

『プラネタリー・バウンダリーと下水道』

開催日：令和元年 5 月 28 日（火）14：00～17：00

開催場所：測量地質健康保険組合会議室（豊島区西池袋 3 丁目 30-5）

プログラム：

14:00	開会挨拶	21 世紀水倶楽部副理事長 阿部 恭二
14:10 ～ 14:40	基調報告 「下水道は地球環境に貢献できる かー“私の下水道論”より」	21 世紀水倶楽部会員 佐藤 和明
14:40 ～ 15:00	関連発表 「亜酸化窒素から考える窒素処理」	日本大学理工学部土木工学科教授 齋藤 利晃
15:00 ～ 15:20	関連発表 「都市周縁の生活排水対策」	東京大学新領域創成科学研究科准 教授 佐藤 弘泰
15:20 ～ 15:40	関連発表 「下水処理における N2O 排出量削 減に関する研究」	国土技術政策総合研究所下水処理 研究室長 田嶋 淳
16:00 ～ 17:00	総合討論（質疑を含む）	コーディネータ： 佐藤 和明

本研究集会では、水倶楽部ホームページ会員論文図書館の欄に昨年度掲載された佐藤和明会員の「私の下水道論」をベースにして、下水道界の新進気鋭の研究者の皆様とプラネタリー・バウンダリー（地球の限界）の問題に寄与できる下水道の姿について、自由に意見交換をおこないます。

開会挨拶 阿部副理事長による挨拶要旨

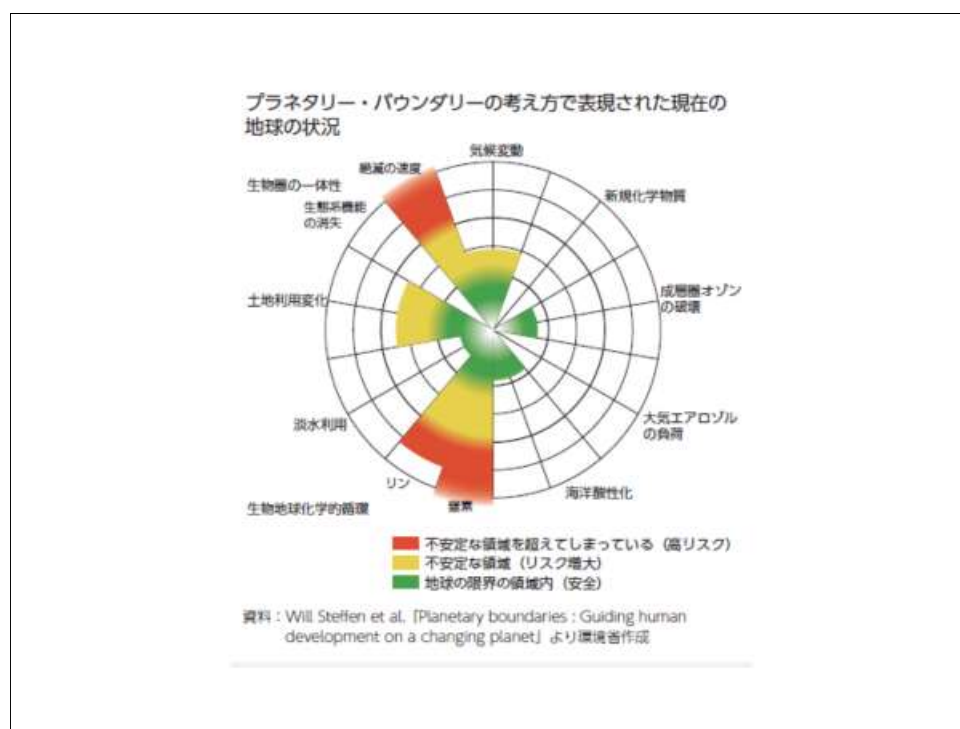
令和元年度の当水倶楽部の最初の研究集会は「プラネタリー・バウンダリーと下水道」というスリリングな課題で、当水倶楽部の理事長でもある佐藤和明会員が企画したものです。この 5 月にも記録的な真夏日のニュースが報告されていますが、この異常とも思える気象もプラネタリー・バウンダリー即ち環境問題が地球の限界を超えつつある事象としてとらえることができるかもしれません。こうした現状において下水道は何に取り組むべきなのか、佐藤会員による基調報告に始まり、これを受けて 3 人の新進気鋭の講師の方に関連発表をお願いしています。是非、本日の研究集会を色々な意味において堪能していただければと思います。

