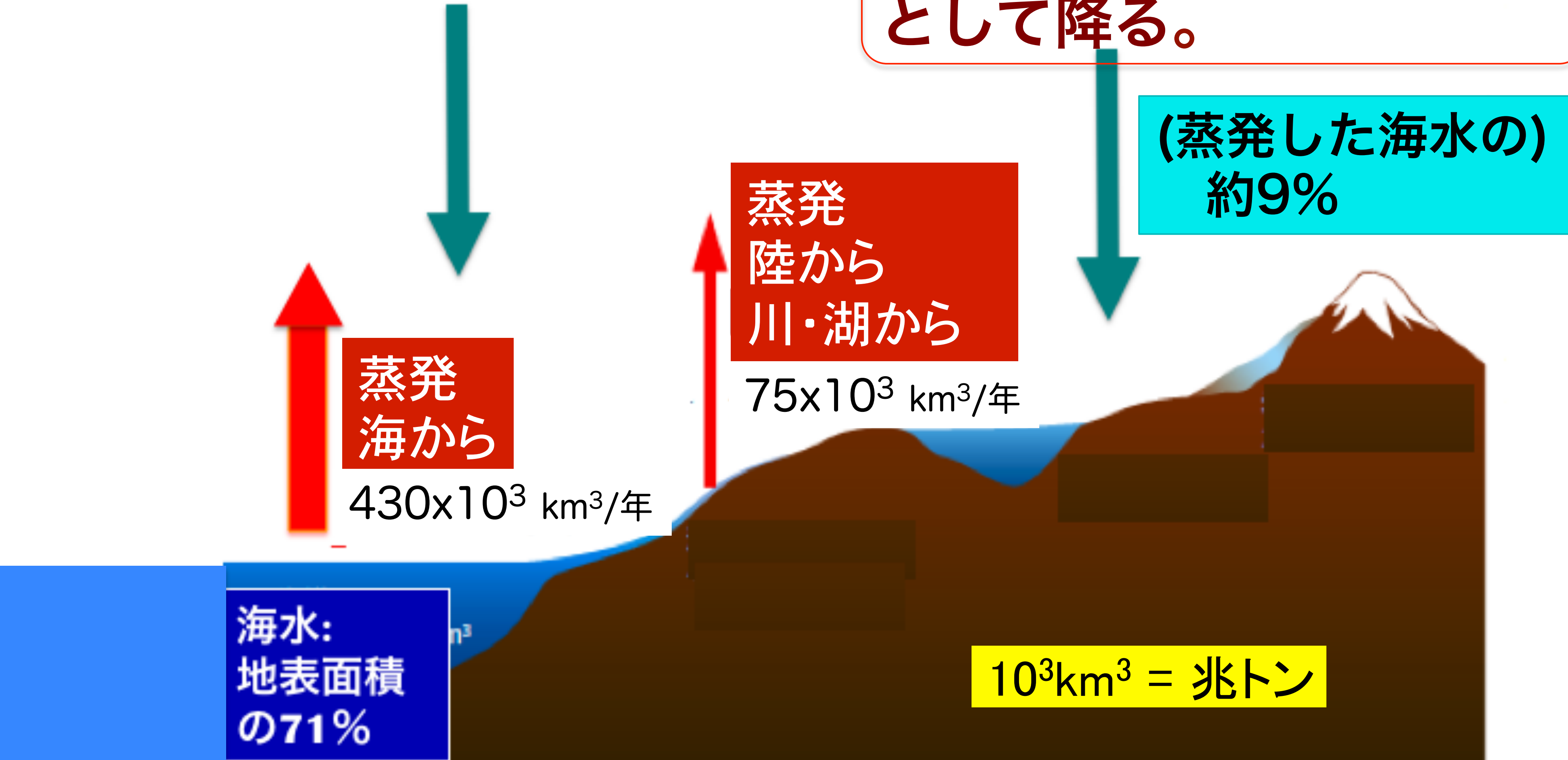
渓谷／自然の清流

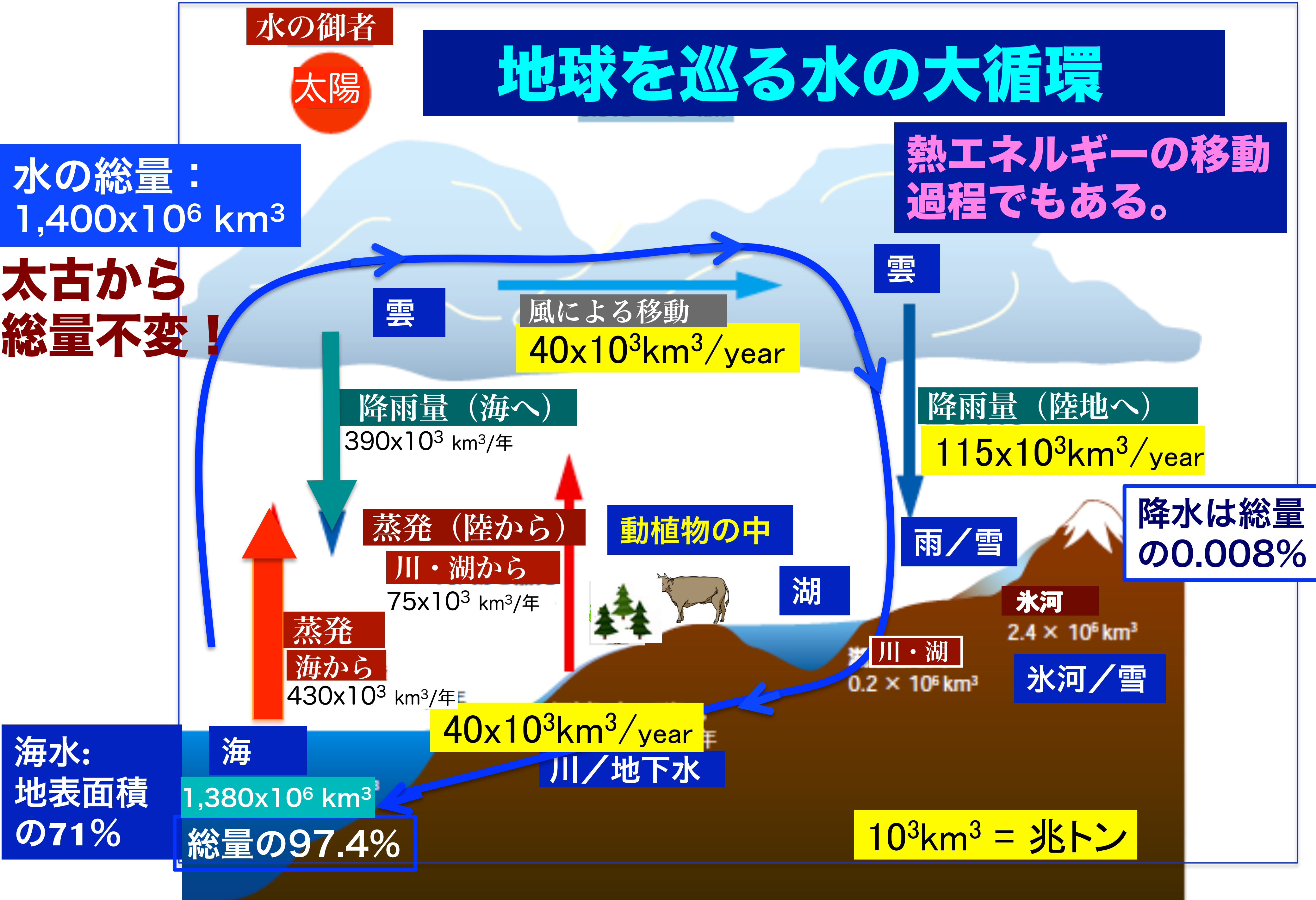
雪・氷河

生命をはぐくむ海

Q： 海の水は蒸発した後どこへ?

1.　一時的に雲となった後、宇宙空間に飛散する
2．雲となった後、雨雪となって全て海に戻る。
3．雲となった後、一部は陸上に移動し雨雪として降る。





水の御者
太陽
地球を巡る水の大循環
水の総量：
1,400x10⁶ km³
太古から
総量不変！
熱エネルギーの移動
過程でもある。
雲
風による移動
40x10³km³/year
雲
降雨量（海へ）
390x10³ km³/年
降雨量（陸地へ）
115x10³km³/year
蒸発（陸から）
川・湖から
75x10³ km³/年
動植物の中
湖
雨／雪
降水は総量
の0.008%
氷河
2.4 × 10⁵ km³
川・湖
0.2 × 10⁶ km³
氷河／雪
蒸発
海から
430x10³ km³/年
40x10³km³/year
