

招待論文

21世紀の課題と提言，持続可能な地球社会の形成，及び水道と下水道のあり方

PROPOSALS AND SUBJECTS OF THE 21st CENTURY ON THE GLOBAL SUSTAINABILITY AND THE SYSTEMS OF WATER SUPPLY AND SEWAGE WORKS

中西 弘

Hiroshi NAKANISHI

フェロー会員 工博 山口大学名誉教授

(〒759-0206 山口県宇部市東須恵 987-18)

Key Words : sustainable development, material balance, input control, dual system, new social and economical system

地球規模での持続可能な社会のあり方，および21世紀の水道，下水道のあり方について述べた。資源の循環再利用は可能であるが，エネルギーは循環不可能である。そのためには，技術開発によって資源，エネルギー，環境保全の利用枠を拡大させるとともに，省資源，省エネルギー型の新ライフスタイルの構築を急がねばならない。こうした努力をしても，途上国の生活レベルの向上を考慮すると持続可能な条件は厳しい。また，少量の飲料水と大量の生活洗浄水との2面性をもつ水道水の実態と水処理としての下水道の実態を直視するとともに，それに則した新しい上下水道システムの構築が必要である。

1. はじめに

持続可能な発展とか繁栄という言葉が多用されている。しかし，地球的規模での人類の持続可能な発展のためには，地球における有限の資源（物質資源，エネルギー資源，環境資源）と人口収容容量のなかで，整合性の取れた人類の繁栄を図らなければならない。20世紀後半前期までは，科学や技術の進歩を軸に，有限の資源を大量に消費しながら人口増加を収容しつつ，人類の繁栄を図ってきた。しかし，資源の有限性が明らかになり，その限界が見えてきた20世紀後半後期においては，地球や地域の環境保全を旗印として，大量生産，大量消費，大量廃棄のライフスタイルからの脱却が唱えられ，廃棄物資源の循環，再利用を基調とした循環型社会の形成が図られつつ，21世紀を迎えた。

安全な飲料水の供給から出発した近代水道も，20世紀には安全な飲料水の供給するという目的を堅持しながら，すべての生活用水を賄う唯一の施設に変革を遂げた。水量的にみて，生活用水のほとんどは洗浄水の用途である。また，水源の汚染や安全性に対する科学的知見の進歩から，水道システムにおける安全な飲料水の確保は次第に厳しくなっており，安全な飲料水の供給確保のために，水道水の水源保全と高度処理に力が入れている。

都市の雨水や汚水の排除施設としてスタートとした下水道は，その放流先の水質汚濁を助長するという結

果を招いた。こうした反省もあり，污水处理機能が強化され，下水道は公共水域の水質保全施設に変革した。また，下水処理水も，水資源の有効利用という観点から循環再利用が図られている。

大量生産，大量消費，大量廃棄の生活に支えられ，排出されてきた大量の廃棄物を，資源として循環再利用する循環型社会に移行しつつある。

こうした地球的規模の持続可能な発展，ライフスタイル，廃棄物問題，及び水道や下水道システムに関する課題と動向に対して，本論文では，21世紀に入った将来を展望して，1) 地球的視点からの持続可能な人類の繁栄を，ライフスタイルや廃棄物問題を含めての枠組み，それを支援する社会経済システム，2) 水道システムと下水道システムについて，既定路線と比較，考察しながら，そのあり方について新たな提言をする。なお，これらのことに関して，著者は「水の高度利用と高度浄化」¹⁾，「水の高度利用，高度浄化に関する一提案」²⁾，「生活排水の処理体系を考える」³⁾，「21世紀の下水道のあり方」⁴⁾，「水循環と上・下水道のE関係」⁵⁾，「健全な水循環と下水道」⁶⁾，「持続可能な地球・社会の形成に向けて」⁷⁾，などに報告しているが，本論文は，これらの報告を基礎にしてさらに検討を加えて集約したものである。

2. 真の持続可能な社会の形成に向けて

(1) 地球的規模での資源、エネルギー、環境の基本的な枠組み

限られた地球の物質資源、エネルギー資源、環境資源の枠組みの中で、持続可能な人類の繁栄を考えた場合、人口の収容能力を含めた整合性のとれた発展を考えなければならない。すなわち、それぞれの資源生産（資源、エネルギー、食糧、環境）と資源消費（人口）の間で収支が成り立たねばならない。

図-1は、その基本的な枠組みである。図-2は、個々の資源（エネルギー、物質、環境）の枠組みである。

a) ストック量として地球上に存在する一次資源（素材資源）は、物質資源では、土地、水、森林（木材）、生物、食糧、金属、非金属などであり、エネルギー資源では、化石燃料、原子力燃料、木材燃料である。環境資源もまたストック資源として評価できる。

エネルギー資源は、再利用の効かない不可逆資源である。現在は化石燃料が主流となっているが、化石燃料は凄まじい勢いで利用され、最も早く枯渇が心配されている。原子力資源は、核融合や増殖炉型の原子力技術が開発されれば、利用可能量は飛躍的に増加するが、この技術は未開発であり、かつ安全性に不安あり未解決である。ウラン燃料を主体とした現在の軽水炉型原子炉では、利用可能量は限られている。

物質資源は、物質不滅の原理により、原則的に再利用が可能である。しかし、再利用には、再利用のために新規に投入されるエネルギーの増加を考慮しておかねばならない。

環境資源は、人間活動により著しい破壊をみたが、環境の保全は、環境ストック資源の保全であり、環境の修復は、この場合の環境資源の再利用に位置づけられるであろう。何れも、技術開発や政策によって達成は可能であるが、環境保全のためには、新たな物質資源やエネルギー資源の投入が必要なケースとそうでないケース（開発の凍結など）があり、環境修復には、新規の物質資源やエネルギー資源の投入が必要な場合が多い。

この一次資源は、技術開発によってその利用可能量の枠が広がられる。その利用量（供給速度）は、政策によって左右される。ここでいう政策とは、需要、価格、政策などを含めた社会経済要素の総称である。何れにしてもストック資源は有限であり、補給のない枯渇資源であるから、技術開発によって利用の枠を広げるとともに、省資源対策（1人当たりの省資源政策、人口対策）によって利用速度を小さくすることによ

