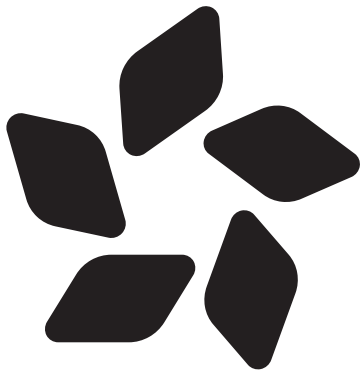




selection report

I - O DATA foundation

OUT
PUT₂



第二回 研究開発助成 要綱

助成の趣旨

国内の大学・研究機関および企業等において、①情報通信技術を活用した新事業または新用途の創出、及び、②情報通信技術を活用した音楽・映像等のコンテンツの保護・活用につながる研究開発に取り組む研究者等に対して助成金を支給し、学術および科学技術の振興に寄与することを目指す事業です。

助成期間

2019年4月から2020年3月までの、原則として1年以内で実施される研究開発活動に対して助成をします。

対象分野

- ① 情報通信技術を活用した新事業または新用途の創出につながる研究開発
 - ② 情報通信技術を活用した音楽・映像コンテンツの保護・活用につながる研究開発
- (いずれの場合も、基礎研究は対象とせず、社会実装を見込むことのできる研究開発を対象とします。)
※データの収集および保存(アーカイブ)に関する研究開発を優先します。

申請者の要件

国内の大学・研究機関および企業等に所属し、情報通信技術を活用した新事業または新用途の創出につながる研究開発、情報通信技術を活用した音楽・映像等のコンテンツの保護・活用につながる研究開発に取り組む個人又はグループを対象とします。

※若手研究者(40歳以下)および設立・創業後5年以内の団体の研究開発を優先します。

助成種別・助成金額

- | | |
|-----------------------|-------------|
| (A) ITによる社会的課題解決・文化貢献 | 1 件 300万円以内 |
| (B) ITによるビジネスモデル実現 | 1 件 300万円以内 |
| (C) IT教育 | 1 件 150万円以内 |

公益財団法人 I-O DATA 財団 第二回 成果報告会

2 研究

九州大学 / 谷本 潤 【 3 】
IoT技術を適用したインフルエンザから高齢者を守る予防接種補助スキームのデザイン

国立研究開発法人 理化学研究所 / TAN YIYU 【 9 】
超臨場感バーチャルコンサートホールの研究開発

同志社女子大学 / 宮本 明子 【 13 】
映画一次資料の世界展開に向けたアーカイブの確立

大阪大学 / 廣森 聡仁 【 17 】
高密度環境を対象とした間接的観測による人流推定手法

福井大学 / 庄司 英一 【 21 】
打楽器演奏ロボットと人工知能が拓く
健常者・障がい者・難病患者の楽器演奏の実現とQOL支援

大阪大学 / 義久 智樹 【 25 】
トラスト指向インターネットライブ放送システムの研究開発

岩手県立大学 / 佐々木 淳 【 31 】
有線放送に代わる地域イントラネットによる放送・通話システムの評価実験

大阪府立大学 / 内海 ゆづ子 【 37 】
画像解析に基づくブドウ農家育成支援システムの開発

金沢大学附属小学校 / 福田 晃 【 41 】
教員のICT活用指導力向上過程の分析

福井大学 / 長谷川 達人 【 47 】
タッチタイピング習得支援のためのNINJAキーボードの試作

早稲田大学 / 鈴木 遼 【 51 】
コンピュータに習熟した先生がいなくても使える、「正解のない」プログラミング学習ツールの開発

東京大学 / 中村 和彦 【 55 】
自然環境の変化を可視化し身近なイメージの湧く環境教育のためのデジタル教材開発

特定非営利活動法人みんなのコード / 畑 紗羅 【 59 】
全国の中学校が無償で利用可能なオンライン型プログラミング学習教材の開発

研究課題	IoT 技術を適用したインフルエンザから高齢者を守る予防接種補助スキームのデザイン
------	---

所属機関名： 九州大学総合理工学研究院

氏 名： 谷本 潤

【研究報告】

1. 研究の目的

社会的弱者である高齢者をインフルエンザ感染リスクから守る先制的予防接種の公的補助スキームにフォーカスし、最新の情報通信技術を導入することで、疾病コスト、ワクチン接種、さらに公的補助を担保する追加税負担を含めた社会総コストをトータルに最小化する社会情報システムの基本デザインを提示する。感染ダイナミクス、社会ジレンマを巡るエージェントの意志決定機構を人工社会システム上に Multi Agent Simulation として理論構成、IoT にサポートされた社会情報システムが具備すべき要件を明らかにする。社会物理学と情報科学に基づき、高齢者-感染症-社会情報をキーワードとする新たな学際研究領域を構築する。

2. 実施内容

本研究では、本グループが構築してきた Vaccination game の枠組みに補助金スキームを付加し、補助金の税負担、疾病コスト、ワクチン接種コストすべてを含む社会コストを最小化するのに最適な、補助金スキームの基礎デザインを行った。

2.1 Vaccination game の概要

vaccination game の枠組みは申請者らの既往研究による。

ワクチン接種を行うか否かの意思決定を行う社会ネットワーク上の有限集団（サイズ $N=10^4$ ）を考える。本研究では、インフルエンザのような季節的かつ周期的に流行する疾病を想定する。モデルのダイナミクスはワクチン接種キャンペーンと流行期の 2 ステージから成る。第 1 ステージ（ワクチン接種キャンペーン）では、各エージェントは疾病の流行が起こる前、すなわち集団の感受性エージェント中の誰かが流行株に感染する前に自己負担でワクチン接種を行うか否かの戦略を決定する。ワクチン接種を行ったエージェントには、ワクチン接種コスト C_v が生じる。免疫は当該シーズン中完全であるとする。一方、ワクチン接種を行わなかったエージェントには感染のリスクが生じる。第 2 ステージ（感染症流行期）では、流行株に感染した初期感染エージェントがワクチン接種者を除く感受性エージェントの中からランダムに発生し、SIR ダイナミクス（集団は、感受性エージェント S 、感染性エージェント I 、回復エージェント（免疫獲得エージェント） R の 3 クラスから成る）に従って感染が拡大する。パーコレーションに従うネットワーク上の伝搬過程の計算には Gillespie 法を用いる。1 日 1 人当たりの感染率を β [$\text{day}^{-1} \text{ person}^{-1}$] は、インフルエンザを想定して基本再生産数が $R_0=2.5$ 、回復率 $\gamma=1/3 \text{ day}^{-1}$ を仮定、ワクチン接種者が居ない状況下で、最終感染者サイズが 0.9 となる β （基盤グラフトポロジーにより異なる）を付与する。1 流行期は、集団中に感染中のエージェントが存在しなくなるまで続く。流行期中に感染したエージェントには感染コスト C_i が生じる。ワクチン接種を行うことなく感染を免れたフリーライダーのコストは 0 である。以下では、簡単のため相対ワクチン接種コスト $C_r = C_v / C_i$ ($0 \leq C_r \leq 1$) を定義する。

ワクチン接種キャンペーンでは、各エージェントは自身の戦略（自己負担によりワクチン接種する（以下、協調者 C とする）； V 、しない（以下、裏切り D とする）； NV ）をアップデートする。自己負担でワクチン接種を選択した者も無料化されればコスト負担は 0 となり、ワクチン接種せずの選択をした者も無料化されれば感染リスクは生じない。本論では、空間型ゲーム

で広く適用されている自利得 ($\square_i$) とランダム選択した隣人の利得 ($\square_j$) との差に応じて確率的に自戦略を隣人戦略で上書きする Pairwise Fermi を適用する. 個々人の利得は接種コストと疾病コストの和となるから必ず負値をとる.

以上の2つのステージを社会均衡に至るまで繰り返し, 協調率 (以下, f_c) ワクチン接種率 (以下, VC), 最終感染者サイズ (以下, FES), 社会平均利得 (以下, SAP) を計測する. 以上を Fig.1 に示す.

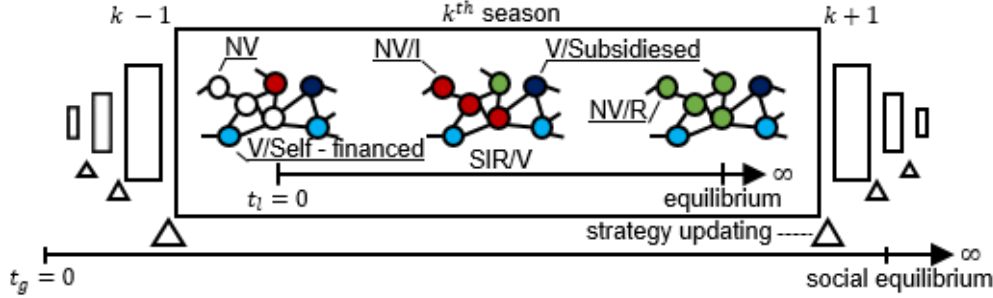


Figure 1 The present model consists of two layers having different time-scales; local time-scale (t_l) controlling what happening in a single season according to SIR/V, while global one (t_g) dealing with strategy time-evolution.

2.2 補助金スキーム

補助金のサイズを意味する σ は, 母集団 (サイズ N) のうち補助金スキームにより無料でワクチン接種を受けられるエージェントの割合とする. 従って, $\sigma \cdot C_v$ はこの補助スキーム導入のための一人当たりの税負担を意味し, 社会平均利得 (SAP) を計算するとき $\sigma \cdot C_v \cdot N$ を差し引く (但し, 各エージェントの利得を評価する際には $\sigma \cdot C_v$ を減分しない. これは, 所得税などで徴収される税負担の中からワクチン接種相当分を個々人が認識することは困難であるとの仮定に基づく). 補助金スキームは, 無料化対象者の違いにより3パターンを考える. Model 1 では, 協調者 C (戦略 V), 裏切り D (戦略 NV) に不拘ランダムに対象者を選択する. よって補助金により無料化されたエージェント (これを便宜上 V' とする) の本来の戦略は, V , NV の両方が存在する. Model 2 では, 非協力者を強制的に接種せしめるとの発想から, 裏切り D から無作為抽出したエージェントに接種する. Model 3 では, 逆に協調者 C だけを対象とする.

また, 対象者に無料券を配る際には, エージェントの度数に依らず全くランダム与える (以下, Random ケース), 度数の大きい順 (以下, Hub ケース), 小さい順 (以下, Fringe ケース) の3ケースを比較する.

2.3 数値実験の流れ

基盤ネットワークは平均次数 8 の Barabási-Albert スケールフリーグラフとする. 1 エピソードの初期状態では, ワクチン接種者と非接種者は等しい割合で存在し, 初期感染者 $I_0 = 5$ が感受性エージェントの中からランダムに発生するとした. 1 エピソードは十分に均衡に達するまで, 時間ステップ (1 ステップは上記の2つのステージ1セットからなる) を繰り返す. 最終

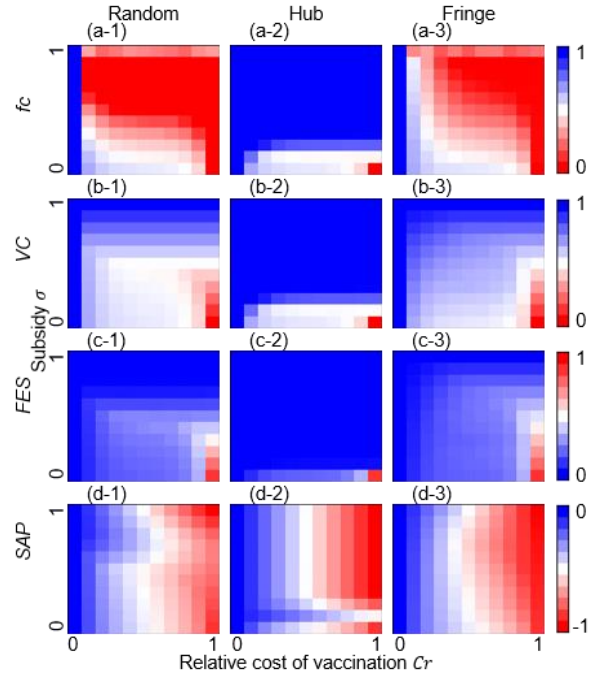


Figure 2 $C_r - \sigma$ phase-diagram showing; cooperation fraction; f_c (top row), vaccination coverage; VC (second top), final epidemic size; FES (second bottom row), and social average payoff; SAP (bottom). Left, center and right panels respectively show Random, Hub and Fringe cases. For subsidy policy, Model 1 is presumed.

100 回を平均することによって当該エピソードの疑似均衡を得た，以下に示す解析結果は，独立な乱数シードに基づく 100 エピソードのアンサンブル平均である．

2.4 解析結果及び考察

Fig.2 に Model 1 の結果を示す．上から， C_r (横軸) - σ (縦軸) 平面上に協調率 f_c ，無料接種者を含むワクチン接種率 VC ，最終感染者サイズ FES ，社会平均利得 SAP を，左パネルから Random, Hub, Fringe の 3 ケースの順に示している．Fig.3, Fig.4 は Model 2, Model 3 を同様に示している．

2.4 解析結果及び考察

Fig.2 に Model 1 の結果を示す．上から， C_r (横軸) - σ (縦軸) 平面上に協調率 f_c ，無料接種者を含むワクチン接種率 VC ，最終感染者サイズ FES ，社会平均利得 SAP を，左パネルから Random, Hub, Fringe の 3 ケースの順に示している．Fig.3, Fig.4 は Model 2, Model 3 を同様に示している． FES を観ると，Model 1 - Hub (Fig.3 (c-2)) と Model 3 - Hub (Fig.4 (c-2)) が 3 モデル×3 ケースの組み合わせの中で最も効率的に感染症封じ込めが達成されていることが解る．実際，ワクチンコストが著しく高く，補助金規模が極端に小さい場合以外には breakout は生じてない．行政施策上，自己負担接種が出来ないような社会的弱者を無料接種対象とする考え方があり得るが，Model 2 - Hub の FES (Fig.3 (c-2)) は前記 2 設定を上回って好成績とはならない．注目すべきは，この設定では協調率 f_c が著しく低くなる点 (Fig.3 (a-2)) である．これは，以下の理路により説明される．ハブエージェントの系全体へのインパクトは，①自ら super-spreader となって大感染を招くとの感染ダイナミクス上の影響，②多数の隣人を持つことで自戦略を彼らに模倣させる戦略ダイナミクスへの影響，とに分けられる．ワクチンコストに依存するが，ハブはリンク数が多いので感染リスクが高く，補助金がなくとも自己負担で接種するインセンティブがそもそも高い傾向にある．そのような中であって，ハ

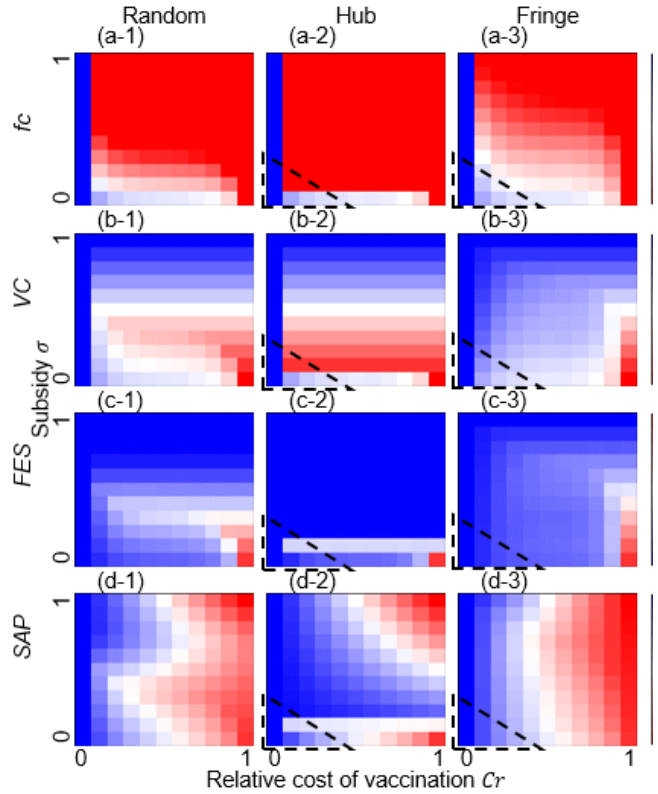


Figure 3 C_r - σ phase-diagram showed in the same format of Fig. 2. For subsidy policy, Model 2 is presumed.

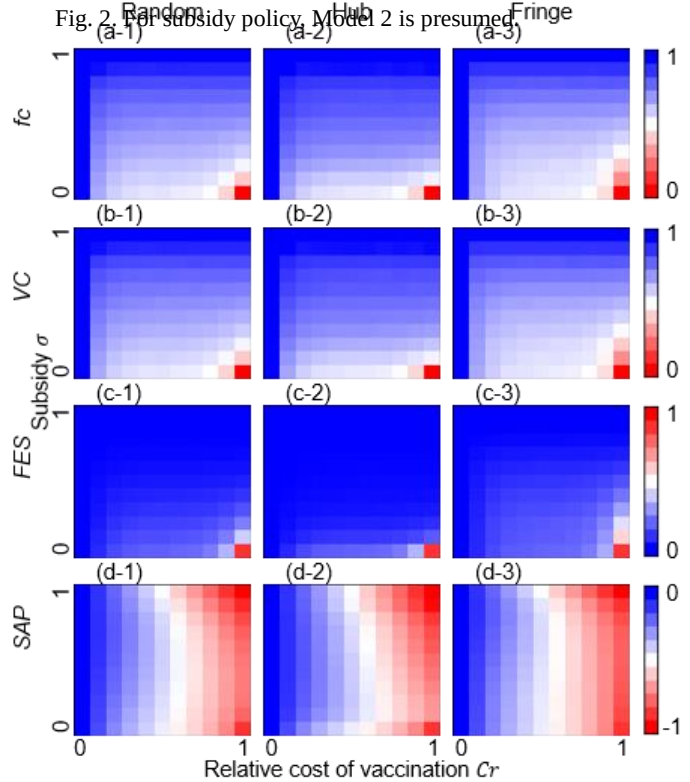


Figure 4 C_r - σ phase-diagram showed in the same format of Fig. 2. For subsidy policy, Model 3 is presumed.

ブで D であるエージェントに無料接種させると、彼らはコスト負担なく感染を免れるので、常に free-rider となる。このことは、彼らの周辺の非ハブエージェントに D をコピーさせる結果となり、社会全体が NV 戦略を採る裏切りエージェントに埋め尽くされることになる。自己負担接種エージェントを淘汰してしまうことの是非は社会的文脈の中で解釈すべき問題だろう。但し、社会平均利得 SAP を比較すると、パラメータ Cr と・・・によって逆転がごく一部に ($\sigma=0.1$ で) 生じるけれど、総観としては Model 2 – Hub (Fig.3 (d-2)) が Model 1 – Hub (Fig.2 (d-2)) と Model 3 – Hub (Fig.4 (d-2)) とを上回って好成績となっている。Model 1 と Model 3 が FES では好成績なのに SAP では Model 2 に劣る、すなわち、社会的弱者優先策を採らずに無料接種をハブ優先に行うと感染症蔓延を抑制する観点からは最も効果的なのに、社会総コストの観点からは社会的弱者優先策に劣ってしまう、との示唆的結果となっている。本来、疾病コストに比して極端にワクチンコストが高い場合には、接種者を無理矢理に引き上げることなくある程度の感染者を許容した方が社会総コストは小さくなるにも不拘、ハブ優先基準だけで戦略については無差別に配布する (Model 1) もしくは協調者だけに配布する (Model 2; これは “Heaven helps those who help themselves” ポリシーと云えよう) と、無料接種に頼らずに自己負担接種を大きく促がしてしまうからである。これを「社会的無駄」と捉えるか、パンデミックに対して頑強な社会と考えるかは議論が分かれよう。ハブ優先配布は常に合理化されるかを考えてみる。D に無料券を配るとし、ワクチンコスト小さく財源もごく小規模の場合に注目する。ハブ優先 (Fig.3 (*-2)) と末端優先 (Fig.3 (*-3)) の破線で囲われた領域を観ると、前者より後者的の方が若干社会総コストは小さい。何より、協調率は高く、感染の封じ込めに成功していることが看取出来る。無料券配布が僅少なので、ハブは感染リスク回避のため自己負担接種し、次数の低いエージェントは彼らに倣って自己負担接種を受け入れるようになる。末端 D は初期には補助金によりフリーライドに成功するものの、彼らの D が社会模倣により拡がっていく可能性は低い。このことから、ハブ優先ポリシーは常に正しいわけではないことが解った。

3. 研究成果

従来の情報科学分野の知見から予想される「スーパースプレッダーとなるハブのエージェントに優先的に補助金によるワクチン接種を行う」とのスキームは、多くの場合に有効に機能するものの、万能ではないとの反例が明らかにされた。すなわち、予防接種コストが疾病コストに比して相対的に小さく、かつ、補助金の総予算規模が小さきとき（現実社会では蓋然性の高い条件設定であると考えられる）には、ハブではなく、社会複雑ネットワークの隣人数が小さい周辺部のエージェントに優先的に補助金を給付する方が、寧ろ社会効率が高くなることがわかった。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

得られた知見の意味するところは、次数の高いハブエージェントは、感染リスクを自ら認識し、自助努力で予防接種する可能性があるため、かれらに予防接種補助金を給付することは、大感染予防には意味があっても、社会的誘引効果によってミスから予防接種を行うエージェントを増やす社会ダイナミクスが一部で阻害される、すなわち補助金によるワクチン接種の無駄うちが生じてしまうことを示唆している。この発見は、極めて示唆的な、社会的処方箋をデザインする上で有意な知見であろう。本研究成果は、ワクチン接種の公的補助スキームの制度設計に資する基礎資料となる。

5. 新たな課題と今後の取り組み

本研究では、公的補助スキームとして、「フリーチケット」制度を前提とした。今一つの公的補助の考え方として、自らワクチン接種をする意思のあるものに割引を適用する「ディスカウ

ントチケット」制度がある。前者はポイント集中的な、後者は広く薄くとの社会福祉観点を重要視した考え方である。残された課題として、両者を折半した制度がいかなる効果を発揮するのかを検討する必要がある。

6. 業績リスト

- Kabir, K. M. A., Tanimoto, J.; Modelling and analysing the coexistence of dual dilemmas in the proactive vaccination game and retroactive treatment game in epidemic viral dynamics, **Proceedings of the Royal Society A** 475, 20190484, 2019.
<https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0484>
- Kabir, K. M. A., Jusup, M., Tanimoto, J.; Behavioral incentives in a vaccination-dilemma setting with optional treatment, **Physical Review E** 100, 062402, 2019.
<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.100.062402>
- Tanaka, M., Tanimoto, J.; Is subsidizing vaccination with hub agent priority policy really meaningful to suppress disease spreading?, **Journal of Theoretical Biology** 486, 110059, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.110059>
- Kabir, K. M. A., Tanimoto, J.; Impact of awareness in metapopulation epidemic model to suppress the infected individuals for different graphs, **European Physical Journal B** 92, 199, 2019.
<https://doi.org/10.1140/epjb/e2019-90570-7>
- Nagashima, K., Tanimoto, J.; A Stochastic Pairwise Fermi rule modified by utilizing the average in payoff differences of neighbors leads to increased network reciprocity in spatial prisoner's dilemma games, **Applied Mathematics and Computation** 361, 661-669, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.05.034>
- Alam, M., Tanaka, M., Tanimoto, J.; A game theoretic approach to discuss the positive secondary effect of vaccination scheme in an infinite and well-mixed population, **Chaos, Solitons & Fractals** 125, 201-213, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.05.031>
- Kabir, K. M. A., Tanimoto, J.; Dynamical Behaviors for Vaccination can Suppress Infectious Disease - A Game Theoretical Approach, **Chaos, Solitons & Fractals** 123, 229-239, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.04.010>
- Kabir, K. M. A., Tanimoto, J.; Vaccination strategies in a two-layer SIR/V-UA epidemic model with costly information and buzz effect, **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation** 76, 92-108, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2019.04.007>
- Kuga, K., Tanimoto, J., Jusup, M.; To vaccinate or not to vaccinate: A comprehensive study of vaccination-subsidizing policies with multi-agent simulations and mean-field modeling, **Journal of Theoretical Biology** 469, 107-126, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.02.013>
- Kabir, K. M. A., Tanimoto, J.; Analysis of epidemic outbreaks in two-layer networks with different structures for information spreading and disease diffusion, **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation** 72, 565-574, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2019.01.020>
- Kabir, K. M. A., Tanimoto, J.; Evolutionary vaccination game approach in metapopulation migration model with information spreading on different graphs, **Chaos, Solitons & Fractals** 120, 41-55, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.01.013>
- Kabir, K. M. A., Kuga, K., Tanimoto, J.; Effect of Information spreading to suppress the disease contagion on the epidemic vaccination game, **Chaos, Solitons & Fractals** 119, 180-187, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2018.12.023>
- Kabir, K. M. A., Kuga, K., Tanimoto, J.; Analysis of SIR epidemic model with information spreading of awareness, **Chaos, Solitons & Fractals** 119, 118-125, 2019.

