

【原 著】

気象学と植物学との連携による
自然環境系の ESD 的理解への学際的アプローチ
—大学における授業実践の試み—

原田 太郎 加藤 内藏進

An Interdisciplinary Approach for ESD-oriented Understanding of Natural
Environmental Systems through Collaboration between Meteorology and Botany:
Practical Trials in University Classes

HARADA Taro, KATO Kuranoshin

2021

岡山大学教師教育開発センター紀要 第11号 別冊

Reprinted from Bulletin of Center for Teacher Education
and Development, Okayama University, Vol.11, March 2021

気象学と植物学との連携による 自然環境系のESD的理解への学際的アプローチ

—大学における授業実践の試み—

原田 太郎※1 加藤 内藏進※1

理科の学問分野である気象学と植物学との連携により、持続可能な開発のための教育(ESD)を志向した自然環境系の理解を目指し、大学の教科・分野横断的な科目における授業実践を行った。最初の試みとして、気象・季節・気候および植物との関連が重要となる理科の教科内容をベースに、学際的な側面を持ついくつかのテーマが見出された。とりわけ、生物季節(フェノロジー)は、ESDに関連した気象・気候の季節サイクルと植物の成長および環境応答との関わりに関する学生の理解を促進するうえで有用であることが、授業分析から示唆された。これらの授業実践から、気象学と植物学との連携が、自然環境系のESD的理解の促進のみならず、教科内容構成の分野横断的な検討にも役立ち、教師教育のためのアプローチとして有望である可能性が示された。

キーワード：ESD, 教科内容構成, 東アジアの気候系, 生物季節, 園芸学

※1 岡山大学大学院教育学研究科

I はじめに

気象学および植物学は、食料生産の維持、気候変動や災害、生物多様性の喪失への対処等の地球規模の課題解決のための基幹とも言える学問分野であり、環境教育や持続可能な開発のための教育(Education for Sustainable Development (ESD))と密接な関わりを持っている(佐藤・田代・蟹江2017)。学校現場や教師教育におけるESDの推進は、持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals (SDGs))の達成のためにも必要である(UNESCO 2017)。SDGsにおいて、気象学は目標13「気候変動に具体的な対策を」と、植物学は目標15「陸の豊かさを守ろう」と最も直接的に関係しているが、これらの目標はいずれも、「5つのP」のカテゴリー中の地球(Planet)に分類されている。我が国では、これらの2目標の達成に関しては維持または改善の傾向が示されているものの、目標5「ジェンダー平等を実現しよう」、目標14「海の豊かさを守ろう」および目標17「パートナーシップで目標を達成しよう」とともに、最も改善が求められる「Major challenges」の評価が下されている(Sachs et al. 2020)。

二宮(1999)、加藤(2006)等でも述べられているように、我々を取り巻く地球環境システムは、様々な物理的、化学的、生物学的過程が固体地球圏・大気圏・生物圏の間で複雑に絡み合って成り立っており、ある因子が僅かに変化

するだけで全体に大きな影響が及ぶ大変微妙なバランスの上に立つ。それらの中で、気象・気候系と植物学で対象とする分野に限っても、両者の関わりは大きい。気象学・気候学および植物学は、それぞれ地学・地理学および生物学の1つの分野であり、現行の理科の学習指導要領において、前者は地球領域の、後者は生命領域の柱となっている。しかし、上述の学問特性を反映して、学習指導要領に準拠した教科書においても、両分野が密接に関わる単元が見出される。例えば、小学校第4学年の「季節と生物」の単元では、1年間を通して気温と動植物の定点観測を行い、季節と生物の活動との関連を学習する（毛利・大島他 2020）。高等学校「生物基礎」では、「植生の多様性と分布」の単元において、気温および降水量が植生を決定する主要因となっていることを通じて、気候がバイオームと密接に関わっていることを学習する（本川・谷本他 2013）。また、高等学校での地学未履修者も多い中での教員養成の一環として、ESDで気象・気候と植物とが関連した分野の背景に関する理解自体を深めることも必要である。更に、理科における地球領域も踏まえた生命領域の教科内容構成を再検討する観点からも、気象学・気候学と植物学との学際的協働は、ESDでの具体的分野に関連した科学的リテラシーの醸成に有用であることが考えられる。

なお、ESDで取り組む種々の分野間の繋がりは大きい。従って、ESDでは、単に各分野の個別的な取り組みだけでなく、異なる背景の社会・自然や人間への思慮（「異質な他者への理解」）も含めて多面的・総合的に思考できる力（「ESD的視点」と呼ぶことにする）の育成も強く求められている（異質な他者への理解は、地球市民教育（Global Citizenship Education, GCED）との関わりも深い（小林 2016；UNESCO 2015, 等））。加藤他（2017a, b）、加藤他（2019a, b）等による「季節感」を接点とした気候と芸術との連携は、気候変動・文化理解教育の直接的融合に留まらず、上述のESD的視点の育成も狙った例である。

そこで、気象・気候学と植物学都の連携によるこのようなアプローチを教師教育の一環として試行する狙いもあり、2018年度から岡山大学で新設された3年次生以上を対象とする高年次教養科目の1つとして、加藤（気象学）と原田（植物学）が担当する「気象・気候と植物からみる自然環境系」を開設した。また、加藤、赤木（美術）、宇野（地質学・古地磁気学）が担当し、ゲストとして加藤（晴）（音楽）とも連携した教育学部の専門科目「くらしと環境」（理科の専門科目ではなく、教科横断的思考力の育成を狙う位置付けの科目）において、2019年度からは、原田による植物学の視点からの講義（1時間分）を加えた。本論文では、上述の気象学・気候学と植物学との学際的協働によるESDに関連した自然環境系の理解を促進するための方策開発のために、まず、岡山大学における「気象・気候と植物からみる自然環境系」および「くらしと環境」の授業で扱うべき内容に関する専門的知見の学際的統合・検討を行う。更に、主に「くらしと環境」における授業実践について、生物季節（フェノロジー）を中心とした結果の若干の分析も行い、学際的連携を通じた教師教育プログラムの深化へ向けた論考を行う。今後は、単元構成の再構築へ向けた内容構成の検討と授業の詳細な分析との往還を更に進める必要があるが、本稿では連携の

