

# 地下水 50 年の変遷と展望

## —水循環の視点から—

田中 正\*

### 1. はじめに

本稿は、2015 年 10 月 2 日にティアラこうとう（江東公会堂）で開催された一般社団法人 地下水技術協会 平成 27 年度秋季講習会「地下水と地下水技術—これまでとこれから」において講演した内容に基づいて、これを修正・加筆してとりまとめたものである。

本講習会における記念講演会は、地下水技術協会が昭和 40（1965）年 8 月に「社団法人 地下水技術協会」として認可されてからちょうど 50 周年を迎えたのを機に、その記念行事の一環として開催されたものであり、半世紀に及ぶ長きにわたってこれまで協会の運営に携わった関係者の皆様から心からお祝いを申し上げる次第である。

さて、依頼された講演のタイトルは表題のごとくであり、筆者にとっては大変な課題であったが、半世紀にわたる地下水研究の変遷をとりまとめる良い機会と考え、お引き受けしたものである。わが国の地下水研究のとりまとめについては、筆者の恩師である山本莊毅先生による「戦後 50 年と地下水」（山本、1995）<sup>1)</sup>があり、また地下水技術協会の協会誌である「地下水技術」において「特輯：20 世紀の地下水と私」<sup>2)</sup>が第 42 巻 8 号～同 12 号に連続して組まれており、総勢 26 名の執筆者が寄稿している。したがって、戦後から 2000 年頃までのわが国における地下水研究の動向はこれらを参照することによってほぼ把握されるものと思われるが、執筆者の立場によって地下水研究を捉える視点は多様であり、内容は多岐にわたっている。そこで、本稿においては、流域水循環に果たす地下水の役割を中心として、水循環の視点からとりまとめを試みることにする。

このため、本文中においては、「地下水 50 年の変遷」に止まらず、地下水研究の変遷を顧みる上で重要であると思われる事項については 1965 年以前についても触れることにする。また、本稿の付録として、1955 年から 2015 年までの主な地下水関連事項を 10 年ごとにとりまとめ、これを「地下水史年表」として参考文献の後に掲載することにした。

### 2. 地下水年代史

#### （1）1955 年以前及び 1955—1969 年

1955 年以前及び 1955—1969 年の期間における関連事項をとりまとめたものを表-1 に示す。この表の年代区分は山本（1995）<sup>1)</sup>に基づいたものであり、わが国においては戦前及び戦後の混乱期を経て高度経済成長の時期に相当する。

1955 年以前で特記すべき事項は、Hubbert（1940）<sup>3)</sup>による「流体ポテンシャル（fluid potential）」理論の確立である。この理論は、物理的法則として多孔体中の飽和流の運動、すなわち地下水流動を支配する物理則を記述するものであり、これによって地下水研究が自然科学の一分野に位置づけられたといえる。地下水に関する定量的な研究は Darcy（1856）<sup>4)</sup>に始まるが、いわゆる Darcy の法則は実験結果に基づいた経験則として発表されたものであり、当時において物理法則から演繹されたものではない。Darcy 則の物理的な裏づけは、Hubbert による流体ポテンシャル理論の確立まで 84 年の歳月を待つ必要があった。

また、この時期において特筆すべきは、わが国において初めての水文学に関する教科書である『水文

\*たなか ただし・筑波大学名誉教授

表－1 地下水年代史 1955 年以前及び 1955－1969 年

年 代	主 な 事 象・関 連 法	学 協 会 等	著 書 等	基本的概念/理念又は重要事項
1955 以前 (開発の始まり)	・戦前及び戦後混乱期		1918 地下水(君島) 1931 地下水概論(鈴木) 1933 水文学(阿部) 1933 地下水(福富) 1941 地下水調査法(蔵田) 1942 地下水(吉村) 1953 地下水調査法(山本)	1933 Horton Overland Flow (Horton) 1933 「水文学」の定義(阿部) 水文学の中心＝地中の水 1940 Fluid Potential (Hubbert)
1955 ↓ 1969	・高度経済成長期 ・地盤沈下激化 ・工業用水法制定(1956)			
(開発の時代) 帯水層から帯水層・加圧層へ		・日本地下水学会設立(1959) ・井戸とポンプ技術研究会発足(1959)	1960 地盤沈下と地下水開発(蔵田) 1962 揚水試験と井戸管理(山本)	
	・ビル用水法制定(1962)	・日本応用地質学会設立(1963) ・東京教育大学に水収支論講座設置(1963)	1962 地下水探査法(山本) 1962 地下水要論(村下)	1963 GW Flow System (Tóth)
	・新河川法制定(1964)			
		・社団法人地下水技術協会認可(1965) ・ハイドロロジー談話会開始(1965)	1965 地下水学(酒井) 1965 放射能式地下水探査法(落合)	
	・公害対策基本法制定(1967)			1967 不均質帯水層数値シミュレーション(Freezeほか)
		・UNESCO主催第1回「地盤沈下国際シンポジウム」東京で開催(1969)		

学』<sup>5)</sup>が阿部謙夫氏によって 1933 年に刊行されていることである。この中で阿部氏は、水文学の定義を明確にするとともに、水文学の中心テーマは「地中の水」であるとして第三章「地中の水」の冒頭において以下のように記している。

「水文学の中心をなすものは地中の水である。水が地中に滲透し、又之より湧出するといふことがなければ、地表は亜鉛板屋根と同様で、雨が降れば直ちに流出し去り、現象は極めて簡単明瞭である。しかし実際の地表並みに地下は構造に於いても、また水に対する作用に於いても、極めて複雑で、之がため興味深き諸種の水文學的現象が生ずる。」

著者の阿部氏は、逓信省において長らく水力発電調査に従事し、その後鉄道省において丹那トンネルの湧水に伴う河川流量の減少問題に精力的に携わった経験から、河川の流出と地下水が密接に関係していることを痛感し、上記のような記述に至ったものである(阿部, 1933, p.67)<sup>6)</sup>。河川の流出機構については、同じく 1933 年に発表された Horton 地表流(Horton, 1933)<sup>7)</sup>の考え方が広く受け入れられたことから、1960 年代の半ばまでは多くの場合、「流域」はブラックボックスとして取り扱われ、後述するようにその実態が解明されたのは 1970 年代後半に入ってからであることを考えると、阿部氏の指摘は当時としては卓見であったことがわかる。

このほか、この時代においては阿部氏の『水文学』を含めて邦文による教科書や調査法が数多く出版されていることが注目される(表－1)。

1955-1970 年代はわが国の高度経済成長に伴う地下水開発の時代であり、自然の涵養量を上回る過剰揚水による著しい地下水位の低下、それに伴う地盤沈下や地下水の塩水化、酸欠空気問題など多くの地下水障害が発生した時期である。特に地盤沈下は「七大大公害」の一つに数えられ、1956 年に「工業用水法」が、1962 年に「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」(いわゆる「ビル用水法」)が制定された。これら「用水二法」と自治体条例等の制定によって、わが国の地盤沈下が沈静化の兆しを見せ始めた 1969 年には、UNESCO と国際水文科学協会(IASH, 現 IAHS)主催による第 1 回の「地盤沈下に関する国際シンポジウム」(IASH, 1969)<sup>8)</sup>が東京で開催されている。

また、この時期には「日本地下水学会」が 1959 年に、「日本応用地質学会」が 1963 年にそれぞれ設立されている。1963 年には理系としてわが国初となる「水収支論講座」が東京教育大学理学部に設置され、初代の教授に山本莊毅先生が就任された。1965 年には建設省河川局所管として「社団法人 地下水技術協会」が認可されている。

研究面においては、カナダ・アルバータ大学の J. Tóth 教授が流体ポテンシャル概念に基づいて広域

## 地下水技術

地下水流動システムの存在を解析的に示し、「地下水流動系 (groundwater flow system)」(Tóth, 1962, 1963)<sup>8-9)</sup> という概念を提示するとともに地下水流動を「可視化」することを可能にした。また、不均質・異方性帯水層についての数値シミュレーション結果が Freeze and Witherspoon (1967)<sup>10)</sup> によって発表され、1970 年代以降における数値シミュレーション全盛時代の先駆けとなった。

### (2) 1970—1994 年

1970-1994 年における関連事項をまとめたものを表-2 に示す。この時期は、第一次 (1973)・第二次 (1979) オイルショックがあり、またバブルが崩壊 (1991) した時期である。1980 年代の初めには環境庁の調査により、わが国における地下水汚染の実態が判明し、1970 年に制定された「水質汚濁防止法」が 1989 年に改定されている。また、これまでの「公害対策基本法」(1967 年制定) に替わって、「循環」、「共生」、「参加」、「国際的取組」を基本理念とした「環境基本法」が 1993 年に制定され、翌 1994 年に「環境基本計画」が閣議決定されている。この基本計画において環境保全上「健全な水循環の確保」が謳われ、以後の環境行政や河川行政、また今日の水循環行政の推進に当たっても大きな影響を与えることになった。またこの時期、高度経済成長期に発生した

