

水の高度利用と高度浄化に関する一提案

山口大学工学部

○中西 弘
浮田 正夫

1. まえがき

都市用水や生活用水は、飲料水の水質基準に合格した上水道によって供給され、使用後の排水は下水道によって処分するという、いわゆる典型的な上水道および下水道システムが世界的に定着し、現在の上下水道の技術はこうして定式化された概念の上に発達してきた。しかしながら、わが国における水資源の不足、都市水需要の増加、水源水質の悪化、放流河海の水質汚濁などが深刻になるにつれて、従来の1過式直列型の上下水道システムだけでは対応は困難になり、さまざまなタイプの高度利用の考え方が提案されるに至った。

われわれも以前から水の高度利用に強い関心を持っており、用途別給水計画の名のもとに末石らと研究を進めてきた。また、昨年度は同じような考えを持つNorth Carolina大学のProf. Okunを訪れた。しかし米国においていわゆる2元給水なるものはあまり歓迎されないらしく、その後の研究はほとんど進展していないようである。むしろこの種の問題はわが国において活発に論議されており、中水道計画にみられるように、実用化も一歩先んじるのではないかと思われる。すでに筆者の考えの一部は水道研究発表など^{ある場}で口頭報告したが、まとまったものがないので、これまでの整理と今後の展開を指向する意味で、このシンポジウムに参加させていただきたいと思う。

2. 水の高度利用と高度浄化のパターン

水環境の悪化に対応して、これまでに提唱されてきた高度利用、高度浄化のパターンをまとめるとつぎのようになる。

A 上水道系

1. 従来型〔需要追従型、1過式、1元給水、飲料水の水質基準〕の延長

- ① 良質新規水源の開発： 原水費（取水費、輸送費）の増大、水源自体の枯渇
- ② 水源環境の保全： 水源の保護、乱開発禁止、水質規制の強化、下水道の整備など
- ③ 汚濁水源の利用： 浄水費の増大、高度の水質変換技術の開発

2. 需要抑制型 生命レベル、健康レベル、生活レベル、環境レベル、理想レベルなど¹⁰⁾

3. 循環再利用型

- ① 完全循環再利用型： 単数の同一水質レベル、水質変換装置

- ② カスケード型再利用： 用途別給水型 4. - a - を参照

4. 用途別給水型

- ① 単管式 ① 時間式： 時間による用途変化、水質の時間的変化 ② 直前水質変換型： 瞬間湯沸器、給水栓浄水器、蒸溜器の設置など、多数の水質変換器が必要 ③ カスケード型再利用： 風呂→手洗い→水洗便所用水など、水質変換装置なし
- ② 複管式 飲料水と雑用水系、超飲料水と準飲料水など
- ③ 多管式 純飲料系、準飲料系、雑用水系など
- ④ 運搬式 ミネラルウォーターの配達など容器輸送
- ⑤ 循環再利用型 ① 完全循環再利用型： 複数の同一水質レベルの再循環 ② カスケード型： 水質変換装置をとらう。

5. 海水の淡水化 無尽蔵の水源、浄水費の増大、高度の水質変換技術の利用

B 工業用水系

1. 新規良質水源の開発 原水費の増大、水源自体の枯渇
2. 工場内循環再利用 現状において淡水の回収率5/7% (昭和45年度工業統計表) 完全循環クロ-ズド系への転換、海水の循環使用など
3. 節水型製造装置への転換 空冷式熱交換器の採用など
4. 工場排水ならびに下水の広域的再利用