基調報告「下水道は地球環境に貢献できるかー“私の下水道論”より」

21 世紀水倶楽部会員 佐藤和明氏の発表要旨

国連で 2015 年に採択された持続可能な開発に関する 17 の目標・ゴールは、世界の人々の生活そして環境への取組みに対する基本的事項として一般に認められている。こうした世界の目標のバックグラウンドとして注目されているのがスウェーデンの Rockström 氏を中心とする学者グループが提唱している、地球システムの限界（プラネタリー・バウンダリー）の視点である。2009 年 *Nature* に発表された論文が著名であるが、地球の存続に関して問題となる 9 項目を抽出し、それぞれの項目について現在の科学的知見によりその限界についての量的水準を提案したものである。9 項目のうち気候変動、窒素サイクル、生物多様性の喪失が、既に地球限界を超えていると評価された。環境白書（H29 年度）にも少しバージョンは異なるがこの関係図が紹介されている（図 1）。

図 1



このように持続可能な地球環境が注目されている状況下で、「下水道は地球環境に貢献できるのか」という問題意識のもとで、筆者は「私の下水道論」を昨年 1 年間をかけて執筆し、これを水倶楽部ホームページの会員論文図書館に置いた。この下水道論は 4 章で構成され(1 章 国土の富栄養化をどう捉えるか、2 章 下水処理とエネルギー、3 章 リン・窒素のリサイクル、4 章 窒素処理と地球環境)、その視点は図 2 に示す箇条書きのとおり、下水道に大量に集約される下水を、現代の環境制約の下どう管理していくのかということである。

図2

「私の下水道論」の視点

- GHGsと共にN,Pの環境拡散が地球システム限界の大きな課題
- 下水道は都市のし尿の問題を解決するために発展してきた
- 世界の膨張する人口は都市部に集中
- 都市における水と食料、その代謝物である下水をどう管理していくか
- 都市におけるC,N,Pの管理—下水道システムによりリサイクルをベースとした地球環境に則した処理の実施、活性汚泥法を基礎とした生物処理が必須なのは

わが国の河川水の窒素・リン濃度は1970年代以降かなり上昇し、わが国の国土はかつてないほど富栄養の状態となっている。こうした状況を是正するためには下水道システムによる窒素・リンの処理、リサイクルが最も望まれる施策で、世界の地球環境学者もとくに地球の窒素サイクルを適正な状態に戻すため下水道の機能に注目している。下水処理において窒素成分が温室効果の高い一酸化二窒素（N₂O）に一部変換されてしまうが、わが国の調査結果では管理が行き届いた高度処理プロセスではN₂O発生が極めて低いということが示されている。こうしたことを考慮すると、電力エネルギーは少しかかるものの、温室効果ガスの低減ということでは合理的と考えられる、下水道による窒素処理に大いに期待が掛けられることとなる。

人類の食料消費とその環境影響という点で、下水道は直に関係してくる。現代における下水道システムは、都市における炭素、窒素、リンに係る物質負荷の適正な処理あるいはリサイクル機能を十全に付加することにより、地球環境問題にも寄与できる可能性が大である。「地球インフラとしての下水道」の概念を創造し、共有していくことが大事なのではないか。本日は、下水道における窒素処理、あるいはN₂O問題に関して、議論が集中するかもしれないが、以上に示した論点に関して議論の端緒になれば幸いである。

下水処理場における N_2O の主な発生場所に、生物反応槽と污泥焼却炉がある。下水中の窒素を窒素ガスとして大気に戻す必要があるのであれば、何れで処理する方が望ましいかは重大な検討課題である。代表的な下水処理方式である標準活性污泥法では、生物反応槽流入窒素あたりの N_2O 発生量の割合 (N_2O 転換率) はおよそ 0.3%、窒素除去法である循環法や A_2O 法の場合では約 0.04% である。一方、污泥焼却では従来法で約 10%、高温化法で約 4%、更にカタログ値で 1% を切る焼却法が開発されつつある。現状において水処理の方が好ましいが、緩和策強化の必要性を考えれば、何れも更なる削減技術の開発が求められている。本発表では、水処理 N_2O の削減に向けて、細菌叢に着目した削減方策と窒素回収のための微細藻類利用について述べる。

図-1 は、標準法の N_2O 排出削減を目指し、生物反応槽を 6 槽に分け、後 3 段の曝気量を強くした場合（強弱 2 段階）、全体を均等にした場合、前 3 段を強くした場合（強弱 2 段階）の 5 条件で、 N_2O 生成と細菌叢の関係を調べた結果を示している。 N_2O 排出係数は、後段の曝気量を強くした系の方が小さく、またその系において、*Nitrosospira* 属系の細菌数が多い傾向が見られた。別途調べた回分試験の結果から、*Nitrosospira* 属系の方が低亜硝酸濃度時に低 N_2O 転換率を有することが示しており、アンモニア酸化細菌叢の制御が生成抑制に寄与する可能性を示唆していると考えている。

