

〈論文〉

降雨流出モデリングゲームとセルフハザードマッピングを用いた
体験型水循環教育ワークショップの開発矢澤 大志¹⁾, 山崎 大²⁾, 岡田 実奈美³⁾Princess Eden Macabata-Rubite⁴⁾, Kenn Joshua Geroy Rubite⁴⁾¹⁾ 東京大学 生産技術研究所

(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 E-mail: yazawa@iis.u-tokyo.ac.jp)

²⁾ 東京大学 生産技術研究所

(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 E-mail: yamadai@iis.u-tokyo.ac.jp)

³⁾ 東京大学 生産技術研究所

(〒277-8574 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 E-mail: okada-mi@iis.u-tokyo.ac.jp)

⁴⁾ Municipality of Barbaza, The Province of Antique, Republic of the Philippines

概要

本研究は降雨流出モデリングゲームとセルフハザードマッピングを組み合わせた水循環教育ワークショップをフィリピンの学校で実施し、降雨流出プロセスの理解が地域防災の検討へ寄与するかを検証した。アンケート結果より、ゲームによる視覚化や実験は洪水メカニズムの理解を促進させる効果があった。ゲームで土地被覆の違いによる流出量変化を確認した後、洪水対策例として森林回復等が議論された。このような体験型ワークショップは水循環に関する理論と地域の現状を結び付け、地域の水災害リスク対策への洞察を深めることが期待できる。

キーワード：洪水災害, 防災教育, セルフハザードマップ, リスクコミュニケーション, Scratch

原稿受付 2024.1.29 原稿受理 2024.5.16

EICA: 29(1) 33-45

1. はじめに

流域治水のような複合的な社会課題に取り組む水災害対策において、今後人々が災害情報を正しく理解し、意思決定や施策に参加できるよう、水循環教育の積極的な推進が不可欠である。人々が降水、浸透、蒸発散と流出のような水の動き、つまり水循環プロセスを理解することで、洪水の可能性を事前に予測し適切な対策を講じることが容易になる。2014年に制定された水循環基本法の第十七条で、国は、国民が健全な水循環の重要性についての理解と関心を深めるよう努めることを定めている。そのため小学校から高等学校の学習指導要領では理科、社会科、地理総合や地学といった幅広い科目において水循環や水災害が取り扱われ、知識理解だけでなく、主体的・対話的で深い学びの視点から知識活用・課題解決を目指すことが求められている¹⁾。

一方で、水循環と水災害に関する教育はその学年・教科横断的な特性からカリキュラム設計が難しく、概念的な教育が中心となっていたため、教材や実践例が少ない状況にあった。この課題に対応するため、国土交通省は2021年に小学校学習指導要領²⁾に合わせ、水循環動画コンテンツ「水」のおはなしと、ワーク

シートを組み合わせた「水循環」教材を作成した^{3,4)}。「水循環」教材は水循環に関する正しい知識を学ぶためのコンテンツとして、小学校の社会科や理科の授業で活用された事例が蓄積され始めている⁵⁾。

他方で、時間・空間的にも多様なスケールの現象が相互作用する複雑なシステムである水循環に関わる事象、特に災害に関しては、「水循環」教材を含めイラストやアニメーションの様な視覚化教材によるロールプレイが中心となり⁶⁻⁸⁾、体験型教材の開発が難しい。そこで山崎ら(2024)⁹⁾は、降雨流出プロセスをモデル化しゲーム性を持たせた体験型ツールとして、降雨流出モデリングゲームのプロトタイプ¹⁰⁾を開発した。降雨流出モデリングゲームはユーザーが地表面状態を操作して流出の様子を変えることで、地表と流出の関係を主体的に学習できる。ゲームの利用によって洪水メカニズムへの理解が深まることから、大学オープンキャンパスの来場者を対象としたゲーム実践とアンケート調査から明らかにされている。

しかし、降雨流出モデリングゲームは学校現場での実証実験と教育効果の検証が行われておらず、海外での活用事例もない。また先行研究の調査対象者である大学オープンキャンパスの来訪者は、スーパーサイエンスハイスクール指定校の生徒など、比較的科学的な

関心が高い層が中心であった。学習指導要領に基づいた水循環教育の推進が行われている中で、設計するゲームがより幅広い興味や関心を持つ層のいる学校現場で学生たちにどのように浸透し、役立つかの有効性は実践を通じて検証する必要がある。またゲームは一般的な降雨流出プロセスについての学習ツールであるため、ゲーム実践のみで地域の防災までを考えることのできる設計にはなっていない。そのため、ゲームで理解・習得した知識を活用して地域の防災・減災を考えるきっかけとなるような水循環教育手法を構築する必要がある。

以上の課題を考慮し本研究では、「降雨流出モデリングゲームを実践して降雨流出プロセスを理解した後に、リスクコミュニケーションツールとしてセルフハザードマッピングを行う水循環教育ワークショップが地域の防災対策を考えるために有効である」という仮説を検証するため、フィリピンの学校現場でワークショップを実施した。日本同様に海に囲まれた島国のフィリピンは、学校現場そのものが台風や洪水によって授業が行えなくなるという経験から気候変動への意識が高く、学生による野外調査や洪水ハザードマッピングなどが学校教育カリキュラムに組み込まれているアジアでも有数の気候変動教育推進国である¹¹⁾。

セルフハザードマッピングの例として、環境リスク認識の調査のための参加型アプローチとして手書きのハザードマップを作成する研究がある^{12,13)}。手書きのマップは、地域で洪水や地滑り等の災害に脆弱な場所を特定し、さらに災害対策に関する現地住民特有の伝統や知識、経験を映し出すものとして有効であるとされている。日本は類似例として都市計画や環境教育等の分野で研究されてきた原風景地図¹⁴⁻¹⁶⁾が存在し、本研究で提案するセルフハザードマッピングの作成、分析手法の参考としている。原風景地図は個人の生まれ育った場、慣れ親しんだ環境を描写した手描きの地図であり、人々の自然環境に対する価値観、関心や意識の差異を分析するために利用される。原風景地図は地域固有の環境に目を向けるための視覚化教材となるだけでなく、環境コミュニケーションの媒介としても使用でき、学生が環境の多様性を理解するためのツールにもなっている¹⁷⁾。本研究で行うセルフハザードマッピングは、参加者が現在の地域環境にみられるハザードやリスクを描くものである。手描きで地域環境の地図を作成しハザードを描画するプロセスを水循環教育へ適用することで、個人が居住する地域の環境問題を考察するだけでなく、他の参加者と共に防災対策を考えることに効果があることが期待される。

本研究の目的は、降雨流出モデリングゲームとセルフハザードマッピングを組み合わせた一連の活動を水循環教育ワークショップとして提案し、ゲームによる

降雨流出プロセスの理解が、セルフハザードマップで地域の防災・減災を考える際に有効であるかをフィリピンの学校現場で検証・観察することである。ゲームは学生が水循環や洪水のメカニズムを理解することに焦点を当て、視覚的な要素や体験を通じて学習を促進する。一方で、セルフハザードマッピングは学生が自ら地域特有の事例・情報を整理し、可視化する機会提供に焦点を当て、地域の具体的なハザードやリスクの把握を推進する。この組み合わせによって、学生は水循環に関する理論と現実の状況とを結びつけ、地域の洪水リスク対策への洞察を深めながら、より現実的な提案が生まれる可能性が高まることが期待できる。また、文化・社会的インフラ整備状況の異なるフィリピンの学校現場で検証することは、国際展開へ向けて有用な知見となり得る。

