

令和 6 年 4 月 22 日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K02695

研究課題名（和文）ベイズ推定を利用した探究の過程を重視する植物検索教材の開発

研究課題名（英文）Development of Plant Retrieval Materials that Emphasize the Process of Inquiry using Bayesian Estimation

研究代表者

柚木 朋也（Yunoki, Tomoya）

北海道教育大学・教育学部・特任教授

研究者番号：00311457

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、検索の過程が科学的探究の過程と類似していることを示した上で、学習者が主体的に使用し、検索の過程を通して様々な資質・能力を育むことができるベイズ推定を利用した植物検索教材を開発した。

検索の過程を分析し、検索においてはアブダクションが重要であり、それを容易にするベイズ推定を取り入れた。ベイズ推定のためのデータを得るための植物調査を行い、データの作成を行った。それらをもとに、植物検索教材を作成し、作成した植物検索教材を使用した授業実践を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

検索の過程が科学的探究の過程と類似していることを示した上で、学習としての検索の意義を明らかにした。その上で、学習者が主体的に使用し、検索の過程を通して様々な資質・能力を育むことができるベイズ推定を利用した植物検索教材を開発した。そして、作成した検索プログラムを使用した授業実践を行った。

それらの結果、検索においてはアブダクションが重要であり、多くの候補となる植物名の中から候補となる植物名の絞り込みをいかに行うかについてはベイズ推定を用いたプログラムの開発が有効であることを示した。

研究成果の概要（英文）：In this study, after showing that the process of search is similar to the process of scientific inquiry, we developed plant retrieval materials using Bayesian estimation, which can be used independently by learners and foster various qualities and abilities through the process of search.

After analyzing the process of search, we found that abduction is important in the search, and we incorporated Bayesian estimation to facilitate this process. In order to perform Bayesian estimation, we conducted some plant surveys and created data. Based on the data, we developed plant retrieval material and conducted a class using the plant retrieval material.

研究分野：理科教育

キーワード：植物検索 ベイズ推定 探究 検索プログラム APG分類体系 アブダクション

## 1. 研究開始当初の背景

植物検索は、探究の過程とよく似ており、様々な資質・能力の育成に役立つ<sup>1)</sup>。ただし、生徒や教員の植物に関する知識が希薄であるという現状のもとでは、使いやすい植物検索教材の開発が必須である。本研究は、種々の実態調査、新しい分類法（APG 分類体系）への対応、適切なデータの選択などの検討を行い、ベイズ推定（観察事実から植物名を確率的な意味で推論する）を利用することにより、優れた植物検索教材の開発を行う研究である。

## 2. 研究の目的

学習者が主体的に使用し、検索の過程を通して様々な資質・能力を育むことができるように、ベイズ推定を利用した植物検索教材を開発することを目的とする。

本研究の目的を達成するために、種々の実態調査、検索項目や検索方法などの検討、新しい分類法（APG 分類体系）への対応、適切なデータの選択などを行う。そして、ベイズ推定（階層ベイズモデル）を利用することを検討する。さらに、制作した教材を基に指導法の開発、授業実践、評価を行い、教材開発に反映させる。

