丘陵地の源流部における藻類群集の特徴

Characteristics of lotic algal communities in hill headwaters

福島 悟
Satoshi FUKUSHIMA

横浜市環境科学研究所
Yokohama Environmental Research Institute

Abstract

The effects of light conditions, substrate and water pH on algal communities were surveyed in hill headwaters.

There was a positive relationship between relative light intensity and cell abundance. When a comparison was made of cell abundance on gravel with that on sand, mud and leaves, the former tended to be high and the latter low. Comparison of the effect of light conditions and substrate on cell abundance revealed that the effect of light conditions was great. The number of species was high when the relative light intensity was high, whereas there was no clear relationship between differences in substrate and the number of species.

Batrachospermum moniliforme, *Oscillatoria* spp. and some Bacillariophyceae were distributed only in areas of high relative light intensity. *Eunotia* spp. tended to be distributed in areas of low relative light intensity. *B. moniliforme* was collected on only gravel, whereas other species were found on various substrates.

The water pH ranged from 6.2 to 7.8. When the pH was low, the proportion of *Eunotia* spp. among total diatoms became high, but when the pH was high, the proportion tended to be low. In the algal communities in which *Eunotia* spp. grew, the number of species tended to decrease as the pH became lower.

Key words : algae, headwater, light condition, substrate, pH.

1.はじめに

横浜市内にある河川の源流部のほとんどは小さな丘陵地の谷戸にある。谷戸の源流部の流れは丘陵の斜面基部に沿って流れているため、春から秋にかけては樹木の枝葉により日射が妨げられ、木の葉の落ちる冬でも斜面が日光を遮断する場所も多い。また、集水面積が狭く湧水量が少ないために流水量は僅かで、水底には落葉とその腐植物が多く堆積している。

藻類群集は環境に適応した種により構成されているが、環境の変化は群集構造の変化を引き起こし、新たな環境に適応した種により構成される群集となる。藻類に影響を及ぼす要因としては温度、日照・光、流速、基物、アルカリ度、栄養物質、毒性物質、捕食動物等が挙げられている (Patrick 1977, Welch 1992)。

河川の藻類群集と環境要因との関係について多くの研究が行われている。しかし、規模の小さい源流部に形成される藻類群集を対象とした研究は少ない。そこで、本研究は横浜市内を流れる帷子川水系を対象に、丘陵地を流れる河川源流部の藻類群集に影響を及ぼす主要な環境要因のうち、日照条件、基物の相違そしてpHが藻類群集に及ぼす影響について検討した。

2.材料及び方法

横浜市内を流れる帷子川の源流部に位置する矢指地

区、大池地区そして都岡地区を対象地区として選定し (Fig.1)、1991年5月から翌年の2月までの間に研究に供した藻類試料を採取した。

Fig.1 Location of study areas in the Katabira River.

藻類試料は川底の礫、砂泥表層そして落葉の表面の一定面積から採取した。礫と落葉からは付着物をナイロンブラシでこすり落とし、砂泥の場合には堆積物の表層をすくい取れるように造ったスコップ型の器具を用いて採取した。採取したサンプルに3~5%程度のホルマリンを加えて固定した。

サンプルの容量を調整して0.05mlを大型界線入りスライドガラス上に取り、24×32mmカバーガラスを載せた一次プレパラートを作成した。群集構造と現存量の把握は一次プレパラートに出現した藻類を、総合倍率600倍で顕微鏡（オリンパスBH-2）で観察し、400細胞程度を計数して行った。藻類の現存量が少なく400細胞の計数が困難なときには、カバーガラスの短辺と平行に5列を観察した。細胞区分の不明瞭な藍藻類については1糸状体を1細胞として取り扱った。

環境要因のうち、pHは藻類採取時に比色計（ADVANTEC）を用いて測定した。藻類サンプル採取場所の水面とその近くの開放地の照度を、照度計（Topcon SPI-71）で測定し、両地点の測定値から水面に到達する照度の割合を求めて相対照度とした。

3.結果及び考察

3-1 各地区の藻類群集

3-1-1 矢指地区

延べ32地点で採集した試料から62種の藻類が検出された。珪藻類の*Navicula gregaria*、*Nitzschia linearis*そして紅藻類の*Chantransia* sp.が半数以上の地点で出現した。群集を構成する種類数の平均値は8種で、20地点は10種以下で構成され、最も種類数が多い地点では27種が検出された。現存量（細胞数）の平均値は2430mm⁻²で、単位面積当りの現存量が10,000を越えたのは1地点のみで、18地点では1,000以下と少なかった。*Chantransia* sp.が優占する地点が多かった。

