

〈ノート〉

下水道資源を用いた固化肥料による海域施肥の基礎的検討

宮本 豊尚¹⁾, 重村 浩之¹⁾¹⁾ 国立研究開発法人 土木研究所

(〒305-8516 つくば市南原1-6 E-mail: recycle@pwri.go.jp)

概要

栄養塩不足等の要因により水産資源への影響が問題となる海域が存在しており、大型藻類に対する施肥技術の検討が実施されている。そこで下水道資源を用いた固化肥料による海域施肥効果を検討するため溶出試験を行い、ワイブル分布の累積分布関数で溶出現象を近似し、溶出速度に与える影響を求めた。超純水と塩化ナトリウム水溶液を溶媒として試験を行ったが、溶出には大きな差はみられなかった。また寒天で固化すると、最終的な溶出量には差がみられなかった一方で、溶出速度を大幅に抑制し、相対的に長期間溶出が継続した。

キーワード：海域施肥, 全窒素, 溶出試験, ワイブル分布

原稿受付 2020.6.4 原稿受理 2020.9.14

EICA: 25(2・3) 88-94

1. はじめに

下水道法に「公共用水域の水質保全」が昭和45年に目的として追加されて以降、その目的を達成する重要な手段として下水道の整備が進められてきた¹⁾。その結果、平成30年度末現在、下水道処理人口普及率は79.3% (約10,074万人) に達するとともに、浄化槽なども含めた污水处理人口普及率は91.4%に達し、一定の整備が図られてきたところである²⁾。その結果、生活環境の保全に関する環境基準のうち、有機汚濁の代表的指標であるBOD又はCODの環境基準の達成率は、平成30年度は89.6%となっており、一定の改善は図られたところである³⁾。

一方、公共用水域の水質保全は、有機汚濁負荷や栄養塩類の削減により、全国で水質環境基準の達成を図ることが重要と考えられてきた。しかし、生物の多様性の保全や持続可能な水産活動が育める豊かな海にとっては、栄養塩類は欠かせないものであり、特に沿岸域は陸域から供給される豊富な栄養によって、多くの生物の生息場となっており、漁業等の産業にとって重要な要件となっている¹⁾。このような水域においては、栄養塩類を削減することだけが必ずしも豊かで健全な水環境を保全することと同義ではない⁴⁾。

一部の水域では、夏季に赤潮や貧酸素水塊が発生し、冬季は栄養塩不足等の要因によりノリの色落ち等が問題とされている海域が存在している¹⁾。このような水域では、水環境中の栄養塩類のバランスを適切に保つことで、豊かな海を再生し、生物の多様性を保全していくことが重要であり、佐賀市浄化センター⁴⁾をはじめいくつかの地方公共団体の下水処理場では既に季節

的な調整運転などの取組が始められている。漁業者サイドにおいても、特にノリやワカメといった藻類養殖において施肥技術の検討が長年にわたって実施されてきており、農業用の化学肥料を用いた検討についても行われている⁵⁾。また、近年では下水汚泥と他の材料を混合・加圧して製造された固化肥料を用いて、コンブの藻場再生に関する試験が実施している事例も報告されている⁶⁾。

水中での拡散を抑制するよう固化した肥料により、栄養塩類を徐々にかつ継続して溶出することで、藻場を再生したい場所に対してスポット的に栄養塩を供給できる可能性がある。ノリ等の養殖場や再生させたい藻場周辺では、藻類の増殖に必要な栄養塩の需要が高く、一部の栄養塩は藻体として再度陸上に回収されることも想定される。そのため、閉鎖性水域を除けば、水域への水環境の立場からは、栄養塩濃度の高い放流水を流す等の面的な(海域全体への)栄養塩の供給と比べて、水域全体を汚染する可能性が相対的に低いと考えられる。さらには生産の立場からは長期間の肥効継続等の点から施肥頻度が減少するため効率的な投資となりえる。そこで、藻類等の養殖を行っている限られた海域への栄養塩の供給剤として下水汚泥肥料等の活用の可能性を検討するため、液状試料や粉体試料を固化した模擬固化肥料について溶出速度の検討を行った。溶出速度が既知となれば、目標とする海域の栄養塩濃度を考慮した施肥量や施肥の頻度を検討することが可能となり、これらを踏まえた事業の採算性や環境影響評価が可能となる。なお、溶出速度は実スケール・実環境での試験により算出することができるが、本稿ではラボスケールでの溶出試験と結果をモデル化