2. 研究方法

2.1 水循環教育ワークショップの実践概要および開催手順

本研究で実践した水循環教育ワークショップ（以下、ワークショップはWSと表記する）は、フィリピン・アンティケ州にあるカレッジとハイスクールの2校でそれぞれ2023年10月19日と26日に約2時間の講義時間内で実施した。アンティケ州はフィリピン中部、パナイ島の西部に位置する人口約60万人の州であり、州都はSan Jose de Buenavistaである。アンティケ州は毎年のように台風や洪水による影響を受け、現地住民は停電や避難を多く経験している^{18,19)}。インフラ整備が十分でない現状を鑑みれば、水循環に対する理解を深め、住民意識の底上げにより防災・減災へ繋げる取り組みが必要とされる地域である。カレッジは州都内に位置し、看護学、工学、教育学を専攻している日本の大学1年生相当の学生38名がWSに参加した。またハイスクールはアンティケ州中部のBarbaza市内にあり、日本の中学2年から高校2年生相当の学生68名がWSに参加した。

水循環教育WSは前半60分に降雨流出モデリングゲームを用いた洪水メカニズム学習パート（以下、前半パート）と、後半40分にセルフハザードマップを作成しグループディスカッションを行うパート（以下、後半パート）から構成される。前半パートは先行研究⁹⁾で設計・実践された、降雨流出モデリングゲームのプロトタイプを用いた体験型の水文学教育WSを基にしている。本研究は、この先行研究で実施されたゲームの有効性と学習効果を検証するアンケート調査部分を英語翻訳し、フィリピン・アンティケ州の学校での調査結果と比較した。セルフハザードマップを作成する後半パートは本研究で新たに提案したものであ

る。2.2節および2.3節に、前半および後半パートそれぞれの概要と開催手順を記述する。

2.2 降雨流出モデリングゲームを用いたワーク

水循環教育 WS の前半パートは、先行研究の WS 時間 (15 分) より長いゲームの体験時間を確保できたことや、一度に大人数を対象とし海外適用した初めての事例であることから、全体構成に変更点が存在する。そのため本稿では、降雨流出モデリングゲームの要約と WS 構成の先行研究⁹⁾からの変更点の記述を中心とする。降雨流出モデリングゲームの構成や水文パラメータの詳細は山崎ら (2024)⁹⁾を、より具体的な使用方法については開発者ホームページ²⁰⁾を参照されたい。

(1) 降雨流出モデリングゲームの概要

降雨流出モデリングゲーム¹⁰⁾は、教育用プログラミング言語 Scratch を用いて構築されている。ゲームは、ユーザーが陸域の初期状態を操作して流出の様子を変えてシミュレーションを試行することで、地表と流出の関係を主体的に学習できる体験型のツールとして開発された。

Fig. 1 (a) にゲームの初期操作画面を示す。降雨流出ゲームでは、最初に入力ハイエトグラフと目標ハイドログラフを示し、ユーザーが土地被覆 (森林、草地、都市) と土壌水分量 (乾燥状態 0% から飽和状態 100% まで 20% 刻みの 6 段階) の状態を、それぞれ該当箇所をクリックすることで設定できる。斜面は 4 分割した各区分で 3 種類の土地被覆を設定することができ、土壌は斜面全体で 1 つの数値を設定する。ユーザーが設定した条件下でシミュレーション [**Fig. 1 (b)**] を行い、出力されるハイドログラフと目標ハイドログラフは Nash-Sutcliffe 係数をもとにしたスコアによって **Fig. 1 (c)** のように計算結果が評価される。Nash-

Sutcliffe 係数を基にしているため理論上の最大スコアは 100 であり、正解となる地表面状態を設定すると 90 点以上のスコアが出るようゲームは設計されている⁹⁾。

参加者には目標とシミュレーションのハイドログラフの一致度に基づきスコアが計算され、100 点満点に近づくほど一致度が高いことを説明する。そして低いスコアが出た場合には、洪水流出ピークの高さやタイミングをみて、陸域状態を調整しながらより目標ハイドログラフに近い形になる陸域条件を検討してもらう。つまりこのゲームは、ユーザーが自分で陸域状態を変化させながら、より高いスコアを目指すことで降雨流出プロセス、洪水メカニズムを理解できることをねらいとしている。さらに、目標スコアを達成するため様々な実験条件を考え自身で検証する、パラメータ校正によってモデルの精度向上を図るという、研究者や実務者が行う作業を体験できるように設計されている。

(2) 水循環教育ワークショップ前半パートの構成

水循環教育 WS の前半パートでは、降雨流出プロセスの中でもフィリピンで懸念されている、都市や森林の存在が流出や洪水に及ぼす影響を主な学習テーマとした。約 60 分で構成される前半パートは、およそ 15 分ずつを目安として **Table 1** に示すセクション A, B, および C に分けて実践し、その後理解度アンケートを行う流れで実施した。

セクション A はパワーポイント資料を用いた講義形式で、雨水がどのような経路を通過して流出するかの概念を理解してもらい、都市化と洪水の関係を説明するセクションである。ここでは降雨流出モデリングゲーム内で考慮されている、降雨 (Rain)、降雨損失 (Rainfall loss)、表面流出 (Surface runoff)、浸透 (Infiltration)、地中の流れ (Sub-surface flow)、そして地下流出 (Sub-surface runoff) を代表的な降雨流出

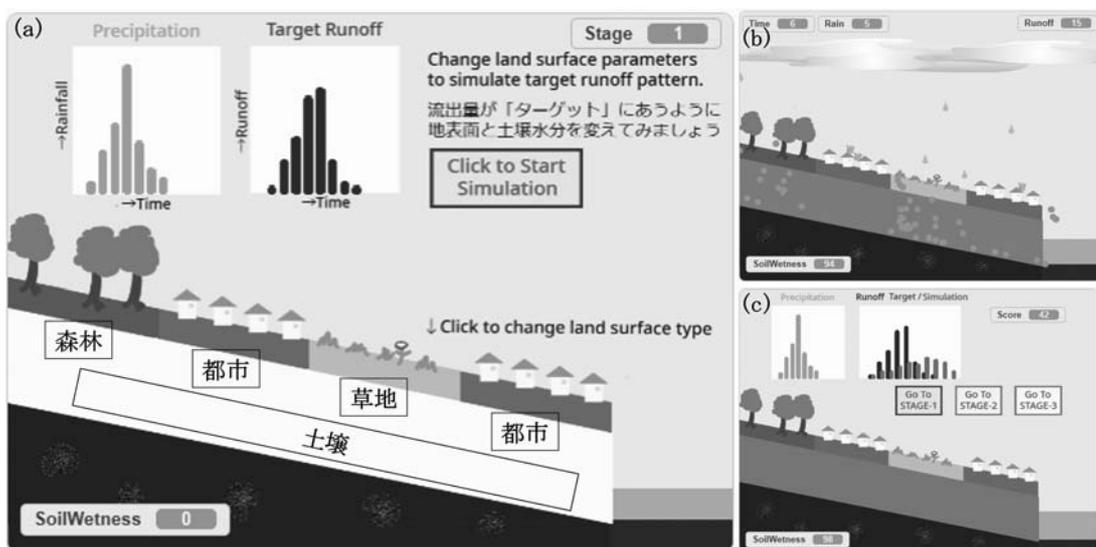


Fig. 1 Displays of (a) initial condition setting, (b) simulation process, and (c) simulation result on the rainfall-runoff modeling game

