

平成24年度

環境研究総合推進費補助金 研究事業

総合研究報告書

持続可能な社会を支えるインフラとしての
浄化槽の環境影響評価手法の開発

(K2409,) K2332, K22032

平成25年3月

東北大学 西村 修

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業
(平成 22 年度～平成 24 年度)

所 管 環境省

国庫補助金 50,223,937 円

研究課題名 持続可能な社会を支えるインフラとしての浄化槽の
環境影響評価手法の開発

研究期間 平成 22 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日

研究代表者名 西村修 (東北大学)

研究分担者名 山田一裕 (東北工業大学)
中野和典 (東北大学 (H22,23), 日本大学(H24))

環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書概要

- ・ 研究課題名 = 持続可能な社会を支えるインフラとしての浄化槽の環境影響評価手法の開発
- ・ 研究番号 = (K2409,) K2332, K22032
- ・ 国庫補助金精算所要額 (円) = 50,223,937
- ・ 研究期間 (西暦) = 2010 - 2013
- ・ 研究代表者名 = 西村修 (東北大学)
- ・ 研究分担者名 = 山田一裕 (東北工業大学), 中野和典 (東北大学 (H22,23), 日本大学(H24))

・ 研究目的 (400 字程度)

本研究では、「浄化槽整備事業の水環境改善効果については十分把握できていない」という課題をふまえ、また浄化槽分野の温室効果ガス排出抑制を進めるために、①現在普及している浄化槽の処理水質の実態、および処理水質の良否と浄化槽構造の関係を定量的に評価し、②浄化槽からの温室効果ガスの排出量と放流水質の関係を解析し、③浄化槽における大腸菌群の除去性について実態調査を行い衛生学的な観点から浄化槽の評価を行うとともに、④浄化槽処理水の生態学的な観点からの評価を行うために新たな藻類試験を開発し、放流水の毒性を評価するとともに、放流水排出先の水路における藻類への影響、および残留塩素が巻貝の行動に及ぼす影響を解析した。これらの成果を基に、⑤浄化槽の水環境への影響について、河川水質モデルを用いてケーススタディーを行い、流域特性をふまえた浄化槽に求められる BOD、大腸菌群の処理レベルを明らかにし、循環型社会形成のためのインフラとしての浄化槽の適正普及方策を提案した。

・ 研究方法

① 浄化槽放流水質の実態および放流水質に影響を及ぼす因子

宮城県の浄化槽法定検査結果のデータを用い、構造例示型浄化槽の分離接触ばっ気方式および嫌気ろ床接触ばっ気方式、性能評価型浄化槽の BOD 除去型および窒素・リン除去型の 4 処理方式について放流水質の実態を評価するととも

に、嫌気槽および好気槽の構造に着目し、放流水質に影響を及ぼす因子について解析を行った。

② 浄化槽における温室効果ガス放出量と放流水質の実態

宮城県の戸建住宅で使用されている5・10人槽の既設浄化槽の人槽別に、全長、全幅、全高、一次容量、総容量、ブロワの消費電力の項目について型式のデータベースを作成し、温室効果ガス排出量の算出を行った。また、放流水質は2010年に宮城県で実施された検査の結果を用い、温室効果ガス排出量と放流水質の関係を解析した。また、ここ10年間人口変化が少なく浄化槽設置基数が増加している宮城県T町を対象として、2000-2009年の浄化槽分野からの温室効果ガス排出量および放流水質の経年変化を解析した。

③ 浄化槽における大腸菌群の除去性

性能評価型浄化槽に着目し、BOD除去型および窒素・リン除去型の2処理方式の浄化槽に対して生活排水が流入する嫌気槽および塩素消毒前後の大腸菌群数を計測し、大腸菌群除去の実態を明らかにするとともに、除去に影響を及ぼす影響について解析を行った。

④ 浄化槽放流水が藻類の増殖および巻貝の行動に及ぼす影響

浄化槽放流水の生態影響を解析するために、培地（栄養塩）を添加しないで藻類試験を実施できる新手法を開発し、浄化槽処理水に所定の濃度で塩素を添加して作成した模擬浄化槽放流水を用いて、新たな手法および既往の手法で放流水の藻類に対する影響を評価解析した。また、浄化槽放流水が流入する用水路において、新手法による藻類増殖阻害試験を行うとともに、用水路底部に付着する藻類への影響を検討した。

さらに、浄化槽放流水の動物（淡水巻貝カワニナ）への影響について、実際に浄化槽放流水が排出される水路において知見を収集するとともに、カワニナに対する残留塩素濃度の影響に関する室内実験を行い検討した。

⑤ 未汚水処理地域における浄化槽転換効果のシミュレーション解析

米国タフツ大学で開発された河川水質予測モデルQUAL2Kを用い、日本の河川への適用性、およびBODおよび大腸菌群の予測に関するパラメータの検討を行った。このモデルを用い、浄化槽の新設あるいは単独浄化槽の合併浄化槽への転換による水環境の改善効果についてケーススタディーを行い、水環境改善のために浄化槽に求められる処理レベルを評価した。

・結果と考察

① 浄化槽放流水質の実態および放流水質に影響を及ぼす因子

(1) 宮城県内に設置されている小型合併処理浄化槽の BOD 適合率は全体で 70.9%，構造例示型浄化槽では 68.4%，性能評価型浄化槽では 72.2%で，有意な差があることが確認され，性能評価型浄化槽の処理性能は高いことが示された。

(2) 人員比 0.6 以下では性能評価型の BOD 除去型，窒素・リン除去型の放流水 BOD は構造例示型より極めて良好であった。一方，人員比 1.0 を超えると性能評価型の放流水 BOD は構造例示型より悪化し，能力を十分に発揮できない傾向が顕著であった。

(3) 窒素・リン除去型浄化槽において，流量調整槽ありに比べてなしの放流水質は悪化する傾向があり，循環を行う場合，流量調整機能を組み込むことが重要であることが示唆された。

(4) 3，4，5 日の滞留時間の影響を解析し，滞留時間が最も長い 5 日浄化槽の放流水質が良好であることがわかった。

(5) 性能評価型浄化槽の中でも極めて良好な水質（平均 BOD ≤ 10mg/L）を示す浄化槽の特徴としては，嫌気槽は第一室，第二室ともろ材を充填した嫌気ろ床槽で，好気槽は担体流動槽と担体濾過槽の組み合わせで構成され，さらに嫌気第二室のろ材の充填率が高かった。

② 浄化槽における温室効果ガス放出量と放流水質の実態

(1) 市町村別に浄化槽からの温室効果ガス排出量と放流水 BOD の関係を解析した結果，これらはトレードオフの関係にあることが示された。この原因は放流水 BOD の高い単独処理浄化槽の温室効果ガス排出量が合併処理浄化槽よりも小さいためであり，単独処理浄化槽の減少・合併処理浄化槽の普及により水質の改善と温室効果ガス排出量の増加が生じていることが明らかになった。

(2) 性能評価型浄化槽からの温室効果ガス排出量に関しては，低炭素化社会対応型浄化槽の割合の多い市町村における温室効果ガス排出量は少なく，このような行政施策が排出量の低減につながっていることが確認された。

また，低炭素社会対応型浄化槽でかつ高度処理型（嫌気ろ床槽第 1 室および第 2 室にろ材充填，好気槽は担体流動槽，担体ろ過槽で構成）の浄化槽の普及が進んだ T 町において温室効果ガス排出量の増加を抑制しながら著しい水質改善効果が発揮されていることが明らかになった。

(3) 性能評価型浄化槽の普及においては処理水質の向上が図られるため，温室効果ガス排出量に対する寄与の大きな段階である直接排出は抑制される。一

方、残る温室効果ガス排出量の大きな段階としては、ブロワの消費電力、および汚泥処理があげられる。

近年、ブロワの省エネルギー化が進み、低炭素化に大きく貢献しているが、技術開発には限りがあるため必要風量の削減や再生可能エネルギーの導入などの検討も合わせて行う必要があると考えられる。

また、性能評価型浄化槽の嫌気槽が大きいことに起因して、汚泥発生量が増加する。このため、汚泥の収集・運搬ならびにし尿処理施設での処理において温室効果ガスの排出量が増加する。したがって汚泥濃縮・脱水車、積み替え施設等の導入、浄化槽汚泥の資源化有効利用等についても検討を進める必要がある。すなわち、浄化槽の技術革新のみならず地域の浄化槽システムの観点から低炭素化を総合的に考える必要がある。

③浄化槽における大腸菌群の除去性

(1) 排水基準 3,000cfu/mL 以下に対して、塩素消毒前の BOD 除去型浄化槽では 70.0%、窒素・リン除去型浄化槽では 87.1%が適合した。嫌気槽第一室から塩素消毒前の大腸菌群数除去率の平均値は BOD 除去型浄化槽では 74.9%、窒素・リン除去型浄化槽では 94.5%であり、窒素・リン除去型浄化槽において大腸菌群の除去能が有意に高いことが明らかになった。

(2) 塩素消毒前の大腸菌群数を低下させるためには、浄化槽による BOD や SS の除去に加えて硝化率を高めることが効果的であることが示唆された。

(3) 塩素消毒前後で排水基準 3,000cfu/mL の適合率は、BOD 除去型浄化槽では 70.0 から 80.0%に、窒素・リン除去型浄化槽では 87.1 から 98.4%に上昇した。

(4) 遊離塩素濃度 0.05mg/L 以上で大腸菌群数は 300cfu/mL 以下となることが確認されたが、BOD 除去型浄化槽の平均遊離塩素濃度 0.05mg/L に対し、窒素・リン除去型浄化槽では 0.15mg/L であり、この要因は BOD 除去型浄化槽が窒素除去能を有しておらず、アンモニア性窒素濃度が高くなり、結合塩素が生成されたためと考えられた。

(5) 人員比 1.0 を超える浄化槽の塩素消毒前の大腸菌群数は 3,000cfu/mL を超過した。しかし、人員比 1.0 以下で適正に使用されている浄化槽の塩素消毒前における排水基準適合率は、BOD 除去型浄化槽で 75.5%、窒素・リン除去型浄化槽で 89.5%であった。さらに塩素消毒後の排水基準適合率は BOD 除去型浄化槽で 88.0%、窒素・リン除去型浄化槽で 100%であり、窒素・リン除去型浄化槽を適正に使用することは衛生学的安全性を確保することに極めて有効であることが示唆された。

④浄化槽放流水が藻類の増殖および巻貝の行動に及ぼす影響

(1) 模擬浄化槽放流水の排水毒性試験の結果、藻類生長阻害をエンドポイントとした EC50 は、無栄養塩溶液の新手法で 36.5%、培地の新手法で 58.2%、既往手法 (WET 試験) で 68.3% となり、新手法において強い生長阻害を示す結果が得られた。この理由は、排水毒性試験の希釈水に培地を用いると、培地の栄養塩成分と浄化槽放流水中の毒性物質の反応により毒性が相殺されるためと考えられた。

(2) 新手法による浄化槽処理水 (塩素消毒前) の藻類生長阻害試験の結果、BOD 除去型および窒素・リン除去型の両者とも生長阻害が認められなかった。したがって塩素消毒が浄化槽放流水の毒性を上昇させている可能性が高い。今後、消毒効果の高い遊離残留塩素が高く検出される傾向にある窒素・リン除去型浄化槽の普及が進んだ場合、塩素消毒による生態系リスクが高まることが懸念されるため、病原性微生物を不活化する最小限の残留塩素濃度にとどめる技術の開発や、塩素に頼らない衛生学的安全性確保の方法について検討を進めるべきである。

(3) 浄化槽放流水の流入前後の水路の水質はほぼ等しくても、流入後の水路水で新手法の藻類増殖試験で緑藻の増殖阻害が認められた。

(4) 浄化槽放流水が流入する水路底部に付着する藻類は、放流水の流入後にバイオマスが増加し、その割合としては緑藻が減少し、珪藻が増加することがわかった。浄化槽放流水に含まれる栄養塩による藻類の増殖、盤流塩素による藻類の増殖阻害の影響は複雑であり、種類によって影響も異なることからさらに環境影響評価を進める必要があることが明らかになった。

(5) 残留塩素の暴露により、カワニナの行動に影響を及ぼすことが明らかとなった。EC50 で評価すると、比較的殻長の小さなカワニナは 0.3mg/L と小さな残留塩素濃度でも忌避行動をとることが判明した。行動に関してはより低い残留塩素濃度でも影響が出る可能性もあるため、今後検討を要する課題である。

⑤未汚水処理地域における浄化槽転換効果のシミュレーション解析

(1) 既存の性能評価型浄化槽において、排水基準の 3,000 個/mL を下回っていたのは全体の 97 % であり、大部分の浄化槽において衛生的な処理が行われていた。

(2) QUAL2K 内でのデフォルトの酸化速度係数 $k_{dc}(20)$ を、日本の河川について検討した結果 $k_{dc}(20) = 2$ と設定すべきであることがわかった。

(3) シミュレーションを行う時間における浄化槽放流水の流入量を考慮することで、実測値に近似したシミュレーション結果が得られた。

(4) 浄化槽普及地域のシミュレーションを行った結果、浄化槽処理水の負荷設定について、BODは20 mg/L、大腸菌群は600 個/mLにそれぞれ設定した時、実測値と近似するシミュレーション結果が得られた。

(5) 未汚水処理地域を想定して、浄化槽転換による水質改善効果のシミュレーションを行った結果、未汚水処理地域において浄化槽を普及させた場合、流域におけるBODの改善効果が確認された。

(6) くみ取りの家屋が特に残存する未汚水処理地域において、浄化槽転換による大腸菌群の濃度上昇が生じることがわかった。しかし、大腸菌群に関して実際に普及している高度処理が可能な浄化槽を設置することで、水環境の保全が可能であることが示された。

・ 環境政策への貢献（サマリー）

1. 浄化槽放流水の水質実態に関する知見

近年普及している性能評価型浄化槽は構造例示型浄化槽に比べてBOD基準適合率が高いものの70%程度である。また、放流水質に最も大きな影響を及ぼす人員比が適正使用の最大値である1に近づくと、BOD適合率は60%程度まで低下する。このような放流水質の実態が浄化槽に対する信頼性を損ねており、BOD適合率を高める施策を推進する必要がある。

2. 浄化槽放流水の水質基準達成率の向上に資する浄化槽の適正技術

性能評価型浄化槽の中でも極めて良好な水質（平均BOD \leq 10mg/L）を示す浄化槽の特徴としては、嫌気槽は第一室、第二室ともろ材を充填した嫌気ろ床槽で、好気槽は担体流動槽と担体濾過槽の組み合わせで構成され、さらに嫌気第二室のろ材の充填率が高かった。このような良好な放流水質を確保する浄化槽の技術を適正に評価し、普及を推進して水質基準達成率を向上させ、浄化槽への信頼性を高める必要がある。

3. 浄化槽の適正技術開発・普及を推進するための施策に関する提言

構造例示型、大臣認定型の浄化槽は基本的に水質基準を満たす構造・性能を有しているが、実際には使用状況、使用環境、維持管理等に影響を受けて、設置された浄化槽の全てが水質基準を満たすわけではないことが法定検査結果から明らかになった。しかし、実際の使用においても極めて良好な水質を確保し、ほぼ全ての浄化槽が水質基準を満たす技術が存在することも明らかにされた。これらの結果をふまえると、優れた浄化槽を地方公共団体、企業、消費者等のエンドユーザーが安心して使用することができるよう、環境技術実証事業のシステムを適用し、法定検査結果を基に客観的に実証し、浄化槽の適正技術開発・普及を推進する仕組みを作ることが有効である。

4. 浄化槽における温室効果ガスの放出と放流水質の関係および低炭素・高度処理型への改善のポイントに関する知見

浄化槽分野からの温室効果ガスの排出は、単独処理浄化槽の合併処理化によって増加するため低炭素社会対応型浄化槽の普及によって抑制を図る必要がある。しかし、放流水質と温室効果ガス排出量には負の相関があるため、両者を総合的に勘案する必要がある。BOD 基準適合率の高い浄化槽は嫌気槽が大きく、汚泥処理における温室効果ガス排出量が大きいためという特徴があることから、抑制方法として濃縮車・脱水車、積み替え施設等の導入などが有効と考えられる。このように温室効果ガス排出抑制と良好な水質の確保の両立は地域の浄化槽システムの適正化の観点から総合的に考えることが重要である。

5. 浄化槽放流水の衛生学的安全性の実態および放流水の使用を目指した適正技術に関する知見

大腸菌群数 3,000 (個/cm³) を基準として性能評価型浄化槽の放流水の適合率を評価すると、窒素・リン除去型浄化槽においては 98.4%(62 基中 61 基)であるのに対して、BOD 除去型では人員比の増加とともに低下する傾向にあり、20% (40 基中 8 基) の BOD 除去型浄化槽が塩素消毒後も基準を満たさなかった。また、残留塩素が検出される放流水においても 50,000 (個/cm³) を超過する場合があった。このような実態をふまえると身近な環境の衛生学的安全性を確保し、さらに放流水の使用を促進するには、窒素・リン除去型浄化槽の普及を進める必要がある。

6. 浄化槽放流水の生態系影響に関する知見および消毒技術に関する提言

藻類増殖阻害試験において、培地を用いない新たな手法を構築し、浄化槽放流水の評価を行った結果、0.1 (mg-Cl₂/L) の暴露濃度でも著しい増殖阻害 (70% 程度) が認められた。これは既往手法 (OECD 試験) の増殖阻害率 (5~40%) と比較して有意に高く、浄化槽放流水は藻類増殖阻害効果が高いことがわかった。なお、既往手法では藻類の培地成分が放流水中の毒性物質と相殺的に反応し、過小評価していると考えられた。また、浄化槽放流水の流入した水路で、緑藻の増殖抑制が確認された。これらの結果を踏まえると、浄化槽放流水においては衛生学的な安全性を確保しつつ、生態系保全の観点から過剰な塩素注入を抑制することが重要であり、窒素・リン除去型浄化槽を発展させて塩素に頼らない処理技術を開発する、あるいは窒素・リン除去型浄化槽と組み合わせて塩素消毒を最小化する技術の開発を推進する必要がある。

7. くみ取り式の合併処理化に伴う水質悪化の可能性に関する知見

くみ取り式トイレにおいてし尿は収集・運搬されるため、生活排水由来の大腸菌群の環境への負荷は発生しない。しかし、合併処理浄化槽では大腸菌群数

3,000 (個/cm³) を満たさない浄化槽も存在し、処理が良好な窒素除去型においても大腸菌群が不検出となるのは 20%程度である。このため、くみ取り地域における合併処理浄化槽の普及によって水質が悪化する可能性がある。

8. 個別分散型システムの特性および放流先流域の特性を踏まえた水環境改善効果を高める普及方策の開発

個別分散型システムは、身近な環境に排出されて自然の浄化能力による水質改善を期待できるが、一方で下流の水環境保全にどの程度貢献できるのかという配慮が不十分である。したがって、浄化槽整備事業の効果を予測できるシミュレーションモデルの開発が重要であり、そのためには浄化槽の放流水質のバラツキや、放流先の自浄能力の分布等をきめ細やかに考慮できる QUAL2K は有力なツールであり、シミュレーションとモニタリングを連動させながら精度を高めて、下流域も一体としてとらえた水環境改善効果の把握を可能とする必要がある。

・研究成果の実現可能性（300 字程度）

本研究によって、環境保全上健全な水循環の構築および循環型社会の形成に資する浄化槽の技術開発の方向性が示され、実際に社会に実装されている浄化槽の一部は極めて優れた処理性能を有していることを明らかにできた。この成果を実現していくためには、法定検査によって収集されている浄化槽の実証結果を基に客観的に実証し、浄化槽の適正技術開発・普及を推進する仕組みを作ることが有効である。すなわち環境技術実証事業の枠組みを整備し、優れた浄化槽を地方公共団体、企業、消費者等のエンドユーザーが安心して使用することができるよう情報の活用を図るべきである。法定検査率はいまだ低い地域も多く、これを高めていくことなど既存のシステムを改善することが必要となるが、新たに費用が発生する部分は少なく、実現可能性は高いと思われる。

・結論（400 字程度）

- ① 宮城県内に設置された小型合併処理浄化槽の放流水質の実態を解析し、性能評価型浄化槽は構造例示型浄化槽に比べ処理水質が有意に良好であり、中でも嫌気槽構造において第一室、第二室ともに嫌気ろ材を有する型式で BOD10mg/L を確保できることがわかった。また、
- ② 性能評価型浄化槽において、温室効果ガス排出量と放流水質には負の相関が認められ、水質の良好な浄化槽では汚泥処理における温室効果ガス排出量が大きいという特徴があることから、汚泥処理システムを一体的に考えた抑制方法を検討することが有効であると考えられる。

- ③ 20%(40基中8基)のBOD除去型浄化槽が塩素消毒後も大腸菌群数3,000個/cm³の基準を満たさなかったのに対して,窒素・リン除去型浄化槽では塩素消毒前においても大腸菌群の良好な除去が可能であった.
- ④ 浄化槽放流水により藻類の増殖阻害が認められ, その影響は実際の放流水排出先でも発生している可能性が示唆された. その理由は主に消毒に用いられる塩素によるものであった.
- ⑤ 河川水質モデルを用いたくみ取り式のおよび単独浄化槽の合併処理化のシミュレーションの結果, BODの改善は著しいものの大腸菌群数は上昇し, 合併処理化において衛生学的に高い処理水質レベルが求められることが明らかになった.

環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書詳細
目次

1	研究目的	1
2	浄化槽放流水質の実態および放流水質に影響を及ぼす因子	2
2. 1	はじめに	2
2. 2	方法	2
2. 2. 1	構造例示型浄化槽と性能評価型浄化槽の処理水質の比較	2
2. 2. 2	性能評価型浄化槽における処理水質に及ぼす構造の影響	3
	(1) 嫌気槽の分類	
	(2) 好気槽の分類	
2. 3	結果および考察	6
2. 3. 1	構造例示型浄化槽と性能評価型浄化槽の処理水質の比較	6
	(1) 小型合併処理浄化槽の放流水質の実態	
	(2) 処理方式による放流水質への影響	
	(3) 人員比による放流水質への影響	
	(4) 槽内水温による放流水質への影響	
	(5) 流量調整機能の有無による放流水質への影響	
	(6) 滞留時間の放流水質への影響	
2. 3. 2	性能評価型浄化槽における処理水質に及ぼす構造の影響	11
	(1) 階層的クラスター分析による処理性能の分類	
	(2) 嫌気槽構造および好気槽構造の組み合わせにより分類したグループ別の放流水質の傾向	
	(3) 嫌気槽の流水方向および充填ろ材による放流水質の傾向	
2. 4	まとめ	15
	(第2章参考文献)	
3	浄化槽における温室効果ガス排出量と放流水質の実態	17
3. 1	はじめに	17
3. 2	方法	17
3. 2. 1	浄化槽の型式および放流水質データ	17
3. 2. 2	温室効果ガス排出量および放流水質の経年変化解析	18
3. 2. 3	温室効果ガス排出量算出方法	18
3. 3	結果および考察	18
3. 3. 1	浄化槽からの温室効果ガス排出量と放流水質の関係	18

3. 3. 2	浄化槽からの温室効果ガス排出量の経年変化	21
(1)	浄化槽仕様の平均値の経年変化	
(2)	T町における浄化槽分野の温室効果ガス排出量	
(2-1)	製造段階の温室効果ガス排出量の変化	
(2-2)	施工段階の温室効果ガス排出量の変化	
(2-3)	使用段階の温室効果ガス排出量の変化	
(3)	T町における浄化槽分野の温室効果ガス排出量の推移	
3. 4	まとめ	27
	(第3章参考文献)	
4	浄化槽における大腸菌群の除去性	29
4. 1	はじめに	29
4. 2	方法	29
4. 2. 1	調査対象とした性能評価型浄化槽	30
4. 2. 2	調査方法	30
4. 2. 3	解析方法	30
4. 3	実験結果および考察	31
4. 3. 1	性能評価型浄化槽の放流水質	31
4. 3. 2	嫌気槽第一室から塩素消毒前における大腸菌群の除去特性	31
(1)	BOD除去型と窒素・リン除去型の比較	
(2)	人員比の影響	
(3)	大腸菌群と他の水質項目との関係	
4. 3. 3	塩素消毒前後における大腸菌群の除去特性	34
(1)	BOD除去型と窒素・リン除去型の比較	
(2)	塩素消毒前後の大腸菌群数と残留塩素の関係	
(3)	消毒効果を低下させる要因としてのアンモニアの存在	
4. 4	まとめ	38
	(第4章参考文献)	
5	浄化槽放流水が藻類の増殖および巻貝の行動に及ぼす影響	40
5. 1	はじめに	40
5. 2	方法	41
5. 2. 1	藻類に対する浄化槽放流水の毒性試験	41
(1)	模擬浄化槽放流水	
(2)	排水毒性試験	

5. 2. 2	浄化槽放流水が排出先に生育する藻類に及ぼす影響	42
5. 2. 3	浄化槽放流水が巻貝カワニナに及ぼす影響	44
	(1) 供試生物カワニナの生態	
	(2) 調査地点	
	(3) 水質調査方法	
	(4) 生物調査方法	
	(5) 室内実験方法と材料	
5. 3	実験結果および考察	47
5. 3. 1	浄化槽放流水の藻類に対する毒性	47
	(1) 模擬浄化槽放流水の毒性評価	
	(2) 排水毒性における栄養塩の影響	
5. 3. 2	浄化槽放流水が排出先に生育する藻類に及ぼす影響	50
	(1) 浄化槽放流水が水路水の水質に及ぼす影響	
	(2) 藻類の増殖に及ぼす影響	
	(3) 藻類およびバクテリアへの影響（脂肪酸をバイオマーカーとして）	
5. 3. 2	浄化槽放流水が巻貝カワニナに及ぼす影響	53
	(1) 浄化槽放流水が排出される農業用水路の水質の推移	
	(2) カワニナの殻長分布の推移	
	(3) 残留塩素がカワニナの生残に及ぼす影響	
	(4) 残留塩素がカワニナの行動に及ぼす影響	
5. 4	まとめ	56
	(第5章参考文献)	
6	未汚水処理地域における浄化槽転換効果のシミュレーション解析	59
6. 1	はじめに	59
6. 2	方法	59
	(1) 河川水質モデル QUAL2K	
	(2) 日本の河川に対する QUAL2K の適用	
	(3) 浄化槽放流水流入水路におけるシミュレーション	
	(4) 未汚水処理地域での浄化槽転換シミュレーション	
6. 3	研究結果および考察	63
	(1) 浄化槽放流水の大腸菌群の実態調査	
	(2) 日本の河川に対する QUAL2K の適用	
	(3) 浄化槽放流水流入水路におけるシミュレーション	
	(4) 未汚水処理地域での浄化槽転換シミュレーション	

6. 4 まとめ (第 6 章参考文献)	67
7 総括	69

1. 研究目的

中央環境審議会がまとめた 21 世紀環境立国戦略において、重点的に着手すべき 8 つの戦略のうち、第 4 の戦略には「公害克服と智恵を活かした国際協力」が取り上げられ、そのなかに「日本発の優れた技術である合併浄化槽について、各国の実情を踏まえた普及方策の検討など、生活排水対策についても貢献する」と記されている。しかし、わが国の平成 23 年度末の汚水衛生処理率は 82.0% であり、人口 5 万人以下の市町村では 62.8% と著しく低い。したがって、浄化槽の国際協力はもちろん必要であるが、わが国においても合併浄化槽の適正な普及を進める必要がある。しかし、中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会浄化槽専門委員会が平成 19 年 1 月 15 日にまとめた「今後の浄化槽の在り方に関する浄化槽ビジョンについて」によれば、浄化槽整備事業の水環境改善効果については十分に把握できていないとされている。この背景には、個別分散型であるため、浄化槽放流水質にバラツキが見られること、その結果身近な環境中で衛生学的な問題が発生する懸念があることが指摘されている。このため、浄化槽の普及が環境保全上健全な水循環の構築に果たす役割の評価が必要である。

さらに、合併処理浄化槽の導入による温室効果ガス排出量の増加を抑制しながら普及を進めることが必須である。高度処理の導入が進む下水道分野の温室効果ガスが 1990 年比で約 50% 増加し、様々な対策が導入され始めているが、合併処理浄化槽では普及後に施設を改善することが難しいため注意を要する。

一方、地域において今後の生活排水対策を進めていく上で、下水道を選択するか合併処理浄化槽を選択するかは大きな課題となっている。このため、浄化槽の普及にあたっては持続可能な社会の形成を支えるインフラとして処理水放流先の生態影響および温室効果ガスの発生量等の環境負荷を総合的に最小化しながら健全な水循環、物質循環を達成する必要がある。

以上の課題をふまえ、本研究では①現在普及している浄化槽の放流水質の実態、および放流水質の良否と浄化槽構造の関係を評価した。また、②浄化槽からの温室効果ガスの排出量と放流水質の関係を解析し、低炭素型で放流水質の良好な浄化槽構造を評価した。また、③浄化槽における大腸菌群の除去性について実態調査を行い、衛生学的な観点から評価を行うとともに、④浄化槽放流水の生態学的な観点からの評価を行うために、藻類およびカワニナを試験生物として浄化槽処理水に起因する毒性の解析を行った。そして、⑤浄化槽放流水の水環境へ及ぼす影響について河川水質モデルを用いてケーススタディーを行い、流域特性をふまえた浄化槽に求められる処理レベルを明らかにした。

以上の成果をもとに、循環型社会形成のためのインフラとしての浄化槽の適正普及方策を提案した。

2. 浄化槽放流水質の実態および放流水質に影響を及ぼす因子

2. 1 はじめに

戸建住宅に設置される浄化槽は、家族構成や使用人員により生活排水量、流入負荷が異なり、また生活パターンにより流入水質・水量は変動し、常に安定した放流水質になりにくい状況にある。既往研究では、浄化槽の放流水質は実使用人員を人槽で除した人員比¹⁻³⁾、流入時間帯（水道使用時間帯）^{4,5)}、流入量⁶⁾、水温¹⁾で変動するといわれている。しかし、浄化槽の処理性能は進化し続けており、従来の認定方式である構造例示型浄化槽から性能評価型浄化槽に変わり、2000年頃からは窒素やリン除去が可能な高度処理型浄化槽も普及が進んでいる。したがって、浄化槽の放流水質も改善し、浄化槽整備事業の水環境改善効果が高まっていることが期待されるが、実態は明らかにされていない。

