

## 定例研究会報告

# 地下水と水循環

芝浦工業大学名誉教授 守田 優

本日、「地下水と水循環」という題名で講演させていただきます。水循環文化研究協会の守田優と申します。講演の内容は、まず地下水とは何か、水循環とは何か、そして地下水にかかる水循環障害にはどのようなものがあるか、最後に水循環の健全化に向けて、ということで、話をさせていただきます。

それでは、まず自己紹介も兼ねて私の経歴をお話しさせていただきます。私は、東京大学工学部土木工学科河川研究室で河川を学び、1978年、大学院を修了して東京都に入りました。東京都では土木技術研究所に10年ほど勤務しまして、それから、芝浦工業大学に移って33年ほど教育と研究に携わりました。東京都の研究所勤務の10年間のうち、はじめ6年間、地下水の仕事に携わりまして、その後、4年間、都市河川の仕事に従事しました。バックランドはもともと河川なのですが、最初の6年間の地下水の仕事が私にとって非常に大きい意味をもっておりまして、一生、このときの経験で仕事をしているようなものです。研究所では、地下水観測の自記紙データのチェックとか、地盤沈下観測井戸の設計と工事監督、それからボーリングや揚水試験など、つまり現場的なことを6年間で全部やりました。またこれと並行して、地下水シミュレーションという地下水の流動解析の仕事もしました。1970年代、計算機の発達が背景にあるのですが、地下水流動シミュレーションがひとつ重要な研究テーマとして注目されていました。研究所では、地下水のシミュレーションの担当ということで仕事を進めたわけです。1970年代ですが、当時は、地盤沈下が深刻な環境問題になっており、地下水の研究が盛んな時期がありました。

## 1. 地下水とは

それでは地下水とは何か、についてお話をします。井戸をつくるために地面を掘っていくと、やがて水面が現れます。その水面を地下水面と言いますが、その面より下にあり地層隙間に飽和状態で存在する水を地下水と呼んでいます。地下水というのは、非常にわかりにくいと言われています。何故かと言いますと、まず、目に見えないということです。しかも、地中を3次元的に流れます。そして、何層もある地層の間を流れているんですね。また地質・地形によって地下水の流れは違ってくる。地形が違えば、地下水の流れも違う。さらに、不圧地下水と被圧地下水では水理学的にも異なった特性をもっているのです。

## 2. 地下水の種類

地下水には、実はさまざまな種類があります。地下水は、不圧地下水、被圧地下水など水理学的な区別がありますが、地形によっても異なります。地形で分類しますと、低地（沖積低地）か台地（洪積台地）か、さらに扇状地か丘陵地か、あるいは山地か？地形によって地下水の流れ方も違う

し、循環する特徴も異なっています。

地下水を汲み上げると地盤沈下になるとよく言われます。不圧地下水をいくら汲み上げても地盤沈下の問題はありません。地盤沈下は被圧地下水です。また地形で言いますと、低地、つまり、沖積低地という、表層が粘土層の、そういうところで地盤沈下は主に起こります。あと、扇状地では扇端部で沈下が起こります。台地の場合、地盤沈下はないわけですが、深層収縮のため大きな問題にはなりません。だから、沖積低地と扇状地が、地盤沈下の生じやすい地形であり、しかも、被圧地下水からの汲み上げが原因になるのです。

このように、いろんな水循環障害も、地形とそれから地下水の不圧・被圧によって違ってくるものですから、地下水を汲むとこうなるって言った時に、地下水の前に、形容詞がいるわけです。つまり、例えば台地の不圧地下水、台地の被圧地下水、あるいは扇状地の地下水とか、形容詞を付けてないと、地下水と水循環障害の関係がわからないのです。これが地下水が分かりにくいくらい、一つの大きな原因になっていると思うのです。だから、われわれ地下水にかかわっている人間は、いま話題にしている地下水はどういう地下水か、頭の中で形容詞をつけてぱっと分類して、イメージしながら地下水の問題を検討するんですね。このような地下水の多様性というのが、地下水をわかりにくくしていると思います。

そこで、地下水の種類ということで、まず、不圧地下水と被圧地下水という分類についてお話しします（図-1）。地面から穴を掘っていきますと、やがて地面の中に水面が現れます。それがいわゆる不圧地下水です。その水面が地下水水面です。地層っていうのは、砂は砂とか、粘土は粘土でずっと下まで同じ地層があるわけじゃなくて、大体、砂と粘土の互層という感じで存在しているのが普通です。

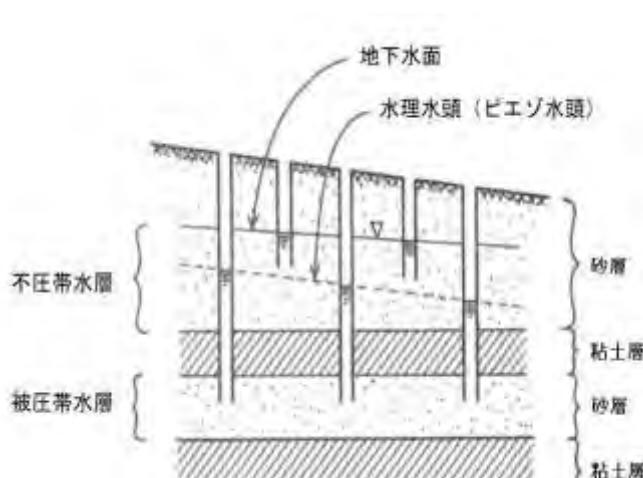


図-1 不圧地下水と被圧地下水の水理

（不圧は水面勾配／被圧は動水勾配で流れる）

一番表面に近い、雨が浸透する土壤があって、その下に水が飽和状態でたまっている、これが不圧地下水です。その下に粘土層がありまして、その下方にも飽和状態で地下水があります。粘土層があって、その下に砂層がある。砂層のように水が流れやすい地層を帶水層というのですが、この下の方の地下水の場合、上の地層の重みがありますから、この重みが、粘土層で蓋をしたように上に載っているのです。このように上から圧力をかけられている状態の地下水を被圧地下水と言います。ここに井戸が示してあります

が、不圧地下水では、地下水の水面の高さと井戸内の水面の高さは同じです。しかし、被圧地下水の場合、井戸内の水面は被圧地下水の帶水層より上に来ます。つまり、上から圧力がかかっている分だけ、井戸内水面は高く上がるのです。

不圧地下水は地表にオープンですから、雨が浸透して常に補給されていますが、被圧地下水の場合、雨が降っても関係ないです。蓋をされていますから。また、不圧地下水は、地表面から汚染物

質が入ってくる、汚染されやすい傾向がありますが、被圧地下水の場合、蓋がありますから汚染されにくいという特徴があります。

また地下水の流動で言うと、地下水を動かす力が違っています（図-1）。不圧地下水は水面をもっています。川のように地下水表面の勾配で流れます。一方、被圧地下水は、圧力勾配、水理学的には動水勾配といいますが、水道管内の流れのように、圧力（水理水頭）の勾配で流れるのです。研究者によっては、この不圧と被圧の区別を重視しない方もいますが、私は、環境アセスメントや現実の地下水問題を検討するなかで、この不圧、被圧という区別は非常に重要であると考えています。

不圧地下水、被圧地下水の話をしましたが、地層から見て、水を通しにくい粘土層のような層を難透水層といいます。また水を通しやすい地層を帶水層と言います。このように帶水層と難透水層が交互に重なっている地層構造の地下水を地層水と言います。これとは別に裂隙（れつか）水という地下水があります。裂隙水というのは、地層水とは別の種類の地下水で、岩石の破れ目にある地下水なんです。だから、まず地層水には不圧と被圧、岩石の地下水で裂隙水というものがあります。

ここで、地層水の不圧地下水、被圧地下水の分布状態をもう少しマクロに見てみたいと思います（図-2）。この図にありますように、地層がありますよね。帶水層と難透水層が重なっています。

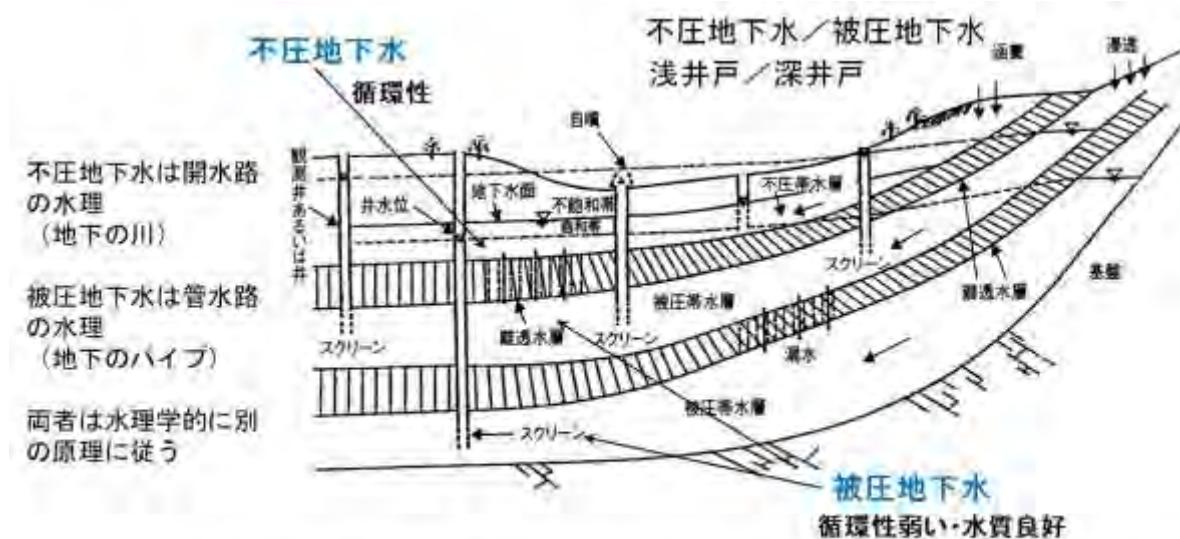


図-2 地下水帯水層の構造（不圧地下水／被圧地下水）

一番上が先ほど言いましたように、不圧地下水という、雨が浸透するオープンな地下水です。雨が降りますと、水位上がりますね。雨が止むと水位下がって、また雨が降ると水位が上がると、こういう形で、不圧地下水というのは、絶えず雨によって変動します。その下には、閉じ込められた、圧力を被った被圧地下水が何層も分布しています。被圧地下水は雨とは直接関係ありません。蓋がしてありますから。雨というより、主に地下水の汲み上げによって水位が変わります。だから、不圧、被圧というのは、水位が変動する原因も違うということですね。これもなかなか、一般には理解されていません。