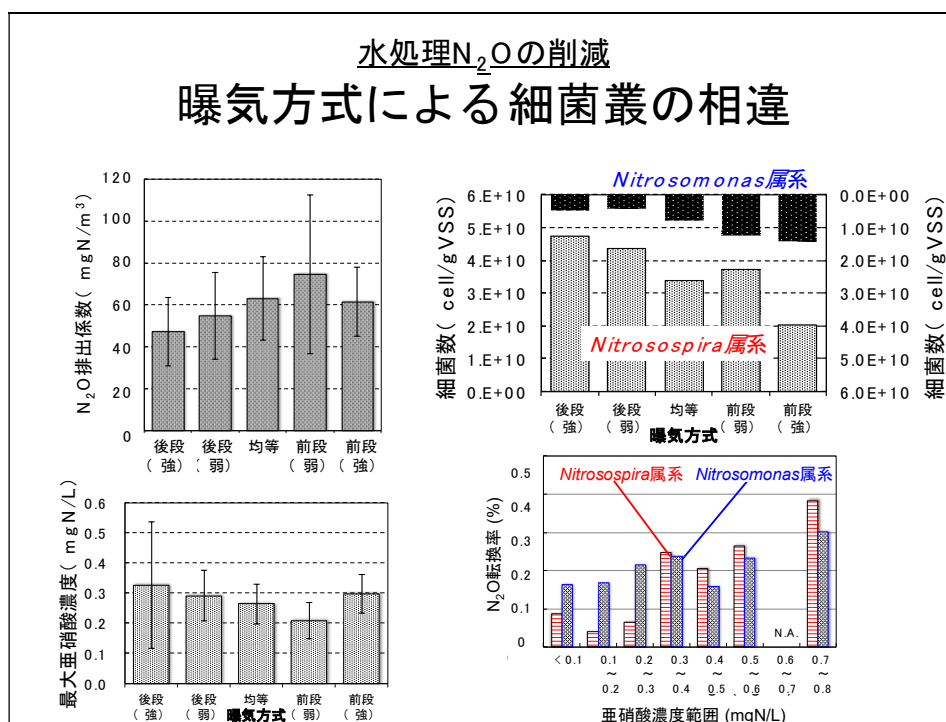


図-1

図-2 は、ポリリン酸蓄積細菌とアンモニア酸化細菌が共存系を構築している AO 法において、好気工程の酸素分圧を変えて N_2O 生成速度と各細菌の寄与を調べた結果を示している。酸素分圧に依らず、好気工程の初期にポリリン酸蓄積細菌による N_2O の生成が少なからず生じており、実下水処理場における

AO法の高い N_2O 転換率の原因の一つとしてポリリン酸蓄積細菌の寄与を示唆したものと言える。また、 N_2O 生成の原料である一酸化窒素を巡り、両細菌種が相互に影響し合っている可能性も考えられる。

