

令和 4 年 5 月 12 日現在

機関番号：53701

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13264

研究課題名(和文)最新の測量技術を効果的に修得するための教材開発と実践に関する研究

研究課題名(英文) Study on development of effective teaching materials for learning the latest surveying techniques

研究代表者

菊 雅美 (KIKU, Masami)

岐阜工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：50714127

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：測量技術は日々進化・高度化しており、学生に最新の測量技術について学ぶ機会を提供することは重要である。ゲーム教材は、学生の学習意欲だけでなく、学習内容への理解度も高めることができると注目されている。しかし、測量の学習において、ゲーム教材の有効性については不明である。そこで、本研究では、UAV測量を学習するためのゲーム教材を開発し、その評価を行った。その結果、RPGゲーム教材を使用したことで、学生の学習意欲は高まることがわかった。また、ゲーム教材で学習した学生の理解度は一方向型の講義を受講した学生よりも高いことが示された。したがって、開発した教材は、UAV測量を学ぶために有用といえる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実務では、最新の測量技術が次々に導入されている。一方、高等教育機関の中には、時間的・経済的な制約から、授業・実習の時間内に最新の測量技術を修得するための機会を設けられておらず、基本的な測量技術の習得に留まっているところも多い。卒業後に実践的技術者として現場で活躍するには、最新の測量技術について学ぶ機会を教育機関が提供することは重要である。そこで、本研究では、UAV測量に関する知識を効果的に学習するためのゲーム教材を開発した。教材を評価した結果、本研究で開発したゲーム教材は、UAV測量に対する学生の学習意欲を高め、理解を深めるために有用であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：It is important to provide an opportunity to learn a UAV survey for students because the latest survey technology is being adopted in practice. A digital game-based learning material enhances not only student's motivation but also comprehension. However, it is unclear whether game teaching materials for learning the UAV survey is effective. In this study, the game teaching materials for learning the UAV survey is developed and evaluated. It was found that the game group students who used the RPG game teaching material had high motivation in learning. Moreover, It was shown that the game group had a higher score than the lecture group. The developed teaching material is effective for beginners to learn knowledge of the UAV survey.

研究分野：海岸工学

キーワード：UAV測量 土木教育 教材開発 ゲーム教材

## 1. 研究開始当初の背景

土木施工の礎である測量には最新技術が次々に導入され、日々多様化・高度化している。巻尺やセオドライトで行われていた距離測量や角測量は TS（トータルステーション）を用いて行われるようになり、人工衛星を用いた GNSS による基準点測量も定着している。さらに、2次元の平板測量に代わり、近年は TLS（地上レーザースキャナ）や UAV（無人航空機）を用いた3次元測量が主流になりつつある。これら計測機器および計測技術の進化を背景に、国土交通省は ICT により建設現場の生産性向上を図る i-Construction を推進している。一方、申請者が所属する岐阜工業高等専門学校（以下、本校）では、2年間にわたり測量実習の時間を設けているものの、経済的・時間的制約により、巻尺・セオドライト・平板・レベルを用いた基本的な内容に留まっている。このような測量の授業・実習における学習内容と実社会の乖離は本校だけでなく、他の高等教育機関でもみられるのが現状である。

学生が UAV 測量について学ぶには、効果的に学習を進められる教材が必要である。しかし、UAV 測量は新たな技術であるため、計測方法や解析方法について不明確なことも多い。構造物を対象にした UAV 測量において、3D モデルの再現性を高める方法や、斜め撮影画像を用いた場合の 3D モデルの精度についての知見は、文献としてほとんどまとめられていない。また、現在、授業の形態として、教員が一方的に知識を伝達する一方向型の講義形式から、学生が能動的に学習するアクティブラーニングへの転換が求められている。学生の学習意欲を高め、学習内容への理解度を深めるための取り組みとしてデジタルコンテンツの導入が進められており、その一つとして、ゲーム教材が着目されている。ただし、測量の学習方法の基本は座学と実習であり、測量に対するゲーム教材の効果は不明である。さらに、一般の方々には、土木は重労働という印象を持たれがちである。最新の測量技術を知ること、土木に対して新たな印象を持ち、測量や土木に興味を持ってもらえる可能性がある。

## 2. 研究の目的

上述の背景を鑑みて、本研究では以下に示す3つのテーマを柱に研究を遂行する。

### (1) UAV 測量における構造物の再現性向上のための最適条件の検討

最新の測量を効率的・効果的に学ぶための教材を開発するにあたって、UAV 測量に関する知見をまとめる必要がある。そこで、UAV 測量によって再構築する構造物の再現性や距離精度を高めるための計測方法および解析方法について検討する。