することにより、想定環境における溶出速度の推算を試みた。

2. 溶出試験

2.1 試験方法

溶出試験の供試体は、硝酸アンモニウム水溶液（下水処理水や液状肥料を想定）を寒天（Bacto™ Agar）で固化したもの（Fig. 1 の a）、X 市のコンポスト（下水汚泥を原料にもみ殻を混合し、80℃以上で発酵処理したもの）を寒天（同上）で固化したもの（Fig. 1 の b）、X 市のコンポストを固化せずにそのまま用いたもの（Fig. 1 の c）、及び Y 町で使用されている固形肥料（下水汚泥コンポストと固化剤等の他資材を混合・加圧して製造された固形肥料）（Fig. 1 の d）である。寒天固化した供試体は、4 g の Bacto™ Agar に硝酸アンモニウム水溶液やコンポストを加え、水分が添加資材も含めて 100 g になるよう超純水を混合し、加熱後攪拌しながら冷却して作成した。

供試体の諸元（体積、表面積、TS 及び含有窒素量

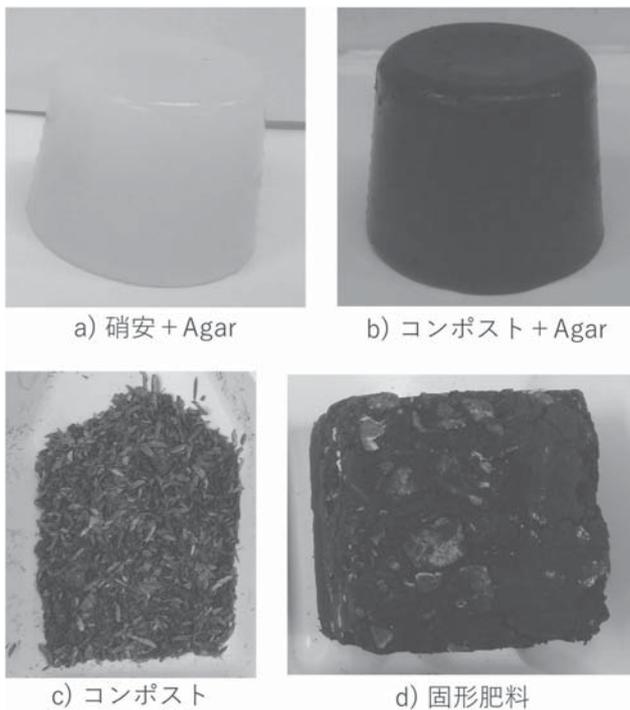


Fig. 1 The test pieces of the leaching test

Table 1 Specification of test pieces

	硝安+Agar	コンポスト+Agar	コンポスト	固形肥料
形状	円錐台	円錐台	粒状	立方体
体積 cm ³	101	101		74.1
表面積 cm ²	120	120	1.16×10 ⁵	106
TS	7.4%	7.4%	59%	75%
Agar/総水分 (重量比)	4.0%	4.0%		
TN g	超純水	1.29	0.089	0.10
	NaCl aq	1.28	0.093	0.10