川／地下水
海水:
地表面積
の71%
海
1,380x10⁶ km³
総量の97.4%
10³km³ = 兆トン

水の大循環の意味を考える

- 海水（塩水）を淡水化システム（年間40兆t ）
  （熱源：太陽　　費用：無料）

- エネルギー供給源（水力発電）
  水が海から陸地へ雲として運ばれ（40兆t）、山地に降った雨。

- 「水資源」=陸地から海へ戻る水（40 兆t）(河川水,地下水)
  - 水資源：農業用水、工業用水、生活用水。
  - 陸地のすべての動植物の生命を育む (地球生命体の維持装置）。
  - 緑の植物は酸素、ブドウ糖（栄養物）をつくる。植物は水を蓄える。
  - 人の心に安らぎを与える豊かな水環境を提供してくれる。

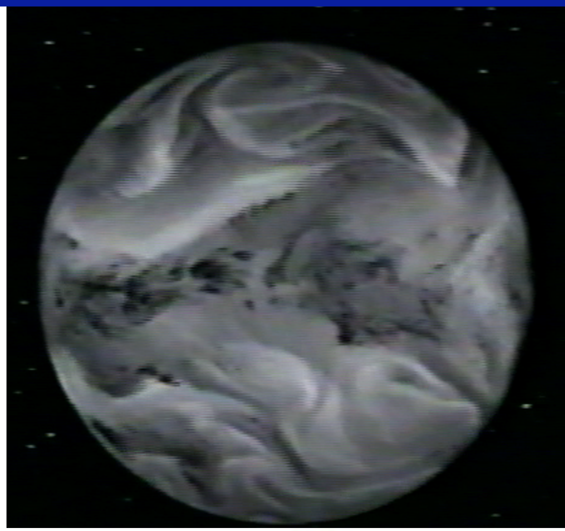
- 地球を温和化
  ・海・陸地から蒸発する水は熱エネルギーをうばうので、太陽熱による灼熱化を防ぎ、大気温を和らげる。
  ・二酸化炭素を溶解／吸収　（地球の平均気温、+15℃）