このような背景に鑑み、本章では放流水質が不安定であると言われてきた浄化槽の水質の実態について、特に性能評価型と構造例示型を比較しながら解析を試みた。既往研究で明らかにされた影響因子をもとに、人員比、水温、流量調整機能の有無、滞留時間の5点を抽出し、どの要因が処理水質の変動に影響して浄化槽の信頼性を損ねるリスクが高いのか（改善のポイント）、安定して高度な処理水質を維持するためにはどのような要因を考慮すればよいのか（普及施策のポイント）について究明を行った。

また、近年普及が進んでいる性能評価型浄化槽に関しては、型式ごとに多種多様な構造を持ち、構造例示型浄化槽に比べて維持管理を主体とした各種調整作業によって処理性能が左右される傾向が認められる構造となっていること、また BOD 除去性能は 20mg/L 以下から 15～5mg/L 以下、窒素除去は 20～10mg/L 以下、リン除去は 1mg/L 以下、SS 除去は 20～10mg/L 以下と処理性能の組合せの種類も多岐に亘ることから、どのような構造を有した浄化槽の放流水質が良好に安定する傾向にあるのか解明を試みた。

2. 2 方法

2. 2. 1 構造例示型浄化槽と性能評価型浄化槽の処理水質の比較

小型合併処理浄化槽は、認定方法の違いから構造例示型浄化槽と性能評価型浄化槽の2つに分類できる。処理容積に関しては、構造例示型浄化槽と比較すると性能評価型浄化槽において70%程度に省容積化されている。処理フローに関しては、構造例示型浄化槽では接触材を用いた生物処理、性能評価型浄化槽では担体を用いた生物ろ過等が導入されている。

本解析では、2010年度に実施された宮城県の浄化槽法定検査結果のデータを用いた。戸建て住宅に設置されている5人槽から10人槽までの浄化槽を対象と

し、構造例示型浄化槽の分離接触ばっ気方式（処理性能：BOD20mg/L 以下）および嫌気ろ床接触ばっ気方式（処理性能：BOD20mg/L 以下）、性能評価型浄化槽の BOD 除去型（処理性能：BOD20mg/L 以下）、窒素・リン除去型（BOD・窒素除去型の処理性能：BOD20mg/L 以下，T-N20mg/L 以下，BOD・窒素・リン除去型の処理性能：BOD10mg/L 以下，T-P10mg/L 以下，T-P1mg/L 以下）の 4 処理方式に分類して、放流水質に影響を及ぼす因子について解析を行った。解析対象とした小型合併処理浄化槽の処理方式の名称と基数を表 2-1 に示す。

表 2-1 解析対象小型合併処理浄化槽の処理方式の名称と基数

	処理方式	基数
構造例示型	分離接触ばっ気方式	97
	嫌気ろ床接触ばっ気方式	9218
性能評価型	BOD除去型	12974
	窒素リン除去型	4434

浄化槽の放流水質はばらつきが多いため、結果の表示には一部箱ひげ図（最小値，第 1，2，3 四分位数および最大値を表示）を用いた。なお 2 集団間の差を統計的に調べるために、t 検定を行った。また、4 類の比較対象間における多重比較をおこなうため、SPSS ソフトを用いた 2way anova を行った。

2. 2. 2 性能評価型浄化槽における処理水質に及ぼす構造の影響

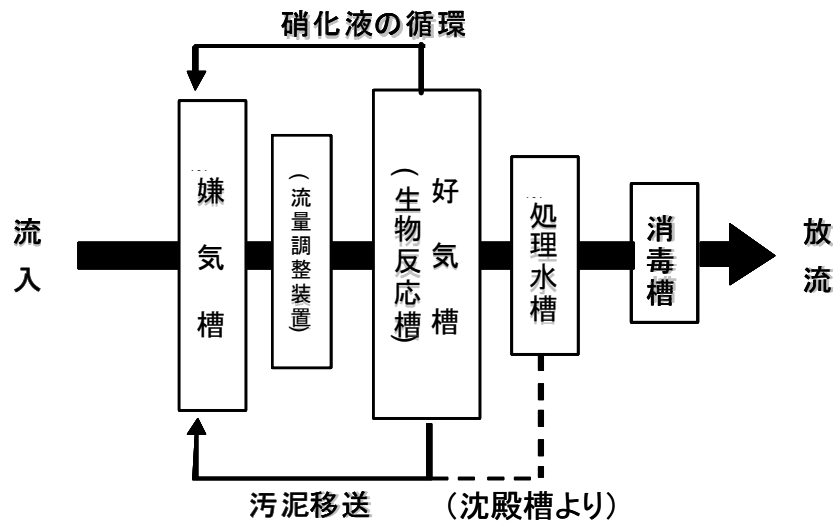
現在、全国に出荷している浄化槽のうち 98%以上が性能評価型浄化槽である⁷⁾。この性能評価型浄化槽は BOD 除去型と窒素・リン除去型に分けられるが、前ばっ気型や汚泥消化型などを除くと処理フロー上の違いはほとんどないため、BOD 除去型と窒素・リン除去型を区別することなく構造上の違いから分類し解析を行った。事前の解析において構造よりも人員比の影響が大きいことが予測されたため、人員比 0.6-0.8 のみを解析対象にして人員比の影響を排除した。ただし、人槽については宮城県内に設置している浄化槽のうち一番多かった 7 人槽を対象とした。

まず、浄化槽法定検査で得られた浄化槽の全水質項目から水質の似たものを集めて、いくつかの集落（クラスター）に分類する手法である階層的クラスター分析を用いて、浄化槽の全型式の分類を行った。また、2 類以上の比較対象間における多重比較をおこなうため、SPSS ソフトを用いた多重比較を行った。

次に、様々な型式を嫌気槽および好気槽の構造に着目して分類し、浄化槽構

造の処理水質に及ぼす影響を解析した。図 2-1 に小型合併処理浄化槽の処理フローを示す。浄化槽は、一般に住宅から排出される生活排水が流入する最初の槽が嫌気槽であり、次に好気槽を経てろ過槽または沈殿槽（処理水槽）、消毒槽という処理フローを有する。この処理フローの嫌気槽と好気槽に着目し、嫌気ろ材充填の有無や担体流動槽の位置から浄化槽構造の分類を行った。

図 2-1 小型合併処理浄化槽の処理フロー



(1) 嫌気槽の分類

嫌気槽では、生活排水に含まれる固形物や夾雑物を一年間貯留し、生活排水の有機汚濁成分を嫌気性微生物の働きにより嫌気分解し、さらに酸化態窒素の還元脱窒を行う⁸⁾。解析対象の浄化槽の嫌気槽は二室から成っており、嫌気槽第一室に嫌気ろ材が充填されているか充填されていないかで分類できる。

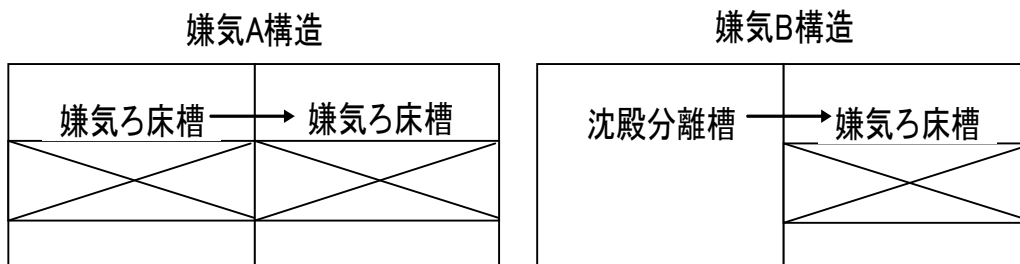


図 2-2 小型合併処理浄化槽の嫌気槽構造模式図

図 2-2 に嫌気槽の構造模式図を示す。嫌気 A 構造は、嫌気第一室、第二室ともに嫌気ろ材を充填した構造である。嫌気 B 構造は、嫌気第一室にろ材を充填せず沈殿分離槽（夾雑物除去槽）とし、嫌気第二室はろ材を充填した嫌気ろ床槽の構造を持っている。

(2) 好気槽の分類

好気槽の役割は、散気管からのばっ気により槽内水を好氣的に保ち、担体に

付着した好気性微生物の働きにより有機物の酸化とアンモニア性窒素の硝化を行うことにある。さらに担体ろ過は、本質的にSS（浮遊物質）除去の役割を担っているが、それに加えて好気処理機能が期待される場合もある。そこで本研究においては、担体ろ過も好気槽の一部ととらえて、図 2-3 に示すように 4 タイプに分類した。

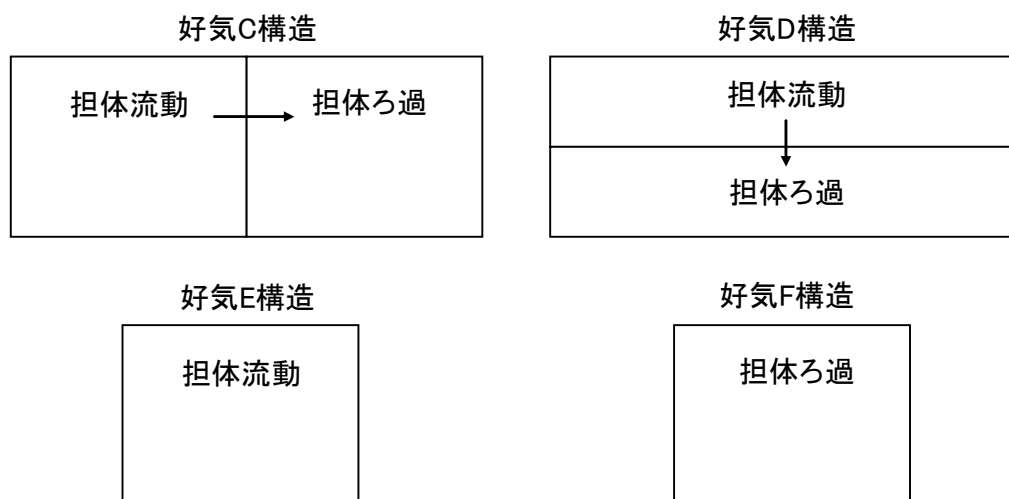


図 2-3 小型合併処理浄化槽の好気構造模式図

好気 C 構造は、担体流動槽と担体ろ過槽が並列しており、それぞれ独立した構造を持っている。好気 D 構造は、一つの槽内の上部が流動部、下部がろ過部の構造を持っている。好気 E 構造は、担体流動槽のみの構造であり、後段に沈殿槽（処理水槽）が設置される。好気 F 構造は、担体ろ過槽のみの構造である。ただし、好気 F 構造の担体ろ過は、接触ばっ気と生物ろ過（担体ろ過）を組み合わせたものが含まれる。すなわち担体流動と担体ろ過との組み合わせではないという意味で、好気 C、D 構造とは異なる分類とした。

以上の通り分類した嫌気構造と好気構造を組み合わせると 2×4 の 8 組となるが、対象とする浄化槽は最終的に 7 組に分類された。7 組をグループ 1～7 とし、それぞれの浄化槽数を表 2-2 に示した。

表 2-2 嫌気槽および好気槽構造による小型合併処理浄化槽の分類

	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4	グループ5	グループ6	グループ7
組合せ (嫌気+好気)	AC	AD	AE	AF	BC	BD	BE
浄化槽型式数(n)	6	16	4	3	4	4	2
浄化槽基数	164	3359	134	1212	213	1259	39

2. 3 結果および考察

2. 3. 1 構造例示型浄化槽と性能評価型浄化槽の処理水質の比較

(1) 小型合併処理浄化槽の放流水質の実態

宮城県内の小型合併処理浄化槽の放流水質の BOD 適合率を図 2-4 に示す。

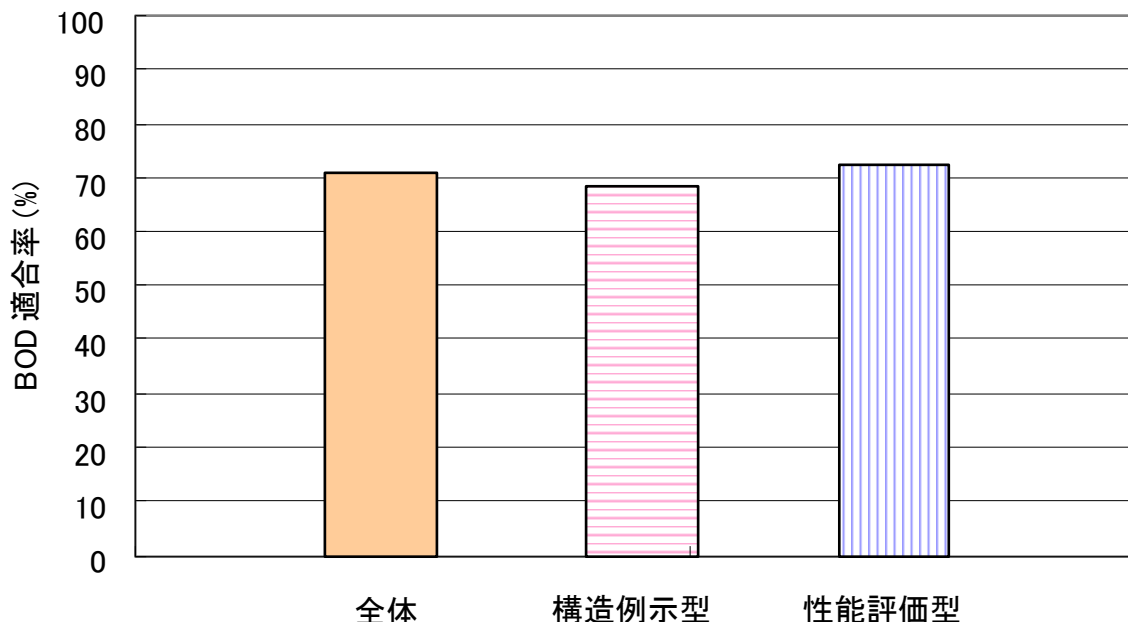


図 2-4 小型合併処理浄化槽の放流水 BOD 適合率の実態

宮城県内に設置されている小型合併処理浄化槽の BOD 適合率は全体で 70.9%，構造例示型浄化槽では 68.4%，性能評価型浄化槽では 72.2%であった。また t 検定を行ったところ、 $p < 0.05$ で有意な差があることが確認され、性能評価型浄化槽の処理性能は高いことが示された。

既往の研究^{9,10)}から、構造例示型浄化槽に短時間で多量の汚水が流入すると、沈殿槽における SS の沈降分離機能が不十分となり、処理水質が悪化する傾向にあることが知られている。また性能評価型浄化槽では、構造例示型に比べ小さな容積で同等以上の処理性能が発揮されるよう常時循環（汚泥移送）や流量調整機能が組み込まれ、処理水質の安定化をもたらすと評価されているが、このような性能評価型の特徴が BOD 適合率を高めている可能性がある。

(2) 処理方式による放流水質への影響

構造例示型の分離接触ばっ気方式、嫌気ろ床接触ばっ気方式と性能評価型の BOD 除去型、窒素・リン除去型の放流水質（BOD）を図 2-5 に示す。t 検定により有意な差 ($p < 0.05$) が確認され、性能評価型が構造例示型よりも良好であることが分かった。しかし、構造例示型浄化槽の 2 方式間、および性能評価型浄化槽の BOD 除去型と窒素・リン除去型間では有意な差は確認されなかった。

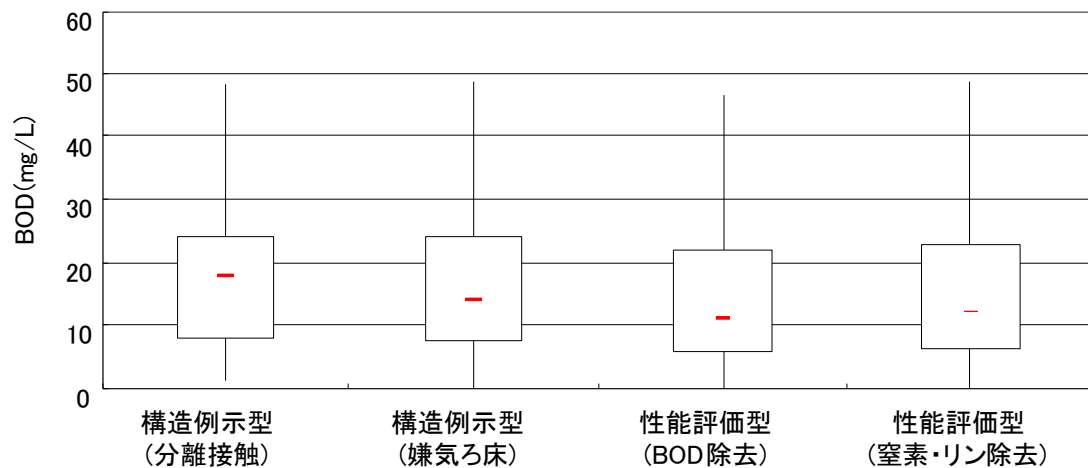


図 2-5 小型合併処理浄化槽の処理方式別の放流水 BOD (箱ひげ図)

構造例示型の分離接触ばっ気方式と嫌気ろ床接触ばっ気方式，性能評価型の BOD 除去型と窒素・リン除去型，それぞれの処理性能を BOD 適合率 (x mg/L の放流水質を達成している浄化槽基数の全体基数に対する割合) で表したものを図 2-6 に示す。

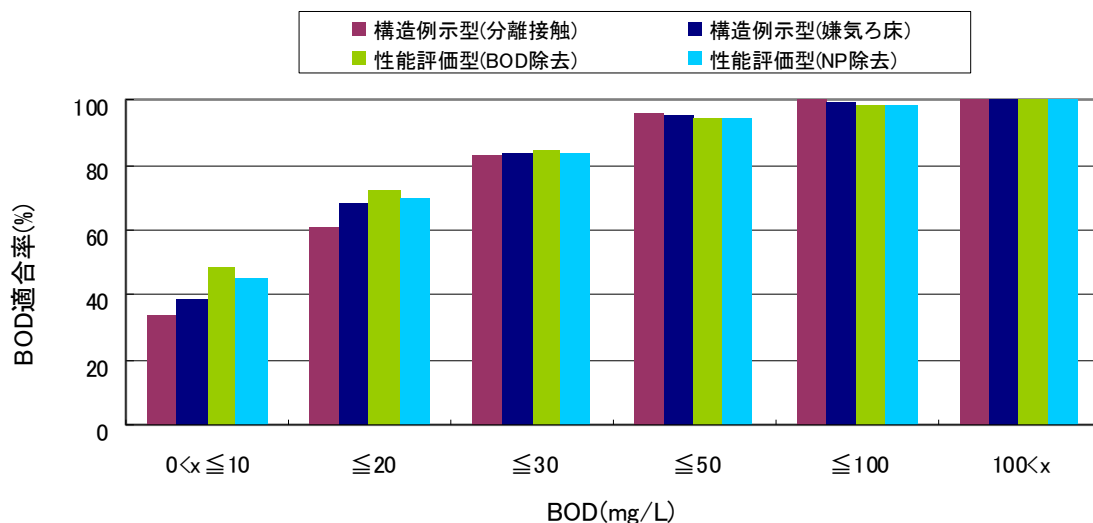


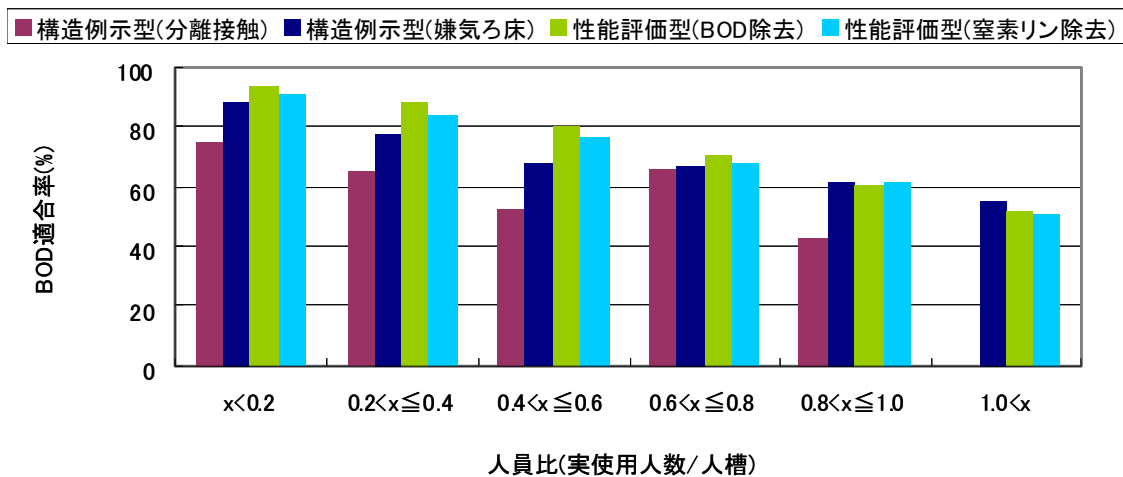
図 2-6 小型合併処理浄化槽の処理方式別の BOD 適合率

図 2-6 より， $(BOD \leq 10 \text{mg/L})$ を示す割合は，構造例示型 2 方式共に 30% 台，性能評価型の BOD 除去型，窒素・リン除去型共に 40% 台であった。また， $(BOD \leq 20 \text{mg/L})$ を示す割合は，分離接触ばっ気方式で 60.8%，嫌気ろ床接触ばっ気方式で 68.5%，BOD 除去型で 73.0%，窒素・リン除去型で 70.1% であり，処理方式にかかわらず全体の約 2/3 の浄化槽は良好な水質を維持していることがわかった。

一方、棄却域 5 %で t 検定を行ったところ、構造例示型 2 方式間に有意差は無く、性能評価型の BOD 除去型と窒素・リン除去型間にも有意差は無かった。しかし、4 類の比較対象間における多重比較を行ったところ、分離接触ばっ気方式あるいは嫌気ろ床接触ばっ気方式と BOD 除去型および窒素・リン除去型間に有意な差が確認された ($p < 0.05$)。すなわち、 $BOD \leq 20\text{mg/L}$ 条件下において構造例示型浄化槽の 2 方式に比べ、性能評価型浄化槽の BOD 除去型、窒素・リン除去型は処理水が良好であることが確認された。

(3) 人員比による放流水質への影響

人員比と 4 処理方式の適合率 (放流水質 $BOD \leq 20\text{mg/L}$)、および放流水 BOD

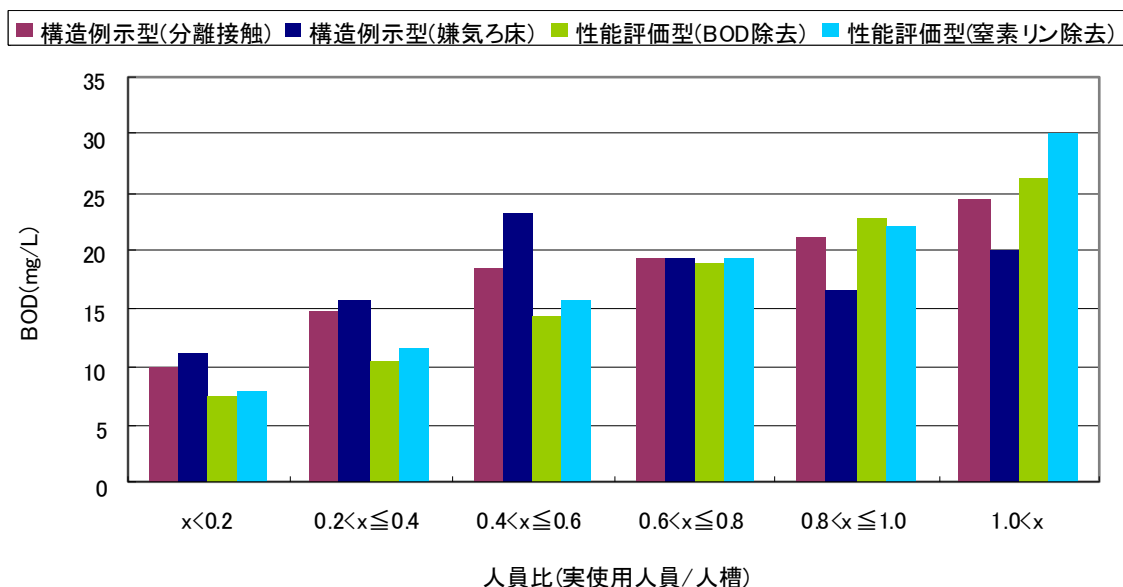


の関係をそれぞれ図 2-7, 2-8 に示す。

図 2-7 小型合併処理浄化槽の処理方式別の人員比と BOD 適合率の関係

図 2-8 小型合併処理浄化槽の処理方式別の人員比と放流水 BOD の関係

すべての処理方式で人員比が低いほど適合率は高く、人員比があがるにつれ適合率は低くなる傾向が明らかであった。また、人員比 0.6 以下では性能評価型の BOD 除去型、窒素・リン除去型の適合率は構造例示型 2 方式より高い傾向を示した。人員比が低い場合、流量調整機能の効果が顕著に発揮されるので



はないかと推測される。

図 2-8 より、嫌気ろ床接触ばっ気方式以外の 3 方式において、人員比 0.8 を超えると放流水の BOD は 20 を超えており、実使用人員が増え浄化槽への流入水量、汚濁負荷量が増大することで、処理能力を十分に発揮できないものと考えられる。また人員比 1.0 以上では、性能評価型の BOD 除去型と窒素・リン除去型の処理水質が悪化するが、性能評価型は構造例示型に比べて省容積化されているため、大きな負荷に対して脆弱性を有するのではないかと考えられる。

人員比 0.6 以下では、構造例示型 2 方式よりも性能評価型の BOD 除去型、窒素・リン除去型において、放流水質は極めて良好に維持されている。SPSS 解析ソフトで 4 類の比較対象間における多重比較を行ったところ、構造例示型の分離接触ばっ気方式と嫌気ろ床接触ばっ気方式それぞれに対して、性能評価型の BOD 除去型および窒素・リン除去型との間に有意な差が確認された ($p < 0.05$)。したがって、人員比 0.6 以内では、構造例示型浄化槽に比べ、性能評価型浄化槽の放流水質は良好であると言える。

(4) 槽内水温による放流水質への影響

槽内水温と 4 処理方式別の BOD 適合率 (放流水質 $BOD \leq 20\text{mg/L}$) の関係を図 2-9 に示す。水温 10°C 以下、および水温 25°C 以上の範囲にある浄化槽の適合率が高い傾向を示しているが、処理方式による違いは認められなかった。

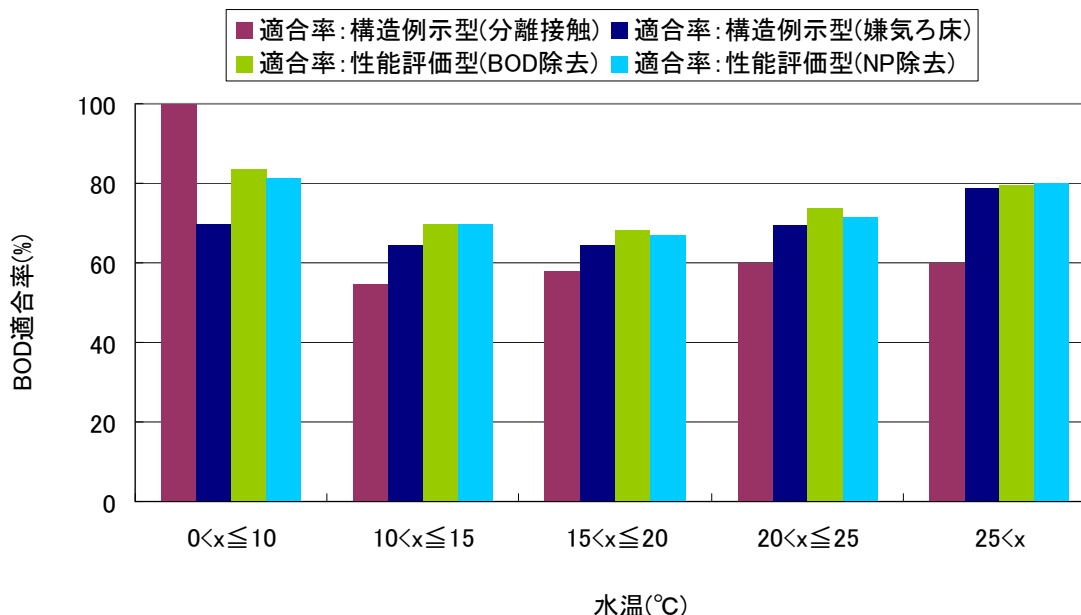


図 2-9 小型合併処理浄化槽の処理方式別の槽内水温と BOD 適合率の関係

(5) 流量調整機能の有無による放流水質への影響

性能評価型の BOD 除去型と窒素・リン除去型、それぞれ流量調整機能の有無による放流水質への影響について図 2-10 に示す。

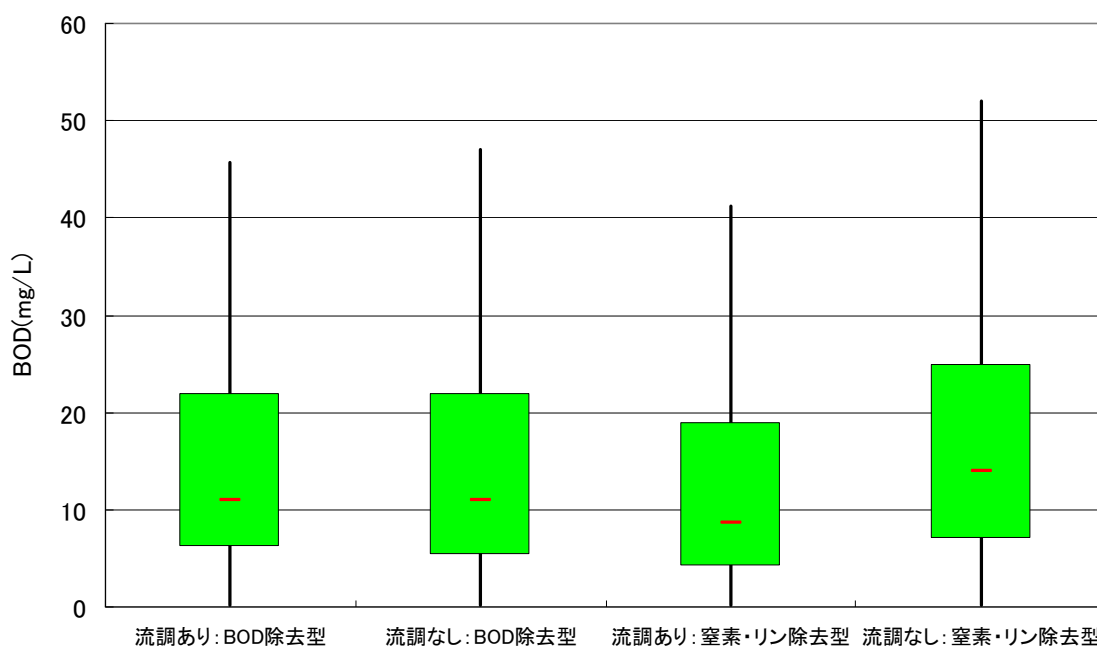


図 2-10 小型合併処理浄化槽（性能評価型）の流量調整機能の有無による放流水 BOD への影響（箱ひげ図）

4 類の比較対象間における多重比較を行ったところ、窒素・リン除去型浄化槽の流量調整槽なしの放流水質に有意な差があった ($p < 0.05$)。

既往の研究¹¹⁾では流入ピーク時の BOD 値は平均値の 2 倍近くまで増加することが報告されている。流量調整機能を有する場合、各家庭で朝や夜に生活排水が集中して排出されても、流量調整槽でいったん貯留し一定量ずつ後段の生物反応槽に移送することができ、放流水質は良好に安定する。一方、流量調整機能が無い場合、流入ピーク時には高濃度の生活排水を短時間で処理しなければならず、放流水質の悪化につながりやすい。本結果では流量調整槽なしの BOD 除去型と窒素・リン除去型に差が認められたが、後者は窒素除去のために硝化液を好気槽から嫌気槽に循環比（流入水量に対する循環水量の比）2～3 で返送しており、ピーク時の水質・水量変化は循環によって処理水質に影響しやすい。このことが処理水質の悪化を招いていると考えられる。すなわち、循環を行う場合、流量調整機能を組み込むことが重要である。

