

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：13103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750072

研究課題名(和文) 植物生態学の視点を生かした野外体験型教員養成プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of a teacher training program with the emphasis on field experience and viewpoints of plant ecology

研究代表者

谷 友和 (Tani, Tomokazu)

上越教育大学・学校教育研究科(研究院)・講師

研究者番号：60547040

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、植物生態学の調査を進めると共に、その成果を取り入れた教員養成向け学習プログラムを開発した。

植物生態学研究に関しては、ユリ科のオオウバユリとイワウメ科のオオイワカガミの個体群間に生じている個体・個葉サイズ変異と環境要因との関係を調べ、それらサイズ変異が生育地の光環境の影響を受けていることを明らかにした。

学習プログラムに関しては、北日本に生育するオオウバユリが南日本に生育するウバユリよりも大きい原因に関する仮説を、独立変数と従属変数に着目して追究する内容とした。質問紙調査の結果、本プログラムによって受講者の理科における問題解決能力が鍛練できたと考えられた。

研究成果の概要(英文)：A teacher training program introducing achievements of plant ecological researches was designed to enhance the scientific problem-solving skills of graduate students at Joetsu University of Education. In the program, the participants considered possible hypotheses that explained the reason why the giant lilies (*Cardiocrinum cordatum*) inhabiting northern Japan were larger than that inhabiting southern Japan focusing on the independent and dependent variables.

Ecological field researches were also conducted in the Joetsu region. The relationship between climate conditions and size variation in leaves and individual plants in the giant lily and fringed galax (*Chizocodon soldanelloides*) was examined. Such variation in plants was significantly affected by the amount of solar radiation, although the influence of snow accumulation on it had been suspected.

研究分野：植物生態学

キーワード：教員養成プログラム 植物生態学 問題解決能力

1. 研究開始当初の背景

日本でみられる一部の植物では、太平洋側よりも日本海側において大型化する傾向がある。例えば、ユリ科の一回繁殖型多年草オオウバユリ (*Cardiocrinum cordatum*) は主に関東地方以西の太平洋側に分布し、その変種であるオオウバユリ (*C. cordatum* var. *glehnii*) は北日本の日本海側に分布する。また、イワウメ科の常緑多年草オオイワカガミ (*Schizocodon soldanelloides* var. *magunus*) はイワカガミの亜種とされ、北海道から本州中部の日本海側に生育し、基本種のイワカガミよりも個葉サイズが大きい。

北日本で大型化した植物がみられる原因は今のところ定かではないが、多雪環境下の植物では、春先に発生する豊富な融雪水を利用して、蒸散量の多い、薄くて広い葉が形成されるといふ学説が知られている (堀田 1974, 河野ら 1980, 小池・丸山 1998)。薄くて広い葉が形成されると、葉重量当たりの純同化速度が増加し、個体サイズも大型化すると予想される。

このような背景から、北日本の日本海側でみられる植物の大型化現象が積雪と関連したものであるかを明らかにする植物生態学研究を着想した。

平成 20 年に公示された小中学校の新学習指導要領 (文部科学省 2008) では、課題解決的な学習や自然に関する体験的な学習活動を充実させる方針が加わった。大学の教員養成課程においては、これらの指導力を有する人材育成が求められている。

また、平成 24 年度実施の全国学力・学習状況調査 (小 6・中 3 対象) の結果として、理科では (1) 観察・実験の結果を整理して考察すること、(2) 観察・実験において、定量的な取扱いをすること、(3) 知識や技能を活用して仮説を検証するための観察・実験を計画することなどの課題が指摘されている (国立教育政策研究所 2012a)。こうした状況を踏まえた指導改善策の一つとして、実験内容に関して、生徒に独立変数と従属変数を挙げさせ、それらの相関性を予想させた上で観察・実験を計画させる指導法が提唱されている (国立教育政策研究所 2012b)。

北日本の日本海側で植物が大型化するという上述の事象に対して、独立変数と従属変数に着目して仮説を設定する作業は、日本の理科教育が抱える課題に答える学習教材として利用できると考え、課題解決型の学習指導に対応できる理科教員の育成を図ることを目的とする教員養成プログラムの開発を着想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、植物生態学の調査結果をベースに、植物の野外観察活動と一体化した学習プログラムを開発し、課題解決型の学習指導に対応できる理科教員の育成を図ること

