

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

略称で結構です。記録を取らせていただきますのでご記入下さい。

今日のテーマは、「水とは何か」「科学とは何か」を考え直してみることです。

具体的には、「水」についてさまざまな角度から考え直すのに、三つの活動をします。

- (1) 「さまざまな角度」の一つを分担して、分担部分のエキスパートになる活動
- (2) 調べたことを交換し「水」や「科学」について議論する活動
- (3) 議論の結果を全体で持ち寄って、討論する活動

(1) をエキスパート活動、(2) をジグソー活動、(3) をクロス・トークと呼びます。

最初に、ウォーム・アップ

1. 「水」と聞いて、何を連想しますか？思いつくことを書いてください。単語でも、文章でも結構です。

2. 「グループ活動」と聞いて、何を連想しますか？思いつくことを書いてください。

2009.02.28.

## 「水」の認識の歴史—自然哲学から科学へ—

### ● 人間と自然学

人間は昔から、自然についての知識を集めてきました。私たちが日常生活において困った状況に出くわしたとき、昔の人が経験によって得た知識が蓄積されていればとても助かります。そこで、文字によって記録を残す以前から、人間は自然についてある程度の知識を集め、受けついできました。文字が発明されると、それらの知識の量は増え、範囲も広がりました。四大文明発祥の地であるエジプトやメソポタミアでは、気象や天体についての知識が多く蓄積されました。ただしそれらは、バラバラな自然の事物や現象の性質や効能を明らかにするだけにとどまっていた。

バラバラな知識を体系化する試みを始めたのは、エジプトから自然についての知識を学んだ古代ギリシャの人々でした。古代ギリシャの人々は、「自然の事物のすべてに通じる根本的な原理・法則」を見つけ出そうとする〈自然哲学〉を生み出しました。最初に〈自然哲学〉のまとまった議論を展開して見せたのは、ターレス(前 640 頃～前 546 頃)という人です。ターレスは「この世は神がつくった」という神話を否定し、「この世は、実在する物質の運動・変化によってつくられている」と考えました。

### ● 「万物の根源は水」か—自然哲学の始祖 ターレス

考察の結果、ターレスは「万物の根源は水であるにちがいない」という結論に達しました。「水がその姿をいろいろに変えることによって、この世のすべての事物が生じるに違いない」とターレスは考えたのです。

こう言うと、「〈自然哲学〉はいいけど、この世界の根源的な物質が水だというのは途方もない妄想ではないか」と思う人もいることでしょう。でも、本当にそうでしょうか。ターレスがなぜこのように考えたのかを示す記録はほとんど残っていないので、のちの人の記録などを手がかりにさぐるしかありませんが、すこし想像してみたらどうでしょう。現在からしたら突拍子もないように見える考えでも、それなりに理由があるのかもしれない。

まず動植物について考えてみます。畑でも、野菜は水だけを与えれば育っていきます。空気中や土壌から見えない栄養を取り入れる可能性を考えられなければ、「植物は水が変化してできたのだ」と考えてもおかしくないでしょう。実際、17世紀前半のオランダの学者ファン・ヘルモン(1577～1644)は〈柳の実験〉を行って、「植物が水からできている」と証明してみせました。彼はまず、植木鉢に土を入れて重さをはかり、そこに 2.3kg の柳の苗木を植えました。

氏名 \_\_\_\_\_

それから柳に水だけを与えて育てました。5年後、柳は成長し、その重さは76.7kgにもなりました。にもかかわらず土の量はわずか60gしか減少していませんでした。そこで彼は、「74.4kgの柳は水が変化してできたのだ」と結論づけたのです。ターレスの時代はヘルモントより2000年以上昔ですから、「植物が水からできている」と考えても不思議はありません。動物や人間は、直接・間接にその植物を食べて生きているので、「動物や人間も、水からできている」と言えることとなります。

それなら、岩石や土についてはどうでしょうか。これには「大地は水の上に浮かんでいる」というターレスの考えが手がかりになると思われます。おそらくターレスは「地面を深く掘ると水が湧き出てくる」ということから、大地が水の上に浮かんでおり、大地は水の変化したものと考えたのでしょう。実際、石のなかには、水が変化してできたように見えるものもあります。水晶です。水晶を意味する英語”crystal”は、〈氷のような鉱物〉を意味する古フランス語に由来します。また、日本や中国でも水晶は「古い水が変化したもの」と考えており、そのために「水(の結)晶」という名がついたのです。「氷は温度が上がれば溶ける」ことを知っていても、「大地の深いところでじっくり凍った氷はなかなかとけないのだ」と昔の人々は考えました。上で紹介したヘルモントも、水晶を水の結晶と考えていたひとりでした。ターレスも、水晶のような鉱物の存在を、岩石や土も水からできているという証拠だと考えていたとしてもおかしくないでしょう。

こうして想像してみると、「この世界の根源的な物質が水だ」というターレスの考えは、事実に基づいたそれなりに合理的な考えだと思えてきませんか。

#### ● 四元素説、五行説における水

しかしやはり、ターレスの考え方には強引なところもありました。そこで、古代ギリシャの学者たちは「万物の根源」について議論を戦わせ、そのうちに〈水・空気・火・土〉の4つを万物の根源とする「四元素説」にたどりつきました。この四元素説は18世紀末にフランスの科学者ラヴォアジエが今日の元素説の基礎をつくるまでヨーロッパの人々の自然観の基礎となりました。さらに四元素説はインドの仏教思想にも影響を及ぼしました。仏教では〈地・水・火・風〉を「四大」と呼び、万物の根源とみなしました。この考えは、仏教とともに古くから日本に伝わっています。また、古代中国では〈木・火・土・金・水〉の五つの元素の移り変わりによって世界がなりたっているとする「五行説」が定説となりました。これも古くから日本に伝わっていました。

それなら昔の日本人は、「水」についてどのような知識をもっていたのでし

2009.02.28.

