

水

水分子

# 21世紀地球市民の 水とのつき合い方

吉野 輝雄

1. Introduction 水はありふれた物質か？ユニークな物質か？
2. 水と生命の星：地球のユニークさ
3. 生命を支える水
4. 人間生活を支える水
5. 地球環境を支える水
6. 21世紀地球市民の水とのつき合い方

## 1. Introduction

### 水はありふれた物質か？

「水は無味、無臭、無色透明で、物理・化学的に特に注目すべき特徴もない。しかも、この地球上のどこにでもある最もありふれた物質だ。」

という認識は正しいか？

## 2a. 水と生命の星：地球のユニークさ

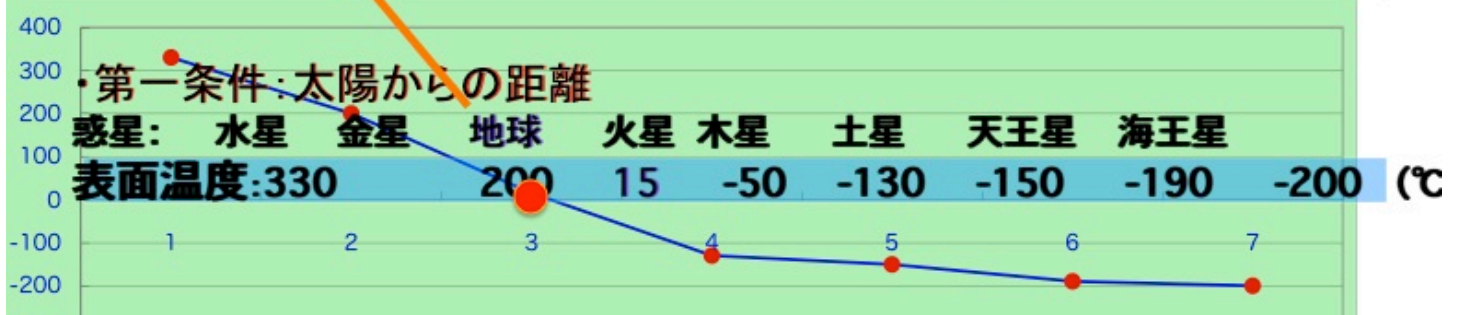
- ・水はどこから来たのか？  
なぜ地球には液体の水（海）が存在するのか？
- ・地球にはなぜ生命が存在するのか？



9つの太陽系惑星の中でなぜ地球だけが海（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℃

### 太陽系 8つの惑星



## ・第二条件:サイズ

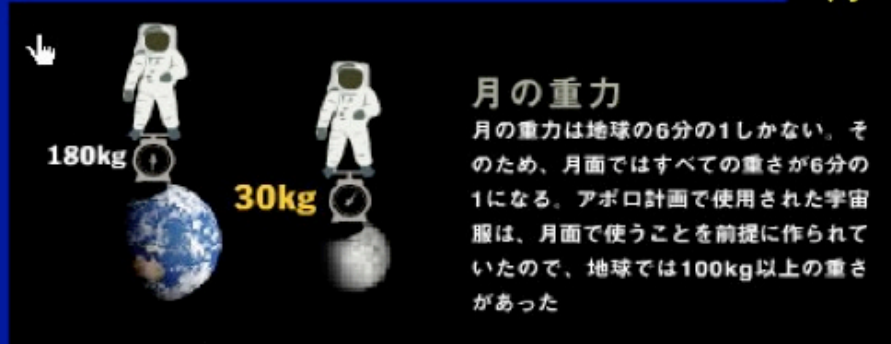
月は、太陽からの距離が地球と同じである

にもかかわらず水が無い。

なぜか？



月



2つの条件を奇跡的に満たすのが地球!

月は地球よりサイズが小さく、重力は地球の1/6。すなわち、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のだ。

(月では、昼間の温度が110℃、夜間の温度が-180℃)

地球が水惑星であり続けられるのは、

1. 太陽からの距離

2. 地球のサイズが大きい

という2つの条件を

奇跡的に満たしているためである。

地球の平均温度は15℃：

地表の70%を覆う海と湖と川、樹木の中の水、そして、氷河と雪が地球の灼熱化を防いでいる。

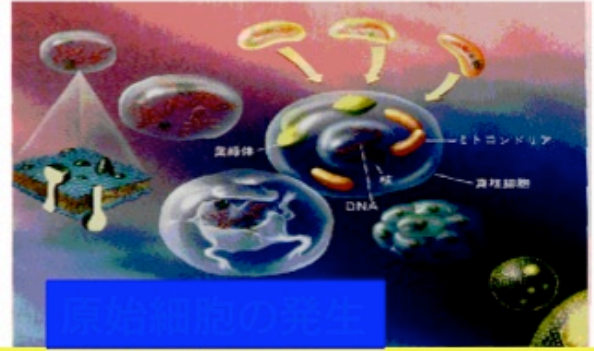
(水のもつ大きな比熱、蒸発熱、融解熱の故に)

## ② なぜ地球に生命が存在するのか？

### 34億年前、海の中で 生命が発生した

・原始地球上の海辺で生体高分子  
(タンパク質、核酸)がつけられ、  
原始細胞(コアセルベート)＝  
原始生命

コアセルベート



- ▼ 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でき、
- ▼ 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。

人は海から生まれ、今も海を抱えている。

### 地球カレンダー



Q: 人類の発生は何時?

Q: 産業革命は?

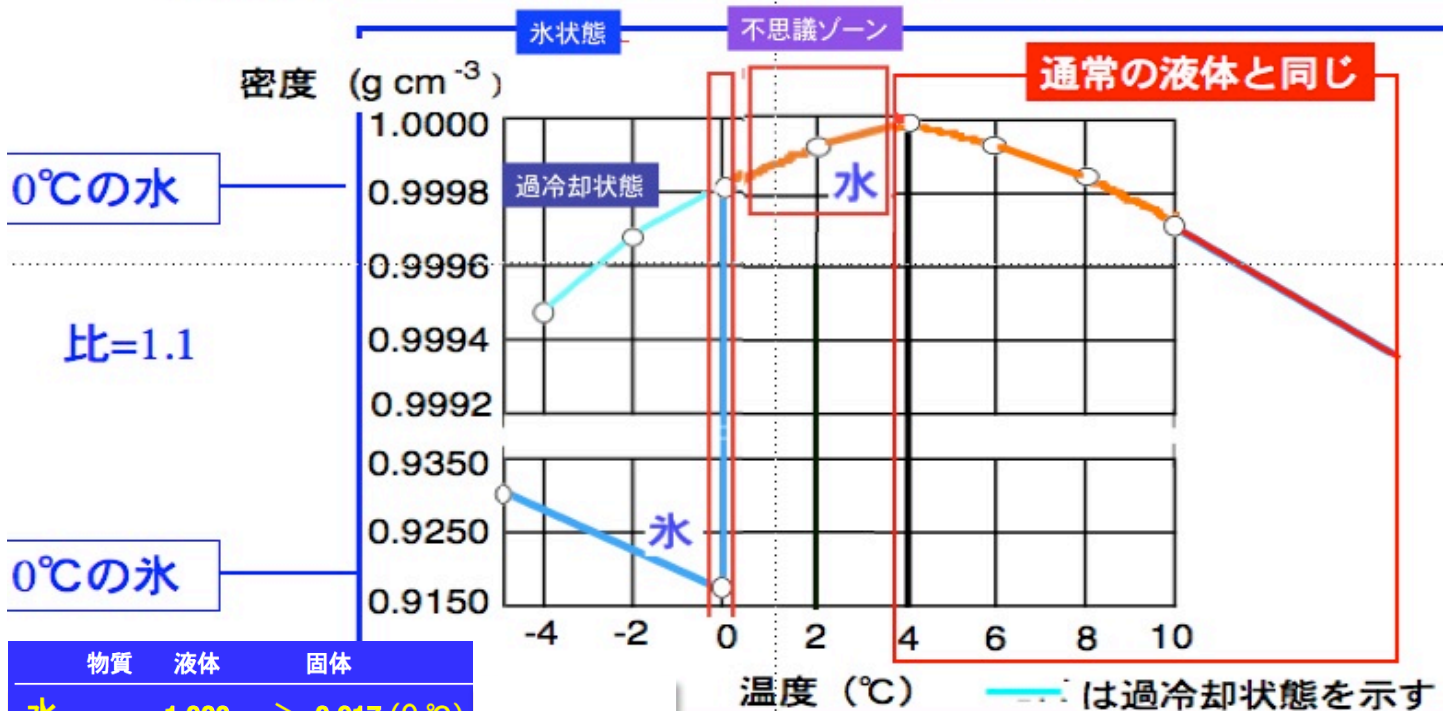
Q: 私たちの誕生日は?

