

増刊号

2010
〈春〉

科学するところを開く



Science Window

水を知る

旅に出よう



水を知る

旅に出よう

なぜ水の中でしか生きられない？ 生き物がいるの

なぜ氷が？ 水に浮くの

生き物は、なぜ？ 水が必要ななの

なぜ水は？ 透明なの

水を汚すと？ どうしていけないの

どうして水にいろんな？ ものが溶けるの

なぜだろう

人の体にはどの？ くらい水があるの

どうして水はどんな？ 形にもなれるの

どうして失恋の歌に？ 雨が歌われるの

どうして凍ると冷たくて、？ 温めると蒸発するの

水の神様が？ いるって本当

水は海にはいっぱいあるのに、？ なぜ水不足のところがあるの

水を知る

旅に出よう

身近にあって当たり前に思える水。毎日生きていくために欠かせない水。すべてのいのちを支えてくれる水。暮らして産業のためになくてはならない水。

その水のことを私たちはどこまで知っているのだろうか。水はどこから来たのだろうか？地球が「水の惑星」と呼ばれるのはなぜ？でも世界では、きれいな水が飲めない人が多い。

「水を知ること」は、身の回りを問うこと。水が不思議なものであることが分かること。水に生かされていることを知ること。日本や世界を知ること。そして地球や宇宙や進化を知ることになる。

科学や技術、社会や文化の目で、ミクロな目で、またマクロな目で、水を知る その旅に出てみよう。それは自分を発見することになるだろう。

マクロな水

(宇宙・地球環境における水)

「水を知る旅」への案内

みなさんを

「水の不思議な世界」へご案内します。

その入り口はいくつもあります。

あなたの興味のあるところから、

それぞれの世界へと入ってみてください。

マクロな視点で、宇宙や地球環境における水

地球の表面の7割を占める海。人間の体重の6割を占める水。いったい水という物質はどこからやって来たのだろうか。地球のなかで水はどのような役割を果たしているのか。

▶▶▶第1章へ

人間生活のなかの水

私たちの生活の中でどのように使われているのだろうか。

衣食住を支えてきた水。世界で水は足りているのだろうか？▶▶▶第2章へ

学校で水をどう教える

学校で先生と子どもたちは水のことをどう学んでいるのだろうか？水泳の時間だけではない。

理科、国語、音楽などあらゆる科目に登場する。▶▶▶第3章へ

水のミクロな世界、水を知ろうとする科学の歴史

人や生き物は水の、異常な性質を巧みに利用して生きている。水がどのくらい特殊な物質かを探る。

人は水をどう理解しようとしてきたか歴史をたどる。▶▶▶第1章へ

精神や文化を生み出した水

生命を支える水とのつきあい、人々の心に安らぎや癒しを与える。そしてさまざまな精神活動の支えとなった。

水とのふれあいが身近な日本の、水をめぐる文化や芸術をみてみよう。▶▶▶第4章へ

生命を支える水

どうして水について学ぶのか「科学リテラシー」の柱として

すべての日本人が身に付けたい基礎的な素養とは何かを提案する『科学技術リテラシー像 ～豊かに生きるための智〜プロジェクト』の報告書（通称「科学リテラシー報告書」）が2008年3月にまとめられました。その中に21世紀に解決すべき課題の一つとして挙げられたのが「水」で、報告書には水を知るための多面的な側面が紹介されています。

今回の『Science Window』増刊号は、この報告書を活用しており、報告書の「水」の章を執筆した国際基督教大学の吉野輝雄教授に編集面で指導していただきました。吉野教授は、大学で長年にわたって「水」をテーマに学生の向学心を引き出すユニークな科学の授業を展開しており、その成果が報告書に結実しています。「水を知ること」は自然を知ること。宇宙創成から地球誕生、生物の進化、環境問題、いのちの大切さを学ぶことにもつながる。自然との調和した関係が求められる21世紀の地球市民になるために役立ってほしい」と話しています。『Science Window』のこの号も同じ願いで編集されています。「水」や科学リテラシーに関心を持ち、さらに詳しく学びたいと思った方は、以下のWEBサイトにアクセスしていただければ、報告書がご覧になれます。



Science Door

科学技術の智プロジェクト

総合報告書と7つの専門部会報告書の内容は以下のホームページで。

<http://www.science-for-all.jp/>

吉野輝雄教授のサイト

総合報告書の「水」の部分の改訂版のほか、本誌でも紹介する「水クイズ」など楽しめる内容が公開されている。

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



人間生活の中の水

ミクロな水（分子の特性）

CONTENTS

第1章 水の不思議

- 06 古代からの熱い論争、考え続けた歴史 水の本性は何か？
- 08 水は気ままな旅が好き ―姿を変えて地球を巡る―
- 10 水はユニーク。「常識はずれ」の物質だった！
- 12 地球上の水はどこから来たのだろうか？
- 14 あなたも一緒に考えてみよう！「水クイズ」

第2章 水とつきあう

- 16 都市を水害から守る地下の“神殿”
- 17 江戸からの「水とのつきあい」
- 20 流せば洪水、ためれば資源 ―雨
- 22 森に木を!! 海を豊かにするために

第3章 学校の現場から

- 24 人・自然・社会の間を流れる水学ぶ
- 28 水を使って教える中学の理科
- 29 水は各教科の中も流れている

第4章 水から生まれた文化

- 30 名画と名句でたどる「日本人と雨」
- 32 水とのかかわりが生む芸術
- 33 オペラ『みづち』が伝えるもの
- 34 メッセージ ―「水の旅」の目指す先

不思議な性質の水。そもそも水とは何か？水は何からできているのだろうか。最も身近に存在する「水」の本質を人類は長い間、問い続けてきた。「水」をテーマに、さまざまに工夫した授業を大学で展開している吉野輝雄・国際基督教大学教授による「水の不思議な世界」の教室をのぞいてみよう。



吉野先生

古代からの熱い論争、考え続けた歴史 水の本性は何か？

「水を化学式で書くと『H₂O』と表されるのを当たり前のことのように思っていないか？」と、そう問いかける吉野先生。「水は何ものなのか」を追求した古代人から、長く長く続いた熱い論争は、「考えること」の科学の歴史でもあった。

「万物は水」いや「4元素から」

「『万物の根源とは何か』。これは人間が抱く究極の問いの一つではないでしょ



ターレス

素からなる化合物で、水素の燃焼によって水ができるという物質変化の本質も明らかにした。さらに19世紀に入って、英国の科学者ドルトンはデモクリトスの原子の概念を復活させ、元素記号を考案した。

彼は、例えば水は●○(HO)と表した。ドルトンにとっての水とは何かと言うと、分解すれば水素と酸素になり、最小の組み合わせが1対1なので●○と考えたのだった。しかし、「この表し方では、体積比で水素ガス2と酸素ガス1から水蒸気2ができることや、水を作る水素と酸素の重量比が2:16であることを説明でき



ラボアジエとその夫人マリー。(1788年、ダヴィッド作、ニューヨークのメトロポリタン美術館所蔵)。夫人はデータや実験の様子をノートに記録するなど、ラボアジエの実験をよく助けたという。この絵の中にも机や床の上の実験器具が描かれている。

水をめぐる科学史年表

年代	人・地域	業績
B.C.600ごろ	ターレス (ギリシャ, B.C.625-547)	アルケー(万物の根源)は水であるという一元素説を唱える
B.C.400ごろ	デモクリトス (ギリシャ, B.C.460-370)	古代原子説(物質がこれ以上分割できない原子からなること)を唱える
B.C.350ごろ	アリストテレス (ギリシャ, B.C.384-322)	アルケーは「土、水、空気、火」の4元素で互いに変化するという四元素説を唱える
400-1800ごろ	アラビア、ヨーロッパなど	錬金術が盛んに
17世紀はじめ	ヘルモント (ベルギー, 1579-1644)	「柳の実験」で水から木ができるとして三元素説を説明
1662ごろ	ボイル (イギリス, 1627-1691)	鉄の針金と酸の反応から「燃えやすい空気(水素)」を観察
1766	キャベンディッシュ (イギリス, 1731-1810)	亜鉛と硫酸の反応から水素を発見
1772	シェーレ (スウェーデン, 1742-1786)	酸素の燃焼性を発見
1774	プリーストリー (イギリス, 1733-1804)	酸化水銀を加熱し、燃焼や呼吸を活発化する「よい空気(酸素)」を発見
1774	ラボアジエ (フランス, 1743-1794)	ベリカン蒸留器で四元素説の示す元素変換を否定
1783ごろ	キャベンディッシュとラボアジエ	気体の水素2容積と酸素1容積から水ができることを発見
1803ごろ	ドルトン (イギリス, 1766-1844)	酸素1原子は水素1原子の6倍の重さを持つと仮定、水を●○と表現
1808	ゲー＝リュサック (フランス, 1778-1850)	体積比で水素2と酸素1から水蒸気2ができることを確認
1811	アボガドロ (イタリア, 1776-1856)	分子説とアボガドロの法則の提唱、水の化学式H ₂ Oを考案
1842	デュマ (フランス, 1800-1884)	酸素1原子は水素1原子の8倍の重さを持つとドルトンの説を改定
1909	ペラン (フランス, 1870-1942)	アボガドロ数の決定実験

1700年間信じられた説

「水」をめぐる論争がこうして始まった。タレスの説に対して、アリストテレスは「自然は水、空気、土、火からできている」という四元素説を唱えた。これに対してデモクリトスは「いや、水は原子である。つまりこれ以上分割できない最小単位の粒子からできているのだ」と反論した。このことから「物が原子という粒子から成ることや、原子の形や運動によって物の性質が決まること、そして物に変化(化学反応)が起きても原子は消滅しない」という概念が作られつつあったのだ。しかし当時はこの原子説を確かめ

アリストテレスの四元素説と四つの性質



時は流れ、17世紀。このころから天文学の影響を受け、自然現象や物質の変化を、事実の観察・実験結果に基づいて考えることが重視されるようになってきた。物理学ではニュートンやコペルニクス、ガリレオが登場。化学の世界ではロバート・ボイルが「懐疑的化学者」という著書の中で、「事実を観察し、実験を行うことに全力を注ぎ、いかなる理論もあらかじめ検討することなしには立てない」と、帰納法こそが自然を見る、真理を探究する基本だと言いつつ切ったのだ。

18世紀末には、ラボアジエが水は土に変換できないことを実験で確かめて四元素説を否定。水が水素と酸

ない。矛盾している」といった反論も強く出た。

「H₂O」2H₂O長き道へ

そんな論争の中、気体反応の体積変化に注目して、水分子がH₂Oであることを証明したのがイタリアのアボガドロだった。水素ガスや酸素ガスは、単一の原子ではなく2つの原子からなる「分子」ではないかと思いついたのだ。「分子」の存在に気付いたことで、すべての矛盾が解決し、アボガドロのおかげで「水の生成反応は2H₂+O₂→2H₂Oと書く」と、「水の組

成はH₂Oである」ことに落ち着いたのだった。

「皆がいま当たり前だと思っている、この『H₂O』という表記は、いかに長い道のりを経て分かったのか想像できませんか。つまり考え、考え、考え、考え続けた人間の営みの結果なのです」と吉野先生は振り返った。アボガドロは、1モルの水、つまり18グラムの水の中に、6・02×10²³乗個もの水分子があると予測したが、「H₂O」が実在すると証明されたのは、アボガドロの死後、ペランによって実際にそのアボガドロ数が測られたことによる。ドルトンとアボガドロが、

見えない世界の重さをちゃんと理解しようとしたところに、現代科学の基礎が詰まっています。その後の科学が「気に発達したのだ」。

「科学史を学ぶと、知識を知識として分かることもおもしろいのですが、そうではなくて、むしろ、なぜだろう、どうしてだろうと『考える』ことの大事さが分かるのです。分からないことはちっとも恥ずかしいことではないし、当たり前なこと。授業で『恥ずかしいから聞かなかった』というのであれば、『いや、そういう君にこそ聞いてほしいんだよ』と言いたいのです」と吉野先生は締めくくった。

水は気ままな旅が好き

姿を変えて地球を巡る

あなたがくんだコップ一杯の水。

その中には、地球のあちこちを旅した水分子たちがたくさん入っている。吉野先生が次に教えてくれたのは「ダイナミックな水の旅」。地球というマクロな視点で水を追っていくと、いろいろなことが見えてくる。



洗濯物から見える水の大循環

石油や石炭といった資源は使うと消えてしまうが、水資源はどうなのか。人間が生活する上で、すぐに利用できる水（淡水）は、地球上にわずかしかない。それでも、それを頼りにする人間に、「自然の恵み」として年々、一定の量が与えられる。空間や時間を超えて水がリサイクルしながら、世界中を巡るのはなぜだろう？

天気の良い日に洗濯物を外に干すと、気持ちよくカラリと乾く。水はいつの間にか気体になって遠くへ旅に出してしまう。でも、水が消えたように見えたのは、その状態が変わっただけ。水が水蒸気や氷へと状態を変えることは、日常的な出来事だ。

海から大量の水蒸気が大気へ送り出される。その水蒸気が大気の流れとともに上空を巡り、雲をつくり、移動する。そして雨や雪となって地表に降る。雨水は植物を育て、動物の飲み水になる。雪解け水や雨水、

わき水が川をつくり、高いところから低いところ流れていく。川や地下を流れた水を海が「お帰りなさい」と迎える。

こんな「水の旅」について、吉野先生はこう話す。

「地球上で水は、気体・液体・固体という三つの状態で存在するのです。気体は雲、液体は海や湖、川、地下、そして固体は氷河・氷山・雪として。海と陸地の水は、太陽の熱で蒸発し、上空で雲となり、それから雨や雪となって再び陸地に降ってくる。地球誕生以来、水は状態変化しながら、地球上を循環しているわけです。このように、時と空間を超えて絶えず動き、循環していることを『水の大循環』と呼んでいます」

