関西自然保護機構会報（13）31—48，1986.

珪藻群集による河川有機汚濁の数量評価[1) 2)]

渡　辺　仁　治（奈良女子大学理学部）
浅　井　一　視（大阪医科大学）
伯　耆　晶　子（奈良女子大学理学部）

1．はじめに

生物学的水質判定法が広く用いられてからの歴史は古いが，その結果は往々にして，物理化学的水質測定値の補助値，あるいは，それらとは関連のない独立の評価値として扱われてきた。

生物学的水質判定は，複合的，相乗的にからみあいしかも動的な環境要因を累積的に総合評価するのに対して，物理化学的測定値は，そのような環境の時系列的変動の一断面を，数量的に分析する。云い換えれば，生物学的水質判定は，水質の数量的解析よりも総合評価に有効であるのに対して，物理化学的測定値は，総合評価には不向きでも数量的解析に有効である。そしてたがいの長所が短所を補いあい，しかも両者間には本来因果率が存在するはずである。

しかし，生物学的水質判定の結果が適正に数量化されない限り，両者の関連から因果率まで検討することは不可能に近い。水質の生物学的数量評価法は，すでに多くの研究者によって提案されてきたが，それらのうち，指標生物を用いての数量評価法は，渡辺（1981），渡辺ほか（1983），渡辺・浅井・伯耆（1985）が指摘しているように，生態学の見地からすれば必ずしも納得のいく方法とは云えない現状である。

我々は珪藻群集を有機的水質汚濁に対する指標とし，数理生態学的に妥当な汚濁の数量評価法の開発に努め，一つの評価法を確立することができた。本報ではその方法の概略を紹介し，併せて評価値のもつ生態学的意義を考察したものである。

2．方　法

1）サンプリング

生物試料は，1981年5月から1985年7月迄の春と夏に，近畿，北陸，九州，関東の65河川，533地点から下記の条件統一を施して採集した。

a．水深約30cm以浅，流速約30cm・sec^{-1} の瀬で採集する。

b．石礫の上面が平滑で，その面が水面とほぼ平行な石礫を選び，上面に付着する群集のみを採集する。

c．遷移過程の成熟期と考えられる現存量の大きい群集を選択採集する。

d．上記の条件に該当するサンプルを5試料以上混ぜあわせて，その地点の試料とする。

2）サンプルの処理と細胞数の計測

試料は総て硫酸と過マンガン酸カリウムによって酸処理後水洗し，Caedax を用いて永久プレパラートを作製した。種の同定に当っては，ノーマルスキー光学顕微鏡による2000倍の写真をとり，Hustedt, F.（1930，1930—1966）；Cleve Euler, A.（1951—1955）；Patrick, R. & Reimer, C. W.（1966，1975）；Kobayasi, H. & Mayama, S.（1982）；Lange-Bertalot, H.（1978）；Lange-Bertalot, H. & Bonik, K.（1976）；Lange-Berlot, H. & Simonsen, R.（1978）；Lange-Bertalot, H. & Rumrich, U.（1981）；福島・木村・小林（1973）；渡辺・藤平・角谷（1982 b）を主な参考文献として写真判定を行なった。

各試料とも taxon 別に細胞数を数えて，合計500細胞以上になるまで計数を行ない，各 taxon ごとにその珪藻群集内の相対頻度を求めた。

3）珪藻の汚濁適応能とDAIpo

3)—1．汚濁適応能

渡辺（1981）；渡辺・藤平・角谷（1982 a）；Sumita, M. & Watanabe, T.（1983）；渡辺ほか（1983）らは，先述の条件設定のもとに採集された試料により，各採集地点に出現した taxon の相対頻度と，BOD 値（年4～12回の測定値の平均）との関連に基づいて，出現した全珪藻種を，耐汚濁性種，広適応性種，非耐汚濁性種に

1）日産学術研究助成金（代表者・渡辺仁治）による研究成果の一部である。
2）関西自然保護機構業績第41号

類別した。そして，それら3類別群の珪藻群集中の構成比が，汚濁の進行に伴って規則的に変化する傾向があることを見出した。

しかしBOD値は水質の瞬間値である限り，たとえ平均値であるにせよ，化学分析値が大きく変動する水域では，おおよその目安とはなっても，その地点の汚濁度を適正に示す代表値とは必ずしもなりえない。したがって，上記3群の類別は，十分に妥当適正な類別とは云えなかった。そこで我々は，化学分析値に頼らず，生物学的視点にたって，数理的手法による類別を試み，その結果に基づいて，群集構成に見られた規則的変化の法則性を検討した。

その方法を以下に略記する。

a）各珪藻 taxon の汚濁指数の決定

ある調査地点（i）に出現するm種の珪藻（j）の相対頻度（Rf）の和を次式で示す。

$$\sum_{j=1}^{m} Rf(i,\ j) = 1$$

次に，各珪藻種の汚濁指数（D）を

$$0 \leqq D \leqq 100$$

とする。

まず始めに，著しく汚濁した地点には例外なく出現し，珪藻群集中の相対頻度も，汚濁水域では常に他を圧して大きい *Nitzschia palea* を有機汚濁を好む種の代表種とし，そのD値を0とした。一方，清水域に常に出現し相対頻度も大きい *Cymbella minuta* を，清水域を好む種の代表種とし，D値を100とした。その他の種は，どちらのグループに属するかが判別できないものと仮定して，それらのD値を総て50とし，これらを以後の計算の初期値とした。

仮定した3つのD値を用いて，各調査地点（i）の汚濁指数（SI）を次式（1）で求めることができる。

$$SI(i) = \sum_{j=1}^{m} \{Rf(i,j) \times D(j)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

当然のことながら，*Nitzschia palea* の相対頻度の大きい地点ではSI値は低く，*Cymbella minuta* の多い地点ではSI値は高い。このSI値はすでに述べたように2種の珪藻のみを指標としているので，暫定的な値でしかない。

次に（1）式で求められた全調査地点の SI 値を用いて，初期値として0，50，100の値を与えた各珪藻種のD値を，0から100まで，順次大きくなる指数へ求めなおすことができる。D値が50と仮定された種が，SI値の低い地点に多く出現するものであれば，その種のD値は小さくなり，SI値の高い地点に多く出現する種のD値は大きくなる。すなわち，*Nitzschia palea* とよく随伴して出現する種のD値は小さく，*Cymbella minuta* とよく随伴して出現しない種，あるいは，そのどちらとも同じ程度に随伴して出現する種のD値は，共に50に近い値となる。

以上のことを考慮して各珪藻 taxon のD値を求める式を，下の（2）式のように設定した。

$$D(j) = \sum_{i=1}^{n} \{SI(i) \times Rf(i,j)\} \,/\, \sum_{i=1}^{n} Rf(i,j) \cdots\cdots (2)$$

（2）式で計算に用いた SI の値は，すでに述べたように暫定値であるので，（2）式でえられた $D(j)$ 値を用いて，再び各地点の SI 値を求めなおすことができる。しかし，（1）式と（2）式をフィードバックさせながら繰返して計算していくと，D値，SI値共に50に近づき，指標としての目的を達成することはできない。そこで（1）式に下記の視点を導入して，別のSI値を求めた。

（i）全調査地点中，汚濁された地点の観測例が多ければ，D値，SI値共に小さいものが多くなり，逆の場合は大きい値のものが多くなる。そこで，全調査地点のSIの平均値（M）を用いることにより，両者の値が一方へ偏ることをできるだけ避けた。

（ii）次の（3），（4），（5）式により，平均値からの差に重みをつけた。

$$M = \sum_{i=1}^{n} SI(i) \,/\, n \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

ただし n は全調査地点数

$D(j) \geqq M$ のとき

$$X(j) = 50 + \frac{50}{\sqrt{100-M}} \times \sqrt{D(j)-M} \quad (4)$$

$D(j) < M$ のとき

$$X(j) = 50 - \frac{50}{\sqrt{M}} \times \sqrt{M-D(j)} \cdots\cdots (5)$$

ただし $X(j)$ は珪藻種の新しい汚濁指数

（4）式又は（5）式により $X(j)$ を求めて（1）式に代入し，これを式（6）とした。

$$SI(j) = \sum_{j=1}^{m} \{Rf(i,j) \times X(j)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

各地点のSI値と各 taxon のD値が収束するまで，（2）式～（6）式の計算を繰返して最終値 X 値を求めた。その結果，各珪藻 taxon は X 値の小さいものから大きいものへの順，すなわち，汚濁水域を好む種から汚濁を嫌

う種までの順に並べることができた。

次に様々な種の出現のしかたを，この順序に照しあわせて考えると，X値の小さい汚濁を好むと考えられる種は，互いに随伴して出現することが多いが，X値が50に近い種ともよく共存していることが認められた。また逆にX値が大きい種についても同様のことが認められ，河川産珪藻は3つのグループに大別できることがこの計算結果からも示唆された。今回出現した454 taxaのそれぞれの種がどのグループに属するかが決まれば，Sumita, M. & Watanabe, T. (1983) がすでに提案した式によって，各地点の *DAIpo* (Diatom Assemblage Index to organic water pollution) を求めることができる。したがって，地点の汚濁度の数量評価値としては，*DAIpo* と *SI* の両者が利用できるように見える。しかし，*SI* 値を求める場合，各珪藻種の汚濁指数に対して，(3)～(5)式の操作を施した。したがって各 taxon の汚濁指数 $X(j)$ は，汚濁嗜好性への順序を示す値として利用はできても，数値自体に生態学的意義は認めにくい。よって $X(j)$ を組み入れた式から数量評価することは，それを参考値とはしても，評価値とすることは避けたい。