# 2b. 水のユニークな性質が地球環境をつくり、生命を支えている

1. 不思議な**密度変化**
2. 多様な姿で現れる**三態変化**  
(水 $\rightleftharpoons$ 氷 $\rightleftharpoons$ 水蒸気)
3. ユニークな性質：**比熱**
4. 特異な熱的性質：**融点、沸点、蒸発熱**
5. 大きな**溶解能力**
6. 大きな**表面張力**  
(凝集力、付着力、毛細管現象)

## 水は”異常な”液体か？

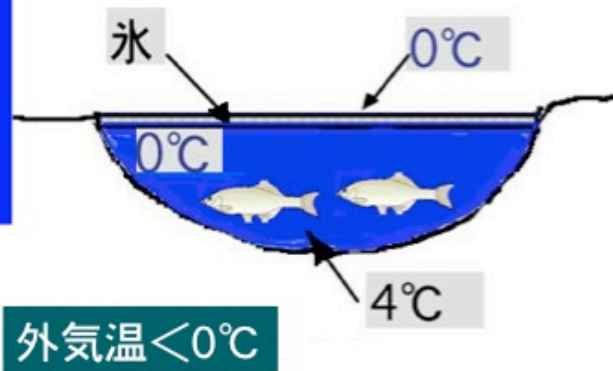
温度による水の密度変化を測定する。



| 物質   | 液体    | 固体            |
|--|-------|---------------|
| 水<br>H-OH                                    | 1.000 | > 0.917 (0°C) |
| エタノール<br>CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -OH | 0.786 | < 0.938       |

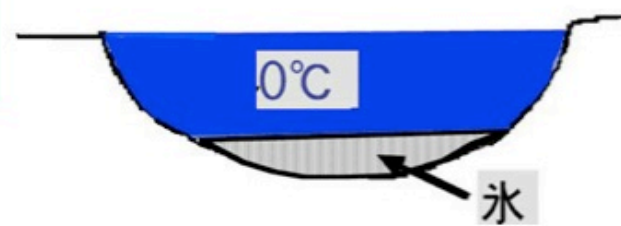
# 氷の密度は水よりも小さいが現れる自然現象

厳冬の釧路湖でも  
ワカサギは凍え死なないで  
いられる



もしも氷の密度が水よりも大  
きかったならば---

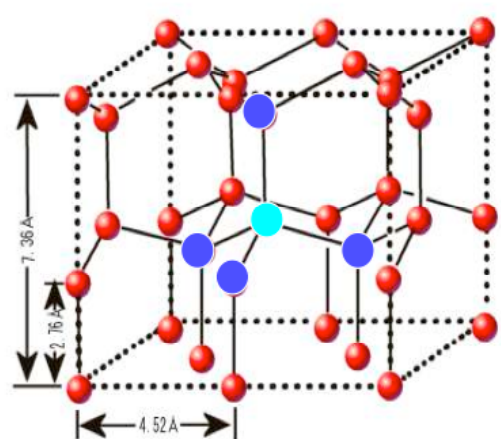
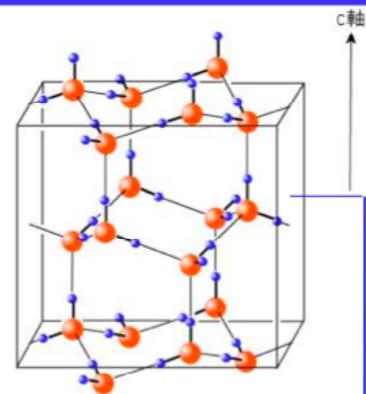
しかも、氷の融解熱は大きい  
80 cal/g (融けにくい)



## 0°C以下: 氷の密度が液体の水よりも小さい理由は?

水は、氷になるとダイヤモンド様構造をつくり、  
液体状態よりもすき間の多い形になる

[http://www25.tok2.com/home/fossil/ice\\_structure.htm](http://www25.tok2.com/home/fossil/ice_structure.htm)



1個のH<sub>2</sub>Oを取り囲む水分子の数

|    |     |
|----|-----|
| 氷: | 4   |
| 水: | 4.4 |

密度比: 水 / 氷 = 4.4 / 4 = 11 / 10

真冬の水道管の破裂

0°C ~ 4°C の間の水は?

