HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	低温下における廃水処理の微生物学的研究 ： （第４報） 蛋白系廃水処理用活性汚泥の低温馴養におよぼす水温と負荷量の影響
Author(s)	森田, 壮平; MORITA, Souhei; 秋田谷, 宣之 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 11(1), 110-118
Issue Date	1978-07-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11908
Type	departmental bulletin paper
File Information	11(1)_p110-118.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

低温下における廃水処理の微生物学的研究

(第4報) 蛋白系廃水処理用活性汚泥の低温馴養におよぼす水温と負荷量の影響

森田壮平*・秋田谷宣之**
佐々木 博・高尾彰一
(北海道大学農学部農芸化学科応用菌学講座)

(昭和52年9月7日受理)

Microbiological Studies on Waste Water Treatment at Low Temperature

(IV) Effects of temperature and loading value on low temperature acclimation of activated sludge for proteinous waste water treatment

Souhei MORITA, Nobuyuki AKITAYA, Hiroshi SASAKI and Shoichi TAKAO
(Laboratory of Applied Microbiology, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

緒　言

水産加工場より排出される蛋白系廃水を，合理的かつ経済的に処理するための基礎研究として，さきに，魚肉エキスをモデル廃水とし，低温下でも十分な処理能を有する活性汚泥の育成と馴養を試みた[6]。

活性汚泥の馴養温度については，すでに LUDZACK ら (1961)[4]，滝口 (1971)[7]，BENEDICT と CARLSON (1973)[1] らの報告をはじめ，幾多の研究が行われているが，その殆どが水温低下による廃水処理能の減退を報じ，低温下における生物学的廃水処理の至難なことをうかがわせている。

本報告は，寒冷地における蛋白系廃水の生物学的処理に関する研究の一環として，前報に引続き，複雑な混合培養系である活性汚泥の馴養過程において，廃水の水温と負荷量がどのような影響を与えるかを調べると共に，馴養汚泥の性状について研究したものである。

実験方法

1. モデル廃水

前報[6] と同様，市販のながす鯨とかつお肉を原料としたエールリッヒ肉エキスを，目的に応じ希釈して使用した。

2. 供試汚泥

著者らが，長期間にわたり毎日 COD 約 170 ppm の廃水を負荷し，室温で馴養した活性汚泥を使用した。この汚泥は，優れた蛋白系廃水処理能と沈降性を有する硝化型のものである。

3. 活性汚泥の馴養

前報[6] に示した廃水処理装置を使用し，水温と負荷量が，活性汚泥の馴養過程にどのような影響を与えるかを明らかにするために，前報よりやや低温の 7°C，夏の室温に近い 25°C の二つの温度条件と，COD 負荷量約 120 ppm，240 ppm の2条件の組合せで馴養を行った。

4. 廃水処理能の測定

廃水ならびに処理水の BOD，COD，窒素化合物の濃度などは，いずれも JIS K 0102 の方法[5] に従って測定した。

負荷直後の BOD と COD は，汚泥への吸着などの現象をも解明するために，残存処理水の測定値に，新たに

* 現勤務先　三井東圧化学株式会社砂川工業所
** 現勤務先　かねさ味噌株式会社

負荷しようとするモデル廃水の実測値を加算した値を理論値としたほか，負荷後1分間，モデル廃水を汚泥に混合した後の値を実測した。

5. 微生物の分離および分類検索

前報[6]と同様，汚泥中の微生物を分離し，分類検索を行った。

結果および考察

1. 馴養におよぼす水温と負荷量の影響

室温馴養汚泥をA, B, C, Dの4槽に分け，A, Bを7°C，C, Dを25°Cの恒温水槽に設置，水温がそれぞれの温度に達した後，A, CにはCOD約240 ppm，B, Dには約120 ppmのモデル廃水を加えて馴養を開始した。馴養期間中は，24時間ごとに汚泥を沈降させ，上澄液を除去し，新たにモデル廃水を加えて曝気を続けた。

Fig. 1は，馴養開始直後の廃水処理能を比較したもので，図中，曝気開始時の理論上のCODが，負荷したモデル廃水のCODよりも高いのは，汚泥中の残存CODを加算したためである。

負荷量の多いAとCを比べると，25°CのCでは，COD除去速度も速く，時間の経過にともない処理水中にNH_4^+-Nを生成し，一定時間後にはNO_3^--Nを生成する本来の硝化型汚泥の性格が現われていたが，7°CのAでは，CODの除去が遅れるのみならず，NH_4^+-Nが生成してもその後硝化が進まず，NH_4^+-Nの蓄積により処理水はアルカリ性を呈したままであった。このような傾向は，低負荷のBでも顕著であり，WILDら(1971)[11]の低温では硝化作用が著しく阻害されるとの知見とよく一致している。また，高負荷7°Cでの残存CODは，長時間にわたり25°Cより高かったが，低負荷では，7°Cでも僅か3時間で25°Cのものに匹敵する値を示した。このことは，洞沢(1975)[3]の低温での活性汚泥法の運用は負荷量を少なくすることによって円滑に行うことが出来るとの見解にもつながるもので，注目に値する。