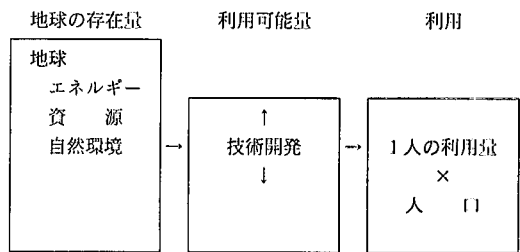
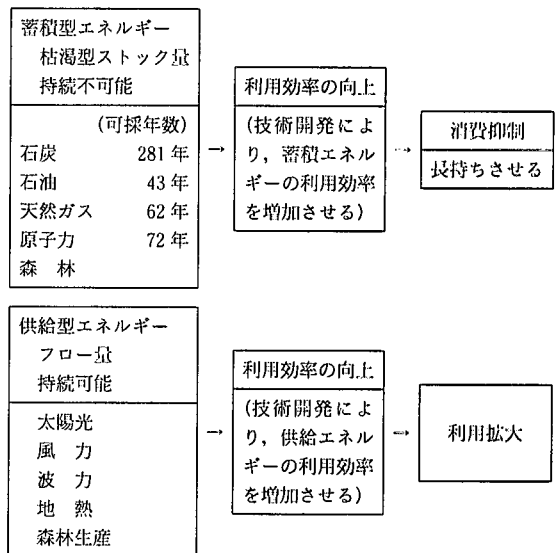


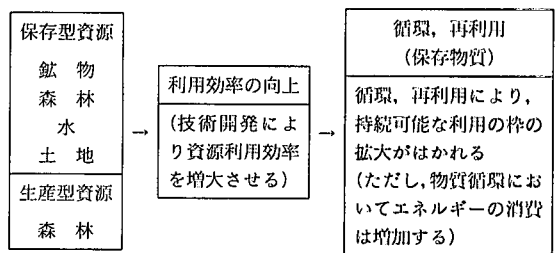
図-1 地球のエネルギー、資源、環境の有限の枠組み（概念図）

a) エネルギー

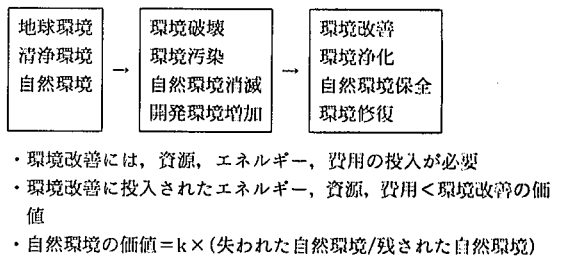
- ・技術開発によって利用可能な枠を広げる
- ・蓄積性エネルギーの消費抑制
- ・供給エネルギーの利用拡大



b) 資源



c) 環境



- ・環境改善には、資源、エネルギー、費用の投入が必要
- ・環境改善に投入されたエネルギー、資源、費用 < 環境改善の価値
- ・自然環境の価値 = k × (失われた自然環境 / 残された自然環境)

図-2 個々の有限の枠組み（エネルギー、資源、環境）

て、枯渇までの期間の延命を図ることが必要である。

b) 一方、フロー量としての一次資源は、地球に供給される資源であり、基本的には、太陽から供給される自然エネルギーと生物生産量である。その利用可能量は、技術開発によって増加させることができる。実際の利用量は政策等によって決定される。なお、自然の食糧生産や森林生産も降雨による水資源の供給もフロー量として評価できる。なお、現実的には、フローとして太陽から供給される自然エネルギーの量は大きい。それを捕集して効率よく利用できる技術が追いつかず、熱や電力として利用している自然エネルギーは、化石燃料に比較して極めて僅かである。しかしながら、この供給フロー資源こそが、真の持続可能な資源である。

c) 使用した資源（製品）の一次資源および二次資源への再利用量（速度）は、技術開発や政策によって利用率が左右される。環境資源の修復は再利用であり、環境一次資源は自然環境、環境二次資源は創造的（人工的）環境とした。

a), b), c) を合わせた利用量（速度）の和が一次資源の総利用量であり、これは1人当たりの利用量（速度）と人口との積に等しい。従って、1人当たりが享受できる利用量（速度）は人口によって左右され、持続可能な繁栄には、人口問題は避けて通れない。

また、利用した一次資源を、効率よく二次資源（製品）に加工して、人類が享受できる枠組みの増加にも、技術開発や政策の成果が関与する。ここにおいて、人為的な食糧生産は、二次資源として位置づけられる。すなわち、効率のよい食糧生産、燃料効率のよい自動車、燃料効率のよい発電所、長寿命の建築などへの技術開発や政策が、二次資源の利用効率を高める。

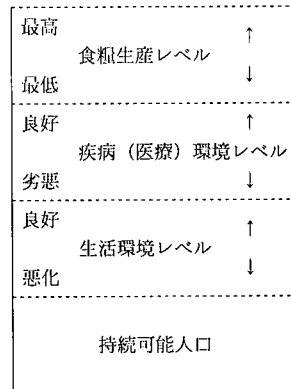
以上、図-1 および図-2 に示した地球規模での資源、エネルギー、環境の枠組みを十分に認識した上で、21世紀に展開する我々の行動を可能な限り持続可能なものとしなければならない。この場合のキーワードは、資源利用の枠を広げる技術開発と資源消費を抑える省資源政策である。

(2) 持続可能な人口の枠組み

持続可能な人口の枠組みは、図-3 に示される。持続可能な人口を支えるのは、食糧生産、医療技術、環境であり、図-1 に示す資源利用の枠組みからも人口の制約が考えられる。食糧生産は人口を支える最も基本的な要素であり、食糧生産に投入できる資源利用の枠は図-1 の枠組みの範囲内で配分が決められる。なお、世界の耕地面積と食糧生産の見地から世界の収容

a) 持続可能な人口

$$\text{持続可能な人口} = (\text{食糧生産量} / \text{1人当たりの食糧消費量}) - \text{疾病 (医療) 環境 - 生活環境}$$



b) 食糧生産

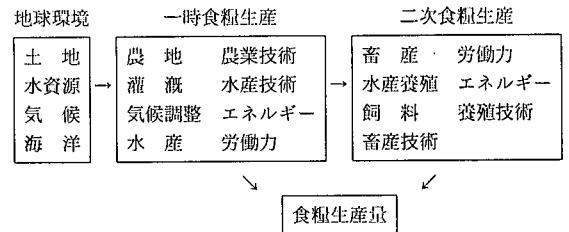


図-3 持続可能な人口の枠組み

可能な人口は、インドの食生活の水準（3 337 cal/人）では 107 億人、日本の水準 7 997 (cal/人) では 44.9 億人、インドと日本の混合水準では、72.5 億人という報告がある⁸⁾。

