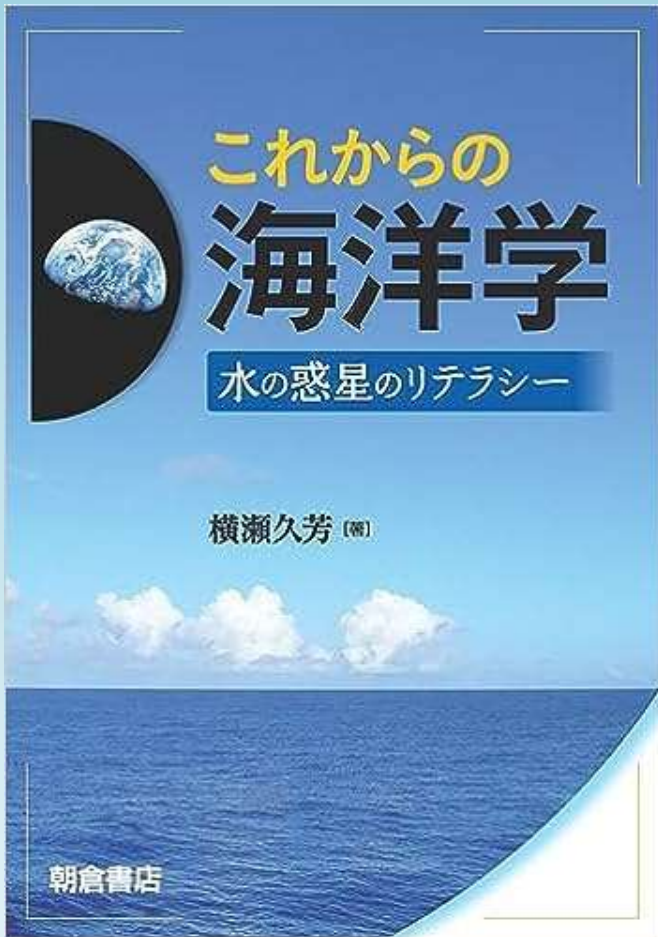


# LESSON 4

## 大気循環を左右する水蒸気

p. 19～29



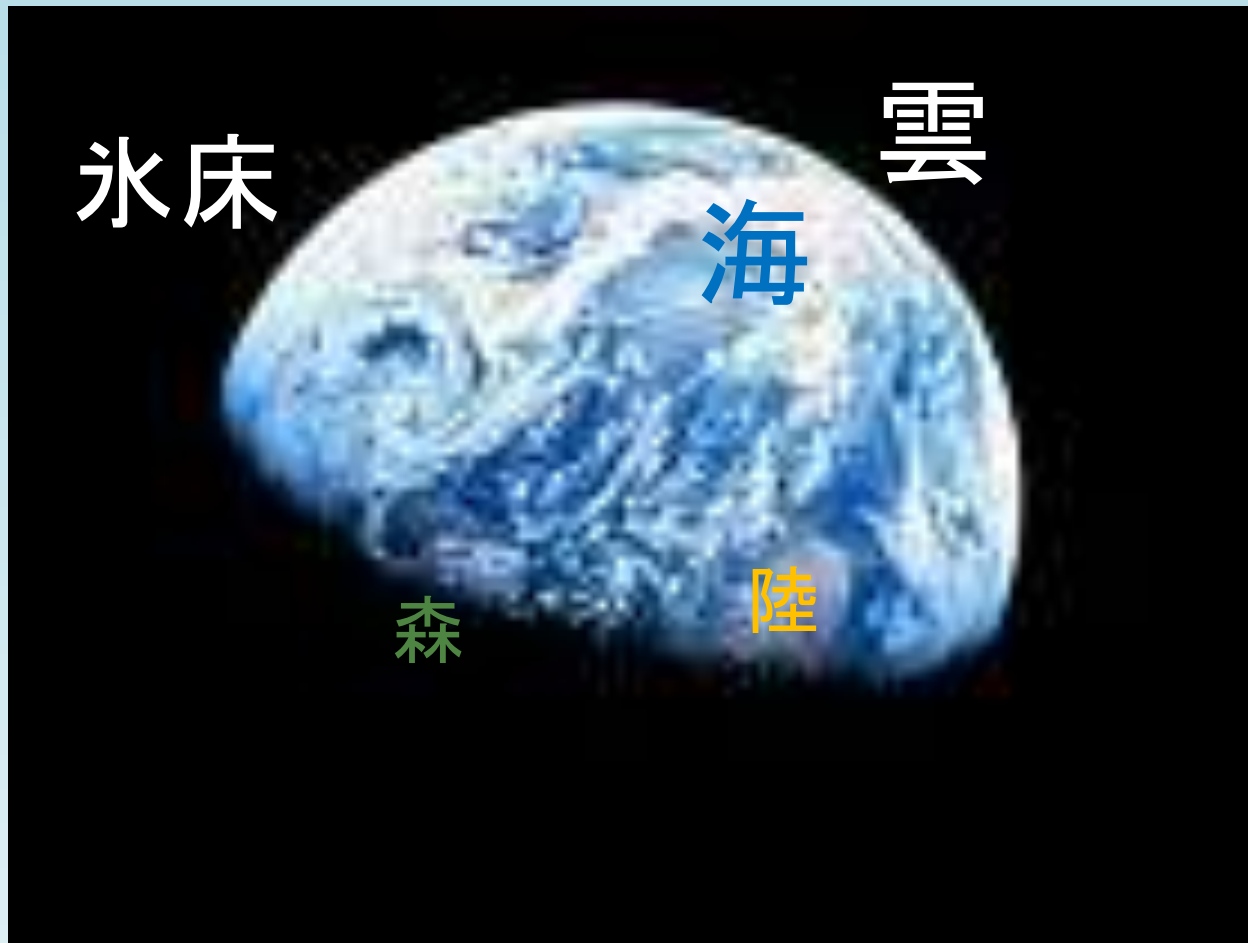
2023年度 教養課程：地球環境科学の最前線 A&B

担当：熊本大学大学院 横瀬久芳（海洋火山学）

# 地球表層を巡る水と海の塩辛さ

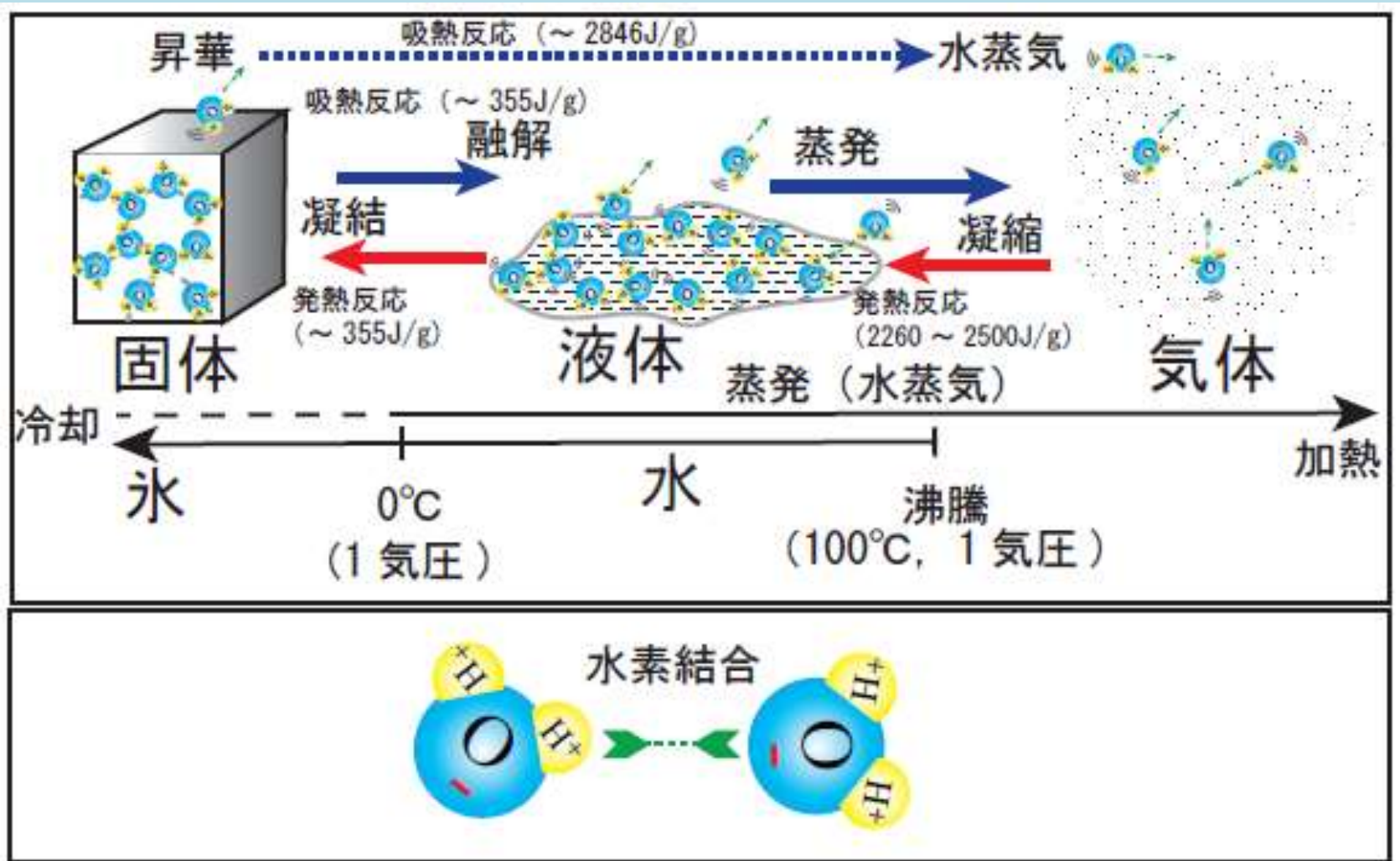
- 太陽放射によって飛び出す水分子
- 雨はどのようにして降るのか
- 地表における水の循環
- 水の物性（極性分子は、素晴らしい溶媒）
- 海水はどのようにして塩辛いのか
- 海洋深層水とは
- 塩分を決める要因（平面分布・鉛直分布）