Table 1 Learning content in each section of the first part of the workshop

セクション	形式	説明・実践内容
A	パワーポイントを用いた講義	降雨流出モデリングゲーム内で考慮されている、降雨、降雨損失、表面流出、浸透、地中の流れ、地下流出を代表的な降雨流出プロセスとして説明。都市化した場合には浸透が起こりにくくなること、雨水が速く流下し河川に集まりやすくなること、森林や草地では雨水が浸透し、水がゆっくり流れ出ること等、陸域状態と流出の関係が変化する例を説明。
B	アニメーションを用いた説明	土地被覆や土壌水分量の違いに起因する浸透能の差や、地中と地表での水の流れの速さの違いといった降雨流出プロセスの詳細を、ゲーム上の水粒子アニメーションで視覚化して説明。
C	ゲームの実践	降雨流出モデリングゲームに取り組み、陸域状態を変化させると洪水流出ピークの量やタイミングが変わることについて、参加者自身で陸域条件を変えながら繰り返し実験。

Table 2 Content of questionnaire conducted in this research

No.	Question	Answers prepared
Q1	Did you know the mechanism of flooding that occurs after rainfall?	
Q2	Did you know that urbanization increases flooding?	
Q3	Did you know that urbanization makes it more difficult for water to infiltrate into the ground?	- I knew this before I had this experience.
Q4	At what stage did you understand the mechanism that flood peaks increase faster in urbanized areas compared to natural conditions?	- I learned it in Section A (Introduction)
Q5	At what stage did you understand that the magnitude and timing of flood peaks can change depending on ground surface?	- I learned it in Section B (Animation) - I learned it in Section C (Game)
Q6	At what stage did you understand that when an area gets urbanized, rainfall over the area is concentrated in a river faster (flooding occurs more often)?	- I haven't fully understood yet
Q7	Which achievement excited you to be engaged in the workshop? (Multiple)	- Pass the required score of 90 - Get higher score - Get better score than your friends - Change the setting and try the game many times - Understand the mechanism of flooding - Other
Q8	Have you ever learned about the water cycle in school?	Yes/No
Q8-1	If yes, where did you learn about the water cycle? (Multiple)	- Elementary school - High school - College/University - Book - Family - Other
Q9	Have you ever learned about flooding and urbanization in school? (If yes, there are 2 follow-up questions.)	Yes/No
Q9-1	If yes, where did you learn about flooding and urbanization? (Multiple)	- Elementary school - High school - College/University - Book - Family - Other
Q9-2	If yes, in what ways? Please select all that apply. (Multiple)	- Classroom lecture - Textbook - Video - Game - TV - Other

プロセスとして説明した。次に都市化した場合には浸透が起こりにくくなること、雨水が速く流下し河川に集まりやすくなること、反対に森林や草地では雨水が浸透し、水がゆっくり流れ出ること等、降雨流出プロセスが変化する例を説明した。

セクション B は土地利用による降雨流出応答の変化や、地表と地下での水の流れの違いを、降雨流出モデリングゲームの水粒子アニメーションを見せながら

説明するセクションである。セクション A で説明した、土地被覆や土壌水分量の違いによる浸透能の差や、地中、地表での水の流れの速さの違いといった降雨流出プロセスの概念を視覚化したアニメーションを用いて説明した。

セクション C では参加者一人一人が地表面状態を操作しながら、降雨流出モデリングゲームに取り組む。ここでは参加者自身が陸域状態を変化させ、水の流れ

やハイドログラフがどう変わるかについて繰り返し実験した。陸域状態を変えると洪水流出ピークの量やタイミングが変わることを体験してもらいながら、90点以上のスコアをとれる陸域条件を検討してもらうことで、降雨流出関係や洪水メカニズムを理解してもらうことを目的とした。

(3) アンケート調査による学習効果の検証

水循環教育 WS の最後に、Google Forms を用いて匿名の Web アンケートを実施し、降雨流出プロセスの概念やメカニズムについての理解度を調査した。Table 2 にアンケート設問内容を示す。アンケートは先行研究⁹⁾に倣い、洪水メカニズムについて WS 内のどこで理解できたか、まだ理解していないか、もしくは以前から知っていたかについてや、水循環に関する学習歴とその学習媒体等に関する設問を用意した。

アンケートは、Q1 と Q2 で流域水循環と都市化影響についての定性的理解、Q3 と Q4 で流出プロセスに関するより具体的な理解、そして Q5 と Q6 で流出プロセスの定量的理解を確認するための質問を含み、それぞれセクション A、セクション B、そしてセクション C で段階的に理解できることを想定し設計した。また、本研究では新たに参加者の志向性²¹⁾に関する設問 Q7 を追加した。ある基準以上のスコアを取ることやメカニズムが理解できること（課題志向）、そして他人よりも高得点をとること（自我志向）等、学生がゲームの実践においてどこで達成感を感じる傾向があるかを調査した。設問 Q8 および Q9 では、これまで水循環や洪水、都市化について学習した経験があるかを尋ね、経験がある場合はどこで学んだか、またその学習媒体を回答してもらった。フィリピンで行った WS は参加者全員が 15-19 歳の年齢層になる。そのため本研究のアンケート調査結果は、日本の大学オープンキャンパスでワークショップを実施した先行研究の結果⁹⁾から 15-19 歳の年齢層を抜き出したものと比較した。

アンケートの最後には、WS 後半パートでのグループディスカッションのまとめや水循環教育そのものに対する感想・意見を求める自由記述欄を設けた。自由記述回答は「水循環教育の有効性について」、「ワークショップの感想やアクティビティに対する提案」、そして「考えられる洪水対策について」の 3 つのカテゴリに分類することで、本研究で行った WS が水循環教育のためにどの程度効果的であったか、参加者視点でのコンテンツ改善点、そして WS が地域防災を考えるきっかけとして有効であったかを考察するために参照した。

2.3 セルフハザードマップの作成ワーク

本研究で実施した水循環教育 WS の後半パート

Anything that is harmful to people/environment?

What can we do about those hazards?

#Please just imagine to protect your family.

##It's ok if it's NOT scientifically correct. Funny ideas are welcomed.

Examples from my students in Japan:

1. No garbage separation

→ Make a video to show how to.

2. Road is not flat, my grandma will get injured.

→ Make a robot to repair the road.

→ Ask my grandma to go to the gym.

We will use this for research purposes.
So, please do NOT put personal info.

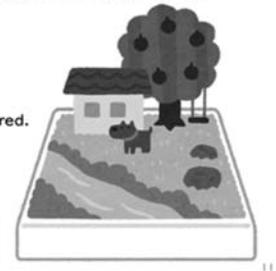


Fig. 2 Material used in the workshop to introduce the self-hazard mapping work

(約 40 分) では、地域の防災対策を議論できるリスクコミュニケーションツールとしてセルフハザードマップを作成するセルフハザードマッピングを導入した。セルフハザードマップは参加者が居住する家を中心として、周辺環境全般に対するハザードやリスクを書いてもらい、「その対策案」までグループディスカッションを通じて参加者同士で考え、地域の環境問題を自分事として捉えてもらうことを目的とした。Fig. 2 に、実際の WS で使用したセルフハザードマッピングの導入スライドを示す。

はじめに参加者には A4 の白紙を 1 枚ずつ配布し、紙の中心に自身の家の絵を描いてもらう。そこで「Think of the “hazard” around your house. Are there any dangerous things and how can you solve them? (家の周りのハザードを考えてみましょう。危険なことはありますか？そして、それをどのように回避できますか?)」と参加者に問いかけ、約 10 分間参加者個人にマップを作成してもらった。その後、参加者を 4-5 名に分けて行ったグループディスカッションでは各自が作成したマップを持ち寄り、それぞれの家の周りがあるハザードを共有した。その中でも、特に各地域に共通する問題や特徴的なハザードについて、それを回避・軽減するための対策をグループで考えてもらった。約 15 分間のグループディスカッションの後には各グループの代表者に、議論の結果を発表してもらった。

