

## Development of a science education and research activity program for high-school students using information and communication technology

Nobuyasu Naruse,<sup>1)\*</sup> Fumihito Ikeda,<sup>1)</sup> Kunimasa Yamada,<sup>1)</sup>  
Naohiro Iida,<sup>1)</sup> Yukihiro Takahashi<sup>2)</sup> and Makoto Suzuki<sup>1)</sup>

1) Center for Research and Development in Higher Education, Hokkaido University

2) Faculty of Science, Hokkaido University

## 高校生を対象にした ICT を駆使する 先端理科教育・研究活動プログラムの開発

成瀬 延康<sup>1)\*\*</sup>, 池田 文人<sup>1)</sup>, 山田 邦雅<sup>1)</sup>  
飯田 直弘<sup>1)</sup>, 高橋 幸弘<sup>2)</sup>, 鈴木 誠<sup>1)</sup>

1) 北海道大学高等教育推進機構高等教育研究部門

2) 北海道大学大学院理学研究院

*Abstract* — Scientists require not only knowledge of science and analytical skills, but also the ability to discuss scientific topics internationally, expressing their own ideas easily, and describing them logically. Usually, the university is the most effective place to acquire these skills because we can gather easily and discuss the results obtained by using up-to-date equipment and advanced research resources. A difficulty arises, however, when we conduct education for high school students having potential in the field of science. It takes much time to gather them together in the laboratory, since they live separately all over Hokkaido and Japan. To overcome this difficulty, Hokkaido University has developed an original program of science education and research activities for high-school students using information and communication technology (ICT) since 2014. This program is clearly different from what we call e-learning. The main features are: 1) science lectures and interactive discussions using ICT to overcome the difficulty of gathering in laboratories of the university, 2) multiscale research subjects (from the microscopic scale to the telescopic scale) to promote active learning and investigations, 3) adoption of the educational program with a short camp, including field studies in areas in which Hokkaido University excels, and 4) group work and science discussions about the research subjects in English with foreign students in Hokkaido University.

(Accepted on 7 March, 2016)

---

\*) Correspondence: Institute for the Advancement of Higher Education, Hokkaido University, Sapporo 060-0817, Japan  
E-mail: naruse@high.hokudai.ac.jp

\*\*\*) 連絡先: 060-0817 札幌市北区北 17 条西 8 丁目 北海道大学高等教育推進機構

## 1. 緒言

現代の科学研究は、ひとり研究室に閉じこもって行うものは少なく、外国も含めた外部との情報交換と刺激によって動機と目標が形成され、アイデアが生まれ、精力的な研究作業へと繋がるのが殆どである。そこで求められる研究者の能力は、もはや教科学力や高度な専門性だけでは無い。議論に耐える、強く精緻な論理性、自らの意見を発信する積極性と表現力、研究協力者とのコミュニケーション能力、ひとつのことをやり抜く強い意思をもった人材が求められている。これらは、昨今盛んに報道される内向きの学生像の傾向と対極にあると言って良い。さらに、創造力溢れる学問を開拓するには、物理、化学、生物、地学といった科目を独立のものとして捉えて専門性のみを殊更に追求するのではなく、それらの関係性を様々なスケールで俯瞰する能力も重要になってくる。こうしたマインドを涵養する教育が、現在の高校教育でなされているとは言い難い。

科学コミュニケーション、特に国際性の観点からは、ネイティブによる英語教育や国際学会での発表が一部では行われている。一方、理系人材において大切なのは、論理的に自分のアイデアや意思を相手に伝え、また自分が他人のそれを理解でき、さらにそれらを昇華させて新たなアイデアを生み出すことである。また、自らの考えを論理的に記述する力も重要である。日本で義務教育を受けた高校生が、母国語である日本語を論理的に記述できないまま、彼らに外国語教育を方針なく施しても、論理的な構造と豊かな表現を併せ持つ科学英語を話し、記述できるようにはならないはずである。従来の「語学力」とはある程度切り離れた形で、日本語にも英語にも共通の論理立てて言葉を操る能力を育てる必要があると考える。