C 下水道系

1. 従来型の対応策

①下水道の整備 ②合流式下水道の分流式への転換 ③雨水の処理 ④下水のオゾン処理

2. 新しい対応策

①用途別排水型；再利用へのアプローチ、処理の高効率化、排水管費の増大

①複管式；高濃度下水と低濃度下水との分離など

②多管式；調理排水、洗たく排水、水洗便所排水などの分離

②排出抑制型

①節水型；排水量を少なくする。

②汚濁物排出制限型；洗剤の使用制限、非リン系ビルダーの使用、デイスポーターの使用禁止など

③非下水道系処理

①貯留式；汲み取りし尿とし尿処理施設の例、容器保管集収(いみ集収と同様)など

②かんがい処理；たの地貯留など

したがって、対応策として上記各方法の種々の組み合わせが存在するが、いずれの方法が最良であるかという事は、画一的なものではなく、むしろその地域の水需要と供給状態の特性に応じ決められるべき性格のものであろう。ただし一般的傾向としてつぎのことがいえる。上水道系においては、従来型の延長に加えて、水需要の抑制、適正化利用と中水道構想にみられるように下水処理水を水洗便所用水や洗車用水として再使用することが具体化しつつある。一方、工業用水系については、新規水源の取得は非常に困難であり、排水処理対策上の問題もあって、工場内の徹底した水の合理化が計られるであろう。現状における工業用水の使用にはかなりの余裕があり、合理化によって相当な余力が生じる見込みである。また、下水道系では、分流式による下水道の整備が進行中であるが、雨水による水質汚濁の問題、汚濁物をさげるだけ下水道に入れたいための施策、あるいはオゾン処理などが具体的に考えられつつある。

ところでこれらのさまざまな対応策に加えて、オゾン章以下で筆者らの考えを述べ、対応策の一つとして御検討いただきたい。

3 高度利用モデル—超高級飲料水の供給と準上水の循環再利用—

3.1 基本的な考え方

①飲料水の水質向上 上水道が飲料水を供給するという大前提に立ってこれまでの上水道が構成されてきた。この前提に立てば、時代の進歩と共によりよい水を提供することが要求される。しかるに現実には、水源汚濁の進行により、飲料水の最低基準を争うことすら危ぶまれており、この際原点に戻ってよりよい飲料水を供給することを考えねばならない。とくに健康によい水、長命の水といった良質の水を通じて寿命が伸びるならば、その効用は測りしれないものがある。とくに現実の形として、需要者には飲料水選択の自由がなく、水道水を強制的に飲まされている状態において、この影響を強く認識しておかねばならない。

②飲料水とその他の用水との分離 すぐにいわれているように、新規水需要の伸びの大部分は水洗便所用水や冷却用水、あるいは洗車用水や散水などのいわゆる飲料以外の用水である。これらの用水の増加に対応す

る供給水は、飲料水でなければならぬ理由はない。しかしながら極端に水質を落してもよいという理由はなく、可能な限り良質の水であることが望ましい。

③ 循環再利用 水の高度利用においては循環再利用が必要となってくるが、この計画においてもこの考えを最大限に取り入れることにする。ただし、自浄作用を考慮して広域循環方式とする。

④ 自浄作用の利用 ため池モデルの美例に示されているように、下水道の建設により、汚水の流出率が増加し、自浄作用を十分に利用する機会が失われる欠点がある。この欠点を是正するため、広域下水道計画あるいは流域下水道計画に修正を加える必要がある。このモデルでは特にこの点を考え、自浄作用を最大に利用することにした。

3.2 高度利用モデル

図1に示すようにこのモデルにおいては、高級上水道と準上水道の2系列を考え、高級上水道には現在の飲料水水質基準より厳しい理想飲料水の基準を設定する。水源としては、汚染のないダム、貯水池、湖沼、地下水などが考えられるが、現在の下水道施設の大部分は浄水場の機能を強化するだけで高級上水道に転用できる見込みである。もちろん、水量が十分なときには準上水道を建設する必要はなく、高級上水道のみとなる。

一方、既存の上水道の水質汚濁が著しく、上水道としての限界にきているところでは(B市とす)、これを思い切って全量準上水道に転用するか、一部を高級処理して高級上水道の水源にあてるかを考える必要がある。全量準上水道に転用する場合には、新たに高級上水道の水源を他に求める必要があるが、良質な水源を持つ隣接都市(A市とす)と一体となって、A市から高級上水を、B市から準上水を供給するという広域水道計画を考えることも可能である。なお、同一水源から2系統上水を供給する場合には、配管経費を節減する意味で、高級上水の浄水場を需要地に近づけることも検討しておかねばならない。