(3) 持続可能な社会の形成に向けて

我々人類は、21世紀に入った現在、資源の大量消費により、豊かな生活を維持してきた先進国の持続不可能なライフスタイルに決別して、全人類を対象にした地球規模での真の持続可能な社会の形成に向けて行動しなければならない。そのための行動は次のとおりである。

a) 有限の資源の利用枠を広げる各要素科学技術の開発と活用

有限の資源の利用枠を広げ、持続可能な社会の形成に寄与する科学技術を「善玉技術」と呼ぶことにする。エネルギー資源の例では、新規油田の探査、採油技術の向上、安全性が確保されれば高速増殖炉や核融合などの原子力の活用も一次資源の利用枠を広げる善玉技術であり、燃料電池やコージェネレーション発電のようなエネルギー利用効率を高める省エネルギー技術は、二次資源の利用枠を広げる善玉技術である。物質資源についても、効率のよい生産技術、利用技術や

回収技術はすべて善玉技術になろう。環境資源に関しては、環境規制、環境保全、環境修復や環境創造の技術は善玉技術に相当する。

b) 新しいライフスタイルの構築

現在、地球の富の83%が、世界人口の約1/5の人々によって占められていると言われている⁹⁾。

大量生産、大量消費、大量廃棄から大量循環に軌道修正したとしても、現状の先進国のライフスタイルでは、地球の物質資源、エネルギー資源や良好な環境がもたないことは自明のことである。

これは、現在60億人(1999年)である世界人口が2100年には100億人を超える見込みであることと、途上国が先進国のライフスタイルを目標にして経済成長を続けることにより、このままでは地球の物質資源やエネルギー資源の消費が最大限、現状の約8倍にも達することが見込まれるからである(式(1))。

$$\{0.83A(1+4)-0.17A\} \times 2 = 3.98A \times 2 = 8A \quad (1)$$

(世界人口が2倍、途上国のライフスタイルが先進国と同等になるとして概算、Aは現在の資源消費量)

ここにおいて、地球の資源利用が持続可能である新ライフスタイルの構築が必要である。これは21世紀の最大の課題であり、世界の模範となる新ライフスタイルの基準を示し、それに移行させることは先進国の義務であると考えられる。

しからは新ライフスタイルとは何か、現状では明確な答えはない。しかし、新ライフスタイルとは、資源やエネルギーの消費量を現状より大幅に削減し、かつ環境への負荷をさらに削減するライフスタイルである。少なくとも資源やエネルギーの消費量を現状の1/2程度に削減することが必要であろう。なお、高月の示すエコライフ(ごみの発生量自体を減らす工夫をした生活)や生活必需品のみが消費されるレベル1では、現状のエネルギー消費レベルを46%や54%に縮小できる例が示されている¹⁰⁾。廃棄食品ゼロ(現在、台所ごみの約50%が食べ残しや未利用食品で占められている。)のライフスタイルであり、今から約30年前の消費レベルに相当する。しかしながら、その後の科学技術の進歩により、同等のエネルギーや資源の消費であっても、現在では1970年当時より高い生活レベルが維持できるであろう。

なお、ハウス栽培の「きゅうり」や「とまと」の例では、生産に要したエネルギーがその農産物の有する食品エネルギーの50倍および10倍に達し、露地栽培の約6.5倍および3.5倍の値となっている¹¹⁾。このように季節にかかわらず農作物が手に入るハウス栽培は、エネルギー浪費の典型的な生産例である。

新ライフスタイルに移行するためには、次のような規制や政策誘導が考えられる。

(i) 利便性の制約、規制による省資源、省エネルギー対策

資源・エネルギー消費や環境負荷の大きい製品の使用と利便性との関係を明らかにして、資源・エネルギー消費や環境負荷の大きい製品に対しては、利便性を尺度として、生産と消費を規制により抑制する。

(ii) 生産抑制による省資源・省エネルギー対策

生産抑制、すなわち「入り」の制御が消費を抑制する最も効果的な対策である。生産抑制は、利便性、資源・エネルギー消費、生活必要度の観点から優先度を決めて行うことが必要である。

(iii) 資源環境税の導入

資源・エネルギー消費や環境負荷の大きい製品の購入や使用にあたって、生活必要度や資源・エネルギー消費量のレベルに応じて、資源環境税を導入する。

(iv) 物品の所有社会からリース社会への移行

物品は、所有するのではなく、リースにより使用することは、資源・エネルギー消費抑制の有力な手段であり、物所有社会から物リース社会への移行への政策誘導が必要である。

c) 新ライフスタイルを支援する社会経済システムの確立

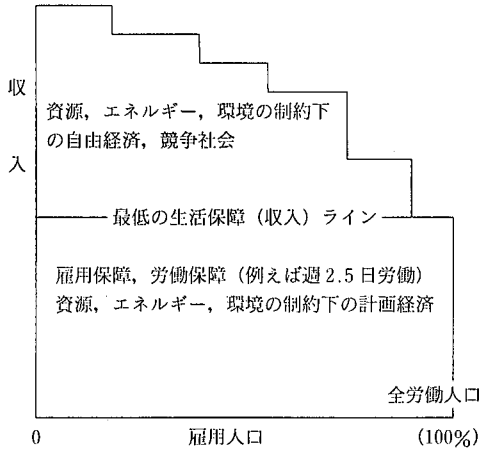
(i) 循環を必要としない社会の形成

循環型社会は、大量生産、大量消費、大量廃棄の社会において、廃棄が循環に取って代わっただけであり、大量生産、大量消費の基本構造は変わっていない。大量の資源がぐるぐる回っているだけである。この間、保存物質である資源については、循環再利用により持続可能性は確保できるが、エネルギーの循環は熱力学的にも不可能であり、エネルギー問題は、循環型社会でも解決できない。したがって、新ライフスタイルとはエネルギーの持続可能性を確保するためには、循環を必要としない社会、可能な限り循環量や循環速度を抑制する社会が真の持続可能な社会である。