地盤沈下は徐々に沈静化に向かい、これを機に地下水の「公水論」が 1974 年から 75 年にかけて議論された。その一連の動きをまとめたのが表-3<sup>11)</sup> である。この表から明らかなように、関連する各省庁から「地下水法案」がそれぞれ示され、縦割り行政の弊害によって法案を一つにまとめることができず、最終的に国会への提出は見送られることとなった。学会に関連しては、1987 年に「日本水文科学学会」

表-3 地下水公水論の検討経過\*

年 月 日	内 容
1974.10.	科学技術庁の資源調査会が「地下水の保全使用に関する調査報告」を提出。
1974.11.5	農林水産省の農業用地下水研究会が「農業用地下水研究会報告」を提出。
1974.11.29	建設省の地下水管理制度研究会が「地下水管理制度について」を提出。
1974.11.30	環境庁の中央公害対策審議会地盤沈下部会が「地盤沈下の予防対策について」を答申。
1974.11.11	参議院の古賀雷四郎議員が「地盤沈下対策緊急措置法案要綱(草案)」を国土庁を通じて各省庁に提示。
1974.12.16	建設省が「地下水法基本要綱案」を策定、国土庁に説明。
1975.2.6	環境庁が「地盤沈下防止法(仮称)案」を策定、国土庁に説明。
1975.3.5	国土庁長官、環境庁長官、建設大臣の協議により、法案の調整は国土庁にまかされる。
1975.3.5	通商産業省が「工業用水法の一部を改正する法律要綱案」を提示。
1975.3.25	国土庁が「地下水の採取の適正化に関する法律(仮称)」を提示。
1975.3.26	自民党に「地盤沈下対策議員懇談会」が発足。
1975.6.	「地下水の保全及び地盤沈下の防止に関する法律案」(50年法案)が参議院法制局でまとまる。同案に対して、自民党環境部会、建設部会、地方行政部会、社会部会は基本的に了承。商工部会は結論出ず。縦横対策特別委員会は反対決議。法案の取り扱いは政審預かりとなり、国会提出は見送りとなる。

\*国土庁 (1992)<sup>11)</sup> に基づいて作成

表-2 地下水年代史 1970—1994 年

年 代	主な事象・関連法	学 協 会 等	著 書 等	基本的概念/理念又は重要事項
1970	・水質汚濁防止法制定(1970)	・IAHアジア地域会議開催(1971)	1971 地盤沈下-しのびよる災害-(柴崎)	1970 Saturation Overland Flow (Dunne & Black)
↓	・列島改造論(1972)	・USGS地下水用語検討(1972)	1973 地下水資源の開発と保全(権根編)	1973 滞留時間の基礎概念の定義(Bolin & Rohde)
1994	・第一次オイルショック(1973)		1973 地下水資源学(水収支グ)	1975頃 地下水「公水論」
(規制・保全の時代)	・地下水「公水論」が議論される(1974~1975頃)	・1970年代~ 地下水涵養機構の解明	1976 地下水盆の管理(水収支グ)	
		・1970年代後半~ 地下水研究の世界的な成熟期	1977 最新地下水学(建設省水文グ)	
	・第二次オイルショック(1979)		1978 地下水と地盤沈下対策(環境庁)	
		・1980年代 水流発生機構の解明	1979 水法論(金沢・三本木)	
	・関係閣僚会議「地盤沈下防止等対策の推進」を決定(1981)	・1980年代 水流発生機構の解明	1980 地下水ハンドブック(建産調)	
	・環境庁調査により地下水汚染が判明(1982)		1980 改訂新版 最新地下水学(建設省水文グ)	1980年代以降 地下水汚染問題
			1983 新版地下水調査法(山本)	
	・「名水百選」選定(1985)	・第2回日米水文学セミナー開催(1987)	1986 地下水用語辞典(山本編)	
		・日本水文科学学会設立(1987)	1986 日本の地下水(農用地下水研究グ)	
	・水質汚濁防止法改定(1989)	・水文・水資源学会設立(1988)		
			1990 汚染される地下水(藤縄)	
	・バブル崩壊(1991)		1990 地下水汚染論(地下水問題研)	
			1991 実例による新しい地下水調査法(権根編)	1991 「水文科学」の定義(NRC)
	・環境基本法制定(1993)		1992 地下水水文学(山本)	地球科学の一分科
	・環境基本計画閣議決定(1994)		1992 地下水の世界(権根)	
			1993 地下水調査および観測指針(案)(国土開発技セ)	
			1994 名水を科学する(地下水学会)	

が、1988年に「水文・水資源学会」が設立されている。この両学会設立の背景には、1987年1月にハワイで開催された第2回「日米水文学セミナー」の存在が大きく影響しているものと考えられるが、その点については田中(2015)<sup>12)</sup>を参照されたい。

地下水研究に関連しては、1971年に国際水文地質学会(International Association of Hydrogeologists, IAH)の「71 IAH アジア地域会議」が日本学術会議講堂で開催されている。当時、正会員数250余名、年間予算額が50万円にも満たない日本地下水学会が国際会議を主催し、これを成し遂げたことは一大事業であったといえる(野間, 2009)<sup>13)</sup>。

また、1972年にはUSGSが地下水用語の検討を行い、定義の修正と概念の洗練化が図られた(Lohman et al., 1972)<sup>14)</sup>。間違った用語や紛らわしい用語は廃語にされた。この地下水用語の検討結果は、わが国においては1977年に出版された『最新地下水学』(山本・榎根監修, 1977)<sup>15)</sup>あるいはその改訂版として1980年に出版された『改定新版 最新地下水学』(山本・榎根監修, 1980)<sup>16)</sup>に「付録 地下水用語解説」として掲載されており、以後わが国での地下水用語として定着している。1973年には地下水についての基本概念の一つである滞留時間に関する定義が発表されている(Bolin and Rohde, 1973)<sup>17)</sup>。

1970年代は、不飽和帯における浸透メカニズムの解明が進展するとともに、環境同位体の測定技術や中性子水分計といった測器の開発が進み、わが国を始めとして世界的に地下水涵養機構の解明が試みられた時期である。この地下水涵養機構の解明結果は、わが国においては2000年前後にとりまとめが行われている<sup>18-19)</sup>。

1970年代後半は世界的に地下水研究の成熟期に当たり、土壌水や地下水に関する基本的なテキストが数多く出版されている(例えばBouwer, 1978; Bear, 1979; Freeze and Cherry, 1979など)<sup>20-22)</sup>。表-2からも明らかのように、こうした傾向はわが国でも同様であり、1970年代から1980年代にかけて数多くのテキストが出版されている傾向を読み取ることができる。

また、1970年代後半から1980年代にかけて、古くから水文学の中心的研究課題とされた「流出解析」、

すなわち「降雨流出過程」に関する研究が斜面水文学(Karkby ed., 1978)<sup>23)</sup>と同位体水文学(例えばIAEA, 1979)<sup>24)</sup>の進展によって世界的規模で展開され、流出のプロセスそのものが野外での実証研究から明らかにされるようになった(例えば田中, 1996a)<sup>25)</sup>。Dunn and Black (1970a, b)<sup>26-27)</sup>は詳細な野外観測結果から直接流出に寄与する流れは飽和地表流(saturation overland flow)であることを明らかにした。この研究は、河川近傍において飽和地表流を発生させる飽和面は、土壌層下部よりの地下水面の上昇によって形成されるものであり、飽和地表流の発生メカニズムは Horton 地表流のそれとは異なることを初めて明らかにした研究として重要である。また、客観的手法としての環境同位体を用いたハイドログラフの分離に関する研究結果から、中緯度湿潤地域の山地流域における降雨流出過程においては地下水(あるいは地中水)流出成分が寄与する割合が大きいことが明らかにされた(例えば田中, 1982)<sup>28)</sup>。

近年における水文学の最も重要な発見の一つは、上記した中緯度湿潤地域の山地流域ではいわゆる Horton 地表流は発生しないという事実であるといわれている。このことは、中緯度湿潤地域の自然流域においては、降水のかかなりの部分は一旦は地中に浸透することを意味し、中緯度湿潤地域における水循環の方向は、「降水→土壌水→地下水→地表水体(河川水・湖沼水など)」となる(田中, 1996b)<sup>29)</sup>。したがって、地下水循環系は流域への入力となる降水と出力である河川水とを結びつける重要な基幹循環系を構成していることになり、この事実は後の河川行政や水循環行政に大きな影響を与えることになった。