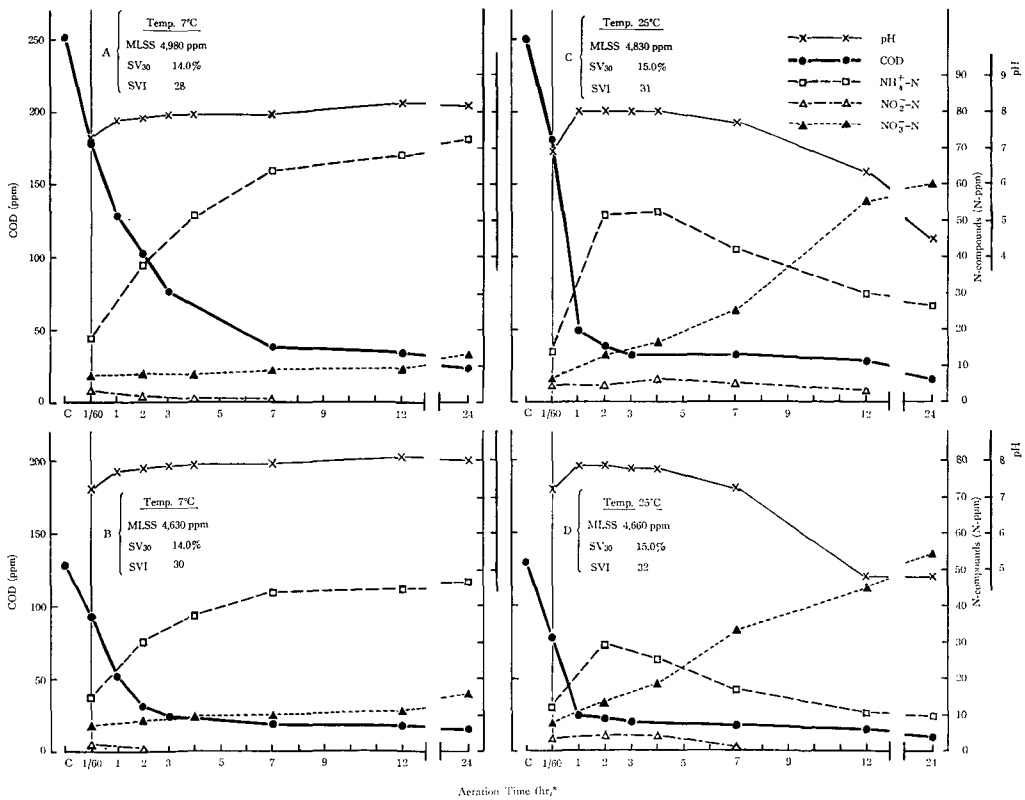

Fig. 1. Effects of temperature and loading value on waste treatment capacity of activated sludge (at beginning of acclimation).

* C: Calculated loading value, 1/60: After one minute aeration.

低温に移行させた汚泥，すなわち，AとBでは，前報の実験[6]でもみられたように，移行1日後から粉状フロックが現われ出し，25°CのCやDよりも沈降速度がやや遅くなった。しかし，馴養10日後にはほぼ回復し，有機体窒素 (Org-N) 分解による NH_4^+-Nの生成量が増大したのみならず，生成速度も速まった。また，25°CのCとDでは，NO_3^--Nの生成速度が増大した。

馴養17日後のA～Dそれぞれの廃水処理能は，Fig. 2に示した。高負荷7°CのAでは，一時劣化した沈降性が回復したのみならず，COD除去能が著しく改善され，馴養の効果が現われて来た。このことは，前報の実験[6]において，低温移行の活性汚泥が，馴養16日後にCOD除去能が室温なみになった事実とも符合している。また，馴養開始時に4,980 ppmであったMLSSが，9,620 ppmと約2倍に増加したにもかかわらず，SV_{30}は21.5%，SVIは22を示し，沈降性はすこぶる良好であった。

処理水中の窒素化合物の動向をみると，Aでは未だNH_4^+-N生成型汚泥のため，硝化の進行は遅く，沈降汚泥に由来するNH_4^+-Nが多く，しかも曝気開始後は活発なNH_4^+-N生成が行われるので，負荷11時間後には100 ppmに達した。そのため，処理水は24時間後までアルカリ性を保っていた。これに反し，高負荷25°CのCでは，COD除去能には馴養前と余り変化がみられなかったが，硝化の速度が速まり，NO_3^--N生成量も増加し処理水のpH低下が速やかになった。

