

福井工業高等専門学校

研 究 紀 要

自然科学・工学

第54号

RESEARCH REPORTS OF NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (KOSEN),
FUKUI COLLEGE
NATURAL SCIENCE AND ENGINEERING NO.54

JANUARY 2021

目 次

| | | |
|--|--|----|
| 電子情報工学科におけるインターネットを介した 遠隔演習の取り組み | 齊 藤 徹 波 多 浩 昭 高 久 有 一 小 松 貴 大 | 1 |
| Arduino シミュレータを用いた電子情報工学実験の導入 | 高 久 有 一 内 藤 岳 史 清 水 幹 郎 | 7 |
| 福井高専電子情報工学科における BYOD の導入とその効果 | 西 仁 司 村 田 知 也 小 越 咲 子 小 松 貴 大 長 水 壽 寛 | 13 |
| Effect of 2-mercaptionicotinamide side chains in a hydrophilic random copolymer on the shear strength of a photo-adhesive material | Masahiro FURUTANI Daiki FUJIHIRA Koji ARIMITSU | 23 |
| 福井県における原子力災害時の広域避難の認識に関する 現状と対応策 - 代替経路選定に関する事例解析 - | 辻 子 裕 二 山 本 武 | 27 |
| - 中道院 (鯖江市) における現状 - - 鯖江断層との関連 - | 岡 本 拓 夫 | 35 |
| ホウ酸バリウム系ガラスの結晶化における TiO ₂ 添加の効果 | 長谷川 智 晴 | 39 |
| Individual Differences of Jump Distance for Running Long Jump in Relation to the Physical Characteristics of Female Students in PE Class | Akihiro AZUMA Kazuhiro MATSUI | 43 |

四肢の連続選択反応テストの試行間信頼性及び

評価変数間の関係..... 青木宏樹
出村慎一
当麻成人 47

急傾斜切土のり面における広葉樹幼苗植栽後

11年目の植生発達状況 小木曾晴信
矢ヶ崎朋樹 51

* 下線は投稿者

CONTENTS

| | |
|---|---|
| Remote Practice via the Internet in Electronics and Information Courses | <u>Tohru SAITOH</u> Hiroaki HATA Yuichi TAKAKU Takahiro KOMATSU 1 |
| Introduction of new electronic and informational experiments using an Arduino simulator | <u>Yuichi TAKAKU</u> Takefumi NAITO Mikio SHIMIZU 7 |
| Effects of Introducing BYOD in the Department of Electronics and Information Engineering, Fukui KOSEN | <u>Hitoshi NISHI</u> Tomonari MURATA Sakiko OGOSHI Takahiro KOMATSU Toshihiro NAGAMIZU 13 |
| Effect of 2-mercaptocotinamide side chains in a hydrophilic random copolymer on the shear strength of a photo-adhesive material | <u>Masahiro FURUTANI</u> Daiki FUJIHIRA Koji ARIMITSU 23 |
| Current situation and countermeasures for wide area evacuation in Fukui prefecture due to the nuclear power plant accident – Case studies on alternative evacuation route selection – | <u>Yuji TSUJIKO</u> Takeshi YAMAMOTO 27 |
| On Phenomena (Crustal Events) Occurring at the “Chudo In” in Sabae City – The Relation to the Sabae Fault – | <u>Takuo OKAMOTO</u> 35 |
| Effect of TiO ₂ addition on crystallization process of barium borate glasses | <u>Tomoharu HASEGAWA</u> 39 |
| Individual Differences of Jump Distance for Running Long Jump in Relation to the Physical Characteristics of Female Students in PE Class | <u>Akihiro AZUMA</u> Kazuhiro MATSUI 43 |

Examination of inter-trial reliability and relations
among parameters of the successive choice reaction
test using extremities

Hiroki AOKI

Shinichi DEMURA

Narihito TAIMA 47

Vegetation development on the cut steep slope
restored using broad-leaved tree seedlings at
11 years after planting

Harunobu OGISO

Tomoki YAGASAKI 51

* The name of an underline means a contributor.

電子情報工学科におけるインターネットを介した遠隔演習の取り組み

齊藤 徹^{*1} 波多 浩昭^{*} 高久 有一^{*} 小松 貴大^{*}

Remote Practice via the Internet in Electronics and Information Courses

Tohru SAITOH, Hiroaki HATA, Yuichi TAKAKU and Takahiro KOMATSU

In the Department of Electronics and Information Engineering, we have been using our department's servers for Unix environment operation experiments and web-related experiments. Also, the use of cloud servers for graduation research on the Internet has been conducted on a trial basis. It is difficult to conduct face-to-face experiments with students; in order to prevent COVID-19 infection, we used an Internet-based cloud server to conduct the experiment. In addition, in order to create a flexible network structure for parallel computing and machine learning research using GPUs, an Internet connection was installed in our department, separate from the campus backbone network.

In this paper, we summarize the background and problems in constructing the remote experiment environment via the Internet and show the specifications of the experiment environment. These experiments were evaluated using a student questionnaire, and it was confirmed that the effect of the delay in Internet connection was small.

Keywords : remote practice, cloud server, COVID-19

1. はじめに

近年、企業における情報システムの構築では unix サーバを構築し、さらにシステムをクラウド環境で運用することが増えている。一方で、学生は Windows や携帯端末の利用が中心であり、コマンドラインインタフェース(以下 CLI と略)による unix サーバの操作に慣れていない。このため電子情報工学科では3年オペレーティングシステムの授業などでサーバを利用する演習などに取り組んできた。しかしながらオンプレミスサーバでは、物理的サーバの維持管理や障害対応が困難なことから、実際の情報システムではインターネット上のレンタルサーバ(クラウドサーバ)での運用が増えている。そのため、卒業研究などでもクラウドサーバの活用を試行してきた。

今回、COVID-19の対策として遠隔授業方式での演習の実施が求められたことから、学生が自宅からサーバに接

続しての利用が求められた。しかし学内サーバを学生に利用させるためのリモート接続プロトコル (ssh や Remote Desktop)は不正侵入に利用される手法であることから、セキュリティの問題が懸念される。そこで今年度、クラウドサーバで unix 演習環境を構築し、電子情報4年、5年の演習を行った。一方で、GPUを用いた並列計算の演習では、電子情報工学科に設置したサーバを利用していたが、同様の実験をインターネット経由で行う場合、クラウドサーバを用いる場合は利用料なども問題となる。そこで、学内基幹ネットワークとは別の専用回線を導入し、これを用いた演習を計画している。

本論文では、2章にてクラウドサーバによる遠隔演習を行う目的と背景を総括する。3章では、実際に2020年度に実施した遠隔演習の実施方法や、今後予定しているカリキュラムについて説明する。これらを踏まえ、実施された演習に参加した学生へのアンケートなどによる評価や問

^{*}電子情報工学科 ¹tsaitoh@fukui-nct.ac.jp

題点を4章にてまとめる。最後に今後の展望なども交え総括する。

2. クラウドサーバ遠隔演習の背景

この章では、情報系カリキュラムとしてのサーバ演習を行う背景や各演習テーマでの理解目標やこれまで実施されてきた演習での問題点について示す。

2・1 サーバ演習の必要性

サーバを用いた演習は、高専機構のモデルコアカリキュラムの中では表1に示す情報分野と関係¹⁾しており、オペレーティングシステムのCLIでの操作を通して、ネットワークシステムやデータベースシステムの操作に慣れ親しむことを期待している。

表1 サーバ演習とモデルコアカリキュラム

| |
|----------------------------------|
| 3-1-4 V-D 情報分野 |
| V-D-4 コンピュータシステム(コンピュータシステム) |
| V-D-5 システムプログラム(オペレーティングシステムの基礎) |
| V-D-6 情報通信ネットワーク(ネットワーク応用) |
| V-D-8 その他の学習内容(データベース) |

2・2 これまでのサーバ演習と問題点

電子情報工学科では、以前より学科内に設置したサーバを用いて、以下のような演習を行ってきた。

- (1) 本科5年前期, 電子情報工学実験Ⅳ「Webアプリケーションとセキュリティ」(2005年より)²⁾
- (2) 本科5年後期, データベース「SQL演習」(2009年より)
- (3) 本科3年, オペレーティングシステム「Linux操作演習」(2019年より)³⁾
- (4) 専攻科1年後期, 生産システム工学実験Ⅱ(電子情報系)「GPUを用いた並列計算」(2014年度より)

これらの演習のサーバは、学内プライベートアドレスが割り振られ、FireWallにより学外からの接続はできない。このうち(1)、(2)については、Debian GNU/LinuxにApache2、PHPなどのWebシステムで、実験時のファイル編集のためのsambaサーバを動作させ、Windowsファイル共有を利用し、コマンド実行ではsshなどを用いていた。(4)については、UbuntuにCUDAを導入しRemote Desktop

を經由し演習を行っていた。

2・2・1 BYOD 端末を利用する際の問題点

電子情報工学科では2017年度より、BYODを実施しており、これらの演習用サーバ接続を学生PCから行うことも考えられた。しかし現時点では、学内無線LANでは接続がhttp(tcp/80)、https(tcp/443)、DNS(tcp+udp/53)などの基本プロトコルに限定されていることから、Windowsファイル共有(tcp/139)やssh(tcp/22)やRemote Desktop(tcp+udp/3389)などは、利用できない。このため、各実験室のWindows端末から有線ネットワーク接続で実験を行っていた。

2・2・2 仮想サーバ利用の問題点

一方、卒業研究や特別研究のネットワーク系のシステムでは、グローバルアドレスから接続可能なWebシステムが必要となることも多い。しかしながら、学内サーバに接続するためFireWallの設定を緩めることは、情報セキュリティ的に困難となる。

教員の研究利用や学校運営で必要となるサーバであれば、2015年度からは、機構の総括契約によるAzureサーバが各高専にて利用可能となった。しかし、学生の実験・卒研での利用は原則として認められていないため、電子情報工学科の斉藤研究室では2018年度よりさくらインターネット社とIaaS型の「さくらのクラウド」⁴⁾の契約により、卒業研究などで利用している。

2・3 インターネット専用回線を用いた実験環境

電子情報工学科のインターネット関連の卒業研究では、2.2.1節にて述べたように様々なネットワークプロトコルを利用した通信が必要となることも多い。また、2.2節の(4)で述べた「GPUを用いた並列計算」は、大量の計算をGPUにて高速に計算する仕組みの理解を目標としている。GPUを用いた並列計算をクラウドにて実行するサービスも提供されている⁵⁾が、費用面の実績が無いことが問題となった。

また同学科の小松研究室では、機械学習を用いた画像処理の研究の計画をしている。この研究では、大量の画像を学習させたモデルを構築し、処理結果を高速インターネット5G回線経由でアプリケーションの実行を行うシステム

の構築を目指している。

これらのことから、学科内の専用のサーバに、学内基幹ネットワークとは分離されたインターネット専用回線を用いて接続する、ネットワーク実験環境の構築を目指すこととなった。

2・4 COVID-19 対策と遠隔演習

2020年の新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の国内での感染拡大のため、福井高専では4月の授業開始を延期し、5月よりMicrosoft 365（旧Office365）を活用した遠隔授業を開始した。

電子情報工学科でも遠隔授業の方針を踏まえ4月より準備を行っていたが、演習などを含む実験の実施方法が問題となった。このため、学生が遠隔にて実施できる情報系テーマを前倒して実施し、ハードウェアや実験機器を利用する実験は、COVID-19の感染が落ち着くであろう9月に、集中授業の一環として実施することになった。

3. 電子情報工学科でのサーバ遠隔演習

3・1 さくらのクラウドを用いた演習

今回、本科5年前期、電子情報工学実験IV「Webアプリケーションとセキュリティ」を行うにあたり、2.2.2節で述べた、斉藤研究室で利用しているさくらのクラウドを利用した。諸元を表2に示す。

表2 さくらのクラウドによる演習用サーバ諸元

| | |
|-------------|---|
| プラン | 2Core, Mem:2GB, HDD:40GB 準仮想化 virtio |
| OS | Ubuntu 18.04.5 LTS 64bit |
| Webサーバ | Apache2.4.29 |
| 動的ページ | PHP7.2.24 |
| データベース | SQLite 3.22.0 |
| リモート接続 | OpenSSH 7.6p1 |
| Dynamic DNS | MyDNS.JP (nitfcej.mydns.jp) |

実験にあたり、学生は自身のパソコンにインストールしたMicrosoft Visual Studio Code（以下VSCodeと略）でRemote-sshプラグインをインストールすることで、演習用サーバ上のファイル編集やコマンド実行を行う。図1に指導書の一部を示す。



図1 実験指導書の例(Webアプリケーションとセキュリティ)

当初は、様々な実験で使うことを想定し、学生のユーザアカウントは、総合情報処理センターの学生アカウント情報をLDAPにより用いることを予定していた。しかし、Dynamic DNSからの認証接続でトラブルが発生したことから、1クラス50人分の実験用アカウントを作成して実験を行った。また、さくらのクラウドではsshへの分散DoS攻撃対策で、login時のパスワード間違いが発生するとポート22の接続全体が閉ざされ、実験ができなくなるトラブルが発生した。このため実験専用のsshポートアドレスを開いて実験を行った。

3・2 外部接続回線によるGPUサーバ演習

クラウドサーバを用いた演習環境以外にも、卒業研究での利用の他に、2.2節(4)で述べた、専攻科1年、生産システム工学実験II（電子情報系）「GPUを用いた並列計算」を後期に実施するにあたり、電子情報工学科に直接接続するネットワーク回線を設けることとなった。この回線は、セキュリティを考慮し学内ネットワークシステムとは別回線とし、物理的に異なる光ファイバ回線にて電子情報工学科まで引き込んでいる。

今回は、GPUを用いた並列計算の実験を行うため、CUDAサーバを接続している。諸元を表3に示す。

同様のGPUシステムは、さくらインターネットでも、クラウドサーバでの「高火力GPUサーバ」なども利用可能であるが、実験ではGPUによる並列計算のしつこさを体験することが目標であることから、利用料金も考慮しクラ

ウドシステムの利用は見合わせた。

表3 外部接続回線による GPU サーバ諸元

| | |
|-------------|--|
| CPU | Xeon E3-1245 3.4GHz, Mem:8GB, HDD:150GB |
| GPU | NVIDIA Quadro K600 |
| O S | Ubuntu 18.04.5 LTS 64bit |
| GPUエンジン | CUDA 10.1 |
| リモート接続 | OpenSSH 7.6p1 Xrdp (sshのポートフォワードで接続) |
| Dynamic DNS | MyDNS, JP (nitfcuda.mydns.jp) |

この実験では、計算結果を gnuplot などを用いて確認しながら行うことから、学生自身のパソコンにて Linux 環境を起動し、この環境から、ssh のポートフォワード機能を用いた X サーバにリモート接続しプログラムの編集や処理結果の確認を行う予定である。

3・3 5G 回線による実験環境

GPU を用いたパソコンの主な活用目的は画像処理にある。画像処理のために機械学習を利用する場合、大量の学習データを学習させモデルを構築する必要がある。それら学習させたモデルをアプリケーションとしてタブレット端末等で利用する際には、ある程度のスペックが端末側に要求される。可能であれば端末に依存することなく、また遅延がなくリアルタイムで結果を得ることが理想である。そのためには、構築したモデルをアプリケーションとして端末等にインストールして使用するのではなく、端末側のカメラ等から取得した画像をサーバ側で処理させる必要がある。限りなく遅延を少なくするためには、端末側とサーバ間における高速通信環境が必要となる。3.2 節でも述べたように、学内ネットワークとは別回線として光ファイバ回線を引き込んでいるが、端末側と学内に設置したサーバとのより高速な通信環境が必要である。現在福井高専と KDDI 株式会社、株式会社 jig.jp, NPO 法人エル・コミュニティの間で包括的連携協定を結んでおり、学内に 5G の通信基地局設置が検討されている。これにより、GPU サーバと端末間での通信速度に関して、5G 回線を利用した場合とそれ以外での通信速度について調査する実験を検討している。

なお、GPU サーバは科研費番号 20K14109 を利用して

以下のようなスペックの画像処理に特化した高メモリの GPU サーバを導入予定である。

表4 画像処理特化型の GPU サーバ(導入予定スペック)

| | |
|--------|---|
| CPU | Core i9 9940X 14core/28thread 3.3GHz Mem:64GB, SSD:960GB |
| GPU | NVIDIA Quadro RTX8000 3枚 |
| O S | Ubuntu 18.04 LTS |
| マザーボード | Intel X299 Express チップセット |
| その他 | 電源:1500W, CPU 水冷ユニット, NVLink 使用 |

4. サーバ遠隔演習の評価と問題点

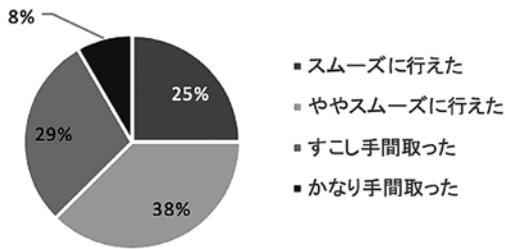
4・1 さくらのクラウドによる演習用サーバの評価

3.1 節にて示したさくらのクラウドによる演習サーバは、5年電子情報工学実験Ⅳ以外にも、4年創造工学演習の予備実験「PHP と SQL 演習」でも利用した。実験にあたり、手順書を Microsoft Teams にアップロードしておき、事前に学生に案内した実験時間に全実験参加者を Teams の Web 会議に招集し実験を行った。実験後参加した学生に、(1)実験の進め易さ、(2)指導書の分かり易さ、(3)ネットワークの遅延の影響の有無についてアンケートを行った。回答があった 24 件について結果を図 2 に示す。

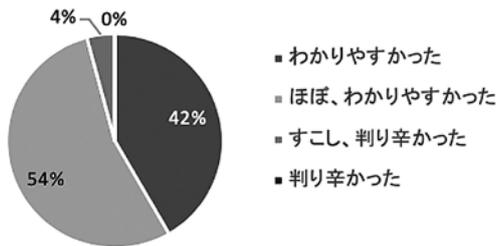
アンケート結果の 4 段階評を 100 ポイント、7 ポイント、33 ポイント、0 ポイントに重みをつけて集計すると、(1) 実験の進め易さは 59.7 ポイントで低い評価であった。3.1 にも示したように、当初 DoS 攻撃対策の接続制限で ssh 接続ができず「手間取った」という印象を持ったことも考えられる。また CLI によるサーバ操作に不慣れなことも原因と考えられるが、遠隔方式で実施した他の実験に比べレポートの提出遅れなどは少なく、遠隔演習の指導は一定の成果があったと考える。(2) 指導書のわかりやすさについては 79.2 ポイントであり、実際の操作画面などをキャプチャしたものをベースとした操作マニュアルを作ったことから、ある程度良い評価が得られた。また、(3) ネットワークの遅延の影響は 88.9 ポイントであり、実験時にはほぼ 1 クラス 30 名ほどが同時に利用しているが、負荷のほとんどが ssh によるファイル転送や Web サーバへのアクセスだけであり、クラウドシステム利用による遅さの問題は無かったと考えられる。

さくらのクラウド上の今回の実験では、2Core, Mem:2GB, HDD:40GB 構成にて構築したが、常時起動した状態で月額 4,180 円の請求であった。また、ssh 接続への攻撃の懸

(1)実験は、指導書やWeb会議の説明を聞きながら、スムーズにすすめられましたか？



(2)実験の指導書はわかりやすかったですか？



(3)実験で、サーバに接続する際、ネットワークによる通信の遅さが問題になりましたか？

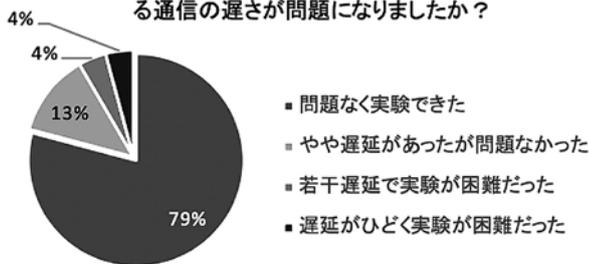


図2 さくらのクラウドによる演習の利用者アンケート

回線を導入することで、公衆高速無線通信 5G を用いた実験も可能となり、今後の活用が期待される。

謝 辞

本研究 3. 3 節に記載した 5G 回線による実験環境の構築は、JSPS 科研費 JP 20K14109 の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- 1) 高専機構,「モデルコアカリキュラムガイドラインー(経済・ビジネス系を除く)」, <https://www.kosen-k.go.jp/Portals/0/MCC/mcc2017all.pdf> (2017)
- 2) 斉藤徹,「Web アプリケーションとセキュリティ」, <https://www.ei.fukui-nct.ac.jp/user/tsaitoh/exp/webphp/> (2019)
- 3) 斉藤徹,「Linux 演習-ファイル操作」, <https://www.ei.fukui-nct.ac.jp/2019/12/21/linux-file-access/>, (2019)
- 4) さくらのクラウド,「クラウドサーバーは IaaS 型のさくらのクラウド」, <https://cloud.sakura.ad.jp/>, (2020 年 10 月参照)
- 5) さくらインターネット,「AI・ディープラーニングに最適な高火力 GPU サーバー」, <https://www.sakura.ad.jp/koukaryoku/>, (2020 年 8 月参照)

念から、実験とレポート作成期間を終えた後は、必要時以外停止としている。

5. まとめ

電子情報工学科では、以前より卒業研究などでオンプレミス型サーバやクラウドサーバなどを導入し実験を行っていたが、今回新型コロナウイルスによる遠隔授業を実施することから、さくらのクラウドを利用した遠隔実験用サーバを構築し、Web 関連技術についての実験を行った。実験に参加した学生へのアンケート結果をみても、わかりやすい実験指導書の準備があれば、ネットワーク遅延などの影響も少なく、今後もこれらの実験の継続発展が期待できる。

一方、GPU を用いた並列計算や機械学習といった研究では、求められるネットワーク構成に柔軟に対応するために、学内基幹ネットワークとは分離されたインターネット

Arduino シミュレータを用いた電子情報工学実験の導入

高久 有一*¹ 内藤 岳史** 清水 幹郎**

Introduction of new electronic and informational experiments using an Arduino simulator

Yuichi TAKAKU, Takefumi NAITO and Mikio SHIMIZU

It is very important for students in the Department of Electronics and Information Engineering to study computer programming for embedded systems so as to develop practical knowledge of both hardware and software. In fact, some embedded systems have been used in the department's electronic and informational experiments. One such system is the Arduino. In third grade, students learn about embedded system programming in C language on the Arduino.

This year, to prevent COVID-19 infection, however, the style of lesson had to hastily change to remote learning. Therefore, Tinkercad an Arduino simulator, has been used on the Web instead of the real Arduino. Because of this, students have done the experiments as homework. In this paper, we report the contents and results of the experiments.