### 3. 生命を支える水

a. 水溶液として身体の隅々まで移動する。

#### 大きな溶解力+表面張力 (凝集力)

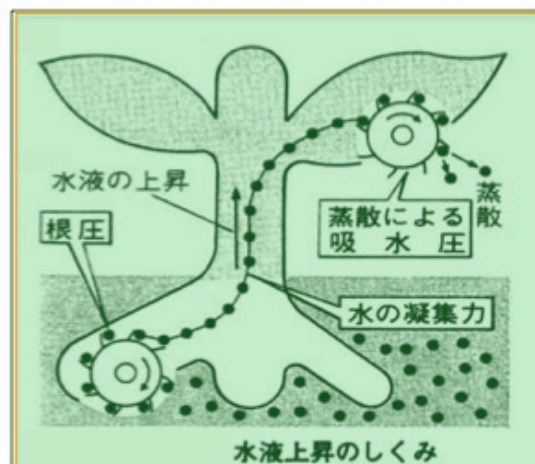
##### ・植物：

導管(セルロースの毛細管)により水を移動(高い樹木の頂きにまで至る)：

酸素、栄養物を運搬

##### ・動物：毛細管現象に

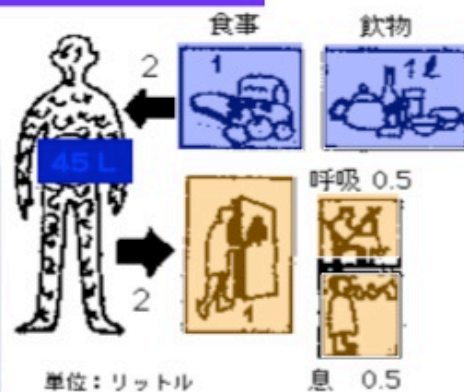
より身体の末端まで血液、体液を行き渡らせる。



### ヒトはなぜ水を必要とするのか？

#### 人体の中の水

約45 L



#### 水のまめ知識

人間は水のカタマリです。

##### ■水とカラダ

毎日  
約2.5L  
の水分が必要

摂取約2.5L

人間のカラダ  
の水分  
約65%

排出約2.5L

##### 体内の水の働き

【体温調節】

●発汗

●解熱

【エネルギー】

●消化

●吸収

●排泄

●排出

##### 各種官別の水の占有率(例)

|    |     |
|----|-----|
| 皮膚 | 72% |
| 筋肉 | 76% |
| 血液 | 83% |
| 肝臓 | 66% |
| 腎臓 | 83% |
| 骨髄 | 82% |
| 心臓 | 79% |
| 脾臓 | 76% |
| 肺  | 78% |
| 脳  | 75% |
| 腎  | 84% |
| 腸管 | 75% |

##### 身体の組織中の水成分 %

|    |     |
|----|-----|
| 骨  | 12% |
| 筋肉 | 76% |
| 腎臓 | 83% |
| 脳  | 75% |
| 血液 | 83% |

私たちのカラダの約65%は水です。水は体液として栄養素をカラダに吸収し、すみずみまで運搬し、体内で不要になった老廃物を体外に排出する役目もあります。常に健康なカラダを維持していくのに1日平均2.5Lの水分を必要とし、摂取と排出をくり返しています。

生命を支えている水

Q: 生命活動の維持に、2 Lの約100倍もの水を必要としている。  
どのように賄っているのか？

**腎臓**は水のリサイクル装置  
(不溶物をろ過、水を再生循環、  
過剰水分を尿、汗として排泄)

再生水: 180L 排泄水 1.5L



身体は水の部屋（細胞、組織）の間を  
水の流れる輸送管（血管）で結んだ  
一大生命維持装置

**水ほど多様な物質を溶かす液体はない。  
(水溶液)**

有機物: タンパク質、糖質、薬、味物質、色素、洗剤など

無機物: ミネラル、気体<酸素、二酸化炭素>

血液、細胞では、水溶液/脂質性の不溶物も  
水になじむかたちで懸濁している。

● 海にはあらゆる物質が溶けている。

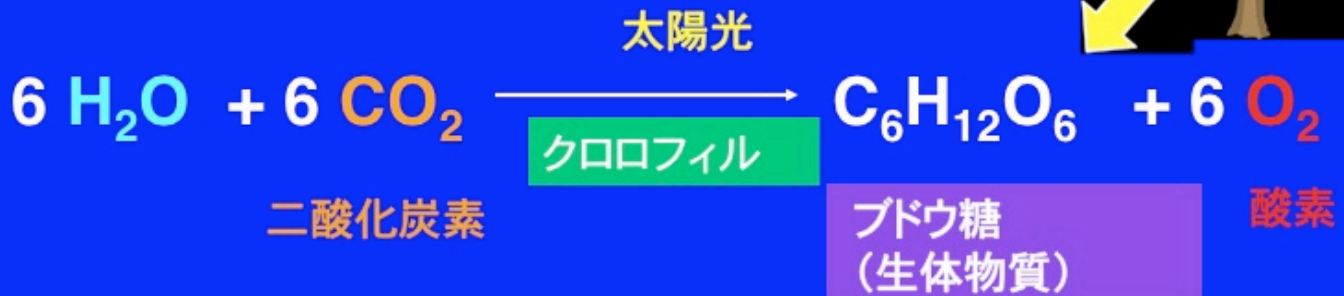
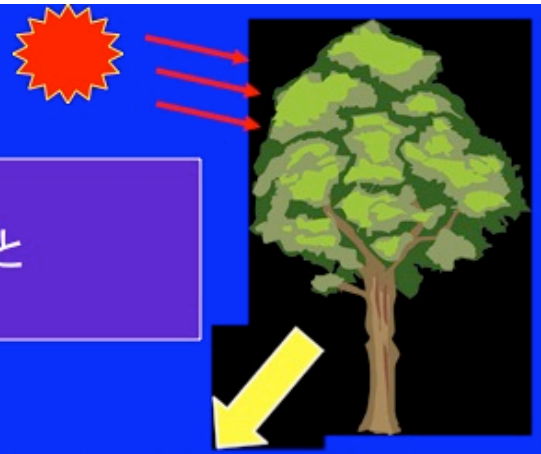
● その海から生命は誕生し、  
今も海をかかえている。

● 水を含まない生物は存在しない。



# 光合成の意味？

緑色植物は、太陽エネルギーを使って水と二酸化炭素からブドウ糖（生体物質）と酸素を合成する。



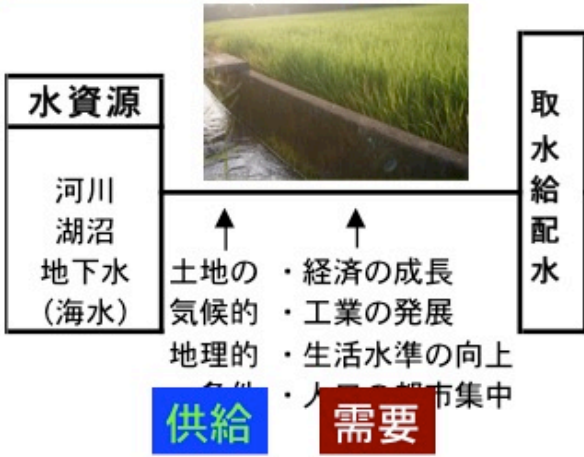
$\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CO}_2$  は、燃焼、呼吸により生じる“燃えかす”  
エネルギー的には利用価値なし。  
光合成(太陽エネルギー)により有効資源へと再生