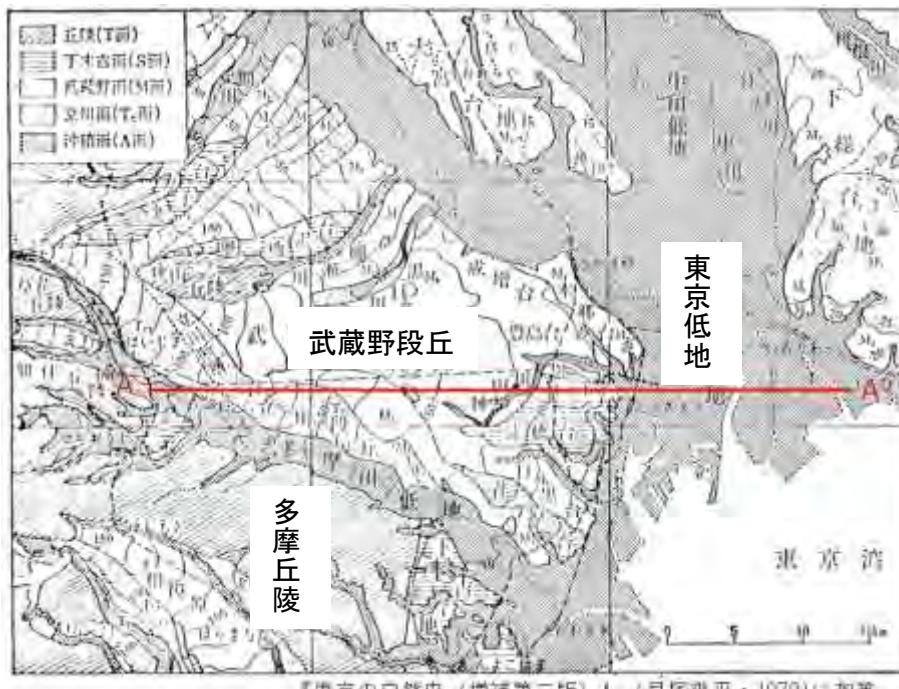
さきほど、地層水と裂隙水について話しました。まず地層水というのは、不圧、被圧がありますが、地層の未固結の粒子の間の空隙、それを満たすのが地層水です。大体これは、比較的新しい地層、地質学では第三紀、第四紀といいますけども、そういうところの空隙を満たしている地下水で

す。裂縫水というのは、固結している岩です。岩の破れ目とか断層とか、そういう岩の割れ目にあら地下水です。日本という国土はプレートの影響で、山地など行っても、ほとんど岩体に多くの割れ目がありますから、その山の割れ目には地下水がたまっているわけです。そこへトンネルを掘りますと、当然、その割れ目を伝って湧水があります。特に破碎帯はそうですね。裂縫水のトンネルの湧水というのは困った話で、いかに湧水を止めるかということが、裂縫水のトンネル工事の場合は大事になってきます。繰り返しますが、地下水といった時に、地層水と裂縫水という分類、地層水はさらに被圧、不圧という分類、この3つをまず頭に入れてほしいと思います。

### 3. 地下水と地形

#### (1) 地形区分

地下水と地形についてお話をします。わかりやすいように東京の地形で説明します(図-3)。地形を海の方から大きく見ていきますと、まず東京湾があります。その北に東京低地と書かれていますが、いわゆる江東地区、一番低いところで、地盤沈下のため東京ゼロメート地帯と言われています。地質学的に完新世、完新世というのはかつて沖積世と呼ばれていましたけど、沖積世は一番新しい地質時代で、現在から大体1万ぐらい前までさかのぼります。沖積世の地層、沖積層は、粘土層・シルト層など、軟らかい地層で、いわゆる軟弱地盤と言われる地層です。その沖積低地の西が台地になります。いわゆる武蔵野台地と言いますけど、地形学では、武蔵野段丘という言い方をします。地質的には更新統、かつての言い方で洪積世です。大体200万年前から1万年前ぐらい(正確には、約258万年前から1万1700年と言われています)の時期になります。台地は、洪積台地と言いますが、この洪積台地になると、かなり地盤が固く、安定した地盤になります。さらに多摩川があって、多摩川を越えますと、多摩丘陵という丘陵地になります。丘陵地は第三紀の地層ですか



東京は、地形の博物館であり、海から山へ、

沖積低地（東京低地）  
洪積台地（武蔵野段丘）  
丘陵地（多摩丘陵）  
山地  
と連なっている。

扇状地は、古多摩川の扇状地として、青梅を扇頂とする古い扇状地が形成された。

図-3 東京の地形（沖積低地－洪積台地－丘陵地－山地）

ども、洪積世、200万年前よりもっと前の地層になります。さらに西に行きますと、高尾山などがありまして、山地になるんです。山にいきますと、固い岩石になります。大体こういうふうに、海から地形が変わっていくんです。海からはじめて、沖積低地があって、洪積台地があって、丘陵地があって、山になる。東京というところは、地形の博物館です。東京に全部あるんです。扇状地と火山地帯はないですが。だから東京を歩きますと、低地はこう、台地はこういう形かって分かります。ということは、後でお話しますが、地形が多様ということは、地下水の障害、水循環障害も多様であるということなんです。

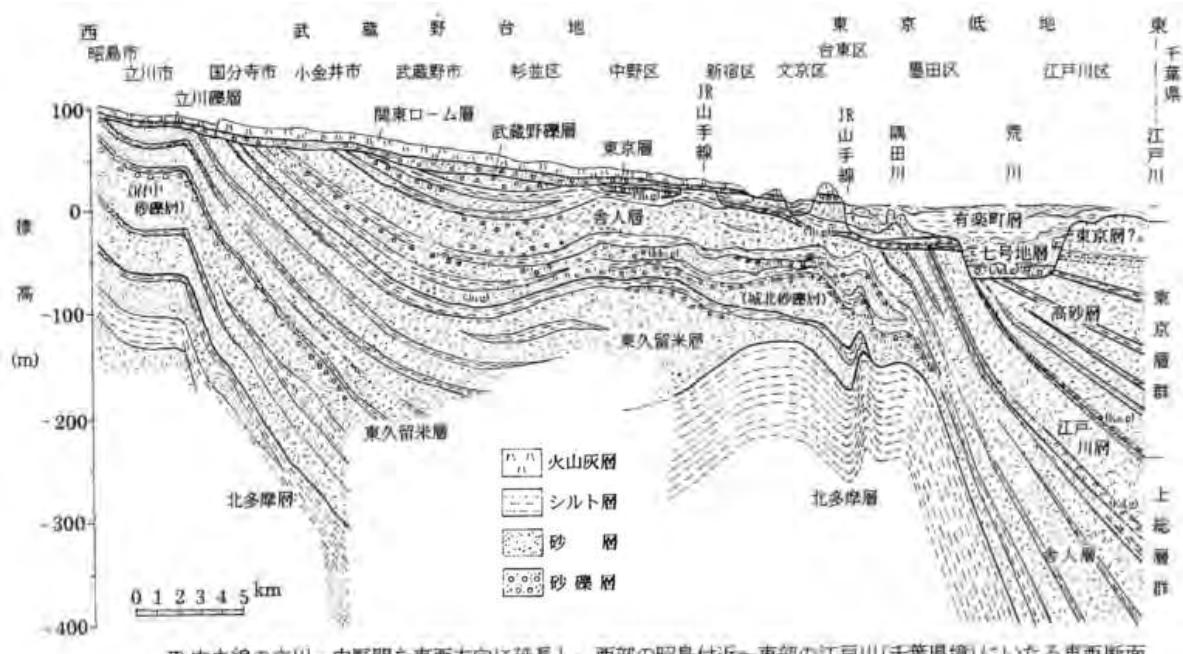
## (2) 地下水帯水層（洪積台地／沖積低地）

ここで、この東京の地形を断面で見ていきましょう（図-4）。地質断面図です。図-3のA-A'で切れると断面がほぼこのようになります。この断面で見ますと、左側が洪積台地、右側が沖積低地です。ここでシルト層とありますが、粘土層とあまり区別せず言葉を使います。

### <洪積台地の地下水>

ここで台地の最上部を見てください。関東ローム層、武藏野礫層、立川礫層などの礫層がほぼ水平に堆積しています。これが不圧帶水層になります。その下に被圧帶水層が分布しています。東京層、舎人層、東久留米層という地層ですが、実際の地層というのは、教科書に書いてあるように地層が水平にきれいに重なっているようなものではありません。地層が傾いています。なぜ傾いているかと言いますと、日本はプレートの影響で押されていますから、褶曲したりして傾いているのです。

被圧帶水層は、不圧帶水層と不整合に重なっていますが、砂、砂礫層が分布し、その間にシルト層が挟まっています。何故このようになっているのかというと、氷河性海面変動、つまり氷河時代に、陸地になつたり海に沈んだりするわけです。陸地のとき、川から砂や礫をどつと堆積しますけ