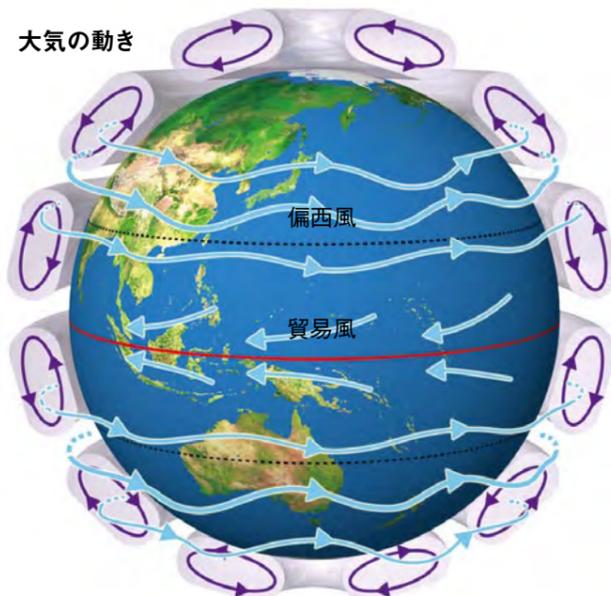
熱の出入りが気象を決める

日本の夏は、1㎡当たりの空気中に30g以上の水蒸気を含む。水（水蒸気）は大気中に1%程度しか含ま

れていないが、そんなわずかな量でも気象に与える影響は大きい。水は蒸発するとき、周囲から多くの熱を奪う。また逆に、水蒸気が冷却されるときに熱（潜熱）と呼ばれる）の出入りがあるのだ。この熱の出入りによって、暖められた水蒸気は上昇し、冷却された水蒸気は下降する。水蒸気量の変化が気圧の変化をもたらすのだ。

では雲を含む大気を動かしているのは何だろうか？ 地球表面は、緯度によって太陽光の入射角が違うので、大気の色は赤道付近が最も高く、極地（北極や南極）が最も低い。大気は、赤道付近では暖かく、軽いので上昇し、緯度の高いところでは冷たく、重いので地表に降りてくる。また

大気の動き



地球の自転によって生じる慣性力（コリオリの力）によっても大気は動かされておき、亜熱帯から赤道にかけての低緯度地域では西向きの貿易風が、中緯度地域では東向きの偏西風がそれぞれ吹いている。このように、大気は上下、東西、南北と地球を大きく循環しているため、水蒸気も地球全体を旅することになるわけだ。

地球は寒いところではマイナス50℃くらいまで冷え、暑いところでは40℃くらいまで上がるものの、平均気温は約15℃である。それは、広大な海が、太陽からの熱エネルギーを吸収・蓄積するスポンジの役割をするからだ。水蒸気によって地球の温かな気温が保たれている。

生き物を支える海

海水にはたくさんの物質が溶け込んでいる。川から海に流れ込むときに土砂、ミネラル、有機物などが運ばれ、海の環境を豊かにしている。自然界に存在する92の元素もすべて海水に溶けている。ミネラル分は

海水に塩分をもたらし、有機物は微生物の栄養分となっている。

二酸化炭素（CO₂）も海水に溶けやすい物質だ。CO₂の増加に伴う地球温暖化が問題になっているが、光合成による植物のCO₂の吸収・呼吸だけでなく、海でのCO₂の吸収・放出が熱のエネルギーの移動に変化

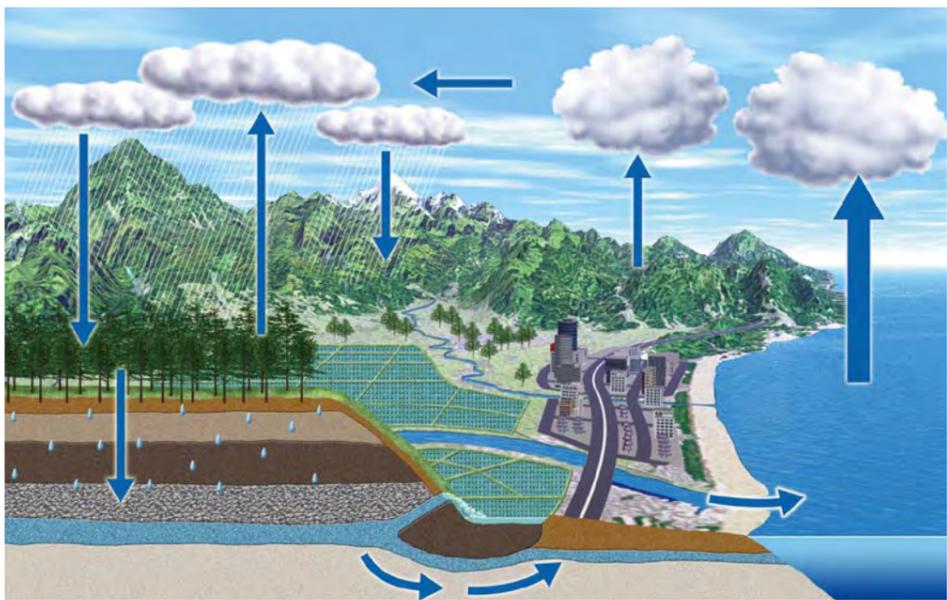
をもたらす、気候変動に影響を与えている。

海水も世界中を旅する。海水の大循環も、大気の流れとともに気候に影響を及ぼすだけでなく、地球全体の豊かな生態系を育くむ役割を果たしているのだ。

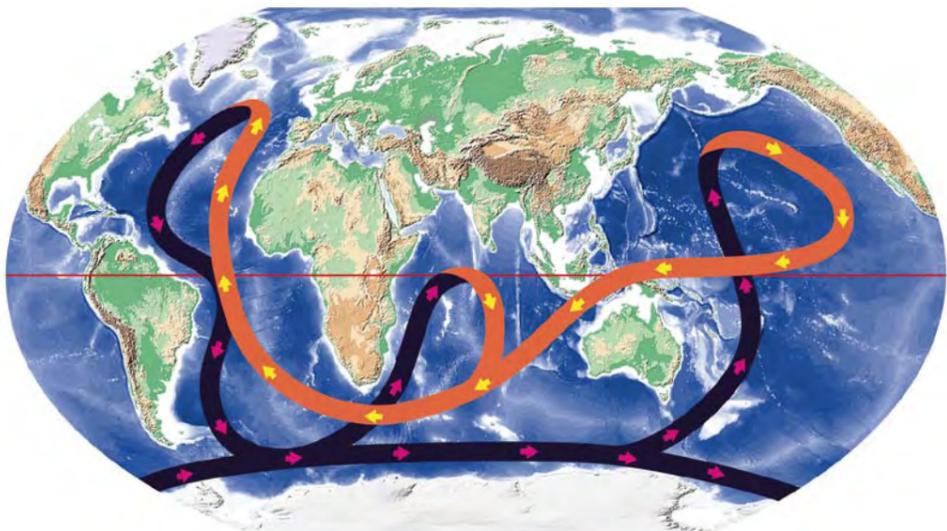
授業のまとめ



「水は、液体、水蒸気、氷、雪と三つの状態を変えながら絶えず循環し、地球の自然環境に大きな影響を与える。生物の存在を支え、気象を決定し、緑の草木を育て、人間生活を支え、心には潤いを与えている。この地球には、水なしでは生きていけない多様な動物、植物が互いに関係を持ちながら生きている。水が海として、川として、氷河として、大気中の水蒸気として存在することで、熱帯から温帯、寒冷帯の気候が決定され、季節による自然の変化がもたらされ、豊かな地球環境が出来上がっている。まさに、地球はユニークな水と生命の星なのである」(吉野先生)



海や山、森林から蒸発した水蒸気は雲となり、雨・雪となって再び地上に降り、川や地下水となって海に至る。



世界中を旅する海水のモデル図。海の水を動かすのは、風と温度と、塩分濃度の差だ。風は海面下数百mまでの浅い流れをつくる。「黒潮」や「親潮」は北太平洋を巡る風によるもの。北極や南極では海水温度が低く、塩分濃度は大西洋の方が太平洋よりも高いことから、海水密度の違いが生まれ、海面下数百m以上の深い流れをつくっている。上下方向では、密度の高い水は海底へ、海底火山近くなど熱くて軽い水は上へと動く。赤は塩分の少ない表層の流れ、黒は塩分の濃い深い流れを示している。

表面の71%が海で覆われている地球で、水の総量はおよそ13.8億km³。その97.5%が海水で、残り2.5%が淡水。淡水のうち、南極や北極の水などはほとんど解けることがないので、河川や湖沼などで、私たちが使える淡水は全体のわずか0.014% (20万km³)しかない。

ユニークさは、分子の形と構造から

水の不思議な性質

水が持つ特異な性質とはどんなものなのだろう。私たちが当たり前と知っていることも、他のさまざまな物質と比べると、かなり変わった「常識はずれ」な性質だという。そのいくつかを挙げてみる。



マーティン・チャップリン博士（ロンドン南バンク大学名誉教授）によると、こうした水の“常識はずれ”な性質を数えると67もあるという。この異常な性質は水のミクロな構造から来ると吉野先生は解説する。

その構造を見てみよう。水素原子（H）と酸素原子（O）が作る形は、正四面体（正三角形を四つ合わせた形）の重心と2つの頂点を結んだ形に近い。H-O-H がなす角度は、正四面体の作る109.4°よりも微妙に小さい104.5°になっている。

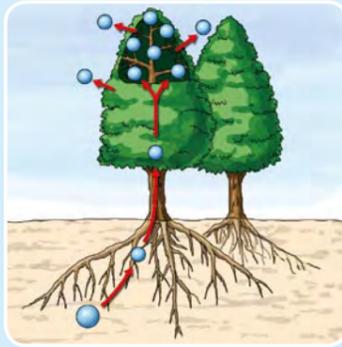
水分子のHとOは、それぞれプラスとマイナスの電荷を持っており、隣の水分子のマイナスやプラスを引き寄せる。こうした分子間引力によって作られる結合は「水素結合」と呼ばれる。この結合によって水は、水分子同士が結び付いた集合体（ネットワーク）をつくる。その形に規則性はなく、絶えず切れたりつながったりしながら運動している。

一方、氷の結晶は、1つの水分子が4つの水分子と手をつないだ、正四面体が連続的につながったダイヤモンドに似た構造だ（図1参照）。六方晶系に属し、雪の結晶の六角形をつくる。

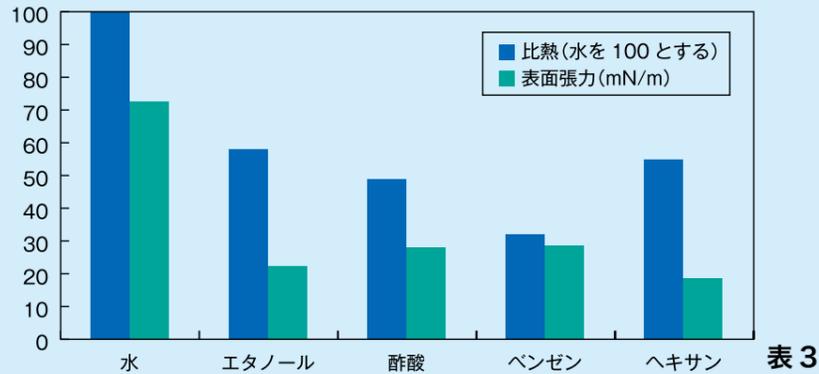
液体の水は、水素結合によって分子同士が互いに拘束し合っている。水分子が窮屈に詰まっているため、氷よりも密度が大きい。水の沸点が高いことや蒸発熱が大きく、表面張力が大きいことなどは、水が巨大なネットワークをなかなか崩さないためでもある。

表面張力が大きい

水の表面張力は、自然界にある物質としては水銀に次いで大きい。親水性のある物質と接触すると、できるだけ相手と密着し、すき間に浸透し、全面をぬらそうとする。これが毛細管現象。高木の末端の葉に根から養分と水分が届けられるのは、この毛細管現象と、葉の気孔からの蒸散による陰圧ポンプ効果のお陰。タオルが汗を吸ってくれるのも、毛細血管で体の隅々まで酸素と栄養分が運ばれるのも同じ現象。（表3のグラフ参照）

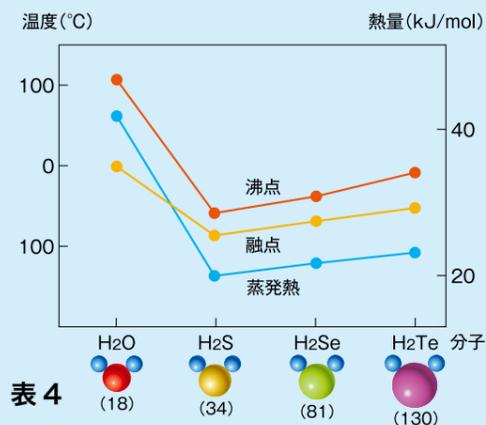


比熱は水を100とした場合の比率。表面張力はmN/m



いろいろなものを溶かす

水ほど自分とは性質の違うものを数多く溶かす液体はほかにない。海水には自然界に存在する92種類のすべての元素が溶け、私たちの血液や細胞にも水によってさまざまなものが溶けている。イオンにならない非電解質や、メタンのような気体分子、そして食べ物として摂取した油でさえも、細かく分散するとわずかながら溶ける。水はだれとでも仲良くしたい性格なのだ。



仲間の中でも特異な物質

同じ水素分子2個と化合している二水素化物として、H₂S、H₂Se、H₂Teがあり、H₂Oの仲間だが、その中でも水は、沸点も融点も蒸発熱も一番高く、特異な存在。（表4参照）

圧力 (atm)

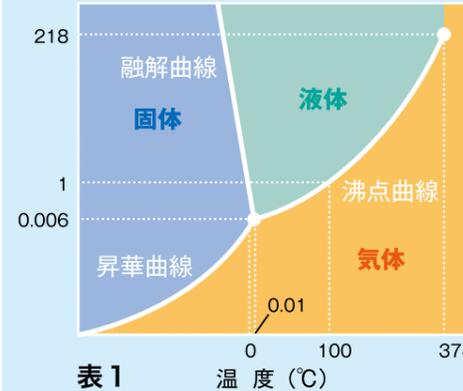


表1

気体になったり 固体になったり

固体、液体、気体の3つの状態の変化が、日常生活の中で身近に見られるのが水。極高温・低温や高圧などの環境を作り出せる化学の実験室は別にして、他の物質ではほとんど見当たらない。（表1参照）

水は1気圧の下では、融点0°Cで氷が解けて水となり、沸点100°Cで水蒸気となるが、高い山や海底など、水にかかる圧力が異なれば、融点や沸点が変わる。

固体の氷が水に浮く

一般に物体は固体になると重くなるが、水は固体の氷が液体よりも軽い。密度と温度の関係を見てみると、水は4°Cで最も密度が大きく、氷に変わるとき、一気に密度が小さくなる。湖面が凍結しても、氷の下の水温は4°C近くで凍らないために、魚たちはちゃんと生きている。逆に氷が水よりも重たかったらどうなるだろう。（表2参照）

密度 (g/cm)

