

高等教育における生物多様性学習のための データリソースとしてのSimRiverの活用

真山 茂樹*・渡辺 剛**・加藤 和弘***・大森 宏****
東京学芸大学生命科学分野* 文教大学教育学部**
東京大学大学院農学生命科学研究科附属緑地植物実験所***
東京大学大学院農学生命科学研究科****

高等教育における生物多様性学習のための データリソースとしてのSimRiverの活用

真山 茂樹・渡辺 剛・加藤 和弘・大森 宏

The Application of SimRiver as a Data Resource for the Study of Biodiversity in Higher Education

Shigeki Mayama*, Tsuyoshi Watanabe**, Kazuhiro Katoh***
and Hiroshi Ohmori****

Department of Biology, Tokyo Gakugei University*

Faculty of Education, Bunkyo University**

Experimental Station for Landscape Plants, The University of Tokyo***

Department of Agricultural and Environmental Biology, The University of Tokyo****

SimRiver is an educational software that was created for studying the relationship between human activity and the quality of river water using diatom communities. As a lot of field data are incorporated in its simulation program, diatom communities generated by SimRiver can possibly be used as a data resource for the study of biodiversity. We analyze the character of the data generated by SimRiver and report a case study of its use toward studying biodiversity in a graduate school.

Key Words: biodiversity, diatom, environmental education, SimRiver, simulation software

I. はじめに

今日、自然環境を体験するための様々なプログラムや、野外活動が行われている(平吹・河村 2002, 吉富ほか 2007, 吉富 2008)。本物の自然の中で学ぶことの重

要さは掛け替えのないものであるが、身近に適当な自然環境が常に存在しているわけではない。また、学校教育などでは、授業等における時間的な制約により、そのような場所へ容易に行くことができない場合も多い。このため、授業時間内における環境学習では、様々な事例や経験談などを基に実施されることも多々行われている。

“SimRiver”は人間活動と河川水質との関係を、水中に普遍的に存在する微小生物の珪藻から学び、考えるために開発されたシミュレーションソフトウェアである(加藤ほか 2004、真山 2006)。このソフトウェアは河川の上流から下流まで流域の5のブロックに土地利用条件、人口、下水処理場の有無という環境条件を設定し、その条件下で河川の水質がそれぞれの場所でどのようになるかを、その都度、合成表示される珪藻群集から判定することができるものである。本ソフトウェアとビデオ教材を組み合わせることで、教室内で河川環境の理解促進を図ることが期待されており、現在まで実施されたSimRiverを用いた中学校、高等学校、および中学生と高校生を対象とした公開講座などの授業では、学習者がSimRiverの操作を好んで行うこと、授業により水環境に対する興味・関心が高揚することなどが報告されている(真山ほか 2007、真山ほか 2008、中村ほか 2008)。

シミュレータを用いた授業では、居ながらにして、様々な状況を仮想的に作り出すことができるため、学習者に多様な興味を抱かせることが可能である(稲垣ほか 2004, 2005)。SimRiverを用いた授業では、通常、年単位でしか経験できない人間活動と河川環境の変化を授業時間内に仮想体験できることが特徴的である。

SimRiverはそのシミュレーションプログラムにおいて、実測された水質と珪藻種の多量のデータを用いている。このため、SimRiverは水質判定シミュレータとしての使用以外に、生物多様性の学習に活用できるデータリソースとしての可能性を持つ。SimRiverの基となったデータは東京都八王子市を流れる南浅川から得られたもので、Katoh(1991a, 1001b)はこのデータを用いて珪藻群集の特性や水質汚濁指数の比較研究を行っている。しかし、SimRiverが利用者に呈示するデータは実測のデータではなく、シミュレーションにより生成されたデータである。SimRiverのプログラム開発の過程では、教育用ソフトウェアという特性から、データに対する幾つかの単純化作業が行われた。すなわち、使用する珪藻を93種に限定する、種組成とCOD値との対応付けを行う際には細かなCOD値を使用せず1mgO₂/Lの間隔で設定した10

のCODレベルを使用する、春と秋のフロラは大方同様であるためデータを共用するなどの操作を行っている。また、珪藻プレパラートの表示では、見やすく操作しやすい理想的なプレパラート像を合成するため、珪藻殻が重ならないようプログラムされている。この表示プログラムでは、大きな種類から順番に画面上に配置していくが、大きな種類が多めに表示される場合は必然的にモニター上に呈示される殻の数が減少する。本研究では高等教育における生物多様性学習のためのデータリソースとしてSimRiverを活用するに当たり、SimRiverが生成するデータの特性を明らかにすると共に、高等教育におけるその活用事例を報告する。