等)については、Table 1 に示す。固化したものについては表面の寸法を計測し表面積を求めており、固めていない「コンポスト」のみ、JIS Z 8830（ガス吸着による粉体（固体）の比表面積測定方法）の多点法に準拠して測定した。このため、固めていない「コンポスト」のみ、表面積が突出して大きくなっている。実験開始時における試料の窒素含有量は、硝酸アンモニウム水溶液の固化体については使用した試薬量から、それ以外は CHN 計（Thermo Fisher Scientific 社製 FLASH EA 1112）により測定した。溶媒は、超純水及び 3% 塩化ナトリウム水溶液（以下 NaCl 水溶液）の 2 種類を使用し、それぞれ河川水と海水を模した。実験では、各溶媒が 2 L 入った約 3 L の容器に対して、回転子が直接触れないように供試体を不織布ネットで上部から吊り下げ、実験期間中の溶媒濃度が一定となるようマグネチックスターラーにより 250 rpm で実験期間中連続して攪拌を行った。概ね室温が 15-20℃ の環境で 28 日間溶出試験を実施し、試験開始から 15 分後、30 分後、1 時間後、2 時間後、4 時間後、8 時間後、12 時間後、24 時間後と 28 日後に各 50 ml を採水した。採水したサンプルは適宜希釈し、水酸化ナトリウム-ペルオキシ二硫酸カリウム溶液により分解後、銅・カドミウムカラム還元-N-(1-ナフチル)エチレンジアミン法により全窒素（以下 TN）を求めた。なお、24 時間後から 28 日後の間は、溶媒の蒸発が想定されたため、適宜超純水を加えて蒸発の影響を無視できるよう調整を行った。溶出試験装置の外観を Fig. 2 に示す。

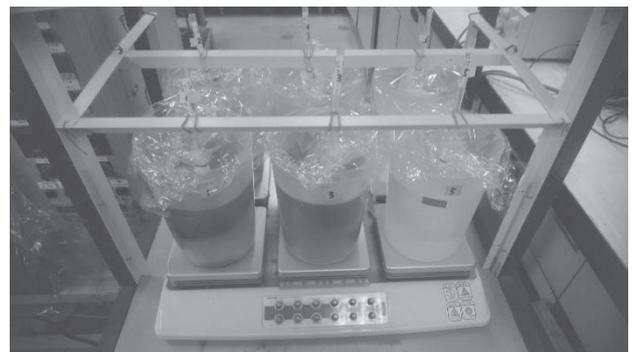


Fig. 2 The leaching test devices

2.2 試験結果

各実験系における溶出の結果は、Fig. 3、Fig. 4 に示す通りであった。経過時間及び溶媒中の TN 濃度について両対数グラフで記述すると、コンポスト単独の実験系を除いて概ね 24 時間以内では直線上に乗っており、溶出初期においてはべき乗で濃度が高くなっていく様子が確認できる。また、他より TN 量が多く、液状肥料の固化を想定した肥料「硝安+agar」は他の肥料と比較して、溶媒中の TN 濃度が常時高