- 気象をコントロール（大気を動かしているのは水蒸気）

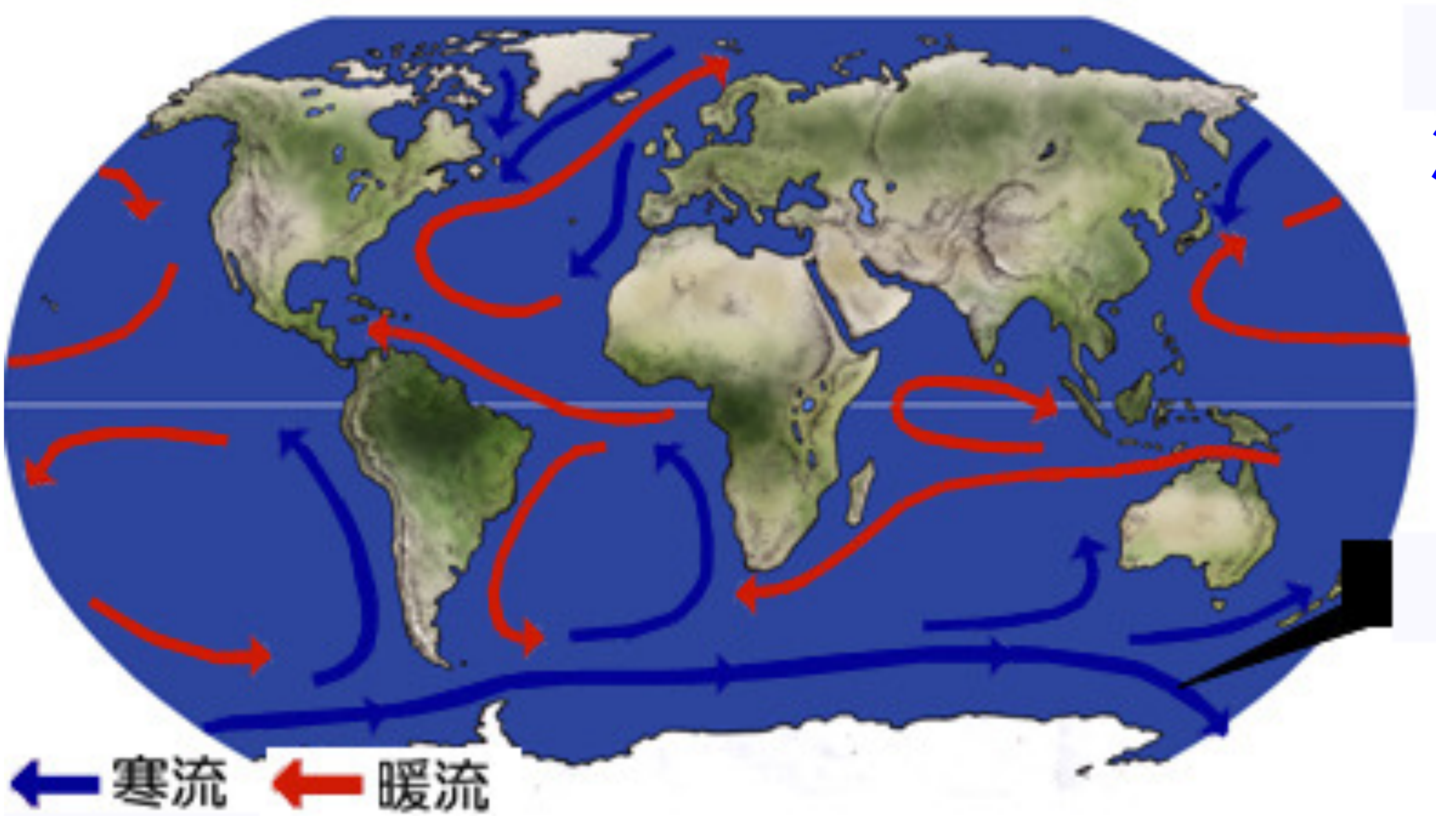
水の大循環は地球環境と生命の維持システム

水は三態変化（気体・固体・液体）しながら
地球を巡り、地球の気候を支えている。

大気中を移動する水蒸気

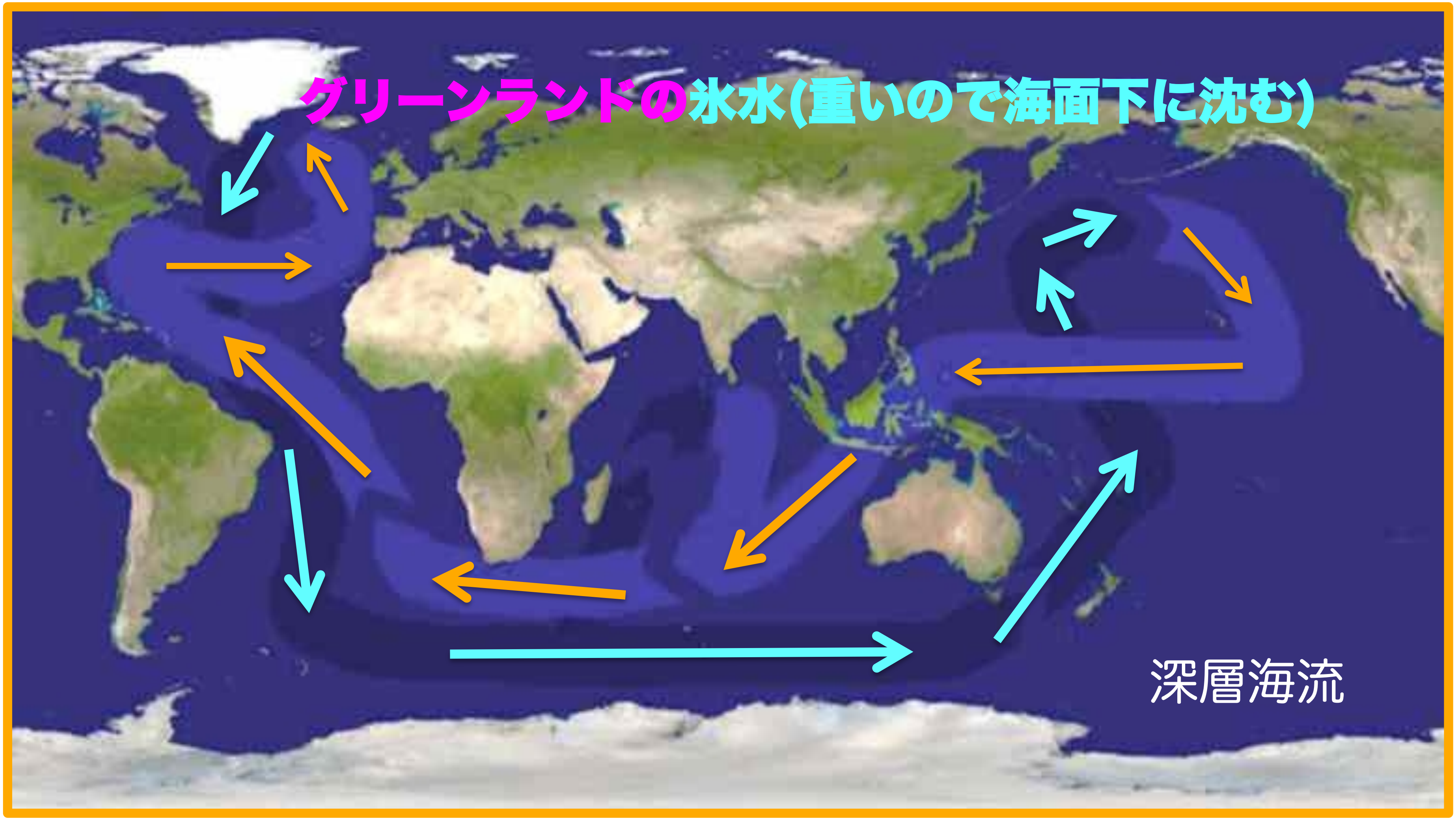


