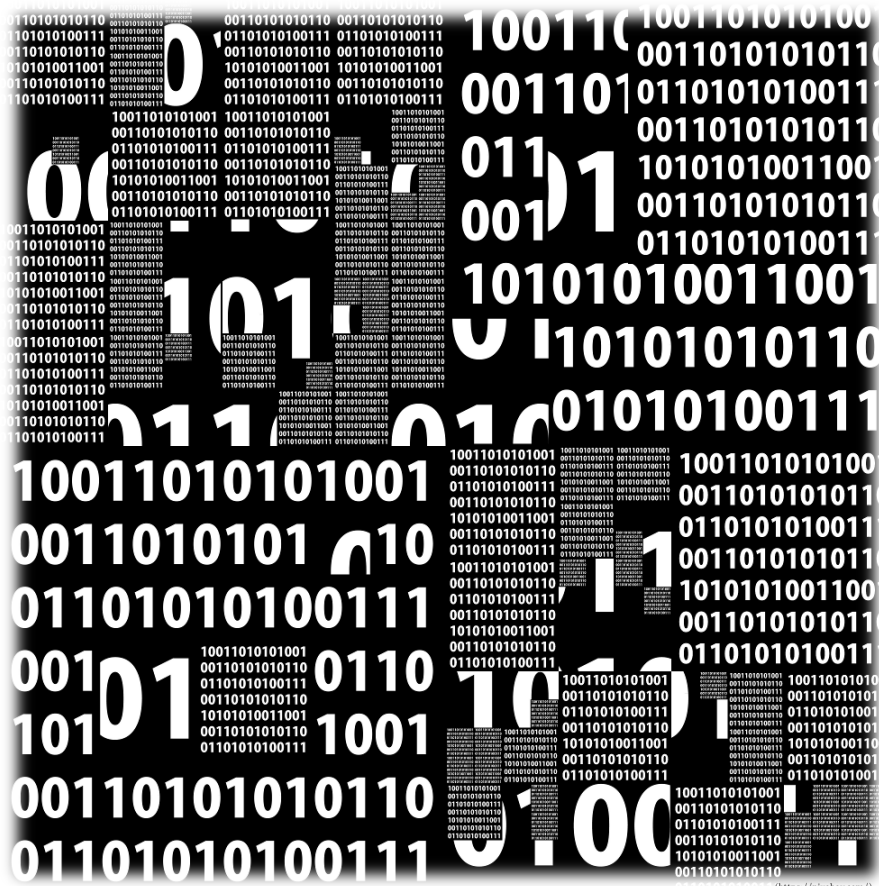


第21回 問題解決環境ワークショップ論文集

The 21st Problem Solving Environment Workshop 2018

平成30年9月13日(木) — 14日(金)



問題解決環境 (PSE) 研究会

第21回 PSE ワークショップ 2018 開催のご挨拶

皆様のご支援とご協力のもと、問題解決支援環境（Problem Solving Environment）ワークショップを開催することができ、心からお礼申し上げます。

昨年度は記念すべき第20回を迎え、ロンドンで国際PSEワークショップを開催いたしました。第21回を迎える今回のPSEワークショップ2018は、富士通株式会社の汐留本社で開催いたします。今回は、基調講演と一般講演（13件）を予定しています。

基調講演は、富士通株式会社の渡邊 正宏様に「医療領域におけるシミュレーションとVR技術の展開」のタイトルでご講演いただきます。VizGridプロジェクトにおけるVR利用の先駆的取り組みや、2019年の実用化をめざしてすすめられているVR/ARの活用により医療情報をリアルタイムに確認できるスマート治療室「HyperSCOT」プロジェクトについてご紹介いただきます。

また、一般講演では教育分野やスポーツ分野、また建設業界や植物工場・船舶などのオペレーションでの活用、大規模可視化・VRなど、さまざまな領域でのPSEの応用について報告が予定されています。

このワークショップが、日ごろPSEの研究、教育や産業でのPSEの利用に携わっている皆さまの活動発表や議論の場として活用されることを期待しています。今後も、各界でご活躍の卒業生の方々や、皆様の周りの企業の研究者の方々にご参加いただき、PSEワークショップの活動の維持発展にご支援、ご協力をお願い申し上げます。

最後に、論文集の作成等、今回のワークショップ開催に向けてご尽力いただいた沼津工業高等専門学校求真鍋保彦先生に感謝いたします。

2018年9月11日

主催 PSE研究会

第21回 PSE ワークショップ2018 組織委員会

宇佐見仁英, 梅谷征雄, 檜山和男, 門岡良昌, 川田重夫, 小島義孝, 寺元貴幸, 丹羽量久,
早勢欣和, 日置慎冶, 前田太陽, 松本正巳, 眞鍋保彦, 宮地英生, 宮原豊, 村田忠彦,
Soonwook Hwang

目次

(印は講演者)

基調講演

- 医療領域におけるシミュレーションと VR 技術の展開 1
渡邊正宏 (富士通株式会社)

講演

- オフィスソフト自習支援環境における SpreadsheetML カスタムプロパティの
活用計画 2-3
戀河内 敦 (宇部工業高等専門学校), 二木映子, 丹羽量久

- 教育・研究・大学運営現場での PSE 開発記
～ライブラリから pepper 活用まで～ 4-6
日置慎治 (帝塚山大学)

- 複数写真からの三次元形状生成の試行 7-10
宮地英生 (東京都市大学)

- 植物工場における優良苗検出のための PSE システム 11-14
眞鍋保彦 (沼津工業高等専門学校), 宇佐見仁英, 前田太陽, 西浦拓臣, 吉澤豊, 川田重夫

- PSE による数理・データサイエンス教育の強化 15-16
松本正己 (米子工業高等専門学校)

- スマートフォンを活用したサッカートレーニングシステム 17-21
S. Lyubimov, 飯田英明, V. Goy, 來海 郁, 日高義将, 浅井 武, A. Molochkov,
中村 純 (極東連邦大学)

- 富士通の HPC の取り組みについて 22-24
宮原 豊 (富士通株式会社)

- Virtual Reality を用いた落石調査技術者向け PSE に関する基礎検討 25-26
新保泰輝 (石川工業高等専門学校), 川除佳和

- 遺伝子発現予測のための入力変数選択に関する一考察 27-32
宇佐見仁英 (玉川大学), 森 直哉, 泊 由紀子, 渡邊博之

- プログラミングコンテスト競技部門「巡りマス」競技システムの構築準備 33-35
寺元貴幸 (津山工業高等専門学校), 松野良信, 小嶋徹也, 奥田遼介, 出江幸重, 太田健吾,
岡本浩行, 小保方幸次, 井上泰仁, 川田重夫

植物工場における優良苗の判定	36-37
西浦拓臣 (宇都宮大学), 吉澤 豊, 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 川田重夫	
3 軸制御ロボットを用いた優良苗選別システムの検討	38-40
吉澤 豊 (宇都宮大学), 西浦拓臣, 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 川田重夫	
船舶の動特性解析と制御	41-42
中谷俊彦, 川島優軌 (富山高等専門学校), 早勢欣和, 梅 伸司, 浦恵里夏, 牧田祥子, 廣澤陽介	

第 21 回 問題解決環境ワークショップ プログラム

会場: 富士通株式会社 本社 (24F, 応接室 10)
〒105-7123 東京都港区東新橋 1-5-2 汐留シティセンター

第 1 日 平成 30 年 9 月 13 日 (木)

時間帯	講演題目	講演者
13:00-13:30	受付	
13:30-13:40	開会挨拶: 川田重夫 (宇都宮大学)	
13:40-14:40	基調講演 医療領域におけるシミュレーションと VR 技術の展開	渡邊正宏 (富士通株式会社)
14:40-14:50	(休憩)	
セッション 1		座長: 松本正己 (米子工業高等専門学校)
14:50-15:10	オフィスソフト自習支援環境における SpreadsheetML カスタムプロパティの活用計画	戀河内 敦 (宇部工業高等専門学校)
15:10-15:30	教育・研究・大学運営現場での PSE 開発記 ~ ライブラリから pepper 活用まで ~	日置慎治 (帝塚山大学)
15:30-15:50	複数写真からの三次元形状生成の試行	宮地英生 (東京都市大学)
15:50-16:00	(休憩)	
セッション 2		座長: 日置慎治 (帝塚山大学)
16:00-16:20	植物工場における優良苗検出のための PSE システム	眞鍋保彦 (沼津工業高等専門学校)
16:20-16:40	PSE による数理・データサイエンス教育の強化	松本正己 (米子工業高等専門学校)
16:40-17:00	スマートフォンを活用したサッカートレーニングシステム	中村 純 (極東連邦大学)
18:00-20:00	懇親会	

第 2 日 平成 30 年 9 月 14 日 (金)

時間帯	講演題目	講演者
セッション 3		座長: 寺元貴幸 (津山工業高等専門学校)
9:30-9:50	富士通の HPC の取り組みについて	宮原 豊 (富士通株式会社)
9:50-10:10	Virtual Reality を用いた落石調査技術者向け PSE に関する基礎検討	新保泰輝 (石川工業高等専門学校)
10:10-10:30	遺伝子発現予測のための入力変数選択に関する一考察	宇佐見仁英 (玉川大学)
10:30-10:40	(休憩)	
セッション 4		座長: 宇佐見仁英 (玉川大学)
10:40-11:00	プログラミングコンテスト競技部門「巡りマス」競技システムの構築準備	寺元貴幸 (津山工業高等専門学校)
11:00-11:20	植物工場における優良苗の判定	西浦拓臣 (宇都宮大学)
11:20-11:40	3 軸制御ロボットを用いた優良苗選別システムの検討	吉澤 豊 (宇都宮大学)
11:40-12:00	船舶の動特性解析と制御	川島優軌 (富山高等専門学校)
12:00-12:10	(休憩)	
12:10-12:20	PSE グループミーティング, 閉会挨拶: 川田重夫 (宇都宮大学)	

基調講演

“医療領域におけるシミュレーションと VR 技術の展開”

渡邊 正宏 (富士通株式会社 masahiro.w@jp.fujitsu.com)

講演要旨

医療領域において、加速的に VR 技術の適用が進んでいる。この背景には 1) 2008 年に日本国内の医学部に入学する学生数の制限を緩和して以降、入学者数は 7793 名から増加の一途を辿り、9419 名にも増加しており、受け入れ側の大学の人的・質的リソース不足が指摘されていること、2) また、学生に対しては能動的な学習で理解を深めること (アクティブ・ラーニング) が求められていること、3) 患者の治療に対するモチベーションを持ってもらうためのインフォームドコンセントがより重要になってきていることなどが挙げられる。4) また、手術ナビゲーションや、技量伝承の側面でも実験的に活用されつつある。

私達は東京大学 久田俊明名誉教授、杉浦清了名誉教授とともに患者心臓を計算機上に再現する心臓シミュレータの開発を続けてきた。プロジェクトを進める中で得られた精緻なデータと可視化技術を、医療教育に適用する過程で、VR 技術を活用することでより効果的な医療教育、医療での情報共有が可能なツールを展開中である。本講演では、シミュレータの実績、及び上記ツールの内容と効果について説明を行う。

講師紹介

わたなべ まさひろ

2004 年北陸先端科学技術大学院大学にて博士 (情報学) 取得。2007 年度より富士通株式会社に入社し心臓シミュレータの共同開発プロジェクトに参画。2015 年度より同社にて VR 技術を活用した教育向けの心臓ビューアの商品化を推進中。平成 30 年度に文部科学省科学技術賞 研究部門「心臓シミュレータによる臨床研究」を他 2 名と受賞。現在に至る。日本機械学会、電子情報通信学会、日本シミュレーション学会、可視化情報学会会員。

オフィスソフト自習支援環境における SpreadsheetMLカスタムプロパティの活用計画

DESIGN FOR UTILIZING CUSTOM PROPERTY OF OFFICE OPEN XML
TO ENHANCE LEARNING SUPPORT ENVIRONMENT FOR OPERATING OFFICE SOFTWARE

戀河内 敦¹⁾, 二木 映子²⁾, 丹羽 量久³⁾

Atsushi Koigawachi, Eiko Niki, and Kazuhisa Niwa

1) 宇部工業高等専門学校 経営情報学科 (〒755-8555 山口県宇部市常盤台 2-14-1, koigawa@ube-k.ac.jp)

2) 宇部工業高等専門学校 経営情報学科 (〒755-8555 山口県宇部市常盤台 2-14-1, niki@ube-k.ac.jp)

3) 博士 (工学) 長崎大学 ICT 基盤センター (〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14, k-niwa@nagasaki-u.ac.jp)

Office Open XML has a useful function which can be defined custom properties equipped with various roles as user's original XML elements. In this paper, the custom properties of SpreadsheetML are discussed the possibility how to enhance learning support environment. And the merit is described for utilizing an encryption technology, Hash.

Key Words: Learning Support, Spread Sheet Software, Custom property, Office Open XML

1. はじめに

著者らは、表計算手法の習得を目指す学習者の支援を行うため、学習者が授業時間外においても一人で安心して演習問題に取り組めるように、自動採点機能と助言提示機能を備えた学習支援システム¹⁾の開発に取り組んでいる。この支援システムでは、Office Open XMLのデータを解析する方法¹⁾²⁾を採用している。Office Open XMLは、ECMA (European Computer Manufacturers Association)により ECMA-376³⁾として標準化されたオフィススイート用ファイルフォーマットで、XML(eXtensible Markup Language)をベースとするマークアップ言語の一つである。LibreOffice, Microsoft Office 等がこの規格を採用しており、アプリケーションごとに仕様が定められている。このOffice Open XMLには、独自にXMLタグを定義できるカスタムプロパティ機能が備わっている。この機能を利用すると、各アプリケーションのファイルに属性と値を埋め込むことができる。ただし、この埋め込みがアプリケーションの通常利用を妨げるものではない。

本研究では、このカスタムプロパティの機能を活用することにより、開発中の学習支援システム²⁾に、効果的な学習管理機能として実装することを目指した検討に取り組んだ。

2. 表計算自習支援システムの概要

学習者は表計算自習学習システムをWebブラウザ経由でログインして利用する。問題ファイルを同システムからダウンロードし、演習が終了した後、同システムにアップロードして提出する。解答が入力された問題ファイルはXMLレベルで解析され、自動採点される。ま

た、誤答に対しては助言がブラウザ上に表示される。学習者はこの助言を参考にして再度演習に取り組む流れとなる。

著者らは学習者適合型への拡張について種々の検討を進めている。中核となるデータベースには問題群と学習履歴を蓄積する。各問題には教員が登録時に難易度を設定しておく。学習履歴には各学習者が取り組んだ問題の誤答状況を含めている。学習者から問題ダウンロードの要求が届くと、該当者の取り組み履歴から学習傾向を分析し、技能向上に適した難易度レベルの問題を自動的に選択し、学習者に提示する。

このシステムでは、学習者が取り組む問題番号等を入力したり、選択したりする必要はない。後述するカスタムプロパティ機能³⁾を活用することにより問題配布の自動化を実現している。

3. カスタムプロパティ

表計算ソフトに対応するSpreadsheetML形式³⁾では図1に示すようなフォルダ構造となっている。Microsoft Excelでは、このように複数のXMLファイルで構成されるパッケージをZip形式で圧縮し、フォルダを拡張子「xlsx」をつけて扱っている。図1にあるdocPropsフォルダにはcore.xmlやapp.xmlといったメタデータが格納される。core.xmlには作成者、最終更新者、作成時間、最終更新時間等が、app.xmlにはExcelのバージョン等のアプリケーションに関わる情報が保存されている。今回のカスタムプロパティを定義するファイルにはcustom.xmlという名前をつけ、このdocPropsフォルダに格納することになる。

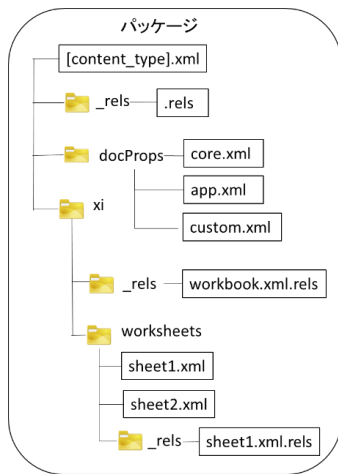


図1 SpreadsheetMLの構成

このカスタムプロパティ機能を利用すると独自のXMLタグを定義できる。著者らが担当する授業ではMicrosoft Excelを対象として表計算手法を学ばせていることを勘案すると、マイクロソフト社が提供するカスタムプロパティ環境 custom XML part を利用するのが種々のコスト面から合理的と考えた。Web上に表計算用の説明がないため、ここでは、Word文書用の仕様⁴⁾を準用することにした。

4. カスタムプロパティの設定

custom.xmlに挿入するデータはXML形式となり、属性(プロパティ)と値を組とする。表1にカスタムプロパティとその属性を示す。

表1 カスタムプロパティの属性

属性	意味
fmid (format ID)	カスタムプロパティの形式属性を表す。属性が同じなら値は常に同じ
pid (property ID)	プロパティの存在順を示す。2から始まり、以降1ずつ増分させる
name	カスタムプロパティ名を指定する
vt (Value Type)	カスタムプロパティの値を定義する。値の型についてはオプションとして設定する

表2 vt属性オプション

属性	意味
i4	4バイト符号付き整数
lpwstr	可変長文字列
array	配列
filetime	ファイル作成時間

カスタムプロパティには型式属性を表す fmid 属性があり、値は常に同じ文字列値 {D5CDD505-2E9C-101B-9397-08002B2CF9AE} を設定する。また、pid 属性を設定する必要がある。name 属性にはデータを識別するための値を指定する。本研究ではカスタムプロパティ名を serial

とした。カスタムデータは属性名 <vt:lpwstr> を設定する。lpwstr は文字列のデータを記述することができる。その他、指定できる主なオプションを表2に示す。

5. ハッシュ値

ハッシュ値とはデータ(ハッシュ鍵)を利用した値で、各データを区別、表現する目的で用いられる。このハッシュ値はハッシュ鍵が同じであれば全く同じ値が作られる。また、データ長の長いものであれば、別のハッシュ鍵から同じ値が作られる「衝突」の可能性はほぼ0となる。本研究ではデータ長が32ビットのSHA256を利用し、ハッシュ鍵を学習者IDと問題IDを文字列として結合し利用することにした。このハッシュ値をデータベースの主キーとして割り当てることにした。そうすることの利点として、次のようなものが考えられる。

- ① 学習者IDと問題IDを使ったハッシュ値を問題ファイルに埋め込んでおくことにより、学習者IDと問題IDをデータベースから取得できる。すなわち、各学習者の問題別の学習履歴を簡単に取り出すことができる。
- ② 学習者が問題ファイルをコピーしてもリネームしても、埋め込んだハッシュ値は変化しない。たとえば、他の学習者の演習結果を流用した場合、ハッシュ値を利用し判別できる。
- ③ 将来新たなパラメータを導入する場合、データベース側を改変するだけでよい。たとえば、学習者が課題に取り組んでいる最中であっても変更可能である。

6. おわりに

本稿では、Office Open XMLのカスタムプロパティ機能を学習支援環境に活用する方法について検討した。学習者と問題ファイルの特定にハッシュ値を活用することで、さまざまな利点があることがわかった。今後、学習者適用型システムにおけるハッシュ値の他の役割についても検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 戀河内敦, 二木映子, 丹羽量久: 表計算自動採点システムによる教員支援ツールの開発, 情報コミュニケーション学会研究報告, Vol.13, No.4, pp.17-22, 2016.
- 2) 丹羽量久, 二木映子, 戀河内敦, 藤井美知子: XMLを操作するオフィスソフト自習支援環境の開発構想, 第15回問題解決環境ワークショップ, PSE研究会, pp.7-8, 2012.
- 3) ECMA-376 5th edition Office Open XML File Formats, <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-376.htm>
- 4) How to: Set a custom property in a word processing document, <https://docs.microsoft.com/en-us/office/open-xml/how-to-set-a-custom-property-in-a-word-processing-document>

教育・研究・大学運営現場でのPSE開発記

～ライブラリからpepper活用まで～

MY HISTORY OF PSE DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF EDUCATION, RESEARCH AND MANAGEMENT

日置慎治

Shinji Hioki

工学 帝塚山大学 経済経営学部 (〒631-8501 奈良市帝塚山 7-1-1, hioki@tezukayama-u.ac.jp)

There are many place in which the PSE plays an important role. We will report the history of PSE developments in the field of education, research and university management: 3-dimensional graphic software, Fortran graphic library, TeXGraph, syllabus system, SPARC matrix library, i860 matrix library, Paragon job reservation system, QCDMPI, typing software, WebMPI, TIES CHiLO and robots.

Key Words: PSE, MPI, TIES, CHiLO, QCDMPI, WebMPI, Unibo, Pepper

1. はじめに

日本計算工学会のPSE研究会のホームページ¹⁾の冒頭に「計算機 / 計算環境が複雑になり、計算工学の研究者にとって、かかえる問題を解決するために、計算機及び計算環境を使いこなすことが難しくなっています。

PSE: Problem Solving Environment (問題解決環境) は計算機支援により、その問題解決の困難さを克服することを研究する1つの分野です。」とある通り、我々は研究活動において日々様々な問題に直面し、それを解決するための方法などをまた「研究」対象としてきた。

私の研究分野の一つである「量子色力学(QCD)」においては、解析的に解くことが難しいために計算機シミュレーションが有効な手段であり、結果を得るために効率の良いシミュレーションアルゴリズムを開発したり、シミュレーションコードを誰でも使える形で公開したり、そもそもQCD専用の計算機自体を作るという行為も研究対象となっており、この分野のPSEといえるだろう。こういう風に見ると様々な研究分野に必ずPSEと呼べるものが存在しているはずであり、PSEの適用範囲は非常に広い。

一方、教育分野を考えてみると、様々な目的を達成するためにICTを積極的に活用した事例を簡単に見ることができ、教育分野でのPSEといえる²⁾。

近年は教員として、研究と教育以外に大学運営(マネジメント)分野における貢献が求められる機会が増えており、大学運営における様々な問題に対してICTを活用して解決するツール等も見られることから、この分野においてもPSEは重要な位置を占めてきているといえよう。

大学関係者としてこれまでの自分を振り返るに、様々な時期に教育・研究・大学運営現場においてPSEとのかかわりを見つけ出すことができる。過去の経緯を少し整

理し、これからのPSE分野における研究につなげていく。

2. 教育・研究・大学運営現場でのPSE開発記

以下、おおよそ時代を追いつつ整理する。

2. 1 三次元磁力線表示ソフト

1990年前後の大学院時代は、QCDの自由度である色(カラー)がハドロン内部に閉じ込められて外部に出てこないという「カラー閉じ込め問題」の解決策の一つとして「QCDモノポール」を研究対象としていた。(カラー)磁力線の三次元分布を論文³⁾に掲載するにあたり、最もよい視点を探すために、磁力線のデータを読み込み、自由に回転して可視化するソフトウェアを開発した。

2. 2 Fortran グラフィックライブラリ

中村純氏が雑誌「パリティ」に「物理屋の卵のためのフォートラン入門」⁴⁾を書かれた際、Fortranから直接描画できる誰でも無料で使えるライブラリを知らないかと聞かれた。適当なものを知らなかったので、簡単な機能だけを持つ、Fortranから呼び出せるグラフィックライブラリをアセンブラで作成して提供した。自分や研究グループ以外の利用者を想定したものはこれが初めてだったような気がする。

2. 3 TeXGraph

1990年代当時、論文執筆に使用していたTeXにグラフを読み込む際の標準的な方法は、別にグラフを作成しておいて、psやeps形式のグラフを読み込むというものであった。単純なグラフの場合にはこの作業が煩雑であると感じたため、TeXの中で直接描画できるマクロを作成し論文制作に利用した。TeXでグラフが使えるという意味から、このマクロパッケージを「TeXGraph」と勝手に名付けていた。その後、似たようなものが出てきたようであるが(TeXgraph, LaTeXの描画ソフトウェア)詳しく

は知らない⁵⁾。

2. 4 シラバス製本システム

1990年代前半, 当時奉職していた広島大学理学部では, 事務仕事をICTを活用して省力化・コストダウンできないかと教職員の有志が模索していた。問い合わせ業務にはWebで閲覧できるFAQを充実させればいいのだが, 無線LANも一般的ではなく, スマホもない時代なのでパソコンルームに行ってWebブラウザを起動するよりも事務室窓口に行ったほうが速い。そこで学部内に学部LANに接続した閲覧用端末を設置し, Webサーバ上のFAQを閲覧できる環境を構築した。閲覧用端末は遠隔操作がしやすいように当時まだ普及途中のLinuxを採用し, 学部の木材加工所に依頼して専用の箱を作ってもらい中にパソコンを入れた。

