

生物指標による大気環境評価に関する研究

—— 樹皮着生蘚苔類 (コダマゴケ) の生育分布域と
胞子発芽試験による大気汚染評価の検討 ——

田村 良三・本間ゆかり・漆山 佳雄

Evaluation on atmospheric environment using biological indicators

—— Survey of the distribution of epiphytic bryophyte, *Orthotrichum consobrinum*,
and evaluation of air pollution based on spore germination ——

Ryozo Tamura, Yukari Honma, Yoshio Urushiyama

Recently, epiphytic lichens and bryophytes have been used to monitor air pollution because accumulated trace elements and their growth are sensitive to pollutants.

We surveyed the distribution of Kodamagoke (*Orthotrichum consobrinum*), a species of epiphytic bryophyte, at 117 points in Niigata city and surrounding areas, and established a method compare with rate of spore germination, cultured in filtered and unfiltered air growth chambers.

- 1) Kodamagoke (*Orthotrichum consobrinum*) was found mostly outside Niigata city, at less than 7 - 8 ppb SO₂ concentration in the air.
- 2) Knop culture solution is suitable for spore culturing.
- 3) "Bryometer", use of spore germination and growth of protonema, can estimate air pollution, but it is necessary to divide in this system, not rises of temperature in growth chambers.

1 はじめに

樹皮着生性の植物のうち蘚苔類や地衣類は、生育のための水分・養分の多くを雨に依存するため、大気汚染物質の吸収・蓄積量が多くなり、大気汚染に対して極めて敏感に反応する。また、他の高等植物に比べ成長が遅く、被害後の回復に時間がかかること、多年生常緑植物のため年間を通じて影響を受けることなどから、大気汚染評価のためのすぐれた指標植物となる^{1,2)}。特にウメノキゴケに代表される地衣類は、指標植物として広く用いられている³⁻⁵⁾。

大気汚染評価にこれらの着生植物を用いる調査方法としては、種類構成や特定の植物の分布域を求める方法⁶⁻⁹⁾、着生植物の生育状態(種類数や被度など)をもとに大気清浄度指数(IAP)を求める方法¹⁰⁻¹²⁾、クロロフィル

量やカタラーゼ活性など生理的変化を調べる方法^{13,14)}、重金属類やイオウ量など含有成分を測定する方法¹⁵⁻¹⁹⁾などが検討されている。また、ゼニゴケの無性芽^{20,21)}や蘚苔類の胞子²²⁻²⁴⁾を用い、これらを浄化空気と非浄化空気に同時に暴露させ、その成長あるいは発芽率の差から大気汚染度を評価する方法(ブリオメーター法)も考案され、検討が加えられている。

筆者らは、当初ゼニゴケの無性芽を用いるブリオメーター法による大気汚染評価を試みた²⁵⁾。しかし、成長量の計測が難しいこと、配置期間中に培養液(ハイポネック5,000倍希釈液)に藻類が繁殖すると無性芽の成長が阻害されるなどの問題点があった。そこで7~10日間の短期間の配置で評価可能な蘚苔類胞子を用いるブリオメーター法を検討した。なお、供試蘚苔類は新潟平野に比較的広く分布し、分類・同定の容易なコダマゴケとし、そ

の分布域の調査も併せて行った。

2 調査および実験方法

2.1 コダマゴケ生育分布域調査

2.1.1 調査地域

調査対象地域は、新潟市を中心に周辺市町村を含む東西約30km、南北約15kmの範囲である。当地域は信濃川および阿賀野川下流域に広がる平野部であり、海岸線に沿って低い丘陵地帯があるのみで調査地点には山間部は含まれていない。

新潟市は、古くは信濃川を中心とする港町として発展した。したがって、市街地はほぼ信濃川の下流部に沿って形成されているが、近年、新潟市の西部及び南部をはじめ、周辺地域の宅地化が急速に進みつつある。また、火力発電所をはじめとする排気ガス量の多い工場は、信濃川河口の東側一帯（新潟西港）と1969年に開港し工場誘致が進められている新潟東港周辺に集中している。