(b) 資源とエネルギーの消費の少ない経済行為への構造改革

新ライフスタイルは、資源・エネルギーの消費量を現状より大幅に抑制するスタイルである。このことは、「資源とエネルギーの消費を基盤とした経済、エネルギー、環境は有限であり、その持続可能な枠内での経済の構築を図ることが至上命題であり、その枠内での経済行為でなければならない。そのためには、資源とエネルギーの消費の多い経済行為から、その消費の少ない経済行為への構造転換を図ることが重要な課題である。したがって、こうした枠組みの中での経済成長の道を探らねばならない。

1. 計画経済に基づく保証された雇用と限定された労働時間
2. 制約下の自由経済，競争原理に基づく追加の労働時間



資源，エネルギーの消費の多い，無駄な働きをしなくても食べていける社会の構築（資源，エネルギー，環境の制約下の最低限の生活保障に立脚した自由競争社会）

図-4 持続可能な新社会経済システム（例）

- (iii) 無駄な働きをしなくても食べていける社会の形成

新ライフスタイルは，少量生産，少量消費，少量循環の社会である。持続可能な社会の形成を阻害している最大の要因は，大量生産，大量消費，大量廃棄や循環でなければ食べていけないとしている現状の社会経済システムである。その改革なくしては，持続可能な社会の形成は不可能である。すなわち，持続可能な社会の形成のためには，資源とエネルギーの消費の多い無駄な働きをしなくても食べていける社会経済システムの確立が不可欠であり，この受け皿がなければ，持続可能は達成できない。現在において最も欠けているのは，この「持続可能・新社会経済システム」の研究であり，資源，エネルギー，環境を内部化した持続可能な新社会経済システムの確立が急がれる。

この持続可能・新社会経済システムとは，具体的にどのようなものであるか，これは今後の重要な研究課題であるが，資源とエネルギーの消費の少ない経済行為に経済価値を見出す方策である。それに加えて著者は，図-4に模式的に示すような，労働時間の短縮，最低限の生活保障，労働保障といった計画経済的基盤の上に，制約された資源，エネルギー，環境の利用の下での，競争原理に基づく自由経済的要素が加わるという二重構造の社会経済システムが必要であると考えている。

- d) 試算事例（先進国と途上国の役割，人口，新ライフスタイルとの関係）

持続可能な地球社会全体を考える試算例を示す。そ

の前提となる条件は次のようである。

前提条件

- ・エネルギーや資源の消費量

先進国では，新ライフスタイルとして1人当たりの消費量を現状の1/2に削減する。

途上国では，1人当たりの消費量を現状の2倍とする。

- ・人口

先進国では，最近の人口は横ばいか，やや減少という現実を踏まえて，人口を現状維持とする。

途上国では，人口が急増しているという実態があるが，人口の増加と1人当たりのエネルギーや資源の増加の二兎を追うことは困難であるので，人口増加を抑制して現状維持とした。

試算結果

式(2)に示す計算結果から，エネルギーや資源消費量は現状の0.8倍程度となる。

$$\{0.83A(1/2)+0.17A \times 2\}=0.755A \approx 0.8A \quad (2)$$

（世界人口は現状維持，先進国のライフスタイルは1/2倍，途上国のライフスタイルは2倍になるとして概算，Aは現在の資源・エネルギー消費量）

すなわち，先進国のエネルギーや資源消費を1/2に削減した新ライフスタイルに移行させたとしても，途上国のライフスタイルの向上を視野にいれば，現状のエネルギーや資源消費量の大きな削減結果とならないという厳しい結果となる。さらに途上国のライフスタイルを1/2に削減した新ライフスタイルと同等とした場合には，現状の1.9倍程度（式(3)）のエネルギーや資源の消費量となり，さらに厳しい結果となる。

$$\{0.83A(1+4)/2\}-0.17A\}=1.905A \approx 1.9A \quad (3)$$

したがって，地球社会の持続可能性を追求するためには，さらにエネルギーや資源消費の削減に努めることに加えて，ここで期待できる手段は，(3)a)に述べた「善玉技術」の活用によるエネルギーや資源の利用可能枠の拡大である。

(4) まとめ

要するに，真の持続可能な社会の形成には，エネルギー，資源，環境のバランスのとれた三位一体の持続可能性が確保されねばならない。環境保全の持続性は，技術開発と新規エネルギーの投入によってある程度可能であろう。また，資源の持続性は，繰り返しの循環・再利用と新規にエネルギーを投入することは可能である。しかし，エネルギーに関しては，その本質

からみて循環は不可能であり、最も早く枯渇する分野である。省エネルギー対策と技術開発によって、その延命を図ることが強く求められる。いずれの場合においても、持続可能性に寄与する技術の役割は大きく、善玉技術の開発が持続可能性の枠を広げることとなる。また、持続可能な社会の形成には、社会・経済システムの改革が必要であり、その支援なくしては成立しない。循環型社会への移行は一步前進ではあるが、さらに循環を必要としない社会の形成を達成しなければならない。省エネルギー、省資源型の新ライフスタイルへの移行やエネルギーや資源の消費に関係する無駄な働きをしなくても食べていける社会の形成など新社会・経済システムの果たすべき役割は大きい。さらに、人口問題は避けて通れない重要な問題であり、先進国での省エネルギー、省資源型の新ライフスタイルへの移行と途上国での生活レベルの向上とともに、途上国での人口増加の抑制が解決のカギとなろう。こうした諸政策が遂行されたとしても、なお持続可能な社会への道は険しい。したがって、まずはこうした諸政策を実行するとともに、さらに前進を目指して、もう一段厳しい対応に踏み出さねばならない。

3. 健全な水循環と上下水道システムの課題

(1) 流域の健全な水循環と上下水道の関係

流域の健全な水循環とは、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保全に果たすべき水の機能が、適切なバランスの下に確保されている状態と定義されている¹²⁾。地球的規模では、水は時間的、空間的に偏在しながら、地表圏、地下圏、大気圏を通じて大きく循環している。しかし、わが国の河川流域を対象にすれば、流域圏に降った雨水の大部分は、河川を通して上流より下流に向けて流れ海に注いでおり、その間に一部に蒸発と降水、河川水と地下水、伏流水との循環が行われている。したがって流域圏では、「水循環系」というよりも、むしろ「流水系」として理解した方がよいのではないかと著者は考えている。

治水事業、水資源開発、用水の利用と排水、都市開発、農地開発、森林利用などのさまざまな人間活動は、流域における自然の水循環系に大きな変化を与えてきた。それらは人間にとって大きな便益をもたらしたが、その反面に水不足、水害危険度の増加、水環境の悪化などの弊害が顕在化してきた。健全な水循環とは、流域の行政と住民が協調して、後世に継承することのできる望ましい人間と水循環系との関係を維持することである。すなわち、利害の異なる流域圏の利

