

特集:熊本大学/肥後もっこすICT

- 2 **ご挨拶**
総務省 九州総合通信局 局長 野崎 雅稔
- 3 **変革期を迎えた熊本大学**
国立大学法人熊本大学 学長 小川 久雄
- 4 **自立的産学官連携展開を図る熊本大学**
国立大学法人熊本大学 緒方 智成
- 6 **地域活性化を目指した半導体・DX人材育成**
国立大学法人熊本大学 宇佐川 毅 城本 啓介
- 8 **次世代の半導体技術に求められる人材育成**
国立大学法人熊本大学 青柳 昌宏 藤吉 孝則
- 10 **移動体通信に活用できる円偏波とメタ表面技術の研究**
国立大学法人熊本大学 福迫 武
- 14 **センチ波・メートル波電波観測が解き明かす宇宙の謎**
国立大学法人熊本大学 高橋 慶太郎
- 18 **画像処理技術を用いた石垣照合システムの開発**
国立大学法人熊本大学 上瀧 剛
- 22 **ICTによる考古学/縄文土器解析研究の最前線**
国立大学法人熊本大学 小畑 弘己
- 26 **熊本地震を教訓に応急仮設住宅の供給迅速化に向けた取り組み**
国立大学法人熊本大学 大西 康伸
- 30 **デジタル時代の新たな学び**
国立大学法人熊本大学 前田 康裕
- 34 **いまは未病でも「危ない度数」を計測します**
国立大学法人熊本大学 中村 振一郎 沈 君偉 原田 祐希
- 38 **社会変化に対応する未来型次世代教育の実現**
国立大学法人熊本大学 松本 智晴 前田 ひとみ

Close-up

- 42 **衛星伝搬の壺 <5>**
電気通信大学名誉教授 唐沢 好男
- 46 **SOMETHING NEW**
企画プロデューサー 新山 賢治

デジタルな法律相談ちゃんねる

- 50 **流れゆくニュース**
弁護士 杉本 隼与

各界だより

- 52 **総務省、REEA ほか**

【表紙の写真】

最上左:阿蘇山から流れ出る「白川」沿いにある熊本大学黒髪キャンパス
最上右:上瀧研究室による2016年発生熊本地震で崩れた熊本城石垣修復の様子
(本誌18頁参照)
中左:明治時代に建てられた歴史ある熊本大学の表門
(通称:赤門/国指定重要文化財)
中右:半導体人材育成に取り組む一環として設備されたクリーンルーム
(2023年春季移動)
最下左:学内電波暗室におけるミリ波アンテナ測定の様子
(福迫研究室画像提供)
最下右:工学部の授業の様子

(掲載協力・画像資料提供:熊本大学)

ご挨拶

総務省 九州総合通信局局長 野崎 雅稔

我が国では、少子高齢化、生産年齢人口の減少等が進んでおり、社会経済活動における課題は地方から顕在化してきています。地方において、このような課題をいち早くデジタルにより解決できれば、我が国は未来に向けて新たな価値を創出していける可能性があります。

今後、世界的には、人口増加による食料需要の拡大、所得水準の上昇による観光需要の拡大等が予想され、それに対応して、我が国の農畜産業、観光業等には大きな成長のポテンシャルがあると考えます。特に、九州では、令和2年の農業生産額で、鹿児島県、熊本県、宮崎県が全国で2位、5位、6位と上位を占めており、安心・安全な日本の農産物の価値が国際的に高まる中で、今後の発展が期待されます。一方で、生産現場では働き手の確保が難しくなっており、デジタルを活用した課題解決が切望されています。

このような中で、九州総合通信局の関係する具体的な取組みをいくつか御紹介します。

世界的な人口増加により鶏肉や卵の価格が高騰していますが、これらを増産するためには雛鳥の雌雄鑑別が重要ですが、全国的に高齢化により鑑別師の方の不足が深刻化しています。このため、熊本県の公設試の方々と連携して、AIによる画像解析による地鶏の雌雄鑑別の実証を進めています。

また、畜産業でも働き手が不足しており、鹿児島県では約5,000頭の高級肉牛を数十人で育てられている畜産業の方々の協力を得て、1,000台の4Kカメラと自走型ロボットを導入して、24時間、AIの画像解析により牛の安否の見守りを行なう実証を行っています。

このような技術が実現すれば、少ない働き手で更に競争力の高い農畜産業の実現が期待されます。

また、観光においては、九州はアジアに近いという地理的な位置付けから、外国人観光客の来日が急速に復活してきています。さらに、熊本県では、令

和6年に世界的な台湾の半導体企業の大規模工場の稼働が予定されています。台湾から来日される技術者の方やその御家族ま

で含めると、今後、千人を優に超える台湾の方々が来日、在住されるのではないかとという予測もあります。日常生活のためには、自治体窓口、病院、学校、銀行、商店等で内容的に難しい複雑な会話をする必要が出てきます。半導体誘致プロジェクトの成功のためには、来日される台湾の方々の生活面の手厚いサポートが不可欠になります。九州総合通信局では、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）と連携して、NICTが開発した多言語翻訳アプリVoiceTra（ボイストラ）について、関係機関と連携して広く普及を図り、旅行される方や居住される方にとって「言葉の壁」のない世界の実現を目指していきます。

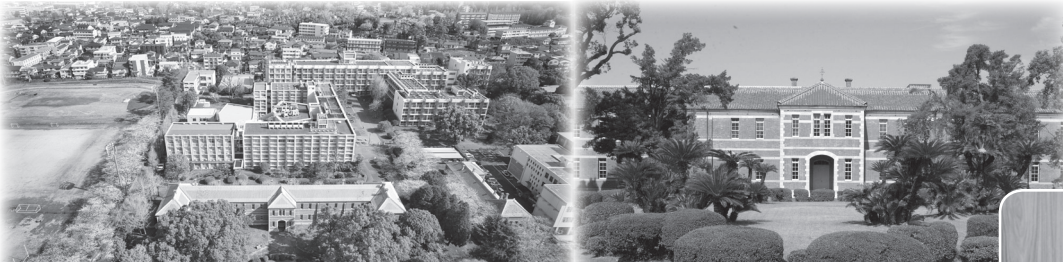
このように、九州総合通信局では、デジタルによる地域課題の解決と魅力的で活力のある九州の実現に貢献するため、デジタル田園都市国家構想を踏まえて、産学官の地域協議会を立ち上げています。この協議会において、自治体、通信事業者、社会実装関係者等の間で地域のニーズを踏まえた光ファイバや5G等のインフラ整備、インフラの利活用によるビジネス創出等に取り組んでいます。

熊本大学は、このようなデジタル田園都市国家構想を目指した産学官の取組みの中核となる大学です。熊本大学におけるICT分野に関する研究や人材育成は、熊本のみならず、九州、日本の発展を牽引していくものと期待しています。九州総合通信局としても、熊本大学としっかり連携して、「デジタルで創る世界に開かれた九州」の実現に向けて取り組んで参ります。



九州総合通信局のある
熊本地方合同庁舎A棟
(熊本県熊本市)

写真左上から時計回りに
 ・五高記念館航空写真
 ・五高記念館
 ・工学部百周年記念館
 ・五高表門（通称「赤門」）



変革期を迎えた熊本大学



国立大学法人熊本大学 学長 小川 久雄

熊本大学は、明治20年（1887年）に設立された第五高等中学校（五高）を前身とし、136年の長い歴史と素晴らしい伝統を持った大学です。文学部、法学部、理学部は旧制第五高等学校、教育学部は熊本師範学校、工学部は熊本工業専門学校、薬学部は熊本薬学専門学校、医学部は熊本医科大学を母体として、74年前の昭和24年（1949年）に国立熊本大学として発足しました。現在は、人文社会科学系・自然科学系・生命科学系にわたる7つの学部・6つの大学院を擁し、学部生約8,000名、大学院生約2,000名が所属しております。

本学では電波技術、情報通信技術に関連する研究は活発に行われており、そこでは半導体が非常に重要と捉えております。熊本では、国家プロジェクトによる世界的半導体企業の誘致とそれに伴う半導体関連産業の集積が進み、人材の確保や育成が喫緊の課題となっております。熊本大学は、半導体分野における人材需要が高まっている中、地域に根差す国立大学として、その高度人材の供給に応えることが責務と考え、昨年設置した「先端科学研究部附属半導体研究教育センター」を全学組織として発展させ、「半導体・デジタル研究教育機構」を本年4月1日に設置しました。これらの取組を加速させ、学生が所属する新しい学部組織（学士課程）として、「情報融合学環」を令和6年度に設置する構想を掲げました。この学環では「DS（データサイエンス）半導体コース」と「DS総合コース」を有し、文理融合教育によりDX、数理・データサイエンスの素養を身に付け、ICTの諸課題に対応できる人材を育成します。また、同時に工学部内に半導体デバイスの製造・評価・開発に携われる人材を育成する「工学部半導体デバイス工学課程」を設置する予定です。すなわち、日本の学士課程で初めての半導体

コースを2つ設置することになります。この「情報融合学環」の設置は、昭和54年にそれまでの法文学部を改組し、文学部、法学部を設置して以来、45年ぶり、学部の設置まで遡りますと、昭和24年5月に、法文学部、教育学部、理学部、医学部、薬学部、工学部の構成で熊本大学が創立されて以来、75年ぶりの学部相当の新組織設置を行う大改革です。この大改革が大学の大きな発展に繋がることと期待しております。

このたび、熊本県と熊本大学が連携し、内閣府「地方大学・地域産業創生交付金」に採択されました。この構想では、昨年春に産総研から半導体研究教育センターの初代センター長に着任いただいた三次元積層実装技術の第一人者である青柳昌宏先生を中心とし、設計や製造装置関連で新産業を熊本に生み出します。現在の半導体デバイスでは、複数の機能コアを平面で集積して、システムを構成しています。一方、三次元積層実装においては、異なる機能の半導体チップを縦方向に積層することでシステムを構成します。これにより、低消費電力化、高機能化、小型軽量化などが達成できます。そして地域企業や県内外機関とのハブとなる「くまもと3D連携コンソーシアム」を県庁と大学が運営し、地域の半導体エコシステム形成を目指します。

今回の熊本県における半導体企業の集積は、熊本と熊本大学にとって百年に一度のチャンスとっております。これを一過性のものにしないよう、大学も地域と一丸となり、持続的なエコシステムを構築したいとっております。本学における半導体人材教育や研究に関する大きな動きが、深い関連のある情報通信技術の発展に貢献できることを祈念しております。



ベンチャーや共同研究企業が利用可能なベンチャービジネスラボラトリー（手前）とインキュベーションラボラトリー（奥）

自立的産学官連携展開を図る 熊本大学

熊本大学における産学連携の制度改革および新たな産学連携制度について紹介を行う他、ベンチャー支援制度について紹介する。

国立大学法人熊本大学
熊本創生推進機構 イノベーション推進部門 教授
緒方 智成

産学連携の新たな制度創設の背景

2004年に国立大学が法人化して以降、大学には経営の自立化が求められるようになり、競争的資金や共同研究等による外部資金の獲得が重要となっている。大学と企業の連携は以前より行われており、企業のニーズ・課題に基づき、研究資金を企業が提供する共同研究が一般的しているが、従前の間接経費は10%であり、これは大学にとって十分でなく、共同研究を行うほど持出が増え、大学にとり危機的な状況であった。

産学連携制度の見直し

産学連携における課題や指針を示すものとして、2016年11月に「産学官連携による共同研究強化のためのガイドライン」（以下ガイドライン）が文部科学省と経済産業省の連名で示された。このガイドラインは、大学と企業との共同研究の拡大・深化を目指すため「資金の好循環」「知の好循環」「人材の好循環」の切り口で様々な対応方針（処方箋）を提言している。特に「資金の好循環」では、研究実施に対する「費用負担の適正化」が示されており、直接的な研究実費に加え、大学の研究環境整備に使用できる間接経費について企業に理解を求めるとともに、大学がその必要性を企業に説明することが重要であることが示された。

当時の熊本大学では、研究経費の10%を間接経費としていた（当時の全国の国立大学法人の9割が10%以下であった）が、実際の間接的な経費を管理部門人件費・設備営繕等を積算して見積もったところ、40%を超えることが明らかとなった。そこで、2019年の4月以降、間接経費を直接経費に対して30%とすることとした（経費全体に対して約23%）。企業にとっては負担が増えることになるため、共同研究の減速が懸念されたが、必要性を丁寧に説明したところ受け入れてい

ただき、共同研究の実績が低下することは無かった。

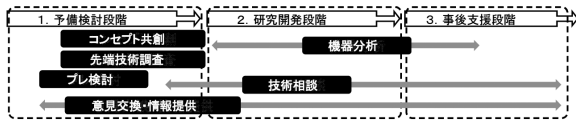
一方、研究に要する経費として、実験等に必要物品類の購入費用を積算するだけのケースが多く、研究に必須な光熱水費、大学研究者が提供する時間や知的貢献への対価は含まれていなかった。そこで、2019年4月に共同研究・受託研究の規則を見直し、光熱水費や実験スペース費、大学研究者が研究にかかわる時間に対する対価を「研究担当教員充当経費」として共同研究費に積算可能とした。

研究担当教員充当経費＝基準単価×（受託・共同研究への従事時間）×調整率
* 基準単価
教授：7,000円/時 准教授・講師：6,000円/時 助教：5,000円/時（基準単価以上の設定も可）
* 共同研究の内容が学術性の要素が高い研究である等の場合、調整率で減額できます

これにより、共同研究で大学が疲弊する懸念も解消され、企業との連携による社会貢献を存分に実施できる体制が整えられた。

新たな産学連携制度

これまで、企業と大学の連携には共同研究/受託研究等の枠組みが利用されてきていたが、企業のニーズは多様化しており、研究を伴わないような新規事業企画へのアドバイス、技術調査、技術相談、情報収集等への対応が求められるようになっていたが、既存の制度では対応できなかった。そこで企業の様々な要望に対応可能な新しい産学連携制度として「学術コンサルティング」を2019年4月より開始し、研究者の知見に基づく助言・指導、機器分析等が可能となった。この制度は、「約款」に同意して申し込むことで契約を簡易化しており、とかく時間がかかりがちな大学の手続き期間を大幅に短縮し、申込みから1週間程度で実施可能となっている。この制度により、企業は気軽に大学に相談を行うことができ、教員も技術相談等を業務として行え、よりコミットした対応が可能となった。



タイプ	メニュー	受託内容	時間単価	契約形態
中長期	コンセプト共創	企業の新規事業創出 等への助言	担当者・受託内容により決定	契約 (協議可)
	先端技術調査	先端研究の国内外調査や技術調査		
短期	プレ検討	共同研究の FS・試行・準備実験	2万円 ~5万円 /時 最大30万円時まで設定可	約款 (修正不可)
	技術相談	技術課題・経営課題の解決策をアドバイス		
	意見交換・情報提供	技術解説・施設見学・情報提供・講演		
	機器分析	装置を用いた分析・解析・評価		

学術コンサルティング経費		
直接経費	コンサルティング費	職級と受託内容によって決定する時間単価に要する時間を乗じた額
	必要経費	消耗品、機器・設備使用料、人件費、旅費、学会等の参加登録費 等
間接経費	直接経費の 30%	

熊本大学の学術コンサル制度の概要

	熊本大学発ベンチャー	熊本大学認定ベンチャー
定義	本学の教職員・学生等が大学発技術を元に起業（準備中を含む）したもの	左記の条件を満たしかつ、本学の知財等のライセンスを受けたもの
支援条件	公序良俗に反しない・単なる小売り/サービス業ではない。兼業規則等、学内規則に適合。	
支援内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 称号使用 (熊本大学発ベンチャー) ・ 地共ラボ、インキュベーションラボ、VBLを貸与 ※ 大学との賃貸契約が必要 ・ 貸与地にて登記可 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 称号およびマーク使用 (熊本大学認定ベンチャー) ・ 本学の施設を貸与 ※ 大学との賃貸契約が必要 ・ 貸与地にて移転登記可
	知財ライセンスの優遇措置 イベント等で紹介 ベンチャーコンソーシアムで支援	

熊本大学のベンチャー支援制度

ベンチャー支援制度

この数年間、大学発ベンチャーが再注目を浴びており、省庁や様々な金融機関等が、振興・支援策を多数講じている。そういった中、2016年2月、熊本県、熊本大学、熊本県工業連合会、肥後銀行、(株)リバネスの五者で「熊本県次世代ベンチャー創出支援コンソーシアム」を設立し、ベンチャー発掘・育成の仕組みを構築した。これに呼応し、熊本大学では「大学発ベンチャー等の支援に関する規則」を2018年3月に制定し、認定したベンチャーが大学の施設を利用できる等の支援を開始した。現在、8社が認定ベンチャーとなっており、一部は学内に開発拠点をおいて活動している。

まとめとこれから

2021年、世界最大手のファウンドリ企業であるTSMCが熊本に新たな製造拠点を建設することになって以降、様々な関連企業の進出が相次ぎ、令和の半導体フィーバーが訪れている。熊本大学でも、半導体技術の発展と産業の振興のため、研究・人材育成に大学一丸となり取り組んでいる。今後、企業との連携はますます重要となるため、時代の要請に応じて産学連携制度の改革を行いながら、社会貢献の責を果たしたいと考えている。

コラム：「卒業生がはぐくみ続ける母校との絆」

阿部 佳孝 1984年(昭和59年) 工学部電気工学科卒
(現在) 株式会社ドコモビジネスソリューションズ

熊本大学工学部の同窓会組織である熊本大学工業会の東京支部(山水会) 電気部会(電友会)において実施している出前講義は、元来、山水会土木部会と土木系の学生組織(蘇逢会)が協働で実施していた出前講義をお手本として、第1回を期しくも熊本地震の発生した2016年に開催し、その後、継続的に毎年開催しているものである。電友会出前講義の目的としては、卒業生が直接大学に出向き、自身が所属する企業の概要や業務内容を紹介することで、学生が社会人になるための心構えを持つ機会を提供することと、学生に同窓会とのつながりを意識してもらい、就職後に同窓会活動に参加することで、社会生活を有意義に過ごし、あわせて同窓会活動の活性化を図ることにある。

電友会出前講義の実施方法としては、毎年3~4名の卒業生が講師として、直接、大学に出向き、対面での学生への講義と、卒業生と学生との双方向のディスカッションを行うこととしている。ただし、新型コロナウイルスの影響により、2020年と2021年は、オンライン形式での開催を余儀なくされたが、新型コロナウイルスをとりまく環境の改善により、2022年は再び対面形式に復活して実施した。

電友会出前講義に参加する学生は、主に翌年に就職活動を控えた学部3年生、修士1年生を対象としており、多くの学生に参加してもらうため、大学側の協力も得て、学部3年生の授業の一環として

実施している。また、大学における電気系の学生組織である紫雲会の協力も得て、学生の主体的な取り組みも促している。

電友会出前講義は、これまで7回の開催により毎年の恒例行事として定着化してきており、出前講義を受講した学生が卒業して社会人になったのちに、出前講義の講師として大学にもどってくるという好循環のサイクルも生み出している。

今後も電友会出前講義が、学生が社会へ羽ばたく際の貴重な気づきの機会となるように取り組んでいくこととしたい。



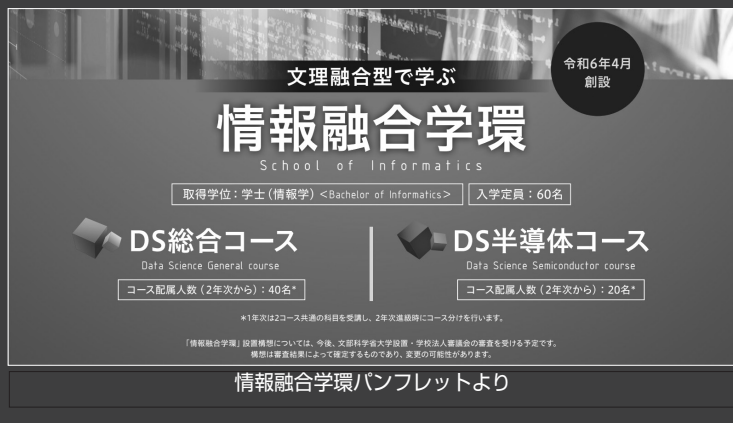
第1回(2016年)電友会出前講義の様子(於:熊本大学、右写真右側が筆者)

地域活性化を目指した半導体・DX人材育成

～ 地域社会と連携した人材の育成プロジェクト ～

TSMCの熊本県進出により、AI・データサイエンスを中心としたDX人材に加え半導体分野の人材育成が喫緊の課題となっている。熊本大学では、令和5年度より「半導体・デジタル研究教育機構」を設立し、令和6年度開設を目指して半導体人材・DX人材の育成を目指す新たな教育プログラムの開設に向け準備を進めている。

国立大学法人熊本大学
理事・副学長
宇佐川 毅
半導体・デジタル研究教育機構 機構長特別補佐
城本 啓介



◆ はじめに ◆

1980年代中期、日本系メーカによる半導体の世界シェアが50%弱に達し、九州はシリコンアイランドと呼ばれていた。しかし、その後の半導体産業衰退は熊本に大きな影響を与えたものの、複数の半導体メーカや半導体製造機器メーカが活動の拠点を熊本においてきた。2010年代後半の半導体不足が顕在化する中、2020年秋に台湾積体回路製造股份有限公司（以下、TSMC）が熊本に進出を決めたことは、地域における産業に大きなインパクトを与えた。熊本大学では、2020年以前も、工学部を中心にソニー・セミコンダクターマニュファクチャリングや東京エレクトロン九州をはじめとする熊本に拠点を置く半導体関連産業に50名近い学生が毎年就職していたが、TSMCの進出に伴う半導体人材育成に対する要請が急激に増加したことを受け、大学として“スピード感をもって”人材育成を行うことが求められた。

通常、組織改変を伴う学士課程教育プログラムは、計画から完成までに6年程度が必要となる。しかも、半導体分野を含め工学系の人材養成は、修士課程修了者に重きが置かれる傾向があるため、通常であれば計画から修了生を送り出すまでに8年もの時間を要してしまう。しかし、これでは社会からの人材要請に対応することができないため、学部等連携課程としての学士課程新設、さらには工学部における編入学定員増と半導体分野の教育課程新設を大学が一体となって進めることで、2028年3月には100名規模の半導体人材の育成を目指している。本稿で、熊本大学における半導体人材の育成計画の概要について述べる。