(6) 滞留時間の放流水質への影響

性能評価型浄化槽の型式ごとに「登録小型合併処理浄化槽要覧」¹²⁾を参考に、7 人槽を 4 人で使用した際の滞留時間を求め、放流水 BOD の関係について図 2-11 に示した。

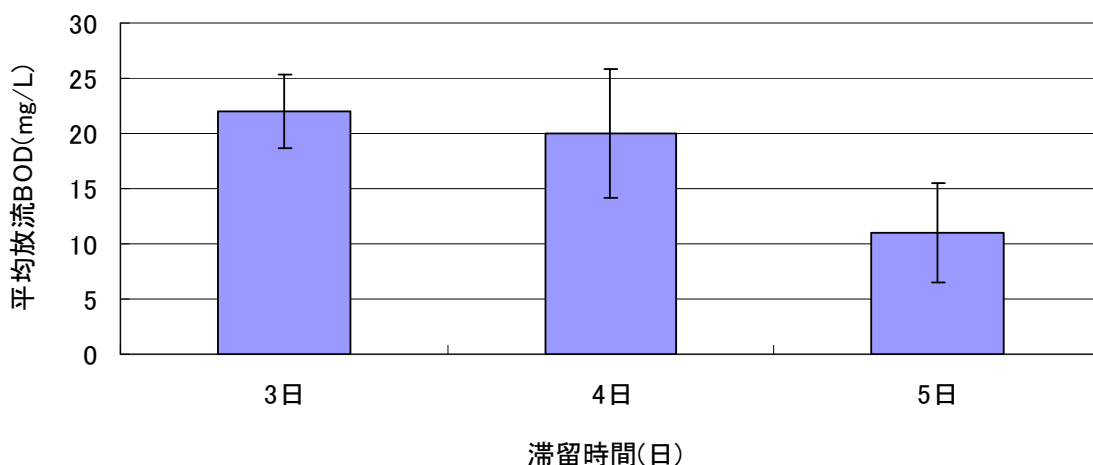


図 2-11 小型合併処理浄化槽の滞留時間の放流水 BOD への影響

3 類の比較対象間における多重比較を行ったところ、滞留時間が最も長い 5 日浄化槽の放流水質が有意に良好であることがわかった ($p < 0.05$)。

性能評価型浄化槽は構造例示型浄化槽に比べ容量が小さく、一般に滞留時間は短縮されるが、滞留時間の影響は顕著であり、性能評価型において処理水質を向上させる重要な因子であることがわかる。

2. 3. 2 性能評価型浄化槽における放流水質に及ぼす構造の影響

(1) 階層的クラスタ分析による処理性能の分類

浄化槽の全型式について放流水質を用いて階層的クラスタ分析を行い、処理性能を幾つかの類に分け、それぞれの特徴について解析を行った。

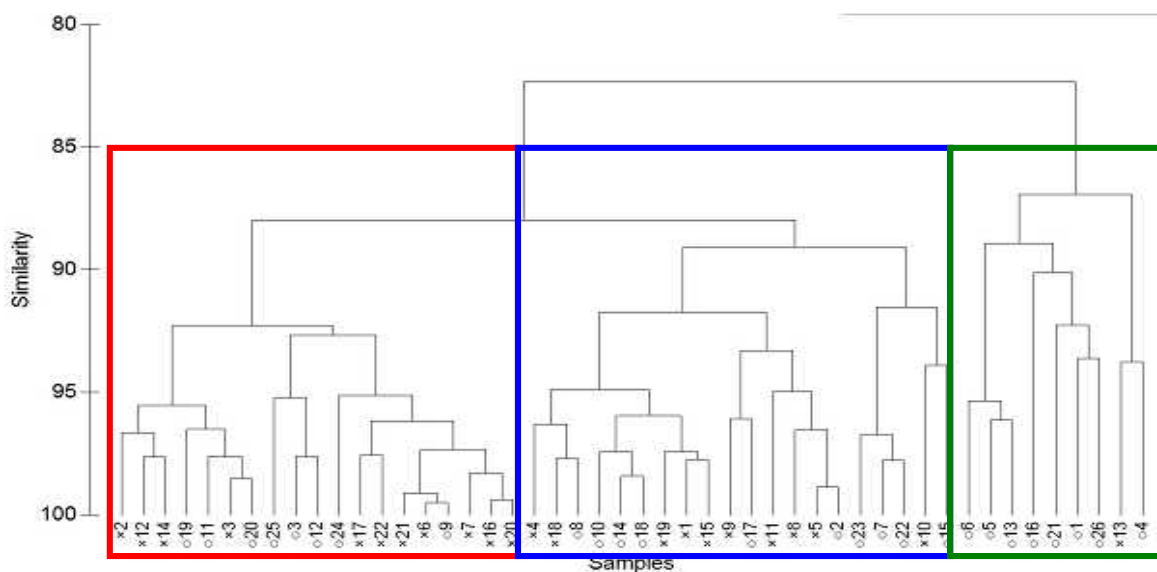


図 2-12 小型合併処理浄化槽の処理水質による階層的クラスタ分析 (各数字の前の“○”は流量調整槽有り，“×”は流量調整槽無しを示す)

3つのグループに分けられ、左からⅠ、Ⅱ、Ⅲ群とするとⅠ群はBOD<20mg/L、Ⅱ群はBOD>20mg/L、Ⅲ群はBOD<10mg/Lの特徴を有していた。

特にⅢ群は9型式全てが窒素除去型浄化槽であり、嫌気槽および好気槽の構造も類似であった。すなわち嫌気槽において、嫌気ろ床第一室で固形物が取り除かれ、ろ材の表面に付着した嫌気性微生物により有機物が分解され、さらに嫌気ろ床第二室を通過して同じ処理が繰り返される構造を有している。一方、好気槽の担体流動槽において汚水は担体に付着した生物膜によって好氣的に処理される。また担体ろ過槽では、SSが担体間に捕捉される。このような処理フローにより処理水質が良好となることが示唆される。

(2) 嫌気槽構造および好気槽構造の組み合わせにより分類したグループ別の放流水質の傾向

嫌気槽構造および好気槽構造の組み合わせにより分類したグループごとの放流水質を図2-13に示す。

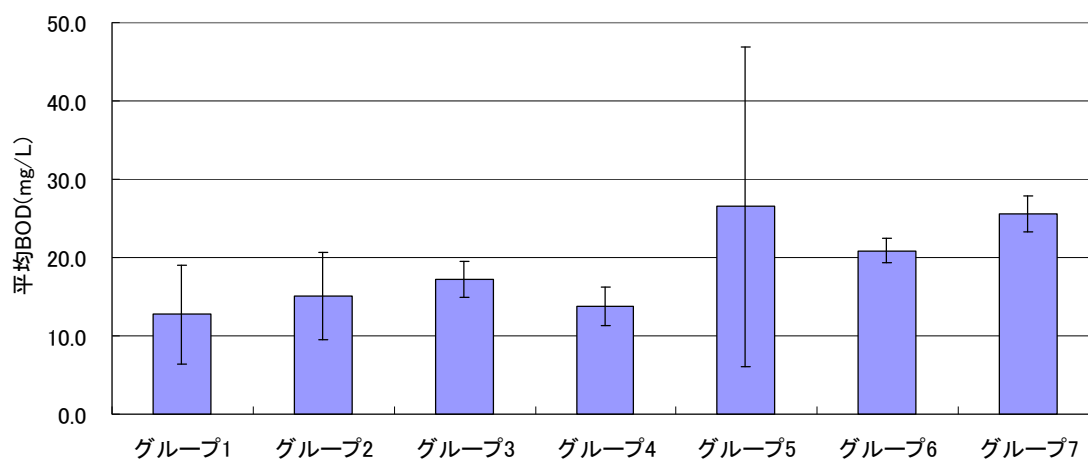


図2-13 小型合併処理浄化槽を嫌気槽構造および好気槽構造の組み合わせにより分類した各グループの平均放流水質(グループについては図2-3,表2-2参照)

図2-13より、放流水質がBOD20mg/L以下の良好な状態にあるのはグループ1, 2, 3, 4の嫌気A構造を有するものであることが確認できる。嫌気A構造は、嫌気槽第一室、第二室ともに嫌気ろ材が充填されている。一方BOD20mg/Lを超過しているのはグループ5, 6, 7の嫌気B構造を有するもので、嫌気槽第一室に嫌気ろ材が充填されない構造である。

嫌気A, B構造についてt検定を行い有意差が認められた($p<0.05$)。すなわち、嫌気槽第一室、第二室ともに嫌気ろ材が充填される構造と嫌気槽第二室のみ嫌気ろ材が充填される構造の処理能力には差があり、嫌気槽第一室から嫌気ろ材を充填することで浄化槽放流水質は安定する傾向にあることがわかった。

次に好気 C, D, E, F の 4 構造において 2way anova を行った結果, 処理構造による放流水質の差は認められなかった ($p>0.05$). また, 嫌気構造と好気構造を組み合わせ 2way anova を行ったが, 有意な差は認められなかった ($p>0.05$). このことから, 浄化槽の構造として処理水質に重要な影響を与えるのは嫌気槽であることが確認された.

嫌気 A 構造の嫌気ろ床槽を有する浄化槽は, 生活排水中の固形物を物理的に固液分離し, 充填ろ材の表面に付着している嫌気性微生物により嫌気性分解を行うことで流入水中の異物や油脂等が分離・貯留され, SS 分が減少することで BOD 負荷の低減が行われることが知られている^{13,14}. そのため, 好気槽前段である嫌気槽で, ろ材によってある程度 BOD 除去が行われた処理水は, 後段の好気槽で好気性微生物によって有機物の酸化やアンモニア性窒素の硝化が促進され, より BOD の低減につながると考えられる.

(3) 嫌気槽の流水方向および充填ろ材による放流水質の傾向

浄化槽の放流水が安定しているグループ 1, 2, 3, 4 の中でも, 平均放流水質が大変良好 (BOD₄~10mg/L) な浄化槽と, それに比べてやや不良 (BOD₁₉~26mg/L) な浄化槽があった. グループ 1 と 2 に該当する浄化槽に着目し, 大変良好な浄化槽とやや不良な浄化槽の型式を抽出し (グループ 1 の抽出した型式毎にタイプ 1-1~1-3, グループ 2 の型式毎にタイプ 2-1~2-5 とする), 嫌気槽内部の違い (流水方向および充填ろ材) の影響を検討した. 登録小型合併処理浄化槽要覧を参考に, 嫌気ろ床槽内部の流水方向を表 2-3, 嫌気ろ材の形状を表 2-4, 嫌気ろ材の比表面積を表 2-5 にそれぞれ示した.

表 2-3 小型合併処理浄化槽の放流水 BOD と嫌気ろ床槽の流水方向

Type:1	ave.BOD	嫌気槽第一室	嫌気槽第二室
-1	6.8	下向流	下向流
-2	4.4	下向流	下向流
-3	19.4	下向流	上向流

Type:2	ave.BOD	嫌気槽第一室	嫌気槽第二室
-1	5.9	下向流	下向流
-2	9.7	下向流	下向流
-3	26.4	下向流	下向流
-4	22.3	下向流	上向流
-5	21.8	下向流	上向流

生活排水が嫌気槽に流入する際, 嫌気槽第一室, 嫌気槽第二室の流水方向は浄化槽の構造によって異なる. 嫌気槽第一室はすべて下向流 (水の流水方向は上から下へ) であったが, 第二室では下向流と上向流の両方が存在する. 下向流-下向流と下向流-上向流の型式における処理水質の差について棄却域 5 %で t

検定を行った結果、有意な差は認められなかった。ただし、BODが10mg/L以下の浄化槽はすべて下向流-下向流の構造である。一般に上から下へ水が流れる下向流では嫌気ろ材の膨張が起きにくく、SSがろ材上部に堆積したまま捕捉されるため好ましいと言われている¹⁵⁾。このような構造では嫌気ろ材にSSが効率的に捕捉され、好気槽へのBOD負荷の低減が行われるものと推察される。

表 2-4 小型合併処理浄化槽の放流水 BOD と嫌気ろ材の形状

Type:1	ave.BOD	嫌気槽第一室	嫌気槽第二室
-1	6.8	網様円筒状	ヘチマ様板状
-2	4.4	波板状	骨格球形状
-3	19.4	骨格球形状	網様円筒状

Type:2	ave.BOD	嫌気槽第一室	嫌気槽第二室
-1	5.9	網様円筒状	ヘチマ様板状
-2	9.7	網様円筒状	ヘチマ様板状
-3	26.4	骨格球形状	骨格球形状
-4	22.3	ヘチマ様円筒状	ヘチマ様円筒状
-5	21.8	骨格球形状	骨格球形状

嫌気槽第一室、第二室に充填されている嫌気ろ材の形状は、浄化槽によって種々確認されたが（表 2-4）、棄却域 5 %で 2way anova を行った結果、有意差は認められなかった。

表 2-5 小型合併処理浄化槽の放流水 BOD と嫌気ろ材の比表面積

Type:1	ave.BOD	嫌気槽第一室	嫌気槽第二室
-1	6.8	42	75
-2	4.4	59	75
-3	19.4	63	60

Type:2	ave.BOD	嫌気槽第一室	嫌気槽第二室
-1	5.9	55	75
-2	9.7	55	75
-3	26.4	63	63
-4	22.3	55	57
-5	21.8	60	63

表 2-5 より、棄却域 5 %で 2way anova を行った結果、嫌気ろ床槽第一室では有意差が認められなかったが、嫌気ろ床槽第二室では比表面積の大小によって差が認められた ($p < 0.05$)。すなわち、嫌気ろ床槽第二室において比較的な大きな比表面積である 75 (m^2/m^3)のろ材を有する浄化槽の処理水質が安定する傾向にあることが分かった。

嫌気ろ床槽第一室ではろ材の比表面積や形状が処理水質に及ぼす影響は認められなかったが、嫌気ろ床槽第二室では、第一室で吸着除去できなかった SS が移流してくる分、ある程度比表面積の大きいろ材を充填することで、第一室では捕捉されなかった微細な SS まで捕捉が可能になると考えられる。

2. 4 まとめ

(1) 宮城県内に設置されている小型合併処理浄化槽の BOD 適合率は全体で 70.9%, 構造例示型浄化槽では 68.4%, 性能評価型浄化槽では 72.2%で, 有意な差があることが確認され, 性能評価型浄化槽の処理性能は高いことが示された。

(2) 人員比 0.6 以下では性能評価型の BOD 除去型, 窒素・リン除去型の放流水 BOD は構造例示型より極めて良好であった。一方, 人員比 1.0 を超えると性能評価型の放流水 BOD は構造例示型より悪化し, 能力を十分に発揮できない傾向が顕著であった。

(3) 窒素・リン除去型浄化槽において, 流量調整槽ありに比べてなしの放流水質は悪化する傾向があり, 循環を行う場合, 流量調整機能を組み込むことが重要であることが示唆された。

(4) 3, 4, 5 日の滞留時間の影響を解析し, 滞留時間が最も長い 5 日浄化槽の放流水質が良好であることがわかった。

(5) 性能評価型浄化槽の中でも極めて良好な水質 (平均 BOD $\leq 10\text{mg/L}$) を示す浄化槽の特徴としては, 嫌気槽は第一室, 第二室ともろ材を充填した嫌気ろ床槽で, 好気槽は担体流動槽と担体濾過槽の組み合わせで構成され, さらに嫌気第二室のろ材の充填率が高かった。

第 2 章参考文献

- 1) 国安克彦ら：小型合併処理浄化槽の処理性能に影響を及ぼす因子,」浄化槽研究, Vol. 8, No. 2, pp. 41-55, 1996
- 2) 小川雄比古ら：小型合併処理浄化槽の処理機能の実態, 用水と廃水, Vol. 37, No. 9, pp. 19-24, 1995
- 3) 天川哲也：浄化槽放流水の水質データの分布状況を比較するための新しい図表現方法, 浄化槽研究, Vol. 18, No. 4, pp. 1-7, 2006
- 4) 鈴木穰：水質保全のための汚水処理施設の処理機能について—統計データと既存調査報告を用いた評価—, 下水道協会誌, Vol. 47, No. 575, pp. 46-48, 2010
- 5) 財団法人日本環境整備教育センター編：浄化槽の維持管理, 2010
- 6) 国安克彦ら：小型合併処理浄化槽の放流水 BOD の時間変動特性,」浄化槽研究, Vol. 9, No. 1, pp. 13-26, 1997
- 7) 社団法人浄化槽システム協会：平成 23 年度出荷統計表 (処理方式別, 人槽別),
- 8) 佐藤吉彦ら：担体流動生物濾過法に鉄電解法を組み込んだ方式による戸建て住宅生活排水の高度処理化, 水環境学会誌, Vol. 26, No. 9, pp. 601-606, 2003

- 9) 岡城孝雄：浄化槽の放流水質に対する再評価の必要性と課題，月刊浄化槽，No. 431，pp. 4-10，2012
- 10) 仁木圭三：浄化槽の24時間調査における水質変動，月刊浄化槽，No. 431，pp. 5-10，2012
- 11) 飯島卓ら：家庭用合併処理浄化槽における放流水の実態，生活と環境，Vol. 34，No. 11，pp. 30-36，1989
- 12) 公益財団法人日本環境整備教育センター：登録小型合併処理浄化槽要覧，1998-2009
- 13) 藤村葉子ら：小規模合併処理浄化槽の処理水の性状と循環運転による窒素除去，水環境学会誌，Vol. 21，No. 3，pp. 157-162，1998
- 14) 矢橋毅ら：生活排水の水質特性の解析と処理水における水質変化，水環境学会誌，Vol. 23，No. 9，pp. 584-589，2000
- 15) 大久保卓也ら：嫌気性ろ床法における外来懸濁物質蓄積の影響評価モデル，水環境学会誌，Vol. 16，No. 12，pp. 50-63，1993

3 浄化槽における温室効果ガス排出量と放流水質の実態

3. 1 はじめに

20 世紀において温室効果ガスの排出量が急激に増加し、気候変動による深刻なリスクが懸念され、温室効果ガスの削減に向けた早急な対策が必要とされている。

生活排水処理分野においても例外ではない。日本にはいまだ約 1,600 万人の未汚水処理人口が残存し、生活排水処理施設整備に伴う温室効果ガス排出量の増加が懸念される。整備対象地域が大都市から中小市町村地域へと移行していることから、中小市町村地域への普及が期待される浄化槽についても温室効果ガス排出量削減の対策が必要であり、平成 22 年度からは低炭素社会対応型浄化槽の整備も始まった¹⁾。

しかし、温室効果ガス排出量の削減は、浄化槽からの放流水質の改善を図りながら進めなければならない。下水道分野では、栄養塩類除去を目的とした下水処理方式において富栄養化影響指標と地球温暖化影響指標の関係がトレードオフを示し、高度処理を進めれば温室効果ガス排出量を増加させることが知られている²⁾。

そこで、実際に設置されている浄化槽を対象に、浄化槽起源で発生する温室効果ガス排出量と放流水質の関係を解析し、浄化槽分野の温室効果ガス排出量の特徴、および放流水質が良好で温室効果ガスの排出の少ない浄化槽構造に関する考察を加えた。また、宮城県 T 町を対象として、2000-2009 年の浄化槽分野からの温室効果ガス排出量および放流水質の経年変化を解析し、浄化槽普及と温室効果ガス排出量および放流水質の変化の実態を評価した。

3. 2 方法

3. 2. 1 浄化槽の型式および放流水質データ

2010 年の宮城県の戸建住宅で使用される 5-10 人槽の既設浄化槽の法定検査結果 44,197 基分をもとに、型式のデータベースを作成した。浄化槽の型式は、人槽別で全長、全幅、全高、一次容量、総容量、ブロワの消費電力の項目をまとめた。単独処理浄化槽については多くの型式でそれらを把握できなかったため、処理方式別で項目ごとに代表的な値を用いた。

放流水質は、同年に宮城県で実施された法定検査の結果に基づき解析を行った。宮城県の法定検査の受検率は平成 21 年度末で 81.8%である。浄化槽の解析対象は設置基数の多く(年によって異なるが約 70-90%)を占める戸建住宅用の浄化槽、すなわち 5-10 人槽の単独浄化槽および浄化槽を解析の対象とし、建築用途として店舗利用住宅は解析の対象から除外した。

3. 2. 2 温室効果ガス排出量および放流水質の経年変化解析

温室効果ガス排出量および放流水質の経年変化の解析においては、ここ 10 年間人口変化が少なく浄化槽設置基数が増加している T 町を対象とした(図 3-1). 2000-2009 年の 10 年間にわたる浄化槽分野からの温室効果ガス排出量を算定し経年変化を解析した.

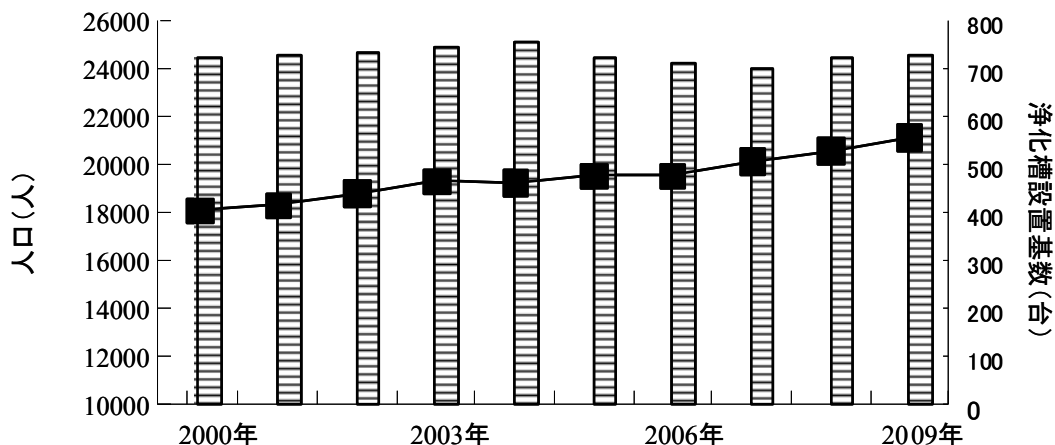


図 3-1 T 町の人口および浄化槽設置基数の推移

3. 2. 3 温室効果ガス排出量算出方法

温室効果ガス排出量の算出は、平成 21 年度に浄化槽システム協会が行った手法を参考に行った³⁾。温室効果ガス排出量の算定にあたり、浄化槽の製造、施工および運用段階を評価範囲とし、廃棄段階においては全体の排出量への影響が非常に小さいという知見から考慮しないものとした。法定検査が全ての既設浄化槽の基数を網羅していないことや、市町村の規模による基数の差を考慮し、市町村別または処理方式別に比較する場合、浄化槽 1 基あたりの温室効果ガス排出量を用いた。また、浄化槽の耐用年数を 30 年とした。

なお、温室効果ガスの直接排出は実使用人数に排出係数を乗じて各浄化槽の温室効果ガス排出量を算出した。処理水に含まれる BOD および窒素は、1 日 1 人あたりの排水量を 200L とし、検査データから得られた放流水の BOD、T-N の値に排出係数、実使用人数、排水量を乗じて温室効果ガス排出量を算出した。単独処理浄化槽に関しては生活雑排水を未処理で放流するため、検査データの放流水 BOD の値に生活雑排水の流入原水の BOD 値を足して算出した。T-N に関してはデータが無いため、流入原水原単位を放流水質として用いて算出した。

3. 3 結果および考察

3. 3. 1 浄化槽からの温室効果ガス排出量と処理水質の関係

性能評価型、構造例示型、単独処理型浄化槽の全ての浄化槽を含んでの各市町村の浄化槽 1 基あたりの温室効果ガス排出量と水質の関係を図 3-2 に示す。

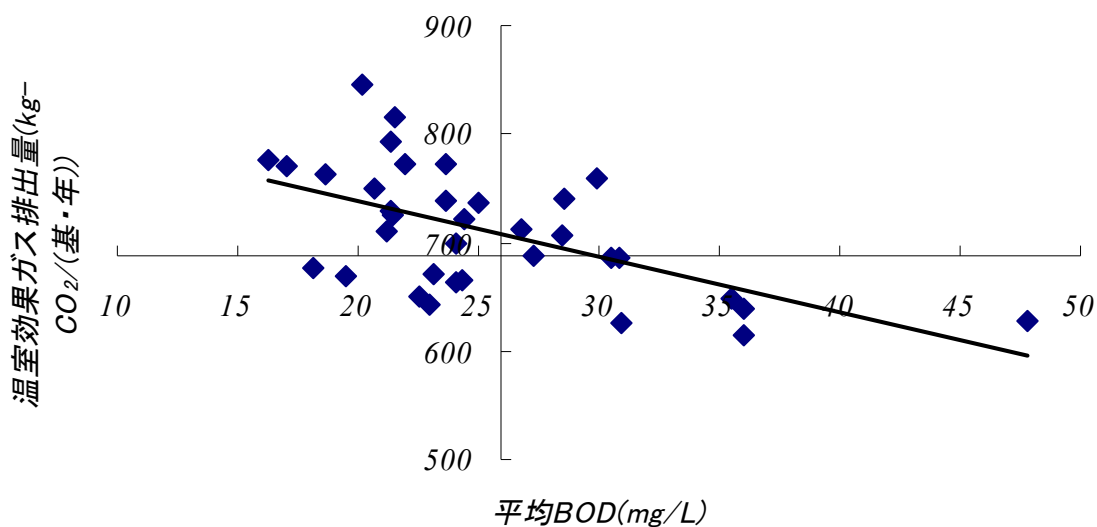


図 3-2 市町村別の全処理方式浄化槽の温室効果ガス排出量と水質の関係

温室効果ガス排出量と放流水 BOD の間に相関係数 0.579 の負の相関がみられた。これは、各市町村における単独処理型の基数割合の影響と見られる。単独処理型浄化槽は性能評価型や構造例示型と比較して、1～3 割程度温室効果ガス排出量が少なく、放流水 BOD は約 2 倍以上高い。なお、処理方式別の温室効果ガス排出量の違いを図 3-3 に示す。この結果は性能評価型 18,398 基、構造例示型 9,556 基、単独処理型 16,243 基の温室効果ガス排出量の平均値である。

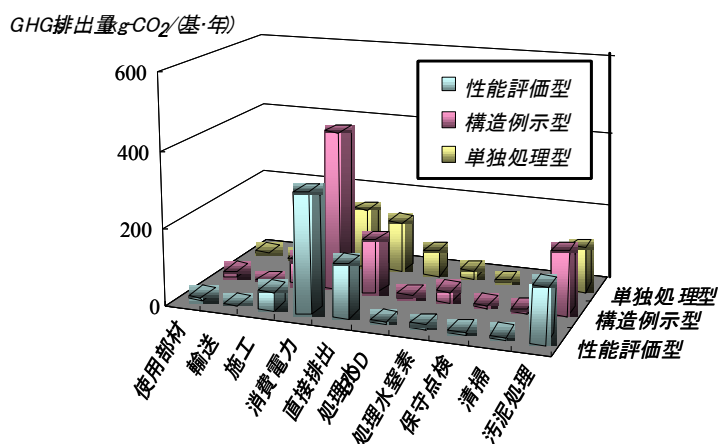


図 3-3 小型合併処理浄化槽の処理方式別の温室効果ガス排出量

図 3-2 に示されたように、浄化槽分野においても温室効果ガス排出量と放流水質にトレードオフの関係があることが確認された。そして、水質に関しては未だに多くの単独処理型浄化槽が残存するため、全ての浄化槽の放流 BOD の平均値が 20mg/L 以下の市町村は 35 市町村中 5 市町村しかない実態も確認された。

宮城県においても水環境保全のために単独処理型の合併処理化や下水道への

迅速な転換が求められているが，合併処理浄化槽を整備した場合には温室効果ガス排出量の増加は避けられないと考えられる。

次に，新設されるほぼ全ての浄化槽が性能評価型である現状をふまえ，性能評価型だけを対象として各市町村別の比較を行った．結果を図 3-4 に示す．

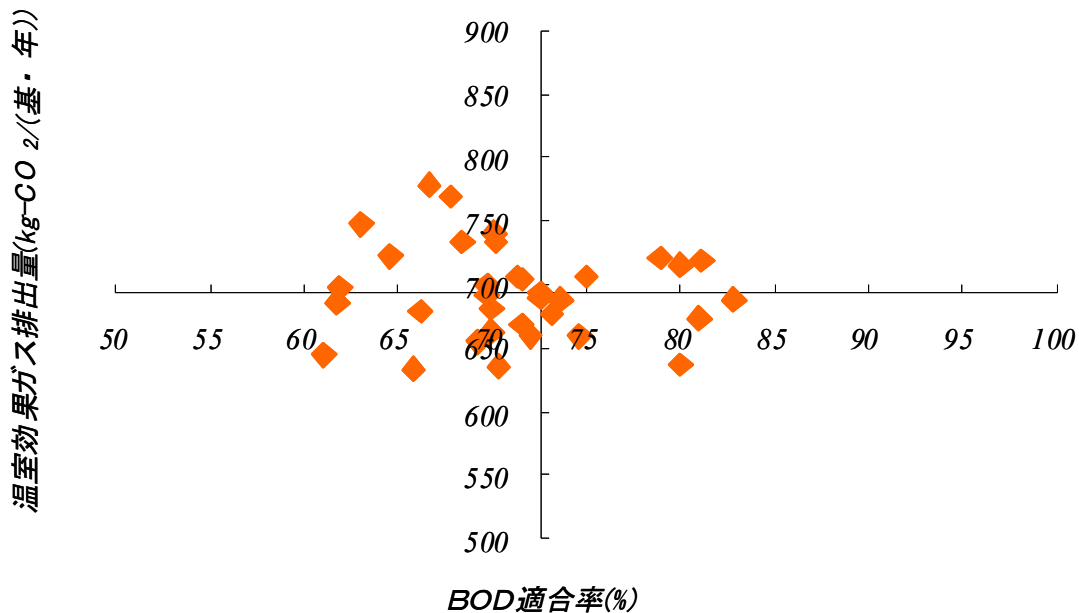


図 3-4 市町村別の性能評価型浄化槽の温室効果ガス排出量と BOD 適合率の関係

全処理方式の浄化槽の場合（図 3-3）と異なり，相関は認められなかった．また，市町村間で温室効果ガス排出量において最大 145(kg-CO₂/(基・年))，適合率で約 26%の大きな差が確認された．この背景に自治体の展開する浄化槽行政の違いがあるのではと考え解析を行ったが，浄化槽推進事業実施の有無の影響は認められず，図 3-5 に示すように，浄化槽推進事業を行う市町村のみの性能評価型の温室効果ガス排出量と適合率の関係にもバラツキが認められた．

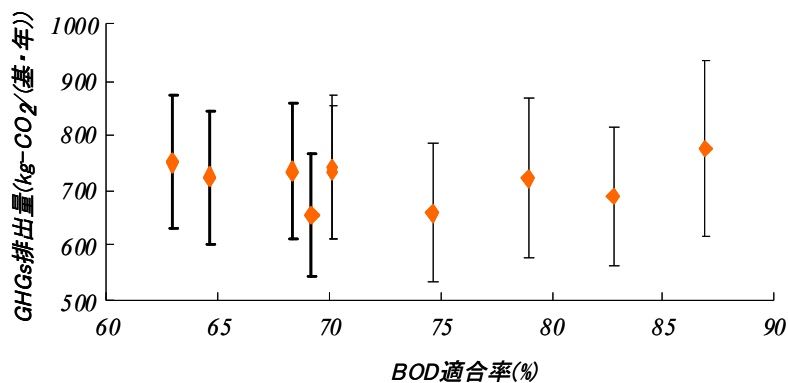


図 3-5 浄化槽推進事業を実施する市町村の性能評価型浄化槽の温室効果ガス排出量と BOD 適合率の関係

浄化槽推進事業を実施する市町村間においても低炭素化社会対応型浄化槽(5人槽で52W以下,7人槽で74W以下,10人槽で101W以下)の基数割合に違いが見られ,その割合の多い市町村における温室効果ガス排出量は少ない.このような行政施策によって排出量の低減につながっていることが確認された.具体的にはブロワの消費電力40W前後の浄化槽が非常に多く,温室効果ガス排出量の差をもたらす主因であることがわかる.

