

調べよう「水の循環」

環境カウンセラー千葉県協議会

(この教材は、千葉県の「平成 20 年度 NPO 及び事業者による環境学習地域教材作成事業」に係る委託を受けて作成しました。)

21 世紀は、「水」と「環境」の世紀といわれています。「水」が原因で国際紛争（戦争）が勃発する恐れも心配されています。世界の食料問題と水は切り離せない関係があります。人間をはじめ全ての生物の生存にとり不可欠な「水」とその適正な「水の循環」が、持続可能な（sustainable）社会とどのように結びついているかを考えてみましょう。

1 水とは？

水は、化学式 H_2O で表せる水素と酸素の化合物で、常温常圧では無味、無臭、殆ど無色の青緑色な透明液体です。人の日常生活をはじめ全ての産業に不可欠であり、人類にとって最も身近な物質のひとつで、人体の約 65%が水分です。水は、温度により固体(氷)、液体(水)、気体(水蒸気)へと変化(相変化)しますが、水は自然界に存在する他の多くの物質と比べると非常に変わっています。



図 1-1 水の状態写真¹

自然界の物質の多くは、液体から固体へと移り変わるに従って密度が大きくなります。一般に固体の方が液体よりも原子がぎっしり詰まっていますから密度が大きいのが当然です。しかし、水の場合は液体の水の方が固体の氷よりも密度が大きいという変わった性質を持っています。また、液体は、アルコールにしても石油にしても、温度が上昇すると、気体と同じように、膨張して軽くなりますが、水は約 4℃で最も重くなります。図 1-1 は、固体（氷）、液体（水）と気体（水蒸気）の状態写真です。

もしも氷が約 4℃の水よりも重ければ、湖水や河川や、海でも水は底から凍ってくることになります。ところが、淡水の池や湖では、表面の水は約 4℃までは冷やされるにつれて密度が大きくなって底に沈んでいき、底の温かい水が表面に上がってきます。そこで再び冷やされて底に沈んでいきます。これが繰り返されると、やがて水全体が 3.98℃の温度になります。さらに表面の水が冷やされて、3.98℃以下になるとその密度は逆に小さくなり、もはや沈まないで、表面にいたままで凍ることになります。水の表面をカバーした氷は密度の小さい軽い状態で水上に浮かび、どんどん熱を放出して冷えていますので、内部はいつまでも液体の水の状態を保っています。² このお

¹ 文部科学が著作権を持つ「未来を創る造る科学者達」より引用
<http://www.ps.nime.ac.jp/kyozaisien/science-web/data/kenkyu/14/data.html>

² 小林氏 HP より引用：<http://www.con-pro.net/readings/water/>

かげで、水中の魚等の生物は凍らずにすみます。

その他に水には、蒸発しにくい(夏でも川の水は、蒸発してなくなることはない)、凍結しにくい(大気が氷点下でもすぐには凍らない)、温めるのに大きな熱量が必要で温まると冷めにくい(大気の温度変動を抑える)、また良く熱を伝える(池や湖の温度が、場所による温度変化が少ない)等の性質があります。更に、生物にとって重要なことは、水はいろいろな物質を溶かす作用があり、水に溶けた有機物や無機物を栄養として摂取することが可能となります。このような性質の「水」のおかげで、この地球上に人類をはじめ多種多様な生物が生存できるといえます。³

2 地球上の水

地球にはどれだけの水があるか、これを水の賦存状況^{ふぞん}といいます。地球上に存在する水の量はおよそ 14 億 km³ですが、そのうちの約 97.5%が海水等で、淡水はわずか約 2.5%です。この淡水の大部分は南・北極地域などの氷や氷河として存在していて、地下水や河川、湖沼の水などとして存在する淡水の量は、地球上の水の約 0.8%です。さらに、この約 0.8%の水のほとんどが地下水として存在し、河川や湖沼などの水として存在する淡水の量は、地球上に存在する水の量のわずか約 0.01%、約 0.001 億 km³にすぎないといわれています。図 2-1 に示します。⁴