緩やかに移動し
崩壊する氷河



海流

深層海流

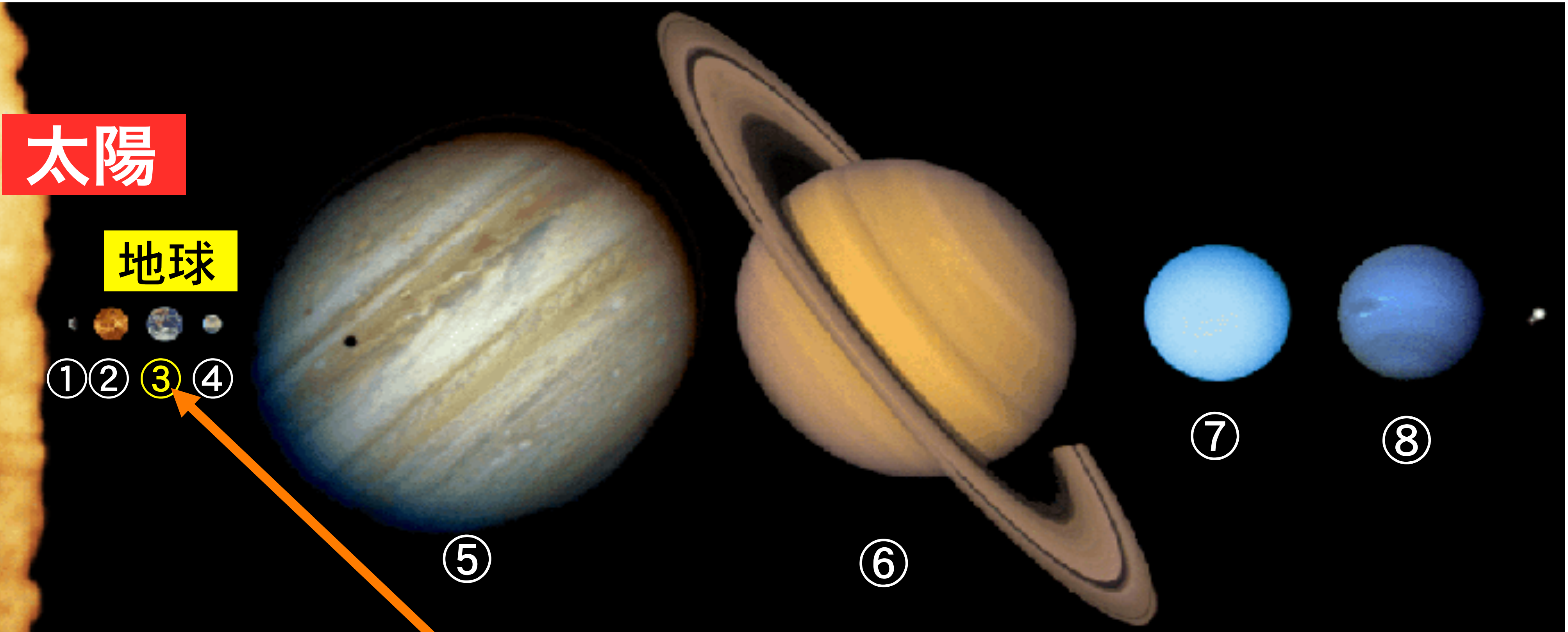


4. 超マクロなスケールで

８つの太陽系惑星の中で地球だけがなぜ
海（液体の水）をたたえているのか？

海（液体の水）が出現するための基本条件：
0～100℃　(1気圧下)

