

1. はじめに

クリプトスポリジウム等の病原性微生物の問題や環境ホルモンをはじめとする化学物質など新たな水質問題が次々と顕在化しており、水道をはじめとする利水や河川環境への深刻な影響が心配されている。これらは、水循環の変化がもたらした影響として捉える必要があり、問題が直接生じたところのみで対処するというよりも、河川・流域・社会が一体で取り組むことが必要となってきた問題である。特に、水系感染に関わる病原性微生物は、我が国をはじめとした先進諸国では、水道や下水道の普及によって既に克服されたものと思われていた感があったが、近年、欧米諸国でも水道水やリクリエーションでの水を経由した感染が多発していることが次第に明らかとなってきた。我が国においても、埼玉県越生町で発生したクリプトスポリジウムの水道による感染事故以来、水道水に対する大きな不安が国民に広がり、水道の問題としてだけでなく、河川や下水道など流域を巻き込んだ取り組みが必要であるとの意識も高まってきている。ここでは水系感染微生物によって生じるリスクの制御を流域の視点から捉える必要性を考えてみたい。

2. 適合率の低い衛生学的な水質環境基準

我が国の水道法の水質基準は、糞便の汚染が懸念されることがないように大腸菌群数が検出されないこととなっており、水質環境基準では異なる浄水方法と厚生省の水浴場の基準を考慮して¹⁾、水道の原水となる公共用水域の衛生学的基準を大腸菌群数で100mLあたり、河川及び湖沼ではAA類型で50MPN、A類型では1000MPN、B類型では5000MPNが定められてきた。また、海域では水浴が行われる水域の基準として100mLあたりの大腸菌群数としてA類型1000MPNが、また、海水浴場などでの水浴基準として、100mL中の糞便性大腸菌群数が100未満では快適、1000をこえる場合は不適として、海水浴場の管理が行われている。

しかし、全国の河川、湖沼、海域で測定された大腸菌群数データが環境基準に適合していない割合はこれまで約7割と特に河川で極めて大きいにも関わらず、これまであまり問題視されることがなかった。この理由としては、大腸菌群数を衛生学的汚染指標に用いられても、人の糞便に由来する汚染だけでなく、土壌に由来する細菌を多く含むことなどから、清浄な河川の環境基準の達成性を大腸菌群数で議論することが意義を持たなかったと考えられる。このため、現在、環境庁では衛生学的な環境基準にどのような指標を用いるべきであるのかが議論され始めている²⁾。

一方、水質汚濁防止法に基づく衛生学的な排水の放流基準は、大腸菌群数で1mL中3000という基準が定められている。この排出基準は他の生活関連項目と同じく、水域での環境基準の達成性よりも、むしろ従来技術の達成性を考慮して定められたものである。下水道法での放流水質基準も、この水質汚濁防止法と同様な放流基準が用いられているが、水域の環境基準の達成性を考慮して流域単位で下水道整備計画を定めることとなっている流域別下水道整備総合計画においても、大腸菌群数が代表される衛生学的な水質環境基準を達成するための放流水質の検討は現在までのところ行われていない。

したがって、極言すれば、我が国においては、水道利用、水産利用、リクリエーション利用を考慮した衛生学的な環境基準はあるが、その達成性は十分議論されておらず、また達成するための施策の推進は体系立てては行われてこなかった。

3. 衛生学的基準の達成性を重視する米国

一方、特に米国では衛生学的基準の水域での達成性がこれまでも大きな関心と呼んできた。米国では、1972年のClean Water Act成立後、連邦政府は1次リクリエーション水域の病原性細菌の基準として、幾何平均で糞便性大腸菌群数100ml中200（当初は大腸菌群数として1000）とする水質環境基準を、また魚介類の基準として、貝類の捕獲水域は、糞便性大腸菌群数14MPN/100ml（中央値）とする水質を満足することが定められた。その後、水質環境基準としての合理性を見直し、連邦政府は1986年に水浴場での疫学調査に基づいて、E.coliと腸球菌を指標とする基準への変更を行い、現在州レベルで改定が検討されている³⁾。