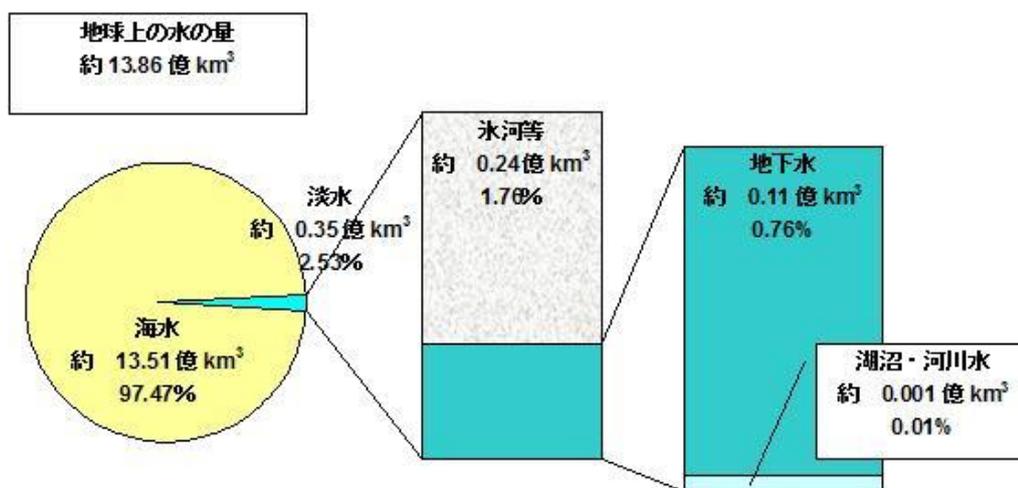


図 2-1 地球の水賦存状況^{ふぞん}

このわずかな淡水に依存して、約 66 億人の人類が他の生物と共に生きています。チグリス・ユーフラテス河のメソポタミア文明、ナイル河のエジプト文明、インダス河のインダス文明、黄河の黄河文明やその他の古代文明は、大きな河のあるところから興ったのは歴史的な必然といえます。

³ 前出小林氏 HP に加筆。

⁴ 「日本の水資源」平成 20 年版；国土交通省 土地・水資源局水資源部より

3 水循環 (water cycle)

地球上にある水の絶対量は、変わりません(質量保存の法則です)。その形と存在場所が変化するだけです。海や河川・湖沼の水や土壌中の水が水蒸気となって大気中に移動し、上空で冷やされ雲となり、雨や雪となって地上に降ります。雨や雪は、湖や池に溜まり、一部が土壌に蓄えられ地下水となり、多くは河を流れ海に戻ります。一部は、氷河や雪や永久凍土(ツンドラ)としてとどまることもあります。動植物などの生物に蓄えられた水も、最終的には分解され水となります。この大きな水の動きを水循環(water cycle)といい、このような学問を水文学(すいもんがく・hydrology)といいます。天文学に対応する言葉です。

人間が、利用している淡水はこのような大きな循環の途中で河川や湖沼あるいは比較的利用しやすい地表近くの地下水として存在しているほんのわずかなものだけです。この大きな地球規模での水循環の殆どは、太陽エネルギーが引き起こしています。

これらの関係を示したのが図 3-1 の水循環図です。⁵ ここに示す、 km^3 という単位は、想像しにくい単位ですが、1000m角のサイコロ 1 つが 1km^3 です。海水の量はこのサイコロが 13 億個以上あるということです。よくテレビ等で例に出る「東京ドーム」は、 $1,240,000\text{m}^3$ で 0.00124km^3 です。日本の巨大なダムのひとつといわれる佐久間ダムでも、満水状態での総貯留量は約 3.2 億 m^3 で、 0.324km^3 でしかありません。

ここに示す数字が絶対に正しいというものではありませんが、大きくは間違えていないと言われています。人類が地球全体のことが判っていると考えるのは不遜です。この大きな水循環を人間の力でコントロールすることはできません。しかし、この大きな循環の中で人間は生活していて、水の循環に影響を与えています。

例えば、上流側の住民が汚水や工場排水を垂れ流しにすれば、下流での水利用は著しく制限を受けます。地下水をどんどん汲み上げれば、その補給が間に合わなくなります。森林が荒廃すると保水能力が低下し、利用されないまま海に流れてしまいます。水は循環していることを理解して、水を大切な資源と考えることが重要です。

例として、ヨーロッパを流れるライン川と滋賀県の琵琶湖を考えてみましょう。ライン川は、スイスアルプスのトマーゼ湖を水源として、リヒテンシュタイン、ドイツ、オーストリア、フランス、を流れてオランダから北海に流れ出ている、多くの国の水道水源です。ヨーロッパでは川の汚れが国際問題となるのが理解できると思います。最下流のオランダの浄水場は、大変な努力をして水道水を作っています。地球の温暖化が続くと、アルプスの氷河や雪が減少し、ヨーロッパを流れる河川の水量が低下する恐れがあります。

琵琶湖は、京阪神 1,400 万人の水がめです。119 の一級河川が流れこみますが、流れ出る河川は瀬田川(淀川)ひとつです。琵琶湖の渇水や汚れは、そのまま関西地区に深刻な影響を与えます。日本の場合は、島国であるので国際問題となることはありませんが、上流側と下流側とが水の循環を考えた生活を営む必要があります。

⁵ 出典：東京大学、沖大幹教授 HP より <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200608/#materials>

