

第6章 実験施設(沖縄県)によるラグーン、植生浄化等の簡易な下水処理・高度処理方法の 実験的検討^{10) 11)}

沖縄県と国土技術政策総合研究所の共同研究「ラグーンおよび後段処理システムに関する研究」(平成13～16年度)より、引用し以下示す。

6.1 目的

当検討では、事前に行った開発援助専門家へのヒアリングにより、下水処理場に流入してくる生下水が計画に比べかなり低い場合があることや、ラグーン処理水のBOD上昇の原因が槽内で繁殖した藻類の流出であること等の現地に即した情報を得、以下の2検討項目を抽出し、屋外実験施設を用いた実験により、検討を行うことが目的である。実験は、日本唯一の亜熱帯地域である沖縄県において、同県との共同研究で行った。

- ① 低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討
- ② ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

6.2 実験方法

実験では、沖縄県具志川浄化センター内のラグーン処理実験施設を使用した。実験施設の概略図を、図6.2.1に示す。

実験施設は、大きく分けて流入下水混合槽・ラグーン処理施設・植生帯流入タンク・植生帯の4施設からなる。流れとしては、流入下水混合槽から出た流入下水が、ラグーン処理施設で処理され、その処理水が植生帯に流入する。

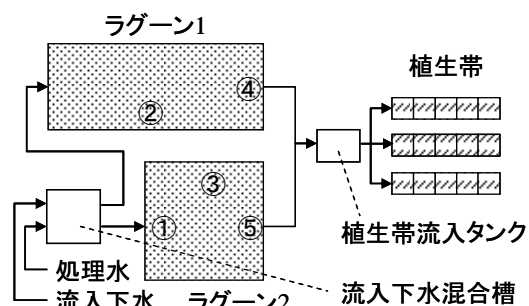


図 6.2.1 ラグーン施設の概略図

(1) 低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討

熱帯・亜熱帯地域の発展途上国の中には、下水管路内において下水に沈降・浄化作用が加わり、計画値に比べかなり低負荷の流入水が処理場に流入している現状がある。このため当実験においては、浄化センター本施設の流入下水を処理水で希釈して、ラグーンに流入させ、処理状態を確認することで、低負荷条件での適切な維持管理に関する検討を行った。

実験施設としては、図6.2.1の流入下水混合槽とラグーン1・2である(図6.2.2参照)。

流入下水混合槽では、浄化センター本施設より流入下水と処理水を引き入れ、目標BODの混合流入水を作成し、ラグーンに流入させた。混合槽の容量は3m³で、ラグーンへの流入水量は最大50m³/dまで上げられる。なお、流入下水は当初生下水を使用していたが、混合槽内のスクリーンにSSが多量に詰まる問題、さらに、実験期間中、浄化センター本施設において省エネのために管内貯留が



図 6.2.2 ラグーン施設

開始され、朝方に管内貯留で溜まったSSが大量に生下水とともに実験施設に流れ込み、現在の混合槽のスクリーンでは対応が難しいため、最終年度の6/27～30の時期に流入下水用のポンプを最初沈殿池後に移設し、1次処理水を流入下水として使用した。しかし、生下水を使用していた際もスクリーンで多くのSSが除去されていたため、移設後の流入下水に大きな水質の変動は見られなかった。

次にラグーン処理施設は、2つのラグーン（通性嫌気性安定化池）で構成されている。ラグーン2池は共に、容量100 m³、水深2 mであるが、池の形状が異なっている。ラグーン1は、14×5.5 mの長方形の形状であり、ラグーン2は8.6×8.6 mの正方形の形状をしている。

実験では、流入水の設定をBOD 50, 100, 200 mg/L、HRT 30, 20, 10, 5, 2 dに変更し、処理状態を確認しながら、適正な維持管理について検討を行った（BOD 200 mg/L、HRT 2 dの設定は、負荷が高すぎ、その後の実験に影響があるため、設定しなかった）。実験中は、週1回の水質測定およびサンプリングを行い、図6.2.1の図中の番号のポイントでサンプリングを行った。各名称を順番に①流入水、②ラグーン1槽内、③ラグーン2槽内、④ラグーン1処理水、⑤ラグーン2処理水とした。測定項目は、水温・pH・Do・ORP・SS・BOD・COD・大腸菌群数・クロロフィルaの測定を行った。

