

海中放流管の推進

PROMOTION OF SEWAGE EFFLUENT OCEAN OUTFALL

水谷 潤太郎*

Juntaro MIZUTANI**

ABSTRACT; Ocean outfall of the sewage effluent is extensively applied on the Pacific coasts in the U.S.A. or Australia. However, its application is very limited in Japan. It is not assumed to be based well on its environmental systematic study, however, there seems to exist a strong opposition for it.

This paper studies its necessities and merits compared with other effluent management methods, such as the pollutants removal at the STP or pollutants release management at the source. Ocean outfall is more effective in nutrients control, pathogen control, decomposable micro-pollutants control, than other methods.

Individual application of each effluent management method is not well effective to control the recalcitrant micro-pollutants, and mobilization of every measures may be demanded.

Ocean outfall is regarded a relatively excellent pollution management tool, and its promotion is well justified.

KEYWORDS; ocean outfall, sewage effluent, micro-pollutants, pathogen

1. 海中放流管の意義

筆者は昨年環境システム研究で発表した論文¹⁾で、今後下水処理水の放流については海中放流管による必要性もあることを指摘した。本論文ではこの方法の優位点について論証し、その推進について提案するとともに、今後検討すべき項目についても明らかにしたい。

微量有害物質や環境ホルモン、あるいは有害微生物などの存在が明らかになるにつれ、その対策が議論され始めているが、その対応策としては発生源管理と下水の高度処理が主な内容とされているようである²⁾。この発生源管理には、事業所排水の分離だけでなく、例えば人間の尿の分離なども考慮されている³⁾。

しかし海中放流管は、米国やオーストラリアなど環太平洋の先進諸国で広く用いられている技術であり、沿岸域の水質保全に著効があるにも係わらず⁴⁾、我が国ではあまり検討対象とされていないようである。

この原因としては、海中放流は除去ではなく放流であるので、例え希釈後であっても海洋汚染を進めるのではないかという懸念、排水を放流するのは罪だという意識、又栄養塩を捨て去ってしまうのはもったいないという疑問などが考えられるが、環境システムとしてよく考えたわけではないようである。

むしろ海中放流には次のようなメリットが考えられるので、今後、発生源管理や下水の高度処理と並んで、計画の対象とすべきである。

- 雨天時排水のような非正常な流れにも対処しやすい。
- 排水について全ての環境リスクがリスト・アップされているか分からない。遠くで排水しておけば、環境リスクが顕現するまでの時間が稼げるので、環境リスク制御上有利である。
- 高度の希釈が可能なので、水質汚染防止に速やかかつ著しい効果がある。

* 日本上下水道設計株式会社

** Nippon Jogesuido Sekkei Co., Ltd.

2. 水質汚染問題の考え方

水質汚染問題とは、水中に加えられた化学物質などによる、人や自然生態系に対する環境リスク問題である。

環境リスクの大きさは、ある要素による「良くない出来事が起きる可能性」と、そうした出来事にさらされる人や生態系の密度との積で判断される。

水中の化学物質などの濃度が小さくなれば、「良くない出来事が起きる可能性」は同等以下になると一般に仮定されている。なお富栄養化のように、化学物質の濃度が減少してある望ましい範囲に入ると、かえって生態系などに有益となるような場合もあるが、これは汚染物質の減少による効果と、有益物質の増加という効果が合わさったものであると考えればよいであろう。

水質汚染問題の緩和には、大別して3つの方策が考えられる：

- (1) こうした汚染物質を水中に入れない、発生源対策。
- (2) 一旦水中に入った汚染物質を、水処理技術で除去すること。
- (3) 汚染物質の入った水を、できるだけ大量の水のある受水域までバイパスして、希釈放流する。

発生源対策により水中に入る汚染物質量が減れば、水中の化学物質などの濃度が小さくなるので、「良くない出来事が起きる可能性」は同等以下になると考えられ、環境リスクの大きさは同等以下になる。ただし完全に入らないようにするのは通常困難である。