米国では、全国汚染排出削減計画（NPDES）と呼ばれる目標水質達成のため、排出源からの負荷量割り当てを行い、排出源の排水基準を定める計画を持っている。これは我が国の流域別下水道整備総合計画と類似で排出者への負荷割り当てを行うものであるが、下水道計画への反映にとどまらず、下水道以外の排出者への負荷割り当ても行われる。現在のところ連邦政府からは病原性微生物の割り当ての具体的な手順が示されていないため、多くの州では、衛生学的な排出基準に関しては陸域での排水の放流水質を、河川の希釈、減衰、効果を考慮せず、環境基準と一致するように定めている。しかし、沿岸域の下水処理場から海中放流によって下水を処分する場合など海域での希釈や拡散の効果が大きい場合には、その効果を考慮して水域の水質が担保できるように、放流水の衛生学的な水質を定めている州もある。この結果、下水処理場からの放流水は、州あるいはさらに放流水域によって様々なレベルの排出基準が設けられ、糞便性大腸菌群数で100ml

中 2.2 から 5000MPN、大腸菌群数で 100ml 中 2.2 から 10,000MPN という幅のある数字となっている。最も多く使われている排水基準値は糞便性大腸菌群数で 100ml 中 200 から 1000 で、45 州を越えるところでは、河川への放流を行う場合、糞便性大腸菌で 200/100ml を最頻値とする多段階の基準を適用している。少なくとも 15 州は糞便性大腸菌群数と大腸菌群数の両方の基準を持っている。また少なくとも 15 州は魚介類が捕獲される水域への下水放流に対しては糞便性大腸菌群数で 14/100ml、9 州ではこれよりも厳しい基準が適用されている³⁾。

米国では水域での衛生学的基準が達成されているか否かは、沿岸域での社会活動に大きな影響を与え、ニューヨークやボストンなどでは水域の大腸菌群数や糞便性大腸菌群数が基準値を超えたため、貝類の収穫や水浴が不可能となり大きな問題となった⁴⁾。このため、一次処理を中心としていた下水処理場の処理のレベルアップと海洋の放流地点の再構築などを行い、次第に衛生学的な環境基準を達成しつつある。また、オハイオ川など内陸の河川についても、雨天時の合流式下水道からの越流水中に含まれる衛生微生物の対策と農地から流出する衛生微生物の評価などを行ったり、マサチューセッツ州チャールズ川などでは流域での衛生学的な負荷割り当てを行い、リクリエーション利用が可能な水域環境の達成計画の検討を始めている。

4. 水道でも浄水から流域管理への広がり

大腸菌群数や糞便性大腸菌群数などの指標生物を用いた水質管理はウイルスや原虫といった環境での耐性が強い病原性微生物の指標の代表性として疑問が生じてきている。特に水道にとってクリプトスポリジウムは、浄水での従来の塩素消毒ではほとんど効果がなく、現在のところ凝集やろ過での除去を期待するしかなく、除去率を上げるためには膜ろ過やオゾン処理といった新たな技術の導入が必要となっている。このような新たに注目されている原虫やウイルスは、感染量が極めて小さくても人へ感染が起り、免疫力の弱い人々への感染は致命的であること、指標生物が存在しないという従来の消毒効果の確認方法では対応が不可能であることなど、水道水質の安全性を脅かすリスクとして新たに登場した。これらのリスクを制御する目標設定方法として、化学物質と類似のリスク方法が使われ始めており、米国ではすでに年間感染確率 10^{-4} を目標としたジアルジアとウイルスに対応するための浄水処理基準がすでに定められている⁵⁾。また、現在最大の問題であるクリプトスポリジウムについての浄水処理基準が検討されているが、費用的に実現可能な除去レベルと方法の選定が問題となっている。

