

演題 都市の水循環と病原微生物

講師 東京大学大学院工学系研究科 都市工学専攻 片山浩之 講師

### 感染症の歴史

病原微生物と上下水道に関して、感染症の歴史を考えて見ると、14 世紀に大流行したペストの場合、人は、病原微生物により引き起こされることを全く知らず、どうやって防げばよいかも分からなかった。今では、イエルシニア・ペスティスという細菌が蚤に寄生しその蚤が鼠に寄生して、その鼠が町中を走り回ってということだったと分かっている。時代がさがり、コッホ、パスツ - ルという大先達が、病気が微生物によって引き起こされることを証明する時に使ったのが炭疽病である。病原微生物というものがあって、感染させると病気というある種マクロな症状に繋がる、顕微鏡でしか見えないものが病気を引き起こすことが、やっと 19 世紀に分かってきた。コッホはまた、インドで水の中からコレラ菌を発見する偉業を成し遂げ、19 世紀末には、水系感染する病原微生物が突きとめられてくる。最近では、狂牛病やニューギニアの奇病ク - ル - 病と様々な病気が、プリオンという病原微生物によって繋がっていく、また、肉骨粉が、マテリアルリサイクル・ゼロエミッションの観点で見れば、優れたシステムと言えなくはないが、基本的にはリスクの問題で一気に駄目になる、そういうことを考えると、水のリサイクルにおいても、病原微生物が水の循環システムの中で、非常に大きなインパクトを持ちうる可能性があることを強調しておきたい。

### 病原微生物の感染経路

病原微生物は感染して人の体を蝕み自分の固体数を増やすが、人の体の中が一番居心地が良いため、人から人にうつらないといけない。ある固体の中で自分の数を増やすというミッションと、その体から 1 回出て他の体につるという 2 つのミッションをこなさないといけない。二つ目のミッションは、微生物にとっても結構難しい。そこで環境工学の立場からすると、この微生物にとって危ない橋のところを、何とか断ち切ることが重要となる。相手にしなければならぬのは、経口感染のうち水系感染し得るもの、コレラ、大腸菌、O157、ノロウイルス、その他様々な病原微生物があるが、基本的には、経口感染するものを感染経路で断ち切る。病原微生物は、糞便として出てきたものが何らかの形で口に入ると、腸管の中で増殖するライフサイクルを持っていて、時空を越えて渡り歩き今の中の中にチャンと存在する。しかし、糞便から口には簡単に辿り着けないので、手や指に付く、水を伝う、ハエに止まって貰い、そのハエにご馳走の上にとまって貰う、そして口に入る、これが WHO による説明である。指から食品につる、ノロウイルスのように水から食品にいくものもある。

### 下水道の果たす役割

様々な感染ルートがあり得るが、そのルートをどう断ち切れば良いか。下水道が適切に機能する、あるいは、水を使って手を洗う、食品を洗う、飲み水がきれいになっているこ

と等が考えられる。したがって水は、糞便から口への媒介ベクターとして働くようにも見えるが、ルートを遮断できるというポジティブな評価もでき、十分に機能させることができれば、病原微生物のサイクルをとめることに繋がる。このように考えると、下水道の果たす役割は、病原微生物が濃い状態で出てきて、環境中で拡散して減少していきその僅かが口に入る、その根元の非常に濃度の濃い段階で数を減らす役割を担っている、また、今後も更に大きく担っていく必要があると考えることができる。

#### 感染防御のシステム

病原微生物は、糞便として出てきてその多くが下水処理場に行く。処理されずに河川に行くケース、レクリエーションな水にでてくるものもあるが、処理されたものは河川や海に行く。下水処理場から、水でいくのか汚泥でいくのかはよく把握できていないが、例えば、農業利用された後に口に入る、魚介類の中で蓄積されて口に入る、もしくは、河川の水が水道に使われて口に入るなど、およそ概念として口に入り得るルートは全て考えなければいけない。

したがって、感染防御システムを人間から見ると、免疫システムにより入ってきたものを殺す、手を洗う、風呂に入る、水を加熱する、病原微生物には物理的に近づかないといった習慣的なものと上下水道のようなインフラ整備によって病原微生物を減らすなど、人間はこれまで色々なスケールで、病原微生物の感染を阻止してきた。

