

年月を経て変化する河川環境を学び考える環境教育の実践的研究： 高等学校における標本観察, シミュレーション, ビデオ教材を組み合わせた授業

小 境 久美子*¹・真 山 茂 樹*²

生命科学分野

(2015年5月22日受理)

KOSAKAI, K. and MAYAMA, S.: Environmental education in high school for understanding river environment changing over long periods of time: A class activity using preserved diatom slides, simulation software and video images of an old river. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 67: 33-44. (2015) ISSN 1880-4330

Abstract

A river environmental research using aquatic organisms is often introduced in text books of Japanese high school biology as an activity of inquiry-based learning to understand the relationship between the immediate natural environment and human activity or society. However, it is difficult to predict how human activity affects water quality of a river, because restoration of river environment always need a long period of time. Novel teaching materials and a lesson plan are developed for students' understanding of the relationship between anthropogenic effect and river environment. We prepared diatom slides collected from a current river as well as old slides preserved in herbarium; they were collected from the same site in the same river. After observation of these slides, students operated "SimRiver", a simulation software for understanding relationship between human activity, river water quality and diatom community. Finally, they watched a video of an old river and photographs showing heavily polluted conditions. Analyses of pre- and post-test showed that the students' awareness of river environment became more specific and constructive after the class activity.

Keywords: changing environment, class room activity, environmental education, river, water pollution

Department of Life Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨： 生物の教科書には指標生物を用いた河川の環境調査がしばしば登場する。これは、身の回りの自然と日常生活や社会との関連性を理解することを目的とした探究活動として紹介されているものである。確かに川の指標生物を調べれば、その場所の現在の水質状態はわかるが、人間がどのような行為を行うと、水質がどのように変わるかまではわからない。人為的な環境汚染の影響は、数十年かけないと改善されないのが常である。人為影響とそれに呼応する河川環境の関係を学び、科学の視点から環境に対する意思決定ができることを目的として、教材と授業法を開発した。授業の前に採集しプレパラート化された珪藻と、1980年に同じ場所から採集し作成された珪藻プレパラート、人間活動と河川水質と珪藻群集間の関係を学べるシミュレーションソフトウェア、過去の汚染された川のビデオと写真を教材とし、これらを用いた授業案を作成し授業実践した。授業の事前・事後に生徒が記述した回答文を使用して、教材及び授業そのものを計量テキスト分析により評価した。その結果、生徒の河川環境に対する

* 1 東京学芸大学附属高等学校 (現・横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校 230-0046 横浜市鶴見区小野町6)

* 2 東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町4-1-1)

意識は授業後に、より具体的かつ建設的なものへと変容したことがわかった。また、長期間かけて変化する環境を授業時間中に理解するための教材について考察を行った。

1. はじめに

高等学校学習指導要領(文部科学省 2009)の科目「生物」「生物基礎」の学習内容には「生態系と生物多様性」があるが、これは持続可能な社会の構築が必要とされる現況にあって、グローバルな視点と個人の意思決定の双方が求められるテーマである。また、「生物基礎」の特徴として「身の回りの自然や日常生活や社会との関連性を意識しながら理解させ、基礎的な素養を身に付けさせる」ことが挙げられ、「生物」では「生物と環境とのかかわりに注目することが重要である」とされている。身の回りの自然や、環境に対する人間活動の影響について、生態系の保全が重要であることを、生徒はテレビや新聞を通じて知ることも多いだろう。しかし、生態系の理解、すなわち「生態系は常に変動しているが、変動の幅は一定の範囲内に保たれている」ことを実感をともなって理解するためには、生徒自身が学校内や学校周辺、自宅近くで継続した調査を行うことが望ましい。その活動の場として水界生態系である河川は、日本全国どこ地域へ行っても利用できる身近な存在である。また、水生生物を使用した調査方法は高校や中学校の教科書にもしばしば紹介されている(本川ほか 2012, 嶋田ほか 2012, 吉里ほか 2012, 細谷ほか 2012)。しかしながら、生徒自身が体験するとすると、継続した観察や調査に困難がともなうことも多い。加えて、人為的影響を強く受けた生態系は健全な生態系の変動幅を超えて悪化し、その回復には長期間を必要とする。例えば多摩川の水質は1970年代にはBOD 10 mg/L以下のE類型であったが、3 mg/L以下のB類型を達成するまでに約30年を必要とした(和波 2010)。すなわち「身の回りの自然や日常生活や社会との関連性を意識しながら理解させる」という学習指導要領の目標を、在学期間中に実体験を伴って理解させることは、たいへん困難なことなのである。

本研究ではあらかじめ生徒が採取した生物試料、過去に作成された標本、環境シミュレーションソフトウェアおよび過去の河川の映像と写真を組み合わせた授業を行うことで、生徒が人為による水環境の悪化と改善の変化を理解し、科学的視点から環境に対する意志決定ができることを目的とした。

2. 使用した生物試料および教材

河川の環境指標生物として、しばしば利用されているのは底生無脊椎動物である。これはヨーロッパにおける産業革命後に生じた河川の汚濁を評価する生物指標を最初に開発したKolkwitz & Marsson (1908) 以来世界中で使用されているもので、我が国では津田(1964)が最初に導入した。底生無脊椎動物は肉眼で見えること、および野外調査中に同定ができる利点があり、多くの中学理科や高校生物の教科書で扱われている。環境省と国土交通省が一般市民を対象に実施する全国水生生物調査でも使用されている(国立環境研究所 2015)。本研究で使用した水生生物は、地球上で行われる光合成の20~25%を担う(Armbrust 2004, Mann 1999)水圏生態系の代表的な生産者として知られる珪藻である。珪藻は顕微鏡を使用しないと観察できないものの、我が国の中学校理科の全ての会社の教科書に、水中の微小生物として名前が掲載されている。また、珪藻は水質汚濁の指標生物としても有用で、今日様々な国や地域で水質評価のために用いられている(Kobayasi & Mayama 1989, Mayama 1999, Kelly & Whitton 1995, Pan et al. 1996)。また、高校の科学と人間生活の教科書には、課題研究として「河川の珪藻調査」が掲載されている(中村ほか2012)。

水生無脊椎動物は液浸標本にすると退色が生じるため、生徒の観察には不向きである。これに対し、珪藻の殻はガラス質でできているため、作成した永久プレパラートは長期間保存しても変質しない特徴を持っている。そこで、本研究では授業前に代表者が多摩川多摩橋(福生市)で珪藻を採集した。採集および採集後のプレパラート作成は「ケイソウプロジェクト」ホームページで公開されているビデオ(真山ほか 2010)に従った。また、同地点の過去の水質を珪藻から調べるため、1980年に著者の一人である真山が採集した試料から作られた永久プレパラートを用意した。