水処理技術を用いて水中から汚染物質を除去しても、同様に、水中の化学物質濃度が小さくなるので、環境リスクの大きさは同等以下になる。ただし100%汚染物質を除去することは通常困難である。

汚染物質の入った水をバイパスして希釈放流すれば、水中の化学物質濃度が小さくなるので、環境リスクの大きさは同等以下になる。またバイパス後の放流地点を選べば、「良くない出来事にさらされる」人や生態系の密度の低下が期待されるので、この点からも環境リスクの大きさが低減する。

以上は短期的に見た水質汚染問題であるが、超長期的には、こうした化学物質などが受水域に蓄積しないかどうか考慮する必要がある。受水域に何らかの化学物質などの除去メカニズムがある場合には、こうした物質の濃度はある一定値以下にとどまるので、化学物質などの蓄積問題は回避できるが、除去メカニズムが無い場合には、いくら受水域が巨大であっても、いつかは化学物質などの蓄積問題が起きる。

化学物質などの蓄積問題が起きる場合には、有効な対策は(1)の発生源管理を完全に実施する以外にないが、通常これは短期的には極めて困難である。例えば(3)のバイパスや(2)の水処理などを行い、問題の顕在化までの時間を稼ぎ、この間に(1)の発生源管理を具体化するということになるであろう。

以下の議論においては、本章の考え方に基づいて、海中放流管の意義について考察をすすめる。

3. 短期的な視点からみた、下水中の汚染成分とその対応の可能性

本章では、下水中の汚染成分について分類し、その各々について放流地点による差異（沿岸域放流のメリット、海洋希釈の有効性）、除去の可能性（汚水から、雨水から）、発生源対策の可能性の観点から評価する。この評価は、2章で言う「短期的な視点」から行うものである。

表－1に下水中の汚染成分とその対応の可能性をまとめている。以下の各節では、この表の縦軸の各成分に沿って評価を行う。

3. 1 栄養塩

総窒素・総リンなどの栄養塩は、多量にあると水域の富栄養化を惹起し水環境保全上問題であるが、適量あると水域生態系の栄養物を提供できるので有用であるといえることができる。だから、海中放流などで高度の希釈ができると、外洋でも障害が少ないし、沿岸域の水質保全上も有効である。一方、適量を沿岸域に放流することもメリットがある。

表－１ 下水中の汚染成分の分類と、その対応の短期的可能性

汚染成分		例示	放流地点による差異		除去の可能性		発生源対策の可能性
			沿岸域放流のメリット	海洋希釈の有効性	汚水から	雨水から	
栄養塩		総窒素・総リン	薄ければメリット有	有効	可能だが難しい	難しい	難しい
			△	○	△	×	×
病原性微生物		クリプトスポリジウム、ウイルス	なし、むしろマイナス	有効と思われる	可能だが難しい	難しい	難しい
			×	○	△	×	×
難分解性微量有害物質	事業所由来	PCB, DDT, ダイオキシン	なし	有効でない？	難しい	難しい	難しいが可能だろう
			×	×	×	×	△
	一般家庭由来	医薬品	なし	有効でない	難しい	難しい	難しい
			×	×	×	×	×
分解性(その後無害化)微量有害物質		エストラジオール(女性ホルモン)	不明だが、ないだろう。	放流の仕方によるが、有効だろう。	難しい	難しい	難しい
			×	○	×	×	×
重金属類		水銀、鉛、クロム	なし、むしろマイナス	有効だろう	可能だろう	難しい	可能である。
			×	○	○	×	○
油その他の有害物質		重油、石油質	なし、むしろマイナス	有効ではあるが、害もある。	可能	難しい	可能であろう。
			×	△	○	×	○
浮遊性物質とプラスチックごみ		浮遊ごみ	なし、むしろマイナス	有効でない。	容易	可能	難しい
			×	×	○	○	×
BOD物質		蛋白質、でんぷん、糖類	なし、むしろマイナス	有効	可能	難しい	難しい
			×	○	○	×	×
SS		固形物	なし、むしろマイナス	有効	容易	難しい	難しい
			×	○	○	×	×
スコア合計			1点	13点	12点	2点	5点
○:2点, △:1点, ×:0点			○:0 △:1 ×:9	○:6 △:1 ×:3	○:5 △:2 ×:3	○:1 △:0 ×:9	○:2 △:1 ×:7