JR中央線の立川～中野間を東西方向に延長し、西部の昭島付近～東部の江戸川(千葉県境)にいたる東西断面

図-4 東京の東西方向の地質断面（図-3のA-A' の断面）

（「南関東地域における地下水問題の歴史と今後の課題（2009）遠藤毅」より）

ど、また海に沈んで、海中で粘土が積もります。こうして氷河期と間氷期を繰り返しながら、こういうふうな交互に、粘土、シルト、砂、砂礫というようなサイクルで堆積しているのです。表層の不圧帶水層の下、難透水層と帶水層が交互に重なっている地層が被圧帶水層を構成していまして、200m、300m の深さまで地下水があるのです。

洪積台地においては、表層のローム層と段丘礫層は浸透性が高く、雨水に対してオープンなシステムとなっています。雨水は不圧地下水となり、水面勾配に従って、河川や池に湧出します。[雨水による涵養]→[不圧地下水としての流動]→[河川や池への流出]、というのが洪積台地の地下水の基本です。つまり、水が自然に循環しています。しかし、後で述べますが、これは下の方の被圧帶水層が十分な圧力をもっている場合であり、地下水汲み上げで被圧地下水の圧力が低下すると、この自然の循環は壊れます。後で水循環障害として述べますが、水循環不全というものです。

#### ＜沖積低地の地下水＞

図-4の右側には沖積低地があります。表層を有楽町層という沖積世の粘土層(図ではシルト層)が厚く覆っています。その上に薄い不圧帶水層がありますが、きわめて貧弱です。この厚い有楽町層の下部に高砂層、江戸川層といった被圧帶水層があります。洪積台地と違い、不圧帶水層と被圧帶水層の間に厚い粘土層が分布しています。雨水は不圧帶水層に浸透しますが、地表面の勾配がないためほとんど流れません。また被圧地下水が汲み上げられて被圧帶水層の圧力が下がった場合、有楽町層、つまり厚い粘土層の中の水分が下方へ絞りとられます。そして粘土層は収縮します。これが地盤沈下です。

雨水に対してオープンな洪積台地に対してクローズドな沖積低地、対照的です。

#### (3) 扇状地／火山岩地帯

##### ＜扇状地の地下水＞

ここで扇状地についてお話をします。東京には多摩川の古扇状地という昔の扇状地はありますが、現在は明確な扇状地はありません。河川が山間部から平地に出ます。そうすると、扇状に砂礫が堆積物します。当然、まず砂礫、粒径の大きいものが最初に堆積します。そして、だんだん細かい粒子になり、粒径が小さくなりまして、粘土とかシルトになっていきます。この扇状の地形、上流から扇頂部—扇央部—扇端部と呼ばれます。扇央部には集落は発達しません。堆積物の砂礫は粒が粗いので、降った雨はほとんど浸透してしまいます。井戸は深くなります。ところが、下流の扇端部には、古くから集落が発達しています。ここで重要なことですけども、扇状地の扇央では不圧、被圧という区分がはっきりしないんです。扇端部では地下水は被圧されています。つまり、扇央部で潜って伏流した地下水が、この被圧された扇端部で自噴して出てくるのです。自噴しなくとも地下水は浅く、井戸で簡単に水が得られます。扇状地の地形、例えば、福井の大野市もそうですよね。それから山形市の馬見ヶ崎扇状地もそうです。扇状地の場合は、地下水をくみ上げ過ぎると水位が下がって、湧き水が涸れて、同時に、場合によっては扇端部で地盤沈下が生じます。これが扇状地の特徴なんです。

##### ＜火山岩地帯の地下水＞

火山岩地帯、例えば、熊本が良い例ですが、熊本市の地下水っていうのは、阿蘇山の火山岩地帯の地下水です。火山の表層は溶岩ですが、溶岩は結構多孔質のため、雨水が浸み込みやすく、浸み込んだ雨水は、地下水脈として帶水層を下流へ流れるという特徴があります。しかも、非常に安定

的というか、つまり、コンスタントに一定の流量を流出するというのが、火山岩地帯の地下水の特徴です。そして下流では規模の大きい湧水池が形成されます。熊本市では、水前寺、江津湖などですね。富士山もそうです。例えば富士山の湧き水も、そんなに季節変動はありません。

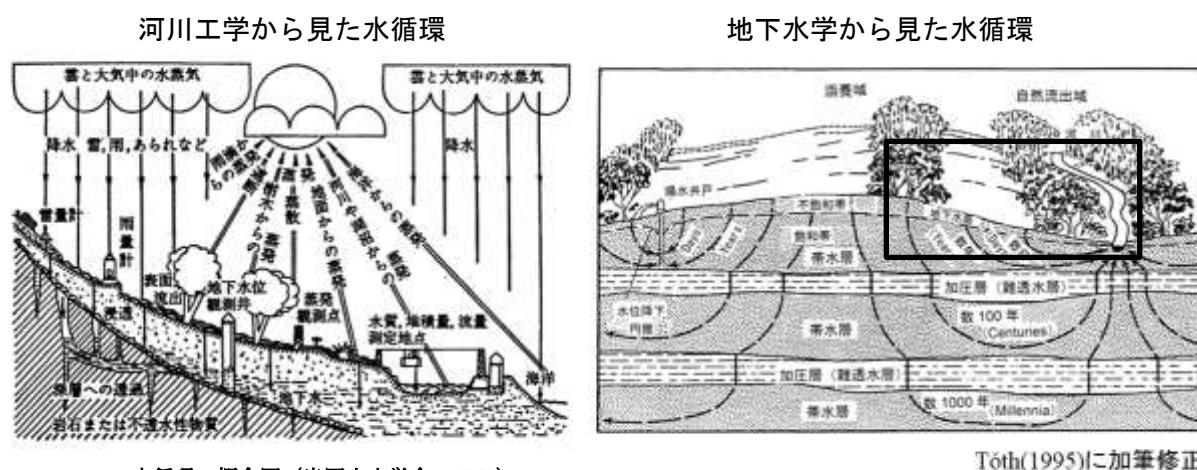
以上、地形と地下水ということでお話してきました。丘陵地についてはお話する時間がありませんが、地層の傾斜によって不圧・被圧特性が違ってきます。千葉県には丘陵地地下水のさまざまnタイプがあります。地下水を考える場合、不圧、被圧、裂縫水という、そういう水理学的な区別とともに、地形によって違うということを頭において地下水を考えてください。つまり、地下水が・・・というとき、それはどのような地形の地下水か？不圧か？被圧か？ということを頭において地下水を考えてほしいと思います。

#### 4. 水循環とは？

ここで水循環について考えていきます。水循環とは、降水が地表に達し、一部は表面流出・中間流出、つまり洪水として川へ流れていきます。一部は蒸発散で大気中へ逃げていきます。そして、残りは地下に浸透して地下水の流れとなり、河川へ浸出します。河川は海へと流れていきます。地表面からの蒸発散、海面からの蒸発、これらの水蒸気が上空で凝結して雲となり、再び降水となる。この循環は地球規模の水の循環です。これが水循環の概念です。この循環で、地下水が登場しますが、この地下水は実は不圧地下水のことです。被圧ではありません。河川とつながった浅い不圧地下水のことと言っているのです。

実際、水循環で循環する地下水というのは、不圧地下水です。被圧地下水はほとんど循環に加わりません。ただ、扇状地は、さきほど話しましたように、不圧と被圧の区別もはっきりしないので、事情は異なります。

ところで水循環という言葉が日本で定着して、みんな水循環って言ってますけど、水循環という用語は、実は学術用語ではないんです。学術的には、水文循環（Hydrologic Cycle）と言います。また、よく誤解されるのですが、上下水道など給排水系で水循環という言葉が使われます。例えば工場の中における水の循環とか、都市の水循環（リサイクル）とか、そういう意味で使われることもあります。ここで水循環という言葉を水文循環として厳密に使う必要があります。



図－5 水循環における河川技術者と地下水技術者の見方の違い

ここで私が強調したいのは、河川技術者が考える水循環と、地下水技術者が考える水循環は違うということです。ここに水循環のふたつの図を示しました（図-5）。土木では河川屋さんが多いですが、彼らにとって水循環っていうのは、左側みたいな水循環が頭にあると思います。これ、アメリカの土木学会の教科書にある水循環の概念図なんです。雨が降りますよね。降ったらこのように流れて洪水になる分と、地下へ浸透してまた川へ出ます。蒸発散で逃げていきます。この地下水を見ますと、不圧地下水の下はもう岩盤なんですよ。被圧がない。だから、河川の人が考える地下水っていうのは、河川とつながっている不圧地下水だけなんです。

だから、河川の方と話をする時の地下水っていうのは、彼らいつも左側のイメージで地下水を考えているんです。一方、地下水が専門の人と話をする時は右のほうなんです。実は、地下水というのは先ほどお話しましたように、何層も地下水帯水層があるのです。最上部が不圧地下水で、その下に被圧地下水が何層もあります。それで右の図で言いますと、河川の人がイメージする水循環っていうのは、太い黒線で囲った部分なんです。地下水の人にとっては、地下水はこういう形で循環しています。ここに数千年ってありますけど、長い時間かかりますけども、こういう形で循環していると考えるのです。ただ、これも考え方しだいであって、数千年の循環時間について、私はほとんど循環しないと表現しています。ここにある深い地下水、被圧地下水ですが、実は水量は豊富なんです。地下水を大量に汲む、大量に汲める地下水は、この深い被圧地下水なんです。

ここで水文循環の正確な定義を示します。

The endless circulation of water between ocean, atmosphere, and land is called “hydrologic cycle” Our interest concerns on the land-based portion of the cycle as it might be operative on an individual watershed. (“Groundwater”, R. A. Freeze and J. A. Cherry, Prentice-Hall (1980))

水文循環とは、学術的に正確に言いますと、地球上の水の循環なんです。よく国交省のパンフレットに、流域の絵がありまして、そこに雨が降って循環しているように描いてありますが、流域の中で循環するわけはないのであって、循環するのは地球規模です。地球規模で水が循環しています。

