

浄化槽処理水中の大腸菌群と大腸菌の環境中での消長

中野 仁*

河川水中の有機物濃度は水量の少ない冬期に高くなる傾向がある一方、大腸菌群や糞便性大腸菌群、大腸菌など、糞便汚染の指標となる細菌数は水量も多く、水温の高い夏期に高くなる傾向がある。そこで、これらの細菌が夏期に環境中で増殖しているのではないかと考え、模擬排水、河川水、浄化槽処理水及びみなし浄化槽の処理水を用い、25℃と10℃で1～2日間振盪培養し、増殖の有無を検討した。

大腸菌の純粋株や河川水のような低濃度有機物中に存在していた大腸菌は、培地のような資化されやすい有機物中ではBOD10mg/Lの低濃度でも25℃では増殖したが、同程度以上の有機物濃度であっても、微生物を多く含む浄化槽の処理水や生活雑排水を添加しても増殖せず、現段階では環境中での増殖の可能性を確認するまでには至っていない。

キーワード：排水、浄化槽、大腸菌群、大腸菌、再増殖

Key words : wastewater、jhosou、coliform group、*Escherichia coli*、regrowth

感染症予防の観点から公共用水や生活用水には細菌に関する基準が設けられており、例えば水道水では大腸菌数が、河川水では大腸菌群数が、海水浴場では糞便性大腸菌群数等が定められている。浄化槽の放流水に関しては、そのBOD処理性能に関わらず、一律大腸菌群数が3,000個/mL以下で規定されている。大腸菌群は糞便中に含まれる大腸菌以外に土壤中に存在する細菌の一部も測定されるため、糞便汚染の指標としては必ずしも良好とは言えないが、測定の容易性から長年大腸菌群数が用いられている。

河川水のCODやBODで表される有機物濃度は冬期に高く、大腸菌群や大腸菌などは夏期に高い濃度を示す傾向があることが、多くの河川定点水質調査結果から読み取ることができる。奈良県から大阪府に流れる一級河川の大和川も同様で、糞便性大腸菌群が夏期に高い濃度を示しており、その排出源シュミレーションでは、浄化槽やし尿のみを処理するみなし浄化槽からの放流水が主因であると考えられている。しかし、夏期において浄化槽の機能が悪化したり、消毒薬剤切れ

が多発することが多いとは考えにくい。むしろ、水温が高い方が処理機能もよく、これらの細菌も死滅したり他の微生物に捕食され、処理水中の濃度は低下するものと考えられる。

そこで、浄化槽の処理水に生残した大腸菌群や大腸菌が、水温の高い時期に処理水そのもの、あるいは他の処理水や生活雑排水等の有機物と混ざった後に再増殖する可能性の有無について検討した。

実験方法

1. 実験試料水

種々の有機物濃度中での大腸菌群や大腸菌の増殖の有無を検討するため、模擬排水として従属栄養細菌を測定する際に用いるR2A培地を希釈したものを用いた。

河川水として、淀川から分岐した一級河川の大川河川水を、環状線桜宮駅近辺で採取した。

浄化槽排水として、家庭用小型浄化槽の嫌気ろ床接触ばっ気方式3基(A宅:6人槽、C宅:8人槽)と、担体流動生物ろ過方式2基(D宅:8人槽、E宅:6人槽)の処理水を用いた。

みなし浄化槽排水として、集合住宅に設置された1,050人槽(多室腐敗槽→散水ろ床槽→流量調整槽→接

*大阪府立公衆衛生研究所 衛生化学部生活環境課

Fluctuation of Coliform Group and *Escherichia coli* Discharged from
Johkasou in the Different Environment.

By Hitoshi NAKANO

触ばっ気槽→沈殿槽)の処理水を用いた。この施設からは生活雑排水として、同じ敷地内に設置された雑排水槽(ばっ気実施)から採取した。

2. 接種大腸菌

接種実験には独立行政法人 製品評価技術基盤機構から分譲を受けた大腸菌株(NBRC 3301: *Escherichia coli* (Migula 1895) Castellani and Chalmers 1919)を用い、標準寒天培地上に形成させたコロニーを釣菌し、これを滅菌リン酸塩希釈水で5回洗浄後の希釈菌液を用いた。