3-1-2 大池地区

延べ23地点から49種が検出され、*N. gregaria*が多くの地点に分布し、*Eunotia* spp.が分布する地点も多い傾向があった。10種類以上を検出したのは4地点のみで、最も多い地点でも19種が検出されただけで、その平均値は6種と少ない。現存量も少ない地点が多く平均値は1510mm⁻²で、16地点では単位面積当りの現存量は1,000以下であった。*Eunotia* spp.と*Chantransia* sp.が優占する地点が多かった。

3-1-3 都岡地区

延べ8地点から23種が検出され、*Eunotia* spp.と紅藻類のカワモズク*Batrachospermum moniliforme*の検出された地点が多かった。群集を構成する種類数の平均値は5種と少なく、7地点では10種以下で構成されていた。現存量の平均値は約120mm⁻²で、全地点とも単位面積当りの現存量は1000以下であった。*Eunotia* spp.と*Chantransia* sp.が優占する地点が多かった。

3.2 日照条件、基物が藻類群集に及ぼす影響

3-2-1 現存量

源流部の樹林内の流れは、夏期には日光が遮られ日影の環境となっている。木の葉の落ちる冬期には流れに日光が当たるようになる。しかし、冬期であっても斜面により日射が遮られる場所もある。このように源流部では季節や場所により日照条件は異なる。日照条件を表す指標として相対照度を用い、相対照度と藻類現存量との関係をFig.2に示した。相対照度が大きいほど現存量は多

Fig.2 Relationship between relative light intensity and cell abundance in algal communities (○: gravel, ●: mud, sand and leaves, △: gravel covered with iron hydroxide sediment).

くなる傾向が認められる。しかし、相対照度が大きい場合でも、現存量は少ないこともある。その要因として群

集の遷移段階、藻類を摂食する水生動物密度などが考えられる。河川の藻類現存量が日照条件の良好な環境で多くなることはSummer & Fisher (1979)やMurphy & Hall (1981)も指摘している。

藻類にとって水中にある殆ど全ての固形物が生育の場つまり附着基物となる。当然、源流部の底質を形成している落葉、腐植物、砂そして礫は基物となっている。礫は雨水の流入により流速が増大しても流されず安定した底質となっている。それに対して、落葉などは礫に比べると流速の変化により容易に流されてしまい、安定した底質とはならない。礫と砂泥・落葉の藻類現存量を比較すると、礫の現存量が多いのに対して砂泥・落葉では少ない傾向が認められる (Fig.2)。このような傾向は、藻類の生育にとって礫は安定した基物で、落葉・砂泥は不安定な基物であることを示している。また、水酸化鉄の沈殿堆積した礫上の藻類現存量も少なく、基物として不安定なものであった。

日照条件と基物の状態を比較すると、相対照度が小さい場合には基物の安定性に関係なく現存量は少ない。しかし、相対照度が大きい場合には安定した基物の現存量が多く、日照条件は藻類現存量にとって大きな要因となっている。

3-2-2 種類数

相対照度と群集を構成する種類数との関係を見ると、相対照度が大きい場合に種類数は多くなる。しかし、基物の安定性との関係はあまり明瞭ではない。安定した基物の種類数が多い傾向があるが、不安定な基物でも種類数が多い例も認められる (Fig.3)。O'Quinn & Sullivan

Fig.3 Relationship between relative light intensity and number of species in algal communities. Symbols are same as in Fig.2.

(1983)とRobinson & Rushforth (1987)も日射が妨げられる河川では、藻類群集を構成する種類が少なくなる

ことを報告している。

不安定な基物上では藻類群集はかく乱の影響を受けやすく、群集は遷移の初期段階に形成される構造になることが多いと考えられる。初期段階では群集を構成する種類数や多様性が大きくなる (Cattaneo et al. 1975、Fukushima & Fukushima 1991)。群集形成の初期段階では、上流から流下した種が環境に対する適応性に関係なく群集形成に加わり、生育の場を巡る種間競争もほとんどない。そのため、安定性の悪い基物でも種類数が多い例が生じたと考えられる。