また、河川環境シミュレーションソフトウェアとして、ウェブ上で公開されているオンラインプログラムの“SimRiver”を使用した。このソフトウェアは人間活動と河川水質と珪藻群集の関係を理解するための教育用プログラムで(真山 2003, 加藤ほか 2004)、使用方法(真山 2006, 真山 2012)、シミュレーションプログラムの特性(真山ほか 2009)、評価(真山ほか 2008,

Mayama et al. 2011), 中学校での実践研究(中村ほか 2008), 国際展開(真山 2010, Hoffer et al. 2010, Lee et al. 2010, Lobo et al. 2014) が報告されている。プログラムは幾たびかの改良がなされているが, 本研究では複数河川でのシミュレーション結果の比較が同一画面内で可能であり, かつ, シミュレーションした河川の水中に生息するマクロ生物を探索するゲームプログラムを組み込んだvar.6を用いた (<http://www.u-gakugei.ac.jp/~diatom/japan/simriver/index.html>)。

3. 授業計画と授業実践

上述の採集試料と教材を用いて, 単元「生態系での物質循環」(3時間扱い)中の2時に, 河川環境について考える授業案を作成した。対象は高等学校1年次で, 人間生活と自然環境との動的関係を理解することを目的とした。授業の概要は, (1)現在の多摩川の写真提示による導入, (2)アユの餌としての珪藻の紹介, (3)1980年と2013年に作成された珪藻プレパラートの顕微鏡写真の提示(それぞれXとYとし, 採集年は知らせない)と比較, (4)珪藻による汚濁指数算出方法の説明, (5)1970年代前半に撮影された多摩川のビデオと写真を提示, (6)“SimRiver”の自動計算モードを使用し, 過去と現在の多摩川のCOD値に近似するよう土地利用, 人口, 下水処理場などの環境設定を行いシミュレーションさせる, (7)過去と現在に作られた珪藻プレパ

ラートの観察から汚濁指数を計算, (8)プレパラートXとYがいつの時代に作られたものかを, 今までの実験, 観察から考え答えを導く。これらの過程のなかで, 適宜グループ討論を行わせ, 生徒間における気づきや, 思考, 理解の共有を深めるものとし, 最終結果をグループ代表が発表することで, 結果をクラス全体で共有するものとした。

授業の実践は2014年11月に東京学芸大学附属高等学校の1年生を対象に実施した。授業は著者の一人である小境が担当した。

3. 1 単元の指導案

(1)単元名

第4編 生物の多様性と生態系, 3章 生態系とその保全, 2 生態系での物質循環

(2)単元の目標

- (i)生態系において物質が循環すること, 及びそれに伴ってエネルギーが移動することを理解させる。
- (ii)人間の活動によって生態系が攪乱され, 生物の多様性が損なわれることがあることを認識させる。
- (iii)生態系のバランスについて理解させ, 生態系の保全の重要性を認識させる。

(3)単元の評価規準

4つの観点と2つの評価基準を設定し, 評価を行う(表1)。

表1 単元の評価規準

観点	ア 関心・意欲・態度	イ 思考・判断	ウ 観察・実験の技能・表現	エ 知識・理解
単元の評価規準	身近な生態系にはどんなものがあるか挙げることができるか。	生態系内では物質は循環するが, エネルギーは一方通行である理由を理解できているか。	水質調査を行う時は, 各種の測定項目をきちんと測定できるか。	生態系内の物質循環の過程を説明できるか。
学習活動に即した具体的な評価規準	河川などの身近な生態系に親しんでいるか。	①河川環境の変化の原因を考えられるか。 ②人間活動が生態系におよぼす影響について考えることができるか。	①実験結果を分析し解釈して自らの考えを導き出し, それを表現できるか。 ②河川生態系を構成する生物種の生態的地位を考えることができるか。 ③水質調査の項目として適当な項目を挙げることができるか。 ④環境指標生物を用いることで水質判定ができるか。 ⑤シミュレーションソフトを適切に使用することができるか。	食物連鎖による物質の移動を説明できるか。

(4)指導観

- (i)単元（題材）観：「自然の事物・現象に対する関心や探究心を高める」ためには、身近な自然について、継続的な観察を行うことが有効である。この目標に、河川環境に関する学習は有効に機能すると考えられる。
- (ii)生徒観：1年次で2単位「生物基礎」を必修科目として履修している。これまで「生物の特徴」「遺伝子とそのはたらき」「生物の体内環境の維持」について学習してきた。本時の指導においては、調査結果の紹介やシミュレーションを行うが、自分で得た結果と同じくらい重視して扱えるよう指導したい。
- (iii)教材観：「生物基礎」の学習内容(3)「生物の多様性と生態系」には、身の回りの自然として、森林、里山、干潟などの生態系がとりあげられているが、遠方の場合には継続した観察や調査は困難である。授業では、一部生徒が採取に行った多摩川での試料を用いて観察を行った（図1）。河川環境は、身近にとらえられるうえ、生活排水の流入、ダム建設や河川改修、外来生物の移入など、人間活動



図1 多摩川での試料採取

の影響を大きく受けるため、シミュレーションを含めた環境学習によって環境保全の重要性を考えることが可能であると思われる。

(5)年間指導計画における位置付け

本単元「生態系での物質循環」は、物質は生態系内を光合成や呼吸によって循環することを学ぶ。「生態系のバランス」を学習することは「生物多様性」の保全においても重要である。

(6)単元（題材）の指導計画と評価計画（3時間扱い）

- (i)他の授業とのつながり：第1時で炭素の循環、窒素の循環について学び、第2時（本時）で、生態系の具体的な例として河川生態系について学ぶ。第3時で里山や干潟の生態系を含め、生態系のバランスに人の活動が与える影響について考えていく。
- (ii)他の単元とのつながり：「生物の特徴」で学んだ、呼吸や光合成にとまって物質が移動することと関連する。また、多様な生物例を見ることで「生物のもつ共通性と多様性」についても考えることができると思われる。

(7)指導に当たって

身近な河川の現在、過去の姿について紹介する。また、それらの環境に生息する生物種を見ることで、環境と生物について考察させる。また、環境に対する人間活動の影響について考えさせる。