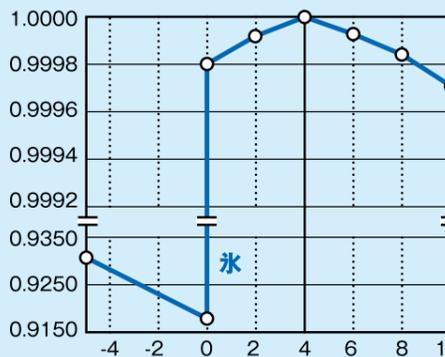
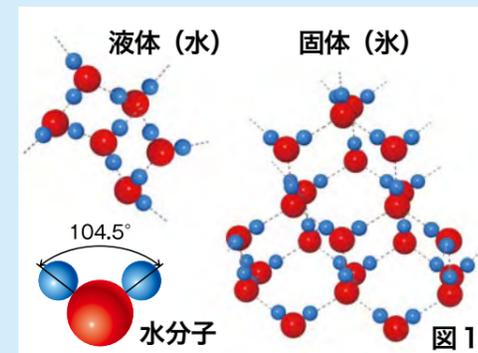
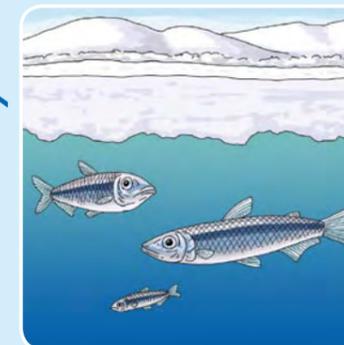


表2



水と氷の結合の様子

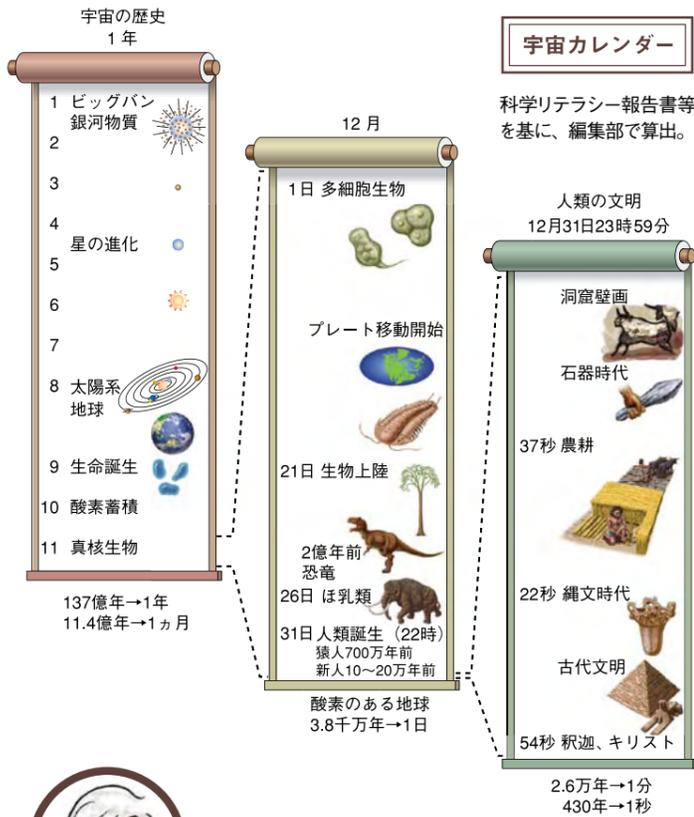
水分子 H₂O の酸素原子はマイナスに、また2つの水素原子はプラスにそれぞれわずかに荷電している。氷は、規則正しく結び付き、ある方向からは六角形に見える。そのすき間は、液体の水よりも1/11だけ多く、その分密度が小さくなるので水に浮く。（図1参照）

67もの特異な性質を持つとされる水は、他に類を見ないほどユニークで不思議、魅力的な物質である。吉野先生と一緒に、ミクロな視点から水を探ってみよう。

水はユニーク。
「常識はずれ」の物質だった!

熱しにくく 冷めにくい

水は、1gの物質の温度を1°C上げるのに必要な熱量（比熱）が、他の物質に比べて非常に大きいので、温まりにくく冷めにくい。固体の氷が解けにくく（融解熱が大きい）、気化しにくい（蒸発熱が大きい）。この性質によって、水は地球の温度変化を和らげている。身近なところでは、庭の水打ち、氷のう、湯たんぼ、車のラジエーター、冷却剤、冷凍運搬などに活用されている。（表3の■参照）



わたしの年齢は 46 億歳!?

宇宙の歴史はビッグバンから約137億年と推定されている。宇宙誕生から現在までの時間をちょうど1年12ヵ月に短縮した「宇宙カレンダー」にしてみると、地球が誕生した46億年前は9月、34億年前の生命の誕生は10月、そして20万年前に新人が登場したのは12月の大晦日23時50分を過ぎてようやく。本当に新参者だ。

でも私たちの身体をつくっている原子の起源を考えると、137億年前の宇宙誕生のころまでさかのぼる。「地球の年齢はだいたい46億歳。自分の細胞はいろいろな原子でできているが、それぞれの原子は地球や宇宙の歴史を秘めている。DNAの中にちゃんと宇宙や地球の歴史が刻まれているんです」と吉野先生。学生に自分の年齢を尋ねられると、「私は46億年+65歳です」と答える。

長い時間の後、原始細胞から単細胞生物が生まれ、さらに光合成で糖と酸素をつくるシアノバクテリア(藍藻類)が発生し、大気中に酸素の濃度が増加。その後、植物や動物へと進化していった。それらの生命活動には、いずれも水が関与している。そして私たち人類が登場。人の体を構成する元素の成分や、羊水の成分は、海水の成分ととてもよく似ている。このことは、生命が海で発生し、いままも海を抱えていることを裏付ける一つの根拠となっている。地球にすむすべての生命の細胞・組織には水が含まれており、水の存在が生命活動である物質代謝を支えているのである。

水分子が作られる。水は岩石と結びついて宇宙空間をさまよったり、時には彗星の核の一部の水を形成したりする。

地球に海ができる

超新星爆発では、核融合によって鉄より重い元素もできる。また鉄やケイ素、水素、酸素などさまざまな元素同士が出合い、隕石となる鉱物も次々と生じる。鉱物や結晶の中にH₂Oが含まれる。含水鉱物、もたくさんでできる。そんな隕石たちが互いの引力で激しく衝突し、地球などの惑星がつくられてきた。

では、なぜ地球にだけ海(液体の水)があるのか。地球より太陽に近い惑星では、水はすべて水蒸気となり、地球よりも外の惑星表面は氷結している。例えば月は、太陽からの距離が地球と同じであるにもかかわらず、水がない。その理由は、月が地球よりもサイズが小さく、重力が地球の6分の1しかないため、水分子を引力圏内にとどめておくことができず、宇宙空間に逃がしてしまったからだ。水がないために月表面の昼間の温度は110℃、夜間はマイナス180℃になる。また、太陽に近い金星の表面温度は200℃、地球より遠い火

星はマイナス50℃だ。地球は、水分を引力圏にとどめられる大きさで、太陽との距離がつくる温度が液体状態の水を可能にするという、「奇跡の条件」下にあるのだ。

原始地球では水分を含む隕石が衝突のたびに水分を吐き出した。一方、水分を閉じ込めたまま、地球の地殻を作った岩石もあった。これらは火山活動によって熱せられて、水蒸気を大気へと噴出させた。こうして大気中に水蒸気がたまっていった。時間とともに地球表面が冷えていき、大気中の水蒸気が、徐々に雨となって地上に降り注いだ。長い長い歳月をかけて雨が降り続

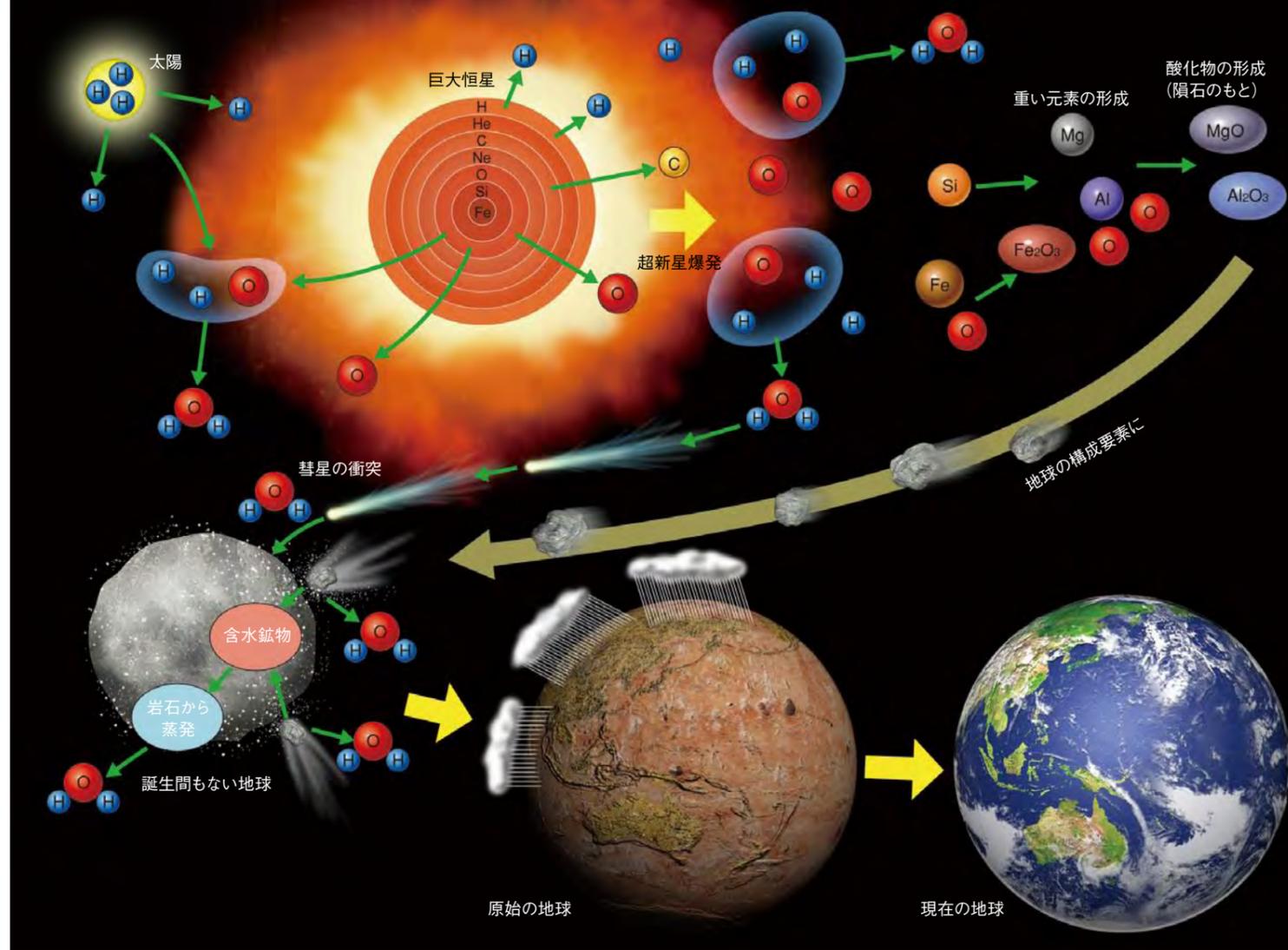
き、海になった。地球に何度となく衝突した彗星も地球の水になっていった。

海の中で生命が発生

地球での生命誕生のプロセスを示す確たる証拠はまだ見つかっていないが、有力とされるのはこうだ。

原始地球で生成した有機物が、海底火山周辺の粘土層近くの、海水に溶けていた。粘土層表面には化学反応を容易にする触媒作用があつて、火山の熱でさらに有機物同士の反応が進み、タンパク質、多糖類、リボ核酸などの生体高分子がつくられていった。高分子は液胞をつくりやすく、この中に核酸や糖などを包み込んで、原始細胞ができた。

長い時間の後、原始細胞から単細胞生物が生まれ、さらに光合成で糖と酸素をつくるシアノバクテリア(藍藻類)が発生し、大気中に酸素の濃度が増加。その後、植物や動物へと進化していった。それらの生命活動には、いずれも水が関与している。そして私たち人類が登場。人の体を構成する元素の成分や、羊水の成分は、海水の成分ととてもよく似ている。このことは、生命が海で発生し、いままも海を抱えていることを裏付ける一つの根拠となっている。地球にすむすべての生命の細胞・組織には水が含まれており、水の存在が生命活動である物質代謝を支えているのである。



地球の水はどこから来たのだから?!

「水」はそもそもどこから来たのだろうか?

なぜ、太陽系の惑星の中で地球だけに海があるの?

生命になぜ水が必要なのだろうか。

吉野先生の案内で水の起源をたどると、私たち自身の起源も分かってくる。

水素と酸素が出会う

吉野先生は言う。「水の起源をたずねることは、次のような問いに向かい合うことだ」と。つまり、

- 1 宇宙はどのように始まったのか?
- 2 H(水素原子)、O(酸素原子)はなぜ存在するのか?
- 3 H₂Oという分子が、なぜ地球上に液体として大量に存在するのか?
- 4 海の中で生体分子(生命活動にかかわる分子)がいかにして合成されたのか?
- 5 生命はいかにして発生したのか?
- 6 生物はどう進化していったのか?