とにある。

植物生態学研究に関しては、ユリ科の一回繁殖型多年草オオウバユリの個体群間に生じている個体サイズ変異、およびイワウメ科の常緑多年草オオイワカガミの個体群間にみられる個葉サイズ変異が、それぞれ積雪量の多寡と関係しているかを解明することを目的とした。

学習プログラムに関しては、「日本海側地域で一部の植物が大型化していることの謎」をテーマに掲げ、植物生態学研究の成果を活かしつつ、受講者が (1) 学習テーマの中に独立変数と従属変数を見出し、両者の相関性を思い描けること、(2) 未解明の自然事象について仮説を立て、課題解決の道筋を示せること、(3) 状況に応じて仮説を再設定し、新たな課題解決法を見つけられること、(4) 野外調査を実体験し、日本海側の自然環境特性について実感を伴った理解をすることを目標とする。

3. 研究の方法

(1) 植物生態学研究

① オオウバユリ個体群間のサイズ変異の実態解明 — 上越地域に生育するオオウバユリの水分生理特性に関する調査 —

上越地域には、個体サイズが大きく異なるオオウバユリ個体群が近接して存在する。そこで、それら個体群間のサイズ変異と個体の水分生理特性との関連性を調べた。

上越市内の金谷山地区 (以下、金谷山) と五智地区 (以下、五智) ではオオウバユリの個体サイズが大きく異なっていた。この 2 つの個体群において、平成 26 年 4 月末に、葉の水ポテンシャル (Ψ_{leaf} , Mpa) と蒸散速度 (E , $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、および光合成速度 (A , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 等の測定を行った。得られた蒸散速度 (E) を x 軸に、葉の水ポテンシャル (Ψ_{leaf}) を y 軸にとり、原点を通る一次回帰式を求めた。得られた式の傾きを通水コンダクタンス (G , $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Mpa}^{-1}$) の逆数とみなし、根から葉にかけての水の通り易さを算出した。

調査地の積雪量は、気象庁メッシュ平年値データ (1981 - 2010) を利用して求めた。また、平成 25 年の秋から翌春にかけて、両調査地の地表面にデータロガー付き温度計を設置し、日平均気温が 0 ± 1 °C である日を積雪日と定義し、積雪期間を算出した。

② 上越地域に生育するオオイワカガミにおける個葉サイズ変異の成因解明

上越地域に生育するオオイワカガミは、地域個体群内で個葉サイズに変異が見られることから、当地域にて広域な調査を行い、オ

オイワカガミの個葉サイズと環境要因との関係を調べた。

平成25年度には、上越地域で24ヶ所の生育地を発見した。各調査地で任意に選んだ20ラメットにおいて、全葉の葉長と葉幅を測定し、1ラメット内の個葉サイズ(葉長×葉幅)を合計した値を葉数で割ったものを「平均個葉サイズ」と定義した。また、平成26・27年に、各調査地にて任意に選んだ20ラメットの最大面積の葉において、SLA(Specific Leaf Area)を計測した。

各調査地の積雪量、気温、降水量と全天日射量は、気象庁メッシュ平年値データ(1981-2010)を利用して算出した。また、データロガー付き温度計を全調査地の地表面に設置し(平成25年秋~平成27年春)、地温の変化から積雪期間を推定した。

(2) 野外体験型学習プログラムの開発と実践

開発した学習プログラムでは、ウバユリとオオウバユリの間で生じている個体サイズ変異の成因を解明する研究において、仮説を設定する場面を題材として取り上げた。日本の南北や東西方向に傾度を示す環境要因を受講者に挙げてもらい、それらの環境要因を独立変数、ウバユリ・オオウバユリの個体サイズや生理的形質を従属変数とする因果モデルについて学習する。次に、モデルに基づいてオオウバユリの方が大型化することの仮説を生成する作業を行う。さらに野外にて、個体サイズ変異の実態を確認する野外調査を行うことにより、野外観察活動とセットで課題解決的な学習を行うことができる教員養成プログラムとした。

平成26年8月26日と平成27年8月26日に上越教育大学にて開催された野外観察指導実習Eにおいて、学習プログラムを実践した。平成26年の受講者は現職教員5名、教員免許取得プログラム受講大学院生(以下、免P院生)1名の計6名、平成27年の受講者は、現職教員8名、免P院生2名の計10名であった。