# 地球表層では水が循環している



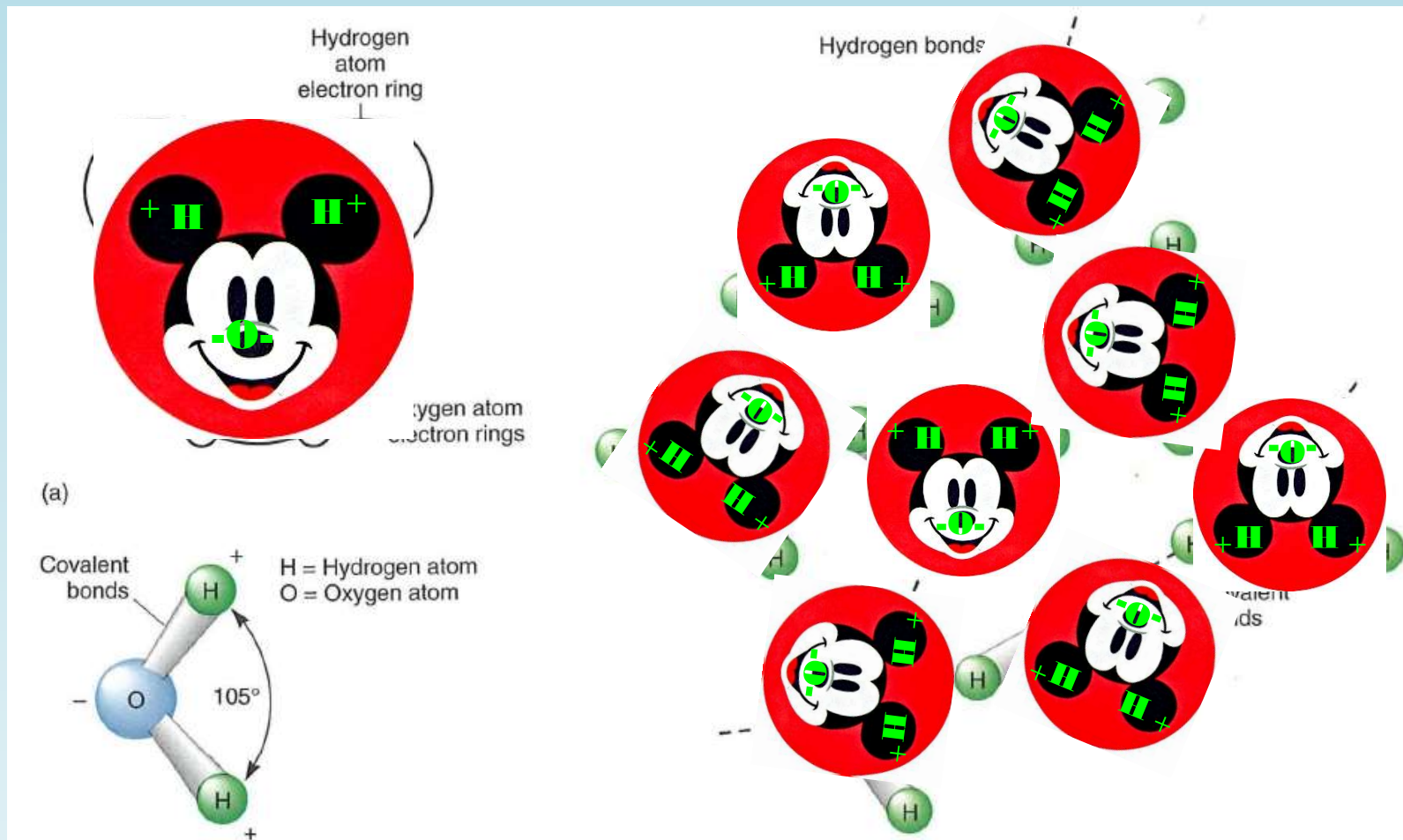
毎度お馴染みのEarthrise : 大気中の白い所=H<sub>2</sub>O  
表面の青い所=H<sub>2</sub>O

# 水の状態変化とエネルギーの移動



水 (0°C, 1g) に100 cal 熱量を加える : 100°Cのお湯になる。  
氷 (0°C, 1g) に100 cal 熱量を加える : 20°Cの水になる。

# 水素結合が、温度変化を妨げる



H<sup>+</sup>とO<sup>-</sup>からなる、水素結合を切断するのにエネルギーが必要

だから保冷材は、凍っていないと効力を発揮できない。



基本的には、99%水と少量の高分子吸収体など。  
保冷材は、凍っていないと意味がありません。

水 ( $0^{\circ}\text{C}$ , 1g) に100 cal 熱量を加える :  $100^{\circ}\text{C}$ のお湯になる。

氷 ( $0^{\circ}\text{C}$ , 1g) に100 cal 熱量を加える :  $20^{\circ}\text{C}$ の水になる。

# 水蒸気は軽いので空気中を上昇できる。

Table 7.1 Composition of the Atmosphere

Permanent Gases			
Gas	Formula	Percent by Volume	Molecular Weight
Nitrogen	N <sub>2</sub>	78.08	28.01
Oxygen	O <sub>2</sub>	20.95	32.00
Argon	Ar	0.93	39.95
Neon	Ne	$1.8 \times 10^{-3}$	20.18
Helium	He	$5.0 \times 10^{-4}$	4.00
Hydrogen	H <sub>2</sub>	$5.0 \times 10^{-5}$	2.02
Xenon	Xe	$9.0 \times 10^{-6}$	131.30
Variable Gases			
Gas	Formula	Percent by Volume	Molecular Weight
Water vapor	H <sub>2</sub> O	0 to 4	18.02
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	$3.5 \times 10^{-2}$	44.01
Methane	CH <sub>4</sub>	$1.7 \times 10^{-4}$	16.04
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	$3.0 \times 10^{-5}$	44.01
Ozone	O <sub>3</sub>	$4.0 \times 10^{-6}$	48.00

- 乾燥空気は、基本的に窒素 (N<sub>2</sub>)78%と酸素 (O<sub>2</sub>) 21%できている。
- それぞれの分子量は、28と32である。一方、水分子 (H<sub>2</sub>O) は、18なので、平均的な空気よりも軽い。
- したがって、必ずしも温度が高くななくても上昇できる。
- ただし、水滴になると一気に密度が増加して落ちてくる (雨)。
- 通常空気は、場所によっては、H<sub>2</sub>Oが第三の気体成分。

# 水は、100°Cでなくとも蒸発する！

- 水が蒸発するのは、周囲より温度が高いから？

いいえ、水は、100°Cでなくとも蒸発します。  
冬だろうと、夏だろうと、洗濯物は乾きます。  
ただ、夏に比べると冬のほうが乾きが遅くなる。  
(飽和水蒸気圧や沸騰と間違えないように)。