(2) ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

ラグーンにおいて、ある程度の処理水質が維持できることは確認されている。しかし、処理水中に藻類が含まれているため、処理水と流入水がほぼ変わらないBODの値を示し、藻類の流出が問題となっている。また、ラグーンは、大腸菌のような病原微生物の除去を考慮したものではないため、その処理が十分ではない。このため、ラグーン後段に植生帯を設置し、処理水のさらなる高度化についての検討を行った。

実験施設としては、図6.2.1の植生帯流入タンクと植生帯である（図6.2.3参照）。

植生帯流入タンクは、植生帯への流入水（ラグーン処理水）の流量調節・分配を行うものである。容量は0.5 m³であり、ラグーン処理水を3つに分配できる構造とした。植生帯は、外寸1,337×864×793 mmの容器（0.5 m³）に、赤土を水深20cmになるように敷き詰め、現地で自生しているヨシを植付けた。その容器を縦に5つ並べたものを1系列として、合計3系列の植生帯を作製した。うち1系列は、ヨシを植付けないブランク系列とし、簡易の土壌浄化法として処理状態を確認するものとした。

サンプリングポイントは、植生帯流入水を流入タンクで採取し、あとは各系列ごとに中間点で槽内の水を、最終槽の末端で処理水を採取した。実験は、各系列に同時期・同処理水を流入させ、ブランクと植生帯槽の対照実験を行うこととした。



図 6.2.3 植生帯（ヨシの植付け前）

6.3 実験結果

(1) 低負荷流入水におけるラグーンの適正維持管理に関する検討

図 6.3.1 に実験期間中の水温・T-BOD・DO・クロロフィル a を示す。水温は、平均 25 °C 程度であり、夏季の一部の期間で 30 °C 以上に上がり、最低でも 15°C を維持している。

処理の状態として T-BOD のデータを見ると、ラグーン処理水質は期間中ほとんど流入水質に比べ良好であり、期間中十分な処理が行えていることがわかる。

藻類の繁殖状態として、DO とクロロフィル a を見ると、ほぼ年中活発に繁殖しており、特に 2 年目の夏に高い値を示している。実験初期の低い値に関しては、ラグーン立ち上げの時期であり、流入負荷・水温がともに低く、藻類の増殖が思わしくなかったためであると考えられる。