平成26年度は、A4用紙1枚からなる「仮説設定シート」を作成し、植物の野外観察をしながら、野外にて学習プログラムを実践した。実践に要した時間は1時間であった。

平成27年度は、昨年度の実践時の問題点を分析し、内容構成の段階から学習プログラムを練り直した。本年はWork1~Work3の工程から成る仮説設定作業シート(A4用紙5枚)を作成し、このシートを用いて、午前中に室内で90分間の学習活動を行ったのち、午後には野外にてオオウバユリの個体サイズの調査を行う構成にした。平成27年に作成した仮説設定作業シートの概要は、研究成果欄に記載した。

4. 研究成果

(1) 植物生態学研究

① オオウバユリ個体群間のサイズ変異の実態解明 —上越地域に生育するオオウバユリの水分生理特性に関する調査—

金谷山と五智の冬季の積雪状況を比較したところ、金谷山の方が五智よりも毎年多くの積雪があるものの、2014年の融雪日はほぼ同じであることがわかった。金谷山では融雪が一気に起こることが予想され、植物は豊富な融雪水を成長に利用できると考えられた。

次に、金谷山と五智に生育するオオウバユリ個体の葉の特性を比較したところ(表1)、開花個体と非開花個体の双方において、金谷山の方が五智よりも葉数が多く、葉面積が大きく、SLAが小さかった。そのため、多雪な金谷山において葉の薄型化は生じていないと考えられた。

表1: 金谷山と五智のオオウバユリ個体における葉の特性比較。値は平均±SD。計測個体数は、繁殖個体では金谷山と五智でそれぞれ22個体と6個体、非繁殖個体では同、11個体と12個体。

葉の特性	繁殖個体		非繁殖個体	
	金谷山	五智	金谷山	五智
葉数	14.7(±4.3)	10.7(±2.1)	6.3(±0.9)	4.3(±1.1)
*最大個葉面積(cm ²)	426(±83)	281(±56)	299(±56)	206(±66)
†SLA(cm ² g ⁻¹)	266(±13)	310(±52)	300(±15)	392(±56)

* 個体中で最も面積が大きい葉の縦横長から楕円近似で計算
† Specific leaf area (比葉面積)

金谷山と五智のオオウバユリ個体において、自然光下で光合成速度の日変化を調べ、光-光合成曲線を作成した(図1)。金谷山と五智の午前中の光量は同程度で推移し、光合成速度も同様の値で推移した。そのため、両調査地の光-光合成曲線は重なった。一方、昼過ぎには五智よりも金谷山において強光となり、金谷山の個体群では葉温の上昇と気孔開度の低下が見られた。これにより、午後は金谷山において五智よりも低い光合成速度を示し、午前中よりも低い位置に光-光合成曲線が現れた(図1)。

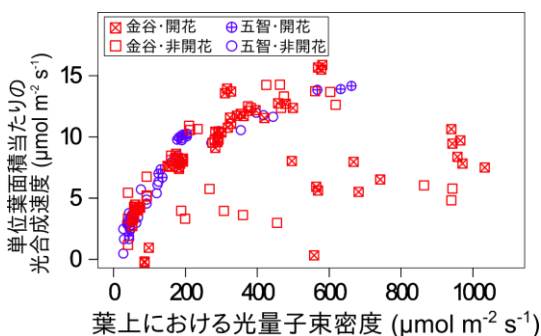


図1: 金谷山と五智のオオウバユリにおける葉上の光量子束密度(PFD)と葉面積当たりの光合成速度の関係。

両調査地で葉の水ポテンシャルの日変化を調べたところ、金谷山のオオウバユリは五智のオオウバユリに比べて、日中に高い蒸散速度を示したが、その割に葉の水ポテンシャルが大きく低下することはなかった。そのため、蒸散速度と葉の水ポテンシャルの関係を図示すると（図2）、金谷山の方が五智よりも回帰直線の傾きが緩やかとなった。

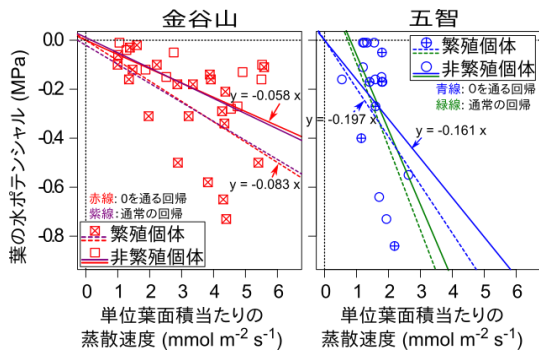


図2：金谷山と五智のオオウバユリにおける葉面積当たりの蒸散速度と葉の水ポテンシャルの関係。

図2において原点を通る回帰直線に基づいて、両調査地のオオウバユリ個体における土壌から葉への通水コンダクタンス (G) を計算すると、 G 値は繁殖個体でも非繁殖個体でも金谷山の方が五智よりも2倍以上高かった（表2）。