浄化槽推進事業を実施する市町村の中で,最もBOD適合率が高かったT町では,性能評価型の中で1/3以上を特定の型式の浄化槽が占めている.この浄化槽は高度処理型であり,嫌気ろ床槽第1室および第2室にろ材が充填されており,好気槽は担体流動槽と担体ろ過槽で構成されている.このような構造の浄化槽の処理水質が良好であることは第2章の解析で明らかにしたが,この浄化槽も低炭素化社会対応型浄化槽であり,5人槽でブロワは40W以下のものを採用している.このような浄化槽の普及により水質を大きく改善しながら,温室効果ガスの発生抑制を行うことが重要であることが明らかになった.

3. 3. 2 浄化槽からの温室効果ガス排出量の経年変化

(1) 浄化槽仕様の平均値の経年変化

T町において浄化槽の基数は図3-1に示したように増加傾向にあり,この10年間で38%増加した.内訳としてはほとんどが性能評価型浄化槽の増加であり,2006年には高度処理が可能で設計処理水質値も低い性能評価型浄化槽が初めて設置され,2007年には高度処理型浄化槽が多数新設された.一方,単独浄化槽は減少し,しており,人口が増加しない中で浄化槽整備推進事業を実施しているT町では,合併処理浄化槽が生活排水処理対策の中核を担っていることがうかがい知れる.T町における浄化槽の法定検査のデータから得られた各年の浄化槽仕様の平均値を表3-1に示す.

浄化槽の総容量に関しては,全体の平均値は大きく上昇したが,これは他の性能評価型浄化槽と比べ総容量が大きい高度処理型の浄化槽の設置基数が増加したためである.

ブロワの消費電力に関しては,全体の平均値は大きく上昇した.構造例示型に関しては平均値に減少が確認されたが,一方で性能評価型は平均値の上昇が確認された.単独浄化槽は大きな変化はなかった.構造例示型浄化槽は総容量の減少が確認されたが,この間に設置された浄化槽の人槽が小さく,それに伴いブロワの消費電力の平均値が減少したためと考えられる.性能評価型浄化槽のブロワの消費電力の平均値は上昇したが,2000年から2001年の間で大きく上昇したあとの9年間では大きな変化はない.2000年の法定検査のデータでは

性能評価型浄化槽の基数は非常に少なく、また 2001 年にブロワ消費電力の大きな新たな型式の性能評価型浄化槽が設置されたことによる増加と考えられる。2006 年以降、総容量の大きな高度処理型の増加にも関わらずブロワの消費電力に変化がないのは、ブロワの省エネルギー化が進んだためと考えられる。

放流水の BOD に関しては、全体では 10 年間で BOD 値が 71.6 から 31.0mg/L まで向上している。他の 2 つの処理方式において BOD 値に大きな変化はないが、性能評価型浄化槽の放流 BOD 値は、10 年間で 36.1 から 11.1mg/L と約 3 分の 1 に低下している。性能評価型浄化槽の技術開発が水質改善に大きく貢献していることが明らかである。

浄化槽の人員比に関しては、ここ 10 年間で平均人員比はほぼ一定 (0.61) だった。一方、平均実使用人員は減少した (5.2 から 4.6)。

表3-1 T町における浄化槽仕様の平均値の経年変化

構造例示型浄化槽	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
全長(mm)	3025.843	3007.458	2996.455	2976.252	2967.061	2942.881	2925.765	2925.63	2923.602	2911.333
全幅(mm)	1477.357	1464.759	1460.96	1448.826	1453.553	1451.398	1446.783	1441.3	1441.837	1437.396
全高(mm)	1796	1799.819	1799.545	1798.652	1798.465	1798.559	1801	1802.2	1802.245	1800.938
一次容量(m3)	2.667757	2.618506	2.595152	2.555722	2.554053	2.518542	2.500635	2.49084	2.492643	2.478333
総容量(m3)	4.8355	4.754217	4.717758	4.646617	4.644096	4.583169	4.53293	4.53117	4.535031	4.496417
消費電力(W)	94.13571	88.43373	91.30808	89.77826	89.88158	88.37712	87.07826	86.34	86.47959	86.16667
放流BOD(mg/L)	2.64	2.1	2.02	2.22	2.22	2.25	1.87	2.14	2.7	2.55
平均人員比	0.664	0.686	0.675	0.674	0.674	0.665	0.668	0.673	0.68	0.683
平均処理対象人員(人)	5.35	5.41	5.24	5.17	5.13	5.01	4.96	4.95	5	4.99
浄化槽基数	75	90	106	122	124	131	127	112	110	129
性能評価型浄化槽	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
全長(mm)	2520	2540	2510.952	2530.469	2543.701	2545.38	2487.634	2607.535	2679.981	2680.104
全幅(mm)	1034	1073.333	1135.952	1137.188	1140.26	1144.674	1182.061	1213.779	1227.171	1235.243
全高(mm)	1738	1738.333	1749.286	1751.875	1743.961	1735.707	1732.405	1751.406	1758.798	1763.559
一次容量(m3)	2.0406	2.132278	2.178048	2.218297	2.215429	2.210152	2.27442	2.627866	2.709926	2.761771
総容量(m3)	2.6344	2.745667	2.798643	2.852969	2.859078	2.857815	3.000122	3.519018	3.677043	3.755521
消費電力(W)	65	72.22222	69.83333	72.28906	71.12338	70.77989	69.30725	67.85138	70.64264	70.7441
放流BOD(mg/L)	3.61	27.5	29.1	27.6	21.6	24.3	17.5	16.9	15	11.1
平均人員比	0.678	0.75	0.716	0.704	0.698	0.714	0.672	0.641	0.631	0.622
平均処理対象人員(人)	4.67	5.2	4.89	4.85	4.84	4.98	4.63	4.46	4.41	4.37
浄化槽基数	10	20	45	68	82	98	137	224	266	297
単独処理浄化槽	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
全長(mm)	1801.281	1810.903	1811.924	1814.52	1815.344	1821.435	1821.435	1855.72	1848.818	1853.435
全幅(mm)	1007.512	1005.732	1007.359	1006.967	1006.656	1006.28	1006.28	970.285	975.2059	973.8831
全高(mm)	1398.98	1399.746	1400.431	1400.502	1400.463	1401.118	1401.118	1412.065	1406.276	1406.903
一次容量(m3)	1.555773	1.550137	1.552117	1.54981	1.548819	1.545874	1.545874	1.631752	1.638547	1.639253
総容量(m3)	1.424817	1.422679	1.427089	1.427245	1.42895	1.44227	1.44227	1.512771	1.504265	1.508122
消費電力(W)	32.08136	32.10702	31.71034	31.67033	31.69884	31.53659	31.53659	31.57009	32.05294	31.73377
放流BOD(mg/L)	8.59	74.2	82	83.9	75.6	79.1	66.4	74.4	62.8	81.4
平均人員比	0.596	0.591	0.59	0.594	0.591	0.587	0.56	0.573	0.573	0.556
平均処理対象人員(人)	5.13	5.1	5.1	5.12	5.09	5.06	4.82	4.93	4.95	4.76
浄化槽基数	318	305	290	276	254	246	214	170	153	131
全ての浄化槽	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
全長(mm)	2036.616	2091.998	2152.128	2211.467	2231.742	2257.693	2303.189	2408.002	2478.069	2484.734
全幅(mm)	1091.807	1104.023	1124.081	1137.825	1142.731	1149.386	1149.72	1177.218	1192.138	1196.502
全高(mm)	1477.892	1497.998	1526.102	1551.553	1560.067	1571.469	1600.526	1641.359	1661.318	1668.138
一次容量(m3)	1.764148	1.79802	1.852696	1.900392	1.917542	1.931594	2.031993	2.254382	2.346479	2.389879
総容量(m3)	2.058852	2.180983	2.32332	2.454246	2.492769	2.540693	2.691383	3.02355	3.190244	3.244418
消費電力(W)	43.52638	45.6	49.11485	52.20575	53.18444	54.16283	56.19402	59.15144	61.99175	62.32955
放流BOD(mg/L)	73.6	60.4	61.7	59.5	51.6	52.2	39.7	37.2	31.3	31.0
平均人員比	0.608	0.615	0.62	0.629	0.63	0.632	0.618	0.623	0.622	0.613
平均処理対象人員(人)	5.15	5.16	5.11	5.09	5.06	5.03	4.8	4.74	4.7	4.6
浄化槽基数	403	415	441	466	460	475	478	506	529	557

図 3-6 に T 町の浄化槽 1 基あたりの実使用人員別割合を示す。1～2 人および 3～4 人で使用している浄化槽の割合が増加していることが確認された。なお、T 町では 1 世帯あたりの人員が近年わずかに減少しており、性能評価型の人員比も減少傾向が明らかであることから、5 人槽の小型合併処理浄化槽の普及が今後進むものと見られる。

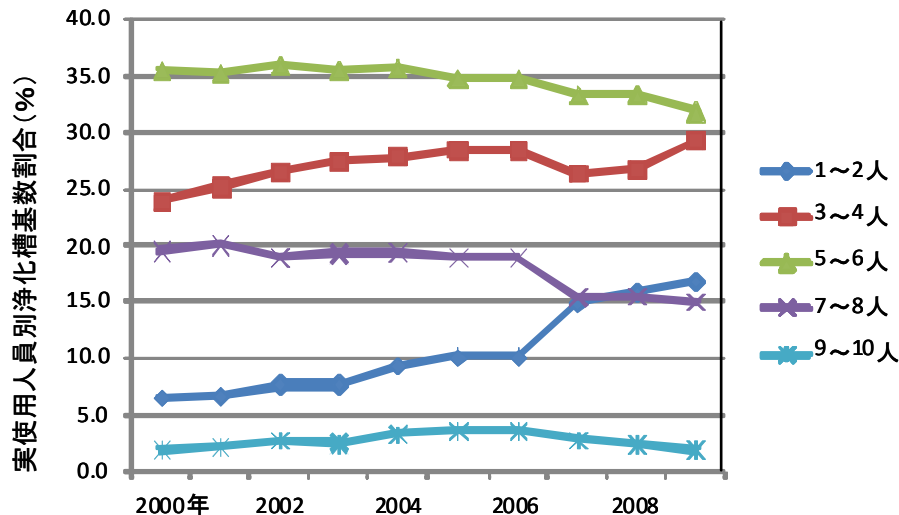


図 3-6 T 町における実使用人員別浄化槽基数割合の変化

(2) T 町における浄化槽分野の温室効果ガス排出量

T 町における各段階の温室効果ガス排出量を表 3-2 に、2000 年および 2009 年の各段階の全体の温室効果ガス排出の寄与率を表 3-3 に示す。以下に各段階の温室効果ガス排出量のここ 10 年の変化に関して述べる。

(2-1) 製造段階の温室効果ガス排出量の変化

2000-2009 年の 10 年間に於いて、製造段階における温室効果ガス排出量 (kg-CO₂/(基・年)) は 43% 増加した。製造段階の温室効果ガス排出量は、浄化槽の総容量に大きく影響される。T 町では総容量の大きな高度処理型の浄化槽を普及させており、これが温室効果ガス排出量の増加要因となっている。しかし、全体の温室効果ガス排出量に対する寄与率は 1 割未満である。

(2-2) 施工段階の温室効果ガス排出量の変化

施工段階における温室効果ガス排出量 (kg-CO₂/(基・年)) は、26.8% 増加した。施工段階は、全ての項目に浄化槽の容量に関わる要素が関わり、平均総容量が増加すると、輸送、掘削、鉄筋使用、コンクリート使用に伴う温室効果ガス排出量はいずれも増加する。実際に施工段階の温室効果ガス排出量には増加が見られたが、施工段階の全体への寄与率も製造段階と同様 1 割未満である。

(2-3) 使用段階の温室効果ガス排出量の変化

使用段階における温室効果ガス排出量 (kg-CO₂/(基・年)) は、12.2% 増加した。

ブロワの消費電力に関わる温室効果ガス排出量は、2000-2009年の10年間で43%増加した。この原因は、ブロワの消費電力が小さい単独処理浄化槽が減少し、より消費電力の大きい性能評価型浄化槽が増えたためである。近年、ブロワの省エネルギー化が進み、低炭素化に大きく貢献しているが、必要風量の削減や再生可能エネルギーの導入などさらに検討を進める必要がある。

浄化槽から直接排出されるメタン、亜酸化窒素に関わる温室効果ガス排出量は、2000-2009年の10年間で9.8%減少した。直接排出に関わる温室効果ガス排出量の減少は実使用人員の減少によるものである。T町は人口変化が少ないが世帯数の増加によって1世帯あたりの人員が減少し、平均実使用人員が減少している。それに伴い浄化槽1基あたりから直接排出されるメタン、亜酸化窒素は減少する。

一方、処理水中に含まれるBOD、窒素の放流先における分解によって生じるメタン、亜酸化窒素に関わる温室効果ガス排出量は、約53%減少した。これは処理水質が向上したことによるものであり、高度処理型浄化槽の普及と、生活雑排水を未処理で水域に放流する単独浄化槽の基数の減少が大きく寄与している(図3-6)。

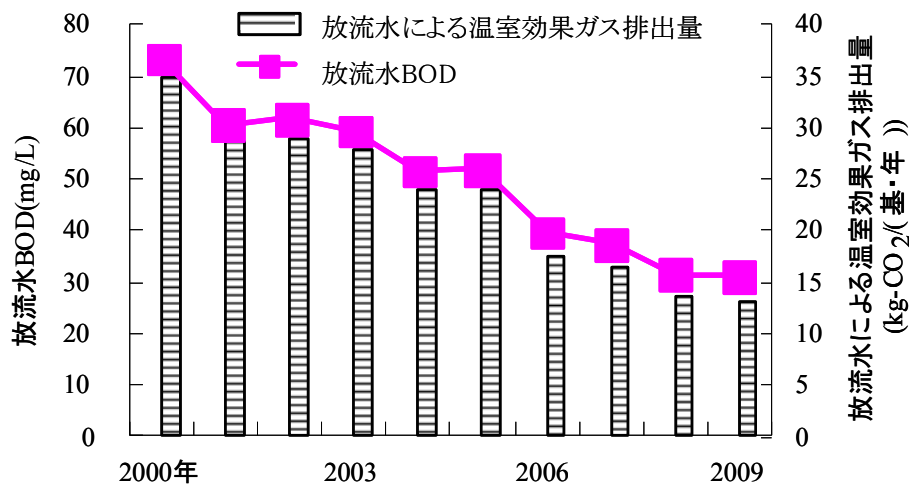


図 3-6 T町における放流水 BOD および放流水 BOD に起因する温室効果ガス排出量の推移

汚泥処理に関する温室効果ガス排出量は35.5%増加した。T町は総容量の小さい単独浄化槽の基数の減少、ならびに比較的総容量の大きい高度処理型浄化槽の普及により汚泥量が増加している。BOD適合率が高い浄化槽において汚泥処理段階で多量の温室効果ガスが発生するのは、嫌気槽が大きいことに起因する。このため、汚泥の収集・運搬、ならびにし尿処理施設での処理において温室効果ガスの排出量が増加する。汚泥処理から排出される温室効果ガスの寄与

率は高いことことから、汚泥処理における対策が重要と考えられる。

例えば汚泥濃縮・脱水車，積み替え施設等の導入による汚泥処理からの温室効果ガスを抑制し，良好な水質を確保することが重要な方向性であろう⁴⁾。また，浄化槽汚泥の資源化有効利用等についても，地域の浄化槽システムの適正化の観点から総合的に考える必要がある。

(3) T町における浄化槽分野の温室効果ガス総排出量の推移

図 3-7 に T 町における浄化槽分野の温室効果ガス排出量(t-CO₂/年)の推移を示す。ここで温室効果ガス排出量は浄化槽 1 基あたりと浄化槽分野全体の 2 通りで示した。浄化槽 1 基あたりの温室効果ガス排出量は年々増加しており，ブロワの消費電力および総容量の小さい単独処理浄化槽の基数の減少と，総容量が大きい高度処理型の浄化槽の普及が大きな要因である。しかし，増加傾向は鈍化しており，これには低炭素社会対応型浄化槽の普及が大きく貢献している。

また，浄化槽分野の温室効果ガス排出量は 1 基あたりの増加の傾向を上回って増加しており，T 町における浄化槽設置基数の増加の影響が加わっている。

浄化槽の普及によって浄化槽分野からの温室効果ガス排出量が増加することは不可避であるが，低炭素化のためには浄化槽 1 基あたりの排出量を低炭素社会対応型浄化槽で抑制しつつ，さらにブロワの消費電力，汚泥処理分野の排出量の削減，およびより高度な処理水質を達成して放流先でのメタン・亜酸化窒素の排出量を抑制する技術・システム開発を行うことが重要である。処理水質の高度化は水環境保全の観点からも重要であり，ウィンウィン型の浄化槽開発であることが必須である。

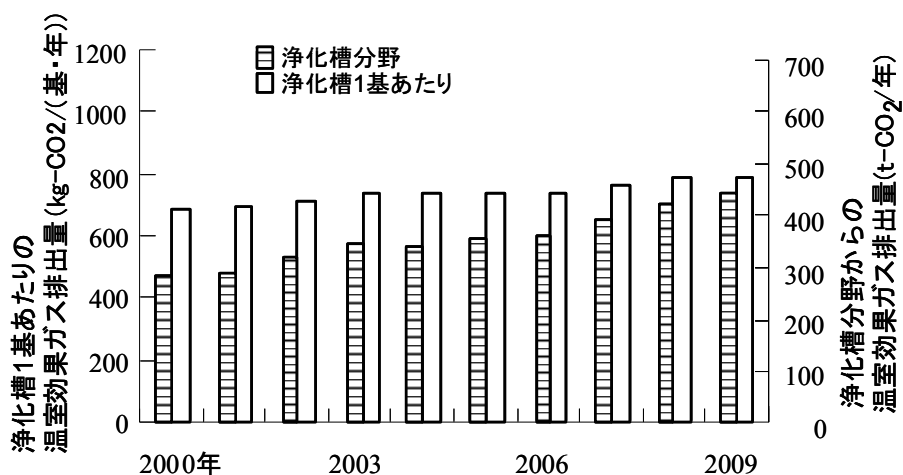


図 3-7 T 町における浄化槽 1 基あたりおよび浄化槽分野からの温室効果ガス排出量の推移

3. 4 まとめ

(1) 市町村別に浄化槽からの温室効果ガス排出量と放流水 BOD の関係を解析した結果、これらはトレードオフの関係にあることが示された。この原因は放流水 BOD の高い単独処理浄化槽の温室効果ガス排出量が合併処理浄化槽よりも小さいためであり、単独処理浄化槽の減少・合併処理浄化槽の普及により水質の改善と温室効果ガス排出量の増加が生じていることが明らかになった。

(2) 性能評価型浄化槽からの温室効果ガス排出量に関しては、低炭素化社会対応型浄化槽の割合の多い市町村における温室効果ガス排出量は少なく、このような行政施策が排出量の低減につながっていることが確認された。

また、低炭素社会対応型浄化槽でかつ高度処理型（嫌気ろ床槽第 1 室および第 2 室にろ材充填，好気槽は担体流動槽，担体ろ過槽で構成）の浄化槽の普及が進んだ T 町において温室効果ガス排出量の増加を抑制しながら著しい水質改善効果が発揮されていることが明らかになった。

(3) 性能評価型浄化槽の普及においては処理水質の向上が図られるため、温室効果ガス排出量に対する寄与の大きな段階である直接排出は抑制される。一方、残る温室効果ガス排出量の大きな段階としては、ブロワの消費電力、および汚泥処理があげられる。

近年、ブロワの省エネルギー化が進み、低炭素化に大きく貢献しているが、技術開発には限りがあるため必要風量の削減や再生可能エネルギーの導入などの検討も合わせて行う必要がある。

また、性能評価型浄化槽の嫌気槽が大きいことに起因して、汚泥発生量が増加する。このため、汚泥の収集・運搬ならびにし尿処理施設での処理において温室効果ガスの排出量が増加する。したがって汚泥濃縮・脱水車，積み替え施設等の導入，浄化槽汚泥の資源化有効利用等についても検討を進める必要がある。すなわち、浄化槽の技術革新のみならず地域の浄化槽システムの観点から低炭素化を総合的に考える必要がある。

第 3 章参考文献

1) 環境省廃棄物・リサイクル対策部：浄化槽について（資料），平成 22 年 4 月 19 日

2) 惣田訓：各種下水処理方式における処理水質，汚泥発生量，温室効果ガス排出量の比較評価，「低炭素・国際展開に対応する水環境管理戦略に関する研究」，土木学会平成 23 年度「重点研究課題」調査研究報告書，pp.2-11，平成 24 年 3 月

3) 社団法人浄化槽システム協会：平成 21 年度浄化槽の低炭素化に向けた調査

検討業務報告書，2010

4) 濱中俊輔：浄化槽汚泥濃縮車を活用した浄化槽システムの高度化に関する研究，東北大学博士学位論文，平成 25 年 3 月

4. 浄化槽における大腸菌群の除去性

4. 1 はじめに

ここ数十年間、浄化槽技術の進展は著しく、放流水 BOD は下水処理水と同等のレベル¹⁾に達し、構造例示型から性能評価型へと転換しながら窒素やリンの除去機能を有する型式も増加し、低炭素社会対応型も開発されている。しかしながら浄化槽における最終処理工程の消毒技術は、ほとんど変化していない。

浄化槽の消毒は塩素系の薬品による消毒法が主流となっている。水質汚濁防止法では生活排水処理施設から排出される放流水中の大腸菌群数を排水量 50m³ 以上の施設の場合、日間平均 3,000 個/cm³ 以下と規定している²⁾。一方 50m³ 以下の浄化槽に基準値は設けられていないが、一般的に同じ値を目安としつつ、「残留塩素が検出されること」として、維持管理がなされている。

塩素剤を用いた消毒は、塩素の残留性により長時間の消毒効果が期待される一方で、放流水中の残留塩素濃度が上昇し、THM や TOX が検出される事例が報告されており^{3,4)}、浄化槽放流水の生態系への影響が懸念されている^{5,6)}。

環境省関係浄化槽法施行規則第二条第十六項には「放流水は、環境衛生上の支障が生じないように消毒されるようにすること」と明記されており⁷⁾、病原性微生物による水系感染症の防止のために塩素消毒は欠かせない処理工程である。しかし有害な塩素化合物の生成、生物・生態系への悪影響を考慮すると、極力少ない塩素剤の使用で衛生学的な安全性を担保することが重要である。この観点からは塩素消毒前の処理工程において大腸菌群数をできるだけ低下させることが有効であると考えられるが、既往の研究において浄化槽の塩素消毒後の大腸菌群数に関する評価例⁸⁾はあるものの、塩素消毒前の大腸菌群数を調査した例は見あたらない。さらにどのような条件で大腸菌群が減少するかなどの浄化槽における大腸菌群の挙動は明らかにされていない。

そこで本研究では、一般家庭に設置されている性能評価型浄化槽に着目し、生活排水の流入する嫌気槽、および塩素消毒前後の大腸菌群数の処理工程における除去効率、および除去に影響を及ぼす因子の解明を行った。

4. 2 方法

下水処理施設や農業集落排水など大規模施設では、塩素消毒のほかに紫外線消毒やオゾン消毒が用いられているが、浄化槽で処理された水の消毒方法は取り扱いが簡単で、長時間消毒効果を発揮する固形タイプの塩素剤（次亜塩素酸カルシウムあるいは塩素イソシアヌール酸の錠剤）を用いるのが一般的である。塩素剤を充填した消毒筒の下部に処理水が接触して消毒が行われる。なお、様々な条件や浄化槽容積の違いによって変わってくるが、一般には消毒槽で 15 分程

度滞留し、その後、河川などに放流される。

浄化槽放流水の大腸菌群数については、浄化槽の処理性能を規定する建築基準法施行令第32条第1項第2号において、浄化槽からの「排出水に含まれる大腸菌群数が、1立方センチメートルにつき3千個以下とする性能を有するものであること。」と定められている⁹⁾。本章ではこれを根拠に排水基準を3,000個/cm³相当として議論を進める。

4. 2. 1 調査対象とした性能評価型浄化槽

現在新設される浄化槽のほとんどは性能評価型であり、宮城県内では2000年から2012年にかけて設置基数が11.5倍に増加した。性能評価型浄化槽においては多くの型式が存在し、処理フローも様々であるが、BOD除去型と窒素・リン除去型浄化槽に大別される。この2処理方式に着目し、大腸菌群除去に影響を及ぼす因子の解析を行った。

4. 2. 2 調査方法

調査は2011年10月から2012年10月にかけて平日の午前中、宮城県内に設置されている性能評価型浄化槽について、設置者が在宅し、実使用人数が把握できる状況で実施した。

採水箇所は、嫌気槽(2室ある場合は第1室)と沈殿槽あるいは処理水槽(塩素消毒前)、消毒槽(塩素消毒後)の3箇所である。水質項目は大腸菌群数の他に、BOD(生物化学的酸素要求量)、SS(浮遊懸濁態物質)、NH₄-N(アンモニア態窒素)、NO₂-N(亜硝酸態窒素)、NO₃-N(硝酸態窒素)、pH、水温、全残留塩素濃度、遊離塩素濃度の解析を行った。

大腸菌群の培養にはデソキシコレート寒天培地法を用い、37℃、18h培養した後、菌数の計測を行った。各サンプルにつき3回ずつ計測し、平均値を求めた。各水質項目は下水試験方法¹⁰⁾に従って測定した。各態窒素はMILLIPORE社のPTFE製の0.45μmメンブレンフィルターを用いてサンプルをろ過した後、適切な倍率で希釈し、ビーエルテック社のQuAAtro 2HRを用いて測定した。SSは、サンプル一定水量をWhatman社のGF-Bガラス繊維製ろ紙を用いてろ過し、加熱乾燥してガラス繊維製ろ紙上の残量物の質量を計測することで求めた。全残留塩素はDPD(N,N-ジエチルパラフェニレンジアミン)法を用い、遊離塩素は東亜ディーケーケーのRC計を用いて測定を行った。pHおよび水温は東亜ディーケーケーのpH計を使用した。

4. 2. 3 解析方法

塩素消毒前後において大腸菌群数に差があるかを調べるために、独立した2群の分布の中央値の差を検定するマン・ホイットニー検定を行った。また、大腸菌群数と他の水質項目の相関解析では、大腸菌群数の対数値を利用してパラ

