OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | 活性汚泥連続Fed-Batch培養におけるスカム原因菌 Nocardia amarae の挙動解析 |
| Author(s) | 岩堀, 恵祐; 瀧, 寛則; 崔, 澤烈 他 |
| Citation | 日本水処理生物学会誌. 2000, 36(2), p. 63-70 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/3434 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

[日本水処理生物学会誌　第36巻　第2号　63-70　2000]

# 活性汚泥連続Fed-Batch培養におけるスカム原因菌 *Nocardia amarae* の挙動解析

## Analysis of *Nocardia amarae* Profiles in Sequencing Fed-Batch Culture of Activated Sludge

岩堀恵祐[1]、瀧寛則[2]、崔澤烈[3]、藤田正憲[4]

[1]静岡県立大学環境科学研究所／〒422-8526 静岡市谷田52-1
[2]㈱海洋バイオテクノロジー研究所／〒026-0001 釜石市平田第3地割75-1
[3]韓国大田保健専門大学環境管理科／韓国大田直轄市東區佳陽二洞77-3
[4]大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻／〒565-0871 吹田市山田丘2-1

KEISUKE IWAHORI[1], HIRONORI TAKI[2], TAEK RYUL CHOI[3], and MASANORI FUJITA[4]
[1]Inst. for Environ. Sciences, Univ. of Shizuoka/52-1 Yada, Shizuoka 422-8526, Japan
[2]Marine Biotechnol. Inst. Co., Ltd./3-75-1, Heita, Kamaishi, Iwate 026-0001, Japan
[3]Dept. of Environ. Management, Taejon Medical Junior College /77-3, Gayang 2-Dong Dong-gu, Taejon, Korea
[4]Div. of Environ. Eng., Grad. School of Eng., Osaka Univ./2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

**Abstract**

In order to elucidate *Nocardia* (*Gordona*) *amarae* profiles in sequencing fed-batch culture of activated sludge, experimental invesitigations were carried out under various operational conditions e.g. sludge retention time (SRT), addition of *N. amarae* culture solution and change of carbon source. Growth of *N. amarae* in the aeration tank was confirmed corresponding to the component of influent substrate, being affecting SRT values. However, the possibility was suggested that the scum production was connected with some induced factors such as *n*-hexadecane, not being determined by *N. amarae* biomass only. It was concluded that SRT control was not necessarily effective after the scum production.

**Key words**: sequencing fed-batch culture, activated sludge, *Nocardia* (*Gordona*) *amarae*, viable cell count, scum level, inoculum size, SRT

## 1．はじめに

活性汚泥法は、微生物混合集団を連続培養することにより、汚染性有機物を浄化する方法で、世界的に普及した生物学的な下廃水処理法である。しかし、糸状性微生物の異常増殖に起因したバルキングや異常発泡・スカム生成などによる固液分離障害が多くの処理場で発生し、維持管理上の大きな問題点となっている。この中でも、曝気槽での非常に粘性の高い異常発泡とそれに伴うスカム生成による放流水質の悪化と悪臭の発生は、1969年の「ミルウォーキーの怪[1]」以来、世界各地[2-6]で、また日本[7,8]でも事例報告され、下水処理場の抱える重要な課題と認識されるようになってきた。最近では、スカムから日和見感染症の原因菌が検出され、衛生学的な見地からも、スカム問題の早急な解決が必要とされている[9]。

この異常発泡やスカム生成について、これまで多くの

研究者により原因の解明が行われてきた。その結果、*Nocardia amarae*（最近、*Gordona amarae*と改名[10]）や*Rhodococcus* spp.に代表される放線菌が原因菌と同定され[2-4,7,11,12]、その細胞表面上の高級脂肪酸（ミコール酸）が気泡の安定化に関与している[13]と指摘されている。また、多数の放線菌が曝気槽に存在するとスカムは大量に発生し[3]、異常発泡の量は*N. amarae*の存在量で主に決定され、その他のパラメータには依存しない[4]ことが報告されている。さらに*N. amarae*は、ブドウ糖に嫌気性消化液あるいは生下水の遠沈上澄液を添加した培地でも増殖し[4]、炭化水素のような疎水性基質や芳香族基質[14]も分解できるので、広範囲な基質資化能を持つ微生物と考えられる。