我々は、上述の高度な能力を備えた研究人材を育成する高校生向けのプログラム（北海道大学 *super scientist program*：北大 SSP）を開発し、2014年度より北海道大学でスタートさせた。その特徴は以下の5つである。1) 自由度の高い研究課題の設定による自発的な研究企画力の喚起を促す仕組み、2) 単一分野の研究ではなく、物理・化学・生物・地学が絡む

複合的で、地球・惑星から顕微鏡まで含むマルチスケールな、北海道大学の研究資産と地域性を活かした研究課題、3) 外国人留学生をチューターとして配置することによる英語での日常的な科学コミュニケーション能力の開発、4) 北海道の交通の便の悪さを克服するための情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）を駆使したコミュニケーションの本格的な導入、5) グループ研究活動の導入と相互評価に基づく個人の評価法、である。

北大 SSP では、上述の 1) -5) を実行するために、農学・水産学・森林科学・環境科学・地質学・宇宙科学などフィールド科学、物理・化学・生物などの実験室科学、それらを統合する情報科学のそれぞれの教員からなる北海道大学を挙げてのプロジェクトチームを形成し、一丸となってプログラムの実施に取り組んでいる。本稿では、こうした特徴を持つプログラムの開発と実践、およびその成果についてまとめた。

## 2. 取り組みの状況

北大 SSP の全体像を図 1 に示す。北海道大学がコンソーシアムメンバーと協力し、まず、受講生の募集（6月）を行い、一次（7月）、二次オーディション（8月）による応募者の選抜を経る。二次オーディションで選抜された受講生は、9月から5月までの期間、ICTを駆使した週1回のグループミーティングや、合宿形式のスクーリング（数回）を受講しながら、SSP 受講生が研究活動を行うのが北大 SSP の一年間の流れとなる。初年度の受講生は、例年5月末に開催される、日本地球惑星科学連合大会（JpGU）における一般セッションにおいて口頭発表を目指すことになる。以下では、その取り組みの状況について記す。

### 2.1 受講生募集の方針と選抜方法と基準

北大 SSP では、北海道全域を中心に全国から受講生を募っている。2014年度には、北海道教育委員会、札幌市教育委員会、2015年度には、さらに東京都教育委員会、横浜市教育委員会とコンソーシアム