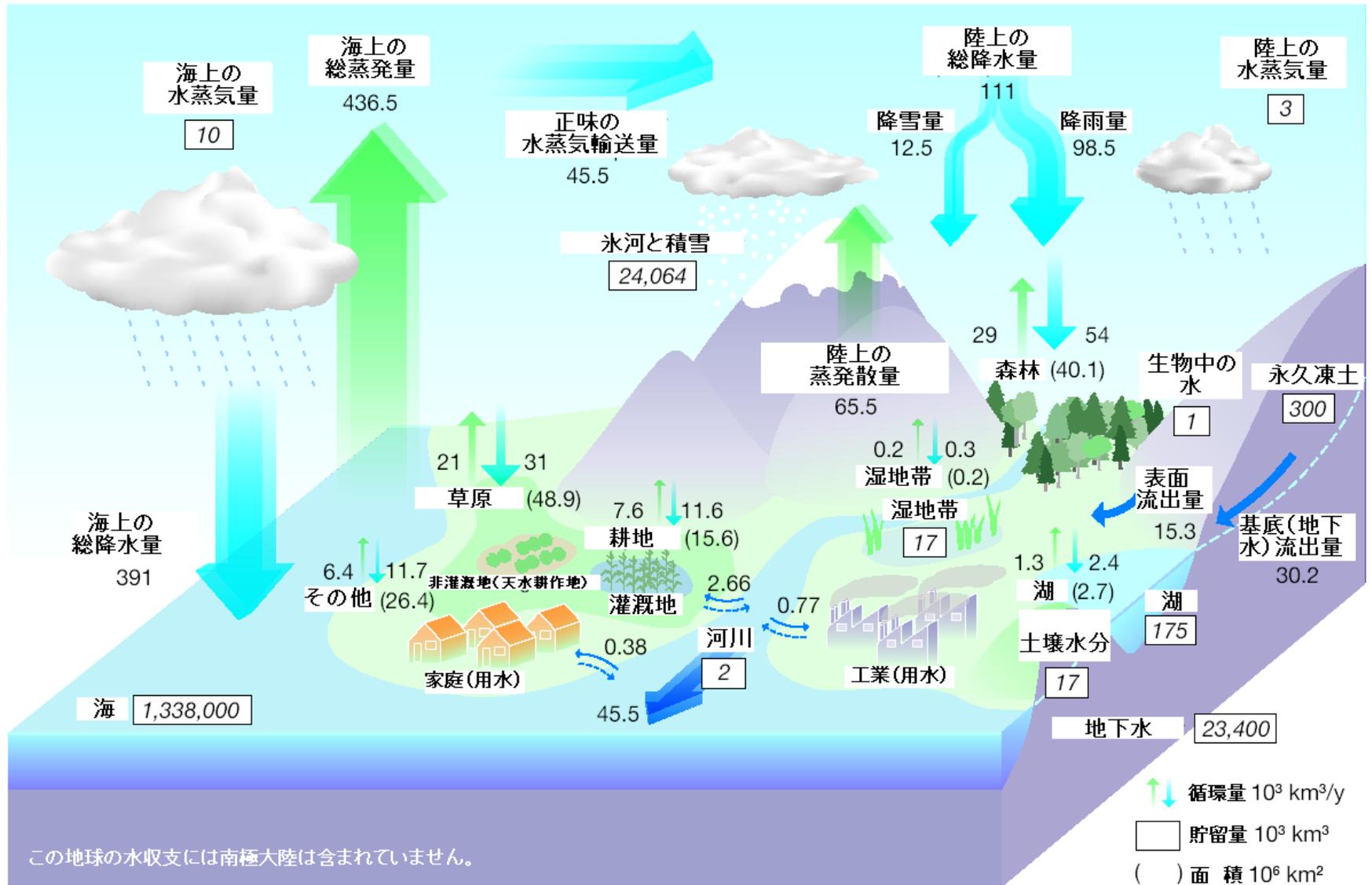


図 3-1 地球規模の水循環

4 日本の水資源

日本の水資源の状態を示すと図 4-1 となります。⁶

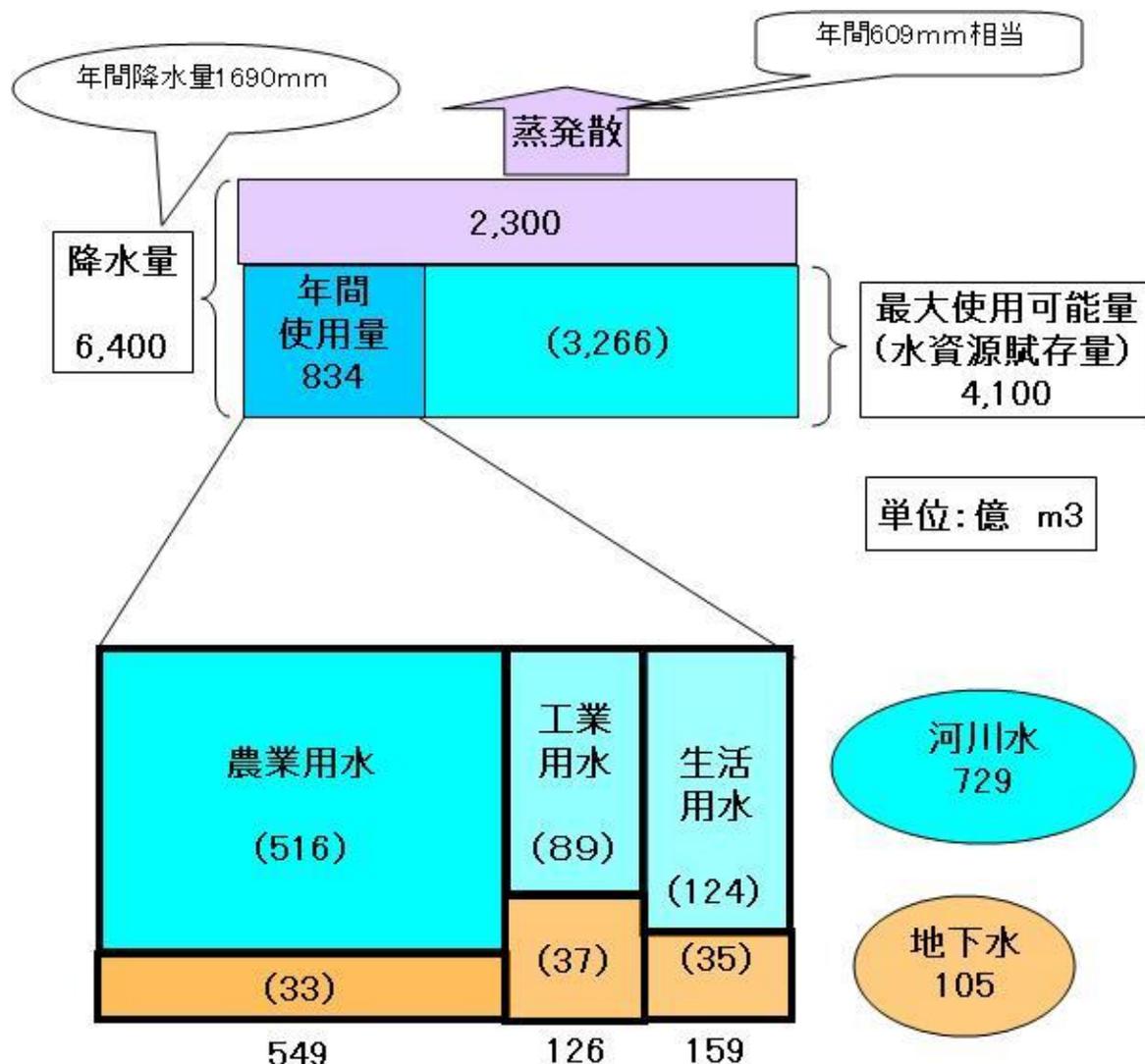


図 4-1 日本の水資源

日本は、世界でも有数の多雨地帯であるモンスーンアジアの東端に位置し、年平均降水量は 1,690 mm で、世界（陸域）の年平均降水量約 810 mm の約 2 倍となっています。ところが、これに国土面積を乗じ全人口で除した一人当たり年降水総量でみると、我が国は約 5,000m³/人・年となり、世界の一人当たり年降水総量約 16,800m³/人・年の 3 分の 1 程度となり、決して水に恵まれているとはいえません。さらに、我が国は地形が急峻で河川の流路延長が短く、降雨は梅雨期や台風期に集中するため、水資源賦存量のうちかなりの部分が洪水となり、水資源として利用されないまま海に流出しています。

⁶ 国土交通省「日本の水資源：平成 20 年度」より

5 浦安市の水

それでは、皆さんの学校のある浦安市の水について考えてみましょう。

- 浦安市の水道は流山市にある北千葉浄水場（江戸川）、千葉ニュータウンにある北総浄水場（利根川）と千葉市にある柏井浄水場（利根川と印旛沼）の水が妙典給水場から送られてきます。
- 家庭からの排水は江戸川左岸流域下水道（分流式）で、市川市にある北部第二終末処理場で処理され東京湾に放流されます。学校や事務所、ディズニーランドや鉄鋼団地の排水も同じです。浦安市は、下水道の普及率が98.8%で、殆どの市民が下水道を使用しています。
- 地下水は、殆ど汲み上げていません。1,500m以上の深層地下水が、ごく僅か温泉として使用されています。
- 浦安市内には4つの川があり、猫実川と堀江川は定常的な水源がなく、降雨と生活排水が水源となっています。また、境川と見明川は旧江戸川の分流で延長も短く、かつ水源としての利用はありません。