同じころ, シラバスの紙媒体提出からの印刷作業が煩雑だったため, 教員がネットワーク経由で原稿を提出でき, その場で印刷イメージを確認できるシステムを構築した。印刷所には印刷と製本だけ依頼することで, コストを下げることができた。印刷イメージの制作のためにPostscript言語を一から習得したのだが, こちらは論文の図作成に生かせることができた。

このシステムは広島大学理学部で運用され, その後帝塚山大学に移籍してから改良を加え「syllabus.sys」という名称でPDSとして公開した。

2. 5 AP1000, SPARC 行列計算ライブラリ

同じころ, QCDTARO という国際グループを結成し, QCDの大規模数値計算に取り組んでいた。共同研究者でもあった田子先生が富士通におられた頃から続くグループである。1024並列のAP1000のヘビーユーザーでもあったが個々のSPARCの性能を引き出すには高級言語では限界があり, 行列計算のライブラリをSPARCアセンブラで構築した。

2. 6 Paragon, i860 行列計算ライブラリ

広島大学理学部には学科を超えて大規模な数値計算に取り組む研究者集団INSAMがあった。INSAMでは並列計算機IntelのParagonを購入し, 数値計算を行っていた。しかしながら, ParagonのCPUであるi860はピーク性能が高いものの高級言語ではその数分の一もでなかった。仕方がないので, SPARCの経験を活かし, 他の研究者からの助言をもらいつつi860アセンブラで行列計算のライブラリを作成した。すこしテクニックがあがっていたので, 必要となるデータを前もって読み込んでおくプリフェッチを組み込んだアセンブラコードにしたので, そのライブラリをFortranなどから読み込むだけで, ほぼピーク性能の計算を達成することができるものであった。

2. 7 Paragon, ジョブ予約システム

並列計算機Paragonは様々なグループが共同で使うため, グループ間で不公平がでないようにジョブを事前に予約し, グループ間で調整できるようにした。そのため, ジョブ予約システムを構築し, 利用者に活用して頂

いた。

2. 8 PDSとしてのQC MPI

数値計算を並列計算機で行う場合, メッセージパッシングライブラリMPIを使うことが一般的であった。QC計算をMPIを使って並列化する場合に, 並列度や分割の次元を自由に設定できるシミュレーションコード⁶⁾を開発し, 誰でも使えるようにPDSとして公開した⁷⁾。例えば, QC MPIを使うことにより, 初心者であっても並列計算機上でQC系のエネルギーを求めることができる。QC分野での並列計算機の性能を比較するためのベンチマークとしても使われているようである。

2. 9 耳から覚えるタイピング

1997年に帝塚山大学に移籍してからは, 教育分野におけるPSEにも力を入れていくことになった。学生のタイピング能力に懸念を抱き, 自学自習するためのソフトウェア「耳から覚えるタイピング」を開発した。特にタイピング能力が低い学生に対しては, 有効性が見られた⁸⁾。

2. 10 WebMPI

MPIを使った並列計算を学習したいと考えても, 環境を構築する必要や, どこかの並列計算機の利用申請をしなければならないなど, 初心者にとってのハードルは意外と高い。これを克服するため, Web上でMPIプログラミングが体験できる環境を構築した。最近ではWeb上でプログラミングを勉強できるサイトが多く存在するが, 当時からもMPIの並列計算ができるものは少なかったのではないかと考える。

2. 11 TIES, CHILO

帝塚山大学が開発し, 多くの大学に使っていただいたTIES上でeラーニングコンテンツを開発した。教育用PSEとしてある程度の認知度を得たのではないかと考える²⁾。モチベーションが長続きしない受講者のために, コンテンツの単位を小さくし(ナノレクチャー), 受講完了の証明としてバッジを付与するシステムを持つCHILOの上でコンテンツ開発を行った⁹⁾。

2. 12 ロボット

学習者がモチベーションを維持できる可能性の高い自学自習のツールとして, ロボットの活用を模索している。

ロボットプログラミングを行う際, 遠隔地にある実際のロボットUniboに対してリアルタイムで操作できるPSEを構築した。

最近では, より高性能ロボットであるpepperを使った教育への応用を試みている。学習者のモチベーションを高めるため, 講義の「つかみ」での効果的な使い方や, 「pepperの質問に答える」形でロボットへの対抗心を持たせることによるモチベーションの維持などの可能性を模索している。

参考文献

- 1) 日本計算工学会PSE研究会のホームページ, <http://www.jscs.org/activity/research/pse/>

- 2) 日置慎治・中嶋航一「問題解決環境としての教育」, 別冊日経サイエンス130 (2000年)
- 3) T. Hashimoto, et al., Phys. Rev. D 42, 620, 1990
- 4) 中村純, 「物理屋の卵のためのフォートラン入門」パリティ, 6号3, p62-67, 1991年
- 5) TeXgraph, <http://texgraph.tuxfamily.org/>
- 6) S.Hioki, Parallel Computing 22-10, 1996, p1335
- 7) S.Hioki, Nuclear Physics B (PS) 63, 1-3, 1998, p1000
- 8) 日置慎治, 私立大学情報教育研究会大会発表資料 http://www.juce.jp/archives/taikai_2010/e-09.pdf
- 9) S.Hioki, JSCES Paper No.20171002 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscs/2017/1/2017_20171002/_pdf/-char/ja

写真からの3次元形状復元に関する試行

TRIALS ABOUT 3D GEOMETRY RECONSTRUCTION FROM PHOTOS

宮地英生¹⁾

Hideo Miyachi

1)博(工) 東京都市大学メディア情報学部情報システム学科 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西 3-3-1, miyachi@tcu.ac.jp)

Many systems have already established that acquire 3D point clouds, such as laser measurement and photometric measurement. However, although large amount of data can be easily obtained, a problem of difficult handling is becoming obvious. As a solution of large scale visualization problem, I have developed a conversion system from surface data to point data and a downsizing system of point data. This downsizing system can be applied to point data acquired from real world. So in order to confirm the effectiveness of the proposed downsizing system, I actually used several photometric measurement systems. As a result, these tools can easily obtain 3D shape, but the volume of the output becomes large, it was confirmed that downsizing is necessary.

Key Words: Data reduction, photometric measurement, point clouds

1. はじめに

Google社のARCore、マイクロソフト社のHololensなど、安価な装置で3次元形状計測が可能になり、一般に普及しつつある。著者は、大規模可視化の課題を解決するためにポリゴンデータを点データに変換するシステム、および、その点データを間引きするシステムを開発してきた[1-3]。この後半の間引きシステムは、ポリゴンデータを変換した点群データだけでなく、先に述べた写真計測による点群データにも適用可能である。しかし、これまでレーザ計測で取得したデータへ適用したことはあるが[4]、写真計測による3次元データには適用したことが無かった。提案手法は点群データを間引きするもので、そのデータの生成方法に依存しないことは明らかであるが、実際、写真計測が容易なものか、また、その結果、大量のデータが生成されるのか、実際にいくつかのシステムを使って検証作業をしてみた。本稿は、その試用レポートである。

2. 利用したツール

2. 1 ReCap

ReCapはAutodesk社が提供するソフトウェア&サービスである[5]。アカデミックユーザに対しては、アカデミック利用の範囲でフリーライセンスが提供される。ソフトウェアをインストールの後、所定の情報を入力しライセンスを取得することで利用可能となる。

ReCapは、写真から3次元形状を復元する機能だけでなく、多くの機能を統合的に含むシステムである。ReCap Photoというシステムを起動すると図1のような画面にな

る。画面トップの”Create 3D”の”Object”ボタンをクリックする(図1の①)と、図1の②の画面に遷移する。中央の”Click anywhere to browse for files or a folder”のボタンをクリックするとファイルブラウザが表示されるので、そこでファイルを選択するか、ファイルを含むホルダを選択する。

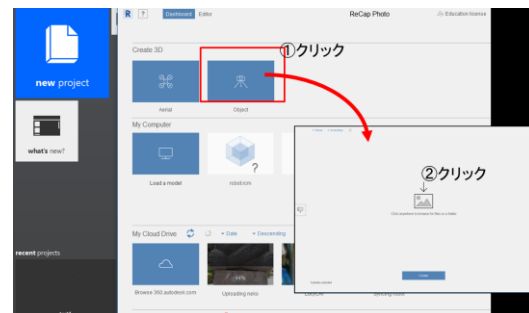


図1 ReCap Photoの起動画面と操作図

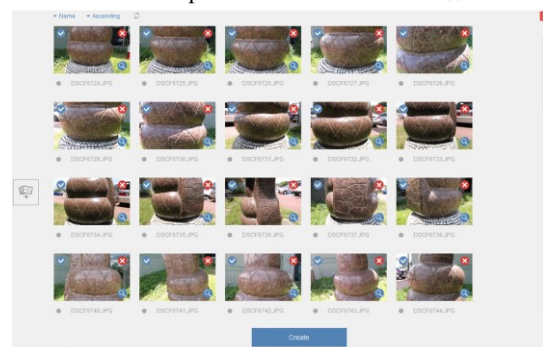


図2 ファイルを選択した状態
ファイルを選択すると図2のように、選択したファイ

ルー一覧がサムネイルで表示される。ここで不要なファイルは赤色の×のボタンをクリックすることで消去できる。

“Add photos”ボタンから、写真を追加することもできる。但し、1回に扱える写真の数は100枚である。

必要な写真が揃ったら、図2の下側にある“Create”ボタンをクリックすると、図3“Create Project”の画面になる。ここでプロジェクトの名前（英文字のみ）を入力し、“Start”ボタンをクリックすると画像のアップロードが始まる。

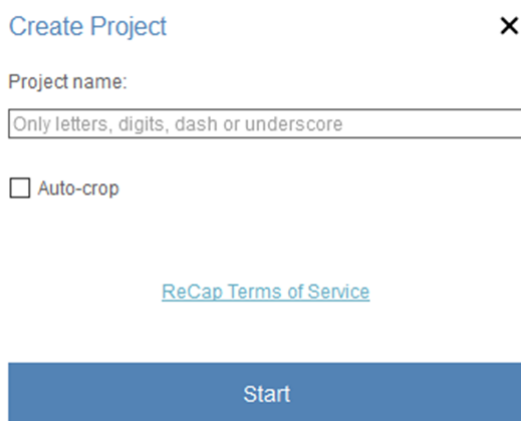


図3 プロジェクト生成の画面

ReCapは3次元形状生成のサービスである。写真はアップロードされ、形状生成はバッチ処理で行われる。“Start”ボタンをクリックすると図1の起動画面に戻り、その一番下に処理状況が表示される（図4）。

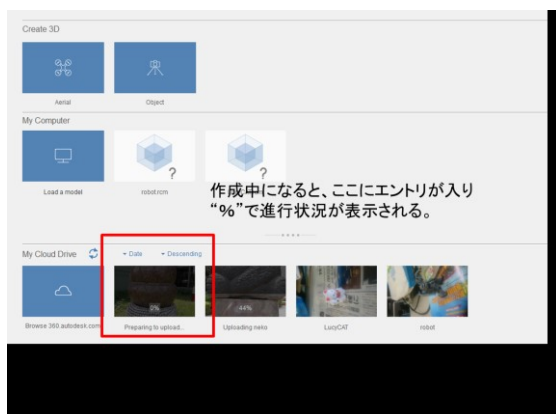


図4 バッチ処理の画面

- (1) 写真のアップロード
- (2) ジョブ待ち状態
- (3) ジョブの処理開始
- (4) ジョブの処理終了

処理状況は上記(1)~(4)に遷移する。ジョブが終了すると電子メールで終了のメッセージが届く。それまではReCap Photoは終了していても問題はない。ReCapの起動画面でバッチ処理が完了していると“Ready to download”と表示されるので、そこをクリックしてローカルに結果をダウンロードできる。ここでダウンロー

ドするのはReCap形式のファイルである。その内容は不明だが、これはReCapのViewerを用いて生成された3次元形状を確認することができる。また、このViewerから、OBJ形式への出力ができる。



図5 ReCapのViewerによる3次元復元形状の表示

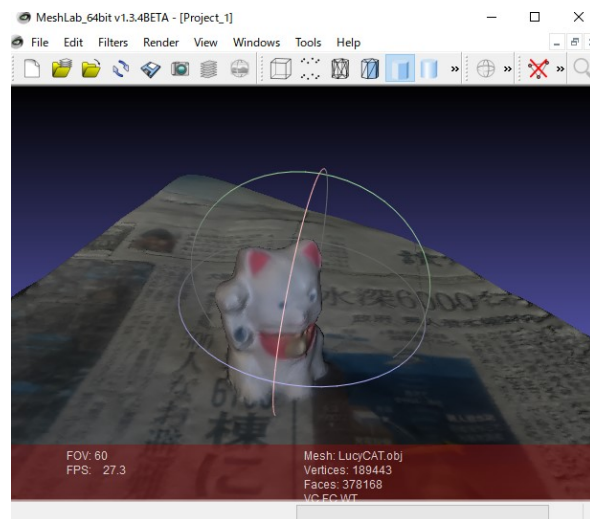


図6 MeshlabでOBJファイルを表示したところ

OBJファイルは、OBJファイル、MLTファイル、テクスチャ画像(JPG)の3種類から成り、テクスチャ画像は複数のファイルに分割して格納されることもある。図6はフリーソフトのMeshlabを用いて、ReCapから出力されたOBJ形式のファイルを読み取り、表示した様子である。この場合、招き猫の下に新聞を敷いていたので、新聞紙も併せて復元されている。招き猫だけを利用する場合は、新聞紙の部分を切り取る必要がある。このとき、XYZ座標は水平・垂直と一致していない。斜めになっているので編集作業は使い慣れたソフトウェアが望ましい。

2.2 PhotoScan

PhotoScanはAjisoft社の有償のソフトウェアである。Standard \$ 179、Professional \$ 3499だが、Educationalの場合、それぞれ\$ 59/\$529になる。Standard版でも復元は可能なようだが、Professionalには多くの付加機能がある[6]。

1か月の試用期間があるので、ここではProfessionalを用いて復元した。このソフトウェアの利用方法は、代理店の1社である株式会社オークのチュートリアルが参考になる[7]。

ソフトウェアを起動の後、画像ファイルを読み込む(図7)。その後、撮影位置の推定を行う(図8)。ここで粗い点群データが生成されるので、ターゲットの存在するエリアを指定することができる(図9)。

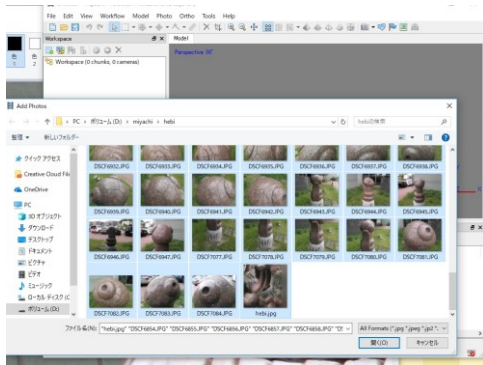


図7 画像の読み込み

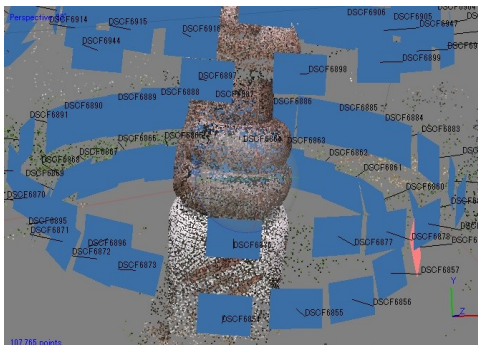


図8 カメラ位置の推定



図9 詳細点群データ生成のエリア設定

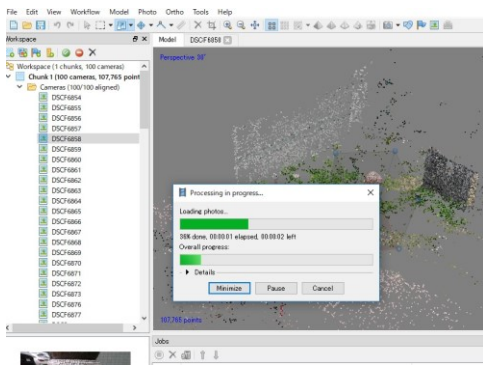


図10 詳細点群データの生成

この後、詳細な点群データを生成するが、ここに最も

時間を要する。その後、面を生成してテクスチャを生成、最後にOBJ形式やPLY、PDFなど、いくつかの書式で出力できる。図11はOBJ形式に出力して3D Builderというソフトウェアで表示した図である。



図11 OBJデータとして出力した結果

PhotoScanの利点は、3次元形状復元のプロセスが明快であり、各プロセスにおいて修正を加えることができる。点群の状態でのノイズ除去、領域抽出ができ、無駄なポリゴンを生成することが無い。しかし、ReCapが完全なバッチ処理に対して、こちらは各プロセス手動で操作しなければならない分、手間がかかる。逆にReCapでは上手く生成できなかったとき、写真を入れ替えることした対処方法がない。

2.3 VisualSFM

VisualSFM(Visual Structure From Motion)[8]は、フリーソフトウェアである。こちらは点群生成までの処理しか行わないので面を生成するには別ソフト、例えば、前出の Meshlab などが必要となる。VisualSFM も Meshlab の面生成も非常にたくさんのオプションがあるためパラメータの選択が難しい。この分野に詳しい人にとっては、詳細な設定ができる優れたソフトウェアかもしれない。

操作は PhotoScan と同じ流れになる。画像を読み込み(図12)、カメラ位置を推定する(図13)。その後、点群データを生成する。図14は、図6と同じ招き猫を復元したもののだが、外形が少し異なる程度である。パラメータの設定により、復元できるのかもしれないが著者には解らなかった。

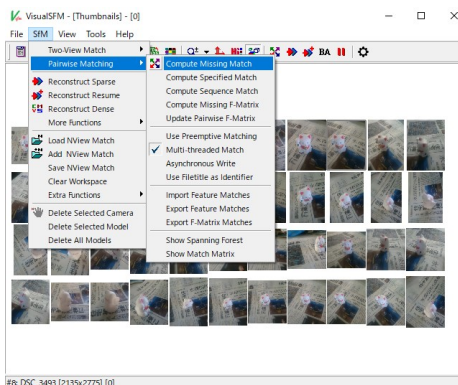


図12 VisualSFM の操作メニュー

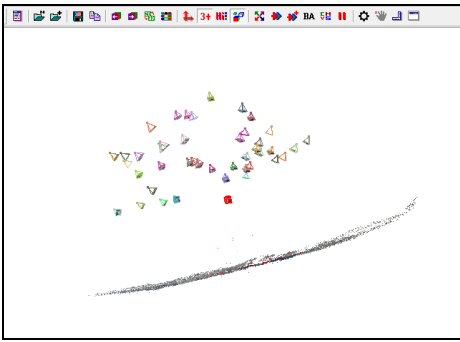


図13 カメラ位置の推定

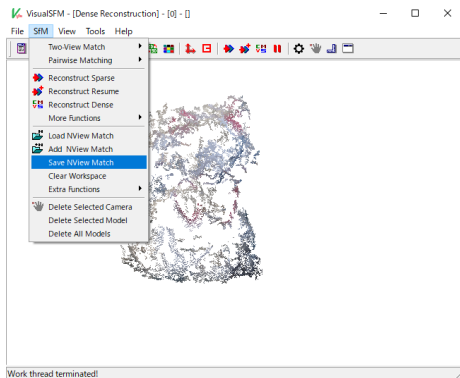
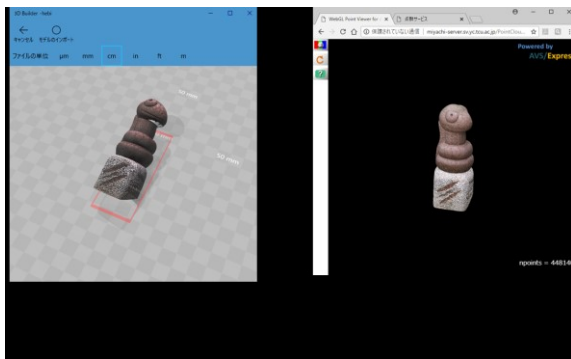


図14 点群データの生成

3 点群データの間引き

ReCapはOBJ形式の面データでしか出力できないので、PhotoScanで生成した点データ(Ply)を著者が開発した間引きシステム[4]で軽量化を行った。



(1) 間引き前の状態 (2)間引き後 Web3D で表示
図15 点群による表示

図11に示した青葉区の蛇の銅像のデータを点群としてPLY形式で表示して表示した。図15(1)は、間引き前の状態でデータ量は557MB、含まれる点数は約4500万だったが、間引き後(図15(2))は17MB、点数4万4000とおおよそ100分の1に軽量化できている。これは300x300ピクセルのウィンドウで表示される設定で間引きを行ったもので、画面内であれば拡大しても点で表現されていることは解らない。提案する間引き手法は、閲覧時のウィンドウサイズに応じたデータ量に間引きをする

ので、オリジナルの形状の複雑さに依存することなく、目標とするデータ量に削減することが可能である[5]。

この削減された点群データは、WebGLで表示するサーバに配置されており、参考文献[9]で閲覧することができる。

6. まとめ

写真から3次元形状を復元するソフトウェアを試用し、比較を行った。ReCapは精度よく自動生成されるので誰でも簡単に利用できるが、出力形式がOBJしかない。物体の切り取りは別ソフトが必要である。PhotoScanは1つのソフトウェアで点群生成、面生成、修正の全てを行うことができ、出力形式も多い。しかし、最低限の操作が必要となる。VisualSFMは、今回のテストでは復元が難しかった。また、点群間引きソフトウェアは、非常に有効で点群表示サーバも有用であることが判った。

参考文献

- 1)Hideo Miyachi, Daisuke Matsuoka, Yoji Matsumoto:
An alternative visualization pipeline for large-scale data sets by using early visibility test point rendering、International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing (Special Issue on Virtual Reality and Visualization for Modeling and Simulation), Vol.9, No.3, 2018年6月,
<https://doi.org/10.1142/S1793962318400044>
- 2)宮地英生：観察者の視点領域を考慮した3次元点群によるデータ軽量化、可視化情報学会論文集、Vol.36、No.8、2016年4月、pp.40-45
- 3)宮地英生：複数方向からのレンダリング画像を用いた点群データの軽量化、日本計算工学会論文集、Vol.2018、No.1、2018年1月、pp. 20181001-20181007
- 4)宮地英生：ソフトウェアレンダリングを用いた点群データの軽量化、第8回横幹連合コンファレンス(京都)、2017年12月
- 5)AUTODESK社：ReCap ホームページ、
<https://www.autodesk.com/products/recap/overview>
- 6)Ajisoft社、StandardとProfessionalの違いの説明：
<http://www.agisoft.com/features/compare/>
- 7)株式会社オークのチュートリアル：
<https://oakcorp.net/agisoft/try>
- 8)VisualSFM: A Visual Structure from Motion System.
<http://ccwu.me/vsfm/doc.html>
- 9)蛇の銅像の3次元点群サーバ：
http://miyachi-server.sv.yc.tcu.ac.jp/PointCloud/WglPtViewer/pt_viewer.html?account=miyachi&target=hebi2_ds_0350.ply

植物工場における優良苗検出のためのPSEシステム

PSE SYSTEM OF DETECTION OF HEALTHY SEEDLINGS FOR PLANT FACTORY

眞鍋保彦¹⁾, 宇佐見仁英²⁾, 前田太陽³⁾, 西浦拓臣⁴⁾, 吉澤豊⁵⁾, 川田重夫⁶⁾

Yasuhiko Manabe, Hitohide Usami, Taiyo Maeda, Takumi Nishiura, Yutaka Yoshizawa and Shigeo Kawata

- 1) 修(工) 沼津工業高等専門学校 電気電子工学科 (〒 410-8501 静岡県沼津市大岡 3600, manabe@numazu-ct.ac.jp)
 2) 工博 玉川大学 学術研究所 (〒 194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1, usami@lab.tamagawa.ac.jp)
 3) 博(工) 埼玉工業大学 大学院工学研究科 (〒 369-0203 埼玉県深谷市普濟寺 1690, E-mail: maedat@sit.ac.jp)
 4) 宇都宮大学工学部 電気電子工学科 (〒 321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, t152363@cc.utsunomiya-u.ac.jp)
 5) 宇都宮大学工学部 電気電子工学科 (〒 321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, t152395@cc.utsunomiya-u.ac.jp)
 6) 工博 宇都宮大学大学院 工学研究科 (〒 321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

We propose a PSE (Problem Solving Environment) system in a plant factory. The purpose of our study is to reduce the cost in a plant factory. We especially focus on a planting process. At the time of planting process, experienced staffs generally detect whether seedlings have been grown successfully. Due to the needs for the staffs, the costs of the plant factory will be increased. Thus, if this process is automated, the costs will be reduced. Our study automates this process by using image processing. Our PSE system takes pictures of a cultivation board, then the system detects healthy seedlings. The healthy seedlings are moved to another cultivation board by a 3-axis control robot. Finally, only healthy seedlings are collected into another board. The board is transferred to a cultivation room.