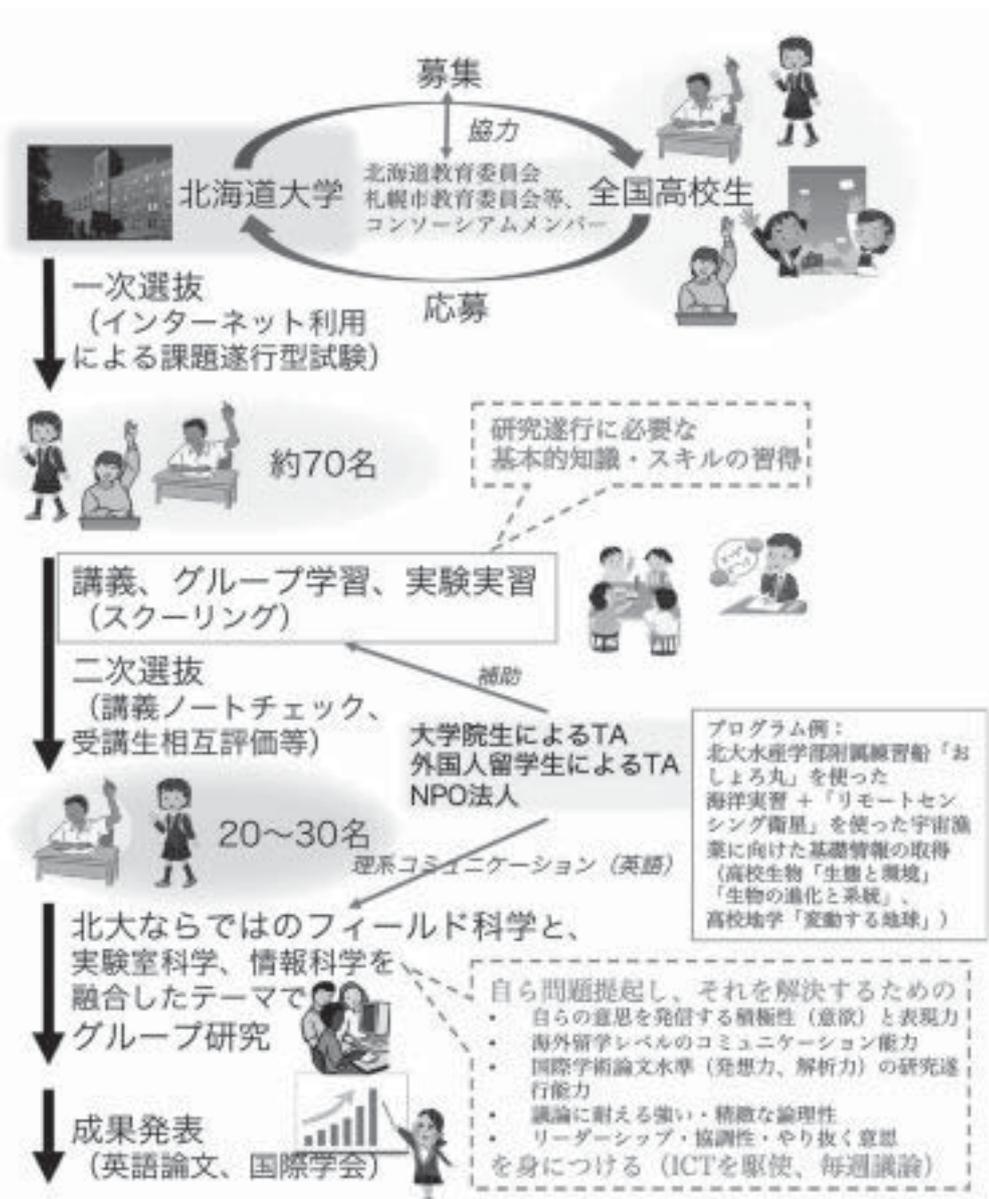


図1. 北大 SSP のプログラムの全体像

を組み、コンソーシアムのメンバーに広報活動の協力をいただいている。また、パンフレットの送付やホームページでの告知だけでは、各高校に押し寄せる、多数の大学からの大量の情報に埋もれてしまう。そこで、北海道内のスーパーサイエンスハイスクール (SSH) 参加校がつくるサイエンスリンク協議会に、北大担当者が直接出向き、高校担当者への広報活動も行っている。北海道内の主な進学校 (20-30校) には北大担当者やチューター (TA) が直接訪問し、担当者や高校生への内容説明、体験受講などの働きかけを行っている。募集期間は、コンソーシアムメンバーからいただいた意見をもとに6月の1ヶ月間とした。

## 2.2 一次オーディション方法

基礎学力及び論理力、表現力、解析力といった研究の素養を確認するため、各高校からの学業成績情報と ICT を活用した課題遂行型試験の点数の両者を使った一次オーディションを行っている。一次オーディションの日程は7月最初の土曜日とし、高校毎の行事 (模擬テスト、学校祭) 等に配慮し、高校によってはオーディション開始時刻を遅延している。課題遂行型試験では、解答が一つではない課題を複数題用意し、応募者はその中から一つの課題を解答する。これにより、後述のように応募者の独自性、論理性、解析力が採点できるようにする。この試験では、まず、1) 開始時刻前に応募者のメールア