一方 *DAIpo* 値を求めるためには，3つのグループの類別をどうするかの問題が残っている。この類別のために次の4規準を設定した。

a．汚濁の変化に伴う，珪藻群集組成の規則的変化を，より明確にすることの可能性を，グループ類別と関連させて検討する。

b．好汚濁性種 (Saprophilous species) と好清水性種 (Saproxenous Species) とに属する種が，同時に出現する地点の数を最少にする。

c．*DAIpo* と *SI* の平均値が等しく，両者の相関が大きくなるようにする。

以上の規準を総て満足しうる区分点を求めて，3グループの類別を行なった。その結果

好汚濁性種	33 taxa
広適応性種	240 taxa
好清水性種	181 taxa

が決定された。この結果は BOD を汚濁の尺度としてまず類別し，それを群分析によって修正した結果（渡辺ほか1984）と比べると，好汚濁性種，好清水性種から広適応性種への属性変更が一部にあり，結果的に広適応性種の taxa 数が増加した。

図1～3は3群に属する代表種の，群集中の相対頻度と *DAIpo* との相関を図示したものである。

3)—2. *DAIpo*

珪藻群集を指標とする有機汚濁指数 *DAIpo* Diatom Assemblage Index to organic water pollution は，Sumita, M. & Watanabe, T. (1983) が提案した次式によって求めることができる。

$$DAIpo = 100 - \sum_{i=1}^{l} Rf,\ Si - 1/2 \sum_{j=1}^{m} Rf,\ Ej$$

$\sum_{i=1}^{l} Rf, Si$：その地点に出現した l 種の好汚濁性種 (Si) の珪藻群集中における相対頻度 (Rf) の和

$\sum_{j=1}^{m} Rf, Ej$：その地点に出現した m 種の広適応性種 (Ej) の珪藻群集中における相対頻度 (Rf) の和

4）水質の物理・化学的分析

試料の採集地点は，河川ごとに環境規準点，補助地点を含めて設定されている。物理化学的水質分析値は，国，各府県の指定機関が測定した値をとり，採集時からさかのぼって1年間の4～12回の測定値の平均を，生物試料に対応する分析値とみなした。なお電気伝導度（EC）は，試料採集時に測定した値の20℃換算値である。生物試料を採集した533地点のうち，水質分析値がえられたのは395地点であった。なお水質分析は下記の方法によった。

BOD ：BOD_5
COD ：過マンガン酸カリ酸性法
T—N ：ケールダール法
T—P ：モリブデン酸アンモニウム法
EC ：DKK, Model PK—5 電極による

3. 結果と考察

1）3生態群への類別

533観測地点に出現した454種の珪藻を，すでに述べた方式に従って3生態群に類別した。表1に好汚濁性種，表2に広適応性種の総てを表示した。好汚濁性種と広適応性種は，表示された273 taxa によってほとんど網羅されたと考えている。表記以外の181種の珪藻は総て好清水性種である。

これら3生態群からそれぞれ10 taxaを選び，各 taxon ごとに *DAIpo* と相対頻度の関連を図1～3へ示した。これらの図は，各 taxon の珪藻群集中での優占度が，汚濁度の違いによってどう変るかの傾向を図示したものである。これらの図で明らかなように，どの生態群の種もその存在のみをとりあげると，汚水域から清水域まで広範囲の水域に生存するものが多い。しかし群集中の優占度に着目すると，taxon ごとに有機汚濁に対する選択性