現在、各種の脱リン・脱窒素技術が実用化されており、汚水から栄養塩を除去することは可能だが、一定程度は残留し、又除去の費用が高むなど、困難性もある。雨水中の栄養塩を直接降雨のたびに除去するのは困難であり、雨水を貯留して晴天時に処理場へ送るなど必要であるが、難しいと言わざるとえない。

栄養塩の発生源対策としては、畜産や事業所だけでなく、一般家庭でも尿尿の下水への投入をやめるなどのドラスティックな方策が必要となり、難しいと言わざるを得ない。確かに尿の分離について提案されているが³⁾、尿だけ分離しても尿が残っているのは栄養塩対策としては不徹底であり、また都市域の尿の大部分を分離するのは困難であろう。

3. 2 病原性微生物

病原性微生物は貝類などに蓄積され食中毒など引き起こすので、沿岸域に放流するメリットなどなく、むしろマイナスである。海中放流管で遠方での海洋希釈を行えば、海棲生物を汚染する危険性は減少するので、環境リスク管理上有効であると思われる。ただし近年、深海における人類由来の耐塩素性微生物の生存などが懸念されているので⁵⁾、こうした漏れのないよう殺菌方法の検討など必要であろう。また例えば、病原性微生物の殺菌効果など考えると、放流希釈水を日光に晒す方がよい場合もあると思われるので、海中への放流方法の研究がさらに必要とされよう。

病原性微生物を汚水から除去することは、ろ過や膜処理あるいは殺菌などにより対処することが可能であるが、通常の水処理では十分に除去することは難しい。雨水中の病原菌を直接降雨のたびに除去するのは困難であり、雨水を貯留して晴天時に処理場へ送るなど必要であるが、難しいと言わざるとえない。

病原菌の発生源対策としては、畜産や事業所だけでなく、一般家庭でも尿尿の下水への投入をやめるなどのドラスティックな方策が必要となり、難しいと言わざるを得ない。確かに尿の分離について提案されているが³⁾、尿だけ分離しても尿が残っているのは病原菌対策としては不徹底であり、また都市域の尿の大部分を分離するのは困難であろう。

3. 3 事業所由来の難分解性微量有害物質

こうした物質を含む水を沿岸域に放流するメリットはない。また海洋に希釈放流しても、生物が濃縮してしまえば効果は減殺されるので、有効でないと思われる。

こうした物質を汚水から十分除去することは難しく、まして雨水から除去することは難しい。下水処理により環境ホルモン物質が1桁減少するという報告があるが⁶⁾、これで十分なレベルであるか不明である。

事業所由来の難分解性微量有害物質は限られた数の事業所から発生するので、発生源対策は困難ではあるが可能であろう。

3. 4 一般家庭由来の難分解微量有害物質

こうした物質を含む水を沿岸域に放流するメリットはない。また海洋に希釈放流しても、生物が濃縮してしまえば効果は減殺されるので、有効でないと思われる。

こうした物質を汚水から除去することは難しく、まして雨水から除去することは難しい。下水処理により環境ホルモン物質が1桁減少するという報告があるが⁶⁾、これで十分なレベルであるか不明である。

一般家庭由来の難分解性微量有害物質には例えばビルなども含まれ、この発生源対策としては、畜産や事業所だけでなく、一般家庭でも尿尿の下水への投入をやめるなどのドラスティックな方策が必要となり、難しいと言わざるを得ない。確かに尿の分離について提案されているが³⁾、尿だけ分離しても尿が残っているのはこうした物質の対策として不徹底であり、また都市域の尿の大部分を分離するのは困難であろう。