### (2) 実践的技術者育成のための教材開発と実践

実社会の最新動向に適応できる実践的な技術者の育成を目指し、最新の測量技術を効率的・効果的に学習するためのゲーム教材を開発する。そして、学生へのアンケートや理解度チェックなどから、開発した教材の効果を評価する。

### (3) 一般への測量技術の啓発活動

本校で行われている公開講座とオープンキャンパスを通じて、小学校中学年以上の親子を対象に UAV 測量の啓発活動を行う。そして、参加者の UAV 測量に対する認知度や興味・関心度を調査し、効果的な啓発方法について検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) UAV 測量における構造物の再現性向上のための最適条件の検討

3D モデルの構築が難しいとされる凹凸や一様部を有する構造物に対し、再現性を高めるための撮影条件および解析条件について検討した。UAV には Phantom 4 (DJI 社) を使用し、Metashape (Agisoft 社) により自動抽出可能な対空標識を用いて本校構内の空撮を実施した。撮影条件として、サイドラップ率を変化させるとともに、鉛直下向き撮影に加えて斜め撮影も行った。解析条件として、画像のアラインメント処理の際の設定値や、解析に用いる画像を変化させた。また、TS による距離測量を行い、再構築した 3D モデルの精度検証を行った。

### (2) 実践的技術者育成のための教材開発と実践

UAV 測量を実施するにあたって必要となる知識を効果的に学習するための RPG 形式のゲーム教材を開発した。本教材における学生の学習到達目標として、次の3点を掲げた。1) 国土交通省の定めた UAV の飛行ルールについて理解できる。2) 国土地理院の UAV を用いた公共測量マニュアル（案）の基本的な用語や数値を理解できる。3) 測量士補試験の写真測量に関する計算問題を解くことができる。

図-1 に、開発した教材の一部を例示する。教材は、町役場で働く主人公（プレイヤー）が町長から町の都市計画に携わるよう頼まれるシーンから始まる。しかし、プレイヤーの町には UAV 測量に詳しい人がいないため、UAV 測量について知っている住人が多い隣町へ出かける。プレ



(a) 挿絵を利用した説明の例



(b) 町人との会話の例



(c) アイテム獲得時の画面の例

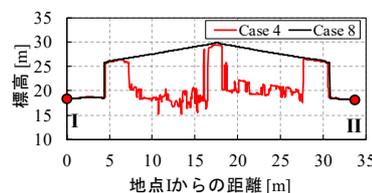
図-1 開発したゲーム教材の一場面



図-2 第二体育館の3Dモデル (Case 8)



(a) 断面の抽出箇所



(b) 測線 I-II の断面図

図-3 第2体育館の断面図



図-4 2号館の3Dモデル(Case A1+A5)

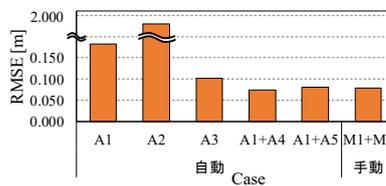


図-5 鉛直距離精度のRMSE

イヤーは隣町の様々な住人から UAV 測量について学び、最終的に UAV 測量の知識を町長に正確に伝えることで一人前の技術者として認められる。本教材では、これら一連のゲームを通じて、UAV 測量に対する知識の定着を目指す。

本校の環境都市工学科 4 年次の授業「測量学 III」において、受講者をゲーム教材で学習するグループと講義形式で学習するグループに分け、ゲーム教材の評価を行った。

### (3) 一般への測量技術の啓発活動

本校では、毎年、小学生・中学生・社会人を対象とした公開講座を実施している。この機会を利用して、最新の測量技術に触れて土木に関心を持ってもらうために、UAV 測量や GNSS 測量の啓発活動を実施した。公開講座は、小学校中学年以上の親子を対象とし、2018 年から 2021 年まで毎年計画した。ただし、2020 年は新型コロナウイルス感染症拡大防止のため中止を余儀なくされた。参加者は 2018 年 12 名、2019 年 20 名、2021 年 33 名であった。オープンキャンパスでの啓発は、2018 年と 2019 年に実施した。来場した中学生や保護者に向けて UAV 測量のメリットや測量方法について 5 分程度の説明を実施し、参加者にアンケートを取って、興味のある学科や UAV についての印象などを調査した。2018 年は 186 名、2019 年は 131 名からアンケートへの回答を得た。