ようか。明治維新によって科学を全面的に受け入れる以前、日本の知識人は、うえにあげた「五行説」の発展形である「陰陽五行説」、すなわち「この宇宙は陰と陽の対立と五行の移り変わりによってうごいていく」という考え方に基づいて自然を認識しようとしていました。その結果、江戸時代後期までには、「気象変化と水」といった問題については、詳しい知識がかなり普及しました。同時期のもっとも大衆的な本で、百科事典的な性格をもつ「大雑書」の類にも、「雨」、「雪」、「霧」などについての説明が詳しくのっているものがあります。そこでは、「雨がなぜ降るのか」という問題を、「蒸し器のふたに湯気があがり、冷やされると露となって降ってくるのと同じである」と、具体例を用いて説明したりしています。特に、「雪」に興味を持った日本人は多かったようで、江戸期に出版された本には、雪の降る仕組みから雪の結晶の由来、雪女の存在までさまざまな「雪」に関する考察の文章をみつけることができます。

しかし、四元素説や陰陽五行説に基づく観察や考察は、長い間行われたにもかかわらず、結局のところ「水」という物質の正体を見極めることができませんでした。それはおそらく、四元素説や五行説における「水」は、水という具体的物質を示すと同時に、液体一般を代表する概念でもあり、さらにもものの性質を表す抽象的概念でもあるという、複雑かつあいまいなものだったからでしょう。たとえば、日本と中国で、常温で液体である唯一の金属を、古くから「水銀」と呼んでいたのは、「水」という言葉を「液体」と同義で使っていたことの表れです。また、五行説に基づく運勢占いにおいて「〈金性〉の男性と〈水性〉の女性は相性がよい」などといわれるときの「水」は、ものの性質を表す抽象的概念としての「水」です。

## ● 近代科学における水

では、近代科学はそのようなあいまいな「水」の認識をどう変えたのでしょうか。近代科学の基礎には、四元素説や五行説と根本的に異なる「原子論」という〈自然哲学〉がありました。原子論もまた、古代ギリシャで生まれました。デモクリトス(前 460 頃～前 370 頃)をはじめとする原子論者は、「この世界の根源は、なにもない空間(真空)と粒子とからなっており、その粒子は絶対壊れる事がない」と考え、その粒子を「原子(アトム)」と名づけました。そして、世界の全ての事物を原子が結合したり分離したりすることによって説明しようとしたのです。

原子論は長い間影を潜めていましたが、16～17 世紀にヨーロッパで復活しました。復活した原子論の立場で研究を進めた人たちは、「近代科学」を生み出しました。近代科学は、「水」についても、物質としての「水」だけに特化

して議論を始めました。それは、ある意味で視野を狭めるようにも思えますが、「考えの正誤がいつかは明確にたしかめられるような形でのみ議論をすすめる」ことにより、科学者たちは確かなことを着実に明らかにしていったのです。

「水」について重要な事実を解明したのはフランスのラヴォアジエ(1743~1794)です。彼は当時、他の科学者が発見したばかりの「軽く燃えやすい気体(のちの水素)」と「他の物質をよく燃やす気体(のちの酸素)」を用いて、〈水の合成〉と〈水の分解〉の実験を行いました。密閉したガラス容器のなかに水素と酸素をいれ、電気で着火すると水が生じることを証明し、つぎに、気体になった水(水蒸気)を熱した鉄管に通すと、酸素が鉄と反応し水素が集められることを証明してみせたのです。ここに、「水は酸素と水素の結合によってできる」ということが確認されました。ちなみにラヴォアジエのこの実験は、幕末の先駆的な化学者宇田川榕庵(1798~1846)によって日本でも紹介されています。榕庵は「酸素」、「水素」といった今日も使用されている日本語をつくり、この実験を説明しました。

その後、「水」の正体をつきとめる科学的研究はさらに進み、「水」に今日知られている「 $H_2O$ 」という分子式も与えられました。しかし、一方で科学者のなかでも原子や分子の存在に反対する考えは根強く、国際会議の場で大論争が起こったりもしました。科学者たちのあいだで原子や分子の存在が共通の認識となったのは、やっと 20 世紀はいつてからのことでした。

### ● ふたたび、「万物の根源は水」か

こうして、古代ギリシャ以来 2000 年以上議論されてきた「水」の正体は、近代科学によって明らかにされました。ターレスの時代から問題になっていた「動植物と水の関係」(WN4-3へ)、「水の三態変化」(WN4-2へ)といった問題についても正しい説明が与えられるようになり、また、江戸時代の日本人が興味を持っていた「気象変化と水」(WN4-1へ)といった問題も、地球規模で理解されるようになりました。さらには、「水の起源」(WN4-4へ)といった、近代科学以前には空想するしかなかったような問題にも、有力な仮説がたつようになりました。

ここでもう一度、「万物の根源は水だ」というターレスの言葉を思い出してみませんか。「水がその姿をいろいろに変えることによって、この世のすべての事物が生じる」という彼の考え方は、最終的には科学によって否定されました。しかし、ターレスの考えた水の根源的な重要性が認識されるようになったのも、また、近代科学が「水」という物質についてたしかかな事実を蓄積することによってだったのです。

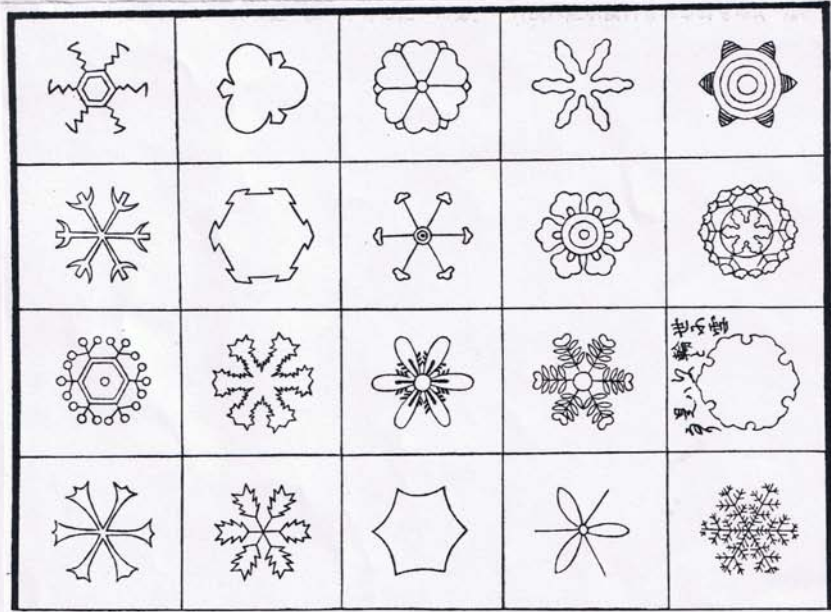
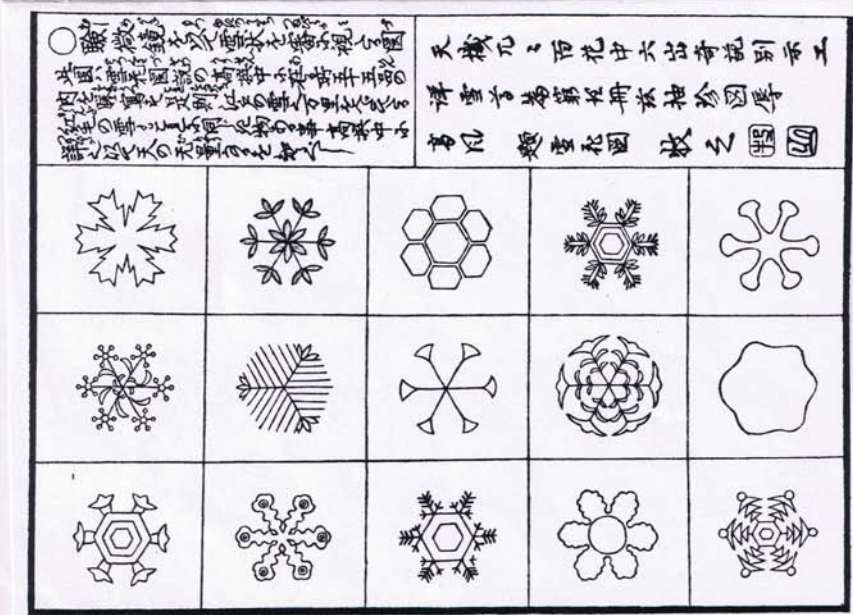
2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