1980年代以降、わが国においては地下水汚染が大きな社会問題となったことは先に記したが、この問題に関連した書籍として『汚染される地下水』(藤縄, 1990)<sup>30)</sup>や『地下水汚染論』(地下水問題研究会編, 1990)<sup>31)</sup>が1990年にあいついで出版されている。

こうした地下水汚染等の環境問題の拡がりに対して、将来世代のために地下水や湧水をより良い状態に保全していく必要があり、身近な清澄な水を広く国民に紹介するとの観点から、環境庁は1985年に「名水百選」を発表した(環境庁水質保全局水質規制課監修, 1985)<sup>32)</sup>。このいわば「昭和の名水百選」

が発表されてから24年が経過し、洞爺湖サミットが開催され、世界的に環境問題に強い関心が寄せられていることを背景として環境省は2009年に「平成の名水百選」を選定して発表している（日本の水をきれいにする会, 2009）<sup>33)</sup>。これら名水百選の選定は、地域の住民による身近な水源や水辺環境の保護と保全のための啓蒙活動に大きく役立っているといえる。なお、両名水百選に選定された名水の一部を対象として、水質を含むその特徴を科学的な側面からとりまとめた書籍が日本地下水学会編として三冊に分けて出版されている（日本地下水学会編, 1994, 1999, 2009）<sup>34-36)</sup>。

### （3）1995—2009年

1995-2009年における関連事項をまとめたものを表-4に示す。この時期は、阪神・淡路大震災（1995）が発生し、後半にはリーマン・ショック（2008）が起きている。また、(2)節で記した環境基本計画における「健全な水循環系の構築」という概念が行政面において具体化され始めた時期に当たる。以下順を追ってその内容を記すことにする。

流域における健全な水循環系の構築に関しては、1997年に「河川法」が改正され、それまでの線としての河川行政から流域を単位とした河川行政への転換が図られるとともに、新たな視点として「生態系の保全」が加えられた。また、1998年には水行政を所管する関係6省庁による「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」が設置され、5年後の2003年に『健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて』<sup>37)</sup>がとりまとめられている。

環境庁においては、環境基本計画の閣議決定を受けて、1997年に「健全な水循環の確保に関する懇談会」を設置し、翌1998年に『健全な水循環の確保に関する懇談会報告』<sup>38)</sup>を発表している。この報告においては、先に記した1970年代後半からの降雨流出過程に関する世界的な研究成果を踏まえて、「地下水を中心とした流域の水循環を基本単位とする」ことの重要性が提言された。また、翌1999年に環境庁長官に提出された『中央環境審議会意見具申』<sup>39)</sup>においては、先の懇談会報告の提言を踏まえて「自然の水循環系とそれに果たす地下水の重要性」がその冒

頭において記載された。この関係を模式的に示したのが図-1である（Tóth, 1995）<sup>40)</sup>。米国においても事情は同様であり、USGSが“Ground Water and Surface Water: A Single Resource”<sup>41)</sup>を発表したのは1998年であり、その中に図-1と全く同じ図が掲載されている。

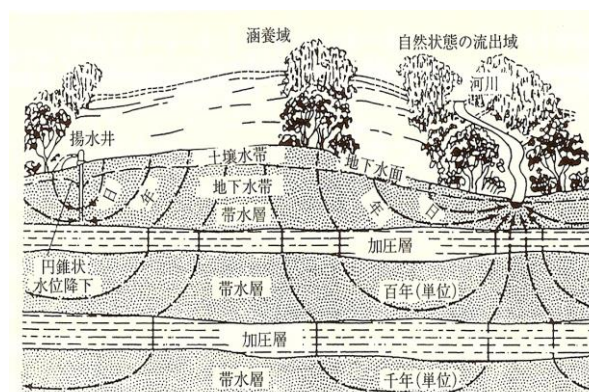


図-1 滞留時間を異にする地下水流動系のあり方を示す模式図（Tóth, 1995 を修正）<sup>40)</sup>

上記したように、1994年の環境基本計画の閣議決定から1999年の中央環境審議会「意見具申」までの頃にかけて、わが国の水関連行政や環境行政等において「健全な水循環系の構築」がキーワードとなり、また、「水循環」という用語が広く一般に普及した時期に当たると考えられる。

水質基準等については、1997年に「地下水の水質汚濁に関する環境基準」が告示されている。2002年には「土壌汚染対策法」が公布され、2004年には「水質汚濁防止法」の一部改正が行われ、地下水の環境基準が追加された。

また、前述した環境基本法の制定を受けて、わが国においては地方自治体による条例や要綱の制定によって独自に地盤沈下の防止や地下水の利用と保全を図るための施策が行われている。これらの中には、地下水を「公水」あるいは住民の「共有資源」と位置づけ、国の施策に先んじて「地下水公水化」を謳っている事例が少なくない（例えば田中, 2008）<sup>42)</sup>。こうした傾向は2000年に入った頃から顕著となり、「秦野市地下水保全条例」（2000年）、「松本市水環境を守る条例」（2001年）、「東京都小金井市地下水及び湧水を保全する条例」（2004年）などがその先

表－4 地下水年代史 1995－2009 年

年 代	主 な 事 象・関 連 法	学 協 会 等	著 書 等	基本的概念/理念又は重要事項
1995	・阪神・淡路大震災(1995)		1995 Volcano Body Spring in Japan (Yamamoto)	1995頃 健全な水循環系の構築 (環境基本計画)
↓				
2009	・河川法改正(1997)			1995頃「水循環」が一般に普及
(管理・保全の時代)	・地下水の水質汚濁に関する環境 基準告示(1997)			1996 地下水基幹循環系(田中)
	・関係6省庁連絡会議設置(1998)			1997 流域を単位とした河川行政 (河川法の改正)
	・「健全な水循環の確保に関する 懇談会報告」(1998)	USGS GW & SW: A single Resource 発表(1998)		1998 GW & SW: A Single Resour. (USGS)
	・中環審「意見具申」提出(1999)			1998 地下水を中心とした流域の 水循環を基本単位とする (健全な水循環の確保に関 する懇談会報告)
			1999 続名水を科学する(地下水学会)	1999 同上(中環審「意見具申」)
	・地下水「共有資源」との認識が 地方自治体に広がる(2000頃～)		2000 地下水水質の基礎(地下水学会)	2000 社会的共通資本(宇沢)
	・土壌汚染対策法公布(2002)		2000 雨水浸透・地下水涵養(地下水学会)	2000頃「共有資源」としての地下 水の位置づけ(市町村条例)
	・水質汚濁法一部改正(2004)			2003 統合的流域管理:未来の水 資源のために(FAOサツサリ 宣言)
	・三位一体の改革(2004)			
	・「地盤沈下監視ガイドライン」 策定(2005)			
	・「今後の地下水利用に関する 懇談会報告」(2007)			
		・第63回国連総会(2008)		2008 Transboundary Aquifers: 地下水は「自然共有資源」 (国連国際法委員会)
	・リーマン・ショック(2008)	・第36回IAH国際会議(富山)(2008)		
			2009 地下水の科学(地下水学会・井田)	
	・「平成の名水百選」選定(2009)	・地下水学会50周年記念事業(2009)	2009 新・名水を科学する(地下水学会)	2009 コモンズの「セルフガバナンス」 (ノーベル経済学賞:Erinor Ostrom)
			2009 水文科学(杉田・田中編)	

駆例である。この傾向はその後、熊本市(2007年)、秋田県美郷町(2008年)、大野市(2008年)など全国に拡大して行き、2013年4月時点で同様の地下水条例を制定している地方自治体は15自治体に達している(千葉,2014)<sup>43)</sup>。

一方、2004年に小泉内閣によって行われた「三位一体」の改革によって、地盤沈下のモニタリングに係わる補助金制度が廃止され、相当額が「税源移譲」されることになった。地盤沈下に関しては、法律に基づく環境基準がないため、地盤沈下対策に係わる取り組みは自治事務扱いとなったため、この地盤沈下対策を担保するために急遽『地盤沈下監視ガイドライン』が2005年に策定された(田中,2006)<sup>44)</sup>。この三位一体の改革に係わる環境監視等補助金の廃止対象の中に「地盤沈下防止対策事業」が含まれていることは意外と知られていないことではあるが、地盤沈下監視の維持・継続に係わる問題であり、今後地方自治体によって継続的に担保されるのかどうか、今日においてもなお懸念されるところである。

2007年には、「地下水資源マネジメント」の指針

をとりまとめた『今後の地下水利用に関する懇談会報告』<sup>45)</sup>が発表されている。この懇談会は当時の国土庁が1998年に設置したものであり、足掛け10年にわたってとりまとめられたものである。