下水道に関しては、処理後の自浄作用を最大限に生かすため、下水処理場はできるだけ都市に近接した位置に設ける。とくに準上水道の水源として下水処理水を再利用する場合には、直接に処理水を取水するのではなく、処理水をため池や水路を通し、場合によっては地下浸透させ、河川に放流した後、あらためて取水するという考えである。したがってこの場合には広域下水道計画のように集約された処理施設がなく、分散型の下水処理場となる。処理方式は二次処理とリンの除去のための化学処理に比し、より二次処理は原則として考えていない。その分については自浄作用に期待を寄せている。なお、汚泥処理に関しては、集約的にやる方が有利なようである。

高級上水道による水需要がまかなえない場合においては、不足分を準上水道によって補うことになるが、水源としては上述のように自浄作用を受けた下水二次処理水を含む河川水である。この場合、原水の水質は下水処理水よりも遙かに上質であり、これを凝集沈殿、急速ろ過(場合によっては活性炭ろ過)塩素滅菌の通常の浄水処理を考えているので、飲料水としての安全性を完璧に保証できなにしても、現在の上水道の水質にほぼ近いものと考えてよい。したがって、飲料、調理以外の用途には十分利用できる水質を目標としている。たとえ、これを誤

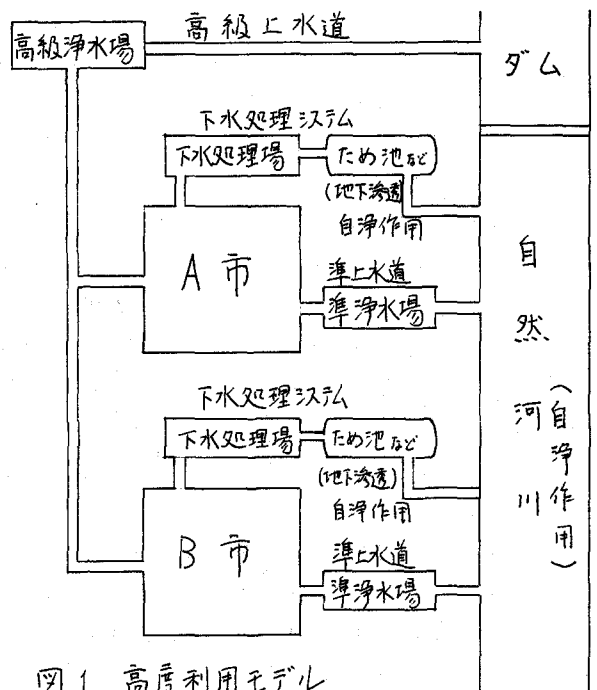


図1 高度利用モデル

って少量飲用しても大した危険性はないと考えられる。準上水道の供給先は、各家庭が対象となるが、配管経費の経済性から考えて、飲料水以外の用途に大口に上水が使用されている事業所や学校などから先ずは重点的に供給することがやはり得策であろう。

4 基礎資料

高度利用モデルの設定にあたって必要な基礎資料は、高級上水の水質基準、浄化方法と費用、用途別水需要量分析、複数配管経費、自浄能力などの評価であるが、現在、われわれの集めた資料をまとめるとつぎのようになる。

4.1 高級上水の水質基準

高級上水の水質は、清澄であり、健康によい水、おいしい水といった理想水質を目標にしているが、おいしい水は必ずしも健康によい水と100パーセント一致するわけではなく、これを定量的に規定することは現段階ではまだ無理である。また、それはすべての地域で一律に定まるものでもないかも知れない。健康を支配するさまざまな因子のうち、水の影響だけを抜き出すことは困難であり、ある病気に対して有効な水質は他の病気に対しては悪いということもありうる。このように種々の問題はあがるが、一応表Iに高級上水の水質基準案を示した。(文献¹³⁾参照)