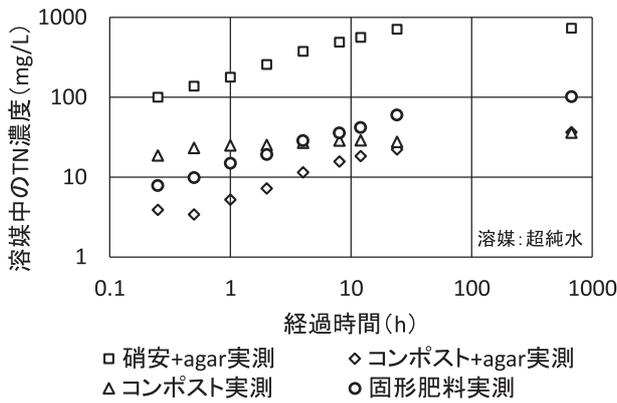


Fig. 3 The solvent concentration of TN using ultrapure water as the solvent

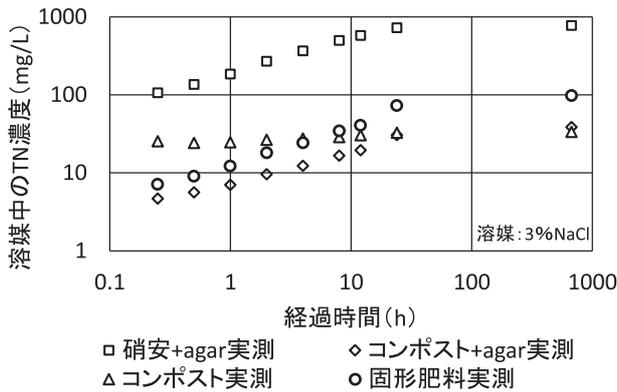


Fig. 4 The solvent concentration of TN using 3% NaCl-aq as the solvent

かった。

溶媒中の NaCl が与える影響については、Fig. 3 と Fig. 4 を比べるとほとんど差がみられず、不明であった。また、「コンポスト」単独においては「コンポスト+agar」よりも実験開始 10 時間後くらいまで溶媒中の TN 濃度が高かった。表面積を減らすことで TN の溶出が緩やかになったと考えられる。寒天によるコーティングの効果は、コンポストの実験結果から最終的な溶出量には影響はしないものの、溶出速度を遅くする効果が認められた。

なお、予備実験として寒天に副資材を加えず、超純水を溶媒として 14 時間の溶出試験を行っている。溶媒中の TN は 1.7 mg/L であり、Fig. 3 及び 4 と比較して、実験結果に大きな影響を与える濃度でないと判断し、寒天から溶出する窒素の影響については無視することとした。

3. ワイブル分布を用いたモデル化

3.1 ワイブル分布とは⁷⁾

各実験系で得られた結果について、Itai⁸⁾らの検討を参考に、ワイブル分布の累積分布関数を用いて近似を行った。時間 t における溶媒中の TN 濃度を $C(t)$ とおくと、近似式は (1) 式で表現できる⁷⁾。

$$C(t) = C_0 \times \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\eta} \right)^m \right\} \right] \quad \dots\dots (1)$$

ここに

C_0 : 終局時の溶媒の TN 濃度 (mg/L), t : 経過時間,
 η : 尺度パラメータ, m : 形状パラメータ

である。

このとき時間 t における溶媒の TN 濃度変化率 $c(t) = \frac{d}{dt} C(t)$ はワイブル分布の確率密度関数を用いて (2) 式で示される⁷⁾。

$$c(t) = C_0 \times \frac{m}{\eta} \times \left(\frac{t}{\eta} \right)^{m-1} \times \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\eta} \right)^m \right\} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、ワイブル分布の適用について言及する。ワイブル分布は機械などが故障するまでの時間の分布、すなわち寿命時間分布として知られている⁷⁾。

ここでは、溶出現象を以下のモデルで仮定する。多数の殻で覆われたカプセルの集合体である固化物は、カプセル内外の TN の濃度による圧力差によって破壊され、破壊されたカプセルから TN が供給される。カプセルの破壊は時間及び溶媒中の TN 濃度に依存する一つの確率分布に従うと考えられるが、溶媒中の TN も時間 t に依存する。そこで時間 t を確率変数と考え、その密度関数を $f(t)$ 、分布関数を $F(t)$ 、終局状態で破壊するカプセルの総数を N 個とする。溶出試験開始後からカプセルが破壊せずに t 時間経過したという条件で、それに続く Δt 時間以内に破壊するカプセルの期待値は Δt が十分小さいとき (3) 式で与えられる。

$$P(t < T < t + \Delta t | T > t) \times N \\ = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{1 - F(t)} \times N \doteq \frac{f(t)}{1 - F(t)} \Delta t \times N \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 $h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$ は、ハザード関数と呼ばれ、ある時間における瞬間的な破壊しやすさを表している⁹⁾。溶出初期で溶媒中の TN 濃度が低い場合にはカプセル内外の TN の濃度による圧力差が大きく、終局状態では固化物中の破壊可能なカプセルがすべて破壊され、 $h(t) = 0$ となる。溶媒中の TN が飽和した場合、濃度差は存在するが、平衡反応となるため $h(t) = 0$ となる。そのような条件を満たすハザード関数のうち、簡易な形状である、 $h(t) = at^b$ (ただし $a > 0, -1 < b < 0$) で近似できると仮定すると、 $\frac{f(t)}{1 - F(t)} = at^b$ となる。この両辺を t で積分すると

$$-\log(1 - F(t)) = \frac{a}{b+1} t^{b+1} + A \quad \dots\dots (4)$$

$$1 - F(t) = A_1 \exp \left\{ - \left(\frac{a}{b+1} \right) t^{b+1} \right\} \quad \dots\dots (5)$$