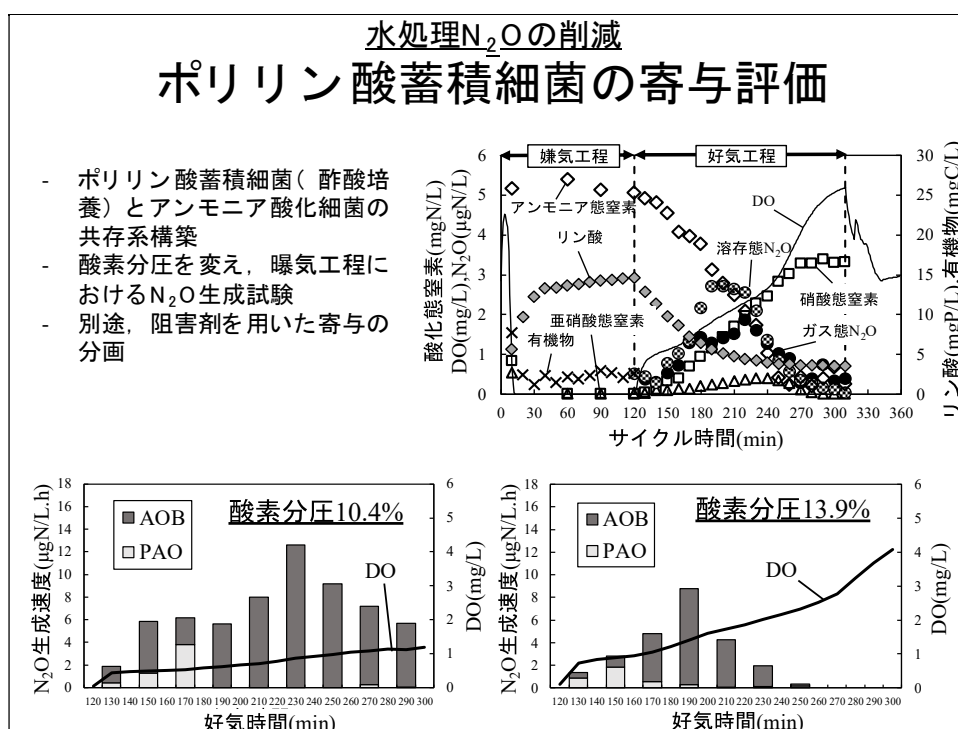


図-2

窒素を大気に直接戻さずに循環利用する技術として、微細藻類の利用が検討されている。特に、下水処理場は高栄養条件と低栄養条件が共に得られることから利用性が高い。嫌気性消化後の脱離液は有機物も含む高栄養水で、混合栄養による高い増殖速度が期待できる。一方、生物反応槽流出水は低栄養であり、脂質組成変化による高付加価値化や未分解医薬品の除去などが期待される。図-3は、フォトバイオリアクターの例と循環法との必要面積比較を示したもので、現在最速の担持体方式で $3\text{--}5\text{gN m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 程度の処理速度が得られている。循環法と比較すると、少なくとも20倍以上の広大な敷地が必要であるが、循環法で取り残される3割程度の窒素を回収するという視点では、その実現は遠くないと考えている。

藻類培養槽の開発状況と循環法との比較

藻類培養槽 (Photo Bio Reactor)

浮遊状態

- オープンポンド
レースウェイなど
- クローズド PBR
チューブ式, フラットパネル式など

固定状態

- 包括固定
- 担持体

自然光条件下

増殖速度 $10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

窒素除去 $1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

自然光条件下

増殖速度 $30\text{--}50 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

窒素除去 $3\text{--}5 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

循環式硝化脱窒法



回転円板 $14\text{--}24^\circ\text{C}$
 $30 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

条件

窒素除去 $120 \text{ g N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

滞留時間 16 h, 水深 4 m

20 mg N/L 硝化脱窒



写真 チューブ型PBR

出展: 藻メディア

<https://modia.chitose-bio.com/articles/18/>



写真 フラットパネル型PBR

出展: Techno-economic analysis of microalgal biomass production in a 1-ha Green Wall Panel (GWP®) plant

図-3

関連発表 「都市周縁の生活排水対策」

東京大学新領域創成科学研究科 佐藤弘泰先生の発表要旨

演者はかつては生物学的活性汚泥処理法を研究、微生物相制御もやっていたが、東日本大震災で現場に行ったときに、下水管の中で処理できないかと考え始めた。移転した高台から汚水を下す下水管中に微生物が棲む担体を入れて処理し、流れ去ったら空気に触れて酸化分解処理できないかであるが、共同研究の申し出もあって今はそちらに取り組んでいる。

下水管の中で下水を処理するというような新しい発想を持っている者と受け止められたのか、国から「新下水道ビジョン加速戦略」検討の座長を仰せつかっている、この研究集会に呼ばれたのも、新しいことをやるには、加速戦略に組み込む必要があるからと思われたからと解釈している。

地方公共団体は新しいものに及び腰になりがちであることも踏まえて議論することが必要だ。

加速戦略の内容は次の通り。

2004年に花木先生が中心となって「下水道ビジョン」を取りまとめた。2011年に東日本大震災が起こったことなどを受けて改定されたのが「新下水道ビジョン」。

予想より早く人口減少が進んでいる、老朽化も進み、埋設された下水管も耐用年数の50年を超えるものが一気に増え、待ったなしで「新下水道ビジョン」の内容を実現するために加速する必要がある、2017年に「加速戦略」が立ち上がった。時代が曲がり角、先々が見通せない中で、まめに見直しながら頻繁に検討を進めていくこととしているが、来年度に見直しを取りまとめる予定である。

人口も減少、職員も減少、予算も減少、老朽化が進む状況の中で、「加速戦略」には8つの重点項目がある。本日のテーマである温暖化対策や栄養塩類に関係するのは、Ⅱの「下水道の利用による付加価値の向上」、栄養塩類を海に流して海苔の養殖に利用するなど、慎重な意見もあるが、水域の使い方によってはありうるものと考ええる。

Ⅲの「汚水処理システムの最適化」もだ、小規模処理施設が老朽化し、近くにきている流域下水管に繋ぐ、浄化槽をどうするかなどだが、都道府県構想の中でどう扱っていくかだ。かつては下水道計画区域だったが人口が減って浄化槽に変更する地域も出てきているが、地域の実情を踏まえて最適化手法を見直し、その中で温暖化対策も栄養塩類問題も検討していく必要がある。

Ⅶの「ニーズに適した下水道産業の育成」、栄養塩を回収し、窒素・リン、特にリンを流通させるためには地域の産業として回ることが必要、多くの自治体がそこに悩んでいると聞いている。下水肥料を安全でおいしい食のために役立つものとして廻していくことが重要。

温暖化対策を考える時、温室効果ガス発生量としては高度処理は成績が良いが、エネルギー消費量では高度処理が大きい、お金では電気代がかかって高い。高度処理が温暖化の対策に良いということをカウントできるルール化が必要になってくる。

