

建設 ICT 教育のための高等専門学校における教材の開発

Development of teaching materials at technical colleges for construction ICT education

函館工業高等専門学校 〇正 員 山崎俊夫 (Toshio Yamazaki)

1. 本研究の背景と目的

近年、教育の現場ではアクティブ・ラーニング(AL)の重要性が高まっている。また、教科書を使ってレクチャーを行い理解させる方法が、効率が悪い教育方法であるという指摘がある。板書の書き写しに終始するような授業はその典型であろう。一方、eラーニングの一形態である CBT(Computer Based Teaching)が注目されている。しかし、クライアントサーバ型の教育システムは、PC ルームのような比較的規模の大きな設備と設置場所を必要とする。一方、タブレット端末を教育現場で活用する動きがある。さらにウェアラブルデバイスの教育での活用可能性も模索されようとしている。直観的な操作方法で体験型の学習を可能とする ICT 機器は、教育ツールとして有用であると考えられる。

筆者は函館高専（以下、本校）の教員であり、デザイン・景観系の授業を担当している。近年、図学等の授業において学生の空間認識能力の低下を感じる。例えば、三面図による立体把握に欠陥がみられる学生がいる。これは心的回転（メンタル・ローテーション）に関する能力の問題である。しかし、これは隠れた面が想起できないという問題にとどまらない。平面図に描かれるべき傾いた正面部分が欠落している回答の方が多いという結果が得られた。また、正投影と透視投影による表現方法の違いを正しく理解できていない事例や、地図の読解ができないゆえに都市レベルでの空間把握が困難な事例もあった。こうしたことの原因として、デジタルゲームのやり過ぎが影響しているのではないかと懸念した。他方、幼い頃からテレビゲームに親しみ、スマートフォンを自由自在に操る世代である。ICT 機器は直感的な操作方法で体験型の学習を可能とする。ICT デバイスを教育現場で活用することにより、学生の能動的な学びが促されるのではないかと考えた。

学生の空間認識能力の低下を解決するためには、立体的な視覚認識を通じた 3 次元による教材ならびに教育ツールが必要である。本研究は、ウェアラブルデバイス等の ICT ツールを活用して、建設 ICT に長けた技術者を育成するための教材を、インストラクショナルデザインの理論を踏まえて開発しようとするものである。

2. 研究の内容

本研究を以下の手順で進めた。

- 1) タブレット端末とウェアラブルデバイスの教育ツールとしての活用事例の把握と活用可能性の検討
- 2) 建設 ICT に長けた技術者育成のための教材の検討

- ① 図法や設計製図に関する基礎的な技術の習得
- ② 空間認識能力の向上のための教材の開発
- 3) タブレット端末とウェアラブルデバイスの活用
 - ① タブレット端末で動作するソフトウェア（教材）の開発
 - ② 仮想現実空間（VR 空間）で立体的な視覚認識を向上させる教材の開発
- 4) 教育現場（授業）における教材の使用と評価ならびに改善
 - ① 教材の使用科目・指導方略の検討
 - ② 教材に対する形成的評価方法の検討
 - ③ 教材の使用と評価ならびに教材の改善

3. 本研究で制作した教材の概要

3-1. ICT デバイスの選定理由

タッチパネルで操作するタブレット端末は学習意欲を高めるとともに、可搬性が高く操作系としても非常に有用である。また、身体に直接装着して使用するヘッドマウントディスプレイ（HMD）を教育に活用しようとする動きもある。これは現実と仮想を重ね合わせることで、実物と教科書の乖離を埋めることを狙いとしている。また、HMD を使用したバーチャルリアリティ（VR）空間が空間認識に有用であると指摘する論文等がある。HMD を用いれば VR 空間において 3 次元モデルを仮想現実として体感することが可能となる。

3-2. タブレット端末用教材

まず開発に取り組んだのは、タブレット端末を教育ツールとして用いた教材である。この教材では、2 次元の設計図と 3 次元の立体を比較して観察することにより、3 次元の立体形状を認識する能力を高めることを狙いとした。タブレット端末は操作が容易であり、誰にでも使いやすいツールである。この教材では、画面をタップもしくはフリックすることにより操作できるようにした。この教材の題材には、函館市の郊外にあり開通（供用）済みの高速道路（地域高規格幹線道路）を選定した。この高速道路に架かる 1 つの橋梁と 2 つの跨道橋を対象とした。これら橋梁の設計図は北海道開発局より提供を受けた。3 つの 3 次元モデルは、橋梁一般図・構造図に基づいて SketchUp によりモデリングした赤川亀田跨道橋、石川 7 号線跨道橋、中野川橋である。