II. SimRiverが生成するデータの特性

SimRiverではメッシュモデルに基づく水質予測プログラム(加藤 1994)から計算されたCOD値と選択された季節に対応する珪藻種と、モンテカルロシミュレーションにより決定される群集構成の期待値に対し、それに近づくように珪藻写真をモニター上に配置する。また珪藻種は識別珪藻群法(Kobayasi & Mayama 1989, Mayama 1999)の分類により汚濁耐性に基づき3群に分類されており、その指標性を利用して水質判定が行われる。河川における珪藻フロラを用いた多様性の調査では通常400殻以上(場合によっては500殻以上)を計数するが、これは計測誤差を小さくして実用上の問題が生じるのを防ぐためであり、この数は統計学的にも妥当なものと報告されている(大塚・辻 1997, 大塚 1998)。一方、SimRiverを利用した通常の学習では、1カ所から採集し同定計数を行う珪藻の殻数はもっと少ない。これは、モニター上に表示される珪藻の数に限りがある(多くの場合30弱~70強)ためである。もっとも、同所から繰り返し採集を行い、解析に用いる珪藻殻の数を増やすことは可能である。SimRiverは学習用ソフトウェアのため、授業時間内に作業を終了できるよう、精度を犠牲にして作業時間の短縮化を図る使用が想定されている。そこで、本研究では、SimRiverを利用して400殻以上の珪藻を採集し、それを複数の方法で解析した。

1. 採集方法

SimRiverは上流から下流まで5カ所で珪藻の採集ができる。しかし、呈示される珪藻群集の構成は採集地点には依存せず、あくまでCODレベルと季節のみによって決

定される。そこで、珪藻が生産できる0~9までの各CODレベル（0が一番きれい）において、それぞれ冬、春、夏に合計30試料の採集を行った。試料毎に殻数の合計が400以上になるまで、繰り返しシミュレーションを行った。なお、SimRiverを普通に使用した場合、予測COD値やそのレベルは表示されない。モニターに表示される珪藻の種組成も学習者が自ら同定して判断しなければならない。本研究は、SimRiverが生成するデータの特性を明らかにすることが目的であるため、この両者を表示することができる、プログラム開発者および指導者用の特別な設定（詳細モード：脚注参照）を用いてSimRiverを実行した。

（脚注）

詳細モード：SimRiverのもつ隠し機能で、レベル設定画面でSimRiverの文字をクリックすることで動作させることができる。詳細モードでは環境設定画面の下部に、予測COD値、CODレベル、季節(0=冬,1=春,2=夏)、採集場所(1~5:1が上流)が表示されるほか、計数表画面に計数結果と汚濁指数を表示させることができる。なお、本文中で使用する2桁の試料番号は、左からCODレベルと季節を表している。

2. 珪藻群集の解析

(1) 珪藻殻の表示特性

SimRiverでは水質汚濁が進行すると、モニター画面に表示される珪藻殻数が増加する傾向は開発当初から知られていた。このことは、今回、400殻以上を採集するために行ったシミュレーション回数とCODレベルとの対比（図1a）および、モニター中に表示される平均殻数とCODレベルの対比（図1b）において如実に示された。また、400殻以上の採集で出現した種数とCODレベルの対比（図1c）および、モニター中に表示される平均種数とCODレベルの対比（図1d）より、水質汚濁が進行すると出現する種数が減少する傾向も明らかとなった。これらのデータは水質が良好の場合、大形の種を含む多様な種から構成される群集が生成されるが、水質が悪化すると、少数の小形の種類からなる群集が生成されることを意味している。従来のSimRiverを使用した授業では、水質が良好過ぎると、出現する種類が減ると報告する学習者が必ずいた。しかし、これはSimRiverの珪藻写真の表示特性に起因する可

