

河川水の保温実験による DO・バクテリア・窒素・リンの経日変動

八木明彦・小原玲子

Daily Variations of DO, Bacteria, Nitrogen and Phosphorus of Fresh Water in Incubation

Akihiko YAGI and Reiko KOHARA

緒 言

水中の有機物は微生物等の分解を受け、無機化の過程をたどる。その過程で水中の酸素は消費され、好気性の生物は死滅し、嫌気性細菌の分解により川底が腐敗しその結果黒ずんでくる。本研究ではこのような状態を実験室内で再現させるために、試水をBODの分析方法を応用して一定期間保温を行なった。この間における酸素、微生物、窒素およびリンの定量を行ない物質の変動を調べた。またDOの消費曲線から河川における汚濁の分類を試みた。

実 験 方 法

あらかじめ乾熱滅菌した500ml容タイストン試験瓶6本に現場において同一地点で同時採水した。これをアイスボックス内で氷の入った水中に保ち実験室に持ち帰った。その日を0日目とし、1日目、2日目、3日目、4日目および5日目の試水とし、20°Cの水中で光を遮断した保温槽に保った。

試水の採水点は愛知県内の河川の中から比較的汚濁が進んでいない豊川と、逆に汚濁が著しい名古屋市内河川を選定した。豊川は中流部の石田橋と下流部の豊橋公園の2地点とし、名古屋市内河川においては堀川（大瀬古橋）、山崎川（かなえ橋と鏡池）および天白川（島田橋）の3河川4地点とした。

試水採水時期は豊川が1976年8月、10月、12月であり、名古屋市内河川の場合は1976年6月、8月および12月にそれぞれ実施した。

測定項目はDO（ウィンクラー・アジカナトリウム変法、DOメーター法）、バクテリア（一般細菌、20%濃度中の一般細菌、通性嫌気性細菌）、窒素（NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、DON）リン（PO₄-P、S.org.P）である。これらの分析方法や培養方法については八木・辻・広の報告¹⁾や辻の報告²⁾を参照されたい。

結果および考察

結果をまとめるにあたっては名古屋市内河川と豊川について分けて以下に順に述べる。

(1) 試水の河川環境

名古屋市内河川の場合、堀川の大瀬古橋はBOD・CODともに10ppmを上廻っており、D

0も12月を除いてはほぼ0ppmに近い値で有機的な汚濁が著しいと言える。SSについては6月が24.8ppm, 8月が36.9ppm および12月が17.1ppmとやや高い。山崎川の鏡池でのBODは1.4ppm~4.7ppm, CODが3.4ppm~7.2ppmで流速はかなり認められた。SSについては10ppm以下であること等から比較的都市河川としては汚濁が少ないといえよう。かなえ橋のBODは3.9ppm~11.0ppm, CODが3.4ppm~50.8ppmとかなりの開きが認められ汚濁の差が著しいことがわかる。SSについては12月に12.2ppmである以外は小さい。天白川の島田橋におけるBODは5.1ppm~12.7ppm, CODが7.2ppm~9.4ppmとかなりの汚濁が認められた。

次に豊川の場合について述べる。石田橋は酸素飽和であり、BODが0.5ppm~3.8ppm, CODは0.8ppm~1.9ppmと汚濁は非常に少ない。SSについても同様である。豊橋公園についてはDOがほぼ100%で、BODは0.7ppm~2.4ppm, CODは1.2ppm~2.8ppmとやはり汚濁は少ない。しかしSSに関しては最高値に17.9ppmがありやや濁っているといえるであろう。流速については石田橋はかなりある(約1.0~0.5m/sec.)のに対して、公園前ではほとんど認められなかった。

