

## 松山地域の地下水質について

○出口修一 安永章二\*2 井上 智 松原 洋\*3 浅井忠男 井上博雄  
廣方ゆり\*1 安林恵子\*1 宮崎貞守\*1 上田哲郎\*1 西尾 功\*1

### Water Quality of underground - waters in Matsuyama city

Shuichi DEGUCHI, Shoji YASUNAGA\*2, Satoshi INOUE, Hiroshi MATSUBARA\*3  
Tadao ASAI, Hiroo INOUE, Yuri HIROKATA\*1, Keiko HAYASHI\*1  
Sadamori MIYAZAKI\*1, Tetsurou UEDA\*1, Isao NISHIO\*1

#### Summary :

In order to evaluate the underground water quality in Matsuyama city the 456 samples were analyzed.

The achievement rates of drinking water quality standards were Fluoride:97%, Nitrate and Nitrite-Nitrogen:93.3%, Total-Colonies:95%, Odor and Taste:98.9%, Color:97%, Turbidity:93.5%, Coliform-Group:75%, pH, Sodium, Chloride, Consumed-KMnO4 and T-hardness:100%.

In north and coastal area, the water quality is affected by agriculture and geology or fertilizer by cultivation of oranges.

The concentrations of alkali and alkaline-earth metals was as follows Na  $18.68 \pm 13.99$ mg/l (8.50~193.9), K  $2.75 \pm 2.65$ mg/l (0.10~36.3), Ca  $29.02 \pm 8.38$ mg/l (7.70~70.00), Mg  $5.61 \pm 3.53$ mg/l (0.49~40.13), Sr  $0.141 \pm 0.056$ mg/l (0.030~0.340), Ba  $0.022 \pm 0.018$ mg/l (0.000~0.135).

**Keywords :** Underground-waters, Alkali metals, Alkali-earth metals

## I はじめに

松山地域は、東・南側に四国山脈、西に瀬戸内海と伊予灘、北は高縄山系に面している県中央部の洪積平野である松山平野に位置している。

その松山平野では、領家帯花崗岩を母岩とする高フッ素含有の温鉱泉が多数湧出し、農耕地域では、透水性のよい土壌を栽培地として柑橘栽培が盛んに行われている。

松山市の水道普及率は97%であるが、飲用井戸も一万件以上あり、現在でも、毎年恒常化している温水時の生活用水として貴重な水源となることからその水質の推移について常に注意を払っていくことが必要である。井戸水に関する水質規制については、国内では水道法で、水質基準項目(46項目)の基準値、快適水質項目(13項目)の目標値、監視項目(26項目)の指針値が制定されている。米国EPAでは、規制値等が存在していない飲料水中の汚染物質からの危険の可能性について危惧し、『健康に関する勧告集』により総合的な毒性等の情報を

提供している。

今回、松山地区の地下水について、細菌試験、理化学試験及びナトリウム外5項目のアルカリ、アルカリ土類金属の常在値について検討するため調査を実施したので概要を報告する。

## II 検体の採取・処理・測定

試料は、平成13年3月~4月芸予地震関連の影響調査のため搬入された456検体の地下水を常法により処理し、一般細菌数、大腸菌群、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、フッ素、塩素イオン、総硬度、有機物等、pH値、味、臭気、色度、濁度、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ストロンチウム、バリウムについて上水試験方法に基づき実施した。

測定機器は、色度及び濁度：日本電色工業製 Water Analyzer2000, pH：電気化学工業製 PHL-20, 陰イオン：ダイオネックス製 DX-120, 総硬度、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ストロンチウム、バリウム：Leeman Labs 製 DRE3000UD 型誘導結合プラズマ発光分光分析装置(以下 ICP と略)を用いた。