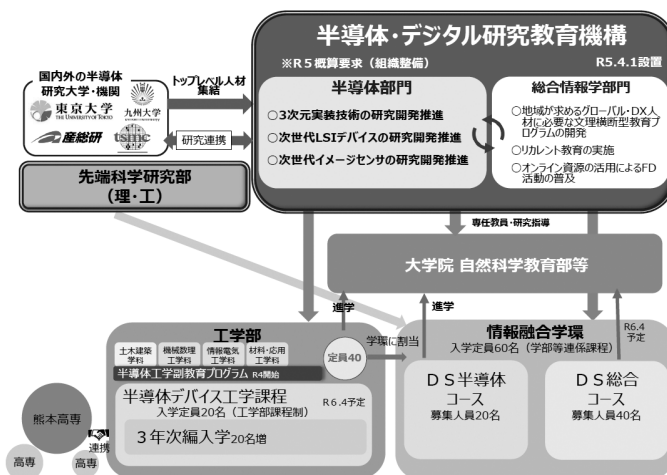


図1 半導体人材育成関係組織

◆ 全体構想 ◆

スピード感をもって人材育成を進めるため、次に詳細を述べるように工学部に半導体分野の教員組織「先端科学研究部附属半導体研究教育センター」を2022年4月に立ち上げ、半導体教育を開始した。本年4月に同センターと学内他組織を統合することで、35名の教員からなる「半導体・デジタル研究教育機構」を設置した。

半導体分野の人材に求められる素養は、既存の電気・電子・情報・機械・化学・材料などの教育プログラムだけでは必ずしも十分ではなく、複数の教育プログラムを連携させた教育課程を設定する必要がある。そ

の一方、物理・化学を基礎とするデバイス分野と、1000工程にも及ぶといわれるプロセス分野では、コアとなる教育内容とは別にそれぞれの分野に特化した教育が必要となる。このような背景から工学部に学科横断の「半導体デバイス工学課程」を新設するとともに、データサイエンス (DS)・人工知能 (AI) に基づく半導体プロセスおよび DS・AI の社会実装について学ぶ「情報融合学環」の新設を行うこととした。

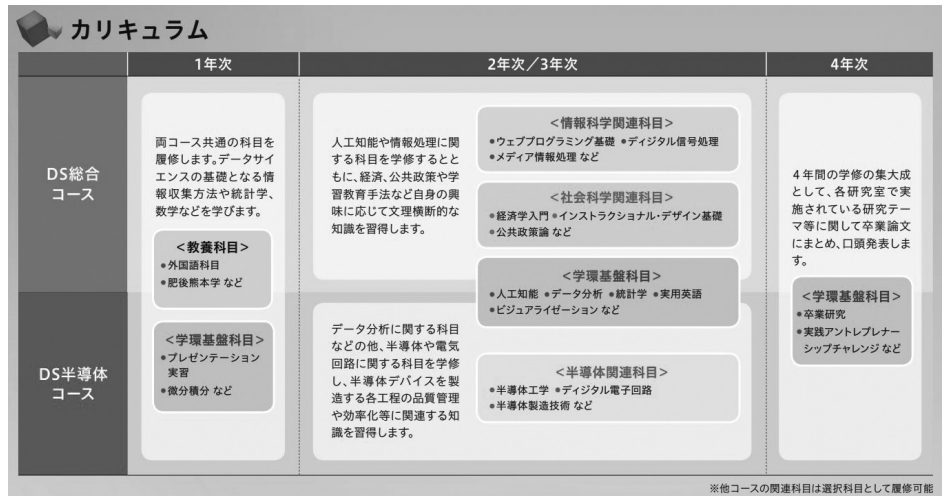


図2 情報融合学環のカリキュラム構成

◆ 学部等連携課程「情報融合学環」の新設 ◆

Society 5.0 で活躍するために、文系理系を問わず DS・AI 分野の知識は不可欠である。特に半導体の製造プロセスにおいては、非常に複雑かつ繊細な多数の工程を統合運用することが求められており、高度な DS・AI 分野の知識や実践能力が求められている。また、この分野は情報通信・製造業にとどまらず行政・金融・教育など非常に幅広い分野で人材が求められている。

このような背景から、学内から科目や学生定員の提供、熊本地域における複数の大学との連携に基づく教育内容の充実、さらに熊本県庁に事務局を置く「くまもと DX 人材育成プラットフォーム」(2022年6月設置) との連携によるリカレント教育の実施や、地域の産業界と連携した実践的な課題を用いたゼミナールの実施やインターンシップなどをプログラムに組み入れた形で、学部等連携課程「情報融合学環」を2024年4月に設置する計画である。この学環は、熊本大学が1949年創立以来、初めて新学部を設置するものとなる。

「情報融合学環」には、「DS半導体」「DS総合」の2つのコースを設定した。DS・AI 分野の基礎領域を基盤とし、「DS半導体コース」では DS・AI を半導体製造プロセスに活用することに特化した教育プロ

「情報融合学環」設置構想については、文部科学省大学設置・学校法人審議会の審査を受ける予定です。構想は審査結果によって確定するものであり変更の可能性がります。

グラムを提供している。一方、「DS総合コース」は、情報通信・コンピュータサイエンスのみならず社会科学、ICT を活用した教育、農業を含む経済など、文理融合型の教育プログラムを提供する。特筆すべき点としては、国内屈指の農業県である熊本において、アグリビジネス分野など DS・AI と農業の連携は喫緊の課題であるが、熊本大学には農学部も経済学部を持たないため、東海大学農学部(くまもと臨空キャンパス)のご支援を受け、関連科目の提供を行う計画である。

入試においても、女子学生向け特別選抜、前期課程の入試での文系型・理系型の選択制をとっている。従来であれば、理系を避けてきた方にも、半導体産業を含め DS 分野の知識を活用できるより広い領域で活躍できることを、教育プログラムを通じて体験できるよう設計をしている。

なお、情報融合学環に大学院を設置することは想定しておらず、大学院自然科学教育部のみならず、大学院社会科学教育部、大学院医学教育部などとの連携を想定している。

◆ まとめ ◆

半導体が現代社会の基盤であることは改めて議論するまでもないが、TSMC の熊本県への進出決定により、半導体分野の人材養成が喫緊の課題となり、熊本大学全体で学内組織を改変し、新たな教育プログラムの提供を推進している。「失われた20年」を取り戻し、グローバル社会の中で、日本・九州で活動することをこれまで以上に誇れるようにするため、これらの取り組みを着実に推進していきたい。

次世代の半導体技術に求められる人材育成 ～ 熊本大学の取り組み～

熊本県への TSMC 先端半導体工場の誘致が発端となり、半導体分野で活躍できる高度技術人材の育成が急務の課題となっております。本稿では、熊大半導体研究教育センターで発足以来取り組んできた半導体分野の人材育成活動について、ご紹介します。なお、同センターは半導体・デジタル研究機構に再編され、その活動がより発展していく予定です。

国立大学法人熊本大学
大学院先端科学研究部 半導体研究教育センター
(4月1日より半導体・デジタル研究機構 半導体部門に組織再編)
センター長 卓越教授
青柳 昌宏
大学院先端科学研究部 教授 (工学部 副工学部長)
藤吉 孝則



2022年5月17日 半導体研究教育センターの開所式

左から清水聖幸 熊本大学副学長 / 大谷順 熊本大学理事 / 小川久雄 熊本大学学長
青柳昌宏 熊本大学半導体研究教育センター長 / 連川貞弘 熊本大学工学部長

◆ はじめに ◆

2021年11月にTSMCよりソニーセミコンダクターソリューションズ、デンソーと共同出資で子会社JASM (Japan Advanced Semiconductor Manufacturing) を設立し、熊本に22/28nmプロセスと12/16nm FinFETプロセスのロジック半導体ファンドリを建設し、2024年末に生産開始と発表されました。これを受けて、熊本では、交通・住宅・教育などのインフラ整備事業、関連企業の用地確保・工場増設など、様々な動きが活発化しております。活況な半導体業界を代表する東京エレクトロン、ソニーセミコンダクターマニュファクチャリング(SCK)が大規模な工場を運用しており、人材不足が叫ばれているなかでの、国内最先端の半導体工場が誘致されたことで状況の深刻化が予想されています。

◆ 熊本大学における半導体分野の教育改革 ◆

熊本地域の国立大学である熊本大学からは、これまでも多くの卒業生が半導体企業に就職しており、2020年には、約70名となっております。2018年よりSCKのCTO (Chief Technology Officer) を務められた鈴木裕巳氏が大学に教授として招聘されて、SCKとの次世代イメージセンサに関する共同研究と学生33名の指導が実施される中で、SCKへの就職増加につながっております。

半導体分野の研究・教育を担う組織として、図1に示すように2022年4月、大学院先端科学研究部半導体研究教育センターが設立され、私(青柳)がセンター長として着任いたしました。鈴木教授を含む、企業との連携実績がある兼務教員10名と協力して、研究予算の獲得と教育プログラムの策定を進めております。

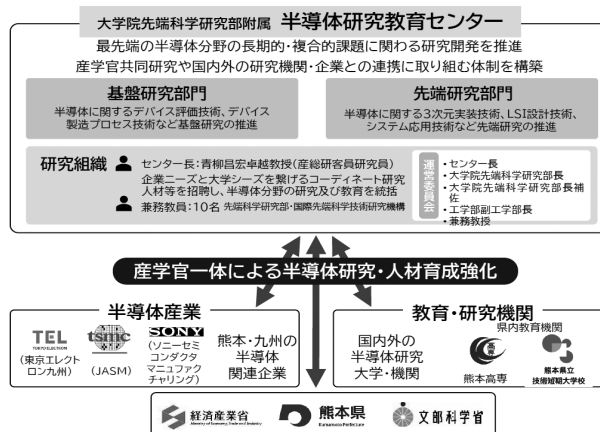


図1 半導体研究教育センターの立ち上げ

2022年度内に6名を専任教員として採用しました。現状の研究分野は、基盤領域、応用領域となっており、2023年度には教員を増員して、先端領域にも取り組む予定です。

産業界からの強い要請を踏まえて、前倒して半導体教育を提供するため、2022年10月から半導体工学副教育プログラムを実施しております。工学部4学科(土木建築、機械数理、情報電気、材料応用)の学生を対象に半導体工学に関連する既存の授業8科目(選択)に、半導体デバイスの設計・製造プロセス全体に関する概要とデバイスの評価・作製に必要な基礎知識に関する講義で3科目(必修)を追加して副教育プログラムとして実施したところ、2023年3月、16名が終了認定されました。次年度以降も副教育プログラムは、継続されます。

半導体研究教育センターを引き継ぐ、2023年4月に設置される半導体・デジタル研究教育機構半導体部

門では、新規に採用した半導体の専門教員6名を加え、教員17名となります。

工学部では、これまで半導体に関する総合的な教育カリキュラムが十分に整備されておらず、社会や産業界からの要請に十分にこたえられるための教育体制とはなっていませんでした。そこで、2024年4月の開設に向け、半導体に関連する既存分野の横断的な融合教育が可能な課程制を活用して「半導体デバイス工学課程」を、入学定員20名、高専からの第3年次編入学生定員20名、収容定員120名という規模で設置申請をしています。この課程では、半導体デバイスの設計・製造プロセス・評価技術・実装などを含む充実した半導体カリキュラムを準備して、半導体デバイス工学に関わる高度な専門的知識に加え、国際感覚を身につけてグローバル社会で協働できる実践的人材の育成を行う予定です。このような半導体に特化した学部の教育プログラムの設置は、国内の大学では初の試みです。

さらに、2025年に高専とダブルディグリープログラムを新設する計画です。また、2024年度から、半導体リカレント教育プログラムを提供いたします。

政府・自治体の政策支援を受けながら、国内で随一の半導体3次元積層実装研究拠点となることで、半導体研究者と連携交流を図り、共同研究や事業化を積極的に行うとともに、高度な研究者、技術者の育成を目指します。

院生のRA（リサーチ・アシスタント）雇用や企業と共同研究により、実務的知識と研究経験を持つ人材を、10年後現在の2倍となる約140名輩出を目指します。

図2は、想定する輩出人材の就業イメージを示しております。地域企業からのニーズが高く、設計・製造・開発等を担う専門人材として、博士前期課程修了者を70%の割合（ボリュームゾーン）と想定しております。また、次世代半導体等の新規事業の創出を担う研究人材、半導体の事業戦略・研究戦略を担うトップ人材、ベンチャー起業家については、博士後期課程修了者を

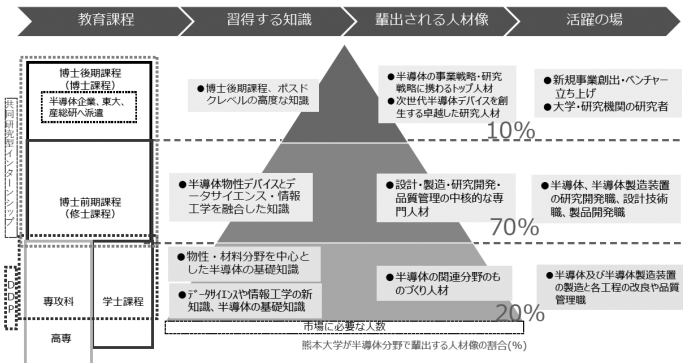


図2 輩出する人材の就業イメージ

10%の割合と想定しております。さらに、製造プロセスに関わるものづくり人材については、学士課程卒業者を20%の割合と想定しております。

大学院生への経済的支援を充実させるため、リサーチ・アシスタントやジュニア研究員として雇用することを原則とし、学習と研究に専念できる環境を整備して、台湾や欧米等に匹敵した処遇改善を図ります。これにより、研究の加速、学生と企業との密接な連携による実務教育の質向上、守秘義務の徹底を図ることができます。また、企業の研究開発の考え方や進め方など実務を学ぶとともに、企業への興味を高めて、就業の促進が期待されます。

◆熊本大学における半導体分野の産学連携研究開発◆

熊本大学と熊本県が連携して、内閣府の地方大学・地域創生交付金事業制度を活用して、半導体3次元積層実装（中間工程）産業の創出を目指した、産学官連携プロジェクトの準備を進めて、2022年11月に本申請を行い、2月に採択となりました。

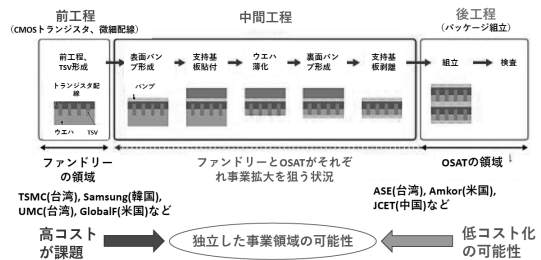


図3 3次元積層実装（中間工程）の研究開発

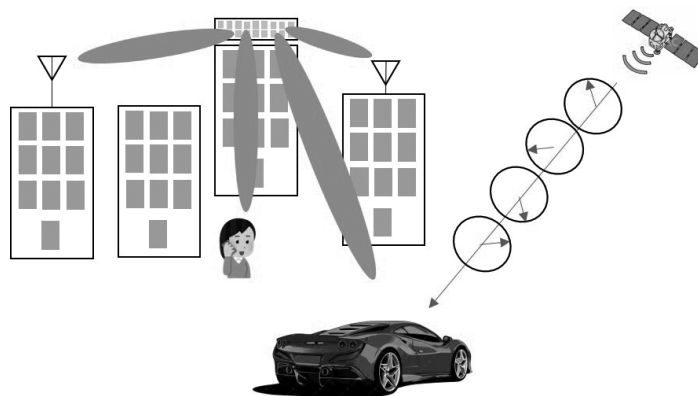
提案では、図3に示すように、ファンドリで製造されたLSIデバイスを受け取って、基板を20-50 μ m厚に薄型加工し、基板の裏から表に貫通電極と接続用バンプを形成し、チップ単位で積層化する3次元積層実装（中間工程）について、量産向け研究開発を中心に、基盤研究から事業化準備段階までの研究に取り組む内容です。また、3次元積層LSI設計技術についても、設計CADツール、評価エミュレータ、基本回路IP・アプリ創出などの基盤研究にも取り組みます。

半導体関連企業が集積している熊本地域の強みを生かし、「くまもと3D連携コンソーシアム」を設置して、地域企業との産学連携体制を半導体産業エコシステムとして強化し、産業創造に向けての研究開発に取り組む計画となっています。地域企業との共同研究テーマを順次立ち上げて、学生の研究参画を積極的に図ることにより、高度人材育成と雇用マッチングの場を形成して、地域産業と地域雇用の創出につなげてまいります。

移動体通信に活用できる円偏波とメタ表面技術の研究

～ 円偏波アンテナの設計技術とメタ表面技術の可能性 ～

円偏波技術とメタ表面技術は今後の通信システムやセンシング等に大いなる貢献が期待できる。本稿ではメタ表面による新たに注目すべき性質として、円偏波アンテナの帯域拡大、偏波制御、および小型化を目指した研究の一部を紹介する。



円偏波やメタ表面は今後の移動体通信やセンシング技術の発展にも寄与できる

国立大学法人熊本大学
大学院先端科学研究部 教授
福迫 武

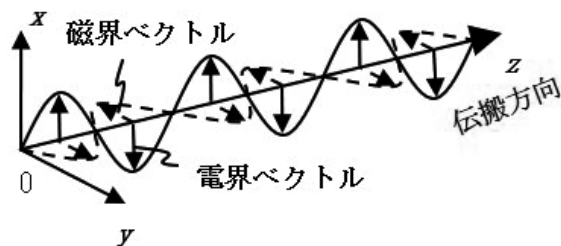
はじめに

インターネットが一般的になると同時に、携帯電話に代表される無線通信も我々の生活において随分身近なものになり、最近サービスが開始された第5世代(5G)移動体通信システムになると、かなり高速になり、かつ多くの端末を同時に接続可になり、さらに低遅延であることから、新しいビジネス価値の創出が求められる時代となった。実際、ネットワークへの接続は、無線による接続方法がより当たり前となり、特にSociety 5.0の社会において無線通信は重要な役割を果たすと考えられ、次世代の6Gのシステムにおいては、衛星等の組み合わせが想定されている。

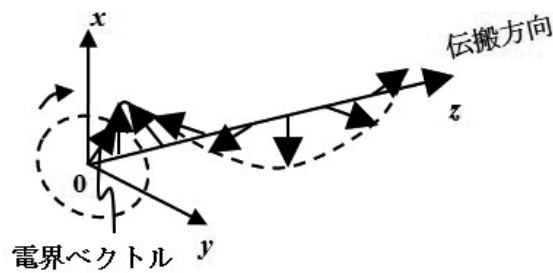
本稿ではこれまで筆者の研究室より近年提案してきたアンテナ技術について一部紹介する。例えば、アンテナの小形化は良く知られた研究課題であるが、アンテナは小形化を施すと動作可能な周波数の帯域が狭くなり、さらに周囲の影響にも敏感になり設計上の性能が実現できない場合が発生する。これを避けるには、小形化のみならず広帯域化の技術が必要になる。また、広帯域アンテナは高速通信や計測等のために重要な技術となる。

偏波について

本研究室においては、円偏波アンテナの広帯域化と広帯域に亘る偏波制御を大きな研究の柱の一つとしてきた [1]。電波は電界と磁界から成る波であるが、どちらも伝搬方向に対して90°となる横方向を向いていると同時に、電界と磁界も互いに90°の角度を成して



(a) 直線偏波された電波(電磁波)の伝搬



(b) 円偏波(右旋円偏波)の伝搬

図1 偏波された電波の伝搬

いる。電氣的な仕組みで励振された電波は、一般的には電界ベクトルの先端が進行方向に垂直な面内にて楕円のような偏った形を描きながら振動し、伝搬するのが通常であり、このような偏りの状態は偏波と呼ばれる。その特殊な状態として、楕円の短軸に対する長軸の比(軸比と呼ばれる)が無限大となる図1(a)のような直線を描く場合、その偏波は直線偏波であり、yz面が地面と平行だと仮定すると垂直偏波とも呼ばれる。一方、図1(b)のように電界ベクトルの先端が円を

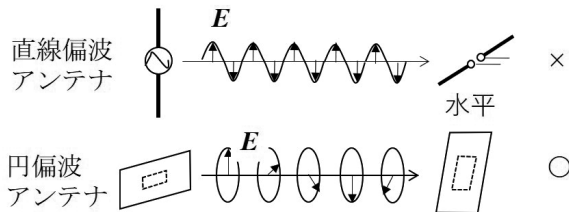


図2 直線偏波と円偏波アンテナによる電波の送受信

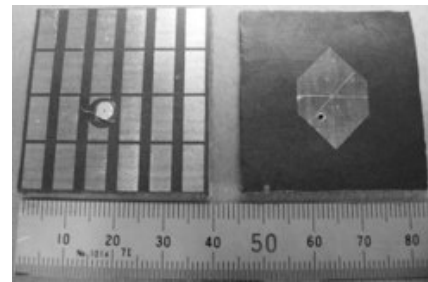
描きながら伝搬する電波は円偏波である。以上一般的に述べれば、 x 方向の電界と y 方向の電界について、振幅比と位相差をうまく選んで放射すれば、任意の形の偏波とすることも可能である。

送受信アンテナは、偏波の楕円長軸が互いに平行となるようにアライメント角（伝搬軸（図1の z 軸）を中心とするアンテナ素子の角度）をそろえる必要がある。アンテナにおいて、素子に流れる電流と同じ向きに電界が向くのが通常であるが、偏波の性質を考えると図2のように縦長のアンテナから放射された垂直偏波は横長の水平偏波向けのアンテナでは受信できないことになる。しかし、アライメント角に依らずに送受信をしたい場合も多く、その場合図2に示すように円偏波の使用が有効である。