なお、当地域は日本海に面するため、夏期は主に弱い海陸風が吹くが、冬期には強い北西風が卓越し、海塩粒子の飛散も多くなる。

2.1.2 コダマゴケ (*Orthotrichum consobrinum*)

コダマゴケは、タチヒダゴケ科 (*Orthotrichaceae*) タチヒダゴケ属 (*Orthotrichum*) に属し、樹幹上に暗緑色の小さな塊りとなるのが特徴であり、現地での観察・同定の容易な蘚苔類である。葉は2~3mmと短く、5~6月に短い柄を持つ黄褐色の蒴をつけ、その中に孢子を形成する²⁰⁾。

このコダマゴケは、大気汚染に対しては比較的弱い種 (IAP値5~7以上) に属している¹⁰⁾。

2.1.3 観察地点および対象樹

コダマゴケの生育分布域調査は、1989年6月~10月にかけて行った。

調査地点は、樹木の自然状態が比較的良く保たれている公園や神社・寺院の境内とし、それらの地点のうち調査対象樹のエノキやケヤキなどが5本以上存在する地点を調査地点とした。

調査対象樹種はエノキやケヤキの他に、サクラ (ソメイヨシノ)、アカガシ、ボダイジュ、イチョウ、ポプラ、アオダモ、カシワなどであるが、コダマゴケはカキの樹幹上での生育が多く観察されたので、調査に適する地点がなかった地域については、民家の庭先や畑のカキの木も対象樹とした。

調査は、コダマゴケの生育の有無、他の蘚苔類の生育の有無、およびそれらの多少などを観察した。調査地点数は117である。

2.1.4 大気汚染状況の把握

樹皮着生植物の生育は、大気中のSO₂濃度に敏感に反応するとされている^{27, 28)}。そこで1989年4月1日から翌

年3月31日までに環境大気測定局などで得られたデータ²⁹⁾をもとに、新潟市を中心とした大気中SO₂濃度の状況を調べた。また、自動車排気ガス等の影響も考えられたので、NO_x濃度の状況も同様に調べた。

2.2 ブリオメーターの作成及び統計

2.2.1 ブリオメーター

ブリオメーターは、横堀²¹⁾や光木²²⁾の方法をもとに作成した。

2.2.2 孢子発芽試験用培地の検討

孢子発芽試験用培地としては、Knop液、Sachs液、Pfeffer液、Detmer液の4種の独立栄養植物培養液³⁰⁾がそれぞれ5%、10%、15%、20%になるように調整した2%寒天培地を作成した。4種の培養液の組成をTable 1に示す。

コダマゴケは、新潟市の中心 (新潟市役所) から南東へ約10km離れた調査地点から、蒴の形成が認められたものを採取し持ち帰り、冷蔵庫に保管した。

実験当日、保管しておいたコダマゴケから蒴を約10個採取し、実体顕微鏡下で蒴内から孢子を取り出し、精製水中に浮遊させ、静かに混合して孢子懸濁液を作成した。

この孢子懸濁液を駒込ピペットで、あらかじめ作成しておいた各々の寒天培地に数滴づつ滴下し、コンラッパ棒でできるだけ均一になるように塗布した。約1時間放置ののち、孢子塗布面を下にして照度4,000~5,000 luxのAGP用藻類培養試験器内で7日間放置し、各々の寒天培地における発芽状況を調べた。なお、その際、下になるシャーレの蓋部には精製水を数mlづつ入れ、寒天培地の乾燥を防いだ。

