

北海道における低地林開発と自然環境保全教育との共生

～ 十勝地方を例に ～

北海道大学大学院地球環境科学研究院教授 大原 雅
北海道広尾町教育委員会教育長 山下 純一

第1章 はじめに

都市化の進展や高速道路網の発展など、現在の私たちの豊かで便利な生活は、多様かつ高度な技術に裏打ちされた「開発」によってもたらされてきた。しかし、その一方で、開発に伴う自然環境の消失ならびに改変が生じたのも事実である。特に、近年は「自然保護」、「環境保全」の意識が高まり、開発行為の正当性に関してさまざまな議論がなされるようになってきた。

「開発」と「環境保護」は表裏一体の関係にあり、私たちが日常生活のなかで「開発の恩恵」を甘受しているにも関わらず、「環境保護の意識」のみが先行する「開発反対運動」も少なくない。これは、開発行為がもたらす自然環境への短・長期的影響の科学的評価ならびに情報提供がきちんと開発事業者側で行われていないこと。また、一般地域住民がどのような観点で「開発」と「保全」を理解して行かなくては行けないか、という環境教育の素地ができていないことに起因すると考えられる。そこで、本研究では、十勝地方をモデルケースとして、1) これまで約100年間の間に展開されてきた農地開拓ならびに道路建設などの低地林開発行為の森林生態系への影響を正確に評価し、今後の開発事業における自然環境への科学的な影響評価の指針を示すこと、また、2) 地域住民に自然環境の複雑な成り立ちをきちんと理解してもらい、開発と自然環境保全の共生のための環境教育を展開することを目的として行った。

第2章 調査・研究方法

1. 調査対象種

本研究では、北海道全域の低地林林床に広く生育する、多年生林床植物オオバナノエンレイソウ (*Trillium camtschaticense*) を対象に、研究および調査を行った。オオバナノエンレイソウは種子繁殖を行い、種子発芽から開花までは長い年月を必要とする多年生草本である。実生から小さい1葉段階の個体の死亡率は高いが、3葉以上になるとその生存率は高く、開花個体に到達すると多くの個体が生存し、ほぼ毎年開花する。さらに、北海道の地域集団で交配様式が分化しており、日高・十勝地方の集団は自家不和合性をもち、虫媒による完全な他殖を行っていることなどが明らかになっている。

2. 調査内容

本研究は、上述した「低地林開発の自然環境への影響の定量的評価」と「自然環境の保全と開発の共生のための環境教育」の自然科学と社会科学の両観点から行った。

(1) 低地林開発の自然環境への影響の定量的評価（自然科学的研究）

本研究では「野外調査」と「遺伝解析」の解析を行った。野外調査および遺伝解析用の試料のサンプリングは、十勝地方の低地林にて行った。

- ・ 野外調査:これまで行ってきた林床植物個体群の長期モニタリング調査の継続調査を行う。また、各集団の交配様式を把握するため、開花前の蕾の段階で、袋かけ、除雄、強制受粉などの交配処理を行う。結実期に処理個体の種子結実状況および生存率に関する調査を行った。
- ・ 遺伝解析:開花期に、各種集団の開花個体 50 個体より葉を採集し、アクリルアミドゲル電気泳動法を用い、集団の遺伝子頻度ならびに遺伝子多様度を算出した。

(2) 自然環境の保全と開発の共生のための環境教育（社会科学的研究）

本研究は、十勝管内広尾町教育委員会と共に行った。

- ・ 広尾町住民にとって身近な環境である地域の低地林開発と自然環境の保全をわかりやすく解説した一般向けのパンフレットを作成した。
- ・ 広尾町管内の小学生を対象とした野外観察会を開催した。
- ・ 小学校の理科・社会の教員を対象とした、学習検討会を開催すると共に、「開発」と「環境」をテーマとした教員向けの指導書を作成した。