これらの既往研究を踏まえ、著者らは、*N.amarae*と*R.rhodochrous*、*R.erythropolis*が酢酸から吉草酸までの低級脂肪酸、ドデカンからエイコサンまでの正パラフィンを資化でき、特にオクタデカンをよく利用できることを明らかにし[15,16]、オクタデカンを単一炭素源とした*N. amarae*生菌数測定用培地を開発した[17,18]。このオクタデカン培地を用いた実下水処理場での*N. amarae*の物質収支から、スカムの施設内循環で最初沈殿池以降の各工程では*N. amarae*の割合が高められ、また最終沈殿池のスカムの約93％が返送汚泥として曝気槽に戻されていることがわかった[19]。しかし、曝気槽でのスカム原因菌の増殖機構とその活性汚泥中での挙動など、異常発泡・スカム生成に関する基本的な知見が明らかにされていないため、その防止方法も対症療法的にならざるを得ない。

そこで本研究では、スカム原因菌の代表例である*N. amarae*に着目し、その曝気槽内での挙動とスカム発生に及ぼす役割を解明する第一歩として、活性汚泥を連続Fed-Batch培養[20]で運転し、その曝気槽に*N. amarae*を意図的に添加した場合の挙動を各種の条件下で検討した。

## 2．実験材料並びに方法

### 2．1 実験材料

(1) 供試菌株と活性汚泥

スカムより分離し、MS培地（ペプトン5.0g、酵母エキス2.5g、グルコース1.0g、プロピオン酸ソーダ4.5g、寒天17.0g、イオン交換水1.0*l*）で継代保存した*N. amarae*[12]をMS液体培地（MS培地より寒天を除いたもの）で6日間回転振盪培養（120rpm、20℃）し、イオン交換水で洗浄後、超音波処理（275$\mu$A、2分）した。この懸濁液を波長600nmの吸光度（$OD_{600}$）が4.0になるようにイオン交換水で調製し、*N. amarae*前培養液（$1.83\times10^8$CFU／mlに相当）とした。また、肉エキス・ペプトン主体の合成下水で長期間、Fill and Draw方式により培養した活性汚泥を水道水で十分に洗浄してから実験に供した。

(2) 実験装置

実験装置の模式図をFig. 1に示した。曝気槽は有効

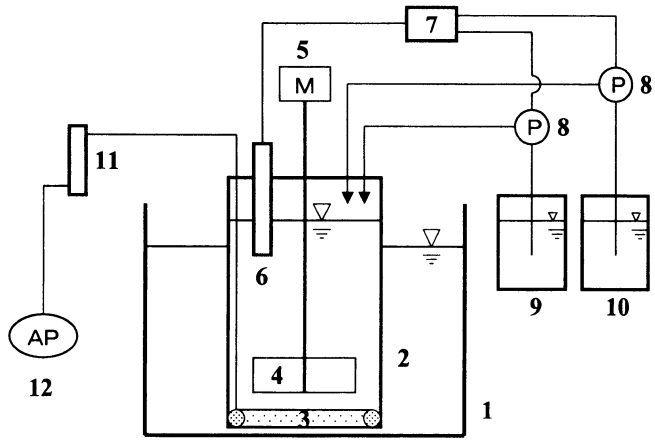



Fig. 1 A flow diagram of experimental apparatus of sequencing batch activated sludge process. 1, constant-temperature water bath; 2, aeration tank; 3, diffuser; 4, paddle; 5, agitator; 6, pH sensor; 7, pH stat; 8, pump; 9, 1 N-NaOH solution; 10, 1 N-HCl solution; 11, flow meter; 12, air pump.

容積2.0*l*の円柱形で、好気状態の保持と槽内撹拌のため、底部周囲の散気チューブから曝気するとともに、パドルによる撹拌を行った。また、曝気槽は25℃に設定した恒温槽に浸漬し、pH調節器により曝気槽内のpHを6.5～7.5に設定した。

### 2. 2 実験方法

本実験では、曝気槽の運転を連続Fed-Batch培養[20]で行った。これは、曝気槽内に基質を連続的あるいは間欠的に供給し、培養終了時まで活性汚泥混合液を引き抜かずに運転するFed-Batch培養[21]を所定期間ごとに繰り返す方法であり、操作が簡単で、連続培養のような汚泥の流出がないため、精確なＳＲＴを維持できる特徴を有している。

初発ＭＬＳＳ濃度が約3000mg／*l*となるように、曝気槽内に所定量の活性汚泥混合液を投入した。活性汚泥滞留時間（ＳＲＴ；20日）に見合った活性汚泥混合液を1日1回、曝気槽より引き抜き、ＴＯＣ容積負荷量が0.2kg／$m^3$・日となるように合成下水を投入する操作を繰り返し、約2週間の馴養運転を行った後、添加実験を開始した。