3. 細菌数測定方法

大腸菌群(Coli-G)と大腸菌(*E.coli*)は、デソキシコレート酸塩寒天培地法または特定酵素基質培地法であるラウリル硫酸 X-GAL・MUG 培地を用いた MPN 法(5本法)で測定した。

4. 増殖試験操作

各実験試料水を 300mL 三角フラスコに 100~200mL 入れ、夏期の河川水の水温に近い 25℃と冬期の 10℃に設定した振盪培養器を用い、振盪回数 100rpm で増殖の有無を検討した。

4.1 大腸菌の増殖に必要な BOD 濃度試験

どの程度の BOD 源があれば大腸菌は増殖するのか、R2A 培地を細菌測定用のリン酸塩希釈水を用いて BOD 濃度 10~100mg/L に調整し、これに分譲を受けた大腸菌株の希釈菌液を接種し、振盪培養して検討した。25℃では5時間後と1日後を、10℃では1日後と2日後の菌数を測定した。

試料水には大腸菌しか存在しないため、菌数の測定はデソキシコレート酸塩寒天培地法を用いた。

4.2 河川水

河川水中に存在している大腸菌群や大腸菌が、河川水のみ、および河川水に新たな有機物が流入したことを想定して、BOD 濃度が 10、20mg/L になるよう R2A 希釈培地を添加した河川水中で増殖するのか、25℃で振盪培養し、増殖の有無を検討した。

4.3 浄化槽排水での試験

4.3.1 排水中の挙動

消毒が不十分で放流水中に生残した大腸菌群や大腸

菌が、その処理水中で増殖するかを検討するため、家庭用小型浄化槽 2 基(A 宅、B 宅)の消毒前二次処理水を 10℃と 25℃で2日間振盪培養し、変化を観察した。

4.3.2 有機物との接触

浄化槽の放流水中に生残した大腸菌群や大腸菌が放流先で新たな有機物と接触した場合を想定し、B 宅の二次処理水に BOD 濃度が 10mg/L、50mg/L 上昇するように希釈 R2A 培地を添加したもの、さらに有機物として C 宅の二次処理水のろ過滅菌水を等量混合したものの、大規模浄化槽の流量調整槽流出水ろ過滅菌水を等量混合したものを、それぞれ 25℃で1日振盪培養して検討した。

4.3.3 新たな大腸菌との接触

二次処理水の消毒が充分になされた放流水や、膜ろ過方式の浄化槽のように無菌状態に近い放流水が新たな大腸菌と接触したときの挙動をみるため、2 基(D 宅、E 宅)の二次処理水およびそのろ過滅菌水に分譲を受けた大腸菌の希釈菌液を接種し、25℃で2日間振盪培養して検討した。

4.4 みなし浄化槽排水での試験

実験対象とした集合住宅には、し尿のみを処理するみなし浄化槽が設置されており、生活雑排水は雑排水槽を経由して側溝に放流されている。みなし浄化槽の放流水中に生残した大腸菌群や大腸菌が有機物を多く含んだ生活雑排水と接触したときを想定して、二次処理水に雑排水及びろ過滅菌雑排水を3対7の割合で混合した試料を、25℃で振盪培養して検討した。

調査結果

1. 大腸菌の増殖に必要な BOD 濃度

分譲を受けた大腸菌を用いた 25℃での結果を図1に、10℃での結果を図2に示した。

25℃ではリン酸塩希釈水中(0mg/L)での増殖は観察されなかったが、BOD10mg/L の低濃度有機物の存在では24時間後に3オーダー近い増殖が観察された。

一方、10℃では BOD 濃度にかかわらず、減少する傾向にあった。

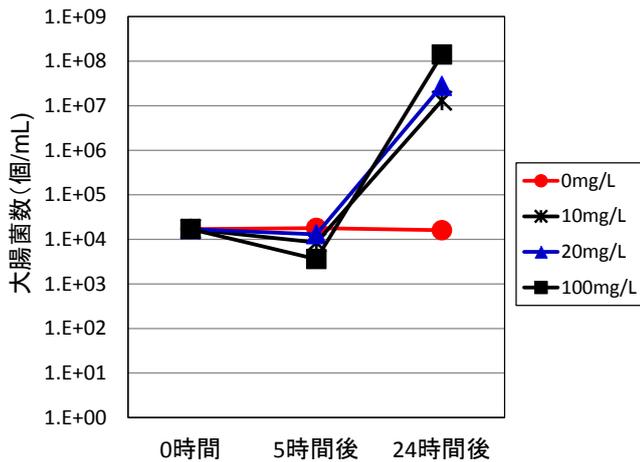


図1 BOD濃度別大腸菌数の変化(25°C)