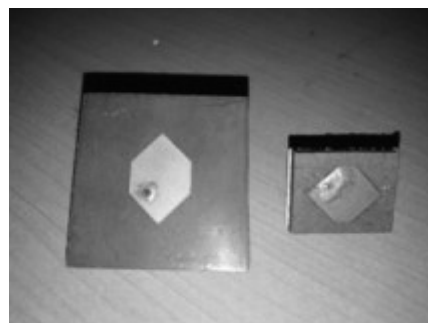
円偏波アンテナのアライメント角に気を遣う必要がないというメリットは大変ありがたく、その応用は幅広い。その一例が地上と衛星間の通信やカーナビ等に有効である。また、円偏波のもう一つの大きな性質として、右旋円偏波が反射後には旋回方向が逆転し、左旋偏波となり、右旋円偏波用アンテナでは受信できなくなる。（条件あり）この性質を利用すると、壁などの反射による不安定な通信（フェージング）を軽減することができる。この性質は複雑な構造をもつ高速道路料金所付近にあるETC（Electrical Tool Collection）システムで利用されている。

広帯域アンテナ技術でアンテナを小型化

円偏波が得られる帯域は、通常給電回路とのインピーダンスの整合が可能な周波数帯域より狭くなる。よって、パッチアンテナのような平面アンテナでは、円偏波が得られる帯域は中心周波数の数%程度が典型的な例である。よって、円偏波の中心周波数から外れると偏波は直線偏波に近くなるが、図3(a)のようにパッチアンテナに周期構造を設けると直線偏波の帯域でも円偏波に変換することができる。帯域の限られた円偏波アンテナとこの構造を組み合わせると、より広



(a) 周期構造を用いた広帯域円偏波アンテナ（分解図）



(b) 基板の比誘電率が2.2の場合と10.2の場合の大きさの比較（中心周波数6GHz）

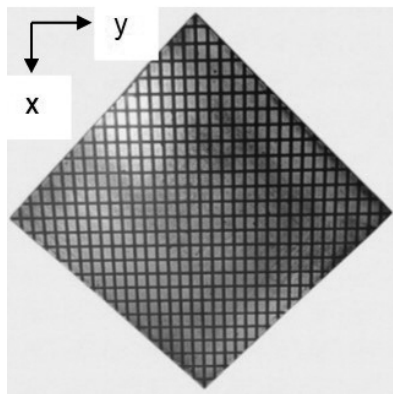
図3 メタ表面を用いた広帯域アンテナとその小型化

帯域な周波数に亘り円偏波を発生することができる。実際、1点給電法に限っても中心周波数の20%以上の帯域にわたり円偏波が発生可能である [2]。最近の本研究室の結果では40%以上まで拡張できた [3]。

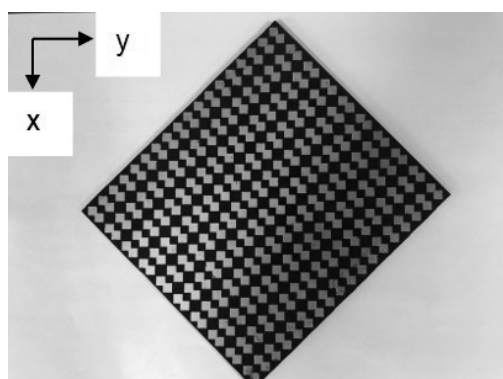
一方で、アンテナに用いる誘電体の誘電率を上げると小型化が可能になるが、前述のとおり帯域が狭くなる。しかし、この円偏波の広帯域化の技術で必要な帯域を確保しながらも小型化が可能である。実際、図3(b)にあるように、2つのアンテナの中心周波数はほぼ同じ6GHzであるが、用いる基板の誘電率を5倍程度にした結果、面積が約4分の1になったにも関わらず、どちらも円偏波の得られる帯域は中心周波数の20%程度以上を保つことができる [4]。一方で、市販の円偏波GPSアンテナは帯域がかなり狭く周囲の影響を受けやすいが、アンテナのカバーできる帯域が広いと、周囲の影響を受けにくくなる長所がある。提案アンテナは市販のGPSアンテナに比べるとかなり円偏波の帯域が広い。

メタ表面による広帯域偏波制御

図3で述べた広帯域円偏波アンテナの基板面には、長方形金属素子による単位セルで構成した周期構造が設けられていた。なお、図の裏側には金属背面板を有している。このような構造は、人工磁気導体機能や偏



(a) 広帯域円偏波ポラライザ



(b) 広帯域偏波変換メタ表面

図4 偏波制御メタ表面技術の例

波変換、任意角への電磁波の反射等の性質を実現でき、ある種の機能性を持つ。このような平面構造は一般的にメタ表面と呼ばれる。図3のアンテナの場合、一見六角形状に見えるパッチ素子は円偏波を放射できるが、帯域に限りがある。帯域外において偏波は直線偏波に近くなるが、メタ表面がポラライザ（直線偏波を円偏波に変換する素子）としての役割のため、円偏波の帯域を拡大できる。また、この種のメタ表面は人工的な磁気導体としての機能を持ち、パッチアンテナが鏡に映った場合と等価である。この状況では周波数に対して特性の変化が緩やかになり広帯域となる。以上が、図3の広帯域円偏波の仕組みである。このようなポラライザについては、図4(a)のように長方形のセルの辺に対し、周囲の辺を45°とした菱形構造とすることにより、より一層広帯域化できることを見出した [5]。これは、単位セル間に生じる電界がセル間に沿った不要な共振が広帯域特性を乱すのを防ぐためであり、その仕組みは単位セルの固有値解析とセル間の磁流に注目した解析で説明することができた [3][5]。この構造のユニークな点は、周囲の辺により斜めにカットされた単位セルは、カットによる残された小さ

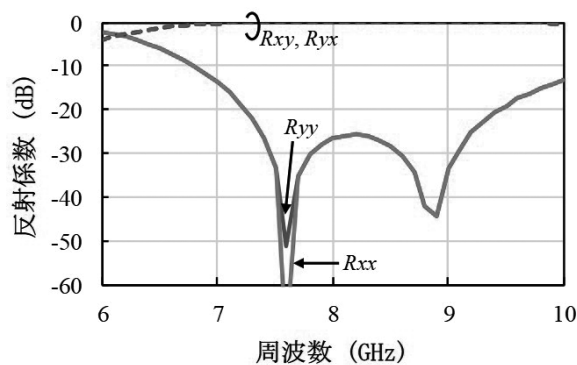


図5 偏波変換特性



図6 電波暗室におけるメタ表面からの放射特性の特性

な破片が残っていることにある。この破片は、高い周波数に置いて広帯域特性の維持に貢献できるということを見出すことができた。この菱形構造を用いた一点給電形円偏波アンテナでは、帯域を中心周波数の40%以上を実現することができた。図2ではメタ表面がアンテナの一部に組み込まれていたが、図4(a)の構造は伝搬する電波を反射させて制御しようとするものである。このようにカットされたメタ表面はもちろん円偏波アンテナの広帯域化にも寄与した [3]。

一方で、図4(b)のような構造では、広帯域に亘って直線偏波を水平偏波に変換したり、左旋円偏波を右旋円偏波に変換することもできる [6]。これは、反射後の円偏波の旋回方向が逆転しないという特殊な状況を生み出すため、レーダのターゲットとして用いると、円偏波の使用により、雨滴によるレーダのクラッタ（不要な反射波）とターゲットをはっきり区別できることになる。以上のように、電波の偏波の広帯域に亘る制御技術にメタ表面が貢献することを示した。図5に電磁界シミュレーション結果を示すが、約2GHzの広帯域に亘ってxまたはy方向の偏波は、ほとんどがyまたはx偏波にそれぞれ変換されており (R_{xy} , R_{yx})、元の方向の偏波を保って反射される割合 (R_{xx} , R_{yy}) は小さいことが分かる。このようなメタ表面は、

図6のように電波暗室内に設置し、アンテナの一つから電波を放射し、反射波をもう一つのアンテナで受信している。

まとめ

メタ表面で偏波の制御やアンテナの広帯域化や小形化に貢献できることを主に述べた。アンテナは通信においては縁の下のような存在であるが、設計技術向上はまだまだ望まれている。

<参考文献>

[1] 福迫 武, "円偏波アンテナの基礎", コロナ社, 2018年9月
 [2] S. Maruyama and T. Fukusako, "An Interpretative Study on Circularly Polarized Patch Antenna using Artificial Ground Structure", IEEE Trans. Antennas & Propagation, Vol. 62, No. 11, pp. 5919-5924, Nov. 2014.
 [3] U. Purevdorj, R. Kuse and T. Fukusako, "Broadband Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna with Diamond-shaped Artificial Ground Structure", IEEE Open Journal of Antennas and Propagation, vol. 3, pp.304 - 313, Feb. 2022.
 [4] T. Fukusako and T. Nakano, "A compact patch antenna using artificial ground structure with high permittivity substrate", IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications, pp.1548-1549, Turin, Italy, Sept. 2015.
 [5] W. Chaihongsa, R. Kuse, K. Furuya, C. Phongcharoenpanich and T. Fukusako, "Broadband Linear to Circular Polarization Conversion Using Diamond-shaped Reflecting Metasurface", IET Microwaves, Antennas & Propagation, Vol. 14, 9, pp.943-949, July 2020.
 [6] T. Noishiki, R. Kuse and T. Fukusako, "Wideband Metasurface Polarization Converter with Double-Square-Shaped Patch Elements" Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 105, pp. 47-58, 2020



Kumamoto University

先端科学研究部 情報・エネルギー部門 波動情報通信分野 マイクロ波・アンテナ研究室(福迫研究室)

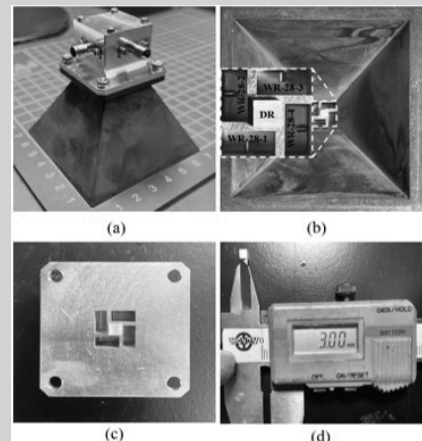
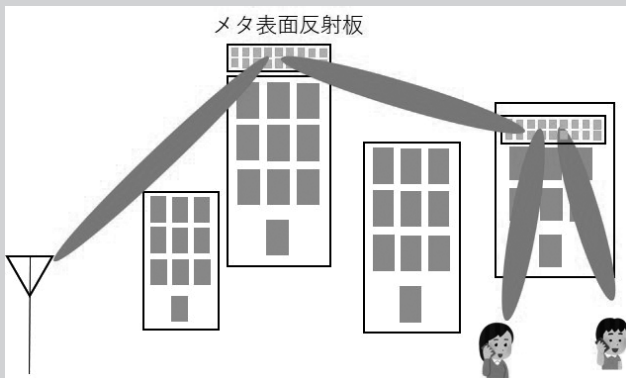
- ❖ 本研究室では電波による通信や計測技術が欠かせない社会であることを鑑み、アンテナ技術のさらなる可能性を追求している。研究内容は以下のような内容である。
 - ・アンテナ素子の性能向上（広帯域化、小形化、高利得化）のための設計技術
 - ・アンテナ特性向上や電波伝搬特性の制御等のための再構成可能なメタ表面反射板 (Reconfigurable Intelligent Surface) 技術
 - ・アンテナ技術およびレーダ技術に基づく電波センシングおよび計測技術
 現在(2023年1月現在)、教員2名、大学院生7名、学部学生6名で研究室を構成しており、科学技術研究費に基づくプロジェクトの他、海外大学、および企業等との共同研究も精力的に進めている。
- ❖ 第5世代移動体通信システム(5G)に関連する研究
 本文で紹介した研究内容以外にも、例えば5Gに使用される28GHz帯以上の高い周波数の安定した電波伝搬を目的としたメタ表面反射板や車々間通信用アンテナの他、センシング技術についても研究している。



研究室集合写真(2022年9月撮影/筆者後列左3番目)
 この日は本研究室から3名の博士が誕生した(後列左2, 4, 5番)



ソフトウェア無線機を用いた計測実験



車々間通信用4ポート偏波共用アンテナ

センチ波・メートル波電波観測が解き明かす宇宙の謎

～ 宇宙で最初の星から地球外文明まで ～

本研究室で行っているセンチ波・メートル波帯の電波天文学、特に宇宙で最初に形成された星の研究や地球の人工電波の影響を取り除く研究、地球外文明の探索について紹介します。



現在建設中の次世代電波干渉計
SKA (Square Kilometre Array) 完成予想図

国立大学法人熊本大学
大学院先端科学研究部
高橋 慶太郎

はじめに

本研究室では電波天文学の研究をおこなっています。電波天文学とは宇宙からの電波を観測することで天体の性質を研究する学問で、本研究室では特にセンチ波・メートル波帯をターゲットにしています。20世紀前半まで天文学の観測はほぼ可視光のみで行われてきました。20世紀後半になって電波や赤外線、X線、ガンマ線などによる天体観測が可能になり、可視光では得られなかった様々な情報が得られるようになって天文学は大いに発展しました。

そもそも宇宙ではどのようにして電波が放射されるのでしょうか。主なプロセスの1つはシンクロトロン放射です。これは光速近くまで加速された電子が磁場中を運動することで起こる放射で、連続スペクトルを持ちます。宇宙には至る所に磁場が存在しており、シンクロトロン放射をする天体は多数あります。そしてもう1つの重要なプロセスは原子や分子による放射・吸収です。これは線スペクトルで、原子・分子の種類により決まった波長の電波が放射・吸収されます。

電波観測は現在では天文学の様々な分野で重要な役割を果たしていますが、本研究室では世界各地にある電波望遠鏡を利用し、「宇宙で最初の星」について明らかにするための研究に取り組んでいます。

宇宙で最初の星

太陽や地球は約46億年前に形成されました。46億年という非常に長い時間ですが、宇宙そのものの歴史は138億年ですので、太陽が生まれたのは宇宙全体の歴史から見れば比較的最近ということになります。そして宇宙には太陽よりも前に生まれた星もたくさん存在します。一方で、宇宙はビッグバンと呼ばれる火の玉状態から始まったと考えられています。初期の宇宙は高温高密度のプラズマに満たされており、天体は存在しませんでした。その後宇宙はだんだん冷えていきますが、ある時期に初めて宇宙に星が誕生したはずであり、そのような天体を初代星といいます。

初代星がいつ生まれどのような天体であったかはまだほとんどわかっていません。というのも初代星は非常に遠方にあるため、現代の最新鋭の望遠鏡を持ってしても直接観測することができないからです。しかし数値シミュレーションによると、現在のように多種の元素が存在せずほぼ水素とヘリウムのみが存在した初期の宇宙で形成される星は、太陽よりもずっと質量が大きかったと予想されています。太陽は地球の約30万倍の質量を持ち太陽系の中では圧倒的ですが、初代星はその太陽の数十倍～数百倍の質量を持っていた可能性が高いです。

星の進化の理論によると、太陽の10倍程度より質量が大きな星は進化の果てにブラックホールにな

ります。したがって、初代星は進化して初代ブラックホールとなったはずですが、近年、Event Horizon Telescope というプロジェクトが電波干渉計により M87 銀河や天の川銀河の中心にある超巨大ブラックホールの画像を得ることに成功しました。このような超巨大ブラックホールがどのように形成されたかはわかっていませんが、初代ブラックホールが周りの物質を吸い込んだり、ブラックホール同士が合体したりして成長することで超巨大ブラックホールに進化したのではないかという説があります。

いずれにせよ、初代星は現在の宇宙の姿の元を形作ったものであり、その解明は現代天文学・宇宙物理学の大きな課題となっています。

水素原子 21cm 線と電波干渉計 MWA

では直接観測することができない初代星をどのようにして探ることができるのでしょうか。本研究室では宇宙初期で初代星を作る元になった水素ガスを観測することで初代星の謎に迫ろうとしています。初代星ができる頃の宇宙は水素原子ガスに満たされていました。水素原子は超微細構造（電子と陽子のスピンの平行か反平行かによるエネルギーの違い）により波長 21cm の電波（21cm 線・1420MHz）を放射・吸収します。これを観測して水素原子ガスの物理状態を調べることができれば初代星がどのような環境で生まれ、どのような天体であったのかを探ることができます。

ただし初代星が形成されたのはビッグバン後 1 億年程度であっただろうと予想されており、この時期の電磁波はその後の宇宙膨張により 7 倍から 30 倍も波長が伸びます。したがって実際に地球で検出するのは

メートル波、周波数にして 100MHz 帯です。

本研究室ではオーストラリア西部の砂漠地帯に設置されている電波干渉計 MWA（Murchison Widefield Array・図 1）を用いて初期の宇宙からの 21cm 線を検出する実験を進めています。MWA は 16 個の両偏波ダイポールを並べたタイルを 1 素子として、256 素子からなる電波干渉計です。70-300MHz をカバーしており、最大基線長は 5km ほどで、視野が 800 平方度程度と非常に広いことが特徴です。この電波干渉計は日・豪・中・米による国際共同プロジェクトで、それぞれの国が人材、資金、技術などを出し合って運用されています。

観測の困難

宇宙初期の水素原子ガスからのシグナルは輝度温度にして 10mK 程度と非常に微弱です。以下に述べる理由で観測は非常に困難であり、世界でまだ誰も検出に成功したことはありません。

まず、望遠鏡の熱雑音を十分に抑えるために、同じ天域を 1000 時間程度観測してデータを足し上げる必要があります。熱雑音はランダムでガウス分布にしたがっており、シグナルに対して観測時間の平方根に反比例して落ちていきます。したがって長時間にわたる安定した観測が必要になります。

また、電波望遠鏡には宇宙からの電波だけではなく地上からの人工電波（RFI）も入ってきます。電波望遠鏡はほとんど人が住んでいない地域に設置されていますが、それでもラジオや地デジの電波、またこれらが飛行機や人工衛星などで反射された電波などが受信されることがあります。これらは宇宙からの電波に比

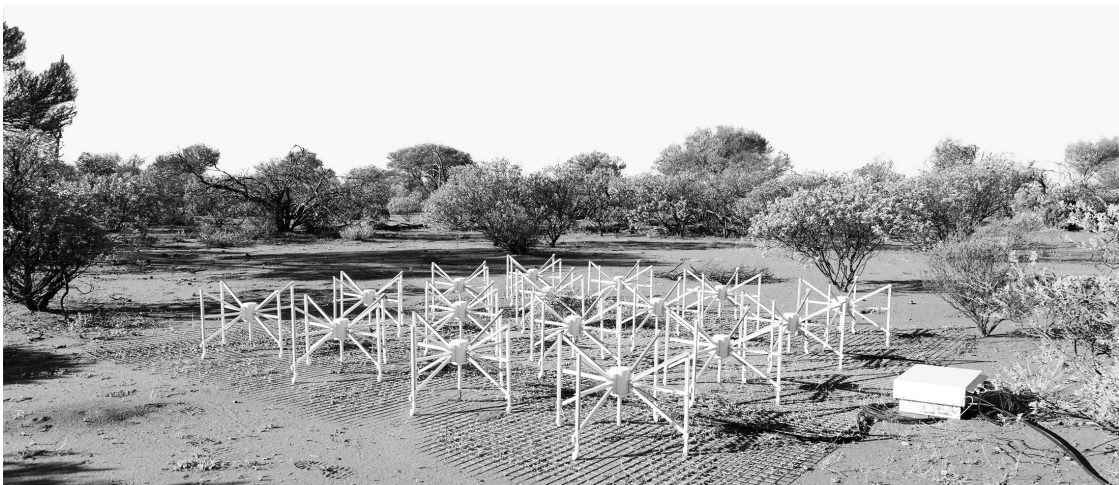


図 1 オーストラリア西部の砂漠に設置された電波干渉計 MWA

べてとても強く、また突発的なので長時間の観測データを足し上げても熱雑音のように落ちていくことはありません。したがって観測データの中からRFIを同定して除去する必要があります。

さらに宇宙から来る電波にも、ターゲットとしている宇宙初期の水素原子ガスからの電波以外に様々なものがあります。例えば太陽系は天の川銀河の中にありますが、天の川銀河は電離したガスによるシンクロトロン放射や制動放射、ダストによる熱的放射などにより電波で明るく光っています。また、天の川銀河の外にも宇宙にはたくさんの銀河が存在し、電波を放射しています。これらの天体からの電波が前景放射となり、宇宙初期の水素原子ガスからの電波の観測をより困難にしています。

RFI 除去

本研究室では微弱なRFIを検出して除去するためのソフトウェアを開発しています。RFIは宇宙からの電波や熱的雑音に比べてとても大きいことが多いので、基本的には観測データの中で飛び抜けて明るい部分をRFIと同定します。最近では機械学習を用いて自動的に判別することが可能になってきています。しかし、シグナルは1000時間のデータを足し上げてようやく検出できる程度の微弱なものなので、目に見えて明るいRFIだけではなく熱雑音に埋もれたRFIも除去する必要があります。

熱雑音に埋もれたRFIを検出するため、本研究室では時系列データの非ガウス性に注目しています。先ほども述べたように、熱雑音がガウス分布に従う一方でRFIは突発的で非ガウス的であるので、データの中に非ガウス性が見つかればそこにはRFIが潜んでいると考えられます。本研究室で開発したソフトウェアでは、各周波数チャンネルの時系列データの移動窓を設定し、その窓内のデータの非ガウス性を検定します。そして非ガウス性が検出された周波数・時間帯のデータにはフラッグが立てられて、後に解析から外されます。

現在、このソフトウェアを用いてMWAの観測データの解析を行っており、非ガウス性が実際に検出されています。そして微弱なRFIを除いたクリーンなデータによってより高い感度の観測を実現するべく研究が進められています。そして1000時間の観測データを足し上げることで宇宙初期の水素原子ガスからの21cm線を世界で初めて検出することを目指しています。

実際のところ、非ガウス性はRFIだけでなく観測装置の様々な異常や誤作動によっても引き起こされるので、この手法は熱雑音以外の系統誤差を検出するのに広く役立つと期待されます。

地球外文明探査

このように地球上の人工電波は電波天文学にとって大きな障害となっています。しかしこの人工電波が大きな役割を果たす天文学の分野があります。それは地球外文明探査です。地球外文明とは平たくいうと「宇宙人」であり、少し非科学的な響きがありますが、電波による地球外文明探査はSETI (Searching for Extraterrestrial Intelligence) と呼ばれ約60年の歴史をもつ歴とした天文学の1分野です。