分布関数の性質から $F(0)=0$ であるので $A_1=1$, また $b=m-1$, $a=m\eta^{-m}$ を代入すると

$$F(t) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{a}{b+1} \right) t^{b+1} \right\} = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\eta} \right)^m \right\} \quad \dots\dots(6)$$

ここで終局状態の溶媒濃度 C_0 は $C_0 = N \times \frac{w_s}{V}$ であるので (ただしカプセル中のTNを w_s , 溶媒の体積を V とする),

$$C(t) = \frac{w_s}{V} \times \int_0^t (P \times N) dt = C_0 \times F(t) \\ = C_0 \times \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\eta} \right)^m \right\} \right] \quad \dots\dots(7)$$

と先述の (1) 式と同じ式が導出される。すなわち, ある時点の最終溶出濃度で規格化された溶出速度と最終溶出濃度に対する時点の濃度の割合が時間 t の指数関数で近似できるモデルを採用していることになる。

3.2 試験結果と近似式

先述の溶出試験結果に対して, ワイブル曲線で近似した結果を Fig. 5, Fig. 6 に, 各近似式のパラメータ

を Table 2 に示す。近似曲線は Microsoft Excel のソルバー機能 (GRG 非線形エンジン) を用い, 近似値と実測値の差分の平方和が最小となるよう, 各実験系の C_0 , η , m を調整した。

近似曲線は比較的精度よくフィッティングできていると考えられる。 C_0 については溶媒に関係なく同じ供試体でかなり近い値を示しており, 近似式上も終局的な溶出量の差はみられない結果が得られた。また, X市コンポストにおいて, 寒天の有無によらず C_0 の値は変わらなかったことも再現できている。形状パラメータである m はいずれも1未満となっている。ワイブル分布において, m が1未満の場合は, 初期的な故障が出尽くして時間が経過するにつれて製品の故障が起きにくくなる曲線を表現しており⁷⁾, これは初期に多くの溶出量が発生する溶出を再現しているといえる。「コンポスト」(単体)については, $m=0.14$ と0に近い値であり, 試験直後に急速に溶出したことが表現されている。「固形肥料」については, 溶媒の違いにより m の値に差が生じているが, NaCl水溶液を溶媒としたときの $t=24$ hの値を除くと $C_0=99$, $\eta=39$, $m=0.54$ となり, 超純水を溶媒としたときの近似式と近い値が得られた。