メトリック解析を行った。

4. 3 実験結果および考察

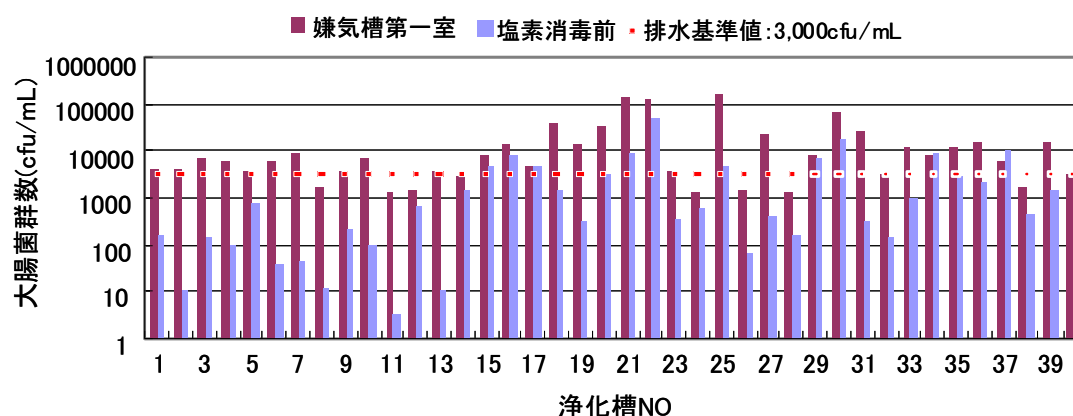
4. 3. 1 性能評価型浄化槽の放流水質

調査した全ての浄化槽の BOD 平均値は 16.5mg/L で、BOD20mg/L を達成していた浄化槽の割合は 76.3%である。BOD 除去型浄化槽の BOD 平均値は 18.3mg/L, BOD 適合率は 65.1%, 窒素・リン除去型浄化槽はそれぞれ 15.5mg/L, 82.7%であった。棄却域 5%で t 検定を行ったところ、有意な差が確認され、窒素・リン除去型浄化槽は BOD 除去型浄化槽に比べ良好な処理が行われていた。

4. 3. 2 嫌気槽第一室から塩素消毒前における大腸菌群数の除去特性

(1) BOD 除去型と窒素・リン除去型の比較

BOD 除去型浄化槽処理過程における大腸菌群数の減少を図 4-1 に、窒素・リ



ン除去型浄化槽処理過程における大腸菌群数の減少を図 4-2 に示す。

図 4-1 BOD 除去型浄化槽の処理過程（嫌気槽第一室から塩素消毒前）における大腸菌群数の除去特性

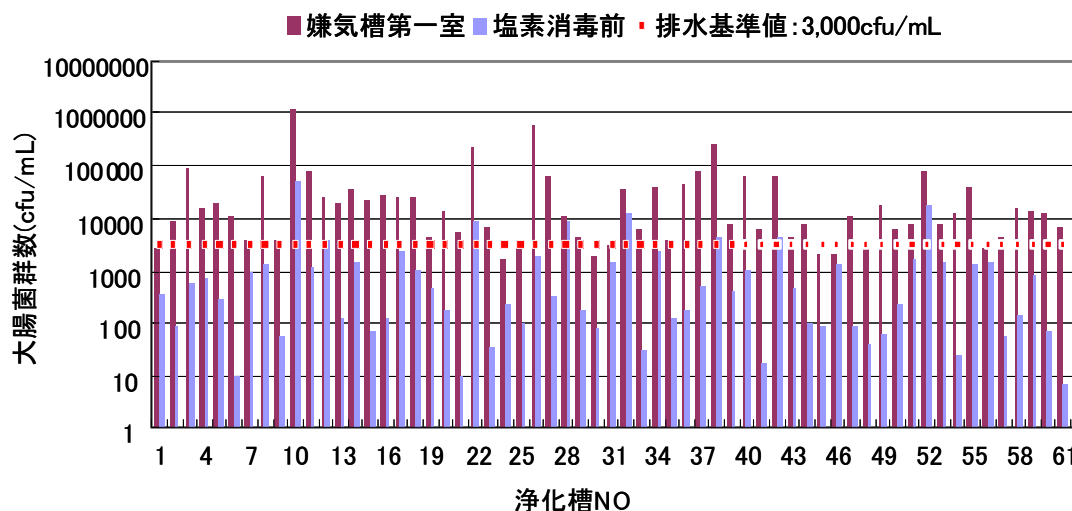


図 4-2 窒素・リン除去型浄化槽の処理過程（嫌気槽第一室から塩素消毒前）

における大腸菌群数の除去特性

排水基準値 3,000cfu/mL に関して、塩素消毒前の BOD 除去型では 70.0%、窒素・リン除去型では 87.1%が適合した。また嫌気槽第一室から塩素消毒前の大腸菌除去率は、BOD 除去型で 74.9%、窒素・リン除去型で 94.5%と、窒素・リン除去型において大腸菌群除去能が有意に高い ($p<0.05$) ことが分かった。

ところで、塩素消毒後の排水基準適合率は、BOD 除去型 80.0%、窒素・リン除去型 98.4%で有意な差が確認され ($p<0.05$)、窒素・リン除去型浄化槽の大腸菌群除去能は塩素消毒後も有意に高く、衛生学的安全性に対して窒素・リン除去型は多いに貢献できる浄化槽であることが明らかとなった。

(2) 人員比の影響

BOD 除去型浄化槽と窒素・リン除去型浄化槽における大腸菌群の除去に及ぼす人員比の影響を、それぞれ図 4-3 および図 4-4 に示す。ここで大腸菌群数はそれぞれの人員比区分の平均値で示している。

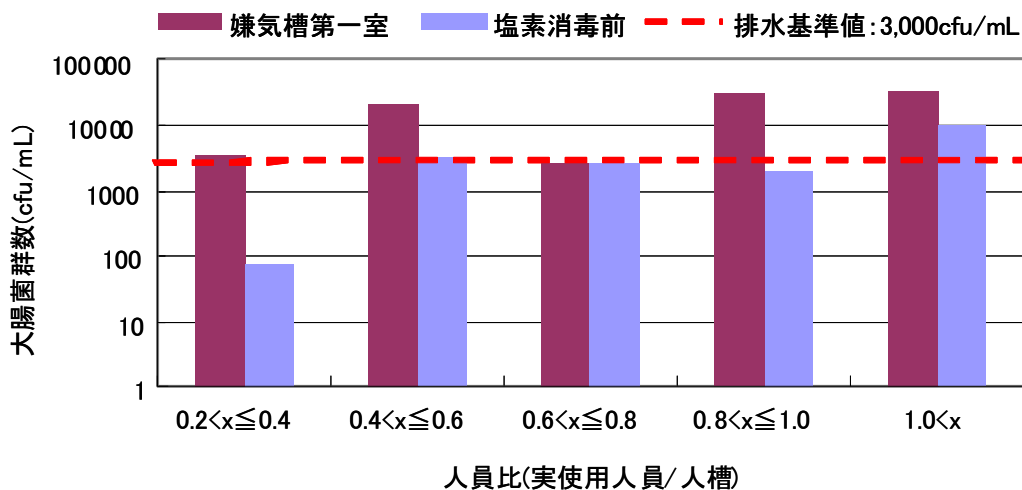


図 4-3 BOD 除去型浄化槽の処理過程（嫌気槽第一室から塩素消毒前）における人員比と大腸菌群数の関係

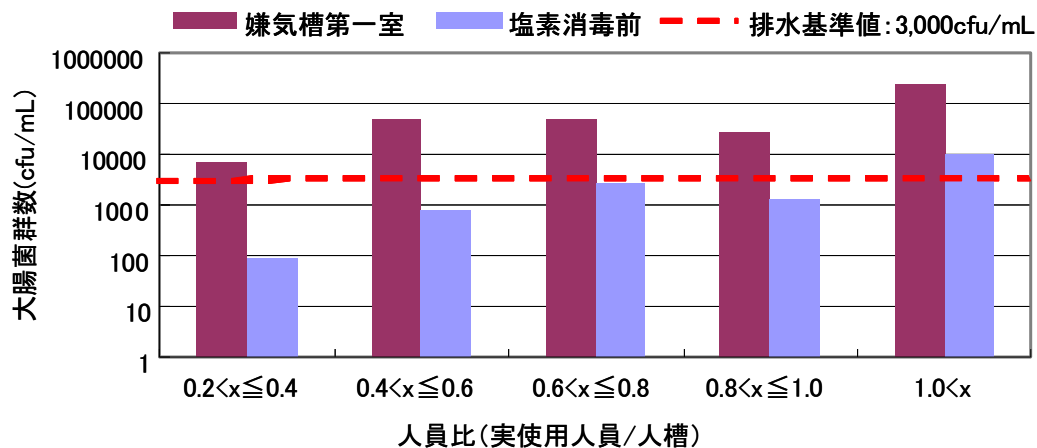


図 4-4 窒素・リン除去型浄化槽の処理過程（嫌気槽第一室から塩素消毒前）

における人員比と大腸菌群数の関係

図から明らかなように、人員比が増加するにしたがい大腸菌群数も嫌気槽第一室および塩素消毒前の両者で高くなる傾向にあった。また、人員比 1.0 以下では塩素消毒前において両方式とも排水基準 3,000cfu/mL 以下であったが、人員比 1.0 を超えると排水基準を超過した。人員比は BOD 他様々な水質に大きな影響を及ぼす因子であることが知られているが、大腸菌群に関してもその傾向は同様であることが確認された。

人員比 1.0 以下で適正に使用されている浄化槽に着目すると、塩素消毒前における排水基準適合率は、BOD 除去型浄化槽で 75.5%、窒素・リン除去型浄化槽で 89.5%であった。棄却域 5 %の t 検定で有意な差が確認され、窒素・リン除去型浄化槽の大腸菌除去能は有意に高いことがわかった。

なお、人員比 1.0 以下の適正使用の場合、塩素消毒後の排水基準適合率は BOD 除去型浄化槽で 88.0%、窒素・リン除去型浄化槽で 100%であり、窒素・リン除去型浄化槽を適正に使用することは衛生学的安全性を確保することに極めて有効であることが示唆された。

(3) 大腸菌群と他の水質項目との関係

塩素消毒前の大腸菌群数と SS 除去率の関係は、BOD 除去型および窒素・リン除去型浄化槽とも負の相関が確認されたが、SS 除去率が 90%以上でも大腸菌群数除去率は 40%前後である浄化槽も複数存在した。大腸菌自体が SS を構成する成分であるとともに、大腸菌の表層にある鞭毛は SS に吸着する性質を有しており¹¹⁾、このような理由から SS 除去と大腸菌群除去には相関が得られたと考えられるが、高度な SS 除去が必ずしも高度な大腸菌群除去につながらない場合があるのは、微量の SS に大量の大腸菌群が存在することを意味しており注意を要する。

次に、塩素消毒前の大腸菌群数と硝化率の関係について、図 4-5 に示す。

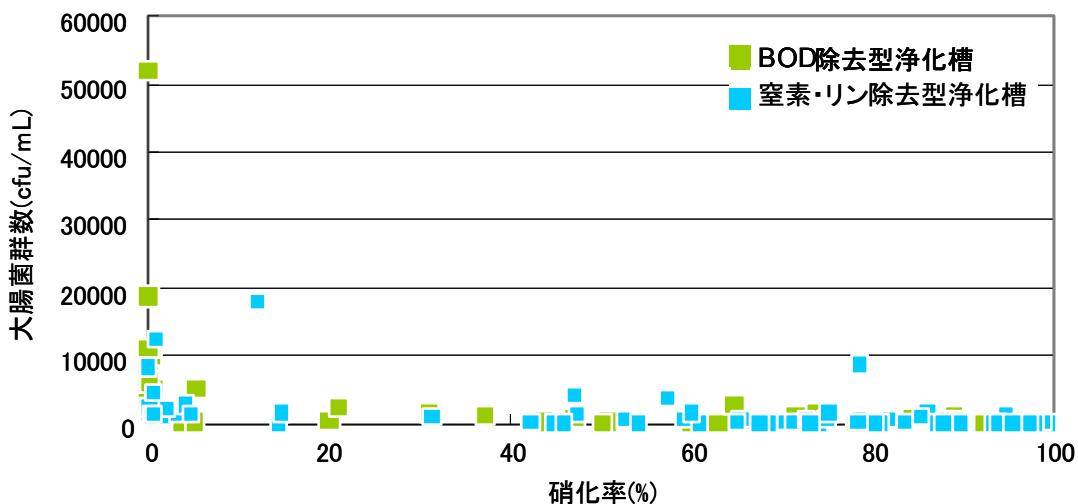


図 4-5 小型合併処理浄化槽における塩素消毒前の大腸菌群数と硝化率の関係

BOD 除去型および窒素・リン除去型浄化槽ともに硝化が良好に行われている浄化槽では、大腸菌群の除去が良好に行われる傾向にあることがわかった。

また、塩素消毒前の大腸菌群数と BOD の関係について、図 4-6 に示す。BOD 除去型および窒素・リン除去型浄化槽ともに正の相関が認められるが、処理水 BOD が低濃度域では大腸菌群数に大きなばらつきがあり、BOD を減少させることが必ずしも大腸菌群数の低下につながらないことが明らかであった。

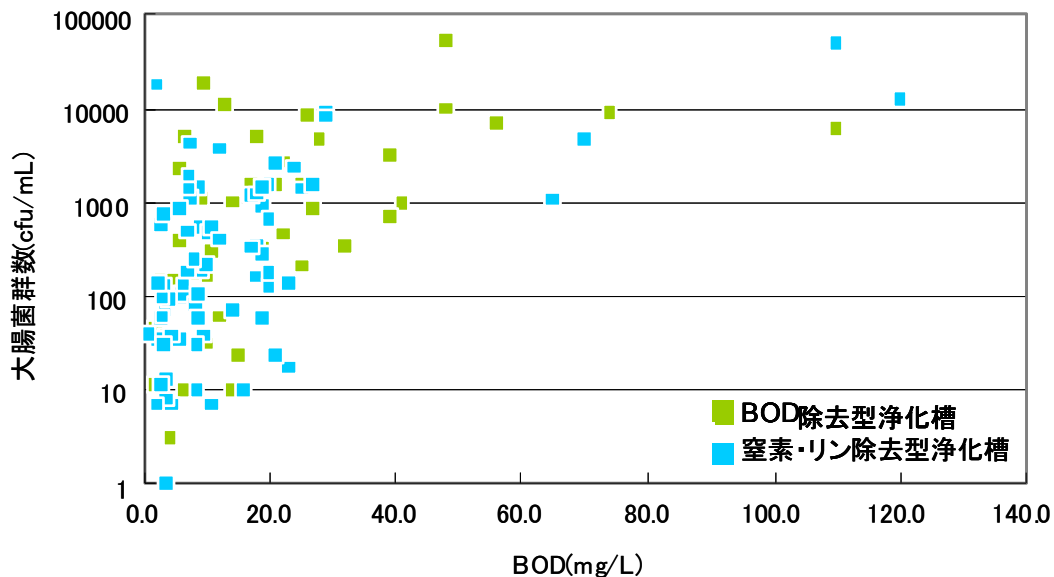


図 4-6 小型合併処理浄化槽における塩素消毒前の大腸菌群数と処理水 BOD の関係

以上をまとめると、塩素消毒前の大腸菌群数を低下させるためには、BOD や SS の除去も重要であるが、硝化率を高めることが効果的であることがわかった。この理由は解明できなかったが、大腸菌群等の微生物の除去には捕食者である微生物の働きが重要であるという知見もあり¹²⁾、硝化が進むような生物処理が十分に行われている状況は、大腸菌群の不活化に効果的である可能性が高い。

4. 3. 3 塩素消毒前後における大腸菌群数の除去特性

(1) BOD 除去型と窒素・リン除去型の比較

塩素消毒前後の BOD 除去型浄化槽における大腸菌群数の除去特性を図 4-7 に、窒素・リン除去型浄化槽における大腸菌群数の除去特性を図 4-8 に示す。

図 4-7,8 において、塩素消毒後の大腸菌群数の表示がない浄化槽は、大腸菌群が検出されなかったことを意味している。塩素消毒前に着目すると、大腸菌群数 3,000cfu/mL を超過する割合は、BOD 除去型で 30.0%、窒素・リン除去型で 12.9%であった。そして塩素消毒後でも大腸菌群数 3,000cfu/mL を超過する

割合は、BOD 除去型で 20.0%，窒素・リン除去型浄化槽では 1.6%であった。すなわち、性能評価型浄化槽では全体として 91.2%，BOD 除去型で 80.0%，窒素・リン除去型で 98.4%の割合で衛生学的安全性が確保されていることが確認された。

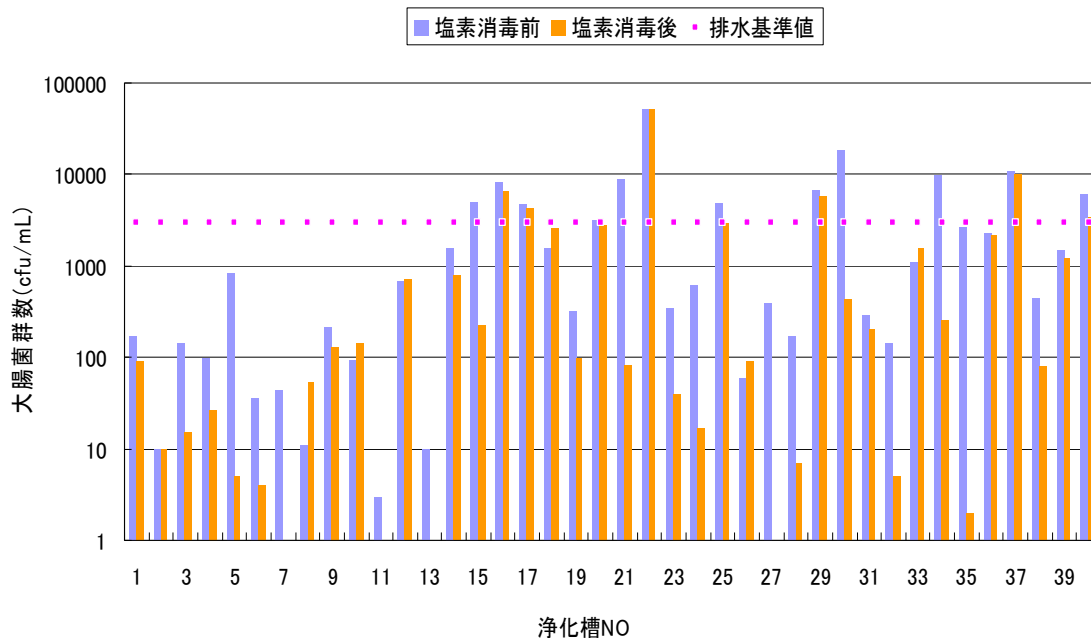


図 4-7 BOD 除去型浄化槽の塩素処理前後における大腸菌群数の除去特性

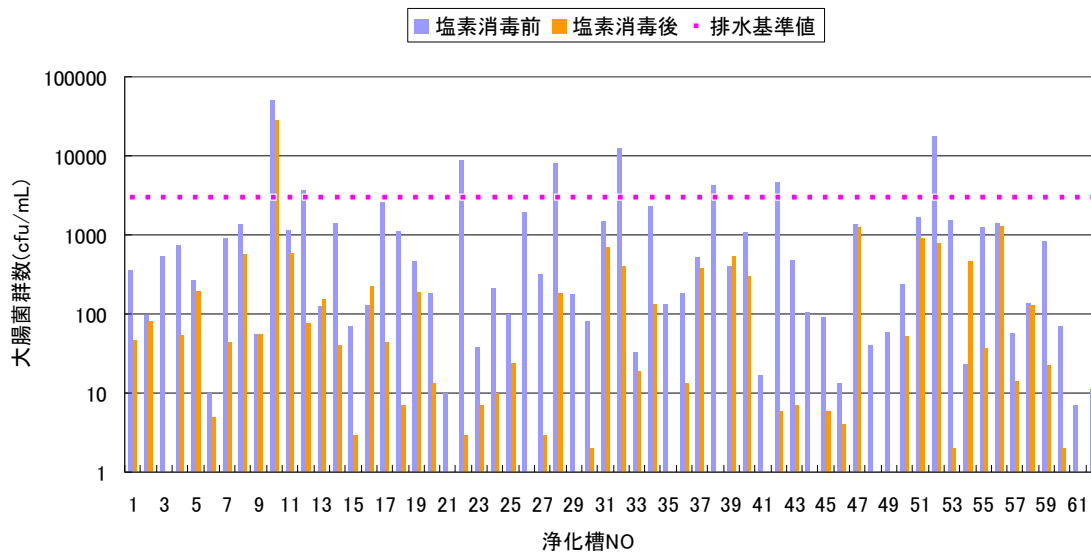
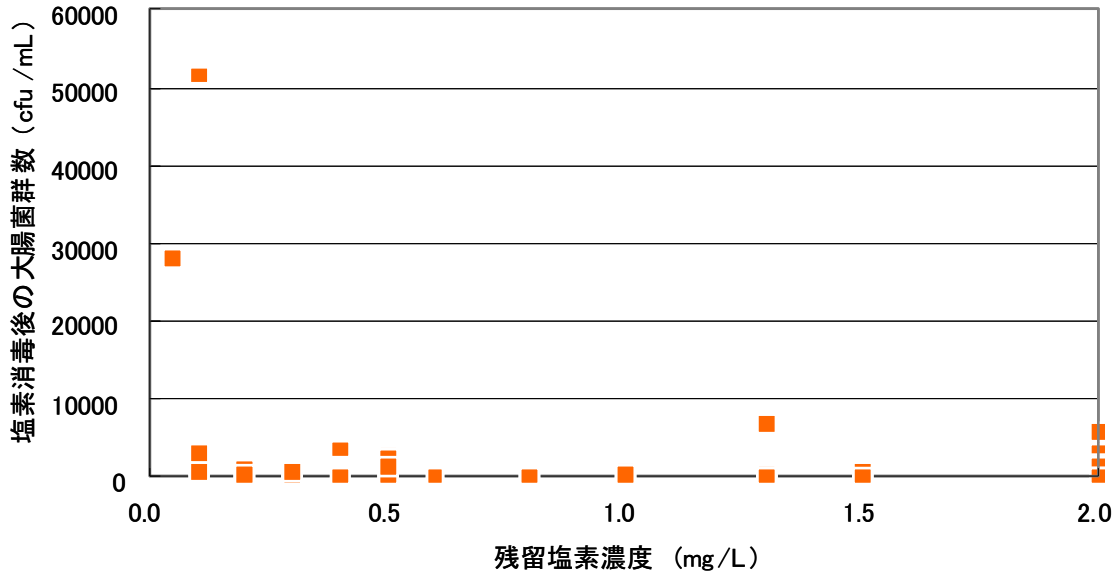


図 4-8 窒素・リン除去型浄化槽の塩素処理前後における大腸菌群数の除去特性

(2) 塩素消毒後の大腸菌群数と残留塩素の関係

性能評価型浄化槽における塩素消毒後の大腸菌群数と残留塩素濃度の関係を図 4-16 に示す。残留塩素濃度が高くなるにつれて塩素消毒後の大腸菌群数は減

少することが確認できる。しかし、残留塩素濃度が 2.0mg/L 以上においても大腸菌群の残存が確認された。最も高い残存を示した浄化槽では塩素消毒後の大腸菌群数は 5,703cfu/mL、遊離塩素濃度は不検出、NH₄-N は 48.1mg/L、硝化



率は 0.04%であった。

図 4-9 性能評価型浄化槽における塩素消毒後の大腸菌群数と
残留塩素濃度の関係

次に、塩素消毒後の大腸菌群数と遊離塩素濃度の関係を図 4-10 に示す。遊離塩素は大腸菌などの病原性微生物の不活化に大きな効果があるが¹³⁾、遊離塩素濃度が高くなるにつれ、塩素消毒後の大腸菌群数は減少する傾向が明確であり、遊離塩素濃度 0.05mg/L 以上で大腸菌群数は 300cfu/mL 以下となることが確認された。

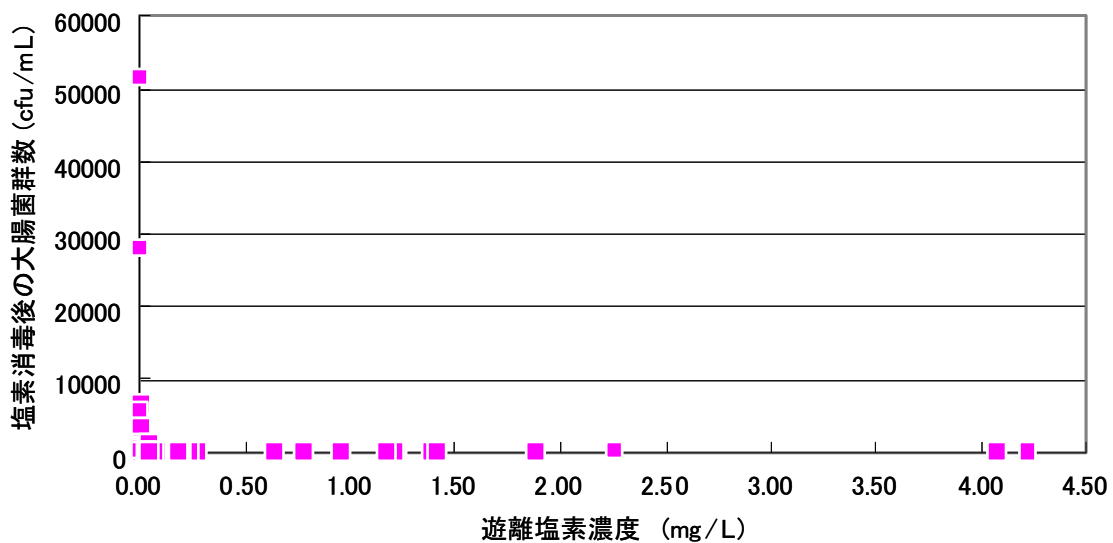


図 4-10 性能評価型浄化槽における塩素消毒後の大腸菌群数と

遊離塩素濃度の関係

浄化槽は個別分散型処理施設として数多く設置されるため、管理が不十分である浄化槽の存在し、それにより病原性微生物等が身近な環境に排出し、衛生的安全性を損ねる恐れがあることなどの懸念が表明されてきた。

しかし本調査では、現在普及が進んでいる性能評価型浄化槽は、大腸菌群除去能は極めて高いことが明らかになった。しかし、依然として少数ではあるが大腸菌群数が基準値を超過する浄化槽も存在することから、さらに信頼性を高めるための工夫が必要である。

(3) 消毒効果を低下させる要因としてのアンモニアの存在

大腸菌群数の高度な除去を可能とする要因として遊離塩素の存在が重要であることが確認されたが、性能評価型浄化槽における硝化率と遊離塩素濃度の関係を図 4-11 に示す。

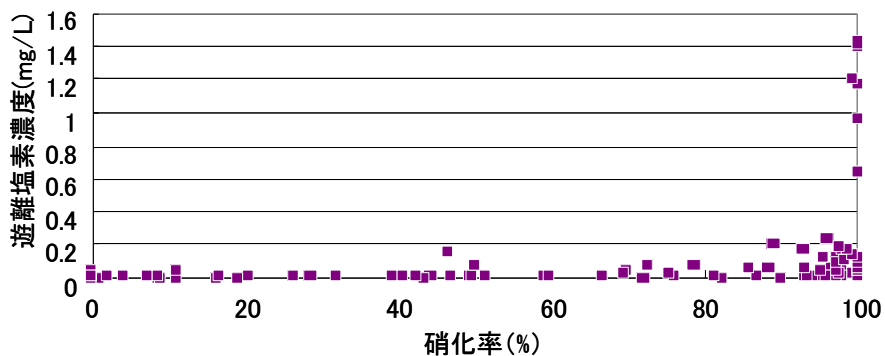


図 4-11 性能評価型浄化槽における硝化率と遊離塩素濃度の関係

図より硝化率が低い場合は遊離塩素濃度が低く、硝化率が高くなるにつれてバラツキはあるものの遊離塩素濃度が高くなる傾向が認められた。なお、遊離塩素が不検出の際の大腸菌群数と 0.01mg/L 以上検出された場合の大腸菌群数には、棄却域 5 %の t 検定で有意な差が確認された。

また、BOD 除去型浄化槽の平均遊離塩素濃度 0.05mg/L に対し、窒素・リン除去型浄化槽では 0.15mg/L と大きな差があった。この要因は、BOD 除去型浄化槽が窒素除去能を有しておらず、アンモニア性窒素濃度が高くなるためと考えられる。実際に BOD 除去型浄化槽の中で、遊離塩素濃度が低く大腸菌群数除去率が低かった浄化槽は、いずれも硝化率は 2.0%以下で NH₄-N は 40mg/L 程度と高濃度に残存していた。すなわち残存するアンモニアと塩素の反応による結合塩素の生成が消毒効果を低下させ、大腸菌群の除去効果を低下させたことが考えられた。

4. 4 まとめ

戸建て住宅に設置されている性能評価型浄化槽に着目し、BOD 除去型および窒素・リン除去型の 2 処理方式の浄化槽において、生活排水が流入する嫌気槽および塩素消毒前後の処理工程における大腸菌群の除去特性の解明および影響を及ぼす因子に関する解析を行った。

(1) 排水基準 3,000cfu/mL 以下に対して、塩素消毒前の BOD 除去型浄化槽では 70.0%, 窒素・リン除去型浄化槽では 87.1%が適合した。嫌気槽第一室から塩素消毒前の大腸菌群数除去率の平均値は BOD 除去型浄化槽では 74.9%, 窒素・リン除去型浄化槽では 94.5%であり、窒素・リン除去型浄化槽において大腸菌群の除去能が有意に高いことが明らかになった。

(2) 塩素消毒前の大腸菌群数を低下させるためには、浄化槽による BOD や SS の除去に加えて硝化率を高めることが効果的であることが示唆された。

(3) 塩素消毒前後で排水基準 3,000cfu/mL の適合率は、BOD 除去型浄化槽では 70.0 から 80.0%に、窒素・リン除去型浄化槽では 87.1 から 98.4%に上昇した。