愛媛県立衛生環境研究所 松山市三番町8丁目234番地

\*1 松山市保健所

\*2 現 環境政策課 \*3 現 大洲保健所

表1 松山地域地下水の水質試験結果及び水質基準適合率

水質基準	一般細菌数	大腸菌群	窒素	フッ素	ナトリウム	塩素イオン	硬度	有機物等	pH値	味・臭気	色度	濁度
件数	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	456	457
平均値	—	—	4.2	0.21	18.7	17.7	95.5	0.9	6.5	—	0.7	0.5
標準偏差	—	—	4.0	0.23	14.0	7.6	31.2	0.6	0.3	—	2.5	1.8
最小値	0	—	0.0	0.03	8.5	6.1	29.9	0.0	5.8	—	0	0.0
最大値	301以上	—	28.3	2.42	193.9	94.3	241.9	4.8	7.4	—	30	20.0
中央値	—	—	3.0	0.16	15.7	17.1	94.4	0.8	6.5	—	0.0	0.0
適合件数	432	344	426	444	456	456	456	456	456	451	441	426
不適合件数	24	112	30	12	0	0	0	0	0	5	15	30
適合率	94.7%	75.4%	93.4%	97.4%	100%	100%	100%	100%	100%	98.9%	96.7%	93.4%
水道法	100以下	検出されないこと	10mg/l以下	0.8mg/l以下	200mg/l以下	200mg/l以下	300mg/l以下	10mg/l以下	5.8～8.6	異常でないこと	5度以下	2度以下
WHO	—	検出しないこと	※1	1.5mg/l	200mg/l	250mg/l	—	—	—	—	15TCU	5NTU
USEPA	—	検出しないこと	※2	4.0mg/l	—	250mg/l	—	—	6.5～8.5	臭気強度3TON	15TCU	※3

窒素とは、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素をさす。 1) 硝酸：50mg/l 亜硝酸：3mg/l  
 ※2) 硝酸性窒素：10mg/l 亜硝酸性窒素：1mg/l 合計で10mg/l ※3) 月間：1 NTU 2日連続：5 NTU

表2 松山地域地下水のアルカリ及びアルカリ土類金属濃度

地域名	件数	pH値	Na	K	Ca	Mg	Sr	Ba
平均値	456	6.48	18.68	2.75	29.02	5.61	0.141	0.022
標準偏差		0.28	13.99	2.65	8.38	3.53	0.056	0.018
最小値		5.6	8.50	0.10	7.70	0.49	0.030	0.000
最大値		8.5	193.9	36.3	70.00	40.13	0.340	0.135
中央値		6.50	15.73	2.16	29.40	4.77	0.128	0.017

(単位：mg/l)

### III 測定結果及び考察

分析した地下水(456件)についての飲料水水質基準適応状況を調べるための細菌試験および理化学試験結果を表1, アルカリ及びアルカリ土類金属の試験結果を表2に示す。

#### 1. 飲料水水質基準の項目別適合率について

飲料水水質基準適合率は、図1に示すとおり、濁度と硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素が93.4%、色度96.7%、フッ素97.4%、臭味98.9%であったがナトリウム、塩素イオン、総硬度、過マンガン酸カリウム消費量及びpH値は全て100%であった。

特に、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素については、1982年環境省による全国の浅井戸1083件の実態調査では11%の超過率の報告があり、また、稲垣らは、仙台市内の井戸水は、5.6%との報告をしており、全国の実態調査の結果に比べると低い超過率を示し、仙台市とは同様な結果であった。

しかし、細菌試験では、大腸菌群陽性率が24.6%、一般細菌数超過率は5.3%であった。稲垣らの報告(34.7%、9.6%)と比べて、適合率が高い結果であった。このこと