これらの問いは「自然科学の大課題」。自然科学ではまず観測データを集め、事実を説明する仮説を立て、何度も修正され、確かな根拠を探りながら真実を追求する。だから、この答えは「宇宙創世の仮説」でもある。137億年前の宇宙誕生からのストーリー(仮説)をごく簡単に紹介しよう。

最も質量の小さい「水素」は宇宙で最も多く存在する元素だ。137億年前に起きたとされるビッグバンで、陽子と電子と中性子が誕生した。水素は太陽などの輝く星(恒星)をつくっている。では酸素は? 太陽よりずっと大きい恒星(巨大恒星)では、水素やヘリウムの核融合反応により、酸素、炭素、鉄などの元素がつけられている。水素よりも重い元素は重力によって中心(核)へと沈み込む。だから恒星は「たまねぎ構造」をしていて、中に元素をため込んでいる。

寿命を迎えた巨大恒星が爆発するとき、激しい核分裂や核融合が起き、新星のようにキラキラと輝くことから「超新星爆発」と呼ばれている。その爆発で、水素よりも重い酸素などの元素が宇宙に向けて放出される。水素原子と酸素原子が宇宙空間で出会うと



水は生きていくうえで欠かせないもの。少なくても、また多すぎても困る。日本人はこれまで、どうやって水とつきあってきたのか。これからどうやったら、よりよいつきあい方ができるのだろうか。

水とつきあう
水とつきあう

あなたも、一緒に考えてみよう! 「水クイズ」

吉野先生が授業で学生に出している「水クイズ」。身近な素材を取り上げた問いは、大人や子どもにも、考えるきっかけを与える。あなたも考えてみよう。

- ① 冷凍室の氷を指で触ると、一時的にどうなる?
A・吸い付く感じがする B・すぐに氷が解け始める C・何も起きない
- ② 若枝はしなやかなのに、枯れ枝は折れやすい。さて若枝には何があるの?
A・水分 B・鉄分 C・気合い
- ③ 富士山頂でお米を炊くとうなる?
A・生炊きになる B・早く炊き上がる C・ふっくらできあがる
- ④ 「氷山の一角」の一角とは、氷の体積全体の約何%か?
A・5% B・9% C・15%
- ⑤ 透明で柱状の霜柱の正体は何?
A・空気中の水分が凍ったもの B・土が凍ったもの C・土中の水分が凍ったもの
- ⑥ ペンギンはなぜ氷点下の氷上に長く立っていられるの?
A・長靴を履いているから B・足に血液が流れていないから C・温かい血液が流れているから
- ⑦ スケート靴をはくと、どうして氷の上を滑ることができるの?
A・摩擦熱で氷が解けるから B・圧力で氷が解けるから C・氷が削られるから
- ⑧ 富士山頂で水を100℃にすることは簡単にできる?
A・絶対に無理 B・実現は困難 C・簡単にできる
- ⑨ 電子レンジで食品(水)を温めるのに使われているものは?
A・赤外線 B・マイクロ波 C・電子線
- ⑩ コップ1杯(180ml)分の水分子に何らかの印を付けて、地球上に均一に分散させた後、改めて空のコップ1杯に水を満たして飲んだとしたら、1人の体の中には印の付いた水分子が何個入ることになる?
A・7個 B・70個 C・770個

- ① A・吸い付く感じがする / マイナス 20℃に冷えた氷の表面が少しだけ解けた後、水がまた凍るときに指が吸いつけられたような感じがする。
- ② A・水分 / 生きている植物の細い管内に水が通っていることに加え、植物組織の多くがたくさんのセルロースという多糖鎖から成り、その周りに水分子がたくさんあるので、多糖鎖が柔軟に動くことができる。
- ③ A・生炊きになる / 富士山頂(標高 3376 m)では大気圧が低いので水の沸点は 88℃くらい。よって富士山頂では 88℃でしかお米が炊けない。この温度ではおいしくするための反応(でんぷん質の糊化や分解など)が十分に起きないため生炊きになる。
- ④ B・9% / 海水の密度と氷の密度の違いから、浮いた分の氷の体積の割合を計算できる。0℃における海水の密度を 1.03、氷を 0.92 とすると約 9% となる。
- ⑤ C・土中の水分が凍ったもの / 霜柱は、冬場に地面付近が氷点下になったとき、土に含まれていた水分だけが凍ってできる。地面より下にある水が毛細管現象によって吸い上げられて、地表で凍ることを繰り返すので、氷の形が柱状になって上に伸びる。
- ⑥ C・温かい血液が流れているから / ペンギンなど寒冷地域の動物は、ふっつう耐寒のために温かい血液が足の先まで循環するように太い血管が通っている。また、足の部分の冷えた血液が体内に逆流しないように静脈が動脈にからまった熱交換器のような仕組みを持っている。
- ⑦ B・圧力で氷が解けるから / 氷は圧力をかけると融点(氷点)が低くなる性質がある。アイススケートの刃に体重がかかると、刃の直下の氷が解けて水が生じ、潤滑油のような役目を果たすのでスイスイ滑ることができる。
- ⑧ C・簡単にできる / 圧力鍋、または重りを蓋にのせた鍋などで、圧力を高めて加熱すれば簡単に実現できる。密閉して加熱すると内部の蒸気により圧力も上げられ、沸点が 100℃以上になる。
- ⑨ B・マイクロ波 / 電磁波(マイクロ波)のエネルギーによって、水分子が回転運動し、分子同士が互いにぶつかり合って水の温度が上昇し、水を含む食品を温めることができる。
- ⑩ C・770 個 / コップ 1 杯の水の中の水分子の数 A は、 $180(\text{g}) \div 18$ (水の分子量) $\times (6 \times 10^{23}$ (アボガドロ数)) = 6×10^{24} 個。また、地球上の水の総量 13.8 億 km^3 の重さは約 $1.4 \times 10^{24} \text{g}$ なので、コップ 1 杯の水の、地球の水総量に対する割合 B は $180 \div (1.4 \times 10^{24})$ 。これより、一度地球全体にばらまいた後、再び出会える元のコップ内の水分子の個数は $A \times B$ = 約 770 個。

この水クイズは、吉野輝雄先生が出題、回答の選択肢などは山崎友紀先生(法政大教授)の協力でまとめました。「水クイズ」は、一般の方も楽しめるように吉野先生のホームページで公開されています。<http://subsite.icu.ac.jp/people/yoshino/>

都市を水害から守る地下の「神殿」

首都圏外郭放水路を訪ねる



大雨のときには、この調圧水槽に水がたまる。

地下に広がる異次元空間

地下22m。そこには体育館よりもはるかに巨大な、がらんとした不思議な空間が広がっていた。

ここは埼玉県南部・春日部市、東武野田線南桜井駅に近い江戸川のほとり。世界最大級の地下放水路、「首都圏外郭放水路」の一部がある。サッカー場ほどのグラウンドの一角に、地下への階段があった。国土交通省首都圏外郭放水路管理支所長の荒木茂さんに案内され、恐る恐る下りていくと、空気が少しずつ生暖かく湿っていきのが分かる。そこに、パルテノン神殿TMがあった。

神殿に続く施設への扉を開けると、眼下に大きな縦穴が見下ろせた。円筒上の縦穴の、最上部を囲む細い通路を、ぐるりと一周しながら中をのぞき込んでみる。深さはどれくらいだろうか。はるか下のほうに、わずかに水がたまっているのが見える。足がすぐんでしまいそうだ。

文字通り「立坑」と呼んでいる穴。大雨で周辺の中川など、近くの川の水をこの巨大な縦穴に流れ込ませる。全部で5本ある立坑の深さは、いずれも60m以上。自由の女神がすっぽり入る大きさだ。立坑は地下鉄も入

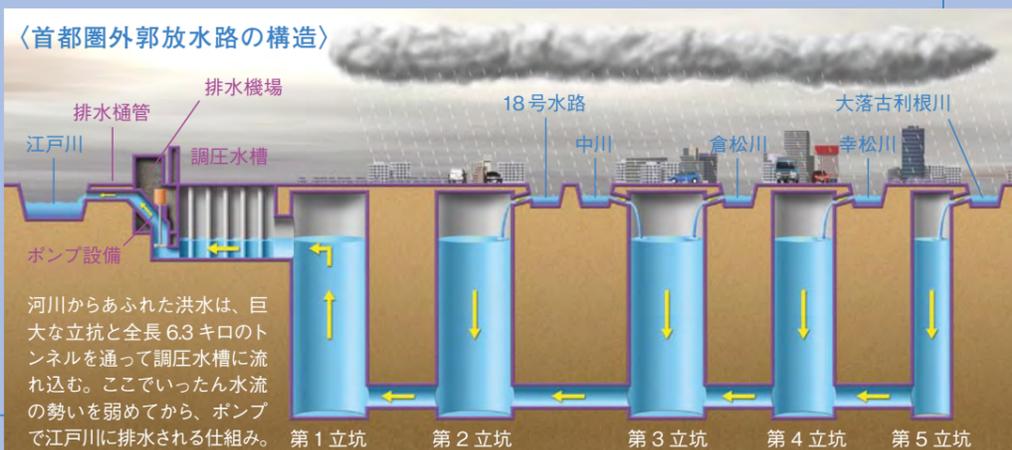
るような巨大な地下トンネルで結ばれ、最後に「パルテノン神殿」へたどり着く。ここは、実は江戸川に排出される直前の「調圧水槽」なのだ。トンネルから流れてきた水の勢いを弱め、スムーズに江戸川へ排水する役目を果たしている。

「水がたまっていないときは、ドラマや映画の撮影にも使われているんですよ」と言う荒木さん。巨大な調圧水槽の神殿に、その場に立つだけで非日常的な気分になる。

都市化で保水力が低下

なぜ、こんな大がかりな施設が作られたのだろうか？ 辺りを流れる中川と綾瀬川の流域は、古くから洪水と浸水被害に悩まされてきた。利根川、江戸川、荒川の大河川に囲まれ、川床よりも低いこの流域は、いわばお皿のような地形で水がたまりやすい。大雨の後もなかなか水位が下がらないのだ。

もともとは水田などに利用され、住民は周辺の少し標高の高い場所に居を構えていた。ところが近年、都市化が進み、水田だったところにも住宅が建ち並ぶようになった。そこで、この一帯の保水力が低下しあふれやすくなった。このため、浸水被害から守るために、本格的な洪水防水施設が必要になったのだ。水田が



〈首都圏外郭放水路の構造〉

河川からあふれた洪水は、巨大な立坑と全長6.3キロのトンネルを通して調圧水槽に流れ込む。ここでいったん水流の勢いを弱めてから、ポンプで江戸川に排水される仕組み。

宅地へと姿を変え、私たちが水のつきあい方も大きく変化してきた表れといえる。
日本の土木技術を駆使して作られた首都圏外郭放水路は、2002年に部分的に稼働開始して以来、治水効果を上げてきた。想像を超えた巨大な技術は、都市居住者の安全な暮らしを見えないところで支えている。

江戸からの「水とのつきあい」

昔を知ると、今が見える

日本の水の問題を江戸時代までさかのぼると、新たな水とのつきあい方も見えてくるかもしれない。水を通じた世界の中での日本の役割も、学べるかもしれない。世界の水問題に詳しい竹村公太郎さんが語った。

水に依存した文明だが

皆は「日本は水が豊かな国」と思っているが、とんでもないことで、その逆。日本列島に降る雨の量を人口で割ると、世界の平均よりはるかに下（次頁グラフ参照）。さらに日本の地形は急峻なので川の勾配が大きく、降った雨は短期間で海へ流れ去ってしまう。

例えば関東平野を流れる利根川では、水源地のみなかがみ町（群馬県）から太平洋に注ぐ河口の銚子市（千葉県）まで2泊3日ほどで流れてしまう。もっと短い川なら1泊2日。つまり、日本の雨は大量で激しいが、すぐ流れて使える水は少ない。こういう川しかない国で水をこんなに大

量に使えるなんて、奇跡とさえ思っ

江戸で最初に造ったダム

水に乏しいという証拠は、江戸時代にさかのぼれば分かる。1603年に徳川家康が江戸を開府し、最初に造ったインフラはダム。数百戸の農家しかなかったところに、3万人の軍勢が入ってきた。江戸城に入って家康が見たのは、水だらけの湿地だった。ところが塩水が多くて淡水が少ない。仕方がないから、家康は浅野藩に命じて高低差6mもある石積みめのダムを造らせ、川をせき止め、ため池を造った。歌川広重の浮世絵にも描かれている。

その場所は現在のアメリカ大使館や首相官邸の近くの東京・赤坂。かつて「溜池町」と呼ばれ、今でも「溜池」という地名だけは残っている。江戸は圧倒的に水不足だったからダムを造らざるを得なかった。これが江戸・東京のスタートだった。アジアモンスーン地帯に位置する日本は、年中雨は降るけれど、その水を使える



山に水源を求めて

近年、各家庭に上水道が入って便利になると、今度は水が足りなくなつて、東京でも1964年の東京オリンピックのころ、断水騒ぎが起きるようになった。そのため、水源を多摩川以外の荒川や利根川に求めていった。

今の東京の人たちは、どこから水道水が来ているか知らないだろう。なぜかといえば、江戸時代には赤坂にあったダムを、遠くの山に移して水をためているから。東京都は利根川からだけでも毎日240万㎡近い上

水を引いている。東京ドームを水でいっぱいすると約124万㎡。その2杯分。とてつもない量の水を毎日使う。それが可能なのは利根川上流に八木沢ダムや下久保ダムなど8つのダムがあるからだ。

水を治める闘い

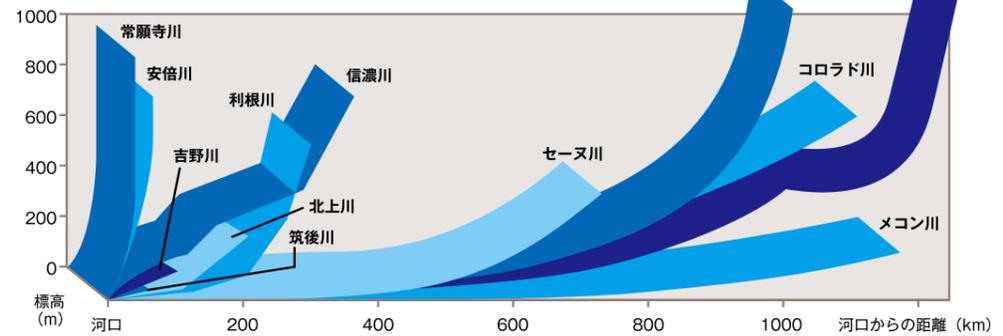
広重の浮世絵に、タンチョウヅルが描かれている日暮里の風景画がある。タンチョウヅルはアイヌ語で「サルンカムイ（湿地の神様）」と呼ばれるが、江戸の昔はそれほど湿地帯だった。

徳川家康は、治水のためのダム造りだけではなく、治水の点でも大工

名所江戸百景「虎の門外あふひ坂」歌川広重（提供/国立国会図書館）

事を行った。利根川の「東遷」つまり、群馬県にある上流から東京湾に流れ込んでいた利根川を、太平洋に注ぐように千葉県銕子につなぐ川筋に変え、移動させた。これで江戸を洪水から守ったわけ。それでも江戸は湿地帯だった。もし、そのまますべて

〈河川の勾配の比較〉 出典/国土交通省河川局



の水が流れて来たら、江戸や東京も洪水でえらいことになっただろう。東京に限らず日本は、国土の約10%が洪水氾濫区域といわれる低平地。そこに人口の半分と資産の70%が集中している。この低平地や沖積平野では、50年ほど前まで農家の人が胸まで漬かって田植えをしていた所もある。都市化で人口が増え、その泥田も今は宅地となった。元湿地帯の水はけの悪いところで、さらに雨が降れば、水の逃げ場がなくなる土地に住んでいることを、皆が意外と知らない。