(8)本時（全3時間中の第2時間目）

(i)本時の目標



生態系において生産者や消費者となる生物の例を知り、生態系のバランスについて考える。人間の活動によって生態系が攪乱され、生物の多様性が損なわれることがあることを認識させる。

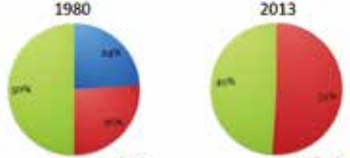
(ii)本時の流れ

表2に本時の流れを示した。なお、時間制限で1時間しか使用できない場合を想定した短縮版指導案を資料1に示した。

表2 本時の流れ

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項	学習活動に即した具体的な評価規準（評価方法）
導入 5分	・現在の多摩川丸子堰下の様子（写真1）、および現在の多摩川に見られる生物を見る。 ダイサギやゴイサギなどはアユを食物としている。	<p>写真1 現在の多摩川丸子堰下</p>	ア河川などの身近な生態系に親しんでいるか。 エ食物連鎖による物質の移動を説明できるか。（発問） ウ-②河川生態系を構成する生物種から、それぞれの生態的地位を考慮することができるか。

<p>展開 I 珪藻 (15分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・アユが食物とする珪藻（写真2）について知る。  <p>写真2 アユ消化管の珪藻</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2つの珪藻プレパラートを比較する。 ・1980(昭和55)年の多摩川多摩橋で採取された珪藻プレパラートX（写真3）と現在の多摩橋で採取されたプレパラートY(写真4)を見る。2枚のプレパラートX, Yは、「多摩川と同じ地点で採取された」ことは伝えるが、年代は伝えない。 ・珪藻は様々な環境に広く分布し、種ごとに生育環境が異なるため、環境を知る手がかり、指標生物になることを学ぶ。 ・識別珪藻群法について学ぶ。汚濁耐性の異なるA~C群に属する種類の出現率を基に水質判定を行う方法である。 	<p>発問：アユなどの魚類が食物としているのは何か。 予想される答え：プランクトン, 水草, 藻類</p> <p>・川の石などから、そこに固着している珪藻を採取することができる。</p> <p>発問：次の2つのプレパラートXとYは、いずれも多摩川と同じ地点で採取したものが、何が違うだろうか。 予想される答え：珪藻の大きさが違う。1つの視野に見える種類の数が違う。</p>  <p>写真3 1980年3月1日に多摩川多摩橋で採取された珪藻（プレパラートX）</p>  <p>写真4 2013年8月10日に多摩川多摩橋で採取された珪藻（プレパラートY）</p>	<p>ウー③河川生態系の生産者について考えることができるか。</p>										
	<p>汚濁指数の計算 $S = \sum ns / \sum n$ S：汚濁指数 n：個々の種類の殻数 s：個々の種類の汚濁階級指数</p> <ul style="list-style-type: none"> ・昭和40~50年頃の多摩川の写真（ウェブ教材「ケイソウプロジェクト」に掲載されているものを使用）、およびビデオ「汚れてしまった多摩川」を見る。 ・川の様子によって、出現する珪藻は、どのように変わるだろうか。 	<p>・2枚のプレパラートは、1980(昭和55)年と現在のものである。XとYのいずれが、過去のものだろうか。</p> <table border="1" data-bbox="694 1500 1029 1691"> <thead> <tr> <th>汚濁指数</th> <th>水質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.0以上1.5未満</td> <td>きれい</td> </tr> <tr> <td>1.5以上2.5未満</td> <td>少し汚い</td> </tr> <tr> <td>2.0以上3.5未満</td> <td>汚い</td> </tr> <tr> <td>3.5以上4.0未満</td> <td>たいへん汚い</td> </tr> </tbody> </table> <p>かつての多摩川、特に下流域は、家庭からの排水で汚染され、「死の川」と呼ばれるほどであった。</p>	汚濁指数	水質	1.0以上1.5未満	きれい	1.5以上2.5未満	少し汚い	2.0以上3.5未満	汚い	3.5以上4.0未満	たいへん汚い	<p>ウー④環境指標生物を用いることで水質判定ができるか。</p> <p>イー①河川生態系の変化の原因を考えることができるか。 イー②人間活動の生態系におよぼす影響について考えることができるか。</p>
汚濁指数	水質												
1.0以上1.5未満	きれい												
1.5以上2.5未満	少し汚い												
2.0以上3.5未満	汚い												
3.5以上4.0未満	たいへん汚い												

<p>展開Ⅱ シミュレーション (30分)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ SimRiverを用いて、出現する珪藻が、環境によってどのような影響を受けるかを知る。 ・ 現在の多摩川に近い条件に設定する。COD 2 mg/Lくらいになるように設定する。 ・ 昭和55年の多摩川に近い条件に設定する。COD 4～5 mg/Lくらいになるように設定する。 ・ 年代別に環境を比較する ・ 各グループで環境を設定し、シミュレーションを行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 5人1組で作業を行う。上流、上中流、中流、中下流、下流に分けて珪藻の同定を行い、汚濁指数を算出する。 発問：両者の環境条件の違いは何であったか。 予想される答え：下水処理場の有無、土地利用、人口 発問：それらの条件のうち、1つだけを変えたらどうなるか。 ・ 条件設定の着眼点を述べられるようにしておく。 	<p>ウー⑤シミュレーションソフトを適切に使用することができるか。</p>
<p>休憩 10分</p>		<p>作業途中のグループは継続する。</p>	
<p>展開Ⅲ 顕微鏡観察 25分</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2013年の多摩橋からのプレパラート（4枚）、1980(昭和55)年のプレパラート（1枚）を5人のグループで観察する。 ・ 観察された珪藻から汚濁指数を計算する。 	<p>SimRiver画面の図鑑を用いて種を同定し、表にまとめていく。できる限り多くの殻数を同定、計測する。</p> 	
<p>展開Ⅳ 発表 20分</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ グループ毎にシミュレーション結果、プレパラートXとYの観察結果を発表する。いずれが1980年、2013年のものか。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ どの環境条件に着目してシミュレーションを行ったか、結果はどうだったかを発表する。 ・ 観察をもとにした汚濁指数の計算は、結果をクラス全体で共有する。 	<p>ウー①実験結果を分析し解釈して自らの考えを導き出し、それを表現できるか。</p>
<p>まとめ 5分</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 河川に流れ込む水のもとについて考える。下水処理場の設置ですべて解決されるわけではない。 		<p>イー② 人間活動が生態系におよぼす影響について考えることができるか。</p>