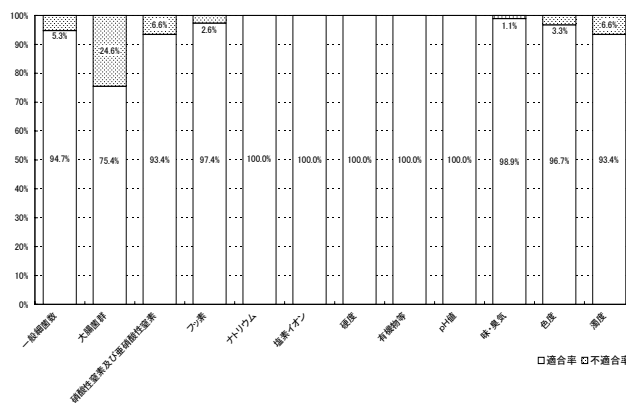


図1 飲料水水質基準適合率

は、平成4年の大濁水以後、上水道の普及と地下水に対する適正な滅菌処理等対策がなされたものと推察される。

なお、ナトリウム、塩素イオン、総硬度、過マンガン酸カリウム消費量、pH値では超過するものはなかった。

#### 2. 超過項目の重複について

今回調査した検体のうち161件が水質基準不適合であり、複数の項目で基準値を超過している場合が多くみられた。

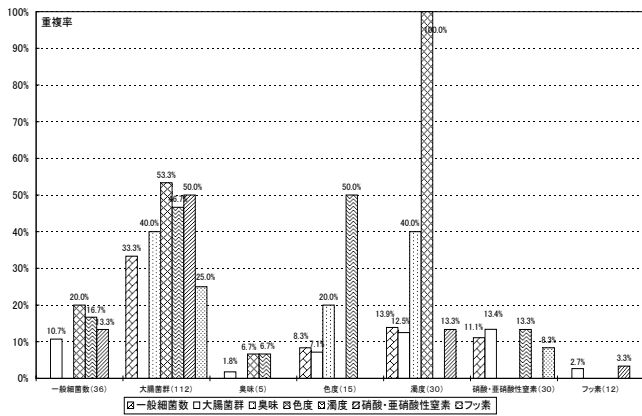


図2 飲料水水質基準値超過項目重複率

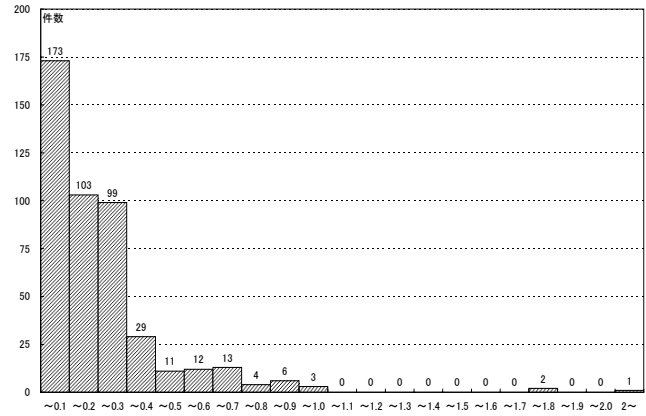


図3 フッ素濃度分布

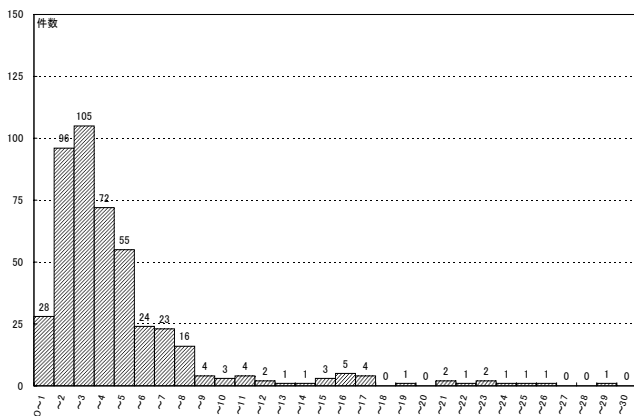


図4 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素濃度分布

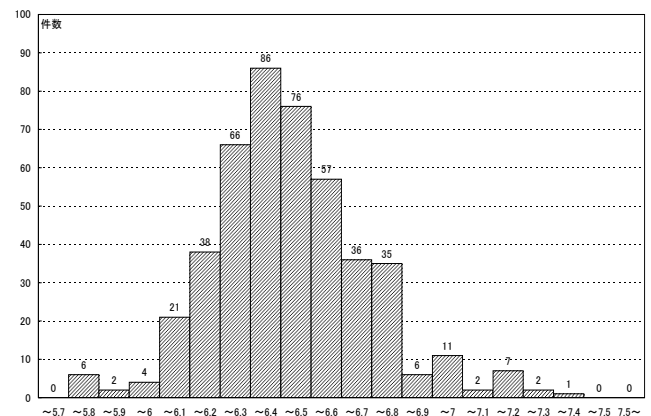


図5 pH値分布

なお、超過項目の重複率を図2に示す。

### 3. フッ素

フッ素は、自然界に広く分布しているフッ化カルシウムを主成分とする蛍石に含まれ、水中のフッ素イオンは、主としてこれら地質に由来するといわれている。

フッ素の健康影響については、いくつかの動物にとって必須元素であり、比較的少量の摂取によって繁殖力や成長力を向上させるが、高濃度では急性毒性を示し、人の場合、出血性胃炎、急性腎炎、肝臓、心筋の損傷を起こすといわれている。