(4) 遊離塩素濃度 0.05mg/L 以上で大腸菌群数は 300cfu/mL 以下となることが確認されたが、BOD 除去型浄化槽の平均遊離塩素濃度 0.05mg/L に対し、窒素・リン除去型浄化槽では 0.15mg/L であり、この要因は BOD 除去型浄化槽が窒素除去能を有しておらず、アンモニア性窒素濃度が高くなり、結合塩素が生成されたためと考えられた。

(5) 人員比 1.0 を超える浄化槽の塩素消毒前の大腸菌群数は 3,000cfu/mL を超過した。しかし、人員比 1.0 以下で適正に使用されている浄化槽の塩素消毒前における排水基準適合率は、BOD 除去型浄化槽で 75.5%, 窒素・リン除去型浄化槽で 89.5%であった。さらに塩素消毒後の排水基準適合率は BOD 除去型浄化槽で 88.0%, 窒素・リン除去型浄化槽で 100%であり、窒素・リン除去型浄化槽を適正に使用することは衛生学的安全性を確保することに極めて有効であることが示唆された。

第 4 章参考文献

- 1) 和田安彦ら：下水道整備と浄化槽整備の水環境への影響の比較研究，浄化槽研究，Vol.6, No.2, pp.17-25, 1994
- 2) 水質汚濁防止法第三条第一項（一律排水基準）：排水基準を定める省令（最終改正：平成 25 年 6 月 10 日環境省令第十五号）
- 3) 竹田茂ら：生活排水処理施設から排出される塩素消毒処理水中のトリハロメタンおよび全有機ハロゲン，水環境学会誌，Vol.22, No.6, pp.472-478, 1999

- 4) 竹田茂ら：生活排水の塩素処理副生成物生成能の高度処理による低減効果，水環境学会誌，Vol.23, No.3, pp.155-160, 2000
- 5) 山下尚之ら：AGP 試験と藻類生長阻害試験を用いた下水処理水の河川水質に対する影響評価，土木学会論文集 G，Vol.62, No.1, pp.191-200, 2006
- 6) 竹田茂ら：塩素，オゾン，紫外線消毒した生活排水の変異性試験による安全性の評価，水環境学会誌，Vol.29, No.1, pp.45-48, 2006
- 7) 環境省関係浄化槽法施行規則（最終改正：平成 24 年 3 月 30 日環境省令第八号）
- 8) 小谷仁美ら：山梨県内の浄化槽放流水の水質検査結果について，山梨衛環研年報，Vol.54, pp.91-94, 2010
- 9) 建築基準法施工令（最終改正：平成 20 年 10 月 31 日 政令第 338 号）
- 10) 下水試験方法：日本下水道協会，1997
- 11) 磯部賢治：微生物の生存戦略，表面科学，Vol.22, No.10, pp.652-662, 2001
- 12) 高橋洋：人工湿地における糞便汚染指標微生物の除去に及ぼす運転条件の影響，東北大学修士学位論文，2013
- 13) 土佐光司：遊離塩素及びクロラミンによる毒素原性大腸菌の損傷，水環境学会誌，Vol.19, No.5, pp.381-387, 1996

5. 浄化槽放流水が藻類の増殖および巻貝の行動に及ぼす影響

5. 1 はじめに

下水道や浄化槽等の生活排水処理施設の整備によって、深刻な有機汚濁の問題は改善しつつある。一方で、処理水に残存する窒素・リンに起因する富栄養化、消毒により残留する塩素による生態系影響が懸念され、様々な研究がなされている。例えば、下水処理水が河川に流入することでわずかな毒性の上昇が見られるものの、藻類増殖能が大きく上昇すること¹⁾、リン酸態リン (PO₄-P) 濃度が 0.04~0.09mg/L の範囲で PO₄-P 濃度が高くなるにつれ付着藻類生物量が増加し、緑藻類が優占する傾向を示す一方、残留塩素濃度が 0.07~5.8mg/L の範囲で濃度が高まるにつれ付着藻類生物量が減少傾向を示すこと²⁾が明らかとなっている。

これら研究はいずれも下水処理水の藻類に対する影響を扱っているが、浄化槽放流水においても同様に、残留塩素および窒素・リンの藻類に対する相反する影響を考慮して、放流水の毒性評価を行う必要がある。特に、近年普及が進んでいる窒素・リン除去型浄化槽は、4章に示したように BOD 除去型浄化槽の遊離塩素濃度に対し残留塩素濃度が高い傾向にあり、窒素・リン除去型浄化槽の普及により放流水排出先の藻類への影響が変化する可能性が考えられる。

しかし、既往の藻類生長阻害試験では、試験中の栄養塩枯渇による増殖抑制を防ぐために、増殖に必要な栄養塩を十分に添加した培地を用いて試験が行われる³⁻⁶⁾。あるいは実際の排水や環境水を用いた排水毒性試験においても、希釈水(培地等)を用いて調整するなど栄養塩が添加される⁷⁻¹¹⁾。この培地に含まれる栄養塩類と毒性物質の複合影響の存在が明らかとなっており^{12,13)}、高度に栄養塩が除去された浄化槽放流水にあらためて栄養塩を添加して藻類毒性を評価する既往の試験方法には問題があると考えられる。

そこで本研究では、浄化槽放流水の藻類への影響について、研究代表者らが開発している栄養塩添加の不要な新しい藻類試験の手法^{14,15)}(以下、新手法)を適用して浄化槽放流水の毒性試験を行い、既往試験と比較しながら浄化槽放流水の藻類への毒性に関する検討を行った。また、実際に浄化槽放流水が排出される水路において藻類への影響に関する知見を収集した。

一方、浄化槽放流水の生態系影響としては藻類のみならず動物への影響も懸念される。浄化槽消毒処理水のヒメダカによる急性毒性試験¹⁶⁾では、トリハロメタン濃度 91 μg/L、全有機ハロゲン濃度 1560 μg/L を含有する塩素消毒処理水において致死性や異常が全く認められなかった。しかし、下水処理水を用いたカワニナ飼育の研究¹⁷⁾によれば、水温 25℃以下、pH 6.8~7.2、溶存酸素量 5mg/L 以上、浮遊物質 1mg/L 程度、BOD3mg/L 程度、アンモニア 2mg/L 以下

の環境で飼育する事ができたこと，また残留塩素濃度が飼育に大きな影響を及ぼすことを報告している．

そこで本研究では，浄化槽放流水の動物（淡水巻貝カワニナ）への影響について，実際に浄化槽放流水が排出される水路において知見を収集した．また，カワニナに対する残留塩素濃度の影響に関する室内実験を行い検討した．

5. 2 方法

5. 2. 1 藻類に対する浄化槽放流水の毒性試験

(1) 模擬浄化槽放流水

浄化槽処理水（塩素消毒前）に NaClO を一定濃度で添加した模擬浄化槽放流水を作成し，これを試験排水として新手法および既往手法による排水毒性試験を行った．

実際に使用されている BOD 除去型浄化槽を選定し，塩素消毒前の処理水を採水した．採水後は遮光および保冷された状態で運搬し，実験室にて前処理としてガラス繊維濾紙（GF-B ， Whatman 製），さらに 0.45 μm メンブレンフィルター（Millipore 製）を用いて濾過を行った．水質分析結果を表 5-1 に示す．前処理後の処理水に，NaClO を暴露濃度 0.1 mg-Cl₂/l で添加し，模擬浄化槽放流水とした．

表 5-1 浄化槽処理水（消毒前）の水質

水質項目	供試浄化槽処理水 (BOD除去型)
pH	7.76
BOD	18 mg/L
TOC	18.4 mg/L
SS	15 mg/L
T-N	39.6 mg/L
T-P	3.51 mg/L
NO ₂ -N	<0.01 mg/L
NO ₃ -N	<0.01 mg/L
NH ₄ -N	41 mg/L
PO ₄ -P	3.45 mg/L

(2) 排水毒性試験方法

供試藻類は緑藻の *Pseudokirchneriella subcapitata* (NIES-35) とし、試験に用いるガラス器具等は高温高圧滅菌 (121°C, 20 分) を行った。そして、試験水中での模擬浄化槽放流水含有率を 0, 20, 40, 80, 100% の 5 試験区に設定し、希釈水には新手法に OECD 培地と無栄養塩溶液、既往手法には OECD 培地を用いた。各試験区は 3 連、排水希釈率 0% の対照区は 6 連で行った。

新手法は、前培養を C 培地, 25°C, 195 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (12L, 12D), 90 rpm 回転振盪で 6~7 日間行い、定常期初期の細胞を供した。試験はシリコン栓付 50ml 三角フラスコに各試験区が 10 ml になるよう設定希釈率で放流水と希釈水を分注し、前培養後の細胞を初期細胞濃度 2.0×10^5 cells/ml で接種して、前培養と同条件 (光は連続照射) で 4 時間の試験を行った。

既往手法には我が国で導入が検討されている排水毒性試験法 (以下, WET 試験) を用い、OECD, U.S. EPA, ISO 等のテストガイドラインも参考とした。前培養を OECD 培地, 23°C, 52~68 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (連続照射), 100 rpm 回転振盪で 3~4 日間行い、対数増殖期の細胞を供した。試験はシリコン栓付 300 ml 三角フラスコに各試験区が 100 ml になるよう設定希釈率で模擬浄化槽放流水と希釈水を分注し、前培養後の細胞を初期細胞濃度 1.0×10^4 cells/ml で接種して、前培養と同条件で 72 時間の試験を行った。

5. 2. 2 浄化槽放流水が排出先に生育する藻類に及ぼす影響

2011 年 1 月、宮城県大崎市内の浄化槽放流水が流入する用水路において、浄化槽放流水の流入前 (上流水), 流入後 (下流水), および塩素消毒前浄化槽処理水 (処理水) の採水を行った。対象とした浄化槽は 5 人槽であり、使用人員は 2 名である。用水路は幅 99 cm, 水深 12 cm, 断面積は 1188 cm^2 であった。調査日の流速は 0.15 m/s であり、1 日の用水路流量は 1.6×10^3 m^3/day と算定された。また、1 人あたりの平均使用水量 0.2 m^3/day を用いて浄化槽放流水量を 0.4 m^3/day と仮定すると、用水路流量と浄化槽放流水量の比は 4000 : 1 となる。

採水を行った箇所は図 5-1 の通りである。用水路で採水したサンプルについては、現場および実験室で水質測定を行った。pH, 水温, DO, ORP, EC については現場携帯用水質測定器を用いて測定を行い、BOD, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, 残留塩素については実験室で測定を行った。実験室における水質項目の測定は下水試験方法に基づいて行った。

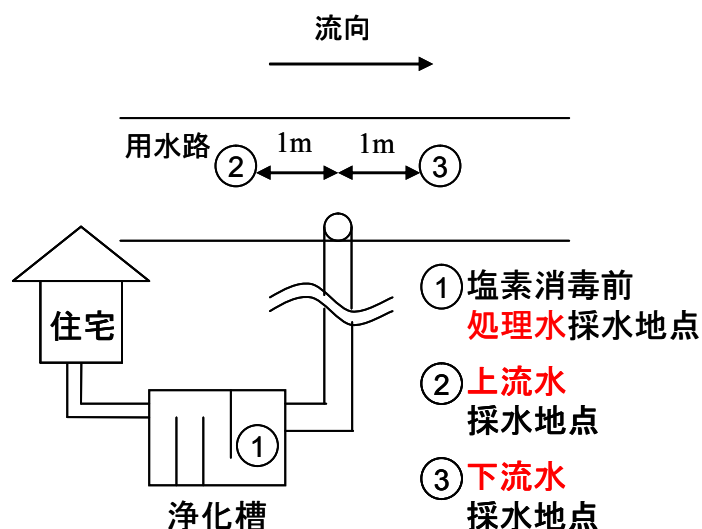


図 5-1 浄化槽放流水の藻類への影響調査を行った現場の概略図

藻類の増殖に及ぼす影響を評価する新手法に用いた試験水は、上流水、下流水、処理水の 3 種は $0.45 \mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過し、pH 緩衝剤のトリスヒドロキシメチルアミノメタン(Tris)を 500 mg/l となるよう加え、pH 7.5 としたものである。また対照系として蒸留水を用いて同様の試験を行った。なお、新手法の詳細は排水毒性試験において記述した通りである。試験は 3 連で実施した。対照系と各試験水の比増殖速度について t 検定(有意水準 $\alpha=0.05$)を用いて有意差を評価した。

また、用水路に付着する藻類の種類および量については、底質サンプルの脂肪酸組成を分析し、表 5-2 に示す脂肪酸マーカーから起源生物を推定した¹⁸⁾。

表5-2 脂肪酸マーカーとその起源

脂肪酸バイオマーカー	起源
i15:0, ai15:0, i17:0, ai17:0, 18:1(n-7)	細菌
16:1(n-7), 20:5(n-3)	珪藻
18:2(n-6), 18:3(n-3)	緑藻/藍藻
22:6(n-3), 18:4(n-3)	渦鞭毛藻
LCFA(24:0, 26:0, 28:0, 30:0, 32:0)	陸上植物

脂肪酸の抽出は Abdulkadir & Tuchiya らのワンステップメソッドを用いたが、本研究では溶媒の使用量や反応時間に若干の変更を加えた。まず乾燥重量 1g 程度の底質サンプルを 50ml 遠沈管に採取し、ヘキサン 10ml, 内部標準物質ヘキサン溶液 (C23:0, 0.5 mg/ml) 1ml, BF₃ メタノール 12% 2ml を加えた。

次に窒素ガスを封入し蓋を閉めて 100℃のウォーターバス内で 2 時間半反応させた。そして室温で冷却後、ヘキサン 1ml, 超純水 2ml を加え激しく攪拌した後、遠心分離を行い上層のヘキサン層をピペットで回収し、サンプルとした。脂肪酸の分析はキャピラリーカラム (Varian 社, CP-Select CB for FAME, 0.25mm, 100m) 装着したガスクロマトグラフ (Shimadzu 社, GC-1700) を用いた。各ピークのリテンションタイムを標準物質のリテンションタイムと比較することで脂肪酸を同定し、また内部標準のピーク面積と比較することで各脂肪酸の含有量を計算した。

5. 2. 3 浄化槽放流水が巻貝カワニナに及ぼす影響

(1) 供試生物カワニナ (*Semisulcospira libertina*) の生態

カワニナは、全国に分布する最も一般的な淡水性巻貝の一種である。殻表に多くの細いら肋があり、時に紫褐色帯が殻口外唇の内側に現れる。ふたは卵型で小旋型で模式型では縦肋が無い。胎児殻は小さく平滑、多い時は 500 を超える。砂や小石底に多い¹⁹⁾。カワニナ幼貝の大きさは約 1 mm で、その後 1 ヶ月間で約 1 mm ずつ成長し続ける。

貝類は生態的な特性上、移動性が低く、生息場所をほとんど変えることができない。そのため、化学物質の汚染を長期的に受けやすい。短期間であれば、閉殻行動により汚染に耐えられると考えられるが、研究例が少なく、その実態はよくわかっていない。

(2) 調査地点

調査地点を図 5-2 に示す。宮城県名取市の浄化槽設置状況を地図で確認し、名取川頭首工 (高館熊野堂) と、頭首工から約 4km 下流の宮神明地区 (高館吉田宮神明) を調査地として選定した。宮神明地区においては、合併処理浄化槽の設置数が集中する場所を挟み上・下流側の 2 か所で調査を行った。頭首工は、幅 3.50m, 深さ 1.57m の水路である。上流側水路は幅 1m, 下流側水路は幅 0.8m ほどの U 字溝である。本地点は、合併処理浄化槽の設置数が多く、水路には合併処理浄化槽放流水が排出されている。

(3) 水質調査方法

調査日時は 2012 年 3 月 27 日, 5 月 9 日, 8 月 20 日, 11 月 12 日の各 10 時 ~ 11 時を目途に測定, 採集をした。現地で携帯式の計測機器を用いて, 流速, 水温, pH, 溶存酸素量 (DO), 濁度, 残留塩素を測定した。その他の項目は, 実験室に持ち帰って測定を行った。調査項目を表 5-3 に記す。しかし, 3 月 27 日は宮神明地区上流の流量が少なかったため, 宮神明地区下流と頭首工のみの測定とした。



図 5-2 浄化槽放流水のカワニナへの影響の調査を行った地点 (引用google)

表5-3 水質調査項目

現地調査	室内測定
流速 (cm/s)	リン酸態リン (mg/l)
pH	アンモニア態窒素 (mg/l)
濁度(度)	硝酸態窒素 (mg/l)
EC(ms/m)	COD (mg/l)
水温(°C)	BOD (mg/l)
残留塩素 (mg/l)	大腸菌群数 (個/ml)
水深 (m)	大腸菌数 (個/ml)

(4) 生物調査方法

調査日時は2012年8月20日、11月12日。宮神明の下流地区で生物調査を行った。水路内の側面に横幅30cmのたも網で左右5ヶ所採取し、カワニナの個体数や殻長の測定を行った。なお、5月9日は大雨直後ということもあり、カワニナの存在は目視で確認できなかった。

(5) 室内実験方法と材料

2012年8月20日、宮神明の下流地区でカワニナの採集を行った。カワニナ(大)を45個体(25mm±1mm)、カワニナ(小)を45個体(10mm±1mm)、2日間バケツで飼育した。実験に使用するカワニナの殻長を2種類準備したのは、カワニナ(大)は水路内で2年程度生息しているのに対し、カワニナ(小)は生息期間が1年以内であることから残留塩素への耐性が異なると推測したためである。

照明は12時間:12時間(明:暗)で行い、魚類用の飼料を1日1回適量与えた。バケツの水温は20±1℃に維持した。

試験物質は次亜塩素酸ナトリウム溶液を脱塩素水道水により希釈し、設定濃度の試験液を準備した。試験液の残留塩素濃度は0,0.5,1,2および5mg/Lに設定し、1つのグループとした。これを各濃度につき3連で試験を実施した。

暴露試験は、カワニナ(大)、カワニナ(小)それぞれについて500ml三角フラスコを用いて止水で実施した。300mlの試験液が入った三角フラスコにカワニナを3個体ずつ分けて入れ4日間暴露し、行動と生残を観察した。照明は12時間:12時間(明:暗)で行い、水温は20±1℃に維持した(図5-3)。また、試験液は1日1回全量交換した。残留塩素の揮発を防ぐため、三角フラスコの口はラミネートで密封した。

暴露したカワニナの行動は先行研究²⁾を参考に4種類に分類し、それぞれにポイントをつけて集計した。

3ポイント:壁面に付着し、試験水に浸かっている状態、または底面に転がり殻から出ている状態。

2ポイント:壁面に付着し、水面から出ている状態。

1ポイント:底面に転がり殻に閉じこもっている状態。

0ポイント:死亡している状態。

死亡判定は触角の部分ピンセットで突き、反応がない場合は脱塩素水道水に入れ、10分間観察して反応がないものを死亡と判定した。



図 5-3 カワニナが壁面に付着している状態

5. 3 実験結果および考察

5. 3. 1 浄化槽放流水の藻類に対する毒性

(1) 模擬浄化槽放流水の毒性評価

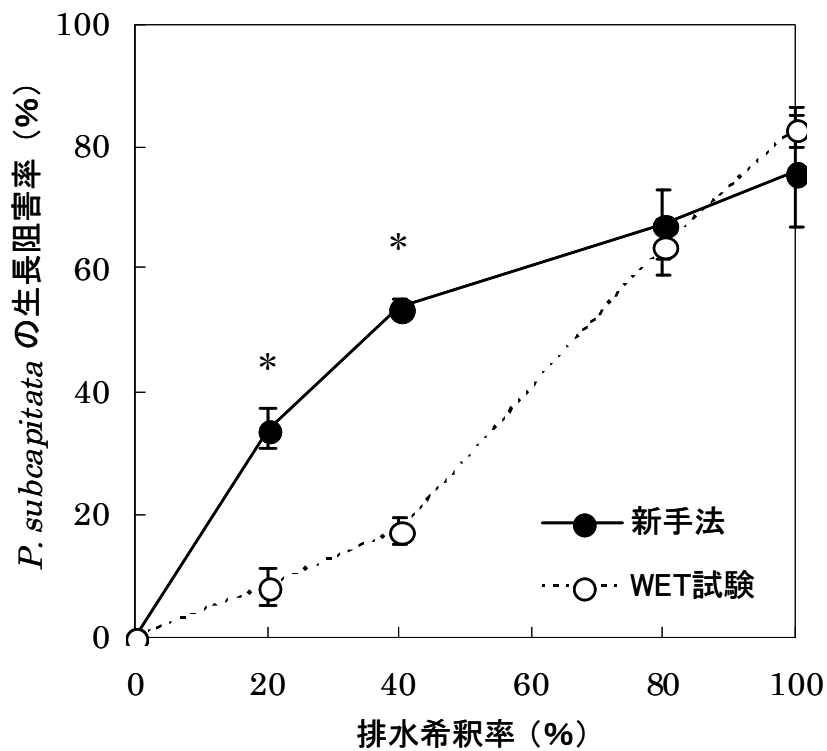
模擬浄化槽放流水の排水含有率と *P. subcapitata* の生長阻害率との関係を図 5-4～5-6 に示す。各試験系での EC_{50} は無栄養塩溶液の新手法で 36.5%，培地の新手法で 58.2%，既往手法で 68.3%となった。

図 5-4 は無栄養塩溶液の新手法と培地の既往手法を用いた結果の比較である。これより，排水希釈率 20%と 40%において有意差が確認され ($p < 0.05$) EC_{50} では約 2 倍の差が確認された。すなわち，新手法のほうが強い生長阻害を示す結果が得られた。

図 5-5 の新手法および既往手法ともに培地を用いた結果の比較では，排水希釈率 80%のみ有意差が確認され ($p < 0.05$)， EC_{50} では新手法のほうがわずかに強い生長阻害を示す結果が得られた。

そして図 5-6 に示す新手法での無栄養塩溶液と培地での比較では、排水希釈率 40%では無栄養塩溶液が、80%では培地のほうが強い生長阻害を示したが ($p < 0.05$), EC_{50} でみると無栄養塩溶液のほうが強い毒性となった。

図 5-4 新手法と既往手法 (WET 試験) による模擬浄化槽放流水の藻類への毒性評価結果 (* 有意差有り ($p < 0.05$))



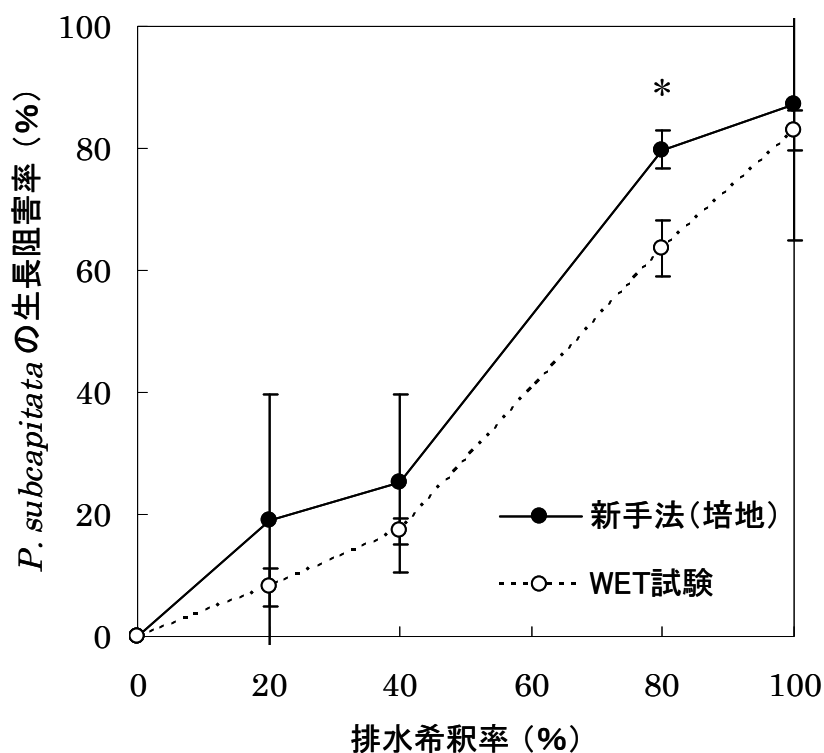


図 5-5 培地を用いた新手法と既往手法 (WET 試験) による模擬浄化槽放流水の藻類への毒性評価結果 (* 有意差有り (p<0.05))

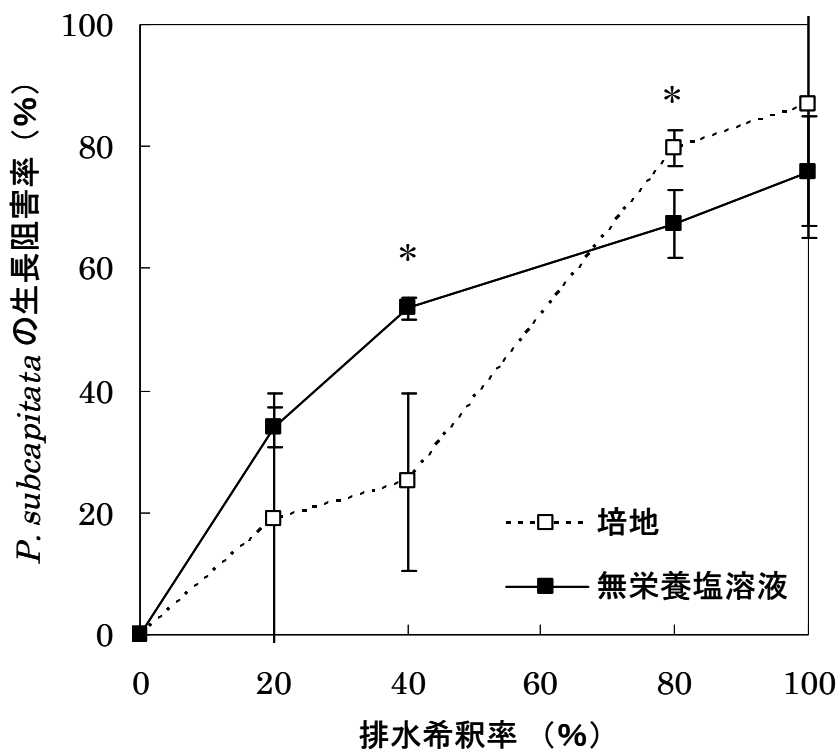


図 5-6 新手法による培地と無栄養塩溶液での模擬浄化槽放流水の藻類への毒性評価結果 (* 有意差有り (p<0.05))

(2) 排水毒性試験における栄養塩の影響

本研究では、新手法と WET 試験、さらに培地を用いた新手法と無栄養塩溶液で行った新手法の比較から、培地に含まれる栄養塩が排水毒性評価に及ぼす影響を明らかにした。

まず、図 5-4 の新手法と WET 試験の比較から、WET 試験における模擬浄化槽放流水の低希釈率での毒性の低下が確認された。これは WET 試験に用いた培地に含まれる栄養塩成分と模擬浄化槽放流水の含有する毒性物質との反応によって引き起こされた。模擬浄化槽放流水中には塩素 NaClO 以外にも多くの物質が含まれるため物質の特定には至らないが、培地の栄養塩成分が放流水中の毒性物質と反応して相殺作用をもたらしたと考えられる。

また、無栄養塩溶液ではなく培地を用いた新手法と WET 試験を比較したところ、図 5-4 で見られた低希釈率での WET 試験の毒性の低下は、培地を用いた新手法でも確認され（図 5-5）、低希釈率においては培地の栄養塩成分と放流水中の毒性物質の反応による毒性の低下があることが確認された。

一方、培地を用いた新手法と無栄養塩溶液の新手法を比較すると、培地を用いた新手法において高希釈率で毒性の上昇が確認された（図 5-6）。この理由は培地の栄養塩成分と放流水中の毒性物質との反応により、高希釈率においてより毒性の高い物質を生成した、すなわち相加作用が働いたものと考えられる。

以上のことから、排水毒性試験においても試験中の栄養塩の有無が排水の毒性に影響を与えて藻類生長阻害作用を変化させることが明らかとなった。排水や環境水は含有物質が不明であるため栄養塩と複合影響を起こす物質の特定をするのは難しい。したがって、本研究で構築した新手法は実際の排水の毒性をより正確に評価可能な藻類生長阻害試験として活用できるものと考えられる。

また、詳細は示さないが別途行った新手法による浄化槽処理水（塩素消毒前）の藻類生長阻害試験の結果、BOD 除去型および窒素・リン除去型の両者とも生長阻害が認められなかった。このことは浄化槽放流水の藻類への影響を考えた場合、塩素消毒が放流水の毒性を上昇させていることを意味する。4 章で明らかになったように、窒素・リン除去型浄化槽においては遊離残留塩素が高く検出される傾向にあり、処理水の高度化によって塩素消毒による生態系影響リスクが高まることが懸念される。このため、病原性微生物を不活化する最小限の残留塩素濃度にとどめる技術の開発や、塩素に頼らない衛生学的安全性確保の方法について検討を進めるべきであると考えられる。

5. 3. 2 浄化槽放流水が排出先に生育する藻類に及ぼす影響

(1) 浄化槽放流水が水路水の水質に及ぼす影響

2011年1月、宮城県大崎市内の浄化槽放流水が流入する用水路にて行った水質測定の結果を表5-4に示す。上流水と下流水で各水質にはほとんど差がないことが示され、放流水が当該流域に及ぼす水質の影響はないと判断できる。用水路流量に対する浄化槽放流量の比は約4000:1であるため、用水路を流れる水に対して放流水の流入が微小であったことが水質に影響を及ぼさない理由と考えられる。

表 5-4 浄化槽放流水の排出先用水路水質測定結果

水質項目	上流水	下流水
pH	7.39	7.39
水温 (°C)	0.9	0.3
DO (mg/L)	13.10	13.52
ORP (mV)	+190	+187
EC (s/m)	0.02	0.02
BOD (mg/L)	5.0	5.2
NO ₂ -N (mg/L)	<0.01	<0.01
NO ₃ -N (mg/L)	0.270	0.265
NH ₄ -N (mg/L)	0.097	0.101
PO ₄ -P (mg/L)	0.017	0.012
残留塩素 (mg/L)	0.06	0.06