3-2-3 種の分布

藻類の分布と日照条件との関係を明らかにするために、相対照度30%以上とそれ以下の環境における出現状況をFig.4にまとめた。相対照度が大きい環境と小さい環境における分布を比較すると、多くの種は相対照度が大きい環境に広く分布している。そして、*B. moniliforme*、*Oscillatoria* spp.、*Achnanthes japonica*、*Frustulia vulgaris*、*Nitzschia palea*は相対照度が大きい環境にのみ分布した。これらの種とは分布が異なるのは*Eunotia* spp.で、本種は相対照度が小さい環境にも広く分布する傾向がみられた。

*B. moniliforme*は、強い光の条件下で光合成が飽和になる陽性種で (廣瀬・山岸1977)、日照条件の良好な環境に生育する。日照条件が藻類の群集構造に影響を及ぼすことは多くの研究者により報告されている。Hynes (1970)は多くの珪藻類は日照の良否に関係なく出現するが、緑藻類の生育には高照度が必要であるとしている。そして、樹林の伐採後に日照条件が良くなり緑藻類が増加することが観察されている (Hansmann & Phinney 1973、Lyford & Gregory 1975、Shortreed & Stockner 1983)。相対照度が小さいと群集は珪藻類により構成されるのに対して、相対照度が大きい場合には藍藻類や緑藻類も群集構成に加わる (Fukushima & Fukushima 1991)。強い光に暴露した人工水路では糸状緑藻類が増加している (Steinman & McIntire 1986)。また、Robinson & Rushforth (1987)とBothwell et al. (1989)は珪藻類でも種により日照条件に対する適応性が異なることを示している。

藻類の分布と基物との関係を検討するため、礫と砂泥・落葉のそれぞれの基物における藻類の出現状況をFig.5に示した。水酸化鉄の沈殿堆積した礫は基物として安定していないことが先に認められているので、ここでは砂泥・落葉と同じに取り扱った。*B. moniliforme*は安定性の高い礫からだけで検出された。それ以外の種は礫と砂泥・落葉から検出され、基質の安定性に関係なく分布している。その内、*Chantransia* sp.や珪藻類のいくつかの種は、安定した基物からの検出率が高い傾向がある。*B. moniliforme*や*Chantransia* sp.のように糸状群体を

Fig.4 Distribution of species under different light conditions.

Left : number of sites in which each species appeared when relative light intensity was more than 30% (38sites); Right : that when relative light intensity was less than 30% (25sites); Os.spp. : *Oscillatoria* spp.; Ba.mo. : *Batrachospermum moniliforme*; Ch.sp. : *Chantrelia* sp.; Ac.ja. : *Achnanthes japonica*; Ac.mi. : *Achnanthes minutissima*; Am.pe. : *Amphipleura pelucida*; Eu.spp. : *Eunotia* spp.; Fr.vu. : *Frustulia vulgaris*; Go.an. : *Gomphonema angustatum*; Go.in. : *Gomphonema intricatum* var. *pumila*; Go.pa. : *Gomphonema parvulum*; Na.cr. : *Navicula cryptocephala*; Na.gr. : *Navicula gregaria*; Na.sy. : *Navicula symmetrica*; Na.te. : *Navicula tenella*; Ni.di. : *Nitzschia dissipata*; Ni.ha. : *Nitzschia hantzschiana*; Ni.li. : *Nitzschia linearis*; Ni.pa. : *Nitzschia palea*; Pl.spp. : *Pinnularia* spp.; Sy.ul. : *Synedra ulna*.

形成する種は遷移が進んだ段階で構成種に加わるようになる。そのため、安定性の高い基物からの検出率が高くなっているのであろう。

3.3 酸性化が藻類群集に及ぼす影響

河川を流れる水のpHは一般的には中性から弱アルカリ性である。Hustedt (1937-1938) の珪藻類のpHに対する適応性で区分すると、横浜市内を流れる河川ではpH 7付近に適応した不定性種が多く生育している。pHが7以下の環境に適応している種は、好酸性種あるいは真酸性種と位置づけられ、*Eunotia*の多くの種はそのどちら

Fig.5 Distribution of species on different substrates. Left : number of sites in which each species was observed on gravel (28sites); Right : that on mud, sand and leaves (35sites).Legends of species are same as in Fig.4.