第3章 結果

1. 自然科学的アプローチ

(1) 十勝地方における低地林の分断・孤立化の現状

十勝平野は、現在日本を代表する作物生産の拠点である。ダイズ、アズキ、サトウダイコンなどの大規模な畑作地帯が延々と広がっている。十勝地方の開拓は、明治時代初期（1800年代後半）から始まり、1950年にはほぼ現在の耕地面積まで開拓が進んだ。従って、林床植物であるオオバナノエンレイソウの生育地はその残された森林と深く関係し、時には5haを越える大きな群落も存在するが、その生育地の多くは、図1に示すような畑作地の間に取り残された「孤立林」の林床である。



図1：十勝平野で見られる孤立林（左）。さまざまな大きさの孤立林が点在する（右）。

(2) 生育地の孤立化が植物の種子生産数に及ぼす影響

上述したように、十勝地方のオオバナノエンレイソウは自家不和合性をもち、虫媒による他家受粉により種子形成を行っている。つまり、オオバナノエンレイソウが生育する森林の分断・孤立化は、当然のことながらオオバナノエンレイソウの群落を縮小する。小さくなった（花数が少なくなった）オオバナノエンレイソウ群落は訪れる昆虫にとっては魅力のない（報酬の少ない）場所となり、訪花回数、訪花頻度などが低下すると予想される。

図2は、十勝地方の大小さまざまな個体群を対象に個体群の大きさと種子生産量の関係を見たものである。その結果、小さな個体群でつくられる種子の数が低下する傾向がみられた。あらかじめ野外で花に除雄処理を施し、開花終了後に柱頭を実験室に持ち帰り、顕微鏡下で柱頭に付着している他家花粉の数を測定した。その結果、大きな個体群に生育するオオバナノエンレイソウは、より多くの他家花粉を柱頭に受け取っていた。従って、小さな個体群における種子生産量の減少は、訪花昆虫の訪花が低下し、花粉媒介が十分に行われないために生じていることが明らかになった。おそらく、十勝地方のオオバナノエンレイソウ群落は、十勝平野という大きな低地性の森林の林床で大きな群落を形成することにより、訪花昆虫の生息場所としても、そして餌を得るためにも好適な場所として、確実に虫媒による他殖を行う繁殖様式が進化してきたものと考えられる。その長い年数をかけて進化してきた背景が、わずか100年余りのうちに行われた人間による開発行為により、瞬く間にそのバランスが崩れてきている。

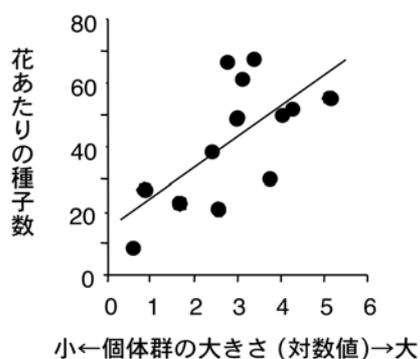


図2：オオバナノエンレイソウ個体群の種子生産数と個体群サイズとの関係。

(3) 個体群構造の変化

図3は、サイズの異なる6つの個体群の生育段階構造である。どの個体群をみても開花個体や3葉段階の個体は存在する。しかし、注目して欲しいのは、実生や1葉といった若い生育段階の占める割合である。大きな個体群では、3葉個体や開花個体よりもはるかに高い頻度で実生・1葉個体が存在する。その一方で、個体群サイズが小さくなるに伴い、

実生・1葉段階の個体の頻度が低下し、左から二番目の個体群では実生個体が全くなく、さらにより個体群サイズが小さい、一番左側の個体群では、実生・1葉個体が全く存在しない。