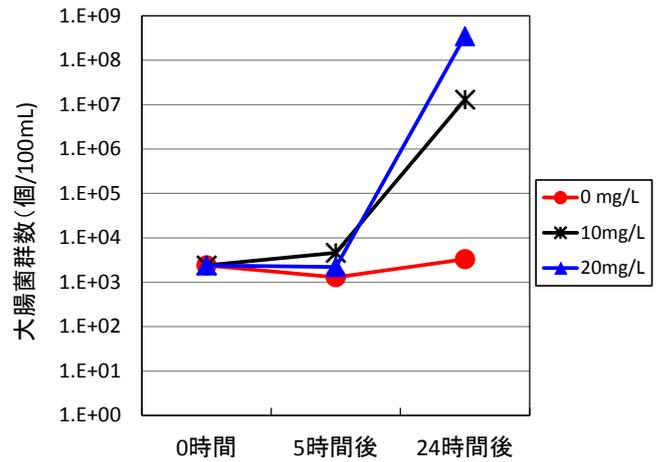


図3 河川水中の大腸菌群数の変化

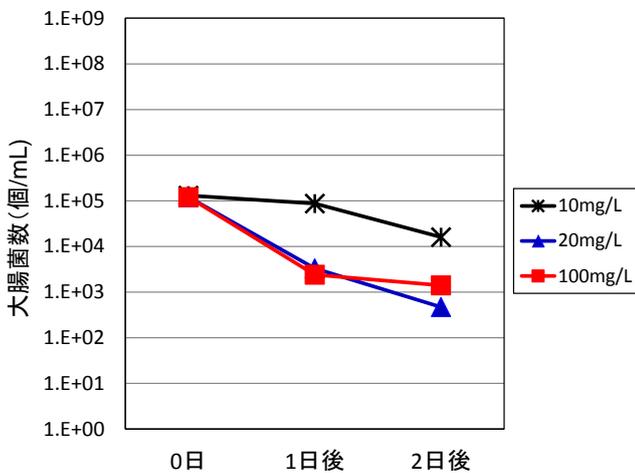


図2 BOD濃度別大腸菌数の変化(10°C)

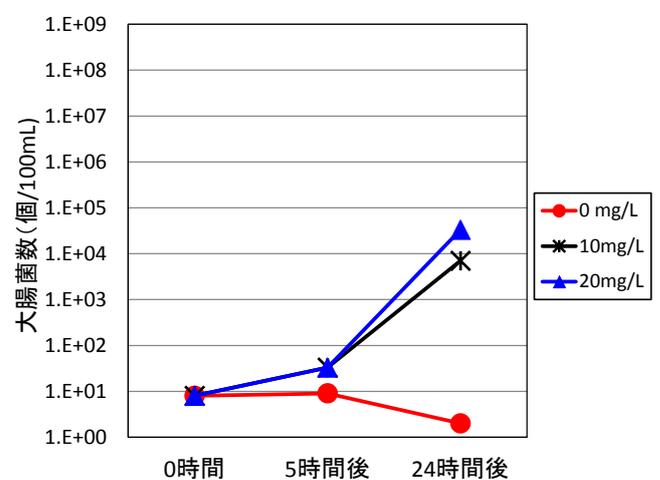


図4 河川水中の大腸菌数の変化

2. 河川水

河川水中に存在する大腸菌群や大腸菌の河川水のみ、および BOD 濃度 10、20mg/L に調整した河川水中での 5 時間後と 24 時間後の大腸菌群数の変化を図 3 に、大腸菌数の変化を図 4 に示した。

河川水中の大腸菌群は有機物との新たな接触がなければ横ばい状態であり、大きく増殖することはなかったが、希釈培地のような有機物が流入した場合、BOD10mg/L 程度の濃度でも 24 時間後で 3~4 オーダーの増殖が観察された。大腸菌は河川水そのままでは減少傾向にあったが、有機物の流入があると大腸菌群と同様、3 オーダーの増殖が観察された。