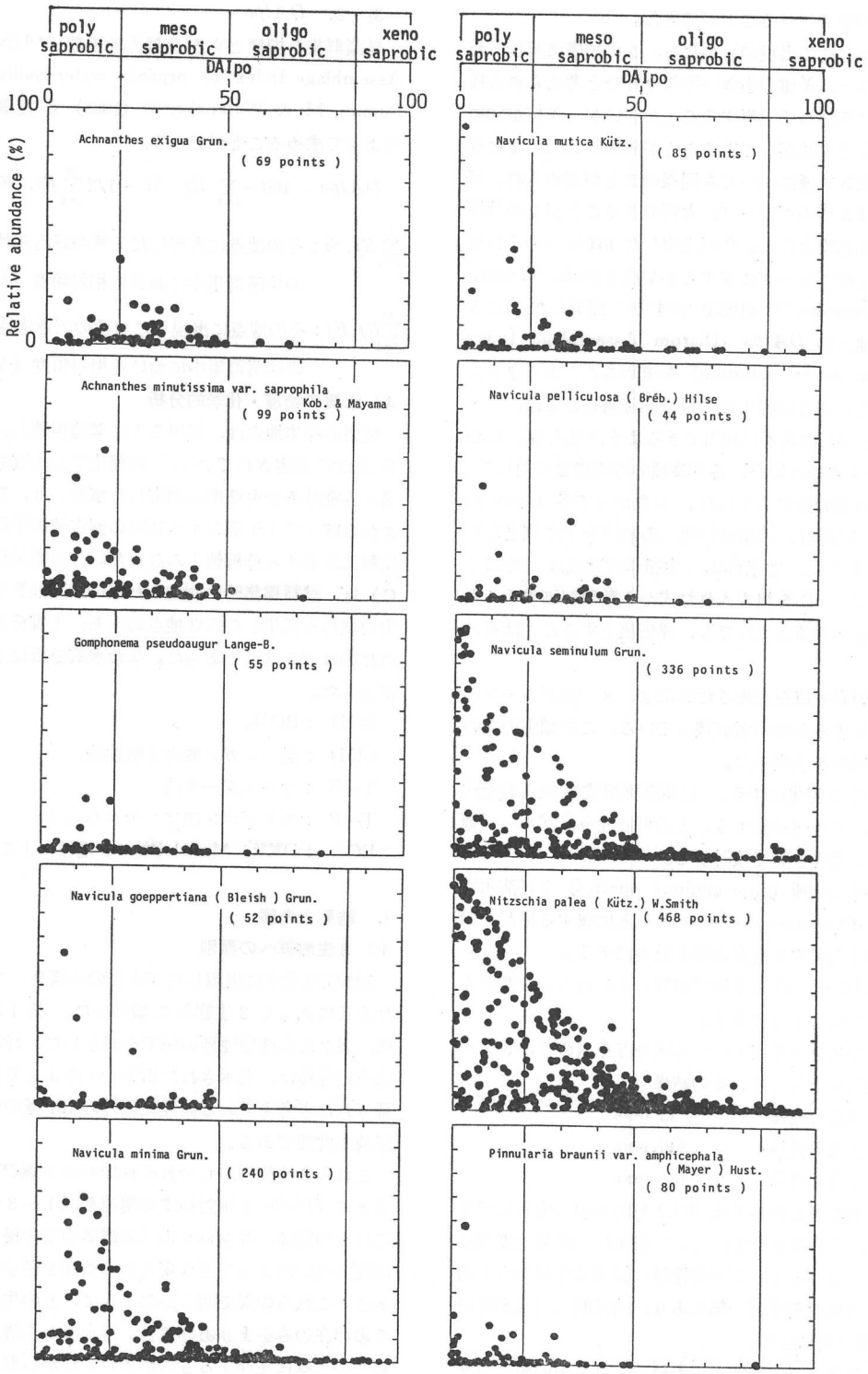


図1. 代表的好汚濁性種における汚濁度（DAIpo）と，珪藻群集中の優占度との関係。（ ）内は出現地点数

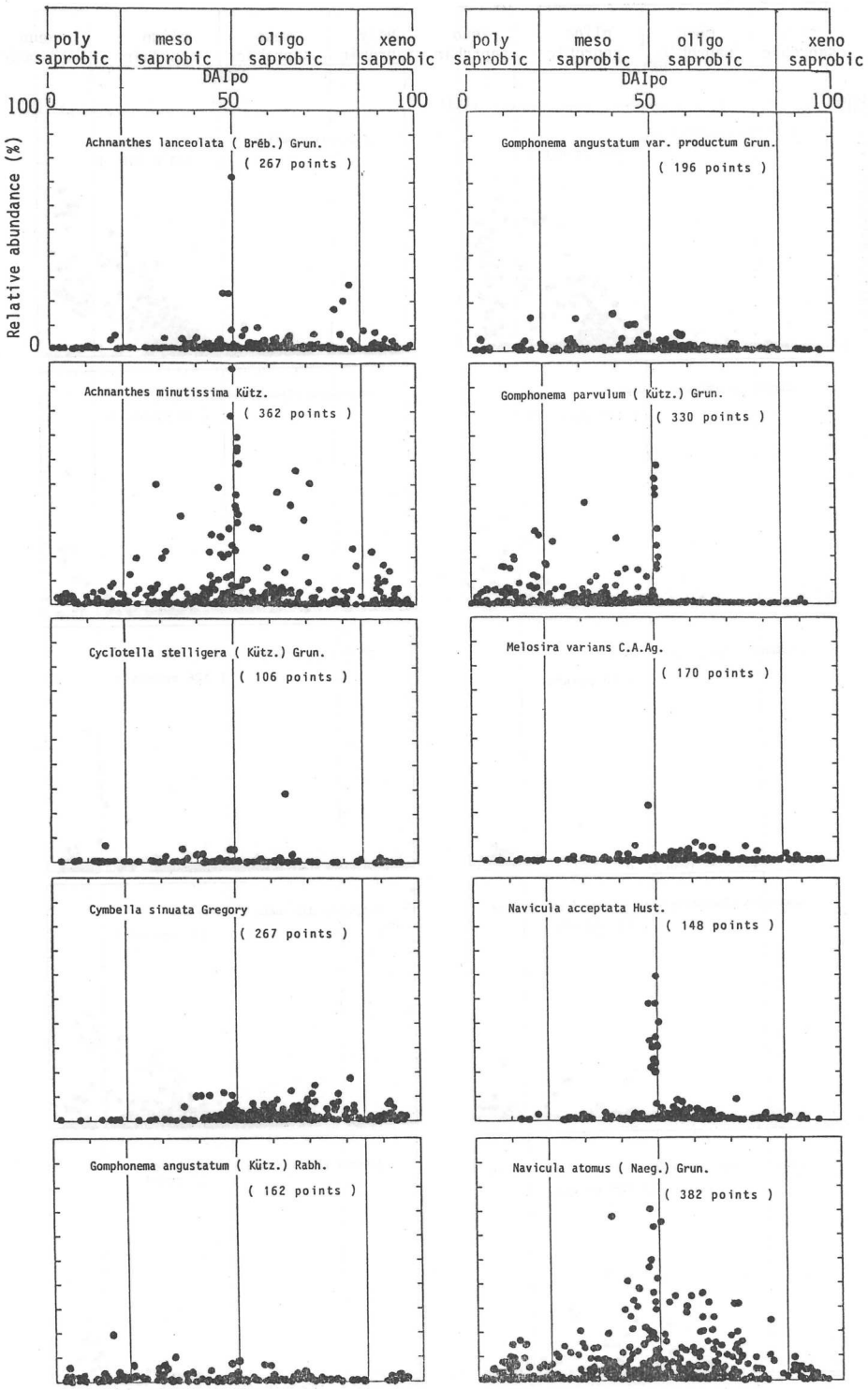


図2. 代表的広適応性種における汚濁度（DAIpo）と，珪藻群集中の優占度との関係。（ ）内は出現地点数

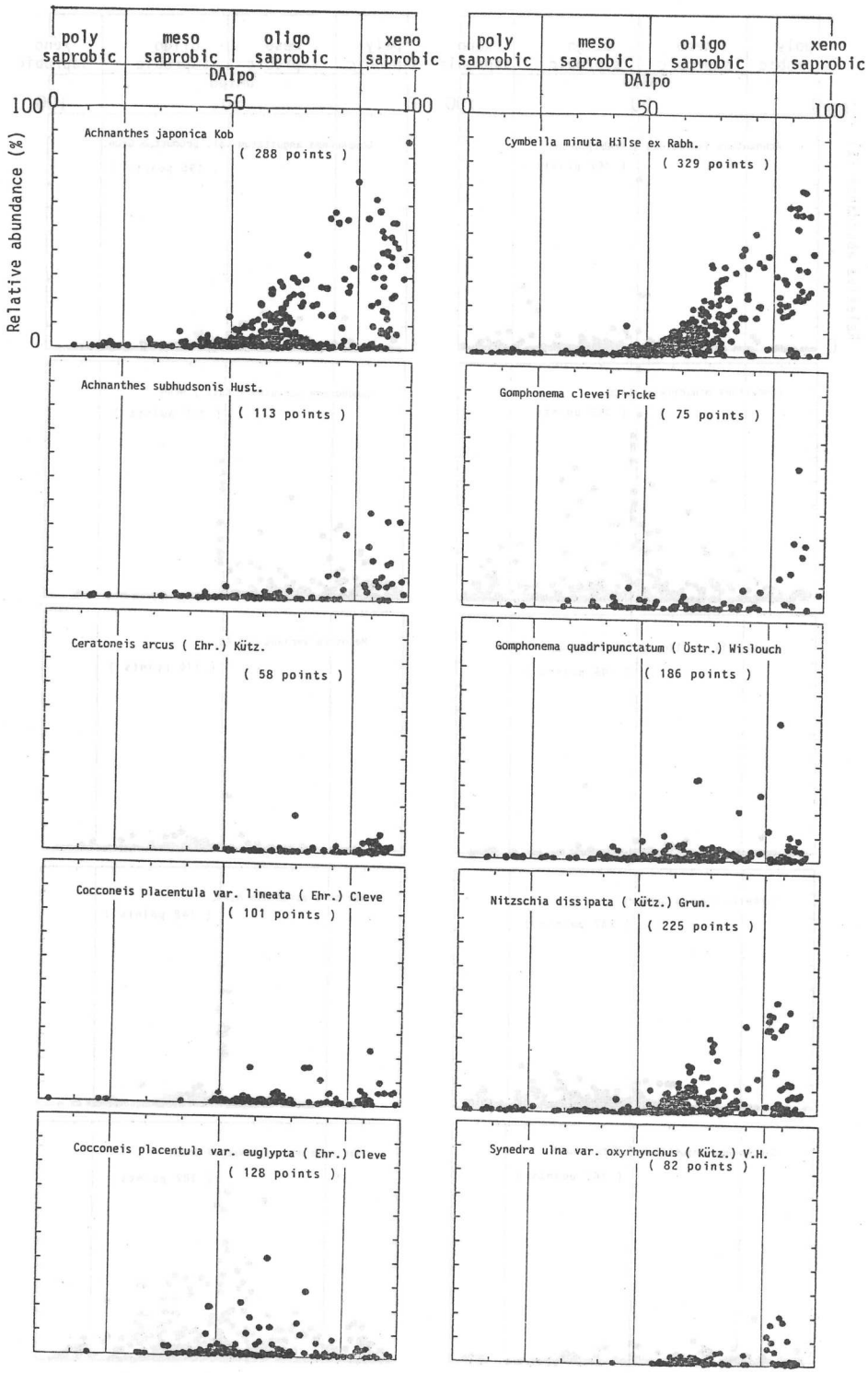


図3. 代表的好清水性種における汚濁度（DAIpo）と，珪藻群集中の優占度との関係。（ ）内は出現地点数

表1. Saprophilous taxa (好汚濁性種)

1. *Achnanthes exigua* Grun.
2. *Ach. minutissima* Kütz. var. *saprophila* Kob. & Mayama
3. *Amphora submontana* Hust.
4. *Cyclotella cryptica* Reimann, Lewin & Guillard
5. *Fragilaria pseudogaillonii* Kob. & Idei
6. *Gomphonema pseudoaugur* Lange-B.
7. *Melosira ambigua* (Grun.) O. Müll.
8. *Navicula cloacina* Lange-B.
9. *Nav. confervacea* Kütz.
10. *Nav. cuspidata* (Kütz.) var. *cuspidata*
11. *Nav. excelsa* Krasske
12. *Nav. goeppertiana* (Bleish) Grun.
    (Syn. *Nav. mutica* f. *goeppertiana* (Bleish) Grum.
13. *Nav. gysingensis* Foged var. *gysingensis*
14. *Nav. minima* Grun.
15. *Nav. mutica* Kütz.
16. *Nav. mutica* var. *stigma* Patr.
17. *Nav. mutica* f. *undulata* (Hilse) Grun.
18. *Nav. pelliculosa* (Bréd.) Hilse
19. *Nav. permitis* Hust.
20. *Nav. saprophila* Lange-B. & Bonik
21. *Nav. seminuloides* Hust.
22. *Nav. seminulum* Grun.
23. *Nav. seminulum* var. *hustedtii* Patr.
24. *Nav. seminulum* var. *radiosa* Hust.
25. *Nav. subatomoides* Hust.
26. *Nav. subseminulum* Hust.
27. *Nav. terminata* Hust.
    (Syn. *Nav. mutica* var. *tropica* Hust.)
28. *Nitzschia heufleriana* Grun.
29. *Nit. palea* (Kütz.) W. Smith
30. *Nit. palea* var. *debilis* (Kütz.) Grun.
31. *Pinnularia braunii* (Grun.) Cleve var. *amphidephala* (Mayer) Hust.
32. *Pin. gibba* Ehr. var. *sancta* (Grun.) Meist.
33. *Pin. microstauron* (Ehr.) Cleve

表2. Eurysaprobic taxa (応適応性種)

1. *Achnanthes delicatula* (Kütz.) Grun.
2. *Ach. hungalica* (Grun.) Grun. var. *hungalica*
3. *Ach. hauckiana* Grun. var. *hauckiaua*
4. *Ach. inflata* (Kütz.) Grun.
5. *Ach. lanceolata* (Bréb.) Grun. var. *lanceolata*
6. *Ach. lanceolata* var. *dubia* Grun.
7. *Ach. lanceolata* var. *elliptica* Cleve
8. *Ach. lanceolata* var. *omissa* Reim.
9. *Ach. lanceolata* var. *rostrata* Hust.
10. *Ach. linearis* W. Sm. var. *jackii* (Rabenh.) Grun.
11. *Ach. minutissima* Kütz.
    (Syn. *Achnanthes lineariformis* Kob.
    Ach. linearis W. Sm.
    Ach. linearis f. *curta* H. L. Sm.
    Ach. microcephala Kütz.)
12. *Amphora acuiuscula* Kütz.
13. *Amp. montana* Krasske
14. *Amp. ovalis* Kütz. var. ovalis
15. *Amp. ovalis* var. *affinis* (Kütz.) V. H.
16. *Amp. ovalis* var. *pediculus* Kütz.
17. *Asterionella gracillima* (Hantzsch) Heiberg
18. *Bacillaria paradoxa* Gmelin
19. *Caloneis bacillum* (Grun.) Mereschkowsky
20. *Cal. bacillum* f. *constricta* Mayer
21. *Cal. bacillum* var. *subcuneata* Mayer
22. *Cal. clevei* (Lagst.) Cleve var. *attenuata* Manguin
23. *Cocconeis pediculus* Ehr.
24. *Coc. placentula* Ehr.
25. *Cosclndiscus lacustris* Grun.
26. *Cyclotella atomus* Hust.
27. *Cyc. comta* (Ehr.) Kütz.
28. *Cyc. glomerata* Bachmann
29. *Cyc. kützingiana* Thwaites
30. *Cyc. meneghinana* Kütz.
31. *Cyc. pantanelliana* (Pantanelli) Castracane
32. *Cyc. pseudostelligera* Hust.
33. *Cyc. stelligera* Cleve & Grun.
34. *Cyc. stelligera* var. *tenuis* Hust.
35. *Cyc. striata* (Kütz.) Grun.
36. *Cymbella affinis* Kütz.
37. *Cym. microcephala* Grun.
38. *Cym. sinuata* Gregory
39. *Cym. tumida* (Bréb.) V. H.