#### 近代水道の成立と下水道

古典的感染症と言われるコレラなど、明治の水道を整備する頃、問題となった感染症を考えると、細菌によって引き起こされ致命的な病気であったため、研究が進み1900年代に多くが単離されて様々な病原菌があることが分かった。それらは、糞便から出て口に入るという感染ルートできているが、塩素で不活化され、温血動物の中でしか育たないという制御しやすい特徴を持っているため、同じようなソースから出てくる大腸菌等が良い指標になり、古典的感染症に関係する病原微生物の安全性については、大腸菌がいなければ安全という議論が成り立っていた。疫学的には、上水のろ過によってコレラを防げた、塩素水の手洗いにより感染症を防ぐことができたことなどがあって、近代水道のシステムが19世紀に確立されてゆく。近代水道は、病原微生物の感染症抑止の観点から言うと、ろ過と塩素で細菌を抑え大腸菌群の不在を確認するということに尽きる。濁度をとって塩素を入れ、最後に、大腸菌群の不在を確認して安全という体系を作った。これは非常にうまく機能し、明治から今日までの基本になり、近代水道が、わが国で伸び整備されていった。ただし、ヨーロッパでは、病気が、水道由来か下水道由来かということで論争があったせいもあり、必ずしも水道が優先的に整備された訳ではない。19世紀、病原微生物が分かる前、パリの下水道とかの有名な構築物があるが、それは病原微生物の中身が分かる前だったから、社会的に下水道に投資されたという背景もあると思う。日本の場合は逆に、水道をやれば基本的に病原微生物、コレラはとまる、実際とまるということで、水道優先で下水道は整備が遅れ、どちらかと言うと病気よりは環境浄化の手段として重視され、

戦後、整備が進むという状況だったと言える。

#### 指標微生物

糞便汚染の指標として、糞便に大量に含まれていて病原性では無く、病原微生物よりは生存性が高い大腸菌等が使われる。なかでも大腸菌は、人もしくは恒温動物由来であると言えるので重宝されるが、それ以外のリスクを考えると様々な組み合わせが考えられる。一つは糞便汚染の到達ということで、水がもともと糞便汚染のところを通過してきたと考える指標には色々あり、化学物質も考えられる。二つ目は処理性能を評価する指標であり、あるバリアーにおいて、ここの処理では、ウイルス、クリプトスポリジウム、大腸菌などを除去するのであれば、それぞれの指標を用いて、インプットとアウトプットの引き算から処理を評価する指標、この二つの指標を考えていく必要がある。

#### 新興・再興感染症

クリプトスポリジウムによる水系感染症などが出てきて、近代の水道システムに穴があったと分かってくる。1990年代に明るみに出たが、塩素が効かない、大腸菌は指標にならないことが重要である。主役は原虫だが、原虫と同じように警戒しなければいけないのがウイルスである。両方とも糞便 - 経口感染経路では一緒であるが、腸管系ウイルスのほうは、あまりに情報が無かった。水系感染症をまとめると、古典的感染症のコレラのようなものは、発展途上国では非常に重要問題で、幼児死亡率などに直結する大きい問題である。先進国では、大きい感染症が無くなって下火になり安全になったと思っただが、新興・再興感染症が発生してきて、クリプトスポリジウムをはじめ様々な病気がおこされているが死亡者は少ない。人腸管系ウイルスは、20 から 100 ナノメ - タ - 、0.1 マイクロメーターであるから、膜処理でとれるかとれないかの大きさである。下痢や嘔吐、発熱症状が起こるが、下痢を起こすウイルス性疾患、糞便で出てきて経口で入る病気に関しては、水を意識してやれば、かなり減らすことが出来る。

#### ノロウイルス

腸管系ウイルスには非常に多くの種類があるが、発生件数で言うとノロウイルスが重要になる。ウイルス下痢症因子として、世界で最大の原因因子と言って良いが、中々死ぬことは無い。もう一つ、培養できないという特徴があり、今まで中々正体が掴めなかった。人体を唯一の宿主とし、猿やネズミを使っても実験できない。しかし、アメリカの刑務所で行われた実験で、酸に入れても死なない、熱にも強いとかの実験データがあり、塩素に対しても強いというデータもある。ノロウイルスの生活環を考えると、人にしか感染しなくて動物実験もできないから、とにかく、人の体の中に増加していると思われる。環境中で生き延びて一部が人の口に入る、塩素にも強いから中々死ななくて、大腸菌などの指標生物とは異なるので、大腸菌を測って安全ということとは言えない。下水処理場や浄水場の塩素消毒をすり抜けていると考えられ、カキのアウトブレイク等から考えると、魚介類に蓄積する可能性もある。1990年代に PCR 法をはじめとして分子生物学的な手法が出てきて、培養できないウイルスも測定できるようになってきたことから、環境中からもこの

ウイルスを調べることができ、一気に情報が増えてきた。下水とか河川水とか様々なものからでてきたが、例えばミネラルウォーターからも出てきた。これは、1リットルを毎日1年間調べた結果 30%の陽性率であったというもので、かなり衝撃的な陽性率の高さで、世界中が注目した論文だった。