4. 授業評価

環境教育の目標は、単に知識人を育てるのではなく、常に考え行動できる人間を育てることにある。そのため、知識でなく「意識」を変容させる教材と教授法の開発が必要である。意識の測定では、学習者を誘導しないで回答させることが重要である。そこで、本実践研究では、使用した教材および指導法の評価を、生徒が記述した自由回答文を計量的に分析することで行った。計量テキスト分析では回答のための選択肢を提示しないため、選択肢の言葉に誘導されない回答を得ることが可能である。

授業の事前および事後に、生徒に対し同じ質問「あなたは、河川的环境について今どのようなことを考えていますか」を行い、回答を記述させた後、フリーの計量テキスト分析ソフトウェアである“KH Coder”（樋口2004） var. 2.beta.32c を使用して解析を行った。

4. 1 意識の変化

図2は事前調査で得られた71自由回答文の共起ネットワークである。4回以上出現した語を使用し、Jaccard計数が0.13以上の共起関係に絞り込んで描画させたものである。共起の強さは線の太さで示され、語の使用頻度は直径の大きさで示されている。左図は回答文の固有ベクトルによる中心性を、赤>ピンク>薄ピンクで示したものであり、右図はrandom walksによって回答文の内容を色別に分類したものである。

事前調査における、生徒の回答文の内容は、集団としては「日本」、「汚れる」という方向を向いていたことがわかる。また「日本」、「汚れる」、「ゴミ」、「多い」という語が最も共起して使用され、それらは「河川」、「川」あるいは「人間」を媒介して他の語と結びついて文章を構成していたことがわかる。実際の回答文には「日本の河川は人間が汚れていることによって汚れているような感じがする」、「日本は、国、自治体、団体などががんばってきれいにしようとしている」などとして記述されていた。また、回答文を分類すると、「河

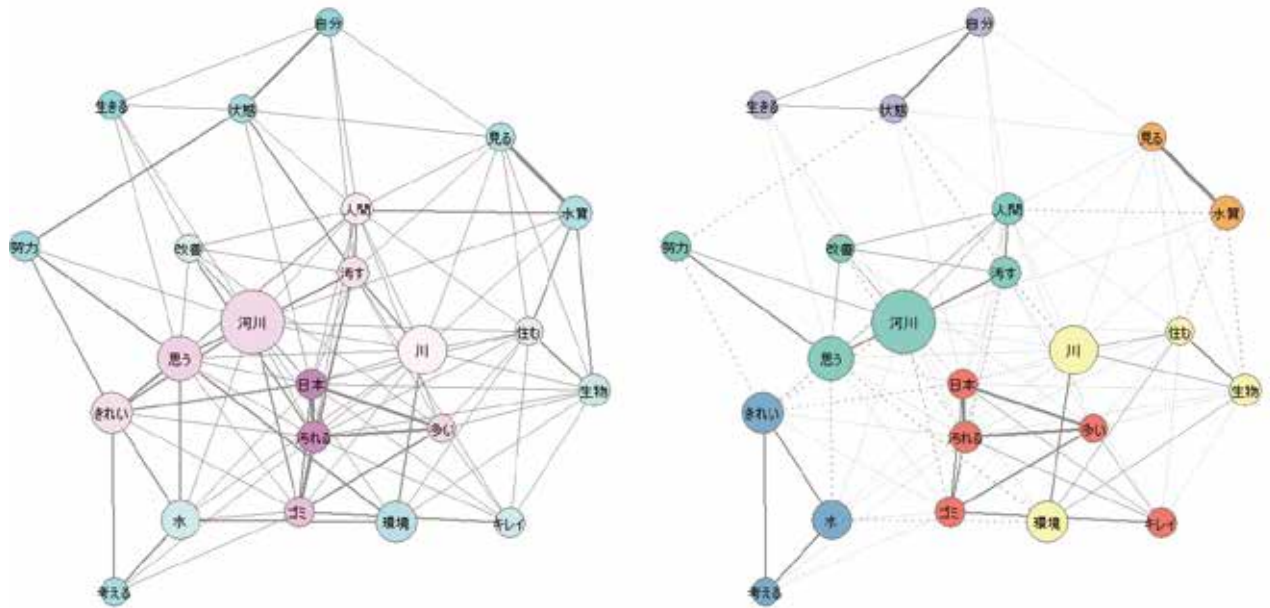


図2 事前調査における自由回答に記述された語の共起ネットワーク。左図では固有ベクトルによるネットワークの中心性を表した。右図は random walks によって分類されたサブグラフ

川を汚しているのは人間であり改善の努力が必要と思う」、「日本ではゴミが多いと河川が汚れるのでゴミのないキレイな環境が必要」、「川の環境には生物が住む」、「水を綺麗にすることを考える」などに分けられた。

授業実施後の調査では、全体の回答文の内容の中心は「水質」、「思う」という方向へ向けられた(図3)。これらの語は「環境」、「川」などを媒介して他の語と結びつき文章を構成していたことがわかる。また、強い共起関係が事前と比べて多くなった。これは、授業前では河川の環境に対する考えが様々であったのに対し、事後ではより揃えられたことを意味する。このため、サブグラフに示されたグループの特徴が、より明瞭なものとなった。グループの語から文章を再構成すると「河川は人間生活にとって必要であり、川の環境をきれいにするため、住民が水質を意識することが必要」、「下水処理などで川の周囲の状態を良くする」、「日本の河川は技術によって汚染が改善」、「川にポイ捨てなどゴミを捨てない、水をきれいにする努力」のようになる。事前の回答文に比べ、事後では河川の存在の意義、水質保全の意識、下水処理の意義、水質改善の歴史と方法、自分たちができる保全のための行動など、より具体的な記述がなされ、河川環境に対してぼやけた意識から、より鮮明な意識へと変容したことが読み取れる。

以下は実際の回答文の一例である。「住宅地の近くにも河川はあり、私たちの生活に近いところに存在している。そのため、私達のこれからの行動次第で河川

は良くも悪くもなる。河川に対する地域住民の意識が変えられたら良いと思う。ゴミを投げ入れたりして取って水質を悪くさせる必要はどこにもないので環境保全に努めるべきだと思う」、「全世界に目を向けると、かつての日本のように汚染がひどく劣悪な環境の河川が多数存在する。アユが遡上し、環境が回復を続けている多摩川のような例を参考に、国際問題として解決策を示していくべき。そして日本はそのさきがけとなるだけの技術を誇るのだから、もっと多くの河川で環境改善を図っていくべきである」。