Keywords : Arduino, Arduino simulator, embedded system, computer programming education, electronic and informational experiments

1. はじめに

電子情報系の学生にとって、様々な機器に制御等のために用いられる「組み込みシステム」のプログラミングを行うことは、コンピュータのハードウェアとソフトウェアの両面を学ぶことができることから、非常に重要である。現在、福井高専電子情報工学科の学生は、IchigoJam, micro:bit, Arduino¹⁾等を用いた学生実験においてこれ在学习している。しかし、本年度は、新型コロナウイルス感染予防対策のため、前期の間は遠隔授業となり、実験・演習類の実施がそのままでは困難になった。そこで、本学科3年生の前期に行っているArduinoに関する学生実験は、ArduinoシミュレータであるAutodeskのTinkercad²⁾を用いて学べるように変更した。これにより、学生が場所や時間に制限されず学ぶことができるようになった。また、実際の実験に比べ、測定器やArduinoに接続する

外部デバイスがより多く選べるなどの利点もある。本論文では、その実験の実施内容について報告する。

2. 組み込みシステムに関する教育

組み込みシステムのプログラミングには、そのシステムに関するハードウェアの知識が必要である。以前は、アセンブラで記述する場合は手間がかかったり、C言語で記述する場合は高価な専用の有料コンパイラが必要であったりしたため、敷居が高かった。しかし、現在では、Arduinoのように、C言語やC++言語等での開発環境が無料で配布されているばかりでなく、GitHub³⁾等に便利なライブラリが多数あるため、各種デバイスの利用が容易になっている。mbed⁴⁾のように全てWebブラウザ上で行える開発環境が提供されているものもある。但し、近年の組み込みシステムで使われるCPUは、高速化、多機能

*電子情報工学科 **教育研究支援センター ¹takaku@fukui-nct.ac.jp

化が進み、学生が最初に学ぶには複雑なものも多い。

本校電子情報工学科では、1, 2年時に、IchigoJam や micro:bit にて、組み込みシステムに関する入門を行っている。3年時では、以下のことを考慮し、組み込みシステムのプログラミングをC言語で学ぶためのワンチップマイコンボードとして、Arduino を用いている。

- ・C言語で記述できる
- ・開発環境を整えるのが容易
- ・情報が多い
- ・安価で壊れにくい

Arduino は、学習用のマイコンボードであり、ロボット制御等にも利用可能⁵⁾で、初心者に適している。また、開発環境が、Windows, Mac OS X, Linux と多くのOSに対応しているため、プラットフォームにあまり依存しない。また、Arduino UNO の価格は、正規品で3000円程、互換機では500円程と十分安価である。

3. Arduino シミュレータを用いた学生実験

Arduino シミュレータを用いた学生実験は、本学科3年の前期に遠隔授業として行った。これは、今までのArduinoに関する実験を、遠隔授業に対応すべく変更したものである。使用したArduinoシミュレータは、AutodeskのTinkercadである。Fritzing⁶⁾、Autodesk Eagle⁷⁾も検討したが、導入にかかる負担や機能面を考慮した結果、Tinkercadを選択した。Tinkercadは、ブラウザにて動作する3Dモデリングサービスとして2011年に運用を開始し、2013年からAutodeskにて運用され現在に至っている。

Tinkercadは、Webブラウザ上で動くためインターネットへの常時接続が必要であるが、個人のパソコンの設定を変更することなく利用が可能で、遠隔授業での利用に便利であった。また、クラス機能があり、クラスを作成し学生を登録することで、Tinkercadのサインインに必要なアカウント(Autodesk, Google, Apple)が不要となる。これに加え、教員は学生の演習状況を確認することが可能である。

このシミュレータ上で使用したボードは、最もベーシックなArduino UNOであり、その実機のスペック⁸⁾を表1に示す。この表のように、Unoに載っているCPU ATmega328Pは、クロック数16MHz、フラッシュメモリー

32KB、SRAM 2KBと、学生が普段使っているパソコンに比べ非常に低い性能である。そのため、プログラミングにおいては、ハードウェアをより効率的に動かす工夫が必要となる。UNOは、I/Oピン、ADコンバータ、PWMピン、シリアル通信、I2C通信、タイマ割込み等があり、基本的な機器の制御には十分な機能を持っている。これにより各種電子部品やセンサ類の利用が可能である。

表1 Arduino uno のスペック

| | |
|-----------------------------|--|
| Microcontroller | ATmega328P |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V |
| Input Voltage (limit) | 6-20V |
| Digital I/O Pins | 14 (of which 6 provide PWM output) |
| PWM Digital I/O Pins | 6 |
| Analog Input Pins | 6 |
| DC Current per I/O Pin | 20 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash Memory | 32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader |
| SRAM | 2 KB (ATmega328P) |
| EEPROM | 1 KB (ATmega328P) |
| Clock Speed | 16 MHz |
| LED_BUILTIN | 13 |
| Length | 68.6 mm |
| Width | 53.4 mm |
| Weight | 25 g |

これらの特徴を生かし、以下の3.1, 3.2で説明する学生実験をTinkercadで行った。

3.1 の Arduino シミュレーション I 概要

Arduino シミュレーション I では、最初にArduinoの概要について学ぶ。学生がこれまで使用してきた各種ボード(IchigoJam・micro:bit)と比較することで、それぞれの特徴を理解することから始める。次にTinkercadの基本操作を練習し、このシミュレータの使い方に慣れてもらう。

その後、昨年度まで実施していた「ProcessingとArduinoの演習」内容をベースにした演習に取組んだ。その内容を以下に示す。

[1週目] Arduino 入門

- (1) Arduino とは
- (2) Tinkercad の基本操作
 - ワイヤ (結線, 色, 削除)
 - コンポーネント (回転, 反転)

(3) Arduino のサンプル動作

LED 接続

スケッチの動作確認 (LED 点滅)

[2, 3 週目] Arduino 基本演習

(1) デジタル出力

(2) アナログ出力と PWM

(3) スイッチ動作

プルアップ抵抗

(4) アナログ入力

フォトレジスタの値を読み取り, シリアル出力

(5) 割り込み処理

スイッチの演習を割り込み処理で実現

上記, スケッチの動作確認で行う LED の点滅の演習は, 図 1 に示すように行われた.



図 1 Arduino シミュレータ上での LED の点滅の様子

3.2 Arduino シミュレーション II の概要

Arduino シミュレーション II では Arduino シミュレーション I で行ったシミュレータの基本的な使い方を学ぶことに加え, シミュレータを幅広い用途で扱えるようになることを目的に, 学生が自主的に取り組むことができるよう実施した.

[1 週目] シリアル通信の実験

Arduino でも通信のため実装されているシリアルポートを取り上げ, 文字送信の際にポートで発生する電圧波形を観測する. シミュレータでの波形観測にはオシロスコープ, マルチメータなどのコンポーネントを使用する.

(1) シリアルポートで発生する電圧波形観測

(2) 複数の Arduino 間でシリアル通信を行った際に発生する電圧波形観測

(3) レポート課題

シリアル通信・パラレル通信の調査

それぞれの通信規格調査

シリアル通信の実験の様子は, 図 2 に示すように波形の観測ができる.

[2, 3 週目] シミュレータでできることを確認する自主課題

シミュレータで用意されているさまざまな入力用, および出力用コンポーネントを学生に自主的に使用させ, 何らかの入力に対し何らかの反応をするプログラム作成を課題とした. 提出された課題例を図 3 に示す. 図 3 (a) はボタンを押した数をカウントするボタンカウンタ, (b) はルーレット, (c) は超音波距離センサと LCD を使った距離計測計である.

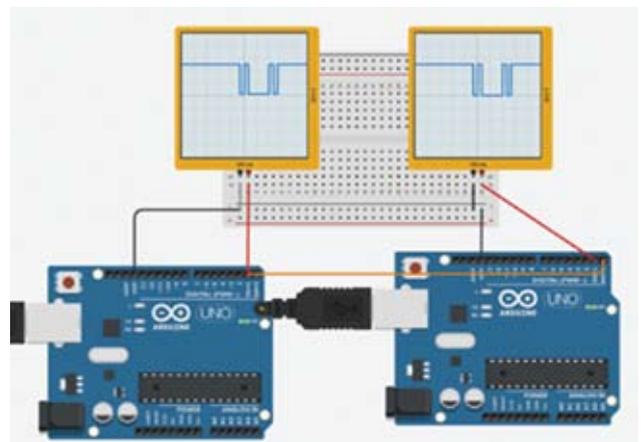
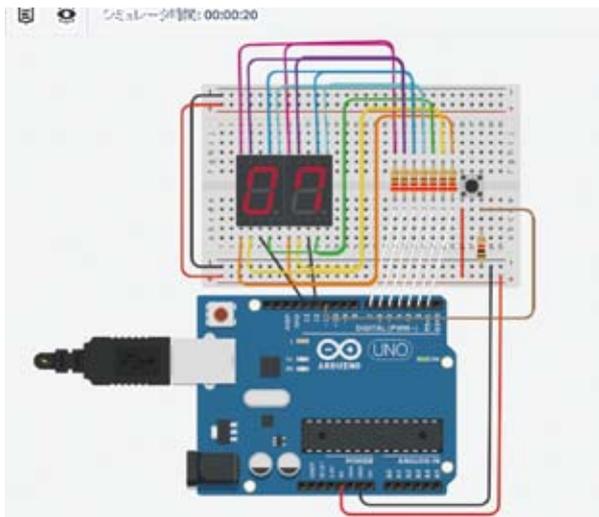


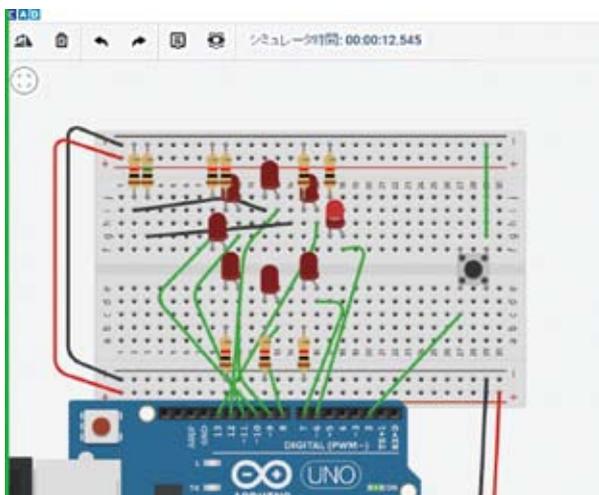
図 2 Arduino シミュレータ上でのシリアル通信の実験の様子

4. 学生実験の評価

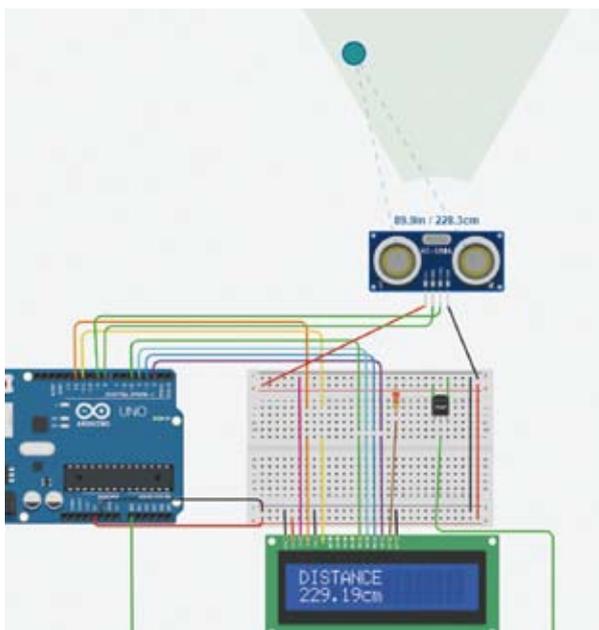
Arduino シミュレータ Tinkercad を用いた電子情報工学実験は, 導入部分を遠隔授業等にて教員が説明し, 学生は自宅にて課題に取り組んだ. Tinkercad のクラス機能にて, 予め用意しておいたクラス的环境下で行ったため, 大きな問題もなくスムーズに実験に取り組んでもらうことができた. シミュレータ上で, 多くの電子部品やデバイスが用意されているため, Arduino の実機を用いた実験と同様のことをシミュレータ上でも行えた. 実機での実験と異なり, コンポーネントの数に制限がないため, 自由に使用したいものを試すことができた. また, 本校では, 基本的に Microsoft Teams を利用して遠隔授業を行っているため, 質問等はチャットで受け付けることで, 個々の学生へ



(a) ボタンカウンタ



(b) ルーレット



(c) 距離表示計

図3 学生の自主課題作品例

の対応も行った。

特に、便利になったことは、画面上に書いた回路などをそのままレポート作成時に使えることである。学生にとっては、回路の変更やそれに伴う書き直しなども含め、レポートを書く手間と時間を大幅に削減できた。レポートを採点する教員にとっても見やすくなった。

しかし、以下の点においては、十分気を付けなければならない。スケッチ内の delay 値が小さい(数十ミリ秒以下)場合、シミュレーション実行上の仮想時間で動作するため注意が必要である。例えば、シミュレーション上の仮想時間1秒が実時間の10秒になるようなこともある。また、シミュレーションの実行速度が極端に遅いときがあった。クラウドサービスであるため、全世界からの利用集中が原因だと考えられる。これに関しては、サービスの稼働状況が、Web 上にて確認可能であり、障害が発生していないかを調べることができる。

5. まとめ

新型コロナウイルス感染防止対策のための遠隔授業に対応すべく、急遽導入した Arduino シミュレータを用いた電子情報工学実験であったが、学生は全員、課題を行いレポートを提出することが出来た。学生にとっては、場所や時間に制限されず、時間をかけて学べる環境を得られたことが、良かったと思われる。また、Tinkercad には、測定器だけでなく電子部品やデバイスも数多く用意されているため、シミュレータの利点を生かした実験を行うことも出来た。Arduino に興味がある学生は、今後もこの環境を利用することで、さらに学ぶことが出来ることも利点である。これらのことは、学生が提出したレポートのコメントにも書かれていた。

後期には、Arduino を用いたライトレースロボットの実験によりロボット制御について学んでいる。その時に、この実験の知識が生かせるであろう。更に本年度からは、コンピュータの動作原理の理解を深めるため、Arduino を用いたアセンブラ入門の実験も予定している。

これらのハードウェアを意識したプログラミングを学ぶことで、学生の電子情報系に関する知識がより深まるであろう。更に、この知識と経験が、高専プログラミングコ

ンテスト等の各種コンテストへの参加に繋がることも期待している。

参考文献

- 1) Arduino Web ページ, <https://store.arduino.cc>,
(2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 2) Arduino シミュレータ Autodesk Tinkercad,
<https://www.tinkercad.com/learn/circuits>,
(2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 3) GitHub Web ページ, <https://github.com>,
(2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 4) mbed の Web ページ, <https://os.mbed.com>,
(2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 5) 高久有一, 松崎宙: ワンチップマイコンによるインドア模型
飛行機の制御, 日本技術史教育学会 2019 年度研究発表講演
会, 研究発表講演論文集 pp.56-59, (2019)
- 6) Arduino シミュレータ fritzing,
<https://fritzing.org/download>, (2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 7) Arduino シミュレータ Autodesk Eagle,
<https://www.autodesk.com/products/eagle>,
(2020 年 9 月 1 日閲覧)
- 8) Arduino uno のスペック,
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>,
(2020 年 9 月 1 日閲覧)

福井高専電子情報工学科における BYOD の導入とその効果

西 仁司*¹ 村田 知也* 小越 咲子* 小松 貴大* 長水 壽寛**

Effects of Introducing BYOD in the Department of Electronics and Information Engineering, Fukui KOSEN

Hitoshi NISHI, Tomonari MURATA, Sakiko OGOSHI, Takahiro KOMATSU and Toshihiro NAGAMIZU

The Department of Electronics and Information Engineering in Fukui KOSEN has introduced the Bring Your Own Device (BYOD) system which means that students must bring their own devices when they use a PCs in the classroom. The system enables students to have programming exercises in their classroom. It also enables teachers to collect students' assignments utilizing their own devices. In this paper, we have shown the background leading to the introduction of the BYOD system and practical operational procedures. We have also verified the effects of the system and problems by student questionnaires and teacher observations. As a result, we have found that the BYOD system enhances the use of non-school PCs and reduces congestion of computer rooms in the institution. We also have indicated that the BYOD system can increase student autonomy and revitalize student activities, such as self-management of their academic results with the learning management system (LMS) and active learning with communication tools. We have pointed out that enhancement of the effect requires the buildup of hardware, the designing of lessons for student's PCs, and the development of teaching materials.

In the first semester of 2020, almost all classes at Fukui KOSEN were conducted remotely because of COVID-19. Through a questionnaire, we also showed the difference between the home learning environment of students who take the class with the BYOD system and without it. As a result, we have found that the introduction of the BYOD system is necessary for utilizing teaching materials for remote classes because students in classes with the BYOD system have a better home learning environment for remote classes.

Keywords : BYOD, information engineering education, information literacy, LMS, teaching method

1. はじめに

福井高専電子情報工学科では、2017年度の3年生から、学校の授業で使用するパソコン(PC)を学生各自が所有するものとするBYOD(Bring Your Own Device)を導入している。これ以降、プログラミングの授業では教室での演習が可能となり、学生からの課題の回収などでも学生各自が所有するPCの活用を念頭に置いた取り組みがなさ

れてきた。本稿では、導入から3年が経過した本学科でのBYODの取り組みについて、導入の経緯から具体的な運用方法を示すとともに、学生のアンケート結果を基にしたBYOD導入の効果と課題について考察する。また令和2年度は、新型コロナウイルス感染拡大をうけ、前期のほとんどの授業を遠隔で行うことになった。この期間におけるBYOD導入クラスと未導入クラスの学生での学習環境の違いについても、アンケート結果を示して考察する。

*電子情報工学科 **一般科目教室 ¹nishi@fukui-nct.ac.jp

2. 背景

2・1 教育現場でのPC利用の展望

近年, BYOD や CBT (Computer Based Testing) の推進, また義務教育機関の GIGA スクール構想においても, 学校における PC の利用について積極的な動きがみられる. Society5.0 時代に生きる子供たちにとって, 子供たちの可能性を広げる場所である学校が, 時代に取り残され, 世界からも遅れたままではいけないということ, また, ICT を用いることが, 多様な子供たちを誰一人取り残すことのない公正に個別最適化された学びや, 創造性を育む学びにも寄与するものであり, 特別な支援が必要な子供たちの可能性も大きく広げるものとされている.

さらに, GIGA スクール構想では 1 人 1 台の端末の整備と併せて, 統合型校務支援システムをはじめとした ICT の導入・運用を加速していくことで, 授業準備や成績処理等の教員の負担軽減にも資するものであり, 学校における働き方改革にもつなげる意図があるという. また, 2021 年度大学入学者選抜からの導入が予定されている大学入学共通テストにおいても, 検討の過程では CBT 方式の導入が議論されている¹⁾. また, 新型コロナウイルス感染拡大をうけ, ほとんどの高等教育機関がオンライン授業を実施する等, 初等中等教育から高等教育, さらに社会人となっても ICT を利用した環境が今後加速し, スタンダードとなっていくと考えられる.

2・2 障害学生への合理的配慮としての BYOD 導入

ICT を積極的に利用することで, 学習障害 (Learning Disabilities, LD), その中でも読字障害 (ディスレクシア) と書字障害 (ディスグラフィア) を持つ学生への支援が大きく進むと考えられる. 文科省の調査において, 義務教育期間の通常学級の在籍者の 4.5% に LD がある可能性があり, 読み書きだけに大きな困難のある人は, 2.4% はいる可能性があることが示されている²⁾. また近年, 高等教育機関においても障害学生数は増加している. その中でも精神障害, 病弱 (内部障害), 発達障害 (ASD (自閉スペクトラム症), ADHD (注意欠如・多動性障害), SLD (限局性学習障害)) のある学生が多数派となっており, 全国の高専学生の約 3% がこれらの障害を持っている³⁾.

平成 28 年 4 月に施行された「障害を理由とする差別の

解消の推進に関する法律」により, 国立公立学校には障害者への合理的配慮が義務化された. 高専や高校, 大学等における合理的配慮とは, 障害のある者が教育を受ける場合, 他の者と平等に「教育を受ける権利」を享有・行使することを確保するために, その状況に応じて, 個別に必要とされるものである. この時, 教育機関は, 障害者が納得し, 体制面・財政面において, 均衡を失した又は過度の負担を課さない範囲で, 必要かつ適当な変更・調整を行う配慮が認められている. 増加する障害学生に対する対応が不可欠である.

教育機関における合理的配慮として一般的に提供されやすい変更・調整について, 表 1 に示す. これらの合理的配慮の多くが PC とそのソフトウェアの使用によって提供可能なものである. さらに, BYOD であれば自分自身で PC を準備するという点においても, 財政面において学校に過度な負担をかけないものである.

何が合理的かはケースバイケースであり, 関係者間の合意形成が重要となるが, BYOD や CBT を既に採用して実施している高専にとって, PC 利用が認められていない教科や試験において PC の利用を認めることや, 関係者間, 学生と教科担当教員との合意形成を展開する上での懸念

表 1 障害者に対する提供しやすい合理的配慮

| 項目 | 具体的内容 |
|---------------------------------|---|
| 試験の配慮 | 別室受験, 時間延長, 代筆, 代読, 音声読み上げ, キーボード入力の許可 |
| 記録の代替 | ノートテイカーの提供, 録音, 撮影, パソコン利用の許可 |
| 教科書・教材へのアクセシビリティ | 教科書・教材を代替フォーマット (点字, 音声, 拡大, 電子テキストファイル等) に変換したものを提供, 字幕のないビデオ教材への字幕追加 |
| 音声言語へのアクセシビリティ | 手話通訳, 文字通訳 (パソコン要約筆記) |
| 建物とその機能へのアクセシビリティ | 教室, 寮, コンピュータ室, 図書館, 実験室等の部屋と設備へのアクセス保障 |
| その他の支援技術による自立サポート (1~5 を技術的に支援) | 代替入力装置 (特殊キーボード, 特殊マウス, スイッチ, 音声入力など), 拡大カメラ, タイマー, 耳栓, ノイズキャンセリングヘッドフォン, 読み支援目的のルーラー使用, 蛍光ペン, 緊急避難用階段昇降器具等 |

事項は、他の学生との公平性の面であると予想される。ここで、国連障害者権利条約での合理的配慮では、単なる「ひとりだけ特別は認めない」は差別となることに注目したい。合理的配慮を行うときに、他の学生との公平性の問題が議論され、その中で教員や学校側の無理解によって、この条約で規定している差別が起こることが近年まで多かった。この問題の解決としては、使う本人の自己コントロールによるところが大きいと考えられ、学生の自覚、自立を促すためにも、教員側の介入が随所で必要と考えられる。しかしその前に、合理的配慮としての利用も含め、制度、体制として教育現場で学生が各自所有 PC を利用できる環境を整えることは急務である。

2・3 福井高専電子情報工学科における状況

電子情報工学科のディプロマ・ポリシーでは、「電子工学及び情報工学の技術者として必要な基礎的な学力と能力」、「変化する IT 社会に対応できる応用力」、「実験実習や卒業研究を通じた実践的能力や創造能力」を養成することとしている。その中の、実践的能力や創造能力を生かす技術者となるためには、授業で得た知識やスキルを、できるだけ早い機会に、できれば、その授業中に演習、実践することで自主的にその定着を図ることが有効であるという議論を学科内で行っていた。また、電子情報技術に関する能力は、主に電子データの収集、加工、発信の能力と言い換えることもでき、機械工学や電気工学とは違って、その演習や実践に、大規模な設備、機械を必要とせず、安全に対する配慮もあまり必要とされないことに特徴がある。プログラミングそのものを学ぶ2年の「プログラミング基礎」、3年の「プログラミング応用」といった授業や、学んだアルゴリズムをプログラムとして実装する3年の「数値計算」、各学年の実験、システム開発の中でプログラム作成する4年の「ソフトウェア工学」や「創造工学演習」などの授業では、PCがあれば多くの演習が可能である。各自がPCを持つことで、教室や自宅で講義や実験の内容を自主的に学習するアクティブラーニングにもつながるという意見も出ていた。

実際には、グループでシステム開発を行う「創造工学演習」などの授業では、BYOD 導入以前も一部の学生が自分のノート PC を学校に持参し、それをを用いて作業を行っ

ていた。一方、ほとんどの学生は持参することはなかったため、これらの授業は総合情報処理センターの演習室を用いて実施されていた。

本校には40名が一斉に授業を受けることが可能なPCが設置された演習室が4部屋（総合情報処理センターに2部屋、環境都市工学科棟内に1部屋、eラーニング室）があるが、これらの部屋は、一般科目における座学（主に数学や英語）、他学科における実験・座学等でも利用されているため、時間割編成の都合上電子情報工学科の実験・実習において同時刻に全て利用することはできない。そのため電子情報工学科の各学年における実験は電子情報棟内に配置されている実験室も利用しているが、それぞれの部屋内には多くて10台程度しかPCが設置されていない。そのため、実験では1グループあたり8名程度の5グループに分けて実験室を割り当てている。部屋数が足りないために一部の実験テーマでは総合情報処理センターの部屋内で前後に分けて実験を実施するなどして対応してきた。それでも、eラーニング室を除く3つの演習室全体での1週間の空き時間は、2016年度前期には合わせて9コマ分であり、時間割編成上の大きな制限となっていた。

また、プログラミングを行う授業では、プログラムを記述してソースコードを提出するという課題を、情報処理センターのPCを使って、昼休みや放課後などの時間を利用して自主的に取り組むよう指導している。一方、情報処理センターの授業時間外利用ができるのは、学科学年を問わず全ての学生となっている。そのため、課題の締め切りなどが重なるような学科学年があった場合、情報処理センターのPCの保有台数よりも、利用したい学生数が多くなってしまい、使いたくても使えない学生が出てきてしまう。それによって課題の提出が遅れてしまったり、問題集が解けず試験の成績が悪くなったりする原因を引き起こしてしまっていることも考えられる。2014年度から運用を開始した校内無線LAN 4)を利用すれば、教室にあるPCでもwebサイトにアクセスできるようになったことから、BYODを導入すれば、演習室が混雑する問題がある程度は緩和されるのではないかと考えた。

これらの状況を総合的に判断して、学科としてBYODを導入することを2016年度当初に決定した 5)。

3. 環境設定・構築

3・1 導入に向けた検討

まず、BYODを導入する学年について検討した。1年次からとすると、5年間の使用に耐えうる高スペックで高価なPCが必要となってしまうこと、3年次であれば、これを利用する専門科目も増えて効果的であり、格安のものでも5年次までの使用に耐えうる可能性が高く、保険も安く済むことなどから、2017年度の3年次への導入を決めた。

次に、専門科目での具体的な活用案を検討した。使用方法としては、プログラミング、レポート作成、文献調査、シミュレータなどツールを使った演習がほとんどで、特殊なソフトウェアなどは必要ないことがわかった。PCの仕様としても、WiFiが必要という点も含めて、一般的なノートPCのスペックで十分であることがわかった。そこで、PCの価格帯としては、2万5千円から4万円程度とした。

授業での利用予定と、仕様の決定に伴い、最初の導入クラスとなる当時の2年次クラスの保護者に向けて、BYOD導入の必要性とPCのスペック・価格などを示したうえで、意見聴取を行った。

3・2 ハードウェアとソフトウェアの選定

BYOD導入にあたり、2019年度にこれからBYOD用にPCを購入する2年生の学生・保護者向けに案内した文書には表2に示すスペックを記載した。CPUとメモリ、ストレージの項目は実験・演習等で使用するMicrosoft Visual Studio 2019のシステム要件に沿ったものであり、それ以外の項目は参考までに掲載した内容である。