水、治水、水環境の機能のバランスを取りながら、調和を図り、健全な育成に努めることである。

水道施設は、河川水や地下水を水源として取水して、管路施設によって輸送し、都市や村落の住宅や事業所に、生活用水を供給する施設であり、飲料水の水質が保障されている。また、水道普及率が96.3%（1998年）に達した現在、生活用水はほぼ水道用水とみてよい。

したがって水道施設は、自然の流水系に大きな影響を与えている大きな人工用水路である。

下水道施設は、生活排水（これはほとんど水道排水である）と雨水を受け入れ、管路を通じて速やかに下水道整備地域から排除して、汚水処理後に河川や沿岸海域に放流する施設である。したがって下水道施設もまた、自然の流水系に大きな影響を与えている大きな人工排水路である。なお、下水道普及率は58%（1998年）である。

すなわち、水道施設と下水道施設を通じて、管路による人工用排水系が形成されて、自然の流水系に大きな影響を与えている。

健全な水循環、健全な流水系の立場からみれば、上下水道システムは、次のような影響を与えている。

- a) 水道水源確保のためのダム建設
- b) 水道用水取水による河川流量の減少
- c) 水道用水取水による地下水位の低下
- d) 下水処理水の放流による河川水質の悪化
- e) 合流管渠雨水放流による河川水質の悪化

これに対して、健全な水循環、健全な流水系の立場から、一般論として上下水道システムでは、次のような対策が必要である。

- a) 水道水源ダムや河川水の水質保全
- b) 適正な水道取水による地下水位の確保
- c) 下水処理水の河川への還元（水道用水取水地点近傍への下水処理水の放流）
- d) 下水処理の強化による処理水の水質改善
- e) 合流管渠放流雨水の水質浄化対策
- f) 下水処理水の再利用による新規取水の削減

健全な水循環、健全な流水系の立場からは、繰り返し循環が容易な小規模系の上下水道システムが望ましい。すなわち、小規模の取水、排水系は、河川の流下過程において、小規模の取水と排水を繰り返すことが可能となり、河川水の再利用率を高めることのできるので、一過式の大規模の取水、排水系よりも優れたシステムであると考えられる。

しかしながら、水道システムや下水道システムの機構の中身は複雑であり、単純な一般論だけでは解決できない問題がある。このことについては、後述の(3)

21世紀の水道システムのあり方、および(4)21世紀の下水道システムのあり方、において論じることとする。

(2) 上下水道システム一体化論

水道システムは、水源、取水から給水までの生活用水供給システムであり、使用後の生活排水についてのシステム上の責任はない。一方、下水道システムは、生活排水を受け入れるところから始まり、排水の放流に至るまでの排水処理システムであり、生活用水の用途についての注文をつけるシステムとはなっていない。また、現実には注文をつけていない。つまり、水道側では、排水処理に考慮した使い方がなされ難く、それに対して下水道側からの注文は殆んどない。しかし、下水道システムにとって、この受け入れ排水の発生源問題は極めて重要であり、その内容如何で下水処理方式は大きく左右される。すなわち、水道は下水道の立場を考え、下水道は水道水の使い方に関心を払わなければならない。

水循環、流水系において、用水の取水から排水、放流に至るまでの過程は当然一貫して考えるべきシステムであり、用水システムと排水システムとが互いに独立して、別個に考えることは不合理である。

ここにおいて、上下水道システムは当然一体として考えるべきであると主張できる。

(3) 21世紀の水道システムのあり方

a) 現行の水道システムの課題と問題点

(i) 水道基本問題検討会報告「21世紀における水道及び水道行政のあり方」¹⁹⁾

平成11年6月に報告された水道基本問題検討会報告「21世紀における水道及び水道行政のあり方」では、安全に飲用できる水の供給をすべての水道で維持しつつ、需要者の選択に応じたおいしく飲用できる水の供給、節水型社会の実現を前提として、平常時に必用量の水を安定的に使用でき、湧水や災害に強い水道、受益者負担を原則とし、政策的な財政支援により大幅な料金格差や高料金を抑制すると同時に、国民のコスト意識を高め、節水を誘導するような費用負担を具体的な政策としている。すなわち、安全な飲料水の供給、安定した水道水の供給、受益者負担を原則とした節水施策である。

(ii) 変貌した水道水システム（飲料水から洗浄用水への量的拡大）

安全な飲料水の供給を目的とした水道システムは、すべての生活用水を供給するシステムに変貌してきた。水量的にみれば、生活用水のほとんどは洗浄用水である。すなわち、水道用水（平均給水量、平成10

年386 l/人・日）の98%程度は洗浄用水と位置付けられる。直接、間接的に飲料に供せられる飲料水は約3.0 l/人・日、飲料水の水質レベルが要求される一部の台所用水のような洗浄用水もあるので、これらを勘案すれば5%程度が飲料用水の水質レベルが要求される。最大限に見積っても10%を越えないであろう。したがって著者は、「水道用水とは、飲料水の水質を担保した少量の飲料用水を含む洗浄用水である。」と定義している。

(iii) 安全な飲料水確保の困難性の増大

現在の水道システムにおいて、水道水の安定供給とともに安全な飲料水の確保が次第に困難となっている。その主な原因は次の3点に要約することができる。

- (イ) 水源の汚染により、良質な水源が少なくなってきたこと。
- (ロ) 水道水の水量の拡大にともない、供給できる良質な水源が不足してきたこと。
- (ハ) 安全性に対する科学的知見の進歩、また水質分析技術の向上により、水道水源の安全性の基準が次第に厳しくなってきたこと。

このうち、(イ)については、すでに水源2法をはじめ強力な対策を進められているが、(ロ)も大きな要因となっている。また、(ハ)は無視できない大きな要因であり、飲料水の安全性に対する科学的知見の向上が、クリプトスポリジウムや環境ホルモンのような新しい問題を次々に提起している。

(iv) 安全な飲料水確保に対する現行の水道システムでの対応

安全な飲料水確保に対する現行の水道システムでの対応は次のようである。

- (イ) 水道水源の水質保全対策の強化
- (ロ) 飲料水の水質基準の強化
- (ハ) 浄水処理の高度化

浄水処理の高度化については、従来からの濁度と細菌の除去の対応である凝集沈殿、砂ろ過、塩素殺菌に加えて、溶解性物質の除去対策としてのオゾン処理、活性炭ろ過、さらに精密ろ過、限外ろ過からナノろ過、逆浸透の膜ろ過法の採用に方向が向けられている。