また、飲料水としての衛生学的特徴として、斑状歯の発生とむし歯予防の効果がある。斑状歯とは、フッ素による歯冠部の白濁を主とする発育不全症であり、正しくは慢性歯牙フッ素中毒症と称し、歯の表面に不規則に白亜状の斑点ができ、次いで黄色又は褐色の斑点ができる。進行すると琺瑯質が欠如して穴が空き、歯の表面が侵食された状態となり、特定の地域に集団的に発生する。

水中のフッ素濃度と斑状歯発生の因果関係が明らかとなり、斑状歯の発生率は、1 mg/L のとき約 15%、3 mg/L になると 95% 発生するといわれている。

一方、適度のフッ素は、むし歯予防の効果が認められ、フッ素と歯を接触させると酸性条件下でのエナメル質の溶解性を減少させることによるものと考えられている。

今回の結果では、図3に示すとおり、平均値 0.21 mg/L (0.03 ~ 2.42) であり、基準値を超過したものは、12 検体であった。松山地域の地下水濃度の平均値は、0.37 mg/L と報告している武智らの結果と比較すると平均値、濃度範囲ともに低い傾向に見られた。これは、水質検査からの指導に基づき高フッ素濃度の地下水の飲用を避けること及び上水道給水区域の拡大により、以前使用していた地下水を使用しなくなったことなどが低濃度化の原因の一つとして考えられる。

しかし、一部の地下水では、高い濃度レベルを示したが、これは高フッ素濃度を含有している松山北部・中央部に存在する温鉱泉の影響を強く受けていることが示唆されていた。

### 4. 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の水中への由来は、主に無機肥料、腐敗した動植物、生活排水といわれているが、今回の結果は、図4に示すとおり、平均値 4.3 mg/L (0.0 ~ 28.3) で、先の武智らの報告と同様であった。なお、高濃度のもは、松山北部、海岸部、島嶼部の柑橘等果樹栽培を行っている農耕地の地下水に多くみられ、30 件が基準値を超過していた。なお、亜硝酸性窒素については、WHO のガイドライン値である 0.3 mg/L を超過するものが 31 件あった。なお、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素