(詞書を書き直したもの)  
 ○虫めがねをもつて雪のかたちをつまびらかに見たる図。この図は『雪花図説』の高撰中にあるところ、五十五品の内を写す。これすなわち江戸の雪なり。万里をへだてたる紅毛の雪もこれに同じきものあること、高撰中につまびらかなり。もつて天の無量なるを知るべし。

鈴木牧之(1837)

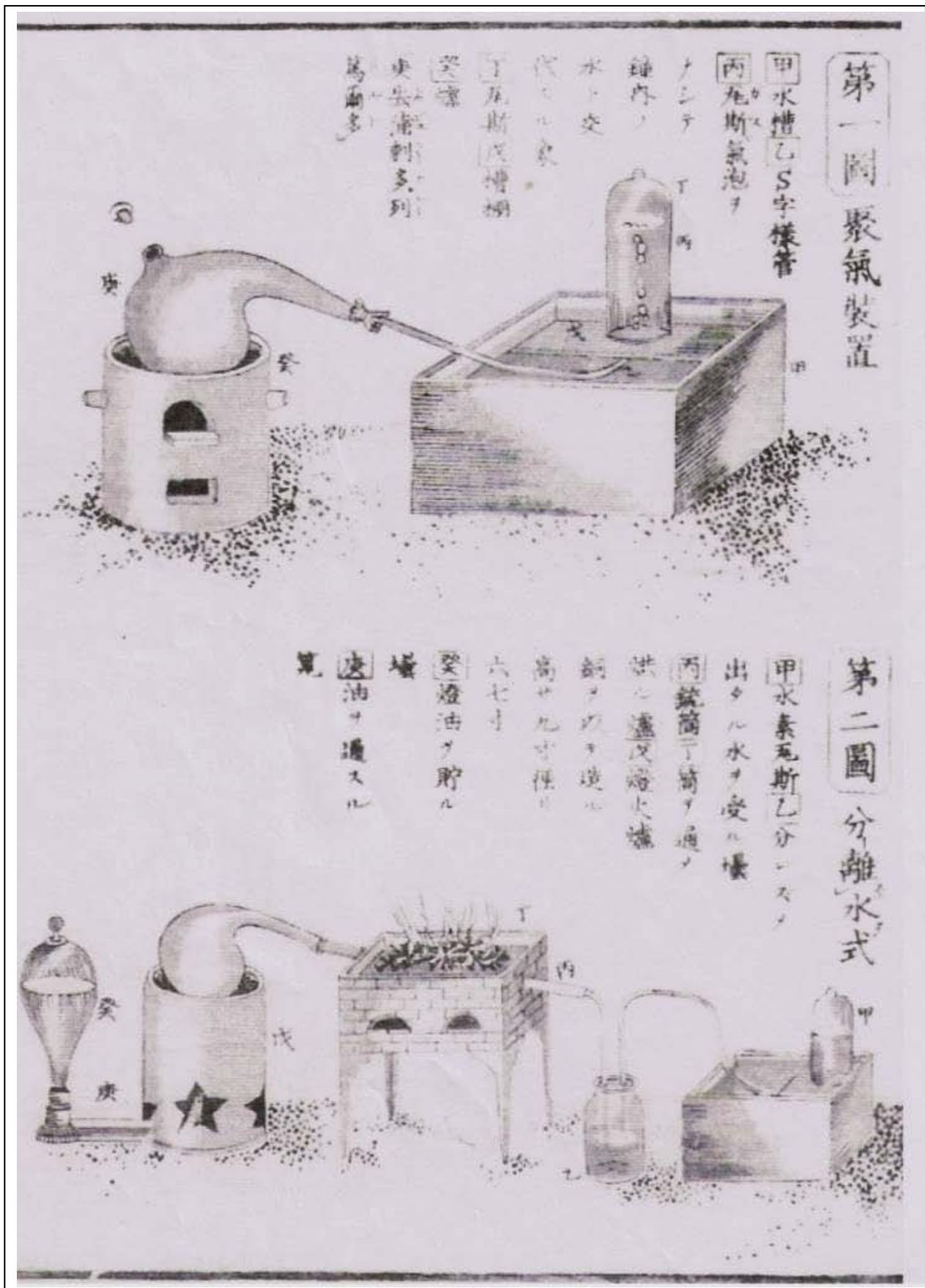
『北越雪譜』より





2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_



うだ が わ よ う あ ん (1837-1847 順次刊行) 『せ い み か い そ う 舎密開宗』より

東京大学 大学発教育支援コンソーシアム 半日体験ワークショップ 第一回  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

2009.02.28. 氏名 \_\_\_\_\_

エキスパート活動時 メモ用紙 担当資料は \_\_\_\_\_



氏名 \_\_\_\_\_

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000

原 始	古 代	中 世	近 世	近現代
	奈良 平 安	鎌倉 室町 戦国	江 戸	明大昭平 治正和成

## 水の大循環

－状態変化をしながら地球上を巡る水－

水は、地球上において、様々な場所に様々な状態で存在している。そして、状態を変化させながら他の場所に移動している。ここでは、地球上を水が巡る様子と、その及ぼす影響を見る。

## 水の大循環 —状態変化をしながら地球上を巡る水—

水は、地球上において、様々な場所に様々な状態で存在している。そして、状態を変化させながら他の場所に移動している。地球上の水は、状態変化と移動の過程で、自然環境に多くの影響を及ぼしている。ここでは、地球上を水が巡る様子と、その及ぼす影響を見る。

### ● 海の水の機能

地球上で最も大量の水を蓄えているのが、海である。地球全体の水の 97%は海水として海に存在する。海水にはありとあらゆる物質が溶け込んでいる。日常生活で塩と呼ばれる塩化ナトリウムをはじめとして、多くの無機化合物、アミノ酸や糖などの有機化合物、二酸化炭素や酸素などの気体も溶けている。さらに、油や農薬などの水には溶けない物質も、海中に小さく分散して混ざっている。