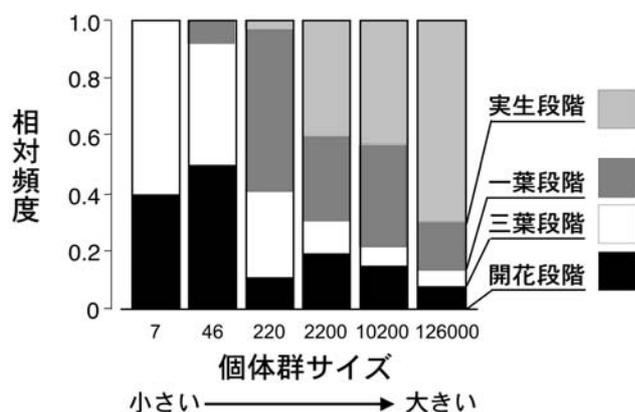


図3：オオバナノエンレイソウ個体群における孤立化と個体群構造の関係。

これは、個体群サイズが小さくなることにより、その個体群で作られる種子生産数が低下したうえに、もともと実生・1葉個体の死亡率が高いために、十分な数の次世代個体が維持されてないことを示すものである。しかし、その一方で、開花個体は生存率が高く、毎年咲き続けるために、その生活史を知らないものにとっては、毎年きちんと開花する個体群としてしか認識されない。このように、個体群の分断・孤立化は種子生産の低下、次世代個体の補充の低下を経て、長期的に個体群を衰退へと向かわせていると考えられる。

(4) 遺伝的劣化

個体群が小さくなることで引き起こされる遺伝的な問題として「遺伝的劣化 (genetic deterioration)」がある。これは、個体の生存や繁殖に負の影響を与える遺伝的な変化であり、対立遺伝子やヘテロ接合度の減少がそれに相当する。図4は、十勝地方のオオバナノエンレイソウ個体群について、アロザイム遺伝子座に関して個体群サイズと遺伝的多様性の関係を見たものである。やはり小さな個体群では対立遺伝子が少なく、遺伝的多様性が低いことがわかる。そこで、その要因を把握するために、対立遺伝子を出現頻度の高い遺伝子 ($p > 0.1$) と低い遺伝子 ($q < 0.1$) とに分類してみたところ、小さな個体群で観察されなかったのはすべて出現頻度の低い対立遺伝子であることがわかった。

個体群が分断され、その一部が切り取られて残った場合、個体群内に分布していた対立遺伝子の一部が確率的に失われるために、「創始者効果」により遺伝的変異量が減少する。そして、分断された後は、個体群が小さいために遺伝的浮動の影響が強くなり、対立遺伝子は時間とともにやはり確率的に失われていく。オオバナノエンレイソウは開花個体の寿

命が長いため、おそらく十勝平野で開発による分断化が生じてから数世代しか経過していないと考えられる。したがって、十勝地方のオオバナノエンレイソウでみられる遺伝的多様性の減少は、分断時の創始者効果によるものが大きいと考えられる。

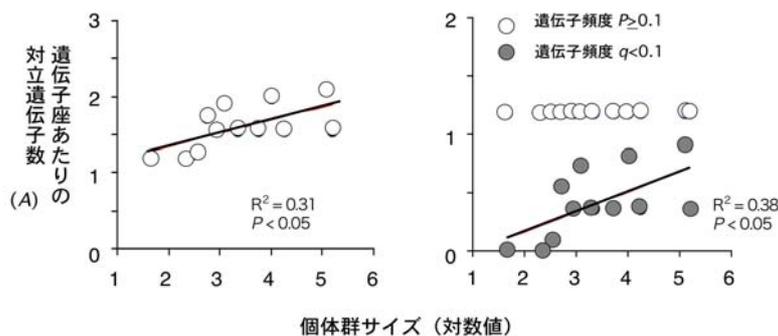


図4：オオバナノエンレイソウの個体群サイズと遺伝的多様性の関係。アイソザイム 11 遺伝子座における遺伝子当たりの対立遺伝子数。(左) 全対立遺伝子をまとめた場合。(右) 対立遺伝子を出現頻度に応じて2つに分類した場合。

このように、オオバナノエンレイソウに関する生活史研究の積み重ねが、開発行為により自然が受ける短期的・長期的影響を的確に評価する重要役割を果たすことが分かってきた。そして、その上でしっかりとした保全対策を考える必要がある。