以上

研究課題	超臨場感バーチャルコンサートホールの研究開発
------	------------------------

所属機関名： 国立研究開発法人理化学研究所

氏 名： TAN YIYU

【研究報告】

1. 研究の目的

「聴く」という行為はすべての方向からのセンシングと捉えることができる。超臨場感のある「聴く」という行為は入力となる聴覚情報の質に依っている。既存の音響再生技術、超臨場感を得るにはスピーカーの配置の影響を受けるし、通常室内環境に限られてしまう。室内音響に限れば、複数スピーカーを用いた波面合成法が超臨場感を実現するための録音・再生技術として広く使われている。一方、波面合成法以外の超臨場感の達成手法として、サウンドレンダリングが近年考案されてる。サウンドレンダリングは、音場形状や音響特性を再現する三次元音空間を仮想的に構成し、音響情報をコンピュータ上での数値計算により得る方法である。

本研究の目的は、音波の波特性を考慮するリアルタイムサウンドレンダリング技術に基づく超臨場的なバーチャルコンサートホールの開発を進める。そこでは、家庭にいながらにしてコンサートホールにいるような超臨場感を楽しめるとなる。具体的な任務は、バーチャルコンサートホールでの超臨場感をリアルタイムサウンドレンダリング技術によって実現することであるが、実現においてFPGA(Field Programmable Gate Array)を使用する。

2. 実施内容

本研究は、主として以下の3テーマについて研究を進める。設定する3テーマはいずれもリアルタイムサウンドレンダリング技術に基づく超臨場感を達成するバーチャルコンサートホール構築に向けたものである。

(1) リアルタイムサウンドレンダリング技術の研究開発

リアルタイムサウンドレンダリング技術のための既存の波動音響理論に基づく手法を調査し、FDTDスキームとアルゴリズムを確定する。時空間領域における音波伝播を記述する3次元高次FDTDスキームを構築し、従来スキームとの計算精度、効率、ハードウェア実装の容易さ等を検証する。新しいレンダリングアルゴリズムの選定において、演算量の削減・回路の単純化・動作周波数の向上などの指標を設定して実施する。

(2) 音響レンダリングのためのデジタル境界の研究開発

コンサートホールの形状や音響特性などの境界条件は超臨場実現に対して極めて大きな影響を与えるため、反射および周波数依存の境界を、実アプリケーションで頻繁に使用されているデジタルフィルタを導入することによってモデル化され、FPGAハードウェアによって実装する。

(3) ハードウェアプロトタイプの研究開発

上記(1)(2)に基づき、システム並列処理技術、システム仕様と検証、ハードウェア設計と評価を含むFPGAベースのバーチャルコンサートホールのシステムを構築する。

3. 研究成果

研究計画に基づき以下の3点について進めた。順に研究成果を示していく。

(1) リアルタイムサウンドレンダリング技術の研究開発

空間領域への高次の近似法、さらに、時間積分に2次近似の解法を適用する形で、高次近似法をFDTDスキームに取り入れた。これにより、より高い計算精度の実現、さらに、分散誤差、空間格子スケール、要求メモリなどが軽減された。具体的には、空間領域での高次スキーム導入には、ラグランジェ多項式による2階偏微分の近似を採用し、時間領域には中央差分を適用した。さらに、音響空間の計算にはより高次の(2, 4, 6次)FDTDアルゴリズムを導出している。

導出した各種スキームについては、次の性質が確認されている。

a) 高いスケーラビリティ：

表1はグリッドの音圧を更新するために必要な演算数とメモリアクセス数を示している。表1が示すように、FDTDスキームの次数を上げると、計算に関与する隣接グリッドが増えるため、演算数とメモリアクセス数が増加する傾向がある。

Table 1. Operations and memory access

Scheme	Operations			Memory access
	Addition	Subtraction	Multiplication	
2nd	5	1	1	7
4 th	11	2	3	14
6 th	17	2	4	20

表2は、寸法8m×8m×7mの空間内の音の伝搬を単精度浮動小数点データを用いて解析する際のメモリ消費量を示したものである。FDTDスキームの次数を増やすと、計算格子が大きくなり、格子数が減少するため、必要なメモリ量も同時に減少する。実際、FDTDスキームを2次から6次に変更した場合は、格子寸法が46%縮小し、それに伴い必要なメモリも同様の割合で削減される。

Table 2. Memory consumption

Scheme	Dimensions	Number of grids	Memory (GB)
2nd	599×599×524	188011724	1.504093792
4th	518×518×453	121550772	0.972406176
6th	487×487×426	101033994	0.808271952

b) 良好な並列性能：

図1はタイムステップ当たりの平均計算時間を示している。ここで、3種の計算スキームを採用した音響レンダリングシステムはC++言語により開発され、標準的なサーバー（Intel Xeon Gold 6210U(2.4GHz 動作)、256GB DDR4 メモリ搭載）で動作している。図1が示す内容は、主に計算時間と利用プロセッサコア数による、いわゆる並列計算性能である。標準的な並列プログラミング言語OpenMPを利用することで、高い並列スケーラビリティが達成されている。詳細な解析からは、10コアまでの並列性能向上は顕著に認められ、それ以上のコア利用ではメモリバンド幅の制約により伸び率は高くない。さらに、高次スキームの利用は並列化による効果が高いことが示された。

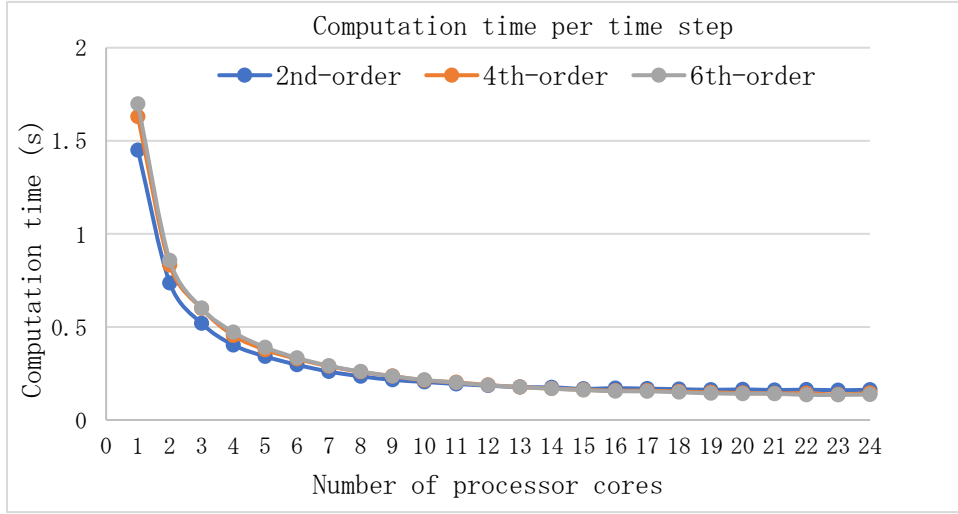


Fig. 1. Computation time per time step

(2) 音響レンダリングのためのデジタル境界の研究開発

境界条件は壁の反射と吸収をモデル化するために考慮しなければならない。本研究では反射壁を対象とし、音響レンダリングモデルに適切な境界条件について考察をした。一般に、反射壁は、壁のインピーダンスが入射音の方向に依存しないと仮定することで、局所的な反応面としてモデル化することができるため、壁の音響特性は、式(1)のように音圧で表される壁インピーダンスと粒子の振動によって関係づけられる。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -c\xi \nabla P \quad (1)$$

(ここで、 $\xi = \frac{Z}{\rho c}$ は正規化された壁インピーダンスであり、 c は音速、 P は音圧を表す。) 閉立方体の音空間には6つの壁があり、壁上の格子点はその位置によって内部グリッド、エッジ、コーナーに分類される。これら位置での音圧を更新するために、適切な差分スキームを選択する必要がある。例えば、右壁の内部グリッドについては、まず、中心差分を用いて式(1)から式(2)を導出する。

$$P^n(i+1, j, k) = P^n(i-1, j, k) + \frac{1}{\chi\xi} [P^{n-1}(i, j, k) - P^{n+1}(i, j, k)] \quad (2)$$

ここで、 χ はクーラン数で $\frac{cT}{\Delta t}$ に等しい。式(2)を用いて、音空間の外側の仮想格子 $P^n(i+1, j, k)$ の音圧が計算できる。更に、式(2)を音伝搬方程式に代入し、反射係数 R を $\frac{(\xi-1)}{(\xi+1)}$ 、クーラン数 χ を $\frac{1}{2}$ と仮定すると、右壁内部グリッドにおける音圧更新式(3)を得る。

$$P^{n+1}(i, j, k) = \frac{1+R}{2(3+R)} [2P^n(i-1, j, k) + P^n(i, j-1, k) + P^n(i, j+1, k) + P^n(i, j, k-1) + P^n(i, j, k+1) + 2P^n(i, j, k)] - \frac{3R+1}{3+R} P^{n-1}(i, j, k) \quad (3)$$

数式(3)では、時刻 $n+1$ ステップの音圧は、時刻 n ステップにおける格子点とその隣接格子点上の音圧和、さらに時刻 $n-1$ ステップにおける音圧で表現される陽的スキームによって更新される。

(3) ハードウェアプロトタイプの研究開発

2次、4次、および6次のFDTDスキームに基づくアクセラレータはOpenCLを使用して設計され、Terasic社のFPGAボードDE5a-NETを使用して実装された。同ボードは、Intel Arria

10FPGA と 8GB のオンボード DDR3 メモリを搭載しており、メモリはそれぞれ 4GB の独立した 2 チャンネルの構成で配置されている。オンボードメモリの制限から、仮想コンサートホールの最大寸法は、2 次スキーム方式では $16\text{m} \times 16\text{m} \times 8\text{m}$ 、4 次スキーム方式では $24\text{m} \times 16\text{m} \times 8\text{m}$ 、6 次スキーム方式では $32\text{m} \times 16\text{m} \times 8\text{m}$ となる。仮想コンサートホールを $16\text{m} \times 8\text{m} \times 8\text{m}$ で固定した場合、レンダリング時間は、2 次、4 次、6 次スキームでそれぞれ 1.55s、1.064s、0.763s 程度である。計算スループットは、それぞれ 115 GFLOPs、209 GFLOPs、358 GFLOPs である。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

本研究の社会的効果は聴取者の屋内音場の制約を排除し、それを仮想的に制御可能になることである。多くの Hi-Fi 音響システムはすでに開発されているが、音響信号は最終的にスピーカーから出力され、その位置と室内の音環境によって、実際に聞くリスナーは大きく制限される。一方、本研究で開発したリアルタイムのサウンドレンダリング技術により、聴取者は自分の望む音響環境を自由に構築し、音響入力から聴取までを制御することができる。また、本研究で開発した技術は、バーチャルコンサートホールに限らず、バーチャルリアリティなどのリアルタイムアプリケーションから、建築音響などのオフラインアプリケーションまで幅広い領域に跨る他のアプリケーション領域と関連する。開発したリアルタイムサウンドレンダリングとビジュアルレンダリングの連携により、バーチャルリアリティ、アニメーション、ヒューマンコンピュータインタラクティブインターフェイスなど新テクノロジーを創造することができる。例えば、インタラクティブゲーム、または現在在宅勤務状況下で活躍するテレビ会議システムをよりリアリティの高い形で構築することができる。

5. 新たな課題と今後の取り組み

従来の研究から明らかなように、音場レンダリングは計算量が多く、メモリを多く必要とする。本研究では、音場レンダリングのための FPGA ベースのアクセラレータを開発し、ソフトウェアシミュレーションと比較して大幅な性能向上を実現した。しかし、FPGA ボードのメモリサイズの制約から、中規模のバーチャルコンサートホールの解析にとどまっている。今後は、大型コンサートホール向けのアクセラレーションシステムの性能を検討するとともに、計算の高速化と出力音のサンプリングレートの向上のために、時間的並列化などの並列化手法を検討する必要がある。

6. 業績リスト

1. 学会等の発表

- [1] Tan Yiyu and Toshiyuki Imamura, “Sound Rendering and its Acceleration Using FPGA”, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia), Fukuoka, January 2020.
- [2] Tan Yiyu and Toshiyuki Imamura, “High-order FDTD Method for Room Acoustic Simulation”, the 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (USE 2019), Tokyo, November 2019
- [3] Yiyu Tan and Toshiyuki Imamura, “A FPGA-based Accelerator for Sound Field Rendering”, the 22nd International Conference on Digital Audio Effects, Birmingham, UK, September 2019.

以上

研究課題	映画一次資料の世界展開に向けたアーカイブの確立
------	-------------------------

所属機関名： 同志社女子大学

氏 名： 宮本明子

【研究報告】

1. 研究の目的

小津安二郎監督作品の台本やノートなど、映画制作に使用された資料の調査を進めてきた。これらを保存し、教育・研究目的で公開するためにはどのようにしたらよいか、方法を探る。具体的には、フィルムアーカイブの手続きを学び、資料公開実現の方法を構想する。

2. 実施内容

次の4点を実施した。

①国内調査

小津安二郎監督作品に関わった山内静夫（プロデューサー）、兼松熙太郎（撮影助手）氏から、フィルム、ネガのアーカイブ方法について教示を得た。耐熱性や耐久度など各々の資料の性質を伺い、実現可能かつ望ましいデジタルアーカイブの方法を考察していった。

また、太田米男（大阪芸術大学元教授／一般社団法人京都映画芸術文化研究所代表理事）氏の協力を得て、フィルムアーカイブの方法について教示を得た。具体的には、同氏が実践されてきた「京都ニュース」の修復保存の方法について、データベースやデータを参照しながら手順を伺った（於：おもちゃ映画ミュージアム）。その後、太田氏の紹介を得て、株式会社 IMAGICA Lab.（イマジカラボ）フィルム・アーカイブ事業本部の協力を得て、おもちゃ映画ミュージアムの所蔵資料を元に、フィルムの修復保存の手続きを行なった。

②文献調査

国会図書館、松竹大谷図書館などで、フィルムアーカイブに関する文献調査を進めた。

③調査記録

以上の①・②の成果をまとめた。①で修復・保存したデータを保存した。

④成果公開

以上の試みや成果について、下記「業績リスト」に掲げている「1日で学ぶ 小津安二郎の世界」、「『小津安二郎 大全』刊行記念シンポジウム OZU2020」、「同志社女子大学日本語日本文学会企画講座 特別トークなどで言及した。

3. 研究成果

上に挙げた4点から、次の成果を得た。

①国内調査

小津安二郎監督作品に関わった山内静夫（プロデューサー）、兼松熙太郎（撮影助手）氏にフィルム、ネガのアーカイブ方法について教示を得た。現場に携わった兼松氏からは、「お早よう」（1959年）を例に、兼松氏が撮影時の照明やカメラからの距離などを記録したノートを開覧させていただいた。ノートを参照しながら撮影時のお話を伺い、次の3点を確認した。

- ・これらの記録は助手が行っており、おそらく他の組にはないであろう取り組みである。
- ・これらの記録から、小津組のカメラと対象の距離、照明など撮影環境を確認できる。
- ・数冊は所在がわからず、撮影時の記録をすべて確認できるわけではない。

カメラと対象の距離、照明については具体的な数値が書き込まれており、兼松氏に継続的に話を伺いながらその特徴、意義を確認しているところである。今後これらをデジタル化し、一部限定的にでも、公開する方法を検討している。

太田米男氏からは、ご厚意で、複数人で調査を進めた結果を集約したデータベースを参照させていただいた。データをいかにまとめ管理するか、教示を得た。たとえば、表に資料を一覧化して管理する場合も、管轄するデータについてできるだけ多くの特徴（映像制作年、字幕、登場人物など、そこに現れる情報）を記しておくのがよい。このようにすることで、管理および後に検索する際に、当該情報のみならず関連項目を確認でき、一見関連性が薄いと思われる情報との関連性を見出しやすくなる。人間の目や関心にはときに恣意性が含まれる。データベースを作成する際には、できるだけ多くのその情報についての項目を立て、徐々に精緻化していくこともまた大切であると確認することができた。

さらに、株式会社 IMAGICA Lab.（イマジカラボ）フィルム・アーカイブ事業本部において、実際にフィルムを修復し、保存するための手続きを行なった。

成果物画像データ
※公開にあたり割愛する。

②文献調査

図書館での調査を通じて、フィルムアーカイブの事例、方法の最新の知見を得た。

③調査記録

以上の①・②の成果として上の図のようなデータをまとめ、保存した。

④成果公開

下記業績リストに掲げている「同志社女子大学日本語日本文学会企画講座 特別トーク」では、山内氏、兼松氏にお話を伺う様子を会場内で公開した。「『小津安二郎 大全』刊行記念シンポジウム OZU2020」は本助成を得て開催することができた。会場では、一次資料の調査について紹介し報告した。読売新聞で本イベントの告知を掲載いただけたこともあり、周防正行監督ほかゲストを迎えて当日は会場満席となり、来場者からも好評をいただいた。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

この研究が実社会に及ぼす影響としては次の2点が挙げられる。

- ・経年劣化や散逸を防ぎながら、資料をデジタル化し残すことができる
- ・広く国内の映像文化について学ぶための教育や研究活動に活用できる

この研究が事業に及ぼす影響としては次の2点が考えられる。修復保存した情報を活用できる場合の推定であり、情報を具体的にどう活用していくかは現在定まっていない。

- ・国や地域のコンテンツとして映画祭での上映や資料展示に活用できる
- ・修復保存した資料を有料で番組や放送局へ貸出し、利益を挙げられる

本報告執筆時となる2020年は新型コロナウイルスが懸念される中、映画資料を掲出するアーカイブがあらためて注目された。国立映画アーカイブが紹介する「国際フィルムアーカイブ連盟 (FIAF) 加盟機関が配信する動画サイトのご案内」

<https://www.nfaj.go.jp/ge/topics/20200416/> はその一つであり、教育研究、またそれ以外にも市民が動画を検索できる場所として利用者を増やしている。このように、修復、保存の成果を掲出し、皆がアクセスできる場所、環境を整えていくことが期待される。

5. 新たな課題と今後の取り組み

予定していたシネリック社での調査は先方との調整がつかず、残念ながら見送られた。同社での修復保存を実現し、さらなる調査を進めることが課題である。代替として、フィルムアーカイブの先例となり、ウェブサイト上で成果を公開する、京都市のおもちゃ映画ミュージアムの事例を調査した。経験者への聞き取りを行い、実際にフィルムを修復保存する試みを実践できた点で、本調査の目的はほぼ達成できたと言える。今後、シネリック社での調査を行う際、アーカイビングの事例を比較検討する上でも活用できるだろう。

一方、資料をアーカイブとして公開するには、関係各位との連携や意向調査が必要である。これには一定の時間を必要とし、本研究期間にすべて確認することはできなかった。慎重に進めながらも、公開を目指し、鋭意進めてゆきたい。

6. 業績リスト

論文

1. 宮本明子（2020年）、「『箱入り娘』から『晩春』へ」、『総合文化研究所紀要』、第37巻、印刷中

学会等の発表

1. 宮本明子：「1日で学ぶ 小津安二郎の世界」毎日文化センター一日講座、2020年2月21日（毎日文化センター大阪）
2. 周防正行、宮本明子、松浦莞二：「周防正行トーク」およびシンポジウム司会進行（出席者に望月智充、小沼純一、舩橋淳、石井妙子、志村三代子）、「『小津安二郎 大全』刊行記念シンポジウム OZU2020」、2020年1月18日（早稲田大学小野記念講堂）
3. 吉村誠、宮本明子：「小津はオモロイ！」梅田蔦屋書店トークイベント、2019年12月20日（梅田蔦屋書店）
4. 山内静夫、兼松熙太郎、宮本明子「同志社女子大学日本語日本文学会企画講座 特別トーク」同志社女子大学日本語日本文学会、2019年9月11日（鎌倉市川喜多映画記念館）
5. 宮本明子：「Hawaiian Music Meets Ozu's Film: A Study on "What Did the Lady Forget?"」The International Symposium on Business and Social Sciences、2019年8月8日（Hilton Waikiki Beach）
6. 宮本明子：「小津安二郎の中国、シンガポール体験を再考する」WAA8月会合、2019年8月2日（明治大学リバティータワー）
7. 松浦莞二、宮本明子：「『小津安二郎 大全』をめぐる」全国小津安二郎ネットワーク総会、2019年5月25日（古石場文化センター）
8. 保坂和志、松浦莞二、宮本明子「『小津安二郎 大全』（朝日新聞出版）刊行記念 保坂和志 × 松浦莞二 × 宮本明子 トークイベント」青山ブックセンター本店イベント、2019年4月19日（青山ブックセンター本店）

報道

1. 「小津安二郎の手紙、津の親類宅で保管 母方のルーツ 家族史の貴重な資料」毎日新聞、2020年2月3日、インタビュー記事掲載
2. 「小津安二郎大全刊行記念シンポ」読売新聞、2020年1月10日、「『小津安二郎 大全』刊行記念シンポジウム OZU2020」関連記事掲載
3. 「READY！」FM三重、2019年11月26日、テレビ・ラジオ番組出演
4. 「新刊書『小津安二郎大全』」鎌倉朝日新聞、2019年9月1日、記事掲載
5. 「【書評】複数の問いの方へ、小津を語り直す——松浦莞二・宮本明子編著『小津安二郎 大全』」図書新聞、2019年7月20日、書評掲載
6. 「小津安二郎 証言や資料で実像 映像作家と研究者、「大全」刊行」毎日新聞、2019年7月20日、インタビュー記事掲載
7. 「多彩かつ建設的な小津論のために」キネマ旬報、2019年7月、書評掲載
8. 「Ozu & Noda (2019)」directed by Daniel Raim、The Criterion Collection, Inc. 2019年6月、ダニエル・レイム監督短篇ドキュメンタリーに協力者として参加、作品クレジット掲載
9. 「横尾忠則「小津安二郎 大全」書評 脱力した反復と不在感の美術性」朝日新聞、2019年5月11日、書評掲載
10. 「岡崎武志評『小津安二郎 大全』『チョコちゃんに叱られる』ほか」サンデー毎日、2019年5月8日、書評掲載
11. 「植草信和評「最新かつ最高の“小津安二郎研究書”ほか」ぴあ (https://lp.p.pia.jp/shared/cnt-s/cnt-s-11-02_2_232c237e-642d-4456-a8bd-9f021dd715ae.html)、2019年4月、書評掲載