水道水を保全するために公共用水域の水質基準を設けるとの考え方は、これまで米国ではとられてこなかったが、1996 年に成立した Safe Drinking Water Act の改定で水源保全の考え方が強く打ち出された。新しい改定法では、Source Water Protection の概念が導入されており、水道の浄水としての対策だけでなく、水道水源を保全するために、その上流域での汚染源を調査し、必要に応じて排水対策を講じるというものである。我が国では既に水道水源法としてトリハロメタン生成能について実施されているが、米国では農業や病原性微生物にまで拡張されている。この場合、下水処理場を中心とした都市からの排出だけでなく、野生生物や農業からの負荷についても考慮する必要がある。家畜からの O-157 やクリプトスポリジウムの排出の問題がきっかけとなって、農業や利用される汚泥や食品産業からの病原性微生物の負荷排出が問題視されてはじめており、病原性微生物を制御するための流域管理計画が作られはじめています。

5. 流域管理計画策定への課題

我が国においても水道、リクリエーションや魚介類の安全性の保全などの水域での有効な衛生学的基準を確立し、その水質環境を効果的に達成するための政策が流域規模で検討される必要がある。しかし、様々な情報の不足がその障壁となっている。まず、流域を考慮する場合、病原性微生物の排出源がどの程度のレベルで、実際の河川などの公共用水域でどの程度であるのかを知る必要がある。しかし、特定な排出源や公共用水域では限られた指標生物を用いたモニタリングが行われているのが現状である。下水処理場や尿尿処理場など大規模な特定施設からの排水は大腸菌群数についての測定が行われているが、まとまった形でデータとはなっていない。また、大腸菌群数については、排水の測定方法が水域の測定方法と異なることも問題である。尿尿の処理形態を考えると、個人管理の浄化槽について、尿尿単独あるいは合併いずれの実測データも極めて限られており、また雄排水に由来するデータも取られてない。

さらに、人の排泄に由来しない病原性微生物の調査も必要であり、食品加工や食肉などの解体に伴う排水に由来するデータ、農業系として畜産に由来して排泄される病原性微生物のデータも極めて重要となるであろう。特に、畜産に由来する病原性微生物は、病原性微生物に感染している家畜一頭あたりの排泄微生物量が人に比べて桁違いに多い場合があり、また人畜共通に感染する場合があるため、今後重点的に調査を行う必要がある。我が国においても、クリプトスポリジウムの調査の中で、畜産排水の寄与を示唆する報告が最近出されている^{6) 7)}。森林や山林に生息する野生動物や野鳥からも無視できない程度の病原性微生物が排泄されていることが次第に明らかになっている⁸⁾。

米国で最近、特に問題となっているのは降雨に伴って流域から流出する病原性微生物の問題である。ミルウオーキーでのクリプトスポリジウムによる水質事故をはじめとして、米国での水道による感染事故は、渴

水の他、洪水とも関連しており、下水の汚水管の破損、雨水排水の問題などの人や野生動物、ペットや家畜を含む動物によって引き起こされると考えられている⁹⁾。まず、都市の問題としては、合流式下水道越流水対策を病原性微生物の対策としても取り上げる場合が多く見られている¹⁰⁾。ボストンなどでは、合流式下水道からの越流頻度を低下させるとともに、越流水の消毒対策をも視野に置いている。一方、分流式の都市雨水排水でも病原性微生物が問題となることが次第に明らかにされてきている。南カリフォルニアで最近行なわれた水浴場での疫学調査では、分流式下水道が完備した都市雨水の吐口付近の水浴者が吐口から離れた地点の水浴者よりも罹患率が高いという結果も報告されている。この主な原因は市街地や背後地のペットなど動物に由来するものと思われる¹¹⁾。また、都市の雨水流出水とともに、堆積している家畜廃棄物が雨天時に農地や牧草地として排出する農業系雨天時排水も大きな汚染源となっているとも考えられている^{8) 13)}。さらに、雨天時には流域や河床に堆積している汚濁物に由来する病原性微生物が巻き上げられ運ばれることも雨天時の汚濁上昇の原因となっている¹⁰⁾が、その実態や機構はほとんど検討されていない。