太陽系　８つの惑星



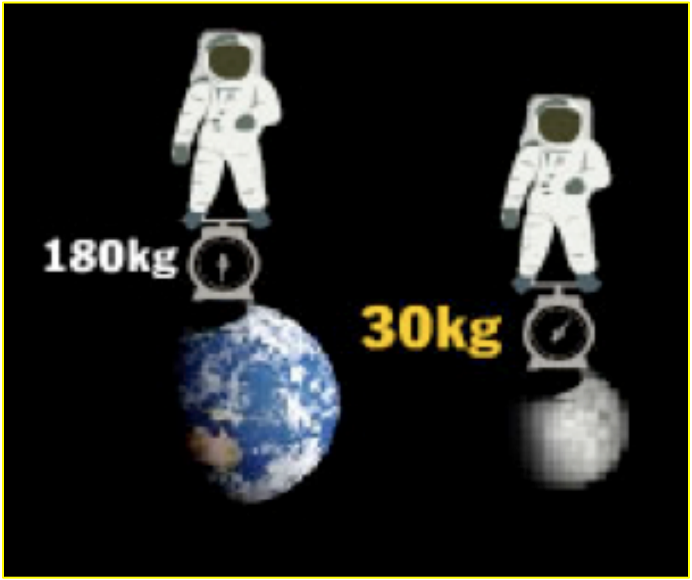
第一条件：太陽からの距離

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
惑星：	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星	
表面温度：	330	200	15	-50	-130	-150	-190	-200	（℃）

100℃以上　　0℃以下

・第二条件：サイズ

月には水が無い。なぜか？



月は地球より
サイズが小さく、
重力は地球の1/6。

月の
昼間の温度：　110℃
夜間の温度：　-180℃

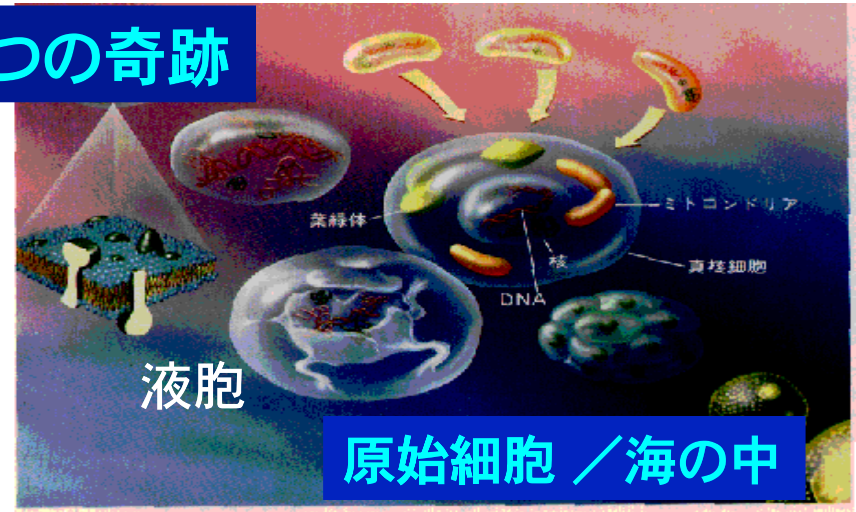
水分子を引力圏内にとどめておくことができず、
宇宙空間に逃げてしまった。

2つの条件(太陽からの距離、サイズ)を
奇跡的に満たす惑星が**地球！**

Q: なぜ地球に生命が存在するのか？　（仮説）

海の中で　38億年前
生命が発生した

もうーつの奇跡



・原始地球上の海辺で生体高分子（タンパク質、核酸）がつくられ、自己複製できる原始細胞＝原始生命が発生した。

▼ 単細胞生物は、太陽からの強い紫外線から護られた海の中で、複雑な多細胞生物へと進化。
▼ やがて、光合成を行う緑色植物が発生。酸素を生成。

▼ おだやかな気温と酸素量が増えた陸上で生活する動物へと進化。
▼ 今から約200 万年前に人類が地球上に現れた。

全ての生命体は水を抱えている→生命維持に水が必須。
ヒトの体重の2/3は水。

5.グローバルな視点で

２１世紀は水危機の時代

1．水不足（水需要の限界、分配）
2．水戦争（水紛争）の時代
3．水質（環境）汚染：命への脅威
4．Water business
（商業活動の自由 vs 公共性／共有財産）

水は天下の回りもの

基本目標は？
水惑星・地球に生きる人間が自然と共生し
持続可能な生活スタイルを確立すること。
(Think globally, act locally)