回答文に使用された語には、事前、事後の片方だけに特異的に使用されたものもあれば、頻度は違うものの双方で使用された語もある。そこで、事前と事後で計3回以上使用された語を対応分析により序列化し、その分布を調べた。これにより、共起ネットワークで描画されなかった共起が弱い、事前か事後のどちらかの調査で特徴的な語を拾い出すことができる。

抽出された2軸の寄与率はx軸だけで100%となり、x軸のスコアの全てが、事前、事後との関わり合いの程度を示すものとなった。使用された78語のうち原点付近に分布するものを除く語を表3に示した。新たに示された(上記の共起ネットワークで描画されなかった)事前を特徴付ける語は、元の回答文を見ると生徒が知識として所有している事象について使用しているものが多かった。これに対し、新たに示された事後を特徴付ける語は、河川環境の改善や人々の意識の高揚について使用されているものが多かった。

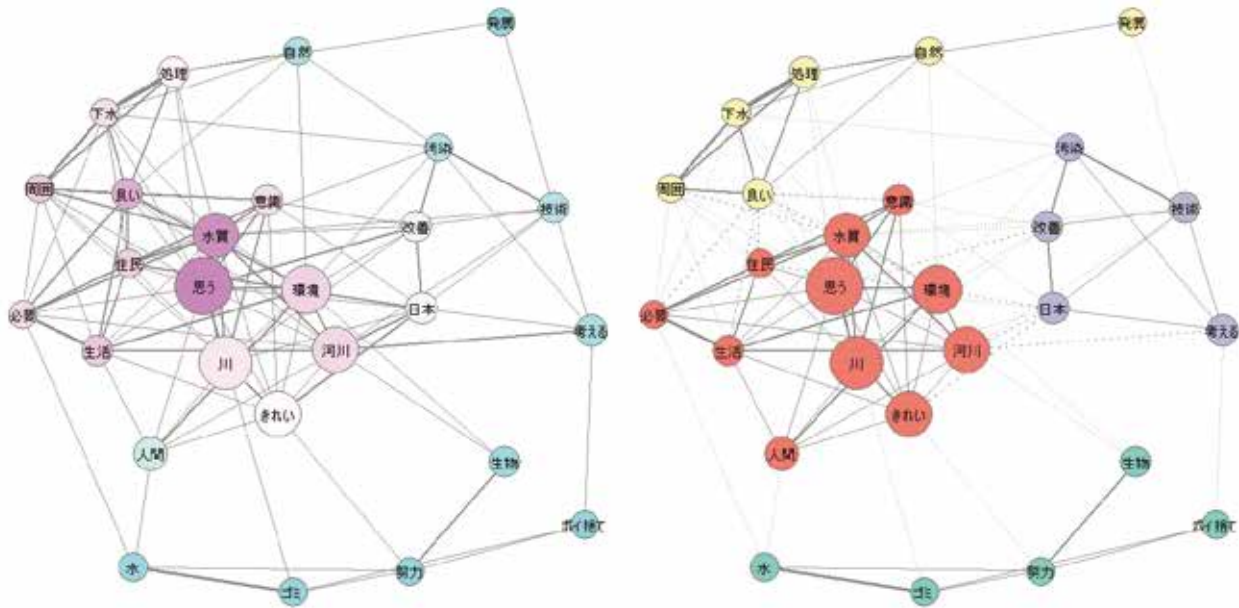


図3 事後調査における自由回答に記述された語の共起ネットワーク。左図では固有ベクトルによるネットワークの中心性を表した。右図はrandom walksによって分類されたサブグラフ。

表3 事前・事後の回答文を特徴付ける語

事前を特徴づける語			事後を特徴づける語		
Label	x	y	Label	x	y
減少*	-2.57	-0.91	思う	0.53	-0.98
守る*	-2.57	-0.91	子ども*	0.57	-0.95
聞く*	-2.57	-0.91	連鎖*	0.57	-0.95
国*	-2.57	-0.91	対策*	0.57	-0.95
生きる	-2.57	-1.16	様々*	0.57	-0.95
キレイ	-2.57	-1.09	高める*	0.57	-0.95
汚す	-2.57	-0.93	変える*	0.57	-0.95
状態	-1.63	-0.95	周囲	0.57	-0.95
見る	-1.63	-0.95	水質	0.71	-1.00
住む	-1.63	-0.95	人々	0.96	-1.07
森林*	-1.39	-1.12	大切	0.96	-1.07
河川敷*	-1.00	-0.94	悪い	0.96	-1.07
周り	-1.00	-0.94	意識	0.96	-1.03
周辺	-1.00	-0.94	生活	0.96	-1.03
生態*	-1.00	-0.94	良い	0.96	-1.03
洗剤*	-1.00	-0.94	ポイ捨て	1.20	-0.91
変化*	-1.00	-0.94	下水	1.20	-0.91
減らす*	-1.00	-0.94	汚染	1.20	-0.91
出る*	-1.00	-0.94	自然	1.20	-0.91
進む*	-1.00	-0.94	技術	2.14	-0.96
自分	-1.00	-0.94	処理	2.14	-0.96
多い	-1.00	-0.94	汚れ*	2.14	-0.96
汚れる	-1.00	-1.10	珪藻*	2.14	-0.96
水	-1.00	-0.94	浄化*	2.14	-0.96
影響	-0.69	-1.04	豊か*	2.14	-0.96
捨てる	-0.69	-1.04	住民	2.14	-0.99
保つ*	-0.69	-1.04	発展	2.14	-0.99
事前の生徒の重心 (x = -1.10, y = 1.00)	事後の生徒の重心 (x = 0.91, y = 1.00)				

* 共起ネットワークでは描画されなかった語

4. 2 シミュレーションソフトウェアに対する生徒の評価

生徒にとってシミュレーションを行う授業は、今回のものが高校生活の中で初めてのことであった。彼らがシミュレーションソフトウェア“SimRiver”をどのように捉えたかを分析するため、授業後に自由回答させ記述文を計量分析した。生徒への質問文は「環境をシミュレーションするソフトの有用性をあげてください。」とした。