能性が高く、指導者はこのことを伝える、あるいは採集する珪藻殻数を多くして比較させるなどの指導により、学習者に理解させる必要がある。

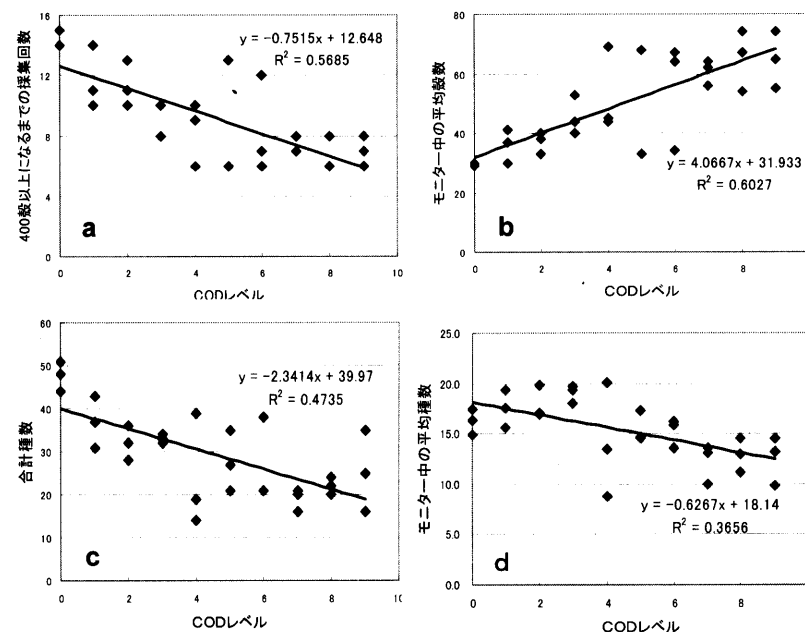


図1 採集試料とCODレベルとの関係

(2) 珪藻群集の指標性

珪藻群集を構成する3つの識別珪藻群のCODレベルに対する変化を、冬、春、夏の季節毎に調べた(図2)。識別珪藻群は1980年代に東京都を流れる河川の多地点から得た珪藻試料をBODに対する出現特性（小林ほか 1985）を基に分類したもので、強汚濁耐性種群（A群）、中汚濁耐性種群（B群）、弱汚濁耐性種群（C群）より構成される（Kobayasi & Mayama 1989, 真山 1992, 1993, Mayama 1999）。本研究で得られた珪藻群集では、夏に採集した試料では3つの群のCODに対する特徴が良く表されていた。冬と春の試料ではA群とC群の耐汚濁性の特徴は明瞭に表されたが、B群の出現殻数はCODレベルが高くなっても、夏と比べて明瞭には減らなかった。一方、こ

これらの識別珪藻群を基に算出された汚濁指数 (Saprobic Index) は3季とも各CODレベルにおいて非常に類似した値を示した (図3)。

識別珪藻群法の開発の際には、実際の河川から採集した試料において、BOD値に大きな変化はなくとも、季節により出現する各識別珪藻群の割合が変動することが観察されている(図4)。識別珪藻群法はそのような変動があっても、算出される汚濁指数が安定するよう考案されたものであるが、SimRiverが生成するデータからも、同様のことが示されたのは興味深い。

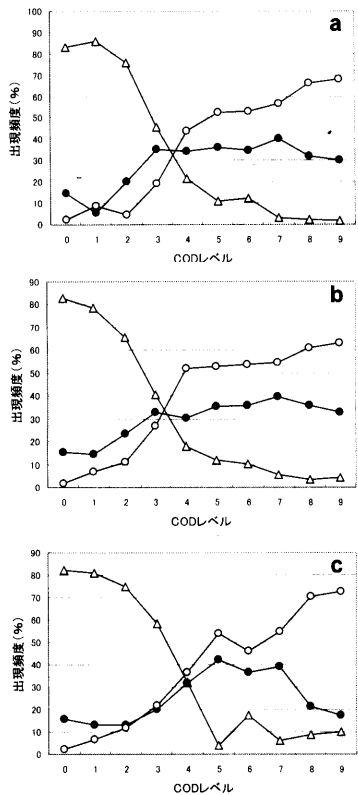


図2 3つの識別珪藻群とCODレベルの関係

a. 冬 b. 春 c. 夏

○識別珪藻群A ●識別珪藻群B △識別珪藻群C

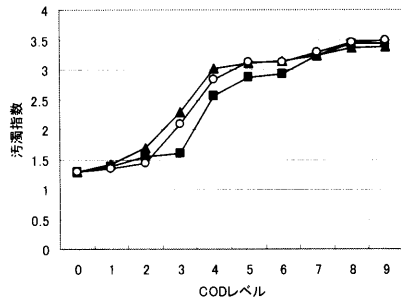


図3 汚濁指数とCODレベルとの関係

○冬 ▲春 ■夏

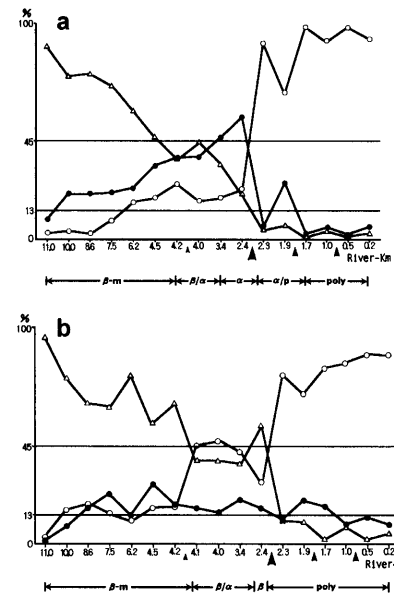


図4 南浅川において実測された3つの識別珪藻群と水質階級の関係

a. 1981年5月23日採集 b. 1981年10月16日採集

○識別珪藻群A ●識別珪藻群B △識別珪藻群C 鋸印: 大規模な汚濁負荷の流入

(3) 珪藻群集の多変量解析

かつては煩雑な計算を必要とする多変量解析は一部の研究者が使うものであったが、現代ではコンピュータの発達とソフトウェアの普及により、様々な解析方法が多様な分野で手軽に利用できるようになり、そのための解説も多数なされている(例えば、加藤 2002)。これに伴い、高等教育でも生態学やその関連分野で、多変量解析を用いた学習が行われるようになってきている。そこで、本研究ではSimRiverが生成するデータに対し、幾つかの方法により解析を行った。