温度	蒸気圧
0°C	6hPa
20°C	23hPa
40°C	74hPa
80°C	475hPa
100°C	1013hPa
120°C	1989hPa

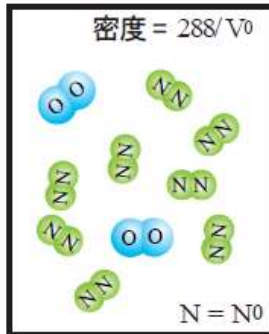
760mmHg = 30 inch Hg 柱

1インチは親指の幅

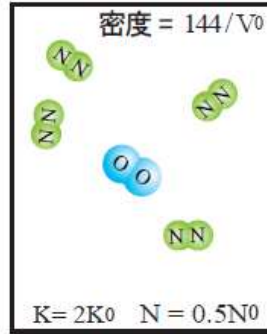


# 温かくて湿った軽い空気 冷たくて乾いた重たい空気

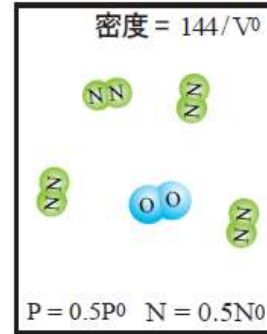
初期状態



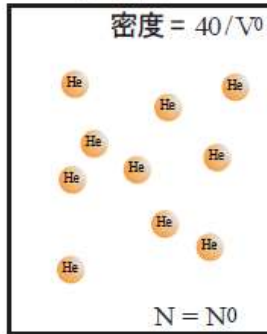
暖かい空気



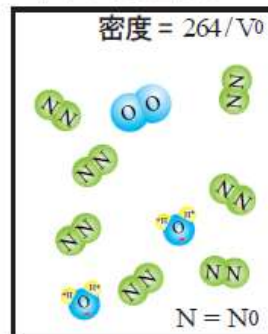
減圧



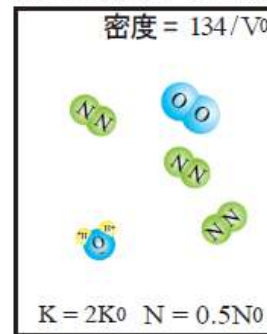
ヘリウム



湿った空気



湿った暖かい空気

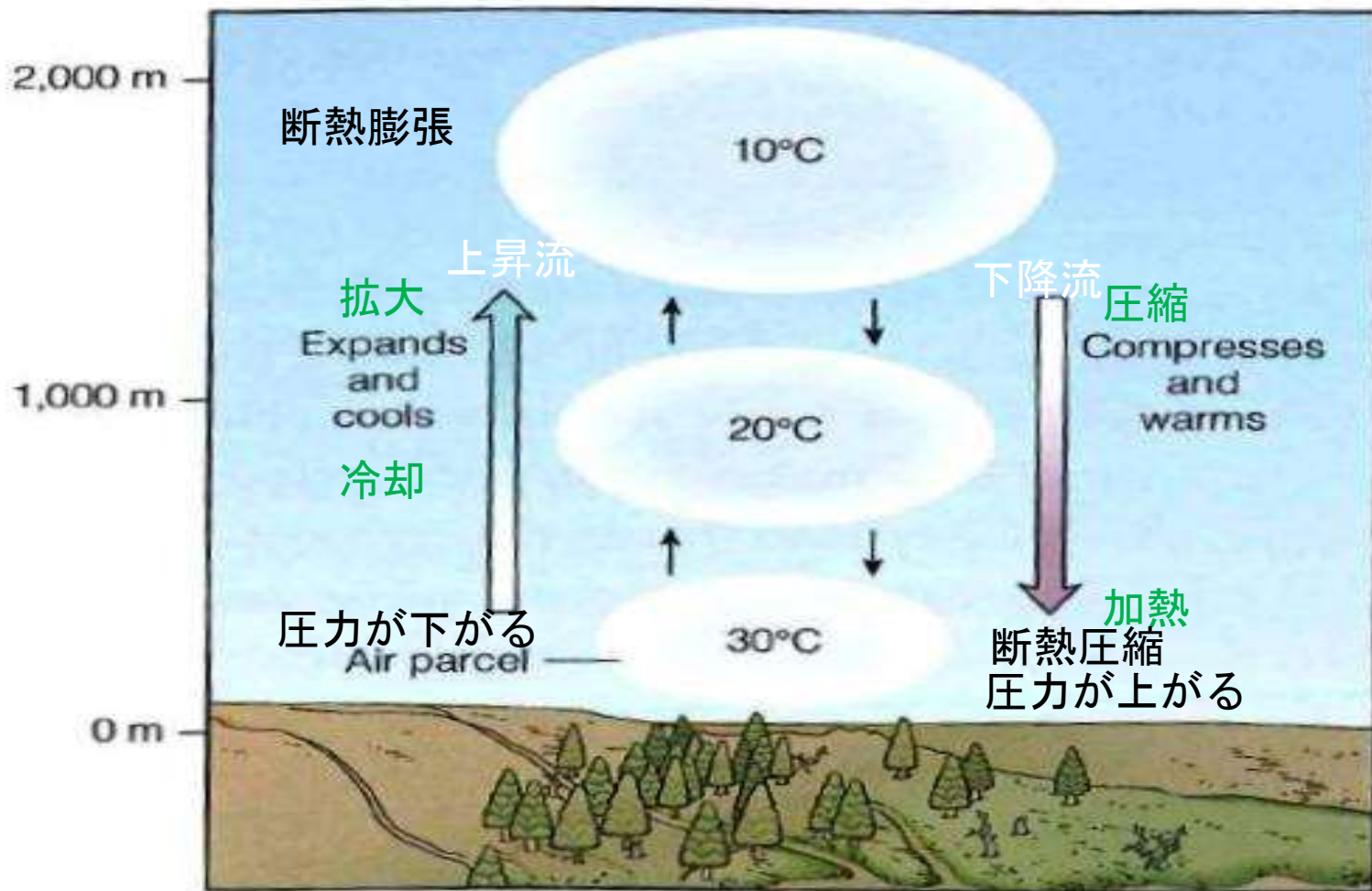


密度：初期状態（乾いた空気）> 湿った空気 > 暖かい空気 > 湿った暖かい空気 > He



V = 体積    P = 圧力    K = ケルビン  
N = 分子数    0 = 初期状態

乾いた暖かい空気は、上昇し、膨らんで冷却され、いずれ周囲との密度差がなくなる。



# 大気循環における水の役割は重要

水滴が凝結する

氷ができる

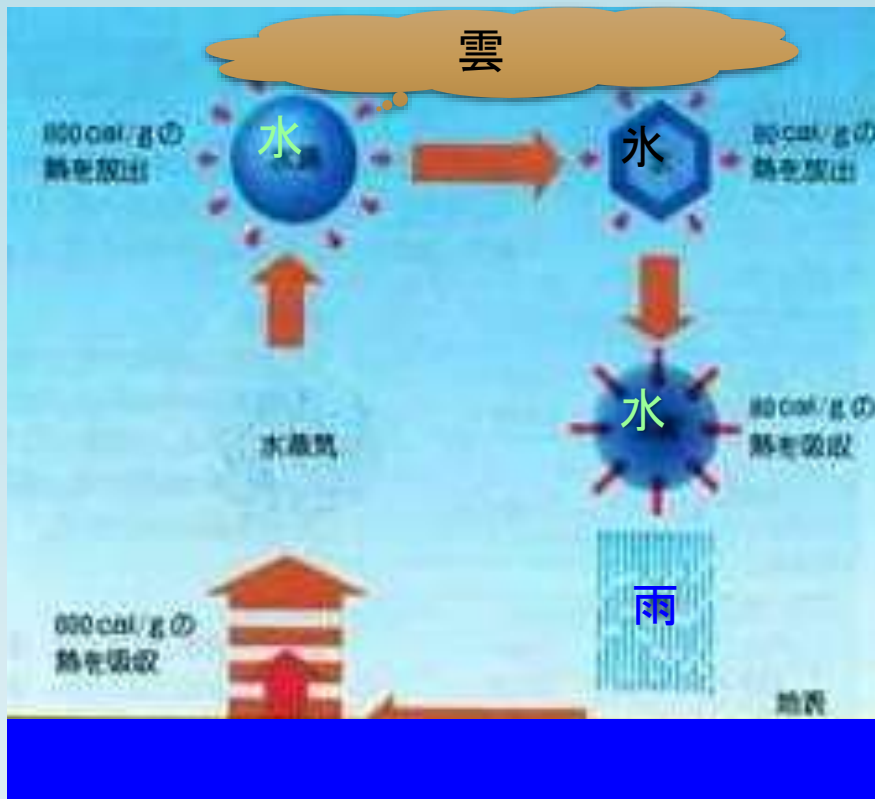
2260~2500J/g  
(540cal/g)

発熱

水分が蒸発する

2260~2500J/g  
(540cal/g)

吸熱



~355J/g  
(80cal/g)