表Iの高級上水の水質基準案はAWWAの水質ゴール¹³⁾よりさらにきびしいものになっているが、わが国の自然水は世界第一級であり、汚濁河川でない限り、この基準に適合させるのはそれほど困難ではないと思われる。この基準案では、疫学的なデータから健康によいとみられる無機成分のバランスを考慮しているが、今後さらに疫学調査、動物実験など科学的な検討を経て、健康によい最善の水質パターンが追求されるべきである。

4.2 準上水の水質基準

準上水の水質基準は、現行の飲料水の水質基準に準じるが飲料水として使用しないので、この基準に合格しなくてもそう神経質になる必要はない。したがって、浄水操作において十分な安全率を見込む必要はないので、同一規模の浄水場においても大巾な浄水量アップができる見通しである。なお、浴用や洗たく、手洗いなどの用途が対象となるので、清澄度が問題となり、濁度2度、色度5度の基準は守るべきである。

4.3 用途別水需要分析

このモデル計画の基礎となる用途別の水需要分析については、すでに各方面で調査が進められているが、準上水道の水質を手洗、洗たく、浴用にまでレベルアップすることにより、最小限高級上水道でまかなわれなければならない用途は調理などの台所用水にまで圧縮することができ、その水量は全上水使用量の1/10程度となる。すなわち高級上水道の水量は水源事情により全上水使用量の100~10%、準上水道の水量は残り90~50%と見積る

表I 高級上水の水質基準

	高級上水	AWWA水質ゴール ¹³⁾
水温 °C	10~15	—
臭	なし	なし
味	異常なし	異常なし
色 度	0.5	3度 (unit)
濁 度	0.1	0.1度 (unit)
pH	7.0~8.0	—
浮遊物質 ppm	0	0
蒸発残渣物 ppm	120	200
硬 度 ppm	60	80
SO ₄ /Ca 比	0.4	—
Mg/Ca 比	0.5	—
Ca/K 比	1.5	—
SiO ₂ ppm	20	—
Cl	30	250
NO ₃ -N "	5	45
NH ₃ -N "	0.1	—
NO ₂ -N "	0.00	—
Al ppm	0.05	0.05
Fe "	0.02	0.05
Mn "	0.01	0.01
Cu "	0.1	0.2
Pb "	0.03	0.05
Cd "	0.01	0.01
Cr "	0.02	0.05
Hg "	0.005	—
F "	0.4~0.8	0.6~1.2
Ba "	0.1	1
Se "	0.01	0.01
Ag "	0.001	0.05
As "	0.02	0.05
CN "	0.00	0.01
有機リン	0.00	—
β放射能	10 PC/l	100 PC/l
KMnO ₄ 消費量 ppm	2.5 ppm	—
7c-11 類 "	0.001	—
C A E "	0.05	0.10
C C E "	0.02	0.04
M B A "	0.10	0.20
大腸菌群	0	0
一般細菌数	0	0

ことにする。

4.4 配管経費

給水を2元化すれば当然配管経費がかさむ。この点に關し筆者らの調査では、昭和42年度の水道原価分析ならびに配管年設費の計算結果から、水量比1:5において、新しく2系統の配水管を設置するところでは25%、新たに1系統配水管を追加するところでは50%の給配水原価の増加となった。¹⁴⁾

また、東京都の昭和47年度の調査では、新宿副都心地区の超高層ビルの2元配管費の試験結果、水量比4:5:6:5において給配水原価は1.47倍であり、白鷺東地区の試算結果では、水量比1:4で2元給水による給配水管費の増加は26%であった。¹⁵⁾