40. *Cym. tumida* var. *gracilis* Hust.
41. *Cym. turgidula* Grun.
42. *Cym. turgidula* var. *nipponica* Skv.
43. *Diatoma vulgare* Bory var. *vulgare*
44. *Dia. vulgare* var. *brevis* Grun.
45. *Dia vulgare* var. *productum* Grun.
46. *Fragiaria brevistriata* Grun. var. *brevistriata*
47. *Fra. brevistriata* var. *capitata* Hérib.
48. *Fra. brevistriata* var. *inflata* (Pantocsek) Hust.
49. *Fra. capucina Desmaziéres* var. *capucina*
50. *Fra. capucina* var. *acuta* Grun.
51. *Fra. capucina* var. *lanceolata* Grun.
52. *Fra. construens* (Ehr.) Grun. var. *construens*
53. *Fra. construens* var. *binodis* (Ehr.) Grun.
54. *Fra. construens* var. *veneta* (Ehr.) Grun.
55. *Fra. crotonensis* Kitton var. *crotonensis*
56. *Fra. crotonensis* var. *oregona* Sov.
57. *Fra. elliptica* Schum.
58. *Fra. pinnata* Ehr.
59. *Fra. pinnata* var. *lancettula* (Schum.) Hust.
60. *Fra. pinnata* var. *trigona* (Brun. & Heribaud) Hust.
61. *Fra. virescens* Ralfsvar. *virescens*
62. *Fra. virescens* var. *elliptica* Hust.
63. *Fra. virescens* var. *mesolepta* Rabenh.
64. *Frustulia vulgaris* Thweies
65. *Gomphonema affine* Kütz. var. *affine*
66. *Gom. angustatum* (Kütz.) var. *angustatum*
67. *Gom. angustum* var. *productum* Grun.
68. *Gom. angustatum* var. *sarcophagus* (Greg.) Grun.
69. *Gom. angustatum* var. *undulatum* Grun.
70. *Gom. gracile* Ehr. var. *gracile*
71. *Gom. gracile* var. *auritum* (A. Braun) Cleve
72. *Gom. intricatum* Kütz. var. *intricatum*
73. *Gom. intricatum* var. *pumilum* Grun.
74. *Gom. minutum* Agardh
75. *Gom. olivacea* (Lyngb.) Dawson (Pro Syn. *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.) Kütz.)
76. *Gom. parulum* (Kütz.) Grun.
77. *Gom. parvulum* var. *exilis* Grun.
78. *Gom. parvulum* var. *lagenulum* (Kütz. ? Grun.) Hust.
79. *Gom. parvulm* var. *microps* (Kütz.) Cleve
80. *Gom. parvulum* var. *subelliptica* Cleve
81. *Gom. pulvinatum* Braun (Syn. *Gomphonema intricatum* var. *pulvinatum* Grun.)
82. *Gom. sphaerophorum* Ehr.
83. *Gom. subclavatum* (Grun. in V. H.) Grun. var. *subclavatum*
84. *Gom. subclavatum* var. *commutatum* (Grun.) Mayer
85. *Gom. tenellum* Kütz.
86. *Gom. tergestinum* (Grun.) Fricke
87. *Gyrosigma spencerii* (W. Sm.) Cleve
88. *Gyr. spencerii* var. *curvula* Grun.
89. *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun.
90. *Hydrosera triquetra* Wallich
91. *Melosira distans* (Ehr.) Kütz. var. *alpigena* Grun.
92. *Mel. granulata* (Ehr.) Ralfs
93. *Mel. granulata* var. *angustissima* Müll.
94. *Mel. islandica* O. Müll.
95. *Mel. islandica* subspec. *helvetica* O. Müll.
96. *Mel. italica* (Ehr.) Kütz.
97. *Mel. italica* f. *curvata* (Pantocsek) Hust. (Syn. *Melosira italica* var. *curvata* Pantocsek)
98. *Mel. italica* var. *tenuissima* (Grun.) O. Müll.
99. *Mel. varians* C. A. Ag.
100. *Navicula acceptata* Hust.
101. *Nav. accomoda* Hust. var. *accomoda*
102. *Nav. arenariaeformis* Pantocsek
103. *Nav. arvensis* Hust. var. *arvensis*
104. *Nav. atomus* (Naeg.) Grun. var. *atomus*
105. *Nav. bacillum* Ehr.
106. *Nav. brevissima* Hust.
107. *Nav. capitata* Ehr. var. *capitata*
108. *Nav. capitata* var. *hungarica* (Grun.) Ross
109. *Nav. capitata* var. *linearis* Östrup
110. *Nav. capitatoradiata* Germ.

111. *Nav. cari Ehr.*
112. *Nav. contenta* Grun.
113. *Nav. contenta* f. *biceps* Arnott
114. *Nav. cryptocephala* Kütz.
115. *Nav. decussis* Östrup var. *decussis*
116. *Nav. elginensis* (Greg.) Ralfs var. *elginensis*
117. *Nav. elginensis* var. *lata* (M. Perag.) Patr.
118. *Nav. elginensis* var. *neglecta* (Krasske) Patr.
119. *Nav. exigua* (Greg.) O. Müll. var. *exigua*
120. *Nav. exigua* var. *capitata* Patr.
121. *Nav. exilis* Kütz.
122. *Nav. explanata* Hust. var. *explanata*
123. *Nav. frugalis* Hust.
124. *Nav. gothlandica* Grun.
125. *Nav. graciloides* A. Mayer
126. *Nav. gregaria* Donkin
127. *Nav. guluensis* Giffen
128. *Nav. hasta* Pantocsek
129. *Nav. heufleri* Grun. var. *heufleri*
(Syn. *Navicula cincta* var. *heufleri* Grun.)
130. *Nav. heufleri* var. *leptocephala* (Bréb. ex Grun.) Peragallo et Peragallo
(Syn. *Navicula leptocephala* Bréb. ex Grun.
Navicula cincta var. *leptocephala* Bréb. ex V. H.)
131. *Nav. hustedtii* Krasske
132. *Nav. lanceolata* (Agardh) Kütz.
133. *Nav. laterostrata* Hust.
134. *Nav. luzonensis* Hust. var. *luzonensis*
135. *Nav. mendotia* Van Landingham
(Syn. *Navicula dulcis* Patr.)
136. *Nav. menisculus* Schumann
137. *Nav. menisculus* var. *upsaliensis* (Grun.) Grun.
138. *Nav. minuscula* Grun.
(Syn. *Navicula muralis* Crun.)
139. *Nav. mollis* (W. Sm.) Cleve
140. *Nav. neoventricosa* Hust.
(Syn. *Navicula mutica* var. *ventricosa* (Kütz.) Cl. et Grun.)
141. *Nav. notha* Wallace var. *notha*
142. *Nav. odiosa* Wallace var. *odiosa*
143. *Nav. paucivistata* Patr. var. *paucivistata*
144. *Nav. permitis Hust.*
145. *Nav. perpendicularis* Cleve-Euler
146. *Nav. prostrata* Grun.
147. *Nav. pseudolaneolata* Lange-B.
(Syn. Navicula lanceolata (Agardh.) Kütz.)
148. *Nav. pupula* Kütz. var. *pupula*
149. *Nav. pupula* var. capitata Hnst.
150. *Nav. pupula* var. *elliptica* Hust.
151. *Nav. pupuula* var. *mutata* (Krasske) Hust.
152. *Nav. pygmaea* Kütz.
153. *Nav. radiosa* Kütz. var. *radiosa*
154. *Nav. radiosa* f. *nipponica* Skv.
155. *Nav. rhynchocephala* Kütz. var. *rhynchocephala*
156. *Nav. rhynchocephala* var. *amphiceros* (Kütz.) Grun.
157. *Nav. rhynchoephala* var. *germanii* (Wallace) Patr.
158. *Nav. salinarum* Grun. var. *intermedia* (Grun.) Cleve
(Syn. *Navicula cryptoephala* var. intermedia Grun.)
159. *Nav. subminuscula* Manguin
160. *Nav. symmetrica* Patr. var. *symmetrica*
161. *Nav. tantula* Hust.
162. *Nav. tenelloides* Hust. var. *tenelloides*
163. *Nav. thienemannii* Hust.
164. *Nav. veneta* Kütz.
(Syn. *Navicula cryptocehala* var. *veneta* (Kütz.) Grun.
Nav. cryptocephala var. *subsalina* Hust.)
165. *Nav. ventralis* Krasske
166. *Nav. viridula* Kütz.
167. *Nav. viridula* var. *avenacea* (Bréb.) Grun.
168. *Nav. viridula* var. *linearis* Hust.
169. *Nav. viridula* var. *rostellata* (Kütz. ?) Cleve
170. *Nav. viridula* var. *slesvicensis* (Grun.) Cleve