本題の都市周縁の生活排水対策だが、大都市は下水をしっかりと集めて処理する、経営も健全で、集めた栄養をどう循環するかなどの課題はあるが処理には良い。

人口が減ってきている地域ではどうしたらいいか、こうした地域が増えている。ネガティブに考えていてばかりではダメ、みんな都市に集まって管理された生活をしてくださいというわけにもいかず、国土を広く利用しようとしたら、一極集中は良くない、地方とか、市の中心から離れたところでも人が住める状況をつくっていくことが国力、安全保障のためにも必要。都市では食料は造れない、都市に集中

することはやむを得ないが、その逆を考えることも重要。

昨今、エネルギー、資源の観点からコンパクトシティという考えが言われる。ある程度は正しいが万能の解ではない、それ以外の解も考えなくてはいけない、一方的な見方は良くない、多様な見方が必要で、SDGS に繋がる考え方だ。コンパクトシティもいいが、農村居住的な考え方があってもいい。

生活排水対策 10 年概成に関する三省合同の都道府県構想の策定について委員として関わった。そのときには既往の技術として下水道と浄化槽に切り分けるという方向で議論した。二つの中間を埋める技術として浄化管についても提案したかったが、技術としてはまだまだ未熟なのでねじ込むのも適當ではない。悶々としながら浄化槽が 10 件集まったら下水管浄化を組み込んだ集合浄化槽を組み合わせても良いというようなことを思っていた。

結論として、「都市周縁の生活排水対策」をプラネタリー・バウンダリーとの関係では、次のようにまとめることができる。

- 閉鎖性水域に面する大都市については、バイオマスエネルギーや栄養塩除去・回収への道を切り拓くべき。
 - ・ その際、下水処理場への高度な技術の導入が鍵となる。
- 都市周縁は、大都市とは異なる解が必要。
 - ・ 重要性は大都市に勝るとも劣らない。（土地の有効利用！）
 - ・ 水処理技術・汚泥処理技術だけでは解決は難しい。
- 地球全体で考えるべき事象もあるが、それぞれの地域の特性を踏まえた議論もまた必要。上手に組み合わせたい。

関連発表「下水処理における N₂O 排出量削減に関する研究」

国総研下水処理研究室長 田嶋淳氏の発表要旨

国総研の研究内容について情報提供したい。地球温暖化対策計画の温室効果ガスの削減目標として、2030 年度目標で 2013 年度比 26%削減が掲げられている。下水道の CO₂ 換算の GHG 排出だが、6 割近くを処理場の電力が占める。一方汚泥処理は 2 割程、水処理の N₂O は 11%である。N₂O の温室効果は CO₂ の 300 倍で大きな課題である。汚泥焼却では高温焼却の技術が進み、850℃以上の焼却で N₂O の削減が可能になっている。

一方水処理で発生する N₂O については、GHG 排出量に占める割合は 1 割程だが、このうち標準活性汚泥法からの排出が 96%で、これが水処理の排出抑制のポイントになる。ただ発生制御の検討は不十分で、そもそもの発生メカニズムについて研究する必要がある。

他の N₂O 発生因子として、亜硝酸濃度が高い場合に N₂O 排出が多い傾向があるが、亜硝酸の蓄積がなくても N₂O の発生が観察される場合があり、そのメカニズムを究明する必要がある。また、A-SRT の増加に伴い N₂O 排出量は減少しており、脱窒プロセスを十分経た場合は N₂O が減ると言える。

以上のように、エネルギー由来の CO₂がある一方、水処理・汚泥処理における N₂O の問題がある。それらを踏まえ国総研では、水処理の N₂O の発生メカニズムとともに、排出削減のための運転管理技術について研究を進めている。

国総研の研究内容だが、一つは下水処理場における N₂O 発生量の調査である。下水処理場で 4 時間おき 24 時間調査で実態を把握している。もう一つは、実下水を用いたベンチスケールリアクターで発生因子を究明しており、それらを基に発生条件を抽出し、発生を抑制する運転方法を提案したいと思っている。

一点目の下水処理場の調査だが、処理場から発生する N₂O の実態、処理法による発生量の違い、汚泥処理からの返流水の影響、季節による違い等に着目し調査を行っている。毎年 2、3 処理場でデータ蓄積を図っており、これまでに標準法、AO 法等 32 処理場で調査を行っている。

現地調査では嫌気槽、好気槽でガスサンプリング装置を用い調査している。図-1 の N₂O 転換率と窒素除去率の関係を見ると、窒素除去率が高い処理場では N₂O 転換率が低く、窒素除去が排出抑制に重要なことが分かる。

排出係数については、国総研と全国の自治体の調査結果を用い見直しを行った。見直し前は 160 mg・N₂O/m³とされていたが、実態調査を踏まえ、標準法で 142 mg・N₂O/m³に見直しを行った。その他 AO 法、窒素除去を行なう方法、MBR 法など、N₂O 排出抑制の観点から窒素除去が有効なことが排出係数の見直しから見えてきた。水処理における排出量の推移をみると、インベントリ改訂に伴い排出量報告値が 3 割程減少した。