(2) 藻類の増殖に及ぼす影響

上流水、下流水、処理水および対照系（蒸留水）を用いた新手法による藻類増殖試験における *P. subcapitata* の比増殖速度を図5-7に示す。無栄養塩の対照系は μ_{max} と同等であることが示され ($p>0.05$)、本試験においては栄養塩条件が *P. subcapitata* の増殖に影響しないことを確認した。処理水および上流水では対照系と同等の比増殖速度を示し、藻類増殖阻害効果は見られなかったが ($p>0.05$)、下流水では比増殖速度 μ が有意に低下し、増殖阻害効果が確認された ($p<0.01$)。この理由に関しては測定した水質に上流水と下流水で差がほとんど無いことから、それ以外の水質因子の影響であることが予測されるが、今後さらに検討が必要である。

その1つとして消毒のために処理水に添加される塩素と有機物の反応生成物の影響が考えられる。塩素化合物の中には μ g/l のオーダーで藻類の清澄を阻害

するものもあり，浄化槽処理水の生態影響を解明する上で，塩素化合物の生成と生物への影響評価が重要な課題と考えられた。

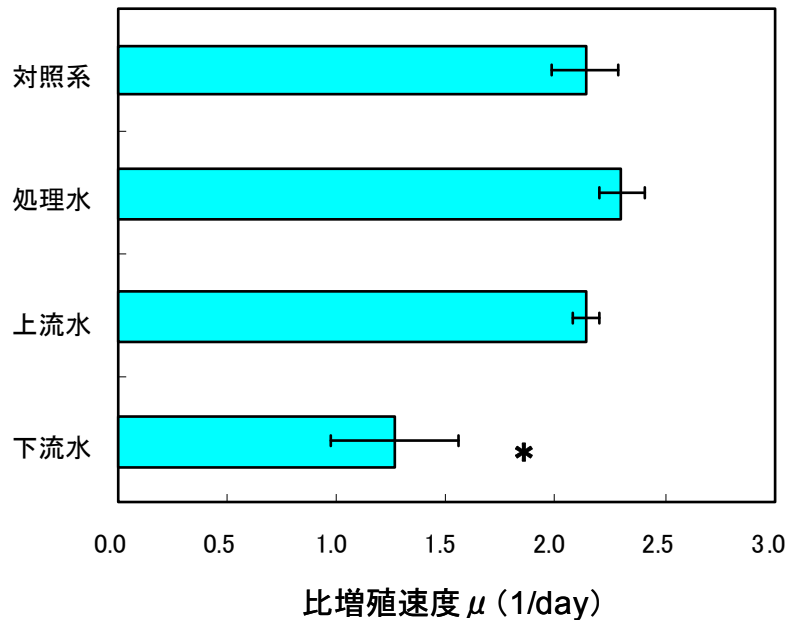


図 5-7 浄化槽放流水の排出先用水路の水を用いた藻類増殖試験（新手法）の結果（*有意差あり (p<0.01)）

(3) 藻類およびバクテリアへの影響（脂肪酸をバイオマーカーとして）

上流および下流での底質サンプルの脂肪酸分析の結果を図 5-8, 5-9, 5-10 に示す。脂肪酸の総量は上流が $295 \mu\text{g/g}$ ，下流が $921 \mu\text{g/g}$ であり，下流の方が脂肪酸量は多かった。すなわち生物が豊富に存在することを意味する。

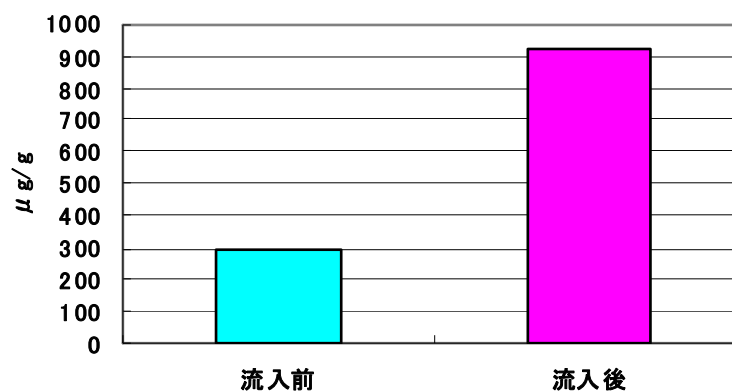


図 5-8 浄化槽放流水の排出先用水路における底質サンプル中の脂肪酸総量

また，藻類およびバクテリアのマーカー脂肪酸については，質量で評価すると（図 5-9），上流，下流ともに珪藻類が多く，上流から下流にかけて緑藻，珪

藻，渦鞭毛藻，バクテリアすべて増加していた．一方，脂肪酸マーカ割合で評価すると（図 5-10），上流と比較して下流において珪藻および渦鞭毛藻の割合が増加し，緑藻およびバクテリアについては減少していた．

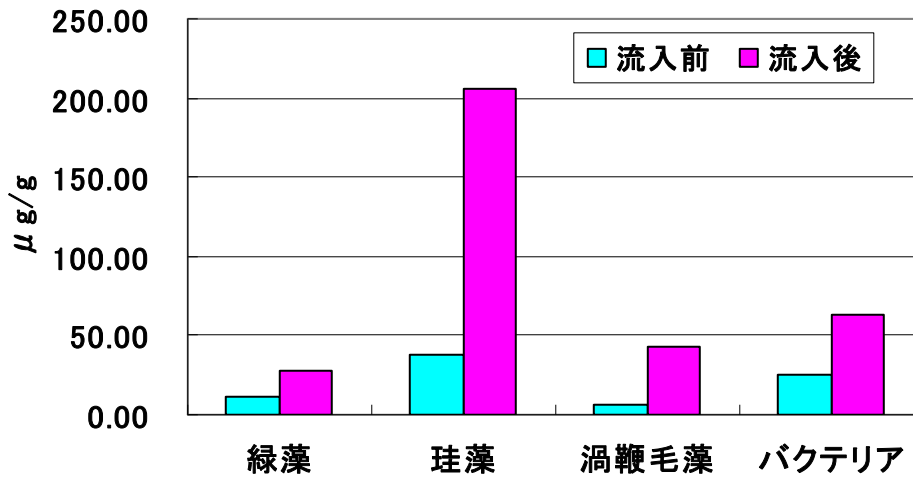


図 5-9 浄化槽放流水の排出先用水路における底質サンプル中の脂肪酸マーカ質量

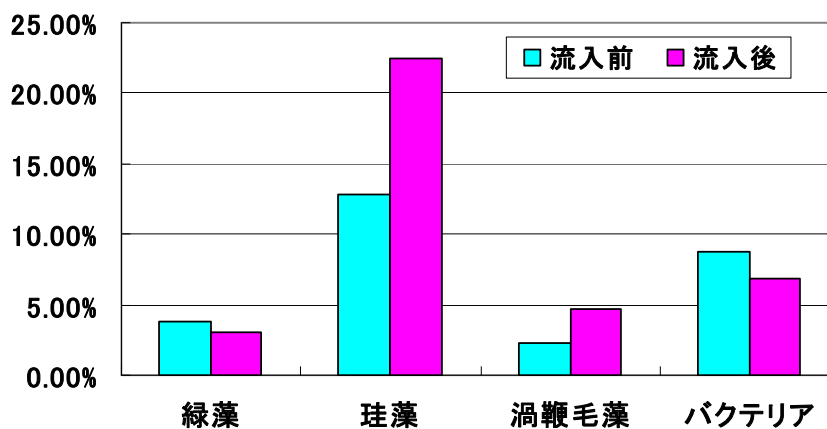


図 5-10 浄化槽放流水の排出先用水路における底質サンプル中の脂肪酸マーカ割合

脂肪酸量からみた用水路付着生物相に与える影響としては，上流よりも下流の方の生物量が多く，排水に含まれる栄養塩を利用して付着藻類の増殖が起きていることが原因であると考えられる．また，緑藻類の割合が減少し，珪藻類の割合が増加したのは，緑藻を用いた藻類増殖阻害試験の結果と符合し，緑藻類が浄化槽放流水に含まれる生長阻害物質によって増殖を阻害された可能性がある．一方，藻類の中でも珪藻や渦鞭毛藻類は増加しており，浄化槽放流水

の藻類への影響は、富栄養化による生産量の増加のみならず、特定の藻類の増殖阻害、特定の藻類の増殖促進を通じて、生態系に影響を与える可能性が示唆された。

5. 3. 2 浄化槽放流水が巻貝カワニナに及ぼす影響

(1) 浄化槽放流水が排出される農業用水路の水質の推移

調査期間中の pH 値は、6~8 の間で推移した。宮神明地区上流と下流で大きな差は見られず、pH 値の変化は浄化槽放流水の影響ではなく、河川水の変動由来のものであると推測される。また、すべての値が河川 B 類型(頭首工地点)の環境基準値内であった。その他、濁度、EC、BOD の測定結果からも宮神明地区上流と下流で大きな差は見られず、浄化槽放流水の影響はないと判断できる。また、残留塩素濃度は 0.05mg/L 以下と低い値のまま推移した。

この農業用水路には、農業排水が多量に流れており、このため浄化槽放流水が排出されても希釈されて上流と下流での値に差は見られなかったと考えられる。

(2) カワニナの殻長分布の推移

カワニナの 8 月 20 日の調査では 151 個体が検出され、殻長の平均は 9.9mm、最大は 34.1mm、最小は 4.3mm であった。11 月 12 日の調査では 160 個体、殻長の平均は 14.5mm、最大は 30.4mm、最小は 6.1mm であった。殻長分布としては、8 月 20 日の調査では 1~10mm 程度の個体が最も多く、全体の約 70%を占めていた。残りの約 30%の個体はほとんどが 11~20mm 程度であった。11 月 12 日では 11~20mm 程度の個体が最も多くなり全体の約 80%を占めた。一方 1mm~10mm 程度の個体数は 8 月 20 日の調査結果を下回り全体の約 20%となった。このことから、採集したカワニナが上流から偶然運ばれてきたものではなく、調査地の水路内に定住し、成長を続けていたことが推測できる。すなわち、浄化槽放流水排出先として選定した本農業用水路において、カワニナは生息可能かつ成長していることがわかり、現場調査からは浄化槽放流水の影響が確認できなかった。

(3) 残留塩素がカワニナの生残に及ぼす影響

4 日間の暴露の結果、カワニナ(大)では対照系(0mg/L)と 0.5mg/L、1mg/L のカワニナは全 9 個体が生存した。2mg/L では 8 個体が生存し、1 個体が死亡した。5mg/L では 4 個体が生存し、5 個体が死亡した。カワニナ(小)の対照系では 8 個体が生存し、1 個体が死亡した。0.5mg/L では 5 個体が生存し、4 個体が死亡した。1mg/L では 3 個体が生存し、6 個体が死亡した。2mg/L では 1 個体が生存し、8 個体が死亡した。5mg/L では全個体が死亡した。

LC50 を算出した結果、カワニナ(小)の LC50 は約 0.6mg/L に対し、カワニナ(大)

では約 4.3mg/L となった。これは約 7 倍の値であり、カワニナ(大)の残留塩素への高い耐性を示している。

(4) 残留塩素がカワニナの行動に及ぼす影響

濃度別に集計した行動ポイントの満点ポイントに対する割合を行動影響率として算出した。その時間推移を図 5-11, 5-12 に示す。

この結果からカワニナ(大)では 2mg/L 以上の濃度で 3 日目から行動に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。これに対しカワニナ(小)では、5mg/L では 1 日目から、2mg/L では 2 日目、0.5mg/L と 1mg/L は 3 日目からとそれぞれの濃度によって行動に影響が出始める時間が異なることが明らかとなった。

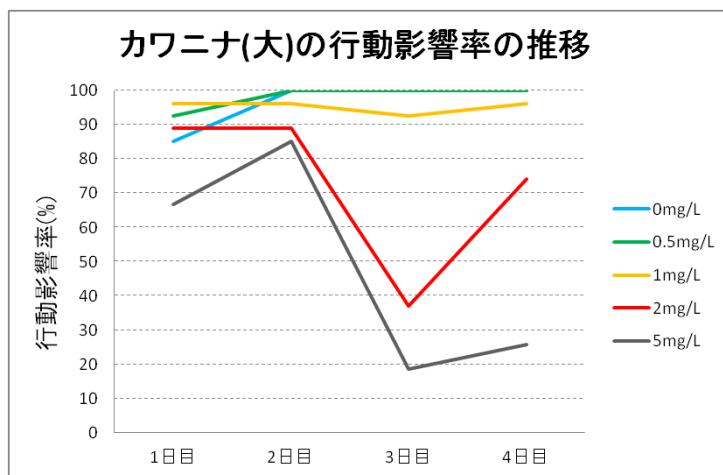


図 5-11 残留塩素によるカワニナ (大) の行動影響率の推移

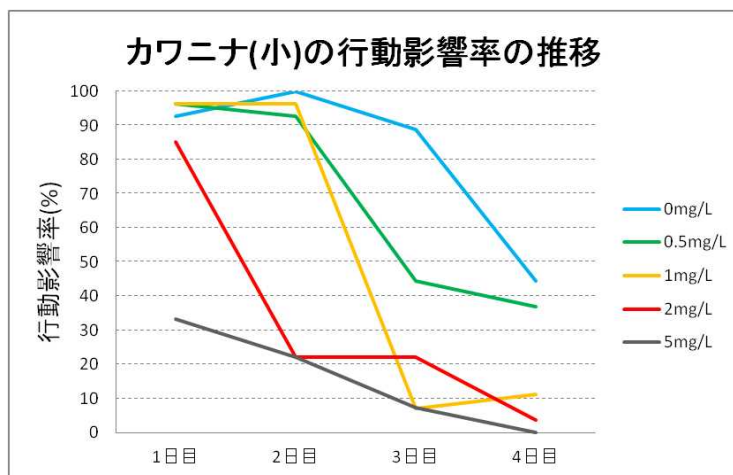


図 5-12 残留塩素によるカワニナ (小) の行動影響率の推移

EC50 の算出結果を図 5-13, 5-14 に示す。カワニナが示した試験水から逃れる行動がいくつかあったが、ここではカワニナが殻に閉じこもる状態を忌避行動とし、EC50 を算出した。カワニナ(小)の EC50 は約 0.3mg/L であるのに対し、カ

ワニナ(大)では約 2.8mg/L となっている。EC50 はカワニナ(小)に対してカワニナ(大)が約 9 倍の値であり、LC50 の約 7 倍よりも大きな差となった。

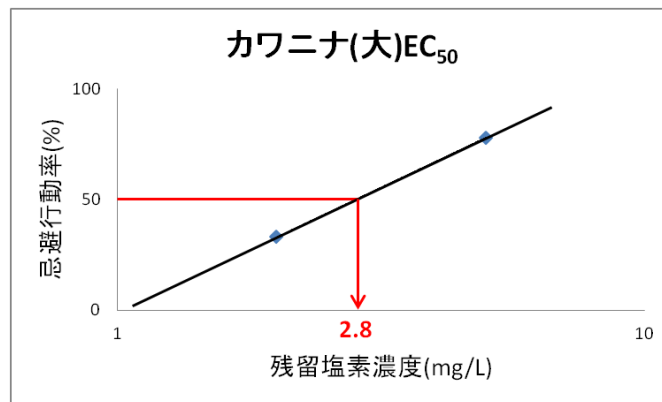


図 5-12 残留塩素によるカワニナ(大)の忌避行動率の EC50

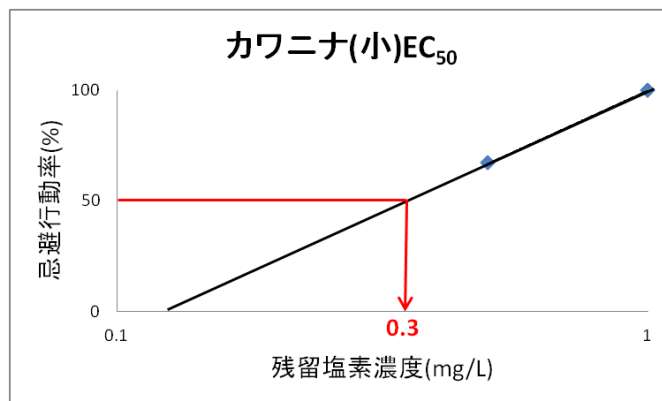


図 5-13 残留塩素によるカワニナ(小)の忌避行動率の EC50

以上の実験結果より、残留塩素によりカワニナの行動が影響を及ぼされることが明らかとなり、カワニナ(小)がカワニナ(大)よりも残留塩素への耐性が小さいことが推定された。また、暴露中カワニナが水面に浸かっている状態が確認された。これはカワニナが試験水から逃れるために三角フラスコの側面を上がってきた可能性がある。

LC50 ではカワニナ(小)よりもカワニナ(大)の方が約 7 倍の値を示したのに対し、EC50 では約 9 倍と LC50 よりも大きな差となった。さらに EC50 ではカワニナ(小)はカワニナ(大)と比べて、0.3mg/L と小さな残留塩素濃度でも影響を受けて忌避行動をとることが判明した。このことからカワニナ(小)はカワニナ(大)よりも濃度の変化に敏感であると言える。

塩素消毒の実態調査を行った研究²⁰⁾によると、50%以上の浄化槽が 0.1mg/L 以下の残留塩素濃度であることが明らかとなっている。これは今回の実験で算出したカワニナ(大)、カワニナ(小)それぞれの LC50, EC50 の値よりも低くなっ

ており、浄化槽放流水に直接暴露されるような環境であってもカワニナへの影響は小さいと考えられる。しかし、残留塩素濃度が 0.5mg/L 以下、0.9mg/L 以下、1~2mg/L 以下の値もそれぞれ 8%前後検出されている。この場合、カワニナ(小)の LC50, EC50 はそれぞれ 0.6mg/L, 0.3mg/L であるため忌避行動をとる確率は高く、長時間放流水で暴露されれば、さらに死亡する可能性が十分あると考えられる。行動に関してはより低い残留塩素濃度でも影響が出る可能性もあるため、今後検討を要する課題である。

5. 4 まとめ

(1) 模擬浄化槽放流水の排水毒性試験の結果、藻類生長阻害をエンドポイントとした EC50 は、無栄養塩溶液の新手法で 36.5%、培地の新手法で 58.2%、既往手法(WET 試験)で 68.3%となり、新手法において強い生長阻害を示す結果が得られた。この理由は、排水毒性試験の希釈水に培地を用いると、培地の栄養塩成分と浄化槽放流水中の毒性物質の反応により毒性が相殺されるためと考えられた。

(2) 新手法による浄化槽処理水(塩素消毒前)の藻類生長阻害試験の結果、BOD 除去型および窒素・リン除去型の両者とも生長阻害が認められなかった。したがって塩素消毒が浄化槽放流水の毒性を上昇させている可能性が高い。今後、消毒効果の高い遊離残留塩素が高く検出される傾向にある窒素・リン除去型浄化槽の普及が進んだ場合、塩素消毒による生態系リスクが高まることが懸念されるため、病原性微生物を不活化する最小限の残留塩素濃度にとどめる技術の開発や、塩素に頼らない衛生学的安全性確保の方法について検討を進めるべきである。

(3) 浄化槽放流水の流入前後の水路の水質はほぼ等しくても、流入後の水路水で新手法の藻類増殖試験で緑藻の増殖阻害が認められた。

(4) 浄化槽放流水が流入する水路底部に付着する藻類は、放流水の流入後にバイオマスが増加し、その割合としては緑藻が減少し、珪藻が増加することがわかった。浄化槽放流水に含まれる栄養塩による藻類の増殖、盤流塩素による藻類の増殖阻害の影響は複雑であり、種類によって影響も異なることからさらに環境影響評価を進める必要があることが明らかになった。

(5) 残留塩素の暴露により、カワニナの行動に影響を及ぼすことが明らかとなった。EC50 で評価すると、比較的殻長の小さなカワニナは 0.3mg/L と小さな残留塩素濃度でも忌避行動をとることが判明した。行動に関してはより低い残留塩素濃度でも影響が出る可能性もあるため、今後検討を要する課題である。

第5章参考文献

- 1) 山下尚之ら：AGP 試験と藻類生長阻害試験を用いた下水処理水の河川水質に対する影響評価，土木学会論文集 G，Vol.62.No.1,pp.191-200,2006
- 2) 荒谷裕介ら：下水処理水中の栄養塩類濃度および残留塩素濃度と放流先に生成する付着藻類相の関係，下水道協会誌，Vol.42,No.510,pp.111-123,2005
- 3) 日本下水道協会：生物毒性試験，下水試験方法上巻，1997.
- 4) Organisation for Economic Co-operation and Development：Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test., OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No.201, 2012.
- 5) United States Environmental protection Agency：Short-term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms, No.4, 2002.
- 6) International Organization for Standardization：Water quality - Fresh algal growth inhibition test with unicellular green algae, ISO 8692, 2004.
- 7) United States Environmental Protection Agency：National Whole Effluent Toxicity (WET) Implementation Guidance Under the NPDES Program, 2004.
- 8) 松原正明，原田新，田中宏明：藻類増殖阻害試験およびカエル胚催奇形性試験の基礎的検討と下水試料への適用，水環境学会誌，Vol.20, No.11, pp.768-775, 1997.
- 9) Sarakinos, H. C., Rasmussen. J. B.：Use of bioassay-based whole effluent toxicity (WET) tests to predict benthic community response to a complex industrial effluent, Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery, Vol.6, pp.141-157, 1998.
- 10) Ra, J. S., Kim, H. K., Chang, N. I., Kim, S. D.：Whole Effluent Toxicity (WET) tests on wastewater treatment plants with *Daphnia magna* and *Selenastrum capricornutum*, Environ. Monit. Assess., Vol.129, pp.107-113, 2007.
- 11) Bailey, H. C., Krassoi, R., Elphick, J. R., Mulhall, A. M., Hunt, P., Tedmanson, L., Lovell, A.：Whole effluent toxicity of sewage treatment plants in the Hawkesbury-Nepean Watershed, New South Wales, Australia, to *Ceriodaphnia Dubia* and *Selenastrum capricornutum*., Environ. Toxicol. Chem., Vol.29, No.1, pp.72-81, 2000.
- 12) Stauber, J. L., Florence, T. M.：The effect of culture medium on metal toxicity to the marine diatom *Nitzschia closterium* and the freshwater green

- alga *Chlorella pyrenoidosa*, *Wat. Res.*, Vol.23, No.7, pp.907-991, 1989.
- 1 3) Adams N., Dobbs, A. J. : A comparison of results from two test methods for assessing the toxicity of aminotriazole to *Selenastrum capricornutum*, *Chemosphere*, Vol.13, No.8, pp.965-971, 1984.
- 1 4) 武田文彦ら：藻類を用いた生態影響評価試験における新バイオアッセイ手法と既往手法の比較，環境工学研究論文集，Vol.45, pp.163-168, 2008.
- 1 5) 塩入万莉子：化学物質と栄養塩の相互作用が藻類生長に及ぼす影響，東北大学修士学位論文，2010.
- 1 6) 竹田茂ら：浄化槽消毒処理水のヒメダカによる急性毒性試験，浄化槽研究，vol.10, No.1, pp25-30, 1998
- 1 7) 洙田泰臣ら：下水処理水によるカワニナとホタルの飼育，下水道協会誌，Vol.27, No.314, pp.68-70, 1990
- 1 8) 安野翔ら：伊豆沼におけるオオユスリカ幼虫の餌資源推定:炭素安定同位体比と脂肪酸組成による解析，伊豆沼・内沼研究報告，5号，pp21 - 35, 2011
- 1 9) 波部忠重，小管貞男：標準原色図鑑全集第3巻 貝，保育社，p.28, 1967
- 2 0) 竹田茂ら：合併処理浄化槽の消毒実態と改良消毒装置による消毒効果，浄化槽研究， Vol.12, No.1, pp.31-43, 2000

6 未汚水処理地域における浄化槽転換効果のシミュレーション解析

6. 1 はじめに

平成 22 年度の日本の汚水処理人口普及率は 86.9%であり、およそ 1,600 万人分は汚水処理が適切になされていない状況である¹⁾。この未汚水処理の効率的な解消手段として浄化槽の設置が挙げられる。多くの未汚水処理地域を抱える中・小規模の市町村では、財政上下水道の設置が難しくなっており、低人口密度地域で設置が有利である浄化槽に期待が寄せられている²⁾。特に、過疎化の進行する地域における未汚水処理の解消を考慮すると、今後浄化槽の占める割合は大きくなることが予想され、浄化槽整備による健全な水循環の創生が期待されている。

しかし、浄化槽が普及すると浄化槽放流水の流域への排出量は増加し、流域の水質に及ぼす影響は大きくなる。集中型処理、すなわち下水処理場からの放流影響に関する研究は数々行われているが、浄化槽処理水の放流影響に関する知見は乏しく、浄化槽整備による水環境改善の効果について十分把握できていないのが現状である³⁾。

そこで本研究では、まず現在普及している浄化槽処理水の実態調査を行った(2,4章)。そしてそれらのデータをベースに河川水質モデル QUAL2K⁴⁾内のパラメータを既往研究における水質データを用いて検討し、そのパラメータを用いて浄化槽処理水が流入する水路の水質予測シミュレーションを行った。さらに、未汚水処理地域において浄化槽への転換を行った場合のケーススタディーを行い、浄化槽普及による水環境改善効果の予測を行った。

6. 2 方法

(1) 河川水質モデル QUAL2K

本研究ではシミュレーションに米国タフツ大学で開発された河川水質予測モデルである QUAL2K を用いた。QUAL2K は BOX モデルであり、初期条件、負荷流入出、その他各種パラメータを入力することで河川の水質の移り変わりを予測することができる。これまで諸外国においては、実際に QUAL2K を用いた河川の水質予測が行われており、また QUAL2K 内で用いられるパラメータについての検討など、いくつかの研究例がある。QUAL2K における区間 i における物質収支式は(1)式で表される。

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (1)$$

c_i = 区間 i における濃度 (mg/L), t = 時間 (d), Q_i = 区間 i から区間 $i+1$ への下流への流出量 (m³/d), V_i = 区間 i における水量 (m³), W_i = 区間 i における外部からの負荷流入 (g/d), S_i = 反応や物質交換による収支 (mg/L/d)

BOD の収支式は，(2)式で表される．

$$S_{c_f} = -F_{oxc} k_{dc}(20)\theta^{T-20} c_f \quad (2)$$

S_{c_f} = 反応及び物質移動による c_f の増加量又は減少量 (mg/L/d)， F_{oxc} = 酸素濃度低下による自然酸化機能の減衰係数， $k_{dc}(20)$ = 20°Cにおける有機物の酸化速度(1/d)， θ = 反応における温度係数， T = 水温(°C)， c_f = BOD の濃度(mg/L)
大腸菌群の収支式は，(3)式で表される．

$$S_X = -k_{dX}(20)\theta^{T-20} X - \alpha_{path} \frac{I(0)/24}{k_e H} (1 - e^{-k_e H}) X - \frac{v_X}{H} X \quad (3)$$

S_X = 反応及び物質移動による大腸菌群の増加量又は減少量(MPN/100mL/d)， $k_{dX}(20)$ = 20°Cにおける大腸菌群死滅速度(1/d)， θ = 反応における温度係数， T = 水温(°C)， X =大腸菌群(MPN/100mL)， α_{path} = 光の効率係数， $I(0)$ = 水面における太陽定数(W/m²)， k_e = 光による死滅係数(1/m)， H = 水深(m)， v_X =大腸菌群の沈降速度(m/d)

(2) 日本の河川に対する QUAL2K の適用

QUAL2K の日本の河川への適用性について多摩川で検討した．初期条件など流域の水質データは合葉らの研究⁶⁾を参考にした．対象となる区間は多摩川の日野橋から二子橋に至る 22.0 km である．流域を図 6-1 に示す．水質データは上流から，日野橋，関戸橋，多摩川原橋，二子橋の 4 地点で計測している．日野橋から関戸橋までの 5.5 km を区間 1，関戸橋から多摩川原橋までの 6.5 km を区間 2，多摩川原橋から二子橋までの 10.0 km を区間 3 とした．なお，シミュレーションにあたって，BOD は上流端における流入，支流・伏流からの流入，および藻類の付着増殖を由来とする河床での有機物合成により発生する BOD の 2 次負荷を増加要因として考慮し，支流・伏流への流出，酸化分解を減少要因として考慮した．QUAL2K でのデフォルト値は $k_{dc}(20) = 5$ ， $\theta = 1.047$ である．これらはともに，流域の BOD 濃度 c_f に乗ぜられるため BOD の結果に影響を与える．

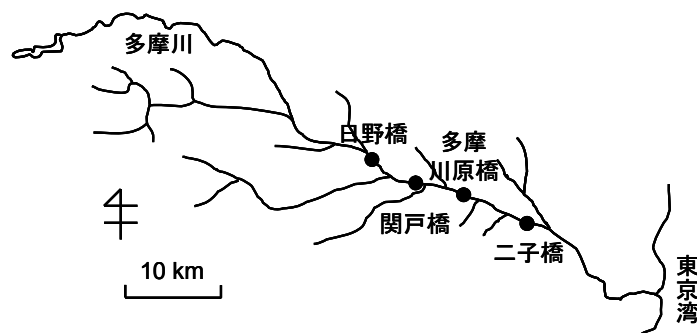


図 6-1 多摩川流域図

(3) 浄化槽放流水流入水路におけるシミュレーション

対象流域は浄化槽が普及している田園地帯に存在するコンクリート三面張りの水路である。概略を図 6-2 に示す。流域周辺には家屋が計 18 軒あり、その内訳は小型合併処理浄化槽を設置している家屋が 16 軒、単独処理浄化槽を設置している家屋が 1 軒、くみ取り（生活雑排水未処理）の家屋が 1 軒となっている。調査した水路の上流端を 0 m とし、0 m(A)、200 m(B)、400 m(C)、600 m(D) の計 4 地点を設定した。A～B 区間では小型処理浄化槽が 7 基、B～C 区間では小型合併処理浄化槽が 7 基、単独処理浄化槽が 1 基、くみ取りの家屋が 1 軒、C～D 区間では小型合併処理浄化槽が 2 基、それぞれ存在した。

2012 年 8 月 19 日の AM 5:00、AM 8:00 の計 2 回にわたって上記の水路において水理・水質調査及び水路水のサンプリングを行った。AM 5:00 は一般に人の活動時間外であることから排水が流入しないと考えられ、AM 8:00 は人の活動による排水流入が考えられることから、AM 5:00 を浄化槽排水が流入しない場合、AM 8:00 を流入する場合と、2 通りの条件を想定してサンプリングの時間設定を行った。流量計算に必要な項目のうち、断面積についてはメジャーで測定を行った。流速については、東邦電探社製の小型微流速計 CM-1SX 型で計測を行った。サンプリングについては、水路中央部中層の水をバケツでくみ取った後にプラスチック製サンプルびんにて採取した。水質調査は流下時間を考慮して、AM 5:00 の測定では A 地点から順に AM 5:00、AM 5:15、AM 5:30、AM 5:45 に行い、AM 8:00 の測定では A 地点から順に AM 8:00、AM 8:15、AM 8:30、AM 8:45 に行った。