# 4. 人間生活を支える水

## 水資源の使途

日本 /

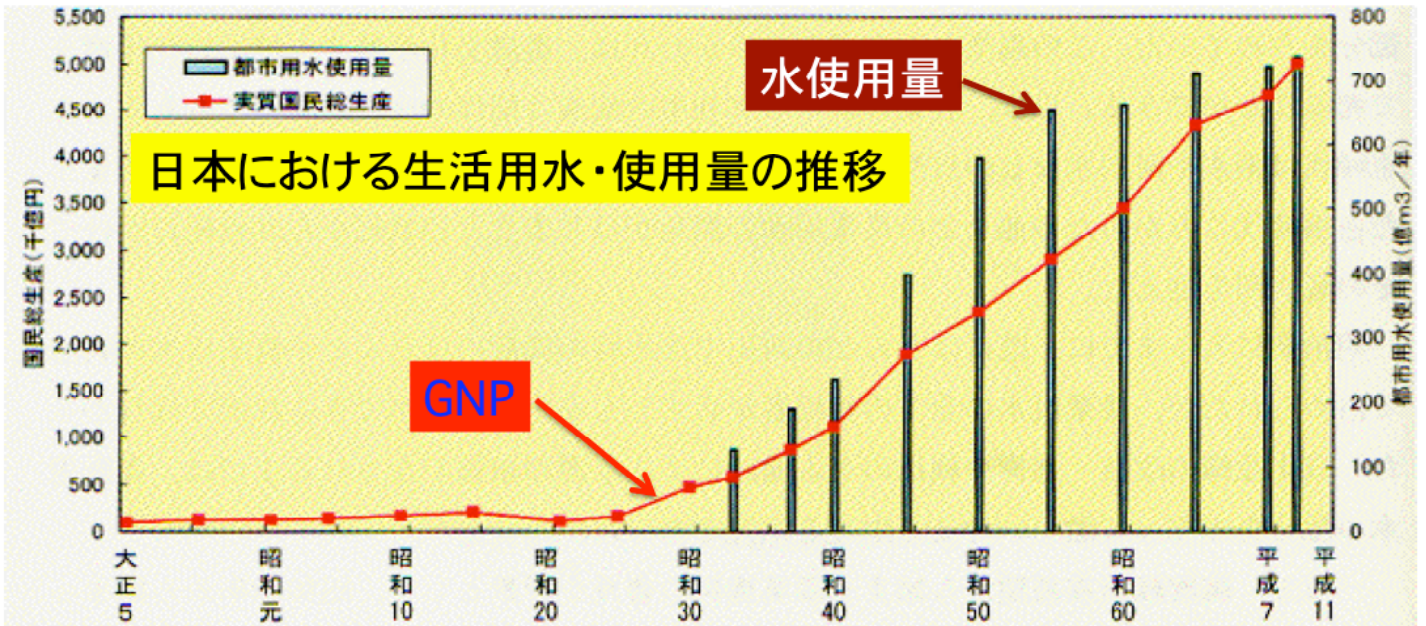
億トン



|        |                               |       |              |
|--------|-------------------------------|-------|--------------|
| 消費的利用  | 生活環境用水                        | 上水道用水 | 100          |
|        | 産業用水                          | 農業用水  | 500          |
|        |                               | 工業用水  | 310          |
| 非消費的利用 | 電力、船運、淡水養殖<br>河川維持用水、レクリエーション |       | (+500)<br>海水 |

日本の年間水利用量

900億トン/年

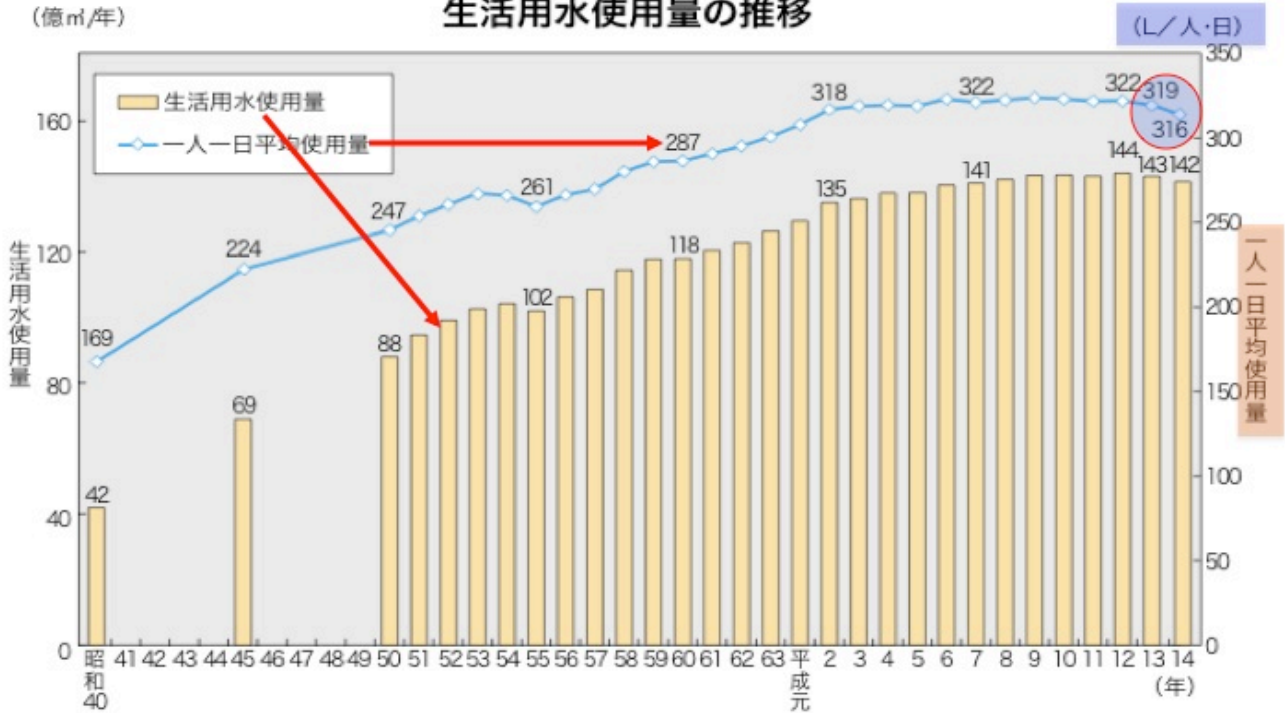


# 日本人の生活用水使用量

316 L/人・日

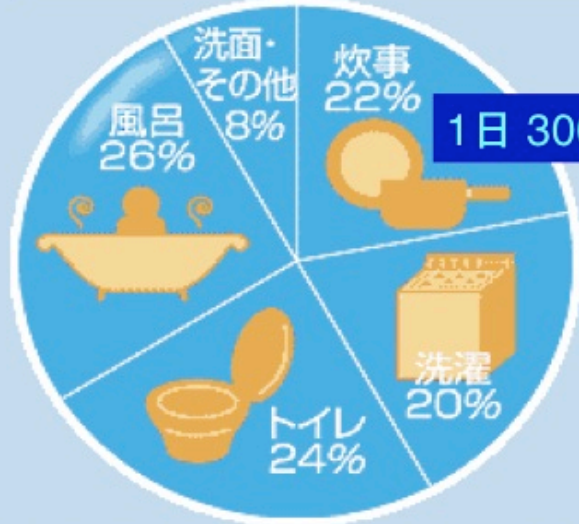
(億m<sup>3</sup>/年)

## 生活用水使用量の推移



- (注) 1. 昭和50年以降は国土交通省水資源部調べ  
 2. 昭和40年及び昭和45年の値については、「水道統計」(厚生労働省)による。  
 3. 有効水量ベースである