2回以上使用された語を用いて共起ネットワークを描画した(図4)。次数により中心性を示したが、強さは赤>ピンク>薄ピンクの順になっている。多くの回答文は「できる」「わかりやすい」という語で終了していたことが共起ネットワークの頻度からも伺うことができる。回答文の内容の中心は「珪藻」「細かい」「使う」などであり、中心性の高い語を用いて文章を再構成すると「珪藻を使うと細かな場所の水質を把握できる」となる。また、共起の強さからは、「実際の調査をしなくともシミュレーションで環境がわかる」、「下水処理場を作る効果がわかる」などの評価がなされたことが読み取れる。

4. 3 授業を通してわかったこと、感じたこと

「今回の授業を通してわかったこと、感じたことを書きなさい」の質問文に対して自由回答された生徒の記述内容はたいへん多様であった。そこで回答された42文を記述の内容で分類したところ図5のようになっ

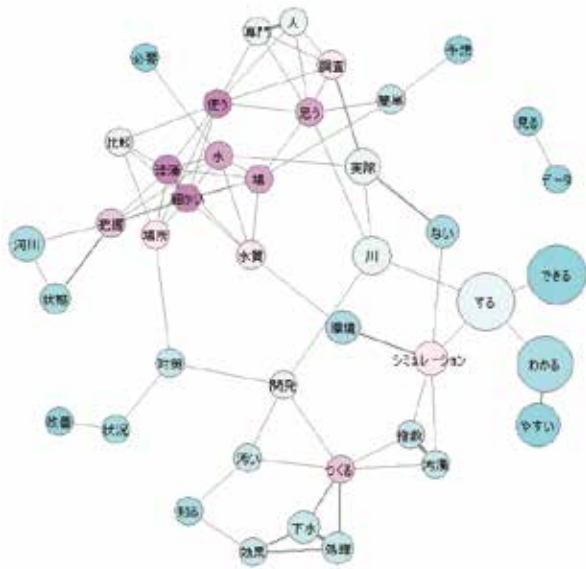


図4 シミュレーションソフトウェアに対する生徒の評価

た。約7割の記述は授業を通して知ったこと、あるいは理解したこと（珪藻、川の歴史と現状、シミュレーション、下水処理場）の記述であり、感じたこと、考えたこと（川環境への希望や主張、意識改革）は約2割であった。本研究では、生徒が人為による水環境の悪化と改善の変化を理解し、科学的視点から環境に対する意志決定ができることを目標としたが、記述内容は自由回答にも関わらず、合目的なものであった。

5. 考察

珪藻は今日の中学校理科の教科書全てに、また、

1951年～1998年まで6回告示された中学校学習指導要領下で発行された全ての中学校理科の教科書で扱われている生物である（片山 2010）。しかし、それらの教科書に珪藻は水中の微小生物として名称と簡単な絵あるいは写真が掲載されているだけである。このため、珪藻についてそれ以上の知識や理解を、生徒も教員も持ち合わせていないのが現状である。しかし、短い時間の導入を図れば学習者は珪藻について十分に興味を示し、その後、積極的な活動が行われることが、様々な形態の理科教育活動（真山ほか 2007, 東海大学付属高輪台高等学校 2007, 埼玉県立大宮高等学校 2009, 中井ほか 2010, 金井塚 2010, 神笠 2010）や、美術教育とコラボレーションした活動で報告されている（鉄矢ほか 2005, Mayama 2005, 古瀬 2015）。

環境を考えさせるために、全員の生徒を川へ連れて行くことは理想的であろう。河川での調査活動の仕方は教科書にも示されているうえ、他にもさまざまな学習プログラムと教材が開発されている（橋本・宮川 1997, 伊沢 2002, 真田ほか 2010）。しかし、特別な授業日程を組まずに通常の授業時間内に生徒全員が川へ行くことは、学校現場では困難な場合が多く、本実践研究でも行っていない。しかし、事前に数名の代表者が川へ行き珪藻を採集し、永久プレパラートを作成したことで、授業時に良好な状態で珪藻の標本を観察することができた。過去の環境を知るために用いた1980年に作成されたプレパラートにおいても、ブルーラックで封入された珪藻の個体は良好に観察することができた。異なる時代の生物を比較するうえで、劣化が生じていない同質の標本が使えることは教育上のメ

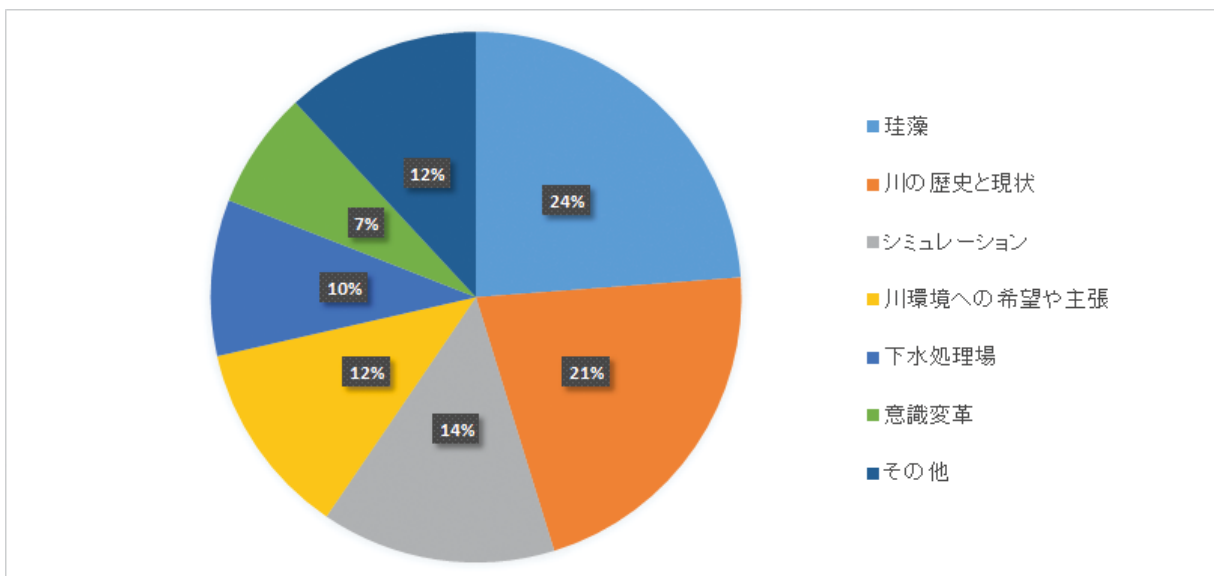


図5 授業を通してわかったこと、感じたことの内容

リットである。今回使用した過去のプレパラートは真山が保有するものを使用した。国立科学博物館の地学研究部には、著者が関わった過去の珪藻のホルマリン固定試料が大量に保管されているので、教育関係者であればその一部を借用し授業用に永久プレパラートを作成することが可能である。高校の理科教育において博物館を利用するプログラムは数が少ないが(安田・川上 2010)、珪藻のようなミクロの生物であれば、標本の借用を郵送で容易に行うことができ、生徒を博物館へ引率せずとも教育効果を上げることが期待できる。今後、このような形態の教育連携も学校と博物館等の間で行われるべきであろう。