地球では通信手段として電波が大規模に使われていますが、地球上で放射される人工電波の多くの割合が宇宙に垂れ流されています。もし地球外の別の惑星に科学技術が発達した文明が存在すれば、やはり電波を通信手段として用い、人工電波を宇宙に垂れ流している可能性があります。したがって遠くの惑星からのそのような電波を検出できれば、そこに文明があることがわかるのです。このSETIは近年になって大きく注目されるようになっていますが、その背景に2つの要因があります。

1つはここ20年ほどで太陽ではない恒星の周りを回る惑星(太陽系外惑星)の探査が進み、これまでに5000個以上が見つかったことがあります。その中には地球に似た岩石惑星で、恒星から程よい距離に位置しており液体の水が存在すると期待されるもの、つまり第2の地球の候補も10個程度発見されています。そもそも天の川銀河には太陽のような恒星が2000億個あり、それぞれの恒星が太陽のように複数の惑星を持っていると期待されるので、天の川銀河には1兆個もの惑星が存在するはずで、1兆個ある惑星で地球だけに生命や文明が存在するというのは不自然で、多くの天文学者は地球以外にも生命や文明を宿す惑星が存在するだろうと考えています。

もう1つの要因は巨大電波干渉計SKAの登場です。現在、世界16カ国以上が参加する国際電波干渉計プロジェクトSKA (Square Kilometre Array) の建設が進んでいます。SKAは50-350MHzをカバーしオーストラリアに建設されるSKA-LOWと350MHz-15.4GHzをカバーし南アフリカ共和国に建設されるSKA-MIDの2セットの電波干渉計からなります。建設は2029年に完了する予定で、現存の最先端の電波

望遠鏡に比べて約 10 倍の感度と約 100 倍の掃天速度を持つ予定です。SKA を持つてすれば、地球の空港レーダーに相当する人工電波源が 30pc 以内であれば、検出できます。太陽系から 30pc 以内には約 10,000 個の恒星、そして数万個の惑星があるため、地球のような生命や文明が宇宙においてどれほど普遍的であるかを調べることができます。

以上のような理由で SETI が注目されており、SKA に向けた準備研究が進められています。本研究室では、将来的に地球外文明からの人工電波を検出する方法を確立するための 1 つステップとして、地球の人工電波が月で反射して戻ってくる電波を受信する実験を行っています。具体的には水沢 VLBI 観測所 (図 2) の電波望遠鏡を用いて月を観測し、9GHz 帯の船舶レーダーと 24GHz 帯の航空管制用レーダーをターゲットにしています。観測されるのは多数のレーダーが重なったものであり、複雑な時間変動を示すはずですが、このようなシグナルをどのように解析して検出するか、現在実験を行っているところです。

まとめ

大規模な観測装置が次々に完成し、6 年後には次世代の大型電波干渉計 SKA も登場するなど、センチ波・



図 2 国立天文台水沢 VLBI 観測所 20 メートルアンテナ

メートル波電波天文学は大きく飛躍しています。本研究室ではこれらを用いて宇宙で最初の星や地球外文明など、天文学の重要な問題に取り組んでいます。大規模観測装置の性能を有効に活かすにはデータ解析の効率化や高度化も重要な課題になっています。



理学部理学科物理学コース 宇宙論研究室

本研究室は 2011 年に立ち上がり、宇宙論や電波天文学の研究を行ってきました。中でも特に宇宙で最初の星、パルサーの精密観測による重力波直接検出、広帯域の偏波観測による宇宙磁場の測定、地球外文明の探索などのテーマを研究しています。また、電波天文学の障害となる人工電波の除去や、欠損のあるデータのフーリエ変換などを機械学習を用いて行うソフトウェアの開発も行っています。そして国内外の様々な電波望遠鏡を駆使し、データ科学の手法を応用して宇宙の謎の解明に取り組んでいます。

研究室には高橋教授のほか研究員 1 名、博士後期課程学生 3 名、博士前期課程 6 名、学部 4 年生 3 名が所属しています。研究活動のほか、商業施設や博物館などで宇宙や天文学に関するアウトリーチ活動も行っています。



研究室集合写真 (著者は前列左)

画像処理技術を用いた石垣照合システムの開発 ～ 熊本城の震災復興に向けて～

2016年の熊本地震により熊本城石垣の多くの石材が崩落した。文化財的な価値を損ねないように、1つ1つの石材を元の位置に戻す必要があるが、数万個オーダーの石材の元所在を特定することは容易ではない。これに対して、本プロジェクトでは画像処理技術を用いて、崩落前と崩落後の2枚の石材の写真を照合することで、崩落した石材の元所在の特定を支援するシステムを開発した。被害を受けた飯田丸五階櫓の石垣の石材に対して検証実験を行ったところ約9割の正答率を得た。

国立大学法人熊本大学
大学院先端科学研究部
上瀧 剛



石置き場へ移動された崩落石材を撮影する様子

まえがき

2016年4月に2度にわたって発生した巨大地震は、熊本県をはじめとする九州各地に大きな被害をもたらした(図1)。重要文化財である熊本城もその一つである。熊本城の被害総額は約634億円にもものぼり、なかでも城の石垣への被害は大きく、被害総額の約6割を占める。さらに石垣の崩落のみではなく、緩みや膨らみの被害を含めると、7～10万個もの石を積みなおす必要がある。これらのことから、熊本城の復旧作業には20年以上の年月を要する見込みとなっている。これまで、国内で行われてきた同様の城の石垣の復旧作業では、石工職人が中心となって目視で特定作業を行ってきた。これは、石垣が文化財という性質上、崩落した石材を元の正しい位置に戻す必要があるためである。しかし、今回の熊本城の復旧作業の場合、石材の数が数万オーダーとなり、これらの照合作業を目視で行うことは困難である。

これに対して、本研究では画像解析・認識などの情報処理技術を用いて、これらの照合作業を支援する石



図1 崩落前後の熊本城の石垣と石置き場に移動された崩落石材

垣照合システムを開発した。システムは、崩落前後の石材の形状情報や位置関係を頼りに、崩落前石材に対応する崩落後石材の候補を複数提示し、それをユーザーが選択していくことによって、崩落石材全体の対応付けが可能となる。

石垣照合システム

開発したシステムを大きく分けると、①崩落前石材データベースの構築、②崩落後石材の計測、③両者の照合、の3つのパートからなる(図2)。それぞれについて説明する。

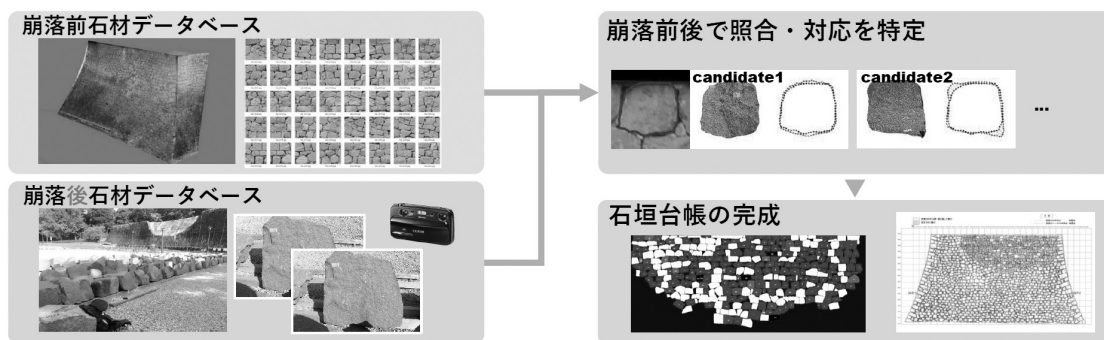


図2 システムの全体像

① 崩落前石材データベースの構築

震災が起こる前の石垣の写真から、石材1つ1つの正対した画像、および、実寸スケールの輪郭データベースを作成した。具体的には複数枚の崩落前の石垣写真から Multi-View-Stereo (MVS) 法を用いて石垣面の3D復元を行った後に、各石材に対して面の法線方向に仮想カメラを設置し、正面から撮影した画像を作成する(図3)。熊本城の石垣は「武者返し」と呼ばれる特殊な傾斜をしており、遠方から石垣全面を撮影した写真(オルソ写真)では、対象となる写真に傾斜による形状の歪みが含まれてしまうため、このような処理が必要となる。



図3 崩落前石材データベースの作成フロー

② 崩落後石材の計測

崩落した石材は、熊本市によって石材1つ1つの崩落位置をGPSを用いて記録されたのちに、付近の広場(石置き場)へ移動させられる。石置き場の石材に対してステレオカメラによる3次元計測を行う。3次元計測によりmm単位の実寸スケール情報が取得でき、斜めから撮影した石材写真を正面から撮影した画像に変換できる(図4)。前述の①で述べたように崩落前データベースは正面から撮影した状態で記録され

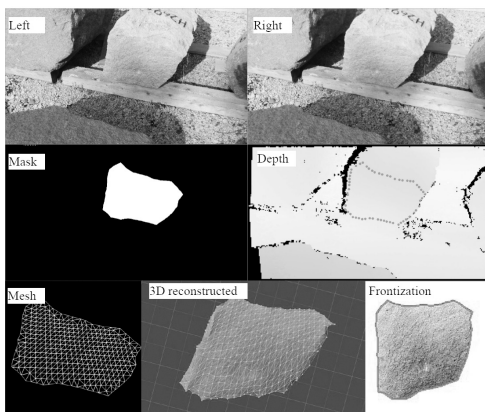


図4 石材のステレオ計測と正対化

	3Dスキャナ	ステレオ一眼レフ	コンパクトステレオ
精度	◎	○	△
屋外環境	△	○	○
計測範囲	◎全周可能	△一面のみ	△一面のみ
撮影時間	×長い	○短い	○短い
持ち運び	×	×	◎
外部電源	×必要	○不要	○不要
後処理時間	×多い	○少ない	○少ない

図5 三次元計測の候補

ているため、このように崩落前後の石材の向きをそろえることが重要である。三次元計測に用いる機材の候補は図5のようにいくつかあったが、最終的にコンパクトステレオカメラを採用した。本カメラは立体視写真を撮るためのカメラであり、三次元計測用途ではなかったが、屋外で多くの石材を低負担で撮影するには適していると判断した。

③ 崩落前後の石材の照合

①と②両者の照合を行う。具体的には各崩落前の石材に対して、すべての崩落後石材データを照合して、形状の類似性を示す数値(類似度)を算出する。そして、類似度の高い上位10個の石材を対応する候補石材としてユーザに提示する。ここで、類似度は以下で説明する石材の輪郭形状、および、崩落前後の位置関係をj用いて算出する。

❖ 輪郭形状

崩落前後の石材の輪郭形状を比較し、その輪郭誤差を算出する。両者の姿勢が異なるためICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを用いて姿勢を合わせたのちに輪郭誤差を求める。ここで崩落前石材の輪郭データは2Dであるが、崩落後石材はステレオカメラで高精度に撮影可能であり、輪郭データが3Dで取得できる。そこで、新たに2D-3D-ICPアルゴリズムを考案した。このアルゴリズムは、崩落後の3D輪郭データを3D回転させたのちに2Dに射影して、崩落前の2Dとの輪郭の誤差を計算し、この射影後の輪郭間誤差が小さくなるように変形を繰り返す。図6に本アルゴリズムの適用例を示す。この例では、カメラを上部斜め方向から崩落後石材を撮影しているため、崩落前後で縦横のアスペクト比が異なるが、本アルゴリズムの3D回転によって最終的には崩落前後の姿勢が一致する。この時の崩落前後の輪郭間誤差を石材間の類似度に利用できる。

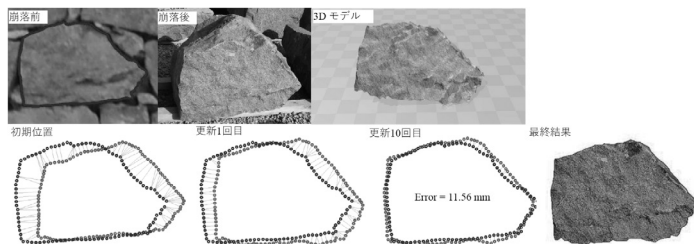


図6 ICPアルゴリズムによる崩落前後の輪郭の合わせこみ

$$\begin{aligned} \min_X & \sum_{i,j}^{N,M} C_{ij} X_{ij} \\ \text{s.t. } & \forall i, \sum_j X_{ij} = 1, \\ & \forall j, \sum_i X_{ij} = 1, \\ & X_{ij} \in \{0, 1\}. \end{aligned}$$

- 類似度の合計が最小となるように崩落前後石材を割り当て
 - $X_{ij} = 1$ は、崩落前の i 番目の石と崩落後の j 番目の石が対応することを意味

一対一の対応付けを保障
 行と列で重複がないように
 制約をつける

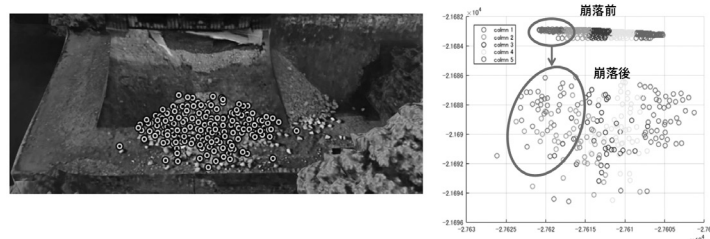


図7 崩落石材のGPS位置情報の活用

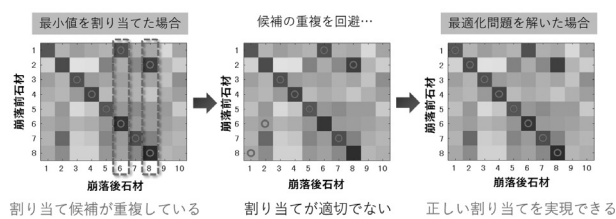


図8 石垣パズル問題の定式化と解法例

❖ 崩落前後の位置関係

崩落した石材は、石材置き場に運ばれる前にGPS測量によって落下位置が緯度経度で記録される。多くの石材は真下に落下する傾向が分かっており、その性質を利用することで、余分な石材を候補から除外できると考えた。図7に記録した崩落石材のGPS情報をGoogle Mapに重畳した結果と、崩落前後の位置関係をプロットしたグラフを示す。楕円で囲んだグループの石材はほぼ真下に落ちていることが確認できる。このように画像だけではなく、照合に役立つような複合情報を積極的に利用した。

さらに、崩落前後の石材はかならずジグソーパズルのように1対1に対応するという性質に着目した。単純に類似度が良い石材の対応を優先的に割り当てるのではなく、全体の整合性がとれるように割り当てを行う。このようなパズル問題を0-1整数計画問題である割り当て問題(図8上)として定式化して解くことで照合性能を向上させることができる。図8下に8個の崩落前石材の割り当て例を示す。単純に類似度が最も良いものを優先的に割り当てると、1つの石材に複数の石材が割り当てられてしまう。しかしながら、一度割り当てた石材を避けるように割り当てると、全体的な類似度の総和が悪くなってしまう場合がある。一方で、全体の類似度の総和が最小になるように組み合わせ最適化を用いて解くことで、全体の整合の取れた矛盾の少ない割り当てが可能となる。

❖ GUIシステム

前述の照合アルゴリズムによって得られた石材の対応関係の複数候補をユーザに提示し、崩落前後の対応関係を対話的に決定できるGUIインターフェイスを開発した。提示された候補では確認が持てない場合は一旦、その石材を保留して、次の石材の確定を進めていく。一度確定した石材は以降の候補から外れるため、判断の難しい保留した石材の確定が容易になる。GUIはタブレット上で動作し、屋外で実際の石材を目視で確認しながらの確定が可能となる。候補の輪郭情報だけではなく、元の崩落後写真や、3D回転により位置合わせした崩落後石材画像、および、崩落前後の位置関係を提示することで、ユーザは総合的に判断ができる。図9に開発したGUIを示す。

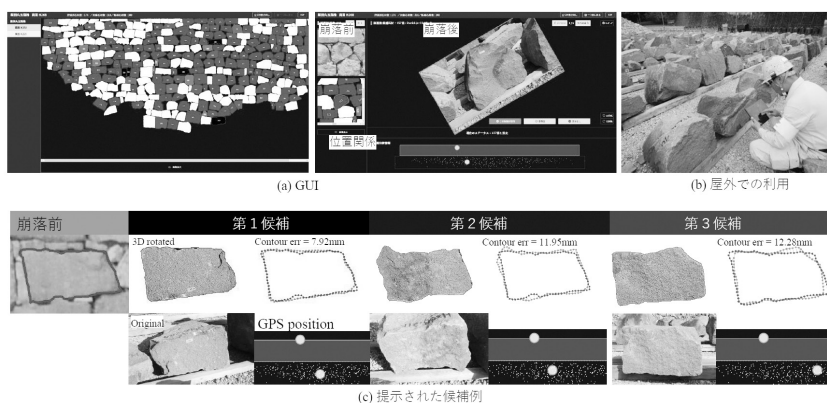


図9 GUIシステムの例

実験結果

以上により開発した石垣照合システムを、実際の熊本城の飯田丸五階櫓の2面の石垣（図10上段）に対して適用した。照合結果を同図中段に示す。図の灰色の石材は本システムにより元の所在を特定できた石材である。370個の崩落石材に対して、337個の石材の元の所在を特定することができた。特定率は91%である。対応付けができた石材例を同図下段に示す。形状や石材表面の凹みなどが一致していることが確認できる。

特筆すべき結果として、事前の人間の目視による照合では、1割ほどの石材が誤って対応付けされていたが、本システムを用いることによって、それが誤りであるということが判明し、本来の正しい対応関係が分かったことである。ここで、本システムが提示した対応関係のほうが正しかったということは石工職により確認されている。図11に目視では誤りであったが本システムが見つけた正しい対応関係例を示す。目視で見つけた石材は崩落前の石材と輪郭形状が似ている

崩落前

崩落後

人間が特定
(間違い)

システムで特定
(こちらが正解)

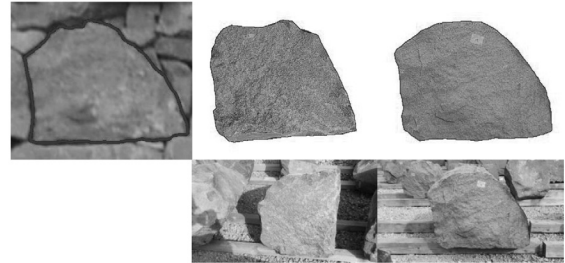


図11 目視では誤りであったが本システム正しい対応付けが見つかった例

が、本システムが提示した石材も似た輪郭形状であり、さらに表面の凹凸が一致していることが確認できる。このように、数百個におよぶ石材がどれも似たような形状をしており、1枚1枚写真を見比べながらの従来の目視作業では、どうしてもヒューマンエラーが生じやすいことを示している。

むすび

石垣照合システムを提案した。システムは崩落前石材データベースの構築、崩落後石材の計測、および、両者の照合処理からなる。検証用石垣データを用いた評価実験で目視による照合と比較して約9割の正解率を得た。

<参考文献>

[1]Gou Koutaki, Sakino Ando, Keiichiro Shirai & Tsuyoshi Kishigami, "ISHIGAKI Retrieval System Using 3D Shape Matching and Combinatorial Optimization", International Journal of Computer Vision (IJCV), vol. 130, pp. 2286-2304, 2022.