一般家庭由来の難分解性微量有害物質は、結局、単独では良い対処法がないことになる。表-1に示す各施策を総合的に実施することになるが、それでも駄目な場合には、下記のようなさらにドラスティックな方

法を検討する必要がある。

- ・ 無理を承知で、一般家庭でも尿尿の下水からの分離を行う。
- ・ 医薬品などの一般家庭での使用を中止する。
- ・ 体外には排出されないような薬剤形態とする。
- ・ 下水処理場で超高度処理により除去する。

3. 5 分解性（その後無害化）微量有害物質

エストラジオールなどの女性ホルモンは、現在不明であるが、分解過程はあるはずである。例えば日光の紫外線などが効果があると言われている²⁾。だから沿岸域に放流して日光などに晒すことは有効ではあると思われるが、分解される前に生態系に害を及ぼすことが考えられ、メリットはないだろう。一方、海中放流管などで海洋希釈放流することは、希釈排水が日光に晒されるなどの条件が担保できれば、生態系に及ぼす害は少ないと思われるので、有効であろう。

こうした物質を汚水から除去することは難しく⁶⁾、まして雨水から除去することは難しい。

分解性微量有害物質の発生源対策としては、畜産や事業所だけでなく、一般家庭でも尿尿の下水への投入をやめるなどのドラスティックな方策が必要となり、難しいといわざるを得ない。確かに尿の分離について提案されているが³⁾、尿だけ分離しても尿が残っているのはこの対策としては不徹底であり、また都市域の尿の大部を分離するのは困難であろう。

3. 6 重金属類

重金属類を沿岸域に放流すると、底質汚染を引き起こし、これが生態系にリスクとなるので、沿岸域放流のメリットはなくむしろマイナスであろう。しかし海中放流管で海洋希釈放流すると、重金属類はSS分に付着して沈降してしまうので、海洋表層の生態系から遠ざけられることになり、リスク管理上有効である。

重金属類は主としてSS分に付着しており、汚水から除去することは可能であろう。ただし汚泥の処分が難しくなる懸念がある。一方、雨水の場合には、雨水中の重金属を直接降雨のたびに除去するのは困難であり、雨水を貯留して晴天時に処理場に送るなど必要であるが、難しいと言わざるを得ない。

重金属類は主として事業所から発生するので、発生源対策は可能である。

3. 7 油その他の有害物質

油その他の有害物質を沿岸域に放流すると、干潟の生態系などに甚大な損害があり、メリットはなく、マイナスである。こうした排水を海中放流管を通じて希釈放流すると、沿岸に流れ着く前に生物酸化分解されれば、生態系に対する影響はより軽減されたことになるので、有効ではあるが、海洋環境に悪影響がある場合もある。

油などを汚水から除去することは可能である。一方、雨水の場合には、雨水中の油類を直接降雨のたびに除去するのは困難であり、雨水を貯留して晴天時に処理場に送るなど必要であるが、難しいと言わざるを得ない。

油などは一般家庭からも流されることがあるが、大所は事業所であり、発生源対策は可能であろう。また、これが最も望ましい方法である。

3. 8 浮遊性物質とプラスチックごみ

こうしたものを沿岸域に放流することはメリットはなく、マイナスである。こうした排水を海中放流管を通じて希釈放流しても、やはり波間を漂うことになるので、有効ではないだろう。

浮遊ごみなどを汚水から分離することは比較的容易であり、また雨水から分離することも、スエール型分

離機などを用いれば可能である。

浮遊ごみなどの発生源対策としては、事業所だけでなく、一般家庭でもトイレトーパーや紙おむつなどの使用をやめるなどのドラスティックな方策が必要となり、難しいといわざるを得ない。