## 3. 研究の方法

本研究では、前述した目的を達成するために、次の3点を中心に研究を進めた。

- (1) 植物検索教材制作のための調査・研究（ア 植物の実態調査、イ 学習者の実態調査、ウ 検索項目の再検討、エ 登録データの検討、オ 検索方法の検討）を行う。小・中学校、大学、公園、道端、河川敷などで植生調査を行うとともに、植物に関する認識調査、誤認調査（主に小・中学生）を行う。また、APG 分類体系を考慮して検討を行い、個体差、変種、帰化種、園芸植物などについて検討し、検討項目や登録するデータについての基準を検討する。それらに基づき、ベイズ推定に必要な事前確率、尤度の設定を行うとともに、検索結果の事前確率への反映（ベイズ更新）について検討する。
- (2) 植物検索教材の制作（ア プログラムの作成、イ データの作成）を行う。教材の制作に当たっては、学習者が観察結果を基に検索の過程を学べることに留意する。プログラムについては、基本的には、「グラフィック植物検索ツールせり」（1994）を基にベイズ推定を検索の過程に取り入れて制作する。特に、植物の多様性と地域性などの問題を解決するために、ベイズ推定（階層ベイズモデル）をプログラムに取り入れることを検討する。データについては、北海道を中心に、学校の授業での使用を考慮して、収集、作成し、登録データの方法も検討する。さらに、全国で使用できるように拡張することも試みる。
- (3) 植物検索教材を利用した指導法の研究（ア 指導法の開発、イ 指導法の実践、ウ 指導法の評価）も行う。指導法の研究に当たっては、開発した検索教材を基に、身に付けることができる資質・能力を明確化するとともに、授業実践、評価を行う。実践は、大学での授業を始め、小・中学校、教員研修において行う予定である。その結果を検索教材の開発に反映することでより優れた検索教材を開発する。

なお、教材の制作・充実（特に資料収集とデータ作成）は研究期間中を通じて随時行い、北海道以外の植物や想定される授業期間以外のものについても資料収集を行った。また、データの作成方法（特に植物図）についても工夫し、より良いデータを作成する。以上の研究について、得られた結果を取りまとめ、学会や論文を通して順次成果の発表を行った。

## 4. 研究成果

- (1) 調査の結果、次のことが明らかになった。
  - 検索条件としては、細かい分類が可能であるが、初心者の場合、細かすぎる分類は同定を困難にする可能性が高い。また、最良の検索項目の設定は一意的には定まらない。ここでは、次の観点をもとに考察し、検索項目の選択について考察した。
    - a 植物についての学習に資すること。
    - b 植物名を効率的に知ることができること。なお、補助的に次の観点についても考慮した。
    - c 観察に適した項目であること。
    - d 初心者に適した項目であること。以上を勘案した結果、初心者が選択可能な項目を表1のように定めた<sup>2)</sup>。
  - 野草の分布は季節、地域、環境などによって大きく異なるが、年度によっては、それほど大きな変化がないため、3年間のデータを集計して、各月、地域（中部以北、中部以西、沖縄）、環境（平地、海岸、山地、高山）ごとの優占度を設定した。優占度は、表2に示したように占有率（被度）から算出し、プログラムに利用した。ただし、現段階では、地域の「沖縄」や環境の「高山」については、データが十分ではないため、信頼性はない<sup>3)</sup>。

表 1 検索項目の設定(柚木・藤枝・並川, 2022)

「花」, 「葉」, 「茎」の特徴に分け, 10個の検索項目に分けている。

	検索項目	選択肢
花	① 花の色	赤系, 黄系, 青系, 緑系, 白系, 不明
	② 花弁数	1枚, 2枚, 3枚, 4枚, 5枚, 6枚, 7枚以上, 不明
	③ 花序	総状系, 穂状系, 散形系, 頭状系, 不明
	④ 茎の形	放射相称離弁(整・離), 左右相称離弁(不整・離), 放射相称合弁(整・合), 左右相称合弁(不整・合), <b>スリ形, 舌状花or管状花(舌・管)</b> , 不明
	⑤ 雄蕊の数(オシベ数)	1本, 2本, 3本, 4本, 5本, 6本, 7本以上, 不明
葉	⑥ 葉序	互生, 対生, 輪生, 根生, 不明
	⑦ 葉の形	全縁, 鋸歯, 切れ込み(切込), 複葉, 不明
	⑧ 葉脈	網状脈, 平行脈, 不明
茎	⑨ 茎形状	つる(ツル・状), つる(毛, トゲ)(ツル・毛), 直立(直・状), 直立(毛・トゲ)(直・毛), 不明
	⑩ 茎の切り口(茎断面)	円形, <b>中空</b> , 3角, 4角, その他の形(その他), 不明
環境	① 開花時期(季節)	1月, 2月, 3月, 4月, 5月, 6月, 7月, 8月, 9月, 10月, 11月, 12月
	② 地域	中部以北, 中部以西, 沖縄
	③ 生育環境(生育地)	平地, 海岸, 山野, 高山

