本田財団レポート　No.130

# 「世界が求める日本の水システムと技術」

独立行政法人　国立環境研究所 理事長

大　垣　眞一郎

財団法人 本田財団

# 講師略歴

## 大　垣　眞一郎（おおがき　しんいちろう）

**独立行政法人　国立環境研究所　理事長**

**《略　　歴》**

１９４７年　　東京都生まれ
１９６９年　　東京大学工学部都市工学科卒業
１９７４年　　東京大学大学院工学系研究科都市工学専門課程博士課程修了
１９８３年～１９８５年
　　タイ国アジア工科大学(ﾊﾞﾝｺｸ)助教授（派遣）
１９８９年　　東京大学工学部教授
１９９５年　　東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授
２０００年　　東京大学大学院工学系研究科付属水環境制御研究センター長
２００２年　　東京大学工学部長・大学院工学系研究科長
２００５年　　日本学術会議副会長（第 20 期～21 期）
２００６年～２００８年
　　国際水学会副会長
２００９年　　独立行政法人 国立環境研究所 理事長

**《主な受賞歴》**

１９９７年　　日本水環境学会２５周年記念功労賞
１９９８年　　日本水環境学会学術賞
　　『微生物汚染の評価と不活化技術に関する研究』
２００６年　　日本水環境学会賞

**《主な著書》**

１９８２年　　『下水道ハンドブック』共著　建設産業調査会
１９９２年　　『水処理―その新しい展開』共著　技報堂出版
　　『飲料水の微生物学』共著　技報堂出版
１９９３年　　『水質環境工学』共監訳　技報堂
１９９８年　　『岩波講座地球環境学』－水循環と流域環境－共著　岩波書店
２００７年　　『河川の水質と生態系』－新しい河川環境創出に向けて－
　　監修　技報堂出版
２００８年　　『科学技術と知の精神文化』－これからの科学技術文化の構築に向けたさまざまな議論－　丸善ﾌﾟﾗﾈｯﾄ　　ほか多数

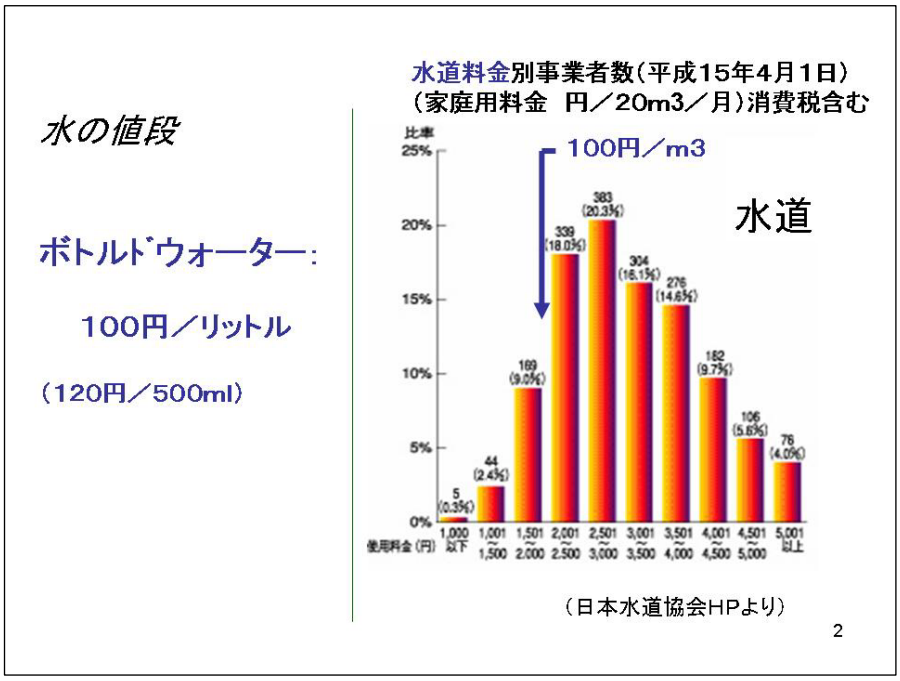
このレポートは平成 21 年 7 月 23 日東京會舘において行われた第 111 回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

大垣です。過分なご紹介をありがとうございます。

今日は「世界が求める日本の水システムと技術」ということでお話しします。この講演でどのようなことをお話したら良いかと伺ったところ、日本が元気になる話が良いということだったので、少し強い表題にさせていただきました。したがって、私は今日は我田引水を徹底したようなお話をしますので、あしからずご了承いただきたいと思います。（笑い）

先ほどご案内がありましたように、ラジオの収録が入っておりますので画面の右がどうのとか、左の方とか、そういう表現はできないそうです。学生には、画面を使う時には、きちんとどこを見ろということを示して説明しなさいという指導をしていたのですが、今日は雰囲気が違う形で少し分かりにくくなるかもしれませんが、ご了承ください。

**水の値段**



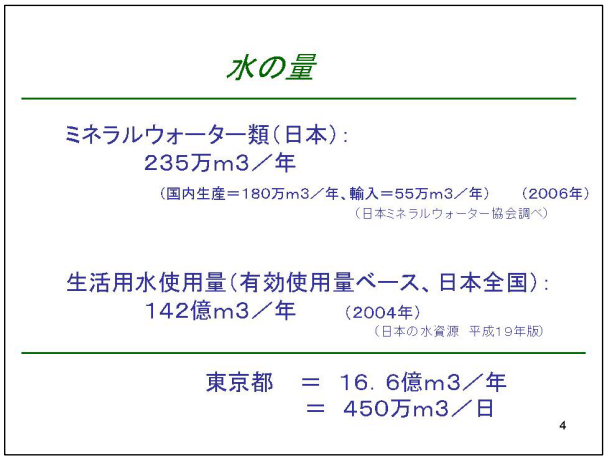

図－1

〈図－1〉　まず最初に水の値段です。水の議論をする時に経済的な意味合いも同時に議論しないと、使うべき技術あるいは社会システムが変わってまいります。いわゆるボトルウォーター、つまりペットボトルに入っている水の値段は 500 ミリリットル 120 円ぐらいです。大体オーダーとしては 1 リットルが 100 円、200 円です。

それに対して水道水の値段は各事業体、つまり地域ごとに値段が違います。いろいろな分布をしますが、大体 1 立方メートルが 100 円から 200 円ぐらいのところが一番多いです。これを比較して考えていただきますと、1 リットルと 1 立方メートルの違いですから 1000 倍違います。ほとんど品質的に変わらないものが 1000 倍の値段の違いでやり取りされている。そういう世界です。

今日、私が触れる水の問題は、1 立方メートルが 100 円とか 200 円という値段の方、つまり普通の水道水のことです。

図－2



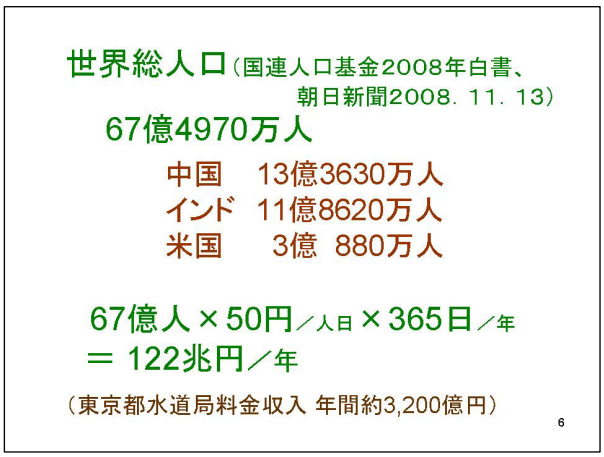

図－3

〈図－２〉〈図－３〉　水道水とペットボトルのエネルギー消費量を比較しますと、いろいろな計算方法がありますが、ペットボトルの本体を作るエネルギーが大きいので、水道水に比べますとざっと 700 倍ぐらい違います。これは値段と対応するぐらいの違いかと思います。使っている水の量を見ていただきますと、日本ミネラルウォーター協会がデータを取っておりますが、2006 年では輸入と国内生産を含めて 1 年間に 230 万トンぐらい。それに対して、ほぼ水道水と思っていただいて良いかと思いますが、生活用水は年間に 142 億トンぐらいです。そうしますとこれも万と億の単位の違いになりますので、ざっと 1 万倍よりもちょっとミネラルウォーターの方が多いかという程度です。値段が 1000 倍で量は 1 万分の 1 ですので、大体 10%から 5%ぐらいの市場規模だということが判ります。したがって先ほど生活用水の方の話をすると申し上げましたが、経済規模だけで見ますと 5%とか、結構な量になります。ちなみに東京都はほぼ毎日 450 万トン供給していますので、世界で一番大きい水道のシステムかと思います。

図－4

〈図－４〉　値段の具体的な例として、東京都中野区に住んでいる某世帯、実はこれは私の家ですが、４人家族で２か月間に上下水道を含めて２万円ほど払っています。上水道だけの値段を見ますと 1 万 1000 円ほどになります。2 か月間に 72 立方メートル使いますので、1 日 1 人あたり 290 リットルぐらいを使っています。これは値段にしますと 45.7 円、46 円ぐらいに

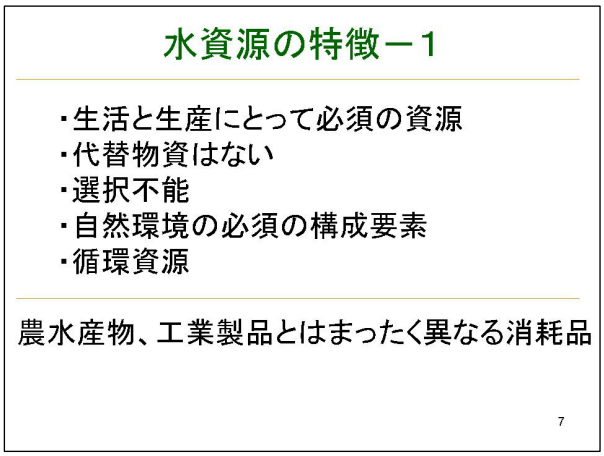
なります。１人１日ですので 46 円で風呂に入り、洗濯、水洗便所に使い、顔を洗い、歯を磨き、食事を用意して、飲むのも含めて、水関連にいる身から言いますと少し安過ぎるのではないかという気がしますが、こういう値段で供給をしているということです。




図－5

〈図－５〉　世界の総人口は 67 億 5000 万人ほどですが、仮に１人１日 50 円の産業が起きたとしますと、67 億人をかけて年間で 122 兆円の規模になります。もちろんこれはもう極々乱暴な計算であります。単価の安いものですが、これでも 122 兆円ぐらいの規模の産業になります。ちなみに東京都水道局の料金の収入は、年間 3200 億円ぐらいの規模です。

**水に代替物質はない**

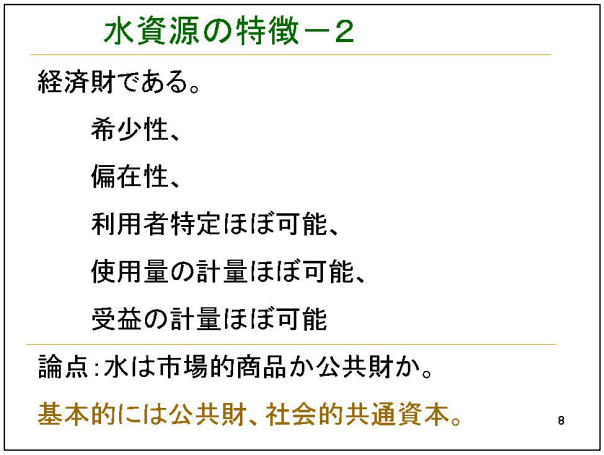



図－6

〈図－６〉　飲み水の話から入りましたけれども、水資源全般の特徴の確認をさせていただきます。良くご存じのところかと思いますが、一つは生活と生産にとって必須の資源ということです。これは言うまでもないと思いますが、代替物質がないというのが重要です。エネルギーの議論がいろいろありますが、何だかんだ言いましても代替のエネルギーが存在します。しかし水だけは、工場の洗浄水などは別のもので洗浄できたりしますが、生命にとって必須という