図5-1と表5-1に、浦安市の地図と市の水に関する概要を示します。

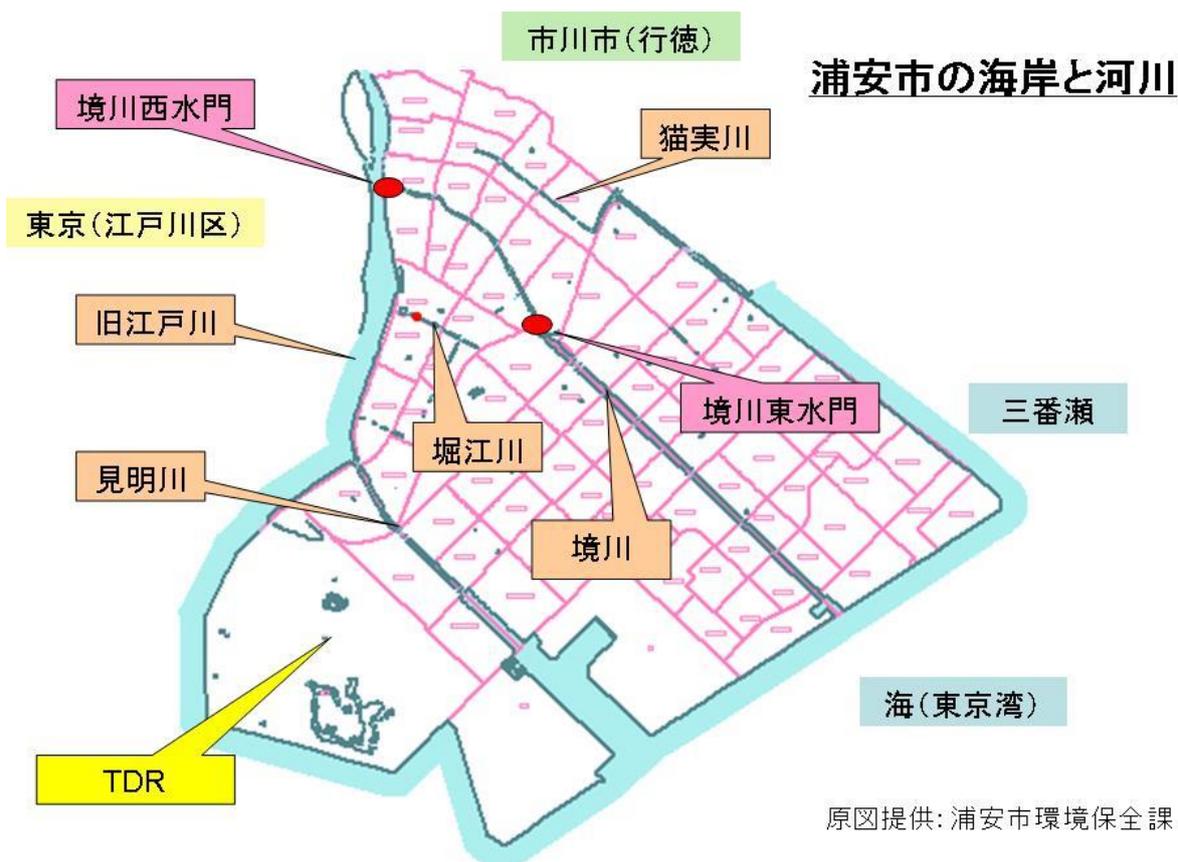


図5-1 浦安市の河川図

表 5-1 浦安市の水概要

人口	161,385 人 (2008 年 8 月末現在)
面積	16.98km ²
年間降水量	1,357 mm/年
水道	千葉県水道局
下水道	江戸川左岸流域下水道
下水道普及率	98.8% (人口基準)
市内河川	見明川、境川、猫実川、堀江川、旧江戸川
地下水	規制地域で殆ど汲み上げていない
工業用水道	なし

浦安市全体での水循環を図に表したのが、図 5-2 (11 頁) です。全てのデータを把握して作成したものではありませんので、精度は少し悪いですが大まかな目安になります。

6 家庭の水とその排水

市民生活にとり最も身近な水は、水道水です。特に都会では、水道水以外の水を使用する生活は殆どなくなりました。その水道水と家庭からの排水について考えてみましょう。

6.1 上下水道料金と使用目的

<水道と下水道の料金>

千葉県の水道水の平均使用水量は、一人当たり 1 日 311 ㍓です。⁷浦安市では、320 ㍓ぐらいと推定できます。この数字は、工場や事務所ビル、商店等での使用量とディズニーリゾートへの訪問客等全てを含んだ平均値です。家庭だけを考えると、1 人当たり 1 日 242 ㍓ぐらいです (千葉県の平成 18 年度調査)。ディズニーランドでは、平成 18 年度で 1 日平均 6,030m³/日が使用されています。⁷