以上

所属機関名： 大阪大学

氏 名： 廣森 聡仁

【研究報告】

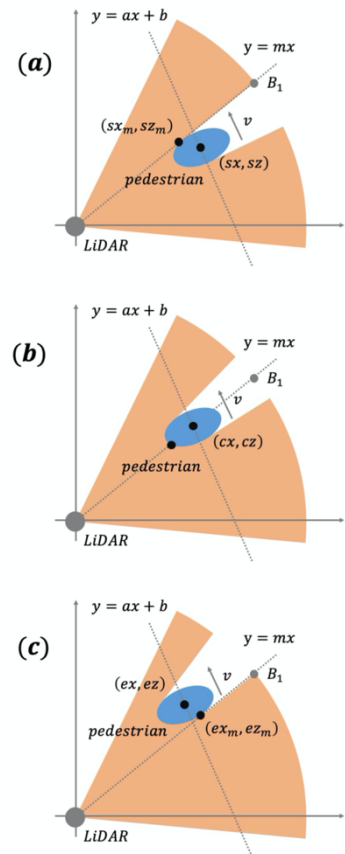
1. 研究の目的

都市設計の基礎的な資料や施設の利用動向調査のために、屋内外における歩行者の移動を把握する取組が多数実施されている。しかしながら、通勤ラッシュ時における駅の構内など、多数の人が移動している状況においては、動画像カメラや測域センサなどの観測機器を多数設置したとしても、人同士が互いを隠すオクルージョンが多数発生するため、個々の人を継続して観測することは難しく、人の移動を把握することは困難である。本取組においては、人が互いにすれ違うことにより生じるオクルージョンの性質や頻度と、群集内における人の流れの関連性をモデル化することにより、多数の人が移動し、混雑している状況においても、観測されたオクルージョンに基づき、人の存在を把握するだけでなく、人の移動方向、移動速度など、人の移動の流れを継続して推定可能な人流推定手法を提案することを目的とする。

2. 実施内容

測域センサは周辺の物体まで距離を検出することが可能であり、計測された距離を基に構成された点群から、歩行者の体の一部の特徴を抽出し歩行者を検出することができるが、そのためには大量の点群データを処理する複雑なクラスタリング手法を要する。本取組では、既存手法と異なり、測域センサで計測された歩行者の点群をクラスタリングするのではなく、計測領域内を移動する歩行者が自身の体により壁や障害物などの計測における背景を隠蔽することに着目し、限られた観測から、簡単な計算のみにより移動軌跡を推定する手法を提案する。測域センサは放射状に計測光を照射し、その各々の計測光の方向の周囲の物体までの距離を計測することができる。ここではセンサの計測領域内に歩行者が存在しないときの計測光の当たる点を背景点と定義する。歩行者が計測領域内を移動する際に、測域センサから背景点に照射されている計測光を遮ることによって背景点を隠蔽する。このオクルージョンは歩行者の存在を示しており、その隠蔽時間とオクルージョンの始点や終点は移動する歩行者の軌跡や速度、体の大きさに依存する。提案手法は同一歩行者から生じた三つのオクルージョンを用いて、その歩行者の軌跡と速度、体の大きさを推定する。

はじめに、歩行者の歩行者の軌跡と速度、体の大きさと、その歩行者が背景点に生じるオクルージョンとの関係関係を定式化する。歩行者は、長半径 r_a 、短半径 r_b の楕円の形状で、タイムスロット ts 内においては、直線 $y = ax + b$ に沿って、直線的に速度 v で移動するものとする。右図は歩行者と背景点の位置関係を示している。測域センサは原点に設置され、青色の楕円は歩行者を表し、橙色の領域はセンサによる計測が為されている領域である。(a)は背景点 B_1 のオクルージョンが開始するとき、(b)は背景点 B_1 が歩行者により隠蔽されているとき、(c)は背景点 B_1 のオクルージョンが終了するときの歩行者と背景点の位置関係を示している。



測域センサは背景点 B_1 のオクルージョンの始点 (sx_m, sz_m) と終点 (ex_m, ez_m) , それらが計測された時刻 st_m, et_m を取得することができる. 歩行者の軌跡は, 測域センサの計測により, 歩行者の移動によって生じた, $y = m_i x$ 方向および $y = m_j x$ 方向にある二つの背景点のオクルージョンの始点と終点, それらが計測された時刻により表現される. 歩行者の移動軌跡, および歩行者の速度は, 背景点のオクルージョンの中点の座標 (cx_{mi}, cz_{mi}) , (cx_{mj}, cz_{mj}) とそれらを歩行者が通過する時刻 ct_{mi}, ct_{mj} により, 右式で表される.

$$sx_i = cx_{mi} - v(ct_{mi} - st_{mi}) \cos(\arctan(a))$$

$$sz_i = cz_{mi} - v(ct_{mi} - st_{mi}) \sin(\arctan(a))$$

$$ex_i = cx_{mi} + v(et_{mi} - ct_{mi}) \cos(\arctan(a))$$

$$ez_i = cz_{mi} + v(et_{mi} - ct_{mi}) \sin(\arctan(a))$$

また, 背景点を通過する間, 歩行者は直線的に一定の速度で移動しているため, $y = m_i x$ 方向の背景点のオクルージョンの開始と終了時の歩行者の座標 (sx_i, sz_i) , (ex_i, ez_i) は, 歩行者の移動軌跡と速度, $y = m_i x$ 方向の背景点のオクルージョンの中点の座標 (cx_{mi}, cz_{mi}) , 開始時刻 st_{mi} , 終了時刻 et_{mi} , 中点を通る時刻 ct_{mi} を用いて右式で表される. $y = m_j x$ 方向の背景点のオクルージョンの開始と終了時の歩行者の座標 (sx_j, sz_j) , (ex_j, ez_j) も同様に表すことができる.

$$a = \frac{cz_{mj} - cz_{mi}}{cx_{mj} - cx_{mi}}$$

$$b = cz_{mi} - \frac{cz_{mj} - cz_{mi}}{cx_{mj} - cx_{mi}} cx_{mi}$$

$$v = \frac{\sqrt{(cx_{mj} - cx_{mi})^2 + (cz_{mj} - cz_{mi})^2}}{ct_{mj} - ct_{mi}}$$

次に, 歩行者の楕円の長半径と短半径を導出する. ここで $y = m_i x$ 方向の背景点のオクルージョン開始時, (sx_i, sz_i) に位置する歩行者は背景点とセンサを結ぶ直線と測域センサによる計測点の座標 (sx_{mi}, sz_{mi}) を接点として接している. また, 歩行者の楕円は θ だけ傾いているため, これらの変数と楕円の長半径 r_a と短半径 r_b の関係は次式で表される. $y = m_j x$ 方向の背景点のオクルージョン開始時についても同様の関係が成り立つ. これら二つの式を連立することで, 二つの背景点から r_a, r_b を導出することができる.

$$\frac{(dx_i \cos \theta + dz_i \sin \theta)^2}{r_a^2} + \frac{(-dx_i \sin \theta + dz_i \cos \theta)^2}{r_b^2} = 1$$

$$dx_i = sx_{mi} - sx_i$$

$$dz_i = sz_{mi} - sz_i$$

同一歩行者により二つの背景点に生じるオクルージョンから, その歩行者の移動軌跡と体の大きさを推定する手法を説明する. 計測対象である歩行者の集合を $P = \{P_1, P_2 \dots P_N\}$ とし, 歩行者 P_n はタイムスロット ts 内で, 速度 $v^{n,ts}$ で直線的に移動するものとする. ここで歩行者 P_n の移動軌跡を示す線分は, 始点と終点の座標 $(x_s^{P_n,ts}, y_s^{P_n,ts})$, $(x_e^{P_n,ts}, y_e^{P_n,ts})$ および, 歩行者が始点と終点に位置するときの時刻 $t_s^{P_n,ts}, t_e^{P_n,ts}$ とする. また, 歩行者の体は楕円であると仮定し, その体の大きさは楕円の長半径 $r_a^{P_n}$ と短半径 $r_b^{P_n}$ により定まるものとする. 測域センサは角度 Φ ごとに M 個の背景点 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_M\}$ を計測している. この背景点までの距離が短くなることで, オクルージョンの発生を観測する事ができる. タイムスロット ts において, 背景点 B_m で観測されたオクルージョンの開始時刻を $t_{o_{m,s}}^{m,ts}$, 終了時刻を $t_{o_{m,e}}^{m,ts}$ と表す. また, そのオクルージョンの開始点を $(x_{o_{m,s}}^{m,ts}, z_{o_{m,s}}^{m,ts})$, 終了点を $(x_{o_{m,e}}^{m,ts}, z_{o_{m,e}}^{m,ts})$ と表す.

観測したオクルージョンがいずれの歩行者により生じたものかわからないため, 二つの背景点に生じたオクルージョンの全ての組で歩行者の軌跡を示す線分, 歩行者の速度 $\hat{v}$, 体の大きさ $\hat{r}_a, \hat{r}_b$ を計算することで, 同一歩行者により生じたオクルージョンを特定する. まず, 異なる二つの背景点 B_i, B_j で観測された二つのオクルージョンの開始時刻と終了時刻 $t_{o_{i,s}}^{i,ts}, t_{o_{i,e}}^{i,ts}, t_{o_{j,s}}^{j,ts}, t_{o_{j,e}}^{j,ts}$, オクルージョンの開始点と終了点, $(x_{o_{i,s}}^{i,ts}, z_{o_{i,s}}^{i,ts})$, $(x_{o_{i,e}}^{i,ts}, z_{o_{i,e}}^{i,ts})$, $(x_{o_{j,s}}^{j,ts}, z_{o_{j,s}}^{j,ts})$, $(x_{o_{j,e}}^{j,ts}, z_{o_{j,e}}^{j,ts})$ から, 歩行者が通過するそれぞれのオクルージョンの中点の座標 $(x_{o_{j,c}}^{j,ts}, z_{o_{j,c}}^{j,ts})$, $(x_{o_{i,c}}^{i,ts}, z_{o_{i,c}}^{i,ts})$ および, その中点を通過する時刻 $t_{o_{j,c}}^{j,ts}, t_{o_{i,c}}^{i,ts}$ を求める. その後, 歩行者の移動軌跡と速度 $\hat{v}$ は, 異なる二つの背景点 B_i, B_j で観測されたオクルージョンの中点の座標とその中点を通過する時刻を用いて右式で求めることができる.

$$\hat{a} = \frac{z_{o_{j,c}}^{j,ts} - z_{o_{i,c}}^{i,ts}}{x_{o_{j,c}}^{j,ts} - x_{o_{i,c}}^{i,ts}}$$

$$\hat{b} = z_{o_{i,c}}^{i,ts} - \hat{a} x_{o_{i,c}}^{i,ts}$$

$$\hat{v} = \frac{\sqrt{(x_{o_{j,c}}^{j,ts} - x_{o_{i,c}}^{i,ts})^2 + (z_{o_{j,c}}^{j,ts} - z_{o_{i,c}}^{i,ts})^2}}{t_{o_{j,c}}^{j,ts} - t_{o_{i,c}}^{i,ts}}$$

次に、異なる二つの背景点 B_i , B_j で観測された二つのオクルージョンの開始時と終了時の歩行者の座標 $(x_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts}, z_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts})$, $(x_{o_{i,e}}^{p_n,i,ts}, z_{o_{i,e}}^{p_n,i,ts})$, $(x_{o_{j,s}}^{p_n,j,ts}, z_{o_{j,s}}^{p_n,j,ts})$, $(x_{o_{j,e}}^{p_n,j,ts}, z_{o_{j,e}}^{p_n,j,ts})$ を求める．背景点 B_i のオクルージョンの開始時と終了時の歩行者の座標は、歩行者の軌跡 $y = \hat{a}x + \hat{b}$ と速度 $\hat{v}$, 背景点 B_i のオクルージョンの中点の座標, 開始時刻, 終了時刻, 中点を通る時刻を用いて右式で計算できる．

背景点 B_j のオクルージョンの開始時と終了時の歩行者の座標も同様に計算できる．以上より、異なる二つの背景点 B_i , B_j を移動する間の歩行者の軌跡を示す線分の始点と終点の座標 $(x_s^{p_n,ts}, y_s^{p_n,ts})$, $(x_e^{p_n,ts}, y_e^{p_n,ts})$, 歩行者が始点と終点に位置するときの時刻 $t_s^{p_n,ts}$, $t_e^{p_n,ts}$ は右式で表される．

次に、歩行者の体の大きさ $\hat{r}_a$, $\hat{r}_b$ を求める．これらは異なる二つの背景点 B_i , B_j のオクルージョン開始時の歩行者の座標, と、オクルージョン開始時の測域センサによる計測点の座標, 歩行者の楕円の傾き $\hat{\theta}$ を用いて、右式の方程式で計算される．以上より、測域センサにより取得できる2つの背景点のオクルージョンの始点と終点, およびその時の時刻を用いて歩行者の軌跡と体の大きさを推定することができる．

このように推定した歩行者の軌跡と体の大きさが、実際に移動する歩行者のものかどうか判別するために、異なる三つのオクルージョンか二つずつ三通りの組み合わせで求めた歩行者の軌跡と体の大きさを比較する．異なる三つの背景点 B_i, B_j, B_k の三つのオクルージョンが同一の歩行者から生じたものであった場合、計算された歩行者の体の大きさ $\hat{r}_a^{i,j}$, $\hat{r}_a^{j,k}$, $\hat{r}_a^{i,k}$, および $\hat{r}_b^{i,j}$, $\hat{r}_b^{j,k}$, $\hat{r}_b^{i,k}$ はそれぞれ一定の値を取る．同様に歩行者の傾きと速度もそれぞれ一定の値を取る．この性質より三つのオクルージョンが同一の歩行者により生じたものであるかどうか判別可能である．さらに、同一歩行者によるオクルージョンであると判別された3つのオクルージョンのペア同士で同様に歩行者の大きさの値を比較し、同じ歩行者により生じたオクルージョンをまとめる．こうしてまとめた各オクルージョンで推定された歩行者の移動軌跡を示す線分をつなぎ合わせることで、タイムスロット ts 内の各歩行者の移動軌跡を取得することができる．

$$x_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts} = x_{o_{i,c}}^{i,ts} - \hat{v} \left(t_{o_{i,c}}^{i,ts} - t_{o_{i,s}}^{i,ts} \right) \cos(\arctan(\hat{a}))$$

$$z_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts} = z_{o_{i,c}}^{i,ts} - \hat{v} \left(t_{o_{i,c}}^{i,ts} - t_{o_{i,s}}^{i,ts} \right) \sin(\arctan(\hat{a}))$$

$$x_{o_{i,e}}^{p_n,i,ts} = x_{o_{i,c}}^{i,ts} + \hat{v} \left(t_{o_{i,e}}^{i,ts} - t_{o_{i,c}}^{i,ts} \right) \cos(\arctan(\hat{a}))$$

$$z_{o_{i,e}}^{p_n,i,ts} = z_{o_{i,c}}^{i,ts} + \hat{v} \left(t_{o_{i,e}}^{i,ts} - t_{o_{i,c}}^{i,ts} \right) \sin(\arctan(\hat{a}))$$

$$(x_s^{p_n,ts}, y_s^{p_n,ts}) = (x_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts}, z_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts})$$

$$(x_e^{p_n,ts}, y_e^{p_n,ts}) = (x_{o_{j,e}}^{p_n,j,ts}, z_{o_{j,e}}^{p_n,j,ts})$$

$$t_s^{p_n,ts} = t_{o_{i,s}}^{i,ts}$$

$$t_e^{p_n,ts} = t_{o_{j,e}}^{j,ts}$$

$$\begin{cases} \frac{dxz_{o_{i,s},1}^{p_n,i,ts}}{\hat{r}_a^2} + \frac{dxz_{o_{i,s},2}^{p_n,i,ts}}{\hat{r}_b^2} = 1 \\ \frac{dxz_{o_{j,s},1}^{p_n,j,ts}}{\hat{r}_a^2} + \frac{dxz_{o_{j,s},2}^{p_n,j,ts}}{\hat{r}_b^2} = 1 \end{cases}$$

$$dxz_{o_{i,s},1}^{p_n,i,ts} = (x_{o_{i,s}}^{i,ts} - x_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts}) \cos \hat{\theta} + (z_{o_{i,s}}^{i,ts} - z_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts}) \sin \hat{\theta}$$

$$dxz_{o_{i,s},2}^{p_n,i,ts} = -(x_{o_{i,s}}^{i,ts} - x_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts}) \sin \hat{\theta} + (z_{o_{i,s}}^{i,ts} - z_{o_{i,s}}^{p_n,i,ts}) \cos \hat{\theta}$$

$$dxz_{o_{j,s},1}^{p_n,j,ts} = (x_{o_{j,s}}^{j,ts} - x_{o_{j,s}}^{p_n,j,ts}) \cos \hat{\theta} + (z_{o_{j,s}}^{j,ts} - z_{o_{j,s}}^{p_n,j,ts}) \sin \hat{\theta}$$

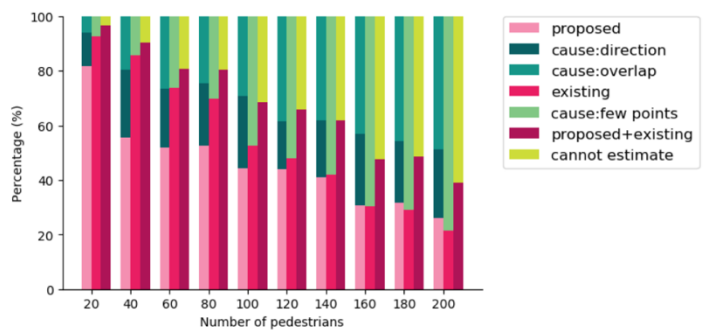
$$dxz_{o_{j,s},2}^{p_n,j,ts} = -(x_{o_{j,s}}^{j,ts} - x_{o_{j,s}}^{p_n,j,ts}) \sin \hat{\theta} + (z_{o_{j,s}}^{j,ts} - z_{o_{j,s}}^{p_n,j,ts}) \cos \hat{\theta}$$

3. 研究成果

シミュレーション実験により、提案手法は既存手法と比べて、混雑した状況下において、高精度で移動軌跡と体の大きさを検出できること、また、提案手法と既存手法を併用することで、より高い精度で歩行者を検出できることを示している．

右図は軌跡を取得できた歩行者の割合と、取得できなかった場合の要因を示している．計測領域内の歩行者

の人数は20人から200人まで、20人毎に異なる状況で実験を行った．ピンクのグラフは提案手法で軌跡を取得できた割合を、赤色のグラフは既存手法で軌跡を取得できた割合を示してい



る。また、紫色のグラフは併用した場合の割合を示している。一方、緑色のグラフは歩行者の軌跡を取得できなかった割合を示しており、提案手法では濃いグラフから順に歩行者の移動方向による要因、歩行者同士の重なりによる要因で軌跡が取得できなかった割合を示している。計測領域内の人数が 120 人以上のときには、既存手法に比べ、提案手法の結果が上回っていることがわかる。比較的人数が多い場合、提案手法で歩行者の軌跡が取得できていない要因は、歩行者の移動方向ではなく歩行者同士の重なりによる要因が大部分を占めている。これは計測領域内の人数が増加することで、背景点前での歩行者同士の重なりが多発し、単一の歩行者により生じるオクルージョンを取得することが困難になるためである。既存手法では、人数が増加した際の歩行者同士の重なりの影響を強く受け、検出精度が低下している。また、併用した手法の割合は、双方の手法を単独で利用したものより高くなっていることからわかるように、それぞれの手法の得意な場面は異なっており、混雑した状況下においては、提案手法と既存手法を組み合わせることで、より多数の歩行者を検出できることが期待される。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

本取組は、従来手法の不得意な認識をカバーするものであり、歩行者の把握だけでなく、周辺車両の観測が求められる自動運転分野への応用も見込まれ、より安全な交通インフラへの実現に貢献するものと考えている。また、提案手法は、機械学習を必要としないことから、計測機器の小型化が見込まれ、様々な場所における計測の実現に貢献するものと考えている。

5. 新たな課題と今後の取り組み

提案手法により、遠くの物体を認識できるだけでなく、移動している物体の楕円形状を把握できることを示した。今後は、様々な形状を把握できる手法へと発展させるとともに、三次元測域センサを利用することで、ベビーカーを伴っている人、スーツケースをひいている人など、個々の歩行者の状況を細かく認識する手法に取り組み、移動が困難な人への支援に貢献したい。また、測域センサを搭載した複数の UAV により、街区全体における様々な人やモノの存在及びその形状を迅速に把握し、様々な用途に活用可能な共通 IoT センシング基盤の開発に取り組んでいきたい。電力の利用や環境音等により、高齢者の状況を把握する取組が多数行われているが、特別なセンサを必要とするだけでなく、これらの計測結果を集約可能なネットワーク環境が整っているわけではない。今後の取組としては、家の周辺を計測することにより、自家用車の位置が前日と異なっているか、洗濯物が干されているか、雨戸があけはなたれているか、郵便物がたまっているかなど、モノの存在や形状の把握により、それに関連する人の活動を把握できるかについて検討をすすめていきたい。また、農業作業への支援として、水田における水位の計測、災害対策として、河川の氾濫、道路の水没の把握。また、画像情報と組み合わせた方法として、家の形状を把握するだけでなく、ビニールシートが覆われている割合を把握することにより、被害をうけた家の数だけでなく、個々の家での風水害の被害状況を迅速に把握するなど、点群データと画像による汎用的な計測及び認識基盤について検討をすすめていきたい。

6. 業績リスト

論文

1. Takayuki Saki, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino (2019), Occlusion-based trajectory estimation for pedestrians using LiDAR sensors, Proceedings of The tenth edition of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2019), pp.400 - 407.