添加実験では先ず、所定のＳＲＴ値に見合った活性汚泥混合液を、馴養期間と同様操作で引き抜いた。次に、*N. amarae*前培養液10mlあるいは100mlを植菌してから、ＴＯＣ容積負荷量0.2kg／$m^3$・日となるように所定量の合成下水を投入し、水道水で有効容積までメスアップした。この*N. amarae*前培養液の投入量は、曝気槽単位容積当たりの生菌数に換算すると$9.14\times10^5$CFU／mlあるいは$9.14\times10^6$CFU／mlに相当している。これらの操作を1日1回繰り返しながら、添加実験を継続した。Table 1に示したように、添加実験では、ＳＲＴ設定値や*N. amarae*前培養液の投入量、合成下水へのヘキサデカンの添加など、6種類の実験に区分けした。

なお、引き抜かれた活性汚泥混合液を用いて、*N. amarae*の生菌数、ＭＬＳＳ濃度と表面張力を測定するとともに、スカムの発生状況を目視観察した。また、好気状態の維持を溶存酸素（ＤＯ）計で適宜確認した。

### 2. 3 分析方法

生菌数はオクタデカン培地（ＯＤ培地）[17]による平板希釈法で、ＭＬＳＳ濃度は下水試験方法[22]に準拠して、また表面張力はデュヌイ氏表面張力試験器でそれぞれ測定した。スカムの発生状況は、Fig. 2に示したように、「発生なし」を「0」、「わずかに発生」を「1」、「曝気槽上面の1／4～1／2に発生」を「2」、「曝気槽上面のすべてに発生」を「3」のレベルに分け、*N. amarae*前培養液の投入直前に評価した。なお、スカムが発生した場合には、スカムを十分に混合・撹拌してから活性汚泥混合液を引き抜き、分析に供した。

## 3. 実験結果

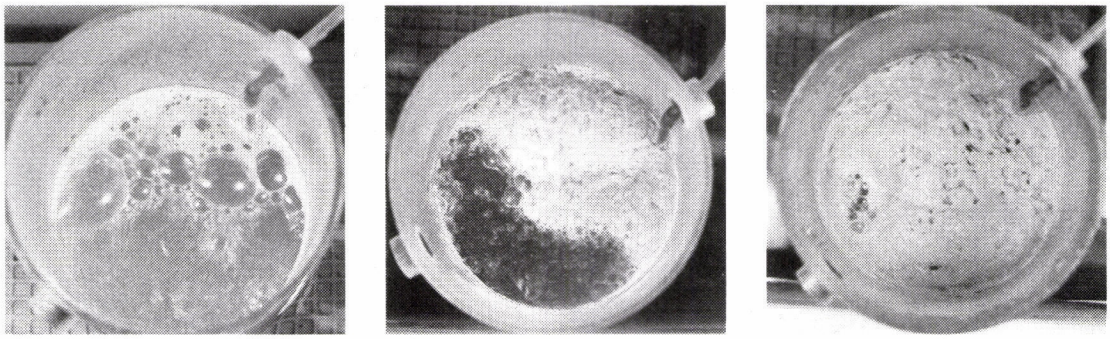
曝気槽内における*N. amarae*生菌数とスカムレベル、ＭＬＳＳ濃度、表面張力の経日変化をFig. 3に示した。なお、各実験とも、合成下水投入直後以外は常時、曝気槽内のＤＯ濃度は3mg／*l*以上を維持していた。

Run 1では、曝気槽内での*N. amarae*生菌数が約$10^6$CFU／mlとなるように前培養液を毎日投入し、38日間培養を継続したが、スカムの発生は観察されず、その生菌数もほぼ一定の値（平均値：$1.26\times10^6$CFU／ml）を示した。この値は、1日当たりの*N. amarae*植菌濃度とほぼ同程度であり、曝気槽内での*N. amarae*の増殖あるいは蓄積は認められなかった。またRun 2では、曝気槽内での*N. amarae*生菌数が約$10^7$CFU／mlとなるように投入量を10倍に変更し、実験を50日間継続した。その結果、生菌数は$1.55\times10^7$CFU／ml（平均値）程度

Table 1 Operational conditions of each experiment

| Run No. | Run 1 | Run 2 | Run 3 | Run 4 | Run 5 | Run 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SRT (day) | 20 | | | 5 | | |
| Inoculum size of *N. amarae* culture solution (ml) | 10 | 100 | | 0 | | |
| Inoculum size of carbon source* (mg TOC/day) | | | | | | |
| as artificial wastewater | 400 | | 200 | | 400 | |
| as *n*-hexadecane | 0 | | 200 | | 0 | |

*Each inoculum size was converted into TOC, respectively. TOC volumetric loading during experimental period was maintained at 0.20 kg/$m^3$·day.