(2) DOの経日変化

名古屋市内河川の場合縦軸に酸素量 (O_2 mg/l), 横軸には日数を表わしたものを図1に示す。大瀬古橋(堀川)においては12月を除き0日目のDOが少ないために変動がなく、無酸素状態であった。ただし6月における4日目と5日目にDOが測定されたが、酸素が増加することは考えにくいので測定時に空気が混入したものと思われる。鏡池(山崎川)はほぼ直線的にゆるやかな傾斜で消費していることが判る。かなえ橋(山崎川)ではいずれの月においてもかなり異なった傾向を示している。特に12月の場合は1日目までの消費が非常に大きく、それ以後は徐々に減少が認められた。このことは島田橋(天白川)の12月と同様に2日目以後は殆んど好気性の細菌による分解が行なわれにくく、河川の自浄力の限界のように考えられる。すなわち

試水の採水時の状態では河川に自浄力があるが、急激に酸素を減少させるような環境(たとえば有機汚濁がその時より少し大きくなったり、あるいは急激に水温が上昇したすりの様な場合)がたちまちにして無酸素状態に変化してしまう。

またウィンクラー法とDOメーター法の間には常

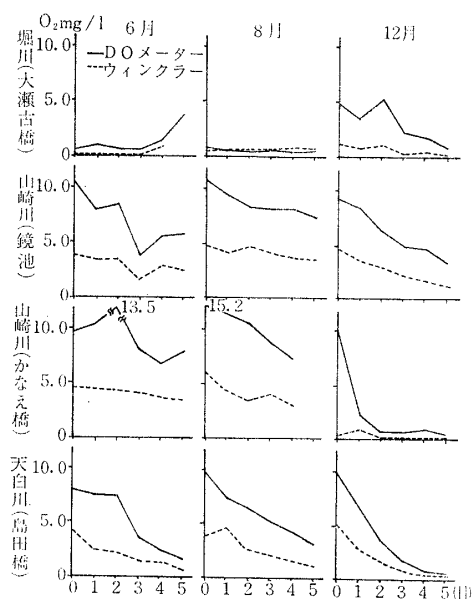


図1 DOの経日変化(名古屋市内河川) 1976年

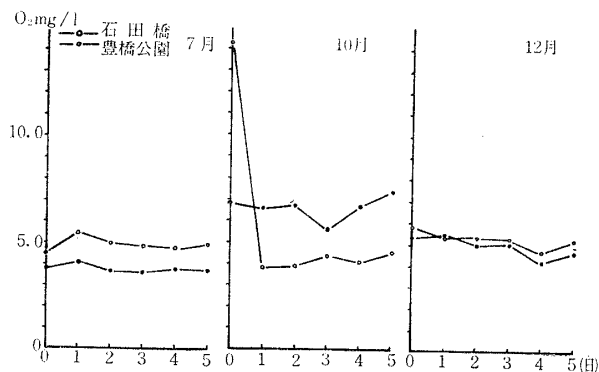


図2 DOの経日変化(豊川) 1976年

に差が認められ、DOメーターの値の方が高かった。これは電極を挿入する時どうしても空気にさらされる時間がウィンクラー法より長くなってしまいうためと思われる。この点の改良に努めなければならない。

豊川の場合は、石田橋における10月を除いて2地点とも同様な曲線が認められ、かつ酸素消費はほとんど行なわれていないと考えられる。(図2)