Key Words : Problem Solving Environment, Plant Factory, Plant Growth Detection, Robot Planting, Marker Detection

1. はじめに

本研究は植物工場における PSE システムを提案し、植物工場全体のコストを下げることを目的とする。今日、植物工場が全国各地で操業しており、その数は平成 30 年 2 月時点で 373 箇所¹⁾に及ぶ。また、近隣のスーパーマーケットにも植物工場で作られた野菜類が販売されており、植物工場が身近になったと感じられる。しかし、植物工場では製造コストが露地物栽培と比較して高額になる結果、販売価格も高い傾向にある。そこで我々は、植物工場における様々な課題のうち、特に定植に至る直前の“優良苗の選別作業の自動化”に着目し、コスト削減のための研究を行い、途中経過を報告してきた^{2, 3, 4)}。通常、優良苗の選別作業は植物工場のスタッフが行っており、人件費の出費は避けられない。もしこの工程を自動化することができれば、人件費のコストが削減できる結果、植物工場全体のコスト低下に繋がる。本研究で提案する PSE システムはこれを実現するものである。また、優良と判定された苗はロボットにより別の栽培トレイに移動され、栽培室に移動させる準備まで行うことを目指している。

2. システム構成

図 1 が本研究で提案する PSE システムの概念図である。このシステムは大別すると以下の 3 つの部分から構成されている。

- 苗を動かすための“ロボット部分”
- 苗の写真撮影を行うための“撮影部分”

3軸制御ロボット

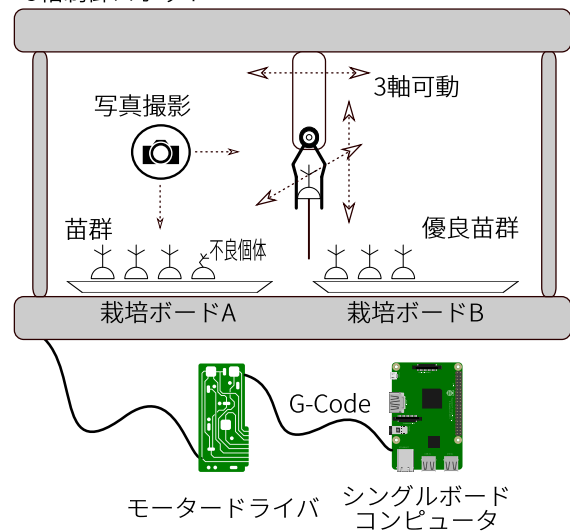


図 1 優良苗検出 PSE システム

- 3軸制御ロボットを統御したり、撮影画像を解析して優劣の判定を行うための“コンピュータ部分”

以下、個々の部分について説明する。

2.1 ロボット部分

机上に置いて使えるコンパクトな 3 軸制御ロボットである。アームの先端部分にはチャックが備え付けられ、物をつかんで持ち上げたり移動させたりできる。3 軸はそれぞれステッピングモータにより制御されるた

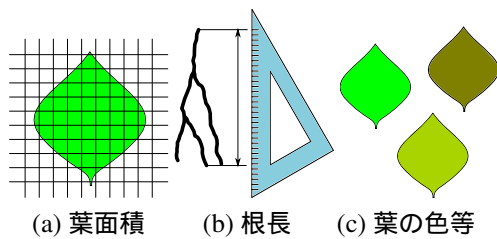


図2 優良苗の判定要素



図3 想定する苗の培地

め、後述する制御信号を送信する必要がある。

2.2 撮影部分

本システムでは苗の優劣判定を画像処理により行うこととしている。苗の写真を撮影し、形状や色等から優劣を判定する。その際、優劣判定の主となるポイントとしては“葉面積”（苗の葉の面積）と“根長”（苗の根の長さ）がある。現時点では定点観測で上面からの撮影のみを行い、撮影画像から葉の部分を抽出することで優劣判断を行っている。

2.3 コンピュータ部分

3軸制御ロボットはステッピングモータを駆動するための制御信号を外部から投入する必要がある。この役目を担うのがコンピュータである。通常のPCでもよいが、システム全体のコストをできるだけ低減するために安価なシングルボードコンピュータで構成する。ただし、シングルボードコンピュータを直接ステッピングモータの信号線に接続することはできない。そのため、途中にモータードライバ回路を挿入し、ドライバ回路にコンピュータから司令信号を送ると、今度はモータードライバ回路がロボットを駆動するための信号を送信しステッピングモータを駆動する⁵⁾。このとき、コンピュータが送信する信号は“G-code”とよばれる言語である。G-codeはCNC(Computerized Numerical Control)装置の分野で主流として用いられているものである。

3. 優良苗の検出

優良苗の判定要素としては図2に示すように(a)葉の面積(葉面積)、(b)根の長さ(根長)、(c)他の要素(葉の色等)がある。今回はこのうち葉面積に焦点を当てて述べる。

図3は想定する苗の培地である。(a)は培地にスポンジを入れたものであり、(b)はそのスポンジの拡大図である。スポンジはあらかじめ切り込みが入っており、根

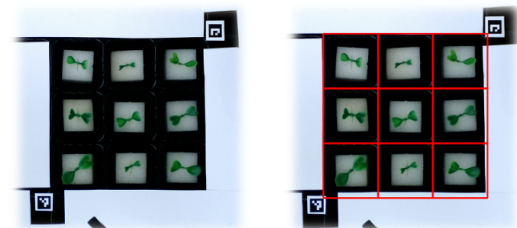


図4 葉面積の算出

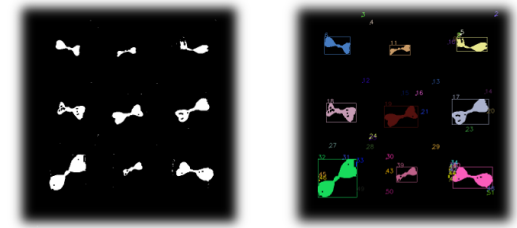


図4 葉面積の算出

の生長の妨げにならないようになっている。

ただし、今回は実際の苗ではなく、造花の一部を切り取って使う模擬苗を用いて検証を行っている。

3.1 葉面積の算出手順

本システムでは培地の写真を上面から撮影し、その画像を処理することで葉面積の算出を行う。その手順は図4に示すように、以下のような流れとなる。

- (a) 苗の様子を上面からカメラで撮影する
- (b) AR マーカーにより苗の存在する部分を矩形領域に分割する
- (c) 二値化を行う(この際、モルフォロジー演算を行い、細かなノイズを取り除く)
- (d) 苗にラベリングを行い、各プロブ(二値画像内のピクセル動詞が隣接した集合のこと)の面積を求める

3.2 苗の位置の検出

培地は同じ大きさの枠に入っているため、基準点がわかれば計算により苗の位置が特定できる。本研究では基準点の抽出にARマーカー^{6,7)}を用いている。図5に位置検出の概念図を示す。対象となる培地の“左下”と“右上”の2箇所にARマーカーを貼付する。これらをそれぞれ便宜上A、Bとする。当初、AとBは同一のマーカーを用いていたが、プログラム上での検出を容易にするため、現在は異なるマーカーを用いている。マーカーの貼付は以下のルールに従う。

- マーカーAは“左上が培地の左下になるように貼付”する
- マーカーBは“左下が培地の右上になるように貼付”する

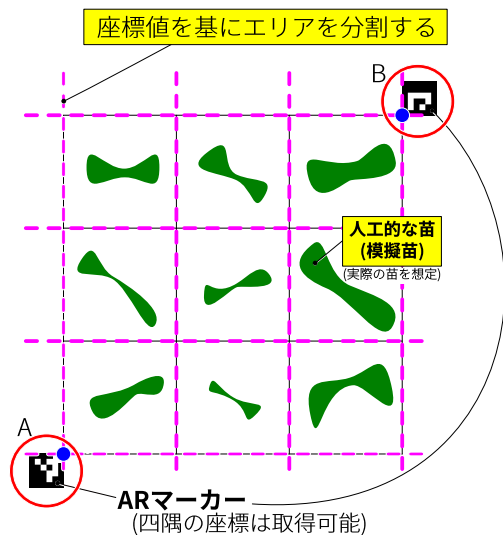


図5 苗の位置の検出

なお、苗床の“横方向の数 n_x ”と“縦方向の数 n_y ”は、あらかじめユーザーが与えておくこととする。ARマーカーの四隅の座標は取得可能である。このことから、マーカー A の右上の座標 (x_1, y_1) とマーカー B の左下の座標 (x_2, y_2) から、苗の存在する矩形領域を分割して特定できる。

3.3 二値化

葉面積を求めるために撮影画像を二値化しなければならない。葉の部分だけを抽出するため、まず RGB 形式の撮影画像を HSV 形式に変換する。HSV 形式は色の表現を色相 H (色合い, hue), 彩度 S (鮮やかさ, saturation), 明度 V (明るさ, value あるいは intensity) で表現するものである⁸⁾。HSV 形式は色合いが数値で表現されるため、範囲を適切に指定することで特定の色を抽出しやすい。

図 4(c) が二値化の結果となるが、このときのピクセル抽出の下限 $(H_{min}, S_{min}, V_{min})$ と上限 $(H_{max}, S_{max}, V_{max})$ とは式 (1) のようになる。

$$\begin{cases} (H_{min}, S_{min}, V_{min}) = (127, 37, 16) \\ (H_{max}, S_{max}, V_{max}) = (168, 99, 99) \end{cases} \quad (1)$$

これらの値は定量的に求めたものではなく、自作のプログラムで視覚的に確認することにより得たものである。そのため、今回の模擬苗ではなく実際の苗ではその結果は異なる。

二値化を行うと、背景の小さなプロブや、黒抜けによるノイズが目立つことがある。図 4(a) の画像の二値化でもこれらのノイズが見られた。そのため、二値化後にさらにモルフォロジー演算を行い、ノイズを軽減する処理を行った。図 4(c) はモルフォロジー演算によるノイズ軽減後の結果である。今回採用したモルフォロジー演算の種類はクローズ処理であり、これは画素の膨張を行ったあとに収縮を行うもので、特に苗のプロブ内の黒抜けの除去に有効である。

最終的に各プロブはランダムな色で色付けされ、結

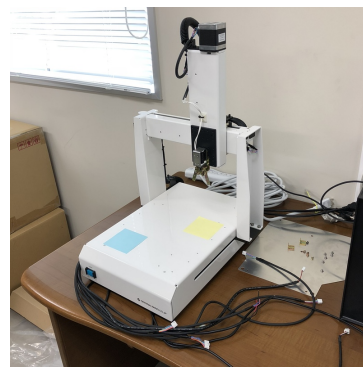


図6 3軸制御ロボット

果に反映される。色付け自体に本質的な意味はないが、結果の識別を容易にするために行っている。

3.4 優良の判定

優良であるか否かの判定には基準を定めなければならない。実際の植物工場では経験あるスタッフが一定の基準に基づいて行っている。例えば、玉川大学植物工場において栽培されているリーフレタスの場合、学生には次のように指示しているという⁹⁾。“播種 18 日後、育苗した苗の中から、平均的な大きさの苗をそれぞれ選抜し、薄膜式水耕栽培へと定植して栽培を継続した。選抜対象は、本葉第 4 葉の形成が確認でき、かつ本葉第 2 葉の葉長および葉幅が各試験区内で平均的な株とした。”

しかし、本研究においては、今回は模擬苗での施行という簡易な環境であるため、単純に葉面積で判定を行うこととした。そのためには判定基準となる代表値を決定しなければならない。代表値として葉面積の平均値も候補としたが、模擬苗はもともと造花であるため、自然に育った苗とは異なり、採取部位によるばらつきが大きい。そのため、平均値は代表値として適切ではない。したがって、中央値であるメジアンを採用することにした。葉面積がメジアン以上であれば“優”、メジアン未満であれば“劣”として取り扱っている。

4. ロボットの制御

本研究の目標として、苗の選別の自動化に加えて、優良と判定された苗のロボットによる移動も計画している。そのため、図 6 に示すような 3 軸制御のロボットを用意した。このロボットは 3 軸制御であり、X, Y, Z 軸それぞれがステッピングモーターで動く仕様となっている。可動範囲はそれほど広くはなく、小規模な苗の移動試験に留まる。ロボット制御の概念図を図 7 に示す。PC が G-code をシングルボードコンピュータに向けて USB ケーブルで送信する。信号を受信したシングルボードコンピュータは、別途構築したモータードライバ回路を駆動する。モータードライバ回路がさらにロボットの各軸の信号線を制御することでロボットが動く仕組みとなっている。本稿執筆時点で、ロボット制御部は構築中である。シングルボードコンピュータとモータードライバ回路は、図 8 に示すように、ブレッドボードレベルの製作段階である。今後はこの部分の基板への実装等を行う予定である。

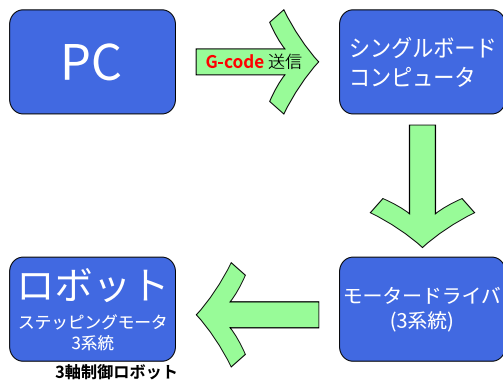


図7 ロボット制御の概念図

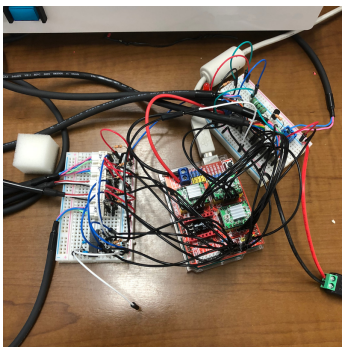


図8 モータードライバ回路

```

*** MARKER INFORMATION ***
Left bottom (ID=0) -> ( 717, 711)
Right top (ID=1) -> (1237, 191)
len = 4.2[px/mm]

*** LABELING INFORMATION ***
ID px py*2 j i
-----
32) 3441 195.1 ( 0, 2)
40) 2434 138.0 ( 2, 2)
17) 2145 121.6 ( 2, 1)
19) 1830 103.7 ( 1, 1)
18) 1554 88.1 ( 0, 1)
6) 1139 64.6 ( 0, 0)
8) 1106 62.7 ( 2, 0)
39) 693 39.3 ( 1, 2)
11) 496 28.1 ( 1, 0)

*** MEDIUM INFORMATION ***
UNIT [px]
Median=1554.0
[ 1139] [ 496] [ 1106]
*[ 1554] *[ 1030] *[ 2145]
*[ 3441] [ 693] *[ 2434]
* : GOOD
  
```

(a) プロブ情報

(b) 判定結果

図9 苗の判定結果

5. 苗の優劣判定結果

模擬苗の判定結果の様子を図9に示す。

(a)は苗の検出したARマーカーの座標値と、各プロブの情報を示す。まず、上段部にはマーカーに関する情報が表示されている。IDが0のマーカーは培地の左下に貼付したもので、1のマーカーは右上に貼付したものである。lenは1[mm]あたりのピクセル数を表すが、これは貼付したマーカーが1辺10[mm]であることから、座標値を使って算出している。

その下には、各プロブの情報が表示されている。各プロブにはID番号が付加されるため、その数字とともにピクセル数、面積、存在位置が表示されている。

(b)は葉面積の算出結果に基づく優劣の判定結果であり、図4(a)の各苗の位置とそれぞれ対応している。判定基準となる代表値のメジアンは1554.0[px]と表示されている。アスタリスク(*)の付加されたものは優秀と判断された苗を表す。目視による主観的な判断と照ら

しあわせても、極端に小さいと思える苗は排除されており、優良判定が行われていることが確認できる。

今後は、アスタリスクの付加された箇所の苗を移動させるようロボットを制御する予定である。

6. まとめ

植物工場のためのPSEとして、苗の自動選別及びロボットによる移動を行うためのシステムを提案した。このシステムにより人手による苗の選別を自動化することで、人件費の削減による植物工場全体のコスト低下を目指している。またシステム構築に利用する機材も可能な限り安価なものを利用するようにしている。今回はピクセルベースの画像処理で苗の優劣を判定しているが、今後は効率的な処理のため、機械学習の要素を含めることも検討している¹⁰⁾。また、システム全体を俯瞰すると、現段階では模擬苗による試行的な優劣の判定、ロボットの制御は構築中と、システム構築の途中にあるが、今後はシステムの完成を目指していきたい。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本施設園芸協会: 平成29年度次世代施設園芸地域展開促進事業(全国推進事業)大規模施設園芸・植物工場実態調査・事例調査, p.29, 2018.
- 2) Yasuhiko Manabe, Hitohide Usami, Taiyo Maeda, Shigeo Kawata: Detection and Selection System of Healthily Growth Seedlings for a Plant Factory, 13th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XIII), July 22-27, 2018, New York, NY, USA.
- 3) 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 前田太陽, 川田重夫: 植物工場における優良苗の検出システム, 計算工学講演会論文集, Vol.23, F-3-5, pp.1-2, 2018.
- 4) 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 前田太陽, 川田重夫: マーカーを用いた苗の生長検出, 計算工学講演会論文集, Vol.22, D-13-2, pp.1-2, 2017.
- 5) 吉澤豊, 西浦拓臣, 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 川田重夫: 3軸制御を用いた優良苗選別システムの検討, 第21回PSE Workshop 2018, 2018.
- 6) S. Garrido-Jurado and R. Muñoz-Salinas and F.J. Madrid-Cuevas and M.J. Marín-Jiménez: Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion, Pattern Recognition, Vol. 47, No. 6, pp. 2280 - 2292, 2014.
- 7) ArUco marker detection (aruco module), https://docs.opencv.org/master/d9/d6d/tutorial_table_of_content_aruco.html, 2018.8.20 閲覧.
- 8) 小枝正直, 上田悦子, 中村恭之, OpenCVによる画像処理入門, 講談社, 2014.
- 9) 森直哉, FST栽培プロトコル(スタンダード), 玉川大学植物工場, 2018.
- 10) 西浦拓臣, 吉澤豊, 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 川田重夫: 植物工場における優良苗の判定, 第21回PSE Workshop 2018, 2018.

PSEによる数理・データサイエンス教育の強化

Enrichment of Mathematics and Data Science Education by PSE

松本正己

Masami Matsumoto

博士(工) 米子高専 電気情報工学科 (〒683-8502 鳥取県米子市彦名町 4448, matsu@yonago-k.ac.jp)

Recently, education of advanced ICT engineers has become an important social problem. Technology development is rapid in AI and IoT, it is difficult to deal with traditional lecture lectures. Therefore, a new style of education is necessary. In this research, we propose an educational problem solving environment (PSE) using robotic arm and computer vision for learning. This system makes students interested and supports mathematical data sciences education.

Key Words: PSE for Education, Mathematical and Data Sciences, Robotic Arm, Computer Vision

1. はじめに

近年, IoT や AI などの情報活用能力を備えた, 次世代の高度技術者を育成するための新しい教育環境が必要とされている. 米国では, 2000 年代から Science, Technology, Engineering, Mathematics の頭文字をとった STEM と称される教育モデルが提案され, 様々な教育プログラムが実践されている¹⁾. 日本でも, ハイテク職種の適格者が不足しており, 数理・データサイエンスの全学的な教育(一般教育・専門基礎教育等)の実施に向けたカリキュラムの設計や教材作成等, 教育支援のための問題解決環(PSE for Education)の重要性が増している.

全国の国立高等専門学校では, 高校から大学年齢までの一貫したモデルとなる標準カリキュラムを作成・普及させ, 協働教育システムとして運用可能な環境がある. 特に, 理工学専門分野において, 高校就学年齢からの早期専門教育を実施しており, 実践的教育に基づいた社会連携教育を行うに適した教育システムを有している. その中で, AI や IoT などの高度情報処理技術の基礎となる数理・データサイエンス教育を推し進めるためには, 多くの教員の協力と全学的な取り組みが必要である. 独立行政法人国立高等専門学校機構の新しいプロジェクト“KOSEN4.0”²⁾では, リベラルアーツ教育を基礎として複数の専門分野を学び, 多方面にわたる産業応用展開を念頭に入れた新たな価値を創出ができる人材育成に向けた教育への取り組みが行われている³⁾.

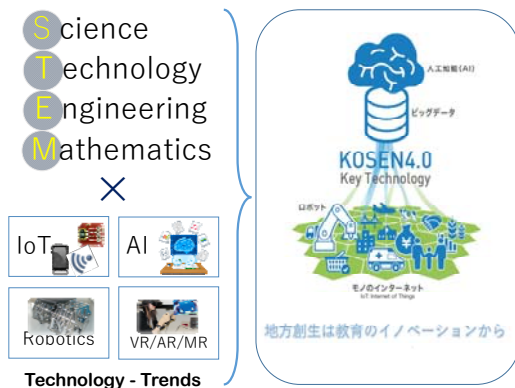


図 1. KOSEN 4.0 と数理・データサイエンス教育

その中で, 学生の好奇心を喚起することで自学自習を導入し, 高度情報処理技術の基礎となる数理・データサイエンス教育を推進する新しい授業システム作りの必要性が高まっている. STEM でも, “3D PRINTER” の導入によって新しい「モノづくり」への関心が高まり, 様々な教育効果が上がっている⁴⁾. そこで, 本研究では近年, 定価化が進んでいるロボット・アームやコンピュータ・ビジョンを取り入れた, 数理データサイエンス教育のための支援システムを提案する.

2. 数理・データサイエンス教育用PSEシステム

自学自習を指針として進めていくにあたって, 問題となるのは課題の提供方法である. 加えて, 教師や学生の「教科書や参考書が欲しい」という要請に対して, 本システムでは, 複数言語に対応したネットワーク上のフリー百科事典 Wikipedia⁵⁾ をベースとした e-Learning 環境を整備し, 自学自習を支援する⁶⁾.

また, 「紙」媒体を利用した演習を行うことで, ロボット・アームとコンピュータ・ビジョンによるインタラクティブな課題の採点チェックを行う. これによって, 学生の自学自習意識を高める効果を狙う.

2.1 Web システムによる課題資料の生成

データの入力は, マークダウンを用いたウィキペディア形式で行い, Web サーバで問題形式に変換する. ユーザはホームページにアクセスし, HTML による Web ページとして, さらに PDF データとして課題演習を行う. システムの流れを図 2 に, 問題生成フローを図 3 に示す.