2. 社会科学的アプローチ

(1) 日本における環境教育の流れ

今日、地球規模で多様な環境問題が深刻化する中、日本においても環境問題を具体的かつ早急に解決するため、様々な科学的あるいは社会的アプローチが展開されている。2006年4月には、環境省から「環境基本計画」が発表され、その中で「今四半世紀における環境政策の具体的な展開」の1つとして、「環境教育・環境学習等の推進」が掲げられている。さらに、「環境教育・環境学習等の推進」の施策の1つとして、「学校教育における環境教育・環境学習」が挙げられている。文部科学省が告示する教育課程の基準である学習指導要領の中で、学校教育における環境教育の導入が明示されたのは、当時の文部省が行った1989年（平成元年）度の学習指導要領の改訂以降になる。しかし、この段階では環境に関わる内容は、社会科、理科、生活科などの教科で各教科の教科理論に基づき指導が行われ、各教科が連携して環境教育的内容を展開するものではなかった。そこで文部省は、教員が教科間で連携を取りながら環境教育を実践するために、「環境教育指導資料—中学校・高等学校編」を1991年に、続く1992年には「環境教育指導資料—小学校編」を発行した。そ

の後、教育課程審議会が「環境問題への対応」に関する教育課程の基準の改善として、「今後は、各教科・道徳・特別活動及び総合的な学習の時間において、地域の事情を踏まえた環境に関する内容を充実すると共に、児童生徒の発達段階に応じて、問題解決的な学習・作業的な学習・体験的な学習を一層重視する必要がある」との方針が示され、1998年（平成10年）度に再び学習指導要領の改訂が行われ、現在に至っている。

（2）小学校における環境教育

1992年に発行された「環境教育指導資料－小学校編」では、小学校における環境教育のねらいとして以下の3つの項目が掲げられている。

- ・ 豊かな感受性を育成すること：環境教育の基本となるのは、環境とそれに関わる問題や環境の実態等について、関心をもち、環境に対する豊かな感受性をもつことである。小学校においては、児童が自分自身を取り巻く環境やすべての環境事象に対して意欲的に関わり、それらに対する感受性を豊かにすることに努める必要がある。
- ・ 活動や体験を重視すること：小学校における環境教育は、児童が身の回りの事象に触れ、それらについて考えるようにすることが望ましい。小学校における環境教育は、活動や体験を重視することが大切である。
- ・ 身近な問題を重視すること：地球規模の環境問題を取り上げる前に、まず身の回りの社会や自然の事象などに目を向け、自ら考えられるようにすることが大切である。

このように、小学校における環境教育は地球規模の環境問題や現象を扱うだけではなく、身近な事象も積極的に取り上げることが望まれている。さらに、「環境教育指導資料－小学校編」の中では、環境教育を進める上で教材についても工夫が求められており、教材に関して以下の4つの項目が定義されている。

- ・ 身近な問題を取り上げる：地域の自然や文化、人々の生活など児童の身近な問題の題材を求めることが重要である。
- ・ 環境教育の視点から教材としての価値を考える：環境教育は幅広いものであり、一見環境教育には関係ないように思える教材でも、視点を変えてみると環境教育の適切な教材になるものも多い。
- ・ 野外学習を重視する：地域の自然を直接学ぶ学習である野外学習は、環境教育を進める上で極めて効果的なものである。このような活動を通じて、児童は、地域の自然に関心をもち、地域を理解し、地域の自然を大切にする心情や態度をもつようになる。また、野外学習では、単に自然の事物・現象の事実を捉えるだけでなく、それら相互の関わりなどについて、全体を通じて総合的に把握できるようにすることが大切である。
- ・ 映像教材を活用する：映像教育を用いれば、長期間にわたる地域の環境の変化を理解することが容易になる。児童の発達に応じて、適切な映像教材を活用することも環境教育を進める上で大切なことである。

このように、「環境教育指導資料－小学校編」では、小学校における環境教育の進め方について詳しい指針が示されている。しかし、実際の学校現場では、9割の教員が環境教育の必要性を認め、指導すべきと考えていながらも、環境教育を実施していると自覚してい

る教員は1割にも満たないと言われている。その理由としては、日本環境教育フォーラムによると「日本型環境教育の提案」の中で、次のような問題が指摘されている。

『ここ10年ほどで学校の中で環境教育を行う必要性があるという声は高まり、当時の文部省が「環境教育指導資料」を相次いで発行したり、授業カリキュラムに総合学習が導入されたり、画期的な変化はあった。しかし、いざ環境教育を実践しようとしても、そのテーマや実践方法などはすべて各学校に一任されており、現場の教員からは具体的にどのような視点で行えば良いのか、またどのような教材を用いれば良いのかわからない。』