この頃、地下水に関する世界の動向として大きな動きがあった。それは、2008年12月に開催された第36回国連総会において、世界初となる地下水に関する国際法である「越境帯水層法典(The Law of Transboundary Aquifers)」の草案が満場一致で採択されたことである。その経緯や背景等の詳細については田中(2012)<sup>46)</sup>を参照されたい。この法案の基本理念は「地下水は共有自然資源(shared natural resources)」であり、その保全・管理に当たっては「帯水層(aquifer)を単位」とするである。すなわち、地下水に関する国際法の観点から、地下水の保全・管理は、共有自然資源として同一帯水層が分布する国家間が一つ(aquifer State)となってその任に当たる必要があることを法的に義務づける内容となっている。この草案の最大の特徴は、国際法において「地下水は共有自然資源」とであると明確に定義したこと



と、「同一帯水層（地下水流域）を単位」として保全・管理を行うとした点である。こうした考え方は、「水循環の基本的地域単位は流域である」とする学術的に基本的な考え方と軌を一にしたものであるといえる。

共有資源あるいは共有財産と類似の用語に「コモンズ」がある。2009年のノーベル経済学賞は、このコモンズに関する研究業績によって、女性で初となるElinor Ostrom女史がその一人として受賞している。女史は、共有資源を保全・管理するための有効な方法は、「国家統制」や「市場原理」ではなく、第三の方法として「セルフガバナンス（自主統治）」が必要であることを明らかにした。また、そのために必要な条件の一つとして「モニタリング」の重要性を指摘している。このことは、先に記したように、わが国の先進自治体において地下水は地域住民の共有資源であるという認識の下に、当該自治体の条例等によって地下水の保全・管理が行われているという実態をも良く説明し得るものといえる。

この2000年頃からの10年間における国内外の動向からは、地下水は「共有資源」あるいは「共有財産」であるとの認識が深まり、この認識に基づいた新たな地下水資源管理のあり方が検討された時期である。すなわち、それまでの開発から保全・管理に向けた実質的な動きが始まるとともに、地下水資源は広い意味において「社会的共通資本」（宇沢，2000）<sup>47)</sup>の一部に位置づけられたともいえる。

国際的な動きに関連しては、2008年に国際水文地質学会（IAH）の第36回国際会議が富山で開催されている。この会議のメインテーマは「統合化された地下水科学と人間の幸せ（Integrated Groundwater Science and Human Well-being）」であり、世界各国から500名余の参加者が集まり、その関心の高さが伺われた。また、この国際会議において、先に記した国連の越境帯水層法典の草案作成の責任者を務めた元国連国際法委員会委員の山田中正大使に対し、その偉業を称えて「Distinguished Associate Award 2008」が学会会長より贈呈された。

また、この国際会議に参加するために来日したJ. Tóth教授が2008年11月に筑波大学を訪問し、講演を行っている（写真-1）。この講演の中でTóth教授

は、先に記した1963年に発表した「地下水流動系」という概念が如何に記念碑的なものであるかを述べると同時に、これからの地下水や水文地質に関する研究は、この「地下水流動系」を基本概念としたsub-disciplineとしての新たな学問領域の確立に向か

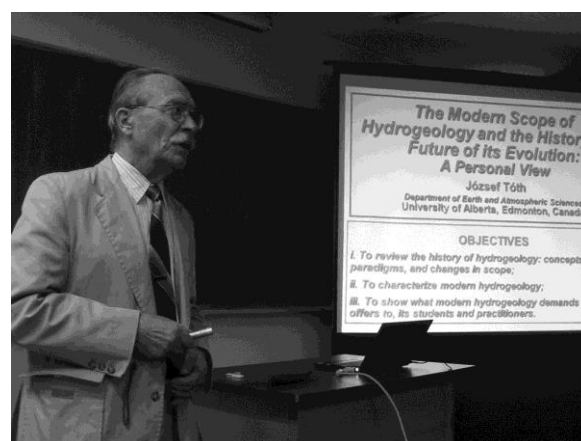


写真-1 筑波大学で講演するJ. Tóth教授（2008年11月14日，筆者撮影）

うであろうことを示唆された（田中，2014）<sup>48)</sup>。

2009年には、日本地下水学会が設立50周年を迎え、その記念事業が開催された（日本地下水学会，2009）<sup>49)</sup>。また、記念事業の一環として、一般向けの地下水に関する学術書『見えない巨大水脈 地下水の科学』（日本地下水学会・井田徹治，2009）<sup>50)</sup>が出版され、2011年には『地下水用語集』（日本地下水学会編，2011）<sup>51)</sup>が刊行されている。前書の『地下水の科学』は、わが国における科学批評の第一人者である海部宣男氏によって『世界を知る百一冊』（海部，2011）<sup>52)</sup>に取り上げられ、以下のように評されている。

「地下水は回復が難しい。そこで、地下水を可視化し動態も含めて総合的に理解する「地下水の流域管理」という概念が生れた。目に見えなかった地下水にも、川や空気同様「公共のもの」という考えが育っている。私たちにあって、大事な水だ。その重要な部分を担う地下水が見えてきたことは、ともかくも大きな進歩である。」

こうした評を得る地下水研究の変遷については本稿で記す通りであり、ここにきて「地下水学」がようやく「科学」として認知されたものといえるの

表－5 地下水年代史 2010－2015 年

年代	主な事象・関連法	学協会等	著書等	基本的概念/理念又は重要事項
2010		・UNESCO ISARM 2010(2010)	2010 環境地下水学(藤縄)	2010「越境性」と「多分野学際性」 (ISARM 2010)
↓			2011 地下水用語集(地下水学会)	2011 GW Governance (UNESCO-IHP ほか)
2015	・東日本大震災(2011) ・森林法の一部改正(2011) ・「エネルギー規制・改革制度アクションプラン」決定(2011) ・「地中熱の利用にあつてのガイドライン」(2012)	・Groundwater Governance プロジェクト開始(2011－2014)  ・熊本地域の広域地下水保全活動が国連の最優秀賞受賞(2013) ・ICSU, ISSC ほかの国際協働研究イニシアティブ Future Earth 開始(2013－2022) ・IAHS の向こう10年間のテーマPanta-Rhei 開始(2013－2022)	2012 地下水は語る(守田)	2011 頃 地中熱エネルギーの活用    2013 Future Earth (ICSU ほか) 2013 Panta-Rhei - Everything Flows (IAHS) 2014 地下水は「国民共有の財産」(水循環基本法) 2014 健全な水循環の維持又は回復(水循環基本法) 2015 持続可能な地下水の保全と利用(水循環基本計画) 2015 地下水流動の「可視化」(水循環基本計画)
	・水循環基本法制定(2014) ・雨水の利用の推進に関する法律制定(2014) ・水循環基本計画閣議決定(2015)  ・地下水保全法案を議連に上申(2015)			
		・UNESCO-IHP 主催第9回「地盤沈下国際シンポジウム」名古屋で開催(2015)		

ではないだろうか。

#### (4) 2010－2015 年

2010 年から 2015 年までの地下水年代史を表－5 に示す。この期間は、2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生し、社会のあり方とともに科学と社会の関係性が大きく問われることになった時期である。世界における学術の分野においても、近代科学としての「科学のための科学」からポスト近代科学としての「社会のための科学」へ舵を切った時期に当たる。また、行政面においては、わが国で初となる「水循環基本法」が成立し、「持続可能な地下水利用と保全」に向けた施策が展開され始めた時期であり、社会面、学術面、行政面のすべてにおいてこれまでに経験したことのない大きな変換点を迎えた時期といえる。以下、順を追って記すことにする。

2010 年 12 月にパリの UNESCO 本部において、「ISARM2010: TRANSBOUNDARY AQUIFERS Challenges and new directions」(ISARM は International Shared Aquifer Resources Management の略)が開催されている。この国際会議には世界各国から水文地質学、地下水学、法学、社会経済学等多分野にわたる約 300 名が参加し、これからの地下水問題の解決には「越境性」と「他分野学際性」が必要不可欠な時代に入ったことを印象づける会議とな

った(田中, 2012)<sup>46)</sup>。

2011 年には、GEF (Global Environment Facility)、The World Bank、UNESCO-IHP、IAH、FAO の国際共同プロジェクトである「Groundwater Governance: A Global Framework for Action」が開始された。これは、世界の地下水資源の保全・管理に係わる新たな動きであり、健全な地下水資源管理のための一般的理念とガイドラインの構築を目的として、これまでの「地下水管理(Groundwater Management)」から更に一步進めた「地下水ガバナンス (Groundwater Governance)」の確立を目指すものである(田中, 2015)<sup>53)</sup>。世界を 5 つの地域に分けて実施した地域協議 (Regional Consultation) を経て、そのとりまとめが 2015 年 4 月に韓国で開催された第 7 回「世界水フォーラム」において公表されている (FAO, UNESCO-IHP, IAH, World Bank, GEF, 2015)<sup>54)</sup>。ここにきて、地下水の資源管理についての世界の潮流は、「管理 (マネジメント)」から「ガバナンス」へ向かっていることを読み取ることができる。