発芽率の計測は、実体顕微鏡下で寒天培地上の数か所をランダムに選び、視野内の全ての孢子の発芽状況を調べて求めた。

3 結果及び考察

3.1 コダマゴケの生育分布域

Table 1 Components of 4 culture media

chemicals	(g)			
	Knop sol.	Sachs sol.	Pfeffer sol.	Detmer sol.
KNO ₃	0.2~0.25	1.0	1.0	-
KH ₂ PO ₄	0.2~0.25	-	1.0	0.25
KCl	0.2~0.25*	-	0.5	0.25
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.8~1.00	-	4.0	1.00
CaSO ₄ ·2H ₂ O	-	0.5	-	-
Ca ₃ (PO ₄) ₂	-	0.5	-	-
Mg SO ₄ ·7H ₂ O	0.2~0.25	0.5	1.0	0.25
NaCl	-	0.5	-	-
FeCl ₂	tr.	tr.	tr.	tr.
H ₂ O	1,000	1,000	3,000~7,000	2,000

*KNO₃ or KCl.

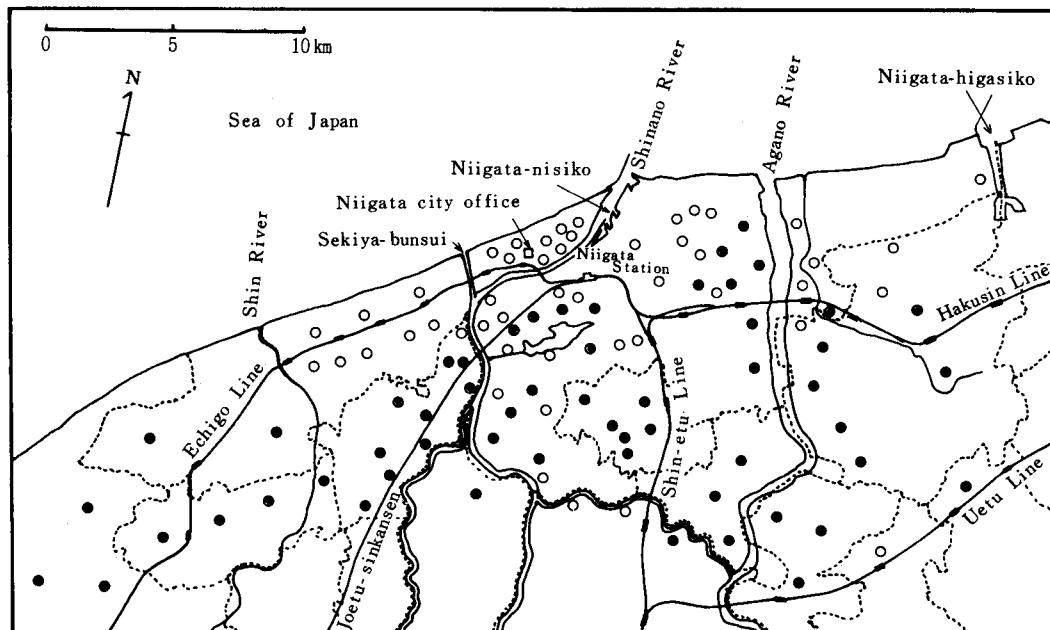


Fig.1 Map showing distribution of Kodamagoke (*Orthotrichum consobrinum*) in Niigata city and surrounding areas.

●: observed point (some trees), ⦿: observed point (only one tree),
○: unobserved point

Fig.1に、複数の樹にコダマゴケの生育が観察された地点を●で、カキの木にのみ観察された地点を⦿で、観察されなかった地点を○で示した。

コダマゴケの生育が観察されなかった地域は、新潟市の中心地（新潟市役所）から西に約10km、南に約3km、東に約7kmの海岸線に沿った広い範囲であった。特に信濃川と関屋分水路に挟まれた市街地と新潟西港の東側に位置する工場地帯では、地衣類もほとんど生育しない地衣砂漠状態を呈していた。また、コダマゴケの生育がカキの木にのみ観察された地点も多く、それらの地点は、コダマゴケの観察されなかった地域の外周部となる傾向

を示している。今後、これらの地点におけるコダマゴケの消長について注視していく必要がある。

なお、コダマゴケがカキの樹皮上に多く生育する理由は、カキの木は古い樹皮が層をなして残り、また深い溝が縦横に形成されるなど、胞子が付着しやすいこと、雨水等が樹皮に浸み込み水分の保持が他の樹種より長いことなど、樹皮の形態上の特徴によるものと考えられる。