部分での水の代替は存在し得ないわけです。したがって水以外のものを使うということはあり得ない。選択不能です。

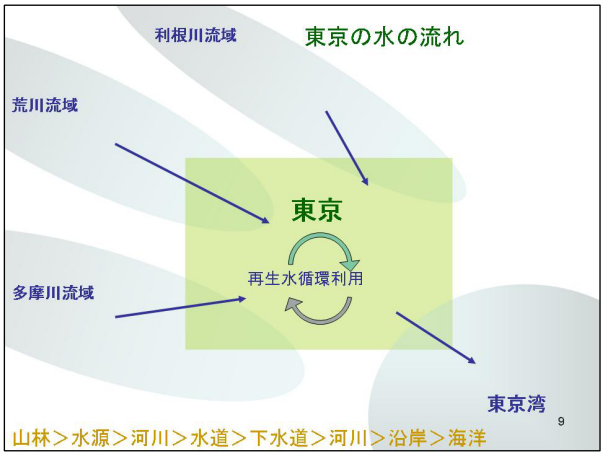
もう一つ重要なのは自然環境にたくさんありますけれども、石油資源などとは違います。石油資源は地下から掘り出して使った時に、地下の資源自体には何の影響もありませんが、水の場合は自然界から取ること自体が自然環境に影響しますし、水資源そのものに影響することになります。もう１点は循環している資源であるということで、使った水は通常は必ず水系に戻り、それをまた使わなければいけないというものです。生活・生産にとって必須でこのような特性を持っているがゆえに、通常の農水産物とか工業製品とは全く異なる消耗品としてあるわけです。




図－7

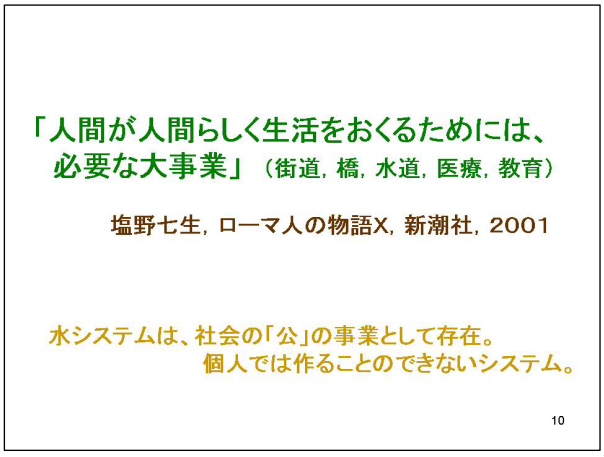
〈図－７〉　もう一つの方の特徴は、そういう自然界にあるものですが経済財であるということです。希少性がある、偏在している、利用者が特定できる、使っている量をほぼ定量できる、ということを考えますと、経済財として扱うことができます。現実に商品として売買しているわけですが、商品ではありますが先ほどのように自然界への影響、それから共有の資産であるということから、基本的には、公共財という扱い方が必要であるものと見なされているという理解でよろしいかと思います。特に地下水などは非常に所有権がはっきりしない形で存在しているわけですが、公共財としての扱いをしないと大変なことで地盤沈下など公害問題が起きます。これについては後ほどお話しします。

## 「人間が人間らしく生活を送るため」の水システム




図－8

〈図－８〉　先ほど、水は循環すると申し上げましたが、具体的に東京の水の流れを模式的に考えますと、利根川流域、荒川流域、多摩川流域という三つの流域から水を集めまして処理をし、東京に水道として供給し、それを利用して下水道に放流しているというのが現在の姿です。その一部は再生水利用、再度下水処理水を使っている。さらにそれは最終的には、東京の場合はすべて東京湾に放流されているというのが現実です。東京湾の水質というのは東京の下水処理水の水質で多くの部分は支配されているというような状況になります。




図－9

〈図－９〉　これは少々旧聞に属しますが、2001 年に出ました塩野七生さんの『ローマ人の物語』という、10 年にわたって出された本の第 10 巻にローマ帝国のインフラストラクチャーを特集した巻がございます。その中で塩野さんが書かれている説明は非常に的を射ているというか、良い内容ですのでちょっとご紹介します。

ローマは街道が有名ですが、街道とか橋とか水道とかの物理的なインフラ、それからソフトとしては医療、教育というような社会的なインフラも含めて、ローマ人は「インフラストラクチャー」という言葉を持っていなくて、それを呼ぶのに「人間が人間らしく生活を送るために

は必要な大事業」という言い方をしているという紹介があります。

この言葉は本質を突いておりまして、実は土木系の研究者は、これを読んで非常に喜び、良くこれを引用します。私も今引用していますが、水システムは社会的に公の事業として存在し、個人ではつくることができない。個人でつくることのできない、大きな社会のシステムとして取り扱わないといけないという意味合いが、この「人間が人間らしく生活を送るためには必要な大事業」という言葉に含まれているかと思います。

図－10

〈図－10〉　社会のシステムであるということで非常に具体的な例を出させていただきますと、1990 年に埼玉県の浦和の幼稚園で集団下痢が発生しました。非常に不幸なことに何人も園児が感染し、そのうち 2 人が亡くなりました。これは実は病原性大腸菌 O-157 が原因だったのですが、この O-157 が大流行したのはこの 6 年後の 1996 年です。

この事件はどうして起きたかというと、園長先生が、自分の飲んでいる井戸水は非常に美味しくて安全で良いけれども、水道水は塩素など発癌性物質が入っているのではないかということから、美味しい水を園児にも飲ませたいと日頃飲ませていたわけです。ところが非常に運の悪いことに便所のシステムとこの井戸がつながって、さらに運の悪いことに O-157 の菌がそこに放出されて水が汚染してしまいました。

これは個人の善意や知識や知恵ではある種の限界がありまして、良かれと思ってやったことが悪い結果になったわけです。科学技術を公のシステムとしてきちんと適用して、そのシステムをつくらないといけない。これは幼稚園の中のことですが、これがそのまま社会全体、一つの都市に広げても同じことが起き得るわけです。

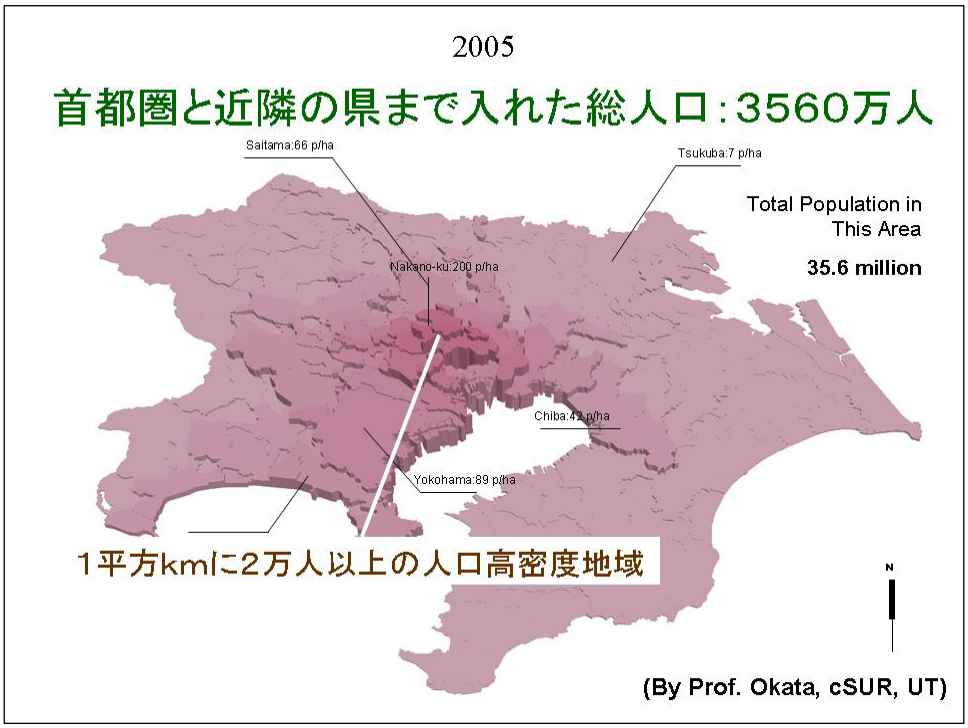
このことからも、こういう公のシステム、すなわち先ほどの大事業に相当するものが必要であるということが説明できるかと思います。水の供給から排出まで、さらに水環境の保全まで、確実に管理された間違いのないシステムが、社会の中に組み込まれていなければならないわけです。

## 首都圏の水システム

ここからが日本の水関係分野への我田引水になりますが、日本は大変優れたシステムを作り

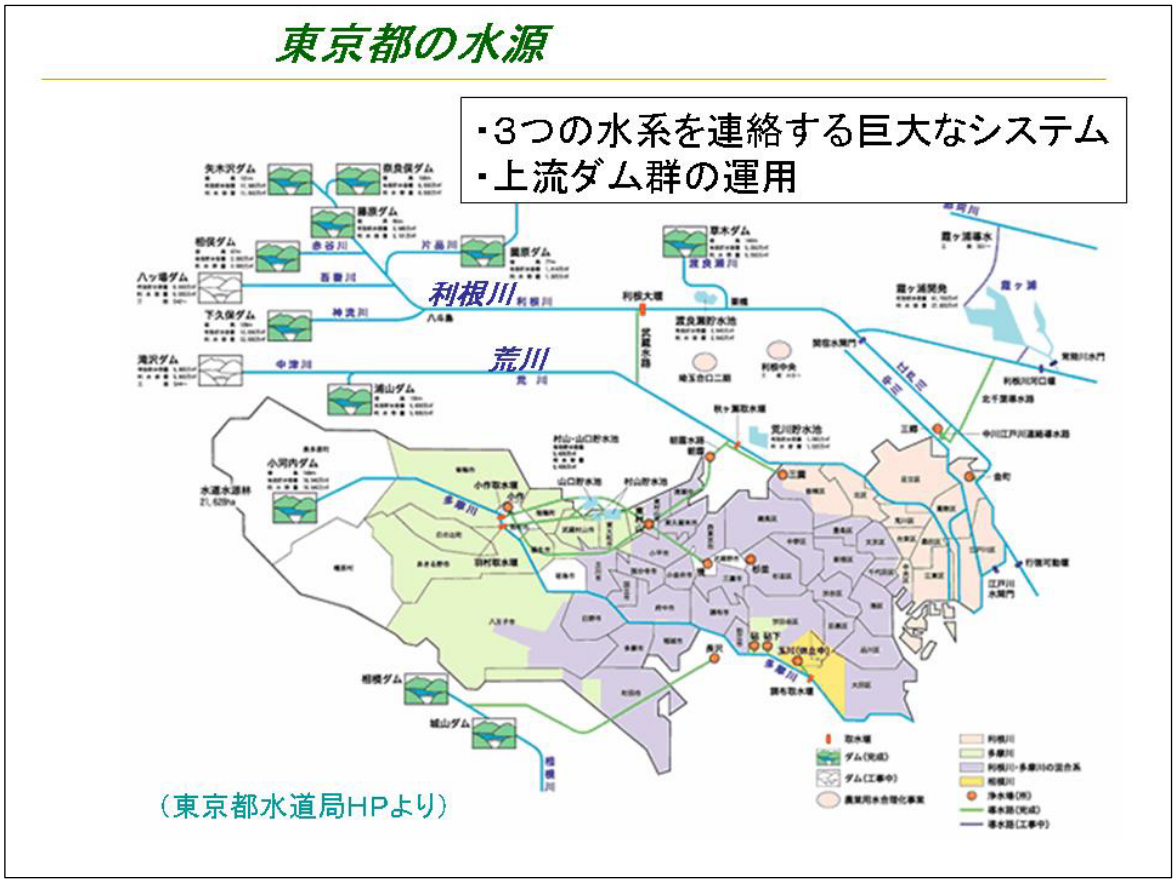
上げてきました。いろいろな例がありますが、分かりやすい例として最初に東京、首都圏の事例を説明します。東京は世界最大の都市圏で、長期にわたる人口集中を繰り返してきて、今でもまだ少し増加しています。

さすがに日本全体が今人口減になりますから、もうそろそろピークを迎えますが、アジアの風土の中にある都市であり、沖積平野の広がった水の都です。アジアの大都市は沖積平野に存在しているものがありますのでその絶好の例になります。人口が急激に減っている国の首都ということもありますが、地震、戦争による爆撃、火災、洪水等で被災し、多くの経験をしている地域です。