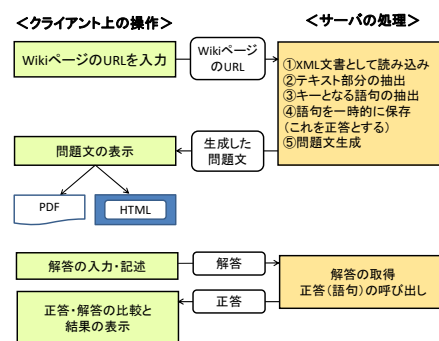


図 2. 演習と採点の流れ

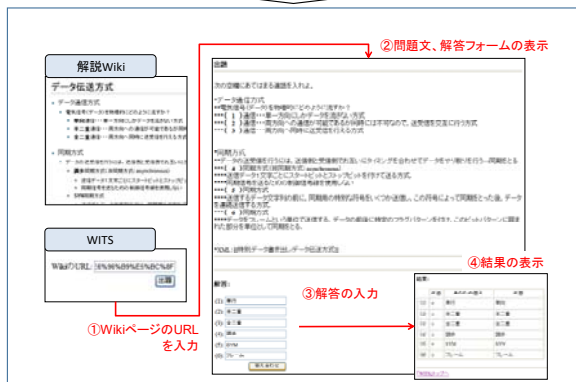
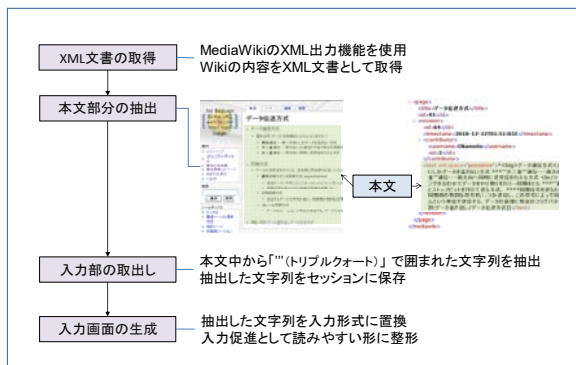


図3. Wikipediaページからの問題生成フロー

Web サーバシステムの構築は、Linux OS をベースとしたオープンソースソフトウェアを用い、様々な分野での利用を促進する。生成する印刷配布用の PDF データに QR コードを付けることで、カメラによる課題用紙の画像認識時に、データベースとの連携を図ることができる。

2.2 ロボット・アームによる採点支援

モータの小型化と高性能化に伴って、様々なロボットが日常生活でも用いられるようになってきた。しかし、人型のロボットはプログラムによる制御の難しさや物理スペース、保守などに要するコストが高い。そこで、本システムでは、小型ロボット・アームを用いることで身近でも使うことができる環境作りを目指した。システムの構成を図4に示す。⁸⁾

本システムは、紙で与えられた課題の解答を、アームを用いチェックする。用紙に印刷された QR コードで課題データを読み出し、カメラで撮影した画像の解答部分のみを解析する。解析できないものは「間違い」にする。認識できない癖字も「間違い」へ分類される。

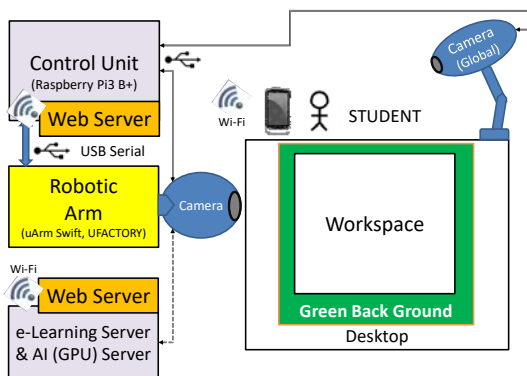


図4. コンピュータ・ビジョンとロボット・アームを用いた問題チェックシステム

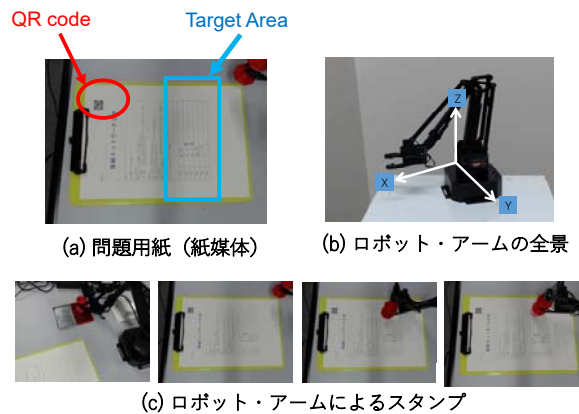


図5. ロボット・アームを用いた問題チェック

ユーザはスマートパッドなどの Web クライアントから制御ユニットにアクセスする。カメラで課題の画像を取り込み、採点の結果から可否を決定し、ロボット・アームによって、結果に対応するスタンプを押す。

ロボット・アームの制御は、小型コンピュータ Raspberry Pi3 B+⁹⁾ をローカル Web サーバとして動作させて行っている。サーバ上のプログラムからシリアルポートを介して、制御信号を送信することで、アーム先端に装着したグリッパの開閉や、位置と動作速度を調整する。具体的には、小型コンピュータから G-code を送信し、ロボット・アームでスタンプを掴み、印を押す。これによって、課題の評価を「ロボット」というデバイスによってインタラクティブに受けることができる。制御プログラムは Python と JavaScript によって記述しライブラリ化することで、Web サーバから呼び出し利用できる。

3. まとめ

近年、特に AI や IoT などの高度情報処理技術へ対応可能な技術者の育成が十分ではないと感じる。その強化策として、従来の受け身による授業から自学自習を主体とした PBL への転換が図られている。本研究では、学習にロボット・アームやコンピュータ・ビジョンを用いた教育用問題解決環境(PSE for Education)を提案した。本システムの導入によって、学生の知的好奇心を呼び起し、座学による講義では退屈になりがちな、数理・データサイエンス教育を積極的に支援することが可能となる。

参考文献

- 1) Lauren Russell, Economics of Education Review, Vol. 61, December 2017, pp.98-11.
- 2)“KOSEN (高専) 4.0” イニシアティブ, http://www.kosen-k.go.jp/main_super_kosen.html
- 3)米子工業高等専門学校公式ホームページ, KOSEN4.0, <https://www.yonago-k.ac.jp/doc/gakkotorikumi/3839>
- 4)まとめサイト: 3DPid.arts (アイディーアーツ株式会社), <http://idarts.co.jp/3dp/ge-additive-education-program/>
- 5)Wikipedia 世界トップページ, <https://www.wikipedia.org/>
- 6)松本正己, “Wikipedia を知識ベースとしたプログラム開発用 PSE の構築”, 第 16 回計算工学会講演論文集, Vol.16, F-7-4.
- 7)UFACTORY 社, <https://www.ufactory.cc/#/en/uarmswift/>
- 8)M. Matsumoto, “Development of Homeschooling Support Framework Using Desktop Robotic Arm with Computer Vision”, 13th World Congress on Computational Mechanics / 2nd Pan American Congress on Computational Mechanics, to be held in New York City, July 22-27, 2018.
- 9) Raspberry PI, <https://www.raspberrypi.org/>

スマートフォンを活用したサッカートレーニングシステム

FOOTBALL TRAINING SYSTEM USING SMARTPHONE

S. Lyubimov¹⁾, 飯田英明^{1) 2) 3)}, V. Goy¹⁾, 來海郁⁵⁾, 日高義将⁴⁾, 浅井武⁵⁾, A. Molochkov¹⁾, 中村純^{1) 2) 4)}

Sergei Lyubimov, Hideaki Iida, Vladimir Goy, Kaoru Kimachi, Yoshimasa Hidaka, Takeshi Asai, Alexander

Molochkov and Atsushi Nakamura

1) 極東連邦大学 生物医学研究科 (Sukhanova 8, Vladivostok, 690950 Russia, lyubimovsd AT gmail.com)

2) 大阪大学 核物理研究センター (〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 10-1, atsushi AT rcnp.osaka-u.ac.jp)

3) 慶応大学 自然科学研究教育センター (〒223-8521 横浜市港北区日吉 4-1-1, iidahideaki AT keio.jp)

4) 理化学研究所 仁科加速器科学研究センター (〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1, hidaka AT riken.jp)

5) 筑波大学体育系 (〒305-8574 つくば市天王台 1-1-1, asai AT taiiku.tsukuba.ac.jp)

We report an ongoing project for the football training system using a smart phone, which detects a basic information, i.e., the trajectory and the speed of soccer ball. Modern computer technique, the machine learning, allows us to detect the ball in a movie. Using the TensorFlow, we developed a detection system, and installed it on a smartphone so that three steps (shooting a movie, analyzing it by the TensorFlow and showing the result) can be easily performed not only for professionals, but also beginners including children.

Key Words: sports training system, smartphone, machine learning, TensorFlow

1. はじめに

スポーツの技術向上のために、コンピュータやセンサー技術などの情報技術や物理からの知見を活用することについては、我が国でも早くから取り組まれている^{1) 8)}。近年普及が進んでいるスマートフォンは、高い品質の動画の撮影が行なえるだけでなく、高度なアプリを動かすことにより複雑な解析を行なうことも可能になり、その結果をすぐ画面上で確認することもできる。

優秀なコーチ、プロの選手などは、経験からボールの速度や回転を瞬時に認識し、試合中に適切なキックが実現するようにトレーニングを行なっていく。また客観的なデータを取るためにはスピードガンが各種の球技で使われてきた。

近年、その大きな進化が注目を集める機械学習は、この優秀なコーチと同じレベルの仕事ができる可能性がある。さらに、それを計算能力の向上の著しいスマートフォン上に実装することができれば、子供から専門家まで幅広くその恩恵を受けることができ、競技レベルの向上に大きく貢献する。さらに、他の球技への適用の可能性も見えてくる。

スマートフォンにスピードガンを実装する試みは様々な存在する。先駆的なものとして、adidasのSnapshotがあるが、当時のスマートフォンの性能では平均の速度を求める以上のことは難しかったようで、現在は配布が中止されているようである。(2016年の時点で米国のAppleのiTunesで配布が確認されているが、現在はアクセスでき

ないようである)。その後スマートフォン上で動作する様々なスピードガンアプリが登場している⁹⁾。しかし、本プロジェクトの目標は、マシンラーニングによりサッカーボールの検出を自動的に行い、その軌道および速度を検出するアプリを作成することである。我々が現時点(2018年8月現在)で調べた範囲では、Apple StoreおよびGoogle Playで入手できるアプリで同様なものは存在していないようである。

スマートフォンの動画性能はApple社のiPhoneシリーズを例に挙げると、iPhone 5s (2013年9月発売)までは30フレーム/秒(fps)、1920×1080ピクセル(1080p)が主流であった。しかし、iPhone 6 (2014年9月発売)以降は60fpsが採用されている。2014年以降、60fps規格を採用する傾向は他のスマートフォンにおいても同様に見られ、現在60fpsが標準になりつつある。

2. サッカーボールの軌跡の測定

2. 1 測定方法

通常は3次元空間の位置を測定するためには、2視点以上の測定が必要となる。2台以上のスマートフォンを使い、測定データを通信させることで三次元の位置決定を行なうこともできるが、簡便性は損なわれる。背景の物体の位置の情報から、その前を通過した時刻を使うこともできるが、事前に背景の位置を測る必要があり、どこでもすぐ実施することが出来るわけではない。レーザーの反射光との位相差を使う手法や、超音波を反射させ

時間から距離を求める手法は正確ではあるが、そのための機器を必要とする。

この問題を我々は以下のように取り扱った。機械学習を用いることにより、動画のそれぞれのフレームにおいて、カメラの視線に垂直な方向の2次元中のボールの位置(この座標を(x,y)とする)およびその大きさを自動的に検出する。カメラの視線方向のボールまでの距離(これをzとする)を以下のように測定する:

- (1) ボールを様々な距離に置き(30cm-5m)、サッカーボールの大きさをpixel単位で測り、
 $s = \text{「サッカーボールの大きさ (pixel)」} / \text{「画面全体の大きさ (pixel)」}$
 を距離zごとに計算する。これを $z = f(s)$ とする。
- (2) $f(s)$ を適当な関数でフィットする。これにより任意のsにおいて距離zが計算できる。
- (3) 実際の検出において、動画中のボールのsを測り、(1)、(2)で作成した $z = f(s)$ よりzを求める。

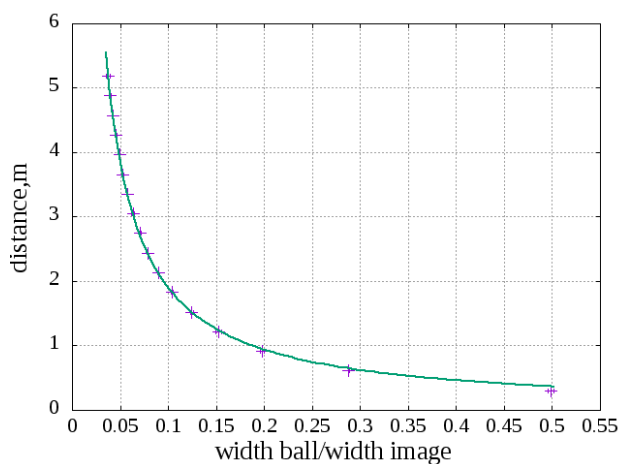


図 1 カメラとボールまでの距離zとボールサイズsとの関係。+印が実際の計測で得られた点、実線はこれをフィットした関数の値。

図 1 はzとsの関係を示すグラフである。縦軸z[m]、横軸sであり、+印の点は実測値、実線はこれを解析関数でフィットしたものである。本研究では、 $f(s) = as^{-b}, a = 0.1858[m], b = 0.9695$ をフィット関数として採用した。これを用いてz方向の距離を決定する。(この値はカメラの特性、例えば焦点距離に依存する事に注意されたい)

このピクセルで表された (x,y)平面上の距離を物理的な距離(例えばメートル表示)に変換する必要がある。本研究では、サッカーボールの直径が22cm(5号)であることから、計測されたボールのピクセル表示でのサイズを用い、1ピクセルあたりの物理的な距離を決めている。

このようにして、1つのカメラのみで、基準となる背景や物体に頼ることなく、3次元での物体の位置を同定し、ボールの軌跡を測るシステムを構築する。

2. 2 サッカーボールのスピード・回転数

サッカーボールの最大速度と最大回転数は、トップ選手の場合25-35m/s, 4-10回転/秒(rps)程度である^{10),11)}。アマチュアの場合は20-30m/s, 4-8回転rps程度と予想される。従って36m/s, 12rpsのボールを正しく測定することが可能であれば、十分に実用的な測定装置になり得る。ただし、現時点では、回転に関しては計測を行っていない。

3. サッカーボール画像の学習過程

サッカーボールを自動的に認識しその位置とサイズを検出するコードは、Googleが提供する機械学習のオープンソフトウェアライブラリであるTensorFlowを用いて作成した。物体検出のアーキテクチャとして、Single Shot multibox DetectorをベースとしたモデルMobileNetV2を使用している¹²⁾¹³⁾。学習用の画像には、スタンフォード大学が提供するImageNet¹⁴⁾とGoogleのOpen Images¹⁵⁾から、計1500枚を使用した。ミニバッチ学習を行い、バッチサイズは20に設定した。

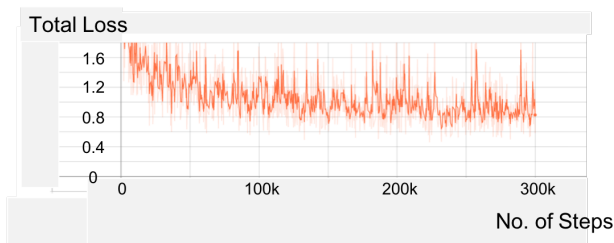


図 2 学習過程のステップ数(横軸)と損失関数(縦軸)。

図 2 は学習過程におけるステップ数(横軸)と損失関数(縦軸)のグラフである。損失関数は学習の程度を表す指標であり、その値が小さくなるほど学習が進んでいる。学習の全ステップ数は約30000回、最終的な損失関数の値は0.8程度である。

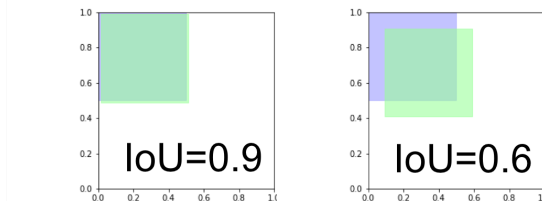


図 3 IoU=0.9 と 0.6 での領域の重なり具合¹⁶⁾。

我々は、mIoU (mean Intersection over Union)と呼ばれる、物体の検出の良さの指標を、テスト画像約200枚に対して計算し、0.89という値を得た。「物体の”真の” (目視により手で入力した) バウンディングボックス」をAとし「機械学習で予言されたバウンディングボックス」をBとすると、IoUは「 $A \cap B$ の面積」を「 $A \cup B$ の面積」で割ったものである。図3はIoU=0.9と0.6の場合の2領域の重なり具合を示したものである¹⁶⁾。これからわかる

ように、IoU が 0.9 程度だと非常に重なりが大きく、検出が良いことがわかる。また「4.1 パソコン上における動画中のボール速度の測定」で示すように、この程度の損失関数の値で、飛行中のボールを速度計測に十分な程度に検出することができる。学習に使用したパソコンは GPU : GeForce GTX980 を搭載している。この GPU を用いて学習を行い、約 3 日を要した。

4. 結果

4.1 パソコン上における動画中のボール速度の測定

図4は、筑波大学で撮影したボールキックを、本コードを用いてパソコン上で解析したものである。動画はスマートフォンで撮影している。晴天下、fps=30、キックの地点から動画のフレームの右端までの距離は6m程度で、キッカーはサッカーの元大学選手である。コーン間の距離は5.5mである。解析には学習で使用したのと同じ GPU : GeForce GTX850m を搭載したパソコンを使用し、この GPU を用いて検出を行った。



図 4 サッカーボールのキック。筑波大学で撮影。コーン間は 5.5m。

画像中のオレンジ色のサークルは、検出されたボールの場所およびサイズを表し、両者ともよく検出できていることがわかる。「soccer_ball: 90.82%」の%表示の数値は、検出された物体がサッカーボールである「信頼度」を表しており、本オブジェクトを高い信頼度でサッカーボールとして認識していることがわかる。

飛行中のボールの速度 v を計算する上で重要なのは、飛行中のボールの検出回数および検出率である。

$N_{\text{fly}}^{\text{all}}$ を飛行中のボールの全フレーム数、

$N_{\text{fly}}^{\text{det}}$ を飛行中のボールの検出回数、

$$r_{\text{fly}}^{\text{det}} \equiv N_{\text{fly}}^{\text{det}} / N_{\text{fly}}^{\text{all}}$$

とする。

複数個の動画において検出を行ったが、典型的な動画におけるこれらの値は、

$$N_{\text{fly}}^{\text{all}} = 7 \pm 1, N_{\text{fly}}^{\text{det}} = 6 \pm 1, r_{\text{fly}}^{\text{det}} = 0.75 \pm 0.11$$

程度である。 v を計測するには、最低でも $N_{\text{fly}}^{\text{det}} \geq 2$ である必要がある。上記の撮影条件では、この条件を十分にクリアしており、有意な速度計測が可能である。

このコードによって計算された速度は 70km/h 程度であり、これは平均的な大学のサッカー選手のキックされたボールの速度と概ね一致している。

上述の値は、室内などの暗い環境下や、背景の色に依存することを注意しておく。

4.2 スマートフォンへの実装：

現在、本コードをスマートフォンへ実装し、改良を行っている段階である。実装には iPhone SE を用いている。iPhone SE の Apple A9 チップ上の CPU において、パソコン上の検出に使用したモデルを用いた検出を試み、動作を確認している。今後、検出精度の向上、より動作の速い GPU 上での検出を行うようするなどの改良を行う予定である。

スマートフォン上での検出の1つの問題点は、一般には検出スピードが PC と比較して遅いことである。iPhone SE の A9 チップの GPU は、解析で使用したパソコンの GPU : GeForce GTX850M に対し、単精度浮動小数点計算の FLOPS 値で約 3 分の 1 程度の計算速度である¹⁷⁾¹⁸⁾。高速なコーディングを実現して実装する必要がある。

5. 結語

2010年に国内での普及率が10%程度であったスマートフォンは、2016年に70%を超えた¹⁹⁾。その利便性から、誰もが気楽に使う機器となっている。スマートフォンは、単なるコミュニケーションの道具に留まらず、気楽に動画を撮り表示することができ、また計算機としても高いパフォーマンスを持っている。

スマートフォンでは CPU だけではなく、GPU も使われており、パフォーマンスの指標に何をすべきかは難しいが、総合的な指標として使われる Antutu の値を iPhone に対して図示すると図 5 のようになる²⁰⁾。

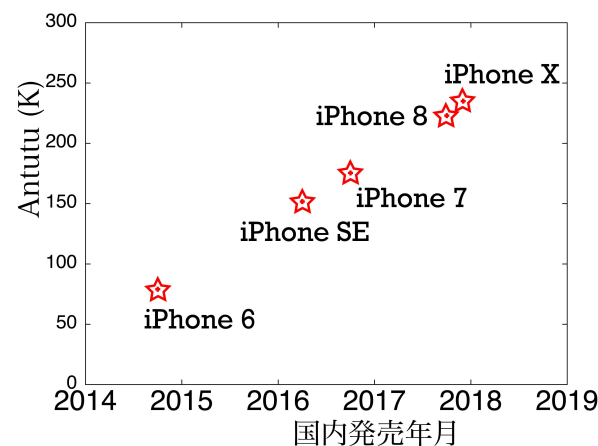


図 5 各 iPhone の Antutu 値

我々は iPhone SE で実験を行った。もしスマートフォンの

処理速度が半分以下であれば、測定と同時に結果を得ることは難しい。また、もしサッカーボールの速度が10倍であってもその軌道を追うことは不可能である。

すなわち、現代のスマートフォンはアマチュアからプロまでのサッカーボールの軌道を追い、速度を求めるスピードガンの機能を持つ。それは特別な機器ではなく、母親が子供達のサッカーチームの練習や試合で利用することもでき、プロチームのコーチが利用することもできる。

今後スマートフォンの性能が向上すると、野球ボールなどのようにより速いボールの解析も可能となると思われる。さらに、ボールのみならず、キッカーの足首や膝などの動きを同じスマートフォンで同時に測定し、機械学習により瞬時に問題点を指摘することも可能かもしれない。

本稿ではiPhoneを使用した結果を報告したが、もちろんアンドロイド系スマートフォンもiPhoneとはほぼ同等の条件を備えている。世界的な普及状況を考えると、アンドロイド系スマートフォン上での開発を進めていくことも重要である。

また、将来的にはボールの回転も測定、表示することが望ましい。カーブなどのトレーニングはサッカーでは重要であり、そのためにはボールの回転が基本データになる。

12fpsのボールを60fps規格のスマートフォンで撮影した場合、ボールは1フレーム毎に0.2回転する。0.2回転までの分解能があれば、高速回転をするカーブの場合と無回転シュートと呼ばれるナックルの場合の区別も可能であり、今日のスマートフォンはこれらの解析も可能な性能を持っている。

現在、様々な模様を持つサッカーボールが使用されている。機械学習で色々な表面のボールによる学習が必要となると思われる。実際、我々の作成した検出モデルの学習過程でも、様々な模様のサッカーボール画像を使用しており、多様なサッカーボールの検出が可能である。

本研究は、サッカーだけではなく、他の球技にも発展させることができる。文献21では、スマートフォンを使ったフローボールの速度測定システムが議論されている。フローボールはホッケーに似た競技で、スティックを使ってプラスチック製のボールをゴールに入れる。北欧やスイスで盛んである。文献21では2台のスマートフォンを連携させたシステムが提案されており、機械学習は使用していない。

謝辞：本研究を企画・推進して下さった理化学研究所初田哲男主任研究員に感謝いたします。

参考文献

- 1) Asai, T., Takao, A and Steve, H, 'The physics of football', Physics World 11, 6, p25 (1998) IOP Publishing
- 2) 浅井 武「サッカーの物理」、パリティ (丸善). 14-4.