最初のステップとして、専門科学における内容の視点からの考察を中心に行う。

II 授業で取り上げた事項に関する論点の整理

1 高年次教養科目「気象・気候と植物からみる自然環境系」について

「気象・気候と植物からみる自然環境系」（1 単位）では、全体として気象・気候学分野と植物学分野間の内容のフィードバックを意識した内容が構成され、気象・気候と植物の話題とが絡みながら授業が進行する（第 1 表）。

第 1 表 高年次教養科目「気象・気候と植物からみる自然環境系」の概要および内容。

概要	持続可能な社会の担い手を育てる ESD で取り組むべき種々の問題は、相互に密接な関わりを持つ。従って、将来の理科教育を担う学生は、直接関連する専門性を更に深めるとともに、それを軸とする異分野との学際的『知の統合』を通して、例えば ESD 的な視点や思考力といったリテラシーをも培う必要がある。そこで本授業では、ESD において重要なベースの 1 つである気候環境や変動を軸に、自然科学の中での異分野との関わりや（本講義では植物学、数学等との内容的関わりを例に）、社会・文化等との関わりの視点も強く意識しながら、最新の話題も含めた解説やそれに基づく考察を行う。
内容	(1) 「気象・気候学と植物学との連携による ESD への貢献」（全体の導入） (2) 「自然の理解と数学（指数関数や、その三角関数との繋がり等を軸に）」 (3) 「気象と植物（微気象と植物、環境ストレス）」 (4) 「東アジアの気候環境と季節サイクル」（植物の環境因子、植物のフェノロジー、多彩な季節感と文化理解教育、等との関連も意識。ヨーロッパの季節サイクルとの比較も含む） (5) 「季節と植物（植物のフェノロジー、作物生産と環境制御）」 (6) 「気候と植物（バイオーム、気候変動と植物進化）」 (7) 「地球温暖化予測と地域規模気候変動」（IPCC 関連の国際協力の現状、異常気象を見る視点、等も含む）、 (8) 「本授業内容をベースとした ESD 授業構築へ向けた考案」

一方、2020 年度の「くらしと環境」では、日本付近の気象・気候と詳細な季節サイクルに関する講義（ドイツや北欧付近との比較も含む。第 1～3 日目の途中まで）の後、植物分野に関する講義を 60 分行った。但し、「くらしと環境」では、第 4 日目の「季節感」を接点とした美術や音楽等との連携を目玉に、毎年新たなテーマを扱っている（例えば、「初冬の時雨」（加藤他 2011）、「暖候期の降水の多様性」（加藤他 2012）、「日本列島付近の冬を挟む季節進行の非対称性（初冬と早春との違い）」（加藤他 2014 等）、「日本とドイツの比較」（加藤他 2017b 等）、「日本と北欧の比較」（加藤他 2019a）等）。一方、「くらしと環境」での植物分野の内容は、高年次教養科目のダイジェスト版にも近い。そこで、両者の連携の論点に関しては、高年次教養科目の内容を中心に考察する。但し、いずれの年度でも「くらしと環境」の履修者数が高年次教養科目よりもかなり多かったため、授業結果の分析に関しては、「くらしと環境」を中心に行った。

2 気象・気候学分野からの視点

(1) 日本付近を中心とする気候と季節の大枠

日本付近の季節は、東アジア特有な雨季である梅雨と秋雨を加えた「六季」で特徴付けられる (Maejima 1967)。しかも、それら六季の間の中間的なステージも含めた 1 ヶ月程度の細かい期間毎の特徴の変化という多彩な季節サイクルを示す (加藤・加藤, 2014, 2019, 等)。なお、季節サイクルの多彩さは、単に

平均気温や降水量だけでなく、卓越天気パターン（卓越気圧配置型）の違いをも大きく反映しているという。それは、中緯度に位置する東アジアが、地球規模でのアジアモンスーンの影響も大きく受けるためである。更にそのモンスーンシステムは、大枠として、①南アジア域、②ユーラシア大陸の中高緯度域、③熱帯西太平洋域、④北西太平洋域北部、の各サブシステムから構成され、それらの季節サイクルのタイミングのずれが大きい。日本付近の多彩な季節サイクルは、日本付近がそれらの接点に位置することを強く反映する(Murakami and Matsumoto (1994), 加藤他 (2009a) 等も参照)。つまり、それらに伴う季節平均場の多彩さや、それらを基本場とする日々や年々の変動性の季節毎の大きな変化が、日本付近の季節サイクルを更に多彩なものにしている。