家庭で使用した水の排水先である下水道料金は、使用した上水道の料金に応じて支払います。支払先は、水道料金は千葉県水道局で下水道料金は浦安市になります。平均的な家庭で、1 ヶ月 22m³を使用した場合の料金を参考のために表 6-1 に記載しました。高いと感じますか、それとも安いでしょうか。

<水道水の用途>

図 6-1 は、家庭での水道水の用途を表しています。水洗トイレでの使用水量が予想外に多いと感じるかもしれません。人が衛生的な生活を営む最低限の水量は 80 ㍓/日程度です。現在の浦安市民の使用量の約 1/4 ですが、この水量を確保できない国が、世界中にはたくさんあります。人が生存するために必要な飲料用の水量は、1 日 2~3 ㍓です。地震等の非常時には確保すべき水の量として覚えておいてください。

⁷ 千葉県水道局平成 19 年度給水実績より

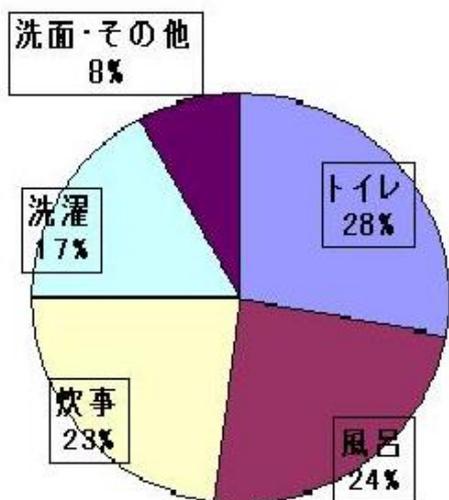


図 6-1 家庭での水使用用途

表 6-1 上下水道料金(月当たり)

水道料金 (県水道局・1ヶ月当り)	
口径	20 ミリ
基本料金	934.5 円
22m ³ /月	3,620 円
下水道使用料金 (浦安市・1ヶ月当り)	
基本料金	682 円
22m ³ /月	1,640 円
上下水道合計	5,260 円

支払いは2ヶ月毎なので、上記の2倍の金額を1回に支払うことになります。

6.2 家庭からの排水はどこへ

<生活排水>

人の生活から出る排水（生活排水）の汚れの殆どが、有機物です。その比率は、右の図 6-2 のようになります。

浦安では、この排水は下水処理場に流れます。BOD とは、生物化学的酸素消費量と呼び、有機物による水の汚れを示します。

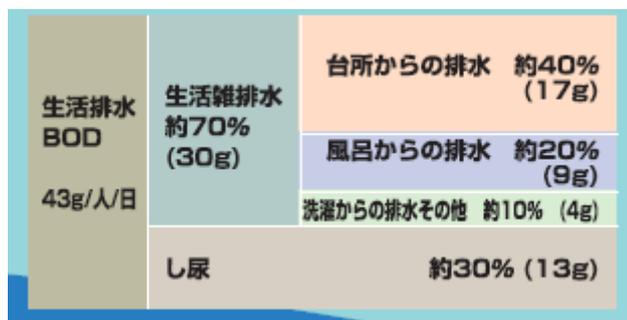


図 6-2 生活排水の分類と汚濁負荷割合⁸

<下水処理場>

下水処理場の処理方法と処理水のイメージは、図 6-3 のとおりです。まず、流入した下水中の土砂分や大きな夾雑物を除去し（最初沈殿池）、次のエアレーションタンクで空気を混ぜて数多くの微生物（活性汚泥 activated sludge）の働きで、溶けている有機物（BOD）を分解します。微生物は有機物を食べた分だけ増殖します。最終沈殿池でその微生物（活性汚泥）を沈降分離して、きれいになった上澄みの処理水を塩素等で消毒して放流します。

下水を浄化する主役は、活性汚泥と呼ばれる微生物です。水中の有機物を栄養源として体内に取り込み、増殖します。自然界の生物が水の浄化をしているのですが、空気をたくさん送り込み好気性にする必要があるため、ブローアを動かす電力が消費されます。