3.2 SO₂及びNO_xによる大気汚染状況

新潟市周辺地域のSO₂及びNO_xによる汚染状況を、1989年4月から1990年3月までの平均濃度でFig.2, 3に示す。

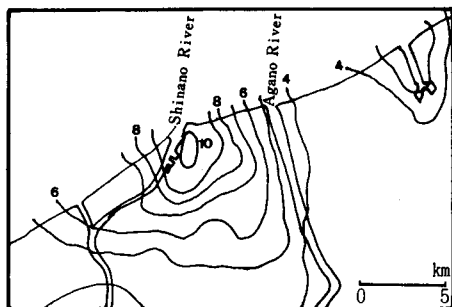


Fig.2 Annual average concentrations of SO₂(ppb) in the atmosphere (1989.4.1 ~ 1990.3.31)

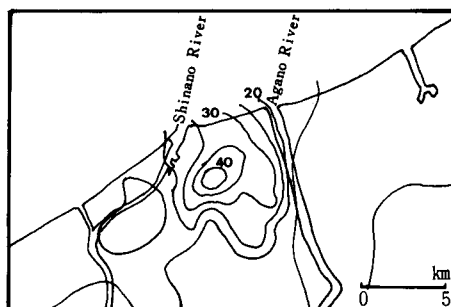


Fig.3 Annual average concentrations of NO_x(ppb) in the atmosphere (1989.4.1 ~ 1990.3.31)

SO₂及びNO_xの年間の平均濃度は、両者とも信濃川河口付近の工場地帯を中心に拡がる傾向を示す。このSO₂及びNO_x濃度とコダマゴケの生育域を比較すると、コダマゴケの生育域はおおむねSO₂濃度が7~8 ppb, NO_x濃度が30 ppbの等濃度線の外側からとなっている。しかし、コダマゴケの生育が確認されなかった新潟市の西部や阿賀野川以東の海岸に近い地域は、大気中のSO₂濃度やNO_x濃度が低い状態であり、これら大気汚染物質との対応は必ずしも良いとは言えない。

地衣類をはじめとする樹皮着生植物の生育には、都市化等による乾燥化が大きく影響すると考えられてきた^{1,2)}。しかし、近年光木ら¹⁰⁾や大橋ら⁹⁾は、都市部での調査から乾燥化による影響は比較的小さく、大気汚染あるいは雨水に溶け込んだ汚染物質の影響が大きいことを報告している。

これらのことから、コダマゴケの生育にもSO₂やNO_xなどの大気汚染物質が大きく影響を及ぼしていると考えられるが、樹種により付着状況が異なることなどから乾燥化も一つの要因であろう。また、今回の調査で海岸線に沿って生育が認められなかったことから、海塩粒子などの影響も推察された。

3.3 培養液によるコダマゴケ胞子の発芽率の違い

Knop液、Sachs液、Pfeffer液、Detmer液を基に調整した寒天培地上での発芽率をTable 2に示す。

Sachs液、Pfeffer液、Detmer液では32~40%の発芽率であったが、Knop液はいずれの濃度でも40%以上を示し、また原系体の成長も良く、コダマゴケの胞子を発芽試験に用いるにはKnop液が培養液として適していた。しかし、発芽率は50%以下と低率であった。

これら発芽率の低い理由としては、試験用のコダマゴケ採取を5月上旬に行ったため、胞子形成が充分でなかったことが考えられ、胞子の採取は胞子形成の終了した時点で行う必要があった。

3.4 ブリオメーターの作成・検討

ブリオメーターの構造(略図)をFig. 4に示す。

ダイヤフラムポンプで吸引した大気をフィルター(47 mm, Gelman Micro Quartz)をとおしたのち分岐し、一方を大気浄化筒へ、他方を大気温度調節筒へ導いた。大気浄化筒および大気温度調節筒は径30 mmのガラス筒を