以上のように名古屋市内河川と豊川の各地点の酸素消費曲線から判断し、その汚濁状態をLeclerc の分類⁹⁾にしたがって判断すると次の通りである。

大瀬古橋：Iより汚濁されたタイプかIIのタイプ。

鏡池：II, IIIのタイプ。

かなえ橋：I, IIのタイプ。

島田橋：I, IIのタイプ。

石田橋：Vのタイプ。

豊橋公園：Vのタイプ。

これらのタイプとBOD等の値との関連性をまとめ、今後はそれらの分類表を作製してゆきたい。

(3) 細菌数の経日変化

名古屋市内河川の場合は一般に酸素量が少ないと予想されたので、一般細菌(20%濃度の普通寒天培地)に加えて通性嫌気性細菌の経日変化を試みた。

一般細菌については図3に示したとおり縦軸に1ml当りの菌数、横軸には日数を示した。鏡池では12月にかなりのバラツキが認められたが、6月では4日目に、8月では2日目にそれぞれ最大値を得、5日目に減少するという傾向が認められた。かなえ橋では12月に3日目から1オーダーずつ5日目まで減少する傾向が示された。また6月と8月では2日目に増加し、その後減少して5日目で再び増加している。大瀬古橋については、各月における現存量の違いがかなり顕著であった。ただし、いずれの場合も1~2日目で増加し、4日目に減少する傾向を有していた。島田橋では6月は2日目以後横ばい状態であり、8月は4日目までは直線的に減少

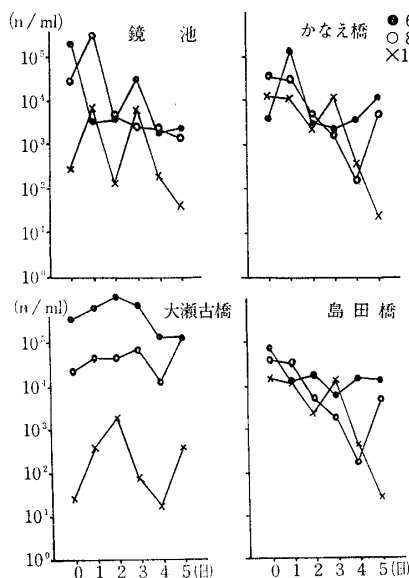


図3 一般細菌の経日変化
(名古屋市内河川) 1976年

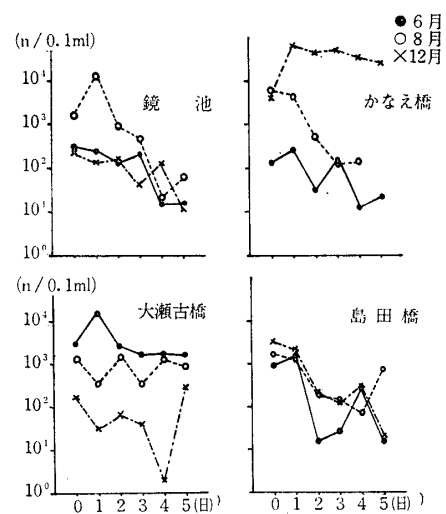


図4 通性嫌気性細菌の経日変化
(名古屋市内河川) 1976年

が認められた。12月については、3日目に増加が認められるが全体的には急激な減少を示していることが認められた。

一般細菌数は名古屋市内河川の場合、4日目以後は0日目の現存量より下まわり、酸素はかなり少なくなってきたように思われる。すなわち4日目、5日目の酸素は使い果され、好気性細菌の増殖に必要な酸素量がないためと思われる。

通性嫌気性細菌については図4に示すとおりである。大瀬古橋では6月、8月にはほとんど変動は見られなかった。12月は $10^2 \sim 10^{1n}/0.1ml$ とわずかに変化が認められた程度である。鏡池では8月にかんがりの変化があり、2日目で最大値 $10^4 n/0.1ml$ を得、5日目では $10^1 n/0.1ml$ に減少している。6月・12月については1オーダーの変化が5日間で認められた。かなえ橋では6月と8月に1～2オーダーの変動が認められたのに対して、12月は殆んど変動はみられなかった。以上のようにDOの量とその変動とは直接的には関係をもたないように思われ、酸素が減少することにより嫌気性細菌が増加する傾向は今回の調査からは認められなかった。

豊川の場合は、試水はさほど汚濁されていないと考えられたので普通寒天培地と20%希釈濃度の普通寒天培地で細菌数の経日変動を試みた。(図5)

石田橋の7月、10月はともにいずれの培地についても特に大きな変動はみられず、20%普通寒天培地の方にやや菌数が多く出ていた。しかし12月の普通寒天培地の計測結果は、1日目に 10^1 オーダーの減少が認められた。