#### 片山の調査結果

水道水とか多摩川、雨天時越流水、東京湾調査、下水処理場などで調査をして、このウイルスを見つけている。水道水では、検査水量約 300 リットルで調べて、10%位の陽性率というデータが出ている。大雑把に言うと、平均として 1,000 リットル中に 1 個位はゲノムとして入っていると考えられる。欧州産のミネラルウォーターに比べると相当低いと言えるが、流行期にノロウイルスが存在して水系感染する可能性を否定することはできない。下水道に関しても、おとしのデータであるが、30 分おきとか 2 時間おきに測定した結果、定性的であるが二次処理するとかかなり少なくなる。流入と初沈後の水はほとんど変わらず、大腸菌も同じであった。基本的にはウイルス除去は、初沈ではなされず二次処理でされる結果である。雨の時にも同じようなことをやって、初沈ではおちないことを改めて再確認できた。処理によってウイルスが低減するが、定量的に評価する必要があり、また、リスクアセスの観点から、下水処理でどれだけのウイルスを除去すればよいのか、そういう問いの立て方・理屈で見る必要もある。

#### 1 年間調査

2003 年 7 月から 1 年間行ったサンプリングでは、大腸菌は、10 の 5 乗 CFU/ml という濃度から入って行って、処理水のほうはこれだけ（おおよそ 100 位）出ている。ノロウイルスは、流入では大体 100 個/ml とか一万個/ml、季節によって変わる。季節により変わる定性的なことは知られていたが、定量的に、例えば、100 倍の変動幅だということは、我々が始めて捕まえたのではないかと思う。ウイルスの流入濃度から放流濃度を見ると、ほぼ一定で、約 2Log が常におちていると見ることもできる。エンテロウイルスは年間一定で 100 個/ml から千個/ml 位あるが、他のウイルスに比べると沢山おちている。アデノウイルスは、一万個/ml 位で高止まりしていて、1 年を通じてずっと出ている。除去された後も 10 個/ml とか 100 個/ml とかそういう濃度で残っていて、下水処理水中にはアデノウイルスがかなり沢山残っていることが見てとれる。二次処理で物理的にいなくなったのがどれ位か調べて見たところ、HRT とかなり関係があるように見受けられるが、全体を見ると 2.7Log とか大腸菌で 2.76Log、これは 99%から 99.9%ということであり、他のウイルスも大体似たような除去率を示している。

#### 下水中のウイルス（纏め）

- ・ アデノウイルスは高濃度で安定して流入し、除去されても在る程度残るが、ウイルス指標として優れている可能性がある。
- ・ ノロウイルスは、冬は夏の濃度の 100 倍以上高く、冬はアデノと同程度の濃度で入ってくる。

- ・ 二次処理での除去率は大腸菌と大差無いが、ウイルスの種類によって、二次処理によってどれ位除去されるかが異なる
- ・ 塩素消毒については、測定法の問題もあるが、おちているかどうか分からない。

#### 【質疑応答】

Q: ノロウイルスのことですが、冬場に高く夏場に低い、2桁位は違うということですが、これの原因として考えられること、何か思いつかれることはないでしょうか。

A: 流入に関しては、専ら、流域の人々の感染確率というものが効いていると思います。つまり、冬に夏場の100倍の感染者がいると考えるのが、一番妥当だと思います。ただし、一人当たり何匹出すとか、1回の感染でどれ位継続して排出するかというようなことが夏と冬で違っていたり、若しくは、夏は不顕性感染と言って、症状が出ず下痢も何も起こっていないけれども、チョロチョロ排出している人がいて、冬は、そういう人でも、ボンボン下痢をする、それで増えるというようなことになると、そっちの原因で増えるというところが、無視できないのかもしれませんが。しかし、そういう情報が何も無い状況で言うと、100倍の人が感染しているというのが、一つ目の近似的な答えです。しかしそれよりも、もしかしたら、冬場感染してノタウチ回っている人は、10倍出すので、100倍もの感染者はいないのかも知れない、そういう話になるのかも知れません。(片山講師)

Q: ウイルスそのものの性状は変わるのでしょうか。

A: それは無いと思います。排出された後は、もうそのまま、黙って流されてゆきます。粒子自体、非常に単純な構造をしていますので、特に何か、工夫できる余地は無いことになります。(片山講師)

Q: ノロウイルスは至る所にいるみたいだし、今の冬に多いという話になると、生カキを連想しますが。(司会 亀田)

A: 生カキは、結構早いうち、10月とかは、まだ、安全かもしれません。実際、ノロウイルス感染のパターンとして、町の保育所等で流行った後増えて、その増えた後、カキで溜まります。そのカキであたるというのは、秋口は少なく、1月とか2月とかで、カキであたるのはアトに来ます。だから、先に増えて、カキに溜まるという傾向が見られます。当初は、カキが流行の原因かという意見も多かったのですが、実際には、結構、カキであたる前に、社会の中で増えているという話が、最近の通説かと思います。(片山講師)