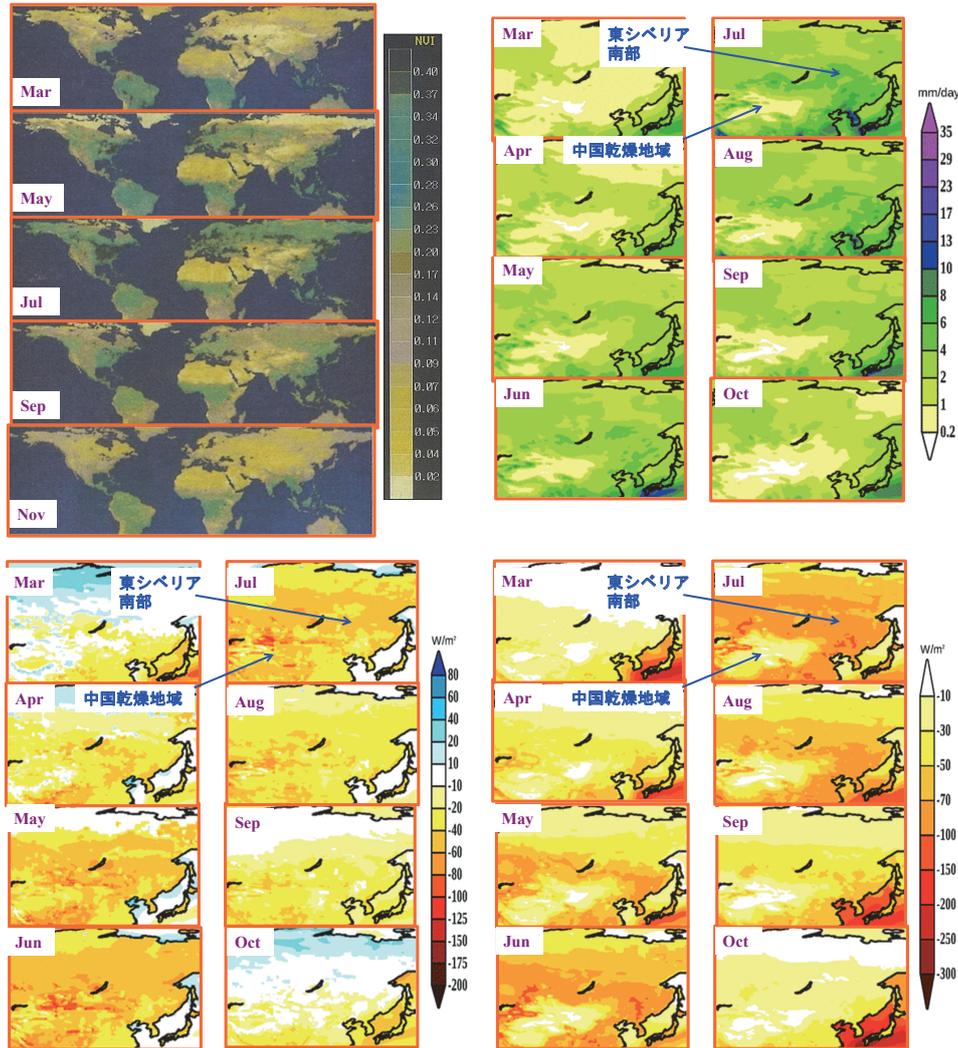
従って、このような季節サイクルの多彩さの中で植物のフェノロジーを捉えることは（単に、春夏秋冬で季節を捉えるのではなく）、「自然環境系の仕掛けの巧妙さ」に気づく強いきっかけをも与え得るのではと考えられる。また、中高緯度域の中でも、例えば東アジアとユーラシア大陸西岸のヨーロッパとの季節サイクルを比較すると、日々の変動性も含めて違いが大きい。従って、このような、自分たちにとって必ずしも身近でない自然環境を比較する活動は、前述の「異質な他者への理解」も含めた「ESD的視点」の育成の一助になり得よう。一方、「②ユーラシア大陸の中高緯度域」における季節サイクルは、植物の水環境との絡みからも興味深い。つまり、夏の短い期間のみ針葉樹林としての植生が広がるシベリア北東部では、内陸域でも夏の降水量は大変少ないわけではない。以下の項では、授業で取り上げたこれらの例について簡単に述べる。

（2）東シベリア南部における暖候期の水環境を通して

シベリアでも、夏の短い期間に限っては針葉樹の植生が広く分布する。例えば、第1図（左上）によれば (Asian Association on Remote Sensing 1991)、バイカル湖付近からその東方にかけて（図中の「東シベリア南部」付近）、7月頃に急速に植生域が拡大する。しかし、9月頃には高緯度側から縮小し11月には消失する。そこで、関連する広域水環境の季節変化との対応を考察するために、気象庁HP掲載の月毎のグローバルな気候図を参照した（第1図の右上や下段）。授業では月毎の分布図を並べて印刷・配布したが、本稿では、筆者らが切り出して編集したものを示す。東シベリア南部付近では、4月頃から降水量が季節的に増加し、6月には4mm/day（120mm/月）を超える領域も出現する。しかし、10月の当該地域では、ほぼ2mm/day（60mm/月）を下回るようになる。

一般に高緯度地域でも、夏至を挟む数ヶ月間に限っては（高緯度側ほど、この期間は短い）、晴天時の日平均日射量が低緯度地域と同程度になる。従って、5月頃には積雪域もほぼ消失する東シベリア南部では（図は略）、日射の影響で陸面温度も上昇し、陸面から大気への熱輸送（顕熱）が増大するとともに、（もし土壌が湿っていれば）陸面からの蒸発量の増加に繋がらう。実際に、東シベリア南部では、5月から7月にかけて（潜熱は8月頃まで）、陸面から大

気への顕熱輸送も潜熱輸送（蒸発）も、大きな値となる（第1図の下段）。



第1図 (左上) 月平均 NVI (Normalized Vegetation Index, 標準化された植生指数) の分布の季節変化(1987年)。極軌道衛星 NOAA の AVHRR による可視(Ch. 1)と近赤外(Ch. 2)の観測値を用いて、 $NVI = (Ch. 2 - Ch. 1) / (Ch. 2 + Ch. 1)$ として計算。0.25程度以上(緑色で表示)の値は、緑の葉や草が茂っている領域にほぼ対応。Asian Association on Remote Sensing (1991) による図を筆者らが編集。(右上) JRA-55 プロダクトによる 1981-2010 年で平均した月平均降水量分布(mm/day) (気象庁 HP に掲載された図を筆者らが編集)。10mm/day が約 300mm/月に対応。(左下) 右上と同様(但し、地球表面での顕熱輸送)。負値(暖色系)が上向きを示す。冬の日本海で平均した上向きの顕熱輸送は $100W/m^2$ 程度。(右下) 左下と同様(但し、潜熱輸送)。 $30W/m^2$ の上向きの値が、ほぼ 1mm/day の蒸発量に対応。

ところで、4~5月頃にはユーラシア寒帯前線帯に対応した前線や低気圧の活動が当該地域では比較的活発であり、また、それが季節的に高緯度側へ北上した6月以降も寒冷渦(中心に寒気を持ち、上空ほど顕著な低気圧)等の影響を受けやすい(吉村 1967; 加藤他 2009b; Kato 1987; Ninomiya 1989)。そこで、一旦、何らかの降水や融雪等で陸面が湿っていれば陸面からの蒸発も促進されるので、上昇気流があればそれなりの降水も期待される。従って、東シベリア南部では、季節進行により気温が上昇するだけでなく、「降水・蒸発」の水のリ

サイクルも生じやすくなり、それなりの降水量の維持の可能性が示唆される。

このような降水・蒸発のリサイクルが広域水循環で重要となる地域は少ない。例えば、熱帯雨林が覆うアマゾン川流域では、夏のモンスーンによる正味の水蒸気流入の寄与で年間を通して多量の降水があるが、乾季でも降水量は少ない（月 100mm 少々）。これは、雨季の降雨の一部が流域に貯留されて流域での蒸発を乾季でも維持し、それが乾季の降水を賄うためである（Matsuyama 1992）。以上のように、「内陸域での植物の水環境に関連した降水・蒸発のリサイクル」にも目を向けることは、同時に、「その地域の季節サイクルの琴線に触れる発見」を学生に促す絶好の機会を提供する可能性を示唆している。