江戸時代の250年間、各地で国土開発のために干拓や湿地帯の乾田化、川づくり変えが進んだ。日本の国土開発の原点は、大正でも明治でもなく、江戸時代。水や川について考えようとする、おのずと江戸時代を振り返ることになる。

海外の水を消費する日本

近年、日本は世界各国から資源を輸入し、付加価値を付けて売ることと豊かになった。実は水も同じで大量に輸入している。「バーチャル・ウォーター（仮想水）」と言って、直接見えないけれど、農産物を輸入することで世界の水を消費していることになる。例えば、牛肉の輸入では生産地の牧場で牛の飼育や牧草の成長に必要な水を使っているという

計算だ。牛丼を1杯食べるとお風呂10杯分の水を使うことになる。NPO法人日本水フォーラムで推定したところ、日本は年間800億mものバーチャル・ウォーターを世界中から輸入している。これは、国内の年間水使用量とほぼ同じ。

だから、僕たちは海外の水資源を利用し海外の環境に影響を与えていることになる。海外の公害と無縁でない。100円シヨップの商品など、国内で作ったら100円以下でできるわけがない。中国は水の問題を抱え、中央アジアのアラル海も干上がっている。棉花を栽培するために、どんどん取水しているから。この棉花は日本でも売っている安い服になる。良質なコットンがこんなに安く

いいのかと思うほど。100円シヨップへ行ったときや安い服を買うときに、少しは世界の環境問題を思い出すのと、何も知らないで買うのでは、大きな違いだと思う。

経験を生かした国際貢献を

今、地球規模で大きな問題になっているのは3つのこと。まず人口増加による地球環境の悪化。次に気候の変動、そして資源の逼迫。これらはほぼ間違いなく起き、それは水問題の形で現れてくるだろう。

地球環境の悪化では、飲料用や農業用の取水による地下水の低下や水の

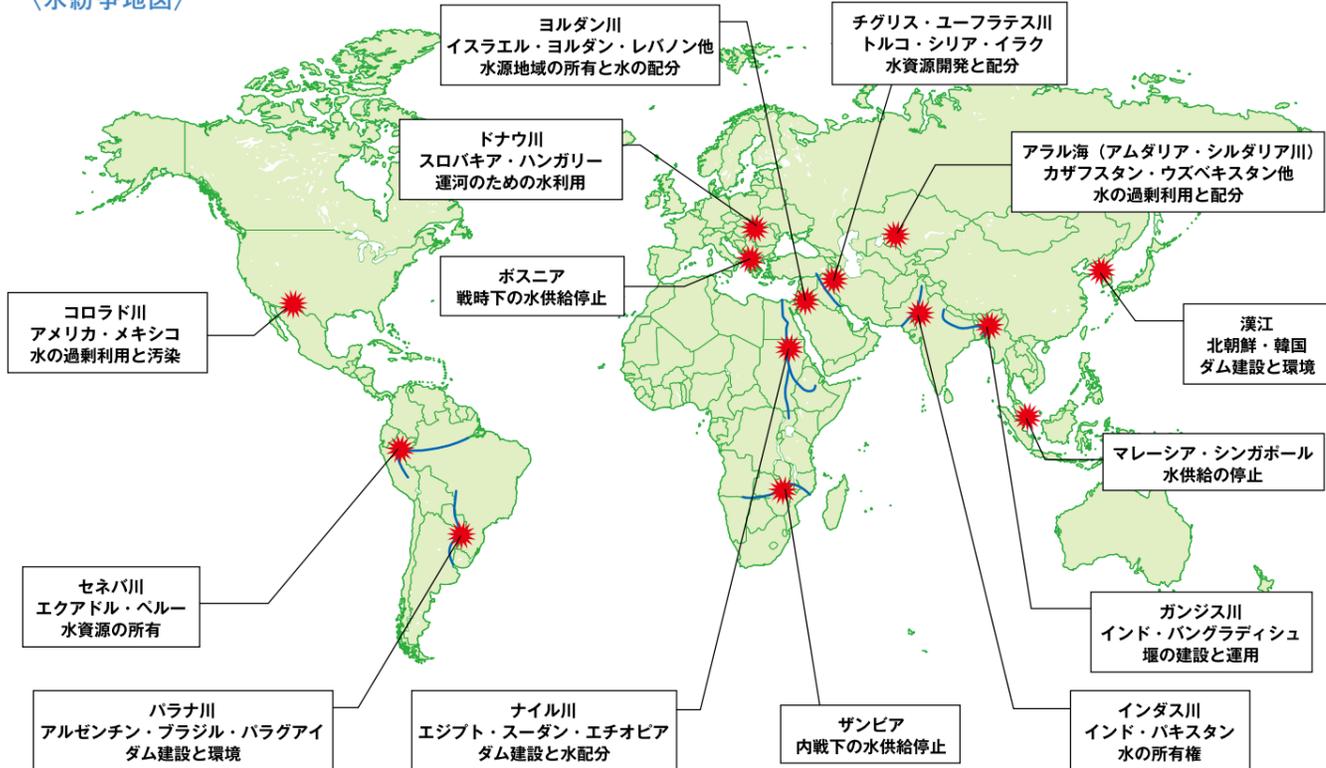
汚染。気候変動では、水河や北極海の氷が溶けだす。資源の逼迫では、水不足、食料不足という形だ。水は汚染されていたら飲めないから、衛生の問題もある。地球規模の問題には、このほか貧困やエネルギーなどさまざまな問題があるが、こうした問題の解決にも水が何らかの形で関係していると言える。

実は、世界の水問題は日本の水問題につながる。日本は海外の水に依存しているから、水問題で貢献しようというのが僕の考えだ。今まで紹介したように、利水や治水において、日本ほど過酷な国土で、それを解決した国民は多くない。また、日本は水俣病やイタイイタイ病などの公害問題を経験した国でもある。

今、水質の悪化に苦しんでいる国々も多い。僕たち日本人が過去に失敗し、克服してきた歴史は世界の人たちの財産だろう。同じ失敗を繰り返さないようにきちんと伝えることだと思ふ。

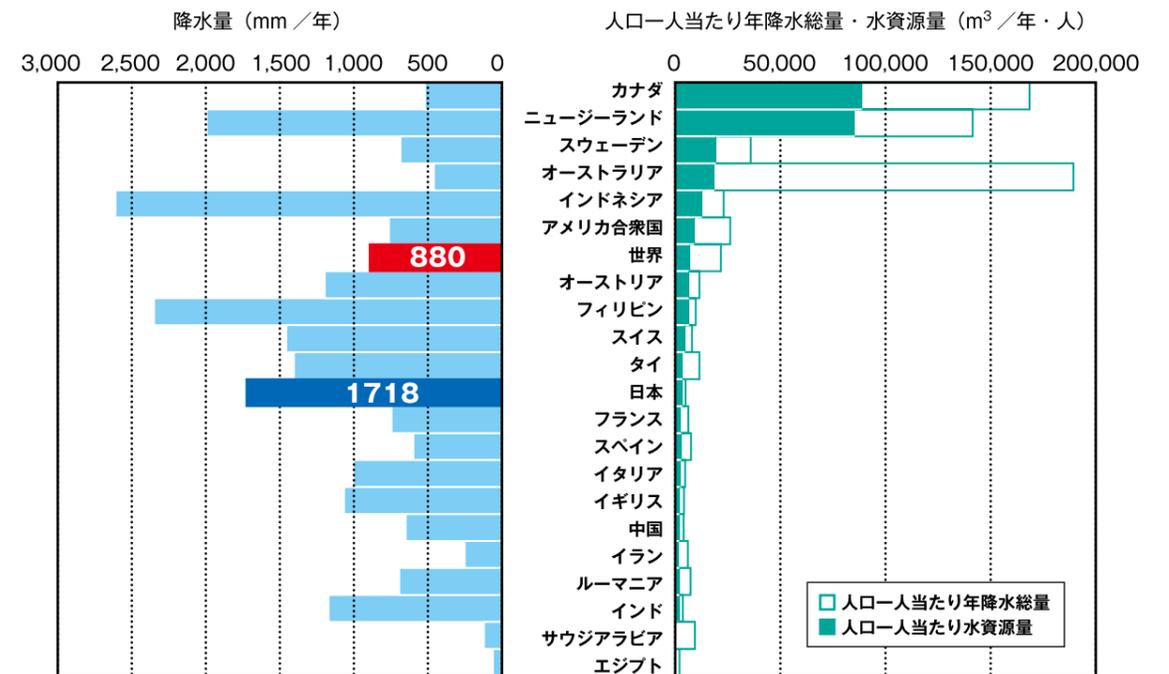
貢献できる理由をもう一つ挙げると、日本は島国だから国際河川を持っていないということ。水に関して隣国との利害関係がなく、奪い合うライバルがない。だから他国に対して「限られた水を分かち合おうよ」と堂々とと言える。世界の紛争のほとんどは水が原因。「ライバル」の語源は「リバー」からきている。水問題について、ライバルを持たない特異な先進国である日本だからこそ、できることがあるはずだと思ふ。

〈水紛争地図〉



“The World's Water”/Peter H.Gleickと“Water”/Marq de Villiersの資料をもとに第3回世界水フォーラム事務局作成

〈降水量と一人当たりの年降水量〉 出典/国土交通省土地・水資源局水資源部



- (注) 1. 日本の降水量は昭和46～平成12年の平均値である。世界及び各国の降水量は1977年開催の国連水会議における資料による。
- 2. 日本の人口については国勢調査(平成12年)による。世界の人口についてはUnited Nations World Population Prospects. The 1998 Revisionにおける2000年推計値。
- 3. 日本の水資源量は水資源賦存量(4,235億m³/年)を用いた。世界及び各国は、World Resources 2000-2001の水資源量による。

流せば洪水、ためれば資源——雨

治水にも利水にも 有効活用する街、墨田区

水を利用し、治めることは、身近なところでも可能だ。

東京・東部の下町は、江戸時代から多くの掘割が縦横無尽に流れる水の都だった。隅田川をはじめとした河川や水路のおかげで水運が発達し、地域の経済活動を支えてきたのだ。一方で、河川に囲まれているこの地域は、豪雨や台風によって、浸水や高潮などの水害に見舞われることも少なくなかった。

しかも近年、街中がアスファルトやコンクリートで覆われるようになると、降った雨が一気に中小河川や下水道に流れ込み、あふれた水で街中が水浸しになるといふ、いわゆる都市型洪水が起こるようになった。

この問題を何とか解決しようと墨田区の職員だった村瀬誠さんが調べたところ、意外なことが分かった。墨田区の年間降雨量は、区民が1年間使う水道水の量とほぼ同じだった

のだ。そこで、「雨水は流せば洪水、ためれば資源」を合言葉に、墨田区

では洪水対策としての治水と地域住民の利水を兼ねた、雨水利用に乗り出すことになった。今から27年ほど前のことだ。

ちょうどそのころ、両国に新しい国技館を作る計画が進んでいた。墨田区では「この大きな屋根を利用して雨水をためよう」と日本相撲協会に働きかけ、当時としては日本最大規模の1000㎡という大容量のタンクを備えた雨水利用システムを設けることができた。全国各地に同様のシステムが広がる先鞭をつけたことになる。

路地尊は現代の「天水桶」

墨田区には、大小さまざまな雨水利用の施設がある。現在は、雨水利用を推進する「雨水市民の会」事務局長である村瀬誠さんに案内してもらい、街を歩いてみることにした。

区内21カ所にあるのが「路地尊」と呼ばれる地域の雨水利用施設だ。



〈墨田区にある路地尊マップ〉



街中にたくさん「ミニダム」

区のパフレット「すみだの雨水利用 Guide & Map」によると、墨田区には370基以上の雨水タンクがあり、総貯水量は1万3000㎡を超えている。墨田区の人口約23万5000人で割ると、一人当たり55ℓの水を蓄えていることになる。一人当たりの水が少ない日本で、こうした「ミニダム」がいくつもあると、ずいぶん安心できるだろう。

「墨田区は関東大震災でひどい目に遭いました。ですから、非常用の水を蓄えておくことがすごく大事です。こうやって、たくさん水源を分散して持っていることは、都市を守る上でも有効ですね」と、村瀬さんは防災的な価値も強調する。

現在、区内で一番大きい雨水タン

クは両国にある江戸東京博物館で、2500㎡もの容量がある。そして今、さらに大きな2635㎡の雨水タンクを備えた「東京スカイツリー」が建設されている。展望ロビーの屋根からも雨を集める構造は、世界にも例がないという。「これをきっかけに、都市の雨水利用に大きな関心が集まることになれば」と、村瀬さんも2012年の完成を楽しみにしている。

雨水利用は、墨田区だけの活動にとどまらない。今では、全国の自治体でも積極的に利用され、さらに韓国やシンガポール、台湾など世界に広がっている。

雨水の上手な集め方

廃校となった小学校を有効利用して造られた「すみだ環境ふれあい館」内の「雨水資料室」には、雨水利用の知恵や便利な道具がたくさん紹介されている。

雨水利用の第一歩は、屋根に降った雨を効率よく集めること。そのためには、必ずしも複雑な仕組みや高価な器具が必要なわけではない。ただし、水の動きの特徴が分かると、効率的に雨水を集めることができる。村瀬さんにそのコツを教わった。

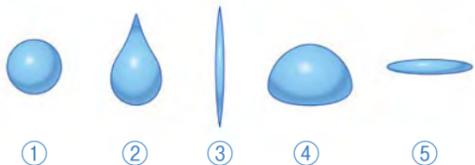
「重要な特徴は二つだけです。一つは、水は高いところから低いところへ流れること。もう一つは、水は方円の器に従うことです。ですから雨樋の内側に伝って落ちてきます」。つまり、水は雨樋の途中に薄い仕切り板を差し込めばいい。これなら簡単。学校でも家庭でも簡単に雨水を集められそうだ。



▲雨水資料室にある、雨をい樋から採取するために取り付けられた仕切りの数々。

◀雨水資料室の前には、各種の雨水タンクが展示されている。

雨粒はどんな形で降ってくるのだろう？



雨水資料室で実験してみると、④の形で落ちてくることが分かる。

「雨が落ちてくるときには3つの力が働いています。一つは上昇気流、二つめに地球の重力。もう一つは、水の表面張力。この3つの力が複雑に絡み合いながら、時には風の影響も受け、雨は降ってきます。表面張力の限界で、大きくても6mm程度を超えると破裂してしまいます。小粒の雨は①のような形をしています。大小の雨粒はくっついたり、破裂したりしながら落ちてきます」(村瀬さん)