(v) 安全な飲料水確保に対する現行の水道システムでの問題点

安全な飲料水の水質を保証した水の供給を至上命令としている現行の水道システムでは、次のような功罪や課題を抱えている。

- (イ) 水道水源を主体とする公共用水域の水質保全に大きく寄与している。
- (ロ) 水道は、生活用水のすべてを、飲料用水のレベ

ルまで浄化して供給するシステムである。水量的に90%以上を占める洗浄用水を飲料用水レベルまでグレードアップすることは、無駄な投資と思われる。

- (ハ) 現状では、水道水源の汚染に対して、活性炭ろ過、オゾン酸化、さらに膜ろ過の導入により、水道水全量に対して、安全な飲料水の確保が図られている。
- (ニ) しかし、今後に予想される水源汚染に対して、このシステムでは、安全な飲料水の確保、供給が次第に困難になってきている。
- (ホ) 水道は巨大な設備産業であり、小回りの効かない施設である。

すなわち、安全な飲料水の供給を目的として発達してきた水道システムは、すべての生活用水を供給するシステムとしては発展を遂げてきた。しかし、生活用水の90%以上は洗浄用水の用途であり、水道水源の汚染が進み、しかも水道水の需要が伸びた現状において、水道水全量に対して、安全な飲料水の水質基準を確保することは、次第に困難になってきている。

27年前に著者は、水源の汚染が進み、浄水処理費が高む場合には、飲料水系と洗浄水系に分離した2元給水方式が、現行の一元給水方式よりも経済的に有利なることを示し、その比較式を提示した¹⁾²⁾。

b) 変貌している水道システム（飲料水系と洗浄水系との分離への道）

現行の水道システムにおいて、飲料水水質を保証した水の大部分が、洗浄用水として使用されている実態について、如何にも「もったいない」という感覚がある。しかしながら、飲料水という良質の水が洗浄用水に使用されていることに対する「安心感、満足感」もある。水道システムが、全量、飲料水の水質を保証して給水することが、技術的にも、経済的にも成り立つならば、現行の水道システムを将来にわたって踏襲することは肯定できる。しかし、それが困難な場合には、飲料水の供給について、別の道を探らなければならない。

先に示した水道基本問題検討会報告「21世紀における水道及び水道行政のあり方」においては、安全に飲用できる水の供給をすべての水道で維持しつつ、需要者の選択に応じたおいしく飲用できる水の供給が述べられている。また、飲用にできることを前提とした水道水の供給は、国民の権利である安心できる生活を享受するための必要不可欠である、としている。このことはあらゆる困難を克服して現行の水道システムを21世紀においても堅持することを表明したものである。

水道システムは、巨大な設備、施設の上に立脚して

おり、容易にそのシステムが変更できないことは理解できる。また、水道原価に占める浄水コストは30%程度であり¹⁾、新たな高度処理の追加が水道会計に決定的な負担にならないことも理解できる。しかし、既成の概念にとらわれず、原点に帰って生活用水の供給システムの最適解を検討することが必要である。

すでに著者は、用途別給水排水研究の一貫して水道水源汚濁に対処した2元給水方式を考え、健康によい、おいしい理想飲料水の供給を可能とする方式を提案した¹⁾²⁾。これはコスト的には、2元配管による経費増加は20~50%であり、実現可能な範囲である。しかも、飲料水の水量が少ないので、現行の水道システムよりも上質の飲料水の供給が可能である。しかし、何しろ水道システムは巨大な設備を有する施設であるので、小回りはきかず、このような対応は現実的には困難である。

そこで著者は、現実的な対応として変形2元給水方式を提案している。これは現行の水道システムに立脚した2段浄水方式である。すなわち、ナショナルミニマムとしての最低限の安全な飲料水の水質を保証する浄水場での水道原水の浄化（1段処理）と飲料用途に使用される給水栓末端（台所など）に飲料浄水器を設置する（2段処理）ものである。すでにこのシステムの原型は、家庭浄水器メーカーの市場開発努力により一部で稼動している。また、飲料水をボトル水や清涼飲料水などの容器供給で賄う方式も変形2元給水方式の範疇に入る。

水道水を飲まない国、水道水を飲む習慣の無い国も多い。わが国においても、ボトル水しか飲まない人、浄水器を通した水しか飲まない人が増えている。水道水からの飲料水離れは、水道行政担当者や事業者の想いとは別に、着実に進んでいるのである。

c) 21世紀の水道システムのあり方

安全な飲料水の供給から出発した水道システムは、すべての生活用水を供給するシステムに変貌している。その生活用水のほとんどは洗浄用水である。この構図は21世紀においても変わらない。

21世紀においても、水道システムが、あらゆる水源汚染を克服して、ナショナルミニマムとして飲用できることを前提として、すべての生活用水を供給するシステムとして引き続き機能すること望む。しかし、ただそれだけに終わってはならない。飲料水の供給システムは多様化しており、その多様化に即応して、水道システムも体質改善を図る必要がある。

その具体例は2段浄水方式の採用である。1段処理としての浄水場の役割は、洗浄用水としての水質改善とナショナルミニマムの飲用水としての最低限の安全性確保である。また、2段処理としての設置を考える

末端浄水器は、よりハイレベルの飲料水への水質改変装置である。この場合の浄水器の性能は、既存の浄水器の機能をベースにして、機能水の知識を生かし、その役割に則して新たに研究開発したものであることを前提とする。水道事業がこの分野に参入する最大のメリットは、水道事業のもつ維持管理システムが、浄水器の維持管理に活用できることである。これは官業が民業を圧迫するという批判があるかもしれないが、規制緩和の政策にそって、水道事業も民営化をはかるべきであり、その土俵の中で、サービス競争することである。なお、飲料水供給事業として、水道事業がボトル水の供給に乗り出すことも考えておかねばならない。

なお、別系統での飲料水供給システムが確立され、現行の水道システムが洗浄用水供給システムに徹することができれば、生活用水としての水道用水の水質要求が幾分軽減されるので、生活用水の循環再利用が容易になり、安定した水量の確保の枠が増大する。これらのことは、21世紀のこれからの課題である。