従来実施されてきた“SimRiver”を用いた授業では、いずれも学習者が川の流域環境を設定し、河川水質がどのように変化するかを珪藻を通じて理解するものであった(真山ほか 2008, 中村ほか 2008, Mayama et al. 2011)。本研究では“SimRiver”の自動計算モードを使用して、過去と現在の河川水のCOD値を再現するように流域環境設定を行った。このため、生徒は水質に影響を与える土地利用や人口の移り変わり、下水処理場の有無や能力についてシミュレーションを通じて理解することができた。また、過去の河川のビデオ映像に対して、鑑賞中に生徒から驚きの声があげられた。吉富ほか(2007)は河川学習において室内におけるデジタルコンテンツの使用は、現地での観察を補完できるものとしているが、本研究で使用したウェブ教材やビデオ教材は授業目標達成のために十分な機能を果たしたと考えられる。

調査の全体を通して、生徒は長期間にわたって変化する河川環境の歴史と原因を理解し、環境に対する意識を具体的な改善の方向へ向け、行動へつなげる思考をするようになった。言い換えれば、生徒は科学的視点から環境に対する意志決定をするようになった、あるいはその準備ができたことになる。

6. おわりに

従来の理科教育や生物教育で実施されてきた環境教育は、「今」の環境を知ること限定されていた傾向が強く、「時代」や「地域」による環境の「差異と変化」は、資料によって知識として与えられるものであった。しかし、これからは、人為的な影響を受ける環境を「変化するもの」として捉えたいうで、社会とのつながりを考えさせる教育へと移行していく必要がある。その際の科学的思考の根拠として、本研究で使用したような標本やシミュレーションソフトウェアや映像教材は

重要である。持続可能な社会を維持し続け、その方策を世界へ発信することは、過去に深刻な公害という負の経験してきた我々日本人の使命でもある。今日、世界を見渡せば、過去の日本と同様の劣悪な環境が依然として、いたる所に存在している。環境に対する人々の意識の変革は、教育の力に依るところが大きい。今後は河川環境のみならず、様々な環境における新たな教材の開発が必要と考える。

7. 引用文献

- Armbrust, E.V. ほか44名. 2004. The genome of the diatom *Thalassiosira pseudonana*: Ecology, evolution and metabolism. *Science* 306: 79–86.
- 古瀬政弘. 2015. 金属工芸における生命科学分野との連携実践について – 観察から創造までの制作プロセスに関する考察 – . *美術教育学研究* 47: 327–334.
- 樋口耕一. 2004. テキスト型データの計量的分析 – 2つのアプローチの峻別と統合 – . *理論と方法* 19(1): 101–115.
- 橋本健夫・宮川英樹. 1997. 小学校における環境教育のための地域教材の開発. *長崎大学教育学部教科教育研究報告* 28: 41–55.
- Hoffer, J., Mayama, S., Lingle, K., Conroy, K., & Julius, M. 2011. SimRiver, environmental modeling software for the secondary science classroom. *Science Scope* 34(5): 29–33.
- 細谷治夫ほか27名. 2012. 自然の探求中学校理科3. 教育出版, 東京.
- 伊沢紘生. 2002. 広瀬川流域の各種調査と環境教育教材化. *宮城教育大学環境教育研究紀要* 4: 65–70.
- 神笠諭. 2010. 珪藻土メーカーの啓蒙活動. *Diatom* 26: 61–62.
- 金井塚恭裕. 2010. 中学校理科におけるケイソウ学習の一事例. *Diatom* 26: 54.
- 片山舒康. 2010. わが国の小・中学校理科における藻類, 特にケイソウの扱われかた. *Diatom* 26: 47–50.
- 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ー SimRiverの作成. *日本教育工学会論文誌* 28: 217–226.
- Kelly, M. G. and Whitton, B. A. 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* 7: 433–444.
- Kobayasi, H. and Mayama, S. 1989. Evaluation of river water quality by diatoms. *Korean Journal of Phycology* 4: 121–133.
- 国立環境研究所. 2015. 環境展望. 全国水生生物調査のページ. <https://www2.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/suisei/about/about.html> (最終アクセス: 2015年5月18日)
- Kolkwitz, R. and Marsson, M. 1908. *Ökologie der pflanzlichen*