発熱

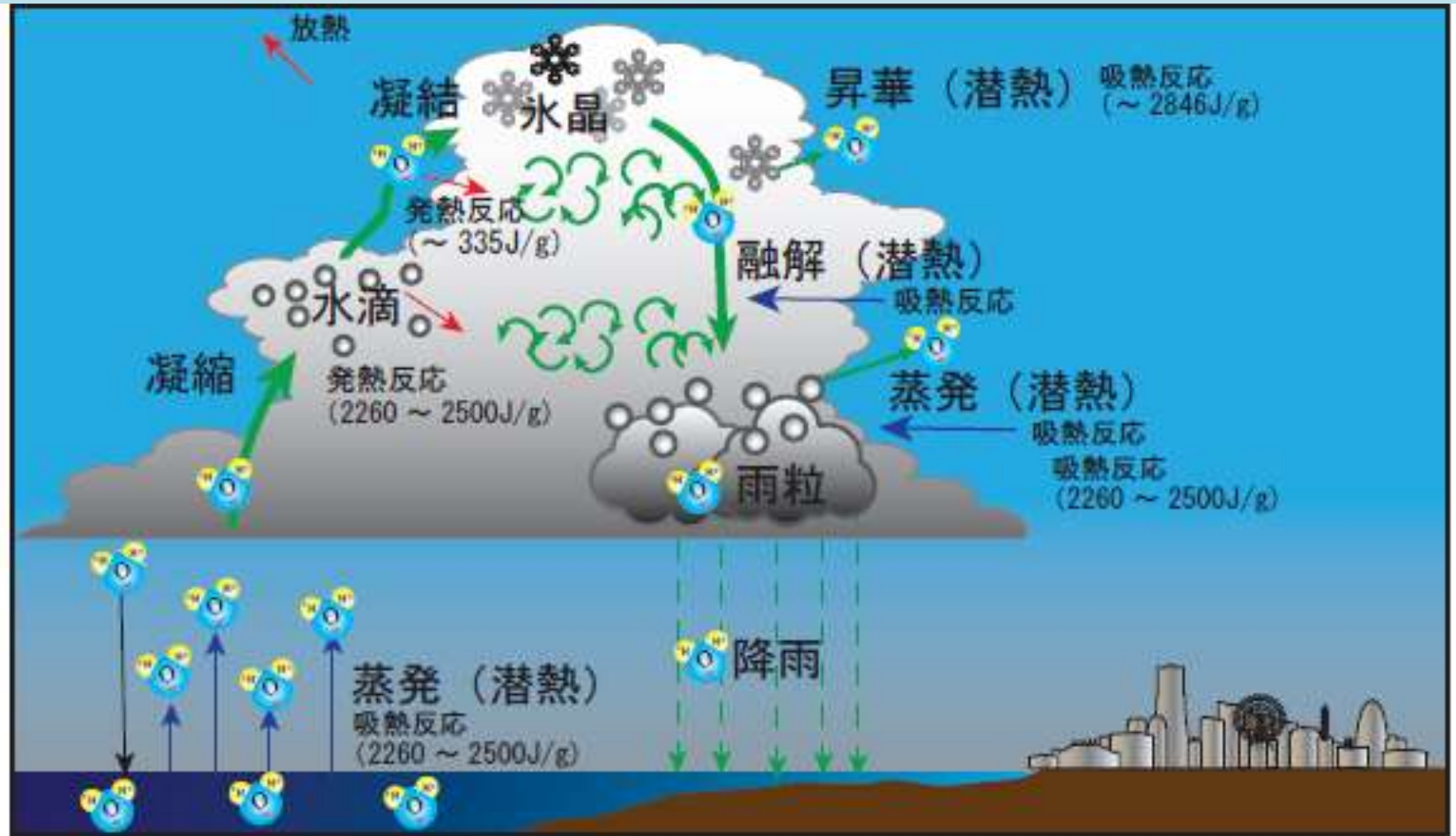
雪が解けて雨となって  
地表に降り注ぐ

~355J/g  
(80cal/g)