以上、下水処理場での調査としては、実態調査の結果によりインベントリの改訂につなげていることが成果の 1 つである。処理法の違いに着目すると、窒素除去を目的とする処理法では N₂O の発生量は低いことが見えてきた。

ベンチスケール実験では、生下水を用いた連続実験で、運転条件を変え発生メカニズムを調査している。図-2 のように標準法と AO 法を比較しているが、ガス態 N₂O 排出量は標準法に比べ 89%低減している。また、標準法で亜硝酸を槽毎に追うと、亜硝酸が蓄積している前段で N₂O が多く発生することが

分かる。

以上のベンチスケール実験から、前段の空気を絞る AO 法運転に変更することで、 N_2O の排出を削減できることが分かった。標準法では前段で多く発生しており、これは硝化が不完全なこと、好気槽前段は窒素負荷が大きいこともあると思う。

今後の課題だが、高度処理をすれば N_2O が削減できると思われるが、例えば標準法の場合、 N_2O が突発的に高くなるケースがあり、その要因を明らかにする必要がある。それらを標準法における N_2O の発生抑制に反映できないか研究を進めている。

また、季節による排出量の違いを調査しており、硝化が進む夏季は多く発生し、冬季の方が発生は抑えられるようである。ただ放流後の挙動を考えた場合、処理場で硝化を進めた方がよいか、あるいは抑制するか、放流後の実態を踏まえ議論する必要がある。

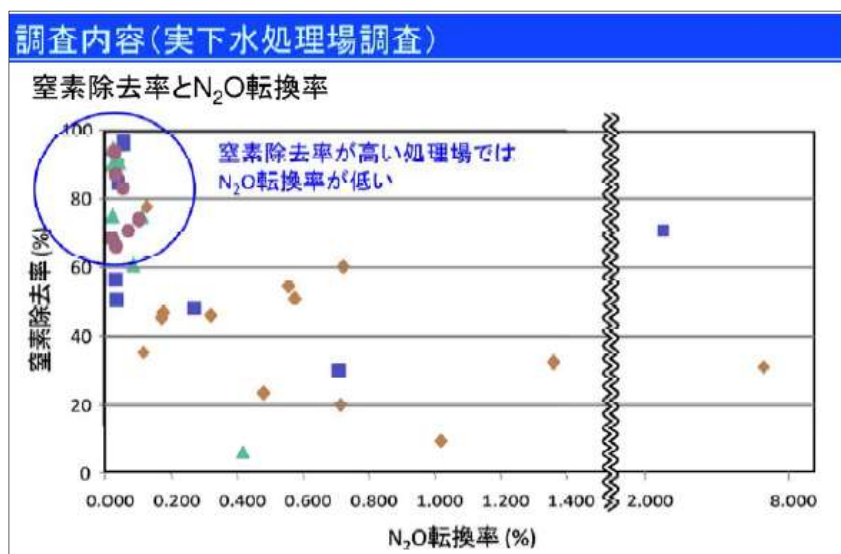


図-1 窒素除去率と N_2O 転換率

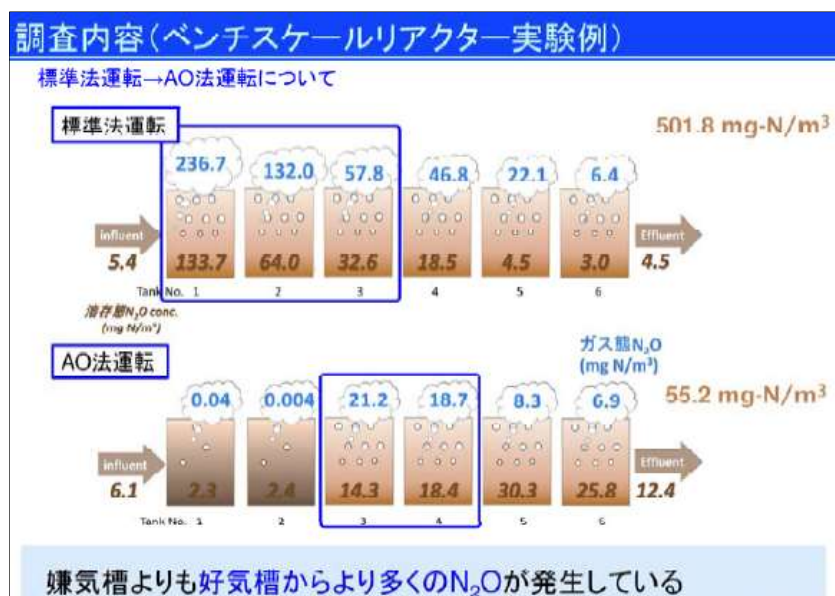


図-2 標準法と AO 法の N_2O 発生量の比較

プラネタリー・バウンダリーと下水道 総合討論

Q：質問， A：回答， C：コメント



Q 1：焼却炉における窒素成分の N_2O への転換率を低く抑えることについては温度を 850°C まで上げて対処しているようであるが、温度を上げれば補助燃料が多く要るし炉の耐久性等の問題が出てくるように思う。こうした問題も含めてどのように対処しているのか。