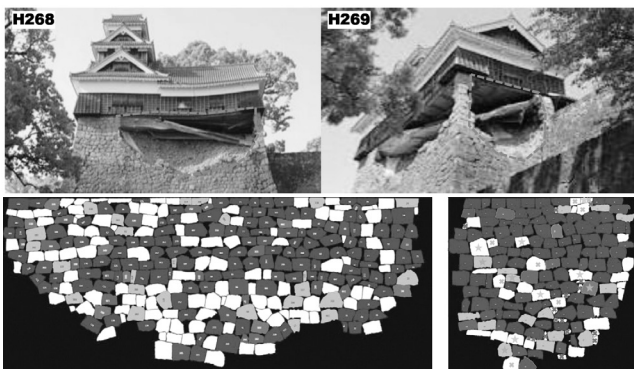


図10 飯田丸五階櫓の照合結果



先端科学研究部 情報・エネルギー部門 波動情報通信分野 映像メディア研究室（上瀧研究室）

上瀧研究室では、画像処理・コンピュータビジョン・コンピュータグラフィックス・ロボティクスなどソフトウェアからハードウェアまで多岐に渡る研究に取り組んでいます。現在、学部5名、修士大学院生8名、博士大学院生1名が研究に取り組んでいます。最近では音楽情報処理の研究を行っており、楽器演奏を支援する半自動楽器演奏ロボットの開発を行っています。



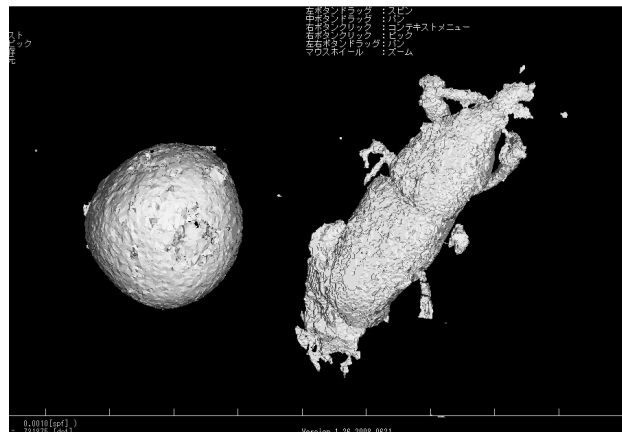
研究室メンバー（筆者前列左から3人目）

ICTによる考古学/縄文土器解析研究の最前線

～ 軟X線による圧痕調査法「熊大方式」で、
縄文土器の中を覗く ～

縄文土器や弥生時代の土器粘土の中には当時のタネやムシが潜んでいる。それらをCTで取り出す最新研究を紹介する。

国立大学法人熊本大学
大学院人文社会科学部 教授
小畑 弘己



約6000年前のエゴマ(左)とコクゾウムシ(右)の
3D画像(富山県平岡遺跡)

はじめに

私は生粋の文系学者である。関数も数式も苦手極まりない。その私が、今X線CTを武器に新たな考古学を目指そうとしている。考古学は過去のモノを研究対象とし、遺物の型式や様式など、主としてモノのもつ外面的特徴を分析する学問である。これに対し、私は土器器壁の中を見透かす研究を行っている。そのきっかけは、土器表面に現れた小さな穴であった。2007年の縄文時代ダイズの見つけに代表されるように、この穴の奥には、今まで考古学者が見たことない世界が広がっていた。その魅力に取りつかれ、「土器圧痕(どきあっこん)*1」と呼ばれる当時のタネやムシの痕跡を追い求めるうちに、X線CTに辿り着いたというわけである。今では、CTというスコップで、遺跡ならぬ「土器」を掘ることを「なりわい」としている。土器圧痕のもつ潜在性とCTを用いた技術の革新性を私の研究歴を辿りながら皆さんにご紹介したい。

X線法以前(圧痕法の歴史と技術・理論的發展)

①「土器圧痕」と「レプリカ法」

日本考古学において、稲作の始まりは古くから注目されてきた。その証拠として重要視されたのが、「籾圧痕(もみあっこん)*2」という弥生土器の表面に残る稲籾の

印象である。この籾圧痕は、日本考古学では100年ほど前にはすでに注目され、すでに金属や石膏を用いたレプリカの作成も行われていた。このような土器表面に残る稲籾などの植物種実の痕跡(抜け殻)を土器圧痕と呼ぶ。穀物圧痕に関する研究は、日本と同じ島国である英国でもほぼ同じ頃始まったようである。1944年に出版されたジェッセンとヘルベックの『英国の先史時代と歴史時代初期の穀物』では、炭化資料のみでなく、ムギ類の圧痕が農耕伝播の確実な証拠として重要視されている。圧痕土器の型式から、穀物流入期を探るといふ、今我々が考えている手法が80年も前にすでに考案されていた。ヨーロッパにおいては土器圧痕の成因や圧痕形成のメカニズムに関する言及や土器圧痕の調査法やレプリカの作成法に関するマニュアルが20世紀の第4四半世紀には提示されていた。

日本でもほぼ同じ1980年代後半より、東京大学博物館の丑野毅氏によって、種子だけではなく土器上に残るあらゆる痕跡(施文具・混入植物遺体・砂の痕)を対象とする研究が開始された。氏は圧痕内部に歯科用のシリコンゴムを流し込んでレプリカを作成し、それらを電子顕微鏡で観察するという「レプリカ法」を提唱した。ただし、丑野氏の関心事はレプリカ作成とその再現技術にあり、種実そのものや農耕の開始時期や植物利用の歴史ではなかったようである。ただ、土器作りという視点から「土器圧痕」の意味、とくに稲籾が入る理由や製作場所について言及している。しかし、この見解中には、英国での土器圧痕を巡る成熟した理論の引用は無く、氏の圧痕学はこれらの影響を受けていない独自の手法と理論であった。

*1土器粘土中に偶然もしくは意図的に混入した種子や昆虫の痕跡のことであり、たまたま土器表面に現れたスタンプが「圧痕」と呼ばれていた。我々はこの表面の圧痕を「表出圧痕：ひょうしゅつあっこん」、表面からはみえない土器生地中に隠れた圧痕を「潜在圧痕：せんざいあっこん」と区別して呼んでいる。

*2圧痕のうち、イネの籾殻もしくは籾付きのイネのことをさす。土器表面に土器成形時に土器底部などにスタンプ状に押し当てられたものもあるが、そのほとんどが粘土中に混入したイネの痕跡である。

② 丑野圧痕学の継承発展と新たな圧痕法研究

この技術を用いて日本における農耕史を探ろうとしたのは、中沢道彦氏である。氏は、丑野氏とともに全国的な規模で籾圧痕の検証を行った。その後、偶然に発見された籾圧痕土器ではなく、遺跡出土の全土器を悉皆的に調べ始めたのが山崎純男氏である。山崎氏の調査動機の中には、おそらく中沢氏と同じく、稲作開始時期の探求があったと想定される。山崎氏の調査・研究によって、熊本県の縄文時代後期・晩期（約4,000～3,000年前）の遺跡を中心とする九州各地の遺跡から多種の植物種子やコクゾウムシ (*Sitophilus zeamais*) などが発見され、フローテーション法（土壌の水洗による種実の浮遊選別法）以外の植物種実を回収する新たな資料源として注目されるきっかけとなった。

このような機運に乗って、全国各地でレプリカ法を用いた土器圧痕調査が実施されるようになった。その成果のうち、最大の発見は縄文時代の栽培植物の発見であった。私たちはこのレプリカ法によって長崎県や熊本県の遺跡から検出した縄文時代後期後半～晩期前半（約3,500～3,000年前）のダイズ (*Glycine max*) の圧痕から、縄文時代にダイズ栽培があった可能性を指摘した。その後、山梨県の縄文時代中期の酒呑場遺跡の土器からそれらより約1,500年古いダイズ圧痕が発見され、東日本で栽培が開始された可能性が指摘された。これを契機に、今ではダイズ属（野生種も含む）52か所、アズキ亜属 (*Vigna angularis* subsp.) 38か所もの圧痕検出遺跡が確認されている。

もう一つの大きな発見は、縄文時代の貯蔵食料害虫コクゾウムシの発見である。この甲虫は2005年の山崎氏の発見以来、九州地方の縄文時代後・晩期遺跡を中心に多数の検出例が報告されるようになった。発見当初はイネ (*Oryza sativa*) とともに大陸から伝播してきた「貯穀害虫」と考えられていたが、我々の鹿児島県西之表市三本松遺跡（約9,500年前）での発見以来、イネとは関係のない、貯蔵堅果類（ドングリヤク

り）を加害した昆虫と考えられるようになった。今では縄文時代だけで72遺跡約900点、北は北海道南部から南は徳之島まで、ほぼ全国から発見されている。

これ以外に、レプリカ法は、各地の縄文時代晩期～弥生時代の穀物圧痕の研究（穀物伝播時期の検証研究）や関東地方の弥生時代の穀物組成の地域・時期的変遷研究など、炭化穀物資料のない地域や時代の農耕研究にも大きな効力を発揮している。私は以上のような成果を受け、土器圧痕調査を、遺跡の性格に関する評価を変え得るものとして、「第二の発掘」と命名し、可能な限り実施すべきことを提唱した。

潜在圧痕の認識と「第三の発掘」(X線法の開発)

① 潜在圧痕を探し出す X 線

しかし、圧痕調査の進展・拡大につれ、新たな問題として「潜在圧痕」が浮上してきた。この潜在圧痕は、2010年頃には注目されていたが、とくにエゴマ (*Perilla frutescens*) やダイズなどの種実を多量に混入した土器が検出されるに至り、土器器壁内の種実の正確な数を把握するため、X線透過による潜在圧痕の調査が必要とされるようになった。私たちが外部から肉眼で観察できる種実の圧痕は、土器成形時に外部から押し付けられた「圧痕」ではなく、土器粘土を捏ねる際に紛れ込んだ種実のうち、たまたま土器表面に現れた種実の抜け殻（表出圧痕と呼ぶ）であったのである。潜在圧痕の可視化には、レントゲン装置のようなX線装置の他に、現代では医療にも使用されるX線CT（コンピューテッド・トモグラフィ）の技術が効果的である。しかし、このX線CTスキャナーは、高解像度の断層画像を撮影するために開発された機器であり、1点の撮影資料につき数百枚の断層画像の撮影が必要のため、私たちの研究のように数千点、数万点規模で土器を調査する研究には時間的コストが高く、不向きであると判断した。

そこで思いついたのが軟X線であった。SOFTEX

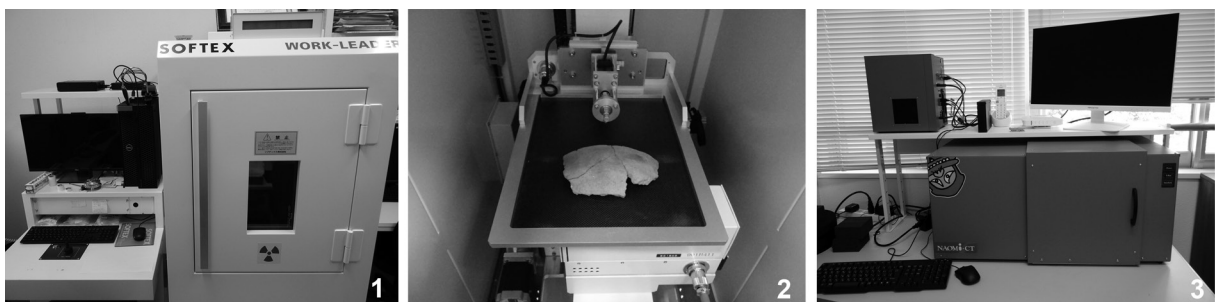


図1 小畑研究室のX線機器（1：WL-90 外観，2：同内部，3：Naomi 外観）

社が開発した軟 X 線装置 (EMT-J) は、土器胎土の中を観察するための高感度のカメラを搭載し、撮影画像が拡大観察でき、広い撮影台には小破片であれば数点の土器片を載せることができるため、多量の土器を短時間で処理できるという利点があった。この装置を使えば、肉眼による圧痕調査の初心者とほぼ同じスピードで土器片を検査することが可能であった。我々はこの軟 X 線による初動調査を取り入れた圧痕調査法を「熊大方式」と命名し、圧痕検出の効率化を図った。これは、富山市小竹貝塚や平岡遺跡 (約 6,000 年前) から出土したエゴマ果実多量混入土器の調査に多いに貢献した。また、その即効性と高効果性は、佐賀県佐賀市の嘉瀬川ダム建設地の縄文遺跡群の圧痕調査でも証明できた。この遺跡で従来のレプリカ法による表出圧痕の調査を行った後に X 線機器による潜在圧痕調査を実施したところ、両者の検出率に顕著な差が認められた。とくに縄文時代晩期末～弥生時代早期 (約 3,200～2,700 年前) の土器を出した東畑瀬遺跡 1 区では、表出圧痕は 18 個であるのに対し、潜在圧痕は 34 個と、X 線機器による調査をしなければ、全圧痕の 65% を見逃すところであった。さらには、穀物に限れば、17 点の穀物圧痕のうちアワ (*Setaria italica*) 圧痕 1 点のみが表出圧痕であり、それも軟 X 線での調査によって気が付いたものであった。イネやキビ (*Panicum miliaceum*)、そしてコクゾウムシも土器器壁の中に隠れて、肉眼では発見できなかったものである。この事実は、土器粘土に紛れ込んだタネやムシの正確な種類と数を知るには、内部透過の手法が必須であることを示している。北海道福島町の館崎遺跡で発見した縄文時代後期 (約 3,800 年前) の土器 (図 2) からは X 線 CT を使用して総計で 500 匹余りのコク

ゾウムシの成虫が練り込まれたことを明らかにした。この効果の高さから、私は、X 線機器による圧痕調査を「第三の発掘」と名付けた。

② X 線 CT への回帰 (正確な同定と見えないものの回収のため)

この軟 X 線機器による潜在圧痕の検出は非常に効果があったが、軟 X 線画像のみでは種同定が困難であるという問題に直面した。レントゲン画像は 2 次元画像の合成であり、特定の形をした大型の種、例えばイネとかダイズやアズキ、コクゾウムシのようなものは、画像だけでその種を特定できる場合もあったが、それより薄く、小さいものやアワ・キビとシソ属 (*Perilla* sp.) のようによく似た形態の種実の区別ができない、さらには土器器壁中での傾き具合によっては、種を特定できないことがあった。図 3 の 1 と 2 はイネ、3 と 4 はアズキ垂属であるが、2,4 のように粘土中での角度が異なるとまったく別のものに見えてしまう。2 は当初、輪郭がはっきりしており、紡錘形の形からイネ科 (*Poaceae*) の種子であろうと推測していたが、結局、「立ったお米 (イネ)」であった。また、図 3 下段のキビ (6,7)、アワ (8,9) とシソ属 (エゴマ) (10) は、軟 X 線画像ではほぼ同じ形に見える。それはそれぞれの決定的な同定根拠の部分が軟 X 線画像では良く判別できないからである。また、X 線 CT 撮影中に偶然発見したワクド石タイプ (ダイズの臍の部分) は軟 X 線画像ではそこにあると意識して見れば判別できたが、非常に薄いため、通常は気づかずに見逃してしまうほど不明瞭であった。このように、軟 X 線画像は 2 次元画像であり、限界がある。目の前に画像 (データ)

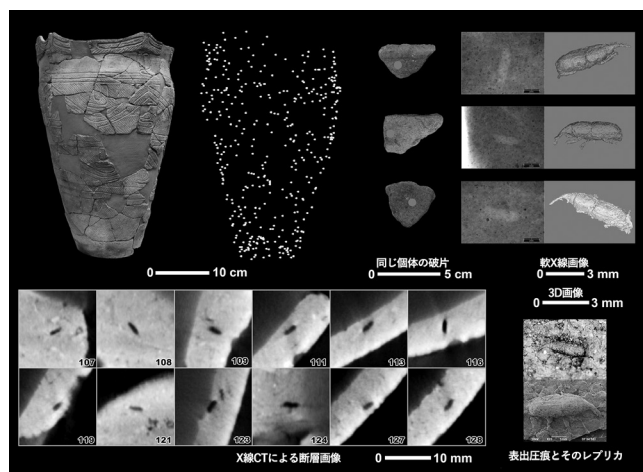


図 2 北海道福島町館崎遺跡から発見されたコクゾウムシ入り土器とコクゾウムシ圧痕 3D 画像

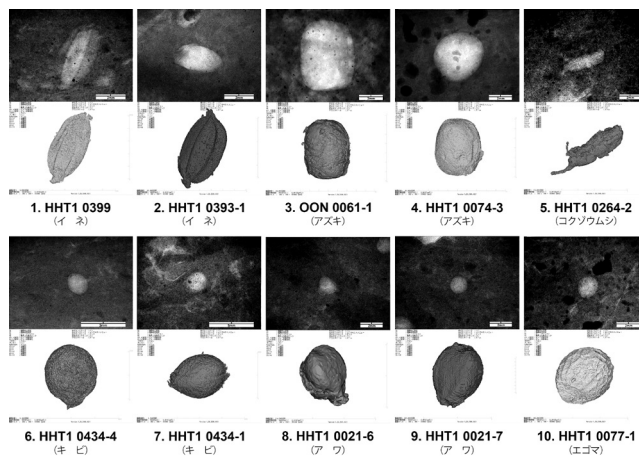


図 3 佐賀市東畑瀬遺跡で検出した主な圧痕の軟 X 線画像と CT による 3D 画像

はあるのに、種を特定（同定）できない、これは大きなストレスであった。

そこで、最終的に、3D 画像（X 線 CT による）で確認する必要があると考え、EMT-J の上位機種でもあり、X 線 CT スキャナー機能が付いた WL-90 を借金覚悟で導入した（図 1：1）。業者発注すれば、圧痕 1 点の CT 撮影には、数万円～10 万円のお金が必要である。年間数百点の撮影が必要と考えれば、元はとれど、清水の舞台から飛び降りる覚悟で、購入を決意した。文系の研究で 1 千万円を超える機器の購入はめったにないことである。研究費の無駄遣いと言われ自信はあったが、科研費の継続が実現できるか否かはとても不安であった。幸いにも科研費が継続でき、この機器のお陰で、潜在圧痕の 3D 化が比較的スムーズに行えるようになった。

③ 空隙解析の威力と見逃しの恐怖

実はこの X 線 CT 機能付きの軟 X 線装置は、撮影できる土器片の大きさが 7cm 四方程度と、撮影できる土器の大きさに限界があった。手のひら大の土器はやはり業者委託となる。そこで、一昨年度末から、低解像度ながら 20cm ほどの土器片まで対応できるアルファ社（Alpha）の Naomi という簡易な CT スキャナー（図 1：3）を導入して対処している。

我々の今回の研究プロジェクトの目標の一つに、繊維や糊殻などの植物性混和材やその他の植物性混合物の検出がある。つまり、1 点の種実の表出圧痕の背後に何があるのか、圧痕は何故できたのかを探求することである。この課題の解明には、種実や昆虫の圧痕だけでなく、それ以外に何がどれだけ含まれているのか、という問題を解決せねばならない。目指すは土器中の全空隙（植物性混合物・混和材の痕跡）の把握である。そこで、空隙を抽出のための 3D 画像解析ソフト

（Molcer plus ver.18）を導入して作業に当たることとした。このソフトで土器内部の空隙を 3D 化してみると、これまで気づかなかつたいろいろなものが土器粘土中に含まれていることが判明した。

しかし、ソフトで解析ができるようになると、同じ画像データを使用しても混入された糊殻が見えたり、見えなかつたりする場合があることに気がついた。文系出身者ゆえの無知であり、CT の世界では当然のことではあるが、データの閾値しきい値を変えることで、作られる画像に違いが生じる。これは、閾値次第では混和されていた糊殻を見逃す危険性があることを意味する。よって、現在では、数パターンの閾値で空隙を確認するようにしている。

このソフトを使用して、土器外部からは見えない潜在圧痕だけの画像集を作成した（図 4）。そこで示したように、土器器壁の中の世界は、まさにワンダーランドである。ぜひ皆さんも土器の外形や文様の美しさに感動するばかりではなく、土器内部へも足を一步踏み込んでみてほしい。きっと新たな感動が生まれると思う。

おわりに

X 線が物質内部を 3D 化できるという原理は 1917 年にはすでに気づかれていたという。その技術発展は著しく、20 世紀末には μ フォーカス、2000 年頃にはナノトモグラフィも開発された。現在では医療や工業分野で、CT は研究開発や検査、事故解析の必須アイテムとなっているし、考古学の分野でも様々な技術革新をもたらしている。ただし、第二の圧痕調査の際に「戒め」として述べた「見ようとしなければ何も見えない」という言葉は、最新鋭の X 線技術を駆使した研究「第三の発掘」であっても忘れてはならない言葉としてここで強調しておきたい。

現在、我々は文部科学省の補助を受け、少子化と社会インフラ整備の充実とともに発掘調査件数が減少傾向にある考古学行政現場へこの技術が実装できないか、試行中である（<http://www.fhss.kumamoto-u.ac.jp/archaeology/earthenware/>）。一端収蔵され、顧みられることのない土器片に、新たな研究資材としてもう一度息吹を与えるべく、日々奮闘中である。

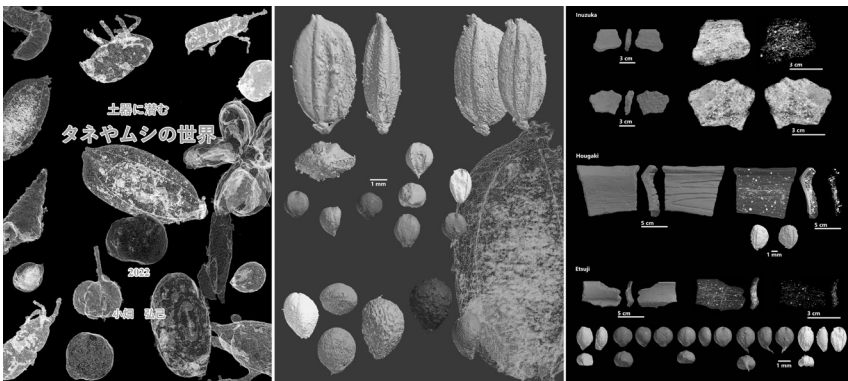
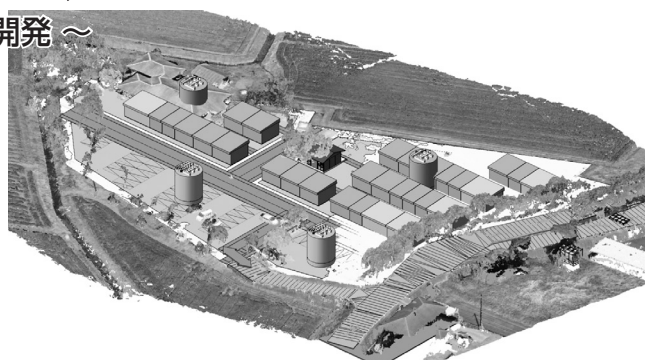


図4 潜在圧痕画像集『土器に潜むタネやムシの世界』（小畑弘己著 2022）

熊本地震を教訓に応急仮設住宅の供給迅速化に向けた取り組み

～ 建築情報技術を活用した自動設計プログラムの開発 ～

応急仮設住宅の供給を迅速化するために、最先端の建築情報技術を用いて、建設予定地の調査及び計画・設計段階の時間短縮に取り組んだ。ここではその概要を紹介すると共に、予想される効果を示す。



仮設住宅の配置案自動作成結果の一例。点群から自動作成した敷地の3Dモデルに住戸のボリュウムモデルが自動で配置される。

国立大学法人熊本大学
大学院先端科学研究部 教授
大西 康伸

はじめに

災害により住居が全半壊した際、一時的に応急仮設住宅（以下、仮設住宅）に入居する。迅速な仮設住宅の供用は、避難所での生活期間を短縮し住環境を早期改善することはもとより、災害関連死を減少させる。しかし、災害発生から仮設住宅の供用開始まで2ヶ月以上もの期間を要することも少なくない。実際、2016年4月14日及び16日に熊本県熊本地方で二度にわたって発生した熊本地震において最も早く完成した甲佐町白旗仮設団地（90戸、最も被害の大きかった熊本県益城町の南10kmに位置）は6月5日入居開始であったが、地震発生から実に2ヶ月近くの時間を要した。

供用開始までの期間短縮のために、各自治体は仮設住宅の建設候補地の事前選定や、配置方針及び住宅仕様の事前検討、プレハブ構法の採用を行っている。しかし、計画・設計に向けた建設予定地の調査は時間を要するため、発災後混乱している状況の中では地図や簡単な現地視察に基づき進められ、その後の過程で手戻りが発生することも少なくない。また、配置計画着手から供用開始までには最短で4週間もの期間を要するのが実情である。その内訳として、約1週間は配置