171. *Nav. zanoni* Hust.
172. *Nitzschia acicularis* W. Sm.
173. *Nit. amphibia* Grun.
174. *Nit. archibaldii* Lange-B.
175. *Nit. brevissima* Grun.
176. *Nit. clausii* Hantzsch
177. *Nit. communis* Rabh.
178. *Nit. denticula* Grun.
179. *Nit. filiformis* (W. Sm.) Hust.
180. *Nit. fonticola* Grun.
181. *Nit. fonticola* var. *genuina* A. Cl.
182. *Nit. frustulum* Kütz. var. *frustulum*
183. *Nit. frustulum* var. *perminuta* Grun.
184. *Nit. frustulum* var. *perpusila* (Rabh.) Grun.
185. *Nit. frustulum* var. *subsalina* Hust.
186. *Nit. gandersheimiensis* Krasske
(Syn. *Nitzschia leavis* Hust.)
187. *Nit. graciliformis* (Hust.) Lange-B.
(Syn.*Nitzschia graciloides* Hust.)
188. *Nit. gracilis* Hantzsch
189. *Nit. hantzschiana* Rabh.
190. *Nit. hungaica* Grun. var. *linearis* Grun.
191. *Nit. kützschingiana* Hilse
192. *Nit. linearis* W. Sm.
193. *Nit. minuta* Bleish
194. *Nit. nana* Grun.
195. *Nit. obtusa* W. Sm.
196. *Nit. obtusa* var. *scalpelliformis* Grun.
197. *Nit. ovalis* Arnott
198. *Nit. paleacea* Grun.
199. *Nit. parvla* Levis
200. *Nit. pusilla* Grun.
201. *Nit. romana* Grun.
202. *Nit. rostellata* Hust.
203. *Nit. sigma* (Kütz.) W. Sm.
204. *Nit. sinuata* (W. Sm.) Grun. var. *delognei* (Grun.) Lange-B.
205. *Nit. sinuata* var. *tabellaria* Grun.
206. *Nit. stagnorum* Rabh.
207. *Nit. sublinearis* Hust.
208. *Nit. subtilis* Kütz.
209. *Nit. thermalis* (Kütz.) Auersw. var. *intermedia* Grun.
210. *Nit. tryblionella* Hantzsch var. *debilis* (Arnott) A. Mayer
211. *Nit. tryblionella* var. *subsalina* Grun.
212. *Nit. tryblionella* var. *victoriana* Grun.
213. *Nit. umbonata* (Ehr.) Lange-B.
(Syn. *Nitzschia thermalis* (Kütz.) Auersw.)
214. *Pinnularia biceps* Greg. var. *biceps*
215. *Pin. biceps* f. *petersenii* Ross
216. *Pin. brebissonii* Kütz.
217. *Pin. molaris* Grun.
218. *Pin. subcapitata* Greg. var. *subcapitata*
219. *Pin. subcapitata* var. *paucistriata* Grun.
220. *Rhoicosphenia abbreviata* (Ag.) Lange-B.
221. *Stauroneis montana* Krasske
222. *Sta. smithii* Grun.
223. *Stephauodiscus hantzschii* Grun.
224. *Ste. invistatus* Hohn et Hellerman
225. *Surirella ovalis* Bréb.
(Syn. *Surirella ovata* Kütz.
Sur. angusta Kütz.)
226. *Sur. ovata* var. *pinnata* (W. Sm.) A. Cl.
227. *Sur. ovata* var. *salina* (W. Sm.) Hust.
228. *Synedra delicatissima* W. Sm. var. *delicatissima*
229. *Syn. delicatissima* var. *angustissima* Grun.
230. *Syn. inaequalis* H. Kobayashi
231. *Syn. parasitica* W. Sm. var. *parasitica*
232. *Syn. parasitica* var. *subconstricta* Grun.
233. *Syn. rumpens* Kütz.
234. *Syn. socia* Wallace var. *socia*
235. *Syn. tabulata* (Ag.) Kütz.
(Syn. *Synedra fasciculata* (Ag.) Kütz. var. *fasciculata*)
236. *Syn. ulna* (Nitzsch) Ehr. var. *ulna*
237. *Syn. ulna* var. *amphirhynchus* (Ehr.) Grun.
238. *Syn. ulna* var. *contracta* Östr.
239. *Syn. ulna* var. *constricta* A. Mayer
240. *Syn. ulna* var. *obtusa* V. H.

が異なり，独自の分布パターンを示す。

それらのパターンを各生態群ごとに集約すると図4のようになる。図4に示すように好汚濁性種には，群集中の相対頻度すなわち優占度が大きくなる taxa（Sp—1）と，優占度が大きくならない taxa（Sp—2）とがある。いずれも，相対頻度の最高値は強腐水性水域にあるが，例外的にα中腐水性水域で最高値を示す taxon も含まれる。清浄水域へ向うにしたがって，両者共に相対頻度が急速に減少するパターンをもつ。

広適応性種にも，同様に相対頻度の大きさの異なる2群（E—1，E—2）が含まれる。相対頻度の最高値は，*DAIpo* 値がおおむね50，すなわちβ中腐水性からα貧腐水性までの水域にある。

好清水性種にも，相対頻度が大きくなる種群（Sx—1）と比較的小さい種群（Sx—2）とがある。相対頻度の最高値は，大部分が超貧腐水性水域にあるが，一部β貧腐水性水域に最高値の見られる種もある。

2）*DAIpo* と珪藻群集の構成

DAIpo 値が0の有機汚濁が極端に進んだ水域から，*DAIpo* 値100の極めて清冽な水域にわたって見られた533の珪藻群集において，好汚濁性種，広適応性種，好清水性種の，それぞれの群集中に占める割合が，汚濁度の変化に伴なってどう変動するかを図5Dに示した。横軸に垂直に立った線が，一本ずつ一つの調査地点の群集組成を示している。ただし，広適応性種の相対頻度の和は線の欠損部として示されている。

3生態群の群集中での構成比の，汚濁度の変化に伴なう変化傾向には，下記の規則性が認められた。

（1）好汚濁性種の相対頻度は，*DAIpo*＝0の水域において最大（100％）となり，*DAIpo* 値の増大に伴ない反比例して減少し，*DAIpo*＝50の水域において最小（0％）となる。

（2）好清水性種の相対頻度は，*DAIpo*＝100の水域において最大（100％）となり，*DAIpo* 値の減少に伴ない正比例して減少し，*DAIpo*＝50の水域において最小（0％）となる。

（3）同一の珪藻群集中で，好汚濁性種と好清水性種の相対頻度が，共に大きくなることはありえない。

（4）広適応性種の相対頻度は *DAIpo*＝50の水域において最大（100％）となり，*DAIpo* の増減に比例して減少する。

上記の規則性にはいくばくかの例外事例が伴なうが，3生態群類別に妥当性を欠く場合にも，珪藻群集の配列の順序が不当な場合にも，明瞭な規則性が成立しえないことを，本研究の進行の過程でしばしば経験してきた。*DAIpo* 値はこの珪藻群集の規則性に基づく評価値である。

図5Uは *DAIpo* を求めるための式の説明図である。図に示したように，*DAIpo* 値は珪藻群集中の広適応性種の相対頻度の和の1/2と，好清水性種の相対頻度の和との加算値に等しい。したがって，図5Uの *DAIpo*＝60の棒グラフは，図5Dにおいて，横軸上の *DAIpo*＝60の位置に，棒グラフの左を下にして垂直に立てた直線に相当する。棒グラフの広適応性種の相対頻度（点紋）の部分は，この直線では中央部の欠損部として表現されている。図5UのA群集（好汚濁性種のみの群集）

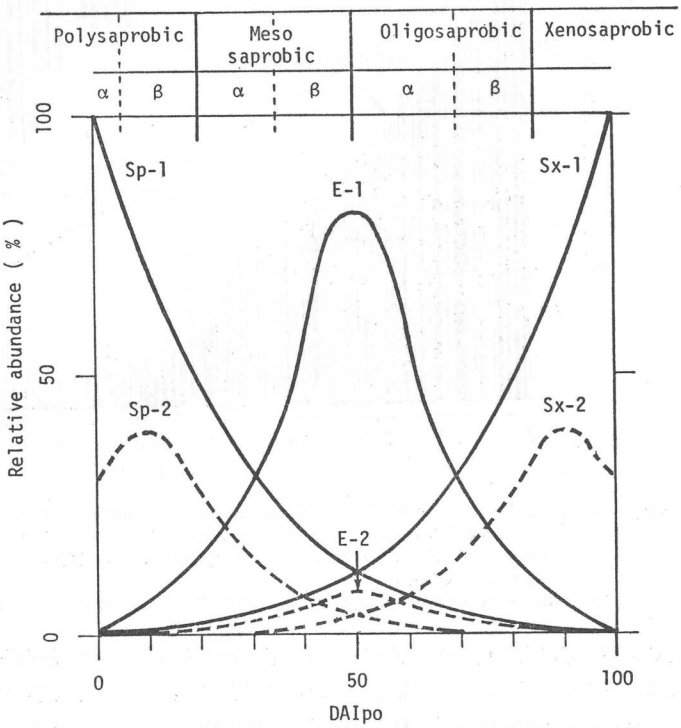


図4. 汚濁度（DAIop）の変動に伴なう，好汚濁性種，広適応性種，好清水性種の優占度の変化パターン

Sp-1 ：優占度が大きい好汚濁性種
Sp-2 ：優占度が小さい好汚濁性種
E-1 ：優占度が大きい広適応性種
E-2 ：優占度が小さい広適応性種
Sx-1 ：優占度が大きい好清水性種
Sx-2 ：優占度が小さい好清水性種