わが国においては、2011 年に「エネルギー規制・改革制度アクションプラン」が閣議決定され、これに伴って再生可能エネルギーとしての「地中熱」の利用が増加する兆しが見え始めている。地中熱の利用は、都市部におけるヒートアイランド対策や省エネルギー対策としてその効果が期待され、今後もそ



の利用が増加するものと予想されることから、環境省は持続可能な地中熱利用を図る観点に立って、2012年に『地中熱利用にあたってのガイドライン』を刊行し、その改訂版を2015年に発行している（環境省, 2015）<sup>55)</sup>。

2013年には、熊本市を含む13市町村（合併により現在は11市町村）からなる市域を越えた地下水流域（図-2）を単位とした地下水保全活動が国連の「生命の水（Water for life）」水管理部門の「最優秀賞」を受賞している（UN-Water, 2013）<sup>58)</sup>。この保全活動は2004年度から始められ、先に記した越境帯水層法典

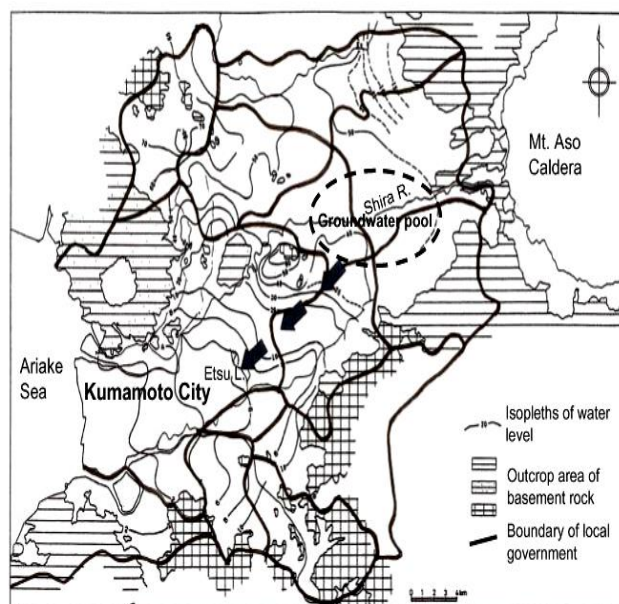


図-2 熊本地域13市町村（現11市町村）にまたがる越境帯水層地下水資源管理の対象範囲（Tanaka, 2012）<sup>56)</sup>、Shimada（2008）<sup>57)</sup>に加筆

の草案の理念を反映した国内版であり、その保全活動が世界で認められたことになる。

2013年に入り、学術の面において新たな研究の枠組み—Future EarthとPanta Rhei-Everything Flows—が提示されるようになる。その概要については田中（2014）<sup>12)</sup>に記したので、ここでは簡単に触れることにする。

Future Earthとは、国際科学会議（International Council of Scientific Union, ICSU）と国際社会科学協議会（International Social Science Council, ISSC）がUNESCO等の国際機関と協力して立案した地球環境問題に関する新たな研究の枠組みである（ICSU,

2012）<sup>59)</sup>。その特徴は、1) 問題解決型であること、2) 自然科学や社会科学の枠を超えた統合的・超学際的な研究であること、3) 政策決定者や利害関係者（ステークホルダー）の研究立案からの参画であり、地域から地球全体の環境問題について、地球の持続可能性を達成するためにその解決策を見出すことを目的としている。

Panta Rhei-Everything Flowsとは、IAHS Scientific Decade 2013-2022の新たな研究の枠組みである（Montanari et al., 2013）<sup>60)</sup>。Panta Rheiとは、ギリシャの哲学者Heraclitus（Ca. 540-480 BC）の言葉であり、その英訳がEverything Flowsである。日本語では「万物は流転する」と訳されている。この新たな研究枠組みの標語は“Change in Hydrology and Society”であり、絶え間なく変化する水文現象と社会現象の相互作用ならびに相互のフィードバック機構を明らかにすることを目的としている。

これらの新たな研究の枠組みの提示は、先に触れた20世紀までの「近代科学」に続く「ポスト近代科学」、とりわけ「複雑系の科学」の確立を目指すものである。近代科学の特徴が「普遍性、客観性、合理性」であったとすると、それに続くポスト近代科学では「関係性、多様性、持続可能性」が重視されるようになる。すなわち、これまでの物理学的、化学的、生物学的方法を基礎とし、個別現象を対象とした科学的な解明に加え、「自然—人間—社会系」の関係性を重視したより哲学的なアプローチを必要とする時代に入ったといえる（Montanari et al., 2013）<sup>60)</sup>。先に記したUNESCO-IHPを中心とした「地下水ガバナンス」プロジェクトも、こうした新たな研究の枠組みの一環として遂行されているものと考えることができる。

上記した学術面での新たな動きに加え、わが国の水行政面においても大きな動きがあった。それは、「水循環基本法」（平成二十六年法律第十六号）の制定（2014年4月2日公布、同7月1日施行）と「水循環基本計画」の閣議決定（2015年7月10日）である。この法律では、地下水を含む循環する水が「国民共有の貴重な財産であり、公共性の高いもの」であることを謳い、全ての国民がその恵沢を将来にわたって享受できる環境を確保することなど五つの基本理

念を掲げている。この水循環基本法は、議員立法として第186回通常国会に上程されたいわゆる「理念法」と呼ばれるものであるが、地下水を含む循環する水を初めて法的に位置づけたものであり、特に地下水については、規制法としての「用水二法」を除いて、地下水政策全般についての理念やその方向性を定める法律が存在していなかった中で、「国民共有の財産（共有資源）」としてその法的根拠ができたことは画期的であるといえる。

図-3 に水循環基本計画の閣議決定までの経過を示す。この基本計画では、「流域を単位とした総合的かつ一体的な管理」を基本として、「健全な水循環の維持又は回復のための取組」を推進することとしている。そして、地下水については、「持続可能な地

七号)」が2014年4月2日に公布されている。

上記の水循環基本法の制定を受けて、個別法としての「地下水の涵養、保全と利用に関する法律（地下水保全法）案」を第189回通常国会に上程すべく、水循環基本法フォローアップ委員会から2015年2月17日に水制度改革議員連盟に同案が上申されたが、諸般の事情によりその実現には至らなかった。この間の経緯と事情については紙面の都合上、別稿（田中, 2016）<sup>62)</sup>を参照されたい。

2015年11月には、第9回「地盤沈下に関する国際シンポジウム」(Daito and Galloway, 2015)<sup>63)</sup>が名古屋で開催されている。本国際シンポジウムは、先に記した第1回の同シンポジウムが1969年に東京で開催されてから実に46年振りの日本での開催であった。

### 3. おわりに—今後の展望に代えて—

1930年代以降の地下水研究の変遷を顧みると、地下水開発のための井戸の水理学に始まり、次第に帯水層内の流動から帯水層・加圧層連続系へと研究対象を広げ、理論化を図るとともに、今日においては広域的地下水流動システムとしての地下水流域を対象とする方向に研究が進展してきた。そして、日本地下水学会の設立50周年を記念して出版した書籍は、科学批評の第一人者から高い評価を得るまでに至った。

一方、水資源としての地下水は、高度経済成長期における過剰揚水を出発点として、開発から規制へ、そして管理・保全の時代を経て、これからは法律に基づく持続可能な地下水利用と保全を推進する時代に入った。

地下水については、これまで法律に基づく規定はなく、民法第207条を根拠とする「私水」として取り扱われており、本稿において記した通り、1970年代中ごろには地下水の「公水論」についての議論が活発に行われた時期もあった。しかし、地下水についての法制化はその後長い期間にわたって実現されることはなく、2014年に入ってようやく「水循環基本法」が公布され、これによって河川水とともに地下水を含む循環する水が法的に明確に規定されることになった。

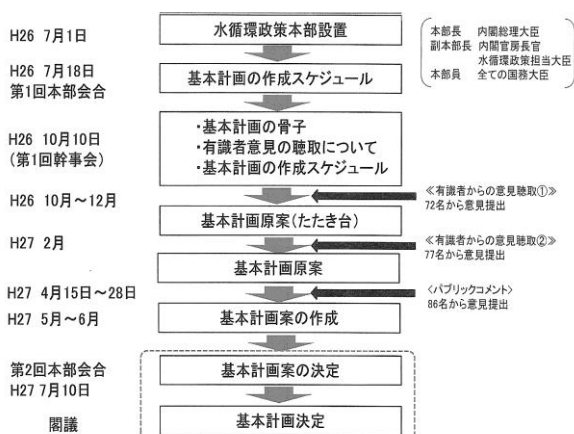


図-3 水循環基本計画の閣議決定までの経過  
(内閣府水循環政策本部事務局, 2015)<sup>61)</sup>

下水の保全と利用」をキーワードとして、地下水協議会等の体制を整備して「地下水マネジメント」（先に記したように、世界の動向からすれば「地下水ガバナンス」とすべきであるが）を計画的に推進するとしている。