教材の開発には、メジャーなゲームエンジンである「Unity」を用いた。現バージョンでは、商用目的でなければ無償で利用可能である。タブレット端末は、iOS

用の iPad と Android 端末に分かれる。Unity では両プラットフォームに対応する開発が可能である。本研究では、実機へのビルド（教材ソフトのインストール）が容易と想定されたことから、Android 向けに開発を行った。しかし、授業に適用するにあたっては、Android 端末よりも iPad の方が入手が容易であった。そのため、タブレット端末を iPad に変更した。iOS 向けの開発に特に問題はなかったが、ビルドに際しては Mac 本体が必要であった。なお、1つの Apple ID でビルドできる端末は3台までという制約があった。この制限を取り除くためには、Apple Developer として開発することが必要である。

3-3. HMD 教材

HMD 教材としては、仮想空間において移動体験を行う VR アプリの開発を行った。タブレット教材を HMD 教材に変換することにも取り組んだ。しかし、3D モデルを観賞するモードにおいて、仮想空間の中で立体を回転させる方法が解決できなかった。今後は、この課題の解決に取り組む予定である。

タブレット教材の VR 化において、VR 歩行モードであれば HMD 教材として制作可能であることが確認できた。よって、別の土木構造物を対象として新たに HMD 教材を制作することとした。

対象は、本校に近く平成30年3月30日に開通した文教通である。文教通は道道函館上磯線（産業道路）と函館南茅部線を結ぶ延長 2.7km であり、今回、完成したのは 2011 年 11 月に着工した市道日吉中央通と見晴公園通を結ぶ区間である。420mのうち、130mが函渠工（トンネル）、260mが橋梁区間である。道路は片側1車線で、車道各 3mと両側の歩道などを合わせた幅員は計 21mである。

PC に接続するハイスペックな HMD に対して、スマートフォンを利用するローコストな HMD も普及しつつある。本研究では、Gear VR を授業に利用した。HMD 教材の開発も Gear VR 用に行った。Google の cardboard のように非常に低コストな HMD が登場し、その開発環境も容易に利用可能となっている。

4. 授業への適用と試験結果

4-1. 形成的評価方法の検討

この教材を用いた学習の目標は、①物体の外観を鑑賞した結果から正しく三面図の各面をイメージできることと、②三面図（設計図）から物体の形状を正しくイメージすることができるようになることである。3 次元 CG を用いることで、物体を手取るように確認することが可能である。ゆえに、こうした目標の達成が可能になると考えられる。そして、学習目標の達成を確認するために、メンタルローテーションに関する能力の確認テストを実施する。このテストは、事前と事後の2回に分けて実施する。事前テストでは、三面図から正しい物体の形状を選択することができるかを確認する。事後テストでは、CG の 3 次元形状から正しい三面図の各図面を選択することができるかを確認する。最後に、アンケート調査により CG の 3 次元形状により理解度が増したと思う

かどうかを確認する。

この教材による教育効果を、事前テストと事後テストの結果を比較することにより確認する。事前／事後テストの詳細は後述するとおりである。実施に際して、評価プランを変更した点は以下のとおりである。

- ・事前／事後テストはペーパーテストとした（教材に実装することができなかった）
- ・事前テストと事後テストの内容を同じ内容とした（同一基準による評価が必要なため）
- ・アンケート調査は実施しなかった（試作版教材で確認済みのため口頭による確認にとどめた）

事前テスト、事後テストそれぞれの正答数を比較する。事前テストより事後テストの正答数が増加しておれば、被験者は 2 次元の図面から 3 次元の立体形状をイメージする能力が高まったと判断する。

4-2. タブレット教材による教育効果

(1) 試験結果

事前テストと、この後に続く事後テストでは、橋梁一般図を見せて、これと対応する 3 次元モデルを選択する（三者択一）問題を作成した。事前テストの対象者は、前提テストを行った 38 名の学生である。

事前テストは、2018 年 6 月 15 日に実施した。事前テストの結果は、正答者 28 名、誤答者 8 名、欠席者 2 名である。正解は A であるが、誤答者の内訳は B の回答が 7 名、C の回答が 1 名であった。