かに区分されている。

大池地区と都岡地区で測定されたpHは6.2~7.6で7以下の地点が多く、矢指地区のpHは6.6~7.8で7以上の地点が多かった。そして、大池地区と都岡地区では*Eunotia* spp.が多くの地点に分布したのに対して、矢指地区では分布していない地点が多かった。各調査地点のpHと*Eunotia* spp.が珪藻群集に占める割合はFig.6に示したように、pHが低い場合には*Eunotia* spp.の占める割合は大きいに対して、pHが高くなるとその割合は低くなる傾向が認められる。図には*Eunotia* spp.が100%を占めた地点がいくつか示されているが、これらの地点の藻類現存量はきわめて少なかった。pHと藻類群集を構成する種類数との関係をFig.7に示した。*Eunotia* spp.が群集構成種となっている地点では両者に相関が認められ、pHが低くなると種類数は減少する。それに対して*Eunotia* spp.が検出されていない地点では両者の関係は明らかで

Fig.6 Percentage of *Eunotia* spp. among total diatoms at different pH values.

Fig.7 Relationship between water pH and number of species in algal communities (● : site where *Eunotia* spp. grew, ○ : site where *Eunotia* spp. did not grow).

はない。このような傾向は、酸性化によりそれを指標する種が群集の構成種に加わるようになると、種類数も影響を受けるようになることを示している。Burton et al. (1982) も酸性化の進行は群集構造の変化、多様性の低下を引き起こすと記している。

Janice & Ward (1987) と Keithan et al. (1988) も pH の平均値がそれぞれ 6.2 と 6.8 の河川で *Eunotia* が優占することを報告している。河川の酸性化により珪藻類では *Eunotia* だけでなく、*Pinnularia* や *Suriella* 等も出現するようになる。しかし、これらの属には *Pinnularia braunii* var. *amphicephala* のように有機汚濁の進行した河川でも出現する種、同じ属でも弱アルカリ性の水域で多く出現する種がある。また、珪藻類以外に緑藻類も多く出現することがある。日照条件あるいは底質の状況から、丘陵地にある源流部の酸性化の指標としては *Eunotia* が適している。

横浜市内で 1990 年までの 7 年間に測定された雨水の pH 平均値は 4.3 である (矢本・加藤 1992)。このような酸性雨に代表される酸性降水の影響により、緩衝能力の低い地質地帯を流れる河川では、河川水の pH の低下が認められている (加藤 1991)。また、枝葉に残留した酸性降水物が樹幹流下水にとけ込むために、その pH は雨水に比べて低いことが報告されている (久米他 1988)。

源流部の pH が低い傾向にあるのは、地下水の pH が土壌中の生物作用により酸性側であることに加えて、地中に浸透した pH の低い雨水や樹幹流下水が表層地下水として湧出しているためであろう。湧水の pH が降雨後に平常時より低くなる (福島 未発表資料) ことは、表層地下水が多く湧出していることを示している。さらに、樹林等により日射が妨げられるために、藻類の光合成活性が低いことも要因のひとつと考えられる。

4. まとめ

丘陵地を流れる河川の源流部を対象に、日照、基物そして水の pH が藻類群集に及ぼす影響について検討した。その結果、相対照度が大きいほど藻類現存量は多くなる傾向が認められた。基物が礫と砂泥・落葉の藻類現存量を比較すると、礫の現存量が多いのに対して砂泥・落葉では少ない傾向があった。日照条件と基物とが藻類現存量に及ぼす影響を比較すると、日照条件の影響が大きいことが明らかになった。また、藻類群集を構成する種類数は、相対照度が大きい場合に多くなるが、基物の相違と種類数との関係はあまり明瞭ではなかった。

Batrachospermum moniliforme, *Oscillatoria* spp. そして珪藻類のいくつかの種は相対照度が大きい地点にのみ分布していた。*Eunotia* spp. は相対照度が小さい地点にも分布する傾向がみられた。また、*B. moniliforme* は礫からのみ検出され、それ以外の種は底質の相違に関係なく検出された。

調査を行った各地点の pH は 6.2～7.8 で、pH が低い場合には珪藻群集に占める *Eunotia* spp. の割合は大きいのにに対して、pH が高くなるとその割合は低くなる傾向が認められた。*Eunotia* spp. が出現した群集では、pH が低くなると種類数も減少する傾向が示された。

謝 辞

本研究のための現地調査では横浜市環境科学研究所水質部門・樋口文夫博士、水尾寛己氏に協力をいただいた。同研究所・高橋章次長、畠中潤一郎係長には本論文をまとめるに当たり貴重な助言をいただいた。また、研究の対象とした藻類の分類に関しては藻類研究所・福島博士の指導を受けた。ここに指導、助言そして協力していただいたことに対し深謝の意を表します。