畠山さんたちの生活を支える気仙沼湾。

『カキじいさんとしげぼう』(講談社)より。8の字の中心にいるのはカキ。カキの成長を見れば、世界中の海の様子が分かる。さらに、川や上流の山の様子も、流域に住む人の生活の変化もみんな分かる。この畠山さんの自伝にはそのことが記されている。(絵/徳田秀雄)

総合地球環境学研究所(京都市)のまとめで分かりました。

心に木を植える

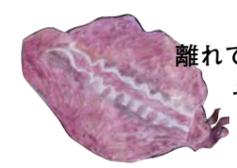
川と海の関係を知れば、昔から日本各地でなぜ海の幸が豊富に捕れるのかがよく分かります。日本は、1級河川だけでも109水系、1万4044本の川が流れています。だから日本は海から豊富な水産物が捕れる。海に囲まれているというだけで、豊かになったわけではないんです。例えば、東京湾は多摩川をはじめとして、流れ込む川がいっぱいありますから、江戸前の魚介類や海藻は、武蔵野の森の恵みで言えるんですよ。

青森県に小川原湖という、大きな汽水湖があります。ここはシジミの生産量が宍道湖に次いで日本で2位。ワカサギは1位、シラウオも1位の産地です。この湖には、20数本の川が流れ込んでいます。20数本の川が流域に、いろんな問題があって、湖がどんどん生産性を失いつつあるわけです。湖を再生させるためには、湖の

森に木を!! 海を豊かにするために

牡蠣の森を慕う会 代表 畠山 重篤

生態系を維持する上で、水は大切な役割を担う。森と海のように、離れていて関係がないように見えても、実はつながって影響し合いバランスを保っている。そこで、宮城県で広葉樹の植林を続けるカキ漁師、畠山重篤さんに話を聞いた。



漁師が山に木を植える

「魚付き林」という言葉があります。昔から海の近くの森の木を切ると魚が寄り付かなくなると言われ大切にされてきたんです。でも、大切なのは、海岸近くの森林だけではなく、実は上流にある森、そして森と海をつなぐ川なんです。自然界のその仕組みを、人間が知って、どういう価値観でどう生きていくかということが、海の豊かさにつながるんです。

漁師の私は地元気仙沼湾に注ぐ大川の上流の室根山に、広葉樹を20年以上植樹し続けています。なんで、始めたかという、約35年前、赤潮が発生し、本来白いカキが「血ガキ」と呼ばれるほど真っ赤になり、売り物にならなくなったからです。それは漁師が生活できないということなんです。だから山とのつながりもよく分からないうちに、困ったから何とかしようというところでスタートしたんです。

当時は、原因や対策を相談できるような研究者も行政マンも見つかりませんでした。自分たちで何かやらないことには始まらない。よく分からないけれど、とにかく行動を起こそうと思って、1989年から植樹を始めたんです。どうして魚付き林のように、海のそばに木を植えないのかと、漁師仲間から不思議がられましたけど。でもね、流域全体に影響を及ぼすことを考えて、源流のある山に植

底の泥をさらったりゴミを拾うだけでは駄目で、そこに流れ込む川の流域の人々の心にも木を植えないといけないんです。川の汚れには、どこかで人間がかかわっていますから。人間の問題なんです。カキは、内臓を取らないまま、しかも生で食べます。産地は川が注ぐ汽水域です。ですから、もし川が汚れると、カキが体内に取り込んでしまったものを人が食べてしまうことになるんです。その流域に住んでいる人間が、川を汚さないよう心掛けることが必要です。だからこそ教育が大切なんです。

木は50年、人は20年

いいものも悪いものも水を通して来るっていうことじゃないですかね。水の循環の中に含まれるってことでしょ。悪いものを少しずつ取り除いていけば、循環は戻りますよ。教育で大事なものは、その自然界のメカニズムをちゃんと理解するような子どもを育てること。日本で海産物がいっぱい捕ればね、ご飯を食べることになるんですよ。お米の消費につながるんです。

山の木を育てるのは50年かかります。でも、人を育てるには20年あればいい。子どもたちに、命のつながりがしっかりと伝われば、成長したときにほかの命のことも考えられる人に育ちます。

樹することにしました。豊かな漁場のそばには、いい川があり、その上流に森があることを、何となく分かっていただきたいと思います。最初の植樹から21年たって、今は室根山は約40種5万本の広葉樹が茂っていますよ。

川が森から運ぶ鉄が大切

勘から始めたような植樹でしたが、海藻が全く育たない磯焼けの対策を研究していた北海道大学水産学部(当時)の松永勝彦教授と出会って、科学的にも正しかったことが分かりました。カキの餌にもなり、海の植物連鎖の基本になる植物プランクトンの生育のために必要な鉄の不足を防ぐことが分かったんです。海だけをみていたら、赤潮や不漁、磯焼けといった海の異常の本当の原因は分からなかったと思うんです。

三陸沖は、三大漁場の一つとして世界的にも有名です。その理由は何か? 暖流と寒流がぶつかるため? じゃあ餌はどうするんですか? まず植物プランクトンが育たなくては、食物連鎖が続かないですね。では植物プランクトンに必要な鉄はどこから来るのでしょうか。実は三陸の川からのほかに、中国大陸からの黄砂が供給しているそうです。それと、なんとアムール川が運んだものが、三陸沖まで何千kmも、千島列島の間を通って潮で運ばれて来ることが、最近、



川が森から運ぶ鉄については、畠山さんが海の生き物を育てるための森の重要性を教わった松永勝彦教授の著書『森が消えれば海も死ぬ』の第2版がこの2月に出版された。森と海との深い関係が紹介されている。(講談社ブルーバックス)



畠山さんは、子どもたちを海に招き体験学習を行っている京都杉並区立松庵小学校で講演も行った。当日は、体育館のステージを山に見立て本物の落ち葉を敷き、周囲には川や田んぼ、海を模したブルーシートが敷き詰められ、山から海までが子どもたちの手によって再現された。

人・自然・社会の間を流れる水を学ぶ

自分から始まる水のつながり

浅間堅川小学校の取り組み



浅間堅川小学校6年1組の児童たちが作成した水をめぐるイラスト図。体内の水がどのように環境の中を循環していくか示している。担任の田中先生は、水は知識の宝庫だと言う。「その知識の広がりやイラストという形にできたので、子どもたちが夢になりました」

命をばぐくむ環境を作り出し、人間の営みを豊かにし、この社会を支えてくれる水。私たちの生命活動に不可欠で、生活に密着している水のこと、教育の現場でもさまざまな形で教えられている。意欲的な試みも行われ、水を通して科学リテラシーや環境に配慮する心をはぐくむ授業があった。

今までの学びを 総動員する水の授業

ピンクの矢印で結ばれた、人・顔・山海・雲・牛・浄水場・トイレ……。子どもたちは矢印を縦横無尽に伸ばし、水について調べたことを話し合いながら描き込んでいく。細かい説明は、二つ折りの紙に書いて貼り付けた。発表するときに、他の班のクラスメートの好奇心をそそるためだ。色使いもカラフルにして楽しく演出。だんだんと、人と水のかかわりが見えてきた。

この大きなイラスト図を描いたのは、東京都江東区立浅間堅川小学校の6年1組(平成21年度)の児童たち。理科の「生物と環境」の授業で作成したもので、水の動きを追うことで、水が広く循環し、生き物を含む自然と社会に不可欠な存在であることを学んでいく。完成したイラスト図はクラス内で発表。他の班とディスカッションしながら知識を増やし、さらに視点を広げる。

水が、人と生き物と社会と自然のつながりの深さを教え、人間も大きな循環の一部になっていることに気付かせていく。「通常、この単元は6年生の3学期で学ぶので、それまでに習った知識を総動員できる授業にしようと思いました」と語るのは、担任の田中久枝先生。水や空気を通して生き物の暮らしが周囲の環境と深くかかわっていることや、生き物が食う、食われる関係にあることを理解するのが単元の狙いで、田中先生は学習指導要領を踏まえつつ、教科書通りには授業を進めず、昨秋に行われた全国小学校理科研究協議会で発表する研究授業の一環として、計11校時のオリジナル案を実践した。

「子どもたちは、それまでに人体をはじめ動物や植物などについて理科で学んでいますし、社会科では公害についても学んでいます。だから、私は『今まで習ってきたことのまとめだよ、人が生きるためには何が必要なんだろう?』と問いかけることから始めたんです」

最初は「難しい!」と言っていた子どもたちだったが、最後は田中先生が驚くほど水や空気について自ら調べ、知識を吸収していったという。

「特に水については、私が知らないことまで得意げに語るようになっていましたね。きっと、水は学ぶ対象として奥が深いんですよ。物質の水、生き物に必要な水、自然環境や気象の水。発表し合うと、自分の知識と友達との知識がつながっていく。子どもたちは『そうなんだ!』なるほどね!』と連発していました。水は、子どもたちの知的な欲求を呼び起こすんですね」

水のつながりに気付く授業

子どもたちは水を知り 世界を一つにつなげていく



水を知ったことで高まった
環境問題への関心

田中先生と6年1組の児童が実践した授業は、5つの過程「つかむ」「見通す」「追究する」「まとめる」「広げる」がある。最大の特徴は自ら調べて分かったことは何度も図にして発表し議論すること。授業が進むにつれて、子どもたちは「どんな質問にも答えられるようにしよう」と、水の奥深い世界にのめり込んでいった。

▼つかむ

まず、子どもたちに人、水、空気、食べ物のつながりを確認させ、生物と環境が深くかかわっていることをつかませる。

「理科の多くの単元は、メダカや食塩など、見るべき事象がありますよね。でも、この単元は特に決まった事象がないんです。子どもたちの意欲や関心が続くか不安だったので、自分たちが調べる水や空気や食べ物などの事象と、しっかり出会えるようにしました。児童なりに事象をつかめれば、問題点も見えてくるでしょ

うし、授業の進展も見通せるようになると思っただんです」と、田中先生。

▼見通す

調べたことを図にして何度も発表。ここに多くの時間をかける。「どんなことでもいいから質問をしない」と失礼ですよ」と促していくと、子どもたちは発表者に疑問点をどんどん尋ねるようになったという。

「人に伝えて教える楽しさを感じていったようです。発表した子は質問に答えられないと悔しくて、やがて『どんな質問でも答えてやろう』と、自ら本やインターネットなどで水について深く調べていくようになりました。私が予想する以上に早く深く、子どもたちは学ぶ対象を掘り下げていきました」

▼追究する

水などを調べていく中で見出した環境問題などの解決方法を追究。何らかの仮説を立て、実験や観察をして結論を得て、学んだことをまとめていく。

田中先生は、それぞれの児童が見出した問題点に触れながら、「自然

環境を守るためにどんな工夫ができるだろうか」と問いかける。児童たちは、自分が調べていく中で思ったことを次々に発言。中には、「5年生のときに習った水素自動車にみんなが乗れば空気は汚れない」という意見も。水素自動車は、同じ区にある日本科学未来館から貸し出しても借りる可能性があった。そこで、水素自動車の排出物を実際に調べることをクラスで決め、実験へ。

▼まとめる

現在の地球を知り、自分たちにできることを考える。児童は現在の地球がどうなっているか予想を立て、日本科学未来館に行き、地球の現在の状態や未来の予想を学習。また、今までの授業を振り返って、普段の生活と環境とのかかわりを関連付け、総合的に問題を考えていく。

▼広げる

児童それぞれが周囲の環境に対してどうするか考えて発表。各自が実行に移していく。児童に話を聞くと、「家ではシャワーを浴びる時間を短くした」「お風呂の残り湯を洗濯機に入れるようにした」「水がなくなったら植物が育たないから酸素が少なくなる」などの答えがすぐに返ってきた。子どもたちの環境に対する意識は明らかに変わったようだ。

「川の水を汚れているのは、工場排水よりも生活排水だったということに衝撃的だったようです。学校でも、水を出しっぱなしにしている子がいるが友達が注意するところも見かけるようになりました」と、田中先生。

また、2学期から始めた、「環境ノート」に自然環境や保全活動について知ったことを自由に書いて、帰りの会などで発表する課外活動でも、水の授業の後は質も量もレベルアップしたという。保護者からも「子どもが新聞を読んで切り抜いている」という驚きの声も寄せられた。「水や空気についての知識は、環境問題の基礎知識になるんですね。その知識がこの理科で得られたので、新聞を読み解く力も得たのだと思います」と、田中先生は指摘する。

子どもたちの多くは、身近な水が持つ不思議で驚異的な性質を知ったとき、興味を持たずにはいられなくなる。水素自動車を活用しなくても、身近な川や水道を利用して水を興味深く調べることはできると思われた。環境問題は、小学校を卒業してからも、社会科や総合的な学習の時間などで扱うテーマ。また、社会に出てからも、いろいろな場面で直面しやすい問題でもある。基礎知識として水や空気を深く知ることは、意義深いと思われた。

つかむ

この単元で何について調べるのか、まず児童が事象をしっかりつかむことからスタート。「生き物が生きていくために必要なものは何だろうか?」という先生の問いかけに、子どもたちに思い思いに発言させる。黒板に「家」「食べ物」「洋服」などのキーワードを書いてクモの巣のようにつなぎ、それらを作り出している根源的なものを考えていく。すると、「空気」「水」「生き物」だと自然に合意できていく。



見通す

【まず一人で】



「生き物と水、生き物と空気のかかわりを考えよう」と問いかけ、個々に小さいイラスト図を制作。今までに学んだことや、本やインターネットを活用したり、詳しい人に話を聞いて調べたことを図にし、考えを整理。

【次にグループで】



まとめたイラストを持ち寄り、グループごとに話し合って環境保全の問題点を見つけていく。友達から質問されて分からなかったところは調べ直し、みんなで知識を共有して大きなイラスト図に。

【問題を見通す】



グループごとにイラスト図を発表し、人間と自然環境のかかわりや問題点についてディスカッション。質問や答えを互いに出し合うことで内容を深め、自分が気付かなかったことはイラストやノートに書き足していく。

追究する



今回は、「自然環境を守るためにどんな工夫ができるだろう」と問いかけ、環境問題の解決策を考える。1年前に日本科学未来館で見学した水素自動車が役立つはずという意見が出て、「本当に空気を汚さないのだろうか」と問題設定。水素自動車の排気ガスを調べ、「二酸化炭素などの量がガソリン車と比べて少なければ空気を汚さないと言える」という仮説を立てる。実際に水素自動車の排気ガスを気体検知管などで実験。出ているものは水で、二酸化炭素の量は空気中とほぼ同じと確認。