33-42 (1999)

- 3) 瀧 剛志, 長谷川 純一, 北川 薫「スポーツ競技における運動情報の可視化」, 「フットボール解説支援を目的とした競技シーンからの戦略的スペースの自動抽出」, FIT 2007 講演論文集 情報処理学会 (2007)
- 4) 小池 関也「スポーツ動作の動力学的特性から見たコツのしくみ」バイオメカニズム学会誌, 37巻, 4号, 221-226, 2013.
- 5) 浅井 武, 布目 寛幸「見方が変わるサッカーサイエンス」, 岩波科学ライブラリー, 岩波書店, 2002-01
- 6) 浅井 武 (監修), 布目 寛幸, 星川 佳広, 橋詰 謙, 西脇 剛史「サッカー ファンタジスタの科学」, 光文社新書, 光文社, 2002-01
- 7) 飯田 英明, 山中 長閑, 若山 将征, 中村 純「ICTを活用したスポーツパフォーマンスの向上環境」情報処理学会 研究報告コンピュータと教育 (CE) Vol. 2017-CE-139, No.20, page 1-6, <http://id.nii.ac.jp/1001/00178358/>
- 8) T. Asai, S. Hong, K. Kimachi, K. Abe, H. Kai, A. Nakamura, "Flow Visualisation around Spinning and Non-Spinning Soccer Balls Using the Lattice Boltzmann Method", The 12th Conference of the International Sports Engineering Association, Proceedings 2018, 2(6), 237; <https://doi.org/10.3390/proceedings2060237>
- 9) "11 Best radar gun apps for Android & iOS": <https://freeappsforme.com/radar-gun-apps/#speed-gun-app>
- 10) 浅井 武, 瀬尾 和哉, 小林 修「サッカーのフリーキックに関する基礎研究」, 日本風工学会誌 第99号 101-102 (2004)
- 11) 鉄口 宗弘, 福井 哲史, 入口 豊, 三村 寛一「大学サッカー選手におけるキックスピードと身体特性との関連について」大阪教育大学紀要 第IV部門 第58巻 第1号119-128 (2009)
- 12) Andrew G. Howard et al., arXiv:1704.04861.
- 13) MobileNetに関するGoogleの解説: <https://ai.googleblog.com/2017/06/mobilenets-open-source-models-for.html>
MobileNetV2に関する解説: <https://ai.googleblog.com/2018/04/mobilenetv2-next-generation-of-on.html>
- 14) ImageNetのサイト: <http://www.image-net.org>
- 15) Open Images の github サイト: <https://github.com/openimages/dataset>
- 16) 参考サイト「IoUの0.1~0.9を図にしてみた」: <https://qiita.com/ak11/items/8e0f42f358c1f822df27>
- 17) A9 チップ上のGPUの性能: <https://www.tomshardware.com/reviews/apple-iphone-6s-6s-plus,4437-7.html>
- 18) GeForce 850Mの性能:

<https://www.techpowerup.com/gpudb/2538/geforce-gtx-850m>

19) 総務省平成29年版 情報通信白書第2部第2節:

<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc262110.html>

20) Antutu ランキング:

<http://www.antutu.com/en/ranking/ios1.htm>

21) Eric Schmidt, “Measuring the Speed of a Floorball Shot Using Trajectory Detection and Distance Estimation With a Smartphone Camera”, スウェーデン王立工科大学修士論文, July 6, 2016

富士通のHPCの取り組みについて

FUJITSU'S LATEST ACTIVITIES IN HPC DEVELOPMENT

宮原豊¹⁾

Yutaka Miyahara

1)富士通株式会社 TC ソリューション事業本部 (〒105-7123 東京都港区東新橋 1-5-2, yutaka@jp.fujitsu.com)

Fujitsu has been developing and providing HPC for over 40 years. In this article, we will introduce latest topics of our HPC, Post-K Supercomputer which is the successor of the currently operating K Supercomputer and the new computational architecture "Digital Annealer" which solves combinatorial optimization problem at high speed.

Key Words: HPC, Supercomputer, Arm, Combinatorial Optimization, Ising Model, Quantum Annealing

1. はじめに

富士通株式会社では、過去40年以上にわたってHPCの開発・提供を行ってきた。本稿では当社のHPCの最新トピックスとして、現在稼働中のスーパーコンピュータ「京」の後継機である「ポスト「京」」と、組合せ最適化問題を高速に解く新アーキテクチャ「デジタルアニーラ」について紹介する。

2. ポスト「京」

2. 1 ポスト「京」の開発状況

当社は2006年よりスーパーコンピュータ「京」を理化学研究所と共同で開発し、2012年に完成、共用が開始された。「京」はスーパーコンピュータの実用性を示す主要な性能指標で現在でも高い性能をもち、先端的研究において不可欠な研究基盤として運用されている。

そして、現在「京」の後継機であるポスト「京」の開発を、2021年の共用開始を目指して理化学研究所と共同で進めている。ポスト「京」は、さまざまな科学的課題や社会的課題を解決する先端的な研究基盤として、また、仮想空間と現実空間の高度な融合・ビッグデータのAIによる解析で新たな価値を産業や社会にもたらす"Society 5.0"の実現に向けた重要な基盤として期待されている。

ポスト「京」では、さまざまな分野のアプリケーション開発者と協調設計(コ・デザイン)を実施しつつ、専用プロセッサからソフトウェアまでシステム全体を最適設計・開発することにより、最大で「京」の100倍のアプリケーション性能の実現を目指している。

2. 2 ポスト「京」のCPU A64FX

ポスト「京」が目指す性能を実現するために、当社では専用の高性能プロセッサ「A64FX」の開発に取り組んだ。このプロセッサではArm Limited社のArmv8-A命令セットアーキテクチャをベースに、当社がリードパートナーとして仕様策定に関わったスーパーコンピュータ向け

の拡張命令SVE (Scalable Vector Extension)¹⁾を世界で初めて採用している。

マイクロアーキテクチャには、当社がこれまでのプロセッサ開発で培った技術を発展させたものを用い、また高帯域メモリの性能を引き出すハードウェア技術により、高いアプリケーション実行性能を実現している。

倍精度浮動小数点演算のピーク性能は2.7TFLOPS以上で、単精度ではこの2倍、半精度では4倍の演算性能が得られる。また、16ビット整数、8ビット整数の演算性能も強化しており、数値計算だけでなくビッグデータ処理やAIなど幅広い用途に適したCPUである。

CPU間は、「京」向けに開発したTofuインターコネクタを拡張したもので直結することで並列性能を向上させている。

3. デジタルアニーラ

3. 1 概要

私たちの社会にはさまざまな要素の組合せの中から最適な組合せを探索する「組合せ最適化問題」が存在する。例えば、金融分野の投資ポートフォリオ最適化や流通分野における配送ルート最適化などのほか、化学分野における類似化合物探索のように一見して要素の組合せとは関係がないように思われる問題でも組合せ最適化問題として定式化できる場合がある。しかし、組合せ最適化問題の多くは計算複雑性理論においてNP困難なクラスに分類される問題であり、厳密解を多項式時間で求める解法が知られておらず、効率的に近似解を求める解法の研究がすすめられてきた。

近年、このような組合せ最適化問題を高速に解くアーキテクチャとして量子コンピュータの一種である量子アニーリング装置の実用化がすすめられているが、現在の技術では問題規模や解の安定性など、実際の社会的課題の解決に用いるためにはさまざまな課題を抱えている。

そこで、当社ではCMOS技術により組合せ最適化問題を高速に解くハードウェア「デジタルアニーラ」の開発に取り組んだ。

3. 2 組合せ最適化問題

組合せ最適化問題は以下のように定式化される。

- あらかじめ選択肢が決まっている
- 選択肢から複数を選んで組み合わせる
- 組み合わせ方には制約条件がある
- 組み合わせた結果の良し悪しを判定できる
- 評価値が最適な組み合わせを求めたい

組合せ最適化問題の典型例の一つである巡回セールスマン問題 (TSP) の場合は、以下のように定式化される。

- 選択肢：どの都市を何番目に訪問する
- 複数選択：訪問対象の都市の数だけ選択する
- 制約条件：ある都市に訪問するのは一回のみ、同時に別々の都市を訪問することはできない
- 評価：都市間の移動距離の総和をとる
- 最適値：移動距離の総和を最小化する

選択肢の数の増加に従って組合せのパターン数は膨大な数になる。TSPの厳密解を求めようとした場合、計算量は都市数Nの階乗に比例する階乗時間 (O(N!)) となり、都市数が増えるにしたがって現実的な時間で厳密解を求めることは不可能となる。

3. 3 イジングモデル

イジングモデルは強磁性体の磁気相転移を説明するために導入された、格子点間の相互作用のみを考慮したモデルである。スピンの値とスピン間の相互作用により、系全体のエネルギーが以下のような相互作用項と外場である磁場項からなるエネルギー関数で決まる。

多くの組合せ最適化問題はイジングモデルの最適化問題に変換できることが知られており²⁾、イジングモデルの最適化問題を高速に解くことができれば一般的な最適化問題にも対応できる。

3. 4 組合せ最適化問題のイジングモデルへの変換

組合せ最適化問題のイジングモデルへの変換例として、TSPの例を示す。

一人のセールスマンがN個の都市を最短距離で訪問するためのルートは何かを決定するのがTSPにおける最適化である。すでに記述したとおり、TSPでの制約条件は、①同一都市に滞在するのは一回だけ、②同時に二都市には滞在できないことである。また、最適化条件は移動距離の最小化である。そこで、図1のようにX軸に都市、Y軸に訪問する順番を割り当てた二次元のイジングモデルにマッピングする。A市と2番目の交点に1が立っていることは、A市を2番目に訪問することを意味する。

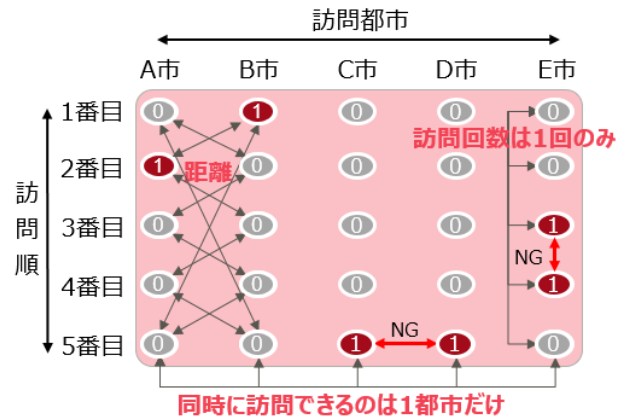


図1 TSPのイジングモデル表現

制約条件①については、縦の列に複数の1が立っている場合に、制約条件②については横の行に複数の1が立っている場合はNGであるため、ペナルティとして格子点間の相互作用に大きな値を設定する。

最適化条件の設定は、n番目に訪問する都市に対応するビットと、n+1番目に訪問する都市の格子点の間の相互作用として距離を設定する。

この例からわかるように、一般的な最適化問題をイジングモデルに変換するためには、イジングモデルの格子点間の相互作用は、最近接（隣接関係）の相互作用だけでなく、遠隔相互作用を表現する必要がある。したがって、イジングモデルの最適化を行う装置は、各格子点を頂点としたグラフを考えた場合、任意の2頂点間に枝がある完全グラフを実装していることが望ましい。

3. 5 量子アニーリングの課題

門脇、西森³⁾は1998年に量子揺らぎの導入でイジングモデル最適化を行う量子アニーリングを提唱した。この量子アニーリングを初めてハードウェアで実現したのがカナダのD-Wave Systems社である。同社の量子アニーリング装置は、米国の国立研究機関や先進テクノロジー企業などで実験的な導入が進んでおり、日本でも早稲田大学や東北大学が民間企業とD-Waveを利用した共同研究を進めるなど、実社会の問題解決に適用できる量子コンピュータとして高い注目を集めている。

しかし、現在の量子アニーリング装置には以下のような技術的な制限があり、実用面での課題を抱えている。

a) ビット間結合の制限

最適化問題をイジングモデルにマッピングするためには、問題規模に応じた格子点の数が必要となる。量子アニーリング装置においては量子ビットが格子点に相当し、最新のD-Waveマシンでは2048ビットを実装している。しかし、D-Waveの量子ビットの結合は完全グラフではなく、8ビットの量子ビットからなる4×4の完全二部グラフを1ユニットとする16×16ユニットから構成されるキメラグラフとよばれる結合である。全結合の相互作用を表現できるようにキメラグラフ上で完全グラフを構成

した場合 4×16 で 64 ビット相当となる。これは TSP ならば 8 都市までしか対応できないことを意味する。

今後、量子ビット実装技術の高度化にともないビット数が増加することが予想されるが、現時点では実用規模の問題に適用する上での大きな制限である。

b) ビット間相互作用の階調の制限

TSP での最適化条件は都市間の移動距離を最小化することである。最適化の精度を上げるためには距離の設定単位はできるだけ小さくすることが望ましい。相互作用の階調数が多ければ距離を整数で設定することができるが、階調数が少なれば短距離／中距離／長距離といった大まかな設定しかできない。D-Wave マシンの現状の階調数は 16～32 であり、問題依存ではあるが最適化条件の表現能力という観点で充分とはいえない。

c) 動作条件と安定性

量子効果を実現するために、素子を絶対零度に近い温度に冷却するとともに、地磁気の影響を限りなくゼロにする必要があるため、装置が非常に大型化する。また、現時点の技術的制約により、量子状態の安定性を維持できる時間が短くエラー率が高いという問題も存在する。

3. 6 デジタルアニーラの特長

量子アニーリング装置の登場が明らかにしたことは、ハードウェアによる組合せ問題最適化の高速化がもたらすインパクトである。そこで、当社では量子デバイスには頼らずに、CMOS 回路技術を用いてイジングモデル最適化を行うハードウェア「デジタルアニーラ」を開発し、2018 年 5 月にクラウドサービスとして提供を開始した。デジタルアニーラは、D-Wave と比較して以下のような特長を備えている。

a) 量子ビット数、結合数の柔軟性

デジタルアニーラのビット数は 1024 ビットである。ビット間の相互作用は全結合であり、TSP ならば 32 都市に対応可能である。また、今年度中に 8Kbit の全結合環境をリリースする予定であり、TSP ならば 90 都市に対応できる規模であり、最適化対象の問題規模が大幅に拡張し、今後さまざまな実用問題への適用が期待される。

b) ビット間相互作用の階調の多さ

デジタルアニーラはビット間の相互作用の階調は 256^2 である。D-Wave にくらべてはるかに高い精度でビット

間の相互作用を定義することができるため、得られた解の精度もより高くなることが期待できる。

c) 動作条件と安定性

超電導回路で実現されている量子アニーリング装置にくらべて常温かつ低消費電力で動作する。小型化に向いているため、将来的には IoT デバイスに搭載できる超小型チップの実現も技術的には可能である。また、動作時のエラー率はほぼゼロなので解の安定性が高い。

以上の特長を備えた、デジタル回路で実装した組合せ最適化問題を高速に得るハードウェア基盤であるデジタルアニーラは、規模・結合数・精度のバランスと安定動作で、現実社会の問題に適用できる現時点で得られる最適なアーキテクチャであると考えられる。

4. まとめ

従来、HPCは主として数値計算によって科学技術分野の問題解決に威力を発揮してきたが、今や機械学習に代表されるAIやビッグデータを対象としたデータ駆動科学といった新しい領域でHPCが実力を発揮しつつある時代である。当社は、本稿で紹介したポスト「京」や、デジタルアニーラのような新アーキテクチャの開発を通じて、このような新領域におけるHPCの可能性の拡大に今後も貢献してゆきたい。

参考文献

1) The Scalable Vector Extension:

<https://developer.arm.com/docs/ddi0584/latest/arm-architecture-reference-manual-supplement-the-scalable-vector-extension-sve-for-armv8-a>

2) Lucas, A.: Ising formulations of many NP problems, Front. Phys., 12 February 2014

3) Kadowaki, T., Nishimori, H.: Quantum annealing in the transverse Ising model, Physical Review E 58, 5355-5363, 1998

Virtual Realityを用いた 落石調査技術者向けPSEに関する基礎検討

A FUNDAMENTAL STUDY ON DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY SYSTEM FOR FIELD WORK

新保泰輝¹⁾, 川除佳和²⁾

Taiki Shimbo and Yoshikazu Kawayoke

1)工博 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒929-0342 石川県河北郡津幡町北中条タ1, shimbo@isikawa-nct.ac.jp)

2)工博 石川工業高等専門学校 電子情報工学科 (〒929-0342 石川県河北郡津幡町北中条タ1, kawayoke@ishikawa-nct.ac.jp)

Recently, to improve work efficiency and productivity, ICT (e.g., UAV, ICT construction machinery, AI) is widely used in civil engineering. On the other hand, Virtual Reality (VR) has attracted a lot of attention in ICT. To resolve problems of field work for a rockfall (e.g., a dangerous site investigation, a disaster site investigation), we think that VR is useful technology. Therefore, we develop a VR field work environment. For this reason, a highly accurate 3D surface model and 3D rock model are required. In this paper, the 3D rock model from photographs is implemented on VR field work environment.

Key Words: Virtual Reality, Field work, Photogrammetry, Rockfall

1. はじめに

近年, 建設業界では建設現場の情報化を行っていく事で作業効率化・生産性向上を図り, 魅力ある建設現場を目指す取り組みとしてi-Constructionが推奨されている¹⁾. この取り組みは, 高齢化や人材不足などへの対策として期待されており, Unmanned aerial vehicle(UAV), 3D-CAD, ICT建機, AIなどの建設現場への導入が急速に進んでいる. 特にUAVは広く用いられており, UAV空撮写真から得られる3次元高密度点群が測量に用いられている²⁾.

一方, ICT分野では, Augmented Reality(拡張現実, AR), Mixed Reality(複合現実, MR), Virtual Reality(人工現実感, VR)が注目されている. 特にVRは, ヘッドマウントディスプレイ(HMD)の普及に伴い, 建設業界への応用も進んでいる. その一例として, 3D-CAD, 高密度点群などによるVRがある. VRは現実や実物ではないが, 機能として本質的に同等の環境, すなわち, 極めて現実に近い空間のことであり³⁾, VR上で現地調査が可能であれば, 調査技術者が危険な現場(例えば災害現場や落石現場)などを安全に調査することができる. ただし, 3D-CADはCADモデルであること, 点群は近接すると地面に隙間が見えることが現実感を損なわせている. また, Google Earth VR⁴⁾は広範囲に3D地形や建造物を確認することのできる優れたVRである. ただし, 比較的小規模である土木現場においては解像度の面で問題を有する.

そこで, 著者らは落石調査を例として, VR上で安全に落石調査・落石挙動の確認が行えるPSEの開発を行っている. これまでにUAV測量成果²⁾を用いて, 小規模な現

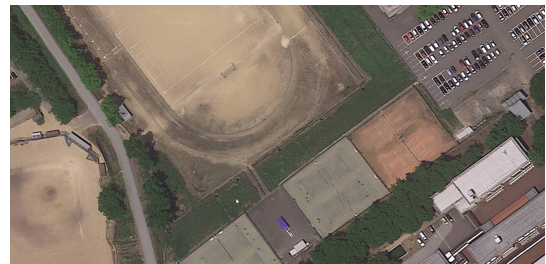


図-1 撮影箇所 (© Google Map)

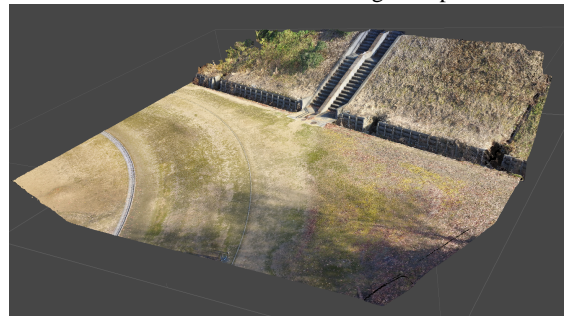


図-2 UAVを用いた3次元地形モデル

場に対して解像度の高い3Dモデルが作成できると考え, 図-1に示す撮影範囲(石川工業高等専門学校敷地内のグラウンドとテニスコートをつなぐ階段付近の斜面)に対し, 3Dモデルの作成(図-2)を行った⁵⁾. その結果, 異なる標高の写真を組み合わせることで精度の良い3Dモデルが作成できることを示した. 一方で, 汎用される落石シミュレーションの多くが質点力学に基づいているため, 文献5)では落石を球体として表現した. しかし, 落石を単に球体としてモデル化することは現実感を欠如させる

要因となる。そこで本稿では実際の岩石を用いた3Dモデルを作成し、これをVR上に実装し、その挙動を確認した。

2. SfM-MVS処理

3Dモデル作成のために用いた岩石を図-3に示す。横幅は約15cm、高さは約9cmである。この岩石に対してデジタルカメラ(CASIO Exilim EX-ZR4000)により12Mピクセルの写真を58枚撮影した。撮影写真に対してSfM-MVS処理を実施した。SfM-MVS処理にはPhotoscan v.1.4.3を用いた。その結果を図-4に示す。図-3中の赤丸で囲った部分が図-4の赤丸で囲った部分に相当する。溝部が明確に表現されており、3Dモデルの定性的な精度は良いといえる。



図-3 3Dモデル作成に用いた岩石



図-4 岩石の3Dモデル (Photoscan v.1.4.3)

2. VR落石システム概要と計算例

VR開発環境にはUnityを用いた。これまでにSteam VR Plugin, VRTKを用いてコントローラ、ワープ移動等を実装している⁹⁾。本稿では、3Dモデル(図-4)をobj形式としてUnityにインポートした。なお、本モデルは複雑な形状であるため、接触判定にはSAColliderBuilderによるMesh colliderを用いた。SAColliderBuilderを用いることで、複雑な形状である岩石の接触判定が可能となる(図-5)。このモデルに対してrigidbody属性を与えることで、物理演算(剛体計算)によるVR上での落石現象を表現できる。ただし、落石現象を精度良く表現するためには、落石シミュレーションに用いられる速度式などが必要となる。このことに関しては今後の課題とする。

図-2のモデルに対して初期位置を変えた同一の岩石を4つ空中落下させた例を図-6に示す。なお、分かり易くす

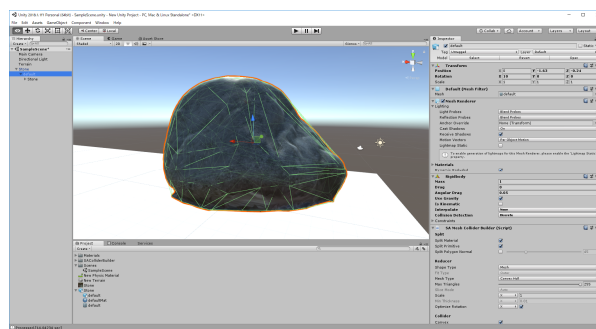


図-5 SAColliderBuilderによるMesh collider



(a) 運動中 (b) 停止時

図-6 地形モデルを用いた落石挙動

るために岩石のスケールを約10倍とした。

自由落下した岩石は斜面上方に接触後、初期位置の違いや地表面・岩石自身の凸凹によって異なる経路を辿り(図-6(a))、最終的に3つの岩石が同じ溝の中に静止した(図-6(b))。

以上に示すように、VRを用いることで、VR上では実現現場では危険であるために実施困難な落石の発生を行うことができ、更に実際に落石が発生したようにその挙動を把握することができる。

3. おわりに

本稿では、落石調査技術者向けPSEとして岩石の3Dモデルを用いたVirtual Reality落石調査システムの開発を行った。今後は落石シミュレーションに用いられる剛体計算手法を取り入れることで更に精度を高め、落石調査技術者向けのPSEを確立していく。

参考文献

- 1) i-Construction: <http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/>, 国土交通省, 2018/8/9参照
- 2) 国土交通省国土地理院: UAV を用いた公共測量マニュアル(案), <http://www.gsi.go.jp/common/000186712.pdf>, 2018/8/9参照
- 3) 舘 暲, 佐藤 誠, 廣瀬 通孝: バーチャルリアリティ学, コロナ社, 2010.
- 4) Google Earth VR: <https://vr.google.com/earth/>, 2018/8/9参照
- 5) 新保泰輝, 鈴木雄士: UAV空撮写真を活用したVirtual Reality現場調査システムの開発, 第73回土木学会全国大会講演会概要集, CS10-001, p.1-2, 2018.

遺伝子発現予測のための入力変数選択に関する一考察

A STUDY OF INPUT VARIABLES SELECTION FOR GENE EXPRESSION PREDICTION

宇佐見 仁英¹⁾, 森 直哉²⁾, 泊 由紀子³⁾, 渡邊 博之⁴⁾

Hitohide Usami, Naoya Mori, Yukiko Tomari and Hiroyuki Watanabe

- 1) 工博 玉川大学 学術研究所 (〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1 usami@lab.tamagawa.ac.jp)
 2) 農博 玉川大学 学術研究所 (〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1 mori-0810@lab.tamagawa.ac.jp)
 3) 農学士 玉川大学 学術研究所 (〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1 tomari-0809@lab.tamagawa.ac.jp)
 4) 農博 玉川大学 農学部 (〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1 watahiro@agr.tamagawa.ac.jp)

The closed type plant factory comes to a front of new method of agricultural production in our country. These plant factories have various advantages compared with traditional cultivation of the outdoor field. The greatest advantage is freely control of the growing environment without being influenced by the weather and it has a potential for maximizing the plant production. For that purpose, it is necessary to quantitatively grasp the relationship between the growth environments and the growth situations, furthermore to clarify the causal relationship of these factors. In this study, environmental response analysis at the genetic level was carried out using multiple regression model and neural network model as a discussion of basic research. In particular, we mainly discussed about narrowing the environmental factors in input variables selection problem.