学会発表

1. 崎 貴幸, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫:「歩行者による背景隠蔽の継続時間及び位置に基づく移動軌跡推定手法」第 27 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ、2019 年 11 月 4 日

以上

研究課題	打楽器演奏ロボットと人工知能が拓く健常者・障がい者・難病 患者の楽器演奏の実現と QOL 支援
------	--

所属機関名： 福井大学 学術研究院工学系部門
知能システム工学講座

氏 名： 庄司英一

【研究報告】

1. 研究の目的

音楽は、私たちの暮らしに大きく関わる存在となっている。時として人々の気持ちを支え、また苦難を乗り越えていく人たちに、共感や感動を通して一体感を育み、勇気や気力を与えてくれる。私たちの感情を動かすこの音楽を、例えば、身体に何らかの障がいがあるがために、うまく楽しめない状況があるのなら、それを乗り越えていく工学技術はもっと探究されるべきだと思う。音楽を工学的に支援することで、QOL の向上に寄与し、より豊かな暮らしの実現に貢献するはずである。本研究は、音楽を支援する工学技術を探査し、障がいの有無によらないバリアフリーミュージックの実現に向けた知見の集積を行う。すなわち、打楽器自動演奏ロボットの特長を活かして、人とロボットが音楽で共生できる技術について探究し、これまでありそうでなかった技術を考究、あきらめてしまっていた状況に対して、打開につながる今後の展開に向けての知見を得ることを目的とする。

2. 実施内容

本研究では、音楽における人とロボットの共生の方法について広く探究したので、項目ごとに説明する。打楽器演奏ロボット IROPS (Interactive Robotic Percussion Systems) の開発は製造技術（登録特許第 6573355 号）と開発ノウハウを活かして進めた。今後の発展に繋げるために必要なソフトウェア・支援システムに関する知見集積を進めた。

1. 小スペースで迫力ある打楽器演奏ロボット (IROPS-4 号機の開発)
パール楽器製造(株)(Pearl)のリズムトラベラー RT-645N/C をベースに、小出シンバルと組み合わせた。フットペダルの利用や、シンバルのミュート機構の付加なども検討した。
2. 小スペースで迫力ある打楽器演奏ロボット (IROPS-5 号機の開発)
軽量で薄型のトラップドラムス社(Traps Drums)の A400NC をベースにした。フットペダルの利用や、シンバルのミュート機構の付加なども検討した。
3. 極小スペースで迫力ある打楽器演奏ロボット (IROPS-6 号機の開発)
Pearl のカホン PCJ-633BB をベースに、ラテン系パーカッションを追加して検討した。
4. マリンバ演奏ロボット (IROPS-7 号機の開発)
音階打楽器マリンバを演奏するロボットを、こおろぎ社の 650K をベースにして開発した。
5. 打楽器演奏ロボットの遠隔制御装置の開発
意思伝達スイッチで打楽器演奏ロボットを遠隔演奏できる方策を検討した。
6. 耳が不自由な方が音楽やダンスを楽しめる支援システム
耳が不自由な方が音楽にあわせてダンスや体操、合奏が出来る支援システムを検討した。
7. 打楽器演奏ロボットを介して目が不自由な方が演奏を楽しめる方法の検討
各ドラムの位置をイメージしながら、空中での打叩動作で演奏する方法について検討した。
8. 視線入力装置により打楽器演奏ロボットを演奏制御する方法の検討
筋萎縮性側索硬化症 (ALS) や筋ジストロフィーの方や車いすの方への支援を想定した。
9. 人工知能 MAGENTA による音楽支援の検討
ディープラーニングによる音楽支援に関する知見集積を目指した。

3. 研究成果

本研究の成果について項目ごとに述べる。

1. 小スペースで迫力ある打楽器演奏ロボット(IROPS-4号機の開発)
特別支援学校や介護施設、病院ロビーなどでの訪問演奏に対応できるように、占有面積が小さく、可搬性が高く、設営に時間が掛からない、打楽器演奏ロボット IROPS-4号機を開発した。既に開発している IROPS-2号機や3号機の製造技術(登録特許第 6573355号)と開発ノウハウを活かした。汎用性のあるフットペダルの利用や、シンバルのミュート機構を実現した。将来的な考量から、コストを下げた構成とし、Pearl のリズムトラベラー RT-645N/C をベースで試作した。シンバルは打楽器演奏ロボットに好適で特注の小出シンバルと組み合わせた。
2. 小スペースで迫力ある打楽器演奏ロボット(IROPS-5号機の開発)
駆動機器の専用支柱が不要で、各ドラムユニットに駆動機器を持たせることで、可搬性を高め、組立分解性を高める仕様で IROPS-5号機を開発した。ポータブル・ドラムセットとして、トラップドラムス社(Traps Drums)の A400NC をベースにした。各ドラムが薄く作られているため、全体の重量の軽量化が図れた。汎用のフットペダルによる制御機構や、シンバルのミュート機構を実現した。ロボットに好適な特注の小出シンバルと組み合わせた。
3. 極小スペースで迫力ある打楽器演奏ロボット(IROPS-6号機の開発)
打面素材が木材であるカホンのやわらかい音色と、病院ロビーや小部屋、小スペースでの演奏を実現するために、カホンを使った極小スペースの打楽器演奏ロボット IROPS-6号機を開発した。バックホーンからの重低音が期待できるので、Pearl のブームボックスカホン PCJ-633BB をベースにした。カホンはラテン系パーカッションと相性が良いので、カバサ、タンバリン、ウッドブロックの各制御ユニットを追加した。シンバルは小出シンバルで開発中の小型の 12 インチハイハットで組み合わせた。
4. マリンバ演奏ロボット(IROPS-7号機の開発)
音階打楽器のマリンバを演奏する打楽器演奏ロボット IROPS-7号機を開発した。こおろぎ社の 650K をベースにし、ロボットの演奏に好適なマレットの選定と演奏方法の検討を行った。打叩機構は製造技術と開発ノウハウを活かして設計した。マレットの制御機構は改良の余地があるが、打楽器の駆動機構(登録特許第 6573355号)が鍵盤打楽器にも対応できることの知見集積となった。
5. 打楽器演奏ロボットの遠隔制御装置の開発
意思伝達スイッチや慣性センサーにより IROPS を遠隔演奏する打楽器演奏インターフェースについて検討した。3.5mm プラグ規格のスイッチを使って、演奏できることを確認した。慣性センサーを使って制御できることの知見も得られているので、個々の障がいの状況に応じたインターフェースの開発への知見集積となった。
6. 耳が不自由な方が音楽やダンスを楽しめる支援システム
パブリカのダンスやラジオ体操について、キャラクターが映像でカウントパーソンを演じ、その動きからリズムを把握できる支援システムを検討した。リズムをキャラクターの動きとして視覚化する方法や、歌声合成技術を検討し、より自然な号令や歌声も表現できるものとなった。視覚でダンスやラジオ体操のタイミングがわかる支援システムとなった。
7. 打楽器演奏ロボットを介して目が不自由な方が演奏を楽しめる方法の検討
空間に複数の打楽器の位置をイメージし、その位置を空中でスティックを打叩き動作することで演奏出来る方策の知見集積を行った。画像認識による方法を考察した。より高性能なインターフェース創造への知見集積となった。
8. 視線入力装置による打楽器演奏ロボットの制御方法の検討
視線入力装置(アイトラッカー)を使って、眼球の動きやまばたきをモニタリングし、打楽器演奏ロボットを遠隔操作する方策の知見集積を行った。アイトラッカーによる制御の

特徴や問題点、演奏性などの知見集積となった。

9. 人工知能 MAGENTA による音楽支援の検討

ディープラーニングによる楽曲や打楽器の演奏パターンの創出などに関して知見を集積した。中間層の条件や RNN の種類により、楽曲を単純化する方策などを検討した。打楽器演奏の Groove 感の生成を検討し、打楽器演奏ロボットで演奏する際の知見集積となった。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

本研究では、本格的な打楽器を演奏できるロボットを開発し、その演奏性能の知見集積を行った。この打楽器演奏ロボットを応用し、身体に何らかの不自由をもつ人が音楽を能動的に楽しむための演奏支援ロボットとしての活用が期待でき、バリアフリーミュージックの実現に近づいた。本物の楽器が奏でる響きと躍動感は、録音や合成音源では得られない。録音では収録時にマイクの位置が固定されるので、再生音が疑似空間での音響になる。つまり実際の壁や天井、床などによる反射音が実際とは違い、音響機材の性能にも大きく影響される。また、サンプリング音や合成電子音源ではそもそもアコースティック楽器の打叩きの度に変わる微妙な響きの違いを再現しない。つまり、ドラマチックな本物の響きは生演奏でしか得られない。試作した打楽器演奏ロボットは、既設の IROPS-2 号機と 3 号機の開発技術と製造ノウハウにより、小型で可搬性が高いものが実現した。カホンを利用したものは非常に小さなサイズで豊かな響きを実現した。この打楽器演奏ロボットの実社会でのニーズは非常に大きいと思われる(後述)。打楽器演奏ロボットは MIDI 規格により遠隔演奏が可能である。打楽器演奏ロボットとリズム把握支援システムとを利用することで、肢体不自由の方、難聴の方、弱視の方が自らの意思で、本物の打楽器を演奏して楽しめる方策を提案した。今までであるようで無かった支援技術の具体化、あきらめてしまっていた状況を打開できる提案として、自分の意思で演奏できるバリアフリーミュージックの実現となる成果は、実社会にアピールし、波及効果が期待される。

打楽器はリズムを刻むパートであり、合奏の土台である。演奏難易度が高いパートなので、ドラム演奏者が簡単には見つからないこともある。打楽器演奏ロボットを利用することで、ピアノ、ギターや管楽器など、自分の得意な楽器演奏に合わせて、迫力ある合奏ができる。打叩き音を弱く調整でき、長い時間でも演奏できるので、例えば、病院ロビーや、カフェ等でのコンサートにも対応できる。また、学教での音楽教育の現場では、少子化で児童生徒数が減少し、音楽の授業で人員が足りない場合に、打楽器演奏ロボットが演奏会を支援できる存在になりうる。また、本物の打楽器演奏でリズムを学ぶこと、本物の音響にふれることは何より楽しい。さらに、特別支援学校などで、本物の音にふれる機会が少ない子どもたちにはとても大きな意味を持つ。このように、打楽器演奏ロボットはこうした教育現場にも大いに役立つ観点が多いと思うので、打楽器演奏ロボットの存在が知れ渡れば今後需要が高まることが期待される。

私たちの生活は科学技術の進歩により、日々確実に便利に豊かになっている。科学技術によって、誰でも音楽を楽しめるという夢が拓かれていっても良いはずである。昔から工学技術により楽器が開発され、楽器が音楽をささえてきた。工学技術と音楽は一体となって時代を歩んできた事実を鑑みれば、本研究成果により多くの人が音楽を楽しむ未来が描ける。

5. 新たな課題と今後の取り組み

実験演奏会がコロナ騒動により出来なかったもので、その分、打楽器演奏ロボットの開発やシステムの開発に時間をかけて進めることが出来た。今後コロナ騒動が収束したら、実験演奏会を開催して問題点や改良点などを見極めて行きたい。今回、研究を進めていく中で、あらためて、音楽における人とロボットの共生と、何らかの障がいをもつ方への音楽支援について、真摯に向き合い、考え、整理する機会になった。コロナ騒動は、音楽のもつ力を再認識する契機

となった。不安な日々の中、コロナを乗り越えるために、リモートでの合唱や合奏が話題になっているように、音楽は私たちの希望である。だからこそ、誰もが音楽を楽しむための支援技術がもっと探究されるべきだと改めて思う。音楽における人とロボットの共生と、バリアフリーミュージックの実現に向けた本研究課題は今後も継続して進めて行く。打楽器演奏ロボット関係の今後の課題には、安全性を高める制御保護回路の検討、軽量化、メンテナンス性の向上、量産向けドラムセットの検討、リモート合奏支援システムの開発がある。バリアフリーミュージック関係では、演奏補助装置の改良とリズム把握支援アプリの開発がある。

今後の取り組みでは、本研究の成果を踏まえて、障がいの有無に関係なく音楽と一緒に楽しめる、会場参加型のライブ演奏会を開催したい。この演奏会は、例えば、耳が不自由な方でもリズム把握システムにより一緒になってダンスや合奏が楽しめる内容等で企画出来ると考えている。

最後になりますが、本研究のご支援を賜りました公益財団法人 I-O DATA 財団には心より感謝申し上げます。ありがとうございました。財団の益々のご発展を心よりお祈り申し上げます。

6. 業績リスト

特許：

- [1] 庄司英一、打楽器の自動演奏装置及び自動演奏方法、特許第 6573355 号、2019.8.23
- [2] 庄司英一、瀬戸颯一郎、演奏支援システムおよび制御方法、特願 2018-27425、2018.2.19
- [3] 庄司英一、リズム把握支援システム、特願 2020-108253、2020.6.23

学会発表：

- [1] 庄司英一、人と機械の調和技術をめざした本物のドラム・パーカッション自動演奏システムの開発、音響学会 2016 年春季研究発表会、桐蔭学園(横浜市)、2016.3.10
- [2] 庄司英一、瀬戸颯一郎、人の楽器演奏と打楽器演奏ロボットの共演時に人のリタルダンドやアツチェレランドの演奏意図でテンポを統制するシステムの開発、音響学会 2018 年春季研究発表会、日本工業大学(南埼玉郡宮代町)、2018.3.13
- [3] 庄司英一、瀬戸颯一郎、コンガやタンバリンなどの打楽器やエレキギター演奏時のテンポのリアルタイム計測手法の開発、音響学会 2018 年春季研究発表会、日本工業大学(南埼玉郡宮代町)、2018.3.14
- [4] 庄司英一、瀬戸颯一郎、楽器演奏時の BPM の高精度センシング手法と楽器演奏ロボットとの共演技術への応用、平成 30 年度電気関係学会北陸支部連合大会、北陸先端科学技術大学(能美市)、2018.9.8

報道：

- [1] 庄司英一、家高里佳、大崎響子、『人と〇〇が音楽』(MUSICROBOT によるクリスマスソング演奏で生中継)、ニュースザウルスふくい(NHK 総合テレビ、NHK 福井放送局)、2016.12.16

演奏会：

- [1] 庄司英一、福井大学 MUSICROBOT 工学部×教育学部 演奏会、ハピテラス(JR 福井駅西口ハピリン 1F)(福井市)、2016.10.10
- [2] 庄司英一、MUSICROBOT ロボットと人のミニライブ(はぴりゅうフェスタ 2017)、サンドーム福井(越前市)、2017.12.9
- [3] 庄司英一、MUSICROBOT x 教育学部音楽科、福井大学附属特別支援学校(福井市)、2018.1.26
- [4] 庄司英一、MUSICROBOT～ロボットの解説トークとミニライブ～(2018 第 4 回坂井市産業フェア 特別展示)(坂井市)、2018.6.1～2018.6.2
- [5] 庄司英一、ロボットの演奏の説明とコンサート、福井県立福井東特別支援学校 五領分教室(福井大学医学部院内学級)(吉田郡永平寺町)、2018.10.11
- [6] 庄司英一、ロボットのミニライブ! ～ミュージックロボットと一緒に楽しもう～、福井県立福井東特別支援学校(福井市)、2019.3.6

以上

研究課題	トラスト指向インターネットライブ放送システムの研究開発
------	-----------------------------

所属機関名： 国立大学法人大阪大学
サイバーメディアセンター
氏 名： 義久 智樹

【研究報告】

1. 研究の目的

インターネットライブ配信に写った配信者の顔から視聴者が氏名を特定して脅迫行為を行ったり、配信者の発言を侮辱と捉えた視聴者が周囲の様子から居場所を特定して襲い掛かるなど、配信者に危険が及ぶことが社会問題化している。これらの問題は、配信者と視聴者との間に適切な信頼関係（トラスト）が確保されていなかったことに起因する。本研究では、配信者の方針に従ってトラストを適切に管理（放棄、構築、維持）するトラスト指向インターネットライブ放送システムの構築を目的とし、研究開発してこれらの問題を解決する。提案システムでは、「配信者情報隠蔽」「配信者情報暴露」「配信者情報局限」という三つの独創的なアプローチを採用する。

2. 実施内容

本研究では、トラストの有無で個人情報（配信者情報）の取り扱い方針が変わる点に着目し、配信者と視聴者との間にトラストがない環境をアントラスティ環境、トラストがある環境をトラスティ環境と呼んで区別した。各環境における配信者の方針に応じて下記の項目に分けて研究を進めた。

項目1：アントラスティ環境における配信者情報隠蔽によるトラスト放棄

アントラスティ環境におけるトラスト管理方針の一つとして、トラスト構築を放棄して可能な限り配信者情報を隠蔽する方針がある。構築するシステムでは、撮影された映像に自動的に画像処理を施して配信者情報を隠蔽するアプローチを採用した。

項目2：アントラスティ環境における配信者情報暴露によるトラスト構築

アントラスティ環境におけるトラスト管理方針の一つとして、トラストを構築するために配信者情報を暴露する配信者の方針がある。本研究では、撮影された映像に定期的にテロップを表示させたり、撮影された物体に自動的にアノテーションを付加したりして配信者情報を暴露するアプローチを採用した。

項目3：トラスティ環境における配信者情報局限によるトラスト維持

トラスティ環境におけるトラスト管理方針として、トラストを維持するために配信者情報を特定の視聴者に制限して公開（局限）する方針がある。本研究では、特定の視聴者に対して同時に映像データを配信するマルチキャスト通信を行うことで配信サーバの負荷増加を軽減しつつ配信者情報を局限するアプローチを採用した。

トラスト指向インターネットライブ放送システムでは、配信者の方針に従って適切にトラストを管理するために、配信者のアカウントごとにトラスト管理方法を設定する。本研究では、ECAルールを用いることで、トラストを適切に管理できることを明らかにした。



図1：アントラスティ環境における映像処理

3. 研究成果

研究成果の全体図を図2に示す。詳細を下記する。

ECAルールを用いたトラスト管理（[雑誌論文1, 発表論文6, 7, 8]）

ほとんどのインターネットライブ放送システムでは、配信者や視聴者がサービスを利用するためにはシステムへのログインを必要としており、研究開発したトラスト指向インターネットライブ放送システムにおいても、サービスを利用する際には配信者や視聴者にシステムへログインさせることとした。ログインさせることで、配信者や視聴者を特定でき、配信者の方針に従って適切にトラストを管理できる。

配信者のトラスト管理として様々な方針が考えられるため、配信者がログイン後、トラスト管理方針を柔軟に記述できることが望ましい。Java等のプログラミング言語を用いて映像処理を施す条件や映像処理内容を記述することで、柔軟なトラスト管理方針記述が可能になる。しかし、プログラミングに関する知識が必要となり、プログラミング経験のない配信者には記述が困難である。これらのため、配信者がトラスト管理方針を記述する方式として、柔軟かつ容易な記述方式が求められる。

そこで、本研究では、ECAルールを用いたトラスト管理を提案した。ECAルールとは、外部事象（Event）、条件（Condition）、動作（Action）の3項目を組にしたルールであり、外部事象が発生した時に条件が満たされていれば動作を実行する。複数の簡易なECAルールを組み合わせることで複雑な動作も実現でき、トラスト管理方針の記述方式に適している。本研究では、ECAルールを用いたトラスト指向インターネットライブ放送を提案し、ルール体系を設計した。配信サーバの負荷軽減手法（[著書1, 雑誌論文2, 発表論文3, 4, 5]）

トラスト指向インターネットライブ放送システムでは、複雑な映像処理を行って映像処理負荷が大きくなった場合や、視聴者の数が多くなって配信負荷が大きくなった場合、遅延が長くなったり再生に途切れが発生する問題がある。これらは、配信サーバの負荷が大きすぎることに起因し、負荷を軽減することでこの問題を発生しにくくできる。

そこで本研究では、配信サーバの負荷を軽減するために、まず、映像の解像度を動的に変更して通信量を削減する方式を提案した。PQI（Progressive Quality Improvement）アプローチと呼ぶ本手法では、アントラスティ環境では、解像度の低いぼやけた映像、トラスティ環境では解像度の高い鮮明な映像を配信しつつ、通信量を削減できる。評価の結果、アントラスティ環境が長いほど通信量を削減できることが分かった。また、映像処理を変更してフレームレートを安定化させる手法を提案した。本手法では、ECAルールで記述された配信者のトラスト管理方針に従って、映像処理時間が長い場合には簡易な処理に変更することでフレームレートを安定化させる。評価の結果、映像処理のマージン時間を適切に設定することで、フレームレートを安定化できることを確認した。さらに、分散処理により映像負荷を分散させる手法を提案した。本手法では、ECAルールで記述された処理分散化の方針に従って、配信者自身の計算機やクラウドサービスで提供される仮想計算機に映像処理を分散させる。実際にMicrosoft Azureサービスを用いた評価の結果、仮想計算機との通信時間が短い場合には処理時間を短縮できることを確認した。

トラスト指向インターネットライブ放送システムの開発（[発表論文1, 2, 9]）

開発したトラスト指向インターネットライブ放送システムでは、普遍的に利用されるオープンソースソフトウェアであるOpenCVを活用して、画像認識を行えるようにした。本システムは、カメラ映像を取得してYouTube Liveでライブ配信する。プログラムはWindows OS用であり、開発言語は主にJavaによるものである。WindowsPCに接続されたカメラから映像と音を取り込み、映像と音をリアルタイムエンコードしてRTMPプロトコルでYoutubeLiveとに送信し、動画を配信する。図3に、当プログラムのインターフェース及びEclips統合開発環境で実行したスクリーンショットを示す。上記研究成果と開発したこのシステムを用いて、トラスト指向インターネットライブ放送が可能となった。

5月に情報収集および研究紹介のため講演会に参加し、6月には研究紹介のため国内の学会の研究会に参加。7月には国内シンポジウムおよび国際会議で研究報告を行い、得られた意見を踏まえて9月および10月に複数の国際会議で情報収集や研究成果報告を行った。研究期間後半

の11月には国際会議で研究成果報告を行った。1月に国内の学会で研究報告を行い、ソフトウェア開発のため再生端末等を購入。2月に研究紹介のため講演会に参加した。また、トラスト指向インターネットライブ放送システムをソフトウェア開発のため設計、2月に実装を進めた。

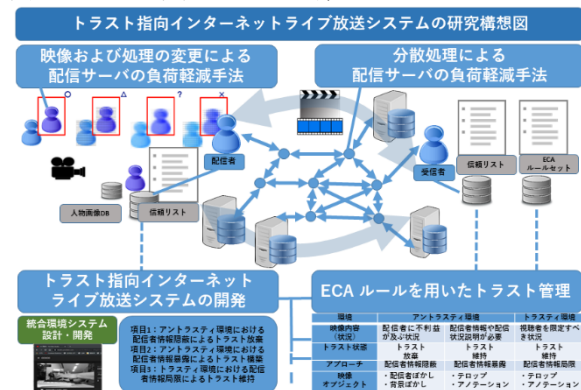


図2：本研究成果の全体構想

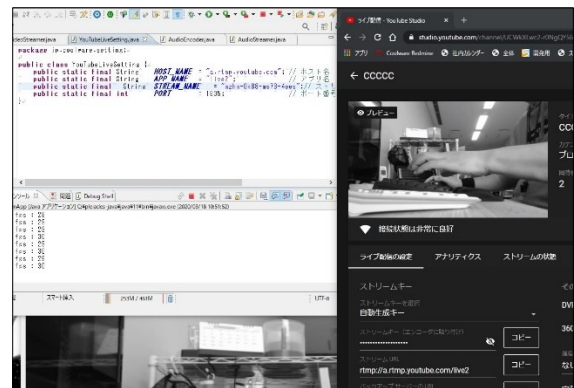


図3：実装したトラスト指向インターネットライブ放送システム

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

「どのようなインターネットライブ配信システムであればトラストを適切に管理（放棄、構築、維持）できるか？」の問題を解決する事で、配信者は安心してインターネットライブ配信による情報発信を行え、広く国民の自己啓発に繋がる。

本研究成果となるインターネットライブ放送システムによるサービスは、トラストを適切に管理でき、かつ、視聴者が容易にエフェクトを付加できたり、快適に再生できたり、従来のインターネットライブ放送サービスを拡充させたサービスである。インターネットライブ放送は広く普及しており、これを拡充させたサービスである次世代インターネットライブ放送サービスを実現することで、WebカメラやHDMIキャプチャーといったインターネットライブ放送に用いる機器の販売促進が期待される。さらに、本研究開発では、実用化を見据えて分散型インターネットライブ放送システムの開発を行った。開発したシステムを論文成果による本研究内容を適応し、活用する事で、本研究開発は事業化につながる可能性が高い。

分散コンピューティング環境の基盤として、クラウドコンピューティングサービスやエッジコンピューティングサービスを利用できる。これらのサービスは、大手ソフトウェア会社や大手通信会社によって多数提供されており、経済社会で注目されている。本研究開発は、今後いっそう注目を浴びる分散コンピューティング環境を活用するものであり、経済社会への大きな波及効果が期待できる。

一方、近年多数のインターネット放送サービスが提供されている。我が国のインターネット放送サービスの利用者数は、数年間で100倍となりYouTubeで国内約2800万人、niconicoサービスで241万人になっており、現在も増加し続けている。また、報告者らがSCOPEの研究支援を受けて平成26年度に行った実地調査では、映像の視聴中に途切れが発生すると視聴意欲が下がるという回答した視聴者が82%おり、映像を途切れなくすることで視聴者にとって快適なインターネット放送サービスを提供できる。本研究開発は、利用者が増加し続けるインターネット放送において利用者が求めている快適なサービスを実現するものであり、社会への波及効果は極めて大きい。