その後さらに馴養を続けたところ，25°C馴養のCとDには余り顕著な変化はみられなかったが，7°C馴養のAとBでは，COD除去速度が次第に速くなった。

Fig. 3は，馴養56日後のA～Dそれぞれの廃水処理能を示したものである。高負荷7°CのAでは，NO_3^--NやNO_2^--Nの生成がみられ，汚泥が硝化型に変りつつあることを示していた。COD除去能は，負荷直後は良好であったが，NO_2^--Nの増加につれて，一旦低下した

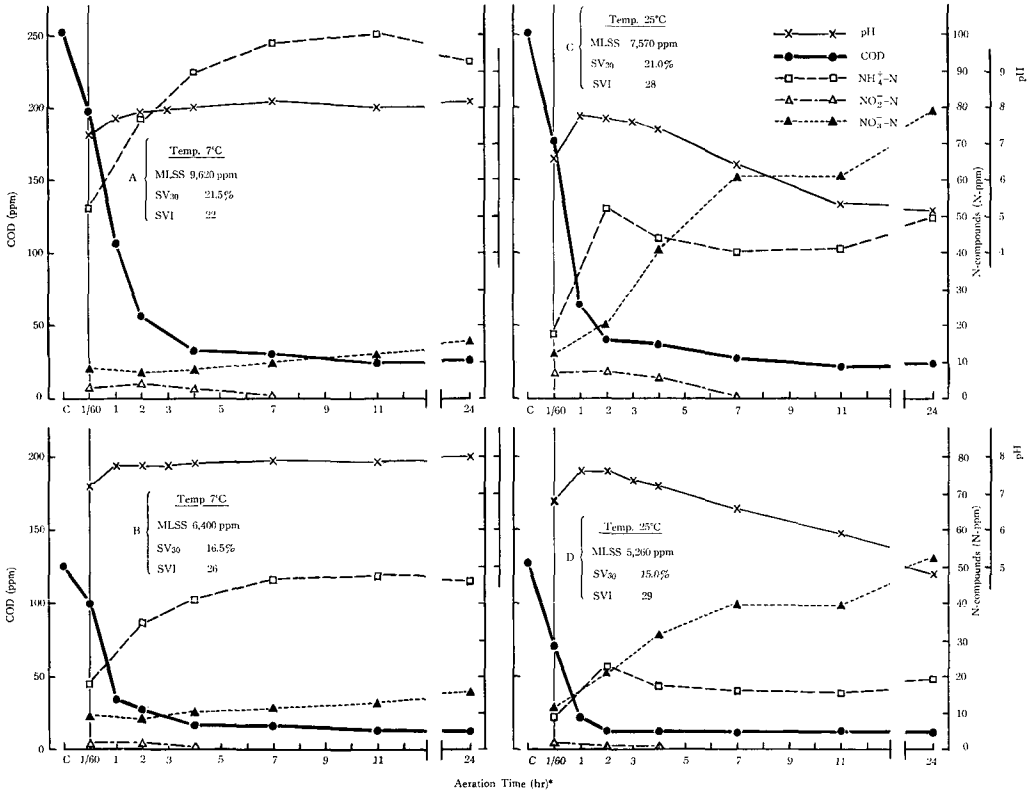

Fig. 2. Effects of temperature and loading value on waste treatment capacity of activated sludge (after 17 days acclimation).

* C: Calculated loading value, 1/60: After one minute aeration.

COD が上昇した。この現象については，前報[6]でもふれた通り，馴養によって汚泥中にまず *Nitrosomonas* が現われ NO_2^--N を生成，次いで *Nitrobacter* が生育して NO_3^--N 生成が起こるようになると考えられているが，この汚泥では未だ *Nitrobacter* の活性が十分でないために，NO_2^--N の蓄積がみられたものであろう。

VON HÜNERBERG と SARFERT (1967)[10] は，水温の低下が硝化菌の増殖速度を衰退させると述べているがこの実験でも前報[6]より 1～1.5°C 水温を低くしたためか，硝化型への移行がかなり遅延した。また，A と B を比べると，高負荷の A の方が硝化型への移行の遅れが甚しい。これは，DOWNING ら (1964)[2] の温度が低い程，また有機物濃度が高い程硝化型汚泥になり難いとの報告と共通している。

Fig. 3 によれば，B では負荷 24 時間後に NO_3^--N が NH_4^+-N の倍量も存在したのに，処理水の pH は 7.0 に止まっていた。これに反し，A では NO_3^--N と NO_2^--N の和が NH_4^+-N の 1.5 倍と B より少ないにもかかわらず，pH は 5.5 まで低下した。この現象は，処理水の pH を支配する要因として，これらの無機窒素化合物のほかに，未知物質の存在を示唆している。

高負荷 25°C の C では，硝化が順調に進むようになり Fig. 2 にみられた負荷 2 時間後の NH_4^+-N の急増は起こらなくなったが，NO_2^--N より NO_3^--N への酸化がやや遅れたため，負荷後数時間は NO_2^--N の存在により COD 除去が妨げられた。