Key Words: Evidence Based Plant Cultivation, Multivariate analysis, Input variables selection, LSTM

1. はじめに

閉鎖型植物工場の最大の利点は、植物栽培のための環境を自在に制御することができることである。この利点を活かし生産性を上げるには、従来の天候をにらみながら人間の勘と経験に頼った圃場での作物栽培法から、工場生産としての均一で高品質な勘に頼らない植物生産法に転換しなければならない。我々は、勘に頼らない植物生産法として科学的根拠に基づく植物栽培法(EBPC : Evidence Based Plant Cultivation)を提案してきた。EBPCの最大のポイントは、植物栽培を植物の多変量時系列の最適化問題(図1)と捉え、生育等の目的変数を最大化する環境制御法を確立する事である。そのための科学的根拠となる知見として植物の生育と環境との関係を定量的な数値として捉える必要がある。

工場内の温度、湿度、光強度、液肥の養分状態等の物理的な環境は、それぞれのセンサーを活用することにより、デジタルな数字として容易に把握することができる。しかしながら、作物の生育状態、健康状態を観察しその状態に応じて温度等の環境を最適に制御することは難しい。特に、生育状態を非接触で数値としての的確に捉えるのが難しく、自動化されていないのが現状である。我々は、生体重測定に歪センサーを用い、栽培環境データと1対1に対応できるオンライン計測可能なシナリオ栽培システムを開発¹⁾し検討してきた。生育環境の制御項目は、気温、湿度、放射束密度、二酸化炭素濃度、風速、養液の温度・EC/pHの8項目である。これらの生育環境は、生

育ステージ毎にシナリオに基づいて自在に設定でき、生育に影響が大きな環境要因を細かく制御できる。このシステムから得られる生体重・生育環境データを用いて多変量解析によりレタスの成長の環境因子を解析した。特に重回帰分析により生育ステージ毎のレタス成長に対する影響が大きな環境因子を推定した。結果として、新鮮重量の増加に対して温度・湿度とEC値が強い関係性を指したが、どの因子がどの程度レタス成長に寄与しているかを示す明確な指標は得られなかった。

本論では、図1に示すようにオミックス空間における遺伝子発現と表現型としての生体重等が対応するというモデルで、環境因子により直接的な影響を受ける遺伝子の発現レベルでの環境応答解析を実施した。特に入力変数の影響を評価するために入力変数選択問題として重回帰分析とニューラルネットワークを用いて解析した。

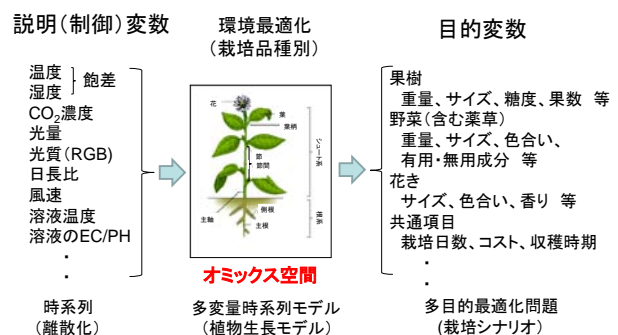


図1 多変量時系列の最適化問題

2. 多変量解析

多変量解析は、複数の結果変数（説明変数+目的変数）からなる多変量データを統計的に扱い変数間の関連性を明確にする手法で、回帰分析、主成分分析、ニューラルネットワーク、サポートベクターマシンなど各種手法がある。それぞれ使用目的によって使い分けられているが、その中でも回帰モデルは、最も一般的に使われている基本的な方法といえる。また、昨今のAIブームのDeep learningの母体となったのがニューラルネットワークである。ニューラルネットワークは、需要予測などでの多くの実績を持っている。これら2つの手法での入力変数選択と遺伝子の発現予測を実施した。

2.1 重回帰分析

回帰分析とは説明変数と目的変数の間の関係を推定するための統計的手法のことをいう。説明変数が一つなら単回帰分析、説明変数が2つ以上なら重回帰分析と言う。今回、栽培の環境変数は複数あるので重回帰分析となる。 n 次元説明変数 (x_1, \dots, x_n) と目的変数 y に関するデータが得られたとする。このときの線形重回帰モデルを式1に示す。 a は回帰係数で、最小二乗法等で求められる。

$$y = \sum_{i=1}^n (a_i x_i) + b_0 \quad \dots (1)$$

重回帰では、回帰係数を算出する時にしばしば過学習による精度不良が発生する。過学習を防ぐため、誤差関数にペナルティとしての正則化項を加えて最小化する手法が取られる。正則化項としてL1ノルムを取るものをLasso回帰、L2ノルムをとるものをRidge回帰と言う。L1ノルムは、パラメータの絶対値の総和を用いるものであり、L2ノルムはパラメータの二乗の総和である。L1ノルムのLasso回帰はLeast absolute shrinkage and selection operatorの略で不要なパラメータ(次元・特徴量)を削ることができる。L2ノルムのRidge回帰は、過学習を抑えることができる。従って、本論では入力変数選択問題に適したLasso回帰を用いることにする。

2.2 ニューラルネットワーク

Deep learningでは、多階層のニューラルネットワークが使われるが、今回の解析には3階層のニューラルネットワーク（図2）を用いた。

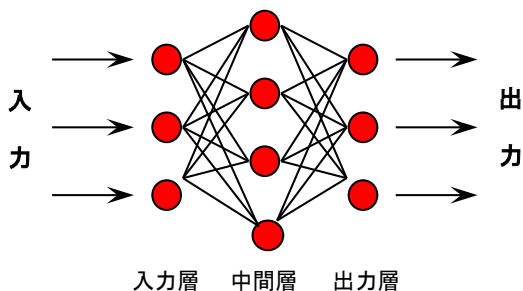


図2 3階層のニューラルネットワーク
Xを入力の変数、O(h)を活性化関数にX

を入力とした時の出力とする。Wは重み係数で、学習によって得られた結果を用いる。入出力関係を式2に示す。

$$x(h)j = \sum i W(i)j o(i)j, o(h)j = \phi(x(h)j) \quad \dots (2)$$

解析ツールは富士通のNEUROSIM/Lを使用した。NEUROSIM/Lでは、目的関数を損失関数（loss function）とし、これを最小化する最適化問題として勾配降下法（gradient descent）を用いて解いている。これを各階層で計算し、層間では誤差逆伝搬法（backpropagation）によって誤差関数を指定された許容誤差範囲内で最小となるW値を決定していく。また、NEUROSIM/Lは競合学習の一種として成長側抑制学習をサポートしており、これは学習パターンの中から隠れている規則性を抽出するための学習法である。本論では、この機能を使用して入力変数選択問題を評価した。また、時系列での遺伝子の発現を予測するために時系列解析に優れたリカレント型ニューラルネットワークでの予測実験も実施した。リカレント型は出力を入力層に再入力させる方式のものである。実装としては、最新のLSTM（Long short-term memory）と呼ばれるリカレント型ニューラルネットワークを用いて遺伝子の発現予測を試みた。LSTMは株価や為替などの時系列の予測問題で多くの実績がある。LSTMのネットワーク概念図²⁾を図3に示す。

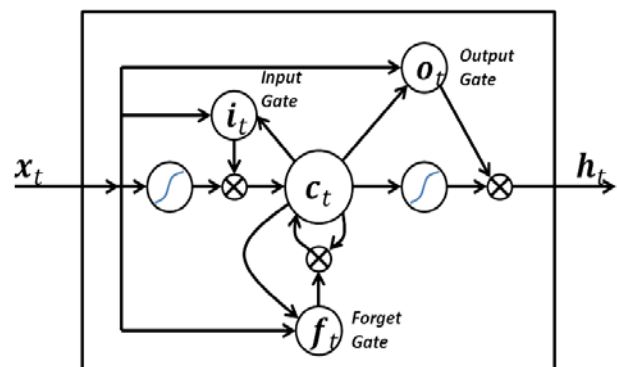


図3 LSTMモデル²⁾より

3. 入力変数選択問題

昨今のDeep learningでは、ビックデータと称し得られた情報を全てつぎ込んで解析する方法がとられている。玉石混合の大量の情報からノイズを自動的に消し込んで重要となる規則性をAIが見つけてくれる。しかしながら実際の実験データ等では、データ量が限られる場合が多く、間違ったデータやあいまいなデータ等がノイズとなって予測精度を落とす事も多い。入力となる説明変数も観測されたものを全て投入すれば良いわけではなく、場合によっては矛盾した変数となり学習不能となる場合もある。今回、入力変数の影響度を算出する事によって入力変数の重要度を評価し、入力変数の絞り込みの可能性を検討した。入力変数選択には多くの手法があるが、ここでは回帰分析とニューラルネットワークを用いた。

3.1 評価用データ

遺伝子解析をする前に入力変数選択のツールの評価を実施した。scikit-learn³⁾に付属している標準的なデータセットのなかから糖尿病のデータを用いて評価実験を行った。このデータベースには、糖尿病患者 442 名の基礎項目 (age, sex, body mass index, average blood pressure) と 6 つの血液検査項目 (ic, ldl, hdl, tch, itg, glu), 1 年後の進行状況 y が入っている。基礎項目と血液検査項目を入力、進行状況を出力としてモデル化した。このデータベースは多くの研究者が利用しており、回帰分析の評価用データベースとしても多くの論文が書かれており、検証用として優れたデータである。糖尿病データを正規化し、その各値の相関をヒートマップ図として図 4 に示す。また、基礎項目、血液検査項目と進行状況 y の相関係数を表 1 の「相関」として示す。

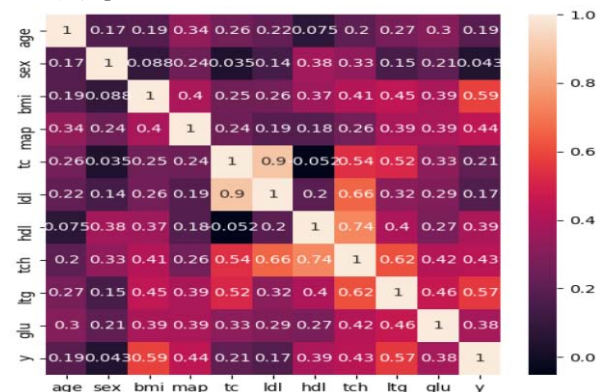


図 4 糖尿病疾患に対する相関係数

基礎データとしてSGD (Stochastic Gradient Descent)での回帰係数を求めた。SGDは確率的勾配降下法であり、最小二乗誤差による方法と同様に良く使われている回帰係数の決定法である。結果を表 1 の「SGD」として示す。

3.2 Lasso (回帰分析)

Lasso回帰を用いて糖尿病の関連因子の絞り込みを試みた。正則化項を変化させた時の解パス (Solution Path) を図 5 に示す。横軸は正則化項で1.0近傍では0でない値に推定される回帰係数が多く、0.0に近づくほど0と推定される回帰係数が増えて行く。このように影響する因子が絞り込まれて行く様子が見られる。

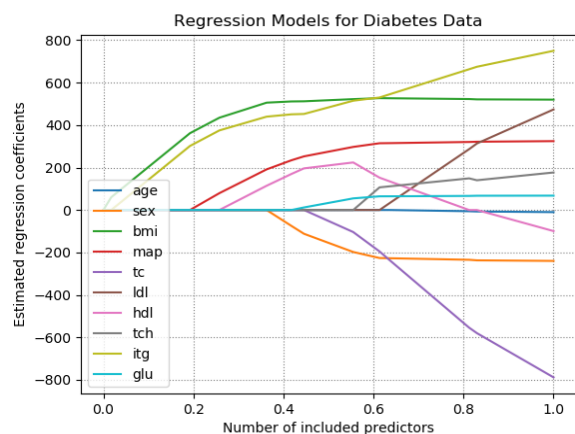


図 5 糖尿病疾患に対するLasso回帰

また、alpha=1.0とした時のLassoの回帰係数を表 1 の「Lasso」として示す。

3.3 成長測抑制学習 (ニューラルネットワーク)

成長測抑制学習は、学習時に近傍のニューロンに抑制を掛けることによって強い結合 (Wが大) がより強く結合する。逆に弱い結合だと周りからの抑制作用により成長できなくなり、最終的には結合が無くなってしまふ (W=0) ことになる。今回、抑制項としては0.001 (入力層と中間層の間) と0.0005 (中間層と出力層の間) を用いた。学習結果を図 6 に示す。図よりsex, bmi, map, tc, tch, itgが出力に強く影響していることが読み取れる。

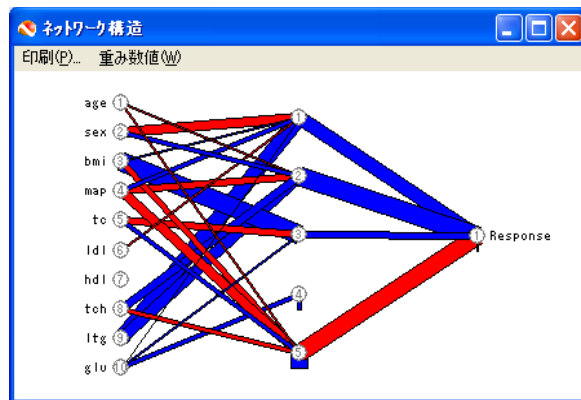


図 6 糖尿病疾患に対する成長測抑制学習

また、NEUROSIM/Lでは影響度を計算することができ。影響度は、「どの入力項目がどの出力項目に対してどのように影響しているのか？」を評価するための機能である。各データポイントの微係数を学習データの積算値として算出している。成長測抑制学習後の影響度を表 1 の「側抑制」として示す。

3.4 各手法の比較

相関係数、SGD法による重回帰係数、alpha=1.0とした時のLasso回帰係数、成長測抑制学習を行なった後のNEUROSIM/Lの影響度を表 1 に示す。

表 1 入力変数選択のための因子の影響度評価

因子	相関	SGD	Lasso	側抑制
age	0.055	-1.62	-0.15	0.02
sex	-0.11	-11.5	-9.72	-0.01
bmi	0.35	26.9	26.8	0.09
map	0.08	14.4	12.8	0.11
tc	-0.05	-26.4	-7.4	-0.09
ldl	-0.15	11.4	0	-0.06
hdl	-0.03	1.21	11	0.01
tch	0.27	7.34	0	0.09
itg	0.52	32.9	26.7	-0.04
glu	0.042	2.09	1.3	0.11

非常にバラツキが大きく、各因子の影響度を読み解くのは難しい状況ではあるが、全体を俯瞰するとsex, bmi, map, tc, itgなどの影響度が高そうであり、既往の研究と一致する傾向はみられる。今回の比較対象であるLassoと側抑制では、sex, bmi, map, tc, hdl, itg と bmi, map, tc, ldl, itg gluの影響度が高く、一方、削除項目はそれぞれ「ldlとtch」と「sexとhdl」であり、一致する結果は得られなかった。

今回、十分なチューニングをしていないとはいえ重回帰分析、ニューラルネットワークともに曖昧性を多く含んだ結果といえる。この手の問題を解くには、多くの手法で解析した総合的な判断が必要となる。

4. 遺伝子発現予測

永野等^{4),5),6)}は、複雑に変化する野外環境に対する植物応答を類推するために野外圃場でのイネのトランスクリプトームデータと気象データを統計モデリングによって解析し、その予測結果を報告している。今回、永野等の研究を参考に、入力変数の絞り込み限定して重回帰とニューラルネットワークによる分析を実施した。今回の実験では、網羅的な解析ではなく、可能性の検討ということで比較検討のために次の2種の遺伝子を選択した。

- Os01g0700100 (糖輸送体関連遺伝子)
MtN3 and saliva related transmembrane protein family protein. (bidirectional sugar transporter SWEET2b)
- Os02g0724000 (時計関連遺伝子)
The Rice B-Box Zinc Finger Gene Family (CONSTANS-like protein, heading promotion under long-day condition.)

これらの遺伝子発現の実際のデータは、FIT-DB⁷⁾, FITサンプル⁸⁾から抽出した。Os01g0700100とOs02g0724000の遺伝子発現の時系列データを図7に示す。横軸は1日盛が一回2時間のサンプリング時間で、圃場での実験(採取)周期は48時間(2日)である。横軸の番号はサンプルに対応し、そのサンプルの採取日を表2に示す。少し複雑になるが対応させて読み取って欲しい。

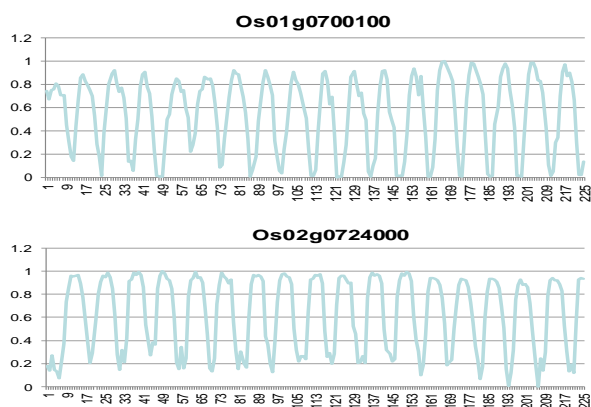


図7 遺伝子発現の時系列データ

表2 サンプリング番号と対応するサンプル日時

No.	開始日時	終了日時
1 → 25	2008/6/5 7:00	→ 2008/6/7 7:00
26 → 50	2008/6/19 7:00	→ 2008/6/21 7:00
51 → 75	2008/7/3 7:00	→ 2008/7/5 7:00
76 → 100	2008/7/17 7:00	→ 2008/7/19 7:00
101 → 125	2008/8/7 7:00	→ 2008/8/9 7:00
126 → 150	2008/8/14 7:00	→ 2008/8/16 7:00
151 → 175	2008/8/21 7:00	→ 2008/8/23 7:00
176 → 200	2008/8/28 7:00	→ 2008/8/30 7:00
201 → 225	2008/9/11 7:00	→ 2008/9/13 7:00

図7に示すようにOs01g0700100とOs02g0724000の何れの遺伝子発現も概日性の周期性を示しており、気象環境に大きく影響されていることが伺える。また、両遺伝子では周期がずれており、この原因が気象環境の因子として抽出できればとの観点で比較対象遺伝子とした。

遺伝子発現に対応する気象データ(気温、湿度、気圧、風力、日照時間、露天温度、降水量)を気象庁のHP⁹⁾からダウンロードした。サンプル日時と対応させた気象データを図8に示す。図は、見やすくするために解析とは別に0~1の値をとる単純な正規化法を採用している。

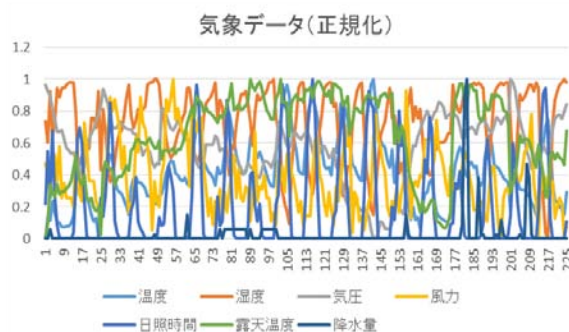


図8 遺伝子発現に対応する気象データ

4.1 Lasso (回帰分析)

Os01g0700100とOs02g0724000の遺伝子発現に対してLasso(回帰分析)を実施した。Os01g0700100の結果を図9に、Os02g0724000の結果を図10に示す。

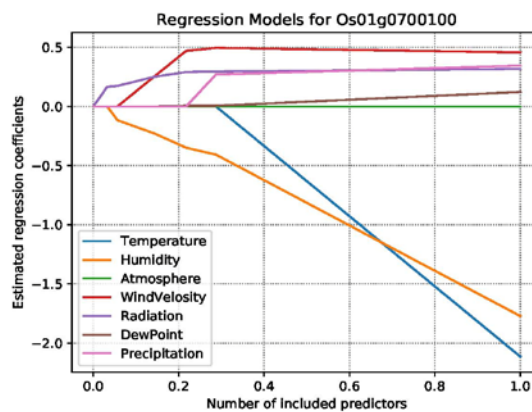


図9 Os01g0700100に対するLasso回帰

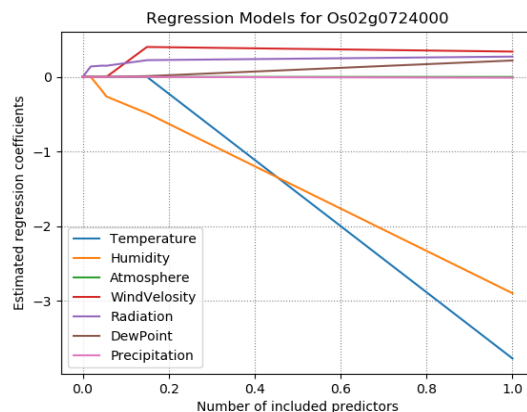


図10 Os02g0724000に対するLasso回帰

図9と図10を比較すると多くの因子は同様な変化を示しているが、降水量（Precipitation）はかなり異なった動きをしていることがわかる。Os01g0700100は糖輸送体関連遺伝子なので雨の直接的な影響を受けている可能性がある。一方、Os02g0724000は時計関連遺伝子なので降水量の影響を全く受けていない可能性が読み取れる。

4.2 ニューラルネットワークモデル

Os01g0700100とOs02g0724000の遺伝子発現に対してニューラルネットワークでの解析を実施した。解析は、通常の完全結合型の学習法と周辺のニューロンに対して抑制を掛けながら学習する成長側抑制学習法の2通りである。特に成長側抑制学習法は入力因子の影響度を評価して不要な入力項目の絞り込みをするための有効な手段と考えている。Os01g0700100の通常学習の結果を図11に、成長側抑制学習の結果を図12に示す。

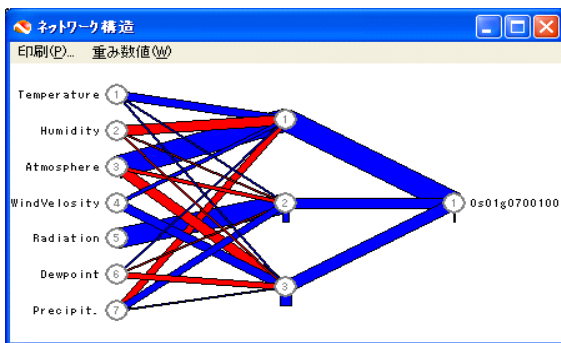


図11 Os01g0700100に対する通常学習

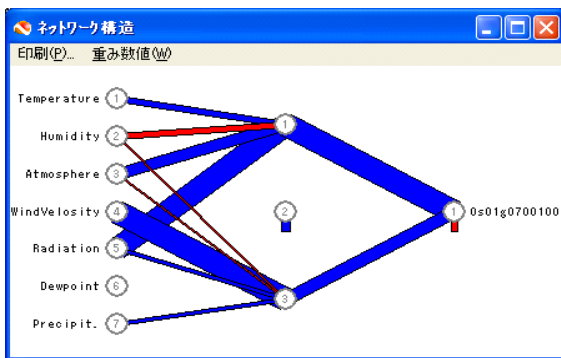


図12 Os01g0700100に対する成長側抑制学習

Os01g0700100での通常学習と成長側抑制学習における影響度を表3に示す。図12、表3とも成長側抑制学習において日照時間と風力の影響度が強い事が判る。

表3 Os01g0700100に対する影響度

	通常学習	成長側抑制学習
Temperature	0.43	0.19
Humidity	-0.43	-0.22
Atmosphere	-0.03	0.24
WindVelocity	0.43	0.43
Radiation	0.79	0.62
Dewpoint	-0.26	-0.0
Precipitation	0.14	0.04

次に、Os02g0724000の通常学習の結果を図13に、成長側抑制学習の結果を図14に示す。

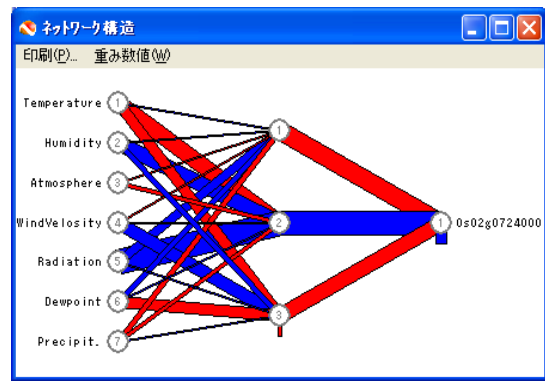


図13 Os02g0724000に対する通常学習

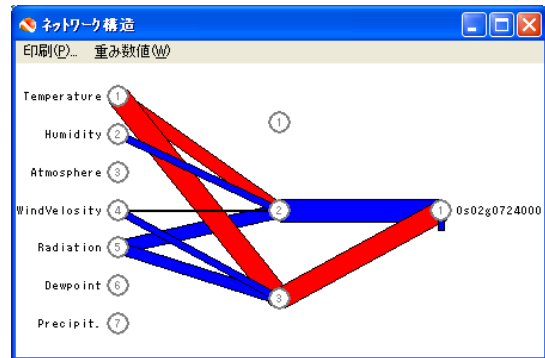


図14 Os02g0724000に対する成長側抑制学習

Os02g0724000での通常学習と成長側抑制学習における影響度を表4に示す。特に成長側抑制学習（図14）において日照時間と温度の影響度が強い事が判る。

表4 Os02g0724000に対する影響度

	通常学習	成長側抑制学習
Temperature	-0.58	-0.32
Humidity	0.45	0.67
Atmosphere	-0.18	-0.01
WindVelocity	-0.27	-0.36
Radiation	0.8	0.86
Dewpoint	0.3	0.04
Precipitation	-0.13	-0.07