(4) 21世紀の下水道のあり方

a) 下水道の本質

本来、下水道は、生活居住地からの生活污水や雨水の排除システムである。水道排水が生活污水となる。したがって、洗浄用水としての水道用水使用の如何によって、その水量、水質は左右されている。下水道によって生活污水が居住地域から排除されるため、生活居住地区の水質環境は文字どおり改善された。一方、排除された生活污水の排除先、放流先の水質汚濁は逆に悪化した。その結果、下水道に下水処理の機能が強化された。水質保全のための下水道の登場である。今や、下水道は水質保全のための施設であるということが強調されている。

ここにおいて、下水道に関する幾つかの著者の見解を示しておく。

(i) 水系処理方式

下水道による処理は、生活廃棄物の水系処理方式である。生活汚濁物質を水洗浄によって除去することにより、生活污水が生じる。水を介した汚濁物質の処理、すなわち水系処理は、汚濁物質の処理方式としてベストの方式ではない。水系処理の利便性と処理困難性との相対関係により、水系処理に委ねる割合が決められる。

(ii) 発生地域と放流地域の水質保全評価

水質保全に対する下水道の効用評価は、発生地域である居住地域と排水の放流地域とで自ら異なる。

利益の生じる場所と不利益を受ける場所とに分かれる。したがって、下水道の効用評価も居住地域と排水

の放流地域とに分けて行うことが必要である。

(iii) 居住地域内放流方式と居住地域外放流方式

合併処理浄化槽のような小規模型の下水道方式では、発生地域である居住地域と排出先とが近接しているので、居住地域内放流方式と呼ぶことにする。居住地域内放流方式では、管渠が短くて放流先選択の自由はなく、放流地域が居住地域内で確定してくる。

大規模の下水道方式では、発生地域と放流地域とは大きく離れているので、居住地域外放流方式と呼ぶことにする。居住地域外放流方式では、下水管渠により処理水を遠くに運び放流されている。

(iv) 居住地域内放流方式（小規模方式）と地域外放流方式（大規模方式）の特徴の比較

小規模方式では、放流地域が居住地域であることから、地域外放流方式に比較して、より厳しい放流水質基準が要求される。しかし、一般的に小規模方式では、流量、水質の変動が大きく、大規模方式に比較して処理が困難である。これをカバーするために小規模方式では、処理槽の容量を大きく取っている。

大規模方式で、放流先選択の自由がある。下水処理水にはなお幾らか汚濁物質が含まれている。したがって、閉鎖性水域からの迂回放流など、この放流先選択の活用は重要である。現在の下水道研究において最も遅れているのは、この分野の研究である。

(v) 濁水頻度と下水処理水の再利用

健全な水循環の見地からも、下水処理水の再利用の必要性が強調されている。しかし、下水処理水の場外再利用は1.3億m³（平成9年）であり、同年の下水処理量124億m³のわずかに約1.05%にすぎない。このことは、わが国の水資源の不足が、常時に下水処理水を必要とする程切迫していないことを示しているかもしれない。著者は、下水処理水の再利用は濁水頻度の関数として捉えている。

b) 21世紀の下水道のあり方

(i) 健全な水循環系としての小規模、循環上下水道システムの推奨

水循環系としての下水道システムは、水道システムと一体として初めて一貫とした系が成立つことはすでに3.(2)において述べた。広域的、大規模な上下水道システムになればなる程、自然の水循環系、流水系から遊離した別系統の人工水路が構築されることになる。したがって、健全な水循環系の見地から図-5に示すように、狭域、小規模上下水道システムの繰り返し循環が、健全な水循環系としての上下水道システムとなろう。さらに水道の2元給水システムが進展すれば、循環再利用システムはさらに機能性を発揮するだろう。

(ii) 生活廃棄物の処理、処分のための水系処理、下

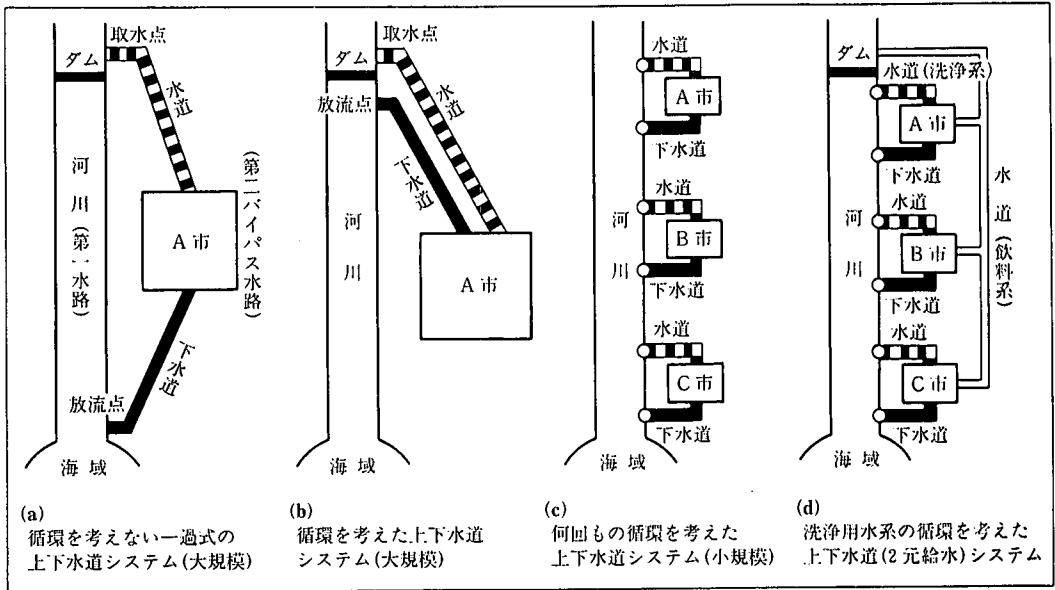


図-5 河川への循環を考えた上下水道システム

水道のあり方の議論を

都市や家庭の生活廃棄物を、洗い流して水系で処理する下水道方式は、利便性からみて魅力である。しかし、こうした水系処理方式は、生活廃棄物の処理方式として最適なものであるかどうか、利便性、エネルギー消費、環境保全効率などを総合的にみた本質的な議論が必要である。この本質的な議論のないままに、下水道が認知され、排除システムの末端に処理システムが追加された形で下水道システムが拡大してきた。21世紀においては、その原点に帰って下水道の本質を議論する必要がある。最近話題になっているディスポーザー問題もこうした観点から十分に議論しなければならない。