低負荷の D では，処理水中に NO_2^--N が蓄積しないため，COD 除去は効率よく進行した。

馴養過程における A～D それぞれの MLSS と SVI の変化は，Fig. 4 に示した。高負荷で馴養した A と C，低負荷で馴養した B と D をそれぞれ比較すると，低温の方が MLSS の増加が著しいにもかかわらず SVI が小さく，低温でも沈降性の優れた活性汚泥を馴養出来るとの前報の結論[6]を，さらに実証したといえよう。

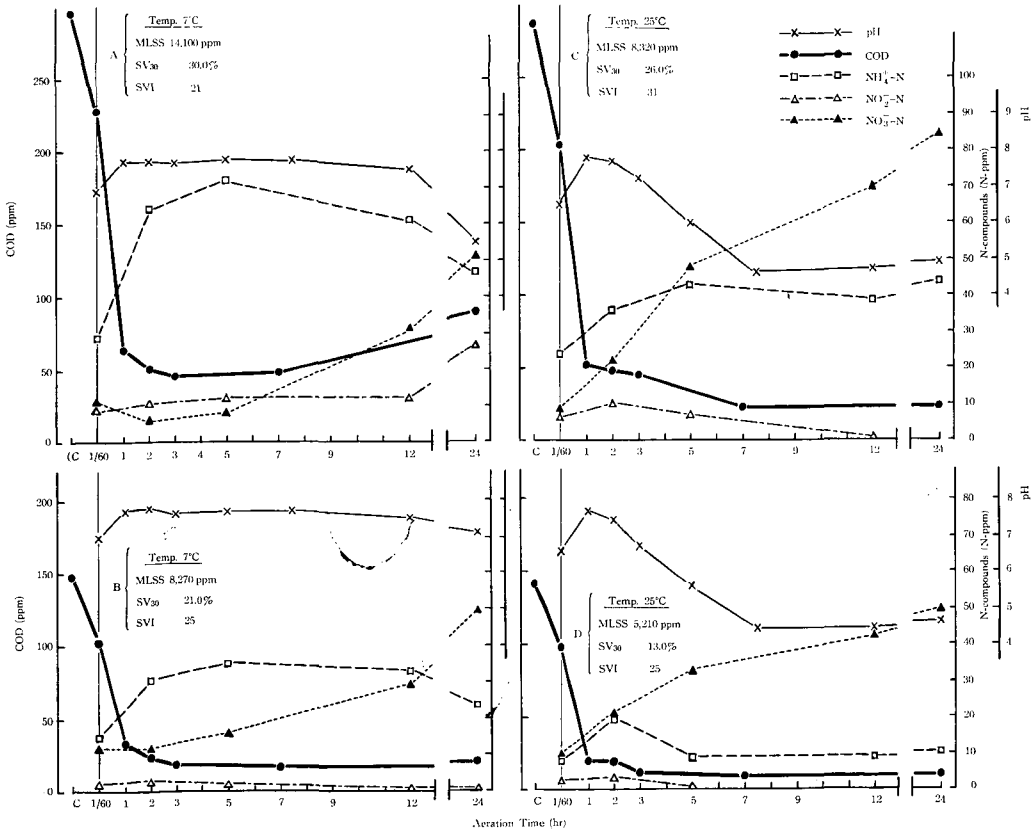

Fig. 3. Effects of temperature and loading value on waste treatment capacity of activated sludge (after 56 days acclimation).

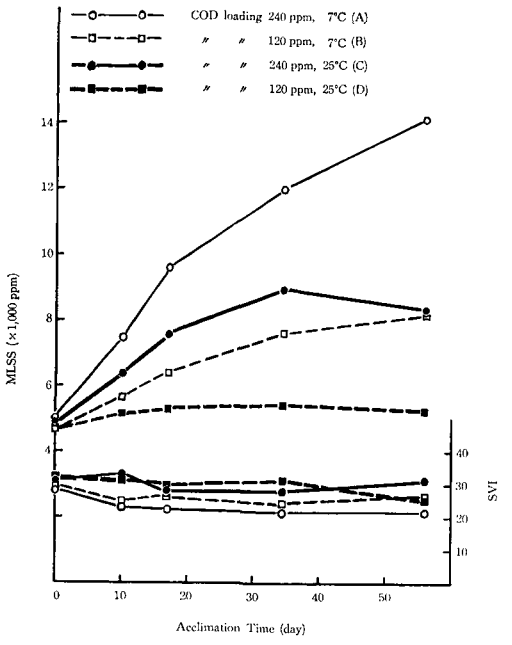

Fig. 4. Change of MLSS and SVI during acclimation.