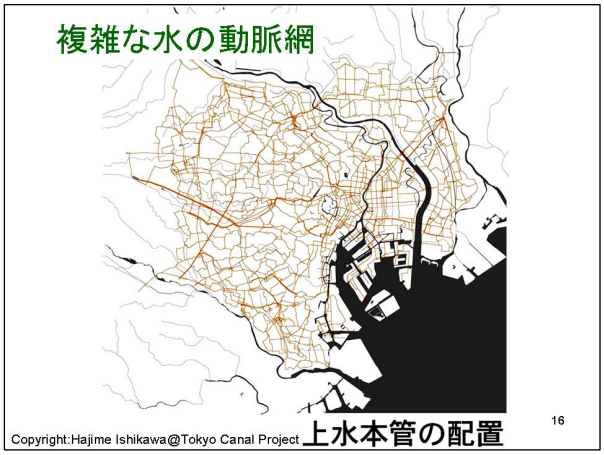

図－11

〈図－11〉　2005 年の首都圏と近隣の県まで含めた人口密度の分布図ですが、総人口で 3560 万人ぐらいの規模になります。住宅が集中している東京の町の中心部には、1 平方キロに 2 万人という人口密度が非常に高い地帯が連なっていますが、この部分にどう水を供給するかということになるわけです。




図－12

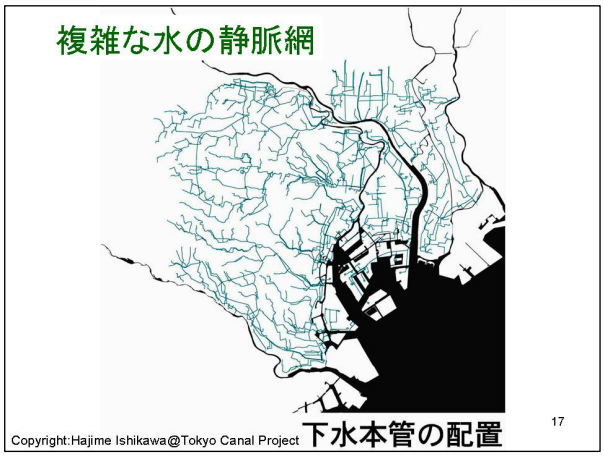
〈図－12〉　東京都の水源は先ほど申し上げたように利根川、荒川、多摩川の３水系です。三つの水系を連絡する水路や堰で全体の構成ができ上がっています。どちらの水も使えるようなシステムになっており、特に多摩川水系の奥の小河内ダムなどは、東京の水源の安全保障上のバックアップ的な感じにさえなっているという状況です。上流に多くのダムを運用しており、これによって巨大な都市の水需要をまかなっているわけです。



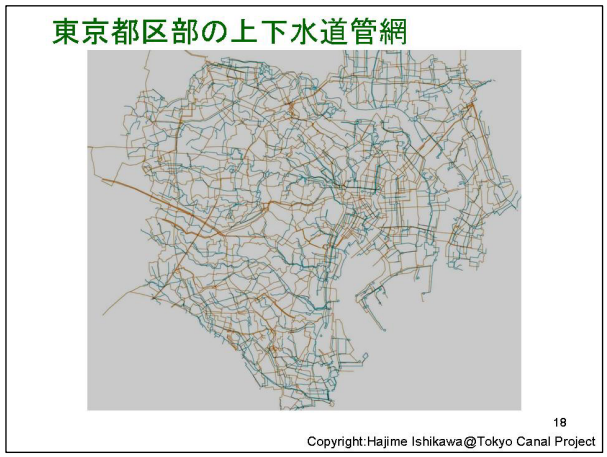

図－13

〈図－13〉　東京 23 区の水道は、非常に複雑な水の動脈網をつくっています。主に道路の形に沿って水道管は配置されています。水道管は、ご存じかと思うのですが圧力管です。圧力を

かけて送るので決して圧力が大気圧より下がることはありません。それはなぜかと言いますと、圧力をかけてあれば管に亀裂が入っても、水が漏れることはあっても外から水が入ることはありません。水質の安全を確保するためです。




図－14

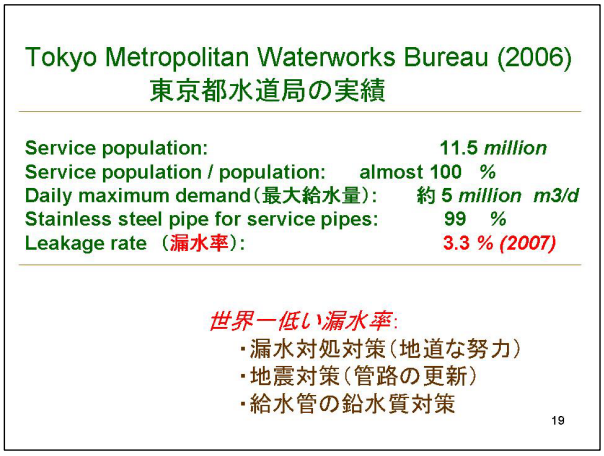



図－15

〈図－14〉〈図－15〉　それに対して下水道はやはり複雑な管網をつくりますが、基本的にはエネルギーを使わないように自然流下型を取ります。したがって下水道の管の図を見ますと、小さい河川がいっぱい連なったような形です。これが上水道と下水道の違いですが、どちらにしても、両方とも基本的には道路の地中に埋めてあって水の流れを維持しているわけです。両方が重なると、上水道は動脈で下水道の方は静脈みたいな、人間の体の一部分を拡大したような絵ができ上がります。

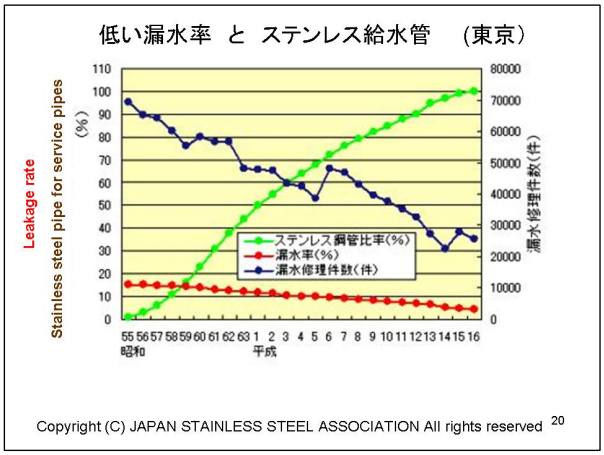
もう一つ申し上げないといけないのは、１人１日 250 リットルぐらいを使いますので、４人家族ですと１日に１トン、１立方メートルになります。想像していただけば分かるのですが、毎日１立方メートルもトラックで輸送するのは不可能です。毎日１立方メートル持って来て、また１立方メートル取り出さないといけない。流体ですのでパイプ輸送が最も合理的なものになります。したがってこの水道管網という形ができ上がっている理由は、ほかの物資との比較をすれば明らかです。

**東京は世界一低い漏水率**




図－16

〈図－16〉　そこで東京都水道局の実績ですが、1 日ざっと 500 万トン弱ぐらいを供給しています。現在漏水率、要するに浄水場から水を出して、各家庭の蛇口まで水がどれだけ到達するかというと 96.7%、漏水率ですと 3.3%という数字に達しております。これは大規模な都市としては世界一低い漏水率で、東京都水道局のことは、石原知事も海外に出ると良く宣伝しています。これはなぜでき上がったかと言いますと、一つは基本的には漏水対策です。夜中に道路で水の漏れているのを探して、それを直していくというような地道な漏水対処対策があります。もう一つは地震対策です。東京は地震がありますし、まだこれから大きい地震の心配がありますので、耐震型の管路に交換しております。古い管路をどんどん耐震型に替えるということは、管路が壊れにくくなって漏れにくくなるという効果もあります。




図－17

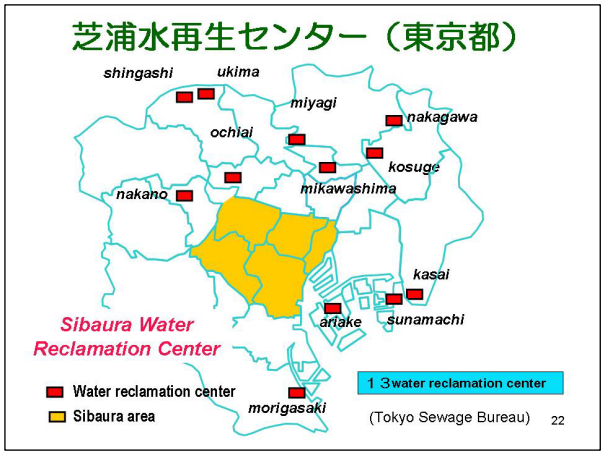
〈図－17〉　３番目は実は給水管と呼ばれるものがあります。給水管というのは道路のところにある本管から各家庭へ水を引っ張り込む細い管です。昔は工作が簡単な鉛の管がたくさん使われました。ところが健康リスクの情報が出てきて、濃度が厳しく制限されるようになると、元の水質は良くても最後の給水管のところで鉛に触れては、鉛の濃度が上がってしまうという問題が起きて、そこの給水管をステンレスに全部変えました。これによってまた漏水率が下が

りました。要するに水質対策、地震対策というようなことが漏水対策にも役立っているという、技術のシステムとしての連関が非常にきれいに出た例です。

給水管のステンレス管化というのは、昭和 55 年頃から始まりましてどんどん進み、平成 16 年頃にはほぼ 100％になりました。こういう歴史的な展開の中で漏水率がどんどん下がってきたということです。漏水率は非常に重要で、元から水を取ってそれがちゃんと使われるかということですが、十分整備されてない国では漏水率が 30％とか 40％という、一桁違うオーダーです。

## 水の再利用

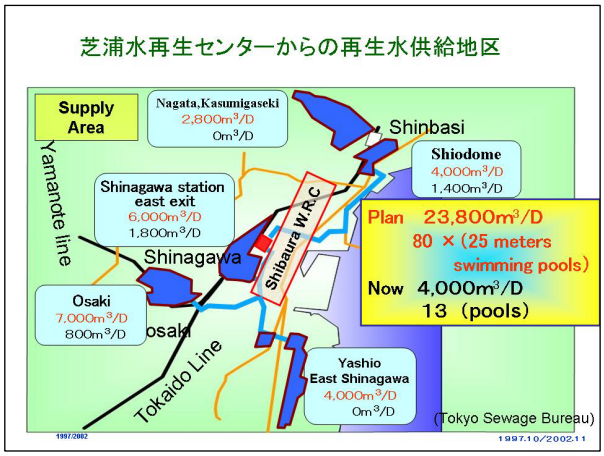
図－18




図－19

〈図－18〉〈図－19〉　水を使うわけですが、当然、水が十分あるわけではありませんし、渇水の年もあります。その時のために東京ではかなり早くから下水処理水をさらに処理して、それを都市内で使うというシステムが導入されていますし、条例などで誘導されています。一番有名な例は西新宿地区です。そこの高層ビル群はすぐ北の高田馬場の近くに落合下水処理場、いまは落合水再生センターという少しきれいな名前に変えていますが、その下水処理場からの水をさらに高度処理をしてパイプで運び、そして西新宿でまた塩素を追加し水洗便所用水に使っています。

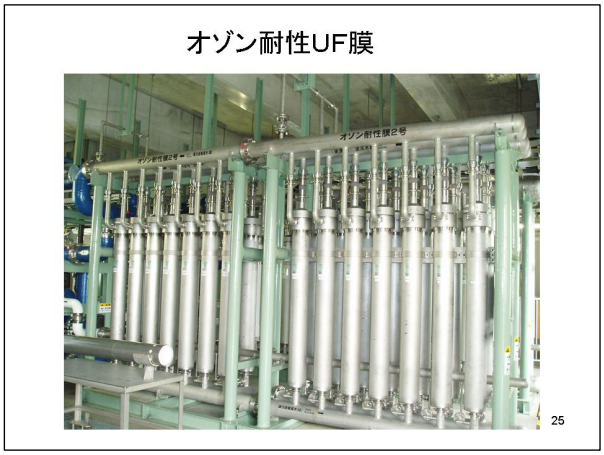
これは 1984 年からで、世界の中でも都市内の水洗便所用水などに使い始めた例としては時期的に非常に早いものです。




図－20

図－21

〈図－20〉〈図－21〉より大規模には品川駅のすぐ南にある芝浦水再生センター（下水処理場）がありますが、ここは都心の下水を集めて処理をし、そこから新橋、品川、大崎、八潮などに下水処理水を配っています。芝浦の下水処理場で再処理した水が水洗便所用水として使われているわけです。




図－22

〈図－22〉　どんな技術かと言いますと、いろいろありましてこれに限らないのですが、オゾン処理をした後、膜にかけても良いようなオゾン耐性 UF 膜というものが使われています。この前に普通の活性汚泥処理がありますが、その処理水をさらに処理して使っているわけです。