(赤文字は優先的な選択肢)

表 2 占有率の目安と優占度との関係(柚木・藤枝・並川, 2024)

基準環境のもと, 地域, 月ごとに占有率の調査をもとに 0-7 で評価する。占有率の調査は, Braun-Blanquet 法で用いられる被度を基に設定した。ただし, 対象は, 花が咲いている植物になるので, 全体的に優占度の値を大きくした。基本的には, 最も多く見られる地域, 時期を取り上げて設定した。

占有率の目安	優占度
5: 75-100%	7
4: 50-75%	6
3: 25-50%	5
2: 10-25%	4
1: 1-10%	3
+: 1%以下	2
r: (ごくまれに出現)	1
0 なし	0

○ ベイズの定理は次のように記述されている。

$$p(A|B) = \frac{p(B|A)p(A)}{p(B)} \quad (1)$$

ここで, A を仮説 (Hypothesis), B を (Data) と解釈すると,

$B \text{ (Data) が得られたときに } A \text{ (Hypothesis) が成立している確率}$ $= \frac{\text{仮説 A のもとで B が生じる確率} \times \text{仮説 A が成立している確率}}{\text{B が得られた確率}}$
---

つまり, 検索した結果が正しい確率 (事後確率) は,

$$\text{事後確率} = \frac{\text{尤度} \times \text{事前確率}}{\text{B が得られた確率}} \quad (2)$$

この場合、事後確率  $p(A|B)$  は、尤度  $p(B|A)$  と事前確率  $p(A)$  に比例する。そのため、事前確率と尤度を求めることにより、可能性の大きさを求めることができる。ただし、今回のプログラムの場合、大きく関係するのは事前確率になる。事前確率をどのように見積もるか、前述の植物調査による<sup>4)</sup>。なお、今回の研究では検索結果の事前確率への反映(ベイズ更新)は、実施できなかった。

- (2) 植物検索ツール「SE せり」は、検索ツール「SE」に設定ファイルやデータを読み込ませることで、植物検索ツールとして使用できるようにしたソフトウェアである。検索ツール「SE」は、Visual Studio 2022 (Windows11) 8) を使用して開発した。検索ツール「SE」(データベースの作成が可能な汎用型ソフトウェア) の特徴は次のとおりである。
- 使いやすいソフトウェアであること。
  - データを選択、作成することにより、独自のデータベースの制作が可能であること。
    - については、検索条件の選択、操作性、検索方法などが関係する。今回は以前に作成したことのある植物検索ツール「せり」に準拠することとした。データの中に優占度を記述することにより、前述のベイズ推定を利用した検索方法が利用できる (図 1)。