表2：金谷山と五智のオオウバユリにおける土壌から葉への通水コンダクタンス (G , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Mpa}^{-1}$) の推定値。繁殖個体と非繁殖個体に分けて求めた。

繁殖個体		非繁殖個体	
金谷山	五智	金谷山	五智
12.0	5.1	17.2	6.2

金谷山では、繁殖個体も非繁殖個体も土壌から葉への通水コンダクタンス (G) を高めることで、高い蒸散速度を支えながら、葉の水分状態を保持していた。これは、豊富な土壌水分への適応というよりは、強光環境下で高い蒸散速度を実現しながら葉の水分を確保するための環境適応であると考えられた。個体の水分生理特性からみると、オオウバユリが巨大化する原因は、生育地の積雪量よりも光環境に依存していることが示唆された。

② 上越地域に生育するオオイワカガミにおける個葉サイズ変異の成因解明

上越地域で発見した24ヶ所のオオイワカガミ個体群において行った調査に基づいて、平均個葉サイズと立地・環境要因との関係を図3に示した。標高との関係は、 $R^2=0.132$ 、

$P=0.088$ となり、有意水準5%において回帰直線の傾きが有意傾向を示した。年平均気温、年降水量、3月の最大積雪深、および平均積雪日数との関係はいずれも、 $R^2<0.03$ 、 $P>0.47$ となり、回帰直線の傾きが有意性を示すことはなかった。一方、年平均全天日射量との関係は、 $R^2=0.361$ 、 $P=0.003$ となり回帰直線は有意な負の傾きを示した。このことから、日射量が少ない低標高地域において、オオイワカガミの個葉サイズが大型化する傾向が示された。

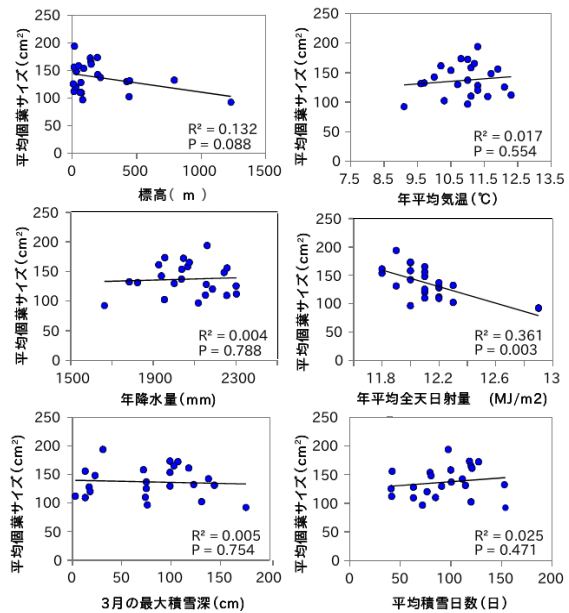


図3：24ヶ所の調査地で得られたオオイワカガミの平均個葉サイズと立地・環境要因との関係。

一方、24ヶ所の調査地で得られたSLAの値と立地・環境要因との関係を回帰分析で調べると、標高、年平均気温、年降水量、年平均全天日射量、3月の最大積雪深、および平均積雪日数との関係は、すべて $R^2<0.06$ 、 $P>0.36$ となり、有意な関係は見られなかった。

北日本で葉が大型化する植物においては、積雪量の多寡が葉の厚さ (SLA) の支配要因となり、多雪地では薄くて大型の葉をつけることが予測（一部実証）されてきたが（堀田1974, 河野ら1980, 小池・丸山1998）、本研究により、上越地域のオオイワカガミに関しては、葉が大型化する原因は弱い日射量にあることが示唆された。

(2) 開発した学習プログラムの概要と効果

本研究では、平成25年度から野外体験型教員養成プログラムの開発を進め、翌年に授業実践を行って改良を加え、平成27年度に改良版のプログラムで授業実践を行い、一定の成果が得られたと判断した。ここでは、平成27年度に授業実践に用いた学習プログラム