次にオペレーティングシステムに依存しないソフトウェアを選定した。基本的にWindowsを推奨してはいるが、各学年に数名はMacBook等を各自所有PCとして使用している。そのため、一部の実験テーマではBYOD導入後に使用するソフトウェアを変更する必要が出てきた。電子情報工学科で実験・演習時に学生所有PCにインストールしてもらうソフトウェア等を表3に示す。いずれも本校学生は無料で使用することができるソフトウェアである。昨今ではフリーのソフトウェアでもオペレーティングシステムに依存せずに動作可能となっているものも多いが、それでもWindowsでしか動作しないソフトウェ

アを使用する際にはMacを使用している学生に対して、VirtualBoxやParallels、BootCampといった方法を紹介している。また、これらのソフトウェアは導入当初から適宜変更が加えられている。

3・3 PC環境構築

授業で利用するにあたり、学生のPCの環境をある程度合わせておく必要がある。本学科では、BYOD導入の最初の学年である3年生の年度当初の専門科目や実験の時間を利用して、環境構築を行っている。具体的には、必要なソフトのインストール、学内無線LANへの接続申請と接続方法の説明である。この時に表3に示したソフトウェアを学生にインストールさせる。なお、学校の無線LANに接続する際には、デバイス側でウイルス対策がなされていることが必須であるが、教員側からは無償で利用できるMicrosoftの対策ソフトを紹介し、対策ソフトのインストールや運用は学生各自で責任をもって行うよう指導している。

表2 学生に示したPCスペック

| ハードウェア | 必要スペック |
|----------|---|
| CPU | Intel Core i3 または AMD Ryzen5 程度以上で、4コア、動作周波数1.8GHz以上 |
| メモリ | 4GB以上、(8GB以上が望ましい) |
| ストレージ | SSD 128GB以上、(256GB以上が望ましいがHDDは衝撃に弱いいため、既に購入されている場合以外は避ける) |
| OS | Windows 推奨 |
| 重量 | ～2kg |
| ディスプレイ | 11～14インチ程度(持ち運びに支障がないこと) |
| バッテリー | 駆動時間6時間以上が望ましい |
| 光学ドライブ | 不要 |
| 有線LAN | 不要 |
| 無線LAN | 必要 |
| 外部ディスプレイ | HDMI(D-subはなくてもいい) |
| USBポート | USB3.0ポート×2以上 |
| インカメラ | 内蔵 |
| オーディオ | 内蔵 |

表3 インストールするソフトウェア一覧

| 名 称 | 概 要 |
|------------------------------------|---------------------------|
| Microsoft365 | 文書作成, グラフ, プレゼンテーション用ソフト等 |
| Visual Studio 2009 | プログラム開発環境 |
| Visual Studio Code | プログラム開発環境 |
| Processing | プログラム開発環境 |
| Octave | プログラム開発環境 |
| Unity | 開発環境 |
| Arduino | 開発環境 |
| Bcpad, Borland C++ Compiler 5.5 | C コンパイラ, エディタ |
| Logisim | 論理回路シミュレータ |
| Tina-TI | アナログ回路シミュレータ |
| gnuplot | グラフ描画 |
| AcrobatReader | 文書閲覧 |

3・4 管理・保守・運用

学校に持ってきた PC は、カギのかかるロッカーを用いて各自で保管するよう指導している。また、学生が各自で購入している PC であるので、PC の故障やソフトウェアの不具合などは、学生個人で対応するよう指導している。もし、故障などでしばらくの間各自の PC が使えない学生が出てきた場合には、学科が所有するノート PC を一時的に貸し出している。

3・5 教室の環境整備

2017 年の実施状況から、教室内での電源コンセント確保が必要であることが分かった。また、学内の無線 LAN アクセスポイントにクラス全員が一度にアクセスすると、一部でネットワークにつながりにくい端末が出ることも明らかになった。

そこで、2018 年度の校長裁量経費において、以上の問題を解消するための電源タップと有線 LAN ポートの設置を行うプロジェクトを申請した。

4. デバイスの活用事例

4・1 専門科目の座学「数値計算」での活用事例

3 年生の数値計算の授業では、非線形方程式の近似解の導出方法の一つであるニュートン法や、数値積分などのア

ルゴリズムを紹介し、プログラムとして実装できることを目指す。BYOD 導入前は、授業時間の前半は教室で座学を行い、後半は演習室に移動してプログラミング演習を実施することもあったが、BYOD 導入により、教室ですぐに演習ができるようになった。図 1 にその授業の様子を示す。なお、この演習は技術職員の補助を得ながら進めている。

またこの授業では、課題の提出、採点結果の返却を電子データで行っている。2017 年度、2018 年度は旧 Office365 の ClassNotebook を利用した。2019 年度からは LMS の一つである Moodle を利用して、課題の提出・返却だけでなく、科目の成績についてもそこで各学生に通知することとしている。



図1 学生所有 PC を使った授業の様子

4・2 専門科目の座学「プログラミング応用」での活用事例

3 年生では 2.3 節で述べているように「プログラミング応用」という科目で学生所有 PC を利用して授業をしている。内容として、プログラミングにおける文章問題を読み解き、基本から応用までアルゴリズムの構造を理解しプログラムを記述するといったことなどを到達目標としている 6)。評価としてはプログラムを記述してソースコードを提出する課題と、試験対策問題集から出題される中間・期末の学力試験によって成績が算出される。課題のプログラムを解くこと、試験対策問題集を解くことは授業時間内では行わない。なおこれらの課題は、マイクロソフト Teams を利用して回収している。

また、授業中にダウンロードやアカウント登録をすることができるようになり、授業時間内にライブラリをインストールして演習に使ったり、Google API 7) などを用い

て課題をしたりといったことも可能となった。

また GitHub 8)の機能の1つである Pages を使って Web ページが公開できるが、この機能を使って自分で作った課題を Web に公開し、それに対して他の学生や家族、高専外の友達などから意見をもらう取組みを実施している。

4.3 学生実験での活用状況

それまで総合情報処理センターの演習室で行なっていた学生実験テーマのうち、教室内で実施できるようになったものとしては、3年生の「数値解析（最小二乗法，補間法）」、4年生の「画像処理演習」などが挙げられる。また、実験室等で実施されているいくつかの実験テーマにおいても、実験室内に設置されている PC ではなく、学生所有 PC を利用できるようになった。いずれにしても、ほとんどのプログラミングに関する実験テーマにおいて学生所有 PC が活用されている。

4.4 一般科目の座学「数理統計学」での活用状況

「数理統計学」は3年の通年科目（週1コマ）で、その内容は確率・統計であり、数学科・応用数学科の教員が担当している。教科書は5学科共通であるが、授業の進め方や扱う教材などは担当する教員に任されている。

BYOD が導入された2018年度から電子情報工学科の「数理統計学」を同一の教員が担当しており、年間30コマのうち、20コマ程度は PC を使う教材を用いている。PC を使う教材は2017年度から扱っていたが、BYOD 導入前でもあり、総合情報処理センターを使用することから、時間割作成では大変ご苦労をおかけした。

BYOD が導入されている電子情報工学科では、教室移動することなく PC が授業で使える。授業では表計算ソフトのマイクロソフト Excel を用いている。Excel ファイルや課題ファイル（主に Word）等は Moodle で配布し、課題提出も Excel ファイルの提出は Moodle で行っている。

授業では、データから度数分布表、ヒストグラム、相関図（散布図）の作成、回帰直線の導出とグラフ化、正規分布に従うデータの作成、標本分布のシミュレーション、推定・検定のシミュレーションによる確認などで学生が各自のデバイスを用いている。課題によっては、学生が扱うデータをそれぞれ違うデータで与えることも可能であり、異なる結果が出ることもある（そのようにデータを作っている）が、クラスとして様々なデータを扱いながら統計的

手法を学ぶことができる。

また、これまでの PC を使わない「数理統計学」の授業では、数値を求める計算技能の習熟と、その計算式の意味理解が中心であった。しかし、PC を授業に用いることで数値を求める計算や表・グラフの作成を PC に任せられるようになり、「データの比較」や比較したことから「何が言えるか」といった課題を設定することが可能となった。さらに「何が言えるか」を「どう確かめるか」というデータの分析・解析に課題を発展させることができるようになった。また、「数理統計学」の定理は、そのほとんどが証明することが難しいが、シミュレーションを用いることで、その定理の意味を視覚的に捉えることが可能となった。このように、「思考中心」にした授業設計としている。

5. 評価

ここでは、学生へのアンケートや4章で述べた各授業科目での取り組み、関係教員の感想を基に、BYOD 導入の効果を検証する。関係教員として、学生所有 PC を活用した授業を行っている教員と、そのクラス担任、時間割編成教員の意見を聴取した。学生へのアンケートは、3年前期に開講している「数値計算」の授業で、2017年度から前期終了後に実施している。

5.1 活用状況とその効果

まず、学生アンケート結果から評価する。情報処理センターや実験室などにある学校の PC で課題を作成したことはどれくらいあるかという質問の結果を図2に示す。どの年度も50%以上の学生が学校の PC を全く利用していないと答えており、各自の PC で課題作成している様子が把握できる。また図3には、2019年度の学生への質問「BYOD で購入した PC は活用できていると思いますか」という質問の回答状況を示す。この質問に対しては、95%以上の学生が活用できていると回答している。

2018年度以降は、「昨年までの学校 PC の利用と比較して、授業や課題実施の際に BYOD を利用したことによる便利な点があれば何でも書いてください。」という質問と、「昨年までの学校 PC の利用と比較して、授業や課題実施の際に BYOD を利用したことによる不便な点、困った点があれば何でも書いてください。」という質問に対し

て、自由記述形式で任意で回答させた。その結果をカテゴリに分類したものを、表4にまとめる。便利な点としては、情報処理センターに行かなくても、教室でいつでも課題ができるといった時間と場所に関するものと、学校のPCは起動に時間がかかるが、その時間が節約できるといった性能面のものに大きく大別できる。電子データによる課題の提出を評価する意見については後述する。

これらの学生所有PCの活用状況を尋ねるアンケート結果から、PCの活用が進んでいることがわかる。また、4章で示したように、それぞれの授業科目において、LMSの利用や、電子データによる課題の提示と回収、各種ソフトウェアの利用が進められていることから、今後の社会で求められるICTを活用できる人材育成につながっていると考えられる。

学校PCの利用状況と自由記述のアンケート結果から、授業時間外にPCを使って課題に取り組む必要がある場合に、情報処理センターのPCを使わなくてよいため、学生の演習の進捗において演習室が混雑することによる影響は受けていないと考える。

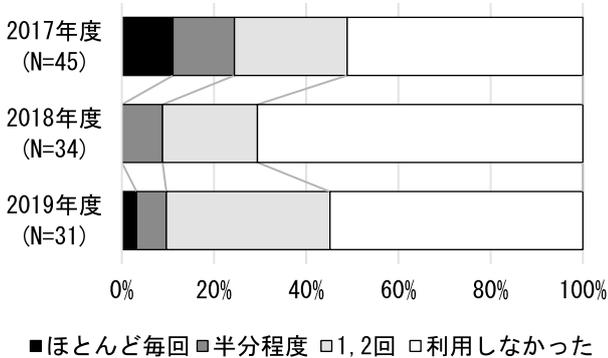


図2 「情報処理センターや実験室などにある学校のPCで課題を作成したことはどれくらいあるか」に対する回答

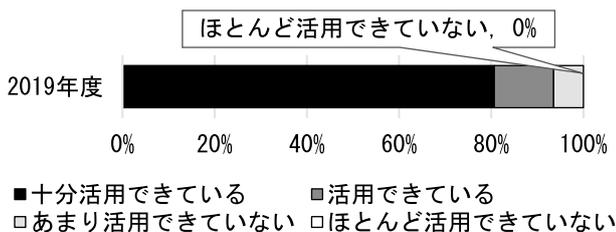


図3 「BYODで購入したPCは活用できていると思いますか？」に対する回答

表4 BYODを導入したことによる便利な点、不便な点に関する回答の概要

| 回答の概要 (○は便利な点, ×は不便な点・困った点) | 2018年度 | 2019年度 |
|--------------------------------|--------|--------|
| ○課題の作成の場所を選ばない | 11 | 16 |
| ○パソコンの性能が良い | 11 | 16 |
| ○電子データでの課題提出が便利 | 5 | 3 |
| ×荷物が増える, 忘れることがある, 充電や環境構築の手間 | 6 | 1 |
| ×教室の環境が不十分 | 6 | 7 |
| ×学校PCとの連携が手間 | 1 | 2 |
| ×ソフトの使い勝手が悪い, 不統一 | 1 | |
| ×家庭・寮環境が不十分, PC性能が不十分 | 1 | 2 |
| ×費用 | | 1 |

4.2節に示したように、授業時間内に必要な機能をダウンロードさせ、インストールできるようになったことから、学生の理解度に応じた柔軟な対応が可能となったことが示された。さらに自分で作った課題に対する評価を他者から受け取る取組みにより、学生のモチベーションを上げることができると考える。これらより、電子情報工学科のディプロマ・ポリシーでもある「実践的能力や創造能力」の養成や、BYOD導入前に期待したアクティブラーニングへのつながりという点で、効果があると考えられる。

一方不便な点としては、準備に費用が掛かるという意見は少なかった。しかし、教室のコンセントが不十分であることや、プリンタが使えないこと、教室机が小さいことといった環境についての内容と、持ち運びや管理が面倒といった内容が多かった。

PCの電源については、1クラス40人が入る一般的な教室には、壁面にしか電源コンセントがないため、電源ケーブルが教室に張り巡らされてしまうような状態になるときがある。この状況では、机と机の間を人が通ろうとすると足がケーブルに引っかかったり、雨や雪で濡れたままの靴でケーブルを踏んだりすると、断線や故障など危険性がある。

また管理面では、学生所有PCを利用する授業にPCを持ってくることを忘れてしまう学生がいることも大きな問題である。特に時間割変更等があると、そういった学生が多くなる。対策としては学科で数台分の予備PCを用意

しておき、学生が忘れた場合はそのPCを貸し出せるようにしておけると良い。ただその予備PCをどの程度メンテナンスしておくかということは検討しなければならない。

教員からの意見としては、授業に関係のないインターネットサイトの閲覧やゲームの問題が指摘された。各自が所有するPCであるため、学生がPCにゲームをインストールし、昼休みや放課後などに教室でゲームをしているといった光景が生まれてくる。スマートフォンと同様でどこまでを学校や担任が許容するかといった検討をする必要がある。ただスマートフォンの場合は、授業中に机の上に置いて使っていたらすぐわかるが、PCの場合は、ウィンドウの裏でゲームをしていてもわかりにくい。そのため、頻繁に教室を見回って学生のPCの画面をチェックするといった対策が必要となる。

また授業では、まだまだソフトの操作に時間を取られることもあるといった意見も聞かれた。教室やLANなどのハード面の環境整備も望まれるが、教員としては学生所有PCの利用に対応した教材を開発し、対応した授業設計を考え、実践していく必要がある。

5・2 電子データによる課題提出の状況と評価

4.2節で示したようにBYOD導入によって、いくつかの授業でMoodleを利用した電子データによる課題の提出や返却が本格化した。ここでは、電子データを使った課題の提出について、数値計算の授業で行った学生のアンケート結果を示す。図4に「LMSを使った課題提出をどう思いますか?」という質問に対する回答状況を示す。なお、質問の「LMS」の部分は、2017年度はOneNote、2018年度はClassOneNote、2019年度はMoodleというシステム名を具体的に代入して調査している。この結果では、どの年度も70%以上の学生がよいと回答している。

次に、その理由について確認した。2017年度は他の質問とともにその理由やその他の意見を自由記述で書かせた。2018年度からは、図4に示した質問の回答理由を自由記述形式で質問しており、これらの結果を表5に示す。この結果から、自分の都合の良い時間に提出できることと、印刷や提出に手間がかからない点からLMS経由での電子データによる課題提出がよいと考えている学生が多いことがわかる。特に時間と場所の面の利点は、BYOD導入により、学生が授業中のプログラミング演習等に取り

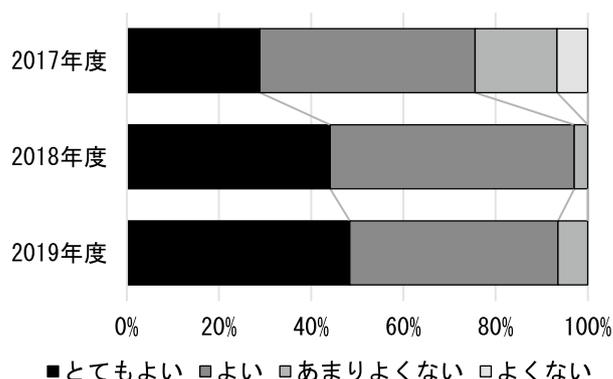


図4 「LMSを使った課題提出をどう思いますか?」に対する回答

表5 LMSを使った電子データによる課題提出に関する自由記述回答内容の概要

| 回答の概要 (○はよい理由, ×はよくない理由) | 2017年度 | 2018年度 | 2019年度 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
| ○時間と場所 | 1 | 22 | 10 |
| ○印刷・提出の手間 | 4 | 12 | 13 |
| ○課題や成績の管理 | 3 | 2 | 8 |
| ×提出できているかの不安 | 4 | 3 | |
| ×ログインの手間 | | | 2 |
| ×LMSの機能、動作 | 10 | | |

組んだ際に使用したPCを、そのまま休み時間や各家庭で使えるようになったことによる効果が大きいと考えられる。授業時間以外での学生のアクティブラーニングを促したいとするBYOD導入時の目論見についても、その素地ができたと考えられる。

また、LMSを利用することで、学習管理(課されている課題や成績確認)も学生で容易になり、これを利点と考えている学生も一定程度いた。BYODを導入しなくても、スマートフォンを利用すればLMSを利用することはできる。電子情報工学科では、PCを使った演習が他の学科に比べて多く、課題の実施、提出、成績確認といった一連の処理を一つのデバイスで行えるため、本学科では、学生の成績の自己管理の面からもBYOD導入は効果的であると考える。

数値計算の授業では、2019年度からLMSとしてMoodleを利用するようになった。課題提出がうまくできているか不安になるといった意見が2019年度になかったことや、LMSを使用することで課題や成績の管理ができ

てよかったとする学生数が 2019 年度大きく増えた理由として、Moodle にこれらの機能が充実していることが考えられる。以上より、LMS を使って電子データとして課題を回収する場合は、学生に対して資料のダウンロードや課題のアップロードについてのやり方を詳細に説明しておくこと、課題の提出状況が学生でも確認しやすいような仕組みにすることが重要であるといえる。

5・3 遠隔授業期間における状況と評価

令和 2 年度は、新型コロナウイルス感染拡大をうけ、本校では長期にわたって遠隔授業を実施した。その中では、教員が授業動画を配信し、それを自宅にいる学生が視聴する形態が実施されている。電子情報工学科では、2017 年度の 3 年生から BYOD を導入したので、遠隔授業時は 3 年生から電子情報系の専攻科 1 年生までの学生全員が各自所有 PC を持っていることになっている。これにより、プログラミング演習をはじめとする当該学年の多くの実験・実習テーマを遠隔で実施することが可能であった。

本校では、この際の学生の自宅での学習環境を調査するアンケートを実施した。これに対して本科生 808 人が回答し、BYOD を導入している電子情報工学科 3 年生以上の本科生 110 名のうち、72 名が回答した。その中の「遠隔授業で主に使用している情報処理機器を教えてください。」という質問の回答状況を図 5 に示す。その結果、画面の大きさや課題作成・提出の際の操作性で優れると考えられるパソコンやタブレットと答えた学生は、BYOD 未導入のクラスでは 62% 程度であったのに対し、BYOD 導入済みのクラスの回答した学生では、90% 近くに上った。

また「使用している情報処理機器は個人利用できますか」という質問に対して、「個人利用できる」と答えた学生は、BYOD 未導入クラスでは 83% 程度で、PC やタブレットを個人利用できると答えたのは、51% 程度であった。一方、BYOD を導入しているクラスでは、回答した学生全員が、個人使用可能と答えており、先の質問と合わせると、90% 近い学生が個人使用可能な PC やタブレットを使って遠隔授業を受けている状況がわかった。

この結果から、今回の遠隔授業の実施において、BYOD を導入しているクラス学生はより充実した環境で学習できているといえる。遠隔授業コンテンツは、学生が各自の理解度に応じて学習する際に役立つものである。また今

回、多くの科目でコンテンツが制作され、これをうまく再利用できれば教員の負担軽減にもつながる。このような状況を踏まえると、新型コロナウイルス感染拡大が収まっても、遠隔授業コンテンツの活用は進んでいくことが予想される。BYOD の導入は、学生にとって便利で、かつ、家庭と学校の負担のバランスを取った学習環境提供を実現するものと考えられるため、学年や学科を広げていくことを議論していく必要がある。

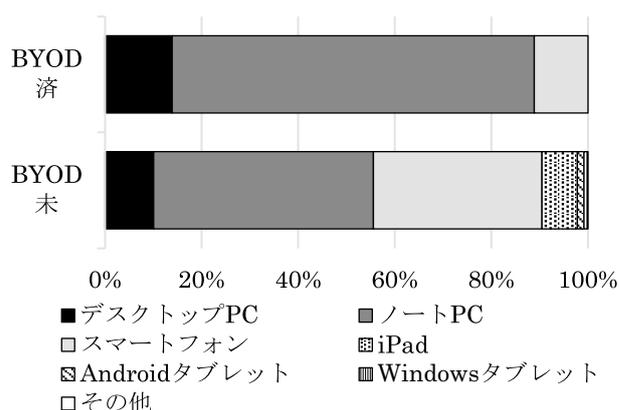


図 5 「遠隔授業で主に使用している情報処理機器を教えてください。」に対する回答

6. おわりに

福井高専電子情報工学科における BYOD 導入の現状とその評価を述べた。専門の座学や実験を始め、一般科目の授業でも学生所有 PC が活用されている現状を報告した。これまでの 3 年間の学生アンケート結果や、授業担当教員などからの意見聴取から、学生が所有する PC は課題作成などで実際に利用されており、ひっ迫していた情報処理センターの PC の利用がその分減ったこと、学生は各自が所有する PC を学校で活用できていると感じていることを示した。また、この環境に応じた教材やシステムを適切に学生に提供することで、学生の ICT の活用能力を高めるだけでなく、「思考中心」の授業を設計できるため、より本質的な知識の教授が可能になること、学生の授業に対するモチベーションや自主性の向上が期待できることを述べた。

一方、BYOD 導入の効果を高めるためには、教室の環境や学校側のサポート体制、学生所有 PC に適した授業設

計・教材開発をより充実させていく必要があることを示した。

新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から実施された遠隔授業に対してのアンケートからは、BYODを導入したクラスのほとんどの学生は、遠隔授業期間、各自が自由に使用できるPCを使って授業を受けていたことがわかった。遠隔授業コンテンツを今後も効果的に利用していくためには、今よりも学年や学科を広げてBYODを導入してくことを検討する必要がある。

このように、BYOD導入によって期待されていたことの多くについて、ある程度の効果が見いだせたと考えるが、学習障害の学生への合理的配慮の観点からは、ほとんど評価できていない。個々の学生の特性に応じた対応を、その都度検討していく必要があるが、可能な支援方法や、支援に利用可能なツールを確認しておくことは、障害のない学生にとっても有益であると考えられる。今後も授業実施のノウハウを蓄積し、定期的に意見交換を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 近藤武夫, 文部科学省: 大学入試のあり方に関する検討会議 (第9回資料) 資料3, 2020.6.16
- 2) 文部科学省初等中等教育局特別支援教育課, 通常の学級に在籍する発達障害の可能性のある特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査結果について, 2012.12.5, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/material/_icsFiles/afieldfile/2012/12/10/1328729_01.pdf
- 3) 日本学生支援機構, 令和元年度 大学, 短期大学及び高等専門学校における障害のある学生の修学支援に関する実態調査結果報告書, 2020.3
- 4) 平成26年度福井工業高等専門学校自己点検・評価報告書, 福井高専
- 5) 平成29年度福井工業高等専門学校自己点検・評価報告書, p.112
- 6) 福井高専 web シラバス「プログラミング応用」, https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicSyllabus?school_id=19&department_id=14&subject_id=0033&year=2018&lang=ja
- 7) Google API, <https://console.cloud.google.com/>
- 8) GitHub Pages, <https://github.co.jp/>

Effect of 2-mercaptonicotinamide side chains in a hydrophilic random copolymer on the shear strength of a photo-adhesive material

Masahiro FURUTANI *¹ Daiki FUJIHIRA ** Koji ARIMITSU **

Abstract : To confirm the effect of 2-mercaptonicotinamide side chains in a hydrophilic random copolymer on the shear strength, adhesive measurements of substrates of dissimilar materials are performed. A vinyl monomer having a benzamide moiety is synthesized and used in the measurements as a control. A mixture of 2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA), the vinyl monomer (2 mol% toward HEMA), and a radical photo-initiator is cured by UV irradiation at a wavelength of 365 nm (50 mW/cm², 6.0 J/cm²), to form the adhesive layer. It is found that these photo-adhesive samples show *ca.* 1-4 MPa of shear strength, which is inferior to the results on the photo-adhesive samples containing 2-mercaptonicotinamide groups in the polymer side chains. Nevertheless, addition of the vinyl monomer to HEMA increases shear strength of the resulting polymer, which indicates somewhat interaction of the benzamide moieties at substrate interface and in the adhesive layer. Furthermore, the glass-glass photo-adhesive samples keep *ca.* 4 MPa of shear strength even after 4 weeks. Comparing the result with the previous one where shear strength increases gradually day by day with photo-adhesive samples containing 2-mercaptonicotinamide groups, it is indicated that thiol groups in the adhesive layer would be subjected to autoxidation, and that formation of disulfide bonds would lead to enhancement of the cohesive force.