事前テストを実施したのちに、タブレット教材を用いて自習させた。タブレット教材の操作については、特に戸惑う様子はなかった。一部では、VR シーン（一人称視点）において視点が回転（転倒）してしまった。タブレット教材による自習時間は 20 分程度である。

タブレット教材による自習を終えた後、事前テストと同様に事後テストを行った。問題の内容は事前テストと同一である。事後テストの結果は、正答者 34 名、誤答者 2 名である。誤答の内訳をみると、1 名は事前テストで B と回答し、事後テストでは C と回答している。もう 1 名は、事前・事後テストともに B と回答している。

本来、事後テストは事前テストの不正解者に対して実施するものである。しかし、本研究では教材開発を目指しており、その検証を授業で実施しているため全ての学生を対象として実施した。

(2) 考察

事前／事後テストの狙いは、橋梁一般図を見て、この図面より 3 次元の形状を想起できるかどうかを確認するものである。

橋梁一般図には、平面図・側面図・断面図が示されており、外形線など主要な線は赤色の太線で示されている。よって、橋梁の形状は把握しやすいと考えられる。3 次元モデルは、上方右側及び左側から見下ろした、ならびに下方から見上げた 3 種類の投影図（パソコン画面のキャプチャー図）である。これらの図は、橋梁一般図とは投影法や視線方向が異なっている。このため、橋梁一般図より、3 次元の形状を想起できなければ正解は得られないと考えられる。

事前テストで誤答した8名のうち6名が正答となった。これは、タブレット教材による学習効果と考えられる。一方、同一問題を用いているため、繰り返し学習による効果である可能性も考えられる。なお、事前テストの終了後に解答は示していない。

タブレット教材による事前／事後テストを実施した1か月半後の前期期末試験時に、2回目の事後テストを行った。この事後テストは、1回目と同一の内容であるが、選択肢である3つの3次元モデルの順番は変更した。2回目の事後テストの結果は、正答者31名、誤答者6名であった。事前テストよりも正答者は3名増加している。しかし、1回目の事後テストよりも正答者は3名減少している。なお、1回目の事後テストで誤答であった2名の学生は正答していた。誤答者6名のうち、事前テストで誤答であった学生は1名であった。残り5名は事前テストでは正解であった。

終了後に、タブレット教材に対する感想を口頭で聞いた。面白く、楽しいといった回答が大半であった。本教材は学習に取り組む意欲を高めたことが効果として感じられた。教材の使用にあたり簡単な説明は行ったが、操作に戸惑う学生は見られず、特に指導しなくても自ら取り組んでいる様子が見ええた。タブレット教材の操作性は高く、興味を持って取り組みやすいと考えられる。

事前／事後テストの結果から、タブレット教材による空間認識力の向上がみられた。しかし、タブレット教材の1回だけの使用では、その教育効果に持続性は見られなかった。継続的な教育が必要である。タブレット教材の使用は必ずしも特効薬にならない。タブレット教材を使用した授業方略を検討し、継続的に活用することが必要である。

表1 事前／事後テストの結果一覧

番号	事前テスト 2018/4/13	事後テスト1 2018/6/6	事後テスト2 2018/7/31
1	NG	B	OK
2	OK	OK	OK
3	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK
5	OK	OK	OK
6	OK	OK	OK
7	OK	OK	OK
8	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK
11	OK	OK	OK
12	NG	B	NG
13	OK	OK	OK
14	OK	OK	OK
15	OK	OK	NG
16	OK	OK	OK
17	OK	OK	NG
18	OK	OK	OK
19	OK	OK	OK
20	NG	C	OK
21	NG	B	OK
22		欠席	OK
23	OK	OK	OK
24	OK	OK	OK
25	OK	OK	OK
26	OK	OK	NG
27	OK	OK	OK
28	NG	B	NG
29	NG	B	OK
30	OK	OK	NG
31	OK	OK	NG
32	OK	OK	OK
33	OK	OK	OK
34	NG	B	OK
35	OK	OK	OK
36	NG	B	NG
37		欠席	OK
38	OK	OK	OK
OK(正答)	28	34	31
NG(誤答)	8	2	6