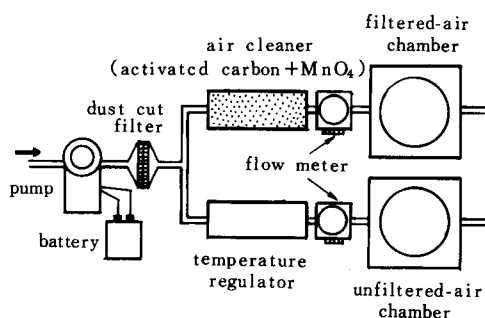


Fig. 4 Diagram of the "bryometer"

用い、大気浄化筒には粒状活性炭と粒状二酸化マンガン(体積比5:2(約100 cm³))になるように詰め、大気温度調節筒には細切したテフロンチューブを詰めた。光木ら²²⁾は、この組み合わせによるSO₂などの汚染ガスの除去率を検討し、大気浄化筒で88~99%除去されるのに対し、大気温度調節筒では数%の低下に留まる良好な結果を得ている。

浄化空気および非浄化空気は0.4~0.5 ml/分に調整し、各チャンバーに導入した。チャンバーは、透明なアクリル製で、下部に水槽を設け、ガーゼを垂らしてチャンバー内の乾燥を防いだ。

また、胞子発芽試験用の寒天培地は、培地の作成や運搬が容易な径60 mmのミニシャーレを用いて作成し、そのまま使用する方法を検討した。すなわちチャンバー内に5 mm角のアクリル製の棒二本を空気流入口と平行に置き、その上に胞子を塗布した面を下にしてシャーレを載せ、粉塵などの影響をできるだけ少なくなるように工夫した。

この装置を用いて試験的に当研究所屋上で行った調査例をFig. 5に示す。発芽率は、浄化室で53%、非浄化室で48%であり差はなかったが、発芽後の原系体の成長に差が認められた。したがって、胞子の発芽率と原系体の成長速度とを組み合わせることにより、コダマゴケの胞子を用いるブリオメーター法は、大気汚染評価の有効な手段となると考えられた。しかし、発芽率が極端に低い場合や試験途中で枯死する場合があります。その理由としてはチャンバー内の温度上昇が大きく影響したものと考えられ²²⁾、調査に際してはチャンバー内の温度上昇を防ぐ工夫が必要と思われた。

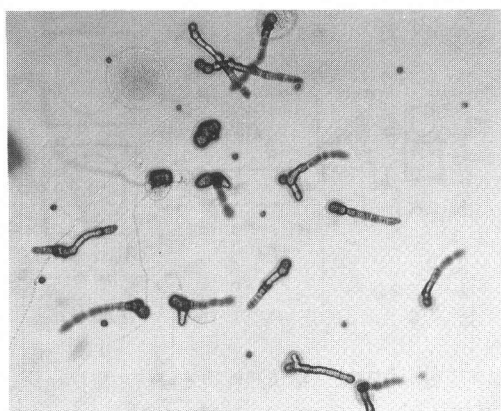
4 ま と め

樹皮着生蘚苔類の一種であるコダマゴケの新潟市周辺における生育分布域調査と、その胞子を用いるブリオメーター法を検討した。

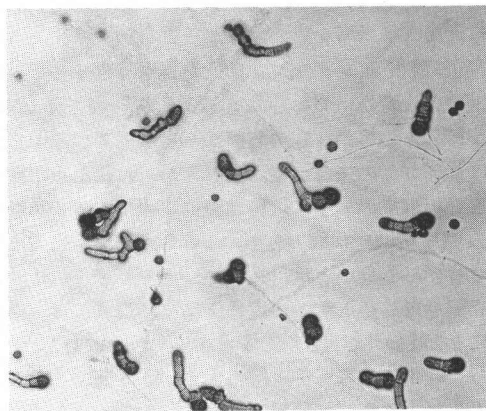
コダマゴケは、樹幹上で暗緑色の塊りをなすため現地観察が容易な蘚苔類である。その生育分布域調査から、コダマゴケは新潟市街地や工場地帯を中心に生育が認められず、SO₂など大気汚染物質による影響が推察された