3. 9 BOD物質

BOD物質を沿岸域に放流すると、沿岸域の溶存酸素を減らし、生態系に害があることもあるので、メリットはなく、マイナスである。しかし、こうした排水を海中放流管を通じて海洋希釈すれば、溶存酸素減少による害はほとんどなくなるので、希釈は有効であると思われる。

污水からBOD物質を除去することは、下水処理場の機能などを通じて可能である。しかし、雨水の場合には、雨水中のBOD物質を直接降雨のたびに除去するのは困難であり、雨水を貯留して晴天時に処理場に送るなど必要であるが、難しいと言わざるを得ない

BOD物質の発生源対策としては、畜産や事業所だけでなく、一般家庭でも尿尿の下水への投入をやめるなどのドラスティックな方策が必要となり、難しいといわざるを得ない。

3. 10 SS

SS分を沿岸域に放流しても、メリットはなく、沿岸に汚い泥が蓄積するなどマイナスである。しかし、こうした排水を海中放流管を通じて海洋希釈すれば、SSは海底に沈降するだけであるので、リスク管理上有効である。

污水からSSを除去することは、下水処理場の機能などを通じて容易である。しかし、雨水の場合には、雨水中のSSを直接降雨のたびに除去するのは困難であり、雨水を貯留して晴天時に処理場に送るなど必要であるが、難しいと言わざるを得ない

SS分の発生源対策としては、畜産や事業所だけでなく、一般家庭でも尿尿の下水への投入をやめるなどのドラスティックな方策が必要となり、難しいといわざるを得ない。

4. 超長期的な視点からの評価

2章で述べたように、超長期的な視点からの評価は、当該物質についてその受水域で何らかの除去メカニズムがあるかどうかについて検討することにより行われる。表-1の縦軸の各物質について検討を進めると以下のとおりである。

栄養塩については、漁獲などにより栄養塩の回収メカニズムがある。また表層のプランクトンに吸収された栄養塩は、その死骸が海底に沈殿して除去されるメカニズムもある。このように沿岸域でも海洋でも除去メカニズムがあるので、その海水中への超長期的な蓄積問題を考慮する必要はないであろう。

病原性微生物は、海水中における固有の微生物との競争や、日光による殺菌作用などにより死滅する。あるいはSS分に付着して海底に沈殿する。こうした除去メカニズムがあるので、海水中の蓄積については概ね考慮する必要はないであろう。

しかしこうして沈殿した微生物の一部は海底で生存している⁵⁾との報告があり、これが海洋表層に出てくることがまったく無いとは言いきれない。この現象については、今後とも慎重にモニタリング等を行い、早期に対策を検討する必要がある。もっとも深海底やその下部の地層にも微生物は豊富に存在する⁷⁾ので、深海底に運ばれた人間由来の微生物の運命については、こうした深海固有微生物との生存競争も考慮にいれて判断する必要がある。

難分解性微量有害物質は、その分解や除去のメカニズムが本当になければ、遅かれ速かれ、たとえ太平洋でも蓄積が問題になる可能性がある。こうしたことの無いよう、その使用と水中への排出を避けるよう、出来るだけ早期に対応する必要がある。ただし海底火山の噴火や海底油田やメタンハイドレート等からの噴

出の際こうした物質も作られているならば、歴史的スケールでは分解されている可能性もあり、検討が必要である。

分解性の微量有害物質は、分解が促進されるような措置を行えば、蓄積問題の恐れはないであろう。

重金属類はSS分に付着して海底に沈降する除去メカニズムがある。こうした重金属類は海底火山などにより、もともと大量に海中に供給されているものである。こうした排水由来の重金属について配慮する必要性は薄いのでないか。

油その他の有害物質は、長期的には微生物により分解されるので、超長期的には蓄積問題を考慮する必要性は薄いであろう。

浮遊性物質とプラスチックごみは放置するといつまでも海洋表面を漂うことになるので、人間による対応が必要であり、また可能である。こうしたごみは、島に流れついたものも、あるいは海洋の特定の場所にたまったものも、時々掃除する必要がある。こうしたことも含んで考えれば、蓄積問題は考慮しなくてもよいであろう。