4.3 LSTM モデル

LSTM はリカレント型ニューラルネットワークで時系列の予測問題を得意としている。色々なモデルと実装が提案されているが、ここではDeep learningでは最も実績のあるGoogleが開発しオープンソースで公開されているTensorFlowを使用した。TensorFlowの各パラメータは、look_back = 1, epochs = 3, batch_size = 1である。また、入力変数は変数選択の結果を参考に温度、風力、日照時間に絞り込んで実験をした。

今回のLSTMでは、予測精度の評価を主眼としているので、Os01g0700100遺伝子の結果だけを記載する。Os02g0724000の予測もほぼ同じような高い相関値を持つ結果であった。

全データの2/3を学習に使い、残りの1/3で予測実験を行った。結果を図15に示す。

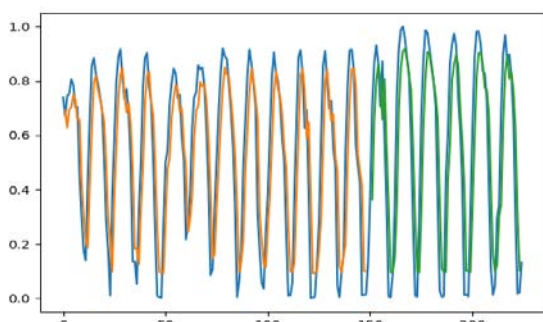


図 1 5 Os01g0700100 遺伝子の発現予測結果

赤線が学習用データ，緑線が評価テスト用データ，青線が LSTM での予測値である。若干の遅れは見られるものの良く一致する結果を示している。ただし，振幅のピークではかなりアンダーな予測をしており，変化点での予測精度が落ちるのはこの手のツールの特性かと思われる。この結果のテストデータを用いて観測値と予測値との散布図を作成した。結果を図 1 6 に示す。

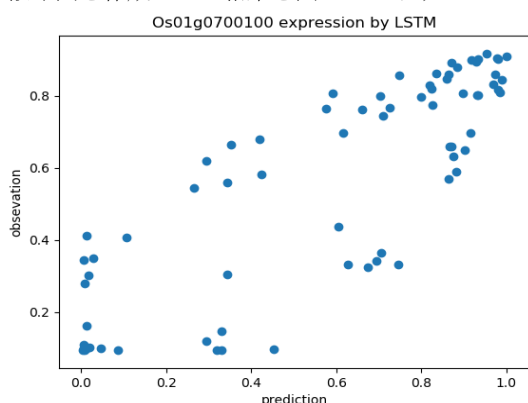


図 1 6 LSTM での予測精度

図 1 6 において，観測値と予測値との相関係数は 0.84 であり，この手の問題としては高い予測精度を示す結果と言える。また，この散布図での観測値と予測値の対応点対角線上に乗っておらず，対角線を中心線とする楕円状の形状をしている。この結果は，LSTM モデルの予測において overestimation と underestimation を繰り返すヒステリシス曲線を描いていることが伺える。この違いが若干の時間遅れとピークでの予測精度低下の要因かと推測している。これは，LSTM モデル内でのリカレント情報のメモリー機能に起因する可能性があり，LSTM モデル予測における興味深い結果でもある。

5. まとめ

生体重測定に歪センサーを用い，栽培環境データと 1 対 1 に対応できるオンライン計測可能なシナリオ栽培システムを開発し，多変量解析による因子分析を実施してきた。しかし，感覚と合うような結果を得ることが出来ていない。今回，もう少し直接的なレスポンスが期待できるレイヤーとして遺伝子レベルでの環境応答を観測することで，影響度因子の絞り込みの可能性を検討した。

具体的には Lasso 回帰とニューラルネットワーク，特に成長側抑制学習という一種の競合学習による方法により入力因子を評価した。厳密な評価は難しいが，糖輸送体関連遺伝子は日照時間と風力，時計関連遺伝子は日照時間と温度であった。最も強い因子はいずれも日照時間であるが 2 番目の因子は風力と温度のような相違があった。風があると蒸散が進み光合成活性が盛んとなり糖輸送が活性化されると考えられる。また，モデル植物であるシロイヌナズナの表皮の時計遺伝子は温度感知をしていることが知られている。今回の供試植物であるライスの時計遺伝子も日照時間（日長）に反応するだけではなく温度感知もしている可能性がある。これらの結果からある程度の関連性の絞り込みの可能性を検証することができた。また，LSTM での予測は重回帰，ニューラルネットワークに比べて良く一致する結果が得られている。これは，直前の予測した出力結果をフィードバックさせて再入力するモデルで，強い相関を持つデータを入力させるので当然の結果と言える。つまり，気象予報と同じで直前の予報の方が良く当たるのと同じ理屈である。

今後は，正規化法，パラメータチューニング，結果の検定などの課題を克服しながら，多くの実験データを積み重ねてさらなる精度向上に努める必要がある。

謝辞：FIT の使い方など，龍谷大学 永野惇先生，滋賀大学 大岩幸治先生から多くのご指導を頂きました。お礼申し上げます。なお，本研究は JST CREST 「野外環境と超並列高度制御環境の統合モデリングによる頑健性限界の解明と応用」の一環として実施しました。

参考文献

- 1) 宇佐見仁英，中井昭，堀口彰文，内堀崇，斎藤和興，“植物工場での遠隔シナリオ栽培に関する一考察”，pp. 76-77(A33)，日本生物環境工学会，香川大学，2013
- 2) Klaus Greff, Rupesh Kumar Srivastava, Jan Koutník, Bas R. Steunebrink, Jürgen Schmidhuber. "LSTM: A Search Space Odyssey". IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 28 (10), 2015
- 3) scikit-learn (糖尿病疾患データベース)
<http://scikit-learn.org/stable/>
- 4) Nagano AJ, Sato Y, Mihara M, Antonio BA, Motoyama R, Itoh H, Nagamura Y and Izawa T, Deciphering and Prediction of Transcriptome Dynamics under Fluctuating Field Conditions., Cell, 51(6):1358-69.2012
- 5) 永野惇，“フィールド・トランスクリプトミクスから 30 年後の生物学を考える”，光合成研究 23 (3)，pp129-135，2013
- 6) 永野惇，工藤洋，“屋外の環境における生物の環境応答の理解に向けて：トランスクリプトームデータと気象データの統合，領域融合レビュー”，3，e009，DOI: 10.7875/leading.author.3.e009，2014
- 7) FIT-DB (遺伝子発現データ情報)
<http://fitdb.dna.affrc.go.jp/>
- 8) FIT サンプル (遺伝子発現データ)
<https://cran.r-project.org/web/packages/FIT/>
- 9) 気象庁 HP (気象データ)
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

プログラミングコンテスト競技部門 「巡りマス」競技システムの構築準備

THE CONSTRUCTION OF THE GAME SYSTEM IN PROCON 2018 COMPETITION SECTION "SURROUND THE SQUARE"

寺元貴幸¹⁾, 松野良信²⁾, 小嶋徹也³⁾, 奥田遼介⁴⁾, 出江幸重⁵⁾, 太田健吾⁶⁾,
岡本浩行⁷⁾, 小保方幸次⁸⁾, 井上泰仁⁹⁾, 川田重夫¹⁰⁾

Takayuki Teramoto, Yosinobu Matsuno, Tesuya Kojima, Okuta Ryouyusuke, Yukisige Izuei,
Kengo Oota, Hiroyuki Okamoto, Koji Obokata, Yasuhito Inoue and Shigeo Kawata

- 1)工博 津山高専 総合理工学科(〒708-8509 津山市沼 624-1, Tel. 0868-24-8289, teramoto@tsuyama-ct.ac.jp)
- 2)工修 有明高専 創造工学科(〒836-8585 大牟田市東萩尾町 150, Tel. 0944-53-8873, yoshi@ariake-nct.ac.jp)
- 3)工博 東京高専 情報工学科(〒193-0997 八王子市栲田町 1220-2, Tel. 0042-668-5111, kojit@tokyo-ct.ac.jp)
- 4) 株式会社 Preferred Networks (〒100-0004 千代田区大手町 1-6-1, g.okuta@gmail.com)
- 5)工博 鳥羽商船高専 制御情報工学科(〒517-8501 鳥羽市池上町 1-1, Tel. 0599-25-8000, izue@toba-cmt.ac.jp)
- 6)工博 阿南高専 創造技術工学科(〒774-0017 阿南市見能林町青木 265, Tel. 0884-23-7100, kengo@anan-nct.ac.jp)
- 7)工博 阿南高専 創造技術工学科(〒774-0017 阿南市見能林町青木 265, Tel. 0884-23-7100, okamoto@anan-nct.ac.jp)
- 8)工博 一関高専 未来創造工学科(〒021-8511 一関市萩荘字高梨, Tel. 0191-24-4700, obokata@ichinoseki.ac.jp)
- 9)工博 舞鶴高専 電気情報工学科(〒625-8511 舞鶴市宇白 234 番地, Tel. 0773-62-8964, yinoue@maizuru-ct.ac.jp)
- 10)工博 宇都宮大学大学院 工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

The 29th programming contest will be held on October 27 - 28, in Tokushima city. We give this paper about a system construction and use of the competition section of the 29th programming contest. At this year's NAPROCK programming contest, we will conduct a type of a territory game to fight over which team can take more squares on a field divided up into grids. Each team consists of the 3 players, where 2 will be Agents that move on the field and 1 will be the Control Tower to give directions to the Agents. There will be multiple turns in a game and the Agents of the both teams move at the same time in the same turn. Control Tower has to give directions to the two Agents in the given time. The players need a flexible strategy to be able to adjust to any situation and a secure and efficient method to communicate with your team mates to be able to win.

Key Words: *Programming Contest, Algorithm, Squares, Secure Communication*

1. はじめに

高校生年齢から一流のプログラマーを育成する目的にプログラミングコンテスト（高専プロコン¹⁾）が企画され、今年で29回目の大会となる。今年度は阿南高専（徳島県）を主管校として平成30年10月に開催される予定である。

今年の競技部門では、マス目に区切られたフィールド上で、いかに多くの陣地を占有できるかを競う陣取りゲームとなる。チームは3名のメンバーで構成され、2名がフィールド上を移動するエージェントとなり、1名が司令塔となってエージェントに指示を与える。試合はターン制で進行し、1ターンごとに両チームのエージェントが同時に行動する。司令塔は、決められた時間以内に2名のエージェントへ指示を伝えなければならない。指示の伝達

に使える道具は、A4サイズのトランプのみであり、ボディランゲージやハンドサインなどを使うことも許される。ただし、エージェントは、司令塔の指示を解読する、いかなる物もフィールドへ持ち込むことはできない。司令塔は、敵チームに看破されないセキュアな方法で、正確かつ迅速にエージェントへ指示を送る必要がある。

高専プロコンの競技部門は毎年テーマが変更されるルールだけでなく競技システム全てを刷新している。現在は競技に関するルールや運用方針の概要を全国プログラミングコンテスト委員会がとりまとめ、実際の競技システムの開発や運用は主管校が主体となって開発を行ってきた。このスタイルは開催地の独自性を生かしたシステム開発が可能なこと、大会前に十分な調整時間をとることができるというメリットがある。反面、開発や運用のノ

ウハウが継承されないため、開催地に過度の負担を強いることになった。2)-11)

今回もできるだけ多くの参加者に質の高いプログラムで本選に臨んでもらうよう、あらかじめ採点システムをネットワークで公開するなど準備を行っている。本稿では、競技の概要について報告する。

2. 競技概要と競技ルール

今回の競技は図1に示す競技フィールドで実施される。競技フィールドは最大で縦12マス×横12マス＝合計144マスのフィールドが用意される。フィールドの大きさは、試合によって異なる。1マスの大きさは、50cm×50cmの正方形となる。

チームAのエージェント2名（青チーム）、チームBのエージェント2名（赤チーム）が、それぞれいずれかのマスに配置される。一方のチームが不利にならないよう、エージェントは、中央線に対して必ず水平、または垂直方向に線対称になるように配置される。ただし、ずしも外側のマスに配置されるとは限らず、中央寄りの位置に配置される可能性もある。エージェントの配置されたマスには、そのエージェントのチームの色のタイルが置かれそのチームが取得したことを示す。

フィールドの各マスには、-16以上16以下の整数値の点数が付与されている。点数は、一方のチームが不利にならないよう、中央線に対して必ず水平、または垂直方向に線対称になるように配分される。チームAの司令塔およびチームBの司令塔は、それぞれフィールド全体を見渡せる司令塔エリアに配置され、司令塔エリアから出ることはできない。

司令塔エリアの広さは、200cm×100cmであり、電源は用意されない。エリアの外からケーブルを伸ばして電源を供給することも認めない。エリア内に180cm×45cm（高さ70cm）のテーブルが1台と、椅子1脚が用意される。テーブルの上と下に、テーブルからはみ出ない範囲で、持ち込んだ機材を自由に置くことができる。

競技フィールド

	-2	1	0	1	2	0	2	1	0	1	-2	
司令塔	1	2	-2	0	1	0	-2	2	2	3	1	司令塔
	1	3	2	1	0	-2	0	1	2	3	1	
	2	1	1	2	2	3	2	2	1	1	2	
	2	1	1	2	2	3	2	2	1	1	2	
	1	3	2	1	0	-2	0	1	2	3	1	
	1	2	-2	0	1	0	-2	2	2	3	1	
	-2	1	0	1	2	0	2	1	0	1	-2	

図1 競技フィールドの概要

本競技において各チームが所得したマスに関して、以下の様なルールで得点の計算を行う。

- 各々のチームについて、試合終了時点で自チームのタ

イルが置かれているマスの点数を合計する。この合計値をタイルポイントとする。

各々のチームについて、自チームのタイルによって囲まれた領域のマスの点数を合計する。このとき、マイナスのマスもプラスの点数として計算することに注意が必要である（図2の例を参照）。この合計値を領域ポイントとする。図2以下のようにタイルが置かれている場合、中央のマスは完全には囲まれていないため、タイルポイント11点、領域ポイント0点となる。

1	0	2	0	1
0	2	1	2	0
2	1	3	1	2
0	2	1	2	0
1	0	2	0	1

図2 マスが囲まれていない例

- タイルが8近傍で連結している限り、その内側の領域は囲まれているとみなされる。したがって、図3のようにタイルが置かれている場合、中央のマスは周囲を囲まれていたためタイルポイント12点、領域ポイント3点となる。

1	0	2	0	1
0	2	1	2	0
2	1	3	1	2
0	2	1	2	0
1	0	2	0	1

図3 マスが囲まれている例

- また、図4の場合も中央のマスは囲まれていると判断され、領域ポイントは3点となる。

1	0	2	0	1
0	2	1	2	0
2	1	3	1	2
0	2	1	2	0
1	0	2	0	1

図4 マスが囲まれている例

- 囲まれた領域に相手チームのタイルが含まれている場合も、点数の計算には影響しない。したがって、図

5の場合、青チームはタイルポイント2点、領域ポイント4点となり、赤チームはタイルポイント4点、領域ポイント0点となる。

1	0	2	1	1	2	0	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	3	-1	2	2	-1	3	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	2	1	1	2	0	1

図5 囲まれた領域に相手チームのマスが含まれる例1

同様に図6の場合は両チームともタイルポイント3点、領域ポイント2点となる。

1	0	2	1	1	2	0	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	3	-1	2	2	-1	3	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	2	1	1	2	0	1

図6 囲まれた領域に相手チームのマスが含まれる例2

3. まとめ

第29回プロコンは（コンピュータ内のデータだけではなく）リアルに陣地を取り合うゲームであり、人間将棋のように司令塔からの指示によりエージェントが陣地を確保していく。このときに司令塔からエージェントに正しく命令が伝わるかどうか大きな問題となる。ただし、その命令を読まれると、裏をかかれる可能性があるなど、勝負は非常に困難が予想される。またエージェントが独自に判断して動くことを禁止していないため、このあたりはチームの熟練度も影響するであろう。またこの競技はデジカメ等の何らかのデバイスを用いて、陣形をコンピュータに入力することも考えられるので、複雑なアルゴリズムも可能となる。しかし、人間の動作が多くなるため、競技においてはソフトウェア（アルゴリズム）だけでなくユーザインターフェースを含めた人間とコンピュータの関係も非常に大きな見所となることが予想されている。

基本的にアルゴリズムだけの勝負ではなく回答までの全てのプロセスを周到に準備したチームが勝利することが予想される。より複合的なプログラミングが競い合う

こととなるだろう。

参考文献

- 1) プログラミングコンテスト公式ホームページ、
<http://www.procon.gr.jp/>
- 2) 寺元貴幸, 宮下卓也, 最上勲, 岡田正, 井上恭輔, 松野良信, 高専教育32, pp. 921-926(2009)
- 3) 飯田忠夫, 田中永美, 長岡健一, 山田洋士, 金寺登: 第13回プログラミングコンテスト競技部門運用支援システムの構築について, 高専教育, Vol.27 pp. 721-726(2004)
- 4) 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 谷澤俊弘, 山口巧, 今井一雅, 金寺登, 井上恭輔, 山下晃弘, 岡田正, 川田重夫: インターネット対戦型戦略ゲームへの参加による実践的プログラミング, 計算工学講演会論文集Vol.16, F-6-5, 2011.
- 5) 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 小保方幸次, 千田栄幸, 井上泰仁, 片山英昭, 熊谷一生, 奥田遼介, 川田重夫: 画像修復対戦ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集Vol.17, H-4-4, 2012.
- 6) 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 千田栄幸, 井上泰仁, 尋木信一, 奥田遼介, 鈴木貴樹, 川田重夫: サイコロ数えゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集Vol.18, C-8-6, 2013.
- 7) 寺元貴幸, 森川一, 松野良信, 中道義之, 鈴木貴樹, 奥田遼介, 小保方幸次, 千田栄幸, 井上泰仁, 川田重夫: サイコロ通信ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集Vol.19, F-12-5, 2014.
- 8) 寺元貴幸, 井上泰仁, 松野良信, 中道義之, 鈴木貴樹, 後藤弘明, 奥田遼介, 千田栄幸, 井上泰仁, 長尾和彦, 川田重夫: 画像修復ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集Vol.20, F-12-1, 2015.
- 9) 寺元 貴幸, 井上泰仁, 小保方幸次, 藤田悠, 伊藤祥一, 奥本隼, 若林哲宇, 猪田陽介, 奥田遼介, 長尾和彦, 川田重夫: ピース敷き詰め型ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.21 E-10-6., 2016.
- 10) 寺元貴幸, 小保方幸次, 井上泰仁, 出江幸重, 江崎修央, 田添丈博, 奥田遼介, 川田重夫: シルエットパズル型ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集Vol.22 D-12-5, 2017.
- 11) 寺元貴幸, 小保方幸次, 井上泰仁, 川田重夫: 高専プログラミングコンテスト参加による実践的プログラミング教育, 日本計算工学会論文 論文番号 No.20181002, 2018.

植物工場における優良苗の判定

DETECTION OF HEALTHY SEEDLINGS IN A PLANT FACTORY

西浦拓臣¹⁾, 吉澤豊²⁾, 眞鍋保彦³⁾, 宇佐見仁英⁴⁾, 川田重夫⁵⁾

Takumi Nishiura, Yutaka Yoshizawa, Yasuhiko Manabe, Hitohide Usami and Shigeo Kawata

1)宇都宮大学工学部 電気電子工学科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, t152363@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

2)宇都宮大学工学部 電気電子工学科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, t152395@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

3)修(工)沼津工業高等専門学校 電気電子工学科 (〒415-8501 静岡県沼津市大岡 3600, manabe@numazu-ct.ac.jp)

4)工博 玉川大学 学術研究所 (〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1, usami@lab.tamagawa.ac.jp)

5)工博 宇都宮大学大学院 工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

A machine learning was performed to detect healthy seedlings in plant factories. A convolutional neural network was employed in this study, and the detection ratio was about 95%. In recent years, plant factories have become familiar, though operation costs of plant factories may be high. One of the problems in the plant factories is the increase in personal expenses, because the detection of the healthy seedlings would be performed by staffs in the plant factory. To automate the detection process contributes to reduce the costs in the plant factory. The purpose of this research is to propose the automated detection system at the plant factories.

Key Words: *Plant Growth Detection, Machine learning*

1. はじめに

近年、植物工場が身近なものになってきている。しかし、植物工場は設備費や人件費などにより、露地栽培よりもコストがかかるのが現状である。これらの問題の解決策として、植物工場の自動化、無人化に関する研究が行われている。植物工場における様々な課題の一つとして、定植に至る直前の優良苗の選別作業があげられる。一般的に、優良苗の選別作業は植物工場のスタッフがを行っているため人件費の増加が避けられない。もし、この工程を自動化することができれば、植物工場のコストの削減が期待できる。よって、本研究はこれを実現するためのシステムを目指し、苗の画像を用いた優良判定について調査を行った。将来的には、優良と判定された苗をロボットを用いて別のトレイに移動させるシステムの完成を目指している^{1,2)}。

2. 優良苗の検出

本研究で目指すシステムは、撮影した苗の画像を用い優良と判定された苗を、3軸制御ロボットで別のトレイに移動させることを想定している。

2. 1 苗の栽培

図1は、苗の栽培の様子である。苗の培地に上からLEDライトを当てて栽培した。苗は光が当たる方向を向く性質があるため、苗が真上を向くように、周りから太陽光が当たらないように段ボールで覆った。図2は今回用いた苗の培地である。(a)は使用したスポンジの画像

であり、根の成長を妨げないように切込みが入っている。(b)はスポンジを入れる容器である。



図1 苗の栽培



(a) スポンジ



(b) スポンジの容器

図2 苗の培地

2. 2 優良苗の判定方法

優良苗の判定は、画像を用い、苗の撮影はカメラを用いて行った。本研究では、苗の判別方法として畳み込みニューラルネットワークを用いた³⁾。図3は今回使用したモデルである。入力画像に対して、畳み込みとプーリングを2回行い最後にドロップアウトを用いている。学習にはKeras⁴⁾というライブラリを用いた。

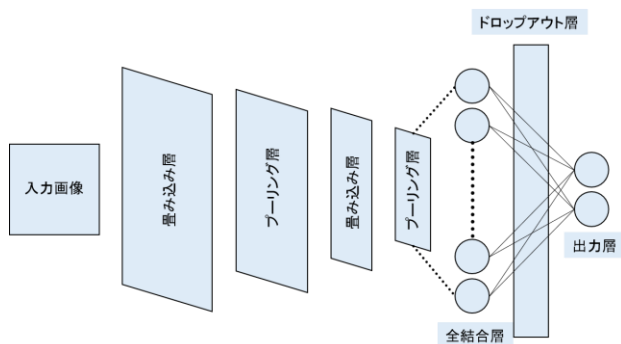
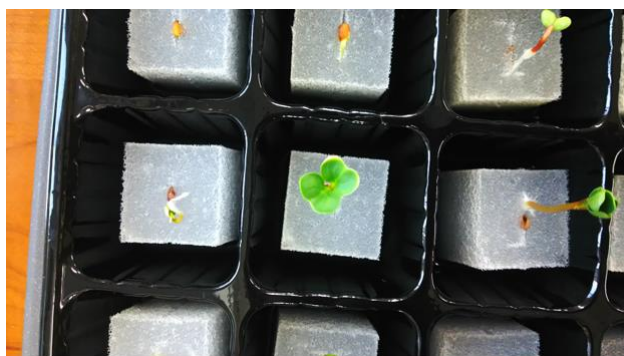


図3 学習モデル



(a) 苗の画像



(b) 優良な苗



(c) 優良でない苗

図4 学習画像

学習データとして、撮影した画像から苗一つ一つに対して、縦と横のサイズ比が等しくなるようにトリミングしたものを用いた。これらの画像を、優良な苗と、優良でない苗の2つのクラスに分類して学習を行った。図4は学習画像の例である。(a)は撮影した苗の画像である。また、トリミングした画像のうち、(b)は優良とラベル付けした画像、(c)は優良でないとしてラベル付けした画像