まとめる



児童の環境に対する意識が高まったところで、「現在の地球の状態を知り、自分たちにできることを考えよう」と投げかける。マクロの視点で環境の問題を考えながら、明日から何をすべきか考えていく。地球の現状について予想した後、日本科学未来館に行って専門家から話を聞く。これまでに調べてきた自分たちの生活と環境とのかかわりとも関連付けて、気付いたことや思ったことを振り返りながらまとめる。

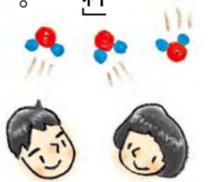
広げる

自然環境を守るために自分ができることを考え行動に移す。実践コースと発明コースを用意。実践コースは、自分が試したい実験にチャレンジ。発明コースは、自分が考えた環境に良いものを発明あるいは構想する。それぞれ発表して話し合い、最後に自分が周囲の環境にどうかかわっていくか考えてまとめる。また、授業が終わった後も、自然環境に関連したニュースや知識を知れば、課外活動の「環境ノート」に綴っていく。

水を使って教える中学の理科

水が分かれば粒子概念もスムーズに

「物質、環境、粒子、生命……水は科学的思考力を身に付けるのに役立つ材料」と語るのは、岩手県の北上市立北北中学校副校長の高橋治先生。水を巧みに取り入れた理科の授業で、生徒の科学リテラシーを高めている。最近では、生徒が苦手な粒子概念の導入の授業に、水の性質を取り入れる工夫をしている。



水は新しい物の見方を与えてくれる

- ① 水そのものを科学的に見つめさせる
- ② 水に着目することで、事象を科学的に考えさせる
- ③ 水を通して理解しにくい概念や仕組みをつかませる



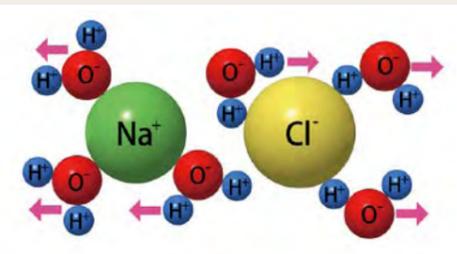
水を思考の道具に使う授業で 溶解と三態変化を粒子で考える

1 時間目 溶解の現象を粒モデルで考える

- ① 食塩や砂糖を茶用紙バックに入れてピーカーの水の中につらし、溶けて広がる様子を観察。各自、図で説明させる（食塩や砂糖が広がる様子を濃淡で表現したり、粒の広がりを描くことが多い）。
- ② 銀の原子が並ぶ顕微鏡写真を見せ、物質は粒の集まりであることを説明。改めて生徒に粒モデルで先の現象を考えさせ図を描かせる。（粒がなくなってしまう図を描く生徒も出てくる）。
- ③ 生徒に「もし粒がなくなるのなら、味はどうして残る？なぜ質量が保存される？」と問いかける。粒子は拡散しても大きさや数や重さが変わらないことを説明。さらに「では、なぜ砂糖は隅々まで広がり、時間がたっても同じ状態でいられるんだろう？」と投げかけ、次の授業へ。

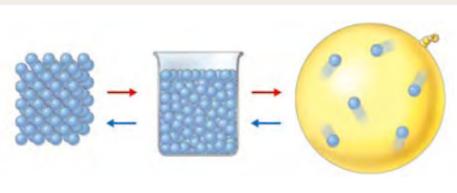
2 時間目 水の粒子との相互作用を考える

- ① 砂糖や食塩を1時間目と同じように水の中に吊るす。同時に、エタノールの中にも吊るす。
- ② 水には溶け、エタノールには溶けない現象を粒モデルで考えさせる。「水が砂糖や食塩に作用している」や「エタノールにはすでに砂糖のような物が溶け込んでいて、もう何も溶かせない」という考えが出てくる。物質を粒の固まりと考え、思考する力を育む。
- ③ 視覚的な資料を使って、水（H₂O）の「H」と「O」が食塩（NaCl）の「Na」と「Cl」の間に入ってバラバラにすることを説明。溶質も溶媒とともに粒子であり、その相互作用によって現象が説明できることをつかませる。



3 時間目 粒で液体と気体の違いを考える

- ① 液体のエタノールをビニール袋に入れて湯の上に置く。液体がなくなると袋が大きく膨らみ、湯から離すと冷えて液体が再び現れる様子を観察。
- ② エタノールの状態変化を粒子概念で考えさせ、粒子モデル実験器やビデオ映像などシミュレーション資料も使い、飛び回る気体の粒子のイメージをつかませる。
- ③ 水の三態変化を例に出し、固体は静止して粒子が並んでいる状態、液体は粒子が接触しながら動いている状態、気体は粒子が飛び回っている状態であると説明。固体と液体と気体の違いは粒子の状態の違いだと理解させる。状態が変わっても粒子の間に新たな物質は出現しないことも確認。



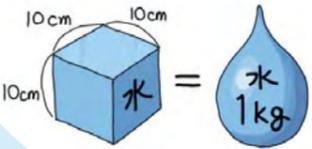
「二つ目のポイントは、水の融点や沸点、状態変化など、水そのものの性質を教えることです。二つ目は、水なしでは語れないものは、水をきちんと理解させながら教えるということですね。例えば、植物の光合成や蒸散は、水の性質をちゃんと理解していないと、その仕組みが分かりません。天気や地層の学習も同様ですね。水を教えてから説明すると、構

造的に学習をとらえられるようになります。三つ目のポイントは、水には直接的に関係ないけれども、対象によっては水を絡ませたほうが本質的に教えられる場合もあるということです。例えば、植物の分類。水の中でしか生きられない藻、全身で水を吸収し根は地面に定着するためだけにあるコケなど、水に注目すれば理解しやすい。動物の進化も、魚類、両生類、爬虫類、哺乳類などという流れは、水との縁を少しずつ切っていく変化だと気付けば単なる教え込みではなく理解が深まるんです」

「粒子概念は1年生の『状態変化』か『物質の溶解』で導入を図りますが、生徒にとって粒子概念は理解しにくいものです。いくら『気体は粒子が激しく飛び交っている状態』と言われても、見えないので腑に落ちない。でも、『物質の溶解』を導入として砂糖や食塩が水に広がることを、溶質だけでなく水との相互作用で考えるようにすると、粒子概念がより分かりやすくなり、イメージももてるようになって気体の粒子の説明も受け入れやすくなるんです」

算数

一見、水とは無縁に思える算数。しかし、水は関係している。例えば、「kg」という質量を表す単位。その由来は、18世紀末のフランスで「1dm³の水の質量=1kg」と定めたことによる。質量を決めるために選ばれた重要な物質が、実は水だった。



社会

社会科ではさまざまな産業について学ぶが、例えば水産業、農業、工業、サービス業の多くは、水なしでは成立しない。また、電気の一部も水力発電で作られる。さらに、地域の特色を決める地形や気候も、川や気象など水が作り出している。水と人間社会は強く結びついている。（→治水や利水についてはP17へ）

音楽

音楽の教科書には、海や川などをモチーフにした作品が数多く載っている。「われは海の子」（文部省唱歌）、「いつでもあの海は」（作詞：佐田和夫 / 作曲：長谷部匡俊）、「海」（文部省唱歌）、「春の小川」（文部省唱歌）、「海がきこえる」（作詞・作曲：海原真也）、「ソーラン節」（北海道民謡）など。さまざまリズムやメロディで、水が見せる厳しい表情や優しい表情が表現されている。（→水がかかわる音楽についてはP32へ）

総合的な学習の時間

取り上げられることが多い環境問題には、水にかかわるトピックが少なくない。代表例は海や川の汚染。簡易水質分析器を使って川の汚染状態や生物の生息状態を調査し、過去のデータと比較できれば、一歩踏み込んだ発表もできる。また、地元地域について調べる活動でも、水に焦点を当てると広がりのあるテーマを見つけやすい。水は人間の生活に不可欠。過去ばかりではなく、これからも水をめぐっての争いの可能性はなくなる。（→世界の水紛争についてはP18へ）

国語

国語の教科書には、海や川を舞台にした作品が多く載っている。例えば、「海のいのち」（立松和平）、「ウミガメのはまを守る」（清水達也）、「ヤドカリとインゲンチャク」（武田正倫）、「川の自然」（小野有五）、「アメンボはにん者か」（日高敏隆）、「水平線」（小泉周二）、「川とノリオ」（いぬいとみこ）など。水の性質を科学的に知り、水が地球規模で循環し多くの命を支えていると分かれば、これらの作品の理解もより深まると思われる。（→水を扱った文学についてはP32へ）

水は各教科の中も流れている

人は水とともに生きる。だからこそ、小学校で教える科目でも、水にかかわる単元がとても多い。その一部を教科ごとに紹介。

理科

水を扱う単元は多い。「粒子」に関する単元では、例えば「空気と水の性質」「金属、水、空気と温度」「物の溶け方」がある。「生命」に関する単元では、「動物の誕生」「人の体のつくりと働き」「植物の養分と水の通り道」「生物と環境」など。「地球」に関する単元では、「天気の様子」「流水の働き」「天気の変化」などがある。



生活

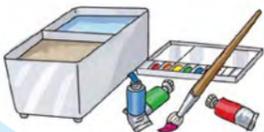
川や海、雲や雨や雪、水や水……水が作り出す自然現象はたくさんある。水に触れることは、自然に親しむことにつながっていく。水は、自然に親しみを覚える入り口のような存在。学校でも、植物に水をやる活動は、身近な自然に関心を持つきっかけ。また、水にいろいろな物を溶かす活動も、児童が自然の不思議さを実感する活動の一つになっていく。

体育

水に関わるスポーツは多い。例えば、スキーやスケートなど冬のスポーツのほとんどは、雪や氷をフィールドにする。水泳も、水にかかわる競技。子どもたちは「浮く」「沈む」「速く泳ぐ」「楽に泳ぐ」などの経験を通して水の特性を感覚的につかみ、課題を一つひとつ達成していく。また、運動をすると体温が上がると、体内から水分（汗）が出て気化熱で体温を調節。失われた水分を上手に補給することが持久力を左右する。

図工

水は、私たちの表現活動を支えている物質。古今東西、人は色を生み出す物質を水に溶かして絵を描き、水を含ませた土を造形し火で焼き上げて器や建材を作ってきた。図工の教科書にも、校庭に水をまいて模様を描いたり、砂場に水を入れて城や川を作ったりする活動を紹介しているものがある。



家庭

調理実習をはじめ、水を使う授業は多い。水を沸騰させて食材をゆでたり、みそ汁を作ったり、あるいは水を使って米を研いだり、汚れた食器や衣類を洗ったり……。これらの多くの作業は、水が持つ性質を巧みに利用している。例えば、汚れた物を洗うときに水を使うのは、水が物を溶かす力が強いから。また、温まれば冷めにくい性質は、料理でさまざまなに利用されている。（→水の性質についてはP10へ）

水との かかわりが 生む芸術

文学・歌・音楽

万葉の時代から 雪・雨・川を詠む

奈良時代に成立した最古の歌集『万葉集』には、雨や雪、川なども含め、多くの水の歌が詠まれている。「石走る垂水の上のさわらびの萌え出づる春になりにけるかも」

日本人は古来から水と密接にかかわりながら暮らしてきた。全国各地には水神を祭る神社があり、家庭でも井戸が大切にされた。千利休によって始められた茶の湯は、井戸から汲んだ水で茶をたて、味と香りを楽しむ日本独自の文化である。水は文芸や音楽など、いろいろなジャンルで表現されてきた。

春の訪れをストレートに詠んだ一首。作者・志貴皇子は、岩を叩き、水しぶきを上げて流れ落ちる滝を「石走る垂水」と表現した。雪解け水によって滝の流れも勢いを増しているのだらう。芽吹きの季節の訪れと、万物を育む水のイメージがオーバールップする。

川のせせらぎ、打ち寄せる波など、多彩な音を奏でるのも水の特徴である。雨垂れが落ちるときポトン、ポトンという音は水ならではのものは表面張力の働きにより、滴を形成する。これが一定のリズムで落ちて音が発生する。滴を形成しない油ではこうはならない。人はこうした水の音を、古今東西、さまざまな音楽として表現してきた。ここでは文部

科学省教科調査官（音楽）の大熊信彦さんに、水をテーマにした音楽の中で特に印象深いものを挙げていただいた。その内容は左記の通りだが、「日本人の作曲家がとらえる、水に対する精神的なイメージや、畏敬の念と、西洋の作曲家がとらえる水のイメージは、何か違うような気がする」と大熊さん。

水を描いた現代文学の例

苦界浄土 わが水俣病／石牟礼道子 講談社文庫
水銀に汚染された海と食物連鎖が引き起こした水俣病。当初は原因不明だった奇病に苦しむ人々の姿を、真摯に描き出した名著。

紀ノ川／有吉佐和子 新潮文庫
和歌山県の紀ノ川の上流地区から下流地区へ嫁いだ祖母を中心とする女三代の物語。時代の流れに戸惑い、躓き、抗いながら生きる女性たち。そこには常に変わらぬ紀ノ川の流れがあった……。

仁淀川／宮尾登美子 新潮文庫
満州で敗戦を迎え、命からがら引き揚げた綾子は、故郷高知県の仁淀川のほとりにある夫の生家に身を寄せる。勢よく流れる故郷の川を見たとき、綾子は無事に帰国できた喜びを実感する。

晴子情歌（上・下）／高村薫 新潮社
東京の本郷に生まれ、父の郷里である青森に移った晴子の人生を、息子との往復書簡で描き出す。母子は折に触れ、自分たちのルーツである青森・七里長浜の、荒涼とした海と対峙する。

DIVE!!!（上・下）／森絵都 角川文庫
10mの飛び込み台から時速60kmでダイブし、空中演技を競う飛び込み。この競技に懸ける10代の少年たちの青春群像。技が決まるとき、プールの水は身体と親和し、失敗したときの水は身体を拒絶する。

遙かなる水の音／村山由佳 集英社
パリで死んだ青年の「サハラに遺灰を撒いてほしい」という遺言を叶えるため、生前深いかかわりのあった者たちが旅に出る。著者はサハラを取材し、乾いた砂の下に目に見えない水脈があることを感じて、このタイトルを付けたという。