これが水循環なのですが、われわれの興味っていうのはどういうところにあるかというと、ここにある land-based ということで、地球上の水循環のサイクルの陸の部分、つまり、河川流域、it might be operative on an individual waterhead ですから、それぞれの河川流域です。水文循環は地球規模だけれども、われわれが関わるのは河川流域ということです。これ、アメリカの『Groundwater』(Freeze & Cherry) という有名な教科書の文章です。

## 5. 地下水と水循環障害

地下水の水循環障害ということでお話しします、水循環障害っていうのは健全化の反対ですね。水循環障害には、①水循環不良、②水循環不全、③地下水流动阻害、④地下水揚圧力、⑤地盤沈下、⑥地下水汚染などがあります。ここでは、地下水と水循環という観点から、①水循環不良と②水循環不全について説明します。

### (1) 水循環不良

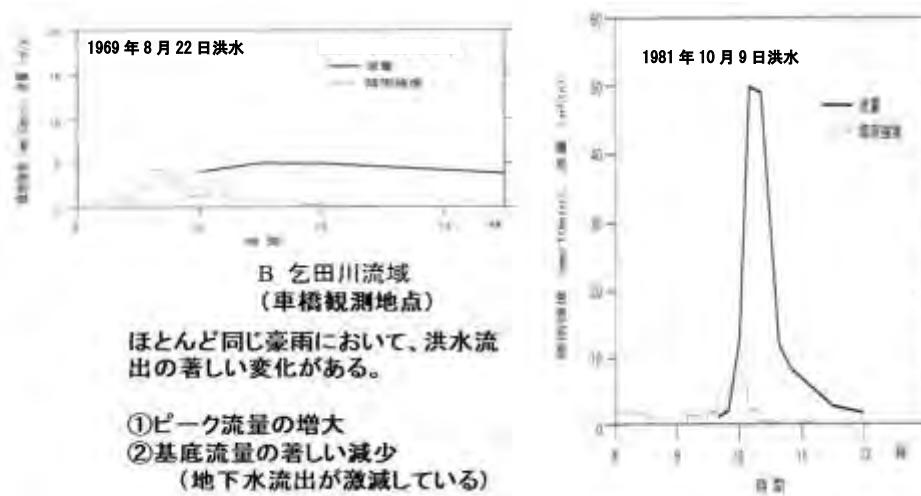
まず水循環不良です。これ、私が作った言葉で、一般には使いませんけど、よく言われる「都市化による水循環の悪化」ということです。つまり、都市化が進むと、地表面が、アスファルトやコ

ンクリートなど不浸透域で覆われるようになるから、本来、地下水を補給する雨が浸透しない。その結果、洪水は激化するし、地下水が不足して湧き水も涸れてしまう。よく言われますよね。

#### ＜都市化による洪水流出の増大＞

典型的な例として、日本住宅公団の多摩ニュータウン開発のケースがあります。1960年代後半、東京の郊外に多摩ニュータウンが開発されました。多摩丘陵の自然林地を切り開いて宅地を造成する開発です。当時は都市の宅地が不足していましたので小高い丘陵地を造成して、多くの団地を造ったわけです。

このニュータウン開発によって、それまで林だったところが、完全に都市化した宅地になりますので、水循環ががらっと変わってしまうわけです。私は、実はこの水循環に関する調査研究にかかわったのですが、そのときのデータを示します。多摩ニュータウンが開発されたのは東京都多摩市なんですが、大栗川と乞田川という2つの川があります。乞田川は1970年から1975年のわずか5年間で、森林・農地など自然的土地利用が、90%から30%に激減しました。この開発によって水循環がどう変わるかということで、ここでは、開発の前後で洪水流出がどう変わるかを実績のデータで示します（図-6）。



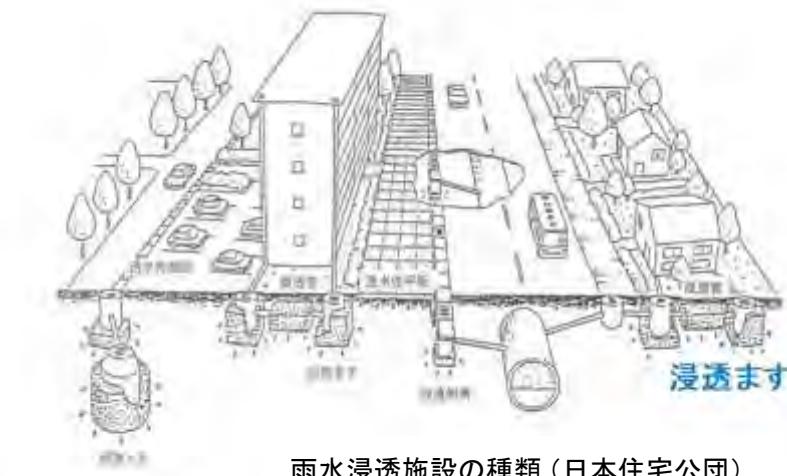
このような都市化による洪水流出の変化はだいたいシミュレーションによる計算結果が多いのですが、これらは貴重な実績データです。これらの図、横軸は時間、縦軸は、流量と降雨強度です。左は開発前、1969年の洪水です。右は開発後、1981年の洪水です。

図-6 都市化による洪水流出の変化（水循環不良）多摩NT乞田川流域の洪水です。降雨について見ますと、ほぼ同じ規模です。しかし、ハイドログラフ、流量の変化が劇的に変化しています。開発前の自然林地の時は、雨が降ってもほとんど洪水のないようなハイドログラフですね。雨が降ってもほとんど浸透してしまいますから、表面を流れる量はわずかで洪水がないんです。ところが、ニュータウン開発後、道路を造って、屋根の面積が増加して、不浸透域が広がりますね。右の図にありますように、あつという間に流量が急増し、雨がやむと、すうっと流量が減って空っぽになる。これは、東京の区部を流れる神田川などもそうですが、普段はほとんど水が流れていなければ、雨が降るとあつという間に水かさが増して、急激な洪水となり、雨がやむとまた急激に減って空っぽになるという、これが典型的な水循環不良のいわば洪水の例です。降雨が地中に浸み込まないということは、その分、地下水への補給が減るわけであって、これは湧水の涸渇などにつながります。これが水循環不良です。

#### ＜雨水浸透施設と実質浸透域＞

このように宅地開発による洪水流出の増加という問題が出てきました。日本住宅公団は、洪水流

出抑制という課題を解決することに迫られ、1970年代に入って、雨水浸透による流出抑制の実験調査を始めまして、降った雨をできるだけ浸透させて、河川への流出を抑制する方法を開発しました。この方法だと、洪水対策だけではなく、地下水を増やすこともできます。ここに雨水浸透施設の模式図を示します（図-7）。



雨水浸透施設の種類（日本住宅公団）

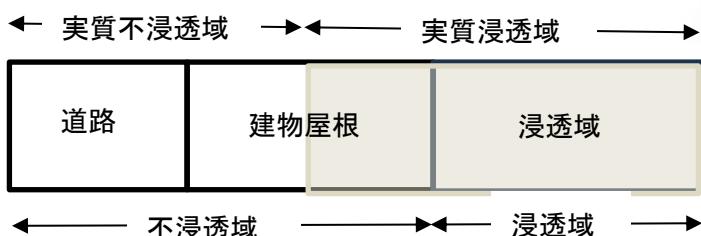


図-7 雨水浸透施設と実質浸透域の考え方

地表面に降った雨は、地面に浸透せず下水道を通って河川へ流れていく場合と、地表面から浸透して地中の水になる場合があります。前者の地表面を不浸透域、後者の地表面を浸透域と言います。建物の屋根の部分も、雨は樋を通して下水道、さらに河川へと流れますので、その屋根の面は不浸透域になります。つまり、都市化による洪水量の増加、地下水の減少というのを、都市域において、不浸透域の割合が増加することによって起こることになります。この割合を不浸透域率といいます。この不浸透域は、おおむね、道路面積と屋根の面積を合計して算出します。駐車場なども不浸透域となります。

ここで浸透域と不浸透域について考えてみましょう。従来、浸透域・不浸透域は地表面が雨水を浸透させるか否かということで区分されました。しかし、屋根面は不浸透域ですが、屋根の水が樋を通って雨水浸透施設から地下に浸透する場合、これは実質的には浸透域となります。つまり、浸透域・不浸透域の概念は、地表面の雨水浸透特性ではなく、雨水の流れにしたがって定義し直す必要があります。屋根面の雨水も浸透施設につながると、その雨水は浸透するわけですから、そこは実質的に浸透域として機能します。この浸透域を考慮し、図-7のスクリーンがかかった部分を実質浸透域と呼びます。そして都市流域に占めるその割合が実質浸透域率です。

#### ＜水循環保全システム＞

日本住宅公団は、1960年代から全国の主に丘陵地にニュータウンを建設してきました。しかし開発によって水循環を大きく変えてしまうという事実を踏まえ、日本住宅都市整備公団は、雨水浸透施設を多数設置して水循環を改善する水循環保全システム（水循環再生システム）を検討しました。1990年代、首都圏最後の大規模ニュータウン開発、八王子ニュータウン開発において、この水循環保全システムを導入しました。ここに、その水循環保全システムを紹介します（図-8）。