これら水循環基本法の考え方や基本計画の内容は、本稿で記した「地下水50年の変遷」からも明らかのように、結果として学術的研究成果を反映したものであるということができよう。今後は、本法律ならびに本基本計画に基づいて、国、地方自治体、事業者、民間の団体など関係者相互の連携ならびに協働により、わが国の水循環行政が進められることになる。なお、この法律の制定と同時に「雨水の利用推進に関する法律（平成二十六年法律第十

この法律の制定は、次の三点において重要な意味を持つものと思われる。その一つは、「水循環」という用語が初めて法律レベルで規定され、定義されたこと、二つ目は、地下水を含む「循環する水」が「国民の共有財産」としてその「公共性」が規定されたこと、三つ目は、「健全な水循環の維持又は回復」という価値判断に係わる形容詞が自然現象に対して使われたこと、である。

今後の展望としては、この法的な位置づけに基づいて、将来世代を見据えた「持続可能な地下水の利用と保全」をどのように図るかが大きな課題となるであろう。そのためには、地下水の保全と利用について、「意思決定機関」を設置し、「誰に権限と責任があるかを明確にし、それをモニタリング（監視）してチェック（点検）する体制」（曾根，2008）<sup>64）</sup>を整備することが必要である。すなわち、本稿で記した「地下水ガバナンス」を構築することが最重要課題であるものと思われる。図-4は、水循環基本法

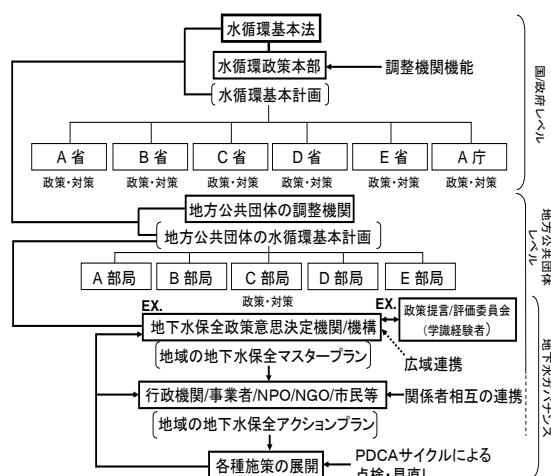


図-4 水循環基本法の枠組み構造と地下水ガバナンス試案（田中，2015）<sup>53）</sup>

の枠組み構造と地下水ガバナンス試案を示したものである。この内容についてはすでに田中（2015）<sup>53）</sup>に記したので、そちらを参照されたい。また、基本計画にも記載されている通り、地下水を可視化する等の方法を含め、地下水についての「教育」と「人材育成」ならびに「データの整備とその共有化」も今後の重要な課題である。

一方、本稿で記したように、学術の面においては、

これまでの個別現象を対象とした科学的な解明に加え、ポスト近代科学としての「複雑系の科学」、すなわち「関係性、多様性、持続可能性」が重要視される時代に入っている。地下水研究においても、他分野学際連携を強め、超学際性の観点から「自然－人間－社会系」の関係性を解明する研究を推進する必要があるものと思われる。

社会面、学術面、行政面の全ての面において、今現在は「時代の変換点」であることに間違いはない。地下水の「これからの50年」を視野に入れて、新たな進展を期待したい。

## 謝辞

一般社団法人 地下水技術協会「設立50周年記念講演会」において講演の機会を賜り、また本稿を執筆する機会をいただきました畠中武文会長、黒田和男事務局長を始め関係者の皆様方に心から御礼申し上げます。協会の今後益々のご発展を祈念致します。

## 哀悼の辞

本講演会の企画を担当されました柳田三徳企画委員におかれましては、講演会の開催を目前にして急逝されました。ここに哀悼の意を表し、ご冥福をお祈り申し上げますとともに、本稿を献呈致します。合掌。

## 参考文献

- 1) 山本荘毅 (1995): 戦後50年と地下水. 地下水技術, 37 (12), 4-11.
- 2) 地下水技術協会 (2000): 特輯・20世紀の地下水と私. 地下水技術, 42 (8), 1-35; 42 (9), 1-41; 42 (10), 1-37; 42 (11), 1-39; 42 (12), 5-43.
- 3) Hubbert, M.K. (1940): The theory of groundwater motion. Journal of Geology, 48, 785-944.
- 4) Darcy, H. (1856): Les Fontaines Publiques de la Ville Dijon. In: Hubbert, M.K. (1969): The Theory of Ground-Water Motion and Related Papers, Hafner Publishing Co. Inc., NY, 305-311. または, Darcy, H. (2004): The Public Fountains of the City of Dijon (Translated by Bobeck, P.). Kendall/Hunt Publishing Co., 506p. + 26 Plates.

- 5) 阿部謙夫 (1933): 水文学. 岩波書店, 70p.
- 6) Horton, R.E. (1933): The role of infiltration in the hydrologic cycle. American Geophysical Union, Transaction, 14, 446-460.
- 7) IASH (1969): Symposium of TOKYO on Land Subsidence, ABSTRACTS. 68p.
- 8) Tóth, J. (1962): A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada. Journal of Geophysical Research, 67, 4375-4387.
- 9) Tóth, J. (1963): A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. Journal of Geophysical Research, 68, 4795-4812.
- 10) Freeze, R.A. and Witherspoon, P.A. (1967): Theoretical analysis of regional groundwater flow: 2. Effect of water-table configuration and subsurface permeability variation. Water Resources Research, 3, 623-634.
- 11) 国土庁(1992) : 諸外国及び我が国における地下水法制度等調査 (平成 3 年度地下水利用評価調査報告書) . 国土庁長官官房水資源部水資源政策課, 314p.
- 12) 田中 正 (2014): 水文科学についての認知マップとこれから. 日本水文科学会誌, 44 (2), 79-95.
- 13) 野間泰二 (2009): 日本地下水学会創立 50 周年記念に寄せて. 日本地下水学会五十周年記念冊子, 五十周年記念事業実行委員会, 6-11.
- 14) Lohman, S.W. et al. (1972): Definition of Selected Ground-Water Terms — Revisions and Conceptual Refinements. US Geological Survey Water-Supply Paper 1988, 21p.
- 15) 山本莊毅・榎根 勇監修, 建設省水文研究グループ編訳 (1977): 最新地下水学—調査と実務のガイドライン. 山海堂, 351-356.
- 16) 山本莊毅・榎根 勇監修, 建設省水文研究グループ編訳 (1980): 改定新版 最新地下水学—調査と実務のガイドライン. 山海堂, 497-503.
- 17) Bolin, B. and Rohde, H. (1973): A note on the concept of age distribution and transit time in natural reservoirs. Tellus, 25, 58-62.
- 18) 雨水浸透技術協会 (1998): 特集/地下水の涵養. 雨水技術資料, 28, 7-73.
- 19) 日本地下水学会編 (2001): 21 世紀の地下水管理 雨水浸透・地下水涵養. 理工図書, 160p.
- 20) Bouwer, H. (1978): Groundwater Hydrology. McGraw-Hill Book Company, 480p.
- 21) Bear, J. (1979): Hydraulics of Groundwater. McGraw-Hill Inc., 567p.
- 22) Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979): Groundwater. Prentice-Hall Inc., 604p.
- 23) Kirkby, M.J. ed. (1978): Hillslope Hydrology. John Wiley, 389p.
- 24) IAEA (1979): Isotope Hydrology 1978. Vol. 1, 440p., Vol. II, 984p.
- 25) 田中 正 (1996a): 降雨流出過程. 恩田裕一・他編: 水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用一, 古今書院, 56-66.
- 26) Dunne, T. and Black, R.D. (1970a): An experimental investigation of runoff production in permeable soils. Water Resources Research, 6, 478-490.
- 27) Dunne, T. and Black, R.D. (1970b): Partial area contribution to storm runoff in a small New England watershed. Water Resources Research, 6, 1296-1311.
- 28) 田中 正 (1982): 水文学における同位体利用の研究動向—地中水の循環に関する研究を事例として—. 京都大学防災研究所附属水資源研究センター研究報告, 2, 3-22.
- 29) 田中 正 (1996b): 地下水循環と環境. 地下水技術, 38 (12), 5-14.
- 30) 藤縄克之 (1990): 汚染される地下水. 共立出版, 126p.
- 31) 地下水問題研究会編 (1990): 地下水汚染論—その基礎と応用. 共立出版, 340p.
- 32) 環境庁水質保全局水質規制課監修, 日本の水をきれいにする会編 (1985): 名水百選. ぎょうせい, 127p.
- 33) 日本水をきれいにする会 (2009): 平成の名水百選. ぎょうせい, 213p.
- 34) 日本地下水学会編 (1994): 名水を科学する. 技報堂出版, 299p.
- 35) 日本地下水学会編 (1999): 続名水を科学する. 技報堂出版, 246p.
- 36) 日本地下水学会編 (2009): 新・名水を科学する. 技報堂出版, 293p.