(iii) いたわり下水道の構成

結論的にいえば、下水道は、「何でも受け入れ下水道」ではなく、「いたわり下水道」でなければならない。これは、汚濁物質を水で洗い流して、水を汚し、その後水を浄化するという水系処理方式が、本質的に水質汚濁助長型であるからである。汚濁物質は安易に水系で処理しない、可能な限り水系に入れない「いたわり下水道」でなければならない。

(iv) 放流先選定の課題

率直にいうと、閉鎖性水域の水質改善には、迂回放流が有効である。健全な水循環系としては小規模、循環上下水道システムが推奨できるが、大規模の地域外放流方式では、ことさらに水質条件の厳しい閉鎖性水域に排水を放流するのではなく、パイプをもつ特徴を生かして、より水質条件の厳しくない放流することは

可能である。東京湾を例にとれば、東京湾に放流されている下水処理水を集めて、湾外に放流することにより、東京湾の水質は顕著に改善され(水質環境基準適合)、しかも湾外の水質にほとんど影響しないという試算結果がある¹⁴⁾など。21世紀には、この放流先選定も大きな下水道の課題である。

(v) 下水汚泥の地球規模的な取組み

下水汚泥の砂漠処理、これはわが国の下水汚泥を、片道空のタンカーで中近東の砂漠に運び、下水汚泥を砂漠の緑化に役立てようとする考えである。まだ基礎データの集積に乏しいが、21世紀の検討課題であろう。

以上21世紀の下水道のあり方について著者の見解を述べた。その構想が認知され、21世紀には、少しでもその実現に向けて動き出すことを期待している。

4. むすび

以上、地球規模での持続可能な社会の形成と21世紀における水道と下水道システムのあり方について述べた。

持続可能な社会の形成には、資源、エネルギー、環境の三位一体の持続可能性が追求されなければならない。このためには、資源、エネルギー、環境保全の利用の枠を広げる技術開発とともに、循環の効かないエネルギーに焦点をあて、先進国の資源、エネルギーの消費量を大幅に減らす新ライフスタイルへの移行、循

環を必要としない社会の形成、資源、エネルギー消費の多い無駄な働きをしなくても食べていける社会の形成と、それを支援する社会経済システムの確立が必要なことを強調した。こうした先進国のライフスタイルが改善されたとしても、途上国の生活レベルの向上を考えると、世界の人口を現状に固定するとしても、なお、持続可能な地球社会の形成には厳しい状況にあることが試算された。

安全な飲料水の供給を使命としてスタートした水道システムは、すべての生活用水を供給するシステムに変貌している。生活用水の90%以上は洗浄用水である。一方、水源の汚染や飲料水に水質要求のレベルアップにより、また、生活用水の水量の増加により、水道水全量を飲料水の水質レベルに保つに必要な水道水源の確保は非常に困難になってきた。こうした状況において、水源の保全と浄水技術の高度化により現行の水道システムを維持すべきか、あるいは、飲料水系の供給を別途に設けるべきか、変形2元給水方式の提案を含めて、21世紀の水道システムのあり方について論じた。

下水道は、生活污水の排除システムから出発して、排水処理施設の強化により、水質保全施設としての地位を明確にしてきた。生活排水は、生活用水の使用後の姿である。水道と下水道は一体となって、水循環系の一貫に組み込まれている。下水道は水系処理システムであり、生活廃棄物の水洗処理の受け皿として位置づけられているが、生活廃棄物処理の最適解であるかについては、なお議論の余地がある。また、居住地内放流方式としての小規模施設と居住地域外放流方式としての大規模施設の、それぞれの特徴について論じた。21世紀の下水道のあり方として、いたわり下水

道、小規模、循環上下水道システム、また、大規模方式における放流先選択の課題、国際的視点からの汚泥処理について論じた。

参考文献

- 1) 中西 弘：水の高度利用と高度浄化、表面、Vol. 12, No. 6, 315-328, 1974.
- 2) 中西 弘：水の高度利用・高度浄化に関する一提案、第10回衛生工学研究討論会講演論文集、137-142, 1974.
- 3) 中西 弘、浮田正夫、深川勝之：生活排水の処理体系を考える、浄化槽研究、Vol. 4, No. 1, 39-49, 1992.
- 4) 中西 弘：持続可能な地球・社会の形成に向けて、環境技術、Vol. 30, No. 6, 481-485, 1974.
- 5) 中西 弘：健全な水循環と下水道、下水道情報、第1113号、29-38, 1998.
- 6) 中西 弘：水循環と上下水道のE (Earnest and Ecology) 関係、月刊下水道、Vol. 23, No. 6, 20-22, 2000.
- 7) 中西 弘：21世紀の下水道のあり方、下水道協会誌、Vol. 38, No. 459, 33-37, 2001.
- 8) 阿部寛治：概説地球環境問題、東京大学出版会、1998.
- 9) アースディ編：ゆがむ世界ゆらぐ地球、学陽書房、1994.
- 10) 高月絃：エコロジーテスト、講談社、154, 134, 1998.
- 11) 資源調査会：衣・食・住のライフサイクルエネルギー、科学技術庁資源調査会、資料69号、1979.10.
- 12) 健全な水循環系構築に関する連絡会議：健全な水循環とは、<http://www.milt.go.jp/tochimizushigen/mizusei/junkan/index-1.html>
- 13) 水道基本問題検討会報告「21世紀における水道及び水道行政のあり方」1999年6月.
- 14) Nakanishi, H. and Ukita, M.: Circulation of P and N in Japan-Current and the Way to Regulate, Clean Sea '96, in Toyohashi 135-149, 1996 その他に未発表行政資料.

(2001.8.7 受付)

The way that the global sustainability and the systems of water supply and the sewage works in the 21st century should be discussed. In principle recycle of material resources is possible, while energy recycling is impossible. The development of technology for utilization of energy and resources and the formation of new life style insuring energy saving and resources recycling are indispensable for the formation of our global sustainability. In considering the elevation of life style of developing countries, however, the achievement of that aim still difficult. In the 21st century, the establishment of a new water supply and sewage system should be promoted. The author proposed the effective supply of drinking water of a small quantity and washing water of a large quantity as a countermeasure for serious water resources pollution, and also the re-establishment of a sewage system with a strong concept that does not produce polluted water as much as possible.