水洗便所用水が東京都でこれほど使われるようになったのは条例によるものです。床面積が３万平方メートル以上、それほど大きいビルでもありませんが、こういうビルは再利用水を使うか、あるいは中で水を循環することが義務づけられております。そのために地区の下水処理場から再生水をもらって入れるか、あるいは自身のビルの中で循環するというやり方が東京では行われています。大阪や福岡などでも、日本では大きな都市で水のないところは盛んに使われています。

図－23

〈図－23〉　雨水を有効に使おうというのは墨田区などが活動していて有名ですが、例えば国技館、東京ドームといった大きな屋根のある建物は雨水を集めています。両方とも 1000 立方メートルのタンクを地下に持っておりまして、水洗便所用水に使っています。ただ雨水利用の場合に気をつけないといけないのは、雨が降らない時には水が無いということです。

しかし雨がない時は相撲をやらない、あるいは東京ドームは試合をやらないというわけにはいかないので、水道の水供給システムとしては雨水利用のシステムがあっても無くても同じ規模の施設・設備が必要になります。ただ雨が降って溜まった時には水道水を使わないで済むというシステムだということは、ぜひご理解いただきたいと思います。

**地球環境問題を考えた水のシステム**

図－24

〈図－24〉　水の再利用に限らず、日本の水システムの中ではいろいろな新しい関連技術を導入して、いわゆる地球環境問題対策なども行っています。一つの例は、東京都の浄水場では広い処理の面積が必要ですが、その上を全て覆いまして、そこに太陽光パネルをつけて発電し、浄水場の中で一部を使うといったことをしています。

それから家庭生活の中ですぐお分かりになると思いますが、水を使いますとお風呂で使ったり給湯器を通して使ったりしますので、下水というのは通常温度が上がります。気温との温度

差がありますので、その温度差を使ってヒートポンプを動かしてエネルギーを取り出すことができます。こういうシステムは都内の方々で設置されており、日本は早くからこれが盛んな国です。

図－25

〈図－25〉　もう一つ、水のシステムで重要なのは水の供給ばかりではなくて、洪水があります。最近も、洪水というよりも土石流による不幸な事件がありましたけれども、集中豪雨等が増えているようですし、東京のように高密度に土地を利用しているところでは、わずかな洪水でも大きな被害と損害が生じます。洪水の予防のための巨大な都市の地下雨水貯留施設というのがあります。

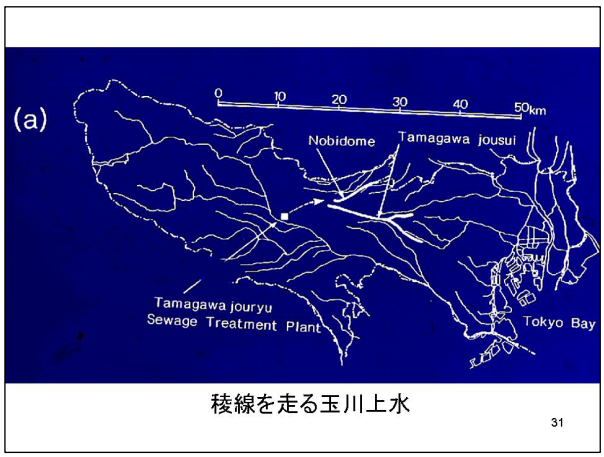
ご存じの方が多いと思いますが、環七の下に大規模な管路が設置されておりまして、そこに洪水の水を一時貯めて、そして晴れた後、ゆっくりその水を排出するという形で洪水を防いだり、それから方々に地下貯留槽をつくって川からあふれた水をそこで受けて、後からゆっくり排出するというようなものが、東京でいうと妙正寺川だとか神田川だとか、多数設置されています。

さらに、これはもう当たり前ですが、下町の方は内水排除、海面より低いところはポンプで排水することによって洪水を防いでいる。こういう技術によって東京自体が守られているという状況です。

図－26

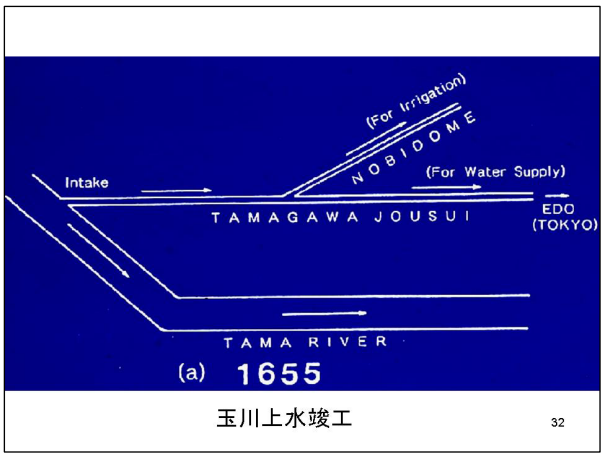
〈図－26〉　少し変わった日本特有の、ユニークな水の再利用システムがあります。これはご存じの方もいらっしゃると思いますが、玉川上水とか野火止用水では水が無くなった一時期があります。その時にまわりの住民から水路に水が無くなるのは困るという不満が出て、東京都の下水道局、環境局が工夫をして水の無いところに流す水を探し出しました。その水源は多摩川上流下水処理場です。

図－27




図－28

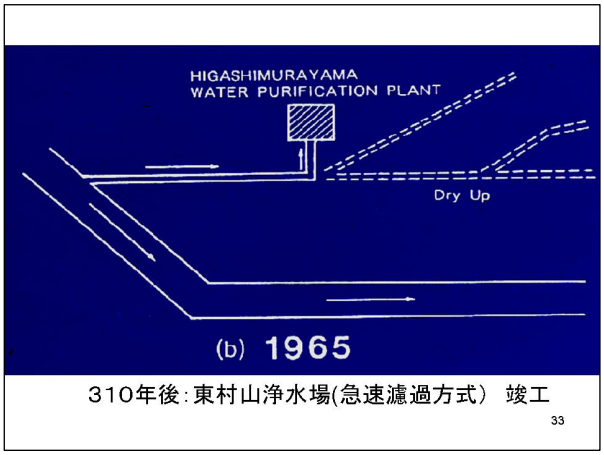
〈図－27〉〈図－28〉　これは流域下水道ですが、この多摩川上流下水処理場の処理水をさらに処理をして送ったわけです。どのようなシステムかと言いますと、玉川上水は東京の真ん中の丘の上を走っています。それによって羽村で取った多摩川の水が、遠く江戸の下町まで送れるようにと江戸時代につくったのですが、そこの水が無くなった時に、多摩川から水を取って処理水をポンプで送ったということです。




図－29

〈図－29〉　歴史を簡単にひもときますと、江戸時代、1655 年に玉川兄弟が玉川上水というのを江戸の町のために拓きました。江戸は沖積平野にありまして地下水があったのですが、地下水は塩分が強くてほとんど使えない。徳川家康が大きな町をつくってそこに水の供給が無いと成り立たないわけで、こういう上水をつくったのです。上水の一部は野火止用水として灌漑用水にもなりました。こういうシステムができ上がったわけです。それが 1655 年です。

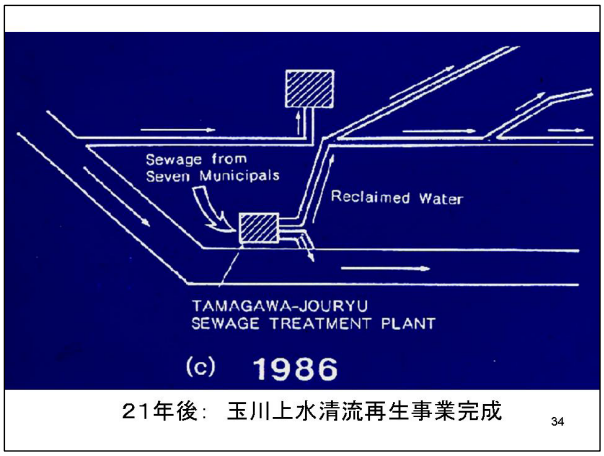
図－30




図－31

〈図－30〉〈図－31〉　310 年後、東京が大きく近代化して、江戸時代の遺産である玉川上水の水は西新宿にある淀橋浄水場で浄化をしていました。淀橋浄水場というのは緩速濾過法といって、砂の上に水を張って徐々にきれいにするというやや古い方法で、面積を非常に広大に使います。それに対して新しい急速濾過法が一般的になりまして、その方法で東村山に新浄水場をつくったわけです。そこに今度は逆に羽村の水を持って行かないといけない。

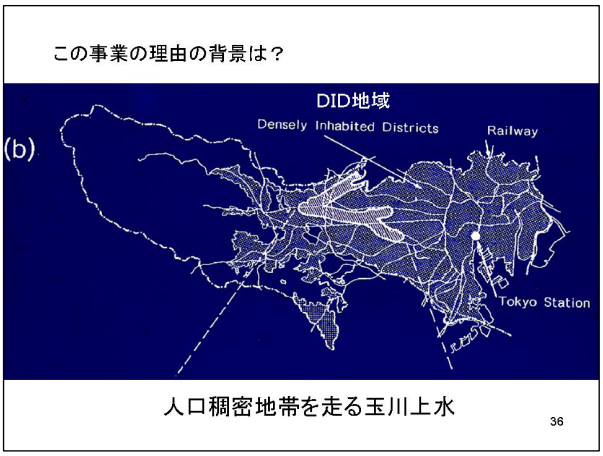
そうしますと、東村山に持って行った後の下流側は、全部、玉川上水も野火止用水も水路に水が流れないという状況が生まれます。それが 1965 年です。この後、水が無くなった地域から非常に不満が出ました。三鷹のあたりは桜があって水が流れて素晴らしい景色だったわけですが、水が無くなってしまった。



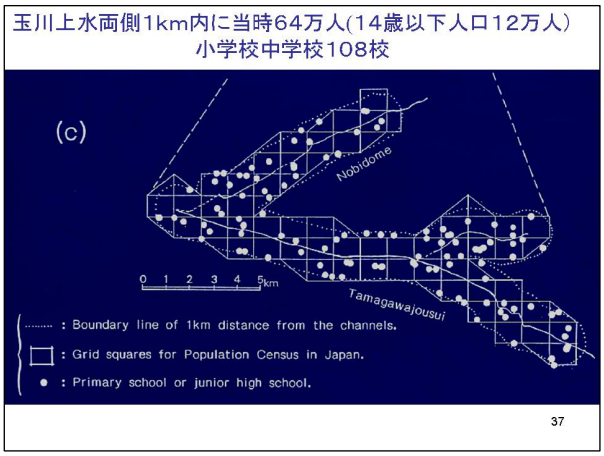

図－32

〈図－32〉　東京都は水源を探したのですが、水利権の制限がありますから多摩川の水を取るわけにいかない。そこで下水処理水を使う案が出ました。水が無くなってから 21 年後の 1986 年に、先ほどご説明した多摩川上流下水処理場の水をさらに濾過してポンプアップし、その水路に流すというシステムができ上がったわけです。それ以降、ずっとこのシステムは動いています。その淀橋浄水場の跡は、先程の西新宿地区ですが、今京王プラザとか東京都庁などが建っています。