自由描写式のセルフハザードマッピングの分析は、読み取った内容を要素ごとに出現した割合を集計する手法を採用した²²⁻²⁴⁾。本研究ではマップ内に描かれたハザードを読み取り、Table 3 で示す 4 つのカテゴリ内の要素ごとに集計することで結果を定量的に把握し、アンケートで得られた自由記述や、グループディスカッションおよび参与観察の結果を基に考察を行った。

要素がマップに単語として記載されている場合はそのまま集計し、特に記載がない場合は絵から判断した。

Table 3 Elements included in each category of hazard for the analysis of self-hazard maps

Element	Category of hazard
River/Creek	水環境に関するハザード
Drainage/Irrigation canal	
Pond	
Ocean/Sea	
Mountain	自然・農業に関するハザード
Forest/Trees	
Paddy field/Farm	
Animal/Livestock	
Electric wires	人工物・人間活動に関するハザード
Garbage/Trash	
Bridge	
Road	
Car/Tricycle/Jeepney	
Rainfall/Cloud	
Sun	

例えば水環境に関するハザードでは、水路が蛇行して描写されている場合には River/Creek, 直線的に描かれている場合は Drainage/Irrigation canal として集計した。また詳細が記載されている場合、例えば自然・農業に関するハザードにおけるココナツの木やタリサイの木のように詳細が区別して描写されている場合があったが、本研究では Forest/Trees として集計した。集計者による読み取りの偏りを極力減らすため、本研究では土木工学を専門とする日本人の1名（第一著者）と現地のフィリピン人土木技術者である第五著者が全マップに対する要素の集計を行い、2名の集計結果を平均した。

3. 結果と考察

3.1 降雨流出モデリングゲームを用いたワークの効果検証

Fig. 3 に、フィリピンで得られた降雨流出プロセスの理解に関する Q1-6 のアンケート結果 (N=25, Philippines と表記) と日本での先行研究⁹⁾の 15-19 歳の年齢層を抜き出した結果 (N=38, Japan と表記) との比較を示す。

フィリピンの結果では、流域水循環と都市化影響の定性的理解について、雨が降ってから洪水が発生するというメカニズムについて (Q1) は 68% の学生が WS 体験前から知っているか、講義形式のセクション A 時点で理解していた。一方で Q2 は、体験前から知っていた割合は 29% であり、都市化と洪水の関係については前半パートのセクションが進むにつれて理解が進んでいる。都市化が進むと地面への浸透が減少すること (Q3) については体験前から知っている割合が 42% と日本よりも高い。フィリピンの結果では、都市化と洪水の関係を問う Q2 は体験前の理解が少なかったことから、地面がコンクリートで覆われることが浸透を減らし浸水を起こしている Q3 のプロセス理解は、日常生活で大雨時に浸水被害を受けている参加者個人の経験からの理解を含んでいる可能性がある。

自然状態に比べて洪水ピークが速くなるというプロセスの理解を問う Q4, そして洪水発生 of 定量的理解を問う Q5 および Q6 は日本と類似した結果の傾向がみられた。フィリピンでの Q4 から Q6 の、セクショ

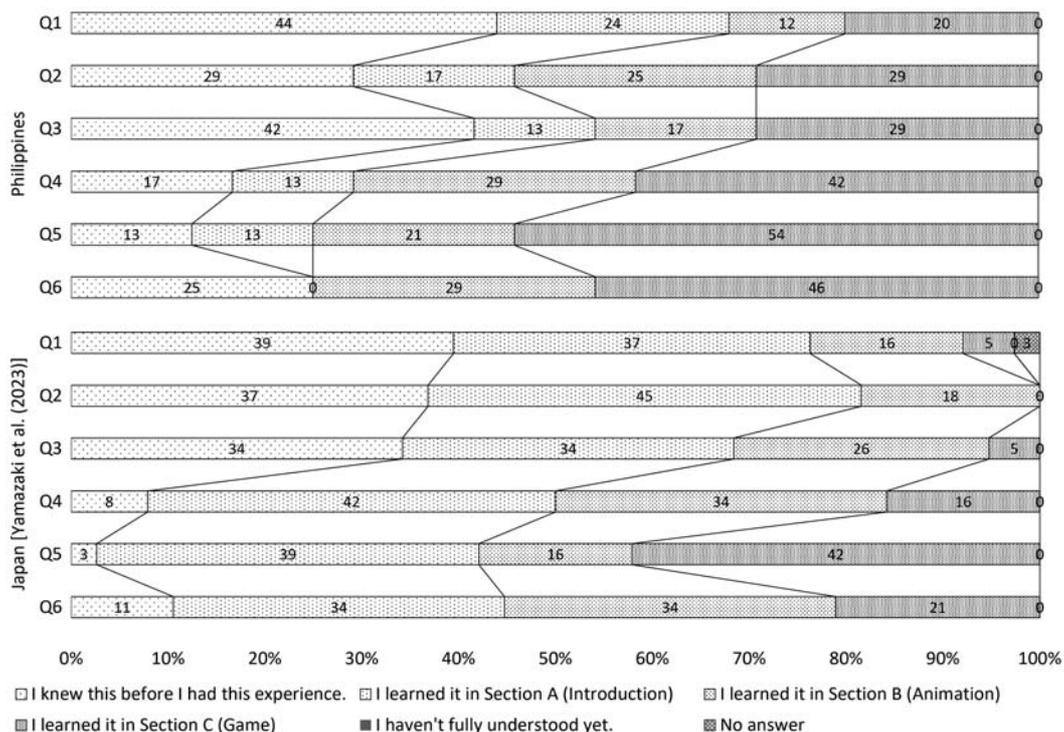


Fig. 3 Results of the questionnaire for Q1-6 after the workshop in the Philippines and comparison with the previous study⁹⁾ conducted workshop in Japan

ンBとCの合計はそれぞれ61%, 75%, そして75%と、視覚化教材を使用するセクションBやゲームを実践するセクションCが、降雨流出プロセスとその定量的理解のために有効であることが示された。Q1からQ6にかけて、つまり定性的理解からプロセスの理解、そして定量的理解と、複雑な課題になるほどゲームの活用が有効であったことが日本の結果同様に確認できた。

また日本の結果と比較した場合、日本では定量的理解を除いて講義形式のセクションAまでで理解したという回答が多い。一方で、フィリピンではゲームによる視覚化や実験の効果が全体に高かったことがわかる。日本の結果は、大学のオープンキャンパス来訪者、特にスーパーサイエンスハイスクール指定校の生徒など、比較的 science への関心が高い層が回答者中に多かったため、理解が早い段階で進んだ可能性もある。

フィリピンの参加者の専攻は文理混合であり、結果の違いに専門用語の理解状況の影響があることも考えられる。またフィリピンでは互いに第二言語を用いた講義であることから、語学レベルの違いが影響しない、視覚情報を含めたセクションB以降の効果が高くなったことが示唆される。また、セクションB以降の効果が高かったことは、日本のより若年層の結果でも見られていた。本研究では、少なくともセクションC終了時点で降雨流出プロセスの理解度がほぼ100%となっていることから、ゲームによる体験型の水循環教育はフィリピンの学校現場でも有効であることが明らかとなった。

ゲーム実践のどこで達成感を感じたかを基に、学生の志向性について検証するための設問(Q7, 複数回答)の結果を Fig.4 に示す。ここでは基準となる90点以上のスコアを目指す(20%)と、たとえ基準に満たなくてもより高いスコアを取ること(23%)等、課題志向的な動機を持った回答が43%を占めた。また条件を変更し何度もゲームを繰り返すことも、より高得点をとろうとしたり、多様な現象を理解しようとする課題志向性にとらえることができ、16%の