Polysaprobic ：強腐水性
Mesesaprobic ：中腐水性
Oligesaprobic ：貧腐水性
Xenosaprobic ：超貧腐水性

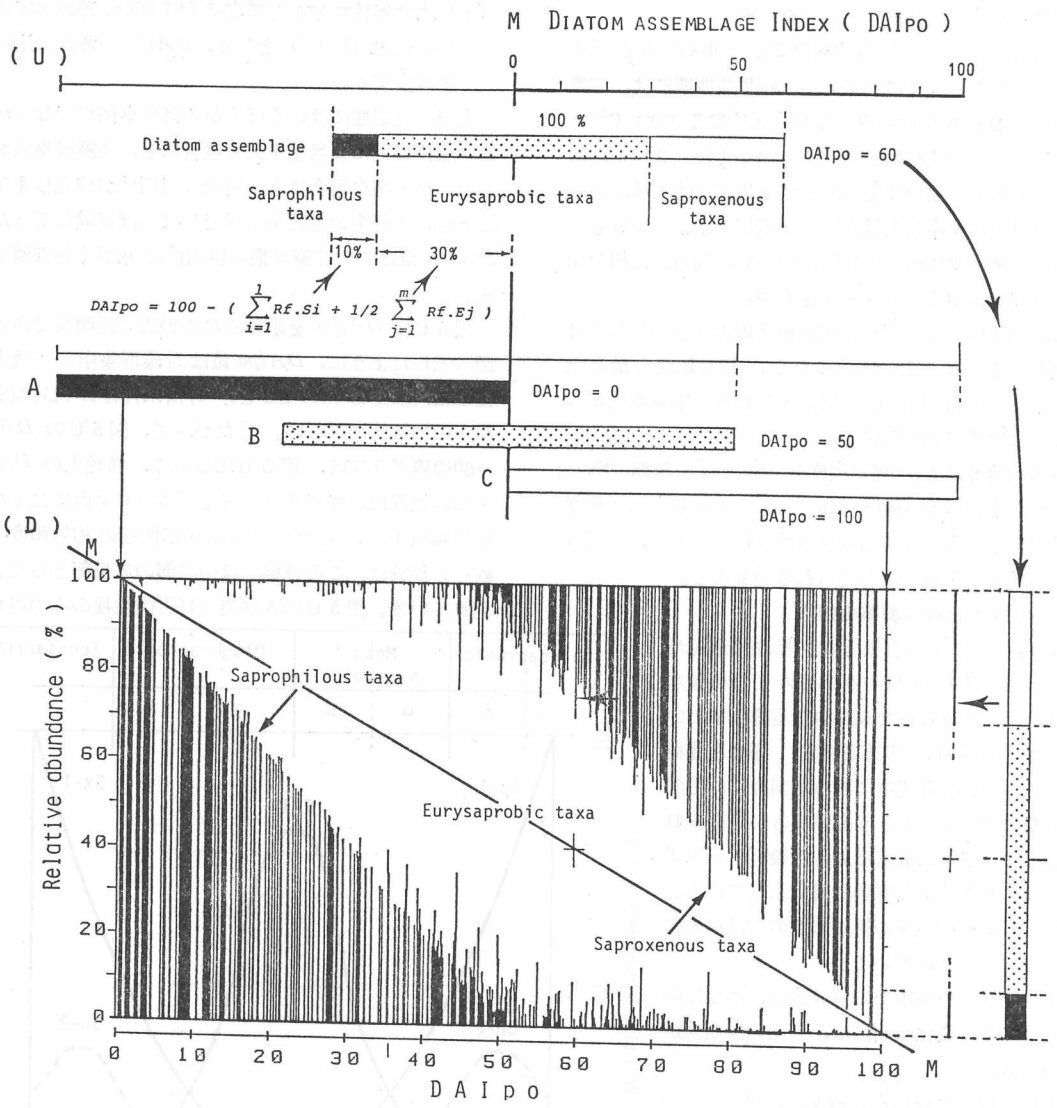


図5. (U)：珪藻群集に基づく有機汚濁指数（Diatom Assemblage Index to organic water pollution-DAIpo）を求める式とその解説図、
A：好汚濁性種のみの群集，　B：広適応性種のみの群集，　C：好清水性種のみの群集
DAIpo＝60の群集は（D）図において，DAIpo＝60の位置に垂直に立てられた直線（欠損部は広適応性種の優占度－%を示す）に相当する、（矢印参照）
(D)：533の珪藻群集における，好汚濁性種，広適応性種，好清水性種の，群集中に占める割合の汚濁度変化に伴なう規則的変動。

とC群集（好清水性種のみの群集）とは，図5Dにおいては，それぞれ図の最左端，最右端の縦線に相当する。

つまり，*DAIpo* 値は図5Dにおいて，対角線Mによって2分された群集組成の，上半部の相対頻度の値と等しい。

3）珪藻群集の汚濁スペクトラム

汚濁度が数値で表現されると，生物学上の具体的な情報は消えてしまう。そこで，この値が誘引された生物学的情報源へたちもどって，*DAIpo* 値のもつ生態学的意義を検討したい。

まず，珪藻群集を構成する種の優占度に着目して，群集の汚濁スペクトラムを作った（図6）。533地点の試料において，珪藻群集中の相対頻度（優占度）が10%以上のtaxa数は51であった。図6はこれら51 taxaの消長を *DAIpo* の変化と対応させて図示したものである。太い線は優占種（最大の相対頻度をもつ種）として出現した

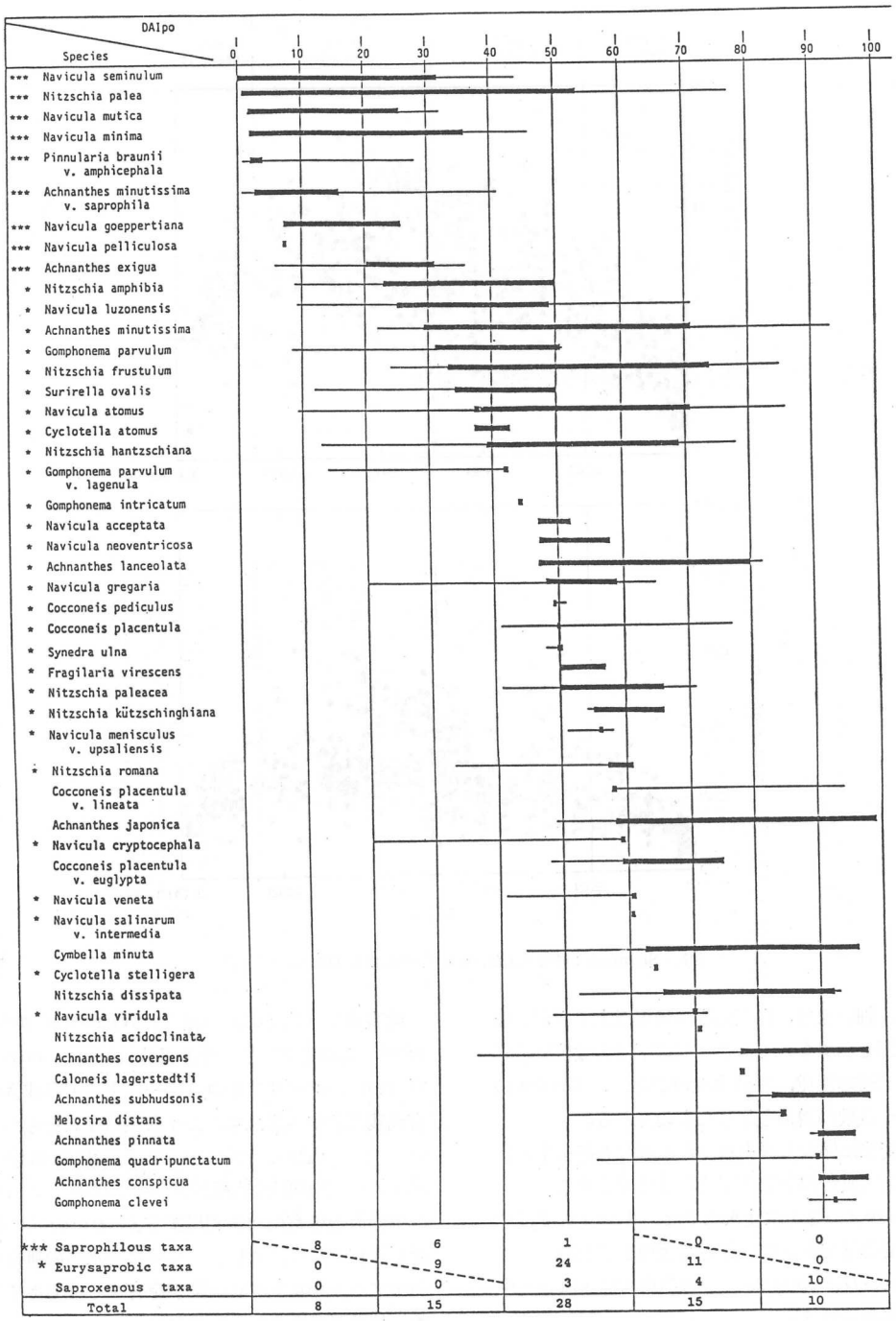


図6. 珪藻群集中の優占種による汚濁スペクトラム。
太線——優占種として出現する DAIpo の範囲。
細線——10%以上の優占度で出現する DAIpo の範囲。
***——好汚濁性種，　*——広適応性種，　無印——好清水性種
下段の数値は，DAIpo の変化に伴なって，優占種として出現する taxa 数の変動を示す。

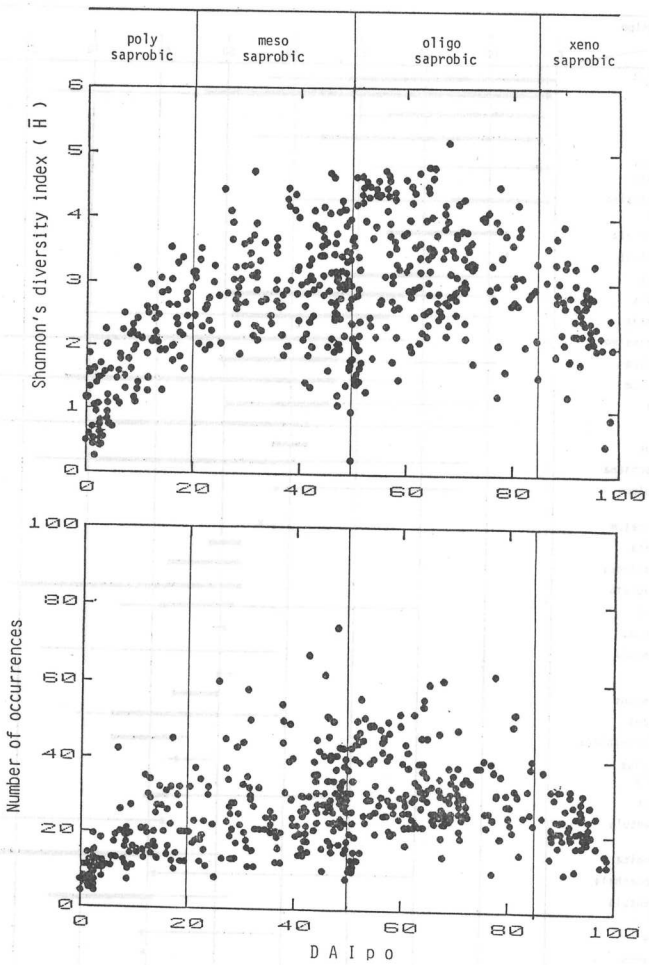


図7. Shannon の多様性指数，および出現種数と DAIpo との相関

範囲を示し，細い線は，出現頻度が10%以上で出現した汚濁度の範囲を示すものである。図の下段の数値は，好汚濁性種，広適応性種，好清水性種ごとに，*DAIpo* の変化に伴なう種数の増減を示したものである。

汚濁度の変化に伴なう優占種交代の概況を把握するために，従来の水質汚濁階級と関連させて記述する。

DAIpo が20迄の強腐水性水域では，8 taxa の優占種は総て好汚濁性種であった。好汚濁性種が優占種として出現するのは，*DAIpo* = 35 までの強腐水性水域とα中腐水性水域に限られる。