水質分析は、有機物の指標として BOD、衛生学的な指標として大腸菌群について下水試験方法⁵⁾に基づいて行った。

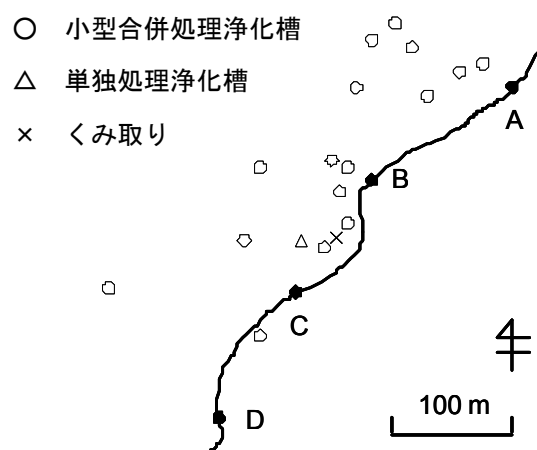


図 6-2 浄化槽放流水流入水路調査現場の概略図

小越ら⁷⁾は、浄化槽の処理水は時間帯によって放流量平均の0～8倍まで変動することを明らかにしている。AM 5:00については、浄化槽排水が流入しないという想定、すなわち放流量0倍でシミュレーションを行った。AM 8:00については、平均放流量の1倍および最大放流量の8倍についてシミュレーションを行った。

負荷条件について、BODは汚濁負荷量の原単位を用いて各負荷源の放流BODを計算し、小型合併処理浄化槽を20 mg/L、単独処理浄化槽を160 mg/L、くみ取りを180 mg/Lとした。大腸菌群は前項の分析結果の平均値を用いた。境界条件についてはAM 5:00, AM 8:00それぞれのシミュレーションにおいてAM 5:00, AM 8:00のA地点の測定データ（流量, BOD, 大腸菌群）を用いた。

調査日時のAM 5:00, AM 8:00それぞれの条件下でBOD, 大腸菌群についてのシミュレーションを行った。目視では系外からの流入, 系外への流出は確認されなかったため、浄化槽排水の流入以外による流量変動は各区内での面源流入, 面源流出として計算を行った。

(4) 未汚水処理地域での浄化槽転換シミュレーション

浄化槽の設置による水環境の改善効果を予測するために、未処理（くみ取り, 単独処理浄化槽）家屋が多く残存し、現在下水処理区域外であり小型合併処理浄化槽によって汚水処理の適正化を図ることが必要と考えられるH地域の現在の汚水処理状況をベースにケーススタディーを行った。H地域の詳細を図6-3に示す。H地域は、湖沼に流入する河川を流域にもつ山間地域である。流域の上流端から下流端までの距離は1.2kmであり、単独処理浄化槽を持つ家屋が1軒、くみ取りの家屋が50軒存在する。流域内に小型合併処理浄化槽を持つ家屋が存在せず、完全な未汚水処理地域である。

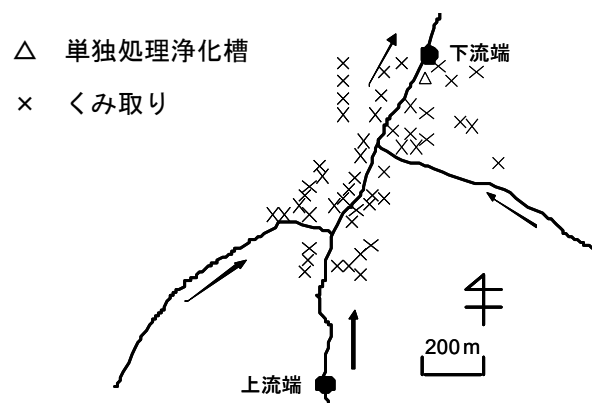


図 6-3 浄化槽転換シミュレーションの対象としたH地域の概略図

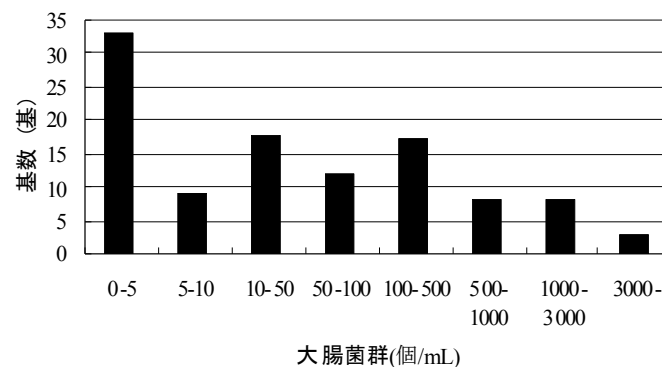
境界条件として環境基準を用い，どのような水質の時に浄化槽転換による水環境改善効果が著しいか，すなわち浄化槽の放流水質に求められるレベルを検討した．本研究では，環境基準としてBOD，大腸菌群がそれぞれAA 類型の場合についてシミュレーションを行った．AA は BOD が 1 mg/L，大腸菌群が 50 MPN/100mL であり，それを境界条件として設定した．なお，河川流量については河川の本流を 4.0 L/s，地図上で流入が確認される支流（0.55 km 地点，0.90 km 地点）を 2.0 L/s とそれぞれ設定した．負荷条件，放流量条件は前項のシミュレーション結果に基づいて行った．

6. 3 研究結果および考察

(1) 浄化槽放流水の大腸菌群の実態調査

大腸菌群の分析結果を図 6-4 に示す．108 基の浄化槽放流水の大腸菌群の平均値は 839 個/mL，中央値は 36 個/mL であった．また，排水基準の 3,000 個/mL を下回っていたのは全体の 97 % であった．このことを参考に浄化槽放流水の大腸菌群数を設定した．

図 6-4 性能評価型浄化槽放流水の大腸菌群に関する基数分布（全 108 基）



(2) 日本の河川に対する QUAL2K の適用

デフォルトのパラメータ ($k_{dc}(20) = 5$) を用いて行った BOD シミュレーションの結果，実測値，文献内での計算値と比較して全体的に低い BOD 値となった．ここで，BOD の酸化分解の主要因である酸化速度の係数 $k_{dc}(20)$ の値を数種類に変更して再度シミュレーションを行った．その結果（図 6-5）， $k_{dc}(20) = 2$ としたときに最も実測値，文献内での計算値と近い結果となった．またこの結果は既往の研究による酸化速度係数の取りうる範囲 $k_{dc}(20) = 0.02 \sim 3.4$ (/d) の範囲に入るものであり⁹⁾ 妥当な結果であるといえる．したがって，これ以降のシミュレーションにおいては，20℃における酸化速度係数 $k_{dc}(20) = 2$ とパラメータを設定してシミュレーションを行った．

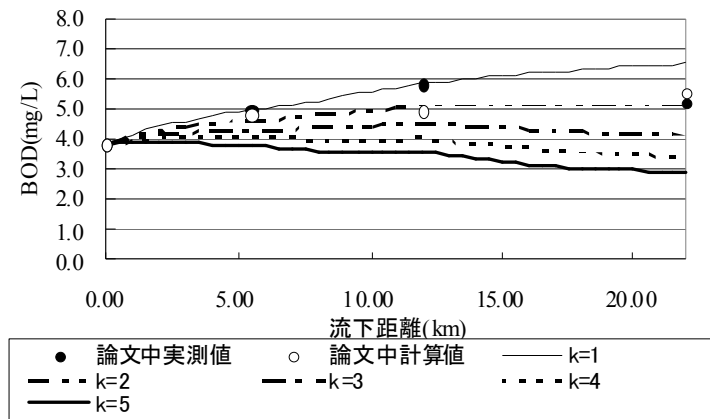


図 6-5 多摩川における BOD のシミュレーション結果⁶⁾

(3) 浄化槽放流水流入水路におけるシミュレーション

放流量を 1 倍, 3 倍, 8 倍の 3 パターン, 負荷条件を BOD 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L の 3 パターン, すなわち 9 通りのシミュレーションを行い, 実測値と近似する負荷, 水量を検討した.

その結果を図 6-6 に示す (図は BOD 20 mg/L のものを掲載). B 点に近似しているグラフは BOD 10mg/L では水量 3 倍および 8 倍, BOD 20 mg/L では水量 1 倍および 3 倍, BOD 30 mg/L では水量 1 倍および 3 倍であった. C 点に近似しているグラフは BOD 10mg/L では水量 8 倍, BOD 30 mg/L では水量 3 倍であった. D 点に近似しているグラフは BOD 10mg/L では水量 3 倍, BOD 20 mg/L では水量 3 倍であった. 実測値との近似, およびシミュレーション内における増加・減少の傾向と合わせて総合的に判断した結果, 実測値と最も近いシミュレーションは BOD 20 mg/L, 水量 3 倍のものであった.

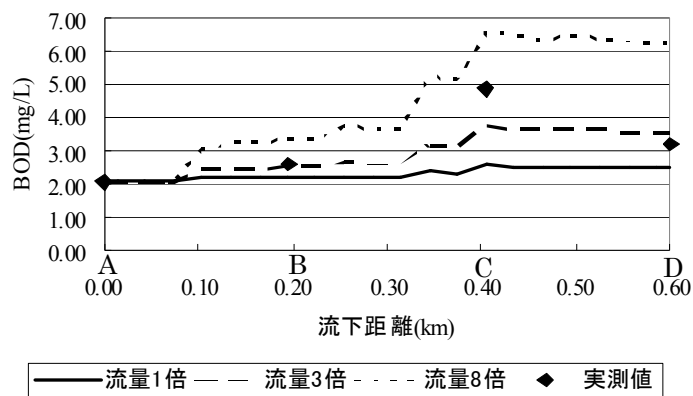


図 6-6 BOD シミュレーションに及ぼす浄化槽放流量の影響

放流量 3 倍について, AM 8:00 の放流量は 1 日平均の 3 倍であることが報告⁷⁾されており, 妥当な条件設定であるといえる. また, 負荷条件 BOD 20mg/L

について、既往の研究において上位 75 % 程度の水質であることが報告されており⁸⁾、妥当な範囲での設定であるといえる。

この結果をうけて、AM 8:00 における浄化槽からの放流量を 1 日平均の 3 倍と設定して再度大腸菌群のシミュレーションを行った。前項の結果の大腸菌群数の平均値、839 個/mL を計算の便宜上 900 個/mL とみなして、放流される浄化槽処理水の大腸菌群を 1,200 個/mL、900 個/mL、600 個/mL、300 個/mL の 4 通りに設定しシミュレーションを行った。

その結果を図 6-7 に示す。実測値と近似しているグラフは B 点では 900 個/mL と 600 個/mL、C 点では 600 個/mL と 300 個/mL、D 点では 900 個/mL と 600 個/mL であった。この結果より、600 個/mL はすべての点において近似しており、増加・減少の傾向についても概ね一致していた。よって、実測値と最も近いシミュレーションは大腸菌群 600 個/mL のものであると判断された。

負荷条件、大腸菌群 600 個/mL について、既往の研究において上位 50~75 % 程度の水質であることが報告されており⁸⁾、妥当な範囲での設定であるといえる。この結果より、浄化槽処理水流入水路における水質シミュレーションは、シミュレーションを行う時間における浄化槽処理水の流入量を考慮することで実測値に近似した結果が得られることがわかった。

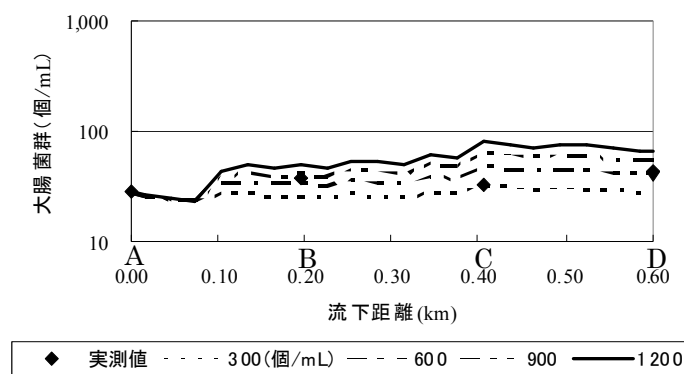


図 6-7 浄化槽放流量を 3 倍とした時の大腸菌群シミュレーション結果

(4) 未汚水処理地域での浄化槽転換シミュレーション

シミュレーション結果を図 6-8、図 6-9 に示す。単独処理浄化槽、くみ取りから小型合併処理浄化槽への転換前の BOD は 31.9 mg/L、転換後の BOD は 4.2 mg/L となり、環境基準では転換前が E 類型以下、転換後が C 類型と 3 ランク改善することが予測され、転換による水環境改善効果は確認された。しかし、大腸菌群については、転換前が 592 MPN/100mL、転換後が 7,402 MPN/100mL となり、環境基準では転換前が A 類型、転換後が B 類型以下と 2 ランク劣化することが予

測された。これは H 地域のほとんどの家屋がくみ取りであり，し尿が回収されて大腸菌群が放流されていなかったものが，浄化槽転換によってある程度排出されるようになってしまうためであり，衛生学上の問題が残った。

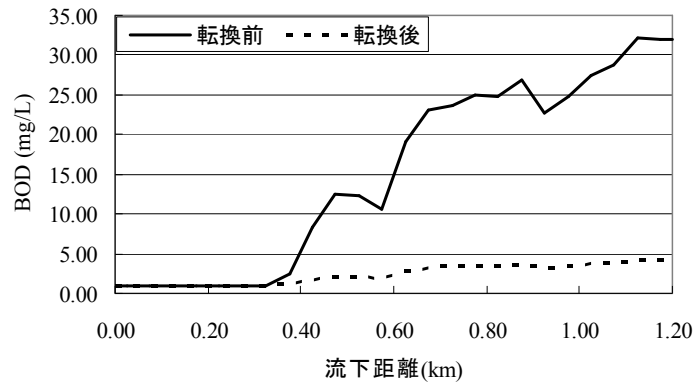


図 6-8 H 地域における浄化槽転換のシミュレーション結果 (BOD)

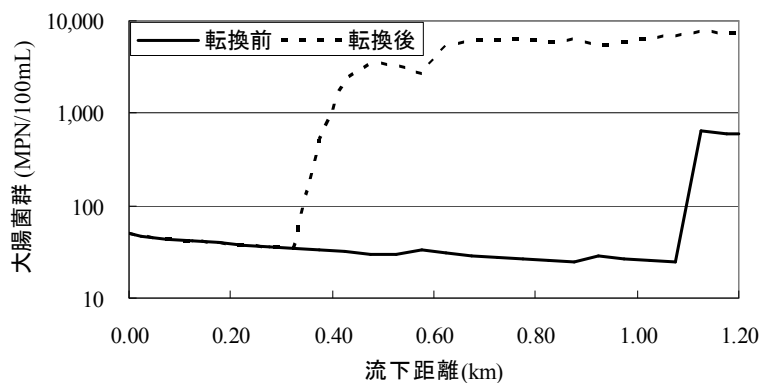


図 6-9 H 地域における浄化槽転換のシミュレーション結果 (大腸菌群)

この問題を解決するため，衛生学上問題ないレベルに大腸菌群の処理能力を向上させる場合のシミュレーションを行った。放流される浄化槽処理水の大腸菌群を 5 個/mL，10 個/mL，50 個/mL，100 個/mL の 4 通りに設定しシミュレーションを行った。その結果を図 6-10 に示す。下流端において転換前とほぼ同等の大腸菌群数となったのは 50 個/mL の場合である。既往研究によると⁸⁾，大腸菌群が 50 個/mL の処理水は合併処理浄化槽全体の上位 25～50 % である。現状において，処理水質が安定している浄化槽であれば，くみ取りの家屋が多く残存する地域であっても浄化槽への転換後，大腸菌群が増加するおそれはないものと思われる。この結果は H 地域での一例であるが，図 6-4 からわかるように 50 個/mL で処理できている性能評価型浄化槽が 56% 存在しており，これを 100 % に向上させることが，浄化槽による水環境改善を達成する上で必要と考えられた。

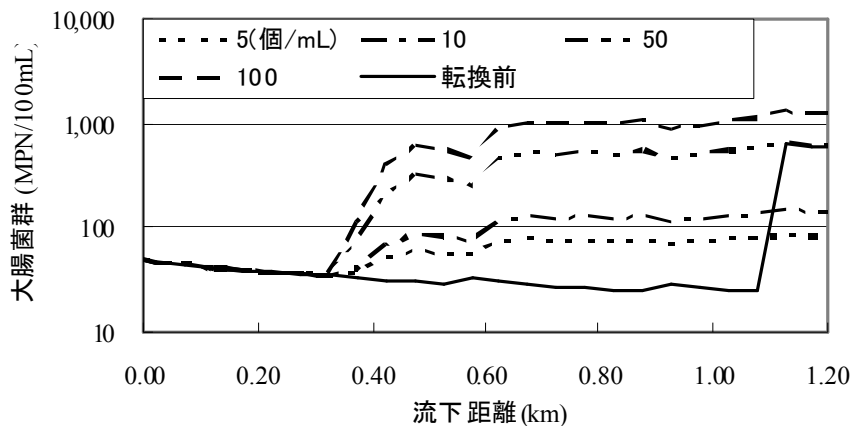


図 6-10 浄化槽処理能力向上後の大腸菌群シミュレーション結果

6. 4 まとめ

本研究のまとめを以下に示す。

(1) 既存の性能評価型浄化槽において、排水基準の 3,000 個/mL を下回っていたのは全体の 97 % であり、大部分の浄化槽において衛生的な処理が行われていた。

(2) QUAL2K 内でのデフォルトの酸化速度係数 $k_{dc}(20)$ を、日本の河川について検討した結果 $k_{dc}(20) = 2$ と設定すべきであることがわかった。

(3) シミュレーションを行う時間における浄化槽放流水の流入量を考慮することで、実測値に近似したシミュレーション結果が得られた。

(4) 浄化槽普及地域のシミュレーションを行った結果、浄化槽処理水の負荷設定について、BOD は 20 mg/L、大腸菌群は 600 個/mL にそれぞれ設定した時、実測値と近似するシミュレーション結果が得られた。

(5) 未汚水処理地域を想定して、浄化槽転換による水質改善効果のシミュレーションを行った結果、未汚水処理地域において浄化槽を普及させた場合、流域における BOD の改善効果が確認された。

(6) くみ取りの家屋が特に残存する未汚水処理地域において、浄化槽転換による大腸菌群の濃度上昇が生じることがわかった。しかし、大腸菌群に関して実際に普及している高度処理が可能な浄化槽を設置することで、水環境の保全が可能であることが示された。

第 6 章参考文献

1) 環境省, 平成 24 年度版環境統計集(2012. 12. 27 現在)

<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/>

- 2) 小川浩ら：法的・技術的基準からみた下水道と浄化槽の比較展望，用水と排水，Vol.51, No.12, pp.69-77, 2009
- 3) 環境省：浄化槽ビジョン，2007.
- 4) Steve Chapra, Greg Pelletier, Hua Tao: QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11, 2008
- 5) 日本下水道協会：下水試験方法，1997
- 6) 合葉修一ら：浅い汚濁河川における BOD, DO 収支のシミュレーション（第1報）—数理モデル—，下水道協会誌，Vol.12, No.131, pp.33-38, 1975
- 7) 小越眞佐司：水環境改善からみた個別処理の水質の状況，下水道協会誌，No.575, pp.44-45, 2010
- 8) 小谷仁美ら：山梨県内の浄化槽放流水の水質検査結果について，山梨衛環研年報，No.54, pp.91-94, 2010
- 9) Cox, B. A. : A Review of Currently Available In-Stream Water -Quality Models and Their Applicability for Simulating Dissolved Oxygen in Lowland Rivers, Science Total Environmental, No.314, pp.335-377, 2003

7 総括

本研究では、「浄化槽整備事業の水環境改善効果については十分把握できていない」という課題に対して、浄化槽の放流水質の実態把握の結果、現在普及が進んでいる性能評価型浄化槽の放流水質の BOD 適合率は 72.2%で、平均放流水質は 17.6mg/L と従来の構造例示型浄化槽に比べ有意に良好であることを示した。さらに、平均 BOD \leq 10mg/L を確保できている浄化槽は、窒素・リン除去を可能とする高度処理型浄化槽であった。この浄化槽は、嫌気槽第一室、第二室ともに嫌気ろ材を有し、好気槽構造では担体流動槽および担体ろ過槽を有していた。このような浄化槽の現場レベルでの性能評価・解析は、浄化槽の信頼性を高めるとともに、今後の浄化槽の技術開発・適正普及において極めて重要な知見である。

また、性能評価型浄化槽においては、処理水質と温室効果ガス排出量に明確な関係は認められなかったが、窒素・リン除去型かつ低炭素社会対応型浄化槽の普及が温室効果ガス排出抑制の観点からも重要であることが示された。

一方、浄化槽処理水は身近な環境に放流されることを考えると衛生学的安全性の確保も重要であるが、塩素消毒後の排水基準値超過割合（大腸菌群数）は BOD 除去型浄化槽では 20.0%に対して窒素・リン除去型浄化槽では 1.6%であり、窒素・リン除去型の普及が衛生学的安全性確保に貢献することがわかった。

さらに、栄養塩添加を必要としない藻類増殖試験を開発し、消毒前には認められなかった毒性が消毒後（模擬浄化槽放流水）に認められ、生態学的なリスクを考えると塩素に頼らない処理技術の開発が重要であると考えられた。

このような、浄化槽の処理水質の実態をふまえ、河川水質モデルを用いて浄化槽処理水の河川水質に及ぼす影響をシミュレーションする手法を構築し、具体的な放流水域を想定したケーススタディーを行った結果、くみ取り式および単独処理浄化槽の合併化により BOD の改善は著しいものの大腸菌群数は上昇し、合併処理化において衛生学的に高い大腸菌群の処理レベルが求められること、それは現在普及している高度処理型浄化槽において達成可能なレベルであり、高度処理型浄化槽の普及が環境保全上重要であることが明らかになった。

本研究成果は、浄化槽整備事業の水環境改善効果について、浄化槽放流水質（BOD、大腸菌群数）の実態、浄化槽からの温室効果ガス排出量、浄化槽放流水の藻類生長阻害から、現在普及している性能評価型浄化槽の評価を行い、また河川水質モデルを用いて浄化槽放流水の影響を予測して適正な普及のための処理レベルを明らかにしたもので、性能評価型浄化槽の環境に与える負荷は小さいものの、さらに改善が必要であることを示した。このことをふまえ、浄化槽による汚水処理未整備地域の解消を促進する必要性がある。

研究発表

論文発表

- 1) 山崎宏史, 西村修, 次世代排水処理システムによる震災被害地の生活環境復興, 用水と廃水, Vol.54, No.1, p.79-85, 2012.
- 2) 高橋直樹, 松橋仁, 西村修, 須藤隆一, 性能評価型浄化槽における大腸菌群の除去特性について, 土木学会論文集G (環境), 68 (7), III_429-III434, 2012.
- 3) 荻野修大, 藤林恵, 長田祐輝, 相川良雄, 西村修, ゼブラフィッシュ飼育実験による脂肪酸-炭素安定同位体比の濃縮係数の算出, 土木学会論文集G (環境), 68 (7), III_627-III_634, 2012.

学会発表

- 1) 西村 修, 武田文彦, 高橋直樹, 松橋 仁, 丸尾知佳子, 中野和典, 浄化槽放流水が放流先の水質と藻類生長に及ぼす影響, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集 CD, VII-122, 2011.
- 2) 松橋 仁, 高橋直樹, 中野和典, 西村 修, 浄化槽処理水質における地域差の要因解析, 日本水処理生物学会誌, 別巻第 31 号, p.41, 2011.
- 3) 田村典大, 佐野慈, 増田周平, 丸尾知佳子, 李玉友, 西村修, 生活排水処理システム (下水道・浄化槽) から排出される温室効果ガスの日変動解析, 平成 23 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 CD, VII, 2011.
- 4) 高畑俊祐, 濱中俊輔, 高橋直樹, 山崎宏史, 西村修, 人口減少地域における浄化槽分野の環境負荷量変化解析, 平成 23 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 CD, VII, 2011.
- 5) 松橋仁, 高橋直樹, 西村修, 未汚水処理地域における浄化槽転換効果のシミュレーション解析, 日本水環境学会年会講演集, p146, 2013
- 6) 那花美奈, 武田文彦, 西村修, 須藤隆一, 藻類生長阻害試験における毒性評価に及ぼす栄養塩の影響, 日本水環境学会年会講演集, p146, 2013
- 7) 高畑俊祐, 高橋直樹, 濱中俊輔, 西村修, 浄化槽から発生する温室効果ガス, 放流水質の市町村別解析, 日本水環境学会年会講演集, p422, 2013
- 8) 田村典大, 高畑俊祐, 山崎宏史, 蛭江美孝, 千葉信男, 西村修, 小型合併処理浄化槽スタートアップ時の温室効果ガス排出特性解析, 日本水環境学会年会講演集, p424, 2013

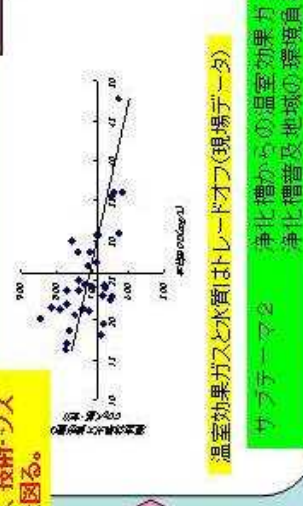
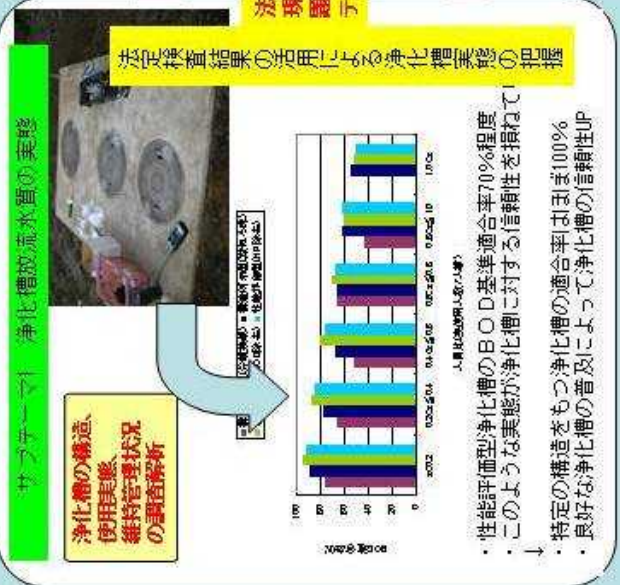
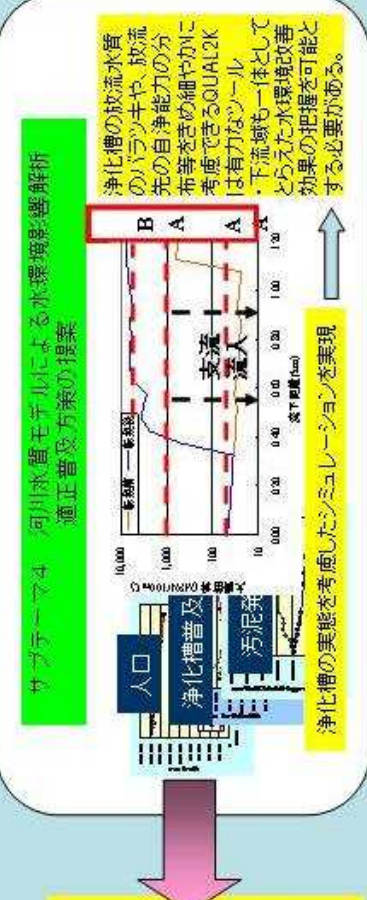
知的財産権の取得状況

特になし

アウトカム



優れた浄化槽を地方公共団体、企業、消費者等のエン지니어が安心して使用することができるよう、環境技術実証事業のシステムを適用し、法定検査結果を基に客観的に認証し、浄化槽の適正技術開発・普及を推進する仕組みを作る。



英文概要（要旨 200 語，キーワード 5 語）

Subject of research: Development of environmental assessment technique of Johkasou system as an infrastructure for supporting sustainable society

Chief researcher: Osamu Nishimura (Tohoku University)

Joint researcher: Kazuhiro Yamada(Tohoku Institute of Technology)
Kazunori Nakano(Tohoku University in 2010, 2011 and
Nihon University in 2012)

Abstract: The data of Johkasou legal inspection in Miyagi prefecture was analyzed to evaluate the actual water quality of effluent from Johkasou. As a result, the effluent water quality of Johkasou could not constantly accomplish the standard of BOD 20 mg/L. It was revealed the effluent water qualities of BOD and coliform bacteria were better in a performance evaluation type Johkasou than a structural illustration type Johkasou. Especially, almost all of the advanced treatment Gappei Johkasou that deals with nitrogen removal could retain BOD below 10mg/L.

For the past ten years, the performance evaluation type Johkasou corresponding to create low carbon society has been installed and led to decrease both BOD concentration and green house effect gas emission, simultaneously.

A new method for algal growth inhibition test was developed to assess the toxicity for algae in spite of the presence or absence of nutrients. Using this method, the inhibitory effect of Johkasou effluent was evaluated. Higher toxicity was detected comparing to the result from conventional algae toxicity test. The result suggested that algal test using culture medium may cause underestimation of toxicity.

Although the water quality of the waterway was not changed by inflow of the Johkasou effluent, a growth-inhibiting effect was detected in the Johkasou effluent contaminated water. The result might be due to the influence of the chlorine injected for disinfection.

Decentralized sewage system, Johkasou has been installed in many places in Japan. This study investigates the water quality of the stream where Johkasou is installed. By using QUAL2K which is a river and stream water quality model, the effect of Johkasou effluent on water quality of discharged area was predicted.

Key words: Johkasou, advanced treatment, BOD, coliform bacteria, green house gas