吸熱

太陽の光によって熱せられる  
〔海面や地面〕

上空では、水が状態変化をして、熱エネルギーの循環にも寄与する。



# 積乱雲と水蒸気の蒸発：夏空



太陽によって暖められた、赤道地域や夏の海は、多量の水蒸気が発生し、水分と熱を上空に持ち上げる。

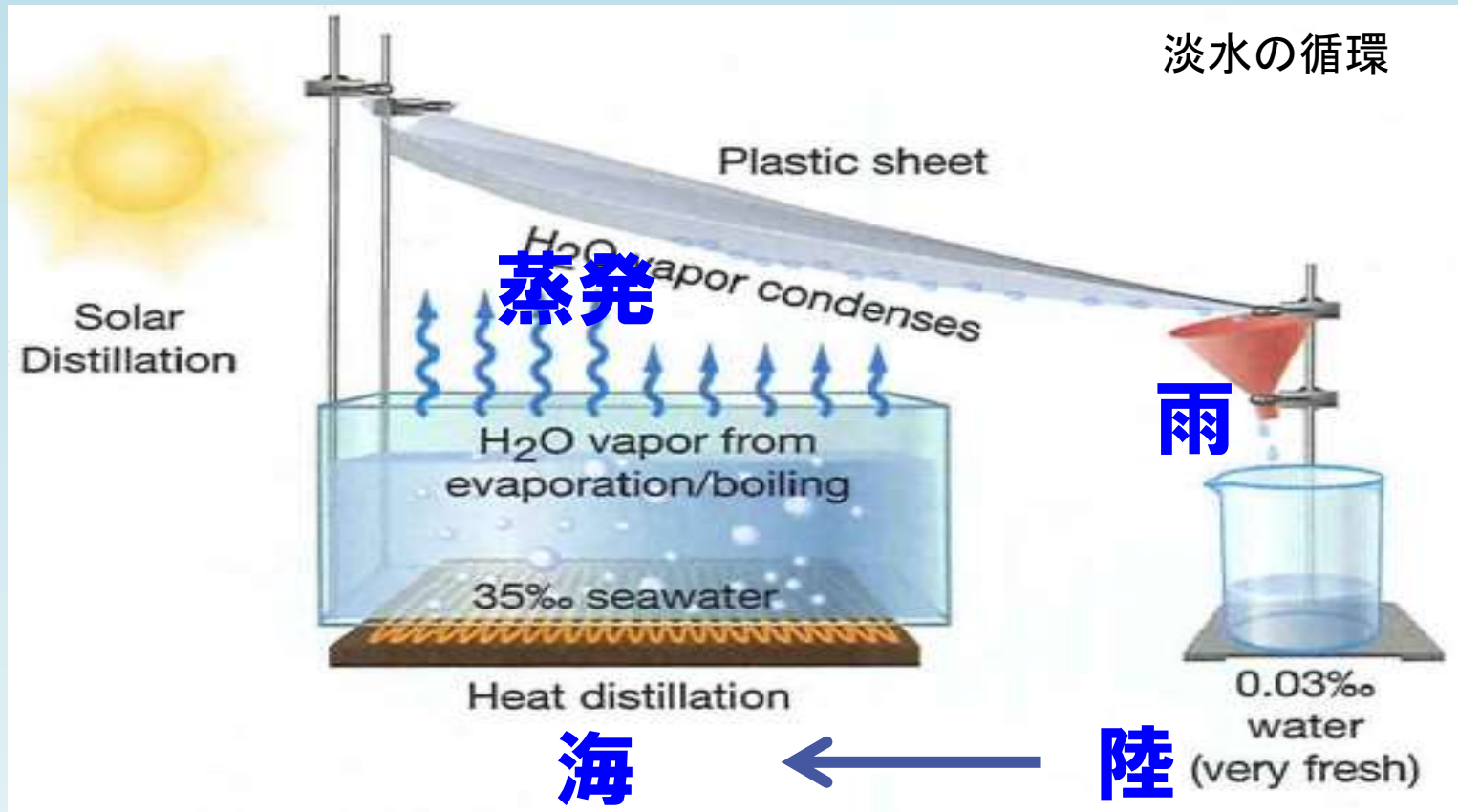
# 宇宙から見た積乱雲



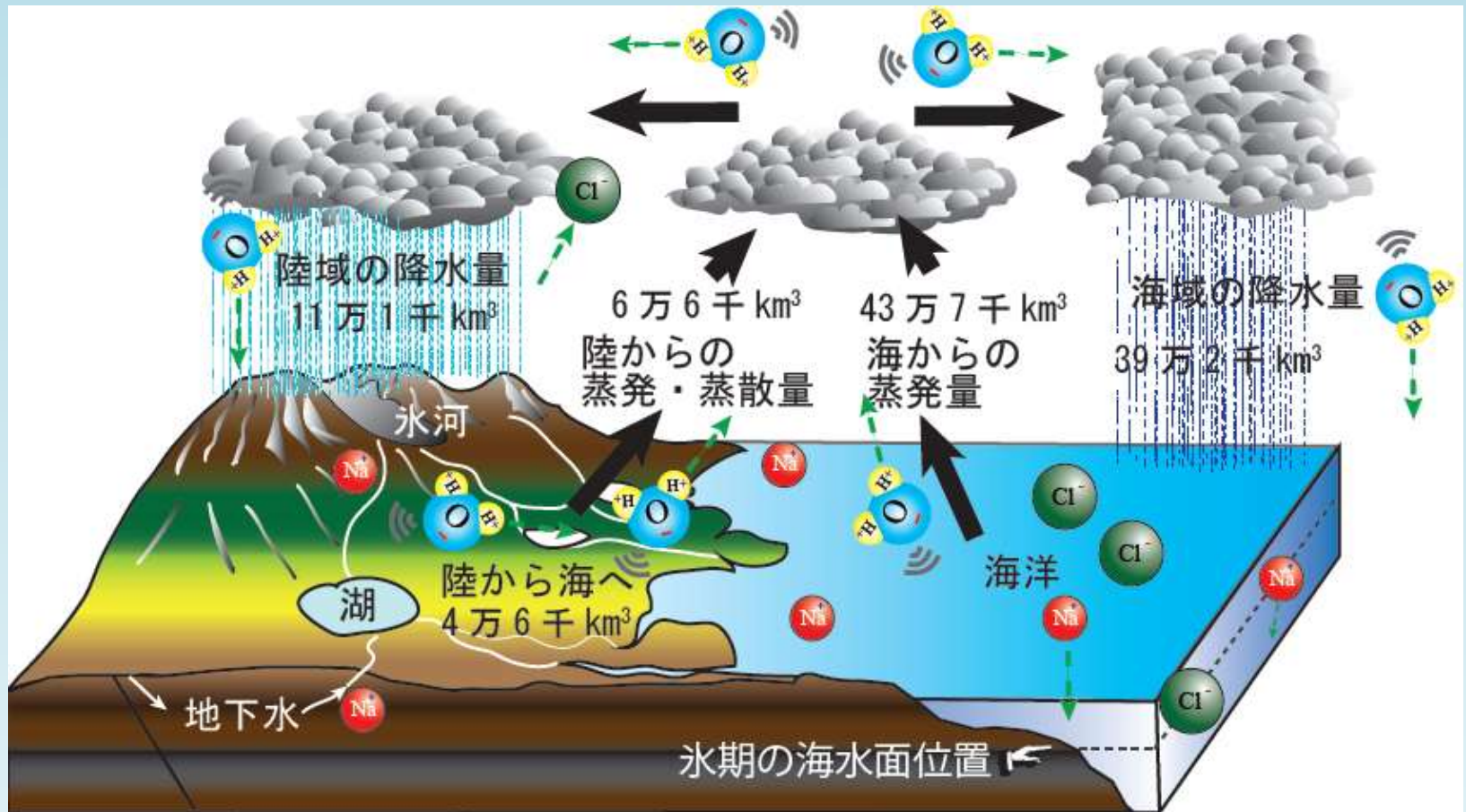
<http://eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=ISS016&roll=E&frame=27426>

**ISS016-E-27426**

雨が塩辛くないのは、蒸留作用だから。  
それでも、河川が海を塩辛くする。



# 海水起源でも淡水起源でも、雨は塩辛くない。 でも、河川が海を塩辛くする

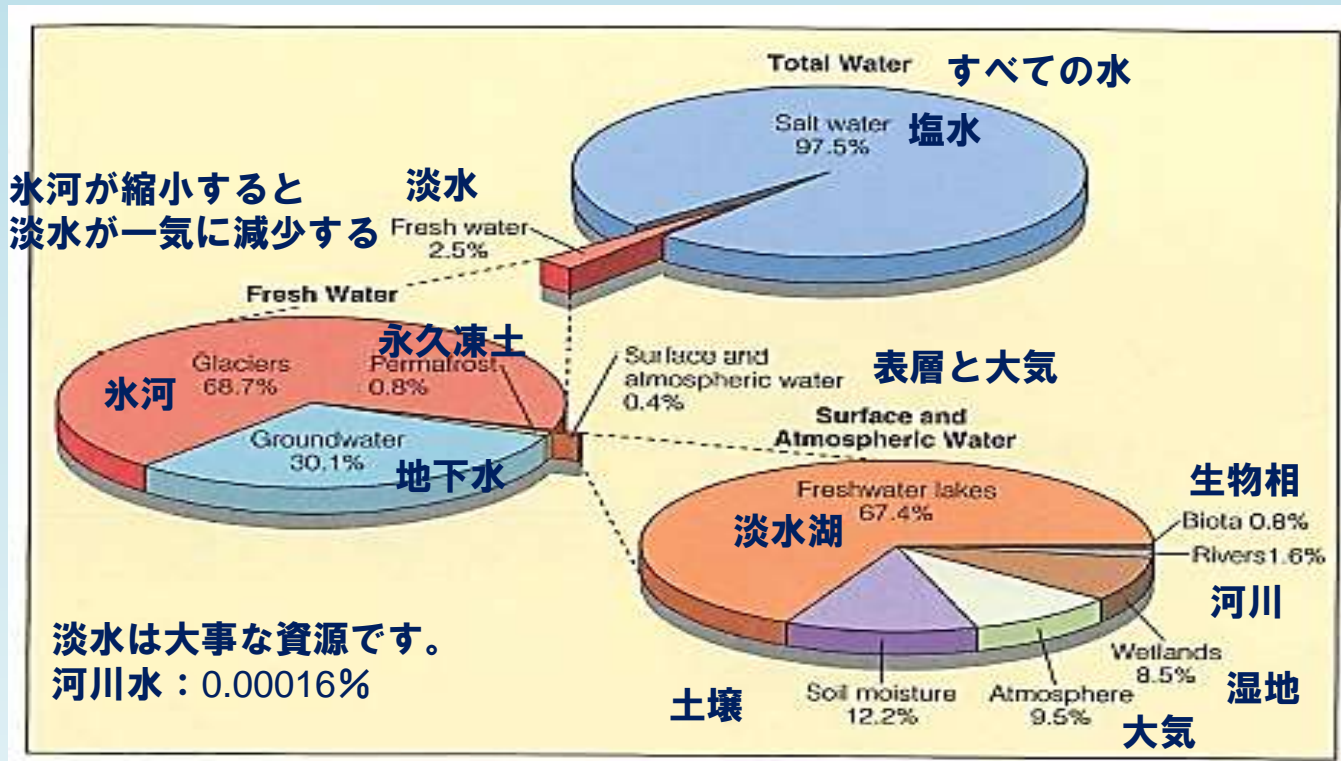


**1年間に流れる水の体積 (500,000 km<sup>3</sup>)**

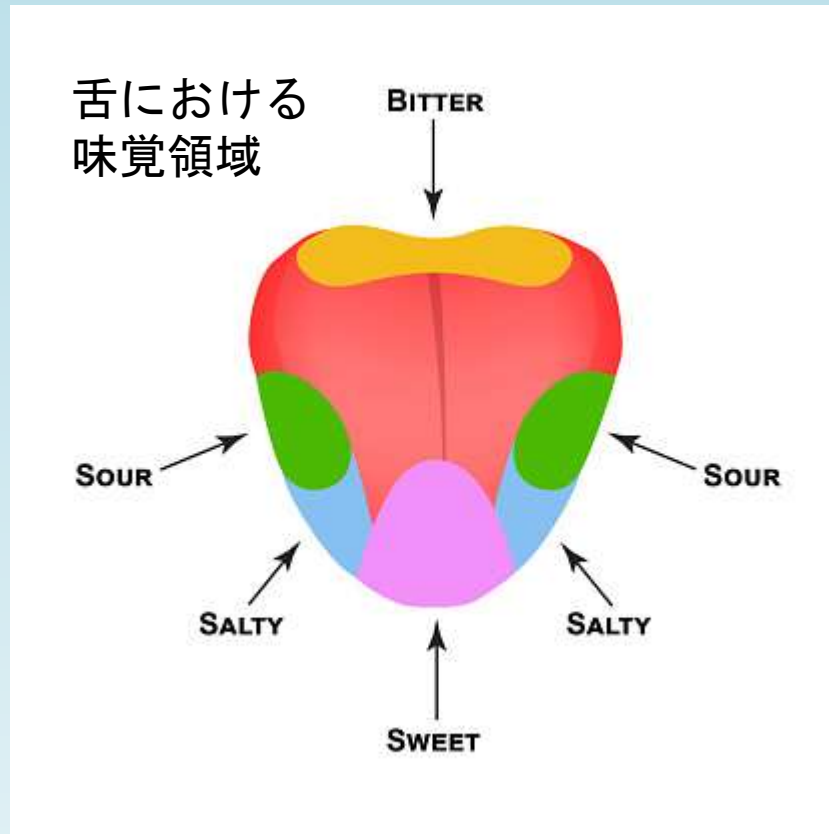
氷期には、50000\*10<sup>15</sup> kg → 氷河  
海面 → 100m 低下 (全海水の3.5%)



# 地球上の水は、ほとんどが塩水



# 我々が塩辛さを感じる理由



- 我々の味覚を□み出しているのは、□に備わっている味蕾と呼ばれる味覚センサー器官です。□塩の構成成分の□つであるナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) は、体液量および全□の細胞機能を維持するための必須栄養素であるため、□に含むと“おいしい”味として知覚されます。  
[プレス原稿\\_さきがけ樽野研究者 \(京都府立医科大\) 確認依頼-final-修正200324 \(kpu-m.ac.jp\)](#)