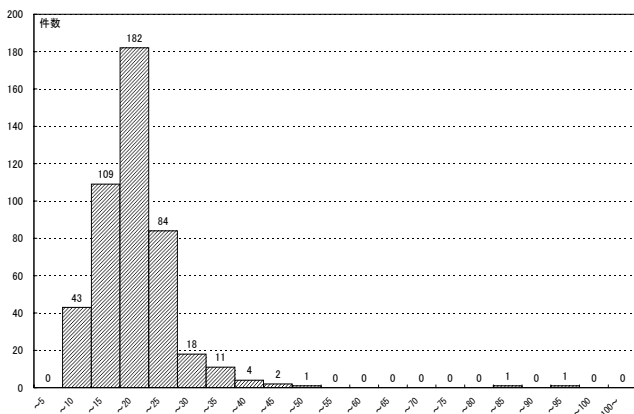


図6 塩素イオン濃度分布

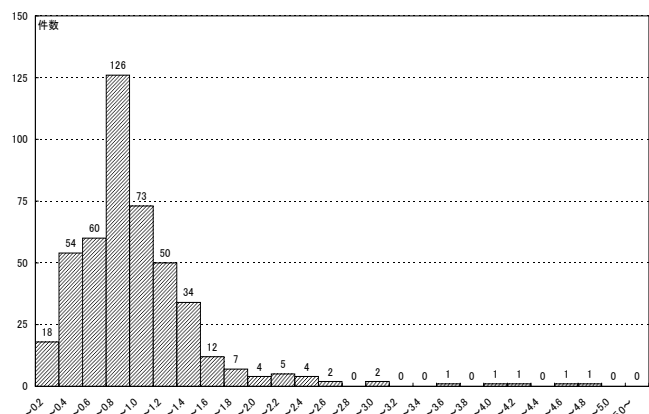


図7 過マンガン酸カリウム消費量分布

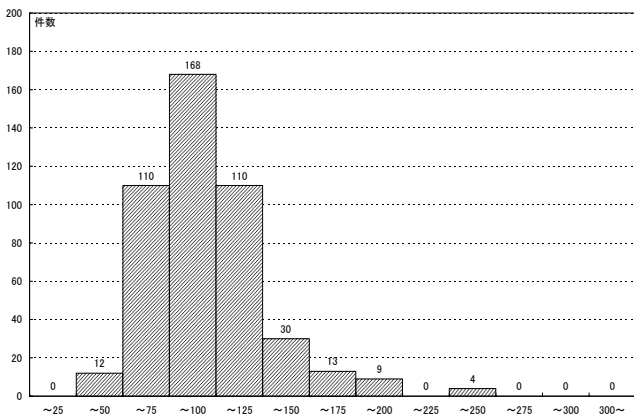


図8 総硬度濃度分布

各々で超過したものが27件もみられ、硝酸性窒素で超過したものと亜硝酸性窒素で超過したものの2つの集団があり、この要因について、今後、十分な検討が必要と考えられる。

### 5. pH値

今回調査した地下水のヒストグラムは図5に示すとおりであるが92%のものが地下水の特性を示す6.0～6.9の間に分布していた。

### 6. 味・臭気・色度・濁度

地下水の基礎的な性状を示す味・臭気の飲料水水質適合率が98.9%と殆どのものが適合していた。

しかし、色度、濁度については、各々97%、93.5%と弱干低い適合率であった。これは、地震の影響又は一部の特異的な異常現象によるものと思われる、今後、亜硝酸性窒素の挙動同様に継続的な調査による解明が必要があると考えられる。

### 7. 塩素イオン

塩素イオンは、図6に示すとおり平均値17.7mg/L(6.1～94.3)であり、そのうち82%のものが10.0～25.0mg/Lの範囲にあり、地域的には、島嶼部、海岸部が顕著であった。これは、主に海からの影響と思われるが、水質基準上問題となる濃度ではなかった。なお、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素と同様な挙動であるが相関はなかった。

### 8. 過マンガン酸カリウム消費量

過マンガン酸カリウム消費量は、図7に示すとおり平均値が0.9mg/L(0.0～4.8)であり、全て飲料水水質基準値の1/2以下であったが、快適項目の目標値3.0mg/Lを超過するものが5検体あった。

### 9. 総硬度

総硬度は、図8に示すとおり平均値が95.5mg/L(29.9～241.9)であり、約8割のものが100mg/L以下であった。高濃度なものは、松山北部、島嶼部、海岸部が顕著で、北部の高フッ素一食塩泉を湧出している2地区が特に高い値を示したが、水質基準上問題となる濃度ではなかった。

### 10. ナトリウム

生体に必須元素であるナトリウムは、成人で一日必要量約500mgと考えられ、高濃度のナトリウム塩の摂取は、高血圧症や鬱血性心疾患と相関が強いといわれている。環境中では、海水や雨水のほか、全ての淡水中に存在し、工場排水、生活排水等の混入により、濃度が増加し、一般的には地下水のほうが地表水に比べて濃度が高い。

なお、日本では、WHOの勧告値と同様に基準値を、200mg/Lと定められている。

今回の平均値は、18.7mg/L(8.5～193.9)であり、最大値193.9mg/Lは、WHOの勧告値200mg/Lは下回っていたが、ECの基準値175mg/Lを超過していた。

### 11. カリウム

人にとって必須元素であるカリウムは、日本やWHOでは基準値を設定していないがECやフランスで最大許容濃度として12mg/Lが定められている。

環境中では、ケイ酸塩の風化によって生じるカリウムイオンは、土壌中のコロイド状物質に吸着されるので自然水中に流失することは少ないといわれている。

平均値は2.75mg/L(0.09～36.34)で、EC、フランスの最大許容濃度12mg/Lを上回るものは、5件あった。

### 12. カルシウム

カルシウムは、生体にとって必須の元素で、骨、歯の主成分であり、更に血液凝固、筋収縮、神経伝達、内・外分泌にも不可欠であるとともに、飲料水では味に関与しているといわれている。