米国の例では、水量比1:4において、人口336人のモデル住宅で給配水施設費の増加は24%、人口12万のRaleigh市での試算で2%となっている。¹⁶⁾

このように最初から2元給水と計画する場合には、給配水費の増加は25%であることは内外の試算結果の一致するところであり、既に1元給水が行なわれているところに新たに1系統加える場合には50%程度の増加となる。なお、参考までに筆者らのアンケート調査によると、全国水道の原水・浄水原価に対する給・配水原価の比は23~450:100、平均114:100であった。¹⁵⁾

4.5 自浄作用

下水二次処理水を対象とした自浄作用については、正直に言ってまだ定量的な評価はできていない。しかしながら、処理水を河川に戻すまでに、ため池・貯留、地下貯留、あるいは水路延長を長くすること、さうにかんがい用水として利用することなどにより、水の柔のみならず土の柔の自浄作用を有効に利用すれば、かなりの自浄力は期待できるはずである。とくに土の柔では、土壌表層部には多数の好気性微生物が存在し、旺盛な有機物分解能力を有しているのど、土壌の吸着能力とともに、その効力を十分利用できるよう

表3 配水管布設単価

昭和42年 30都府 (アンケート調査による)¹⁵⁾

管 径 mm	鉄管管設単価 円/m (1%)	路面復旧費を含んだ鉄管管布設単価 円/m (%)			
		砂利土	アスファルト舗装	簡易舗装	コンクリート舗装
75	3,671	2,937 (107)	6,688 (183)	4,818 (131)	7,625 (208)
100	4,324	4,645 (107)	7,429 (172)	5,904 (136)	8,288 (191)
150	5,258	5,689 (108)	8,912 (166)	6,747 (126)	9,218 (172)
200	7,012	7,383 (105)	11,126 (159)	8,314 (119)	12,757 (182)
250	8,472	8,521 (101)	12,705 (150)	10,560 (125)	14,707 (178)
300	10,217	10,631 (104)	15,246 (149)	12,862 (126)	16,865 (165)
350	12,626	12,108 (104)	18,330 (145)	13,998 (111)	19,501 (154)
400	14,261	14,728 (103)	21,348 (150)	17,023 (119)	22,000 (155)
450	16,142	16,676 (103)	22,782 (141)	19,150 (119)	23,962 (148)
500	20,063	20,604 (103)	27,272 (136)	22,919 (118)	28,226 (141)
600	27,514	28,112 (102)	36,112 (131)	30,960 (112)	39,956 (145)
700	26,641	27,350 (102)	36,455 (137)	27,795 (104)	38,950 (150)
800	34,250	35,189 (103)	44,700 (131)		48,392 (141)
900	42,925	44,829 (104)	55,829 (127)	50,425 (115)	58,861 (138)
1000	48,293	49,411 (102)	62,022 (128)	55,768 (115)	67,576 (140)
1100	58,571	59,621 (102)	73,069 (125)	66,241 (112)	77,457 (132)
1200	69,140	69,902 (101)	87,662 (127)		92,219 (135)
1350	82,805	83,613 (101)	84,922 (102)		109,709 (132)
1500	92,661	93,567 (101)	116,206 (126)		129,772 (140)
範囲 (%)		(101 ~ 107)	(103 ~ 182)	(104 ~ 126)	(123 ~ 208)
平均 (%)		(102)	(127)	(119)	(140)

配慮することが必要である。

() は鉄管管設単価を100%としたときの比率 (%)

このように下水処理水を直接河川に放流させることなく、長い貯留時間を保つことは、地面蒸発や滲透などによる水量損失を増大させる危険はあるが、他方、農業用水や雨水などの他の水と混合する割合が増えるので、水質的にはかなりましくされる結果となる。この場合の水量損失は長期的にみれば蒸発損失のみとなる。

表2 脳卒中およびがん死亡率の地域差と土質ならびに水質 (野村)

地 質	火 成 岩		水 成 岩	
	火 成 岩		水 成 岩	
脳卒中	高		低	
胃がん	高		低	
PH	酸性		中性	
Mg/Ca	大		中	
Ca-Na	小		中	