高負荷7°C馴養のAでは，馴養後期のMLSSが12,000 ppmを越える頃より，汚泥沈降後の上澄液が若干混濁するようになった。従って，低温ではMLSSが多い方が廃水処理効率が大きいといわれてはいるが，COD負荷240 ppm前後の蛋白系廃水では，MLSS 12,000 ppm位を限度として，余剰泥汚を排除するのが適切であろう。

低負荷7°C馴養のBでは，負荷量が少ないためMLSSの増加がAよりも劣り，馴養期間中には上澄液の混濁は起こらなかった。

高負荷25°C馴養のCでは，MLSSが8,910 ppmに達した馴養34日以降，上澄液が混濁し，馴養56日後にはMLSSの減少がみられた。従って，COD 240 ppm前後の蛋白系廃水を室温付近で処理する際には，MLSS 8,000 ppm位を限度として，余剰汚泥を除去するのが適当と思われる。

負荷量とMLSSの関係をみると，負荷量の多いもの程MLSSの増加が著しく，7°C馴養のAとBを比べると，負荷量の多いAは，負荷量の少ないBの約2.5倍の増加率を示した。これに比べ，25°C馴養のCやDでは，7°C馴養よりもMLSSの増加が少ないのみならず，Cでは馴養34日後の8,910 ppmを最高値とし，その後減少した。

低温下において，MLSSの増加が著しい理由としては，汚泥微生物の内生呼吸の低減が挙げられている[10]が高負荷25°CのCにおけるMLSSの減少は，汚泥の自己消化も関与しており，MLSS 8,300 ppm位で菌体合成と自己消化が平衡を保っているものと推測された。しかし，この平衡を保つMLSSの値は，水温や廃水の負荷量と関連して変動するので，平衡点は個々の廃水の処理条件に応じて求めて行くことが必要であろう。

低負荷25°CのDでは，たまたまこの平衡点に近い水温と負荷が保たれていたためか，馴養開始直後から優れた廃水処理能を示し，MLSSにも著しい増減がみられなかった。しかし，このような汚泥でも，Fig. 1～3を比較すると，最初処理水中にかなりのNH_4^+-Nを蓄積しpH低下の遅かった汚泥が，次第に硝化の速度もpHの低下も速い汚泥に変化していた。このことから，MLSSが平衡状態にある活性汚泥中でも，緩慢ながら微生物相の変遷が起こっているものと考えられる。

2. 低温馴養汚泥の廃水処理能と負荷量の関係

低温下で馴養した活性汚泥が，負荷量の変化にどのように対応するかを調べるために，MLSS約11,500 ppmの活性汚泥を用いて，COD負荷を148 ppm，250 ppm，540 ppmの3段階とし，BODとCODの除去能および窒素化合物の消長を比較検討した。

供試汚泥は，低温下で毎日COD約250 ppmの負荷を与えて約2カ月馴養したものである。ただし，この汚泥は，馴養過程で汚泥量の増加が著しかったので，途中で一度余剰汚泥を除去している。

負荷後12時間における廃水処理能は，Fig. 5に示した。図から明らかなように，馴養中と同じ負荷量のCOD 250 ppmと，それより少ない148 ppm負荷では，負荷後，BOD, CODともに急速に減少したが，馴養負荷量より多いCOD 540 ppmでは，BODやCODの除去率は良好であったが，処理水中に残存する絶対量がやや多く，負荷後数時間は，高負荷の影響が特に顕著であった。

窒素化合物の消長をみると，負荷量が少ない場合には硝化も順調に進んだが，COD 540 ppmではNH_4^+-Nの生成速度が速く，処理水中の蓄積量も多く，硝化は緩慢であった。これは，急速なNH_4^+-Nの生成蓄積によって処理水のpHが高くなり，硝化菌の活動が阻害されたためと考える。また，この場合には沈降性はSVIで32.9と良好であったが，上澄液が混濁し，その後負荷量を減らしても，もとの状態を回復するのに約1週間を要した。