3. 浄化槽排水

3.1 排水中の挙動

A 宅の採水時の水温は 13.6°C、二次処理水の BOD は

19mg/L、C-BOD（有機物に由来する酸素消費量）は 18mg/L であった。10°C と 25°C で振盪培養した時の大腸菌群数の変化を図 5 に、大腸菌数の変化を図 6 に示した。

いずれの細菌も 10°C ではほぼ横ばいに近い状態であったが、25°C では減少する傾向にあった。

B 宅の採水時の水温は 14.3°C、二次処理水の BOD は 26mg/L、C-BOD は 16mg/L であった。大腸菌群数の変化を図 7 に、大腸菌数の変化を図 8 に示した。

A 宅同様、10°C ではいずれの菌も横ばい状態であったが、25°C では C-BOD が 16mg/L あるにもかかわらず増殖することはなく、むしろ減少傾向にあった。

3.2 有機物との接触

各試料水の BOD を表 1 に、25°C で振盪培養した大腸菌群数の変化を図 9 に、大腸菌数の変化を図 10 にそれぞれ示した。

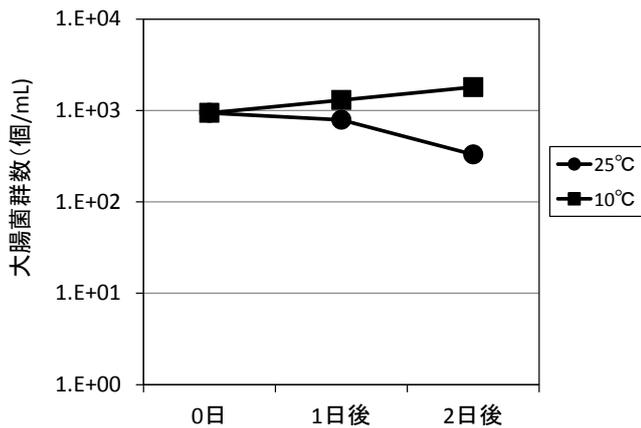


図5 A宅二次処理水中の大腸菌群数の変化

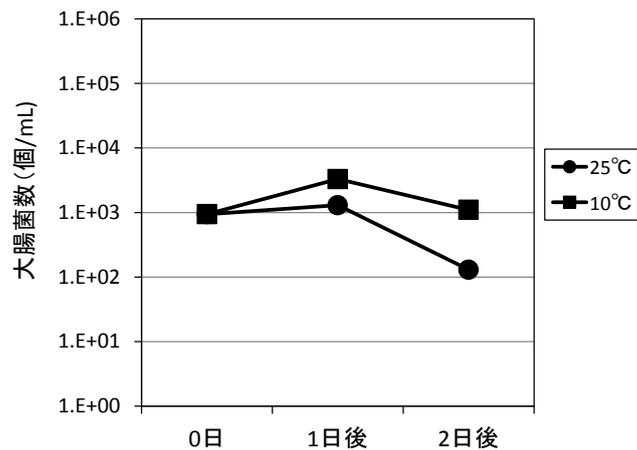


図8 B宅二次処理水中の大腸菌数の変化

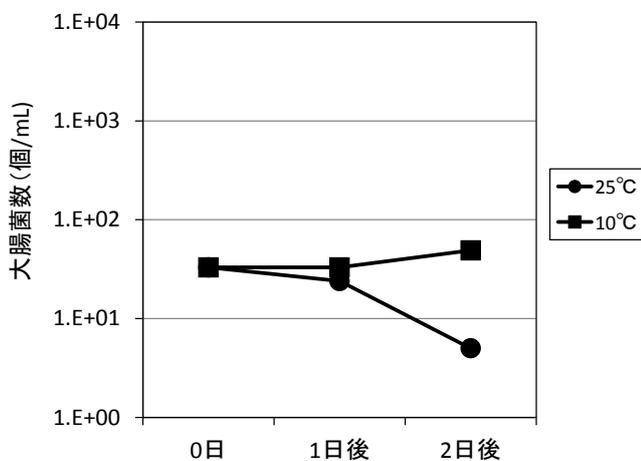


図6 A宅二次処理水中の大腸菌数の変化