また, Table 3 に, 実験終了時における供試体から

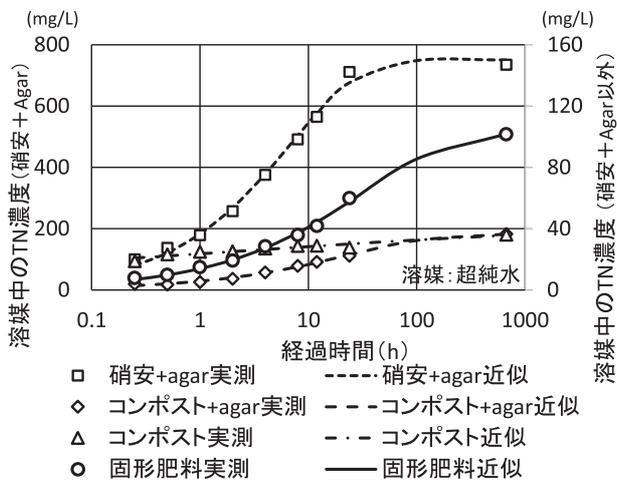


Fig. 5 Approximate curves of leaching using ultrapure water as the solvent

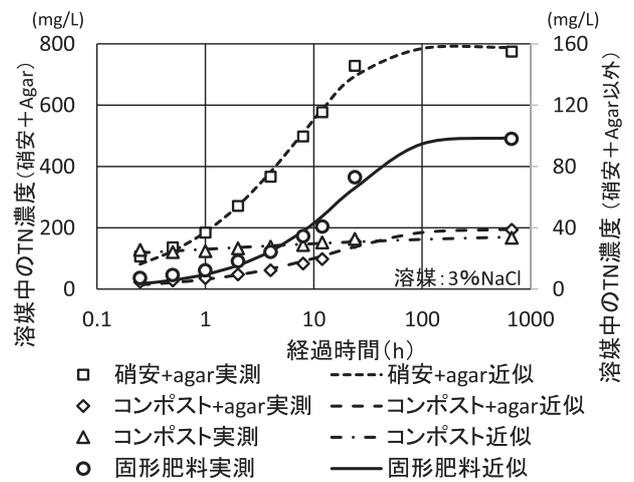


Fig. 6 Approximate curves of leaching using 3% NaCl-aq as the solvent

Table 2 Parameters of approximation formula

溶 媒	供試体	C_0	η	m	残渣平方和	備 考
		mg-N/L	-	-		
超純水	硝安+Agar	7.5×10^2	6.8	0.67	2.6×10^3	
	コンポスト+Agar	36	25	0.55	3.5	
	コンポスト	40	2.4	0.14	14	
	固形肥料	1.0×10^2	34	0.55	18	
NaCl aq	硝安+Agar	7.9×10^2	7.5	0.65	6.5×10^2	
	コンポスト+Agar	39	17	0.61	22	
	コンポスト	36	0.13	0.14	11	
	固形肥料	99	21	0.75	1.5×10^2	全データで近似
		99	39	0.54	1.6	$t=24$ hを除外

Table 3 Leaching amount and ratio of TN

	硝酸+Agar 近似		コンポスト+Agar 近似		コンポスト近似		固形肥料近似	
	超純水	NaCl aq	超純水	NaCl aq	超純水	NaCl aq	超純水	NaCl aq
η	6.8	7.5	25	17	2.4	0.13	34	21
m	0.67	0.65	0.55	0.61	0.14	0.14	0.55	0.75
C_0	7.5×10^2	7.9×10^2	36	39	40	36	1.0×10^2	99
総溶出量 (計算値)	1.3	1.4	0.056	0.064	0.062	0.063	0.15	0.16
総溶出量 (実測値)	1.3	1.4	0.063	0.067	0.068	0.065	0.17	0.17
総溶出率 (計算値)	103%	109%	63%	69%	61%	62%	51%	57%
総溶出率 (実測値)	102%	108%	70%	72%	66%	63%	60%	59%

C_0 の単位は mg/L, 総溶出量は g-N

の窒素の総溶出量と総溶出率を示す。なお、表中の「計算値」は近似式による計算結果であり、「実測値」は溶出試験時の水質分析による結果である。また、総溶出率は表中の総溶出量を Table 1 の TN 量で割って求めた。1 か月の試験期間で、硝酸アンモニウム水溶液を寒天固化した供試体中に含有した TN はほぼ溶媒に溶出していた。コンポスト (単体) 及びコンポストを寒天固化した供試体は約 60~70% が溶出していた。固形肥料については約 60% が溶出した結果となった。

3.3 近似式から求められる海域での溶出速度

さて、供試体からの溶出速度は、本実験においては溶媒の量が既知であるため、溶媒の濃度変化率から求めることができる。また、同一供試体に対する溶媒の濃度変化率は溶媒濃度のみに依存すると仮定する。すなわち $C(t)$ 及び $c(t)$ はいずれも t のみの関数であり、 C_0 , η , m が決定していれば、既知の $C(t)$ に対する溶媒中の TN 濃度の変化率 $c(t)$ から計算は可能である。