（3）日本列島付近の「夏」に関する留意点より

日本列島付近の暖候期の降水量や降水特性は、4 月頃の温帯低気圧・移動性高気圧の周期的通過、5 月～6 月前半頃の南西諸島付近での梅雨、6 月後半～7 月前半頃の日本列島での梅雨最盛期、その後の盛夏、という比較的短い時間ステップでの大気循環場の遷移に伴って大きく変化する（加藤・加藤（2014）、加藤他（2009a）等のレビュー参照）。これらは、天気による日射量の違いも加味することで、日本列島でのイネの栽培の背景となる気候理解にも繋がり得る。

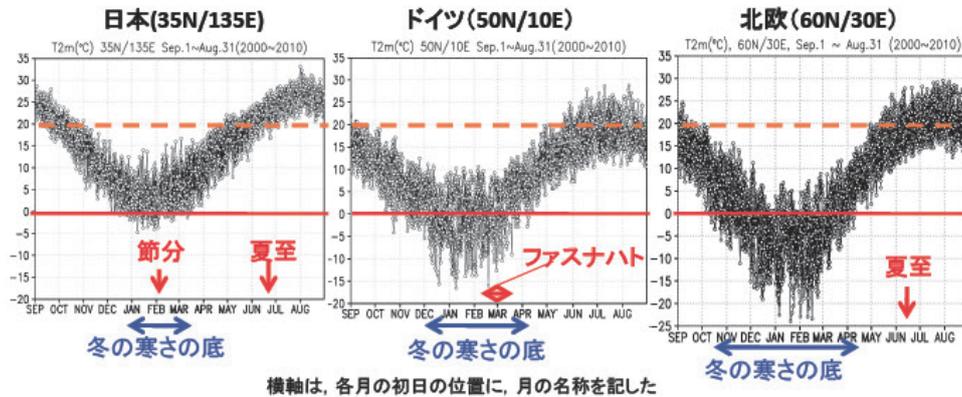
ところで、梅雨明け後とは言っても、盛夏期の平均降水量は4月頃と同程度にのぼり、また、その年々変動も大きい（殆ど降水のない年もある一方、梅雨最盛期と同程度もの降水がある年も少なくない）（詳細は加藤他（2019b）等を参照）。一方、詳細は割愛するが、総降水量が等しくても、それが日々のどのような降水形態を反映するかにより、季節感や植物への影響は異なり得る。また、東北日本における盛夏期の気温は、オホーツク海気団の侵入の影響の年々の違いにより、西日本に比べると変動性が大変大きい（加藤他（2019b）等）。

以上のように、日本列島の「盛夏期」における種々の変動性も見出せるような教材から、学生に考察を促すことにより、「よく知っていたつもり自然环境でも、実は重要なエッセンスを見逃していた！」ことへの気づきを通して ESD 的視点を深化させる一助になりうるのではと考える。

（4）日々の気温変動に注目したドイツや北欧と日本列島付近の気候の比較

加藤他（2017b, 2019b）、加藤・加藤（2019）等でも取り上げたように、ドイツ付近では、『夏』が『厳しい冬』と戦って『冬』を追い出す」という季節感による伝統行事「ファスナハト」が行われる（武田 1980）。このような「冬の厳しさ」は、単に平均気温が九州～関東よりも低いだけでなく、日々の気温のより大きな変動の中での極端な低温日の頻出で特徴付けられる（第2図）。なお、北欧でも冬の日々の気温の変動が大きく、より極端な低温日も出現する。ドイツ付近では、極端な低温日が出現しなくなる4月頃以降が「春」といえよう。一方、ドイツの夏には、平均気温が九州～関東に比べて低いだけでなく、九州～関東の4月並の気温の日もしばしば出現する。ドイツ付近では、「春・5月」（「冬」が完全に追い出され「夏」に入った時期）の感動や、過ぎ去る「5月」

の儚さ等が種々の文学や音楽等に表現されている（加藤・加藤 2014, 2019）。



第 2 図 日平均地上気温(°C)の時系列を、2000/01~2010/11 年について重ねた(太い実線は 0°C, 太い破線は 20°C)。35° N/135° E(日本列島), 50° N/10° E(ドイツ中南部), 60° N/30° E(フィンランドのヘルシンキの約 500km 東方)について示す。横軸は、各月の初日の位置に月の名称を略記した。加藤他(2019b)より引用。

以上は、「異質な他者への理解」も含めた「ESD 的視点」の育成のため身近でない地域を取り上げる際に、気象要素の日々の変動等にも目を向ける重要性を示唆している。また、日々の変動性への視点は、植物の生活環に関連した環境因子の理解の際にも必要な場合がある。例えば、植物の生育等にも関連した指標の 1 つである「積算温度」(ある基準の値を超えた分について、それらの値を積算した温度)は、季節平均気温が等しくても、日々の気温の変動幅が大きい方が大きな値になり得る。今後は、気象・気候の日々の変動性と植物活動との関連も含めた大学での授業の構成についても、更なる検討が必要と考える。

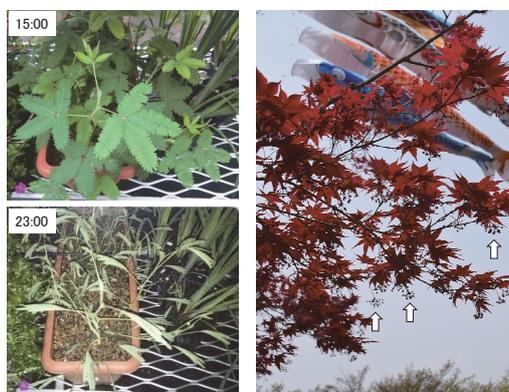
3 植物学分野からの視点

高年次教養科目「気象・気候と植物からみる自然環境系」において、原田は「気象と植物」、「季節と植物」および「気候と植物」の 3 つのテーマを設定し、植物学の視点から気象学との境界領域に関する事項を取り上げた。その論点を以下に述べる。なお、II の 1 の冒頭で述べたように、以下は、「くらしと環境」における内容の論点の紹介も兼ねたものになる。