Table 2 Rates of spore germination on the 4 culture media

Culture medium	Culture medium 5 %	percentage in agar 10 %	percentage in agar 15 %	percentage in agar 20 %
Knop sol.	44	47	46	47
Sachs sol.	39	35	36	40
Pfeffer sol.	32	36	33	32
Detmer sol.	38	37	34	36



A



B

Fig.5 Photograph showing spore germination cultured in the filtered-air chamber and unfiltered-air chamber.

A : filtered-air chamber

B : unfiltered-air chamber

が、それら汚染物質を含む雨水の影響や乾燥化など他の要因も考えられた。

また、コダマゴケ胞子を用いるブリオメーター法には基礎培地としてKnop液が適し、胞子の発芽率と原糸体の成長速度を組み合わせることにより大気汚染評価が可能と考えられた。しかし、温度上昇の影響が大きく、装置の構造を含めた検討が必要と思われた。

おわりに

着生蘚苔類の分類・同定など当調査に関して御指導いただきました前新潟県立南高等学校教諭・池上義信氏に感謝します。

参考文献

- 1) 日本生態学会環境問題専門委員会編：環境と生物指標1“陸上編”，p.223(1975)，(共立出版)。
- 2) 埴田 宏：環境汚染と指標植物，p.88(1974)，(共立出版)。
- 3) 石井 猛，板野省吾：公害と対策，13，1319(1977)。
- 4) Villeneuve J.P. et all : Chemosphere, 17, 399(1988)。
- 5) 中川吉弘，小林禧樹：兵庫県公害研究所研究報告，21，1(1989)。
- 6) 杉野 守，他：近畿大学環境科学研究所研究報告，11，85(1983)。
- 7) 中川吉弘，他：兵庫県公害研究所研究報告，9，35(1977)。
- 8) 杉 泰昭，増田昭子：全国公害研会誌，5，93(1980)。
- 9) 大橋 毅，菅 邦子：同上，17，15(1992)。
- 10) 光木偉勝，他：大気汚染学会誌，13，26(1978)。
- 11) 小村 精，村田敦子：同上，19，462(1984)。
- 12) 中川吉弘，小林禧樹：同上，25，233(1990)。
- 13) 中川吉弘，他：同上，17，370(1982)。
- 14) 中川吉弘，他：同上，20，40(1985)。
- 15) Saeki M. et all : Bull. Environ. Contam. Toxicol. : 14, 726(1975)。
- 16) 高橋陽子，他：公害と対策，13，911(1977)。
- 17) 中川吉弘，他：兵庫県公害研究所研究報告：18，44(1986)。
- 18) 野上祐作，他：大気汚染学会誌，22，347(1987)。
- 19) Showman R.E. and Hendricks J.C. : JAPCA, 39, 317(1989)。
- 20) 横堀 誠：日生態会誌，28，17(1978)。
- 21) Yokobori M. : Staub., 40, 490(1980)。
- 22) 光木偉勝，中川吉弘：兵庫県公害研究所研究報告，14，12(1982)。
- 23) 光木偉勝，他：大気汚染学会誌，17，304(1982)。
- 24) 光木偉勝，他：同上，20，198(1985)。
- 25) 新潟県生活環境部：大気管理基礎調査結果報告書，昭和60年度～62年度，(1988)。
- 26) 服部新佐監修：原色日本蘚苔類図鑑，(保育社)。
- 27) Sochting U. and Johnsen I. : Bull. Environ. Contam. Toxicol., 19, 1(1978)。
- 28) 杉山恵一，岡田巖太郎：大気汚染研究，11(大会号)，207(1976)。
- 29) 新潟県環境保健部公害対策課：平成元年度大気汚染測定結果報告，(1989)。
- 30) 山田常雄，他編集：生物学辞典，(岩波書店)。