表1. 一次オーディションの評価マトリックス

	①独自性	②論理性 (文章・図として)	③解析力
3点	<p>【チャレンジング】 一般的な方法とは異なる<b>意外性</b>のある発想を行っており、枠にとらわれない思考が感じられる。</p> <p>【忍耐・個性】 人が<b>気に留めない</b>ようなことに<b>真剣</b>に取り組んでいる。</p>	<p>【飛躍】 困難な部分にも現実的に<b>飛躍</b>のないように解説されており、説明のつながりや焦点化ができています。</p> <p>【図】 図に<b>構造・仕組み</b>が描かれており具体的なイメージが構成されている。</p>	<p>【応用力】 物化生地の基礎知識を必要ところで<b>正しく活用</b>しており、机上の学びを現実に応用できる力がみられる。</p> <p>【追及力】 現象を正確にとらえることに拘りがみられ、<b>多角的なアプローチ</b>を用いている。</p>
2点	<p>【チャレンジング】 問題のために自分で考えた解答であるが、<b>通常思いつくであろう手法</b>であり、意外性は低い。</p> <p>【忍耐・個性】 真面目に取り組む姿勢が感じられるが、解答が<b>優等生的</b>であり、遊び心が感じられない。</p>	<p>【飛躍】 困難な部分は<b>論理的飛躍</b>が見受けられるが、その他は飛躍なく現実的な説明がされている。</p> <p>【図】 測定物との繋がりが描かれていないなど、<b>現実的な機能</b>が見えてこない。</p>	<p>【応用力】 物化生地の基礎知識が<b>使えるところ</b>で使えていない、または<b>正しく使えていない</b>個所がみられる。</p> <p>【追及力】 現象を正確にとらえる姿勢は感じられるが、<b>直接的な方法のみ</b>を用いている。</p>
1点	<p>【チャレンジング・忍耐・個性】 この問題のために考えたアイデアというよりも、<b>適当なものを探してきて並べた</b>ように見受けられる。自分のアイデア・カスタマイズが見られない。</p>	<p>【飛躍】 高校生ならわかるはずの部分に<b>飛躍</b>や<b>空想的・小説的</b>な説明が見られ解り難い箇所がある。</p> <p>【図】 図が用いられていない、または、説明のためではなく<b>挿絵的・抽象的・ブラックBOX</b>的であり、具体性に欠ける。</p>	<p>【応用力】 物化生地の基礎知識とのつながりが<b>乏しく</b>、<b>別途調べた既成の理屈</b>で説明されている。</p> <p>【追及力】 データの質は装置にまかせる、または<b>大きな測定誤差が生じることに無関心</b>である。</p>

注1) 各欄の二つの能力はリンクして現れることを期待するが、顕著に表れている方、または点数が高い方を採用し点数をつける。

注2) 同点を減らすために観点に重み (独自性×1.1, 論理性×1.0, 解析力×0.9 など) をつけているが、採点者の評価は1, 2, 3で行う。

ドレス宛にパスワード付き課題文が記載されたファイルが送付される。オーディション開始時刻に、一斉に応募者のメールアドレス宛に解錠パスワードが送信され解答開始となる。次に、2) 応募者は解答時間の間に解答を記述し、解答用紙 (A4 用紙1枚) を携帯電話・デジタルカメラで撮影した写真か、あるいは解答済みの解答用紙をスキャンした電子ファイルを、事務局に送付することで解答完了としている。解答時間は、4時間以内としている。上述した方法で応募者から回収した解答用紙を、北海道大学の教員 (一つの解答につき2名) で表1のマトリックスに基づいて採点し、合計した点数によるランキング×3 + 評定平均値ランキングの合計値が小さい順に総合ランキングとする。主に、独自性、論理性、解析力を答案から評価している。

### 2.3 一次オーディションの結果と選抜受講生の特性

2014年度では、応募者49名に対して一次選抜者は39名、2015年度では応募者98名に対して一次選抜者70名であった。2015年度の一次オーディショ

ンにより選抜した受講生に対して、一次オーディションの評価合計点と、各高校から提出していただいた評定平均値の合計との相関をとった (評定平均値の満点は20点、高校一年生については直近のテストの素点を評定平均値と同様に各教科5点満点に換算した。ここで、各教科とは、英語、数学、理科、国語を指す)。その結果を図1に示す。図1において、縦軸が評定平均値、横軸が一次オーディションの評価合計点である。図1からわかるように、線形相関係数0.16という興味深い結果が得られた。高校一年生が多いため、高校入学時の高校偏差値を考慮して評定平均値を変化させた場合でも、線形相関係数が0.17となっただけで相関傾向に違いはなかった。この結果を素直に受け止めれば、「一次選抜の評価点と評定平均値には相関はない」と読み取れる。一方、一つの答案に二人の大学教員が採点者として関わっていることから、その相関を調べた。その結果、その採点者同士の相関は強い (0.4以上) こともわかった (図2)。