DAIpo が 85 以上の超貧腐水性水域で優占種となる 9 taxaは，好清水性種に限られる。このことは *DAIpo* = 80 以上の清冽な水域で優占種となる 10 taxa においても同様である。

強腐水性水域での優占種は，*Nitzschia palea*, *Navicula* 属の数種など，滑走運動 (gliding movement) を行ない，バクテリアのコロニーによって形成された膜や有機残滓の中へ侵入するような生活様式をもつものが多い。一方，極めて清冽な水域では，*Achnanthes*, *Gomphonema* 属の固着性種が優占種となる。これは，前者が細胞周辺の有機物を利用する heterotrophic な生理機能を保有するのに対して，後者は流水中の無機栄養塩を利用する autotrophic な機能を有する種であることと関連した現象であるかもしれない。

DAIpo が40～60 の水域での優占種は，ほとんど広適応性種で占められ，その種類は最も多様である。また，生活様式にも 運動性の あるものと 固着性種の 両者を含む。

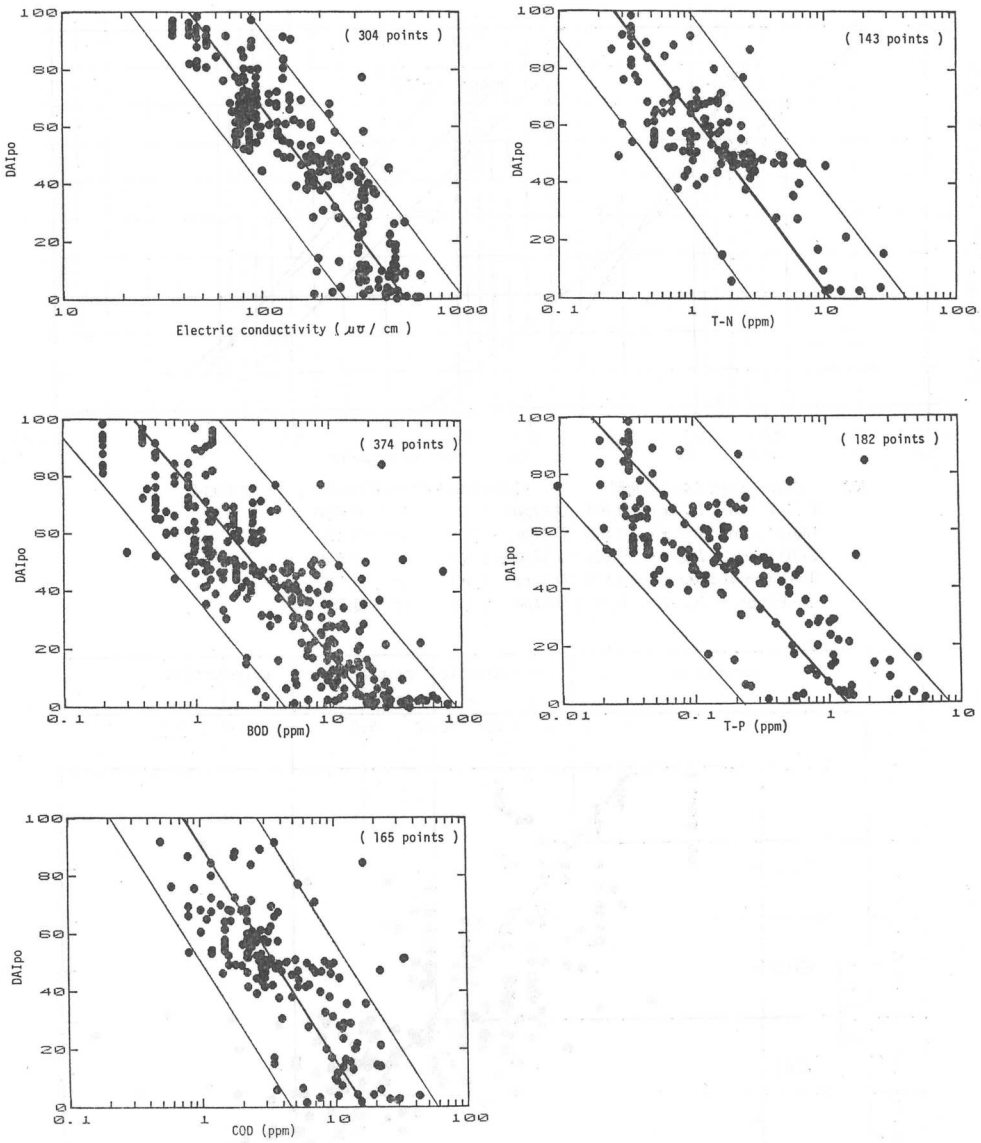


図8. 電気伝導度，BOD，COD，T—N，T—P と DAIpo との相関，および，各分析値の95％信頼区間。
( ) ：観測地点数

4）*DAIpo* と多様性指数

多様性指数を水質汚濁の生物学的指標に利用することは，多くの研究者 (Edwands et al. 1972；Mackay et al. 1973；Balloch et al. 1976；Cooke, 1976；Hellawell, 1977) によって試みられてきた。しかし，Hawkes, (1979) が述べているように，群集の多様性と生物指標とは，汚濁の性質によっては異った反応を示すかもしれない。さらに，生物群によっても反応の仕方は異なるであろう。珪藻群集の適応能の異なる種群構成比からえられた *DAIpo* を，群集の多様性と対比させて，両者の関係を考察した。

Shanonn の多様性指数，および出現する種数 (Species richness) と *DAIpo* との相関を図7に図示した。Shanonn の多様性指数は，有機汚濁度の変化に伴なって，拋物線状に変り，その最高値は *DAIpo* = 50 の近くにある。すなわち，前述の研究者の多くが指摘していたように，多様性指数は汚濁水域へ移るにしたがって小さくなるが，*DAIpo* の値が50よりも大きい貧腐水性か

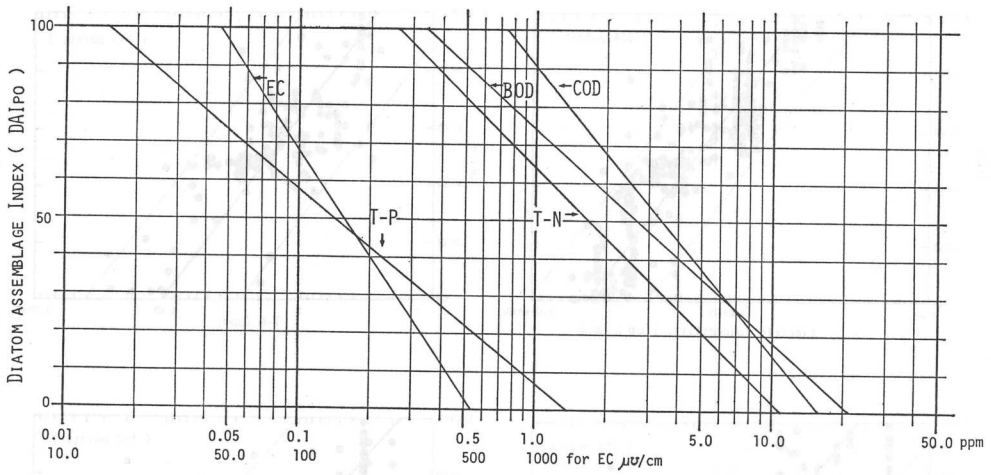


図9. DAIpo と各分析値との相関　　図中の相関を示す式を下に記す。　r：相関係数

EC(μU/cm)：$log\ x = -0.011\ (DAIpo) + 2.719$　　(r=−0.885)
BOD (ppm)：$log\ x = -0.018\ (DAIpo) + 1.317$　　(r=−0.831)
COD (ppm)：$log\ x = -0.013\ (DAIpo) + 1.217$　　(r=−0.728)
T—N(ppm)：$log\ x = -0.016\ (DAIpo) + 1.041$　　(r=−0.748)
T—P(ppm)：$log\ x = -0.019\ (DAIpo) + 0.136$　　(r=−0.753)

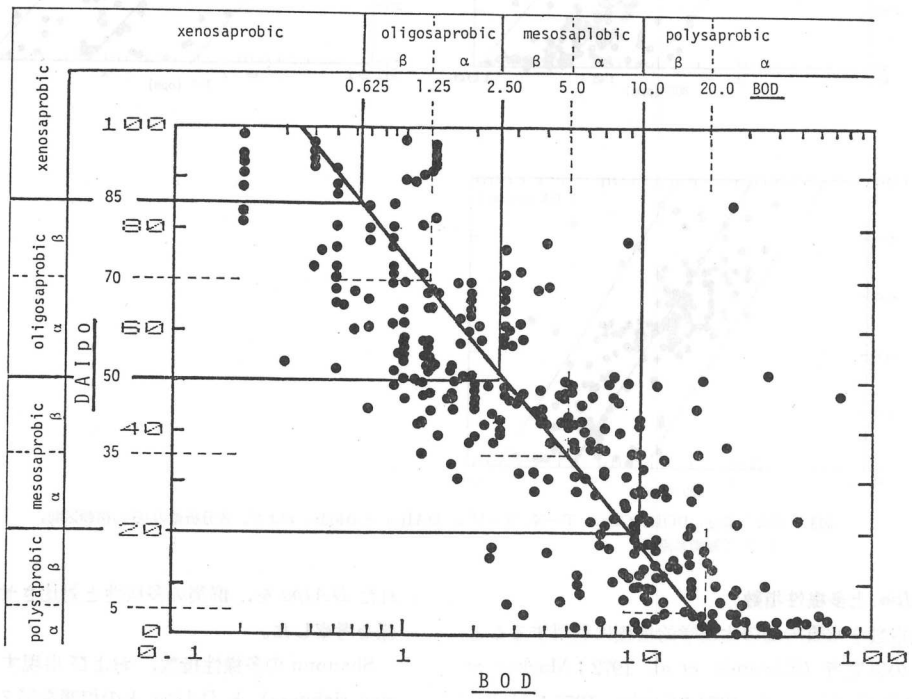


図10. BOD に基づく，DAIpo と汚濁階級との関係

ら超貧腐水性水域へ移る場合にも小さくなる（図８A）。したがって，多様性指数を指標とする場合，一つの値が二つの異なる水質を指標することに注意する必要があろう。

また，汚濁の大きい水域でも清冽な水域でも，共に多様性は小さいが，その傾向は前者のほうが著しい。この現象は図８Bにも認められる。これを優占種と関連づけて考えると，好汚濁性種や嫌汚濁性種が優占種となる群