案や設計図書の作成に、約3週間は施工に費やされている（図1）。

そこで、仮設住宅の供給迅速化を目指し、2018年より最先端の建築情報技術を用いて建設予定地の調査及び計画・設計段階の時間短縮の取り組みを開始した（図2）。ここではその概要について、「敷地調査」、「配置計画」、「住棟設計」に関する3つの自動化について紹介し、今後の展望について述べる。なお、仮設住宅の供給までに要する時間の大部分を占める施工に要する時間の短縮については、今後の検討事項としたい。

建築情報技術の中核：BIMとは

概要の紹介に先立ち、本取り組みにおける建築情報技術の中核を担うBuilding Information Modeling（以下、BIM）について述べる。BIMとは、狭義には建物を構成する部材の3D形状に属性情報を紐付けたデジタルモデル（以下、BIMモデル）やそのモデリング技術（以下、BIMソフト）を意味し、広義には建物のライフサイクル（企画から解体まで）を通じて当該デジタルモデルを活用するという考え方を意味する。建築業界のデジタル化を牽引する中核技術・概念として期待され、今や建築分野のDXを語る上でなくてはならない用語である。BIM導入の効果は、現在のところ、設計案や施工過程の視覚化、設計図書の一貫性担保（平、立、断面図、3Dモデル、各種数量表が相互に連動している）、各種解析の実行による設計案の性能検証、ロボット施工への寄与、維持管理の高度化などあげられるが、デジタル化された建築情報の利活用次第でその効果は未知数である。

本取り組みでは、次世代の建築専用オブジェクト指

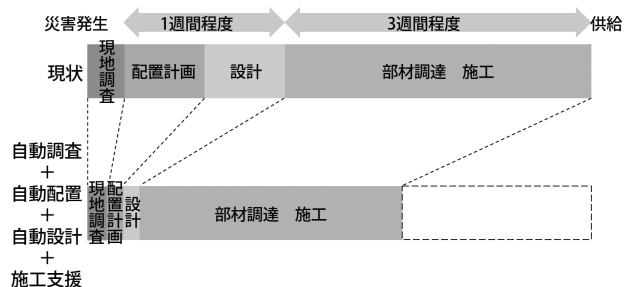


図1 プレハブ仮設住宅供給までのリードタイム
(上段は現状、下段は迅速化後)

向型3DCADとも言えるBIMソフトの利用を前提に仮設住宅に特化したプログラムを開発し、それらを組み合わせて運用する方針とする。本来であれば「全てを自動で」というのが開発プログラムの理想であるが、それにこだわるあまり自由度に乏しく使えないシステムになる恐れがある。本取り組みでのプログラム開発方針として、人が得意なこと（一意に決まらない操作）は人が、プログラムが得意なこと（ルールに基づくルーティン操作）はプログラムが行うよう心がけた。

敷地調査の自動化

建設予定地の調査として、理想的には敷地形状や高低差、既存建物・工作物や樹木、地震による被災状況等をできるだけ詳細に記録し、住戸の配置計画に反映する必要がある。内閣府が定める災害救助法では、仮設住宅の供給期間は完成日から最大2年（特定非常災害に指定された場合は延長可）と定められており、その期間を過ぎると原状復帰が求められる。できるだけ容易に原状復帰するためには敷地の改変を最小限に留める必要があり、そのためにも敷地の正確な現状把握は欠かせない。そこで、できる限り短時間で正確な敷地の現状を調査し、その後の配置計画の工程に情報を引き継ぐために、ドローンによる敷地点群の取得とそれに基づく敷地のBIMモデルの自動作成に取り組んだ。

まず、ドローンによって空中から撮影した画像に基づき、敷地及びその周辺の点群を生成する。その点群

を道路、地盤、その他（既存建築・工作物や樹木、敷地周辺環境）に自動で分離し、地盤については点群からBIMモデルを自動で作成するプログラムを開発した。点群分離の際、水平方向の分離には地図もしくは人の手で作図した敷地や道路の境界線の二次元ベクトルデータを用い、高さ方向の分離には点群の高さの変化の度合いに応じてクラスタリングするアルゴリズム(DBSCAN)を用いた。なお、精度としては最大で±300mm程度であるが、仮設住宅の配置を検討する上で十分である。

配置計画の自動化

BIMソフトは当然ながら汎用建築設計用として開発されており、仮設住宅の配置案の作成にそれを導入するだけでは期間の短縮にもたらず効果は限定的である。そこで、BIMソフト上で稼働する配置支援プログラムを開発することで、配置計画期間の短縮を目指した。仮設住宅の配置は多くのルール（図3）に従うことが求められ、その全てを満たしながらも敷地固有の条件に即した配置案を作成しなければならない。そこでこれらの条件に適応しながらも迅速に配置案を作成できるよう、BIMソフトを介して人が行うべきプロセスとBIMソフト上の配置案の状況を踏まえてプログラムが処理すべきプロセスを明確に区別し、人とプログラムが交互に配置案に対する編集を行う「対話的」なプログラムを開発した。

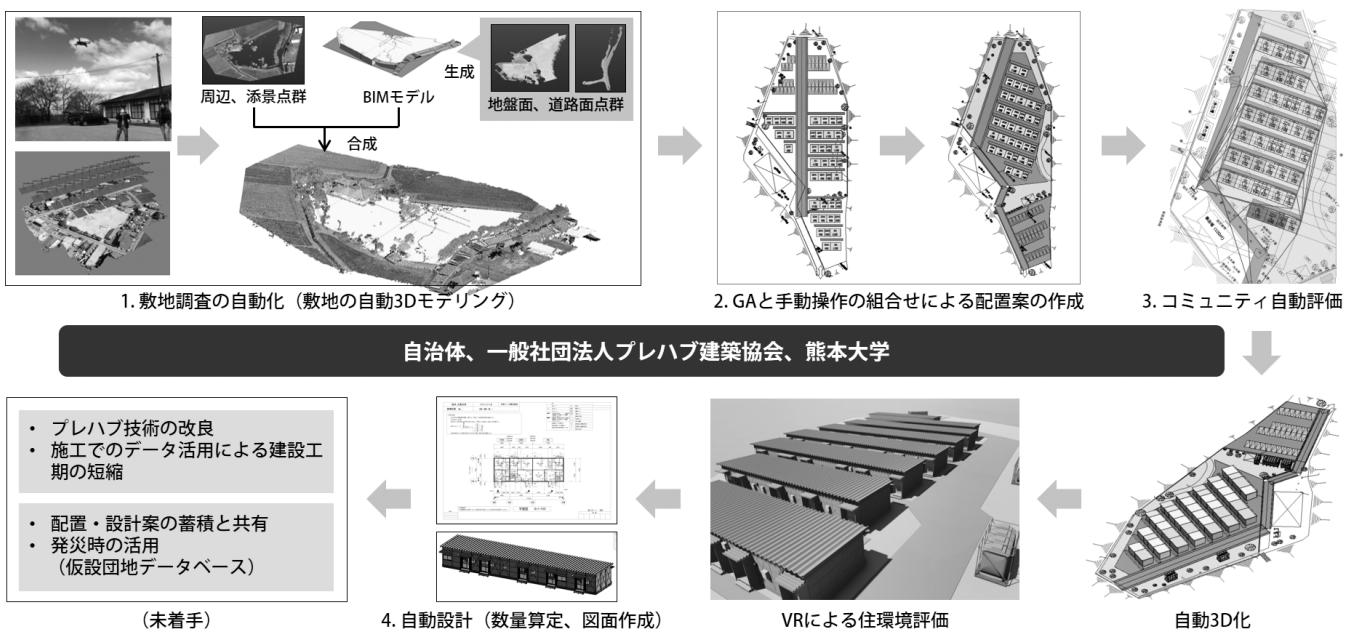


図2 プレハブ仮設住宅供給迅速化の取り組み概要

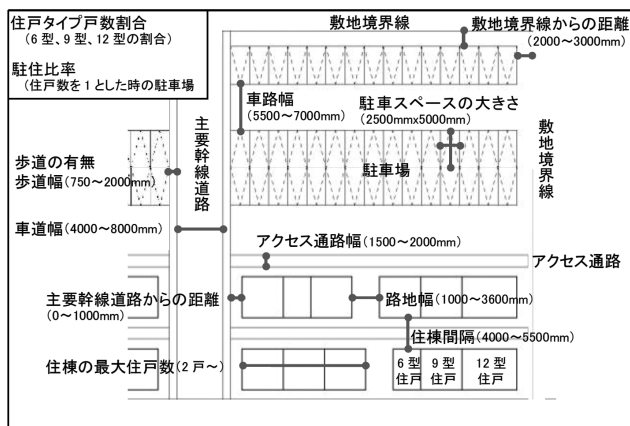


図3 変更可能なパラメータと推奨値

できる限り簡単かつ直感的に配置案を作成することを企図し、前段階で自動作成した敷地及びその周辺環境のBIMモデルに住戸もしくは駐車場を示すアイコンを手動で配置するだけで、後は配置ルールに則り配置案の構成要素（以下、配置要素）である通路、住戸、駐車場のパーツが敷地内に、集会場、受水槽、浄化槽、ゴミ置き場のパーツ（住戸数から自動的に算出）が敷地外にそれぞれ自動的に配置される（図4の手順1）。

次にプログラムが示した配置案の一部を手動で編集する（例えば通路の位置を変える、住戸や駐車場を配置するエリアを分割する、敷地外の配置要素を敷地内に移動させる）と、全てもしくは一部の配置要素が編集した配置要素及び配置ルールに即して再配置される（図4の手順2、3）。

以上の作業を繰り返すことで、設計者が思い描く理想の配置案に短時間で到達できる。この間、全ての配置要素が自動カウントされ、BIMソフトの集計表にリアルタイムに反映される。設計者は常にそれを参照し、配置案を評価しながら配置計画を進めることができる。なお、住戸や駐車場の配置の際、少しの位置の違いが大幅な配置数の減少につながるため、遺伝的アルゴリズム(GA)を利用し、より多くの住戸もしくは駐車場が配置できるよう最適化を行っている。また、対話的に作成された配置案の善し悪しを自動で評価するプログラムを作成した。ここでは評価軸の一例として、高齢者のコミュニティ参加のしやすさ（高齢者が一人もしくは夫婦で入居する住戸が集会場からどれだけ近いか、当該住戸の玄関先をどれだけ多くの住民が行き来するか）を可視化・点数評価することに取り組んだ（図5）。

住棟設計の自動化

自動配置された住棟の種類（住戸の並びのバリエー

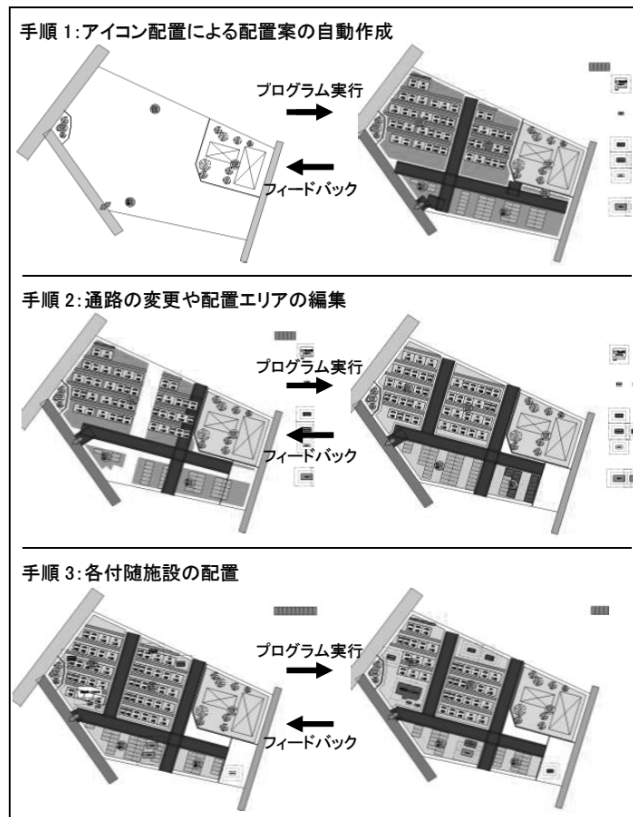


図4 配置計画支援プログラムの利用手順

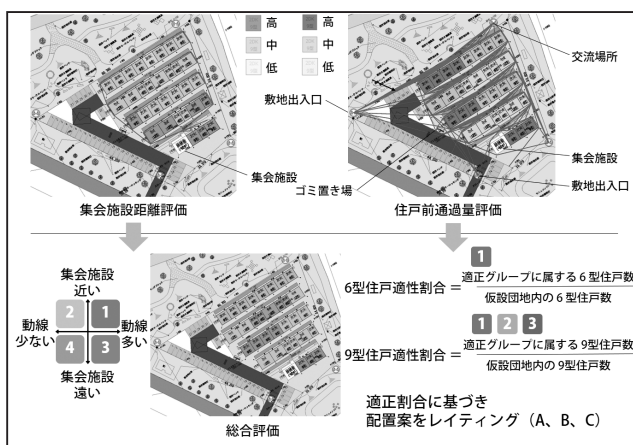


図5 コミュニティ評価結果の可視化

ション) ごとに BIM モデルを自動生成すると共に、当該モデルに基づき図面及び数量表を自動作成するプログラムを開発した。本取り組みでは、住棟の自動生成の容易性を考慮し、プレハブの仮設住宅を対象としている。プレハブは主要な構成部位が規格化されているため、BIMソフトで扱うパーツとして事前に用意することができる。

具体的には、事前に仮設住宅で通常配置される住戸タイプ3種（6型：1DK、9型：2DK、12型：3K）、界

壁2種（耐力壁、非耐力壁）、妻壁2種（左、右）の合計7個のアセンブリを準備しておく。次に、プログラムが配置案に含まれる住棟種類を読み取り、それに基づき先述したアセンブリを並べ替えることで住棟の基本モデルを作成し、それに住棟の長さや住戸タイプの隣接状況に応じて配置が変化する部材（鋼製土台、軒桁、母屋などの構造材や庇、防風壁などの外装関連材）を加えることで全種類の住棟を自動モデリングする。

その後、当該住棟のBIMモデルを対象に、基礎となる図面（基本図8種、平面詳細図、矩計図、展開図の合計11種）をプログラムからの指示によりBIMソフトに自動作成させ、そこに寸法や注釈を自動配置することで図面の自動作成を行う（記入位置は手動で調整する）。また数量算出として、同モデルを対象にプレハブ材（個数）と非プレハブ材（面積、長さ、個数）を自動算出する。

取り組みの成果と今後の展望

自治体が参加する災害想定訓練において、発注者のまさに目の前で要望を聞きながら配置計画案の修正を繰り返すことで、持ち帰って修正する必要がなくなると共に意志決定が迅速に行われ、承認までの期間が数日単位で短縮される可能性を明らかにした。加えて、BIMソフト及び開発したシステムをオンライン会議と共に用いることで、従来のように配置計画を行う設計者が被災地に赴く必要がなくなり、必要な技術者の確保も容易になることを参加者が体感した。これらは全て配置計画に関わる取り組みの効果であるが、今後

は敷地調査や住棟設計に関する取り組みの成果を実践の中で確認する必要がある。

本取り組みの成果を発災時に利用するためには、都市部だけでなく、中山間地や離島なども含む被災地における安定した電源や通信網の確保が前提となる。また、被災地で高速通信網が利用できれば、遠隔地にいる設計者が作成した配置案や設計案のデジタルモデル（BIMモデルやVRモデル）を被災地の自治体と遅延なく共有でき、より迅速な意思決定が可能となる。その際、高精細モニタを用いてデジタルモデルを共有することで、間違いのない確実な伝達が可能となる。

災害は普段から万が一の事態に備えることが重要である。自治体は何百、何千という仮設住宅の敷地の事前選定を進めているが、選定の際には実際にどの程度の仮設住宅が配置可能かを計画しておく必要があり、それに時間を要して選定が難航しているという現状がある。本取り組みは発災時だけでなく、仮設住宅の敷地の事前選定の際にも有効であると考えられる。

なお、本取り組みで培った技術は、プレハブ仮設住宅だけでなく一般の建築にも応用可能である。繰り返しの定型作業をコンピュータに任せ、人でしか出来ないより知的な作業に注力できる日も、そう遠くはない。

謝辞

大和ハウス工業株式会社、大和リース株式会社の関係者の方々には、研究を進めるにあたり貴重なデータをご提供いただくとともに、多大なご助言を賜りました。この場をお借りして御礼を申し上げます。



建築情報デザイン研究室（大西康伸研究室）

本研究室は、建築のライフサイクル（企画から計画・設計、施工、維持管理、解体に至る一連の流れ）におけるコンピュータ支援をテーマに研究活動に取り組んでいます。アナログとデジタル、リアルとヴァーチャルを横断する先端技術の利活用を得意とし、企業との共同プロジェクトの中で、実践に基づく「半歩先行く」研究開発を行っています。

また、コンピュータを用いた最先端の建築デザインや建築計画・設計、そのための新しい設計理論や設計方法の構築にも取り組んでおり、道具としての技術的な観点だけでなく、未来に対して「建築がどうあるべきか」を常に考え、新たな価値の創造を目指しています。

筆者が研究者であり、かつ一級建築士として実務経験を有する実務者でもあることを生かし、研究と実務の境界領域を研究テーマとしていることが研究室の特徴です。

研究室に関する最新情報を研究室HPに掲載していますので、ぜひご覧ください。

<http://onishilab.arch.kumamoto-u.ac.jp/>



重要文化財指定の熊本大学工学部研究資料館（1908年竣工）前で撮影した2022年度研究室メンバー（筆者は前列右から3番目）

デジタル時代の新たな学び

～ 産学官連携による 教育 ICT を活用した授業改善 ～

2016年に熊本地震を経験した熊本市は、産学官連携協定を締結し、教育のICT化を一気に推進している。本稿では、その実施状況と熊本大学の取組について紹介する。

国立大学法人熊本大学
大学院教育学研究科 特任教授
前田 康裕



タブレット型端末を活用した小学校国語科の授業

はじめに

熊本市は、2016年に熊本地震という大規模な災害を経験した。復興を実現するために、市長・教育長の強力なリーダーシップのもとで、ICTの教育活用が推進されることになった。その目的は子供たちに『自ら考え主体的に行動できる力』を付けるというものである。

2018年には、熊本市、熊本大学、熊本県立大学、NTTドコモによって産学官連携協定が締結され、一気に教育ICT化が推進されていく。その四者の役割分担は以下のようになっている(表1)。熊本大学はICT教育のモデルカリキュラム開発と教員研修の監修及び実施を担当することである。

表1 産学官連携協定における各者の役割

熊本市	・ ICT 環境整備 ・ 市内学校など研究フィールドの提供
熊本大学	・ ICT モデルカリキュラム開発 ・ 教員研修の監修、及び実施
熊本県立大学	・ プログラミングの実践的な学習機会の提供 ・ ICT 活用事例共有アプリの開発
NTTドコモ	・ LTE 回線、iPad 端末などのインフラ提供 ・ ICT 活用のための各種施策の企画、実施

この四者は、毎月一回定例会を開催し、進捗状況や課題を共有しながら、熊本市の教育ICTを推進している。本稿では、熊本大学の取組について紹介したい。

ICTモデルカリキュラム開発

■大学院教育学研究科によるカリキュラム開発

現代の学校教育においては、「何を知っているか」

というコンテンツベースの学習から、「問題解決を現に成し遂げられるか」というコンピテンシーベースの学習へとシフトしてきている。したがって、児童生徒が自ら学ぶことができるような授業への改善が求められている。

ICTは、その目的を達成するための手段として用いられるものだが、ややもすればICT機器を使用することそのものが目的化され、授業そのものは改善されないということが起こりうる。また、教師によって授業での活用に差が生じることも起こりやすく、学校間や学年間、学級間による格差も生じやすい。これでは、児童生徒の資質・能力を十分に育成することはできない。

このような問題が生じる背景には、どの学年のどの単元でどのような学習活動を行うのが望ましいのかといった授業改善の視点や、児童生徒の資質・能力の向上を目指して指導計画を改善するといったカリキュラム・マネジメントの視点が不足していたからだと考えられる。

そこで、熊本大学大学院教育学研究科ICT教育チームでは、熊本市の学習環境に合わせた「ICT教育モデルカリキュラム」を、学校の使用状況を調査しながら、開発することにした。これは、あくまでも各学校でのICT教育を推進するための指針にしてもらうためのものである。

■ICTでどのように授業を改善していくか

熊本市版ICTモデルカリキュラムは、以下の4つの章で構成されている。

- (1) 授業改善の視点
- (2) 情報活用能力の育成

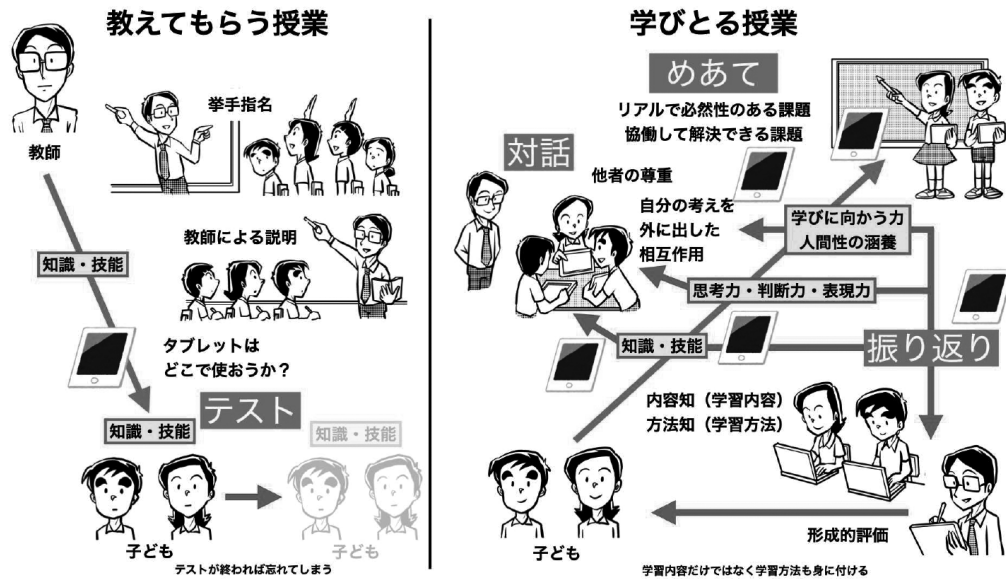


図1 「教えてもらう授業」から「学びとる授業」へ

- (3) プログラミング教育
- (4) 校内研修の体制

特長なことは、授業改善の視点を明確に示したことであり、それは熊本市教育委員会が提唱する「教師から教えてもらう授業から子どもが学びとる授業への転換」を目指すものである(図1)。