⁸ 環境省生活排水読本より

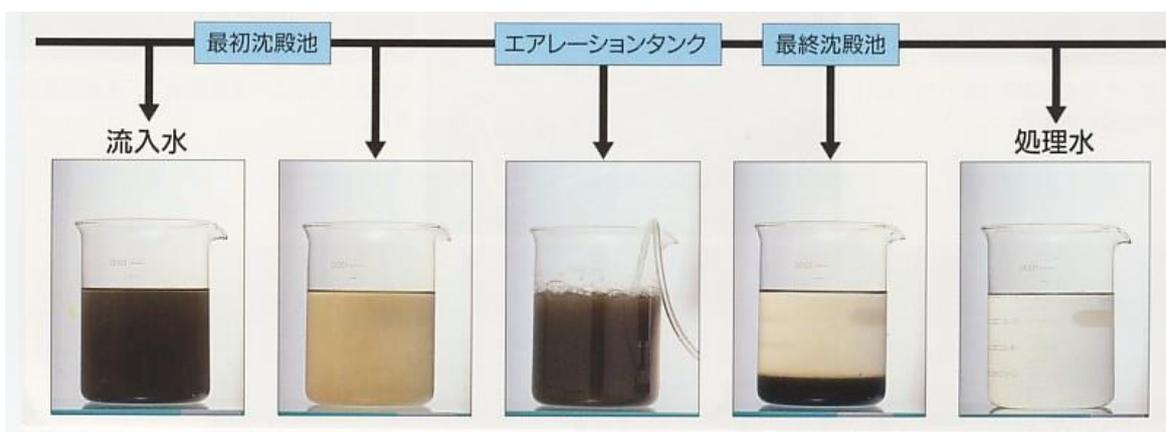


図 6-3 下水処理場での処理イメージ

6.3 どのような微生物かの観察

実習では、実際の下水処理場から採取した活性汚泥中の微生物を顕微鏡で観察してみましょう。親しみが湧くでしょう。浄化をしている微生物は、非常に小さく肉眼では見えないので顕微鏡を使います。図 6-4（12 頁）に、活性汚泥中に比較的多く出現する微生物の写真例を掲載してあります。但し、いつでも観察できるとは限らないし、他の微生物である場合もあります。

7 持続可能な世界に向けて

今、地球規模での気候変動や資源の枯渇、食料問題、更には地球温暖化と人間活動のあり方等が問題となっています。「水循環」と水資源も、そのような次元で捉えるべき重要な将来的な課題です。この問題は、こうすれば解決するといった模範解答は見つけにくいのが現状です。ただし、何もしていないと人類にとり破局的な結末がくる恐れは十分あります。

将来ある若い皆様が、自分達にできることから行動を起こすことが、持続可能な社会となる初めの一步を踏み出すことになると確信しています。持続可能（sustainable）とは、今現在の世代だけでなく次の世代更にその次の世代と、地球と人間が共存できるようにすることです。

例えば、水道水 1m³ を作るのに約 0.49kWh、1m³ の下水処理には約 0.3kWh の電力が必要となります。節水することが省エネになり、二酸化炭素放出の削減につながります。電力 1kWh の二酸化炭素排出量は約 0.339kg です。（東京電力の場合）⁹

歯磨きの時に水を流しっ放しにしない（1分）、洗髪時のシャワーを1分短くする。それぞれ、12%程度の節約です。1年間での二酸化炭素削減量を考えてみてください。

節水は家庭の出費を抑えるだけでなく、エネルギー消費と温室効果ガスである二酸化炭素の排出量を削減できます。

⁹ 環境省公表の東京電力の排出係数（19年度）<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8836>

<ミネラルウォーターとペットボトル>

現在の日本では、もうひとつの飲料水があります。それは、ペットボトル等のミネラルウォーターです。2007年で約250万KL (m³)、約1900億円が消費されています。一人あたり、年間に20ℓです。例えば、ミネラルウォーターとペットボトル問題をどう考えるかということです。米国や欧州の一部の都市では、規制が始まろうとしています。将来にわたり持続可能 (sustainable) な地球を確保するためには、この問題をどう考えるべきでしょうか。皆で議論をしてみてください。正解はないかもしれません。