これらの結果から，低温下の廃水処理においては，寺島ら(1971[8], 1972[9])が述べているように，負荷量を減少

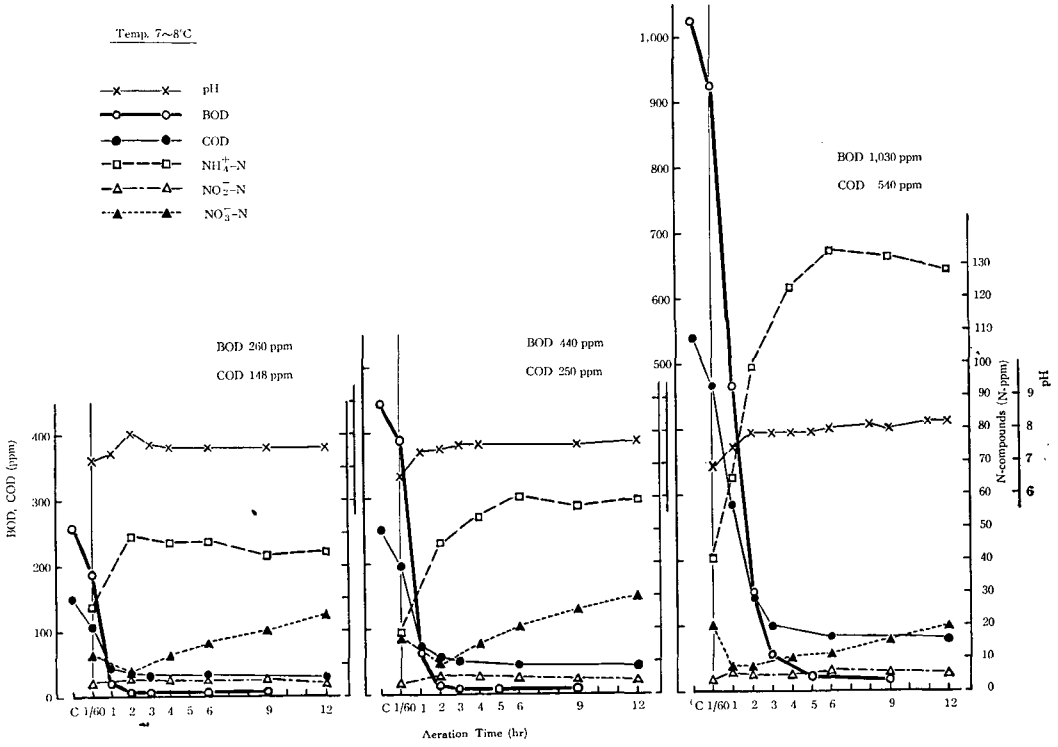

Fig. 5. Relation between waste concentration and waste treatment capacity of activated sludge at low temperature (12 hrs after loading).

させるのが有効な手段の一つと思われる。

3. 活性汚泥量と廃水処理能の関係

さきに，活性汚泥の馴養において，馴養17日後にすでにCOD除去能の向上がみられると述べたが，この間におけるMLSSの増加は著しく，活性汚泥を生体触媒と考えるならば，その濃度の増加によって処理能が向上したと考えることも出来る。換言すれば，単位汚泥量の活性が向上しなくても，MLSSの増加によって処理能を増大させることが可能であろう。そこで，この実験では汚泥量と廃水処理能の関係を明確にするため，MLSSを5,000 ppmと10,000 ppmの2段階に調節し，負荷量をCOD 240 ppmとして，低温下での廃水処理能を比較した。

供試汚泥は，低温馴養を行ったものであるが，未だ完全な硝化型に移行していないもの，すなわち，処理水中にNO_2^--Nを若干蓄積するものである。得られた結果は，Fig. 6に示した。

MLSS 5,000 ppmのものと10,000 ppmのものを比較すると，汚泥量が多い程COD除去速度が速く，汚泥量が多い方では，負荷直後のCOD除去能が特に優れていた，また，NH_4^+-Nの生成や硝化も，汚泥量の多い方が速やかであった。従って，低温馴養による廃水処理能の向上は，汚泥量の増加によるところ大なるものがあると思われる。

しかしながら，Fig. 1のA (MLSS 4,980 ppm)とFig. 6のMLSS 5,000 ppmの図を比較すれば，低温馴養前の汚泥と馴養後の汚泥では，MLSSが等しくても，馴養後の汚泥の方がNO_3^--NやNO_2^--Nの生成が多いので，低温馴養の効果も見逃すことは出来ない。すなわち，低温馴養による廃水処理能の向上は汚泥量の増加と廃水処理に関与する微生物の馴養効果との相乗作用によるものと考えるべきであろう。

4. 低温馴養汚泥の室温での活性

前項で，低温馴養汚泥の活性とMLSSの関係について述べたが，馴養された汚泥が低温で特異的に高い活性を示すものか，あるいは，好冷菌のように低温でも活性を有しているが，中温の方がより高い活性を示すものかを明確にすることも，今後の問題に対処する上で重要である。