## 4. 研究成果

### (1) UAV 測量における建造物の再現性向上のための最適条件の検討

凹凸部を有する本校の第二体育館の再現性について検討した。図-2 から、撮影画像のオーバーラップ率とサイドラップ率をともに 90% とし、鉛直下向き撮影画像に斜め撮影画像を加えた場合 (Case 8)、屋根の一部に凹みが生じているものの、建造物の再現性が高められた。図-3(a) のように建造物の断面を抽出した結果、同図(b)より、鉛直下向き撮影画像のみを使用した Case 4 では屋根部分が抜け落ち、建造物の形状が抽出できていない一方、Case 8 では屋根の形状を捉えることができた。

一様部を有する本校の 2 号館を対象に、3D モデルの再現性と距離精度を検証した。凹凸部を有する建造物と同様に、オーバーラップ率とサイドラップ率を 90% とし、鉛直下向き撮影画像に斜め撮影画像を加えて 3D モデルを構築した場合 (Case A1+A5)、図-4 に示すように、建造物の再現性が高まった。また、TS 測量による計測値と 3D モデルから読み取った値について、鉛直距離の RMSE を求めた結果、図-5 より、Case A1+A5 は鉛直距離精度が高いことがわかった。

本研究では、次の知見を得た。1) 3D モデルの視覚的な再現性を高めるには、鉛直下向き撮影画像に斜め撮影画像を加えることが効果的である。ただし、単に斜め撮影画像を加えても、視覚的な再現性が低くなる場合があるため、オーバーラップ率に加えてサイドラップ率も高める必

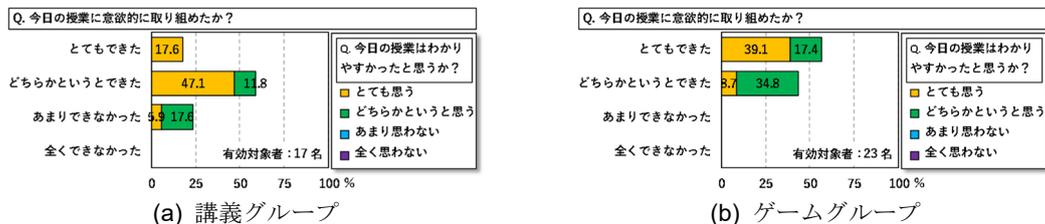


図-6 授業に意欲的に取り組めた学生の割合

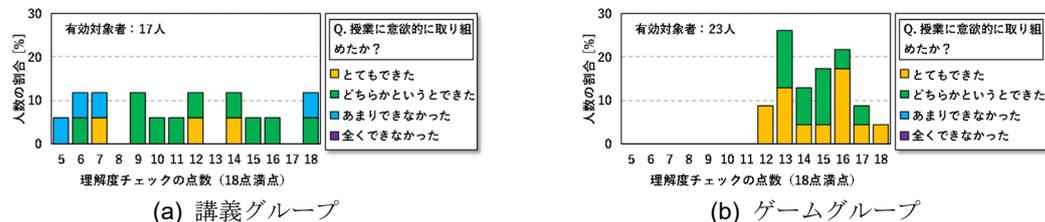


図-7 理解度チェックの点数と授業に取り組む姿勢の関係

要がある。2) 距離精度において、鉛直下向き撮影画像に斜め撮影画像を加えた 3D モデルは、鉛直下向き撮影画像のみを使用した 3D モデルより、鉛直方向の RMSE が減少した。したがって、斜め撮影画像を加えることで距離精度は高められており、3D モデルの構築において斜め撮影画像を用いることに問題はない。3) 3D モデル内の GCP の RMSE が小さくても、建造物の再現性が低ければ 3D モデルの断面を正確に抽出できない。建造物の断面を正確に抽出するには、鉛直下向き撮影画像に斜め撮影画像を加えて 3D モデルの再現性を高めることが重要である。4) 空撮を行う際は、手動操縦よりも労力が低く、操縦者による個人差が発生しにくい自動操縦が推奨される。ただし、斜め撮影を行う場合、自動操縦で撮影コースを設定すると、周囲に高い建造物があると障害になり、撮影を行えない場合がある。この場合、手動操縦で撮影を行う必要がある。手動操縦でも、オーバーラップ率とサイドラップ率が高くなるように意識しながら建造物の側面が映るように斜め撮影を行うことで、距離精度や再現性も高く、断面も鮮明に抽出可能な 3D モデルを構築可能である。

以上の結果から、建造物を対象に UAV にて空撮を行い、Metashape で 3D モデルを構築する際は、オーバーラップ率 90%、サイドラップ率 90%で鉛直下向き撮影に加えて斜め撮影を行い、深度フィルタを「強」に設定して解析するとよい。