## 日常生活における水



1日 300L/人

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



## 生活用水

コップ3杯程度ですむ歯みがきも、水の流しっぱなしでは、30秒で約8リットルのムダ。

洗面、炊事には、水の出を調節して…。節水コマもあります。

洗濯でも、ためすぎずすれば1回110リットルの水ですみます。注水すぎだと169リットルにもなります。

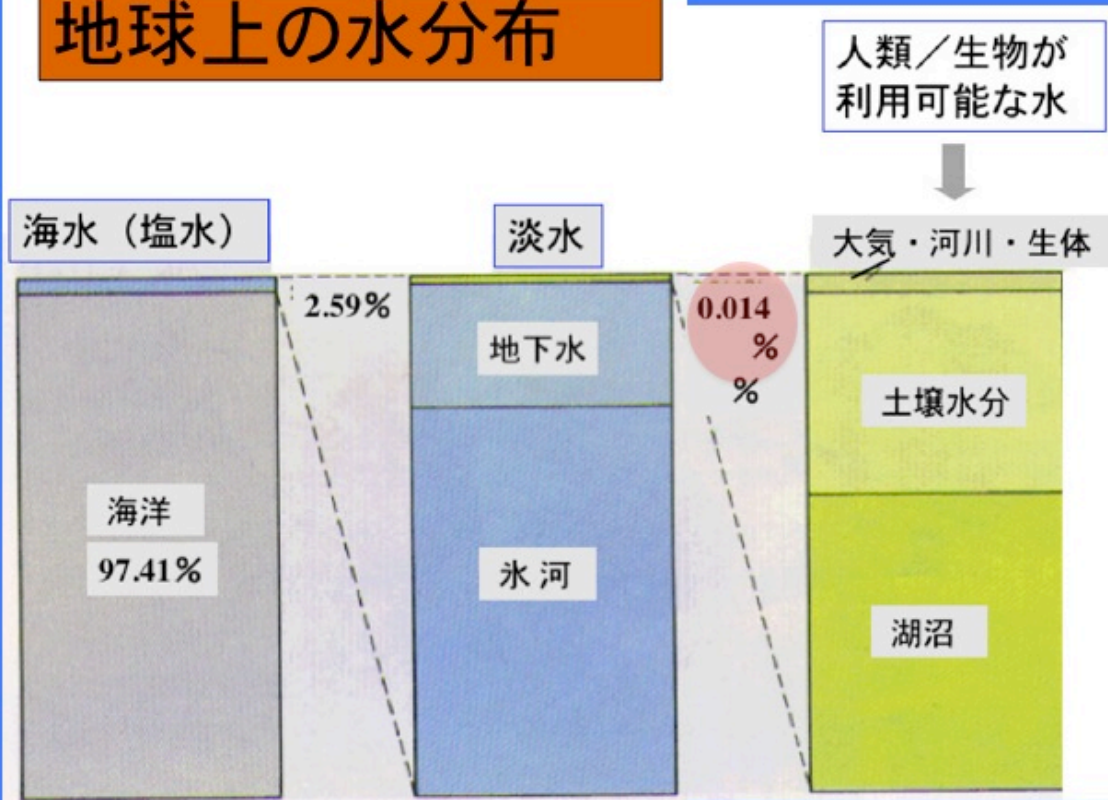
浴槽は小さなものでも約180リットル。残り湯は、洗濯・掃除・散水に使えます。

バケツ洗いなら30リットル程度ですむ洗車も、流しっぱなしのホース洗いでは、240リットル以上の水が必要です。

水洗トイレなどでは、節水型機器も開発されています。

# 5. 地球環境を支える水

## 地球上の水分布



## 自然環境における水の存在形式



森・川  
草・雨

ドイツSpreewaldにて



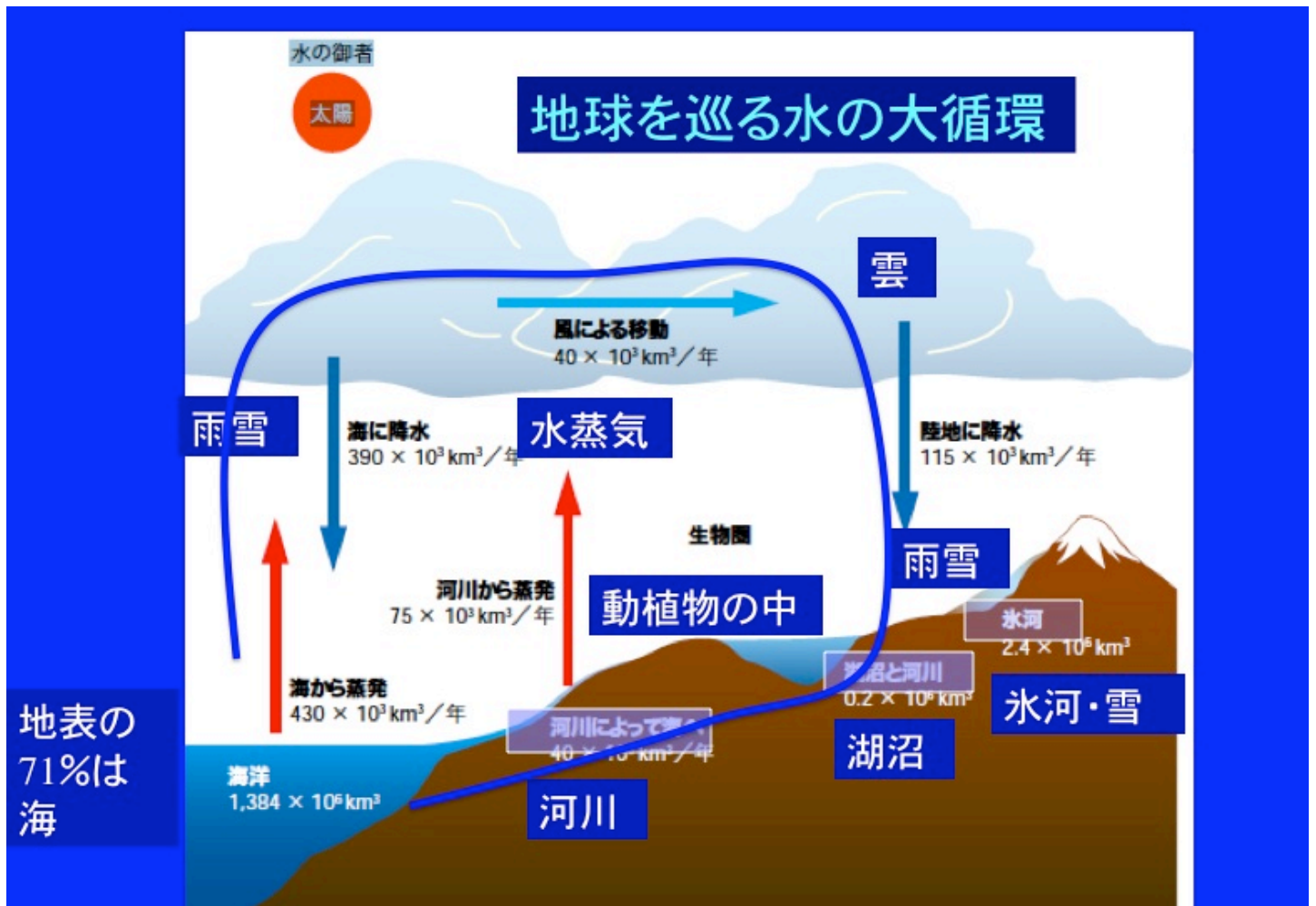
水稲/水田



西沢渓谷／自然の清流



生命をはぐくむ海



## 水の大循環の意味を考える

- **海水(塩水)の淡水化 (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)**  
海から陸地へ水が雲として運ばれ(40兆t)、高地に雨となって降る。
- **「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。
- **地球の温和化**  
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(地球の平均気温、+15°C)
- **二酸化炭素を溶解/吸収 (大気温の緩和)**
- **気象をコントロール(大気を動かしているのは水蒸気)**

## 5b. 環境問題としての水

原因(人間活動)→影響(問題)→解決策(技術・政治・政策・個人)