自ら考え主体的に行動できるための資質・能力を育てるためには、目標を達成したいと思う強い意欲や自分にもできそうだという自己肯定感、仲間と協力しながら問題を解決するといったコミュニケーションの力などが必要となる。

では、授業をどう改善するべきだろうか。教師がどのように教えるかといった授業設計ではなく、一人一人の子どもたちがどのように学びとれるのかといった授業設計にするのである。

そのためには、まず必然性の高い学習課題を協働して解決するような「めあて」が必要となる。たとえば、社

会科学習において、郷土の偉人が残した史跡の写真をもとに、「なぜ作ったのか?」「どうやって作ったのか?」といった子どもたちの問いから学習課題を設定する。

次に、課題解決のための少人数による「対話」を学習の中に位置づける。

すると、子どもたちはその過程で仲間と協働することになり、相互作用が促される。また、教えたり発表したりする内容を充実させようとするれば、自ずと知識や技能を獲得するようになっていく。

だが、このような活動中心の授業では、学習内容や学習方法が曖昧になってしまう。そこで、教師は学習の「振り返り」を確実にに行わせる必要がある。それは「楽しかった」「難しかった」といった授業の感想ではない。「自分たちは何を学んだのか」といった内容知と「自分たちの学び方はどうだったのか」といった方法知を省察することである。その活動の中で自己評価や相互評価を行っていく。

また、教師は子どもの振り返りの記述をよく読んで



図2 対話的な授業：協働による相互作用

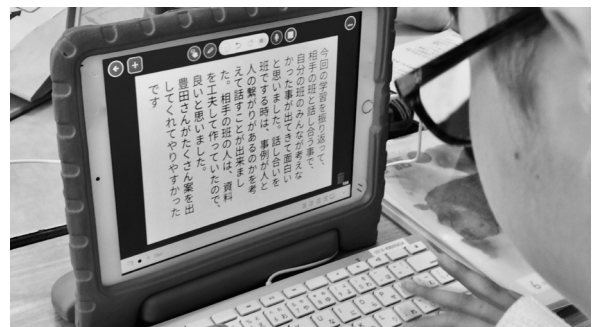


図3 振り返り：学習内容と方法を言語化する

形成的に評価していく。「〇〇君の～といった発言が良かった」「〇〇さんが私の話をよく聞いてくれた」といった友達への評価を促していけば、協働的な学習はさらに促進され、互いの意見を尊重する集団の意識も高まっていく。

このような「学びとる授業」においては、情報収集や対話、発表や表現活動、さらには振り返りの活動においても、デジタル端末は極めて有効な学習の道具として働いていく。「教師が教える授業」を完全に否定するものではないが、「子どもたちが学びとる授業」への改善が求められているのである。

このように、熊本市においては、熊本市教育委員会の教育理念に沿った形で熊本大学がモデルカリキュラムを開発することによって、連携した授業改善を推進することが可能となっており、そのための研修も実施している。

教員研修の監修、及び実施

学習観のアップデートを行い、授業改善を推進していくためには、従来の校内研修の在り方を抜本的に見直す必要がある。そこで、熊本大学では各学校からの要望に応じて、デジタル端末を活用して教職員が協働的に創造的な学び合いができるような研修になるようサポートを行っている。

■カリキュラム・マネジメント研修

総合的な学習の時間に代表される探究的な学習は、児童生徒が主体的にICTを活用するための絶好の機会となる。しかし、学習内容が昨年度どおりになってしまい形骸化しやすいという課題が生じる。また、転入してきたばかりの教職員が地域の実態を把握する時間がとれないという問題もある。

熊本市立五福小学校では、夏休みに学年ごとに対話を行い、単元構想シートに総合的な学習の時間の見通しを立てて記入するようにしている。あくまでも見通しであって、子どもたちの学習の状況に応じて柔軟に変更できるようになっている。

自分が受け持っている学年の総合的な学習の時間の見通しを立てるためには、地域のことを調べることもなる。さらに、教職員の得意技ややりたいことも反映されやすくなる。最後は、このワークシートを全員で共有することによって学年の系統性も明らかになる(図4)。まさに総合的な学習の時間のカリキュラム・マネジメントが、そのまま教職員のICTを活用した協働的・創造的な学びとなっているのである。

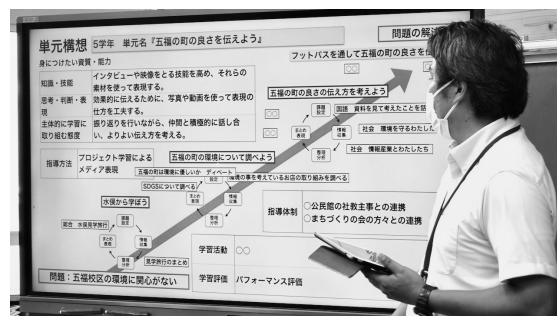


図4 単元構想を全体に共有する

■省察を促す対話的な授業研究会

研究授業の後の授業研究会は重要であるが、教師の指示・発問と子どもの発話をもとにした授業研究会では、一人一人の子どもたちの学びが検討されにくい。また、他の参加者の授業改善につながらないといった問題も生じる。

いくつかの小学校では、研究授業の後の授業研究会を前半と後半に分けて実施して行っている。

前半では、研究授業の「良かった点」や「改善点」をデジタル機器を使って一枚のシートに全員が同時に記入し、対話によって意見交換を行うことで、意見の集約が効率的に行われる(図5)。



図5 タブレット端末を使って意見を共有する

後半は、対象となった授業そのものの評価にとどまらず、そこから得られた知見を一般化し、自分の授業にどのように活かすかといった振り返りまで発展させることによって、学校全体の授業改善につなげている。

こうした教師集団の学びの在り方は、子どもたちの学びの在り方に反映される。子どもたちに求められる力は、教師集団にも求められるのである。

■熊本大学教職大学院情報教育研修会

熊本大学教職大学院では、月に一回のペースで、一般の教職員に向けた情報教育研修会を土曜日に開催し



図6 対話的な研究会



図7 熊本大学情報教育研修会

ている。コロナ禍によって、ここ数年は対面での研修会が少なくなったが、オンライン開催にすることによって、他県からの参加が増えている。

研修内容は、教育現場のニーズを踏まえ、プログラミング入門、学習支援ツールの活用、STEAM教育^{*1}、GIGAスクールマネジメント等と多岐にわたっている。令和4年度の参加総数は960人であり、研修後のアンケートによれば、参加者の満足度は極めて高く、「授業中にICTを活用して指導する能力」や「児童生徒のICT活用を指導する能力」が身についたという声が聞かれる。なお、GIGAスクール構想の実現に貢献する取組として、デジタル庁から2021年デジタル社会推進賞「銀賞」を受賞している。

^{*1} 科学、技術、工学、芸術、数学の5つの英単語を組み合わせた造語。分野横断的な学び。

おわりに

熊本市においては、産学官が連携した取組によって、教育ICTの推進がスムーズに展開しており、本市の教育の特長となっている。

一方、小学校と中学校の活用の差が大きいといった課題も残されている。また、情報社会を責任を持って前向きにテクノロジーを活用する行動規範である「デジタル・シティズンシップ教育」の必要性も高まってきている。モデルカリキュラムのさらなるバージョンアップや校種による教員研修の在り方についての研究も求められている。

<参考動画>

[1]教職員支援機構「授業におけるICT活用～ICTを活用した授業改善～」(前田康裕)
<https://youtu.be/b-F-Sk7hB-Y>

[2]教職員支援機構「授業におけるICT活用～校内研修の改善～」(前田康裕)
https://youtu.be/Oo95_zACq6E



教職大学院 (大学院教育学研究科)

熊本大学では、平成29年4月に、教職大学院の課程(教職実践開発専攻)を新設し、令和2年4月から、学校教育実践高度化コース、教科教育実践高度化コース、特別支援教育実践高度化コースの3コース制を導入し、改組・拡充しました。

本大学院では、学校教育の現場や教育委員会等との密接な連携に基づき、理論と実践の往還・融合を通じた高度な教員養成及び教員研修の体制を整え、機能強化を図っています。

特長的事は、現職教員学生と学部新卒学生(ストレートマスター)、研究者教員と実務家教員が、相互に学び合う場が充実しているところでしょう。

右の写真は、「ICT教育実践論」の授業の1コマです。現職教員学生と学部新卒学生が同じ席に座り、タブレット型情報端末を活用しながらプロジェクト型の協働学習を行っているところです。こうした学習者としてのICTを活用した主体的・対話的で深い学びの経験が、学校現場における実践的な指導力の向上につながっているのです。

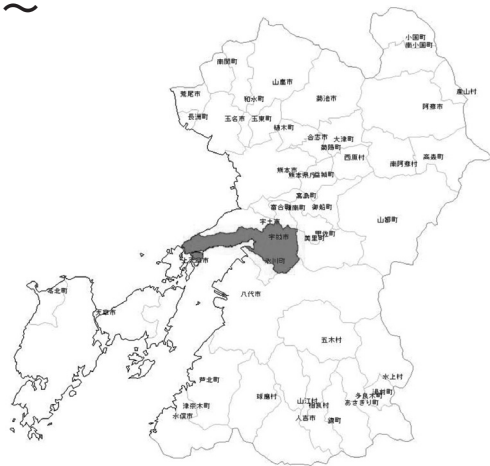


現職教員学生と学部新卒学生と一緒に学ぶ

いまは未病でも「危ない度数」を計測します

～ データの語る声を聴く・熊本県宇城市の場合 ～

熊本県のUXプロジェクト(本文参照)で実施した内容を紹介します。統計解析を用いた健康設計の試みである。熊本県宇城市の約1万人の方々の医療データから、まだ病気にはなっていない方々について「危ない度数」を推定する試みを行った。その目的は、人数の限られた保健師の医療活動を効率最大にする施策を提供することである。つまり「危ない度数」の順に介入(行動変容)ができれば疾病に陥る方々は最小となり、その結果、医療費の増加を最小限まで抑えることができる。



熊本県宇城市の場所



国立大学法人熊本大学大学院先端機構
フロンティアデータサイエンス化血研寄付講座
中村 振一郎 沈 君偉 原田 祐希

はじめに

統計解析は現在のデータサイエンス・計算科学のなかで最も重要な要素技術のひとつである。我々が近年実践している解析の骨子をここに紹介する。現在の日本は世界でも圧倒的に一位か二位を争う長寿国である。先端医療技術を保有する恩恵かもしれない。しかし寿命の年齢が大事なのではない。重要なことは時間的に長生きするだけでなく、生活の質つまり健康寿命が長いことである。できることなら薬、手術そして入院という医療に頼ることなく、つまり日常生活に制限のある不健康な期間(図1)を迎えることなく、自立した健やかな生活を維持すること、如何にしたらそれが可能か、これが日本の課題である。

我が国の現状は予防医療の技術も多面的に発展しており、センサーや健康促進機器の多様さで、その躍進は目覚ましい。とはいえ治療医療を軽減するにはまだ程遠い。医師、看護師を始め医療従事者の量と質の不足は深刻である。人口減少は止まらず高齢者の比率が増すなかで何も手を打たなければ医療費・人件費が増加し保健医療行政が破綻する。日本だけでなく、高齢

化に向かう諸外国に共通の課題でもある。政治的かつ社会科学的な問題として取り組むべき難題であるのは明白であるが、自然科学・統計数理に従事する技術者も、何らかの貢献をしたいと願って実施してきたのがここに述べる解析である。

このUXプロジェクトは、熊本県のライフサイエンス分野(医療、介護、健康、食、ビューティー、スマート農業)における強みを活かし、半導体・自動車関連産業に続く“第3の柱”となる産業形成を目指すプロジェクトである。本報告の内容はその一環として県庁がコーディネートをを行い、宇城市、くまもと健康支援研究所、そして熊本大学が連携して行っている活動である。

新しい方法の必要性

健康予測、医療という問題は複雑にからみあった多変量解析の対象である。端的に人間の健康を特徴づける変数は、体温、血圧、血糖値、体温、尿タンパク値、そして体内コレステロール量、に代表される物理的・情緒的環境を含む多変数からなることは自明であるが、それらは独立変数だろうか、時期により、状況により、どの程度相互依存するのか、全く非自明である。極度に細分化が進んだ各専門家は誰もこの非自明さに窮している。つまり健康という概念は、環境の影響を近似的に排除し計測が可能な物理化学的な物質系とは峻別される包括的概念であろう。最新医学・生理学・医療統計学が躍進しているとは言え、多変量解析により健康の全貌があきらかにされるのは当分先のこ

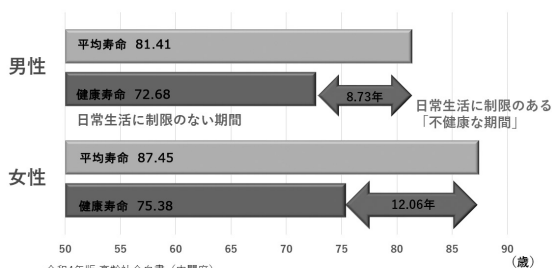


図1 日本人の健康寿命

とであろう。

一方 Data Science のアプローチは錯綜した詳細メカニズム解明を諦観する態度である。つまり「今ここで採るべき対策」をデータに語らせ直面する課題に立ち向かう方法論である。「空気ではなくデータで判断する」と言えよう。一例として IBM 社が世にだした人工知能ワトソンは、癌の診断において、人間の医師を凌ぐ勢いを示しているという。長い目でみれば、このような人工知能が安く普遍的に活用されて行くことが健康医療設計の解かもしれない。しかし価格や規模に鑑みて、当分は医師の育成と比較してもコスト高であり、マン・マシン・インタフェイスという倫理問題に触れる根源的課題も残っている。広く社会がこれを受け入れるには、まだ幾つもの障壁を越えねばならないであろう。

人は3次元空間に生きるから同時に認識できる変数は通常2変数である。3以上の変数が複雑に同時に変動する問題は、普通の人間には即座に対応できない。それでも人間の脳と身体は、この多変量非線形問題を熟練という叡知で対応することができるようである。F1のレーサー、プロのスポーツ選手や高度の名人・職人はそれをやってのけるから、古今を問わず、洋の東西を問わず、別格の存在としてひとびとは尊敬を惜しまない。名医と言われる数少ない医療技術者も然りであろう。名人・名医が普遍的に十分な数で存在するのは過去、現在そして未来、とうてい望み得ない。それを前提とすれば、あるべき医療および予防医療は如何様であろうか。例えば10,000人の集団にとって、数において限りある医療従事者が全ての人に均等な介入を行うことはできない。危ない人から優先して対応すべきである。されば限られた医療従事者および物的資源を最大効率で活かせる筈である。その優先順位づけは可能であろうか。これに答えるべく、我々は「合理的に「危ない度数」を評価する方法を構築し、その順序に応じて介入すればよい」という方法論を提示したわけである。

我々の方法論を述べるまえに従来法を以下に要約する。それは第一の主要パラメーター(たとえば血糖値)を経験的に決め、その順に対象者を並べる。次にその上位グループに第2(たとえばコレステロール値)、そして第3(たとえば血圧値)と、順番に加味して優先すべき人の順位づけを絞り込む。さらに必要なら第4、第5の変数を加えて、優先順位を絞りこんでゆくという方法である。そもそも、この逐次順位付け法で十分ならば、今日のような医療費・保険費用の増大は生じていないであろう。しかるに現実の医療費は増加

の一途をたどり、新しく抜本的な対処が急務であることを示している。

「危ない度数」をもとめる基本的な考え方

我々が目指す究極の統計解析の概念図を下の図2に示す。縦軸は重篤度、横軸は時間である。我々の手法は、点線で囲った部分で、対応すべき人の優先順位を算出するものである。つまり発病という誰でもわかるイベントが起こる前に、重篤になるであろう人とそうではない人の前兆を捕える試みである。つまり重篤になる人と健康を維持できそうな人を「危ない度数」の差で示すという方法である。健康診断のデータとレセプトのデータから、上の二人のうち、どちらが先に介入を要するか、という判断の根拠となる数値評価を与えるものである。実際には、対象とする集団(例えば民間企業の健康保険組合、各自治体の健保、等々)について、この解析を実施し、その統計解析の結果から「まだ疾病に至ってはいないが、データから判断して最も介入に急を要するひとを重篤度に応じて順位分けする」ことができる。下に示す宇城市の実例ではこれが2人でなく、約1万人である。

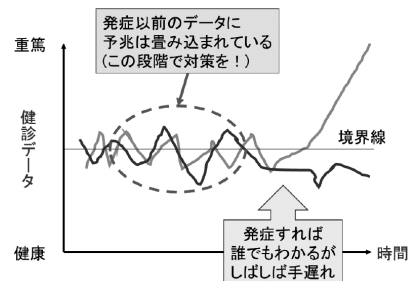


図2 発病前のデータから介入すべきひとの優先順位を算出

解析手順 ロジスティック回帰

具体的な方法の骨子を述べる。入力データとして、健康診断のデータに加えてレセプトデータを用いる。後者が無いときにも解析は不可能では無いが、併用できることが好ましい。なぜなら健康診断によるデータが一見したところ良好であっても、レセプトデータと照合することで、それが自力の結果から来るものであるのか、治療中であるが故の(薬で抑えられた)結果であるか、それによって意味が違うからである。出力の情報の最も重要なものは、重篤度の順位分けである。同時にひとりひとりのデータにもどれば、未病状態を特徴づける種々の情報が得られる。我々は存在する種々の方法論を試行して来たが、本稿では有力で理

解しやすいロジスティック回帰を示した。

個人が重症化にいたる確率を p 、そうでなく健康である確率を $1-p$ とする。この p は以下に示す z できまると考える。

$$p = 1 / (1 + \exp(-z))$$

ここで、変数 z は線形と仮定して、

$$z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \dots$$

の形であつかう。 x_1, x_2, x_3, \dots はそれぞれ、血糖値、血圧、コレステロール… という健康診断で得られる値である。宇城市の実例では 28 の変数を取り扱い、その中にはレセプトに記された通院回数が含まれる。この 28 の変数からなる実データを用いて、尤度最大となるように係数 β_i を決定すれば、この集団について構成する個人すべての発症確率 p が求められるわけである。その様子が図 3 に示すシグモイド関数である。

本解析の最重要事項は、重症化という基準を医療費とした点である。つまり一年間に医療費がある値（今回は 25 万円 / 1 年間）を超えた個人については重傷者 $p=1$ とし、それ以下の個人を $1-p$ とする。この金額はパラメーターとして変えることができる。

こうして得られた解析結果を現実的に有用な知見とする（基準値を決めて活用する）ために ROC (Receiver Operating Characterx) 曲線を用いた。公開されている Wikipedia から引用する。

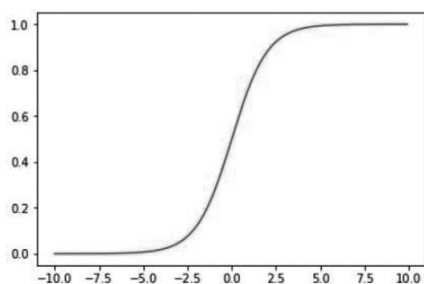


図 3 シグモイド関数；発症確率 p (縦軸)、変数 z (横軸)

図 4 に陰性者（今回の場合健常者）と下に陽性者（今回の場合重傷者）表示した。この例は陰性の方が全体的に検査結果は小さい値（左側）にでる場合である。そこに基準線（カットオフポイント）を導入する。その値以上の場合には陽性、そうでなければ陰性だとする。今、カットオフポイントとして B を採用すると真陰性 True Negative（陰性者を陰性と判定：左図では C より左）、偽陽性 False Positive（陰性者を

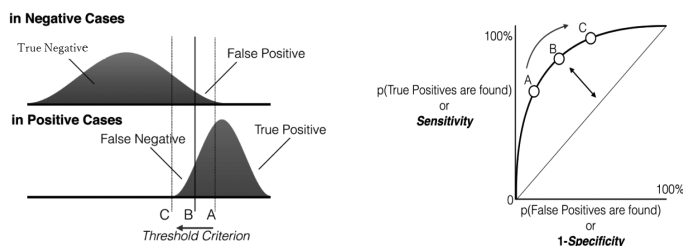


図 4 ROC 曲線

陽性と判定：B と A の間）、偽陰性 False Negative（陽性者を陰性と判定：C と B の間）そして真陽性 True Positive（陽性者を陽性と判定：A より右）という四つの場合に分類される。検査が有効であるためには、間違っって判断する割合を最小限に止めることが必須である。陽性者を正しく陽性として捕捉する率を敏感度 Sensitivity、陰性者を正しく陰性と判断する率を特異度 Specificity と呼ぶ。また 1-Specificity (= 陰性者の内で偽陽性になる率) を偽陽性率と呼ぶ。横軸に偽陽性を縦軸に真陽性をプロットする（図 4 右図）。カットオフポイントを大から小へ（図 4 左図で A, B, そして C へ）と変化させると、右図のような曲線が描かれる。これが ROC 曲線と呼ばれるものである。検査が有効であれば、この曲線は 45 度の線から左上に離れる。もし 45 度の線上にあれば、検査結果は半々の当り確率であって意味を成さない。そこから上に離れるほど（45 度直線の上の円弧の下の部分の面積がおおきければ大きいほど）検査として有効である。この曲線の下面積（AUC）が大きいほど解析は妥当である。

解析結果と考察

熊本県宇城市の匿名化された約 1 万人のデータ使用を許可され上記の解析を実施した。宇城市は九州のほぼ中心に位置しており（冒頭の図）、令和 5 年 2 月末時点で人口は約 5 万 7000 人、高齢化率は 34.8% を占める。特定健診受信者のうち高血圧者が多く、熊本県内 14 市の中で 8 年連続ワースト 1 位となっていることが宇城市の課題であり、市では『さしより野菜プロジェクト』として高血圧・高血糖改善のために「野菜から先に食べる、野菜をたくさん食べる、減塩する」ことを市民全体に啓発している。