海域中の窒素濃度を、海域 II の上限値 0.3 mg/L と仮定した場合の窒素溶出速度と、この溶出速度が維持された場合に今回使用した供試体から溶出が継続する時間 (溶出継続時間) を Table 4 に示す。溶出速度は、既知の $C(t)$ から t を求め、得られた時間 t における $c(t)$ に溶媒の体積を乗じ、供試体の表面積で除して求めた。近似式から $C(t)=0.3$ mg/L となる時間 t を求めたところ、遅くても数十秒であり、いずれの実験系でも外挿による近似となった。そのため、ここではあまり精度は期待できないが大まかなオーダーについて議論が

Table 4 Leaching ratio in sea area and leaching durations

供試体	溶出速度	溶出継続時間	備考
	g-N/m ² /day	min	
硝酸+agar	1.9×10^4	8.2	
コンポスト+agar	1.3×10^2	85	
コンポスト	2.9×10^{12}	4.4×10^{-12}	
固形肥料	8.7×10^2	44	$t=24$ h を除外

できると仮定した。表面積が他の試料よりも大きい「コンポスト」(単体)を除くと、 $10^2 \sim 10^4$ g-N/m²/day 程度であった。一方でコンポスト (単体) では、 10^{12} g-N/m²/day 程度であり、非常に大きな値となった。これについては、コンポストの微粉末が実験初期に溶液全体に拡散するため、その影響が考えられた。同じ供試体を用いた場合における溶出の継続時間は、コンポストを除くと十分程度から数時間となった。なお、本検討の精度の向上においては、実験開始直後の採水頻度や試料と溶媒の比率の調整が必要である。

参考までに、魚かすからの栄養塩供給に関する検討事例¹⁰⁾では、1日あたりの発酵魚かす (窒素成分は湿重量の 6.7%) の流出量が 0.25% であったと報告されている。同検討では仮に魚かす (25 kg) の保持に使用したカマスの表面積を 1 m² とすると $25 \text{ kg} \times 0.25\% \times 6.7\% / 1 \text{ m}^2 = 4.2 \text{ g-N/m}^2/\text{day}$ 程度となり、本実験結果はこれと比較して数十~数千倍のオーダーである。また、信澤ら¹¹⁾の実験によると、横浜港の嫌気性の高い底泥からの TN の溶出速度を最大で 52.9 mg-N/m²/day と報告されている。谷本ら¹²⁾のモデルによると大阪湾の底泥からの DIN (溶存態の無機窒素) の総溶出量が 18.5 t/day となっており、湾の面積¹³⁾を約 1,450 km² とすると底泥からの溶出は 12.7 mg-N/m²/day となる。今回の実験結果をこれらの底泥からの溶出速度と比較すると、コンポストを除くと概ね $10^4 \sim 10^6$ 倍のオーダーとなった。谷本ら¹²⁾のモデルでは、湾内の堆積物からの溶出量は河川等からの負荷量に対して 35~70% としている。仮に総表面積 1000 m² の固化肥料を施肥した場合には 0.1~10 t-N/day 程度を海域に供給することになり、大きく見積もると大阪湾に河川等から流入する総負荷量と同程度となる。そのため施肥にあたってはその形状や量については十分な検討が必要である。

4. ま と め

本実験結果から下記のことが明らかとなった。

- ・溶媒に超純水と 3%NaCl 水溶液の 2 種類を用いて比較を行ったが、TN の溶出傾向に大きな違いがみられなかった。
- ・寒天による固化は、溶出速度の抑制効果が期待されたほか、最終的な溶出量には影響を与えない。
- ・溶媒中の TN 濃度をワイブル分布の累積分布関数で近似したところよくフィッティングできている。
- ・溶媒の濃度に溶出速度が影響すると仮定し、溶出速度をワイブルの確率密度関数から試算したところ、コンポスト (単体) を除くと、 $10^2 \sim 10^4$ g-N/m²/day となった。ただし、外挿による近似を行っているため精査が必要である。