Keywords : 2-mercaptonicotinamide, shear strength, photo-adhesive material, benzamide, autoxidation

1. Introduction

Adhesive reagents are now one of the important materials for industrial products, because they contribute to weight saving, unfettered design of the products, and reduction of the assembling process. Various kinds of parts and materials are used in industrial products, and dissimilar materials made from ceramics, metals, polymers, or their composites are required to be adhered strongly with an adhesive reagent. General adhesive reagents have both advantages and disadvantages in each situation, and versatile adhesive reagents have been desired. As a good example of such reagents, a series of biomimetic adhesives possessing catechol moieties has been spotlighted, expecting complex interaction with the catechol moieties toward interface of substrates *via* hydrogen bonding, coordination, π - π stacking, and so on.¹⁾ Catechol moieties are found in the adhesive proteins of mussels.²⁻⁴⁾ Kaneko and co-workers reported that a unique polycondensation resin synthesized from 3,4-dihydroxycinnamic

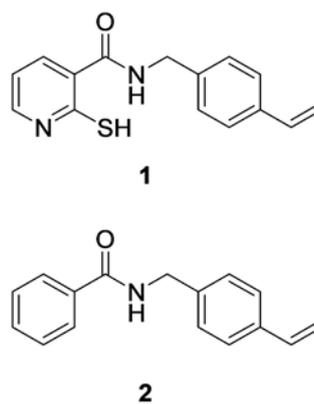


Fig. 1. Chemical structures of Monomer 1 and Monomer 2 using in this study.

acid and 4-hydroxycinnamic acid showed *ca.* 9 MPa of shear strength toward carbon, glass and steel substrates.⁵⁾ Wilker and co-workers designed a copolymer having catechol moieties in the side chains of polystyrene, a common commercial polymer, and *ca.* 6 MPa of shear strength was recorded in the adhesive strength test for some dissimilar materials.⁶⁾ Other types of adhesive

* Department of Chemistry and Biology ¹furutani@fukui-nct.ac.jp

** Department of Pure and Applied Chemistry, Tokyo University of Science

polymers containing catechol or analogical structures in the main or side chains were also developed.⁷⁻¹⁰⁾

On the other hand, we have featured another chemical structure, 2-mercaptopyridine which is an analogue of catechol but an unnatural compound.¹¹⁾ We have designed and synthesized a vinyl monomer having a 2-mercaptopyridine moiety (Monomer **1** in Fig. 1).¹²⁾ This structure has a thiol group and a pyridine-nitrogen atom, instead of two hydroxy groups of catechol. 2-Mercaptopyridine moieties take hydrogen bonding, coordination toward metals, and π - π stacking like those of catechol moieties. The noteworthy chemical character would be oxidation of thiol groups into a disulfide bond,^{13,14)} to form a cross-linking point. Formation of cross-linked polymer networks would increase cohesive force in the adhesive layer. In fact, relative high shear strength was observed with glass-glass and glass-copper samples, and the maximum value of 8.80 MPa has been recorded, by using Monomer **1**.

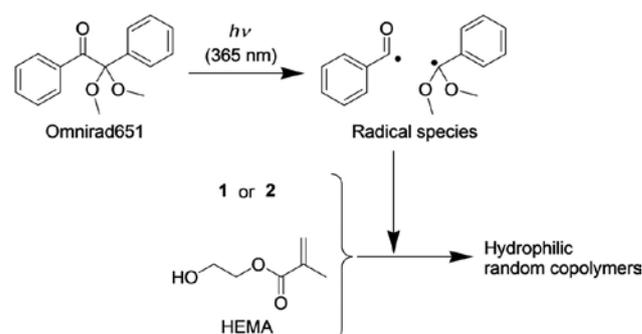
In this article, Monomer **2** was designed as a control vinyl monomer where neither a thiol group nor a pyridine-nitrogen atom were deleted. Contribution of the benzene-ring and/or amide moiety to the macroscopic adhesive strength was evaluated. Furthermore, by comparing with results in the case of Monomer **1**, effects of a thiol group and a pyridine-nitrogen atom on the adhesive strength are also considered.

2. Experimental

2.1 Materials and Equipment

4-Vinylbenzylamine, benzoic acid, 1-(3-dimethylamino-propyl)-3-ethylcarbodiimide (WSCl HCl), 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA), nitric acid, and 2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone (Omnirad651) were purchased from Tokyo Chemical Industry Co., Ltd. (Tokyo, Japan). Tetrahydrofuran (THF) and Dichloromethane (DCM) were purchased from FUJIFILM Wako Pure Chemical Corporation (Osaka, Japan). All reagents were used without further purification. Monomer **1** was used that was stocked in our laboratory. The methods of synthesis, purification, and identification are described elsewhere.¹²⁾

Copper (Cu) and aluminium (Al) substrates (oxidized, 0.3 mm in thickness) were purchased from SANSYO Co., Ltd. (Tokyo, Japan). Treated Cu substrates were prepared with nitric acid to fabricate non-oxidized Cu surface.¹⁵⁾ Glass substrates (1 mm in thickness) were purchased from Matsunami Glass Ind., Ltd.



Scheme 1. Radical UV curing system consisting of Monomer **1** (or Monomer **2**), HEMA, and Omnirad651, for photo-adhesion in this study.

(Osaka, Japan). Each substrate was washed with some kinds of organic solvents.

¹H-NMR spectrum was recorded using a JEOL JNM-AL300. Photo-adhesion experiments were performed with an LED lamp, LPUV365/2501-00 (IWASAKI Electric Co., Ltd.). Shear stress was recorded using MCT-1150 (A&D, Co., Ltd., tensile rate: 10 mm/min).

2.2 Synthesis of Monomer **2**

Monomer **2** was synthesized according to the literature.¹²⁾ Briefly, benzoic acid was activated by WSCI HCl in a co-solvent of THF and DCM. To the solution was added 4-vinylbenzylamine in DCM at 0°C. After purification with column chromatography, Monomer **2** was obtained as a white solid in 36% yield. ¹H-NMR (300 MHz, CDCl₃): δ 4.63 (d, 2H, $J = 6.0$ Hz, -CH₂-), 5.25 (dd, 1H, $J = 3.0, 12$ Hz, =CH₂), 5.74 (dd, 1H, $J = 3.0, 18$ Hz, =CH₂), 6.44 (br, 1H, -NH-), 6.71 (dd, 1H, $J = 12, 18$ Hz, -CH=), 7.3-7.5 (m, 7H, Ar-H), 7.8 (m, 2H, Ar-H).

2.3 Photo-adhesion

Monomer **1** or **2** (0 or 2 mol%) was added to HEMA. Omnirad651 (10 wt%) was added to the mixture, followed by agitating for homogenization. Each mixture was dropped on a substrate (glass, Cu, treated Cu, or Al), sandwiched with another glass substrate. The adhesive area was fixed at 30 mm². UV irradiation at a wavelength of 365 nm (50 mW/cm², 6.0 J/cm²) was performed from the side of glass substrate of the sample. The reaction scheme is shown in **Scheme 1**. Resulting photo-adhesive samples were subjected to shear stress measurements which were repeated at least three times.

2.4 Autoxidation

Monomer **2** (3 mol%) was added to HEMA. Omnirad651 (10 wt%) was added to the mixture, followed by agitating for homogenization. The mixture was dropped on a glass substrate, sandwiched with another glass substrate. The adhesive area was

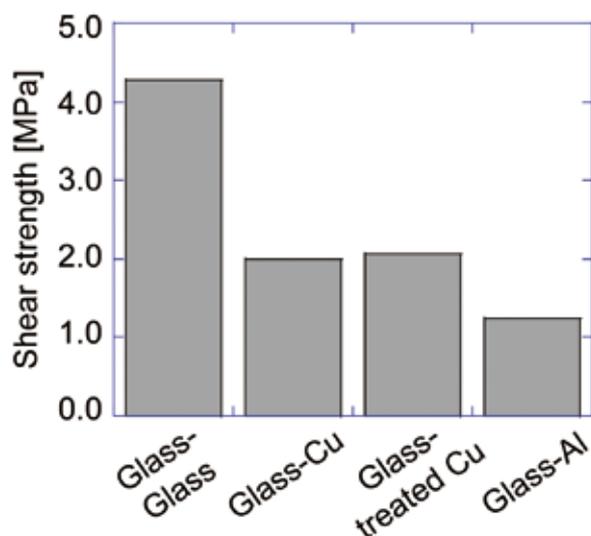


Fig. 2. Shear strength of photo-adhesive samples of glass-glass, glass-Cu, glass-treated Cu, and glass-Al. Height of each bar shows the average value. Composition: HEMA, 2 mol% of Monomer 2, and 10 wt% of Omnirad651.

fixed at 15 mm². UV irradiation at a wavelength of 365 nm (50 mW/cm², 6.0 J/cm²) was performed from the side of glass substrate of the sample. Resulting photo-adhesive samples were allowed to stand for 0-4 weeks, and then subjected to shear stress measurements which were repeated three times.

3. Results and Discussion

3.1 Photo-adhesion

Both Monomer 2 and Omnirad651 were dissolved into HEMA without any solvent. Adhesion of two substrates was confirmed in all cases after 6.0 J/cm² of UV irradiation, indicating *in situ* radical photo-polymerization of monomers. Results on average shear strength of each photo-adhesive sample are shown in Fig. 2. The average values for glass-glass, glass-Cu, glass-treated Cu, and glass-Al samples were 4.28, 2.00, 2.07, and 1.24 MPa, respectively. Among them, the top two samples (glass-glass and glass-treated Cu samples) were subjected to comparison with the samples that were fabricated with Monomer 1. The comparing results are shown in Fig. 3. For glass-glass photo-adhesive samples, the shear strength (HEMA + 2) was found to be comparable to it in the case using Monomer 1 (HEMA + 1, 4.30 MPa). This would be because small amount of the monomers (2 mol%) toward HEMA, resulting in a large influence of hydroxy groups from HEMA on the interaction between the adhesive layer (hydrophilic polymer bulk) and hydrophilic glass surface.

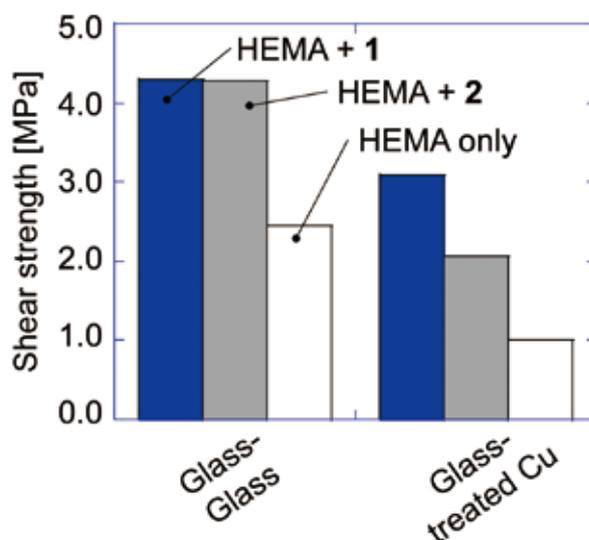


Fig. 3. Shear strength of photo-adhesive samples of glass-glass and glass-treated Cu. Height of each bar shows the average value. Composition: HEMA, 0 or 2 mol% of Monomer 1 (or Monomer 2), and 10 wt% of Omnirad651.

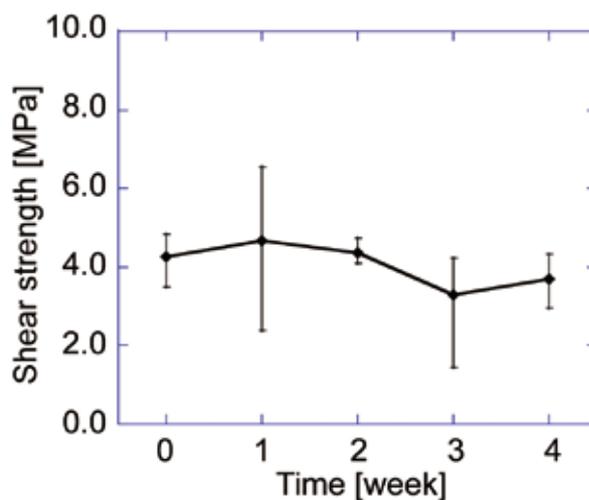


Fig. 4. Changes in the average value of shear strength of photo-adhesive glass-glass samples. The error bars mean difference between the maximum (or minimum) and the average values. Composition: HEMA, 3 mol% of Monomer 2, and 10wt% of Omnirad651.

Shear strength of samples using each monomer was higher than of samples without monomers (HEMA only, 2.45 MPa). This indicates indirectly that each monomer would be integrated into the polymer chains through *in situ* photo-triggered radical co-polymerization reactions. In the adhesive layer, 2-mercaptocotinamide or benzamide moieties would interact with each other *via* hydrogen bonding and/or π - π stacking.

On the glass-treated Cu photo-adhesive samples, a clear

difference is observed. Shear strength of HEMA + **1** (3.09 MPa) was higher than of HEMA + **2**. This would be due to strong interaction between a thiol group (and/or a pyridine-nitrogen atom) from Monomer **1** and Cu surface, which is not possible with benzamide moieties from Monomer **2**. Samples without any monomers gave the lowest value of shear strength (1.00 MPa), indicating again successful random co-polymerization reactions between vinyl monomers having a 2-mercaptocotinamide or a benzamide moiety (Monomer **1** or Monomer **2**) and a methacrylate monomer, HEMA.

3.2 Autoxidation

Two 2-mercaptocotinamide moieties would be oxidized with dissolved oxygen in the adhesive layer to form a disulfide bond, leading to form cross-linked polymer networks and to increase the cohesive force. Indeed, increase of shear strength of glass-glass photo-adhesive samples day by day was observed in the experiment using Monomer **1**.¹²⁾ To validate this hypothesis, another experiment was performed using Monomer **2** instead of Monomer **1** (Fig. 4). The average value did not change largely, and it kept the initial value, ca. 4 MPa. Although benzamide moieties would interact weakly with each other in the adhesive layer, they could not form covalent bonds such as disulfide bonds that could be formed with 2-mercaptocotinamide moieties of Monomer **1**. Therefore, we concluded that a reason of the increase of shear strength for samples of Monomer **1** was not increasing the number of non-covalent bonds, but autoxidation of thiol groups into disulfide bonds.

4. Conclusion

In conclusion, a vinyl monomer having a benzamide moiety was synthesized as a control, to investigate the effects of the benzene-ring and amide moiety in the resulting hydrophilic polymer chains on the macroscopic adhesive strength. Comparing with the results on photo-adhesive samples using another vinyl monomer having a 2-mercaptocotinamide moiety, it was found that a thiol group and/or a pyridine-nitrogen atom would contribute to interaction toward the substrate surface, leading to enhancement of the macroscopic adhesive strength. Another comparison experiment showed that the values of shear strength do not change day by day without 2-mercaptocotinamide moieties, indicating autoxidation of the moieties into disulfide bonds to form cross-linked polymer networks.

Acknowledgement

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP18K14007.

References

- 1) J.Saiz-Poseu, J.Mancebo-Aracil, F.Nador, F.Busqué and D.Ruiz-Molina, *Angew. Chem. Int. Ed.* **58**, (2019) 696.
- 2) J.H.Waite and M.L.Tanzer, *Science* **212**, (1981) 1038.
- 3) M.Yu, J.Hwang and T.J.Deming, *J. Am. Chem. Soc.* **121**, (1999) 5825.
- 4) B.P.Lee, P.B.Messersmith, J.N.Israelachvili and J.H.Waite, *Annu. Rev. Mater. Res.* **41**, (2011) 99.
- 5) D.Kaneko, S.Wang, K.Matsumoto, S.Kinugawa, K.Yasaki, D.H.Chi and T.Kaneko, *Polym. J.* **43**, (2011) 855.
- 6) C.R.Matos-Pérez, J.D.White and J.J.Wilker, *J. Am. Chem. Soc.* **134**, (2012) 9498.
- 7) K.Zhan, H.Ejima and N.Yoshie, *ACS Sustainable Chem. Eng.* **4**, (2016) 3857.
- 8) D.Payra, Y.Fujii, S.Das, J.Takaishi and M.Naito, *Polym. Chem.* **8**, (2017) 1654.
- 9) C.Cui, C.Fan, Y.Wu, M.Xiao, T.Wu, D.Zhang X.Chen, B.Liu, Z.Xu, B.Qu and W.Liu, *Adv. Mater.* **31**, (2019) 1905761.
- 10) C.R.Matos-Pérez, J.D.White and P.B.Messersmith, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **11**, (2019) 28296.
- 11) R.A.Jones and A.R.Katritz, *J. Chem. Soc.*, (1958) 3610.
- 12) M.Furutani, D.Fujihira and K.Arimitsu, *J. Photopolym. Sci. Technol.* **33**, (2020) 261.
- 13) S.Stoyanov, I.Petkov, L.Antonov and T.Stoyanova, *Can. J. Chem.* **68**, (1990) 1482.
- 14) C.D.Antoniadis, S.K.Hadjikakou, N.Hadjiliadis, M.Kubicki and I.S.Butler, *Eur. J. Inorg. Chem.* **21**, (2004) 4324.
- 15) American Society for Testing and Materials, *Part twenty two: Wood, adhesives*, in *Annual book of ASTM standards*, Philadelphia, PA (1976), p.767.

福井県における原子力災害時の広域避難の認識に関する現状と対応策 — 代替経路選定に関する事例解析 —

辻子 裕二*¹ 山本 武**

Current situation and countermeasures for wide area evacuation in Fukui prefecture due to the nuclear power plant accident — Case studies on alternative evacuation route selection —

Yuji TSUJIKO and Takeshi YAMAMOTO

There are 14 nuclear power plants in southern part of Fukui Prefecture. The evacuation plans within 30 km of nuclear power plants called UPZ, Emergency Protection Action Plan Area, however are not yet thoroughly understood among the residents. Therefore, it is estimated that the road functions of the main roads will be paralyzed and cause a great deal of confusion with regard to traffic conditions during wide area evacuation.

In this study, the result of the survey on the residents' understanding about the wide area evacuation including the routes is shown. Then, case studies, for Sabae city and Echizen city in Fukui prefecture, on finding alternative routes that would enable smooth wide area evacuation is shown.

Keywords : nuclear disaster, nuclear power plant accident, wide area evacuation, UPZ , evacuation route, car trip

1. はじめに

東日本大震災を契機に原子力防災に関する住民への意識啓発機会が増えるとともに、自治体等各関係機関が住民と緻密に連携する取り組みも多く実施されるようになった。福井県は全国で最も多い14基の原子力発電所を保有する自治体である。原子力発電所において福島第一原子力発電所のような事故が発生した際には多大な混乱が予想される。具体的には、避難車両による交通の集中、これに伴う県内の国道、県道等の主要道の機能麻痺、他地域への避難行動の障害等である。したがって、住民の迅速な避難が可能となるような避難行動の周知が強く望まれる。

本研究では敦賀市の原子力発電所から30km圏（以下UPZ：Urgent Protective action planning Zone）内に位置する福井県鯖江市および越前市内の住民を対象に、原子力

事故発生時における地域住民の広域避難に関する現状の意識調査を行った。その上で、実効性ある避難行動を明確化するための事例解析を行った。

2. 広域避難に関する住民の意識調査

原子力災害の避難行動に関し、福井県は避難時間推計のシミュレーションを行った¹⁾。しかしながら、発災時の実際の住民の行動や行動に向けての住民の認識については未だ不明確な点が多い。本研究では避難経路の検討にあたり、当該事象に対する住民の認識（意識）を調査すべく原子力災害に関するアンケート調査を2017年度に実施した。以下では、これを意識調査と表記する。当アンケートの実施にあたっては、調査時における標準的な行動を把握するため、県が実施した避難時間推計シミュレーションの結果および関係機関

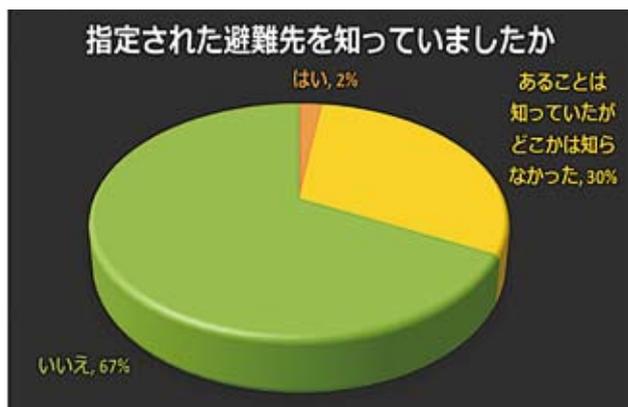


図1 アンケート集計結果の一例(設問:指定された広域避難先を知っていますか)(n=55)

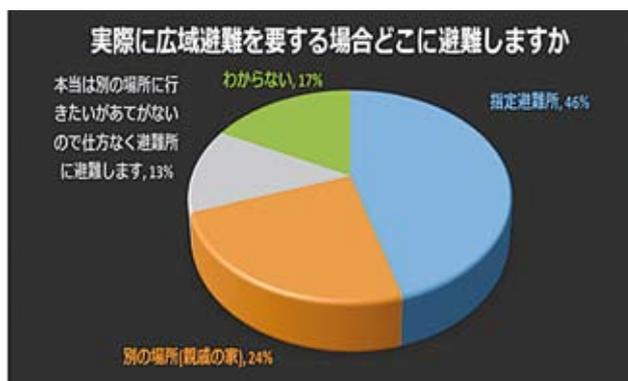


図2 アンケート集計結果の一例(設問:実際に広域避難を要する場合どこに避難しますか)(n=55)

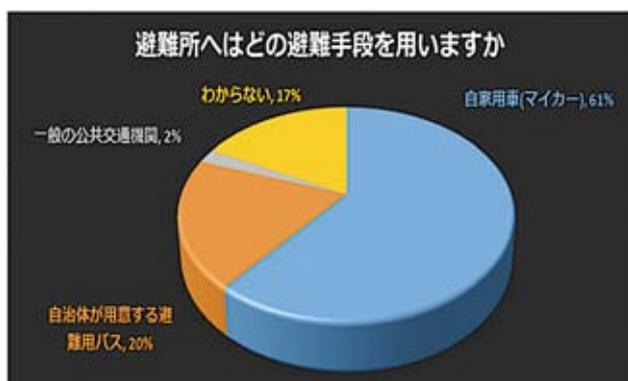


図3 アンケート集計結果の一例(設問:広域避難先へどのような避難手段(交通手段)を用いますか)(n=55)

が定めた原子力災害発生時の基本的な考え方等の情報を特に示すことをせず、現状の把握を進めた。

アンケートの対象は、敦賀発電所での事故が発生した際UPZに含まれ、かつ本研究で着目する鯖江市と越前市に在住する住民計55名(福井高専の本科4年生、本科5年生、専攻科1年生及びその保護者)である。調査項目は、①原子力災害が発生した際の自身の広域避難先を知っているか、②指定されている広域避難先に限らず実際に避難しようと

思う場所、③その避難手段の3項目である。

図1は広域避難先の理解度に関するアンケート集計結果である。福井県は2014年3月に広域避難計画要綱²⁾を定め、その後も幾度の改定を行いながら県民に情報提供を行っている。しかし、避難先の存在すら知らなかったと答えた人は全体の約7割を占めた。この結果は、県外にまで移動する可能性のある広域避難という新しい避難の考え方の理解の難しさを示すものである。

図2は実際に広域避難する場所に関するアンケート集計結果である。この回答には、指定された広域避難先だけでなく親戚の家等も含まれ、避難所の収容人数の目安を付けることが可能となる。結果は、指定された広域避難先に避難すると答えた人が約46%、本当は別の場所に行きたいがあてがないので仕方なく指定された広域避難先に避難すると答えた人が約13%であった。したがって、避難先が「わからない」と答えた人を含め約8割は指定された広域避難先に避難(移動)する意思があると判断できる。

図3は避難場所への避難手段に関するアンケート集計結果である。全体の約6割が自家用車(マイカー)を選択した。この結果は、県が示す広域避難計画に沿うものである。これまで地震時には自家用車の使用は控えるよう周知されていたが、東日本大震災を機に受け身の知識ではなく、具体的な避難想定の中で移動手段の検討がなされているものと推察される。

以上の調査結果から、全体的には「指定された広域避難先を知らないに関わらず、その避難先に自家用車で避難する(したい)」という行動思考が確認できる。原子力事故が発生した際、避難を要する立場にありながら、自らの取るべき行動を把握していない割合が約7割であるという事実を踏まえれば、発災時に主要道において多大な混乱が起こることは容易に推測される。

3. 広域避難経路の選定に関する実態調査

避難経路の選定に関する調査に当たり、前述同様に鯖江市および越前市内に在住する71名(意識調査対象の55名に、防災行政担当者16名を加えたもの)を対象にアンケート調査を実施した。対象者には自宅から広域避難先までの避難ルートの概略を地図上に描いてもらった。避難手段は先述の