6. まとめ

6. 1 水系感染性微生物の制御目標の検討

新たな水系感染に対応して、利用目的に応じた水域で人の健康を守るべきリスクレベルを議論し、適切な指標生物あるいは個別の微生物の濃度基準を定める必要がある。人への影響濃度が明確に分かっている微生物の場合には、直接的に人の健康影響に重大な影響を与える病原性微生物濃度をリスクアセスメント手法によって定めることも考えられる。この場合、水道水、リクレーション利用、魚介類といった異なる三つの視点からの評価が必要であろう。水道水へのリスクは、浄水プロセスでの病原性微生物の除去（不活化）とその原水の保全すべきレベルを考慮した基準設定が議論されるべきである。一方、個別の病原性微生物の基準をリスク評価に基づき定める方法の他に、適切な指標生物を選定し、疫学調査を行うことでリスク評価を行い、目標設置を行うことも考えられる。衛生微生物の検出の困難性を考えると環境水や排水ではより現実的な方法であろう。

6. 2 流域としての排水管理計画の必要性

現在の水質汚濁防止法の排出基準は、環境基準の達成性と必ずしも連携していない。今後、衛生学的な環境基準がどのように定められることになるか明確ではないが、環境基準の新たな目標が定められた場合にそれを達成するため流域での環境管理計画が必要である。流域での病原性微生物の排出源に関する調査研究が進め、計画論として衛生学的な環境目標を合理的に達成するための計画作りを検討することも必要と考えられる。特に下水道処理場からの放流水は、流域別下水道整備総合計画などを活用して場所に応じた処理レベルや放流位置を検討することも必要であろう。最も大きな障害は発生源や水域での病原性微生物の情報が不足していることにある。

6. 3 集団感染発生時の対策の考慮

下水処理場へ流入する下水に含まれるクリプトスポリジウムは集団感染が発生した場合、感染が収まった時期に比べてかなり高濃度となることが予想され、下水処理場である程度除去されたとしても放流水中に原が残ることが考えられる。実際、感染事故のあった河川では、事故発生直後に高い濃度が検出されている¹²⁾。下流での水道の取水が行われている場合、二次感染を生じる恐れもあり、常時の水質管理の他に、流域を考慮した危機管理体制も確立が必要であろう。

なお、本稿中意見に渡るのは個人的見解であることをお断りいたします。

7. 参考文献

- 1) 環境庁監修(1988)改訂水質汚濁防止法の解説、中央法規出版。
- 2) 徳田(1998)環境庁の水環境行政－有害物質対策、水循環施策を中心に－、水環境学会誌、21,8,2-5。
- 3) 田中(1998)水系リスクマネージメント指針、サイエンスフォーラム。
- 4) 浅野他(1997)沿岸都市域の水質管理、技報堂出版。
- 5) 田中(1997)金子編：水質衛生工学、技報堂出版。
- 6) 北澤、国包(1998)クリプトスポリジウム等の水道水源調査データの解析、第1回日本水環境学会シンポジウム講演集、119-120。
- 7) 橋本、平田(1998)相模川水系におけるクリプトスポリジウム汚染の実態、第1回日本水環境学会シンポジウム講演集、121-122。
- 8) Smith H.V., J.B.Rose(1998)Waterborne Cryptosporidiosis current status, *Parasitology Today*,14, 1, 14-22。
- 9) Rose, J.B.(1997)Climate forecasting, water resources and environmental health: impact of El Nino associated with climate-sensitive diseases, *Florida Journal of Environment Health*, 1997,8,8-13。
- 10) Gibson III, C.J. et al.(1998)Combined sewer overflows: a source of *Cryptosporidium* and *Giardia*? *Proceedings of Water Quality International 1998*,Book 8, 144-144。
- 11) Santa Monica Bay Restoration Project Bay Oversight Committee(1996)A health effects study of swimmers in Santa Monica Bay, Santa Monica Bay Restoration Project。
- 12) 諏訪、鈴木(1998)下水中等におけるクリプトスポリジウムの実態、第1回日本水環境学会シンポジウム講演集、123-124。
- 13) D'Arcy, B.J. et al.(1998)Initiatives to tackle diffuse pollution in the UK, *Proceedings of Water Quality International 1998*,Book 8, 127-139。