## ユニークな水処理




図－33



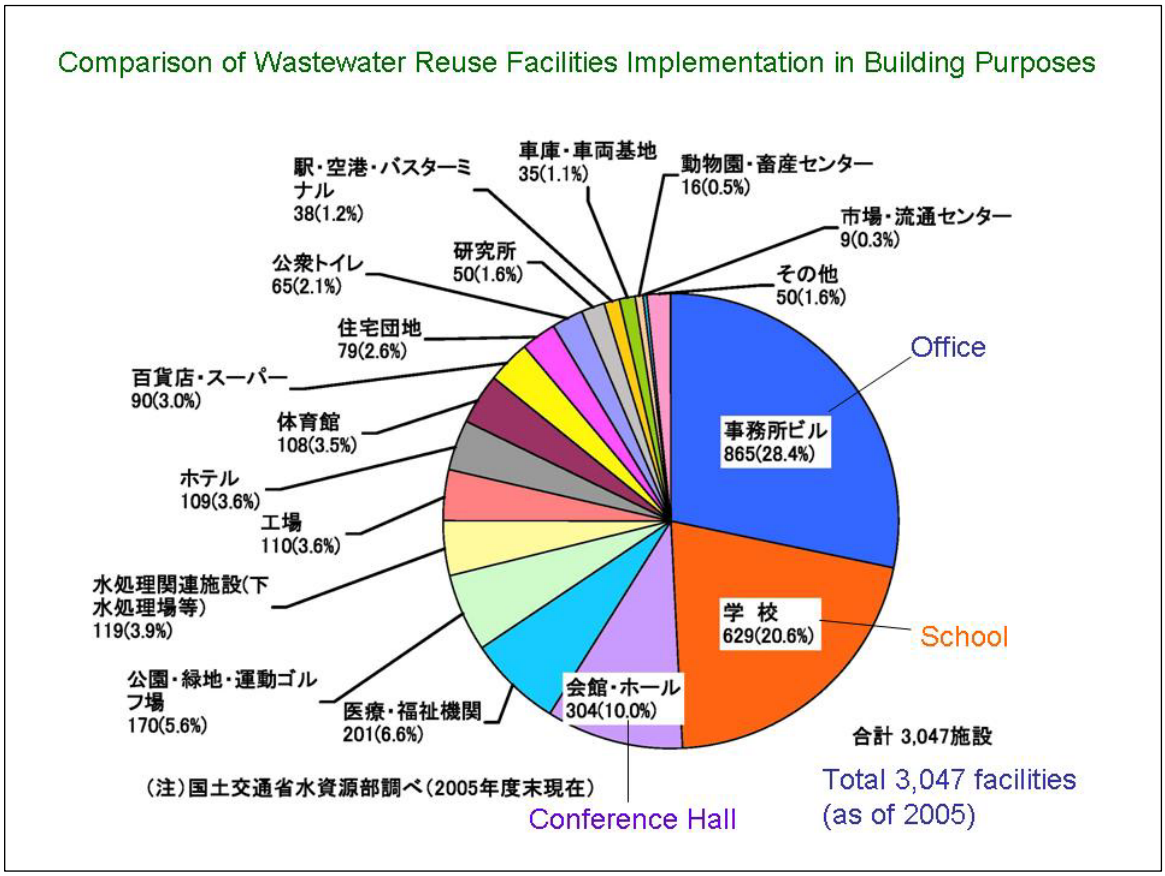

図－34

〈図－33〉〈図－34〉　こういう事業がなぜ成り立つのか。実はアメリカの教授から、ただ水路に水を流すためだけに税金を使い、かつメンテナンスにずっと費用がかかるわけだが、なぜ住民が納得しているのかと問われました。その説明のために 1990 年に考えてまとめたことをお話しします。水が無くなった時期には、すでにこの地帯は人口稠密地帯で多くの人が住んでいました。

その水路のまわりの人口や学校を調べてみますと、水路の片側 1 キロずつ、つまり全体で両側 2 キロの幅の中に 64 万人が住んでいました。14 歳以下の子どもの人口は 12 万人です。その 64 万人という中規模の都市に相当するような人口のところに、そばにきれいな川が流れて

いたのに、その川の水が無くなってしまった。そういう世界ができたというようにも解釈できるわけです。したがって上水の復活に関して住民の意見が大変強くなったということは、この数字からもお分かりいただけるかと思います。

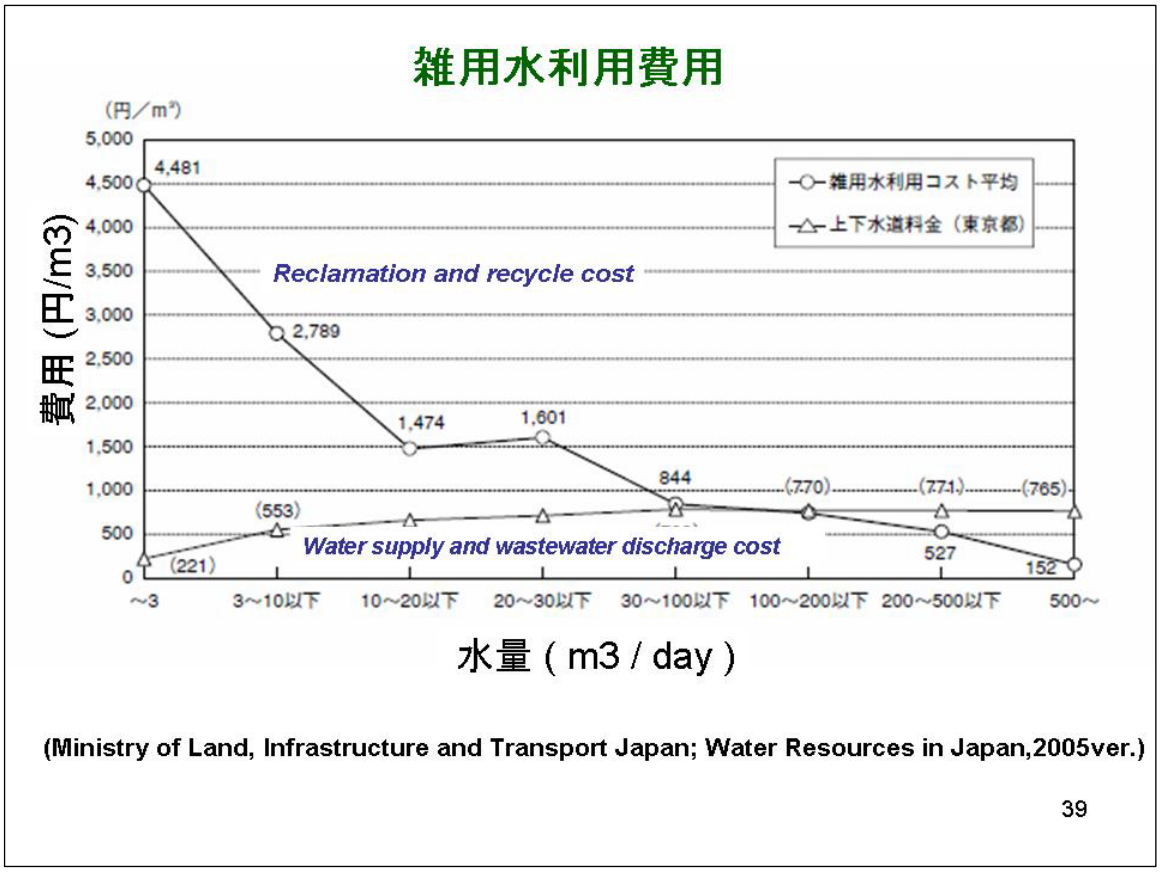
同時に、小、中学校が 108 校、その周辺にありましたから、ここの情操教育も含めて教育にも影響が大きかったであろうことは想像できると思います。都市環境の中での水の重要性を考えて、それを復活させるために下水処理水を使うというような形で日本では行う。ちなみに大阪城のお堀の水も下水処理水です。




図－35

〈図－35〉　ということで日本では下水処理水が様々なところで広く使われています。どんなところで使われているかと言いますと、先ほどから申し上げているようにオフィス、事務所ビルで水洗便所用水に使います。また学校や会館、ホール、あとは医療機関などいろいろなところで使います。

こういう水の再利用の絵を外国へ行って見せますと、非常に不思議がられます。なぜかと言いますと、水の再利用をしているのは水が無い乾燥地帯です。カリフォルニアのロサンゼルスのところなどはその典型です。そこでは下水処理水を何に再利用するかというと、農業用水です。日本は人口が集中的に集まっているところで渇水への安全保障として、都市内の水洗便所用水に下水処理水を使うということを早くからやっているわけですが、これは非常にユニークな社会システムです。




図－36

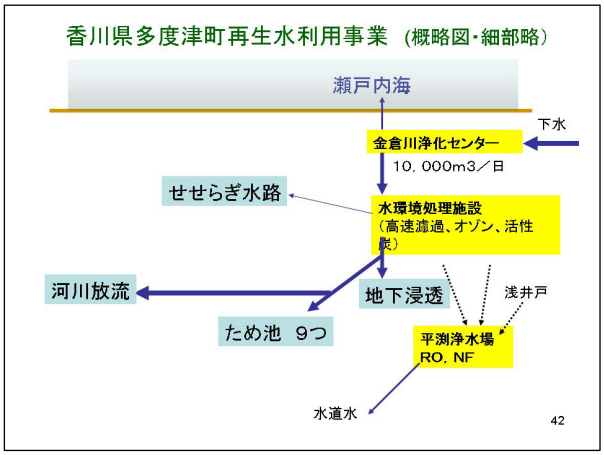
〈図－36〉　ここでいつも問題になるのは雑用水とか再利用水とか言ったりしますが、雑用水の値段です。ビルの規模によってかなり値段が変わりまして、かなり大きい規模ですと普通の水道水を買って下水で放流しますと、水道水の料金と下水の放流の料金と両方かかります。しかし中で循環しますと水量が減れば上水道の料金も減るし、下水道の料金も減るという形で経済的に成り立つ仕組みになってきています。

日本で都市の水の再利用が盛んである一つの背景として、今申し上げたことをまとめますと、技術開発が盛んに行われたということ。費用が相対的に安くなっているということ。これは非常に難しい問題で、海外で比較する時に、水道料金や下水道の排出料金がものすごく安いと再利用の価値は無いわけです。一方、公共的な上下水道料金がある値段に達すると、再利用の効果が出てくるということで、その社会、社会でかなりこの解釈は変わります。ですから一概に海外へ持って行けるものではないという性質もあります。条例の整備で政策的に誘導したということがもちろん大きいのです。先ほどの玉川上水・野火止用水のようなものは、日本の文化の特徴で自然と共生するとか、住民の水に対するある種の思いといったものがかなり色濃く出ているのではないかと思います。

## 香川県多度津町の水循環システム

図－37

〈図－37〉　日本では農業用水として再利用する例は少ないと申し上げました。現実に世界各国と比較すると非常に少ないのですが、最近できた特異なシステムを一つご紹介します。それは香川県多度津町のプロジェクトです。ここは瀬戸内海に面した町で、有名な満濃池という水源用ダムがありますが、そこの水を受ける最下流に位置しています。町長さんに伺うと、渇水の時には上流の町が水を取ってしまって、下流の町まで水が来ないという悲哀をいつも感じているのだそうです。




図－38

〈図－38〉　そこでやったことは、町にある流域下水道の 1 日 1 万トンほどの水を再度高度

処理をし、それを町の溜め池、農業用水の方へ回す仕組みをつくりました。一部は地下浸透して、部分的には飲み水にも入っているのではないかというような、要するに町全体としての水の循環システムを導入したわけです。

図－39

図－40

図－41

図－42

〈図－39〉〈図－40〉〈図－41〉〈図－42〉　これはいろいろな高度処理のシステムで、町の中にはやや小さい盆栽のような水路をつくって住民の理解を得ることもあるし、プロジェクトの宣伝もしているというような形になっています。いろいろな公園に水を回して、それが地下に浸透してある種の水資源になるというようなシステムで、溜め池の水を入れて農業用水に使います。この町はもともと地下水の水質が良くなかったものですから、近くの浄水場では膜を使った高度な処理を導入して飲料水を作っています。このような町が現れています。

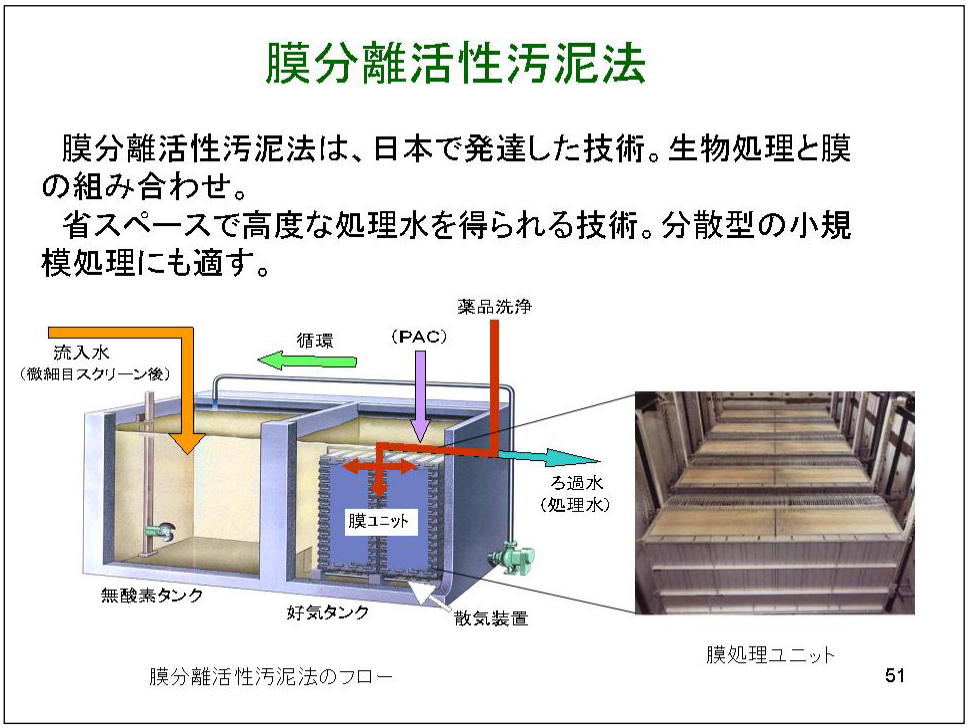
要するに水が無ければ農業は成り立たないわけで、農業が成り立たなくて水のために苦労している親を見ている子どもたちは、家を離れて都会に行ってしまいます。するとその町の若い世代の人口が減り、活力も下がります。