豊橋公園では7月の普通寒天培地の方は3日目までに徐々に減少がみられ、その後はやや増加している。これに対し20%濃度の培地はその変動に凸凹があり、一定していない。また2つの試料水はともに20%普通寒天培地の方がわずかではあるが多く出現している傾向が明らかであった。

以上のように、試水についてそれぞれの変動が得られたが、一般的には2～3日目に最大値を取り、その後減少する傾向を持つものが多いといえよう。

(4) 窒素およびリンの経日変化

名古屋市内河川の窒素については NH_4-N , NO_2-N , NO_3-N および有機態 N (DON) についてその経日変動を求めたものが図6である。窒素量としては非常に大きな値であり、後に述べる豊川の約5倍量が全溶存窒素として存在している。大瀬古橋では NH_4-N の占める割合が非常に高くなっているが、これはかなり有機的に汚濁された河川であることを物語っている。その変動は6月の1日目に NH_4-N のみが増加している傾向がみられた。12月の NH_4-N はやや少なくなり、 NO_3-N や DON の量が増加しているが、その変動はやはり NH_4-N が主として生じていることが明らかである。鏡池では6月、8月ともに NH_4-N が占める割合が高くなっている。ただし変動は殆んどなかった。ところが12月の DON, NO_3-N および NH_4-N の量

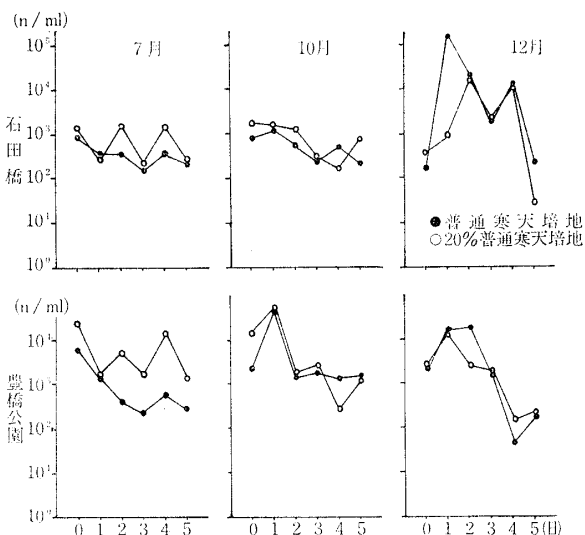


図5 一般細菌の経日変化(豊川)1976年

は多く、かついずれも同程度の存在であり、1日目に $\text{NH}_4\text{-N}$ と DON が増加し、4・5日目に DON が少なくなっているほかは顕著な変動は認められなかった。

かなえ橋においては6月の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ が同程度でかつ非常に少なく、変動もなかった。8月では $\text{NO}_3\text{-N}$ がやや減少しているにすぎないが、12月になると $\text{NH}_4\text{-N}$ と DON が非常に多量に存在し、かつ変動もかなり認められた。島田橋では6月には $\text{NH}_4\text{-N}$ 、8月は $\text{NO}_3\text{-N}$ の割合がそれぞれ高くなっている。12月は前述の試水と同様に溶存窒素が全体的に多くなっている傾向がみられた。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は1日目、2日目と増加し、その後減少ないしは横ばいの傾向である。

以上のように汚濁された河川では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ よりも $\text{NH}_4\text{-N}$ (DO の少ない河川) や DON が量的にも、また溶存窒素全体で占める割合的にも、さらにその変動についても非常に大きいことが明らかである。

次にリンについて述べる。(図7)。鏡池と島田橋における12月の場合以外は特に大きな量の差異は認められなかった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ と S.org.P の割合はともに全試水とも6月と12月では約4:1の割合で存在し、8月については1:1の割合といえよう。 $\text{PO}_4\text{-P}$ および S.org.P の量が全般的にみて特に多かったのは鏡池の12月であり、かつ3日目で急激に増加しているのが特徴的であろう。一方、島田橋における12月の2日目に $\text{PO}_4\text{-P}$ と S.org.P の急激な増加が認められた。これら全般的に言えることは、窒素のように大きな経日変化は2試水を除いて現われなかったことである。