4-3. VR 教材による効果と今後の展開

(1) 試験方法

制作した HMD 教材を VR 再生装置を用いて再生した仮想空間と、現実空間との比較を行った。

没入感のある仮想空間の再生を行うために Gear VR(+Galaxie S6)を使用した。現実空間としては、ドライブレコーダーで撮影し、編集したビデオ(約3分)を大型テレビディスプレイ(50インチ)で再生したものを視聴させた。

HMD 教材を評価するために、前述の文教通を題材とした評価テストを作成した。設問の内容は、問1)トンネルの断面形状について、問2)対象区間(交差点～交差点)の構造(トンネル、橋梁など)について、問3)車線数について、問4)歩道の構成について、選択肢から選ばせるものである。

HMD 教材の評価テストは、37名の学生を対象として行った。対象者をA群(19名)とB群(18名)に分けた。評価テストは、A群に対してはビデオを見せた後に評価テストに答えさせた。これを事前テストとする。その後、HMD 教材を体験させた後に評価テストに答えさせた。これを事後テストとする。B群に対してはHMD 教材→ビデオの順に順番を変えて、A群と同様に評価テスト(事前テスト→事後テスト)に答えさせた。最初に答えさせる評価テストと2回目に答えさせる評価テストの内容は同一であるが、選択肢の並びは変えて出題した。

(2) 試験結果

評価テストの結果は表2のとおりである。まず、A群の結果について述べる。問1は、事前テストの正答数は11、事後テストの正答数は11であった。問2は、事前テストの正答数は9、事後テストの正答数は7であった。HMD 教材の体験後の方が誤答が増加している。問3は、事前テストの正答数は11、事後テストの正答数は12であった。問4は、事前テストの正答数は12、事後テストの正答数は12であった。ビデオを見た後と、HMD 教材を体験した後の回答に大きな差異はなかった。

次いで、B群の結果について述べる。問1は、事前テストの正答数は17、事後テストの正答数は14であった。問2は、事前テストの正答数は7、事後テストの正答数は6であった。問3は、事前テストの正答数は17、事後テストの正答数は17であった。問4は、事前テストの正答数は18、事後テストの正答数は16であった。

(3) 考察と今後の展開

A群およびB群の評価結果を見る限り、ビデオ再生による現実空間に対して、HMD 教材による仮想空間の体験に優位性は見られない。逆に、A群の問2の結果を見る限り、HMD 教材の方が劣っているといえる。しかし、これについてはHMD 教材(3D道路モデル)の作り方そのものに問題がある可能性があり、HMD 教材全てを否定するには当たらないと考えられる。

試験後に、HMD 教材に関する感想を口頭で聞いた。面白いという回答が大勢を占める中、使いにくいという意見を持つ学生が2名いた。うち1名は、解像度(フレーム数/秒)について指摘していた。これはハードウェア

アの問題であり、今後の技術や性能の進歩により解決することが期待できる。

今回制作した HMD 教材は、そのまま授業に適用することは難しいといえる。理由は以下のとおりである。

- ① タブレット教材の場合は、自らの疑問を探索するようにして、教材のシーン（ページ）を選びつつ学習を進めることが可能といえる。しかし、HMD 教材の場合は、仮想空間の体験にとどまっており、質問を行い、その回答後に解答を与えるという教材としての仕様に対応できていない。
- ② ゴーグルを頭部にあてがって、自分だけの（仮想）空間に没入する。他者と時間と空間を共有していないため、授業を共に受けるという一体感に欠如している。さらに、VR 空間を体験するという行為は、現時点では未だゲーム性が高いのではないかと考えられる。
- ③ HMD 教材の体験者は VR 酔いという症状に陥る危険性があり、教材の制作と使用に十分に留意する必要がある。ゆえに、万人向けの教材になり難い面を抱えているといえる。

本研究で制作した VR アプリについてのみ評価するならば、これを教材として利用する水準には至っていないといえる。なお、Oculus Go (Oculus 社) では、汎用ビューアーにより書籍が閲覧できる。このことは、HMD 教材の今後の可能性を示していると考えられる。

また、建設系工学科では、現場見学の有用性は以前から高く評価されている。しかし、現場見学に要する時間や見学場所の選定、案内者の確保、さらには費用などの問題により、いつでもすぐに実現できる状態になっていない。しかし、HMD 教材を用いれば、教室において現場見学を体験することが可能になる。