したがってまず安定的に水を確保することが町のために重要です。そういうことで排水再利用の技術を地域活性化のために融合しているということです。コストだとかいろいろな問題はまだあるとしても、とにかくこういう技術を導入しています。要するに地域において統合化さ

れた科学技術というと大げさですが、システムとしてでき上がっている非常に面白い例です。

水は、一番最初に申し上げたように自然界に存在しているものですので、技術の応用の時に地域と技術の融合が無い限りは、効果的な利用ができないというものではないかと思っています。

**膜分離活性汚泥法**




**図－43**

〈図－43〉　今までシステムについてお話ししましたが、次に日本が得意とする個別技術のお話をします。いくつもありますけれども、一つは「膜分離活性汚泥法」というものがあります。もう一つは、良くご存じかと思いますが、いろいろな膜処理の「膜」そのものです。三つ目は「分析化学機器」です。水の議論をする時に良く量の問題だけが出てきますが、水質が決定的です。今のように非常に難分解の、人間が様々な化学物質を使い、様々な物質を使っている中で水の中にはいろいろなものが溶け込みます。

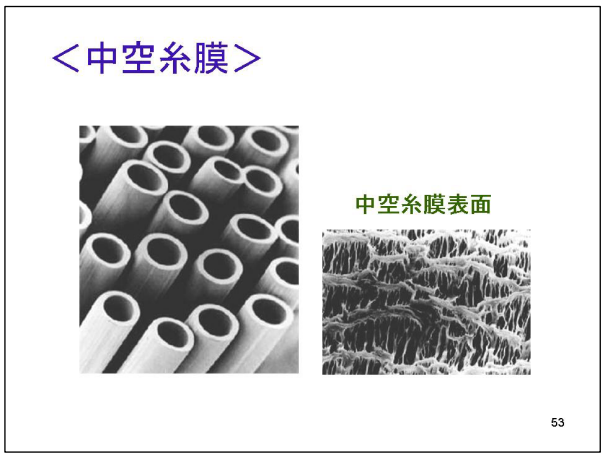
その時に人間の健康にとって安全な水質かどうかを測定する、分析技術というのは非常に重要で、そういう分析化学機器、あるいは分子生物工学の機器に関して日本には非常に強い産業があります。日本の水質に関する技術システムを支える重要な機能を果たしているかと思います。こういう幅広い産業が日本の強さになっているのではないかと思います。

「膜分離活性汚泥法」の活性汚泥というのは、バクテリアを増やして有機物を分解するのですが、バクテリアを増やすと、きれいな水を取るためには固体と液体に分離しないといけません。それを昔は重力でやっていましたが、膜ができたことによって物理的に非常に高効率で分離することができるようになり、活性汚泥と膜を組み合わせた方法が開発されました。これは

日本の大学で本格的に研究されたもので、今世界の方々でこれのいろいろな改良形が使われています。

特に日本は浄化槽という下水道が普及しないところで、個別の家庭で排水を処理するということが盛んに行われてシステムができ上がっている国です。そういう小規模な処理にも膜分離活性汚泥法が適切ということで、これから下水道の無い開発途上国が新しい下水管理の導入を図る時、有効なシステムであるかと思います。

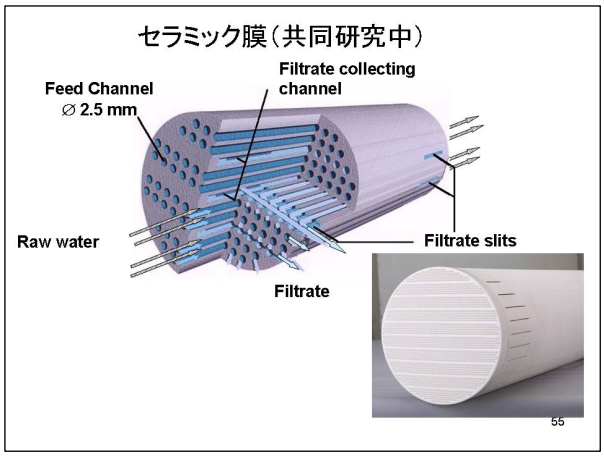
図－44




図－45

〈図－44〉〈図－45〉　膜に関してはなぜ日本か強いかと言いますと、日本は繊維産業等が強い。それからセラミック、瀬戸物の産業が強い。その両方の会社が実はこの膜を作っております。有機の繊維を使った膜では、平膜ですとか中空糸というマカロニのように真ん中に穴が開いた膜がありまして、そこで濾過をする。

図－46

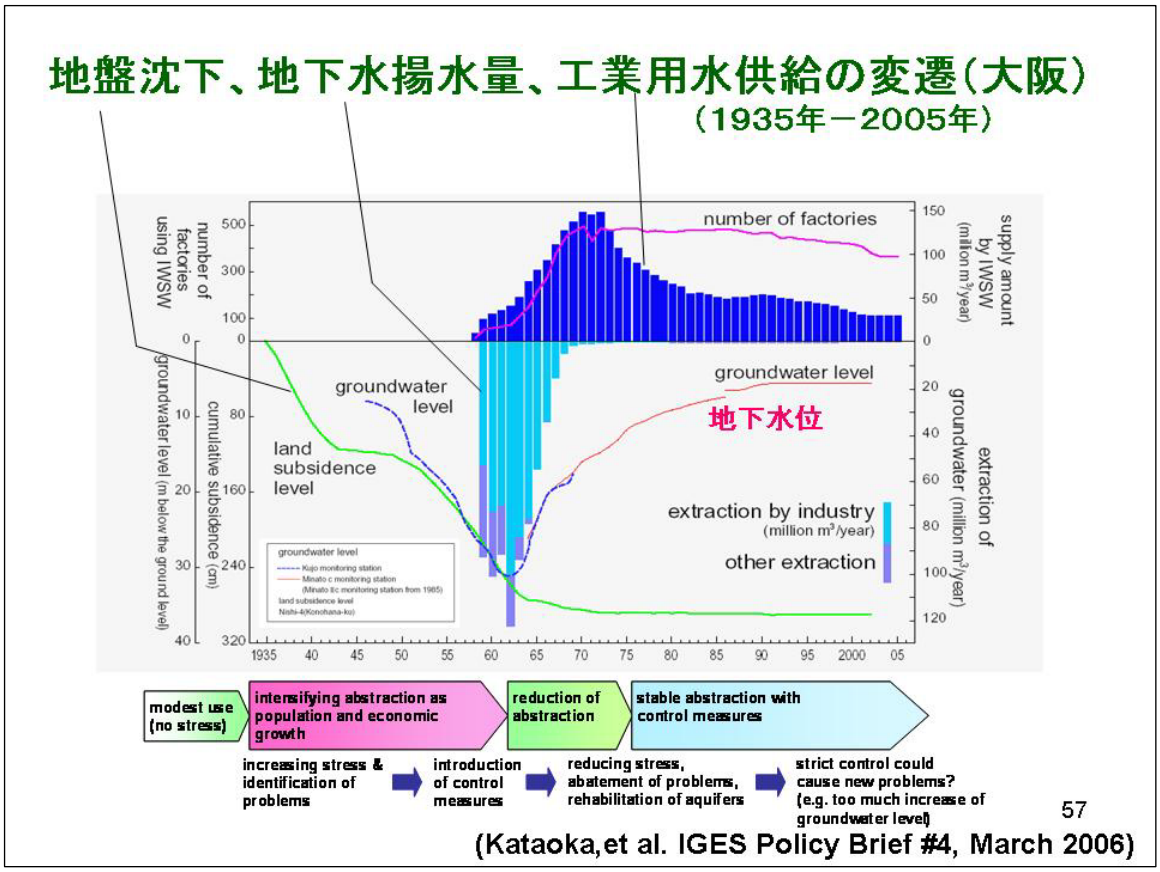



図－47

〈図－46〉〈図－47〉　そのほか、セラミックの膜というのは瀬戸物でできた膜、瀬戸物ですのでいろいろな薬品、洗浄したりする時に薬品に強く非常に有効で、日本がかなりのシェアを持っています。海水淡水化の膜なども大きなシェアを持っているという状況にあります。

## 水にまつわる公害対策

少し話が変わりますが、日本は 1960 年代からの公害の時代を経て産業界、普通の生活圏でも公害対策が非常に進んだ国です。確か公害国会のあった 1970 年以降、OECD から褒められましたが、公害対策の長い実績と成功体験が日本の強みではないかと思います。




図－48

〈図－48〉　一つの例として地盤沈下と地下水の取水の問題をお話ししたいと思います。もう一つは東京に限らず日本は高密度に人口が集積した地域が連なっています。大昔の言葉で「太平洋ベルト地帯」というような言い方をしたりしますが、そこの水質管理の経験があります。例えば京都市の下水は淀川に入り、大阪府の水道水になっているわけですが、こういうところの水の処理のシステムというのは長年の経験があるわけです。

地下水と地盤沈下のお話を大阪の例でお話しします。東京も同じような状況だったわけですが、戦後から急激に工業が発達して地下水の揚水量がどんどん増えていきます。そうしますと地下水の水位が下がっていくことになります。これは大阪の場合は多数の工場がそれぞれの土地で水を吸い上げるわけですから、個別では小さくても全体としては地下水位が下がってくる。地下水位が下がりますと水が無くなって地盤がつぶれ、地盤沈下が起きます。

例えば大阪の一部では地盤沈下の総量がいちばんひどい 1960 年ごろになりますと、２メートル 40 センチぐらい地盤沈下が起きているわけです。全体が地盤沈下しています。実はこれは大きな影響があります。高潮の堤防などがあってもそれ自体が沈下してしまいますが、しか

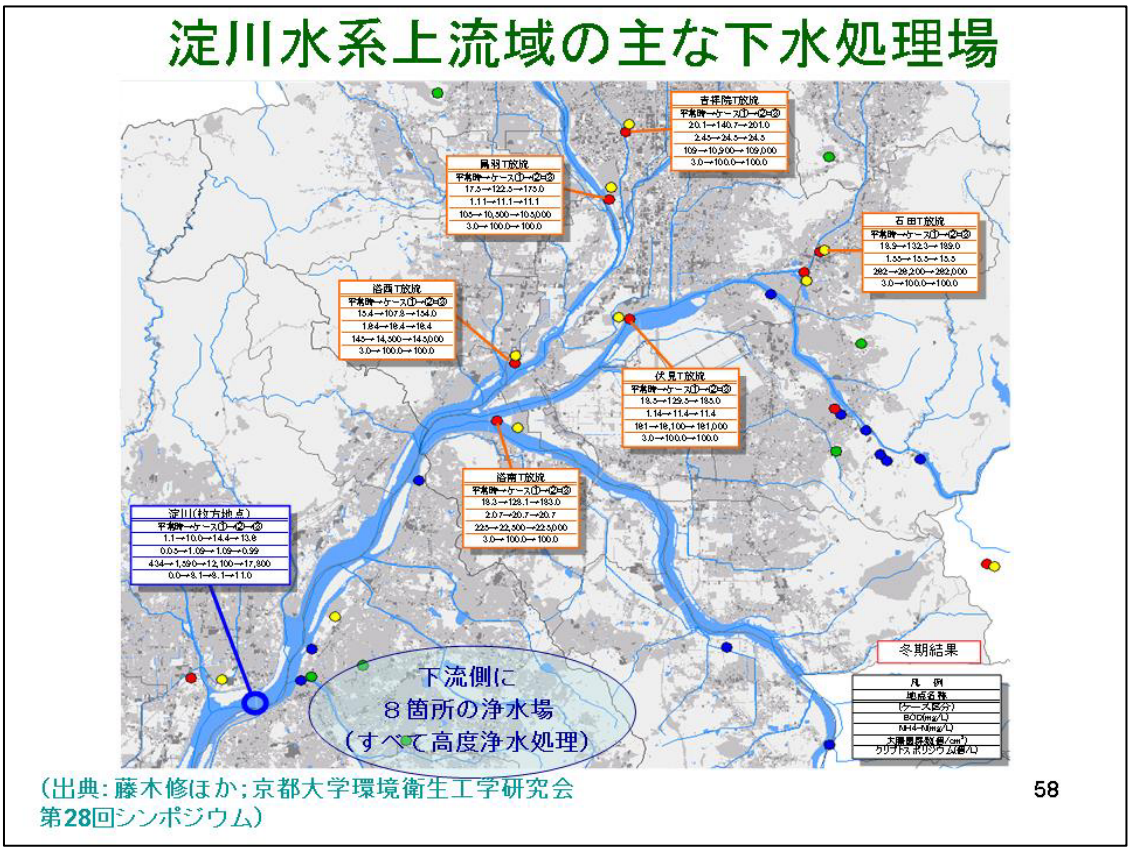
し高潮の高さは変わりませんので、その上にさらに２メートル積み増しするというような膨大な社会的費用を生んだわけです。