序列化はデータの中に何らかの傾向線を見いだす手法であり、生態学の現場では、サンプル×属性(種数、種多様性の指数、汚濁指数、環境条件測定値など)、あるいはサンプル×出現種という形式のデータセットに対して適用される。後者はサンプルごとの種組成のデータであり、観察個体数や現存量、被度、その他優占度の指

標がデータとなる。本研究ではサンプル属性についての主成分分析(Principal Component Analysis: PCA)および、種組成データに対する除歪対応分析(Detrended Correspondence Analysis: DCA)を行った。前者では400殻以上になるよう複数回採集した試料中に存在した合計の種数、季節、CODレベル、およびモニター中に表示される殻数を変数として分析した。その結果、CODレベルとモニター中の殻数は類似した変化を、また合計種数はこれらの変数に対し反対の変化をすることが示された(図5)。つまり、CODレベルが上昇するとモニターに表示される殻数も増加するが、合計種数は減少する。反対に、合計種数が増加する場合は他の2変数の値は減少する。一方、これらの3変数に対し、季節は独立して変動することが示された。

DCAでは、各サンプルにおける種ごとの殻数を変数として分析し、分析により得られたサンプルスコアがサンプルを得た場所のCODやサンプルを得た季節によりどのように異なるかを検討した。

その結果、1軸は水の汚れを反映するものとなり、2軸は季節を反映するものとなった(図6)。また、よりきれいな水質のサンプルでは、季節による差が明瞭に示されたが、CODレベルが高くなるほど(1軸において0に近づくほど)季節による差が見られなくなることも示された。

多変量解析による分類では、階層型クラスター分析とTWINSPAN (Two-way Indicator Species Analysis)を実施した。共にDCAで用いたものと同じデータセットを使用して分析した。クラスター分析では、試料はCODレベル3以下の良好な水質の地点より採集された群集から成るクラスター【1】と、そうでないものとして分類された(図7)。また、後者のクラスターはCODレベル8以上の水域に出現した群集から構成されるクラスター【2a】と、それより良好な水域から出現した群集から成るクラスター【2b】に分類された。また、季節の影響は特に示されなかった。

TWINSPANでは珪藻群集は、きれいな水域に出現し種が非常に豊富なもの【グループ1a】、きれいな水域に出現し種が豊富なもの【グループ1b】、汚れた水域に出現するが種は豊富なもの【グループ2a】、汚れた水域に出現するが種数は少ないもの【グループ2b】、に分類することができた(図8)。また、珪藻種は汚濁耐性が弱くきれいな水域に分布するもの【グループA1】、汚濁耐性が弱くきれい～汚れた水域に均等に分布するもの【グループA2】、汚濁耐性がありきれい～汚れた水域に均等に分布するもの【グループB1】、汚濁耐性がありより汚れた水域に分布するもの

の【グループB2】、に分類することができた。

上述の4つの解析の結果はまったく同じ解釈を導くものではなかったが、解析方法の特性に応じて、珪藻群集と汚濁および季節環境が複雑に織りなす関係を平易に示すことは可能であった。このことは、多変量解析を用いた学習におけるSimRiverの活用を担保するものと考えられる。

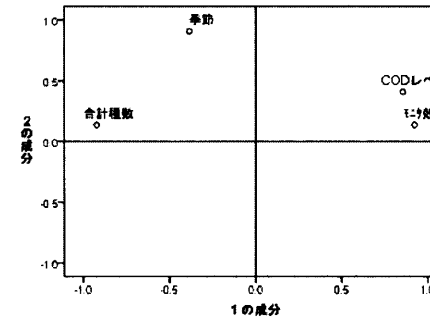


図5 主成分分析による成分プロット

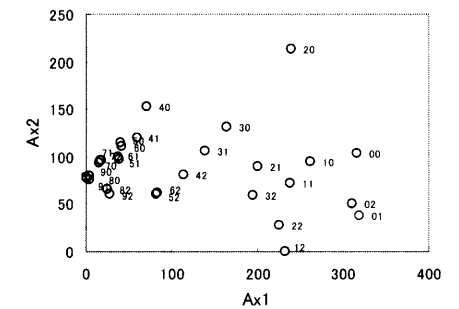


図6 DCAによる試料のプロット

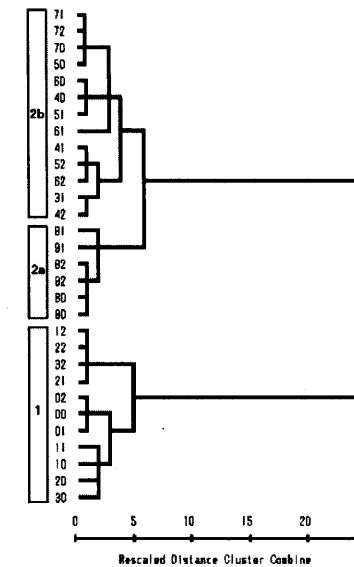


図7 クラスター分析による樹状図 (Ward法を使用)