回答があった。一方で友人より高いスコアを取ることへの回答は5%と他の回答に比べて少なく、今回自己志向的な動機を持った参加者は少なかった。洪水メカニズムを理解したという、能力面での課題志向性に対して達成感を感じたという回答が34%あった。

以上の結果から、降雨流出モデリングゲームの成績をハイドログラフの比較という視覚情報だけではなく、スコアとして数値的に表示することが参加者の取り組みを動機づける一因であることが分かる。降雨流出モデリングゲームの水循環教育WSへの活用は、「基準を超えたスコア/より高いスコアをとることができた」という成績面での課題志向性と「わからなかったことが理解できた」という能力面での課題志向性を促した。一方で自己志向的な回答(友人より高得点を取る)が少なかったのは、水循環教育WSで利用するゲーム自体が個人のタブレットもしくはスマートフォンで一人一人体験できることから、周囲と点数を競う機会がなかったことも影響したと考えられる。またスコアが主な動機付けとなっている側面は、偶然高得点が取れた場合に、繰り返し実験による降雨流出プロセスの学習効果が期待できないという可能性も示している。現在はゲームの設計上、降雨生成・損失、土壌による水分吸収は乱数を用いた確率過程として表現されているため、スコアに多少のブレが生じ、偶然高得点が取れる場合がある⁹⁾。今後はこのようなランダム要素を排除し100点を目指せるよう設計する必要がある。また設定できる土地被覆の種類を増やし、様々なハイドログラフのパターンを作ることで、対象群によってゲームの難易度を調整できるような工夫も有効であり、高得点を取るためのシミュレーション反復過程でプロセスについての理解が進むことが期待できる。今回の結果では課題志向性を促す降雨流出モデリングゲームの特徴が動機付けへ影響する関係が示唆されていることから、水循環教育WSにおけるゲーム利用は参加者のモチベーション維持にも有効であったことが示された。

フィリピンでは「これまで学校で水循環について学

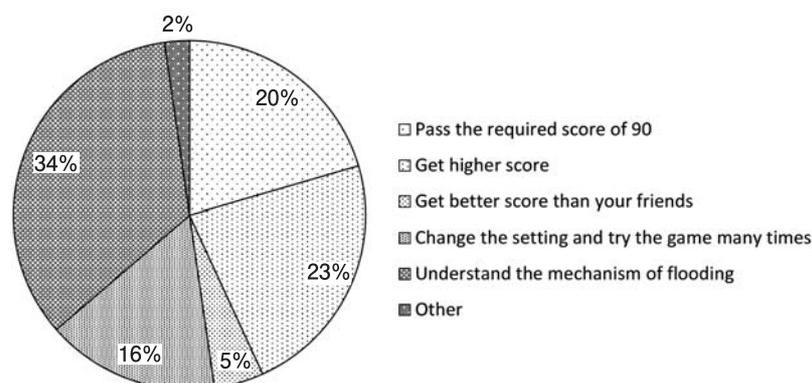


Fig. 4 Responses to Q7 obtained after the workshop in the Philippines (N=44, multiple choice)

んだことはあるか」(Q8) および、「これまで学校で洪水と都市化について学んだことはあるか」(Q9) という設問の両方に対して100% (N=25) が Yes と回答した。日本⁹⁾ではそれぞれ97.4%と63.2% (N=38) がはいと答えていた。フィリピンでは遅くともカレッジ1年生までの段階で水循環、洪水や都市化について学ぶ機会があることがわかる。どこで学んだか、またその学習媒体を集計した結果 (Fig. 5) では、フィリピンではハイスクールまでに水循環を学んだことがあるという回答者が多く、日本同様に授業やテキストによる学習機会が中心である。

一方で、Fig. 3 の Q1 と Q2 の降雨と洪水の関係、都市化と洪水の関係に関する設問では、WS 体験前までにメカニズムを知っていたという回答が半数以下だった。現在のフィリピンの関連教科 Science のカリキュラムでは、循環する水の大切さ (Grade 4)、水の動き (Grade 8)、そして洪水を含めた災害リスク管理 (Grade 7) が取り扱われる²⁵⁾。これらは異なる学年で学習されるため、各単元の関係性が薄れ、また講義やテキストによる概念的な教育が中心であることが、メカニズムの理解まで到達しないことの要因となっている可能性がある。教室での講義やテキストが多数を占

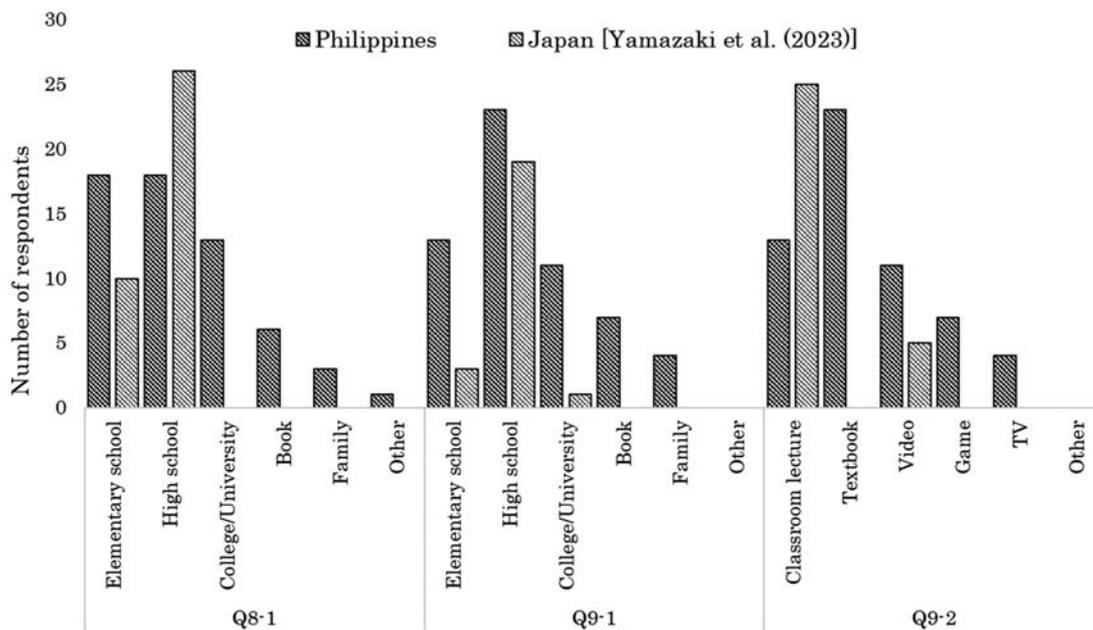


Fig. 5 Comparison of responses to Q8-1, Q9-1, and Q9-2 obtained after the workshops in the Philippines and Japan