従来型の宅地開発では、左にありますように、雨水はすべて下水道を通して河川へと流れています。

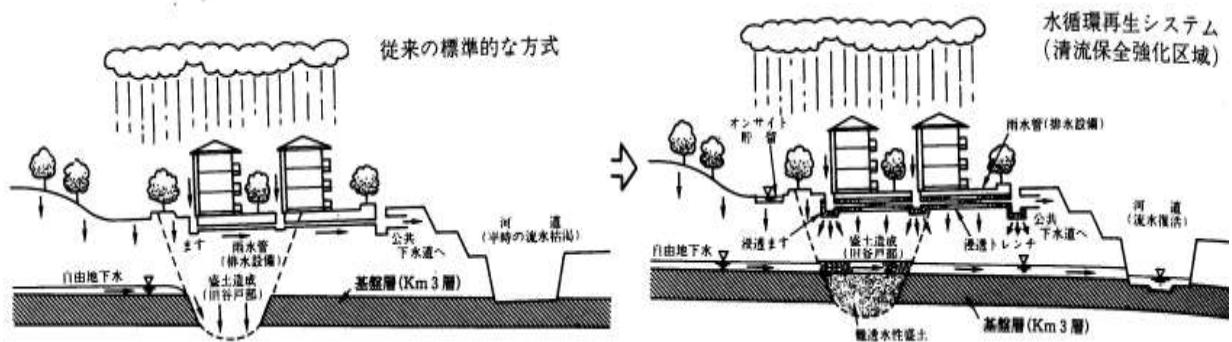


図-8 水循環保全システム（雨水貯留技術浸透協会資料より）

ます。しかし右図にありますように、水循環保全システムでは、屋根の雨水は浸透施設を通じて地下に浸透させます。地下水については、難透水層の破れによる不圧地下水の漏水も遮水材を充填して漏出を防止しました。このように雨水ができるだけ不圧地下水を涵養するようにして実質浸透域を拡大するように努力するわけです。

#### ＜水循環保全システムの定量的評価＞

この水循環保全システムによってどのくらい水循環改善の効果があるか、水収支から見ていくことにします（図-9）。この図は、流域に降った雨がどのように流れていくかを水収支の考え方にもとづいて図示したものです。雨が降りますと地表面に到達します。この雨は、蒸発散で逃げていく成分（E: Evapotranspiration）、洪水として流出する成分（F: Flood）,そして地中に浸透して地下水になる成分（G: Groundwater）という3つの成分に分かれます。ここで地下水とは、雨が浸透して河川へ流出する地下水流出であり、この地下水は基本的に不圧地下水です。ここで降水 R を 100% としますと、E と F と G の比率で分かれていきます。この比率が、水循環不良を判断する目安になります。重要なことはこの E:F:G の比率は、雨が到達した地表面の状態によって決まってしまうことです。つまり地表面は、流域における水の流れを支配する基本的要因となっているのです。

八王子ニュータウンでは、開発前に、水収支の詳細な調査を実施しました。その水収支計算の結果です。最初の一番左の E:F:G、これは自然流域、開発前の EFG 比率です。パーセンテージ言いますと、蒸発散が 45%、洪水は 12%、地下水が 43% です。これが自然流域の流出特性です。これ

図-9 水循環保全システムによる水循環不良の改善  
八王子ニュータウン：(雨水貯留浸透技術協会資料より)

は多摩ニュータウンの乞田川の開発前の洪水ハイドログラフに見られる特徴を示しています。雨が降ってもほとんど浸透して、洪水らしきものが見られないという、自

然流域の状態です

ここでニュータウンを従来のやり方で開発を行いますと、この水収支が激変します。中央の EFG 比率、洪水成分が 53% で 50% を超えます。そして蒸発散は 28% に減ります。地下水も減って 19% です。この建設後の水収支は、例えば多摩ニュータウン開発後の乞田川の洪水ハイドログラフに対応します。雨の開始とともに急激に流量が増加し、シャープなピークとなり、その後急減します。そして雨が止むと空っぽという状態です。地下水 G が少ないので、湧き水も激減します。蒸発散 E が少ないので、ヒートアイランド現象が起こりやすくなります。

このような水収支を改善するため、図-8 のような水循環保全システムを導入してニュータウン開発を進めますと、右側の EFG 比率、31:29:40 ほぼ 1:1:1 になります。これは雨水浸透施設をかなり綿密に設置した場合です。この水循環保全システムは、都市開発を進めるにあたり、EFG 比率 1:1:1 が目標となりうることを示しています。この水収支調査は、ニュータウン開発前の調査ですが、八王子ニュータウン、現在は「みなみ野シティ」と呼ばれていますが、実際に効果を発揮して水収支の悪化を防ぎ、開発前の兵衛川のホタルも健在で、地元の住民の楽しみとなっています。

都市化にともなう水収支の変化、EFG 比率は、このように水循環の健全性を定量的に評価する指標として有用であると言えます。そして、この水収支指標において F が突出し、E と G が小さくなる、つまり、水収支のバランスが悪化することが水循環不良です。

## (2) 水循環不全

水循環不良の話では、地下水とは不圧地下水のことでした。都市化が進んで地表面が変化する。降雨から、直接河川へ、あるいは降雨が浸透して不圧地下水となる、その流れが正常ではなくなるということでした。これからお話しする水循環不全では、不圧地下水だけではなく被圧地下水も入ってきます。

### <井の頭池の涸渴>

東京都に井の頭池という池があります。井の頭池は神田上水の水源として、江戸時代、こんこんと湧き出る水が江戸の町に送られていました。その井の頭池が、昭和 38 年、1963 年に完全に涸渴しました。第 1 回の東京オリンピックの前年です。現在も湧水は回復しておらず、10 本以上の深井戸を掘って被圧地下水を池に補給しています。つまり、生命維持装置によってやっと池になっている状態なのです。ここで注目すべきは、涸渴したのが 1963 年ということです。池の湧水が涸れる、ということは、すでに説明しました水循環不良でも見られる現象です。水循環不良の原因は都市化、地表面の不浸透化です。井の頭池は、東京都の郊外である、武蔵野市、三鷹市にまたがっている池ですが、1963 年という時点で、果たして、地表面の不浸透化は進んでいたのか？1963 年に湧水が涸れるということは、その原因是、10 年前にさかのぼって、1950 年代から始まっている原因でなければなりません。1950 年代、この地区が、水循環に影響するほどコンクリート化・アスファルト化が進んでいたか？私はそんな疑問をもったわけです。

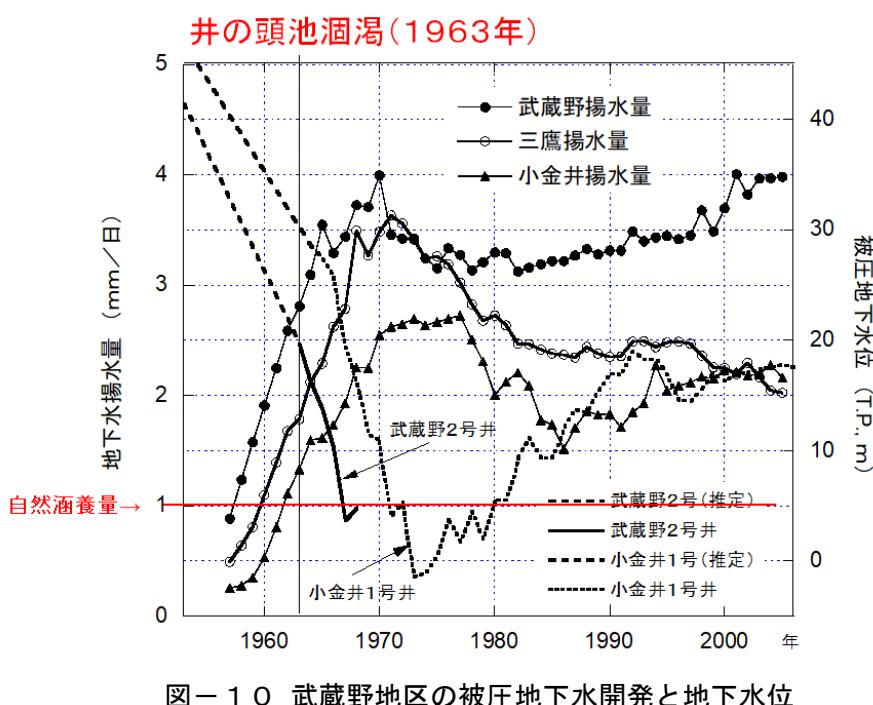
湧き水が涸れるということは、当然、不圧地下水の水位が下がっているはずなんです。それを検証するために、戦前と戦後の井の頭池周囲の不圧地下水位を比較しました。戦前の地下水位は、吉村信吉博士が調査した 1940 年の渴水期のデータ、戦前で、非常な渴水で地下水位が下がった時期のものです。そのとき不圧地下水位は、井の頭池の付近で、標高 50m くらいです。一方、これと比較したのが、1974 年の不圧地下水位、自治省消防研究所のデータです。そのデータでは、井の頭池の

ところの不圧地下水は、水面が標高 44 メートルぐらいです。両者の比較から 6m くらい地下水位が下がっています。この 1974 年という年は雨の多かった年で、多摩川が狛江のところで決壊した年です。戦前の渇水期の水位と戦後の豊水期の水位を比較し、それでも戦後の豊水期で、6m ほど地下水位が下がっているのです。つまり、井の頭池のまわりの不圧地下水位は、一時的な変動ではなく、何らかの原因で広域的に低下しており、そのために井の頭池の湧水が涸渇したのです。ではなぜ不圧地下水位が低下したのでしょうか？

#### ＜都市化による湧水涸渇か？＞

不圧地下水位低下の原因として、よく指摘されるのは不浸透域の増大による降雨の地下水補給の減少ということです。つまり水循環不良です。そこで武蔵野市、三鷹市の土地利用の変化、1950 年代から 60 年代にかけて不浸透域が増加したのかを調べました。しかし、あまり変化はありません。特に、下水道が普及していませんので、実質不浸透域率は 30% 前後で横ばいです。ちなみに、東京都区部の神田川では 50%～60% の不浸透域率です。都市化したらこんなに不浸透域率は増加するのです。武蔵野市、三鷹市の場合、3 割程度です。1950 年代でも、確かに武蔵野市の吉祥寺あたりは、駅前で建物が密集し道路は舗装されていたかもしれません、少し歩いていくともう畠です。そういう状態なんです。だから、1950 年代、60 年代、都市化によって不浸透域率が増加し、その結果、井の頭池の湧水が涸れたという、よく言われる話は妥当しません。それではそのほかにどのようなことが考えられるでしょうか？