「気象と植物」では、微気象すなわち植物にとっての非生物的環境要因としての気象と、そのひずみが植物の成長や生存に悪影響を及ぼすという概念、すなわち環境ストレスを取り上げた。非生物的環境要因には様々なものがあるが、その一例として水分が挙げられる。蒸散は水の物理化学的性質に基づいて起こるが、それは光合成とも密接な関係にあり、例えば、水利用効率(蒸散量に対する光合成量の比)は植物の資源利用効率を示す指標となっている(Jones 2017)。植物の環境応答については、サボテンが乾燥条件に適した形質を獲得してきたように遺伝的变化を伴うものを適応、植物が気象条件に応じて気孔を閉じて水分喪失を防ぐように遺伝的变化を伴わない応答を馴化と呼ぶ。作物生産との関わりでは、干ばつに代表される水不足が農業被害をもたらすことは想像

に難くないが、近年その発生頻度が増加している洪水も植物にとっての環境ストレスの1つである。イネをはじめとした主要作物において、冠水ストレス応答機構に関する研究が進められており、その成果は洪水に耐性を示す系統の育種へも応用されている（坂上他 2010）。

「季節と植物」では、フェノロジーと作物生産における環境制御を取り上げた。フェノロジーは、季節的に起こる自然界の動植物が示す諸現象の時間的変化およびその気候あるいは気象との関連を研究する学問である。植物が示すフェノロジカルな現象の代表例として開花が挙げられる。その前提となる花芽形成には光周性すなわち日長を感知して花成シグナルを伝達する機構が備わっているが、この機構は、光受容体を介した光情報入力に基づく生物時計（概日時計）の駆動に依存している。概日時計は、太陽光の情報を生命活動に利用する生物の計時機構に関する概念であり、原核生物からヒトに至る多くの生物分類群で認識されているが、もともと植物が昼夜の間でその姿勢を変化させる就眠運動（第3図（左））の観察から提案されたものである（田澤 2009）。一方、紅葉もなじみ深い生物季節現象であり、葉へのアントシアニンの蓄積がその至近要因であることはよく知られている（第3図（右））。しかし、紅葉が植物の生存にとってどのように役立っているのかという究極要因については未だ解明されておらず、これは身近な生物季節現象に大きな謎が秘められている場合もあることを物語っていると言えよう。



第3図 （左）オジギソウの就眠運動（2018年7月5日に岡山大学津島キャンパス教育学部温室にて撮影）。（右）季節を問わず紅葉を示すカエデ（2015年4月16日に岡山大学津島キャンパスにて撮影）。矢印は花を示す。

フェノロジーが日常生活に密接に関連している例として、生物季節観測や二十四節気・七十二候が挙げられる。生物季節観測では、50年以上にわたる統一的観測により、サクラ開花日の早期化等地球温暖化と関連した変化も見出されている（山川他 2017）。二十四節気・七十二候は、気象現象や動植物の様子そのものを暦の基準として活用するものであり、自然現象の精緻さや人間の自然観察の視点が表れていると言える（日本生態系協会 2016, 第4図）。また、作物生産における環境制御に関して、作物の栽培は地域の気候条件の季節変化を

踏まえた作型の決定から始まり、種々の環境制御技術を駆使して営まれる。温室等を利用した施設栽培やより高度な環境制御が行われる植物工場は、気象条件に抗った作物生産を可能とする技術であるが、高いコストを上回るベネフィットが得られなければ成り立たない（日本施設園芸協会 2015）。

季節	二十四節気	七十二候			旧暦	新暦
		初候	次候	末候		
春	立春	東風凍を解く	黄鶯睨睨	魚氷を上る	睦月十一日～睦月二十五日	2月4日～2月18日
	雨水	土の脉潤起こる	霞始めて靨く	草木萌え動く	睦月二十六日～如月十日	2月19日～3月4日
	啓蟄	蟄虫戸を啓く	桃始めて笑く	菜虫蝶と化る	如月十一日～如月二十五日	3月5日～3月19日
	春分	雀始めて巣う	桜始めて開く	雷乃ち声を発す	如月二十六日～弥生十一日	3月20日～4月3日
	清明	玄鳥至る	鴻雁北る	虹始めて見る	弥生十二日～弥生二十六日	4月4日～4月18日
夏	穀雨	腹始めて生ず	露止みて苗出る	牡丹華く	弥生二十七日～卯月十二日	4月19日～5月4日
	立夏	蛙始めて鳴く	蚯蚓出る	竹笋生ず	卯月十三日～卯月二十七日	5月5日～5月19日
	小満	蚕起きて桑を食む	紅花栄う	麦秋至る	卯月二十八日～閏卯月十三日	5月20日～6月4日
	芒種	蟪蛄生ず	腐れたる草虫と為る	梅の子黄ばむ	閏卯月十四日～閏卯月二十九日	6月5日～6月20日
	夏至	乃東枯る	菖蒲華く	半夏生ず	皐月一日～皐月十六日	6月21日～7月6日
	小暑	温風至る	蓮始めて開く	鷹乃ち学を習う	皐月十七日～水無月一日	7月7日～7月21日
	大暑	桐始めて花を結ぶ	土潤うて溽暑し	大雨時行る	水無月二日～水無月十七日	7月22日～8月6日
秋	立秋	涼風至る	寒蟬鳴く	菱き露升降	水無月十八日～文月四日	8月7日～8月22日
	処暑	錦の柎開く	天地始めて肅し	禾乃ち登る	文月五日～文月十九日	8月23日～9月6日
	白露	草露白し	鶉鳴く	玄鳥去る	文月二十日～葉月五日	9月7日～9月21日
	秋分	雷乃ち声を取む	虫蟄れて戸を坏ぐ	水始めて潤る	葉月六日～葉月二十一日	9月22日～10月7日
	寒露	鴻雁来る	菊の花開く	蟋蟀戸に在り	葉月二十二日～長月六日	10月8日～10月22日
冬	霜降	霜始めて降る	霰時施る	楓葉黄む	長月七日～長月二十一日	10月23日～11月6日
	立冬	山茶始めて開く	地始めて凍る	金盞香	長月二十二日～神無月七日	11月7日～11月21日
	小雪	虹藏れて見ず	朔風葉を払う	橘始めて黄ばむ	神無月八日～神無月二十二日	11月22日～12月6日
	大雪	閉塞冬と成る	熊穴に蟄る	鱈の魚群る	神無月二十三日～霜月六日	12月7日～12月20日
	冬至	乃東生ず	麋角解る	雪わたりて麦出る	霜月七日～霜月二十一日	12月21日～1月4日
	小寒	芹乃ち栄う	水泉あたたかを含む	雉始めて雉く	霜月二十二日～師走七日	1月5日～1月19日
	大寒	歌冬華く	水沢腹堅	鷄始めて乳	師走八日～師走二十一日	1月20日～2月2日