地球の表面の約 71%は海で覆われている。そのため、海は、太陽の熱を最も多く引き受けている。水は熱容量が大きいので、温まりにくく冷めにくい。さらに、気化熱が大きいので、水蒸気となる時に大きな熱を吸収する。これらの性質によって、地球の気温変化は、最大で 50℃ ぐらい、最低でも -50℃ ぐらいという範囲の中で起こる。これは、他の惑星と比較すると、大変狭い範囲と言える。例えば、月では水が存在しないため、昼間の表面温度が約 110℃、夜間の表面温度は約 -180℃ にもなり、1 日の間に約 300℃ もの温度差が生じている。

### ● 海から陸へ

海の水は太陽の熱を受けて蒸発し、水蒸気となる。水蒸気となった水はそのまま大気中に混ざる。大気中の水蒸気のうち、気圧の低い上空で冷やされて液体や固体へと変化したものは、雲として空に浮かぶ。雲は地球の自転と気圧の差によって地球上を移動する。

雲は様々なきっかけによって雨や雪として陸に降る。海からの蒸発量は毎年約 43 万 km<sup>3</sup> (立方キロメートル)、そのうち海への降水量は約 39 万 km<sup>3</sup> と推計されている。よって、海から蒸発した水が陸に運ばれ雨や雪として降る量はその差の約 4 万 km<sup>3</sup> である。

海水の一部は蒸発によって塩分を海に残し、淡水として陸に供給されている。この過程は、淡水が無ければ生存できない多数の生物にとって、その生命が維持されるために不可欠な過程と言える。

しかし、地球上の水のうち、私たちの身近に存在し、容易に利用可能な淡水の割合は非常に少ない。地球上の水の総量は、およそ 13.9 億 km<sup>3</sup> と推計されている。

そのうち海水は約 97%、淡水は約 3%である。しかも、淡水の約 7 割は氷河や氷山、雪などの固体として極地や高山に存在する。加えて、液体の水として存在する淡水のほとんどは地下水である。湖沼、河川などの形で私たちの周りに存在する淡水は全体のわずか 0.01%にも満たない。

## ● 陸から再び海へ

雨や雪として陸に降った水は、川となって地表や地下を流れ、海へと流れ込む。川では、ダムを利用した水力発電が行われていることもある。水の位置エネルギーは、海から蒸発して雨や雪として山地に降る過程で増加する。ダムを利用した水力発電所では、増加した水の位置エネルギーを電氣的エネルギーに変換している。

水は、陸に降り、海へ流れ込む過程で、様々なものをその中に溶かし込む。雨や雪として降る時には、大気中のほこりやチリ、気体などをその中に含んで地上へと運ぶ。地表や地下を流れる時には、土や岩などをその勢いで運び、無機物や有機物をさらに溶かし込む。そして、最後に海に流れ込む時は、自身とともに様々な物質も海へと流し込んでいる。

## ● 水の大循環

以上、水が状態変化をしながら地球上を移動する過程を見てきた。このように、地球上の水が状態変化をしながら絶えず循環していることを、「水の大循環」と言う。

「水の大循環」に出発点や終着点はない。ある地点に存在する水はどこか別の場所から供給されたものであり、また、長い年月の中でいつかは別の地点へと移動していく。さらに言えば、水が滞留する地点とそこでの量も一定ではない。例えば、地球の気温が上昇すれば、氷として存在できる水の量は減少し、その変化は他の地点の水の量に影響を及ぼす。大規模自然災害や人間による開発活動によっても、水の分布は大きく変わる。

しかし、それらを全て足し合わせて算出した、地球上の水の総量は、ほぼ一定である。水は化学的な化合物なので、地球上で合成されたり分解されたりすることはある。人工的環境や火山などの高エネルギー状態や、消化や光合成などの生化学的な過程において、水の合成や分解は起こっている。しかし、それらの過程で合成および分解される水の量は、地球上の水の総量と比較して非常に小さい量でしかない。ゆえに、「水の大循環」という観点からは、地球が現在の環境で安定して以降、地球上の水の総量はほぼ一定で、その一定量が絶えず循環し続けていると見ることができる。



図1 水の大循環

(<http://ga.water.usgs.gov/edu/graphics/japanese/wcmaindiagram.jpg>)

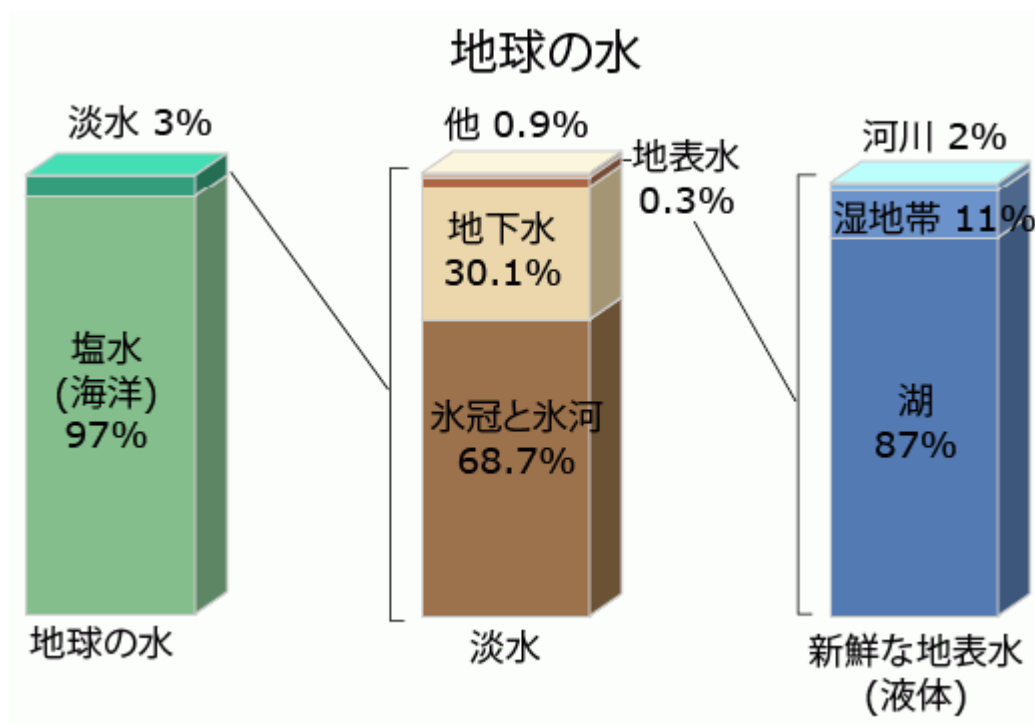


図2 地球上の水の分配

(<http://ga.water.usgs.gov/edu/graphics/japanese/earthwheredistribution.gif>)

## 水の分子

—水の性質を水分子のふるまいから説明する—

20 世紀以降、物質の性質は、原子や分子の性質から考え出された一般法則によって説明されるようになった。しかし、水の性質は一般法則からはむしろ説明できないものであった。ここでは、水の性質を、水分子に特徴的なふるまいに着目して考える。