5. 新たな課題と今後の取り組み

トラスト管理において、本研究ではECAルールを作成する際、配信者にとって確かなトラスト管理を行う条件で研究を推進した。しかし、研究会での意見交換にて、視聴者側の立場に立った安全なトラスト管理も、年齢制限やコンテンツ視聴者に応じた不快感を与えない、視聴者

に応じた内容のコンテンツ配信の配慮も必要である事が分かってきた。議論の結果、視聴者側の立場に立った双方向のトラスト管理が新たな課題として出現した。

また、映像ストリーム配信負荷分散の最適化において、顔や物体の認証時に対象の認証領域自体を絞り、高速に認証を行い、ストリーム配信負荷分散の安定化を図れたが、上記の配信者と視聴者双方の立場に立ったトラスト管理には、認証後のそれぞれの立場に立った映像加工処理が必要となる。そこで、認証した映像オブジェクトの加工を再利用し、それぞれの視聴者に振り分けて配信し、高速かつ立場に合わせたトラストを確立する技術が必要となる。

映像配信負荷分散最適化において、コンテンツのデータ量に適応させた映像配信を行い、トランザクションデータの実行時間の短縮化を行える研究の成果を出せた。新たな課題として、この成果を今後マルチコア化する携帯端末に如何に対応させるべきかの新たなチャレンジが出現した。

本研究で開発したトラスト指向インターネットライブ放送システムを利用し、上記の新たな課題について実装し、広く社会に向けての社会実験等により本研究をさらに発展させる予定である。

6. 業績リスト

・著書

- 1 Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa, and Yuuichi Teranishi, "Large-Scale Distributed Stream Data Collection Schemes," Data Science: Theory, Analysis, and Applications, CRC Press, Taylor and Francis, Chapter 5 Part I 29pages, 2019

・雑誌論文

- 1 Satoru Matsumoto, Yoshimasa Ishi, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, and Yuuichi Teranishi, "A Distributed Internet Live Broadcasting System for Multi-Viewpoint Videos," International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol. 11, No. 2, pp. 117-124, 2019
- 2 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimojo, "A Method to Reduce Transaction Time for Real-time IoT Applications," IPSJ Journal of Information Processing, Vol. 27, pp. 701-710, 2019

・発表論文

- 1 Tomoki Yoshihisa, Satoru Matsumoto, Tomoya Kawakami, and Yuuichi Teranishi, "A Video Processing System to Stabilize Frame Rates on Trust-Oriented Internet Live Video Distributions," in Proc. of the International Workshop on Informatics (IWIN), pp. 31-38, 2019
- 2 Tomoki Yoshihisa, Satoru Matsumoto, Tomoya Kawakami, and Yuuichi Teranishi, "Trust-Oriented Live Video Distribution Architecture," in Proc. of the IEEE Annual International Computer, Software and Applications Conference (COMPSAC), pp. 938-939, 2019
- 3 Tomoya Kawakami, Tomoki Yoshihisa, and Yuuichi Teranishi, "Evaluation of a Distributed Sensor Data Stream Collection Method Considering Phase Differences," in Proc. of the International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS) in Conjunction with the International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC), pp. 444-453, 2019
- 4 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, and Shinji Shimojo, "A Dynamic Intervals Determination Method Based on Transaction Rates for Real-Time IoT Applications," in Proc. the Annual International Computer, Software and Applications Conference (COMPSAC), pp. 7-12, 2019
- 5 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, and Shinji Shimojo, "A Performance Evaluation of Object Detections by Progressive

- Quality Improvement Approach,” in Proc. of the IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 371-375, 2019
- 6 松本 哲, 義久智樹, 川上朋也, 寺西裕一, “自律映像処理を伴うトラスト指向インターネットライブ配信システムの検討,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp. 1298-1300, 2019
- 7 Satoru Matsumoto, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, and Yuuichi Teranishi, “A Rule Design for Trust-Oriented Internet Live Video Distribution Systems,” in Proc. of the International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS), pp. 427-432, 2019
- 8 Chaxiong Yukonhiatou, Tomoki Yoshihisa, Tomoya Kawakami, Yuuichi Teranishi, Shinji Shimojo, “An Implementation of Surveillance Systems with Dynamic Transaction Intervals under PQI Approach,” 情報処理学会研究報告 (マルチメディア通信と分散処理), Vol.2019-DPS-181, No. 3, pp. 1-6, 2019
- 9 松本哲, 義久智樹, 川上朋也, 寺西裕一, “トラスト指向インターネットライブ放送におけるフレームレート安定化方式,” 情報処理学会研究報告 (デジタルコンテンツクリエーション研究会), Vol.2020-DCC-24, No. 26, pp. 1-7, 2020

以上

研究課題	有線放送に代わる地域イントラネットによる放送・通話システムの評価実験
------	------------------------------------

所属機関名： 公立大学法人 岩手県立大学

氏 名： 佐々木 淳

【研究報告】

1. 研究の目的

本研究は、これまで農漁村地域で利用されてきた有線放送に代わるサービスを、地域イントラネットと、インターネット用スピーカと、番組制作・編集用ソフトウェアを用いて地域住民に提供し、防災に強い地域コミュニティの再構築を目指したシステムを開発し、その効果に関する評価実験を行うことを目的としている。

2. 実施内容

本研究で開発したシステムは、「インターネット放送システム」と呼ぶこととする。

インターネット放送システムの開発については、開発規模の見積もりを行ったところ、開発した専用端末に音声通話モードを実装することはコストが大きいこと、その利用者は通話する必要性を感じていないことから、これを中止した。その代わり、聞き逃した放送を30分以内であれば再生できる機能を実装した。また、専用端末を持たなくてもスマートフォンで本サービスが受けられるようにするために、当初はアプリを開発する予定であったが、アプリの運用コストを考えた結果、アプリではなくメールによって対応する機能を開発した。開発したインターネット放送システムの概要を図1に示す。

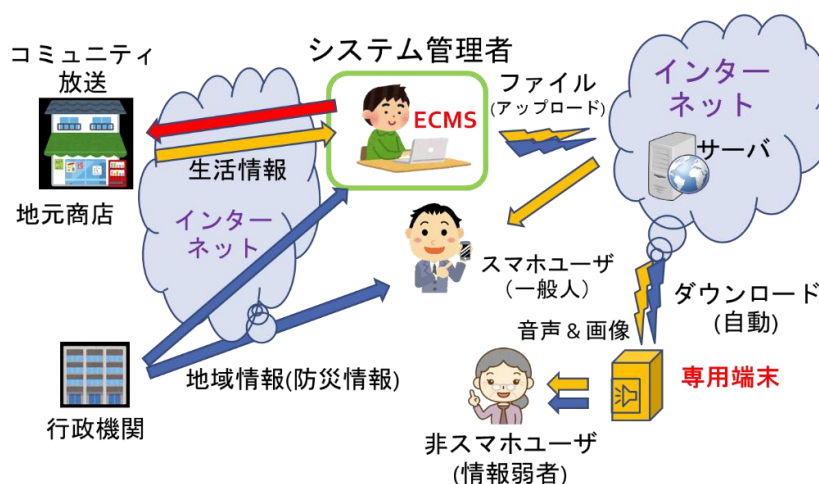


図1 インターネット放送システムの概要

スマートフォンを持たない利用者のために、図2に示す2種類の専用端末を開発した。図2(a) “ラジエ”は比較的小型で、画像を表示するためのディスプレイがある。(b) “ラジタ”はディスプレイがなく、有線放送用スピーカを改造した安価で大音量が出力できる端末である。放送用のコンテンツは、緊急、定時、その他という3つの区分のタイミングでこの専用端末がサーバーに自動的にアクセスして、新しい画像および音声ファイルをダウンロードし、表示・再生する仕組みとなっている。同時に、サーバーに新しいコンテンツが入ると登録されたスマートフォンの利用者にURL付メールが届き、利用者がそのURLリンクをクリックすると専用端末と

同じ画像と音声が表示・再生される仕組みも開発した．このことによって，利用者の情報リテラシーに関わらず同じ地域の誰もが同じ情報が受け取れることから，「情報のユニバーサルデザイン」が実現することになる．

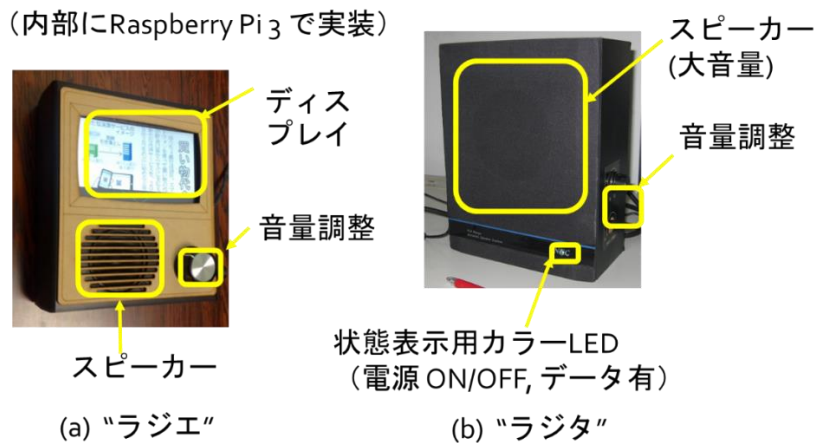


図2 インターネット放送システム用専用端末 (非スマホユーザ用)

本研究で開発したインターネット放送システムをスムーズに運用するためには，身近な情報を簡単に配信する仕組みが重要となる．今回開発した操作が簡単なコンテンツ配信システムの画面例を図3に示す．



図3 操作が簡単なコンテンツ配信システム

本コンテンツ配信システムは，レンタルサーバに実装し，場所を選ばず Web ブラウザ上で利用できる．放送は，緊急，定時，その他のいずれかの配信時刻指定領域に，放送用コンテンツ（音声ファイルと画像ファイル）を送信（アップロード）し，公開することで放送可能な状態となる．指定時刻になると前述の専用端末が，サーバにアクセスし，新規ファイルがあればそれを取り込み（ダウンロードされ）再生・表示される．サーバ側ではダウンロード数が表示されるため，すべての専用端末がコンテンツを取り込んだかどうか確認ができる．また，新規コンテンツがアップロードされた時点で，サーバに実装したメールシステムがそのコンテンツの URL を含む通知メールを登録されたメールアドレスに同報する．

これらのシステムについては 2019 年 8 月末に完成し，同 9 月にコンテンツ配信者 1 名，コ

ンテンツ受信者 6 名で予備実験を行い、システムの操作性、受信コンテンツの品質に問題がないことを確認した。

実証実験のフィールドとしては、2018 年 3 月まで有線放送を導入していた岩手県紫波町および矢巾町とし、各町長および役場の担当者に実験協力とシステム利用者の募集を依頼した。その結果、表 1 に示す協力者を得て実証実験を行うことができた。ほとんどの実験協力者宅にはインターネット環境はあったが、本実験による個人インターネット利用への影響を避けるため実験用モバイルルータを貸し出して、専用端末を接続して実験を行った。専用端末は合計で 20 台開発し、専用端末の利用者は 16 名、メール登録利用者は 12 とした。また、レンタルのモバイルルータの台数を抑えるため、紫波町と矢巾町における専用端末利用者の実験期間は日程をずらして実験を行なった。

表 1 実験条件

No.	項目	内容
1	実験期間	2019 年 9 月 20 日～10 月 30 日
2	利用者数	16 名（紫波町 9 名，矢巾町 7 名）
3	性別	男性 9 名，女性 7 名
4	年代	20 代 6 名，30 代 1 名，40 代 3 名，50 代 2 名，60 代 3 名，80 代 1 名
5	家族構成	一人暮らし 1 名，二人 2 名，3 人 2 名，4 人以上 11 名
6	職業	農業 2 名，会社員・公務員・団体職員 10 名，パート・アルバイト 2 名，専業主婦/主夫 1 名，その他 1 名
7	実験利用端末	ラジエ 10 台，ラジタ 6 台，メール 12 名（紫波町 7 名，矢巾町 5 名）

3. 研究成果

(1) 実験結果

実験協力者に対して実験終了後にアンケート調査を行った。アンケートの回収率は 100%（16 名）である。その結果について以下に述べる。

- (ア) 有線放送の廃止について：困る 25%，少し困る 42%，困らない 33%
- (イ) 有線放送で聴いていた情報：農協 39%，慶弔 35%，市況 10%，気象 3%，その他 33%
- (ウ) 身近な情報の入手：不足している 63%，十分である 31%，できていない 6%
- (エ) 速やかに欲しい情報：火災・災害 29%，行政情報 20%，イベント情報 15%，J A・役場・学校の情報 12%，慶弔 12%，気象 7%，その他 5%
- (オ) インターネット放送の今後の利用希望：利用したい 44%，利用したくない 31%，どちらとも言えない 25%
- (カ) 利用する場合の許容できる月料金：1,000 円未満 50%，1,000 円 30%，1,500 円 20%
- (キ) 希望する定時放送時間帯：夕方 18～19 時 45%，朝 6～7 時 35%，昼 12～13 時 20%
- (ク) その他の意見

- ・印象的なコンテンツ：日詰の成り立ちの話、赤沢産直の PR、日詰祭り
- ・人工音声の品質：問題ない 9 名，速くて聞き取れない 2 名，肉声の方が良い 3 名

以上を総括すると、従来の有線放送サービスは廃止されて困る、身近な情報は不足しているという意見が多く、インターネット放送システムのニーズは十分にあることが確認された。今回実験で使用したシステムについては概ね導入可能であることは確認できた。しかし、本システムを運用するためにはシステムの運用・保守も含めた体制と予算の確保、身近な情報を収集・発信し続けることのできる人材の確保が必要となる。

(2) 持続可能な運用体制の検討

インターネット放送システムに係るコストと利用料金を仮定し、持続可能な運用体制となるための収支条件を検討した。その結果を以下に示す。

(ア) 収入の部

- ・専用端末利用料：1,500～2,500 円/月（端末はレンタル）、3 年後の利用者数：2,500 人

- ・メール登録者利用料：300 円/月，3 年後の利用者数：5,000 人
- ・広告収入：2,500 円/月・企業，3 年後のスポンサー数：25 社
- ・付帯事業（音声 QR コード変換サービス料）：2,500 円/月・企業，3 年後の利用件数：50 件
- （イ）支出の部
- ・システム管理人員費：300,000 円/月・人，管理者数：2 年間 2 名，3 年後から 3 名
- ・サーバ，ソフトウェア利用料：20,000 円/月，専用端末ハード価格：20,000 円/台
- ・事務所家賃：2 年間 50,000 円/月，3 年後から 70,000 円/月

以上の条件で，割引率 0.8%/年，専用端末利用料を 1,500 円/月，2,000 円/月，2,500 円/月として DCF 曲線を計算した（図 4）．図 4 より，月料金が 1,500～2,000 円の場合，2 年程度で投資が回収できることがわかった．

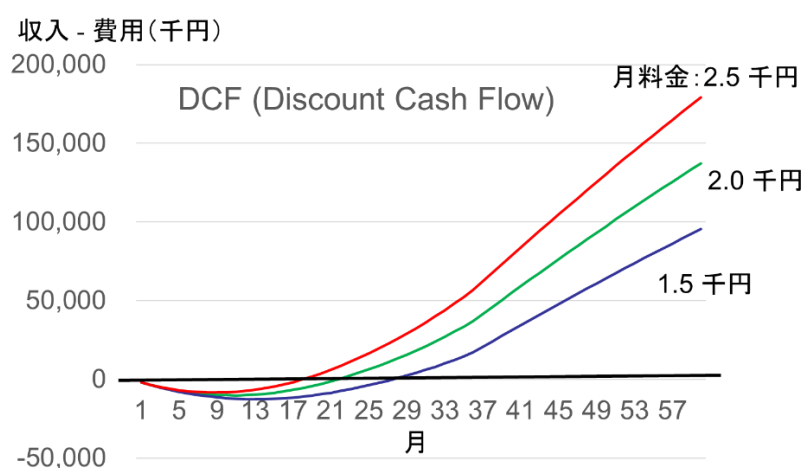


図 4 インターネット放送システムの DCF 曲線

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

この研究を通じて研究開発をしたインターネット放送システムは，情報リテラシーの格差を無くして，身近な情報が誰にでも簡単に即座に地域住民に届けられる点が特長である．このことにより井戸端会議のような話題を地域住民で常に共有することにより，地域の一体感が生まれる．しかも，実際に会話するわけではないので，新型コロナウイルスの感染リスクを低減しつつ地域コミュニティの再構築が期待できる．地域コミュニティの形成により，災害時における「自助」「共助」の比率が高まるため，行政等による「公助」の負担を抑えて災害リスクを低減することができる．

また，地域でのイベントや学校行事，商店のバーゲン情報などが配信できるため，家にこもりがちな一人くらい高齢者などに外出の機会を与えることにつながる．これによって，地域住民がリアルな活動の場に参加するようになり，住民の心身の健康増進と地域の活性化につながることを期待できる．

5. 新たな課題と今後の取り組み

今回の研究開発によって抽出された新たな課題として最も大きいのは，利用者の獲得方法である．インターネット放送システムのメリットは利用すればわかっただけだが，その前段階においてその必要性を理解していただくことが難しい．その要因は，インターネットですべての情報が手に入るため，身近な情報も入手できるという錯覚が広がっていることにある．今回，地域の身近な情報を配信する実験を行なってみて，インターネットでは入手できない有益な地域情報がまだ多くあることに気づかされた．

次に，抽出された課題としては，システムの収入源と運用体制である．このシステムは利用

者がある程度増えなければ収入が発生しないため、運用に係る人件費が確保できない問題がある。このためには、最初に大きな初期投資をして利用者を確保する必要がある。現在、本研究で開発したインターネット放送システムをベースに、第2段の実証実験の実施と、事業の立ち上げ、運営を行うため、一般社団法人「インターネット放送研究所」（代表：佐藤祐輔氏）の設立を検討しているところである。

6. 業績リスト

- [1] Jun Sasaki, Taeko Maejima, Shuang Li, Yusuke Sato and Minoru Hiyama, “Life-Area Broadcasting System (LABS) for Usual and Emergency Cases by Using Easy Contents Management System and New Speaker Devices”, ISCRAM 2019 Track 9 (Universal Design of ICT in Emergency Management), WiPe papers (ID 177), pp. 933-939 (スペイン, バレンシア, 2019. 5. 12)
- [2] 佐々木淳, 「平常時と災害時に利用できる生活圏放送システムの開発」, 災害コミュニケーションワークショップ, 研究発表(盛岡市, 2019. 8. 12)
- [3] Makoto Kitsuya and Jun Sasaki, “Proposal of Evacuation Support System and Evaluation by Multi-agent Simulation in a Regional Disaster”, 4th IFIP Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction (ITDRR-19), Aural presentation (ウクライナ, キエフ, 2019. 10. 9).
- [4] Jun Sasaki and Makoto Kitsuya, “Life-Area Broadcasting System (LABS) for Normal and Emergency cases by using Easy Contents Management System and New Speaker Devices”, 第2回世界防災フォーラム IFIP session on IT in Disaster Risk Reduction (ITDRR) (IFIP+IPSJ) セッション, 研究発表(仙台市, 2019. 11. 12)
- [5] 佐々木淳, 「Local-Area Broadcast System (LABS)の開発と評価」, 第9回災害コミュニケーションシンポジウム～災害時に必要な情報処理～(情報処理学会主催), 研究紹介(京都市, 2019. 12. 26)
- [6] 2020年1月30日 岩手日報朝刊 記事「災害情報 音で即時配信」(26面)
- [7] Makoto Kitsuya and Jun Sasaki, “Proposal of Evacuation Support System and Evaluation by Multi-agent Simulation in a Regional Disaster”, IFIP Advances in Information and Communication Technology 575 (ITDRR 2019 Proceedings), Springer Book 発刊, pp. 45-54 (2020).

以上

研究課題	画像解析に基づくブドウ農家育成支援システムの開発
------	--------------------------

所属機関名： 大阪府立大学

氏 名： 内海 ゆづ子

【研究報告】

1. 研究の目的

本研究では、農業従事者の育成の効率化のため、農業従事者の人材育成のためのシステムを開発する。我が国の農業では、農業従事者の高齢化が進んでいることから、人材の育成が大きな課題となっている。我が国の農家の特徴として、作物の管理を細かく行い、高品質の作物を栽培していることが挙げられる。今後もこのような形態を続けていくためには、作業を習得した人材を育成することが重要である。しかし、作業の多くは経験と勘に基づいていることが多いため、農作業の習得には専門知識を持った指導者について時間をかけて作業を学ぶ必要がある。また、指導書もあるが、読んだだけでは作業をどのようにすればよいか分からず、試行錯誤が必要である。そのため、農業の人材育成には長い年月と相応の費用がかかる。特に一定レベルの技術を習得できるまでは収穫物の品質が低く、また生産性が上がらないため、農業のみで生計を立てるのが困難である。これも人材育成の障壁となっている。

そこで、本提案では、農業の人材育成の効率化を目指し、農業技術習得を補助するシステムを開発する。このシステムの強みは、(1) シミュレーション環境ではなく、実環境（実際の圃場）で、(2) 農業技術の習得を目指す人が独力で、(3) 最初から一定レベルの収益が見込めることである。本提案では、申請者の所属機関の所在地である大阪府で栽培が盛んなブドウを例にとって、作業中に作物の状態の計測・解析を行い、必要な情報や作業方法を作業者に提示するシステムを開発する。このことにより、作業者は一人で作業をしながらも、あたかも熟練者に栽培技術を指導してもらっているかのように実践的に栽培技術を学ぶことができる。さらに、システムの適切な指摘に従って作業すれば、一定レベルの収益が期待できるため、農業を始めた人が最初に直面する経済的な困難を回避できる。

2. 実施内容

今回主に成果が出た摘房支援システムのアルゴリズムについて説明する。摘房とは、ブドウの品質（糖度）を一定に保つため、ブドウ棚で果房が一定の密度に分布するように果房を間引く作業である。作業に慣れていない初心者はブドウ棚の2m四方を1つの単位として区切り、その中の果房を数えながら基準に合うよう間引く作業を行うが、葉と同じ色をした房を数える作業は困難であり、多く残しがちである。そのため、ブドウ棚を単位面積に区切り、ブドウの房がそこにどの程度あるのかを提示してやるだけでも、初心者にとっては効果的である。そこで、本研究では、ブドウ棚を2mX2mの領域に区切り、その領域でブドウの房を自動的に数えて提示することを目的とする。ブドウ棚の房の数を知るためには、ブドウ棚のどの位置にいくつ房があるかを知る必要がある。摘房時期のブドウは成熟したブドウとは見た目が異なるため、熟したブドウを検出可能な一般物体認識器で検出が困難である。また、ブドウ棚は広いため、全体の房の位置や数を知るためには、視野の広いカメラを用いての撮影と、房の計数が必要となる。

そこで、本課題では、図1 入力画像に示す通り、ブドウ棚を周囲360°が一度に撮影できる全方位視覚センサを用いて撮影し、撮影された画像を用いてブドウの棚にあるブドウの房の計数とブドウの棚の3次元復元を行った。このアルゴリズムの開発のため、まず、全方位カメラで撮影したブドウ棚のデータベースの作成を行った。このデータベースは図1に示すように、

全方位カメラでブドウ棚を撮影し、画像に写るブドウを矩形でアノテーションしたのち、2mX2mの領域を切り出すことで作成した。そのため、この領域内のブドウの房の数は既知であり、評価に用いることが可能である。続いて、ブドウ計数のアルゴリズムの開発とブドウ圃場の3次元復元を行った。ブドウの計数は、群衆画像の人数を数えるアルゴリズムを全方位画像とブドウの房に応用することで実現した。近年、群衆画像の人数計数では、一人一人の人物を検出して数え上げるのではなく、人の密度を推定して、その密度情報を画像領域で積分することで人数を計数する手法が主流であり、人物検出を用いるよりもよりよい精度を示している。そこで、本研究も群衆の計数手法に倣って、図2に示すブドウを計数する手法を提案した。