の概要と事後アンケートの分析に基づく効果の検証を行う。

① 学習プログラムの概要 — 平成 27 年度に作成した仮説設定作業シートの概要

平成 27 年度に実践した学習プログラムでは Work1～Work3 の工程から成る仮説設定作業を行った。Work1 では 1-A として、植物の大きさと気温との関わりに関する仮説を、冊子に添付した「世界の代表的な植生タイプ別の純一次生産力と専有面積」の図を参考にして立てさせた。図より、「十分な降水量があれば、気温が高いほど植物の光合成量は多い」などの仮説が立てられる。次に 1-B として、気温以外に、植物が大きく育つための条件を列挙させた。その際に、小学校理科第 5 学年の「植物の発芽と成長」の単元における「植物が成長するには何が必要か？」という問いかけを参考にしてもらった。さらに 1-C として、ヒマワリの大きさと気温との関係についての仮説を、小林・永益 (2006) による 4QS 仮説設定シートを用いて立てさせた。ここでは、「気温が高いほどヒマワリは大きく育つ」等の仮説が立てられる。

Work2 では、ウバユリとオオウバユリの分布特性やこれまでの生態学研究の成果を説明した。次に 2-A として、ウバユリとオオウバユリの大きさの関係は、上で思考した「ヒマワリの大きさに関する仮説」に適合するか否かを判定させた。2-B では、仮説が当てはまらない原因を考えさせた。ここでの記述例は、「気温以外の要因が大きさを支配している」、「ウバユリ・オオウバユリの成長に最適な温度は低いところにある」などである。

Work3 では、オオウバユリが低温環境下に分布することに着目し、仮説を再構築してもらった。3-A として、2つの図（各種植物の温度-光合成曲線とシラカシの呼吸速度の温度依存性）を示し、そこから読み取れることを挙げさせた。3-B では、呼吸速度と植物体重量との関係について考えさせ、光合成が増えると個体重は増え、呼吸が増えると個体重の増加が抑制される関係に気付かせた。3-C では、みかけの光合成速度が低くても、植物が大きく育つことは可能かを問い、生育時間も植物のサイズを決める要因であることを認識してもらった。最後に 3-D として、「北日本に分布するオオウバユリは、南日本に分布するウバユリよりも大きい」ことを説明するための新たな仮説を 4QS を使って立てさせた。考えられる仮説は、『オオウバユリは、光合成の最適温度が低く、冷温な北日本においてみかけの光合成速度が速くなっている』や、『冷温環境下に生育するオオウバユリはウバユリに比べて光合成速度が遅いものの、時間をかけてゆっくりと成長することで、開花時のサイズが大型化してい

る』などといったことである。

② 平成 27 年に実践した学習プログラムの効果の検証

平成 27 年度に実践した学習プログラムに関する事後アンケートの回答（5 件法と自由記述による回答）を集計し、学習プログラムの効果と問題点を分析した。1 つ目の質問では、「このプログラムによって、独立変数と従属変数に着目して仮説を立てる能力を向上することができましたか」と尋ね、2 つ目の質問では、「このプログラムによって、理科における問題解決能力を鍛えることができたと思いますか」と尋ねたところ（表 3、4）、ほぼすべての受講者が「できた」・「ややできた」または、「そう思う」・「ややそう思う」と答えていた。そのため、この学習プログラムは、教員を目指す大学院生と現職教員の課題解決能力を高めることに役立つと考えられた。

表 3 : 「このプログラムによって、独立変数と従属変数に着目して仮説を立てる能力を向上することができましたか」という設問に対する回答（数値は人数）。

できた	ややできた	どちらとも言えない	あまりできなかった	できなかった
3	7	0	0	0

表 4 : 「このプログラムによって、理科における問題解決能力を鍛えることができたと思いますか」という設問に対する回答（数値は人数）。

そう思う	ややそう思う	どちらとも言えない	あまりそう思わない	そう思わない
4	5	1	0	0

次に、「このプログラムを、教員養成課程や教員研修において行うことにメリットを感じますか」という質問に対しては、全員が「感じる」・「やや感じる」と回答していた（表 5）。

表 5 : 「このプログラムを、教員養成課程や教員研修において行うことにメリットを感じますか」という設問に対する回答（数値は人数）。

感じる	やや感じる	どちらとも言えない	あまり感じない	感じない
5	5	0	0	0

最後に、このプログラムに関する意見や改善点について自由記述で回答を求めた（表 6）。表を見ると、ほとんどの受講者がプログラムに対して肯定的な意見を述べており、これら意見から判断すると、本学習プログラムは当初の目的に概ね到達したと考えられる。しかし、「もう少し考える時間が欲しい