図 5 に示すのは特定健康診断の項目（メタボ）として今回の解析で焦点とした 5 つの疾病（脳心血管症、腎臓病、糖尿病、高血圧、脂質異常）に関する医療費の割合を示すデータである。

上に述べた ROC を使って行った結果を示す。糖尿

病について詳しく示そう（他の疾病についても同様な結果が得られている）。まず2016年6月～2020年5月までのデータについて得られたROCを図6に示す。医療費が年間25万円という基準値（便宜的に定めた値であり、解析はこれを種々変えて行った）を超えた場合を重症化と見做してこの集団を扱った結果、159人は既に超えている方々である。一方355人の方々に、**「今まだ年間の医療費が25万円を超えてはいないが、ロジスティック回帰の語るるところを聴けば早**

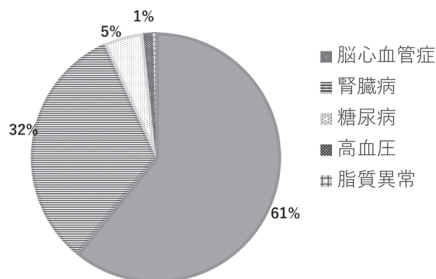


図5 5疾患にかかった費用(6年計)上位100名における各疾患にかかった費用の割合

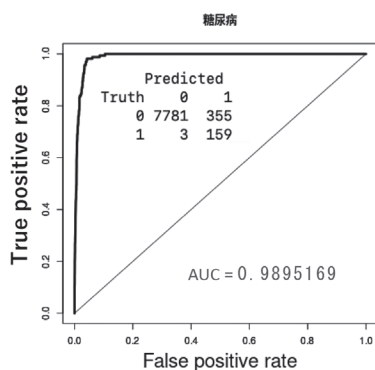


図6 糖尿病に関する解析で得られたROC

晩越えてもおかしくないような“危ない度数”に達しておられる」と見做すことができる。

そこでこの159+355(514)人の「危ない度数」の高い方々の次の2年間の経過を解析した。今回、2020～2022年のデータを拝受し、解析して検証した。514人のうち268人の医療費は増加していた。打率5割2分という成績である。この数値の成否には議論が分かれるかもしれないが、筆者らはまだ数学的に検討すべき点を残した第一段階の方法論であることを鑑みると、今回の手法の適用でこの数値が得られたのはおおよそ妥当な結果であると考えている。この結果を活かした介入の実施に期待したい。

まとめ

戦後、我が国の医療費は一度も減ることなく増え続け近年42兆円を超えている。高齢化の進行も必至であるから未病にむかって具体的な手を打つことが喫緊の課題である。現在の医療現場では医師、看護師、保健師の数は限られており、全ての人に対応することはできない。よって「危ない度数」の順に効率よく介入する根拠が求められていた。今回の統計手法はそれを可能にするものである。今回、宇城市のデータ使用を活用させていただき、くまもと健康支援研究所、熊本県庁、熊本大学の4者によるUX活動の一環として手法を進展させることができた。これからも多くの市町村、企業によってこの手法が活用されることを願っている。最後に手法構築の初期に協力いただいた鳥取県境港市に改めて感謝します。



熊本大学大学院先導機構

フロンティアデータサイエンス化血研寄付講座 中村研究室

熊本大学は一般財団法人化学及血清療法研究所からの寄附に基づき、国立研究開発法人理化学研究所から3名の分子科学・計算科学を背景とするデータサイエンス研究者（本稿の著者）を招聘し「フロンティアデータサイエンス化血研寄附講座」を設置しました。令和4年4月1日付けで学長直轄組織である大学院先導機構に属します。データサイエンスによる教育研究と社会貢献を目的とし、次の3つの課題に取り組みます。即ち①健康の科学・物質材料分野におけるデータサイエンスの社会実装、②物理・化学・生物の計算科学に根ざした新しいデータサイエンスの展開、そして③データサイエンスの基礎として、量子論と“圏論”により、「なぜData Scienceが可能か？」そしてデータ（数値）を出現させる実体の研究、です。この3課題を骨格とした基礎研究および応用研究（民間企業との共同研究）を実施します。



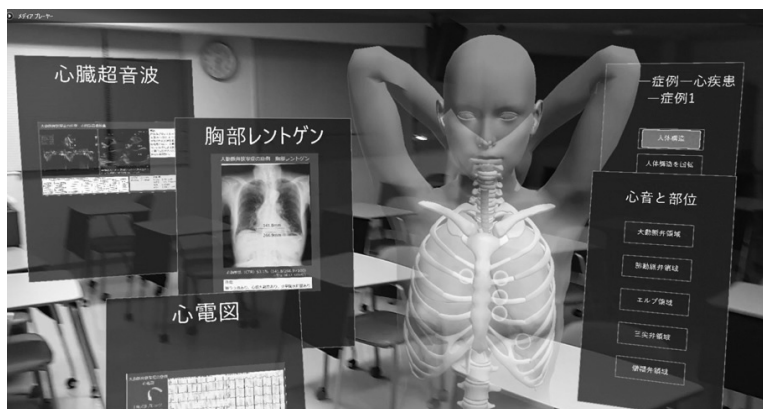
年度初めの昼食会の後で研究室メンバー
最左から原田、沈、筆者は左5番目
(熊大キャンパス内撮影)

社会変化に対応する未来型次世代教育の実現

～ クロスリアリティを活用したデジタルトランスフォーメーションによる教育改革 ～

教育におけるデジタル活用が推進され、クロスリアリティ (XR) 技術を活用した教材開発が進んでいる。本稿では、看護教育における XR 技術を活用した教材開発と活用について紹介する。

国立大学法人熊本大学
大学院生命科学研究部
准教授 松本 智晴
教授 前田 ひとみ



MR 技術を活用した看護教育教材

はじめに

新型コロナウイルス感染症 (Covid-19) の感染拡大は、教育に大きな影響を与えた。医療系人材を育成する教育機関においては、病院での実習を縮小せざるを得ない状況で、いかに病院実習と同等の学びを学生に提供していくかが大きな課題となった。そのような中、教育におけるデジタル活用が推進され、クロスリアリティ (XR) 技術を教材に活用する取り組みが行われるようになった。看護教育では、主に Virtual Reality (仮想現実: VR) を活用した教材が多く開発されている。例えば、認知症患者の理解を促すために認知症高齢者の体験 VR 教材 [1] や、大学の教室や自宅でも仮想現実の中の病院で熟練看護師の看護技術を疑似体験できる VR 教材 [2] など、学生の興味や関心を引き出しながら学習意欲を高め、患者や看護の理解を促進するための教育の工夫が行われている。

XR には VR 以外にも、Mixed Reality (複合現実: MR) や Augmented Reality (拡張現実: AR) などがある。どの技術を教材に活用するかは、学生に学んでほしい学習内容によって選択する必要がある。VR 技術を活用した教材では、仮想現実への没入感と臨場感のある体験が可能であり、学生の想像性や思考を刺激しながら学ぶことができるが、必要な専門的技術を実践しながら学ぶことはできない。一方、MR 技術を活用した教材では、デバイスが人やベッドなどを認識し、現実の世界に Three-Dimensional Computer Graphics (3DCG) のコンテンツを融合させた複合現実を作ることが可能であり、学生がリアリティある環境で専門的技術を実践しながら学ぶことができる。

AR 技術においては、現実の世界に 3DCG を表示することで現実を拡張するものであるが、学生の解剖生理の学習に有効であり教科書にも導入されている。

熊本大学医学部保健学科では、2021 年度大学改革推進等補助金 (デジタル活用教育高度化事業) 「デジタルを活用した大学・高専教育高度化プラン」の助成を受け、学生の学ぶ意欲と態度の育成およびスキル育成を目標とし、VR 技術と MR 技術を活用した看護教育のための教材開発に取り組んだ。本稿では、VR および MR 技術を活用した教材と活用について紹介する。

VR 技術を活用した教材開発と活用

VR 教材に使用するヘッドマウントディスプレイは VIVE Focus3 (HTC, 台湾) とし、仕様書を作成後、企業にコンテンツ作製を依頼した。VR 教材では、学生の学ぶ意欲と態度の育成を目標として開発した「口腔ケア・吸引・嘔吐処理による微生物汚染の可視化コンテンツ」並びに「地域で暮らす高齢者の生活」の 2 つを紹介する。

看護職の役割は、対象者の健康の保持・増進、自立して日常生活を営めない対象者への生活支援、対象者が安全で安楽に診療を受けるための診療の補助がある。口腔ケアは、患者の健康や快適な生活を支援するための看護技術の一つである。自分で口腔内の清潔を保てない患者は、免疫力が低下していたり、加齢に伴い嚥下機能が低下していたりするなど様々な要因で、口腔内の細菌が肺につながる気道に流れ込み肺炎を発症するリスクが高まる。患者の肺炎を予防するため



図1 口腔ケアの際の微生物汚染の様子

にも口腔ケアは重要な援助である。加えて、Covid-19の飛沫感染予防策としてマスクが重要視されたように、ケアを提供する看護職も口腔ケアによって飛散する口腔内の微生物から自分たちを守る必要がある。しかし、細菌やウイルスなどは小さく可視化出来ないため、ケアに伴う微生物の汚染状況をイメージできないことから、医療者の感染予防策に対する意識づけや遵守率を上げることは難しい。「口腔ケア・吸引・嘔吐処理による微生物汚染の可視化コンテンツ」は、自力で口腔ケアができない患者への援助を仮想空間で体験しながら、口腔ケア時に飛散する微生物による汚染状況を可視化できるコンテンツである(図1)。学生は、この教材を体験することによって、菌みがきやうがい時の自分や周囲の汚染状況に驚くとともに、感染予防策の重要性の意味と予防策として何が必要かについての意識を高めることができる。

「地域で暮らす高齢者の生活」は、学生が地域で暮らす高齢者の生活環境や状況を知ること、地域で生活を継続するために必要な看護の視点を学ぶことを目的に開発した。日本は超高齢社会にあり、地域における高齢者の生活支援は看護職にとって重要な課題である。学生が、地域で暮らす高齢者の生活を知る機会となる訪問看護実習は、Covid-19の感染拡大により縮小せざるを得ず、学生は貴重な学習の機会を奪われることになった。Covid-19の影響に関わらず、学生が大学在学中に経験する看護は限られており、臨地実習では対象者の同意が得られないことや、タイミングが合わず経験できないこともある。その点、VR教材は、臨場感ある仮想空間でいつでも学習できることが大きな利点である。本教材では、長男夫婦と同居している80歳台女性の昔ながらの家屋風の住居と、妻が車いす生活をしている70歳台夫婦の住居に入り、高齢者の生活環境や状況を間近で観察することができる(図2)。さらに、登場する高齢者がバスに乗り合わせてデイスサービスに通う様子や、デイスサービスでリハビリに取り組んでいる様子も観察することもできる(図3)。この教材を通して学生は、高齢者が自宅で転倒するリ



図2 在宅での老々介護生活の様子



図3 高齢者がデイスサービスに通う様子

スクや生活での不便さなどに気づき、高齢者が自立して生活するための生活支援について考えを深めることができる。

MR 技術を活用した教材開発と活用

MR教材に使用する透過型ヘッドマウントディスプレイはHololens2(Microsoft, 米国)とし、仕様書を作成後、企業にコンテンツ作製を依頼した。MR教材では、学生のスキル育成を目標として開発した「フィジカルアセスメント教材」を紹介する。

フィジカルアセスメントとは身体を査定することであり、身体の様々な部分について正常と異常を判断していく技術である。この技術は、医師だけでなく看護職も修得する必要がある基本的な技術である。MR教材は、小児および成人の心臓と肺の音を正確な位置で聴取するとともに、正常と異常を聴き分けるための聴診技術トレーニング教材と、新生児と乳児の発達についてアセスメントするためのトレーニング教材を作製した。本教材の開発にあたっては、人体構造の3DCGを作製するためのCT画像や、健常人並びに患者の実際の心臓や肺の音、検査画像が欠かせないため、熊本大学病院の協力を得るとともに、本学の倫理委員会の承認を得て実施した。

①成人と小児のフィジカルアセスメント教材

教材開発目標は、人体構造を確認しながら聴診技術を修得できる、疾患特有の心音や呼吸音を検査画像と照合しながら学ぶことができた。とした。

小児と成人患者のCT画像から胸部の人体構造を3Dで作製し、等身大の人体モデルと融合させた(図4)。さらに、聴診器をあてる正確な位置に聴診器を通して聴こえる正常な心臓と肺の音を組み込んだ。成人の人体モデルでは正常だけでなく、心疾患を持つ患者の心臓の音と呼吸器疾患をもつ患者の肺の音を組み込み、患者の胸部レントゲンやCT画像なども表示し確認できるようにした(図5)。それによって学生は、聴診器をあてる正確な位置を学ぶことができるだけでなく、心臓と肺の音の正常と異常を聴き分けながら検査画像を結びつけてトレーニングすることができる。また、胸部の人体構造は、図6のように人の身体にも投影して使用できる。人の身体に投影することで、現実では見えない肺や心臓、肋骨などの位置関係を可視



図6 人に人体構造を融合させたトレーニングの様子

化し、正確な聴診部位を理解しトレーニングすることができる。さらに、本教材は、編集機能を備えており、今後も患者の症例を追加していくことで、教材を充実していくことができる。本教材は、教科書で確認しなくても理解できると学生から高い評価を得ている。

②新生児と乳児の発達のアセスメント教材

新生児と乳児の教材開発目標は、正常な発達を学ぶことができた。とした。本教材では、出生直後の新生児の教材と、生後1ヵ月の新生児および4ヵ月の乳児を比較して学ぶ教材の2つを作製した。新生児と乳児の3DCGは、平均的な身長で発達に応じた身体の特徴と動きをつけた。

出生直後の新生児(図7)教材では、出生2時間後の健常児と心室中隔欠損(Ventricular Septal Defect: VSD)児の心臓と肺の音を録音し、聴診音を3DCGの肺と心臓付近に触れることで聴取できるようにした。出生直後の新生児の3DCGは、生まれて間もない特徴である胎脂の付着や胎毛などを再現し、指の爪

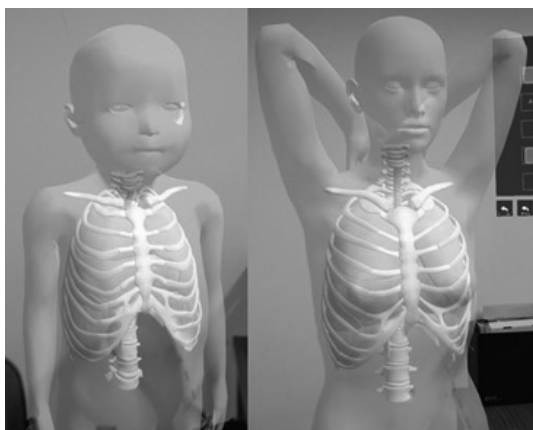


図4 胸部の人体構造を融合させた人体モデル



図5 心疾患患者のトレーニング教材



図7 出生直後の新生児の教材



図8 生後の1ヵ月の新生児の教材

など身体の様々な部位を触りながら胎内での発育状況をアセスメントできるようにした。

生後1ヵ月の新生児（図8）と4ヵ月の乳児においても、健常児の呼吸音と心音を録音し聴診できるようにした。看護職は、生後4ヵ月くらいまでに消失する原始反射をアセスメントすることで、正常な発達を遂げているか確認する。本教材では、実際の新生児に行うように反射の確認を行うことで、6つの原始反射を確認できるとともに、首のすわり具合など新生児と乳児の違いを観察できるようにした。

これらの教材については、学生から実習でも体験できなかった原始反射を確認できたことや、新生児と乳

児を比較して観察することで違いがわかりやすいこと、新生児の原始反射はDVDなどの映像で学ぶよりも体験に近い学習ができるためわかりやすいなどの評価を得ている。一方、改善点としては、操作が難しいことや全身が視界に入りにくいなどの意見があった。

おわりに

VRおよびMR技術を活用した教材は、従来の実習では難しかった学生の経験値を増やしたり、現実の世界では可視化されない現象を確認したりしながら学習することが可能である。また、学生が聴診技術を実践しながら患者の検査画像を学ぶことは、現在の病院実習でも不可能なことであり、学生にとって効果的な学習につながる。また、学生は実習でも子どもに関わる機会が減っている中、新生児や乳児の教材を活用することでいつでもどこでも学ぶことができる。VRおよびMR技術の活用は、看護教育の課題解決につながることを期待できる。今後は、教材の活用において他大学と連携し教育の質の向上に努めるとともに、高校生にも体験してもらい、医療や看護への関心を高めていく活動に取り組んでいきたい。

<参考文献>

- [1]川上千春他. 神経認知障害をもつ高齢者の世界を体験するVR教材を用いた看護教育プログラムの開発. 聖路加国際大学紀要, 8,151-155,2022.
- [2]渋谷寛美他. 熟練看護師の看護技術を疑似体験するバーチャルリアリティ教材の開発: 自由記述分析による使用感の評価. 日本シミュレーション医療教育学会雑誌, 8,22-27,2020.



大学院保健学教育部 看護学コース 前田・松本研究室

当研究室では、看護学におけるエビデンスの生成や、看護実践能力の向上につながる教育方法・システムの開発等の研究に取り組んでいます。現在は、臨床の看護師や大学教員、専門学校の教員などバラエティに富んだ博士後期課程9名、博士前期課程3名の学生が在籍し、各々の経験をもとに関心のあるテーマについて、自由闊達な意見交換を行ないながら研究を行っています。

研究室では、看護学教育方法の開発・評価に加え、看・工連携による生体情報解析や看護技術の開発、産学連携による看護業務支援システム開発の社会実装などに取り組んでいます。



モーションキャプチャによる嚥下運動のデータ収集
左から3番目（松本）、最右（前田）

編集後記

■ 熊本地方のソウルフードでもある太平燕は、ちゃんぽん野菜スープに春雨でいただく汁麺だ。春雨は緑豆のでんぷんを原料とし、小麦粉由来の麺とは違い、糖質コントロールに良さそうだ。“ちゃんぽん”は、韓国語やインドネシア語、そして沖縄でも「ませる」と同等の意味を持つらしい。どうやら熊本は、亜細亜文化交流が渦巻き色濃く潜在している土地のようだ。

熊本←隈本←曲本。阿蘇山からの清流・白川が台地を削り、山谷の高地低地が続く有様が「曲」と表されるようだ。一説には「高麗」や朝鮮語の「神」の発音に似ているともいう。中国大陸からの憧れの黄金の国ジパングは、東から太陽が昇る輝く朝焼けが由縁だけではなく阿蘇山を代表とする火山や鉱石の光からかもしれない。東シナ海の東岸に位置する天草・有明海は豊かな魚介類漁場であり、黒潮に導かれる九州/熊本は、有山有水の豊かな羨望的な浄土と映るかもしれない。

ところで、明治時代創立の熊本県立済々黌高等学校がある。難解な漢字ではあるが、中国/五経「詩経」の「立派な人材が豊富であるので、国が安らかに治められている」を意味しているという。当時、熊本の地に要となる行政府や教育機関を設置した背景と目的には、人財育成の土壌を築き上げたいと窺い知る。熊本は、九州総合通信局の現在所在地でもある。

地図を見ると上海-熊本/熊本-東京が同じ距離のようだ。市内を流れる白川を東に遡り、阿蘇山から更に自然な地層の流れで東に延ばすと豊後水道九州と四国の両半島から四国吉野川を経て、奈良へ辿り着き、左折北上すると京の都へ続く。

半導体製造拠点として期待される熊本への台湾をはじめ国際的企業の進出は、長い歴史と地政学から自然な流れかもしれない。アジアで人気の“くまモン”の力だけではなさそうだ。(太平燕を日常で食したい糖質減量志向の“杉のお山”)

■ 4月を迎え娘も大学4年生に進級。来年卒業すれば子育て(学費支払い生活)も終了!! やっと本当に肩の荷が降りる時がくると思うと今から嬉しくて仕方ありません♪

学費の請求書が届き、綺麗さっぱり一年分を振り込もうと思ったけど、年払いの割引があるわけでもないの、前期分だけ振込(笑)。卒業単位はすべて取得済なので「大学行かないかも、でもサークルの日は行くよ」とか呆れた事を言うので、「まさか講義何も取らないとか? この学費払うのにな?」と圧をかけてみました(笑)。

就活に関しては、数年前に就職した姉には相談してるけど私はまったく蚊帳の外。自分の机に顔映りが良く見える“女優ライト”(これは大事なんだよ! と力説され買われました)を設置し、PC前に上半身だけ就活ルックで座る日々(笑)。

最終面接でも対面とwebの選択が可能な企業が多く、対面を選択して緊張するより、慣れているwebを選ぶのもありとの事。でも入社する可能性がある会社の空気を肌で感じた方がいいと思うので、私は最終面接は対面を勧めています。

面接では必ずと言っていいほどサークル活動の“アルティメット”について聞かれるそう。娘曰く「マイナースポーツは話が盛り上がるからやって良かった!」との事。なにが功を奏すかわかりませんね。

その“アルティメット”。私もまだ一度も生で試合を観たことがないのですが、5月に家の近くの鶴沼海岸の大会に参加するとの事!! ご希望の差し入れをもって応援にいきます♪(みんな)

2023 5 No.352 電波技術協会報

フォルン
Future
Of
Radio
Network
FORN

No.352 / 2023年5月10日発行
発行 一般財団法人 電波技術協会
発行人 矢橋 隆
編集 FORN 編集担当(杉山 博、松浦 美恵)

本部
〒215-0004 川崎市麻生区万福寺 1-2-3 アーシビル 9F
TEL 044-965-1200 FAX 044-965-1222

新百合ヶ丘事業所
〒215-0004 川崎市麻生区万福寺 1-12-6 京野ビル
TEL 044-951-0111 FAX 044-951-0201

ホームページアドレス <https://reea.or.jp/>
印刷所 株式会社真興社
禁無断転載

送付先変更のご連絡やお寄せいただくご意見・ご感想は、下記の弊協会HPの「お問い合わせ」ページ、またはFAXにてお知らせください。

URL : <https://reea.or.jp/contact/>
FAX : 044-965-1222


Radio Engineering &
Electronics Association