続いて、全方位カメラ画像を用いて圃場の3次元復元を行った。ブドウ棚を撮影した動画に対し、カメラの3次元位置の推定と環境の復元を同時に行う Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) を適用し、復元を行った。

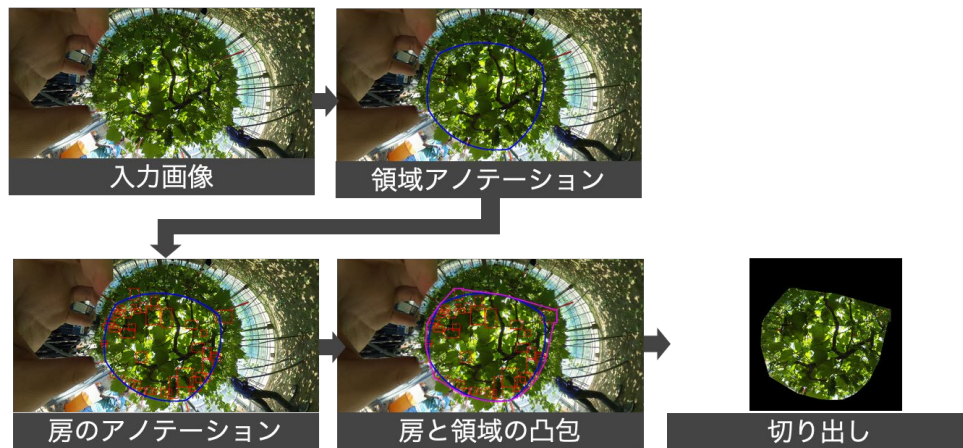


図 1: ブドウ棚画像のデータベース作成

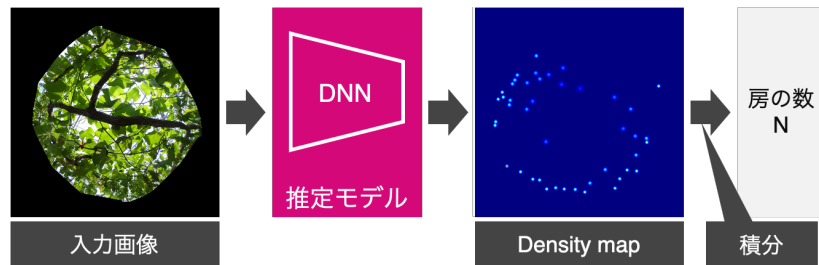


図 2: ブドウの密度推定手法概要

3. 研究成果

提案手法の有効性を示すため、作成したデータベースを用いて評価を行った。データベースの画像は527枚あり、この画像から学習用268枚、テスト用として259枚画像を用いた。また、評価値としては、平均絶対誤差 (Mean Absolute Error: MAE), 平均二乗誤差 (Mean Square Error: MSE) を用いた。ブドウの房の推定結果の評価結果を表1に示す。表1の従来手法は、従来提案されてきた群衆の人物計数で用いられていた手法をそのまま適用した場合の結果であり、提案手法は、本研究の全方位カメラ画像用に従来手法を改善したものである。表1から、人物計数手法を応用することで、ブドウの房を誤差3個〜4個程度で計数が可能となり、ブドウの摘房支援に十分利用可能であるといえる。また、提案手法は従来手法よりもMAEで精度が9.6%改善していたことから、全方位カメラ画像用に改善した提案手法が有効であることがいえ

る。この成果は、日本国内で参加者 1000 人を超す最大規模の画像認識の会議である第 23 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU 2020) で口頭発表を行った (8/4) 他、情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 (5/15)、農業情報学会 2020 年度年次会 (5/23) で成果を発表した。また、パターン認識では最も歴史のある国際会議の 25th International Conference on Pattern Recognition に既に採録されており (7/20 採録通知, 採択率 30%程度), 1 月に発表予定である。

また、ブドウの 3 次元復元結果を図 3 に示す。図 3 の通り、ある一定の 3 次元復元は可能になったものの、復元結果は誤差を多く含んでおり、正確には復元ができなかった。原因としては、ブドウ棚の葉が動くことで復元に失敗する点が大量にあり、そのため、誤差が大きくなったと考えられる。

表 1: ブドウの計数結果

手法	MAE	MSE
従来手法	3.41	4.54
提案手法	3.29	4.40

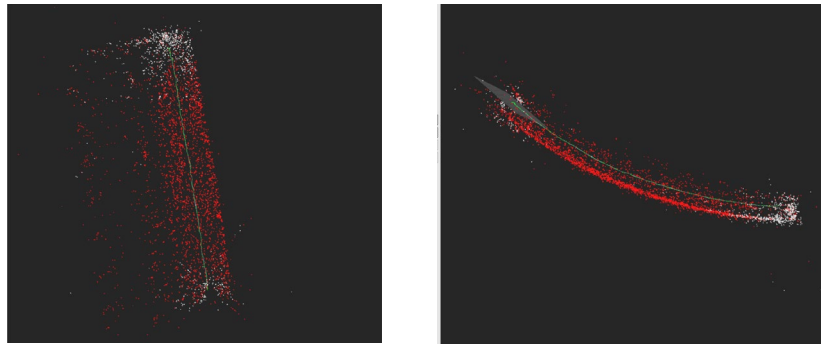


図 3: ブドウの圃場 3 次元復元結果。赤い点が復元した 3 次元点、緑の線がカメラの奇跡を表す。左の画像はブドウ棚を真上から見た様子であり、右の画像は横から見た様子。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

ブドウの計数が画像処理で可能であるということが明らかとなり、摘房支援システムの実現可能性が示せた。今後、この手法を用いてアプリケーションの開発を行うことで、ブドウの摘房支援システムを完成させることができれば、ブドウ農家への技術支援が可能となる。また、システムにより、ブドウ栽培の作業に慣れていない人であっても、作業が可能になることから、農業での雇用拡大や、人手不足の解消につながり、継続的なブドウ栽培を可能にすると考えられる。特に、研究代表者の所属機関の所在地である大阪府では、高齢化によるブドウ栽培の縮小が問題となっており、その解決に大きく貢献できると予想される。

また、本研究では、従来、画角の狭い一般的なカメラ画像にのみ適用可能だった物体計数を、全方位カメラ画像に拡張した。全方位カメラはその視野の広さから都市や公共施設、スタジアムなどの広い範囲を撮影する監視カメラで利用されることが多い。これらの監視では、群衆の人数は警備をどのように行うかを判断するために非常に重要な情報とされている。そのため、本研究の全方位カメラ画像に対する物体計数手法が大いに役立つことが考えられる。また、この手法では、物体の数だけでなく、画像上での物体の密度も推定可能である。昨今の新型コロナウイルス感染拡大防止策として、人が密な状態を避けることが重要とされている。本研究の物体計数手法では、画像から人が密な状態を検出可能であるため、感染防止対策にも応用が十

分可能であると考えられる。

5. 新たな課題と今後の取り組み

今回、ブドウの房の計数技術で大きく成果を上げられたが、SLAM によるブドウ棚の 3 次元復元では、システムに必要な復元精度が得られなかった。これに加えて、房の計数手法を当初の研究計画法である物体検出ベースの手法から、密度マップを推定する手法にから大きく変えた。このことから、研究を進めるのにあたってデータベースやアノテーションデータの用意などで大きな遅れが生じた。当初計画していたブドウ栽培の作業支援システムの作成には至らなかった。そこで、今後の取り組みとして、まずはブドウ棚の 3 次元復元の方法の改善を図ることとする。復元の精度が低かった原因としては、SLAM が仮定している復元対象とブドウ棚の特性が大きく異なったためである。SLAM では、環境はすべて剛体で、静止しているものと仮定して 3 次元復元を行うが、ブドウ棚では、ブドウの葉が風に揺れたりするなどして動く。そのため、ブドウ棚特有の葉の揺れに頑強なアルゴリズムを作成し、復元精度の向上を図る事とする。そして、計数技術と組み合わせることで、ブドウの摘房支援システムの完成を目指す。

6. 業績リスト

なし

以上

研究課題	教員の ICT 活用指導力向上過程の分析
------	----------------------

所属機関名： 金沢大学附属小学校
氏 名： 福田 晃

【研究報告】

1. 研究の目的

新学習指導要領総則では、情報活用能力が言語能力と同等の学習の基盤となる資質・能力として位置付けられており、ICT 等を活用した学習活動を充実させるための改善が求められている。だが、県内における通常教室の ICT 環境は十分に整備できているとは言えず、環境そのもののあり方についても吟味する必要がある。それゆえ、本研究では、通常教室における新たな ICT 環境（以下、Classroom for Next Stage と表記）を構築し、検証を行うことを第一の目的とする。

また、文部科学省(2018)の学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果によると、授業中における ICT を活用して指導することについて、「わりにできる」若しくは「ややできる」と回答した教員は 75.0%、児童・生徒の ICT 活用を指導することについて、「わりにできる」若しくは「ややできる」と回答した教員は 66.7%であった。ゆえに、教員の ICT 活用指導力を向上することは喫緊の課題である。本研究は教員の ICT 活用指導力を高め、ICT 活用指導力がどのように変容していくかを明らかにすることを第二の目的とする。

2. 実施内容

1) Classroom for Next Stage 構想の実現

ICT 活用指導力向上研修部会において、通常教室における新たな ICT 環境の在り方(Classroom for Next Stage) について協議を重ねた。協議をもとに、構築した新たな教室環境の実現のため 1 教室の改修工事を行った。新たな環境となった 1 教室で 2 ヶ月間検証実践を通し、必要な改善点に吟味した。修正点をもとに、3 教室で新たな改築を行った。さらに、年度末には、9 教室の改築工事を行った。

2) ICT 活用指導力の向上を促す研修と評価

ICT 活用指導力向上計画部会において、①ICT を活用した指導事例の紹介、②ICT 活用を授業に位置付けた模擬授業の実施、③ICT 活用研修会の実施、④授業の相互交流を行った。また、ICT 活用指導力分析部会では、対象とする 3 名の教諭の ICT 活用指導力に関する変容の分析を行った。

3) 社会への発信

本研究での成果を社会に発信するべく、①研究発表会において Classroom for Next Stage における授業公開、②Classroom for Next Stage での学びの在り方に関する公開検討会、③教育実習生への ICT 活用研修の実施、④石川県教育工学会報告集への投稿の 4 点を行った。なお、新型コロナウイルスの流行に伴う休校措置に伴い、④に関しては、8 月下旬を予定してい

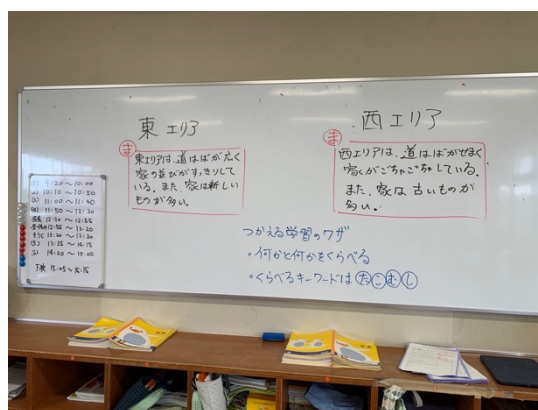
る。

3. 研究成果

1) Classroom for Next Stage 構想

2019 年 4 月に研究アドバイザーの中川一史教授及び ICT 活用指導力向上計画・分析部会に所属する 4 名の教員および通常教室の ICT 活用に関する促進要因、阻害要因について協議し、Classroom for Next Stage におけるコンセプトを明らかにした。【思考のプラットフォーム化】、【投影機器の常設】、【脱一斉授業】の 3 つである。

コンセプトに基づき、6 月に 1 教室を改築した（写真 1）。Classroom for Next Stage 構想では、教室後方をホワイトボード化し、プロジェクターを常設している。大型ディスプレイやプロジェクターといった投影機器は教室前方部に設置することがセオリーである。だが、後方をホワイトボード化し、プロジェクターを設置する中で、ICT 機器は教師の意図で活用するという構図を崩せないかと考えた。このことにより、黒板やホワイトボードというメディアを児童に解放することにつながり、従来の一斉授業からの脱却の一步となることを期待したためである。2 ヶ月の検証期間の中で、日常的に映像資料の提示が授業中に行われていた。さらに、児童がプロジェクターで自身の端末を投影したり、考えをホワイトボードに書き込むという事例も複数見られた。



1 教室での先行事例をもとに、構築した環境について、ICT 活用指導力向上計画・分析部会で協議した。結果、プロジェクターの設置位置（中央部から右部へ変更）、プロジェクターのワイヤレス接続環境を構築（AppleTV の導入）という 2 点を改善することとした。この改善点を踏まえ、8 月末に追加 3 教室で改築を行い、実践を積み重ねた。なお、このことに関する詳細は中間報告に記載している。10 月以降、2 ヶ月に一度の頻度で ICT 活用指導力向上計画・分析部会で事例検討を重ねた。様々な活用事例が見られることになり、動画資料の提示も増えてきたことから、新たにワイヤレススピーカーの設置も行った。

9 月以降、プロジェクターへのワイヤレス接続が可能になったことから、授業での投影にかかるための移動時間の削減につながり、結果的に授業場面での活用頻度がさらに高まった。また、音声クリアになったことから、当初より NHK for School の番組活用頻度についても高まりが見られた。予算の枠内で、現時点で改善すべき点はないという結論に至ったことから、年度末にはどのような環境で 9 教室の改築工事を行った。

研究成果として、Classroom for Next Stage 構想下における事例集の発行および、石川県教育工学会報告集への投稿を 8 月下旬に行う予定である。

2) ICT 活用指導力の向上を促す研修と評価

ICT 活用指導力向上研修部会の計画に基づき、3 回の研修を行った（表 1）。また、研修とは別に研究代表者が授業で行った事例は 2 週間に 1 度の学年会議で紹介し、情報の共有をはかった。

さらに、11月以降は3名の対象教諭も自発的に事例を紹介することとなった。なお、活用事例のイメージを具体的にもつことをねらいとして、週に1度、研究代表者のクラスでICTを活用した授業公開を行った。

回・実施月・対象能力	内容
第1回（8月） 授業中にICTを活用して指導する能力	電子黒板、書画カメラの活用方法、自身の授業でどのように位置づけるかを検討
第2回（10月） 児童のICT活用を指導する能力	グループに1台のタブレット環境で何ができるかを検討
第3回（12月） 授業中にICTを活用して指導する能力・児童のICT活用を指導する能力	これまでの自身の実践を持ち寄り効果的な活用手法について検討

表1：研修計画

対象教諭のICT活用指導力向上の追跡調査をしていくにあたり、教員のICT活用指導力チェックリスト（文科省2017）を用いたICT活用指導力（A・B・C項目）に関するアンケートを3回（7月・10月・2月）実施した。アンケート結果については、別途資料に各回の結果を記載した。また、アンケートの際には、回答に関する詳細について、対象教諭3名（A教諭、B教諭、C教諭）に個別に半構造化インタビューを行い、録音データからプロトコルを作成した。その後、意味が通る最小単位に切片化し、それぞれに〈ラベル名〉を付与し、関連の度合いから【カテゴリー名】を生成した。以下に、3名の対象教諭のアンケート結果及び半構造化インタビューの結果から、ICT活用指導力に関する変容を示す。

A教諭

A教諭はこれまで理科の授業を中心にICT機器を活用してきており、導入場面では、〈フラッシュ教材の活用〉や〈一部を隠した写真の提示〉を通し、【学習への興味づけ】を行ってきたり、〈前時に活用した実験器具の名前の確認〉や〈前回の学習のまとめの穴埋め問題〉を提示したりするなかで、【既習事項の想起】を試みていた。また、授業終末場面では、〈映像クリップの視聴〉や〈コンテンツの提示〉を通し、【学習内容の定着】をはかろうとしていた。ただ、これらは【事前の授業計画に基づいた活用】であり、これまでに行ってこなかった〈児童のノートの提示〉や〈想定していなかった児童の考えの拾い上げ〉を行う際に、【即時的なICT機器の活用】を自身の課題としていた。

9～11月には、これまで同様に【学習への興味づけ】や【既習事項の想起】のために、映像資料を提示することを継続していた。さらに、〈利便性の高さ〉に伴う〈投影プロセスの少なさ〉から、従来よりも【活用頻度の向上】がしていた。〈児童のノートの提示〉や〈想定していなかった児童の考えの拾い上げ〉は十分にできなかったものの、本来〈予定していなかった場面での資料提示〉の回数が増えていた。【即時的なICT機器の活用】という点でA教諭のICT活用の幅が広がっていた。

12月以降は、【児童が情報端末を活用する】ことを授業の場面で多く位置付けるようになっていた。その際の多くは、〈インターネットを活用した情報の収集〉や〈思考の可視化〉

を目的としていた。この背景には、＜同一単元での授業参観＞や＜学年会での情報共有＞から【ICT 活用のモデル事例】があった。さらに、【児童が情報端末を活用する】ことから、＜児童の思考過程の取り上げ＞が容易となり、【即時的な ICT 機器の活用】の回数も増えていた。

B 教諭

B 教諭はこれまでに授業場面で ICT 機器を活用した経験は少なく、パソコン教室で＜インターネットを活用した情報の収集＞の際に、【児童が情報端末を活用する】ことを指導したことがある程度である。＜活用イメージのなさ＞と＜ICT 機器の操作への苦手意識＞から【ICT 活用への抵抗感】をもっていた。＜学年会での情報共有＞などから【ICT 活用のモデル事例】に触れることができれば、自分なりに取り組んでみたいという意識はあった。

9～11 月には、研究代表者による＜学年会での情報共有＞から、＜活用イメージの高まり＞につながり、【ICT 活用のモデル事例】を参考に、教師が授業場面でタブレット端末を活用することになった。具体的には、＜コンテンツの提示＞や＜学校放送番組＞の視聴によって【学習内容の定着】をはかっていた。また、＜前回の学習のまとめの穴埋め問題＞や＜前時における板書写真＞を提示し、【既習事項の想起】も試みていた。なお、これらは＜学年会での情報共有＞や＜授業計画の共同検討＞をもとにした【事前の授業計画に基づいた活用】であった。

12 月以降も、9～11 月と同様の活用が見られたが、＜活用への慣れ＞から【活用頻度の向上】が見られた。また、新たに体育科の授業において、＜児童の動きの視聴＞を多く行うようになり、ICT 活用を通し、【学習への興味づけ】の可能性を見出していた。一方で、【即時的な ICT 機器の活用】という点に基づく事例は見られなかった。

C 教諭

C 教諭は、B 教諭同様にこれまでに授業場面で ICT 機器を活用した経験は少なく、パソコン教室で＜インターネットを活用した情報の収集＞の際に、【児童が情報端末を活用する】ことを指導したことがある程度である。C 教諭の前任校では、各階に 1 台の大型ディスプレイがあったものの、＜準備にかかる労力＞と＜ICT 機器の操作への苦手意識＞から【ICT 活用への抵抗感】をもっていた。一方で、教室環境が改善されたことに伴い、＜準備にかかる労力＞がなくなり、＜投影プロセスの少なさ＞が以前とは異なることから、【活用頻度の向上】につながっていくと考えていた。

9～11 月には、国語の授業を中心に ICT 機器を活用するようになった。具体的には、＜児童のノートの提示＞や＜想定していなかった児童の考えの拾い上げ＞など【即時的な ICT 機器の活用】を多く取り入れていた。この点について、C 教諭は「児童の思考を可視化することはこれまで意識してきたが、投影することで従来よりも柔軟に対応することができるようになった」と述べている。また、【学習への興味づけ】、【既習事項の想起】、【学習内容の定着】をねらいとした活用も見られた。これらは、＜同一単元での授業参観＞や＜学年会での情報共有＞から【ICT 活用のモデル事例】に触れたことも要因として考えられるが、C 教諭の場合、＜日常的な授業省察＞をもとに＜授業改善案の検討＞がベースとなり、結果として＜課

題解決のための ICT 活用案の検討>から【活用頻度の向上】していたと言える。

12 月以降も、9～11 月には新たな活用は特に見られることはなかったものの、【学習への興味づけ】、【既習事項の想起】、【学習内容の定着】、【即時的な ICT 機器の活用】という点で ICT 機器を活用していた。また、9～11 月に比べ、<活用への慣れ>から【活用頻度の向上】が見られた。一方で、【児童が情報端末を活用する】実践に対する意欲が向上し、GIGA スクール構想の実現に伴う新たな一人一台の ICT 環境下で、<児童の意見の整理分析>、<児童の思考過程の取り上げ>を行うことへの展望をもった。

アンケートおよび半構造化インタビューから、3 名の対象教員の ICT 活用指導力に向上が見られた。特に、「B：授業に ICT を活用して指導する能力」の項目において大きな変容があった。具体的に、【学習への興味づけ】、【既習事項の想起】、【学習内容の定着】、【事前の授業計画に基づいた活用】、【即時的な ICT 機器の活用】という点で ICT 機器を授業場面で活用できるようになっていた。このことは、ICT 活用指導力に向上のために行った研修や学年会での情報共有、授業公開などにより、日常的に【ICT 活用のモデル事例】にふれることができ、【ICT 活用への抵抗感】が少なくなり、【活用頻度の向上】につながったが要因であると考えられる。

一方で、3 名の対象教諭の変容は一律ではなく、それぞれ異なっていた。このことは、経験年数や授業観に基づくものであると推察される。以上を踏まえ、今後は、3 名以外の教員も対象にしながら、ICT 活用指導力の向上をはかっていきたい。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

1) 校内教員の ICT 活用指導力の向上

教室環境の一新および、研修計画に基づく日々の実践を通し、校内の対象教員の ICT 活用指導力が向上した。また、経験豊富なベテラン教員と ICT 活用に意欲的な教員がそれぞれの立場から意見を表出する場が構築されることによって、新たな知見を獲得し合うことから校内教員の ICT 活用への意欲が高まることとなった。さらに、年度末に行った 9 教室の教室改修に伴い、昨年度 3 名の対象教諭に対して行ってきた研修を校内で拡大展開してほしいというニーズが高まった。それゆえ、2020 年度には対象教諭 3 名をメンターとして起用し、ICT 活用に関する研修を行っていくこととする。

2) 県内教員の ICT 活用指導力の向上

公開研究会および Classroom for Next Stage での学びの在り方に関する公開検討会の実施を通し、本校における ICT 活用の知見を広めることができた。県内における新たな ICT 活用校としての基盤を築き、石川県内における今後の ICT 活用指導力向上の布石をうつことができた。

5. 新たな課題と今後の取り組み

1) 継続的な調査

本研究では、ICT 環境を一新した教室の担任 3 名に注目し、ICT 活用指導力に関する調査を行った。6 ヶ月という期間で、ICT 活用指導力の向上は確認できたものの、今後も継続して調査していく必要がある。だが、先述の通り、児童の意見などを効果的に提示することに関する指導

能力の向上は十分に見られなかった。GIGA スクール構想に基づき、児童用端末の整備が進み、この点に関する指導機会も増えることが想定される。それゆえ、今年度は、児童の意見を整理するための ICT 活用指導力に特化した検証を行っていく。さらに、年度末には ICT 環境を一新した教室数は 13 となったため、今後は研究対象の教員を増やし、継続的な調査を行っていくことを考えている。