日常生活で使う水

1日 300L /人

人は一日どれだけ水を使うか？

平成９年度一般家庭水使用目的別実態調査」東京都

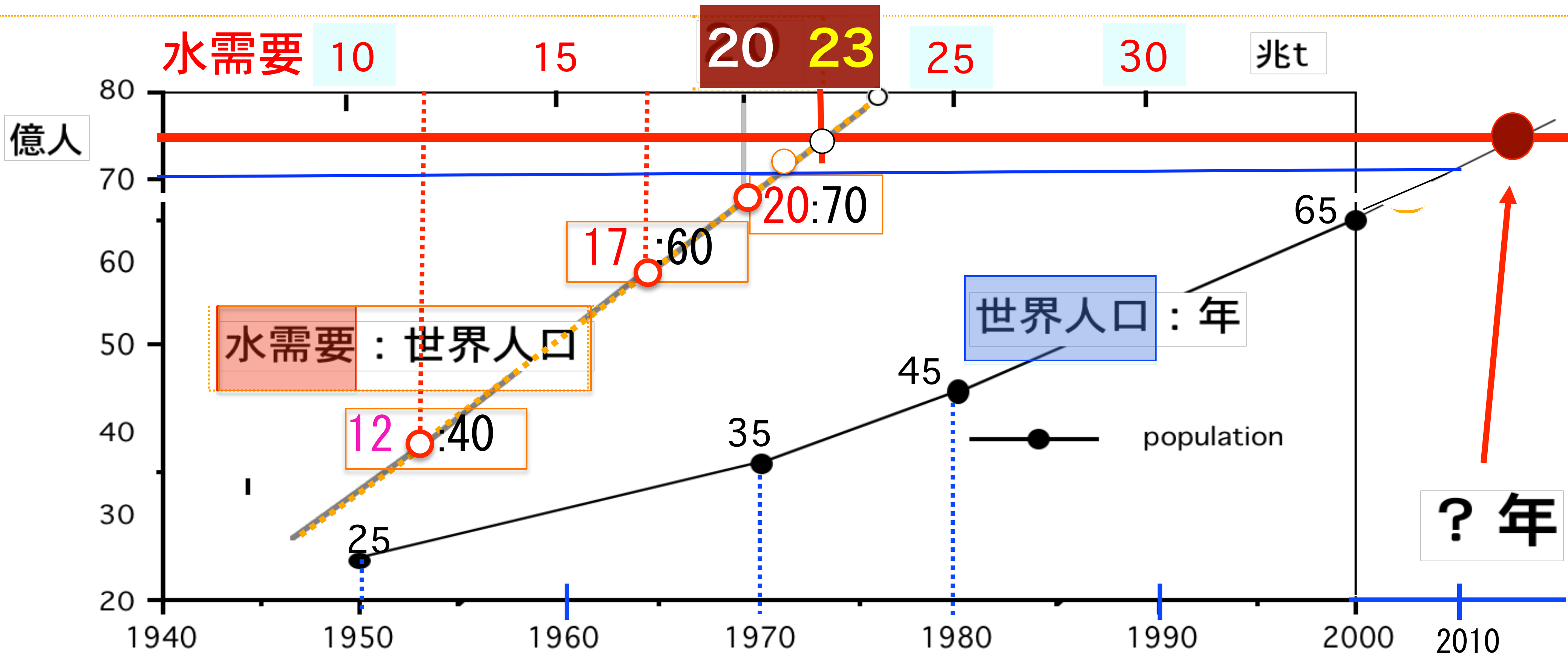
水を飲む人
Barlach

21世紀が水不足の時代と言われる理由

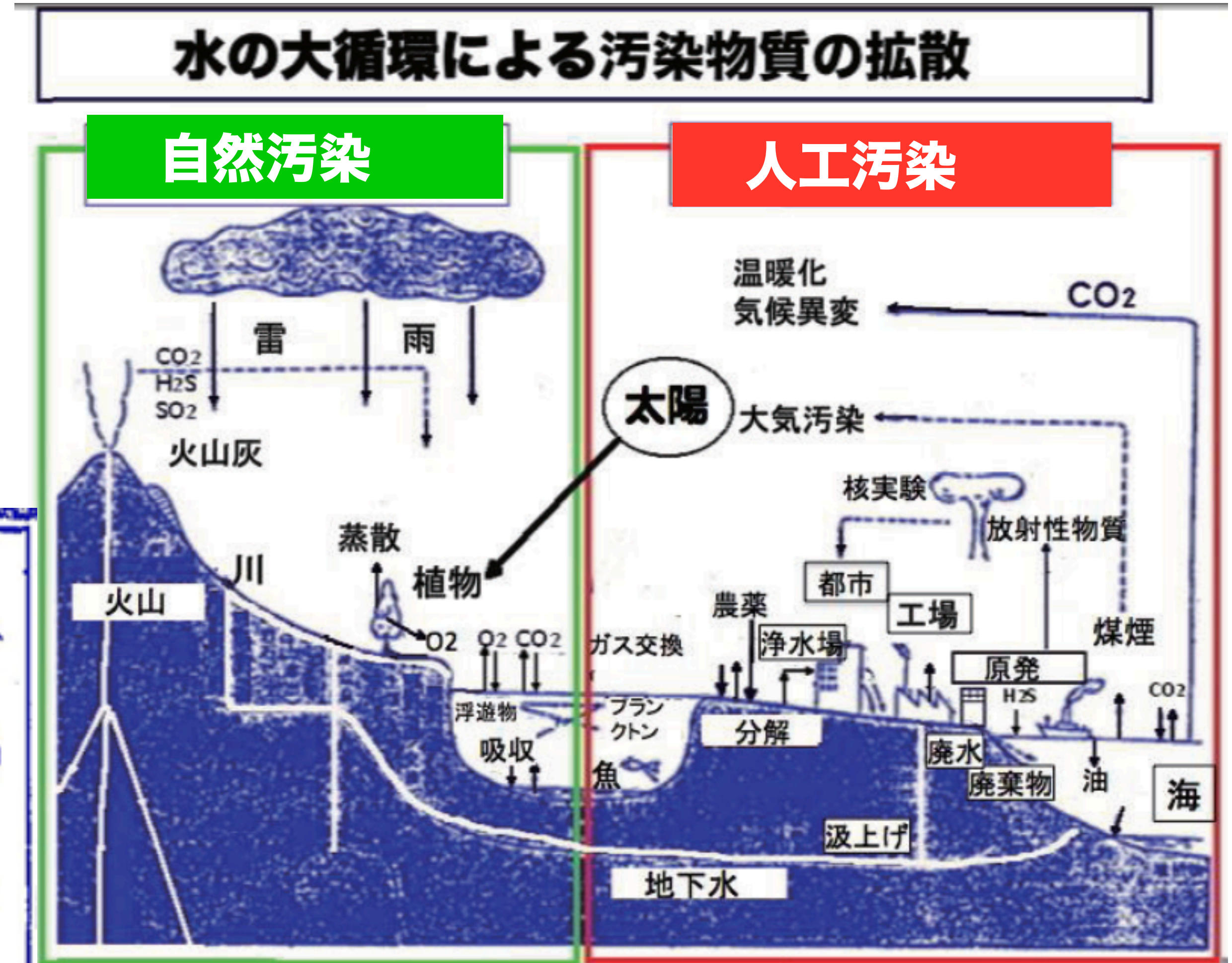
●水資源(淡水＝115兆トン)の利用可能限界量は？
その20% (23兆トン) と言われている。