集では，群集を構成する種類数が少なく，優占種の細胞数が他を圧して多い傾向が大きい。それが両水域での珪藻群集の特徴といえよう。

一方 *DAIpo* の中間値（50）近辺の水域では，群集を構成する種類数が多く，それらが数のうえにおいても，少数種に偏ることなく均等に生存する傾向が大きい。このような群集の構成者の多くは広適応性種である。

5）*DAIpo* と物理，化学的分析値

電気伝導度（ＥＣ）以外の化学分析値は，先に述べたように１年間の測定値の平均値であるが，それらは必ずしも *DAIpo* 値に対応できる適切な値とは云えない（渡辺，1981；渡辺ほか，1983，1984，1985）。しかし現段階では，これに代る適切な分析値がえられないので，年間平均値をそれぞれの調査地点の代表値とみなして，*DAIpo* 値との相関を図８に示した。図中中央の直線は，各関数のグラフであるが，それをはさむ左右の直線は，それぞれの分析値の95％信頼区間を示す。図９は *DAIpo* と各分析値との相関をまとめたものであり，相関を表現する式と相関係数（ｒ）を付記した。

ＥＣは試料採集時１回のみの測定値であるにもかかわらず，相関係数が特に大きかった。これは，水中の溶存イオンの総量が，珪藻群集の構成と最も強い関係があったことを示唆していよう。ＥＣに次いでＢＯＤの相関係数が大きく，ＣＯＤ，Ｔ－Ｎ，Ｔ－Ｐの相関係数は比較的小さかった。

次に分析値95％の信頼区間をＢＯＤを例にあげて検討したい。図８において，ＢＯＤの最大区間巾をもつ *DAIpo*＝０の場合の区間巾は，4.5～91 ppm，最小区間巾をもつ *DAIpo*＝100 の場合には 0.1～1.5 ppm である。*DAIpo* 値を求めた地点のＢＯＤ測定値のふれ巾を見ると，この程度のふれ巾はおよそ 2/3 の地点において認められた。ＢＯＤ値が測定の度ごとにかなり大きく変動することは，すでに渡辺ら（1982）が指摘しているが，他の分析値においても同様である。したがって，95％信頼区間が大きくても，*DAIpo* 値から推定された各地点の物理，化学的分析値は，その地点の年間平均値とふれ巾の現実を正当に推定したものと考えられる。

しかし，*DAIpo* 値にみあう短期間多数の適切な分析値をえて更に検討することは，今後の課題である。

図８に示した相関図で明らかなように，どの分析値も総て *DAIpo* 値と等比的な相関々係，すなわち，物理化学的分析値の対数に対して一次関数式が成立する。これは，河川の水質を生物学的に判断するときと，物理化学的に判断するときの尺度が基本的に違うことを示している。換云すれば，生物学的判定値での等差級数的な差異は，物理化学的測定値の等比級数的差異に対応するといえよう。これを，生物群集の環境要因に対する反応の視点から見れば，ここに挙げた分析項目に関しては，比較的低濃度において，生物はより敏感に反応していると考えられる。

この問題に関して，従来の超貧腐水性，貧腐水性，β中腐水性，α中腐水性，強腐水性のＢＯＤ上限値は，それぞれ，1，2.5，5，10，50 ppm と設定されている（Sládecek, 1960, 1973）が，これもほぼ等比級数関係にあるとみることができよう。図10は，各汚濁階級の上限値を等比級数関係が成立するように一部に小修正を加えて，*DAIpo* と従来の汚濁階級との関係を図示したものである。

本研究においてすでに述べてきた汚濁階級は，この図に基づいて規定されたものである。

参　考　文　献

Balloch, D., Davis, C.E. & Jones, F. H. 1976 : Biological assessment of water quality in three British Rivers : The North Esk (Scotland), The Ivel (England) and the Taff (Wales). Wat. Pollut. Control 75 : 92-100.

Cleve-Euler, A., 1951-1955 : Die Diatomeen von Sweden und Finnland, K. Svenska Vetensk Akad. Handl. Sr. 4, Ⅰ. 2, 1, 1-163 (1951) : Ⅴ. 3, 3, 1-153 (1952) : Ⅱ. 4, 1, 1-158 (1953 a) : Ⅲ. 4, 5, 1-255 (1953 b) : Ⅳ. 5, 4, 1-232 (1955).

Cook, S. E. K. 1976 : Quest for an index of community structure sensitive to water pollution. Environ. Pollut. 11 : 269-288.

Edwards, R. W., Benson-Evans, K., Learner, M. A., Williams, O. & Williams, R. 1972 : A biological survey of the River Taff. Wat. Pollut. Control, 71, 2 : 144-666.

福島　博，木村努，小林　艶子，1973：木曽川のケイ藻．横浜大紀要，生物編，3，2：1-155.

Hawkes, H. A. 1979 : Invertebrates as indicators of river water quality. *in* (ed.) James, A. & Evison, L. *Biological indicators of water quality*, Chapter 2 : 1-45. John Wiley & Sons, N. Y.

Hellawell, J. M. 1977 : Change in natural and managed ecosystems : detection, measurement and assessment. Proc. R. Soc. Lond. B. 197 : 31—56.

Hustedt, F., 1930 : Bacillariophyta (Diatomeae). *in* (ed.) A. Pascher, *Die süsswasser-Flora Mitteleuropas* : 1-466. Jena, Gustav Fischer.

Hustedt, F., 1930-1966 : Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz mit Berüchsichtigung der übrigen Länder Europa sowie der angrenzenden Meeresgebrite. *In* : Rabemhorst, L. (ed.) *Kryptogamen-Flora* Ⅰ, pp.1-920 (1930) ; Ⅱ, pp.1-845 (1959) : Ⅲ, pp.1-816 (1961-1966), Leipzig.

Kobayasi, H. & S. Mayma, 1982 : Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokyo. Jap. J. Phycol. 30 : 188-196.

Lange-Bertalot, H. 1978 : Distomeen-Differentialarten anstelle von Leitfomen : ein geeigneteres Kriterium der Gewässerbelastug. Arch. Hydrobiol. Suppl. 51 : 393-427.

Lange-Bertalot, H. & K. Bonik, 1976 : Massentwicklung bisher seltener und unbekannter Diatomeen als Indikator starker Abwasserbelastung in Flussen. Arch. Hydrobiol .Suppl. 49 : 303-332.

Lange-Bertalot, H. & U. Rumrich, 1981 : The taxonomic identity of some ecologically important small Naviculae. *In* : Ross, R. (ed.) *Proceeding of the sixth symposium on recent and fossil diatoms* : 135-153.

Lange-Bertalot, H. & R. Simonsen, 1978 : A taxonomic revision of the *Nitzschia lanceolatae* Grunow 2. European and related Extra-European fresh and brakish water taxa. Bacillaria 1 : 11-112.

Mackay, D. W., Soulsby, P. G. & Poodle, T. 1973 : The biological assessment of pollution in streams. Ass. River *Authorities Year Book and Directory* : 189-197.

Patrick, R. & C. W. Reimer, 1966 : The diatoms of the United States, Vol. 1, Acad. Nat. Sci. Phil. Monograph13 : 1-788.

Patrick, R. & C. W. Reimer, 1975 : The diatoms ofthe United States. Vol. 2, Pt. 1, Acad. Nat. Sci. Phil. Monograph pp.1-213.

Sládecek, V., 1969 : The measures of saprobity. Verh. Int. Ver. Limnol., 17 : 546-559.

Sládecek, V., 1973 : System of water quality from biological point of view. Ergebn. Limnol., 7 : 1-218.

Sumita, M. & T. Watanabe, 1983 : New general estimation of river pollution using new diatom community index (NDCI) as biolgical indicators based on specific composition of epilithic diatoms communities —— Applied to Asano-gawa and Sai-gawa Rivers in Ishikawa Prefecture. Jap. J. Limnol. 44, 4 : 329-340.

渡辺仁治，1981：付着性珪藻の相対頻度に基づく生物指標への試み ——指標生物に対する問題点の考察から．公害と対策，17，5：13—18.

渡辺仁治，藤平　緑，角谷晴世，1982 a ：有機汚濁河川の付着性珪藻群集を用いた新しい水質判定法．「環境科学」研究報告集，B121，R12—10：44—47.

渡辺仁治，藤平　緑，角谷晴世，1982 b ：有機汚濁に耐性をもつ付着性珪藻と広い適応性をもつ付着性珪藻．「環境科学」研究報告集，B121，R12—10：48—74.

渡辺仁治，根来健一郎，福島　博，小林　弘，浅井一視，後藤敏一，小林艶子，真山茂樹，南雲　保，伯耆晶子，藤平　緑，1983：珪藻群集を生物指標とする陸水汚濁の定量的環境評価法の研究（1）．日産科学振興財団第10回事業報告書：336—341.

渡辺仁治，根来健一郎，福島　博，小林　弘，浅井一視，後藤敏一，小林艶子，真山茂樹，南雲　保，伯耆晶子，1984：珪藻群集を生物指標とする陸水汚濁の定量的環境評価法の研究（2）．日産科学振興財団第11回事業報告書：336—341.

渡辺仁治，浅井一視，伯耆晶子，1986：付着珪藻群集に基づく有機汚濁指数 DAIpo とその生態学的意義．人間文化研究科年報，奈良女子大学大学院人間文化研究科，1：77—95.