Scum level 1　　Scumu level 2　　Scum level 3

Fig. 2 A criterion of scum condition

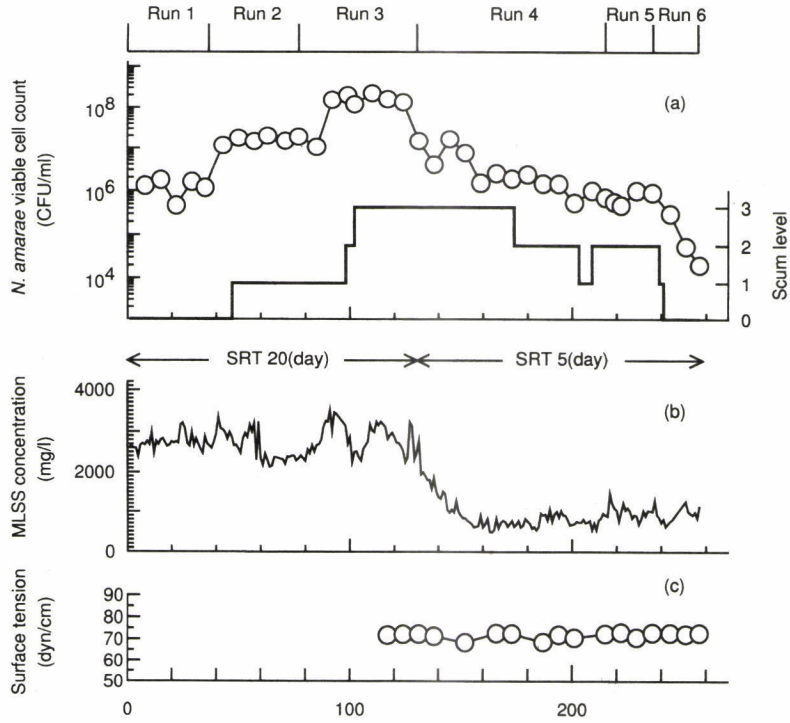



Fig. 3 Time-serial variations of *N. amarae* viable cell count, scum level, MLSS concentration and surface tension. Symbol in (a): ○, *N. amarae* viable cell count.

に高まったが、Run 1と同様に、この値も1日当たりの植菌濃度に相当していた。しかし、レベル1のスカムが僅かに観察されたことから、*N. amarae* 植菌濃度の影響が現れてきたと判断できる。そこで、ＳＲＴや *N. amarae* 投入量、投入基質量を変更せずに、ＴＯＣ基準で合成下水の半分をヘキサデカンに変更した（Run 3）。この運転を41日間継続したところ、曝気槽内の *N. amarae* 生菌数は1オーダー高い値（平均値：$1.65\times10^8$ CFU／ml）を示し、レベル3のスカムが常時観察されるようになった。

このようなスカム発生状況において、ＳＲＴを20日から5日に変更し、Run 4の実験を86日間継続した。そ

の結果、ＳＲＴ変更直後では急激に、その後は徐々に *N. amarae* 生菌数は減少し、約$10^6$CFU／ml レベルで安定した。しかし、*N. amarae* 生菌数が激減し、ほぼ一定の生菌数を示した時点から約15日間も、スカムはレベル３の状態を保ち続け、その後、レベル２までスカムの発生が抑えられた。この条件で *N. amarae* の植菌を中止し、22日間実験(Run ５)を継続したところ、*N. amarae* 生菌数やスカムの発生状況はほとんど変化がなかった。そこで Run ６では、Run １や Run ２と同様に、合成下水のみを基質として20日間実験を継続したところ、生菌数は急激に減少し、実験終了時には$10^4$CFU／ml オーダーまで低下するとともに、スカムも消滅した。

一方、ＳＲＴを20日に設定した場合、ＭＬＳＳ濃度は約3000mg／*l* で、ＳＲＴを５日に変更したところ、30日目までは徐々に減少し、その後、約1000mg／*l* で安定した。また、スカム発生の有無やＳＲＴ、ヘキサデカンの添加にかかわらず、活性汚泥混合液の表面張力は70dyn／cm 前後で、25℃での水の表面張力(71.96dyn／cm)[23]とほとんど変わらない値を示した。