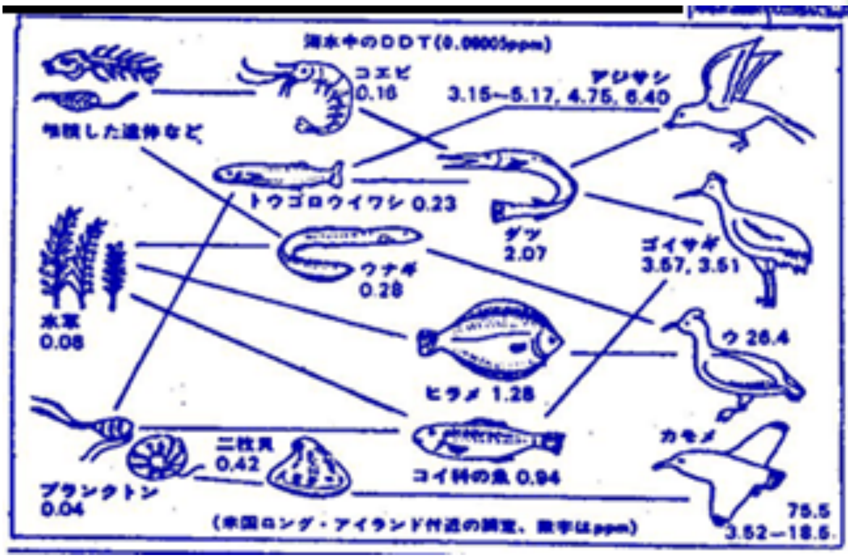
Q: 23兆トンで何人の生活を支えることができるか？

世界の人口変化と水需要グラフ



● 水の大循環は、
その過程を汚染すると
汚染物質を拡散させるシステム
としても働く。





● 食物連鎖を通じて
汚染物質が濃縮される。

海水中の DDT濃度が
海鳥の中では10万倍になる。

Think globally

２１世紀は水戦争の時代となるのか？

「今世紀、石油をめぐって多くの戦争が起きたが、
来世紀には水をめぐる戦争が起きるであろう」
世界銀行副総裁、イスマイル・セラゲルディン（1995）

中東水紛争

レバノン、イスラエル、シリア、ヨルダンの４ケ国を流れる
ヨルダン川。
イスラエルは水獲得競争の完全なる「勝ち組」。
水供給の４０％を1967年第三次中東戦争での勝利により確保。
比較的雨が多いレバノン南部ベカー高原、ゴラン高原などは、
水資源の確保が主要な目的であった。

http://subsite.icu.ac.jp/people/yoshino/V3M6.html

Q：　コップ1杯（180 mL）分の水分子に何らかの印を付けて地球上に均一に分散し、改めて空のコップ1杯に水を満たして飲んだとしたら、一人の体の中には印のついた水分子が何個入るか？

1．　　７個
2．　７０個
3．７７０個

*水18mLは$6x10^{23}$個の水分子を含む。

答え：地球上の水の総量をmL単位に換算すると$1.38x10^{24}$mL 。
印のついた水分子の数は$6x10^{23}$ x180/18=$6x10^{24}$個。
従って1mL中には（$6x10^{24}$／$1.38x10^{24}$ ＝）4.3個
印のついた水分子が含まれる。