種名	試料番号	種の分類	グループ
C <i>Synedra maequalis</i>	56895774789468 45693 12231123 000	4411	0000
A <i>Mayamaea atomus</i>	-----3-----	0000	
B <i>Craticula accomoda</i>	-----1-----	00010	
C <i>Gomphonema tava var. maequalinum</i>	22-----	00010	
C <i>Cymbella leptoceros</i>	-----3-----	00010	
B <i>Cyrotella meneghiniana</i>	3344244-221222 33314 ---3--- 1--	000110	
B <i>Sellophora pupula</i>	4322444---11-43 23322 ---2--- 2-	000110	
A <i>Achnanthyidium saprophilum</i>	5555455355445 4445 ---31-4 2-	000110	
A <i>Eolimna subminuscula</i>	5555555555555 44454 4-22-2 ---	000110	
C <i>Luticola mutica</i>	-----22-----	000111	
C <i>Navicula viridula var. rostrata</i>	-----21-----	000100	
B <i>Fistulifera saprophila</i>	2-2231-2122-2-----2-----25---	001010	
A <i>Eolimna minima</i>	55555554555555 55554 33443-5-1-	001011	
A <i>Sellophora samulium</i>	5555554555554 44342 143-21-4 12-	001011	
A <i>Gomphonema parvulum</i>	445554455545 55555 33352-13 1--	001011	
B <i>Nitzschia amphibia</i>	5555554555554 55534 43442345 21-	001011	
C <i>Navicula viridula var. rostellata</i>	22-1-----	0011	
B <i>Gomphonema pseudoungur</i>	332222-11-----232 12-1-2-----	0011	
A <i>Nitzschia palustris</i>	5555555555555 55555 34454544 123	0011	
C <i>Cymbella turgidula</i>	-----1-1-----	010	
C <i>Pinnularia subgibba</i>	---11-1-----	010	
C <i>Nitzschia archibaldii</i>	1-11-----	010	
C <i>Navicula cryptocapitata</i>	2232322222234 24445 3333533 222	01100	
A/B <i>Navicula veneta</i>	3321112-12-122 2-23 232-312- 123	01100	
B/C <i>Nitzschia hantzschiana</i>	552355543355 54525 55455155 122	01100	
B <i>Fragilaria capitellata</i>	-----1-----	0101	
B <i>Synedra ulna</i>	22112221322223 45533 4443233 555	0101	
B <i>Aulacoseira ambigua</i>	-----2111-----	0111	
C <i>Nitzschia fonticola</i>	-----1-----	0111	
C <i>Diatoma vulgare</i>	-----31-----	1000	
C <i>Cocconeis pediculus</i>	-----432-1 5-42-----	1000	
B <i>Amphora submontana</i>	-----1111-----	100100	
B <i>Nitzschia filiformis</i>	-----221-----	100100	
B <i>Cyclotella stelligera</i>	1--2-----	100101	
C <i>Synedra acus</i>	-----221-----	100101	
B <i>Achnanthes brevipes</i>	-----1-----	100101	
C <i>Caloneis silicula</i>	-----1-----	100101	
C <i>Gomphonema gracile</i>	-----1-----	10011	
C <i>Achnanthyidium pyrenaicum</i>	1221-12-----	3-2 513 010	
C <i>Platnothidium lanceolatum</i>	44223-221-----442 40-24 5555555 555	010	
B <i>Navicula graeca</i>	232121-----	222 2-115 2343343 221 010	
C <i>Ceratoneis arcus var. recta</i>	-----1-----	2-3 1-- 0110	
C <i>Hopodonta pseudoaccepatata</i>	---11---1-3---12-1 232-2---2---	0110	
C <i>Navicula capitoradiata</i>	-----1 2-1- 2-2-1---2---	0110	
B <i>Sunirella angusta</i>	-----1-----	21 1--2-1-1-1 0110	
B <i>Fragilaria vaucheriae</i>	-----1-----	1-12 3--31-1 0111	
C <i>Cocconeis placentula</i>	-1-1-1-1-213 53434 5555544 555	11000	
C <i>Geissleria decussis</i>	-----2-1-1-12-----	11000	
C <i>Melosira varians</i>	-----21114 44-2-331 535	11001	
C <i>Fragilaria capucina</i>	-----212-----	1431 335 11001	
C <i>Hantzschia amphioxys</i>	-----1-----	1-2 11001	
C <i>Stauroneis concinna var. venter</i>	-----1-1-23 41222 2352342-----	11010	
C <i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	1-----1-1-2-2-5-24-----	110110	
C <i>Reimeria sinuata</i>	-----11-----	3-11 22-4--2 12 110110	
C <i>Stauroneis construens</i>	-----2 3111- 4344431 212	110111	
C <i>Navicula nipponica</i>	1-1-----	122-11-2- 110111	
C <i>Rhososphenia abbreviata</i>	-----2-----	2-2 43232-22 322 110111	
C <i>Encyonema silesiacum</i>	-----11-11-----	123 13325534 332 110111	
B <i>Pinnularia gibba</i>	-----1-2-----	21-23-1-1- 110111	
C <i>Nitzschia linearis</i>	2-----	223-4 3444523 545 110111	
C <i>Gomphonema quadrifurcatum</i>	-----1-----	22-2352 112 11100	
C <i>Cymbella naviculaformis</i>	-----1-----	11100	
C <i>Encyonopsis microcephala</i>	-----1-----	11100	
A <i>Pinnularia valdetolerans</i>	-----1-----	11100	
C <i>Punctastriata linearis</i>	-----12-----	2 111010	
C <i>Achnanthyidium convergens</i>	-----1 2-334534 455	111010	
C <i>Lemnicula hungarica</i>	-----2-22-----	221 11010	
C <i>Gomphonema acuminatum</i>	-----1-----	111010	
C <i>Amphora pediculus</i>	-----1-----	213-23-2 333 111010	
C <i>Sunirella tenella</i>	-----2-----	2 111010	
C <i>Achnanthyidium minutissimum</i>	-----1-121 4343432 454	11011 11011	
C <i>Gomphonema minutum</i>	-----2-1-----	12- 110111	
C <i>Amphora copulata</i>	-----2-----	11 110111	
B <i>Nitzschia hombergensis</i>	-----1-----	1-- 111011	
C <i>Nitzschia dissecta</i>	-----1-----	1--3 33344554 314 11011	
C <i>Diatoma mesodon</i>	-----2-----	2 242 1110	
C <i>Mendon ciccaria var. constrictum</i>	-----2-----	2-2- 224 11110	
C <i>Achnanthes subudsonis</i>	-----1-2-3313-----	444 11110	
C <i>Perilobus protractus</i>	-----1-1-23-----	111110	
C <i>Eunotia pectinatis var. minor</i>	-----1-----	111111	
C <i>Eunotia curvata</i>	-----2-----	111111	
C <i>Frustulia saxonica</i>	-----2-----	111111	
C <i>Frustulia vulgaris</i>	-----31-----	111111	
C <i>Karayavia clevei</i>	2-----	1- 555 111111	
C <i>Sellophora japonica</i>	-----1-----	12- 111111	
B <i>Achnanthyidium exiguum</i>	-----1-----	323 111111	
C <i>Caloneis bacillum</i>	-----12-----	111111	
C <i>Luticola minor</i>	-----1-1-----	111111	
C <i>Oymbella tumida</i>	-----1-1-212-----	111111	
C <i>Pinnularia viridis</i>	-----3-----	111111	
B <i>Nitzschia solgensis</i>	-----1-2-----	421 111111	