なお、UAV 測量は、対象物、撮影に用いるカメラの解像度や撮影高度、対空標識の設置方法、使用する SfM/MVS ソフトウェアなどによって得られる成果が異なる。そのため、本研究の成果は、限られた計測条件での検討に留まっている。斜め画像を加えた際の 3D モデルの精度についてまとめた事例は少ないため、今後もさらなる検討が必要である。

## (2) 実践的技術者育成のための教材開発と実践

授業終了後にアンケート調査を実施した。図-6 に、「授業に意欲的に取り組んだと思うか？」に対する回答を示す。同図から、ゲームグループでは半数以上の学生が「とても思う」と回答したのに対し、講義グループでは「どちらかという 못했다」の回答が半数以上であり、「あまりできなかった」との回答もみられた。講義は一方向型だったため、学生によっては学習意欲を高く持ち続けられなかったと考えられる。一方、ゲームグループでは、ゲーム学習では自分の好きなペースで学習を進められ、能動的に知識を取り入れていくため、意欲的に授業に取り組めたと考えられる。

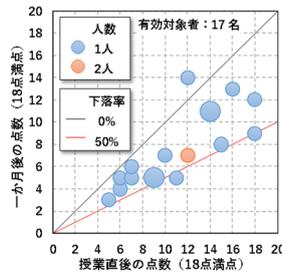
授業終了後に理解度チェックを実施した。理解度チェックは、ゲーム教材と講義で説明した内容や出題したクイズから構成し、18 点満点 (1 問 1 点) とした。図-7 に、学習直後に実施した理解度チェックの点数と学習意欲の関係を示す。両グループとも、最高点は満点 (18 点) であった。ただし、講義グループの最低点は 5 点であるのに対し、ゲームグループでは、少なくとも 5 名が学習途中だったにも関わらず、最低点は 12 点と高く、平均点も高かった。同図(a)より、講義グループでは、「授業にあまり意欲的に取り組めなかった」と回答した 4 人のうち 3 人の点数が 7 点以下と低い。一方、同図(b)に示すゲームグループでは、全ての学生が「授業に意欲的に取り組めた」と回答し、12 点以上の点数を取っている。これらの結果から、本研究で開発したゲーム教材は、学習に対する学生の意欲を高め、理解度も深められたことが明らかになった。

一度の学習による知識の定着度を調べるため、授業から約一か月後に同一の内容で理解度チェックを実施した。表-1 に、授業から一か月後に実施した理解度チェックの結果を示す。最高点・最低点・平均点のいずれもゲームグループは講義グループを上回っており、得点のばらつきも小さい。図-8 に、理解度チェックの点数分布を示す。同図において、横軸は授業直後の点数、縦軸は一か月後の点数である。縦軸に着目すると、同図(a)より、講義グループの学習から一か月後の点数は、3 点から 14 点まで幅広く分布している。一方、同図(b)に示すように、ゲームグループでは、高得点を獲得した 1 名を除くと、5 点から 12 点の間に分布が集中している。同図

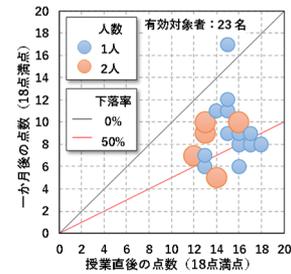
表-1 1か月後の理解度チェックの結果

	グループ		t 値
	講義	ゲーム	
最高点	14 点	17 点	—
最低点	3 点	5 点	—
平均点	7.6 点	8.8 点	-1.24
標準偏差	3.3 点	2.5 点	—
平均点の 下落率	31.2 %	39.6 %	-1.49

\*5%有意



(a) 講義グループ



(b) ゲームグループ

図-8 理解度チェックの点数分布



(a) 地上絵の描画



(b) キーワード探し



(c) UAV 測量の説明

図-9 公開講座の様子

中の黒線と赤線は、下落率 0%と 50%をそれぞれ示しており、赤線以下の分布は、一か月後の点数が授業直後の点数から 50%以上低下したことを意味する。同図(a)より、講義グループでは、2名（全体の 11.8%）以外は下落率 50%以内であった。一方、同図(b)に示すように、ゲームグループでは下落率の幅が大きく、下落率 50%以上の学生数は 7 名（全体の 30.4%）であり、講義グループよりも多かった。この理由について、各問題の正答率に着目して検討した結果、ゲームグループでは、専門的な用語や具体的な数値を暗記する必要がある問題への正答率は下がった。一方、飛行ルールのように、初見はわからなくても、繰り返し説明を聞くことで理解できる内容に対しては、ゲーム教材で学習した方が正答率は高く、一か月後の下落率も低く抑えられていた。