その後、日本は 1970 年の公害対策基本法と、それから公害国会等を通して規制に入ります。徹底的な規制で水の使用量が急激に小さくなります。主にこれは工業用水でしたので規制が非常に強くできたのです。その代わり、水が必要ですから工業用水道というのを整備して工業用水を供給しました。こういう代替用水がないと規制ができない。

今は実はバンコクなども地盤沈下が問題になりまして、規制の問題があります。私もその議論を研究交流で聞いたことがありますが、聞いて驚いたのは、もちろん工業用水道はまだ無いわけですが、水道水に切り替えたらどうかと工場長に言うと、水道水は水質も悪いし、流量も不安定だから地下水の方が良いという返事が返って来て替えられないのです。

要するにこういう公害対策をするためには、例えば良い水質の水が安定して供給されるという社会基盤が無いと、転換もできないということの典型例かと思います。日本の場合は工業用水道を整備することによって転換をしたわけです。それによって 1970 年以降、地下水位はどんどん戻りまして、1990 年頃には元のレベルまで戻っています。この姿は東京も全く同じです。

ついでに言いますと、80 年代になって工業用水道の使用量がだんだん減ってくるのは、実は産業構造が変わって水をあまり使わない産業がそこに立地するようになり、工業用水道も経営上はなかなか難しい問題が起きているということなのです。長期的には地盤沈下対策として大成功を収めたのですが。




図－49

〈図－49〉　それから先ほどご案内した淀川水系は、水系の上流の方にはたくさんの下水処理

場があります。これが放流しまして、その下流で大阪の八つの浄水場が水を取っているという構造ができ上がっています。当然、水質が悪いわけで、おおもとはし尿ですが、下水処理水が入っているような水を処理して飲料水にするというのは、各国再利用では直接はやりません。こういう間接的な処理によってのみ使われていますが、日本は実質的にこういう河川を通して再利用しているような形になっていまして、そのための浄水場での様々な技術、あるいは下水処理場側の技術で対応しているというのが現在の状況です。この技術体系は非常に優れたものではないかと思っております。

**日本の水に関する優位性**

今バラバラとご説明をしましたが、日本の水に関する優位性というのをあえて挙げると以下のようにまとめられると思います。

一つは日本の多様性です。南北 2000 キロと、北から南まで一つの国の中にあって、同じ政府のもとで技術開発や規制をしていますので、暑いところから寒いところまで様々な対応に関する情報を持っています。

それからもう一つは、工業先進国として科学技術を、川上の技術から川下の技術まで一国の中でつくって持っております。特にものづくりの強さから、いろいろなシステム設計とかコンサルティングの能力がある国はあるのですが、ものを作ってかつそれが川下から川上まで揃っている国というのは、そうは無いのではないかと思います。

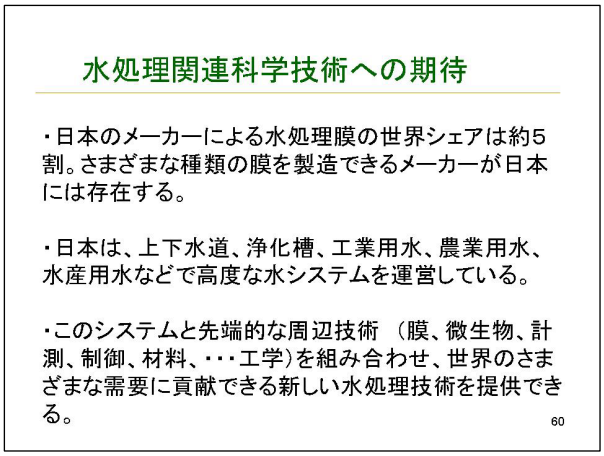
経営管理ですが、水道、下水道は地方公共事業体がやっておりますけれども、長年の管理の体制ができている。それが実は多様性に関連するというのは、いろいろな事業規模があります。東京のように世界一の規模もありますし、山間部の小さなシステムもあります。全てが良いというわけではありませんが、多様な状況の経験があるということです。

２番目はモンスーン地帯に通じる気候風土です。具体的に言いますと、雨の降り方がヨーロッパ、あるいはアメリカとは違うわけで、特にアジア地域モンスーン地帯への技術協力、あるいはビジネスという意味では、日本の湿度の高い風土での技術開発が非常に役立つのではないかという気がします。

3 番目は地震があるということ。それから台風、洪水、そして渇水もある。これが実は大きな頭痛のタネではありますが、技術的には非常に強いものをつくり出しています。先ほど申し上げた漏水防止のところで地震対策が実は役立っているというのも、間接的には関係があるという経験になります。

それから 4 番目は急激な経済成長をした時期がありまして、先ほどの地下水と地盤沈下の話ではありませんが、公害対策をやった経験があります。水の問題というのは水質汚濁が決定的ですから、水質汚濁対策という経験が日本の非常な強みです。

5 番目は産業界の裾野の広さです。これは 1 番目に申し上げた日本の多様性と関係してきますが、ものづくりなどの面で非常に大きな裾野を持っていますしその強さがあります。6 番目は今日少し時間を使って説明しました都市の水の再利用です。これは長い経験がありまして、他国は簡単に追随できないと思います。

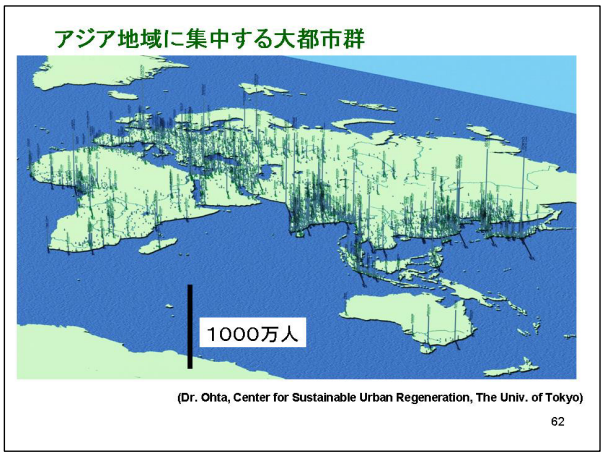



図－50

〈図－50〉　水処理関連科学技術への期待があります。一つは膜の世界シェアは今、海水淡水化ではもっと高いのですが、50％でありましてこれを使った技術を、もっとシステムとして世界に出していく必要があるのではないかという気がします。

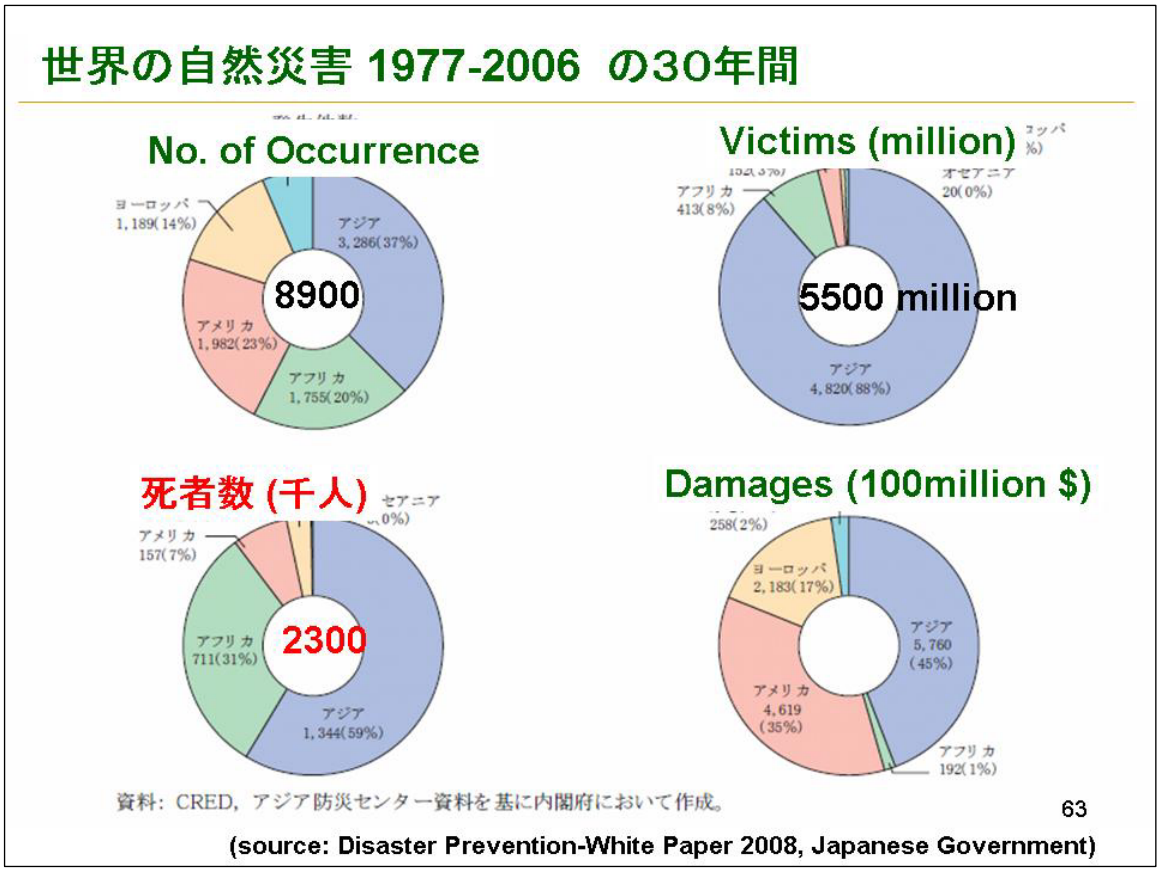
それから上水道が厚生労働省、下水道が国土交通省、浄化槽は厚生労働省と環境省、工業用水は経済産業省、環境基準は環境省というような縦割り行政の非はいろいろ言われますが、実はそれが日本国内では非常に連携を取って、ある種緻密な行政システムをつくり、水システムをつくり上げてきたというのが現在の日本ではないかと思います。

３番目には先端的な様々な技術、先ほど申し上げましたように分析技術、計測、制御、材料等、世界一流の技術がありますので、それを合わせた水処理技術ができるのではないかという気がいたします。要するにそういう非常に潜在的な強さがあるということです。