HMD 教材を、座学の教材として用いるには、まだ課題が多いといえる。しかし、座学の状況において HMD を用いて現場見学を実施できる可能性が、HMD 教材（VR アプリ）にはあると考えられる。なお、上記③の問題点に対する対応には十分に配慮する必要がある。

6. 本研究の成果と今後の課題

本研究では、建設 ICT 教育のための教材を 2 種類開発した。まず、タブレット教材を開発した。制作した教材を授業に適用し、教材の効果を事前／事後テストにより評価した。タブレット教材の使用後には、橋梁一般図を読み取って、これに対応する正しい立体形状を選択できる学生数が増加した。2 次元の設計図から 3 次元の立体形状をイメージする能力が向上したと考えられる。しかし、この授業効果は一時的なものであり、継続的な教育が必要であることも判った。

次いで HMD 教材を開発した。はじめに、タブレット教材を HMD 教材に変換することを目指した。しかし、HMD 教材は仮想空間の移動体験において有用であることが確認されたため、タブレット教材の VR 化は断念した。これに替えて、仮想空間の移動を体験するための教材を新たに開発した。

表 2 A 群・B 群の事前／事後テスト結果

番号	A群(ビデオ→VR)							
	事前テスト(ビデオ)				事後テスト(VR)			
	問1	問2	問3	問4	問1	問2	問3	問4
19	C	3	2	3	B	3	2	2
20	C	2	2	3	B	1	2	2
21	D	2	2	3	D	2	2	2
22	C	2	2	3	B	2	2	2
23	C	2	2	3	C	2	2	2
24	A	2	3	2	B	3	2	3
25	C	3	2	3	C	2	2	2
26	C	3	2	3	D	3	2	3
28	D	1	3	3	B	2	1	2
29	D	1	2	3	A	1	3	2
30	C		3	2	B	3	1	1
31	A	2	3	2	B	1	3	2
32	C	2	2	3	B	1	2	2
33	C	2	2	3	B	1	2	2
34	D	1	2	3	D	1	2	2
35	D	1	3	1	A	1	2	3
36	C	1	3	2	B	3	1	1
37	C	3	3	2	A	2	1	1
38	A	2	3	2	B	2	1	1
正答	11	9	11	12	11	7	12	12
誤答	8	9	8	7	8	12	7	7
番号	B群(VR→ビデオ)							
	事前テスト(VR)				事後テスト(ビデオ)			
	問1	問2	問3	問4	問1	問2	問3	問4
1	C	1	3	3	C	1	2	2
2	B	1	3	3	B	3	1	3
3	C	2	3	3	B	2	2	2
4	C	2	3	3	B	1	2	2
5	C	1	3	3	B	1	2	2
6	C	2		3	C	1	2	2
7	C	2	3	3	B	1	2	2
8	C	3	3	3	B	2	2	2
9	C	1	3	3	B	3	2	2
10	C	2	3	3	B	2	2	3
11	C	1	3	3	B	3	2	2
12	C	1	3	3	B	3	2	2
13	C	2	3	3	C	2	2	2
14	C	2	3	3	C	2	2	2
15	C	1	3	3	B	2	2	2
16	C	1	3	3	B	3	2	2
17	C	1	3	3	B	3	2	2
18	C	1	3	3	B	1	2	2
正答	17	7	17	18	14	6	17	16
誤答	1	11	0	0	4	12	1	2

HMD 教材による仮想空間の体験を、ビデオ再生による現実空間と比較した。その結果、HMD 教材のビデオに対する有用性はいまだせなかった。しかし、教室にしながら現場見学を実施できるという点で、HMD 教材は今後の活用が考えられる。

本研究の構想時から 2 年以上が経過し、その間に VR / AR に関する技術は急成長した。平成 28 年 (2016) は VR 元年といわれ、同年には『Pokémon GO』が登場し AR (拡張現実) 技術が容易に体験できるようになった。既に身近なスマートフォンで AR を体験できる環境が整いつつある。今後は、AR に関する技術開発がさらに進み、本研究で開発したタブレット教材と同等以上の機能を持つ AR 教材が可能になると考えられる。今後は、こうした AR 教材の開発に取り組む予定である。

本研究で使用した資料 (橋梁一般図、構造図など) は、北海道開発局 函館開発建設部 函館道路事務所より提供を受けた。

本研究は、一般財団法人日本建設情報総合センターの研究助成を受けて進めた。