## 水の分子 —水の性質を水分子のふるまいから説明する—

20 世紀に入ってから、自然科学の世界で原子論が確立した。物質の性質は、原子や分子の性質から考え出された一般法則によって説明されるようになった。しかし、その一般法則に当てはまらない物質も存在した。それが水である。水の性質を原子や分子の性質から説明するためには、水分子に特有のふるまいを考慮しなければならなかった。ここでは、水の性質を、水分子に特徴的な性質に着目して考える。

### ● 水の特異な性質

水は、他の物質には見られない特異な性質をいくつも持っている。

水は氷になると水面に浮く。これは水が液体から固体になると密度が小さくなることを意味する。日常生活の中で状態変化を観察できる物質は非常に少ないので気づきにくいですが、一般に物質は固体になると密度が大きくなる。固体になった時に密度が小さくなるという水の性質は、特異なものと言っていいだろう。

水は常温で水銀に次ぐほどの大きな表面張力を持っている。表面張力とは、同じ分子同士で集合する力のことを指す。新品の傘に降った雨が流れ落ちるときに丸い液滴となっているのも、水の大きな表面張力によるものである。

### ● 予測を裏切る水の性質

元素を原子番号に従って並べた表を、周期表と呼ぶ。周期表の中で、酸素と同じ族に属する元素である S(硫黄)、Se(セレン)、Te(テルル)、Po(ポロニウム)を酸素族元素と呼ぶ。酸素族元素は、 $H_2O$ (水)のように二つの水素と化学結合して安定な分子を作る。

多くの場合、物質の性質は、よく似た構造を持つ分子の性質から予測できる。しかし、水の性質は、その予測を裏切るものであることが多い。例えば、融点と沸点を考える。一般に、分子の構造がよく似た物質であれば、分子量が小さいほど融点も沸点も低くなる。酸素族元素の水素化合物においても、 $H_2Te$ 、 $H_2Se$ 、 $H_2S$  と分子量が減少するに従って融点も沸点も低くなる。しかし、酸素族元素の水素化合物で最も分子量が小さい水の融点は  $0^{\circ}C$ 、沸点は  $100^{\circ}C$  であり、 $H_2Te$ 、 $H_2Se$ 、 $H_2S$  の示す傾向に当てはまらない。

	$H_2O$	$H_2S$	$H_2Se$	$H_2Te$
融点 ( $^{\circ}C$ )	0	-85.5	-65.7	-49
沸点 ( $^{\circ}C$ )	100	-67	-42	-2

表 1 酸素族元素の水素化合物の融点と沸点



この事実は、水の性質を、よく似た構造を持つ分子の性質からのみでは説明できないことを示している。

## ● 水分子の性質

水の特異な性質は、水分子の性質によって説明することができる。

分子内の電荷の配置の偏りや分子構造の影響によって、分子に正と負の極ができた分子を極性分子という。水分子は、酸素原子の電荷がマイナスに偏り、二つの水素原子の電荷がプラスに偏っている極性分子である。そのため、二つの水分子において、片方の水分子内の酸素原子と、もう片方の水分子内の水素原子が向かい合った時に、二つの水分子間には大きな分子間引力が生じる。この、極性によって生じた分子間力を、水素結合という。水素結合は、二つの水分子の間だけでなく、周囲の水分子の間にも生じる。そのため、水分子が集合すると、互いに水素結合で結ばれた大きなネットワークが形成される。この結合は固定されたものではなく、結合と切断を絶えず繰り返している。水分子の集合体において、個々の水分子はダイナミックに運動しているのである。

## ● 水の特異な性質の説明

水分子が水素結合で結ばれた集合体を形成していることに着目すると、水の特異な性質のうちの多くが説明できる。

酸素族元素の水素化合物と比較した時に融点、沸点の傾向が当てはまらないことは、水分子間に水素結合が存在し、これを断ち切るために非常に大きなエネルギーが必要であるためと説明できる。

氷が水に浮くことは、氷より水の方が密度が大きいと言い換えることができる。氷において、水分子は、お互いの水素結合が最も強くはたらくような、規則正しい結晶構造をとっている。水分子の位置は固定され、その位置から外れることはない。氷の温度が上昇すると、水分子の運動が激しくなる。そして、ある一定の温度を超えた時、水分子は氷の結晶構造において定められた位置から外れ、結晶構造においては隙間であった空間にも入り込んで運動するようになる。その結果、液体の水の密度は、氷よりも高くなる。

強力な表面張力も、水素結合によって説明できる。水分子は水素結合によってお互い強く結びつく。その結果、水分子だけで集合する力が強くなり、強力な表面張力という物理的な性質として表れる。

以上のように、水分子単独の性質と、水素結合の性質とを合わせて考えることで、水の特異な性質を説明することが出来る。水は、水素結合でネットワークを作りながらダイナミックに構造を変える水分子の集合体なのである。

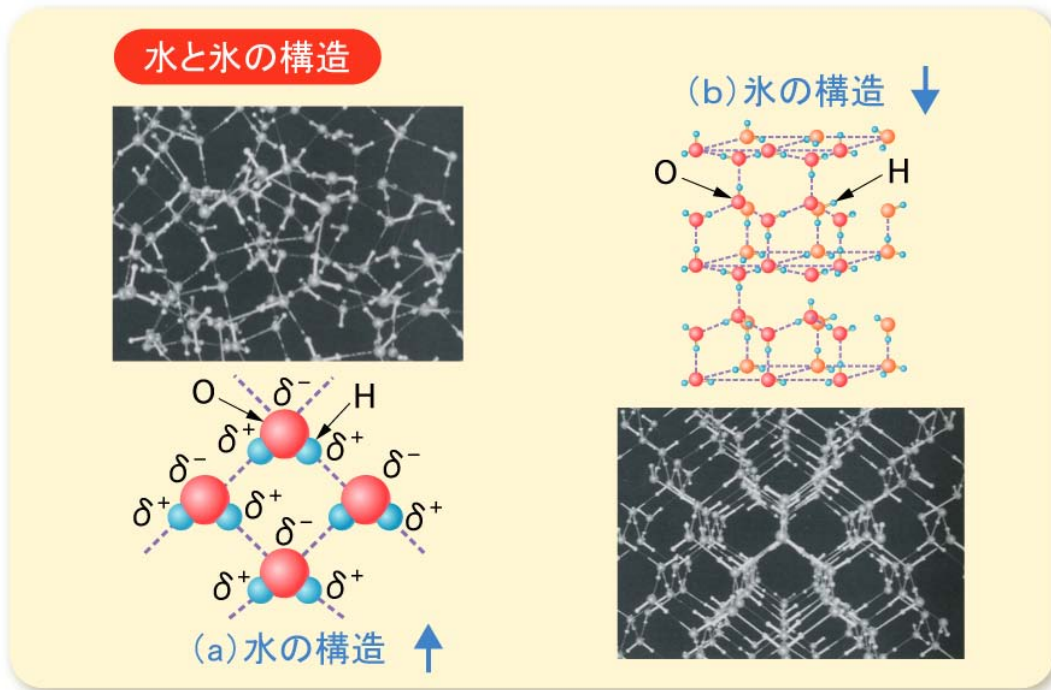


図1 氷と水の構造

(<http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0200a/images/30104.jpg>)