- Saprobien. Borntraeger, Berlin.
- Lee, J. H., Cheong, C., Kwon, N. J., Kim, Y. J., Park, H. G., Mayama, S., Katoh K. and Omori, H. 2011. Trial of educational computer simulation software 'SimRiver' for assessment of river water quality for environmental education in schools. *Environmental Education, Korea* 24(1): 40-48. (in Korean)
- Lobo, E. A., Wetzel, C. E., Schuch, M. and Ector, L. 2014. Diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da água em sistemas lóticos subtropicais e temperados Brasileiros. pp.86-87. *Edunisc, Santa Cruz do Sul*.
- Mann, D. G. 1999. The species concept in diatoms. *Phycologia* 38: 437-495.
- 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. 2003. 付着珪藻を使った環境教育. 国立科学博物館 ニュース no. 406: 11-13.
- Mayama, S. 2005. A novel approach to the popularization of diatomology: An exhibition of diatoms, presented as a fusion of science and art (4). *Diatom* 21: 61-70.
- 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. pp. 70-73. 東京法令出版, 東京.
- 真山茂樹・高橋修・湯浅智子. 2007. 教員養成系大学の特徴を活かしたサイエンス・コミュニケーターの育成. *科学教育* 31: 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.
- 真山茂樹・渡辺 剛・加藤和弘・大森宏. 2009. 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. *環境教育学研究* 18: 23-37.
- 真山茂樹. 2010. 珪藻を用いた国際ウェブ教育システム. *Diatom* 26: 58.
- 真山茂樹・加藤和弘・大森宏・清野聡子. 2010. ケイソウプロジェクト. ビデオ"珪藻の採集と観察". <http://www.u-gakugei.ac.jp/~diatom/japan/video/index.html> (最終アクセス: 2015年5月18日)
- Mayama, S. ほか17名. 2011. Progress toward the construction of an international web-based educational system featuring an improved "SimRiver" for the understanding of river environments. *Asian Journal of Biology Education* 5: 2-14.
- 真山茂樹. 2012. 環境指標藻類 2. 珪藻類. pp.364-366. 渡邊信監 修. 井上勲・沖野龍文・神谷充伸・彼谷邦光・川井浩史・河地正伸・楠見武徳・白岩善博編. 藻類ハンドブック. エス・ティー・エス, 東京.
- 本川達雄ほか16名. 2012. 新編生物基礎. 新興出版社啓林館, 大阪.
- 文部科学省. 2009. 高等学校学習指導要領. 東山書房, 京都.
- 中井大介・大塚泰介・北村美香. 2010. 環境学習プログラム「目指せ, 珪藻マスター〜ケイソウゲットだぜ!〜」を実施して. *Diatom* 26: 51.
- 中村桂子・岩崎敬道・大西浩次・谷本幸子・中道貞子・宮下敦. 2012. 科学と人間生活. 実教出版, 東京.
- 中村美穂・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-. *環境教育学研究* 17: 61-78.
- Pan, Y., Stevenson, R. J., Hill, B. H., Herlihy, A. T. and Collins, G. B. 1996. *Journal of North American Benthological Society* 15: 481-495.
- 埼玉県立大宮高等学校. 2009. 平成17年度指定スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書・第4年次. pp.27-32. 埼玉県立大宮高等学校.
- 真田誠至・吉富友恭・相川隆生・萱場祐一. 2010. 河川環境をテーマとしたフィールド体験型教育プログラムの提案と評価-河川の実務者を対象として-. *土木学会論文集H(教育)* 2: 108-115.
- 嶋田正和ほか10名. 2012. 新編生物基礎. 数研出版, 東京.
- 鉄矢悦朗・真山茂樹・大隅理恵・福井奈美子・山田修平・押方 和広・渡辺剛・渡邊篤史. 2005. 美術分野と生物分野の連携 展覧会の報告とその考察. 異分野との連携実践「ケイソウ展-珪藻, 知と美の小宇宙」1. *東京学芸大学紀要芸術・スポーツ科学系* 57: 109-117.
- 東海大学付属高輪台高等学校. 2007. 平成16年度スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書第3年次. pp.98-99. 東海大学付属高輪台高等学校.
- 津田松苗. 1964. 汚水生物学. 北隆館, 東京.
- 安田安孝・川上昭吾. 2010. 高校生のための博物館学習プログラムの実践. *愛知教育大学教育実践総合センター紀要* 13: 51-57.
- 吉里勝利ほか17名. 2012. 高等学校生物基礎. 第一学習社, 広島.
- 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.
- 和波一夫. 2010. 多摩川の水質改善. 平成22年度公開研究発表会要旨集. 4-1~4-3. http://www.tokyokankyo.jp/kankyoken_contents/research-meeting/h22-01/2204-tama_river.pdf (最終アクセス: 2015年5月18日)

資料1 高校1年次を対象にした短縮版の授業案, 講義形式50分授業 (全3時間中の第2時間目)

時間	学習活動	指導上の留意点・配慮事項	学習活動に即した具体的な評価規準 (評価方法)
展開Ⅰ 25分	<ul style="list-style-type: none"> ・2013年6月東京都により発表された「多摩川にアユが645万尾遡上！」というニュースを見る。 ・アユの生活史を見て, 遡上数の増大の要因を考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・多摩川についてのニュースの紹介 ・発問: アユの遡上数が増大しているのは何故か。 	<p>結果を分析し解釈して自らの考えを導き出し, それを表現できるか。</p> <p>河川などの身近な生態系に親しんでいるか。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ・アユの稚魚放流の写真を見る。 ・アユの遡上の動画を見る。 ・アユの泳ぐ様子, それを捕える鳥類の写真等を見る。 ・アユの泳ぐ様子を見て, アユが食物とするのは何であるかを考える。 ・昭和40~50年頃の多摩川の写真, およびビデオ「汚れてしまった多摩川」を見る。 	<p>予想される答え: 水がきれいになったから。放流が行われているから。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生活史は, 「アユ100万匹がかってきた」の資料である。 ・放流も行われていることを, 放流の様子の写真を提示しながら説明する。 ・アユが食物としているのは, 主に珪藻などの付着藻類である。 <p>発問: 水がきれいかどうかを考えるためには, どのような物質の濃度を調べれば良いか。</p> <p>予想される答え: 有機物, 窒素, リンなど</p>	<p>アユの生活史を見て, どの時点での個体数の増加が, 遡上数の増加につながるか考えることができるかか。</p> <p>食物連鎖による物質の移動を説明できる。(発問)</p> <p>河川生態系を構成する生物種から, それぞれの生態的地位を考察することができるか。</p> <p>調査項目として適当なものは何か。</p> <p>河川生態系の変化の原因を考察することができるか。</p>
展開Ⅱ 20分 識別 珪藻 群法	<ul style="list-style-type: none"> ・環境を知る手がかりとしての指標生物について学ぶ。識別珪藻群法について学ぶ。 ・SimRiverの使用方法について学ぶ。 <p>現在の多摩川流域の市や区の人口, 土地利用を知る。また, 下水処理場の有無を見て, 環境を設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パソコン画面上にあらわれた珪藻と, 実際のプレパラートに共通する種がないか調べる。 ・上流, 中流, 下流などの地点を比較してわかることは何か。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水質調査時, 環境指標生物としての珪藻を採集した。 ・珪藻は, 水環境における指標生物としても大きな役割を果たす生物である。 ・実験室に持ち帰り, 顕微鏡で観察した。識別珪藻群法を用いて水質判定を行ったところ, 汚濁指数2.19で「少し汚い」と判定された。 ・環境をシミュレーションして, その環境に生息する珪藻を調べるSimRiverを用いる。 <p>環境設定画面にあらわれるCODについても注意させる。</p>	<p>環境指標生物を用いたり, 化学的分析を行うことで水質判定ができる。</p> <p>人間活動の生態系に及ぼす影響について考える。</p>
まとめ 5分	<ul style="list-style-type: none"> ・地点での比較, 年代での比較について気が付いたことを述べる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・数名の生徒を指名して意見を述べてもらう。 	<p>結果を適切に表現できる。</p>