試料の分類過程
 0000000000000 00000 111111111 111
 0000000000000 11111 00000000 111
 0011111111111 00001 00001111

グループ
 2b 2a 1b 1a

図8 採集試料のTWINSPANによる分類

Ⅲ. 高等教育におけるデータリソースとしての活用

2003年に東京学芸大学大学院理科教育専攻に所属する大学院生6名に、SimRiverをデータリソースとして生物多様性を学ぶ授業を実施した。

上流から下流までの5地点で、学習者は共通の流域環境(表1)を設定した。これは一見して上流から下流へ向かって水質が悪化すると予想できる環境設定である。そして、全ての地点で殻数が400以上になるまで採集の操作を繰り返した。それぞれの試料で種ごとの計数を行い、多様性を表現するためにしばしば用いられる、種の豊富さ(種数)、Shannonの多様性指数(H')、Pielouの均衡度指数(J')を算出すると共に、識別珪藻群を用いた汚濁指数(S)の値を求めた。さらに、クラスター分析の基礎データとなる非類似度としてしばしば利用されるJaccardの係数を算出した。

珪藻の採集とデータ集計は共同作業で行ったが、全地点で作業を終了するためには、90分の授業では若干時間が足りなかった。このため、各指数および係数の算出は授業後の課題とし、結果をレポートによって提出させた。