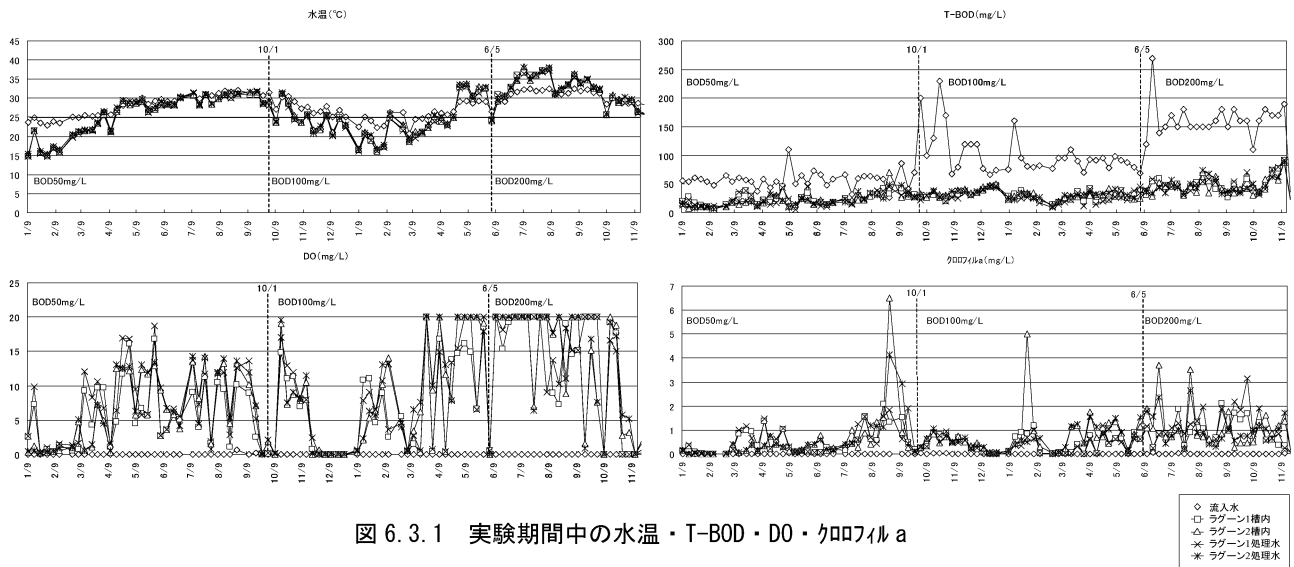


図 6.3.1 実験期間中の水温・T-BOD・DO・クロロフィル a

次に、各設定条件の処理状態として、図 6.3.2 に T-BOD・D-BOD・DO・ORP・クロロフィル a・大腸菌群数の設定 HRT ごとの平均値を示す。

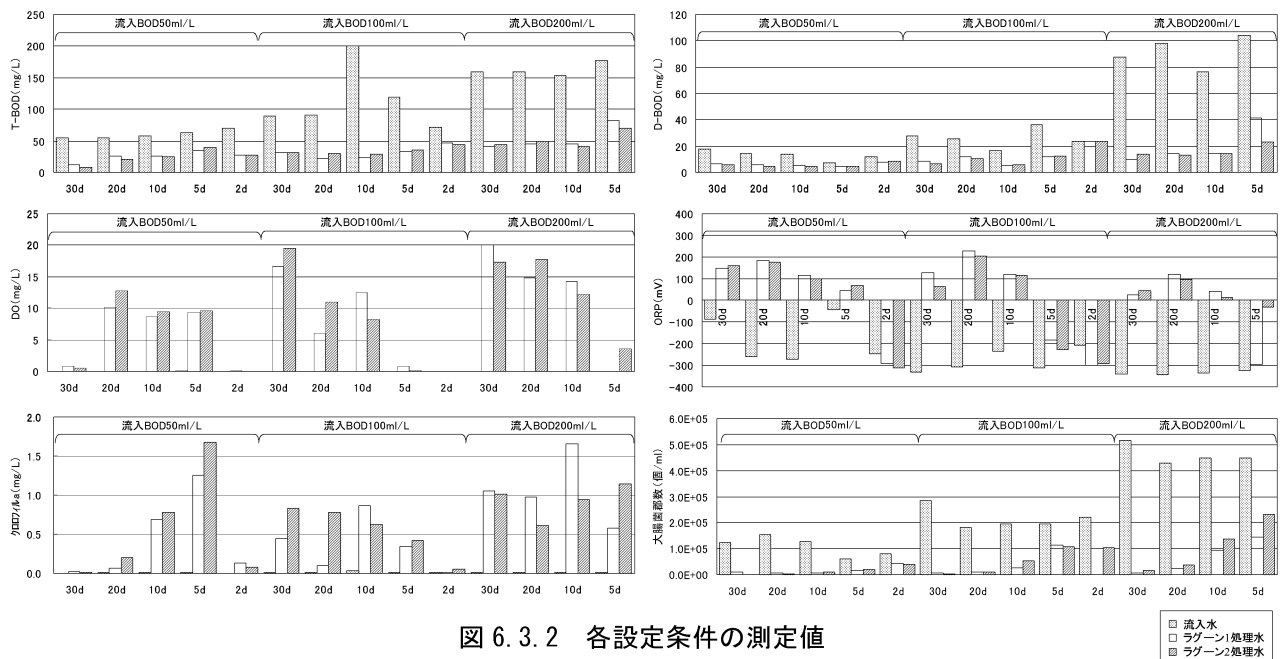


図 6.3.2 各設定条件の測定値

T-BOD の図より、流入 BOD 200 mg/L の HRT 5 d の処理水で高い値を示しているものの、その他の条件に関しては処理水の水質にさほど大差はなかった。しかし、全体的な傾向として、BOD 負荷が高い設定条件の方が、処理水の T-BOD も比較的高い値を示していた。

次にラグーン槽内の状態として DO・ORP を見ると、流入 BOD 50 mg/L の HRT 2 d、流入 BOD 100 mg/L の HRT 5, 2 d、流入 BOD 200 mg/L の HRT 5 d の処理水の DO がなく、ORP もマイナス値の嫌気的な状態であることを示している。

クロフィル a の値は、流入 BOD 50 mg/L の HRT 2 d と流入 BOD 100 mg/L の HRT 2 d でほとんど検出されていない（ここで、流入 BOD 50 mg/L の HRT 30 d の DO・クロフィル a 値が低いのは、実験初期段階に水温が低く、流入負荷の設定も低く、藻類の繁殖が良好に行えていなかったためである）。