以上の結果から、研究者に必要な素養 (独自性、論理性、解析力) の一部は、高校1, 2年での教科学

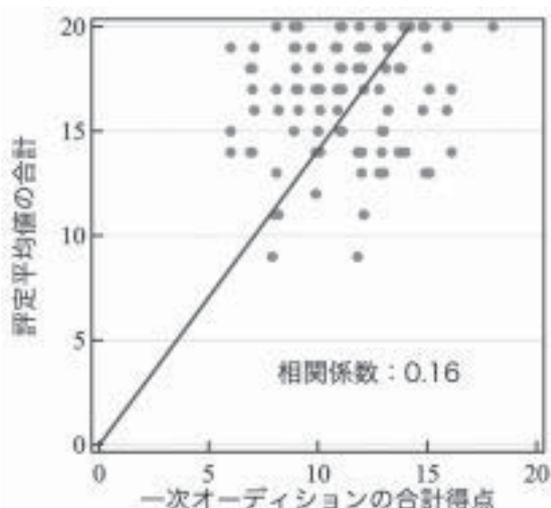


図2. 受験者の一次オーディションの得点と評定平均値(合計)との相関

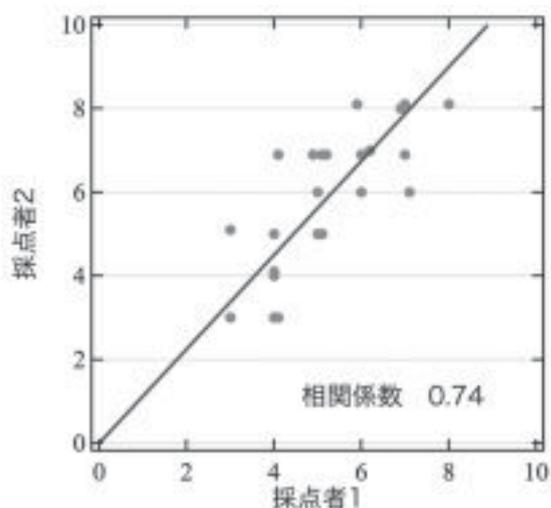


図3. 一次オーディションの異なる採点者間の相関の例

力とは無関係であることが導き出される。我々の経験的な実感からは、弱い相関はあるのではないかと予想していた。しかし、結果は相関がないことを示した。これは、高校1, 2年生時点では、上述の研究の素養を期待して、現在の高校教育の教科学力のみによる選抜を行うのは意味がないことを如実に示している。上述の能力の育成を意識した教育こそが重要であることを意味すると思われる。もちろん、この結果は、ある時点での応募者の一面を評価しているに過ぎないことを考慮する必要があるものの、大学の求める人材評価法として無視できない結果を導き出しているといえる。

## 2.4 二次オーディションによる選抜と評価

一次オーディションによる選抜者に対して、2泊3日(部活動大会や研究発表会に出席予定の者は別日程で1泊2日)の合宿形式のスクーリングを高校生の夏期休暇を利用して行っている。このスクーリングでは、研究ノートの取り方、情報科学、科学研究、研究テーマの設定の仕方、理系における英語学習法など、研究の素養をつけるための講義を始め、研究テーマに関するグループディスカッション、外国人留学生との英語による議論体験など実習も行う。このスクーリングにおける複合的評価軸は、SSP受講生に対して修了時に求める能力(①自らの意思を発信する積極性(意欲)と表現力, ②大学留学レベルの英語力・コミュニケーション能力, ③国際水準(発想力, 独創力, 解析力)の研究遂行能力, ④議論に耐える強い・精緻な論理性, ⑤リーダーシップ・協調性・やり抜く力)の素養を判断するものとなっている。これに、英語力と、リーダーシップに関する受講生同士の相互評価を行っている。これらの複合評価点と一次オーディションの成績を加味した総合成績によるランキングにより二次オーディションとしている。