第4図 二十四節気と七十二候。日本生態系協会（2016）をもとに作成した（暦は2020年のもの）。七十二候のうち、青色は気象現象を、橙色は動物の活動を、緑色は植物の成長・開花・結実を示す。

「気候と植物」では、バイオームおよび気候変動と植物進化を取り上げた。バイオームは、生物群集の最大の単位であり、主に気候条件によって区分された特定の相観をもつ極相群集によって特徴付けられる。近年の気候変動は、動植物の生活史戦略や植生分布に影響を及ぼし、バイオームに変化をもたらし得る（山川他 2017）。バイオームの変化は、その地域で暮らす人間の活動とも密接な関わりがある。一方、植物を含む光合成生物は、生物進化の過程で、光合成を通じて気候の一部としての大気組成、特に酸素および二酸化炭素の濃度に影響を及ぼしてきたと言える（Beerling 2015）。また、低二酸化炭素環境に適応した光合成経路をもつ C₄ 植物が、新生代の二酸化炭素濃度の低下を背景に誕生したと考えられているように、気候が植物を進化させてきたという面もある。現在、大気中の二酸化炭素濃度の上昇が地球温暖化の主要因として問題視されているが、これは C₄ 植物の優位性を相対的に低下させる一方、作物の生育や収量、品質にも様々な影響を及ぼし得る（山川他 2017）。

Ⅲ 授業の分析

1 「季節と植物」に関する意識調査

教養教育科目「くらしと環境」（2020年8月27日）において、上記のうち、日常生活との関連が比較的付けやすいと考えられる「季節と植物」に関する内

容の一部を取り上げて1時間講義した。その時間の最後に、講義テーマに関する学生の意識を把握するため、アンケートを実施した。「植物の様子から季節を感じるのはどんなときですか、思い浮かぶだけ挙げてください。講義で扱ったものでも構いません。」の問いに対し、72名から回答が得られた。その結果を第2表に示す。生物季節別では、春はサクラを筆頭として開花を、冬は樹木の落葉や枯木を連想した者が多かった。一方、夏（梅雨を含む）および秋は、ヒマワリ等の開花に加え、成長・繁茂や紅葉・黄葉、結実、キンモクセイの香り等、多様な項目が挙げられた。中には、サクラが開花し、花を散らした後、葉を展開することや、イネ苗が成長し、やがて出穂した後、結実して収穫期を迎えること等、ある植物の季節ごとの変化を記述した回答も散見された。事象別では、開花や紅葉・黄葉が最も多く、その他にも植物の発生・成長に関連した様々な現象が挙げられたが、香りや花粉の飛散、野菜の旬等、視覚以外の感覚で捉えられるものもあった。植物名別では51種が挙がり、サクラが52名と圧倒的に多く、次いでヒマワリ（26名）、イネ（23名）が多かった。1名当たりの項目数の平均値は6.9であった。

第2表 学生の「季節と植物」に関する意識（数字は回答人数）。生物季節別は10名以上、事象別および植物名別は5名以上が回答したものを列挙した。

生物季節別	事象別	植物名別
春	開花 (66)	サクラ (52)
サクラ開花 (48)	紅葉・黄葉 (53)	ヒマワリ (26)
ウメ開花 (13)	成長・繁茂 (41)	イネ (23)
タンポポ開花 (11)	落葉・枯葉 (40)	イチョウ (18)
夏	結実・落果 (31)	ウメ (17)
ヒマワリ開花 (26)	枯木・枯枝 (18)	タンポポ (15)
草木繁茂 (20)	香り (16)	アジサイ (15)
アジサイ開花 (15)	萌芽 (14)	モミジ (15)
イネ成長 (14)	花の終わり (14)	ヒガンバナ (13)
アサガオ開花 (12)	花芽形成・出蕾 (6)	アサガオ (12)
秋		キンモクセイ (11)
(モミジ) 紅葉 (45)		ツクシ (スギナ) (7)
(イチョウ) 黄葉 (20)		コスモス (6)
ヒガンバナ開花 (13)		
イネ結実 (13)		
キンモクセイ香り (10)		
冬		
落葉・枯葉 (40)		
枯木・枯枝 (18)		

以上の結果から、学生は総じて様々な事象および身近な植物種から、五感を通して季節やその変化を感じていること、また挙げられた主要な事象および植物種は、小学校理科生命領域を中心として学校教育で取り上げられ得るものであることが伺えた。

2 「季節と植物」とESDとの関連付けに関する分析

上記1と同じ授業において、植物のフェノロジーとESDとの関連についての理解の達成度を確認する目的で、「季節と植物」の講義内容を踏まえ、植物の生物季節的現象を1つ挙げ、それをESDにどのように活かすことができると考

えるか、気象・気候の季節サイクルとの関連を明確にしながら述べてください。」との課題を課した。72名の記述を分析した結果、生物季節的現象として、イネの生育の季節サイクルについて取り上げた者が最も多く（19名）、次いでサクラの開花（18名）、紅葉（11名）が多く取り上げられていた（第3表）。ESD的視点について、イネでは、食料生産の基盤としての農業という視点からの関心の高さが伺えたが、地球温暖化による登熟や品質への影響についての記述や、周期的に洪水が発生する南・東南アジアモンスーン地域で冠水耐性イネや深水イネが見出されることに触れ、遺伝的多様性や国際文化理解に関連させた記述が多く見られた。サクラの開花および紅葉では、地球温暖化による時期の変化に関する記述が多くを占めたが、紅葉の種による違い（種多様性）や進化的意義の謎に言及した記述もあった。また、「くらしと環境」の授業全体を通しての受講者の関心事を尋ねた別の設問において、季節や植物の知識を踏まえた和歌の鑑賞等、気象学に加え植物学の視点を自身の専門性から意味付けようとする意識の高さを評価できるものも少なからず見られた。なお、本授業は、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）対策として、対面方式とオンライン方式（解説資料による学習）の併用による開講としたが、受講方式による記述内容の大きな違いは見出されなかった。