ここに武蔵野地区 3 市の揚水量と地下水位、2 市の被圧地下水位のデータを示します。



図－10 武蔵野地区の被圧地下水開発と地下水位

ていますね。武蔵野 2 号井で見ますと、50 年代、標高 40m ぐらいあったのが、70 年代には 5m ぐらいに下がっているわけです。逆に揚水強度は 4mm/day まで増加です。小金井市も同じ傾向です。

#### ＜被圧地下水の過剰揚水が原因＞

武蔵野台地の不圧地下水への涵養量、雨水の自然涵養量は、平均 1 mm/day と言われています。

図－10 ですが、横軸が年代で、縦軸が地下水の揚水量と地下水位を示しています。ここで揚水量は、地下水体積を面積で割った揚水強度（単位：mm/day）で示しております。また地下水位は、被圧地下水位で、武蔵野地区 2 市の上水道水源井の静水位のデータです。この図からわかりますように、1950 年代から急激に地下水位が低下しています。それとは対照的に被圧地下水の揚水量は増えています。ぐっと上がっ

この図を見ますと、揚水量が  $1 \text{ mm/day}$  を超えたところで井の頭池が涸渇しています。1963年です。このような湧水涸渇という現象が起こるには、だいたい 10 年くらいのリード期間が想定されます。ということは、1950 年代から始まった出来事が原因となって湧水が涸渇に至ったと考えられます。すでに述べましたように、1950 年代から都市化によって不浸透域が増えたとは認められませんでした。しかし、この図-10 から明らかなように、1950 年代から揚水量が急激に増加しています。この揚水量増加によって被圧地下水の水位が急速に低下しました。つまり、深い被圧地下水の圧力が下がったことが井の頭池湧水涸渇の原因だというのが私の考えです。それでは、被圧地下水の圧力が低下すると、なぜ井の頭池の湧水が涸渇するのか。そのメカニズムについてお話しします。

#### ＜井の頭池涸渇のメカニズム＞

ここで被圧地下水の揚水増加による湧水の涸渇をわかりやすい図で示しました。図-11で説明します。この図では帯水層の構造とともに地下水の流れが示してありますが、教科書的には、不圧地下水と被圧地下水の間には難透水層があり、両者の間に地下水の移動はほとんどないとされています。しかし、この図に示したように、実際は、被圧帯水層は傾いており、そのため、不圧帯水層と被圧帯水層は水理学的にはつながっているのです。図-4 からもわかりますね。

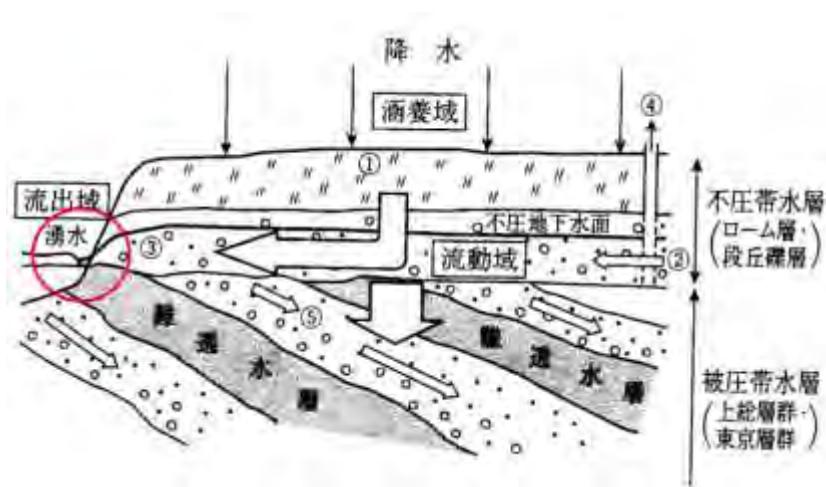


図-11 水循環不全のメカニズム  
(被圧地下水の圧力低下による不圧地下水の漏水)

普通、ノーマルの状態では降った雨は、不圧地下水となり、その地下水は湧水として、河川へ、あるいは池に出ます。このとき、不圧地下水の下の被圧地下水は十分に圧力がありますから、不圧地下水が被圧地下水の方へ移動することはできません。しかし、被圧地下水の圧力が下がりますと、不圧地下水が被圧地下水の方へ吸い込まれる。あるいは、不圧地下水が被圧帯水層の方へ漏水するということが考えられるわけです。

湧水が涸れるといった場合、よく言われるのは、すでに述べたように、都市化によって雨水の浸透量が減ったからだという説明です。地下水研究者もまた行政担当者もそう信じているようです。しかし、そのような理解は、すでにお話しました「水循環不良」です。地下水の流れを、雨水の浸透→流動→流出という自然流動系のみで考えるとそれなります。ここで流動は不圧地下水の流れです。この流れには被圧地下水は入っていません。私は、この井の頭池の湧水涸渇は、被圧地下水の圧力低下によって不圧地下水が漏水するために生じたものであり、それを「水循環不全」という言葉で表現しました。不圧地下水から被圧地下水のほうに地下水が吸い込まれている。このように、雨が浸透し、本来の、不圧地下水→井の頭池、という流れが、かなりの部分、不圧地下水→被圧地下水という流れに変わり、その結果、井の頭池への湧出がなくなつた。これが「水循環不全」のメカニズムです。

不圧地下水から被圧地下水へというと、両者を隔てる難透水層（蓋）があるから地下水は移動しないということをよく言われます。しかし図-1-1で示しましたように、現実の地質構造では、両者は必ずしも水理学的に隔てられているわけではありません。また、難透水層自体も連続的につながっているわけではありません。東京都土木技術研究所で1975年ころ、水素の放射性同位体トリチウムを用いて地下水流动調査を行いました。それによると、武蔵野台地の被圧地下水は、多摩川の河床から、また台地の不圧帶水層から涵養されていることが明らかになりました。つまり、水循環不全が、水質による流动調査で裏付けられたわけです。

#### ＜雨水浸透施設で解決できるか？＞

井の頭池の湧水は「水循環不全」によって涸渇した。実のところ、このように話をしてもなかなか信じてもらえない。皆さんは、地下水涵養→不圧地下水流动→湧水流出、という自然の地下水流动系で考えますので、湧水涸渇、それは地下水涵養が足りない。それでは雨水浸透施設で涵養量を増やせばいい、となるわけです。武蔵野地区の小金井市や武蔵野市では雨水浸透施設の普及を進めています。これは水循環保全という観点から良いことだと思います。特に小金井市は、2010年のデータですが、世帯数で53.4%の世帯が雨水浸透施設を設置しています。この普及率で雨水浸透量を推算しますと、0.30 mm/dayです。100%普及で0.56 mm/dayです。武蔵野台地の平均涵養量が、1mm/dayですから、総量で約1.5 mm/dayが、雨水浸透施設を設置したときの最大涵養量となります。しかし、小金井市の被圧地下水揚水量は2.0 mm/day、武蔵野市にいたっては4.1 mm/dayですから、水循環不全を解消するには不十分です。雨水浸透施設が効果的なのは、水循環不良の場合であって、水循環不全には足りないので。地下水を汲んでいる量があまりにも多すぎるので、雨水浸透事業じゃ間に合わないということになります。

#### ＜水循環不全という地下水障害＞

この図-1-2は、2009年の東京都の被圧地下水の水位分布です。井の頭池のある三鷹市と武蔵野



図-1-2 東京の被圧地下水の水位分布と湧水涸渇(2009年)  
(東京都土木技術支援・人材育成センターの資料による)

市、そして練馬区と、この線にそって被圧地下水位の谷になっていますね。こここの谷のところで不圧地下水が被圧帯水層に吸い込まれて、井の頭池と善福寺池と三宝寺池、三宝寺池というのは石神井川の上流ですけど、3つとも涸れています。湧水池が涸れたところと被圧地下水の低下域が一致していますね。結局、水循環不全ということで湧水が涸渇しているのです。

この水循環不全というのは、地下水や水循環において新しい考え方です。私としましても、新説を唱えたものの、まだ完全に自信がありませんでした。ところが、井の頭池以外に水循環不全の事例がありました。佐賀県の白石町の「縫ノ池」という湧水池涸渇の事例です。「縫ノ池」という池ですが、800年の歴史を有すると言われています。昔から地域にとって大事な池だったんですけども、白石町で、被圧地下水を農業用水とか水道用水として多量に汲み上げました。その被圧地下水の汲み上げで、やはりここでも湧き水が涸れて、平成6年、完全に涸れてしまいました。しかし、この「縫ノ池」が平成16年に復活したのです。なぜ復活したかと言いますと、県の事業でダムを造って、そこから表流水を供給するようにしたのです。地下水を汲むのを止めて、深い被圧地下水をですよ、汲むのをやめて表流水に代替したんです、それによって被圧地下水の水位が上昇して、「縫ノ池」は見事に復活しました。井の頭池と同じです。水循環不全です。これで私も自分の考えに自信を持ったわけです。

井の頭池も湧水が復活するには、水循環不全を解決するには、結局、地下水揚水をやめるしかありません。代替水源には利根川水系の水があります。河川水に替えるべきです。これが結論です。