川・湖の汚染  
海洋汚染  
地下水汚染  
酸性雨  
農薬汚染  
環境ホルモン  
湖の富栄養化  
家庭排水による河川の汚染

水資源(人間の水利用)  
水不足(水需要と分配)  
上水道(安全でおいしい水の確保/衛生管理)  
下水処理(環境浄化/資源の再利用)  
Water business(商業活動の自由と公共性)  
水戦争(水紛争)

森林破壊(水の自然機能の破壊)  
ダム建設の是非(天然水の管理と生態系への影響)

### 今環境は?: 海、河川、大気、大地、森林、地下水

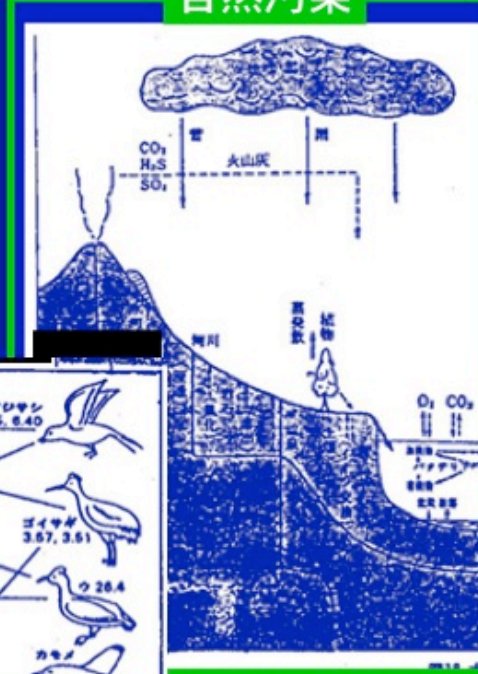
- **海**: もはやゴミ捨て場ではない(50億人のゴミ処理能力はない)。  
海は生物のすみか、大浄化装置、気候緩和機能だ。
- **河川**: 流入する物質のため自然浄化能力を越えていないか?  
COD, BOD
- **大気**: 工場、車の排気ガスで酸性雨、光化学スモッグが発生。  
フロンによりオゾン層が破壊し紫外線(UV)の遮断効果が減少。
- **大地**: 舗装により大地に雨がしみ込まない(保水機能の喪失)  
→ 地表の汚れが直接河川に流れ込む。
- **森林**: 伐採により涵養機能(保水、ろ過)が失われ、  
土石を含む急流が川に流れ込む。
- **地下水**: ハイテク産業工場からは有機ハロゲン化合物が、  
田畑、ゴルフ場からは除草剤がしみこんでいる。

# 人間活動のどこが 汚染源となっているのか？

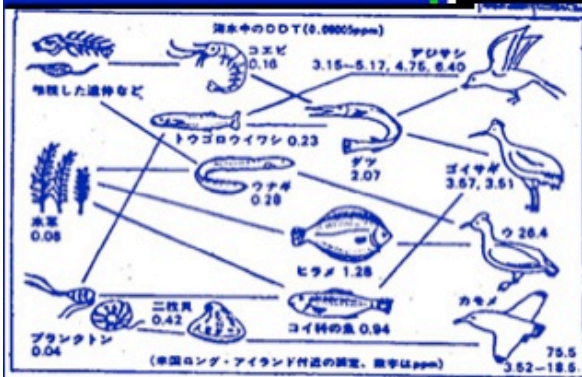
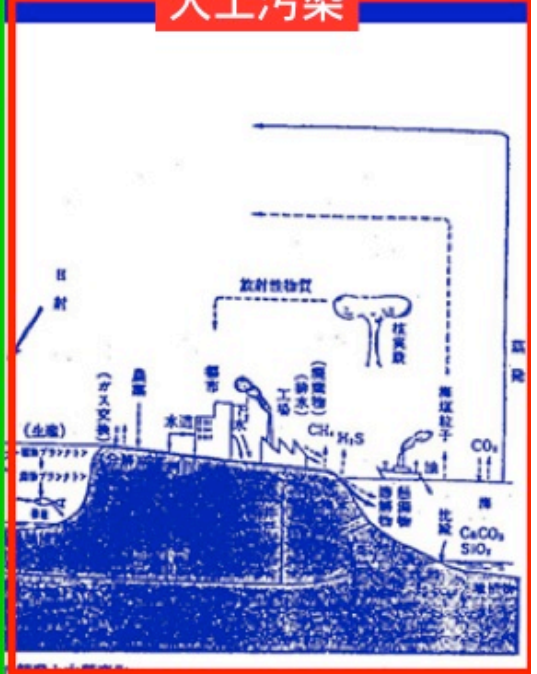
毒物、化学物質（廃棄物）、硫黄・窒素酸化物 --- 工場から  
 化学肥料（富栄養化）、農薬 ----- 農業（田畑から）  
 生活排水／生ゴミ、中性洗剤、車の排気ガス --- 生活の場から  
 トリハロメタン ----- 水道水の塩素殺菌から  
 放射性物質 ----- 核実験、原発事故から  
 原油の流失 ----- 戦争、タッカー沈没から  
 フロン（オゾン層破壊） ----- 冷蔵庫・クーラーの冷媒もれ

● 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。

## 自然汚染



## 人工汚染



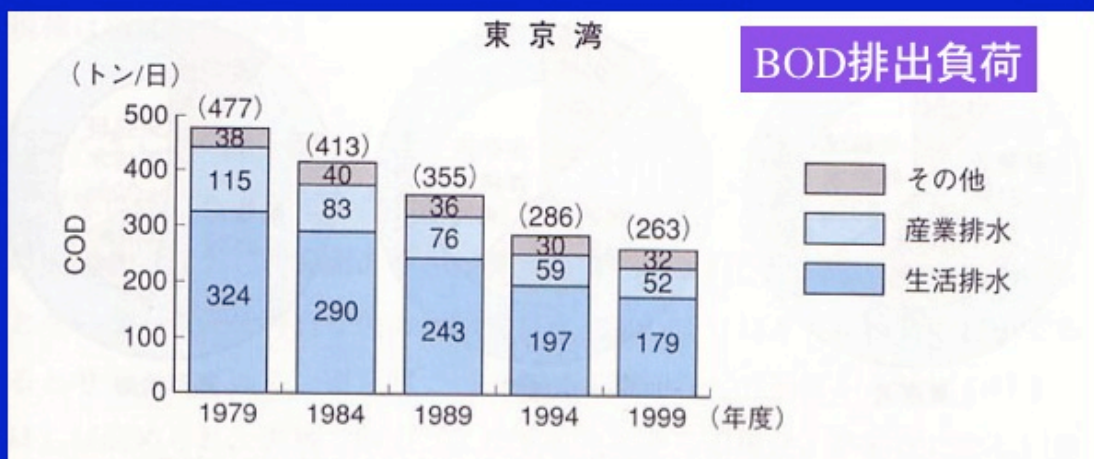
海水中のDDT濃度: 0.00005 ppm → 10万倍に濃縮される

● 食物連鎖を通じて  
汚染物質が濃縮される。

# 生活排水が水質汚染原因の大きな割合を占めている



BOD: Biochemical Oxygen Demand (生化学的酸素要求量) (汚染度の指標)