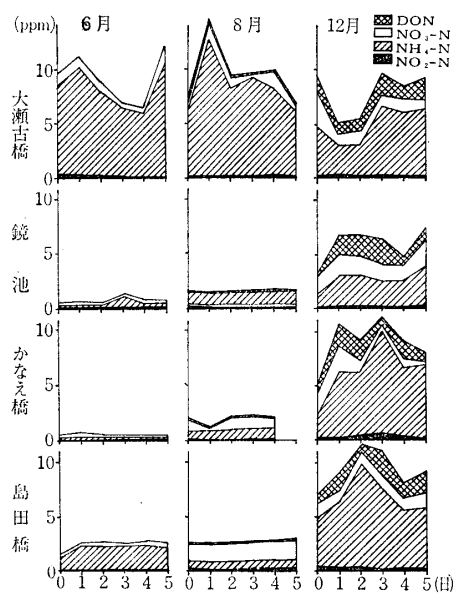


図6 溶存窒素の経日変化
(名古屋市内河川) 1976年

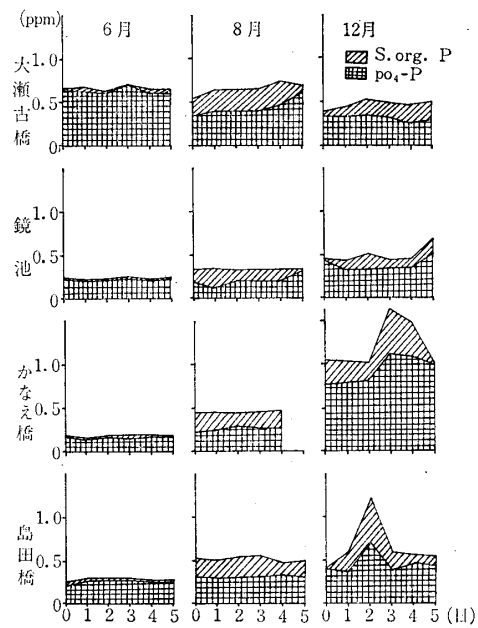


図7 溶存リンの経日変化
(名古屋市内河川) 1976年

次に豊川の試水について述べる。窒素の最高値は2.2ppm 程度で名古屋市内河川の約1/5に相当した。このことから図中のスケールを1/5にして示した。(図8)

石田橋では $\text{NO}_3\text{-N}$ が非常に多く、DO の量から考えてもよく一致している。また $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ については低い値が得られた。しかし、 DON が常に多く全体として占める割合も高いのが特徴といえる。特に12月のそれは大きく、かつ $\text{NO}_3\text{-N}$ が殆んど1日目以後は変動が認められないのに対し、大きく増減していることが明らかである。ただ12月の $\text{NH}_4\text{-N}$ は3日目以

後にほんのわずかではあるが増加しているのが認められた。豊橋公園ではいずれの月も窒素量や変動の仕方に相違が認められた。7月は $\text{NH}_4\text{-N}$ 、10月がDONそして12月がDONと $\text{NO}_3\text{-N}$ の変化が大きく、全体の量的変動を支配していることが明らかであろう。

リンについては名古屋市内河川と比較して、1/10のスケールで図9に示した。

石田橋は12月において $\text{PO}_4\text{-P}$ が2日目に増加している以外は日変動はなかった。これに対して豊橋公園の7月は $\text{PO}_4\text{-P}$ が減少し、S.org.Pが逆に1日以後増加している。またS.org.Pの占める割合も非常に大きくなっている。10月にほぼ平行して $\text{PO}_4\text{-P}$ とS.org.Pの増加がみられるのは興味深い。12月は $\text{PO}_4\text{-P}$ の値が非常に高く、かつ増減も認められた。