5 むすび

水の高度利用に関する一提案を行なった。このモデルの特長は飲料水の水质と理想飲料水の基準まで1段階レベルアップすることと、水需要増にともなう新規良度水源の取得難に対処する下水の再生利用、あるいは河川・中下流域の水质を上水水质としての価値を失わさないために当然考えられている下水の第3次処理と、自浄作用と有効に利用することにより代換えしようとするところにある。なお、第3次処理の見通しは必ずしも明るくはないといわれている。¹⁴⁾ もちろんこのモデルでは高級上水の水源として河川上流部や地下水源を想定しているので、中下流域の水源は飲料水源としての重要性は薄らぐだろう。自浄作用の利用を重視するので、再利用は当然広域循環型となり、再生水の水质も下水を直接浄化したものより向上する見込みである。このモデルでは現行の飲料水の水质に近い準上水を考えている。複数配管による給配水量の増大はそれほど大きくならず、水事情がきびしくなるにつれて、それは決定的な要素ではない。

現実において、すでに高級上水の資格を有しているもの、あるいは少しの改良で高級上水道に変換できるものもあると思われるので、当面の課題として上水道を高級上水道と現行の上水道とに分類することを考えて行きたい。高級上水道に入っていない上水道は高級上水道に昇格することを検討すべきである。一方、下水道においては、少なくとも広域下水道政策は再検討すべきであると思う。

以上、高度利用に関する筆者の考え方を述べたが、裏付けとなる資料を蓄積することによって、今後その方向を一層明確にして行きたい。本研究に関し種々の指示唆ならびに協力を得た京都大学工学部ならびに当山口大学土木工学科の学生諸君に深く感謝致します。

参考文献

1. 藤野良幸: “近畿の水資源と水経済” 宅地開発 No.17 pp.11~15 昭45.1
2. 小林康彦: “中水道構想の登場” 水 No.12 2月号 pp.27~31 (1970)
3. 丹保憲仁: “水道計画と水质変換” 水道協会雑誌 424号 pp.38~46 昭45.1
4. 末石富太郎: “用途別給水計画の研究” 水道協会雑誌 436号 pp.55~73 昭46.1
5. 東京都首都整備局、環境科学研究会: “水の循環利用適合性予備調査報告書” 昭48.3
6. 東京都首都整備局、東京都水道局: “水の循環利用実用化調査報告書” 昭48.3
7. Okun Daniel A: “Alternatives in Water Supply” JAWWA Vol.61 No.5 pp.215~224 (1969)
8. 末石富太郎 中西 弘: “用途別給水計画の研究Ⅱ—水质を中心とした問題—” 第19回水道研究発表会講演集 昭43.5
9. 中西 弘 伊藤健二: “水源汚濁と用途別給水計画—配管経費よりみた可能性の検討—” 第20回水道研究発表会講演集 昭44.5
10. 山田 淳: “上水需要の実態調査と抑制策” 第24回水道研究発表会講演集 昭48.5
11. 環境文化研究所: 末石“ため池モデル” 環境容量計量化調査研究報告書 pp.61~65 昭48.3
12. Tayler F.B, J.H. Eagen & F.D. Maddox: “Public Water Supply Quality and AWWA Proposed Goals” JAWWA Vol.60 No.12 pp.1317~1322 (1968)
13. 中西 弘 浮田正夫: “理想飲料水の水质について” 水の高度利用に関する研究報告書(土木学会工学委員会) pp.77~93 昭47.3
14. 野瀬善勝: “地域保健活動の実例” 第68回九州医師会医学会総会 特別講演 昭43.11
15. 中西 弘 秋田良二: “水源汚濁と用途別給水計画(Ⅱ)” 第21回水道研究発表会講演集 昭45.5
16. Higgins & Okun: 未発表 (1973)
17. 藤井秀夫: “東京都における第3次処理” 第10回下水道研究発表会ゼミナール講演要旨(日本下水道協会) 昭48.5