第3表 学生による「季節と植物」とESDとの関連に関する記述例。

生物季節的現象	ESD的視点
イネの生育の季節サイクル	農業、地球温暖化による登熟や品質への影響、南・東南アジアモンスーン地域との品種比較（遺伝的多様性）、国際文化理解
サクラの開花	地球温暖化やヒートアイランドによる早期化、社会的価値
紅葉	地球温暖化による晩期化、種による違い（種多様性）、進化的意義、文化理解

以上の結果から、多くの受講生が授業のポイントを正しく捉え、生物季節的現象をESDに結び付ける視点を獲得している可能性が示唆された。

IV 今後の展望

3年間にわたる気象学と植物学との連携による大学の教科・分野横断的な科目での授業構成・実践の試みから、内陸域での水環境、気候系の季節サイクルとフェノロジー、種々の変動性も併せて理解した季節等を切り口に、自然環境系の中の植物と気象・気候との繋がりを授業で考察させる視点を提示した。更に、それらを教材に組み込んだESD的理解の促進に向けた学際的アプローチの有用性について、受講者のレポートから一定の手応えが得られたと考える。加えて、そこには理科教科内容構成の分野横断的な検討の可能性も見出されたが、これは高年次教養科目の趣旨にも沿うものと言える。しかし、授業で取り上げた事例や、自身が過去に見聞きしたことのある馴染み深い事例を超えて自らテーマを見出し、気象・気候と植物の両面から科学的な考察ができた受講生は少数であった。幅広い時間的・空間的スケールの視野を持ち、過去に起こったことや将来起こり得ること、他所で起きていることに科学的根拠を持って想像

を巡らせることは、あらゆる物事をグローバルに捉えるための基本姿勢と言えよう。教員志望の学生は当然のこと、持続可能な社会の一員となるべきすべての受講生がその姿勢を獲得できるよう、教授する側としても更なる事例研究に努めていく必要がある。

植物学からのアプローチでは、気象・季節・気候と植物との関わりを扱うにあたり巨視的な視点を重視し、テーマによってはそれらを微視的な現象と結び付け、人間活動や産業との関わりについても数多く話題提供した。しかし、多くの学生が授業内容を追うことはできていても、本科目における最重要概念ともいうべき生物多様性が各テーマに貫徹していることを、その原理や具体例を示しながら指摘できるまでには至っていないことが伺えた。このことを達成するうえで、例えば、生物多様性を生み出す生物進化についていかに意識させるかは重要なポイントとなると考えられる。生物進化については、現行の理科学習指導要領では中学校第2学年および高等学校生物で扱われるが、我が国の生物教育においては進化の視点が乏しいとの指摘がある(北林他 2019)。平成 29・30 年告示の学習指導要領では、生物進化の単元は中学校では第3学年に移行した一方で、高等学校「生物」では「この科目の導入として位置付け、以後の学習においても、進化の視点を意識させるよう展開すること。」と重点化が図られている(文部科学省 2019)。生物進化は、数億年に及ぶ地質学的時間スケールの中での生物の変遷そのもののみを指すものではなく、様々な環境下での植生の変化や、作物の人為選択等にも通底するものでもあり、これらのことは本科目でも意識してきたつもりである。以上を踏まえ、今後、植物の進化・適応についての説明を更に充実させることは授業改善のための1つの方策であろう。

他方、理科の二分野としての融合にとどまらず、文科系・芸術系を含めた異分野の視点も取り込んだ多層的な学際的協働へと昇華させることで、更なる発展が期待できるのではなかろうか。前述の通り、気象学と芸術との協働については多くの実践例があるが、例えば、文学・芸術作品の鑑賞において、気象学のみならず、植物学からの考証が有用な場合も少なくない。そのための鍵となる学問分野の1つとして、野菜、果樹および花きの栽培、利用を対象とする学問である園芸学を挙げたい。理科で用いられる植物教材の多くが園芸作物であることに加え、園芸学が地理学や経済学とも関連し、地域の産業や文化との結び付きも強いことがその理由である(腰岡 2015)。これらのことは、2019年11月22~25日に岡山大学で開催された2019 ESD 教師教育世界大会において提案した(Ichikawa et al. 2019)。世界が持続可能な社会の実現に対する新たな脅威である COVID-19 パンデミックの渦中にある今日、教員養成課程の学生や現職教員に対し、理科の教科内容としての科学的知識を学校教育や SDGs 達成に向けた活用方法も含めて伝授し、科学の目を通して自然と「対話」しながらたゆまず ESD を推進できる教員を養成することも急務である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、「くらしと環境」の授業を受講された学生さんの方の

ご協力に対して、深謝の意を表します。なお、本研究は、基盤研究 (B) 「ESD グローバルアクションプログラムに対応した理科の教育課程開発の日独共同研究」 (H29～32 年度、代表：藤井浩樹、No. 17H02700。加藤も分担) の補助も一部受けて取り纏めたものである。

参考・引用文献

- Asian Association on Remote Sensing: “Applications of remote sensing in Asia and Oceania - Environmental change monitoring -”. Edited by Murai, S. (Institute of Industrial Science, University of Tokyo), 372pp., 1991.
- Beerling, D.: 『植物が出現し、気候を変えた』西田佐知子訳, みすず書房, 全 297 頁, 2015。
- Ichikawa, R., Murai, A., Arashiro, K., Iwamuro, M., Nakayama, M., Tamura, K., Moritoki, Y., Harada, T.: Potential of floriculture as a bridge between plant science and education for sustainable development. 2019 Global Conference on Teacher Education for Education for Sustainable Development Conference Book, 82-83, 2019.
- Jones, H.G.: 『植物と微気象 (第 3 版) —植物生理生態学への定量的なアプローチ—』久米篤・大政謙次監訳, 森北出版, 全 486 頁, 2017。
- 加藤晴子・加藤内藏進: 『気候と音楽—日本やドイツの春と歌—』, 協同出版, 全 168 頁, 2014。
- 加藤晴子・加藤内藏進: 『気候と音楽—歌から広がる文化理解と ESD—』, 協同出版, 全 206 頁, 2019。
- Kato, K.: Airmass transformation over the semiarid region around North China and abrupt change in the structure of the Baiu front in early summer. J. Meteor. Soc. Japan, 65, 737-750, 1987.
- 加藤内藏進: 小学理科から気象・気候システム科学の理解へ (その 1) -太陽エネルギーの分配過程と気候システムを例に-。岡山大学教育実践総合センター紀要, 6, 55-65, 2006。
- 加藤内藏進・赤木里香子・加藤晴子・坪和優一: 冬を挟む日本の季節進行の非対称性と季節感に関する学際的授業 (音楽や美術と連携した表現活動を通して)。環境制御, 36, 9-19, 2014。
- 加藤内藏進・赤木里香子・加藤晴子・大谷和男・西村奈那子・光畑俊輝・森塚望・佐藤紗里: 多彩な季節感を育む日本の気候環境に関する大学での学際的授業 (暖候期の降水の季節変化に注目して)。環境制御, 34, 25-35, 2012。
- 加藤内藏進・加藤晴子・赤木里香子・大谷和男: ESD 的視点の育成を意識した気候と文化理解教育との連携—北欧の気候と季節感を例とする大学での授業実践の報告—, 岡山大学教師教育開発センター紀要, 9, 183-198, 2019a。
- 加藤内藏進・加藤晴子・別役昭夫: 東アジア気候環境とその変調を捉える視点の育成へ向けた学際的授業開発の取り組み (多彩な季節感を接点に)。環境制