黒い雨／井伏鱒二 新潮文庫
この物語の雨は、原爆投下後の広島に降った、放射能を帯びた黒い雨。その雨に打たれた姪が、原爆病を発症するまでの不安と願いを描く。

水をテーマにした音楽（大熊信彦さん選）

合唱組曲「水のいのち」／高野喜久雄作詞 高田三郎作曲
「降りしきれ雨よ」の歌詞で始まる「雨」。続いて「水たまり」「川」「海」「海よ」から成る。水への祈り、感謝、願いなどを感動的に歌いあげる。

管弦楽曲「焉歌・波摘み」／三善晃作曲
荒れ狂う波とそこから聞こえてくる子守歌。単なる自然の描写ではなく、精神的で濃密な音の世界。管弦楽の傑作。

箏とピアノのための水琴抄／宮下伸作曲
心洗われる繊細で美しい音楽。日本の伝統と現代音楽の手法が融合した名曲。

ピアノ曲「雨の樹・素描」／武満徹作曲
ピアノの珠玉の小品。武満の音楽には、ほかにもテープ音楽「水の曲」など、水をテーマにしたすぐれた楽曲がある。

海／ドビュッシー作曲
副題は「管弦楽のための3つの交響的素描」。「海の夜明けから真昼まで」「波の戯れ」「風と海の対話」の3パートで構成。

アルプスの交響曲／R・シュトラウス作曲
曲の途中に、小川、滝、氷河、霧、雷雨と嵐などの見事な描写がある。



国民文化祭における初公演で

母なる地球の魂の雫 オペラ『みづち』が伝えるもの

作家 丹治富美子

壮大な宇宙の中の小さな星地球。青く輝くこの星は神秘に満ちている。惑星の中で唯一水を湛え、その数奇な運命を経ながら生命を宿した。雨や雪が遙かなる時を経て地上に溢れ出る。摂理を知る時、水はすべての命を育む母なる地球の魂の雫と思えてならない。森に暮らす日々は、風の香りに春を知り、風の色に過ぎゆく時を見る。夕暮れは薄絹にくるまれるようにやさしく訪れ、木々が輝き始める朝は、血潮がわき出するように、大自然に生かされている命を意識する。

主人公の小太郎は旅をしながら自然の営みの深さに気づいていく。「みづち」を探す旅は、人類がこの地球上で生きていく答えを見つけ出す旅でもあった。便利さを追い求め、加速し続ける文明のあり方に、ふと立ち止り、真の豊かさの意味を問うシグナルの役割を果たすことができたかと思う。「みづち」が千年も昔から二〇〇〇年の私達に警告を発していたにもかかわらず、気づかずいた私たちが、悔恨の思いを込めて三〇〇〇年の未来に送るメッセージなのである。

夕すげの咲く湖のほとり
つばらなる 君待たたまふ
眼裏のふるさと遠く
いくたびか心さまよふ
美しいふるさと

いつの日か 我帰らざらむ
美しいふるさと

美しいふるさとから、美しい国へ。みづちとともに、美しい地球の永遠を願う。

▲全国高等学校総合文化祭で

オペラ『みづち』とあらすじ

平成13年に群馬県で開かれた第16回国民文化祭に向けて、脚本丹治富美子、作曲白樫米子が担当して創られたオペラ作品。同文化祭で初演の後、新国立劇場をはじめ各地で公演。平成20年の全国高等学校総合文化祭で高校生が公演したほか、地球環境への関心の高まりのなかで、大学などでも公演されている。

作品の舞台はおよそ千年さかのぼり、平安のころ。深い沼の底に住み、雲を呼び雨を降らし民を見守る伝説の神「みづち」。その「みづち」を崇める、美しく平和な村を日照りが襲った。草木は枯れ、村は死にかけ。村を救うため「小太郎」という一人の若者が旅立ち、苦しく厳しい旅の末、「みづち」を助け出すというストーリーだ。途中、「みづち」の救出に力を貸すと誓う部族の党首と出会い、その娘、夕月姫と将来を誓う。助け出された「みづち」は天の声として「自然の営みを破壊してはならぬ。ふるさとを守り、自然を育み、この美しい地球を子々孫々まで伝え続けよ」と言い残す。

『Science Window』既刊号の水に関連する特集と記事

水に関連した特集には「川にまなぶ」(07年9月)、「天からの手紙 雪の問いかけ」(08年2月)がある。連載記事で扱ったテーマは産業、技術、暮らし、技術、食、水族館・博物館、古典、地形と多方面に及ぶ。以下はその一部だが、いずれも『Science Window』ウェブで読むことができる。



■表紙「海辺の夜の生き物一頁」07年8月 ■お米一話「田んぼに生きる仲間たち」07年7月 ■ふるさと食の楽校「しじみ汁」08年8月、「藻塩」08年11月、「海苔」09年2月、「なまず料理」09年3月 ■暮らしのなかの科学「紙と水の意外な関係、浄水器の中は？」06年10月、「水道水ができるまで」07年7月 ■エッセイ風の譜「卯の花腐し」07年6月、「風の譜」07年11月「雪の恋文」08年2月 ■科学散歩いにしへの心「『万葉集・奥の細道』から川」08年6月号、「『雪の詞』から戸沢正令」09年1月、「諏訪湖の御神渡り」09年2月 ■シリーズ窓「串本海中公園」、「山梨県立富士湧水の里水族館」、「沖縄美ら海水族館」、「海のギャラリー(土佐清水市)」、「千歳サケのふるさと館」(いずれも07年)、「北極海」、「徳島県立渦の道」、「珪藻」、「米子水鳥公園ネイチャーセンター」、「オワンクラゲ(のとしま水族館)」(いずれも08年) ■再発見 ZOO「鴨川シーワールド」07年11月、「マリンワールド海の中道」福岡市08年5月 ■人と大地「南極昭和基地と『しらせ』」09-10年冬、「ハロン湾」ベトナム10年春

Science Window 2010年増刊号(春) / 第4巻2号
発行人 独立行政法人科学技術振興機構 理事長 北澤宏一

Science Window 委員会

委員長
永山國昭 自然科学研究機構
岡崎統合バイオサイエンスセンター教授

委員
小倉 康 国立教育政策研究所総括研究官
田邊則彦 関西大学総合企画室特任教諭
中村雅美 元日本経済新聞社編集委員
松本徳重 長野県上水内郡小川村立小川小学校講師
室伏きみ子 お茶の水女子大学 大学院
人間文化創成科学研究科教授

編集・制作

編集長/佐藤年緒 編集/岸上祐子
編集協力/第1章:山崎友紀 第2章:小島和子
第3章:宇津木聡史 第4章:伊藤淳子
井上まゆみ、菅田さくら、小鮎由起子
写真撮影/亀井宏昭
イラスト/マカベアキオ、柳澤健一
アートディレクション/黒木敏記
デザイン/高原未知、三浦樹人、C.C.(株)レマン
印刷・製本/三松堂印刷株式会社

※教育の目的以外では、本誌掲載の文章・写真・イラスト・図版を使用しないでください。

ナビゲーター

今号で特集「水を知る旅に出よう」の「旅」の方向性を示していただいた方は以下の通りです。また、このほか多くの団体・個人のご協力をいただきました。

北原和夫

国際基督教大学教授、東京工業大学名誉教授。専門は理論物理学。元日本物理学会会長。「科学技術の智」のプロジェクトを推進した。

吉野輝雄

国際基督教大学教養学部教授。専門は糖鎖の有機化学。大学の一般教育科目では、「水を通して人間と自然について考える」という講義を続けている。

竹村公太郎

(財)リバーフロント整備センター理事長。元国土交通省河川局長。水問題から文化論まで幅広く発信している。NPO法人「日本水フォーラム」事務局長。

村瀬 誠

元墨田区職員。NPO法人「雨水市民の会」事務局長。天水研究所所長。東邦大学薬学部客員教授。薬学博士。「ドクトル雨水」として雨を活かして人類の水危機を救うために国内外で活躍している。

島山重篤

漁師。牡蠣の森を募う会代表。京都大学フィールド科学教育研究センター社会連携教授。カキ、ホタテを養殖する一方で、山の植樹を続け、海と山のつながりの重要性を発信している。

糸賀幸子

NPO法人「雨水市民の会」雨水市民の会理事。雨と文芸チーム冊子「雨と文芸」を発行。

丹治富美子

詩人・脚本家。五感で読む『源氏物語』の研究者として知られる。作品は国内外の作曲家によって作曲されている。

〈協力いただいた団体・人〉

東京都江東区立浅間野川小学校、杉並区立松庵小学校、岩手県盛岡市立黒石野中学校、岩手大学、国土交通省江戸川河川事務所、東京都墨田区

編集後記

■「氷が解けるとどうなるか？」との問いに、「水になる」という答えのほかに「春が来る」と答える子どもの感性も大切ではないでしょうか。温かくなったこの季節に近くの水辺に出掛けませんか。水をめぐる「非科学」「エセ科学」的な見方や商売が問題になるなかで、「水」を科学していくと、何と奥深く問いが広がり、驚きが多いことか。なぜ生きものに水が不可欠なのか。産業や技術も含めて触れられなかった点も多いが、不足は科学リテラシー報告書などで補っていただきながら、この号が、地域で水を知るきっかけとなればと願っています。(編集長/佐藤年緒)

■「水」を科学的に知れば知るほど、「なぜ？」が増えてくる。と同時に、社会の中の「水」を知れば知るほど、日々水への無頓着さや、いかに何も知らなかったかに改めて気付く。知るにつれ謎や思いの深みにはまっていくのは、やっぱり「水」だからだろうか。2章で竹村公太郎氏が語ったように、日常の場での水、そしてそこにつながる世界に思いを寄せ、せめて、ささやかな家庭菜園の水やりは雨水を使うことから始めようと思う。(特集担当・編集部員/岸上祐子)



水の神秘さ —感性と理性が出会うとき

『サイエンス・ウインドウ』委員会
委員長

永山國昭(自然科学研究機構教授)

『Science Window』で「水」を特集した増刊号を出すことは、科学者としても意義あることだと考えています。

私は生物の世界を物理学の見方から探究していますが、NMR(核磁気共鳴装置)や電子顕微鏡を使ってタンパク質の構造解析の研究しているうちに、水と生体分子との相互作用に興味が出てきたのです。「水とエネルギー」と呼びますが、なぜ、水は何でも溶かす根源的な力を持っているのか？

物理学や化学の目で見ると、水はほかの物質とあまりにも違うことに驚かされます。最も違う点は、「常温常圧」つまり人間や生物が生きていられる環境条件下で、液体の水だということです。逆に言えば、水が液体である範囲でしか私たち生命体は生きていけないということなのです。

60を越す水の特性が、私たちの生きている条件を規定しています。しかも、水はこの全宇宙で、同じような性質の物質がほかにない、唯一のもので。こういった特徴を知ると、水は神秘以外の何ものでもありません。この謎はまだ科学的には完璧に解けていないのかもしれない。

私は群馬県で育ちました。少年時代、何か悩みがあって一人になりたいとき、必ず川に行って流れを眺め、精神的に癒やされていました。そういう原体験があって、いまだに水に対してはさまざまなこだわりがあるのだと思います。

山に登り、疲れ切って、川の流れの中に頭を突っ込むと、素晴らしい体験をします。のどを潤すだけではない。冷たくてきれいで、目を開けるとそこでゆらゆらしているいろいろなものが見える。それをまさしく水を通して肌で感じるのです。一方で、私は科学者として、水をその起源から特性まで科学的に理解していると感じています。この2つの感じ(感性と理性)が、川の流れの中にある私の頭の中で出会うとき、ものすごい恍惚感がわき上がってきます。私は水で支えられていたのだと。

水はすべての教科、学問に通じます。皆さんも、水を感じと理性で体感し、より知ろうとすることで、ますますその謎に迫っていただければと思います

『Science Window』は、インターネットでもご覧になれます <http://sciencewindow.jp/>

■学校や科学館にお届けしています

『Science Window』は、小・中・高校と特別支援校に無料で2部ずつ配布しています。配布には、都道府県や市区町村の教育委員会、私学担当などの学校窓口のご協力が必要となります。学校と連携する科学館・博物館へも、ご希望があれば無料で1部送付いたします。

■個人での購読方法

ご希望の方には、1部300円、4月号からの年間購読料(年6回の



持続可能な社会に 向けての活用を

科学技術の智プロジェクト
研究代表者

北原和夫(国際基督教大学教授)

すべての日本人が身に付けてほしい基礎的な素養を提案しようとする「科学技術の智プロジェクト」が、2008年3月に『科学技術リテラシー像 ～豊かに生きるための智～プロジェクト』の報告書をまとめました。今回の「水」をテーマとした『Science Window』の増刊号では、そのプロジェクトの成果を生かして、水をさまざまな側面から紹介しています。学校や家庭などで、ぜひ読んでほしいと思います。また、報告書そのものからも「21世紀の智」を学んでいただければと願っています。

科学リテラシーとは、すべての成人が身に付けておくべき、科学・数学・技術にかかわる知識・技能・考え方を言います。目標とする「21世紀の知恵とは何か」といった論議の中で、やはりさまざまな知識が共に働く世界をつくらなくてはならない、という思いが基本となりました。それをもとに、職業や人種、言語、文化を超えて、21世紀の課題である環境問題や持続可能な社会について、一緒に考えられるような世界をつくりたいということです。

専門化が進んだ現代の科学技術の各領域で、その知識を獲得することが学びの最終目標なのではなく、その知識を、私たち人類の生活や地球環境の問題にいかに関与するかが目標でなければなりません。「水」は緊急性の高い重要なテーマです。報告書でも「食料」「エネルギー」「地球と人間圏」と並んで、専門分野に横串を通す形式で紹介しています。

地球温暖化や環境汚染は、限られた場所だけの問題ではありません。水問題も一国の問題ではないわけです。「ローカルな問題はグローバルにつながる」という意識を共有することが、「持続可能性のための教育」(ESD) だと思います。私の大学のある東京都三鷹市でも、小・中学校の先生、児童・生徒が南アフリカの先生や子どもたちと交流し、「水と土」というテーマで教育プログラムをつくらうとしています。

世界のさまざまな国で科学リテラシーに基づく「水」を学ぶことで、私たちが地球から受け継いでいる命を未来に向けて引き継ぐことの大切さを認識できればと願っています。

「水の惑星」地球で



ともに生きるさまざまないのち

Science Window 2010 年増刊号〈春〉

発行日／2010年4月10日 発行人／独立行政法人科学技術振興機構 理事長 北澤宏一
 発行所／同機構 科学コミュニケーション推進本部 理数学習支援部サイエンスウィンドウ担当 〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3
 電話／03-5214-7377 FAX／03-5214-8430 E-mail／s-window@jst.go.jp ホームページ／http://sciencewindow.jp/