## 4．考　察

### 4. 1　基質依存性からみた活性汚泥中での *Nocardia amarae* の挙動

曝気槽内で *N. amarae* が増殖しないと仮定し、投入量並びに汚泥引抜き量から算出された *N. amarae* 生菌数の経日変化を、測定値とともに、Fig. ４に示した。この計算値は、各実験における最後の測定値を次の初期値としたもので、次式から算出した。

$$N_{n+1} = N_n \times \left( 1 - \frac{1}{SRT} \right) + NA \quad \cdots\cdots(1)$$

ここで、$N_{n+1}$は第（ｎ＋１）日目の曝気槽内の *N. amarae* 生菌数（CFU／ml）、$N_n$は第ｎ日目の曝気槽内の *N. amarae* 生菌数（CFU／ml）で第ｎ日目に引抜かれた活性汚泥混合液の生菌数測定値、ＮＡは汚泥引抜き後に投入された *N. amarae* 量を曝気槽単位容積当たりの生菌数に換算した値（CFU／ml）である。なお、測定値が計算値よりも大きな場合には、曝気槽内で *N. amarae* が増殖したとみなすことができる。

合成下水を基質とした Run １と Run ２では、測定値が計算値よりも小さく、しかもほぼ一定の値、即ち１日当たりの投入量に相当する生菌数を示した。これより、合成下水を基質とした場合、活性汚泥に合成下水が摂取されるので、曝気槽内で *N. amarae* が増殖しにくいと考えられる。そこで別途、両実験の条件で *N. amarae* と合成下水を投入し、合成下水の添加による *N. amarae* の生残性を検討した（Fig. ５）。その結果、*N. amarae* 前培養液を10ml 投入した場合（ＮＡは$9.14\times10^5$CFU／ml）には１日後に40.7％、それ以降では75.3％が、また前培養液100ml の投入（ＮＡは$9.14\times10^6$CFU／ml）では83.8％と33.3％がそれぞれ生残していた。これらの生残率を考慮すると、式(1)は次式のように修正でき、算出された *N. amarae* 生菌数を Fig. ４の(a)と(b)に破線で図示した。

$$N_{n+1} = N_n \times \left( 1 - \frac{1}{SRT} \right) \times a + NA \times b \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで、ａは２日目以降の生残率（％）、ｂは１日目の生残率（％）である。これより、生残性を考慮した計算値は測定値とほぼ一致していることがわかる。したがって、合成下水を基質としてＳＲＴ20日で運転された回分培養では、*N. amarae* を意図的に添加しても、曝気槽内では増殖せず、逆にその一部しか生残できないと判断できる。

ＳＲＴ20日でヘキサデカンを一部投入した Run ３では、Fig. ４の(c)から明らかなように、ヘキサデカン投入直後の測定値が計算値よりも１オーダー高く、その後ほぼ一定の値を示した。ヘキサデカンは *N. amarae* が特異的に利用できる基質である[15]ので、その添加によって、*N. amarae* が増殖したものと考えられる。したがって、合成下水では曝気槽内で増殖できなかった *N. amarae* であるが、流入基質の種類によっては、増殖でき得るといえる。

### 4. 2　ＳＲＴからみた活性汚泥中での *Nocardia amarae* の挙動

ＳＲＴ20日で運転した Run ３において、スカムが観察されてからＳＲＴを５日に変更したところ(Run ４)、*N. amarae* 生菌数は急激に減少し、約$10^6$CFU／ml のレベルで安定した。スカムは、Run ４に変更してからレベル３の状態が45日目まで続き、その後、レベル２までスカム発生量は抑えられた。ＳＲＴ運転の効果は、その設定値の２～３倍の培養日数を要する[24]と報告されているが、Run ４に変更後、45日目までレベル３で、それ以降はレベル２の状態を維持しており、スカムは消滅することはなかった。既往研究では、ＳＲＴの減少がスカム対策に有効であるという報告は多い[3,7,25-28]。しかし、我が国の下水処理場785ヶ所を対象として著者ら[30]が行った処理障害のアンケート調査では、異常発泡・スカム