塩辛さの秘密は、海水中のNaイオンの濃縮過程を理解する事にほかならない

# 海水・河川水・雨水の溶存物質

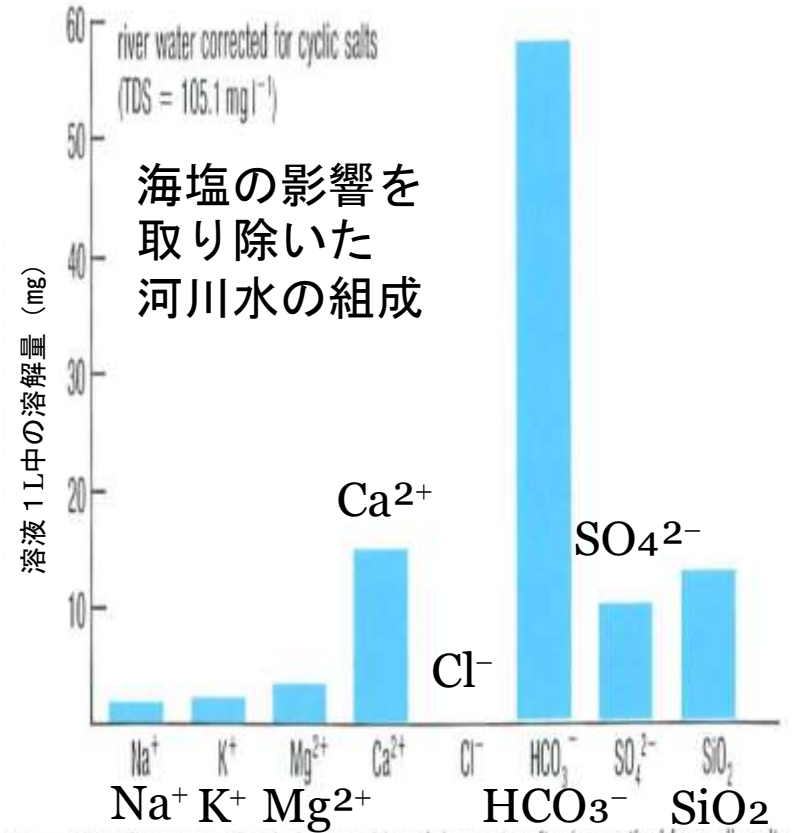
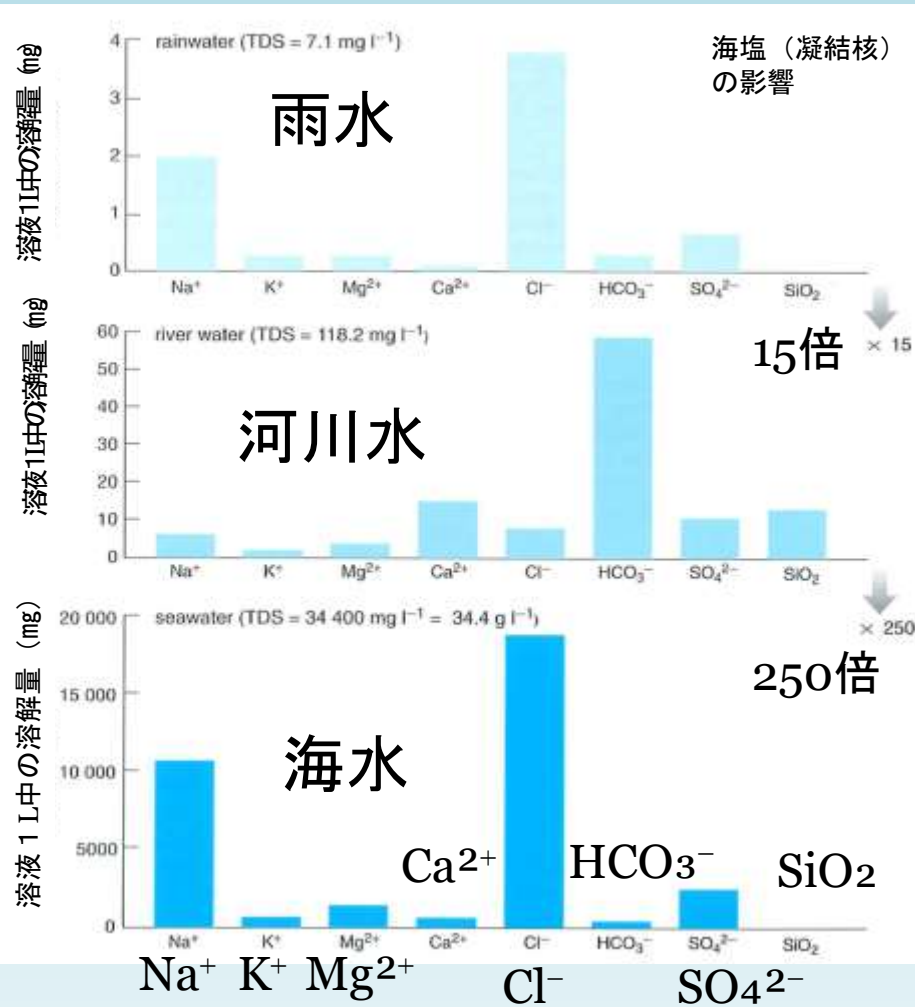


Figure 6.10 The average chemical composition of river water after 'correction' for cyclic salts (cf. Figure 6.8(b)).

# 世界の塩分\*の分布

- 世界中の海の塩分は、均質なのだろうか？

塩分の水平分布は？

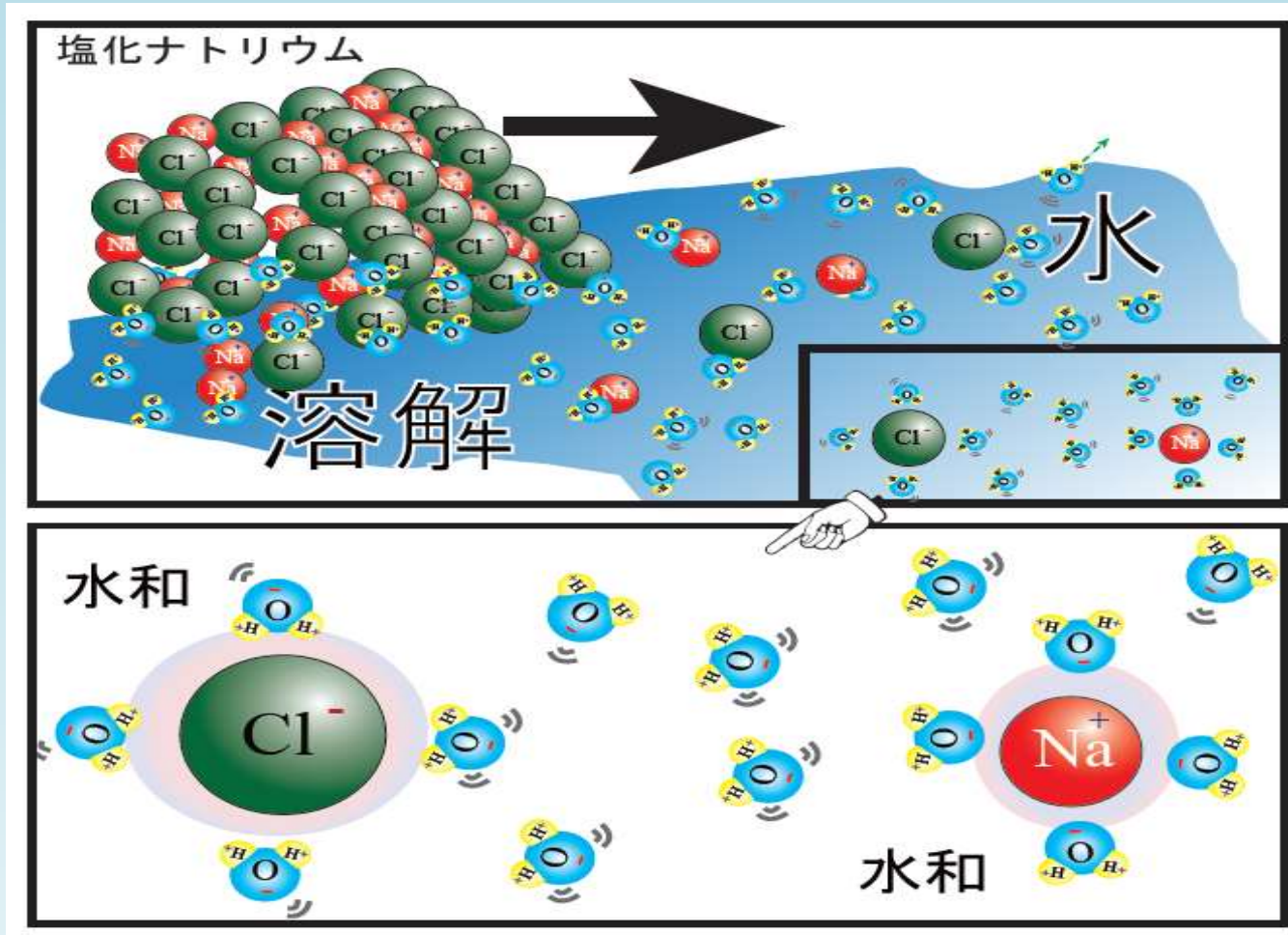
塩分の垂直分布は？

\* 【注】 “塩分” と “塩分濃度”