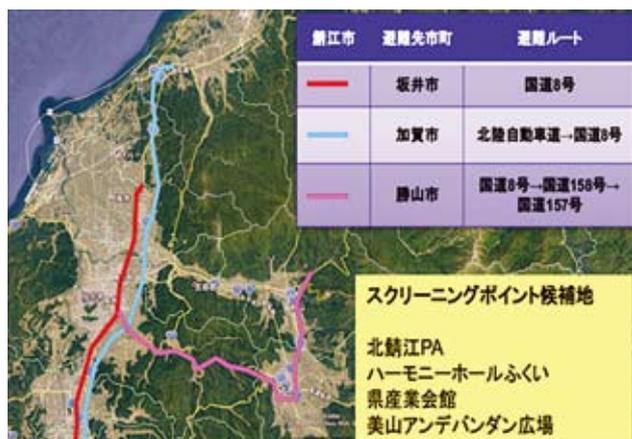


図4 鯖江市を対象とした広域避難経路調査結果 (n = 47)



図5 越前市を対象とした広域避難経路調査結果 (n = 24)

調査項目の結果で大部分を占めた自家用車に統一した。しかし、意識調査の結果で自身の広域避難先の存在を知らない人が多くを占めたことから、予め地区ごとの広域避難先を一覧として示した上で避難経路を描いてもらうこととした。加えて、広域避難先に到達する前に必ずスクリーニングポイントを通過することを条件として与えた。ただし、意識調査と同様に、対象者には行政が定める内容は伏せた。したがって、その結果は発災時の県内における交通状況の実情（現状）を反映するものと捉えることができる。

図4は鯖江市民を対象に広域避難先までの避難経路を描いてもらった結果である。同図では、集計結果の内、代表的な3経路を描いている。鯖江市は勝山市、坂井市および石川県加賀市が広域避難先となっている。したがって、アンケート調査を実施する前段階で県を南北に縦断できる主要幹線道路が主たる避難経路となり得ることが予測された。結果は、予測通り坂井市と加賀市に避難する鯖江市内9地区において県を南北に縦断する国道8号と北陸自動車道を中心とした避難経路が選択されていた。唯一鯖江市の東側に位置する

勝山市が広域避難先となっている2地区においても国道158号に入るまでは国道8号を経由していた。これより、鯖江市民が広域避難を要する場合、行政の指示を把握せずとも道8号を主経路に、次いで北陸自動車道を用いることが明らかとなった。また、スクリーニングポイントも国道8号沿いに位置する県産業会館とハーモニーホールふくい、北陸自動車道の北鯖江PAに集中することがわかった。

図5は越前市民を対象に広域避難先までの避難経路を描いてもらった結果である。越前市は平成の大合併により、旧武生市と今立町が合併したことで、現在は鯖江市よりも5地区多い17地区となっている。その内、10地区が石川県を広域避難先として定めている。残りの地区の広域避難先は坂井市とあわら市であり、鯖江市同様県を南北に縦断することになる。図5に示す通り、県を南北に縦断する経路が鯖江市よりも顕著に表れている。白山地区等の市の西側から坂井市に向う緑のルート以外全て、国道8号と北陸自動車道を避難経路として選択している。鯖江市は県の東に位置する勝山市へ避難する選択肢が存在するが、越前市は北へ避難するという選択肢しか存在しない。そのため、同図の結果が得られたと考えられる。スクリーニングポイントについては、北陸自動車道沿線の北鯖江PAと南条SA、国道8号沿いのハーモニーホールふくと県産業会館、すなわち両主要道路の沿線に集中している。また、そのほとんどが鯖江市の結果と重複している。

4. 代替避難経路の選定に関する事例解析

代替避難経路の割り出しを行うため、福井県の道路網データをArcGISに取り込んだ。その後、ArcGIS Network Analystの解析モードを設定し、「ストップ（場所）」を決めていく手順とした。「ストップ」は経路の起点、終点、中継点を表し、ArcGIS上にプロットして設定できる。したがって、本ネットワーク解析では起点が鯖江市または越前市各地区の小学校や公民館、終点が各地区の広域避難先となる。中継点は福井県が定めるスクリーニングポイントの候補地から一つを選択するものとした。本研究では解析上のインピーダンスを時間(分)とし、曜日や時刻の設定は行わず交通状況を「混雑時」に設定した。したがって、本研究で得られた最適経路は各地区から広域避難先までの混雑時の最短時間



図6 解析結果の一例(鯖江市神明地区, 平常時の避難経路)

経路となる。より精度を高めるには、原子力災害時を想定した交通状況(交通量)を精緻に設定することが必要と考えられるが、想定の不確実性を根拠に本研究では行っていない。ただし、スクリーニングポイントでの停滞時間(サービス時間)を60分と仮定して与えた。さらに、国道8号と北陸自動車道の渋滞を緩和する目的で代替経路を見つけるため、両主要道に通行止めの規制を設けた。地区によっては両主要道の通行がやむを得ないケースも存在した。しかし、大部分の地区の代替経路を解析より得ることができた。

鯖江市内12地区の内、神明地区を起点とした避難経路の解析結果を図6及び図7に示す。神明地区は石川県加賀市が広域避難先となっており、国道8号および北陸自動車道の西側に位置する。図6は国道8号と北陸自動車道を通行する平常時の避難経路であり、図7は両主要道路を迂回する代替避難経路を示している。主要道路を通行止めと仮定し迂回路(代替経路)を用いる場合、国道8号と北陸自動車道を用いる通

常時と比べ約30分の遅れが生じた。また、迂回路を用いることで県道229号線とその沿線が主経路となった。これに伴い、スクリーニングポイントはハーモニーホールふくいが最適となった。なお、ハーモニーホールふくいは国道8号と県道229号線どちらからもアプローチが容易な位置に存在している。しかし、国道8号のスクリーニングポイントはその先の県産業会館や鯖江付近であれば県産業振興施設(サンatorium福井)もあり選択肢が多い。国道8号を用いる避難者がそれらに分散し、ハーモニーホールふくいが迂回者のスクリーニングポイントになれば避難行動の円滑化に繋がること が推察される。この他、勝山市へ避難する鯖江地区住民はアンケート調査では国道158号に入るまで国道8号を經由していたが、県道39号線や県道25号線を用いることで避難時間のさらなる短縮が可能であった。河和田地区住民は国道8号と北陸自動車道を使用しての避難となる。スクリーニングポイントは全て北鯖江PAである。選択肢としては数km



図7 解析結果の一例（鯖江市神明地区，国道8号及び北陸自動車道が通行止めの場合の代替経路）

南下した県産業振興施設も考えられたが，県産業振興施設から鯖江 IC までの約 2.6km 間において多大な渋滞が発生する可能性が存在した。そのため，国道 8 号には出ず，北陸自動車道を利用することが好ましいと判断された。

つぎに，越前市 17 地区のうち，迂回路（代替経路）を用いることができた武生西地区の結果を図 8 および図 9 に示す。両主要道を回避した平常時（図 8）と迂回時（図 9）の所要時間の差は約 50 分であった。スクリーニングポイントをハーモニーホールふくいに設定することで鯖江市と同様直線的な経路になり，計算上避難時間の短縮を図ることができる。しかし，鯖江市民の過半数が利用するスクリーニングポイントを越前市民も利用することになれば，避難時間の短縮を図るという意図に反することになりかねない。したがって，越前市の迂回路を設ける地区のスクリーニングポイントは，別の場所とする必要性を指摘できる。これを踏まえ，新たに選択した候補地が福井市きらら館である。福井市きらら館

には，越前市街地から国道 417 号，県道 28 号線および県道 265 号線等を利用することで到達できる。福井市きらら館は旧清水町にある施設である。越前市からの経路では一見複雑そうに思えるが，代替経路はほぼ直線的な経路を辿る。スクリーニングポイントを福井市きらら館に再設定することで，国道 8 号と北陸自動車道を回避でき，かつ鯖江市の避難車両との交錯も軽減することが可能となった。なお，国道 8 号と北陸自動車道の南および東に位置する 7 地区（王子保，花筐，南中山，服間，武生南，北新庄，味真野）は両道路通行可能としスクリーニングポイントは鯖江市と同様の北鯖江 PA がほとんどである。しかし，王子保地区のように一旦南下し，南条 SA をスクリーニングポイントに選択することも可能である。本研究での試算では，北鯖江 PA をスクリーニングポイントとして選択する人数は両市合わせて約 50,000 人に上る。一旦南下することで原子力発電所に近づくことにはなるが，全体的にスクリーニングポイントでの停滞時間を短縮で



図8 解析結果の一例(越前市武生西地区, 平常時の避難経路)

きる可能性が残される。このような選択肢を含めることで、より円滑な避難行動が確保できるものと推察される。

5. おわりに

本研究では、福井県において原子力災害により広域避難が必要(全面緊急事態)となった際のUPZの円滑な広域避難が可能となる避難行動について避難経路の観点から明確化した。その前段階として、住民の原子力災害に対する意識調査を実施し現状の把握を行った。自治体等の各関係機関の備えが充実してきている一方で、その具体的な内容は住民には広く届いていない現状が確認された。現状のままでは、万が一の際、PAZとは独立してUPZの住民の安全を優先した行動となる可能性が高く、段階避難の徹底が困難であると指摘できる。結果として、主要避難経路の大渋滞に伴うプルーム下の渋滞など、避難によって逆に自らを危険に晒すことになり

かねない。そのような現状を改善するためには原子力防災に対する住民の更なる理解が不可欠である。

今回対象とした両市では原子力災害に伴う避難を要した場合、国道8号と北陸自動車道を避難の主経路に選択することが明らかとなった。国道8号と北陸自動車道を主経路に選択する傾向が強いことは単独の避難から見れば合理的ともいえる。その反面、交通の集中による渋滞リスクが大きい。この事実を理解した上で、避難者の意思決定の選択肢を増やし、集中を緩和するための代替経路が必要となる。ただし、極端に言えば、両市の全住民が代替経路を選択すれば混乱が一層拡大することになる。計画面から見れば、鯖江市民の50%、越前市民の60%が国道8号と北陸自動車道を避難経路とし、あくまで、両主要道の道路機能を保つための代替経路(迂回路)となるべきである。この点を踏まえれば、事前に迂回路を利用する地域の設定等も肝要と指摘できる。

なお、本研究の解析においては、通常時と迂回時で生じる

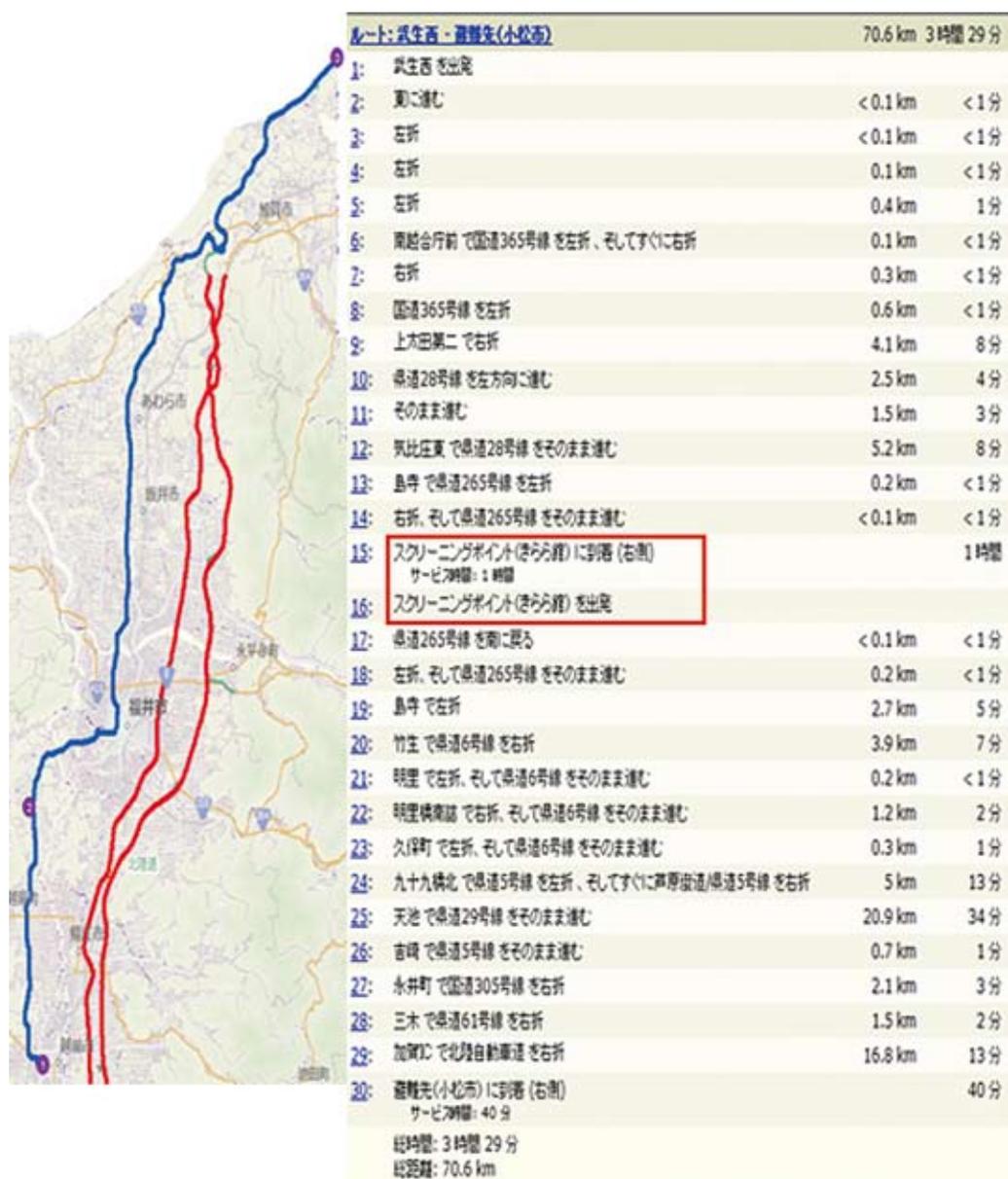


図9 解析結果の一例(越前市武生西地区、国道8号及び北陸自動車道が通行止めの場合の代替経路)

遅れは、実際の避難時の交通状況、スクリーニングポイントにおける停滞時間等により左右されることを指摘したい。したがって、解析精度を高めるためには、各経路の原子力災害時の交通量を詳細に把握することが必要になる。さらに、解析上一律60分と仮定していたスクリーニングポイントでの滞在時間も交通量やスクリーニングの手法から逆算して定めなければならない。また、スクリーニングポイントの設定に関しては、距離に基づく判断に限定しない対応も考えられる。

参考文献

- 1) 福井県安全環境部危機対策・防災課, 原子力災害を想定した避難時間推計シミュレーションの結果の概要,
http://www.pref.fukui.jp/doc/kikitaisaku/genshiryoku-saigai_d/fil/260729hinan.pdf, 2014年7月29日.
- 2) 福井県, 福井県広域避難計画要綱,
http://www.pref.fukui.jp/doc/kikitaisaku/genshiryoku-saigai_d/fil/hinannyoukou.pdf, 2014年3月.

－中道院（鯖江市）における現状－ －鯖江断層との関連－

岡本 拓夫*¹

On Phenomena (Crustal Events) Occurring at the “Chudo In” in Sabae City － The Relation to the Sabae Fault －

Takuo OKAMOTO

The Sabae Fault, an active fault almost 20 km long, runs through the mid part of Sabae City. The Chudo In Temple stands on the Sabae Fault. No earthquake (seismic gap) is occurring in the Sabae area. Recently, the pound basin just near the Chudo In was crushed parallel to the direction of the Sabae Fault. The width of the crusher is large due to the wave of another earthquake. We are paying attention to that width for a signal of an upcoming big event (Sabae Earthquake).

Keywords : Seismicity, active fault, seismic gap, earthquake fault, Sabae Earthquake

1. はじめに

福井平野における地震活動の特徴、地震観測の必要性、観測点の紹介を、報告書¹⁾ (岡本, 2017) で詳細に行った。現在、研究は藤島高校 (SSH) で継続的になされ、結果が、日本地球惑星科学連合の連合大会高校部門等で継続的に発表されている。特に注視されるのは、福井平野の西縁部にも、強震域 (帯状) の存在を指摘していることである²⁾。このことは、福井平野の西縁部にも断層構造が存在し、さらに、南部に存在する鯖江断層と関連する可能性もあることを示している³⁾。岡本 (2017)¹⁾ は、河合小学校で、高感度地震観測を開始することが可能であると結論し、観測を開始した。結果、西縁部が断層構造でなければ発現されることのない後続波が観測されたことを示した。その後の研究によって、断層の存在によって発現 (エッジ効果) する波形である可能性が高いことが指摘された。さらに、重力の研究 (野口他, 2011)⁴⁾ において、同地域に基盤構造の深い落ち込みが指摘されており、断層構造の存在を支持する結果となっている。藤島高校は昨年度の研究において、鯖江断層と福井平野西縁部の断層との間にトランスフォーム的な運動をする断層が存在する可能性を、指摘した⁵⁾。また、この断層に沿うメカニズム解を持つ地震

の発生も確認している。地震活動の面で、これら断層の地域を見ると、京都大学北陸観測所等により指摘されているように、低地震活動域 (空白域) の状態のままである。このような状況下において、鯖江断層の直上にある中道院に隣接する湧水池で、池の底面に鯖江断層の走向と平行する亀裂の存在について気がついた (2018, 11 月)。後、鯖江市防災リーダー交流会や武生高校 (SSH) とリンクして、モニターを開始した⁶⁾。特に、鯖江断層の活動性は、福井高専の卒業研究で継続的に解析されている。これらの研究の継続は、鯖江断層での地震の発生予測や、学校における理科・防災教育においても、貢献できると考えている。以下、詳細について報告する。

2. 鯖江断層と中道院

鯖江市の位置を、Fig.1 (矢印) に示す。また、中道院の位置 (矢印) を、震央図 (fig.2) の中 (矢印) に示す。明確に認められる低地震活動域 (空白域) が、鯖江市付近になる。空白域の中央部を南北に貫く線が、鯖江断層である。鯖江断層に伴う崖の上に、中道院は存在していることになる。中道院の南に隣接する道路との間には、湧水池が存在する。湧水池は福井地震 (1948, M7.1) 以降、自然のわき出しがなくなり

*一般科目教室 ¹okamoto@fukui-nct.ac.jp

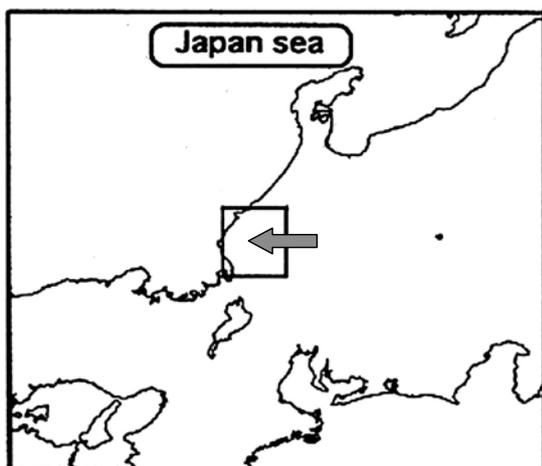


Fig.1 Investigation area. Arrow shows the Sabae City.



Fig.3 Old viwe of Chudo In pond.

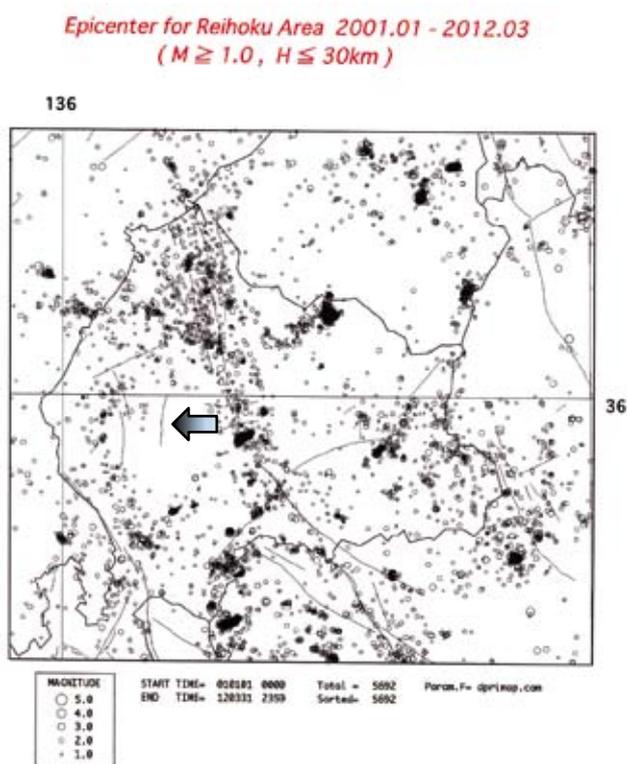


Fig.2 Chudo In (arrow) and epicenters.

(近隣にお住まいの方の私信より), 雨水が溜まる程度であった。Fig.3に過去の湧水池の様子を, 示す。溜まった水の上に様に藻が繁殖している事が, よく分かる。水のわき出しが止まった理由はいくつか指摘されている(地下水の過剰汲出し, 福井地震の地殻変動, 近くの道路工事等)が, 現在のところ定かではない。中道院付近が地震活動の空白域であること, 鯖江断層が活断層であることが研究の結果として明らかになり断層のモニターの必要性を認識して, 鯖江断層の巡検

が行われるようになった。特に, 2018年の11月04日の巡検の際に, 湧水池の底面が南北に裂け, 噴水に近い状態で水が噴き出していることが観察され, 断層の活動に対する緊急性が認められた。Fig.4(拡大して示したいので最終ページ載せている)に最新の池の様子を示す。池の中央の石碑の東側を南北に亀裂が走っていく様子が確認される。11月04日の前に, 02日の紀伊水道の地震($M5.4$)によって, 鯖江市でも震度が有感であった。近隣の方の私信では, この地震の発生直後から湧き出しが認められるようになったとの事である。紀伊水道の地震が, トリガーになった可能性も否定しきれない。

3. プレスリップの可能性

鯖江断層の研究については, 北部が藤島高校(SSH), 南部が武生高校(SSH), 中央部が本校地球物理学研究会や卒業研究(本校電子情報)によって詳細になされている。中道院は, 武生高校(SSH)の地下水調査の対象となり, 成分が詳しく調べられている。解析の結果, 高濃度のフッ化物イオンを含み(近くに存在する神明苑の温泉成分比と一致), 断層起源の湧水であると確認された。底面からわき出し量は天候には左右されず, 消長を繰り返している。湧水池の堰堤に対応する部分でも亀裂が認められ, 水の流出が確認されている。亀裂が確認された初期における武生高校(SSH)のクリノメータによる測定によれば, 北側堰堤の割れ目より西側の傾きは $2^\circ W$ (西下がり), 東側の傾きは $2^\circ E$ (東下がり)であった。すなわち, 折れ曲がり角度としては, 176° になる(180° より 4° 折れ曲がっている)。その後, 継続的にクリノメータによる測定が繰

り返され、鯖江で有感が計測される地震の発生ごとに、折れ曲がる量が拡大していくことが確認された。現在（08月27日）の測定量では、西側が 2° W、東側が 8° Eで、折れ曲がり量としては 10° になる。湧水池以外でも同じ走向をもつ亀裂がないか、測定の際に、近隣の道路や空き地の確認も行っている。一部道路に亀裂らしきものが認められるが、拡張してるのか確認できていない。これらの現象（地震波動がトリガーになる）を説明するモデルとして、鯖江断層の地上に近い（動きやすい）部分が前駆的滑りをしている可能性（プレスリップ）を考えた。以下、考察で詳細に議論する。

4. 考察

鯖江断層におけるこれまで研究では、西山動物園の波形については、福井高専の地球物理学研究会や電子情報工学科の研究として解析され、結果として、鯖江断層の活動度の高さが報告されている。鯖江断層と雁行する（岡本，2019）³⁾ 福井平野西縁部については、河合小学校の観測波形より、S波のコーダ部に大きな揺れを示す波形が得られたことが、藤島高校（2017年度の地球惑星科学関連大会の高校生のセッション）²⁾ により発表されている。兵庫県南部地震（1995, M 7.3）で認められた震災の帯や鳥取県西部地震（2000, M7.3）で認められた境港市の震度異常の成因と同じく、既存断層によるエッジ効果である可能性が、強く指示された。また数個の地震の解析結果であるので、将来、波形例を増やし合成波形と比較するなどの方法による、更に詳細な研究の継続が望まれる。また、鯖江断層と西縁部を繋ぐ未知の断層存在が指摘された（藤島高校“越の三川から新断層”）⁵⁾。南部においては、地下水の分布よりその位置が詳しく議論されている（武生高校“わき水を用いて鯖江断層の規模とルートを探る”）⁶⁾。すなわち、活断層が雁行の状態が存在していることになり、それらの連動の可能性も認識できる。地震活動の面では空白域で、しかも、トレンチ調査で活断層と確認され、本震（鯖江地震を想定して）の発生も危惧される状況である。中道院は鯖江断層の地上先端部分に相当する。中道院付近では断層崖を形成しているが、一部分断層の雁行も認められる。断層の先端付近では破壊強度やポアプレッシャーも小さく、ズレを起こしやすいと考えられる。遠地で発生した地震波によって、既存のズレの方向に動き出すことも十分に考えられる（プレス

リップとしての地表付近での地変の発生）。今回認められている中道院での現象は、直下でスリップ現象が発生し、地上付近に現れている可能性が高い。水の湧き出しの発現も、地下水が断層に沿って更に上昇しやすくなって発生したと考えられる。ただ、鯖江断層の本体（アスベリティー）は、まだ、固結した状態であると判断していい（微小地震すら発生していない）。将来の地震発生についてその前駆的活動を捉えるためには他の測定量も必要で、堰堤の傾斜角度の他に、割れ目の幅（鯖江市防災交流会）、land levelの測定（地元にお住まいの有志）が行われるようになり、断層運動の総合的モニターが、地域全体としての取り組みとして開始された。

5. 謝辞

本研究を進めるにあたり、福井地方気象台（中村台長）、石川有三博士（防災科研）及び京大防災研北陸観測所（西上欽也所長）より、震源情報を頂きました。地震観測では、飯尾能久教授（京大防災研）、鯖江市西山動物園（金田飼育員）、藤島高校（大森先生）、金津高校（坂東先生）、丸岡高校（鈴木先生）、三国高校（上山校長先生）、坂井高校、河合小学校にご対応を頂きました。解析では、藤島・武生高校SSHプログラムの生徒諸君、大森先生、前田先生（藤島高校）、谷口先生、酒井先生（武生高校）、岩堀博士（京大防災研）、電子情報の野村先生と卒研究生（田邊君、河野君、三澤君、宮本君、巢守君、山浦君、吉田君）、鯖江市防災リーダー交流会、福井高専地球物理学研究会の現役、OB諸氏に協力を頂いています。以上の方々に記して感謝致します。なお、費用の一部はJSTのSSHプログラムを使用しています。

参考文献

- 1) 岡本拓夫、福井平野区における地震観測Ⅱ－河合小学校観測点の増設－、福井工業高等専門学校研究紀要、自然科学・工学、第51号、pp. 23-27, (2017)。
- 2) 藤島高校SSH研究発表、福井地震断層の探求V、福井県、(2017)。
- 3) 岡本拓夫、鯖江断層北部と福井平野－鯖江断層南部との関連－、福井工業高等専門学校研究紀要、自然科学・工学、第53号 pp. 19-22, (2019)。
- 4) 野口竜也・中谷英史・香川敬生・安井謙・小嶋啓介、重力デー

タに基づく福井平野及び鯖江盆地の3次元基盤構造の推定,
第31回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, (2011).