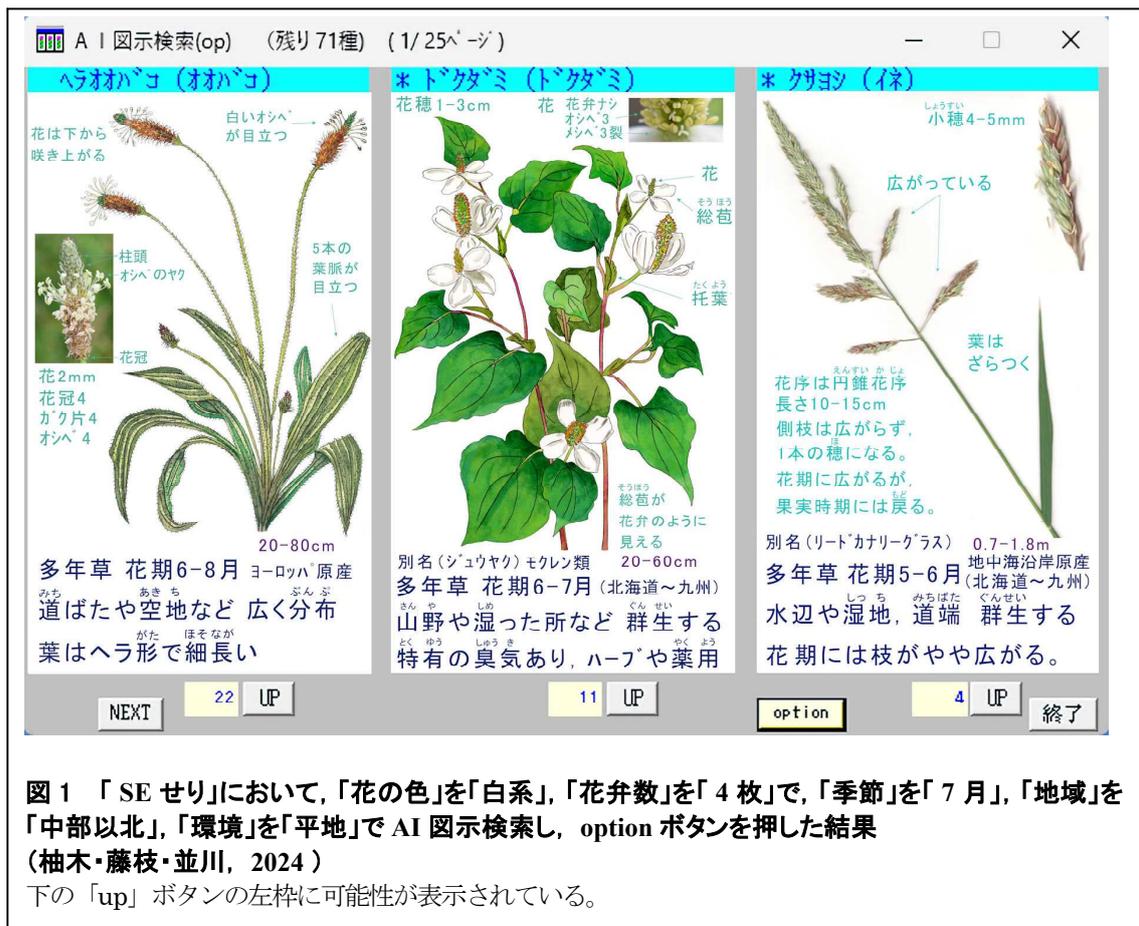


図 1 「SE せり」において、「花の色」を「白系」、「花弁数」を「4 枚」で、「季節」を「7 月」、「地域」を「中部以北」、「環境」を「平地」で AI 図示検索し、option ボタンを押した結果 (柚木・藤枝・並川, 2024)

下の「up」ボタンの左枠に可能性が表示されている。

b については、自由度の高い検索ソフトウェアの制作を目標とした。そのため、データの追加・削除が可能である。設定ファイル(「SE」が何を検索するのかなどを設定するファイル)は、テキスト形式(.txt) (Shift-JIS) で記述し、画像設定ファイル(検索条件を選択するための画像ファイル)と画像ファイルは gif 形式、jpg 形式、bmp 形式、データファイル及びメモファイルは txt 形式 (Shift-JIS) を使用できるようにした。これらのファイル形式は、フリーのソフトウェアや市販のソフトウェアで作成、編集ができるように定めた<sup>5)</sup>。

- (3) 学習の基本は、探究の過程を重視することである。しかし、実際には探究の過程を辿ることは容易ではない。そこで、探究の過程に類似したトレーニングを行うことが考えられる。その一つとして、比較的结果が明確である植物の検索過程(同定)は探究の過程を学ぶのに適した学習であると考えられる。

大学生を対象に植物検索ツール「SE せり」を使用した実践の結果、今後の改善に役立つと思われる次の知見を得ることができた<sup>6)7)</sup>。

- 大学生では、「科」までの同定は正しく行われていた。このことは、同じ「科」では特徴が似ているために種まで同定することは難しいことを示しているとともに、全ての例で「科」までたどりついたことは、検索ツールが有効であったことを示している。