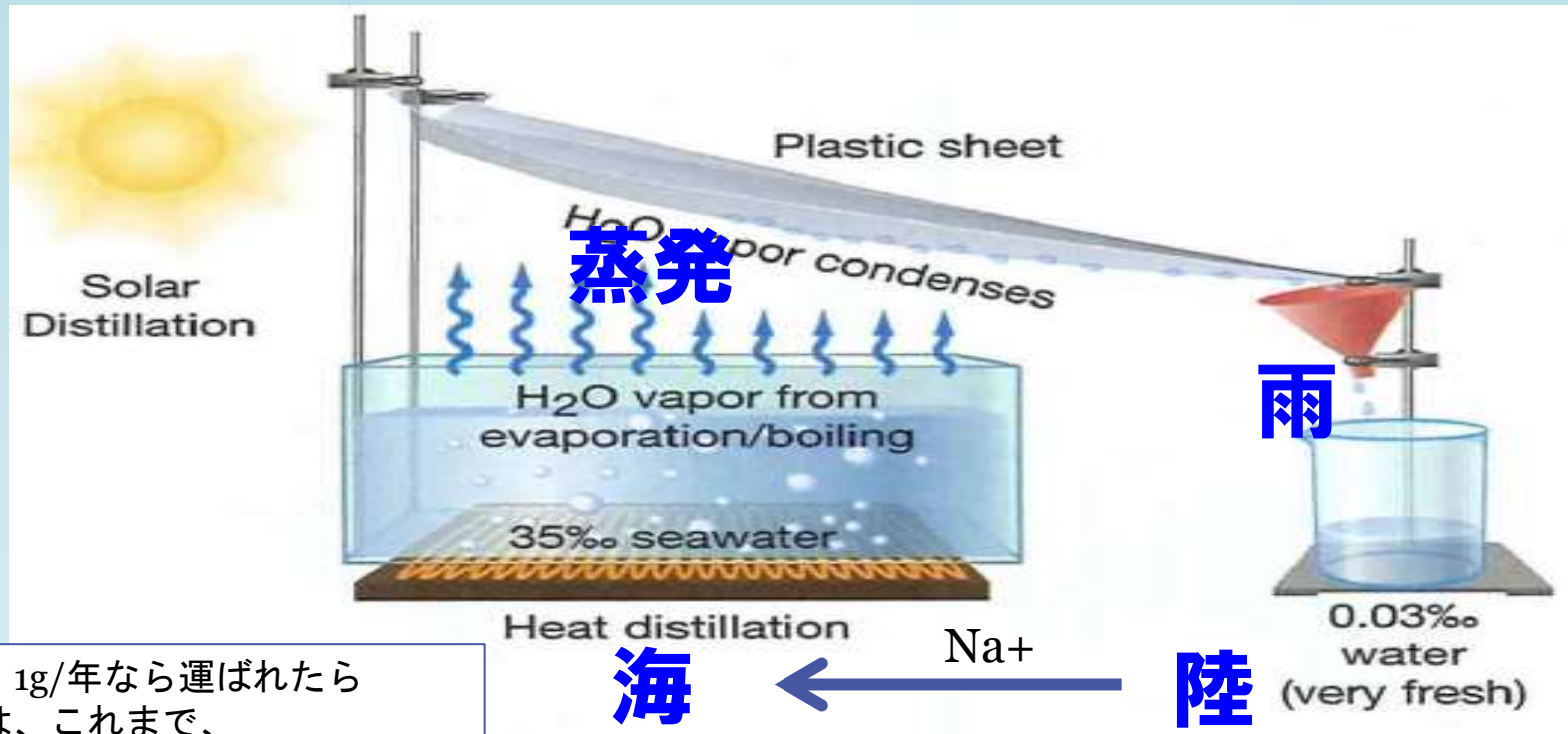
“塩分” が 正しい と言う人 ？

“塩分濃度” が 正し と言う人 ？

# 溶けるとはどういう事か？



# 陸上の物質と淡水が反応して、元素が川に溶け出す。



もし、1g/年なら運ばれたら海には、これまで、 $1 \times 40$ 億年 = 40億 g のNaが陸からもたらされた計算になる。

**陸地からいろいろな元素が溶け出す**

Na<sup>+</sup> は、塩化ナトリウムだけではなく、鉱物中のイオンや重炭酸ナトリウムなど、様々な形で地中に存在する。

塩分の高い死海では、亜熱帯高圧帯直下の淡水湖が蒸発過多で形成される。

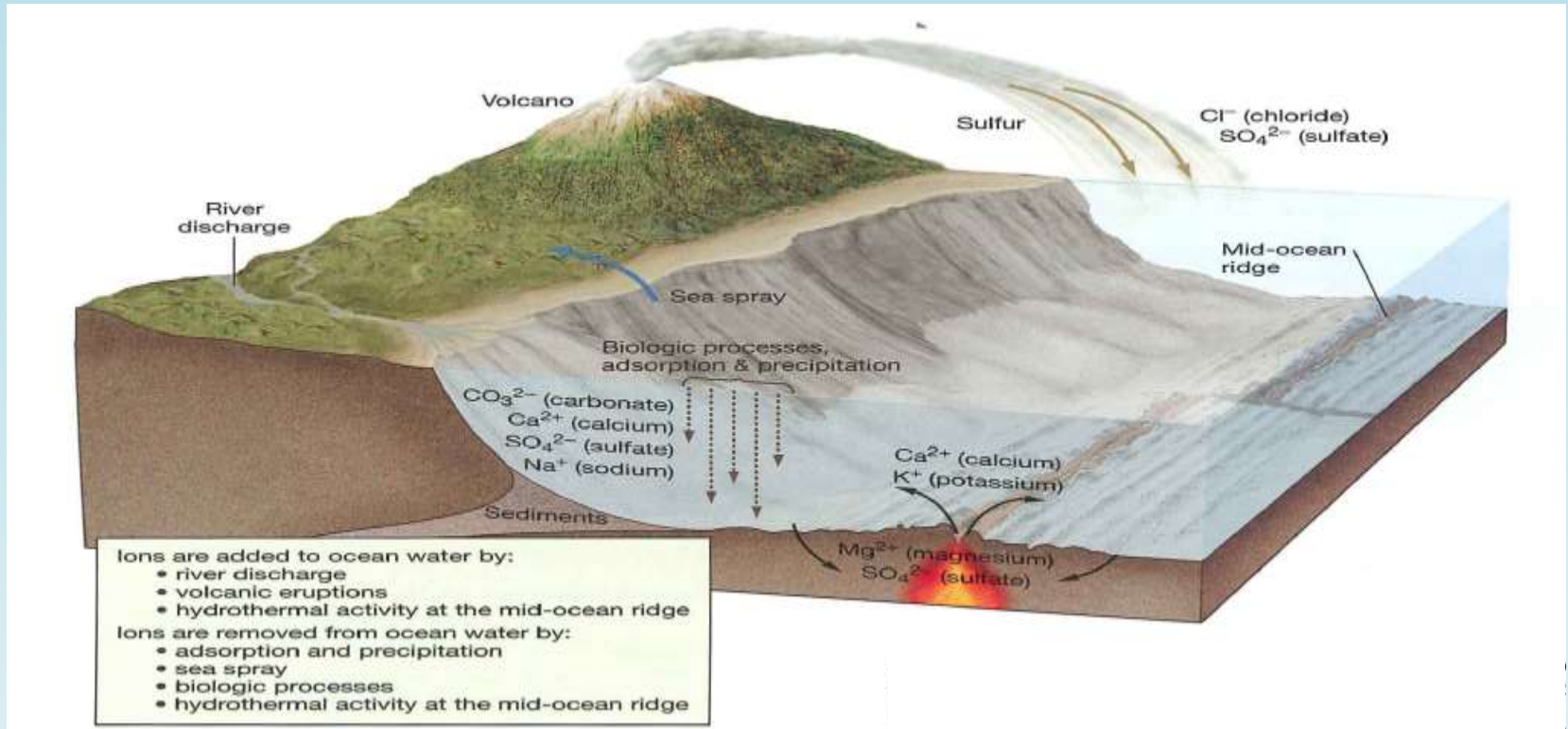


浮かびながら本が読めてしまう。



塩分は、海洋（約3.5%）の10倍近い約30%に達する

そもそも、塩辛さはナトリウムイオンの存在度による味覚。ナトリウムイオンがどこから海に溜まったかを考えると、海の塩辛さの原因に至る。



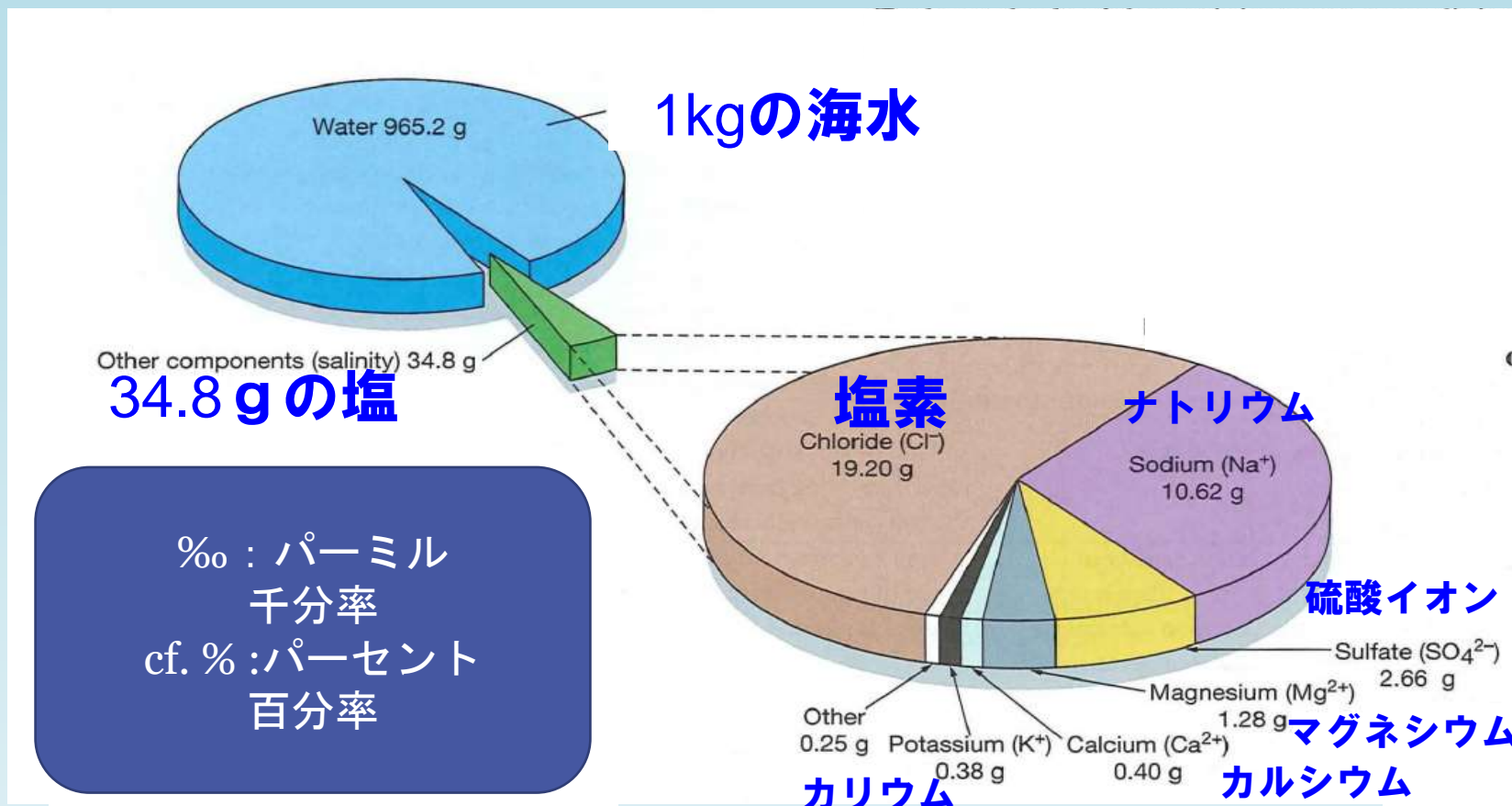
**海洋が誕生した約40億年前から、様々な部分から溶け出した元素が海に供給され続けている。**



# One WORLD, One Ocean



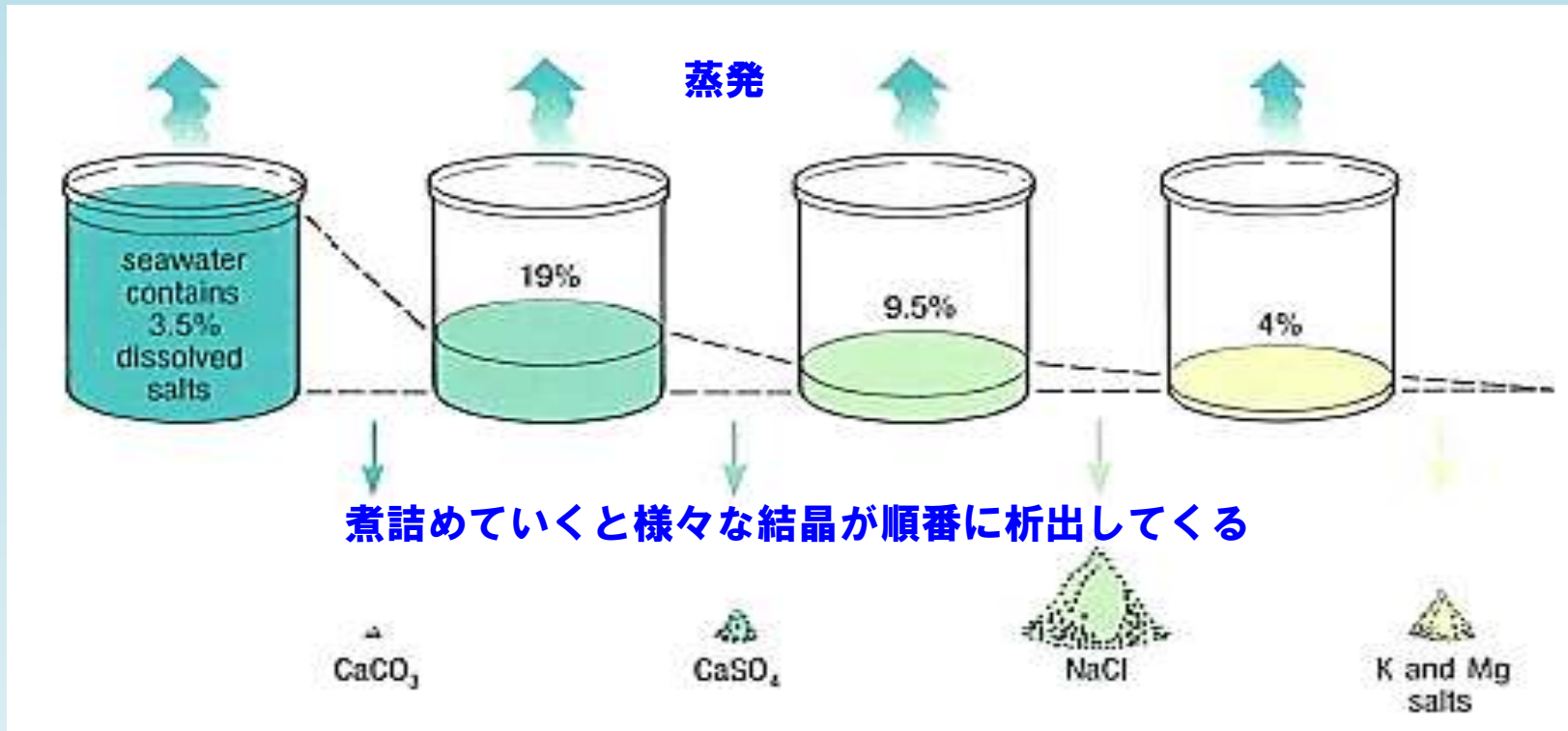
塩分→溶質：溶媒 (H<sub>2</sub>O) で変化する。  
海水の化学組成：イオンの相対存在比は比較的安定