## 6. 水循環の健全化

### (1) 水循環保全の歴史的経緯

水循環の健全化への経緯をまずお話をします。

水循環の健全化への経緯ですが、まず総合治水、1970年代の総合治水、これが水循環健全化のベースとなります。1960年代から70年代にかけて都市化による洪水の増大ということが課題となりました。すでに多摩ニュータウンの事例でお話しましたね。このような都市化と洪水の問題から、雨水流出抑制という面的な治水対策が打ち出されてきます。1977年に建設省から「総合治水対策についての中間答申」が出されます。これによって洪水調節池など貯留施設の設置が積極的に進められるようになりました。下水道でも流出抑制事業が進められました。この総合治水・流出抑制という、線から面への水の流れの転換は、国の行政で、さらに貯留浸透事業、清流復活事業を経ながら、アーバン・オアシス構想などに展開され、洪水制御だけではなく、都市の水の流れ全体に関心が向かうようになりました。総合治水の2次元的な流れは、さらに地下水も含めた3次元的な流れへと拡大され、すでにご紹介しました住宅都市整備公団の「八王子ニュータウン水循環保全システム」の導入などへと進んでいきます。そして雨水浸透施設も、洪水の流出抑制という位置づけから、地下水の涵養まで視野にいれた水循環、水循環の健全化という方向へと発展していきます。そして、1999年「健全な水循環系に関する関係省庁連絡会議」(中間とりまとめ)が発表されました。

ここにその内容を要約しました。この「中間とりまとめ」は非常に重要です。というのは、現在の内閣官房水循環政策本部の水循環基本計画は、国際協力など一部を除けば、この1999年の「中間とりまとめ」とほぼ同じ内容だからです。

## 「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」（中間とりまとめ） (1999年10月)

### ＜健全な水循環系＞の定義

流域を中心とした一連の水の流れの過程において、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下にともに確保されている状態。

### ＜水循環系の問題点ごとの主な要因＞

- ①通常時河川流量の減少、水需給の逼迫、  
渴水の頻発、渴水被害ポテンシャルの増大
- ②都市型水害の多発、洪水被害ポテンシャル  
の増大
- ③非常時の用水確保の困難化
- ④水質汚濁の進行と新たな水質問題の発生
- ⑤地下水位低下、湧水枯渇、地盤沈下
- ⑥都市におけるヒートアイランド現象の一因
- ⑦生態系への悪影響
- ⑧親水機能の低下、水文化の喪失

### ＜水循環系の問題点に対する対応策のイメージ＞

- ①流域の貯留浸透・涵養能力の保全・回復・増進
- ②水の効率的利活用
- ③水質の保全・向上
- ④水辺環境の向上
- ⑤地域づくり、住民参加、連携の推進

各省庁は、それぞれの政策目的に応じて、健全な水循環系に関する取組を行うが、全体としてより総合的な施策効果を発揮するためには、関係省庁連携した取組が必要である。

### （2）水循環の健全化とは？

さて「健全な水循環」ということが言われていますが、「健全な水循環」とはどういうことでしょう。水循環基本法のなかで定義されています。それは、「人の活動および環境保全の中で水の機能が適切に保たれた状態の水循環」です。だから、健全な水循環というのは、これまで私がお話ししてきました、水循環収支のEFGの比がどうのこうのということだけではなくて、つまり、外的自然としての水循環ではなくて、そういう水循環と人の活動、生活、そういうものが、うまくバランスが取れている状態を、「健全な」という言葉で表現したのですね。これは非常に大事なことです。1999年の関係省庁連絡会議、「中間取りまとめ」で、健全な水循環の定義をしています。「流域を中心とした一連の水の流れにおいて、人間社会の営みと環境の保全に果たす水の機能が、適切なバランスの下に確保されている状態」です。さらに「中間とりまとめ」を読むとわかるように、水循環ではなく、水循環系としています。つまり、自然の水循環のみならず、上水道・下水道など人工的な水循環も含めているのです。人間社会の営みと環境の保全。ここで言う人間社会というのは、活動と同じですよね。水循環基本法の水循環健全化の定義は、この1999年の関係省庁連絡会議の定義を踏まえています。

この健全な水循環の定義において重要な点は、自然の水循環を保全する、みたいな自然保护の考え方から脱却して、自然と人間の相互作用が適切であるという視点に立っていることです。環境に関する考え方方が大きく変化しているのです。1980年代後半に、国連の「環境と開発に関する世界委員会」という委員会が報告書をまとめています。ノルウェーの首相、ブルントラント首相が委員長としてまとめたものですが、そこで「持続可能な開発」という重要な概念を提起しています。この報告書によって環境問題を考える上で大きな転換がありました。自然保护から持続可能性です。つまり、開発はつねに自然を壊すとは限らないわけで、開発において自然とうまくやっていく可能性があるだろうと。それを持続可能性という言葉で表現したわけです。もちろん「持続可能性」の中には、世代間の平等性云々ということがあります、この持続可能性という概念が、実は、「健全な水循環系に関する関係省庁連絡会議」設置の「基本認識」(1998年8月)のなかにも明記されて

いるんです。つまり人間の活動と水循環系が、いわばバランスとっていることです。だから、水循環基本法に示された定義は非常に大事なのです。サイエンス系の人に特に多いのですが、水循環っていうと、自然現象として水循環を考えるんですね、そうではなくて、人工系も含めて、やはり水循環と人の生活の関わりというか、文化というものが入っていくことによって、そこへ踏み込んでいるのです。これは後で述べますが、八王子ニュータウン「みなみ野シティ」の取組として現れているわけです。

### (3) 水循環健全化の3つのステップ

さて水循環の健全化ですが、3つのステップがあります。ここにこの3つのステップを示しました。今までお話ししたことを踏まえまして、ステップ1、ステップ2、ステップ3の三段階で考えます。以下のとおりです。

#### STEP 1：地下水障害の防止と正常化

地盤沈下・地下水塩水化・水循環不全など地下水障害の解決

#### STEP 2：都市化によって悪化した水循環の改善

雨水浸透施設の導入による地下浸透の増加と水収支の適正化

#### STEP 3：文化としての水循環の保全

水循環保全の主体的な運動と地下水の持続可能性

それぞれのステップについて説明します。

##### ・ STEP 1=地下水障害の防止と正常化

まずステップ1は、代表的な地下水障害、地盤沈下とか、地下水の塩水化とか、それから先ほどお話ししました水循環不全です。これらはいずれも被圧地下水の過剰揚水によって引き起こされます。これらの地下水障害を防止するには揚水規制、地下水の揚水規制が全てです。揚水規制を進めて、そういう重症の地下水障害をなくす、これが最初のステップです。

##### ・ STEP 2=都市化によって悪化した水循環の改善

その上で、水循環不良を少しずつ改善していく。それがステップ2になります。雨水浸透施設の普及によって、地下への浸透を増やしていく、徐々に健康体にしていくというのがステップ2です。こうして水循環のシステムは健全な方向に向かっていくのですが、まだそれだけで十分ではありません。

##### ・ STEP 3=文化としての水循環の保全

自分たちの身の回りの水循環というのは、やはり地域の共同体、住民、行政、さらには企業、そういう共同体で大切に、維持管理しながら守っていくということが大事です。水循環と人の生活のかかわりです。つまり、文化として定着させなければならない。だから、水循環文化という言い方をしますけども、文化としての水循環の保全ということが大事であって、これで初めて、改善された水循環が、後の世代にも持続的に伝わっていくということになります。この3つのステップで水循環の健全化ということが実現すると思います。

### (4) 水循環健全化の事例＝東京都の場合

#### <STEP 1>

ステップ1で解決しなければならないのは、地盤沈下とか水循環不全とか、重症の水循環障害です。これはもう本当に揚水規制しかないです。揚水規制をやって、地下水のくみ上げを止める。そ

れしかありません。ただ、地下水の揚水規制と言っても簡単ではなくて、代替水源が必要になります。代替水源となると、ダムなんですね。戦後のダム開発についてはいろんな議論がありますけど、ダム開発の背景が、地盤沈下を防ぐために、地下水の揚水をやめて表流水に替える。そういう地盤沈下の防止という名目でダムが造られた、そういう面もあるんですね。

東京都のケースですが、工業用水としての地下水揚水、地下水の過剰揚水によって地盤沈下が起きましたが、東京都が揚水規制を断固進めたのです。その結果、地下水位が回復しました。それによって地盤沈下も沈静化しました。地盤沈下を防止するには揚水量を削減しなければなりません。そのためには代替水源が必要です。東京都は、工業用水として、工業用水道の運営を開始し、代替水源として下水処理水、河川水を使いました。地盤沈下と同じく、重症の水循環不全についても同じことが言えます。井の頭池の湧水復活のためには、武藏野市の上水道用地下水の揚水量を削減する。そのためには代替水源が必要になります。東京都は水道水として利根川の水を水源として使っています。都営一元化で多摩地区の水道水源は利根川系の表流水に転換されてきています。東京都の人口も少子高齢化でこれから減っていきます。当然、利根川の表流水は余裕が出て来ますから、それを代替水源として使えばいいんです。しかし、それがなかなかできない。問題ですね。

#### <STEP 2>

さて、ステップ2は、水循環不良の改善ということですが、雨が降ったら、その雨水は、洪水と、蒸発散と地下水への涵養、3つに分かれます。この比率についてはお話しましたが、地表面を改良することで水循環不良を改善することができます。すでに説明しましたが、水循環保全工法として1990年代、八王子ニュータウンの開発で試みられました事例です。

これが八王子ニュータウン、いま、「みなみ野シティ」と言いますけど、ニュータウン開発の素晴らしい事例です。私は、いろんなところでこの「みなみ野シティ」の話をしています。そこには兵衛川という川があるんです。開発する前にはホタルがたくさん生息していたんです。従来の方法で開発しますと、当然、兵衛川のホタルは絶滅するということが分かっていました。住都公団は全国の丘陵地にニュータウンを造ってきました。はっきりいって、自然の水循環を壊してきたわけです。八王子ニュータウンっていうのは、首都圏最後の大規模開発です。その反省にたって、ここでは水循環保全工法を適用して、雨水はできるだけ浸透させ、水循環を保全しようと、それをやったわけです。事前調査をやって、水循環の改善を目指したわけです。結果として、良好な水収支を実現し、ホタルも生息できています。

#### <STEP 3>

八王子ニュータウン、「みなみ野シティ」では、ステップ2の水循環の改善で兵衛川の河川環境を保全することができましたが、さらに地元の住民の皆さん、ホタルが生息できるように、川の掃除をするとか、子どもたちも含めてやっていらっしゃいます。このような川と住民との日常的なかわり、このかかわりが、文化という、水循環健全化の最終段階となります。