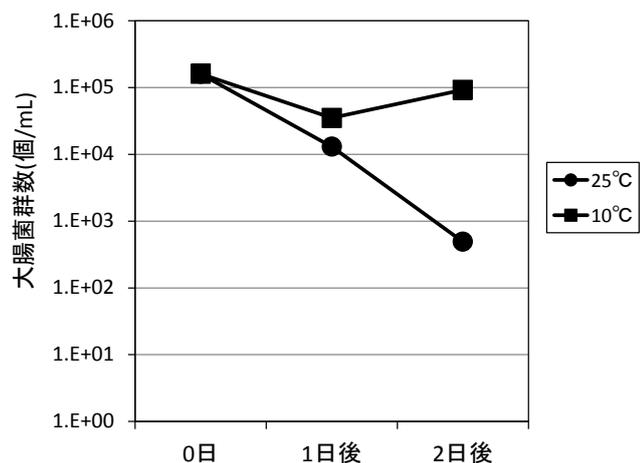


図7 B宅二次処理水中の大腸菌群数の変化

B宅の二次処理水BODが27mg/Lに対し、C宅の二次処理水ろ液のBODが5mg/Lと低かったため、等量混合後のBODは16mg/Lに、同様に流量調整槽流出水のろ過減菌水のBODが31mg/Lであったため、混合後はBOD

表1 各試料水のBOD濃度

	BOD mg/L
① B宅二次処理水	27
② + BOD 10mg/L	37
③ + BOD 50mg/L	77
④ B宅二次処理水 + C宅二次処理水ろ液	16
⑤ B宅二次処理水 + 大規模流調流出水ろ液	29

29mg/Lであった。

二次処理水中(①)では先の実験結果と同様、減少傾向にあった。二次処理水にBODが10mg/L上昇するよう希釈培地を添加(②)した場合は増殖しなかったが、BODが50mg/L上昇するよう添加(③)した場合は、大腸菌群も大腸菌も増殖した。他の施設の二次処理水(④)や流量調整槽流出水のろ過減菌水を添加(⑤)した場合は、BOD濃度が低かったこともあり、増殖は観察されなかった。

3.3 新たな大腸菌との接触

結果を図11に示した。D宅、E宅(両宅とも処理水BOD 10mg/L以下)の二次処理水中には既に大腸菌群や大腸菌、その他の細菌が存在しており、ここに新たに大腸菌を接種した場合、2日後では接種直後の菌数よりも減少する方向にあった。一方、二次処理水をろ過減菌し、存在していた細菌を完全に除去した二次処理水に接種した場合には、大腸菌の増殖が観察された。