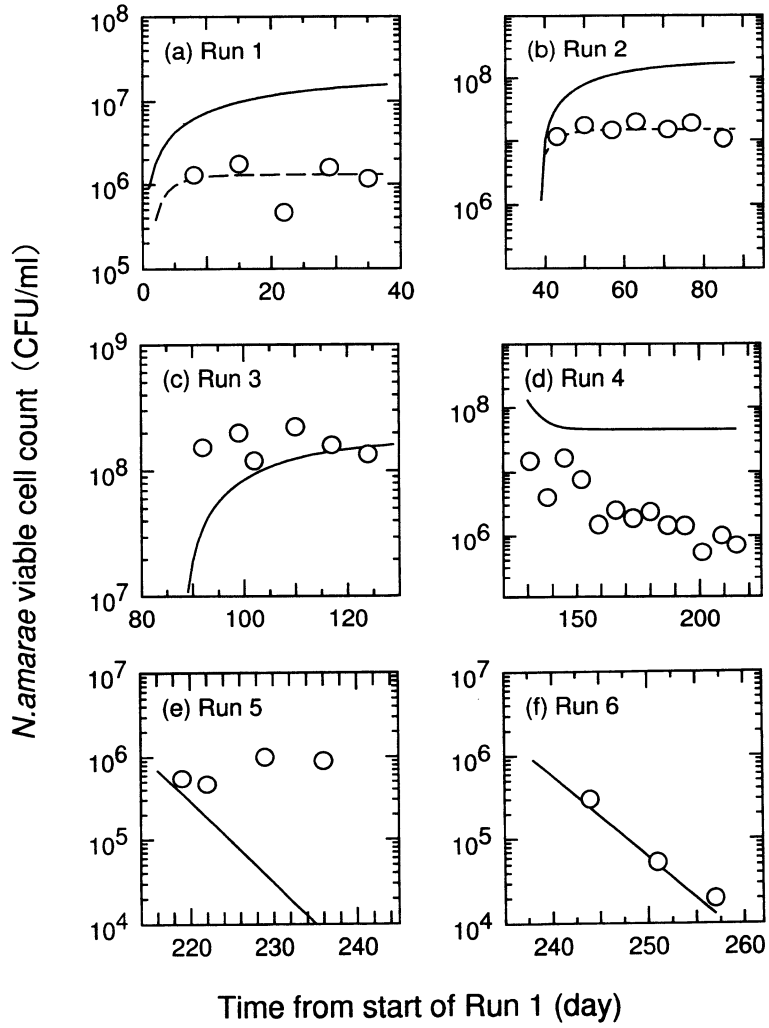



Fig. 4 Comparison of measured values with calculated values on *N. amarae* viable cell counts in each Run. Symbol:○, measured value. Solid lines are expressed as calculated values by eq. (1) and broken lines are as those values modified by eq.(2).

生成の対策で「大変に効果があった」事例にＳＲＴの減少が挙げられているが、「やや効果があった」や「全く効果がなかった」事例であるとの回答も多く寄せられていた。この差異の詳細はアンケートから読みとれなかったが、他の設問の回答や自由回答に記述された内容から、スカムの前兆が現れた直後にＳＲＴを減少すると効果的であるが、スカムが大量に発生した後ではあまり効果がなかったものと思われる。本実験でも、スカムが発生すれば、ＳＲＴの減少により曝気槽混合液内の *N. amarae* 濃度は減少するが、スカムに集積した *N. amarae* にはＳＲＴ減少の効果が現れなかったと考えられる。この結果は、１年間の実下水処理場における生菌数測定とその物質収支から、スカムに *N. amarae* が濃縮され、その滞留時間がＳＲＴ設定値以上に維持されている可能性が高いという報告[19]と一致している。したがって、スカム対策としてのＳＲＴ制御は、スカム発生の前兆のある場合には有効であるが、一度スカムが発生した場合には効果的ではないことが示唆された。

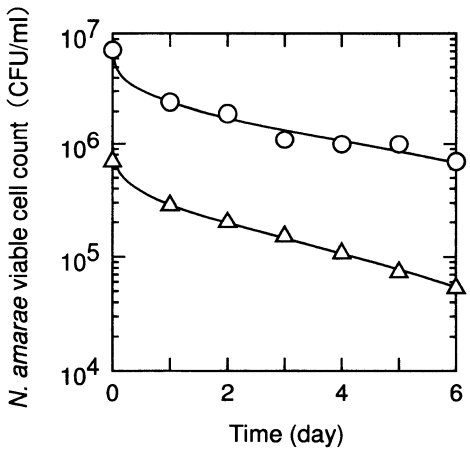



Fig. 5 Viability of *N. amarae* in batch culture. Symbols:○, about 0.9 ×10$^7$CFU/ml of inoculum size;△, about 0.9×10$^6$CFU/ml of inoculum size.