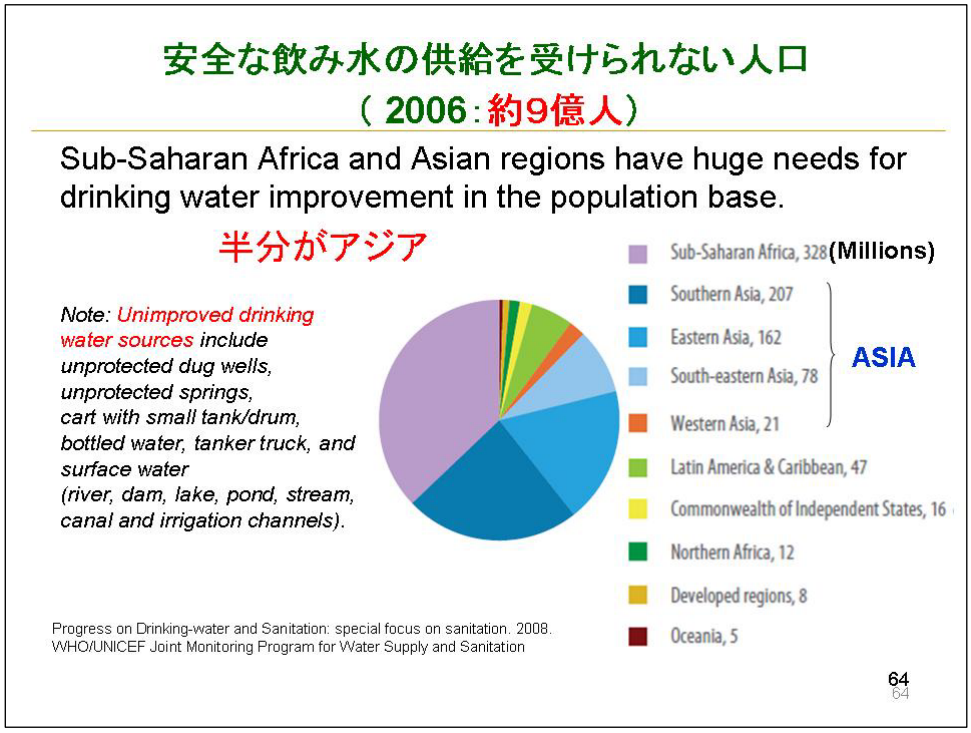



図－51

〈図－51〉　ここでちょっと世界に目を向けますと、日本は人口が減ってきておりますが、アジアは都市化で人口集中が大変です。それから災害が非常に多い。衛生環境が非常に悪いところがあります。これは全世界のことですが、気候変動の問題がある。例えばアジアに 1000 万を超える都市が集中しています。東京もその一例ですが。アジアでの水の問題、あるいは都市の水の問題というのは日本の技術が役立つ、政策が役立つところではないかと思います。



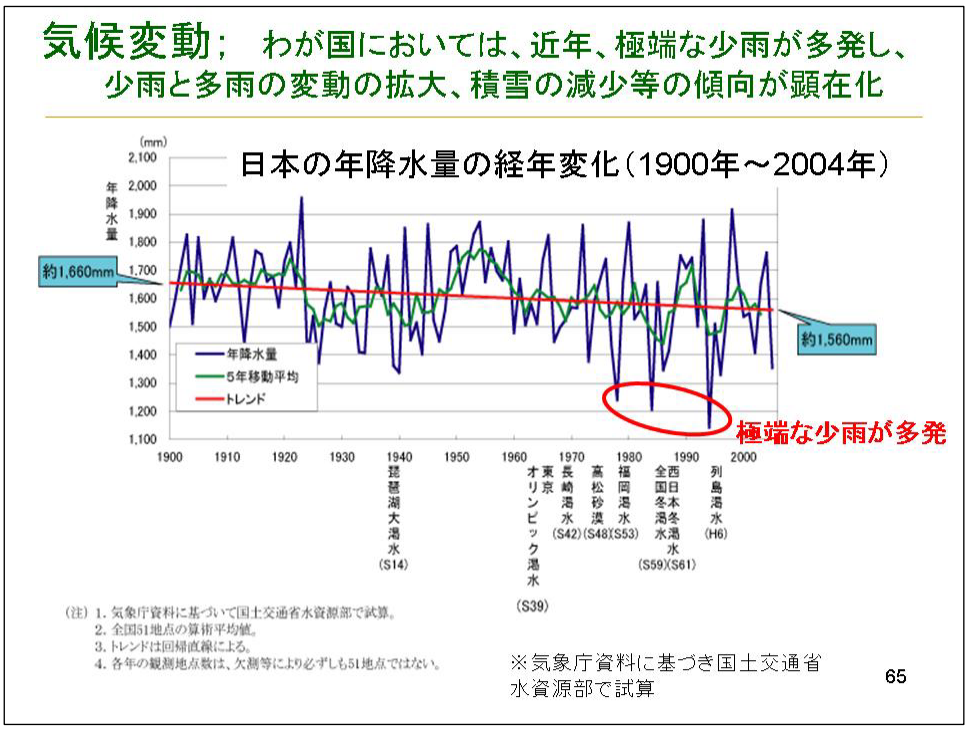

図－52




図－53

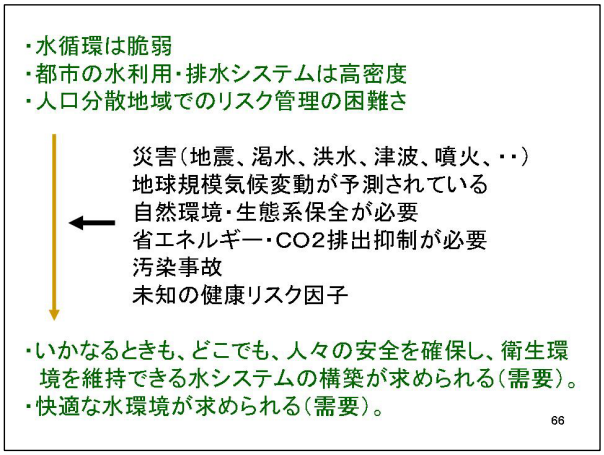
〈図－52〉〈図－53〉　世界の災害の様子を見てみますと、過去 30 年間に死者数が 230 万人、そのうちの半数以上がアジアです。それはなぜかというと、アフリカなどもあるのですがアジ

アは人口が多いので死者数、あるいは被害者数となると大変大きな数になってきます。それから、安全な飲み水の供給を受けられない人口というのは約９億人いると言われていますが、やはりこれも人口が多いのでアジアが半分ぐらいを占めています。




図－54

〈図－54〉　気候変動は日本の年降水量の経年変化のうち、極端な少雨が起きる頻度が増えているように見えます。これは統計的な判断はなかなか難しいのですが、こういう極端な少雨が続きますと大都会の水資源に対する対応が必要で、水の循環再利用等が非常に有効な技術として生きてくるわけです。

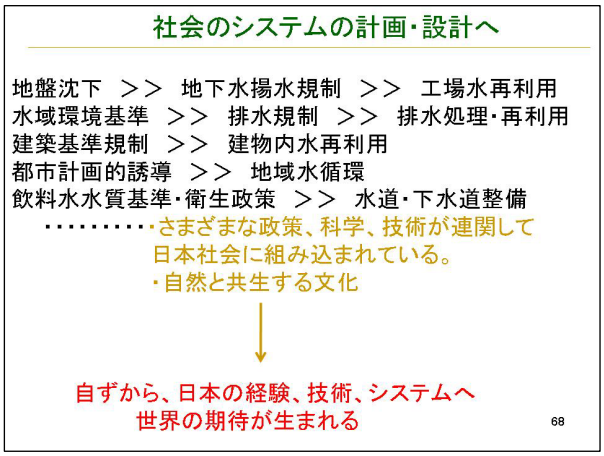



図－55

〈図－55〉　要するに水循環は水質・量の面で脆弱ですし、人口分散地域でのリスクの管理の難しさはいろいろあります。そこに災害、地震、渇水、洪水、津波などがあります。地球規模

の気候変動もありますし、それからエネルギーも減らさないといけない。汚染事故というのも水質面から見ると非常に怖いものがあります。タンクローリーが１台ひっくり返っただけでその下流は全く水が取れなくなります。そのようなことに対してどういうシステムが構築できるかということが求められるわけで、今まで申し上げたような日本の潜在的な力も含めて、水に関する力は相当大きいものだと言えるかと思います。

**世界の日本への期待**



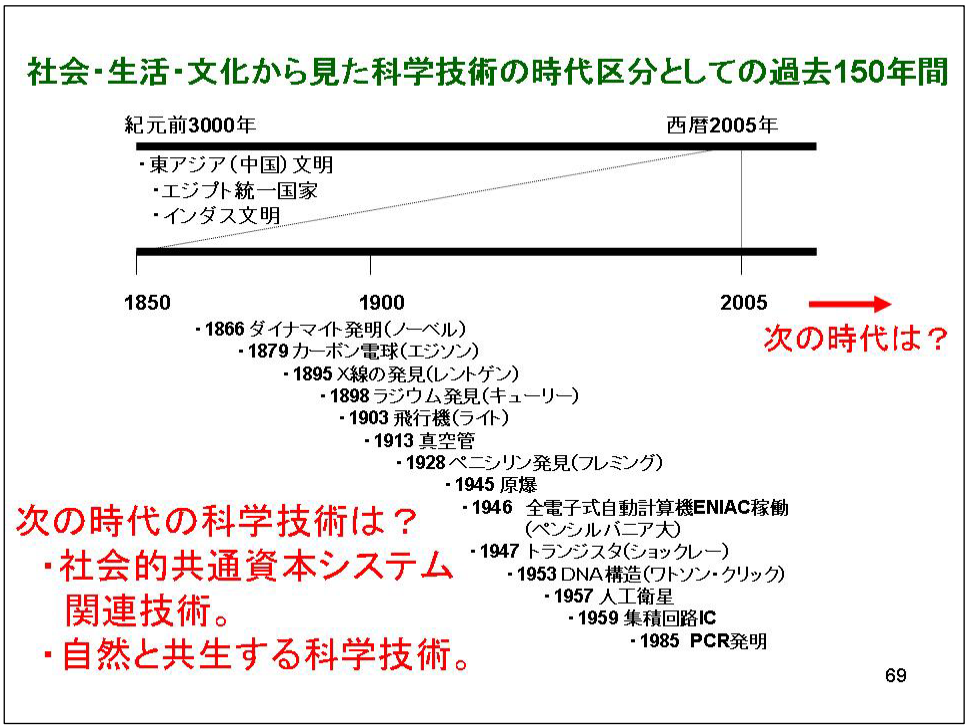

図－56

〈図－56〉　さまざまな政策、科学技術が連環して日本の社会に組み込まれています。もう一つ、先ほどの玉川上水の時にも申し上げましたが、自然と共生する文化というのは基本的には日本の文化としてあるかと思います。その二つが今の日本の強みになっていて、それが表題で「世界が求める……」と言いましたが、世界から期待されているわけであります。

ただし、一つ問題なのは、国内では非常に緻密な連携関係ができておりますが、世界に出るためには、一つのまとまった形として出て行かないといけない。膜の技術だけを持っていたのではだめ。浄水場のシステムの技術だけを持っていたのではだめ、町の設計から管路をやって漏水率を下げて、お客様に水を供給するという、そういうシステム全体がある。ところがそれは一部は地方公共団体がやっている。一部はメーカーがやっている。一部はコンサルタント会社がやっている。こういうのが今の日本の状況です。

ODA 的に世界に貢献するという時も、それからビジネスとして世界に出る場合にも、システムとして一体の構成をつくり上げる主体が必要であります。今、そのことに関して水の関連の業界、それから政治の分野とか役所の方々が、今様々な仕掛けをつくり上げようとしております。今、急激に動いていますので、この日本の潜在的な力を世界に開放するのも極く近いのではないかと思っています。また、いろいろな会社がすでに動いておりますけれども、これから益々加速されるのではないかと思います。

## 次の時代を考える




図－57

〈図－57〉　最後に、社会生活、文化から見た科学技術の時代区分としての過去 150 年を考えてみます。何を言いたいかと言いますと、今、近代的な我々の生活は電気から始まって様々な、エジソンがカーボン電気を作ったのは 1879 年ですから、たかだか 100 年ちょっとのことですし、飛行機に始まり、通常の今現在我々が享受している科学技術への知識、道具というのはここ 150 年ぐらいのものです。150 年というのは、1 世代 30 年としますとたった 5 世代です。曾お爺さんのお爺さんというような世界には無かったものがいっぱいあるわけです。近代技術は若いのです。

今我々が享受している科学技術と比較して、水を供給する技術とか水路を流すとか、最初にローマの話をしましたが、これは紀元前などという世界になるわけで、そういう社会的共通資本のシステムの技術を、まだ若い技術とどう組み合わせるかということが今、求められているのではないかという気がします。

そういう意味で自然と共生する文化を持っている日本が、この新しいここ 150 年ほどの若い科学技術を次の時代にどう展開していくかという意味で、日本は大きな能力を持っているのではないかという気がします。次の時代はそういう新しい科学技術の時代なのではないか。これも手前味噌というか我田引水ですが、私が水関連で働いてきた経験からみますと、そのように感じるわけです。

大変雑ぱくな話で申し訳ございませんでしたが、ご清聴、ありがとうございました。

■このレポートは本田財団のホームページに掲載されております。
講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得て下さい。

発 行 所　財団法人 本田財団
104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル
Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103
http://www.hondafoundation.jp
発 行 者　原 田 洋 一