下の図7-1は、最近のミネラルウォーターの出荷量です。この水の約92%がペットボトルで売られています。¹⁰この問題を考える上での参考資料としてください。

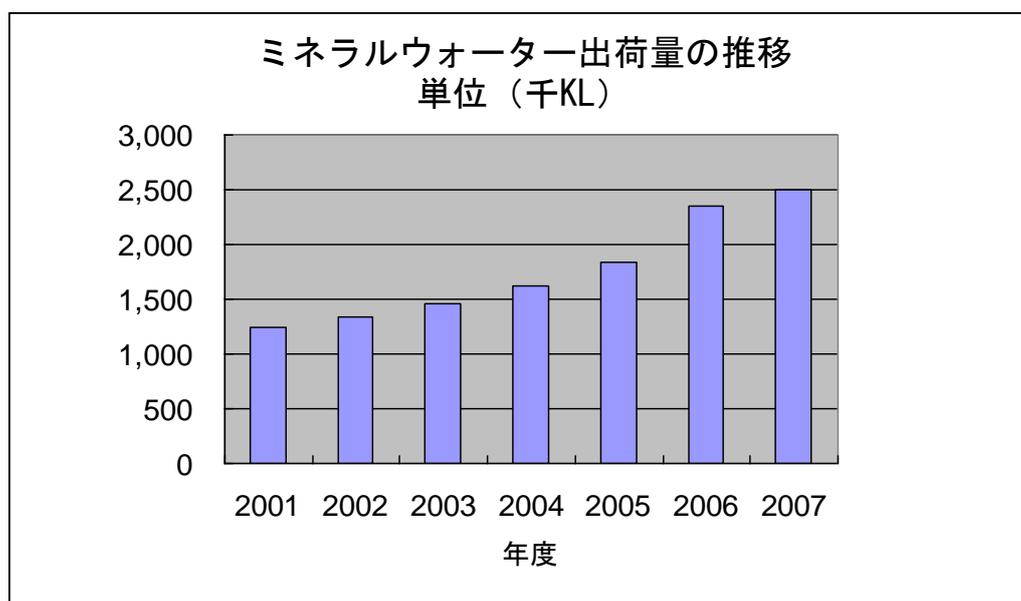


図7-1 ミネラルウォーターの出荷量

¹⁰ 日本ミネラルウォーター協会 HP よりグラフ作成 <http://www.minekyo.jp/sub3.htm>

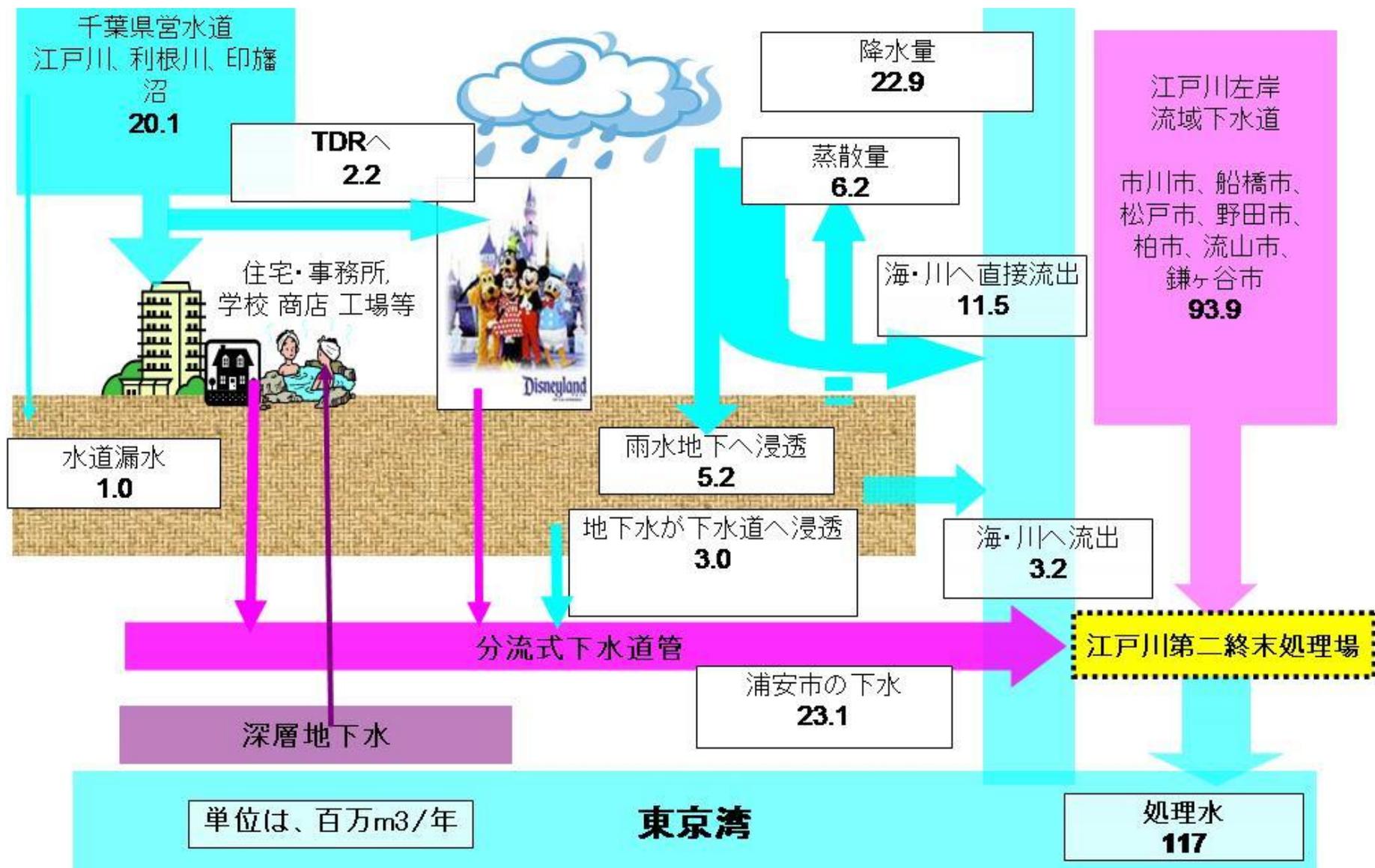


図 5-2 浦安市の水循環