この実験は，低温馴養汚泥の活性を，それまで馴養を

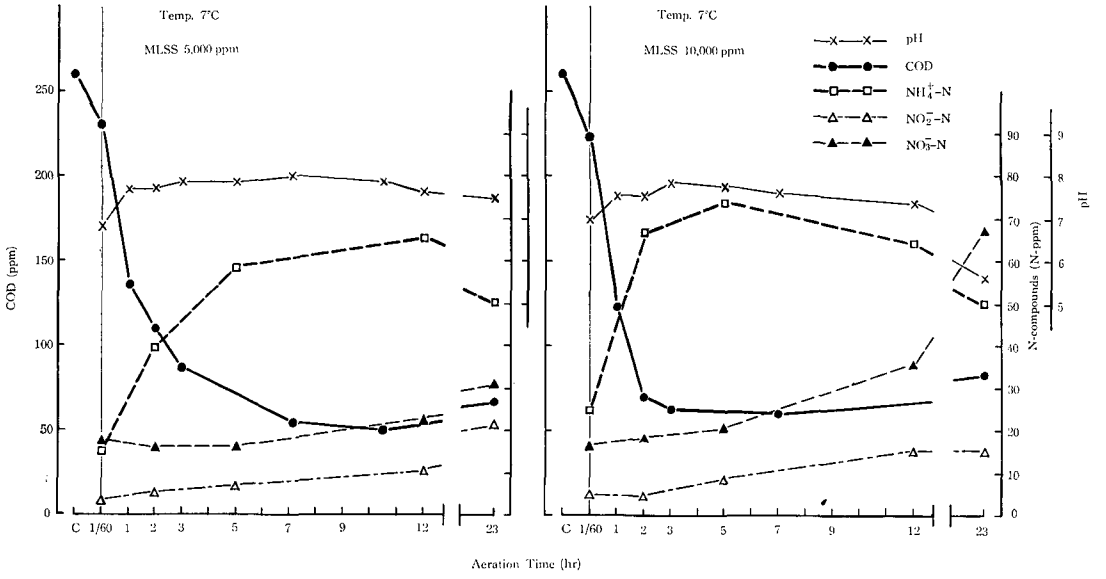

Fig. 6. Effect of MLSS of 7°C-acclimated sludge on waste treatment capacity at 7°C.

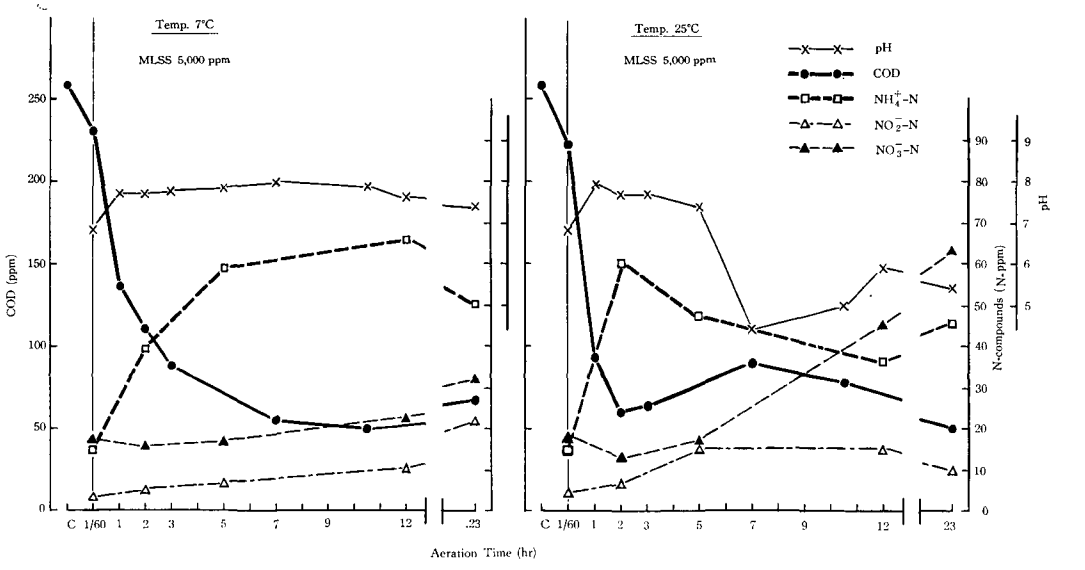

Fig. 7. Comparison of waste treatment capacity of 7°C-acclimated sludege at 7°C and 25°C.

続けた温度 (7°C) と室温 (25°C) で比較したものである。汚泥量は，ともに MLSS 5,000 ppm，負荷量は COD 240 ppm とした。得られた結果は Fig. 7 に示した。

7°C と 25°C を比べると，COD 除去速度は明らかに 25°C の方が勝っていたが，25°C では，一旦低下した COD が上昇し負荷後 7 時間頃から再び低下するという経過をたどった。この COD の上昇は，処理水中の NO_2^--N 蓄積によるものと考えられるが，Fig. 3, C の室温馴養汚泥に比べると，COD 除去能も窒素化合物の消長もかなり不規則であった。

これまでの実験では，低温馴養汚泥においては，*Nitrosomonas* や *Nitrobacter* など硝化に関連する細

菌の発生が遅いため，汚泥が硝化型に移行し難いものと考えていた。しかし，Fig. 7 によれば，Fig. 3, C よりは劣るものの低温馴養汚泥でも，処理温度を上昇させると，かなり活発に硝化が進むことを知った。従って，低温馴養汚泥は，低温で特異的活性を示すものではなく，好冷菌の場合と同様，低温でも活性を有しているが，中温の方がより高い活性を示すものであると理解すべきであろう。

低温下の活性汚泥による廃水処理において，*Nitrosomonas* や *Nitrobacter* の活性を高めるのは困難だとする報告が多いが，著者らも同様の結果を得た。これらの結果から，低温下の蛋白系廃水処理においては，比較的馴養の容易な NH_4^+-N 生成型汚泥を利用すべきか，馴養は困難であるが，最も酸化の進んだ NO_3^--N を生成する硝化型汚泥を利用すべきかの問題が派生するが，それらについては，窒素除去の方法とも関連させて次報で発表する予定である。