大学院生が求めた種数と3つの指数を表2に示した。汚濁指数は上流から下流に向かって、漸次上昇するのに対し、種数は減少した。種数の変化は上中流と中流の間でわずかに逆転するものの、全体としてみると図1cに見られたように、環境の悪化を反映した結果となった。これに対し、多様性指数と均衡度指数は、環境勾配の両端となる上流と下流での違いは明瞭に現れたが、その中間部で数値は上下に変動し、汚濁環境を特に反映した結果にはならなかった。Kato(1991b)は多様性指数は水質状態の悪化により低下するが、変異の幅が広いこと、また、それは同一場所で採集した異なる試料間および異なる季節間で生じることを指摘したが、大学院生の示した結果はこの指摘により説明されるものであろう。またKato(1991b)はCODや水質汚濁に関わる他の水質測定値と最も強い相関を示すのは汚濁指数であり、多様性指数や単純度指数(Simpson指数)は弱い相関であり、種の豊富さはその中間であることを示したが、大学院生の結果はこれに相当するものであった。彼らが算出したJaccardの係数(表3)の比較では隣接する試料間、すなわちCOD値に近い水域から得られた試料間で類似性が高く、それが離れるほど類似性が低下することが明瞭に示された。

表 1 大学院生が設定した流域環境

採集地点	土地利用	人口	下水処理場
上流	山林	0	なし
上中流	山林	50	なし
中流	農耕地	500	なし
中下流	住宅地	500	なし
下流	住宅地	1000	なし

表 3 大学院生が算出したJaccardの共通係数

	上中流	中流	中下流	下流
上流	0.491	0.381	0.29	0.286
上中		0.551	0.438	0.488
中流			0.578	0.537
中下				0.556

レポート提出時に、SimRiverをデータリソースとして用いた授業について感想文を書いてもらった。SimRiverを活用することの利便性や、多様性の理解のし易さが主に書かれていた内容であったが、いずれも本授業の特徴をよく表したものと思われた。その幾つかを下に紹介する。なお、同様の感想文があった場合は、一つにまとめて記載した。

- ・ 通常なら実際に現場の環境と、そこに生育する植物群落や動物群落を観察することで、計算値のもつ意味が真に理解できるものと思うが、実際の講義や授業の中で、それらを観察、調査するには時間がかかり、複数の環境を調査し比較することはできない。しかし、SimRiverでは教室内の作業で水質や季節の様々な環境状態を容易に作ることでできたため、珪藻群集との関係を計算値から把握しやすかった。
- ・ 実際に川へ行って珪藻採集をし、プレパラートを作って顕微鏡観察すると、とても時間がかかってしまうが、SimRiverを用いたサンプリングは非常に簡単でわかりやすかった。
- ・ 珪藻について分類の知識がないと、間違っ種を同定、計数してしまい、正

表 2 大学院生が算出した汚濁指数と多様性を表す3つの指標

採集地点	汚濁指数 (S)	種数	多様性指数 (H')	均衡度指数 (J')
上流	1.30	48	3.08	0.80
上中流	1.38	37	2.72	0.75
中流	2.57	39	2.92	0.80
中下流	2.93	32	2.76	0.80
下流	3.43	24	2.28	0.72

確な値を出せないことが考えられるが、SimRiverでは答え合わせまでできて、間違える心配がほとんどないことがよかった。

- ・ 珪藻の形や名前を覚えることなく機械的に同定できてしまう点が、楽である反面、物足りなさでもあった。
- ・ 操作が簡単なので、少人数でも短時間で多くの個体を計数でき、初めて行った指数や計数の計算に時間を割くことができた。
- ・ 出現する種は限定されると思うが、こうした学習には十分な量と思う。
- ・ 今まで珪藻にあまり馴染みがなかったもので、こんな生物が水中には存在しているのか、といったことの方が気になってしまった。
- ・ SimRiverは写真がきれいでわかりやすかったため、今回の調査のような使い方以外に、図鑑としても使用できると思った。
- ・ SimRiverでの同定や計数はゲームのようで新鮮だった。
- ・ コンピュータシミュレーションによる解析は初めてだったので新鮮だった。
- ・ Excelの使い方を習熟することができてよかった。

IV. おわりに

自然環境の理解は様々な視点とレベルから行われるものであろう。生物の多様性を情緒的にとらえることは否定されるべきことではないが、高等教育における学習者は多様性を客観的にとらえ、かつ科学的に分析を行えるようになることが大切である。

どのような環境が良い環境か、それは人によってとらえ方が異なるであろう。しかし、多様な生物がいる自然環境は、望ましい環境の一つである。森林や草地では、そこに生きる鳥や動物や昆虫、そして植物の種数から多様性をとらえることは比較的容易である。しかし水中ではそれほど容易に理解はされない。例えば、魚では、種類数はある程度わかっても、その分布や量は簡単には測定できない。一定面積から底生無脊椎動物をサンプリングすることもやはり容易ではない。これに対し、附着藻類は、細胞自体が小さく、小さな面積であっても、その群落構成種は多様であり、採集も容易である。地方自治体が行う河川の生物調査報告書を見ても、その種数(とりわけ珪藻)は格段に多い(東京都環境局環境評価部 2003、横浜

市環境保全局水質地盤課 2001)。このため、河川生物の多様性を学習する上で珪藻を扱うことは、実情と照らし合わせても合理的である。

多様性を理解するために、生態学やその関連分野では群集における種の豊富さ、群集における均一性、および多様性指数がしばしば利用されてきた。また、群集間を比較する方法として、様々な類似度指数やクラスター分析などの多変量解析も用いられてきた。