### 4. 3 *Nocardia amarae* 生菌数とスカム発生

本実験の結果では、常時安定してスカムの発生していた時期の *N. amarae* 生菌数は$10^6$～$10^8$CFU／mlであった。既往研究ではスカム発生時に$10^5$～$10^6$CFU／ml[7,8]あるいは$10^1$～$10^7$CFU／ml[29]の *N. amarae* 生菌数であったと報告されている。これらはすべて、MS培地により計数された生菌数である。OD培地はMS培地よりも約1オーダー高い生菌数を示す[17,18]ので、本実験の結果は他の報告と同程度であったと考えられる。

スカムの発生は *N. amarae* の量のみで決まると報告されている[3]。本実験では、スカム発生の認められた最低の生菌数はRun 4における1.50×$10^6$CFU／mlであった。もし上記の報告が正しければ、Run 1やRun 2でもスカムは発生したはずである。しかし、実際には発生しなかったので、スカムの発生は *N. amarae* の量だけに関与せず、何らかの因子が加わって初めて発生すると考えられる。本実験では、ヘキサデカンがスカムの誘発因子であったと推定できる。

### 4. 4 スカム発生と表面張力

Goddard と Forster[5]は、スカム発生時に界面活性物質が生産され、表面張力が低下すると報告している。しかし、Blackall ら[6]は、オーストラリア各地の下水処理場を調査し、スカムの発生と表面張力には何ら関係が見いだせなかったと指摘している。本研究では、Fig. 3からも明らかなように、安定なスカム（レベル3）が発生していた培養117～174日目においても、表面張力は低下しなかった。著者ら[31]もGoddardらと同様に、*N. amarae* 培養液の高分子画分から発泡性・乳化活性のある物質を確認している。しかし、この界面活性物質は回分培養減衰期（培養10日目）で最も多く生産されるが、曝気槽からみると極めて低濃度であるので、*N. amarae* が濃縮された場でのみ界面活性の効果が発揮されると推測している。したがって、本研究ではBlackallらの報告と一致した知見が得られたが、スカム発生と表面張力の関係は、スカム原因菌の培養フェーズ、試料の採取場所や方法などの要因も含まれてくるので、今後の課題であると思われる。

## 5. 要　約

スカム原因菌の代表例である *N. amarae* の曝気槽内での挙動とスカム発生に及ぼす役割を解明する第一歩として、活性汚泥連続Fed-Batch培養の曝気槽に *N. amarae* を意図的に添加し、その挙動を各種の条件下で検討した結果、次の知見が得られた。

(1) 合成下水では曝気槽内で増殖しなかった *N. amarae* であるが、ヘキサデカンのような基質の流入では増殖することがわかった。

(2) スカムの発生は *N. amarae* の濃度のみでは決定されず、ヘキサデカンなどの誘発因子が深く関与している可能性が示唆された。

(3) スカム対策としてのSRT制御は、スカム発生の前兆のある場合には有効であるが、一度スカムが発生した場合には効果的ではないと考えられる。

(4) スカムの発生と表面張力には何ら関係が見いだせなかったが、スカム原因菌の培養フェーズ、試料の採取場所や方法などの要因も含まれてくるので、今後の課題であることを指摘した。

### 参考文献

1) Milwaukee Mystery, Unusual Operating Problem Develops, Water and Sewage Works, 116, 213 (1969)
2) Lechevalier, M. P. and Lechevalier, H. A. : *Nocardia amarae* sp. nov., an actinomycete common in foaming activated sludge, Inst. J. System. Bacteriol., 24(2), 278-288 (1974)
3) Pipes, W. O. : Actinomycete scum production in activated sludge processes, J. Water Pollut.