# 6. 21世紀地球市民の水とのつき合い方

- a. 21世紀は水不足の時代
- b. 水不足時代への備え
- c. 21世紀は水戦争の時代となるのか？
- d. 水(自然環境)とのつき合い方

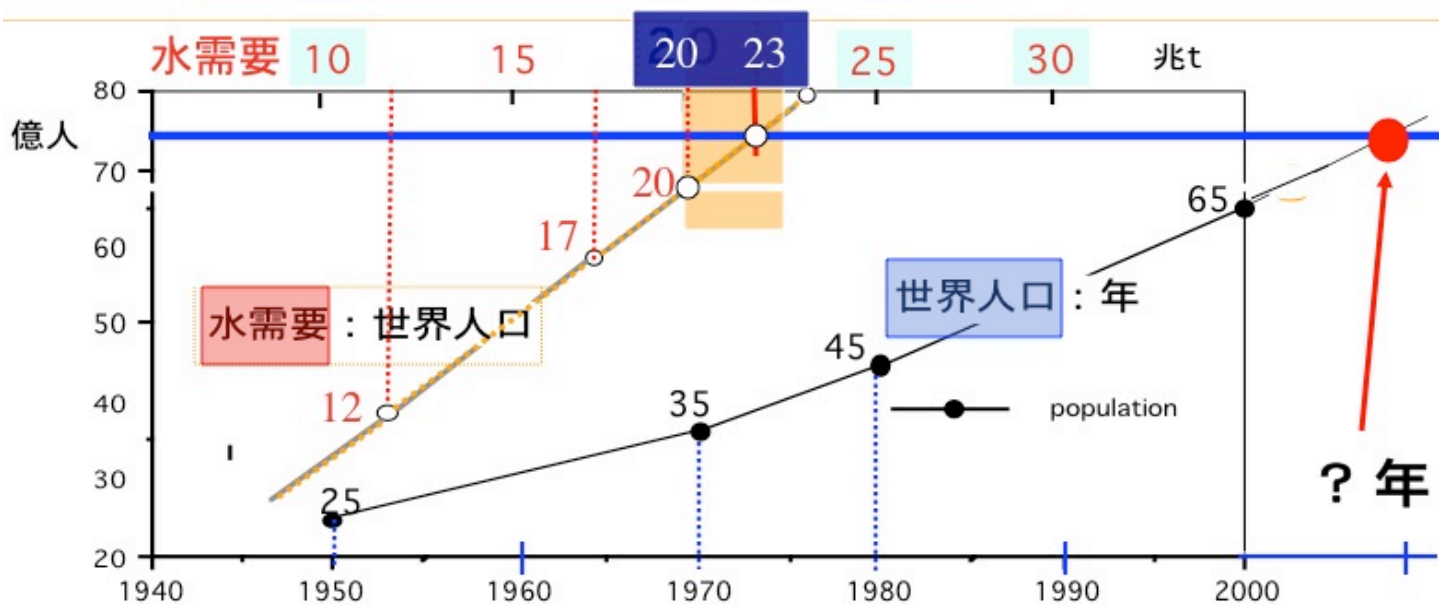
## 水不足の時代

*Think globally*

●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)とされている。

Q: 23兆トンで何人の生活を支えることができるか？

### 世界人口の変化と水需要



(単位: 億m<sup>3</sup>/年)

降水量は1971年～2000年のデータをもとに国土交通省水資源部が算出。  
降水量は、平均年降水(1,718mm/年)に国土面積(378千km<sup>2</sup>)を乗じた値。

蒸発散

単位面積あたりの蒸発散量は、全国平均で597mm/年となる。

降水量  
6,500

年間  
使用量  
835

2,300

(3,365)

水資源  
賦存量  
4,200

水資源賦存量は、理論上、人間が最大限利用可能な量をいう。  
水資源賦存量は1971年～2000年のデータをもとに国土交通省水資源部が算出。

農業用水

(519)

工業  
用水

(86)

生活  
用水

(126)

河川水  
731

地下水  
104

(33)

(35)

(36)

552

121

162

- (注)1. 生活用水、工業用水で使用された水は2004年の値で、国土交通省水資源部調べ  
2. 農業用水における河川水は2004年の値で、国土交通省水資源部調べ。地下水は農林水産省「第4回農業用地下水利用実態調査」(1995年10月～1996年9月調査)による。

# 雨水利用

## 墨田区の 取り組み

Act locally!

### 水源自立

“貯めれば資源“



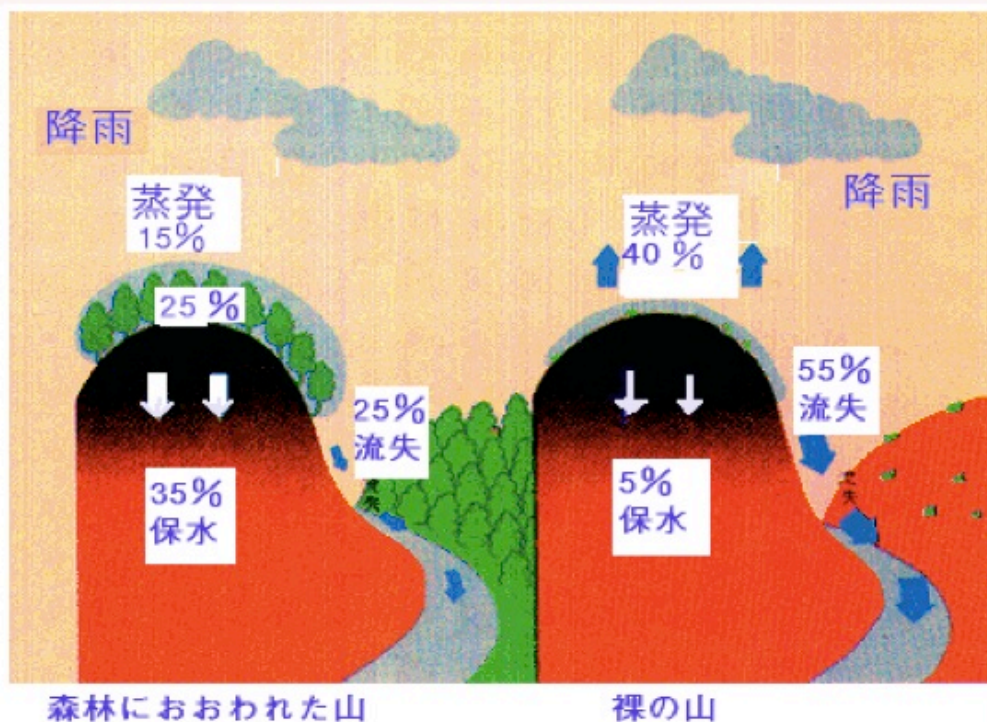
### 国技館

雨水活用モデル施設  
(トイレの流し水  
冷却塔の補給水)