そこで本研究は、小学校における環境教育を具体的に実践・指導するための環境教育プログラムを作ることを目標とした。環境教育では、「地球温暖化」、「ゴミ問題」、「エネルギー問題」、「森林破壊」など多岐に渡るテーマが考えられるが、本研究では「環境教育指導資料—小学校編」において、環境教育のねらいや教材の工夫として挙げられていた「地域性」や「身近なもの」、さらに「野外活動」という要素を取り入れて、北海道の自然環境の大切さを学習するプログラムを作成することとした。北海道には、世界自然遺産にも登録された知床国立公園を含め、日本の中でもまだ多くの自然が残されている。しかし、近年の都市化の進展や道路建設などにより、身近な自然が急激に失われつつある。そのため本研究では、身近な低地林の自然環境の保全に焦点を当てることとした。

さらに、その教育アプローチとしては、理科教育を基礎とし、1つの植物の生き方（生活史）を学ぶことを通じて、その植物が生きるために関わる他の動植物との関係の重要性を知り、最終的にはそれらの生物を育む自然環境の大切さを理解してもらう展開を考えた。生活史を紹介する題材としては、その生活史が十分に解明されているオオバナノエンレイソウを選んだ。オオバナノエンレイソウは北海道全域に分布すると共に、その生育環境もハルニレやヤチダモが優占する人里に近い低地林の落葉広葉樹林の林床である。近年は都市化の進展や道路建設などにより、身近な低地林の減少が著しく、このような開発は必然的にその林床に生育するオオバナノエンレイソウを含む林床植物集団の存続にも多大な影響を与えてきている。従って、オオバナノエンレイソウは「環境教育指導資料—小学校編」の教材の工夫でも示されている「地域の自然」や「身近な問題」を対象とする点においても教材として適していると考えられる。

また、教育プログラムの作成に関しては、教育現場との連携が必要不可欠であると考え、長年オオバナノエンレイソウの群落の保全に取り組んでいる北海道の広尾町教育委員会とともに研究を行った。

（3）パンフレットと指導書の作成

広尾町を中心に長年行ってきたオオバナノエンレイソウの研究成果を地域住民に還元していくこと、また身近な自然環境の大切さをオオバナノエンレイソウの生き方（生活史）を通じて理解してもらうために、パンフレットを作成した（図5左）。パンフレットの構成は、まず植物でもその生育環境や一生の長さに違いがあることを理解してもらい、次にオオバナノエンレイソウの形態や分布、生育環境に始まり、生長過程・個体群構造・繁殖様式などの具体的な生活史過程を解説する。そして、最終的にオオバナノエンレイソウの生活史の学習を通じて、生育環境全体を含む総合的な自然環境の大切さを理解してもらうような展開とした（図6）。

「指導書」は教員向けに授業の参考になるように、「授業編」と「研究編」に区分して教科書の内容を詳しく解説したものであり、各教科書出版会社では教科書と合わせて発行している。今回作成したパンフレット「オオバナノエンレイソウが教えてくれる自然の大切さ」についても、実際の授業や観察での参考となるように、「授業編」と「研究編」からなる指導書を作成した（図5右）。