A 田嶋：国総研では現在 B-DASH プロジェクトで焼却プロセスに取り組んでいるが、流動床では空気の吹込み方法と N_2O 転換率の関係が検討されていたように思う。また階段炉では比較的 N_2O 転換率が低いといった結果が出ていたように思う。より詳しい点についてはメーカーサイドが多く知見を持っている。

C（コーディネーター佐藤和）：田嶋室長の発表資料にあるように、流動焼却炉では 800°C の温度では範囲はあるが平均 8% 程度の N_2O 転換率、これを 850°C にすると 3~4% の転換率に下がる。 900°C にするともっと下がるが、補助燃料その他の問題が出てくる。リン成分に関しても飛散して煙道に付着するような事象も出る場合があると聞いている。水処理においては比較的高いとされる標準活性汚泥法でも 0.5% 程度の転換率で、これが循環法などの窒素除去法では 0.1% 以下となっている。 N_2O を考慮すると、窒素を水処理で処理するのか汚泥処理でなのかという課題が出てくる。

Q 2：下水道からの温室効果ガスの排出量の全体的な構成は消費電力に係るものが半分以上となっているが、単位電力消費量当たりの CO_2 発生量は電力会社の排出係数で決まってくるので、例えばわが国のものに比べて再生可能エネルギーが普及している欧州の電力の排出係数は低いと思われる。よって将来的には電力消費以外の部分が相対的に重要視されてくると思う。そうした観点から、現在全体の 20% を

占める汚泥焼却起因の N_2O はなお問題となってくると思う。汚泥処理に対して、焼却処理に替えてコンポスト処理という選択もあるかと思うがどうか。

A 田嶋：B-DASH プロジェクトでは、焼却についてはエネルギー消費の点で排熱回収の試みもなされているが、固形燃料化、消化、乾燥汚泥の肥料化など、焼却以外のプロセスにも取り組んできている。ただ国内では汚泥の処分費がかなり効いてくるので、大規模の都市では焼却も大事な選択肢であると思う。

A 佐藤弘：コンポストについては生産したが必ずしもはけていないという箇所もある。そういう点で、国交省さんもビストロ下水道とかで支援しているという状況であると思う。地産地消という取り組みができる地域でうまくいけばよいとは思いますが、大都市ではなかなかそうはいかないと思う。

A 齋藤：温室効果ガスの評価という観点では、電力の排出係数が動くということがあったが、 N_2O の温暖化係数の動向にも注意を払う必要がある。 N_2O はこれまで約 300 と言われてきたが、第 5 次の報告書では 265 となり 1 割以上その値が動いている。焼却における N_2O 排出係数は確かに高いが、排ガスは捕集処理をすることも可能であると考えられるので、そうした点も追求していくこともあると思う。それからコンポスト処理については、窒素の循環という観点で望ましいと思うが、農地に適用されたときどの程度作物に吸収され、また N_2O に変換されるのか、化学肥料とどう違うのかといったことも見ていく必要がある。

なお別の視点になるが、藻類による窒素除去技術も検討に値すると考えている。農地に撒くことを考えると直接利用になるコンポスト汚泥が望ましいと思われるが、嫌気性消化によるエネルギー回収に用いるとすれば、下水処理場内で窒素が複数回循環することになり、利用価値があると考えている。

C 1：下水汚泥コンポストの取組みとしては、熟成して腐食物質が十分にある高品質コンポストをつくることが重要であり、完全に熟成したコンポストは微生物農薬（いろいろな病原細菌を抑制できる）になるということで、近い将来ブレークスルーになることが期待される。もう一つのコンポストの方法は、生物燃焼（バイオコンバッション）で徹底的に無機化を図ることで焼却とあまり変わらない減容化が図れる可能性がある。この二つの方向でコンポスト技術が再び脚光を浴びるのではないかと期待している。コンポスト過程で発生した CO_2 は温室中で植物生産に利用されるので温暖化対策としても有効である。

Q 佐藤和：バイオコンバッション過程で窒素成分はどうなるのか。

A 1：アンモニアとして出ることになるが、C/N 比のコントロールによってこれをコントロールすることは可能。

Q 3：齋藤先生はオランダの大学に留学されたということであるが、水処理技術の開発では世界の先端をいっている大学であると思う。オランダの大学の水処理研究の強さは何か、それに対して日本はどうか、こうした大学におられて肌で感じたことは何か。また N_2O の研究では細菌叢の制御技術が必要ということであったがその見通しはどうか。