この結果から次の 2 つのことが考えられる。1 つは、藻類の繁殖がありクロフィル a もあるが、藻類からの酸素の供給より槽内で消費される酸素の方が多いため、槽内の DO が低い値を示した。2 つ目は、藻類を槽内に維持することができなくなったため、DO やクロフィル a の値が低い値を示した。

1 つ目の原因としては、流入負荷が高過ぎるため、好氣的に処理する物質の供給が増加し、槽内の藻類が光合成により生成する酸素量より、好気処理に使用される酸素量の方が多くなったため、槽内の DO が維持できなくなった。もしくは、HRT が短いため、光合成で生成された酸素が、処理水と一緒に槽外に排出され、DO が維持できなくなってしまったとも考えられる。

2 つ目の原因としては、流入負荷が増えることで、アンモニア性窒素などの藻類繁殖に悪影響を与える毒性物質の濃度が高まり、槽内で藻類の繁殖が進まなくなったため、もしくは、短い HRT のため、藻類の繁殖速度より処理水と一緒に槽外へ排出される藻類の速度の方が速まり、槽内に藻類が維持できなくなったとも考えられる。今回の調査では、詳細な理由は不明だが、単一もしくは複数の原因により、発生したと考えられる。

次に D-BOD を確認すると、流入 BOD 50 mg/L では HRT 2 d が、流入 BOD 100 mg/L では HRT 2 d が、流入 BOD 200 mg/L では HRT 5 d が高い値を示している。藻類を含まない溶解性のみの値であるため、流入水と処理水の値がほぼ同程度であるということは、流入水の処理が完全に行われないまま処理水として流れ出ていると考えられ、T-BOD に関しても、処理水中に藻類と未処理の下水が混在していると考えられる。

このように、T-BOD のようなトータルサンプルのみの確認では、その値が未処理の下水由来なのか、それとも処理中に発生した藻類の影響なのか、確認することは不可能である。そのため、その他の因子に関しても合わせて適正な処理がなされているか確認することが必要である。

ラグーン処理では、反応槽内に溜めた下水に藻類が十分に繁殖し、その藻類から発生される酸素を使い、下水中の汚濁物質を好気処理することが理想とされる基本的な処理であるため、藻類濃度を示すクロフィル a や槽内酸素濃度の DO 値が重要であり、その他、処理水中の藻類を含まない溶解性のみの汚濁負荷の指標である D-BOD が重要な指標となる。今回の実験により、汚濁物の処理を考えた場合、ラグーンがシステムとして機能している設定条件は、流入 BOD 50 mg/L の場合 HRT 5 d 以上、流入 BOD 100 mg/L の場合 HRT 10 d 以上、流入 BOD 200 mg/L の場合 HRT 10 d 以上が必要である。

測定期間中の大腸菌群数の値は、各流入 BOD 設定値で HRT が短くなるごとに値が大きくなっていく傾向にあった。流入 BOD 50 mg/L であれば HRT 5 d から、流入 BOD 100 mg/L であれば HRT 10 d から、流入 BOD 200 mg/L であれば HRT 20 d から値が増加した。今回の実験では、処理が良好に行えている場合、大腸菌群数は 1.0×10^4 個/ml 程度に抑えることが可能であった。