- 学生が大学内で多く採取してきた植物と筆者が 2019 年に札幌市を中心に調査した 6 月に多かった（花が咲いている）植物のリストを比較した結果，大学校内には，コシカギクが多いのとコウリンタンポポが目立つ花であることを考えるとほぼ一致することが明らかになった。この結果から，植物調査をもとにした可能性の大小を表示する「SE せり」の検索機能は，検索に役立つと考えられる。
- 学生の検索の様子からは，使用した「せり」の検索機能のうち、写真や図の見た目の感覚，特に色などに固執する傾向が多く見られた。正しい同定を行わせるためには，資料の採取や観察をしっかりと行わせるとともに形状や大きさなどの特徴を重視させることが大切であると考えられる。
- 正しい同定を行うためには，採取地を初めとした適切な資料の採取とともにルーペなどを用いて形状や大きさなどの特徴をしっかりと観察させることが大切であると考えられる。

#### <引用文献>

- 1) 柚木朋也：植物検索と探究との関連についての一考察，北海道教育大学紀要（教育科学編），71 - 1，2020，227 - 235
- 2) 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司：植物検索のための分類についての一考察 - 検索項目の選択について -，北海道教育大学紀要（教育科学編），72 - 2，2022，215 - 230
- 3) 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司：『植物名を調べる - 植物検索ツール「せり」を用いた方法 -』，北海道教育大学札幌校，2024，34
- 4) 柚木朋也：ベイズ推定に基づく植物検索についての一考察，日本科学教育学会第 43 回年会論文集，2019，451 - 452
- 5) 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司：『植物名を調べる - 植物検索ツール「せり」を用いた方法 -』，北海道教育大学札幌校，2024，7
- 6) 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司：植物検索ツール「SE せり」を用いた検索についての一考察 - 大学生を対象にした取組について -，日本理科教育学会 第 72 回全国大会発表論文集，第 20 号，2022，381
- 7) 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司：植物検索ツール「SE せり」を用いた検索過程の一考察 - 同定理由について -，日本理科教育学会 第 73 回全国大会発表論文集，第 21 号，2023，238

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司	4. 巻 第72巻 第2号
2. 論文標題 植物検索のための分類についての一考察 - 検索項目の選択について -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 北海道教育大学紀要（教育科学編）	6. 最初と最後の頁 215-230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 柚木朋也	4. 巻 71-1
2. 論文標題 植物検索と探究との関連についての一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北海道教育大学紀要（教育科学編）	6. 最初と最後の頁 227-235
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司
2. 発表標題 植物検索ツール「SEせり」を用いた検索についての一考察 -大学生を対象にした取組について-
3. 学会等名 日本理科教育学会 第72 回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柚木朋也
2. 発表標題 植物検索のための分類についての一考察
3. 学会等名 日本理科教育学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柚木朋也
2. 発表標題 植物検索のための茎の分類についての一考察 - 検索項目の選択について -
3. 学会等名 日本理科教育学会北海道支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柚木朋也
2. 発表標題 植物検索における同定についての一考察 - 観察における誤認 -
3. 学会等名 日本理科教育学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柚木 朋也
2. 発表標題 ベイズ推定に基づく植物検索についての一考察
3. 学会等名 日本科学教育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柚木 朋也
2. 発表標題 植物検索の事前確率の推定についての一考察
3. 学会等名 日本理科教育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柚木朋也・並川寛司
2. 発表標題 植物検索におけるベイズ推定についての一考察 - 事前確率の設定とプログラム -
3. 学会等名 日本理科教育学会北海道支部大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 柚木朋也・藤枝秀樹・並川寛司	4. 発行年 2024年
2. 出版社 北海道教育大学札幌校	5. 総ページ数 115
3. 書名 植物名を調べる - 植物検索ツール「せり」を用いた方法 -	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤枝 秀樹 (Fujieda Hideki)  (20741705)	国立教育政策研究所・研究企画開発部・教育課程調査官  (62601)	
研究分担者	並川 寛司 (Namikawa Kanji)  (90192244)	北海道教育大学・教育学部・教授  (10102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------