**元素の周期表**

		典型非金属										典型金属						遷移金属	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 1.01																	2 He 4.00	
2	3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18	
3	11 Na 23.00	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95	
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.89	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80	
5	37 Rb 85.48	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc [99]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29	
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57~71 *	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.21	83 Bi 208.98	84 Po [210]	85 At [210]	86 Rn [222]	
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	89~103 **	104 Unq [261]	105 Unp [262]	106 Unh [263]	107 Uns [262]	108 Uno [265]	109 Une [266]	* ランタノイド元素 ** アクチノイド元素									
*	57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97				
**	89 Ac [227]	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [252]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [256]	102 No [259]	103 Lr [260]				

□カッコ内の原子量は、この元素の放射性同位体のうち、最も一般に知られているものの数値を示している。  
IUPAC無機化学命名法改訂版(1989)による族番号は1~18。即ち、重族は用いない。

図2 元素の周期表

(<http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0030/periodic.html>)

## 水と生命

### －生命活動に水が果たす役割－

水を必要としない生物はいない。厳しい環境に耐えられる生物も、水を必要としている。微生物でさえ水を含む細胞を抱えて生きている。ここでは、植物、動物、ヒトの生命活動に対して水が果たす役割を見る。

## 水と生命 —生命活動に水が果たす役割—

地球上の生物は極寒地、乾燥した砂漠、空気の薄い山岳地帯など、さまざまな環境に適応して生息している。しかし、どのような環境に適応したとしても、水を必要としない生物はいない。砂漠に棲む昆虫もラクダも水を必要としている。微生物でさえ水の存在する場で生き、水を含む細胞を抱えて生きている。ここでは、植物、動物、ヒトの生命活動に対して水が果たす役割を見る。

### ● 植物と水

植物は、土壌中の水分を根から吸収している。水は大きな溶解力を持っているため、土壌中の水分には、同じく土壌中に存在する様々な無機物が含まれている。このため、植物は、水を吸収することを通じて、自らの中に無機物を取り込むことができる。

根から吸い上げられた水は、葉の表面での蒸散をきっかけとして生み出された陰圧によって、道管を通り、植物の最上部まで吸い上げられ、植物組織の隅々にまで行き届く。その力は、大気圧の約30倍にも達する。ここで大きな役割を果たしているのが、水分子の持つ強力な凝集力である。水分子は電気的な力でお互いに引き合っているため、葉の表面の細胞で蒸散が起これば、水分が失われると、周囲の細胞から水分を引き込む。その作用が葉から茎、茎から根へと続き、植物内部の水を引き上げる力として機能している。

植物が厳しい気候に耐えるためにも、水の果たす役割は大きい。植物は、激しい太陽熱を受けても急激には暖まらない。植物の組織中に大量に含まれた水が、その大きな比熱によって、植物の温度を上がりにくくする役割を果たしているからである。さらに、日中は気孔から水分を蒸発させ、水の気化熱によって植物の温度を大きく下げている。

また、植物は、寒風にさらされてもすぐには凍らない。植物は組織内に様々な物質が溶け込んだ大量の水分を蓄えている。水の融解熱は80cal/gと非常に大きい。さらに、物質の溶けた水の融点は低下する。この結果、植物は、寒冷環境でもある程度まで耐えることができる。

植物は、太陽エネルギーを利用して、水と二酸化炭素からグルコースと酸素を生産する。これを光合成と呼ぶ。グルコースは、高分子化するとセルロースになる。ほとんどの植物の幹や葉の組織はセルロースからできている。また、グルコースは高分子化してデンプンにもなる。さらに、グルコースは、生体が必要とする物質を合成するための原料としても使われる。例えば、体内のエネルギー運搬体であるATPは、グルコースからいくつかの過程を経て作られる。植物に固有の匂いや花の色や味を作る物質なども、グルコースから合成される。

水が原料となってグルコースが作られ、グルコースから様々な生体材料が作られ、それらが組み合わされて多様な植物の世界がつけられている。

## ● 動物と水

動物の身体を急激な体温変化から守るために、水の果たしている役割は大きい。水は大きな比熱容量を持つため、体内に含まれる水分によって体温変化は緩やかになる。運動によって体温が上昇すると、発汗により調節される。これは、気化熱を利用して熱を身体から逃がしていると言える。

脊椎動物の生命維持に大きな役割を果たしている体内の水分が、血液である。血液には、生命維持に必要な多種多様な物質が溶けている。また、血液中の赤血球は、内部に含まれるヘモグロビンの性質によって、酸素を運ぶ役割を果たしている。血液は、体中に張り巡らされた毛細血管を通じて体の隅々にまで運搬されている。

動物の体内における生体反応の過程でも、水は大きな役割を果たしている。

動物の口から摂取された食物は、消化酵素の助けにより、水との反応によって生体材料に分解される。タンパク質からはアミノ酸、デンプンからはグルコース、脂肪からは脂肪酸が作られる。さらに、酵素の作用により、それらを材料として生命維持に必要な物質が合成される。酵素は特定の立体構造をとらなければその機能を発揮することができない。酵素が特定の構造をとるためには、数十から数百個のアミノ酸によって構成されたペプチド鎖が立体的に折りたたまれ、その鎖全体を水分子が水素結合によって取り囲む必要がある。

体内の老廃物は、血液によって腎臓に運ばれる。腎臓では、血液から一定量の水分と老廃物が取り除かれ、尿として体外に排出される。動物の体内では、腎臓の機能によって再生された水がリサイクル利用されていると言える。

## ● ヒトと水

ヒト(大人)の体重の60-70%は水である。ヒトのすべての組織中に水が含まれている。例えば筋肉に76%、脳に75%、骨にさえ12%の水が含まれている。ヒトの組織から水分が失われると、組織の性質は大きく変化する。例えば、髪の毛が水分を失うと、潤いを失いカサカサになる。

ヒトは一日平均2.5Lの水を取り入れ、同じ量を排泄する。水補給は生命維持の基本条件である。一般に、ヒトは、水分が2%減少すると渇きを覚え、5%で目眩を起こし、20%失うと死に至る。一方、ヒトの体内の一点を通過する水の量は、摂取量とは比較にならないほど多い。例えば、腎臓を一日に通過する水の量は、一日に飲む水2.5Lの約100倍である。ヒトが毎日生きていくためには、それだけ多くの水が循環し、物質を運ぶことが必要である。