2) 新たな ICT 活用事例の発信

環境整備に伴い、本校における ICT を活用した事例数は劇的に増加した。さらに、令和 2 年度の児童用端末の整備によって、一層日常的に ICT を授業場面で活用していくこととなる。それゆえ、その事例について観点ごとに整理し、社会に向けて発信していく。現時点では、指導者用デジタル教科書、学習者用デジタル教科書の活用事例、授業場面における児童のタブレット端末活用を中心的に取り上げていきたいと考えている。

6. 業績リスト

- ・セミナー開催（2 回）、
- ・研究発表会の実施
- ・小教研での授業公開
- ・石川県教育工学研究会報告集への投稿（2020 年 8 月下旬予定）
- ・教員志望の大学生への ICT 活用事例の紹介

以上

研究課題	タッチタイピング習得支援のための NINJA キーボードの試作
------	---------------------------------

所属機関名： 福井大学

氏 名： 長谷川 達人

【研究報告】

1. 研究の目的

近年の情報化社会に伴い、タイピングスキルは重要になってきている。スマートフォンやタブレットの普及から従来型 PC の需要が減少するようにも思われたが、ビジネスシーンなどの多岐にわたる分野において依然として PC を活用する状況が続くそうである。ビジネスシーンにおいてタイピングを行う状況を考えると、メールの文章の入力、事務処理や書類作成、プレゼンテーション資料作成、論文記述など幅広い。タイピング速度が倍になることで、仕事の効率が単純に倍になることはないが、タイピングスピードが業務効率に与える影響は少なくない。

本研究では、改良したキーボードデバイスを用いることでタッチタイピング習得を支援する環境の構築を目指す。提案デバイスは印字なしキーボードをベースにしており、基本的には印字を見ずにタイピングを強いる仕様となっている。通常の印字なしキーボードはタッチタイピングの練習になる一方で、キー配置が分からなくなってしまう時にどうすることもできなくなるという不便さがあった。提案するデバイスではいざという時に学習者の視線が一定時間キーボードを向いていることを検出し、小型プロジェクタからプロジェクションマッピングによりキーボード上に印字を投影する。本機能により、キーボードを見ても印字がないため普段からなるべくタッチタイピングを練習する環境を実現することができる。キーが思い出せなくても所定の動作を行うことや一定時間経過時に自動で印字を投影するため、使用に不便がない点が特徴である。最終的には利用者の状態に応じて印字を動的に出現させる機能をキーボードと一体化させた「NINJA キーボード」の開発を目指す。キーボード一体型デバイスにすることで、例えば教育施設のキーボードを提案手法に変更するだけで、ウェアラブルデバイス等を個々の利用者が準備せずに使用することができる。

2. 実施内容

本研究で実施した主な内容は以下 2 点である。

1. 物理キーボードインタラクションの試作
2. 教育利用効果の検証実験

【機器構成】

本研究では、図 1 に示すインタラクティブ物理キーボード（NINJA キーボード）の試作を行った。

NINJA キーボードは以下の 4 機器で構成される。各機器は一般的なものであれば何でも良い。

キーボード：一般的な qwerty 配列日本語キーボードの印字を消したものである。

プロジェクタ：キーボードの印字を動的に変更できれば何でも良いが、今回は小型超単焦点プロジェクタ Xperia Touch を採用した。

ディスプレイ：タイピング課題を表示するためのデバイスである。

Web カメラ：Camara Mouse[1]を用いて、学習者の視線を検出するためのデバイスである。

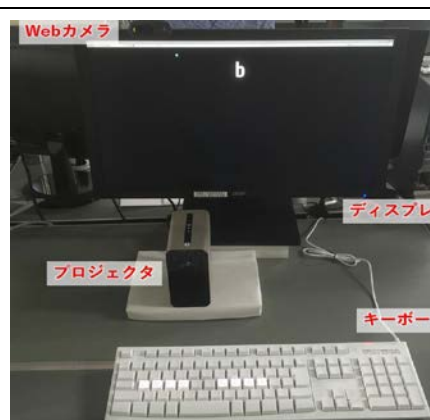


図1. NINJA キーボードの機器構成

基本はタイピング練習アプリをディスプレイに表示し、一般的なタイピング練習アプリケーションと同様にタイピングの練習を行う。大きく異なる点は印字のないキーボードを採用している点である。この印字なしキーボード上に、プロジェクタから印字演出を投影するインタラクションを行う。印字演出はPCをプロジェクタに接続し、プロジェクタからキーボード上に投影する。今回、比較実験を行うため、印字演出は3種類実装し、ソフトウェア的に演出を切り替えられるようにした。WebカメラはNINJAキーボードの視線検出に使用する。ここでNINJAキーボードの実装には必ずしもプロジェクションマッピングを必要としない点に注意されたい。今回は実装の容易さから、印字なしキーボードにプロジェクションマッピングを行うことでNINJAキーボードの実装を行ったが、例えばLED点灯と独自のキートップを組合せた独自キーボードを用いても実装ができる。

[1] Betke, M., et al.: The Camera Mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 1-10, (2002).

【印字演出】

NINJAキーボードで実装した3種類のインタラクションの動作例を図2に示す。ベースは通常のキーボードを模したものであり、常時印字をプロジェクションマッピングで投影しておくものである。演出Aはベースに対して次に押すべき課題キーを青色で強調するものである。キー配置をまだ覚えていない学習者は、大量のキーから希望のキーを探す作業にストレスを感じる可能性があると考え、このストレスを軽減するために採用した。演出Bは通常時は印字なしキーボードだが、キーボードに視線を向け続けると徐々に印字が浮かび上がってくるものである。キーボードの印字を見たいときにすぐ確認できなくするインタラクションを加えることで、フラストレーションにつながり、キー印字を記憶しやすくなるのではないかと考え採用した。図中の印字はホームポジション8キーのみだが、実験のためであり、本来は全キーを用いる。



図2. NINJAキーボードに実装した3種類の演出

3. 研究成果

本研究ではタイピング練習時に物理キーボードに演出を加えることで、キー配置を記憶しやすくなるという仮説を立てた。すなわち、一般的な物理キーボードと比べ、演出を行ったNINJAキーボードを用いることにより、キー配置をより多く覚えることができるということである。具体的には、次のキーを光らせる演出は光を追従することに気を取られ印字の記憶を疎かにし、視線により徐々に印字が浮かび上がる演出はストレスにより印字の記憶を促すと考えた。

実験開始前に視線検出を正しく行えるように、Camera Mouse で顔に特徴点を設定し、判定に使用する閾値を調整した。次に、各演出でタイピング練習を 60 秒間実施し、投影されたキー配置を問うテストを行った。演出は、ベース、演出 A、演出 B の三種類をランダムな順序で全て実施して 1 セットとし、これを 3 セット実施した。使用したキーは、ホームポジションの「A, S, D, F, J, K, L, ;」の 8 キーである。通常のキー配列である QWERTY 配列を使用すると、被験者が印字されている文字を既に覚えている可能性があるため、今回は 8 キーに対して通常と異なる文字を投影した。文字にはアルファベットの「A-Z」を使用した。使用したアルファベット 8 文字の組み合わせは各演出によってランダムに異なり、セット内で重複することはない。また、1 セットごとに各演出で使用される 8 文字の組み合わせを変更した。計 9 回のタイピング練習、テストを実施後、各演出に対する印象評価のアンケートに回答してもらった。被験者は 20～25 歳の男性 13 名、女性 4 名の計 17 名である。

実験後、一部の状況において 60 秒を待たずしてシステムが終了してしまう現象が発生していたことがわかった。原因はタイピング練習アプリのバグにより特定の条件化で終了してしまうものであった。2 セット目のみで発生しており、ベースで 1 件、演出 A で 2 件、演出 B で 6 件であった。概ね 30 秒以上実施できていたが、これらは欠損値として除外し、正しく実験ができた 2 セット分の平均印字記憶数で補完することとした。

タイピング練習後に印字されていた文字を問うテストの採点結果を表 1 に示す。UID は被験者の番号、平均記憶数は各演出を用いた際の 3 セットの平均印字記憶数である。UID を含む各列は後述のクラスタリング結果でソートされている。被験者内で最も多かったものを太字としている。正規化平均記憶数とクラスタについては後述する。

全体の平均を見ると、演出 B (5.76) > ベース (5.58) > 演出 A (5.30) と印字演出によってやや記憶数が変わる傾向が見受けられた。

記憶数を平均せずセット番号、演出種別、被験者 ID に分割して、三元配置分散分析（有意水準 5%）を行った結果、セットや演出では有意差が確認できず、被験者では 10 名が $p < 0.05$ となり有意差が確認された。すなわち、個人差が大きいことがわかった。そこで被験者をクラスタリングによりグループ化する。値そのままクラスタリングすると、演出の違いによらず記憶数の多い人（短期記憶が得意な人）、少ない人（苦手な人）で大別されてしまうため、正規化を行った正規化平均記憶数を用いる。クラスタリングの結果を表 1 クラスタ列に示す。

各クラスタの特徴を確認すると、クラスタ 1 は他とは大きく異なる単一グループであり、演出 B を用いた際に他と比べ 2 倍以上記憶数が向上したものである（演出 B 上昇群とする）。クラスタ 2 はベースと演出 B が同程度であり、演出 A のみ極端に低いものである（演出 A 低下群）。クラスタ 3 はベースのみが低いものである（演出 AB 上昇群）。クラスタ 4 は演出 A を用いた際に他と比べ記憶数が向上したものである（演出 A 上昇群）。クラスタ 5 は上 3 名はベース $\geq$ 演出 B > 演出 A となり、ベースと演出 B は同程度ないしは演出 B でやや低下、演出 A で更に低くなる傾向があるが差はクラスタ 2 ほど大きくはない（演出 A 微低下群）。クラスタ 5 の下 3 名は概ね全体の記憶数が同程度のものである（不変群）。

興味深い結果として、仮説では演出 B が記憶を促進すると考えていたが、クラスタで見ると演出 B のみが効果を発揮することは少なく（1. 演出 B 上昇群 1 名）、演出自体が効果を発揮するケース（3. 演出 AB 上昇群 4 名）や演出によって変化しないケース（5. 不変群 6 名）で記憶数が増えることがわかった。それに対して、演出 A のみが低くなるケース（2. 演出 A 低下群 3 名）や演出 A のみが高くなるケース（4. 演出 A 上昇群 3 名）が確認され、両極端ながら演出

表 1. キー印字記憶数の実験結果

UID	平均記憶数			正規化平均記憶数			クラスタ
	ベース	演出 A	演出 B	ベース	演出 A	演出 B	
1	1.333	1.667	3.667	0.200	0.250	0.550	1
4	5.333	2.667	5.667	0.390	0.195	0.415	2
8	5.667	3.000	6.000	0.386	0.205	0.409	2
9	6.667	2.000	6.000	0.455	0.136	0.409	2
2	2.333	3.500	3.500	0.250	0.375	0.375	3
13	5.500	7.667	8.000	0.260	0.362	0.378	3
14	6.000	7.333	8.000	0.281	0.344	0.375	3
3	3.667	5.000	4.500	0.278	0.380	0.342	3
5	4.000	6.333	3.667	0.286	0.452	0.262	4
7	4.667	5.667	3.667	0.333	0.405	0.262	4
10	5.667	6.667	4.333	0.340	0.400	0.260	4
6	5.333	4.000	4.667	0.381	0.286	0.333	5
12	8.000	6.000	7.000	0.381	0.286	0.333	5
16	8.000	6.667	8.000	0.353	0.294	0.353	5
11	6.667	6.667	6.500	0.336	0.336	0.328	5
17	8.000	8.000	8.000	0.333	0.333	0.333	5
15	8.000	7.333	6.667	0.364	0.333	0.303	5

が記憶に与える影響が示唆された。また、5. 不変群を見ると大多数がベースで満点を記録していることから、そもそも短期記憶が得意な人は、演出を用いても同等ないしは記憶数をやや下げる可能性があることも見て取れる。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

本研究ではタイピング習得支援を目的に NINJA キーボードの試作を行った。有効性の検証はまだ完全には完了していないが、本デバイスの有効性が示された暁には、特に教育上の社会還元が見込める。例えば、タイピング教育デバイスとしての教育市場への参入である。次章で述べる一体型キーボードデバイスとしての実装ができることで、小中学校等の教育機関に配備し、初等教育の段階からキーボードを使いこなす訓練に役立てることが可能となる。

5. 新たな課題と今後の取り組み

1. より強力なインタラクションの実装

本研究では NINJA キーボードの試作として、物理キーボードに対する 2 種類のインタラクションを実装した。実験の結果、一定の有効性を示した一方で、記憶数の向上は限定的かつ、大幅な改善とは言えない状況である。今後の課題として、よりキー配置を記憶しやすくなる、記憶しなくなる物理キーボードインタラクションの開発に取り組む予定である。

2. 多方面からの評価実験

NINJA キーボードは当初より「学習者のタッチタイピングを促進する」という側面にも焦点を当てている。したがって、NINJA キーボードによる（特にキー印字を動的に変更する演出 B の）演出が、タッチタイピングの促進、すなわち、キーボード視認回数の低減に有効かどうかといった点を追加検証する予定である。

3. 一体型デバイスの開発

NINJA キーボードの実装はプロジェクションマッピングには限定されず、印字なしキーボードと LED を用いた印字の動的変化で実装されても構わない。将来的には安価に実装できることや、キーボード一体型デバイスとして完結することが望ましいため、キーボード、動的印字変化（LED と独自キートップ）、カメラを総合した一体型デバイスの開発を行う予定である。

6. 業績リスト

【学術論文】

1. C. Sono, T. Hasegawa, "Interaction to support the learning of typing for beginners on physical keyboard by projection mapping", The 7th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City (ICIT 2019), Shanghai, China, 2019.12.
2. 長谷川 達人, 園 智佳子, "NINJA キーボード: タイピング教育支援に向けた物理キーボードインタラクションの試作と評価", 情報処理学会論文誌(査読中)

【学会発表】

3. 園 智佳子, 長谷川 達人, "初学者のタイピング習得支援に向けた物理キーボードインタラクションの開発", エンターテインメントコンピューティング(ETC2019), 福岡, 2019.9.

【特許】

4. 長谷川 達人, "キーボード制御プログラム、キーボード及びキーボード制御システム", 特願 2019-156230. 2019.8.29.

【受賞】

5. Best Presentation Award, C. Sono, ICIT 2019.

以上

研究課題	コンピュータに習熟した先生がいなくても使える、「正解のない」プログラミング学習ツールの開発
------	---

所属機関名： 早稲田大学

氏 名： 鈴木 遼

【研究報告】

1. 研究の目的

指導者の知識に依存せずに、プログラミングを通じたコンピュータとのインタラクションや、マルチメディア・コンテンツの活用を体験・学習できるツールを開発し、プログラミング教育の機会格差を緩和する。

学習者はゲームやアプリの部分的なコードを改造する形式でプログラムを記述する。動作が立ち行かなくならないよう適度に入力支援を与える一方で、予想外の面白いプログラムを生めるような自由度も実現する。

学習者のコンピュータ活用能力への自信や、基礎的なプログラミング技術を育成するだけでなく、自己の創作物を自分で楽しみ、改善し、また他者の作品を多様な視点で評価する態度を涵養できる学習プラットフォームを目指す。

2. 実施内容

◆ プログラミングツール「Siv3D for Kids」の開発

Siv3D for Kids（シブスリーディー・フォー・キッズ）は、簡単なタッチ操作でゲームやアプリのプログラミング体験ができるツールである（対象年齢目安 5 歳以上）。情報機器を受動的に使うことの多い子どもたちが、コンピュータを使って自分の力でゲームやアプリを作れるということを自覚し、普段使っているソフトウェアの仕組みへの興味や、プログラミングへの関心を育むことを目的としている。

「Siv3D」とは、本研究者が本課題とは別に開発している、C++ 言語によるアプリ開発基盤フレームワークの名称である。グラフィックス、マルチメディア処理などの多くの機能を Siv3D の API（アプリケーション・プログラミング・インタフェース）を活用して開発しており、将来両者の連携を進めていくことも見据え、Siv3D for Kids という名称に決定した。

◆ 成果物の公開

Web サイト <https://siv3d-for-kids.github.io/> において、成果物ソフトウェアを無償公開した。同サイト上では成果物を活用したワークショップなど、関連するイベント日程の情報も発信している。ソフトウェアは年数回の頻度でアップデートを行っている。

◆ 成果物を活用した小学校での授業の実施

秋田県五城目町立小学校において、小学 6 年生の授業（総合学習）で成果物を活用したプログラミング体験の授業を実施した [5][6][16]。

◆ イベントでの展示、ワークショップでの活用

成果物を活用したワークショップや展示を 11 件（うち 2 件は COVID-19 の影響で中止）実施した [7][8][9][10][11][12][13][14][15][16][17][18]。実施に当たっては、研究協力者が所属するプログラミング教育団体 CoderDojo との連携による地方開催、本研究が所属する早稲田情報科学ジュニア・アカデミーにおける有償のワークショップ開催など、既存の枠組みを活用した成果物の展開にも取り組んだ。

◆ プログラミング教育当事者との意見交換

プログラミング教育に携わる教員や講師との意見交換を行った。ワークショップでは参加者にアンケートを行い、ソフトウェアの使用感や要望を収集し、開発に反映した。

◆ （ワークショップの様子、ソフトウェアのスクリーンショット）



3. 研究成果

1. 現実的な教室環境に適した操作方法、ユーザ・インタフェースの研究

プログラミング教育では、教室で教科書を使うのとは違った新しいトラブルが発生する（指示を聞かずに画面操作を進めてしまう学習者、多数の利用者がネットワークに同時接続することで動作が緩慢になってしまう問題、コンピュータ上で授業とは関係ないページにアクセスしてしまう児童生徒など）。本研究のソフトウェアは様々なフィードバックに基づき、前述の課題に対して、学習者が特別な操作を入力するまで画面をロックする機能、実行時にネットワーク接続が不要な仕組み、画面を全画面（排他）モードにする機能などを提供し、想定されるさまざまなトラブルを未然に防ぐ工夫を盛り込んだ。

2. アクセシビリティに配慮したユーザ・インタフェースを実装

ツールの操作はすべて片手によるタッチだけで行える。ユーザ・インタフェースのデザインにおいては視力障害、色覚特性に配慮した調整（拡大、色の利用の見直し）を行った。プログラミングのエディタは、誤った文法が書けないような仕組みになっていて、学習者は「全部が正解」という前提で、不安を感じずにプログラミングに取り組める。使用方法が簡易で、教員や学習者は数十秒程度で必要な操作手順を理解できる。

3. プログラムの複雑さを増やさずに、結果の多様性を増やすデザインを提案

作れるアプリケーションの面白さや複雑さというものは、テキストプログラミング言語に近い構文の導入や、長い行数だけにより達成されるものではないことを示すコンテンツを実装した。

(例:ペットを食べ物に誘導するとスコアが加算されるゲームが用意されている。アイテムのスコアをマイナスに変更するだけで、今度は逆に避けなければいけないアイテムが登場することで、ゲーム性が一変する)

4. オープンソースの絵文字リソースを活用した、プログラミングツール開発の省力化を実証、ツール内における絵文字の効果的な利用についてのガイドライン論文を発表

教育的なプログラミングツールの多くは、動物や人の絵などのビジュアル要素を、コーディングによってアニメーションさせる。Scratch では、標準で用意されている画像アセットのほかに、ユーザがアップロードした画像ファイル、ユーザがツール上で作成したイラストを使える。画像アセットが用意されていることで、迅速にコーディングを始められるほか、絵を描くのが苦手な学習者、マウスでうまく絵を描けない学習者も参加しやすくなる。

本研究では、オープンソースで利用できる絵文字データベースを、ツール内のビジュアル要素のリソースとして活用し、その知見をもとに、プログラミングツールで絵文字を効果的に活用するためのテクニックや留意点を論文にまとめて報告した[1]。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

1. 新しいプログラミングツールの選択肢の提供

コンピュータに習熟していない教員や保護者が、子どもにプログラミングを体験させるときに使える新しいツールを開発し、誰でも利用できる状態で公開した。商業利用の継続・発展も含め、今後も本研究者が中心となって、普及に向けた取り組みを続けていく。

2. ビジュアルプログラミング言語の新しいデザイン手法を提案

既存の教育用プログラミングツールの多くが参考になっている Scratch のようなブロック型とは異なるユーザ・インタフェースを新規にデザインし利用実績を作ることで、ビジュアルプログラミング言語のデザインの可能性を拡張した。

3. プログラミングツールの開発を支援する情報を提供

ここ数年で絵文字のバリエーションの増加とオープンソース化が進んだ。本研究ではそうした絵文字リソースをプログラミングツール内で活用する方法を検討・実装し、得られた知見を論文で解説した[1]。ツールや教材の制作者に有益な情報であり、関連分野の発展に寄与する。

5. 新たな課題と今後の取り組み

COVID-19 と共存する社会で要求される、いわゆる「新しい生活様式」に適合したプログラミング教育活動形態の研究

研究年度の後半から、社会で猛威を振るった COVID-19 は、本プロジェクトで予定されていたワークショップやサイエンス・コミュニケーション関連のイベント [17][18] のみならず、あらゆる企業、団体、学校が取り組むプログラミング教育活動に影響を与えた。教室や施設で実施するプログラミングワークショップは、その形態から感染症リスクが避けられず、多くの関係者が対応を余儀なくされた。その一方で、家庭のパソコンからオンラインで参加できるワークショップのニーズが急速に高まっている。そうした形態に適応できるよう、本成果物の運用手順も変化や見直しが必要である。

奇遇とも言えるタイミングだが、本研究に研究協力者として参加していたハックフォープレイ株式会社 寺本氏が、I-O DATA 財団第 3 回研究開発助成に、この問題への解決アプローチを示

せるような、ネットワーク技術を活用したプログラミング教材の開発（課題名：リアルタイムコラボレーションが自然に発生する、プログラミング学習用のゲーム共創プラットフォームの開発）のテーマで採択され、当該研究には鈴木が研究協力者として参加する[19]。知見やガイドラインの共有など、IT 教育コミュニティ全体に寄与する発信を積極的に進めていきたい。

6. 業績リスト

研究年度中の業績は、査読付き論文 1 本、メディア取材 5 件、イベント（参加者を一般から募集するもの）11 件（うち 2 件は中止）、学校での授業が 1 件、競争的資金研究への協力者としての参加 1 件である。

論文

1. Ryo Suzuki, Ikuro Choh, Using Emoji as Image Resources in Educational Programming Tools, HCI 2020, Part II, CCIS 1225 proceedings（査読あり）

報道

2. 八重山毎日新聞, 2019-08-12, 9 面, 八商工 自分のゲーム作ろう プログラミング教室に 60 人
3. 八重山日報, 2019-08-12, 8 面, プログラミングの楽しさ学ぶ 八商工で子ども向け教室
4. incu・be, vol.46, p.4, リバネス出版, 2019 -（研究者への取材記事）
5. 秋田魁新報, 2020-01-29, 22 面, 五城目小 6 年生特別授業 プログラミングの基礎学ぶ 早大院生、自作ソフト活用
6. 秋田湖畔時報, 2020-02-07, 2 面, 五城目小学校でプログラミングの基礎を学ぶ特別授業(6 年生)

ワークショップ及び展示イベント

7. (2019-04-07), 早稲田情報科学ジュニア・アカデミー
8. (2019-06-07), [CodeDojo Kanazawa](#)
9. (2019-07-25), 特定非営利活動法人（NPO 法人）寺子屋プロジェクト, [Tera school プログラミングワークショップ](#)
10. (2019-07-27 to 28), 早稲田情報科学ジュニア・アカデミー
11. (2019-08-07 to 08), [経済産業省 子どもデー](#)（招待展示）
12. (2019-08-09), [沖縄国際大学 小中学生・夏休みプログラミング体験](#)
13. (2019-08-11), TECH FOR ISHIGAKI プログラミング教室
14. (2019-10-27), CoderDojo Kashiwa
15. (2019-11-02 to 03), 早稲田大学 理工展
16. (2020-01-27), 秋田県五城目町立小学校 6 年生授業, 及び放課後スクール
17. (~~2020-03-05 to 07~~), 情報処理学会全国大会（COVID-19 の影響で開催延期）
18. (~~2020-03-13~~), 文部科学省令和元年度第 6 回情報ひろばサイエンスカフェ（招待講演）（COVID-19 の影響で開催中止）