である。入力画像としては優良である画像25枚、優良でない画像25枚の合計50枚を用意した。学習画像は、これらの画像をOpenCV⁵⁾を用いて90度回転させることで数を2倍にし、合計100枚用意した。また、これらの画像のうち8割を学習に、2割をテストデータに分けて学習を行った。

3. 判定結果

学習データとテストデータに対する正解率を図5に示す。点線は学習データ、太線はテストデータの正解率を表している。テストデータに対する正解率は約95%以上であった。

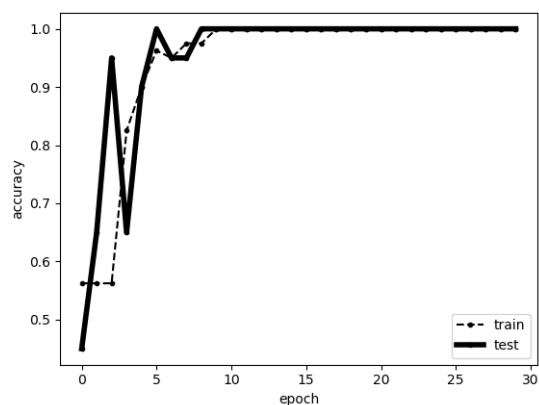


図5 学習結果

4. まとめ

本研究では、植物工場での苗の自動選別及びロボットによる苗の移動を行うためのシステムの一環として、機械学習を用いて苗の優良判定を行った。結果として、95%以上の正答率で判定を行うことができた。今後は、苗の画像のトリミングの自動化やロボットとの統合を行う予定である。また、撮影距離を一定にすることにより、苗の大きさの情報も反映して判定できるようにする予定である。

参考文献

- 1) 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 前田太陽, 吉澤豊, 川田重夫: 植物工場における優良苗検出のためのPSEシステム, 第21回PSEワークショップ, 2018
- 2) 吉澤豊, 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 川田重夫: 3軸制御ロボットを用いた優良苗検出システムの検討, 第21回PSEワークショップ, 2018
- 3) 斎藤康毅, ゼロから作るDeep Learning —Pythonで学ぶディープラーニングの理論と実装, オライリージャパン, 2016
- 4) Keras Documentation: <https://keras.io/ja/>
- 5) OpenCV: <https://opencv.org/>

3軸制御ロボットを用いた優良苗選別システムの検討

SELECTION OF HEALTHY SEEDLINGS BY USING A 3-AXIS CONTROL ROBOT

吉澤 豊¹⁾, 西浦拓臣²⁾, 眞鍋保彦³⁾, 宇佐見仁英⁴⁾, 川田重夫⁵⁾

Yutaka Yoshizawa, Takumi Nishiura, Yasuhiko Manabe, Hitohide Usami and Shigeo Kawata

1)宇都宮大学工学部電気電子工学科(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, t152395@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

2)宇都宮大学工学部電気電子工学科(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, t152363@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

3)修(工) 沼津工業高等専門学校電気電子工学科(〒410-8501 静岡県沼津市大岡 3600, manabe@numazu-ct.ac.jp)

4)工博 玉川大学学術研究所(〒194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1, usami@lab.tamagawa.ac.jp)

5)工博 宇都宮大学大学院工学研究科(〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

A 3-axis control robot system was developed for a planting support in plant factories. Healthy seedlings are transferred successfully from original places in a cultivation tray to the target positions in another tray, which is sent to the cultivation room of the plant factory. Our robot system would contribute to the future smart agriculture in order to reduce the production costs in the conventional agriculture. In our study a control interface was developed between the 3-axis control robot and a control PC. The interface is based on the Arduino and motor drivers. In the near future the selection system of healthy seedlings using an image processing is installed in our 3-axis control robot in order to complete the automated planting for plant factories.

Key Words: Robot Planting, Plant Growth Detection, 3-Axis-Robot Control

1. はじめに

現代、日本では農業従事者の高齢化が進み、労働力不足が深刻な状況である。その解決策の1つとして、スマート農業への取り組みが急速に加速している。スマート農業とは、「ロボット技術やICTを活用して超省力・高品質生産を実現する新たな農業」¹⁾を指す。スマート農業の一つとして植物工場が挙げられる。今日、植物工場が全国各地で操業しており、その数は平成30年2月時点で373箇所²⁾に及ぶ。しかし、植物工場では製造コストが露地物栽培と比較して高額になる結果、販売価格も高い傾向にある。そこで我々は、植物工場におけるコストを削減するため、定植に至る直前の“優良苗の選別作業の自動化”に着目した。通常、優良苗の選別作業は植物工場のスタッフがっており、人件費の出費は避けられない。この工程を自動化することができれば、人件費のコストが削減され、植物工場全体のコスト低下に繋がる。

本研究では、植物の苗を画像処理によってリアルタイムに優劣を判定し、3軸制御ロボットを用いて優良苗の選別作業を自動化することで植物工場のコストを削減することを目的とする。

2. ロボットシステムの概要

右段上部の図1にシステムの概要図を示す。図1のように、苗群の上部より定点撮影を行い、得られた写真を解析して、優劣を判定した後に、ロボットで苗を選別する。

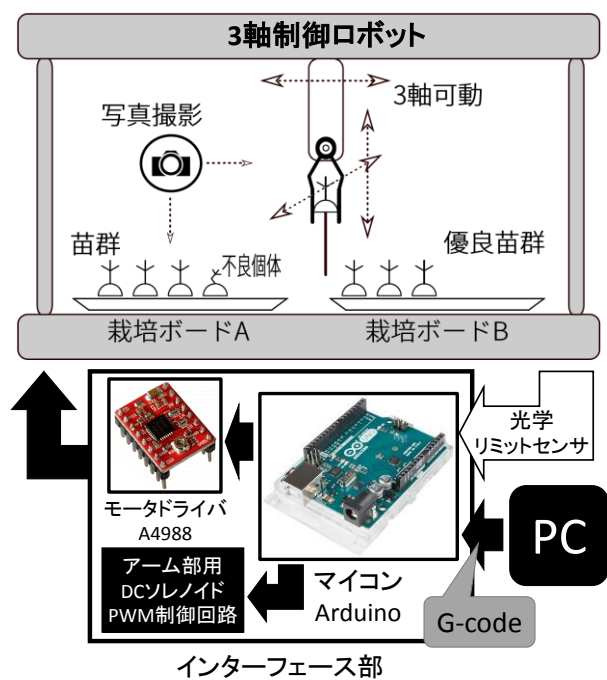


図1 ロボット制御システム概要図

2. 1 ロボット部

図1の通りロボットのステッピングモータとDCソレノイドはコンピュータからArduino³⁾を介して制御されている。制御にはG-codeと呼ばれる言語を使用している。G-codeは主にCNC(computerized numerical control)の分野で用いられている。

2. 2 画像処理部

本システムでは苗の優劣判定を画像処理により行う。苗の写真撮影し、形状や色等から優劣を判定する。その際、優劣判定の主となるポイントは“葉面積”（苗の葉の面積）と“根長”（苗の根の長さ）等がある。定点観測で上面からの撮影を行い、撮影画像から葉の部分抽出することで優劣判断を行っている^{4,5)}。

3. ロボットと制御PC間のインターフェース設計

本研究に使用している定植ロボットの外観図を図2に示す。ロボットには表1のパーツが搭載されているため、そのデバイスをコンピュータで制御するためのインターフェースの作成を行った。また、本研究では「bCNC」⁹⁾と呼ばれる、PythonベースのCNCソフトウェアでコンピュータからG-codeを送信し、ロボットを制御している。

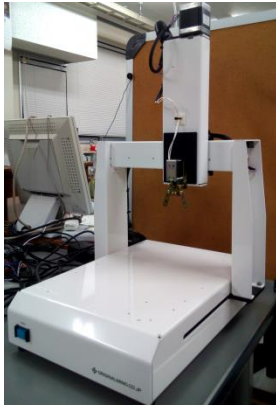


図2 定植ロボット外観図

表1 ロボットの主要パーツリスト

パーツ名	個数	In / Out	備考
光学センサ	5	入力	リミットセンサ
ステッピングモータ	3	出力	XYZ軸制御用
DCソレノイド	1	出力	アーム部用

3. 1 入力デバイスについて

入力として、リミットセンサがX軸とY軸に、それぞれ2個とZ軸には1個設置されている。このリミットセンサにはオムロン社製の「EE-SX97」という光学センサを採用している。データシート⁶⁾を参考に、図3のセンサ回路を作成した。電源電圧はVcc=5[V]である。

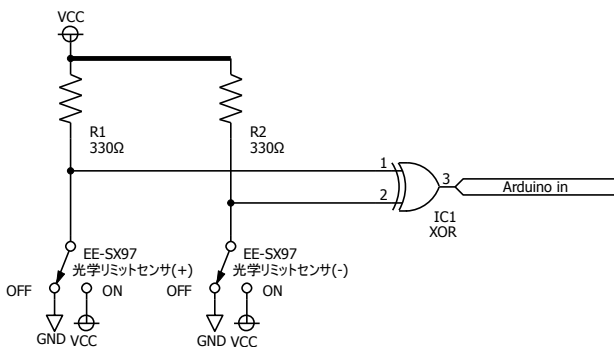


図3 光学リミットセンサ回路

3. 2 出力デバイスについて

出力デバイスにはユニポーラ型のステッピングモータとDCソレノイドが設置されている。

a) ステッピングモータ

ステッピングモータの制御はArduinoとモータドライバの組み合わせで行った。モータドライバはAllegro社の「A4988」を使用した。モータの定格が1.2[相[A]なので、式(1)⁷⁾より、モータドライバ全体の最大電流値が $I_{lim}=1.2[A]$ になるように、リファレンス電圧を $V_{ref}=0.96[V]$ とした。使用した「A4988」では $R_{cs}=0.1[\Omega]$ であった

$$I_{lim} = \frac{1}{8 \times R_{cs}} \times V_{ref} = 1.25 \times 0.96 = 1.2[A] \quad (1)$$

b) DCソレノイド

DCソレノイドの制御はPWM制御で行っている。参考文献⁸⁾を元に設計した回路図を図4に示す。モータ用電源は定格24[V], 2.5[A]のACアダプターを使用しているので $V_{cc}=24[V]$ である。PWMの周波数は0.98[kHz]である。

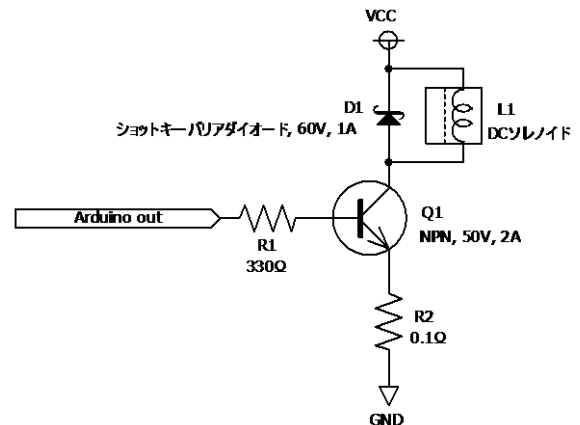


図4 DCソレノイドPWM制御回路

4. ロボットの動作テスト

試作したインターフェースと3軸制御ロボットと制御用のコンピュータを用いて動作テストを実施した。ロボットのアームによって苗用スポンジXを上から掴み、地点Aのポケットから地点Bのポケットに掴んで移動させることを動作テストの課題とした。図5に概要図を示す。

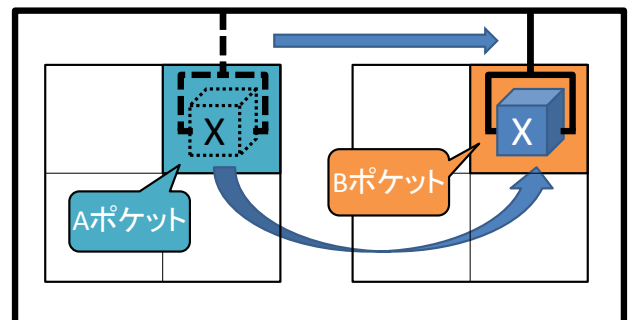


図5 動作テスト概要図

テストを複数回実施したところ、すべてのテストで苗用スポンジXを地点Aのポケットから地点Bのポケットに移動させることができた。しかし、実際の植物の苗はZ軸プラスの方向に成長するので、苗入りスポンジを上から掴んでしまうと苗を傷つけてしまう恐れがある。このことから、画像処理によって苗を避けるように数値制御する必要があることが分かった。また、苗用スポンジの移動テストの結果には影響しないレベルで3軸制御ロボットに誤差が生じているので、動作精度に関しては今後、検討していく。

5. まとめ

植物工場における生産コスト削減を目的に、3軸制御ロボットによる苗の定植システムを開発した。システムは、ロボット部、インターフェース部、制御コンピュータで構成され、今回は主にインターフェース部の設計、作成を行った。インターフェース部はArduinoをベースに入出力デバイスの制御回路を設計した。ロボットの動作テストとして、苗用スポンジの移動を実施したところ、良好な結果が得られた。動作テストの結果に影響しないレベルで誤差が生じているので、今後検討していく。

定植システムを画像処理部に組み込むことで本研究のテーマである「優良苗の選別作業の自動化」は達成されると考えている。本研究により、植物工場における生産コストを削減することができれば、我が国のスマート農業はさらに発展していくと考えている。

参考文献

- 1) 農林水産省：スマート農業とは
<http://www.maff.go.jp/j/heyasodan/17009/02.html>
- 2) 一般社団法人 日本施設園芸協会：平成29年度次世代施設園芸地域展開促進事業(全国推進事業) 大規模施設園芸・植物工場実態調査・事例調査, p.29, 2018.
- 3) Arduino.cc：What is Arduino? (Official Introduction)
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- 4) 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 前田太陽, 西浦拓臣, 吉澤豊, 川田重夫：植物工場における優良苗検出のためのPSEシステム, 2018
- 5) 西浦拓臣, 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 吉澤豊, 川田重夫：植物工場における優良苗の判定, 2018
- 6) オムロン社：光学センサ「EE-SX97」データシート, P.4
https://www.fa.omron.co.jp/data_pdf/cat/ee-sx97_ds_j_1_9.pdf?id=2716
- 7) Allegro社：モータドライバ「A4988」データシート, P.9
<https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/A4988-Datasheet.ashx?la=ja-JP&hash=B153D2996EF9D6201461233D2BE92CBB2553DC8C>
- 8) 河西 真史, 鶴見 恵一, 山本 健一：PICマイコンによるメカトロニクス入門, P.169, CQ出版社, 2005
- 9) GitHub：bCNC, <https://github.com/vlachoudis/bCNC>

船舶の動特性解析と制御

A Study on Dynamics Analysis and Control of the Ship

中谷俊彦¹⁾、川島優軌²⁾、早勢欣和³⁾、梶伸司⁴⁾、浦恵里夏⁵⁾、牧田祥子⁶⁾、廣澤陽介⁷⁾

Toshihiko Nakatani, Yuki Kawashima, Yoshikazu Hayase, Shinji Toga, Erika Ura, Shoko Makita and Yosuke Hirozawa

- 1) 富山高等専門学校 商船学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合31, E-mail: nakatani@nc-toyama.ac.jp)
- 2) 富山高等専門学校 専攻科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合31, E-mail: nakatani@nc-toyama.ac.jp)
- 3) 富山高等専門学校 電子情報工学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合31, E-mail: hayase@nc-toyama.ac.jp)
- 4) 富山高等専門学校 商船学科 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合31, E-mail: toga.shinji@nc-toyama.ac.jp)
- 5) 富山高等専門学校 技術室3班 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合31, E-mail: ura@nc-toyama.ac.jp)
- 6) 富山高等専門学校 技術室3班 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合31, E-mail: makita405@nc-toyama.ac.jp)
- 7) 富山高等専門学校 若潮丸 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合31, E-mail: hirozawa@nc-toyama.ac.jp)

This paper describes the Dynamics Analysis of the small ship and the application of PID controller in the ship's autopilot system. Autopilot systems are one of the most popular navigational instruments and are widely used in many ships. In order to implement the system, it is necessary to tune the gains of the controller based on the ship's dynamics. Firstly, the Nomoto gain and time constant were determined using the real data collected from the sea trials at sea. Secondly, the controller was designed based on the ship's dynamics using the ultimate method. Lastly, Digital control simulations were carried out to check the performance of the designed new controller.

Key Words: Autopilot, PID, TK model, Nomoto model, zigzag maneuver, Z test

1. はじめに

船用自動操舵装置は、船舶に搭載される航海計器の1つである。この装置は航海士が設定した目標針路を保持するために必要な舵角を船首方位偏差から計算し、自動的に舵を操作することにより乗組員の負担軽減に貢献している。船用自動操舵装置を効果的に運用するためには、船舶の動特性を正確に把握した上で、適切な調整を行うことが必要である。しかし、一般的に船用自動操舵装置の調整を洋上で行うことが出来ない。

本研究では、船舶の操縦性試験から動特性を示す操縦性指数 λ を求め、それに基づいてゲインを計算し、その後船舶の保針制御系のフードバック系を構築した。

2. 洋上でのデータ収録実験

2.1 収録方法

富山高等専門学校所属 練習船若潮丸(以下、若潮丸)(表1)を使用して、富山湾上にて操縦性試験の1つであるZigzag試験を行った。試験は右10度/20度、左10度/20度の計4回実施した。計測にはアナログ入出力機を使用した。プログラムを作成して若潮丸に搭載される各センサからの電圧値を、船首方位・舵角・回頭角速度など4チャンネルについてをサンプリングタイム0.2秒で記録した。

表1 「若潮丸」主要目表

全長	[m]	53.59
型幅	[m]	46.00
型深さ	[m]	10.00
航海速度	[km/s]	23.2

2.2 CPU制御による自動Zigzag試験

今回は、全自動でZigzag試験を実行するプログラムを作成した。Zigzag試験を手動で行う場合は、操舵に要する時間と操舵タイミングは操船者の感覚と経験に任されており、均一な試験を行うことが出来なかった。そこで自動で試験を行うことにより、指令舵角の変化に要する時間を最小すること、タイミングの誤差を均一にすることが出来た。以前に比べ正確な試験の実施が可能となった。実行した結果を以下に示す(図2)。

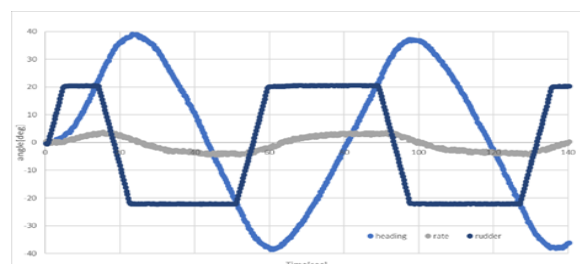


図1 右20度Zigzag試験

3. 解析

船体モデルには「野本の一次系運動方程式」(式1)を採用した。 r は角速度、 δ は舵角を示す。

$$T \frac{dr_{(t)}}{dt} + r_{(t)} = K \times \delta_{(t)} \quad (1)$$

この船体モデルは、舵角と船体角速度の関係を追従性指数 T と旋回性指数 K と呼ばれる2つのパラメータにより表現するモデルである。この2つを合わせて操縦性指数と呼ぶ。最小二乗法を用いた数値解析を行い実験データから若潮丸の動特性を示す操縦性指数を求めた。

4. 結果と検証

実験解析の結果以下の操縦性指数TKを得た(表2)。

表2 若潮丸の操縦性指数

追従性指数 T [sec]	6.5
旋回性指数 K [1/sec]	0.16

検証は舵角の実験データを若潮丸の船体モデルに入力し、そのモデルから計算し出力される角速度応答と実験で計測された実際の角速度応答を比較することにより行った。図2は比較結果のグラフである。この比較から船体モデルと操縦性指数の妥当性を確認した。

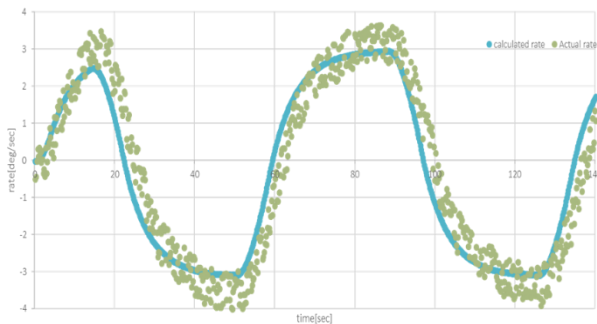


図2 計算角速度と実験角速度の比較

5. 制御系の構築と調整

若潮丸の操縦性指数を船体モデルに適用し、針路制御を行うフィードバック回路(図3)をMATLABにて作成した。また針路制御系の特性方程式(式2)を求めた。

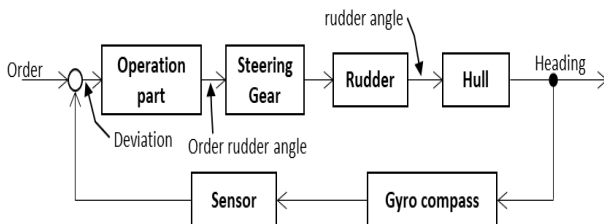


図3 保針系ブロック線図

$$TT_r s^3 + (T + T_r) s^2 + s + Kk_c = 0 \quad (2)$$

コントローラにはPID制御を使用した。式2とラウスの安定判別法(表3)により限界感度は2.73となった。各ゲインはジューグラ・ニコルスの限界感度法(表4)を使用して比例ゲイン1.64微分ゲイン3.58積分ゲイン14.3と求めた。その後、航海実習の経験をもとに比例ゲインを0.8倍、微分ゲインを2倍、積分ゲインを5倍にするチューニングを行った。30度変針のシミュレーション結果を図4に示す。

表3 ラウスの表

	1列目	2列目	3列目
s^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}
s^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}
s^{n-2}	$-\frac{ a_n \ a_{n-2} }{a_{n-1}}$	$-\frac{ a_n \ a_{n-4} }{a_{n-1}}$...
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

表4 ジューグラ・ニコルスの限界感度法

	K_p	T_i	T_d
PID	$0.6K_c$	$0.5T_c$	$0.125T_c$

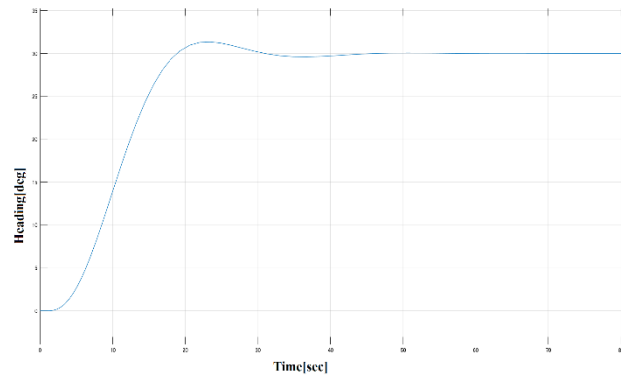


図4 右30度変針シミュレーション

6. おわりに

本研究では洋上でCPU制御による操縦性試験を行ってデータを収録した。その後、船体モデルに基づいて操縦性指数を求めた。その若潮丸の操縦性指数を元に、船舶の保針制御を行うフィードバック制御系をMATLABにより設計した。コントローラにはPID制御を使用し、各ゲインはジューグラ・ニコルスの限界感度法により定め、さらに経験に基づくチューニングを行うことにより、若潮丸に最適化したPID制御の各ゲインを決定した。

参考文献

- 1) 中谷俊彦, 小型練習船の動特性解析と制御について, 計算工学講演会議文集 Vol23, 2018
- 2) 日本造船学会: 第二回操縦性シンポジウム, 1970
- 3) 高谷邦夫: MATLABの総合応用, 2002年
- 4) 広井和男, 宮田郎: 自動制御技術入門, 2004

本論文集の一部あるいは全部について、PSE 研究会の許諾を得ずに複製することは、法律で認められる場合を除き、禁じられています。

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, without the prior permission in writing of the PSE Research group.

— 謝 辞 —

本ワークショップは富士通株式会社および日本計算工学会のご支援のもとに開催できました。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

第 21 回 問題解決環境ワークショップ 2018 論文集

平成 30 年 9 月 13 日 初版発行

編集・発行 問題解決環境 (PSE) 研究会 事務局
〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2
宇都宮大学工学部 川田研究室内
TEL/FAX 028-689-6080/6081
E-mail kwt@cc.utsunomiya-u.ac.jp