- 37) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議 (2003): 健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて. 219p.
- 38) 環境庁水質保全局 (1998): 健全な水循環の確保に向けて－豊かな恩恵を永続的なものとするために－. 健全な水循環に関する懇談会報告, 71p.
- 39) 中央環境審議会 (1999): 環境保全上健全な水循環に関する基本認識及び施策の展開について (意見具申). 34p.
- 40) Tóth, J. (1995): Hydraulic continuity in large sedimentary basins. *Hydrogeology Journal*, 3 (4), 4-16.
- 41) Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L. and Alley, W.M. (1998): Ground Water and Surface Water: A Single Resource. USGS Circular, 1139, 79p.
- 42) 田中 正 (2008): 地下水利用の現状と規制. *空気調和・衛生工学*, 82 (10), 3-10.
- 43) 千葉知世 (2014): 地下水保全に関する法制度的対応の現状: 地下水条例の分析から. *水利科学*, No. 337, 33-113.
- 44) 田中 正 (2006): 公害防止と地方分権. (季刊) *環境研究*, No. 142, 168-172.
- 45) 今後の地下水利用のあり方に関する懇談会 (2007): 健全な地下水の保全・利用に向けて－今後の地下水利用のあり方に関する懇談会報告－. 国土交通省水資源部水資源政策課, 81p.
- 46) 田中 正 (2012): 最近における地下水に関する国内外の動向. *水利科学*, No. 327, 1-26.
- 47) 宇沢弘文 (2000): 社会的共通資本. 岩波新書, 239p.
- 48) 田中 正 (2014): 水循環の視点から地下水を捉える. *地下水学会誌*, 56 (1), 3-14.
- 49) 日本地下水学会 (2009): 日本地下水学会五十周年記念冊子. 五十周年記念事業実行委員会, 47p.
- 50) 日本地下水学会・井田徹治 (2009): 見えない巨大水脈 地下水の科学. 講談社ブルーバックス, B-1639, 267p.
- 51) 日本地下水学会編 (2011): 地下水用語集. 理工図書, 150p.
- 52) 海部宣男 (2011): 世界を知る 101 冊－科学から何が見えるか－. 岩波書店, 251p.
- 53) 田中 正 (2015): これからの地下水ガバナンス. *地下水学会誌*, 57 (1), 73-82.
- 54) FAO, UNESCO-IHP, IAH, World Bank and GEF (2015): Global Framework for Action to achieve the vision on Groundwater Governance. Special Edition for World Water Forum 7, 111p. [www. groundwater governance. org](http://www.groundwatergovernance.org).
- 55) 環境省 (2015): 地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂版. 環境省水・大気環境局, 128p.
- 56) Tanaka, T. (2012): Transboundary groundwater resources management within a given country: Policy framework depending on the demand side water management in Kumamoto region, Japan. In Steusloff, H. ed.: Conference Proc. on Integrated Water Resources Management Karlsruhe 2012, Fraunhofer, 161-167.
- 57) Shimada, J. (2008): Sustainable management of groundwater resources for over 700,000 residents in Kumamoto area, Japan. Proc. of Symposium on Integrated Groundwater Sciences and Human Well-being, 36th IAH, Toyama, Japan, 104-111.
- 58) UN-Water (2013): <http://www.unwater.org/water-cooperation-2013/media-corner/news/>
- 59) ICSU (2012): <http://www.icsu.org/future-earth/>
- 60) Montanari, A. and other 33 authors (2013): Panta Rhei-Everything Flows: Change in hydrology and society – The IAHS Scientific Decade 2013-2022. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (6), 1256-1275.
- 61) 内閣府水循環政策本部事務局 (2015): 国土審議会水資源開発分科会配布参考資料.
- 62) 田中 正 (2016): 地下水保全法案の作成経過とシンポジウム総合討論のまとめ－地下水保全法のあるべき姿を目指して－. *地下水学会誌* (印刷中).
- 63) Daito, K. and Galloway, D. eds. (2015): Prevention and mitigation of natural and anthropogenic hazards due to land subsidence. *PIAHS*, 372, 557p.
- 64) 曾根泰教 (2008): 日本ガバナンス－「改革」と「先送り」の政治と経済. 東信堂, 454p.

付録：地下水史年表

1955-1964

- 1955(昭和30)年～1972(昭和47)年頃：高度経済成長期、地盤沈下激化
- 1956(昭和31)年：「工業用水法」制定 } 新規井戸の規制、水源転換、地盤沈下沈静化
- 1962(昭和37)年：「ビル用水法」制定 } するも一部地域ではなお沈下継続。
- 1959(昭和34)年：「日本地下水学会」設立
- 1959(昭和34)年：「井戸とポンプ技術研究会」発足、機関誌『井戸とポンプ』発刊
- 1960(昭和35)年：蔵田延男著『地盤沈下と地下水開発』発行
- 1962(昭和37)年：山本荘毅著『揚水試験と井戸管理』発行
- 1962(昭和37)年：山本荘毅著『地下水探査法』発行。この『改定増補版』が昭和41年に発行されている。
- 1962(昭和37)年：村下敏夫著『地下水要論』発行
- 1963(昭和38)年：「日本応用地質学会」設立
- 1963(昭和38)年：東京教育大学理学部地学科地理学専攻に「水収支論講座」が設置される。初代教授は山本荘毅先生。
- 1963年：カナダ・アルバータ大学のJ. Tóth教授 が「地下水流動系(Groundwater Flow System)」という概念を発表。この概念によって地下水流動を「可視化」することが可能となった。
- 1964(昭和39)年：新「河川法」制定。旧「河川法」は廃止。

1965-1974

- 1965(昭和40)年：「社団法人 地下水技術協会」が認可
- 1965(昭和40)年：「ハイドロロジー談話会」が東京教育大学水収支論講座において開始される。
- 1965(昭和40)年：酒井軍治郎著『地下水学』発行
- 1965(昭和40)年：落合敏郎著『放射能式地下水探査法』発行
- 1967(昭和42)年：「公害対策基本法」制定。「地盤沈下」は7大公害の一つ。
- 1967年：Freeze・Witherspoon が不均質・異方性帯水層についての数値シミュレーション結果を発表。1970年代の大型計算機による数値解法の幕開け。
- 1969年：M. K. Hubbert (1940) のoriginal paper を載せた『The Theory of Ground - Water Motion and Related Papers』発行
- 1969(昭和44)年：ユネスコ主催の「地盤沈下に関する国際シンポジウム」が東京で開催される。
- 1970(昭和45)年：「水質汚濁防止法」制定
- 1971(昭和46)年：「国際水文地質学会(IAH)アジア地域会議」開催
- 1971(昭和46)年：柴崎達雄著『地盤沈下ーしのびよる災害ー』発行
- 1972年：USGSが地下水用語の検討を行い、定義の修正と概念の鈍化を試みる。これに基づいた「地下水用語解説」が昭和52年発行の『最新地下水学』に付録として掲載されている。
- 1973(昭和48)年：榎根 勇編『地下水資源の開発と保全』発行
- 1973(昭和48)年：水収支研究グループ編『地下水資源学』発行
- 1974(昭和49)年～1975(昭和50)年：「地下水の法制化」についての議論が活発化する。→ 縦割り行政の弊害によりその実現は図られなかった。