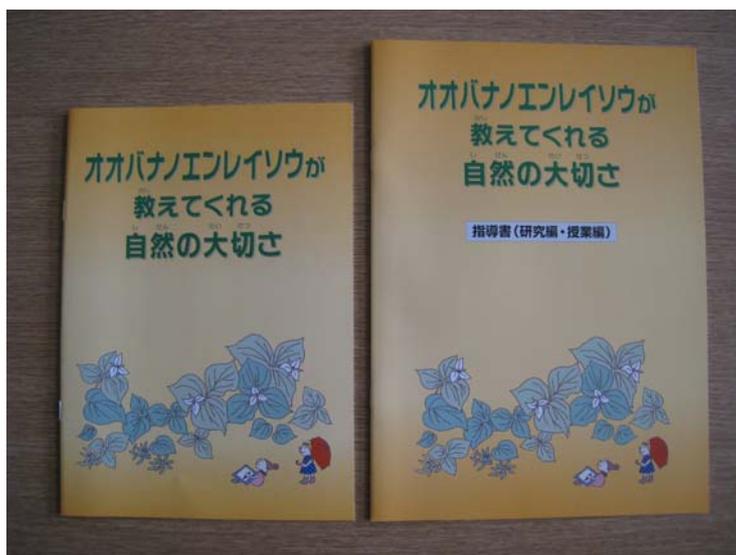


図5：教材パンフレットと教員向けの指導書



図6：環境教材パンフレットの内容。

指導書作成後、指導書の内容ならびに野外観察会を含めた本教育プログラムの有効性について、教育委員会からの委託により組織された広尾小学校及び広尾第二小学校の教頭先生と6年生担任の先生計5名からなる「教育プログラム案調査委員会」に検討を依頼した。

(4) 野外観察会

「環境教育指導資料－小学校編」の中で小学校における環境教育のねらい及び教材の工夫の要素として「野外活動」が挙げられている。そこで、パンフレットでの学習に加え、自然体験を通じてオオバナノエンレイソウの生活史や生育環境について児童の意欲・関心を高める役割を果たす。今回は、小学生を対象とした観察会（図7）のほか、広尾町の小学校と中学校に新たに着任した教員に対しても、野外観察会を含む研修会を開催した。野外観察会は日本有数のオオバナノエンレイソウ大群落が存在し、これまで長年に渡りオオバナノエンレイソウの生活史に関する調査・研究が行われてきた広尾町シーサイドパークで実施した。観察会の主な内容は

- ・ オオバナノエンレイソウが開花まで長い年月を要する種である。
- ・ 植物は動くことができないので、昆虫など他の生き物の力を借りて花粉や種子を移動させるということを知ってもらう。昆虫には花粉や種子に付着しているゼリー（エライオソーム）を提供し、オオバナノエンレイソウと昆虫が互いに利益をもたらすようにしていること。
- ・ 生物間の相互関係を維持するためには、それらの生物が成育するための森林環境の維持も大切であること。
- ・ オオバナノエンレイソウの群落内で、キャンプ場として利用された跡と、教育委員会が保護区としている地区の両方を見学してもらい、環境保全の大切さを知ってもらうこと。



図7：広尾町の小学生を対象にした野外観察会



図8：広尾町の新任教員を対象にした研修会と野外観察会

(5)「教育プログラム案調査委員会」からの意見

本指導書の内容ならびに野外観察会を含めた本教育プログラムの有効性について検討して頂いた。その結果、以下の意見を頂いた。

- ・ 教科書の指導計画では、6年生時に学習する「生き物とかんきょう」*の単元は3月実施（5時間扱い）となっているため、実際の観察等を取り入れるのであれば、実施時期を検討する必要がある。（*広尾町管内で使用されている教育出版の理科の教科書では、6年生時に「生き物とかんきょう」という単元があり、その授業との関係についての意見である。
- ・ 机上の学習だけでなく、実際の自然観察を取り入れたい。その際には北海道大学の学生等による直接指導が可能であれば、毎年継続して行える。
- ・ オオバナノエンレイソウは地域の素晴らしい財産であり、教材としても有効に活用していきたい。そのためには実際の自然観察を学習活動の中に位置付け、総合的な学習の時間との関連の下で指導計画を考えていく必要がある。
- ・ 「生き物とかんきょう」において本パンフレット及び本指導書を活用するには、時数が足りなくなることが予想される。そのため、理科の発展学習として総合的な学習の時間を利用する中で、ある程度まとまった学習活動を展開していきたい。そして、「広尾町では必ず6年生でオオバナノエンレイソウを題材に環境教育を行う、ということにする」と本指導書を活用した実践が定着すると考える。