3番目のステップ、文化としての水循環ですが、健全な水循環文化って何でしょう。文化というのはどういう意味かといいますと、例えば、私は、「河川文化」という日本河川協会の会報の編集をやっておりますが、<河川文化>というのは、河川と人々の生活の関わりを意味しています。それでは水循環文化とは何か。その地域の水循環と、そこで生活している人々の生活の関わりです。その関わりのことなのです。だから水循環文化というのは、つまり、そういう健全な水循環を実現し、

同時に、生活の中で自分たちの水循環を、やはり健全に維持していくという、保全していくという、その日々の活動が文化であると思います。

#### (5) 地下水は誰のものか？

最後に、地下水利用について。地下水は誰のものかといことでお話をいたします。3つの考え方があります。公水論と私水論と共有資源論です。公水論というのは、水は国家のものであり、国家によって問題を解決する。これ、河川はそうですね。つまり、河川水は全部国家のものであって、国家が水資源利用の許認可、観測・モニタリングなど全部やるというのが公水論です。私水論は全然違って、いわば市場原理ですから、自分の土地にある水は自分のものである。私的所有物です。地下水は私水です。現在、これが法的に認められているものです。だから、公水論と私水論っていうのは完全に対立しています。現在、地下水の管理について、地下水ガバナンスという考え方が出ています。これは共有資源論と言われます、地域の地下水のステークホルダー、行政と企業と住民、地下水にかかわる当事者が、地域でルール作り、自分たちで共有資源として地下水を守っていく。私はセルフガバナンスと言ってますが、このような動きが始まっています。

ところで、地下水は公水であるということを主張する方がいるんですけど、公水の意味って厳密に言えば違うんです。公水っていうのは国家ですから。気持ち的にはわかりますが。やはり地下水は共有資源です。共有資源論というのは地下水が地域の共有の財産である。そしてみんなで話し合いの場をもって民主的に意思決定して守って行く。これがるべき姿であると思います。

### 7. おわりに

地下水を考える上で3つの重要な視点があります。

- (1) 地下水は自然史と社会史の両面からアプローチが必要だということです。つまり、自然と人間の活動ですよね。持続可能な地下水と人間のかかわりということを常に頭においておくことです。
- (2) 地下水っていうのは地形、地質など、自然条件によって違う、多様性があるということです。循環性の強い地下水もあれば、ほとんど循環しないものもあります。一方、われわれの地下水への関わり方、社会経済条件といいますけど、自然条件と社会経済条件によって地下水のあり方は決まる、ということです。
- (3) 地下水は共有資源であるということ。地下水に関する科学的な認識を共有して、地域の地下水のあり方にに関する合意形成を進めて、地域で守るルールを自主的に決める。持続的な地下水セルフガバナンス、これが結論です。

これが3つの視点ということです。ご清聴ありがとうございました。

以上

2025年3月22日（土）13時30分～  
新宿NPO協働推進センターならびにリモート形式で実施

## 「水循環基本法」施行 10 年を検証する報告会 主催者挨拶

### 「『水循環基本法』施行 10 年を“動かす”」シンポジウム・発起人代表 森田 優

「『水循環基本法』施行 10 年を“動かす”」シンポジウムの発起人代表の守田と申します。初めてお目に掛かる方も多いようですので、若干自己紹介をした後、この『水循環基本法』に関わるいろいろな思いを、少し時間頂いて、お話しさせていただいと思います。

私の専門は、地下水と、都市の雨水排水といいますか、都市水文学を専門としております。地下水については、大学卒業後、東京都に入りまして、地盤沈下の仕事を 6 年ぐらいやりました。いろんな現場で、地下水位観測、ボーリング、井戸の設計、現場監督とか、そういう地下水の現場の仕事と、地下水シミュレーションなど地下水の流れの解析をやりました。それから都市河川の仕事に 4 年ほど携わり、その後、芝浦工業大学に移り、3~4 年ほど地下水や都市洪水の研究をしてまいりました。

水循環基本法ですけども、ご存じのように 2014 年 4 月に施行されました。基本法制定の頃、稻場先生もおっしゃっていますが、水循環文化研究会の前身である下水文化研究会の方々がさまざまな研究活動をされました。私は、同じく水の研究に携わる人間として、水循環基本法ができた時、待ちに待ったと言いますか、やっと日本にも水の基本法ができたという思いがしました。当時の地下水学会誌などを読みますと、これで水関係の全ての法律を統合する水の法典ができた。あるいは、縦割り行政から、一元的な行政に変わっていく大きな契機になる。そういう形で、非常に大きな期待をもって受け取られたのです。

水の憲法、水の基本法というのは、海外の国にもあるのですが、海外の水基本法というのは、どちらかというと、水を利用する場合の権利とか、いろんな水の利用を調整するとか、それがほとんどと言ってもいいです。だから、水循環基本法という、水循環という言葉を法律の頭に付けるということは、まさに日本独自のことで、われわれはそれを誇っていいと思っています。

皆さんご存じのように、水循環基本法には 3 つの柱があります。1 つが、水は国民共有の貴重な財産であるということ。それから 2 番目が、健全な水循環の実現です。3 番目が、流域をベースとした水循環の一元的管理。これが 3 つの柱です。当然、この水循環基本法というのは、いわば理念法ですから、それが実際に動くためには、いろんな作業が必要になります。つまり、新しい法律を作る、あるいは既存の法律を見直すとか、そういう作業が必要になります。この後、稻場先生から詳しくお話があると思うのですけども、水循環基本法のフォローアップ委員会ができたわけです。フォローアップ委員会というのは、水循環基本法を動かしていくための委員会です。高橋裕東京大学名誉教授が座長を務められて、始まりました。

そのフォローアップ委員会の最初の仕事は、地下水保全法の作成だったのです。三好規正先生が中心になりました、作成が進められました。私もその法案の作成においては、末席ですが地下水専門家として加わりました。しかし、残念ながら、結局、地下水保全法は、最終

的には法案にならずに、宙に浮いた形で、そのままになっちゃったんです。その後、高橋先生のフォローアップ委員会も、いわば活動休止して、結局消滅してしまいました。地下水保全法については、私にとってみれば、いろんな思いがあります。やはり、水は国民共有の貴重な財産であるという理念を、どこが一番受けるかと言いますと、やはり地下水なんですね。地下水の場合、これまで、所有権をどう考えるかという問題がありまして、そういうことで非常に期待しながら、まさにその理念を一步でも進める形にしようということで取り掛かって、かなりその理念を生かした法案ができたのです。法案作成におきましては、アメリカの経済学者のオストロム教授が理論構築されたコモンズ、あるいは共有財産の管理、そこまで遠望しながら、そこへ向け一歩でも進めていくという、そういう思いで作られたのが地下水保全法案であります。その法案が結局宙に浮いた形で終わったわけです。

その後、次のフォローアップ委員会が新たにできました。沖大幹東京大学教授が座長を務められましたが、そこではまだ地下水法案の問題は残っていたのです。その委員会で何が行われたかといいますと、結局、水循環基本法の改正、つまり、地下水の適正な利用と保全という、まあ当たり前の、そういうことを加えるということで、その補正で終わりました。それによって、結果的には地下水保全法っていうのが、全く宙に浮いたまま、結局、着地できなかつたという状態になっております。

水循環基本法の2番目の柱が、健全な水循環の実現です。この健全な水循環に関しては、大きな問題があります。リニア新幹線の問題もあるし、あと、北陸新幹線の延伸の問題です。つまり、ああいう問題っていうのは、地下水に関して、地下水涸渇、水循環不全を引き起こすとか、あるいは、地下水流动阻害ですね。明らかに地下水の循環に深刻な影響を与えるわけです。

もしそういう問題が起つた場合に、それをどう予測し、その予測どおりにならなかつた場合、それにどう対処するかということを、事前にちゃんと検討しなければいけない。それを考えないということになれば、結局、水循環基本法の精神が全く生かされてないってことになるのです。そして結局、健全な水循環の実現ということに関しても、この10年間、部分的な施策はありましたが、基本的には、ほとんど変わっていないのです。そういうふうに私は思っております。

そして3番目に、流域をベースにした水循環の管理です。これも、内閣府の水循環政策本部のほうで、流域水循環計画というものがあり、これが動いております。流域水循環計画、いろんなところでこの言葉が使用されていますけれども、結局、この流域とは何か。流域とは河川流域のことであり、この河川流域において、上下水道や地下水、湧水などが一体として管理されなければならぬのです。しかし、このことが、ほとんど真剣にまともに議論されず、何となく動いているんです。要するに、縦割り行政なのですね。縦割りなので、隙間があります。私は、実際に現場で湧水保全など努力されている市民の方々には敬意を表します。ただ、縦割り行政なので、要は隙間行政なのです。流域で一体として、というより、非常にローカルなところでそれぞれ動いているというのが現実だと思います。だからそうじ

やなくて、流域とは何なのかっていうことを、きちんと考えた上で、もう一度流域をベースにした水循環の管理ということを真剣に考えなきやいけないんだと、私は思っております。

ということで、本当に当初、私たちの期待がすごく大きくて、そういう期待を担った水循環基本法であったはずなのですが、結果として、曖昧化、矮小（わいしょく）化が進んで、形骸化しているっていうのが現状なのです。だから、私たちとしては、問題点も含めて、その現状をきちんと認識して、それを今の日本の水行政の方々、市民活動の方々と一緒に、国民的な運動につなげていく、それが大事だと思っております。

地下水をやって来ておりますので、私も水循環の健全化には、すごく強い思いがあります。強い思いがあるものですから、皆さんとお付き合いさせていただいております。ちょっと長くなりましたが、発起人代表ということで、ごあいさつに代えさせていただきたいと思います。ありがとうございました。