高等教育において、このような分析方法を会得し、その性質を理解することは科学的に環境を理解できる人間を育てるために必要なことであろう。生物多様性学習のためにSimRiverをデータリソースとして使用することは上述のように可能であり、本ソフトウェアの新しい活用方法として今後の普及が望まれる。

引用文献

- 平吹喜彦・河村寿郎, 2002, 『宮城教育大学地域開放特別事業『みつけよう、みつめよう、青葉山の自然 2000・2001』: 地域自然を生かした環境教育の展開, 宮城教育大学環境教育研究紀要, **4**: 71-75.
- 稲垣知宏・福永優・藤原隆浩・服部雄・林雅子・中村純・隅谷孝洋・長登康・佐々井祐二・深澤謙次, 2005, ActionScriptによるシミュレーションとマルチメディア教材開発(新世紀型理科系教育とITCの活用), 日本科学教育研究会研究報告, **20(3)**: 55-60.
- 稲垣知宏・太田朱美・佐々井祐二・隅谷孝洋・長登康・中村純・平方正樹・福永優, 2004, シミュレーションを用いた物理教育, 計算工学講演会論文集, **9**: 1-4.
- Katoh, K., 1991a, Spatial and seasonal variation of diatom assemblages composition in a partly polluted river, *Jpn. J. Limnol.*, **52**: 229-239.
- Katoh, K., 1991b, A comparative study on some pollution indices using diatoms, *Diatom*, **6**: 11-17.
- 加藤和弘, 1994, メッシュデータによる浅川水系の水質予測モデル, 武内和彦・恒川篤史(編) 環境資源と情報システム, 179-187, 古今書院.
- 加藤和弘, 2002, 多変量解析による「分類」で何ができるのか? 日本生物地理学会報, **57**: 3-17.
- 加藤和弘・真山茂樹・大森宏・清野聡子, 2004, 珪藻による河川の水質判定シミュレータ SimRiver の作成, 日本教育工学会論文誌, **28**: 217-226.
- 小林 弘・真山茂樹・浅井一視・中村真一, 1985, 東京およびその近郊の各種汚濁河川から採

取したケイソウの出現様式、特に相対出現頻度とBODとの関係について, 東京学芸大学紀要4部門, **37**: 21-46.

- Kobayasi, H., & Mayama, S., 1989, Evaluation of river water quality by diatoms, *Korean J. Phycol.*, **4**: 121-133.
- 真山茂樹, 1992, 珪藻の話(5), 水, **35(5)**: 59-66.
- 真山茂樹, 1993, 珪藻の話(7), 水, **35(7)**: 20-33.
- Mayama, S., 1999, Taxonomic revisions to the differentiating diatom groups for water quality evaluation and some comments for taxa with new designations, *Diatom*, **15**: 1-9.
- 真山茂樹, 2006, ミクロの生物が解き明かす水の環境—珪藻を用いた河川と湖沼の水質調査, 岡崎恵視・藤沢弘介編, 図説学力向上につながる理科の題材—「知を活用する力」に着目して学習意欲を喚起する—生物編, 70-73, 東京法令出版.
- 真山茂樹・高橋修・湯浅智子, 2007, 教員養成系大学の特長を生かしたサイエンス・コミュニケーションの育成, 科学教育研究, **31(4)**: 380-390.
- 真山茂樹・加藤和弘・大森宏・清野聡子・国府田かおり・押方和宏, 2008, 珪藻による河川の水質判定シミュレータ"SimRiver"の試用と評価, 生物教育, **48**: 10-20.
- 中村美徳・真山茂樹・加藤和弘, 2008, 中学生の河川環境に対する意識を高めるための授業プログラム研究—SimRiverを組み込んだ環境教育の実践—, 東京学芸大学環境教育実践施設研究報告, 環境教育学研究, **17**: 61-78.
- 大塚泰介, 1998, 何殻を数えるべきか? 多様性指数を算出する場合, *Diatom*, **14**: 41-49.
- 大塚泰介・辻彰洋, 1997, 何殻を数えるべきか? フロラ調査の場合, *Diatom*, **13**: 83-92.
- 東京都環境局環境評価部, 2003, 平成13年度水生生物調査結果報告書, 環境資料第14055号, 549.
- 横浜市環境保全局水質地盤課, 2001, 横浜の川と海の水生物(第9報・河川編), 環境保全資料No.190, 247.
- 吉富友恭, 2008, アザメの瀬自然再生事業地における自然解説モデルの提案, 土木技術資料, **50(7)**: 40-45.
- 吉富友恭・今井亜湖・埴岡靖司・前迫孝憲, 2007, 児童の川の見方に基づいた河川学習用デジタルコンテンツの開発と評価, 日本教育工学会論文誌, **31(Suppl.)**: 165-168.