コップ1杯の水を飲むと4.3 x 180mL =774個 取り込む。

これは何を意味するのか？　**水は天下の回りもの**

水の偉大さをあげてみると**（水に思いを巡らすと）**：

1.水について考えてゆくと、自然のワンダー(不思議さ 偉大さ)に目覚めさせられる。

2.水を通して自然の仕組みを見ると、生命の起源、生命活動の基本、命の大切さが分かってくる。

3.水の流れ(水の大循環)を見ると、人間活動の実態が鏡に映し出されるように見えてくる。

4.水を通して環境問題を考えると、問題の深刻さ、自分との関わり、解決への姿勢が明らかになってくる。

5.水とのつき合い方に人間の未来がかかっていることが分かる。

6.水は、自然 - 人間 - 社会 - 世界 - 地球 - 宇宙を結ぶ糸のようなもの(ネットワーク)である。水の挙動は人間社会の動きに似ている。

実際、水について考えてゆくと「自分」「人間」「自然」について愛しい思いが生まれてくる。

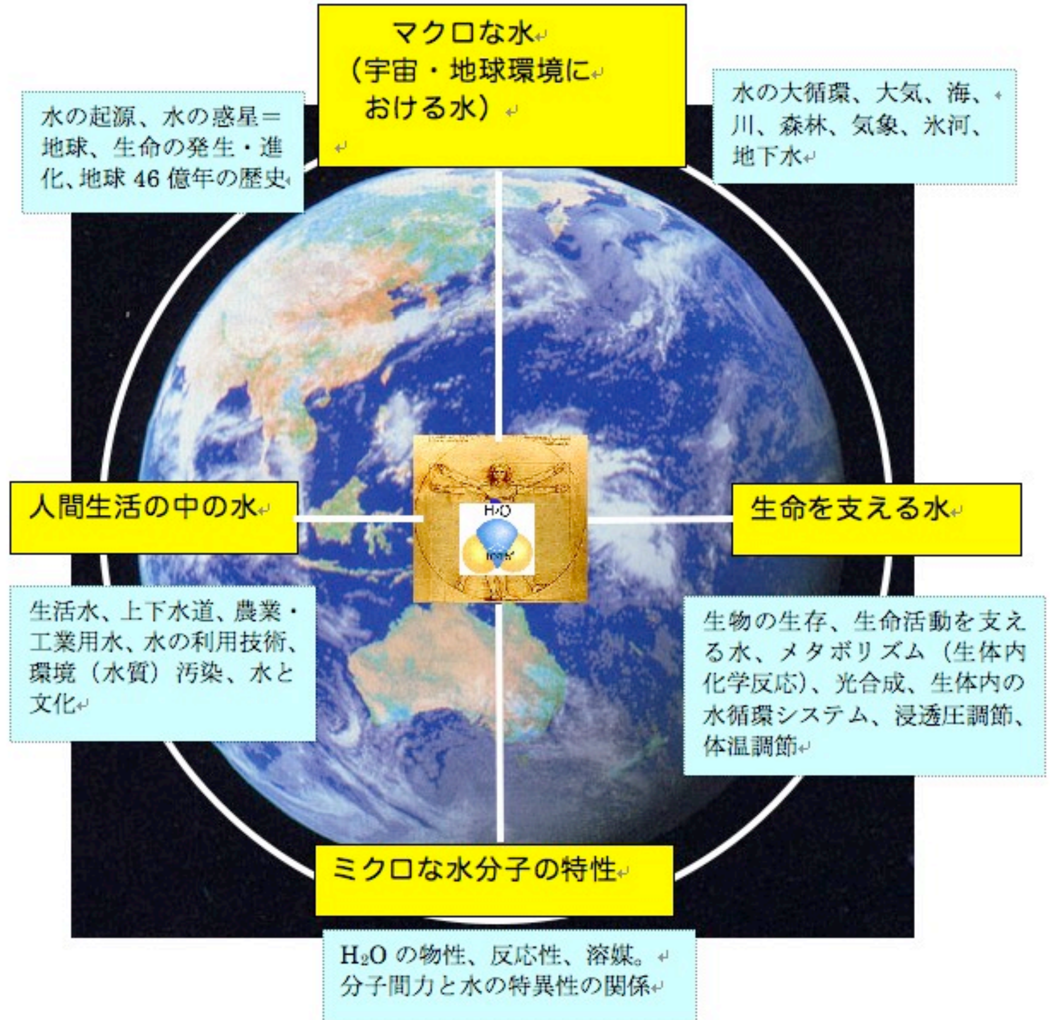
科学リテラシー総合報告書 2008

Science Literacy ＞ Water Literacy

「水の自然科学･利用技術･人間との関わり」

Science
for All Japanese

http://www.science-for-all.jp/
科学技術の智プロジェクト



「水の広場」（ICUでの講義資料他）に歓迎！
http://subsite.icu.ac.jp/people/yoshino/waterstage.html

Water Literacy

2010〈春〉増刊号
水を知る旅に出よう
本誌内容

JST(日本科学技術振興機構)発行

Science Window
水を知る旅に出よう
WEB

第1章 水の不思議 PDF
宇宙・地球環境におけるマクロな水
特殊な物質としてのミクロな水

第2章 水とつきあう PDF
人間のくらしの中の水
世界の水問題・日本の水問題

第3章 学校の現場から PDF
あらゆる教科に関わる水
学校で水をどう教えるか

第4章 水から生まれた文化 PDF
精神や文化を生み出した水
水をめぐる文化や芸術

はじめに

Science Window
バックナンバーから

フォトギャラリー
写真から眺める特集号

水の？質問
一緒に考えてください

水の案内人に聞く

吉野輝雄教授

2010＜春＞増刊号「水を知る旅に出よう」全体（見開き版）ダウンロード

http://sciencewindow.jp/mizu/

ご清聴ありがとうございます!

ICU Campus