日本では、単独項目としての水質基準は設定されてい

ないが、総硬度としてマグネシウムとの炭酸塩の合計量で設定されている。

平均値は 29.0mg/L (7.7～70.0) であり、EC やフランスが定めている指針値 100mg/L を上回るものはなかった。

#### 13. マグネシウム

マグネシウムは、生体にとって必須元素であり、欠乏により神経系、心臓及び腎臓に障害が起り、慢性アルコール中毒、栄養失調等で長期の欠乏状態が続くと神経、筋の刺激性亢進等のテタニー症状が見られる。

また、多くの補酵素の補助因子で、これらの機能は、リン酸塩と関連しているといわれている。

平均値は、5.73mg/L (0.49～68.55) であり、EC の最大許容濃度 50mg/L を上回るものは 1 件あった。

#### 14. ストロニウム

水道水中のストロニウムの報告例は少なく、その報告値の変動も大きい。

今回の平均値は、0.141mg/L (0.030～.0447) であった。

#### 15. バリウム

人への急性毒性は、可溶性のバリウム塩を多量に摂取した場合発現し、動脈血管筋を刺激して強い血管収縮、横紋筋や平滑筋肉への激しい刺激による蠕動、中枢神経への刺激による痙攣と麻痺を起こすと報告されている。塩化バリウムとして摂取した場合その致死量は、550～600mg であり、急性毒性症状の閾値は 125mg という報告がある。

また、疫学的研究では、飲料水中のバリウム濃度と心臓血管の疾患による死亡率との関連性が示され、環境中では、地殻に 425ppm 存在し、自然水で、海水 0.02mg/L、淡水 0.01mg/L と報告されている。

バリウム化合物は、多くの場所で使用されているが、飲料水の汚染は一般に自然由来であり、工場排水によるものではないと報告している。

今回調査した地下水のバリウム濃度の平均値は、0.022mg/L (0.0004～0.135) であった。

## IV まとめ

今回調査した、松山地域の地下水 456 件の水質試験結果、水質基準適合率は、フッ素：97%、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素：93.3%、一般細菌数：95%、臭味：98.9%、色度：97%、濁度：93.5%、塩素イオン及び総硬度：100% であったが、大腸菌群の適合率は、75% であった。

従って、特に大腸菌群の適合率が低いことから、今後、飲料水として地下水を使用する場合、滅菌処理の方法について十分留意する必要があると考えられる。

松山北部、海岸部の地域で顕著に自然環境の影響を受けていると考えられる地下水がみられたことから、この地域における上水道への切り替えや、肥料からの影響を最小限にするため適正な施肥方法の検討が必要と考えられる。

各成分の濃度は、他の地域に比較して高値を示しているものはないが、今後衛生的見地及び環境保全の立場から継続的な地下水質調査の必要性が示唆されていると思われる。

アルカリ及びアルカリ土類金属濃度は、地質的な影響を受け、地域により濃度差がみられ、一部において水道水水質基準値や諸外国の水質基準値、指針値、勧告値を超過するものがあったので地下水の利用にあたっては、目的により選択しなければならないことがわかった。

## V 参考文献

- 1) 日本水道協会編：上水試験方法解説編，(1993)
- 2) 武智等：愛媛衛研年報，37，27-31，(1976)
- 3) 武智等：愛媛衛研年報，38，21-24，(1977)
- 4) 武智等：愛媛衛研年報，39，37-42，(1978)
- 5) 米国環境保護庁編水質問題研究会訳：飲料水中の各種化学物質の健康影響評価，(1988)，丸善
- 6) 山形登著：微量元素，(1977)，産業図書
- 7) 出口修一：四国公衆衛生学会雑誌 39，165，(1994)
- 8) 日本化学会訳編：環境と疾病，(1974)，丸善
- 9) 日本化学会訳編：微量元素，(1975)，丸善
- 10) 稲垣等：仙台市衛研所報，29，89～95 (2001)
- 11) 真柄泰基著：水道水質ハンドブック，(1994)，日本水道新聞社