本研究から次の知見が得られた。1) ゲーム教材では能動的に知識を習得でき、一方向型の講義と比べて意欲的に学習できる。2) 授業直後の理解度は、講義グループに比べてゲームグループの方が高く、ゲーム教材は理解度を高められる。3) ゲーム教材は、専門用語や具体的な数値の定着に対する効果は小さいものの、繰り返し説明を聞いて理解できるような内容に対しては効果的である。4) ゲーム教材の使いやすさは、学習内容のわかりやすさにも影響するため、開発に際して留意が必要である。

以上の結果から、本研究において開発したゲーム教材は、UAV 測量に対する学習意欲を高め、理解を深めるために有用といえる。しかし、ゲームのストーリー性が特徴の本教材は、試験勉強としては利用しづらいことも明らかになった。そのため、本教材は、UAV 測量を実施する際に必要となる知識の導入や、UAV 測量について知らない一般の人々への啓発として利用することが効果的といえる。

### (3) 一般への測量技術の啓発活動

本校で実施している公開講座とオープンキャンパスを通して、一般の方々に対する UAV 測量の啓発と、UAV 測量の認知度や興味・関心度を調査した。図-9 に、公開講座の様子を例示する。

参加者へのアンケートから、UAV が映画などの動画撮影や災害時の状況把握に活用されていることについて知っていた人が多くいた。一方で、地図作りの技術について知っていた人はわずかであったことから、測量技術としての認知度は低いことが明らかになった。また、UAV が地図作りの技術として用いられていることを知っていた人の多くは保護者であり、テレビや新聞、仕事環境で知るきっかけがあったことが明らかになった。UAV が測量技術として認知度が低い中で、公開講座を通じて知ったことで、ほとんどの参加者が UAV 測量に興味を持ったことから、本公開講座が UAV 測量の啓発に効果的であったとともに、知る機会を提供することの重要性が明らかになった。本学科に興味を持っていない人に対しても、UAV 測量の啓発を行うことで、学科に興味を持ってもらえることがわかった。そのため、UAV 測量の啓発は、学科に対する興味・関心を高めるために効果的であるといえる。

以上から、公開講座は UAV 測量の啓発に効果的であったといえる。今後も、公開講座やオープンキャンパスのように最新の測量技術を知ること、UAV に関する内容だけでなく、土木全体に関心を持ってもらえるように、最新の技術を知る機会を作っていくことが重要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 菊 雅美, 長屋佑美	4. 巻 76
2. 論文標題 UAV測量の知識を習得するための ゲーム教材の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集H(教育)	6. 最初と最後の頁 46-55
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejeeep.76.1_46	査読の有無 有
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 長屋佑美, 菊 雅美	4. 巻 76
2. 論文標題 UAV-SfM/MVS測量における構造物の再現性向上のための最適条件の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集F3(土木情報学)	6. 最初と最後の頁 32-41
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejcei.76.1_32	査読の有無 有
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8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長屋佑美, 菊 雅美
2. 発表標題 UAV-SfM/MVS測量を効果的に学習するためのゲーム教材の開発と評価
3. 学会等名 令和元年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀 綾那, 菊 雅美
2. 発表標題 小型GNSSロガーを用いた高精度測位手法に関する一検討
3. 学会等名 令和元年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長屋佑美, 菊 雅美
2. 発表標題 UAV-SfM/MVS測量を効果的に修得するためのゲーム教材の開発に関する一検討
3. 学会等名 土木学会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊 雅美, 山川奈巳, 長屋佑美
2. 発表標題 ハンディGNSS受信機を用いた地上絵作成による測量技術の啓発
3. 学会等名 土木学会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長屋佑美, 菊 雅美
2. 発表標題 UAV-SfM/MVS測量における一様な凹凸部を有する構造物の再現性向上に関する一検討
3. 学会等名 平成30年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長屋佑美, 菊 雅美
2. 発表標題 UAV-SfM/MVS測量における構造物の再現性向上のための最適条件の検討
3. 学会等名 2018年度土木情報学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長屋佑美, 菊 雅美, 山川奈巳
2. 発表標題 公開講座によるUAV-SfM/MVS測定の啓発
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山川奈巳, 菊 雅美, 長屋佑美
2. 発表標題 社会が高専生に求める測量能力に関するアンケート調査
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

受賞 1) 長屋佑美, 第43回土木情報学シンポジウム優秀発表者, UAV-SfM/MVS測定における構造物の再現性向上のための最適条件の検討, 2018年9月. 2) 堀 綾那, 令和元年度土木学会中部支部研究発表会優秀講演者賞, 小型GNSSロガーを用いた高精度測位手法に関する一検討, 2020年3月.
--

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

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
---------	---------