5) 藤島高校 SSH 研究発表, 福井地震断層の探究Ⅷ, 福井県,
(2020).

6) 武生高校 SSH 研究発表, 湧き水を用いて鯖江断層の規模と
ルートを探る, 全国大会, (2020).



Fig.4 Crusher line of botom and side wall in pound.

ホウ酸バリウム系ガラスの結晶化における TiO_2 添加の効果

長谷川智晴*¹

Effect of TiO_2 addition on crystallization process of barium borate glasses

Tomoharu HASEGAWA

The effects of TiO_2 addition on the glass stability of barium borate glasses are discussed. The glasses of $50\text{BaO}\cdot 50\text{B}_2\text{O}_3$ and $48\text{BaO}\cdot 48\text{B}_2\text{O}_3\cdot 4\text{TiO}_2$ were fabricated and their crystallization process was investigated. In both glasses, β -phase BaB_2O_4 was formed by the heat treatment for the crystallization. The crystallization process was summarized as a Time - Temperature - Transformation (TTT) diagram. $48\text{BaO}\cdot 48\text{B}_2\text{O}_3\cdot 4\text{TiO}_2$ glass showed the higher onset temperature and slower crystallization than $50\text{BaO}\cdot 50\text{B}_2\text{O}_3$ glass. These results indicate that the TiO_2 addition to barium borate glass makes the glass stable. It is considered that Ti acts as the network former in B-O-Ti linkage as reported so far.

Keywords: Barium borate glass, Crystallization, XRD, TTT-diagram

1. はじめに

常温で固体であるガラスの原子配列は、液体と同様に不規則である。ガラスを熱処理すると、流動性が高まり、原子配列が規則的になった結晶が析出することがある。この現象をガラスの結晶化と言い、ガラスの機能性を高める場合があるため、古くから材料開発の手段として用いられてきた。

筆者は、ガラスの結晶化による物性制御に関心を持ち、前報において、所有の設備で溶解可能なガラス系として、ホウ酸バリウム系ガラスを選択したこと、また、実際にガラスを作製し熱処理による結晶化を確認したことを報告した [1]。

ガラスの結晶化を表現する優れた手段として、Time-Temperature-Transformation 図 (TTT 図) がある。これは、横軸に熱処理時間、縦軸に熱処理温度を取り、熱処理条件による結晶化の有無をマッピングしたものである。前報では作製した組成式 $48\text{BaO}\cdot 48\text{B}_2\text{O}_3\cdot 4\text{TiO}_2$ のガラスで得られた TTT 図について報告した。また、 TiO_2 を含まないガラスにつ

いても簡単に報告を行った [1]。

本報告では、TTT 図における結晶化の相境界をより明確にするため、より詳細に TTT 図の検討を行った。また、 TiO_2 を含まない $50\text{BaO}\cdot 50\text{B}_2\text{O}_3$ ガラスについて同様に TTT 図を取得し、 TiO_2 の添加効果について調べたので、その結果について報告する。

2. 試料作製と熱処理

本報告における試料作製条件は前報と同様である。原料として、試薬グレードの無水ホウ酸、炭酸バリウム、および二酸化チタンを用いた。得られるガラス重量が 20 g となるように原料を秤量し、十分混合したのちアルミナるつぼに入れ、 1100°C 、空気雰囲気中で 1 時間溶解した。ガラス融液はカーボンモールド上に流し出しガラス化させた。試料は直ちに 550°C に保持された徐冷炉に移され、1 時間保持した後、 $1^\circ\text{C}/\text{分}$ で降温することにより適切に徐冷された。得られたガラスは気泡を含まず、無着色であり、およそ $30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 4\text{mm}$ のサイズであった。本研究では、

*一般科目教室 ¹hasegawa@fukui-nct.ac.jp

組成式 $50\text{BaO}-50\text{B}_2\text{O}_3$ および、 $48\text{BaO}-48\text{B}_2\text{O}_3-4\text{TiO}_2$ の2種類のガラスを作製した。

TTT 図の取得のためには、熱処理温度と時間の条件を多岐に振った結果が必要であるため、ガラス試料をおよそ2-3mm角程度の小片に分割した。小片試料はアルミナ皿上に点接触になるように設置し、所定の温度に設定された熱処理用電気炉内に投入され熱処理された。熱処理したガラスを粉末X線回折 (XRD) (Rigaku Ultima IV, Cu-K α , 40 kV, 40mA, スキャン速度 0.1deg./min.) で評価し結晶化の有無を確認した。

3. 実験結果

3・1 $50\text{BaO}-50\text{B}_2\text{O}_3$ ガラス

図1に $50\text{BaO}-50\text{B}_2\text{O}_3$ ガラスを 625°C で熱処理した場合の、XRDパターンを熱処理時間ごとに比較したものを示す。 $50\text{BaO}-50\text{B}_2\text{O}_3$ 組成は液相線の頂点であり、安定的なガラス化領域の境界近くでもあるため、作製条件によってはガラス化しないことがあるが、本研究の場合良好なガラス試料を得ることができた。図1の熱処理時間10分は、ほぼ熱処理無しのガラスであると考えられるが、ガラス特有の連続的になだらかなハローが確認でき、良好なガラスが形成されていることが確認できる。

3時間熱処理でXRDに同定可能なピークが現れる。これらのピークは β 相メタホウ酸バリウム BaB_2O_4 (β -BBO) であることが分かった (ICCD PDF No. 380722)。ピークは熱処理

時間とともに増大し、ハローは見られなくなった。

同様の評価を 650°C 、 675°C でも行った。いずれも熱処理時間の増加に伴って、 β -BBOの析出がみられた。 650°C -30分、 675°C -15分熱処理では明瞭なハローとピークが共存したため、部分的な結晶化と判断した。試料の顕微鏡観察から、表面からの結晶化が主であるため、内部にガラス相が残っているものと考えられる。

3・2 $48\text{BaO}-48\text{B}_2\text{O}_3-4\text{TiO}_2$ ガラス

図2に $48\text{BaO}-48\text{B}_2\text{O}_3-4\text{TiO}_2$ ガラスを図1と同じ 625°C で熱処理した場合の、XRDパターンを熱処理時間ごとに比較したものを示す。図1と同じく最も短い1時間熱処理では顕著なハローパターンがみられるため、試料は良好なガラスであると判断できる。その後7時間熱処理でハローパターンが残ったまま明瞭なピークが出現し、結晶相の出現が示唆される。その後熱処理時間の増加に伴い、ハローが徐々に減少し、ピークが増大していくことが分かる。ハローが完全に消失したのは30時間熱処理であった。

3・3 ホウ酸バリウム系ガラスの TTT 図

3.1, 3.2での結果を基に、 $50\text{BaO}-50\text{B}_2\text{O}_3$ ガラス、 $48\text{BaO}-48\text{B}_2\text{O}_3-4\text{TiO}_2$ ガラスのTTT図を作図した(図3, 図4)。比較のために、横軸(時間)、縦軸(熱処理温度)をそろえている。また横軸は対数スケールとした。いずれのガラス系でも、より高温で結晶化速度が速くなっていることがわかる。また、 $50\text{BaO}-50\text{B}_2\text{O}_3$ ガラスと $48\text{BaO}-48\text{B}_2\text{O}_3-4\text{TiO}_2$ ガラスで

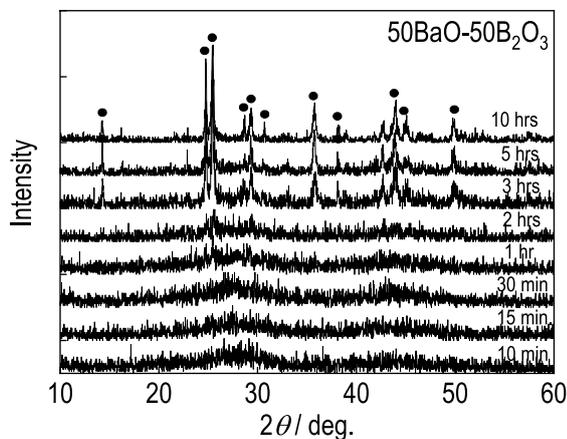


図1 625°C で熱処理した $50\text{BaO}-50\text{B}_2\text{O}_3$ ガラスのXRDパターン。●は β -BBOのピーク。

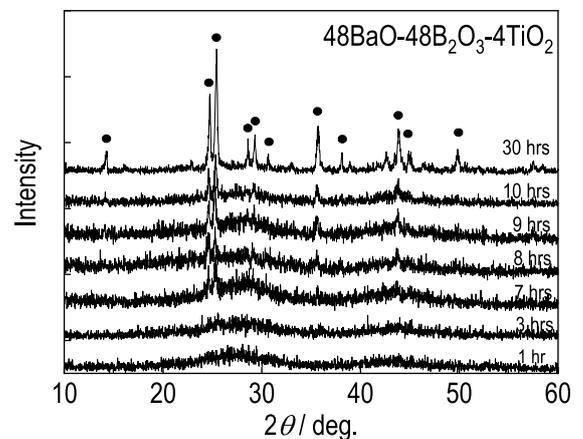


図2 625°C で熱処理した $48\text{BaO}-48\text{B}_2\text{O}_3-4\text{TiO}_2$ ガラスのXRDパターン。●は β -BBOのピーク。

は、前者でより速やかに結晶化が進むことが分かる。さらに、48BaO-48B₂O₃-4TiO₂ ガラスでは、XRD のハローがより長時間の熱処理でも消失せず、結晶化の進行がかなり緩慢であることが分かる。このことは 48BaO-48B₂O₃-4TiO₂ ガラスがより安定、すなわち TiO₂ によるガラスの安定化が実現していることを意味している。

4. 考察

シリケート系ガラスをはじめとする一般的なガラスでは、TiO₂ は核生成助剤として用いられることが多い。しかし、バリウムホウ酸塩系ガラスでは、むしろ TiO₂ がガラス安定化に寄与していることがわかる。

示差熱分析 (DSC または DTA) で求められた、これら二組成のガラス転移点 (T_g)、および結晶化開始温度 (T_x) はそれぞれ、50BaO-50B₂O₃ ガラスで $T_g=525^\circ\text{C}$ 、 $T_x=585^\circ\text{C}$ 、48BaO-48B₂O₃-4TiO₂ ガラスで $T_g=534^\circ\text{C}$ 、 $T_x=632^\circ\text{C}$ である。このことから、48BaO-48B₂O₃-4TiO₂ ガラスが熱的により安定であることが分かっている [2, 3]。

ホウ酸塩ガラスは組成によってホウ素の配位数や局所構造が変化し、物性に複雑な影響を与えることが知られている [4]。50BaO-50B₂O₃ では三配位ホウ素と Ba²⁺ に補償された四配位ホウ素 (BO₄⁻) によりガラスネットワークが構成されていると推定される。微量 (5mol% 程度) の TiO₂ 添加の場合、四配位ホウ素が減少し、Ti-O-B 結合が増加し、Ti がガラスのネットワークフォーマーとして働くことが IR 分光

などで示唆されている。このように、Ti の添加によりガラスが熱に対しより安定となると考えられている [2]。

本報告は、これらの既に得られている知見と矛盾せず、TTT 図はそれを強く支持している。また、示差熱分析で得られた結晶化開始温度と TTT 図との関係にも注意すべきであろう。示差熱分析の結晶化開始温度は、TTT 図において、結晶化がきわめて遅い温度領域である。これは、示差熱分析が粉末試料で行われていることと関係があると思われる。ホウ酸バリウム系ガラスの結晶化が表面からの不均一核生成であることから、粉末試料 (比表面積が大きい) の示差熱分析では結晶化が極めて速く進行すると考えられる。今後の検討に際して、試料の形状や表面状態は留意すべき事項であろう。

参考文献

- [1] 長谷川智晴, 福井工業高等専門学校研究紀要 自然科学・工学, 第 53 号 (2019) 23-28.
- [2] P. Pernice, S. Esposito, A. Aronne, Phys. Chem. Glasses, vol. 39 (1998) 222-227.
- [3] Y. H. Kao, Y. Hu, H. Zheng, J. D. Mackenzie, K. Perry, G. Bourhill and J. W. Perry, J. Non-Cryst. Solids, 167, (1994) 247-254.
- [4] たとえば, J. E. Shelby "Introduction to Glass Science and Technology (2nd Ed.)," Royal Society of Chemistry, 2005, Chapter 5.

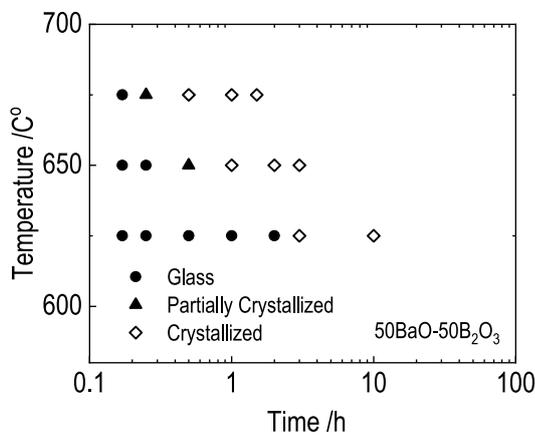


図3 50BaO-50B₂O₃ ガラスの TTT 図.

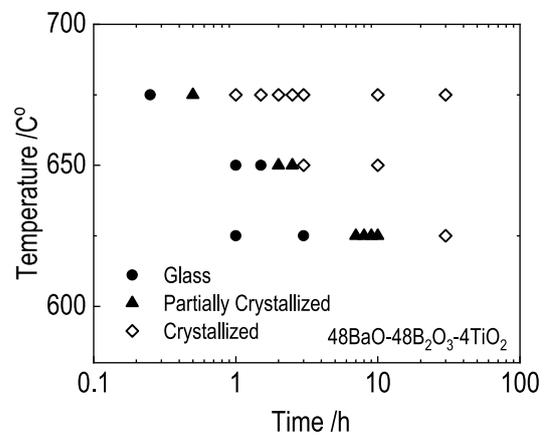


図4 48BaO-48B₂O₃-4TiO₂ ガラスの TTT 図.

Individual Differences of Jump Distance for Running Long Jump in Relation to the Physical Characteristics of Female Students in PE Class

Akihiro AZUMA^{*1} and Kazuhiro MATSUI^{*}

The purpose of this study was to determine the relationship between physical characteristics and jump distance of running long jump among female college students in physical education (PE) class. Participants were 43 healthy female college students aged 17–18 years. To examine to what extent physical characteristics (stature, lean body mass, and fat mass) account for the variance in jump distance, a multiple regression analysis was carried out, and a 50-meter run time was also added as an independent variable to compare with the contribution of anthropometric parameters. The analysis revealed that the 50-meter run time, as expected, accounted greatly for the variance in jump distance and lean body mass also gave an advantage to jump distance. However, stature and fat mass were not adopted as significant independent variables. It was plausible that the jump distance of running long jump would be affected by muscle mass as well as sprint ability in female college PE class students. Therefore, it was suggested that greater muscle mass in female students would lead to an improvement in running long jump performance.

Keywords: Running long jump, Physical resources, Sprint ability, Multiple regression analysis, PE class

1. Introduction

The trajectory of the center of mass during running long jump after takeoff describes a parabola, so jump height and landing point are decided just at the point of taking off from the ground (Fukashiro, 1983). In other words, running long jumping is actually like a mechanical phenomenon, and the skill in the takeoff phase has been discussed from the viewpoint of kinematics and kinetics (Hay, 1986; Hay et al., 1986). As some athletes in sprint track racing also participate in the running long jump event, jump distance is strongly associated with sprint ability. Also, many studies have been cited in the relationship between approach-run speed or sprint power and jump distance (Hay, 1986; Hay et al., 1986; Lee et al., 1994). For this reason, physical resources such as approach-run speed and takeoff power are recognized as important determinant factors for jump distance as well as jump skills.

Physical resources are one expression of the function of the body, meaning a structure or set of physical characteristics. Considering that learners (students) in the PE class, who are different from athletes, have many varieties of physical characteristics, Azuma and Matsui (2018b) investigated the

contribution of physical characteristics in male students to the jump distance of running long jump in PE class using multiple regression analysis. The finding of our study above showed that lean body mass (LBM) and fat mass (FM) were adopted as independent variables which provide an advantage and a disadvantage to jump distance and they accounted for 11% and 13% of the variance in jump distance, respectively. Therefore, it was suggested that body composition is associated with jump performance in the running long jump in physical education (PE) class male students.

On the other hand, it is well known that the percentage fat (%fat) is greater and the LBM is less in females than in males and the muscle strength in females also lower than that of males (Heyward et al., 1986; Miller et al., 1993; Sharp et al., 2002). That is to say, there are obvious gender differences in body composition and muscle strength. Gender differences in sports performances have also been reported (Thibault et al., 2010); jump distance in females is smaller than that in males not only in world records (Thibault et al., 2010) but also in Japan's national record (Japan Association of Athletics Federations website). For this reason, investigating the contribution of physical

* Course of General Education (Natural Science) ¹aazuma@fukui-nct.ac.jp

characteristics to jump performance in female students is expected to provide useful information to teach running long jump in PE class based on considering gender differences.

Therefore, the purpose of this study was to examine the relationship between the physical characteristics of female students and their jump distance in the running long jump PE class.

2. Methods

2.1. Participants

Participants were 43 healthy college female students aged 17–18 years old (age: 17.1 ± 0.36 years old; stature: 157.9 ± 5.5 cm; body weight: 50.1 ± 6.1 kg; %fat: $25.6 \pm 3.3\%$). Written consent was obtained from all subjects, who were given a detailed explanation of the purpose and procedure of this study and its potential for publication. This study was approved by the Research Ethics Committee of the National Institute of Technology, Fukui College (Permission numbers: 29-1, 30-1, and 30-2).

2.2. Procedure

Participants attended five consecutive PE classes for running long jump (Days 1–5, 90 min each). Before the practice, %fat and 50-meter run time (50-m RT) were measured for all participants, a bioimpedance technique with eight electrodes and two different frequencies (TANITA, RD-800) was used in the measurement of %fat. Then they were instructed in a series of fundamental skills; approach run, takeoff, air posture, and landing in stages (Days 1–3) and adequate practice time was given to the participants especially in setting the distance of the approach run and takeoff movement. Finally, jump distances with their maximal efforts were measured at Day 4 or 5.

2.3. Analysis

The individual LBMs and FMs were calculated from the data in participants' body mass and %fat. To investigate to what extent stature, LBM, and FM account for the variance in jump distance, a multiple regression analysis was carried out in jump distance as a dependent variable. As a negative correlation between 50-m RT (which is associated with approach-run speed) and jump distance has been reported (Azuma and Matsui, 2018a;

Azuma and Matsui, 2019; Matsui and Azuma, 2019), 50-m RT, for comparison with physical characteristics, was also added as an independent variable along with anthropometric parameters.

2.4. Statistics

A stepwise method was used for the multiple regression analysis. A P-value < 0.05 indicated statistical significance.

3. Results

The multiple regression analysis revealed that LBM and 50-m RT were adopted as significant variables (both $P < 0.05$), but stature and FM were not found to be significant, jump distance = $2.52 \times 10^{-2} \times \text{LBM} - 0.508 \times 50\text{-m RT} + 6.482$, explaining 50.3% of the observed variance in jump distance by significant independent variables ($r^2 = 0.503$, $P < 0.05$). Based on the results of r^2 and standardized regression coefficients (Table 1), it was estimated that on average, LBM accounted for 13.4% ($0.503 \times 0.242 \times 100 / (0.242 + 0.668)$), 50-m RT for 36.9% ($0.503 \times 0.668 \times 100 / (0.242 + 0.668)$) of the variance in jump distance.

4. Discussion

The %fat of participants was evaluated using the same device, which was equipped with eight electrodes and two different frequencies, as used in our previous study (Azuma and Masui, 2018b). On bioimpedance technique, it was reported that eight electrodes were superior to four electrodes (Pietrobelli et al., 2004) and the accuracy of the measurement followed by two frequencies corresponded to the DEXA method (Alves et al., 2014) in the evaluation of body fat. It was plausible that %fat would be accurately evaluated in this study.

Stature as a dimensional parameter was not adopted as an independent variable, which is a coincidence of the result in male students as reported by Azuma and Matsui (2018b). On the other hand, the 50-m RT expresses sprint ability, and, needless to say, it is regarded as a factor which directly affects approach-run speed. Many studies have reported a positive correlation between approach-run speed and jump distance (Hay, 1986; Hay et al., 1986; Lee et al., 1994). Besides, a negative correlation between 50-m RT and jump distance has been reported (Azuma and

Table 1. Multiple regression analysis for determining the jump distance in stature, lean body mass, fat mass, and 50-meter run time.

| Independent variable | Regression coefficient | Standardized regression coefficient | Partial F-value | r ² | F-value |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------|---------|
| Stature, cm | n.s. | n.s. | n.s. | | |
| Lean body mass, kg | -2.52 × 10 ⁻² | -0.242 | 4.7* | | |
| Fat mass, kg | n.s. | n.s. | n.s. | | |
| 50-meter run time, s | -0.508 | -0.668 | 35.9* | | |
| Constant | 6.482 | | 52.5* | 0.503* | 20.3* |

* P < 0.05

r² is the coefficient of determination of the regression model.

n.s. indicates no significant.

Matsui, 2018a; Matsui and Azuma, 2018; Azuma and Matsui, 2019; Matsui and Azuma, 2019). Therefore, it was easily understandable that 50-m RT was a significant independent variable and largely contributed to jump distance in female students. This was also similar in the case of male students (Azuma and Matsui, 2018b), but 50-m RT in female students accounted for 36.9% of the variance of jump distance much more than that in male students (30%; according to Azuma and Matsui, 2018b). The sprint ability in female students might influence jump distance, unlike that in male students.

Furthermore, running long jump requires not only approach-run speed (as a sprint ability) but also vertical acceleration based on powerful takeoff. It was considered that this would be the reason why LBM, which is a structural (physical) resource developing muscle strength/power, was found to be an independent variable. This means that greater jump distance needs greater LBM (regression coefficient is positive) and also corresponds to the result in the case of male students (Azuma and Matsui, 2018b). However, LBM in female students accounted for 13.4% of the variance in jump distance being slightly more than that in male students (11%; according to Azuma and Matsui, 2018b). Saying together with the fact in 50-m RT, the contribution of sprint ability and muscle strength to jump distance in female students tended to be much more than in male students.

On the other hand, FM was not a significant independent variable in female students. According to Azuma and Matsui (2018b), FM was found to be significant and accounted for 13% of the variance in jump distance, and smaller FM was regarded as

a factor required for greater jump distance (the regression coefficient of FM was negative) in male students. Differing from male students, speed and strength in female students seemed to be more important for jump distance than lesser FM (or extra weights). It was unclear why FM was not a significant independent variable in female students. The possibility was pointed out that some of the participants who had greater FM might have enough muscle strength to overcome their heavy weight. On the contrary, it was thought that female students would require muscle strength or power to move fast horizontally and lift vertically their weight including greater FM than male students. Therefore, the contribution of 50-m RT and LBM in female students might have been greater than in male students. However, the gender difference contributing to jump distance was small, and those considerations above remain a matter of speculation

Nevertheless, especially for female students who have desires for slimming (Woźniak et al., 2014), it was suggested that the findings of this study would provide PE learners with a reason for maintaining adequate LBM not only as a health issue but also a factor affecting jump performance in running long jump.