A 齋藤：20 年前のことですが、まず大学が孤立していないということが挙げられる。常にコンサルタント、メーカー、現場の人が入り込んでプロジェクトが進められている。そういう中で大学の解析力を信じていただいているということがある。また、教職員への大学の評価も非常に厳しかったという印象がある。日本の大学では管理のことが大きくなってそちらのほうに手が取られてしまっているという状況がある。二番目の質問に関しては、細菌叢の中のメカニズムを明らかにする中で制御可能なばっ気量、汚泥濃度等の運転因子との関連を見ていくということになると思う。

A佐藤弘：実験室の手となる修士の学生さんも最近は就活に忙しい。オランダあたりでは大学内に大きな実験装置があって企業等外部の人との総力でそれが運転されているという印象がある。かつて東大でもCOEプロジェクトを動かしていた時、芝浦水再生センターにパイロットプラントを置いて実験を行った時期があるが、現場の人との連携ということでは十分ではなかったのではと思う。現場の人達とのコミュニケーションについてはある努力、工夫が要るかもしれない。微生物次世代シーケンサーなどを使って多量のDNAを読むことができるようになってきている。そういう情報を蓄積する中で、暫くは有望な答えが出てこないということもあるが、値段も安くなってきているので、こうした情報の蓄積によってN₂O発生のメカニズムの解明にもつながってくることはご理解いただきたい。

A田嶋：B-DASHプロジェクトでは大学の力も借りながら技術の社会実装を目指すという仕組みとなっている。B-DASHでは社会実装ということに力点があるのでメカニズムの解明までなかなかいかないが、N₂O研究で紹介したようなメカニズム研究も併せて行う努力はしてきている。

Q4：下水道からのN₂Oの発生について詳しいお話があったが、グローバルで見て農地とか畜産からの発生と比べると排水処理系からの大きさはどうか、またN₂OはCO₂のように固定除去するとかの可能性はどうか。

A環境研M氏：日本全体でいうと食生活から排出される窒素は生ゴミを含めて年間、700Gg程度であり、下水道人口で単純に試算すれば下水道に流入している窒素は年間400Gg程度と考えられる。一方、日本からのN₂O排出量の推計量は40Gg程度で、このうち排水処理にかかわる部分はそれほど大きくないと思う。ただし先ほど示したように排水処理で扱う窒素量は大きいので、N₂O排出のポテンシャルは有していると言える。これはグローバルで見ても同様であると思う。ハーバー・ボッシュ法による固定窒素肥料が食料生産にかかわり、その食料起源の窒素の多くの部分が下水道に集まってくる、というのは佐藤氏が指摘したとおりである。

N₂Oは対流圏では安定で紫外線が強い成層圏で分解されることとなる。昔は自然界から発生するN₂Oは成層圏に行って分解されるので対流圏の大気濃度は安定しているという理解であった。それで当時はN₂O濃度は気象屋さんが成層圏で計っていて、対流圏と成層圏の大気の混合トレーサーとして用いていたと思う。

Q5：水処理系からのN₂O排出量が全体の温室効果ガス量の11%であると聞いたがどのような統計、集計でそうになっているのか。

A田嶋：円グラフで示されている11%という数値については、国交省がまとめた数値に基づいていると思う。国総研の調査数値がどのように反映されているのか把握していない。

C佐藤和：田嶋室長が提示された円グラフは2012年度のものであるが、このデータは国総研の調査データに基づいた新しい排出係数によったものであるのか。

A田嶋：どちらの排出係数によるものか把握していないが、自治体で実際にN₂Oを計測している箇所はその数値を用い、計測していない箇所については実処理場の計測数値に基づいて提示された排出係数を用いて各処理場毎のN₂O排出量が計算され、それらが集計されているということである。いずれにしても、データの蓄積を進め、精度の向上を図ることが重要であると考えている。

C佐藤弘：汚泥処理に行く窒素量が全体の3割程度とすると、水処理系の排出係数は相対的に小さいので全体の11%というのは少し大きいのではないか。

C 齋藤：大部分の処理場ではかなり大括りの排出係数に処理水量を掛けて N₂O 排出量を算定していることと思われるが、実際のデータを取得して改善を図っていくという取り組みはもっとなされてよいと思われる。

C 佐藤和：今回、国総研の研究結果に基づいて水処理からの N₂O 排出係数を見直し、とくに高度処理からの排出係数を下げたということは画期的なことであると思う。海外ではまだ、制御が整った高度処理系での N₂O 発生レベルについての整理はなされていないように思えるし、水処理系、汚泥処理系間での窒素処理の按分などの議論も出ていないように思える。わが国では下水道事業経営の問題で手いっばいで、今日議論したようなこれからの下水処理の方向性の議論が少なくなっているように思える。プラネタリー・バウンダリーの問題に密接に関係してくる下水処理における窒素・リンの処理、利用の課題は、地球環境の保全という観点からとても重要な課題と考えられる。21 世紀水倶楽部は今後とも「地球インフラとしての下水道」の意義を追求していくということで、本日の研究集会の括りとしたい。