その他

19. I-O DATA 財団第 3 回研究開発助成, 課題名: リアルタイムコラボレーションが自然に発生する、プログラミング学習用のゲーム共創プラットフォームの開発（研究協力者）

以上

研究課題	自然環境の変化を可視化し身近なイメージの湧く 環境教育のためのデジタル教材開発
------	--

所属機関名： 国立大学法人 東京大学

氏 名： 中村 和彦

【研究報告】

1. 研究の目的

我々は、地球環境の変化を直接感じる機会はとても少ない。例えば、ツバルという国は海面上昇によって水没しそうになっている、南極の氷が溶けてなくなっている、などと言った事例は、写真や映像で見えることはできるが、直接見たり感じたりすることは難しい。また、森林伐採なども数字では理解していても、なかなか自分ごととして捉えることは難しい。申請者が取り組んでいる研究では、現場での自然体験と、サイバーフォレストによるその場所の変化を可視化した画像データを組み合わせて用いることで、環境問題を自分ごととして捉えることが重要であると位置づけている。

これまで、既に小学校で何度も授業を行い研究しているが、画像データの提示は紙ベースによるものであった。全児童生徒用に過去の画像データをカラー印刷して提供するのには時間もコストも掛かる上に、環境への配慮が足りていない。また、データが紙ベースで提供されていると、比較をする際に並べて比較をするしかなかったり、その授業以降のデータを反映することができなかったりなどの問題がある。しかし、Web アプリケーションを開発すると、不特定多数の学校や子どもたちが活用することができたり、毎日増え続けていくデータを常に受信し、拡張することができたりする。また、子どもたちが授業で比較する際には、画像を並べるだけでなく画像同士を重ねてみたり、動画として再生し、よりダイナミックな変化を捉えたりすることが可能になると考えられる。

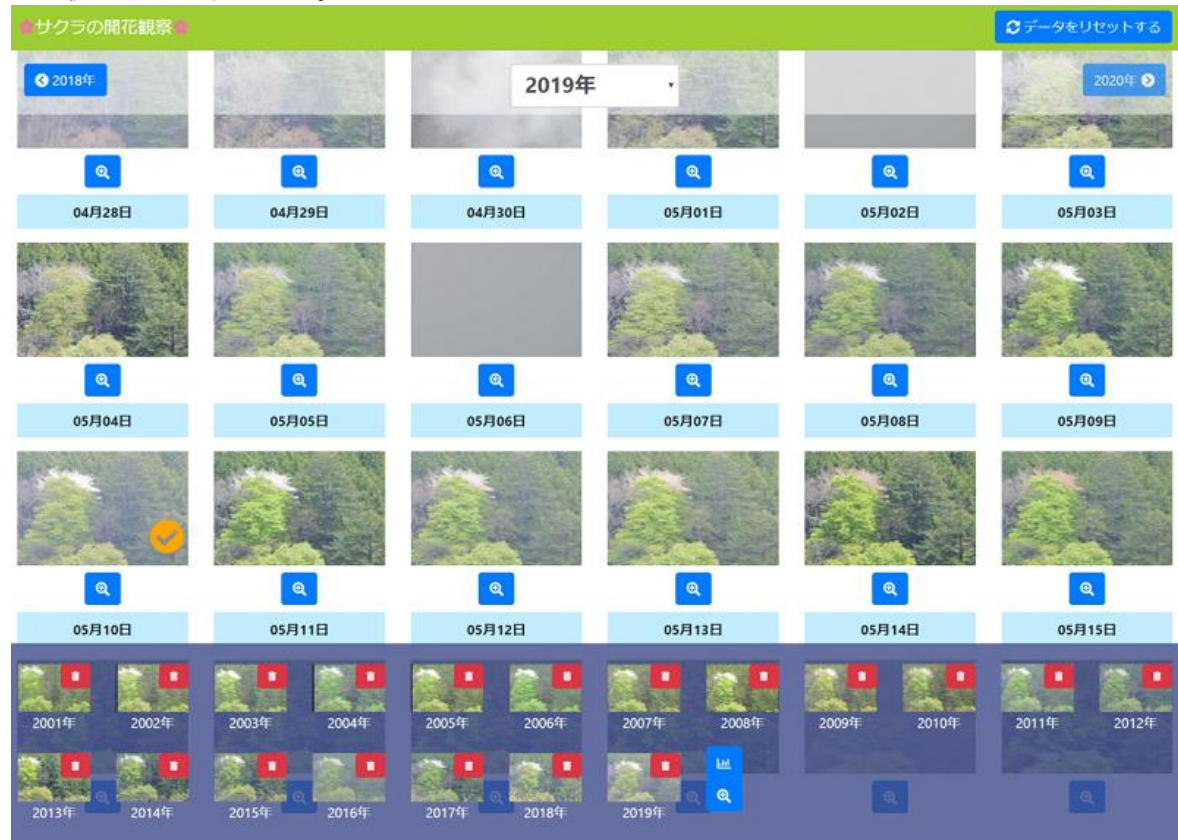
そこで今回の研究では、サイバーフォレストプロジェクトで今まで得られた画像データを、より効果的に使うためのアプリケーションを開発した。これまで既に紙ベースでの授業を何度か行い検証を行っているため、今回は開発したアプリケーションを使ったときの児童生徒の反応や学習への影響などを考察した。

2. 実施内容

東京大学農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林におけるサイバーフォレスト撮影地点の2001年からの連日写真アーカイブを用いて、時間経過に伴う森林の変化を観察できるWebアプリケーションを開発した。当該Webアプリを用いた観察対象を、これまでに小学校の授業で扱った実績のあるサクラの開花に設定し、気候変動が植物の季節現象に及ぼす影響をテーマとした授業における実証実験を行った。

Webアプリは、観察ページと結果表示ページの2つで構成した。観察ページ（下図）では、1年ごとに4月16日から5月15日の日々の定点撮影画像を一覧し、さらに1つずつ画像を拡大して左右の矢印ボタンで切り替えるスライドショー表示もできるようにし、日々の細かい変化も観察しやすくした。そのうえで、サクラの白い花が最も多く咲いているように見える日（満開日）を1日選ぶと、ページ下段のリストにストックしていくことができるようにした。この満開日選定作業を各年に対して行ったうえで、結果表示ページに遷移することで、2001年以降の満開日の推移を自動生成されるグラフで確認することができる。また、満開日と気温との関

係についても検討できるように、各年の2月から4月までの3ヶ月平均気温のグラフも表示して比較できるようにした。



この Web アプリケーションを用いた授業の実証実験として、山梨県の甲斐市立竜王小学校の第5・6学年の児童142名を対象に、気候変動に関する1時限（45分間）の授業を行った。同学校では2015年度より、第5学年でサイバーフォレストの撮影地点の一つである東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林富士癒しの森研究所の森林における自然体験活動を軸とした単元「森からみえる」を、毎年継続してカリキュラムに取り入れている。この「森からみえる」に続く位置づけで、本研究で開発するアプリケーションを用いた授業を行った。

授業の目標は、Lv.1：年によって環境が変化することを理解する、Lv.2：グラフを元に、気温と満開日の関係について理解する、Lv.3：短期的な変化から長期的な変化を予想し環境問題とどのような関係性があるかを推察することができる、の3段階で設定した。授業は学級単位で行い、授業者を学級担任ではなく当方の関係者が務めることで、学級間での差異をできるだけ減らし、今回開発した Web アプリケーションの影響を客観的に検討できるよう努めた。対象児童は4人ごと1台のタブレット端末（Apple社 iPad）を用いて Web アプリケーションを操作した（右写真）。この授業の前後に質問紙調査（選択式および自由記述式）を行い、Web アプリケーションの操作性および授業の効果について検討した。



3. 研究成果

開発した Web アプリケーションの操作性に関して、授業終了時に質問紙調査を行った。対象児童 142 人中、「アプリを使うのは楽しかった」に 139 人が肯定的な回答（「そう思う」と「ややそう思う」）をし、「アプリをもっと使ってみたい」に 127 人が肯定的な回答をした。また、「アプリを使っていて不便に感じるがあった」への肯定的な回答は 9 人にとどまった。対象校では普段から授業にタブレット端末を使用していることも考慮する必要はあるが、アプリの操作性について深刻な問題はないと考えられる。

アプリを用いた授業の教育効果に関しては、授業終了時の質問紙調査に加えて、授業前日に行った質問紙調査の結果も合わせて検討した。対象児童 142 人中、「身のまわりの植物の様子は、毎年そんなに変わらない」への否定的な回答（「そう思わない」と「ややそう思わない」）は、授業前日の 41 人から授業後は 73 人に増加した。また、授業前日に「ふだんの生活のなかで、去年と今年のちがいをたくさん見つけている」に「そう思う」と答えたのは 31 人にとどまったのに対し、授業後に「これからの生活のなかで、去年と今年のちがいをたくさん見つけた」には 69 人が「そう思う」と答えた。これらの結果から、授業目標の Lv. 1 に関する効果は確認された。さらに、授業後の質問紙で「サクラの満開日について、気温との関係があることを自分たちで発見できた」に 136 人が肯定的な回答をし、「12 年間のサクラの満開日を観察したことが、50 年後や 100 年後を考えるきっかけになった」に 119 人が肯定的な回答をしたことから、授業目標の Lv. 2 および Lv. 3 に関しても効果的であることが示唆された。授業後に「アプリを使うための時間が足りなかった」に 34 人が肯定的な回答をしたものの、45 分間という限られた時間のなかで身近な自然における年々の変化への関心を高める効果は認められた。

以上の結果から、実験授業の内容が小学校高学年の授業として実施可能かつ効果的であることが確認できたため、開発した Web アプリケーションを指導案およびワークシートとともに Web 上で公開した (<https://www.cf4ee.jp/kasumizakura>)。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

気候変動をはじめとする地球環境問題は、定義や解決方法が社会に依存する。その結果として、科学的な不確実性を排除できない状態での学習を強いられ、学校現場が様々な学説のもと混乱状態に陥っている。この状況を脱するためにも、学習者自身の体験を基礎として学習することが望まれるが、従来の実時間の中での自然体験は気候変動とは時間規模が大きく異なるため、学習において両者を繋ぐ試みは無かった。本研究は、この部分への取り組みに他ならない。

本研究で開発された Web アプリケーションにより観察可能な 20 年という時間規模は、それでも、気候変動の影響を観察するには短すぎる可能性が高い。それでも、現段階から知見を積み重ねることで、30 年・50 年と気候変動の影響が明瞭化する可能性のある時間規模の映像記録が蓄積されたとき、速やかに効果的な教材の提供が行える。環境省のインターネット自然研究所 (<http://www.sizenken.biodic.go.jp/>) をはじめ、数多くの定点撮影画像が今後蓄積されていくことを見据えると、将来のより良い気候変動学習の普及に向けて、現段階から義務教育の現場へ擬似的に時間拡張された自然体験を根付かせることには意義がある。

今回開発した Web アプリケーションを指導案およびワークシートとともに無償公開したことで、他の学校でも 1 時限の空きコマに同様の環境教育プログラムを実施することができる。原稿の学習指導要領では、義務教育において気候変動に関する単元に用いることができる時限数は限られており、実施可能性の観点からも本研究の事例は影響力の強いものと考えられる。

5. 新たな課題と今後の取り組み

今回のアプリ開発では、小学校高学年の授業 1 時限（45 分）での使用を想定した開発を行ったが、実際に学校教育の現場へ導入するにあたっては、他の状況における使用も考えられる。

一つは、より多くの時間をかけて、探究的な学習を行う可能性が考えられる。この場合は、結果のグラフ表示、とりわけ気温グラフの表示方法に改善の余地がある。今回の実験授業においても、児童から「選んだサクラと気温のグラフが重なるようにすれば、もっと重なっているということが見やすく、分かりやすい」や「一カ月単位の平均温度か何月～何月など選べたらいい」といった意見が出された。また、サクラの開花と気温との関係について、より高度な相関分析を行うためには、X 軸に気温を、Y 軸に満開日をとった散布図を用いることがより望ましい。

こうした改良は、特に中学校や高等学校における活用の可能性を広げるという効果も期待できる。実際に、今回 Web アプリを公開したことで、中学校・高等学校の教員からコロナ禍におけるオンライン授業で活用したい旨の問い合わせがあった。今回のバージョンを単発授業向けのものとして固定し、探求学習向けに結果の表示方法をカスタマイズした別バージョンを公開することも検討していきたい。

さらには、本アプリの活用は必ずしも国内に限る必要はないため、英語版の Web 公開も予定している。既に指導案とワークシートの英語化作業には着手しており、今後、英語版 Web アプリとともに公開したうえで、実験授業の結果分析とともに国際論文誌に投稿する予定である。

6. 業績リスト

論文

1. Nakamura, K.W., Fujiwara, A., Kobayashi, H.H., and Saito, K. (2019): Multi-Timescale Education Program for Temporal Expansion in Ecocentric Education: Using Fixed-Point Time-Lapse Images for Phenology Observation. *Education Sciences*, 9(3): 190.
2. 中村和彦・斎藤馨・藤原章雄・大塚啓太・奥山賢一 (2020): 森林体験活動を教室内学習へ持続的に反映させる方法論の検討 ―小学校第 5 学年の調べ学習単元における振り返り映像の視聴を事例として―. *日本森林学会誌*, 102(1): 77-82.

学会発表

1. 中村和彦・宮島衣瑛・藤原章雄・斎藤馨 (2020): フェノロジー観察学習 Web アプリケーションの開発と小学校での授業実践. 第 131 回日本森林学会大会, 2020 年 3 月 29 日（名古屋大学）.

以上

研究課題	全国の中学校が無償で利用可能なオンライン型プログラミング学習教材の開発
------	-------------------------------------

所属機関名： 特定非営利活動法人みんなのコード

氏 名： 畑 紗羅

【研究報告】

1. 研究の目的

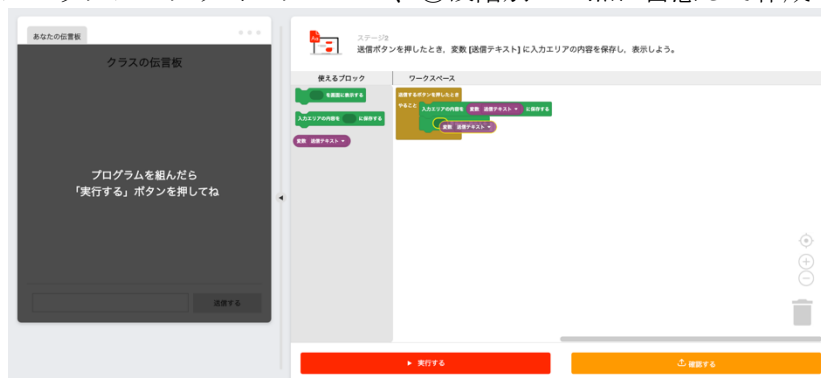
社会が高度に IT 化する中で、プログラミング教育についての社会的な関心も高まり、毎日のようにメディアで取り上げられ話題になっている。小学校段階でのプログラミング教育も必修となるが、学習をそこで終わらせない継続的な取り組みが必要である。

学習指導要領によれば、2021 年から中学校段階でも新たに「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミング」を技術家庭科において学習することとなっている。

そこで、中学校向けオンライン型プログラミング学習教材を開発し、チャット型のクラス伝言板の構築を通じて、ネットワーク・データベース・UI（ユーザインターフェース）・テキスト以外のマルチメディア・情報モラルを学習してもらうことを考えている。全国の中学校で取り組みやすい教材を提供することで、「日々何気なく使っているネットワーク経由のアプリケーションの仕組みへの理解」「自分たちでもアプリケーションは作れそうだという気づき」「情報化社会におけるより良い市民になろうという態度」などを育むことが目的である。

2. 実施内容

開発した教材は、公立中学校を対象としたプログラミング教材である。公立中学校でのプログラミング教材として選ばれる為に、ICT インフラが貧弱な学校、プログラミングについて指導経験の浅い教員であったとしても指導が可能なよう、小学校向けプログルと同様に、①ブラウザベース、②ブロックプログラミングベース、③段階別の 3 点に留意して作成した。



実際の生徒用インターフェイス

チャット型クラス伝言板アプリケーション開発をテーマにすることで、正解の形がある程度わかりつつ、生徒に自分ごととして学習を展開してもらう。学習内容は下記のとおりである。

①ネットワーク(クライアント&サーバー型)

クライアントアプリケーションからサーバーにメッセージを送信することを通じ、日常的に中学生が使用しているアプリケーションのネットワークの仕組みを学習する。その際、クラス毎にメッセージが見られる領域を区切ることにより安全に学習することができるよう配慮する。

②データベース

サーバーで受信したメッセージをデータベースに保存し、他のクライアントから取得できるようにすることを通じ、日常生活の後ろ側にあるデータベースについて体験的に学習する。

③UI (ユーザインターフェース) の設計

各生徒が自分自身にとって使いやすいUIを作成する体験を通じ、自分たちの創造性を発揮すると共に、自分たちが普段使っているアプリケーションのUIがいかに優れているか再発見することができる。

④マルチメディア

例えば、教材の序盤においてはテキストデータのみの扱いであったとしても、後半においては画像等のマルチメディアを扱うことを検討している。それにより、様々なデータをコンピュータでどのように扱うかを考えることができる。

⑤情報モラル

例えば、写真のアップロードの際にどのようなルールをクラス内として持つべきかの議論を通じ「クラス伝言板の利用規約を自分たちで考える」等の学習活動が考えられる。これまでの「xxは禁止」、「〇〇は危ない」といった危険性ばかりの情報モラル学習ではなく、より想像的な情報モラルの学習も本教材の学習内容に入れられると考えている。

1

Lesson 1

伝言板をデザインしよう！
Design a message board!

クラス内で使う伝言板のデザインに関して学んでいくよ！使う人にとって見やすいデザインを考えながら伝言板の画面を作成しよう！

📍 ステージ 0/8

はじめから進める

2

Lesson 2

サーバと通信しよう！
Let's communicate with the server!

サーバに接続しデータを送受信する方法について学んでいくよ！サーバへの接続からデータを送信・受信する流れを学ぼう！

📍 ステージ 0/7

はじめから進める

3

Lesson 3

文字を送受信しよう！
Let's send and receive characters!

クラス内で使う伝言板でテキストを送受信できるようにプログラミングするよ！伝言板の仕組みについて学ぼう！

📍 ステージ 0/5

はじめから進める

4

Lesson 4

画像を送受信しよう！
Let's send and receive images!

テキストだけでは説明が伝わりにくいので画像も扱えと便利だね！そのためクラス内で使う伝言板で画像を送受信できるようにしよう！

📍 ステージ 0/9

はじめから進める

5

Lesson 5

伝言板を完成させよう！
Complete the message board!

これまでのレッスンをとまえて伝言板画面のデザインを行い、クラス内で使う伝言板でテキストと画像を送受信することができるようにするよ！

📍 ステージ 0/2

はじめから進める

コンテンツの構成

また、生徒の進捗状況や提出物の管理ができる先生用の管理画面や評価規準等も記した学習指導案をあわせて作成したことで、初めて教科書に掲載される授業内容を教員が評価しやすいよう工夫した。こうした補助コンテンツに関しては現場の中学校教員や技術分野研究会会員にも協力を仰ぎ、授業の中での使いやすさ・親しみやすさについてコメントをもらい、制作物に反映した。



先生用の管理画面

指導は8時間で行い、情報通信ネットワークの構成と、情報を利用するための基本的な仕組みの理解、安全・適切なプログラムの制作や動作の確認及びデバッグ等ができる技能を身につけること、また情報化社会を生きていく上で必要な、自らの問題解決とその過程を振り返り、よりよいものとなるよう改善・修正しようとする態度を育むことを意図している。

3. 研究成果

本教材は本来であれば実際に授業をすることで生徒の感想を得る予定であったが新型コロナウイルスの感染拡大により検証予定校が臨時休校中のため、本教材に対する教員からのフィードバックを紹介する。

① 無償であることへの評価

従来技術分野の授業では木材・ラジオなどの教材購入ですでに費用負担が多い学習内容であることから、さらに費用がかかるとなるとプログラミング教育普及のハードルとなる。

② 学校のインフラに依存しない

双方向コンテンツについてふれなければならない単元であるとなると、教員自身がサーバをたてたりソフトウェア等をインストールする必要が発生し、技術に明るくない先生では実施のハードルが高まる上、学校のインフラ環境によってはこれが実現不可能である。本教材を用いれば、ブラウザ上で全ての体験ができる。

③ テーマの難易度が適切

チュートリアル形式のため難しすぎず、ビジュアルプログラミングを用いた実技を伴う、簡単すぎない程度の学習内容である。これであれば現段階では小学校でプログラミング教育に触れていない中学生もハードルを感じすぎず、実感を伴ってプログラミングの基礎を理解することができる。

生徒のハードル・教員のハードルを限りなく最小化することで、子どもたちがテクノロジーに親しむチャンスが与えられること、小学校からの学習が継続することの意義を伝えやすくなると読んでいる。また、教員が自信をもって教えられることこそ、子どもたちが学びを確かなものにできると信じている。

4. この研究が実社会や事業に及ぼす影響

今回の改訂で初めて取り扱われる学習内容「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミング」への関心は中学校技術分野の教員間で非常に高い。
今後弊法人では全国の中学校技術分野に携わる全国 16 自治体の合計 1000 名近くの先生方に研修を展開していくとともに、弊法人の教材の OEM 版 (<https://tosho.middle.proguru.jp/>) を教科書に掲載させていただくことで、一人でも多くの先生・生徒に安心して学習理解を深められる教材として認知していただけるようアプローチしていく。
これらを通して、中学生に身近なテクノロジーの裏側まで理解してもらうことができ、プログラミング教育の浸透度合いに関する地域間格差の是正や Society5.0 といった新たな社会に子どもたちが順応したそれを作り上げていくことができるようになると弊法人は確信する。

5. 新たな課題と今後の取り組み

今後は中学生向けの教材普及と、小中高のテクノロジー教育を一貫させていくための取り組みを行っていく。
教材普及の観点では、コロナ禍の現状において検証授業や多くの先生方に実際に教材を体験してもらう機会の確保、授業時間の確保等に課題がみられるが、これに関しては状況に応じた方策を組織内で検討している。また、GIGA スクールネットワーク構想のような、学校の ICT 環境整備に関しては現場の関心も高まっており、テクノロジーを教育に取り入れる点では追い風が吹いている。その点で、テクノロジーの利用者として身につけるべき考え方や、それに加えて子どもたちが価値創造の体験をすることの重要性も現場に伝わりやすくなってくると感じているため、これをうまく活用したい。
小中高のテクノロジー教育を一貫させるためには高校の教材開発を行う予定だ。今回の中学生向けの教材をもとに、さらに発展的な内容を提供することで子どもたちの学習機会を充実させる方針で着手している。しかし高等学校では各学校の偏差値がまちまちな点、指導内容が高度になるのに対し免許外教科担任や臨時免許の情報教育担当者が半数ほどに及ぶため取り扱うテーマや難易度に関してボリュームゾーンとなるターゲットを絞ることが大変に難しい。
小中高のプログラミング教育必修化を支える点での役割を全うするべく、学校現場の声を慎重に反映するためのアクションを今後も模索していく。

6. 業績リスト

東京書籍「新しい技術・家庭 技術分野」掲載（別添パンフレット p19 参照）

以上