## 2.5 教育プログラムの詳細

北大 SSP の教育プログラムは、週1回の ICT を駆使した研究グループ毎の議論を教育の主体とし、それを補う (a) 科学研究に必要な素養の習得(研究ノートの書き方、研究計画の立て方講義)と、(b) 自主性を重視した議論に基づく研究(実験・観測・データ処理のグループ活動)、(c) 英語に対する苦手意識の克服、を重視する。北大 SSP でのスクーリングでは、基礎学力を付けることに重点を置かない。

一次オーディションの選抜者に対しては、通常の高校授業や SSH では得られない高度な研究活動を行うための素養の習得と、外国人との実践的な意思疎通に必要なコミュニケーション能力、及び、それに付随する英語力が求められる場面を体験するためのスクーリングを開催する。一次、二次オーディションの選抜に洩れた者は、(b)の研究そのものは行わないが ID を発行し、ホームページ上の講義録、

ビデオアーカイブへのアクセスと、研究発表会等への参加の権利を有する。二次オーディションを通過した受講生に対しては、上述の (a) - (c) の資質をつけるためのスクーリングを行う。スクーリング実施時期は、高校生の長期休暇の利用を基本とし、それ以外の時期については、参加者の高校授業・行事、及び各種研修作業、講演者との調整の上、期間、時期を決定する。スクーリングでは、北海道大学水産学部附属練習船おしよる丸でのグローバル対応航海（船内では英語指示・講義）や、北海道大学大学院理学研究院附属天文台での世界最大級の惑星観測望遠鏡を用いた、1週間にわたる天体観測・スペクトル観測を行う。

一方、二次オーディションを通過した受講生に対しては、ICTを駆使したグループ毎の研究ミーティングが教育・研究の主体となる。研究ミーティングはグループ毎に毎週1時間程度開催される。そこには受講生のグループメンバーのみならず、教員、TA、外国人TAが同時に参加し、場合によっては外部の専門教員も参加して、研究内容について議論する。さらに、ミーティングにおいて外国人TAとの理系英語コミュニケーションを日常的に行うことで高校生の英語に対する苦手意識の克服を目指すと同時に、高度な研究議論を毎週実現し、研究・教育の場とする。場合によっては、教員が文章をマンツーマンで添削指導したり、基礎講義を行ったり、学会発表練習をインターネット越しに行っている。また、期間中に2度、研究ノートの提出を義務づけ、内容を確認し評価するとともに、受講生へのフィードバックも行っている。

英語に苦手意識を持ちながら、その克服と研究に対する意欲が高い受講生に対しては、自宅での英語学習の教材を用意する。また、スクーリング開催時には、外国人留学生のTAに積極的に語りかけてもらうなどの配慮を行っている。北大SSPでは、計約10名の外国人留学生(TA)が研究活動に参加し、担当グループ以外の受講生にも積極的なコミュニケーションを促している。これにより、様々な国の英語への対応能力と、国際性にとって最も重要な積極的に発言する姿勢を引き出す工夫をしている。こうして、外国人との実践的な意思疎通に必要なコミュニケーション能力及び、海外有名大学への入学が可能

なレベルの英語力をつけることを目標にする。特に、北大SSPの受講生として2年目を迎える受講生には、海外留学レベルの英語コミュニケーション能力を客観的に計測するためにTOEFL-IBTの受験も積極的に促す。

## 2.6 教育効果の把握と修了生との関係

意欲の評価については、鈴木らが開発した理科教育用自己効力測定尺度 (SESSE: Self Efficacy Scale for Science Education) (鈴木 2012) を用いて、受講生の自己効力を測定し、学習意欲を総合的に分析、把握し個々の受講生への教育に利用している。2015年度は、一次オーディション通過者全員を対象とした調査を行った。さらに、二次オーディション通過者全員に対しては、詳細に分析し個人カルテを作成した。これにより、受講生個々の意欲を的確に把握できるようになったばかりか、研究指導の際にどんな言葉やフォローが必要であるかがわかり、効果的な研究教育が可能となった。受講修了時にも同一の調査を行い、北大SSPが受講生にどんな教育効果を挙げたかを把握する予定である。