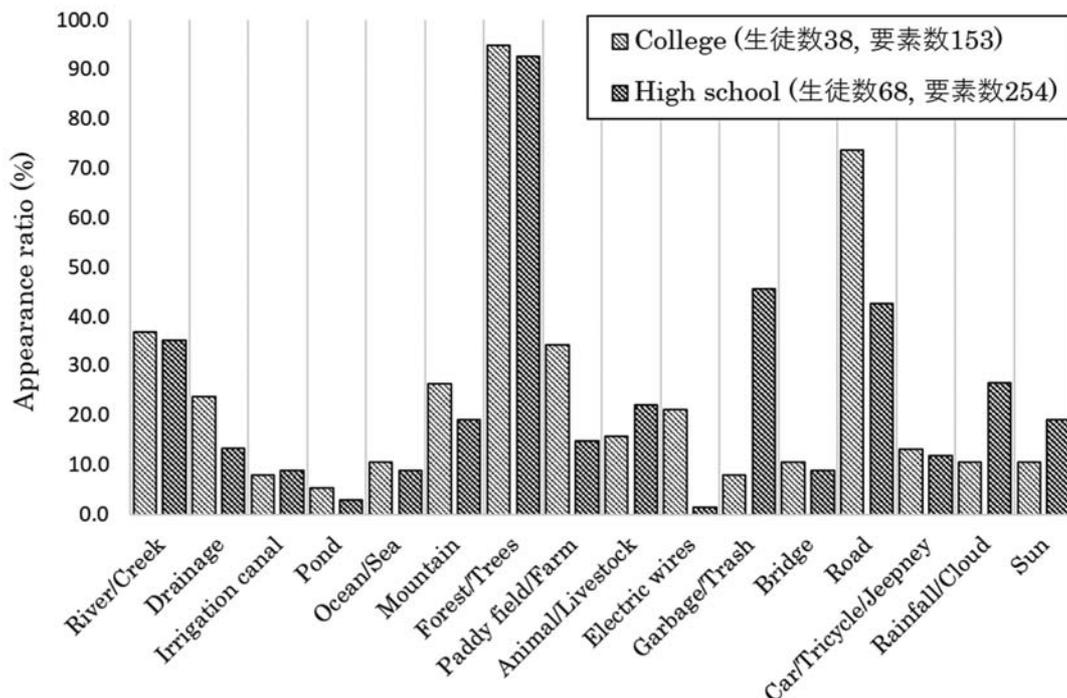


Fig. 6 Appearance ratio of elements of hazards drawn in hazard maps

めているという結果はフィリピンと日本で類似しており、フィリピンでもゲームの活用による体験型の水循環教育の推進がメカニズムの理解に必要であるといえる。

3.2 セルフハザードマッピングの結果

ゲーム体験によって洪水のメカニズムを学習した後、セルフハザードマッピングを行うことで、学生は水循環に関する理論と地域の現況を結びつけ、自身の居住

する地域特有のハザードを整理、可視化できる。本研究の結果の考察の上では、セルフハザードマップを通じたグループディスカッションを通じて、地域の環境リスクを共有し、より具体的な提案が生まれているかが重要となる。

Fig. 6に、カレッジ38名とハイスクール68名の学生が作成したセルフハザードマップから読み取った要素の平均の出現割合を示す。また Fig. 7にそれぞれの学校で得られたハザードマップの例を示す。著者2

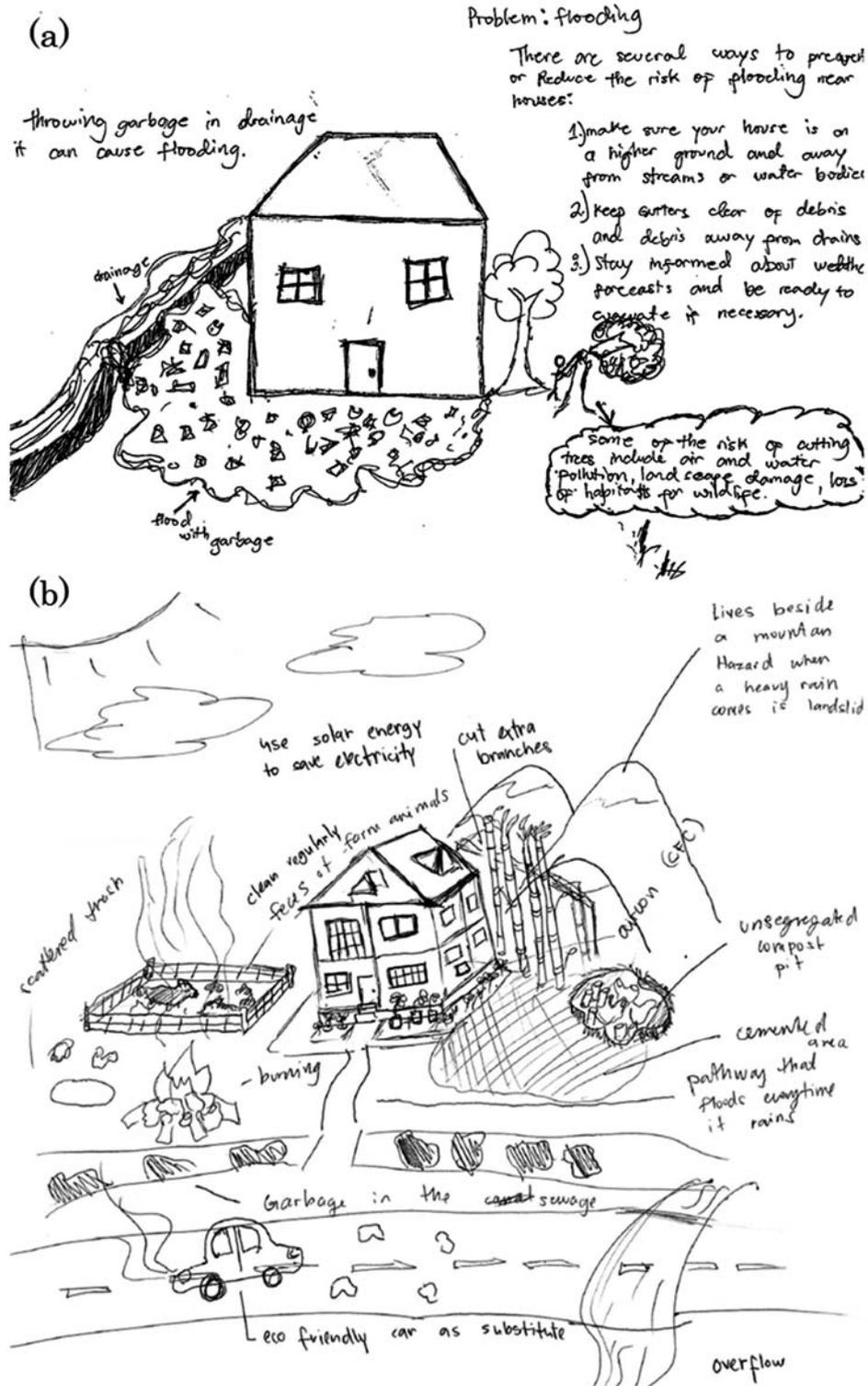


Fig. 7 Examples of hazard maps drawn by participants from (a) college and (b) high school

名で集計された、ハザードマップに描写された要素の平均合計数は、カレッジ 153 個（学生一人当たり 4.0 個）、ハイスクール 254 個（学生一人当たり 3.7 個）であった。

水環境に関するハザードでは、River/Creek もしくは Drainage の描写が多く、自宅の周りで洪水を引き起こす要因として記述しているケースが多かった。自然・農業に関するハザードでは、2 校とも 90% 以上の学生が自身のハザードマップに Forest/Trees を描写した。グループディスカッションでは、森林の増加が洪水を減らすという前半パートで学んだメカニズムを基に、植林がハザードへの有効な対策であるという議論していた一方、実際の暮らしの中では、古い森林の落葉落枝が地域の排水路を詰まらせ、洪水を引き起こしているという意見が多く観察された。そのため、落葉落枝が見られ、保水能力も落ちた古い森林では間伐や伐採を行い、植栽や保育等の森林整備による新しい木々、若い森林は守るべきという提案がなされた。

人工物・人間活動に関するハザードでは、ハイスクールでは Garbage/Trash を描写した学生が 45.6% いた一方で、カレッジでは 7.9% にとどまっている。これは、カレッジは都市部に位置しており、ごみ収集・廃棄システムが整備されている一方で、アンティ