(2) ラグーン後段に植生帯を設置した高度処理実験に関する検討

図 6.3.3 に、実験期間中の水温、クロフィル a、T-BOD、D-BOD を示す。

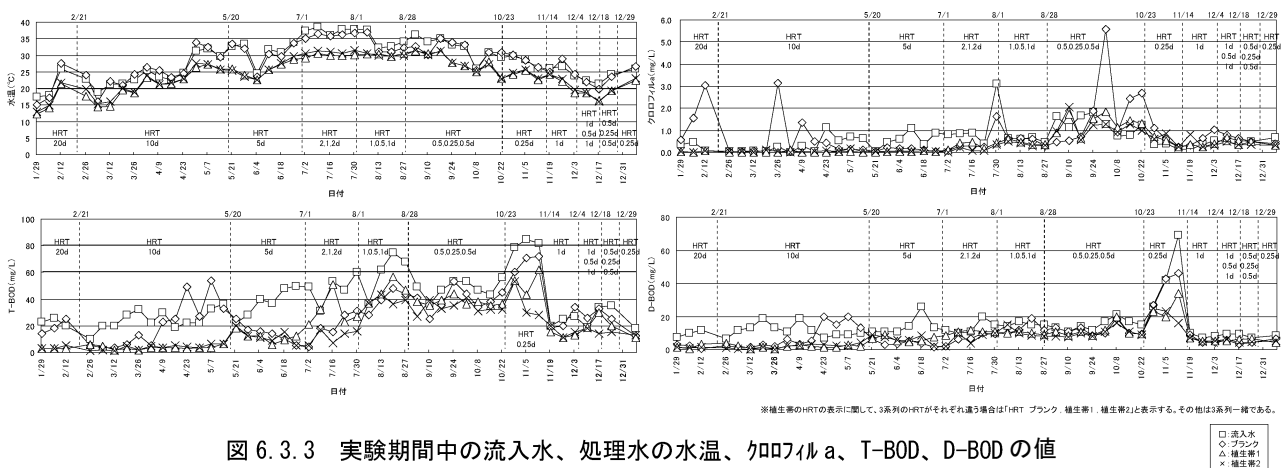


図 6.3.3 実験期間中の流入水、処理水の水温、クロフィル a、T-BOD、D-BOD の値

実験期間中の水温は、流入水、ブランクで高く、植生帯で低い値を示した。植生帯による遮光効果により、水温が低下したと考えられ、水面まで日光が十分に行き届いていない状態であると考えられる。遮光の効果による水温の低下は、どの HRT 設定時においてもほぼ同様であった。

次にクロフィル a に関して、実験初期、ブランクの値が上昇している。これはヨシを植えていないブランク池が直射日光を受け、光合成が進行し、藻類が活発に活動しているため、クロフィル a 値が上昇したと考えられる。しかし、その後、池内に糸状の藻が大量に発生したため遮光され、クロフィル a 値が低下した。次に植生帯に関して、実験初期、クロフィル a 値が低く、遮光、沈降作用による処理水中の藻類の低下効果が現れていると考えられる。

しかしその後実験を続け、HRT を次第に短くしていくと、HRT がブランクで 2d、植生帯 1 で 1d、植生帯 2 で 2d (以下、「ブランク、植生帯 1、植生帯 2」の順に HRT を表示する。) のときに若干値が上昇し、それ以降の短い HRT では流入水とほぼ同じ値を示した。植生帯の実験は、ラグーンの処理水を流入水としているため、ラグーンの設定条件の影響を受けると考えられる。

ここで、HRT 5, 5, 5 d から 11/14 の HRT 0.25, 0.25, 0.25 d までの期間は、ラグーンの流入 BOD を 200mg/L の高負荷の状態に設定しており、さらに実験の経過に合わせてラグーンの HRT も徐々に短くなるように設定してある時期にあたる。

このため、ラグーンの実験終了後の 12/4 に、ラグーンの流入 BOD を負荷の低い 50mg/L に設定し、植生帯の HRT を 3 系列ともに 1d に設定し、半月の養生期間を経て、植生帯の短い HRT を再度検討した。しかし、植生帯の処理水のクロフィル a 値は、ほぼ流入水と同じ程度であった。

T-BOD に関しては、HRT5, 5, 5d 時に処理水の値が上昇し、さらに HRT2, 1, 2d 時には、HRT1d 設定の植生帯 1 で値が高く、HRT2d 設定の植生帯 2 で値が低い結果であった。それ以降、さらにラグーン流入 BOD50mg/L 設定以降の植生帯実験結果に関しても、流入水と処理水がほぼ同値であった。

D-BOD に関してもほぼ同様の結果であった。この理由としては、HRT を短く設定することで、池への送水量が多くなったことにより、植生帯の遮光や沈降作用により藻類濃度の低下の効果が現れる前に、池内の水が押し流されてしまうため、流入水と処理水がほぼ同様の値になったと考えられる。