一方、受講生の高校卒業後の進路を知ることが教育効果の検証の一部になると考えられる。北大SSPの成果は、大学入学時よりも卒業時にこそ効果が反映すると思われることから、入学大学のみならず、大学進学後の卒論のタイトルまで調査をする予定である。また、北大SSPの修了者には、次年度以降、新規受講者のアドバイザーになってもらい、研究内容の継続性、ならびに更なる深化を担う役割を果たしてもらおう。特に、夏期のスクーリングには、北大SSPで取り組んだ研究内容を新規受講生の前で発表してもらい、受講生への刺激と関係を構築する契機としている。また、北大SSP修了者にも、受講生専用ホームページへのアクセスを可能にし、掲示板やSNSチャット機能を利用して教員や受講生との積極的交流を促す仕組みとなっている。また、受講生が北海道大学に入学した場合には、北大SSPのTAとして積極的役割を果たしてもらおう。

### 3. 人材育成面での北大 SSP の成果

北大 SSP での教育・研究が既に実を結びつつある。初年度の受講生のうち4名が、JpGU2015年大会において、一般セッションで講演を認められて登壇し日頃の研究成果を発表した。JpGUの年次大会は、参加者が7000名を越える世界で三番目の規模を誇る学術大会であり、高校生セッションもある。150を越える高校生セッション登壇者も多数参加している中で、北大 SSP 受講生の高校生だけが、専門家や研究者が講演を行う一般セッション「環境リモートセンシング」での登壇となった。発表スライドはすべて英語で作成した。発表後、「これこそ我々が求めているテーマです」「末恐ろしい」「レベルが高いのですが、本当に高校生ですか?」とかなりの反響があった。この受講生らは、こうした成果の一部を英語での学術論文としてもまとめられるレベルにあり、その執筆にも取り組んでいる。さらに、JpGU2016年大会においても、8件の口頭発表、3件のポスター発表を一般セッションで予定しており、2015年度の受講生も成果を挙げつつある。

### 4. まとめ

北大 SSP は、研究の基礎となる素養と成果発表などの基本的研究技法を習得させるため、冒頭で述べたようないくつかのユニークな特色を備えている。北大 SSP では受講生となる高校生に対し、各領域の専門家の協力を得て最新の研究対象や手法を提供する工夫が随所にあるが、それだけに留まらず、学生が複数の手法や対象を自ら結合し、新たな研究テーマを生み出す機会をも提供している。これこそが、学問の創造そのものである。

また、従来の大学の卒業研究などでは、研究場所として研究室または屋外のどちらかのみ重点がおかれるテーマが多かった。これに対して北大 SSP

では、農場や調査船、天文台など北大が持つフィールド科学の設備・施設を使った計測と、実験室科学、情報科学を融合したテーマを設定させることで、地球と生命、技術と目的の関係、様々なスケール間の結合、宇宙の中の地球を実感し、これまでにない発想を生み出す糧としている。

こうした地道な取り組みから、理系の研究・教育を、高校生に対して遠隔で遂行するモデルを全国に先駆けて開発できた一方で、課題もある。現在の多くの進学校では、公立であっても長期休暇に補講を行ったり、土曜授業や休日の課題テストを行ったりしており、高校生が自由に研究に使える時間は驚くほど少ない。結果として、スクーリングの開催日時に偏りが出てしまい、効果的にスクーリングを開催できていない。さらに、受講生の研究レベルが高くなればなるほど、研究活動にかかる時間は増大する傾向にあり、高校生活に及ぼす負荷は大きくなってしまふ。高校での部活動にも積極的に参加している受講生も多い。北大 SSP での研究成果か、あるいは部活動や学業を優先するのかの二者択一を迫られてしまう場合も出てきてしまっている。研究にかかる時間配分をどうすべきか、予め高校側、受講生側とよく話し合う必要があるものの、個々の受講生や高校の声に応えきれていないのが現状である。一方、高校側からは、一次・二次オーディションでの落選者に対してのフォローやアドバイスがほしいとの声をいただいている。また、北大 SSP 活動の保護者への広報強化や英語力をつける具体的なプログラムの開催を求める声もあった。こうした声に誠実にきめ細やかに対応してゆくことが今後の課題である。

### 文献

鈴木誠 (2012), 『「ボクにもできる」がやる気を引き出す』東洋館出版社