った」といった回答も見られ、さらなる改善が必要であることも示唆された。

表6：プログラム全体に関する意見や改善すべき点についての自由記述の回答

・非常に興味深い内容に加え、先生の実際の研究課程の一部を知ることができ、実感を伴った理解につながった。
・オオウバユリとウバユリについて考えることで実験や研究の取り組み方がよく分かりました。とても勉強になりました。
・今回の内容自体は分かりやすかった方だと思いますが、1回の学習では定着できないので、「やや」をつけました。もう少し考える時間（自分の中で整理する時間）が欲しかったです。
・このようなプログラムを、今後現場に戻ったときに研修として行っていきたい。問題解決学習の基本が学べると感じた。
・小学校で習う植物は1年草が多く、多年草の一生、生殖までの過程を考える機会はない。その中での実習のため、新しいものの見方ができるプログラムであると感じた。時間概念をつかむことの新鮮さを感じた。ありがとうございます。
・時間や空間をこえて、植物を観察したり、新しい視点を見えたら良いと感じました。アイデアとヒントをいただきました。
・資料が充実しており、身近な植物に親しみを感じる内容でした。

<引用文献>

- ① 河野昭一、長井幸雄、鈴木昌友、日本列島におけるツクバネソウの地理的クラインについて、植物地理・分類研究、27巻、1980、74-91
- ② 小池孝良、丸山 温、個葉からみたブナ背腹性の生理的側面、植物地理・分類研究、46巻、1998、23-28
- ③ 国立教育政策研究所、平成24年度全国学力・学習状況調査の結果について（概要）、2012a、1-2
- ④ 国立教育政策研究所、平成24年度全国学力・学習状況調査（中学）の結果について 授業アイデア例、2012b、13-14
- ⑤ 小林辰至、永益泰彦、社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望—小学校教員志望学生の子ども頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価—、科学教育研究、30巻、2006、185-193
- ⑥ 堀田 満、植物の分布と分化、植物の進化生物学 III、三省堂、1974、280-290
- ⑦ 文部科学省、小学校学習指導要領解説 理科編、大日本図書、2008、27-28

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 谷 友和、落葉広葉樹林における大型林床植物の成長戦略、植物地理・分類研究、査読有、62巻、2015、61-67
- ② 古澤陽介、松原静郎、岩間淳子、稲田結美、谷 友和、小林辰至、「動物の体のつくりと働き」に関する総合的な理解に影響を及ぼす諸要因の因果モデル—直接経験的及び間接経験的な観察・実験を起点として—、理科教育学研究、査読有、54巻、2013、71-81
DOI:10.11639/JRSE13007

〔学会発表〕（計6件）

- ① 大滝知子、谷 友和、新潟県上越地域におけるオオウバユリの個体サイズ変異と水分生理特性、日本生態学会第63回全国大会、2016年3月24日、仙台国際センター（宮城県仙台市）
- ② 堀内 郁、剣持 協、谷 友和、新潟県上越地域におけるオオウバユリの個体サイズ変異と生育環境、日本植物学会第79回大会、2015年9月7日、新潟コンベンションセンター（新潟県新潟市）
- ③ 山崎光平、谷 友和、長谷川敦司、レーザーを利用した草本類植物の道管液流速の測定、日本物理学会、2015年3月23日、早稲田大学早稲田キャンパス（東京都新宿区）
- ④ 長谷川敦司、谷 友和、小林辰至、CST 養成のための思考過程を重視した課題解決体験型授業の試み、日本理科教育学会北海道支部大会、2014年9月28日、北海道教育大学函館校（北海道函館市）
- ⑤ 谷 友和、落葉広葉樹林における大型林床植物の成長戦略、植物地理・分類学会（招待講演）、2014年5月31日、富山県中央植物園（富山県富山市）
- ⑥ 谷 友和、ウバユリ・オオウバユリの個体サイズ変異と発芽特性、植物地理・分類学会、2013年6月1日、ふくしま県民の森ビクターセンター（福島県大玉村）

〔その他〕

ホームページ等

http://www.juen.ac.jp/scien/tani_base/tani.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷 友和 (TANI, Tomokazu)

上越教育大学・学校教育研究科・講師

研究者番号：60547040