要　約

低温下における廃水処理の微生物学的研究の一環として，蛋白系廃水処理に利用する活性汚泥の低温における馴養条件，特に水温と負荷量の影響を調べるとともに，得られた活性汚泥の性質を検討し，次の結果を得た。

1. 活性汚泥の馴養に要する期間は，水温の低下ならびに負荷量の増大によって，著しく遅延した。

2. 水温低下による廃水処理能の阻害は，COD 除去や有機体窒素の分解作用よりも，硝化作用に顕著に現われた。

3. 低負荷では，室温馴養に比べさほど劣らぬ活性を示す低温馴養汚泥でも，負荷量を増大させると COD 除去能は減退した。

4. MLSS は，負荷量の増加と水温の低下につれて増加量が大きくなった。しかし，低温馴養汚泥では，MLSS の増加にもかかわらず，沈降性が良好であった。

5. 低温馴養の効果は，汚泥量の増大と汚泥微生物相の変遷の相乗作用によるものと判断された。

6. 低温馴養汚泥は，低温で特異的な活性を現わすものではなく，好冷菌と同様，中温で，より高い活性を示した。

終りに，本研究の費用の一部は，昭和50年度文部省科学研究費，特定研究「微生物による環境浄化」によったものであることを付記し，謝意を表する。なお，本報告の一部は，昭和50年度日本農芸化学会北海道支部秋季学術講演会で発表した。

引 用 文 献

1. BENEDICT, A. H. and CARLSON, D. A.: Temperature acclimation in aerobic biooxidation systems, *J. Water Poll. Control Fed.*, **45**: 10–24. 1973
2. DOWNING, A. L., PAINTER, H. A. and KNOWLS, G.: Nitrification in the activated sludge process, *J. Inst. Sew. Purif.*, Pt. **2**: 130–158. 1964
3. 洞沢　勇： 生物処理に及ぼす温度の影響と寒冷地対策，水処理技術，**16**: 921–927. 1975
4. LUDZACK, F. J., SCHAFFER, R. B. and ETTINGER, M. B.: Temperature and feed as variables in activated sludge performance, *J. Water Poll. Control Fed.*, **33**: 141–156. 1961
5. 日本工業標準調査会： 日本工業規格，工業排水試験方法，JIS K 0102, p. 1–47. 日本規格協会，東京，1975
6. 高尾彰一・佐々木　博・森田壮平・秋田谷宣之：低温下における廃水処理の微生物学的研究，第3報 蛋白系廃水処理のための低温馴養活性汚泥について，北大農邦文紀，**11**: 102–109. 1978
7. 滝口　洋： 産業廃水の生物処理，(1) 活性汚泥法における水温の影響，水処理技術，**12**: (5), 35–42. 1971
8. 寺島重雄・神山　一・真柄泰基： 活性汚泥法における水温の影響，下水道協会誌，**8**: (82), 31–38. 1971
9. 寺島重雄・神山　一・真柄泰基： 活性汚泥法における水温の影響，下水道協会誌，**9**: (97), 26–32. 1972
10. VON HÜNERBERG, K. and SARFERT, F.: Das Gas und Wasserfach Gas Erdgas, **108**: 1197–1205. 1967 [Cf. 遠矢泰典：生物学的脱窒素法の歴史的考察，その1，用水と廃水，**13**: 1362–1375. 1973]
11. WILD, H, E. SAWYER, C. N. and MCMAHON, T. C.: Factors affecting nitrification kinetics, *J. Water Poll. Control Fed.*, **43**: 1845–1854. 1971

Summary

Conditions of activated sludge acclimation were examined as a part of the microbiological studies on proteinous waste water treatment at low temperature. In particular, the effects of waste water temperature and loading value on, and characteristics of, the activated sludge were studied.

This paper presents the following results.

1. The acclimation term of activated sludge was remarkably delayed by a decrease in tem-

perature and increase in loading value.

2. Nitrification was suppressed more than COD removal and decomposition of organic nitrogen compounds during low temperature waste water treatment.

3. Removal of COD by low temperature acclimated sludge decreased following an increase in loading value at 7°C. In the case of low loading, this sludge and the room temperature acclimated sludge both showed a high activity at their respective temperature.

4. MLSS increased following the fall of waste water temperature and increase in loading value, but the settleability of low temperature acclimated sludge did not decrease in spite of MLSS multiplication.

5. The effect of low temperature acclimation was considered to be a synergistic action between MLSS multiplication and changes of microflora in the activated sludge.

6. Organic nitrogen compounds in proteinous waste water were more actively decomposed by low temperature acclimated sludge at room temperature than at acclimation temperature. This phenomena suggested a similarity with the behavior of psychrophiles at room and low temperatures.