## 1975-1984

- 1970年代半ば～：環境同位体技術の向上と野外での実証的研究の進展。
- 「水流発生機構」の解明が進む。
- 1976(昭和51)年：水収支研究グループ編『地下水盆の管理』発行
- 1977(昭和52)年：建設省水文グループ編訳『最新地下水学—調査と実務のガイドライン—』発行。1980(昭和55)年に本書の『改定新版』が発行されている。
- 1978(昭和53)年：環境庁編『地下水と地盤沈下対策』発行
- 1978年～1979年：地下水についての基本テキストともいえるべき書籍が数多く出版される(Bouwer, 1978; Bear, 1979; Freeze & Cherry, 1979 など)  
→ 土壌水を含む地下水研究の世界的な成熟期
- 1979(昭和54)年：金沢良雄・三本木健治著『水法論』発行
- 1980(昭和55)年：建設産業調査会『地下水ハンドブック』発行
- 1981(昭和56)年：「地盤沈下防止等対策の推進について」が関係閣僚会議において決定。→ 昭和60年に濃尾平野及び筑後・佐賀平野、平成3年に関東平野北部が地盤沈下防止等対策要綱地域に指定される。
- 1982(昭和57)年：環境庁の調査により、有機溶剤(トリクロロエチレン)などによる地下水汚染が全国で発生していることが判明。
- 1983(昭和58)年：山本荘毅著『新版地下水調査法』発行

## 1985-1994

- 1985(昭和60)年：環境庁「名水百選」を選定
- 1986(昭和61)年：山本荘毅編『地下水用語辞典』発行
- 1986(昭和61)年：農業用地下水研究グループ『日本の地下水』発行
- 1987(昭和62)年：第2回「日米水文学セミナー」ハワイで開催
- 1987(昭和62)年：「日本水文学会」設立
- 1988(昭和63)年：「水文・水資源学会」設立
- 1989(平成元年)：「水質汚濁防止法」改正、有機物質を含む水の地下浸透禁止。
- 1990(平成2)年：藤縄克之著『汚染される地下水』発行
- 1991(平成3)年：地下水問題研究会編『地下水汚染論—その基礎と応用』発行
- 1991(平成3)年：榎根 勇編著『事例による新しい地下水調査法』発行
- 1991年：米国NRC『Opportunities in the Hydrologic Sciences』発行  
"Hydrologic science is a geoscience" と明確に定義する。
- 1992(平成4)年：山本荘毅著『地下水水文学』発行
- 1992(平成4)年：榎根 勇著『地下水の世界』発行。本書は2013年に講談社学術文庫『地下水と地形の科学—水文学入門—』として再版される。
- 1993(平成5)年：国土開発技術センター編『地下水調査および観測指針(案)』発行
- 1993(平成5)年：「環境基本法」制定、基本理念に「循環」が謳われる。
- 1994(平成6)年：「環境基本計画」閣議決定。「健全な水循環系の構築」がキーワードとなる。これによって、「水循環」という用語が社会一般に普及し、また、地方自治体による条例制定等に基づく地下水保全施策を促進。
- 1994(平成6)年：日本地下水学会編『名水を科学する』発行

## 1995-2004

- 1995(平成7)年: 阪神・淡路大震災発生。この震災を契機に災害時用の井戸登録制度が全国の自治体において普及し始める。
- 1995(平成7)年: Yamamoto, S. 著『Volcano Body Spring in Japan』発行
- 1997(平成9)年: 「河川法」改正。流域を単位とした河川行政への転換。
- 1997(平成9)年: 環境省「地下水の水質汚濁に関する環境基準について」告示
- 1998年: USGSが『Ground Water and Surface water: A Single Resource』を発行
- 1998(平成10)年: 関係6省庁による「健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議」設置
- 1998(平成10)年: 環境庁水質保全局『健全な水循環の確保に関する懇談会報告』発行
- 1999(平成11)年: 中央環境審議会『意見具申』提出
- 1999(平成11)年: 日本地下水学会編『続名水を科学する』発行
- 2000(平成12)年頃～: 市町村条例において地下水を「共有資源」あるいは「公水」と位置づけるものが見られるようになる。
- 2000(平成12)年: 日本地下水学会編『地下水水質の基礎』発行
- 2001(平成13)年: 日本地下水学会編『雨水浸透・地下水涵養－21世紀の地下水管理－』発行
- 2002(平成14)年: 「土壌汚染対策法」公布
- 2004(平成16)年: 「水質汚濁法」一部改正、地下水に関する条項が入る。
- 2004年: 150年の時を経て「ダルシーの原典」の完全英訳版がBobeckによって発行される。

## 2005-2015(その1)

- 2005(平成17)年: 環境省環境管理局『地盤沈下監視ガイドライン』策定。平成16年度に実施された「三位一体改革」への対処。
- 2007(平成19)年: 「今後の地下水利用に関する懇談会」報告『健全な地下水の保全・利用に向けて』発行
- 2008年: 第63回国連総会において「The Law of Transboundary Aquifers (越境帯水層法典)」の草案が満場一致で採択。この草案の基本理念は、「地下水は“自然共有資源 (Natural Shared Resource)”」である。
- 2008(平成20)年: 富山で第36回「国際水文地質学会 (IAH) 会議」開催
- 2008(平成20)年: 同上国際会議に出席するためJ. Tóth 教授が来日。千葉大学、筑波大学等で講演を行う。
- 2009(平成21)年: 「日本地下水学会五十周年記念事業」実施
- 2009(平成21)年: 環境省「平成の名水百選」選定
- 2009(平成21)年: 日本地下水学会編『新・名水を科学する』発行
- 2009年: 2009年のノーベル経済学賞が「コモンズの保全管理」に関する研究業績によって、女性で初となるElinor Ostrom女史に授与される。
- 2009(平成21)年: 日本地下水学会・井田徹治著『見えない巨大水脈 地下水の科学』発行。本書は、海部宣男(2011)『世界を知る101冊－科学から何が見えるか』に取り上げられ、「...地下水が見えてきたことは、とにかく大きな進歩である。」と評される。
- 2009(平成21)年: 杉田倫明・田中 正編著『水文科学』発行。2010年度の水文・水資源学会「学術出版賞」を受賞する。

## 2005-2015(その2)

- 2010(平成22)年: 藤縄克之著『環境地下水学』発行
- 2010年: “ISARM 2010”がパリのUNESCO本部で開催。地下水問題の解決には「越境性」と「多分野学際性」の視点が重要であることを印象付ける。
- 2011(平成23)年: 3.11東日本大震災発生
- 2011(平成23)年: 「森林法の一部を改正する法律」が成立。「森林保有者等の届出制度」が創設される。
- 2011(平成23)年: エネルギー環境会議「エネルギー規制・制度改革アクションプラン」決定。「熱エネルギーの活用のための制度整備」が重点項目として掲げられる。
- 2011(平成23)年: 日本地下水学会編『地下水用語集』発行
- 2011年～2014年: GEF, World Bank, UNESCO-IHP, IAH, FAO による国際共同プロジェクト”Groundwater Governance: A Global Framework for Action”が実施される。「地下水管理」から「地下水ガバナンス」への移行。
- 2012(平成24)年: 環境省水・大気環境局『地中熱利用にあたってのガイドライン』発行。本ガイドラインの『改訂版』が平成27年3月に発行されている。
- 2012(平成24)年: 守田 優著『地下水は語る』発行
- 2013(平成25)年: 熊本地域11市町村からなる「広域地下水保全活動」が国連「生命の水 水管理部門」の「最優秀賞」を受賞。
- 2013年～2022年: ICSU, ISSC, UNESCO, UNEP, UNUによる国際協働研究イニシアティブである“Future Earth”を実施。地球の持続可能性を達成するための解決策を見出す。ステークホルダーを含む超学際性がキーワード。
- 2013年～2022年: “IAHS Scientific Decade 2013-2022”の主要テーマとして、“Panta Rhei - Everything Flows”を実施。絶え間なく変化する社会現象と水文現象の相互作用ならびに相互のフィードバック機構を明らかにする。

## 2005-2015(その3)

- 2014(平成26)年: 「水循環基本法」制定。地下水を含む循環する水は「国民共有の財産であり、公共性の高いもの」と定義。「水循環政策本部」の設置と「水循環基本計画」の策定を定める。
- 2014(平成26)年: 「雨水の利用の推進に関する法律」制定
- 2015(平成27)年: 「水循環基本計画」閣議決定。地下水に関係する事項として、「持続可能な地下水の保全と利用の推進」をキーワードとし、「地下水協議会の設置」、「地下水マネジメント」、「協働型システムとしての体制の整備」、「貯留・涵養機能の維持向上」、「大災害時における地下水等の利用の推進」、「地下水の利用、挙動、汚染等の実態把握(調査)」、「地下水流動の可視化」、「データの整備とその共有」、「教育」、「人材育成」等について記載されている。
- 2015(平成27)年: 水循環基本法フォローアップ委員会より「地下水保全法案」(「地下水の保全、涵養及び利用に関する法律案」)を水制度改革議員連盟に上申するも、2015年度の通常国会には上程されず。フォローアップ委員会は2015年9月に解散。
- 2015(平成27)年: 地下水技術協会「協会50周年記念行事」開催
- 2015(平成27)年: UNESCO-IHP主催の第9回「地盤沈下に関する国際シンポジウム」が名古屋で開催される。