井戸＝路地尊

雨水タンク

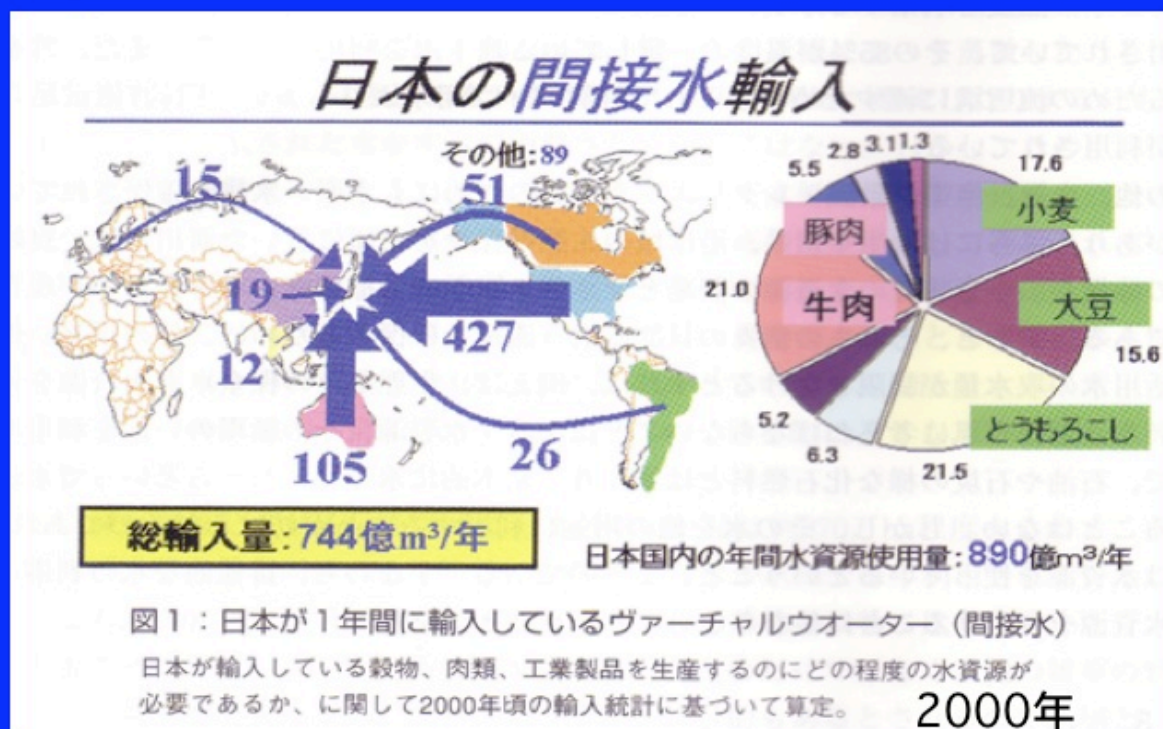
## 森林の役割を見直す：涵養作用とは？



保水作用  
浸透作用  
浄化作用  
森林を育てる  
土壌生物を育てる  
栄養豊かな川の水  
(海の生物を育てる)  
崖崩れ防止作用  
水量調節作用  
(流出緩和)  
気温の温和化  
酸素生成  
有機化合物生成  
(光合成)

森は自然のダム：人工ダムの19倍の保水能力

# Virtual water(間接水)は 水不足の解決法となるか?



沖 大幹(総合地球学研究所)

## 6b. 21世紀は水戦争の時代となるのか?

「今世紀、石油をめぐる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カ国を流れるヨルダン川。イスラエルはこの地における水獲得競争の完全なる「勝ち組」である。その水供給の40%を1967年、第三次中東戦争での勝利により占領した地域から確保している。

イスラエルが占領した、比較的雨が多い地域、すなわち、レバノン南部のベカー高原、シリアから奪ったゴラン高原などは、ゲリラ掃討と平行して水資源の確保もその主要な目的だったのである。

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

# 国連からの報告 1996

## 80カ国で水が不足 「改善ないと戦争」

国連が報告書

【ワシントン17日ロイター】の国々で二〇一〇年までに「国連は十七日、多く水不足の問題が深刻化し、

水資源の供給や管理・節約など有効利用で大きな改善がみられなければ、紛争や戦争を誘発しかねないと警告する報告書を発表した。それによると、現在八十の国々で水の供給が不十分

でいる。発展途上国では、上水路に回される前の下水に浄化処理が施されているのは全体の二％だけ。また、途上国では飲料水の五〇％が、水道管の漏れなどで失われているという。

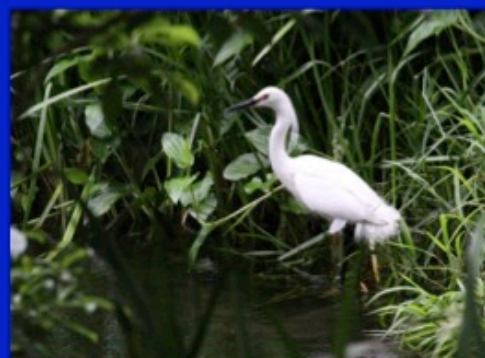
国連人間居住委員会のワリ・ヌダウ人間居住センター事務局長は「今世紀の戦争は主に石油を原因としていたが、二十一世紀の政治的、社会的戦いは水をめぐるものになるだろう」と話

ついで。

## 6c. 水(自然環境)とのつき合い方

### 水(自然)と親しむ

- 自然はそのまま美しく、時に厳しく、安らぎを与えてくれる場。



- 自然に生きる人間以外(植物、動物)の存在と変化(成長)を見ながら生活する。
- 身近な自然に親しみ、大切にす(自然を体験的に知る)。

# 川と人との関係 自然との触れあいの場：汚染

## 私の川体験

埼玉県浦和・見沼代用水

- ・昭和30年代：子ども時代
- ・高度成長期・減反政策期
- ・今：



昔の見沼代用水



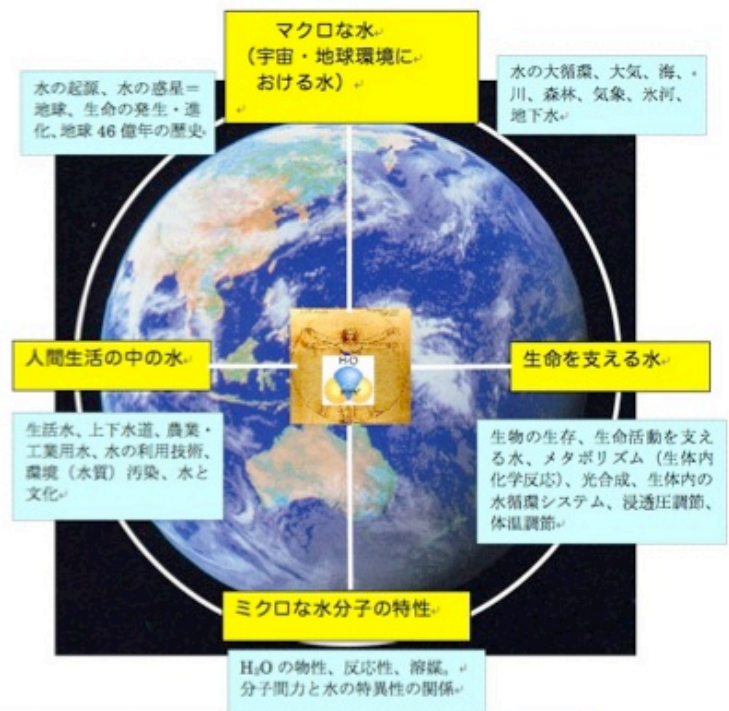
野田の鷺山

## 科学リテラシー総合報告書 2008

## 「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」に歓迎！

<http://subsite.icu.ac.jp/people/yoshino/waterstage.html>