BOD物質は溶存酸素があれば分解されるので、その超長期的な蓄積を考慮する必要性はないであろう。

SSは海底に沈殿するので、その海洋への蓄積を考慮する必要性は薄いであろう。

結局、超長期的に懸念されるのは難分解性微量有害物質で、病原性微生物についてもやや懸念されるということになるであろうが、海底火山の噴火による影響や、深海底やその下部の地層中の固有微生物との生存競争などについても検討が必要である。

5. 海中放流の総合的検討と、その推進

表－1を眺めると、海洋希釈のスコアが最も高く13点であり、また○が6件と最多の汚染成分について有効であることが分かる。特に栄養塩、病原性微生物、分解性（その後無害化）微量有害物質などでは、唯一の有効な方法であるようだ。

海洋希釈の有効でないのは、難分解性微量有害物質、及び浮遊性物質とプラスチックごみの二つであるが、後者は排水放流地点で除去可能である。難分解性微量有害物質の場合、それが主として事業所由来の場合には、発生源対策が唯一の対応策であるが、一般家庭由来の場合にはそれも難しい。

また、海洋希釈が有効ではあるが害もありそうなものとして、油その他の有害物質があるが、これは汚水から除去し、又発生源管理で対処する必要がある。

だから現在の下水道システムに海中放流管による海洋希釈を加える必要性やメリットは、短期的視点からは十分にあるが、これは各種の発生源管理や水処理などによる除去でカバーする必要があるということができる。

そして一般家庭由来の難分解性微量有害物質については、表－1に示す対策を総合的に実施することになるが、それでも駄目な場合には以下のようなスーパーハードな対応策の検討が必要である。

- ・ 無理を承知で、一般家庭でも尿尿の下水からの分離を行う。
- ・ 医薬品などの一般家庭での使用を中止する。
- ・ 体外には排出されないような薬剤形態とする。
- ・ 下水処理場で超高度処理により除去する。

難分解性微量有害物質や病原性微生物の場合には、その超長期的な海洋への蓄積についても配慮する必要がある。この対策としては、発生しないようにするか又は水中に入らないようにするかしかなく、上記のスーパーハードな対策などの実施が真に必要なのかもしれないが、今後の検討に委ねることになる。その際、海底火山の噴火によるこうした化学物質の産出と除去の可能性や、深海底やその下部の地層中の固有微生物との生存競争などについても考慮が必要である。

なお、以上の方策パッケージはたんに下水を海中に放流せしめようとのみするものではなく、発生源管理

など市民の協力も強く求めるものであり、ただ捨てることを目指すものではなく、排水の総合的なリスク管理をめざすものである。

市民の環境倫理の高揚も期待するものである。

参考文献

- 1) 環境に調和した下水道の可能性－社会経済システムと環境－，水谷潤太郎，環境システム研究 Vol.26，1998 年 10 月
- 2) 環境ホルモンによる水質汚染，松井三郎，第 12 回環境システムシンポジウム講演録，土木学会環境システム委員会，1999 年 3 月
- 3) 下水道の発生源対策－21 世紀型下水道を求めて－，松井三郎，月刊下水道 1999 年 4 月号
- 4) 沿岸都市域の水質管理（統合型水資源管理の新しい戦略），米国研究調査評議会（National Research Council），浅野孝監訳，渡辺義公・大垣真一郎・田中宏明共訳，技報堂，1997
- 5) 深海からやってくる病原菌，Carol Ezzell，日経サイエンス 1999 年 8 月号
- 6) 建設省中間報告「水処理工程における水質の挙動」，日本下水道新聞 1999 年 6 月 29 日
- 7) 地下生物圏を探れ，中島林彦，日経サイエンス 1999 年 9 月号