5. Conclusion

Using a multiple regression analysis, the contribution of physical characteristics and sprint ability to jump distance of running long jump was investigated in PE class female students. Although 50-m RT greatly contributed to jump distance and LBM was adopted as an independent variable to provide benefit

to jump distance, neither stature nor FM were significant independent variables. It was suggested that muscle mass, as well as sprint ability, would have a significant effect on the performance in female PE running long jump.

References

- Alves FD, Souza GC, Clausell N. (2014). Comparison of two bioelectrical impedance devices and dual-energy X-ray absorptiometry to evaluate body composition in heart failure. *J Hum Nutr Diet*, 27(6), 632-638.
- Azuma A, Matsui K. (2018a). A method for evaluating jump skill using the speed-effectiveness index for the running long jump in PE classes. *Bulletin of Hokuriku Society of Physical Education, Health and Sport Sciences*, 54, 7-13.
- Azuma A, Matsui K. (2018b). Individual differences of jump distance for running long jump in relation to the physical characteristics of male students in PE class. *Proceedings of 2018 Annual Meeting of Japan Ergonomics Society Kansai Branch*, pp. 50-51. (in Japanese)
- Azuma A, Matsui K. (2019). Utilization of the speed-effectiveness index for evaluating the jump performance of female college students in a running-long jump PE class. *Asian J Kinesiol*, 21(2), 1-7.
- Fukashiro S. (1983). Hashirihabatabi to Sandantobi no Biomechanics (Biomechanics in running long jump and triple jump). *Jpn J Sports Sci*, 2(8), 600-613. (in Japanese)
- Hay JG. (1986). The biomechanics of the long jump. *Exerc Sport Sci Rev*, 14(1), 401-446.
- Hay JG, Miller JA, Canterna RW. (1986). The techniques of elite male long jumpers. *J Biomech*, 19(10), 855-866.
- Heyward VH, Johannes-Ellis SM, Romer JF. (1986). Gender differences in strength. *Res Quart Exerc Sport*, 57(2), 154-159.
- Japan Association of Athletics Federations: Records, JAPAN National. <https://www.jaaf.or.jp/english/record/japan/?segment=1>. (Accessed Sep 3, 2020).
- Kirchengast S. (2010). Gender differences in body composition from childhood to old age: an evolutionary point of view. *J Life Sci*, 2(1), 1-10.
- Lee A, Fowler N, Derby D. (1994). A biomechanical analysis of the last stride, touchdown, and takeoff characteristics of the men's long jump. *J Appl Biomech*, 10, 61-78.
- Matsui K, Azuma A. (2018). A study on the optimal distance of approach-run for running long jump based on quadratic regression equation approximation using graphing calculator in PE class of the National Institute of Technology. *Bulletin of Hokuriku Society of Physical Education, Health and Sport Sciences*, 54, 1-6.
- Matsui K, Azuma A. (2019). Optimal distance of the long jump approach run calculated using quadratic regression equation approximation in female college students attending a physical education class. *Asian J Kinesiol*, 21(3), 31-36.
- Miller AE, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Sale DG. (1993). Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Eur J Appl Physiol*, 66(3), 254-262.
- Pietrobelli A, et al. (2004). New bioimpedance analysis system: improved phenotyping with whole-body analysis. *Eur J Clin Nutr*, 58(11), 1479-1484.
- Sharp MA, Patton JF, Knapik JJ, Hauret K, Mello RP, Ito M, Frykman PN. (2002). Comparison of the physical fitness of men and women entering the U.S. Army: 1978-1998. *Med Sci Sports Exerc*, 34(2), 356-363.
- Thibault V, Guillaume M, Berthelot G, Helou NE. (2010). Women and men in sport performance: the gender gap has not evolved since 1983. *J Sports Sci Med*, 9, 214-223.
- Woźniak A, Artych M, Wawrzyniak A. (2014). Nutritional behaviours and body self-perception in polish pupils attending middle-school. *Rocz Panstw Zakl Hig*, 65(4), 331-336.

四肢の連続選択反応テストの試行間信頼性及び評価変数間の関係

青木 宏樹^{*1} 出村 慎一^{**} 当麻 成人^{***}

Examination of inter-trial reliability and relations among parameters of the successive choice reaction test using extremities

Hiroki AOKI, Shinichi DEMURA and Narihito TAIMA

It is imperative to evaluate the ability to perform tumble avoidance actions, including stepping and putting one's hand out quickly. This study aimed to examine the inter-trial reliability and relations among parameters of the successive choice reaction test using extremities. The sample comprised 30 young men. They were required to touch or step quickly from a standing posture onto the seat located on the table before them in response to instructions given on a computer screen. The instruction tempo was 40bpm. Three patterns of instruction included combined patterns using one's right and left hands as well as one's right and left feet three times. Three trials were conducted for each of the patterns. The sum of the six-touch and six-step reaction time was used as an evaluation variable, namely, choice reaction time in one trial. The repeated measure results of one-way ANOVA revealed significant differences among the means of the three trials in each pattern. Hence, the intra-class correlation coefficient (ICC) between two approximate values with no significant differences was found in the three trials, with an ICC of 0.90 or more. Employing the mean of two approximate values as the representative value, the correlation coefficient (r) among the times of the three patterns and the total time of the three patterns (a total scale) was calculated. The results revealed r was 0.70 or more among the patterns and 0.9 or more between the total scale and each pattern.

In conclusion, the reliability of the newly developed continuous successive choice reaction test was high in the three patterns. Moreover, the relations among the three patterns were high. The three patterns also had a high relation with the total scale. Therefore, it may be concluded that the three patterns measure the same ability.

Keywords : extremities, successive choice reaction test, reliability

1. はじめに

敏捷能力は、転倒回避動作に関わる重要な体力要因であり、「身体活動時において、身体の一部あるいは全体を素早く動かす能力」と定義されている(出村, 2015)。転倒回避のために咄嗟に一歩を踏み出す、あるいは手を出すといっ

た動作は転倒回避動作に該当する。近年、下肢に関する敏捷能力を評価するために、Uchida et al.(2013)は、連続選択反応テストを考案しているが、危険回避や転倒予防の観点から下肢のみならず四肢の敏捷能力を評価するテストの開発が必要であろう。しかし、上肢と下肢の複合動作により四肢の敏捷能力を評価するテストは開発されていない。

*一般科目教室 **金沢大学 ***大阪薬科大学 ¹aoki@fukui-nct.ac.jp

前述した連続選択反応テストにおいて、同じ指示刺激パターンを反復利用すれば、被験者に次の指示刺激が予測される(記憶効果)可能性がある。よって、異なるパターンを利用する必要がある(Fujitani et al., 2019)。しかし、各パターンで難度が異なれば、テストの試行間信頼性もパターンごとに異なる可能性もある。一方、複数の選択パターンの評価変数間の関係が低い場合、各パターンにより捉える能力も異なることになる。連続選択反応テストの指示刺激パターンを選別する際の基礎資料とするためにも複数のパターンの評価変数間の関係を検討する必要がある。本研究では、異なるタッチ・ステップパターンを利用する連続選択反応テストの評価変数の関係は高いと仮定する。

我々は上肢のタッチ動作と下肢のステップ動作を複合した四肢の連続選択反応テストを新規に考案し、テストの試行間信頼性及び評価変数間の関係を検討することを本研究の目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は健康な青年男性 30 名(年齢 18.4±2.0 歳, 身長 169.6±5.5cm, 体重 61.7±8.2kg)であった。本研究の実験計画は、福井工業高等専門学校研究倫理審査委員会の承認(承認番号は無し)を得ている。全ての被験者から研究参加の同意を得た。

2.2 連続選択反応テスト

連続選択反応時間の測定には、連続選択反応測定システム(竹井機器)を用いた。この機器は、被験者の手あるいは足がパネル(正方形:15cm)に接触した時の情報をデジタル信号としてパソコンに記録できる。

本テストは、次の手順で実施された。被験者は、腰に両手を当てた状態で、パソコン画面を前にし、机(70cm 高)後ろに立った。被験者正面の机の上にパネルを 2 枚、床にパネルを 2 枚設置した。パネルの中心間は 40cm とした。テスト開始と同時に、パソコン画面上に表示された指示パネルに素早くタッチあるいはステップし、再び腰に利き(非利き)手を戻し、次の刺激を待った。

同じタッチ・ステップパターンを利用する場合、被験者は、次の刺激を予測できる可能性がある。よって、予測困難

な複数のパターンを 24 通り作成した。本研究では、被験者の負担を考慮し、その中からランダムに 3 つ選択し(表 1 参照)、パソコンの画面に表示した。3 パターンの評価変数間の関係が高ければ、仮説は実証されると判断した。

刺激提示のテンポは、Fujitani et al. (2013) の報告と同じ 40bpm とした。測定は、利き手と非利き手ともに 3 試行実施した。試行ごとの測定間隔は 1 分以上とした。また、測定順序はランダムとした。

表 1. 利き手と非利き手の刺激提示順

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| パターン1 | 左手 | 右手 | 左足 | 右足 | 左足 | 左手 | 右足 | 右手 | 左手 | 左足 | 右足 | 右手 |
| パターン2 | 左手 | 右足 | 左足 | 右手 | 右足 | 左足 | 左手 | 右手 | 右足 | 左足 | 左手 | 右手 |
| パターン3 | 左手 | 右手 | 右足 | 左足 | 右足 | 左手 | 右手 | 左足 | 右足 | 左手 | 左足 | 右手 |

2.3 評価変数

先行研究(Fujitani et al., 2019)を参考に 12 回のタッチ及びステップ反応時間の合計値とした。

2.4 統計解析

連続選択反応テストの試行間差を検討するために、対応のある 1 要因分散分析を利用し、主効果に有意性が認められた場合、Tukey の HSD 法により多重比較検定を行った。連続選択反応テストの試行間信頼性を検討するために、ICC (Intra Crass Correlation) を算出した。各変数間の関係を検討するためにピアソンの相関係数を算出した。本研究における有意水準は 5% とした。

3. 結果

表 2 は、連続選択反応テストにおける各パターン別の 3 試行の基礎統計値、分散分析の結果を示している。パターン 1 と 3 に有意差が認められ、パターン 1 は 1 試行目よりも 3 試行目の方が、パターン 3 は、1 試行目より 2 及び 3 試行目の方が短かった。

表 2. 連続選択反応の平均時間の試行間差の結果

| | 1試行 | | 2試行 | | 3試行 | | F-value | post-hoc |
|----------|------|------|------|------|------|------|---------|------------|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | | |
| パターン1(秒) | 6.57 | 0.68 | 6.42 | 0.60 | 6.23 | 0.61 | 5.490* | 1試行>3試行 |
| パターン2(秒) | 6.27 | 0.75 | 6.15 | 0.78 | 6.08 | 0.68 | 2.068 | |
| パターン3(秒) | 6.56 | 0.69 | 6.23 | 0.75 | 6.14 | 0.81 | 10.015* | 1試行>2, 3試行 |

* p < 0.05

表3は、連続選択反応テストにおける各パターン別、近似2値の分散分析の結果を示している。全てのパターンで試行間に有意差は認められず、ICCは、全てのパターンで0.9以上の高値であった。よって、以後の解析は、3試行の内の近似2値を代表値として検討する。

表3. 連続選択反応の平均時間（近似2値）の試行間差の結果及びICC

| | 近似値1 | | 近似値2 | | F-value | ICC |
|--------------|-------|------|-------|------|---------|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | | |
| パターン1(秒) | 6.45 | 0.67 | 6.39 | 0.61 | 1.703 | 0.926 |
| パターン2(秒) | 6.18 | 0.80 | 6.14 | 0.76 | 0.502 | 0.948 |
| パターン3(秒) | 6.25 | 0.71 | 6.18 | 0.75 | 2.536 | 0.947 |
| 3パターンの合計値(秒) | 18.87 | 2.02 | 18.71 | 1.99 | 3.960 | 0.974 |

表4は、連続選択反応テストにおけるパターン間の相関係数を示している。全てのパターン間で有意な高い相関が認められ、合計値と各パターン間の係数は0.91以上の高値であった。

表4. 各連続選択反応時間間の相関係数

| | パターン1 | パターン2 | パターン3 |
|-------|--------|--------|--------|
| パターン2 | 0.815* | | |
| パターン3 | 0.775* | 0.873* | |
| 合計値 | 0.911* | 0.960* | 0.944* |

* $p < 0.05$

4. 考察

四肢の連続選択反応時間の近似2値のICCは、いずれのパターンも0.926以上の非常に高い値であった。新しいテストを作成する場合、信頼性の検討は不可欠である。評価変数の信頼性が高いことは連続選択反応テストの実用化において重要である。一般に、テストの信頼性は同一テストを複数回実施して、その一致度により評価される。本研究では連続選択反応テストを3試行実施し、その一致度を各刺激呈示パターン別に検討した。信頼性の基準としてFleiss (1981)は0.75以上を、Jackson (1980)は0.70以上をFairなICCと解釈してよいと考えている。Fujitani et al. (2019)の報告によると、青年のステップ動作における連続選択反応テストの試行間のICCは0.75以上の高値である。青年の場合、新規に開発した四肢の連続選択反応テストの試行間信頼性は非常に高いと判断される。

各パターンの連続選択反応時間間の関係は高く、また全てのパターンは3パターンの合計値（総合尺度）と非常に高い相関が認められた。一般に青年は体力レベルが高く、敏捷能力が優れる。また、本テストでは連続的に刺激呈示をするため、次の指示刺激に対する準備をしながら、刺激に対して反応することが要求される。青年は、各パターンごとに指示順序が異なっても、刺激に対して素早く反応することができ、また、次の刺激に対する準備も容易であるため、パターン間に高い関係が認められたと推察される。以上、本研究の仮説（異なるタッチ・ステップパターンを利用する連続選択反応テストの評価変数の関係は高い）は採択され、3パターンとも同じ能力を測定すると判断される。

5. まとめ

結論として、新規に作成した四肢の連続選択反応テストの信頼性は、3パターンともに高く、また、3パターン相互の関係は高い。3パターンはいずれも総合尺度との関係も非情に高い。3パターンは、同じ能力を測定すると判断される。

6. 謝辞

本研究はJSPS 科研費JP18K10918の助成を受けたものです。

参考文献

- 出村慎一 (2012) 地域高齢者のための転倒予防—転倒の基礎理論から介入実践まで—。杏林書院、東京
- Fleiss JL (1981) Statistical method for rates and proportions. John Wiley & Sons
- Fujitani K, Demura S, Asakura Y, Yamaji S, Aoki H, Shin S, Taima N (2019) Reliability and validity of the revised successive-choice step reaction test in elderly women. American Journal of Sports Science and Medicine, 7 (1) , 1-9
- Jackson A, Jackson AS, and Bell JA (1980) Comparison of alpha and the intraclass reliability coefficients. Research Quarterly for Exercise and Sport, 51 (3) , 568-571

Uchida Y, Demura S, Nagayama R, Kitabayashi T (2013)

Stimulus tempos and the reliability of the successive choice reaction test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (3) ,848-853.

急傾斜切土のり面における広葉樹幼苗植栽後 11 年目の植生発達状況

小木曾晴信*¹ 矢ヶ崎朋樹**

Vegetation development on the cut steep slope restored using broad-leaved tree seedlings at 11 years after planting

Harunobu OGISO and Tomoki YAGASAKI

Vegetation surveys were conducted to examine vegetation development in an 11-year-old artificial broad-leaved forest on a 45-degree slope with terracing in Fukui Prefecture, Japan. In the initial stages of forest growth after tree planting, deciduous broad-leaved trees were dominant, coexisted with evergreen broad-leaved trees, and were approximately 6 m in height. The average height:diameter ratio of the trees was approximately 1:0.007 and the survival rate of the planted trees was approximately 90%. Three forest stratification layers were observed, and there were 34 newly added species. Although the survey plot was in a heavy snowfall area, no significant wind or snow damage was observed. The growth of standing trees tended to be less than that of other artificial broad-leaved forests in non-snowfall regions. In the survey site, the peculiar location and habitat seemed to suppress the growth of planted trees, and additional root-system development was potentially required for all the planted trees examined to enhance growth and competition, particularly among deciduous and evergreen broad-leaved trees.

Keywords : artificial forest, environmental protection forest, species composition, forest stratification, dense-planting method

1. はじめに

地域に残存する自然林の主要構成樹種群に着目し、それらの幼苗を混植・密植して造成された、環境保全を主目的とする人工林は、一般に「環境保全林」^{1), 2), 3), 4)}と呼ばれている。近年、環境保全林の造成は、生物多様性保全への配慮の必要性から、従来マメ科などの外来種による緑化が主要な方法であった急傾斜切土のり面の緑化においても実施されており⁵⁾、復元目標とする自然林(植生タイプ)にどれだけ近づいているか、といった評価の方法⁶⁾が検討され始めている。また、環境保全林の造成において高木種(樹高が8m以上になる樹種)⁷⁾を切土のり面に造成する場合、一般に編柵工と客土による植栽基盤の構築が行われるが⁸⁾、その後の樹林の発達に関しては、構築した植栽基盤(土壌)の容積が限られるため、高木種が伸長することにより生育基盤が不安定化するのではないかとの懸念⁹⁾がある一方で、植栽木の伸

長成長は自然に抑制されるのではないかとの予測もなされている。しかし、以上の課題を検証するための基礎資料を得ることを目的として、植栽後の発達過程の植生(群落組成、立木成長量、構造)を調査したという事例はまだ少ない。

そこで、著者らは福井県越前市にある傾斜角45°の切土のり面に丸太編柵工と建設残土由来の客土を用いて造成された高木種を主体とする林齢11年の環境保全林について、植生の発達状況を明らかにするための調査を行った。本報では、植生調査の結果から、当地に発達した林分の特徴について報告する。

2. 調査地の概要

調査地の林分は、吉野瀬川ダム建設工事に伴う、付け替え道路のり面の新規緑化地であり、福井県越前市広瀬町(海抜約80m, 北緯35°53'04", 東経136°07'23")の県道19号線武

*教育研究支援センター

** (公財) 地球環境戦略研究機関

¹ogiso@fukui-nct.ac.jp

生・米ノ線沿いに形成されている (Fig.1, 2, 3). 最寄りの気象観測所(今庄)のデータ(いずれも, 1981年から2010年までの年・月ごとの平年値)¹⁰⁾によると, 年平均気温は12.9°C, 年間降水量は2,569.2mm, 年間積雪深は488cm(最深積雪93cm)を示し, 冬季(12-2月)の日最低気温0°C未満(冬日)の日数は57.8日となっている. これらの値をもとに算出した, 温かさの指数・寒さの指数¹¹⁾はそれぞれ102.1°C, -7.5°Cとなる.

切土のり面は, 傾斜角45°, 斜面方位は南東を示し, 最上端からの垂直のり高はおよそ7mに達している^{注1)}. のり面には水平方向にいくつかの小段が設けられており, その小段と小段との間にスギ丸太による編柵が6段設置され, その斜面上方に周辺のダム建設現場内で確保した表土(建設残土)とパーク堆肥を基本とする客土により植栽基盤が構築されている (Fig.4, 5)^{注1)}. 2003年7月に, ヒメアオキ-ウラジロガシ群集を復元目標植生として, この植栽基盤に2~3年生, 高さ50cm程度のポット苗がTable1の植栽割合でランダムに植栽されている^{注1)}.

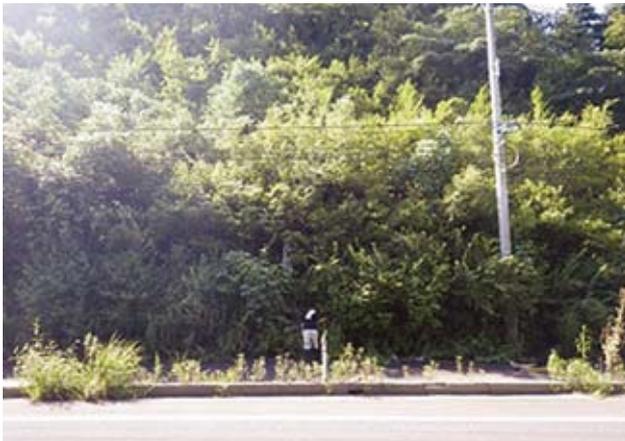


Fig.1. Overall view of study site



Fig.2. Overall view of study site in winter

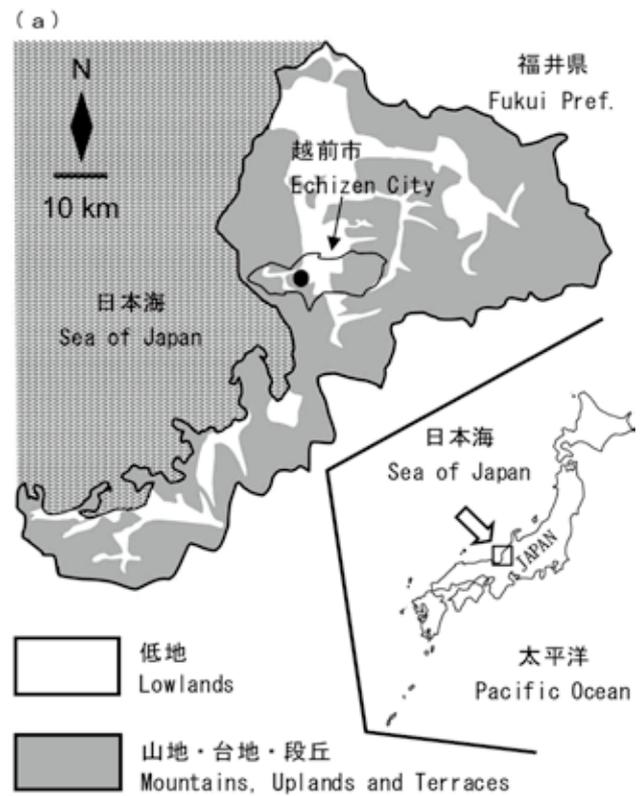


Fig.3. Location of the study site : (a)Regional map , (b)Plot locations



Fig.4. Inside the forest

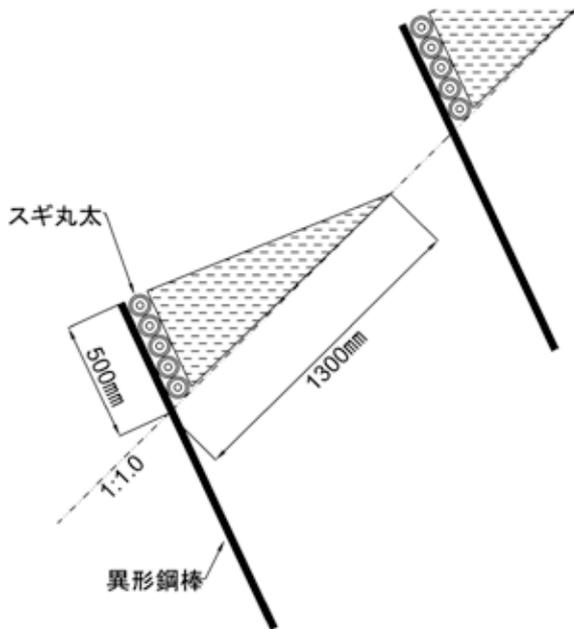


Fig.5. Standard section of planting base

Table1. Percentage of planting species

| 種名 | 植栽割合 (%) | 種名 | 植栽割合 (%) |
|------------|----------|---------------------|----------|
| ウラジログシ | 15 | コナラ | 10 |
| シラカシ | 15 | イヌシデ | 5 |
| アカガシ | 4 | ケヤキ | 4 |
| 常緑 タブノキ | 4 | 落葉 ウワミズザクラ | 4 |
| シロダモ | 3 | ホオノキ | 4 |
| 広 ネズミモチ | 3 | アベマキ | 4 |
| 葉 ソヨゴ | 3 | ウリカエデ | 4 |
| 樹 ヒサカキ | 3 | ウリハダカエデ | 4 |
| | | リョウブ | 4 |
| | | ムラサキシキブ | 4 |
| | | タムシバ | 3 |
| | | エゴノキ ^{注2)} | - |
| | | クリ ^{注2)} | - |
| 8種 | 50 | 13種 | 50 |

3. 調査方法

調査対象の林分から、均質でまとまりのある植分を現地踏査によって判断し、調査区 (150m²) を一箇所設定し、植栽後 11 年目にあたる 2014 年 8 月に植物社会学的植生調査と毎木調査を行った。

植物社会学的植生調査では、Braun-Blanquet¹²⁾ の手法に基づき調査区内の全ての維管束植物を記録し、階層構造や量的尺度 (優占度、群度、植被率など) を判定した。