ケ州の中部にあるハイスクールでは、ごみの収集・廃棄システムは整備されておらず、家庭で出るごみは道端で燃やすことが習慣であることが反映されていると考えられる。実際にハイスクールの学生が作成した Fig. 7 (b) 中には、ごみを燃やしている描写がある。ごみを燃やすこと自体や、ごみが排水路を詰まらせて洪水を引き起こす描写が多く見られ、環境中のハザードをとらえられていること、そしてごみを管理することで地域の洪水や環境汚染が減らせることが議論されていた。

また、Road は都市部に位置するカレッジで 73.7%、地方に位置するハイスクールで 42.6% の学生が描写していた。トライシクルやジープニーによる大気汚染や交通事故、そして大雨時の道路の氾濫などは、マニラのような首都圏だけではなく、アンティケ州、特に州都圏では深刻な環境問題として捉えられていた。

3.3 アンケートの自由回答に基づく水循環教育ワークショップ効果の考察

自由記述欄で得られた回答を一部抜粋した結果を Table 4 に示す。なお、回答は英語スペルの誤りのみ修正した。自由記述欄の全回答 (28 個) の原文はデータリポジトリ²⁶⁾に取りまとめている。

Table 4 Summary of comments for water cycle education workshop

Category	Comments
水循環教育の有効性について	1 After the report and some discussion I further understanding the importance of good environment specifically on water and that how we can identify the harmful things around us it provides us or practice our critical thinking skill on how we can manage those harmful things that surrounds us everyday.
	2 (Omitted) It is a good activity for students to learn more about what to do or possible ways of improvement in water cycle education. It is also a way for other professors or researchers to gain knowledge, information, or thoughts, and ideas of people who live near areas that are hazardous to the water cycle. In this, researchers can gain more ideas to what to do to improve the water cycle education.
ワークショップの感想やアクティビティに対する提案	3 A model that represents how water flows around an area or community so that visual learners will have an easier understanding of the lesson.
	4 Like what we did, I think it's easy to understand more if there is animation and games including in the discussion.
	5 One possible improvement in water cycle education is the integration of interactive, technology-based learning tools to engage students and enhance their understanding of this critical natural process.
	6 It was fun all in all but I hope that there will be more fun and interactive activities that us students can participate and engage with so we can further expand our knowledge about water cycle education.
	7 I would suggest to increase emphasis on practical application to provide more opportunities for students to apply their knowledge of the water cycle in real-life scenarios. This could involve simple practical exercises like designing water management plans or analyzing the impact of human activities on the water cycle.
考えられる洪水対策について	8 I hope it won't limit us learning inside the classroom. It will be better to experience and go to the field to see it for ourselves.
	9 Reforestation is the answer for the flood because it sips water to prevent those hazards.
	10 If possible we must conduct a tree planting activities so that we can help our mother nature recover.
	11 Parent and community involvement: Encourage parents and the wider community to actively participate in water cycle education initiatives. This can be done through workshops, awareness campaigns, or community events that promote water conservation and education.
	12 Us Students, and as a Filipino Citizen for me it was more better if we unite into each other to help our country our community to prevent the places from flooding to preventing throwing trash in the canal, river and sea so the water can flow freely and let's plant more trees so it will absorbed the water if there is a flood.

「水循環教育の有効性について」では、水循環教育WSの機会は参加者がそれぞれの地域のハザードを理解し、主体的に管理方法を考えるためのきっかけとなったことが示唆される(Comment 1)。また、WSは参加者が水循環について学ぶだけでなく、WSの実施側(研究者等)が地域固有の問題や住民の考えについて知ることのできる機会ともなりうる事がわかる(Comment 2)。

「ワークショップの感想やアクティビティに対する提案」では、降雨流出モデリングゲームによる水粒子のアニメーションや陸域状態を変化させた繰り返し実験が水の動きの理解促進のために有効であったことが期待できる(Comment 3および4)。一方で、より参加者同士で双方向な議論ができるワークや実践活動を導入する必要も述べられている(Comment 5および6)。その点で、Comment 7および8で提案されているような水管理計画の設計やフィールド調査のような実践を取り入れることは今後のWS設計のために検討できる事項であると考えられる。

「考えられる洪水対策について」では、森林回復や植林が対策として述べられている(Comment 9, 10および12)。これは降雨流出モデリングゲームを用いる前半パートで、森林から都市へ土地被覆を変更することで、出力されるハイドログラフの結果が変わることを参加者自身で確認したことが影響していた。またコミュニティとして教育を推進し、水環境への配慮行動を進めることが有効であるという回答もみられた(Comment 11および12)。

以上より、本研究で行った降雨流出モデリングゲームの実践、セルフハザードマッピング、そして各ツールを媒介としたグループディスカッションを通じた水循環教育WSが、地域の防災・減災を自分事として考えるために有効であったことが示唆された。例えば、前半パートで試行した都市と森林の割合の違いによる流出量の変化を確認した後に、グループディスカッションで古い森林と若い森林を分けて管理するという提案が出たように、前半パートでの降雨流出メカニズムへの理解が、後半パートでの多様かつ現実的な対策の議論へつながった。一方で、本研究は自由記述回答や参与観察を基にした定性的な有効性の分析にとどまっている。今後は水循環教育WSの設計内容や前半・後半パートの関連付けをより詳細に分析するために、実践群と対照群に分けたWSの実践や、WS内で複数回の追跡的なアンケート調査を行うことによって知識の理解から活用までの過程を分析する必要がある。またWSの開始時にセルフハザードマッピングを行ってもらい、前半パートを終えた後に書き足してもらいような観察方法も有効である。

4. おわりに

本研究では、降雨流出モデリングゲームとセルフハザードマッピングを組み合わせた水循環教育ワークショップをフィリピンの学校現場で実践し、地域の防災・減災を考える上でのワークショップの有効性を検証した。アンケート調査の結果より、ゲームの実践後に降雨流出プロセスの理解が促進されており、ゲームによる体験型学習は洪水メカニズムの理解へも有効であったといえる。またゲームの実践で都市と森林の割合の違いによる流出量の変化を学生自身が確認した後に、グループディスカッションで古い森林と若い森林を分けて管理するという提案が出たように、前半パートでの洪水メカニズムへの理解が後半パートでの現実的な対策の議論へつながり、地域の環境問題と対策を自分事として考えるきっかけとなったことが示唆された。セルフハザードマップで反映されているように、フィリピンでは日常的に浸水被害が起こっていることで、降雨流出プロセスの理解に経験的要素が反映されていた可能性がある。一方で、言語の影響を考慮しても、日本同様、フィリピンでもアニメーションによる視覚化やゲームの利用は若年層に対して効果がみられ、体験型の水循環教育はフィリピンの学校現場でも有効であるといえる。以上より本研究で開発した体験型の水循環教育ワークショップは、水循環に関する理論と地域の環境を繋ぎ、洪水リスク対策への洞察を深めるために有効である。

本研究では都市や森林と流出の関係を主なテーマとし、降雨流出プロセスが単純化されたゲームのプロトタイプを使用した。水循環の教育上教授すべき水文プロセスを洗い出し、ゲームに実装する必要がある。例えばワークショップのセクションAでは内水氾濫、外水氾濫を説明したが、ゲーム上ではハイドログラフの変化を見るため、外水氾濫が中心の描写となっている。また、現在は3種の土地被覆と6段階の土壌水分の組み合わせになっている。そのため、今後陸面の種類を増やす等して内水氾濫を学習や洪水管理方法の検討も行えるようなゲーム設計をしていくことが望ましい。さらに今後は特に水循環教育ワークショップの前半・後半パートの関連付けによる学習効果をより明確にするため、ワークショップ内で複数回アンケート調査を行うことや、ワークショップの過程でセルフハザードマッピングに書き足していくなど、追跡的な研究方法によって知識の理解から活用までの過程を分析する必要がある。