イオンの存在比は一定: Forchhammer's Principle

因みに

塩辛い = 食卓塩 (精製塩) → の作り方  
食卓塩 ≠ 海水の塩分 → 海水魚は飼えない。



石灰

石膏

精製塩  
食塩

にがり成分

# 海上における塩分測定 of 歴史

塩分：海水1 k g 中に含まれる固形物の g 数を示す。

1. 煮詰めて重さを計る
2. 硝酸銀を用いた滴定（欠点：原子量が変化する）  
塩分 (salinity) = Cl \* 1.805
3. 電気伝導度から換算（欠点：溶存元素による差が生じる）  
塩分 =  $-0.08996 + 28.29720R + 12.80832R^2 - 10.67896R^3 + 5.98624R^4 - 1.32311R^5$   
R: 15°C、1気圧における塩分35パーミルの標準海水に対する試料海水の比伝導度
4. 実用塩分 (psu: practical salinity unit) を定義し、改訂した。  
塩分 =  $0.0080 - 0.1692k^{1/2} + 25.3851k + 14.0941k^{2/3} - 7.0261k^2 + 2.7081k^{5/2}$   
水温15°C、1気圧において、1kg中の水に塩化カリウムを32.4356 g とかしたときの電気伝導度と海水の電気伝導度との比（k：無次元数）を表す。

# 干上がってしまった内陸の湖



**溶けていた少量の塩が析出する。**

**Death Valley, California**