毎木調査では、調査区の一部に永久方形区 (水平距離 15m × 斜距離 7m=105m²) を設置し、その中に出現した樹高 1.3m 以上の全ての樹木の種名、本数 (株数)、胸高直径:D (cm) および樹高:H (m) を記録した。胸高直径は根元から 1.3m の高さの幹周囲長を巻尺で測定した結果から算出し、樹高は測高桿を用いて梢先端までの高さを測定した。また、方形区内の樹高 1.3m に満たない植栽木を含む立木密度を算出するため、方形区内に小方形区 (水平距離 5m × 斜距離 3m=15m²) を一箇所設定し、その中に出現する樹高 1.3m 未満の植栽木の本数を別途記録した。

以上の毎木調査から得られた記録に基づき、立木密度、材積量の指標となる $D^2H^{13)}$ および形状比を算出した。立木密度は方形区に出現した樹高 1.3m 以上の樹木本数を方形区の面積で除算した値を「樹高 1.3m 以上の立木密度」とし、小方形区に出現した樹高 1.3m 未満の植栽木の本数を小方形区的面積で除算した値を「樹高 1.3m 未満の立木密度」とした。また、 D^2H の合計を方形区的面積で除算した値を単位面積当たりの材積量の指標 (cm²・m/m²) とした。さらに、立木の形状比は H/D (m・100/cm) により算出し、肥大・伸長成長の指標とした。

4. 結果

4・1 群落組成・構造

植物社会学的植生調査の結果を Table2 に示す。出現種数 52 種が確認され、このうち新規加入種は 34 種であった。単位面積あたりの種数は 0.35 種/m² となった。植栽樹種のうち、ウワミズザクラ、ホオノキ、ウリカエデは確認されなかった。

階層構造は低木層、草本第 1 層、同第 2 層の計 3 層が認められ、最上層 (低木層) の高さは 6m、植被率 80% でアベマキ、コナラ、クリなどの落葉広葉樹 (高木種) が優占していた。いずれも樹勢は良く、風雪害等の地上部かく乱による立木の著しい損傷は認められなかった。草本第 1 層は同 1.8m、30%、草本第 2 層は同 0.6m、10% を示し、ヒサカキ、ウラジログシなどの植栽樹種のほか、アカメガシワ、キンキマメザクラなどの非植栽樹種およびススキ、ベニシダなどの草本類 (以下、新規加入種) が出現していた。

Table2. Species composition of the plant community

北緯35° 53' 04" 東経136° 07' 23" , 海拔高:80m, 調査面積:150m², 斜面方位:南東, 傾斜角:45°
出現種数: 52種

| 低木層 (高さ: 6m, 植被率80%) | 種名* | 優占度・群度 |
|---|------------|--------|
| <i>Quercus variabilis</i> Blume | ●D アベマキ | 3・3 |
| <i>Quercus serrata</i> Murray | ●D コナラ | 3・3 |
| <i>Castanea crenata</i> Siebold et Zucc. | ●D クリ | 3・3 |
| <i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi | クズ | 2・2 |
| <i>Clethra barbinervis</i> Siebold et Zucc. | ●D リョウブ | 2・1 |
| <i>Carpinus tschonoskii</i> Maxim. | ●D イスシデ | 1・1 |
| <i>Quercus salicina</i> Blume | ●E ウラジロガシ | 1・1 |
| <i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino | ●D ケヤキ | 1・1 |
| <i>Quercus myrsinifolia</i> Blume | ●E シラカシ | 1・1 |
| <i>Callicarpa japonica</i> Thunb. | ●D ムラサキシキブ | 1・1 |
| <i>Syrax japonica</i> Siebold et Zucc. | ●D エゴノキ | 1・1 |
| <i>Acer rufinerve</i> Siebold et Zucc. | ●D ウリハダカエデ | + |
| <i>Ilex pedunculosa</i> Miq. | ●E ソヨゴ | + |
| <i>Magnolia salicifolia</i> (Siebold et Zucc.) Maxim. | ●D タムシバ | + |
| 草本第1層 (高さ: 1.8m, 植被率30%) | 種名* | 優占度・群度 |
| <i>Eurya japonica</i> Thunb. var. <i>japonica</i> | ●E ヒサカキ | 2・1 |
| <i>Quercus salicina</i> Blume | ●E ウラジロガシ | 1・2 |
| <i>Miscanthus sinensis</i> Andersson | ススキ | 1・2 |
| <i>Callicarpa japonica</i> Thunb. | ●D ムラサキシキブ | 1・1 |
| <i>Quercus acuta</i> Thunb. | ●E アカガシ | 1・1 |
| <i>Ligustrum japonicum</i> Thunb. | ●E ネズミモチ | 1・1 |
| <i>Acer rufinerve</i> Siebold et Zucc. | ●D ウリハダカエデ | + |
| <i>Magnolia salicifolia</i> (Siebold et Zucc.) Maxim. | ●D タムシバ | + |
| <i>Syrax japonica</i> Siebold et Zucc. | ●D エゴノキ | + |
| <i>Castanea crenata</i> Siebold et Zucc. | ●D クリ | + |
| <i>Mallotus japonicus</i> (L.f.) Müll.Arg. | D アカメガシワ | + |
| <i>Toxicodendron trichocarpum</i> (Miq.) Kuntze | D ヤマウルシ | + |
| <i>Desmodium paniculatum</i> (L.) DC. | アレチヌスビトハギ | + |
| <i>Patrinia villosa</i> (Thunb.) Juss. | オトコエシ | + |
| <i>Sophora flavescens</i> Aiton | クララ | + |
| <i>Solidago altissima</i> L. | セイタカアワダチソウ | + |
| <i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeusch. var. <i>koenigii</i> (Retz.) Pilg. | フシゲチガヤ | + |
| <i>Paederia foetida</i> L. | ヘクソカズラ | + |
| <i>Lespedeza cuneata</i> (Dum.Cours.) G.Don | メドハギ | + |
| 草本第2層 (高さ: 0.6m, 植被率10%) | 種名* | 優占度・群度 |
| <i>Dryopteris erythrosora</i> (D.C.Eaton) Kuntze | ベニシダ | 1・2 |
| <i>Clethra barbinervis</i> Siebold et Zucc. | ●D リョウブ | + |
| <i>Acer rufinerve</i> Siebold et Zucc. | ●D ウリハダカエデ | + |
| <i>Magnolia salicifolia</i> (Siebold et Zucc.) Maxim. | ●D タムシバ | + |
| <i>Syrax japonica</i> Siebold et Zucc. | ●D エゴノキ | + |
| <i>Quercus acuta</i> Thunb. | ●E アカガシ | + |
| <i>Quercus salicina</i> Blume | ●E ウラジロガシ | + |
| <i>Quercus myrsinifolia</i> Blume | ●E シラカシ | + |
| <i>Neolitsea sericea</i> (Blume) Koidz. | ●E シロダモ | + |
| <i>Ilex pedunculosa</i> Miq. | ●E ソヨゴ | + |
| <i>Machilus thunbergii</i> Siebold et Zucc. | ●E タブノキ | + |
| <i>Cerasus incisa</i> (Thunb.) Loisel. var. <i>kinkiensis</i> (Koidz.) H.Ohba | D キンキマメザクラ | + |
| <i>Viburnum erosum</i> Thunb. | D コバノガマズミ | + |
| <i>Ampelopsis glandulosa</i> (Wall) Momiy. var. <i>heterophylla</i> (Thunb.) Momiy. | D ノブドウ | + |
| <i>Deutzia scabra</i> Thunb. | D マルバウツギ | + |
| <i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zucc. | E アカマツ | + |
| <i>Cryptomeria japonica</i> (L.f.) D.Don | E スギ | + |
| <i>Polystichum tagawanum</i> Sa.Kurata | イノデモドキ | + |
| <i>Dryopteris uniformis</i> (Makino) Makino | オクマワラビ | + |
| <i>Youngia japonica</i> (L.) DC. | オニタビラコ | + |
| <i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi | クズ | + |
| <i>Dryopteris lacera</i> (Thunb.) Kuntze | クマワラビ | + |
| <i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) Roem. et Schult. var. <i>undulatifolius</i> f. <i>japonicus</i> (Steud.) T.Koyama ex W.T.Lee | コチヂミザサ | + |
| <i>Lysimachia japonica</i> Thunb. | コナスビ | + |
| <i>Smilax china</i> L. | サルトリイバラ | + |
| <i>Equisetum arvense</i> L. | スギナ | + |
| <i>Miscanthus sinensis</i> Andersson | ススキ | + |
| <i>Commelina communis</i> L. | ツユクサ | + |
| <i>Asplenium incisum</i> Thunb. | トラノオシダ | + |
| <i>Hylodessum podocarpum</i> (DC.) H.Ohashi & R.R.Mill subsp. <i>oxyphyllum</i> (DC.) H.Ohashi & R.R.Mill var. <i>japonicum</i> (Miq.) H.Ohashi | ヌスビトハギ | + |
| <i>Microstegium vimineum</i> (Trin.) A.Camus f. <i>willdenowianum</i> (Nees) Osada | ヒメアシボソ | + |
| <i>Petasites japonicus</i> (Siebold et Zucc.) Maxim. | フキ | + |
| <i>Paederia foetida</i> L. | ヘクソカズラ | + |
| <i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl. | ヤハズソウ | + |
| <i>Cyrtomium fortunei</i> J.Sm. | ヤブソテツ | + |
| <i>Dioscorea japonica</i> Thunb. | ヤマノイモ | + |

*●は植栽樹種, Dは落葉樹, Eは常緑樹を示す.

Table3. Growth-related parameters

| 種名* | 本数 | | 胸高直径 D | 樹高 H | D ² H | | | 形状比 |
|-----------|-----------|-----------|-----------------|----------------|----------------------------|-----------|------------------------------|---------|
| | 合計 (本) | 割合 (%) | 平均±標準偏差 (cm) | 平均±標準偏差 (m) | 合計 (cm ² ・m) | 割合 (%) | 平均 (cm ² ・m/本) | 平均±標準偏差 |
| D コナラ | 30 | 20.0 | 2.8±1.1 | 3.3±0.8 | 1050 | 27.7 | 35 | 126±28 |
| E シラカシ | 24 | 16.0 | 2.0±0.6 | 2.8±0.5 | 309 | 8.1 | 13 | 151±37 |
| D アベマキ | 14 | 9.3 | 3.8±1.4 | 4.2±0.9 | 1046 | 27.6 | 75 | 122±33 |
| D クリ | 14 | 9.3 | 2.6±0.8 | 3.2±1.2 | 402 | 10.6 | 29 | 124±31 |
| D エゴノキ | 12 | 8.0 | 2.9±0.8 | 3.6±0.7 | 413 | 10.9 | 34 | 127±21 |
| D リョウブ | 10 | 6.7 | 2.0±0.7 | 2.8±0.6 | 127 | 3.3 | 13 | 156±46 |
| D ムラサキシキブ | 10 | 6.7 | 1.6±0.2 | 2.7±0.2 | 74 | 2.0 | 7 | 171±28 |
| D ケヤキ | 7 | 4.7 | 1.9±0.3 | 3.2±0.6 | 85 | 2.2 | 12 | 170±29 |
| E ツヨゴ | 7 | 4.7 | 1.7±0.3 | 2.2±0.2 | 45 | 1.2 | 7 | 136±17 |
| D イヌシデ | 6 | 4.0 | 2.5±0.5 | 3.9±0.9 | 150 | 3.9 | 25 | 158±40 |
| E ウラジロガシ | 6 | 4.0 | 1.6±0.6 | 2.2±0.4 | 44 | 1.2 | 7 | 142±36 |
| E ヒサカキ | 6 | 4.0 | 1.3±0.1 | 2.0±0.2 | 21 | 0.5 | 4 | 151±14 |
| D ウリハダカエデ | 2 | 1.3 | 1.6±0.3 | 3.5±1.1 | 18 | 0.5 | 9 | 221±24 |
| E ネズミモチ | 1 | 0.7 | 1.4 | 2.4 | 5 | 0.1 | 5 | 170 |
| E アカガシ | 1 | 0.7 | 1.3 | 1.9 | 3 | 0.1 | 3 | 148 |
| 全種 | 150 | 100 | 2.4±1.0 | 3.1±0.9 | 3791 [36/m ²] | 100 | 25 | 142±36 |

*Dは落葉樹，Eは常緑樹を示す．調査面積：105m²

4・2 立木成長量

樹種ごとの本数，胸高直径，樹高，D²H および形状比を Table3 に示す．樹高 1.3m 以上の全樹木の樹高と胸高直径との関係を Fig.6 に示す．

優占種となっているアベマキ，コナラ，クリのそれぞれの平均胸高直径と平均樹高は，アベマキ D3.8cm，H4.2m，コナラ D2.8cm，H3.3m，クリ D2.6cm，H3.2m であった．

樹種ごとではコナラが本数割合 (20.0%)，D²H 割合 (27.7%) ともに最も大きかった (Table3)．次いで本数割合が大きかったのはシラカシ (16.0%)，D²H 合計割合が大きかったのはアベマキ (本数割合 27.6%) であった．アベマキの D²H 平均は 75cm²・m/本となっており，次いで大きなコナラ (35cm²・m/本) に比べて 2 倍以上大きな値となっており，本数あたりの成長量が突出していた．

樹高 1.3m 以上の全樹木の平均形状比は 142±36 となり，最小は 75 (コナラ，樹高 2.62m，胸高直径 3.5cm) であった (Table3)．

調査方形区内の全立木に係る樹高—胸高直径の関係では，両者の間に正の相関関係が認められ，近似曲線 $y=1.9498x^{0.5492}$ ($R^2=0.6075$) が得られた (Fig.6)．

4・3 立木密度

立木密度を Table4 に示す．方形区に 150 本 (樹高 1.3m 以上)，小方形区に 19 本 (樹高 1.3m 未満) が確認された．その結果，

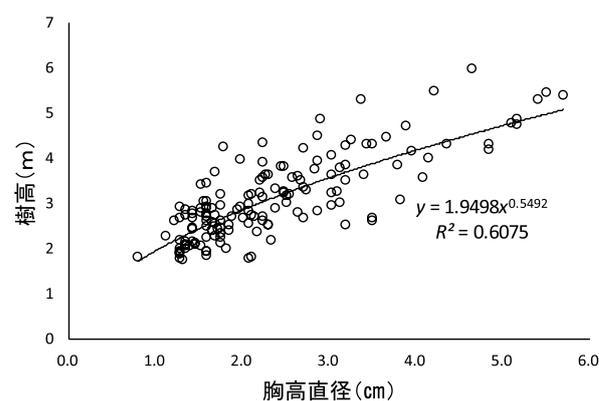


Fig.6. Tree height and DBH

樹高 1.3m 以上の立木密度は 1.43 本/m²，同 1.3m 未満は 1.27 本/m² となり，合計立木密度 (推定値) は 2.70 本/m² となった．当初の植栽密度は約 3 本/m² であることから，生存率は約 90% と推定された．

Table4. Tree density

| | 面積 (m ²) | 本数 (本) | 立木密度 (本/m ²) |
|-------------------|-------------------------|-----------|-----------------------------|
| 方形区 (樹高 1.3m 以上) | 105 | 150 | 1.43 |
| 小方形区 (樹高 1.3m 未満) | 15 | 19 | 1.27 |
| 合計 | | | 2.70 |

5. 考察

本調査対象林分の復元目標植生であるヒメアオキ・ウラジロガシ群集は、ウラジロガシ、ヒメアオキ、ホソバカンスゲ、チャボガヤなどを標徴種・区分種とする常緑広葉樹高木林の一つで、日本海側に分布するウラジロガシ優占林などが含まれる^{14), 15)}。本調査林分は、植栽後11年の時点で植生高は約6mに発達しているが、優占種は目標植生の主要樹種(ウラジロガシ)ではなく、コナラやアベマキなどのブナ科の落葉広葉樹となっている(Table2)。コナラとアベマキの落葉広葉樹2種については、優占度、地上部現存量ともに他の植栽樹種を上回っており、空間占有とバイオマスの両面で優位に立っている状況にある(Table2, 3)。一方、各階層には、ウラジロガシやシラカシなどの常緑広葉樹も出現しており(Table2)、とくに最上層のウラジロガシ・シラカシは優占度1を示し樹勢も良く、落葉広葉樹によって被圧されているといった様子は見られない。これらのことから、当地では今後、常緑広葉樹の成長に伴って林床への日射量が減り、いずれは優占種が落葉広葉樹からウラジロガシをはじめとする常緑広葉樹へと変化するものと考えられるが、植栽後11年の段階では相観上は落葉広葉樹林であり、まだ、復元目標植生(ウラジロガシを主体とする常緑広葉樹林)には達していない状況といえる。

植栽木のうち、将来林冠を構成することが期待される高木種の形状比(樹種別平均値)は、ウリハダカエデを除き120~170の範囲にある(Table3)。風雪などの地上部のかく乱に対して安全とされる形状比は65~70¹⁶⁾といわれているが、対象林分ではこれを大きく上回っており、風雪害に対して脆弱であることが懸念される。新潟県内では、形状比60以上のナラ類で冠雪害が多く発生しているとの報告¹⁷⁾もある。しかし、対象林分は日本でも有数の豪雪地帯に位置しているものの、調査時点の立木密度は2.70本/m²(Table4)、約90%という高い生存率を示し、調査時点までに風雪害等の地上部かく乱による林分の著しい損傷は見られていない。この一因としては、のり面上に設けられた編柵が幹・枝の損傷・破壊につながる積雪の移動(雪崩など)を防いでいることが考えられる。また、樹林を構成している落葉広葉樹は休眠状態で葉を落としているため、冠雪害(雪が枝葉に付着し、その重量を支えきれずに幹・枝が折れたり、曲がったりする被害)

を回避できている可能性もある。

対象林分では、1m²あたり0.23種の新規加入種が記録され、同じ常緑広葉樹林帯に造成された同林齢(11年)の環境保全林(植栽密度1.0~2.4本/m²)の0.09種/m²¹³⁾や、同じ福井県内に造成された林齢14年の環境保全林の0.04種/m²¹⁸⁾に比べて、種数の多い結果となっている。これは、当地の植栽木本数の50%が落葉広葉樹であり、そのほとんどが常緑樹のみの植栽事例^{13), 18)}よりも林内が比較的明るく保たれ、多くの陽生植物が新規加入・定着できたためと推察される。また、このことに加え、対象林分では、斜面上方や周囲に既存樹林(スギ植林や広葉樹二次林など)が接しており、周辺林からの種子散布等により植物種の新規加入種が増えた可能性がある。

また、対象林分ではトラノオシダ、ベニシダなど6種のシダ類が確認されており、それらは編柵の近隣に集中して生育している傾向が観察されている。一般に、常緑広葉樹林帯での環境保全林づくりの事例では、シダ植物の新規加入が少ないことが指摘されている²⁾が、人工構造物がシダ植物にとって好適な陰湿なハビタットを形成したり、造成時に使われた資材からシダ植物が移入したりしている可能性¹⁹⁾も指摘されており、対象林分内に造成されたスギ丸太編柵がシダ植物の発生・定着を促している可能性も考えられる。さらに、対象林分の最上層の小さな林冠ギャップや間隙から陽光が差し込み、クララ、ススキなどの日当たりの良い場所を好む高茎植物やヘクソカズラ、ヤマノイモといったつる植物の生育を許している。これらのことが比較的種数の多い結果につながった可能性も考えられる。

6. 今後の課題

本調査の対象林分は地域の自生種(主に高木種)を導入・植栽した事例であり、復元目標の植生タイプが設定されているものの、その到達度・類似度を評価することはできていない。また、樹木の成長はその復元に欠かせない要素の一つであるが、成長量の大きさは立木個体が占有できる土壌の量によって左右されるといわれている²⁰⁾。当地では、編柵で確保される植栽基盤の容積(土壌量)は限られており、地上、地下部ともに、生育空間を巡る樹木間のはげしい競争が推察される。さらに、急勾配切土のり面における樹木植栽工の生育

基盤安定化のためには、高木種ではなく中低木種を導入することが望ましい⁹⁾との考え方もあり、本調査林分における高木種（植栽木）の今後の成長挙動については、引き続き注視していく必要がある。とくに地下部では、植栽基盤の下にある地山の内部にまで植栽木の根系が伸長できているか否かが、今後の樹林発達を決定づける可能性があるため、根系の伸長確認²¹⁾を含む地下部（植栽基盤）の状態についても明らかにしていく必要がある。

謝辞

本研究にあたり、福井県職員の坂田正宏氏・加藤瑞樹氏、福井工業高等専門学校名誉教授の武井幸久博士ならびに学生諸氏、IGES 国際生態学センターには現地調査や情報提供面で御協力をいただいた。また、福井県吉野瀬川ダム建設事務所には本研究実施への御承諾とともに植栽当時の貴重な情報を提供していただいた。ここに記して、心より御礼申し上げたい。本研究には JSP 科研費 (26921005, 15H00408) の一部を使用させていただいた。

注記

注1)：植栽基盤や植栽樹種などの情報は、当地を管理する福井県吉野瀬川ダム建設事務所より提供していただいた造成時の設計書を参照している。

注2)：同設計書には数値の記載がなく、実際の割合は不明である。

参考文献

- 1) 新井洋一, 「生きた構築材料を利用した環境創造の事例－環境保全林の創造－」, 『土木工学体系 3 自然環境論(II) 植生と開発保全』, 彰国社 (1982), 211-330.
- 2) 原田洋・石川孝之, 『環境保全林 都市に造成された樹林のつくりとはたらき』, 東海大学出版部 (2014), 144 頁.
- 3) 原田洋・矢ヶ崎朋樹, 『環境を守る森をつくる』, 海青社 (2016), 157 頁.
- 4) 宮脇昭, 『環境保全林の基礎概念 環境保全林形成のための理論と実践 (第二版)』, 国際生態学センター (1999), 3-5.
- 5) 武井幸久・小木曾晴信・加藤瑞樹・坂田正宏・矢ヶ崎朋樹・吉野知明・松本淳・日野岡金治, 「環境都市の構想: 循環的

な緑化と資源化管理の手続き, および目標達成度の評価法について」, 本誌, 49 号, (2016), 159-180.

- 6) 矢ヶ崎朋樹・小木曾晴信・原田洋, 「常緑広葉樹人工林を対象とした自然性評価の試み—2008 年植樹地(葉山町上山口)の事例」, JISE REPORT, No.3, (2019), 5-7.
- 7) 清水建美, 『図説植物用語事典』, 八坂書房 (2001), 336 頁.
- 8) 宮脇昭・藤原一繪・小澤正明, 「ふるさとの木によるふるさとの森づくり」, 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 19 巻, (1993), 73-107.
- 9) 土木研究所寒地土木研究所地域景観ユニット, 『北海道の道路緑化に関する技術資料 (案)』, 土木研究所寒地土木研究所 (2011), 158 頁.
- 10) 気象庁, 「過去の気象データ検索」, 気象庁ホームページ <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (参照:2019年10月3日).
- 11) 吉良龍夫, 『日本の森林帯』, 日本林業技術協会 (1949), 42 頁.
- 12) Braun-Blanquet, J. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl.*, Springer-Verlag, Wien-New York (1964), p.865.
- 13) 鈴木創三・千代延尚子・青池真也・小舘誓治・井汲芳夫・故高橋竹彦・藤嶽暢英・大塚紘雄, 「エコロジー緑化工法造成林における植生と土壌の経年変化—第 1 報—植生の経年変化」, ペドロジスト, 42 巻 1 号, (1998), 21-32.
- 14) 宮脇昭・奥田重俊・藤原陸夫 (編), 『改訂新版日本植生便覧』, 至文堂 (1994), 910 頁.
- 15) 宮脇昭・奥田重俊 (編) 『日本植物群落図説』, 至文堂 (1990), 800 頁.
- 16) 丹下健・小池孝良, 『造林学』第四版, 朝倉書店 (2016), 180 頁.
- 17) 武田宏, 「1998 年 11 月に発生した新潟県北部における落葉広葉樹の冠雪害」, 新潟県森林研究所研究報告, 43 号, (2001), 21-24.
- 18) 小木曾晴信・矢ヶ崎朋樹, 「植栽後 14 年が経過した公園管理下にある常緑広葉樹人工林の発達状況」, 自然環境復元研究, 10 巻 1 号, (2019), 23-31.
- 19) 村上健太郎・松井理恵・森本幸裕・前中久行, 「都市内復元型ビオトープ「いのちの森」のシダ植物の種多様度の評価」, 日本緑化工学会誌, 30 巻 1 号, (2004), 139-144.
- 20) 苅住昇, 『新装版樹木根系図説』, 誠文堂新光社 (1987), 1121 頁.
- 21) 小木曾晴信・矢ヶ崎朋樹, 「急傾斜切土のり面に造成された広葉樹人工林における植栽基盤の性質と根系発達の特徴」, 自然環境復元研究, 11 巻 1 号, (2020), 39-50.

研究推進委員会

委員長 津田良弘 (物質工学科)
委員 田中嘉津彦 (機械工学科)
松浦 徹 (電気電子工学科)
波多浩昭 (電子情報工学科)
坂元知里 (物質工学科)
奥村充司 (環境都市工学科)
挽野真一 (一般科目教室)

福井工業高等専門学校 研究紀要 自然科学・工学 第54号

令和3年1月30日 印刷
令和3年1月30日 発行

編集兼
発行者

福井工業高等専門学校

福井県鯖江市下司町
TEL (0778) 62-1111 (代)
FAX (0778) 62-2597

印刷所

(有)ワープロセンターHOPE

福井県越前市東千福町 21-4
TEL (0778) 24-1146
FAX (0778) 24-2339