Control Fed., 50(4), 628-634(1978)
4) Dhaliwal, B. S. : *Nocardia amarae* and activated sludge foaming, J. Water Pollut. Control Fed., 51(2), 344-350 (1979)
5) Goddard, A. J. and Forster, C. F. : Stable foams in activated sludge plants, Enzyme Microb. Technol., 9, 164-168 (1987)
6) Blackall, L. L., Harbers, A. E., Greenfield, P. F. and Hayward, A. C. : Foaming in activated sludge plants: a survey in Queensland, Australia and an evaluation of some control strategies, Water Res., 25(3), 313-317 (1991)
7) 堺好雄、森忠洋、飯田光春、本多和彦、松本利通：放線菌（*Nocardia* sp.）による活性汚泥浮上の原因と対策、下水道協会誌、19(214)、56-65（1982）
8) Hiraoka M. and Tsumura K. : Suppression of actinomycete scum production－a case at Senboku wastewater treatment plant, Japan－, Water Sci. Technol., 16, 83-90 (1984)
9) Stratton, H. M., Seviour, R. J., Soddell, J. A., Blackall, L. L., and Muir, D. : The opportunistic pathogen *Nocardia farcinica* is a foam-producing bacterium in activated sludge plants, Lett. in Appl. Microbiol., 22, 342-346 (1996)
10) 建設省都市局下水道部、厚生省生活衛生局監修：下水試験方法 上巻－1997年版－、日本下水道協会発行、663（1997）
11) Goodfellow, M., Minnikin, D. E., Tood, C., Alderson, G. Minnikin, S. M., Collins, M. D. : Numerical and chemical classification of *Nocardia amarae*, J. Gen. Microbiol., 128, 1283-1297 (1982)
12) 堺好雄、森忠洋、本多和彦、橋本奨：活性汚泥法における放線菌障害とその制御に関する研究（1)原因微生物に関する分類学的研究、下水道協会誌、25(294)、35-40（1988）
13) 本多和彦、森忠洋、矢野郁也、堺好雄、松本利道：放線菌細胞壁中の強疎水性物質（ミコール酸）の同定と汚泥浮上との関係について、下水道協会誌、21(237)、31-38（1984）
14) Baumann, M., Lemmer, H., Ries, H. : Scum actinomycetes in sewage treatment plants - part 1 growth kinetics of *Nocardia amarae* in chemostat culture, Water Res., 22(6), 755-759 (1988)
15) 藤田正憲、岩堀恵祐、谷垣文規、岩崎大介、橋本奨：*Nocardia amarae* の各種脂肪酸並びに炭化水素利用に関する研究、衛生工学研究論文集、27、75-85（1991）
16) Iwahori, K., Wang, M., Taki, H., and Fujita, M. : Comparative studies on utilization of fatty acids and hydrocarbons in *Nocardia amarae* and *Rhodococcus* spp., J. Ferment. Bioeng., 79(2), 186-189 (1995)
17) Fujita, M., Iwahori, K. and Taki, H. : A novel method of enumerating *Nocardia amarae* in foaming activated sludge, J. Ferment. Bioeng., 77(6), 674-678 (1994)
18) 中山善雄、徳富孝明、岩堀恵祐、藤田正憲：活性汚泥中における *Nocardia amarae* の生菌数計測培地の比較検討、下水道協会誌論文集、32(393)、82-89（1995）
19) Iwahori, K., Taki, H., Miyata, N., and Fujita, M. : Analysis of *Nocardia amarae* profiles in actual foaming activated sludge plant with viable cell count measurement, J. Ferment. Bioeng., 84(1), 98-102 (1997)
20) 橋本奨、岩堀恵祐：活性汚泥連続 Fed-Batch 培養の動力学解析に関する検討、下水道協会誌、25(290)、13-21(1988)
21) 日本生物工学会編：生物工学実験書、培風館、東京、341(1992)
22) 文献10)の p.269-270
23) 国立天文台編纂：理科年表 平成11年、丸善、東京、452、平成10年11月30日発行
24) Fujimoto, E., Sekine, T., Iwahori, K., and Furuya, N. : Studies on dissolved oxygen concentration and sludge retention time affecting the full-scale activated sludge process, Water Res., 17(12), 1829-1845 (1983)
25) Sezgin, M. and Karr, P. R. : Control of actinomycete scum on aeration basins and clarifiers, Res. J. Water Pollut. Control Fed., 58(10), 972-977 (1986)
26) 鹿田圭二、福村功、近藤和幸：分流式下水道における放線菌の挙動－ＳＲＴ制御による放線菌の抑制－、第26回下水道研究発表会講演集、304-306（1989）
27) Pitt, P. and Jenkins, D. : Causes and control of *Nocardia* in activated sludge, Res. J. Water Pollut. Control Fed., 62(2), 143-150 (1990)
28) 竹内準一：放線菌による活性汚泥のスカム化（2)原因微生物の生理生態、用水と廃水、34(7)、14-24（1992）
29) 鹿田圭二、森脇祥壽、近藤和幸、抱隆史：分流式下水道における放線菌の挙動－場内における分布状況等－、第24回下水道研究発表会講演集、172-174（1987）
30) 藤田正憲、岩堀恵祐、堺好雄、川口幸男：下水処理場における処理障害のアンケート調査(3)、月刊下水道、19(7)、78-89(1996)
31) 岩堀恵祐、徳富孝明、藤田正憲：スカム原因微生物 *Nocardia amarae* の放出する界面活性物質と気泡安定化、第32回日本水環境学会年会講演集、72（1998）

（受付 1999. 8. 30）
（受理 1999. 11. 1）