- 御, 31, 9-20, 2009a。
- 加藤内藏進・加藤晴子・逸見学伸：日本の春の季節進行と季節感を切り口とする気象と音楽との連携（小学校での授業実践）。天気, 56, 203-216, 2009b。
- 加藤内藏進・加藤晴子・松本健吾・大谷和男：ドイツ・北欧と日本の「夏」の気候や季節感の違いに注目して音楽と連携した大学での学際的ESD授業開発。岡山大学地球科学研究報告, 26, 25-36, 2019b。
- 加藤内藏進・加藤晴子・三宅昭二・森泰三：日本の気候環境と愛唱歌などにみる季節感に関する高校での学際的授業の開発（冬を挟む日本の季節進行の非対称性に注目して）。岡山大学地球科学研究報告, 24, 5-18, 2017a。
- 加藤内藏進・加藤晴子・大谷和男・濱木達也・埴和優一：冬の気候と季節感の違いに注目した大学での学際的授業の開発（ドイツと日本列島付近とを比較して）。岡山大学教師教育開発センター紀要, 7, 157-166, 2017b。
- 加藤内藏進・佐藤紗里・加藤晴子・赤木里香子・末石範子・森泰三・入江泉：多彩な季節感を育む日本の気候環境に関する学際的授業の取り組み（秋から冬への遷移期に注目して）。環境制御, 33, 20-34, 2011。
- 北林雅洋・松本一範・篠原渉・松村雅文・寺尾徹：『理科教育をとらえ直す一教員養成「教科内容構成」の実践に基づいて一』, 本の泉社, 全127頁, 2019。
- 小林亮：ユネスコの地球市民教育に関する心理学的分析—多元的アイデンティティの形成課題をめぐって—。玉川大学教育学部紀要, 2016年号, 1-18, 2016。
- 腰岡政二：『花卉園芸学の基礎』, 農山漁村文化協会, 全199頁, 2015。
- Maejima, I.: Natural seasons and weather singularities in Japan. Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ., 2, 77-103, 1967.
- Matsuyama, H.: The water budget in the Amazon River Basin during the FGGE Period. J. Meteor. Soc. Japan, 70, 1071-1084, 1992.
- 文部科学省：『高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編』, 実教出版, 全368頁, 2019。
- 本川達雄・谷本英一他：『生物基礎』, 新興出版社啓林館, 全207頁, 2013。
- 毛利衛・大島まり他：『新しい理科4年』, 東京書籍, 全212頁, 2020。
- Murakami, T. and J. Matsumoto: Summer monsoon over the Asian continent and western North Pacific. J. Meteor. Soc. Japan, 72, 719-745, 1994.
- 日本生態系協会：『にほんのいきもの暦』, KADOKAWA, 全270頁, 2016。
- 日本施設園芸協会：『施設園芸・植物工場ハンドブック』, 農山漁村文化協会, 全569頁, 2015。
- Ninomiya, K.: Cloud distribution over East Asia during Baiu period in 1979. J. Meteor. Soc. Japan, 67, 639-658, 1989.
- 二宮洗三：『気象と地球の環境科学』, オーム社出版局, 全208頁, 1999。
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G., Woelm, F.: “The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020. Cambridge”, Cambridge University Press, 270-271, 2020.

- 坂上潤一・中園幹生・島村聡・伊藤治・石澤公明：『湿地環境と作物—環境と調和した作物生産をめざして—』，養賢堂，全264頁，2010。
- 佐藤真久・田代直幸・蟹江憲史：『SDGsと環境教育—地球資源制約の視座と持続可能な開発目標のための学び—』，学文社，全312頁，2017。
- 武田昭：『教会暦によるドイツ民謡』，東洋出版，全363頁，1980。
- 田澤仁：『マメから生まれた生物時計—エルヴィン・ビュニングの物語—』，学会出版センター，全355頁，2009。
- UNESCO：“Global Citizenship Education – Topics and Learning Objectives –”，UNESCO，2015。
- UNESCO：“Education for Sustainable Development Goals (Learning Objectives)” ，UNESCO，2017。
- 山川修治・常盤勝美・渡来靖：『気候変動の事典』，朝倉書店，全460頁，2017。
- 吉村稔：北半球の前線帯の年変化。地理学評論，40，393-408，1967。

An Interdisciplinary Approach for ESD-oriented Understanding of Natural Environmental Systems through Collaboration between Meteorology and Botany: Practical Trials in University Classes

HARADA Taro*1, KATO Kuranoshin*1

Practical lessons for liberal arts in university aimed at education for sustainable development (ESD)-oriented understanding of the natural environmental systems were conducted through collaboration between meteorological and botanical scientific studies. As the first trial, some interdisciplinary themes were identified, based on subject contents in science education in which the relationship between weather/seasons/climate and plants is important. In particular, an analysis of the lesson, “Seasons and plants”, revealed that phenology was helpful in enhancing students’ understanding of the relationship between the seasonal cycle of weather/climate and plant growth and responses to the environment associated with ESD. These practical lessons proved that collaboration between meteorology and botany is valuable for both the promotion of ESD-oriented understanding of the natural environmental systems and cross-cutting consideration of the subject content in science education, providing a promising approach for teacher education.

Keywords: ESD, subject contents organization, climate system in East Asia, phenology, horticulture

*1 Graduate School of Education, Okayama University