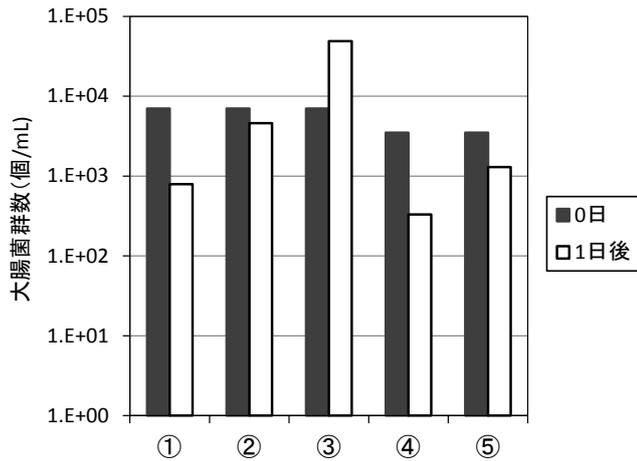


図9 有機物と接触後の大腸菌群数の変化

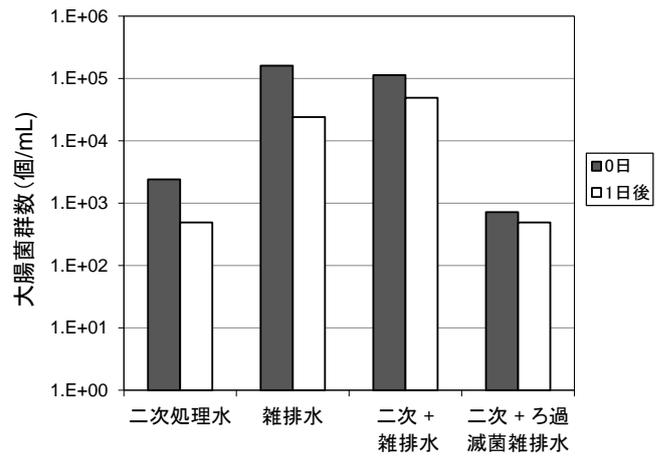


図12 みなし浄化槽水での大腸菌群数の変化

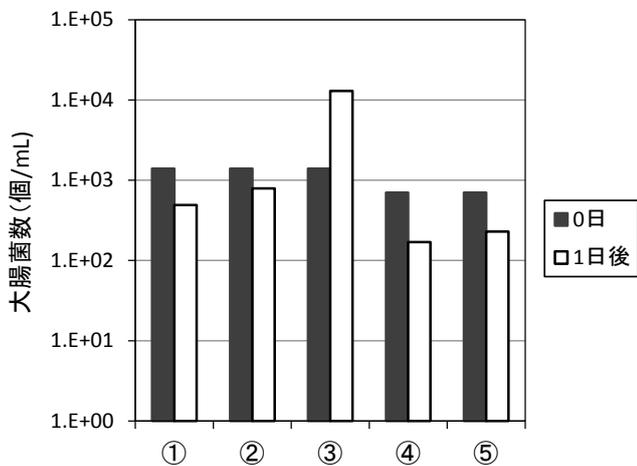


図10 有機物と接触後の大腸菌数の変化

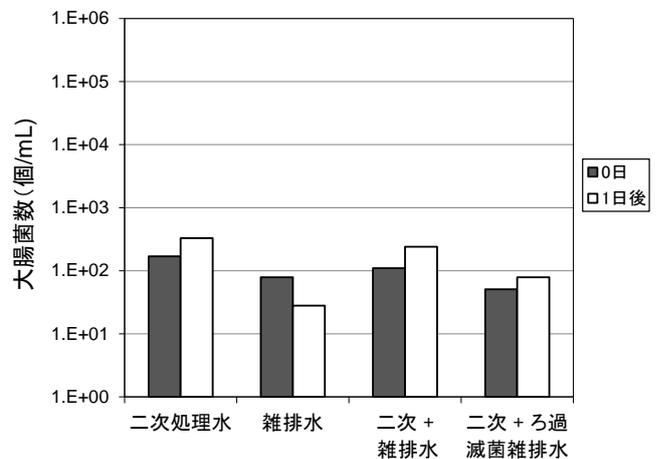


図13 みなし浄化槽水での大腸菌数の変化

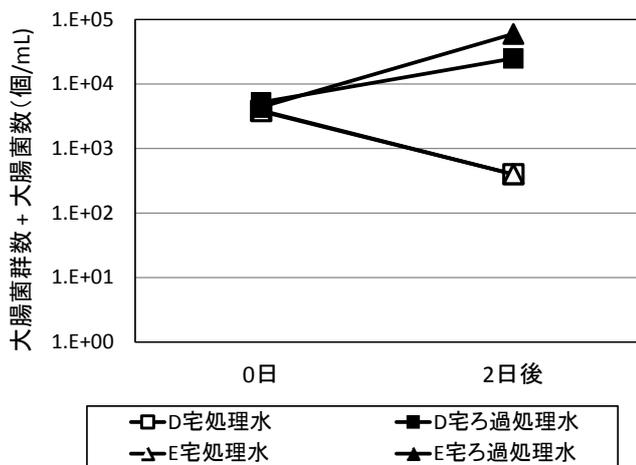


図11 新たな大腸菌と接触後の細菌数変化

BODは31mg/Lであったが、過去のデータから考えると窒素化合物の酸化に由来する酸素消費量

(N-BOD)が多く、C-BODは10mg/L以下と考えられた。生活雑排水は雑排水槽内がばっ気されていることもあり、BODは36mg/Lと低かった。二次処理水に雑排水を混合した後のBODは34mg/L、ろ過滅菌雑排水を混合した後のBODは20mg/Lであった。

結果を図12、図13に示した。二次処理水に雑排水またはそのろ液を添加した場合、大腸菌群数はわずかに減少、大腸菌はわずかに増殖しているように見えるが、大きな変化はなかったと考えられた。