調査委員会から頂いた意見では、主に「指導時間数を考慮した理科及び総合的な学習の時間の利用」ならびに「野外観察実施とその課題」が指摘された。

第4章 まとめと今後の展望

本研究は、自然科学的アプローチと社会的なアプローチの両面から、北海道の自然環境の保全教育を体系化することにより、「開発」と「保全」の共生を考える試みであった。北海道を代表する林床植物オオバナノエンレイソウでは、生育地の断片化・孤立化により、明らかに種子生産性および遺伝的多様性の低下が認められた。そして、このように生活史に関して詳細な調査・研究が行われている身近な植物を題材として、地域の自然環境の大切さを理解する環境教育教材ならびに教育プログラムを作成することができた。今回は、北海道という地域性を背景として、オオバナノエンレイソウの生活史を題材に、低地林の保全を環境教育プログラムの主たるテーマとしたが、このような地域を特徴づける植物の生活史研究を生かした教育プログラムは、日本各地の身近な自然（里山、干潟、海浜など）を対象として幅広く展開できるものと考えられる。

また、本研究では、児童の自然体験として野外観察会を実施したが、パンフレットなどによる教室内での学習に加え、多年生植物の生活史段階や生育環境を直接観察することは、児童の理解をより深める貴重な機会となった。本研究でモデル植物としたオオバナノエンレイソウは、開花期が新学期を迎えて間もない5月であるため、野外観察会に向けてパンフレットによる学習を前年度から行うなど、学年を越えた授業カリキュラムの調整も検討する必要がある。

このほか、本教育プログラムを教育現場で定着させるためには、従来の教育プログラムでは出てこなかった児童の多様な興味・関心、そして様々な疑問に対応する教員の幅広い知識も要求される。本研究では、大学の研究室が主導となりパンフレットの解説ならびに野外観察会を行ったが、今後は教員が主体となった教育が望まれる。従って、指導書の内容の充実に加え、教員を対象とした事前の講習会ならびに野外観察会の開催も実施する必要がある。このような機会を通じて、教員自身が生き物同士の関わり合いや地域の自然環境についてより理解を深めることは、今後児童への教育の効果をより高めるためにも非常に重要と考えられる。

最後に、大学の研究に基盤をおいた教育プログラムの作成は、ともすれば実際の教育現場の現状と乖離したものになりがちである。しかし、本研究では広尾町教育委員会ならびに広尾町管内の全小学校の全面的協力を得ることができ、教育現場の意見を反映した形でプログラムを作り上げることができた。従って、真に有効な教育プログラムを構築するためにも、今後は大学などにおける研究成果の公開ならびに、教育現場と研究現場とのより活発な交流が必要不可欠と考える。

参考文献

環境省 (2006) 環境基本計画 環境から拓く新たなゆたかさへの道.

教育課程審議会答申 (1998) 幼稚園、小学校、中学校、高等学校、盲学校、聾学校及び養護学校の教育課程の基準の改善について.

財団法人 日本環境教育フォーラム編著. (2000) 日本型環境教育の提案 改訂新版.

中村重太 (1996) 理科の教育. 日本理科教育学会 45:4-6.

文部科学省 (1989) 小学校学習指導要領.

http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/youryou/101/index.htm

文部科学省 (1998) 小学校学習指導要領.

http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/990301.htm

文部省 (1992) 環境教育指導資料—小学校編.

Tomimatsu, H. & Ohara, M. (2002). Effects of forest fragmentation on seed production of the understory herb, *Trillium camschatcense* (Trilliaceae). *Conservation Biology* 16, 1277-1285.

Tomimatsu, H. & Ohara, M. (2003). Genetic diversity and local population structure of fragmented populations of *Trillium camschatcense* (Trilliaceae). *Biological Conservation* 109, 249-258.

Tomimatsu, H. & Ohara, M. (2003) Floral visitors of *Trillium camschatcense* (Trilliaceae) in fragmented forests. *Plant Species Biology* 18:123-127.

Tomimatsu, H. & Ohara, M. (2004) Edge effects on recruitment of *Trillium camschatcense* in small forest fragments. *Biological Conservation*. 117:509-519.

Tomimatsu, H. & Ohara, M. (2006) Evaluating the consequences of habitat fragmentation in plant populations: a case study in *Trillium camschatcense*. *Population Ecology* 48: 189-198.