日本では川に近づいてはいけないという教育がなされる一方で、水循環について学び、体験型の学習を行うことが求められるというジレンマが生じている。そこで本研究で提案した体験型ワークショップの有効性

を実践により検証し、水循環教育の発展に役立てていくことが期待される。フィリピンの実践では、日本同様の効果だけではなく、教育や生活環境の違いが背景と考えられる相違点や課題が確認できた。本研究の体験型水循環教育ワークショップの国際的な展開可能性も十分にみられるため、水循環教育の国内外での実践と普及の端緒として貢献できれば幸いである。

謝 辞

本研究は東京大学生産技術研究所助教研究支援費より助成を受け実施した。ここに感謝の意を表す。また本研究は2023年10月23日アンティケ州議会にて承認された「Research Cooperation in Investigating the Water Resources Management History of the Province of Antique and Conducting the Flood Mitigation Survey and Education」の一環として行われている。研究実施にあたりご支援してくださっているProvincial CouncilとThe Sangguniang Panlalawigan オフィスの皆様、そしてワークショップにご協力いただいた学校の皆様に心から感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 文部科学省国立教育政策研究所：「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料（2020）
- 2) 文部科学省：小学校学習指導要領（平成29年）（2017）
- 3) 内閣官房水循環政策本部事務局：「水循環」教材の手引き（2021）
- 4) 吉富友恭：水循環に関する教材開発と共創支援～動画コンテンツ「水のおはなし」を例に～，河川，Vol. 904, pp. 32-35（2021）
- 5) 内閣官房水循環政策本部事務局：水循環教材の活用事例集，小学校・川の資料館（2023）
- 6) A. Y. Hoekstra: Computer-supported Games and Role Plays in Teaching Water Management, Hydrology and Earth Systems Sciences, Vol. 16, pp. 2985-2994（2012）
- 7) M. Shimabukuro, T. Toki, H. Shimabukuro, Y. Kubo, S. Takahashi, and R. Shinjo: Development and Application of an Environmental Education Tool (Board Game) for Teaching Integrated Resource Management of the Water Cycle on Coral Reef Islands, Sustainability, Vol. 14, No. 24, 16562（2022）
- 8) R. D. Paolo and V. Pizziol: Gamification and Sustainable Water Use: The Case of the BLUTUBE Educational Program. Simulation & Gaming, Vol. 55, No. 3, pp. 391-417（2023）
- 9) 山崎 大, 岡田実奈美, 矢澤大志：教育用プログラム言語Scratchを用いた降雨流出モデリングゲームの開発とその水文学教育への利用可能性，水文・水資源学会誌，第37巻，第2号，pp. 155-166（2024）
- 10) D. Yamazaki: global-hydrodynamics/ScratchRunoffModel: Ver1_IIS-OpenCampus2023 (Version v1). Zenodo (2023)
- 11) Department of Education: Climate Change Education in the Philippines (2021)
<https://www.deped.gov.ph/climate-change-education/cce-in-the-philippines/> (Last access January 10, 2024)
- 12) S. J. Cronin, D. R. Gaylord, D. Charley, B. V. Alloway, S. Wallez, and J. W. Esau: Participatory Methods of Incorporating Scientific with Traditional Knowledge for Volcanic Hazard Management on Ambae Island, Vanuatu, Bulletin of Volcanology, Vol. 66, No. 7, pp. 652-668（2004）
- 13) B. Ahmed, P. Sammonds, N. M. Saville, V. L. Masson, K. Suri, G. M. Bhat, N. Hakhoo, T. Jolden, G. Hussain, K. Wangmo, and B. Thusu: Indigenous Mountain People's Risk Perception to Environmental Hazards in Border Conflict Areas, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 35, Article ID: 101063（2019）
- 14) 茂原朋子, 渡辺貴介, 十代田 朗：青年の「原風景」の特性と構造に関する研究，都市計画論文集，Vol. 26, pp. 457-462（1991）
- 15) 野中俊一：大学生の原風景にみる生活環境の中の自然，環境教育，Vol. 3, No. 1, pp. 2-18（1993）
- 16) 上塘 禎, 井倉洋二：個人の持つ原風景の形成プロセスと環境教育活動が及ぼす影響，鹿児島大学農学部演習林研究報告，Vol. 37, pp. 21-28（2010）
- 17) 橋本 操, 林 日佳理, 佐賀達矢, 野中健一, D. Kruger：高校の教科横断的授業における原風景地図の活用——環境および文化的多様性の相互理解のために——，環境教育，Vol. 32, No. 1, pp. 23-32（2023）
- 18) Philippine News Agency: 374 families in Antique evacuate due to flooding, <https://www.pna.gov.ph/articles/1202660> (Last access January 22, 2024)
- 19) ASEAN Disaster Information Network: Philippines, Flooding and Landslides in Western Visayas (Region VI) (2023)
- 20) Global Hydrodynamics Lab: Rainfall-runoff modelling game on Scratch, <https://global-hydrodynamics.github.io/game/> (Last access January 19, 2024)
- 21) 藤田 勉：体育授業における目標志向性，動機づけ，楽しさの関係，鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要，Vol. 19, pp. 51-60（2009）
- 22) 田代優秋：自然体験学習による小学生への生物多様性の認知効果：絵画による事前事後比較から，滋賀大学環境総合研究センター研究年報，Vol. 9, No. 1, pp. 7-17（2012）
- 23) 鶴田 舞, 中村晋一郎, 萱場祐一：子どもが描いた川の将来像は川づくり計画に有効か？，応用生態工学，Vol. 20, No. 1, pp. 107-115（2017）
- 24) 吉橋久美子, 山本大輔：子どもが描いた「川と生き物の絵」は川学習の前後でどのように変化したか，矢作川研究，No. 24, pp. 55-67（2020）
- 25) Department of Education, Philippines: K to 12 Science Curriculum Guide August 2016（2016）
- 26) T. Yazawa: All Free Answers to Questionnaire for Scratch workshop conducted in Oct., 2023 (Philippines). Zenodo (2024)

Development of Experience-based Water Cycle Education Workshop by Integration of Rainfall-runoff Modeling Game and Self-hazard Mapping

Taishi Yazawa^{1)†}, Dai Yamazaki¹⁾, Minami Okada¹⁾, Princess Eden Macabata-Rubite²⁾
and Kenn Joshua Geroy Rubite²⁾

¹⁾ Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

²⁾ Municipality of Barbaza, The Province of Antique, Republic of the Philippines

† Correspondence should be addressed to Taishi Yazawa:

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

E-mail : yazawa@iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract

This research investigated the effectiveness of the water-cycle education workshop using the rainfall-runoff modeling game and self-hazard mapping. The workshop was held at schools in Antique, Philippines to check if understanding the rainfall-runoff process could enhance more detailed discussion about the local disaster mitigation/prevention. The questionnaire survey results showed that the visualization and repeated experiments by the game contributed to understanding the flooding mechanism in both qualitative and quantitative ways. Students confirmed the difference in flood peak depending on the land cover difference by the game. Thus, they were able to discuss more realistic flood management strategies, such as local old forest management, by self-hazard mapping. The water-cycle education workshop could be used to deepen the insights regarding local flood management by integrating the theory of the water cycle and situations of the local environment.

Key words : flooding, disaster prevention education, self-hazard map, risk communication, Scratch