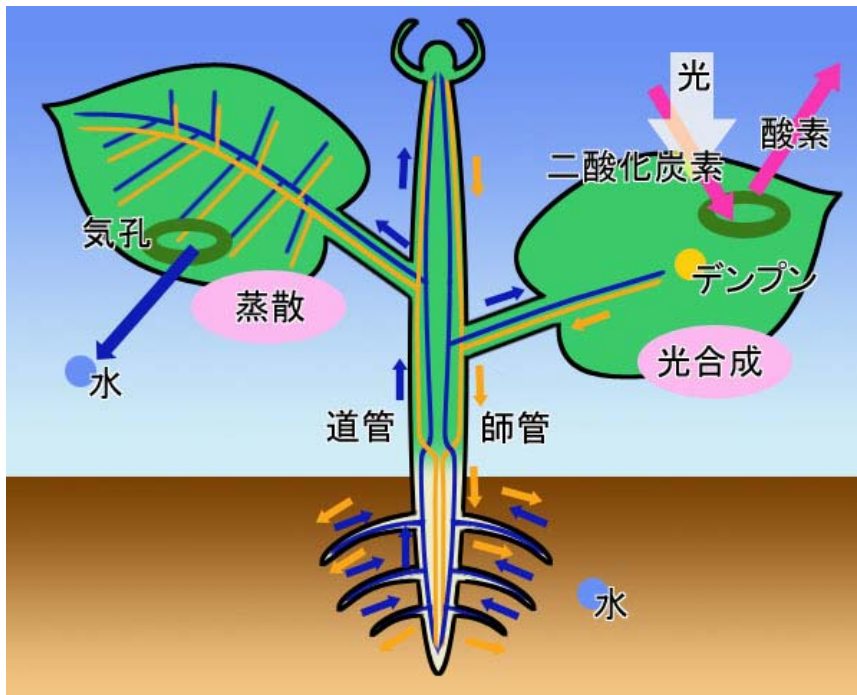


図1 植物内での物質の流れ

([http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0110/images/plant\\_2d/matome.jpg](http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0110/images/plant_2d/matome.jpg))

## 水の起源

—地球上に水が現れるまで—

水は地球上に大量に存在する。これだけ大量の水はいつどこでどのように生まれ、地球の表面上に現れたのだろうか。ここでは、水の起源から海の出現までを、宇宙の創成にまでさかのぼって考える。



## 水の起源 —地球上に水が現れるまで—

水は地球上に大量に存在する。地球上の水の総量は 13.9 億 $\text{km}^3$  (立方キロメートル)にもなる。地球の表面の 71%は海で覆われている。これだけ大量の水はいつどこでどのように生まれ、地球の表面上に現れたのだろうか。ここでは、水の起源から海の出現までを、宇宙の創成にまでさかのぼって考える。

### ● 水素原子と酸素原子の合成

水分子は、2 個の水素原子と 1 個の酸素原子によって構成される。

水素原子は、宇宙誕生の初期に作られた。宇宙は、今から約 137 億年前のビッグバンによって誕生した。ビッグバン直後の宇宙では、約 1000 兆 $^{\circ}\text{C}$ もの超高温の中で、様々な素粒子が飛び交っていた。ビッグバンから 1 万分の 1 秒後、宇宙の温度が約 1 兆 $^{\circ}\text{C}$ になった時、素粒子の一つであるクォークが集まって陽子(水素原子核)や中性子が作られた。その後、温度の低下に伴って、ヘリウムやリチウム、ベリリウムなど、軽い元素の原子核が作られた。ビッグバンから数十万年後、宇宙の温度は約 3000 $^{\circ}\text{C}$ にまで下がり、原子核が電子を捉えて原子を作ることができるようになった。水素原子もこの時に作られた。

酸素原子は、宇宙誕生初期の過程では作られなかった。酸素原子が作られるためには、恒星(自ら輝く星)の誕生が必要であった。

宇宙誕生初期に作られた水素やヘリウムなどの原子核は、ビッグバンから 10 億年ぐらいの間に、互いの重力により塊を形成し、第 1 世代の星を構成した。星を構成する過程で、中心部分の温度と圧力は著しく上昇した。温度が約 1000 万 $^{\circ}\text{C}$ に達した段階で、中心部分では水素を燃料として核融合反応が始まった。この時、第 1 世代の星は、恒星として輝き始めた。

恒星の内部における核融合反応において、水素原子核からヘリウム原子核や炭素原子核が合成された。酸素原子核は、ヘリウム原子核と炭素原子核から作り出された。作り出された酸素原子核は、電子をとらえて酸素原子となった。

### ● 惑星と水の出現

こうして出来た水素原子と酸素原子が結合して、水分子が合成された。しかし、水分子の大多数は、宇宙空間において、鉱物の中に水和物として取り込まれた。水分子のみが十分な量の集合体として宇宙空間内に存在することはまれであったと考えられている。

十分な量の水は、惑星の誕生に伴って現われたと考えられている。宇宙空間には、超新星爆発によって生まれたガス(空気のような気体)やダスト(砂粒よりも細かな固体)が漂っている。ガスやダストが互いの引力により集積すると、微惑

星となる。微惑星はさらに集積し、惑星となることがある。この集積の過程で、鉱物が化学的に分解されることがある。水を含む鉱物が分解されると、鉱物内に化学的に取り込まれていた水は放出される。放出された水が惑星表面に留まることが出来れば、それが海である。

### ● 地球表面に海が存在するための条件

現在のところ、地球以外の惑星の表面に、大量の水(=海)は見つかっていない。このことは、惑星表面に大量の水が存在するためには数多くの条件が必要であることを物語っている。ここでは、それらの条件のうち二つを、太陽系を例に取って説明する。

まず、惑星の地表温度が、液体の水の存在できる 0~100℃の温度範囲に収まっている必要がある。太陽系惑星の表面温度は、太陽との距離によって決定される。現在の太陽系惑星の表面温度のデータから、液体の水が存在するために適切な太陽との距離を推測してみよう。

	←太陽との距離小					太陽との距離大→		
惑星名	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
表面の平均温度(℃)	330	200	15	-50	-130	-150	-190	-200

表 1 惑星の表面の平均温度

データより、地球より太陽に近い惑星では表面温度が 100℃を超えている。これらの惑星では、液体の水が惑星の表面に安定して存在することはない。地球よりも外の惑星では、表面温度が 0℃を下回っている。よって、惑星表面の水は全て氷結している。太陽系の惑星の中で、惑星表面に液体の水が存在できるのは、地球の位置のみである。

次の条件として、惑星が、水を惑星表面に留めるために必要な引力を生み出すことが必要である。惑星の引力は、惑星自身の大きさに最も左右される。よって、惑星自身が十分な大きさを持つことが必要である。惑星が小さいと、水は宇宙空間に逃げてしまう。例えば、月を考えてみよう。月は地球よりも小さく、その重力は地球の 1/6 である。そのため、太陽からの距離が地球と同じであるにもかかわらず、水分子を惑星表面に留めておくだけの引力を生み出すことができなかったと考えられる。現在のところ、月で水は発見されていない。一方、地球は、惑星表面に水を留めるために十分な大きさになることが出来た。