謝 辞

本研究の実施に際しては X 市、Y 町のご協力を得た。ここに記して謝意を示す。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：栄養塩類の循環バランスに配慮した運転管理ナレッジに関する事例集 (2014), <http://www.mlit.go.jp/common/001033458.pdf> 閲覧日：2020/8/31
- 2) 国土交通省 HP：汚水処理施設を使える人口が着実に増加しています！～平成 30 年度末の汚水処理人口普及率をとりまとめ～ 資料 1～3 <http://www.mlit.go.jp/common/001303856.pdf> 閲覧日：2020/8/31
- 3) 環境省 HP：平成 30 年度公共用水域水質測定結果 (2019) <https://www.env.go.jp/press/files/jp/113086.pdf> 閲覧日：2020/8/31
- 4) 福吉晴生, 三島悠一郎, 花島勲, 牟田英司, 陣内聖太, 松尾保成, 不動寺正臣, 野本晋児：佐賀市下水浄化センターにおける季別運転の実績とその効果, 下水道研究発表会講演集, No. 56, pp. 1073-1075 (2019)
- 5) 池脇義弘, 牧野賢治, 西岡智哉, 平野匠, 上田幸男：ゼラチンを用いた藻類養殖用施肥剤の開発, 日本水産学会誌, Vol. 82, No. 6, pp. 917-922 (2016)
- 6) 輪島雅治：藻場再生の挑戦, 再生と利用, Vol. 43, No. 162, pp. 90-93 (2019)
- 7) 脇本和昌：統計学 見方・考え方, pp. 107-109 (1984)
- 8) S. Itani, M. Nemoto, S. Kouchiwa, H. Murayama and T. Nagai：Influence of Wetting Factors on the Dissolution Behavior of Flufenamic Acid, Chemical and Pharmaceutical Bulletin, Vol. 33, pp. 5464-5473 (1985)
- 9) 松原望：入門統計解析——医学・自然科学編, pp. 312-316 (2007)
- 10) 牧田佳巳, 山本潤：発酵魚かす投入による海域栄養塩の増加効果について, 日本水産工学会学術講演会論文集, pp. 65-68 (2007)
- 11) 信澤雄一郎, 村上和男, 北村友裕, 小泉俊昌, 亀山豊, 小松勝久：横浜港の底泥からの栄養塩の溶出と覆砂の効果に関する現地調査と室内実験, 海洋開発論文集, Vol. 21, pp. 737-742 (2005)
- 12) 谷本照巳, 星加章, 三島康史, 柳哲雄：大阪湾における懸濁物質・窒素・リンの収支と循環, 海の研究, Vol. 10, No. 5, pp. 397-412 (2001)
- 13) 大阪湾環境保全協議会 HP：大阪湾の概況 <https://www.osaka-wan.jp/189/341/193> 閲覧日：2020/8/31

Ocean Fertilization Using Solidified Sewage Resources : A Basic Study

Toyohisa Miyamoto¹⁾ and Hiroyuki Shigemura¹⁾

¹⁾ National Research and Development Agency Public Works Research Institute

(E-mail : recycle@pwri.go.jp)

Abstract

There are areas in the sea where it has been suggested that a lack of nutrients are affecting marine resources. Thus, fertilization techniques are being developed for seaweeds. This study aimed to examine the effect of solid fertilization with sewage resources. The cumulative distribution function of the Weibull distribution was used to estimate leaching rates. Leaching tests were performed using ultrapure water and an aqueous solution of sodium chloride as the solvent, but no significant differences were observed in the leaching tests. Solidification using agar suppressed the leaching rate without affecting the final amount of leaching. Assuming that the leaching rate affects the concentration of the solvent, leaching rates were calculated using the Weibull probability density function, and they were found to be 10^2 – 10^4 g-N/m²/day, excluding compost and without additional processing.

Key words : ocean fertilization, total nitrogen, leaching test, the Weibull distribution