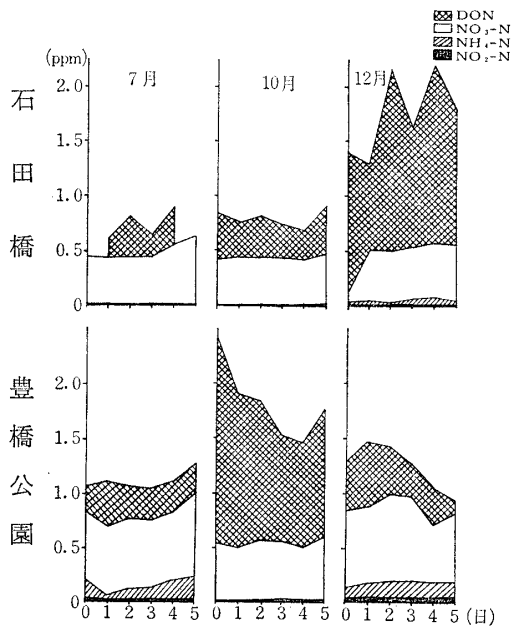


図8 溶存窒素の経日変化(豊川)1976年

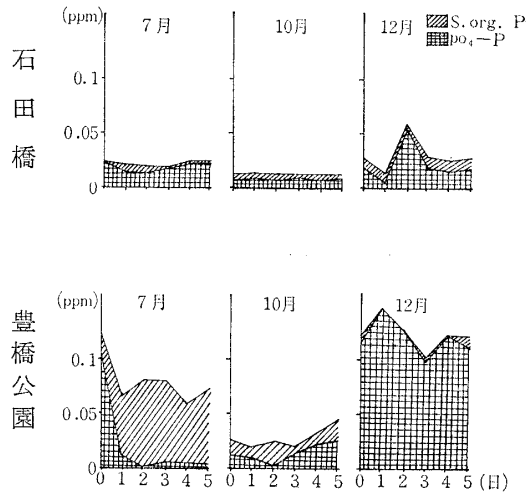


図9 溶存リンの経日変化(豊川)1976年

以上、窒素とリンについての経日変動を見た時、全溶存リンの各試水のパターンはかなりよく一致した傾向を持っているが、各態の窒素の個々の変動や、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、S.org.Pとの関連性は特に何と何があるというようには求められなかった。

またDOが減少し、かつ一般細菌数も減少する傾向はよく認められた。しかし、通性嫌気性細菌が反対に増加したりする明確なパターンは示されなかった。一方、今回の実験で有機物量の変動を知るためにCODも平行して測定を行なったが、殆んどが0日目より5日目に値の増加が認められた。このことは恐らく過マンガン酸カリウム法による分解が、5日間の保温により測定にかかりやすい物質(有機物)に変化したものと考えられる。

結 論

酸素の消費における経日変化から、試水を4つのタイプに分類することができた。細菌の変動は、一般細菌についてはDOの消費曲線に従って減少が認められるが、通性嫌気性細菌が無酸素状態で増加するという事は認められなかった。また細菌の変化は一般的には1日目もしくは2日目に最大値を取る場合が多い。

窒素の変動は非常に汚濁された試水の場合 $\text{NH}_4\text{-N}$ の占める割合が高く、かつ1日目~2日

目までは増加が非常に大きい。ただし、その後に減少がみられるが、その分 $\text{NO}_3\text{-N}$ や $\text{NO}_2\text{-N}$ にとってかわったという点は明らかでない。

リンについては全く変化しないものもあり、かつ1日目や2日目に増加が認められるものもある。しかしその増減のパターンは非常に複雑であった。

(おわりに、本研究を進めるにあたり、この調査の機会を与えていただいた名古屋女子大学教授広正義先生に深く感謝します。)

参 考 文 献

- 1) 八木明彦・辻玲子・広正義：名古屋女子大学紀要，22，139～144（1976）
- 2) 辻 玲子：名古屋女子大学紀要，23，141～148（1977）
- 3) Leclerc, E. : Advance Water Pollution Research, Vol. 1, No.1, 51～62（1964）