参考文献

- Bothwell, M. L., K.E. Suzuki, M. K. Bolin & F. J. Hardy : Evidence of dark avoidance by phototrophic periphytic diatoms in lotic systems, *J. Phycol.*, **25**, 85-94 (1989)
- Burton, T. M., R. M. Stanford & J. W. Allan : The effects of acidification on stream ecosystems, in : Acid precipitation, effects on ecological systems, D'itri, F. M. (ed.), Ann Arbor Science Publishers, Michigan, 209-235 (1982)
- Cattaneo, A., S. Ghittori, & V. Vendegna : The development of benthonic phytocenosis on artificial substrates in the Ticino River., *Oecologia (Berl.)*, **19**, 315-327 (1975)
- Fukushima, S. & H. Fukushima : Seasonal succession of attached algal flora in the channel with effluent from sewage treatment plant, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **24**, 2117-2121 (1991)
- Hansman, E. W. & H. K. Phinney : Effects of logging on periphyton in coastal streams of Oregon, *Ecology*, **54**, 194-199 (1973)
- 廣瀬弘幸・山岸高旺 編：日本淡水藻図鑑、内田老鶴圃新社、東京、933p. (1977)
- Hustedt, F. : Systematische und ökologische untersuchungen über die diatomeen-flora von Java, Bari, und Sumatra, I ~ III, *Arch. Hydrobiol. suppl.*, **15**, 131-809, **16**, 1-155, 274-394 (1937-38)
- Hyness, H. B. N. : Attached algae, in : The ecology of running water, Liverpool Univ. Press, Liverpool, 53-77 (1972)
- Janice, A. L. & A. K. Ward : Algal community dynamics in two streams associated with different geological regions in the south-eastern United States, *Arch. Hydrobiol.*, **108**, 305-324 (1988)
- 加藤邦夫：酸性水の陸水影響に関する研究（第1報）、県内河川のpHの経年変化とその原因、岐阜県公害研究所年報、**19**、32-36 (1991)
- Keithan, E. D., R. L. Lowe & H. R. DeYoe : Benthic diatom distribution in a Pennsylvania stream : role of pH and nutrients, *J. Phycol.*, **24**, 581-585 (1988)
- 久米一成・浅川貞雄・縣富美夫・鈴木久雄：スギ、ヒノキの樹幹を流れる雨水成分の性質について、福岡県衛生環境センター報告、**31**、33-39 (1988)
- Lyford, J. H. & S. V. Gregory : The dynamics and structure of periphyton communities in three cascade mountain streams, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **20**, 1610-1616 (1975)
- Murphy, M. L. & J. D. Hall : Varied effects of clearcut logging on predators and their habitat in small streams of the cascade mountains, Oregon, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **38**, 137-145 (1981)
- O'Quinn, R. & M. J. Sullivan : Community structure dynamics of epilithic and epiphytic diatoms in a Mississippi stream. *J. Phycol.*, **19**, 123-128 (1983)
- Patrick, R. : Ecology of freshwater diatoms and diatom communities, in : The biology of diatoms, Botanical Monographs, **13**, Werner, D.(ed.), University of California Press, California, 284-332 (1977)
- Robinson, C. T. & S. R. Rushforth : Effects of physical disturbance and canopy cover on attached diatom community structure in an Idaho stream, *Hydrobiologia*, **154**, 49-59 (1987)
- Shortreed, K. S. & J. G. Stockner : Periphyton biomass and species composition in a coastal rainforest stream in British Columbia, Effects of environmental changes caused by logging, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **40**, 1887-1895 (1983)
- Steinman, A. D. & C. D. McIntire : Effects of current velocity and light energy on the structure of periphyton assemblages in laboratory streams, *J. Phycol.*, **22**, 352-361 (1986)
- Summer, W. T. & S. G. Fisher : Periphyton production in Fort River, Massachusetts, *Freshwater Biology*, **9**, 205-212 (1979)
- Welch, E. B. : Ecological Effects of wastewater (Second edition), Chapman & Hall, London, 425p. (1992)
- 矢本てるみ・加藤善徳：横浜市における酸性雨調査－1990年の調査結果－、横浜市環境科学研究所報、**16**、123-125 (1992)