まとめ

4. みなし浄化槽

採水時の水温は27~28℃であった。二次処理水の

夏期に河川水中の大腸菌群や大腸菌が多い原因とし

て、気温の上昇に伴い環境中でこれら細菌が増殖する可能性について検討した。

純粋培養された大腸菌や河川水中に存在している大腸菌群や大腸菌は、培地で調製された BOD10mg/L 程度の低濃度有機物の存在でも、25°Cでは1日後に3オーダー以上の増殖が観察されたが、10°Cでは増殖は観察されなかった。

河川水や浄化槽、みなし浄化槽の処理水を振盪培養したところ、そこに存在していた大腸菌群や大腸菌は、25°Cであっても1~2日後では増殖することはなく、むしろ10°Cより減少する傾向が強かった。花本¹⁾は河川水を4~25°Cで静置培養したところ、大腸菌は水温が高い方が死滅速度が速かったことを、大河内²⁾も水温が高い方が海水中の大腸菌の減数速度が大きかったと報告しており、今回の実験結果と一致していた。

浄化槽の二次処理水に R2A 培地の希釈液を添加したところ、BOD10mg/L の上昇では河川水と異なり増殖しなかった。これは河川水の BOD が 1mg/L 以下であったことに対し、BOD が 27mg/L の処理水に 10mg/L 添加であったためと考えられた。一方、希釈培地で BOD50mg/L 上昇させた場合には、大腸菌群と大腸菌とも増殖が観察された。

浄化槽の二次処理水が他の施設の二次処理水や未処理の流入汚水と混ざった場合、混合後の BOD 濃度が二次処理水と同程度であれば、25°Cでも大腸菌群や大腸菌の大幅な増殖は観察されなかった。

一方で、二次処理水の BOD が 10mg/L 以下であっても、そのろ過滅菌水にそこには存在していない新たな大腸菌を接種した場合、2 日後では増殖する傾向が観察された。これはろ過滅菌により、二次処理水中に存在していた微生物が除去されたためと考えられた。石井³⁾は都市河川水での研究で、被食や他細菌との競合がない条件では大腸菌が増殖しようとしている。

今回の実験では、大腸菌の純粋株や河川水のような低濃度有機物中に存在していた大腸菌は、培地のような資化されやすい有機物中では BOD10mg/L の低濃度でも 25°Cでは増殖したが、同程度以上の有機物濃度であっても、微生物を多く含む浄化槽の処理水や生活雑排水を添加しても増殖せず、現段階では環境中での増殖の可能性を確認するまでには至らなかった。

今回の実験は培養日数が1日もしくは2日と短かったが、小出⁴⁾の河川水での実験では、2日間のラグタ

イムの後、大腸菌が増殖したことを報告している。また、Hillel⁵⁾は、塩素滅菌された処理水を貯留槽に長期間滞留させると大腸菌が増殖したことを報告している。

このことから、今後培養日数を長くして検討を加える。さらに、環境中では増殖しないとされている腸球菌を河川水や浄化槽処理水を対象に毎月測定し、大腸菌との季節変動パターンの比較から環境中での増殖の有無について検討を加える。

文 献

- 1) 花本征也：現地調査と数理モデルとに基づく河川流下過程における化学物質と病原性微生物の減衰に関する研究,(公財)琵琶湖・淀川水質保全機構水質保全研究助成成果報告会報告書(平成26年度)
- 2) 大河内由美子、長澤基至、平田 強、古畑勝則：海水浴場のふん便汚染に対する腸球菌の指標適用性評価、第50回日本水環境学会年会講演集 P-D02 (2016)
- 3) 石井淑大、栗栖 太、春日郁朗、片山浩之、古 米弘明：都市河川水中における大腸菌の増殖と 溶解有機物質との関係、第50回日本水環境学会 年会ポスター発表 (2016)
- 4) Taku Koide, Masako Furuya and Toru Iyo : Experimental study on the behavior of fecal contamination indicators on surface water sampled at Hanbara intake station : Japanese Journal of Water Treatment Biology, 38, 3, 145-151 (2002)
- 5) Regrowth of coliforms and fecal coliforms in chlorinated wastewater effluent : Hillel I. Shuval, Judith Cohen and Robert Kolodney, Water Research Pergamon Press 7, 537-543 (1973)