地球に海が存在するためには、これらの条件の他にも、磁場の存在などが必要である。様々な条件が重なり、地球上には海が出現した。

# 元素の周期表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
1	1	H 1.01																	2 He 4.00				
2	3	Li 6.94	4 Be 9.01															8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18			
3	11	Na 23.00	12 Mg 24.31															16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95			
4	19	K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.89	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80				
5	37	Rb 85.48	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc [99]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29				
6	55	Cs 132.91	56 Ba 137.33	57~71 *	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.21	83 Bi 208.98	84 Po [210]	85 At [210]	86 Rn [222]				
7	87	Fr [223]	88 Ra [226]	89~103 **	104 Unq [261]	105 Unp [262]	106 Unh [263]	107 Uns [262]	108 Uno [265]	109 Une [266]	* ランタノイド元素 ** アクチノイド元素												
*	57	La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97							
**	89	Ac [227]	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [252]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [256]	102 No [259]	103 Lr [260]							

[カッコ]内の原子量は、この元素の放射性同位体のうち、最も一般に知られているものの数値を示している。  
IUPAC無機化学命名法改訂版(1989)による族番号は1~18。即ち、垂線は用いない。

図1 元素の周期表

(<http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0030/periodic.html>)

エキスパート・グループ活動 web 資料集

以下のようなサイトが役に立つと思います。試してみてください。

宇宙図	<a href="http://www.nao.ac.jp/study/uchuzu/index.html">http://www.nao.ac.jp/study/uchuzu/index.html</a>
一家に1枚宇宙図 2007 ガイド	<a href="http://www.nao.ac.jp/study/uchuzu/guide.pdf">http://www.nao.ac.jp/study/uchuzu/guide.pdf</a>
周期表(肖像有)	<a href="http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/week/shuki/a3.pdf">http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/week/shuki/a3.pdf</a>
周期表(肖像無)	<a href="http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/week/shuki/a3_b.pdf">http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/week/shuki/a3_b.pdf</a>
理科ねっとわーく	<a href="http://rikanet2.jst.go.jp/index.php">http://rikanet2.jst.go.jp/index.php</a>
人体のしくみ	<a href="http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0040b/start.html">http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0040b/start.html</a>
目で見て操作する「分子の世界」	<a href="http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0200a/start.html">http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0200a/start.html</a>
地球と生命の誕生	<a href="http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0150a/start.html">http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0150a/start.html</a>

役に立ったページに○、特に役に立ったところに◎をつけておいて下さい。どんなところを見ましたか？余白は、メモにお使い下さい。ここはお勧めというところが見つかったら、以下に書いておいて下さい。

2009.02.28. 氏名 \_\_\_\_\_

一休みアンケート（ジグソー活動に入る前に書いてください）。

エキスパート・グループ活動について伺います。

(1) 資料は、読みやすかったですか？ 当てはまるところに○を付けてください。

とても 難しかった	かなり 難しかった	少し 難しかった	どちらでもない	少し 易しかった	かなり 易しかった	とても 易しかった	

資料についてのコメントをどうぞ。

(2) エキスパート・グループで話し合ったことのうち、おもしろかったことはどんなこと  
ですか？

(3) グループで話し合ったことのうち、中心的な話題はなんでしたか？

東京大学 大学発教育支援コンソーシアム  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

半日体験ワークショップ 第一回

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

ジグソー活動 聞き取りメモ用紙

聞いた資料番号 \_\_\_\_\_

話してくれた人 \_\_\_\_\_

東京大学 大学発教育支援コンソーシアム  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

半日体験ワークショップ 第一回

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

ジグソー活動 聞き取りメモ用紙

聞いた資料番号 \_\_\_\_\_

話してくれた人 \_\_\_\_\_



東京大学 大学発教育支援コンソーシアム  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

半日体験ワークショップ 第一回

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

ジグソー活動 聞き取りメモ用紙

聞いた資料番号 \_\_\_\_\_

話してくれた人 \_\_\_\_\_

東京大学 大学発教育支援コンソーシアム  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

半日体験ワークショップ 第一回

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

ジグソー活動 聞き取りメモ用紙

聞いた資料番号 \_\_\_\_\_

話してくれた人 \_\_\_\_\_

東京大学 大学発教育支援コンソーシアム  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

半日体験ワークショップ 第一回

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

ジグソー・グループでの話し合い メモ

テーマ

話し合った内容

東京大学 大学発教育支援コンソーシアム 半日体験ワークショップ 第一回  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

2009.02.28. 氏名 \_\_\_\_\_

クロス・トーク 聞き取りメモ コメントなど

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

半日ご苦勞様でした。最後に今日やったことを振り返って記入してください。2枚あります。

(1) 「水」について、今はどんなことを考えていますか？

(2) 科学は、私たちが生きていくうえで、どんな役に立つでしょうか？

(3) グループ活動のメリット、デメリットを挙げてください。

(4) 今日やったことのうち、授業に活用できそうなことがあったら書いてください。

2009.02.28.

氏名 \_\_\_\_\_

以下、各質問について、当てはまるところに○を付けてください。

(1) 担当した資料をジグソーグループのメンバーに説明するのは

_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

とても かなり 少し どちらでもない 少し かなり とても  
難しかった 難しかった 難しかった 易しかった 易しかった 易しかった

(2) ジグソーグループの話し合いに参加するのは

_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

とても かなり 少し どちらでもない 少し かなり とても  
難しかった 難しかった 難しかった 易しかった 易しかった 易しかった

(3) プロジェクト活動として話し合ったテーマは

_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

とても かなり 少し どちらでもない 少し かなり とても  
難しかった 難しかった 難しかった 易しかった 易しかった 易しかった

(4) プロジェクト活動の話し合いに参加するのは

_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

とても かなり 少し どちらでもない 少し かなり とても  
難しかった 難しかった 難しかった 易しかった 易しかった 易しかった

(5) クロス・トークで他のチームから出てきた話題は

_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

とても かなり 少し どちらでもない 少し かなり とても  
難しかった 難しかった 難しかった 易しかった 易しかった 易しかった

(6) クロス・トークで自分の意見を全体に対して発言するのは

_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

とても かなり 少し どちらでもない 少し かなり とても  
難しかった 難しかった 難しかった 易しかった 易しかった 易しかった

(7) 今日の課題は、全体として

_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

とても かなり 少し どちらでもない 少し かなり とても  
難しかった 難しかった 難しかった 易しかった 易しかった 易しかった

回答ありがとうございました。今日のワークショップ全体について、ご意見、ご感想、今後のご要望などがありましたらお書き下さい。裏を使ってくださっても結構です。