図 6.3.4 に、各 HRT ごとの処理水が安定した期間のみの T-BOD、クロロフィル a の平均値を示す。

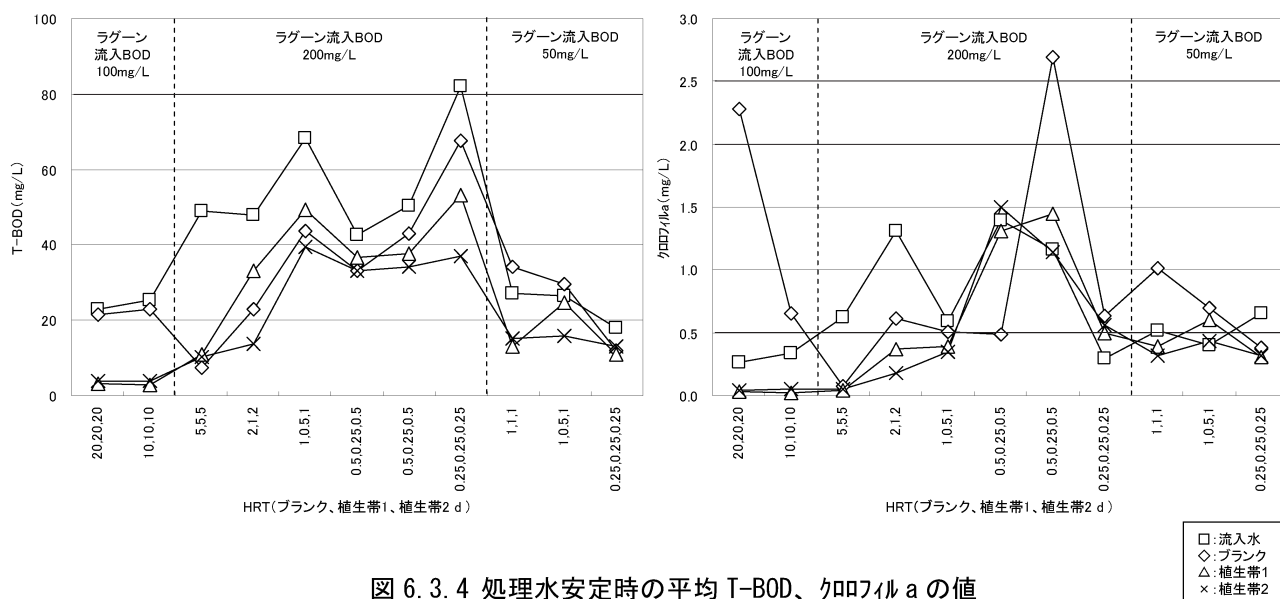


図 6.3.4 処理水安定時の平均 T-BOD、クロロフィル a の値

HRT5, 5, 5d 以上の設定条件では、植生帯処理水は流入水に比べ T-BOD、クロロフィル a とともに低く、植生帯の遮光、沈殿効果が見られた。しかし、HRT2, 1, 2d 設定時には、T-BOD、クロロフィル a とともに、HRT2d の植生帯 2 で若干上昇、HRT がその半分の設定の植生帯 1 ではさらに高い値を示し、特に T-BOD に関しては流入水に近い値であった。

さらに、それ以降に行った短い HRT 条件では、両項目ともに比較的高い値を示し、T-BOD では流入水に比べ処理水が若干低い値であったが、クロロフィル a は流入水と処理水がほぼ同程度であった。

この理由としては、HRT を短く設定することで、池への送水量が多くなったことにより、植生帯の遮光や沈降作用により藻類濃度の低下の効果が現れる前に、池内の水が押し流されてしまうため、流入水と処理水がほぼ同様の値になったと考えられる。T-BOD とクロロフィル a の差に関しては、様々な含有物を含む T-BOD に比べクロロフィル a 値に影響する藻類の方が高い浮遊性を持っているため、T-BOD のうち比較的比重が重いものが先に沈殿し、軽い藻類はほぼすべてが水に押し流され、濃度に差が生じたと考えられる。このため、植生帯の適切な HRT は、押し出し流れの影響を若干受けているものの、クロロフィル a 値が比較的低い値であり、かつ T-BOD の影響も低い、HRT2d が藻類流出を抑制するための限界ラインであると考えられる。

6.4 まとめ

ラグーンの維持管理を行う場合、汚濁物の処理を考えると流入 BOD 50 mg/L では HRT 5 d、流入 BOD 100 mg/L では HRT 10 d、流入 BOD 200 mg/L では HRT 10 d が最低限必要な HRT である。

大腸菌群などの衛生学的な面から考えると流入 BOD 50 mg/L では HRT 10 d、流入 BOD 100 mg/L では HRT 20 d、流入 BOD 200 mg/L では HRT 30 d が最低限必要な HRT であると考えられる。

ラグーンの処理状態を確認する場合、T-BOD などのトータルサンプルのみの確認では不十分である。そのため、槽内の DO やクロロフィル a 値を確認し、藻類の繁殖状態を把握しながら、D-BOD などの溶解性サンプルに関しても合わせて確認する必要がある。植生帯の実験により、藻類の流出を抑制するためには、HRT の設定条件を 2d 以上にすることがある。